ISSN 0910-1535

令 和 6 年 版

世界の航空宇宙工業

令 和 6 年 2 月

一般社団
法人 日本航空宇宙工業会
THE SOCIETY OF JAPANESE AEROSPACE COMPANIES

世界の航空宇宙工業

一般社団
法人 日本航空宇宙工業会
THE SOCIETY OF JAPANESE AEROSPACE COMPANIES

令和６年版　世界の航空宇宙工業　目次

第１章　世界の航空宇宙工業の概要(総論) ……1
　第１節　一般的動向 ……1
　　１　概況 ……1
　　(1)　沿革 ……1
　　(2)　最近の動向 ……1
　　２　規模 ……2
　　(1)　売上高 ……2
　　(2)　輸出入 ……5
　　(3)　従業員数 ……5
　　３　国際協力と企業動向 ……6
　　(1)　国際共同開発 ……6
　　(2)　航空宇宙技術動向 ……13
　　(3)　企業統合 ……13
　　(4)　企業経営 ……15
　　(5)　スタートアップ企業 ……16
　　４　各国政府の施策 ……16

　第２節　航空機分野の動向 ……17
　　１　沿革 ……17
　　２　軍用機 ……19
　　(1)　戦闘機と攻撃機 ……22
　　(2)　戦略爆撃機 ……25
　　(3)　輸送機 ……26
　　(4)　空中給油機 ……27
　　(5)　哨戒機 ……28
　　(6)　偵察機 ……28
　　(7)　早期警戒機 ……29
　　(8)　電子戦機 ……29
　　(9)　練習機 ……30
　　３　民間輸送機 ……30
　　(1)　民間輸送機開発の推移 ……30
　　(2)　最近の開発動向 ……33
　　(3)　需要予測 ……35
　　(4)　カーボンニュートラルの動向 ……39
　　(5)　スタートアップ企業 ……41
　　４　リージョナル機(地域航空・近距離航空用旅客機) ……42
　　(1)　沿革 ……42
　　(2)　機材の変遷 ……44
　　(3)　現況 ……45
　　(4)　将来動向 ……47

5　民生汎用航空機(ゼネラル・アビエーション航空機) ……50
(1)　沿革 ……50
(2)　現況 ……51
(3)　将来動向 ……55
6　ヘリコプター ……56
(1)　民間用ヘリコプター ……57
(2)　軍用ヘリコプター ……57
7　無人航空機 ……59
(1)　沿革 ……59
(2)　現況 ……60
(3)　将来動向 ……62
8　エンジン ……65

第3節　宇宙分野の動向 ……73
1　概況 ……73
(1)　人工衛星 ……74
(2)　ロケット ……75
(3)　有人宇宙 ……75
(4)　宇宙旅行 ……76
(5)　法制・規範 ……76
2　ロケット ……77
(1)　衛星打上げ用ロケット ……77
(2)　宇宙往還機 ……83
(3)　宇宙旅行用宇宙船 ……85
3　人工衛星 ……86
(1)　通信・放送衛星 ……90
(2)　移動体／マルチメディア対応通信衛星 ……104
(3)　データ中継衛星 ……106
(4)　放送衛星 ……106
(5)　測位・航行衛星 ……107
(6)　気象衛星 ……109
(7)　地球観測衛星 ……110
(8)　科学衛星／月・惑星探査機 ……116
(9)　軍事衛星 ……121
(10)　軌道上サービス衛星 ……122
(11)　衛星コンステレーション ……123
(12)　通信衛星メガコンステレーション ……124
4　その他 ……125
(1)　宇宙ステーション等 ……125
(2)　宇宙環境利用 ……127
(3)　宇宙太陽発電システム ……127

第 2 章　各国の航空宇宙工業の現状(各論) ……128
第 1 節　北米地区 ……128
1　アメリカ(USA) ……128
(1)　沿革 ……128
(2)　現況 ……141
(3)　企業動向 ……150
a.　Boeing ……150
b.　Lockheed Martin ……157
c.　Northrop Grumman ……161
d.　Textron ……164
e.　General Dynamics ……168
f.　Triumph Group ……169
g.　Spirit AeroSystems ……170
h.　RTX ……171
i.　GE Aerospace ……173
j.　Honeywell ……175
k.　Parker Hannifin ……176
l.　L3Harris Technologies ……178
m.　Space Exploration Technologies Corporation ……179
n.　United Launch Alliance ……179
o.　その他の宇宙企業 ……180
2　カナダ ……181
(1)　沿革 ……181
(2)　現況 ……184
(3)　企業動向 ……185
a.　Bombardier ……185
b.　de Havilland Canada ……187
c.　MHI RJ Aviation ……188
d.　Bell Textron Canada ……188
e.　Pratt & Whitney Canada ……189
f.　Magellan Aerospace ……190
g.　Boeing Canada Operations ……190
h.　L3 Technologies MAS ……190
i.　CAE ……191
j.　宇宙関連企業 ……191

第 2 節　欧州 ……193
1　欧州共同企業及び機関 ……193
(1)　Airbus ……193
1)　沿革 ……193
2)　現況 ……195
3)　資本構成 ……195
4)　業績 ……195
5)　ビジネスストラクチャー ……195
6)　構成及び関連企業 ……195
a.　Airbus ……195
b.　Airbus Helicopters 部門 ……197
c.　Airbus Defense and Space 部門 ……198
(2)　ESA(欧州宇宙機関) ……199
2　イギリス ……202
(1)　沿革 ……202
(2)　現況 ……203
(3)　概要(生産・輸出入等) ……203
(4)　宇宙開発 ……204
(5)　企業動向 ……206
a.　BAE Systems ……206
b.　GKN Aerospace ……207
c.　Rolls-Royce ……208
d.　Surrey Satellite Technologies ……209
3　フランス ……209
(1)　沿革 ……209
(2)　現況 ……209
(3)　宇宙開発 ……210
(4)　企業動向 ……212
a.　Dassault Aviation ……212
b.　Safran Group ……213
(a) Safran Aircraft Engines ……213
(b) Safran Helicopter Engines ……214
c.　DAHER-Socata ……214
d.　Thales Alenia Space ……215
e.　Sodern ……215
f.　Eutelsat ……215
4　ドイツ ……216
(1)　沿革 ……216
(2)　現況 ……217
(3)　企業動向 ……220
a.　Rolls-Royce Deutschland ……220
b.　MTU Aero Engines ……221
c.　宇宙関連企業 ……222

5　イタリア……223
(1)　沿革並びに現況……223
(2)　宇宙開発……223
(3)　企業動向……225
a.　Leonardo……225
b.　Leonardo 航空機部門……225
c.　Leonardo ヘリコプター部門……226
d.　Avio Aero……227
e.　Avio……227
6　ロシア……227
7　ウクライナ……242
8　オランダ……246
9　ギリシャ……248
10　スイス……249
11　スウェーデン……250
12　スペイン……254
13　チェコ……257
14　ノルウェー……257
15　フィンランド……259
16　ベルギー……261
17　ポーランド……263
18　ルーマニア……264
19　ルクセンブルク……265
20　ハンガリー……267
21　オーストリア……267
22　デンマーク……268
23　エストニア……269
24　カザフスタン……269
25　ラトビア……271

第 3 節　アジア・オセアニア……271
1　インド……271
2　インドネシア……281
3　オーストラリア……284
4　韓国……286
5　シンガポール……291
6　タイ……294
7　台湾……295
8　中国……298
9　パキスタン……318
10　フィリピン……318
11　マレーシア……318
12　ベトナム……319

13　ニュージーランド……320
14　北朝鮮……321

第4節　中南米……322
1　アルゼンチン……322
2　ブラジル……324
3　メキシコ……327
4　チリ……328

第5節　中近東・アフリカ……329
1　アラブ諸国全般……329
2　サウジアラビア……330
3　エジプト……331
4　アラブ首長国連邦……332
5　イスラエル……335
6　イラン……337
7　トルコ……338
8　南アフリカ……340
9　モロッコ……341

各国の年平均為替レート……342

略語一覧……343

索引

図 表 目 次

第 1 章

第 1 節

図 1-1-1 各国航空宇宙工業売上高 ……2
図 1-1-2 各国航空宇宙工業売上高の対 GNP-GDP 比率 ……3
図 1-1-3 主要国の航空宇宙製品の輸出入差 ……5
図 1-1-4 各国航空宇宙工業従業員数 ……5
図 1-1-5 国際宇宙探査ロードマップ(GER)の概要 ……10
図 1-1-6 Afternoon Constellation の概要 ……11
図 1-1-7 アメリカの製造業と航空宇宙工業の売上高利益率(税引後) ……15
図 1-1-8 欧米主要航空宇宙企業の売上高純利益率 ……15

表 1-1-1 各国航空宇宙工業売上高 ……4
表 1-1-2 民間輸送機の国際共同開発及び共同事業 ……7
表 1-1-3 軍用機の国際共同開発 ……8
表 1-1-4 エンジンの主要国際共同開発 ……9
表 1-1-5 宇宙開発計画の国際共同開発例 ……12

第 2 節

図 1-2-1 次期戦闘機 (GCAP)のイメージ図 ……24
図 1-2-2 燃料価格の推移 ……31
図 1-2-3 民間輸送機の受注・納入機数の推移 ……32
図 1-2-4 機種別累計納入機数 ……32
図 1-2-5 地域別エアラインの月間輸送量伸び率 ……35
図 1-2-6 世界の航空旅客輸送量予測 ……35
図 1-2-7 ジェット旅客機の需要予測結果(20 年後) ……35
図 1-2-8 サイズ別ジェット旅客機運航機数及び需要予測 ……36
図 1-2-9 世界の貨物輸送量の予測 ……36
図 1-2-10 国際航空輸送における輸送量と CO_2 排出量の推移 ……39
図 1-2-11 アメリカにおける無人航空機システム相互運用構想 ……63
図 1-2-12 アメリカにおける無人航空機システム試験場 ……64
図 1-2-13 世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移 ……66

表 1-2-1 世界の軍用機主要機種の概要 ……20
表 1-2-2 主要民間輸送機の開発日程 ……37
表 1-2-3 開発中または計画中の主要民間輸送機 ……38
表 1-2-4 主要リージョナル航空機一覧(プロペラ機) ……48
表 1-2-5 主要リージョナル航空機一覧(ジェット機) ……49
表 1-2-6 ゼネラル・アビエーション販売機数実績 ……51
表 1-2-7 主要ターボプロップ機の販売機数実績 ……54
表 1-2-8 主要ピストン機の販売機数実績 ……55
表 1-2-9 ゼネラル・アビエーション稼働機数の実績と予測 ……56
表 1-2-10 世界の主要ヘリコプターメーカーの部門比率 ……59
表 1-2-11 軍用エンジンの民間用への転用例 ……65
表 1-2-12 世界の主要エンジン・メーカーの航空エンジン
売上高・シェア ……68
表 1-2-13 民間航空機用エンジン業界の主要提携関係 ……71

表 1-2-14 現用及び開発中の主要民間航空機用ジェットエンジン ……72

第 3 節　図 1-3-1　世界の主な人工衛星打上げロケット ……82
図 1-3-2　世界の主な打上げ射場 ……83
図 1-3-3　SpaceShipOne 飛行経路 ……85
図 1-3-4　国際宇宙ステーション本体の構成 ……125

表 1-3-1　主要国の宇宙開発予算 ……77
表 1-3-2　主な宇宙旅行 ……86
表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数 ……88
表 1-3-4　Intelsat 衛星シリーズの主要パラメータ ……92
表 1-3-5　運用中の主な商用静止通信衛星 ……96
表 1-3-6　代表的な低中軌道(LEO/MEO)衛星群グローバル移動体
衛星通信システム ……105
表 1-3-7　各国の主な測位・航行衛星 ……108
表 1-3-8　主な運用中の気象衛星 ……110
表 1-3-9　最近打上げられた主な地球観測衛星 ……114
表 1-3-10 最近打上げられた主な科学衛星／月・惑星探査機 ……120
表 1-3-11 主な軍事衛星配置数 ……121
表 1-3-12 代表的な衛星コンステレーションビジネス ……124

第 2 章
第 1 節　図 2-1-1　アメリカのゼネラル・アビエーション機出荷機数 ……129
図 2-1-2　アメリカ航空宇宙産業の主な M&A とグループ化 ……133

表 2-1-1　アメリカの GDP と国防支出の推移 ……142
表 2-1-2　アメリカ航空宇宙工業の貿易収支の推移 ……143
表 2-1-3　アメリカ航空宇宙工業の需要別輸出額の推移 ……144
表 2-1-4　アメリカ航空宇宙工業の部門別従業員数の推移 ……145
表 2-1-5　アメリカ航空宇宙工業の品種別従業員数の推移 ……146
表 2-1-6　アメリカ航空宇宙工業の損益の推移 ……147
表 2-1-7　アメリカ航空宇宙工業の賃借対照表の推移 ……148

第 2 節　図 2-2-1　欧州航空宇宙産業の主な M&A とグループ化 ……194

表 2-2-1　Airbus の機種別開発経緯、受注・納入・就航機数 ……197
表 2-2-2　ESA 各国出資比率 ……199
表 2-2-3　イギリス航空宇宙工業の生産・輸出入等 ……204
表 2-2-4　イギリス主要メーカー別売上高・従業員の推移 ……206
表 2-2-5　フランス航空宇宙工業の生産・輸出入等 ……210
表 2-2-6　フランス主要メーカー別売上高の推移 ……212
表 2-2-7　フランス主要メーカー別従業員数の推移 ……212
表 2-2-8　ドイツ航空宇宙工業の売上高と従業員数の推移 ……218
表 2-2-9　Leonardo の主要部門売上及び従業員数 ……225
表 2-2-10 ロシアの航空工業グループ ……228

第 3 節　表 2-3-1　PSLV 打上げ一覧 ……276
表 2-3-2　GSLV 打上げ一覧 ……278
表 2-3-3　インドの通信衛星 ……279
表 2-3-4 中国の航空工業グループ ……299
表 2-3-5 中国の宇宙企業一覧 ……305
表 2-3-6 北斗衛星一覧 ……311

第１章　世界の航空宇宙工業の概要(総論)

第１節　一般的動向

1. 概況

⑴ 沿革

1903年アメリカのノースカロライナ州の海岸を動力駆動による飛行機が初めて空を飛んで120年あまり、航空宇宙工業は飛躍的な発展を遂げてきた。第一次世界大戦当時、当初使用できる飛行機は1,000機に満たなかったが、和平条約の締結調印時には、偵察機から連絡機、戦闘機、爆撃機等へと用途が分化・拡大し、合計約20万機が生産された。さらに第二次世界大戦以後、欧米の航空機工業は、戦時中に養った技術力と生産力を利用して民間輸送機を次々と開発し、民間旅客輸送は急速な発展を築き上げた。

また、第二次世界大戦末期、V2ロケットから始まったロケット技術はアメリカ及びソ連に引き継がれ、弾道ミサイルの開発に至ったが、その運搬能力と誘導技術を応用して、'57年にソ連が人工衛星Sputnikを打上げ、宇宙開発の時代が始まった。宇宙開発は軍事利用のみならず気象観測、地球観測、通信・放送事業、測位サービス、惑星探査、宇宙旅行等、経済・社会の発展のための技術開発へと急速に拡大していった。

航空宇宙工業の発達は、専ら軍事利用が先導的役割を果たしてきた。従って、近年は民需の割合が高くなったものの、依然として軍需は航空宇宙工業の生産高全体に重要な位置を占めており、アメリカで軍需がなお4割強を占めている。また、世界全体の航空宇宙工業の生産高において、中国の急伸があるものの、アメリカはこの半世紀以上圧倒的なシェアを保持している。

⑵ 最近の動向

近年の世界経済の大きな変動により、航空宇宙工業の需要及び市場動向にもさまざまな影響が出ている。

第一は、IT・軍事技術の急速な進展を背景に脅威が多様化し、アメリカは対テロ技術等の軍事技術に多額の予算を投入していた。また、民生・情報通信技術の急速な発展をベースに、精密誘導化、長射程化、無人化、ネットワーク化、宇宙技術の活用、デジタル化等の軍事技術に急速な革新が起こっている。

第二は、民間機市場は膨大な機体更新需要の存在及び世界経済拡大に呼応する旅客需要の伸びとともに、相次ぐ新型機の投入も後押しとなり、需要が伸長した。

第三は、東欧・アジア諸国等の航空宇宙工業への参入により、新たな世界秩序が構築されつつある。特に民間機市場分野での中国の急速で着実な進出が目立つ。

第四は、欧米を中心に国際共同開発が広く行われており、防衛・民間の両分野で、欧米の有力企業を中心に、企業間の国際提携と離合集散が進展している。

第五は、米中対立の激化及びロシアによるウクライナ侵略などを背景としたデカップリング、武器輸出規制、技術流出規制、経済安全保障及び製造物責任を巡る動向などの問題がある。

第六は、環境適合要求に応え、二酸化炭素・窒素酸化物の排出量削減、地球温暖化の抑制や騒音低減を目的として、新技術・材料の開発および実機適用が進んでいる。

第七は、新型感染症(以下「COVID-19」と記す)の影響で世界の航空需要が一時的に大きく落ち込み、IATA(国際航空運送協会)は2019年水準への回復は2024年になると予想している。

今後も、企業間競争・技術摩擦が激しくなる。また、国際共同開発等の国際協調、グローバル化の動きも同時に進行する。さらに、企業の自国で或いは国境を越えた吸収合併の動きが活発で、機体メーカー(OEM)の合併寡占が進むにつれて、エンジンや装備品メーカーなどでも吸収合併等の動きも見られるようになった。

2022 年 2 月に始まったロシアによるウクライナへの侵攻は、長期化している。力による現状の変更を見た世界は諸情勢を変化させ軍備を見直し、外交・貿易関係や技術政策に変化が見られる。軍事面のみならずエネルギー関連の価格上昇、食料や産業材料の価格上昇、賃金や金利の上昇によるインフレーションが世界に波及している。この情勢変化により東西冷戦終了以降の長期間にわたった各国の軍事予算縮減に、顕著な変化が起きた。特に欧州各国で防衛が重視され、複数の国で軍事予算は大幅に増加し、装備の増強・近代化が加速している。またロシアの侵攻方法を教訓にしたハイブリット戦、無人システムや人工衛星の活用、電磁波領域での戦闘、ビッグデータ分析による戦術など、新しい戦い方に対応する変化が起こっている。他方、欧米での防衛装備品調達数量にも限界が出ており、ウクライナ支援は加速していない。

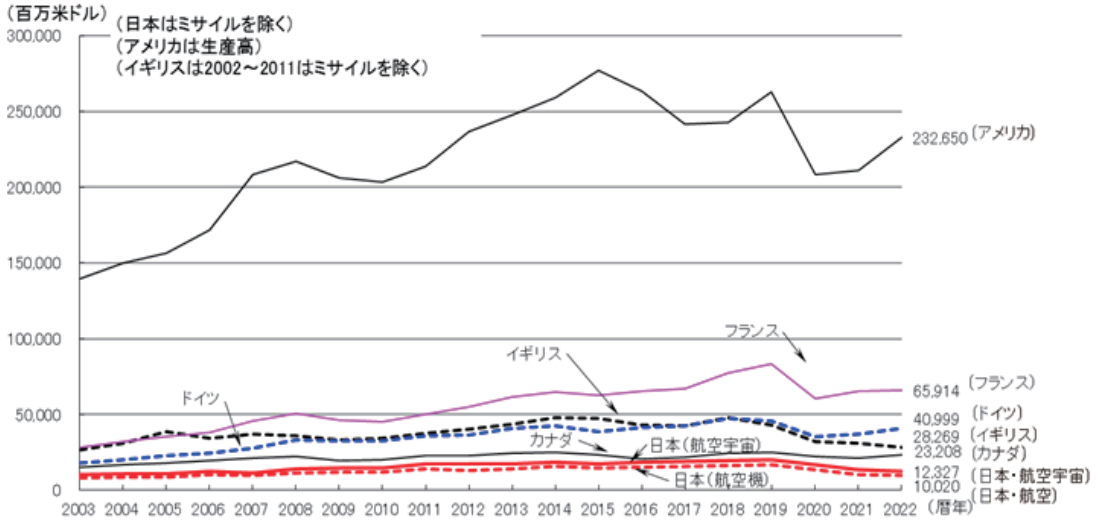
また、2023 年 10 月、パレスチナ自治区ガザのイスラム組織「ハマス」の奇襲攻撃に対抗し、イスラエルは、地上軍を編成し自治区内で国際法を超える規模、列度で応戦している。また周辺の海での海賊行為や陸域での別の紛争が誘発されている。これらにより、既存装備の追加、改修や新装備の獲得、軍事兵站の増強、その基盤となる関連産業の規模や即応性の増強、自在・自律性の向上など、航空機や宇宙システムに新たな役割付与、グローバル化の見直しや軍備強化、先端技術の国際管理厳格化や非西側諸国間での軍備品・軍事転用可能な民生品の移転拡大の動きが始まった。ここ数年は民間航空輸送や宇宙活動を含めて、この議論を追いつつ新しい環境に応じて、手探りで今後を固める産業界の動きとなるであろう。

2. 規模

(1)売上高

世界主要国の航空宇宙工業の2022年売上高の合計は約4,034億ドルで、アメリカがその約58%を占め飛び抜けている。ヨーロッパ各国も、積極的に共同開発や企業統合を推進しており、欧州主要3ヵ国(イギリス・フランス・ドイツ)の売上高の合計は約1,352億ドルに達するが、アメリカの売上規模との比較ではフランスが28 %、イギリスが12 %であり

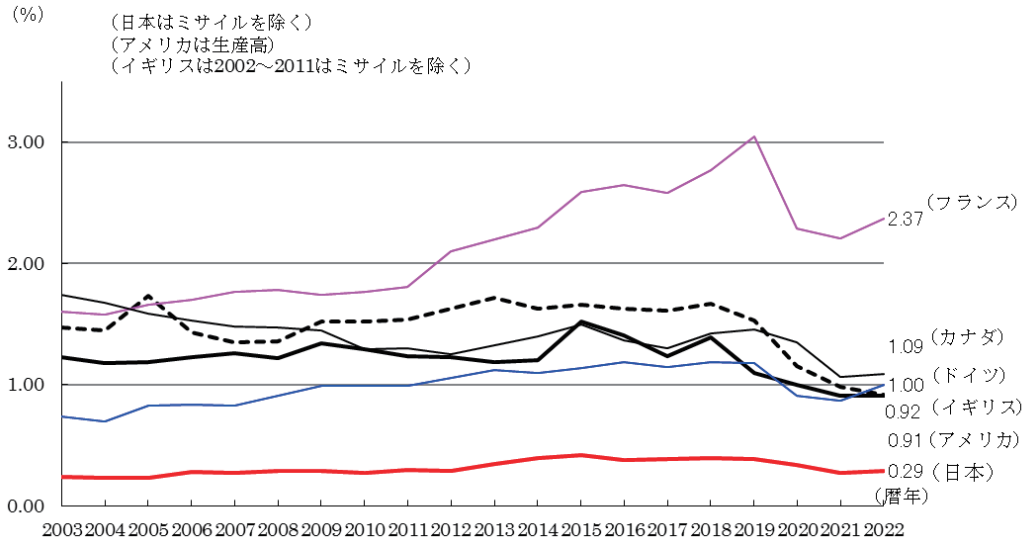
図1-1-1 各国航空宇宙工業売上高



出典：(一社)日本航空宇宙工業会

大きな格差がある。日本はアメリカの5％に留まっている。(図1-1-1、表1-1-1参照)
それぞれGDPに占める航空宇宙工業売上高の比率は、アメリカ0.9％、イギリス0.9％、ドイツ1.0％、フランス2.4％、カナダ1.1％であるが、日本は0.3％に過ぎない状況にある。(図1-1-2参照)

図 1-1-2　各国航空宇宙工業売上高の対 GNP-GDP 比率



出典：(一社)日本航空宇宙工業会

表 1-1-1 各国航空宇宙工業売上高(暦年)

(各国通貨ﾍﾞｰｽ)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
米国全体（億ﾄﾞﾙ）	1,576.17	1,445.17	1,398.13	1,497.81	1,565.45	1,717.27	2,085.42	2,173.07	2,062.58	2,035.99	2,135.84	2,368.46	2,473.99	2,589.82	2,582.08	2,411.30	2,418.04	2,862.06	2,631.47	2,081.31	2,112.71	2,326.50
英国（億ﾎﾟﾝﾄﾞ）	178.67	154.94	162.50	169.00	211.80	186.20	186.40	196.50	211.70	222.80	233.10	254.00	278.00	292.00	311.00	318.00	350.00	359.00	339.00	249.00	224.00	270.00
仏国（億ﾕｰﾛ）	1,659.55	246.06	249.11	259.43	283.13	305.69	334.91	346.90	332.65	343.51	361.47	426.68	464.95	490.25	565.84	593.11	626.90	653.74	743.00	529.33	551.79	627.00
独国（億ﾕｰﾛ）	166.00	153.00	157.00	160.00	186.00	195.00	202.33	227.41	236.57	247.20	257.21	283.82	305.99	321.10	347.00	375.00	400.00	400.00	410.00	310.00	314.00	390.00
加国（億加ﾄﾞﾙ）	232.00	215.00	212.54	217.00	218.00	221.00	227.00	236.00	210.00	210.00	224.00	228.00	251.00	276.77	298.38	272.05	289.82	315.76	335.71	297.68	268.00	302.00
伊国（億ﾕｰﾛ）	N/A	N/A	N/A	103	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
日本全体（億円）	13,923	13,473	12,067	11,619	11,718	14,283	13,683	14,454	13,734	12,988	14,017	13,684	16,797	19,396	21,114	20,179	21,178	21,760	21,854	18,219	15,030	16,207
日本航空機（億円）	10,306	10,111	9,660	9,430	9,481	11,935	11,419	11,863	11,037	10,404	11,367	10,524	13,657	15,891	18,224	16,809	17,606	18,228	18,569	14,698	11,590	13,175
日本宇宙（億円）	3,617	3,362	2,407	2,189	2,237	2,348	2,264	2,591	2,697	2,584	2,650	3,160	2,825	3,354	3,378	3,370	3,572	3,532	3,285	3,521	3,440	3,032

(米ﾄﾞﾙ換算)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
米国全体（億ﾄﾞﾙ）	1,576.17	1,445.17	1,398.13	1,497.81	1,565.45	1,717.27	2,085.42	2,173.07	2,062.58	2,035.99	2,135.84	2,368.46	2,473.99	2,589.82	2,582.08	2,411.30	2,418.04	2,862.06	2,631.47	2,081.31	2,112.71	2,326.50
英 国	223.03	243.55	275.93	387.78	338.55	342.90	393.16	388.51	330.06	344.04	373.80	402.47	434.58	480.82	475.10	429.44	422.45	478.99	432.60	319.23	308.15	282.69
仏 国	33.57	234.43	293.01	351.80	379.88	420.16	474.62	486.90	462.14	454.80	502.88	548.22	617.30	650.54	627.39	656.24	668.05	771.74	831.75	603.29	652.47	659.14
独 国	136.91	147.75	180.71	231.11	242.33	253.83	311.14	346.27	328.66	327.29	357.83	364.66	406.25	426.09	384.74	414.91	426.26	472.20	458.98	353.32	371.29	409.99
加 国	138.82	135.44	154.89	167.56	182.40	200.16	219.58	197.00	194.40	203.90	226.47	228.09	243.71	250.58	233.35	205.35	214.97	243.70	253.00	221.90	213.80	232.08
伊 国	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
日本全体	114.56	107.45	104.09	107.39	106.42	122.81	116.14	139.72	146.72	147.96	175.83	171.48	172.15	183.29	174.42	185.66	189.53	197.05	200.45	170.64	136.87	123.27
日本航空機	84.80	80.64	83.33	87.16	86.10	102.62	96.93	114.67	117.90	118.52	142.59	131.88	139.97	150.17	150.55	154.65	157.56	165.06	170.32	137.66	105.54	100.21
日本宇宙	29.76	26.81	20.76	20.23	20.32	20.19	19.22	25.05	28.81	29.44	33.24	39.60	28.96	31.70	27.91	31.00	31.97	31.98	30.13	32.98	31.33	23.06

(換算ﾚｰﾄ、IMF年平均ﾚｰﾄ他)

英国（ﾎﾟﾝﾄﾞ/$）	0.6947	0.66722	0.61247	0.54618	0.55	0.5436	0.4998	0.5449	0.6414	0.6476	0.6236	0.6311	0.6397	0.6073	0.6546	0.7405	0.8285	0.7495	0.7836	0.7800	0.7269	0.9551
仏国（ﾕｰﾛ/$）	7.33	1.0626	0.8854	0.8048	0.8047	0.7971	0.7309	0.6832	0.7198	0.7553	0.7188	0.7783	0.7532	0.7536	0.9019	0.9038	0.9384	0.8471	0.8933	0.8774	0.8457	0.9512
独国（ﾕｰﾛ/$）	1.1175	1.0626	0.8854	0.8048	0.8047	0.7971	0.7309	0.6832	0.7198	0.7553	0.7188	0.7783	0.7532	0.7536	0.9019	0.9038	0.9384	0.8471	0.8933	0.8774	0.8457	0.9512
加国（加ﾄﾞﾙ/$）	1.5488	1.5693	1.401	1.301	1.2116	1.1341	1.0748	1.066	1.142	1.0299	0.9891	0.9996	1.0299	1.1045	1.2787	1.3248	1.3482	1.2957	1.3269	1.3415	1.2535	1.3013
伊国（ﾕｰﾛ/$）	−	−	−	0.8048	0.8047	0.7971	0.7309	0.6832	0.7198	0.7553	0.7188	0.7783	0.7532	0.7536	0.9019	0.9038	0.9384	0.8471	0.8933	0.8774	0.8457	0.9512
日本（円/$）	121.53	125.39	115.93	108.19	110.11	116.3	117.81	103.45	93.61	87.78	79.72	79.8	97.57	105.82	121.05	108.69	111.74	110.43	109.03	106.77	109.81	131.48

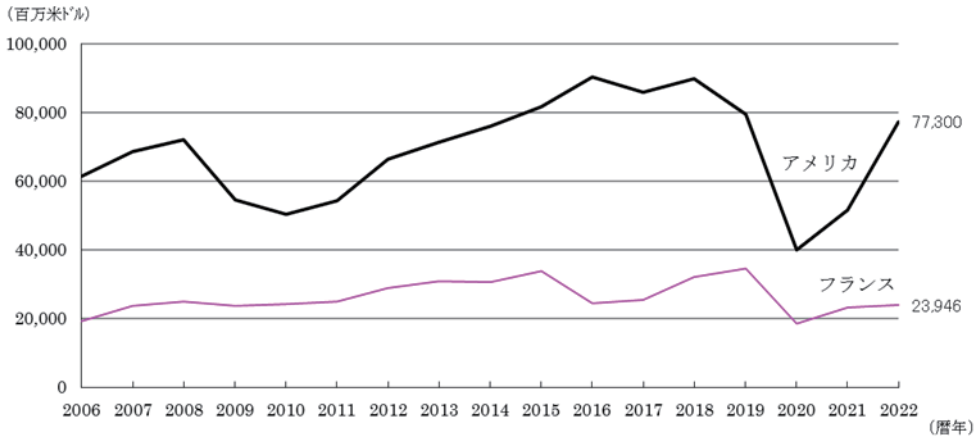
(注)
◇日本はミサイルを除く。宇宙は年度値
◇英国は2001～2011はミサイルを除く、2012～はミサイルを含む
◇米国は生産高
◇仏国は2001以前フラン表示
◇伊国は2003以前リラ表示

出典：（一社）日本航空宇宙工業会

⑵ 輸出入

航空機、宇宙機器の輸出入バランスは、その国の航空宇宙工業の実力を示す一つの目安となる。2022年はアメリカが773億ドル、フランスが239億ドルの輸出超過となっている。各国とも売上高に占める輸出比率は高く、アメリカは45％、フランスは73％となっている。但し外国へのFMSによる武器供与は自国政府への売上となるので広義の外需はさらに拡大する。(図1-1-3参照)

図 1-1-3　主要国の航空宇宙製品の輸出入差

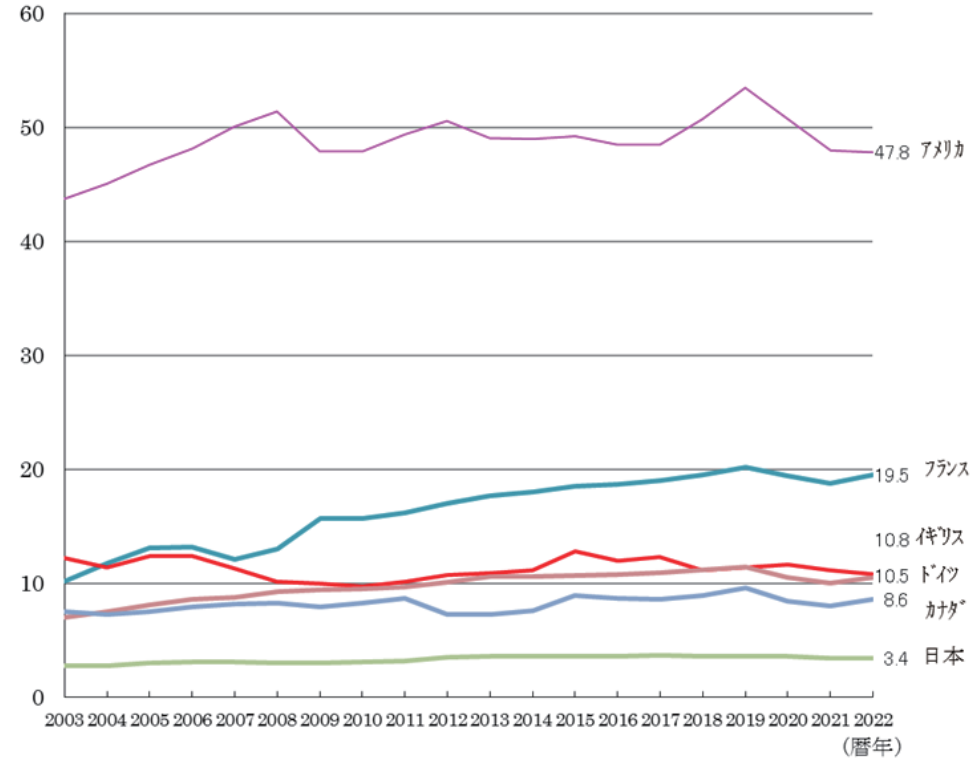


出典：(一社)日本航空宇宙工業会

⑶ 従業員数

2022年現在の各国航空宇宙工業の従業員数は、アメリカが約48万人、欧州ではフランスが約20万人、イギリスが約11万人、ドイツが約11万人であり、欧州主要3ヵ国(イギリス・フランス・ドイツ)の合計は約41万人でアメリカの約85％となっている。アメリカは、'68年の約150万人を最大に約1/3に減少し、近年は横ばいで推移している。一方で、フランスは10～20万人、イギリスは'57年の最大約30万人から近年は10～13万人、ドイツは7～11万人で推移している。COVID-19の影響による一時的な落ち込みはあるものの、中期的には各国漸増の傾向にある。(図1-1-4参照)また、COVID-19影響による従業員数減は例えばアメリカで約1割の5万人であったが、需要急回復に合わせ雇用環境は急変している。Boeingは1万人を2023年に新しく雇用すると発表しており、航空機の納入需要の力強さは雇用状況を好転させている。

図 1-1-4　各国航空宇宙工業従業員数



出典：(一社)日本航空宇宙工業会

3. 国際協力と企業動向

(1) 国際共同開発

世界の航空宇宙工業は、国際共同開発が主流となり、新しい民間機の開発は大半が国際共同開発で行われている。この傾向は軍用機、宇宙開発にも広がっている。

第二次世界大戦後、欧州各国はアメリカに対抗して国内に独自の航空宇宙工業を保有する必要上、早くから欧州・EU内各国と共同開発を計画してその基盤を築き、まず軍用機などの先端分野から国際的分業が、そして国を跨ぐ企業統合も広範に行なわれている。

第6世代の戦闘機として、2022年12月に日英伊の3ヵ国首相により「グローバル戦闘航空プログラム(Global Combat Air Programme (GCAP))」に関する共同首脳声明にて共同で開発に取り組むとされ、日本企業として三菱重工業、英国のBAE Systems、イタリアのLeonardoが参画するとなった。

民間機の分野でも、'62年イギリスとフランスがConcorde機の国際共同開発を開始して以降、欧州における中・大型民間輸送機の開発は、国際共同開発が一般的となった。'70年に設立されたAirbus Industrie (英・西独・仏・スペイン参加、現Airbus)は、複数国の企業が共同でAirbus A300の開発にあたった。その後現在までにAirbusは、A300のシリーズ化及びA320 / A330 / A340シリーズを追加投入するとともに、2000年の民営化後には超大型機A380を2007年に、2015年にはA350、さらに単通路機で航続距離最長のA321XLRをBoeingに先駆けてローンチする等、Boeingと互角に競争する企業に成長した。リージョナル機・ビジネス機を除く民間機の分野では、BoeingとAirbusの2社による寡占状態である。

航空宇宙工業における国際分業を3つの方式に分類すると、①参画企業が事業や開発のリスクを負わず生産のみ下請けとして参画する方式、②参画企業が製造担当部位の開発リスクを負担する方式、③参画企業がOEMと対等の立場で事業リスクまで分担する方式、の3つに分けられる。現在、多くの企業が上記③の方式による国際共同開発に参画し、開発からプロダクトサポートに至るまで広範囲な役割を担っている。

アメリカでは、OEM が豊富な資金と安定した市場を保有していたことから、かつては開発段階で共同作業はなかった。しかし、機体が大型化・複雑化するに伴い、開発リスクや開発資金等を一企業で負担することが困難になり、OEM は集約されアメリカも欧州に追随して国際共同開発を行うようになった。

一般に国際共同開発の利点としては、①一企業の負担能力の限界を越える開発費を参画企業が分担できる、②参加国での安定需要を見込むことができ、さらにそれぞれの国やメーカーの既存の販売システムを有機的に結びつけることにより、市場の拡大と販売力の強化を図ることができる、③航空機の自主開発と国際共同開発とのバランスを長期かつ計画的に行えば、事業規模の安定を図りつつ、技術開発力を維持・伸長することができる、などが挙げられる。

民間航空機用エンジン分野でも、各企業が合弁会社を設立し国際共同開発を行っている。'72年には、GEとSnecmaが合弁会社CFM Internationalを設立し、B737やA320等に搭載するCFM56エンジンの開発・生産を行っており、現在ではB737及びA320のエンジン換装型のB737MAX及びA320neo等に搭載するLEAPエンジンの開発・生産も行っている。'83年には、合弁会社IAE International Aero Engines AG (IAE AG) をPratt & Whitney (以下P&W)、Rolls-Royce (以下RR、2012年に離脱後、Pratt & Whitney Aero Engines International (以下P&WAEI)がそのシェアを取得した。現在RRはP&WAEIのサプライヤーとして部品供給を継続)、(一財)日本航空機エンジン協会、MTU、Fiat (現Avio Aero、'96年に離脱したが、サプライヤーとして部品の生産・納

入を継続)により設立し、A320等に搭載するV2500エンジンの開発し、生産を行っている。また '96年には、GEとP&Wが合弁会社Engine Alliance LLCを設立し、A380に搭載するGP7200エンジンの開発・生産を行っていた。さらに2014年には、P&W、(一財)日本航空機エンジン協会、MTUによる合弁会社International Aero Engines LLC (IAE LLC)を設立し、A320neoに搭載するPW1100G-JMエンジンの開発・生産を行っている。

軍用機用エンジンにおいては、2022年12月9日に日英伊の3ヵ国首相による次世代戦闘機の共同開発に関し「グローバル戦闘航空プログラムに関する共同首脳声明」が発出され、そのエンジン担当の日本企業としてIHI、英国のRR、イタリアのAvio Aeroが共同で取り組むこととなった。

今後新たに開発する民間機では、研究開発の段階からの参画、開発後の機材の運用・保守サービスなど、より広範囲で各国間の連携が必要とされており、軍用機でも、同盟国の相互運用性の向上、及び経費負担軽減のため、今後も国際共同開発が増えることが予想される。

民間輸送機、軍用機及びこれらに搭載されているエンジンの国際共同開発事業の概要を表 1-1-2～表 1-1-4 に示す。

表 1-1-2　民間輸送機の国際共同開発及び共同事業

就航年	機種名	座席数	開発企業(国籍)
1969	F28	60	Fokker(蘭), VFW, MBB(西独), Short(英)
1974	A300	251	Airbus Industrie 〔Aerospatiale(仏), DASA(西独), BAe(英), CASA(ｽﾍﾟｲﾝ)〕
1976	Concorde	128	BAC(英), Aerospatiale(仏)
1982	B767	224	Boeing(米), Aeritalia(伊), 民間輸送機開発協会(日)
1983	A310	218	Airbus Industrie 〔Aerospatiale(仏), DASA(独), BAE(英), CASA(ｽﾍﾟｲﾝ)〕
1988	A320	150	
1993	A321	186	
1993	A330	335	
1993	A340	335	
1996	A319	124	
1984	ATR 42	42 *	ATR 〔Aerospatiale(仏), Alenia(伊)〕
1989	ATR 72	64 *	
1988	CN-235	44 *	Aircraft Technology Industries〔CASA(ｽﾍﾟｲﾝ), IPTN(ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ)〕
1995	B777	375	Boeing(米), 日本航空機開発協会(日)
2003	A318	107	Airbus S.A.S. 〔EADS(仏/独/ｽﾍﾟｲﾝ), BAE(英)〕
2007	A380	555 **	
2011	B787	223 **	Boeing(米), Vought(米), Alenia(伊), 日本航空機開発協会(日)
2015	A350	270 **	Airbus S.A.S.〔EADS(仏/独/ｽﾍﾟｲﾝ)〕
(2025)	B777X	350 **	Boeing(米), 日本航空機開発協会(日)

注１：就航年の括弧内は予定を示す。

注２：座席数は、印無きものは2-クラス、＊印は1-クラス、＊＊印は3-クラスの標準的座席配置の場合を示す。

表 1-1-3　軍用機の国際共同開発

区分	初飛行	機種名	エンジン	最大速度	担当企業	(国籍)
固定翼	1981年11月	AV-8B Harrier II 攻撃機	Rolls-Royce F402-RR-406 10,800kg x 1	ﾏｯﾊ 0.92	McDonnell Douglas BAe	(ｱﾒﾘｶ) (ｲｷﾞﾘｽ)
	1984年 5月	AM-X/A-1 攻撃機	Rolls-Royce Spey MK807 5,000kg x 1	ﾏｯﾊ 0.86	Aeritalia Aermacchi Embraer	(ｲﾀﾘｱ) (ｲﾀﾘｱ) (ﾌﾞﾗｼﾞﾙ)
	1994年 3月	Eurofighter 戦闘機	Eurojet EJ200 9,185kg x 2	ﾏｯﾊ 2.0	EADS BAe Alenia CASA	(ﾄﾞｲﾂ) (ｲｷﾞﾘｽ) (ｲﾀﾘｱ) (ｽﾍﾟｲﾝ)
	1995年10月	F-2戦闘機	F110-GE-129 13,154kg x 1	ﾏｯﾊ 1.8	三菱重工業 Lockheed Martin	(日本) (ｱﾒﾘｶ)
	2002年 8月	T-50練習機/ FA-50攻撃機	F404-GE-102 8,027kg x 1	ﾏｯﾊ 1.4	KAI Lockheed Martin	(韓国) (ｱﾒﾘｶ)
	2009年12月	A400M 輸送機	TP400 10,000～13,000shp x 4	780 km/h	EADS Airbus CASA BAE Systems TAI Flabel	(ﾄﾞｲﾂ) (ﾌﾗﾝｽ) (ｽﾍﾟｲﾝ) (ｲｷﾞﾘｽ) (ﾄﾙｺ) (ﾍﾞﾙｷﾞｰ)
	2006年12月	F-35 戦闘機 (JSFﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ)	P&W F135 17,790kg x 1	ﾏｯﾊ 1.6	Lockheed Martin BAE Systems	(ｱﾒﾘｶ) (ｲｷﾞﾘｽ)
回転翼	1987年10月	AW(EH)-101 対潜機/輸送機	GE / RR, Turbomeca T700 / RTM322 1,714/2,313 shp x 2	309 km/h	Westland Agusta	(ｲｷﾞﾘｽ) (ｲﾀﾘｱ)
	1991年 4月	Tiger攻撃機 PAH-2	MTU / Turbomeca MTR 390 972 kW x 2	250～280 km/h	Aerospatiale DASA	(ﾌﾗﾝｽ) (ﾄﾞｲﾂ)
	1995年12月	NH-90 対潜機 ／輸送機	RR, Turbomeca / GE RTM322 / T700 1,566/1600 kW x 2	290～300 km/h	Aerospatiale(ﾌﾗﾝｽ) DASA (ﾄﾞｲﾂ) Agusta Fokker	Airbus Helicopter (ｲﾀﾘｱ) (ｵﾗﾝﾀﾞ)

表 1-1-4　エンジンの主要国際共同開発 (1/2)

型式承認(認定)年	エンジン	開発企業(国籍)		搭載機種
1979	CFM56	GE Snecma	(米) (仏)	DC-8、B737 A340、A319、A320、A321
1988	V2500	日本航空機エンジン協会 Pratt & Whitney Rolls-Royce MTU FIAT	(日) (米) (英) (独) (伊)	A319、 A320、A321 MD-90
1993	Trent 700	Rolls-Royce Hispano-Suiza RR Deutschland 石川島播磨重工業、川崎重工業	(英) (仏) (独) (日)	A330
1994	EJ200	MTU FIAT Rolls-Royce ITP	(独) (伊) (英) (西)	Eurofighter
1986	PW4000	Pratt & Whitney 三菱重工業、川崎重工業他	(米) (日)	B747、767、777 A300、A310、A330、 MD11
1995	GE90	GE Snecma FIAT 石川島播磨重工業	(米) (仏) (伊) (日)	B777
1995	Trent 800	Rolls-Royce BMW 石川島播磨重工業、川崎重工業	(英) (独) (日)	B777
1999	CF34-8	GE 日本航空機エンジン協会(石川島播磨重工業、川崎重工業)	(米) (日)	CRJ 700 / 900 / 1000 EMBRAER 170、175
2000	Trent 500	Rolls-Royce FIAT ITP 石川島播磨重工業、川崎重工業他	(英) (伊) (西) (日)	A340-500 / -600
2004	CF34-10	GE 日本航空機エンジン協会(石川島播磨重工業、川崎重工業)	(米) (日)	EMBRAER 190、195
2005	PW6000	Pratt & Whitney 三菱重工業	(米) (日)	A318
2007	Trent1000	Rolls-Royce 日本航空機エンジン協会(川崎重工業、三菱重工業) ITP	(英) (日) (西)	B787
2008	GEnx	GE 日本航空機エンジン協会(石川島播磨重工業、三菱重工業)	(米) (日)	B787、 B747-8
2005	PW6000	Pratt & Whitney 三菱重工業	(米) (日)	A318

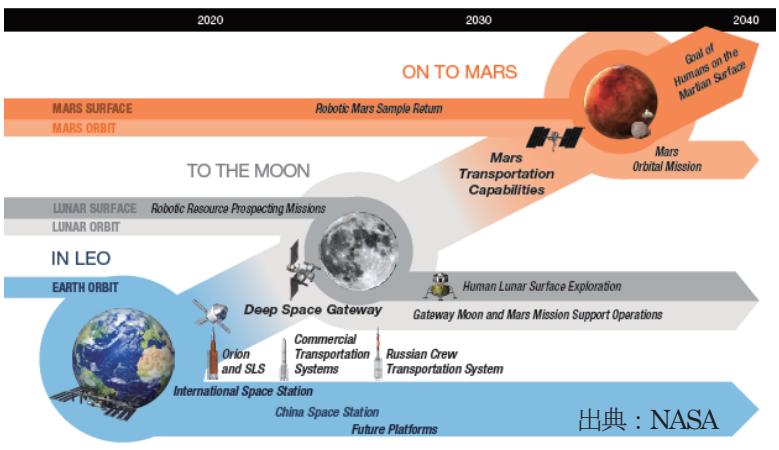
(注) 石川島播磨重工業：現 IHI、三菱重工業：現 三菱重工航空エンジン(次ページも同)

表 1-1-4　エンジンの主要国際共同開発 (2/2)

型式承認(認定)年	エンジン	開発企業(国籍)		搭載機種
2007	Trent1000	Rolls-Royce 日本航空機エンジン協会(川崎重工業、三菱重工業) ITP	(英) (日) (西)	B787
2008	GEnx	GE 日本航空機エンジン協会(石川島播磨重工業、三菱重工業)	(米) (日)	B787、 B747-8
2013	TrentXWB	Rolls-Royce 三菱重工業、川崎重工業 ITP	(英) (日) (西)	A350
2014	PW1100G-JM	Pratt & Whitney MTU (一財)日本航空機エンジン協会	(米) (独) (日)	A320neo
2016	Passport 20	GE (一財)日本航空機エンジン協会(IHI、川崎重工業)	(米) (日)	Global 7500 / 8000
2017	PW1200G	Pratt & Whitney Pratt & Whitney カナダ 三菱重工航空エンジン	(米) (加) (日)	Mitsubishi SpaceJet
2020	GE9X	GE Safran Aircraft Engines Safran Aero Boosters MTU (一財)日本航空機エンジン協会(IHI)	(米) (仏) (白) (独) (日)	B777X

一方、宇宙開発の分野でも国際協力は盛んに行われている。例えば、Apollo・Soyuz 実験計画、欧州宇宙機関(ESA)の設立と宇宙活動等の展開、'98 年から国際宇宙ステーション(ISS) が、米国・ロシア・欧州・カナダなど 15 ヵ国が参加する国際協力プロジェクトとして始まり、日本はその一部となる「きぼう」日本実験棟を開発し参加している。近年では宇宙開発が大規模、かつ広域化による開発費の増大に加え、欧米諸国の緊縮財政による予算制約で、共同開発中の大型宇宙開発計画は、軒並み完成時期の延期、計画の見直しを迫られている。欧州の Galileo 計画は 2016 年末に初期サービスを開始した。太陽系の宇宙探査に関しては、2007 年に合意されたグローバル探査戦略(GES)「国際協働のための共通認識文書」」(図 1-1-5 参照)を受けて発足した国際宇宙探査調整グループ(ISECG: International Space Exploration Coordination Group)において、引き続き必要な国際調整が行われている。ISECG では、GER (Global Exploration Roadmap: 国際宇宙探査ロードマッ

図 1-1-5　国際宇宙探査ロードマップ(GER)の概要



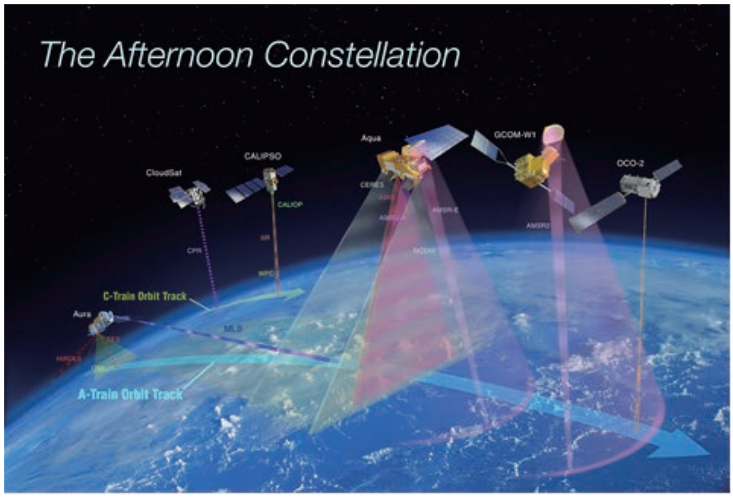
プ)を作成し、議論を進めてきた。2018 年には日本で第 2 回会合 (ISEF2: International Space Exploration Forum 2: 国際宇宙探査フォーラム)が開催され、45 の国・国際機関から閣僚や宇宙機関の長等が参加し、共同声明、国際宇宙探査に関する原則「国際宇宙探査に関する東京原則」及び ISEF 運営規約の 3 文書を取りまとめた。2022 年版 GER Supplement では、2020 年の追補版公開以降の ISECG への新たな下名機関と各国の計画更新を踏まえた月探査シナリオをまとめている。また、米国は 2019 年に Artemis 計画の発表と国際パートナーの参画を呼び掛け、2020 年に日・米・加・英・伊・豪・ルクセンブルグ・UAE の 8 カ国間で Artemis 合意に署名した。2023 年末で Artemis 合意に署名した国は 29 か国である。

地球環境モニタリングのための国際協力も進められており、2005 年の第 3 回地球観測サミットでは、全球地球観測システム(GlobalEarth Observation System of Systems: GEOSS)の構築へ向けた 10 年実施計画がまとめられ、計画を推進する組織として地球観測に関する政府間会合(GEO: Group on Earth Observations)が設立された。現在、GEO には 115 カ国の政府、欧州委員会(EC)及び 152 の国際機関が参加している。2015 年には GEOSS 10 年実施計画の後継となる「GEO 戦略計画 2016-2025」を承認する閣僚級宣言「メキシコシティ宣言」が採択された。日本は、温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT シリーズ、地球環境変動観測ミッション GCOM シリーズ、全球降水観測計画 GPM、雲・エアロゾル放射ミッション EarthCARE など、気候変動予測の精度向上を目的とする衛星計画を担う。

米国と並んで積極的に地球観測活動を行っている欧州では、Copernicus 計画(旧称 GMES)により環境監視と安全保障を含む幅広いテーマで GEOSS への貢献を行っている。Copernicus 計画は危機管理、陸域観測、海域観測、大気観測、安全保障、気候変動の 6 分野を対象に衛星情報の統合的利用を目指している。2023 年 11 月の時点では、7 機の Sentinel 衛星が運用中である。

米国、フランス、日本は、NASA 主導の国際協働で、複数の衛星に搭載した多様な観測センサを用いて、ほぼ同時に同一地点を観測し、上空の一酸化炭素、オゾン、エアロゾル、雲、水循環などを観測し、気象・気候に関する情報・知見を得るために、Afternoon Constellation と呼ばれる衛星コンステレーションによる地球観測を行っている。衛星群は A-Train 軌道の Aura、Aqua、しずく(GCOM-W1)、OCO-2、および C-Train 軌道の CALIPSO と Cloudsat から構成され、互いに近接した太陽同期極軌道を周回している。概要を図 1-1-6 に示す。

図 1-1-6　Afternoon Constellation の概要　(©NASA)



また、GPM(全球降水観測計)や EarthCare(雲・エアロゾル観測)等のプロジェクトが地球気象変動の解明を目的に共同で推進されている。GPMは、地球大気中の降水を高頻度(3時間毎)で観測する、NASA、JAXA、EUMETSAT等の国際機関による共同ミッションであり、2014年には日本が開発する二周波降水レーダー(DPR)と米国が開発するGPMマイクロ波放射計(GMI)を搭載したGPM主衛星が打上げられた。

日本は「アジア太平洋宇宙機関フォーラム」(APRSAF)を主導してアジア・太平洋諸国との協力を展開しており、第一段階として「センチネル・アジア」(災害管理支援システム)を設立し、アジア・太平洋諸国に対し衛星観測による災害関連情報の提供を行っている。第27回アジア太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF-29)は、2023年9月19日から22日の間インドネシア・ジャカルタで開催された。一方、2008年には中国主導でアジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)が設立され、アジア太平洋宇宙協力機構条約を締結した8カ国を中心に活動している。

宇宙開発の目的は、宇宙科学の研究、宇宙の有効利用であり、人類共通の利益をもたらす部分が大きく、宇宙開発の国際協力は今後もなお一層拡大すると考えられる。

宇宙開発計画の国際共同開発例を表1-1-5に示す。

表1-1-5　宇宙開発計画の国際共同開発例

計画名	打上げ時期 (目標年)	開発企業・機関(国籍)
Ariane ロケット開発 [Ariane 5 型開発] [Ariane 6 型開発]	1979～ [1997] (2024)	ESA (仏、独、伊、他数ヵ国)
国際的な衛星支援・捜索救助システム (Cospas-Sarsat)	1985 運用開始	米国、ソ連、フランス、カナダの関係機関が構築開始(1979)
地球観測衛星		
Terra/Aqua(NASA)搭載観測機器	1999/2002	JAROS(日)、NASDA、CSA(加)
GPM/DPR(全球降水観測計画	2014	NASA、JAXA 他
Earth Care/CPR	(2024 以降)	ESA、JAXA、NICT
Jason 3	2016	NOAA/EUMETSAT/NASA/CNES
PMM(降雨レーダ衛星)	2028	JAXA/ NICT / CNES / NASA
ISS(国際宇宙ステーション)計画	～2030	NASA、CSA、ESA、 RASA(露：現 ROSCOSMOS)、JAXA
月周回有人拠点(Gateway)	(2024~)	NASA、 CSA、 ESA、 JAXA 等
グローバル衛星通信・測位システム		
Galileo 計画	~2020	欧州各国
太陽系観測		
BepiColombo(水星探査)	2018 打上げ (2025～)	ESA、JAXA
JUICE(木星系探査)	(2023/4/14 打上げ) (2029～)	ESA、JAXA、NICT、NAOJ、大学他
AIDA(小惑星探査)		
-DART	2021 打上げ (2022～)	ESA、NASA、JAXA 他
-Hera	(2024 打上げ) (2025～)	
ExoMars(火星探査)	2016 (2028 以降)	ESA、ROSCOSMOS
宇宙観測		
IXPE (X 線観測衛星)	2021 打上げ	NASA、ASI 他
JWST (James Webb Space Telescope)	2021 打上げ	NASA、ESA、CSA 他

⑵航空宇宙技術動向

アメリカにとって航空宇宙工業とその関連の先端技術は軍事的にも経済的にも重要なものであり、自国の優位性を維持する観点から、他国への先端技術の移転には慎重である。アメリカのF-22Aは、同盟国であるイギリスや日本に対しても輸出が禁止された。また、アメリカ国防省は、無人航空機の開発・配備を重視しており、すでに偵察用の無人航空機がイラク戦争等で利用された他、将来は飛躍的に攻撃能力を高めた無人戦闘機の実用化も目指す等、自国の優位性を更に高めていく構えである。

技術分野での国際協力の動きとして、Boeingは2022年8月、持続可能な航空燃料(SAF: Sustainable Aviation Fuel)などサステナビリティー分野での技術協力や、電動航空機および水素航空機など次世代航空機の実現に向け、経済産業省と協力強化で合意し、名古屋市に研究開発拠点(Boeing Research and Technology (BR&T) center)を設立すると発表した。これは、将来の航空機に必要となる技術分野において、両者が協力を強化することを目的として2019年にBoeingと経済産業省との間で結ばれた「日本国経済産業省とボーイング社との間の航空機の技術協力に係る合意書」を延長すると共に、持続可能な技術に拡大するものである。

また、日英伊三か国首脳は、2035年までに次世代戦闘機を共同開発するという事業である「グローバル戦闘航空プログラム(Global Combat Air Programme (GCAP))」に関する共同首脳声明を発出した。声明では、GCAPを通じ防衛協力関係を一層拡大し、防衛力及び技術的優位を加速させるとともに、防衛協力、科学技術協力、統合されたサプライチェーンを深化させ、防衛産業基盤を強化していくとしている。

一方、経済・安全保障等の分野における米中対立激化や、COVID-19感染拡大及び半導体不足で露呈したサプライチェーンの脆弱性から、国家の独立や国民・財産を守る安全保障の考え方を経済・技術の分野に拡大する経済安全保障が各国で重要視されている。主要国では、市場経済の仕組みに委ねて特定国へ過度に依存させることなく、自律性を高める重要技術の把握や保護、自国の製造能力や技術向上を推進する動きが見られる。

また、宇宙分野においても、TASやAirbusなど複数の国で開発・製造を行う従来からの企業以外にRocket Labやispace等の比較的小規模な企業も複数の国に拠点を設けており、政府が主導する従来からの国際協力とは異なり、経済合理性を求め産業として多数国に展開して連携する国際協力も進んできている。

今後、国家間で経済安全保障を強め、航空宇宙関連の技術/製造移転の制限や技術摩擦と国際協力が選択して推進されると予想される。このように国際協調の流れと相反する動きが同時に生起していることも踏まえ、各国企業は域内や同盟関係の協力、自国の優位性を確保する独自性の確保、新興国との水平分業や垂直分業による自社あるいは自国産業の国際競争力強化や自律性の向上など、種々の要件を総合しながら、自らの対応を考えていかなければならない。

⑶企業統合

航空機の大型化、性能の高度化による開発費・生産準備費の増大に伴い、航空機を開発・生産するためには巨大な資本が必要となり、この手段のひとつとして企業統合が盛んに行われるようになってきた。また、東西冷戦後の平和が続いた国際秩序に対応し軍事情勢の変化に応じて、一部の例外はあるが総じて世界中で軍事費が大きく削減された。欧州内では、自国内に企業を維持して企業規模が小さくなることで商業的に市場での競争力が低下することを回避し、EUを疑似的に国家と考え域内の同質企業を統合して、域

内のそれぞれの国に小さな企業があるより、自国には企業本社がなくとも、域内に企業本社があれば企業規模は拡大して、自国に製造工場や開発部門が残るような動きを、航空機でも宇宙機器でも進めた。また規模が小さくなってしまった一部の部門、技術は積極的に他国に譲渡、撤退させた。

アメリカにおいて航空機メーカー(OEM)の合併吸収の動きは盛んであり、'67年にMcDonnellが、経営危機に陥った民間機輸送メーカー(OEM)のDouglasを吸収してMcDonnell Douglasとなったのをはじめとして、'94年にはNorthrop Grumman、'95年にはLockheed Martinが誕生した。アメリカの航空宇宙企業は経営改善のため、さらに人員減、事業部門の再編等を進め、'97年にはBoeingがMcDonnell Douglasと合併し、世界最大の航空宇宙メーカーとなり、2000年にはHughes Electronicsから人工衛星製造部門を買収し、2002年にはNorthrop GrummanがTRWを買収した。2019年にはRaytheonとUnited Technologiesが合併し、Raytheon Technologiesとなり2023年にRTXに改名した。

一方、ヨーロッパのメーカーは、'50年代末から'60年代にかけて政府の航空機工業強化策もあり、次々と企業統合が進められてきた。

イギリスでは、第二次世界大戦後の'49年には機体33社、エンジン12社であったが、'59年航空省を設立し、業界再編成を進め、総合メーカー1社、エンジン・メーカー1社の2社に集約された。フランスでも戦後12社あったものが、機体およびエンジンは各1社ずつとなった。また、ドイツは50年代末13社あった企業がエンジン関連の2社に、イタリアでは10社程度が、1社にまとめられた。

'97年には、米国企業に対する競争力強化のためAirbus Industrieを共同企業体から株式会社化することを決め、これを軸に英 British Aerospace (BAe)、仏 Aerospatiale、独 Daimler Chrysler Aerospace (DASA)、スペインCASAの4社を統合することで英・仏・独・スペイン4ヵ国の政府が合意し、 EU内で複数国に展開する多国籍企業として米国企業の追撃体制を整えていくこととなった。しかし、'99年に入り、BAeが先に英Marconi Electronic Systemsと合併し、BAE Systemsが成立したことを受け、4社統合は白紙に戻り英国と大陸の欧州国は別の道に分かれた。一方、AerospatialeとMatra Hautes Technologiesの合併したAerospatiale-MatraがDASA、CASAと合併し、Boeing、Lockheed Martinに次ぐ世界第3位の航空宇宙メーカー 欧州航空防衛・宇宙会社 (EADS)が誕生したが、2014年にAirbus Groupに、さらに2017年にAirbusに社名変更した。2015年にはLockeed MartinがSikorskyを買収し軍民用ヘリコプターを傘下に収めた。

2020年には、カナダのBombardierが小型旅客機Cシリーズの保有株式をAirbusに売却し、Qシリーズ事業をLongview aviation Capital (現 de Havilland Canada)、CRJ事業を三菱重工業にそれぞれ売却して民間航空機事業から撤退し、ビジネスジェットに事業集中した。

宇宙関係においても欧州企業は2社に主に集約された。Aerospatiale-Matra、DASA、Marconi Electronic Systemsの3社が宇宙部門を2000年に統合し、Astriumを設立し、欧州の宇宙産業はAstriumと仏 Alcatel、伊Aleniaの事実上3社に集約され、2014年にEADS Astrium、Cassidian、Airbus Military部門が Airbus Defence and Space (ADS)部門に統合され、EADSからAirbus Groupに名称を変更後、現在はAirbusの1部門である。仏Alcatel Spaceと伊Alenia Spazioは2005年に統合し、Alcatel Alenia Spaceを経て、2007年にAlcatelが出資分をThalesへ売却しThales Alenia Space (TAS)となった。

米国では2014年にOrbital Sciences CooperationがATKの航空・宇宙部門と合併し、Orbital ATKとなり、2018年にNorthrop GrummanがOrbital ATKを買収し、Northrop Grumman Innovation Systemsを経て、2020

年にNorthrop Grumman Spaceとなった。

2014年、航空宇宙船の製造会社であるSNC (Sierra Nevada Corporation)は、液体ロケット、生命維持システムに強みをもつORBITEC (Orbital Technology)を買収し統合した。

2023年はMaxar Technologiesが投資会社Advent Internationalに買収された。

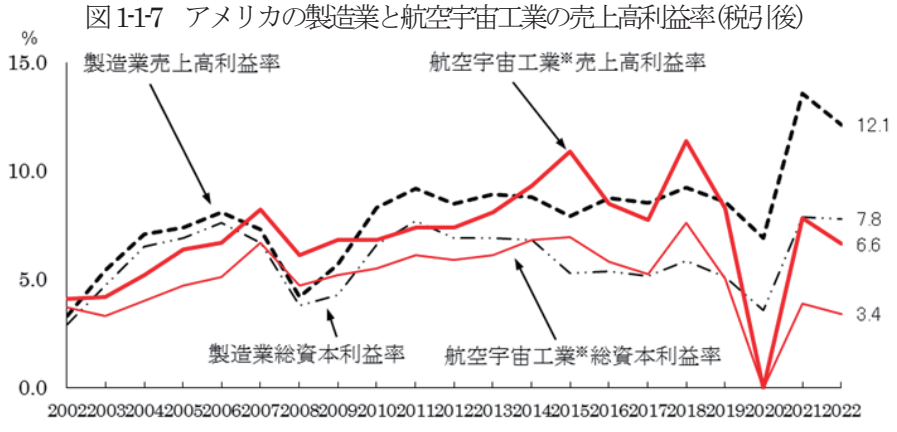
今後は、市場や規模の拡大以外にも、世界の分断、持続可能、レジリエンス(回復力)、経済安全保障といった新しい枠組みが模索され、各国の航空宇宙工業を巻き込んだ再編の動きが出てくる可能性は否定できない。

(4) 企業経営

航空宇宙工業の主要製品である航空機、エンジン及び宇宙機器は、いずれも開発費が巨額で、多額の資金が必要となる。特に、民間機の分野は投資した資金の回収期間が長期に亘るため、リスクの大きい事業であり、最近は国際競争の激化、市場の要望の多様化等により、そのリスクはますます大きくなっている。

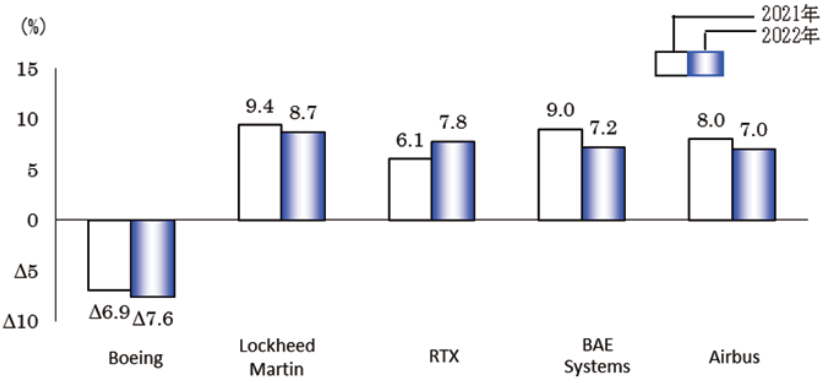
また、企業の形態も多くの国では国の資本または国営の持株会社として運営されている。これらの効率的運営のため、国の主導による統廃合が行われ、さらに欧州では域内の複数国をまたぐ統合も顕著となり、優良／重要な事業・部門を自国に残しながら、現在では前述のとおり各国とも1～2社のメーカーが国の代表企業と位置付けられる、あるいは自国には大企業の本社がないようになった。イギリスの BAE Systems、Airbus (本社オランダ)がその代表例である。(図 1-1-7 および図 1-1-8 を参照)

図 1-1-7　アメリカの製造業と航空宇宙工業の売上高利益率(税引後)



※ 航空宇宙工業はミサイルを含む　　出典：(一社)日本航空宇宙工業会

図 1-1-8 欧米主要航空宇宙企業の売上高純利益率



出典：(一社)日本航空宇宙工業会

一方、事業リスクの分散と市場確保のために国際共同開発が広く行われており、エンジン分野におけるアメリカ・ドイツ・日本からなる IAE (International Aero Engines)がその代表例である。また、宇宙開発の分野では、欧州 22 ヵ国が加盟する欧州宇宙機関(ESA)がある。これらの共同事業体は、航空宇宙分野における一企業または一国のみによる開発の難しさを物語っている。

⑸ スタートアップ企業

環境問題への対応を受け、水素や電動航空機などのグリーンテックと呼ばれる新分野で、欧米に限らず中国でもスタートアップ企業が精力的に活動している。エアラインは脱炭素への対応を急ぐため、特に近年認証活動が進む電動航空機の分野でスタートアップ企業との関係を深めている。

電動航空機の中には、電源に蓄電池ではなく水素燃料電池を利用した航空機開発を進める企業もある。水素を燃料とする航空機は二酸化炭素を排出しないため、環境負荷の小さい移動・輸送手段として注目を集めている。

移動の自由を大きく高める新たなエアモビリティである eVTOL への期待も高まっている。世界中で多くのスタートアップが実証試験を進めており、実用化に向けて開発競争のしのぎが削られている。

宇宙開発においても、Elon Musk が設立した SpaceX (Space Exploration Technologies Corporation)は、独自に低コスト打上げロケット Falcon 9 を開発して商用衛星打上げ市場で最大シェアを獲得している。SpaceX は、2018 年に超大型ロケット Falcon Heavy の打上げに成功し、1 万機以上の衛星を用いて全世界にインターネット接続サービスを提供する Starlink 構想を公表、2018 年に実証衛星を打上げ、継続して運用衛星を軌道に配置しており、2023 年は 11 月末までに計 1,824 機の Starlink 衛星を打上げた。米 Google は 2015 年には米民間宇宙企業 SpaceX に対して総額$10B の出資を発表し、2021 年には Starlink との連携を発表している。現在は更に大型の Starship / Super Heavy の開発を進めており、現時点で最大の打上げ能力を持つ予定である。

この他に、Amazon が Starlink と同様な Project Kuiper を発表しており、Amazon 創始者 Jeff Bezos が設立した Blue Origin、ロケットを使わずに打上げを行う Spinlaunch 等の宇宙開発関連企業が設立されており、宇宙産業界の新たな潮流となっている。

一方、欧州においてもドイツのロケットベンチャー企業 Iser Aerospace が CNES とギアナから打上げ契約を結ぶ等、ESA で、或いは各国でそれぞれの支援を行っている。

一方、日本においても、QPS 研究所(SAR 衛星)、Interstellar Technologies (インターステラ)、Synspective (SAR 衛星)、Astroscale(デブリ除去)、ispace(月着陸)、AXELSPACE(超小型人工衛星)などがあるものの、海外(主に米国)に比べると規模は大きく異なる。またスタートアップ企業には、国内企業、国をまたいで適材適所に配置する多国籍企業など多様な形態がある。日本法人であっても、技術・製造や知的な権利、事業所・資本を経営に有利な環境の他国に戦略配置する例も見られる。コロナ禍を経て金融緩和環境が変化し流動資金が激減したため、宇宙のスタートアップ企業の民間資金調達(投資)には厳しさがみられるように変化した。

4. 各国政府の施策

各国政府は航空宇宙工業の育成・発展を図っており、各国は古くからその安全保障上の重要度、技術先導性、知識集約性を深く認識し、自国の航空宇宙工業の産業振興に力を尽くしてきた。世界の航空宇宙工業は国際共同開発が主流となり、民間機は大半が国際共同開発で行われ、この傾向は軍用機、そして宇宙開発にも広がっている。特に新興国には政府投資による産業の育成先として、航空機や人工衛星

が注目を得ており、欧米企業の水平分業により定着を試み、成果は現れている。

2020 年頃から、米国と中国との間の覇権争い、安全保障をめぐる緊張の高まりから、民主主義国家と権威主義国家との経済圏間で重要品目を中心に相互に経済依存度を低下させるデカップリング(分断)の動きが見られ、サプライチェーンの再構築が進んでいる。航空機産業においても、米国防総省が 2021 年に中国共産党軍事会社リスト(Communist Chinese military companies)の掲載企業に中国商用飛機(COMAC)を指定し、投資を制限するなどの動きが見られる。また、米中対立が深まる中で発生したロシアによるウクライナ侵略を受け、東ヨーロッパを中心に軍備増強の動きや、ロシア・ソ連製の軍用品を排除する動きが広がっている。一方ロシアでは、西側諸国の制裁により航空機を修理するための西側諸国の予備部品を入手することが困難になり、西側航空機への依存脱却を目的とした、国産への置き換えの試みが見られる。

ここ数年主要国の多くで宇宙軍の分離独立や宇宙作戦能力の確立・強化が相次いでいる。これにより機能拡充や新装備の調達が図られ、産業基盤の生成や振興政策が立案から実行に移ってきている。宇宙についても航空と同様のロシア、ウクライナ、中国を巡って、欧米や第 3 勢力との間に協力、連携、離別或いは排除と、ロケットや宇宙機の製造や開発において多様な関係を見せつつプロジェクトが進んでいる。

航空宇宙市場の独占化や地域主義化が進めば、顧客の不利益、産業の非効率化をまねくこともある。世界の航空宇宙工業の健全な発展に向け、多様な国際関係・連携の動きが注目される。

第 2 節　航空機分野の動向

1. 沿革

ライト兄弟の初飛行からわずか 10 年ほど後の第一次世界大戦において、航空機は軍用機として存在意義を確立した。この戦争で航空機は気球や飛行船に代わって空軍力の中心となり、5 年間に約 250 種、20 万機が生産された。この間に偵察機、戦闘機、爆撃機など用途の分化も進み、エンジンは百数十馬力から三百数十馬力のものが実用化され、木製及び金属の機体にレシプロエンジンを搭載した複葉機が活躍した。

第一次世界大戦から第二次世界大戦までの戦間期は、速度、航続距離、高度記録に挑戦した時代であった。機体は空力的・構造的に長足の進歩を遂げ、エンジンの出力増強や燃費の低減といった面でも大きな成果を挙げた。またこの頃、航空輸送が実用化の緒につき、機体・エンジンの信頼性が重視されてその技術が著しく向上し、木製複葉機から全金属製単葉機へ、低馬力レシプロエンジンから高馬力レシプロエンジンへ、感覚による飛行から無線通信、計器飛行、全天候飛行へと移り変わっていった。そして、この戦間期の末には、全金属性セミモノコック構造、単葉、フラップ、引き込み脚、密閉式風防などの近代的な様式が確立された。また、この時期に航空技術の組織的・系統的研究の必要性が認識され、国や軍による研究機関が欧米各国で設置されている。

第二次世界大戦で戦力としての航空機の優位性・重要性は決定的となり、世界全体で 80 万機近くが生産され、機体もエンジンも急速に洗練され性能を高めた。この間に戦闘機等の高速機はプロペラ機の速度限界に到達し始め、ジェットエンジンの実用化とともに、圧縮性の影響への対処として後退翼の原理も発見された。また、爆撃機等の大型機では空力・構造設計の進歩によって数トンのペイロードを積んで長距離を経済的に安定

した飛行が可能になり、与圧室の実用化で生理的負荷を軽減しながら成層圏を飛行できる様になった。このように第二次世界大戦終了時には、後のジェットエンジン搭載による高速、高々度飛行や大量輸送を支える技術的基礎が整い始めていた。

第二次世界大戦後は、軍用機では早くからジェットエンジンの採用が試みられ、'50 年までには推力 5,000～6,000 ポンド級のものが実用化され、F-86 戦闘機('47 年初飛行)などが生まれた。さらに推力 10,000 ポンド級のものが実用化されると、アフターバーナーとの組み合わせで超音速戦闘機が誕生し、F-104 ('54 年)や F-4 ('58 年)などによってマッハ 2 時代の幕を開けるに至ったが、この間に要した時間はわずか約 10 年であった。

一方、信頼性が重視される民間輸送機では、第二次世界大戦後もしばらくはレシプロエンジンが用いられ、DC-6 ('46 年)や L-749 Constellation ('43 年)等の大型輸送機が生産されたが、やがて B707 ('57 年)や DC-8 ('58 年)といったジェット輸送機が開発されたことで飛躍的な高々度、高速飛行が実現し、一挙に航空輸送力が高まった。

'60 年代には、米軍の C-5 大型輸送機('68 年)計画を契機として、大型ターボファンエンジンとワイドボディ機が開発された。既存の大型エンジン推力が 18,000 ポンド級であったものを一挙に 40,000 ポンド級へ拡大し、バイパス比も 1 から 8 におよぶ各種のターボファンエンジンが生まれ、B747 ('69 年)、DC-10 ('70 年)、L-1011 ('70 年)等による大量輸送時代が到来し、航空輸送は社会基盤として定着した。

'70 年代には、社会的環境が重視されるようになり、大気汚染、騒音などの環境規制が厳しくなるとともに、第四次中東戦争を契機とする石油危機('73 年)が起こり、A300、A310、B767、B757、MD-80 シリーズなどの開発を促すこととなった。超音速輸送は'76 年運用開始の Concorde により実現し、性能面は成功を収めたが、経済面、環境面での問題が大きく、Concorde の生産も 16 機で終了した。また、第二次世界大戦後に飛躍的進歩を遂げたヘリコプターは、信頼性、経済性が向上するにつれ、軍用から民間用へと急激に用途が拡大した。

'80 年代以降には、B777、A320 シリーズ、A330/340、MD-11、MD-90 が開発され、中大型機の高性能化が進んだ。また '90 年代は、地域間の高速輸送のニーズが高まりリージョナルジェット機が大きく飛躍した。RJ70 等の RJ シリーズ、CRJ100/200、CRJ700/ 900、ERJ-135/145、E170/190 等 100 席以下の機体開発が盛んに行われた。

2000 年代に入り、9.11 同時多発テロ事件(2001 年)やそれに続くイラク戦争、アジア地域での SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome)の影響等によって世界の航空輸送需要は大きく落ち込み、新規需要も損なわれて英国の RJ シリーズが生産の打ち切りを余議なくされるなど、大きな影響を受けた。また、原油・燃料価格の高騰や乱高下がエアラインの経営に深刻な影響を及ぼすなどの新たな問題や、温室効果ガス排出等の環境問題がより強く認識される中で、大量輸送と快適性を追求した超大型輸送機 A380 や、大幅な効率向上と直行便化を目指す中型長距離輸送機 B787、A350 が開発された。

輸送需要は 2005 年には Airbus、Boeing ともに受注機数が 1,000 機を超え、生産は拡大していた。2009 年にはリーマンショック後の世界的な景気後退の影響を受けて Airbus、Boeing ともに受注機数は大きく減少したが、2010 年より回復に転じ、その後も順調に増加して 2014 年には Airbus、Boeing ともにグロス(キャンセル分を差引き前)受注機数で過去最高を記録した。しかし COVID-19 の影響により、2020 年に世界の航空機生産は 2019 年から大きく減少したが、2020 年を底に、2021 年以降の航空機生産は緩やかな回復基調にある。一方 2022 年以降に商用機の受注は 200 席級を中心に急回復した。

民間旅客機市場は、中大型機はAirbusとBoeingが独占しているが、2017年に初飛行したMS-21 (Yakovlev)や同年初飛行したC919 (COMAC)は自国の認証を取得、COMACとロシアのUnited Aircraft Corporation (UAC)との間で設立された合弁会社China-Russia Commercial Aircraft International Co. Ltd. (CRAIC)で開発中のワイドボディ機CR929は新規参入を目指し活動が進行中であったが、2023年に中国単独でC929として進めるとされた。AirbusとBombardierは2017年に、Cシリーズプログラムにおけるパートナーシップ締結の同意書を交わし、Airbusは C シリーズの製造および販売を行う CSALP (CSeries Aircraft Limited Partnership)の株式の50.01%を取得した。リージョナル機は Bombardier と Embraer がほぼ独占する状態にあったが、Bombardierは、2018年にQシリーズをカナダのLongview Aviation Capital Corporation (現新de Havilland Canada)に、2020年にCRJ事業を三菱重工業に譲渡し、リージョナル機事業から撤退した。また、Embraerは2018年、BoeingとEmbraerの民間機事業を母体とする合併会社(Boeing Brasil-Commercial)の設立を決めたが、2020年、両社の条件が合わず、提携／合併会社の設立に関する交渉は中止となった。こうした中、Superjet 100 (Yakovlev)やARJ21 (COMAC)の商業運航が開始された。Mitsubishi SpaceJet(三菱航空機)は、2023年2月に開発を中止した。

2. 軍用機

第二次世界大戦後の冷戦を背景としてアメリカ、ソ連及び欧州諸国を中心に、各種軍用機の開発が進められ、大量の軍用機の生産が行われた。軍用機の能力や性能の向上はエンジンと電子機器及び搭載武器の技術革新によるところが大きく、戦闘機や爆撃機、輸送機など在来機種の性能が飛躍的に向上し多用途化しつつ融合する上で、哨戒機、早期警戒機、電子戦機など特殊用途機も開発された。(表1-2-1参照)

表 1-2-1 世界の軍用機主要機種の概要(1)

機種	開発国	メーカー・型式等		原型初飛行	最大速度(マッハ)	推力(kg)×数	翼幅(m)	全長(m)	翼面積(㎡)	総重量(kg)	備考
戦闘機・攻撃機	仏	Dassault	Mirage2000	1978	2.2	9,700×1	9.13	14.33	41	17,500	
		〃	Rafale D	1986	1.8	7,440×2	10.8	15.27	45.7	24,500	
	共同	Panavia	Tornado IDS	1974	2.2	7,290×2	13.91	16.72	26.6	28,000	独／英／伊
		Eurofighter	Typhoon	1994	2	9,190×2	10.95	15.96	50	23,500	独／英／伊／西
		Lockheed Martin	F-35	2000	1.6	18,140×1	10.67	15.39	42.74	29,700	米／英 他
	伊	Aeritalia/Aermacchi	AMX/A-1	1984	0.86	5,000×1	9.97	13.23	21	13,000	ﾌﾞﾗｼﾞﾙとの共同開発
	中国	瀋陽	J-8	1984	2.2	6,720×2	9.35	20.53	42.2	18,900	J-8Ⅱ
		西安	JH-7	1988	1.7	9,310×2	12.71	21.03	52.3	28,500	
		成都	J-10	1996	2	12,500×1	8.78	14.57	33.1	18,500	
		成都	FC-1	2003	1.6	8,310×1	9	14	24.62	12,700	パキスタンも出資
	ロシア	Mikoyan	MiG-31	1975	2.8	15,500×2	13.47	22.69	61.6	46,200	
		〃	MiG-29	1977	2.3	8,310×2	11.36	16.28	38	19,700	
		Sukhoi	Su-25	1975	0.82	4,510×2	14.36	15.53	33.7	17,600	
		〃	Su-27	1977	2.35	12,510×2	14.7	21.94	63	33,000	派生型
		〃	Su-32	1990	1.8	14,010×2	14.7	23.34	63	44,400	並列複座戦闘爆撃型
	ｽｳｪｰﾃﾞﾝ	Saab	JAS-39 Gripen	1988	2	8,210×1	8.4	14.1	30	14,000	
	英	BAE	Sea Harrier	1978	0.97	9,750×1	8.31	14.1	20.1	11,900	Sea Harrier FA2
		Panavia	Tornado F3	1979	2.2	7,490×2	13.91	18.68	26.6	28,000	独／英／伊 共同開発
	米	Boeing	F-15	1972	2.5	13,200×2	13.05	19.43	56.49	36,700	
		Lockheed Martin	F-16	1974	2	13,200×1	10	15.03	27.87	21,800	
		Boeing	AV-8B	1978	0.91	10,800×1	9.25	14.12	21.37	14,100	米／英 共同開発
		Lockheed Martin	F-22	1990	1.8	15,880×2	13.56	18.92	78	27,200	
		Boeing	F-18E	1995	1.8	9,980×2	13.62	18.38	46.45	29,900	
		Lockheed Martin	F-35A	2006	1.6	19,520×1	10.67	15.67	42.74	31,751	米／英 他9ヶ国
	日	三菱重工業	F-1	1977	1.6	3,300×2	7.88	17.66	21.18	13,674	
		〃	F-2	1995	2.0	13,123×1	11.13	15.52	34.8	22,100	日／米 共同開発

表 1-2-1 世界の軍用機主要機種の概要(2)

機種	開発国	メーカー・型式等		原型初飛行	最大速度(マッハ)	推力(kg)×数	翼幅(m)	全長(m)	翼面積(㎡)	総重量(kg)	備考
爆撃機	米	Boeing	B-52H	1952	0.95	7,720×8	56.4	48.0	371.6	221,360	
		Rockwell	B-1B	1974	1.2	14,000×2	41.7	44.8	可変	216,370	
		Northrop	B-2	1989	0.8	8,620×4	52.4	21.0	470.0	136,080	(推定)
	ソ連	Tupolev	Tu-22	1959	1.5	14,030×2	23.7	40.5	188.0	75,000	(推定)
		〃	Tu-26	1971	1.8	20,400×2	34.7	40.2	可変	115,000～122,000	(推定)
		〃	Tu-160	1981	2.3	22,680×4	55.5	53.9	可変	267,620	(推定)
輸送機	米	Lockheed	C-130H	1954	602km/h	4,500ehp×4	40.4	29.8	162.1	70,310	
		〃	C-141B	1963	917km/h	9,525×4	48.8	51.3	300.0	144,250	
		〃	C-5B	1968	0.875	19,500×4	67.9	75.5	576.0	379,660	
		Boeing	C-17	1991	0.77	18,915×4	50.3	53.4	353.0	263,090	
	欧州	Airbus	A400M	2009	0.72	11,000ehp×4	42.4	45.0	221.5	136,500	
	日	川崎重工業	C-1	1970	800km/h	6,600×2	30.6	29.0	120.5	38,700	
		〃	C-2	2010	0.82	約50,000lb.×2	44.4	43.9	240.0	141,000	
	ソ連	Ilyushin	Il-76M/T	1971	0.8	12,000×4	50.5	46.6	300.0	157,000	(推定)
		Antonov	An-124	1985	850km/h	23,430×4	73.3	69.5	600.0	405,000	巡航速度
		〃	An-225	1988	750km/h	12,430×6	88.4	84.0	不明	600,000	
	伊	Aeritalia	G222	1970	540km/h	3,400ehp×2	28.7	22.7	82.0	29,000	
	ブラジル	Embraer	KC-390	2015	0.8	139.4kN×2	33.9	33.4		81,000	
空中給油機	米	Boeing	KC-135R	1954	0.9	9,980×4	39.9	41.5	226.3	134,720	2020年まで運用予定
		〃	KC-10A	1980	0.88	23,820×3	50.4	55.4	367.7	267,620	
		〃	KC-767	2005	874km/h	27,216×2	47.6	48.5	不明	179,169	
		〃	KC-46A	2014	0.86	289.1kN×2	47.5	50.5		188,241	
哨戒機	米	Lockheed	P-3C	1959	761km/h	4,910ehp×4	30.4	35.2	120.8	61,235	
		〃	S-3	1972	815km/h	4,210×2	20.9	16.3	55.6	19,295	
		Boeing	P-8A	2009	0.74	120kN×2	35.8	38.6		83,780	
	ソ連	Ilyushin	Il-38	1968	650km/h	4,250×4	37.4	39.6	140.0	63,500	
	英	Hawker Siddeley(現BAE Systems)	Nimrod	1967	852km/h	5,217×4	35.0	38.6	197.0	87,090	
	仏	Bureguet(現Dassault)	ALT2	1981	640km/h	6,220ehp×4	37.4	33.6	120.3	25,300	
	日	川崎重工業	P-1	2007	995km/h	5,400×4	35.4	38.0	170.0	79,700	
偵察機	米	Lockheed	U-2S	1955	690km/h	8,390×1	31.4	19.1	92.9	18,730	
		〃	SR-71A	1964	3.2	15420×2	16.9	32.7	166.8	63,500	
		Boeing	RF-4E	1964	2.4	8,120×2	11.7	19.2	49.2		
早期警戒機	米	Grumman	E-2C	1971	582km/h	4,910ehp×4	24.6	17.6	65.0	23,355	
		Boeing	E-3A	1975	0.8	9,525×4	44.4	46.6	283.0	148,000	
		〃	E-767	1996	0.65	27,900×2	47.6	48.5	283.3	174,635	
		〃	E-7, 737-AEW&C	2004	0.57	12,033×2	33.6	35.7	91.0	77,566	
	ソ連	Tupolev	Tu-126	1979	741km/h	14,795ehp×4	51.2	55.2	311.1	175,000	(推定)
		Beriev	A-50	1978	900km/h	12,000×4	50.5	49.6	300.0	190,000	
	英	BAe	Nimrod AEW	1980	830km/h	5,217×4	35.0	42.0	197.0	87,090	
電子戦機	米	Grumman/General Dynamics	EF-111A	1968	2.5	8,640×2	19.2	23.5	可変	41,500	
		Grumman	EA-6B	1968		5,080×2	19.2	18.2			
		Boeing	EA-18G	2006		9,979×2	13.7	18.3		15,011	
	ソ連	Antonov	An-12	1958	670km/h	4,000ehp×4	38.0	33.1	121.7	61,000	
		Ilyushin	Il-20/22	1957	685km/h	4,250ehp×4	37.4	36.0	140.0	64,000	
練習機・軽攻撃機	米	Northrop	T-38A	1959	1.3	1,740×2	7.7	14.1	15.8	5,470	
		Beechcraft	T-34C-1	1973	400km/h	400ehp×1	10.2	16.7	16.7	1,940	
		〃	T-1A	1978	0.79	1,315×2	13.2	14.8	22.4	4,817	
		Beechcraft/Pilatus	T-6A	2000	600km/h	1,250ehp×1	10.1	10.2	16.3	2,400	PC-9改
		Boeing	T-7A	2016	1,300km/h		9.3	14.3		5,500	Saabとの共同開発
	英	BAE Systems	Hawk	1976	0.88	2,420×1	9.4	10.8	16.7	5,700	
	仏	Aerospatiale	TB-30	1979	360km/h	300ehp×1	7.4	7.4	9.0	1,200	
	日	富士重工業(現SUBARU)	T-1	1958	860km/h	1,400×1	10.5	12.1	22.2	4,355	
		三菱重工業	T-2	1971	1.6	3,200×2	7.9	17.9	21.1	9,637	
		川崎重工業	T-4	1985	0.9	1,660×2	9.9	13.0	21.0	7,500	
		富士重工業(現SUBARU)	T-5	1988	380km/h	350ehp×1	10.0	8.4	16.5	1,585	
		〃	T-7	2002	370km/h	360shp×1	10.0	8.6	16.5	1,585	
	スイス	Pilatus	PC-7	1975	500km/h	550ehp×1	10.4	9.8	16.0	1,900	
		〃	PC-9	1984	593km/h	950ehp×1	10.1	10.1	16.3	2,350	
	伊	Aermacchi	MB339A	1976	870km/h	1,779×1	10.9	11.0	19.3	5,895	MB326改
		〃	M-346	2004	1,090km/h	2,850×2	9.7	11.5	23.5	9,600	
		SIAI Marchetti	S.211	1981	0.8	1,134×1	8.4	9.3	12.6	2,300～2,800	
	韓	KAI	KT-1	1991	547km/h	550shp×1	10.6	10.3	16.0	3,205	
		〃	T-50	2002	1.5	8,029×1	9.5	13.1	---	13,471	
	共同	Dassault Bureguet/Dornier	Alpha Jet	1973	0.8	1,350×2	9.1	12.3	17.5	5,000	仏/独
		Boeing/BAE Systems	T-45	1988	0.84	2,420×1	9.4	12.0	17.7	5,783	米/英(Hawk改)
	チェコ	Aero	L-39	1968	700km/h	1,720×1	9.5	12.3	18.8	4,300	ソ連、東独、チェコ3か国の共通練習機
	スペイン	CASA	C-101	1968	0.8	1,585×1	10.6	12.3	20.0	4,850	
	ブラジル	Embraer	EMB312	1982	470km/h	750ehp×1	11.1	9.9	19.4	2,550	英仏空軍でも使用
	ユーゴ	Soko	G4	1978	907km/h	1,810×1	9.9	11.9	19.5	6,300	
	ルーマニア	ICA	IAR-825TP	1982	470km/h	750ehp×2	10.1	9.0	15.0	1,700	

(1)戦闘機と攻撃機

初期のジェット戦闘機、F-86やMiG-15の登場以降、現在までに多数の戦闘機／攻撃機が開発されてきた。その大半は戦闘機と攻撃機の両方の任務をこなす多用途戦術機の特徴を有している。

戦闘機／攻撃機は'50年代、'60年代の電子技術の進歩を受けて非常に正確な航法及び射爆撃システムが装備され、地上レーダー覆域より低い高度を視界不良の状態でも高速で侵入し攻撃する能力を得た。さらに電子回路の集積化技術の発達を背景に軍用機用電子機器技術は加速度的に進歩を遂げ、天候・気象の如何を問わず昼夜の区別なく戦える全天候能力、優れた電波誘導ミサイルの装備、電子戦環境下での対電子戦能力等を得た。

空対空戦闘能力を重視して'69年に開発が開始されたF-14、F-15は、優れた誘導ミサイル、全天候能力、対電子戦能力を有し、しばらく米軍戦闘機の中核を担ってきたが、'92年に米国内向け生産が終了した。

欧州における対地攻撃任務の重視を反映して開発されたTornadoは完全な自動地形追従により超低空を高速で侵攻可能であり、夜間･悪天候下で目標を捜索、識別、追尾して攻撃できる EO センサと火器管制装置を搭載し運用中である。米空軍も同様の能力をF-15、F-16の発展型に装備し運用している。また、米空軍は近接航空支援専用のA-10を開発し運用している。

その後ベトナム戦争、第4次中東戦争、アフガニスタン紛争等の教訓を反映し、生存性やステルス性が重視されるようになった。 '78 年から極秘に開発されていたステルス攻撃機F-117Aは '83 年から実戦配備され、湾岸戦争でステルス攻撃機の任務遂行能力を実証した。

'60年代に欧州での近接航空支援用として、世界初の実用VTOL (Vertical Take-Off and Landing)攻撃機Harrierが開発され、発達型はフォークランド紛争、湾岸戦争で VTOL機の有効性を実証した。また、湾岸戦争後は無人機の研究、実用化が盛んに進められている。

以降では、近年の各国の状況をまとめる。米空軍は '91年にF-15C/D後継機としてF-22の採用を決定し、プロトタイプが '97年に初飛行した。F-22はステルス、二次元推力偏向ノズル、統合アビオニクス等の新技術により、中距離ミサイル戦闘でも格闘戦でも劣勢に陥ることのない、制空任務を主とした戦術戦闘機として開発された。中距離ミサイル6発等をウェポンベイに内装可能である。F-22は2005年に米空軍で運用が開始され、2012年に最終号機(計187機)が納入された。2014年、シリア領内の過激派組織ISILへの空爆で初めて実戦投入された。しかし運用費高騰により2023年予算で初期型のブロック20退役が米議会で議論されるなど課題も抱えている。

米空軍は、F-15C/D後継機としてF-15EXも開発した。F-15EXは、2021年に初飛行、同年初号機が米空軍に引き渡された。F-15EXは複座戦闘機であるがパイロット一人で運用でき、Fly By Wire方式の飛行制御や新たな電子戦システム、ミッションコンピューター、最新のコックピット等を採用している。

米海軍は、'93年にF-14の後継機をF/A-18E/F Super Hornetとすることを決定し、2006年にF-14は全機退役した。F/A-18E/FはF/A-18C/Dから搭載能力や航続性能が向上し、離着艦性能にも長けた機体であり、機体構造の随所に電波ステルス性が配慮され、自己防御用電子機器と併せて生存性の向上が図られている。F/A-18E/Fは'98年に配備を開始し、2002年の対イラク攻撃に実戦使用された。

米空軍/海軍/海兵隊並びに英空軍/海軍向けに、共通のエアフレームを基本として小規模設計変更により多様な機体を目指した計画であるJSF (Joint Strike Fighter)プログラムは2001年に、Lockheed Martin提案のF-35

が採用された。

F-35Aは米空軍向けのF-16の後継機となるCTOL (Conventional Take-Off and Landing)型、F-35Bは米海兵隊及び英軍向けのHarrier後継機となるSTOVL (Short Take Off and Vertical Landing)型で、米空軍ではA-10攻撃機の後継として本型の採用を決めている。F-35Cは米海軍向けのCV (Carrier Variant)型である。2011年にF-35A初号機が米空軍に納入された後、米海兵隊でF-35Bが2015年、米空軍でF-35Aが2016年、米海軍でF-35Cが2019年に部隊運用を開始した。日本もF-35Aを105機導入予定であり、2016年には米国で生産された航空自衛隊向け初号機が初飛行し、2017年には日本で組立てた最初の機体がロールアウト、初飛行し、2018年からFMSで航空自衛隊に配備が開始された。

スウェーデンはGripenを開発し、'97年に運用を開始した。Gripenはライフサイクルコストの低減のため徹底した小型化を図り、データリンク技術、複合材構造技術等を採用している。スウェーデンのほか南アフリカ、ハンガリー等の各空軍が導入している。さらに、機体を大型化したGripen E/Fはスウェーデンとブラジルが導入している。

ドイツ、英国、イタリア、スペインがF-4F、F-104G等の後継機として共同開発したEurofighterは2003年から部隊配備を開始している。Eurofighterは高推力／重量比による高機動性を最大の特徴とし、制空任務を中核とするが、対地攻撃能力も強力なスイングロール機(爆装のまま空対空戦闘が可能)である。前述4か国のほか、オーストリア空軍が導入し、サウジアラビア、オマーン、クウェート、カタールも採用した。

フランスは、海軍F-8E及び空軍Jaguarの後継としてRafaleを開発し、配備は '99年から始まった。Rafaleは電子走査レーダーやEOセンサを標準装備している。インドは2012年に、エジプト、カタールも2015年に採用を決定した。

Gripen、Eurofighter、RafaleはMeteor AAMを搭載可能である。Meteor AAMはダクテッドロケット推進方式を採用した次世代AAMであり、従来の中射程AAMのサイズで倍以上の射程を実現していると言われており、2016年に配備を開始した。

ロシアは、MiG-31を要撃戦闘機として運用し、制空戦闘機の主力であるMiG-29、Su-27は発展型を開発した。MiG-35はMiG-29の発展型だが、本格生産に入っていない。Su-27にはSu-30, 33, 34, 35の発展型がある。Su-35は推力向上エンジンの搭載、対地攻撃能力の付加、電子走査アレイ火器管制レーダーの搭載等が特徴である。2009年、ロシア空軍はSu-35の採用を決定した。Su-35は第5世代戦闘機実用化までの補完的役割を担うとされる。2010年、Su-57 (旧称: PAK-FA)が初飛行した。Su-57はウェポン内装、ステルス性等、第5世代機としての特徴を備えている。2018年にはシリアに少数機が展開したが、試験的運用とみられている。ロシア連邦政府は2019年には量産を承認し、まずは76機の生産が開始された。

2021年モスクワで開催されたMAKS2021航空ショーで、新型ステルス戦闘機Su-75が公開された。Su-75は単発エンジンの軽量戦闘機であり、重量型のSu-57に対してより低コストを狙ったものと考えられる。

中国も精力的に戦闘機開発を進めており、MiG-21 (J-7)の後継機となるJF-17 (FC-1)の開発、更にはカナード・デルタ翼形状のJ-10の開発等アビオニクスやエンジン技術の遅れを外国技術の導入により補いながら戦闘機の開発を積極的に推進している。JF-17はパキスタンでも生産されている。J-10の発展型の開発も進められている。第5世代戦闘機としてJ-20が2011年に初飛行し、2017年には同機の実戦部隊での運用が開始されたと中国メディアにて報道された。

同じく第5世代戦闘機とされるJ-31が、中国メディアにより2012年に初飛行したと報道された。中国は輸出用戦闘機FC-31のプロトタイプであるとしており、パキスタンと輸出について交渉中である。

日本では支援戦闘機(対艦、対地攻撃が主任務)としてF-1が開発され('75年初飛行、77機量産)、2006年まで運用された。その後継機としてF-2が開発され('95年初飛行、94機量産)、F-15J、F-35Aと共に運用されている。また、F-2およびF-15Jの能力向上、F-2の後継機となる次期戦闘機の開発が進められている。次期戦闘機の開発については、国際協力を視野に日本主導の開発を進めるとの方針のもと協議を進め、日本・イギリス・イタリアの三か国首脳は2022年12月、2035年までに次世代戦闘機を共同開発するという事業である「グローバル戦闘航空プログラム(Global Combat Air Programme (GCAP))」に関する共同首脳声明を発出した。(図1-2-1参照) 本プログラムには、日本の三菱重工業、三菱電機、IHI、イギリスのBAE Systems、Rolls-Royce、Leonardo UK、イタリアのLeonardo、Avio Aeroなどが参加する。

図 1-2-1 次期戦闘機 (GCAP)のイメージ図

出典：防衛省

韓国では、Korea Aerospace Industries (KAI)がLockheed Martinの支援の下で開発した練習機T-50及び派生型の戦闘攻撃機FA-50について、レーダー、電子戦システム、武装等の段階的なアップグレードを行うと共に、活発な海外輸出活動が行われている。ロシアによるウクライナ侵略を受け、旧式化した旧ソ連製戦闘機の退役を進めるポーランド国防省は、2022年7月にFA-50戦闘機の取得契約を締結し、2023年に12機を受領し、合計48機が納入される予定であると発表した。その後2023年7月13日には初号機が納入された。また、第4.5世代戦闘機とされるKF-21が2022年7月に初飛行し、開発が進められている。

地域紛争の多発や 2001 年の米国同時多発テロの発生などにより、脅威の対象が変わり今後新型戦闘機、攻撃機の開発機会が減少し、調達機数も減少する傾向にあった。これに伴い、既存機種の改造開発が増加している。さらにアビオニクスを始めとする各種システムの複雑化を背景にして、戦闘機価格並びに開発費が高騰している。今後の新機種開発は、米国といえども他国との協力無しには困難となりつつある。これまで欧州において数多く実施された共同開発プログラムや、現在進行中の F-35 プログラムのような国際共同プログラムが将来の戦闘機開発に与える影響は大きいと思われる。

同時に、戦闘機に求められる能力も変化している。これまでのように多機種の単能機を数多く運用し、不測の事態に対処する体制から、限られた機数の万能機のネットワークでの運用により対処する体制に移行しつつある。戦闘機に求められる任務も要撃、制空、戦闘爆撃、攻撃、偵察を始め、従来不正規戦のために使用される軽攻撃機の一種である COIN 機等に求められていた特殊作戦任務までも網羅する必要性が生じてきている。機体自体の絶対的な能力に加えて、多様で不測の事態に即対応できる能力も合わせて重視されつつある。このような背景からマルチロール(多用途)性、ネットワーク適応性が求められており、部隊配備を開始した F-35 はこの代表例となっている。

無人航空機技術が発達したことで、有人戦闘機と無人機が連携して行動する運用の研究が各国で行われており、そのための戦闘支援無人機の開発も各国で進められている。2021 年には豪州の MQ-28A が初飛行

し、開発試験が進められている。無人戦闘ドローン(UCAV) XQ-58A Valkrie, XQ-67A が米空軍の研究所(AFRL)で試験中と 2023, 2024 年に公表された。

日米両国は、先に述べたグローバル戦闘航空プログラムに関する共同首脳声明と同時に、2022 年 12 月に「次期戦闘機に係る協力に関する防衛省と米国防省による共同発表」を発表し、日米両国は、日本の次期戦闘機を始めとした装備を補完し得る、自律型システムに関する重要な連携を開始し、自律型システムに関する具体的な協力を始めることで一致したとしている。

⑵ 戦略爆撃機

戦略攻撃兵器の主力が弾道ミサイルに移行し、ジェット戦闘爆撃機や攻撃機の搭載能力が著しく増大したことや、制空戦闘の進化と東西冷戦の終結などにより、かつて戦略兵器の花形であった戦略爆撃機の存在意義は小さくなっている。

アメリカ空軍は '47 年に創設され、当初は第二次世界大戦中の機種を戦略爆撃機の主力としていたが、数年後には B-29 の性能向上型である B-50 や、搭載能力及び航続性能を更に向上させた超重爆撃機 B-36 を就役させ、'50 年代に入ると B-47、B-52、B-58 等が次々に開発された。中でもターボジェットエンジン 8 基をもつ B-52 Stratofortress は、高々度飛行性能と大きな搭載能力(ALCM: Air Launch Cruise Missile、精密誘導爆弾を多数搭載可能)、長大な航続距離をもって、近代化改修を繰り返しながら半世紀以上を経た今日でも第一線機としての地位にある。アメリカ空軍は、B-52 のエンジンを Rolls-Royce 製 F130 (民間型式: BR725)にする計画を実行中であり、所有する B-52 76 機全てのエンジンを 2035 年までに換装する計画である。

'70 年代半ばには高空での高速飛行能力と低空高速侵攻能力を備える可変後退翼の戦略爆撃機 B-1 が開発された。B-1 は財政上の制約から一旦量産化が見送られたが、ALCM を搭載する B-1B として '88 年までに 100 機が生産され、現在も戦略空軍の柱の一つになっている。さらに '80 年代にはステルス爆撃機として B-2 が開発され、'89 年に初飛行した。B-2 は尾翼も胴体もない亜音速の全翼機であり、レーダーでも赤外線でも捕捉し難いステルス性を特徴としてレーダー散乱断面積(RCS: Radar Cross Section)は、B-52 の 1/1,000 程度といわれている。当初、装備機数は 132 機と計画されていたが、冷戦終結による国防費削減で 21 機に留まった。('97 年に生産完了)

米空軍では B-52、B-1、B-2 について、今後、延命や近代化改修を施しながら 2040 年まで現役に留めることを計画中だが、併せて、その後継機として長距離爆撃機(LRS-B: Long Range Strike-Bomber)の開発も進めている。これは精密誘導型通常兵器と核兵器を搭載可能で、高度のステルス性を備え、無人運用を主としながら有人運用も可能な機体として構想されており、米空軍は 2015 年に Northrop Grumman を契約相手先に選定し、2016 年には正式名称が B-21 Raider に決定した。2022 年 12 月に機体が初公開され、2023 年 11 月 10 日に初飛行した。2020 年代半ばの配備が予定されており、B-21 を 100 機以上調達し、B-52 と併せて 175 機以上の配備を予定している。公開された B-21 Rader は B-2 よりも機体が一回り小さなものとなっている。また B-2 の機体価格は高価となり当初計画された機数から削減された事も踏まえて、開発、生産から運用にかかるコストを事前に十分な検討がなされた上でプログラムが進捗していると示唆される。

一方、ソ連は通常航空戦力の立ち後れを補うために早くから戦略的攻撃力の重点を弾道ミサイルに置いてきたため、爆撃機は Tu-16 Badger、Tu-22 Blinder、Tu-22M Backfire など中距離機が主力で、Tu-20/-95 Bear、

M-4 Bison といった長距離機はアメリカに比べて少ない。M-4 や Tu-95 の後継機として開発された超音速戦略爆撃機 Tu-160 Blackjack は可変後退翼を持つ B-1 と同様の構成の機体である。同機は '79 年から西側に存在が知らされており、これまでの生産機数は約 30 機とされているが、ソ連邦消滅を経て、実戦配備はロシア空軍の 13 機程度に留まっているようである。

⑶ 輸送機

'48 年 6 月から 15 ヶ月間にわたって行われたベルリン大空輸によって、輸送機による人員や貨物の大量輸送の軍事的効果を世界は認識した。この時、200 万人の西ベルリン市民はソ連によって地上交通路を封鎖され孤立したが、アメリカは C-47 と C-54 を主力とする輸送機群投入により約 200 万トンの物資を空輸し西ベルリン市民を救った。

アメリカはその後、より大型の C-124 や C-133 を就役させ、'50 年代から'60 年代には C-130 Hercules や C-141 Starlifter を開発した。さらに '65 年には、積載量が大きく長大な航続性能を持つ戦略輸送機 C-5 Galaxy の開発に着手した。この時の Lockheed、Douglas、Boeing の三大機体メーカー及び P&W、GE の二大エンジン・メーカーが参加した開発競争の結果、ワイドボディ機と高バイパス比の大型エンジン技術が確立され、これが民間航空分野に波及することで大量輸送時代をもたらすことになった。(B747「ジャンボジェット」は'69 年に初飛行)

さらにアメリカは、'85 年から大型長距離輸送機 C-17 Globemaster III の開発を進め、'93 年から運用を開始した。C-17 は、従来からの C-5、C-141 による戦略輸送(本土から戦域への長距離輸送)と C-130 による戦術輸送(戦域内における輸送)の双方を同時に担える搭載能力と航続力及び短距離離着陸性能を有し、アメリカ本土から大量の物資や兵員を一気に最前線の飛行場まで運ぶことができ、緊急展開部隊(RDF: Rapid Deployment Force)輸送に対応できる輸送機である。C-17 の米軍向け生産は当初 210 機が予定され、増減を繰り返した結果、最終的に 223 機となった。他国向けを含めると総数 274 機の C-17 が納入、配備され、2015 年に生産を完了した。

現在の米空軍は、戦略輸送機として C-17 および C-5、戦術輸送機として C-130 を持っており、2013 年まではさらに小型の C-27J で補う構成になっていた。これらのうち、C-5 については '70 年代前半に当初の生産(C-5A: 81 機)を完了した後、'80 年代前半の改修(新主翼)を経て、'80 年代後半には近代化型(C-5B: 50 機、新エンジン、アビオニクス他)を追加生産し、2000 年代に入ると近代化改修(C-5M: 操縦席のデジタル化、新エンジン)も行なうなど近代化の努力を続けており、2040 年まで運用する予定である。C-130 については新世代型の C-130J が生産されているほかに、既存の H 型(約 180 機)についても C-130AMP (Avionics Modernization Program)計画として近代化改修(Boeing 担当)が行われており、中央翼の交換(寿命延長)、操縦席の近代化(形態の整理による訓練効率の改善)、アビオニクスの近代化などを行っている。C-27J はイタリアの G222 輸送機をもとにしたもので、開発には Lockheed が協力し、操縦席は C-130J との共通化が図られている。Operation Enduring Freedom (OEF) / Operation Iraqi Freedom (OIF)における戦域内での日常の輸送では C-130 でも機体規模が過剰で非効率となり、滑走路長の制約も受けると考えられて小型の C-27J が活躍するものと期待されていたが、中東での米軍の活動の縮小と国防費削減により 2013 年度に全機運用が終了した。

現在の計画では、戦略輸送機は C-5A の老朽機 27 機を退役させ C-5M 52 機と C-17 223 機とし、戦術輸送

機はC-130の最老朽機65機を退役させ318機とする予定である。

アメリカ空軍特殊作戦コマンド(AFSOC: Air Force Special Operations Command)は2021年9月、MC-130J特殊作戦機の水陸両用仕様、いわゆる水上機モデルを製作しテストする計画を立てていることを明らかにしたが2023年5月9日に開催された「特殊作戦部隊SOF Week」の中でアメリカ特殊作戦司令部(SOCOM)の幹部が水陸両用型への改造には、技術的ハードルが高く、しばらく時間がかかると述べている。

また米空軍はBWBプロトタイプの試作機の開発をJetZeroと2023年8月16日に締結した。開発する試作機は2027年中に初飛行を目指している。

ソ連ではターボプロップ4発機のAn-12、An-22を永らく使用していたが、これらが旧式化したため、'70年代に入るとターボファン4発のIl-76 Candidがこれらに替わって配備された。さらに'80年代に入ると旧ソ連でも高バイパス比のターボファンエンジンが実用化され、これを受けて'82年にはC-5に比肩する大型輸送機An-124 Ruslanが初飛行した。同機は後に英国の企業と提携して民需超大型貨物の運搬事業に成功している。また、'88年に初飛行に成功したAn-225 Mriyaは An-124から派生した世界最大の航空機であり、ペイロードは 200 トン以上とされている。その後、ウクライナでは Antonov の開発した中型の輸送機 An-178が2015年に初飛行している。

欧州の主要国ではC-130を使用するほかに、欧州独自の機体としてTransall C-160(独仏：初飛行'63年)やAeritalia(現Leonardo) G222(伊：初飛行'70年)を開発して使用されてきた。2000年代に入ると、G222は米国企業との共同でC-27Jへ発展し、C-160の後継機としてAirbus A400Mが開発され、2009年に初飛行、2013年にはフランス空軍に初号機が納入され、2023年の9月時点の受注機数は178機、納入機数は119機となっている。また、日本でも国産輸送機としてC-1が開発され('70年初飛行、31機生産)、C-130H(16機導入)と共に使用されている。現在は後継機であるXC-2(2010年初飛行)の開発が2017年に完了し、量産機C-2の配備が始まり2023年3月末時点で15機を保有している。

一方、世界各国で中・小型の輸送機も開発されてきた。これらは大きな航空機工業力を持たない国でも開発・生産が可能であり、前線での軽輸送、対ゲリラ戦用、哨戒・監視といった幅広い用途を持たせることができるものである。代表的機種としては、DHC-5、6、7、8(加)や EMB 110 (伯)などがあるが、最近ではATR 42 (仏/伊)やCN-235 (西/インドネシア)などのコミューター機も軍用軽輸送機市場に参入している。また、機体の開発で力をつけてより大型の機体に取り組む例もあり、Embraer が Boeing と協力し開発したKC-390 (2015年初飛行)は、C-130級の機体規模である。2023年4月3日にブラジル空軍は、KC-390開発が完了した完全運用能力(FOC)を認証した。KC-390 はブラジル、ハンガリー、ポルトガル、韓国等で導入が予定されている。

従来、軍用輸送機は軍用規格に準拠して開発されていたが、近年開発される輸送機は、A400M、C-130J、C-27J、KC-46A、KC-390などのように民間(FAA)の型式証明を取得するケースが増えている。

(4) 空中給油機

空中給油は第二次世界大戦後本格化し、各種の給油方式が研究され幾種類もの空中給油機が開発された。KC-135 Stratotankerは民間旅客機B707の原型となった機体から発達したもので、後部胴体下面にフライングブーム方式の空中給油装置を装備した長距離空中給油機である。同機は'56 年に初号機が完成して以

来、'65 年の生産終了まで計 732 機が引き渡され、空中給油機のスタイルを確立した。米空軍では KC-135 と、旅客機の DC-10 から派生した空中給油機である KC-10A(60 機生産)の 2 機種を運用してきた。これら既存の給油機に対する後継機として'90 年代後半から KC-X が計画され、米国内企業からの提案(Boeing の KC-767AT)と欧州企業からの提案(EADS 及び Northrop Grumman の A330 MRTT)との間で激しい競争が展開された結果、2011 年に Boeing の KC-46A が採用され、2027 年までに 179 機を納入予定である。2023 年 9 月 23 日に米空軍に 72 機目の機体が納入された。また無人の空中給油機 Boeing MQ-25(初飛行：2019 年)はアメリカ海軍で、航空母艦での運用を含め開発が進められており、72 機取得が計画されている。

空中給油は、長距離爆撃の支援が当初の目的であったが、最近はその他の場面でも有効とされ、イギリスのように戦略爆撃機を廃止した国でも空中給油機の増強に努めている。日本でも戦闘機の効率的な空中警戒待機等のため、KC-767 空中給油機を 4 機と、救難ヘリコプターへの給油を行う KC-130H 空中給油機 2 機を導入している。また、防衛省は 2015 年に新空中給油機として KC-46A を選定し、2021 年 10 月初号機、2022 年 2 月に 2 号機が航空自衛隊に FMS で納入された。

⑸ 哨戒機

第二次大戦後の対潜作戦は、潜水艦の速度、潜航深度や攻撃力が増強されるにつれて航空機が主役を務めることになり対潜哨戒機が使用されるようになった。対潜哨戒任務では、開発の力点が対潜電子機材の開発に置かれることが多く、かつ、高速巡航能力と低速・長時間の捜索・パトロールの要求により優れた飛行特性と経済性、居住性が求められることから、既存の旅客機を改造して開発されることが多い。P-3 Orion(米)は L-188 Electra 旅客機、Nimrod(英)は Comet 旅客機、Il-38 May(ロシア)は Il-18 旅客機をそれぞれ基に開発されている。

米国では、P-3C を代替するために B737-800 を基にした P-8A の開発が進められた。P-8A は、米海軍が 117 機を調達する予定であり、2020 年 12 月時点で米海軍に累計 99 機が納入されている。この他、オーストラリア空軍に 12 機が納入され、英国空軍で 9 機、ノルウェー空軍で 5 機の調達が決定しており、2020 年 12 月時点で英国空軍に 4 機が納入されている。また、派生型である P-8I が 2009 年にインド海軍に選定され、24 機の調達が決定しており、2020 年 12 月時点で 9 機が納入されている。

近年においては海洋開発や排他的経済水域(EEZ: Exclusive Economic Zone)問題のクローズアップとともに、潜水艦に対する洋上哨戒、探索、救難等の能力に重点を置いた大型哨戒機の任務に変化が生じている。日本では、2001 年から独自の運用に基づいた高度な飛行性能、捜索能力、通信能力を持つ次期固定翼哨戒機 XP-1 の開発が開始された。2008 年に試作 1 号機が防衛省に納入され、2012 年度末から量産機 P-1 の部隊配備が開始し、2023 年 3 月末時点で 34 機を保有している。

⑹ 偵察機

電子機器及び光学機器技術の発達は種々の偵察機を生み出した。

冷戦期においてアメリカは「鉄のカーテン」の内側を探るために戦略偵察機を開発し運用した。U-2 はその最初のもので約 20km の高々度を飛行し、「隠密偵察機」として知られた。U-2 は'57 年の運用開始以降も数次にわたって改良と生産が続けられ、現在も改良型である U-2S を運用している。偵察装備も改良されて

おり、当初はフィルム・カメラであったが、現在では EO センサ、合成開口レーダー(SAR: Synthetic Aperture Radar)や信号情報(SIGINT: Signals Intelligence)などの電子的手段を使用している。また、U-2 に続き、より高い脅威の中を偵察するため、高度 24km をマッハ 3 の速度で飛行し、1 時間に地表面積 6 万平方マイルを偵察することが可能と言われる戦略偵察機 SR-71 が開発された。('64 年初飛行、'98 年退役) SR-71 も偵察機材はカメラの他、SAR 等の電子機材を搭載した。

戦術偵察機は戦闘機の改造型として作られたものが多く、RF-101、RF-8、RF-4 などが知られている。中でも RF-4 は、F-4 から派生した全天候戦術偵察機であり、カメラや照明弾、前方・側方のレーダー、赤外線探知装置などの偵察装備を施し、夜間や雲下での偵察を可能にした。しかし、その後は偵察機材が小型化され無人機での偵察や着脱式ポッド内に偵察機材を収めて通常の戦闘機に装着して偵察任務に就く方式が主流となっており、専用の戦術偵察機は開発されなくなっている。また近年は RC-135、EP-3E のように電子戦のため情報を収集する SIGINT 偵察の重要度が増している。

その一方で、無人の戦略あるいは戦術偵察機の開発が多様な規模で各国ともに進められ、有人機からの任務移行が最も早く広く進んでおり RQ-4 Global Hawk は U-2 の後継として開発された機体である。

(7) 早期警戒機

進入する敵機を早期に発見するため開発された早期警戒機(AEW: Airborne Early Warning)は、初期のレーダーサイト機から、空中からの指揮・管制能力を持つ空中早期警戒管制機(AWACS: Airborne Warning And Control System)へと発展し、立体的な戦闘指揮が行えるようになった。米国の E-2 Hawkeye、E-3 Sentry、E-767、ロシアの Tu-126 Moss、A-50 Mainstay などは同じ思想に基づく機種である。日本では航空自衛隊が E-767 を早期警戒管制機として 4 機、E-2C を早期警戒機として 13 機運用している。高性能レーダーを搭載した E-2D の導入も決定し、2020 年までに 3 機が納入された。また、B737-700 の機体背部に板状のレーダー・アンテナを装備した 737-AEW&C が 2010 年に豪空軍(Wedgetail、6 機、2012 年納入完了)、2011 年に韓国空軍(Peace Eye、4 機、2012 年納入完了)、2014 年にトルコ空軍(Peace Eagle、4 機、2015 年納入完了)へ納入され、2025 年米空軍が E-7 として導入を決め NATO でも 2031 年までに導入される。

(8) 電子戦機

電子戦機は、逆探知装置や電子妨害装置等の電子機器を用い、電子偵察(ELINT: Electric Intelligence)、電子支援(ESM: Electronic Support Measures)、電子対抗(ECM: Electronic Counter Measures)・対電子対抗(ECCM: Electric Counter Counter Measures)等の任務を行う航空機であり、大半は既存の機体を改造・改修する。積極的妨害や撹乱機能を強化した専用機として EA-6B Prowler、EF-111 Raven、An-12 Cub、Il-20 / -22 Coot A などがある。戦闘機や攻撃機でも自衛用に何らかの電子戦装置を搭載するケースは多いが、相手勢力圏への侵入のために装備を充実させた専門機としての電子戦機を随伴させることが多い。

米国では、EA-6B の後継機として EA-18G Growler（F/A-18F の派生型）が開発され、2008 年から米海軍への配備が開始されている。(2014 年に 100 機目を納入) また、オーストラリア空軍には 2017 年に 12 機が納入された。但し、最近になって電子戦用の器材の小型化、省電力化が進んだことで戦術攻撃機等の携行ポッドの汎用追加装備で電子戦もこなすことも可能になってきている。

⑼ 練習機

第二次大戦後しばらくは T-6(米)に代表されるレシプロ単発機の時代が続いたが、ジェット化の進行とともにプロペラ機の比重は小さくなり、T-33(米)、Fouga Magister(仏)、MB326(伊)などのジェット練習機が大量採用されるようになった。

初級訓練段階では、プロペラ機に代えて T-37(米)などのジェット基本練習機を最初から使用するスルージェット方式が採られた時期もあったが、最近では経済的理由や安全上の配慮からプロペラ機が再評価されている。レシプロでは、TB-30 Epsilon(仏)、SF-260(伊)、SA120 Bulldog(英)等が、またターボプロップでは、PC-7 Turbo Trainer、PC-9(スイス)、EMB-312 Tucano(伯)、T-5、T-7(日)、T-6 TexanII(米)等がある。

中級以上の訓練段階では、中間的な性能の亜音速ジェット練習機でできるだけ広範な訓練領域をカバーしようという考え方が主流となっており、Alpha Jet(仏/独)、Hawk(英)、T-4(日)、MB339(伊)、S-211(伊)、L-39 Albatross (チェコ)、T-45 Goshawk (米)等が代表的なものである。2000 年代に入り第 4、第 5 世代戦闘機への橋渡しをする先進的な練習機として、M-346(伊)がロシア Yak-130 を原型として開発された。

'60 年代に登場した超音速練習機は実戦機の複座改造機が多く、T-38 Talon(米)や T-2(日)のようなオリジナル設計のものはむしろ例外的といえる。2018 年 9 月、米空軍は T-38 の代替機である次期練習機 T-X の開発を Boeing -Saab のジョイントベンチャーに発注した。Boeing-Saab による次期練習機 T-X は、2019 年に制式名称を T-7A Red Hawk と命名され、2023 年 6 月 28 日に Boeing は T-7A Red Hawk の初飛行試験を完了したと発表した。

'70 年代の 2 度の石油危機後、各国ともパイロット養成の効率化を重視しており、プロペラ機の高性能化や経済的なジェット機の導入、あるいはシミュレーターの利用など、訓練体系の再編成が進展している。

従来、欧米先進国以外では輸入もしくはライセンス生産が中心であったが、最近ではアルゼンチン、ブラジル、UAE を始めとして、自国の需要を賄うだけでなく輸出を前提とした開発・生産を行う国も出始めており、米国企業の協力を受けて開発を行う例も含めて世界的な航空機工業のレベルアップと拡散がうかがわれる。アジアでは台湾が早くから独力で練習機を開発・生産しており、韓国では自国開発したターボプロップの KT-1 が就役したほか、Lockheed Martin の協力を受けてジェット練習機 T-50 が開発された。韓国政府は、T-50 の海外装備移転に積極的であり、インドネシア、イラク等の国に輸出されている。

3. 民間輸送機

⑴ 民間輸送機開発の推移 (表 1-2-2、表 1-2-3 参照)

a. 民間ジェット輸送機の出現

民間航空輸送は第二次世界大戦後、ジェット輸送機の出現により飛躍的な発展を遂げた。本格的なジェット機時代を迎えたのは'50 年代終り頃の米国の B707 と DC-8 の 4 発長距離機の登場からである。続いて B720 や CV880、仏の Caravelle といった中短距離用機も開発されたが、これらの機種はいずれも騒音が大きく経済性に劣るターボジェットエンジンを搭載しており、のちに第 1 世代のジェット輸送機と呼ばれる。

'60 年代に入ると B727 や Trident の 3 発機グループ、B737、DC-9、BAC1-11 の双発機続々と就航していった。これらの機種はターボジェットより騒音が小さく燃費も良いターボファンエンジンを搭載して

中短距離路線でも採算性に優れ、信頼性向上と快適性により中短距離路線のジェット化が促進された。これらの機種は第2世代のジェット機と呼ばれる。

b.大型民間輸送機時代

'60年代後半になって、より低燃費・低騒音で大推力が得られるバイパス比5～6のターボファンエンジンが実用化され、'70年にワイドボディ(広胴)4発機B747、続いて3発機のDC-10とL-1011が就航した。米国製航空機に自国市場を席巻されることを危惧した欧州は'71年、仏・独・英・スペイン共同でAirbus Industrie(現Airbus)を設立し、'74年にワイドボディ双発機のA300を就航させた。機体の大型化は一座席当たりの運航コストを大幅に引き下げ、エアラインは乗客に廉価な運賃で航空旅行を提供できるようになり航空輸送は大量輸送時代へ突入した。これらのワイドボディ機は第3世代のジェット機と呼ばれる。

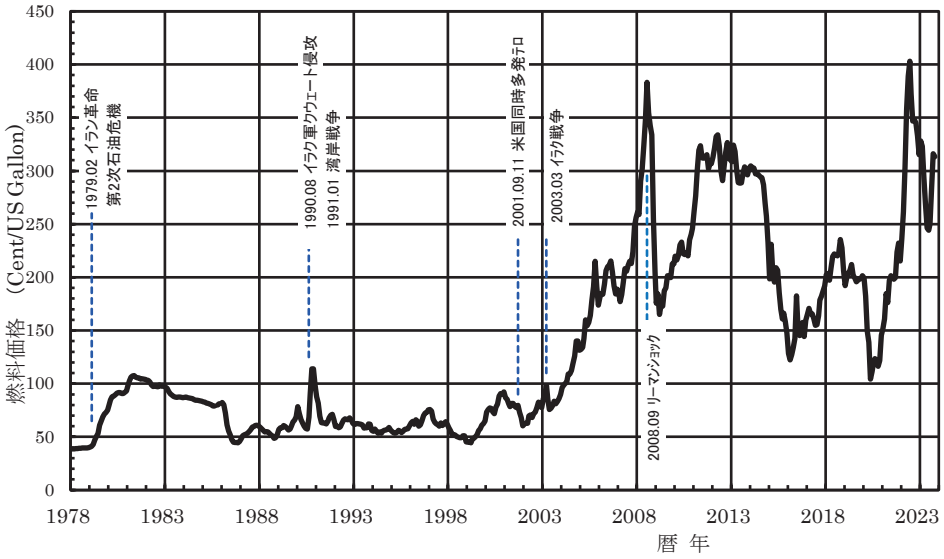
また、'60年代には超音速輸送機の開発も行われ、英仏共同でConcordeが開発され'76年から就航したが、コスト、公害等の面から量産機はわずか16機の生産にとどまり、うち14機が引き渡された。

順調に発展を続けてきた航空輸送に打撃を与えたのが'73年の第4次中東戦争を契機とする第1次石油危機である。燃料価格はそれまでの約3倍に急騰し、低燃費性はそれ以降、以前にもまして最重要課題となった。これはその後の第2次石油危機でも同様であった。(図1-2-2参照)

'70年代後半になると景気の回復傾向が現れるとともに、第1世代のジェット機の更新の必要性から、'78年にBoeingは低燃費、低騒音をセールスポイントにした200席クラスワイドボディ(2通路型)双発機B767と、180席クラス標準胴(単通路型)双発機B757の開発に着手し、どちらも'82年に型式証明を取得した。操縦計器にCRTを採用しデジタル技術を適用してパイロットのワークロードを大幅に軽減することで、B767はワイドボディ機で初めて乗員2名で操縦可能となり、いわゆる第4世代ジェット機が登場することとなった。(図1-2-3及び図1-2-4参照)

図1-2-2　燃料価格の推移(2023年10月末時点)

米国エアライン



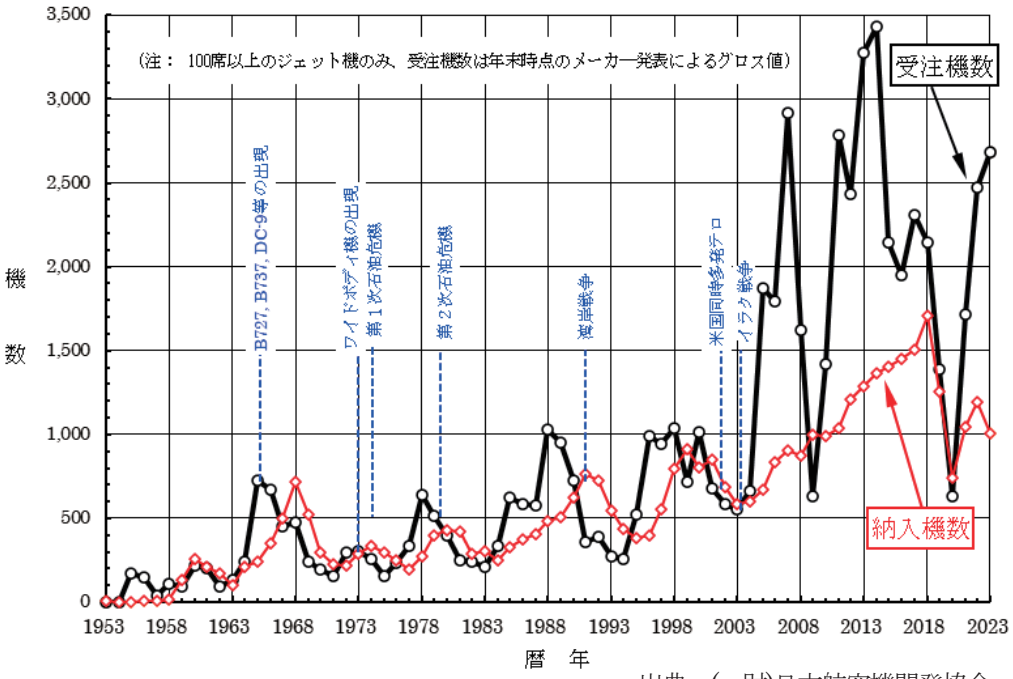
出典：(一財)日本航空機開発協会

c.騒音基準強化

ICAOは、2001年にChapter3より厳しい騒音基準Chapter4について合意し、ICAO理事会で採択した。Chapter 4は、2006年以降に型式証明を受ける機種から適用されたが、運用中のChapter 3適合機に運用

期限は設定されなかった。2013 年、ICAO は Chapter 4 より更に厳しい騒音基準の Chapter 14 の導入について合意し、総会で採択した。新基準の適用対象は、2017 年末(最大離陸重量が 55 トン未満の航空機は 2020 年 12 月 31 日)以降に型式証明を申請する機種となっている。

図 1-2-3　民間輸送機の受注・納入機数の推移(2023 年 10 月末時点)

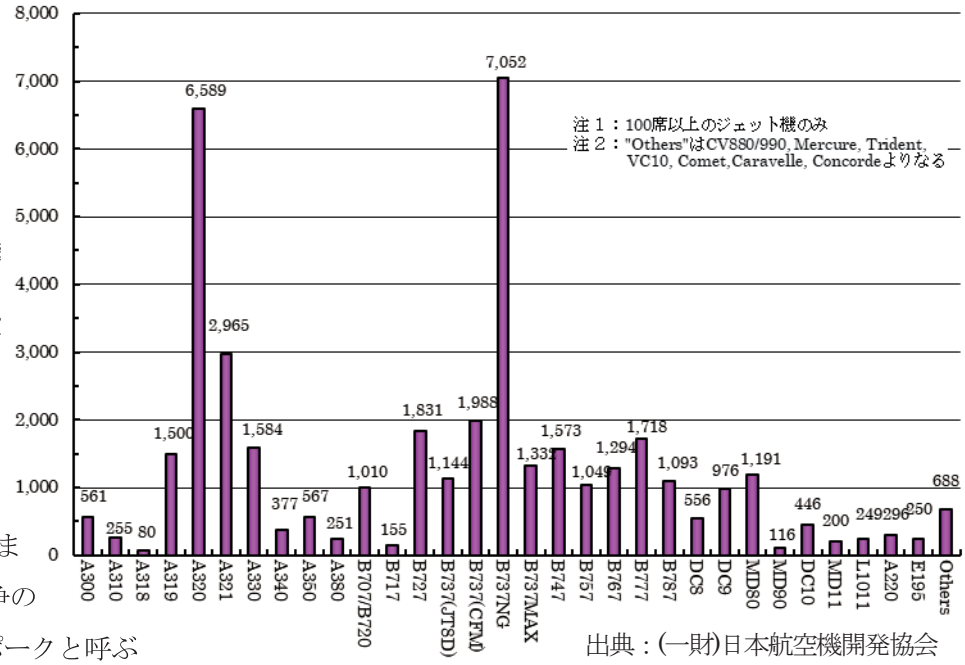


出典：(一財)日本航空機開発協会

d. 派生型機開発の時代

'78 年に施行された米国の規制緩和法による路線の参入、運賃の自由化は米航空界に活気を与えエアラインに新風を吹き込んだが、'79 年の第 2 次石油危機による景気の冷え込みと燃料価格の高騰、更に新規参入機会との低運賃競争に代表される苛酷な競争はエアラインの経営を悪化させた。また、この自由化による競争の中からハブ・アンド・スポークと呼ぶ路線網が発達し、リージョナル機とともに、100～150 席クラスの中小型機材の需要が急増してきた。

図 1-2-4　機種別累計納入機数(2023 年 10 月末時点)



出典：(一財)日本航空機開発協会

Boeing は、中小型機材このクラスにバイパス比を高めた CFM56-3 ターボファンエンジンを搭載した B737-300 / 400 / 500 を開発し、また McDonnell Douglas は、MD-80 シリーズを拡充し MD-81 / 82 / 83 / 87 / 88 を開発、次いで V2500 ターボファンエンジンを搭載した MD-90 を開発した。一方 Airbus は、同クラスの A320 を '84 年に、その胴体延長型 A321、胴体短縮型の A319 及び A318 も開発した。また、'91 年から Boeing は CFM56-7 を搭載する B737NG (Next Generation)と呼ぶ新世代ファミリー機を '90 年代にローンチした。

大型機の分野で Boeing は、'80 年代、B767-300 を、B767-300ER を、そして '85 年に B747-400 をローンチした。

Airbus も'80 年代に A300-600 / 600R 及び長距離型 A310-300 の開発に着手し、更に双発型 A330 と 4 発長距離型 A340 を同時にローンチした。また、McDonnell Douglas も、'86 年に MD-11 をローンチした。

e. 新型大型機の開発

Boeing は、'90 年代に双発大型機 B777-200 の型式証明を取得し、次いで長距離型の B777-200ER、さらに胴体延長型 B777-300 が型式証明を取得した。

B777 は、就航当初から ETOPS (Extended-range Operations with Twin-engine Airplane：双発機の長距離洋上飛行の例外特認) 運航が認可された最初の機種である。米国 FAA はレシプロ機時代から、双発機が陸上の飛行場から一定時間以上離れた洋上を飛行することを禁止し、その時間は'85 年までは 60 分になっていたが、エンジンの信頼性向上に伴い、'85 年に B767 の 120 分運航が認可され、'88 年には 180 分、2000 年には 207 分にまで緩和された。また、B777 ではエンジン自体の信頼性向上と共に就航前に十分な実証試験が行われ、就航当初から 180 分 ETOPS が認可された。

ETOPS の緩和、増大する旅客需要と直行化(Point to Point)の要求は、各国のオープンスカイ政策と相俟って、特に大西洋路線で 3 発機・4 発機から双発機への機材更新、中都市間の路線を開設し市場を細分化することとなった。

これらの市場動向を反映し、その後は航続距離を延長した機種が開発される傾向が表れた。Boeing は B767-400ER や B777-200ER を開発し、さらに太平洋路線の直行化に応えるため 2000 年に B777-200LR と B777-300ER の開発に着手した。また、Airbus は '90 年代に航続距離を延長した A330-200 を、またの胴体を延長した A340-500 / 600 を、それぞれローンチした。

Airbus は、2000 年に標準 555 席(3 クラス座席配置)の超大型機 A380-800 をローンチした。A380-800 の開発は、設計上の問題が発生し 2006 年に型式証明を取得したものの、初納入は 2007 年となった。派生型の A380-800F 貨物機の開発は中断された。

⑵ 最近の開発動向

a. 高効率中・大型機

2001 年の 9.11 米国同時多発テロの後、航空業界は、米大手エアラインが米連邦破産法を申請するなど業績回復が遅れていた。Boeing は 2002 年に燃料消費を抑えた高効率機 B787 の開発計画を発表し、2004 年に全日本空輸からの確定発注を得てローンチした。B787 は主翼や胴体に炭素繊維複合材を多用して軽量化するとともに、主翼を最新の空力技術による形状とし、高効率エンジンの搭載、多くのシステム機器に電動化を採用するなどにより、燃料消費を抑えている。

一方、Airbus は、B787 に対抗するべく炭素繊維複合材を多用し軽量化を図った高効率機 A350 (eXtra Wide Body)をローンチした。加えて貨物型 A350F の受注を開始した。

Boeing は、新エンジン GEnx を 4 基搭載する B747-8 貨物型(B747-8F)を 2005 年にローンチし、2011 年に初号機を納入した。また、B747-8 旅客型(B747-8I)は、2012 年に初号機が納入された。2020 年、Boeing は 2022 年生産終了を発表し、2022 年 12 月生産最終号機(通算 1,574 機目)の B747-8F がエバレット工場か

らロールアウトした。

Boeingは、2013年に高い効率化を目指した大型双発機B777Xをローンチした。B777Xは、画期的な新型エンジン GE9X や複合材製の新型主翼などを採用しており、とりわけ翼幅が大きいため、地上では翼端を折り畳む機構を備えている。2022年に貨物型の受注を開始した。

Airbusは、A330のエンジン換装型A330-800(250席クラス)とA330-900(300席クラス)を2014年にローンチしA330neo(-900)は2017年に初飛行、A330-800は2018年に初飛行した。

b. 高効率小型機

2002年以降の急速な燃料高騰を受けて、LCC(Low Cost Carrier)の台頭で最も需要が多い150-180席クラスの機材には、より高効率な機材の開発が求められるようになった。そのため、Airbus はA320のエンジン換装型 A320neo (new engine option)を 2010 年にローンチした。A320neo のエンジンは LEAP-1A と PW1100G-JM が選択でき、先行して PW1100G-JM Geared Turbo Fan エンジン搭載機が 2015 年に型式証明を取得した。LEAP-1A を搭載した A320neo も 2016 年に型式証明を取得した。また、A321neo は、2017年に LEAP-1A エンジン搭載機が 2016 年に PW1100G-JM 搭載機が型式証明を取得した。

長距離型A321neo LRは、2018年に追加型式証明と180分ETOPS承認を得て航続距離4,000nmの運用が可能となった。2019年にA321neo XLRを航続距離4,500nmを目指しローンチし、好調な受注を得ている。このほか、A319neoは2018年にLEAP-1A搭載機が型式証明を取得した。

Bombardierは、2008年にPW1500G Geared Turbo Fanエンジンを搭載する双発機Cシリーズ(現Airbus A220)をローンチした。CS100(108-135席)は2016年にFAAとEASAの型式証明を取得した。また、やや大型のCS300(130-160席)は2016年にEASAの型式証明を取得した。

Boeing も B737NG のエンジンを LEAP-1B に換装し、システム機器等に最新技術を採り入れた B737MAX ファミリー(B737MAX-7/8/9)を 2011 年にローンチし、737MAX-8 が 2017 年に型式証明を取得し、B737MAX-9 は 2018 年に型式証明を取得した。また、Boeing は 2017 年に、胴体を更に延長した B737MAX-10 をローンチした。しかし墜落事故を原因として 2019 年 3 月より各国当局から運航停止措置を受け、順次それぞれの当局の審査により 1 年以上の停止から徐々に運航を再開し始めている。

中国の COMAC は、LEAP-1C エンジンを搭載する 168-190 席の国産双発機 C919 を 2009 年にローンチし、2022 年 9 月 CAAC から型式証明を取得、2022 年 12 月に初納入され、2023 年 5 月 29 日に中国東方航空は上海-成都間で定期運航を開始した。

ロシアの Irkut(現在は Yakovlev)は、176-211 席の双発機 MS-21 を開発している。主翼や尾翼に炭素繊維複合材を使用し軽量化を図り、基本型の MS-21-300 は 2017 年に初飛行し、2021 年にロシア連邦航空局の型式を取得、-310 / 400 の開発が進んでいる。

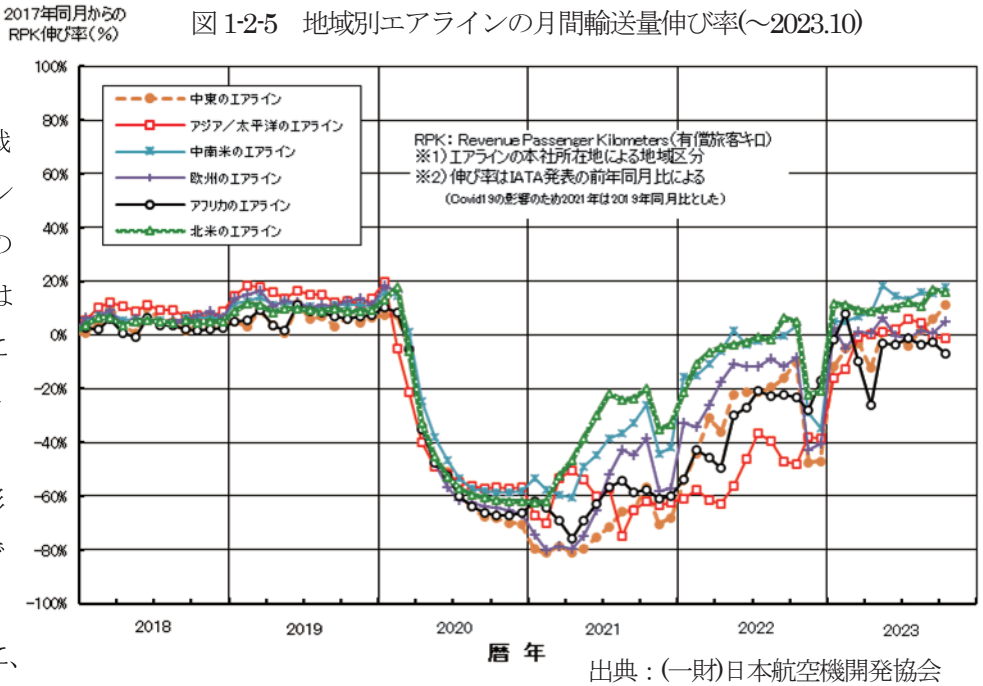
Embraer は、E-Jets のエンジンを PW1700G / PW1900G Geared Turbo Fan エンジンに換装し、主翼や飛行制御システム、降着装置などを改良した E175-E2、E190-E2 及び E195-E2 を 2013 年にローンチした。このうち E190-E2 は 2018 年に型式証明を取得し、E195-E2 は 2019 年に納入された。

⑶ 需要予測

航空旅客輸送量は、2001 年の 9.11 米国テロ以降、イラク戦争やSARS、リーマンショック、2008 年欧州の債務危機などの影響はあるものの、長期的に見ると過去20年間に年平均5.1％で伸びてきている。COVID-19 の影響を織り込んだ予測では、2022 年から 2042 年までの今後 20 年間に、世界の航空旅客輸送量は年平均 3.4 ％の伸びとなり、2042 年には 2022 年の約 2.2 倍に成長と予測される。(図 1-2-5、図 1-2-6 参照)

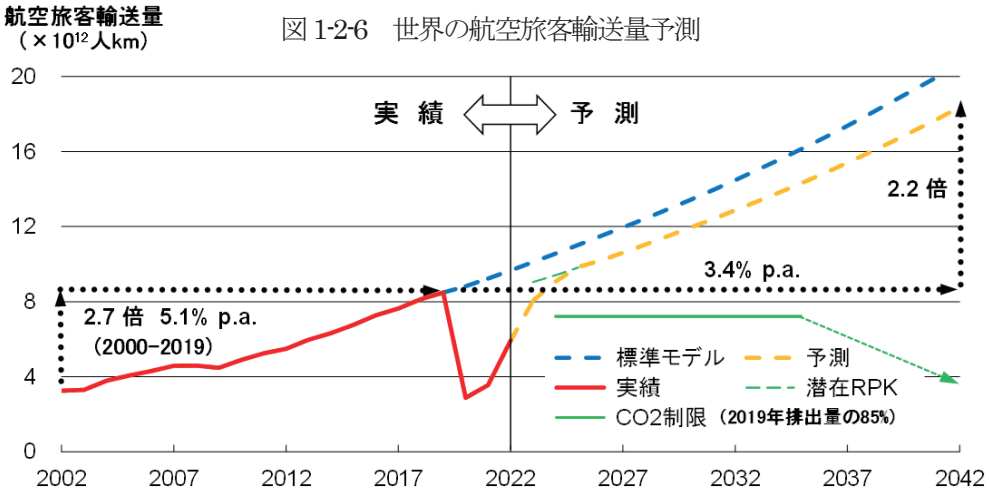
それらを輸送するため、ジェット旅客機の就航機数は 2022 年の 25,075 機から 2042 年には 40,527 機が必要になり(図 1-2-7, 図 1-2-8 参照)、この間の納入機数は 33,355 機となり、貨物の需要は今後 20 年間に年平均 3.4％の伸びが予測される。(図 1-2-9 参照)

図 1-2-5　地域別エアラインの月間輸送量伸び率(～2023.10)



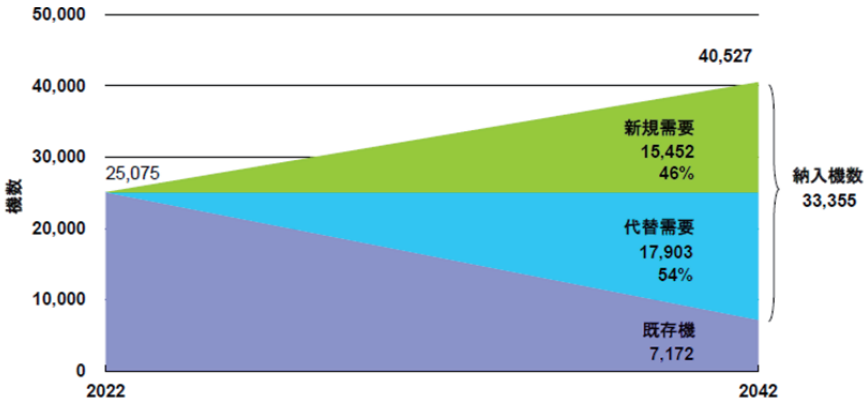
出典：(一財)日本航空機開発協会

図 1-2-6　世界の航空旅客輸送量予測



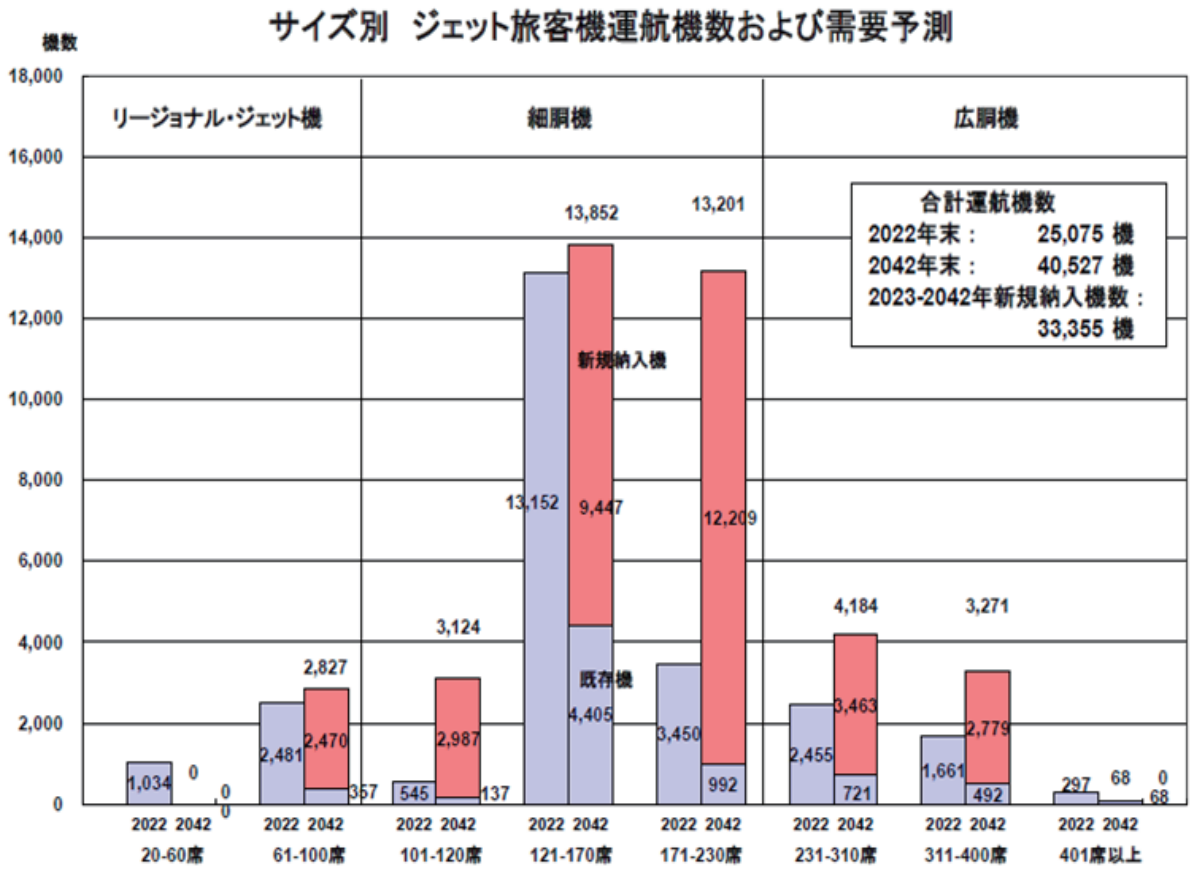
出典：(一財)日本航空機開発協会

図 1-2-7　ジェット旅客機の需要予測結果(20 年後)



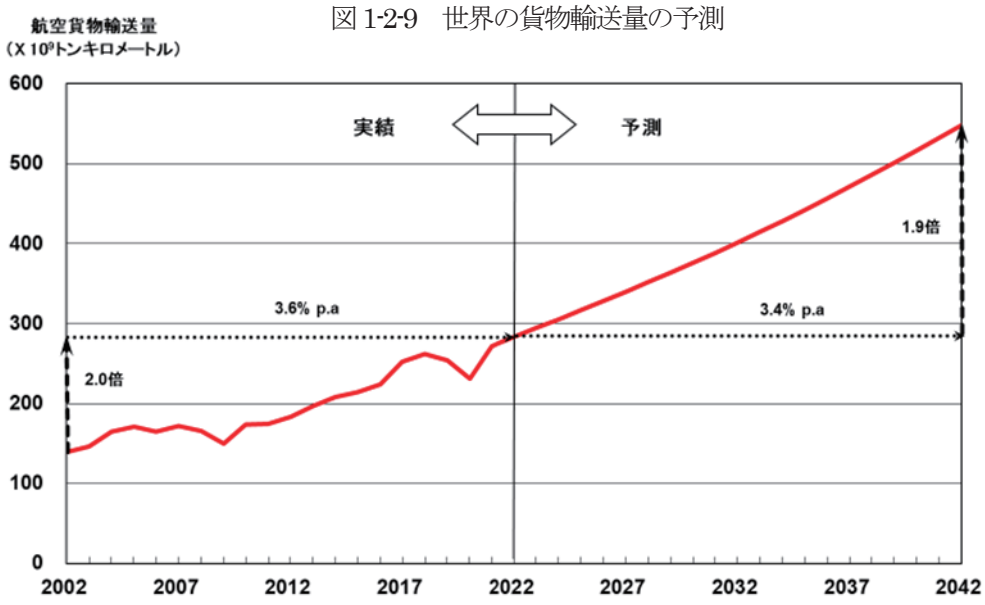
出典：(一財)日本航空機開発協会

図 1-2-8　サイズ別ジェット旅客機運航機数及び需要予測



出典：(一財)日本航空機開発協会

図 1-2-9　世界の貨物輸送量の予測



出典：(一財)日本航空機開発協会

表 1-2-2　主要民間輸送機の開発日程(1)

メーカー	機種	座席数(参考) (1)～(3)ｸﾗｽ		ローンチ	初飛行	型式 証明	納入 開始	就航 開始	備考
Boeing	B717-200	106	(2)	1995.10	1998.09.02	1999.09.01	1999.09.23	1999.10.12	生産終了(2006)
	B737-600	110	(2)	1995.03.15	1998.01.22	1998.08.12	1998.09.18	1998.10.25	生産終了(2006)
	B737-700	126	(2)	1993.11.17	1997.02.09	1997.11.07	1997.12.17	1998.01.18	生産終了
	B737-800	162	(2)	1994.09.05	1997.07.31	1998.03.13	1998.04.22	1998.04.24	
	B737-900	178	(2)	1997.11.10	2000.08.03	2001.04.17	2001.05.16	2001.05.27	生産終了
	B737-900ER	180	(2)	2005.07.18	2006.09.01	2007.04.20	2007.04.27	2007.05.01	生産終了
	B737MAX-8	162-178	(2)	2011.08.30	2016.01.29	2017.03.09	2017.05.16	2017.05.19	
	B737MAX-9	178-193	(2)	2011.08	2017.04.13	2018.02.15	2018.03.21	2018.04.02	
	B737MAX-10	188-204	(2)	2017.06.19	2021.06.18				
	B747-400	412	(3)	1985.07	1988.04.29	1989.01.10	1989.01.26	1989.02.09	生産終了(2009)
	B747-400ER	416	(3)	2000.11.28	2002.07.31	2002.10.29	2002.10.31	2002.11.07	生産終了(2009)
	B747-400ERF			2001.04.30	2002.09	2002.10.16	2002.10.17	2002.10	生産終了(2009)
	B747-8I	450	(3)	2006.12.06	2011.03.20	2011.12.14	2012.04.25	2012.06.01	生産終了(2017)
	B747-8F			2005.11.14	2010.02.08	2011.08.19	2011.10.12	2011.10.13	生産終了(2022)
	B757-200	201	(2)	1979.04	1982.02.19	1982.12.21	1982.12.22	1983.01.01	生産終了(2004)
	B757-300	252	(2)	1996.09.02	1998.08.02	1999.01.22	1999.03.10	1999.03.19	生産終了(2004)
	B767-200	216	(2)	1978.07.14	1981.09.26	1982.07.30	1982.08.19	1982.09.08	生産終了
	B767-200ER	181	(3)	1982.10	1984.03.06	1984.03	1984.03.26	1984.03.27	
	B767-300	269	(2)	1983.09.29	1986.01.30	1986.09.22	1986.09.25	1986.10.24	生産終了
	B767-300ER	218	(3)	1984.09	1986.12.09	1988.01.20	1988.02.19	1988.03.03	
	B767-300F			1993.01.15	1995.06.20	1995.10.12	1995.10.12	1995.10.16	
	B767-400ER	245	(3)	1997.04.28	1999.10.09	2000.07.20	2000.08.11	2000.09.15	生産終了
	B777-200	312	(2)	1990.10.29	1994.06.12	1995.04.19	1995.05.17	1995.06.07	生産終了
	B777-200ER	313	(2)	1990.10.29	1996.10.07	1997.01.17	1997.02.06	1997.02.09	
	B777-200LR	317	(2)	2000.02.29	2005.03.08	2006.02.03	2006.02.27	2006.03.03	生産終了
	B777-300	388	(2)	1995.06.26	1997.10.16	1998.05.04	1998.05.22	1998.05.27	生産終了
	B777-300ER	396	(2)	2000.02.29	2003.02.24	2004.03.16	2004.04.29	2004.05.10	
	B777-200F			2004.11.15	2008.07.14	2009.02.06	2009.02.20	2009.02.22	
	B787-8	242	(2)	2004.04	2009.12.15	2011.08.26	2011.09.25	2011.10.26	
	B787-9	290	(2)	2004.04	2013.09.17	2014.06.13	2014.06.30	2014.08.07	
	B787-10	333	(2)	2013.06	2017.03.31	2018.01.22	2018.03.25	2018.05.03	
McDonnell Douglas	MD-11	298	(3)	1986.12.30	1990.01.10	1990.11.08	1990.12.07	1990.12.20	生産終了(2001)
Airbus	A220-100(CS100)	108-135	(1)	2008.07.13	2013.09.16	2015.12.18	2016.06.29	2016.07.15	型式証明はｶﾅﾀﾞ運輸省
	A220-300(CS300)	130-160	(1)	2008.07.13	2015.02.27	2016.07.11	2016.11.28	2016.12.14	型式証明はｶﾅﾀﾞ運輸省
	A300B2/B4	263	(2)	1969.05	1972.10.28	1974.03.15	1974	1974.05.23	生産終了(1987)
	A300-600/600R	261	(2)	1980.12	1983.07	1983.07	1984.03	1984.06	生産終了(2007)
	A310-200	187	(3)	1978.07	1982.04.03	1983.03.11	1983.03	1983.04	生産終了(1998)
	A310-300	187	(3)	1983.03	1985.07	1985.12	1985.12	1986	生産終了(2007)
	A318	107	(2)	1999.04.26	2002.01.15	2003.06	2003.07	2003.07.22	
	A319	124	(2)	1993.06	1995.08	1996.04	1996.04	1996.05	
	A319neo	124	(2)	2010.12	2017.03.31	2018.12.21	2019.08	2022.03	
	A320	150	(2)	1984.03	1987.02.22	1988.02	1988.03	1988.04	
	A320neo	150	(2)	2010.12	2014.09.25	2015.11.24	2016.01.20	2016.01.24	
	A321	185	(2)	1989.11	1993.03	1994.02	1994.01	1994.03	
	A321neo	185	(2)	2010.12	2016.02.09	2016.12.15	2017.04.20	2017.06.05	
	A321neoLR	206	(2)	2015.01	2018.01.31	2018.10.02	2018.11.14		
	A330-200	247	(3)	1995.11	1997.08	1998.03	1998.04	1998.04	
	A330-200F			2007	2009.11	2010.04	2010.07	2010.07	
	A330-300	277	(3)	1987.06.05	1992.11.02	1993.10	1993.12	1994.01	
	A330-800neo	257	(3)	2014.07.14	2018.11.06	2020.2.13	2020.10.28		
	A330-900neo	287	(3)	2014.07.14	2017.10.19	2018.09.26	2018.11.26	2018.12	

出典:(一財)日本航空機開発協会

表 1-2-2　主要民間輸送機の開発日程(2)

メーカー	機種	座席数(参考) (1)～(3)ｸﾗｽ		ローンチ	初飛行	型式 証明	納入 開始	就航 開始	備考
Airbus (続き)	A340-200	262	(3)	1987.06	1992.04	1992.12	1993.02	1993.03	生産終了
	A340-300	295	(3)	1987.06	1991.10	1992.12	1993.02	1993.03	生産終了
	A340-500	313	(3)	1997.12	2002.02.11	2002.12.03	2003.11		生産終了
	A340-600	380	(3)	1997.12	2001.04.23	2002.05.29	2002.07.22		生産終了
	A350-900	325	(3)	2006.12	2013.06.14	2014.09.30	2014.12.22	2015.01.15	
	A350-900ULR			2015.10.16	2017.04.23	—	2018.09.23	2018.10.11	
	A350-1000	366	(3)	2006.12	2016.11.24	2017.11.21	2018.02.20	2018.02.24	
	A380-800	544	(3)	2000.12.19	2005.04.27	2006.12.12	2007.10.15	2007.10	生産終了(2021)
Dornier	328JET	32	(1)	1997.02	1999.01	1999.06	1999.08		生産終了
Bombardier	CRJ100/200	50	(1)	1989.03	1991.05	1992.07	1992.10	1992.11	生産終了
	CRJ440	44	(1)	2001.07.09			2002.10		生産終了
	CRJ700	70	(1)	1997.01	1999.05	2001.01	2001.01		生産終了
	CRJ900	88	(1)	2000.07.24	2001.02.21	2002.09.13	2003.01		生産終了
	CRJ1000	100		2007.02.19	2008.09.03	2010.11.01	2010.12.14		生産終了
Embraer	ERJ 135	37	(1)	1997.09.16	1998.07.04	1999.07	1999.07		
	ERJ 140	44	(1)	1999.09	2000.06.27	2001.06	2001.07	2001.07	
	ERJ 145	50	(1)		1995.08.11	1996.12.10	1996.12.19	1996.12	
	ERJ 145 XR	50	(1)	2002.02	2001.06.27	2002.09.03	2002.12	2003.01	
	EMBRAER 170	70	(1)	1999.06	2002.02.19	2004.02.19	2004.03.08	2004.04.04	
	EMBRAER 175	78	(1)	1999.06	2004.06	2004.12	2005.08	2005.07.25	
	EMBRAER 190	98	(1)	1999.06	2004.03.12	2005.08.30	2005.09		
	Embraer 190E2	最大106	(1)	2013.06	2016.05.23	2018.02.28	2018.04.04	2018.04.24	
	EMBRAER 195	108	(1)	1999.06	2004.12.07	2006.06.30	2006.09.01		
	Embraer 195E2	最大132	(1)	2013.06	2017.03.29	2019.04.15	2019.09.12	2019	
Yakovlev	SJ100-95	95	(1)	2004.2Q	2008.05	2011.02	2011.04.19	2011.04.21	
	SJ100-95LR	98	(1)		2013.02.12	2013.08	2013.08.29	2014.03.04	IACのSTC取得
AVIC / COMAC	ARJ21-700	90	(1)	2001.09	2008.11.28	2014.12.30	2015.11.29	2016.06.28	型式証明は中国民間航空局
	C919	156-168	(1)	(2008.05)	2017.05.05	2022.09.29	2022.12.9	2023.05.28	
Xi'an Aircraft	MA-60	56			2000.03			2000.08	
de Havilland Canada	Dash8-400(Q400)	70	(1)	1995.06	1998.01	1999.06	1999.12	2000.01	
Convair	CV-580/600/640	56			1960.01.19	1960.04			生産終了
ATR	ATR42	46	(1)	1981.10	1984.08	1985.09	1984.12	1985.12.09	
	ATR72	74	(1)	1986.01	1988.10	1989.09	1989.10	1998.10.27	

出典:(一財)日本航空機開発協会

表 1-2-3　開発中または計画中の主要民間輸送機

メーカー	機種	座席数(参考) (1)～(3)ｸﾗｽ		ローンチ	初飛行	型式 証明	納入 開始	就航 開始	備考
Airbus	A220-100ER	108-135	(1)						計画中
	A220-300ER	130-160	(1)						計画中
	A350-800	280	(3)	2006.12	—	—	—	—	開発中止
	A350-900F								計画中
	A380-900	656	(3)						開発中止
Boeing	B737MAX 7	138-157	(2)	2013.05.15	2018.03.16	(2023)	—	—	開発中
	B737MAX 200	200	(1)	2014.09.08					開発中
	B737MAX 10	188-204	(2)	2017.06.19	2022.06.18	—	—	(2023)	開発中
	B777-8	350-375	(2)	2013.11.17					開発中
	B777-9	400-425	(2)	2013.11.17	2020.01.25			(2025)	開発中
AVIC / COMAC	ARJ21-900	105	(1)						計画中
CRAIC	CR929-600	最大280	(1)					(2026)	計画中
	CR929-500								計画中
	CR929-700								計画中
Irkut	MS-21-200	150	(1)	(2006.06)					中断
	MS-21-300	168	(1)	(2006.06)	2017.05.28	2021.12.28			開発中
	MS-21-310	168	(1)		2020.12.15				開発中
	MS-21-400	250	(1)						計画中
	SSJ 100-75	75	(1)	(2004.2Q)					計画中
	SSJ100-75LR	78	(1)						計画中
Leonardo	AW609	9			2003.03.07				開発中
Embraer	Embraer 175E2	最大88	(1)	2013.06	2019.12.12			(2021)	開発中
三菱航空機	SpaceJet M90	最大92	(1)	2008.03.28	2015.11.11				開発中 (中断)
	SpaceJet M100	最大78	(1)						計画中 (中断)

開発中:ローンチ済で型式証明取得前まで　　計画中:ローンチに向けて計画中　　(　):カッコ内暦年は予定(一部除きメーカー発表)

出典:(一財)日本航空機開発協会

(4) カーボンニュートラルの動向

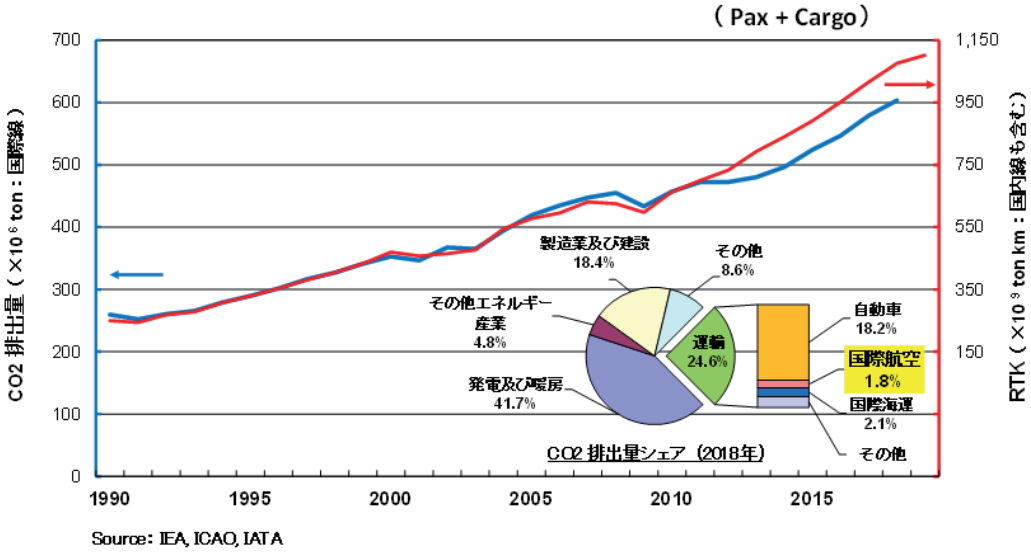
航空産業にかかる環境問題は、従来、空港周辺の騒音問題と大気汚染問題に焦点があてられてきたが、最近は地球温暖化に対する関心が高まり、航空機からの CO_2 排出量※にも注目が集まる状況となっている。(※：世界の年間の CO_2 排出量の 1.8 %を占める)

環境問題への対応は今後も強く要請される方向にあると考えられ、運航会社は、燃費の優れた機材への更新、燃料節約に繋がる効率的な運航方法の採用、代替燃料の使用などを、今後さらに進めることになる。

かつて騒音や排気ガスなどは航空機の経済性にとって外部的であったが、近年の CO_2 排出抑制に関しては排出権取引と関連付けられて費用、収益に直接組み込まれたのが特徴といえる。そして、これに伴って環境対応の新技術を適用した新世代の旅客機への需要が高まることで、従来からの燃料経済性に加えて、環境対応が機材更新を進める理由の一つになると考えられる。

国際航空輸送での CO_2 排出量は、2018 年には 604×10^6 トンで、2017 年から 4.2 %増加した。この CO_2 排出量は、全世界で排出される CO_2 総排出量の約 1.8 %であるが、今後も航空輸送量の伸びに伴って増加すると予測されている。(図 1-2-10 参照)

図 1-2-10　国際航空輸送における輸送量と CO_2 排出量の推移



ICAO は、2010 年の第 37 回総会で、先進国も途上国も含めた目標として、2050 年まで燃料効率を年率 2 %改善し、2020年以降 CO_2 排出量を増加させないという削減目標を決定した。さらに ICAO は、2013 年の第 38 回総会で市場メカニズム(排出権取引)を利用した排出量削減制度を 2016 年中に構築し 2020 年から適用することを定めた。2016 年の第 39 回 ICAO 総会では、191 ヵ国が国際線の温室効果ガス排出規制の枠組みに合意した。この合意は、航空機から排出される CO_2 を 2020 年以降増加させないとするもので、超過分は各エアラインに排出権の購入を義務づける。

2017 年、ICAO は 2016 年の総会での合意を推進する制度 CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)を設置した※1。2020 年時点での CO_2 排出量の基準値を定め※2、2021 年以降は各エアラインの CO_2 排出量の内のこの基準値を超過した部分が排出権購入義務の対象となる。

(※1：参加国相互を結ぶ国際線が対象となり、発着地いずれかが参加国でない場合や国際線の CO_2 排出量が年間 10,000 トン以下のエアライン、最大離陸重量 5.7 トン以下の航空機からの排出は除外される。)

(※2：2021 年以降の CO_2 排出権購入量を決める基準となる排出量基準値は 2019 年と 2020 年の排出量の平均値を用いる。)

なお、上述は国際航空に関する規制であり、各国の国内路線の CO_2 排出量は、その国の国内他産業と合わせた国ごとの総排出量に計上され、京都議定書及びその後のパリ協定に従った削減目標により、各国政府の責任において CO_2 削減を追求することになっている。

機体規模ごとに設けられる排ガス規制については、国際民間航空条約(シカゴ条約)附属書 16 の第 3 巻「航空機の CO_2 排出基準」を新設した。これによって航空機の燃料消費率に基づく指標が一定値以下になるように義務づける。対象は、最大離陸重量 5.7 トンを超えるジェット機及び同 8.6 トンを超えるプロペラ機である。基準適用日は以下の通りであり、対象となる航空機は基準を満たさなければ基準適用日以降に新規製造することができなくなる。

①型式証明を新規に新製する新規開発機種については 2020 年 1 月 1 日
(最大離陸重量 60 トン以下かつ最大座席 19 席未満のジェット機は 2023 年 1 月 1 日)
②現在量産中で、今後型式変更を申請する機種については 2023 年 1 月 1 日
③上記以外の継続製造を行う航空機については 2028 年 1 月 1 日

ICAO は 2022 年 10 月開催の総会にて、2024 年以降に国際線の航空機が排出する二酸化炭素の量を、2019 年と比べて 15%削減すること、また 2050 年には排出量を実質ゼロにするという新たな目標を採択した。航空各社は、より燃費効率のよい機体に切り替えたり、運航方法を効率化したりして排出量の削減を進め、それでも足りない分は排出権を買い取る方針である。化石燃料に代わる代替航空燃料として SAF の実用化も期待されているが、国内メーカーで本格的な生産が始まるのは 2025 年以降になるということで、関連産業も含めての取り組みが課題となる。

航空機開発における今後の方向性

実機開発として、以下の 4 形態を中心に世界的に開発が進められている。

蓄電池駆動の電動航空機、燃料電池航空機、水素航空機、SAF(Sustainable aviation fuel)があり、電動航空機、燃料電池航空機及び SAF については、実証試験が始まっている。

(a) スウェーデンの Heart Aerospace は、2028 年就航予定の最大 30 人乗り、航続距離 200 km の電動ハイブリッド航 空機 ES-30 を開発中であり、各国から受注を受けている。2023 年より Scandinavian 航空は、2028 年就航便の座席予約受付を開始した。

(b) Boeing 及び Airbus ともに、ガスタービン APU を燃料電池に置き換える構想を描いている。効率向上のために、ガスタービンによるハイブリッド形態がベースラインとなっている。リン酸、炭酸リチウムなどを使用した燃料電池が研究されてきたが高コストであるめ、自動車業界でも注目されているイオン交換膜を使用した「固体電解質型燃料電池」が最も期待されている。しかし技術開発には、かなりの時間と費用がかかる見込みである。

(c) Airbus は実証機 A380 で、2035 年に水素燃料や燃料電池技術を搭載した「ゼロエミッション航空機」の市場投入を目指すプロジェクト「ZEROe」を公表した。2023 年 9 月、Airbus は、EasyJet、Rolls-Royce と水素航空機を英国で商業化するために提携することを発表した。

(d) ヨーロッパではフィンランドの Neste が、SAF の供給に関する契約を各国の航空会社 と結んでいる。2023

年2月には、Boeingへの5,200トンのSAFの提供を発表した。2022年11月から日本航空貨物は、アムステルダムのスキポール空港にてNesteよりSAFの供給を受け貨物便の運航を開始した。国土交通省は、国内航空会社使用燃料に占めるSAFの割合を、2030年までに10%に増加させることを目標に掲げている。Boeingは、2008年に初めて民間航空機のSAFによる飛行試験を成功させ、SAFの普及に積極的に取り組んでおり、2030年までに持続可能なバイオ燃料100%で運航できるよう、その承認取得を目指している。また、NASAはBoeingと環境に配慮した次世代のナローボディ型実証機、亜音速トラスブレース翼機(Transonic Truss-Braced Wing)「X-66A」を共同で開発している。X-66Aは2050年までに二酸化炭素排出量実質ゼロを達成するという目標に沿って構想され、既存の双発ジェット旅客機MD-90をベースに胴体を短縮し、主翼の縦横比が大きく、幅や厚さも薄い「遷音速トラス支持翼」を採用することによって空気抵抗を抑え、従来の旅客機よりも燃料消費と二酸化炭素排出量を最大30％削減することが可能となる。2020年代後半までに試験を完了し、2030年代の実用化に向けて技術開発や設計を実施する予定である。

(5) スタートアップ企業

環境問題への対応受け、水素や電動航空機などの新分野においてスタートアップ企業が精力的に活動している。エアラインは脱炭素への対応を急ぐため、特に近年認証活動が進む電動航空機の分野でスタートアップ企業との関係を深めている。

Ampaireは2017年創業の米企業であり、Cessna 208B Grand Caravanを改造した9人乗りのEco Caravan、De Havilland Canada DHC 6 Twin Otterを改造した19人乗りのハイブリッド電動航空機Eco Otterを開発中。Eco Caravanはハイブリッド電動推進システムを搭載し2022年11月に初飛行に成功した。

Eviation Aircraftは2015年にイスラエルで創業し、その後アメリカへ移転した。2022年9月に米magniX社製モーターを使用した航続距離約800 kmの9人乗り全電気航空機Aliceを初飛行させた。2025年までにアメリカ連邦航空局(FAA)の型式証明を取得し、2027年までに機体の納入を目指す。米国の地域航空会社であるCape AirとGlobal Crossing Airlinesからそれぞれ75機と50機、DHL Expressから12機受注している

スウェーデンのスタートアップHeart Aerospaceは2022年9月、最大30人の乗客を運ぶことができる電気ハイブリッド航空機「ES-30」を発表した。2026年に初飛行を予定しており、2028年に商用飛行の準備が整う予定としている。ES-30はUnited航空、Air Canadaなどから多くの受注を獲得している。

電動航空機の中には、電源に蓄電池ではなく水素燃料電池を利用した航空機開発を進める企業もある。水素を動力源とした航空機は二酸化炭素を排出しないため、環境負荷の小さい移動・輸送手段として注目を集めている。

2018年創業でイギリス・アメリカに拠点を持つZeroAviaは、2023年1月に水素燃料電池を動力源とする19席の旅客機Do228を改造し初飛行させた。2026年までに50～80席クラス、2028年頃にはリージョナルジェット機への適用をめざしている。パリ航空ショー(2023年7月19日)ではMHI RJ Aviationと共同で、リージョナル機CRJ-700を水素燃料電動エンジン搭載に改造、ゼロ・エミッション化すると発表した。

アメリカのスタートアップ企業である Universal Hydrogen も、水素燃料電池推進を用いた 40 人乗り規模のターボプロップ機である Dash 8-300 の試験飛行にしたと 2023 年 3 月に発表した。タービンエンジンのうち 1 基を、燃料電池と電動機を用いた動力装置に置き換えて飛行した。

H2FLY

航空機用水素電気動力装置システムを開発するドイツの H2FLY は、2023 年 9 月、液体水素を燃料とした電気航空機の世界初の有人飛行に成功した。

移動の自由を大きく高める新たなエアモビリティである eVTOL への期待も高まっている。

2009 年創業の米企業 Joby Aviation が 5 人乗りの eVTOL 機「S4」を開発しており、2025 年には米国でエアモビリティサービスの提供を開始する予定している。2020 年にはトヨタ自動車が同社に出資して生産の協業パートナーとなった。さらに 2022 年には ANA ホールディングスと移動サービス実現に向けた覚書を締結し、2023 年に大阪・関西万博 空飛ぶクルマ運航事業者に選定された。

Volocopter は 2011 年創業の独企業。2 人乗りの VoloCity と約 200 kg の貨物を輸送可能な VoloDrone を開発し、欧州や米国等で型式証明取得を目指している。VoloCity はドバイやシンガポール等の都市部を含む世界各地で飛行実績がある。2024 年に欧州航空当局(EASA)の型式承認取得と運航開始を計画しており、翌 2025 年には国土交通省航空局(JCAB)からの型式承認取得と大阪・関西万博での運航開始を目指している。2021 年には JAL が最大 100 機を導入予約したことを発表した。

Lilium は 2015 年の独企業。ダクテッドファンを採用した 7 人乗りの eVTOL「Lilium Jet」の開発を進めている。2017 年無人実験機による初飛行、2022 年 5 月に電動実験機 Phoenix 2 で垂直離着陸から水平飛行への遷移を実証した。ブラジルの航空会社 Azul との戦略的パートナーシップ締結を 2021 年に発表している。

Vertical Aerospace は 2016 年創業の英企業。5 人乗りの「VAX4」を開発しており、2022 年に初の試験飛行を行った。2025 年の EASA の型式証明取得を目指している。American 航空、Virgin Atlantic 航空や航空機リース会社の Apollo 等から合計 1,400 機以上の仮予約受注実績がある。

4. リージョナル機(地域航空・近距離航空用旅客機)

(1) 沿革

民間航空輸送は、第二次世界大戦後にジェット旅客機の出現と大型化によって、高速・長距離・大量輸送機関として急速に発展した。その反面、短距離・狭小な地域への航空輸送はあまり発展せず、使用されてきた旧式旅客機や放出軍用輸送機も老朽化したため、経済性や安全運航の面で問題が生じてきた。

アメリカでは、'69 年に CAB(民間航空委員会)が、運航証明書(審査)を必要としない定期運航事業(コミューター航空)の規定を制定し、運航管理基準を緩和した FAR Part135 の下で、核となる都市と周辺の地域を結ぶ航空サービスの振興を図った。これに伴い、短距離・狭小な地域への連絡・輸送に適した航空機が開発されていった。

'69 年当時のコミューター運航事業の定義では、

①2 地点以上の間を週 5 往復以上運航し、運航の曜日、時刻、区間を示すフライトスケジュールを公表するもの、または、アメリカ合衆国郵政省との契約によって郵便物を輸送するもの

②運航する航空機が、最大 19 席以下、離陸重量 12,500 ポンド以下(後に 19,000 ポンド以下に拡大)のもの(当時の耐空類別では N 類の特例、現在の C 類に対応)とされていた。この規定制定に伴いコミューター航空はブームとなり、多数の会社が登場した。これが小型軽量なターボプロップエンジン多発機、いわゆるコミューター機である。

しかし、安全確保、経営の安定化のためには、どうしても事業規模の拡大が必要になった。このため使用する航空機について、'72 年には 30 席まで(但し耐空類別は T 類)に、'78 年には 60 席までに、それぞれ拡張された。これに伴い、従来から数十人のプロペラ旅客機で地域・短距離路線を運航していたコミューター航空会社と識別するため、リージョナル航空会社という名称が使われるようになった。コミューター機については、FAA の耐空性基準で 9 席以下(現在の耐空類別で N 類)、または 19 席以下(現在の耐空類別で C 類)の旅客機という明確な規定があるが、それより大型の機材は一括して T 類として扱われており、リージョナル機を定義する法的基準はない。

輸送力強化の観点から、さらに使用機材が大型化し経営規模も大きくなってきたため、FAA は運航管理基準を、FAR Part 135 から大手航空会社と同様の FAR Part 121 に適合したものに自主的に改善するよう指導してきた。そして'97 年からは、10 席以上の機材を運用する会社は FAR Part 121 による安全管理が求められることになり、FAR Part 135 で運航する航空会社というのは、9 席以下の Beech King Air や Piper Cheyenne 級のゼネラル・アビエーションの機材を使用して運航する会社(エアタクシーとの差は時刻表による運航の有無)だけである。

こうした当局の指導によって企業の大規模化(合併・統合)が促進され、下表のように '78 年の機材の大型化(60 席)が認められた直後の '80 年時点で 247 社を数えたアメリカのリージョナル航空会社は、2010 年代には約 60 社に集約された。航空会社の数は減ったが、旅客数で約 10 倍以上、RPM(有償旅客マイル：有償旅客数×飛行マイル)は 40 倍近い伸びを示しているのは、機材の大型化、高速化、企業の集約と、大手航空会社とのグループ化によるハブ・アンド・スポーク運航によるものである。

リージョナル航空会社における年ごとの統計データ

暦年	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020	2021
航空会社数	91	75	66	64	65	66	66	62	59
旅客数 (百万人)	82.49	152.55	164.1	156.56	153.29	159.06	165.17	73.28	123.24
RPM (億人マイル)	24.38	67.41	76.62	74.75	74.49	77.80	81.70	36.75	62.41
出発便数 (百万回)	4.55	5.43	4.69	3.87	3.68	3.86	3.81	2.34	2.97
使用空港数	683	666	673	615	619	630	629	627	662

出典：Regional Airline Association Annual Report

現代のアメリカにおける航空輸送サービスは、大／中型ジェット機を利用して各都市間を結ぶ大手航空会社と、100 席以下のジェット旅客機やプロペラ機を利用して、各都市と周辺の地域を結ぶリージョナル航空会社の 2 層構造となっている。

ヨーロッパでは、コミューターおよびリージョナル運航事業が積極的に展開されていて、'80 年に ERA (European Regional Airline Association)が設立された。

ヨーロッパ域内の統合が進むことで国境外の地方都市間の航空輸送が活発になり、リージョナル航空会社の利用者数は伸びた。しかし新型コロナウイルス感染症拡大の影響で落ち込んだ民間機の旅客需要は、リージョナル航空においても依然コロナ前を下回る状況。

⑵機材の変遷

コミューター航空の発展の歴史を、その使用機材の面から概括すると、戦後暫くは軍払い下げの Beechcraft Model 18 などが使われていた。'50 年代後半から'60 年代にかけて 50～60 席の第 1 世代のターボプロップ旅客機、Convair 540、Fokker F27、Avro 748 や我が国の YS-11 が開発された。'70 年代になると上述のコミューター航空に対する規制緩和に合わせて、ターボプロップ双発、19 席以下、当時の耐空類別で N 類に属する第 1 世代コミューターde Havilland Canada の DHC-6 やブラジルの Embraer EMB 110 のような機材が相次いで開発され、それが当時のコミューター航空の主流機材となった。

'80 年代の半ばになると、第 2 世代コミューター、耐空類別で T 類に属する、DHC-8 や Saab 340、EMB 120、Dornier Do328 などの 30 席クラスの機材が相次いで就航するようになった。しかし、各機材共、販売機数が 300 機を超えた付近から市場は飽和状態に近づいて、受注が急速に減ってしまい、生産が終了した。

'80 年代後半になると、制限緩和を受けて使用機材の大型化は急速に進み、第 2 世代の中型ターボプロップ旅客機(40～50 席クラス)であるフランス・イタリア共同開発の ATR 42 / ATR 72 やカナダの DHC-8-300 が、新しいエンジンや操縦室システムを採用して登場してきた。これに対して第 1 世代のターボプロップ旅客機では経済性で対抗できず、再設計を行った Fokker 50 や Jetstream 61 でも新世代機に対抗できなかった。いずれも相次いで生産を停止し、70～100 席クラスジェット旅客機の販売低迷にも直面した Fokker は'95 年に倒産した。

'99 年と 2000 年にカナダの Bombardier Q400(現 DHC-8-400)ターボプロップ機は、カナダ航空局および FAA の型式証明を取得した。これは巡航時速 400 マイル(640 km)を超し、高速化によって大手航空会社のジェット機サービス網との隙間を埋めることができ、着実に受注を伸ばした。我が国でも全日本空輸グループの ANA ウイングスおよび日本航空グループの琉球エアーコミューターが運航中である。

一方、同じく高速機の Saab 2000 は、開発に手間取って売れ行きが伸び悩み、'99 年 Saab 340B とともに撤退した。

ロシアでは 60 席級で '90 年初飛行の Il-114 が生産されており、一部は Pratt &Whitney Canada (P&WC)の PW127 エンジンを装備している。

チェコでは LET Aircraft Industries の L 410 (19 席)が '69 年初飛行し、途中の中断を挟みながら生産を続けており、さらに近代化した L 420 は'98 年に米国の型式証明を取得している。

中国では、ロシアの AN-24 を原型とし、エンジンを P&WC PW127J に換装する等、近代化した西安航空機工業公司(Xi'an Aircraft Industrial)の MA60(48～56 席級)の生産が続いている。

'90 年代後半から 2000 年代にかけてリージョナル航空会社向け新型機の開発主体は 50 席クラス小型ジェット旅客機になった。'92 年にカナダの Bombardier CRJ100 が、'96 年にはブラジルの Embraer ERJ 145 が登

場した。ジェット機は燃料消費が大きく、近距離路線では経済性でプロペラ機に勝てないとされてきたが、低騒音・低燃費のターボファンエンジンを採用し、CRJ100 はビジネスジェット機をベースにして開発することで開発コストを下げ、また Embraer は生産中のターボプロップ旅客機の構造やシステムを活用することで、安価で経済性も高い機材として開発されている。その結果、ERJ 145 や CRJ100/200 は急速に販売を伸ばし、年間数 10 機～100 機を出荷してきた。

50 席クラス機の成功を受けて、さらに小型化した 30 席クラスとして、Fairchild Dornier の第 2 世代コミューターの Do328 をジェット化した 33 席の 328JET や Embraer の ERJ 145 を短縮した 37 席の ERJ 135 が開発された。70～100 席クラスのジェット旅客機としては、BAe 146 (Avro RJ)、Fokker 70/100 が先行した。

その後、2001 年の 9.11 同時多発テロ後のセキュリティ強化で特に数百マイル区間の利用客数が減少、新製機の受注減、キャンセルを引き起こした。その結果、Fairchild Dornier は 2002 年に経営が行き詰まり、現在は販売機に対してメンテナンスを行う会社のみが残っている。また BAE Systems は、2001 年にイギリスに残った唯一の国産旅客機 Avro RJ の受注中止と改良型 RJX 計画の放棄を発表した。

リージョナル航空会社は、市場縮小後に大手航空会社の傘下に入り、減便・廃止された路線へ進出し、大手の路線と連携したサービスを提供し始めるようになった。またプロペラ旅客機では得られない航続距離を利用して、2 時間以上の区間距離を持つ、大手が手掛けていない中小都市を結ぶポイント・ツー・ポイントや主要路線の閑散時間帯等の小規模需要対象にした長距離路線を開拓し着実に旅客の拡大を図っていった。

そして航空会社は座席当たりの運航コストを引き下げるため、より大型のリージョナル機を求めるようになり、Bombardier は 50 人乗りの CRJ200 をストレッチした 70 人乗りの CRJ700、90 人乗りの CRJ900、100 人乗りの CRJ1000 を開発し、それぞれ 2000 年、2002 年、2010 年に FAA の型式証明を取得した。我が国のリージョナル航空会社である IBEX エアラインズで CRJ700 が運用されている。一方、Embraer は、全く新しい設計の、米国のスコープクローズに適合した E170/175 (70～88 席)および 100 席超クラスの E190/195 (98～122 席)を開発した。胴体はダブルバブル型断面で、客室は(2＋2 列)と広く、床下貨物室容積も増えた。2004 年に E170、2006 年に E175、2005 年に E190、2007 年に E195 が、それぞれ FAA の型式証明を取得した。我が国では日本航空やフジドリームエアラインズで E170/175/190 が運航されている。

ロシアでは、72～102 席級の Tu-334 が長い開発期間の末に、'99 年に初飛行、2003 年に型式証明取得にこぎつけたが、結局量産には至っていない。一方、70～80 席級のウクライナの An-148 は 2004 年に初飛行、2007 年に型式証明を取得し、2009 年から運航を開始している。(表 1-2-4 および表 1-2-5 を参照)

(3) 現況

ブラジルの Embraer は、2013 年に E170 / 175 / 190 / 195 の後継機となる E175-E2、E190-E2、E195-E2 を発表した。E190-E2 が 2018 年、E195-E2 が 2019 年から納入を開始し、E175-E2 は開発を中断しているが 2027～2028 年の納入開始を予定している。

中国 COMAC の ARJ21 は 2008 年に初飛行を行い、2016 年から中国国内での商業運航を開始している。中国国外への販売に対しては、欧州及び米国の型式証明取得の目途がたっていないため、一部の国に限定されている。

ロシアの Superjet 100 は、2011 年にロシアの型式証明を取得、2013 年には西側諸国初となるメキシコの航空会社である Interjet 航空に引き渡した。なお 2018 年に Superjet 100 は Sukhoi から Irkut へ移管された。更にウクライナ紛争の制裁で西側の搭載装備を輸入できなくなったため、2023 年からエンジンを国産の PD-8 に、電装品等も国内製造に換装する派生型 SJ-100 を Yakovlev で開発し、8 月に初飛行した。

Mitsubishi SpaceJet は、2007 年に正式客先提案を決定し、販売を開始した。2016 年までに 427 機を受注し 2015 年に初飛行、2021 年以降の納入開始に向けて開発が進められた、2020 年 10 月、開発状況と COVID-19 の影響を含めた市場環境の変化を踏まえ開発は一旦立ち止まったあと、2023 年 2 月に開発を中止した。Bombardier は、2020 年に CRJ 事業を三菱重工業に売却し、旅客機事業から撤退した。

ターボプロップに目を転ずると、フランス・イタリア共同開発の ATR 42/72 の性能向上型である-600 シリーズのうち ATR 72-600 が 2011 年に、ATR 42-600 が 2012 年に型式証明を取得した。ATR 42 / ATR 72 は日本でも日本航空グループ各社など多くの航空会社で運用されている。Bombardier が開発・製造した DHC-8-400 は、Viking Air にプログラムが売却され、同社は 2019 年に de Havilland Canada と社名を変更した。なお COVID-19 の影響もあり 2022 年現在では同社は生産を停止しているが、 2025 年以降にカナダ Alberta 州の新工場に移転し生産再開するとしている。

アメリカでのリージョナル機の機数は、次ページのとおりであるが、欧州では、ATR を主として欧州製の機材が運航されていること、また地理的に米国ほどの大きさがないことから、約 900 機のリージョナル機のうち半数がターボプロップ機である。

2013 年にはインドが 70～90 席クラスの国産旅客機を開発することを発表したが、2016 年、開発を停止した。

'78 年の規制緩和以降、米国の民間航空会社は景気の波によって、特徴づけられてきた。特に 2019 年は米国の航空業界にとって、11 年連続の収益性を記録した。しかし COVID-19 による 2020 年の実績は大手と同じで 2019 年に比較し、運航便数 61 %、RPM 45 %、搭乗率 58 %と大きく減少した。航空会社の活動と収益性はほぼ一夜にして落ち込み、財政的な課題に直面した。いくつかのリージョナル航空会社の操業は停止したが、主要な航空会社は操業を停止しなかった。なお、 COVID-19 からの旅客機運航の回復は国内線の比較的小型の機材から始まったこともあり、短通路機に次いでリージョナル機の運航も回復を示していたが、一方で COVID-19 での運航縮小時に削減したパイロットが回復期において幹線に移って不足となり、リージョナル運航機数は回復していない。登録機数の半数程度となる約千機が運航を停止している。また、パイロット不足は、FAA が 2009 年に発生した米国のリージョナル航空会社である Colgan Air の墜落事故への対応として 2013 年に実施した、定期運送用操縦士(ATP)の認定に必要な飛行時間の厳格化(1,500 時間ルール)が原因との主張があり、米国のリージョナル航空会社である Republic Airways から要求緩和の提案が

Regional Airline Association 加盟各社の機材(機種・機数)

暦年	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ピストン機	11	16	410	294	314	506	568	206	211
ターボプロップ機	587	635							
小型ジェット機	1,727	1,702	1,676	1,661	1,704	1,874	1,765	1,571	1,641

出典：Regional Airline Association Annual Report

出されたが、2022年9月にFAAにより却下されている。

⑷将来動向

近年、順調に市場を拡大してきた小型ジェット旅客機は、米国大手航空会社のスコープクローズが緩和されたこともあり、2000年代初頭に50席クラスから収益性の高いより大きな70～90席クラスの機材にシフトした。

COVID-19の影響を受け、リージョナル市場は一時的に小さくなったが、FAAは、2025年にはCOVID-19前を上回る基準に復活し、2042年には米国でリージョナル航空会社の取扱う年間旅客数は258百万人、使用機数は2,187機に、そしてRPMは1,366億人・マイルになると予測しており、長期的にはリージョナル航空会社の発展が見込まれている。一方、リージョナル航空会社の経営は、解決に時間を要するとみられるパイロット不足や大手航空会社による運航委託契約の条件見直しなど課題も抱える。

ターボプロップ機は水素を燃料とする燃料電池で発電し、電動機でプロペラを回す方式の技術実証や研究がさかんに実施されている。脱炭素の動向と開発成果によっては、新しい推進方式による機材が更新の選択肢になる将来も考えられる。

また、ロシアによるウクライナ侵略を受けた西側諸国の制裁により、ロシアが西側諸国の航空機を修理するための予備部品を入手することが困難になっている事を受け、2022年の第7回東方経済フォーラム(EEF)において、AeroflotはUnited Aircraft Corporation(UAC)から2030年までに航空機339機を購入する合意書に署名したと発表した。機種の内訳は、MS-21 210機、SSJ-NEW(現SJ-100)89機、Tu-214 40機となっている。ロシアによる西側航空機への依存脱却を目的とした、国産機への置き換えの試みの動向が注目される。

表 1-2-4 主要リージョナル航空機一覧(プロペラ機)

機種名	開発メーカ 開発国	客席数	席配列	初飛行	巡航速度 km/h	特　　長
YS-11	日本航空機製造 日　本	64	2+2	1962.8.30	474	リージョナル向け第1世代ターボプロップ。STOL性に優れていたが、速度に設計思想の変化が読み取れる。生産は終了。
DHC-6	Bombardier カナダ	19	1+1	1965. 5.19	306	第1世代19席機の代表機種。STOL性能、固定脚で、与圧室無しの簡潔な機体。生産は終了。
L 410 (NG) L 420	LET Kunovice チェコ	19	1+1	1969.4.16 1993.9	386	高翼、引き込み脚、与圧室無しの小型機。主翼端に燃料タンクを装備している。L 410を近代化したのがL 420である。現在はArcraft Industriesと社名変更し、GE H85エンジンに換装し改良したL 410 NGも生産している。
Do228	Dornier ドイツ	19	1+1	1981.3.21	315	高翼双発のターボプロップ機。短距離離着陸性能に優れている。Dornier倒産で生産停止したがRUAG Aerospace社にて再開し、2020年から米国General Atomics社が引き継いでいる。
Beech1900D	Beechcraft アメリカ	19	1+1	1982. 9.3 D:1993.3.1	533	19席機のロングセラー。低翼引込脚与圧室。 性能・経済性の向上・室内高180cmの居住性。生産は終了。
Saab 340	Saab スウェーデン	30	2+1	1983.1.25	522	低翼形態の30席機。均整のとれた設計だったが、採算がとれず生産中止になった。
DHC-8-100	de Havilland Canada カナダ	30	2+2	1983. 6.20	500	第2世代30席機の代表作。DHC-6の後継機で、近代化された高翼引込脚、2+2の太い与圧客室が特長。生産は終了。
EMB 120	Embraer ブラジル	30	2+1	1983. 7.27	580	グラス・コックピットなどの最新の設備と高速でDHC-8シリーズに対抗する機体。生産は終了。
ATR 42-500 -600	ATR フランス、イタリア	42 50	2+2	1986.8.16 2010.3.4	497	第2世代の地域旅客機。YS-11などに比べ、経済性の向上したエンジン・プロペラと近代化した装備が特長。-600ではエンジン換装、グラスコックピット化により、機体性能及び操作性の向上が図られている。
DHC-8-300	de Havilland Canada カナダ	50	2+2	1987.5	540	DHC-8-200型をストレッチし50～55席にした機体。客席増加で経済性を向上させ、ATR 42に対抗している。生産は終了。
ATR 72-500 -600	ATR フランス、イタリア	66 70	2+2	1988.10.27 2009.7.24	500	ATR 42の客席を増し、翼幅を増し、胴体を伸ばし、経済性を向上させた機体。 -600ではエンジン換装、グラスコックピット化により、機体性能及び操作性の向上が図られている。
Il-114	Ilyshin ロシア	64	2+2	1990.3.29	500	An-24の後継機として開発された。双発、低翼、引込脚、与圧室、グラスコックピット採用。ソ連末期の経済的混乱などから、発表から運用開始まで相当な期間がかかった。派生型の-100はPW127Hエンジンを搭載。開発中の-300はKlimov TV7-117SMエンジンを搭載している。
Do328	Dornier ドイツ	30	2+1	1991.12.6	620	30席機として後発だが、このクラス最高の速度を狙った機体。ジェットに換装したDo328JETにも発展。現在は4社目となるLeipzigにあるDuetch Aircraftで新造している。
Saab 2000	Saab スウェーデン	50	2+1	1992.3.26	594	Saab 340の胴体を延長し座席を増やし50席とした機体。生産は終了。
Q400 DHC-8-400	Bombardier カナダ	70	2+2	1998.1.30	649	100席クラスのジェット機とプロペラ機の空隙を狙った70席の第3世代の高速ターボプロップ機。現在は新しいDe Havilland Canada社で生産している。
MA60 MA600	Xi'an Aircraft Industry 中国	56 60	2+2	2000.2.25 2008.10.9	514	ロシアのAn-24(Y-7)を原型とした高翼機。双発のエンジンはPW127Jターボプロップ。アップグレード版であるMA600は2010年5月に中国の型式証明を取得し、引き渡しが始まっている。

表 1-2-5 主要リージョナル航空機一覧(ジェット機)

機種名	開発メーカ 開発国	客席数	席配列	初飛行	巡航速度 km/h	特　　長
CRJ100 200	Bombardier カナダ	50	2+2	1991.5.10	859 (M0.81)	Challengerの胴体を延ばして50席旅客機にした機体。高速で航続距離が長いが、STOL性は無い。
ERJ 145 135 140	Embraer ブラジル	50 37 44	2+1	1995.8.11 1998.7.15 2000.6.27	822 822 833	ERJ145はターボプロップEMB 120と共用性を高めて開発した1+2列客席機でEmbraer社のジェット旅客機の中核。ERJ 145の胴体を縮めて37席としたERJ135、44席のERJ 140も開発した。
Do328JET	Fairchild Dornier ドイツ	38	2+1	1998.1.20	750	Do328のエンジンをジェットに換装した、現用では最小規模のジェット旅客機。
CRJ700 900 1000	Bombardier カナダ	78 90 100	2+2	1999.5.27 2001.1 2008.9	818 (M0.81)	CRJ100の胴体を長くして70席とし、さらに延ばして86席とした機体。さらに100席のCRJ1000NextGenを開発。
EMBRAER 170 175 190 195	Embraer ブラジル	70 78 94 106	2+2	2002.2.19 2003.6 2004.3.12 2004.12.7	870	新しい構想の70～100席機、2+2列配置の広い客室と床下荷物室容積も大きい。川崎重工業が開発に参加、主翼を担当。
An-148	Antonov ウクライナ	68～80	2+3	2004.12.17	820	高翼の下にパイロン吊り下げ方式で双発ターボファンProgress D-436を搭載している。尾翼は特徴的なT尾翼である。
Superjet 100	Sukhoi ロシア	78 98	2+3	2008.5.19	M0.78	Sukhoi社とAlenia Aeronautica社が共同で開発した。エンジンはNPO社とSnecma社の共同開発したSaM146ターボファン。搭載機器は欧米メーカー製を使用している。
ARJ21-700	COMAC 中国	90	2+3	2008.11.28	M0.82 (最大運用速度)	アビオ・エンジン等にアメリカ製品を採用している。中国国内の販売に加え、海外の航空会社への販売を目指している。
MRJ　90 (SpaceJet M90)	三菱航空機 日本	88	2+2	2015.11.11	M0.78 (最大運用速度)	最先端技術の採用により、最高レベルの運航経済性及び客室快適性を目指す。M90/ M100は同じ主翼、尾翼、エンジン、システムを採用し、操縦機能、メンテナンス・プログラム、スペアパーツでも共通性を有する。2016年から米国で飛行試験を開始したが、2020年に開発を停止し、2023年2月に中止した。
E175-E2 E190-E2 E195-E2	Embraer ブラジル	88 106 132	2+3	2019.12.12 2016.5.23 2017.3.29	M0.82 (最大運用速度)	先進技術の主翼やアビオニクス、P&W製のGeared Turbofanエンジンに加え、コックピットレイアウトなどを従来のE-Jetsシリーズと共通化することにより運用コストを低く抑えるのが狙い。 E190 /195-E2は就航。(E175-E2は開発を中断)

5. 民生汎用航空機(ゼネラル・アビエーション航空機)

(1)沿革

民生汎用航空機(ゼネラル・アビエーション航空機)は主にアメリカで保有され、使用されている。ゼネラル・アビエーションというと、我が国ではセスナと称されるピストンエンジン単発機が思い浮かびやすいように、使用されている機数ではピストンエンジン単発機が多い。しかし'90 年代以降のゼネラル・アビエーション航空機売上高の約 90%は、ビジネスジェット機である。

'30 年代の初期、自家用や小規模事業用の小型プロペラ機が市場に現れた。広大な国土と成熟した社会を背景にアメリカで普及していき、第二次世界大戦が始まる頃には、既に Piper、Cessna、Beech など、今日につながるメーカーが存在していた。

第二次世界大戦中も、これらのメーカーは第一線軍用機の下請け生産を行いながら前線の連絡用として小型汎用飛行機の生産を続けていた。Piper Cub の軍用型 L-4 は 14,125 機、Stinnson L-5 は 3,800 機も造られていた。そして戦場での活躍が、このクラスの航空機の実用性を、広く人々に認識させることに役立った。

第二次世界大戦が終了すると、多数のパイロットが復員し戦時中に造られた無数の訓練用飛行場が開放されたため、アメリカでは終戦直後の 2 年間に約 5 万機のゼネラル・アビエーション航空機が出荷され、その後、年間何千機という規模で生産が行われていた。アメリカだけでなく、旧連合国各国におけるゼネラル・アビエーション航空機の市場も急成長を続けていた。しかし更新需要が少なくなり市場は 10 年余で飽和状態になった。アメリカ国内における生産はベトナム戦争終結後の'78 年の 17,811 機をピークとして、'92 年には 1,000 機まで減少した。特に生産機数の 80%前後を占めていたピストンエンジン単発機の生産は '80 年代後半から 90 年代にかけて、アメリカ全体で 500 機前後にまで低下した。

しかし、メーカー各社は '60 年代後半に Beech King Air のようなターボプロップ双発機を、'70 年代に Cessna Citation のようなターボファンエンジンのビジネス機を登場させ、製品構成を大きく変えてきた。その結果'80 年代から'90 年代にかけて販売機数は大きくは変わっていないが、単価の高い製品の導入とアメリカの好景気、'94 年に成立した PL(製造物責任)規制の期限変更などを含むゼネラル・アビエーション再活性化法(GARA)を反映して、アメリカ製ゼネラル・アビエーション航空機の売上は、年間約 20%増を繰り返し、2000 年には約 2,000 機／80 億ドルのレベルにまで回復し、海外からアメリカに輸入された機体の金額も 50 億ドルに達した。リーマンショック前の 2007 年には約 4,000 機／220 億ドルに達したが、リーマンショック以降、約 2,000 機／180 億ドルまで一時期落ち込んだが、その後売上は回復、2017 年以降は約 2,500 機／220 億ドルのレベルで推移している。

また、小型化の傾向も見られ、Cessna CJ シリーズや Hawker Beechcraft、Premier I、SyberJet Aircraft SJ30 のような総重量 5.7 トン以下クラス、耐空類別では N 類(FAR Part23)の機体の新型機が '90 年代後半から登場してきた。

また、イギリス／アメリカの Zeroavia で水素燃料電池の航空機を開発しており、2024 年に座席数 10～20 席、航続距離 300 マイルの航空機の最初の商用運航を予定している。

⑵ 現況

a. 全般

2001 年の 9.11 同時多発テロ事件や 2008 年のリーマンショックをきっかけとする世界的な景気後退、さらに燃料費の上昇により、顧客からの機体の発注中止や納入延期要求が続き、2008 年第 4 四半期から生産機数、売上高ともに減少している。その影響を受け、Textron の買収により、ゼネラル・アビエーション航空機の有名メーカーであった Hawker Beechcraft と Cessna は、2014 年に Textron Aviation となった。その後回復傾向に入り世界的な好景気にもより販売機数増、新規開発と活気づいたが、2019 年からの COVID-19 による行動制限・景気後退、さらに 2022 年ロシアによるウクライナ侵攻による戦争状態の影響が出て、不透明さを増している。ただし、ゼネラル・アビエーションにおける COVID-19 の影響は定期航空と比べて小さい。ゼネラル・アビエーション販売機数を表 1-2-6 に示す。

表 1-2-6 ゼネラル・アビエーション販売機数実績 (( )内は米国メーカー)

暦　年	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
ピストン単発	986 (716)	946 (740)	890 (685)	936 (745)	952 (771)	1,111 (825)	1,155 (851)	1,261 (890)	1,366 (1,005)
ピストン双発	143 (72)	110 (43)	129 (33)	149 (41)	185 (58)	213 (58)	157 (31)	148 (15)	158 (21)
ターボプロップ	603 (468)	557 (420)	582 (411)	563 (409)	601 (444)	525 (385)	443 (317)	527 (376)	582 (440)
ビジネスジェット	722 (375)	718 (389)	666 (402)	677 (404)	703 (473)	809 (503)	644 (353)	710 (405)	712 (488)

出典：GAMA 統計値

b. ビジネスジェット機

この分野のメーカーは、アメリカの Textron Aviation、Gulfstream (General Dynamics のビジネスジェット・ブランド)、カナダの Bombardier、フランスの Dassault であった。近年ブラジルの Embraer が参入し、アメリカの Honda Aircraft も新規参入を果たした。

この分野の先駆者は'63 年に初飛行した Learjet 23 である。既存のジェット戦闘機(スイス FFA.P-16)の主翼を利用してコストダウンを図り、プロペラ機では得られない高速と乗り心地を提供し急速に受注を伸ばした。小型ターボファンエンジンを装備しプロペラ機並みの離着陸性能をもつ Cessna Citation シリーズも貢献した。より遠くへより快適にという顧客の希望を受け、太平洋を横断できるような機材の長距離化、大型化が進んだ。世界的に大きな経済成長が見込めない状況下で、新型機の開発は目白押しである。コロナ禍でビジネス機の評価が上がり、業界は活況を示している。

Gulfstream は 2009 年に G650 が初飛行し、2012 年に型式証明を取得した。また、同社と IAI の共同開発であるスーパー・ミッドサイズの G280 も 2012 年に型式証明を取得し、同年に納入が始まった。G500 は 2015 年に初飛行を行い、2018 年に型式証明を取得、同年に初号機を納入した。G500 より大型の G600 は、2016 年に初飛行を行い 2019 年に納入が開始された。さらに超長距離タイプの G700 が 2023 年に型式証明取得予定で開発中である。 2021 年 10 月には新たに 2 モデル、 G800, G400 の導入を発表、開発に着手している。

Bombardier が開発した Global 7000 / 8000 には、米国の GE Aerospace、ベルギーの Safran Aero Boosters 及び日本の IHI と川崎重工業がエンジン開発に参画した GE Aerospace の Passport 20 が搭載されており、Global 7000 は 2016 年に型式証明の取得と初飛行を行った。その後、航続距離を向上させた Global 7500

として2018年に型式証明を取得、同年から納入を開始した。Global 8000の市場投入時期は未定である。一方、Global 5500 / 6500は、2018年、EBACE(ヨーロッパ・ビジネス航空博覧会)開催地のジュネーブで公表され、共に2019年にカナダ政府から型式証明を取得した。Global 6500は同年顧客への引き渡しを開始、Global 5500は同年に、航続距離が当初のスペックから200海里延びて5,900海里(10,927キロメートル)になったことが発表され、同年、両機ともにFAAの型式証明を取得した。また、Learjet 70/75は2013年に型式証明を取得し同年に納入を開始した。さらに同年、Challenger 300 の性能向上型であるChallenger 350を発表し、2014年に納入を開始した。2015年にはChallenger 650が認定を取得、納入開始した。また2021年にChallenger 350の発展型となるChallenger 3500の開発を発表した。一方、BombardierはLearjetについて2022年以降新規製造を終了すると2021年に発表、歴史的なブランドの生産に幕を閉じることとなり、2022年3月Learjet75の最終号機が納入された。また、2022年4月に同社はWichitaの拠点を新しい米国本社にすることを発表した。

EmbraerのLegacy 450 / 500のうち、Legacy 500が2012年、Legacy 450が2013年に初飛行し、Legacy 500は2014年、Legacy 450は2015年から納入を開始した。また、Embraerは2018年にPraetor 500 / 600を発表した。同社の中型及びスーパー・ミッドサイズにおける新型のプライベートジェットとなる。Praetor 600は2019年、Praetor 500は同年に型式証明を取得した。

Textron AviationはCitation X及びCitation M2のプロトタイプが2012年に初飛行し、Citation M2は2013年に型式証明を取得し、納入を開始された。さらにCitation Latitudeは2015年に型式証明を取得し、Citation Longitudeは2019年に型式証明を取得し、同年に初号機を顧客に引き渡したことを発表した。加えてTextron AviationはCitation Sovereignの改良版であるCitation Sovereign+を発表し、2013年に初飛行及び型式証明を取得した。しかし、2021年に同クラスのCitation Latitude及びCitation Longitudeとの市場の重なりを解消するため、Sovereign＋は生産中止が発表された。一方、需要回復を受けCitationラインナップのアップグレード化が進められており、Citation XLS Gen2が2022年5月FAA型式証明を取得、納入が開始された。

Dassault AviationはFalcon 2000LXの改良型となるFalcon 2000S及びFalcon 2000LXSの型式証明を2013年に取得し、Falcon 2000Sは同年に納入を開始した。2013年に発表したFalcon 5Xは、納入を2020年から開始する計画であったが、2017年に初飛行を行ったものの、フランスのSafran製エンジンの技術的な問題により納入がさらに遅れる可能性あるため、Gulfstream G500 / G600に搭載実績を有するPratt& Whitney CanadaのPW800を搭載する新しいビジネスジェットの開発を開始する代わりに、Falcon 5Xの開発は中止となった。代わりにPW812Dを搭載し、より客室居住性を改善、航続距離延伸したFalcon 6Xの開発が2018年に公表され、2021年に初飛行、2023年8月22日に型式証明を取得した。また2021年にFalconシリーズ最大となるフラッグシップとして新型のFalcon 10Xの開発が発表された。Bombardier Global 7500やGulfstream G700と競合する機種と目され、航続距離7500海里(13,900 km)、初めてRolls-Royce Pearl 10Xエンジン双発を搭載する機体で2025年の就航が予定されている

ホンダの全額出資で、ノースカロライナ州グリーンスボロに設立したHonda Aircraftで開発したVLJクラスHondaJetは、2003年にはコンセプト実証機、2010年には量産型初号機が初飛行、2015年に型式証明を取得し、同年より納入を開始した。本機のエンジンはホンダとGEが合弁で設立したGE Honda Aero

Engines の HF120 ターボファンエンジンを搭載している。2022 年 10 月には航続距離を延伸したアップグレード型である HondaJet Elite II を発表した。2023 年 6 月 14 日には新型機の製品化が発表され、2023 年 10 月 17 日に「HondaJet Echelon」と名付けられた。

スイスの Pilatus Aircraft は 2013 年に双発ビジネスジェット機 PC-24 を発表し、2014 年に初号機がロールアウト、2015 年に初飛行した。2015 年末で 80 機以上の受注を得ており、2017 年に EASA 及び FAA の型式証明を取得し、2018 年より納入を開始した。2021 年は過去最高の受注を獲得した。

この他、Boeing や Airbus の小型旅客機や Bombardier や Embraer のリージョナル旅客機の内装を変えたビジネス機仕様がこの市場に参入してきており、それぞれ年間 10 から 20 機が販売されている。

また、小型機の中では、効率の良い、重量 10,000 ポンド(4,540 kg)以下で推力数百 kg の小型ターボファンエンジンを使用する、4 席程度の VLJ がある。2006 年に Cessna Mustang 及び、富士重工業(現 SUBARU)が主翼を製造した Eclipse 500 が、2008 年に Embraer Phenom100 が、2009 年に派生機である Phenom 300 がそれぞれ FAA の型式証明を取得している。各社とも順調な売上を伸ばしていたが、Eclipse Aviation は経営が行き詰まって連邦破産法 11 条の適用を申請した。その後、新生 Eclipse Aerospace は、2014 年に派生型の Eclipse 550 を市場に投入したが、事業継承していた One Aviation は 2021 年に連邦破産法 7 条の適用を申請した。なお、単発小型ジェット機 Altaire の開発を行っていた Piper Aircraft は 2011 年にそのプログラムを中止することを発表した。

我が国のビジネスジェット機分野としては、'85 年に FAA の型式証明を取得した三菱重工業の MU-300 がある。 Mitsubishi Aircraft International (MAI)が販売していたが、'88 年迄に MAI の持つ製造権と販売権をアメリカの Beechcraft に譲渡した。その後 Raytheon、さらに Nextant に譲渡され、製造は続いている。現在、アメリカ空軍 T-1A 及び航空自衛隊 T-400、民間では Hawker 400 / Nextant 400 として運用中である。なお、Hawker 400 の改造機として 2011 年に型式証明を受けた Nextant 400XT を製造販売する Nextant Aerospace は、2013 年に後継となる Nextant 400XTi を発表し、納入を開始した。

国際共同事業では、三菱重工業が Bombardier のビジネスジェット機 Global 5000 / Global Express、Challenger 300 の主翼などの開発・生産に参加し、Gulfstream G500 / 550 の開発には新明和工業が参加している。また富士重工業(現 SUBARU)は当時の Hawker Beechcraft の中型ビジネス機 Hawker 4000 の主翼の開発・製造を担当していた。

c. ターボプロップ機

レシプロエンジン双発の高級ビジネス機に替わって登場したターボプロップ双発のビジネス機は、価格は高いが、性能、乗心地、運用経費の面で、レシプロ機よりユーザーに好まれたことと、規制緩和によって 19 人乗り以下のターボプロップ双発のコミューター機によるサービスが増えたことにより、一時はこの業界の中心になると思われた。しかし'79 年の第 2 次石油危機や、リージョナル機材の大型化や、小型ビジネスジェット機が登場したため、次第に市場が狭まってきている。アメリカにおけるターボプロップ機の生産は、'81 年には 918 機だったものが、'92 年には 177 機に落ち込んだ。

'80 年代後半に登場した革新的な空力設計や複合材構造を使った新しい形態のターボプロップ・ビジネス機、Beech Starship やイタリアの Piaggio Avanti は、一時大きな期待がかけられたが、市場を活性化することはできなかった。Starship は 44 機で生産が打ち切られ、2004 年で保守サービスを打ち切ったため、

使用されている全機が買い戻され、廃棄されることになった。好況が続き頂点に達した 2008 年でもターボプロップ機の生産は 333 機(全世界で 535 機)に過ぎない。'90 年代の半ばには、アメリカで運用されているターボプロップ機とジェット機の機数は拮抗し、そして 2015 年に在籍する機体はターボプロップ機約 9,800 機、ジェット機約 12,400 機となりジェット機にシフトしつつある。

新しいジャンルのターボプロップ機として、'90 年代から時速 500 km を超す単発の高速ビジネス機が Socata (現 Daher)の TBM700 や大型のスイス Pilatus PC-12 などが登場し、2000 年には New Piper Aircraft (現 Piper Aircraft)も Meridian を発売した。また、Textron Aviation の Caravan は単発ターボプロップ機ではあるが、大型の多用途機として独自のマーケットを切り開いていた。いずれも着実に受注を伸ばしていたが、2009 年以降は世界的景気後退の影響を受けた。新規開発としては Textron Aviation が新たに Cessna SkyCourier の FAA 型式証明を 2022 年に取得、さらに 単発ターボプロップ機の Beechcraft Denali を開発中である。

主要ターボプロップ機の販売機数を表 1-2-7 に示す。

表 1-2-7 主要ターボプロップ機の販売機数実績

暦年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
DAHER TBM850, 900, 910, 930, 940	38	40	51	55	54	57	50	48	42	51
Pilatus PC-12	62	65	66	70	91	85	80	83	82	88
Piper Meridian, M600	32	34	36	27	34	47	56	44	43	46
Textron Caravan	107	105	94	102	84	69	92	83	51	54
Textron King Air	89	135	127	117	106	86	94	93	62	71

出典：GAMA 統計値

d. ピストンエンジン機

航空ガソリンを使用するピストンエンジン機は、単発機、双発機共に、'78 年以降、需要が急激に落ち込んだ。需要一巡していたところに '73 年のオイルショック以降の燃料価格高騰と経済不況が重なったことや、小型ピストンエンジン機の事故に伴う PL(製造物責任)法による訴訟の増加、企業経費負担の増加が要因と考えられる。

'86 年前後には、Piper も Cessna (現 Textron Aviation)も相次いで単発ピストンエンジン機の生産を停止した。しかし'94 年にアメリカでは PL 法が一部改訂され、製造後 18 年以上経過した航空機は適用から除外されることになった。これを受けて Cessna (現 Textron Aviation)は '96 年にカンザス州インデペンデンスに工場を新設し、172SP などの単発機の生産を再開した。納入は '97 年には 360 機、2000 年には 172, 182, 206 シリーズ合計で 912 機を出荷するところまで回復していた。Piper も一時倒産に追い込まれたが、'96 年に New Piper を発足させ、2000 年には出荷機数は 377 機に達していた。しかし 2001 年の 9.11 同時多発テロ以後、ゼネラル・アビエーションに対する規制の強化があったこと、その後の燃料費の上昇や世界的な景気後退などにより、特にピストン単発機の生産は激減した。'70 年代後半の年間 1 万数千機も生産されたころに比べて、2010 年代にはアメリカ国内で千機以下の生産規模に縮小した。

近年では Piper が 2008 年から低翼単発機 PA-46 の派生型である Matrix を出荷し始め、2010 年末までに 157 機を納入した。また Textron Aviation は単発固定脚の Cessna 400 シリーズの改良型として Corvalis TTX を開発し、2013 年に納入を開始した。さらに電池式の電動機 Velis Electro などをスロベニアで生産する

Pipistrel を 2020 年に買収している。同じく単発固定脚の SR シリーズを販売していた Cirrus は 2011 年に中国の China Aviation Industry General Aircraft に買収され、米国と中国で SR-20/22 の製造を続けている。

我が国では、富士重工業(現 SUBARU)が、'65 年に単発のエアロスバル FA-200、'75 年に双発の FA-300 を開発している。

今日においてもゼネラル・アビエーションの底辺にある小型プロペラ機は、パイロットが育っていくために必要とされている。FAA はアマチュア航空の活性化のため、飛行学校の訓練用や個人用という限定された用途の航空機に対し、PRIMARY (初級)という類別を設け、新規メーカーの参入障壁を低くする努力をしている。'94 年に Quicksilver GT500(最大離陸重量 1,000 ポンド)が、このクラスの最初の型式証明を取得している。2004 年にはさらに簡易な Light Sport Aircraft (LSA)という類別が設けられ、操縦資格も Sport Pilot という新たな区分で良いことになった。Textron Aviation がこれに対応する Cessna 162 SkyCatcher を市場に投入した。

主要ピストン機の販売機数を表 1-2-8 に示す。

表 1-2-8 主要ピストン機の販売機数実績

暦年	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Textron Cessna 172 R/S	140	106	155	143	100	129	129	126	241	166
Cirrus SR-20, 22, 22T	253	276	308	301	317	355	380	384	347	442
Diamond Aircraft DA-40	93	102	136	75	48	60	45	126	143	122
Piper PA-46	61	58	48	36	26	9	20	21	58	19

出典：GAMA 統計値

e. 電動航空機

電動航空機は電動機を動力装置とする航空機で、内燃機関の燃焼に由来する音や振動がないため、周囲への騒音や機内の振動が少なく、燃料系統や油圧系統がないため軽量化されメンテナンスも簡素化されている。

2021 年に Rolls-Royce が開発した全電動の航空機 Spirit of Innovation を初飛行させ、2022 年には Airbus が Renault グループと電気飛行のための研究開発協定を締結した。

また、Textron グループの Pipistrel が製造している Velis Electro は 2020 年に世界初の型式証明を取得した電動航空機で、スウェーデンの Green Flight Academy など欧米各国の飛行学校が導入している。

現在各国の実用機は蓄電池を搭載しており、機体は小さく航続距離や時間が限られているが、水素燃料電池を搭載するシステムも飛行実証で飛行時間を積み重ね、より大型で長時間飛行の実用化を目指している。

⑶ 将来動向

FAA は、アメリカ国内のゼネラル・アビエーション全体の機数について、2021 年が約 20 万機だったのに対し、2042 年も約 21 万機で同レベルと予測しているが、飛行時間は大きな伸びが期待されている。COVID-19 による影響はゼネラル・アビエーションにおいて定期航空よりも少なく、高価であってもその自由度の高さが魅力となっている。その内訳はピストン機が減少していき、高価なジェット機に入れ替わる。

その要因として新興国の著しい成長による需要の創造、大型で単価の高いビジネスジェット機が好まれていること、また企業のビジネスツールとして活用されているため経済成長と結びつきが強く、新規購入や買い替えが見込まれることがあげられる。

また、ゼネラル・アビエーションの新分野の開拓として、Boom Technology 等のベンチャー企業が超音速ビジネスジェット機を開発中で今後の進捗が注目される。

主要ピストン機の販売機数の実績と予測を表 1-2-9 に示す。

表 1-2-9　ゼネラル・アビエーション稼動機数の実績と予測(単位：1,000 機)

暦年	2022 年	2042 年	平均年成長率%
固定翼ピストン単発	122.0	101.9	△0.9
固定翼ピストン双発	11.8	11.1	△0.3
固定翼ターボプロップ	10.3	11.5	0.6
固定翼ジェット	16.2	27.0	2.6
回転翼ピストン	2.9	3.3	0.6
回転翼タービン	7.0	10.2	1.9
Experimental	27.5	33.8	1.0
スポーツ	2.9	5.7	3.4
その他	3.9	4.6	0.7
計	194.5	208.9	0.1

出典：FAA Aerospace Forecast

6. ヘリコプター

ヘリコプターの原型と称される Sikorsky VS-300 が初飛行に成功したのは'39 年のことであるが、これを発展させた R-4 の米国陸海軍による採用('43 年)と Bell モデル 47 による最初の民間型式証明取得('46 年)をもって、ヘリコプターの実用化開始とみるのが一般的である。

固定翼機と同じく、ヘリコプターも当初は軍用機として開発・生産された。朝鮮戦争では H-13 (Bell 47)や HO3S (S-51)が観測や救難用に多数投入され、停戦直前の H-19 (S-55)の投入でヘリコプターによる兵員輸送方式が確立された。次いでベトナム戦争では、OH-6 偵察ヘリや AH-1 武装ヘリなどの組合せによる対地攻撃が行われる一方、兵員輸送や機材輸送に UH-1 や CH-46 / 47 などが大規模に使用され、ヘリコプターが陸戦の主要兵器の座を占めるに至った。中東地域などの実戦の経験から、ヘリコプターの対戦車攻撃力が見直され、純然たる攻撃ヘリの開発を促すところとなった。また、海上でも哨戒、掃海、捜索・救難など多くの用途に用いられるようになってきている。2022 年のロシア軍攻撃ヘリの損耗／効果の低さは、より多くの任務を無人機に与えている。

この間に、小型軽量・高馬力のガスタービン・エンジンの実用化によりキャビン容積が拡大、ペイロードも増大し、運航費は急速に低下した。Alouette II ('55 年初飛行)に代表されるこのようなタービンヘリの出現によって、'60 年代以降民間機としての用途が拡大し、ヘリコプターメーカーの本格的な民需進出の気運が高まった。'73 年の中東戦争を契機とする第一次石油危機がそれに拍車をかけ、以後各社一斉にオイル・サポートを主な用途とする双発多用途ヘリの開発に乗り出した。

⑴ 民間用ヘリコプター

民間用ヘリコプターは、Airbus Helicopters AS365、Bell 222、Bell 412、Sikorsky S-76、川崎重工業/Airbus Helicopters BK117 などに代表される双発多用途ヘリが、経済性、速度、航続距離、搭載量、IFR 能力などで高度の性能を持つようになり、用途の拡大が可能となった。また、小型ヘリの分野でも経済性、信頼性、整備性に優れた Airbus Helicopters AS350/355 や、超小型の Robinson R22 などがマーケットの裾野を拡げている。'90 年代に入り、グラスコックピット、フル・オーソリティ・デジタル・エンジン・コントロール(FADEC)、フライ・バイ・ワイヤ(FBW)等の最新技術がヘリコプターに適用され始めた。

Leonardo AW139(旧 Agusta-Bell AB139)が 2003 年に型式証明を取得し、同年量産初号機の引き渡しが開始された他、Sikorsky S-92 も 2002 年に型式証明を取得し、2004 年に量産初号機の引き渡しが開始された。またノーター・アンチ・トルク・システムを採用して尾部ローターを除いた MD 900/902 Explorer や、片方のエンジンでの正常運航を可能にした双発ヘリコプターの Tridair Gemini ST 等、独自の技術を生かした機種も登場している。

将来航空交通機関としての可能性を見据え、Bell Textron と Agusta Westland(現 Leonardo)が共同で民間型ティルトローター機 BA609(現 AW609)の開発プロジェクトを行っていたが、同プロジェクトは 2011 年に AgustaWestland(現 Leonardo)に全面的に移行された。ヘリコプター同様の離陸・ホバリング・運動・着陸ができ、ターボプロップ航空機のように敏速に長距離を移動することも可能であるとするティルトローター機は、これまでにないカテゴリーを開拓するものと期待されている。

また、2008 年には、ティルトローター機と同様な機能・性能をより簡潔な構造で実現することを目的として、同軸反転式二重ローターと推進用プロペラを有する Sikorsky X2 技術実証機が初飛行し、2010 年の飛行試験で世界最高速度(非公式)253 ノット(時速 468 km)を記録した。X2 は 2011 年にラストフライトを終え、Sikorsky(現 Lockheed Martin)は X2 で得た技術をもとに実用機である S-97 Raider を開発し、2015 年に初飛行に成功した。Eurocopter(現 Airbus Helicopters)も 2010 年に高速・長距離ハイブリッドヘリコプター実証機 X3 の飛行試験を開始し、2011 年の試験飛行で 232 ノット(時速 430km)を記録した。X3 の開発チームには、2012 年にハワード・ヒューズ賞が授与された。その後、Eurocopter(現 Airbus Helicopters)は X3 の運航能力を実証する為、2012 年 6 月～7 月にかけて米国でのデモ・ツアーを実施した。

今後、これら新世代ヘリコプター及びティルトローター機が中心となって、社用、コミューター、救急医療用その他の需要に対応し、民間ヘリコプター市場の拡大が期待されているが、ヘリコプターの就航率向上のためにはヘリコプター独自の IFR 運航の確立・航空路の設定が必要である。現在 ICAO で承認された将来航法システム(FANS: Future Air Navigation System)構想に基づき、衛星を利用した新しい航空保安システムの構築が先進各国を中心に進められており、すでにサービスが開始されている。

⑵ 軍用ヘリコプター

冷戦が終結し、対テロ戦争など戦闘の様相が変化する中で、軍用ヘリコプターに求められる機能・性能は大きく変化している。'80 年代から米国陸軍が次世代の中核偵察/攻撃用ヘリコプターとして開発していた RAH-66 Comanche は、当初は 5,000 機が調達される予定で開発には$ 8B が投入されていたが、着手から 20 年間を経過してその構想は時代遅れとなり、近年評価が高まっている無人機や既存攻撃ヘリの改良で代替

可能であるとして、2004 年に開発計画が中止された。一方で Comanche 開発計画の中止により、新たに武装偵察ヘリコプター(ARH: Armed Reconnaissance Helicopter)、軽多用途ヘリコプター(LUH: Light Utility Helicopter)及び大型 VTOL 輸送機(JHL: Joint Heavy Lift)計画が進められた。ARH の計画は白紙とされたが、LUH については 2006 年に Airbus Helicopters H145 を原型とする開発計画(UH-72A Lakota)が承認され、同年に初号機が納入された。2020 年 9 月に UH-72A の最終号機となる 463 機目が納入され、2021 年 9 月に最初の改修機である UH-72B の納入が予定された。

海兵隊/海軍/空軍により'85 年に本格開発が開始されたティルトローター機 Bell Boeing V-22 Osprey については、'99 年の海兵隊への引き渡し後、二度の事故に見舞われ、計画の見直しを余儀なくされていたものの、2005 年の米海軍による運用評価試験では適合と判定され、同年には米国国防省によりその本格量産(400 機以上)が承認された。また、同年、米空軍向け量産初号機(CV-22)の引き渡しも完了し、2012 年には沖縄海兵隊へも配備された。さらに我が国でも、2013 年に閣議決定した「中期防衛力整備計画(平成 26 年度～平成 30 年度)について」でティルトローター機を新たに導入することとした。2014 年防衛省は、陸上自衛隊のティルトローター機として、V-22 Osprey を導入すると発表した。また 2015 年、Bell Boeing は 5 機の陸上自衛隊向け V-22 Osprey を FMS によって米国国防省から受注したと発表し、2020 年より部隊配備されている。

新世代ヘリコプターの開発も行われており、米国では、アメリカ陸軍の武装偵察ヘリコプター計画(AAS: Armed Aerial Scout)の要求に応じて、2010 年に Sikorsky (現 Lockheed Martin)は、X2 技術実証機で得た技術をベースに軍用軽戦術ヘリコプターS-97 Raider の原型機開発を発表、2015 年に初飛行に成功した。さらに Sikorsky は Boeing と共同開発機としてアメリカ陸軍の統合多用途・将来型垂直離着陸機計画(JMR/FVL: Joint Multi-Role/Future Vertical Lift)の要求に応じて開発中の SB-1 Defiant の初飛行を 2019 年に実施している。また同じ JMR/FVL の要求に応じて、Bell と Lockheed Martin は共同開発機として、ティルトローター型の V-280 Valor を 2017 年に初飛行させた。アメリカ陸軍は、FLRAA(将来型長距離強襲機)という計画名で既存の UH-60 の後継機の選定を進めていたが、2022 年 12 月に採用機種は V-280 となることを発表した。アメリカ陸軍では既存の UH-60 から V-280 に 2030 年以降に順次置換える予定である。

米空軍は多用途ヘリコプター Bell CH-135(旧 UH-1N)の後継である Boeing MH-139A(民間用 Leonardo AW139 の軍用派生型)の 2024 年からの受領を決めた。

欧州の国際共同開発としては、Airbus Helicopters の傘下で開発中のプログラムとして、独/仏両軍の仕様による Tiger 攻撃ヘリコプターと、Airbus Helicopters(仏) / Leonardo(伊) / Fokker(蘭)の 3 社による 4 ヵ国空・海軍向けの NH90 汎用大型(双発)ヘリコプターがある。Tiger は 2004 年に、NH90 は 2006 年にそれぞれ量産初号機の引き渡しが開始された。NH90 は 2019 年に、世界で累計 400 号機目となる機体がドイツ海軍に納入され、2020 年 10 月はスペイン空軍に SAR 任務仕様機が納入されている。Airbus Helicopters は、2009 年に H175 の初飛行に成功し、2014 年には量産機の引渡しが開始された。また、2015 年に H160 の初飛行を行い、2019 年にフランス軍と H160 を軍用化するプログラムを 2021 年より開始し 2026 年に初号機を納入する計画が発表された。

日本では、2018 年に SUBARU と Bell Helicopter が陸上自衛隊の UH-X のプラットフォーム機となる SUBARU Bell 412 EPX の FAA の型式証明を取得し、2019 年に UH-X の試作初号機、2022 年 6 月には UH-2 量産初号機を防衛省に納入した。

世界の主要ヘリコプターメーカーの部門比率は表 1-2-10 のとおりとなっている。

表 1-2-10　世界の主要ヘリコプターメーカーの部門比率

		2018	2019	2020	2021	2022
Airbus (百万ユーロ)	Total	63,707	70,478	49,912	52,149	58,763
	Airbus Helicopters	5,934	6,007	6,251	6,509	7,049
	%	9%	8%	13%	12%	12%
Leonardo (百万ユーロ)	Total	12,240	13,784	13,410	14,135	14,713
	Leonardo Helicopters	3,810	4,025	3,972	4,157	4,547
	%	31%	29%	30%	29%	31%
Lockheed Martin (百万ドル)	Total	53,762	59,812	65,398	67,044	65,984
	Rotary and Mission systems	14,250	15,128	15,995	16,789	16,148
	%	26%	20%	24%	25%	24%
Textron (百万ドル)	Total	13,972	13,630	11,651	12,382	12,869
	Bell	3,180	3,254	3,309	3,364	3,091
	%	22%	23%	28%	27%	24%

7. 無人航空機

(1) 沿革

様々な分野で活躍し、その有効性が認識されている無人航空機は、小型(手のひらに載るサイズ)から大型(中型の旅客機並みのサイズ)まで様々な規模があり、その種類や任務は多彩である。特に 3D (Dull、Dirty、Dangerous)任務を、人が搭乗しない無人航空機が受け持つ動きが拡大している。

無人航空機の歴史は古く、1910 年代には、アメリカの Curtiss / Sperry Aerial Torpedo が、スペリー式自動操縦装置を組み込んだ攻撃型の無人航空機として登場している。1930 年代になると、訓練用の無人航空機がアメリカやイギリスで運用されるようになった。既存の有人練習機に無線操縦装置を組み込んだ Curtiss N2C-2 Fledgling や D.H. 82B Queen Bee が使用された。

第二次大戦後、対空ミサイルの発達に伴い人的損失のない無人航空機での偵察が注目され、'50 年代から'60 年代にかけて、Ryan の高速標的 BQM-34 を改修した偵察型の無人航空機が、写真撮影、電子妨害、ビラ散布など様々な用途で運用されていった。この種の高速型無人航空機は、敵前を高速で飛行し強行偵察を行う任務にも適しており、当時の旧ソ連と対峙していた旧西ドイツやフランスにて CL-89 や CL-289 といった高速偵察用の無人航空機が装備された。

'80 年代に入ると中東戦争において強力な対空兵器を人的損害なく捜索する目的で Scout や Searcher といった低速の小型無人航空機がイスラエルにおいて開発運用されるようなった。この低速で比較的長時間滞空できる小型無人航空機は、最前線の画像情報を地上指揮官に送信することによりその有効性が認識されるところになり、以降このクラスの無人航空機は各国の標準的な無人航空機として広がっていった。

'90 年代初頭の湾岸戦争では、様々な無人航空機が実戦に使用され、その有効性が強く認識された戦争でもあった。アメリカの Pioneer 無人航空機は、米海軍の戦艦から発進し艦砲射撃支援や対空兵器の捜索を行

った。アメリカ以外でもフランスやドイツは、高速の CL-89 や CL-289 で有人攻撃機の攻撃目標の写真撮影を行った。

また、冷戦後の紛争も多様化し戦闘が都市周辺で行われるにしたがって、かつては最前線で運用されていた無人航空機が、紛争地域の都市部でも運用されるようになっていった。コソボ紛争ではアメリカ軍の Hunter 無人航空機が、マケドニアの国際空港で戦闘機や民間機と混在して飛行するなど、無人航空機の運用範囲が段々と広がっていった。

このような活躍により、以前は無人航空機(UAV: Unmanned Aircraft Vehicle)と呼ばれていたが、2005 年頃より「無人航空機および周辺機器を含めた無人航空機システム」(UAS: Unmanned Aerial System)と呼ばれるようになっている。

⑵ 現況

現在は、衛星回線を利用した無人航空機の管制が可能となり、高精細な光学センサや合成開口レーダーを搭載した長時間滞空性能を発揮する無人航空機が、偵察や監視任務を行うようになった。特に米国 Northrop Grumman の大型無人航空機 Global Hawk は、太平洋を横断できるような航続性能、滞空性能を持ち、自国の基地から海外の基地まで自ら展開できる。2010 年からはグアム島に展開し、2011 年の東日本大震災ではグアム島から我が国上空に飛来して各種の観測活動を、2014 年からは米軍三沢基地で運用開始されている。このような無人航空機の登場により、これまでの任務である ISR(情報収集・監視・偵察)以外の、例えば攻撃任務を持つ米国 General Atomics の Reaper などの新しい無人航空機も登場している。こういった大型の無人航空機については、一般空域での運航に向けた官民の取り組みも進められており、2018 年には米国 General Atomics の MQ-9B SkyGuardian が大西洋を横断する飛行を実施している。

また、携帯電話やデジタルカメラ等の民生用電子技術が急速に高まったことで、手のひらサイズの無人航空機(MAV: Micro Aerial Vehicle)など機体の小型化も進んでいる。例えば、米陸軍の Raven では電子回路基盤に飛行制御やセンサ等を組み込むとともに機体構造を兼ねる超小型の機体を実現したことで、兵士の個人装備品としてゲリラ・コマンド対処などでの運用が検討されている。

我が国においては、2004 年度より始めての ISR 任務を行う無人航空機システムである遠隔操縦観測システムの運用が陸上自衛隊により開始され、また 2009 年には無人機研究システムの初フライトが成功したことで、任務型無人航空機の運用が実運用段階に進んできている。

一方、無人航空機の活躍分野は、軍用ばかりでなく民間分野にも広がっており、国境監視、気象海洋観測、警備、災害支援、通信中継などへの活用も始まっている。

国境監視の代表例として、アメリカでは税関国境警備局(U.S. Customs and Border Protection)では 2005 年より南部メキシコ国境で、2009 年より五大湖、ノース・ダコタ等の北部国境で Predator B の運用が開始されている。また、科学調査(海洋／地上観測、気象観測)、ハリケーン追尾調査、災害支援(災害監視、通信中継)などの代表例として、NASA の Dryden Flight Research Center(エドワーズ空軍基地内)において Predator B および Global Hawk が 2007 年から運用開始されている。なお我が国では、約 2,000 機の回転翼無人航空機が水田等への農薬散布や火山観測などで活躍している。2015 年以降航空法などによる無人航空機に関するルール整備が進む中、小型無人航空機に関するサービス市場の伸びと共に航空局への飛行許可申請件数も

大きく増加しており、空撮、測量、インフラ点検・保守などの分野でも小型無人航空機の利活用が活発となっている。日本の海上保安庁では、2022 年 10 月より無人航空機 SeaGuardian の運用を開始した。海難事故対応や行方不明者の捜索、あるいは不審な船舶の監視や災害時の対応など、24 時間 365 日の海洋監視が可能になった。

また、2012 年、米国 Amazon は、“Octcopter”という無人航空機を開発し、顧客がウェブサイトで注文した商品を 30 分以内に配達するシステム(Prime Air)で、5 年のうちに実用化できる可能性があると発表した。これまでの技術で、ドローンにより視野が届く範囲に軽い荷物を飛ばすことは比較的容易だったが、広い地域での顧客に配送するネットワークを構築することは課題となっていた。これらの課題を解決するために開発した UAV 衝突回避システム(SAA: Sense And Avoid)は、目視観察者なしで操作でき、飛行中に障害物を発見した場合は、自動的に進路を変えて、安全に回避することができるという。 Amazon に先んじて、2019 年に 米国 Alphabet 傘下で Google 系列のドローン企業 Wing は、商用ドローン配送サービスを米バージニア州の町、クリスチャンズバーグで開始した。さらに、小売大手の米国 Walmart は 2020 年、ドローン配送事業を手掛ける Flytrex と新しいパイロットプログラムとしてノースカロライナ州フェイエットビルでサービス実証を開始した。同年、新型コロナウイルスの影響が深刻化したことを受け、臨床検査を手掛ける Quest Diagnostics とドローンデリバリーサービスを手掛ける DroneUp と提携を結び、ネバダ州ノースラスベガスとニューヨーク州チークタワーガで検査キットの試験配送を開始した。2020 年には FAA より FAR Part135 に基づく商用ドローン配送の認可を受けており、今後は配送の分野でも無人航空機の活躍が期待されている。2023 年 10 月に Amazon は、イタリアとイギリス、および米国内で新たに追加される都市において、ドローン配送を開始すると発表した。2024 年後半からドローンで商品を配送するオプションを選択できるようになる。「Prime Air」ドローン配送システムは、最大 5 ポンド(約 2.3 kg)の商品を 1 時間以内に配送する。

市場調査企業の Markets and Markets のレポートによると、世界におけるドローン配送の市場規模は 2020 年の 5 億 2,800 万ドル(約 725 億円)から 2030 年には 390 億 1,300 万ドル(約 5 兆 3,500 億円)まで拡大すると予測している。背景には、高速配送需要の増加やドローン活用に向けた新たな規制の枠組み創出などがある。

日本でもドローンを使った配送サービスへの取り組みが始まっている。日本郵便は 2023 年 3 月、ドローンを使って荷物を住宅の軒先に配送する試験飛行に成功した。ドローンが住宅地など人のいる場所の上空を、操縦士らによる目視なしで飛ぶ「レベル 4」飛行は国内初となった。試験飛行したのは東京都奥多摩町の集落であり、郵便局の屋上を飛び立ったドローンは、民家や道路などの上空 20～145 m を飛行し、約 2 km 離れた住宅の軒先に着陸し、900 g ほどの荷物を置いて、再び郵便局に戻った。人手不足が深刻化する物流業界では、ドローン配送の実用化に向け各社動き出している。楽天グループは 2021 年、千葉市の高層マンションへの配送実験を実施。佐川急便は 2025 年度に山間部でドローン配送の実用化を目指す。交通渋滞の緩和・人手不足の解消・コスト削

出典：日本郵政ホームページ

減・配達効率の向上・災害時などにも活用可能といったことが期待される一方、実用化には安全性や採算性、社会的受容性の確保が課題として残っている。

このように無人航空機は有用性が認められ、実運用段階に進んでおり、軍用途、民間用途にかかわらず機数や運用機会が増加している。しかし、空港や飛行機の近くを飛ぶ無人航空機によりインシデントが急増している事案、飛行中の無人航空機が落下し第3者に衝突し怪我を負わせる事故が急増している事案、そして、日本では国土交通省に報告のあった無人航空機に関わる事故が2015年度は12件、2016年度は34件と増加中であり、無人航空機を活用するうえで、安全性をどのように確保するかが課題となっている。そこで、2016年にFAAは、FAAにアドバイスする現Drone Advisory Committeeを設立し、無人航空機技術に関連する課題を特定し無人航空機の将来の規制や政策に優先順位をつけることとした。さらに、2016年、FAAは無人航空機の業界関係者と協力してUAST(Unmanned Aircraft Safety Team)を設立し、安全性データを分析し無人航空機関連事故の原因となる要因を緩和するために、非規制の介入策を策定した。

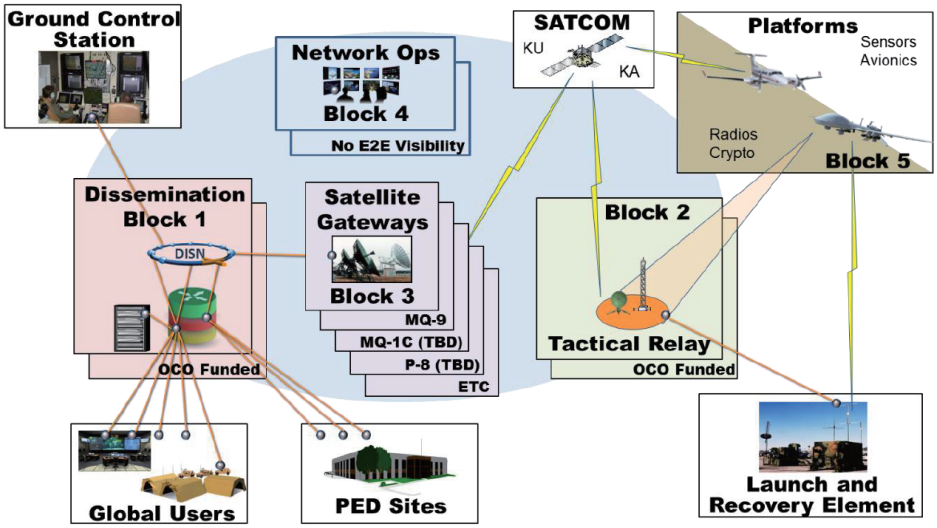
小型無人航空機に関しては、規則等制定を進めるとして、FAAは2015年に商用目的の「小型無人航空機システム規則案」を発表し、2016年に現行航空法への追加として"14 CFR Part107"を施行した。運用制限としては、重量は55ポンド未満、目視範囲内、常時監視、良好な視程(最低3マイル)、昼間(日出から日没まで)、時速100マイル／時間(87ノット)以下、高度400フィート未満、1機に1人の操縦者、飛行前検査である。操縦者としては、航空知識試験の合格、運輸安全局の検査、無人航空機操縦者免許の取得、2年毎の更新航空知識試験の合格、16歳以上、10日以内の事故報告書の提出、飛行前検査である。器材としては、FAAへの小型無人航空機登録及び機体表示である。2021年4月には新たにリモートIDの義務付けに関する規則及び第三者上空飛行規則が発効され、リモートIDによる飛行中の機体情報の発信が義務付けられると共に、一定の条件下で日常的に第三者上空を飛行させること及び日常的に夜間に飛行させることが可能となった。また、リモートIDに関する基準を2021年1月に公表した後、目視外(Beyond Visual Line Of Sight, BVLOS)飛行の拡大に向けた検討を開始した。具体的には、同年6月に無人航空機の目視外飛行のための規則に係る検討委員会(UAS BVLOS Operations Aviation Rule making Committee, BVLOS ARC)を設置し、関連する業界からの多数の専門家の参加を得て 目視外飛行の拡大に向けた規則の見直しに係る議論を行った。この中には、Part 107の規則に基づくリモート・パイロットの認定の拡張やドローンの運動エネルギーで定義した新たな目視外飛行のための規則をFAAが策定することを提言している。

(3) 将来動向

無人航空機の有用性が広く認識されてきていることから、機体ばかりでなく、使い勝手、整備性や信頼性、コストなども注目されてきている。また無人航空機の活躍は、通信、ネットワーク、搭載センサの高性能化、知能化など科学技術の進展と無人航空機の運用技術の向上によって、さらに拡大していくと思われる。米国防総省Unmanned Systems Integrated Roadmapでは、「相互運用性」「自律性」「ネットワーク・セキュリティ」「ヒューマン・マシンコラボレーション」の4つのテーマに注力している。(図1-2-11参照)

また2030年頃には、有人機で行うほぼ全ての任務を無人航空機で実施できると考えられている。従来、偵察任務を主としていた無人航空機が攻撃任務にも使用される場面が出てきているため、無人航空機の活動領域が拡大していると言える。例えば、2006 年に米海軍が開発を開始した敵空域制圧や侵入攻撃などの攻撃任務用無人航空機システム N-UCAS (Navy Unmanned Combat Air System)計画では、2012 年に UCAS-D の Human Systems Integration の関連試験として、モデリング＆シミュレーションにより、デジタルメッセージング機能や、UCAS-D の艦上運用に関する試験を行ったと発表した。X-47B を使った艦上運用試験が 2013 年に実施された。この X-47B は、空母搭載の無人空中給油機の構想へと発展し、2018 年に Boeing の提案する MQ-25 が選定され 2024 年の完成を目指している。なお、MQ-25 は 2021 年 6 月の試験飛行で空中給油に初めて成功した。

図 1-2-11 アメリカにおける無人航空機システム相互運用構想



出典：Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042

一方、これまで多くの無人航空機プログラムが立ち上がり、それぞれ独立したシステムを構築してきた。そのため実際の運用場面で、地上装置やペイロード機材の互換性がないなどの問題が生じてきたため、共通管制装置の研究が実施されており、その研究の成果の１つとして、インターフェースの標準化が課題としてあげられている。

また、無人航空機の運用範囲が戦場から過疎地域、さらには都市部などに広がるにつれ、無人航空機運航の公的管理および一般の航空交通路での無人航空機と有人機との混合管制が課題として認識され、ICAO から無人航空機の運航、認定等に関するガイドライン Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems(無人航空機マニュアル)の第 2 次案が 2015 年に発行された。また、約 50 の課題が ICAO の RPASP (Remotely Piloted Aircraft Systems Panel)で議論され、今後、ANNEX1, 6, 8, 19 と無人航空機マニュアルが改訂される予定である。2021 年 3 月には新たに修正された Standards and Recommended Practices (SARPs)の Annex 8 が ICAO 評議会により採用された。RPAS 関連条項の適用日は 2026 年 11 月が予定されており、他の Annex の修正に先立って機体やリモートパイロットステーション(RPS)の認証要件を含む耐空性に関する Annex 8 を提出することにより、政府及び業界での耐空性要件に対応するための時間を確保するとしている。ICAO での取組み経緯と無人航空機の定義等は次のとおりとなっている。

(ICAO の取組み経緯)

・2007 年　UAS Study Group を設立し、基準作りが本格化

・2011 年　Advisory Circular 328 “Unmanned Aircraft Systems” 発行

・2012 年　Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems ドラフト

・2012 年　無人航空機マニュアルの原案決定

・2015 年 無人航空機マニュアルの第 2 次案発行

・2014～18 年　Standards and recommended practices の Annex を改訂

・2020～25 年　Remotely Piloted Aircraft を有人機と統合運航(予定)

(ICAO での無人航空機の定義等)

・「Unmanned aerial vehicle」は、「Aircraft」と宣言されている。

・「Unmanned aerial vehicle」は、RPA(Remotely Piloted Aircraft)と Autonomous Aircraft の 2 種類からなり、RPA は状況に応じパイロットが 機体を操作できる無人航空機でパイロットは機体には乗り込まない。Autonomous Aircraft はパイロットの介在を許さない、状況に応じた操作が出来ない機体となっている。

・ICAO が許容するのは RPA のみである。

・改訂された Annex 2 では、RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)の主要要件は、①地上装置と管制官の通信手段がある、②RPA は常に地上装置とデータリンクを構成し、監視、操作が出来る、③ナビゲーションの装備がある、④監視される装備がある(ATC トランスポンダ、ADS-B out 等)、⑤Detect&Avoid の能力がある、となっている。

このような状況下で、米国連邦航空局(FAA)では、無人航空機の全米空域システムへの統合を開始している。そのために、技術的課題等の検討に資するため 6 つの試験区域を設置した。図 1-2-12 にアメリカにおける無人航空機システムの試験場を示す。2020 年に FAA は、無人航空機の交通管理に係るコンセプト第 2 版を公表し、無人航空機の運航に対応するための各空域での交通管理に関連する必要な構成要素を明らかにしている。その中で目視外に運航する無人航空機についてはリモート ID の使用が明記されている。

図 1-2-12 アメリカにおける無人航空機システム試験場

また、欧州でも 2022 年 11 月にドローン技術の展開を促進するために2030年までに実施すべき主な政策行動を定義する「ドローン戦略 2.0 (European Drone Strategy 2.0)」を採択した。これは以下の 2 つの主要な優先事項を中心に構築されている

1) 競争力のあるドローンサービス市場の創出

2) 欧州の民間利用と軍事利用の間での技術的相乗効果の強化

欧州委員会は、持続可能でスマートなモビリティ戦略に従い、耐空性に関する共通規則の採用や戦略的ドローン技術ロードマップなど 19 の主要な行動を策定した。

一方、中国では 2015 年以降、政府による無人機に関する航空管制・産業振興の計画が急速に進展している。例えば、工業信息化部が実施する「民用無人航空機産業発展促進」や民用航空局が実施する「民用無

人航空機産業発展促進」があり、いずれもドローンに特化した産業振興策である。これによって民間用ドローンの世界的な生産基地となっていた中国は急成長を維持しており、12,000社以上のメーカーが存在し、生産高は870億元（約1兆7,551億円）となっている。このうち深センは1,500社以上が存在して生産高は600億元近くに達し、一般用ドローンは世界の70％、産業用では同じく50％のシェアを誇っている。

しかしながら、これまで、中国の航空管理制度は、主に有人航空機の運営管理について定めたものしかなく、ドローンについて専ら定めた上位法は存在しなかった。このような背景の下、2023年6月28日、国務院と中央軍事委員会が共同して制定した「無人航空機飛行管理暫定条例」が正式に公布され、2024年1月1日から施行されることとなった。本条例には

(1) ドローンの飛行の安全の管理・保証に関する制度の確立

(2) ドローンの分類管理

(3) 一体化総合監督管理サービスプラットフォームの構築

といったことが定められている。

8. エンジン

第1次世界大戦以後、ピストンエンジン(往復式内燃機関)の馬力増大が図られ、多様な新機種開発が行われた結果、'30年代末には1,000～1,200馬力級、第2次世界大戦末期には2,000～3,000馬力級エンジンが実用化された。

第2次世界大戦以後はピストンエンジンに代わってジェットエンジンが主流となった。その後、各国は耐熱合金といった材料の問題や空気力学的問題等を解決しながら、軍用機用エンジンは急激な発達を遂げた。'40年代後半には推力3トンクラスのJ47などが、'50年代始めには5トンクラスのJ57等のターボジェットエンジンが実用化された。また、中期には更に軽量小型化したJ79、8トンクラスのJ75が実用化され、マッハ2クラスの超音速機をも可能にしている。

一方、民間旅客機・輸送機の方も、軍用に開発された技術を民生用に転用したエンジンが開発されるようになり、表1-2-11に示すようにJ57軍用エンジンの民間型JT3Cを採用したB707及びDC-8が'50年代末に生まれ、エンジンはその後JT3Dに換装された。それまでジェット機は燃費が悪いという理由でその経済性が疑問視されていたが、大型高速化されたジェット機は運航効率が高く、整備費は相対

表1-2-11　軍用エンジンの民間用への転用例

メーカー名	軍用エンジン名	民間用エンジン名	搭載機名
GE Aerospce	TF39	CF6	B747、B767他
	F101	CFM56	A320、B737-800他
	T700	CT7	Saab 340他
	TF34	CF34	E-Jet190他
RTX (Pratt & Whitney)	J52	JT8D	B737-200、MD-80他
	F117	PW2000	B757他
Rolls-Royce	RB168	Spey 511-8	Gulfstream Ⅱ& Ⅲ
Rolls-Royce North America	T406	AE2100	Saab2000他
		AE3007	ERJ 145
		AE1107	V-22
Honeywell	T55	ALF502	BAe146他

して低くなったので、経済的に成立した。続く 60 年代初期には燃費の良いターボファンエンジンが次々と開発され、ジェット旅客機・輸送機の経済性はますます良くなった。また、'60 年代半ばまでは当初軍用エンジンとして開発されたものをベースに、民間機用に転用開発するのが主流であったが、特に'60 年代末になるとJT9D など当初から民間用として開発される機種が出てきた。

JT9D に続き開発された大型亜音速機用エンジンが RB211 と CF6 である。それまでの推力 9 トンクラス、バイパス比 1～1.5 程度のものから、20 トンクラスでバイパス比 4.5～6.5 の大型・高バイパス比エンジンの時代に突入した。

しかし、一方で航空機用エンジンの開発・生産に必要とする技術レベルが極めて高くなり、開発期間が長期化し多額の資金及び豊富な経験が不可欠となった。このためイギリスでは企業の集中統合化、アメリカでは選別化の過程を経るなどして、世界的に航空機用エンジン業界は寡占化が進行した。

新エンジンの開発は正式ローンチ以前にも相当な事前投資を必要とし、また、その開発費は巨額となる傾向にある。また、従来の軍用エンジンの民間転用も、軍民それぞれに要求される特性が分化していくにつれて難しいものとなる。そのため、今日では開発費は単独一社で担いきれる額ではなく、共同開発が主流となっている。CFM56 や V2500 エンジンなどの中小型エンジンは、こうした背景により技術、資金及びリスク分散の面から国境を越えて生まれた国際共同開発エンジンの典型といえる。

また、大型エンジン開発では B777 用搭載エンジンがある。世界の主要エンジン・メーカー3 社は各々GE90、PW4000 シ

図 1-2-13　世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移(1)

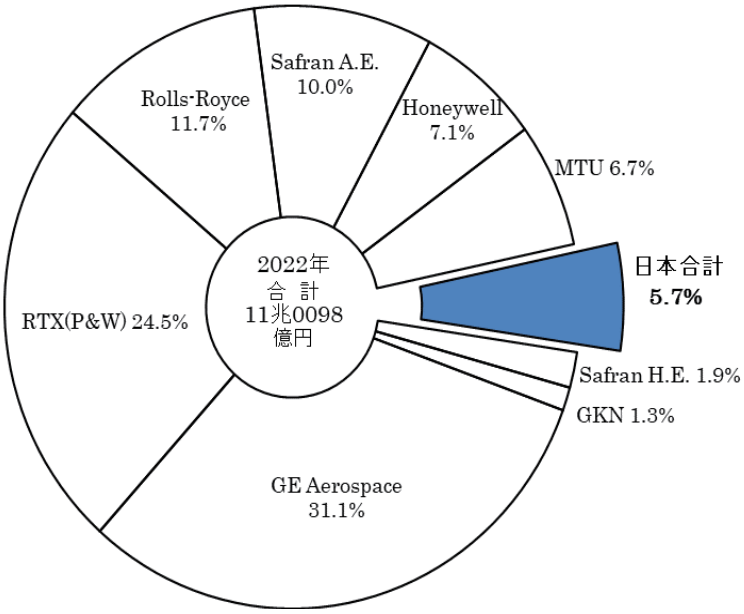
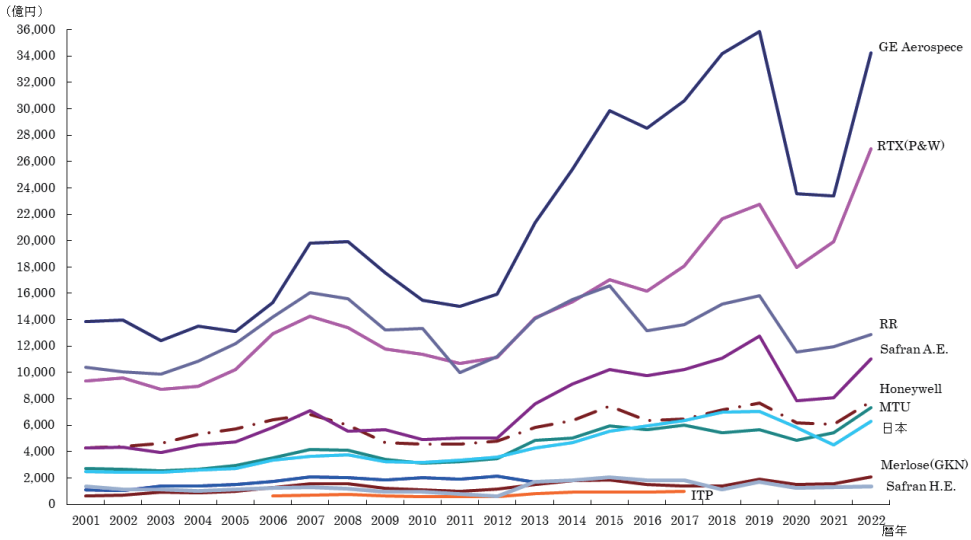


図 1-2-13　世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移(2)



（各社アニュアルレポートによる）

リーズ、Trent 800 を市場投入した。また、高効率旅客機 B787 向けには GEnx-1B や Trent 1000 が開発され、対抗して開発が進められている同サイズの A350 向けには Trent XWB が開発された。しかし、1 機種の機体に 3 機種のエンジンといった競合関係は熾烈な販売合戦を生み、エンジン・メーカー自身の経営を歪める。その教訓から機種別に競合エンジンの数そのものを減らす傾向にある。

世界の代表的エンジン・メーカーの 2022 年の売上高合計は図 1-2-13 及び表 1-2-12 に示すように、11 兆 98 億円であった。世界 3 大エンジン・メーカーといわれる GE Aerpspace、RTX (P&W)及び Rolls-Royce の 3 社が全体シェアの 67.3 %を占めていることが大きな特徴である。航空先進国である米英の強さがエンジン分野でも際立っている。日本企業全体では 5.7 %となっており、2022 年度の売上高合計は 6,327 億円であった。なお、この集計にはロシア、中国、韓国、インドのエンジン・メーカーの売上は含まれていない。

表 1-2-12　世界の主要エンジン・メーカーの航空エンジン売上高・シェア

国	ﾒｰｶｰ名	項 目	2012年		2013年		2014年		2015年		2016年		2017年		2018年		2019年		2020年		2021年		2022年	
				ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)		ｼｪｱ(%)
アメリカ	GE Aerospace	売上高(百万ﾄﾞﾙ)	19,994		21,911		23,990		24,660		26,261		27,013		30,566		32,875		22,042		21,310		26,050	
		ﾚｰﾄ（円)	79.80		97.57		105.82		121.05		108.69		111.74		110.43		109.03		106.77		109.81		131.48	
		億円	15,955	26.8	21,379	27.5	25,386	29.4	29,851	30.7	28,543	27.4	30,184	31.8	33,754	32.8	35,842	32.2	23,533	29.3	23,402	28.4	34,250	31.1
	RTX, P&W	売上高(百万ﾄﾞﾙ)	13,964		14,501		14,508		14,082		14,894		16,160		19,402		20,902		16,799		18,150		20,530	
	(Pratt&Whitney)	ﾚｰﾄ（円)	79.80		97.57		105.82		121.05		108.69		111.74		110.43		109.03		106.77		109.81		131.48	
		億円	11,143	18.7	14,149	18.2	15,352	17.8	17,046	17.5	16,188	15.5	18,057	18.8	21,426	20.8	22,789	20.5	17,936	22.3	19,931	24.2	26,993	24.5
	Honeywell	売上高(百万ﾄﾞﾙ)	6,020		5,990		6,020		6,138		5,848		5,816		6,436		7,027		5,772		5,513		5,914	
	(Engines)	ﾚｰﾄ（円)	79.80		97.57		105.82		121.05		108.69		111.74		110.43		109.03		106.77		109.81		131.48	
		億円	4,804	8.1	5,844	7.5	6,370	7.4	7,430	7.6	6,356	6.1	6,498	6.8	7,107	6.9	7,661	6.9	6,163	7.7	6,054	7.4	7,775	7.1
イギリス	Rolls-Royce	売上高(百万ﾎﾟﾝﾄﾞ)	8,849		9,246		8,906		8,968		8,958		10,125		11,281		11,357		8,455		7,904		9,345	
		ﾚｰﾄ（円)	126.45		152.52		174.25		184.92		146.78		134.87		147.34		139.13		136.88		151.07		137.66	
		億円	11,189	18.8	14,102	18.1	15,518	18.0	16,584	17.0	13,148	12.6	13,656	18.0	16,621	14.6	15,801	14.2	11,573	14.4	11,941	14.5	12,864	11.7
	GKN Aerospace	売上高(百万ﾎﾟﾝﾄﾞ)			1,122		1,045		1,100		1,232		1,346		823		1,228		895		883		1,004	
		ﾚｰﾄ（円)			152.52		174.25		184.92		146.78		134.87		147.34		139.13		136.88		151.07		137.66	
		億円			1,711	2.2	1,821	2.1	2,034	2.1	1,808	1.7	1,815	2.4	1,212	1.1	1,708	1.5	1,226	1.5	1,334	1.6	1,383	1.3
フランス	Safran Aircraft	売上高(百万ﾕｰﾛ)	4,900		5,900		6,500		7,600		8,100		8,600		9,300		10,479		6,437		6,249		7,985	
	Engines	ﾚｰﾄ（円)	102.53		129.54		140.42		134.22		116.40		119.08		130.35		122.05		121.68		129.85		138.22	
		億円	5,024	8.4	7,643	9.8	9,127	10.6	10,200	10.5	9,428	9.0	10,240	11.1	12,122	10.6	12,790	11.5	7,833	9.7	8,114	9.9	11,037	10.0
	Safran Helicopter	売上高(百万ﾕｰﾛ)	1,126		1,188		1,266		1,259		1,127		1,169		1,150		1,566		1,226		1,190		1,521	
	Engines	ﾚｰﾄ（円)	102.53		129.54		140.42		134.22		116.40		119.08		130.35		122.05		121.68		129.85		138.22	
		億円	1,155	1.9	1,539	2.0	1,778	2.1	1,689	1.7	1,312	1.3	1,392	1.5	1,499	1.3	1,911	1.7	1,492	1.9	1,546	1.9	2,102	1.9
ドイツ	MTU Aero	売上高(百万ﾕｰﾛ)	3,243		3,574		3,914		4,435		4,733		5,036		4,567		4,628		3,977		4,188		5,330	
	Engines	ﾚｰﾄ（円)	102.53		129.54		140.42		134.22		116.40		119.08		130.35		122.05		121.68		129.85		138.22	
		億円	3,325	5.6	4,630	6.0	5,496	6.4	5,953	6.1	5,509	5.3	5,997	6.5	5,953	5.2	5,649	5.1	4,839	6.0	5,438	6.6	7,367	6.7
イタリア	Avio Aero	売上高(百万ﾕｰﾛ)	2,068		1,288		GE Aerospaceに統合																	
		ﾚｰﾄ（円)	102.53		129.54																			
		億円	2,120	3.6	1,668	2.1																		
ｽｳｪｰﾃﾞﾝ	Volvo Aero	売上高(百万ｸﾛｰﾅ)	5,219		GKN Aerospaceに統合																			
		ﾚｰﾄ（円)	11.78																					
		億円	615	1.0																				
スペイン	ITP Aero	売上高(百万ﾕｰﾛ)	581		627		650		710		780		850		Rolls Royce に統合									
		ﾚｰﾄ（円)	102.53		129.54		140.42		134.22		116.40		134.22											
		億円	596	1.0	812	1.0	912	1.1	953	1.0	908	0.8	1,141	1.0										
日本		売上高（億円)	3,571	6.0	4,291	5.5	4,683	5.4	5,535	5.7	5,968	5.4	6,337	5.8	6,997	6.4	7,051	6.3	5,836	7.3	4,500	5.5	6,327	5.7
	世界合計	売上高（億円)	59,497	100	77,769	100	86,444	100	97,276	100	89,169	85	95,318	104	106,691	100	111,202	100	80,430	100	82,260	100	110,098	100

(各社アニュアルレポートによる)

エンジン業界は冷戦終了後機体業界と同様国防予算の低下、市場低迷や更に大幅な値引き競争により、経営的に厳しい状況にあった。しかし、'95 年以降エアラインの業績改善、アジアの高度成長を反映した新機体の活発な受注により急速な市場回復を見せており、エンジン・メーカーの業績も改善されてきた。また民間需要の伸展に従い、エンジン・メーカーは民間旅客機・輸送機用エンジンでは、機種ごとに様々な提携関係や競合関係を展開している。民間航空機用エンジン業界の主要提携関係を表 1-2-13 に示す。

軍用機用エンジンについては、新しい戦術戦闘機用エンジンとして、①超音速巡航性、②軽量化、③STOL 能力、④赤外線放出の減少と生存性、⑤ライフサイクルコストの低減、など、厳しい性能が要求されている。その代表的なものとして、GE Aerospace の F414 (F-18E/F 用)、P&W の F119 (F-22 用)、F135 (F-35 用)の他、ヨーロッパ共同開発の Eurojet の EJ200 (Eurofighter 用)、Snecma の M88 (Rafale 用)がある。

民間旅客機・輸送機用エンジンについては、これまで、中型クラスエンジンでは GE と Snecma との共同開発による CFM56 シリーズ、日本のエンジン 3 社、P&W 及び MTU による国際共同開発の V2500 が需要の中心となってきた。航空需要は COVID-19 による一時的な落ち込みはあるものの、今後 20 年で年率 4 %程度の成長率を示す見込みである。機体の形態には狭胴機と広胴機があるが、超大型広胴機 A380 向けには、GE と P&W 共同開発の GP7200 シリーズと Rolls-Royce 開発の Trent 900 シリーズがあり、大型広胴機用エンジン(B777 搭載用)としては GE Aerospace の GE90、P&W の PW4000、Rolls-Royce の Trent 800、中・長距離型 A330-200 / 300 向けには、GE CF6、P&W PW4000 そして Rolls-Royce Trent 700 がある。地域航空網向け中小型単通路機用エンジンとしては、GE が開発・生産した CF34 エンジンがある。2011 年に就航した B787 向けには、GE Aerospace の GEnx と Rolls-Royce の Trent 1000 がある。さらに Airbus が B787 の対抗機種として開発した A350 向けには Rolls-Royce が Trent XWB エンジンを供給している。現在就航中及び開発中の主要民間機用ジェットエンジンの一覧を表 1-2-14 に示す。

新しい概念や技術に基づくエンジン開発については、'73 年の石油危機に端を発し、'70 年代半ばに Hamilton Standard (現 RTX)がプロップファンと称する巡航速度 0.8 で、高い燃料効率を維持でき、かつ騒音、振動などについてもジェット機並みである革新的なプロペラエンジンを提案した。これが契機となり、ATP (Advanced Turbo Prop)と総称されるエンジン概念が生まれた。

'80 年代に入ると、GE、Allison、P&W 及び Rolls-Royce は '80 年代後半から'90 年代前半の市場投入を狙い、本格的な ATP 研究を開始した。いずれも革新的な試みであり、GE の UDF (Un-Ducted Fan)は、バイパス比が 30 を超え、燃料も従来のターボファンに比べ、10～15%の節約となる。また、このエンジンは減速歯車を用いず、8～10 枚の後退翼を持つプロペラを二重反転式に回転させ、推力を得るというもので、'86 年には飛行試験を行っている。しかし、石油価格の低下から機体メーカーやエアラインの需要を喚起するには至らなかった。

近年、脱 CO2 の機運が急速な高まりを見せる中、国際航空運送協会(IATA)が 2050 年に CO2 排出ネットゼロの目標を採択しており、水素を燃料とする航空機や電動航空機、SAF (Sustainable Alternative Fuel：原材料の生産・収集から燃焼までの過程で、二酸化炭素の排出量が少ない持続可能な供給源から製造されるジェット燃料)等の研究開発を、世界のエンジン・メーカー、航空関連企業、ならびに研究機関が検討または実施している。例えば、Airbus は水素を燃料とし、二酸化炭素を排出しないゼロエミッション航空機を 2035 年までに事業化する方針を発表した。電動航空機に関しては、2018 年に産学官連携推進の基盤となる航空機電動化コンソーシアムが発足している。またバイオジェット燃料では NEDO がバイオジェット燃料生産技術開発事業

を 2017 年から進めており、2030 年頃の商用化を目指す等、2030 年代を開発完了目標とした各種の開発計画を進めようとしている。

一方、現在の高バイパスファンの流れの延長として、バイパス比を 10～15 にまで高めた超高バイパスエンジンの研究があり、P&W を中心とする Advanced Ducted Prop (ADP)エンジン計画などが挙げられる。ADP は高速回転が有利な低圧タービンと低速回転が有利なファンを、ギアを介して結合させることにより、効率向上、低騒音と部品点数削減を可能とするエンジン概念である。ADP は設計改良やデモエンジンによる技術実証などが行われ、最終的に P&W が Geared Turbo Fan (GTF)エンジンとして開発、その後 PW 1000G に名称変更した。PW1000G シリーズは、Bombardier が開発した 110 席クラス小型旅客機の CSeries(現 A220)や 2012 年にローンチされた A320 のエンジンを換装する A320neo (New Engine Option)プログラム等に採用された。A220 に搭載される PW 1500G は 2013 年に、A320neo 用の PW1100G-JM は 2014 年に、Mitsubishi SpaceJet 用の PW1200G は 2017 年に型式承認を取得した。一方、CFMI も前述の LEAP-X プログラムの中で次世代の中型高バイパス比ターボファンエンジンの開発を進め、ギアを用いず軽量複合材や高効率コアエンジンの採用により、従来エンジンと比較して 15%以上の燃費低減を目指しており、A320neo 用の LEAP-1A は 2015 年に型式承認を取得した。LEAP-1A エンジンでは民間機用エンジンとしては初めてセラミックス複合材(CMC)部品と 3D プリンタにより製作した部品が採用されている。また 2021 年 6 月には、オープンファンや新たな材料等を採用し CO2 排出量 20%削減を目指す、RISE プログラムの立ち上げを宣言した。Rolls-Royce も Ultra Fan と呼ばれる高バイパス比ターボファンエンジンを研究しており、中圧段にギアを組み込んでファンを駆動することで、ファンもコア部も最適な運転を図ることで燃費向上を目指している。

また、Concorde の後継機開発の機運を受けて、'99 年度から 5 年間にわたり、超音速機の社会的受容性を高めるため、エンジンの高性能化と共に環境適合性を同時に満足させる NOx 排出抑制技術や低騒音化などの開発が行われた (ESPR プロジェクト)。 その後 Concorde の退役があり、次世代超音速旅客機開発の機運は遠のいたが、超音速ビジネスジェットという新たな動きが現れた。

日本においては、超音速輸送機用推進システム技術研究組合が ESPR プロジェクトの終了後も超音速機用エンジンに関連する技術調査・研究を、日仏研究協力を活用しつつ継続して実施した。

表 1-2-13　民間航空機用エンジン業界の主要提携関係

			GE Aerospace	P&W	Honeywell	RTX（旧Hamilton Sundstrand）	P&W Canada	RR	GKN Aerospace（旧Volvo Aero）	Safran Engines	Safran Aircraft	MTU	RR deutschland	Avio Aero（GE Aerospaceの部門）	Safran Aero Boosters（旧Techspace Aero）	ITP Aero	日本航空機エンジン協会	IHI	川崎重工業	三菱重工航空エンジン
	機種	参画方式	米				加	英		仏		独		伊	ﾍﾞﾙｷﾞｰ	ｽﾍﾟｲﾝ	日本			
GE Aerospace	CF6-50	R	○							○		○		○						
	CF6-80A/C2	R	○						○	○		○		○						
	CF6-80E1	R	○						○	○				○						
	GE90	R	○							○				○				○		
	CF34-8	R	○														○	○	○	
	CF34-10	R	○												○		○	○	○	
	GEnx	R	○						○	○				○	○		○	○		○
	GE Passport 20	R	○												○		○	○	○	
	GE9X	R	○							○		○			○		○	○		
Pratt & Whitney (RTX, P&W)	JT8D-200ｼﾘｰｽﾞ	R		○					○			○								○
	JT9D	R		○														△		△
	PW2037/2040	R		○					○			○		○				△	△	
	PW4000ｼﾘｰｽﾞ	R		○					△			○		○	○			△	○	○
	PW6000	R		○								○								△
	PW1200G	R		○			○		○			○						△		○
	PW1500G	R		○					○			○						△	○	
	PW1700G	R		○					○									△		
	PW1900G	R		○					○									△	○	
Rolls-Royce (RR)	Tay 620/650	R						○	○											
	RB211-	R						○										△	○	
	RB211-524G/H	R						○										○	○	
	Trent 500	R				○		○	○					○		○		△	○	
	Trent 700	R						○		○			○			○		△	○	
	Trent 800	R						○		○			○			○		△	○	
	Trent 900	R			○	○		○	○					○		○		△		
	Trent 1000	R				○		○	△							○	○		○	○
	Trent XWB	R						○	○							○			○	○
P&WC	PW210	R					○													○
	PW305	R					○					○								
	PW500	R					○					○								
	PW600	R					○					○								
CFE	CFE738	F	○		○															
IAE-AG	V2500	F		○					△			○					○	○	○	○
IAE-LLC	PW1100G-JM	F		○					△			○					○	○	○	○
	PW1400G-JM	F		○					△			○					○	○	○	○
CFMI	CFM56	F	○							○					○					
	LEAP-1A	F	○							○					○					
	LEAP-1B	F	○							○					○					
	LEAP-1C	F	○							○					○					
RR Deutschland	BR700	F						○					○							
Engine Alliance (EA)	GP7200	F	○	○						○		○						△		
RR/Snecma	Olympus 593	F						○		○										

記号　F：フルパートナー方式（パートナー間の関係は対等であり、別会社を設立してそこに資本参加することにより経営方針や営業方針に参画する）
R：リスク・レベニュー方式　（核となる会社のプログラムに開発費などの分担を持って参画しその分担分の収益を得る方式。）
○：参加会社、　△：下請

表 1-2-14　現用及び開発中の主要民間航空機用ジェットエンジン

2023年11月現在

エンジン・クラス	メーカー	エンジン名称	最大離陸推力 (lb)	T/C取得年 (予定)	搭載機種
推力4万ﾎﾟﾝﾄﾞ以上	GE Aerospace	CF6-80A	50,000	1981	B767, A310
		CF6-80C2	52,000～61,500	1985	B747, B767, A300, A310, MD-11
		CF6-80E1	67,500～72,000	1992	A330
		GE90シリーズ	76,000～94,000	1995	B777
		GE90-115B	115,000	2002	B777-200LR/-300ER
		GEnx	55,000～78,000	2008	B787, B747-8
		GE9X	100,000	2020	B777X
	Pratt & Whitney (P&W)	PW4000シリーズ	52,000～62,000	1986	B747, B767, A300, A310, MD-11
		PW4168	64,000～68,000	1993	A330
		PW4084/4098	84,000～98,000	1994/1996	B777
	EngineAlliance(EA)	GP7200	76,500～81,500	2006	A380
	Rolls-Royce (RR)	RB211-524G	58,000	1988	B747-400
		RB211-524H	60,600	1989	B767-300, B747-400
		Trent 500	53,000～60,000	2000	A340-500/-600
		Trent 700/800	68,000～95,000	1993/1995	A330, B777
		Trent 900	68,100～81,500	2004	A380
		Trent 1000	53,000～78,000	2007	B787
		Trent XWB	75000～95000	2013	A350
推力3万 ～4万ﾎﾟﾝﾄﾞクラス	P&W	PW2037/2040	37,250～43,000	1983/1987	B757
	RR	RB211-535E4	37,400～43,100	1983	B757
	CFMI	CFM56-5C	31,200～34,000	1991	A340-200/-300
推力1万 ～3万ﾎﾟﾝﾄﾞクラス	IAE AG	V2500-A1	25,000	1988	A320
		V2500-A5	22,000～33,000	1992	A319, A320, A321
		V2500-D5	25,000～28,000	1992	MD-90
	IAE-LLC	PW1100G-JM	24,000～33,000	2014	A320neo
		PW1400G-JM	24,000～33,000	2016	MC-21
	CFMI	CFM56-3	18,500～23,500	1984	B737-300/-400/-500
		CFM56-5A	22,000～26,500	1987	A319, A320
		CFM56-5B/-5B/P	22,000～32,000	1993/1996	A318, A319, A320, A321
		CFM56-7	18,500～27,300	1996	B737-600/-700/-800/-900
		LEAP-1A	24,500～32,900	2015	A320neo
		LEAP-1B	23,000～28,000	2016	737 MAX
		LEAP-1C	27,980～30,000	2016	C919
	P&W	JT8D-200シリーズ	18,500～21,700	1979	MD-80シリーズ
		PW6000	22,100～23,800	2004	A318
		PW1200G	14,000～23,000	2017	Mitsubishi SpaceJet
		PW1500G	21,000～23,300	2013	CSeries
		PW1700G	～17,000	(2024年以降)	E175-E2
		PW1900G	～23,000	2017	E190-E2, E195-E2
	GE Aerospace	CF34-8C/E	12,600～14,000	1999	CRJ700/900, EMBRAER 170
		CF34-10E	18,500	2004	EMBRAER 190
		CF34-10A	18,500	2010	ARJ21
	PowerJet	SaM146	13,500～17,500	2010	Superjet 100
	RR	Tay620/650	13,850～15,400	1986	Fokker 70/100
	RR Deutschland	BR710	14,750～15,500	1996	Gulfstream V, Global Express
		BR715	18,750～21,000	1998	B717
推力1万ﾎﾟﾝﾄﾞ以下	Honeywell	ALF502	7,000	1980	BAe 146
		LF507	7,000	1992	Avro RJ
		TFE731	3,500～5,000	1972	各種ビジネスジェット
	GE/Honeywell	CFE738	6,000	1993	Falcon 2000
	GE	CF34-3A1/3B1	9,200	1991/1995	Challenger 601/604, CRJ100/200
	RR North America	AE3007	6,500～9,000	1995	ERJ 145, Citation X
	P&WC	PW300	4,700～6,500	1990	Learjet 60, Hawker 1000, 328JET
		PW500	3,000～4,500	1996	Citation

IAE AG：IAE International Aero Engines AG
IAE LLC：International Aero Engines LLC
CFMI：CFM International
P&WC：Pratt & Whitney Canada

第3節　宇宙分野の動向

1. 概況

’64 年の Intelsat の設立によって国際衛星通信の幕開けとなった衛星の実利用は、さらに放送、気象、地球観測、資源探査、航行・測位、災害監視、安全保障など広範囲に及び、今日では我々の生活にも深く浸透し、社会に不可欠の要素となっている。2023 年に世界で 223 回の打上げが行われ(有人飛行 6 回及び失敗 11 回も含む)、史上最多の 2,816 機(内 Starlink 衛星 1,961 機、Oneweb 衛星 132 機)の衛星が軌道に投入された。(打上げ失敗は米国 4 回、北朝鮮 2 回、中国、米/ニュージーランド、イラン、日本がそれぞれ 1 回である。)

’70 年代の始めまでの冷戦下での宇宙開発競争は国威発揚と軍事目的に偏って殆ど米ソ 2 大国で行われていたが、次第に仏、独、伊、英を中心とする欧州や日本、中国、インドなどが加わってきた。特に欧州は、’75 年に欧州宇宙機関(ESA、参加国 19 ヵ国)を設立して各種宇宙システムの共同開発、欧州宇宙産業の支援を行ってきた。近年では中国宇宙産業の発展が目覚ましく、2003 年には米、ロシアに次ぐ 3 番目の自力での有人宇宙飛行国となった。また、通信や地球観測から宇宙探査、有人宇宙に至る幅広い分野での宇宙技術とそれらを支える打上げロケット技術を保有して活発に活動している。

一方、’91 年のソ連の崩壊・冷戦終結などの情勢の変化が軍事技術の民間転換、両用技術政策や宇宙予算の削減を引き起こし、欧米の大手航空宇宙企業は経営戦略の再構築・経営基盤の強化を図るため、大規模な企業の合併・吸収やリストラクチャリングを進行させた。米国の宇宙産業は ’95 年から 2002 年にかけて Boeing、Lockheed Martin、Northrop Grumman、Space Systems/Loral (SS/L)、Orbital ATK など少数の大企業に集約化・寡占化が進んだ。2012 年にはカナダの MDA が米 SS/L を買収した。MDA はその後米国法人 SSL MDA Holdings を設立し、商用リモートセンシング事業者である DigitalGlobe を買収、さらに社名を Maxar Technologies と変更したが、2020 年に Maxar は MDA を売却した。また、2018 年には、Northrop Grumman が Orbital ATK を買収した。2022 年には Lockheed Martin が Aerojet Rocketdyne の買収を断念したが、2023 年 7 月 28 日に L3Harris が Aerojet Rocketdyne を買収した。また、Maxar Technologies も 2023 年 5 月 3 日に投資会社 Advent International と BCI (British Columbia Investment Management Corporation)により買収された。また、2023 年 8 月 17 日に Ball Aerospace は英国 BAE Systems に約 56 億ドルで売却されることを発表した。欧州でも米国企業に対抗する体制確立のため業界再編が進み、2000 年に欧州航空防衛宇宙会社 EADS (European Aeronautic Defence and Space Company)を設立し、傘下の宇宙機メーカーとして EADS Astrium 及び EADS SPACE Transportation (2005 年に Dutch Space を買収)を誕生させた。2014 年には大幅な組織の改編を実施し、EADS Astrium、Cassidian、Airbus Military 部門が Airbus Defence and Space (ADS)部門として統合されるとともに、EADS から Airbus Group に、さらに Airbus へ名称を変更している。また 2005 年に仏 Alcatel Space と伊 Alenia Spazio を統合し、Alcatel Alenia Space となった後、2007 年に Alcatel が出資分を Thales へ売却し Thales Alenia Space (TAS)となった。これにより欧州の宇宙機メーカーは 2 大企業が主導することとなった。

近年は、米国中心に民間 IT 企業等異業種企業/その創始者がスタートアップ会社を立上げ宇宙分野への進出する動きがあり、宇宙産業界の新たな潮流となっている。

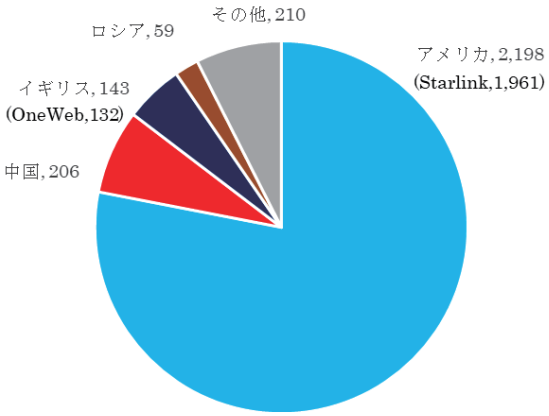
また、小型・超小型衛星の開発が進められており、大学等による研究開発･教育目的だけでなく、超小型衛星を利用した新たなビジネスも始まっている。代表的なものとしては米国 Planet の超小型衛星コンステレーション(約 200 機の 5kg 級超小型衛星 Flock で構成)による商用画像販売がある。このような小型・超小型衛星

の発展に伴い、打上げに関しても１機のロケットによる多数衛星の同時打上げや、小型衛星専用打上げロケットの開発という従来とは異なる方式の開発が進んでいる。

2023年においても上述のように米国のFalcon 9や中国の長征３等のロケットが223回打上げられた。一方、日本の新型基幹ロケットであるH3ロケットの打上げ失敗や欧州のAriane 6ロケット打上げが2024年以降に延期、Starshipの２回の試験飛行、北朝鮮の衛星打上げ成功、イランのロケット打上げ失敗等、2023年は、ロケット打上げ国の将来に影響を与えることになる年と考えられる。

(1) 人工衛星

2023年は223回打上げられた。これは2022年より多く史上最大の回数である。2,816機の人工衛星が軌道に投入された。2023年もメガコンステレーションであるSpaceXのStarlinkやOneWebのOneWeb衛星に加え、米Planetの Flock(愛称 Dove)や米Spireの Lemur等のコンステレーションを構成する小型・超小型衛星が多数打上げられた。国別に見ると、米国が2,198機(内Starlink 1,961機、Flock 72機、Lemur 24機)と群を抜いており、以下中国206機、英国が143機(内Oneweb 132機)、ロシア59機、日本が７機となっている。



軌道投入された人工衛星数 2023年

測位衛星は、全地球測位の米国GPS、欧州Galileo、ロシアGlonass及び中国「北斗」(Beidou)各システムの更新、構築が進んでいる。「北斗」は2018年からサービス提供中である。また、中国の測位衛星「北斗」(Beidou)も１機が打上げられた。米国では次世代システムGPS IIIが2018年から打上げが開始され、2023年201月18日に６号機が打上げられた。ロシアはGlonassを2023年８月７日に１機打上げた。Galileo衛星は2023年に打上げなかった。また、地域測位衛星である日本の準天頂衛星システムは2018年からサービス提供中である。本年はウクライナ侵攻への軍事作戦でGPS電波は電子戦対象となり、欧州東部地域で航空機の位置が正確に出ないことが生じ、民間航空路の運航に影響が出るなど、測位衛星が一層重要になった年となった。

気象衛星の分野では、測位衛星電波の掩蔽観測により気象観測を実施する米国Lemur等が打上げられた。

地球観測衛星では、中国が「高分」(Gaofen)シリーズを2023年も複数打上げている。科学衛星の分野では、日本の「はやぶさ２」が拡張ミッションを実行中の他、米国のOSIRIS-Rexは小惑星Bennuに到達2020年にサンプル格納2021年に地球に出発し、2023年９月24日に地球へサンプルを分離、再突入させた。名称をOSIRIS-APEXに変更され、小惑星Apophis観測に向けて進んでいる。月探査に関しては、2018年に打上げられた中国の「嫦娥４号」(Chang'e-4)が2019年に世界初となる月裏側への軟着陸に成功したが、続くイスラエルのBERESHEET、インドのChandrayaan-2は共に月面への軟着陸に失敗した。嫦娥５号が2020年に月のサンプルを地球へ持ち帰った。日本でもispaceがドイツOttobrunnにあるIABG宇宙センターのArianeGroupで製造した月着陸を目標とした初号機を2022年12月に打上げられたが、2023年６月26日月

面軟着陸に失敗した。7 月 14 日に打上げられた Chandrayaan-3 は 8 月 23 日に南極付近に軟着陸し、その後、搭載されている探査機(Pragyan)による月面探査を行った。日照のある初期の観測活動を行い、南極の長い夜を経た後はミッション機器が再始動できなかった。また、8 月 10 日に打上げたロシアの Luna 25 号は 19 日に月面軟着陸に失敗した。

小型 / 超小型衛星コンステレーションに関しては、ICEYE の ICEYE、Planet の Flock、Spire の Lemur 等が引き続き多くの衛星を打上げたほか、Starlink 衛星や OneWeb 衛星も継続して打上げられた。

軌道上サービス分野では、2018 年に打上げられた英国のデブリ除去技術実証衛星 RemoveDebris が銛を使った方法、2021 年には Astroscale のデブリ除去技術実証衛星が磁石を活用したターゲット捕獲に成功した。

⑵ ロケット

2023 年は 212 回のロケット打上げに成功した。国別には、米国の 107 回、中国は 63 回、ロシアの 19 回であった。米国では SpaceX の Falcon 9 が 96 回打上げた他、Rocket Lab の Elecrtron が 9 回、Atlas V が 2 回、Antares と Delta 4 とが各 1 回の打上げに成功した。また、11 回（米国 4 回、北朝鮮 2 回、中国、米/ニュージーランド、イラン、日本 1 回）の打上げが失敗している。また、SpaceX は大型ロケット Starship / Super Heavy の初、2 号機が打上げたが、2 回とも試験の最終目的は未達成となった。2024 年 1 月 8 日 ULA は Vulcan / Centaur ロケット初号機の打上げに成功した。

日本では、2023 年 9 月 7 日、2024 年 1 月 12 日に H-IIA ロケット 47/48 号機を打上げ成功させたものの、2023 年 3 月 7 日の H3 ロケット試験機 1 号機の打上げは失敗した。北朝鮮もロケット打上げに 2 回失敗の後、3 回目で衛星の軌道投入に成功した。イランは 2 回の打上げを実施し、2023 年 3 月 4 日の打上げは失敗したが、9 月 27 日の打上げは成功した。他、イスラエルも 2023 年 3 月 28 日の打上げが成功した。

⑶ 有人宇宙

有人宇宙の分野では、'98 年に軌道上組立てが始まった国際宇宙ステーションについて 2024 年まで運用を継続することに各国が同意している。また、2022 年 NASA は ISS 運用を 2030 年に停止し、地球へ再突入させて廃棄すると発表した。2023 年には 2 回の Soyuz と 2 回の Crew Dragon による ISS への乗組員打上げと 1 回の宇宙旅行者打上げに成功した。米国の有人宇宙探査に関しては、Obama 政権で月面への有人飛行は中止し、2030 年代に火星へ宇宙飛行士を送り込む方針を示していたが、Trump 政権は 2019 年に Artemis 計画を発表し、5 年以内に女性を含む米国人宇宙飛行士による月面着陸を目指すことを表明した。米国の有人宇宙ロケットに関しては、2011 年から SLS: Space Launch System を開発し、最初の実証飛行として新宇宙船 Orion を搭載し 2022 年 11 月に SLS ロケットで無人フライトを行い、12 月に地球に帰還した。帰還後に予測以上の耐熱材の損傷が Orion に確認された。2026 年に有人での初フライトを予定している。一方、NASA が支援する民間の有人宇宙船開発プログラムでは、SpaceX の Crew Dragon / Falcon 9 が 2020 年に有人初飛行として Crew-1 が打上げられた。2021 年以降も継続して毎年 2 回程度を打上げている。Boeing の CST-100 も同様に初有人飛行を目指し現在、開発中である。

ロシアも次世代有人宇宙船を開発中といわれているが、その詳細は不明である。中国は 2003 年、独自の

有人宇宙船「神舟-5 号」(Shenzhou-5)の成功で第 3 の有人宇宙大国になった。その後も有人宇宙活動を継続しており、2012 年に「神舟 9 号/-10 号」(Shenzhou-9/-10)を打上げ、宇宙実験室「天宮 1 号」(Tiangong-1、2011 年打上げ)とのドッキングミッションを実施、2016 年にも「神舟 11 号」(Shenzhou-11)と「天宮 2 号」(Tiangong-2)の打上げに成功した。さらに、2017年には長征7号で新型の無人貨物船「天舟-1号」(Tianzhou-1)を打上げ、「天宮 2 号」とのドッキングに成功した。「天宮 2 号」は 2019 年に大気圏に突入した。中国は中国宇宙ステーション(CSS)の建設を 2020 年から 2022 年の期間で完成させた。2021 年に打上げた「神舟 13 号」から長期滞在が開始された。

日本も 2023 年 6 月 13 日に改訂された宇宙基本計画工程表で 2020 年代後半を目途に日本人による月面着陸実現を図ることを示し、有人与圧月面ローバ研究を進めている。

(4) 宇宙旅行

宇宙旅行の分野では、2018 年に宇宙空間到達に成功した米 Virgin Galactic の SpaceShipTwo が、2019 年にも搭乗員 3 名で高度 89.9km の宇宙空間到達に成功し、2021 年に試験飛行に成功した。また、Amazon 創業者が設立した Blue Origin が 2021 年に New Shepard で飛行し、宇宙空間に到達した。SpaceX は 2021 年 9 月に Crew Dragon で民間人のみで飛行を行い、2022 年 4 月に Crew Dragon による民間人の ISS 滞在(Ax-1)を行い、2023 年 5 月には Ax-2、11 月には Ax-3 を打上げた。

(5) 法制・規範

宇宙法制・規範の分野では、'59 年の第 14 回国連総会において採択された「宇宙空間の平和利用に関する国際協力」に基づき、宇宙空間平和利用委員会(COPUOS: Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)が国連の常設委員会として活動している。COPUOS は、宇宙空間の研究に対する援助、情報の交換、宇宙空間の平和利用のための実際的方法及び法律問題の検討を行い、これらの活動を国連総会に報告することを任務としている。

COPUOS の下には、法律小委員会(LSC)及び科学技術小委員会(STSC)が設置されており、COPUOS の主要な業務は、宇宙の平和利用を推進するための規範作りである。これまでに COPUOS が決議した条約は、「宇宙条約」、「宇宙救助返還協定」、「宇宙損害責任条約」、「宇宙物体登録条約」及び「月協定」の 5 つである。これらの条約に加え、原則・ガイドライン等が発行されている。COPUOS の法律小委員会(LSC)の主な議題には、「宇宙 5 条約の状況と適用」、「宇宙空間の定義」、「宇宙における原子力電源の利用原則のレビュー」、「スペースデブリ低減に関する国内メカニズムの情報交換」、「宇宙の平和利用に関する各国の国内法制の情報交換」等がある。また、COPUOS の科学技術小委員会(STSC)の主な議題には、「スペースデブリ低減活動」、「宇宙システムによる災害管理支援」、「衛星航法システムの利用」、「宇宙用原子力電源の使用」、「国際宇宙状況監視(SSA)」等があり、審議が行われている。

日本では、2008 年に宇宙基本法を制定、翌年には宇宙基本計画が決定され、2015 年以降毎年工程表の見直しが行われており、直近では 2023 年 6 月 13 日と 2023 年 12 月 22 日に改定された。また、宇宙基本法に基づき検討されていた人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律案(以下、宇宙活動法)の一部、および衛星リモートセンシング記録の適正な取扱いの確保に関する法律案(以下、リモセン法)が 2017 年か

ら、宇宙活動法も2018年に施行された。また、2021年に米国、UAE、ルクセンブルクに続き、日本でも宇宙資源法が成立した。

そのほか、2020年に府中基地に宇宙作戦隊が発足後、2022年3月に宇宙作戦群に改編、2023年3月16日に第1宇宙作戦隊、第2宇宙作戦隊、宇宙システム管理隊となった。

主要国の宇宙開発予算を表 1-3-1 に示す。米国の宇宙予算の公開はタイムラグがあるが、宇宙開発・利用において世界一の規模を誇り大きな割合を占めている。また、2021, 2022 年で出典元が公表組織 / 集計方式を変更しているため、連続性は少ない点に注意が必要である。

表 1-3-1　主要国の宇宙開発予算(2021年から出典元が集計方式を一部変更)

	2018		2019		2020		2021		2022	
	(*)	(億円)	(*)	(億円)	(*)	(億円)	(*)	(億円)	(*)	(億円)
日　本	3,257	3,597	3,005	3,276	3,099	3,355	3,500	3,844	3,100	4,076
アメリカ	48,308	53,347	47,169	49,527	51,805	56,084	59,800	65,669	69,500	91,378
中　国	-	-	-	-	-	-	-	-	108,354	21,168
ESA	4,228	5,589	4,228	5,160	5,212	6,315	5,328	5,851	5,137	7,100
ロシア	-	-	-	-	-	-	-	-	290,763	4,865
EU	-	-	-	-	-	-	-	-	2,188	3,024
フランス	1,470	13,439	933	1,138	1,305	1,582	1,269	1,393	1,046	1,446
ドイツ	1,031	13,439	1,366	1,667	1,205	1,460	1,184	1,300	1,141	1,578
イタリア	630	821	341	413	214	259	423	464	571	789
イギリス	179	261	157	218	90	128	145	160	191	263

出典：The Space Report 2023 (Space Foundation)

(*)単位：アメリカ：M$、日本：M$、中国：M¥、仏･独･伊･ESA･EU：M€、英国：M£、露：M₽、仏･独･伊･英はESA拠出金を除く

2. ロケット

ロケットは、宇宙への物資・人員輸送用ロケット、衛星打上げ用ロケット、Space Shuttle のような宇宙往還機、宇宙旅行用宇宙船、観測用ロケット並びに微小重力実験用ロケット等に分類される。

(1)衛星打上げ用ロケット

人工衛星や有人の宇宙船を打上げる大型ロケットは第二次世界大戦時のドイツの V2 ロケットの技術を基礎として、戦後アメリカとソ連で発展した。大型ロケットは核弾頭(ペイロード)を長距離輸送する大陸間弾道ミサイル(ICBM)や中距離ミサイル(IRBM)として開発され、技術をそのままに人工衛星・有人宇宙船の打上げに転用した。その後も技術は相互に関係しつつ高度化し、進歩している。

a. ソ連（ロシア、ウクライナ）

ソ連は世界初の人工衛星を打上げ、有人宇宙飛行を行い当時のアメリカのロケット技術を大差で引き離していた。A-1 型ロケット以降 SL-4 / A-e2 型(Soyuz)、SL-12D 型(Proton)などが開発され、他国に比べて多数の衛星を打上げるとともに月・惑星探査機、Salyut や Mir 等の宇宙基地モジュールの打上げにも使用された。また、低軌道に 100t のペイロードを打上げる能力を有する大型ロケット Energia を開発し、'88 年に初の有人有翼機 Buran を無人実験で打上げている(財政難により 2 回の飛行で開発中止)。'91 年のソ連崩壊後、ソ連のロケットはロシアとウクライナに引き継がれ、上述の Soyuz、Proton の他 Zenit などの使い捨てロケットが開発･運用されていた。

ウクライナのZenitは最新の高性能ロケットでロシアのProtonとともに商業用打上げロケットとして国際市場を一時期席巻したが、2022年のロシアのウクライナ侵攻によりZenit生産施設は破壊されロシアに打上げ運用を依存したため継続は困難である。

なお、ロシアは2001年にProton Mの初打上げ、2004年はSoyuz 2の初打上げに成功した。Soyuzは有人飛行にも使用されていたが、2020年のMS-16ミッション以降はSoyuz 2(1A)が有人飛行に使用されている。ロシアは中型衛星打上げ用にSoyuz 2の改良型Soyuz-STをギアナ射場から打上げる協定をESAとの間で2005年に締結し、2011年以降打上げられていたが、2022年のロシアによるウクライナ侵攻以降の欧州の経済制裁の対抗措置で、ロシアがギアナからの打上げを停止した。ロシアはProton、Soyuzなど多数のロケットを保有してきたが、Angaraロケットを2014年に打上げ、ロケットのラインナップを徐々に一元化する計画であった。Angara ロケットの推進薬は、Proton が有毒の推進薬を使用していたのに対し、無毒のケロシン／液体酸素である。さらにウクライナ、カザフスタン等の技術・射場から脱却し、自律性を向上するためにロシア国内射場の建設を進め、Vostochny宇宙基地が2016年に完成した。現在、従来のBaikonr、Plesetskとの3射場からロシアは衛星を打上げている。

b.アメリカ

アメリカもソ連と同様にRedstone、Jupiter等のIRBMを改修し、人工衛星打上げロケットを開発、その後ICBMを改修したAtlasロケット及びTitan IIロケットでそれぞれMercury及びGemini計画を実施した。さらに、アポロ計画で Saturn ロケットを開発、人を月に運び、また宇宙実験室 Spacelab を打上げた。'86年のChallengerの爆発事故を契機にSpace Shuttleの商業衛星打上げ中止と使い捨て型の衛星打上げロケットを復活とともに衛星打上げの商業化政策が推進された。Delta、Atlas、Titanの各ロケットがそれぞれ改造され、世界の商業市場に投入されたが高いコストや'93 年に相次いで失敗したこともあり、欧州宇宙機関(ESA)のArianeロケットにその市場の大半を占有された。このためアメリカでは官民の間で新型ロケットの開発や既存ロケットの改修に着手し、EELV (Evolved Expendable Launch Vehicle)の開発を進め、2002年にAtlas V (Lockheed Martin)及びDelta IV (Boeing)の初打上げに成功した。後継はVulcan (ULA)ロケットであり、2024年1月の初打上げに成功し、実運用開始前の最終開発段階にある。

NASA は 2004 年に発表された新宇宙政策に基づいて Constellation 計画を進め、物資輸送のためのShuttle 後継機と貨物用カプセルを乗せて打上げるロケット(Ares V)の開発に着手したが、宇宙政策変更により2010年にConstellation計画を中止した。

また、国際宇宙ステーションへの今後の人員輸送は、米国民間企業から調達するとの方針が示され、2014年にBoeing (CST-100)及びSpaceX (Crew Dragon, DragonV2)が選定された。その後、SpaceXの Crew Dragon、Boeing の CST-100 Starliner 共に 2019 年それぞれ無人デモフライトを実施し、Crew Dragon / Falcon 9は人員輸送を2020年から開始し、Starlinerも無人の試験を2022年に完了している。

また、NASAは、Shuttle引退後の次世代の大型ロケットとしてSLS (Space Launch System)を開発している。SLS は有人宇宙船 Orion を含む宇宙への人員・物資輸送等に使用可能である。2022 年 11 月に、SLS初号機で打上げられた無人のOrionは順調に飛行し、12月に地球に帰還した。SLSの搭載能力は130トンまでの拡張を計画している。

民間企業によるロケット打上げについては、Boeing はノルウェー、ロシア、ウクライナの海外三社と

人工衛星打上げ会社 Sea Launch を設立し、ILS (International Launch Services)は '95 年に Lockheed Martin (LM)と露 Khrunichev 及び RSC Energia との合弁で、共に商業衛星を打上げていた。その後 Boeing と LM は、空軍や NASA 向けの Delta 及び Atlas のロケット製造から打上げ作業までの両社の事業部門を統合し折半出資の合弁会社(United Launch Alliance: ULA)を設立し打上げを行っている。一方、小型衛星の商業ベースでの打上げを目的にアメリカで開発・運用されているロケットとして、Northrop Grumman の Minotaur や Antares がある。Antares ロケットの一段タンクはウクライナのドニプロで製造、一段エンジンにロシア製 AJ-26(NK-33)や RD-191 を使用したが、今後は Firefly Aerospace 製の機体、Miranda エンジンに更新することを発表した。

また、低価格のロケットとしてSpace XはFalcon 1とFalcon 9のロケットを開発した。Falcon 9 は、1段にケロシン／液体酸素のMerlinロケットエンジンを9基束ねた液体ロケット、2段はMerlin 1基の液体ロケットから構成され、2010年に初飛行、2013年には初の静止衛星SES-8の打上げに成功した。Falcon 9は同社の輸送機Dragonや有人宇宙船のCrew Dragon の打上げにも使用している。Falcon 9の横に、1段の液体ロケットエンジンをブースターとして2セット追加した構成のFalcon Heavyは、2018年の初打上げに成功した。Falcon 9は、1回の商業打上げ価格は従来の半分程度の50億円前後と格安で、Ariane 5に代って商業市場を席巻している。Falcon 9を製造しているSpaceXは、Falcon 9の再使用型ロケットを運用しており、同社は1回の打上げ価格を従来の100分の1に下げる構想を掲げている。

その他、更に大型なStarship / SuperHeavyを開発しており、2023年に2回(4月20日と11月18日)の試験飛行を行ったが、最終目標には到達できなかった。

Relativity Spaceが機体を3Dプリンタで製造し、LOX/LCH4を利用するTerran-1ロケットは2023年3月に初号機打上げに失敗し、開発を中断し、さらに大型のTerran-Rロケットに移行した。近年は、FireFlyやSpinLaunch、Blue Origin等新興企業によるロケットの打上げ数が、増え続けている一方で、Virgin Orbitが2023年4月3日に米国破産法11条に基づく更生手続きを申請し、2023年5月23日に事業を停止した。

c. ESA

ESA は '79 年に Ariane 1 型の打上げに成功後、2 型、3 型、4 型、5 型と開発を進めてきた。旧式でコストの高いアメリカの打上げシステムに比べ、Ariane はペイロードに応じて固体や液体の補助ロケットと組み合わせ各種のファミリーを揃え、商業目的を追求し、低コストでの衛星打上げ事業に成功して、中国ロケットへの米国の技術移転規制も合わさり、一時は世界の商用衛星打上げ市場の過半数を占めるまでに至った。Ariane 5 は 2023 年には 2 機が打上げられた。Ariane 5 後継として低コストの Ariane 6 を開発中で、2024 年の初飛行をめざしている。Ariane 6 は 1 段と 2 段に液体水素／液体酸素の液体ロケットを使用し、補助ブースターに Vega ロケットの固体ロケット(2 基又は 4 基)を使用する計画である。Ariane ロケットは累計 261 機打上げている。

ESA は Soyuz の打上げに関する協定を 2005 年にロシア連邦宇宙局(Russian Federal Space Agency: Roskosmos) と締結し、Arianespace は 2022 年末までに、Soyuz を累計 63 機打上げたが、現在打上げは中止している。ロシアのウクライナ侵攻により、Roskosmos との協定による ESA 活動は不確定な状況である。

なお、ESA は小型衛星打上げ用にイタリア宇宙庁(Agenzia Spazoale Italiana: ASI)及びイタリア AVIO を

中心に3段式の固体ロケットVegaロケット初号機を2012年に打上げ、2023年10月9日に打上げに成功した。改良型Vega Cは初号機を2022年7月に打上げに成功し、12月Vega C 2号機は2段の不良により打上げに失敗した。

d. 中国

中国は'70年に初の人工衛星「東方紅」を長征(Long March)1ロケットで打上げて以来、2、3、4と開発を進め、'80年代より商業打上げの国際市場参入に成功したが、技術移転で米国の輸出規制を受け現在は非米国技術の衛星を商業ベースで、並行して多くの自国製衛星を打上げている。従前のロケットは、長征3号上段以外はほぼ全てヒドラジン系の液体燃料を使用していたが、性能向上及び低毒化等をめざし、ケロシン、液体水素を燃料とする長征5、6、7などの次世代ロケットを同時並行に開発し、中小型ロケット長征6は2015年、大型ロケット長征7と超大型ロケット長征5は2016年に初打上げに成功した。また、商業衛星の打上げを想定して開発を進め長征8は2020年に初打上げに成功した。一方改良型の長征5B(2017年)、長征7A(2020年)は打上げに失敗した。長征5Bは2020年に打上げに初成功し、長征7と共にCSSのモジュール打上げに利用されている。長征7Bは2021年に打上げに初成功し、以後は連続成功している。また、衛星打上げのほかに、無重量下での材料実験を行うカプセルの打上げ・回収サービスも行っている。長征ロケットは、2023年11月末までに累計約500機以上の打上げを行っており、打上げ成功率は高水準に達している。

また、中国は独自の有人宇宙計画により、2003年には初の有人宇宙船「神舟5号」を打上げ、旧ソ連、米国に次いで世界で3番目の有人飛行に成功した。2021年より建設が開始された中国宇宙ステーション(CSS)「天宮」は、2022年に6回の長征ロケット打上げにより完成した。

さらに小型衛星打上げ用ロケットとして、2003年に100 kg級衛星用に、移動式中距離弾道ミサイル(IRBM)東風21を商業用に転用した4段式固体ロケット開拓者1の試験飛行に成功した。その後、衛星打上げ用としては中国初となる移動式中距離弾道ミサイル東風31を改良した全段固体の長征11を開発し、2015年に打上げに成功した。また2016年には、3段式固体ロケットに加え上段ステージに液体推進スラスターを使用した、快舟1の打上げに成功した。2019年には黄海上の海上発射台からの初打上げを実施した。さらに、宇宙探査に対応可能な米国のSaturn Vロケットを超える搭載量140~150 tの打上げ能力を持つ長征9の開発を計画しており、2030年頃の初打上げを予定している。中国の民間企業LandSpaceは、2023年に朱雀2ロケットの打上げに初号機の失敗を克服し、世界で最初に液体メタン燃料による衛星の軌道投入に成功した。

e. 日本

日本はH-IIロケットを改良したH-IIAロケットを開発し、低コスト化による国際競争力と高信頼性の確立を図り、衛星打上げ市場への参入を目指した。2012年に韓国航空宇宙研究所(KARI)の多目的実用衛星3号機(KOMPSAT-3)を打上げた。カナダの商業通信衛星打上げを受注し、商業衛星打上げの国際市場に参入し、2015年打上げに成功した。また、H-IIAロケットの能力を増強したH-IIBロケットは9機連続で成功した。H-IIAロケット打上げ事業は2007年度(13号機)から三菱重工業に移管・民営化され、同じくH-IIBも2013年度(4号機)から民営化した。2023年1月26日にH-IIA 46号機で情報収集衛星レーダ7号機を打上げ、2023年9月7日にH-IIA 47号機でX線分光撮像衛星(XRISM)と小型月着陸実証機(SLIM)

を、2024年1月12日にH-IIA 48号機で情報収集衛星光学8号機を打上げた。日本は、H-IIA/Bロケットの後継として、コストをH-IIA等の半分に低減したH3ロケット初号機を2023年3月7日に打上げたが2段エンジンは作動せず失敗した。

固体ロケットシステム(イプシロン(Epsilon) ロケット)を開発し2013年に試験機、2021年11月9日に5号機の打上げに成功した。一方、2022年10月に打上げた最終の6号機は失敗した。併せて民間移管と国際競争力強化の為に後継のイプシロンSを開発中である。小型ロケットSS-520 5号機は、観測ロケットであるが、超小型衛星の打上げが可能であり、2018年に超小型衛星打上げに成功した。

民間の小型ロケット開発については、インターステラテクノロジズ(IST)のMOMOは2023年の打上げはなかったが、小型ロケットZEROに使用するメタンを燃料としたエンジン燃焼器の単体試験に成功した。また、民間小型ロケットスペースワンのカイロス(Kailos)ロケットは、2024年3月への打上げ延期が発表された。

f. その他

インド、イスラエル及びイランも、独自の衛星打上げ用ロケットを保有している。

インドは'80年に衛星の軌道投入に成功し、現在、極軌道衛星用の打上げロケット(Polar Satellite Launch Vehicle: PSLV)と静止衛星用の打上げロケット(Geo Synchronous Launch Vehicle: GSLV)を保有している。GSLVは、2003年と2004年にはMk Iの打上げに成功、2010年にはMk I、Mk IIの打上げに失敗したが、2014年にはMk IIの打上げに成功した。さらに、4トン級の静止衛星を打上げ可能な低コストのGSLV Mk III(LVM3)を開発した。LVM3は2段目に液酸／液水エンジンを使用した高性能の液体ロケットで2014年に弾道飛行での打上げに成功、2017年に衛星軌道への打上げに成功した。LVM3の価格はFalcon 9以下であり、信頼性が確保できれば、今後の世界の商業市場を席巻する可能性のあるロケットである。2023年にはNSIL(NewSpace India Limited)がOnewebとChandrayaan-3をLVM3で打上げた。

イスラエルは、'88年に3段式ロケットShavit (4段式のオプションも可能)により人工衛星の打上げに成功し、人工衛星打上げ能力を持つ8番目の国となった。イスラエルは近隣のアラブ上空をロケットが通過しないように西向きの軌道を取るため、衛星打上げに不向きでありShavitでの打上げは小型衛星が主体である。Israel Aerospace Industries(IAI)では、Shavitを改良した商業衛星打上げロケットを開発中である。

イランは2009年にSafirロケットにより国産衛星Omidを初めて地球周回軌道に投入した。2023年3月4日のQaem-100ロケットは打上げに失敗したが、Qasedロケットは2023年9月27日に3回目の打上げに連続成功している。

韓国は観測ロケット開発で蓄積した技術を基に、衛星打上げ用ロケットKSLV (Korean Space Launch Veicle)-1の開発をロシアと共同で行った。KSLV-1は2段式のロケットで、1段はロシアとの共同開発、2段は韓国独自で開発を行い、低軌道に100 kgの衛星が投入可能である。2度の失敗の後、2013年に打上げに成功した。韓国はその後、単独でロケットを開発し2021年にNuri (KSLV-2) 1号機を打上げた。2023年5月25日にはNuri 3号機を打上げた。他、国防開発庁(ADD)が開発した固体燃料ロケットGYUBを2023年12月4日に打上げた。

北朝鮮は2023年に千里馬(Chollima) -1ロケットを3回打上げ、3回目(2023.11.21)は搭載衛星を軌道に投

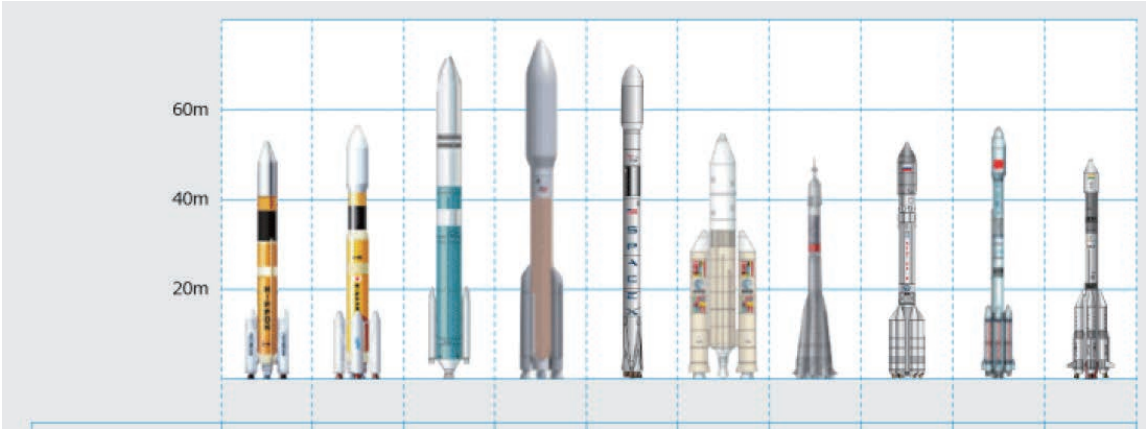
入した。

ブラジルは、’70 年頃から観測ロケットの開発を行い、Sonda シリーズ、VS シリーズを経て、2004 年に VSB-30 を打上げている。衛星打上げ用ロケットについては、’80 年から低軌道に約 200 kg の衛星を投入する VLS (Veiculo Lancador de Satellites)を開発してきたが、’97 年、’99 年の打上げ失敗に続き 2003 年爆発事故が発生し 21 名の死者を出した。相次ぐ事故から VLS 開発は凍結されたが、2010 年に再開され、人工衛星の打上げを目指している。

民間企業による観測ロケットの開発が進められており、2009 年にはニュージーランドの Rocket Lab が Atea-1 ロケットの打上げに成功した。その後超小型衛星打上げロケット Electron の開発を進め、2018 年 Electron ロケットの初打上げをニュージーランドで行い、衛星の軌道投入に成功し、継続して打上げを行っている。2023 年には第 2 射場としてアメリカの Wallops 島の Mid-Atlantic Regional Spaceport からの打上げを開始した。さらに打上げ頻度を向上するために 1 段をヘリコプタによる空中での回収を試みている。(2022 年は 2 度回収に失敗)

世界の主な人工衛星打上げロケットを図 1-3-1、主な打上げ射場を図 1-3-2 に示す。

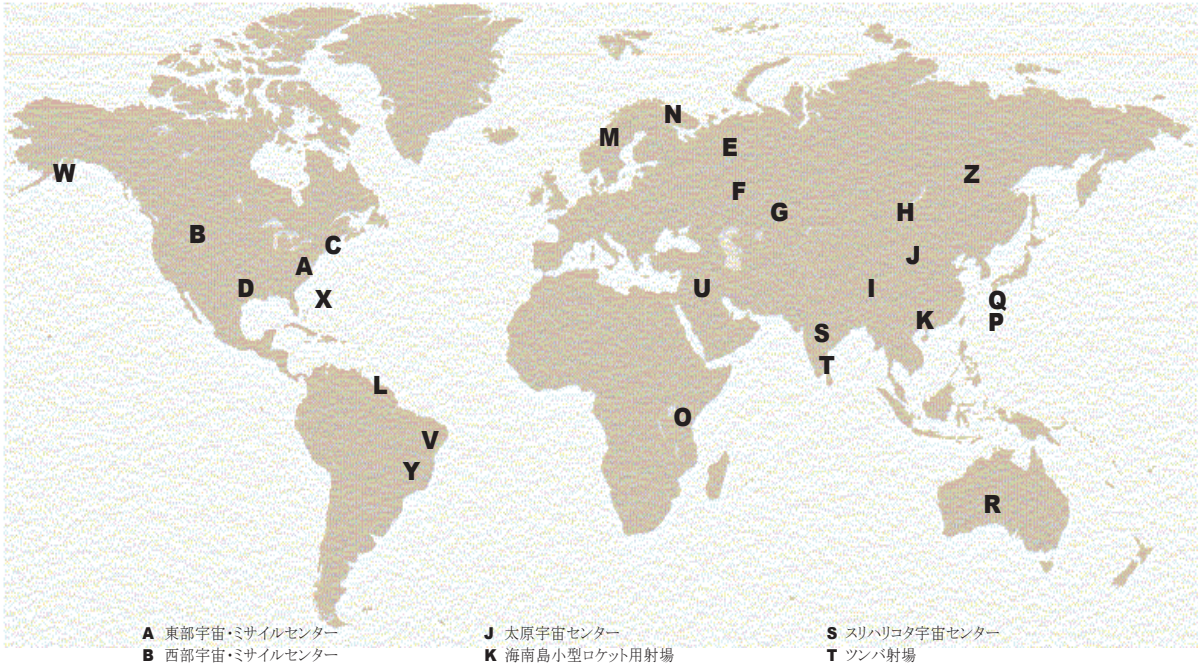
図 1-3-1 世界の主な人工衛星打上げロケット



ロケット名	H-ⅡA	H-ⅡB	デルタⅣ	アトラスⅤ	ファルコン9	アリアンⅤ	ソユーズ	プロトンM	長征3	GSLV
国名	日本		米国			欧州	ロシア		中国	インド
全長(m)	53	56.6	63~72	61~76	70	54.8	29.2~49.5	53	52.5~56.3	43.4~49
全備重量(t)	289~443	531	250~733	334~569	541	780	107~305	713	241~459	415~640
低軌道 打上げ能力(t)	10.0	16.5	9.4~28.8	8.1~18.8	22.8	21.0	3~7.8	23.0	8.5~12	5~8
静止トランスファ軌道 打上げ能力(t)	4~5.95	N/A	3.1~14.2	2.7~8.9	8.3	9.5	3.3	6.9	2.6~5.5	2.5~4

出典：JAXA

図 1-3-2　世界の主な打上げ射場



A 東部宇宙・ミサイルセンター
B 西部宇宙・ミサイルセンター
C NASA ワロップス射場
D ホワイトサンズ射場
E プレセーツク射場
F カプースチン・ヤール射場
G バイコヌール射場
H 酒泉宇宙センター
I 西昌宇宙センター
J 太原宇宙センター
K 海南島小型ロケット用射場
L ギアナ宇宙センター
M アンドーヤロケット発射場
N エスレンジ射場
O サンマルコ射場
P 種子島宇宙センター
Q 鹿児島宇宙空間観測所
R ウーメラ射場
S スリハリコタ宇宙センター
T ツンバ射場
U パルマチン空軍基地
V アルカンタラ射場
W コディアク打上げセンター
X スペースポート・フロリダ
Y スバボードヌイ射場
Z パライラ・ド・インフェルノ射場

出典：JAXA

⑵ 宇宙往還機

地上と宇宙との間を繰返し往復しペイロードを輸送するシステムに米国の Space Shuttle が運用され、宇宙ステーションの組立などに活躍し、2011 年退役した。

NASA は Constellation 計画を中止したが、ESA と共同で次世代有人輸送機 Orion を開発し、2014 年、Delta IV ロケットによる無人打上げ試験に成功した。2022 年には ESA 開発のサービスモジュールを搭載した Orion を SLS ロケットで 11 月に打上げ無人飛行を成功させた。2024 年以降に有人初飛行を予定している。

また、NASA の C3PO (Commercial Crew and Cargo Program Office)の中の商業軌道輸送サービス(Commercial Orbital Transportation Services, COTS)に向けた企業支援プログラムの一つとして、SpaceX が有人／貨物輸送機 Dragon を開発した。Crew Dragon は 7 人乗りのカプセルで、同社の Falcon 9 で打上げ ISS へ乗組員を輸送する。2010 年に、SpaceX は無人での有人／貨物輸送機 Dragon を搭載した Falcon 9 ロケットの試験打上げに成功した。Dragon は Falcon 9 から分離後、低軌道を 2 周回し、太平洋上に無事着水した。民間による宇宙機が低軌道からの帰還は世界初成功である。Dragon は 2012 年に宇宙ステーションとドッキングに成功した。

さらに、COTS に基づき Northrop Grumman が Cygnus を開発し、2013 年に同社が開発した Antares ロケットにより初打上げを行い、宇宙ステーションへのドッキングと、補給物資などの輸送に成功した。続いて 2014 年に初の商業補給サービスとして打上げられ、宇宙ステーションへの実験装置や補給物資などの輸送に成功した。Cygnus には日本の IHI エアロスペース製スラスタ、HTV に使用の近傍接近システム(三菱電

機製)が搭載されている。2022 年 6 月には、Cygnus のスラスタにより ISS の軌道修正に成功し、Soyuz に依存している軌道修正の能力を示した。

同じく C3PO の中の CCDev(Commercial Crew Development)で開発されている米国 Blue Origin の有人宇宙機 New Shepard は再使用が可能であり、2021 年に初の有人飛行に成功したが、2023 年 12 月に無人の打上げを再開している。

NASA は、地球の低軌道に人員・物資を輸送する手段として、CCiCap (Commercial Crew Development Phase 3)と名付けた有人の商業宇宙船の開発プログラムを進行中である。その一つとして、SNC (Sierra Nevada Corporation)は Dream Chaser を開発している。外観は NASA HL-20 計画を参考とし、Space Shuttle を小さくしたような姿をしており、最大 7 名の乗員を乗せ ISS に送り込むことができる。2014 年、SNC は日本の JAXA と有人宇宙船 Dream Chaser の開発で協力する旨の了解覚書を締結したと発表した。有人の商業宇宙船の開発では、他に Boeing (CST-100、Starliner)と SpaceX (Dragon V2、Crew Dragon)がある。その後の CCtCap (Commercial Crew Development Phase 4)で、Boeing と SpaceX が選定され、SNC は選定されなかった。Crew Dragon は 2019 年に無人デモフライト(Demo-1)を実施し、2020 年に初の有人飛行と ISS ドッキングが成功した。一方、CST-100 Starliner は、2022 年 5 月に打上げられ、ISS へのドッキング後米陸軍のホワイトサンズ・ミサイル実験場に無事着陸し、成功した。

C3PO の CRS (Commercial Resupply Services)では 2016 年に SpaceX (Dragon V2)、Northrop Grumman (Cygnus)、SNC (Dream Chaser)が 2 回目で選定された。なお、SNC は独自に Dream Chaser 開発を進め、2021 年に宇宙システム部門を分離独立させて、ベンチャー企業 Sierra Space を設立した。ULA Vulcan 2 号機での打上げを予定している。

米国以外の宇宙往還機では、ロシアは Buran が試験飛行('88 年)したが、財政難により飛行計画は中断された。ISS への無人貨物輸送に Progress 補給船、有人飛行に Soyuz 宇宙船を使用している。

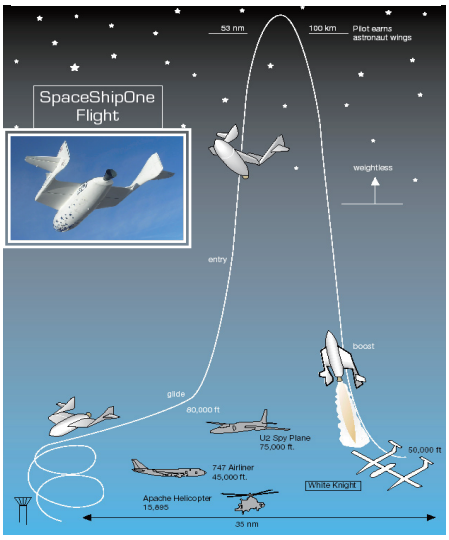
ESA は ISS 物資補給用に無人輸送システムとして EADS Astrium を中心に欧州補給機 ATV (Automatic Transfer Vehicle)を開発し 2014 年に最終号機(5 号機)を打上げた。ATV は Orion 宇宙船の ESA サービスモジュールに発展、継承している。 2015 年 Thales Alenia Space は無人再突入実験機 IXV (Intermediate Experimental Vehicle)の再突入、海上回収に成功した。ESA は IXV を発展させ軌道上サービスモジュールを組合せた無人の LEO 往還システム(Space Rider)の実用化を目指している。

日本では、将来の軌道上サービス、宇宙環境利用、宇宙ステーションへのサービスのため、JAXA は主に無人運用を前提とした再使用型宇宙輸送システムの研究を進め、HTV を応用した HTV-R を検討した。現在 HTV を改良し将来の波及性を持たせた新型宇宙ステーション補給機 HTV-X を 2016 年から開発、H3 ロケットで技術実証機を 2024 年以降に打上げ予定である。

中国は長征 2F/T ロケットで 2020 年と 2022 年に再使用型軌道上サービス機の有翼試験機を打上げ、陸上で回収したと新華社通信が報じている。また 2023 年 12 月 14 日から「神龍」と呼ぶ再使用型軌道上サービス機を地球周回軌道で運用中である。

⑶ 宇宙旅行用宇宙船

図 1-3-3 SpaceShipOne 飛行経路



米国のベンチャー企業Scaled Compositesは2004年に宇宙船SpaceShipOneを準軌道(サブオービット)と呼ばれる高度100kmに到達させ、民間初の有人宇宙飛行に成功し、引続き9月及び10月の2回に2週間以内の連続飛行にも成功して「Ansari X Prize」(3人乗りロケットで高度100kmまでの無重力観光を最初に達成した企業等に与えられる国際コンテスト(SpaceShipOneのフライトでは2名分はダミーウェイト))を獲得した。(図1-3-3 参照) 宇宙船をマザーシップ(WhiteKnight)に搭載し、上空へ移動させてから分離、ロケットエンジンに点火、弾道軌道飛行を行った。SpaceShipOneは燃料としてゴムと亜酸化窒素を使用するハイブリッド・エンジンを使用している。この技術をもとに英Virginグループは Virgin Galacticを設立し、宇宙観光旅行サービスを計画した。VirginとScaled Compositesとの合弁会社Spaceship(2012年からVirgin Galacticの100 %子会社)により、8人乗りの宇宙船(SpaceShipTwo、内2名はパイロット)及びマザーシップ(WhiteKnightTwo)の開発が行われている。2007年にScaled Compositesでのエンジン試験で爆発事故が起きたが、開発は継続され2008年にWhiteKnightTwoの初飛行後、2009年にはマザーシップから分離して宇宙空間に到達するSpaceShipTwoのロールアウトが行われた。Virgin Galacticは、2015年からの一般客の宇宙旅行の開業を目指していたが、2014年の試験飛行で、パイロット1名が死亡、乗務員1名が重傷を負う事故を起こした。2016年、SpaceShipTwo 2号機が有人飛行試験を実施し、成功した。2018年には同じく有人で、高度82.7kmに到達した。2021年に乗客を招待し2回飛行した。2022年7月の試験飛行にて帰還時の経路を逸脱したため、FAAと飛行許可の協議、是正後、2023年6月29日に乗客3名を乗せて飛行を再開した。

その他、Blue Originの有人宇宙機New Shepardは2021年7月に初の有人飛行に成功し、10月、12月の合計3回の有人飛行を行い、2022年も継続して有人・無人での打上げを実施している。SpaceXはCrew Dragonによる民間宇宙旅行を2021年に行った。単独での往還の他、ISSへの有人宇宙旅行を2022年4月に実施した。

ロケット開発ベンチャーXCOR Aerospaceも宇宙旅客機の試験飛行免許を2004年に米連邦航空局から取得し、宇宙船Lynx (Lynxsuborbital spaceship)を開発中であったが、2017年、Chapter 7による破産申請し倒産した。商業宇宙旅行(ISS滞在、打上げ・帰還はSoyuz宇宙船)を提供している米国Space Adventuresも準軌道の宇宙旅行、月周回旅行を発表している。なお、同社のISS滞在による商業宇宙旅行は2001年から開始され2009年末までに7名(内1名は2回)がフライトしており、2021年に12日間、2名の日本人がISSに滞在した。この他に準軌道の宇宙旅行では、Starchaser Industriesのカプセル型宇宙船Thunderstarが発表されている。

また滞在型の宇宙旅行ではBigelow Aerospaceが2006年と2007年にサブサイズ(直径2.5m、全長4.4m)で無人の試験機Genesis IおよびGenesis IIをDneprロケットで打上げ長期間の宇宙滞在に向けた検証を行っている。2016年はBEAM (Bigelow Expandable Activity Module)をISSに取り付け、実証試験を実施し、2017年、実証試験期間の3年間延長し、2021年12月にNASAへ所有権が譲渡された。また、米国WorldViewは、気球で高度3万メートルの成層圏に到達する格安の宇宙旅行(費用：約5万ドル)サービスの開始を発表している。

計画では、離陸から着陸まで約6～8時間の行程である。2014年、気球で高度約3万6千メートルの成層圏の飛行テストに成功し、2024年の実用化を目指している。宇宙機の開発を進めている日本のPDエアロスペースは、宇宙輸送事業化に向けた資本提携をエイチ・アイ・エス（H.I.S）とANAホールディングスと締結した。民間主導による宇宙機開発を推進し、2029年の商業運航開始を目指している。SpaceXは2018年、同社のロケットを利用した最初の民間人月旅行者が日本人であり、2023年に打上げることを発表した。

今後、宇宙旅行が更に活発化すれば、無重力状態での生活の体験や、宇宙から地球･月の姿を眺めることなどを提供する本格的な宇宙旅行事業が活発になり、事業化に伴い、宇宙往還機・宇宙船の進化、低コスト化も進み、人類の宇宙に対する認識、関わり方が劇的に変わって行く可能性がある。現在計画(または実施)されている主な宇宙旅行を表1-3-2に示す。

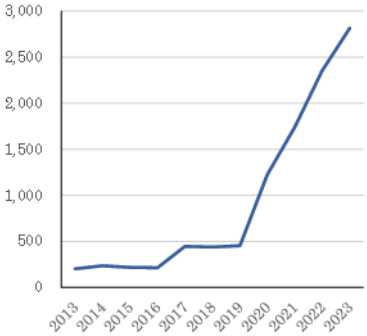
表1-3-2　主な宇宙旅行(計画または実施中)

旅行内容	実施時期	旅行代金	主催会社	ビーグル	実施時期
SubOrbital旅行	1日	$45k	Virgin Galactic	WhiteNight/TwoSpaceShipTwo	2021年～
〃	〃	$20k?	Blue Origin	New Shepard	2021年～
〃	〃	$55M?	SpaceX	Falcon9	2021年～
ISS滞在	約10日	$50M?	Space Adventure	Soyuz	2001年～
〃	?	$55M?	Axiom Space	Falcon9	2022年～
地球周回軌道滞在	〃	$25M?	Bigelow Aerospace	Atlas V等	未定
〃	約5日	不明	SpaceX	Falcon9	2021年～
月周回	約3日	$150M?	Space Adventure	Soyuz	未定

3. 人工衛星

これまでに打上げられた衛星等の数は 17,000 機を超えているが、アメリカとロシア(ソ連含む)で全体の約75%を占めている。2013 年以降は毎年 200 機以上、2017 年以降は年 400 機超、2020 年以降は年千機を超える衛星が打上げられた。人工衛星を利用する国数の増加、メガコンステレーションと呼ばれる数 100～10,000 機以上の衛星コンステレーション計画の進捗と小型・軽量・低コストとなる衛星の同時複数打上げが可能となったこと等による。

軌道投入された衛星総数



2023 年には 212 回の打上げが成功し、合計で 2,816 機の衛星の軌道投入に成功した。(ISS からの放出分を含む)

HTS(High Throughput Satellite)衛星による 1 機当たり通信容量の増加や通信コンステレーション計画の進展等の影響により商用静止通信衛星の新規契約数は、2020 年は 19 機、2021 年は 11 機、2022 年は 9 機、2023 年は 7 機と漸減している。

また、衛星コンステレーションの進展により、2023 年も通信衛星の OneWeb や SpaceX Stalink、観測衛星 Planet の光学衛星 Flock (Dove)や Spire の AIS 受信／GPS 電波掩蔽観測衛星 Lemur、フィンランドの小型 SAR 衛星 ICEYE も引き続き打上げが継続されている。

また、2019 年に米国 Northrop Grumman が子会社の SpaceLogistics 社を通じて静止通信衛星の寿命を延伸する初の軌道上サービス衛星 MEV-1(Mission Extension Vehicle)を打上げ、2020 年にターゲットの Intelsat 901 衛星にドッキングして軌道制御等を実施している。MEV-2 は 2020 年に打上げられ、2021 年にターゲットの Intelsat IS-10-02 衛星にドッキングして軌道制御等を実施している。また、同社は発展型として MRV (Mission

Robotic Vehicle)と MEP (Mission Extension Pod)を組み合わせた開発を進めており、2024 年に打上げを予定している。

2022 年末までに打上げられた国・機関別／年別人工衛星の打上げ個数を表 1-3-3 に示す。なお、表 1-3-3 は Celestrak Satellite Catalog を基本とし、NASA データベース、国連データベース(United Nations Office for Outer Space Affairs)等を参考にまとめたものである。米国打上数には、Starlink 1,690 機、英国打上数には Oneweb 110 機、ルクセンブルク打上数には SES / O3b 所有の 5 機を含む。

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(1)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	ロシア (旧ソ連 CIS)	米国	日　本			国際機関／多国籍企業						
			JAXA	その他	計	インテルサット	欧州	NATO	アラブサット	インマルサット	ユーテルサット	アフリカ連合
1957～70	478	640	1		1	12	4	1				
1971～80	1,019	249	19		19	13	10	4				
1981～90	1,096	194	27	4	31	15	15	1	2	1	1	
1991～00	417	459	17	14	31	22	16	2	4	8	14	
2001～10	190	268	35	34	69	20	25		5	3	20	2
2011	19	38	3	1	4	2	3		1		2	
2012	19	29	3	6	9	5	5				2	
2013	26	88	3	2	5		6			2	3	
2014	33	92	3	22	25	1	4				1	
2015	23	104	3	1	4	1	9		1	2	2	
2016	10	102	3	8	11	4	9				3	
2017	20	282	3	12	15	3	6			1	1	
2018	23	197	2	10	12	1	9					
2019	27	253	2	9	11	1	3		1	1	2	
2020	22	958	1	6	7		2				1	
2021	16	1,216	1	15	16		2		1	1	1	
2022	36	1,872		3	3	6	1				4	
計	3,474	7,041	126	147	273	106	129	8	15	19	57	2

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(2)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	欧　州 (1)															
	ｲｷﾞﾘｽ	ｲﾀﾘｱ	ﾌﾗﾝｽ	ﾄﾞｲﾂ	仏/独 仏/伊	ｽﾍﾟｲﾝ	ｵﾗﾝﾀﾞ	ﾁｪｺ	ｷﾞﾘｼｬ	ｽｲｽ	ｽｴｰﾃﾞﾝ	ﾉﾙｳｪｰ	ﾙｸｾﾝﾌﾞﾙｸﾞ	ﾎﾟﾙﾄｶﾞﾙ	ﾊﾝｶﾞﾘｰ	ﾃﾞﾝﾏｰｸ
1957～70	5	2	7	2												
1971～80	7	3	11	4	2	1	1	1								
1981～90	10	1	8	8				1			2		1			
1991～00	9	11	15	17		5		3			6	2	10	1		1
2001～10	8	9	18	26		8	1	1	1	2	3	3	12			3
2011		1	5										3			
2012	2	4	3	1		1							4		1	
2013	7	1		6		3	1					1	3			2
2014	10	2		1	1	2						1	2			1
2015	5				1							1				2
2016		1	1	2		1							1			1
2017	2	5	3	4		3	1	1	3		1	2	3			
2018	12	1	2	8		4	2	1		1			3			2
2019	12	2	5	8		2		1	1	1	1				2	
2020	104	1	4	5		3										
2021	286	6	8	6		2	3			10		1	5		2	
2022	111	8	5	3		16	1	3		4	1	3	9		0	
計	590	58	95	101	4	51	10	12	5	18	14	14	56	1	5	12

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(3)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	欧　州 (2)															
	ルーマニア	ポーランド	オーストリア	エストニア	リトアニア	アゼルバイジャン	カザフスタン	トルクメニスタン/モナコ	ウクライナ	ベラルーシ	ベルギー	ラトビア	ブルガリア	スロバキア	フィンランド	スロベニア
1957～70																
1971～80																
1981～90																
1991～00																
2001～10							1		3							
2011							1		2							
2012	1	1								1						
2013		1	2	1		1			1							
2014		1			2	1	3		1		2					
2015								1								
2016										1	1					
2017			1		1		1		1			1	1	1	2	
2018		1				1	4			1			1		4	
2019		2		1	2										2	
2020				1	2						2				2	2
2021		2			3						2				8	
2022		6			1				1				1		7	1
計	1	14	3	3	11	3	10	1	9	3	7	1	3	1	25	3

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(4)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	アジア																				オセアニア	
	中国/ブラジル	中国	インド	インドネシア	パキスタン	シンガポール/台湾	シンガポール	台湾	韓国	北朝鮮	タイ	ベトナム	フィリピン	マレーシア	ラオス	バングラデシュ	モンゴル	ブータン	ネパール	スリランカ	オーストラリア	ニュージーランド
1957～70		1																			2	
1971～80		7	3	2																		
1981～90		25	9	3	1																3	
1991～00	1	35	14	6		1		1	5		4			3							4	
2001～10	2	89	24	3	1			7	5		3	1		3							5	
2011		19	7		1	1	1															
2012		25	2	1					1	1		2										
2013	1	16	5		1		1		4			2										
2014	1	24	4				2	1			1			1							1	
2015		39	4	1			6		1						1						1	
2016		36	12	2						1	1		1								1	
2017		35	9	1			1	1	5							1	1				7	
2018		89	10	1	2		1		11		1		2	2		1		1			5	1
2019	1	73	9	1			2	6			1	1							1	1	1	
2020		71	3						2		1										2	6
2021		99	1					2	1		2										6	4
2022		177	10				2	1	8					1							1	10
計	6	860	126	21	6	2	16	19	43	2	14	6	3	10	1	2	1	1	1	1	39	21

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(5)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	カナダ、中南米												
	ｶﾅﾀﾞ	ﾌﾞﾗｼﾞﾙ	ﾒｷｼｺ	ﾁﾘ	ｺﾛﾝﾋﾞｱ	ｴｸｱﾄﾞﾙ	ｱﾙｾﾞﾝﾁﾝ	ﾍﾞﾈｽﾞｴﾗ	ﾍﾟﾙｰ	ﾎﾞﾘﾋﾞｱ	ｳﾙｸﾞｱｲ	ｺｽﾀﾘｶ	ｸﾞｱﾃﾏﾗ
1957～70	3												
1971～80	6												
1981～90	5	3	2				1						
1991～00	7	7	3	1			4						
2001～10	14	3			1		3	1		1			
2011	1		1	1			1						
2012	2	1	1					1					
2013	4					2	2		1	1			
2014	3	1					2		2		1		
2015	2	3	2				1						
2016	3	1					2		1				
2017	1	2		1		1	1	1					
2018	5	1			1		3					1	
2019	3	1	1										
2020	5						14						1
2021	11	3	1				5						
2022	7	1		3			9						
計	82	27	11	6	2	3	48	3	4	2	1	1	1

表 1-3-3　国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数(6)　(2022 年 12 月末現在)

国 / 年	中近東・アフリカ																				年毎合計
	ｴｼﾞﾌﾟﾄ	ｻｳｼﾞｱﾗﾋﾞｱ	UAE	ｸｳｪｰﾄ	ｲﾗﾝ	ｶﾀｰﾙ	ｲｽﾗｴﾙ	ﾄﾙｺ	ﾖﾙﾀﾞﾝ	南ｱﾌﾘｶ	ﾓﾛｯｺ	ｱﾙｼﾞｪﾘｱ	ﾅｲｼﾞｪﾘｱ	ｶﾞｰﾅ	ｱﾝｺﾞﾗ	ｹﾆｱ	ｴﾁｵﾋﾟｱ	ｽｰﾀﾞﾝ	ﾁｭﾆｼﾞｱ	ﾙﾜﾝﾀﾞ	
1957～70																					1,158
1971～80																					1,362
1981～90							2														1,441
1991～00	2	2	1				3	2		1											1,160
2001～10	2	10	3		2		7	4		1		2	2								900
2011			1		1		1	1					3								121
2012			1		1			1													128
2013			1				1	1		1											204
2014	1	1					2	1		1											236
2015					1			1													219
2016							1	1				3									214
2017			1				4	2		2	1	1	1	1	1						447
2018		2	2			1		1	1	1	1					1					438
2019	4		1				4										1	1		1	455
2020			3		1		2														1,227
2021		1	3	1				2											1	1	1,741
2022	1		1		2		10	2		3					1						2,353
計	10	16	18	1	8	1	37	19	1	10	2	6	6	1	2	1	1	1	1	2	13,804

(1) 通信・放送衛星

'64 年に初の静止通信衛星 Syncom-3 が打上げられると共に条約・協定に基づく Intelsat(国際電気通信衛星機構)が発足し、'69 年にグローバル・システムが完成した。その後、各国の衛星通信事業に参入による競争激化、マルチメディアなど通信需要の多様化への対応、地上システムとの競争など環境の激変時代を迎え

て Intelsat も民営化せざるを得ない状況となり、'98 年に子会社として New Skies Satellites を設立した。(本社：オランダ、2004 年に投資会社 Blackstone Group が買収後、2005 年に SES が買収) 2001 年には本体も Intelsat Ltd.として民営化された。同時に国際公衆電気通信業務を確実に実施することを監督する機関として国際電気通信衛星機構(ITSO: International Telecommunications Satellite Organization)が設立された。2004 年に Intelsat は投資会社 Zeus Holdings により買収後、PanAmSat を 2006 年に買収した。2020 年売上は $1.91B で従業員約 1,800 人、静止衛星数 52 機の衛星通信会社となっている。2023 年 Intelsat は Chaper 11 を申請した。SES と合併協議を 2023 年に行ったが、中止となった。Intelsat 衛星のこれまでの変遷を表 1-3-4 に示す。

ソ連は地理的に実用性から'65 年に Molniya I 系初号機を北に偏った 12 時間軌道に投入し、国内の衛星通信業務を開始した。'71 年には東側諸国により Intersputnik(宇宙通信国際機構)が設立され Molniya II 系により業務を始めた。ソ連は '74 年に静止衛星の打上げに成功し、Intersputnik の衛星もその後静止衛星に変更された。現在の加盟国は 26 ヵ国である。'97 年に Lockheed Martin との合弁会社 Lockheed Martin Intersputnik (LMI)を設立し Lockheed Martin (LM)製の LMI-1 を'99 年に打上げた。なお、LM-I-1 はドバイの ABS に購入された。また Eutelsat や Gascom(現 Gazprom Space Systems)とも協力関係を結んで、2006 年から商用サービスも開始し、20 機以上(Eutelsat、Intelsat、RSCC、SES 等の衛星を使用)の静止衛星を用いてグローバル・サービスを 40 ヵ国以上に提供している。

表 1-3-4 Intelsat 衛星シリーズの主要パラメータ

衛星シリーズ		I	II	III	IV	IV A	V	VA	VI	V II	V IIA	V III	V IIIA	IX	X	Epic (Inetlsat-29e)	Epic (Inetlsat-32e)
姿勢安定方式		ｼﾝｸﾞﾙｽﾋﾟﾝ	ｼﾝｸﾞﾙｽﾋﾟﾝ	ﾃﾞｭｱﾙｽﾋﾟﾝ (ﾃﾞｽﾊﾟﾝｱﾝﾃﾅ)	ﾃﾞｭｱﾙｽﾋﾟﾝ (ﾃﾞｽﾊﾟﾝﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ)		三軸ﾊﾞｲｱｽﾓｰﾒﾝﾀﾑ		ﾃﾞｭｱﾙｽﾋﾟﾝ (ﾃﾞｽﾊﾟﾝﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ)	三軸ﾊﾞｲｱｽﾓｰﾒﾝﾀﾑ		三軸ﾊﾞｲｱｽﾓｰﾒﾝﾀﾑ		三軸ﾊﾞｲｱｽ ﾓｰﾒﾝﾀﾑ	三軸ﾊﾞｲｱｽ ﾓｰﾒﾝﾀﾑ	三軸	三軸
重量(kg) BOL／ドライ		39 / 34	86 /77	152 / 13	722 /587	832 / 665	1053 / 826	1100 / 863	1533 / 1910	1825 / 1470	−/ 1823	−/ 1530	−/ 1587	LaunchMass 4725kg	LaunchMass 5500kg	LaunchMass 6600kg	LaunchMass 6000kg
電力(W) BOL／EOL		45 / 40	100 / 85	178 / 131	−/ 454	−/ 525	1725 / 1221	1742 / 1241	−/ 2100	3900 / 3531	−/ 5326	−/ 4800	−/ 4800	−/ 8000	-	−/13000	-
伝送容量 (等価電話回線数+TV ﾁｬﾝﾈﾙ数)		240 or 1TV	240 or 1TV	1200 +2TV	4000 +2TV	6000 +2TV	12000 +2TV	15000 +2TV	24000 +3TV	18000 +3TV	22500 +3TV	ﾄﾗﾎﾟﾝ C:38 Ku:6	25000 +3TV	ﾄﾗﾎﾟﾝ C:44 K:12	ﾄﾗﾎﾟﾝ C:70 K:36	ﾄﾗﾎﾟﾝ C:24 Ku:246	ﾄﾗﾎﾟﾝ Ku:81 Ka:32
設計寿命(年)		1.5	3	5	7	7	7	7	13	15	15	13-19 (燃料寿命)	~17	13	13	15	19
初号機打上年		1965	1966	1968	1971	1975	1980	1985	1989	1993	1995	1997	1998	2001	2004	2016	2017
打上幾数		1	4 (失敗1)	8 (失敗3)	8 (失敗1)	6 (失敗1)	9 (失敗1)	6 (失敗1)	5 (軌道上 再打上1)	6	3 (失敗1)	4	2	7 (#901#907)	1 (10-02)	4	1
経費 (M$)	衛星 (1機平均)	6.7	3.2	6	17.6	23.3	33.6	35	140	79		83	-	-	-	-	-
	打上 費用	5	5	6	16	23	37.6	50-55	130	-	-	-	-	-	-	-	-
	合計	11.7	8.2	12	33.6	46.2	71.2	85-90	270	-	-	-	-	-	-	-	-
製造業者		Hughes	Hughes	TRW	Hughes	Hughes	Space Systems Loral(SS/L)		Hughes	SS/L		Lockheed Martin		SS/L	Astrium	Boeing (702MP)	ADS (Eurostar3000X)

’72 年のカナダを皮切りに静止衛星を用いた国内通信システムが出現、いち早く規制緩和を行ったアメリカは、’74 年に民間初の Wester-1 を打上げた。その後、衛星通信事業会社が各国で設立、運用されてきた。日欧等も通信衛星を開発してきたが、’80 年代に入って通信事業が本格化し経済的効率化が要求されるようになると、それまでに実績を重ねたアメリカの衛星メーカーに発注して衛星を購入するケースが多くなった。この結果、’90 年代の商業衛星の国際市場ではアメリカが圧倒的な優位に立っていたが、2000 年に入り、米国 3 大メーカーのうち、LM 及び Boeing が官需へ軸足を移すとともに、米 Northrop Grumman や Airbus Defence and Space (ADS)、Thales Alenia Space (TAS)等の欧州衛星メーカーも販売数を伸ばした。また、商用衛星市場に注力していた Space Systems/Loral (SS/L)は 2012 年にカナダ MDA に買収後、その後米国法人 Maxar Technologies となっている。

固定衛星通信の需要は国内・地域・国際における公衆通信、直接衛星放送、企業などの専用通信が主なものである。

欧州地域では 49 ヵ国が加盟する Eutelsat(欧州通信衛星機構)がヨーロッパ全域をカバーする域内衛星通信サービスを行ってきた。2001 年に民営化され、仏に本社を置く会社 Eutelsat S.A.となった。Eutelsat は 30 機以上の衛星で事業を行っており、2021-2022 年の収益は€ 1.15B である。2022 年には Eutelsat Konnect VHTS (Very High Throughput Satellite)を打上げている。2023 年 9 月 28 日に Oneweb と合併し、Eutelsat グループとなった。

ルクセンブルクに本社がある SES はグローバルオペレータとして、合計 70 機以上の衛星(パートナー会社の衛星を含む)と複数軌道(GEO, MEO)を使用して全世界にサービスを行っており、2021 年の売上は€ 1.78B である。更に SES は上記以外にもパートナー会社としてメキシコの QuetzSat、カナダの Ciel、中東の YahLive 等を有している。欧州ではその他リージョナルオペレータとして、スペインの Hispasat が 2018 年に Hispasat 30W-6 を打上げ、合計 9 機の通信衛星を保有し、欧州、南北アメリカ及び北アフリカにサービスを提供している。ギリシャの Hellas-Sat は 2019 年に打上げた Hellas Sat 4 を含めて 3 機の衛星を保有し欧州、中東、南アフリカへサービスサービスを提供している。ノルウェーの Telenor Satellite Broadcasting は 4 機の衛星を使い、放送とデータ通信サービスを行っている。英国 Avanti は 2018 年に打上げられた HYLAS-4 を含め HYLAS 衛星 4 機及び SES 衛星への相乗り機器等を所有し、Ka バンドを使った高速衛星通信サービスを展開している。

ロシアでは、エネルギー大手の Gazprom グループ傘下の衛星通信事業者として ’92 年に設立された Gazprom Space Systems が、2019 年に打上げた Yamal 601 を含めて計 5 機構成で通信サービスを提供している。ロシア最大の通信衛星オペレータは Russian Satellite Communications Company (RSCC)であり、合計 12 機を運用中である。

アメリカでは、国内衛星通信業者の統合が進み寡占化が進んだ。最大の衛星通信サービス会社 GE Americom は、アメリカを中心に衛星通信サービスを展開し、国内の衛星通信シェアの 50％以上を有していたが、2001 年に SES に買収されて SES Americom となった後、SES Astra と合併し SES となった。PanAmSat も大西洋、太平洋、インド洋に合計 20 機以上の衛星を配置し全世界ネットワークを構成していたが、2004 年に Intelsat と合併した。

北米では他に、カナダの Telesat(米 Loral Sapce & Communications 及び Canada’s Public Sector Pension

Investment Board 傘下)が 14 機の衛星及び Viasat-1 上のペイロードを運用している。また、LEO コンステレーションの「Telesat Lightspeed」を計画中である。また、メキシコでは Eutelsat の SATMEX、南米ではブラジル Embratel の StarOne、アルゼンチンの ARSAT 等の国内通信衛星が運用されており、最近では Embratel StarOne が StarOne-D2 を 2016 年に、ARSAT が ARSAT-2 を 2015 年に打上げている。

アジア・太平洋地域の国内衛星通信システムも近年急成長を遂げてきた。日本のスカパーJSAT をはじめとしてオーストラリア SingTel Optus、インドネシア Indosat、中国の Chinasat、インド ISRO、タイ Thaicom、韓国 KT、マレーシア Measat、シンガポール SingTel、台湾 Chunghwa Telecom などのオペレータや国が通信衛星を運用している。スカパーJSAT は Intelsat との共有を含めて 17 機の衛星を運用しており、4 大オペレータと並ぶ規模のサービスを提供している。

さらに、アジア地域衛星では香港の AsiaSat (SES 資本参加)がアジア・中東地域に通信サービスを行っており、香港のスター TV 衛星放送も AsiaSat を使っている。AsiaSat は 5 機の衛星を保有している。また、中国、香港、タイの企業が出資している APT Satellite は、衛星 5 機を使って東南アジア地域を中心に欧州、アジア、アフリカ、豪州までサービスを行っている。2019 年にはインドネシア Pasifik Satelit Nusantara (PSN) の Nusantara Satu やインド GSAT-31、中国 Chinasat-6C などが打上げられたが、Chinasat-18 は静止トランスファ軌道に投入後不具合により失敗した。

中近東・アフリカ地域では、アラブ諸国 21 ヵ国が加盟する Arabsat(アラブ衛星通信機構)が Arabsat シリーズ及び BADR シリーズの計 5 機の衛星を運用しているほか、エジプトは Nilesat、トルコは Turksat、カタールが Es'hail、イスラエルは AMOS(ロシアの衛星バスの国内衛星通信システム)等を運用している。2022 年 6 月に Nolesat 301 の打上げが成功した。

アフリカ諸国では自ら通信衛星を所有・運用することを目指して、RASCOM(アフリカ地域衛星通信機構：現在 45 加盟国)を '93 年に設立し、RASCOM-1 衛星を 2007 年に、RASCOM-1R を 2010 年に打上げた。

地域ごとの状況は以上であるが、全体としては Intelsat、SES、Eutelsat、Telesat の 4 大オペレータや日本のスカパーJSAT 等が世界の衛星通信ビジネスをリードしているといえる。加えて、近年 OneWeb、Starlink 等のコンステレーションによる衛星通信ビジネスも急速に普及しており、多くの利用者を得て収益が上がるようになると衛星通信ビジネスはより一層の成長が見込まれる。

衛星通信サービスは、固定衛星サービス(FSS: Fixed Satellite Service)と移動衛星サービス(MSS: Mobile Satellite Service)に分けられ、使用する周波数帯もそれぞれに分配されているが、近年 FSS と MSS の境界があいまいになってきている。また、サービス内容もブロードバンド通信の需要が高まっており、地上システムによるブロードバンドサービスが困難な地方や海上の船舶、航行中の飛行機など衛星ならではの長所を活かしたサービスが展開されている。

衛星製造の分野では、アメリカがいち早く競争力をつけて圧倒的なシェアを誇っていたが、近年欧州勢のシェアが増大している。技術的な動向としては、打上げコストを半減するオール電化衛星のような新技術が現れてきたほか、小型静止衛星の計画も出てきている。また、マルチビーム運用により高ゲインビームの周波数再利用を実現して広帯域サービスを可能とした HTS (High Throughput Satellite)が増加しており、Ka 帯を中心とした適用例が多く見られるようになってきた。近年は、単に HTS によるスペック上の広帯域化に留まらず、実運用帯域の拡大を目指したフレキシビリティー化技術の適用が実用化されつつあり、

運用帯域や運用カバレッジを衛星打上げ後に再設定可能とする技術が注目を集めている。これに伴い、搭載中継器のデジタル化やソフトウェア制御化が進みつつある。

ここ数年、10機前後で推移している商用静止通信衛星の新規契約数は、2023年は7機となった。ADSが1機、Maxarが1機に対して、小型静止通信衛星が5機の契約であった。商用静止通信衛星製造の世界市場は20年間で半分以下に縮小した。静止衛星の通信は実用化から半世紀を経て、長距離通信の基幹を地上・海底の光ファイバー通信網に譲り、通信網の補完的な機能に役割を変えた。表 1-3-5 に世界で運用中の主な商用静止通信衛星を示す。

その一方で、LEO コンステレーションの増加により、衛星との通信を行う地上局が増加しており、Googole、AWS、Azure等大手IT企業が提供するサービスも登場している。

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(米国) (2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上げ年
				C	Ku	その他	
米/DirecTV(AT&T)	DirecTV 5	Maxar	1300		32		2002
	8	Maxar	1300		32	Ka:4	2005
	9S	Maxar	1300		54	Ka:2	2006
	10	Boeing	702			Ka:32(broad),55(spot)	2007
	11	Boeing	702			Ka:32(+12)(broad),55(+15)(spot)	2008
	12	Boeing	702			Ka:32(+12)(broad),55(+15)(spot)	2009
	14	Maxar	1300			Ka:24	2014
	15	ADS	Eurostar3000		30	Ka:24,Reverse:18	2015
	16	ADS	Eurostar3000		Ku	Ka	2019
	Spaceway-2	Boeing	702			Ka:72	2005
米/Echostar, DISH Network	EchoStar-7	LM	A2100AX		32		2002
	-9(Galaxy 23)	Maxar	1300	24	32	Ka:32	2003
	-10	LM	A2100AXS			Ka:137	2006
	-11	Maxar	1300		29		2008
	-14	Maxar	1300		103		2010
	-15	Maxar	1300		32		2010
	-16	Maxar	1300		32		2012
	-17	Maxar	1300			Ka:60	2012
	-18	Maxar	1300		61		2016
	-19	Maxar	1300			Ka:60+60	2016
	-21	Maxar	1300S			S	2017
	-23	Maxar	1300		32		2017
	-105(SES11)	ADS	Eurostar3000	24	24		2017
	-G1(D1)	Maxar	1300			S,Ka	2008
	-T1	Maxar	1300S			S	2009
	Spaceway-3	Boeing	702			Ka:24	2007
米/Sirius XM Radio	Sirius-FM5	Maxar	1300			S:1 / X:1	2009
	6	Maxar	1300			S:1 / X:1	2013
	-XM-5	Maxar	1300S			S:1 / X:1	2010
	-7	Maxar	1300S			S	2020
	-8	Maxar	1300S			S	2021
米/Viasat	WildBlue 1	Maxar	1300			Ka:35	2006
	ViaSat 1	Maxar	1300			Ka:56	2011
	2	Boeing	702HP			Ka HTS	2017
カナダ/Telesat	ANIK-F1	Boeing	702	36	48		2000
	-F1R	ADS	Eurostar3000S	24	32	L:2	2005
	-F2	Boeing	702	24	40	Ka:50	2004
	-F3	ADS	Eurostar3000S	24	32	Ka:2	2007
	-G1	Maxar	1300	24	28	X:3	2013
	Telstar-11N	Maxar	1300		39		2009
	-12V(Vantage)	ADS	Eurostar3000		52		2015
	-14R	Maxar	1300		46		2011
	-18V(Vantage)	Maxar	1300	○	HTS/Regional		2018
	-19V(Vantage)	Maxar	1300		○	Ka	2018
	Nimiq-4	ADS	Eurostar3000S		32	Ka:8	2008
	-5	Maxar	1300		32		2009
	-6	Maxar	1300		32		2012
メキシコ/Quetzsat (SES)	QuetzSat 1	Maxar	1300		32		2011
メキシコ/DirecTV LatinAmer	Sky-Mexico 1	NG	GEOStar-2		24	R:2	2015
メキシコ/MEXSAT	MEXSAT-2	Boeing	702HP		○	L:122	2015
	-3(MexSat Bicentenario)	NG	GEOStar-2	○	○		2012
ブラジル /Embratel Star One	Star One-C1	TAS	Spacebus 3000B3	28	16	X:1	2007
	-C2	TAS	Spacebus 3000B3	28	16	X:1	2008
	-C3	NG	GEOStar-2	28	16		2012
	-C4	Maxar	1300		48		2015
	-D1	Maxar	1300	28	24	Ka: 18	2016
	-D2	Maxar	1300	28	24	X,Ka	2021
アルゼンチン/ARSAT	ARSAT-1	INVAP/TAS	ARSAT-bus		24		2014
	-2	INVAP/TAS	ARSAT-bus	10	26		2015
ボリビア・ABE	Tupac Katari 1 (TKSat 1)	CAST	DFH-4	2	26	Ka:2	2013

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(南北アメリカ(除く米国))(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上年
				C	Ku	その他	
カナダ/Telesat	ANIK-F1	Boeing	702	36	48		2000
	-F1R	ADS	Eurostar3000S	24	32	L:2	2005
	-F2	Boeing	702	24	40	Ka:50	2004
	-F3	ADS	Eurostar3000S	24	32	Ka:2	2007
	-G1	Maxar	1300	24	28	X:3	2013
	Telstar-11N	Maxar	1300		39		2009
	-12V(Vantage)	ADS	Eurostar3000		52		2015
	-14R	Maxar	1300		46		2011
	-18V(Vantage)	Maxar	1300	○	HTS/Regional		2018
	-19V(Vantage)	Maxar	1300		○	Ka	2018
	Nimiq-4	ADS	Eurostar3000S		32	Ka:8	2008
	-5	Maxar	1300		32		2009
	-6	Maxar	1300		32		2012
メキシコ/Quetzsat (SES)	QuetzSat 1	Maxar	1300		32		2011
メキシコ/DirecTV LatinAmerica	Sky-Mexico 1	NG	GEOStar-2		24	R:2	2015
メキシコ/MEXSAT	MEXSAT-2	Boeing	702HP		○	L:122	2015
	-3(MexSat Bicentenario)	NG	GEOStar-2	12	12		2012
ブラジル /Embratel Star One	Star One-C1	TAS	Spacebus 3000B3	28	16	X:1	2007
	-C2	TAS	Spacebus 3000B3	28	16	X:1	2008
	-C3	NG	GEOStar-2	28	16		2012
	-C4	Maxar	1300		48		2015
	-C12 (AMC12)	TAS	Spacebus 4000C3	24			2005
	-D1	Maxar	1300	24	24	Ka: 18	2016
	-D2	Maxar	1300	28	24	X,Ka	2021
アルゼンチン/ARSAT	ARSAT-1	INVAP/TAS	ARSAT-3K bus		24		2014
	-2	INVAP/TAS	ARSAT-3K bus	10	26		2015
ボリビア・ABE	Tupac Katari 1 (TKSat 1)	CAST	DFH-4	2	26	Ka:2	2013

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(欧州(ロシア除く))(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上げ年
				C	Ku	その他	
欧州／Eutelsat	Eutelsat-3B	ADS	Eurostar3000	C,Ku,Ka:51			2014
	-5WA	TAS	Spacebus 3000B3	10	35		2002
	-5WB	NG	GEOStar-2		35		2019
	-7B	TAS	Spacebus 4000C3		56	Ka	2013
	-7C	Maxar	1300		44		2019
	-7WA	ADS	Eurostar3000		56		2011
	-8WB	TAS	Spacebus 4000C4	10	40		2015
	-9B	ADS	Eurostar3000		66	(EDRS)	2016
	-10A	TAS	Spacebus 4000C4	10	46	S	2009
	-12 WE(Afghansat 1, 48B, 48D, W2M)	ISRO	I-3000		32		2004
	-16A(W3C)	TAS	Spacebus 4000C3		53	Ka:3	2011
	-21B	TAS	Spacebus 4000C3		40		2012
	-33E(HOT BIRD13D)	ADS	Eurostar3000		64		2009
	-36B	TAS	Spacebus 4000C4		70		2009
	-65WA	Maxar	1300	10	24	Ka:24	2016
	-70B	ADS	Eurostar3000		48		2012
	-113WA	Maxar	1300SX	36	24		2006
	-115WB	Boeing	702SP	12	34		2015
	-117WA	Maxar	1300	24	40		2013
	-117WB	Boeing	702SP		48		2016
	-133WA (旧33C)	TAS	Spacebus 3000B2		24(+6)		2001
	-139WA(7A,12 WD,31B,W3A)	ADS	Eurostar3000S		58		2004
	-172B	ADS	Eurostar3000EOR	14	36(HTS)		2017
	-174A (旧172A)	TAS	Spacebus 4000C3	18	20		2005
	Konnect	TAS	Spacebus Neo			Ka:92	2020
	Quantum	SSTL	GMP-T		○		2021
	HOT BIRD 13B	ADS	Eurostar3000		64		2006
	13C	ADS	Eurostar3000		64		2008
	13E	TAS	Spacebus 3000B3		38		2006
	KA-SAT 9A	ADS	Eurostar3000		82(83)		2010
英／Avanti	HYLAS-1	ISRO/ADS	I-2000		2	Ka:8	2010
	-2	NG	GEOStar-2			Ka:24 GW:6	2012
	-3(EDRS-C)	OHB	LUXOR			Ka	2019
	-4	NG	GEOStar-3			Ka:53(HTS) GW:4	2018
スペイン／Hispasat	Hispasat-30W-4(143W-1)	TAS	Spacebus 3000B2		28	S,X	2002
	-30W-5	Maxar	1300		53		2010
	-30W-6	Maxar	1300	1	48	Ka:7	2018
	-36W-1	OHB	Luxor		20	Ka:3	2017
	Amazonas-2	ADS	EurostarE3000	10	54		2009
	-3	Maxar	1300	19	33	Ka:9	2013
	-4 (Hispasat-74W-1)	NG	GEOStar-2		24		2014
	-5	Maxar	1300		24	Ka:34	2017
	Xtar-Eur	Maxar	1300			X:12	2005
	-Lant(Spainsat 1)	Maxar	1300			X:8,Ka:1	2006
ノルウェー／Telenor Satellite Broadcasting	Thor-5(2R)	NG	GEOStar-2		24		2008
	-6	TAS	Spacebus 4000B2		36		2009
	-7	Maxar	1300		11	Ka	2015
ギリシャ／Hellas-Sat	HellasSat 3	TAS	Spacebus 4000C3		44	S:9	2017
	4	LM	A2100A		34		2019

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(中近東・ロシア・アフリカ)(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上げ年
				C	Ku	その他	
アラブ／Arabsat	Badr-4	ADS	Eurostar2000+		32		2006
	-5	ADS	Eurostar3000		56	Ka	2010
	-6	ADS	Eurostar2000+	24	20		2008
	-7 (Arabsat 6B)	ADS	Eurostar3000		24	Ka:3	2015
	Arabsat-5A	ADS	Eurostar3000	16	24		2010
	-5C	ADS	Eurostar3000	26		Ka:12	2011
	-6A	LM	A2100A		○	Ka	2019
UAE／Al Yah Satellite Communications	Thuraya-2	Boeing	702(Geo-Mobile)	2(+2)		L:128	2003
	3	Boeing	702(Geo-Mobile)	2(+2)		L:128	2008
	Al Yah-1 (Yahlive)	ADS	Eurostar3000	14	20	Ka:21	2011
	2 (Yahsat-1b)	ADS	Eurostar3000			Ka:46	2012
	3	NG	GeoStar-3			Ka:53(58) GW:4	2018
Qatar/Es'hailsat	Es'hail-1 (Eutelsat-25B)	Maxar	1300		32	Ka:14	2013
	-2	三菱電機	DS2000		24	Ka:11,S/X	2018
トルコ／ Türksat AS	Turksat-3A	TAS	Spacebus 4000B2		24		2008
	4A	三菱電機	DS2000		24	Ka:2	2014
	4B	三菱電機	DS2000		18	Ka:8	2015
	5A	ADS	Eurostar3000EOR		42		2021
	5B	ADS	Eurostar3000EOR		○	Ka	2021
アゼルバイジャン/ Azercosmos	Azerspace (Africasat 1a)	NG	GEOStar-2	24	12		2013
	-2 (Intelsat38)	Maxar	1300		35		2018
カザフスタン／JSC KazSat	KazSat 2	Khrunichev	Yakhta		16+4(TV)		2011
	3	ISS Reshetnev	Ekspress-1000		28		2014
トルクメニスタン(Turkmen hemrasy) /モナコ(Monaco S.A.M.)	TürkmenÄlem 52E / MonacoSat	TAS	SpaceBus 4000C2		38		2015
イスラエル／Spacecom	AMOS-3	IAI	AMOS BUS		12	Ka:2	2008
	4	IAI	AMOS BUS		8	Ka:4	2013
	7(Asiasat 8)	Maxar	1300		24	Ka	2014
	17	Boeing	702MP	○	○	Ka	2019
エジプト／Nilesat	Nilesat 201	TAS	Spacebus 4000B2		24	Ka:4	2010
	301	TAS	Spacebus 4000B2		32	Ka:6	2022
ナイジェリア／NigComSat	NigComSat-1R	CAST	DFH-4	4	14	Ka:8,L:2	2011
アフリカ／RascomStar-QAF	Rascom-1R	TAS	Spacebus 4000B3	8	12		2010
ロシア／RSCC (Russian Satellite Communications)	Express-AM35	ISS Reshetnev	Ekspress-2000	30	40	Ka:12,L:2	2013
	AM6	ISS Reshetnev	Ekspress-2000	30	40	(Ka:12),L:2	2014
	-AM7	ADS	Eurostar3000	24	36	L:2	2015
	-AM8	ISS Reshetnev	Ekspress-1000SN	24	12	L:2	2015
	-AM33	NPO PM/TAS	MSS-2500-GSO	10	16	L:1	2008
	-AM44	NPO PM/TAS	MSS-2500-GSO	10	16	L:1	2009
	-AMU1(Eutelsat 36C)	ADS	Eurostar3000		61	Ka:10	2015
	-AMU3	ISS Reshetnev	Ekspress-1000	20	16	L:1	2021
	-AMU7	ISS Reshetnev	Ekspress-1000	20	16	L:1	2021
	-80	ISS Reshetnev	Ekspress-1000N	16	20		2020
	-103	ISS Reshetnev	Ekspress-1000N	16	20		2020
	-AT1	ISS Reshetnev	Ekspress-1000NTB		32		2014
	-AT2	ISS Reshetnev	Ekspress-1000K		16		2014
ロシア ／Gazprom Space Systems	Yamal 202	RKK Energiya	USP Bus	18			2003
	300K	ISS-Reshetnev	Ekspress-1000NTA	8	18		2012
	401	ISS-Reshetnev	Ekspress-2000	17	36		2014
	402	TAS	Spacebus 4000C3		46		2012
	601	TAS	Spacebus 4000C4	38		Ka:26	2019

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(アジア(1)・豪州)(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上げ年
				C	Ku	その他	
マレーシア／MEASAT	MEASAT-3A	NG	GEOStar-2	12	12		2009
	3B	ADS	Eurostar3000		48		2014
	3D(Jabiru 2)	ADS	Eurostar3000		48		2014
タイ／Thaicom	Thaicom-4 (iPStar-1,MEASAT 5)	Maxar	1300SX		94	Ka:18	2005
	-6	NG	GEOStar-2	18	8		2014
	-8	NG	GEOStar-2		24		2016
インド／宇宙省	GSAT-6	ISRO	I-2000	5 CxS and 5 SxC			2015
	-7	ISRO	I-2000	UHF, S, C and Ku			2013
	-7A	ISRO	I-2000		○		2018
	-8	ISRO	I-3000		18	GAGAN	2011
	-9	ISRO	I-2000		12		2017
	-10	ISRO	I-3000	18	12	GAGAN	2012
	-11	ISRO	I-6000	Ka x Ku:32 , Ku x Ka:8			2018
	-12	ISRO	I-1000	12			2011
	-12R(CMS 01)	ISRO	I-1000	12			2020
	-14	ISRO	I-2000	6	6	Ka beacon:2	2014
	-15	ISRO	I-3000		24	GAGAN:2 Ku beacon:2	2015
	-16	ISRO	I-3000	24+12	12	Ku beacon	2014
	-17	ISRO	I-3000	24+14		MSS:4	2017
	-18	ISRO	I-3000	24+12	12	Ku beacon:2	2016
	-19	ISRO	I-6000		○	Ka	2017
	-24(CMS 02)	ISRO	I-3000		24	Ku FSS:2 Ku beacon:2	2022
	-29	ISRO	I-3000		4	Ka:4,Q/V band,光通信	2018
	-30	ISRO	I-3000		○		2020
	-31	ISRO	I-2000		19		2019
パキスタン (PAKSAT International)	Paksat-1R	CASC	DFH-4	12	18		2011
バングラデシュ (BCSCL)	Bangabandhu 1	TAS	Spacebus 4000B2	14	26		2018
インドネシア／PT Telekomunikasi Indonesia	Telkom-3S	TAS	Spacebus 4000B2	24+8	10		2017
	-4 (Merah Putih)	Maxar	1300	60			2018
インドネシア／PT BRI	BRIsat	Maxar	1300	36	9		2016
インドネシア／Pasifik Satelit Nusantara (PSN)	PSN6 (Nusantara Satu)	Maxar	1300	38	18 (HTS)		2019
ベトナム郵便通信グループ	Vinasat-1	LM	A2100A	8	12		2008
	-2	LM	A2100A		24		2012
シンガポール／SingTel 台湾／Chunghwa Telecom	ST-2	三菱電機	DS2000	10	41		2011
ラオス／Lao Satellite Joint Venture Co	LaoSat1(APStar L)	CAST	DFH-4	14	8		2015
オーストラリア ／SingTel Optus	OPTUS-C1	三菱電機	1300 (Maxar)		24	UHF:6,X:4,,Ka:4	2003
	-D1	NG	GEOStar-2		24		2006
	-D2	NG	GEOStar-2		24+(8)		2007
	-D3	NG	GEOStar-2		24+(8)		2009
	-10	Maxar	1300LL		24		2014
オーストラリア／NBN	NBN-Co 1A (Sky Muster)	Maxar	1300			Ka:110	2015
	1B (Sky Muster2)	Maxar	1300			Ka:202	2016

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(アジア(2))(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛 星 名	製造	衛星バス	中 継 器 数			打上げ年
				C	Ku	その他	
韓国／KT Corporation	KOREASAT-5	TAS	Spacebus 4000 C1		24	SHF:8,Ka:4	2006
	-5A	TAS	Spacebus 4000 B2		20+12+4		2017
	-6	TAS/NG	GEOStar-2		30		2010
	-7	TAS	Spacebus 4000 B2		24+6	Ka:3	2017
中国／China Satellite Communications Corp.	Chinasat 1A	CAST	DFH-4		(military)		2011
	1C	CAST	DFH-4		(military)		2015
	1D	CAST	DFH-4		(military)		2021
	1E	CAST	DFH-4		(military)		2022
	2A	CASC	DFH-4		(military)		2012
	2C	CAST	DFH-4		(military)		2015
	2D	CASC	DFH-4		(military)		2019
	2E	CASC	DFH-4		(military)		2021
	6A	CAST	DFH-4	24	8	S:1	2010
	6B	TAS	Spacebus 4000 C2	38			2007
	6C	CASC	DFH-4	25			2019
	6D	CAST	DFH-4E				
	9	TAS	Spacebus 4000 C2		22		2008
	9B	CAST	DFH-4E			4k/8k ビデオ	2021
	10	CAST	DFH-4	30	16		2011
	11	CAST	DFH-4	26	19		2013
	12	TAS	Spacebus 4000 C2	24	23		2012
	16	CASC	DFH-4			Ka:26 HTS	2017
	19	CAST	DFH-4E			Ka	2022
	Tiantong-1 01	CASC	DFH-4		S:モバイルペイロード		2016
	02	CASC	DFH-4		S:モバイルペイロード		2020
	03	CASC	DFH-4		S:モバイルペイロード		2021
中国／Asiasat(香港)	Asiasat-5	Maxar	1300SX	26	14		2009
	6 (Thaicom7)	Maxar	1300	28			2014
	7(AsiaSat 5C)	Maxar	1300	28	17	Ka	2011
	9	Maxar	1300	28	32		2017
中国／APT Satellite (香港)	APStar-6	TAS	Spacebus 4000 C2	36	12		2005
	6C	CAST	DFH-4		C,Ku,Ka合計45		2018
	6D	CAST	DFH-4E			Ka:90	2015
	7	TAS	Spacebus 4000 C2	28	28		2012
	9	CAST	DFH-4	32	14		2015
中国／Asia Broadcast Satellite(香港)	ABS-2(ST-3,Koreasat8)	Maxar	1300	32	51	Ka:6	2014
	-2A	Boeing	702SP		48		2016
	-3A	Boeing	702SP	○	○		2015
	-4	Maxar	1300		1	S:16	2004
	-6	LM	A2101AX	28	16		1999
	-7	LM	A2101A		30	Ka:3	1999
日本／スカパーJSAT	JCSAT 1C (18),(Kacific 1)	Boeing	701MP		○	Ka HTP(56 Spot)	2019
	2B(14)	Maxar	1300	26	18		2016
	3A	LM	A2100AXS	12	30		2006
	4B	LM	A2100AXS		44		2012
	5A(N-STAR d)	LM	A2100AXS	20	20	S:1	2006
	16	Maxar	1300		○	Ka	2016
	17	LM	A2100A	○	○	S	2020
	110A (15)	Maxar	1300		○		2016
	RA (12)	LM	A2100AXS	12	30		2009
	SuperBird-B3 (DSN-1)	三菱電機	DS2000		○	X,Ka	2018
	C2	三菱電機	DS2000		28		2008
	Horizon1 (Galaxy 13)	Boeing	601HP	24	24	Intelsatと共同所有	2003
	2	NG	GEOStar-2		20	Intelsatと共同所有	2007
	3e	Boeing	702MP	○	HTS	Intelsatと共同所有	2018
日本 ／株式会社ディー・エス・エヌ	DSN-2	三菱電機	DS2000			X	2017
日本／放送衛星システム	BSAT-3a	LM	A2100A		12		2007
	-3b	LM	A2100A		12		2010
	-3c (JCSAT-110R)	LM	A2100A		24		2011
	-4a	Maxar	1300		24		2017
	-4b	Maxar	1300	○	24		2020

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(国際オペレータ)(1)(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛　星　名	製造	衛星バス	中　継　器　数			打上げ年
				C	Ku	その他	
INTELSAT（国際サービス）	Intelsat 901 + MEV-1	Maxar	1300HS	44	12		2001
	902	Maxar	1300HS	44	12		2001
	904	Maxar	1300HS	44	12		2002
	905	Maxar	1300HS	44	12		2002
	906	Maxar	1300HS	44	12		2002
	1R (PAS-1R)	Boeing	702	24	36		2000
	1W (Thor 6)	TAS	Spacebus 4000 B2		36		2009
	9	Boeing	601HP	24	24		2000
	10(PAS-10)	Boeing	601HP	24	24		2001
	10-02 + MEV-2	ADS	EurostarE3000	70	36		2004
	11	NG	GEOStar-2	16	18		2007
	14	Maxar	1300	40	22		2009
	15(JCSAT-85)	NG	GEOStar-2		22		2009
	16(PAS-11R)	NG	GEOStar-2		24		2010
	17	Maxar	1300	24	25		2010
	18	NG	GEOStar-2	24	12		2011
	19	Maxar	1300	24	34		2012
	20	Maxar	1300	24	50	Ka：1	2012
	21	Boeing	702MP	24	36		2012
	22	Boeing	702MP	24	18	UHF:18	2012
	23	NG	GEOStar-2	24	15		2012
	25 (ProtStar-1)	Maxar	1300	36	16		2008
	28(New Dawn)	NG	GEOStar-2	(28)	24		2011
	30	Maxar	1300	4	73		2014
	31	Maxar	1300	10	72		2016
	32e	ADS	Eurostar3000		81	Ka	2017
	33e	Boeing	702MP	○	○	Ka	2016
	34	Maxar	1300	22	18		2015
	35e	Boeing	702MP	15	39		2017
	36	Maxar	1300	12	42		2016
	37e	Boeing	702MP	C/Ku/Ka			2017
	38 (Azerspace 2)	Maxar	1300		35		2018
	39	Maxar	1300	○	○		2019
	Galaxy 3C	Boeing	702	24	16		2002
	11	Boeing	702	24	40		1999
	12	NG	GEOStar-2	24			2003
	14	NG	GEOStar-2	24			2005
	16	Maxar	1300	24	24		2006
	17	TAS	Spacebus 3000 B3	24	24		2007
	18	Maxar	1300	24	24		2008
	19	Maxar	1300	24	28		2008
	23	Maxar	1300	24	32	Ka:4	2003
	25	Maxar	1300	24	28		1997
	28	Maxar	1300S	28	36	Ka:24	2005
	30	NG	GEOStar-2	○	○	Ka	2020
	33	NG	GEOStar-3	○			2022

表 1-3-5 運用中の主な商用静止通信衛星(国際オペレータ)(2)(2022 年 12 月現在)

国名／運用機関・会社	衛　星　名	製造	衛星バス	中継器数			打上げ年
				C	Ku	その他	
Inmarsat (国際サービス)	Inmarsat 3F5	LM	AS4000	uplink		L:22(+11)	1998
	4F1	ADS	Eurostar3000GM	uplink		L:228Spot,19Wide	2005
	4F2	ADS	Eurostar3000GM	uplink		L:228Spot,19Wide	2005
	4F3	ADS	Eurostar3000GM			L:228Spot,19Wide	2008
	4AF4(Alphasat I-XL)	ADS	Alphabus			L	2013
	GX1 (5F1)	Boeing	702HP			Ka:89	2013
	GX2 (5F2)	Boeing	702HP			Ka:89	2015
	GX3 (5F3)	Boeing	702HP			Ka:89	2015
	GX4 (5F4)	Boeing	702HP			Ka:89	2017
	GX5 (5F5)	TAS	SpaceBus4000			Ka:72	2019
	GX6A(6F1)	ADS	Eurostar3000EOR			L/Ka	2021
	Inmarsat-S EAN (Hellas-Sat 3)	TAS	SpaceBus4000C3		44	S:9	2017
SES (国際サービス)	NSS-6	LM	A2100AX		50	Ka:12	2002
	-7	LM	A2100AX	36	36		2002
	-9	NG	GEOStar-2	44			2009
	-10 (AMC12/Worldsat2/StarOneC12)	TAS	SpaceBus4000C3	24			2005
	-11(Worldsat1)	LM	A2100AX	24	24		2000
	-12	Maxar	1300	40	48		2009
	SES-1	NG	GEOStar-2	24	24		2010
	-2	NG	GEOStar-2	24	24	CHIRP(※1)	2011
	-3	NG	GEOStar-2	24	24	CHIRP(※1)	2011
	-4	Maxar	1300	52	72		2012
	-5(ASTRA 4B)	Maxar	1300	24	36	EGNOS(※2)	2012
	-6	ADS	Eurostar-3000	38	36		2013
	-7(Protostar-2)	Boeing	601HP		22(+5)	S/X:10(+3)	2009
	-8	NG	GEOStar-2		33+24	Ka	2013
	-9	Boeing	702HP		81		2016
	-10	ADS	Eurostar3000		55		2017
	-11(EchoStar 105)	ADS	Eurostar3000		24	24	2017
	-12	ADS	Eurostar3000EOR		54	Ka:8	2018
	-14/GOLD	ADS	Eurostar3000EOR	○	○		2018
	-15	Boeing	702SP		○	Ka	2017
	-16 (GovSat-1)	OSC	GEOStar-3			X/Ka:68	2018
	-17	TAS	SpaceBus NEO			Ka:最大200	2021
	-22	TAS	SpaceBus4000B2	○			2022
	ASTRA-1G	Boeing	601HP		32		1997
	-1KR	LM	A2100AXS		32		2006
	-1L	LM	A2100AXS		29	Ka:2	2007
	-1M	ADS	Eurostar3000		32(+4)	Ka:2	2008
	-1N	ADS	Eurostar3000		55		2011
	-2A	Boeing	601HP		32(28)		1998
	-2C	Boeing	601HP		32(28)		2001
	-2D	Boeing	376HP		16		2000
	-2E(Eutelsat 28E)	ADS	Eurostar3000		60	Ka:3	2013
	-2F(Eutelsat 28F)	ADS	Eurostar3000		60	Ka:3	2012
	-2G(Eutelsat 28G)	ADS	Eurostar3000		62	Ka:4	2014
	-3B	ADS	Eurostar3000		60	Ka:4	2010
	-4A(Sirius 4)	LM	A2100AXS		52	Ka:2	2007
	-5B(HYLAS 2B)	ADS	Eurostar3000		40	Ka:3(L),EGNOS(※2)	2014
	Ciel-2	TAS	Spacebus4000C4		32		2008
	AMC 1	LM	A2100A	24	24		1996
	3	LM	A2100A	24	24		1997
	4	LM	A2100AX	24	24		1999
	8	LM	A2100A	28			2000
	11	LM	A2100A	24			2004
	15	LM	A2100AXS		24	Ka:12	2004
	18	LM	A2100A	24			2006
	21	NG	GEOStar-2		24		2008

※1：Commercially Hosted Infrared Payload

※2：European Geostationary Navigation Overlay Service

⑵移動体／マルチメディア対応通信衛星

船舶、航空機、自動車等の移動体を対象とした国際衛星通信システムとして L バンドを使用する Inmarsat が運用されている。Inmarsat は国際海事衛星機構(Inmarsat)として'79 年に設立後、'82 年にアメリカの Comsat から Marisat 衛星と業務を引継いでサービスを開始した。その後 '99 年に衛星事業の拡充、資金や技術基盤の強化、顧客サービスの向上のため、政府間協定組織としては始めて民営化され (本社：英国)、同時に海上における遭難及び安全に係る世界的な衛星通信業務の実施を監督する機関として国際移動通信衛星機構(IMSO: International Mobile Satellite Organization)が設立された。現在運用中の静止軌道衛星は、Inmarsat-3 号系が 1 機、Inmarsat-4 号系が 4 機(含 Alphasat)、2019 年に打上げられた Inmarsat-5 F5 (GX5)を含め Inmarsat-5 系が 5 機、Inmarsat-6 系が 1 機、Hellas-sat との共同運用である Inmarsat-S-EAN が 1 機と、計 12 機が軌道上にある。2021 年に Viasat による買収が発表された。

各国内・地域移動体衛星通信システムとしては、北アメリカの陸上移動体及び航空機を対象としたカナダとアメリカの TerreStarNetworks (現在 Dish Network 傘下)、オーストラリアの Optus、日本の N-STAR、ヨーロッパの EMS (European Mobile System)、アラブ首長国連邦(UAE)の Thuraya 等の静止衛星が運用されている。Thuraya Telecommunications Company は Thuraya-2 及び Thuraya-3 の 2 衛星で中近東を中心に北及び中央アフリカ、ヨーロッパ、中央アジア、インドなど約 140 ヵ国をカバーする商業通信サービスを行っている。各衛星のスポットビーム数は 512 ビームで構成している。Thuraya は静止衛星だが超小型端末を実現し広域移動型に適しており、L バンドを使用して約 1 万音声チャンネルを同時に伝送できる。なお、Thuraya は 2018 年に同じ UAE の Al Yah Satellite Communication Company PJSC (Yahsat)に買収された。

またメキシコでは、メキシコ政府(Secretaria de Communicaciones Transportes (SCT) of México)により、2015 年に L 帯移動体通信衛星 MEXSAT-2 が打上げられた。

日本では世界初の航空管制用衛星 MTSAT-1R(気象用と相乗りの運輸多目的衛星)を 2005 年、MTSAT-2 を 2006 年に打上げた。2020 年までは MTSAT-2 の衛星航法システム、その後 2017 年打上げのみちびき 3 号機を利用する。ロシアも Gorizont 衛星による国内移動体通信サービスを実施している。Ligado Networks (旧 Light Squared)は、SkyTerra 1 を用い、衛星/地上のハイブリッドによる 4G/LTE データ通信サービスを提供している。

航空機内からのインターネット接続サービスは Intelsat を使った"Connexion by Boeing"が先鞭をつけたが、現在では多くの航空会社が衛星通信を利用した機内 Wi-Fi サービスを提供している。

'90 年代に入り、より小型の携帯端末により地球上のどこからでも通信が可能となる低軌道(LEO)衛星移動体通信サービスの提供を目指したシステムが検討された。このうち Iridium が 66 機の衛星で '99 年に低軌道移動体通信サービスを開始したが、急速に発展した地上システムとの競合で顧客数が伸び悩み、翌年倒産した。その後、新たに設立されたベンチャー企業 Iridium Satellite が Iridium 衛星システムの譲渡を受け、2000 年から米国防総省を主な顧客としてサービスを再開し、2001 年からは一般商業サービスも再開された。低額料金にしたことにより顧客が順調に拡大し(2019 年契約数：約 130 万件超)、とくに災害時には威力を発揮している。衛星間通信方式で全世界をカバーしているのが特徴である。次世代衛星 Iridium Next は、2017 年から 2019 年に 75 機を打上げコンステレーション展開に成功した。また、Qualcomm Technologies と次世代スマートフォンにおける双方向通信で提携することを発表した。

一方、Globalstar は 48 機の LEO 衛星により構成されるシステムで、2000 年にサービスを開始したが同様の理由で経営困難となり 2002 年に倒産後 2004 年に Thermo Capital Partners により買収され、New Globalstar として再スタートした。第 2 世代衛星は 2010 年から 2013 年に打上げられ、現在約 30 機のコンステレーションでサービスを提供している。2022 年現在、スマートフォンとの直接双方向通信を可能とした。また、ORBCOMM は LEO 衛星コンステレーションによる M2M (Machine to Machine)通信サービスを提供しており、2014 年から 2015 年に第 2 世代衛星 Orbcomm OG2 を 17 機打上げ、サービスを提供している。

次世代の高速商業衛星通信サービスとして Ka/Ku バンドを利用したブロードバンド・マルチメディア対応の衛星計画が進められている。日本では超高速通信ネットワークを構築するため、1Gbps 級の超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)を 2008 年に打上げ、東日本大震災の被災地へ「きずな」を利用し、ハイビジョンテレビ会議や IP 電話による情報共有、インターネットによる安否情報確認等を目的に通信回線が提供され、2019 年に運用を終了した。2010 年頃からは、KA-SAT や Viasat-1 等を用いた本格的な HTS サービスが開始され、衛星 1 台で数 10~数 100 Gbps の通信容量を持つ衛星が多数開発されており、2022 年 7 月に打上げた Eutelsat KONNECT VHTS では 500 GBps の通信容量を備えている。日本では技術試験衛星 9 号機(ETS-9)を開発中である。

静止衛星ではなく多数の周回衛星による衛星インターネット接続サービスの構築が始まっている。OneWeb や Starlink、カナダ Telesat の Lightspeed、米 Amazon.com の Kuiper などの計画が進んでいる。代表的な低中軌道(LEO/MEO)衛星群グローバル移動通信体衛星システムを表 1-3-6 に示す。

表 1-3-6 代表的な低中軌道(LEO/MEO)衛星群グローバル移動体衛星通信システム

衛星システム名	Little LEO		Big LEO／MEO		Broadband LEO/MEO	Mega Constellation	
	ORBCOMM	ORBCOMM OG2	Iridium Next	Globalstar-2	O3B Network	OneWeb	Starlink
事業運営体または提案機関	Orbcomm LLC		Iridium Communications (日本： KDDI)	Globalstar (Thermo Capital Partners)	SES O3B Network	OneWeb	SpaceX
衛星メーカー	OSC	SNC	TAS/OrbitalATK(Integration) (ELiTeバス)	TAS (ELiTeバス)	TAS (ELiTeバス)	ADS	SpaceX
衛星数	24, 4, 8	18	66+15(予備)	24	16	648	約12,000～42,000
衛星重量	40 kg	172 kg	860 kg	700 kg	700 kg	<150 kg	約230 kg
発生電力	160W	400W	2200W	1700W	1500W	(不明)	(不明)
衛星高度	825 km	750 km	780 km	1,414 km	8,062 km	約1,200 km	約340 km 約550 km 約1,150 km
軌道傾斜角(度)	45及び 70.0	52	86.4度	52度	0度	約90度	約53度(@550km)
軌道面数	3, 2, 1	(不明)	6	8	1	20	24-72(@550km)
1傾斜軌道衛星数	8, 2, 8	(不明)	11	4	12	約30	約20～70 (@550 km)
打上げ年月	1997.12～	2012.10～	2017.1～	2010.10～	2013.06～	2019.02～	2019.02～
サービス開始	1998～ (第1世代) 2001.4新会社へ		1998.11～ (第1世代) 2000.12新会社へ	2000.9～ (第1世代) 2004年新会社へ	2013～	(2021～)	(2021～)
設計寿命(年)	4	5	12.5	15	10	7	～5
経費(億ドル)	1.4	1.2	30	(不明)	(不明)	(不明)	(不明)
周波数	148 - 150.05 MHz(上) 137 - 138.40 MHz(下)		1616 - 1626.5 MHz(上) 1616 - 1626.5 MHz(下)	L/S	Ka	Ku	Ku/Ka/V
多元接続方式	FDMA		FDMA／TDMA	CDMA	TDMA	(不明)	(不明)
伝送速度	uplink：2.4kbps downllink:4.8kbps		2.4kbps(音声) 64kbps(data)、512 kbps max.	1.2– 9.6kbps (38.6max.) (音声／データ)	10.5Gbps/sat	8Gbps/sat	～20Gbps/sat

(3)データ中継衛星

米国は'83年からTDRS (Tracking and Data Relay Satellite)システムを運用しており、中低高度衛星、宇宙ステーション等に対してリアルタイムの監視・管制や効率的なデータ伝送が可能である。カバーできる範囲は飛躍的に広がり、当初NASA地上追跡管制システムのカバレージが全地球の15パーセントであったのをほぼ100パーセントに向上できた。複数のユーザー衛星に同時にアクセスするために、スペクトラム拡散方式(CDMA)を用いたマルチプルアクセス(MA)方式が採用されている。これまでに第1~3世代を合わせて13機の衛星が打上げられた。第3世代のTDRS衛星はBoeingが開発し2013年にTDRS 11、2014年にTDRS 12、2017年にTDRS 13を打上げた。

欧州では、ESAが欧州最初のデータ中継技術衛星Artemis (TAS製)を2001年にAriane 5で打上げた。ロケットの推力不足のため低軌道に投入されたが、Artemisのイオンエンジンを使用して上昇し、2003年に静止化を達成した。Lバンド陸上移動体通信装置と共に低軌道衛星との衛星間通信用のS/Kaバンド中継器及びレーザー通信中継器でSpot-4、ATV等のデータ中継に利用後、2013年にAvantiに売却された。その後、商用衛星との相乗りの形で2016年にEDRS-A、2019年にEDRS-Cを打上げた。

日本でもETS-VI ('94年)、COMETS ('98年)での技術開発の成果を踏まえて日本初のデータ中継技術衛星「こだま」(DRTS)を2002年に打上げた。DRTSは、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)と当時の世界最高速度278 Mbpsの衛星間通信を実験し、大量データ伝送により地球観測に貢献した。後期利用段階では、「きぼう」及びALOS-2の衛星間通信を中心に利用され、2017年に運用を終了した。光衛星間通信は大量のデータ伝送が小型軽量の通信装置で可能で次世代の衛星間通信として期待されており、2005年に光衛星間通信実験衛星「きらり」(OICETS)を打上げ、約4万km離れたArtemisとの間でレーザー光による双方向の光衛星間通信実験に世界で初めて成功し、2009年に運用を終了した。2020年に光データ中継衛星が打上げられた。通信容量は1.8 GbpsとDRTSの7倍以上に高速化され、アンテナ径は14 cmと約1/30と大幅に小型化された。情報収集衛星システムの構成にもデータ中継衛星は含まれている。

中国は2021年にデータ中継衛星5号機「天鏈I-5号」(Tianlian I-05)の打上げに成功、ロシアもデータ中継衛星Luch 5A、Luch 5Bに続き、2014年にはLuch 5Vの打上げに成功しており、2025年以降にLuch 5Mを打上げる予定である。

(4)放送衛星

'78年に日本が世界初の実験用直接放送衛星BS「ゆり」を打上げ、Kuバンド(12GHz)放送の実験が成功裡に行われた。'84、'86年には「ゆり2号-a/b」(BS-2a/b)により世界に先駆けて直接放送衛星を実用化し、NHKが衛星放送を開始した。さらに'91年には「ゆり3号a/b」(BS-3a/b)を使い民間衛星放送(WOWOW)及びハイビジョン試験放送が開始された。デジタル画像圧縮技術の進歩等により、'96年には多チャンネル(数100ch級)のCSデジタル放送が日本デジタル放送サービス(現スカパーJSAT)により開始され、またデータ放送や双方向サービスも可能な高画質・多機能のBSデジタル放送も2000年からNHK・民放各社で始まり本格的なデジタル衛星放送時代を迎えた。

モバイル放送衛星では世界初の画像放送も含む移動体向けSバンド多チャンネル・デジタル放送衛星MBSat (韓国TU Mediaと共有、12mアンテナ)を2004年に打上げ、同年中にギャップフィラーを利用するハ

イブリッド方式でサービスを開始したが、会員数が不足し2009年に「モバHO！」を含む全放送サービスを終了し、韓国ではMBSatを使い衛星DMBサービス「TU」を継続していたが2012年にサービスを終了した。

米国では '93 年から DirecTV が 10 機の直接放送衛星を保有し、数百チャンネルのデジタル衛星放送サービスを行っている。DirecTV は 2015 年に AT&T により買収後、2021 年に売却された。また、EchoStar は自社衛星を含め 16 機の衛星により多チャンネルのテレビジョン放送サービスを行っていたが、2019 年に DISH Network へ BSS 事業を譲渡した。2001 年には XM Satellite Radio が静止軌道にラジオ放送衛星 XM-1 及び 2 を打上げ、移動体向けに音楽や様々なプログラムを約 100 ch の S バンド・デジタル放送で全米に放送するサービスを開始した。Sirius Satellite Radio も 100 ch のデジタル音声放送用の高仰角衛星 3 機を打上げ、2002 年から同様の衛星ラジオを開始した。2008 年に XM Satellite Radio と Sirius Satellite Radio は統合し Sirius XM Radio と社名を変更しサービスを継続中である。この他、カナダも Telesat が Nimiq 3 機でサービスを行っている。欧州では SES の Astra 衛星放送や、Eutelsat がヨーロッパ全域をカバーする衛星放送サービスを行っている。ロシアは Express 衛星を打上げ運用している。アジア・太平洋諸国でも衛星放送が急速に普及し 45 ヵ国以上に達した。インドは INSAT 等で S バンド衛星放送を行っており、地域言語放送が増加している。

⑸ 測位・航行衛星

現在では衛星測位は日常生活で幅広く活用され、不可欠のインフラとなっている。全世界測位システム(GPS: Global Positioning System)は米国防総省により整備が進められ、'94 年に本格運用となった。当初は軍利用を前提に、民間には測位精度を意図的に劣化させる措置(SA: Selective Availability; 選択利用性）を取っていたが、2000 年に SA が解除され民間でも測位精度が向上した。米国 GPS は、Block II F が 2016 年末までに計 12 機が打上げられた。これに続く Block III を Lockheed Martin が開発し、2018 年に最初の衛星 GPS III-1 が、2019 年には 2 号機 GPS III-2 が Delta-4 により打上げられた。今後、Block III が計 10 機、Block III F が計 22 機製造される予定で、2023 年 11 月末時点で計 31 機の GPS II-R / -RM / -F 及び GPS III 衛星が稼働中である。

ロシアも GPS と類似の GLONASS 航行衛星を運用している。新世代 GLONASS 衛星 18 機によるコンステレーションで 2008 年までにロシアをカバーすることを計画し、2011 年には 100%地球表面をカバーする実運用 24 機体制にしたと発表した。2013 年には Proton の打上げ失敗により 3 機の新規衛星を喪失したが、2014 年以降も Glonass-M、-K1 等の打上げを継続している。2023 年 11 月末時点では運用中 19 機、メンテナンス中が 5 機と合計 24 機の GLONASS 衛星を配備した。

欧州連合は EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)という静止衛星と地上系の組み合わせにより GPS/GLONASS の補強信号を発信し高精度の測位を実現するシステムを整備していたが、航行衛星システムが国家覇権の根幹を担うとの認識から、民生利用を中心にした独自の欧州衛星測位システム「Galileo 計画」の整備が本格的に進められている。軌道上実証衛星(IOV) 4 機に続いて、2014 年から運用機(FOC: Full Operational Capability)衛星を打上げている。FOC-1, 2 号機は Soyuz ロケットによる軌道投入に失敗したが、その後も打上げを継続し、2021 年に 2 機の FOC 衛星の打上げに成功した。2023 年 11 月末時点

では20機のFOC衛星が利用可能となった。

中国も初の航行衛星「北斗 1A」(Beidou-1A)及び 2 号機「北斗 1B」を 2000 年に、3 号機「北斗 2A」を2003年に長征3Aで打上げ、静止衛星を使用する初代の航法システムを完成させた。中国の航法システムは「北斗」(Beidou、Compass)と呼ばれ、2011年には傾斜地球同期衛星(2機)の打上げに成功、2012年には6機(静止2機、傾斜地球同期軌道(IGSO:Inclined GeoSynchronous Orbit)4機)を打上げ、年末にはアジア太平洋地域での運用を開始した。以降、Phase 2 「北斗」システムとして、5 機の静止衛星、5 機の傾斜地球同期衛星、4機の中高度衛星の 14機体制で中国本土と近隣諸国にサービスを提供しつつ、2020 年に Phase 3 「北斗」システムとして世界サービスを開始した。2018 年には中国北斗衛星航行測位システム管理室(CSNO)が「北斗航行測位システム(BDS)の基本システムが完成し、一帯一路地域への全球サービスの提供を開始した」と発表した。最終的な「北斗」の衛星構成は静止衛星 5 機、傾斜地球同期衛星 5 機、25 機の中高度衛星の合計35機で計画されている。2023年11月末時点で北斗-衛星が50機配備されている。

日本は準天頂衛星4機によるGPS補完・補強システムを構築し、cm級の高精度位置情報サービスを目指す実証実験のため、2010年に1機目衛星「みちびき」を打上げた。2011年の閣議で、実用準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方として「諸外国が測位衛星システムの整備を進めていることを踏まえ、我が国として、実用準天頂衛星システムの整備に可及的速やかに取り組むこととする」と決定され、2017年には3機の準天頂衛星(準天頂軌道2機、静止軌道1機)を打上げ、2018年からサービスを開始した。2021年にみちびき初号機後継機を打上げた。2025年度を目処に7機体制の運用を開始し、2024年度から11機体制に向け検討・開発する計画としている。

このほかにインドでは、GAGANと呼ばれるGSAT-4と地上系による航空管制システム(稼働中)と7機の衛星からなるIndian Regional Navigational Satellite System (IRNSS)の整備を行っている。2013年に初号機の静止衛星としてIRNSS-1Aの打上げに成功した後、2016年までにIRNSS-1Gまでの7機を打上げ、実運用体制を確立した。2017年には不調のIRNSS-1Aに変わるIRNSS-1Hを打上げたが失敗したため、2018年にIRNSS-1Iを打上げた。表1-3-7に各国の測位・航行衛星を示す。

表 1-3-7　各国の主な測位・航行衛星 (2022 年 12 月現在)

システム名	衛星名	製造	運用数 (打上数)	信号	打上年
みちびき(準天頂衛星システム) (Quasi-Zenith Satellite System)	みちびき -初/-2/-4/-初 後継 (IGSO)	三菱電機	4(5)	L1(L1C/A,L1C,L1SAIF,LEX),L2C,L5,L6	2010-
	みちびき-3 (GEO)	三菱電機			2017
GPS(Global Positioning System)	Block IIR	LM	7(15)	L1(L1C,L1C/A,P-Code,M-code), L2(L2C,P-Code, M-code),L5	1997-2004
	Block IIRM	LM	7(8)		2005-2009
	Block IIF	Boeing	12(12)		2010-2016
	Block III	LM	5(8)		2018-
Galileo	IOV	ADS/TAS	3(4)	L1BC, L1A, E6BC, E6A, E5a, E5b.	2011/2012
	FOC	OHB(24機)	19(24)		2014-2021
GLONASS(Global Navigation Satellite System)	Glonass-M	NPO-PM	25(51)	L1,L2,L3	2003-
	Glonass-K1	NPO Lavochkin			2011-
	Glonass-K2	NPO Lavochkin		L1,L2,L3、L5	2019-
北斗(Beidou/ Compass Navigation Satellite System)	Beidou-2	CAST	15(20)	B1,B2,B3	2007-
	Beidou-3	CAS/CASC	34(37)		2015-
GAGAN(GPS And Geo Augmented Navigation)	Gsat-8P, 9, 10,15	ISRO	4(4)	L1,L5	2011-
IRNSS(Indian Regional Navigational Satellite System) :NavIC	IRNSS 1A-1G,1I	ISRO	8(9)	L5	2013-

近年、欧州の東部、中東で測位衛星を用いた航法の民間機に航空路逸脱、国境侵犯が断続的に多く発生する等、周辺の軍事作戦・演習で GPS 電波に妨害を発生させる悪影響から、社会インフラとしての測位衛星の重要度は強く認識されている。また、通信サービスとの複合的なサービスによって、重要度が今後更に増していくと期待されている。

⑹ 気象衛星

世界気象機関(World Meteorological Organization: WMO)が世界気象監視計画(World Weather Watch: WWW)の重要な柱として、各国の複数の静止気象衛星、極軌道気象衛星から成る全世界の観測網 WIGOS (WMO Integrated Global Observing System)を構成している。稼働中の静止衛星は、アメリカの GOES シリーズが 3 機(GOES-15, 16, 17)、欧州の MSG (Meteosat Second Generation)が 2 機(METEOSAT-10, 11)、日本の「ひまわり」が 1 機(Himawari-9)、中国の「風雲 2 号」3 機(FY-2F, 2G, 2H)及び「風雲 4 号」1 機(FY-4A)、インドの INSAT-3 が 2 機(-D, DR)、ロシアの Elektro-L が 1 機(N3)、韓国の GEO-KOMPSAT が 2 機(2A, 2B)である。極軌道衛星は米国の NOAA-15, 18, 19, 20、Suomi-NPP 及び DMSP-F17, F18、ロシアの Meteor-MN2, N2-2、欧州の Metop-B, C 及び中国の FY-3B, 3C, 3D を使用している。

2021 年には、中国の FY-4B、FY-3E が、2022 年 3 月に GOES-18 が打上げられた。近年、衛星に搭載した GPS 受信機で地平線近傍の GPS 衛星からの電波を受信することにより気温や水蒸気の鉛直方向分布を計測(GPS 掩蔽観測)し、気象予測に活用することが盛んになっている。2022 年には米国 Spire の Lemur 衛星や、中国の「雲海 1-03 号」(Yunhai-1-03-2)等の GNSS 掩蔽観測を行う衛星が打上げられた。

表 1-3-8 に最近の主な運用中の気象衛星を示す。

表 1-3-8　主な運用中の気象衛星　(2022 年 12 月現在)

国名(担当機関)	衛　星　名	製造	打上げ年	備　　考
日本 (気象庁)	ひまわり8号	三菱電機(DS2000)	2014	静止軌道（スタンバイ）
	ひまわり9号		2016	静止軌道
日本 (ウェザーニュース)	WNISAT1R	アクセルスペース	2017	周回衛星
米 (NASA,NOAA)	GOES-O(14)	Boeing(BSS601)	2009	静止軌道（スタンバイ）
	GOES-P(15)		2010	静止軌道（スタンバイ）
	GOES-R(16)	LM(A2100)	2016	静止軌道
	GOES-S(17)		2018	静止軌道
	GOES-T(18)		2018	静止軌道（スタンバイ）
米 (NOAA, NASA)	NOAA-15(K)	LM(Tiros-N)	2005	極軌道
	NOAA-18(N)		2005	
	NOAA-19(N Prime)		2009	
	NOAA-20(JPSS-1)	Ball Aerospace (BCP-2000)	2017	
	Suomi-NPP		2011	
	JPSS-2	NG(LEOStar-3)	(2022)	極軌道
	Cygnss 1,2,3,4,5,6,8	NASA	2016	ハリケーン観測衛星
米国・台湾 (NOAA,NPSO/NARL)	FormoSat-7(1-6) / COSMIC-2(1-6)	SSTL	2019	コンステレーション
欧州・米 (EUMETSAT,ESA)	Meteosat-9 (MSG-2)		2005	静止軌道(スタンバイ)
	Meteosat-10 (MSG-3)		2012	静止軌道
	Meteosat-11 (MSG-4)		2015	静止軌道
	Meteosat-12 (MTG-1)	OHB(SmallGEO)	2022	静止軌道
	METOP-B	ADS	2012	
	METOP-C		2018	
中国	風雲(FengYun)-2号G(FY-2G)	SAST	2014	静止軌道
	風雲(FengYun)-2号H(FY-2H)		2018	
	風雲(FengYun)-3号D(FY-3D)		2017	極軌道
	風雲(FengYun)-3号E(FY-3E)		2021	
	風雲(FengYun)-4号A(FY-4A)		2016	静止軌道
	風雲(FengYun)-4号B(FY-4B)		2021	
	雲海(Yunhai)-1 01号		2016	極軌道
	雲海(Yunhai)-1 02号		2019	極軌道(2021年破損)
	雲海(Yunhai)-1 03号		2022	極軌道
	雲海(Yunhai)-2 01-06号		2018	LEO
	雲海(Yunhai)-3		2022	LEO
インド(ISRO)	INSAT-3D	ISRO(I-2000)	2013	静止軌道、気象(82° E)
	INSAT-3DR		2016	静止軌道、気象(74° E)
ロシア (ロシア連邦宇宙局)	Meteor-M N2	NPP VNIIEM	2014	極軌道
	Meteor-M 2-2		2019	
	Elektro-L2	NPP VNIIEM	2015	
	Elektro-L3		2019	
韓国(KARI/KIMA)	GEO-KOMPSAT-2A	KARI	2018	静止軌道　気象
韓国(KARI/KIMA/NIER)	GEO-KOMPSAT-2B	KARI	2020	静止軌道　気象

(7) 地球観測衛星

地球観測衛星はグローバルな地球環境問題の解明、災害監視、資源探査、植生、土地表利用状況調査等に広く利用されてきた。現在では主要国が各種の地球観測衛星を打上げ、全球地球観測システム(Global Earth Observation System of Systems: GEOSS)を形成している。GEOSS では、災害、健康、エネルギー、気候、水、気象、農業、生態系、生物多様性の 9 項目が公共的利益分野として設定されており、日本は温室効

果ガス観測技術衛星 GOSAT シリーズ、地球環境変動観測ミッション GCOM シリーズ、全球降水観測計画 GPM、雲・エアロゾル放射ミッション Earth CARE など、気候変動予測の精度向上を目的とする衛星計画を担っている。米国と並んで積極的に地球観測活動を行っている欧州では、Copernicus 計画（旧称 GMES）により環境監視と安全保障を含む幅広いテーマで GEOSS への貢献を行っている。

Copernicus 計画は危機管理、陸域観測、海域観測、大気観測、安全保障、気候変動の 6 分野への衛星情報の統合的利用を目指している。2014 年の Sentinel-1A 打上げから 2020 年の Sentinel-6 まで多様なセンサを搭載した衛星が打上げられた。

米国、フランス、日本は、NASA 主導の国際協働で、Afternoon Constellation と呼ばれる衛星隊列による地球観測を行っている。コンステレーションの目的は、複数の衛星に搭載した多様な観測センサで、ほぼ同時に同一地点を観測することにより、地球上空の一酸化炭素、オゾン、エアロゾル、雲、水循環などを観測し、気象・気候に関する情報・知見を得るものであり、もともとは全ての衛星が A-Train と呼ばれるほぼ同一軌道にあったが、現在は A-Train 軌道を Aura、Aqua、しずく(GCOM-W1)、OCO-2 が、C-Train 軌道を CALIPSO と Cloudsat が周回している。

米国では 2023 年には Planet の Flock が 72 機打上げられた。

フランスでは Spot シリーズに代わる高分解能画像シリーズ衛星 Pleiades が 2011 年、2012 年各 1 機の打上げに成功した。2014 年には SPOT-7 打上げ、同年中に Airbus から Azercosmos に移譲され Azersky と改名された。2013 年には仏 / CNES とインド / ISRO の共同で、海面高度、波高、風速、他気候に係る観測を行う SARAL の打上げに成功した。2016 年にはフランスが米国と協同で開発した Jason-3 が海上の水位レベル等を観測する目的で、Falcon 9 により打上げられた。

ESA は 2009 年に土壌水分と海水塩分を観測する SMOS 衛星を、2010 年には極地方及び海上の氷のモニターを目的とした Cryosat 2 を打上げた。また 2013 年には地磁気計測を目的とする 3 機の Swarm (A, B, C) の打上げに成功した。欧州連合は、ESA と協力し、全地球的なリモートセンシング網を構築する Copernicus 計画(旧名称 : GMES)を推進している。最初のミッションである Sentinel-1 は、複数の C バンド SAR 衛星コンステレーションで構成され、搭載した合成開口レーダーの観測によって地表と海洋の情報を 24 時間体制で供給するものである。Sentinel-1A は 2014 年、Sentinel-1B は 2016 年に打上げられた。Sentinel-1A, 1B は同一軌道面を互いに 180 度の位相差で周回することで観測頻度の向上を図る。2022 年 8 月 3 日に復旧困難であることから Sentinel-1B のミッションが終了した。後継の Sentinel-1C を 2023 年以降に Vega C ロケットで打上げる予定である。2015 年には Sentinel-2A が、2017 年には Sentinel-2B が打上げられた。Sentinel-2A, 2B はマルチスペクトルイメージャを搭載しており、植生情報、雪・雲・氷の状況、エアロゾル等に関する情報を測定する。2016 年に打上げられた Sentinel-3A はイメージングスペクトロメータ、マルチスペクトル放射計、海面高度計などを搭載しており、海表面温度、地表面温度、海面高度などを測定する。2018 年には同様の Sentinel-3B が打上げられた。現在の計画では Sentinel-1, 2, 3 は、今後それぞれ D 号機まで打上げられる予定である。

Sentinel-4 では 2023 年頃打上げ予定の欧州の第 3 世代静止気象衛星 MTG に紫外線・近赤外線スペクトロメータ(UVN)と EUMETSAT の赤外線サウンダ(IRS)を相乗りさせ、地球大気に関する観測を実施する。また、Sentinel-5 では、2021 年頃に打上げ予定の第 2 世代周回気象観測衛星 METOP-SG に紫外線・近赤外

線短波長スペクトロメータ(UVNS)や EUMETSAT IRS 等を搭載し、同じく地球大気の観測を実施する計画である。Sentinel-6 ではレーダー高度計を搭載し、海洋表面トポグラフィーの高精度測定を実施する。2023 年 11 月末の時点では、7 機の Sentinel 衛星が運用中である。

英国の SSTL と BNSC は、6 ヵ国コンソーシアム(アルジェリア、中国、ナイジェリア、トルコ、スペイン、英国)により、多数の地球観測マイクロサットからなる世界初の災害監視用コンステレーション DMC (Disaster Monitoring Constellation)プロジェクトを実施中で、2018 年には 4 号機となる SSTL-S1 4 が打上げられた。また、同じく SSTL の衛星バスを用いた小型 SAR 衛星 NovaSar-S1 も打上げられた。

日本も海洋観測衛星 MOS-1 ('87 年)以降多くの観測衛星を打上げ、その観測データは世界中のユーザーに広く活用された。「だいち」(ALOS)は 2006 年に打上げられ、2011 年に発生した東日本大震災の被災地を観測し、災害前の画像に地理情報を重ねた「だいち防災マップ」を作成した。また、「だいち」の緊急観測計画を立案し画像取得するとともに、国際災害チャータとセンチネル・アジアなどの国際協力の枠組みで協力を依頼し、海外衛星(約 20 機の衛星)が画像を取得した。「だいち」は 2011 年に運用を終了し、2014 年に後継機の「だいち 2 号」(ALOS-2)が打上げられた。「だいち 2 号」は 1-3m 分解能の L バンド SAR を搭載し運用されている。「だいち」の光学センサ後継として、2023 年 3 月に「だいち 3 号」(ALOS-3)を打上げたがロケット失敗で喪失した。ALOS-2 後継のだいち 4 号(ALOS-4)が 2025 年度に打上げ予定である。2012 年には水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W) が運用中である。「しずく」には米 Aqua 衛星搭載の AMSR-E 後継の AMSR2 が搭載され、AMSR-E から継続して取得しているデータを世界各国に供給している。2017 年には気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)も運用中である。また小型衛星の技術実証を目的として高解像度光学衛星 ASNARO が 2014 年、高性能 SAR を搭載した ASNARO-2 が 2018 年に打上げられた。2019 年には商用の小型 SAR コンステレーション構築を目指す iQPS の初号機「いざなぎ」(QPS SAR-1)の打上げに続き、2021 年「いざなみ」(QPS SAR-2)、2023 年に「アマテル-III」(QPS SAR-6)、「ツクヨミ-I」(QPS SAR-5)を打上げた。Synspective の StriX-1 が 2022 年 9 月に打上げられた。

中国は多数の衛星を打上げており 2019 年にもビデオ観測を実施する「珠海 1 号」(Zhuhai-1)を 5 機、ハイパースペクトル観測衛星「珠海 2 号」(Zhuhai-2)を 1 機、「高分」(Gaofen)シリーズを 2 機、「吉林」(Jilin)シリーズを 3 機、地図作成衛星「天絵-2 号」(Tianhui-2)を 3 機など、10 機以上の地球観測衛星を打上げている。

インドは、2 機の X バンド SAR 衛星 RISAT-2B, -2BR1 を 2019 年に打上げた。

高分解能の商業利用画像衛星の分野では、'99 年に米 Space Imaging が Ikonos-2 を打上げ、分解能 1m級の画像の販売を開始した。また、Digital Globe (旧 Earth Watch、Ball Aerospace が設立、2001 年に社名変更)が 2001 年に QuickBird-2 (Ball Aerospace 製)を打上げ、パンクロマチックで解像度 61 cm、マルチスペクトルで 2.44 m 解像度の画像を取得している。2007 年にはパンクロ分解能 50 cm の WorldView-1 を打上げ、2009 年には WorldView-2 を打上げている。周回軌道は、傾斜角 98°の太陽同期軌道で高度は約 450 km である。また ORBIMAGE は、2003 年に OrbView-3 で事業を開始した。2006 年に Space Imaging を買収し GeoEye になり、2008 年に GeoEye-1 を打上げ運用してきたが、2012 年に GeoEye と DigitalGlobe が合併し、米国商用高分解能プロバイダが事実上統合された。2016 年には、WorldView-3 と同じく現状の商用画像衛星で最高の解像度となるパンクロ分解能 31 cm の WorldView-4 が打上げられた。なお、2014 年の法改正により現在は

解像度 25 cm までの画像販売が可能になった。2017 年には Maxar Technologies が Digitalglobe を合併した。Maxar Technologies は Scout と呼ばれる小型衛星コンステレーション構想を発表しており、既存の WorldView 衛星や旧 MDA が保有していた Radarsat シリーズと組み合わせ、より高頻度な画像提供が可能となる。なお、2019 年に Maxar Technologies は World View-4 が CMG (Control Moment Gyros)の不具合により全機能を喪失し、さらに Radarsat-2 のジャイロが故障したと発表した。

SAR 画像に関しては、帯域幅の拡大が認められ、2015 年から 25 cm 解像度(アジマス方向)の画像提供が可能になった。現在、商用高解像度 SAR 衛星は、カナダの Radarsat-2、ドイツの TerraSAR-X および TanDEM-X、イタリアの COSMO-Skymed 等が運用されているが、いずれも次世代衛星の開発を進めており、それぞれ RCM (Radarsat Constellation Mission)、TerraSAR Next Generation、CSG (CosmoSkymed Second Generation)と呼ばれている。このうち 2019 年に、RCM 3 機と CSG 1 号機が打上げられた。

イスラエルの ImageSat International は 1.8 m 解像度の Eros-A1(Israel Aircraft Industries 製)を 2000 年に、後続の Eros-B-1 を 2006 年に打上げて衛星画像販売サービスを行っている。このほかにも、国防省が Ofeq-5, 7, 9, 10, 11, 16 に加えて 2023 年 3 月 28 日に打上げた Ofeq-13 を加えた 7 機の光学衛星、及び SAR 衛星 TECSAR を運用している。2017 年にはフランス CNES と共同で開発したマルチスペクトル画像観測衛星 Venus が打上げられた。

韓国は 2023 年 11 月末で 3 つの観測衛星を打上げた。

表 1-3-9 に最近打上げられた主な地球観測衛星を示す。

表 1-3-9　最近打上げられた主な地球観測衛星(1)(2022 年 12 月現在)

国 名 (担当機関・企業)		衛星名	製造	ミッション概要	打上げ年
日本	JAXA	いぶき(GOSAT)	三菱電機	温室効果ガス観測	2009
		だいち2号(ALOS-2)		Lバンド SAR,1-3m	2014
		いぶき2号(GOSAT-2)		温室効果ガス観測	2018
		しずく(GCOM-W)	NEC	降水量、水蒸気量、海洋上の風速や水温、陸域の水分量、積雪深度等	2012
		しきさい(GCOM-C)		多波長光学放射計	2017
	NEC	ASNARO	NEC	パンクロ解像度0.5m	2014
		-2		高性能小型SAR	2018
	アクセルスペース	GRUS-1 A~E	アクセルスペース	パンクロ解像度2.5m、マルチ分解能5.0m(GRUS-1Dは「すいせん」と同一)	2018~
	キャノン電子	CE-SAT-1	キャノン電子	パンクロ解像度1m	2017
		-2		解像度5m	2020
	iQPS	イザナギ(QPS SAR-1)	iQPS	高性能小型SAR	2019
		イザナミ(QPS SAR-2)		高性能小型SAR	2021
米国	NASA	LANDSAT 8/9	NG/Ball Aerospece	地球画像、解像度15mのセマティック・マッパー	2013/2021
		TERRA (EOS-AM1)	LM	雲、火山の観測　エネルギー、炭素、水の循環に関する研究	1999
		AQUA (EOS-PM1)	NG	大気の状況と雲の観測　雲と温室効果の関係に関するデータ	2002
		SORCE		太陽放射と気候の関連を観測	2003
		Aura (EOS-CH1)		地球環境、気象変動の観測	2004
		Cloudsat	Ball Aerospace	雲	2006
		NPP(Suomi NPP)		地球観測(NPOESS Preparatory Project)	2011
		GPM-Core		降雨観測(GPMコンステレーションの主衛星)、DPR：NEC製	2014
		Exocube / Exocube2	NASA/JPL	高層大気観測	2015/2021
		GRACE-FO 1/2	NASA/GFZ	重力測定	2018
		Sentinel-6(Sentinel-6 MichaelFreilich)	ADS/TAS	海面レベル測定	2020
	MAXAR(DigitalGlobe)	WorldView-1	Ball Aerospace	パンクロ分解能0.5m、マルチ分解能2m	2007
		2		パンクロ分解能0.5m、マルチ分解能1.8m	2009
		3		パンクロ分解能0.31m、マルチ分解能1.24m	2014
		GeoEye-1(OrbView-5)	General Dynamics	0.4mパンクロ、1.6mマルチ分解能	2008
	Planet	Skysat	Planet、Maxar	光学/動画、2020年まで21機打上げ	2013~
		Flock	Planet	光学画像、分解能3m、約150機のコンステレーション目指して打上げ継続中。(ISS放出分含め、2019年までに407機以上打上げ200機以上運用中)	2014~
	Blacksky	GLOBAL	Spaceflight Serices/Exelis	商用光学衛星(分解能1m)	2018~
	Capella Space	CAPELLA 1	Capella Space	商用SAR画像衛星(40kg)	2018
		2~8		商用SAR画像衛星(112kg)	2020~2022
米/仏	NASA/CNES	Calipso	TAS	気象(雲、エアロゾル、大気)	2006
	NOAA/EUMETSAT/ NASA/CNES	Jason-3		レーダー高度計、マイクロ放射計などによる観測	2016
	NOAA/EUMETSAT/ESA / NASA/CNES	Jason-CS1(Sentinel-6A)		レーダー高度計、マイクロ放射計などによる観測	2020
欧州	(ESA)	Cryosat 2	ADS	極地方、海上氷の状態モニター	2010
		Swarm A -C(Earth Explorer 5A)		地磁気計測	2013
		Sentinel -1A	TAS	Cバンド SAR、分解能5m、1Bは2022年運用終了	2014~
		-2A/-2B		マルチスペクトル光学センサ	2015~
		-3A/-3B		海洋観測衛星	2016~
		-5P	ADS	大気観測	2017
欧/仏	(ESA/CNES)	SMOS	TAS	土壌水分海水塩分観測	2009
仏/インド	CNES/ISRO	SARAL	CNES/ISRO	海面高度、波高、風速、他気候に係る観測	2013
仏	(CNES)	SPOT 6/7(Azersky)	ADS	解像度2mによる地球観測	2012/2014
		Pleiades-1A/B		高解像度カメラによる地球画像取得(パンクロ分解能0.5m)	2011/2012
		Pleiades NEO 3/4		高解像度カメラによる地球画像取得(パンクロ分解能0.3m)	2021
	(DGS)	CSO-1/2		軍事偵察衛星(光学)	2018/2020
伊	(ASI)	Cosmo-SkyMed-1~4	TAS	地球観測(軍事ー公衆両用)、XバンドSAR	2007~2010
		PRISMA	Carlo Gavazzi Space	地球観測(ハイパースペクトル、パンクロ)	2019
		CSG-1,2 (SkyMed 2nd Gen.)	TAS	地球観測(軍事ー公衆両用)、XバンドSAR	2019/2021
独	(国防省)	SAR-Lupe-1~5	OHB	軍事SAR観測、Xバンド（分解能1m）	2006~2008
	(DLR)	Terra SAR-X	ADS	XバンドSAR, 分解能1m	2007
		TanDEM-X		TerraSAR-Xとの編隊飛行	2010
		BIROS	Kayser-Threde GmbH	火災検知衛星	2016
英	(SSTL)	DMC2	SSTL	災害監視	2009
		SSTL-S1 4		災害監視	2018
英/中	(DMCii)	DMC 3-1~3 (SSTL-S1 1~3)		災害監視	2018
スペイン	(DMI)	Deimos1		災害監視 (パンクロ2.5m、マルチ5m)	2009
		2	SATRECI	75cm	2014
	(HISDESAT)	PAZ	ADS	XバンドSAR観測、	2018
フィンランド	ICEYE	ICEYE-X1~-X20	ICEYE	商用SAR画像衛星	2018~
カナダ	(CSA)	SCISAT-1	Bristol Aerospace	オゾン観測	2003
		RADARSAT-2	MDA	地球観測(C-band SAR)	2007
		RCM 1-3		地球観測(C-band SAR)	2019
	GHGSat Inc.	GHGSat-D/C1/C2/C3/C4/C5	UTIAS SFL	温室効果ガス測定衛星(15kg)	2016~
ロシア	(Roskosmos/NTs OMZ)	Resurs-DK	TsSKB Progress	Civilianリモートセンシング：白黒1m、カラー2m分解能(6.8t)	2006
	(Roskosmos)	Resurs-P 1~3		地球観測、パンクロ1-2m、カラー3-4m、ハイパーイメージャ	2013~2016
	(国防省)	Kondor-E	NPO Mashinostroyeniya	地球観測、SバンドSAR、分解能1-2m	2014
		BARS-M #1	TsSKB-Progress	軍事偵察衛星(光学)	2015
		BARS-M #2		軍事偵察衛星(光学)	2016
		BARS-M #3		軍事偵察衛星(光学)	2022
	(不明)	Geo-IK-2 2	ISS Reshetnev	測地衛星	2016
	(不明)	Geo-IK-2 3			2019
	(Roskosmos)	KANOPUS-V-IK	NPO VNIIEM	火災探知	2017
		KANOPUS-V-1、3~6		2.5mパンクロ	2017/2018
インド	(ISRO)	Cartosat-1(IRS-P)	ISRO	地図作成用マッピング衛星	2005
		2		地図作成（光学、パンクロ1m）	2007
		2A~F		同上	2008~2018
		3		光学(パンクロ0.25m、マルチ)、ハイパー	2019
		RISAT2B/2BR1/2BR2	ISRO	レーダイメージング	2019/2020
		Oceansat2		海上監視	2009
		Oceansat3		海上監視	2022
		Resourcesat -2/-2A		地球画像、自動船舶識別	2011/2016
インド/仏	(ISRO/CNES)	Megha-Tropiques	ISRO/TAS	熱帯地域観測	2011
インドネシア	LAPAN	LAPAN A3	LAPAN	地球観測衛星(マルチスペクトル光学センサ)	2016
イスラエル	(ImageSat)	EROS B1	IAI	0.7m分解能	2006
		EROS C3		0.3m分解能	2022
	(国防省)	Ofeq5		軍事偵察	2002
		7			2007
		8(TecSAR1),10(TecSAR2)			2008/2014
		9			2010
		11,16			2016/2020
UAE	(EIAST)	DubaiSat1	SATRECI	リモセン	2009
		DubaiSat2		リモセン	2013
		KhalifaSat(DubaiSat3)		リモセン	2018
サウジアラビア	(RSRD)	SaudiSat 2~4	KACST	高分解能イメージャー	2004~2014
		5A,5B		ハイパースペクトルセンサ	2018

表 1-3-9　最近打上げられた主な地球観測衛星(2)(2022 年 12 月現在)

国 名　(担当機関・企業)		衛星名	製造	ミッション概要	打上げ年
中国	国家海洋局(SOA)	海洋(Haiyang) 1C/1D	CAST	海面監視	2018/2020
		2A/2B	CAST	海面監視　高度計(C/Ku),散乱計,マイクロ波イメージャ	2011/2018
		2C/2D	CAST	海面監視　高度計(C/Ku),散乱計	2020/2021
	SASMAC	資源(ZIYUAN)-2C	CAST		2004
		3/3-2	CAST	パンクロ(直下2.1m、オフセット2.6m)、マルチ(5.8m)	2012/2016
	CRESDA	環境(HuanJing)1A～1c	CAST	自然災害監視（地震、洪水）	2008～2012
	(不明)	試験(Shiyan) -3/-4/-5/-7	CAST	大気観測、リモセン	2008～2013
	PLA	天絵(Tianhui) 1-01~04	CAST	地図作成	2010～2021
	PLA?	2-01A,B -02A,B	CAST？	地球観測/軍事？(SAR)	2019/2021
	CAST/SAST等?	遥感(Yaogan) 30-01-01~03 -02-01~03 03-01~03 -04-01~03 -05-01~03 -06-01~03 -07-01~03 -08-01~03 -09-01~03 -10-01~03	CAS	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2017～2021
	CAST/SAST等?	32-01-01,02 -02-01,02	CAST/SAST?	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2018/2021
	CAST/SAST等?	35-01A,B -02A,B -03A,B -04A,B -05A,B	DFH Satellite	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2021/2022
	CAST/SAST等?	35-01C,-02C -03C,-04C,-05C	SAST	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2021/2022
	CAST/SAST等?	36-01A,B -02A,B -03A,B -04A,B	DFH Satellite	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2022
	CAST/SAST等?	36-01C,-02C,-03C,-04C	SAST	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2022
	CAST/SAST等?	9A～C/16A~C/17A~C 20A~C/25A~C/31A~L,	CAST	地球観測/軍事？ (光学、SAR、海洋監視等)	2010～
	CAST/SAST等?	2/4/7/11/24/30	CAST	地球観測/軍事？(光学)	2007～
	CAST/SAST等?	12/21	CAST	地球観測/軍事？(光学)	2008～
	CAST/SAST等?	1/3/10	SAST	地球観測(SAR)	2006～
	CAST/SAST等?	6/13/23	SAST	地球観測(SAR)	2009～
	CAST/SAST等?	8/15/19/22/27	SAST	地球観測(光学)	2009～
	CAST/SAST等?	14/28	CAST	地球観測/軍事？(光学)	2012～
	CAST/SAST等?	26	CAST/SAST	地球観測/軍事？(光学)	2014
	CAST/SAST等?	34-01,02,03	CAST/SAST	地球観測/軍事？(光学)	2021/2022
	CNSA	高分(GaoFen,GF) 1	SAST	地球観測(光学,2mパンクロ,8mマルチ16m広角マルチ)	2013
		1-02~04	SAST	地球観測(光学,2mパンクロ,8mマルチ),3機同時打上可能	2018
		2	不明	地球観測(光学)	2014
		3/3-02,03	CAST	高精細地球観測システム(CHEOS)用(SAR)	2016/2021/2022
		4	(不明)	高解像度地球観測(静止光学)	2015
		5/5-02	SAST	地球観測(光学,2mパンクロ,8mマルチ),3機同時打上可能	2018/2021
		6	CAST	地球観測(光学,2m/8mパンクロ,16m,800km広角マルチ)	2018
		7	CAST	測量、地理情報	2019
		8	CASC	地球観測	2015
		9-01~05	CAST	測量、地理情報（光学）	2015/2020
		10R	不明	地球観測	2019
		11-01~03	SAST	高精細地球観測システム(CHEOS)用/軍事？(光学)	2018/2021
		12-01~03	不明	地球観測	2019/2021
		13	CAST	地球観測(光学)	2020
		14	CAST	地球観測(光学ステレオ)	2020
	CAST/SAST等?	DM	(不明)	高精細地球観測システム(CHEOS)用	2020
	(CAS)	創新(Chuang Xin)1~1-04	(不明)	災害救援用陸水/気象	2003～2014
	(Chang Guang Satellite Technology)	吉林(Jilin)- 1、Jilin-1-3~10	(Chang Guang Satellite Technology)	商用地球観測衛星　(0.72mGSD)	2015～2019
		Jilin-1 Gaofen-02 A,B,D,F		商用地球観測衛星　(0.75mパンクロ,40km)	2019/2021
		03 B,C,D,E,F,G,H,I,J		商用地球観測衛星　(1mパンクロ,4mマルチ)	2019～2022
		04 A		商用地球観測衛星　(高分解能)	2022
		03D　4~7 27~33		商用地球観測衛星　(1mパンクロ,4mマルチ,17km)	2019～2022
		Jilin-1 Guanpu-01,02 (Spectrum-01,02)		商用地球観測衛星　(5mマルチ)	2019
		Jilin-1 Kuanfu-01,01B,01C (Wideband-01,01B,01C)		商用地球観測衛星(4mマルチ)	2020~2022
		Jilin-1 Shipin-01、02 (Lingqiao-1 01,02)		商用地球観測衛星　(ビデオ)	2015
		Shipin-03		商用地球観測衛星　(ビデオ)	2017
		Shipin-04~8		商用地球観測衛星　(ビデオ)	2017,2018
	CAS	炭素(TanSat)	CAS	炭酸ガス観測衛星	2016
	CAS/SSSC	Yijian	CAS/SSSC	地球観測衛星	2016
	CAST	高景(GaoJing-1 01~04 (SuperView-1 01~04)	CAST	Civil地球観測衛星(光学)(パンクロ0.5m、マルチ2m)	2016/2018
	CAST	珠海(Zhuhai-1) OVS-1A/1B	Zhuhai Orbita Control Engineering	Civil地球観測衛星(ビデオ)(2m,20フレーム)	2017
		OVS-2A/3A		Civil地球観測衛星(ビデオ)(0.9m/22.5kmm,120秒)	2018/2019
		OHS-2A/-2B/-2C/-2D OHS-3A/-3B/-3C/-3D		Civil地球観測衛星(光学,ハイパースペクトル) (10m/150km,2500km/150km)	2018/2019
中国/ ブラジル	(CRESDA/INPE)	CBERS 4（ZY-1 04)	CAST	植生、都市計画、水資源管理、軍事偵察	2014
		4A（ZY-1 04A)			2019
韓国	(KARI)	Kompsat 2 (Arirang 2)	KARI/ADS	多目的地球観測（800kg)	2006
		3 (Arirang 3)		多目的地球観測（800kg)	2012
		5 (Arirang 5)	KARI	XバンドSAR衛星	2013
		3A	KARI/ADS	光学地球観測衛星	2015
	(KAIST)	STSAT3	SATREC, KAIST	地球観測、天文、技術試験	2013
タイ	(GISTDA)	THEOS	ADS	ﾊﾟﾝｸﾛ2m、4ﾊﾞﾝﾄﾞ15m（750kg)	2008
アルジェリア	(ASAL)	Alsat 2A,2B	ADS	地図作成、農業管理等、地球観測衛星(116kg)	2010/2016
		1B	SSTL	地球観測衛星(100kg)	2016
アルゼンチン	Satellogic	NuSat 1~31	Satellogic	地球観測衛星(光学、37kg)	2016~
	CONAE	SAOCOM-1A,1B	INVAP	LバンドSAR観測	2018/2020
ペルー	Peruvian armed forces	PerúSat 1	ADS	軍事偵察衛星(光学)	2016
シンガポール	(CREST)	X-SAT	Satrec Initiative	リモートセンシング	2011
	National University of Singapore	Kent Ridge 1 (KR 1)	National University of Singapore, Berlin Space Technologies	ハイパースペクトルセンサ観測衛星	2015
		Velox-C1		気象観測実証	2015
	AgilSpace	TeLEOS 1	ST Electronics (Satellite Systems) Pte Ltd	商用地球観測衛星　(GSD1m)	2015
ナイジェリア	(NASRDA)	NigeriaSat 2	SSTL	地球観測（寿命7年)	2011
		-X		地球観測	2011
トルコ	(TUBITAK-UZAY)	RASAT	TUBITAK-UZAY	地球観測（寿命3年)	2011
	Turkish　MoD	Gokturk 1A	(Telespazio)	軍事偵察衛星(光学)	2016
		Gokturk 2	TAI	軍事偵察衛星(光学)	2012
ベトナム	（VAST)	VNREDSat 1a	ADS	地球観測、分解能2.5m	2013
エストニア	（Tarutu大学)	ESTCube 1	Tarutu大学	テザー技術及び地球観測	2013
カザフスタン	（KGS)	KazEOSat 1 (DZZ-HR)	ADS	パンクロ、マルチ	2014
		2 (DZZ-MR)	SSTL	6.5mイメージャ	2014
モロッコ	Kingdom of Morocco	Mohammed V1A/B	ADS	軍事偵察(光学)	2017/2018

⑻科学衛星／月・惑星探査機

[宇宙天文]

宇宙空間での天文観測は、大気による電波の減衰、揺らぎがなく、可視光だけでなくあらゆる波長での観測に地上と比べ非常に有利である。各国とも様々な衛星を打上げ、宇宙の謎に迫る発見が数多くなされている。NASA は Great Observatory シリーズと称し、4 機の波長の異なる観測衛星を打上げた。中でも'90 年に打上げた Hubble 宇宙望遠鏡(HST: Hubble Space Telescope)は、直径約 2.4mの可視光望遠鏡により宇宙誕生の謎や構造の解明に関する多くの成果を挙げた。2023 年は 11 月に不具合で観測不可となっていたが、翌月に観測を再開した。他にはγ線天文衛星 CGRO（'91 年)、X 線観測衛星 Chandra（'99 年)、赤外天文宇宙機 Spitzer 宇宙望遠鏡(Spitzer Space Telescope (SST)、2003 年)が打上げられ、CGRO、SST を除き現在も観測を継続している。NASA では、主鏡直径が 6.5m という赤外線天文観測衛星 JWST (James Webb Space Telescope)の開発に難航していたが、2021 年に打上げた。JWST は宇宙で最初に出来た星や銀河、さらに原始宇宙の姿を赤外線により観測することを目的とする衛星であり、地球から 150 万 km 離れた L2 ポイントに投入された。2022 年 7 月から観測を開始した。他、2018 年に NASA と MIT が協力し、系外惑星探査衛星 TESS を打上げ、観測中である。

日本も JAXA 宇宙科学研究所が複数の衛星を打上げており、現在運用中の衛星は小型高機能科学衛星「れいめい」(INDEX、2005 年)、惑星分光観測衛星「ひさき」(SPRINT-A、2013 年)等がある。X 線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)は 2016 年に打上げに成功後に通信異常が発生し、運用が断念された。JAXA は後継機として XRISM を開発し、2023 年 9 月 7 日に打上げた。また、2016 年に Epsilon 2 号機でジオスペース探査衛星「あらせ」(ERG)の打上げに成功した。「あらせ」は長楕円軌道に投入され、ヴァンアレン帯の観測を行っている。

ESA の現在運用中の宇宙天文衛星は、X 線観測衛星 XMM-Newton（'99 年)、赤外線宇宙望遠鏡 Herschel (2009 年)、10 億以上の恒星の位置を測定する Gaia (2013 年打上げ)等がある。また、2019 年に太陽系外惑星の観測を行う CHEOPS の打上げに成功した。

[月探査]

アメリカは'69 年に Apollo-11 号により人類初の月面着陸を成功させ、有人月探査は'72 年の Apollo-17 号まで継続した。その後、Clementine（'94 年)、Lunar Prospector（'98 年)、LCROSS/LRO (2009 年)、GRAIL-A & B(2011 年)により観測を継続している。2004 年には米国は月への有人飛行・月面探査を 2015～2020 年に再開し、さらに恒久的な月面基地を拠点に火星へ有人飛行を目指すと発表したが、財政難から中止とされた。しかし、2017 年には、将来の火星有人探査を念頭に、再度月有人探査を再開するよう NASA に対して指示が出され、2019 年には 5 年以内に米国のロケットで、月周回有人拠点 Gateway を経由して、女性を含む米国人宇宙飛行士による月面着陸を目指すことが表明された。本計画は Artemis 計画と呼ばれ、米国だけでなく国際パートナーにも参画を呼び掛けており、2020 年に日・米・加・英・伊・豪・ルクセンブルグ・UAE の 8 カ国間で Artemis 合意に署名した。2021 年に韓国、ニュージーランド、ブラジル、ポーランドが署名し、2023 年末では 29 の国が署名している。2022 年に SLS ロケット/ Orion 宇宙船を無人で月を周回する Artemis-1 ミッションを成功させた。現在、NASA は月着陸の目標は 2026 年としている。

民間では、2007 年に Google X-PRIZE 財団が月着陸ミッションへの資金インセンティブ「Google Lunar

XPRIZE」を発表したが、目標を達成できずにレースは終了した。

ソ連も'50 年代末から'70 年代にかけて Luna シリーズと Zond シリーズを 30 機以上打上げて月の観測を実施した。2013 年には月周回衛星 LADEE の打上げに成功した。

ESA は欧州初の月探査機 SMART-1 を 2003 年に打上げ観測を実施、2006 年に運用を終了した。

中国でも月開発長期プログラムが 2001 年に明らかにされ、2030 年以降月面基地を建設し有人月探査を目指すとしている。中国は2007年に月周回衛星「嫦娥1号」(Chang'e-1)を、2010年には「嫦娥2号」(Chang'e-2)を打上げた。また 2013 年には「嫦娥 3 号」(Chang'e-3) を打上げ、無人月面探査車「玉兎号」(Yutu)の月面での走行に成功した。2018 年には「嫦娥 4 号」(Chang'e-4)を打上げ、2019 年には世界で初めて月の裏側への軟着陸に成功した。現在、探査機「玉兎 2 号」(Yutu-2)による探査を実施している。なお、電波の届かない月裏側との交信のために、「鵲橋(じゃっきょう)」(Queqiao)と呼ばれる中継衛星を L2 点に配備している。また、中国は 2020 年に「嫦娥 5 号」(Chang'e-5)による月探査サンプルリターンに成功した。

インドは初の月探査衛星 Chandrayaan-1 (525kg、ESA も搭載観測機器を提供)を PSLV で 2008 年に打上げた。2019 年には月着陸船 Vikram を搭載した Chandrayaan-2 の打上げに成功した。Vikram は Chandrayaan-2 から分離されたが、着陸に失敗した。2023 年には Chandrayaan-3 号機を打上げ、2023 年 8 月 23 日に Vikram は月面南極付近に軟着陸し、その後月面探査機 Pragyan で探査を行い、月の夜間をスリープモードで待機したが、夜明け後に復帰できなかった。また、イスラエルの民間組織である SpaceIL は、2019 年に Falcon 9 により月着陸機 Beresheet を打上げた。月周回軌道への投入に成功し、民間初の月着陸に挑戦したものの失敗に終わっている。

日本は 2007 年に月周回衛星「かぐや」の打上げを行い、ハイビジョンカメラによる月表面の精密画像の取得、レーダーサウンダーによる月の地下地層データの取得等の成果を上げている。また、2015 年に改定された宇宙基本計画で「月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として計画的に進める」と記載されたことを受けて、6U サイズの「OMOTENASHI」を 2022 年の Artemis-1 ミッションの相乗りで月面着陸を試みたが失敗した。JAXA が小型月着陸実証機(SLIM)による高精度月面着陸の技術実証計画を進め、2023 年 9 月 7 日に SLIM を X 線分光撮像衛星(XRISM)と同時に打上げ、2024 年 1 月 20 日に軟着陸し、1 部の観測が実施できた。他、民間企業の ispace が 2023 年 4 月 26 日に月面への軟着陸に失敗、落下した。

[太陽系惑星等探査]

2007 年に誕生した ISECG(国際宇宙探査協働グループ)では、世界の主要宇宙機関が集まり、今後の惑星探査について GER(国際宇宙探査ロードマップ)を作成し議論を進めている。第 2 回 ISEF は 2018 年に日本で開催された。また 2018 年版 GER も作成されたが、この中で低高度地球周回軌道(LEO)から月近傍有人拠点(Deep Space Gateway)を経て有人月探査、さらには火星ミッションへと段階的に必要な技術を獲得していくというシナリオが示された。

'60 年代には米ソの探査衛星が相次いで火星軌道へ送られ、'70 年代には探査機の地表への着陸が試みられた。2012 年には米国の Mars Science Laboratory が探査機 Curiosity を地表へ送り、観測を実施している。また 2013 年には米国/NASA が MAVEN (Mars Scout 2)の打上げに成功した。MAVEN は 2014 年に火星に到着し、火星の大気に関する観測を行うほか、Curiosity の観測データを中継して地球に送付する機能も有して

いる。このほか、2004年に火星に着陸し2019年に運用終了した火星探査ローバーOpportunityや2006年に火星周回軌道に到達し観測中の Mars Reconnaissance Orbiter もあり、これらの観測結果から、2015 年にNASAが現在も火星に水が液体として存在する証拠を発見した、と報告している。2018年にはNASAの火星探査機InSightが打上げられ、火星の着陸に成功した。InSightは地震計や大気の状況を観測するほか、地中3-5mまで掘削して放射熱の測定を実施する。なお、InSightの着陸を知らせる信号は、自力で軌道修正を行ないながら火星に向かったMarCO(Mars Cube One)と呼ばれる約15 kgの超小型衛星により中継された。JPLは2021年に火星に着陸した無人探査車のPerseveranceはヘリコプターIngenuity(1.8kg)とともに生命生存の痕跡を探索している。Ingenuityは電動の2重反転同軸プロペラを装備し半径1kmを飛行でき、SONYのLi電池、村田製作所の携帯電話レベルの傾斜計(SCA100T-D02)など日本の汎用部品も使用されている。ソ連の金星探査機 Vega-1 ('85)で風船による飛行以来の地球外以外の惑星での初めての動力飛行となっている。

ExoMarsはESAとROSCOSMOS(ロシア航空宇宙局)が協力して実施する火星探査計画であり、火星探査機、着陸機等を 2 回に分けて打上げる計画である。2016 年には火星大気の観測や、将来着陸機と地球間の通信を中継するための探査機(Mars Trace Gas Orbiter)を打上げた。今後、着陸機を2022年に打上げる予定であったが、2022年3月に中止が発表された。

日本では、宇宙科学・探査における戦略的中型衛星計画として火星の衛星からのサンプルリターン計画(MMX: Martian Moons eXploration)の2024年度打上げを目指し開発が進められている。

金星へは火星と同じく米ソの探査衛星が '60年代より軌道へ送られた。金星の厳しい環境により成功例は少ないが、地表への探査機着陸は '75年にソ連のVenera 9号及び10号が写真撮影に成功したのち、米国もプローブを打ち込み観測を行っている。欧州ESAのVenus Expressは2006年に金星周回軌道に投入され、現在も運用中である。最近では、日本の「あかつき」が 2010 年にトラブルにより軌道投入を中断したが、2015年に再度金星周回軌道への投入を試み、成功した。現在、5つのカメラを用いて金星の観測を実施中である。

水星は太陽に近いため軌道投入が難しく、観測実績は'74年の米Mariner 10号と 2004年の米Messengerのみであったが、2018年に日欧共同プロジェクトBepiColombo-MPO / -MMO(水星表面探査機及び水星磁気圏探査機「みお」)がAriane 5により打上げられた。 BepiColombo-MPO / -MMOは9回の惑星スイングバイを行なった後、7年後に水星周回軌道に投入される計画である。

木星以遠の観測については'70年代後半の米Pioneer10, 11号、Voyager1, 2号により、木星・土星・天王星・海王星の観測を実施し、4 機とも太陽系深遠部に向けて飛行中でデータを送信し続けている。その後米・欧は協力して木星・土星への観測衛星を数回打上げている。また海王星以遠の冥王星・Edgeworth-Kuiper belt観測のため、2006年に打上げられた米NewHorizonsは2015年に冥王星に最接近し、冥王星及びその衛星カロン(Charon)の観測に成功した。また、各国は惑星以外にも小惑星帯・彗星への観測も行っている。主な衛星として米DeepImpact(2005年-2013年)、Stardust('99年-2006年)、Dawn(2007年-2018年)、米欧DeepSpace-1('98年-2001年)等が挙げられる。このうち、Dawnは2015年に準惑星セレスの周回軌道に入り、ミッションを延長して観測を続けている。また、前述のNewHorizonsは、2019年にKuiper belt(太陽系外縁天体)にある天体「2014 MU69」(愛称: Ultima Thule)のフライバイを実施し、初めて冥王星以遠の天体の探査に成功した。

欧州宇宙機関(ESA)が開発した彗星探査機 Rosetta は 2004 年に打上げられ、2014 年に Churyumov Gerasimenko 彗星に到達して着陸機 Philae を彗星に着陸させた。日本でも JAXA の MUSES-C「はやぶさ」(2003 年打上げ)が、世界初のイオンエンジンと地球スイングバイを併用した技法に成功したのち、2005 年に小惑星イトカワの表面物質の採取に世界で初めて挑戦し、小惑星とのランデブー、着陸・離陸、小惑星サンプル取得に成功した。2014 年には後継機の「はやぶさ 2」(Hayabusa2)が打上げられた。「はやぶさ 2」はその構成物質に有機物や水が含まれていると考えられている C 型の小惑星 1999 JU3 Ryugu のサンプルを持ち帰り、地球誕生の謎に加えて、海の水の起源や生命の原材料となった有機物の起源を探ることを目的とし、2018 年に Ryugu に到着後探査ローバーMINERVA-II1 (-1A / -1B の 2 機)や、独仏が開発した科学探査機 MASCOT の Ryugu への着陸に成功した。その後、サンプル採取地点を決定するための詳細観測を実施、2019 年には 1 回目のタッチダウン、サンプル採取、人工クレータの生成と同クレータからのサンプル採取も成功した。計画通りの観測を実施した「はやぶさ 2」は Ryugu から離脱し、2020 年に地球へ帰還し、新たな目的地として、小惑星 2001CC21 にフライバイ、小惑星 1998KY26 へのランデブーに向けて巡航を続けている。

2016 年には、米国が小惑星からのサンプルリターンを目的とした探査機 OSIRIS-Rex を打上げた。OSIRIS-Rex は地球近傍小惑星 Bennu に到達、2020 年にサンプル格納、2021 年に地球に出発し、2023 年 9 月 24 日に地球へサンプルを分離、再突入させた。名称を OSIRIS-APEX に変更され、小惑星 Apophis 観測に向けて進んでいる。なお、OSIRIS-Rex と「はやぶさ 2」は、収集したサンプルをシェアする協定を結んでいる。

DESINY+ (Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage with Phaethon fLyby and dUst Science)は深宇宙探査プラットフォームとして開発されており、2026 年度に打上げ予定である。

[太陽観測]

現在運用中の太陽観測衛星としては、NASA/ESA の SOHO ('95 年)、JAXA の SOLAR-B「ひので」(2006 年)などがある。このほか、2010 年には NASA が宇宙天気予測モデルの改善を目的として、SDO (Solar Dynamics Observatory)を軌道傾斜角 28.5° の地球同期軌道に打上げた。フランスの CNES は MYRIADE シリーズの太陽物理を観測する衛星として Picard を 2010 年に打上げた。2011 年インドは太陽宇宙線観測衛星 YouthSat を打上げた。2013 年には米国/NASA が太陽観測を目的とする IRIS (SMEX12)を打上げた。また、NASA は 2018 年には太陽観測衛星 Parker Solar Probe を打上げた。Parker Solar Probe は 2021 年に太陽まで約 850 万 km まで接近して観測を行ない、2025 年までの観測を予定している。

[科学衛星]

2015 年には ESA の重力波観測実証衛星 LISA Pathfinder が打上げられた。LISA Pathfinder は ESA が計画している重力波天文台衛星 LISA の実現に必要な技術を実証するための衛星である。また同年、中国もダークマター探査衛星 DAMPE の打上げに成功した。

最近打上げられた主な科学衛星／月・惑星探査機を表 1-3-10 に示す。

表 1-3-10　最近打上げられた主な科学衛星／月・惑星探査機(2022 年 12 月現在)

国名/担当機関	衛 星 名	製造	ミッション概要	打上げ年
日本/JAXA	SELENE(かぐや)	NEC	月の地形、鉱物分布の調査	2007
	ASTRO-E2(すざく)		X線天文観測	2005
	IKAROS		惑星間ソーラーセイル実験	2010
	PLANET-C(あかつき)		金星探査	2010
	SPRINT A (ひさき)		太陽系の惑星観測	2013
	HAYABUSA-2 (はやぶさ2)		小惑星のサンプル回収	2014
	ASTRO-H(ひとみ)		X線天文衛星　(通信途絶)	2016
	ERG(あらせ)		バン・アレン帯観測	2016
	SOLAR-B(ひので)	三菱電機	太陽観測	2006
	HAKUTO-R	ispace	月着陸	2022
日/欧	BepiColombo-MPO/MMO(みお)	ADS/NEC	水星探査	2018
中国	嫦娥(CHANG'E)- 2	(CAST)	月軌道	2010
	嫦娥(CHANG'E)- 3/4	(CAST)	月裏面着陸	2013/2018
	嫦娥(CHANG'E)- 5 T1	(不明)	月周回、地球帰還	2014
	嫦娥(CHANG'E)- 5	(不明)	月面サンプルリターン	2020
	実践10　(Shijian10)	CAST	微小重力実験衛星(植物)	2016
	実践15　(Shijian15)	SAST	デブリの観測?	2013
	実践16　(Shijian16)-01/02	CAST?	宇宙環境調査?	2013/2016
	実践21　(Shijian21)	CAST?	デブリの削減技術検証?	2021
	DAMPE	(不明)	ダークマター探査	2015
	AX-1	SELM/NPU	地球磁場・宇宙放射線研究	2016
	慧眼(HUIYAN, HXMT)	CAST	X線天文衛星	2017
	Tianwen -1	CASC	火星探査	2020
韓国	STSAT2C	KAIST	各種天文計測	2013
米国/NASA	RHESSI(SMEX-6)	UC berkeley	高エネルギー太陽フレア観測	2002
	SIRTF	LM	赤外線天文観測	2003
	Mars Exploration Rover Sprit & Opportunity	JPL	ローバーによる火星の土壌調査	2003
	Mars Reconnaissance Orbiter	LM	火星探査	2005
	STEREO-A&B	Johns Hopkins University APL	太陽観測	2006
	New Horizons	SwRI	冥王星観測	2006
	Dawn(Discovery 9)	NG	2つの小惑星に近づきカラー撮影	2007
	THEMIS　P1-P5	ATK Space Systems	磁気圏観測（5つの衛星使用）	2007
	GLAST	Spectrum Astro	ガンマ線広域宇宙望遠鏡	2008
	IBEX	SRI/NG	恒星間の境界探査	2008
	SDO（Solar Dynamic Observatory)	GSFC	太陽活動監視	2010
	Juno	LM	木星観測（2016～）	2011
	Mars Science Laboratory (MSL)	Boeing/LM	火星探査	2011
	Radiation Belt Storm Probe A/B (RBSP-A/B)	JHU/APL	バン・アレン帯観測	2012
	IRIS (SMEX 12)	LM/ATC	太陽観測	2013
	LADEE	エイムズ研究センター	月周回衛星	2013
	MAVEN (Mars Scout 2)	LM	火星探査	2013
	OCO 2	NG	CO_2観測	2014
	DSCOVR	SWALES	L1にて宇宙天気観測	2015
	MMS 1-4	NASA SwRI	磁気圏の観測	2015
	OSIRIS-REX	アリゾナ大/NASA	小惑星のサンプル回収	2016
	TESS	NG	太陽系外惑星探査	2018
	INSIGHT	LM	火星探査	2018
	PARKER SOLAR PROBE	NASA/JHU(APL)	太陽観測	2018
	IXPE	NASA/ASI	X線観測	2021
	DART	NASA/ESA/JAXA	宇宙機衝突させ小惑星の軌道偏向観測	2021
	JWST(James Webb Space Telescope)	NASA/ESA/CSA	L2にて天体観測	2021
	Lunar Flashlight	NASA	月の水観測	2022
欧州/ESA	Mars Express & Beagle2		火星探査(軌道周回＆着陸)	2003
	ROSETTA　/ Philae		彗星ランデブー/ランダー	2004
	Gaia		天文観測	2013
	GOCE		地球重力場	2009
	CHEOPS		太陽系外惑星観測	2019
	Herschel	TAS	宇宙天文	2009
	ExoMars 2016 (TGO / Schiaparelli)		火星探査	2016
欧州/カナダ	UniBRITE (CanX 3A)	UTIAS	天体観測	2013
	TUGsat 1 (BRITE-Austria, CanX 3B)	Graz University of Technology; UTIAS (bus)	天体観測	2013
カナダ	NEOSSAT	Microsat Systems Canada Inc. (MSCI)	アステロイド監視	2013
カナダ/ポーランド	BRITE-PL (Lem),PL2	UTIAS	天文、技術試験	2013/2014
ESA/仏(CNES)	COROT	TAS	天文観測	2006
イタリア(ASI)	AGILE	Carlo Gavazzi	X線-ガンマ線観測	2007
	Max Valier Sat	Max Valier	X線天文衛星	2017
仏（CNES)	Picard	CNES	太陽物理	2010
	MICROSCOPE		科学衛星(等価原理の実証)	2016
露	Foton M-2/3	TsSKB-Progress	マイクログラビティ	2005/2007
	Foton M-4		マイクログラビティ	2014
	Koronas-Foton	VNIIEM	太陽観測	2009
RASC	Spektr R	NPO Lavochkin	電波天文	2011
	Pobos-Grunt		火星探査（地球軌道離脱に失敗)	2011
Roskosmos	Bion-M 1	TsSKB-Progress	生命科学	2013
不明	MVL 300	モスクワ大等	ガンマ線バースト観測	2016
インド/ISRO	Chandrayaan 1	ISRO	月観測	2008
	Chandrayaan 2		月着陸(着陸には失敗)	2019
	YouthSat		太陽宇宙線、上層大気（ロシアとの共同)	2011
	Mars Orbiter Mission (Mangalyaan)		火星探査	2013
イスラエル	DIDO-2	SpacePharma	生物実験	2017
	DIDO-3		生物実験	2020
	BERESHEET	SpaceIL、IAI	月着陸(着陸には失敗)	2019

⑼ 軍事衛星

軍事に利用される衛星系の宇宙システムは主に 3 つの機能(情報収集・情報伝達・測位航行)に分類される。(表 1-3-11 参照) 情報収集では衛星を使って画像収集、電波の傍受、ミサイル発射検知、気象観測などを実施する。情報伝達では衛星通信の他、データ中継にも利用される。測位航行では、米国 GPS に代表されるように、正確な位置と時刻を計算するための信号を衛星から配信する。軍事目的の衛星であっても、データや信号形式を公開し民間に自由に利用を認める衛星と秘密に運用する衛星がある。

表 1-3-11 主な軍事衛星の配置数　　2022年11月時点

	合計	通信	情報	測位航法	電子信号	早期警戒	気象	宇宙監視	RPO
中国	207	11	55	45	81	5	8	-	2
アメリカ	144	47	14	30	31	10	4	8	-
ロシア	89	32	10	27	8	5	-	-	7
インド	25	2	15	7	1	-	-	-	-
フランス	13	4	6	-	3	-	-	-	-
日本	11	2	9	-	-	-	-	-	-
イスラエル	10	3	7	-	-	-	-	-	-
イタリア	10	3	7	-	-	-	-	-	-
ドイツ	8	2	6	-	-	-	-	-	-
イギリス	6	6	-	-	-	-	-	-	-

出展：イギリス国際戦略研究所 The Military Balance , 2023　民生利用との併用は含む

情報：軍事的な偵察、監視を光学センサやレーダー画像で取得

電子信号：ELINT/SIGIMT 通信傍受や電子信号受信で軍事情報を集める

早期警戒：ミサイル発射の探知

宇宙監視：人工衛星や宇宙飛行物の把握

RPO：人工衛星などをランデブや近接運用で支援、補給、警戒監視・偵察

米国／ソ連の両国は冷戦時代から各種軍事衛星の開発にしのぎを削り、とくに米国では軍事衛星技術を民間に転用するなど宇宙産業の基盤構築の一役も担ってきた。米国の軍事衛星システムは、地球的規模で低軌道及び静止軌道上に常時 100 機以上を運用している。代表的なものとしては通信衛星(AEHF シリーズ、WGS シリーズ、MUOS シリーズ)、早期警戒衛星(SBIRS-GEO / -HEO)、各種偵察衛星(光学偵察衛星(NRO KH-4~9)、SAR 偵察衛星、電波傍受衛星等)がある。

ソ連／ロシアでは、Kosmos シリーズとして軍事通信衛星や警戒･監視衛星を打上げ、米国と同様に地球的規模で約 90 機の軍事衛星システムを運用している。また、独自の測位システム GLONASS も展開している。2023 年 5 月、新 SAR 衛星 Kondor-FKA No.1 を打上げ、2024 年より欧州の監視を運用すると国営タス通信は報じた。2 号機打上げを 2024 年としている。

欧州は、軍事通信分野において英国の Skynet シリーズ、フランスの Syracuse 3 シリーズ、イタリアの Sicral、スペインの Spainsat 及び XTAR-EUR、ドイツの ComsatBw 等を運用している。'90 年代までは NATO が独自の通信衛星を打上げていたが、現在は前述の英・仏・伊の衛星を利用することで運用を行っていない。画像偵察分野では仏 Helios 偵察衛星(第 2 世代分解能 20cm)と CSO-1/2、Pleiades (50 cm、軍民両用)、ドイツの SAR-Lupe (5 機、X バンド、分解能 1m 以下)、イタリアの COSMO-Skymed (4 機、X バンド、分解能 1m、軍民両用)、その他の軍事衛星として仏の SPIRALE 早期警戒衛星(2008 年に実証衛星打上げ)、Elisa

(ELINT(電子諜報)衛星)がある。また、官民共同で独自の測位システムである Galileo の配備も進めている。欧州は厳しさを増す財政事情を背景に、軍事衛星システムに関する協力関係を深めつつある。

中国は、偵察衛星としては「遥感」(Yaogan)シリーズ(光学・レーダー等)、軍事通信衛星として Chinasat 1A 等、さらに独自に測位システムとして「北斗」を整備・展開している。他に、インド(TES)・イスラエル(Ofeq)・チリ(SSOT)・タイ(TEOS)・台湾(Rocsat)等も独自の衛星を打上げ運用している。このように国家安全保障を強化するために各国が衛星による通信、情報収集等宇宙システムの利用を拡大させている。なお、中国は 2016 年に量子通信の実験衛星「墨子」(Mozi、Quantum Experiments at Space Scale (QUESS))を打上げている。量子通信は傍受が不可能な通信方法であり、軍事通信にも利用可能な技術として注目されている。

韓国は軍事通信衛星を運用している。また、2023 年 12 月 1 日に偵察衛星を打上げた。国防開発庁(ADD)が開発した固体燃料ロケット GYUB を 2023 年 12 月 4 日に打上げた。

日本では X バンド衛星通信衛星「きらめき 1 号」が 2018 年、「きらめき 2 号」を 2017 年にそれぞれ打上げて運用している。「きらめき 3 号」は 2024 年以降に予定している。

2019 年にインドは純国産ミサイルによる低軌道衛星の破壊実験に成功を発表した。これは米国、ロシア、中国に続く世界で 4 番目の実験成功である。

2022 年に打上げられた衛星のうち公知情報で軍事目的とされる衛星としては、米国の GSSAP-5, 6 (USA-324, 325)等がある。その他、2022 年に打上げられた中国の「遥感-35 号-35-02A/B, 03A/B, 04A/B, 05A/B」(Yaogan-35-02A/B, 03A/B, 04A/B, 05A/B)、ロシアの Kosmos-2555, 2560 等も軍事目的といわれている。北朝鮮は 2023 年 5 月 30 日、8 月 23 日に実施した 2 回の打上げは失敗したが、2023 年 11 月 21 日の軍事用の光学撮影衛星「万里鏡」打上げに成功した。米宇宙軍は 2023 年 12 月 28 日に軌道投入した X-37B で SDA 技術を実験すると公表している。

(10)軌道上サービス衛星

宇宙ロボット技術やランデブードッキング技術を使用して、軌道上で組立、修理、燃料補給、機器交換、不要衛星回収・処理等を行う軌道上サービス衛星の検討が日米欧等で進んでおり、今後はデブリ回収への応用など新しい宇宙利用分野として期待される。米空軍研究所は 2005 年に自立ランデブー技術実証のためのマイクロサット XSS-11 (145 kg、Lockheed Martin 製)を打上げた。米国防高等研究計画局 DARPA は、ロボット技術により軌道上で燃料補給、機器交換、修理を行う技術実証衛星 ASTRO (Boeing)及び NEXTSat (Ball Aerospace)を開発し、2007 年に打上げ、実証実験を行っている。日本では ETS-VII により'98 年に宇宙ロボットの無人自動実験運用(ランデブードッキング)を世界に先駆けて実現した。ETS-VII のランデブードッキング技術は、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)にも活用されている。2013 年には中国の CASC がデブリの観測と宇宙空間でのロボットアーム実験を目的とする「試験 7 号」(Shiyan-7、Experiment-7)の打上げに成功した。軌道上サービスに関しては、Northrop Grumman が世界初の静止衛星寿命延長ミッション機 MEV-1 を 2019 年に打上、3 か月後の 2020 年にターゲットの Intelsat 901 衛星にドッキングし軌道制御等を実施中である。MEV-2 は 2020 年に打上げ後、2021 年にターゲットの Intelsat IS-1002 衛星とドッキングし起動制御等を実施中である。また、同社は MRV (Mission Robotic Vehicle)と MEP (Mission

Extension Pod)を組み合わせた開発を進めており、2024 年に打上げを予定している。

また、Maxar Technologies 傘下の Space Infrastructure Services (SIS)も同様の宇宙機として OSAM (On-orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing)を開発し、DARPA の RSGS (Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites)プログラムとして寿命延長を開発中であったが、2019 年に RSGS プログラムを終了した。さらに、英国の Effective Space も Space Drone と呼ばれる同様の軌道上サービス宇宙機を 2020 年に打上げる計画であったが、同年にアストロスケールの米国法人に買収されることが発表された。

英 SSTL が英 Surrey 大学と共同で打上げた RemoveDEBRIS は 2018 年に ISS から放出され、網によるターゲット捕獲に成功後、2019 年に銛によるターゲット捕獲にも成功した。また、2019 年 ESA は、宇宙デブリ除去ミッション ClearSpace-1 に関してスイスの ClearSpace を選定したと発表した。Clearspace-1 では、2013 年に打上げた VEGA ロケットのペイロードアダプタ Vespa(約 100 kg)を除去するミッションで、2025 年頃の打上げを目指している。

他、軌道上サービス能力は、軌道上の状況監視(SSA/SDA)と共通の技術基盤であって軍事用応用が容易であるため、今後本分野の適用や発展は各国それぞれに急速に進むと予想される。また、迅速な開発や実証の為、再利用型の再突入低軌道宇宙機のミッションペイロードとして、部分システムを切り出して宇宙実証や試験的な運用が始まっている。

(11)衛星コンステレーション

宇宙技術の発達に伴う衛星の小型/高機能化及び低コスト化、さらに打上げコストの低減及び打上げ機会の増加により、多数の小型衛星によりコンステレーションを構成して、従来にはない新たなサービスを提供するビジネスが立上りつつある。代表的なものとしては、前述の米国 Planet による光学画像サービスがあり、同社が提供する画像の解像度は 3～5m と従来の商用高分解能衛星に劣るものの、150 機以上の衛星コンステレーションにより地球上の陸域全ての画像を 1 日 1 回撮影することが可能であることから、安全保障関連機関等が注目している。このような新たなビジネス構想は Planet のような光学画像提供にとどまらず、AIS 受信や SAR 画像等を取得する小型衛星コンステレーションも多数提案されており、いくつかはすでに実用段階に入りつつある。代表的な衛星コンステレーションビジネスを表 1-3-12 に示す。

具体的な事業が立上っているものとしては、Planet の他、光学画像提供では BlackSky Global、珠海等があり、AIS 情報受信では Spire や Orbcomm 等がある。すでに実用レベルとなっている Planet の光学衛星 Flock (Dove)や Spire の AIS 受信／GPS 電波掩蔽観測衛星 Lemur、フィンランドの小型 SAR 衛星 ICEYE も引き続き打上げが継続されている。

通信に関しては、すでに Orbcomm や Iridium のように遅延の小さい LEO 衛星のコンステレーションを用いたサービス提供が実用化されているが、さらに小さい 3U～16U クラスの Cubesat を用いる構想が提案されており、オーストラリアの Sky and Space Global は 2017 年に 3U Cubesat の実証衛星 3 機を打上げている。これらの通信衛星コンステレーションは、近年話題となっている IoT (Internet of Things)を対象としたものが多く、IoT が普及するにつれて衛星を介したデータ通信需要も高まる可能性がある。

表 1-3-12　代表的な衛星コンステレーションビジネス

	会社名	国名	衛星名	衛星機数	軌道	衛星質量	衛星製造者	その他
光学	Planet	米国	Flock(/Dove) Skysat	約200機 19機	SSO/ISS 500km SSO	5kg 120kg	Planet Maxar(SS/L)	EO, 3-5m EO, 0.5～1m
	Blacksky　Global	米国	BlackSky Block1 BlackSky Block2	1機 60機	670km 500km	44kg 55kg	Spaceflight Services (prime); Exelis (Imager) TAS	EO, 1m GSD Block2は2018年以降順次打上げ中
	AxelSpace	日本	GRUS	50機	SSO 600km	80kg	AxelSpace	GSD2.5m/swath50km 2018年初号機打上げ
	Zhuhai Orbita Control Engineering Ltd.	中国	珠海 (OVS、Zhuhai)	10機以上	–	50kg	–	ビデオ(20fps、GSD2m) ハイパー等
	AstrroDigital	米国	Landmapper-HD Landmapper-BC	20機 10機	SSO 600km	20kg 10kg	Astro Digital	マルチスペクトルセンサ
	Satellogic	アルゼンチン	ÑuSat	17機(2021) 300機(目標)	SSO 500-600km	38.5kg	Satellogic	EO 0.64-0.77m GSD +ハイパースペクトルセンサ30m
SAR	Capella Space	米国	Capella	30機	–	(12U cubesat)	Capella Space	GSD1m? 2018年初号機打上げ
	iQPS	日本	–	36機	–	100kg	iQPS	2019年初号機打上げ
	ICEYE	フィンランド	ICEYE	18機	400km	100kg	York Space Systems(米)	X-10m×10m、swath200km、最高GSD3m?
	Synspective	日本	StriX	25機	SSO 500km	100kg	Synspective	GSD<1-3m、2020年初号機打上げ
AIS等	Spire	米国	Lemur	>100機	400-650km	4kg	Spire	GNSS-RO, ASIS,(,ADS-B)
	Orbcomm	米国	ORBCOMM OG2	18機	750km	170kg	SNC	通信の他、AIS受信機も搭載
	exactEarth	米国	Hosted (Iridium NEXT)	>60機	780km	860kg	TAS	通信の他、AIS受信機も搭載
	HawkEye360	米国	HawkEye	30機/10set	500-700km	25kg	DSI　(UTIAS bus)	3機1setで電波源の位置標定
	Aireon	米国	Hosted (Iridium NEXT)	81機	780km	860kg	TAS	通信の他、ADS-B受信機も搭載
	AIStech	スペイン	AISTechSat (HYDRA/DANU)	22機 100機	–	2U Cubesat 6U Cubesat	AIStech	ADS-B、双方向通信、IR画像 2018実証機打上げ
通信	Sky and Space Global	オーストラリア	3-Diamonds	200機	–	3U Cubesat	–	IoT/M2M/Voice 2017年実証機3機打上げ
	Swarm	米国	SpaceBee	150機	–	1U Cubesat(第一世代) 1/4U Cubesat(第二世代)	Swarm Technologies	IoT/M2M

(12) 通信衛星メガコンステレーション

さらに、数 100～10,000 機以上の衛星からなる通信メガコンステレーションの構築も始まり、Starlink 衛星や OneWeb 衛星の打上げが継続している。なお、2019 年には ESA の観測衛星 Aeolus が Starlink 衛星の 1 機と衝突する可能性があるためマヌーバを実施したことが発表された。また、天文学者からはメガコンステレーションが天文観測に支障を及ぼす可能性が指摘されている。

また、静止衛星ではなく多数の周回衛星による衛星インターネット接続サービスが計画されている。OneWeb は、648 機の小型通信衛星により Ku バンドで衛星インターネット接続サービスを提供する構想で、2015 年には衛星製造を Airbus Defence and Space、打上げを Arianespace 及び Virgin Galactic と各々契約が締結され、2019 年に OneWeb 衛星最初の 6 機が打上げられた。なお、2016 年には日本のソフトバンクが、OneWeb に 10 億ドルの出資を発表した。2022 年には NewSpaceIndia (ISRO 商業部門)、SpaceX と打上げ契約を結んだ。一方、SpaceX の構想は 10,000 機以上の小型通信衛星で Ku/Ka/V バンドの衛星インターネット接続サービスを提供するもので、2016 年には米連邦通信委員会に計画を申請し、米 Google 及び米投資信託大手 Fidelity Investments から$ 1B の資金を調達した。SpaceX は 2018 年に実証衛星 MicroSat-2a, 3b を打上げ後、2019 年から本格的に Starlink 衛星の軌道への投入を継続している。日本では 2022 年 10 月からサービスが開始された。2024 年 1 月で 5,700 機の衛星を軌道に配置したが 350 機以上は機能停止しており、衛星の信頼性は低くとも、通信の可用性が高い従来と異なる思想でシステムを構築している。英国の O3b

Networks (Other Three Billion)は、赤道上空約 8,000km の中軌道に投入した 16 機の O3b 衛星で、途上国地域に低コストのブロードバンドサービスを提供している。 O3b Networks には、米 Google も出資している。O3b衛星のミッションはアジア、アフリカ、ラテンアメリカ、中東地域の途上国の人々、いわゆる『その他 30 億人(Other 3 Billion)の人々』に対して、高速で低コストのインターネット接続を提供するサービスである。2013 年に最初の 4 機の打上げに成功して以降 12 機で運用していたが、2018 年に 4 機、2019 年に 4 機の改良型衛星を打上げた。2022 年からは第 2 世代である O3b mPOWER を打上げに移り 2023 年は 4 機を打上げた。なお、O3b は 2009 年 SES からの投資を受け、現在は SES グループの一翼を担っている。その他、カナダ Telesat の Lightspeed、米 Amazon.com の Kuiper なども計画されている。代表的な低中軌道(LEO/MEO)衛星群グローバル移動通信体衛星システムを表 1-3-6 に示す。

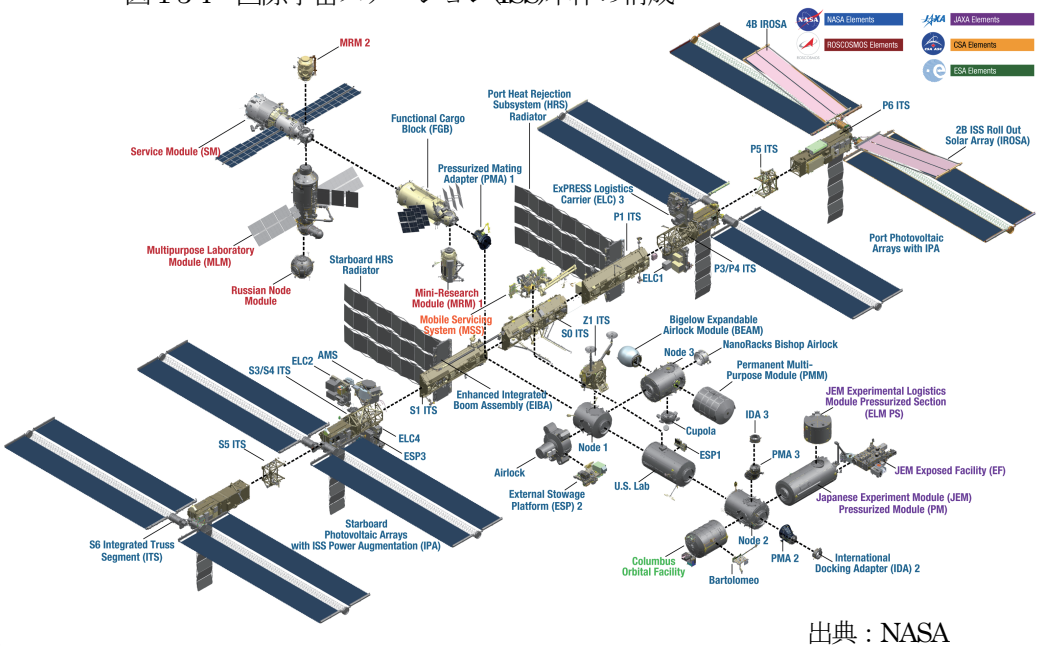
4. その他

(1)宇宙ステーション等

'86 年に打上げられたロシアの宇宙ステーション Mir は、定期的に乗員を交代しながら多くの宇宙実験と有人宇宙技術の実績を挙げてきたが、老朽化と国際宇宙ステーションへの統合に移行することから 2001 年に軌道離脱し廃棄された。'84 年に Reagan 大統領により提唱された宇宙ステーション Freedom は、米国 NASA が中心になり欧州 11 ヵ国、日本、カナダが参加する国際協力で開始された。'93 年に Clinton 大統領は計画と設計の見直しを指示し、名称も ISS (International Space Station)に変更した。

この見直しとともにロシアが米国からの資金援助を条件に宇宙ステーション計画に参加することになった。'97 年にはブラジルも実験装置開発と宇宙飛行士搭乗で参加することになり、参加国は 16 ヵ国となった。'98 年にロシアの Zarya(基本機能モジュール)が打上げられ、NASA の Unity(連結部)がドッキングして建設の第一歩を踏み出した。2000 年からは搭乗員 3 名の長期滞在も開始された。2003 年に Shuttle Columbia 号が大気圏再突入時に空中分解事故となったが、2005 年に Shuttle 飛行再開第 1 号 Discovery が無事成功した。2011 年には ISS 組立を完了した。
(図 1-3-4 を参照)

図 1-3-4　国際宇宙ステーション(ISS)本体の構成



出典：NASA

2001 年に打上げられた Pias モジュールの老朽化によりロシアの新しいモジュール Nauka が 2021 年に交換された。

2022 年 12 月、ISS にドッキングしていた Soyuz 宇宙船(MS-22)が隕石衝突により損傷し、冷却剤の液漏れ(0.8mm の穴)が発生(右写真)し、有人帰還は断念され 2023 年無人で帰還した。

米国は ISS 運用を 2015 年で打ち切る計画であったが、Obama 政権は ISS 運用を 2020 年まで延長するとの方針を発表し、現在では 2024 年まで継続することで各国が合意している。なお、2025 年以降は運用を民間に移行する案も計画されている。2021 年 12 月、Biden 政権は 2030 年まで継続する意向を示した。2022 年 2 月、NASA は ISS 運用を 2030 年に停止し、地球へ再突入させ廃棄すると発表した。一方、Space Shuttle は 2011 年に退役となり、米国自前による ISS への人員輸送手段は一時無くなったが、2014 年、NASA は、ISS への人員輸送手段として、SpaceX の Crew Dragon と Boeing の CST-100 を選定した。Crew Dragon は 2019 年に初の実証飛行に成功しその後に運用を開始したが、CST-100 は 2018 年の初めて軌道飛行で打上げと帰還には成功したが不具合により ISS とのドッキングは断念した。2022 年 5 月に無人の再テスト飛行が成功した。さらに、2014 年、NASA が火星の有人宇宙探査を目指して、新型宇宙船 Orion の無人試験機打上げに成功した。Orion の無人試験機は、地球をほぼ 2 周した後、打上げから約 4 時間半後にカリフォルニア沖の太平洋に着水した。Artemis-1 ミッションでは無人の Orion を 2022 年 11 月に SLS にて打上げて、月を周回させ地球に帰還した。

日本は ISS へ物資を輸送する宇宙ステーション輸送機(HTV: H-II Transfer Vehicle)を開発し、技術実証機(1 号機)は 2009 年に成功し、2020 年に最終の 9 号機を打上げ、全運用が終了した。HTV の後継機として、コスト半減を目標とし HTV-X の開発が進められており、2024 年度から運用開始する計画である。そのほか、宇宙ステーションへの補給にはロシアの Progress 及び米国の Cygnus、Dragon 等が使用されている。2023 年 2 月、JAXA は ISS 以外に Gateway 等の新宇宙探査時代に備えて宇宙飛行士を募集し、新たに 2 名を選考した。2011 年開催の第 18 回アジア太平洋地域宇宙機関会議(APRSAF-18)にて国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」日本実験棟の利用について、更なる協力プロジェクトの創出を、年間を通じ推進するため「きぼう」でのアジア協力推進イニシアチブ」(Promotion of Asian Cooperation on Kibo / ISS (PACK-I))を立ち上げることが合意された。 2010 年にはきぼうアジア利用推進室（The Kibo Utilization Office for Asia: KUOA）が設立され、ISS および「きぼう」日本実験棟が提供する宇宙環境の利用をアジア諸国に推進するための活動を行なっている。なお、2018 年に「きぼう」からの超小型衛星放出事業者として、Space BD と三井物産が選定された。

一方、ESA もアメリカと協力しつつ独自に運用可能な軌道上実験室 Columbus を開発した。また ISS に物資を輸送する欧州補給機 ATV (Automated Transfer Vehicle)を開発し、初号機を 2008 年に打上げた。ATV は、7 号機までの開発計画だったが、2014 年打上げの 5 号機で計画終了し、NASA の Orion 宇宙船の推進モジュールの開発に移行した。

中国も'99 年に初の有人宇宙船試験機「神舟-1 号」(Shenzhou-1)の無人飛行実験に 続き 2001 年にシステ

ム構造や性能を向上させた「神舟 2 号」、2002 年に有人宇宙船用のデータを収集する「神舟 3 号」、2002 年に有人宇宙飛行を想定した「神舟 4 号」を打上げた。宇宙飛行士の訓練も並行して進め、2003 年にはロシア、米国に続き、自力で有人宇宙船「神舟 5 号」の打上げを長征 2F により成功させた。2005 年に「神舟 6 号」(宇宙飛行士 2 人、5 日間)、2008 年には「神舟 7 号」(宇宙飛行士 3 人)を打上げ、船外活動を含め成功した。2011 年には「天宮 1 号」(Tiangong-1)と神舟 8 号を打上げ、2 度のドッキングと帰還カプセルの地球への着陸に成功させた。2016 年には「天宮 2 号」及び「神舟 11 号」を、2017 年には新たな補給船「天舟 1 号」(Tianzhou-1)を打上げている。2022 年に中国宇宙ステーション(CSS: China Space Station)を完成させた。国連や世界各国に参加を呼びかけている。

⑵宇宙環境利用

微小重力実験は観測ロケット、気球、航空機及び地上での落下塔を利用し、地上では短時間の実験が実施されていた。'92 年の第 1 次国際微小重力実験(IML-1)や '98 年の宇宙医学や生物に関する実験、宇宙軌道での放出・回収型の ESA の EURECA('92 年打上げ)、USEF (現 Japan Space Systems: JSS)の SFU ('95 年打上げ、'96 年に回収)等は微小重力の継続時間が長い本格的な実験を行うことができた。

日本では、2002 年に USEF が宇宙での材料製造実験等を目的とする USERS を打上げ、2003 年に日本初の宇宙実験カプセルの自力回収にも成功した。宇宙環境下での民生用部品の動作を調べ、宇宙機への利用の可能性を探る MDS-1 (JAXA)が 2002 年に、同様の SERVIS-1 を 2003 年に打上げ民生部品の宇宙実証が行われた。「きぼう」JEM の利用に関しては、タンパク質結晶生成(2008 年～)、小型衛星放出(2012 年～)、簡易材料曝露実験(2015 年～)、簡易船外利用実験(2016 年～)等で成果を挙げている。

⑶宇宙太陽発電システム

宇宙空間における豊富な太陽エネルギーを捕捉し、太陽光発電により得られた電気エネルギーをマイクロ波やレーザーに変換して地上に送り、それを電力や水素に変換して利用する大型の宇宙太陽発電システム(SSPS: Space Solar Power System)の検討・要素試作等が日米欧等、世界の主要国で行われ、100 万 kW 級 SSPS 構想等が提案され日本では、京都大学・JAXA・JSS 等で検討が進められていた。実現までにはまだ解決しなければならない課題も多いが化石燃料や原子力に替わり、次世代を担う無尽蔵のエネルギー源を利用したクリーンで大規模な発電ができる有望なエネルギー供給源として、21 世紀の地球上のエネルギー不足問題や地球温暖化問題の解決に役立つと期待され、主要課題のエネルギー伝送実験等が進んでいる。

第２章　各国の航空宇宙工業の現状(各論)

第１節　北米地区

1. アメリカ(ＵＳＡ)

(1) 沿革

a. 航空機

1903 年、オービル／ウィルバーのライト兄弟が、アメリカ東海岸ノースカロライナ州キティホークの砂丘で人類最初の操縦可能な飛行機で動力飛行に成功した。しかし、第一次世界大戦を挿んだ 1920 年代後半までの航空創造期におけるアメリカは、技術面、運用面、産業面で決して航空先進国ではなかった。

アメリカ航空機産業の躍進の先駆けとなったのが、1915年にウイルソン大統領が設立を指示したNASAの前身であるNACA(National Advisory Committee for Aeronautics)の組織と付属研究所である。1930 年代に入ると、NACA や大学での研究、独創的な技術者の発明、アメリカの基礎工業力を背景にした材料、部品、機器の登場により、アメリカの航空機技術、航空工業は列強と競合するまでに成長した。

1939 年からの第二次世界大戦では、アメリカの航空工業は、North American P-51 や Boeing B-17 や B-29 のような傑作機を含め約 28 万機もの航空機を生産し、連合国の各国にも多数の航空機を供給し、大戦を勝利に導くうえで重要な役割をはたした。

[戦後 '45 年～：軍用機]

'45 年に第二次世界大戦は終了し、アメリカの航空工業も大幅な縮小・再出発が求められる中、各企業はイギリスからのジェットエンジンの技術、敗戦国ドイツからのジェット機、後退翼などの遷音速空気力学の研究成果、あるいは戦略ロケットという先端的研究や技術を吸収していった。大型ロケットの開発は、戦後ドイツから移住させた技術者の協力で戦術・戦略ミサイルと宇宙開発が新しい産業分野となった。やがて Martin や Convair のように、飛行機生産を止めこの分野に専念する企業も現れた。或いは Bell Aircraft、Ford Motor や Hughes Aircraft のように航空機製造をミサイル、人工衛星、ヘリコプターなど関連機器へ乗り替えた。

'47 年にアメリカ空軍が陸軍から独立し、その後の冷戦、朝鮮戦争、そしてベトナム戦争を通じて、アメリカ航空機産業を構成する会社の内容が大きく変わっていった。'70 年代は米ソ軍用機の技術競争が激化し、Grumman や Northrop が復活し、ベトナム戦争、第三次中東戦争の戦訓から、Grumman F-14、McDonnell Douglas F-15、General Dynamics F-16、McDonnell Douglas F/A-18 という一連の戦闘機が相次いで開発された。この頃からアメリカ政府が軍用機の輸出を精力的にバックアップするようになった。

[戦後 '45 年～：旅客機]

戦後の長距離国際線の旅客機は、Lockheed Constellation のような大型高性能旅客機であるアメリカ製品が優位であった。ヨーロッパ製の爆撃機を改造した機体では、性能でも経済性でも対抗できなかった。一方、国内の航空路線は、軍払い下げの機材と前後に開発された Covair 240 や Martin 202、Douglas DC-6 等の新型機材および、戦時中に発達した航空管制・全天候運航システムに支えられて急成長した。'57 年にはアメリカ国内の都市間輸送では、プロペラ旅客機による航空輸送が鉄道やバスなどの地上輸送システムを上回った。

この頃イギリスはジェットエンジンの開発で先行し、'52 年に世界に先駆けてジェット旅客機 de Havilland DH.106 Comet を飛ばしたが、'58 年にジェット旅客機 Boeing 707 と Douglas DC-8 が就航し、アメリカが優位になった。

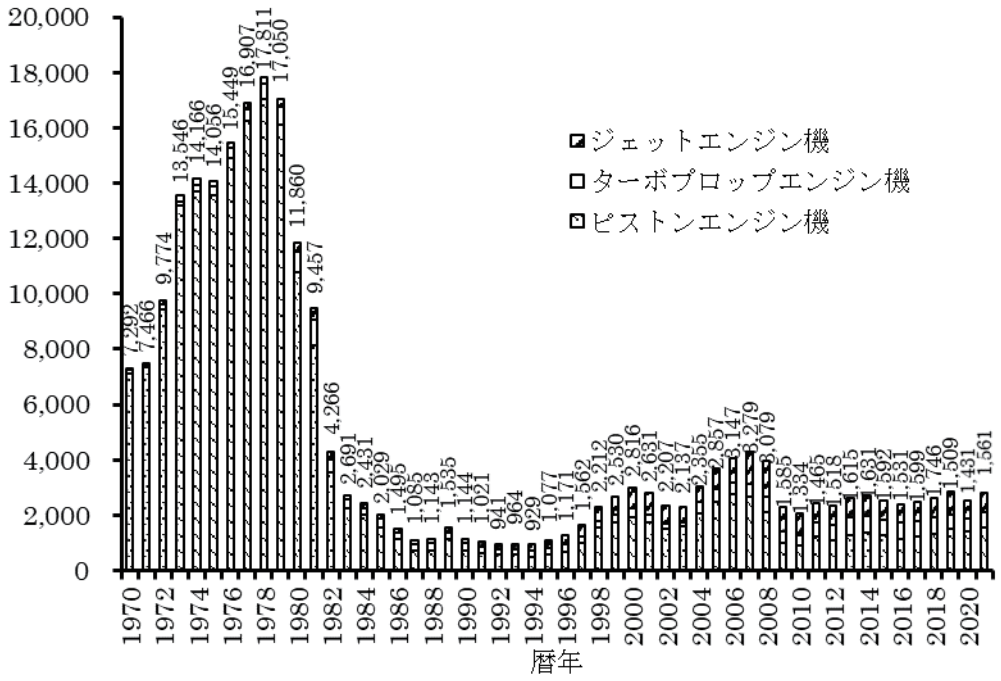
さらに '70 年に P&W や GE の開発した大出力ターボファンエンジンを装備した Boeing 747 ジャンボジェット機が就航すると、ジェット旅客機の分野でアメリカは世界一になった。

しかし、その裏で展開された旅客機メーカー間の競争を通じて、戦後民間航空輸送の発展に寄与した Martin、Convair、Lockheed の名前が消えた。Douglas は、戦闘機メーカーMcDonnell の傘下に入り McDonnell Douglas となったが、'97 年 Boeing に吸収され、アメリカの旅客機メーカーは Boeing 一社になった。現在の大型ジェット旅客機の市場はアメリカ対ヨーロッパの経済圏を背景とした、Boeing 対 Airbus の二強の対立構図となっている。

[ゼネラル・アビエーション(民生汎用航空)]

第二次世界大戦前からアメリカにおけるゼネラル・アビエーションは世界で最も活発だった。第二次世界大戦後、多くの復員パイロットと軍からの連絡機や練習機の放出により、ゼネラル・アビエーション底辺が拡大した。また Beechcraft Model 35 Bonanza のように乗客用のキャビンをもつ航空機が開発され、エアタクシーや社有機によるビジネス利用が盛んになり、アメリカのゼネラル・アビエーションの活動は爆発的に拡大した。その巨大なアメリカの市場を狙ってヨーロッパや日本のメーカーが参入しようとしたが、1930 年代から Travelair に続き、Cessna、Beech、Piper というブランドが活動してきていたため、価格、サービス面でアメリカの 3 強に太刀打ちできなかった。(図 2-1-1 参照)

図 2-1-1　アメリカのゼネラル・アビエーション機出荷機数



出典：GAMA 統計

小型のピストンエンジン単発プロペラ機(軽飛行機)では、PL 訴訟に伴う経費の急増を理由に '80 年代後半に Cessna と Piper は一時生産を停止した。'78 年のピーク時には 1 年間に 1 万 7 千機も生産されていた

プロペラ機は'94年には444機にまで低下した。これに対しアメリカ政府は、'95年にPL(製造物責任)の対象範囲を機体が生産されてから 18 年間とするという内容を織り込んだゼネラル・アビエーション再活性化法(GARA)を制定し、Cessna や New Piper で単発ピストン機の生産が再開された。

近年増加傾向のビジネスジェット機の原点は '60 年代初頭に初飛行した Learjet 23 である。ビジネスジェット機はアメリカの空で急成長し、運航および航空機産業の面で、現代アメリカのゼネラル・アビエーションの中心である。Textron (ブランド：Beechcraft, Cessna, Pipistrel)、General Dynamics(ブランド：Gulfstream)、Honda Aircraft、Cirrus aircraft、Piper Aircraft (2011 年より Brunei 国の所有会社)がアメリカで製造する代表的な会社である。

[リージョナル航空機 (地域／近距離用旅客機)]

リージョナル航空機もアメリカは世界最大の市場であり、約 2,200 機がアメリカ国内で登録されている。しかし航空機工業という立場から見ると、アメリカ製でなくカナダやブラジルやヨーロッパ製のターボプロップやターボファンエンジンの旅客機が活躍している。アメリカ製のコミューター／リージョナル航空向けの機体として生産が続けられていたのは、エアタクシー用の小型機を除くと 19 人乗りの Beech1900 だけだったが、それも 2003 年に生産を停止した。

[ヘリコプター]

ヘリコプターを実用化したのもアメリカの航空機工業と陸海軍だった。ヘリコプターは第二次世界大戦の末期に戦場に登場し、朝鮮戦争でその実用的価値が認められ、ベトナム戦争では陸上戦闘に不可欠な装備となった。そして湾岸戦争では新しい攻撃戦力としての効果が確認された。

その草分けとなったメーカーが Sikorsky (現 Lockheed Martin)と Bell (現 Textron 傘下)の 2 社だった。この両社が持つ、ヘリコプターの飛行・駆動機構の広範な特許と、戦場で実証された技術が、世界の民間用ヘリコプター市場でのシェア確保に強い背景となった。米国における主なヘリコプターメーカーとしては、そのほかに Boeing、Robinson Helicopter 等があり、Boeing は '60 年の Vertol、'97 年の McDonnell Douglas を買収して、CH-47 Chinook や AH-64D Apache を供給している。買収された McDonnell Douglas は、軍用および民間用ヘリコプターを生産していた Hughes Helicopters を '84 年に買収したが、Boeing は軍用ヘリコプター部門を残し、民間部門を MD Helicopters に移している。Robinson Helicopter は R44 に代表される民間用ヘリコプターメーカーであり、現在までに10,000機以上を販売している。また、Enstrom Helicopter は中国企業に一旦買収されたが、業績が悪く 2022 年会社を清算した。

[航空機エンジン]

レシプロエンジン時代のアメリカ航空機用エンジン・メーカーは、Wright(空冷)、それから派生した P&W(空冷)、Allison(液冷)の 3 社が中心だった。しかし、その後ジェットエンジンのメーカーが登場してきた。

アメリカで最初に大量生産されたジェットエンジン J33 (Lockheed T-33 練習機のエンジン)は、排気タービン過給器のメーカーだった GE が開発し、Allison が生産した。蒸気タービンのメーカーWestinghouse も海軍の後押しでガスタービン、ジェットエンジンに参入したが撤退した。レシプロの名門 Wright は、ジェットエンジン技術を完成できずに J69 を最後に撤退した。Allison も大型エンジンの自社開発に成功せず、最終的には Rolls-Royce のアメリカでの子会社という形になった。

小出力のガスタービン・エンジンの開発と生産は、Allison、Lycoming、戦後に登場した Garrett と Williams が行ってきた。だが Garrett は'85 年に AlliedSignal の傘下に入った。そして'95 年には Textron の傘下に入っていた Lycoming のターボシャフトエンジン部門も AlliedSignal となり、そして '99 年に Honeywell と合併し、社名を変えた。Williams International は、主に小型ビジネスジェット機向けに FJ33 / FJ44 シリーズエンジンや巡航ミサイルのジェットエンジンを製造している。

アメリカのターボファンエンジンメーカーは、現在では P&W、GE Aerospace、小型エンジンの Honeywell、Rolls-Royce North America、Williams International、GE Honda Aero Engins である。また、小型機用のピストンエンジンメーカーは、Lycoming Engines と Continental Aerospace Technologies(中国 AVIC の子会社)である。

[主要企業の合併と買収(M&A)] (図 2-1-2 を参照)

航空機工業の草創期からの歴史において、多くの会社の栄枯盛衰があったが、'80 年代半ばに冷戦が終結すると、軍用機調達の国防予算は'87 年から'98 年の 10 年間に$ 33B から$ 14B に大きく削減され、業界が再編される結果となった。

かつての Grumman、Vought、Douglas は、もはや当時のままの単独会社としては存在していない。'94 年、Grumman と Northrop は合併し Northrop Grumman となり、Vought は一時 Northrop Grumman に吸収され、2010 年に Triumph Group に買収された。数々の名機を生んだ Douglas 軍用機部門はベトナム戦争時代に姿を消した。プロペラ戦闘機 P-47、超音速戦闘爆撃機 F-105 を生んだ Republic は、Fairchild となっていたが、A-10 Thunderbolt Ⅱ の生産を最後に倒産した。

Convair を引き継いだ General Dynamics は、Cessna 部門を Textron に売却し、F-16 の生産部門を Lockheed に売却した。その Lockheed は '95 年、ミサイルの Martin Marietta と合併し Lockheed Martin となった。Lockheed Martin は、さらに電子機器やミサイルを生産している Loral を吸収した。

そして Boeing は、'96 年 Rockwell International の防衛・宇宙部門(General Motors 航空部門と Fokker - America をルーツとする旧 North American)を買収し、P-51 Mustang や F-86 Sabre、超音速戦略爆撃機 XB-70 Valkyrie や B-1 を生んだ North American は、Boeing に吸収された。McDonnell は、ベトナム戦争の F-4 Phantom Ⅱ、F-15 Eagle、F/A-18 Hornet などのベストセラーを次々と生み出し、戦前からの旅客機の名門 Douglas を傘下に収め、McDonnell Douglas となったが、民間機部門の不振が続き、次期戦闘攻撃機 JSF (Joint Strike Fighter)の競争設計に敗れたため、'97 年、Boeing に吸収合併され、名前を消した。さらに 2000 年、Boeing は Hughes Electronics から衛星、通信・情報部門(Hughes Space and Communications Company)を買収している。

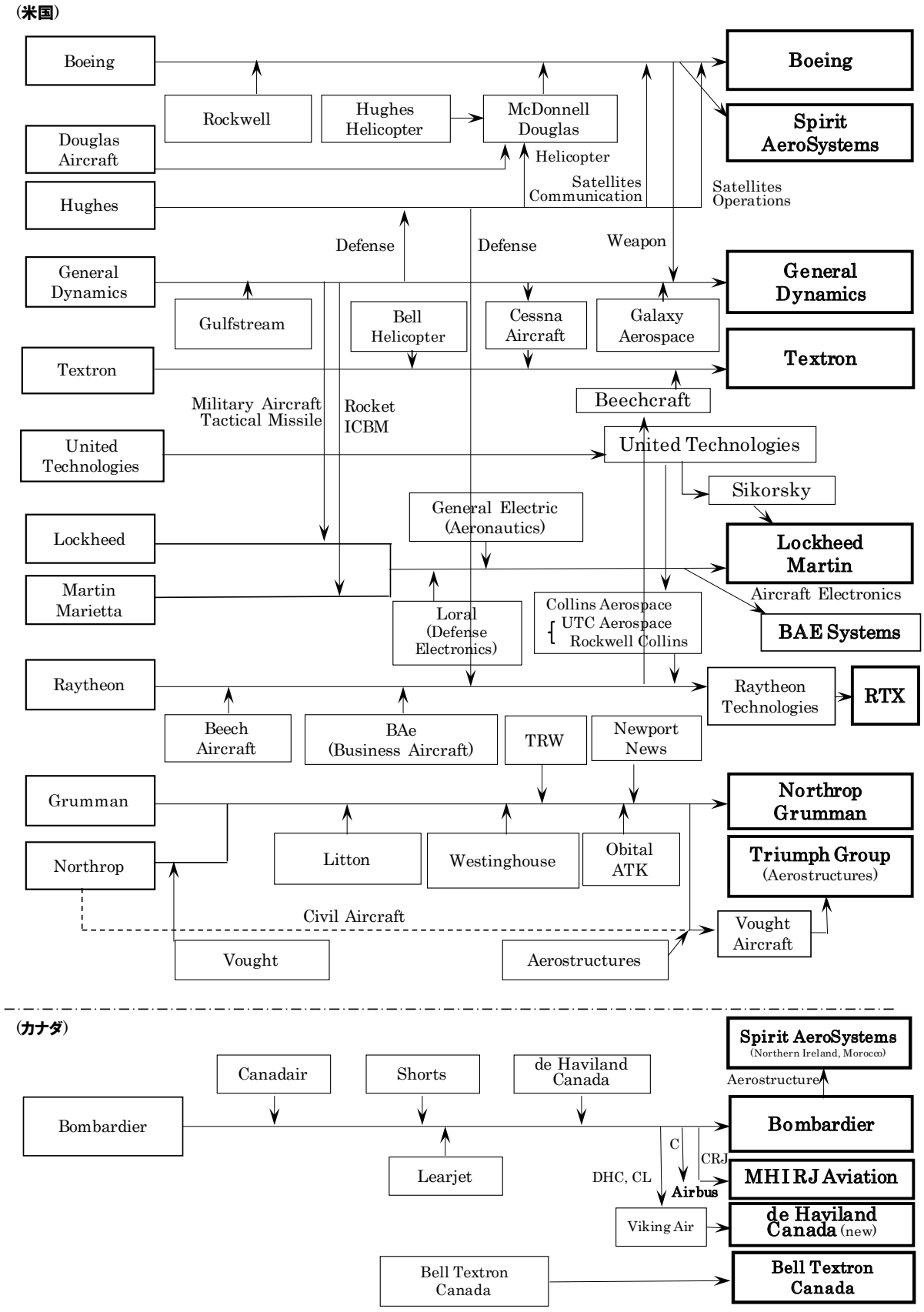
また、電波機器、戦術ミサイルメーカーとして急成長した Raytheon は、BAe のビジネスジェット機部門や Beechcraft を傘下に収め、Raytheon Aircraft としていたが、2006 年、その航空機部門は売却され、Hawker Beechcraft となった。その Hawker Beechcraft は業績不振のため 2012 年に倒産し、Beechcraft となってプロペラ機に特化した会社として再建を進め、2014 年に Textron の傘下に入り、Textron Aviation の一部門となった。

一連の M&A(合併・買収)によって、現在の、アメリカ航空宇宙工業の第 1 階層は、Boeing、Lockheed Martin および Northrop Grumman の 3 巨大企業で構成されるようになった。

大型 M&A の波は関連機器メーカーにも及び、Honeywell の傘下には、Garrett と Lycoming のターボ・エンジンだけでなく、レーダー照準器やオートパイロットの Spery、ブレーキ、電源システム、搭載電子機器などを提供していた Bendix、空調機器の AiResearch が入っている。

United Technologies の傘下には、大型航空機の電源システム、電動、油圧などの機器を幅広く扱っていた Sundstrand と'99 年可変ピッチプロペラの Hamilton が合併した航空宇宙機器の総合メーカー Hamilton Sundstrand や、エンジンの P&W、タイヤ事業から撤退し Rohr や Cleavland Pneumatic を吸収しエンジンナセルや降着装置のメーカーに移行していた Goodrich(旧 BF Goodrich)などがある。その後、United Technologies は、Hamilton Sundstrand と Goodrich を買収し、航空装備品部門 UTC Aerospace を設立した。さらにその UTC Aerospace は買収した Rockwell Collins と合併し、2019 年に巨大な航空装備品部門 Collins Aerosoace を設立した後に、2020 年に Raytheon に売却し、Collins Aerosoace は Raytheon Technologies の航空装備品部門となった。2023 年 Raytheon Technologies は RTX に会社名を変更した。

図 2-1-2　アメリカ航空宇宙産業の主な M&A とグループ化



(注) 現在の de Haviland Canada は Bombardier に吸収される以前の会社商標を購入し設立された新会社で、資本・経営者は継続していない。

b. 宇宙開発

アメリカの宇宙開発は政府が国威発揚の場としてスタートし、政治的、軍事的に重要として位置づけられてきた。'58 年に米国航空宇宙局(NASA)設立後は順調に規模が拡大し、米国は軍事・民事、科学、商業いずれの宇宙開発・利用においても世界一の規模であり、今後ともリーダーシップ維持に努めることを国策としている。しかし、2022 年の米国政府の宇宙関連予算は、世界の国家宇宙予算の 59 %程度を占めるに留まっている。(出典：The Space Report 2023) 2010 年には NASA は向こう 5 年間の活動内容を発表し、2004 年に発表された有人探査プログラム Constellation 計画の凍結を発表、ISS の運用期間延長、太陽系無人探査の推進、民間協力によるコスト削減などを盛り込んだ方針を発表した。月面への有人飛行は中止されたが、その後、2030 年代に火星へ宇宙飛行士を送り込む方針が Obama 政権によって示され、そのための宇宙輸送システムの開発が進められた。

2017 年に誕生した Trump 政権は、国家宇宙会議(National Space Council: NSpC)を再開し NASA に対し、将来の火星以遠の探査を念頭に有人月面探査を再開することを決定した。2018 年に各国宇宙機関が公開した国際宇宙探査ロードマップ(GER)では、2020 年代に月近傍に有人拠点(Gateway)を設け、ここを起点として有人での月探査や火星探査を進めることとなっている。2019 年には Artemis 計画を発表し、5 年以内に米国のロケットで女性を含む米国人宇宙飛行士により月面に着陸させると発表した。本計画は Gateway を経由して 2 段階で進めることとしており、米国だけでなく国際パートナーにも参画を呼び掛けている。

さらに、中国・ロシアの宇宙能力強化に対抗するため、2020 年度国防授権法で空軍省の下に第 6 番目の軍種として宇宙軍(Space Force、USSF)が設立された。

他方、世界で最も大規模に非政府資金による投資で、宇宙開発が進んでいる国である。衛星開発に続いて、ロケットや衛星コンステレーションの開発・投資・運用が実現し、近年では宇宙旅行など有人の宇宙活動や月・惑星探査にも民間投資による活動の拡大は著しい。また政府も法制度など環境の整備や事業の委託を通じて、民間の活力を旺盛にする支援を進めている。従来の政府事業の民営化や民間への事業譲渡に加えて、非政府事業にも資金が集まり活発に新規企業が興される「New Space Eco System」と呼ばれる新しい形の民間宇宙事業が世界の中で最も勢いを持っている。

[宇宙輸送システム]

NASA は再利用可能な Space Shuttle の開発を '71 年に開始し、'81 年に Columbia 号で初飛行の後、4 機体制で各種衛星や実験室を打上げた。'86 年の Challenger 号の爆発事故後、打上げを '88 年に再開し、宇宙開発政策を見直し、Space Shuttle による商業衛星の打上げ中止、使い捨て型ロケットを復活させた。しかし、'86 年から'88 年の間に商業衛星打上げが欧州 Arianespace の独占状態となり、米国ロケットによる打上げ市場占有率の低迷にもなった。2003 年に Columbia 号が大気圏再突入時に空中分解事故を起こし、Space Shuttle／国際宇宙ステーション計画は大幅に見直され、ロシアの Soyuz や Progress に補給を依存することになった。その後、改善策を進め 2005 年に運航を再開したが、2011 年に退役した。

NASA は、次世代の大型ロケットとして SLS (Space Launch System)の開発を開始した。SLS は有人宇宙船 Orion を含む宇宙への人員・物資輸送等に使用できるものである。初期の搭載能力は 70 t、将来的には 130 t までの拡張を計画しており、2022 年 11 月に初飛行した。

民間では、Scaled Composites が 2004 年に宇宙船 SpaceShipOne を 2 週間以内に 2 回連続して高度 100

km に到達させ、民間初の有人宇宙飛行に成功、XPRIZE も獲得した。その後 Virgin Galactic と共同で SpaceShipTwo を開発したが、2014 年の試験飛行でパイロット死亡事故が発生し、開発を中断、2018 年に SpaceShipTwo 2 号機による試験を再開し、高度 82.7 km に到達した。Virgin Galactic はこれをもって宇宙空間に到達したとし、2020 年中にも商業飛行の開始を発表した (米国の有人飛行に関する宇宙の定義は 50 mile (80.5 km)以上である。)。2021 年に乗客に Virgin Galactic 創業者の Richard Branson を乗せ試験飛行に成功した。

宇宙商業化政策の積極的な推進は衛星の打上げを受託する各種ベンチャー企業を生み出した。Orbital Sciences (現 Northlop Grumman)は航空機発射型有翼ロケットの Pegasus を開発し、成功を収めた。2014 年に OSC は ATK の航空宇宙・防衛部門と合併し Orbital ATK を経て 2018 年には Northrop Grumman に買収された。

次世代ロケットとして官民協力して競争力を向上させた新型ロケット EELV (Evolved Expendable Launch Vehicle)では、2002 年に LM 製の Atlas V 及び Boeing 製の Delta IV の打上げに成功し、Boeing と Lockheed Martin は、空軍や NASA 向けの Delta 及び Atlas のロケット製造から打上げ作業までの両社の事業部門を統合して、折半出資の合弁会社(United Launch Alliance: ULA)を 2006 年に設立し、営業・製造・打上げを行っている。Atlas V / Delta IV (EELV)ロケットの後継として、ULA は Vulcan を開発中で 2024 年初号機打上げに成功しファミリー化する開発をさらに進めている。

商業ベースの宇宙輸送システムとしては、2002 年に設立された Space Exploration Technologies Corporation(通称 SpaceX)が開発した Falcon 9 がある。SpaceX では、2009 年に Falcon 1 による小型衛星打上げに成功した後、Falcon 9 の開発に注力し、2010 年には Dragon 宇宙船の実証に成功、2012 年に商業補給サービス(Commercial Resupply Services, CRS)に成功、2013 年に商業ベースの衛星打上げに成功している。Falcon 9 は 1 段が再使用可能であることが特徴である。また、1 段を 3 基並列使用する派生の能力増強した Falcon Heavy も打上げている。2015 年に 1 段の回収に初めて成功した。2016 年に打上げ準備中に Falcon 9 の爆発事故が発生した。2020 年は 24 回、2021 年は 31 回、2022 年は 61 回、2023 年は 96 回の打上げに成功している。また、100kg 程度の小型衛星専用ロケット Electron を開発しているスタートアップ Rocket Lab は、ニュージーランドで設立後、拠点を米国(2013 年)に移し 2018 年に初の商業打上げに成功し、2023 年に 9 回を打上げ、8 回成功している。米国の第 2 射場からの打上げも開始した。

ISS への補給は、上記 Dragon の他、Northrop Grumman の Cygnus が主に Antares を使用し、2014 年に初の商業補給サービスに成功している。その後 3 度目の打上げで Antares が爆発、失敗した。2015 年には Atlas V で Cygnus を打上げ、Antares による打上げ再開は 2016 年となった。2022 年にも 2 回の Cygnus 打上げに成功した。また、ISS への乗員輸送(Commercial Crew Transportation Capability)では、2014 年に Boeing (CST-100)及び SpaceX (Crew Dragon)が選定されている。SpaceX の Crew Dragon は 2019 年に無人飛行試験に成功し、2020 年に打上げた Demo-2、Crew-1 の ISS ドッキング成功、2021 年 4 月に Crew-2、11 月に Crew-3 が打上げられ、2022 年は 3 回(内 1 回は商業宇宙旅行)打上げた。一方、Boeing の CST-100 (Starliner)は 2019 年の部分的失敗の後、2022 年に無人飛行試験が成功した。

2022 年 Northrop Grumman は Antares の 1 段ロケットがウクライナ製の機体とロシア製のエンジンを使用していたため、Firefly Aerospace の機体と Miranda エンジンを使用する新しい 300 バージョンに切り替え

ることを決めた。

Astra Space の「rocket(同社製ロケットの名称)」は 2022 年に 3 回打上げを実施した。Firefly Aerospace は 1 / 2 段の推進タンクを金属ライナなしの総 CFRP 製とする alpha rocket で 2022 年に初めて衛星を軌道に投入した。(但し、軌道高度は予定より低く、衛星は 1 週間の寿命となった)

[宇宙企業の再編]

'90 年代は冷戦終結により軍事費、NASA 予算の削減から、航空宇宙企業の合併・吸収進んだ。'95 年には Lockheed Martin が誕生、Boeing も'96 年から 2000 年にかけて買収を重ねた。2002 年には Northrop Grumman が TRW を買収、2003 年に衛星メーカーの Space Systems/Loral (SS/L)が会社再建、2004 年に GD が Spectrum Astro を買収、その後 2010 年に Orbital Sciences に吸収された。また、SS/L は 2012 年にカナダの MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA)に買収されたが、米国政府関連の契約を受注するため、2016 年に米国法人 SSL MDA Holdings を設立した。その後、2017 年に SSL MDA Holdings は商用画像利用サービスの DigitalGlobe を買収し、Maxar Technologies と名称を変更した。

Orbital Sciences は 2014 年に ATK の航空宇宙・防衛部門と合併し、Orbital ATK を経て 2018 年には Northrop Grumman に買収された。Google は 2014 年に高解像度画像小型衛星メーカーSkybox Imaging を買収し、TerraBella と名称を変更し、2017 年には Planet に同事業を売却した。2020 年に Raytheon と United Technologies が合併し、Raytheon Technologies となり、2023 年に RTX に社名を変更した。

[国家宇宙予算]

2022 年の全世界の宇宙関連政府予算は$ 118.68B 程度であり、そのうち約 58 %に相当する$ 65.5B を米国の国家予算が占めている。米国の宇宙関連国家予算は日本の約 22 倍の規模であるが、そのうち約 45 %が国防総省等の軍事関係予算と推定される。(出典 : The Space Report 2023) 2022 年の NASA 予算要求額は次の通りとなっている。

2022 年度 NASA 予算要求額 (単位 : 百万ドル)

Budget Authority ($M)	FY 2020	FY 2021	FY 2022	FY 2023	FY 2024	FY 2025	FY 2026
Deep Space Exploration Systems	5,959.80	6,517.40	6,880.40	7,014.10	7,263.70	7,514.90	7,772.80
Space Technology	1,100.00	1100	1425	1454.5	1486.4	1519.2	1552.9
Space Operations	4,134.70	3,988.20	4,017.40	4,109.30	4,103.30	4,103.30	4,103.30
Science	7,143.10	7,300.80	7,931.40	8,095.60	8,272.90	8,455.70	8,643.40
Aeronautics	783.9	828.7	914.8	933.7	954.1	975.2	996.8
STEM Engagement	120	127	147	150	153.3	156.7	160.2
Safety, Security, and Mission Services	2,913.30	2,936.50	3,049.20	3,112.30	3,180.50	3,250.80	3,323.00
Construction & Envrmtl Compl Restoration	432.5	428.5	390.3	398.4	407.1	416.1	425.3
Inspector General	41.7	44.2	46	47	48	49.1	50.2
NASA Total	**22,629**	**23,271**	**24,802**	**25,315**	**25,869**	**26,441**	**27,028**

出典 : NASA ホームページ

[有人宇宙ステーション]

有人宇宙ステーション計画は'84 年に Reagan 大統領が提唱し、ESA、カナダ及び日本を始めとする 15 カ国が参画し'88 年に調印された。'98 年から国際宇宙ステーション(ISS)の軌道上組立て作業が始まり、2000 年から 3 人の宇宙飛行士の長期滞在も開始されたが、2003 年の Columbia 号空中分解により Space Shuttle が運行中止され建設が大幅に遅れた。ISS は当初 2015 年までの運用とされたが、現在は 2024 年まで運用を延長することが決まった。2024 年に運用を停止し、2030 年に地球に再突入させると発表した。

2019 年に Artemis 計画を発表し、2026 年以降に米国人宇宙飛行士を月面に送り込むとした。

[商用衛星分野]

商用衛星の分野では、かつてアメリカは性能、信頼性、価格の面でも有利にたち、打上げ実績において他国を圧倒していたが、近年はStalink衛星システムの稼働衛星数や提供する通信容量で、その優位性をさらに高めた。

米国では、Boeing、Lockheed Martin、及びMaxarが、静止商用衛星化のために標準バスを開発し、優位な立場を保ってきた。代表的な標準バスとしては、Boeingの702シリーズ、Lockheed MartinのLM-2100、Maxarの1300シリーズなどがある。3社の内、BoeingとLockheed Martinは一時軍事衛星に重点をおいていたが、最近は商用衛星にも力を入れ始めた。これら3社に加え、Northrop Grummanが中型バス(GEO Starバス)、Astranisが小型バス(Micro GEOバス)により受注している。

現在はSpaceXがFalconロケットとStarlink衛星システムによって、1企業で活動の全てを網羅する垂直統合した通信サービス事業で、設備を集中投資して商業衛星通信の事業構造を変化させつつある。

[通信・放送サービス]

米国の静止衛星を中心としていた商業衛星通信サービスは衛星オペレータのグローバルな再編により、大きく様変わりした。GE Americomは最終的に欧州のSESに統合、PanAmSatは2001年に民営化されたIntelsatと2004年に統合した。現在、世界の商用衛星通信サービス(静止)は、Intelsat、SES、Eutelsat、スカパーJSAT、Telesat等がリードしている。

モバイル通信の方も順調であり、Inmarsat、Iridium及びGlobalstar等は順調にサービスや衛星コンステレーションを拡大している。Iridiumの第2世代衛星Iridium NEXTは、2019年に10機がFalcon 9により打上げられコンステレーションが完成し、Iridium Certusを開始した。仏Thales Alenia Spaceが主契約者であるが、同社は副契約者としてNorthrop Grummanを選定しており、衛星のインテグレーションや試験は米国内の工場で行われた。

その他、通信衛星のメガコンステレーションとしてSpaceXのStarlinkがサービスを行っており、2023年も継続して打上げ、稼働衛星数を急速に増加させている。

多チャンネルの直接衛星放送(DTH: Direct to Home)では、DirecTVとEchoStarの2社が大きなシェアを占めているが、DirecTVは2015年にAT&Tにより買収、Echostarは2019年にDISH Networkに事業譲渡した。また2000年に入り移動体向けの多チャンネル直接衛星デジタル・ラジオ放送が相次いでサービスを開始したが、いずれも業績が伸び悩み、2008年にはSirius XM Radioに統合後、2013年にはLiberty Mediaにより買収された。

[画像利用サービス]

'99年に米国のSpace Imagingの観測衛星Ikonos-2が打上げられ、分解能1m級の画像を世界に販売するビジネスを開始した。また、Earth WatchのQuickBird -2(分解能61 cm)が2001年に、ORBIMAGEのOrbView- 3(分解能1 m級)が2003年に、それぞれ打上げられ画像販売を開始した。

NGA(National Geospatial-Intelligence Agency)はNextViewをDigital Globe(2003年)及びORBIMAGE(2004年)と各$ 500M(5年)で契約し、その解像度は50 cm以下となった。ORBIMAGEは2006年にはSpace Imagingを買収してGeoEyeとしてスタートしたが、2013年にはDigitalGlobeに$900Mで吸収合併された。この結果、米国での商用高解像度衛星画像販売はDigitalGlobeが独占した。DigitalGlobeは2014年及び2016

年に 30cm 級の解像度を持つ WorldView -3, 4(旧 GeoEye2)を打上げたが、2017 年に Maxar Technologies に買収された。また、100 kg 級の小型衛星 SkySat 24 機のコンステレーションにより 1.5~3 時間毎の定点観測を可能とするサービスの提供を目指した Skybox は Google による買収、Terra Bella への名称変更を経て、2017 年に Planet に買収された。

Planet は、既に 200 機以上の超小型衛星 Flock (Dove)を運用しているが、2022 年にも 48 機の Flock を打上げた。小型 SAR コンステレーションの構築を目指す Capella Space は、初の実証衛星 Capella-1 (Denali)を 2018 年に Falcon 9 にて打上げた。なお、世界で初めて衛星による無線情報収集・解析の商用サービスを提供する HawkEye360 の Hawk -A, B, C も同時に打上げられた。

ウクライナやガザで発生した紛争は、米国が進んでいた衛星画像商業サービスの市場価値を上げ、メディアや軍事・安全保障関係者による利用が活発である。

[宇宙科学・月惑星探査]

宇宙科学部門では、'77 年に打上げられた Voyager 1 が、人工物体として初めて太陽系を離れ恒星間空間に入ったことが 2013 年に公式に確認された。Voyager 1 とは別方向に飛行中の'77 年に打上げられた Voyager 2 も恒星間空間に入ったと 2018 年に発表された。Voyager 1, 2 は現在も運用中である。但し Voyager-1 の搭載データ処理系に不具合が 2023 年に発生しており、テレメータデータは無意味で JPL は復旧を試みている。

火星地表探査は'76 年の Viking 1 号以来数回行われている。Mars Science Laboratory (MSL)は 2011 年に打上げられ、翌年地表探査車 Curiosity を着陸させ、探査を行っている。また、2013 年に打上げた火星探査機 MAVEN は 2014 年に火星に到着し、火星の大気観測の他 Curiosity の観測データを地球に中継する機能もある。これら観測衛星の観測データから、2015 年に NASA は現在も火星に液体の水が存在している、と結論付けている。2018 年には火星地質探査機 InSight が打上げられ、火星に着陸した。InSight は、ドリルによる掘削等を実施して地質を調査し、2022 年 12 月に運用終了した。なお、InSight の着陸時の地球との通信には、同時に打上げられた超小型データ中継衛星として、6U の Cubesat の MarCO-A, B を使用し、であり、惑星間を飛行した初めての超小型衛星である。

太陽探査機 Parker Solar Probe が 2018 年に打上げられ、太陽を観測しながら周回しているが、2021 年に太陽から約 850 万 km まで接近し、2025 年まで太陽コロナ等を観測する。このほか、2006 年に打上げられた NewHorizons は 2015 年に冥王星に 12,500 km まで最接近し冥王星の詳細な観測後、2019 年にフライバイで太陽系外縁天体(Ultima Thule)を観測後、太陽系脱出軌道に進み、2030 年代まで観測予定である。

2016 年には小惑星 Bennu のサンプルを採取して地球に帰還する OSIRIS-Rex が打上げられた。OSIRIS-Rex は 2018 年に Bennu に到着し 2020 年にサンプルを格納し、2021 年に地球に向かって出発し、2023 年 9 月 24 日に地球にサンプルは帰還した。なお、米国では小惑星での資源採掘ビジネスを目的とした数社のベンチャー企業が設立されており、2015 年には民間企業による小惑星等の宇宙資源の活用を認める法律が成立した。

天文衛星分野では、2009 年に惑星探査を目的とした Kepler 宇宙望遠鏡を打上げ、2018 年まで観測した。また、'90 年に打上げられた Hubble 宇宙望遠鏡(HST)は直径約 2.4 m の可視光望遠鏡で宇宙誕生の謎や構造の解明に活躍した。2009 年に大幅な補修を行い、観測を継続している。姿勢安定用ジャイロに不具合があ

り、2023年11月に一時観測を停止した。次世代のJames Webb宇宙望遠鏡(口径6m)は米・欧・加の合同プロジェクトで2002年にTRW (現 Northrop Grumman)が受注し、L2ポイントに投入され、宇宙で最初に出来た星や銀河、さらに原始宇宙の姿を赤外線により観測する。Ariane 5 ECAロケットで2021年に打上げ、2022年7月から観測を開始した。

[地球科学・気象衛星分野]

地球観測は EOS シリーズの後、Cloudsat (2006 年 雲観測)、WISE (2009 年 広域赤外観測)を打上げ、CloudsatはAqua (EOS-PM1), Aura (EOS-CH1)とともにA-Trainの一翼を担っていたが、故障によりA-Trainから離脱し、現在はCALIPSOとともにC-Trainと呼ばれる軌道を周回して観測を続けている。

気象衛星は静止軌道の GOES シリーズ、極軌道の NOAA / DMSP(軍用)シリーズが運用されてきた。NOAA は軍事気象衛星 DMSP との統合運用システム NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service、NOAA:2機＋DoD:2機の4機体制)となり、DMSPデータの民間開放も行われている。NOAAシリーズは2009年打上げのN Prime (19号機)で一旦終了し、開発運用コスト削減のために、NOAA/DoD衛星を統合し国家極軌道環境衛星システムNPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System)計画が進められたが、調整が難航し 2010 年に計画が中止された。NASA / NOAA は JPSS (Joint Polar Satellite System)を立上げ、JPSS衛星2機をBall Aerospaceへ発注するとともに、既に着手済みのNPOESS Preparatory Project (NPP)衛星をSuomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) と改名し次世代極軌道環境衛星の初号機と位置づけて2011年に打上げた。JPSS 1号機は最終的にNOAA-20として2017年に打上げられた。また、静止気象衛星GOESは、Lockheed Martinが次世代のGOES-R, S, T, Uを開発し、2016年にGOES-16、2018年にGOES-17、2022年3月にGOES-18が打上げられた。このほか、2021年にはLandsatシリーズの最新機Landsat 9 (LDCM: Landsat Data Continuity Mission)が打上げられた。LDCMの解像度は高くないものの、40 年にわたるデータの連続性が重要視され、特に 2008 年に画像が無償となってからその使用が増加している。

[データ中継衛星]

NASA は低中高度衛星の追跡管制システムがカバーできる範囲を飛躍的に広げられるデータ中継衛星TDRSシステムを'83年から運用している。Boeingが第3世代のTDRSを開発し、初号機TDRS-11が2013年、2号機TDRS-12が2014年、3号機TDRS-13が2017年に打上げられた。

[軍事宇宙分野]

軍事宇宙開発も活発で、国防総省(DoD)が各種の宇宙機、軍事衛星の開発・運用を行っており、米国宇宙産業のアンカーテナンシーの役割を果している。米国の軍事衛星は、画像偵察(光学、SAR)、信号偵察(通信・電波情報傍受)、早期警戒(ミサイル防衛)、通信、航法、気象及び宇宙監視と多岐に渡る分野で展開されている。近年の軍事技術の高度化とあわせ、特に全世界に展開する米軍においては宇宙分野の重要性が増大しており、軌道上に常時 100 機以上が運用管理されている。一方、中国やロシアも宇宙能力を増強しているため、2019 年に成立した 2020 年国防授権法で 6 番目の軍種として空軍省(Department of the Air Force)の下に宇宙軍(Space Force、USSF)が設立された。

情報収集関連の衛星について最新のものは公開されていないが、画像偵察としてはKeyHoleと呼ばれる光学偵察衛星及びTopazと呼ばれるSAR偵察衛星、及び商用高分解能画像衛星が活用されている。信号偵

察では、静止軌道及び長楕円軌道(モルニア軌道)から超大型展開アンテナを有した衛星による情報収集を行っているといわれており、Advanced Orion、Improved Trumpet 等と呼ばれている。さらに、海洋監視を目的としてレーダー波を傍受する海洋監視衛星システム NOSS も運用されている。

赤外線センサにより弾道ミサイルの発射探知を行う早期警戒衛星では、'70 年代から運用されてきた DSP 衛星にかわり、SBIRS (Space Based Infrared System)の配備が進んでいる。SBIRS は静止衛星(SBIRS-GEO)と、モルニア軌道の SBIRS-HEO から構成されており、SBIRS-GEO 3 号機が 2017 年に、4 号機が 2018 年に打上げられた。また、SBIRS-HEO は非公開の軍事衛星に相乗りしているが、すでに HEO 4 号機まで打上げられている。SBIRS を構成予定であった LEO 周回衛星 STSS (Space Tracking and Surveillance System)は実証衛星 2 機を打上げた後、予算はカットされた。なお、SBIRS-GEO 7 号機以降はキャンセルされ、その後継機として NG-OPIR (Next Generation Overhead Persistent IR system)の検討を進め、2018 年に Lockheed Martin が新たな静止早期警戒衛星 3 機を、Northrop Grumman が極監視用衛星ペイロードを受注した。

軍事通信については、3 要素(Wideband: 伝送量と速度向上、Protected: 非常時の生存率向上、Narrowband: 移動体通信等応用能力向上)の分野それぞれで整備が進められている。Wideband 対応の WGS (Wideband Global SATCOM) は 2019 年に 10 号機が打上げられ、12 号機まで計画されている。Protected 通信では、2010 年に AEHF (Advanced Extremely High Frequency)1 号機を打上げ後、2020 年に 6 号機が打上げられた。NarrowBand 通信の MUOS (Mobile User Objective System) は初号機が 2012 年に打上げられ、2016 年には 5 号機が打上げられた。また、上記の軍事通信衛星のみでは通信容量が不足するため商用通信衛星も利用されている。

気象分野については、軍専用の周回気象衛星として DMSP を運用しているが、上述のように NPOESS 計画が中止され、さらに後継とされた Defense Weather Satellite System (DWSS)も 2012 年にキャンセルされた。2014 年には DMSP-F19 の打上げに成功したが、後継機の開発は行われていない。

このほか、2007 年に中国が実施した ASAT 実験以降、人工衛星の脆弱性が問題視されており、宇宙空間の監視を目的とする宇宙状況監視(Space Situational Awareness: SSA)の重要性が増大している。米空軍は、'61 年から Space Surveillance Network と呼ばれる宇宙状況認識のための地上レーダー施設を運用していたが、老巧化で 2013 年に閉鎖された。2014 年、新しいレーダー施設の建設を Lockheed Martin に発注し SpaceFence と呼ばれる新施設が 2020 年にクェゼリン環境に完成した。SSA においては、地上配備のレーダーや望遠鏡に加え、軌道上からデブリや衛星(特に静止衛星)を監視する衛星も開発が進められており、2010 年に SBSS (Space Based Space Surveillance System)が打上げられた。また、静止軌道上の衛星を監視する衛星 GSSAP (Geosynchronous Space Situational Awareness Program)計画がある。GSSAP は静止軌道に近い軌道に投入され、ドリフトしながら光学センサにより静止軌道を監視する衛星であり、2014 年に 1、2 号機が、2016 年には 3、4 号機が、2022 年 1 月には 5、6 号機が打上げられた。

[測位衛星分野]

米国防総省は、全世界測位システム(GPS: Global Positioning System)を整備し、高度約 2 万 km(周期 12 時間)の 6 軌道面に各 4 機の合計 24 機の GPS 衛星から構成されている。Block II、IIA シリーズ(旧 Rockwell 製)の打上げ完了で'94 年から本格運用となり、軍用移動体に高精度 P コードが L1 帯、L2 帯の 2 波で利用され

ている。2003 年の対イラク戦争では多くの精密 GPS 誘導兵器が使用された。民間にも L1 帯の粗精度 C/A (Coarse Acquisition)コードが無償で開放され、自動車・船舶・航空機・宇宙機等への測位情報提供やナビゲーション、建設機器等の遠隔操縦管理、測量、地殻変動観測、など広く民間利用が拡大し、カーナビゲーションを始めとして一般社会を支える不可欠なインフラの役割を果たしている。'97 年から 2004 年にかけては、Lockheed Martin 製の Block IIR シリーズ(LM-4000 バス)が打上げられた。2000 年から C/A コードの SA(Selective Availability)を解除して精度を故意に落とすのをやめ、誤差が約 100m から 12m (P コードは 1m)に向上した。2005 年から耐ジャミング機能を有する M コードと L2 帯にも C/A コードを追加する IIR-M シリーズ 8 機(LM-4000 バス)が打上げられた。その後さらに民間用の L5 帯を追加する 12 機の GPS Block IIF 衛星(Boeing 製)が、2016 年までに計 12 機が打上げられた。スポットビームにより M コード機能を一層向上させる GPS Block III は Lockheed Martin が開発を進めており、初号機 GPS III-1 が 2018 年、2 号機が 2019 年、3 号機、4 号機が 2020 年、5 号機は 2021 年、6 号機は 2023 年 1 月 18 日に打上げられた。今後、GPS III は計 10 機、GPS IIIF は計 22 機と、合計 32 機が予定されている。

⑵ 現況

米国の航空宇宙産業の現況は下記のとおりとなっており、細部を表 2-1-1～表 2-1-7 に示す。

a. 生産高　　(単位：億ドル)

暦年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
航空機及び部品	2,244	1,797	1,478	1,521	1,731
民需	1,682	1,267	878	969	1,184
軍需	562	530	600	552	547
探索及び航法装置	509	531	569	569	572
民需	180	187	190	191	193
軍需	329	344	379	378	379
通信装置	353	358	327	335	372
民需	324	332	305	313	348
軍需	29	26	22	22	24
合計	3,106	2,686	2,374	2,425	2,675

(注) 表の数値は四捨五入の関係で合計欄、小計欄の数値は必ずしも一致しない(以下同)

出典：The U.S. Census Bureau

b. 輸出入バランス　　(単位：億ドル)

暦年			2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
輸出			1,510.0	1,481.0	902.0	1,004.0	1,048.0
	民需	完成機	1,315.0	1,265.0	724.0		
	軍需	完成機・エンジン部品・宇宙(注)	195.0	216.0	178.0		
輸入			615.0	687.0	500.0	489.0	275.0
貿易バランス			895.0	794.0	402.0	515.0	773.0

(注)：ミサイル、ロケット関連部品を含む

出典："AIA Facts & Figures"

c. 損益　　(単位：億ドル)

暦年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年 (2Qまで)
販売高	3,248	3,095	2,723	2,804	1,369
純益（税抜き後）	376	256	-0.31	220	94
利益率	11.6%	8.3%	0.0%	7.8%	6.9%

出典：”AIA Facts & Figures”

表 2-1-1　アメリカの GDP と国防支出の推移

年度	GDP (億ドル)	国防支出 (百万ドル)	GDPに占める国防支出の%	国防支出中の航空宇宙関係支出 (百万ドル)	GDPに占める航空関係支出の%	国防支出に占める航空関係支出の%
2000	102,510	294,363	2.87	22,250	0.22	7.56
01	105,819	316,192	2.99	23,451	0.22	7.42
02	109,291	345,054	3.16	25,776	0.24	7.47
03	114,565	437,456	3.82	26,573	0.23	6.07
04	122,172	467,604	3.83	29,713	0.24	6.35
2005	130,392	478,915	3.67	29,906	0.23	6.24
06	138,156	534,484	3.87	30,676	0.22	5.74
07	144,743	600,904	4.15	30,805	0.21	5.13
08	147,699	665,940	4.51	33,675	0.23	5.06
09	144,781	666,344	4.60	39,343	0.27	5.90
2010	150,490	690,967	4.59	42,641	0.28	6.17
11	155,997	687,022	4.40	44,340	0.28	6.45
12	162,540	645,494	3.97	45,809	0.28	7.10
13	168,432	577,552	3.43	45,350	0.27	7.85
14	175,507	581,439	3.31	47,260	0.27	8.13
2015	182,060	560,436	3.08	47,790	0.26	8.53
16	186,951	580,292	3.10	47,416	0.25	8.17
17	194,796	605,962	3.11	46,493	0.24	7.67
18	205,272	670,634	3.27	48,125	0.23	7.18
19	213,726	687,830	3.22	44,357	0.21	6.45
2020	208,938	723,224	3.46	-	-	-
21	229,961	704,734	3.06	-	-	-
22	254,645	776,632	3.05	-	-	-

出典："IMF World Economic Outlook Database"、"National Defense Budget Estimates"

表 2-1-2 アメリカ航空宇宙工業の貿易収支の推移

暦年	アメリカ全体（百万ドル）			航空宇宙（百万ドル）			全輸出に占める航空の%
西暦	貿易収支	輸　出	輸　入	貿易収支	輸　出	輸　入	
2000	△436,104	781,918	1,218,022	26,734	54,679	27,944	7.0
01	△411,899	729,100	1,140,999	26,035	58,508	32,473	8.0
02	△468,263	693,103	1,161,366	29,533	56,775	27,242	8.2
03	△532,350	724,771	1,257,121	27,111	52,504	25,393	7.2
04	△654,829	814,875	1,469,704	31,002	56,817	25,815	7.0
2005	△772,373	901,082	1,673,455	46,027	68,919	22,892	7.6
06	△827,971	1,025,967	1,853,938	61,372	86,419	25,047	8.4
07	△808,763	1,148,199	1,956,962	68,537	99,464	30,927	8.7
08	△816,199	1,287,442	2,103,641	72,111	103,577	31,466	8.0
09	△503,582	1,056,043	1,559,625	54,502	90,246	35,745	8.5
2010	△635,362	1,278,495	1,913,857	50,500	87,726	37,226	6.9
11	△725,446	1,482,508	2,207,954	54,392	95,748	41,356	6.5
12	△730,446	1,545,821	2,276,267	66,387	112,970	46,582	7.3
13	△689,470	1,578,517	2,267,987	71,430	124,385	52,954	7.9
14	△734,482	1,621,874	2,356,356	76,132	135,568	59,435	8.4
2015	△745,483	1,503,328	2,248,811	81,613	142,824	61,211	9.5
16	△735,326	1,451,460	2,186,786	90,400	146,200	55,800	10.1
17	△792,396	1,547,195	2,339,591	85,900	142,800	56,900	9.2
18	△870,358	1,665,787	2,536,145	89,500	151,000	61,500	9.1
19	△845,760	1,645,940	2,491,700	79,400	148,100	68,700	9.0
2020	△901,482	1,429,995	2,331,477	40,200	90,200	50,000	6.3
21	△1,071,053	1,757,822	2,828,875	51,500	100,400	48,900	5.7
22	△1,177,373	2,065,157	3,242,530	77,300	104,800	27,500	5.1

出典："AIA Aerospace Facts and Figures & Year-End Review and Forecast"

"ITA International Trade Administration"

表 2-1-3　アメリカ航空宇宙工業の需要別輸出額の推移

暦年	需要別輸出額（百万ドル）			軍需（%）
西暦	民需	軍需	合計	
2000	45,566	9,113	54,679	16.7
1	49,371	9,137	58,508	15.6
02	47,348	9,427	56,775	16.6
03	44,366	8,138	52,504	15.5
04	47,772	9,045	56,817	15.9
2005	57,587	9,845	67,432	14.6
06	71,857	13,405	85,262	15.7
07	83,977	13,247	97,224	13.6
08	82,264	12,819	95,082	13.5
09	70,500	10,666	81,166	13.1
2010	72,032	11,471	83,503	13.7
11	80,474	10,967	91,442	12.0
12	95,101	13,431	108,532	12.4
13	106,081	13,963	120,044	11.6
14	114,233	16,061	130,294	12.3
2015	121,802	15,420	137,222	11.2
16	123,802	16,205	140,007	11.6
17	122,790	13,865	136,655	10.1
18	131,500	19,500	151,000	12.9
19	126,500	21,600	148,100	14.6
2020	72,400	17,800	90,200	19.7
21	-	-	100,400	-
22	-	-	104,800	-

出典："AIA Aerospace Facts and Figures & Year-End Review and Forecast"

表 2-1-4　アメリカ航空宇宙工業の部門別従業員数の推移

暦年	従　業　員　数（千人）			構　成　比（%）	
西暦	航空機エンジン	ミサイル宇宙	合計	航空機エンジン	ミサイル宇宙
2000	438	77	515	85.0	15.0
01	422	76	498	84.8	15.2
02	385	72	457	84.3	15.7
03	366	71	437	83.8	16.2
04	377	73	450	83.7	16.3
2005	392	75	467	83.9	16.1
06	407	74	481	84.5	15.5
07	424	76	500	84.8	15.2
08	435	79	514	84.5	15.5
09	402	77	479	84.0	16.0
2010	403	75	479	84.3	15.7
11	421	73	494	85.2	14.8
12	432	74	506	85.4	14.6
13	418	73	490	85.2	14.8
14	420	70	489	85.8	14.2
2015	422	71	492	85.7	14.3
16	411	74	485	84.7	15.3
17	409	76	485	84.3	15.7
18	428	79	507	84.4	15.6
19	-	-	535	-	-
2020	-	-	507	-	-
21	-	-	480	-	-
22	-	-	478	-	-

出典：''AIA Employment for Selected Sectors'',''AeroWeb'', ''US Bureau of Labor Statistics''

表 2-1-5　アメリカ航空宇宙工業の品種別従業員数の推移

(航空機・エンジンおよび部品)

暦年	従業員数（千人）				構成比（%）		
西暦	機体	ｴﾝｼﾞﾝ及びｴﾝｼﾞﾝ部品	その他部品及び機器	合計	機体	ｴﾝｼﾞﾝ及びｴﾝｼﾞﾝ部品	その他部品及び機器
2000	242.4	98.0	97.3	437.7	55.4	22.4	22.2
01	233.4	93.5	95.3	422.2	55.3	22.1	22.6
02	215.5	84.8	84.5	384.8	56.0	22.0	22.0
03	207.4	79.0	79.6	366.0	56.7	21.6	21.7
04	209.3	80.5	87.0	376.8	55.5	21.4	23.1
2005	218.3	83.3	90.5	392.1	55.7	21.2	23.1
06	226.6	84.8	95.6	407.0	55.7	20.8	23.5
07	236.6	86.7	100.7	424.0	55.8	20.4	23.8
08	242.1	86.3	106.1	434.5	55.7	19.9	24.4
09	231.2	74.8	96.2	402.2	57.5	18.6	23.9
2010	229.4	75.3	98.7	403.4	56.9	18.7	24.5
11	238.3	79.6	103.1	421.0	56.6	18.9	24.5
12	244.5	80.0	107.4	431.9	56.6	18.5	24.9
13	235.5	77.3	105.0	417.8	56.4	18.5	25.1
14	234.5	77.1	108.1	419.7	55.9	18.4	25.8
2015	233.0	79.7	108.9	421.6	55.3	18.9	25.8
16	225.1	78.7	107.3	411.1	54.8	19.1	26.1
17	217.5	81.8	109.3	408.6	53.2	20.0	26.7
18	234.3	84.2	109.8	428.3	54.7	19.7	25.6
19	241.4	-	-	-	-	-	-
2020	228.4	-	-	-	-	-	-
21	216.2	-	-	-	-	-	-
22	225.6	-	-	-	-	-	-

出典："AIA Employment for Selected Sectors","AeroWeb", "US Bureau of Labor Statistics"

表 2-1-6　アメリカ航空宇宙工業の損益の推移　（百万ドル）

（百万ドル）

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
販売高 （A)	154,877	168,756	159,581	171,753	184,418	197,234	210,171	229,622	240,213	241,474	243,139	253,103
営業利益 （B)	12,833	12,679	12,934	10,403	12,647	14,273	17,157	23,423	22,952	19,944	19,877	24,528
B/A×100(%)	8.3	7.5	8.1	6.1	6.9	7.2	8.2	10.2	9.6	8.3	8.2	9.7
連邦所得税引前利益(C)	11	8,618	7,874	8,504	11,558	15,660	18,497	24,942	20,789	21,182	21,359	24,691
C/A×100(%)	7.1	5.1	4.9	5.0	6.3	7.9	8.8	10.9	8.7	8.8	8.8	9.8
連邦所得税準備金(D)	4	2,054	1,326	1,263	2,053	3,088	4,391	6,225	6,220	4,757	4,843	5,888
D/C×100(%)	33.7	23.8	16.9	14.9	17.8	19.7	23.7	25.0	29.9	22.5	22.7	23.8
税引き後利益(E)	7,260	6,565	6,547	7,243	9,504	12,573	14,106	18,715	14,568	16,425	16,516	18,803
E/A×100(%)	4.7	3.9	4.1	4.2	5.2	6.4	6.7	8.2	6.1	6.8	6.8	7.4
内部留保純利益(F)	4,576	4,003	3,688	4,336	5,995	8,747	9,581	13,882	8,748	10,401	10,251	12,500
F/A100(%)	3.0	2.4	2.3	2.5	3.3	4.4	4.6	6.0	3.6	4.3	4.2	4.9

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022(2Qまで)
販売高 （A)	269,282	273,140	281,363	288,794	284,796	306,452	324,846	309,480	272,211	280,419	136,935
営業利益 （B)	25,442	24,900	29,719	30,882	27,363	34,430	37,012	34,782	15,897	26,073	10,038
B/A×100(%)	9.4	9.1	10.6	10.7	9.6	11.2	11.4	11.2	5.8	9.3	7.3
連邦所得税引前利益(C)	27,496	28,631	32,236	36,615	30,931	37,553	41,622	27,339	437	26,666	11,139
C/A×100(%)	10.2	10.5	11.5	12.7	10.9	12.3	12.8	8.8	0.2	9.5	8.1
連邦所得税準備金(D)	7,654	6,381	6,994	9,042	6,724	13,131	3,985	1,735	468	4,663	1,712
D/C×100(%)	27.8	22.3	21.7	24.7	21.7	35.0	9.6	6.3	107.1	17.5	15.4
税引き後利益(E)	19,842	22,250	25,243	27,573	24,208	24,422	37,635	25,604	(31)	22,003	9,427
E/A×100(%)	7.4	8.1	9.0	9.5	8.5	8.0	11.6	8.3	(0.0)	7.8	6.9
内部留保純利益(F)	12,376	13,064	14,296	15,126	11,385	10,394	23,656	7,691	(9,990)	11,422	1,869
F/A100(%)	4.6	4.8	5.1	5.2	4.0	3.4	7.3	2.5	(3.7)	4.1	1.4

出典：
census.gov "Quarterly Financial Report"
AIA Aerospace Facts and Figures
Aerospace & Defense Intelligence Report

表 2-1-7　アメリカ航空宇宙工業の貸借対照表の推移(1)　（百万ドル）

			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
資産	流動資産	現金・貯金	3,004	8,083	8,466	7,797	11,121	10,319	13,401	9,253	15,053	12,685	14,854
		アメリカ政府有価証券 その他有価証券	638	1,112	885	2,444	2,562	2,074	2,904	2,217	6,456	7,422	5,680
		(現金・貯金と有価証券計)	3,642	9,195	9,351	10,241	13,684	12,393	16,305	11,470	21,509	20,106	20,534
		売掛債権計	19,438	17,644	40,626	47,945	55,734	57,895	67,191	67,981	46,509	46,642	37,222
		棚卸品計	42,343	40,288	37,081	37,389	45,960	44,587	52,129	67,462	67,928	78,339	90,444
		その他流動資産	10,450	9,353	15,967	15,385	19,578	20,032	21,533	14,080	14,991	14,094	15,336
		（流動資産計）	75,872	76,481	103,024	110,960	134,954	134,906	157,158	160,993	150,937	159,181	163,536
	固定資産	建物・設備計	28,722	27,567	27,808	27,667	28,838	27,800	29,103	31,407	32,122	33,455	32,590
		その他固定資産	79,410	79,684	93,538	103,887	109,336	99,842	110,459	109,189	106,334	114,010	121,766
	資産合計		184,004	183,732	224,370	242,515	273,129	262,549	296,720	301,589	289,393	306,646	317,892
負債	流動負債	短期融資	2,084	1,637	1,200	2,394	3,618	2,156	3,154	3,060	1,071	902	2,071
		アメリカ政府前払い 買掛金と支払手形	10,458	9,184	11,421	13,607	15,703	16,332	17,306	18,666	18,677	19,288	21,639
		連邦所得税	1,778	2,726	1,384	1,661	2,476	2,105	264	496	852	160	259
		長期負債賦払金	2,534	2,722	1,768	2,245	3,870	1,289	2,129	4,272	2,720	2,085	4,155
		その他流動負債	49,708	45,802	67,982	80,683	97,450	100,266	113,418	116,806	93,737	99,133	93,706
		流動負債	66,562	62,071	83,755	100,592	123,117	122,147	136,270	143,299	117,057	121,568	121,830
	固定負債	長期負債	33,882	32,554	35,782	31,747	30,714	32,525	35,887	41,453	49,687	51,377	52,372
		その他固定負債	27,054	40,330	42,126	40,162	42,786	38,835	39,388	64,157	55,325	58,782	71,764
	負債合計		127,497	134,954	161,662	172,500	196,617	193,508	211,546	248,909	222,069	231,727	245,966
株主持分	資本金		4,190	(1,838)	9,206	11,070	13,259	(2,040)	814	(36,010)	(26,616)	(24,938)	(38,877)
	利益剰余金と留保金		52,318	50,615	53,502	58,945	63,253	71,081	84,361	88,690	93,940	99,857	110,802
	（純資産合計）		56,508	48,777	62,708	70,014	76,512	69,041	85,175	52,680	67,324	74,919	71,925
負債と株主持分合計			184,004	183,732	224,370	242,515	273,129	262,549	296,720	301,589	289,393	306,646	317,891
正味運転資本			9,311	14,410	19,268	10,369	11,837	12,759	20,888	17,694	33,881	37,613	41,706

"AIA Aerospace Facts and Figures"

表 2-1-7　アメリカ航空宇宙工業の貸借対照表の推移(2)　（百万ドル）

（百万ドル）

			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
資産	流動資産	現金・貯金	15,003	13,887	15,011	15,794	17,031	16,624	18,684	22,560	34,989	30,675	25,617
		アメリカ政府有価証券 その他有価証券	8,166	12,435	2,430	1,627	3,778	3,632	3,039	2,991	22,755	12,189	2,059
		(現金・貯金と有価証券計)	23,169	26,321	17,441	17,421	20,809	20,256	21,723	25,552	57,744	42,864	28,403
		売掛債権計	36,261	38,708	40,961	46,906	49,195	50,542	55,491	53,166	51,571	55,631	26,763
		棚卸品計	95,404	100,594	108,145	111,156	106,265	103,837	105,540	119,311	126,399	126,959	131,250
		その他流動資産	15,054	14,330	14,506	5,207	3,587	17,720	22,623	22,998	28,883	28,264	28,256
		（流動資産計）	169,888	179,953	186,774	183,536	179,856	192,355	205,377	221,026	264,598	253,718	248,322
	固定資産	建物・設備計	33,910	36,089	38,437	40,155	45,314	47,580	49,495	51,785	52,611	54,185	52,552
		その他固定資産	139,925	150,525	157,875	171,070	189,983	196,041	221,849	237,414	252,874	255,873	254,834
	資産合計		343,723	366,567	383,085	394,761	415,153	435,976	476,721	510,225	570,083	563,776	555,708
負債	流動負債	短期融資	1,490	2,233	2,728	8,828	5,845	7,916	9,123	13,409	5,803	5,467	5,568
		アメリカ政府前払い 買掛金と支払手形	22,872	22,037	23,515	24,736	25,913	31,702	32,636	33,773	28,017	25,426	28,010
		連邦所得税	728	157	196	233	597	1,021	1,004	897	194	195	1,484
		長期負債賦払金	5,772	2,533	3,848	3,355	5,552	3,460	9,962	11,854	8,067	3,461	1,128
		その他流動負債	95,938	114,378	122,961	116,614	117,926	124,322	131,592	142,201	149,913	155,811	112,856
		流動負債	126,800	141,338	153,248	153,766	155,833	168,421	184,316	202,133	191,994	190,359	199,740
	固定負債	長期負債	61,056	63,436	64,698	77,334	93,927	103,332	113,971	125,505	177,740	171,305	160,421
		その他国定負債	81,557	57,127	76,080	81,396	86,955	85,057	87,545	95,179	87,739	74,384	70,108
	負債合計		269,413	261,902	294,026	312,496	336,714	356,810	385,832	422,817	457,473	436,048	430,268
株主持分	資本金		(44,904)	(27,906)	(54,443)	(68,834)	(75,049)	(97,532)	(90,284)	(101,863)	(59,747)	(46,653)	89,834
	利益剰余金と留保金		119,213	132,570	143,501	151,099	153,488	176,699	181,172	189,270	172,357	174,382	171,913
	（純資産合計）		74,309	104,665	89,059	82,265	78,438	79,167	90,284	87,408	112,610	127,728	125,440
負債と株主持分合計			343,722	366,567	383,085	394,761	415,153	435,976	476,721	510,225	570,083	563,776	555,708
正味運転資本			43,087	-	-	-	24,023	23,933	21,061	18,893	72,604	63,359	48,582

census.gov "Quarterly Financial Report"
AIA Aerospace Facts and Figures
Aerospace & Defense Intelligence Report
2013年以降の一部データは未公開

⑶ 企業動向

a. Boeing (The Boeing Company)

＜売上高・従業員数＞

暦　年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
Commercial Airplane	60,715	32,255	16,162	19,493	25,867
Boeing Military Aircraft	23,195	26,227	26,257	26,540	23,162
Network and Space Systems					
Global Service and Support	17,018	18,468	15,543	16,328	17,611
Total Boeing Defense, Space & Security	40,213	44,695	41,800	42,868	40,773
Boeing Capital Corporation	274	244	261	272	199
Other	(75)	(635)	(65)	(347)	(231)
Unallocated items and eliminations					
売上高(百万ドル)	101,127	76,559	58,158	62,286	66,608
従業員(人)	153,000	161,133	141,014	141,582	156,534

出典：アニュアルレポート、ホームページ

2023年11月時点での部門別、州別の従業員配置

事業部門(Group)別	人　数
Commercial Airplanes	41,256
Defense, Space & Security	16,961
Global Services	20,523
Enterprise	77,614
Total Company	156,354

出典：ホームページ

州　別	人　数
Alabama	3, 287
Arizona	4,778
California	16,615
Missouri	15,796
Oklahoma	3,738
Pennsylvania	4,429
South Carolina	6,465
Texas	6,719
Washington	60,244
Other Locations	37,283
	156,354

出典：アニュアルレポート、ホームページ

[沿革]

Boeingは、シアトルの材木業者だったWillam Boeingによって1916年に創業された。'97年、McDonnell Douglasとの合併を完了し、Lockheed Martinとアメリカの航空機、宇宙機産業を2分する巨大企業が誕生した。合併相手のMcDonnell DouglasのDouglas部門は、Donald Douglasによって1920年に創設されたプロペラ機時代からの旅客機の名門だった。Boeingと競合関係だったが、ベトナム戦争中に黒字倒産し、McDonnellに吸収されていた。そのMcDonnellは、第二次世界大戦開戦後の1940年に、James McDonnellがセントルイスに開設した会社である。第二次世界大戦中は構造構成品の下請け生産を行っていたが、ジェット戦闘機とともに成長した。また、North American Aviation(吸収当時Rockwell Internationalの航空宇宙部門)はプロペラ戦闘機P-51 Mustangやジェット戦闘機F-86 Sabre、Apollo宇宙船、Space Shuttleを開発していたが、McDonnell Douglasに先立つ'96年にBoeingに吸収された。

PT17 Kaydet複葉初歩練習機で有名なLloyd Stearmanによって設立されたStearman AircraftからBoeing

に引き継がれたウイチタの製作所は、第二次世界大戦中に Boeing B-29 の量産のために拡張され、戦後は戦略爆撃機 B-47 Stratojet、B-52 StratoFortress の量産と B737 旅客機の胴体の組立が行われていたが、分割され 2005 年から Spirit AeroSystems となっている。

Boeing は 2000 年には通信・放送衛星製造市場で 40%以上のシェアを占めていた Hughes Electronics の衛星製造・情報・通信部門を買収した。これによって Boeing は在来からの打上げ用 Delta ロケットの製造、打上げサービス事業と合わせ、衛星に関する一貫サービス体制を構築して、Lockheed Martin と対抗する世界最大の宇宙企業にもなった。その後運用中の衛星打上げロケット事業は Lockheed Martin との合弁事業とし ULA へ移管した。

2023 年 eVTOL スタートアップ企業 Wisk Aero を買収した。

[現況]

Boeing の本社は、2001 年に発祥の地シアトルからシカゴに移転し、更にその後 2022 年にワシントン DC 郊外へ移転した。2022 年の売上高は$ 66.6B である。

Boeing は、Commercial Airplanes と Defense, Space & Security を主要部門としている。その両部門を以下の部門がサポートしている。

・Boeing Capital Corporation
・Shared Services Group
・Boeing Engineering, Operations & Technology

Defense, Space & Security 部門は、以下のセグメントから成っている。

・Boeing Military Aircraft
・Global Services and Support
・Network and Space Systems
・Boeing Phantom Works

また、Boeing の主要施設と業務は次のようになっている。

① バージニア州アーリントン　－Boeing 本社機構
② ワシントン州シアトル地区
・レントン工場、ワシントン湖南端
－B737 の生産、胴体組立、広胴機の主翼など構造部品の製作
・エバレット工場、シアトル市北郊 －広胴旅客機の生産
③ カルフォルニア州ロサンゼルス地区
・ロングビーチ地区(旧 Douglas) － C-17 軍用輸送機
・エルゼガンド地区(旧 North American、旧 Hughes S & C) － 宇宙ロケット、人工衛星製造
④ ミズーリー州セントルイス地区(旧 McDonnell)
－ F-15 戦闘機、F/A-18 戦闘/攻撃機、777X、T-7 練習機
⑤ ペンシルベニア州フィラデルフィア地区(旧 Vertol)
－ CH-47 輸送ヘリコプター、V-22 輸送機
⑥ アリゾナ州メサ地区(旧 Hughes Helicopter) － AH-64 戦闘ヘリコプター

⑦ テキサス州ヒューストン地区(旧 Hughes Electronics, 情報/ Satellite 部門)
－Network & Space Systems 部門
⑧ アラバマ州ハンツビル － Network & Space Systems 部門
⑨ サウスカロライナ州チャールストン － B787 の最終組立

Boeing はブラジルの Embraer と民間機、軍用機における開発、販売についてさまざまな関係強化を進めてきたが、2019 年、Embraer の民間機事業を母体とする Boeing との新会社を「Boeing Brasil-Commercial」と名付けたと発表したが、2020 年に計画は中止された。

(a) Commercial Airplanes

シアトル南郊のレントンに本社を置き、レントン工場で単通路の細胴旅客機、シアトルの北郊エバレット、サウスカロライナ州チャールストンの工場で広胴の旅客機の生産・販売を行っている。年別の出荷機数等は次ページ、概況は以下のとおりである。

① B737

双発 100～200 人乗りのジェット旅客機 B737 は世界的なベストセラー機となり、2020 年時点では、10,500 機以上を納入している。A320 に対抗して航続性能、装備等を大幅に見直したものが Next-Generation 737 と呼ばれ、'97 年以降 B737-600、-700、-800、-900 が納入された。A320neo に対抗してエンジンを LEAP に換装する B737MAX の計画を発表し 2017 年に MAX8 を納入開始したが、2019 年の相次ぐ事故により出荷停止となった。不具合対策に FAA 承認を得て、現在は出荷が再開された。一方、2022 年時点では B737MAX10 の型式認証取得は 2023 年夏以降とされている。

② B747

B747 は、より大型化しエンジンを GEnx-2B に換装した B747-8F 貨物機型の型式証明を 2011 年に取得し同年から納入を開始し、旅客機型の B747-8 Intercontinental の型式証明も同年に取得し、2012 年から納入を開始した。2017 年には B747 シリーズの旅客機となる B747-8I の最後の引き渡しが行われた。最後の貨物機 B747-8F が 2023 年 2 月に Atlas Air に引き渡された。

③ B767

操縦装備のハイテク化、グラスコクピット採用による 2 人乗務旅客機の先駆けとなった。燃料費の高騰を受けて燃費性能の向上、貨物室の積載効率、積み下ろしの利便性を重視したセミワイドボディ機で、現在は貨物専用の B767-300F を中心に受注が続いている。767-2C タンカーを母機とする米国防総省の KC-46 空中給油機が生産中である。

④ B777 / B777X

300～400 人乗りの B777 は 2019 年には 1,600 機目を納入した。2013 年に主翼の大型化、新型エンジンおよび機体全体での材質変更などにより燃費効率を向上させた B777X の開発を発表し、2020 年に初飛行し 2025 年に納入開始を予定している。2027 年に初納入が予定される貨物機 777X-8F の発売を 2022 年に開始した。

⑤ B787

B767、B757 後継機としての 200～250 人乗りの B787 は 2018 年末での総受注数は 1,403 機に達した。1 号機は 2007 年にエバレット工場でロールアウトし、度重なる納入計画の変更により 3 年以上遅れていた

型式証明を 2011 年に取得し、同年にローンチカスタマーである全日本空輸へ納入が開始された。しかし 2013年、バッテリが発火し3か月間の飛行停止となるなど様々な影響がでたが、その後、派生型の B787-9 が 2014 年日本国内線で商業運航が開始された。B787-10 は 2017 年に初飛行を行ない、2018 年から納入が開始された。世界中で猛威を振るった COVID-19 や 2022 年に FAA から指摘された品質問題の影響は同社の出荷にも影響し、最盛期に月産 14 機の B787 は大幅な生産縮小となり、2023 年初頭においても日本国内企業の製造額に大規模な影響を出している。

年別の出荷機数および 2023 年 9 月末での累計納入実績と受注残 (暦年)

機種	B737 NG	B737MAX	B747	B767	B777	B777X	B787	合計
2009 年	372	－	8	13	88	－		481
2010 年	376	－		12	74	－		462
2011 年	372	－	9	20	73	－	3	477
2012 年	415	－	31	26	83	－	46	601
2013 年	440	－	24	21	98	－	65	648
2014 年	485	－	19	6	99	－	114	723
2015 年	495	－	18	16	98	－	135	762
2016 年	490	－	9	13	99	－	137	748
2017 年	455	74	14	10	74	－	136	763
2018 年	324	256	6	27	48	－	145	806
2019 年	70	57	7	43	45	－	158	380
2020 年	16	27	5	30	26	－	53	157
2021 年	18	245	7	32	24	－	14	340
2022 年	13	374	5	33	24	－	31	480
2023 年	6	280	1	17	17	－	50	371
納入計	6,953	1,313	1,573	1,288	1,718	0	1,087	24,746
受注残	19	4,485	0	104	66	363	746	5,783

出典：アニュアルレポート、ホームページ

(b) BDS(Boeing Defense, Space & Security)軍用機部門

セントルイスに本社を置き、防衛関連の航空機、宇宙関連システム、ネットワークシステム等の生産・販売を行っている。軍用機部門(Boeing Military Aircraft)の主な機体の納入実績を下表に示す。開発経緯および状況は以下のとおりである。

納入実績(暦年)　　出典：アニュアルレポート

機種	C-17	F-15	F/A-18	CH-47	AH-64	KC- 767	E-7	P-8	C-40A
2010 年	14	13	50	20	13	1	4		
2011 年	13	15	49	32		3	3		
2012 年	10	8	48	51	19		3	5	
2013 年	10	14	48	44	37			11	
2014 年	7	14	44	54	45		3	11	1
2015 年	5	12	35	57	23		1	14	1
2016 年	4	15	25	50	31			18	1
2017 年		16	23	44	11			19	
2018 年		10	17	30				16	
2019 年	1	11	23	35	37	28		18	2
2020 年		4	20	30	19	14		15	
2021 年		16	21	20	27	13		16	
2022 年		12	14	28	25	15		12	

① F/A-18E/F Super Hornet、EA-18G Glowler

F/A-18E/F Super Hornet は、在来型 F/A-18C/D のエンジンを強化し、機体をストレッチして、行動半径、兵器搭載能力を増した機体である。原型 1 号機が'95 年に初飛行し、'99 年、最初の実戦部隊 VFA-122 向けの初号機が納入された。

Super Hornet をベースにした EA-18G Growler は、Grumman EA-6 に替わる対空火器システム制圧型である。2006 年に試験機 2 機が納入され、2007 年に生産型 2 機が納入された。2009 年から量産が開始され、2012 年の時点で F/A-18E/F、EA-18G あわせて 500 機以上が米軍に納入されている。F/A-18A～D はアメリカ海軍、海兵隊で活用され、カナダ、オーストラリア、スイス、クエート、スペイン、フィンランドへ輸出された。FA-18E/F は 2007 年よりオーストラリアで運用が始まり、EA-18G は 2014 年よりオーストラリアに輸出された。

② F-15 Eagle

F-15 Eagle は A/B/C/D の生産が既に終了した(我が国でのライセンス生産 199 機も'99 年で終了)。F-15E シリーズは米空軍向け 226 機の生産も終了したが、シンガポール向けに F-15SG を、韓国向けに F-15K を納入した。また、レーダー反射面積を低減した F-15SE (Silent Eagle)の開発を進めており、2010 年にフライトデモンストレータによる初飛行を実施し、各国に提案しているが、採用に至っていない。一方、F-15 Eagle の新事業 F-15EX プログラムは、F-15 戦闘機が第 5 世代の航空機を支援するというミッションを満足するよう、空中戦における優位性を維持するとともに、戦場における地上への精密攻撃能力を備える改良事業であり、2021 年より米空軍向けに引き渡しを開始した。

③ C-17 Globemaster Ⅲ

大型輸送機 C-17 は、2013 年に米空軍向け最終号機が納入され、米空軍には 223 機で納入完了した。また海外向けには、オーストラリア、カナダ、英国、NATO (Strategic Airlift Capability consortium)、カタール、アラブ首長国連邦、インドおよびクウェートへ納入している。

④ CH/MH-47 Chinook

Vertol が開発した大型の輸送ヘリコプターであり、A 型が '62 年に運用が開始されて以来、'66 年に B 型、'67 年に C 型が開発され、'82 年からは D 型が供給された。CH-47 は、世界の 15 ヵ国以上の国々でも運用されており、我が国でも川崎重工業のライセンス生産によって、陸上自衛隊と航空自衛隊が運用している。現在は、近代化した F 型の製造が続けられており、Boeing によると米陸軍に 170 機以上を納入する計画である。また MH-47 は特殊作戦用に既存の CH-47 を換装した機体であり、派生型である MH-47G へ 61 機換装する作業が現在行われている。

⑤ AH-64D Apache Longbow

戦闘ヘリコプターAH-64A Apache の装備システムを近代化し、ミリ波レーダーを装備した機体が AH-64D Apache Longbow である。2011 年にはブロック 3 の初号機が米軍に納入され、米軍だけで合計 690 機の調達が計画されている。2020 年 6 月に、Apache は世界で合計 2,500 機が納入された。2001 年には陸上自衛隊での採用が決定され、富士重工業(現 SUBARU)でライセンス生産が行われ、2017 年までに 13 機が納入された。2012 年には、AH-64D ブロック 3 の制式名称を AH-64E とすることが決定し、2020 年 4 月には世界で合計 500 機が納入されている。

⑥ KC-767AT / KC-46A

B767 を空中給油用に改造した機体であり、我が国の航空自衛隊に KC-767 として 4 機納入されている。

2011 年には米空軍の次期空中給油機として選ばれ、KC-46A の名で KC-135 及び KC-10 の代替機として 179 機を導入する計画であり、2017 年に初飛行、2018 年に FAA から追加型式設計の承認を取得、2019 年に米空軍は初号機を受領した。航空自衛隊も 2015 年に次期空中給油・輸送機として KC-46A を決定した。

⑦ P-8A Poseidon

B737-800 を改造した対潜哨戒機で、P-3C の後継機として選定され、117 機の調達が予定されている。米海軍の他、インド海軍、オーストラリア空軍でも運用が始まった。イギリスにおいても、9 機の調達を計画しており、2019 年に初号機を納入し、ノルウェーも 5 機、カナダ 16 機の調達を計画している。

BDS においては、将来のプログラムを企画し、支援する組織として、ファントムワークスという組織を有している。BMA に関連するプロジェクトとしては、以下のようなものが進行している。

・Phantom Ray

DARPA の J-UCAS (Joint Unmanned Combat Air Systems)プログラムで開発した無人戦闘機 X-45C をベースに Boeing が独自に開発している無人ステルス戦闘機であり、2011 年に初飛行した。

・Phantom Eye High Altitude Long Endurance unmanned aircraft

水素燃料エンジンを用いた無人航空機であり、65,000 フィート上空で 4 日間の滞空ができる偵察システムである。2012 年、自律での初飛行に成功した。

⑧ E-7 Wedgetail / 737 AEW&C

737-700ER を改造した早期警戒管制機(AEW&C)で、胴体上部に Northrop Grumman 製の多機能電子走査アレイ(MESA)を有する機体で、E-3 を更新する。

2004 年に初飛行して、オーストラリア空軍、トルコ空軍、韓国空軍で運用されており、イギリス空軍に 2024 年、アメリカ空軍に 2027 年に納入される予定である。NATO でも採用を決めた。

⑨ T-7 Red Hawk

Boeing はリスクシェリング・パートナーである Saab とともに米空軍より、T-X 練習機の開発を 2018 年に受注した。T-X 練習機は T-38 の後継機であり、米空軍は 351 機の調達を計画している。2019 年、T-X の正式名称は T-7A Red Hawk（eT-7A）とした。

(c) BDS (Boeing Defense, Space & Security)宇宙部門

宇宙部門は BDS 下の Space and Launch segment の一部として位置づけられている。

Boeing の主力打上げロケットは Delta シリーズであり、旧 Douglas で開発され、既に 300 機以上(内 Delta II は 100 機以上)の打上げ実績がある。空軍の EELV 計画では、DeltaIV が開発され、2002 年に初号機の打上げに成功した。その後、より大型で 14 トンの GTO 打上げ能力を持つ Delta IV H (増強型)ロケットも開発された。なお、政府向け衛星の打上げは、2006 年に Lockheed Martin と統合して United Launch Alliance を設立し、その後商業打上げを含む事業を一本化した。

人工衛星に関しては、2000 年に Hughes Electronics Group の人工衛星製造会社 Hughes Space & Communications Company (HSC)、Hughes Electron Dynamics、Spectrolab 等を Boeing が買収し、Boeing

Satellite Systems となった。旧 HSC は '63 年に世界最初の静止軌道通信衛星 Syncom を打上げて以来、通信･放送衛星、科学衛星、気象衛星を約 190 機開発･製造し、特に、通信・放送衛星分野において世界の 40%のシェアを占めていた。最近の主なプログラムとしては、気象衛星 GOSE-N, O, P、米 DoD 向けの測位衛星 GPS Block IIF、防衛通信衛星 WGS (Wideband Global SATCOM)シリーズ等米国政府向け衛星が多かったが、米国防予算の縮小に加え、GPS Block III や防衛通信衛星(MUOS、AEHF)を LM に受注された関係から、商用通信衛星市場への回帰を図っており、2022 年 10 月に SES20 と SES21 を、12 月に O3b mPower1 号機と 2 号機を打上げた。Boeing の衛星標準バスは現在 702 シリーズであり、'99 年から打上げられている最新型で、高性能キセノン推進装置を搭載し、最大電力 18kW まで可能。50 機以上製造・オーダーされている。ベースとなる 702/702HP に加え、702MP、小型なオール電化衛星 702SP 等いくつかのバージョンがあり、顧客の要求に幅広く答える構成となっている。2019 年には 702 シリーズの新たなモデルとなるソフトウェア定義衛星バス 702X を発表し、2024 年の運用開始を目指している。2022 年 SES-20, 21 で 702 衛星同士を直接上下に積重ね 1 機のロケットで打上げた。

また、Boeing はベンチャーキャピタル部門として Boeing HorizonX を設立し、様々な分野におけるベンチャー企業に投資しているが、宇宙関係でも米国 BridgeSat や豪 Myriota への投資、米 Millennium Space Systems の買収等、小型衛星によるイノベーションへの対応も進めている。2019 年には英 Isotropic Systems への投資を発表した。HorizonX は 2021 年に Boeing から分離し、AE Industrial Partners が獲得した。

Millennium Space Systems は MEO でのミサイル監視衛星を NASA、米宇宙軍から受注しており、2023 年 11 月 27 日に 6 機製造していると発表した。

Boeing の主な宇宙事業には以下のものがある。

Global Positioning System (GPS) IIF: Boeing は 12 機の GPS IIF 衛星製造を契約しており、2016 年末までに 12 機が打上げられた。

商用衛星：現在、O3b mPower 等の衛星を製造中である。また、オール電化衛星として注目される Boeing 702SP を用いた通信衛星を Eutelsat 及び ABS より受注し、2015 年に打上げ及び静止軌道への遷移に成功し、702SP は SES や米政府衛星等も受注している。

Tracking and Data Relay Satellites (TDRS): TDRS-K, L, M を 2013 年から 2017 年にかけて 3 機打上げた。

Wideband Global Satcom (WGS)：米軍のワイドバンド衛星通信を担う WGS を開発･製造中で、WGS-10 号機が 2019 年に打上げられた。なお、2018 年には、追加で WGS-11, 12 号機の予算が認められた。

X-37B: X-37B は米宇宙軍が 2 機を運用中の有翼の無人宇宙往還機(全長約 9m、重量約 5 トン)であり、既に数度の軌道上実験が行われているが、その詳細は不明である。2020 年に打上げられた 6 回目(1 号機)のミッションは 2022 年 11 月に帰還し 909 日に及んだ。2023 年 12 月に宇宙領域把握(SDA)の技術実験が 7 回目ミッションとして、2 号機が軌道に配置され運用されている。

Space Launch System: Space Launch System (SLS)開発を含む NASA の Space exploration 計画を支援している。SLS ロケットでは 1 / 2 段の液体推進ロケットを担当する。

Commercial Crew Development: NASA の低軌道における民間宇宙飛行士プログラムを支援し、CST-100 を含む民間宇宙飛行士輸送システム(Commercial Crew Transportation System)を開発中である。2019 年には CST-100 Starliner 3 号機にて初の無人軌道飛行試験を実施し、打上げと着陸には成功したもの

の、途中の実験は中止した。2回目の飛行実験は2号機で2022年5月19日に打上げられ、翌日ISSへドッキングし、同月25日米陸軍のホワイトサンズ実験場に無事着陸した。

International Space Station：国際宇宙ステーションの主契約社としてISS運用等を支援している。

b. Lockheed Martin (Lockheed Martin Corporation)

＜売上高・従業員数＞

暦　年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
Aeronautics	21,242	23,693	26,266	26,748	26,987
Missiles and Fire Control	8,462	10,131	11,257	11,693	11,317
Rotary and Mission Systems	14,250	15,128	15,995	16,789	16,148
Space Systems	9,808	10,860	11,880	11,814	11,532
売上高(百万ドル)	53,762	59,812	65,398	67,044	65,984
従業員数(人)	105,000	110,000	114,000	114,000	116,000

出典：アニュアルレポート

[沿革]

'95年にLockheedとMartin Mariettaが合併して誕生したメリーランド州に本社を置く防衛産業の巨大コングロマリットである。

合併前のLockheedは、航空創生期の1916年にAllan LougheadとMalcolm Loughead兄弟によって設立された。戦前はDouglas DC-3に対抗する全金属製双発の高速旅客機14WGで有名だった。この旅客機は大日本航空輸送に採用され、日本陸軍ではロ式輸送機の名前で川崎航空機によりライセンス生産された。第二次世界大戦では双発双胴の戦闘機P-38を量産する一方で、Constellationシリーズを開発している。ジェット機時代になってからは、アメリカ最初の量産実用ジェット戦闘機P-80の開発に成功し、F-104ジェット戦闘機、高高度偵察機U-2、マッハ3で巡航するSR-71偵察機、F-117ステルス機を開発した。合併後はアメリカ空軍の主力戦闘機F-22 Raptorと統合STOVL戦闘攻撃機F-35の主契約者に選定されている。

戦後の我が国の航空機産業とは、T-33練習機、F-104戦闘機、P-2V NeptuneやP-3C Orion対潜哨戒機、H-60ヘリコプタのライセンス生産、F-2共同開発、全日本空輸のL-1011運航、F-35A/Bなどを通じて深い結びつきがある。

Lockheed Martinの戦術・戦略ミサイル・宇宙ロケット部門はConvairのAtlas IRBMとMartinのTitan ICBMの技術派生である。Glenn Martinが1909年に創設したMartinと、建設資材のAmerican Mariettaが'61年に合併して生まれたのがMartin Mariettaだった。Martinは、第二次世界大戦の直前にはClipperなどの大型飛行艇、また大戦中はB-26高速爆撃機、戦後には我が国の航空再開直後に事故を起こした日航の「木星号」のメーカーとして有名である。戦後の比較的早い時期に航空機分野から撤退し、戦術・戦略ミサイル、宇宙ロケットに経営のリソースを傾注してきた。

Mariettaは、我が国の航空機産業とは、戦後、軽合金の素材メーカーとして取引があったが、Lockheedとの合併以前に材料部門は手放されている。

防衛エレクトロニクス部門には、軍民シミュレーターを中心とした航空宇宙分野の幅広いエレクトロニクスを手がけてきたLoral (IBMの防衛・宇宙部門も吸収)の防衛・宇宙エレクトロニクス部門、Ford AerospaceのサイドワインダーAAMを作っていた部門、多連装ロケットのLTVミサイル部門、旧IBMを

中心とした政府関係の巨大システム構築運営に参加したUnisysの防衛部門などを引き継いでいる。

[現況]

合併直後の'96年にLoralの防衛エレクトロニクス部門を買収したことにより、官需のトップにランクされる企業になった。

2015年に、United Technologiesから Sikorskyを買収し、Sikorsky, a Lockheed Martin Company として Mission Systems and Training部門に編入し、2016年に部門名を Rotary and Mission Systemsに変更した。Sikorsky ブランドで民間用、産業用及び軍用の先進ヘリコプターの設計・製造を行っている。総重量 5,300 kg から 33,000 kg の中型及び大型ヘリコプターを主として、米軍を中心に供給している。主要製品として民間用では双発エンジン・ヘリコプターS-76 や日本やブラジルなどのメーカーと共同開発した多用途ヘリS-92、軍用にはH-53Eシリーズや H-60シリーズなどがある。

Lockheed Martinは2016年に情報セキュリティおよび情報分析関連の事業である Information Systems & Global Solutions 部門を Leidos へ売却した。2018 年初め時点の組織は以下の 4 部門で構成されており、Boeing と並ぶ巨大航空宇宙企業であるが、Boeing が民間の需要に大きく依存しているのと対照的な売上構成である。

・Aeronautics

・Missiles and Fire Control

・Rotary and Mission Systems

・Space Systems

2020年にはロケットエンジンの Aerojet Rocketdyneを約 5,000億円規模で買収することが両社合意されたが、米連邦取引委員会(FTC)による反トラスト法(独占禁止法)に違反する恐れがあるとの指摘を受け、2022年2月には買収を断念した。2006年以降、開発を終えたロケット事業は Boeingとの共同出資で ULAへ移管している。2022年の売上高は$66.0Bで、その71%が官需、そして国際事業(防衛関連が主体)が28%となっている。

2023年5月にマイクロエレクトロニクス設計のスタートアップ子会社として ForwardEdge ASICを設立した。

(a) Aeronautics 部門

以下に主な機体の状況を示す。

F-22 Raptor: Lockheed Martinはアメリカ空軍の主力戦闘機 F-22の主契約者である。当初750機だった装備計画を国防総省は187機で調達を中止することに変更し、2012年、最終号機が引き渡された(米空軍187機、試験機8機)。2021年には約3年にわたる近代化改修により、センサ、アビオニクスの改善、コンピュータ・プロセッサ、火器関連技術の強化を完了した。

F -16 Fighting Falcon: F-16は、現代のベストセラー戦闘機である。F-16の使用国は26ヵ国に達し、4,500機以上の機体が生産されている。アメリカ空軍の調達は完了しているが、生産および改良は継続している。米国での製造はTexas州 Fort Worthで行われていたが、2011年以降受注減や F-35の生産拡大に伴い、2017 年に同工場からの出荷を停止した。工場移転のための 2 年間の生産休止を経て、2019年に South Carolina州 Greenville新工場での製造を再開し、2022年10月に F-16 Block70をロール

アウトした。最新モデルの F-16 ブロック 70 では、Northrop Grumman 製 APG-83 アクティブ電子走査アレイ(AESA)レーダー、自動地上衝突回避システム(AGCAS)などのアビオニクスの機能強化とともに、従来よりも 50％以上の機体構造の長寿命化を図る。2017 年にインドの Tata Advanced Systems Limited との生産協力を発表した。

C-130J Super Hercules：戦術輸送機のベストセラーとなった C-130 の第 2 世代機である。エンジンを RR AE2100 に換装し、プロペラを新しい 6 枚ブレードの Dowty R391 に変更したことにより性能が向上した。2016 年時点では 16 ヶ国で運用されており、さらにフランスも導入を進めている。また、C-130J の民間型である LM-100J は、2019 年に FAA の型式証明を取得した。2021 年には、22 ヶ国目としてインドネシアより C-130J 5 機を受注した。

F-35 Lightning II: JSF (Joint Strike Fighter)として開発が進められている単発第 5 世代ステルス戦闘攻撃機である。2001 年に、SDD(システム開発実証)段階の開発主契約社に選定された。通常着陸型 F-35A は、2011 年に量産初号機が納入され、2016 年に IOC (Initial Operational Capability)を獲得した。短距離離陸・垂直着陸型 F-35B は 2007 年にロールアウトし、2015 年に IOC を獲得した。艦載型 F-35C は、2010 年に初飛行し、2019 年に IOC を獲得した。2017 年で累計 265 機納入となり、Lockheed Martin によれば、2,443 機を米国に納入する予定である。オーストラリア、イスラエル、イタリア、オランダ、イギリス、韓国、ノルウェーに納入された。我が国では、F-4 戦闘機の後継機として、2017 年に配備が始まった。プログラム・パートナー参加国の企業からは部品の調達も行っている。また、機体の組立、検査はテキサス州フォートワースのほか、Leonardo との共同で、イタリアのカメリでも行っている。日本が購入する機体の一部は三菱重工業小牧南工場でも機体の組立、検査を行なう。2021 年には、デンマーク向けの F-35 初号機が完成するとともに、スイスとフィンランドからも次期戦闘機として選定を受けた。また F-35C が米海軍空母での展開を開始した。2022 年カナダ、ドイツが調達を決めた。尚トルコ、UAE では決まっていた導入が取り消されている。2019 年に F-35B を 4 機調達と決めたシンガポールは、2023 年 2 月 24 日に 8 機の F-35B を追加予定と発表した。

C-5 Galaxy：アメリカ空軍で配備されている大型戦略輸送機。その全機に対する電子機器の近代化計画と信頼性向上対策と一部の機体にエンジン換装を同時に行う作業により近代化された C-5M 52 機が、2018 年までに納入された。

Aeronautics 部門における Advanced Development Programs (ADP)として、有名なスカンクワークスがある。これは、1943 年から Lockheed で行われていた秘密に包まれた試作・開発作業の非公式な呼び名だったが、'95 年の合併に伴う組織変更で正式名称になった。典型的な例が U-2、SR-71 戦略偵察機、湾岸戦争で活躍した F-117 ステルス攻撃機である。JSF では技術実証機 X-35 の設計・試作を行った。回収型単段宇宙機 VentureStar の 1/2 デモストレータ X-33 計画は挫折した。スカンクワークスの拠点はエドワーズ空軍基地に近いカリフォルニア州パームデールにおかれている。Aeronautics 部門におけるその他の主な拠点と業務を以下に示す。

①フォートワース製作所

第二次世界大戦中に Consolidated B-24 Liberater の量産のために建設した PLANT4 を貸与された工場であった。'50 年前後には、Convair の工場として、B-36 戦略爆撃機の大増産を行っていた。

主要な作業はF-35の量産である。我が国のFSXの共同開発およびF-2分担部分の製造、台湾のIDF(国産経国戦闘機)、韓国KAIのT-50(KTX2)超音速高等練習機の支援も行ってきた。

② マリエッタ製作所

ジョージア州マリエッタ(アトランタ近郊)にあり、第二次世界大戦中にBoeing B-29の量産のために建設した PLANT6 を貸与されたものであった。戦後の '50 年代には Boeing B-47 の生産も行われていた。Lockheed軍用輸送機の生産拠点であり、C-130(2200機超生産)、C-141(285機生産)、C-5(130機)が送り出された。

現在、ラインに流れているのは戦術輸送機 C-130 J であり、超大型戦略輸送機 C-5 や対潜哨戒機 P-3 の維持・近代化作業も行われた。

(b) Space部門

Space部門は2021年の売上が約$ 11.8 BでLockheed Martinの売上の約18%を占める主要ビジネス分野の一つである。Martinの Titanに、旧 Convairの Atlasを引き継いだ General Dynamics、そして GEの宇宙部門(GE Astro Space Division：旧 RCA Astro Electronics Division)を '93年に吸収合併し、宇宙関連の全ての分野を掌中に収め、Boeingに次いで世界第2位の充実した実績と内容を持つSpace部門に発展した。

Space部門には以下の主要宇宙事業分野と合弁企業が属している。

① Launch Systems

衛星打上げロケットの Titan、Atlas 及び Agena の製造・打上げを行っていた。従来の Atlas、Titan に代わる次世代ロケットとして米空軍 EELV (Evolved Expendable Launch Vehicle)プログラムのもとで Atlas Vを開発し、2002年に初号機打上げに成功した。2006年には、政府向けのロケット部門をBoeingと統合して United Launch Alliance(ULA)を設立し、のちに商業打上げ事業を含め一本化した。

現在はSLSシステム、Orion宇宙船を開発している。

② Commercial Space

'96年から打上げられているA2100衛星バスによりSES、Echostar、Intelsat、Inmarsat系などの通信衛星がこれまでに 70 機以上製造・受注しており、2013 年には軌道上累積動作時間が 400 年を超えた。また、同じく2013年にはオール電化やデュアルロンチへの対応等を含む改良型A2100バスを発表する等、商用衛星への取り組みを強化している模様である。なお、改良型 A2100 は LM2100 と呼ばれている。この他、超小型(~150 kg)の LM50 バス、小型(400~800 kg)の LM400 バス、中型(275~ 2,200 kg)であり、リモートセンシング用の LM1000 シリーズがあり豊富な実績を持つ。

③ NASA and Civil Space Systems

科学衛星分野では Hubble 宇宙望遠鏡(HST)、Lunar Prospector、SIRTF (Space Infrared Telescope Facility)などを担当し、また火星の高解像度画像を収集するために 2005 年に火星に向けて打上げた Mars Reconnaissance Orbiter の製造も行った。その他、Viking、Voyager、MMU、MGS (Mars Global Surveyor)、GENESIS、MAVEN、InSight や OSIRIS-REx 等の NASA 宇宙探査機の開発も行った。地球観測衛星分野では Terra (EOS-AM1)、Landsat-7、NOAA シリーズ、WorldView-4(旧 GeoEye2)などがあり、また静止気象衛星 GOES-16, 17, 18, U の開発も担当している。ISS では太陽電池パドル、熱放射器、ローターのジョイントを担当している。

④ Military Space

軍事衛星分野では、光学偵察衛星 KeyHole-4~9、 Protected 衛星通信システム AEHF、米海軍の Narrowband 衛星通信システム MUOS、赤外線早期警戒衛星システム SBIRS GEO (Space Based Infrared Satellite - GEO)、周回気象衛星 DMSP、測位衛星 GPS IIR (LM-4000 バス) 20 機及び第 3 世代の GPS Block III、米国空軍リサーチ研究所から受注した超小型実験衛星システム XSS-11 等の多くの衛星を製造しているほか、光学偵察衛星や海洋監視衛星 NOSS-3-F3 等の開発も手がけている模様である。2023 年 11 月末までに LM2100 シリーズは GPS Block III の 1 機が打上げられた。

⑤ Missile Defense Systems

ミサイル防衛関係では、THAAD (Theater High Altitude Area Defense：戦場高空域防衛システム)、NMD (National Missile Defense)のロケット PLV (Payload Launch Vehicle)、赤外線早期警戒衛星システム SBIRS などを手掛けている。

c. Northrop Grumman (Northrop Grumman Corporation)

＜売上高・従業員数＞

暦　年		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
部門	Aeronautics Systems (旧 Aerospace Systems)	13,096	13,862	12,169	11,259	10,531
	Defence Systems (旧 Innovation Systems)	3,276	6,119	7,543	5,776	5,579
	Mission Systems	11,709	12,263	10,080	10,134	10,396
	Space Systems (旧 Technology Services)	4,297	4,110	8,744	10,608	12,275
	Intersegment Eliminations	(2,283)	(2,513)	(1,737)	(2,110)	(2,179)
売上高(百万ドル)		30,095	33,841	36,799	35,667	36,602
従業員数(人)		85,000	90,000	97,000	88,000	95,000

出典：アニュアルレポート

[沿革]

有人・無人の航空機だけでなく、軍民の衛星と通信システム、地上の情報システムまで手がける巨大防衛産業会社である Northrop Grumman は、'94 年に Northrop が Grumman を買収し、それ以後、急速に事業を拡大した。本社はバージニア州フォールズチャーチである。

買収前の Northrop は、'39 年に、Douglas や Lockheed で働いてきた技術者 Jack Northrop が、ロサンゼルスに創設した会社である。

戦前、日本海軍によって輸入された Northrop 攻撃機は、我が国航空技術の近代化(低翼・単葉・全金属製への転換)に大きな影響を与えた。ジェット機時代に入ってからの製品では、軽量戦闘機 F-5 と全翼型のステルス戦略爆撃機 B-2 で知られている。現在のアメリカ海軍の主戦力となっている F/A-18 の原型となった YF-17 を生んだ会社であり、F/A-18E/F の主協力会社として後部胴体などを生産している。

一方の Grumman は Leroy Randle Grumman が、'29 年にニューヨークのロングアイランドに創設した会社で、創設以来、一貫してアメリカ海軍の艦上戦闘機を生み出した。ジェット機時代にも F9F、F11F や A-

6 Intruder、航空自衛隊でも使われている早期警戒機 E-2C などを生み出し、空母機動部隊の中心であり続けたが、可変翼戦闘機 F-14 Tomcat を最後に Northrop に吸収合併された。合併後も JSF 統合戦術戦闘機の技術競争計画では、Boeing に対抗し Lockheed Martin と組んで勝利に導き、戦闘機メーカーらしい活躍を見せていた。

2001 年には、Boeing から受注していた B747、B767 の構造作業を旧 Vought Aircraft (現 Triumph Group) に移管した。2001 年には Newport News 造船所を買収し、航空母艦、原子力潜水艦を含む海軍艦船に進出し、2011 年にその Shipbuilding 部門を Huntington Ingalls Industries としてスピンオフさせたが、その後 2011 年には造船部門が Huntington Ingalls Industries として分離独立した。

[現況]

'94 年の Northrop Grumman 発足後に吸収した Westinghouse の防衛エレクトロニクス部門と無人航空機の Ryan Aeronautical、2000 年に吸収したエレクトロニクス・航法機器の名門 Litton の技術を活用した事業(旧 Integrated Systems 部門)、2002 年に買収した人工衛星、ミサイル防衛システムなどで有名な TRW 事業(旧 Space Technology 部門)、および 2018 年に買収した、航空宇宙・防衛企業の Orbital ATK などの吸収合併の変遷を経て、現在の部門は、Aeronautics Systems、Defense Systems、Mission Systems および Space Systems の 4 部門となっている。

航空部門の主要製品としては、Global Hawk、Fire Scout、UCAS-D といった無人航空機・標的機システム、B-2 爆撃機、E-2D、E-8C などがある。2013 年には無人航空機 X-47B が自立制御による空母からの発着艦を成功させ、2015 年には空中給油を成功させているが、2016 年に米軍は開発計画の中止を発表した。また、B-2 爆撃機の置き換えとなる B-21 Raider は、2015 年の契約締結から開発を開始し、2023 年 11 月 10 日に初飛行した。2023 年には、無人航空機 MQ-4C Triton の初期運用能力(IOC)を達成し、米軍に納入開始している。また、2023 年 3 月 20 日には米国空軍の E-7 航空機向けに MESA(Multi-role Electronically Scanned Array)センサの生産を開始すると発表した。Northrop Grumman の Mission Systems 部門(旧 Westinghouse のレーダー事業の技術)が担っており、E-7 兵器システムの一部として、戦闘で実績のある MESA センサはセンサ環境下で重要な長距離検知、探知、識別を提供し、米空軍に航空と海上の同時検知能力、重要な早期警戒、空中戦管理能力を装備することになる。

[スペーステクノロジー部門] (Redondo Beach, Ca.)

Northrop Grumman は、2002 年に人工衛星、ミサイル防衛システムなどで実績のある TRW を買収した。米国政府のミサイル防衛構想をにらみ、TRW が持つ最新技術を取込み、衛星・ミサイル事業を強化するのが狙いであった。TRW は 1901 年に設立された会社で、宇宙分野については '58 年の NASA の Pioneer-1 を世界で最初に民間会社が製造し打上げたのが始まりである。以降、科学衛星、軍事衛星を中心に 200 機近く製造してきた。TDRS-7 等の通信衛星、地球観測衛星 Aqua (EOS-PM1)及び Aura (EOS-CHEM1、2004 年打上げ)の開発、軍事通信衛星 Milstar、AEHF の通信ペイロード、モバイル放送衛星の 12m アンテナなどの製造を行っている。また警戒･監視衛星では、赤外線センサを搭載しミサイル発射を監視する DSP 及び STSS (SBIRS Low)のシステム開発、SBIRS の赤外線センサ開発等を行っている。また NASA の次世代宇宙望遠鏡 James Webb Space Telescope(JWST)を 2002 年に受注し、2021 年 12 月に打上げた。2019 年には Northrop Grumman がペイロードを担当した AEHF-5 号機が打上げられた。2002 年に Northrop Grumman

に買収された。

Orbital Sciences は '82 年に設立され、低コスト衛星打上げを目指して航空機から空中発射される Pegasus ロケットや地上打上げの Taurus、Antares、Minotaur の小型ロケットを開発した。また小型衛星を中心にこれまでに 90 機以上の衛星を製作している。2014 年には、Orbital Sciences が ATK の航空宇宙・防衛部門と合併し、Orbital ATK となった。LEO 衛星群によるグローバル衛星データ通信サービスを '98 年から提供している ORBCOMM の設立に参加して ORBCOMM 35 機を製作し、Pegasus で 8 機同時打上げを行った。リモートセンシング衛星分野では ORBIMAGE を設立して OrbView-1 及び 2 を打上げ、さらに分解能 1m 級の画像を取得できる OrbView-3 (304 kg)を 2003 年に打上げた。その後、ORBIMAGE は何回かの M&A を経て現在は DigitalGlobe に統合されている。その他、台湾の Formosat3(気象ミッションの 6 機コンステレーション)なども開発した。2010 年には General Dynamics の衛星製造部門を買収し、中型衛星のラインアップを充実させている。GD は 2004 年に Spectrum Astro を買収している。Spectrum Astro は NASA や DOD 向けの小型宇宙機の開発に実績があり、主な宇宙機としては、SA-200 バスによる Deep Space 1 ('98 年打上げ)、MyghtySat II-1 (2000 年打上げ、DoD の宇宙技術実証、120 kg)、Coriolis (2003 年打上げ)、SWIFT(2004 年)、GLAST (Gamma-ray Large Area Space Telescope 、宇宙の究極のエネルギー源 を調査)、Streak(軍事技術衛星、2005 年打上げ)などがある。ORBIMAGE を主契約社として 2004 年に NGA から受注したデータ提供を含む NextView のもとで次世代商用高分解能衛星 OrbView-5 (2007 年打上げ、センサメーカー：Kodak / ITT Industries、解像度：パンクロ 41 cm／マルチ 1.64 m)を開発し GeoEye-1 と名称を変更し 2008 年に打上げている。また、2013 年には Orbital Sciences の Antares ロケットにより Cygnus 初号機の打上げと、ISS へのドッキングに成功し、2014 年には初の商業補給サービスに成功した。続く打上げでは打上げロケット Antares 100 のエンジン(ロシア製の NK-33 を Aerojet が改修した AJ-26)にトラブルが発生し失敗したが、その後も Atlas V により打上げは続けられ、より高性能化した Antares-230 (1 段エンジンをロシア製 RD-181 に換装)により 2016 年に Cygnus の打上げを再開した。1 段ロケットのタンクはウクライナのドニプロで Zenit ロケットの生産設備を流用していた。2022 年 Antares-200 シリーズの 1 段のロシア/ウクライナの機器を、米 Firefly Aerospace のシステムに入れ替え 300 シリーズの 1 段ロケットとするとした。SLS / Vulcan ロケットでも固体ブースタを担当している。

Cygnus は同社の StarBus をベースにリスクの低減のため実績あるサブシステムを組み合わせており、主な開発パートナーとして Space Shuttle に用いられた MPLM (Multi-Purpose Logistics Module: 与圧貨物モジュール)の実績から伊 Leonardo (旧 Alenia)、日本の HTV 実績から三菱電機（近傍接近システム）が参加した。また、静止衛星に関しては、GeoStar-2、発展型の GeoStar-3 という静止衛星バスを有しており、2019 年には GEOStar-3 バスを用いた軌道上サービス衛星 MEV-1 が打上げられ、軌道制御等を実施している。2020 年には MEV-2 が打上げられ、軌道制御等を実施している。また、同社は MRV (Mission Robotic Vehicle) と MEP (Mission Extension Pod)を組み合わせた開発を進めており、2024 年に打上げを予定している。他、LEO 用衛星バス LeoStar-2, 3 と実験用 hosted payload として、LEO / MEO / GEO 適用可能な衛星バス Estastar を有している。2018 年に Northrop Grumman による Orbital ATK の買収が完了した。

2021 年に Gateway 居住区である Habitation and Logistec Outpost (HALO)の開発製造と Maxar の Power and Propulsion Element との統合作業を NASA から受注した。

2023 年 3 月 15 日に IHI と Northrop Grumman は、宇宙における安全保障への貢献を目指し、宇宙状況監視等で必要とされる小型・高機動人工衛星の日本への提供に向けて連携、協業する覚書を締結した。

d. Textron

＜売上高・従業員数＞

暦　年		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
	Bell	3,180	3,254	3,309	3,364	3,091
	Textron Aviation	4,971	5,187	3,974	4,566	5,073
	Textron Systems	1,464	1,325	1,313	1,273	1,172
	Textron eAviation					16
	Industrial	4,291	3,798	3,000	3,130	3,465
	Finance	66	66	55	49	52
	売上高(百万ドル)	13,972	13,630	11,651	12,382	12,869
従業員(人)		35,000	35,000	33,000	33,000	34,000

出典：アニュアルレポート

[沿革／現況]

繊維を扱う会社として 1923 年に設立され、第二次大戦中にパラシュートの生産で急成長し、'53 年以降、異業種を積極的に傘下に納め、多分野にわたる世界的規模のコングロマリットで、本社はロードアイランド州のプロビデンスに置かれている。

'60 年にベル・ヘリコプター部門を含む Bell Aircraft を取得し、その後、ゼネラル・アビエーションの大手 Cessna Aircraft を傘下に入れた。また '85 年に小型航空機用レシプロエンジンを生産する Lycoming Engines も傘下に入れた。当初 Lycoming は産業機器部門の中に含まれていたが、現在は戦場監視用の無人航空機や精密誘導スマート弾頭を含む、革新技術を利用した戦場情報システムや走行車両など幅広い分野の仕事を行っている Textron Systems 部門に含まれている。2014 年にはターボプロップ・ビジネス機に強いブランド力を持つ Beechcraft を買収した。2022 年 4 月には、世界初の電動航空機の型式証明を取得したスロベニアにある Pipistrel を買収し、Textron eAviation を設立した。

(a) Bell Textron

＜売上高・出荷機数・従業員数＞

暦　年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
売上高(百万ドル)	3,180	3,254	3,309	3,364	3,091
Commercial 出荷機数	192	201	140	156	179

出典：Textron アニュアルレポート

[沿革]

'56 年 Bell Aircraft は、ヘリコプター事業をスピンオフし、別会社 Bell Helicopter を設立した。そして '60 年、Textron がこの会社を取得し、'82 年に Textron の 100%子会社 Bell Helicopter Textron となった。本社はテキサス州フォートワースにある。

前身の Bell Aircraft は、第二次世界大戦直前の '35 年、バッファローにあった Consolidated Aircraft が、サンディエゴに移動した跡地を利用して創設された Glenn L. Martin 系列の会社である。Bell P-39 戦闘機や人類がはじめて音速を超えた XS-1 実験機の製作で航空史に名前を残している。創設者ローレンス・ベルはドナルド・ダグラス(Douglas の創設者)と同じ時期に Glenn L. Martin に働いていた技術者である。

そして’41 年に社長ローレンス・ベルが個人的に続けてきたヘリコプターの研究成果を持ち込んできたのが、アーサー・ヤングである。彼はBell Aircraft での商品化研究の過程で、ベル・ヘリコプターの特長である2枚ブレードのシーソーローターを発明した。’43年にシーソーローターを採用した実験機Bell 30型を完成させ、’46年にはBell 47がヘリコプターとして世界最初の型式証明を取得し、爆発的な売上を有する事業となった。

我が国では戦後の航空再開直後から川崎重工業が Bell 47 のライセンス生産を、その後、富士重工業(現SUBARU)が多用途ヘリコプターUH-1およびその民間版204、205シリーズと対戦車ヘリコプターAH-1Sをライセンス生産した。

[現況]

現在の Bell Textron の主要プロジェクトは、ティルトローター機 V-22 と海兵隊 H-1 シリーズの近代化プログラム(AH-1Z と UH-1Y)、観測用ヘリ OH-58 の換装および Bell 206 / 407 / 429 / 412 等の民間ヘリである。当初の予定より開発が遅れていたティルトローター機 V-22 は、557 機の量産が計画されており、これまでに 200 機以上が運用されている。また、2012 年に沖縄海兵隊へも配備され、2018 年には米軍横田基地への配備が開始された。陸上自衛隊へは 17 機導入される計画である。2020 年に陸上自衛隊へ初めて納入された。

軍用ヘリでは、H-1シリーズの近代化プログラムはUH-1YとAH-1Zの本格生産が承認されており、2012年には合わせて 24 機が納入された。総機数としては、UH-1Y が 123 機、AH-1Z が 226 機の総計 349 機が期待されている。観測用ヘリコプターOH-58は近代化改修が行われ、米軍は368機の換装を計画しOH-58Fとして 2013 年に初飛行したが、米軍は OH-58 を引退させる計画を発表し 2013 年近代化改修は停止した。米陸軍の Joint Multi-Role Technology Demonstrator (JMR-TD)プログラムに V-280 Valor を提案し、2014 年に選定され 2017 年に初飛行を行った。2022 年 12 月にアメリカ陸軍は同機を UH-60 Black Hawk の後継機、また将来型長距離侵攻機(FLRAA)として採用したと発表した。

カナダで事業を展開する民間ヘリでは、2014 年にベストセラー機 Bell 206 の後継機に位置付けられるヘリコプターBell 505 Jet Ranger X の初飛行、2015 年には中型双発ヘリコプターBell 525 の初飛行に成功した。Bell 525 は、世界で初めて民間用ヘリの操縦系統にフライ・バイ・ワイヤを搭載し、過酷な条件でも信頼性を保ちながらパイロットの作業量を減らすことができ、2020 年に型式証明の取得を目指している。さらに、富士重工業(現 SUBARU)とともに、高信頼性と汎用性を持ち捜索救難などに活用している Bell 412 シリーズの最新型である Bell 412EPI の発展型機の共同開発を 2015 年から開始し、SUBARU BELL 412EPX として 2018 年に型式証明を取得した。この機体を共通プラットフォームとした、陸上自衛隊向け UH-2 の開発試作機が 2019 年に納入され 2022 年には量産機の納入を開始した。

(b) Textron Aviation

＜売上高・出荷機数・従業員数＞

暦　年		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
売上高(百万ドル)		4,971	5,187	3,974	4,566	5,073
	Business jets	188	206	132	167	178
	King Airs	94	93	62	71	69
	Caravans	92	83	51	54	71
	SkyCouurier					6
	Piston engine	227	218	314	254	244
出荷機数		601	600	559	546	568

出典：Textron ファクトブック、アニュアルレポートおよびGAMA統計値

＜年別の出荷機数＞ Cessna ブランド

機　種		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
	Citation CJ2+/CJ3/CJ3+/CJ4/M2	100	104	68	87	91
	Citation XLS+	21	22	13	19	19
	Citation Sovereign/Sovereign+/ Latitude/Longitude	63	66	32	61	68
	Citation X/X+	4	1	1	-	71
ターボプロップ	Caravan 675/Grand Caravan	92	83	51	54	
	SkyCouurier					6
ピストン	Skyhawk	129	126	241	166	151
	Skylane/Turbo Skylane	31	33	27	38	48
	Stationair/Turbo Stationair	32	37	26	50	42

＜年別の出荷機数＞ Beechcraft ブランド

機　種		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
ターボプロップ	King Air 350/360	52	49	34	49	34
	King Air 200/250/260	30	31	20	22	35
	King Air C90	12	13	8	-	-
ピストン	Baron58	19	15	8	-	-
	Bonanza A/G36	15	7	12	-	3

出典：アニュアルレポートおよびGAMA統計値

[沿革／現況]

1925年カンザス州に設立されたTravelairには曲芸飛行パイロット出身の3人、クライド・セスナ、ウォルター・ビーチ、ロイド・ステアマンが集まった。だが、個性的だった3人はそれぞれに会社を設立してアメリカのゼネラル・アビエーションの発展に尽くすことになる。StearmanはBoeingに吸収されたが、ビーチの作った会社が Beechcraft となり、セスナの設立した会社が Cessna Aircraft につながっている。Cessna Aircraftは一時General Dynamicsの傘下にあり、'92年からTextronの傘下となった。一方Beechcraftは一時Textron傘下にあったが、'80年からRaytheonの傘下となった。2014年にはBeechcraftが再びTextronの傘下となり、CessnaとBeechcraftを統合しTextron Aviationとして新生された。プロペラ小型機はPL(製造物責任)問題から一時は生産を停止していたが、'97年から生産を再開している。現在のTextron Aviationの航空機は、ビジネスジェットのCessnaブランドとプロペラ機のBeechcraftブランドになっている。

Cessnaブランドの主体は、'79年に型式証明を取得したCitation 500に始まるビジネスジェット機である。

現在では大西洋を横断できる Citation X、大陸横断の Sovereign、小型の CJ シリーズ、Very Light Jet (VLJ) の Mustang までシリーズの幅を広げ、アップグレード化が進められている。

2001 年の 9.11 同時多発テロの影響でビジネスジェット機の販売も売上は大きく落ち込んだが、2007 年には Columbia Aircraft Manufacturing を吸収して機種の拡大を図るとともに、VLJ の Citation Mustang の販売を開始している。一方、Citation X は 2013 年、Citation M2 は 2013 年にそれぞれ初飛行し Citation M2 は 2013 年に型式証明を取得し納入が開始された。さらに Citation Latitude は 2015 年に Citation Longitude は 2019 年に、型式証明を取得し納入が開始された。加えて Citation Sovereign の改良版である Citation Sovereign+を発表し、2013 年に初飛行、同年に型式証明を取得した。そして 2023 年 5 月 22 日に Citation XLS シリーズの Citation Ascend を発表し、2025 年の納入を目指している。また、2022 年 3 月に新たなターボプロップ機である Cessna SkyCourier の型式証明を取得し納入が開始された。

国内では、国土交通省が飛行点検機として、Citation CJ4 や Longitude を採用している。また、航空自衛隊の飛行点検機として、Citation Latitude を改装した U-680A が運用されている。

Beechcraft ブランドでは小型・複葉の Beechcraft 17 を、戦前の大日本航空でもローカル路線で使用されたことがある。戦後も、軍から放出された双発の小型輸送機 C-17 TwinBeech は各国で練習機やローカル線用の小型旅客機として多用されてきた。

戦後の我が国の航空再開時に、航空自衛隊の初級練習機として、Beech T-34 が採用され、航空機工業再建の先駆けとなり、ライセンス生産を通じて、MIL スペックによる品質管理の習熟、関連産業の育成に多くの貢献をしている。その後、海上自衛隊の双発練習機として B-65 や TC-90 が、陸上自衛隊の連絡偵察機として King Air 350 を改装した LR-2 が、航空自衛隊の練習機として三菱重工業から MU-300 の製造権と販売権を譲渡された T-400 が、航空大学校の練習機として C90 や A36 など、多数の機種が採用されている。

Beech が Raytheon の傘下にあった時、イギリスの BAe のチェスター工場(かつての de Havilland で、その後に BAe)で行っていたビジネスジェット機 BAe125 の事業を買収し、ウイチタの Beech の新施設に移管・統合した。

航空自衛隊では BAe125-800(後に Hawker 800 と改称)を特別任務用に改装した飛行点検機 U-125、救難捜索機 U-125A が運用されている。2007 年に Onex Partners と GS Capital Partners が買収し Hawker Beechcraft として新発足した。

小型ビジネスジェット機は Premier I が 2001 年に、富士重工業(現 SUBARU)が共同開発に参加していた中型ビジネスジェット機 Hawker 4000 は 2006 年に型式証明を取得した。練習機である T-6 は、'95 年に米空軍と米海軍の次世代の初等練習機として選定され T-6A Texan II と命名された。Joint Primary Aircraft Training System program (JPATS)として 2011 年末までに約 600 機が納入された。

近年では Beechcraft Denali が開発中であり、2025 年の型式証明取得を目指している。

e. General Dynamics (GD)

＜売上高・従業員数＞

暦　年		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
	Aerospace	8,455	9,801	8,075	8,135	8,567
	Combat Systems	6,241	7,007	7,223	7,351	7,308
	Marine Systems	8,502	9,183	9,979	10,526	11,040
	Information Systems and Technology	12,995	13,359	12,648	12,457	12,492
売上高(百万ドル)		36,193	39,350	37,925	38,469	39,407
従業員(人)		105,600	102,900	100,700	103,100	106,500

出典：アニュアルレポート

[沿革／現況]

General Dynamics は、航空宇宙部門(Aerospace)のほかに原子力潜水艦を含む造船事業部門(Marine Systems)、戦車部門(Combat Systems)や次世代戦場ネットワークなどの情報通信分野部門(Information Systems and Technology)も幅広く手掛ける総合重工業企業である。かつては航空機メーカーの名門で、B-24、B-36、B-58爆撃機、F-106戦闘機やCV340、CV880旅客機を生んだConvairを引継ぎ、'70年代にはF-16戦闘機を開発した。ゼネラル・アビエーションのCessnaも傘下に取り込み、一時は軍民に亘り幅広く活動する航空機メーカーだった。

しかし'90年代に入ると経営戦略を転換し、'92年にCessnaをTextronに、'93年に戦闘機部門をLockheedに、'96年にはサンディエゴのMD-11の生産ラインをMcDonnell Douglasに売却し、一時は航空分野から完全撤退した。ところが'99年に高級ビジネスジェット機のメーカーGulfstream Aerospaceを買収して航空分野に復帰した。Gulfstream AerospaceはGeneral Dynamicsの売上高の2割以上を占める重要な部門となっている。2004-10年にはSpectrum Astroを買収し宇宙機の開発・製造を行ったが、2010年Orbital Sciencesに売却し、宇宙分野から撤退した。

(a) Gulfstream Aerospace

＜売上高・従業員数＞

暦　年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
Aircraft manufacturing, outfilling and completions	6,226	7,355	6,115	5,864	5,876
Aircraft Services	2,096	2,154	1,960	2,271	2,691
Pre-owned aircraft	133	292	-	-	-
売上高(百万ドル)	8,455	9,801	8,075	8,135	8,567

出典：アニュアルレポート

＜出荷機数＞

暦　年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
G100, 150 / 200	29	33	22	16	24
G300, 350 / 400, 450, 500, 550, 600, 650ER	92	114	105	103	96

出典：GAMA統計値

[沿革／現況]

高級ビジネス機シリーズGulfstreamは、'58年にGrummanが開発したターボプロップの大型ビジネス機

からスタートした。Grumman は、'66 年に防衛部門と民間部門を分離し、民間部門の Gulfstream の工場をジョージア州サヴァンナに設置したが、'73 年にはこれをアレン・パールソンの American Jet Industries に売却した。パールソンは、新会社を Gulfstream American として、Gulfstream III の開発を進めるとともに、'82 年には 2,500 人の従業員規模の会社とし、会社名を Gulfstream Aerospace とした。

General Dynamics は、'99 年 Gulfstream Aerospace を買収し、さらに 2001 年に Israel Aerospace Industries(IAI)系列でビジネスジェット機を扱ってきた Galaxy Aerospace も吸収し Gulfstream の製品ラインナップに G100 および G200 を追加し、大型ビジネスジェット機 G650、G200 の後継機となる G280 を発表した。G280 は 2012 年に型式証明を取得し同年に納入が始まった。また、G450 の後継機の G500 は 2018 年に型式証明を取得し同年納入が始まった。最も新しいラインナップとして G500, G600 が 2018 年、2019 年に運航を開始、さらに超長距離タイプの G700 が 2022 年第 4 四半期に型式証明取得を予定し、遅れているものの開発中である。2021 年には新たに 2 モデル、G800, G400 の導入を発表、開発に着手している。

f. Triumph Group(旧 Vought Aircraft)

＜売上高・従業員数＞　　*会計年度は 3 月決算

年　度*	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
Elimination of inter-segment sales	(24)	(13)	-	-	-
Aerospace Structures	2,062	1,556	-	-	-
Product Support	284	-	-	-	-
Systems & Support	-	1357	-	-	-
売上高(百万ドル)	3,365	2,900	1,870	1,460	1,379
従業員数(人)	10,776	9,989	6,886	4,894	4,937

出典：アニュアルレポート

[沿革／現況]

Triumph Group は民間用および軍用航空機の部品サプライヤーで、'65 年から'90 年代半ばまで主に事務用品、紙製品および食品サービスを提供していた複合企業の Alco Standard の一部として誕生した。そして'90 年代初期に Alco Standard は航空宇宙専門の製造会社を買収し、これが Triumph Group の飛躍の元となった。

'93 年、Alco Standard の一部の経営者と投資家が Alco Standard から 13 社を買収し、Triumph Group として独立した。独立後、Triumph Group は航空機とは関係のない企業を売却し、40 社以上の航空機関連企業を買収して成長を続けてきた。なかでも重要なものは、Teleflex から制御部門、Boeing から複合材部門、Parker Hannifin から熱システム部門を買収したことであった。また 2010 年には、Vought Aircraft を買収し、Triumph Aerostructures -Vought Aircraft 部門とした。

主要な取引先は、Boeing、Airbus、Gulfstream であり、2017 年度の全売上に対する割合は、Boeing 向けが 35％、Gulfstream 向けが 12％を占めている。

(a) Triumph Aerostructures -Vought Aircraft 部門

旧 Vought Aircraft は 2000 年に Northrop Grumman の航空機構造部門を The Carlyle group が買収し独立した会社であり、社名の Vought は、太平洋戦争・朝鮮戦争にも登場した逆ガル型の主翼を持つ F4U 戦闘機で知名度がある。1917 年に創立者 Chance Milton Vought の名をとって、Chance Vought として発足し、Grumman とともに、一貫して海軍機を開発・生産し、アメリカ海軍、空母機動部隊の歴史とともに歩んだ。

その後、Boeing や Airbus など旅客機の構造設計、製造、ビジネスジェット機や大型軍用機の主翼や胴体の構造部品等を製造してきたが 2019 年には構造部門の Hawthone 及び Torrance の工場を閉鎖することを決定、構造関連事業を整理するとともにシステム関連製品へ転換を進めている。2021 年現在では、事業の 85％をシステム関連が占めるに至っている。

g. Spirit AeroSystems

＜売上高・従業員数＞

暦　年		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
	Commercial (旧 Fuselage Systems)	4,001	4,206	1,726	3,128	4,068
	Defense & Space(旧 Propulsion Systems)	1,703	2,058	785	585	650
	(旧 Wing Systems)	1,513	1,588	799		
	After Market	5	11	96	240	311
	売上高(百万ドル)	7,222	7,863	3,405	3,953	5,030
従業員数(人)		17,000	18,200	14,500	16,100	18,235

出典：アニュアルレポート

[沿革]

Spirit AeroSystems と持ち株会社 Spirit Holding は、2005 年にカナダ Onex に売却された Boeing のカンザス州にあった旧ウイチタ工場を出発点とする会社である。ウイチタ工場は、PT17 複葉初等練習機で有名な Stearman Aircraft から引き継がれたもので、第二次世界大戦中に Boeing に吸収された後、B-29 戦略爆撃機の量産(1,769 機)のために拡張された。戦後は戦略爆撃機 B-47(1,390 機)、B-52(467 機)が量産された。

現在のウイチタ工場では、主に Boeing の B737、B747、B767、B777 および B787 の胴体や各種の部品が製造されている。

また 2006 年 Spirit AeroSystems は、イギリスのプレストウィックにある BAE Systems の Aerostructure 部門を取得し、プレストウィック工場として Airbus の A320 の前縁、後縁の動翼と構造体、A380 の主翼構造部品、Boeing の B767 および B777 の主翼構造部品の生産を行っている。このプレストウィック工場では、戦後 Scottish Aviation の名で STOL 小型機 Pioneer を開発し、また Bulldog 練習機や日本でも使用された BAe Jetstream 31 などの生産を行ってきた。2020 年、Bombardier から Aerostructures 部門を買収した。

2021 年に事業部門の再編が行われ、これまでの Fuselage Systems, Propulsion Systems, Wing Systems, All other の分野が、Commercial, Defense&Space, After Market の 3 部門に更新された。

[現況]

Spirit AeroSystems の起源が Boeing のウイチタ工場であるため、Boeing 向けが多かったが、2008 年にはノースカロライナ州キンストンに、エアバス A350 の胴体及び主翼構造部品の工場を建て、また、オクラホマ州タルサ工場においては Gulfstream のビジネスジェット機 G650 および G280 の主翼の製造、ウイチタ工場においては Sikorsky の CH-53K の胴体に関する設計・製造を行う等、Boeing 以外の会社への事業拡大を図っている。2019 年 Bombardier からテキサス州ダラス、北アイルランドのベルファスト(Q400/Global のサブ組立と CFRP 構造の製作、A220 の CFRP 主翼の製造、各社機体向けの FRP 構造を生産)、モロッコ製造拠点の買収により、Airbus 向けも増大、2021 年時点では売上のうち 56％が Boeing 向け、24％が Airbus 向け、

20％がその他と事業構成の多角化が軌道に乗ってきている。

COVID-19 影響による操業低下を機に DX 化を推進、B737 胴体組立ラインの工場移設、レイアウト変更や、B737 フロアビーム、A320 主翼に関する自動組立ラインを稼働し始め、生産効率改善を推進している。

2023 年現在、B737 製造不良の補償修理ならびに増産準備、2023 年 6 月 22 日に発生した労働者ストライキによるウィチタ工場の操業停止などにより業績が悪化している。これにより 2023 年第 2 四半期のうちに Boeing から 1 億 8 千ドル前払いで受け取り、2024 年と 2025 年に返済することとなった。

h. RTX

＜売上高・従業員数＞ (百万ドル)

	部　　門	2020年	2021年	2022年
売上高	Collins Aerospace Systems	19,288	18,449	20,597
	Pratt & Whitney	16,799	18,150	20,530
	Raytheon Intelligence & Space	11,069	15,180	14,312
	Raytheon Missiles & Defense	11,396	15,539	14,863
	連結総計	56,587	64,388	67,074
従業員数	グループ全体	181,000	174,000	180,000

注: 2020 年 4 月に Raytheon と United Technologies Corp.が経営統合し設立のため、2019 年以前の数値はない。

出典：アニュアルレポート

[現況]

RTX は航空宇宙関連機器の Collins Aerospace、航空エンジンの Pratt & Whitney(P&W)、センサやソフトウェア等サイバー関連製品の Raytheon Intelligence & Space、ミサイルや防衛機器等の Raytheon Missiles & Defense からなる巨大コングロマリットである。2020 年 4 月に Raytheon と United Technologies Corp. (UTC) が経営統合して設立され、全社売上高(連結)は、$67.1B、同年末の従業員数は 180,000 人である。2011 年、同社の前身である UTC が Goodrich を買収し、2012 年より UTC Aerospace Systems として傘下の Hamilton Sundstrand と統合した。この結果、同グループは民間航空機の電源システム市場において約 9 割の世界シェアを握ることになり、エンジン、アビオニクス、空調、電源などの全体システムを提供できるシステムインテグレーターとなっている。また、UTC は 2018 年に米航空電子機器大手の Rockwell Collins を買収して Collins Aerospace となり、航空機メーカーへの対抗力をさらに強めていた。

(a) 航空宇宙及び産業システム部門：Collins Aerospace

'99 年の Sundstrand 買収後名称を Hamilton Sundstrand としていたが、2012 年 Goodrich Coporation 統合後に UTC Aerospace Systems となった後、2018 年に Rockwell Collins を買収、Collins Aerospace となった後、現在の RTX と経営統合している。同部門は 2022 年の売上高は$ 20.6B、同年末の従業員数は 73,000 人であった。

同社の主要製品には、作動装置(電気・油圧電源駆動システム)、空気マネジメント装置(空調、温度・圧力制御装置、補助動力装置、エンジン及びコントロール装置(燃料システム、エンジンコントロールシステム)や宇宙システム(スペースシャトル向け機器類、配電コントロールシステム)などがある。また、早期警戒衛星でのミサイル発射を検知/識別する赤外線センサでは長年を独占する実績を持つ。ひまわり 6 号の光学イメージャを供給した。

2011 年に買収した Goodrich は民間用や軍用の航空機や衛星システムの部品を提供する世界的なメーカ

ーであったが、2012 年に United Technologies の傘下となり、次の 3 部門の事業を進めた。主な製品を以下に示す。

① Actuation and Landing Systems

・フライ・バイ・ワイヤ用リニア／ロータリーアクチュエーター

・プライマリー／セカンダリーアクチュエーター

・ヘリコプター用メインローター／テイルローターアクチュエーター

・脚柱、ホイール、ブレーキなど降着装置全般

② Nacelles and Interior Systems

・エンジンナセルのシステム統合、客室内インテリア(シート、照明等)

③ Electronic Systems

・FMS (Flight Management System)、電源システム

・エンジンおよび燃料制御システム、・偵察・監視システム等

(b) 航空エンジン部門：Pratt & Whitney (P&W)

現在の P&W には、民間機用エンジン部門、軍用機用エンジン部門、小型機用エンジンの P&W Canada 及び宇宙推進部門がある。2022 年の売上高は$20.5B で前年比 13%増、営業利益は 37%増の$1,075M で、2021 年末の従業員数は 41,000 人であった。民間用及び軍用エンジン部門の主力工場は、East Hartford、Middletown (コネチカット州)、West Palm Beach(フロリダ州)にある。

民間機用エンジン部門では、主に推力 18,000～98,000 ポンドのターボファンエンジンを生産している。戦後のベストセラーであるジェット旅客機 B727 や B737 に搭載された第 1 世代ターボファンエンジン JT8D は、A-6 攻撃機用の J-52 エンジンをファンエンジンに改造したものである。第 2 世代ターボファンエンジン JT9D は B747 等に搭載され、第 3 世代ターボファンでは、V2500 エンジン 5 ヵ国国際共同開発に参画した。このほか、A318 用として推力 18,000～24,000 ポンド級のターボファンエンジン PW6000 がある。

また、P&W は PW4000 シリーズにおいて、イタリア、ノルウェー、日本(三菱重工業(現 三菱重工航空エンジン)、川崎重工業)、韓国、オランダ及びシンガポールをパートナーにして開発に取り組み、'86 年に型式承認を取得、A330 用 PW4168(推力 68,000 ポンド)や B777 用 PW4098(推力 84,000 ポンド)などを生産し、また、GE と Engine Alliance LLC を結成し、超大型機 A380 向けに GP7200 エンジンを開発・生産している。

2008 年には、Geared TurboFan (GTF)と呼ばれる次世代型民間用エンジン PurePower PW1000G シリーズ(推力 15,000～33,000 ポンド)の開発を立ち上げた。このエンジンは Mitsubishi SpaceJet や A220、Embraer の E-Jet などに搭載されている。また、A320 のエンジン換装型 A320neo 向けに、JAEC や MTU Aero Engines と共に、PW1100G-JM エンジンを開発した。軍用機用エンジン部門では、F-15 及び F-16 に搭載されている F100 エンジンの他に、C-17 輸送機用 F117 や F-22 戦闘機用 F119 エンジン及び F-35 戦闘機用 F135 エンジンなどを生産している。

また、宇宙関連部門の Rocketdyne は Space Shuttle / SLS の RS-25 メインエンジン、Delta IV 及び Atlas V などのロケット用エンジン(RS-68, RL10)を供給していたが、2013 年に Aerojet に売却され Aerojet

Rocketdyne となり、現在 L3Harris Technologies の傘下である。

i. GE Aerospace

＜売上高・従業員数＞ (百万ドル)

項　目	部　　門	2018年 (注1)	2019年 (注1)	2020年 (注1)	2021年 (注2)	2022年
売上高	Power	22,150	18,625	17,589	16,903	16,262
	Renewable Energy	14,288	15,337	15,666	15,697	12,977
	Aviation	30,566	32,875	22,042	21,310	26,050
	Healthcare	19,784	19,942	18,009	17,725	18,461
	Corporate				2,561	2,806
	Capital	9,551	8,741	(1,710)		
	合計	97,012	95,214	79,619	74,196	76,555
従業員数		283,000	205,000	174,000	168,000	172,000

出典：アニュアルレポート

注 1：従来は上記の他に Oil&Gas, Transportation, Lighting 部門が存在していたが、2019 年アニュアルレポートから、Transportation 部門が他社との合併により連結対象から切り離される等により上記 5 部門に再編され、過去 3 年に遡ってそれらの売上高を記載している。

注 2： 2021 年アニュアルレポートから Capital 部門が消え、Corporate が記載された。

[現況]

GE は航空機用エンジンを始め、産業･電力システム、照明、医療システム、モーター、制御機器、輸送機器システム、情報サービスなど幅広い事業を展開している超巨大企業であった。照明や輸送機器部門は売却され、2019 年に事業の再編があり、Power、Renewable Energy、Aviation、Healthcare にセグメント分けが見直された。また 2022 年 7 月に、GE Aerospace, GE Healthcare, GE Vernova の 3 社に分社化することを発表し、2023 年に GE Healthcare を、2024 年に GE Vernova を分社の予定で、GE Aerospace が General Electric の後継社となる。

2022 年の売上高(連結)は$76.6B である。航空エンジン部門(GE Aerospace)の売上高は$ 26.1B で、前年比 22 %の増加、営業利益は 66 %増の$ 4.8B であった。その主力工場は、オハイオ州シンシナティ工場とマサチューセッツ州リーン工場である。

(a) 航空エンジン部門

'70 年代に入り、高性能とハイパワーが優先する軍用エンジンを得意とする GE は、燃料消費率が良くメンテナンス・コストの安いターボファンエンジンで P&W に後れを取った。しかし、GE は米空軍から C-5 輸送機用エンジンとして開発した TF39 (43,000 ポンド)の高圧コアを利用し民間旅客機用高バイパス比ターボファンエンジン CF6 を開発し、民間市場に足場を築いた。CF6 は推力 40,000～72,000 ポンドで、A300、A330、B767 や B747 など多くの航空機に搭載されている。

高バイパス比大型エンジンとしては、B777 搭載用に GE90 を開発し、'95 年に型式承認を取得し就航を開始した。GE90 プログラムには、Snecma、イタリアの Avio の他、IHI が設計･開発段階から参画している。B777 の搭載用エンジンとして PW4084、GE90 及び Rolls-Royce Trent 800 の 3 機種が市場獲得

に凌ぎを削った。さらに B777 の派生型である B777-200LR, 300ER, 200F の専用エンジンとして、世界最大推力(115,000 ポンド)の GE90-115B がある。また超大型機 A380 用エンジン開発では増大傾向にある新エンジン開発費の軽減を図るため、従来ライバルであった P&W と共同出資会社(Engine Alliance LLC)を設立して、GP7200 エンジンシリーズを生産した。

さらに、B787 用エンジンとして GEnx-1B エンジンの開発を行った。同エンジンプログラムには、IHI、三菱重工業、Avio Aero や MTU Aero Engines などが参画している。GEnx-1B エンジンは、2008 年に型式承認を取得し、2012 年に就航した。また、B747-8 へは GEnx-2B エンジンが搭載され、同エンジンは 2010 年に型式承認を取得し、2011 年に就航した。

B777 の後継機である 2023 年就航予定の B777X 用エンジンとして、GE9X が 2020 年 9 月に FAA の型式承認を取得した。B777X は現行 GE90-115B 搭載の B777 に比べ、10%の燃費向上を見込んでいる。

中型ジェットエンジン分野では、GE は '72 年にフランスの Snecma と合弁で CFM International を設立、CFM56 エンジンを開発・生産している。CFM56 エンジンは GE が B-1 爆撃機用に開発した F101 エンジンのコアを利用したものであり、CF6 エンジンと同様、軍用に開発された技術を民生用に転用して大成功した例の一つといえる。また A320neo や B737MAX 等の次世代の中型高バイパス比ターボファンエンジンとして LEAP-X エンジンの開発を進めており、ギアを用いず軽量複合材や高効率コアエンジンの採用により、従来エンジンと比較して 15 %以上の燃費低減を目指している。そのうちの 1 機種である A320neo 用 LEAP-1A は 2015 年に型式承認を取得し、2016 年に就航した。

小型エンジン分野では、輸送機、哨戒機、ヘリコプター、ビジネス機用などのエンジンを生産している。ターボプロップエンジン T64 は、'65 年から日本でライセンス生産された P-2J や PS-1 に搭載されている。'80 年代に登場した T700 軍用(ターボシャフト)エンジンは、Sikorsky の UH-60 シリーズ、Bell 214ST、Hughes AH-64 など、ヘリコプターメーカーに広く採用された。T700 を民間機用に転用した CT7 は、Saab340 や CASA-IPTN CN235 に搭載されている。TF34 の民間転用型 CF34 エンジンは、リージョナルジェット機 CRJ に搭載され堅調な伸びを記録した。

民間用小型エンジンの柱の 1 つは、リージョナルジェット機用 CF34 エンジンである。70 席 CRJ700 用としての CF34-8C1(推力 14,000 ポンド)は '99 年に型式承認を取得し、フランス Brit Air などに採用されている。また、Embraer の EMBRAER 170 向けには CF34-8E を開発し、2002 年に型式承認を取得、90 席機 EMBRAER 190 向けには CF34-10E を開発し、2004 年型式承認を取得した。中国が開発している小型リージョナル機 ARJ21 向けには CF34-10A を開発し、2010 年に FAA から型式承認を取得した。

2004 年には小型ビジネスジェット機用エンジンへの参入を目指し、本田技研工業と推力 1,000～3,500 ポンドの小型ターボファンエンジン HF118 の共同事業化で基本合意し、両社折半出資の合弁会社 GE Honda Aero Engines を設立した。HF118 プロトタイプの後継機種 HF120 エンジンは、2013 年に型式承認を取得、HondaJet に搭載された。

一方、大型軍用エンジン分野では、ターボファンエンジン F101 が B-1 爆撃機に、F404 が F/A-18 に、F110 シリーズが F-14、F-15、F-16 に採用され、ターボファンへの移行期に P&W に後れをとった GE は、今日では市場を分け合うまでになった。なお、日本の F-2 戦闘機には、この F110 エンジンが搭載されている。また、米海軍 F/A-18E/F 戦闘機に搭載の F414(F404 の発展型)エンジンは、P&W の F119

とともに米国で開発されている戦闘機用エンジンの双璧となる。Lockheed Martin の F-35 向けに F136 エンジンを Rolls-Royce と共同開発していたが、米国議会の予算承認が下りず中止された。

j. Honeywell (Honeywell International Inc)

＜売上高・従業員数＞ (百万ドル)

暦　　年		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
	Aerospace	15,493	14,054	11,544	11,026	11,827
	Honeywell Building Technologies	9,298	5,717	5,189	5,539	6,000
	Performance Materials and Technologies	10,674	10,834	9,423	10,013	10,727
	Safety and Productivity Solutions	6,337	6,104	6,481	7,814	6,907
売上高(百万ドル)		41,802	36,709	32,637	34,392	35,466
従業員(人)		114,000	113,000	103,000	99,000	97,000

出典：アニュアルレポート

[沿革]

AlliedSignal が、'99 年に Honeywell を吸収合併して誕生した世界的なコングロマリットで、社名には知名度の高い Honeywell が継承された。旧 Honeywell は、1885 年に創設された長い歴史を持つ民生熱工学機器メーカーだった。'63 年には、社名を Honeywell Inc.とし、F-104 の自動操縦装置などで我が国に知られるようになった。F-86 の A4 レーダー照準器、ジャイロシン・コンパス、T-33 の水平儀などで我が国とも関わりの深い Sperry Rand、また Raytheon の電子計算機部門もこの会社の傘下に入った。

AlliedSignal は、'85 年に Allied Chemical & Dye と Signal Gasoline が合体した会社である。Allied Chemical & Dye は、1920 年にドイツの化学工業に対抗するために中小化学メーカーを統合した会社で、'81 年に Bendix を買収し、航空宇宙産業に関係を持つようになった。Bendix は、YS-11 のオートパイロット、F-15 のカーボン・ブレーキなどの製品で知られているが、T-33 や F-86 の国産化時代に、我が国の機器メーカー5 社が、それぞれ異なった分野で技術提携するなど、降着装置と関連機器、電源関係、飛行・航法計器、無線機器と幅広く航空宇宙関連の機器の開発生産をしていた。

Signal Gasoline は 1922 年に創設された信号機の会社であり、'68 年に Garrett と合併した。また、Garrett の傘下には、MU-2 に使われた小型ターボプロップエンジンや F-86 の空調機器で知られていた AiResearch があった。

AlliedSignal は、陸上自衛隊で使われている AH-1S、UH-1 ヘリコプターの T53 エンジン、Avro RJ リージョナル旅客機の ALF ターボファンエンジンを生産しているガスタービン部門を'95 年に Textron から買収した。この部門は、Avco Lycoming に属していたが、'87 年に Textron が Avco Lycoming を買収した後に、Avco Lycoming の小型航空機用のピストンエンジン部門を残し、この部門を AlliedSignal に売却した。

[現況]

Honeywell は、繰り返された M&A によって、航空・宇宙関連のビジネスから自動車、高性能材料、オートメーション制御機器等の幅広いビジネスを展開しており、売上が$35B を超え、従業員も 9 万人を超える巨大企業となっている。

Honeywell は、以下の 4 セグメントで構成されており、2016 年に産業・家庭向けのセンサ、エネルギー・熱・水管理システムの構築と保守、物流オートメーション等の事業を行なっていた Automation & Control Solutions 部門を Home & Building Technologies 部門と Safety & Productivity Solutions 部門の 2 部門へ再編し

た。

・Aerospace

・Honeywell Building Technologies

・Safety and Productivity Solutions

・Performance Materials and Technologies

Aerospace 部門は、エンジン、アビオニクス製品とそのサービスビジネス等の広範な分野の事業を展開しており、2022 年の売上は全社の売上の約 33 %にあたる$ 12B となっている。近年では Embraer の E175-E2、E190-E2、E195-E2 のアビオニクスや Bombardier の Challenger 350 のエンジンなどを供給している。Aerospace 部門における主な事業は次の通りである。

・エンジン：タービンエンジン、APU、エンジン関連部品

・与圧、空気調和システム

・照明システム：機外照明、機内照明

・電源システム：電力発生装置、電力配分システム

・操縦システム：統合フライトデッキ、自動操縦システム

・アビオニクス：通信、航法、飛行管理システム

・機器、キャビン管理システム

・降着装置システム：ホイールおよびブレーキ

k. Parker Hannifin (Parker Hannifin Corporation)

＜売上高・従業員数＞

年度※		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
売上高 (百万ドル)	全　社	14,302	14,320	13,696	14,348	15,862
	航空宇宙部門	2,316	2,511	2,735	2,388	2,520
全社従業員数(人)		57,170	55,610	50,520	54,640	55,090

※Parker Hannifin 社は 6 月決算　出典：アニュアルレポート

2022 年度売上高は、前年に比べ 10.6%増加しており、航空宇宙部門においても民間航空機需要回復に伴い、5.5%増加した。

[沿革／現況]

Parker Hannifin は、Arthur L. Parker 氏によって 1918 年に設立された Parker Appliance が始まりで、'38 年に米国オハイオ州で法人化された。'57 年に Hannifin を買収し、Parker Hannifin に改名。その後、'78 年に Bertea を買収したことで、航空宇宙市場での地位が強化された。

同社は、米国とその他 44 ヵ国に約 305 の拠点を持ち、モーション・コントロール・テクノロジー分野で多角経営を行う世界のトップメーカーとして、以下の 5 つの製品グループから構成され、約 527,000 社の顧客を有する。2017 年度のグループ再編で Hydraulics Group と Automation Group に属していた Pneumatics and Electro-mechanical Business が統合され、Motion Systems Group が新設された。2023 年、同社は Instrumentation Group を Fluid Connectors Group に統合した。上記グループ再編後の 4 つの製品グループ名は、以下の通りである。

・Engineered Materials Group

・Filtration Group

・Fluid Connectors Group

・Motion Systems Group

航空宇宙部門の関連製品は、Engineered Materials Group と Filtration Group の両部門に帰属するが、ビジネスは Aerospace Systems Segment として管理されている。

また、同部門は航空機のサブシステム開発や製造を担当するシステムメーカーとして、操縦システム、油圧システム、燃料システム、および燃料タンク防爆のための不活性ガス(Inerting Gas)システム等のシステム受注で成功を収めている。

'90 年代初頭から約 20 年間で、同社の航空機のサブシステムの開発実績は 28 機種に及んだ。近年では、ブラジルの EMBRAER 170/190、Airbus A220 や中国の COMAC ARJ21 で、操縦システム、油圧システム、燃料システムの 3 システムを担当する。さらに、米国の Boeing 787 では油圧システムを、そして中国の COMAC C919 では操縦システム、油圧システム、燃料システム、不活性ガスシステムの 4 つのシステムを受注した。

2013 年に中国の AVIC (Aviation Industry Corporation of China)と、COMAC C919 プログラム向けに、中国の南京と西安において合弁会社設立契約を締結した。両合弁会社は 2014 年に事業許可を取得し、各システムの共同開発及び生産を行なっている。 また、MRO ビジネスでは西安の合弁会社にカスタマーサポートの修理センターを置き、自社のみならず他社装備品も修理することが公表された。

Parker Hannifin の航空宇宙部門の主要製品は次の通りである。

①操縦システム(Flight Control Systems)

アクチュエーターやサーボ機器のみならず、エレクトロ・ハイドロリック・サーボバルブ(EHSV)、ダイレクト・ドライブ・バルブ(DDV)、ならびにオプトメカニカル機器などの先端技術機器を駆使したフライ・バイ・ワイヤ(FBW)やフライ・バイ・ライト(FBL)方式の操縦システムにも対応可能。F-35 戦闘機では、量産機用としては世界初となるエレクトロ・ハイドロリック・アクチュエーター(EHA)を納入している。

②油圧源システムと油圧制御システム(Hydraulic Supply System and Controls)

油圧系統構成品、リザーバー、油圧源ポンプ、蓄圧器、熱交換器(フューエル・ヒーター)、前輪操向装置、降着装置と作動機器、ホイールやブレーキ等、幅広い製品をこの分野で提供している。

③燃料システム(Fuel Systems)

地上や空中給油のためのセンサ付き給油ノズルを含む航空機使用の燃料系統の部品、機器やシステムを提供。燃料タンク関連では、電子式燃量計システム、燃料制御弁、ブースター・ポンプやトランスファ・ポンプ、燃料フロー・レギュレータ、燃料・滑油冷却器、不活性ガスシステムを製造している。

④エンジン関連製品(Power Plant Products)

ジェットエンジンの燃焼室、ならびにアフターバーナーの中へ燃料を微粒化し霧状にして放出する燃料ノズル(フューエル・ノズル、スプレー・リング、スプレー・バー)等の製品群がある。環境対応型製品では、Low-NOx 技術を適用したマクロ・ラミネーション型ノズル、マルチポイント・インジェクション・ノズル、およびアニュラーオリフィス等がある。その他、燃料熱交換器、潤滑油ポンプ、スラス

ト・リバーサー・コントロール、エアータービン・スターター、燃料・空気圧駆動のタービン・クリアランス制御バルブ等を保有している。

⑤エレクトロニクス機器と表示システム(Electronics and Display)

システムインテグレーションに必要なエレクトロニクス機器、機体やエンジンモニター用デジタル計器、および表示機器を保有。

⑥油圧システム(Pneumatics)

モーター、ソレノイド駆動によるバルブ、圧力調整器、防氷装置のバルブ、アビオニクス・クーリング・システム、および不活性ガスシステム関連製品(プリ・クーラー、高温エアー移送ポンプ、キャビンの空調バルブ)等を保有している。

l. L3Harris Technologies (旧 L-3 Communications)

＜売上高・従業員数＞ (百万ドル)

暦年		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
	Electronic Systems	2,744				
	Integrated Mission Systems	-	2,783	5,538	5,839	6,916
	Space and Airborne Systems		4,352	4,946	5.093	6,060
	Communication Systems		3,340	4,443	4,287	4,217
	Aviation System		2,368	3,448	2,783	
	National Security Solutions					
	ISR Systems	4,441				
	Communication & Naval Systems	3,059				
売上高		10,244	12,856	18,194	17,814	17,062
従業員数(人)		31,000	50,000	48,000	47,000	46,000

出典：アニュアルレポート

[沿革／現況]

L3Harris Technologies(旧 L-3 Communications)は、'97 年に Lockheed Martin からスピンオフして設立された会社である。Lockheed Martin は、'96 年に Loral の Defense Electronics 部門と System Integration 部門を買収していたが、Loral 出身の Frank C. Lanza と Robert V. Lapenta が中心となり、買収されていた Loral の元の 10 部門が Lockheed Martin からスピンオフした。L-3 の"L"は、この二人の名前が由来となっており、残りの"L"は投資に関与した Lehman Brothers または Lockheed Martin の"L"が由来であると言われている。

L3Harris Technologies は、設立後から今日に至るまでに積極的な企業買収を続け、現在では防衛関連の売上高で全米の 10 位以内に入る会社となっている。2012 年に政府機関を顧客として車両などを製造販売する企業体である Engility Holdings をスピンオフさせ、2016 年に国家安全保障および危機管理システムに関する情報セキュリティに関する部門である National Security Solutions (NSS)を CACI International に売却した。米国国防総省関連機関への売上は、2017 年売上の 66 %を占めている。L-3 Communications は、2019 年に Harris と合併し、社名は L3Harris Technologies となった。2023 年 7 月にロケットエンジン、固体ロケットモータを開発・製造する Aerojet Rocketdyne を買収した。

ひまわり衛星での光学イメージャを、6 号(RTX 製)を除く残りの全てを ITT Industries / Exelis と社名が変えながら供給した。

L3Harris Technologies の主な部門とその製品は以下のとおりとなっている。

①Integrated Mission Systems 部門

②Space & Airborne Systems 部門

③Communication Systems 部門

④Aerojet Rocketdyne

m. Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX)

SpaceX は、オンライン決済サービスを提供するベンチャー企業 PayPal の創業者である Elon Musk 氏が 2002 年に立ち上げた、商業宇宙輸送サービスを提供する企業である。SpaceX は自主技術による Merlin や Kestrel という液体ロケットエンジン(RP-1/LOX)を用いた Falcon ロケットを自社開発し、低価格の打上げサービスを提供している。2006 年の Falcon 1 ロケット初飛行以降、数回の打上げ失敗を経て 2008 年に初成功した後、より大型の Falcon 9 ロケットの開発に注力し、2010 年にその初飛行に成功した。Falcon 9 は再使用可能なロケットを目指し着陸実験を繰り返し、初の第 1 段回収を 2015 年に成功した。また、NASA と商業宇宙飛行士輸送機の開発(CCDev)の契約を結んで、有人宇宙船 Crew Dragon を開発した。Falcon 9 は 2015 年に Dragon の打上げに失敗した。その後同年中に打上げを再開したが、2016 年には打上げ準備中に Falcon 9 の爆発事故が発生した。Falcon 9 による打上げは 2017 年に再開され、以降打上げ成功を続けている。また、同社はさらに大型の Falcon Heavy の開発を行い 2018 年に初飛行に成功した。なお、2015 年には米国国防総省の軍用衛星打上げ認定に合格した。2021 年に 31 回、2022 年は 61 回、2023 年は 96 回の Falcon 9 の打上げに成功した。更に LEO、月、火星への輸送を目指して LCH4 / LOX の再使用型の大型ロケット Starship / SuperHeavy を開発中であり、2023 年に 2 回の打上げ試験を実施し、ミッションの一部を達成した。

SpaceX は、2015 年には Google 等から$ 1B の出資を受けることを発表するとともに、約 4,000 機の小型衛星によるインターネット接続サービス事業 Starlink の構想を明らかにし、2016 年には FCC(米連邦通信委員会)に計画を申請した。2018 年には実証衛星 MicroSat-2a, 2b を打上げた。その後計画が見直され、現在では Starlink 衛星 10,000 機以上のメガコンステレーションによる衛星通信ネットワークの構築を目指しており、2023 年も Starlink の打上げを継続している。ウクライナ紛争で SpaceX は Starlink を人道的にウクライナに提供したが、自国以外の遠隔地の軍事作戦にも利用され、Starlink は一部地域間の接続を停止し、民間通信事業が外交問題となる状況(ロシアは Starlink を軍事通信インフラとみなし、国際法上の軍事目標とできる解釈)に至る事態となった。

n. United Launch Alliance (ULA)

2006 年に米国政府向打上げサービス提供事業会社として Boeing 及び Lockheed Martin が設立した。コロラド州デンバーに本社、アラバマ州ディケーターとテキサス州ハーリンゲンに製造、組み立て、および統合オペレーションを行う拠点がある。使用ロケットは主に Boeing 製 Delta Ⅳ、Lockheed Martin 製 Atlas V であるが、新型の打上げロケット Vulcan / Centaur (1 段推薬 LCH_4/LOX, Blue Origin BE-4 エンジン、2 段推薬 LH_2/LOX, Aerojet Rocketdyne RL-10 エンジン)を 2024 年 1 月 8 日に初号機を打上げ成功した。ULA は商用衛星の打上げに進出する計画で、2018 年に Lockheed Martin に代わり Atlas V のマーケティングを実施すると発表し、現在は商業打上げサービスも Boeing、Lockheed Martin から移管された。Project Kuiper を Vulcan で打上げることを 2022 年に発表し、2023 年の打上げを発表した。2023 年 11 月末までに Atlus V 2 機、Delta

4 Heavy 1 機が打上げられた。

o. その他の宇宙企業

(a) Maxar Technologies (旧 Space Systems/Loral (SS/L))

Space Systems Loral (SS/L) (現 Maxar)は、Loral Space & Communications 傘下で衛星の製造を行ってきたが、2012 年 MacDonald, Dettwiler and Associates (MDA)に売却された。その後、2016 年には、米国政府からの受注に対応するため、米国企業として SSL MDA Holdings を設立し、米国の SS/L はその事業会社となった。2017 年には SSL MDA Holdings は衛星画像提供サービス最大手の DigitalGlobe を買収し、Maxar Technologies と名称を変更した。現在、Maxar Technologies 傘下には SSL の他、Digital Globe、Radiant Solutions である。カナダと英国の MDA 事業を NORTHERN PRIVATTE CAPITAL へ 2020 年に売却した。2022 年の Maxar Technologies 売上は$1.61B である。2022 年 12 月、Advent International による買収が発表された。

Maxar は通信衛星、気象衛星の製造会社で '57 年に Philco の 1 部門としてスタートした。'61 年に Ford Motor が買収し Ford Aerospace、'90 年に Space Systems/Loral (SS/L)となり、'96 年に防衛部門を Lockheed Martin に売却した。Maxar は商業衛星の需要低迷から業績が悪化し、2003 年に破産法 11 条(会社再建)を申請し、その後再建が進んだ。これまでの衛星製造実績は約 270 機以上でそのうち 3 分の 2 が静止衛星であり、現在も静止軌道上で多くの衛星が稼働中である。Maxar は 1300 シリーズ (旧 FS/LS 1300 シリーズ)という静止衛星バスを有している。商用静止通信の分野では現在も数機のバックオーダーを抱えている他、LEO 衛星バスも保有しており、2022 年には L3Harris Technologies から、National Defense Space Architecture (NDSA)の Tranche 1 用として、13 機を受注した。また、大型静止通信衛星として 2021 年には静止通信衛星を 2 機受注した。2021 年には Star One D2、SXM-8 が打上げられた。2023 年には静止通信衛星を 1 機受注した。

2019 年には 1300 衛星バスを拡張し Busek の 6 kW Hall 効果電気推進などを搭載した Gateway の 1 部で、電力／通信／姿勢制御／推進の機能を受け持つ Power and Propulsion Element (PPE)を受注し、開発中である。

(b) Ball Aerospace& Technologies

Ball Corporation の子会社で、システム・エンジニアリング・サービスを提供し、宇宙関連システム、宇宙船、宇宙、地球科学機器、探知器、低温サブシステム、アンテナシステム、ビデオ製品等を設計製造している。2023 年 8 月 17 日、英国 BAE Systems が買収合意を発表した。

標準バスシリーズとして Ball Configurable Platform(BCP)を開発し、BCP-100 / -300 / -2000 / -5000 のラインナップを有する。NASA の散乱計搭載 QuickSCAT を '99 年に、商業用地球観測衛星 QuickBird-2(子会社 DigitalGlobe が運用)を 2001 年に、NASA の ICESat(レーザー高度計搭載)を 2003 年に、Tempel 1 彗星に弾丸を撃込んで内部を探る NASA 探査機 Deep Impact を 2005 年に打上げた。また極軌道運用環境衛星システム NPOESS Preparetory Project (NPP)衛星(SuomiNPP に改名)を 2011 年に打上げ、2017 年には NOAA-20 (JPSS-1)の打上げに成功した。

商用画像衛星では、Ball Aerospace は高分解能衛星 WorldView-1.2 を開発し、それぞれ 2007 年と 2009 年に打上げた。さらに 2014 年には、解像度 31 cm の WorldView-3 を打上げている。このほか、米空軍が宇

宙から宇宙を監視するために開発した SBSS (2010 年打上げ)や、同じく米空軍の軌道上実験機 STPSat-2, 3 (2010 年及び 2013 年打上げ)も開発を担当している。また、2014 年には世界初となる商用光通信衛星網開発の契約を Laser Light™ Communications,(LLC)から受注した。このシステムは、8-12 基の光通信衛星を高度 2,000km 程度の軌道に打上げ、衛星間で最大 6Tbps、衛星-地上間で 200Gbps の通信を実現しようというものである。また、JWST の光学部分を開発した。

2．カナダ

(1) 沿革

a. 航空機

カナダの航空機産業は、第一次世界大戦中に大英帝国本国の航空機産業の補助という形でスタートした。ふたつの大戦間の平和な時代には、カナダの地勢的な環境から生まれた地域航空活動は活発だったが規模は小さく、産業として再活性化したのは再び戦争の危機が迫ってきた '40 年前後からだった。第二次世界大戦中は、英本土の航空機メーカー(Avro、Bristrol、de Havilland)がカナダに支社を設立し、終戦までに連絡機、戦闘機から 4 発大型機までを含む約 5,800 機が生産された。

第二次世界大戦が終了するとカナダの航空機工業は縮小した。大英帝国が英連邦となり、一方では東西冷戦となり、北極海を隔てて直接脅威と向き合う国際情勢の中で、カナダの航空機工業は自立した独自の路線を進めた。その典型的な動きが、トロント郊外のマルトンにあった Avro Canada で開発された Avro C102 Jetliner 4 発ジェット旅客機である。C102 は、de Havilland Comet と競合したが、冷戦激化により国産全天候ジェット戦闘機 CF-100 Canuck の生産が優先されて商品化されなかった。

Canadair はモントリオールにあった Canadian Vickers を核に、'44 年に設立された会社で、戦時中は、PBY Catarina 飛行艇や DC-3 の部品を製造していた。戦後 Douglas DC-4 旅客機のエンジンを Rolls-Royce Merlin に換装した C-4 / 5 Northstar や、イギリスの Bristol Britania 旅客機をベースにした CL-28 Argus 対潜哨戒機や Britania の後部胴体を長大貨物の積込みを可能に改造した CL-44 貨物輸送機、現在もカナダ国防軍のスノーバーズ曲技チームで活躍している CL-41 (CT-114)ジェット初級練習機、消防用水陸両用飛行艇 CL-215/415 シリーズを開発した。

オンタリオ州トロントの de Havilland Canada (DHC)は、'28 年に創業され第二次世界大戦では Mosquito 戦闘爆撃機を 1,133 機量産したが、終戦に伴う不況で清算され、200 人規模で再出発した。新生 de Havilland Canada の第 1 作が DHC-1 Chipmunk 初級練習機だった。続いて開発した DHC-2 Beaver は、単発の民生汎用機としては、やや大振りの簡潔・堅牢な機体だった。米陸軍にも採用されて朝鮮戦争で活躍し、1,631 機が生産された。DHC-2 から発展した DHC-3 Otter は単発大型汎用機であり、さらにそれをターボプロップの双発に改設計した DHC-6 Twin Otter は、FAA のコミューター航空規制緩和とあいまって、19 人乗りの第 1 世代コミューターのベストセラーとして 844 機が生産された。DHC-6 で築かれたコミューター・リージョナル航空会社の意見を取り入れ開発されたのが、ロングセラーとなっている DHC-8 シリーズ(Q シリーズ)である。30 席旅客機として '84 年に DHC-8-100 が型式証明を取得し、性能の向上した DHC-8-200 はこのクラスのベストセラーとなった。

カナダ航空機工業の特色の基盤は、コミューター・リージョナル航空に特化した旅客機により築かれ販売は伸びたが、市場は不安定で利益はでなかった。'86年Boeingがde Havilland Canadaを買収し、事業改善に乗り出し、'88年には50席のDHC-8-300が市場に投入されたが、思うように経営の改善は進まず、'92年には手放すことなった。

一方、カナダの軍用航空機工業は、冷戦時代に西側陣営という国際情勢の影響を受け、核爆弾搭載のソ連の戦略爆撃機が安全保障に対する直接的脅威になった。これに対抗して政府はCanadairにLockheed T-33(655機)やNorth American F-86(1,185機)をライセンス生産させるとともに、独自の防衛力と基盤技術力を育成するために、終戦翌年の'46年Avro Canadaを中心に機体もエンジンも装備品も全てカナダで国産開発する、全天候ジェット戦闘機CF-100の自主開発に乗り出した。'50年に試作1号機が初飛行し、700機近く生産されている。"その後、Avro Canadaは解散し、カナダの航空機産業政策は航空技術・航空機産業とも対米協調が主軸となった。ソ連の戦略核主力がICBMに移り、有人戦闘機の時代は終わったとしてBomarc対空ミサイルやF-101が輸入され、航空機工業ではCF-104やCF-5のライセンス生産、そしてCF-18の輸入およびオフセット生産などを行ってきた。これらの'60年代以降の軍用機事業は、Canadairが中心になって行われた。その Canadair もライセンス生産が終わった後は、軍用機製作の作業量は極端に減少し'76年に国有化された対潜哨戒機 P-3C の部品のオフセットなどで生き残る状況だった。'80年国防軍が、F-101、CF-104、F-5に替る戦闘機として138機の CF-18 の採用を決めた時は、カナダの軍用機産業にはF-18の前部胴体バレルのオフセット生産だけしか残っていなかった。

'86年、カナダの航空工業界に新規に現れたのが、雪上車メーカーとして出発して、鉄道車両関係の事業などに進出していたBombardierである。経営の行き詰まりから国有になっていたCanadairの政府保有株を譲り受け、さらに'89年に北アイルランドのShortを、'90年にはビジネスジェット機の先駆を努めたLearjetを買収し、'92年にはBoeingの傘下に入っていたde Havilland Canadaの株式の51%(オンタリオ州政府が49%)取得し、'97年に残り株式も全て譲り受けた。

Bombardierは事業を民間航空機に集中するため、2003年、旧Canadairから引き継いだ軍用機部門を、L3Harris Technologies (旧 L-3 Communications)に売却した。現在、カナダ国防軍の CF-18 の維持・近代化更改、整備などの事業、および CAE Aviation(後に Spar Aerospace)で行われていた国防省関連事業は、アメリカ資本の L-3 Communications MAS で行われている。民間航空機分野において売上高で一時世界第3位となったが、旅客機事業から撤退し、現在はビジネスジェット事業に集中している。

ヘリコプター分野では、'83 年にカナダの航空機産業の中にヘリコプターを加えるというカナダ政府の政策から、アメリカの Bell Textron 民間ヘリコプター部門の誘致に成功し、現在ではカナダ航空機産業の重要な柱となっている。

現在のカナダの航空機産業は、ビジネスジェットの Bombardier、Bell Textron Canada、3度目の設立となった新 de Havilland Canada だけで生産し、軍用機は全て輸入し、その整備も外国資本の会社によっている。日本資本のMHI RJ Aviationもリージョナルジェット(CRJ)機のMROを展開している。

航空機エンジンの開発生産は、CF-100 や CF-105 国産全天候戦闘機に採用されたエンジンを Avro Canada の Orenda 部門で国産開発してきた。この部門はAvro Canadaが解散後、一時独立していたが、'61年からHawker Siddeley Canadaの傘下に入って、CF-104戦闘機のエンジンJ79-OEL-7、引き続きCF-5や

国産練習機 CT-114 (Canadair CL-41)の J85 エンジンのライセンス生産を行った。並行してカナダ国防軍の戦闘機のエンジン(J57、J79、F404)についても部品生産とオーバーホールを行ってきた。現在は Magellan Aerospace の傘下に入り、国内外のエンジン・メーカーへの部品供給も行っている。

現在カナダのエンジンの開発・生産の中心は、'57 年から活動を始めた RTX 傘下の Pratt & Whitney Canada (P&WC)である。中・小型エンジンの PT6 ターボプロップ、JT15D ターボジェット、そして第 2 世代の PW100、PW200 ターボシャフトおよびターボプロップ、PW300 ファンジェットエンジンは、いずれも、この分野でのベストセラーとなり、カナダ航空機産業の一つの特色となっている。第 3 世代の PW800 エンジンも小型旅客機用の PW1000G のコア部と共用しており、順調に採用機種を増やし、生産台数を伸ばしている。

b. 宇宙開発

カナダは '62 年に国産の電離層観測衛星 Alouette 1 を NASA の支援で打上げ、世界で 4 番目の衛星保有国となった。'69 年には国内衛星通信会社 Telesat Canada を設立し、静止衛星による世界最初の国内商業用衛星通信システムを完成した。その後 Anik シリーズ計 10 機以上を打上げ C、Ku 両バンドで運用している。'76 年打上げの通信技術衛星 CTS では世界最初の Ku バンドによる直接放送の実験を行なうなどこの分野で世界をリードしてきた。これは広大な国土をもつカナダは通信手段を通信衛星に求め、人材と予算を衛星通信分野に集中させた成果である。'89 年にカナダ宇宙庁(CSA: Canadian Space Agency)が設立され、本部はケベック州 Longueuil に置かれている。同年 ESA の準メンバーとして加盟し、地球環境、宇宙科学、有人飛行、衛星通信、宇宙技術や宇宙機組立／運用などの分野を中心として活動を実施している。2022 年の宇宙予算は約カナダ$ 390M となり 2022 年から 5.5 %の増額であるが、2017 年の約カナダ$ 395M からは減少している。(出典：The Space Report 2023) カナダの計画は国のニーズに適合した国内の宇宙工業育成を図ること、国際社会で相応の地位を保ちつつ国際協力を進めることを狙いとしている。この政策に沿って国際競争力のある専門企業の育成に力を注いでおり、国内メーカーに衛星を取りまとめる能力を付けさせるため Anik-D / -E シリーズや Radarsat-1 では、Spar Aerospace を、Radarsat-2 及び CASSIOPE では MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates)を主契約者に指名していたが、Spar Aerospace は '99 年に宇宙事業から撤退した。

(a) 衛星通信･測位分野

Telesat Canada は 2007 年 Loral Skynet を合併し Telesat と社名を変更した。2019 年現在通信衛星 Anik シリーズ、直接放送衛星 Nimiq シリーズ及び Telstar シリーズの衛星計 14 機を運用して衛星通信事業を展開しており、データ通信、TV 放送、電話等のサービスを行っている。

政府の研究機関である Communication Research Center (CRC)は、通信全般における最先端の研究開発機関であり衛星通信の先端的な研究開発を行っている。2003 年にカナダは欧州の Galileo 計画に参加する協定を ESA と結んだ。

(b) 地球観測分野

政府機関としてはエネルギー・鉱業・資源省の下にカナダ・リモートセンシング・センター(CCRS)が設けられている。初の実用型合成開口レーダーを搭載した Radarsat-1 号機が '95 年に打上げられた。'94 年に後継機 Radarsat-2 号機の製作が決まり、MDA が主契約者となった。Radarsat-2 号機はカナ

ダで初めて完全な商業地球観測衛星として開発されたもので、2007年打上げに成功した。開発・打上げ・運用の費用はカナダ$ 4.9B でカナダ政府がカナダ$ 4B を負担し、MDA がカナダ$ 0.9B を投資する代りにシステム全体の運用とデータの販売権を有する。Radarsat-1 号機の機能に高分解能モードが加えられ、分解能は 3 m に向上した。Radarsat-2 の後継として、Radarsat Constellation Mission (RCM)と呼ばれる 3 機の SAR 衛星からなる衛星コンステレーションが開発され、2019 年に Falcon 9 により打上げられた。RCM は特に海洋監視の分野での応用が期待されており、ExactEarth の AIS 受信衛星と連携した運用が考えられている。カナダは地球観測プログラムやそれに関連する Radarsat-1, 2 の取得画像の利用において多くの成功を収めている。

そのほか、CSA の対流圏汚染測定機器が NASA の Terra 衛星に搭載され、大気中の放射輝度の測定や一酸化炭素やメタン量の決定が今後も行われる。またスウェーデンの Odin 衛星に搭載して 2001 年に打上げた OSIRIS (Optical Spectrograph and Infrared Imaging System)、SCISAT-1 衛星(Bristol Aerospace 製、260kg、2003 年に Pegasus で打上げ、科学衛星としては 30 年ぶり)に搭載されたオゾン層破壊調査ペイロード Atmospheric Chemistry Experiment、マエストロ実験機器等の活動がある。

(c) 宇宙技術分野

カナダは長年 NASA と協力関係にあり Space Shuttle に搭載されたロボットアームを担当し、その経験を活かして国際宇宙ステーションの移動型サービスシステム(Mobile Servicing System: MSS)及び 2 本腕ロボット(SPDM)の開発を分担している。当初は Spar Aerospace が主契約者になっていたが、その後 Spar が宇宙から撤退したのに伴い、MDA に代わった。ISS 関連の活動では他にも、MBS (Mobile Remote Servicer Base System)や特殊精巧マニピュレータを提供している。Gateway でも MDA はロボットアーム Canadarm3 を担当している。

CSA はカナダの衛星開発能力を維持すると共に、低コストで宇宙科学、宇宙技術等のミッションを遂行できるようにすることを目的とする多目的マイクロサット CASSIOPE (375kg)プログラムを進め、2013 年に打上げた。CASSIOPE は、MDA を中心に Magellan Aerospace、COM DEV (2015 年米 Honeywell が買収)、University of Calgary Alberta が開発を推進した。また、同じく 2013 年には CSA が開発した NEOSSAT も打上げられた。NEOSSAT は 15cm 口径の光学望遠鏡を搭載し、地球に衝突する可能性のある小惑星の探査・追尾を行うほか、衛星の監視も実施する。なお、宇宙から衛星を監視する小型衛星 SAPPHIRE も 2013 年に打上げられた。

(d) 宇宙科学分野

国際協力を主体に活動しており、衛星搭載計測装置の開発を実施している。主要分野は宇宙プラズマ物理学、上層大気科学と物理学、天文学であり、'90 年代以降、米国やスウェーデン、日本などと協力して開発した観測装置を打上げてきた。2003 年に天文観測衛星 MOST (Microvariability & Oscillations of Stars, Dynacon 製バス、60 kg)を打上げた。

(2) 現況

カナダの航空宇宙関連企業は約 400 社であり、2022 年の売上高は $ 30.2B(カナダドル)で、アメリカ、フランス、イギリス、ドイツに次ぐ世界第 5 位の売上となっている。関連企業の半数以上は、地域的にはモ

ントリオールを中心としたケベック州、トロントを中心としたオンタリオ州に集中しており、残りがカナダ西部と大西洋沿岸に存在する。

生産額に占める輸出比率は60％を超えており、欧米諸国と同様に輸出比率は高い。第2次世界大戦の際に英国の航空機産業の疎開工場として始まったカナダの航空機産業は、現在アメリカへの依存度が高く、近年ではアジアへの輸出が急速に増加している。軍需の比率は'80年代には30数%、'90年代半ばにも20数%となっていたが、CF-18のオフセット生産が終わった2000年代には10％前後にまで低下した。カナダの航空宇宙産業も他の国々と同じように3層構造となっている。

第1層－機体やエンジンの完成品の開発・生産および販売を行う企業

第2層－機体やエンジンの構成品、補機類の開発・製造を行う企業

第3層－機械加工、板金、鋳・鍛造、熱処理メッキ等の加工を行う企業

第1層に属するのは、Bombardier、Bell Textron Canada、de Havilland Canada、エンジンのPratt & Whitney Canada、シミュレーターのCAEの5社である。第2層を代表するのが、Magellan Aerospace、Boeing Canada Operationsなどである。第1層に属する会社でも、下請けとして第2層の仕事が行われている。第3層は、素材関連メーカーや中小の部品・機器サプライヤーである。カナダ航空宇宙工業関連大部分の企業はこの層に属しているが、金額は全体の10～20％しか占めていない。

産業構造と輸出比率が大きいという特性は、大英帝国の疎開工場という経緯があること、軍用機の国内開発という方針を放棄した後、隣国アメリカのメーカーが高い技術力と低い労働コストに注目して進出を図ったこと、工業会の企業の数十%が外国企業と資本的なつながりがあることが要因である。また、カナダの中央や地方政府が、航空宇宙産業を次世代につながる戦略産業と位置づけ、国際プロジェクトへの参加を長年積極的に支援してきたことによるものでもある。売上及び輸出の実績は次のとおりである。

＜売上高・輸出高＞ (億カナダドル)

暦　年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
売上高	343	389	298	268	302
輸出高	167	336	151	241	187
投資額	14	10	10	7	7
従業員(千人)	89.5	95.8	84.6	80.5	86.1

出典：Aerospace Industries Association of Canada

⑶　企業動向

a. Bombardier (Bombardier Inc.)

＜売上高・従業員数＞ (出典：アニュアルレポート、百万アメリカドル)

年　度		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
	Aerospace	7,321	7,501	6,488	6,085	6,913
	Transportation	8,915	8,269	-	-	-
売上高		16,236	15,757	6,487	6,085	6,913
従業員(人)		68,000	60,600	15,800	13,800	15,900

[沿革]

Bombardier は '42 年に Joseph-Armand Bombardier によって設立された。'59 年に雪上車を発明、その生産・販売で急成長し'73 年からは鉄道車両等に進出し '86 年には航空機工業も傘下に加え、国際的コングロマリットとして成長した。全社の従業員は 15,900 人(2022 年 12 月)で主な事業拠点は世界 3 ヵ国にある。Bombardier の本社は、ケベック州西モントリオールにあり、2003 年雪上車やスノーモービルなどの民生機器(リクリエーション)部門を Bombardier 系列の別会社に分離し、2020 年 10 月に Aerostructures 部門を Spirit へ、2021 年 1 月 29 日に Transportation 部門を Alstom へ売却し、現在は、Aviation の 1 部門で構成されている。また、CRJ シリーズを三菱重工(現 MHI RJ Aviation)へ、C Series を Airbus へ、Q Series、CL(消防飛行艇)を de Havilland Aircraft of Canada(旧 Longview Aircraft Company of Canada)へ売却した。

[現況]

(a)航空宇宙部門

Bombardier の航空宇宙部門は民間航空機の分野では、一時 Boeing、Airbus に続く、世界第 3 位の規模であった。

＜売上高・従業員数＞　　(百万アメリカドル)

年　　度	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
Business aircraft	4,984	5,417			
Commercial aircraft	1,756	1,227			
Aerostructures and Engineering Services	1,953	857			
Corporate and Elimination	(1,382)	-			
Aviation			6,488	6,085	6,913
総売上高	7,321	7,501	6,487	6,085	6,913
従業員数(人)	23,360	24,350	15,800	13,800	15,900

出典：アニュアルレポート

＜出荷機数＞

機　種	機　名	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
Business Aircraft	Learjet 40/45 and 70/75	12	12	11	10	3
	Learjet 60 XR	-				
	Challenger 604/605/300/350	83	76	44	44	50
	Challenger 800/850	-				
	Global 5000/6000/XRS/7500	42	54	59	66	70
Regional Aircraft	CRJ700/705/700 NextGen	2	26	5		
	CRJ900/900 NextGen	13				
	CRJ1000 NextGen	5				
	Q100/200/300/ Q400/400NextGen	15	7			
合　計		172	175	119	120	123

出典：アニュアルレポート

航空宇宙部門の 2022 年の売上高は約$ 6.9B である。

ビジネスジェット機について 2000 年に頭打ちとなっていたところに、2001 年の多発テロや 2008 年の金融不況によって受注は大幅に低下したが、2021 年は 120 機、2022 年は 123 機と COVID-19 に関わらず販売

を伸ばしている。現在は、Global 7500が2018年に型式証明を取得、同年に納入開始した。またGlobal 8000が開発中であり、2022 年 11 月に Bombardier は航空会社の NetJets から 4 機受注を獲得し同社がローンチカスタマーとなる予定であると発表した。

旅客機のうちターボプロップ旅客機は 2000 年に登場した大型高速の Q400 の販売は好調だった。改良型Q400NGも市場に投入され、Bombardierは2018年、すべてのQシリーズの生産ラインをLongview Aviation Capitalの傘下のカナダ航空機メーカーViking Airに売却すると発表したが、2019年にde Havilland Aircraft Company of Canadaとして新会社を設立し、Q400の製造とDash8シリーズのサポートを継続することが発表され、本譲渡契約は2019年に完了した。

一方、小型ジェット旅客機事業は、50 席機はマーケットが飽和して新規受注が減少するなか、70 席の CRJ700、90 席の CRJ900、100 席の CRJ1000 を投入し受注をつないでいた。2008 年の金融危機の影響を受けたが、2016 年では 46 機となり回復の兆しが見えていたが、2020 年に CRJ 事業を三菱重工に譲渡した。

CRJ シリーズより上位クラスとなる 2+3 列座席配置で 100～149 席クラスの CSeries (CS100/CS300)は、2013 年に CS100 が初飛行を行った。2017 年、Airbus と C シリーズプログラムにおけるパートナーシップ締結の同意書を交わし、C Series Aircraft Limited Partnership (CSALP)を設立した。2018 年には Airbus が CSALP を買収し C シリーズを Airbus のラインナップに加え、シリーズ名称は Airbus A220 に改称し、CS100をAirbus A220-100、CS300をAirbus A220-300とした。その後BombardierはCSALPから引揚げた。

水陸両用飛行艇である CL-415 消防飛行艇は、モントリオール地区において最終組み立てが行われ、20 以上のオペレータに 200 機以上納入されたが、2016 年に Viking Air に型式証明等の権利が売却された。

Aerostructures 部門は、カナダ国外部分を含め 2020 年 10 月に Spirit AeroSystems へ売却された。Learjet は 2022 年 3 月 Learjet 75 の最終号機を納入して製造を終了した。現在、航空宇宙としては中大型ビジネスジェットの製造、整備・改修に事業を集約している。

① モントリオール地区(旧 Canadair)

戦後のカナダ軍用航空機産業の中核となって活動していたものの、軍用機関連作業の縮減から国有化されていた Canadair の全株式を、'86 年に Bombardier が政府から買い取り、傘下に入れた。

ここでは Airbus A220 胴体および操縦室の製造、ビジネスジェット Global シリーズや Challenger シリーズなどの内装、Challenger シリーズの最終組立を行っている。

② トロント地区(旧 DHC)

オンタリオ州トロント近郊の旧 DHC の施設であった。ここでは大型ビジネスジェット Global シリーズの最終組立を行っている。

③ ウイチタ地区

アメリカカンザス州ウイチタにあり、ビジネスジェット機 Learjet シリーズの製作が行われていた。飛行試験センターが併設されており、全ての Bombardier 航空機の型式証明飛行試験が行なわれている。現在はビジネスジェット MRO 拠点である。

b. de Havilland Canada (de Havilland Aircraft of Canada Limited)

de Havilland Canada は、1928 年にイギリスの de Havilland によって設立された。第二次世界大戦後は

Boeing や Bombardier に事業買収された歴史を持つが、現在の親会社である Longview Aviation Capital の航空機製造会社 Viking Air が Bombardier から Dash 8(Q400)シリーズの製造／サポート事業を 2018 年に買収する際に受け入れ先として、商標を 2019 年に入手して、全くの新会社を設立した。

2022 年 2 月には Longview Aviation Capital が展開するすべての航空関連事業(Longview Aviation、Viking Air、Pacific Sky Training および de Havilland Canada)が de Havilland Canada へ統合された。2023 年現在、de Havilland Canada はおもに DHC-6 Twin Otter および Dash 8 シリーズの製造／販売／保守支援を行っている。生産拠点はカルガリー、トロント、ヴィクトリアに持つ。

また、2022 年 9 月に DHC は新工場建設地としてアルバータ州ウィートランド・カウンティを選定した。新工場は DHC-6 Twin Otter および Dash 8-400、新型消防航空機 DHC-515 の最終組立工場となる予定である。なお、工場稼働開始は 2025 年を予定している。

c. MHI RJ Aviation

MHI RJ Aviation は、2020 年にカナダ・ボンバルディア社から三菱重工業へのカナダエア・リージョナル・ジェット(CRJ)事業の事業譲渡によって誕生した三菱重工業の完全子会社である。MHI RJ Aviation ULC(カナダ)、MHI RJ Aviation Inc (米国)、そして MHI RJ Aviation GmbH(ドイツ)から構成される MHI RJ Aviation グループ (MHIRJ)は、CRJ シリーズに関する、保守、カスタマーサポート、改修、マーケティング、販売機能と、型式証明を継承し、包括的なカスタマーサポートをグローバルなリージョナル機市場に提供している。カナダ・ケベック州ボワブリアンに本社を置き、米国・ウェストバージニア州ブリッジポート及びアリゾナ州ツーソンに主な整備拠点を有している。

d. Bell Textron Canada

Bell Textron Canada は、国内にヘリコプター製造事業を誘致するというカナダ政府の強い意志から生まれた事業である。

カナダ政府と Textron の間で '83 年に調印された了解覚え書きによって、モントリオールから約 30 キロメートル離れたケベック州ミラベルに建設される 37,560 平方メートルの工場に、テキサス州フォートワースで行われていた Bell の民間機事業部門の、マーケティングから開発・生産・プロダクトサポートにいたる幅広い活動が移管されることになった。

工場は '85 年末に完成し、'87 年 Bell 206B、Bell 206L の出荷が始まり、'90 年末には約 800 人の従業員は現在では約 1,500 人となっている。'88 年には中型ヘリコプターBell 212 生産が、'89 年には Bell 412 生産も移管された。'92 年には双発・引込脚のビジネスヘリコプターBell 230 がカナダで型式証明を取得した。生産技術だけでなく、回転翼の開発や機体の構造力学・強度解析などの研究開発能力も移管された。Bell 407 / 427 の発展型の Bell 429 は、2009 年カナダの TCCA とアメリカの FAA 型式証明を取得した。さらに 2012 年、双発スーパーミディアムクラスの Bell 525 を発表し、2015 年より飛行試験を行っている。また、小型で 5 人乗りの Bell 505 Jet Ranger X (Short Light Single Engine Helicopter)は 2016 年に型式証明を取得し、2017 年から納入が開始された。2018 年に会社名から Helicopter を削除し改名した。

＜Bell の民間用ヘリコプターの製品ラインナップ＞

小型	～5 人	505 Jet Range X (Short Light Single Engine Helicopter (SLS))
	～7 人	206 / 206L → 407 (4 翅) → 427 (4 翅、双発) → 429 (4 翅、双発)
	～9 人	222 (引込脚) → 230 → 430 (4 翅、双発)
中型	～15 人	204 / 205 → 212 (双発) → 412 (4 翅、双発)
	～18 人	525 (4 翅、双発)

＜出荷機数＞

暦年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
出荷機数	192	201	140	156	179

出典：アニュアルレポート

現状では Bell が販売するヘリコプターのトランスミッションを含む構造・構成品の 50 %はテキサス州フォートワース工場で生産されているが、それ以外の部品・構成品の生産と全体組立以降の作業は全てカナダで行われている。

e. Pratt & Whitney Canada (P&WC)

P&WC は、RTX のエンジン事業部門 Pratt & Whitney の子会社であり、主に小型のガスタービン・エンジンの開発生産を担当している。'28 年に米国 P&W のカナダにおける空冷星型ピストンエンジンのオーバーホールセンターとして設立され、'50 年代に小型ガスタービン、ターボシャフトおよびターボプロップのメーカーとなった。現在では、ビジネス機、リージョナル機、ヘリコプター及び軍用機向けエンジンを生産している。従業員数は約 8,900 人で、同社製エンジンは 200 ヵ国以上において 6 万台以上が運用されている。その主要製品は、PW100, 200, 300, 500, 600, 800 及び PT6 等である。2008 年には単通路旅客用の PW1000G シリーズと共通のコアを持つ大型ビジネスジェット向けに PW800 エンジン開発を立ち上げ、また Eclipse 500, Cessna Mustang 及び Embraer Phenom 100 向けに推力 900～3,000 ポンドの PW600 シリーズを開発・生産している。現在の製品のラインナップは下記のとおりである。

種別	型式	推力(ポンド)	主な搭載機種
ターボファン	JT15D	2,200～3,400	Cessna Citation I / II / Ultra/V Hawker 400 / T-1A / MU-300
	PW300	4,700～8,000	Bombardier Learjet 60 Dassault Falcon 2000 / 7X / 8X
	PW500	2,900～4,500	Cessna Citation Bravo / Encore / Excel Embraer Phenom 300
	PW600	900～3,000	Cessna Mustang, Eclipse 500 / 550
	PW800	10,000～20,000	Gulfstream G500 / G600
ターボプロップ	PT6A	500～2,000	Beechcraft King Air / 1900, Cessna 208
	PW100	1,800～5,000	ATR 42 / 72, Bombardier Q400
ターボシャフト	PT6B	1,000 級	AgustaWestland A119, Sikorsky S-76B
	PT6C	1,200～2,000	AgustaWestland AW139 Eurocopter EC175
	PT6T	1,800～2,000	Bell 212 / 412, CH-146 Sikorsky S-58T
	PW100TS	2,000～3,000	-
	PW200	500～700	Bell 427/429, MD Explorer 900/902
	PW210	1,000 級	Sikorsky S-76D

'63 年に完成した PT6 は 500～1,000 馬力クラスまで幅広いラインナップを揃え、遠心型圧縮機を使った信頼性の高いエンジンとしてこのクラスでは最も有名なエンジンとなった。次いで開発された JT15D も '71 年に型式承認を取得し、低燃費・低騒音のエンジンとして小型ビジネスジェットに採用された。

’70 年代後半から、第 2 世代の小型エンジンの開発に相次いで取りかかり、最初に登場したのが、’79 年に完成した、低燃費・低騒音の 2,000 馬力クラスのターボプロップ PW100 シリーズである。30～60 人乗りの第 2 世代ターボプロップ旅客機の主流エンジンとして幅広く採用されている。

’83 年には、PT6 に代わる小型ヘリコプター用エンジンとして、ターボシャフト PW200 シリーズを開発し、’90 年にはドイツの MTU Aero Engines と共同で中型ビジネスジェット機向けのターボファン PW300 シリーズを開発し、さらに小型化された PW500 シリーズや VLJ に使用されている PW600 シリーズも開発した。2010 年代になって大型ビジネス機用のターボファン PW800 シリーズの納入を開始した。

f. Magellan Aerospace

航空宇宙工業界の第 2 層に位置する、航空宇宙関連の構成品・部品のサプライヤー企業である。

＜売上高・従業員数＞ (百万カナダドル)

暦年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
売上高	966.8	1,016.2	744.4	688.4	764.6
従業員数(人)	3,800	4,200	3,400	3,400	3,500

出典：アニュアルレポート

Magellan Aerospace は、’96 年に石油業者 N.マレー・エドワーズが、Hawker Siddeley Canada の Orenda Aerospace 部門、軍民航空機の部品および組立を行っていた Fleet Aerospace などを買収してできた比較的新しい会社である。この Orenda Aerospace 部門は国産 Orenda エンジンを開発し、J79 や J85 エンジンのライセンス生産を行い、カナダ国防軍のジェットエンジンの保守維持作業を行っていた。社名は 16 世紀初期の探検家フェルディナンド・マゼランに由来している。

Magellan Aerospace はその後、材料関連企業やマグネシウムおよびアルミニウム鋳造企業などを次々と買収し成長を続けてきた。近年ではヨーロッパやインドの航空関連企業を買収し、世界的展開を始めている。近年での代表的な事業には F-35 の水平尾翼の供給があり、発電事業にも進出してきている。

g. Boeing Canada Operations

通称 Boeing Winnipeg であり、B737 / B777 シリーズの複合材部品および構成品の製造組立、B787 ではエンジンストラットの前方および後方パイロンフェアリング製造で Tier1 サプライヤーになっている。

h. L3 Technologies MAS

ケベック州モントリオールのミラベル空港の隣接施設を中心に事業を展開している。歴史的には旧 Canadair で行われてきた軍用機事業で、Bombardier に吸収され Bombardier Defence Services Division となり、2003 年に L-3 Communications(現 L3Harris Technologies)が買収し、独立子会社の L3 Technologies MAS となった。

主な事業は 2001 年に L-3 Communications (現 L3Harris Technologies)が買収した Spar Aerospace が行っていたカナダ国防軍の CF-18 の整備、維持技術作業と近代化改修である。

その Spar Aerospace は de Havilland Canada の特殊製品／応用研究部門で、’67 年に経営陣の自社買収によって独立した。’90 年代初めまでの事業の中心は通信および衛星等宇宙関係で、スペースシャトルのロボットアーム等を開発していた。’90 年代末に事業を再編し通信／宇宙事業から手を引き、CAE から CAE Aviation を買収し、航空機の整備、修理事業に軸足を移していた。L-3 Communications は 2016 年に社名を

L3 Technologies に変更したが、2019 年に Harris と合併し、社名は L3Harris Technologies となった。

i. CAE

＜売上高・従業員数＞ (百万カナダドル)

年度*1	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
売上高	3,304	3,623	2,982	3,371	4,203
従業員数(人)	10,000	10,500	10,500	13,847	13,000

*1：会計年度は 3 月決算　出典：アニュアルレポート

CAE は民間用および軍用シミュレーターの世界的トップメーカーである。

'47 年に Canadian Aviation Electronics として設立され、その後、CAE Electronics と、カナダ国防軍の航空機の整備を行う CAE Aviation が並存していた。CAE Aviation はアルバータ州エドモントンに設立された Bristol のリソースを引き継いで、CF-18、CF-104、CL-41、C-130 など、主としてカナダ空軍の機体の整備・点検・修理を行っていた。その CAE Aviation を旧 Spar Aerospace(現 L3Harris Technologies)に売却したため、CAE と名称変更された。当初は電子部品や電子メカニカル部品の点検・修理を行っていたが、現在は世界的に事業を展開しているフライトシミュレーターの製造会社であり、Airbus や Boeing など全ての旅客機用に対応可能であり、日本航空でも採用している。また、2010 年には三菱リージョナルジェット向けにシミュレーター等の訓練プログラムを提供することに合意した。

CAE は Healthcare 部門や Mining 部門を設立し、新規事業を展開しているが、Mining 部門については 2015 年に Constellation Software へ事業売却した。

2021 年、CAE は L3Harris Technologies の軍事訓練事業の買収を発表した。 この買収には、Ed Link が設計、製造したオリジナルのフライトシミュレーターまでの企業の歴史をたどる Link Simulation & Training が含まれている。

j. 宇宙関連企業

カナダの宇宙産業の主要企業は約 30 社を数える。特に競争力を持っているのは、衛星通信、地球観測、宇宙ロボット、宇宙科学分野等、専門性を要求される分野である。

カナダでは宇宙関連のリーディングカンパニーであった Spar Aerospace が、米国大企業の攻勢に押されて '99 年末に宇宙分野から撤退した。

MacDonald, Dettwiler and Associates(MDA)は '69 年に設立され、リモートセンシングの分野で地球局や画像処理システムに高度な技術を築き急成長し、2012 年には米 SSL を買収した。その後、2016 年には米国に SSL MDA Holdings を設立し、2017 年には DigitalGlobe を買収した。2020 年にカナダにあった企業資産を新 MDA(新社名で略称ではない)としてトロントの Northern Private Capital へ売却し、衛星データ分析会社の Vricon を買収した。SSL MDA Holdings は 2017 年に Maxar Technologies と名称を変更し、現在は米 SSL、米 Digital Globe 等を傘下に収めアメリカの別会社となった。MDA は衛星でも Radarsat2 や多目的小型衛星 Cassiope の主契約者であり、2019 年に打上げられた RCM (RADARSAT Constellation Mission) 3 機の主契約者にも選定された。

国際宇宙ステーションのロボットアーム (SSRMS: Space Station Remote Manipulator System)開発を '99 年に Spar Aerospace から引き継ぎ、2001 年に ISS に取り付けられた。その後、2008 年には特殊目的ロボット

アーム DEXTRE を ISS へ取り付けられた。また、Hubble Space Telescope の改修などの契約を NASA から受注した。2004 年には、独 RapidEye が計画している Geo-information サービス用の 5 機衛星コンステレーションの主契約者に選定され(SSTL 製バス)、2008 年に 5 機同時に打上げられた。なお、2011 年に RapidEye は破産法の適用となったが、その後 BlackBridge を経て Planet に買収され、事業は継続している。2020 年に CSA より Gateway に設置する Canadarm3 を受注した。

衛星機器を製造する EMS Technologies は '99 年に Spar Aerospace の衛星製造部門を買収し、Radarsat-2 に搭載する合成開口レーダー(SAR)アンテナ及びレーダー電子機器、Anik F1R の Navigation アンテナ、Anik-F2 の SpaceMuxOBP 等を製作していたが、2011 年に米 Honeywell Aerospace に買収された。ComDev International はカナダで最大の衛星搭載機器メーカーであった。特に通信用中継器の入出力分合波器の分野で世界トップクラスの実力と実績を持っており、Anik シリーズやヨーロッパの Hispasat などに搭載されているが、2015 年に米 Honeywell Aerospace に同じく買収された。

Magellan Aerospace 傘下の Bristol Aerospace は小型衛星を製作しており、2003 年に CSA から発注を受け同社製の SCISAT-1 (260 kg)を打上げた。また、米国の次期 SSA(宇宙状況監視)に対応し、6,000 km から 40,000 km の衛星をマイクロ衛星により監視するための光学センサを担当した。さらに、RCM のバス部も製作した。

SED Systems は、Radarsat や Brasilsat の衛星管制装置や Inmarsat 等各種衛星の地上局を製造し、科学衛星のイオン質量分光計なども開発している。

ExactEarth は 8 機の ExactView 衛星からなるコンステレーションで船舶から送信される AIS 信号を受信しその情報を提供するサービスを行っている。同社は現在、米 L3Harris と協力し、65 機の Iridium NEXT コンステレーションにホステッドペイロードとして AIS 受信器を搭載しているほか、2018 年に打上げられたスペインの SAR 衛星 Paz にも AIS 受信機を搭載している。この他、小型衛星の分野では University of Toronto Institute for Aerospace Studies Space Flight Laboratory (UTIAS / SFL)が 3kg～500kg 程度の衛星バスを開発し、ノルウェーの AISSat や NORSAT、米国の HawkEye 実証機等に採用されている。また Kepler Communications や UrtheCast 等の小型衛星を用いたベンチャー企業も開発を進めている。

第2節　欧　州

1. 欧州共同企業及び機関

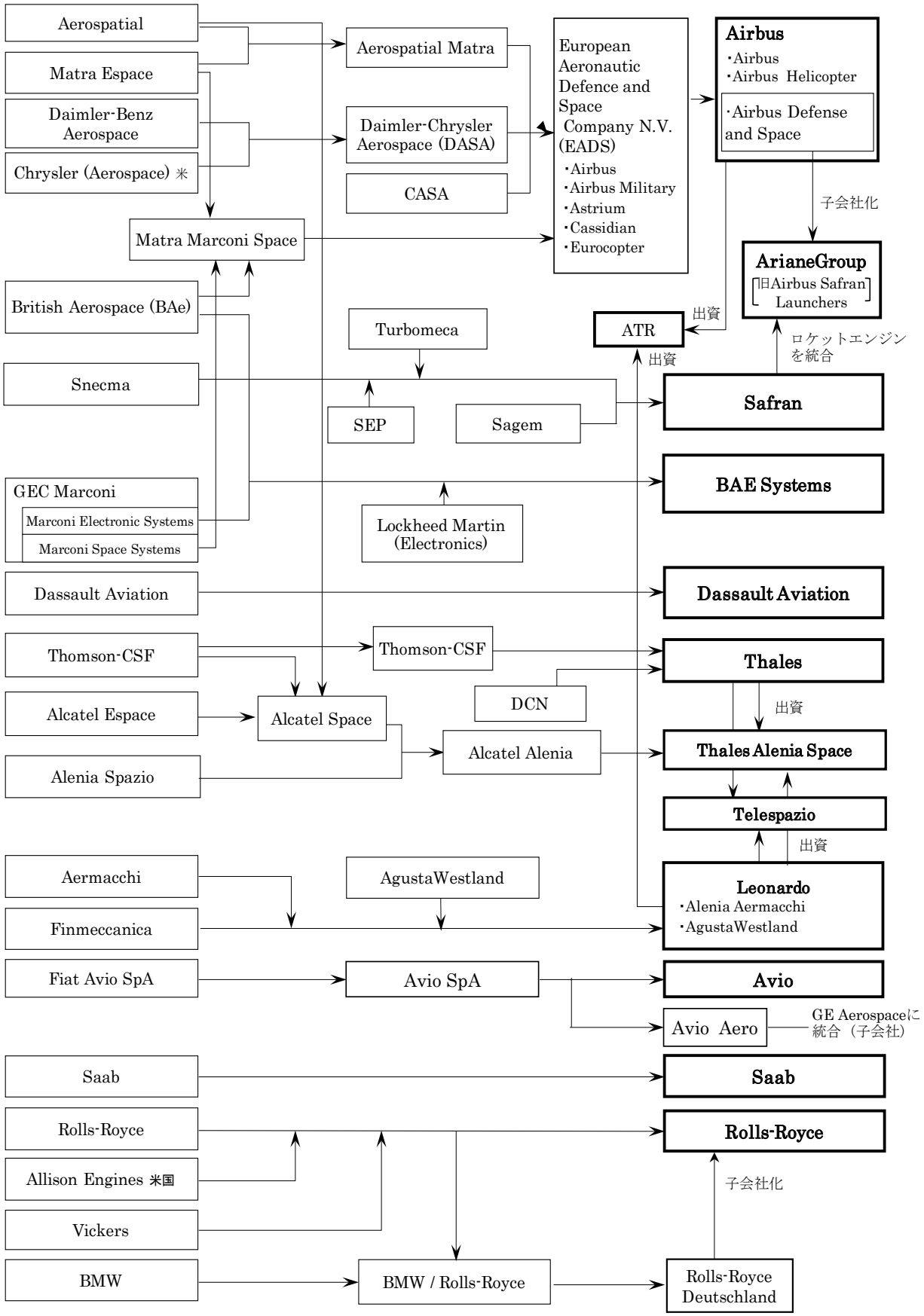
(1) Airbus

1) 沿革

’70年に米国の巨大航空機メーカーと対等に競合できるように，フランスとドイツによる企業連合としてAirbus Industrieが設立された。その後，スペインと英国が加わり、2001年に企業連合から株式会社EADSに移行した。2014年にはEADSが組織を再編成するとともにAirbus Groupへとグループ社名を変更した。民間機製造部門のみとなったAirbusとグループ統括会社であるAirbus Groupが2017年に統合され、社名がAirbusに統一された。

欧州においても米国と同様に、近年、売上、利益の低調を契機に企業間の合併及び統合(M&A)が激しいが、経済安全保障の点から工場閉鎖や国外移転は最小化される面が見られる。(図2-2-1参照)

図 2-2-1　欧州航空宇宙産業の主な M&A とグループ化



2) 現況

70 箇所以上の生産施設を有し、10 万人以上の従業員を雇用している同社は、2014 年には大幅な組織の改編を実施し、宇宙関連プログラムの欧州のリーダーAstrium、包括的システムソリューションのプロバイダ Cassidian、軍用輸送機部門の Airbus Military 部門が Airbus Defence and Space として統合された。また、ヘリコプターメーカーだった Eurocopter は Airbus Helicopters に名称を変更し、一部門となった。

3) 資本構成

Airbus の資本構成(2022 年 12 月末現在)は、フランス政府出資の SOGEPA(フランス政府の持株会社)が 10.89％、ドイツ政府が主に出資の GZBV が 10.87％、スペイン政府出資の SEPI が 4.1％、残りの 74.06％が Airbus 従業員などを含む一般ならびに自社保有となっている。

4) 業績

2022 年の売上高は€ 58.8B でその 69 ％は民間機製造部門が占め、地域別では欧州向けが全体の 31 ％を、アジア太平洋向けが 29 ％を、北米向けが 22 ％を占めている。主要構成企業の売上高に占める軍需比率は 19％で、残りの 81％は民需である。一方、受注高は€ 83B で、前年比 33％の増加、2022 年末の従業員数は 134,267 人でその 59％に当たる 79,134 人は民間機製造部門に所属している。

5) ビジネスストラクチャー

Airbus は、構成企業(Airbus (民間航空機)、Airbus Helicopters 部門、Airbus Defence and Space 部門)と関連企業(ATR (Airbus と Leonardo の合弁会社)と ArianeGroup (Airbus と Safran のジョイントベンチャー)から成っている。

6) 構成及び関連企業

a. Airbus (民間航空機)

(a)沿革

Airbus (民間航空機)の前身である Airbus S.A.S は、フランス、ドイツ、イギリスなどにまたがる航空機メーカーで、主に 100 席以上の民間用ジェット機を開発および生産してきた。また、その軍用機部門であった Airbus Military では小型(C-212)、中型(CN-235、C-295)、大型(A400M)の軍用輸送機、特殊任務機や多目的タンカー輸送機 A330MRTT を生産してきた。

2022 年の民間機部門の売上高は€ 41. 0B (前年比 13 ％増)で、研究開発投資は€ 3.1B (前年比 0.4B 増)、EBIT は€ 4.8B (前年比 0.6B 増)であった。

’67 年にフランス、ドイツ、イギリスの三国政府間で機体とエンジンの共同研究に関する予備協定が調印され、機体、エンジン共に一国一社の計 6 メーカーが、以下の通り選定され共同開発となった。

・仏：Sud Aviation、Snecma
・英：Hawker Siddeley、Rolls-Royce
・独：Deutsche Airbus (MBB (Messerschmitt-Bolköw-Blohm)と VFW-Fokker の合弁)、MTU (Motoren-und Turbinen-Union)

しかし、Rolls-Royce は L-1011 用のエンジン RB211 の開発に全力を集中することになったためこの計画より脱退し、Hawker Siddeley は独自に協力することになり、イギリスが組織外となった Airbus 計画はフランスとドイツがリーダーシップをとって進めることになった。その結果 ’69 年仏独間で協定が調印さ

れ、'70年Airbus Industrieが発足した。Airbus構成4社は'97年、Airbus株式会社化のMOUに調印した。Airbus Industrieの株式会社化に先立ち、2000年にパートナー3社が合併しAirbusの親会社のEADS(欧州航空防衛宇宙株式会社)が設立され、そこでも株式会社化が再確認され 2001 年に、Airbus S.A.S. (Societe par Action Simplifiee)が設立された。

EADSは、2014年初めにAirbus Groupに社名変更し、民間機担当のAirbus S.A.S.、防衛宇宙及び軍用輸送機のAirbus Defence and Space (ADS)、ヘリコプター(防衛及び民間)のAirbus Helicoptersの3部門が設けられた。2017年初にAirbus Groupは、傘下であった民間航空機部門Airbus S.A.S.と統一する形でAirbusとなり、Airbus Defence and Space部門とAirbus Helicopters部門はAirbusの子会社となった。

(b)生産分担

生産分担は機種により異なるが、大略、機首部と最終組立はフランス、中・後胴、垂直尾翼、内装、最終組立はドイツ、主翼は英国の GKN Aerospace、水平安定板はスペインで行われている。A320、A330、A350の最終組立はツールーズの工場で、A318、A319とA321の最終組立及び内装はハンブルグ工場で行われている。各国で製造した胴体部位や主翼などの空輸には、A300-600R をベースに開発したベルーガ(A300-600ST)5機を使用している。2014年には、ベルーガの後継機としてA330-200Fをベースにしたベルーガ XLをローンチし、2020年から定期運航を開始することが発表された。

Airbusは、2007年に中国の天津港保税区(TJFTZ)、中国航空工業集団公司(AVIC)とのJV(共同事業)で合弁会社を設立し、2008年には中国の天津にFinal Assembly Line Asia (FALA)を設置しA320の最終組立を開始した。2016年から10年間のJV延長でも合意した。2017年には、FALAで組立てた最初のA320neoをAirAsiaへ納入した。

Airbusは、2015年にA330 Completion and Delivery Center (C&DC)設置の枠組み協定をTJFTZ及びAVICと締結した。仏国ツールーズで最終組立した機体を天津のA330 C&DCまで運び、客室装備、外部塗装、エンジンテスト、飛行試験、引渡し作業を担う。天津 C&DCは、2017年に開所し、完成したA330初号機は天津航空に納入された。

Airbusは2009年に、中国黒竜江省の哈爾濱(Harbin)に、中国企業とのJV(共同事業)で合弁会社 Harbin Hafei Airbus Composite Manufacturing Centre (HMC)を設立した。Airbusの最新複合材技術を用いて2010年からA320の昇降舵、方向舵、水平安定板スパーを出荷しており、2012年からはA350の昇降舵、方向舵、尾胴の点検扉と翼胴フェアリング部品も出荷している。

このほかAirbusは、2017年に、中国のシリコンバレーと言われる深圳に、Airbus China Innovation Center (ACIC)を設立し、深圳市投資推進機関(Invest Shenzhen)と協力契約を締結した。機内エクスペリエンス、乗継ぎ、新エネルギー、都市間航空輸送などの研究やアプリケーション開発を行い、ハードウェアと合わせることでエコシステムを構築し、イノベーションパートナーシップを強化している。

2018年、AirbusとAVICの合弁会社であるエアバス北京エンジニアリングセンター(ABEC)は、中国のナノ科学技術センターと共同でナノコンポジット材料の新しい実験室を開設し、航空用途のためのポリマーナノコンポジットの設計に関する協力協定に調印した。

また、2013年から米国アラバマ州モビールに建設していたA320の最終組立工場は、2015年に稼働を開始、2016年には同工場からの初号機A321ceoをjetBlue Airwaysへ納入した。

2017 年、Airbus はカナダの Bombardier と C シリーズにおけるパートナーシップ締結の同意書を交わし、2018 年に C Series Aircraft Limited Partnership (CSALP)を設立、Airbus が 50.01 %の株式を取得した。

(c)開発機種と販売状況

エアバスファミリーは、107 席から 544 席までをカバーしている。2010 年に A320 のエンジン換装型 A320neo をローンチ、先ず PW1100G-JM エンジン搭載の A320neo が 2015 年に EASA と FAA の型式証明を取得し、2016 年には LEAP-1A エンジン搭載の A320neo も EASA と FAA の型式証明を取得した。

また、A321neo は、2016 年に PW1100G-JM 搭載機が先に型式証明を取得、翌年には LEAP -1A エンジン搭載機も型式証明を取得した。2018 年には、最大 240 席の長距離型 A321neo LR が追加型式証明を取得した。A321neo LR は、最大離陸重量の増加と燃料タンクの追加により、ETOPS 適用の航続距離を 4,000 nm (7,400km)に延ばした。また、A319neo は、2018 年に EASA と FAA の型式証明を取得した。

2014 年には A350 最初の開発型 A350-900 が EASA と FAA の型式証明を取得した。胴体延長型 A350-1000 は、2017 年に EASA と FAA の型式証明を取得した。また、2014 年にエンジン換装型 A330-800 及び A330-900 をローンチし、A330-900 は 2018 年に型式証明を取得した。また、2018 年から C シリーズ事業は Airbus が過半数の株式を持つ C Series Airbus Limited Partnership に移管され、CS100 と CS300 が、それぞれ A220-100、A220-300 と改称され、それ改称前に Bombardier が受注･納入した機数も Airbus の累計受注･納入機数に加算された。

2023 年 10 月末時点の機種別の開発経緯は、表 2-2-1 の通りである。

表 2-2-1　Airbus の機種別開発経緯、受注・納入機数

機種	代表型座席数				開発経過		2023年10月末現在	
	2-クラス	3-クラス	標準	最大	ローンチ	型式証明	受注機数	納入機数
A220	108		135		2008年7月	2015年12月	820	296
A300	251	231			1965年5月	1974年3月	561	561
A310	218	187			1978年7月	1983年3月	255	255
A318			107	132	1999年4月	2003年6月	80	80
A319ceo	124				1993年6月	1996年4月	1,486	1,484
A319neo			140	160	2010年12月	2018年12月	124	16
A320ceo	150		150	180	1984年3月	1988年2月	4,763	4,752
A320neo			165	189	2010年12月	2015年11月	4,455	1,897
A321ceo	186		185	236	1989年11月	1993年12月	1,791	1,784
A321neo			206	240	2010年12月	2016年12月	5,403	1,195
A330	335		277	440	1987年6月	1993年10月	1,810	1,585
A330neo			287	440	2014年7月	2018年9月		
A340	335	295			1987年6月	1992年12月	377	377
A350			325	440	2006年12月	2014年9月	1,072	571
A380			544	853	2000年12月	2006年12月	251	251
合計							23,248	15,104

出典：エアバス社HP

b. Airbus Helicopters 部門

'90 年代に Aerospatiale-Matra と DaimlerChrysler Aerospace の回転翼機部門の合併により設立された。本部門は 2005 年に航空機部門から独立し、1 部門となり、軍用及び民間用ヘリコプターの開発、生産及び

販売などを行っている。その主要機種にはNH90多用途ヘリコプター及びTiger攻撃ヘリコプターがある。NH90は陸･海軍向けの次世代型輸送用ヘリコプター(10トンクラス)で、フランス、ドイツ、イタリア及びオランダの間(NATO Helicopter Industries)で開発され、戦術輸送ヘリコプター及びNATOフリゲートヘリコプターの2機種がある。

民間用としては軽ヘリコプターH135(旧呼称EC135)や中型のH175(旧呼称EC175)などがある。H135は双発のマルチミッションヘリコプターで、プログラム開始以来1,000機以上を引き渡している。H175は中国AVICとの共同開発・生産による多任務ヘリコプターで、2014年に初号機が納入された。また、高速のハイブリットヘリコプターX3開発も実施した。2022年の売上高は€7.0B(前年比8.3％増)、受注高は8.1％増の€9.3Bで、2022年末の従業員数は20,803人である。

c. Airbus Defence and Space部門

現在、軍用機分野、通信・情報およびセキュリティ分野、宇宙分野の3分野で構成されている。同部門全体の2022年の売上高は€11.3B(前年比10.5％増)、受注高は€13.7B(前年同)で、2021年末の従業員数は34,330人である。

(a) 軍用機分野(Airbus軍用機部門とCassidian戦闘機部門を継承)

次世代多任務戦闘機Eurofighterの生産、修理及び整備、軽戦闘機及び訓練機や無人航空機の設計などを行っている。2017年に500機目のEurofighterを引き渡した。小型(C-212)、中型(CN-235、C-295)、大型(A400M)の軍用輸送機、特殊任務機や多目的タンカー輸送機A330MRTTを生産している。

(b)通信・情報およびセキュリティ分野(旧Cassidian)

本分野は2003年に防衛及びセキュリティの主要な柱として設立され、欧州最大の戦術ミサイルのサプライヤーである。本分野には以下の3つのコアビジネスがある。

①ミサイルシステム

対戦車、地対地、地対空、空対空及び対艦ミサイルシステムなどの生産。

②無人航空機

Northrop Grummanと共同で、Euro Hawk高高度無人航空機を開発し、2010年に初飛行に成功したが、2013年に開発中止となった。

③セキュリティ・ソリューションズ

国境安全保障、海上セキュリティなど向けにインテグレイテッドシステムズを供給している。

(c) 宇宙部門

Airbusの宇宙部門は、2014年の組織見直しにより軍用機部門と共にAirbus Defence and Space(ADS)となった。その母体であった旧EADS AstriumはBoeing、Lockheed Martinに次ぐ世界第3位の宇宙システムメーカーであり、衛星、軌道インフラストラクチャ、ロケットや関連サービスを提供していた。

EADSの設立と並行して2000年にEADS:75％(独DASA:50％、仏Aerospatiale-Matra:25％)及び英BAE Systerms:25％の出資で、Astriumが設立された。母体は英仏Matra Marconi Space(MMS)及び独DASA宇宙事業部門である。2002年にBAE Systermsの持ち分がEADSに売却され、EADS100％出資の子会社となり、2003年に社名がEADS Astriumに変更された。

通信衛星分野では90機以上の実績を有する静止衛星用標準バスEurostar E3000、Eurostar NEOに加

え、軌道上再構成可能な Onesat がある。地球観測・警戒監視・科学衛星分野では、Spot シリーズ、Pleiades、METOP 等の観測・気象衛星から MarsExpress、Venus Express、BepiColombo-MPO / -MMO 等の惑星探査機まで幅広い用途の衛星を製造している。欧州航行衛星プログラム Galileo にもコンソーシアム Galileo Industries を通して参画し、Galileo System Test Bed (Giove-B)及び IOV (In-Orbit Varidation) 4 機を打上げた。2023 年には 2 機の Eurostar E3000、1 機の Eurostar NEO が打上げられた他、、Onesat バス 1 機の静止通信衛星を受注した。

宇宙輸送関連では、Aérospatiale-Matra 宇宙輸送部門や DASA 宇宙インフラストラクチャ部門が統合された EADS Space Transportation が、その後 EADS Astrium へ統合、Airbus に改称、Airbus Safran Launchers の設立を経て、2017 年に ArianeGroup に名称が変更された。ArianeGroup は Airbus と仏 Safran が 50/50 で設立した合弁企業であり、Arianespace 株式の 74 %を保有している。打上げロケットとしては、Aérospatiale-Matra 時代の '65 年に Diamant ロケットを開発し、欧州初の人工衛星打上げに成功した。その後は世界の主力ロケットとなった Ariane 5 のシステムインテグレーション、ISS への物資補給のための欧州輸送機 ATV (Automated Transfer Vehicle)の主契約者等を経て、Ariane 6 の開発も担当している。

⑵ ESA(欧州宇宙機関)

[概況]

欧州諸国は共同で宇宙開発を実施することを目的として、'62 年 ELDO(欧州ロケット開発機構)と ESRO(欧州宇宙研究機構)を設立し、ロケット、人工衛星の開発及び運用を行っていたが、両者を発展的に解消して統合し、欧州宇宙機関(ESA)を '75 年に発足させた。ESA の目的は宇宙技術、宇宙応用等の分野で平和利用のために欧州諸国の協力を促進すること及び長期的欧州宇宙政策の推進・産業政策の実施等である。2021 年における正式加盟国はフランス、ドイツ、イタリア、英国、ベルギー、スペイン、オランダ、スイス、スウェーデン、オーストリア、デンマーク、フィンランド、アイルランド、ポルトガル、ノルウェー、ギリシャ、ルクセンブルグ、チェコ、ルーマニア、エストニア、ハンガリー及びポーランドの 22 ヵ国、スロベニア、ラトビアが準加盟国であり、ブルガリア・キプロス・リトアニア・スロバキア・クロアチアが協力協定を結んでいる。カナダは特別協力国と位置づけられている。

ESA の活動は科学プログラムや管理など一般予算のような義務的なものと任意参加プロラグムに分けられている。現在の主要な開発プログラムは、次世代航行衛星システム、環境監視衛星、宇宙探査、国際宇宙ステーション軌道上実験室コロンバス、次世代通信実験衛星等がある。本部はパリ、技術開発センター(ESTEC)はオランダ、衛星管制センター(ESOC)はドイツ、打上げ射場は仏領 Guiana にある。2023 年の職員数は約 2,200 人である。

表 2-2-2　ESA 各国出資比率(2022 年)

国　名	予算(M€)	比率(%)
フランス	1178.2	23.4
ドイツ	1017.5	21.3
イタリア	680.2	13
イギリス	437.9	9.2
その他の国他	1496.2	33.1
合　計	4810	100

出典：ESA ホームページ

[予算]

財政は加盟国の寄与に依存しており、支出面では義務的活動のための支出と任意に加盟国

が選択するプログラムに分けられ、前者は各国の平均国民所得に基づいて出資、後者は出資国の負担率に応じ契約委託される。各国の出資比率を表 2-2-2 に示す。2023 年の予算は加盟国出資金が€ 4.55B、その他収入が　　€ 1.94B で合計€ 6.49B である。

［宇宙輸送系］

ESA は'79 年に Ariane 1 型の打上げに成功して以来、Ariane シリーズのロケットは 2～6 型と開発を進めてきた。'80 年に Ariane ロケットの打上げを実施するために欧州企業が共同で Arianespace を設立して以降、米国 SpaceShuttle の衛星打上げのコスト高、中国の商用ロケットへの米国技術の不正移転問題を背景に、商業目的を徹底的に追求し、低価格での衛星打上げ事業に'90 年代に成功し、世界の商用衛星打上げ市場を一時寡占していた。2023 年末までに累計で 261 機の Ariane ロケットを打上げた。

Ariane 5 は 2023 年に 2 機打上げてプログラムを完了、累積打上げ回数は 117 回、通算の成功率 95.7％(部分的な成功は除く)となった。2003 年以降 82 回連続して打上げに成功していたが、2018 年の SES-14 / Al Yah-3 打上げでは、パラメータ設定のミスにより両衛星とも予定と異なる軌道に投入されるという不具合が発生した。2010 年代に台頭してきた米 SpaceX の Falcon 9 と競合し、より低価格化が求められ Ariane 5 後継の Ariane 6 を開発中で 2022 年の初飛行をめざしていたが、打上げ予定は遅れている。また ESA は Soyuz の打上げに関する協定を 2005 年にロシア連邦宇宙局(Russian Federal Space Agency: Roscosmos)と締結し、2022 年末までに 64 機の Soyuz ロケットが仏領ギアナから打上げられた。2022 年 2 月 OneWebF13 を Soyuz で打上げたが、ロシアによるウクライナ侵攻による経済制裁の対抗措置として Soyuz 打上げはロシアが停止した。

ESA は小型衛星打上げ用に 3 段式の固体ロケット Vega を開発し、2012 年初号機打上げ後 2019 年の 14 号機まで連続成功したが、同年の 15 号機 Falcon Eye-1 打上げは 2 段ロケットモータの不具合により失敗した。2020 年 1 機の打上げは成功したが、1 機は配線ミスで失敗した。2021 年に 3 機、2023 年に 1 機が連続成功している。改良型の Vega C は 2022 年 7 月の初打上げは成功したが、2022 年 12 月の打上げは失敗した。

現在 ESA ではプロジェクトの資金拠出比率により製造分担を決める方式がロケットの国際価格競争力と開発速度を削ぐと複雑な開発ルールの見直しが議論されている。

［科学衛星・宇宙探査分野］

'68 年に太陽 X 線観測衛星 ESRO-II を打上げて以来多くの科学衛星や探査衛星を打上げており、2000 年以降もγ線源探査天文衛星 Integral (2002 年) 火星探査機 Mars Express (2003 年)、金星探査機 Venus Express (2005 年)、小型月探査機 SMART-1 (2003 年)、ハーシェル宇宙天文台(Herschel Space Observatory, 2009 年) 宇宙の起源と進化を調べる Planck (2009 年)など多くの実績がある。また、土星探査機 Cassini/Huygens を NASA と共同で開発し打上げ、ESA は土星の衛星タイタンの大気中を降下する Huygens Probe を担当し 2005 年に着陸を成功させ、多くの探査情報が得られた。

現在進行中のプログラムは、GAIA 宇宙天文観測衛星(2013 年、銀河系の組成、構成及び進化の分析を行う)、LISA Pathfinder、Exo Mars 等がある。GAIA は 2014 年に軌道上試験を完了し、科学運用フェーズに移行した。500 万 km 離れた 3 機の衛星のレーザーインタフェロメトリーにより重力波を観測する LISA 計画はもともと ESA と NASA の共同プロジェクトだったが、2011 年に NASA が撤退し計画が見直され、

2030 年代の打上げを目指している。2015 年に LISA 搭載機器の軌道上実証を行う LISA Pathfinder が Vega ロケットにより打上げられた。NASA との協力で開始された火星探査プロジェクト ExoMars は、NASA の離脱により存亡の危機に立たされたが、2012 年にロシア宇宙庁が参加を表明し開発が継続された。2016 年には探査機(Mars Trace Gas Orbiter, ExoMars)を打上げ、2022 年には着陸機を打上げ予定であったが、ExoMars はロシアによるウクライナ侵攻を受けて凍結が発表された。ESA はロシア以外のパートナーとのプロジェクトの再開を探っている。他 2018 年に日本と共同開発の水星探査機 Bepi Colombo -MPO / -MMO が、2019 年には太陽系外惑星探査を行う CHEOPS が打上げられた。

[通信衛星分野]

ESA は Alcatel Space(現 Thales Alenia Space)、EADS Astrium(現 Airbus Defence and Space)と共同で 8000kg 級(Alphabus)の大型衛星の開発を開始することを 2005 年に発表し、Inmarsat に採用する計画で開発、2013 年に Alphasat (Inmarsat 4AF4)の初号機打上げ、軌道への投入、太陽電池アレイと主反射鏡の展開に成功した。このほか、ESA では商用静止通信衛星市場における欧州宇宙産業の競争力強化を目指した産業支援プログラム ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems)を実施しており、ARTES8 では上記大型静止通信衛星 Alphabus / Alphasat を、ARTES11 では小型静止通信衛星 small GEO を、そして ARTES14 では次世代静止通信衛星 NEOSAT の開発を行っている。このうち small GEO として Hispasat 36W-1 (旧 AG1)が 2017 年に打上げられた。次世代通信衛星 NEOSAT として開発が進んでいる TAS 製 Spacebus Neo の初号機は Eutelsat Konnect として 2020 年に打上げられ、ADS 製 Eurostar-Neo 初号機は 2022 年 10 月に Hotbird 13F として、打上げた。

[気象衛星分野]

静止気象衛星 Meteosat-1('77 年)以来継続的に開発し、第 2 世代の Meteosat である MSG (Meteosat Second Generation、スピン安定)が開発され、2015 年までに計 4 機が打上げられた。現在は、2021 年ごろの打上げを目指した第 3 世代の Meteosat MTG を開発中である。一方、極軌道気象衛星 METOP は 2006 年に初号機が打上げられ、2018 年に 3 号機を打上げた。さらに、2025 年打上げを目指して第 2 世代 METOP-SG シリーズを開発している。気象衛星はヨーロッパ 30 ヵ国から構成される EUMETSAT ('86 年設立)によって運用・データの配布が行われ、開発は ESA が EUMETSAT から委託を受けて実施している。

[地球観測衛星分野]

地球観測分野では、'90 年代以降 ERS-1, 2 や Envisat 等の衛星を打上げ、膨大な地球観測データが蓄積されてきた。ESA は EU と共同で環境・安全保障のための全地球監視 GMES (Global Monitoring for Environment & Security)計画を立ち上げた。GMES はその後 Copernicus と改称され、Sentinel を含む 30 機にのぼる衛星からの情報を活用する大規模な地球観測システムとなる計画である。危機管理、陸域観測、海域観測、大気観測、安全保障、気候変動の 6 つのサービスがあり、一部のサービスはすでに運用を開始している。ESA が開発する Sentinel シリーズは、2020 年までに Sentinel-1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 5P, 6A が打上げられている。2022 年 8 月、Sentilel-1B の運用が終了し、Sentinel-1C を Vega-C で打上げる予定である。

[航行衛星分野]

欧州連合(EU) / ESA は独自の次世代航行衛星システム Galileo を整備する計画を打ち出して開発を開始し、約 12 時間で地球を一周する衛星を 30 機打上げ、カーナビ、資源探査、地域・都市計画作成などの民生利用

を中心にサービスを提供し、精度は 1m 以内を目指している。中国、カナダ、インド、イスラエル、韓国、ウクライナも Galileo に参加して新システムを構築、米国への対抗軸として、世界規模の情報インフラを整備する。Galileo 計画の総投資額は€7B 近くにのぼるとみられ、EU 独自では過去最大の科学プロジェクトとなる。

2005 年に最初の実験衛星(Giove-A、400 kg、SSTL 製)打上げ、2008 年に実証衛星 2 号機(Giove-B、現 ADS 製)、2011 年と 2012 年にシステム検証用衛星(IOV: In-Orbit Validation、425kg、Astrium・TAS が受注)を 4 機打上げた。IOV は、ペイロードは英国の現 ADS で、衛星の開発・設計はドイツの現 ADS で衛星の組み立てはイタリアの Thales Alenia Space で行われた。Galileo の調達はシステムサポート、衛星、ロケット、地上測位インフラ、衛星管制インフラ、運用の 6 つのカテゴリーで調達され、システムサポートの第一期(2010-2014)は TAS が受注している。

運用機(FOC: Full Operational Capability)は最終的に 27 機＋スペア 3 機を高度 23,616km、傾斜角 56 度の中高度軌道(MEO: medium earth orbit)の 3 軌道面に配置する。運用機については全 30 機を OHB が受注した。周波数問題等で調整が続けられていた米国との間で協力協定も合意された。2014 年には Soyuz ST ロケットによる FOC 衛星 2 機の軌道投入に失敗したが、打上げは継続し、2018 年に打上げられた FOC 衛星 4 機を含めて 21 機の衛星が現在稼働中である。2021 年に 2 機が打上げられた。EU は 2016 年から Galileo の初期サービス開始した。

[有人システム・宇宙環境利用分野]

国際宇宙ステーションに取付けられる軌道上実験室 Columbus は材料実験やライフサイエンスなど最大 500 テーマの実験ができる宇宙実験室で Space Shuttle で打上げられた。2000 年には「頭脳」となる ESA のデータ管理システムが収納されている ISS Zvezda モジュールが Proton ロケットで打上げられた。また、ISS に物資を輸送する欧州補給機 ATV (Automated Transfer Vehicle)を開発し、2004 年に EADS に 6 機の ATV を約€1B で発注した。ATV は 1 号機を 2008 年に、2014 年に打上げた 5 号機で終了した。なお、ISS について米国が提案した 2024 年までの運用延長に関し、ESA も同意することが 2016 年発表され、2030 年までの延長についても支持している。また、Artemis 計画については 2019 年に ESA が参加することを決定した。Orion 宇宙船 推進モジュールを開発後、2022 年に軌道上で飛行実証した。

[その他の分野]

ESA の先進小型技術衛星である PROBA (Project for On Board Autonomy)をインドの極軌道衛星打上機 PSLV-C3 で 2001 年に打上げた。次世代衛星の開発に重要な技術を実証することが目的で、運用コスト削減のため地上局に極力依存しない自動化システムを搭載している Proba-2 衛星を 2009 年に、植生観測衛星 Proba-V を 2013 年に打上げた。現在は、編隊飛行の実証衛星 Proba-3 を開発中であり、2024 年の打上げを予定している。また、2019 年には、デブリ除去実証ミッション ClearSpace-1 に関してスイスの ClearSpace と契約した。ClearSpace-1 では現在軌道を周回している打上げロケット Vega の副ペイロードアダプタ Vespa(質量 100 kg)を除去する計画である。

2. イギリス

(1) 沿革

イギリスの航空機産業は第一次世界大戦を契機として急速に発展し、'18 年には年間約 1 万機を生産するまでになった。多数の企業が航空機の開発・生産に参入し、'40 年代末には機体メーカー33 社、エンジン・メーカー12 社を数えたが、その後、限られた市場を奪い合う形となって弱体化し合併統合が進んだ。2004 年にヘリコプター事業(AgustaWestland)をイタリアの Finmeccanica (現 Leonardo)に売却したため、現在では BAE Systems、GKN Aerospace、Rolls-Royce にほぼ集約されている。また、電子機器等の装備品についても、欧州有数の Smith Aerospace が 2007 年には GE Aviation(現 GE Aerospace)に吸収されるなど、統合が進んでいる。

産業規模の面でも、第二次世界大戦で疲弊しきった欧州に対して、拡張しつつ無傷で残った米国の航空機工業によって '50 年代半ばからシェアを奪われ始め、イギリス製の Viscount、Britannia、BAC1-11、VC-10、Trident などが次々と駆逐された結果、戦後のピーク時で 30 万人いたイギリスの航空機工業の従業員数は、現在ではその 3 分の 1 程度となっている。

しかし、航空機の開発は、Viscount(ターボプロップ旅客機)、Comet(ジェット旅客機)、Harrier(戦闘/攻撃/VTOL 機)、Trident(自動着陸システムの旅客機)、Concorde(超音速旅客機)など、様々な「世界初」の機体を誕生させるとともに、TSR-2(攻撃機)の開発や Lightning(戦闘機)、Hawk(高等練習機)、Lynx(汎用ヘリ)等の様々な機体を開発・生産した。また、Jaguar(攻撃機)、Tornado(攻撃機/戦闘機/電子戦機)、Typhoon(戦闘機)等の国際共同開発・生産も実施した。これらの実績は、今日でも最高水準にある機体、エンジン、計器、電子装置等の分野における高度で幅広い技術力の原動力となっている。また、フィーダー・ライナー(短距離小型旅客機)はイギリスが伝統的に強みを持っていた分野であったが、BAe のコーポレート・ジェット部門の売却('93 年)や、米国の 9.11 同時多発テロ(2001 年)などの影響により BAe146/Avro RJ の後継機である RJX を中止(2001 年)するなど撤退した。

宇宙では Royal Aircraft Establishment の Black Arrow ロケットや British Aerospace, Marconi Electric の通信衛星など '60-70 年代頃は先進的な開発・製造を行っていたが、主契約者の市場から撤退し、他国の宇宙機へ装備品等の部分システム供給者になっていた。最近になって New Space Eco system の小型衛星分野で活動が活発になり、小型打上げロケット、小型衛星、宇宙旅行などの事業主体者として市場に復帰している。

⑵ 現況

イギリスの航空機工業の能力を十分に生かすには、軍用機、民間機ともに国内マーケットのみでは不足しているため、国際共同開発への参画や海外市場の開拓が必須である。現在では、Eurofighter の Typhoon 戦闘機、Airbus の民間航空機及び軍用輸送機 A400M、Lockheed Martin の F-35 戦闘機などの国際共同開発や製造分担を通じ、世界の航空宇宙工業の一翼を担っている。

2022 年 12 月に、日英伊の 3 か国の共同首脳声明として次世代戦闘機を共同開発する「グローバル戦闘航空プログラム(Global Combat Air Programme (GCAP))」が発表された。イギリスにおいては BAE、Rolls-Royce、Leonardo UK がプログラムへの参画を表明している。

⑶ 概要(生産・輸出入等)

イギリス航空宇宙工業の生産・輸出入等は表 2-2-3 のとおりとなっている。

表 2-2-3　イギリス航空宇宙工業の生産・輸出入等

暦年	売上高	輸出高	輸出比率	輸入高	従業員数	従業員1人当たり
	（千万ポンド）	（千万ポンド）	（%）	（千万ポンド）	（人）	売上高（ポンド）
2002	1,614	1,017	63	1,269	117,256	137,648
2003	1,708	1,041	61	1,095	121,979	140,024
2004	1,771	1,151	65	985	114,345	154,882
2005	2,267	1,519	67	1,140	124,237	182,474
2006	1,982	1,243	63	1,536	124,234	159,538
2007	2,039	1,220	62	1,365	113,318	179,936
2008	2,108	1,419	69	1,399	100,740	209,252
2009	2,222	1,545	70	－	100,327	225,300
2010	2,306	1,607	70	－	96,510	238,939
2011	2,416	1,802	75	－	100,658	240,021
2012	2,540	2,210	87	－	106,800	237,828
2013	2,780	2,470	89	－	109,100	254,812
2014	2,920	2,630	90	－	110,600	264,014
2015	3,110	2,700	90	－	128,300	242,401
2016	3,180	2,770	87	－	120,000	265,000
2017	3,500	3,000	86	－	123,000	284,553
2018	3,590	3,420	95	－	111,000	323,423
2019	3,390	3,180	94	－	114,000	297,368
2020	2,490	2,430	98	－	116,000	214,655
2021	2,240	1,520	68	－	111,000	201,802
2022	2,700	1,860	69	－	108,000	250,000

～2008年：The Society of British Aerospace Companies Ltd.(SBAC)資料
2009～2011年：ADS (Aerospace Defence Security) Group Ltd.資料(UK AEROSPACE SURVEY)
2012～2013年：ADS Group Ltd.資料(AEROSPACE INDUSTRY OUTLOOK)
2014～2016年：ADS Group Ltd.資料(UK AEROSPACE OUTLOOK)
2017～2022年：ADS Group Ltd.資料(INDUSTRY FACTS & FIGURES)

⑷　宇宙開発

イギリスの宇宙開発は'85年設立のイギリス国立宇宙センターBNSC (British National Space Centre)により統轄され、宇宙関係機関に対する調整が行われていたが、イギリスの宇宙活動をひとつにまとめるため、2010年よりイギリス宇宙庁(United Kingdom Space Agency、UKSA)がBNSCの業務を引き継ぐ形で設立された。ビジネス・イノベーション・技能省(BIS)の政策や、これまで自然環境研究会議(NERC)、英科学技術政策会議(STFC)等が負担していたESA拠出金など宇宙分野における政府予算や、欧州のCopernicus、Galileoなどを担当していた。

Space Innovation and Growth Strategy 2014-30とそれを受けたSpace Growth Action Planとして、英国の宇宙産業市場規模を2020年までに£19B(全世界の宇宙産業市場規模の8%)、2030年までに£40B(全世界の宇宙産業市場規模の10%)を目標としている。その目標達成に向け、体制を強化するため、UKSA長官のもとに、Chief Executives Office、Steering Board、Audit Committeeを設置した。また、高付加価値のある市場構築として、商業サブオービタル宇宙飛行をはじめとした商業宇宙輸送分野の強化や、UKSA初のキューブサットプログラムとしてUKube-1 (2014年に打上げ)等を推進中である。2019年には宇宙産業法が成立し、英国内からの商業打上げが可能となった。英国政府の発表によると、商業打上げにより£数Bの経済効果が

見込めるとのことである。UKSA は Scotland 北岸の Sutherland を初の英国内垂直打上げ射場として選定した。打上げ運用は米 Lockheed Martin、打上げロケット開発は英 Orbex が担当する。また、英国の EU 離脱に伴い欧州委員会が Galileo から英国を排除する意向であることを受け、英政府は Galileo を国家インフラや安全保障に使用しないことを決定した。英国では、Galileo に代わる独自の全地球衛星航法システム(GNSS)の構築について検討を進めている。

イギリスは '62 年、地球上層大気や電離層を観測する科学衛星 Ariel を NASA の支援で打上げ、世界で 3 番目の国産衛星保有国となった。英国では BAe が最大手の宇宙関連企業として多くの実績を残したが、'94 年に宇宙部門が Matra Marconi Space(MMS)に吸収された。その後、現在は Airbus Defence and Space(ADS)の一部となっている。

また、2009 年に現 ADS に買収された SSTL は世界最大の小型衛星企業である。小型衛星の分野では、2005 年に設立された Glasgow 市にある CLYDE SPACE が、2010 年小型衛星分野で世界市場への進出のために投資を受け、2011 年英国宇宙会議から貿易への貢献で Arthur Charles Clarke 賞を受賞した。また、CLYDE SPACE は UKSA 初のキューブサット UKube-1 の製造も担当した。

[科学衛星分野]

ESA を中心に国際協力を進めており、米国、ESA との紫外線天文衛星 IUE、米国、オランダとの赤外線天文衛星 IRAS('83 年)などの計画に参加した。ESA の太陽・地球科学プログラム(Cluster、SOHO、ISO、XMM)や Cassini 計画にも参加し観測機器を担当している。ESA の XMM や彗星探査機 Rosetta 計画、Mars Express の火星着陸機 Beagle 2 開発等に参加した。また、2015 年に打上げられた LISA Pathfinder にも参加している。

[地球観測分野]

ESA の活動を通じて、ERS-1/-2、Envisat 及び気象衛星 METOP-1 の開発に参加している。MMS(現 ADS)が Envisat プラットフォームの開発とインテグレーションを担当し、他にも 2 つの観測機器を開発した。UKSA は SSTL と協力して、7 ヵ国による多数のマイクロサットからなる災害監視用コンストレーション(DMC)プロジェクトを進めており、2015 年には DMC-3 シリーズ 3 機(SSTL-S1 1-3)が、2018 年には 4 号機となる SSTL-S1 4 が打上げられた。

[通信衛星分野]

早くから自国の軍事通信衛星 Skynet を開発したほか、ESA の多くの通信関連衛星(ECS、MARECS、Olympus)の開発に重点的に関わってきた。2001 年には Skynet-4F(現 ADS 製)、2007 年以降 Skynet-5A ~ 5D (現 ADS 製)を打上げた。Skynet-5 衛星は PFI (Private Finance Initiative: 民間事業者 Paradiam Secure Comm 主導)方式で運用される。次期 Skynet-6A は ADS 製 Eurostar Neo で製造予定であり、2025 年に Falcon 9 で打上げる予定である。国際機関での活動にも力を入れており、英国宇宙産業は Intelsat などへの加盟を通じて国際通信市場で多くのシェアを獲得してきた。また、通信分野における商業化も熱心に推し進められている。UKSA は英国のエレクトロニクス産業協会と協力して、競争力の向上、参加の促進と宇宙産業界と政府との協調を図ろうとしている。なお、SSTL は Galileo FOC のペイロードを製造している。

商用通信の分野では、OneWeb が 600 機以上の衛星コンステレーション構築を目指しており、2019 年に最初の 6 機を打上げ後、2023 年も打上げを継続している。

[その他の分野]

英 Virgin グループは、米 Scaled Composites と技術提携を結んで 5 人乗り宇宙船を開発し 2007 年までに世界初の商業宇宙観光旅行サービスを開始すると発表した。その後、2014 年には試験飛行等があり計画は大きく遅れたが、2018 年にパイロット 2 名が SpaceShipTwo 2 号機に搭乗し宇宙空間に到達したのに続き、2019 年には 3 名を乗せて宇宙空間に到達した。同社は 2023 年に最初の商業サービスを開始した。

軌道上サービス分野では、SSTL が Surrey 大学と共同で打上げた RemoveDEBRIS が、2019 年には銛を使用したデブリ除去実証にも成功した。

また、2018 年に英国のスタートアップ企業 Effective Space が、International Launch Service (ILS) と 2 機の Space Drone の打上げ契約を結ぶ意向であると発表した。Space Drone は静止軌道上の衛星にドッキングして軌道制御や姿勢制御を行なう寿命延伸サービスを提供する。同社は、将来は能動的なデブリ除去にも適用可能であるとしている。

⑸ 企業動向

イギリスの主要 3 社の売上高等は表 2-2-4 のとおりである。

表 2-2-4　イギリス主要メーカー別売上高・従業員の推移

（売上高：百万ポンド、従業員数：人）

暦年	BAE Systems		GKN Aerospace		Rolls-Royce	
	売上高	従業員数	売上高	従業員数	売上高	従業員数
2015	17,904	82,500	2,500	16,700	13,354	50,500
2016	19,020	83,100	3,423	17,950	13,783	49,900
2017	19,626	83,200	3,638	17,700	15,090	50,000
2018	18,407	85,800	2,521	16,670	15,067	54,500
2019	20,109	87,800	3,850	17,000	15,450	51,700
2020	20,862	89,600	2,800	15,000	11,763	48,200
2021	21,310	90,500	2,500	15,000	10,947	44,000
2022	23,256	93,100	2,960	15,000	12,691	41,800

出典：各社アニュアルレポート(GKNはAerospace部門のみ)

a. BAE Systems

'77 年に British Aircraft (BAC)、Hawker Siddeley Aviation、Hawker Siddeley Dynamics、Scottish Aviation の 4 社を統合し、国有企業である British Aerospace として設立された世界有数の防衛航空宇宙企業である。

'81 年には国有企業の民営化で株式を公開し、財務改善、マネジメント改革等、経営体質を強化した。'87 年に国営兵器メーカーの Royal Ordnance、'88 年に車輌メーカーの Rover の買収により、事業を多角化して売上高を大きく伸ばした。しかし、その後の不況の影響により、'93 年にはコーポレート・ジェット(Hawker)部門を米国 Raytheon に、'94 年に自動車ブランド Rover を BMW に売却したほか、建設事業からも撤退した。その後、'99 年に英国 GEC の防衛部門である Marconi Electronic Systems を買収して社名を BAe (British Aerospace)から BAE Systems に改称した。BAE Systems は、2005 年の米国 United Defence の買収、2006 年の Aerostructures business 部門の Spirit AeroSystems への売却、2007 年の米国 Armor Holdings の買収、2008 年の米国 MTC Technologies、豪 Tenix Defence、英 Detica の買収、2011 年の

Composite Structure 部門を Encore Composite Holding へ売却など選択と集中で M&A と売却を積極的に行い、防衛産業における地位を英、米などで強化している。

現在の事業分野は、航空宇宙分野のみならず陸上、艦艇、核兵器、サイバー機器、電子装備等多岐にわたる防衛事業を主体に構成し、ファーンボロを中心として多数国に事業展開されている。

軍用航空機分野では、Hawk、Harrier、Nimrod(哨戒機)、Typhoon 等の有人機及び Taranis 等の無人航空機の開発・製造に加え、米国 JSF/F-35 の開発に参画している。

2022 年 12 月、日英伊の新戦闘機開発計画 GCAP に参加し、第 6 世代機開発に加わることとし、Tempest 開発を継承した。

また、'98 年からスウェーデンの Saab に出資し、2001 年には Saab と共同で JAS39 Gripen(戦闘機)の輸出やサポート業務等を行う Gripen International を設立し、南アフリカ、ハンガリー及びチェコ共和国への輸出を進めている。

民間航空機分野については、Airbus に 20 %を出資して主に主翼の開発・製造を担当していたが、2006 年に保有する Airbus 株式を EADS に売却している。

BAC は'50 年代から宇宙開発に取り組み、主契約の衛星は OTS、Eutelsat-2、Marecs、Orion など一連の通信衛星及び Geos、Giotto の科学衛星である。Inmarsat- 2 では Matra、Hughes、Fokker Space Systems BV と組んで受注に成功した。また BAe Space Systems は NASA の観測衛星 UARS('91 年打上げ)に搭載した成層圏・中間層サウンダーをオックスフォード大学と共同で開発した。'86 年から'89 年にかけてイギリスの宇宙政策が地球観測と科学の分野に重点を置くようになったため、通信衛星のシステム受注中心からサブシステム、ペイロード受注への転換を余儀なくされた。'92 年には Artemis 衛星のプラットフォームと移動体通信中継器の契約を獲得した。

2000 年、BAE Systems が Marconi Electronic Systems を通じて 50 %出資していた MMS('94 年の衛星部門売却先)と独 DASA 衛星部門を統合して Astrium (EADS 75 %、BAE Systems 25 %出資)を設立させた。英国の宇宙開発は Astrium を中心に展開することになる。2002 年に BAE Systems は Astrium の持分を EADS に売却し、Astrium から EADS Astrium への社名変更を経て、現在は ADS に吸収された。

2023 年 8 月 17 日に BAESystems は米国 Ball Aerospace を約 55.5 億ドルで買収する ことに合意したと発表し、更なる防衛宇宙分野におけるポートフォリオ拡充を目指 している。

b. GKN Aerospace

GKN は、GKN Aerospace で航空機機体構造部品及びエンジン構造部品の設計・製造を行なっているメーカーである。2019 年の航空宇宙事業の売上は全体の約 47 %で、先進的な複合材機体構造の設計・製造に特徴を有している。'94 年に Westland Helicopter を GKN グループの傘下に収め、'95 年に GKN Westland Helicopter と改称し、ヘリコプターの製造を引き継いだ。しかし、2001 年にイタリアの Finmeccanica(現 Leonardo)とのヘリコプター事業の統合(Agusta Westland(現 Leonardo Helicopters Division))を行い、2004 年にはヘリコプター事業を同社に売却した。2012 年にはエンジンのサプライヤーである Volvo Aero、2015 年には Fokker Technologies を買収した。

複合材技術については、Aerospace Composite Technologies 等の買収を通じて複合材構造の製造技術等を取得、2005 年には複合材開発センターを開設して複合材部品の低コスト化及び製造技術の自動化などに

取り組んでおり、Airbus (A400M、A220)、Boeing (B737、B767、B787)、Lockheed Martin (F-22、F-35)、GE Aerospace (GEnx)、Honda Aircraft Company (HondaJet)などへ、複合材部品・組立品の供給を行っている。2009 年には、イギリス南西部にある Airbus の主翼部品製造工場を獲得し、A350 の炭素繊維複合材製主翼の製造を担当する等、Airbus の機体構造部材製造の 1 次下請け(Tier 1)である。複合材部品だけでなく、B787-9 や F-35 にチタン合金製部品等を供給している。また、2012 年の Volvo Aero 買収以降、エンジン構造部品の売上比率も伸長している。2018 年に GKN グループは、Melrose Industries に買収されたものの航空宇宙事業部門は、継続して GKN Aerospace として事業展開を行っている。

c. Rolls-Royce

Rolls-Royce は創業が 1906 年、エンジンの製造開始が '15 年という古い歴史をもつ世界的企業である。'66 年にもう一つの有力エンジン・メーカーであった Bristol Siddeley Engines を合併し、イギリスの大半の航空エンジンをカバーすることになり、世界の 3 大航空エンジン会社の一つである。

'71 年には大型旅客機 L-1011 搭載用の RB211 エンジンの開発から財政危機に陥って倒産し国有化されたが、自動車部門とピストンエンジン部門の分離、RB211 エンジンの開発成功などによって '84 年には黒字化を達成し、'87 年には完全に民営化された。'87 年、従業員の 93 %はイギリス国内が基盤であったが、現在は 43 %程度になって、アメリカ(旧 Allison)、ドイツ(旧 BMW)にも事業展開している。

同社の 2020 年の売上は£11.7B で、過去には超音速機 Concorde に搭載するエンジンである Olympus 593 をフランスの Snecma と共同開発するなど輝かしいエンジン技術の歴史をもっている。また、同社は、航空機用の他、船舶用ガスタービン及び発電用ガスタービンの開発、製造も手がけている。

民間航空機向けの主要製品は Spey、Tay、RB211、Trent、BR725 などで、Boeing や Airbus の旅客機を始めとして、小型ジェット機やヘリコプターや UAV にも使用されている。また 5 ヵ国共同開発の V2500 (IAE)にも参加し、高圧コンプレッサーを担当している。このほか、ドイツの BMW との合弁会社として BMW・RR を設立し、小型ジェット機向け BR700 を開発した。なお、BMW・RR は、現在 Rolls-Royce Deutschland として、Rolls-Royce の子会社となっている。近年は Trent シリーズの最新型として A380 向け Trent 900、B787 向け Trent 1000、A350 向け Trent XWB、B787-10 向け Trent 1000-TEN、A350-1000 向け Trent XWB-97、A330neo 向け Trent 7000 の開発・生産を行っている。

軍用機用エンジンとしては、AE2100 (C-130J 輸送機用、C-27J 輸送機用)、RB199 (Tornado 戦闘機用)、Pegasus (Harrier 戦闘機用)、EJ200 (Typhoon 戦闘機用)、AE1107C-Liberty (V-22 Osprey 用)の開発・生産を行っている。フランスの Snecma、ドイツの MTU、スペインの ITP と共同開発した AirbusA400M 向けの TP400-D6 は 2011 年に EASA より型式承認を取得し、2012 年に量産エンジンが納入された。2022 年 12 月、日英伊の新戦闘機開発計画 GCAP に参加し、新エンジンを開発すると発表した。

'95 年に米国 Allison Engine を買収し、米国におけるビジネス展開の礎を築いた。2008 年には、GKN との間でジョイントベンチャーを設立し、複合材ファンブレードの研究開発を行っている。2014 年には UltraFan プログラムを開始し、2016 年に UltraFan 用のギヤボックスである Power Gearbox (PGB)の初回運転試験を行った。PGB の開発にあたっては、Liebherr-Aerospace とジョイントベンチャーで Aerospace Transmission Technologies を設立した。2019 年、Siemens から Electric and Hybrid-electric aerospace propulsion 事業を取得することで合意した。

d. Surrey Satellite Technologies (SSTL: Surrey Satellite Technologies Ltd)

Surrey Satellite Technologies は '85 年にサリー大学からスピンオフした小型衛星メーカーで、UoSAT シリーズの打上げを開始して以来 NASA や DOD にも小型衛星を供給している。特に '90 年頃から宇宙後発国に対して技術移転・訓練プログラムを通して小型衛星ビジネスを拡大させ、パキスタン、ポルトガル、南アフリカ、チリ、シンガポール、マレーシア、タイ、韓国等に技術移転し、同社の衛星バス SSTL-12、-50、-100、-150、-300 等を用いた多くの小型衛星を打上げている。現在は ADS の関連会社となり、従業員 200 人、低軌道衛星・静止衛星・惑星間プラットフォームの開発を行っている。2003 年には Galileo の小型試験衛星 GIOVE-A (450 kg)の製造メーカーに選定され、2005 年、カザフスタンのバイコヌール宇宙基地から打上げられた。また、独 OHB Systems に Galileo FOC 衛星のペイロードを供給しているが、英国の EU 離脱に伴い英国の Galileo へのアクセスが制約されることから、SSTL は Galileo に関する部門を EU 内に移動させる、と発表した。さらに、GIOVE の開発成果を活用した 500~4,000kg 級中型衛星バス GMP-A, E, T も開発しており、EUTELSAT / ESA の通信実験衛星 EUTELSAT-Quantum のバスに採用されている。

SSTL は Surrey 大学と協力し、デブリ回収衛星 RemoveDEBRIS、及び回収対象となる DebrisSat-1, 2 を、2018 年に ISS から放出後、網を用いてターゲットである DebrisSat を回収し、世界で初めてアクティブデブリ回収技術の軌道上実証に成功し、2019 年に銛を使用したデブリ除去実証にも成功した。

3. フランス

(1) 沿革

フランスは航空宇宙工業を国防基盤としてはもちろん、同国経済全体にとって発展と革新をもたらす推進力であると位置づけている。

フランス政府は今までは技術の波及効果、国内産業の発展と自立及び輸出戦略などの観点から航空宇宙工業を積極的な支援政策で優遇してきた。しかし、冷戦終了後、各国の国防予算削減で防衛市場が縮小している。それに加え人員削減や工場閉鎖などのリストラで競争力をつけたアメリカが、世界戦略上企業再編を行うなど更に競争力を高めており、フランスも早急な産業基盤の再構築を実施した。

'99 年 Aerospatiale と Matra Auto Technology との合併が正式に承認された。また、2000 年には Aerospatiale-Matra と DaimlerChrysler Aerospace (DASA)及びスペインの CASA が合併し、欧州最大の航空宇宙企業、欧州航空防衛宇宙会社(EADS)が誕生した。更に Aerospatiale-Matra と DASA 及び英国の Marconi Electronic Systems が 3 社の宇宙部門を統合し、新会社 Astrium を設立した。エンジン業界では、2000 年に Snecma が Turbomeca を買収し、その傘下に収めた。2005 年には Snecma と通信電子機器メーカーの Sagem が合併し、Safran Group を形成した。

2016 年、Turbomeca は Safran Helicopter Engines に、Snecma は Safran Aircraft Engines に、それぞれ社名を変更した。

(2) 現況

フランスの航空宇宙工業は、軍用機 (戦闘機、練習機、戦術輸送機、哨戒機)、民間機(超音速・亜音速輸

送機、ビジネス機、軽飛行機)、ヘリコプター、ミサイル(戦術並びに戦略)、エンジン、機器、宇宙開発など、航空宇宙の全分野にわたる。フランスが生み出した先端技術も、ラムジェット推進システムやフライ・バイ・ワイヤなど多彩な研究開発を反映し、航空宇宙産業の基盤強化に目覚ましい成果を上げている。

2021 年の売上高(航空宇宙)は€ 55.2B で、前年比 4.2 %の増加となり、分野別では航空が€ 49.6B (89.8 %)、宇宙が€ 5.6B(10.2 %)、民間及び防衛の需要別では民需 65 %、防需 35 %となっている。2021 年の受注高は€ 31B で、民需が 45 %、防需が 55 %、また市場別では輸出が 57 %、国内が 43 %を占めた。航空宇宙の従業員数は 2021 年末時点で 188,000 人、うち宇宙関係は 16,500 人であった。(2023 年 11 月時点の公開情報による)

輸出はフランスにとって戦略的重要性を持ってきた。フランスの国内市場の規模は小さく、海外に販路を広げることは外貨獲得のみならず、1 製品当りの研究開発費負担や生産コストの 1 機当りの割掛費も低くなる。また、技術力の維持向上及び官需の経済的調達に結びつく利点もある。現在、輸出競争は熾烈なものとなっており、テクノロジーに基礎を置いた防衛プログラムのコストアップ、防衛予算の削減など事業を取り巻く環境は厳しいが、輸出はフランスの航空宇宙が生き残るための重要な戦略的鍵となっている。

輸出製品の代表例は下記の通りで、売上高等は表 2-2-5 のとおりである。

軍　用　機　: Mirage 戦闘機、Rafale 戦闘機など
民　間　機　: Airbus シリーズ、ATR 42、ATR 72、Falcon など
ヘリコプター: Super Puma、Dauphin、Ecureuil など
エンジン　　: CFM56、CF6-80、LM6000 など
ミサイル　　: HOT、Roland、Exocet、Eryx など

表 2-2-5 フランス航空宇宙工業の生産・輸出入等　(単位：百万ユーロ)

暦　年	売上高	輸出高	輸入高
2016	59,311	58,046	22,923
2017	62,693	55,913	23,871
2018	65,374	57,328	27,221
2019	74,337	63,194	30,814
2020	52,933	34,812	16,313
2021	55,179	36,630	19,621

出典：GIFAS アニュアルレポート (2023 年 11 月時点)

(3) 宇宙開発

フランスは、宇宙活動が国家主権の保持に不可欠との認識からヨーロッパでは宇宙開発に真っ先に取り組み、'62 年に国立宇宙研究センター(CNES: Centre National d'Etudes Spatiales)を設立した。以来、CNES は自国の軍事宇宙システムの開発に関わる一方、民間の宇宙開発においても、宇宙政策の立案・実施、宇宙予算の立案、宇宙関連企業の支援、主要な宇宙計画の管理・監督・宇宙システムの運用などを行なっている。欧州宇宙機関(ESA)の主要メンバーとして欧州宇宙開発の中心的役割を果たしている。CNES の従業員数は約 2,400 人で Paris に本部(Les Halles)と宇宙センター(Daumesnil)を置くほか南仏の Toulouse、南米の仏領 Guiana にある。仏領 Guiana Kourou に ESA とロケット射場を共有している。ESA の Ariane ロケットの開発、打上げに主導的役割を担っている。2022 年の CNES の予算は約€ 2.5B である。

[商業化政策]

フランスは'80年にCNESを設立以降、宇宙開発の発展に力を注ぎ、今や国家の経済成長に重要な貢献をなすまでに成長してきた。その間、宇宙の技術が新製品の開発に繋がる時には、民間の会社を設立してきた。例えば、'80年には国内法人Arianespaceを設立し、同社に商業ベースでの衛星打上げサービスを行わせた。CNESがArianespaceの最大株主であり、約35%の株式を保有していた。また、'78年以降打上げてきたSpot衛星の画像を頒布するSpot Image(CNES 55%保有)を'85年に設立するなど宇宙の商業化にも積極的である。Spot Imageは現在ADS傘下となっている。

[衛星分野]

従来から欧州各国メーカーがコンソーシアムを作って衛星開発に当っていたが、'90年代にヨーロッパの衛星企業の合併活動が活発になり、'94年には英BAeの衛星部門がMMSに吸収合併された。2000年には、MMSと独DASAが合併してAstriumとなり、その後EADS Astrium Satellites、EADS Astriumを経て2014年にAirbusGroupとなった。一方'98年に、Alcatel(51%出資)とThomson-CSF(49%出資)が、Aerospatialから衛星部門を買収し、保有していたAlcatel Espaceと統合してAlcatel Spaceを設立した。その後、2005年のAlenia Spazioとの統合によるAlcatel Alenia Spaceを経て2007年にはThales Alenia Space(TAS)となった。現在は、AirbusのAirbus Defence and Space(ADS)およびTASが欧州を代表する衛星メーカーである。

フランスの国家計画のうち重点を置いてきた衛星プログラムには地球観測衛星Spotシリーズ(初号機'86年打上げ)がある。Spotシリーズは2014年のSpot-7まで7機が打上げられた。(Spot-7は後にアゼルバイジャンに所有権を移転した) また偵察衛星Heliosをイタリア・スペイン両国と共同で開発して打上げ(1A: '96年、1B: '99年、第2世代2A: 2004年、2B: 2009年／解像度20 cm)、運用している。2018年にはHeliosの後継機となるCSO-1を打上げた。CSO-1は3トンを超える大型衛星で、主契約社はADS、カメラはTASが開発した。Spotに代わる軍民両用の高分解能画像衛星Pleiades 2機は衛星重量1,000kgで、2011年にA号機、2012年にB号機が打上げられている。Pleiadesも主契約社が現ADS、カメラがTASの担当である。2022年12月、後継のPleiades-Neo 2機の打上げに失敗した。また早期警戒実証衛星SPIRALE 2機をAlcatel(現TAS)が製作し、2009年に打上げられた。SPIRALEはGTO軌道でデータを収集し、2011年まで運用された。フランスは軍事通信衛星Syracuseシリーズを運用しており、2005年の3Aに続き、2006年に3B(いずれもSpacebus-4000B)を打上げた。Syracuse-3CはイタリアのSicral-2との共同運用となっており、2015年に打上げられた。2021年にはSyracuse-4A(Spacebus-Neo)、2023年7月5日にはSyracuse-4B(Eurostar-3000EOR)を打上げた。衛星の小型化にも力をいれており、Proteusバスを開発し、CNES/NASA等が協力した地球観測衛星Jasonシリーズ等に採用している。2017年にはイスラエルと共同で開発した地球観測衛星Venusが打上げられた。

またCNESは目的を絞ったマイクロサットMyriadシリーズ(重量約120 kg)を開発し、その第1号機のDEMETERを2004年に打上げた。Myriadバスは、フランスの電波傍受実証衛星Essaim、ELISAや前述のSpiraleにも採用され、2016年打上げられたフランスの科学衛星MICROSCOPEを含めて現在までに16機が打上げられた。また、CNESが開発した同バスはADS AstroSat-100の名称でも使用されており、2016年打上げられたアルジェリアのAlSat2Bを含めて現在までに4機が打上げられた。

[国際協力]

国際協力分野ではESAの諸計画(Envisatプログラム、Mars Express Orbiterミッション、Ariane 6の開発、EUMETSAT の気象運用衛星 Metop)への参加の他に、NASA との共同ミッション(海洋観測衛星 TOPEX / Poseidon 計画、Jason-1~3 計画、NASA の Mars Global Surveyor)、ISRO との共同ミッション気象学／大気圏研究衛星 Megha Tropiques (2011 年 PSLV で打上げ)等がある。

(4) 企業動向

フランス航空宇宙工業会(GIFAS)を構成する会社は400社以上(2023年11月時点)で、①航空機、ヘリコプター、ミサイル、宇宙、②エンジン(ミサイルやロケット用モーターを含む)、③機器類、に大別される。①の分野では、Airbus と Dassault Aviation の2社の他、軽飛行機の Robin Aviation、DAHER-Socata などのメーカーがある。②のエンジンではSafranGroup、ミサイルやロケットモータのSNPEなどがある。③の機器では、あらゆる分野の機器を製造している。

主要メーカー各社の単独売上高及び従業員数は表2-2-6および表2-2-7の通りである。

表2-2-6フランス主要メーカー別売上高の推移　（百万ユーロ）

社　名	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
Dassault Aviation	4,399	6,976	4,817	6,358	6,305
Safran Aircraft Engines	9,415	10,479	6,437	6,249	7,985
Safran Helicopter Engines	1,164	1,566	1,226	1,190	1,521

表2-2-7フランス主要メーカー別従業員数の推移　(人)

社　名	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
Dassault Aviation	8,205	8,819	8,681	8,815	9,201
Safran Aircraft Engines	16700	26,632(注)	24,204(注)	23,865(注)	25,260(注)
Safran Helicopter Engines	5,620				

出典：各社アニュアルレポート

(注) 2019年よりセグメントの従業員数のみ公表

a. Dassault Aviation

'71年にAvion Marcel Dassault と Breguet の民間企業2社が合併した会社で、現在は Dassault Aviation である。資本金はおよそ€67M で、Airbus が総株式のおよそ10 %を保有している。

2022年の連結売上高は€ 6.9B で、前年比 4.2 %の減少であった。連結売上高構成は軍需(国内)17 %、軍需(輸出)52 %、民需 30 %で、輸出は82 %を占めた。単独売上高は前年比1 %減の€6.3B で、グループ全体の88 %を占めた。2022年末現在のグループ従業員数は12,768人、単独では9,201人であった。

同社は軍用機、主力製品に Mirage 2000 戦闘機シリーズや Rafale 多目的戦闘機があるほか、nEUROn(無人戦闘機の実証機)開発にも参画している。民間航空機では小型民間機 Falcon ビジネスジェット機シリーズを手掛けており、2017 年末までに 2,500 機以上を引渡した。2011 年から開発を進めてきた Falcon 2000LXS, 2000S は2013年に FAA, EASA の型式証明を取得した。PW307D エンジンを3基搭載し

た Falcon 8X の航続距離は 6,450 海里(nm)で、2015 年に初飛行、2016 年に Amjet Executive へ引渡した。Falcon 6X は 2023 年に FAA, EASA の型式を取得、運航を開始した。

b. Safran Group

Safran Group は 2005 年、Snecma とフランスの通信電子機器メーカーSagem との合併により誕生した。Safran Group のコアビジネスは航空宇宙、航空機器、防衛及びセキュリティの 4 つの部門である。

2017 年には旅客機の座席を手掛ける Zodiac Aerospace の買収を発表し、同年末に欧州委員会の承認が得られた。この買収により、Safran Group は GE Aerospace、RTX に次ぐ世界第 3 位の航空宇宙関連サプライヤーとなった。

① 航空宇宙部門

航空機、ヘリコプター、ミサイルやロケット用推進装置の設計、製作、整備や修理などを行っている。主要メーカーとして Safran Aircraft Engines や Safran Helicopter Engines などがある。

② 航空機機器類部門

航空機やヘリコプター向け機器類の設計や製作などを行っている。主要メーカーとして Messier-Bugatti-Dowty(航空機などの降着装置メーカー)や Hispano-Suiza(エンジンコントロールシステムや機器類のメーカー)などがある。

③ 防衛部門

アビオニクス、オプトエレクトロニクス、電子ソリューションやサービスの設計・製造やマーケット開発などを行っている。

④ セキュリティ部門

旅行安全、インフラ、電子取引などの安全やセキュリティを増大させるソリューションの開発などを行っている。

2022 年のグループ売上高は€ 19.0B で、そのうちの 49.9 %(€ 8.0B)を推進システム部門が占めた。2022 年末の従業員数はグループ全体で 83,000 人、航空宇宙部門は 25,260 人であった。なお、2015 年には Airbus と共同で Airbus Safran Launchers を立ち上げ、2017 年 ArianeGroup となり Ariane 6 の開発などを担当している。

(a) Safran Aircraft Engines

'45 年 Gnome 他数社を統合して航空エンジンの開発・生産を行う公社として設立された。2000 年には Turbomeca を買収し、グループの傘下におさめた。2004 年、フランス政府は所有していた Snecma 株式 97 % のうちの 35 %を一般公開し、同社の一部民営化を実現した。

Safran Aircraft Engines は世界第 4 位の航空機エンジン・メーカーである。同社は民間航空機エンジン部門、軍用機エンジン部門、ロケット推進部門及びサービス部門の 4 部門から成っている。

軍用エンジン分野では、Mirage 2000 用の M53、Alpha Jet 練習機搭載用として Turbomeca と共同開発した Larzac や多任務戦闘機 Rafale 用エンジンとして M88 がある。その他に軍用貨物輸送機(A400M)用エンジンとして、Rolls-Royce や MTU などと組んで高速ターボプロップエンジン(TP400-D6)を開発し、およそ 32 %のワークシェアを持っている。燃焼器や高圧タービンなどを担当している。

民間機用エンジン分野では、軍用エンジンで培った技術で、まず GE と M45H エンジンの共同開発を、

また Rolls-Royce とは Concorde 用 Olympus エンジンの共同開発を行い、民間市場に参入した。その後は GE との共同開発体制が戦略の基礎となり、GE とはフル・パートナーとして '72 年に CFM International を設立した。CFM56 エンジンは世界中でおよそ 28,000 台が運用されている。更にリージョナル機用エンジン市場への参入を目指し、ロシア Superjet 100 向けに、ロシアの NPO Saturn と共同で、推力 13,500～17,800 ポンドの SaM146 エンジンを開発、2019 年までに同エンジンを 400 基納入した。また、次世代用エンジンとして A320neo、B737MAX 及び中国で開発の C919 に採用された LEAP-C エンジンを開発し、A320neo に搭載される LEAP-1A は 2015 年に、LEAP-1B と LEAP-1C も 2016 年にそれぞれ EASA と FAA の型式承認を同時に取得した。

大型エンジン分野では、CF6-80C2 エンジンプログラムにシェア 10％で参画し、主にエンジン組立とテスト、及び部品生産を担当している。また、CF6 エンジン・ファミリーの中で最も高出力の CF6-80E1 プロジェクトには、20％の比率で参画している。更に、B777 搭載用エンジンの GE90 プログラムにも 23.7％のシェアで参画し、低圧圧縮機及び高圧圧縮機を担当している。その後継機である B777X 用エンジン GE9X プログラムには 11％のシェアで参画し、低圧圧縮機及びファンディスクを担当している。超大型機 A380 向けには、GE と P&W の合弁会社である Engine Alliance が開発・生産している GP7200 エンジンプログラムには 10％のシェアで参画し、高圧圧縮機を担当している。B787 搭載用エンジンの GEnx プログラムにも参画し、8％のシェアを有している。

液体水素、液体酸素を推進剤とする Ariane 5 ロケットでは、Vulcain、Vulcain 2 1 段エンジン、HM7B 第 2 段エンジンの開発/製造社であった。Ariane 6 では Vulcain 2.1 1 段エンジン、Vinci 2 段エンジンの開発担当である。

(b) Safran Helicopter Engines

'38 年に設立された航空エンジンを主とする民間企業である。第 2 次大戦末期にヘリコプターと練習機用の小型ガスタービンを生産したが、それが現在でも引き継がれ、450～3,000 馬力のクラスで確固たる地位を築いている。2000 年には Snecma に買収されて Snecma グループの傘下に入り、2016 年に社名を Safran Helicopter Engines へと変更した。

同社はヘリコプター用ターボシャフトエンジンを開発・生産しており、その代表的製品には、Arriel (Airbus Helicopter の AS 350 や AS 365N3 などに搭載)、Arrius (Airbus Helicopter H135 などに搭載)や Makila (AS 332 などに搭載)などがある。1,000 馬力級では TM333-2B、2,000 馬力級では Rolls-Royce との共同開発・生産の AW101 や NH90 ヘリコプター向けエンジン RTM322 がある。MTU 及び Rolls-Royce と共同開発した軽ヘリコプター用 MTR390 は、Tiger ヘリコプターに搭載される。

Rolls-Royce と共同開発した Adour など軍用機用エンジンの生産し、Adour エンジンは 3,000 台以上を引き渡している。更に、6 トンから 8 トンクラスのヘリコプター用として、ターボシャフトエンジン Ardiden をインドの Hindustan Aeronautics と共同で開発・生産を行っている。その他に、航空機用補機及び陸舶用ガスタービン(Makila)を開発・生産している。

c. DAHER-Socata

同社は 2009 年に出資割合が変わり、70％を DAHER が、30％を Airbus が保有するようになり、Airbus の連結対象外になった。ピストンエンジン機(4～5 席の TB ファミリー)及びターボプロップ機(TBM700 や

TBM850)などの軽飛行機を生産している。

d. Thales Alenia Space(TAS)

フランス通信大手の Alcatel の子会社であった Alcatel Space は '98 年に Aerospatial の衛星部門を買収して設立された。Alcatel Space の設立に当たっては、Alcatel がその出資金の 51 %を、Thales(旧 Thomson-CFS)が残りの 49 %を出資した。

2005 年に Alcatel Space は伊 Alenia Spazio と統合し(合併割合は 2：1)、新会社 Alcatel Alenia Space (AAS)が設立され、その後 2007 年に Alcatel が持ち分を Thales に売却し Thales Alenia Space が設立された。現在は、Thales が 67 %、Leonardo(旧 Finmeccanica)が 33 %の株式を保有している。通信、光学観測・科学、観測システム・レーダー、航法、インフラストクチャ・トランスポーテーションの 5 事業部門で構成される人工衛星関連事業では欧州最大手に浮上した。2021 年の売上は約€ 1.62B、従業員数は約 8, 000 人である。

通信衛星では静止衛星バス Spacebus で多くの実績を持っているが、ARTES プログラムで開発中の NEOSAT バスを活用した Spacebus NEO で更なるシェア拡大を図っている。すでに初のオール電化衛星を Eutelsat から受注し、2020 年 1 月に初号機(Eutalsat KONNECT)を打上げた。Navigation では EGNOS の主契約者である他、欧州航行衛星プログラム Galileo にも参加し、第 1 期のシステムサポートを受注している。他に、気象衛星 Meteosat(主契約者)、COSMO-SkyMed や SAR-Lupe 等の SAR 観測衛星、Spot シリーズ、Pleiades 等の光学観測衛星、科学衛星 Exosat(構体、熱設計担当)、2005 年に木星の衛星 Titan に着陸した小型探査機 Huygens などの開発に参加しており、最近ではロシアとの協力プログラム ExoMars の開発を行っていたが、ウクライナ情勢により、ExoMars の打上げは凍結された。

e. Sodern (ArianeGroup の子会社)

'62 年に核兵器に関する検出センサメーカーとして設立されたが、'68 年には赤外地球センサや太陽センサ等で宇宙事業へ進出した。また、'75 年には既にスタートラッカーを開発しており、姿勢制御センサでの評価が高い。現在、ArianeGroup の 90 %出資子会社となっており、従業員は約 450 人であり、売上は€ 70M 以上である。2016 年には OneWeb 衛星搭載用にスタートラッカー1,800 台を供給する契約を OneWeb Satellites (OneWeb と ADS のジョイント企業)と締結した。

f. Eutelsat

欧州地域での通信衛星は東欧諸国やロシアを加えて 48ヵ国が加盟する Eutelsat (欧州通信衛星機構)を '77 年に設立し、ヨーロッパ全域をカバーする域内衛星通信サービスを一元的に行ってきた。その後、より柔軟で競争力のあるサービスを提供するために 2001 年に民営化し(本社：仏)、現在 36 機の通信・放送衛星を運用する欧州における世界最大級の衛星運用企業となり、現在、Eutelsat がカバーする地域は、欧州に加え中近東、アフリカ、アジア、南北アメリカ等、ほぼ全世界にわたっている。2022-2023 年の売上は€ 1.13B、従業員は 1,700 名(2023 年)である。2023 年 9 月 28 日に Oneweb と合併が完了し、Oneweb は Eutelsat グループの子会社となった。

4. ドイツ

(1) 沿革

ドイツは、第一次および第二次世界大戦において、航空先進国として、技術面・生産面で世界をリードしていた。いずれの大戦でもドイツの航空機産業は敗戦によって壊滅し、戦後の数年間は航空活動を禁止されたがその後再開した。

'50 年、西ドイツに国防軍が編成され、日本よりやや遅れて '55 年に航空機産業の再開も認められた。連邦政府や州政府の資金援助による航空工業再建 5 カ年計画がつくられ、Piaggio PD149 初級練習機のライセンス生産から始まり、Fiat G91 軽攻撃機のライセンス生産に進んだ。

'50 年代末、西ドイツの航空機産業は、従業員 15,000 人、売上は年 3 億マルクの規模にまで成長した。

'60 年代に入ると、さらに NATO 諸国向けを含む F-104 の大規模のライセンス生産が展開され、フランスとの C-160 の共同開発、Breguet 1150 Atlantic 対潜哨戒機の部品下請け生産、HAWK 地対空ミサイルのライセンス生産も行われた。

この時期のドイツ航空機工業は南部の Messerschmitt-Bölkow と Dornier、ハンブルグの HFB(旧 Blohm und Voss)、北部のブレーメンにある VFW(旧 Focke-Wulf)の工場を中心に形成されていた。Messerschmitt は戦闘機、Bölkow は戦後の会社だがヘリコプター、Dornier は小型の民間機を、夫々生産してきた。HFB はビジネスジェット機、VFW は Transal 軍用輸送機と VFW614 小型ジェット旅客機の国際共同開発、そして Fokker F27/28 旅客機の下請け生産を行ってきていた。また、Lockheed F-104 戦闘機の生産と並行して、米国との共同による VTOL 戦闘機の開発が積極的に行われた。このプロジェクトはドイツの航空技術の向上には貢献したが、実用化していない。

'69 年、Messerschmitt-Bölkow は、HFB と合併し、MBB (Messerschmitt-Bölkow -Blohm GmbH)となった。'70 年の従業員は 57,000 人、年間の売上高は 28.1 億マルクに達した。

'70 年代のドイツ航空機産業の特徴は、ヨーロッパ域内の国際共同化である。軍用機はイギリス、イタリアと Panavia Tornado、フランスと Alpha Jet 軽攻撃機の共同開発と生産を行っている。Lockheed F-104 戦闘機の後継機には、つなぎとして McDonnell F-4 の完成機が輸入された。そして民間機の分野ではフランスと組んで Airbus Industrie を設立した。国際共同化は機体からジェットエンジン(Turbo-Union へ参加)、ヘリコプター(Eurocopter 設立)、ミサイル(Euromissile 設立)の分野にも及んでいった。

'81 年、ドイツ政府の要請で MBB はさらに VFW を吸収した。

一方、第二次世界大戦以前にドイツの代表的航空機エンジン企業である Daimler-Benz は、戦後に本業の自動車産業で復活し、MAN (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg)とタービンエンジンメーカーMTU München (Motoren-und Turbinen-Union München、現 MTU Aero Engines)を設立し、'85 年、MAN の株式を全て譲り受けた。同年にはコミューター機を中心に個性的な活動を行っていた Dornier を取得、航空機の機体分野にも進出することになった。Daimler-Benz はドイツ政府の防衛生産を集約によって強化するという方針に従って、'89 年には傘下に Deutsche Aerospace (DASA)を設立し'95 年に名称を Daimler-Benz Aerospace (DASA)に変更した。

DASA は旅客機分野への進出に意欲的で、Airbus の A320 シリーズの組立生産をハンブルグ工場に引き取った。'98 年、Daimler-Benz と Chrysler との合併により、DaimlerChrysler Aerospace (DASA)となった。そし

てドイツ航空宇宙工業界は、機体(MBB)、エンジン(MTU Aero Engines)および宇宙産業が DASA に集中された。一時は、同社の他には、外資との合弁事業、BMW Rolls-Royce を除けば、RFB のような小型飛行機や小さなグライダーメーカーしか存在しなくなった。

'99 年には、企業統合の動きは国境を越え、Aerospatial-Matra(仏)、CASA(西)、DASA(独)の 3 社を合同し、航空・防衛・宇宙産業の会社を設立することに合意し、2000 年 EADS を設立した。EADS 結成時に、エンジン部門 MTU Aero Engines は、DASA100 %出資の会社に分離された。宇宙部門は英国と部門統合の計画が進められ、2000 年に英仏 MMS と統合した Astrium 社を設立した。

EADS は、2014 年に大幅な組織の改編を実施し、Astrium、Cassidian、Airbus Military 部門が Airbus Defense and Space (ADS)として統合されるとともに、EADS から Airbus Group、さらに Airbus に名称を変更している。また、ヘリコプター(防衛及び民間)部門の Eurocopter も Airbus Helicopters に名称を変更している。

⑵ 現況

ドイツ航空宇宙工業も冷戦終了による防衛費の削減やエアラインの不況、ドル安などの社会情勢変化の影響を受け、売上高はベルリンの壁崩壊後、'91 年の€ 13.7B を頂点として、その後急激に減少を続け、'95 年には€ 7.9B とピーク時の 60 %を下回る状況になった。しかし'96 年からは、防衛費の縮減も底を打ち、その後エアバス事業の拡大によって反転した。2001 年の同時多発テロの影響から売上高および従業員数は一時低下し、その後は増加傾向にあったが、2020 年は COVID-19 の影響から売上高及び従業員数は低下した。市場は 2024/2025 年まで回復しないと予想している。

ドイツ航空宇宙工業は、旅客機 Airbus やヘリコプターの Airbus Helicopters の事業など、売上の 73 %が民間航空分野である。Eurofighter や NH90、A400M などの軍用航空分野は、売上の 19 %を占めている。また装備品や材料の分野では、世界の航空宇宙企業を相手にしている。宇宙分野でも Ariane ロケットや人工衛星等で重要な役割を担っている。売上高および従業員数の推移は表 2-2-8 のとおりである。

表 2-2-8　ドイツ航空宇宙工業の売上高と従業員数の推移

暦年		売上高	従業員数	従業員1人当たり
西暦	和暦	（百万ユーロ）	計	売上高（ユーロ）
2000	12	14,796.5 *	70,500 *	209,879
2001	13	16,557.3 *	73,300 *	225,884
2002	14	15,282.4 *	72,500 *	210,792
2003	15	15,700.0 *	73,600 *	213,315
2004	16	15,998.0 *	74,900 *	213,591
2005	17	18,582.0 *	81,300 *	228,561
2006	18	19,488.4 *	85,500 *	227,935
2007	19	20,233.0 *	88,208 *	229,378
2008	20	22,741.4 *	92,971 *	244,607
2009	21	23,657.4 *	93,732 *	252,394
2010	22	24,719.8 *	95,438 *	259,014
2011	23	25,721.4 *	97,438 *	263,977
2012	24	28,382.2 *	100,700 *	281,849
2013	25	30,598.6 *	105,538 *	289,930
2014	26	32,110.0 *	105,728 *	303,704
2015	27	34,665.0 *	106,822 *	324,512
2016	28	37,500.0 *	108,000 *	347,222
2017	29	40,000.0 *	109,500 *	365,297
2018	30	40,000.0 *	111,500 *	358,744
2019	R 1	41,000.0 *	114,000 *	359,649
2020	R 2	31,000.0 *	105,000 *	295,238
2021	R 3	31,400.0 *	100,000 *	314,000
2022	R4	39,000.0 *	105,000 *	371,429

* BDLIに属さない人員の推算を含む

出典：BDLI アニュアルレポート

a. 航空機

ドイツの航空宇宙工業は、主要なプログラムが Airbus Group でヨーロッパ域内の国際共同で展開されている。Airbus のドイツにおける従業員数は約 46,000 人で、Airbus 全体の約 32 %を占める。Airbus Operations は、ハンブルグ(旧 Blohm und Voss の所在地)にドイツ本社機能を持ち、A320 の最終組立を行っている。ブレーメン(旧 VFW の所在地)では広胴機の主翼組立や A400M の胴体サブ組立、シュターデでは複合材部品の製造と全ての Airbus 機の垂直尾翼を組み立てている。南部ミュンヘン周辺のドナウヴェルト(旧 MBB の所在地)では、Airbus Helicopters Deutschland がヘリコプターを生産している。

また、Oberpfaffenhofen(旧 Dornier の所在地)のコミューター／リージョナル用小型旅客機事業は 2007 年から売却先の RUAG Avition によって、プロペラやアビオニクスを刷新した Do228NG (New Generation)の製造を再開した。Do228 プログラムは 2021 年にアメリカ General Atomics に売却された。日本では調布飛行場を拠点に伊豆諸島へコミューター路線を展開する新中央航空が、Do228NG を使用し、JAXA が実験用航空機として Do228-202 型を使用している。Do328 / 328Jet プログラムは 2015 年にアメリカ Sierra Nevada Corporation が取得した。

その他、プロペラ練習機や高高度飛行機を製造する Grob Aircraft、飛行船を製造する Deutsche Zeppelin-Reederei などの航空機メーカーがある。

エンジンの分野では、'90 年 BMW が Rolls-Royce と提携して設立した Rolls- Royce Deutschland と MTU Aero Engines がある。また、軍用機用エンジンでは、プロジェクトごとに設立されている多国籍合弁会社のうち、EPI (Europrop International) (A400M 用 TP400-D6)、EUROJET Turbo (Eurofighter 用 EJ200)および MTR(Tiger 用 MTR390)の本社はドイツにある。

b. 宇宙関係

ドイツの宇宙開発は ESA を主とした国際協力で推進しており、連邦教育科学研究技術省(BMFT: Federal Ministry of Education and Research)管轄の下でドイツ航空宇宙センター(DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)が研究・開発を担当している。研究開発及び研究設備の運用、試験、地上設備の運用、有人活動に対する運用と宇宙飛行士の訓練を行っている。一方 '89 年に創設された航空宇宙機関(DARA)は宇宙開発計画全般の企画と ESA への代表としての役割を担っていたが、'98 年に DLR に吸収された。職員数は約 10,000 人である(2021 年)。2023 年の宇宙予算は€ 1.2B、2023 年の ESA への出資金は€ 1,047M とフランスに次いで加盟国中第 2 位であり ESA の中心的な役割を果たしている。なお、宇宙航空分野における日独協力の維持・発展を図っていくため、2013 年に DLR 日本代表事務所が開設された。

[宇宙環境利用分野と有人宇宙活動]

ドイツは宇宙環境利用分野と有人宇宙活動に力を注ぎ、小型ロケットや Space Lab D 計画を利用した宇宙実験を実施した。'93 年には Space Lab D2 を打上げ、各種の宇宙実験を行った。また、ISS 関連でも中心的な役割を果たしており、ESA モジュール Columbus の組立や管制を担当したほか、欧州補給機 ATV ／Orion 宇宙船 European service module の開発、運用にも参加している。一方独自のプログラムとして微小重力を利用した材料研究・加工技術のために小型ロケット MAXUS、TEXUS、MASER 等を開発、運用してきたほか、宇宙利用技術／微小重力センター(ZARM)が '89 年に建設したブレーメンの落下塔による微小重力実験等を行ってきた。

[地球観測分野]

DASA(現 ADS)は SAR 地球観測衛星 ERS-1, 2 で主契約者となった。DLR は NASA 及びイタリア宇宙局と協力して、2000 年打上げの Shuttle 搭載レーダー地形図ミッション(SRTM)を実施した。また、赤外域観測を行う小型リモセン衛星 BIRD を 2001 年に、独 DLR と米 NASA の共同プログラムで重力変動を観測する GRACE-1/2 衛星を 2001 年に、後継機 GRACE-FO を 2018 年に打上げた。さらに、欧州極軌道気象衛星 Metop や次世代気象衛星 MSG プログラムにも参加しており、2018 年に METOP-C の打上げに成功した。ドイツは、2002 年に X バンドの高解像度レーダー衛星 TerraSAR-X(AstroBus)の開発を開始した。この衛星は商業目的に運用され、Astrium が製造し、DLR は€ 100M、ADS は€ 30M を提供し、さらに画像の保存と配布のための地上関連施設開発に€ 40M を支出した。TerraSAR-X は重量約 1,250 g で地上解像度は約 25 cm (アジマス方向)の性能を有し、2007 年に打上げられた。その後、同等の衛星 TanDEM-X を 2010 年に打上げ、TerraSAR-X とのフォーメーションにより 3 次元地形データを収集し、World DEM として販売している。(ADS との PPP)ドイツでは、次世代の SAR 衛星 TerraSAR-X Next Generation の開発を進めていたが中止された。

[科学衛星分野]

ADS(旧 DASA)は ESA 主要プログラムのうち、X 線天文衛星 XMM、彗星探査機 Rosseta、Cluster-II 等

の主契約者としての役割を担った。木星探査機 Galileo や大型 X 線望遠鏡を搭載した Rosat など国際協力による天文観測でも活躍している。一方、ロシアとの協力にも熱心で Mir での滞在と共同研究('92 年)、MARS96 への機器搭載等を行っている。2018 年には宇宙環境における植物栽培の実験を行なう DLR の Eu:CROPIS が打上げられた。

[通信・航行衛星分野]

通信分野では、MBB、ANT、Siemens、SEL が結成した GESAT コンソーシアムが初の通信衛星 DFS を '89 年に打上げた。更に MBB は TV-SAT、TDF、Tele-X の直接放送衛星を開発し、通信放送衛星分野での実績を残したが、その後 DASA、EADS 等を経て、現在は ADS となっている。また、OHB System は ESA ARTES11 プログラムにより小型静止衛星バス smallGEO を開発し、ドイツ Oberpfaffenhofen の Galileo Control Centre で Galileo の運用を担当するなど、Galileo 航行システムの中心を担っている。Galileo FOC 衛星は OHB Systems が主契約者となって製造している。2019 年には、cubesat による通信コンステレーション構築のための技術実証衛星 D-Star One Exoconnect および Lightsat が打上げられた。商用通信の分野では、グローバルな衛星データ通信サービスを目指すスタートアップ企業 KLEO Connect が、技術実証衛星 KL-Alpha A/B を中国の快舟 1A (Kuaizhu 1A)により打上げた。

[宇宙輸送分野]

Ariane 5 では、ADS(旧 DASA)が Aestus 2 段エンジンの主契約者である。Ariane 6 の上段(Vinci)エンジンも担当している。Arianespace の中でドイツ企業の占める割合は約 20 %である。

ATV 補給機を発展させた ISS バーターの ESA プロジェクトである Orion 有人宇宙船の ESM: European Service Module(推進系、電力、生命維持装置を装備)を Airbus Bremen で製造しており、2022 年には無人飛行に成功した。

[軍事衛星分野]

2001 年にドイツ初の偵察衛星である小型 X バンド SAR 衛星 SAR-Lupe の契約を OHB Systems (Bremen) が受注し、合計 5 機が 2006~2008 年にかけて打上げられた。(コスト€ 250M) 各衛星は重量約 770 kg で極軌道に投入された。また、2009 年には軍事通信衛星 ComsatBw-1 衛星を、2010 年には ComsatBw-2 衛星を打上げている。現在、SAR-Lupe の後継機 SARah を開発中であり、2022 年以降に Falcon 9 により打上げられる予定である。SARah はマイクロ波を地表に向けて放射する SARah Active が 1 機、地表から跳ね返ってきたマイクロ波を受信する SARah Passive が 2 機の、全 3 機から構成されるバイスタティック・レーダーの予定で、得られる画像の解像度などの性能は SAR-Lupe より向上している。SARah Active は ADS、Passive は OHB System が開発を担当している。

(3) 企業動向

a. Rolls-Royce Deutschland

前身となった BMW Rolls-Royce は、'90 年に BMW と Rolls-Royce の国際合弁によって設立され、資本金 250 百万ドイツマルク、従業員 1,200 人で発足した。2000 年に Rolls-Royce Deutschland となり、Rolls-Royce の 100 %子会社となった。現在の従業員数は約 3,500 人で、ベルリン近郊の Dhalewitz およびフランクフルト近郊のオーバーウルゼルに工場を持ち、完成エンジンの開発製造能力を持つ Rolls-Royce 拠点のひと

つになっている。

BMW は第二次世界大戦中にジェットエンジンを開発し、実用に供していた会社だが、戦後はジェットエンジン事業から離れていた。このため BMW はジェットエンジン分野への再参入に当たり、KHD Luftfahlttecnik を買収し、BMW Rolls-Royce を設立した。KHD Luftfahrttechnik は航空機用ディーゼルエンジンの大手 Klöckner Humboldt-Deutz (KHD)のオーバーウルゼル工場に起源があり、Panavia Tornado の APU と 2 次動力源全体の統合、ドイツ空軍の Alpha Jet 軽攻撃機用 Larzac エンジンや Rolls-Royce のエンジンの生産分担などを行っていた。

合弁会社で開発された BR700 シリーズの生産は、部品はオーバーウルゼル、組立はダーレビッツに '93 年に建設された工場で行われている。

エンジン	適用機種	型式承認
BR710	ビジネスジェット G500、Global シリーズ 英海軍対潜哨戒機 Nimrod	1996 年
BR715	旅客機 B717-200 (MD-95)	1998 年
BR725 (F130)	ビジネスジェット G650、B-52 エンジン換装	2009 年

また、V2500 エンジンは圧縮器の製造から始まったが、2005 年からは技術管理と最終組立および試験は、英国 Rolls-Royce より移管され、ドイツ軍の NH90 用 RTM 322 エンジン等の組立、サポートも行っている。2014 年に A350-1000 の Trent XWB -97 エンジンの地上運転試験をダーレビッツの新工場で実施し、2015 年に初飛行、2017 年に EASA より型式認証を取得し、2018 年から運用が開始された。

b. MTU Aero Engines

＜売上高・従業員数＞ (百万ユーロ)

暦年		2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
	民間エンジン製造(OEM)	2,799.8	1,536.9	1,052	1,066	1,335
	軍用エンジン製造(OEM)	431.1	458.7	483	482	496
	民間エンジン整備(MRO)	1,602.8	2,711.4	2,522	2,741	3,616
売上高		4,567.1	4,628.4	3,977	4,188	5,330
	軍民エンジン製造(OEM)	5,905	6,698	6,409	6,497	6,973
	民間エンジン整備(MRO)	3,486	3,962	3,904	4,011	4,300
従業員数(人)		9,391	10,660	10,313	10,508	11,273

OEM : Original Equipment Manufacturing、MRO : Maintenance,Repair & Overhaul

出典：アニュアルレポート

MTU Aero Engines は '34 年に創設された BMW Flugmotorenbau を起源に持つドイツのジェットエンジン、ガスタービンの開発、製造および整備修理を行う企業である。現在では、主要な航空機用タービンエンジンのメーカーに対して、サブシステムを供給する世界的なサプライヤーである。本社のあるミュンヘンなど世界 14 ヵ所に主な拠点がある。民間エンジンの製造・整備事業が売上の 9 割を占め、特に整備事業に関しては、独立系の整備事業会社として世界一の規模を持っている。軍用向けに関しては、ドイツ軍が最大の顧客となっている。

第二次世界大戦後のドイツの航空再開において、BMW Triebwerkbau(当時)は、GE J79 エンジンのライセンス生産で事業が拡大し、'65 年に自動車と二輪車のエンジン事業に専念することになった BMW から

MAN (MAN Turbo)が事業を引き継いだ。'68 年、Panavia Tornade の共同開発を機に、ドイツ国防軍の要請により、MAN と Daimler-Benz の出資で MTU München として再編された。

その後'85 年に Daimler-Benz、'89 年に Deutsche Aerospace (DASA)の傘下となった後に、2000 年に EADS が設立されたが、MTU München は DaimlerChrysler の傘下に残り、MTU Aero Engines と社名を変更した。2005 年からは MTU Aero Engines Holding が保有している。

民間機用エンジン分野では、幅広い推力範囲のエンジンのプログラムで参画し、特に低圧タービンと高圧圧縮器モジュール中心に担当している。

軍用機用エンジン分野では、数々のジェットエンジンの部品製造やエンジン本体修理、部品修理、整備などを行っている。特に Typhoon の EJ200 や Tiger の MTR390、A400M の TP400-D6 エンジンは、合弁会社を設立し開発・生産・サポートに参画している。MRO (Maintenance, Repair & Overhaul) 関係の作業は、ドイツ国内とカナダ、中国、マレーシア、ポーランドなどに拠点を持つ MTU Maintenance グループで行われており、CFM56 や GE90 など自社製造していないエンジンを含む航空機用ジェットエンジンや産業用ガスタービン LM2500、LM5000 および LM6000 の部品の製造や MRO を行っている。

最近のプログラムでは、B787 の GEnx や、A320neo、A220 の Geared Turbo fan エンジン(PW1000G シリーズ)が挙げられ、V2500 エンジンにも参画している。2018 年に全ての A320neo 向けエンジン(PW1100G-JM)の約 1/3(約 180 基／年)の最終組立及び試験を実施できるようにミュンヘン工場を拡張し、また、新エンジンプログラムによる生産量の増加に伴い低圧タービンなどを生産できるように、ポーランド工場を拡張することが承認された。

c. 宇宙関連企業

(a) IABG

衛星やロケットの熱・構造試験、EMC 試験を請負っている。日本の ispace が月着陸機 HAKUTO-R 最終組立に利用した。

(b) Tesat-Spacecom

衛星搭載用通信機器メーカーで世界の各種衛星に供給している。RF 機器に加え、光通信用のレーザー通信機器も開発している。

(c) Carl Zeiss

1846 年にドイツで設立された Carl Zeiss は、Apolo 計画で月面へ持ち込まれたカメラ(HASSELBLAD 製)のレンズを製造したメーカーとして有名だが、搭載機器としては'99 年に打上げられた ESA の X 線観測衛星 XMM のミラーモジュールを開発した。また、Hubble Space Telescope 宇宙望遠鏡の後継機である James Webb 宇宙望遠鏡に搭載される中赤外線機器(MIRI: Mid Infrared Instrument)と近赤外線分光計(NIRSpec: Near Infrared Spectrograph)の開発をドイツの Max Planck 研究所とともに担当する。また、2017 年に打上げられた Sentinel-5P に搭載された対流圏測定器 TROPOMI の分光計光学系も Carl Zeiss で開発されたものである。

(d) OHB System

OHB AG 傘下の子会社で、2001 年にはドイツ初の偵察衛星 SAR-Lupe 5 機を受注し、2008 年までに 5 機の衛星の打上げに成功した。SAR-Lupe は打上げ後 10 年以上を経過した現在も運用中である。OHB

は2005年にMT Aerospace(旧MAN Technologie)を、OHB Systemを2013年に買収した。MT AerospaceはAriane 5にBoosters PartsやUpper StageのFront Skirtなどの部品を供給している。

Kayser-Thredeは国際宇宙ステーション及びColumbusで行う材料実験、特に低温実験装置を中心に開発していた。ESAのATVでは国際宇宙ステーションとのランデブードッキング装置を担当していたが、2013年にOHB Systemに吸収された。

OHB Systemは2010年、最初の14機のGalileo FOC衛星を€566Mで受注した。OHB Systemは主契約者で、ナビゲーション・ペイロードの開発と製造はイギリスのSurrey Satellite Technology Ltd.(SSTL)である。2012年には8機、2017年にはさらに8機の衛星を受注した。Galileo FOCは2018年に打上げられた4機を加えて計20機が打上げられている。また、ARTES-11プログラムにおいて小型静止衛星バスLuxor(SmallGEO)を開発し、2017年にHispasatを、2019年に2号機となるデータ中継衛星EDRS-Cを、2022年12月にMTG-I 1を打上げた。

5. イタリア

(1) 沿革並びに現況

第二次世界大戦中イタリアは、従業員15万人、年産3,200機の規模の航空機工業を有していた。戦後は'48年にイタリア産業復興公社(IRI: Istituto per la Ricostruzione Industriale)により設立されたFinmeccanicaを中心に航空宇宙産業の育成が図られ、'50年代にF-86K、F-104Gのライセンス生産で力を養う一方、FIAT G91地上攻撃機、Aermacchi MB326ジェット練習機、更に'70年代にはMB339ジェット練習機を自主開発するまでに成長した。この間、IRIの主導の下に国内企業の合併・統合が進められ、'69年には、Fiatの航空機部門とFinmeccanicaグループのAerfer、Salmoiraghiを合併し、国有のAeritaliaを発足させた。その後、同社は相乗効果と技術統合の利益を目指して、'90年末に同じくFinmeccanicaグループにあるSeleniaと合併し、Aleniaとなった。

また、'92年の製造業金融持株公社(Efim: Ente Partecipazioni e Finanziamento Industrie Manifatturiere)の解散に伴い、Agustaを中心とするEfimの航空宇宙・国防分野がFinmeccanicaに移管された。2016年、Finmeccanicaは、社名をLeonardoに変更した。社名変更とともにFinmeccanica傘下にあったAlenia AermacchiやAgusta Westlandなどの企業を吸収し一つの会社となった。現在のイタリア航空宇宙産業の主要企業であるLeonardoは、2000年のIRIの解散に伴い民営化しているものの、全株式の約30%は依然としてイタリア政府が保有している。

2022年12月に、日英伊の3か国の共同首脳声明として次世代戦闘機を共同開発する「グローバル戦闘航空プログラム（Global Combat Air Programme (GCAP)）」が発表された。イタリアからはLeonardo、Avio Aeroがプログラムへの参画を表明している。

(2) 宇宙開発

イタリアの宇宙開発は'88年設立のイタリア宇宙庁(ASI: Italian Space Agency)の管理の下に進められており、ESAプログラムへの参加を含めて宇宙プログラムの調整管理を行っている。'89年にはASIを管轄下に置く大学・科学技術研究省が設置された。ASIの主な業務は国家宇宙計画、国際宇宙計画の運営、ESAへ

の参加などである。2022 年の ASI の宇宙関連予算は約€ 1,719M であり、2019 年から 63 %増加している。2021 年から 2023 年の ESA への出資は€580M で ESA プログラムへの寄与はドイツ、フランスに続いて第 3 位である。

[宇宙輸送分野]

Avio はフランスの Safran と合弁で Europropulsion を創設し、Ariane 5 に大型固体ブースターを供給している。Europropulsion は Ariane 6 の固体ロケットブースターも開発中である。

また、イタリア宇宙庁(ASI)と共に ELV を創設し、小型固体ロケット Vega の開発に成功した。2012 年初号機打上げ後 14 号機まで連続成功したが、15 号機は 2 段ロケットモータ不具合で失敗した。2020 年 16 号機は成功したが、17 号機は配線ミスにより失敗した。2023 年 Vega 23 号機打上げに成功した。2022 年 7 月の 21 号機 Vega C 初飛行を成功させたが、12 月の 2 回目 22 号機打上げには 2 段ロケットモータ不具合で失敗した。Vega C 3/4 段を、新型上段の液体メタン/液体酸素エンジンに換装する Vega E M10 エンジン燃焼試験は 2022 年に成功した。

[通信衛星分野]

Alenia Spazio(現 Thals Alenia Space (TAS))は ASI との契約により通信衛星 Italsat-1 や Italsat-2 を打上げた。ESA の Artemis、データ中継衛星 DRS のいずれの衛星もイタリアの出資率が 45 %でイタリア主導の開発である。Telespazio により運営されている Fucino センターには 21 基のアンテナがあり通信衛星の運用やリモートセンシングデータの受信などを行い世界的に進んだ宇宙通信センターとなっている。2001 年には初の軍事通信衛星 Sicral (2,500kg)を Alenia Spazio(現 TAS)、Fiat Avio(現 Avio)、Telespazio で構成するコンソーシアム SITAB により製造し打上げた。2009 年には Sicral-1B の打上げに成功した。後継機である Sicral-2 (Syracuse-3C)はイタリアとフランスの共同プログラムとなり、TAS が製造し、2015 年に打上げられた。Prima バスを使用した Sentinel-1C を開発中である。

[科学衛星分野]

ASI は測地衛星 Lageos 2 (’92 年打上げ)、オランダとの共同による X 線天文衛星 SAX (’96 年打上げ)をはじめとする多くの科学衛星開発に参加してきた。近年では、2004 年打上げの彗星探査機 Rosetta、2009 年打上げの Hershel 赤外天文衛星、2015 年打上げられた LISA Pathfinder や火星探査機 ExoMars(探査機は 2016 年打上げ、着陸機は 2022 年以降打上げ予定：ロシアによるウクライナ侵攻で ESA がプロジェクトを凍結中)の開発等に参加していた。

[地球観測分野]

ASI は Meteosat プログラム、ERS-1 をはじめとする ESA の観測衛星計画にも参加してきた。COSMO-Skymed は ASI/TAS が開発したイタリアの軍民両用 X バンド SAR 衛星であり、4 機のコンステレーションで構成される。COSMO-Skymed は 1 m 以上の高解像度 SAR 画像を取得することが可能であり、フランスの高解像度光学観測衛星 Pleiade-HR と連携した運用が可能である。COSMO-Skymed は 2007~2010 年にかけて打上げられ、後継機 CSG-1 が 2019 年に打上げられた。ASI は 2019 年にハイパースペクトラルセンサーを搭載した PRISMA を Vega により打上げた。また、イタリア防衛省は、2012 年にイスラエル IAI から解像度 1 m 級の光学偵察衛星 OptSat を購入する契約を締結し、2017 年に打上げた。

[有人宇宙システム]

Space Shuttle に搭載して宇宙ステーションと地上を往復するミニ与圧補給モジュール(MPLM)を NASA との共同で開発した。MPLM1 (Leonardo)は2回、MPLM2 (Raffaello)も2回 ISS へ打上げられた。また MPLM3 (Donatello)を NASA に提供した。なお、国際宇宙ステーションの居住棟 Harmony, Tranquility も ASI / Alcatel Alenia(現 Leonardo)が製作を Torino で担当した。ESA の Columbus の与圧構造も同じ Torino 工場で制作された。

[その他]

Galileo航行衛星プログラムの開発、危機管理衛星システム(SIASGE)のレーダー衛星コンステレーションに関するアルゼンチンとの共同開発や、大気圏調査を目的とした CESAR に関する欧州各国との協力開発に参加している。また、Leonardo は Space Shuttle の MPLM を基にした与圧補給モジュールを製造し、米 Northrop Grumman の輸送機 Cygnus に供給している。

⑶ 企業動向

イタリアの主要航空宇宙企業の最近の動向は次のとおりである。(表 2-2-9 参照)

a. Leonardo.

表 2-2-9 Leonardo の主要部門売上及び従業員数(売上高：百万ユーロ、従業員数：人)

暦　年	Leonardo					
	航空機		ヘリコプター		宇宙	
	売上高	従業員数	売上高	従業員数	売上高	従業員数
2017	3,107	10,316	3,262	11,456	－	－
2018	2,896	10,659	3,810	11,596	－	－
2019	3,390	11,215	4,025	12,331	－	－
2020	3,393	11,278	3,972	12,326		
2021	3,622	－	4,157	－	62	－
2022	3,085	－	4,547	－	31	－

出典：Leonardo アニュアルレポート

Leonardo は、世界各地合わせて約 50,000 人の従業員を擁する航空宇宙、防衛、セキュリティ分野において世界でトップ 10 に入る規模の会社であり、2022 年の売上は約€ 14.7 B である。

防衛/セキュリティ機器分野で SelexES、宇宙分野で Telespazio、Thales Alenia Space などを傘下に持つ。Telespazio は Leonardo (67%)と Thales (33%)の合弁事業で、Thales Alenia Space は Leonardo (33%)と Thales (67%)の共同経営子会社である。

b. Leonardo　航空機部門（旧 Alenia Aermacchi）

Leonardo の航空機部門である旧 Alenia Aermacchi は 2012 年に Alenia Aeronautica と旧 Alenia Aermacchi が合併した会社で、Finmeccanica (現 Leonardo)の完全子会社であった。Alenia Aeronautica は、'90 年末に Aeritalia と Selenia が合併してできた Alenia が、'93 年に Finmeccanica(現 Leonardo)の子会社となり、2002 年に航空機部門と宇宙部門(Alenia Spazio)に分かれて誕生した会社である。Alenia Aermacchi は、1913 年に設立された Aermacchi が源流であり、航空機生産では歴史のある会社である。その後、軽ジェット練習機 S-211、初等練習機 SF-260、軽輸送機 SF-600TP などを製造した SIAI Marchetti を'97 年に吸収し、ジェ

ット練習機、軽攻撃機のメーカーとなったが、2003 年に Finmeccanica (現 Leonardo)に株式の 67.2 %を取得され、同社の傘下に入った。(2006 年に社名を Alenia Aermacchi に変更)

軍用機分野では、英国、独等との共同開発の多目的戦闘機 Tornado (’98 年生産終了)や、ブラジルとの共同開発の AMX 攻撃機(’99 年生産終了)のほか、Eurofighter Typhoon、F-35、nEUROn(戦闘用無人航空機の実証機)の開発にも参加している。また、軍用輸送機 G222 を開発・生産し、その派生機として C-27J を Lockheed Martin と共同開発した。

2018 年、ファーンボロー国際航空ショーで Eurofighter Typhoon の後継となる次期戦闘機 Tempest の開発計画が発表された。2035 年の配備を目指している。Tempest は無人機(UAV)群との連携もミッションに含むイギリスの次期戦闘機計画で、イギリス、スウェーデン、イタリアの 3 か国による共同開発となることが公表された。イタリアは 2020 年に Tempest の共同開発についての覚書に署名／調印した。2022 年 12 月、日英伊の新戦闘機開発計画 GCAP に Leonardo UK と共に参加し、第 6 世代機開発に加わることとし、Tempest 開発を継承した。

民間機分野では、Boeing(B767、B777、B787)や Airbus(A330、A320 Family、A380、A220)のプログラムに参加し、また、ビジネスジェットの Dassault Falcon 900・2000・7X 用エンジンナセルの開発・生産を受け持っている。

また、他社とのジョイントベンチャーでは、Airbus と折半出資で ATR を設立、ATR 42、ATR 72 の共同生産を行っている。Sukhoi とは Superjet International を設立し、2008 年に Sukhoi Superjet 100 の初飛行に成功し、2011 年にロシアの型式証明を取得し、同年商業運航を開始したが、2016 年に事業から離れた。

c. Leonardo ヘリコプター部門 (旧 AgustaWestland)

2001 年、Finmeccanica (現 Leonardo)と GKN (Westland の持株会社)は Agusta と Westland のヘリコプター事業を統合し、AgustaWestland(持株比率 50：50)を設立し、その後 2004 年、GKN は自社が保有する AgustaWestland の株式(50%)を Finmeccanica (現 Leonardo)に譲渡し、AgustaWestland は Leonardo の完全子会社となった。

Agusta は 1907 年に設立され、同社のヘリコプター部門は’52 年に米国 Bell 47 のライセンス生産を開始して以来の歴史を持ち、既に世界 70 か国以上に納入実績を持つ。当初はライセンス生産が中心であったが、’70 年代に A109 汎用ヘリコプターシリーズを開発し、次いで、その発展型 A129 対戦車ヘリコプターも’90 年からイタリア陸軍に納入している。

Leonardo ヘリコプター部門の主な製品には、掃海・輸送／対潜哨戒機の AW101、民間向け中型双発の AW139 がある。また、軍向けでは、AW139 を大型化した AW149 と AW159 があり、両機とも 2009 年に初飛行を実施し、AW149 は 2014 年にイタリア空軍より軍用の型式証明を取得している。民間向けの 4.5 トン級の多用途ヘリ AW169 は 2012 年に初飛行、2015 年に EASA の型式証明を取得している。AW149 の民間向けである 8 トン級の多用途ヘリ AW189 は 2011 年に初飛行し、2014 年に EASA より型式証明を取得している。国際共同開発は、4 か国共同開発の NATO 向けヘリコプターNH90 がある。なお、’98 年に米国 Bell と共同開発した民間型ティルトローター機の BA609 は、AgustaWestland が 2011 年にプログラム所有権を取得し、AW609 に機種名が変更された。Leonardo は 2021 年時点において AW609 の開発は型式証明の取得に向けた最終段階にあるとしている。

d. Avio Aero (GE Aerospace のイタリア子会社)

Avio Aero は、2013 年に GE グループが Avio の航空エンジン部門を買収し分社した会社である。なお、Avio は、2003 年に Carlyle グループと Finmeccanica が Fiat Avio を買収し設立した会社である。従業員数は約 5,500 人であり、その内イタリア国内は約 4,600 人である。

民需部門における案件としては、GE Aerospace の民間機用エンジン GE90、Genx のアクセサリ・ドライブトレイン、低圧タービン部品を供給しているほか、Airbus A380 に搭載された Rolls-Royce の Trent 900 の開発では、リスク・シェア・パートナーとして、やはりアクセサリ・ドライブトレインを担当している。また、Falcon 2000EX 他のビジネスジェットに搭載される PW308 にも参画している。

防需部門では、Eurofighter 戦闘機用 EJ200 エンジン(Eurojet Turbo)、Tornado 戦闘機用 RB199 エンジン(Turbo Union)に参画している。また、F-22 戦闘機用 F119 エンジン(P&W)でもアクセサリ・ドライブトレインを供給している。2022 年 12 月、日英伊の新戦闘機開発計画 GCAP に参加し、新エンジンを開発すると発表した。

e. Avio (旧 BPD)

Avio (旧 BPD)はロケット推進系の専門会社であり、'96 年に Fiat の傘下に入った。フランスの SEP(現 ArianeGroup)、ドイツの MAN(現 ArianeGroup)と MAGE コンソーシアムを作り、ESA の ECS、Telecom、Hipparucos、Meteosat、Lageos 2 のアポジモータを供給している。Olympus 等に 2 液式アポジモータも開発した。また Ariane 3 / 4 型の固体補助ロケット、Ariane 5 型ではフランスの Herakles (Snecma Propulsion Solide)と合弁で Europropulsion を作り、P230 固体ブースターを開発した。現在 Europropulsion は Ariane 6 用固体ブースターの開発中である。また MBDA にミサイル用の固体モータで協力関係にある。

また、'90 年からの 5 ヶ年計画で小型衛星打上げロケットの開発を提案し、'91 年に ASI と契約した。その後、改良設計が加えられ、低軌道に 1500kg の衛星を投入可能な Vega ロケットと呼ぶ ESA プロジェクトとなり、2012 年初号機打上げ後 14 号機まで連続成功し、15 号機は 2 段ロケットモータ不具合により失敗した。2020 年 16 号機は成功し、17 号機は配線ミスにより失敗した。Vega 23 号機は 2023 年成功した。2022 年 7 月の 21 号機で 2 段を性能向上した Vega C 初飛行を成功させたが、12 月の 2 回目である 22 号機は 2 段ロケットモータ不具合で失敗した。Vega C 3/4 段を、新 3 段に換装する Vega E 液体メタン／液体酸素エンジン M10 エンジン燃焼試験に 2022 年成功した。

6. ロシア

(1) 航空機産業

ソ連の崩壊は、ロシア及び CIS の航空機産業に大きな打撃を与え、防衛需要が減少し、一方ロシア及び CIS のエアラインは競って西側の機材を導入し、ロシア製民間機の需要は著しく減少した。このためロシアの航空機業界は集約・統合、民需転換、外国企業との合弁等、業界のリストラを進めてきた。

'96 年の大統領令により、軍需関係では MiG と Sukhoi の 2 大グループが形成され、翌 '97 年に Tupolev 設計局も第 3 のグループを創るべく AVIASTAR 及び AVIACOR と合併に関する協定を結んだ。

2001 年には、大小取り混ぜて 316 社あるという航空関連企業を 2004 年までに 9～11 の持株会社に統合するロシア航空宇宙局(Rosaviakosmos: Russian Aviation and Space Agency)が策定した再編計画が承認された。

2001 年にロシア航空宇宙局は Boeing と宇宙・航空・テクノロジー分野における長期協力協定に調印した。これを受けて Sukhoi、Ilyushin は同年に米国 Boeing と共同でリージョナルジェットの事業成立性調査を開始し、欧州の EADS(現 Airbus)と民間航空、軍用輸送機、ヘリコプター、戦闘機、宇宙技術について包括提携し合弁会社を設立する協定を結んだ。

2003 年春に Airbus はロシアの Kaskol と共同で「Airbus-Kaskol 技術センター」をモスクワに設立し、さらに 2005 年になって、ロシア政府は国内の主要航空機メーカーを 2006 年末までに統合する方針を打ち出した。

2006 年には、ロシア国営銀行が EADS の株式約 5 %を取得し、更にそれを 25 %強まで増やす計画も示唆した。同年、ロシアの主要航空機メーカーを統合する持株会社 United Aircraft Corporation(英略称 UAC、ロシア略称 OAK) の設立をロシア政府が承認し、2006 年に Sukhoi、Tupolev、Ilyushin、Mikoyan、Irkut など各社が統合された。UAC の組織は Civil Aviation、Transport Aviation、Strategic Aviation、MS-21 Project に再編された。また UAC はロシア国営銀行が取得した EADS の株式を取得、EADS と UAC は互いの株式の所有を進めた。

以上のような経過を経て、現在、ロシア航空工業は政府の主導で UAC の 1 社に統合されているが、従来は以下の表に示す通り 6 つのグループに系列化されていた。

ロシアの航空機工業の経緯について、設計局を中心とする系列に分けて、以下に述べる。(表 2-2-10 参照)

表 2-2-10　ロシアの航空工業グループ

グループ名(主な生産機種)	英　語　名
a. Ilyushin社 (旅客機)	Ilyushin International Aviation Company
① Ilyushin設計局 (1933年設立)	Aviation Complex named for S.V. Ilyushin JSC
② VASO社	Voronezh Aircraft Production Association JSC
b. RSK MiG (RAC MiG)社 (戦闘機)	Federal State Unitary Enterprise, Russian Aircraft Building 'MiG' または Russian Aircraft Corporation MiG
① MiG (Mikoyan)設計局	MiG Aviation Scientific Industrial Complex
② Kamov設計局	Kamov JSC
c. AVPK Sukhoi社 (戦闘機)	State Unitary Enterprise, Aviation Military Industrial Complex Sukho
① Sukhoi設計局	Sukhoi Experimental Design Bureau JSC
② Beriev設計局 (1932年設立)	Beriev Aircraft Company
③ Irkut OAO社 (1934年設立)	Irkut Scientific-Production Corporation JSC
④ KnAAPO社	Komsomolsk-on-Amur Aircraft Production Association
⑤ NAPO社 (1936年設立)	Novosibirsk Aircraft Production Association
d. Tupolev社 (旅客機)	Tupolev JSC
① Tupolev設計局 (1922年設立)	Aviation Scientific-Technical Complex named for A.N. Tupolev JSC
② AVIASTAR社 (1976年設立)	Ulyanovsk Aviation Industrial Complex 'AVIASTAR' JSC
③ AVIACOR社 (1930年代設立)	International Aviation Corporation JSC
e. Yakovlev社 (攻撃機/旅客機)	Yakovlev Aviation Corporation JSC
Yakovlev設計局 (1927年設立)	ExperimentalDesign Bureau named for A.S. Yakovlev
f. Mil社 (輸送ヘリ)(1947年設立)	Moscow Helicopter Plant named for M.L. Mil JSC

a. Ilyushin

①公共株式会社 S･V･Ilyushin 記念航空複合体(略称 Ilyushin)

Ilyushin は主に、Il-18 ターボプロップ機、Il-62 長距離 4 発ジェット機、ソ連初の広胴機 Il-96 等の民間旅客機及びその軍用派生型の開発を行い、これまでに同局設計の約 60,000 機が生産されている。Ilyushin はヴォロネジの VAPO と'94 年に正式に提携した。

'80 年代後半から'90 年代後半にかけては表に示す通り、ウイングレットを持つ広胴の 4 発機 Il-96-300、胴体を延長し PW2337 エンジン搭載の Il-96M 及び双発ターボプロップ機の Il-114 (64 席)が開発された。軍用機では、高翼 4 発の Il-76 輸送機を'75 年に生産開始、2000 年中頃までに 960 機が生産されている。より効率の良いエンジン換装と斬新なアビオニクスを装備した Il-76TD-90VD 型は 2005 年に初飛行した。

2023 年 11 月 1 日エンジンを Aviadvigatel PS-90、電子装備品を換装した Il-96-400M が初飛行し、認証に向け開発が進められている。

②VASO

Il-96-300 や Il-96M/N 旅客機の生産及び SSJ100 の部品生産を行っている。An-148 輸送機については、当初は尾部部分を製造していたが、2005 年には機体の生産ライセンスを得ている。

b. RSK MiG (RAC MiG)

大統領令により'96 年に設計、生産、金融、販売能力を統合した国有企業として設立された。傘下に主要航空機関連企業数社と銀行 1 社を持ち総従業員数は 10 万人を越える。この中には MiG (Mikoyan)設計局、Kamov 設計局、Myasishchev 設計局が含まれる。1893 年に創立された MAPO (Moscow Aircraft Production Organization)と、'39 年に同社から分離後に Mikoyan Aviation Scientific- Industrial Complex となった MiG 設計局が'95 年に合併し、国有企業 MAPO MiG となったが、その後、RSK MiG (RAC MiG)に変更された。

① 公共株式会社「ロシア航空機制作会社 MiG」(略称 RSK MiG (RAC MiG))

MiG はミグ(MiG)戦闘機でよく知られており、次の表に示す通り一貫して戦闘機の開発を行ってきた。

機　種	備　考
MiG-15	ソ連で最初の近代的戦闘機、1949年から配備
MiG-17	MiG-15の発展型、1953年頃から配備
MiG-19	ソ連で最初の超音速戦闘機、1954年から配備
MiG-21 マッハ2級戦闘機	1956年に初飛行、他の共産諸国にも広く使われた
MiG-23/27 可変後退翼	1967年に初飛行、1970年から配備
MiG-25 マッハ2.8戦闘機	1965年に初飛行、函館空港へのベレンコ中尉の亡命で有名
MiG-29 制空戦闘機	F-15に対抗する戦闘機、1982年から生産
MiG-31 (MiG-25改良型)	1983～1985年までに70機以上配備
MiG 1.44 次世代戦闘機	2000年に2回飛行しただけで、その後の進展がない模様
MiG AT 高等練習/軽攻撃機	1980年代後期に設計開始、2001年に4機目の試験機完成
MiG-35 (MiG-29改良型)	2007年、インドの航空ショーにて公開された

② 株式公開会社「Kamov」(略称 Kamov)

Kamov としてヘリコプターの開発・生産を行い、これまでに、Ka-25, 27 対潜・汎用ヘリコプター、Ka-26, 29, 31 中型輸送ヘリコプター、Ka-32 (Ka-27 の民間型)、Ka-50 対戦車ヘリコプターなどを生産してきた。'96 年に MAPO (現 RSK MiG)の一員となったがそこから分離する計画がある。Kamov は同軸反転式ローターを伝統としていたが、'93 年にシングル・ローターの Ka-60 軍用輸送ヘリコプターを初飛行させ、2000 年に生産許可を申請した。その民間型の Ka-62 汎用双発中型ヘリコプター(5～14 席)を開発し'98 年に初飛行したが、エンジン変更などでプログラムは大幅に遅れたが 2021 年 11 月の型式証明を取得した。

c. AVPK Sukhoi

RSK MiG と同じく'96 年に Sukhoi 設計局、Beriev 設計局と、Irkut、KnAAPO (Komsomolsk-on-Amur)や NAPO (Novosibirsk)の生産工場及び 2 銀行を統合して設立された。

① 公共株式会社 Sukhoi カンパニー(略称 Sukhoi)

ソ連の 2 大戦闘機開発センターとして MiG 設計局と共に下表に示す通り、戦闘機の開発を行ってきた。

機　種	備　考
Su-7 防空戦闘機	1955年に初飛行したSu-1の空力性能改善型
Su-7B 戦闘爆撃機	Su-7の発展型、複座型のSu-7U等も開発
Su-17/-21 防空戦闘機	1971年から配備
Su-17/-20/-22 戦術戦闘機	可変後退翼
Su-24 近接支援戦闘機	可変後退翼、1981年から配備、1984年で450機
Su-25/-28 近接支援戦闘機	1982年から配備
Su-27 制空戦闘機	FBW採用、ロシアや中国等8カ国で567機運用
Su-30 戦闘機	インドがライセンス生産
Su-30MK 戦闘機	中国がSu-27と共に、ライセンス生産
Su-35 戦闘機	1992年初飛行、先進技術採用
Su-37 戦闘機	1996年初飛行、先進技術採用
Su-47 Berkut 戦闘機	2000年設計、Su-37のMultirole Fighterデモ機
Su-57 戦闘機	2010年初飛行、重量型第5世代ステルス機
Su-75 戦闘機	2023年初飛行予定、軽量型第5世代ステルス機

2019 年 Mig と Sukhoi はブランドを存続したまま合併した。

現在、Su-57 (旧 PAK FA(Perspektivnyi Aviatsionnyi Kompleks Frontovoi Aviatsii)と呼ばれる第 5 世代ステルスジェット戦闘機を開発中で、2019 年にロシア政府が量産を承認し生産が開始された。

2021 年モスクワ開催の MAKS2021 にて、開発中の単発の第 5 世代ステルス戦闘機 Su-75 が初公開された。重量型の Su-57 に対して LST 計画(軽量戦術航空機計画)に基づき、低コストを狙ったものと考えられる。2024 年に初飛行が予定されている。

民間機分野では、GE CT7-9 エンジンを搭載する双胴双発多目的ターボプロップ機 Su-80 のプロトタイプが 2001 年に初飛行し 2006 年から 30 席の量産型が生産された。2018 年に民間機部門を Irkut に移管した。

＜Sukhoi Superjet (SSJ)100 (現 Yakovlev Superjet 100 (SJ-100) 開発＞

当初ロシア・リージョナルジェット(RRJ)と呼ばれた60～90席ファミリーのリージョナルジェット機は西側製の機体より10～15%安い価格を目標に、2004年第2四半期ローンチ、2006年初飛行、2007年初納入の計画で進められた。2004年のファンボロー・エアショウではSibir Airlines (現 S7 Airlines)等からの計77機を受注し、同年末にはAirbus機のようなサイド・スティック方式のコクピットのモックアップを披露した。2005年末には、Aeroflot Russian Airlinesが30機のRRJ購入(総額$820M)を契約した。エンジンはロシアNPO Saturnと仏Snecmaが設立したPowerJetが開発したSaM146を搭載した。

2006年には機体名がRRJからSukhoi Superjet 100に変更され、胴体構造組立が開始された。当初より遅れて2007年にロールアウト、2008年に初飛行し、2011年にIAC (Interstate Aviation Committee: 独立国家共同体の州際航空委員会)から型式証明を取得した。2012年にはEASAの型式証明を取得した。2013年には長距離型SSJ100-95LRがIACからSTC Supplemental Type Certificate：追加型式設計承認)を取得し、2014年に就航した。

ロシア製のエンジンAviadvigatel PD-8や搭載装備品を換装したSJ-100と呼ぶ派生型が2023年8月に初飛行し、認証取得に向け開発している。

SSJ-100は2022年時点で200機以上が出荷された。

② G･M･Beriev記念タガンローク航空科学技術複合(略称 Beriev)

'48年以来、Berievは、全てのロシア製水上機の開発を手掛けてきた。'96年にSukhoiの一員となり'98年に現社名となった。A-40アルバトロスジェット哨戒飛行艇、同様のBe-42及びIl-76輸送機を改造したA-50AWACS早期警戒機を生産していた。

さらにBe-40を小型化した多目的ジェット飛行艇Be-200を開発し'98年に初飛行した。その消火艇型は2001年型式証明(ロシアAP-25)を取得した。BR715エンジン搭載のパトロール／旅客型Be-200RR(72席)は、2001年から試験飛行を開始し、2003年に型式証明を取得した。

③ Yakovlev (旧 Irkut)

イルクーツクを拠点とする航空機メーカーである。MiG-23UBとSu-27UBの練習機を生産し、現在はSu-30戦闘機、Yak-112軽飛行機、Be-200ジェット飛行艇を生産している。

2002年に、それまでのIAPOから新しい社名Irkut OAOに変わり、2023年7月にYakovlevと社名を変更した。2005年になって、それまでA320の部品を製造していたIrkut(現 Yakovlev)は、A350開発にリスク・シェア・パートナーとして参画することでAirbusと覚書を締結した。

2007年にはA320/A321の貨物機改造プログラムを開発するため、ロシアのUACとIrkut(現 Yakovlev)がそれぞれ25%、EADS EFWが32％、Airbusが18％出資して合弁会社Airbus Freighter Conversion GmbH (AFC)をドイツのドレスデンに設立した。しかし、A320/A321は旅客機としての需要が根強く、貨物機に改造する母機が不足することや経済的理由により、2011年にはこの合弁会社を解消した。

＜Yakovlev MS-21(ロシア表記はMC-21)双発旅客機開発＞

MS-21は、United Aircraft Corporation (UAC) のなかでもIlyushin、Tupolev、Yakovlevが共同で開発した短中距離双発旅客機で、開発初期の2005年ごろは130～170席の3仕様であったが、その後150～212席クラスに機体を大型化した。計画によると、MS-21はAirbusやBoeingの同規模の機体よりも効率が10

～15％高く、エアバス A320 よりも構造重量において 15％優れており、運航経費が 20％、燃料消費が 15％少なくなっている。搭載エンジンは当初米国の PIAE LLC の PW1400G-JM Geared TurboFan エンジンを採用(ロシア United Engine の PD-14 エンジンも選択可)し、機体構造は 1 次構造材の主翼や尾翼に炭素繊維複合材を使用し、オートクレーブ(圧力窯)を用いない VaRTM 製法を採用して低コスト化をはかって複合材比率は 40％以上である。2016 年に MS-21-300 の 1 号機がロールアウト、2017 年初飛行し、2021 年 12 月ロシア当局の型式が承認された。MS-21-310 (PD-14 搭載)が、2020 年に初飛行し、2022 年 12 月に当局の認証を得た。また、最大 260 座席と胴体を約 5m 延長した MS-21-400 (PD-14 搭載)を開発中であるが、ロシアのウクライナ侵攻に対する西側諸国の制裁を受け、MS-21 に使用されている複合材主翼の材料をはじめとする西側諸国のコンポーネントとシステムをロシア製の企業に置き換えるため、大規模な設計変更を強いられた。

④ Yu.A.ガガーリン記念コムソモーリスク・ナ・アムーレ航空機工場(略称 KnAAPO)

現在 Su-27、Su-33、Su-35 戦闘機各種、Su-80(旧 S-80)双発ターボプロップ輸送機、Be-103 飛行艇、Ka-62 ヘリコプターを生産している。

⑤ NAPO

これまで、I-16、Yak-7、Yak-9、MiG-15、MiG-17、MiG-19、Yak-28、Su-15、Su-24 など約 36,000 機を生産した。現在は Su-27IB と An-38 を生産している。100％ロシア政府所有であったが、その 74.5％が Sukhoi 持株会社に移された。Su-24 は KnAAPO でも生産された。2003 年には、Sukhoi の SSJ 製造担当にも指名された。

2007 年 NAPO は、'92 年以来の新型戦闘爆撃機 Su-34 の初号機をロシア空軍に納入した。ロシア空軍は、本機を計 200 機調達する計画で、2010 年に引渡しが始まり 2015 年時点で 60 機以上が運用されている。

d. Tupolev

'99 年 6 月に、ロシア政府から約 51％の出資を得て、Tupolev 設計局と AVIASTAR 生産工場を統合した。AVIASTAR は 43.6％を出資している。

① 公共株式会社 Tupolev(略称 Tupolev)

Tupolev は、主に爆撃機や旅客機等の大型機の開発を行なってきた。

爆撃機では、Tu-16 双発中距離爆撃機、Tu-95 四発ターボプロップ長距離爆撃機、Tu-142 海洋偵察･対潜哨戒機、Tu-22 超音速爆撃機('61 年初公開)、Tu-22M 可変翼戦略爆撃機('69 年初飛行)、Tu-160 可変翼超音速戦略爆撃機('81 年初飛行)などを開発・生産してきた。

旅客機としては、下記に示す機種を開発／生産してきた。

機　種	座席数	備　考
Tu-134	70	短中距離機、1967年9月就航
Tu-144	140	超音速旅客機、1968年12月初飛行
Tu-154	150	中距離機、1968年10月初飛行、1972年就航
Tu-204-100	200	1989年初飛行、1996年就航
Tu-204-120		RB211-535E4搭載、1992年8月初飛行、1998年11月納入
Tu-214	210	長距離・離陸重量増、1996年初飛行、2001年就航
Tu-224	166	RB211-535E4搭載
Tu-234	99～160	長距離機、PS-90P搭載、2000年7月初飛行
Tu-324	52	ロシアとタタルスタン政府が開発費を折半、2004年開発中止
Tu-334-100	72	資金難で開発遅れ、1999年2月初飛行、2005年納入
Tu-334-200	126	AVIACOR社で生産
Tu-414	75	Tu-324のストレッチ型、BR710エンジン搭載の可能性あり、開発中
Tu-444	6	超音速ビジネスジェット、開発費$1B、価格$50M、計画中

②AVIASTAR

主に Tu-204 の生産を行っている。MS-21 の主翼部品、新技術を適用する Il-76(Il-476)の生産も計画されている。

'97 年に Tupolev 及び AVIACOR との合併に合意し'99 年に発行した。ロシア政府が株式の 6.64 %を保有している。'97 年には台北に、AVIASTAR Asia を設立した。

③AVIACOR

現在までに、Tu-154 旅客機、An-140、軽飛行機などの生産を行ってきた。2005 年に入り、Tu-154 の生産終了の計画を明らかにしたが、その後再生産し 2007 年に新製で、ICAO 騒音規制の Chapter-4 に適合した Tu-154M を納入した。現在は、Airbus や Boeing の下請け作業も請負っている。'97 年に Tupolev 及び AVIASTAR と合併することを了承している。

e.A・S・Yakovlev 記念試作設計局(略称 Yakovlev)

'92 年に Yakovlev、サラトフ機体工場、スモレンスク機体工場を統合して設立された。主な生産機種は、Yak-18 練習機、Yak-28 戦闘爆撃機('61 年初頭公開)、Yak-36, 38V, STOL 攻撃機、3 発短距離旅客機 Yak-40(約 30 席)、3 発中短距離旅客機 Yak-42 (約 100 席、'80 年就航)、Yak-50 スポーツ機などである。Yakovlev は '94 年に韓国の現代と小型機及び中型機の開発・販売を目的として合弁会社 Hyundai-Yak Aerospace Co. ltd.を設立している。また、伊 Aermacchi と共同で Yak-130 練習機(Leonardo は M-346 と呼称)を開発した。

f. Mil

これまでに、Mi-2、Mi-6 輸送ヘリコプター、Mi-8 , 17 汎用ヘリコプター、Mi-10 輸送ヘリコプター、Mi-4 / 14 対潜ヘリコプター、Mi-24 , 28 攻撃／輸送ヘリコプター、世界最大の Mi-26 輸送ヘリコプターなどを生産している。Mi-34 小型ヘリコプター(4～5 人乗り)及び輸出を狙い Eurocopter(現 Airbus Helicopter)と共同で Mi-38 大型ヘリコプター(30～32 人乗り)を開発していたが、2003 年に Eurocopter の撤退後もアビオニクスの供給は継続していた。Mi-38 は 2003 年から飛行試験を開始、2015 年にロシア航空局の型式証明を取得し、2016 年から量産フェーズに入った。また、'99 年に Sikorsky の S-76 の多用途ヘリコプタ

ーの開発に参画している。

⑵ 宇宙産業

a. 宇宙開発体制

ソ連の宇宙開発は、国の強力な統制の下に軍民混合で進められていた。'91 年の連邦崩壊後、カザフスタンのバイコヌール(Baikonur)射場など一部を除いてロシア宇宙庁が引継ぐこととなり、CIS メンバー12ヵ国は宇宙協力協定を締結した。その後、改組を経てロシア連邦宇宙局(FSA: Federal Space Agency　通称 Roscosmos)となった。2016 年からは、Roscosmos との国営企業の統一ロケット・宇宙会社(ORKK)を統合し、ロシアの宇宙開発全般を担い管轄する国営企業として Roscosmos を設立した。2020 年、連邦法の改正により国家公社となった。

宇宙工業は主に工業・エネルギー省の下に開発組織があり、多くの科学生産公団(NPO)や設計局(KB)が存在している。ソ連崩壊後は大幅に縮小したものの、現在でも 100 以上の宇宙関連機関・企業に約 20 万人が従事している。

科学ミッションは国立科学アカデミーが統括しているほか、運輸・通信など各省のプロジェクトもある。2011 年には、スカルコーバ財団と RSC Energia が、ロシア宇宙技術科学研究所(Scientific Research Institute of Space Technologies)を共同で設立するとの声明が発表された。

b. 宇宙開発、利用の沿革

'57 年、ソ連は世界初の人工衛星 Sputnik 1 号の打上げに成功した。月・惑星の探査でも先んじており、'61 年の金星 1 号は最短距離 10 万 km まで接近し観測を行った。

世界初の有人飛行は'61 年ガガーリンの乗った Vostok 1 号で、わずか 1 周回 1.8 時間の飛行であったが、無事ソ連領内に帰還した。軌道上の実験宇宙ステーション、Slyut 計画では '82 年に打上げられた 7 号で宇宙滞在 236 日の記録を樹立した。しかし衛星実利用の面で大きく遅れをとり、通信分野では、世界初の米国の静止衛星 Syncom 2 より 2 年遅れて '65 年 Molniya I 型の第 1 号機で成功した。静止衛星は '74 年打上げの Molniya 1-S が最初である。公衆通信には静止衛星 Raduga、Gorizont、Ekspress が開発された。Gorizont は Intersputnik にも使用されたが、'94 年以降次世代の通信衛星 Ekspress が Gorizont に代わって打上げられ、通信需要拡大に対応している。放送衛星 Ekran は '76 年に打上げられた世界で最初の直接放送衛星であり、これまでに約 20 機打上げられた。気象衛星は '69 年打上げの Meteor 1 号に始まっている。

c. 宇宙開発、利用の現状

ソ連の全盛期には年間 120 機程度打上げてきた人工衛星は、ロシアとなった '91 年から打上げ数が減少したものの通信衛星をはじめ、気象衛星、偵察衛星、ミサイル警戒衛星、航行衛星、海洋捜索衛星、国際宇宙ステーション等、全ての分野において打上げ・運用が行われている。2023 年のロシアのロケット打上げ回数は 18 回、自国衛星は 56 機で政府 4 機、CubeSat は 42 機、軍用 10 機である。有人及び ISS 貨物は 6 機,、月探査機 1 機である。海外衛星の打上げはマレーシア、ベラルーシ、UAE の 3 機である。

2009 年からメドヴェージェフ大統領の年次教書演説の中で経済の「近代化」が最重要視された。その 5 つの方向性の一つが宇宙・通信分野である。

ロシアは通信とナビゲーションサービスプロバイダ分野で、ビジネス的にも世界で　優位な位置にある。

科学技術都市を運営するスカルコーバ財団(Skolkovo Foundation)が RSC Energia に協力することなどから、宇宙開発を国の注力分野の１つとして先端技術開発と商業化推進を強化している。

Roscosmos は2013年から2020年までの宇宙活動及び宇宙産業の目標及び目標指数を新たに発表した。その主な目標としては、平和目的の宇宙利用での国際協力の維持、ロケットや衛星の製造に関する世界市場でのシェア拡大、測位・航行衛星システム GLONASS の開発・維持・利用拡大、射場の改修及び建設中の基地完成などが含まれている。また、ISS 計画から 2024 年に離脱し、その後は、ロシアが管轄する施設を分離し、それらを基に独自の宇宙ステーションを建造する計画を発表した。2016 年の Russina Federal Space Program for 2016-2025 (FSP 2016-2025)では、2020年代に自動探査機の着陸や月周回軌道での様々な作業が想定されている。

宇宙分野における影響として、国産品志向を強めつつ、海外からの技術導入や国際共同開発も視野にいれている。また、経済成長において民間企業の投資活動の果たす役割が大きいことを踏まえ、官民連携による宇宙分野の発展を指向している。

2018年にプーチン大統領が2030年までの Roscosmos 戦略を見直すソチ会議を招集した。リモートセンシング衛星コンステレーションの強化を指示し、打上げロケットを Angara-A5P から Sunkar に移行、Zenit から Soyuz 5 への移行などを検討することとなった。また、2018年から Baikonur 射場の Zenit-M 打上げ施設がカザフスタンに引き渡された。Baikonur 射場のカザフスタン返還は、2050 年までリース契約とし、射場内のガガーリン発射施設の近代化改修をロシア、カザフスタン、UAE の共同で進めることとなった。また、新発射場となる Baiterek 射場は、Angara ロケット用から Soyuz 5 SLV 用に変更した。Baiterek 射場はロシアが$916M、カザフスタンが$233M を各々投資し、地上施設を計画することで合意した。2019 年、Roscocmos のロケット製造企業が集まる Khrunichev 国家研究生産宇宙センターの再編都市計画が承認され、国立宇宙センタービルの建築や交通輸送インフラの整備に着手した。前述のように戦略を打ち出しているが、ウクライナ侵攻の影響によりロシアを取り巻く宇宙開発環境や国際協力においても CIS 同盟の各国をはじめとした協調姿勢に変化があり、ロシアの今後の動きは流動的である。2022年5月 BRICS 宇宙協力連合委員会第 1 回会議が開催され「BRICS リモートセンシング衛星ネットワークデータ交換技術基準」「BRICS リモートセンシング衛星ネットワーク共同観測実施プロセス」が採択された。2023 年 7 月 24 日に南アフリカで開催された第 2 回 BRICS 宇宙協力連合委員会では ISS の構成部分でロシアが建設を予定するロシア軌道セグメント(ROS)について、ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカで構成する 5 カ国でモジュール建設を提案した。ロシアは ROS の最初のモジュールを 2027 年に打上げ、2032 年までに建設が完了すると想定している。また、BRICS 圏の地球観測衛星データ受信基地の南アフリカ建設を提案している。

[宇宙輸送分野]

ロシアは軍用技術を転用した多くの大型ロケットを保有している。代表的なものは SL-4/A-2e 型(Soyuz: 2004 年に改良型 Soyuz 2 の初打上げ成功)、3 段式と 4 段式の SL-12/D 型(Proton)がある。Soyuz 2 (1A) (FREGAT ブースター付)は、2006 年に METOP A (ヨーロッパの気象衛星)の打上げに成功した。また、ESA との間で Soyuz-ST をギアナ射場から打上げる契約を締結し、2011年から打上げが行われた。2020年にロシアの GonetsM 衛星 3 機他、19 機の超小型衛星を打上げ、フランスの偵察衛星 CSO-2 を搭載した

Soyuz-ST を打上げた。2021 年の打上げサービスとして 3 月に Soyuz 2 (1A)で韓国の CAS500-1、日本企業ではアストロスケールの ELSA-d デブリ除去技術実証衛星、アクセルスペースの超小型衛星 GRUS-1B, 1C, 1D, 1E、サウジアラビアの NAJM-1 などを打上げた。12 月に EU の Galileo FOC 23, 24 を仏領ギアナ基地から打上げた。2020 年 3 月から 2022 年 2 月までに Soyuz 2 (1B)により、13 回の商業打上げを実施し、衛星 420 機を打上げた。衛星打上げの国際市場へも積極的に参入し、海外企業との共同で進められていたが 2022 年 2 月末時点でフランス領ギアナの Kourou 宇宙港からロシア技術要員が撤退し一時停止状態にある。そのためフランス宇宙庁ではロシアが担っていた商業打上げサービスを Isar Aerospace への転換が検討されている。しかし、ウクライナ侵攻により 2022 年 3 月の OneWeb 打上げは前日に中止され、36 機の衛星は返還されないままとなっている。2023 年 6 月 27 日に打上げた Soyuz 2 (1A) / Fregat は 2,750 kg の気象衛星 Meteor-M2 を 2 機、45 機の自国の CubeSat を打上げている。

Khrunichev 国家研究生産宇宙センターはアメリカの Lockheed Martin と共にロシア Proton とアメリカ Atlas による商業衛星打上げ会社 International Launch Services(ILS)を'95 年に設立し、多くの衛星を Proton で打上げた。2008 年に Lockheed Martin は ILS 株を Space Transport に売却した。Proton の初期モデルは 2 段式であったが、Proton K からは 3 段式になった。Proton K は主に低軌道の人工衛星打上げ用として使用される。2001 年に初打上げに成功した Proton M(デジタル式フライトコントロールシステム)は Proton K の改良型で、静止軌道に約 5.5 トンの打上げ能力を有する。Proton M は 2018 年に 2 回とも成功し軍事衛星を軌道に投入した。2019 年は 5 回の打上げに成功した。2020 年に Proton M の作業上の欠陥が見つかり、Ekspress-80 および Ekspress-103 通信衛星の打上げが延期された影響で、ESA との共同プロジェクト(ExoMars ミッション)の Proton M の打上げが 2020 年から 2022 年に変更された。2021 年の Proton M 打上げは 2 回で 7 月の Nauka モジュール、通信衛星の Ekspress AMU-3、7 が 12 月に実施された。ExoMars ミッションでの Proton M の打上げが 2022 年後半に予定されていたが、ESA はロシアの担当するローバーやペイロードを含めプログラムを一時中止させ、欧州が独自で進める見通しである。Proton M の 2022 年打上げは 10 月にアンゴラ共和国の通信衛星 AngoSat-2 を静止軌道に投入している。2023 年の Proton M の利用は 1 回で、3 月 12 日に SIGINT 衛星の Olymp-K No. 2 (Luch-5X No. 2)を静止軌道に投入した。

Khrunichev 国家研究生産宇宙センターは、開発していた新ロケットシリーズ Angara の Angara1.2PP の 1 号機を 2014 年に打上げた。この時の人工衛星は非搭載で弾道飛行であった。さらに同年中にダミー衛星の IPM を搭載した Angara-A5 の 1 号機の打上げに成功した。Angara は、ケロシンと液体酸素を使用している。Angara-A5 は 3 段または 2 段式で低軌道に最大 37.5 トン、静止軌道に 4.5 トンのペイロードを打上げる能力を有する。2020 年にダミー衛星の IPM2 を搭載した打上げにも成功している。これに対して、Angara1.2 は 2 段式で低軌道へ 3.8 トンのペイロードを打上げる能力を有し、開発の主な目的は他国に依存せずに独自の打上げシステムを持つことである。Angara1.2 は 2022 年 4 月に EO MKA 2、10 月に EO MKA 3 を打上げている。また、Angara-5 改良型の Angara-A5M は、27 トンのペイロードを低軌道に打上げる能力を持ち、2025 年までに Proton ロケットからの置き換えを予定している。2024 年には Angara-A5M の施設を Vostochny 射場に構築する予定である。

Zenit はソ連時代、弾道ミサイルの設計製造を手掛ける M・K・ヤーンゲリ記念 Yuzhnoye 設計局(所在地ウクライナ、ドニプロ)で設計されたロシアの RSC Energia の液体燃料ロケットエンジンを搭載するロ

ケットであり、機体は近郊の Yuzhmash 社で製造され '85 年に初飛行している。ソ連崩壊後の '94 年に Yuzhnoye 設計局、Yuzhmash 社と名称を変更し、ウクライナの国営企業としてロシア向けに Zenit 2 を供給していた。しかし、2014 年クリミア危機以降、ロシアはウクライナ Yuzhmash 社との取引を中止し、宇宙開発全般に圧力をかけている。Zenit はロシア RSC Energia、米国 Boeing、ノルウェーKvaerner、ウクライナなど海外の企業と合弁会社 Sea Launch を設立して 3 段式の Zenit 3SL を開発、静止軌道打上げに有利な赤道下の船舶からの打上げサービスを'99 年から開始し、2009 年までに 30 回打上げている。Sea Launch 社は 2016 年からロシア S7 Group の傘下となっている。Sea Launch 社の子会社に Land Launch 社があるが、ウクライナで製造していた Zenit ロケットは 2020 年以降ロシアでは利用されていない。

ロシアはソ連崩壊後、隣国カザフスタンの Baikonur 射場を借りており、カザフスタンに年間$115M の基地使用料を支払っている。それに代わり、極東アムール州の射場 Vostochny の運用を開始し、2016 年に第 1 号となる Soyuz 2 (1A)の打上げ及び衛星投入に成功した。将来的にはロシアのロケット打上げの 45 %を担うとされている。

SS-19 ICBM を転用した 3 段ロケット、Rockot(Rokot)を使用して、ロシアの Khrunichev 国家研究生産宇宙センターと Astrium(現 ADS)と共同で設立した Eurockot が小型衛星の打上げサービスを行っていた。2018 年、Rokot-KM で 2 回実施され、ESA の地球観測衛星 Sentinel 3B やロシアの軍事通信衛星を打上げた。

[有人飛行・宇宙往還機]

有翼宇宙往還機の分野では '88 年に初の有人 Space Shuttle Buran を Energia に乗せて無人で打上げた。有人飛行では、'86 年に宇宙ステーション(MIR)の打上げに成功し、'96 年に完成させた。約 15 年にわたって多くの宇宙環境利用実験や長期滞在が行われたが、老朽化と国際宇宙ステーション(ISS)へ統合するために、MIR は 2001 年に大気圏突入により廃棄処分され役目を終えた。ISS では米国等と協力しながら主導的な役割を果たしている。ロシア担当のサービスモジュールは酸素の供給や二酸化炭素の除去、温度制御など生命維持機能を持つとともに ISS の軌道低下を再び上昇させるロケットエンジン、姿勢制御機能、太陽電池も備えており、2000 年に打上げられ、複数の搭乗員による長期滞在が開始された。2021 年 7 月に Nauka 多機能ラボモジュールを ISS にドッキングさせた。ISS への補給は Progres M44 から Progres MS22 まで年に 2～4 回の打上げをしている。搭乗員輸送用宇宙船 Soyuz 及び無人補給船 Progress の打上げは 100 機以上となっている。

2011 年はガガーリン宇宙飛行士による人類初の宇宙飛行 50 周年にあたるため、同年 4 月に打上げられた Soyuz には「ガガーリン」の名前が与えられ、発射台もガガーリン発射台が使用された。2018 年は Soyuz 有人宇宙船 4 回、補給船 Progress は 3 回打上げられた。有人宇宙船の MS-10 はブースターのセンサ不具合により打上げは失敗したが、2 名の搭乗員は無事に帰還した。2019 年には有人宇宙船 (Soyuz-FG)は 3 回、補給船 Progress は 3 回であった。また、MS-14 は無人で Soyuz 2 (1A)で打上げられ、2022 年に導入予定の Soyuz GVK 無人補給船に採用される新型の姿勢制御、航法システム、降下制御システムを検証した。

2020 年は有人宇宙船が 2 回、補給船 Progress は 2 回となった。2021 年は有人宇宙船が 3 回、補給船 Progress は 3 回、ISS モジュール打上げは 2 回となった。この中で MS-20 は日本の一般人 2 名を ISS に送

った。23 トンの Nauka モジュールが ISS に送られたが、ドッキング後に誤ってスラスターを動作させたため ISS が回転し一時制御不能に陥った。11 月にはノードモジュールの Prichal を打上げた。

2022 年は ISS への補給が 3 回、有人飛行が 2 回実施された。ロシアによるウクライナ侵攻により ISS へのアクセスが危ぶまれてたが、有人飛行は NASA とシートバーター契約に合意し、2022 年 9 月から実行されている。2022 年 9 月の MS-22 では米国人宇宙飛行士 1 名を ISS に送り、10 月には米国の Crew-5 Crew Dragon でロシア人宇宙飛行士を送っている。2022 年 12 月 14 日に ISS に接続中の MS-22 に微小隕石が衝突し冷却材漏れが発生し、無人で回収した。

2023 年 2 月 26 日に無人で打上げられた MS-23 が ISS に到着し、同年 9 月 27 日に MS-22 の乗員を帰還させた。MS-22 は同年 3 月 28 日に 218 kg の貨物を搭載して無人で帰還させている。ウクライナへの侵攻後のロシアに対する制裁により、Roscosmos は ISS に関する協力を終了するとしていたが、2023 年 7 月 26 日に CEO の Yury Borisov が大統領に報告した内容では 2024 年以降に ISS から撤退するとし、それまでは従来通りパートナーを維持しつつ、ロシアの宇宙ステーション構築を優先するとしている。

RSC Energia は Soyuz に代わる次世代有人宇宙船 Orel(最大乗員 6 名)を 2018 年から開発中である。2025 年に無人による試験飛行、有人飛行を予定している。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

放送衛星は共同受信方式で UHF 帯を使用する Ekran が '76 年に世界で最初の直接放送衛星として打上げられ、これまでに 20 機以上の打上げ実績がある。2001 年には Ekran21 (M18)が打上げられた。放送需要を賄うためロシア民間企業の Media Most が Hughes(現 Boeing)製の放送衛星 Bonum 1 を'98 年に打上げた。2010 年まで放送サービスを提供し 2014 年に Ekspress-AT1 に置き換えられた。

ロシアの衛星通信会社としては、国営のロシア衛星通信会社 RSCC (Russian Satellite Communications)、Intersputnik、Gazprom Space Systems などがある。通信衛星では長楕円軌道の Molniya(主に政府／軍用)、静止軌道の Gorizont、Ekspress が使用されている。非軍事用は '92 年に RSCC に譲渡された。Gorizont は'94 年から Ekspress に置き換えが進められ、2000 年からは搭載通信機器を AlcatelSpace(現 Thales Alenia Space)製とした Ekspress-A シリーズ(3 機)、2003 年から 2005 年までは新シリーズの Ekspress-AM が 5 機(ISS Reshetnev 製)打上げられた。Ekspress-AM シリーズの衛星の搭載通信機器は、西側のシステムが搭載されているが、Ekspress-AM1(2004 年打上げ)用の搭載通信機器は日本の NEC 東芝スペースシステム(現日本電気)が提供した。2008 年には Ekspress-AM33 も打上げられた。

小型通信衛星シリーズ Ekspress-MD の Ekspress-MD1 は Ekspress-AM44 と 2009 年に同時に打上げられた。ISS Reshetnev 製衛星(Ekspress-AM11、AM2 等)の故障による対策のため、2010 年に「通信衛星を保有しているロシアの通信会社に海外衛星の輸入やレンタルの許可をする」という通信省からの政府規定が提案された。次期 Ekspress シリーズ衛星として Ekspress-AM4 の打上げに失敗した。2013 年にデジタル TV 用 Ekspress-AM5 を打上げた。2014 年、Ekspress-AM4 と同機種の衛星 Ekspress-AM4R の ProtonM での打上げに再び失敗した。また、Ekspress-AM6 の打上げも Proton M の不具合で推進剤の多くを消費して GEO への軌道修正を行った。2015 年には AM7、AM8 の打上げに成功している。さらに、放送衛星 Ekspress-AT1、AT2 は 2014 年に、2015 年には Ekspress-AMU1 が Proton M で打上げに成功した。バスは ISS Reshetnev 製、通信機器は Thales Alenia Space 製である。

2020 年、Ekspress-AM 22 (SESAT2)の後継機となる Ekspress-80 および Ekspress-103 を ProtonM で打上げた。2021 年に国内通信サービス用の Ekspress AMU-3 と Ekspress AMU-7 が打上げられた。

Gonets-M シリーズは 6 機で 1 つのコンステレーションを組み、6 つの軌道面を持つ衛星数 36 機の通信システムである。この衛星はロシア政府やロシア軍の多機能パーソナル衛星通信システム(MSPSS)で、環境センサや森林火災警報装置なども装備し、各種データ中継などに使用される。2020 年に 6 機、2022 年 10 月に Gonets M23、24、25 の 3 機を打上げた。

高品質な衛星通信を確保するため大手海外メーカーのミッション機器を採用した Yamal 計画が Gascom(現 Gazprom Space Systems)が進められた。'99 年に通信衛星 Yamal 101 が打上げられ、2019 年の Yamal 601 まで 13 機が打上げられている。固定通信、ブロードキャスト、およびインターネットサービスを提供している。

ISS や人工衛星との通信を中継する通信衛星に Luch シリーズがある。2011 年に Luch 5A、2012 年には Luch5B を打上げた。2014 年に Luch 5V を打上げた。

'71 年に設立された衛星通信のための国際組織である Intersputnik には、現在、ヨーロッパ圏、南米や東南アジアの計 26 ヵ国が加盟し、21 機の衛星を運用して通信・放送などのサービス提供を行っている。2017 年は、Blagovest シリーズの初号機でロシア国内サービス向けの通信衛星 Blagovest-11L を打上げた。2018 年には Blagovest-12L および Blagovest-13L の 2 機の衛星を打上げ、2019 年に打上げた Blagovest-14L を含めて衛星コンステレーションを構築した。

2020 年、Roscosmos 総裁がユーラシア経済共同連合(EAEU)の会議で北海航路のブロードバンドサービス「Sfera (Sphere)プログラム計画」を発表した。Sfera は少なくとも 162 機、640 機ほどの衛星コンステレーションを構築する計画だが 2023 年は打上げていない。そのプロトタイプの Skif-D (14F149)を 2022 年 10 月に打上げた。

[技術実証衛星]

2022 年 8 月にイランの Khayyam 衛星が Baikonur 射場から Soyuz 2 (1B)で打上げられたが、ロシアの CubeSat が 16 機も搭載していたほか、2 月と 6 月の Progress 補給船ミッション時にも合計 8 機の RadioSkaf RS-10 が ISS に運ばれている。RadioSkaf は 2017 年にも 2 機打上げられたが、ISS から放出された後、自律的にコンステレーションを形成し真空密度を測定する衛星である。

2022 年 8 月に打上げられた CubeSat は 3U から 6U のサイズである。VIZARD SS1 はモスクワの会社 Vizard と NIS による衛星で北極研究用の AIS と KINEIS ペイロードを搭載している。Skoltech B1 と B2 は長距離での衛星間通信を実証するためのもので SPACE-p プロジェクトにより開発されている。UTMN は北極での油流出調査などの北極の環境状況に関する観測アルゴリズムを開発するものである。CYCLOPS は MMI(軍事機械研究所) BSTU ミッションで CubeSat における光学装置の安定化と位置決め、分散型 CubeSat 望遠鏡、観測のタスク処理、電子デバイスの特性劣化の研究などに利用される。

[測位・航行衛星]

ロシアは GPS 衛星と類似の GLONASS 航行衛星を運用している。GLONASS 衛星は、3 つの軌道平面上に並べられる 24 機の衛星から構成され、それらの内 21 機は信号を送信する運用状態で、残る 3 機は予備として待機状態で置かれた。30 年を超える開発過程で、衛星には多くの改良が加えられており、いく

つかの世代に分けられる。'82 年から'91 年までに、合計 43 機の GLONASS 関連衛星と試験衛星が打上げられた。初期の目標は '91 年までに運用システムを完成させることとしていたが、実際に 24 機の衛星全てが揃って運用を開始したのは '96 年だった。第 2 世代の GLONASS-M は '90 年に開発が開始され、2001 年に初めて打上げられた。

その後打上げを続け、2011 年に Roscosmos は 24 機による GLONASS システムを完成させた。2013 年にも 1 機打上げに成功し、この打上げで累計 38 機目(うち 3 機は失敗)となった。また、2013 年に 39 機目～41 機目の打上げに失敗したものの、2014 年に 42 機目及び 43 機目が、2016 年に 2 機が打上げられた。2011 年には GLONASS-K と呼ばれる第 3 世代衛星(Ekspress-1000 バス改良型)が打上げられた。GLONASS-K の軌道上寿命は 10-12 年であり、重量は GLONASS-M の約 1/2 (700 kg)である。2014 年には GLONASS-K の 2 号機を打上げた。GPS/GLONASS の両システムが受信できる受信機が 2008 年に発売された。

2020 年に GLONASS-M の 60 号機目が打上げられ、3 機目の GLONASS -K が打上げられた。2022 年 7 月に GLONASS-K 16L、10 月に GLONASS-K 17L 、11 月に GLONASS-M 761 を打上げた。2023 年は 1 機のみ 8 月 7 日に GLONASS-K2 13L (Kosmos 2569)が中高度軌道に打上げられた。IT 企業の Sitronics Group と SPUTNIX の AIS 船舶追跡衛星が 2023 年 6 月 27 日に 3UCubeSat の SITRO-AIS シリーズ 8 機を初めて打上げた。2025 年から GLONASS-V 衛星 6 機を打上げる計画である。2022 年 9 月 27 日に中国と衛星測位システム基地の相互設置協定を締結し、相手国に 3 基地を相互に設置する。オブニンスク、イルクーツク、ペトロパブロフスク＝カムチャッキー、上海、長春、ウルムチに基地を建設する計画である。

[気象・地球観測衛星]

ロシアの気象衛星は極軌道衛星シリーズとして Meteor が運用されている。'60 年代から運用されているが Meteor のほか、最近では Elektro-L、Arktika-M といった衛星の配備も進められている。Meteor シリーズは 3 世代目の Meteor M3 が計画されているが、2 世代目の計画 6 機のうち 2019 年に MeteorM2-2 を打上げたのみで、初号機 MeteorM2-1 は失敗した。2023 年 6 月 27 日に Meteor-M2-2 と Meteor-M 2-3 を打上げた。Elektro-L は 5 機計画のうち 3 機を打上げた。

Arktika-M は地球観測衛星としての性質もあり、モルニヤ軌道に配置される 5 機コンステレーション衛星である。マルチスペクトルセンサと緊急通信トランスポンダ搭載しており初号機の M1 が 2021 年に、M2 が 2023 年 12 月 16 日に打上げられた。

地球観測衛星のほとんどは軍事であり、政府や商業向けの衛星は非常に少ない。政府共用の衛星ではハイパースペクトル(HSI, MSI)および光学の Resurs-P シリーズがある。5 機運用の計画で 2013 年からすでに 3 機が打上げられているが、2022 年 11 月時点では全て故障している。

また、主に国内の災害監視や環境監視を目的とした光学 2.5m、マルチスペクトル 12m の地上分解能を持つ Kanopus-V が 4 機、2018 年に打上げられている。Kanopus-V に中および遠赤外線センサを搭載し、森林火災監視に特化させた Kanopus-V-IK が 2017 年に 1 機打上げられている。

ロシア国内の民間企業が打上げた地球観測衛星は 2014 年に打上げた SPUTNIX 社の地上分解能 15 m の光学衛星 TabletSat-Aurora があり、2023 年 6 月 27 日には 12UCubeSat ハイパースペクトル衛星の Zorkiy-

2M を打上げた。この衛星は 2.75m の解像度を持ち北極海航路を含む航行の安全性を監視・確保するミッションである。

[科学衛星／月・惑星探査機]

月・惑星探査、ガンマ線観測望遠鏡や電波望遠鏡などによる天体観測で多くの成果を挙げたが、長期間中断されていた。最初の復帰となった太陽観測衛星 Koronas-F (2,260 kg、高度 500 km)を 2001 年に打上げた。更に、太陽観測衛星 Koronas-Foton を 2009 年に打上げた。また ESA、NASA との共同プロジェクトであるガンマ線観測衛星 Integral を 2002 年に打上げた。地球上層・近傍のガンマ線および X 線を観測する衛星に関しては、2016 年に MVL 300 も打上げた。また、月探査無人機プロジェクト(LUNA-GLOB)も進めている。2011 年には、電波望遠鏡 Spektr-R を打上げた。Spektr-R は直径 10 m の巨大パラボラアンテナを搭載し、地上のアンテナと組合せたスペース VLBI(超長基線電波干渉計)で、ブラックホールや中性子星、遠方の銀河などを観測する。2019 年に打上げられた X 線天文観測衛星 Spektr-RG は、2020 年にロシア初の L2 ラグランジュポイント到達となった。欧州宇宙追跡ネットワーク(ESTRACK)での観測データ受信は初の試みで、ドイツ航空宇宙センター(DLR)やマックスプランク研究所と共同運用している。

ロシアの月面着陸ミッション Luna 25 (Luna-Glob Lander)着陸機は ESA の各国も協力していたが、ウクライナ侵攻の制裁を理由に、Luna 26、Luna 27 ミッションも含め 2022 年 4 月に ESA は協力を終了させた。同様に、火星探査計画 ExoMars においても 2022 年 7 月に ESA は協力を終了させた。Luna 25 は 2023 年 8 月 25 日に打上げられ、16 日には月周回軌道への投入に成功、21 日に着陸予定であったが、19 日に軌道遷移のためのエンジン噴射パラメータの誤りで、予定外の軌道に遷移し月面に衝突した。

また、NPO Lavochkin で新小型衛星向けプラットフォーム Karat が開発された。プラットフォーム重量は 96 kg で、ペイロードの重量は 100 kg まで搭載可能である。2013 年に生物実験衛星 Bion-M1 を打上げ、生命体の長期宇宙滞在への耐性を調査され、Karat バスの Relek は磁気圏での電子降下研究のための衛星で 2014 年に打上げた。

[軍事衛星]

現在、ロシアが利用している主な軍事衛星は光学衛星の Persona、EO-MKA、Bars-M で、ミサイル早期警戒衛星は EKS (Tundra)、艦船などの電波監視をする ELINT 衛星は Lotos-S1、レーダー画像衛星では Kondor、Neitron、衛星軌道上の他国の衛星を監視する Nivelir と中継通信も兼ねた Olymp-K(別名 Luch)がある。

軍事通信衛星では大型の Blagovest シリーズ、電子メールや FAX、TELEX 通信用の政府兼用の Rodnik 衛星、 Molniya の後継機で Raduga 静止通信衛星と連携する Meridian シリーズなどがある。2022 年 3 月に Meridian-M10 が打上げられて 10 機運用されている。

光学偵察衛星の Persona は地上分解能 33 cm で 3 機打上げたうち 2 機が稼働しており、2013 年に打上げた 2 号機の Kosmos 2486 は不具合だったプログラムを修正してウクライナ侵攻に活用している。3 号機はレーザー通信機能により中継衛星 Luch5B を活用している。Persona の光学系は LOMO が担当している。EO-MKA は 150 kg の小型の光学偵察衛星で地上分解能 0.9 m、光学系はベラルーシ OAO Peleng が担当している。2023 年 3 月 29 日に EO MKA No. 4 (Kosmos 2568) が打上げられ 4 機体制になった。しかし全てが正常運用されているかは不明である。2023 年 11 月 25 日には Razdan 1 (Kosmos 2572) は 14F137 Persona

に代わる第4世代の電子光学偵察衛星とみられている。また2021年に小型光学衛星のRazbegが打上げられている。Bars-Mは軍用地図作成のためLOMO社のステレオカメラとレーザー測距を備えており、6機計画のうち2023年3月23日に打上げたBars-M No. 4(Kosmos 2567)、同年12月21日にBars-M 5L(Kosmos 2573)を打上げて5機体制となっている。

早期警戒衛星のEKSは弾道ミサイルを検出および追跡する赤外線センサを搭載し2022年11月に6機目を打上げた。

ELINT衛星のLotos-S1は5号機を2022年4月に、6号機を11月に打上げている。2023年10月27日にLotos-S1 No. 7 (Kosmos 2570)を打上げた。同時にKosmos 2571という正体不明の軍事衛星も打上げている。また海軍用次世代のELINT衛星としてPion-NKS No.1が2021年に打上げられている。

レーダー画像衛星はSバンドSARのみでKondorはスポットライトモードで1～2 m、ストリップマップモードで1～3 m、Scan SARモードで5～30 mの地上分解能を持っている。Kondor-Eという輸出型も開発中である。2013年に1機打上げているが、2023年5月26日にKondor-FKA No. 1を打上げたことにより交代したものとみられる。

Neitronは2022年2月5日と12月1日に打上げられた。全く新しい衛星で正体が掴めていないが、軌道上の他国衛星を偵察するレーダー衛星と推察されている。

NivelirはNivelir №3が2022年8月1日に打上げられた。米国の機密衛星USA-326と軌道がほぼ一緒でかなり近い位置でUSA-326を追うように飛行している。Olymp-Kはレーザー通信のほかにナビゲーション補正信号も提供するデータ中継衛星であるが、米国や仏国の衛星に接近を繰り返している。Olymp-Kの2号機Olymp-K No. 2 (Luch-5X No. 2)が2023年3月12日に打上げられた。

[国際協力]

2021年4月にRoscosmosは中国国家航天局(CNSA)と月面研究ステーション(International Lunar Research Station-ISLS)創設について協力する覚書を締結した。2022年1月、月面研究基地を2035年までに共同で建設することを確認した。なお、ロシアは米国のArtemis合意に参加しないと表明している。ロシアとスペインが中心となって活動するコンソーシアムによって運営されるWorld Space Observatory-Ultraviolet (WSO-UV)プログラムでは、2025年に国際宇宙望遠鏡を打上げる計画があるが、ウクライナ侵攻による影響や動向は不明である。2022年12月にイランと宇宙産業での協力協定を結び、リモートセンシングおよび通信衛星を共同で設計および構築することに双方が合意している。ベラルーシとも2019年に同様の協定を結んでいる。ソ連崩壊後、独立国家共同体(CIS)諸国にロシアが宇宙関係の協定を結ぼうと試みてきた。しかし各国の利害やロシアの宇宙技術陳腐化と資金不足、そしてCIS自体そのものが形骸化してきており、ロシアの目論む宇宙ビジネス構想はほとんど進展がない。そのような中で2022年12月に第11回イラン国際航空ショーにおいてイラン宇宙機関(ISA)とROSCOSMOSの間で宇宙ベースの協力を拡大する覚書(MoU)を締結している。

7. ウクライナ

(1) 航空機産業

a. O・K・アントーノウ記念航空科学技術複合体(略称Antonov)

'46 年に設立され旧ソ連の主要な設計局の一つとして、また、ロシア以外で唯一の設計局として、Antonov は主に表に示す輸送機及び民間旅客機の開発を行ってきた。

機　種	座席数	備　考
An-12		4発ターボプロップ貨物輸送機、1973年まで900機以上生産
An-22	28	4発長距離大型貨物輸送機、1974年まで生産
An-24/-26/-32		双発ターボプロップ短距離輸送機、1978年まで1,100機以上納入
An-72/-74		双発ターボファンSTOL輸送機、1977年初飛行
An-124		最大離陸重量405トンの大型貨物輸送機、An-22の代替機、1982年初飛行
An-225		最大離陸重量600トンの6発貨物輸送機、1988年初飛行
An-38	26	4発ターボプロップ・リージョナル機、1994年初飛行
An-70	52	4発プロップファン輸送機、1994年初飛行
An-140	52	双発ターボプロップ旅客機、1997年初飛行、2000年T/C取得
An-148	70-80	双発リージョナルジェット、2004年初飛行、2006年T/C取得
An-158	99	An-148の胴体延長型、2010年初飛行、2011年T/C取得

大型貨物輸送機 An-124 は、'96 年以降は生産が停止され、2008 年にロシアの Aviastar での製造再開を発表したものの紆余曲折を経た後、ウクライナ危機により中止になった模様である。また、既に納入済み機体のアップグレード(An-124-100M, -150 仕様)は、ロシア国内で実施されているが、これもウクライナ危機により Antonov からの支援が受けられなくなった。

An-140 双発ターボプロップ機は、'99 年からウクライナの Kharkov、ロシアの Samara で量産が開始されている。また、イランと'98 年に 80 機の An-140 をイランの Esfahan でライセンス生産する契約を結んでいる。

2015 年、Antonov は航空機産業の効率を高めることを目的に Ukroboronprom State Concern の傘下になり事業を継続している。

ソ連の宇宙往還機ブランを運搬する目的で開発され、6 基のエンジンを搭載する世界最大の輸送機 An-225 は、ソ連崩壊後に 1 号機が重量物運搬等で時折活躍したが、2 号機は未完成で放置されていた。2022 年 2 月、ロシアのウクライナ侵攻にて An-225 の 1 号機は修復不能までに破壊された。

2016 年に Antonov は、中国の Aerospace Industry Corporation of China (AICC)と An-225 についての協力合意契約に調印したと発表した。これによると、第一段階として Antonov が 2 号機を完成させ AICC へ引渡し、中国が大型物資運搬用に使用する。第二段階として、製造ライセンス提供契約に基づき、Antonov のライセンスの下で、中国国内で An-225 の量産を共同で行うとされている。

＜ウクライナ・リージョナルジェット(An-148)開発＞

2002 年に、An-148(70～80 席)リージョナルジェットの組み立てを開始した。2004 年に初飛行し、2007 年に型式証明を取得した。2009 年から路線就航した。An-148 の胴体延長型 An-158 (99 席)は 2010 年に初飛行し、2011 年にウクライナ当局の型式承認を得た。また、An-148 をベースにした貨物輸送機 An-178 は 2015 年に初飛行した。

⑵ 宇宙産業

ウクライナはソ連時代に築かれたインフラ(旧 NSAU: National Space Agency of Ukraina)を引継ぎ、'92 年に

ウクライナ国立宇宙機関(SSAU: State Space Agency of Ukraine)が設立された。

2014 年の国家目標科学技術宇宙計画構想では、次世代システムを含む宇宙輸送システムの設計・開発に関するプロジェクトやリモートセンシングの更なる開発、宇宙・防衛およびセキュリティ、教育機関などのユーザーのために情報分析システムの開発が謳われている。

また、主要顧客であったロシアが Zenit から自国ロケットに転換したことにより、米国・インドをはじめ、ヨーロッパへの販路開拓や、欧州宇宙局(ESA)への加盟交渉を 2017 年に開始した。2016 年の ESA への拠出額は約€ 325M であったが、2023 年時点で加盟の見通しは立たず協力協定に留まっている。SSAU と国営企業の Space Innovation and Investment Company は技術革新支援センターを設立し、国内技術の知的財産保護と特許管理の強化を開始した。将来的には特許購入や投資を促すオンラインプラットフォーム「Space GateIP -Platform」の構築を進める計画である。2020 年には、民間宇宙ベンチャー企業が宇宙開発に参画可能な「宇宙活動の国家規制に関するウクライナの特定法律改正」を行い、宇宙産業の活性化を促進している。2021 年にウクライナ政府は「2021 年から 2025 年までのウクライナの国家目的科学技術宇宙プログラムの概念」を承認した。2021 年にはイタリア、ベトナムの宇宙機関と二国間協定を締結しているほか、ギリシャ、エジプト、マレーシアと協力協定の話し合いが進められている。また測位についても EU の EGNOS プロジェクト（European Geostationary Navigation Coverage Service）の枠組みで EGNOS 機能補完の衛星システムの運用をウクライナの領土に拡大する協定草案を交渉中である。2021 年、ウクライナ内閣の命令№. 1146-r「宇宙産業の国営企業の株式会社への転換の承認について」が採択され、宇宙産業の国有 4 企業を株式会社に転換し再編成が進められている。国営宇宙企業の就業者人口は 16,000 人である。

ウクライナにも民間の宇宙技術スタートアップ企業が存在している。宇宙ロケット開発の Promin Aerospace、3D プリンターを活用した CubeSat メーカーの Lunar Research Services、有人船のランデブー、ドッキングシステム開発の Kurs Orbital などである。国内投資家から資金を募っていたが、ロシアの侵攻で中断して、ドローンや光学機器といった兵器の開発製造に人材を投入している。なお、2023 年 11 月時点で戦争後の事業再立ち上げを視野に入れて活動を進めている模様である。Kurs Orbital は現在、ESA および米国国防高等研究計画局(DARPA)が管理するプログラム内でパートナーシップを結んでいる。

[宇宙輸送分野]

ロケット分野ではソ連時代の Zenit、Tsyklon、Dnepr 等を引継ぎ、ウクライナの Yuzhnoye 設計局が設計し Yuzhmash 工場が製造した。Zenit-2 は LEO 衛星打上げ用 2 段ロケットでロシアと共同で打上げを行っていた。ソ連崩壊後、ウクライナはロシアに Zenit-2M (または 2SLB、2SB とも呼ばれる)を 2004 年まで供給した。その後、静止衛星打上げ用 3 段ロケット Zenit-3SL の製造で '95 年の Sea Launch 設立に参加した。この合弁会社で Yuzhnoye は第 1 段及び第 2 段ロケット製造、アメリカの Boeing がフェアリングと衛星インターフェース、ロシアの RSC Energia が第 3 段ロケット製造、ノルウェーの Kvaerner がコマンド船をそれぞれ担当していた。Yuzhmash は Sea Launch と 2017 年に Zenit 12 機の契約を締結した。ウクライナは Sea Launch だけでなく、Land Launch プログラムにも参加していた。Land Launch の打上げロケットは地上発射用に改良した Zenit-3SLB である。

Dnepr は SS-18 ミサイルを転用した 3 段式ロケットで 2005 年に OICETS と INDEX の打上げに成功した。その後、順調に打上げを進めており、2013 年には 33 機の衛星相乗り打上げに成功し、それに引き続き 2014

年には37機の相乗り打上げにカザフスタンにあるロシア宇宙軍基地から成功させた。

その後、ロシアはウクライナのロケットを使用しなくなったため、Yuzhmash 工場は ESA の Vega ロケット 4 段目エンジン RD-843 や米国の ISS 無人補給船 Cygnus の打上げロケット Antares ロケットの 1 段タンクを供給していた。ロシア軍のドニプロ攻撃により 2022 年 7 月に工場施設が一部破壊されており復旧状況は不明である。ウクライナ国立宇宙機関は 2021 年にオーストラリアの企業 Cosmovision Global Corporation Pty Ltd と協力に関する覚書を締結し、Cape York (Queensland)に Zenit または Tsyklon を使用し宇宙港を建設する共同プロジェクトである。

[気象・地球観測衛星]

衛星分野ではリモートセンシング衛星 Okean シリーズを打上げており、'99 年のロシアとの共同プロジェクト Okean O2-1 がある。Yuzhnoye で製造している多目的リモートセンシング衛星 Sich-1M (2,223 kg)及び海洋観測用のマイクロサット Micron 1(66 kg)を 2004 年に打上げたが、Tsyklon-3 上段の不具合で軌道投入に失敗した。その後、小型地球観測衛星 Sich-2 を 2011 年に打上げた。2022 年 1 月に次号機の Sich 2-30 を Falcon 9 で打上げた。衛星の地上分解能は光学 8.2 m、赤外 58.1 m である。なお、Yuzhnoye は、Su-27 戦闘機から超小型衛星を打上げる Microspace-2 ランチャーを開発中である。

[技術実証衛星]

2010 年に BPA-1 が、2011 年には Sich-2 の打上げと共に BPA-2、さらに 2013 年には BPA-3 を打上げた。2014 年に Kyiv Polytechnic Institute の学生らが製作した PolyITAN-1 を打上げた。2023 年 1 月 3 日にアルミニウム ヒート ミニ パイプの有効性を研究する技術試験を目的とした Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute の CubeSat 衛星 PolyITAN-HP-30 を Falcon 9 で打上げた。

[国際協力]

2001 年には Yuzhnoye がエジプトのリモートセンシング衛星 Egyptsat-1 (100 kg 級)を製造する契約を結び、2007 年に Dnepr で打上げた。また、ブラジルと新プロジェクトを展開し、ブラジルの Alcantara で Tsyklon-4 の新射場の建設を始め、2013 年の打上げを目指していたが、財政の影響や調整が難航したためプロジェクトは中止となった。現在はカナダとの合弁事業を開始し、Tsyklon-4 を再設計した Tsyklon-4M (Cyclone-4M) を開発中である。

国際宇宙ステーションおよび欧州の Galileo プロジェクトにも参加している。

Zenit ロケットの製造設備を一部共用し米国の Antares(旧 TAURUS II)ロケットの 1 段機体製造を Yuzhnoye が請け負っている。全体の契約額は 1,900 億円規模で 8 機を製造する。Yuzhmash は 2008 年に米国 Orbital Sciences(現 Northlop Grumman)との間で 2019 年までに 1 段機体を製造する長期契約を調印している。2013 年に打上げ試験を成功し、同年及び 2014 年には ISS 物資輸送の無人宇宙補給機 Cygnus の打上げにも成功した。その後、2014 年に 2 回目の打上げにも成功したが、同年 3 回目の打上げは失敗した。2016 年にロシア製の新しいエンジン RD-181 を Antares に適応させ(200 シリーズ)、打上げは成功した。第 1 段の基本設計は Yuzhnoye が開発し、国営企業の Yuzhmash 他、複数のウクライナ企業が Antares ロケット一段の主要な構造体やタンクの開発、製造に関わっており、2022 年に 2 回の打上げが成功した。2022 年のロシアによるウクライナ侵攻によりロケット製造できない状況となり、米国 Northrop Grumman は米国 Firefly Aerospace に新設計の 1 段製造の契約を結び、2024 年以降に Antares 300 シリーズに切り替え、ウクライナ、ロシア両者に

依存しない形式に変更する予定である。

Yuzhnoye が開発、Yuzhmash が製造した RD-843 エンジンは、ESA の低軌道用人工衛星打上げロケット Vega の第 4 段エンジンに採用されており、2021 年までに 19 回成功している。

2017 年にはカナダおよび UAE と宇宙探査分野での協力に関する覚書に署名した。また、Microspace-2 による超小型衛星の打上げに関するカナダとウクライナの企業間協力に関するプロジェクトも進められている。2018 年には、SSAU と EU が Copernicus プログラムの Sentinel 衛星データ使用で協定を締結し、リモートセンシング分野におけるウクライナと EU 間の協力を確立した。

ウクライナと中国は、2021 年から 5 年間で 69 の共同プロジェクトを行う契約を締結した。2020 年に SSAU は NASA の Artemis 合意に署名した 9 番目の国となった。また、ジョージア、アゼルバイジャン、モルドバとの 4 カ国における「民主主義と経済発展のための機構 GUAM」で合意が得られた GUAM 宇宙機関の創設に向けて主導的な活動を開始した。

8. オランダ

⑴ 航空機産業

a. Fokker (現在はイギリス GKN Aerospace の一部門)

1910 年ドイツのベルリンで創業したオランダ人の Fokker は、第一次大戦でドイツ軍用機「Dr.I, D.VII」の生産で有名になり、ドイツで航空機製造が禁止されるとオランダ アムステルダム近郊に会社を移した。戦間期には米国に進出し子会社が民間機ベストセラー機「ユニバーサル」で世界を席巻した。その子会社は、第二次大戦前に General Moters の航空機部門となった後で、North American となり米国軍用機を生産(P-51, F-86 戦闘機、アポロ、X-15、スペースシャトル宇宙船を開発／製造)、現在は Boeing に吸収されている。

オランダの本体は戦後になってはターボプロップ機 F27 や双発ジェット機 F28 で名を馳せたが、'80 年代にそれらの改良版としてターボプロップ機 F50 と双発ジェット機 F70 / F100 を開発したものの、既にライバルメーカーが参入しており経営不振が続いていた。'93 年に独 DASA が 51 %の株式を取得(最終的には 78 %)したが、赤字体質に耐えきれず親会社の Daimler-Benz が '96 年に資金援助をしないことを決定、破産宣告が出され 77 年間続いた名門企業の幕を閉じた。

その後、機体整備や電子機器製造及びプロダクトサポート部門は Stork に売却され、Fokker Aviation となった。自前の機体生産は終了したたが、2010 年には Fokker Technology に社名変更し、機体構造部位の部分製造の Fokker Aerostructures、電子機器製造の Fokker Elmo、降着装置の開発・整備の Fokker Landing Gear、プロダクトサポート及び整備・改造の Fokker Service の 4 部門を柱とした企業に変化した。2015 年、英国の GKN Aerospace は Fokker Technology を買収した。現在、Fokker Technology は、GKN Aerospace の一部門として活動している。Fokker Aerostructures は、A380 の胴体パネルの一部、水平・垂直尾翼の前縁部、A350 の複合材製内側フラップ、B747-8 の内側フラップを製造しているほか、Cessna、Dassault、Gulfstream、HondaJet のビジネスジェットの部品製造も請負っている。

⑵ 宇宙産業

宇宙開発関係は、経済政策省が宇宙活動を行う政府機関の調整を行っているほか、次の各機関がある。

・オランダ宇宙局(NSO)：宇宙開発計画の作成及び実施

・宇宙研究機関(SRON)：宇宙科学及び地球観測分野の研究開発

・宇宙研究技術省間委員会(ICR)：宇宙開発計画の作成と推進分担

・航空宇宙技術研究所(NLR)：宇宙関連の研究開発機構

・リモートセンシング委員会(BCRS)：リモートセンシング活動の調整組織

2009 年に、旧航空宇宙省(NIVR)の宇宙部門を母体としてオランダ宇宙局(NSO)が新たに設立された。NSO は、経済省管轄の機関である SenterNovem の傘下に位置づけられており、その予算は、教育・文化・科学省および運輸・公共事業・水利省から支出され、これらの機関が合同で設置する委員会へ NSO の局長が報告を行っている。

オランダは衛星搭載機器を通じた地球観測技術と農業等への衛星データ活用を重点に宇宙開発を進めてきているが、宇宙旅行への参入も模索している。ESA への 2024 年の拠出額は約€ 95.6M であった。オランダ人の有人飛行は'85 年に ESA 宇宙飛行士として物理学者の Wubbo Ockels が STS-61-A ミッションに搭乗した。オランダの民間人 18 歳の Oliver Daemen が 2021 年にブルーオリジン NS-16 に搭乗して、従来の宇宙飛行の最年少記録を更新した。

オランダの最初の衛星は NASA と共同開発した天文衛星 ANS で '74 年に打上げた。イタリアとの共同プロジェクト X 線天文衛星 SAX を '96 年に打上げ、2002 年に 6 年間のミッションを成功裏に終えている。

衛星通信分野では、SES World Skies が NSS 6, 7, 9, SES-4 などを保有していたが、2011 年に SES World Skies は SES(本社：ルクセンブルグ)に経営統合された。量子鍵配送 (QKD)分野ではオランダの ISISPACE (Innovative Solutions in Space)が英国 RAL Space とシンガポール SpeQtral によって開発中の 6U CubeSat 衛星である SPEQTRE CubeSat のプラットフォームとソフトウェアの両方の設計、統合、およびテストを担当している。打上げは 2024 年に計画されている。

リモートセンシング分野では、ERS プログラムに参加し、Airbus Defence and Space Netherlands(旧 Fokker Space、2000 年に Saab Ericsson Space(スウェーデン)が 65 %の株を取得し旧 Dutch Space に社名変更、2005 年に EADS SPACE Transportation に買収され 2014 年に社名変更)がペイロード部のインテグレーションを担当した。Envisat でも同社は大気観測装置をドイツと共同で開発した。Dutch Space(現 Airbus Defence and Space Netherlands)は ANS や IRAS 衛星の主契約者となったほか、Olympus 衛星の構体系を始め Ariane 4 型の段間部やエンジン支持部の一部、5 型もエンジン支持部を分担していた。Inmarsat 2、SAX、SOHO、Artemis、DRS、Envisat などの太陽電池や IRAS、ISO、SAX の姿勢制御装置も担当している。ISS では ESA からロシアセグメント側の組立・メンテナンス作業に使用するロボットアーム(ERA: European Robotic Arm)を担当し、2021 年にロシア側の Nauka モジュールとともに ISS に打上げられた。Dutch Space(現 Airbus Defence and Space Netherlands)は、Ariane の衛星分離部の製造も行っており、この技術を基に英国の Orbital Recovery と組んで静止衛星延命装置 ORS を開発中である。2005 年には軌道上における流体のダイナミックスを観測する SloshSat (127 kg)を打上げた。

2013 年には Delft University of Technology の学生によるキューブサット Delfi-n3Xt を打上げた。超小型衛星プロジェクトで、ミッションは超小型推進器や粒子分光計などの軌道上実証である QB50 ミッションの一環として開発されており、2022 年 1 月に Delfi-PQ が打上げられた。

2009 年に JAXA とオランダ宇宙研究機関(SRON)は宇宙科学分野における協力を推進することを目的とする協力協定を締結した。また、同時に国際 X 線天文衛星 ASTRO-H ミッションに対して SRON が搭載検出器の開発に協力する取決めも締結した。2010 年にはオランダ宇宙局(NSO)と JAXA の間でも平和目的の互恵的な宇宙協力を促進するための協定を締結した。2015 年にはオランダ宇宙局(NSO)及びオランダの宇宙関連企業団は、カザフスタンと地球観測衛星利用に関するワークショップを開催し、オランダとカザフスタンの宇宙関連企業が、今後、水、農業、エネルギーの分野で地球観測衛星の開発に協力することで合意している。また、同年に、オランダ宇宙局(NSO)と中国国家航天局(CNSA)は、気候、環境並びに水に関する分野で宇宙装置開発や地球観測サービスの協力をおこなっていくことで合意している。なお、2018 年に打上げられた中国の Queqiao 月周回中継衛星には、オランダ ISIS の低周波探査機(NCLE)が搭載されている。

2023 年 1 月 3 日にオランダとノルウェーが 2 機ペアで超小型衛星 MilSpace2 (Birkeland と Hyugens)を Falcon 9 で打上げた。この衛星は二国間研究技術相互支援(SMART)の覚書(MoU)に基づく宇宙軍事利用(MilSpace)プロジェクトの一環でタンデム飛行により到来角度(AoA)と到達時間差(TDOA)の測定を組み合わせて船舶で使用される航法レーダーを含む無線周波数信号を検出、分類、正確な地理位置特定する最初の 2 衛星システムである。

2023 年 10 月 9 日には ISISPACE の 6U CubeSat の CSC-1、CSC-2 を Vega で打上げた。合計で 7 つの技術実証を行うテストプラットフォーム衛星である。

また、2017 年に、FP7 欧州委員会プロジェクトの一環で、超小型技術試験衛星 PEASSS (Piezo Electric Assisted Smart Satellite Structure: 3U Cubesat)が打上げられている。2018 年は、IoT スタートアップの Hiber Global(旧 Magnitude Space)が 2 機の通信衛星を打上げ、2021 年に Hiber-4、Hiber-3 を打上げた。2022 年 5 月に Hiber はスイスの Astrocast に買収された。これにより Hiber の持つ石油やガス会社などの産業顧客の資産監視、追跡ソリューションが南北アメリカ地域もカバーするようになる。

オランダの宇宙企業は AirbusDefense and Space Netherlands、HyperionTechnologies、Sparkwing、cosine などがある。cosine はオーストラリアの Kanyini 衛星ミッションにハイパースペクトルと熱画像、人工知能(AI)と高次データ処理を組み合わせた HyperScout2 機器を供給する。また米国の Satellogic は Berkel en Rodenrijs に衛星製造施設を稼働させた。この地域は熟練労働者が多く物流面で有利であり、四半期あたり 25 機の衛星生産能力があるとしている。オランダ初の軍用ナノ衛星 BRIK II が 2021 年に打上げられた。

9. ギリシャ

(1) 航空機産業

a. Hellenic Aerospace Industries (HAI)

'75 年に 100%政府所有の会社として設立され、ギリシャとその周辺諸国の軍用機の修理、改造、オーバーホールを主として行ってきた。'86 年に、仏 Dassault-Breguet と、Mirage 2000 の部品製造のため 10 億フランの契約を結んだ。この契約はギリシャ空軍による 40 機の Mirage 戦闘機の購入(76 億ﾌﾗﾝ)に対するオフセット生産である。更に '87 年には、米 General Dynamics(現 Lockheed Martin)と F-16 の部品製造(後胴、空気取入口)のため$ 1B の契約を結んだ。この契約も、ギリシャ空軍による 40 機の F-16 ($ 1.4B)購入のオフセット生産である。2005 年から B787 の貨物扉口周辺(Cargo Door Surround)構造の部品を

Leonardo へ納めている。

HAI は部品製造から航空機の組立へ進み、長期的には完全な生産へ進みたい意向を持っているが、当面は現在の各種契約の維持、発展を主要方針としている。現在の政府所有率は 87 %であるが、民営化を進めており最大 49 %までの外国資本を導入する計画である。

10. スイス

⑴ 航空機産業

a. Pilatus (Pilatus Flugzeugwerke AG)

Pilatus は '39 年に創立され、現在は Oerlikon-Buhrle Group の傘下にある。同グループはまた '98 年に Pilatus の売却計画を発表し、2000 年に 4 社からなるコンソーシアムに売却された。

Pilatus は、PC-6、PC-7、PC-9 (T-6A)、PC-21 などの単発ターボプロップ練習機を得意としてきたが、PC-12 単発ターボプロップ機では多用途機としての販売数を伸ばした。2013 年頃から 6~8 席の双発ビジネスジェット PC-24 の開発に着手し、2015 年に初飛行、2017 年に EASA と FAA の型式証明を取得、2018 年に初納入した。

他社プログラムへの参画では、旧 BAE Systems の Jetstream41 の尾翼をリスク・シェア・パートナーとして製造していた。

b. RUAG Aerospace

'99 年に RUAG グループ傘下の Private Company になった SF (SwissAircraft and Systems Enterprise Corporation)は、2001 年に名称を RUAG Aerospace に変更した。

SF はスイス国有の航空機、ミサイルの研究・開発・生産・改修機関であった Swiss Federal Aircraft Factory とスイス空軍補給部及び連邦武器局の一部が合併し'96 年に設立された。生産部門はスイス空軍の F/A-18 の 32 機の組立及び B717 のラダー(生産終了)、A320 / A330 / A380 のウイングレット、A320 シリーズの後胴・テールコーン・ウイングチップ及びフェンス、A330-300 / 900 の胴体構造(前方延長部分のみ)、A380 の外側固定後縁、スイス空軍 F/A-18 の翼前縁・ラダー、Bombardier CRJ700 / 900 / 1000 の後胴、Pilatus PC-12 の胴体･主翼･水平安定板なども製作している。

スイス政府が EC635 と EC135 ヘリコプターを Eurocopter(現 Airbus Helicoper)に発注した後、2006 年に RUAG Aerospace は、スイスで使用する EC635 / 135 シリーズの最終組立を受注した。RUAG Aerospace は、2010 年に Do228 の強化型である Do228NG の型式証明を European Aviation Safety Agency (EASA)より取得し、同年、初号機を納入したが、アメリカの General Atomics にドイツの Do228 製造ライン、関連部門を売却した。

⑵ 宇宙産業

スイスの宇宙政策を担う行政機関は '98 年に設立したスイス宇宙局(SSO)であるが、2021 年 1 月に Space Innovation に改称した。SSO 以外の公的機関としては、教育研究事務局(SER)が存在する。2023 年の ESA への拠出額は約€184.5M である。国内の各大学や連邦工科大学でも宇宙開発が行われている。2022 年 5 月には素粒子物理学研究の拠点であるスイス連邦工科大学のパウル・シェラー研究所内に European Space Deep-Tech Innovation (ESDI) センターを設立する協力覚書を ESA と交わしている。

スイスの宇宙企業は欧州全域に人工衛星サブシステムやコンポーネント、打上げ機器などを開発・製造している Beyond Gravity(旧 RUAG Space)をはじめ、約 100 社の企業がハイエンド製品や宇宙ミッション機器を提供しており、スタートアップ企業では Astrocast、ANYbotics、Miraex、Neural Concept、Auterion、Dotphoton、Voliro、ClearSpace、INERGIO、Synopta、9TLabs、Leuk Teleport & Data Center(旧 Signalhorn)などがある。RUAG Space は 2022 年 3 月に Beyond Gravity と改称された。なお、防衛、航空部門は RUAG International である。同社は United Launch Alliance、Boeing、Maxar、Northrop Grumman Space、OneWeb、NOAA / EUMETSAT などに宇宙機器を提供し、Lynx コンピューターなど COTS 品による高品質、低価格、短納期、大量生産を目指している。日本とは H3 ロケット衛星フェアリングと ISS 補給機 HTV-X ミッションでの三菱重工業との協力を 2019 年に発表した。

スイス初の衛星は、2009 年にローザンヌ技術専門学校が開発し打上げた SwissCube である。SwissCube は重さ約 1 kg の 4 つのキューブサットから成り、低コストで大気観測を実施する。この衛星でスイスは世界で 49 番目の衛星保有国となった。また、2010 年には、宇宙空間内の耐障害性等を調査する技術試験用衛星 TISat 1 を打上げた。2020 年、スイスの宇宙スタートアップ企業 Astrocast は、米 Spaceflight と超小型衛星 10 機の追加打上げで契約し、Astrocast's IoT Nanosatellite Network を構築する衛星で 2021 年に 20 機を打上げた。2022 年は 11 月と 2023 年 1 月 3 日に Falcon 9 で 4 機を打上げ 24 機体制となった。2024 年末までに 100 機体制を目指しており、2022 年 8 月にイタリアの D-Orbit と 20 機の衛星打上げで契約した。また、Astrocast はオランダの Hiber を 2022 年 5 月に買収し、南北アメリカ地域での石油やガス会社などの産業顧客を拡大させるとしている。R-PNT ソリューションの Orolia は次世代のガリレオ衛星 12 機の原子時計を供給することになった。

[科学衛星／月・惑星探査機]

ESA 初の太陽系外惑星の観測を目的とした CHEOPS (CHaracterizing ExOPlanets Satellite)小型宇宙望遠鏡の打上げが、ESA と SSO の協力により 2019 年に打上げた。CHEOPS はジュネーブ大学、ベルン大学、ESA などが共同開発したものである。また、スイス連邦工科大学とチューリッヒ応用科学大学では、惑星探査ロボットの Spacebok を低重力環境下の惑星で移動するため、ESA で動作テストを実施している。

[宇宙輸送分野]

Beyond Gravity は ESA の Ariane 5 / Vega、米国の Atlas V / Vulcan のペイロードフェアリングを製造しており、Atlas V 向けに Interstage-Adapter ISA-400 を提供している。アメリカのアラバマ州に新施設を建設した。2019 年から 2022 年には年間 6 機の Ariane 5 向けペイロードフェアリングを提供する計画であった。また、2020 年 3 月に、ロシア Soyuz 2 の商用打上げ運用の GK Launch Services と分離システムやペイロードアダプタに関する長期購入契約に合意した。

[有人飛行・宇宙往還機]

'92 年にニコリエ宇宙飛行士がスイス初の宇宙飛行を行い、3 回の宇宙飛行で NASA のハッブル宇宙望遠鏡修理ミッションに参加するなど、計 1,000 時間以上の任務をこなした。

11. スウェーデン

(1) 航空機産業

a. Saab AB

'37 年に Svenaka Aeroplan AB として設立された。'95 年、親会社の Invester Group は企業の効率化を図るため分割して、航空機部門は Saab AB となった。'99 年末にスウェーデン防衛電子大手の Celsius AG の買収を発表し 2000 年に買収を完了した。

リージョナル機市場からは撤退したが、A320 の補助翼などの下請け部品生産を続けている。

Celsius 買収のあと Saab AB は Saab Aerospace (Military Aircraft を併合)、Celsius Aviation Service、Saab Informatics、Saab Bofors Dynamics、Technical Support and Service に再編された。

(a) Saab Aerospace

Saab は、戦後すぐに同国空軍の戦闘／攻撃／偵察機を開発、生産した。2017 年には主に搭載電子機器を改良した Gripen NG が初飛行した。Gripen はスウェーデンの他、チェコ、ハンガリー、南アフリカ、タイ、ブラジルで運用されている。2006 年、Saab (20 %保有)と南アフリカの Denel (80 %保有)は南アフリカに新しい航空機製造会社(Denel Saab Aerostructures)の設立に合意し 2007 年に南アフリカ政府の認可を得た。現在は、Denel Aerostructures として Gripen、A400M、Airbus 民間機の部品などを製造している。

民間機分野でも Saab は、再び民間輸送機市場へ参入するため'80 年に米の Fairchild と 35 席の SF340 を共同開発することを決定した。Saab が胴体、垂直尾翼、最終組立を Fairchild が主翼、ナセル、水平安定板を分担し、開発費は Saab が 2 / 3 を負担した。'85 年に Fairchild は退き、Saab の単独プログラムとなった。Saab 340 は、'84 年に型式証明を取得し就航した。また、エンジンをパワーアップした Saab 340B を '89 年から生産し、'99 年最終号機である 459 号機を日本エアシステム(現 JAL)に納入し生産終了した。

また、'89 年には 50 席の Saab 2000 の本格開発に着手した。Saab 2000 は Saab 340 の胴体ストレッチと共にエンジン／プロペラを新型に換装した高速ターボプロップ機で、'92 年に初飛行に成功した。試験中にコントロール関係のトラブルにより計画が遅れたが、'94 年から引き渡しが開始され、'99 年にクロスエアーに引き渡されて生産を終了するまでに 63 機が生産された。

2005 年に Saab Aerostructures は、B787 の床下貨物扉、バルク貨物扉及び操縦室脱出扉の設計と製造で Boeing と契約した。また、Saab は A380 主翼のミッドとアウターの固定前縁部品を担当しているが、2006 年にルーマニアの航空機メーカーRomaero とその A380 部品生産も含んだ共同作業で合意した。さらに、2012 年にインドの QuEST Global と民間機における航空部品の合弁会社を 2013 年にインドに作ることに合意した。2013 年には Airbus から A350-1000 のフラップサポートストラクチャーを受注した。

Saab は、米空軍の T-38 練習機の更新となる次期練習機 T-X 選定コンペに Boeing とチームを組んで参画し、2016 年には新設計の機体が Boeing のセントルイス工場で初飛行した。米空軍は 2018 年に、Boeing-Saab チームの機体を T-X に選定し、正式名称を T-7A RED HAWK とした。

b. GKN Aerospace (旧 Volvo Aero)

旧 Volvo Aero は欧州エンジン・メーカーの一つで、Saab Viggen に搭載する RM8 (JT8D の改造型)を生産、また JAS39 用の GE F404 のライセンス生産を行っている。民需としては'94 年に BMW/Rolls-Royce(現 Rolls-Royce Dutschland)の BR715 の中段コンプレッサーケースの設計・生産に 4.5 %相当参画した。また、'96 年に Volvo と独 MTU は民間航空機エンジンの分野でより緊密な協力関係を築くための MOU を結んだ。この協定ではそれぞれの設計・開発・生産能力の最適な利用が謳われている。また、2005 年には

GE90 エンジン部品製造で総額 $251M に及ぶ 10 年契約を GE と締結した。2005 年には最新エンジン GEnx の部品を GE に納入している。2012 年、Volvo Aero は、英国の GKN に買収された。

⑵宇宙産業

スウェーデンの宇宙開発は、スウェーデン国立宇宙委員会(SNSB: Swedish National Space Board)で計画の企画・立案が行われ、実施はスウェーデン宇宙公社(SSC: Swedish Space Corporation)が分担している。2023 年の ESA への拠出額は約€ 84.0M であった。

SSC は'72 年に設立され、宇宙科学やリモートセンシングの計画推進、商業応用の開発等のほか、キルナにある 2 ヶ所の宇宙施設(エスレンジ及びサテルス)とストックホルムにある 1 ヶ所の宇宙施設の運用を行っている。エスレンジ(Esrange)射場では、従来から小型ロケットや気球による高層の観測を行っている。また北極圏にあることから極軌道衛星の追跡管制に適しており、Spot、Landsat、ERS-1 などのデータ取得を行ってきた。2020 年 SSC はシンガポールの Geo-Insights (GI)とアジア太平洋市場での衛星地上局サービスに関する共同活動の覚書に署名し、オーストラリアやニュージーランドを含むアジア太平洋地域全体での事業拡大を目指す。また、同年 3 月、ドイツの Isar Aerospace とエスレンジ射場でのロケットエンジンテストの長期契約を締結したことを契機に、政府がロケットエンジン試験設備の整備を承認した。最初のロケットテストは ISAR と RFA によって実施され、ESA の再利用性プログラム Themis programme は、SSC と ArianeGroup の協力で 2023 年 6 月 5 日に再利用性テストを無事完了した。

世界規模の地上局ネットワーク構築に関しては、2009 年に衛星管制／運用を手掛ける米国 USN (Universal Space Network)を買収し、衛星運用網を大幅に拡充した。SSC と USN は両者協力のもと、PrioraNet と呼ばれる商用地上局ネットワークを形成している。

スウェーデン最初の衛星は '86 年打上げの電離層観測衛星 Viking (SAAB 製)である。'89 年にノルウェーと共同で Nordic Satellite AB (NSAB)を設立して打上げた通信・放送衛星 Tele-X (Aerospatiale 製)はデータ通信やテレビ放送などの実験が目的で SSC が運用にあたり、'90 年から'98 年までスウェーデン、ノルウェー、フィンランドに TV とデータ伝送のサービスを行ってきた。Tele-X に代わる衛星として Sirius2、3 (Hughes(現 Boeing)製)を '97 年と '98 年に打上げ、衛星放送サービスを行ってきた。2007 年に Sirius4 (A2100AX バス)を打上げた。NSAB は、その後、SSC と SES が共有する形となり、社名を SES SIRIUS としていたが、2010 年には SES が SES SIRIUS の株式を 100 %所有し、社名を SES ASTRA へと再度変更した。これにより、Sirius4 は Astra4A と改名した。

電離層観測衛星 Viking の後継機として位置付けられる磁気圏衛星 FREJA を '92 年長征 2C で打上げた。この衛星は通信実験の一部を SAAB Scania が、構造を ACR と FFVAeroteck が担当した。その他の衛星には、電離層・磁気圏衛星 Astrid2 ('98 年)、ナノサット科学衛星 Munin (2000 年)、カナダ・フィンランド・フランスとの協力下で進められた気象・大気観測用の科学衛星 Odin (2001 年)などがある。2021 年に ESA の北極気象衛星コンステレーションのプロトタイプを OHB スウェーデンが構築する契約が締結した。北極気象衛星は、スウェーデンが提案したもので準リアルタイムの北極圏の気象情報を提供するものである。OHB スウェーデンはスペインの Satlantis と 2022 年 9 月に EO 超小型衛星の契約を締結した。地上分解能 0.8 m のマルチスペクトル衛星でメタン排出量の検出に利用され 2024 年の打上げ予定である。SSC は 2022 年 9 月に ESA の Scylight Programme から光通信プロジェクト NODES (データ転送用の光ステーション ネ

ットワーク）の開発支援業務を 110 万ユーロで契約をした。宇宙探査関係では ESA 初の月探査機で電気推進による小型実験衛星である SMART-1 (Small Mission for Advanced Research in Technology、370kg)の開発を SSC が進め、2003 年に Ariane 5 で打上げ 2004 年に月周回軌道に投入、2006 年に計画通り月面表面に衝突させてミッションを終了した。

スウェーデンは小型ロケットによる微小重力実験にも熱心で、'87 年 Maser (カナダ製)初号機の打上げと実験に成功し、'77 年からはドイツ DLR の協力のもと Texus Program を実施して 2018 年までで 55 機を打上げた。一方、Texus と一元化してドイツと共同で大型化した Maxus も'91 年から打上げている。欧州の宇宙ステーション検討には航空宇宙医学研究所と Kampsax International が参加している。また、SSC は、スウェーデンの新衛星プロジェクト Prisma の主契約者である。

Prisma は主衛星(Mango、150kg)とターゲット衛星(Tango、40 kg)で構成され、フォーメーションフライト及びランデブー技術の検証を目的として 2010 年に打上げられた。2011 年には HPGP (High Performance Green Propulsion)スラスターの噴射試験がすべて終了し、軌道上での有効性が確認された。HPGP Thruster は地上で燃料を取り扱う際の安全性向上を目的とし、ヒドラジンを使用するスラスターの代わりとして開発されたシステムであり、NASA が性能試験の実施を 2013 年に決めた。

2017 年に NanoSpace は GS Sweden AB に売却され GomSpace ApS の子会社として継続することとなり、スイス ELSE から Astrocast 衛星コンステレーションの推進システムを受注、トルコからは静止通信衛星 TURKSAT 6A 向けのキセノン制御部品を受注している。科学衛星 MATS (Mesospheric Airglow /Aerosol Tomography and Spectroscopy) が 2022 年 11 月 4 日に Electron でニュージーランドのマヒアから打上げられた。MATS は大気間圏の波動調査を目的としており、衛星質量及びサイズは、約 50 kg、60×70×85cm である。

Saab Ericsson Space は欧州における宇宙搭載部品開発製造大手として、搭載用電子機器を製造している。主なものに Ariane 5 型の誘導用コンピューター、ERS-1, 2、Envisat のコンピューター、Meteosat、Spot-1～3、Sirius2 などのデータ処理装置がある。その他アンテナや高周波機器も実績がある。2006 年に Saab は Saab Ericsson Space の株式を Ericsson から買い取り、Saab Ericsson Space は社名を Saab Space へと変更した。その後、Saab Space は 2008 年にスイス RUAG に買収され、現在は Beyond Gravity の一部となっている。GKN Aerospace は、ロケットのエンジン、推進システム、ノズルを国内で製造している。その他の宇宙部品メーカーとしては、ABB HAFO がある。ABB HAFO は半導体部品を製造し、耐放射線 CMOS IC や ASIC を主に ESA プロジェクトに供給している。

2019 年 7 月には、電離層の測定を目的とした 3U 衛星 SEAM2 を打上げた。小型衛星メーカーの AAC CLYDESPACE は 2020 年 10 月に米国の SpaceQuest とオランダの Hyperion Technologies を買収した。AAC CLYDESPACE は米国、イスラエル、英国、日本などから小型衛星や電力システムなどを受注している。また同社は米国企業 ORBCOMM に AIS データを提供する 6U CubeSat を 2023 年 1 月 3 日と 6 月 12 日に Kelpie 1、Kelpie 2 を打上げた。さらにカナダの地球観測パートナーである Wyvern のハイパースペクトル衛星の 6U EPIC CubeSat で構築し、2023 年 4 月 15 日に EPICHyper-1 (Wyvern-1)、6 月 12 日に EPICHyper-2 (Wyvern-2)、11 月 11 日に EPICHyper-3 (Wyvern-3)を打上げた。地上施設では Arctic Space Technologies と Viasat Inc が Piteå と Öjebyn に高緯度地上局施設を開設すると 2022 年 2 月に発表した。このアンテナ施設により極軌道衛星のダ

ウンリンクを向上させるとしている。

12. スペイン

⑴ 航空機産業

a. Airbus Group in Spain

スペインの航空工業は政府の航空機工業再編成の方針により、Hispano (1918 年設立)と ENMASA (1908 年設立)がそれぞれ'72 年と '73 年に CASA (1923 年設立)に統合された。'99 年に DASA との合併合意を発表し、2000 年に独 DASA、仏 Aerospatial Matra と合併して EADS を設立した。(CASA は EADS の傘下に入った)

CN-235 は C-212 をベースとした 40 席クラスの双発ターボプロップ輸送機で IAe との共同開発である。2006 年には、米国 Coast Guard の Deepwater 計画向けの CN-235 Maritime Patrol 機(HC-235)をロールアウトし 2006 年に納入した。また、CN-235 の胴体延長型の C-295 は CASA 単独で開発し試作機が '97 年、量産初号機が '98 年に初飛行し、'99 年にスペイン及び FAA / DGAC の型式証明を取得した。

また CASA は '72 年に Airbus Industrie に参画し、A300 の水平安定板、乗降扉、脚ドア、A310 の水平安定板パネル、尾翼、昇降舵、主脚ドア、後胴パネル及び A330/A340 の尾翼等を担当した。

軍用機では、Eurofighter 2000 プログラムに参画し、翼とスペイン空軍向け組立を担当することになっている他、欧州での次期大型輸送機 A400M 計画にも参画している。

下請けでは、Boeing の B757 のフラップ、B777 の補助翼、MD-80 のコンポーネント、F/A-18、MD-11 の水平安定板等、Dassault の Falcon 10 / 20 の主翼と Mirage F1 の中部胴体、Saab の Saab 2000 の主翼などの製造を行っていた。

CASA は '89 年に ITP (Industria de Turbopropulsures SA)を設立し、GE、P&W、Snecma 等のエンジン修理を行ってきており、また Eurofighter 用 EJ200 エンジン計画に参画した。

CASA は、'99 年に EADS のスペイン支店として EADS CASA に名称を変更し、2009 年には Airbus Military (現 Airbus Defence and Spece)に吸収された。2014 年からは Airbus Group in Spain と標記されている。

b. Aernnova

現在製造中の部品は、Airbus A220 の中央翼(複合材)とテールコーン、ERJ135 / 140 / 145 の動翼を含む主翼とエンジンナセル及び翼胴フェアリング、KC-390 の方向舵・フラップ・エルロン(ともに複合材)・主翼ボックス・パイロン・後胴・貨物扉およびランプ扉、PC-24 の動翼を含む主翼、A350 の昇降舵・方向舵及び主翼固定後縁、A380 の尾胴と水平安定板の前・後縁、CRJ700 / 900 / 1000 の水平安定板・垂直尾翼、E170 / 190 の後部圧力隔壁を含む後胴と水平安定板・垂直尾翼、E175 / 190 / 190E2 の前胴と水平安定板・垂直尾翼、S-92 の後部胴体・水平安定板・エンジンカウル、A320 / 330 の昇降舵と主脚扉(ともに複合材)、Beluga XL の尾胴上面パネル、C295 / CN235 の昇降舵・前脚扉・エンジンカウリング(ともに複合材)、A400M の水平安定板リブとエンジンカウリング、B747-8 の主翼の外板・スパー・ストリンガ及び一部の中胴、B787-9/10 の後部圧力隔壁など 25 機種のプログラムに参画してきた。

⑵ 宇宙産業

宇宙開発は、公的な官民機関であるスペイン政府・産業技術開発センター(CDTI: Center for the Development of Industrial Technology)と国立宇宙航空技術研究所(INTA: Instituto National de Technica Aerospatial)が担っている。2023 年の ESA への拠出額は約€ 285.7M である。スペインの宇宙企業は PLD Space、Hispasat、Indra、SENER group、Aernnova、Pangea Aerospace、Satlantis、Karten Space、Sateliot、AistechSpace、UARX Space など多数の民間企業が存在する。

ESA 加盟国として Ariane 5 の開発に EADS CASA Espacio が参加し、衛星分離部や搭載機器部の構体を担当している。'97 年に INTA は 200kg の Minisat という小型で多用途のプラットフォームを開発し、科学ミッション紫外線天文観測として打上げた。CASA が主契約者でプラットフォーム本体及び関連構造部品を担当し、ESA プログラムの衛星でも構造部品を供給している。スペインは自国のみで衛星を打上げる技術はまだ保有していないが、Ariane サブシステム開発などの実績がある。

スペインの航空宇宙企業 SENER group は Sierra Nevada Corp.の Dream Chaser スペースプレーン用ドッキングシステム、ESA の ExoMars ローバー用の解放機構、および Euclid 望遠鏡用のハードウェアを提供している。2020 年 ISS「きぼう」日本実験棟中型曝露実験アダプター(i-SEEP)に SATLANTIS 製の衛星搭載用カメラ(iSIM)を取付けて宇宙実証を開始した。

[宇宙輸送分野]

スペインの新興企業 PLD Space は$10.6M の資金を調達し、再利用可能なロケットを開発中であり、MIURA1(旧 Arion 1)を 2024 年に打上げ予定である。2020 年に MIURA 1 ロケットエンジン TEPREL-B の総ミッション時間のテストが成功し、衛星通信会社 HISPASAT が PLD Space の小型衛星打上げ用途の MIURA 5 ロケットとの互換性調査の契約を締結した。Pangea Aerospace は 2018 年に設立された新興企業で、3D プリントされた低コストのエアロスパイクエンジンを使った再利用可能な液体推進の 2 段ロケットを開発している。

[通信・放送衛星]

衛星通信会社 HISPASAT は Hispasat 1C を Aerospatiale(現 Thales Alenia Space)に発注し、2000 年に打上げた。2002 年には Hispasat 1D (Alcatel Space 製)、2010 年には Hispasat 1E (Space Systems/Loral 製)を打上げ、2017 年には Hispasat 36W-1 を打上げた。2018 年には Hispasat 30W-6 も打上げている。HISPASAT は Eutelsat と合弁企業 Amazonas を設立し、ブラジルの通信運用業者である Telemar と協力して、北米と南米で衛星サービスを提供している。最初の衛星 Amazonas-1 (Eurostar-3000S)を 2004 年に続く 2009 年に Amazonas-2、2013 年に Amazonas-3 も 2013 年に打上げた。2014 年には 24 本の Ku バンド・トランスポンダを搭載する Amazonas-4A を打上げ、さらに 2017 年に高性能の Amazonas-5 を打上げた。

HISPASAT は Loral と共同で X バンドと Ka バンドを使用する 2 個の大型軍用通信衛星の初号機 XTAR-EUR (LS1300 バス)を 2005 年に、2 号機 SpainSAT を 2006 年に打上げた。衛星能力の三分の一をスペイン国防省がリースする。2023 年以降に Spainsat-NG 1 および 2 の打上げが計画されており政府衛星オペレータの Hisdesat Servicios Estratégicos SA は Airbus と Thales Alenia Space を選択した。2020 年 HISPASAT は、Amazonas-2 の後継機、Amazonas Nexus 衛星を Thales Alenia Space に発注し、2023 年 2 月 7 日に Falcon 9 により静止軌道に打上げた。Sateliot は 5G の IoT 衛星を開発しており 2021 年に 3U Cubesat の 3B5GSAT を打上げ、最大で 100 機の超小型衛星を配備する予定である。非営利団体の Fossa Systems も PocketQube

の IoT 衛星 FOSSASAT を 2022 年 1 月、5 月、10 月に合計 12 機を打上げた。

[地球観測衛星]

2009 年に Deimos Imaging の衛星 Deimos-1(質量 90kg、設計寿命 5 年)を打上げた。Deimos-1 は現在、英国・中国・ナイジェリア・アルジェリア・トルコなどから構成される災害監視衛星群(DMC: Disaster Monitoring Constellation)の一翼を担う。2014 年にはさらに高解像度の Deimos-2 を打上げた。

政府は、軍事／民間の両面で利用する地球観測衛星 PAZ を 2018 年に打上げた。PAZ は TerraSAR-X をベースに SAR を搭載した構成であり、Astrium が製造しスペインの HISPASAT が運用する。

2020 年スペイン初の地球観測衛星 SeoSat/Ingenio (ADS 製)は Vega の失敗により失われた。AistechSpace は可視、近赤外線、熱赤外スペクトルセンサを搭載した 6U CubeSat の Guardian を開発しており、オンデマンドで熱データを収集できる 20 機の商用コンステレーションを目指している。2022 年 5 月に Guardian と Satlantis の 16U CubeSat の Urdaneta-Armsat-1 が Falcon 9 で打上げられた。Satlantis は Tandem4EO コンステレーションを計画しており、自社の 2 機の光学、ビデオ衛星と ICEYE の SAR 衛星 2 機を組み合わせたシステムである。国内では 30 機での地球観測用の超小型衛星コンステレーション開発機運が高まり、20 社の国内企業 3 つの研究機関で構成されたコンソーシアムが 2021 年に発足した。

[技術実証衛星]

INTA は Nanosat-01 を 2005 年に打上げた。2012 年にはスペイン Vigo 大学と INTA の共同製作である超小型衛星 Xatcobeo を打上げた。また、2013 年 Vigo 大学の Humsat プロジェクトが製作したマイクロ衛星 Humsat-D と、INTA が技術試験のために開発したマイクロ衛星 OPTOS の 2 機を打上げた。2016 年には地球観測のための GNSS-R 技術(GPS 反射波を利用して環境観測を行う技術)を検証する技術実証衛星 3CAT-2 を打上げた。

また、AISTECH はデンマーク企業の GomSpace A/S にコンステレーション構築最大 100 機の超小型人工衛星向けの標準プラットフォームを提供する。2020 年にマドリード工科大学の UPMSat-2 は Vega ロケットの Vega Small Spacecraft Mission Service (SSMS)で打上げた。2021 年 6 月に海上監視に特化した LEO の cubesat プロタイプ衛星である Neptuno を打上げた。

[月・惑星探査機]

スペインの民間企業 Galactic Suite は、開発中の月面ローバーを中国のロケットで 2014 年に打上げる契約を中国長城工業総公司(CGWIC)と結んだが、現時点では打上がっていない。

[国際協力]

スペインの IT 企業 Indra は、航空産業のみならず宇宙産業にも参画している。同社は、欧州の衛星測位システム Galileo の探索救助システムの地上局開発を担っている。また、GMV は宇宙ナビゲーション分野のエンジニアリングとソフトウェアで 20 年以上の経験を持ち、NASA の無人月面探査機 Lunar Reconnaissance Orbiter のミッション計画とスケジュールシステムを担っている。2020 年、GVM は SpaceNorway HEOSAT および Northrop Grumman と衛星運用センターの開発および設立に関する契約を締結した。衛星運用センターは北極ブロードバンドミッション ASBM 衛星の管制に活用される予定である。

13. チェコ

⑴ 航空機産業

a. Aero Vodochody

Aero Vodochody は '19 年に設立され、第二次大戦後は主に初等／高等練習機を製造しており、L-29 練習機、その後継機 L-39、L39 の発展型 L-59、L-59 の発展型として開発した L-159A 単座多用途攻撃機を、その後 L-159B を開発・製造した。2017 年、イラク空軍向けに L-159 の生産を再開し、同年 7 月には L-39 の後継機 L-39NG のローンチを発表した。

また民間機では、台湾の AIDC とジョイントベンチャーIBIS Aerospace を作り、9～10 人乗りの単発ターボプロップ汎用機 Ae-270 を共同開発し 2000 年に初飛行した。2003 年にはエンジンを PT6A-66 ターボプロップに換装した Ae-270HP が初飛行、2005 年に EASA の型式証明を、2006 年に FAA の型式証明を取得した。下請けとしては Dash 8 の尾部、B747 のドア、B767 の部品、F/A-18E/F のガン・ベイ・ドア、C-27J のセンター・ウイング・ボックスを製造している。また、2000 年に Sikorsky S-76 のサブアッセンブリーをオーストリアの Fisher Advanced Composite Component の協力を得て生産する協定を結んでおり、2001 年に納入を始め、累計 250 機以上を出荷した。また、A320 や A340 の組立部品製造を行っている。

2008 年には、Saab と JAS-39 のパイロンの製造契約を締結した。2009 年には、ベルギーの SONACA と A220 の固定前縁の開発・製造に関し、同社では初めてリスク・シェア契約を締結した。2010 年、Embraer と KC-390 の後部胴体、乗組員とパラトループ・ドア、非常口ドアとハッチの製造契約を締結した。

⑵ 宇宙産業

チェコの宇宙関連活動調整機関として 2003 年にチェコ共和国宇宙局(CSO: Czech Space Office)が設立された。旧ソ連と共同活動を進めたチェコ・スロバキア時代の宇宙科学技術を引き継いでいたが、現在は ESA 関連活動を主体とした活動で地上システムを担っている。2008 年に ESA の 18 番目加盟国となり、2023 年の ESA への拠出額は約€ 49.2M である。

2003 年には小型科学衛星 MIMOSA、2017 年には VZLUSat-1 衛星を打上げた。VZLUSat-1 は、2U CubeSat でチェコ航空宇宙センター(Research and Testing Aerospace Institute)が開発、X 線望遠鏡、大気中酸素濃度の測定器を搭載している。2022 年 1 月、2 号機の VZLUSat-2 を打上げた。2023 年 1 月 3 日にアマチュア無線用途の CubeSat である BDSat-2 を打上げた。

14. ノルウェー

⑴ 航空機産業

Norsk Jetmotor は、A340 用エンジン CFM56-5C2 の開発・生産に '88 年末から参画している。

2006 年、ノルウェーは米国 Joint Strike Fighter (JSF)の System Development and Demonstration (SDD) Programme の参画継続で合意し、2012 年、F-35 戦闘機の導入を決定し 2017 年より納入が開始された。

⑵ 宇宙産業

ノルウェーは '87 年に ESA の正式加盟国となった。それに伴いノルウェー宇宙センター(NSC: Norwegian Space Centre)が設立された。宇宙開発体制は、通商産業省が予算やプログラムに責任を有する一方、NSC は長期的計画等について同省に勧告する役目とともに、ESA 関連業務を通じてハイテクベンチャーの育成

を目的としている。EU プログラムに多数参加しており、主な事業は Horizon 2020、Erasmus +、Galileo、Copernicus である。2010 年に、NSC と JAXA は機関間協力協定を結び、多方面で協力関係を築くことで合意している。また同年、ESA の GPS である Galileo プログラムにノルウェーの参画が決定し、1.7M クローネの契約を獲得している。2019 年に NSC はノルウェー宇宙庁(NSA: Norwegian Space Agency)に改称された。また、'69 年に施行された宇宙法は、2020 年に新宇宙法案が提出され新しい宇宙法を審議中である。2023 年の ESA への拠出額は約€ 75.4M である。

科学衛星の分野では、ノルウェー自然と人文科学研究会議(NAVF)が基礎的研究を分担している。宇宙物理学や天文物理学の研究が伝統的に盛んで、小型ロケットや気球を使った研究を行っている。ESA の太陽地球科学プログラム、SOHO やクラスター衛星における実験やガンマ線観測衛星 Integral、彗星探査機 Rosetta 及び宇宙背景放射観測衛星 Planck に参加している。IUE、Hubble 宇宙望遠鏡、Hygens 探査機及び ISS などの国際的な計画にも参加し、また米国と共同で IML 計画の植物の微小重力実験も行っている。主要な宇宙企業は KONGSBERG GROUP、KSAT (Kongsberg Satellite Services)、NAMMO、Telenor、Andøya Space で、新興企業として Presens、IDEAS、S&T などがある。ノルウェーが注力する宇宙開発は北海地域の海上監視、極軌道衛星打上げサービスの強化、衛星地上局事業と地球観測サービスへの事業拡大である。

[通信・放送衛星]

通信分野では Telenor による '97 年の Thor-2 から始まって北欧を始めヨーロッパや中東諸国などに通信サービスを提供している。

Space Norway は、北極圏のモバイルブロードバンド環境構築のため 2019 年に Northrop Grumman と北極ブロードバンドミッション ASBM 衛星の開発契約を締結し、衛星運用を主目的とした Space Norway HEOSAT を設立した。ASBM-1、-2 衛星は 2024 年に Falcon 9 で打上げ予定である。また、2020 年にスペインの GVM と衛星運用センターの開発設立に関する契約を締結した。

[技術実証衛星]

2005 年に学生たちによるノルウェー最初の同国製衛星 NCUBE-2 の打上げに成功した。NCUBE-1(約 1 kg)は他の 20 機の小型衛星と共に 2006 年 Dnepr での打上げに失敗した。Narvik 大学の学生による HiNCube は 2013 年に打上げた。

AISSat-1 (6 kg)を 2010 年打上げた。AISSat-1 は、船舶の位置／速度／軌跡認識などの情報を収集する衛星である。2011 年に発生した東日本大震災を受け、AISSat-1 は日本周辺の船舶情報を収集する軌道に入り、収集された船舶情報を日本側に提供し、東北地方太平洋岸での海上救援業務に利用された。2014 年には AISSat-2 (6 kg)を打上げた。また、次世代 AIS トランスポンダを搭載する超小型衛星 Norsat-1, 2 は、2017 年に打上げに成功したが、AISSat-3 は Soyuz の不具合により失敗した。ノルウェー宇宙センターが 2018 年に UTIAS (Toronto 大学航空宇宙研究所)と契約した Norsat-3 は 2021 年に打上げた。AIS 受信機に加えて、実験的なナビゲーションレーダー探知機（NRD）を搭載し、民間のナビゲーションレーダーからの信号を検出して特定するものである。2023 年 4 月 15 日に次号機として NorSat Technology Demonstrator (NorSat-TD)を Falcon 9 で打上げた。この超小型技術試験衛星はオランダ宇宙局のレーザー通信技術試験やフランス CNES のヨウ素スラスターの試験、イタリアの研究所 INRI SCFLab の小型レーザー反射器の試験など

が盛り込まれている。

射場関連ではAndøya Spaceのアンドーヤ宇宙センターを小型衛星の射場とするため、ドイツの衛星打上げ会社である Isar Aerospace および RocketFactory Augsburg (RFA)にインフラを提供する。2021 年に Isar Aerospace が発射台の 1 つを排他的に使用する契約を締結した。Andøya Space は米 Boeing が率いる北極圏の偵察・検知プロジェクトにパートナーとして参加している。

2020 年にノルウェー防衛技術研究機構(Norwegian Defence Research Establishment: FFI)とオランダ航空宇宙研究所(NLR)は、二国間ミッションで米国 Nano Avionics に超小型衛星 Birkeland と Huygens (BROS-1 / -2)の 2 機を発注した。

[地上管制局]

衛星管制／運用の分野では、ノルウェーは極域のスバルバード諸島(北緯 74-81deg)を領有しており、極軌道周回衛星運用において大きな強みとなっている。KSAT (Kongsberg Satellite Services)はスバルバード諸島のスバルバード局(SvalSat) (北緯 78 度)をはじめ、世界各国に 119 基の衛星管制用地上局を保有し、衛星運用サービスを提供している。JAXA 衛星では、GOSAT、SOLAR-B、GCOM-W1 が SvalSat を使用している。また、KSAT は今後の北極衛星ブロードバンド ミッション (ASBM)で政府ユーザーの衛星運用を提供する。Kongsberg (Kongsberg Defense & Aerospace)は北海地域をカバーする宇宙ベースの海上監視ミッションに NanoAvionics の MP42 を採用し、ノルウェー初の衛星コンステレーションを確立するため、リトアニアの NanoAvionics を 2022 年 7 月に買収した。この衛星の監視ペイロードは、船舶の自動識別システム(AIS)とノルウェー国防研究機関によって開発されたナビゲーション レーダー検出器を組み合わせたもので、3 機を NanoAvionics に発注している。衛星コンステレーション運用は KSAT が担当する。KSAT はハイパースペクトル衛星コンステレーションを開発中のインドの Pixxel と 2022 年 9 月に提携した。

Kongsberg は Ariane 5 のブースターの結合／分離機構を担当している。AEM は Alcatel の子会社で ICO、Artemis、Hotbird などの電子コンポーネント(フィルター)や Ariane 5 のパワーコントローラ、センサインターフェース回路を分担している。

15. フィンランド

(1) 航空機産業

a. Patria Oyj

Patria Oyj は航空機だけでなく装甲車や防衛電子機器など総合防衛事業を主体とする企業である。

Valmet は'22 年以来、スウェーデン製の Draken 戦闘機の組立、英国製の Hawk 練習機の部品製作と組立、フィンランド国産の Vinka、Valmet、L-70 軍用練習機の設計と試作製作など、30 種類以上の航空機の製作に携わってきた。L-70 練習機をターボプロップ化し、新主翼とした L-90 練習機を製造、仏 Turbomeca エンジン装備の 2 号機は受注が少ないため 30 機で量産を終了した。軍用航空機やヘリコプターの機体･エンジン整備やパイロット訓練も事業の柱となっている。

下請け契約としては、Saab の Saab 2000 のフィン、方向舵、尾部及び昇降舵を、ベルギーの SONACA の下請けとして Embraer の ERJ 135 / 145 の中胴部、後胴部を生産していた。また、'95 年～2000 年には

フィンランド空軍用の F/A-18C 57 機のノックダウン生産を行った。'97 年に Airbus と A380 の開発段階にリスク・シェア・パートナーとして参画する MOU を締結し、A380 の複合材製スポイラーを製造していた。また、2006 年に A320 の主脚フェアリングのメーカーに選定された。

⑵宇宙産業

フィンランド宇宙委員会(FSC: Finnish Space Comittee)は宇宙活動の諮問、調整機関として'85 年に設立された。'95 年に ESA の正式加盟国となり、ESA への拠出金はフィンランド技術庁(Tekes: The Finnish Funding Agency for Technology and Innovation)を通じて拠出され、2023 年の拠出額は約€ 39.0M である。

宇宙活動の認可の条件や関連物体によって引き起こされた損害保険について定められている宇宙活動法が 2018 年に施行された。フィンランドでは、北極圏、天然資源、気候変動、環境安全性に関する研究を強化している。

ESA プロジェクトへの参加は、SOHO ('95 年打上げ)、Cassini-Huygens ('97 年打上げ)に始まり、近年では Copernics(旧 Global Monitoring of Environment and Security (GMES))や Galileo に参画している。また、EUMETSAT の Meteosat Third Generation (MTG)の開発や、ESA と JAXA の共同プロジェクトである Bepi Colombo にも携わっている。

2 国間協力による宇宙開発にも積極的で、米国 NASA の EOS-Auro (2004 年打上げ)に搭載された OMI (Ozone Monitoring Instrument)の開発、ドイツ DLR の Terra SAR-X (2007 年打上げ)に搭載の信号分配器 Leaf Amplifier Assemblies の開発には、フィンランドの民間企業が参画している。また、2012 年に火星に着陸した NASA の探査車 Curiosity には、フィンランドで開発された圧力・湿度計が搭載された。

フィンランドは、ESA や EU の支援を受け、アールト大学(旧ヘルシンキ工科大学などを統合し、2010 年設立)が中心となって、Aalto-1 の開発を進められていた。また、宇宙技術の実証国際プロジェクトである QB50 プロジェクトとして開発された超小型衛星 Aalto-2 が、フィンランド初の人工衛星として 2017 年に打上げられ、同年、Aalto-1 も打上げた。Aalto-1 は 3U サイズ(30×10×10cm)のキューブサットで、そのミッションは、学生の教育のみならず、分光器等の実証も含まれている。フィンランドの宇宙企業は ICEYE、Reaktor Lab、KuvaSpace などがある。Reaktor Lab は 2021 年に W-Cube を打上げた。W-Cube は超高周波 W バンド電波の伝搬と研究と将来の通信衛星に新しいより高い周波数帯域利用の実現可能性を実証するミッションである。同社は太陽 X 線フレアの検出ミッションの Sunstorm も打上げている。小型衛星用のスラスターや軌道離脱モジュールを開発する Aurora Propulsion Technologies の技術実証衛星 AuroraSat-1 が 2021 年に Rocket Lab の Electron で打上げられた。水推進スラスターやプラズマ・ブレーキの試験を実施予定した。

政府はイノベーション資金調達機関「Tekes」により宇宙産業ビジネスを育成しているが、超小型衛星合成開口レーダー(SAR)によるコンステレーションを計画し、世界で注目されている ICEYE が、順調に資金調達を進め、2015～2022 年までで合計 3 億 400 万米ドルを調達している。プロトタイプの初号機 ICEYE X1 は、2018 年に PSLV-XL で、ICEYE X2 は Falcon 9 で打上げられた。なお、ICEYE X2 と同時に打上げた 1U サイズの Suomi-100 衛星は、フィンランド創立 100 周年を記念したものである。2019 年は 3 機打上げており、2020 年には米国法人の設立や衛星製造など、米国での活動拡大、SAR 衛星コンステレーションで 25cm の分解能達成や海上保安向け違法船舶検出ソリューションなどを公表している。2021 年は ICEYE X8

からICEYE X15までの6機を打上げ、2022年はICEYE X24まで打上げており2023年に10機を打上げて合計31機が運用されている。ICEYEは2022年1月に米国の国家偵察局(NRO)と契約し、5月にCopernicus緊急サービスと契約、6月にカナダの企業MDAとも提携した。スペインの企業 Satlantis と Tandem4EO衛星コンステレーションで2機のSAR衛星を供給する方向で調整している。

16. ベルギー

(1)航空機産業

ベルギーの航空宇宙工業の主要企業はSABCA、SONACA、PROMAVIA、Techspace Aero(エンジン)の4社である。

現在の主要プログラムはAirbusへの参画で、このためBel-Airbusを'79年に設立し、主にSpiritの下請として主翼前縁及びテールコーンの生産に加わっている。更に、'97年にBel-AirbusはAirbusと次世代大型機A3XX(現A380)の研究開発に参画するMOUを交わした。

a. SABCA

これまで軍用機ではMirage III / 5 / F1、Alpha Jet、Atlanticの部品を生産、またMirage 5の近代化作業を行った他、ベルギー空軍が'75年に発注したF-16戦闘機のライセンス生産をSONACAと共同で行ってきた。現在は、戦闘機、ヘリコプターのメンテナンス及び近代化改修を行っており、F-16 の動翼駆動用サーボアクチュエータ機器の製造及び整備も行っている。2006年にはSafran と Mirage F1近代化のパートナー契約を行った。またA400Mのフラップ外板組立とフラップのサポート機構部品を製造している。

民間機ではFokkerのF-27、F-28、F-50、F-100の部品生産を行っていた。現在は、A330のテールコーン、A320シリーズの垂直尾翼リブおよびダイレクト・ドライブ・バルブ装置、Falcon 7XとG650のHTPスキンなどを製造している。このほか、リスク・シェア・パートナーとして A380 の中胴後部ロワー・シェルの製造に参画していた。また、2009年にA350のリスク・シェア・パートナーとしてフラップ・サポート構造および複合材製フェアリングの開発・製造契約を締結し、2011年に初納入した。

b. SONACA

前述の F-16 共同生産の他に、Alpha Jet、Atlantic、C-130、B747SP、Saab 340などの部品を生産してきている。ERJ-145 / 135及びE-170 / 190にリスク・シェア・パートナーとして参画し、ERJ-145 / 135では中胴、メインドア／サービスドア、後胴、エンジンパイロンを、E-170/190では主翼スラットを担当している。更にA320、A330/A340、A350、A380の主翼可動前縁部および軍用機のA400Mの主翼前縁と主脚ドアを製造していた。この他 A220 の固定前縁および可動前縁の開発・製造を SHORT(現在は Spirit AeroSystemsの1部門)と共同で行っている。固定前縁については、チェコのAero Vodochodyとリスク・シェア契約を締結した。2017年、SONACAの親会社SONACA Groupは、米国セントルイスに本拠を置くLMI Aerospaceを傘下に入れた。

国外ではブラジル、カナダ、ルーマニアに子会社を設立しCRJ700、CRJ900、A320などの部品製造を行っている。また、シンガポールのELTRAと共にSINELSON AERO (Tianjin)を2010年に天津に設立し、A320の主翼スラットの組立および試験を担当している。

c. Safran Aero Boosters (旧 Techspace Aero)

JT9D、F110エンジンの部品生産、F-16用F100エンジンの組立を行ってきており、PW4000に参画(高圧圧縮機のケーシング)、またCFM56-5プログラムに参画し、GEnxプログラムにも参画している。2005年にSafranが株式の51%を所有することでSafranグループ傘下となった。Snecma、GE Aerospace、P&Wのエンジンの低圧圧縮機とフロントベアリング支持部位、潤滑システムの部品製造を行っている。

⑵宇宙産業

ベルギー宇宙航空研究所(BIRA-IASB: Belgian Institute for Space Aeronomy)は、ベルギーの航空宇宙研究開発を統括する機関として'64年に設立された。ベルギーの宇宙活動はESAプログラムを中心に実施されている。その活動は宇宙輸送、通信、地球観測であり、2015年には火星の大気の化学組成・気候についてリモートセンシングでデータベース化・モデル化を行うUPWARDS計画へ参加した。2023年のESAへの拠出額は約€260.0Mであった。

ベルギーの宇宙関連企業は約40社、総従業員数は約1,300人の規模である。主要企業であるVerhaert Design and Developmentは小型衛星と微小重力実験器を得意としており、2005年にQinetiQに買収され2010年にQinetiQ Spaceとなった。同社はESAの先進小型技術衛星であるPROBA(Project for On Board Autonomy、約100kg)の主契約者でもあり、PROBAは2001年にインドの極軌道衛星打上機(PSLV-C3)で打上げられた。また、2009年にはPROBA-2を打上げた。PROBA-2は宇宙用新技術の実証衛星で、新開発のリチウムイオンバッテリ、リアクションホィール、スタートラッカー、温度管理システムなどいくつもの新技術が試された。また太陽や宇宙環境の観測装置も搭載している。2024年に打上げ予定のPROBA-3は、世界初の精密フォーメーションフライトミッションを行うものであり、スペインのSENERが主契約者となり、QinetiQ Spaceはメインコンピュータやアビオニクスの供給を行う。また，QinetiQ SpaceはESAとの契約でロシアの回収衛星Fotonシリーズの材料実験や生物実験の装置も十数年担当している。ベルギーの宇宙企業で2018年に設立したAerospacelabは年間500機の衛星生産施設を2025年初めに稼働させる計画を2022年6月に発表した。Aerospacelabは地理空間インテリジェンスと衛星開発生産の垂直型企業で、総額6,000万ユーロの資金調達をしている。Aerospacelabの植生監視衛星である12U CubeSatのPROBA-V-CCを2023年9月10日にVegaにより打上げた。

SABCAはAriane 4、5の第1段エンジン制御用アクチュエーターを担当し、熱制御や構造関係の分野を得意としている。ESAと契約して'96年に打上げられたロシアの回収衛星Fotonに搭載した流体物理実験装置やロシアのMIRに搭載したMIRAS大気観測機器などを開発した。ESAが開発中の小型ロケットVegaの機体構造材や推力ベクトル制御装置も担当している。また、SpaceBelは、小型観測衛星の開発を進めており、ベルギー政府の支援を受けてベトナムとの契約を行った。130kg級の資源・環境・災害観測衛星VNREDSat-1b(Vietnam Natural Resources, Environment & Disaster Monitoring satellite)は、2017年に打上げ予定だったが、延期されたままとなっている。

2016年に、Liège大学の学生によって製作された1kgの超小型衛星OUFTI-1がESAプログラムであるFly Your Satelliteとして打上げられた。OUTFI-1はD-STAR通信プロトコルを用いる最初の衛星である。

2014年まで活動休止中であったESAの彗星探査機Rosettaに搭載のイオン分析器ROSINAの開発はBIRA-IASBによるものである。また、2016年に打上げられたESA/NASA Exomarsミッションでも、火星大気の化学組成を測定する機器NOMAD(Nadir and Occulation for Mars Discovery)の開発を行った。また、

Antwerp Space は ESA/Roscosmos の ExoMars 2020 で通信機器 LaRa (Lander Radioscience)を担当している。

50 機のキューブサットによる地球観測を行う QB50 プロジェクトは、ベルギーのフォンカルマン研究所がまとめ役として進められている。QB50 プロジェクトでは、世界各国の大学がそれぞれ独立に開発した 50 機の CubeSat によってコンステレーションを形成する。50 機全ての超小型衛星に同一のセンサを搭載することで、地球の大気のうち高度 90km~350km 程度の領域について、全球上の広範囲のデータを同時刻に観測することをプロジェクトの目的の 1 つとしている。QB50 コンステレーションを形成する衛星の一部である QB50P1 および QB50P2 は、2014 年に打上げられた。また、残りの 48 機のうち 40 機は、国際宇宙ステーション(ISS)から放出する予定で、40 機のうち 28 機については、2017 年に ISS から放出されて、世界初の熱圏観測が実施された。2018 年以降に残りの CubeSat の打上げが計画されている。

また、ベルギーに拠点を置く QinetiQ Space は、マルチミッション宇宙機 Dream Chaser のドッキングシステム International Docking System Standard(IDSS)の採用に関し、Sierra Nevada Corportation と 2017 年に合意した。2019 年、微小重力下での流体実験を目的とした Multiscale Boiling(RUBI experiment)が Falcon 9 で打上げられ、国際宇宙ステーション(ISS)のコロンバスモジュールに設置された。ベルギー王立気象研究所が開発した気象技術衛星の SIMBA (Sun-earth Imbalance)を 2020 年に打上げた。

17. ポーランド

(1) 航空機産業

a. PZL Mielec (Lockheed Martin の 1 部門)

航空機産業は '28 年に PZL(国営航空機工場)が設立されたことから始まった。M-18、M-20、M-26、M-28B、M-28 の生産や BAE Systems (Hawk)、AgustaWestland (B737)の下請けを行った。2007 年、米国 Sikorsky が UH-60M (S-70i) Black Hawk ヘリコプターの組立のため新 PZL Mielec を 100 %買収し、Lockheed Martin Rotary and Mission Systems 傘下で PZL Mielec のブランドを継続して事業を行っている。

2022 年 11 月 PZL Mielec、F-16V の後部胴体、中央胴体、コクピット部品等の主要部品製造に参画し、米国へ輸出する計画を発表した。

b. PZL-Swidnik (Leonardo の 1 部門)

'20 年に創業した Plage I Laskiewicz を祖に持ち、'57 年から PZL-Swidnik を名乗っていたが、2010 年に AgustaWestland(現 Leonardo)に買収された。現在は Leonardo のヘリコプター部門傘下で、SW-4、W-3A および AW149 の生産を行っている。そのほか、Challenger 300 や G280 などのナセルの主要構成品を GKN へ、A320 / A330 / A340 / A380 の乗降扉、非常口及び貨物ドアの開閉メカニズム、貨物ドア構造などを AIRBUS Helicopters へ、ATR-72 や ATR-42 の中央翼の桁とリブの組立品を STELIA へ、A320 の乗降扉ロックメカニズムを Latecoere へ、操縦ケーブルの張力調整用部品を Ratier-Figeac へそれぞれ納めている。

c. AIRBUS MILITARY EADS PZL Warszawa-Okecie S.A

'28 年に設立された PZL(国営航空機工場)Warszawa-Okecie を祖にもち PZL-23 Karas、PZL-37 Los、PZL-104 Wilga、PZL-106 Kruk、PZL-130 Orlik などを販売していた。現在は PZL-130 Orlik TC-II 単発ターボプロップ練習機の製造のほか、 C235、C295、A320 の主翼、各種ドア、座席等を組立てている。また、ワルシャワに C295 のサービスセンターを設け整備及び修理改造を行っている。

⑵宇宙産業

ポーランド科学アカデミー宇宙研究センター(SRC PAS: Space Research Center of the Polish Academy of Sciences)は'77年に設立され、2014年にはポーランドの宇宙産業支援と宇宙利用インフラ構築を任務としたポーランド宇宙庁 POLSA が設立された。ポーランドでは衛星搭載機器の開発を中心にロシアや欧米の様々な計画に参加しており、2012 年には ESA の 20 番目の正式加盟国となった。2023 年の ESA への拠出額は約€44.7M である。国内の産業では2021年に20社のポーランド企業による宇宙技術クラスター(Klaster Technologii Kosmicznych)を設立した。クラスターは Astronika、PIAP Space、Scanway、KP Labs、SpaceForest などの企業とポーランド科学アカデミーの宇宙研究センターがメンバーになっている。

2013 年に BRITE-Lem を打上げたが、この衛星はポーランド初の超小型天文観測衛星で、設計、組立てまでほとんど全ての技術提供をトロント大学航空宇宙学研究所(UTIAS)から受けた。2014 年には大部分のサブシステムを SRC PAS で開発した超小型天文観測衛星 BRITE-Heweliusz を打上げた。これら衛星はトロント大学航空宇宙学研究所(UTIAS)が主導し、オーストリア、カナダ、ポーランドが共同参加した超小型衛星天体観測プロジェクト BRITE (BRIght Target Explorer)を構成する衛星の一部である。

2021 年 SatRelvolution SA の 3U CubeSat で最大 5m の地上解像度を持つ光学カメラと技術試験ペイロードを持つ STORK-1、2 の 2 機を 2022 年 1 月に Falcon 9 で打上げた。STORK-3、-4、-5 は 2022 年 6 月に LauncherOne で打上げ、STORK-6 は 2023 年 1 月 9 日に LauncherOne によって打上げたがロケットの失敗により損失した。STORK-7 は 2023 年 11 月 11 日に Falcon9 で打上げた。STORK は 14 個の衛星コンステレーションの一部である。

2018 年にルクセンブルグと宇宙資源の探査と利用に関する二国間協力の覚書に署名した。2021 年 10 月、Artemis 合意に署名し 13 番目の参加国となった。2020 年、地球観測衛星画像を提供するクラウドプラットフォーム Cloud Ferro は、中国のオペレータ CGSatellite とパートナーシップ協定を締結した。2020 年に科学高等教育省は米国 NASA の太陽物理学ミッション星間マッピングおよび加速プローブ(IMAP)に協力することに合意し、IMAP の機器の 1 つであるグローバル太陽風構造(GLOWS)機器の設計製造と地上サポート人員を提供することになった。2022 年 12 月にフランスとポーランド軍備庁との間で解像度 30cm 級の偵察衛星 2 機と地上局 1 基を提供することで合意した。Airbus が開発し、2027 年に引き渡される計画で総額 5 億 7,500 万ユーロの取引となる。

18. ルーマニア

⑴航空機産業

ルーマニアは古くから航空機工業を有していたが、戦後のほとんど無の状態から再び航空機産業を育成することを決断し、'68 年、機械製造産業省の下に CNIAR(ルーマニア航空機産業のナショナルセンター)を組織した。'91 年には CNIAR に替わる国営持株会社 IAROM を設立し、航空機、エンジン、研究開発機関 18 社をその傘下に置いた。IAROM は '97 年に完全民営化され、IAROM はルーマニアの航空機メーカーの AEROSTAR と、電子機器メーカーの ELPROF が主要な株主となっている。

a. Romaero

'51年に設立され、'90年から現社名となった。'99年に英Britten-Normanに買収されたが3ヶ月で破綻、

新たに設立されたB-N Groupで2000年から納入を再開した。

2003年にはLockeed Martinとパートナーシップ契約を締結し、C-130 Herculesのナショナルサービスセンターになっており、主にルーマニア空軍のC-130Hの整備と修理改造を請け負っている。

その他、B737の部品組み立て、Canadair CL-415の胴体サブアッセンブリー、IAI Galaxy(現 G200)の冶工具の設計・製造、各種機種の整備等を行っている。また、Romaero は、Airbus、Boeing、GKN、IAI、Leonardo、Saab、SABCA、Spiritなどから部品製造を請け負っている。

b. Aerostar

'53年に設立され、ルーマニア空軍用の機体の修理や着陸装置・油圧部品等を製造し、'77年からソ連のYak-52 初等練習機のライセンス生産(Iak-52)を行い、2007 年には R40S Festival 軽量スポーツ機を自主開発し、イスラエルの Elbit と共にルーマニア空軍の MiG-21 / 29 の能力向上も行った。B737、A320、BAe146 / AVRO RJ の MRO 事業を行っている。

c. IAR

'25年に設立され、独自に設計した各種軽飛行機の製造及び仏Aerospatiale(現Airbus Helicopters 部門)のSA330 Pumaヘリコプターのライセンス契約を結んだ。

2001年にEurocopter(現Airbus Helicopters部門)とIARは合弁会社を設立する協定を結び、2003年からEC135の部分組立を開始した。

d. Avioane

'72年にIAv Craiovaとして設立され、'91年に現社名に変更された。ユーゴと共同開発したIAR-93攻撃機を生産し、'88年からIAR-90練習／攻撃機をルーマニア空軍に納入した。イスラエルのElbitと共にそのアップグレード型のIAR-99を開発し、2003年から同空軍に納入した。

19. ルクセンブルク

(1)宇宙産業

ルクセンブルクと欧州宇宙機関(ESA)との協力関係は 2000 年に調印した ARTES Telecommunications Program への参加から始まり、2005 年に 17 番目の参加国として ESA に正式加盟した。2023 年の ESA への拠出額は約€42.0Mであった。ルクセンブルグに拠点を置く宇宙企業は50社ほど存在し、LuxSpace、OQ Technology、GovSat、Kleos Space SA、Mission Spaceなどがある。

'85年に国家機関と欧州民間企業が出資し、欧州衛星会社SES(Societe Europeenne des Satelites)を設立し、政府構想のヨーロッパ化の推進を図った。同社は同年にRCA(現Lockheed Martin)と放送衛星Astraの購入契約を行い、'88年に1号機を皮切りに次々と衛星の打上げを行い、2023年3月17日にSES-18, 19をFalcon 9で打上げ、計18機となっている。その中には、SESとルクセンブルグ政府の合弁会社であるLuxGovSatの政府／軍事通信衛星SES-16 / GovSat 1があり、2018年に打上げている。

SES は、2000 年以降、関連企業の統合を図り、2001 年に米国の GE Americom を経営統合して SES Global(本部：ルクセンブルク)を設立し、その下に欧州アフリカを担当するSES ASTRA(本社：ルクセンブルク)と、アメリカ地区を担当する SES World Skies(旧：SES Americom)を置き、さらに世界規模の事業基盤を築くべく、香港のAsia Satellite Telecommunications (AsiaSat)、アルゼンチンのNahuelsat、スウェーデ

ンの Nordic Satellite AB (NSAB)、ブラジルの Star One、カナダの Ciel、メキシコの QuetzSat、ドイツの Playout Centre GmbH、スペインの HISPASAT なども傘下に入れた。

また、SES ASTRA は、2005 年に世界的な衛星通信ビジネスの拡大に備え、同社の地上設備関連を 100%出資子会社 SES Astra TechCom Services として独立させ、これまでに Gallileo の TT&C 地上局アンテナや、ベトナムの Vinasat-1 衛星向けの TT&C 地上局設備等の実績をあげている。SES ASTRA の通信衛星は Astra シリーズを '88 年から合計 25 機の衛星を打上げており、今後 Astra1P、Astra1Q が予定されている。地球観測衛星ではルクセンブルグ政府のデュアルユース観測衛星システム LUXEOSys (Luxembourg Earth Observation System)を開発中で地上分解能 0.5 m の光学衛星で、政府や NATO、国際機関に高解像度衛星画像の提供を目的とし 2023 年に打上げ予定である。

自動船舶識別装置(AIS)を搭載した Vesselsat-1 が 2011 年に、翌 2012 年には Vesselsat-2 が打上げられた。いずれも 2004 年に OHB AG により設立された Luxspace が設計／製造した。この 2 機の衛星は、アメリカ Orbcomm の 18 機で構成される Orbcomm Generation 2 衛星に組み込まれた。

さらに、2014 年に打上げられた中国の嫦娥 5 号(Chang'e 5)試験機の長征 3C/G2 ロケットの第 3 ステージに取り付けた探査機 Manfred Moon Memorial Mission (4M)が電離放射線測定ミッションを実施した。LuxSpace が開発したもので世界初の民間月探査機となった。

2016 年、ルクセンブルク政府は、国際法に準拠した新宇宙法により、宇宙で採掘した資源の所有権を民間企業に保証する法律を可決したと発表した。民間企業が宇宙で採掘した資源について、国際法に従って所有権を認めることができることを法的に明確化した。この法律は、小惑星などの地球近傍天体の資源探査と商業利用を目的とした SpaceResources.lu 計画の一環として策定され、第 1 条では、国際法に準拠して宇宙資源の所有権を付与することができると規定されている。これに伴い、ルクセンブルクは、特に小惑星で発見された鉱物、水その他の宇宙資源の所有権を法的に保証する欧州初の国となった。また、宇宙資源探査を国の方針とし、宇宙資源産業の新たなグローバルハブを目指している。すでに米国の宇宙採掘ベンチャーPlanetary Resources、Deep Space Industries に加え、小型衛星による大型コンステレーションを運営する Planet がルクセンブルクに支社を開設し、日本の宇宙ベンチャーの ispace も 2017 年から欧州拠点を置いている。ispace EuropeS.A.は月周回衛星 Harmony を開発中の Plus Ultra Space Outposts と月探査の協力覚書を 2022 年 に締結した。

2018 年に宇宙ビジネス促進を目的としてルクセンブルク宇宙庁(The Luxembourg Space Agency: LSA)が発足した。2019 年に、NASA と宇宙の商業利用の枠組み構築について合意し、DLR とは宇宙資源などの分野における研究活動に協力することで合意した。さらに同年には、宇宙用ロボットアームを開発するために ESA との共同契約を発表した。2020 年、NASA が主導する Artemis 計画に署名し創設メンバーとなり、ESA との戦略的パートナーシップにより欧州宇宙資源イノベーションセンター(European Space Resources Innovation Centre: ESRIC)を設立した。宇宙資源の探査と利用に関する二国間協力をポルトガル、日本、中国、チェコ共和国、アラブ首長国連邦、ポーランドと締結している。2021 年にはルクセンブルグ宇宙庁、フランス国立宇宙研究センター(CNES)、欧州宇宙資源イノベーションセンター(ESRIC)、フランスの産業ガスメーカーである Air Liquide は宇宙探査と現場資源利用技術(ISRU)を含む研究プロジェクトの技術開発で四者合意した。そのほか、2021 年にイタリア宇宙庁(ASI)と宇宙協力に関する覚書を締結した。

ESA の SAT-AIS プログラムの下で、ルクセンブルグの LuxSpace およびカナダの ExactEarth が共同開発した AIS 衛星の ESAIL を 2020 年に打上げた。ESAIL はルクセンブルグで製造された初の商用衛星である。また、2020 年、Kleos Space は密輸、違法漁業、海賊などの監視を目的として KSF 1 衛星と KSM 衛星を 4 機ずつ打上げた。2022 年 4 月には KSF 2 (Patrol Mission)を 4 機、と 2023 年 1 月 3 日には KSF 3 (Observer Mission)を 3 機打上げている。同社は 2020 年 1 月に英国の地理空間インテリジェンスおよび分析会社の Geollect とチャネルパートナーおよびデータインテグレーター契約を締結している。

20. ハンガリー

⑴ 宇宙産業

ハンガリー宇宙局(HSO: Hungarian Space Office)は、'92 年に設立され 25 の研究所や大学研究部門を持つ。これまでハンガリーは ESA の協力国で、欧州気象衛星機構の正式加盟国であり、2015 年に ESA に加盟し 22 番目の正式加盟国となった。2023 年の ESA への拠出額は約€24.7M であった。ハンガリー政府は、国に割り当てられている衛星トラックセクション(静止軌道、周波数)を外国の民間企業にリースしており契約が 2024 年に終了・返還されるのを機に自国衛星の開発を検討している。2021 年には通信会社の 4iG は、イスラエルの衛星オペレータ Spacecom の 51％の株を買収し、ハンガリー初の通信衛星を 2024 年に打上げるため CarpathiaSat という合弁会社を設立した。外務貿易省から政府に提出された宇宙戦略では今後 5 年間で最大 1 億ユーロをプロジェクトに投資し、2025 年までにハンガリーの宇宙企業の数を 2 倍することを目標としている。ESA メンバーとして国内で宇宙飛行士の選考中である。2022 年 11 月に有人宇宙飛行サービスの Axiom Space と 1 億ドルの Axiom 商用宇宙飛行士ミッションついて覚書を締結した。

2012 年にブタペスト工科大学が開発したキューブサット MaSat-1 が打上げられ、47 番目の衛星打上げ国となった。MaSat-1 は 2015 年に大気圏に突入し、3 年間の運用が終了した。同大学では 2023 年 6 月 12 日には Falcon 9 で電磁波観測ミッションの CubeSat である MRC-100 を打上げた。Admatis は、東ヨーロッパの唯一の企業として、Sentinel-2B 衛星の部品や NASA の宇宙実験機材を納めている。2021 年 3 月にハンガリーの 3 番目のピコサテライトである SMOG-1 はイタリア企業 GAUSS の衛星である Unisat-7 から軌道に放出した。2021 年 8 月には宇宙放射線や宇宙天気環境のモニタリング用途で 3U CubeSat の RADCUBE を打上げた。

21. オーストリア

⑴ 宇宙産業

オーストリアの宇宙活動は、同国の産業研究開発活動を統括するオーストリア研究促進庁(FFG)の下で進められており、その配下に航空宇宙局(ALR)がある。ALR 自体は研究体制や施設を持っておらず、既存科学や産業界における研究活動を支援、促進する役割に力点をおいている。オーストリアは '87 年に ESA に正式加盟し、2023 年の拠出額は約€65.5M であった。

2013 年に、超小型天文観測衛星である UniBRITE-1 と TUGSAT-1 を打上げた。同衛星はトロント大学航空宇宙学研究所(UTIAS)が主導し、オーストリア、カナダ、ポーランドが共同で参加する超小型衛星天体観測プロジェクト BRIght Target Explorer (BRITE)を構成する衛星の 1 部である。オーストリア宇宙フォー

ラム(Östereichisches Weltraum Forum)がスペース デブリ検出の 3UCubeSat 実証衛星である ADLER-1 (Lemur-2-Krywe)を 2022 年 1 月に打上げた。ADLER-1 は出力 1 W の CW レーダーで、50 メートル以内のデブリを検出するものである。2023 年 10 月 9 日に ESA の OPS-SAT による 2 つのミッションペイロードを搭載した 3U CubeSat である PRETTY を Vega で打上げた。

オーストリアの企業や研究機関は、歴史的なヨーロッパの彗星探査 Rosetta mission や火星での生活探査のための ExoMars、水星探査計画 Bepi-Colombo など多くの ESA ミッションに参加している。また、航法衛星システム「Galileo 計画」や地球観測プログラム「Copernicus 計画」にも参加している。宇宙産業には、約 120 社、1,000 人以上が携わっており、その中でも Enpulsion が 3～100kg の小型衛星向けに Enpulsion Field Emission Electric Propulsion (FEEP)スラスターを商業化し CubeSatShop で販売している。オーストリア最大の宇宙企業は RUAG Space GmbH で電気推進ポインティングメカニズム(EPPM)のほか衛星の断熱材を輸出している。

22. デンマーク

(1)宇宙産業

デンマークの宇宙活動は、'68 年から 2005 年までデンマーク宇宙研究所(DSRI)を中心に進められてきたが、2005 年にデンマーク宇宙センター(DNSC)が設立され、さらに 2007 年に国内宇宙研究活動を統括するデンマーク王立宇宙研究所(DTU Space)として再編統合された。DTU Space は ESA の宇宙計画に参加する一方、独自の小型衛星開発を行っている。2023 年の ESA への拠出額は約€ 35.1M である。

有人飛行では 2015 年にアンドレアス・モーゲンセン宇宙飛行士が ISS に 10 日間滞在している。同飛行士は 2023 年に Crew Dragon Crew-7 の一員として ISS 長期ミッションに参加することが 2022 年 3 月に発表された。

デンマーク初の人工衛星は '99 年に打上げられた Ørsted である。2013 年、オールボー大学の学生により AAUSAT3 を打上げた。同年にオールボー大学とデンマーク企業の GOMSPACE による超小型衛星 GOMX-1 を打上げた。2014 年には GOMX-2 が Antares-130 にて打上げられたが、エンジントラブルにより離昇直後に爆発した。GOMSPACE は 2019 年に Lockheed Martin Space と GomSpace 6U 超小型衛星を共同開発し、英 Orbital Micro Systems (OMS)に納入する契約を締結した。2020 年にはアラブ首長国連邦大学の国立宇宙科学技術センター(NSSTC-UAE)と衛星開発に関するエンジニアリングの専門知識とサポートを提供する契約、ESA と超小型衛星機能の研究実証の契約を締結した。

2015 年に HTV-5 の輸送物資として AAUSAT5 と GOMX-3 が ISS へ輸送され、NRCSD (NanoRacks CubeSat Deployer)により放出された。AAUSAT5 と GOMX-3 は民間航空機の測位や通信衛星の信号品質測定を目標に技術実証と教育をミッションとしており、またこれらは ESA 初の ISS からのキューブサット放出ミッションとなった。2016 年に打上げられた AAUSAT4 には、海上からのメッセージを受け取る AIS レシーバが装備されている。2018 年に打上げられた GOMX-4A / -4B では、互いに 4,500km まで離れた状態での衛星間通信および地上局との通信試験が行われた。2021 には JPMorgan が GOMX-4 を使って衛星間に確立されたブロックチェーンネットワーク上で世界初の銀行トークン転送の試験を成功させた。今後、12U CubeSat 技術実証衛星の GOMX-5A、GOMX-5B を打上げる予定である。また、フランスの

Unseenlabs 向けに 6 機の衛星を供給する契約を 2022 年 9 月に締結した。ESA の契約によるもので将来のナノサットコンステレーションのための推進力と高速通信の技術実証をミッションとしている。このほかに GOMSPACE は ESA の HERA ミッションに使われる衛星間リンクシステムについて独 OHB と契約し、宇宙状況認識(SSA)で仏 SpaceAble と契約した。

ESA が 2013 年に打上げた地磁気観測衛星 SWARM は、2002 年に当時の DNSC が提案し、ESA の地球観測計画 The Living Planet Programme に選定されたものである。2014 年に DTU Sat-2 が打上げられた。DTU Space による Atmosphere-Space Interactions Monitor (ASIM)は、ISS からの気候や雷放電現象の研究を目的としている。ASIM は、2018 年に ISS に輸送され、ISS の Columbus モジュールに取り付けられた。また、DTU は打上げ予定の James Webb Space Telescope の部品を支える炭素繊維構造などを担当している。

23. エストニア

(1)宇宙産業

エストニアでは、同国の企業を支援する主要機関である Enterprise Estonia (EAS)が宇宙機関としての役目を持っている。同機関はエストニア内の企業に宇宙関連情報の提供や研究開発支援等を行っており、ESA との窓口である。2015 年に ESA の 21 番目の正式加盟国となった。2023 年の ESA への拠出額は約€ 6.9M であった。2020 年からエストニアは宇宙政策の確立に取り組んでおり、2023 年に政府機関、産業界、学界の代表者による作業グループが設立され法案化作業を進めている。

エストニア初の衛星で、Tarut 大学などエストニア国内の複数の大学から集まった学生による共同製作である ESTCube-1 を 2013 年に打上げた。同衛星はフィンランド気象研究所とドイツ航空宇宙センター(DLR)の支援を受けて開発された。ESTCube-1 は、重量 1kg 程度の標準的な 1U サイズ(10×10×10cm)のキューブサットであり、主にエストニア国内の学生・技術者の教育および各種技術実証を目的に開発されている。ESTCube-1 は 2015 年にミッションを完遂し、運用終了となった。ESTCube-1 の後継機となる ESTCube-2 を 2023 年 10 月 9 日に Vega で打上げた。

宇宙スタートアップ企業の Spaceit は衛星運用と宇宙サイバーセキュリティソリューションのためのエンドツーエンドのインフラストラクチャを提供する企業であり、ESA との共同サイバーセキュリティ衛星シミュレーター契約を締結し、Icebreaker.vc から 100 万ユーロの資金を調達した。2022 年 8 月、ESA 向けの新しい Cyber-Security Operations Center (C-SOC) の開発のため Rhea System と提携した。他の宇宙ベンチャーでは UPCatalyst が火星での酸素生産を研究開発している。

24. カザフスタン

(1)宇宙産業

ソ連／ロシア最大のロケット発射場 Baikonur 宇宙基地を抱えるカザフスタンは、ソ連崩壊後の'91 年に独立したものの、Baikonur 宇宙基地はロシアとの協定により年間使用料$ 115M で 2050 年までロシアにリースしており、基地内の司法権と統括権もロシア側にある。教育科学省の宇宙委員会が定めた宇宙政策の下でカザフスタン宇宙局(Kazcosmos)がロシアと協力して宇宙活動を進めている。また、ロシアとの共同プロジェクト Baiterek Rocket and Space Complex において、ロシアで開発される新型の Soyuz 5 が Baiterek か

ら打上げられる契約を交わした。カザフスタンは$233M、ロシアは$916M を投資し、2020 年 1 月から改修作業を開始し 2023 年末までに完了予定である。

2012 年に発行された Kazakhstan 2050 Strategy では、本格的な宇宙産業の創出が掲げられている。2017 年には、カザフスタン政府とベラルーシ政府が、平和目的のための宇宙探査および宇宙利用の分野において協力協定に調印した。2020 年、カザフスタン当局は、独自の国家宇宙および衛星設計局の設立と、国内の衛星製造、組立、統合、およびテスト施設を設立し、宇宙産業基盤の整備を開始したとしている。

[有人飛行・宇宙往還機]

ソ連時代の'91 年にテストパイロット出身のトクタル・アウバキロフがソユーズ TM-13 で 8 日間を宇宙で過ごした。宇宙飛行士の資格を持たずに宇宙へ行った初めてのソビエト連邦市民となった。2015 年にカザフスタン史上 24 年ぶりの宇宙飛行は、カザフスタン宇宙局のアイディン・アイムベトフ宇宙飛行士で国際宇宙テーションに 8 日間の短期滞在を行った。

[通信・放送衛星]

カザフスタンでは石油やウランなど地下資源に恵まれ順調な経済成長が続き、近年は独自の宇宙開発の発展に力を入れており、衛星通信分野の発展に主眼がおかれている。2004 年にカザフスタン共和国宇宙通信センターがアッコル市に開設され、2006 年にカザフスタン最初の衛星 KazSat-1 が打上げられた。KazSat-1 は、全国土から近隣の中央アジアの国々、コーカサス地方、モルドバの東南部、ウクライナ、モスクワへ最新の通信サービスを提供する衛星であり、設計寿命は 10 年であったが 2008 年に通信が途絶した。2011 年に後継機である通信・放送衛星 KazSat-2 を打上げた。KazSat-2 は Ku 帯トランスポンダを 16 基と予備 4 基搭載し、カザフスタン、中央アジア、ロシア中央地域への通信・放送サービスを提供し、設計寿命は 12 年である。

2014 年には KazSat-を打上げた。28 基の Ku 帯トランスポンダを搭載し、カザフスタン、中央アジア、ロシア中央地域への各種通信サービスを提供している。2017 年には、通信技術実証衛星 Al-Farabi 1 を打上げた。

2020 年、OneWeb がブロードバンド接続の加速を目的に、カザフスタンおよび中央アジア最大の金融ハブ Astana International Financial Center (AIFC)と覚書を交わした。同社のデジタルカザフスタン・プロジェクトは 2022 年までに全土に高速ブロードバンドを提供するものである。2021 年に共和国宇宙通信センター(RCSC)と SES が O3b mPOWER 通信システムを使用して、衛星対応の高速接続サービスのサービス契約を調査する覚書(MoU)に署名した。

[気象・地球観測衛星]

2014 年に通信衛星の KazSat-3、KazEOSat-2 (Airbus Defence and Space)、KazEOSat-1 (SSTL 製)はコンステレーション運用を行なっている。いずれの衛星も高分解能光学イメージャを搭載しており、資源監視、資源管理、土地利用図作成、環境監視に役立てられている。

2018 年には、地球観測ミッションの小型衛星 KazSTSAT と技術実証衛星の KazSciSat-1 を打上げた。KazSTSAT はカザフスタンの Ghalam LLP および英国 SSTL が共同開発した衛星である。KazSciSat-1 は Almaty 宇宙技術研究所が開発した地球磁場の測定が目的の 3U の超小型衛星である。

25. ラトビア

(1)宇宙産業

'91 年にソ連から独立するまで、ラトビアはソ連の一部であったことから、ソ連の下で古くから宇宙開発を行っており、機器製造や材料開発の分野において実績を有する。例えば、ソ連が開発した宇宙往還機であるスペースシャトル Buran には、ラトビアが開発した耐熱材が使用されていた。ソ連崩壊後は EU に加盟し、2009 年には ESA との協力調定を結んでいる。2023 年の ESA への拠出額は約€ 1.1M であった。

2022 年から HORIZON EUROPE プログラムで GEO、MEO、深宇宙ミッション用電気推進ユニット開発を行う DEEP PPU コンソーシアムが開始され、ラトビア企業の SME-SIA WIT Berry が参画している。また、2022 年初頭に航空宇宙向けのアナログ集積回路 (IC)の設計と製造する国内企業の RD ALFA Microelectronics が集積回路部品で ESA ミッションへの適用資格を得ている。

第 3 節　アジア・オセアニア

1. インド

(1)航空機産業

インドでは、'40 年 Walchand Hirachand によって Hindustan Aircraft Limited が設立され、'42 年に同社は国有化された。'64 年に、政府の兵器の国産化推進策に基づき Hindustan Aircraft Limited with Aeronautics India Limited と Aircraft Manufacturing Depot, Kanpur を合併して国営 Hindustan Aeronautics Limited (HAL) を設立した。英国の Gnat 練習機や HS748、MiG21、Aerospatiale SA315、SA316 ヘリコプターのライセンス生産や、Gnat を改造した Ajeet 軽攻撃機、Ajeet 改造双発練習機、自主開発の Kiran 練習機、HPT-32 初等練習機、HTT-34 ターボプロップ練習機などを開発・生産してきた。その後、HTT-38 初等練習/多用途機、HJT-36 ジェット中等練習/攻撃機、LCA 全天候型次世代軽戦闘機、ALH 次世代軽ヘリコプターの自主開発に取り組んでいる。

a. HAL (Hindustan Aeronautics Limited)

'40 年設立、'42 年よりインド国営会社となったインド最大の航空機製造会社である。本社はバンガロールにあり Design and Development Complex、Bangalore Complex、MiG Complex、Transport Aircraft Division、Accessories Complex の主要 5 事業所、インドの 7 地区に 13 工場を持つ。

2005 年にインド政府が HAL と仏 Safran とで民間機用エンジンの精密部品を製造する合弁会社設立を認可し、同年に HAL はロシア NPO Saturn AL-55 エンジンのライセンス生産についても合意した。2006 年には Bell Helicopter と胴体のサブアッセンブリーなどに関する覚書の調印を行い、さらに 2010 年にロシアの PAK FA(ステルス戦闘機 Su-57 の試作機)を基にした第 5 世代戦闘機 FAFG の共同開発に関し Sukhoi と合意した。

(a) Design and Development Complex

Design and Development Complex は製造部門と切り離されており、インドの自主開発機を手掛けてきた。現在は攻撃機 LCH (Light Combat Helicopter)を開発し、2021 年 11 月に初号機が納入された。

HAL Dhruv (ALH: Advanced Light Helicopter)は '84 年多用途ヘリとして独 MBB(現 ADS)の技術協力を得て開発を開始、'92 年に Turbomeca(現 Safran) TM333-2B エンジン搭載の試作 1 号機が初飛行に成功し、'95 年

にはLHTEC CTS800エンジン搭載の海軍型が初飛行した。

(b) Bangalore Complex

Bangalore Complexでは英仏共同のJaguar戦闘機、Cheetah(SA315B Lama)、Chetak(SA316B Alouette III)、HAL Dhruv (ALH)ヘリコプター、Dornier Do228のライセンス生産を行っていった。Do228はインドの地方路線用国内輸送と軍用の要求を満たすための機材としてライセンス生産された。

海外メーカーの下請け作業としては、オフセットを主体にJaguar、Do228の脚、F/A-18やCH-46の一部小部品、P-8Iのウェアポンベイドアと尾胴、A320の前方乗降扉、B777のアップロックボックス組立などを製造している。

(c) MiG Complex

MiG ComplexではMiG-27Mをライセンス生産した。またSu-30Mk Iをライセンス生産している。

HALは、1980年代から米国の協力を得て、Mig-21の代替として第4世代戦闘機テジャスを開発した。2001年に初飛行し、試作機、初期型にはGE Aerospace F404エンジンが採用され、次期型機には、インドでGE Aerospaceと共同製造するF414が搭載される予定である。2023年10月テジャスの練習機バージョンが空軍に納入された。

b. ADA (Aeronautical Development Agency: 航空開発庁)

インド空軍のMiG-21及びAjeetを代替する制空戦闘／軽攻撃機として単発エンジンのLight Combat Aircraft (LCA)をインド独自で開発することを目指し、'87年からADAで研究が開始された。その後、仏Dassaultが設計・製作に協力することになり、実用化に向けてHALにおいて設計開発が進められた。BAE Systemsは、米禁輸政策により中断していたフライト・コントロール・コンポーネントを2002年末に再開した。

c. NAL (National Aerospace Laboratories)

NALは単独でインドの国家プロジェクトとしてSarasの開発続行を決定した。Sarasは14席のプッシャー式双発ターボプロップ機でHALが製作した試作機が2004年に初飛行した。2005年になって、従来までのエンジンより15％パワーアップされたPT6A-67へ換装したことにより、多少大型の19席Saras-S型計画も発表した。試作機の重量超過や墜落事故があり開発を中断していたが、2018年にはアビオニクス、レーダー、フラップアクチュエータ、操縦システムなどをアップグレードした機体の飛行が再開された。

d. Dynamatic Technologies

自動車、航空宇宙、油圧機器等の部品製造メーカーであるDynamatic Technologiesの航空機部門Dynamatic-Oldland Aerospaceは、インドのバンガロールを拠点とし、2010年からTier 2サプライヤーとしてA320のフラップ・トラック・ビーム部品を単独で製造しているが、2014年にはA330のフラップ・トラック・ビームの単独供給サプライヤーに認定されAirbusのTier 1サプライヤーとなった。Dynamatic-Oldland Aerospaceは、インドの無人標的機LAKSHYAの主翼と後胴、中等ジェット練習機HJT-36の補助翼とフラップ、Su-30戦闘爆撃機の主要な構造部品、CH-47の後方パイロン組立とランプ扉組立などを製造している。また、2014年にはBell 407GXとBell 407GTヘリコプターの主要構造の単独サプライヤーの契約を締結している。

e. International Aerospace Manufacturing (IAMPL)

IAMPLは、英Rolls-RoyceとHAL(Hindustan Aeronautics Limited)が50:50で出資したRolls-Royceエンジンの部品製造合弁会社で、2010年に設立に合意し、2013年には生産ラインが稼働した。工場はバンガロールにあり、Trentファミリー、RB211、V2500などのシュラウド、コーン、コンプレッサーリングやタービンブレード、ノズルガイドベーンなど120種類以上の部品製造を行っている。

f. Tata Group

インド最大財閥であるTata Groupの航空宇宙部門には、Tata Advanced Systems(TASL)、Tata Advanced Materials(TAML)、TAL Manufacturing Solutionsがある。

(a) TASL(Tata Advanced Systems)

ミサイルシステムやレーダーシステム、無人航空機などを得意分野としている。機体関連では、2009年からS-92ヘリコプターの客室構造部位の製造を行い、米国Lockheed Martinとの合弁事業で、C-130Jの中央翼、尾翼部分を出荷している。インド国内でのF-16 Block 70の生産はLockheed MartinとTASLが共同で行う契約をした。

(b) TAML(Tata Advanced Materials)

'89年の設立の複合材部品製造会社で、2007年から航空宇宙分野へ進出した。A320(エルロン構成部品)やA350(前縁構成部品の一部)、A400Mなど Airbus向けの Spirit AeroSystems UK、GKN Aerospace、CTRM社経由の出荷がある。Boeing向けは、CH-47(後方パイロンやランプ扉の構成部品など)、P-8(尾胴、APUドアフェアリング Assy、内装パネル)とB787(主翼構成部品の一部)は、Boeingとの直接契約である。また、Trentエンジンの部品をFACC経由で納めているほか、国産練習機Tejasの垂直尾翼や方向舵、中胴、主脚扉も手掛けている。

(c) TAL(Tata Manufacturing Solutions)

工作機械や製造設備部門を母体として、2000年にTata Motorsが100%出資して設立し、航空宇宙部品、ロボテクスと製造設備のオートメーションを主に事業展開している。航空宇宙部門では、B787-9,-10のフロアビーム、A320の胴体部品の一部の製造を行っている。

(2) 宇宙産業

宇宙開発は宇宙省及び宇宙委員会の計画に従い、インド宇宙研究機関(ISRO: Indian Space Research Organization)、国立リモートセンシング機関、物理研究所が実務を行う。インドは最新型衛星やロケットの開発、建造を独力で進めてきた。衛星では通信と地球観測に力を入れている。2021年に10年間の宇宙計画が発表された。ISROによると、重量物ロケット、高度なグリーンおよび電気推進力、再利用型宇宙往還機、高度な宇宙科学ミッションの開発となっている。2021年に政府は宇宙および衛星企業の主要な業界団体である Indian Space Association (ISpA)を設立した。これは国家事業であった宇宙開発を民間にも開放し、国内宇宙産業の加速的な発展を促す目的である。ISpAに参加する企業はBharti AirtelのOneWeb、Tata Groupの Nelcom、L&T、MapMyIndia、Walchandnagar Industries、Alpha Design Technologies、Godrej、Hughes India、Ananth Technology Limited、Azista-BST Aerospace Private Limited、BEL、Centum Electronics、Maxar Indiaなどである。'92年にISROの100%子会社のAntrix(現Ananth Technologies)が設立され、衛星製造、打上げサービス、地球観測、通信、コンサルティング等を含む商業宇宙サービスを展

開している。同社は2020年、バンガロールに50kgから250kgの衛星製造施設を開設した。スウェーデンとフランスなどから計6機を受注している。

2020 年、ISRO は民間投資を奨励する新宇宙政策ポリシー「Spacecom Policy-2020 and Spacecom NGP-2020」を発表した。ポリシー前文では「インドは適切な監視および管理措置／メカニズムを通じて国家安全保障と主権を確保するために、宇宙能力を増強する必要がある」とし、民間が宇宙ベースの通信システムへ投資できるための枠組みや規制を定めた内容である。2022年、インドの民間企業のAnanth Technologies、DCube、Skyroot Aerospace、QL Spaceがオーストラリアの企業と計6つMoUを締結し、Geo Climate Risk Solutions Pvt. Ltd. (GCRS)が日本のSynspectiveと鉱業領域でのパートナーシップを締結した。

[宇宙輸送分野]

インドは'80年に国産ロケットSLV(Satellite Launch Vehicle) -3によって35kgの科学衛星Rohini (RS-1)を打上げ、衛星打上げ手段を持つ国となった。'92 年に ASLV (Augumented SLV)の初飛行、'94 年に PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle)で衛星打上げに成功し、2003 年に 2.5 トン級の静止衛星打上げ用の GSLV (Geosynchronous Satellite Launch Vehicle)を実用化した。しかし、その後に数回失敗を繰り返している。インドは世界で最も安い費用による打上げサービスを実現させている。2019 年は 5 回の打上げを実施し、PSLV-QL ではEMISATと小型衛星28機を異なる3つの軌道に投入した。PSLVロケット生産の80％は民間企業によって行われている。2023年4月22日のPSLV-CAC55および7月30日に打上げたPSLV-CAC56はシンガポール軍用 SAR 衛星 DS-SAR を含むシンガポールへの宇宙輸送サービスである。インドのロケット打上げ施設はISROが運営するサティシュ・ダワン宇宙センター(Satish Dhawan)で州都チェンナイ北方60kmのシュリーハリコータ(Sriharikota)に位置している。

静止トランスファ軌道に 4 トン級の打上げ能力を有する GSLV Mk-III(または LVM3)は、2010 年ロケットモータの燃焼試験に成功し、2014年に弾道飛行に成功した。GSLV Mk-IIIは、補助ブースターに2基の固体ロケット、1 段に非対称ジメチル・ヒドラジンとヒドラジンを混ぜた燃料／液体酸素の液体エンジン、2段に液体水素／液体酸素の液体エンジンを使用したロケットであり、H-IIAの標準型やSpaceXのFalcon 9とほぼ同等の性能を有し、価格はFalcon 9を下回る。2017年に通信衛星GSAT-19を搭載したGSLV Mk-IIIの打上げに初成功し、2019年には、月探査を目的としたChandrayaan 2を搭載したGSLV Mk-IIIを打上げた。(表2-3-1及び表2-3-2を参照)

2021 年に民間資金の新興企業である BellatrixAerospace に推進研究所を開設し、国の液体推進システムセンター(LPSC)は静止トランスファ軌道(GTO)に約 5.5 トンを投入できるエンジンの開発を進めている。2022 年 9 月に Hindustan Aeronautics-L&T コンソーシアムは宇宙省直轄の公共事業体である NewSpace India Limited (NSIL)と 5 基の PSLV 製造契約を結び 2 年後以降のロケット納入となる。NewSpace India Limited (NSIL)はGSLV MkIIIによるインドの商業ミッションとして、2022年10月と2023年3月26日にそれぞれOneWebの通信衛星36機を打上げた。また、固体燃料ロケットのVikram-Iを開発中で2022年9月にグローバルファンドから5,100万米ドルを調達したSkyroot Aerospace社はオーストラリアのHEX20社と提携し、オーストラリアに打上げサービスの提供や宇宙船アビオニクス、およびコンポーネントを供給するMoUを締結した。

ISROは最大500 kgの衛星を軌道に投入できる小型衛星打上げロケットSSLVを開発した。ロケットは

3段まで固体燃料、4段が液体燃料エンジンという構成である。2022年に初号機SSLV-D1に135kgの地球観測衛星EOS-02を搭載して打上げたが、2段分離中の故障により予定高度の軌道投入には失敗した。2023年2月10日に2号機SSLV-D2打上げに成功し、173kgの地球観測衛星EOS-07を高度450kmの軌道に投入した。

表 2-3-1 PSLV 打上げ一覧 (1/2)

No.	ｼﾘｱﾙ	形式	打上日	ペイロード	結果	備考
1	D1	PSLV-G	1993/9/20	IRS 1E	失敗	実証飛行
2	D2	PSLV-G	1994/10/15	IRE P2	成功	
3	D3	PSLV-G	1996/3/21	IRS P3	成功	
4	C1	PSLV-G	1997/9/29	IRS 1D	失敗	部分的失敗
5	C2	PSLV-G	1999/5/26	Oceansat (ORS-P4), KITSAT-3, DLR-TUBSAT	成功	初商業飛行
6	C3	PSLV-G	2001/10/22	TES, PROBA, BIRD	成功	
7	C4	PSLV-G	2002/9/12	Kalpana-1	成功	
8	C5	PSLV-G	2003/10/17	ResourceSat-1	成功	
9	C6	PSLV-G	2005/5/5	CartoSat-1, MAMSAT	成功	
10	C7	PSLV-G	2007/1/10	CartoSat-2, SRE-1, LAPAN - TUBSAT, Pehuensat-1	成功	
11	C8	PSLV-CA	2007/4/23	AGILE, AAM	成功	
12	C10	PSLV-CA	2008/1/21	TECSAR	成功	
13	C9	PSLV-CA	2008/4/28	Cartosat-2A, IMS-1, Cute 1.7 + APD-2, Seeds-2, CanX-2, CanX-6, Delfi-C3, AAUSAT I-I, Compass-1, Rubin-8	成功	
14	C11	PSLV-XL	2008/10/22	Chandrayaan-1	成功	
15	C12	PSLV-CA	2009/4/20	RISAT-2, ANUSAT	成功	
16	C14	PSLV-CA	2009/9/23	Oceansat-2, UWE2, Swoss Cube-1, BeeSAt-1, ITU-pSat-1, Rubin-9,	成功	
17	C15	PSLV-CA	2010/7/12	Cartosat-2B, AlSat-2A, AISSat-1, STUDSAT, TIsat-1	成功	
18	C16	PSLV-G	2011/4/20	Resourcesat-2, Youthsat, X-Sat	成功	
19	C17	PSLV-XL	2011/7/15	GSAT-12	成功	
20	C18	PSLV-CA	2011/10/12	Megha-Tropiques, Sessel Sat-1, SRMSAT, Jugnu	成功	
21	C19	PSLV-XL	2012/4/26	RISAT-1	成功	
22	C21	PSLV-CA	2012/9/9	SPOT-6, PROITERES	成功	初の完全商用打上げ
23	C20	PSLV-CA	2013/2/25	SARAL, Sapphire, NEOSSat, BRITE, UniBRITE, TRaND-1, AAUSAT-3	成功	
24	C22	PSLV-XL	2013/7/1	IRNSS-1A	成功	
25	C25	PSLV-XL	2013/11/5	Mangalyaan	成功	
26	C24	PSLV-XL	2014/4/4	IRNSS-1B	成功	
27	C23	PSLV-CA	2014/6/30	SPOT-7, CanX-4, CanX-5, AISat-1, VELOX 1-NSAT, VELOX 1-PSAT	成功	
28	C26	PSLV-XL	2014/10/16	IRNSS-1C	成功	
29	C27	PSLV-XL	2015/3/28	IRNSS-1D	成功	
30	C28	PSLV-XL	2015/7/10	DMC3-1, DMC3-2, DMC3-3, CBNT 1 (Carbonite 1), DeorbitSail	成功	
31	C30	PSLV-XL	2015/9/28	ASTROSAT, LAPAN A2, NSL-14, Lemur-2 Joel, Lemur-2 Peter, Lemur-2 Jeroen, Lemur-2 Chris	成功	
32	C29	PSLV-CA	2015/12/16	TeLEOS 1, VELOX C1, Kent Ridge 1 (KR 1), VELOX 2, Athenoxat 1, Galassia	成功	
33	C31	PSLV-XL	2016/1/20	IRNSS 1E	成功	
34	C32	PSLV-XL	2016/3/10	IRNSS 1F	成功	

表 2-3-1 PSLV 打上げ一覧(2/2)

No.	ｼﾘｱﾙ	形式	打上日	ペイロード	結果	備考
35	C33	PSLV-XL	2016/4/28	IRNSS 1G	成功	
36	C34	PSLV-XL	2016/6/22	Cartosat 2C, Sathyabamasat, Swayam	成功	
37	C35	PSLV	2016/9/26	PISat, Pratham, SCATSAT	成功	
38	C36	PSLV-XL	2016/12/7	Resourcesat-2A	成功	
39	C37	PSLV-XL	2017/2/15	Cartosat 2D, INS 1A/1B, Flock-3p 1～88, Lemur-2 22～29, BGUSat, DIDO 2, PEASSS, Al-Farabi 1, Nayif 1	成功	
40	C38	PSLV-XL	2017/6/23	Cartosat 2E, NIUSAT, CE-SAT 1, CICERO 6, Max Valier Sat, Venta 1, Lemur-2 34～41, Blue Diamond, Red Diamond, COMPASS 2, InflateSail, LituanicaSAT 2, URSA MAIOR, NUDTSat, Pegasus, UCLSat, VZLUsat 1, D-Sat, PACSISAT, Aalto1, SUCHAI, skCUBE	成功	
41	C39	PSLV-XL	2017/8/31	IRNSS 1H	失敗	
42	C40	PSLV-XL	2018/1/12	Cartosat 2F, 他 30 機	成功	
43	C41	PSLV-XL	2018/4/11	IRNSS-1I	成功	
44	C42	PSLV	2018/9/16	NovaSAR, S1-4	成功	
45	C43	PSLV	2018/11/29	HysIS, 他 30 機	成功	
46	C44	PSLV-DL	2019/1/24	Microsat-R, Kalamsat	成功	
47	C45	PSLV-QL	2019/4/1	EMISAT, 超小型衛星 28 機	成功	
48	C46	PSLV-CA	2019/5/22	Risat-2B	成功	
49	C47	PSLV-XL	2019/11/27	Carotsat-3	成功	
50	C48	PSLV-QL	2019/12/11	Risat-2BR1	成功	
51	C49	PSLV	2020/11/7	EOS-1. 他 9 機	成功	
52	C50	PSLV-XL	2020/11/17	GSAT-12R	成功	
53	C51	PSLV	2021/2/28	Amazonia-1, 他 18 機	成功	
54	C52	PSLV-XL	2022/2/14	EOS-04, 他 2 機	成功	
55	C53	PSLV-CA	2022/6/30	DS-EO, NeuSAR, Scoob-1	成功	
56	C54	PSLV-CA	2022/11/26	EOS-06, Astrocast,他 4 機	成功	
57	C55	PSLV-CA	2023/4/22	TeLEOS-2、CubeSat1 機	成功	
58	C56	PSLV-CA	2023/7/30	DS-SAR、CubeSat 6 機	成功	
59	C57	PSLV-XL	2023/9/2	Aditya-L1	成功	
60	C58	PSLV-DL	2023/12/25	XPoSat	成功	

表 2-3-2　GSLV 打上げ一覧

No.	ｼﾘｱﾙ	形式	打上日	ペイロード	結果	備考
1	D1	GSLV Mk-II	2001/4/18	GSAT-1	失敗	
2	D2	GSLV Mk-II	2003/5/8	GSAT-2	成功	
3	F01	GSLV Mk-II	2004/9/20	GSAT-3 (EduSat)	成功	
4	F02	GSLV Mk-II	2006/7/10	Insat 4C	失敗	
5	F04	GSLV Mk-II	2007/9/2	Insat 4CR	失敗	部分的失敗
6	D3	GSLV Mk-II	2010/4/15	GSAT-4 (HealthSat)	失敗	
7	F06	GSLV Mk-II	2010/12/25	GSAT-5P	失敗	
8	D5	GSLV Mk-II	2014/1/5	GSAT-14	成功	
9	D6	GSLV Mk-II	2015/8/27	GSAT-6	成功	
10	F05	GSLV Mk-II	2016/9/8	Insat 3DR	成功	
11	F09	GSLV	2017/5/5	GSAT-9	成功	
12	D1	GSLV Mk-III	2017/6/5	GSAT-19	成功	
13	F08	GSLV	2018/3/29	GSAT-6A	成功	
14	D2	GSLV Mk-III	2018/11/14	GSAT-29	成功	
15	F11	GSLV	2018/12/9	GSAT-7A	成功	
16	M1	GSLV Mk-III	2019/7/22	Chandrayaan-2	成功	月着陸機打上げ
17	F10	GSLV	2021/8/12	EOS-03	失敗	
18	M2	GSLV Mk-III	2022/10/22	OneWeb 36 機	成功	
19	M3	GSLV Mk-III	2023/3/26	OneWeb 36 機	成功	LVM3
20	F12	GSLV Mk-II	2023/5/29	NVS-01 (IRNSS-1J)	成功	
21	M4	GSLV Mk-III	2023/7/14	Chandrayaan-3 Vikram	成功	LVM4

[有人飛行・宇宙往還機]

ISRO は独自の有人宇宙飛行を計画している。この計画では 2025 年に 3 人の宇宙飛行士を乗せた宇宙船を打上げ、宇宙で 7 日間滞在し、地球に帰還するとしている。

2014 年には GSLV Mk-III に、有人宇宙船の試作機である CARE (Crew Module Atmospheric Re-entry Experiment)を搭載し、CARE の再突入とパラシュート展開などの試験を実施した。2018 年には、打上げ脱出システムである Crew Escape System の試験を行い、緊急時の乗組員の安全確保を実証した。

ロシアは、2020 年からガガーリン宇宙訓練センターでインド宇宙飛行士 4 名の訓練を開始したこと、インドの有人宇宙船 Gaganyaan にロシアの生命維持装置や温度装置の搭載可能性について評価中であると公表した。また、フランス国立宇宙研究センター(CNES)では、Gaganyaan プログラムにおいてインドの飛行医のトレーニングを実施中である。Gaganyaan は、直径約 3 m×3.4 m の宇宙船で 3 人の乗組員を宇宙に 5～7 日間滞在させる設計となっている。2023 年 10 月 17 日に有人モジュールの緊急脱出システム試験飛行プログラム「TV-D1」を実施し、2024 年の有人飛行に向け準備を進めており、早ければ 2024 年末頃に有人飛行するとしている。ISRO は 2035 年までに宇宙ステーション「Bharatiya Antariksha Station」を建設し、2040 年までに月面に宇宙飛行士を送る計画を発表した。

[通信・気象衛星]

インドは INSAT (Indian National Satellite System)という多目的静止衛星で通信、放送、気象、捜索救難のミッションを担っている。1 号機は 1982 年に打上げている。シリーズの中には気象専門の KALPANA や 2001 年から通信専用で軍民デュアルユースの GSAT シリーズも打上げている。GSAT は 2020 年から CMS

に改称され、2022 年 6 月に Ariane 5 ECA で CMS-2 (GSAT-24)が打上げられた。この一連の INSAT は失敗を含め計 44 機を打上げ、現在 22 機が運用されている。民間企業の通信衛星は無い。(表 2-3-3 を参照)

表 2-3-3 インドの通信衛星

衛星	打上日	打上重量	打上機	備考
INSAT-1A	1982/4/10		Delta	運用終了
INSAT-1B	1983/8/30		Shuttle (PAM-D)	運用終了
INSAT-1C	1988/7/22		Ariane-3	運用終了
INSAT-1D	1990/6/12		Delta 4925	運用終了
INSAT-2A	1992/7/10	1906kg	Ariane-44L	
INSAT-2B	1993/7/23	1906kg	Ariane-44L	
INSAT-2C	1995/12/7	2106kg	Ariane-44L	
INSAT-2D	1997/6/4	2079kg	Ariane-44L	
INSAT-2DT	1992/2/26	Nearly 600kg	Ariane-44L	Arabsat 1C から改名
INSAT-2E	1999/4/3	2550kg	Ariane-42P	
INSAT-3B	2000/3/22	2070kg	Ariane-5G	
GSAT-1	2001/4/18	1530kg	GSLV-D1	部分的失敗
INSAT-3C	2002/1/24	2650kg	Ariane-5	
KAPLANE-1	2002/9/12	1060kg	PSLV-C4	
INSAT-3A	2003/4/10	2950kg	Ariane-5	
GSAT-2	2003/5/8	1800kg	GSLV-D2	
INSAT-3E	2003/9/28	2775kg	Ariane-5	
GSAT-3(EDUSAT)	2004/9/20	1950.5kg	GSLV-F01	
HAMSAT	2005/5/5	42.5kg	PSLV-C6	
INSAT-4A	2005/12/22	3081kg	Ariane-5	運用終了
INSAT-4C	2006/7/10		GSLV-F02	打上失敗
INSAT-4B	2007/3/12	3025kg	Ariane-5	
INSAT-4CR	2007/9/2	2130kg	GSLV-F04	
GSAT-4(HealthSat)	2010/4/15	2220kg	GSLV-D3	打上失敗
GSAT-5P	2010/12/25	2310kg	GSLV-F06	打上失敗
GSAT-8	2011/5/21	3093kg	Ariane-5	
GSAT-12	2011/7/15	1410kg	PSLV-C17	
GSAT-10	2012/9/29	3400kg	Ariane-5	
GSAT-7	2013/8/30	2650kg	Ariane-5	
GSAT-14	2014/1/5	1982kg	GSLV-D5	
GSAT-16	2014/12/7	3181.6kg	Ariane-5	
GSAT-6	2015/8/27	2117kg	GSLV-D6	
GSAT-15	2015/11/11	3164kg	Ariane-5	
GSAT-18	2016/10/6	3404kg	Ariane-5	
GSAT-9	2017/5/5	2230kg	GSLV-F9	
GSAT-19	2017/6/5	3136kg	GSLV Mk-III	
GSAT-17	2017/6/29	3477kg	Ariane-5	
GSAT-6A	2018/3/29	2117kg	GSLV-F08	衛星と通信途絶
GSAT-29	2018/11/14	3423kg	GSLV Mk-III	
GSAT-11	2018/12/5	5854kg	Ariane-5	
GSAT-30	2020/1/17	3357kg	Ariane-5	INSAT-4A 交代
GSAT-12R	2020/12/17	1450kg	PSLV-XL	GSAT-12 交代
GSAT-24	2022/6/22	4181kg	Ariane 5 ECA+	

[地球観測衛星]

インド国産のリモートセンシング衛星は 1988 年打上げの IRS-1A から始まっており、Indian Remote Sensing Satellite のプログラムのもと、2022 年 11 月の EOS-06 衛星まで 35 機が打上げられ 15 機が稼働している。2001 年時点で地上分解能 1 m(高度 500 km)の技術を持っている。このプログラム下の衛星は光学衛星だけでなく C バンド SAR 衛星やビデオ撮影衛星なども存在し、衛星も 10 種類ほどになる。

この IRS Satellite プログラム Cartosat は都市開発、資源管理、災害評価用途の光学衛星である。2019 年に打上げた Cartosat-3 は観測幅 16 km で分解能 0.25 m の性能に達している。ResourceSat はハイパースペクトル衛星で ResourceSat-1、1A、2 と 2016 年の ResourceSat-2A のまで 4 機が打上げられている。

RISAT は SAR 衛星シリーズで C、L、X バンドの各種が開発されている。2019 年、2020 年に打上げた RISAT-2BR1 と RISAT-2BR2 (EOS-1)は X バンド SAR 衛星で直径 3.6 m のパラボラアンテナを使用した 610 kg の衛星である。超高解像度イメージング モードで 0.5×0.3 m の分解能を持っている。2021 年に打上げられた GISAT-1 (EOS-3)はロケットの不具合により失敗したが、GISAT は Geo Imaging Satellite という新しいシリーズの衛星であり、準リアルタイム・モニタリング機能を備えた静止軌道衛星である。今後、地上分解能 42～318 m のマルチスペクトルおよびハイパースペクトル衛星 GISAT-2 (EOS-5)が打上げられる計画である。なお、2020 年から命名則が変更されて EOS (Earth Observation Satellite)となっており、例えば EOS-3 (GISAT-1)は光学、EOS-4 (RISAT-1A)は C バンド SAR 衛星というように衛星機能やミッションに係わらず政府の地球観測衛星は EOS-連番で統一されている。2022 年はインドの民間企業でも 2 機の地球観測衛星を打上げた。ハイパースペクトル衛星を手掛ける Pixxel 社でインドと米国に拠点を置いている。2023 年 2 月 10 日に Microsat-TD 衛星バスにミリ波湿度サウンダーとスペクトル監視ペイロードの実証技術ミッションペイロードを搭載した EOS-07 を新型ロケットの SSLV-D2 で打上げている。

2022 年 4 月 1 日に Falcon 9 で打上げた 15 kg の 6U CubeSat の技術実証衛星 Pixxel TD-2 Shakuntala で地上分解能 10 m のハイパースペクトル衛星と 2022 年 11 月 26 日に PSLV-CA で打上げた Pixxel TD-1 (Anand)がある。Pixxel 社は 2020 年代に 30 機の衛星コンステレーションを構築する計画で、プロトタイプの最初の 2 機である。この Pixxel 社に対し米国の Accenture は戦略投資をおこなった。

[科学衛星／月・惑星探査機]

インド初の月探査衛星 Chandrayaan-1(525kg)を 2008 年に打上げて、2009 年に通信が途絶されるまで観測を実施した。2007 年にロシア宇宙庁と Chandrayaan-2 の協力に係る合意文書に調印し、2019 年に 2 度目の月探査機 Chandrayaan-2 を GSLV MkIII で打上げた。8 月に月周回軌道に投入したが、ローバーの月着陸には失敗した。月周回衛星は観測を継続中である。3 回目のミッションの Chandrayaan-3 は 2023 年 7 月 14 日に打上げ、8 月 23 日に月の南極付近にあるマンチヌス・クレーターの南東部に、世界で初めて着陸させた。月軟着陸を成功させた国として世界で 4 番目となった。着陸機(ランダー)「Vikram」と探査車(ローバー)「Pragyan」から構成されており想定どおり 14 日間のミッションを達成した。月の南極での冬(日陰)あけに、着陸船のシステム起動を試みたが再起動には失敗した。着陸までの飛行を担う推進モジュールはランダー・ローバーの運用後も月周回軌道から観測を継続し、将来のサンプルリターン計画を視野に入れた追加ミッションを実行した。11 月 10 日には月の重力圏を脱出、公転周期約 13 日・軌道傾斜角 27 度の地球周回軌道に移行して観測が続けられた。

2013年にインド初の火星探査衛星Mangalyaan打上げ、これに要した費用はRe 4.5B(約80億円)と極めて安価であった。2014 年に火星周回軌道投入に成功させアジアで初めて火星探査国となった。火星探査機ミッションではインド国内で120社以上が製造に関わった。

2015年にインド初の多波長宇宙観測衛星ASTROSATを打上げた。ASTROSATの特長は、可視光、紫外、高低エネルギーX 線など多波長のスペクトルを 1 つの衛星で同時に観測可能な点である。この特長を生かして、連星系、中性子星、ブラックホールなどのエネルギーや磁場の推定に用いられている。

[測位・航行衛星]

2006年インド初の測位衛星システムIRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)の開発が政府より承認され、作業を開始した。IRNSSは7機構成でインド全土をカバーするもので、インドの主要な国家戦略の1つである。2013年に最初の1機がIRNSS-1Aとして打上げられ、2016年には他国に依存しない測位衛星システム全7機の打上げが完了した。予備機としてIRNSS-1Hを2017年に打上げたが、失敗し欠番となり、2018年にIRNSS-1Iを打上げた。2023年5月29日にNVS-01 (IRNSS-1Jの命名則変更)を静止軌道に打上げた。

[技術実証衛星]

2016年には、プネー大学が通信実験用に1Uサイズの超小型衛星Swayamを打上げたほか、学生主導で開発した衛星Prathamや、PES大学のPISatも同年に打上げられている。2017年には、ISROの超小型衛星INS-1A, 1Bを打上げた。2019年、ISROのMini Satellite2バスを中心に開発された電磁スペクトル測定衛星EMISATを打上げた。

[国際協力]

インドはロシア、フランスなど約 20 ヵ国と宇宙協力に関する覚書を交わしている。UN-COPUOS、COSPAS-SARSAT、CEOSなど宇宙に関連する国際機関でも主要な役割を果たしている。2019年日本と初の協議が行われ、JAXA-ISRO 連携、宇宙産業、全地球的航法衛星システム、宇宙状況認識(SSA)や宇宙セキュリティなど二国間協力について議論された。2020年ISROとテキサス大学は「SSA分野における科学的協力」に関する覚書を締結した。2022 年に米国と宇宙状況認識協定を締結した。「自由で開かれたインド太平洋地域」戦略上の協力の1つである。2021年BRICS加盟国間でのリモートセンシング衛星データ共有における協力のための協定に署名した。これにより中国、ロシア、南アフリカ、ブラジルなどのBRICS諸国が指定した地球観測衛星から気候変動、大災害、環境保護の目的において衛星データを入手できるというものである。2021 年 9 月には衛星開発でブータンと実施協定を締結した。2023 年 6 月 21 日にインドはArtemis協定に署名し27番目のArtemis協定調印国になった。

2. インドネシア

(1)航空機産業

インドネシアは、北米大陸に匹敵する東西に長い国土を有する群島国家のため、航空輸送は公共交通機関及び経済開発に不可欠であり、航空機の国内供給力の整備を図るとともに、他工業への技術力波及、勤労者モラル・近代経営の確立、国威の発揚と併せて、航空機工業の育成に努めている。'76年に大統領令12号に基づく航空機工業育成政策が設定され、次いで'83 年には大統領令で設置された「戦略産業委員会」の

中で、航空機は鉄鋼・造船・通信・兵器など9つの分野の一つとして戦略産業に指定され、強力な政府支援の下で育成されている。

Boeing は、2012 年にインドネシア政府とインドネシアの民間航空の安全性、効率性、航空宇宙産業の発展に協力する覚書に署名し、インドネシアで予想される航空産業の発展をふまえて、同社が積極的に技術協力を行うことで合意した。

a. IAe (Indonesian Aerospace) (PT. Dirgantara Indonesia)

'76 年、Pertamina Advanced Technology and Aeronautical Division と Nurtanio Aircraft Industry など全ての航空機関連施設を統合して国営会社 PT Industri Pesawat Terbang Nurtanio がインドネシア航空機工業の振興を目的として創立され、2000 年、IPTN 設立 24 周年記念式典の席上、ワヒド・インドネシア大統領は社名を PT Dirgantara Indonesia (英語名：Indonesian Aerospace)に変更することを宣言した。本社はジャカルタ、工場はバンドンにある。

IAeは後述する4段階の航空工業自立戦略を定め、C-212のライセンス生産、CN-235の共同開発、N250の独自開発、N2130 ジェット旅客機の開発計画と着実に力を蓄えてきた。

(a) ライセンス生産 / 下請け

'76 年からスペイン CASA の 35 席近距離輸送機 C-212 (NC-212)と独 MBB の BO-105 ヘリコプター(NBO-105)のライセンス生産を開始した。2005 年になり、C-212-400 の生産ラインをスペインからインドネシアへ移す計画が出て、2006 年に EADS CASA と IAe が合意した。

さらに、'82 年には Bell Helicopter Textron と Bell 412 ヘリコプター(15 席)のライセンス生産(Nbell-412)で合意した。部品の下請けとしては、'86 年にインドネシア政府の F-16 戦闘機 12 機購入の見返りとして米国 General Dynamics より 22 機分の部品生産を受注し、'88 年から部品供給を開始した。'88 年には、オランダの Fokker と F-100 の部品生産のための契約を結び '89 年から生産していた。その他 B737、B757、B767、A330、A340 の部品も生産していた。

(b) 共同開発

'79 年から CASA と研究していた CN-235 (44 席)コミューター機の共同開発を公表し、その開発・生産の管理会社として合弁会社 Aircraft Technology Industries(本社マドリッド)を設立した。CN-235 は、スペインは機首、中央翼、内側フラップ、前脚、主脚の生産及び調達し、インドネシアは水平安定板、垂直尾翼、外翼、外側フラップ、エルロン、ドアを生産し、中胴と後胴は両社で夫々生産している。

(c) 独自開発

CN-235 共同開発に続くプロジェクトとして N-250 双発ターボプロップ機の開発計画が '89 年に公表され、本機は CN-235 をベースとしているが胴体、主翼とも新設計で、エンジンは RR の AE2100、フライ・バイ・ワイヤ・システムを搭載する初のターボプロップ機で、航続距離 800 海里(1,480km)、4,000 ft (1,220m)滑走路から離着陸出来る。

2014 年に Regio Aviasi Industri (RAI)は、80 席クラスの双発ターボプロップ機 Regioprop 80 (R80)を開発すると発表、2017 年には 155 機を受注し初飛行の目標を 2022 年としている。

(d) 研究開発

インドネシア国内運航用の 19 席ターボプロップ機 N-219 Nurtanio を、2010 年ごろから開発してお

り、Merpati Nusantara Airlines から 20 機を受注している。2017 年に初飛行し、現在、型式証明取得のための試験を行っている。

⑵ 宇宙産業

'63 年に設立された大統領直属の国立航空宇宙研究所(LAPAN)が地球観測プログラム関連を統轄しており、観測ロケットの打上げ、気象及びリモートセンシング用地上局の運用などを行っている。LAPAN の受信局はジャカルタとビアクにあり、NOAA などの観測データを受信している。中国が主導するアジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)の加盟国で、2006 年にはロシアと、2008 年にはウクライナと宇宙空間平和利用探査協力協定を締結するなど、宇宙利用に力を入れている。また、ビアク島の東海岸に宇宙港の建設を検討している。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

Telkom、Indosat、Pasifik Satelit Nusantara (PSN)、Media Citra Indostar (MCI)、Aces の 5 つの衛星運用企業から成るインドネシア衛星協会(ASSI)と、インドネシア情報通信協会(MASTEL)の 2 つの非政府系機関が、インドネシア国内の衛星通信において大きな役割を占めている。

通信放送分野では '75 年に米国 Hughes(現 Boeing)に発注した Palapa-A1, A2 を'76 年及び'77 年に打上げたのが最初である。約 13,000 の島嶼からなるインドネシアは衛星通信が適しており、Palapa-A シリーズがアジア初の国内商業通信衛星となった。Palapa A から Telkom 3 まで 17 機、セルラー用衛星の PSN シリーズなど 6 機、放送衛星の Indostar 1 および 2 の運用実績があり、次世代衛星の Nusantara シリーズを開発中である。

2018 年、通信衛星 Telkom 4 (Merah Putih)を打上げた。Telkom 4 は、インドネシア最大のプロバイダである PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk のネットワーク網に組み込まれ、インドネシアと南アジアおよび東南アジア地域に広域サービスを実施している。

2020 年、通信情報技術省は政府機関同士の接続を目的にしたブロードバンド衛星を運用する Pasifik Satelit Nusantara (PSN) team の通信衛星 Nusantara Dua (Palapa-N1)は 2020 年に長征 3B が軌道に到達せず失敗した。2023 年 7 月 18 日 Falcon 9 でオール電化の VHTS 通信衛星 SATRIA (TAS Spacebus-Neo-200 衛星バス)を打上げた。

2023 年 5 月 1 日に 16U CubeSat (米国 G-Space-1 衛星の相乗りインドネシア・ペイロード Nusantara-H1-A)を Falcon Heavy の相乗りで静止軌道に打上げた。この衛星は米国 Gravity Space 製で、いくつかの欧米の相乗りペイロードがあるが、インドネシアの機器は遅延した通信衛星用に予約された静止軌道スロットに対する Ka および Ku バンドの権利を保持する目的で打上げた。

[宇宙輸送分野]

LAPAN ロケット技術センターはベルリン工科大学(Technische Universität Berlin)の協力を得て RX-320 観測ロケットの開発を行っている。

[地球観測衛星]

LAPAN は 50 kg の地球観測マイクロサット LAPAN-Tubsat をベルリン工科大学(TUB: Technical University of Berlin)と共同開発し、2007 年に打上げた。Tubsat は、56kg、50cm 立方の衛星であり、6 m 分解能のカラーCCD を搭載している。2015 年には Tubsat をベースとした 70 kg 級の LAPAN A2 を打上げた。LAPAN

A2 は搭載する自動識別装置(AIS)によってインドネシア水域の船を識別し、視野は LAPAN-Tubsat の 3 倍となる。2016 年には LAPAN A3 を打上げた。LAPAN A3 はリモートセンシングに加え、地球規模の AIS による航行船舶の識別とアマチュア無線通信を用いた災害監視用として利用されている。

[軍事衛星]

インドネシアでは、17,000 以上の島々との通信網を獲得し、安全保障強化を目的とした軍事通信衛星 SatKomHan 1 を運用する計画がある。Sat-KomHan 1 は L バンド移動通信衛星で Airbus Defence and Space が担当予定である。

3. オーストラリア

⑴ 航空機産業

オーストラリアの航空機工業の主要メーカーは国有の Government Aircraft Factories (GAF)、Hawker de Havilland (HDH)、Commonwealth Aircraft Corporation (CAC)の 3 社であったが、'85 年、HDH と CAC は合併し HDH に一本化され、2009 年に Boeing Australia となった。また、GAF は'87 年に Aerospace Technologies of Australia (ASTA)と改称され、民営化された。GAF は Boeing のオーストラリアの部門になった後 2000 年に HDH に吸収された。

現在はオーストラリア空軍向けの BAe Hawk Mk127 戦闘練習機の組立及びその整備をする BAE Systems Australia、2000 年に Boeing に買収された Hawker de Havilland とその他に Brumby Aircraft Australia など 10 社近くのゼネラル・アビエーション機のメーカーがある。Hawker de Havilland は、2009 年に Boeing Aerostructure Australia に名称変更し、B737, 747, 767, 777, 787 及び Lockheed Martin、Bombardier 及び Airbus 向けの部品を下請生産していた。2015 年から、B787 プログラムの Tier 1 パートナーとして内側フラップとフラッペロン、外側フラップと補助翼の唯一のサプライヤーとなっている。その他、B737 の補助翼、B747 の可動前縁、B777 の昇降舵と方向舵など、主に Boeing 機種の舵面部品を生産している。

2009 年、オーストラリアは F-35 共同開発への参画を表明し、米国は 2014 年にアジア太平洋地域の整備拠点の一つとして、オーストラリアを選定した。2016 年には Tier1 修理企業として BAe Systems Australia 等の企業が選定された。

Boeing Australia と空軍が共同開発し、2021 年に初飛行して開発中の概念実証無人機 MQ-28A Ghost Bat (Loyal Wingman 計画)の製造組立工場をクイーズランド州のトゥーンバに建設する計画を 2021 年 Boeing は発表した。2023 年に米空軍が Combat Collaborative Aircraft プロジェクトとして、連携研究の予算を獲得した。

⑵ 宇宙産業

オーストラリアの民間宇宙活動は技術革新・産業・科学・研究省(DIISR)が担っていたが、2015 年の改組により産業イノベーション科学省(Department of Industry, Innovation and Science: DIIS)となった。2016 年には、宇宙活動法'98 のレビューが発表されている。

2017 年、オーストラリア政府により国家宇宙機関を設立することが発表され、2018 年に、オーストラリア宇宙庁(ASA: Australian Space Agency)が発足した。発足後はフランス、カナダ、イギリスの宇宙機関等と契約締結を実施し、国際協力に注力する一方、国内企業に対する宇宙事業への参入拡大を支援する法案の

可決など、国内の事業環境整備も推進している。

2019年、宇宙産業分野における緊密な国際パートナーシップを進めるため、UAE宇宙機関と覚書を締結した。さらに米国 Maxar Technologies との協力声明を発表するなど、官民ともに国際パートナーシップを進め、宇宙産業の能力と競争力強化を図っている。2020 年に NASA の Artemis 合意に署名している。2021 年は、インド宇宙研究機関と協力分野の特定を目指す覚書を取り交わし、英国とは両国の宇宙セクターにわたる接続、交換、投資を増やすことを目的としたスペースブリッジフレームワーク協定に署名した。

こうした取り組みは Australian Civil Space Strategy2030+の 1 つで、自国の宇宙産業規模を年間 120 億ドルに成長させ、2030 年までに最大 20,000 人の新規雇用を創出するというものである。

[宇宙輸送分野]

ロケットの分野では、Australian Space Research Institute (ASRI)が国産ロケットの開発を行っている。観測小型ロケットとして Zuni/Sighter、大型ロケットの予備試験段階として、'89 年に AUSROC I、'95 年に AUSROC II を打上げている。また、投入軌道や打上げ能力などの棲み分けとして、AUSROC2.5、AUSROC III、AUSROC IV、AUSROC Nano といった多種のロケットを開発している。

2017 年に Equatorial Launch Australia は 2018 年の稼働計画で国内初の民間ロケット打上げ施設となる Arnhem Space Centre(アーネム宇宙センター)の建設を発表した。2012 年に設立された Gilmour Space Technologies は 2024 年に商用ロケット Eris の打上げを目指している。2020 年に同国 Space Machines Company と小型衛星を打上げる最初の契約を締結した。Southern Launch は、2021 年に南オーストラリア州のロケット発射施設 Whaler's Way Orbital Launch Complex を稼働させている。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

通信の分野では、国内通信衛星計画を進め、Aussat (後に Optus と改称)を '85 年以降、3 機を打上げた。この計画は '81 年に設立された Aussat によって実施され、衛星及び地上管制施設は Hughes(現 Boeing)が納入した。政府は Aussat の民間移管を計画し、'92 年に BellSouth、Cable&Wireless により Consociam・Optus に売却し、衛星名も Optus となった。2001 年には Singapore Telecommunications に買収され、SingTel Optus となった。第 3 世代の Optus C1 は三菱電機(主契約者)と SS/L(副契約者)により設計製造され、2003 年に打上げられた。2015 年現在で Optus シリーズは合計 6 機が運用されており、Optus 11 は 2025 年 Ariane 6 で打上げ予定である。これらの衛星はオーストラリアやニュージーランド、そして南極大陸に通信サービスを提供している。2015 年は NBN が現 Maxar へ発注した衛星 NBN Co 1A を、2016 年は NBN Co 1B(Sky Muster™II)を打上げた。NBN Co 1B はオーストラリアの農業地区や遠隔地へのハイスピードブロードバンドサービスを提供する。2017 年は Sky and Space Global の狭帯域通信向け超小型衛星 3-Diamonds を打上げた。Fleet Space の 6U サイズ 10kg の IoT 衛星である Centauri シリーズを 2018 年から計 4 機を打上げており、2022 年 5 月に 5 機目の Centauri-5 が Falcon 9 で打上げられた。Centauri は同社が進める 140 機の Alpha 衛星コンステレーションの一部である、2023 年は打上げが無かった。

[気象・地球観測衛星]

オーストラリア国内の大学、研究所が 2019 年に SmartSat Cooperative Research Center (SmartSat CRC) を設立した。

産業界と提携し通信・IoT 技術や衛星システム、次世代地球観測データサービスなどの研究開発を通して

地球観測産業の成長加速を目的としている。SmartSat CRC は州政府、政府各機関とも連携し、2022 年 9 月にはクイーンズランド州政府との Queensland Earth Observation (EO) Hub が発足した。宇宙企業や射場が多く存在する南オーストラリア州政府ではスペース・パーク構想により、宇宙産業の製造拠点化を進めている。Fleet Space Technologies 社は IoT 衛星の Alpha 衛星と地上設置の地震センサとの組合せによる鉱物探査システムを構築中で 2022 年 3 月にリチウム探査の実証に成功し、Alpha 衛星の生産や探査サービス事業の展開を始めている。

[科学衛星]

科学技術関連では '67 年にウーメラ基地からアメリカの Sparta ロケットでオーストラリア初の科学衛星 Wresat-1 を打上げた。Space Shuttle による天体観測用 UV 検出器の試験は '95 年に成功し、この装置の開発では Auspace が全体をまとめ、大小 150 以上の会社が参加した。2002 年には、国産科学衛星 FedSat(質量：約 58kg)を日本の H-IIA 相乗りで打上げた。これは日本が打上げた初の海外製人工衛星である。2021 年、国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」から、Binar-1(1U CubeSat)および Binar-2(3U CubeSat)が放出された。カーティン大学の宇宙科学技術センターが開発したペア衛星で、日本の Space BD による打上げサービスを利用したものである。

[月・惑星探査]

2021 年にオーストラリア政府は、米国 NASA との間でオーストラリア製の月面探査車 Foundation Services Rover を将来ミッションに含めることで合意した。ローバーはレゴリスから酸素を抽出することを目的としている。

[軍事衛星]

2022 年 3 月にオーストラリア国防省は自国の衛星とインフラを保護するため防衛宇宙司令部(Defence Space Command)を設立した。また、オーストラリア国内の宇宙・防衛企業が協調し ADISCA (Australian Defense Industry Space Capability Alliance)が発足した。メンバーは DEWC Systems、Gilmour Space Technologies、Inovor Technologies、Neumann Space、Nova Systems、Southern Launch、REDARC Defense Systems、Space Machines Company で、防衛分野の宇宙能力を強化していく。

アメリカの軍用通信に使われている WGS (Wideband Global SATOCOM)の 6 号機はオーストラリア防衛軍が費用を負担して 2013 年に打上げた。また 2017 年には、Jindalee Over-the-Horizon レーダーネットワークの校正用衛星として、Cube Sat (3U)の Buccaneer RRM (Buccaneer Risk Mitigation Mission)を打上げた。DEWC Systems は、オーストラリア国防省から小型軌道電子戦センサシステム(MOESS)プログラム用のセンサを構築する契約を締結した。2021 年にオーストラリア空軍は AI や量子通信などの技術実証衛星として RAAF M2 A、RAAF M2 B を打上げた。2022 年 7 月と 8 月に米国が打上げた国家偵察局 (NRO) の衛星である USA334 と USA335 は、オーストラリア国防省が協力しているがその詳細は不明である。

4. 韓国

(1) 航空機産業

韓国の航空宇宙工業は、'80 年代半ばまで、大韓航空、三星航空宇宙工業、大宇重工の 3 社がライセンス生産や部品下請を行ってきたが、'87 年に航空宇宙産業促進法が制定され、前記 3 社に加え現代宇宙航空(当

時は現代精工)が機体組立に参入、'92 年に韓国航空宇宙工業会(KAIA: Korea Aerospace Industries Association)が設立された。

輸出と国内を合わせた軍需と民需の比率は、軍需 6：民需 4 である。生産高の 3 割が主な輸出されており、輸出先は米国、フランス、イギリスである。

a. 韓国航空宇宙産業株式会社 (Korea Aerospace Industries, Ltd.)

'97 年に経済危機に陥った韓国では財閥の構造改革が IMF 融資の条件の一つとされ、各財閥が系列会社の整理を進め競争力のある業種に経営資源を集中することを狙って財閥間の業種交換が行われ、大宇重工業、三星航空、現代宇宙航空が各 20 %を出資し、各社の航空宇宙部門を統合して '99 年に KAI を設立した。同社の最近の主要製品は以下のとおりとなっている。

自主開発プロジェクトとして、KT-1 雄飛(Woong-Bee)初等練習機が韓国空軍から発注を受け量産に入り、2000 年から引渡しが開始され、2004 年に納入を完了した。また、2000 年に KT-1 を武装化した XKO-1 観測機の開発が着手され、2005 年に初号機が納入された。

KTX-1 に続き KTX-2 超音速高等練習機/攻撃機が '92 年に研究・開発に着手され、当初は韓国空軍 F-16 のオフセットとして米国 Lockheed Martin の技術支援を受けたが、'97 年に韓国政府はリスク・シェア・パートナー(RSP)の参画を条件に本格開発着手を決定、Lockheed Martin と RSP 契約を結んだ。KTX-2 は 2000 年に T-50 / A-50 へ名称を変更した。

高等練習機型の T-50 Golden Eagle は 2001 年にロールアウトし、2003 年から量産開始、2006 年に初号機が納入された。KAI は、米国 Lockheed Martin とチームを組んで、米空軍の T-38 練習機の更新となる次期練習機 T-X 選定コンペに T-50A を提案し、2016 年には KAI で組み立てた 2 機の T-50A デモンストレーション飛行が米国サウスカロライナ州の Lockheed Martin の工場で報道陣に公開された。ただし、2018 年、次期練習機 T-X には、Boeing と Saab の共同チームが提案した BTX が採用された。軽戦闘爆撃機仕様の FA-50 は、イスラエルのエルタ・システムズの支援を受け、改良レーダーにより強化された兵装等を装備している。派生型の最新 FA-50PL は 48 機を調達しているポーランドを始め、インドネシア、イラク、フィリピン、タイ、マレーシアで採用されている韓国のベストセラー機である。更に、ウクライナ情勢の悪化に伴いロシア戦闘機の代替としても受注数を増やし採用検討国が増えてきている。Block20 ではさらに空中給油やレーダー追尾ミサイルの運用能力が追加され、RTX PhantomStrike AESA レーダーへの換装、自国や輸出先の空軍への引渡しが決っている。エジプトを拠点とする工業組織である Arab Organization for Industrialization (AOI)は、2022 年 11 月に KAI と練習機の製造に関する協力協定を締結したと発表した。

また、第 4.5 世代戦闘機とされる韓国初の独自開発ジェット戦闘機である KF-21 が 2022 年 7 月に初飛行した。KF-21 は、国産 AESA レーダーを搭載し運用コストは F-35A の半分とされ、韓国の他、インドネシア、ポーランド空軍等も配備を検討している。2023 年 10 月 22 日には韓国ソウル基地で開催されたエアショーで公開飛行を行っており、2024 年の量産開始、2026 年後半の空軍引き渡しを目標に開発が進められている。

ライセンス生産としては、F-16C/D、Eurocopter BO 105、エンジンでは F-16 用の F100、KT-1 用の PT6A-62、T-50/A-50 用の F404、KF-21 用の F414 を Hanwha Aerospace が担当している。

さらに2005年にBellと三井物産とBell429の開発について契約した。また、多用途ヘリコプターKUH(Korean Utility Helicopter)Surionの開発では、2005年にEurocopterを開発パートナーに選定し、2010年に初飛行した。2013年に開発完了が発表され、韓国陸軍航空学校に配備された。

Boeing機種では、B787中央翼の一部の部品をSUBARUへ、B787主翼固定後縁の一部の部品を川崎重工業へ、B787尾胴内ピボット隔壁をBoeingへそれぞれ納入しているほか、B737の垂直尾翼と水平安定板、B747-8の胴体フレームと縦通材、B767尾胴の一部外板と水平安定板前縁部、B777の固定前縁、777Xの主翼リブなどを製造している。Airbus機種では、A350の主翼リブ(機械加工)、前脚収納部構造、A320の一部胴体パネル組立と主翼の上下面の外板組立、A330主翼縦通材と主翼リブ(機械加工)、A380主翼の下面外板などを製造していた。Bombardier機種では、CRJ700の主翼アクセスパネル、Dash8の尾胴部分、Learjet45の機首外板を製造している。

b. 大韓航空　航空宇宙部門(Korean Airline Co., Ltd. Aerospace Div.)

大韓航空は、航空機を製造する部門を保有するエアラインである。

'76年に航空宇宙部門が設立されてHughesのMD500軽攻撃ヘリコプターの組立て等を実施した。

西太平洋地区の米軍機の整備・改修作業を行っており、F-4、F-15、F-16、A-10、C-130、RC-12などの固定翼機と、CH-47、MH-53などのヘリコプターの整備・改修も実施している。

民間機では、オフセット契約を主体にMD-80板金部品、MD-11の翼胴フィレット、翼端部、スポイラー、ミッドファンカウル、B747のフラップ・トラック・フェアリング(300セット)、A330,A340胴体外板の生産を行った。更にB777のフラップ・フェアリング、B737-600, 700, 800のフラップ・フェアリング(2,500セット)の契約も得ている。またB717のリスク・シェア・パートナーとして参画、機首部を分担していた。

B737レドーム、B747レドーム、B777-300ERのウイングボックス延長部とレイクドウイングチップ、B747-8レイクドウイングチップ、B787レイクドウイングチップ、B767尾胴後方部位部品、B787尾胴後方部位部品、B787の前脚収納部位、B737MAXのウイングレットの部品、A320の昇降舵と翼端部品のシャークレット、A350の貨物扉、A330の中胴パネル部品、A330neoのシャークレット、A380のフラップ作動メカニズム部品、Embraer170/190の前胴/後胴の構造部位部品などに生産実績がある。

また、大韓航空機の航空機整備経験をベースにエアライン他社の機材整備を請負っているほか、B747-400BCF貨物機改造事業にも参画した。

一方、自主開発機では、'88年に4～5人乗り蒼空91(Chang-Gong 91)軽飛行機の設計に着手し、'93年には韓国の型式証明を取得した。2007年には行動半径50kmの偵察用無人機KUS-7を開発し、続いて現在は行動半径80kmの次世代戦術用KUS-9を開発した。

⑵宇宙産業

韓国の宇宙開発の分野は、科学技術省の下の機械研究所付属機関として'89年に航空宇宙研究院(KARI: Korea Aerospace Research Institute)を設立した。産学官協力のもとに計画を推進しており、2013年にはKARIは政府組織の改編で新設された未来創造科学部の傘下となった。衛星通信、地球観測、ロケット開発などを中心に活動している。2019年に開催された15th National Space Councilで、①韓国宇宙産業戦略②第2次衛星情報利用計画③国家宇宙協力戦略の3つの方針が発表された。

[宇宙輸送分野]

KARI は初の国産観測ロケット KSR-1 (1 号機)を '93 年に、2 段式観測ロケット KSR-2 を '97 年に打上げた。2002 年には初の国産液体推進ロケット KSR-3 の打上げに成功した。KSLV-1(Korea Space Launch Vehicle、Naro、韓国名：羅老)は 2 段式で、1 段はロシアの Angara、2 段は韓国の独自開発で、2009 年に初飛行し 3 回打上げられ、KSLV-2 (Nuri、世界)開発に移行した。韓国独自開発による 75 トン液体ロケットエンジンを装備し、初飛行は 2021 年に行われ、2022 年 6 月に羅老宇宙センターから 4 機の CubeSat の打上げに成功した。KSLV-2 の開発には約 16 億ドルが投じられ、太陽同期軌道に 1,500 kg の投入能力を持っている。2027 年までに 4 回の打上げと、2030 年までに月着陸船の打上げを計画している。

また、韓国国防開発庁(ADD)が開発した固体燃料ロケット GYUB-TV2 が 2023 年 12 月 4 日に済州島発射プラットフォームから打上げられた。この初飛行で 100kg の SAR 実証衛星を打上げた。

民間のロケット開発では Innospace 社がノルウェーの射場打上げサービス企業 Andøya Space 社と MoU を締結した。Innospace 社は HANBIT ロケットを開発中で、2023 年 3 月 19 日に HANBIT-TLV 準軌道ロケットをブラジル北部のアルカンタラ宇宙センターから打上げた。これは 2024 年に商業化予定の Hanbit-Nano ロケット の実証実験である。なお、HANBIT ロケットをアルカンタラ宇宙センターから打上げる条件として、ブラジル空軍の監督下にあるブラジル航空宇宙科学技術省(DCTA)が開発した SISNAV 慣性航法システムを搭載している。

また、韓国国防開発庁(ADD)が開発した固体燃料ロケット GYUB-TV2 が 2023 年 12 月 4 日に済州島発射プラットフォームから打上げられた。この初飛行で 100 kg の SAR 実証衛星を打上げた。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

電子通信研究機構(ETRI)は '87 年以来通信・放送複合衛星 Koreasat-1、2(愛称ムグンファ：韓国の国花ムクゲ)の開発について海外メーカーへの発注と一部ミッション機器の国産化を前提に仕様を定め、1 号機は '95 年、2 号機は '96 年、3 号機は '99 年に打上げた。(衛星は 2010 年に Asia Broadcast Satellite へ売却された) 5 号機は 2003 年に Alcatel Alenia Space (現 Thales Alenia Space) に発注され、初の軍／民生両用の通信衛星として 2006 年に打上げた。6 号機は Thales Alenia Space へ発注し、2010 年に打上げた。'91 年に Locheed Martin により打上げた LMI-1 は香港を拠点とする Asia Broadcast Satellite (ABS)に売却され 7 号機として利用・運用している。Korea Telecom は KT となり、2012 年には衛星運用会社として KT sat を発足させた。KT sat は現在 Koreasat-5, 6, 7 を運用している。また、Koreasat-8 は ABS-1 の後継衛星を現 Maxar へ発注し 2014 年に打上げた。Thales Alenia Space の Spacebus-4000B2 を採用した Koreasat-7 と Koreasat-5A は 2017 年に打上げた。

[科学衛星]

韓国科学技術先端研究所(KAIST)の衛星技術研究センター(SaTReC: Satellite Technology Research Center)を '90 年に設置し、実験用小型衛星 Kitsat-1、-2 (50 kg)を '92 年と '93 年に打上げられた。続いてリモートセンシングと科学観測をミッション機器として搭載した Kitsat-3 (110 kg)の開発に着手し、新技術習得を目的として '99 年に打上げ、地球規模での高エネルギー粒子の分布や地磁気圏の観測を行った。科学衛星 1 号 STSat (Kaistsat-4,100 kg)が 2003 年に打上げられた。野生動物のトラッキングや環境、輸送のモニタリングを実施している。2017 年に QB50 プロジェクトに参加しているソウル国立大学の SNUSAT-1, 1b が ISS か

ら放出された。2018 年には慶熙大学校のキューブサット SIGMA(KHUSAT 3)が打上げられた。

[技術実証衛星]

慶熙大学校はアメリカ カリフォルニア大学バークレイ校主導による CINEMA プログラムにおいて、イギリス インペリアル・カレッジ・ロンドンによる地磁気観測装置を搭載した 3U キューブサットである CINEMA-2 と CINEMA-3(別名 KHUSAT-1 と KHUSAT-2)を開発し、2013 年に打上げられた。また、同年にはキューブサットの OSSI 1 (Open Source Satellite Initiative 1)が打上げられた。NASA、KARI、Yonsei 大学が共同で開発する技術実証衛星 CANYVAL-X、また小型衛星向け標準プラットフォームとして KAIST が開発した NEXTSat-1 は、2018 年に打上げられた。2023 年 5 月 25 日に X バンドレーダー技術実証用に設計・開発された超小型衛星 NEXTSat-2 が Nuri (KSLV-II)で打上げられた。将来コンステレーション構築のため小型 SAR 技術実験プロジェクトによる Doory-Sat(旧 S-STEP 1) が 2023 年 12 月 4 日に韓国国防開発庁(ADD)の新型ロケットで打上げられた。この SAR 衛星はハンファ システムにより開発され Scan SAR、Video SAR、ストリップマップ モードを備えた 1 m～4 m の解像度を持つ X バンド SAR 衛星である。

[気象・地球観測衛星]

KARI は韓国多目的衛星 Kompsat (Korean Multipurpose Satellite, Arirang)を開発している。'95 年に TRW と契約し、'99 年に打上げた Kompsat-1(465 kg)には、高分解能電子光学カメラ、海洋走査マルチスペクトラルイメージャ等のセンサが搭載され、電離層観測や高エネルギー粒子の調査を行った。また多目的実用衛星 Kompsat-2 (Arirang-2)を 2006 年に打上げた。バス開発は Astrium(現 ADS)の支援を受け、搭載カメラはイスラエルの ELOP と共同開発を行なった。Kompsat-2 の画像は Spot Image 経由で販売されている。パンクロ分解能 0.7m の地球観測衛星 Kompsat-3 は Astrium の支援を受け開発され、2012 年に日本の GCOM-W1 と相乗りで H-IIA で打上げた。Kompsat-3A は 2015 年に打上げた。また、X バンドの SAR を搭載した Kompsat-5 のミッション部は Thales Alenia Space が供給した。TAS は SAR データの画像化のための地上データ処理系も供給している。Kompsat-5 は 2013 年に打上げられた。さらに、韓国 LIG Nex1 とドイツ Airbus Defense and Space による SAR を搭載した Kompsat-6 (Arirang 6)が 2022 年以降に打上げ予定である。KARI が「Vision2020」の一つの柱である「衛星・宇宙探査」の筆頭に「朝鮮半島の周囲を 24 時間体制で観測するシステムの設立」を置いていることからも、地球観測に対する強い意欲が窺える。

2005 年に KARI は最初の多目的静止衛星 COMS(気象、海洋観測、Ka バンド通信(KARI 開発)の 3 ミッションを Astrium(現 ADS)に発注し、2010 年に Arian5 で打上げた。気象センサは、ITT に発注され日本の MTSAT-2 にも搭載されているものと同様、米国の GOES イメージャを元にしたカメラである。COMS 後継機の千里眼-2A は 2018 年に、千里眼-2B は 2020 年打上げられた。両衛星は静止軌道に投入され地球大気・海洋観測と宇宙環境観測をミッションとしている。

光学カメラを搭載した地球観測衛星 CAS500 1 号機が 2021 年に打上げられた。

'99 年に衛星製造会社の Satrec Initiative が設立され、小型衛星バスシリーズ SpaceEye をシンガポールやマレーシアに供給しており打上げ実績がある。SpaceEye の衛星画像はドイツにある Airbus 子会社の UP42 に供給し販売されている。開発中の SpaceEye-T は 700 kg クラスの衛星で分解能 30 cm の光学ペイロードを提供できるとしている。SAR 用システムがあるが詳細は不明である。

[測位衛星]

韓国型測位システム(KPS)を計画しており、国産測位衛星７機による構築完了は 2035 年を目標としている。韓国政府は、衛星測位分野において、技術と経験が豊富な米国との協力関係を推進してきたが、新たに 2021 年に韓国科学技術・情報通信部と外交部、米国国務省と商務省の間で、米韓衛星測位協力共同声明を発表した。

[月・惑星探査]

文在寅大統領は自国のロケットで 2030 年までに月に探査車を送り月面着陸に加えて、2029 年に地球に近づくと予想されるアポフィス小惑星に探査機を送る計画であると当時発表した。

また 2021 年５月、韓国の科学技術・情報通信部は、米航空宇宙局(NASA)が主導する Artemis 合意に韓国が署名したことを発表した。NASA と共同で韓国パスファインダー月軌道船(Korea Pathfinder Lunar Orbiter: KPLO) の Danuri を開発し、2022 年８月４日に Falcon 9 により打上げた。2022 年 12 月 17 日に月軌道に到達した。民間企業による月への商業月面輸送サービス(Commercial Lunar Payload Service: CLPS)にも協力している。

[軍事衛星]

2020 年、韓国軍初の通信衛星 ANASIS-II の打上げが成功し、情報処理速度、電波妨害対応機能、通信可能距離などを向上した軍専用の通信衛星を持つことになった。国家安全保障監視システムを確立するため 2031 年までに 100 機のナノコンステレーションを開発するとしている。2022 年４月に韓国の国防取得プログラム管理局 (DAPA)は 2025 年までに５機のスパイ衛星を打上げる契約を SpaceX と締結した。これは偵察プログラムである国防省の「425 プロジェクト」の一部で、２時間ごとに主要な軍事施設の画像を取得するとしている。計画によると１機は、800 kg の電気光学赤外線衛星を地球低軌道に、残り４機は SAR 衛星を打上げるとしている。これは偵察プログラムである国防省の「425 プロジェクト」の一部で、２時間ごとに主要な軍事施設の画像を取得するとしている。2023 年 12 月１日に 425 Project SAR Satellite を Falcon 9 で打上げた。この衛星は韓国航空宇宙産業 (KAI)、Hanwha Systems、Thales Alenia Space (SAR ペイロード)が担当しており、直径５m の展開型パラボラアンテナを採用している。

5. シンガポール

(1) 航空機産業

シンガポールの航空機工業は、交通・貿易の拠点という地理的利点を活かし、MRO、改造、部品製作を主としているが、産業構造の高付加価値化を目指す政府は設備投資控除等の減税、低利融資、国有設備の利用の育成策を講じている。シンガポール島北部のセレター空港は地元企業の ST Aerospace をはじめ、FAA 認定工場や多国籍企業など 50 社以上が集まる航空宇宙産業団地(セレター･エアロスペース･パーク)を形成している。ここには、①航空機の整備・修理・改修・オーバーホール(MRO)、②航空機システム、部品、軽量航空機の設計および製造、③商業航空および一般航空関連ビジネス、④教育･訓練機関および研究、の各施設が存在する。2012 年、Rolls-Royce は、セレター・キャンバスを建設し、B787 および A350 向け Trent エンジンの組立・試験や研究開発を行うほか、中空チタン製ワイド・コード・ファンブレード(WCFB)の製造も行っている。また、2016 年、Pratt & Whitney は、Geared Turbo Fan のハイブリッドファンブレードとタービンディスクの製造施設を開所した。

a. ST Aerospace (Singapore Technologies Aerospace Ltd.)

ST Aerospace は、ST Engineering の 4 部門(整備･改造や部品製造などの航空部門、人工衛星やコンピューターなどの電子機器部門、装甲車やバスなどの陸上機器部門、駆逐艦などの船舶部門)の子会社の一つである。なお、親会社の ST Engineering は、Singapore Technologies Pte.Ltd.傘下にあり、その Singapore Technologies Pte.Ltd.は、財務省の投資持株会社である Temasek Holding の傘下にある。

(a) MRO

戦闘機、輸送機、ヘリコプター及び産業用航空機の整備・修理や F404、JT15、F100、T53、T55、T56 等のエンジンのオーバーホール、軍用機用部品 2,100 アイテム、民間機用部品 1,700 アイテムのオーバーホール及び修理、20 万アイテム以上の部品の在庫管理を行っている。

(b) 改修(Modification)

シンガポール空軍 C-130 の空中給油機へのコンバージョン、A-4 攻撃機のエンジン換装・アップグレードや訓練機へのコンバージョン、F-5 戦闘機の電子機器アップグレードや RF-5E コンバージョンなどの経験がある。また、B757、B767、MD-11 などの中古旅客機から貨物機への改造ビジネスを行っている。

'90 年に民需部門(Commercial Business Group)にワイドボディ機の重整備とオーバーホールを目的とする SASCO (ST Aviation Services Co.)を設立した。

そして、米国アラバマ州 Mobile の元空軍基地跡地に重整備とコンバージョン作業を行う ST Mobile Aerospace Engineering Inc.(MAE)を設立した。

2007 年にパナマで MRO センターとして、Panama Aerospace Engineering を開設しナローボディ機の整備・改修・改造を開始した。2012 年に、Airbus と A330-200, -300 の中古旅客機から貨物機への改造の戦略的パートナー契約を締結し、独ドレスデンの Airbus 傘下 Elbe Flugzeugwerke (EFW)に MRO 拠点を開設、2016 年から初号機の改造作業を開始した。2015 年には、Airbus と A320, A321 の中古旅客機から貨物機への改造事業にも参画することで合意した。この改造は EFW で行い、2020 年 A321 改造貨物機が初納入された。

(c) 国際共同

国際共同パートナーとして、'87 年から米 Pratt & Whitney の PW4000 エンジン・プログラムに参画している。また、Eurocopter EC-120 ヘリコプター開発に中国 CATIC とともに参画している。

(2) 宇宙産業

シンガポールの宇宙産業の発展を推進する専門機関として、2013 年に宇宙技術・産業企画室(OSTIn)を開設した。OSTIn 委員会は、科学技術研究庁(A*STAR)、経済開発庁(EDB)、情報通信省(MCI)、防衛省(MINDEF)など 7 つの省庁で構成し、宇宙産業の継続的成長を促す戦略の計画と実行、国際的協力体制強化、人材育成支援などを目的としている。

また、2007 年には、シンガポール宇宙技術協会(SSTA: Singpore Space and Technology Association が設立され、2017 年現在で宇宙関連企業約 40 社が加盟している。

[地球観測衛星]

科学及び技術開発ではナンヤン工科大学(NTU: Nanyang Technological University)が '95 年にイギリスの

Surrey 大学と覚書を交わし、NTU が開発した実験用通信機器などを搭載して衛星開発の技術を修得する UoSAT-12 を'99 年に打上げた。NTU と 防衛科学機構(DSO: Defence Science Organization)は共同で衛星技術研究センター(CREST: Center for REsearch in Satellite Technology)を設立し、衛星技術に関する基礎研究開発を行うとともに、初のシンガポール製の小型衛星 X-SAT (120 kg 級)を韓国 Satrec Initiative (Satreci)の技術支援を受けながら開発した。X-SAT はマルチスペクトル画像取得による陸域・沿岸の観測用小型衛星であり、開発費用は約$ 10M で、2011 年に打上げた。2022 年 6 月に、国防科学技術庁 (DSTA) の分解能 0.5 m マルチスペクトル衛星 DS-EO と ST Engineering の SAR 衛星である NeuSAR をインド PSLV-CA で打上げた。どちらも ST Engineering と韓国 Satreci 製の SpaceEye バスを使用している。九州工業大学と NTU は超小型衛星 AOBA-Velox III を共同開発し、衛星は 2017 年に ISS から高度約 400 km の軌道に投入された。九州工業大学が無線通信装置や各種試験装置などを手掛け、NTU がプラズマ推進エンジンの開発を担当した。原子時計に関するミッションの 2U サイズ超小型衛星 SPATIUM-I は、2018 年に HTV で輸送され ISS から放出された。推進エンジンの実験がミッションである AOBA-Velox IV を 2019 年に Epsilon で打上げた。

シンガポール国立大学(NUS: National University of Singapore)に設置されたリモートセンシング画像・科学・処理センター(CRISP: Center for Remote Imaging, Sensing and Processing)は、東南アジア全域をカバーした活動を行っており、Spot、ERS、RadarSat からのデータ受信及び加工／配信を実施している。

ST Electronics(Satellite Systems)が開発した TeLEOS-1 (400 kg)はシンガポール初の商用観測衛星で、2015 年に打上げた。分解能 1 m の光学センサを搭載して赤道軌道を周回し、赤道近辺の海賊対策、国境警備、海難救助、災害監視などに活用される。次号機の TeLEOS-2 を 2023 年 4 月 22 日に PSLV-CA C55 で打上げた。この衛星は解像度 1 m のシンガポール製合成開口レーダー(SAR)を搭載し、取得データの記録装置(500 GB)と 800 Mbps の高速データ通信回線を用意している。2023 年 7 月 30 日に軍民共用でも SAR 衛星を打上げており、イスラエル IAI 製の DS-SAR を PSLV-CA C56 で打上げた。解像度等の性能は不明だが高度 530 km の軌道から海洋安全保障や石油流出の探知に利用される 352 kg の衛星である。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

通信放送プログラムとしては、第 1 段階として、アジア地域の衛星テレビ発信基地としての基礎を固め、第 2 段階として自国の衛星を打上げることを計画している。Singapore Telecommunications (SingTel)は、台湾通信総局(DGT: Directorate General of Telecommunications)と共同で通信衛星 ST-1 をヨーロッパの Matra Marconi Space(現 ADS)に発注し、'98 年に打上げた。なお、ST 社は 2001 年にオーストラリアの衛星通信会社である OPTUS(現 SingTel Optus)を買収した。

2008 年に SingTel と台湾の中華電信の共同調達による次期通信衛星 ST-2 を三菱電機が受注し、2011 年に打上げられた。また、現 Maxar が受注した ST-3 は 2014 年に打上げられた。シンガポールの企業である Kacific Broadband Satellites Pte と日本の SKY Perfect JSAT との共同衛星である JCSAT-18 は、ハイ・スループット・システムを採用した通信衛星で、2019 年に打上げられた。また、SKY Perfect JSAT の静止通信衛星 JCSAT-17 が、2020 年に打上げられた。シンガポール民間企業ではブロックチェーン対応の衛星ペイロードを手掛ける SpaceChain があり Velas ネットワーク上で Ethereum の取引と NFT の発行を成功させており、中東地域での統合宇宙ブロックチェーン構築のため UAE にオフィスを開設した。量子通信、量子暗号鍵の分野でも衛星量子通信技術企業の SpeQtral が英国の RAL Space とオランダの ISISPACE と

CubeSat 衛星の Speqtre を共同開発しており、量子鍵配送 (QKD)のハードウェアを担当している。Thales Alenia Space と共同で量子通信の研究、開発、および実証を進めており、2022 年 9 月、10 月に東芝デジタルソリューションズ、ドイツの Rivada Space と提携した。

[その他]

シンガポールのスタートアップ企業の EquatorialSpace Systems は固体燃料ロケットを開発中で低高度デモンストレーターを成功させている。

6. タイ

⑴ 航空機産業

タイの航空機関連企業としては、エンジン・ブレード修理の Cromalloy 、タイヤ製造・修理の Goodyear Thailand、ギャレー製造の Driessen Aircraft Interior System 等外資系の数社がある。

Thai Aviation Industries(TAI)は、2003 年に設立され、PC-9、CT-4、C-130、G222、AVRO 748、F-16(アップグレードプログラム)、UH-1H 等の整備と修理を行っている。

日本の精密部品メーカーミネベアミツミの子会社 NMB-Minebea Thai のロッブリ工場は '88 年に操業を開始し、その MPA(Mechanical Parts for Aircraft)部門は、2007 年と 2008 年に航空機用ベアリング製造における「非破壊検査」、「熱処理工程」及び「ケミカルプロセス(表面処理)」といった特殊工程の「国際特殊工程認証(Nadcap)」を取得した。

⑵ 宇宙産業

2000 年に設立された地球情報宇宙技術開発局(GISTDA: Geo-Informatics and Space Technology Development Agency)は、タイ気象庁、厚生省健康増進環境保護局、防衛宇宙技術センター、衛星通信関係を所掌する情報通信技術省宇宙関係局、王立タイ測量院、遠隔学習基金等と連携して地球観測や観測衛星開発を推進している。

2019 年、タイ王国軍は 2018 年に政府によって導入された 20 年間の開発プログラムであるタイの国家戦略に沿って、軍事宇宙能力における計画的な投資と技術の進歩の中心を担う新宇宙運用センターを開設した。同センターでは、将来の宇宙からの脅威増大に備え、宇宙偵察、衛星通信、データ収集と分析、衛星保守などの分野での軍事的進歩を可能にさせるなどの任務を与えられている。

[地球観測衛星]

地球観測関連では、タイの衛星開発力を付けるため 50kg の小型衛星 Tmsat をサリー衛星技術会社(SSTL: Surrey Satellite Technology)の技術移転・訓練プログラムの下で開発した。その後、マハナコン工科大学(Mahanakorn University of Technology)が 100m の解像度を持つカラーカメラと信号処理装置を搭載した Thai-Paht1 を開発し、'98 年に打上げた。2004 年には軍民両用で解像度 2 m・質量 750 kg の地球観測・偵察衛星 THEOS を GISTDA が€ 120M で EADS Astrium(現 ADS)に発注し、2008 年に打上げた。2 号機の地球観測・偵察衛星 THEOS-2 を 2023 年 10 月 9 日に Vega により打上げた。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

通信放送衛星分野では、Shinawatra 衛星会社(現 Thaicom)が Hughes(現 Boeing)製の国内通信衛星 Thaicom-1, 2 をそれぞれ '93 年、'94 年に打上げた。Thaicom はその後、'97 年に Aerospatiale 製の Thaicom-3

を、2005年に大容量インターネット衛星Thaicom-4(iPSTAR)を打上げ、Thaicomの子会社IPSTARが2005年アジア太平洋 14 カ国でサービスを開始している。IPSTAR は、2011 年の東日本大震災の際には、Thaicom-4 を利用したインターネット利用／携帯電話回線などの支援をいち早く立ち上げ、これを多くの被災者が利用した。また、ThaicomはDTHサービスを主としたAlcatel Alenia Space(現Thales Alenia Space)製のThaicom-5を2006年に打上げた。2014年にはOrbital Sciences(現Northlop Grumman)製のテレビ放送衛星Thaicom 6がサービスを開始している。同年現Maxar製のThaicom-7も打上げた。Thaicom-8はOrbital Sciences(現Northlop Grumman)が開発し2016年に打上げた。

2017年に衛星通信事業者のmu Space Corpが設立され、米国Blue Originと静止衛星打上げの協力することに合意した。今後10年間で早期に実施される予定である。

mu Space Corpは有人宇宙開発及びスペースツーリズムを指向しており、2018年に独自の宇宙服の開発構想をプレスリリースした。mu Spaceは1億ドル以上の資金を調達したとしている。

また、タイ初の国産キューブサットKNACKSATは、キングモンクット工科大(King Mongkuts University of Technology Thonburi)が開発し2018年に打上げた。2020年にタイ王国空軍(RTAF)としては初の衛星となるキューブサット地球観測衛星のNapa-1が、2021年にNapa-2を打上げた。

7. 台湾

(1) 航空機産業

台湾政府は'90 年に「産業高度化促進条例」を制定、また'91 年には「国家建設 6 カ年計画」を実施、このなかで航空宇宙産業を十大新興産業と位置づけ種々の優遇政策・措置を講じている。

台湾の航空宇宙工業は経済部(MOEA: Ministry of Economic Affairs)工業局(IDB: Industrial Development Bureau)に統括されている。傘下に航太工業発展推動小組(CASID: Committee for Aviation and Space Industry Development)があり、航空工業振興戦略の立案を行っている。

a. 漢翔航空工業股份有限公司(AIDC: Aerospace Industrial Development Corporation)

'69 年、軍用機及びエンジンの製造組立を行う台湾唯一の国営航空機会社として創設された。Bell UH-1 ヘリコプターや Northrop F-5E / F 戦闘機のライセンス生産を行なってきた。自主開発機としては米Northropの協力によるAT-3練習機やその攻撃機型A-3があり、またGeneral Dynamicsの協力を得て最新機種の国産防衛戦闘機(IDF: Indigenous Defensive Fighter)「経国 (Ching-Kuo)」の試作機が'89 年に初飛行、'92 年量産開始、'94 年から納入が始まった。その後、IDF「経国」の改良型「雄鷹 F-CK-1 C/D (Goshhawk)」を開発し、戦闘練習機型と戦闘攻撃機型の単座型は2006年に、複座型は2007年に初飛行した。2018年最終号機を納入した。経国を全面改良した練習機T-5勇鷹を2021年から量産を開始した。

AIDCは'96年、MD-95(現B717)の尾胴部分の開発・生産契約を獲得し、Sikorsky S-92の開発に参画、現在は操縦席部分の生産を担当している。

'96年経済部は仏エンジン・メーカーSnecmaと戦略的提携に調印し、Snecmaは台湾が導入するMirage 2000 戦闘機のエンジン・メインテナンス・センターを建設した。このメインテナンス・センターは、中華航空のB737-800のCFM56-7エンジンも取り扱う。

民間機事業としては、B787 の水平安定板の前縁部分、B737 の主脚扉と胴体エアステアの格納扉等、

A320 シリーズの垂直尾翼スキンと翼胴フェアリング、A321 後胴の一部、S-92 のコクピットの構造体、Leonardo C-27J Spartan の水平/垂直尾翼とエレベーター/ラダー、Bombardier Challenger 350 の後胴、エンジンパイロン、水平/垂直尾翼、Learjet 70 / 75 の水平/垂直尾翼と昇降舵・方向舵を含む尾部などを生産している。

2010 年に航空機向けの複合材部品を製造する TACC (Taiwan Advanced Composite Centre)を設立した。

このほか、AIDC は、日本の SUBARU、IHI、川崎重工業及び三菱重工航空エンジンから機体部品やエンジン部品の下請け製造を受注している。

b. 台湾飛翔航太工業股扮有限公司(TAC: Taiwan Aerospace Corporation)

航空産業振興を目的として '91 年に設立された。台湾空軍の F-16 戦闘機購入に伴うオフセット契約の一環として、Lockheed(現 Lockeed Marchin)の仲介により設立された Swearingen との合弁会社 Sino Swearingen (現 Emivest)を設立し SJ-30 ビジネスジェット機の生産を開始、FAA の型式証明は 2005 年に取得し、初納入は 2006 年に行われた。

c. 長栄航太科技股份有限公司(EGAT: Evergreen Aviation Technologies)

EGAT は、'91 年に運航を開始した長栄航空公司(Eva Airways)の整備部門が母体であるが、MRO は自社機のみならず外国エアラインの機材整備を請負っている。

B787 の主要構造部位を海外のサプライヤーから米国 Boeing へ空輸するために作られた B747LCF (Large Cargo Freighter) (通称 Dream Lifter)は、台湾の EGAT ハンガーで B747-400 中古機に改造作業を実施し 2006 年に初飛行し、2010 年までに総数 4 機が Dream Lifter に改造された。

Boeing は、2016 年に B767-300 BCF (Boeing Converted Freighter)事業での中古旅客機を貨物機へ改造する企業として EGAT (Evergreen Aviation Technologies)を指名した。

⑵ 宇宙産業

宇宙開発関係では '91 年に国家宇宙計画室を設置し、15 年計画である宇宙技術長期開発計画を策定した。2004 年から 2018 年の第 2 次宇宙技術長期開発計画を策定し、より柔軟な技術研究開発運用を目的とした国立応用技術研究所を設立、国家宇宙計画室を所掌下に入れ、2005 年に国家宇宙計画室は国家宇宙計画局(NSPO: National Space Organization)に改称された。2021 年 2 月に宇宙開発法（草案）を可決され、宇宙産業の発展に伴い管轄当局や規制などを定めた。

[気象・地球観測衛星]

宇宙技術長期開発計画の第 1 号機として '94 年から最初の台湾独自の科学衛星 FORMOSAT-1(旧名 Rocsat-1(中華衛星 1 号))を米国 TRW(現 Northlop Gramann)及び日本電気(NEC)の協力を得て開発し'99 年に打上げた。FORMOSAT-1 は試験用 Ka バンド中継器、上層大気イオン計測器及び可視近赤外放射計を搭載している。衛星システムは TRW で台湾の技術者がインテグレーションや試験の実地訓練を受けて開発した。また、Ka バンド中継器及び可視近赤外放射系は、日本電気において同様のトレーニングを受けた技術者が開発した。後継の FORMOSAT-2(旧 Rocsat-2, 760 kg、画像解像度 2 m、EADS Astrium 開発支援)は 2004 年に打上げられた。Image Processing System (IPS)は NSPO により独自に開発され、農林計画や環境監視など多目的の地球観測衛星で軍事目的にも利用され、自前の偵察画像を収集する能力を獲得した。また 2006 年に FORMOSAT-3(旧 Rocsat-3)を打上げた。FORMOSAT-3 は 6 機の小型衛星から構成され、軌道上でコンス

テレーションを構成している。衛星は米国 Orbital(現 Northlop Gramann)の開発支援で製造され、GPS 信号の大気屈折を測定することによる気象・電離層システムの観測を行っている。

第 2 次計画での、初のリモートセンシングプログラムとして FORMOSAT-5 が開始された。このプログラムは衛星・ミッション機器の独自開発能力向上を目指したものとなっている。NSPO の標準的バス設計開発とそのための技術確立を主目的とする一方で、国家実験研究院(NARL: National Applied Research Laboratories)の計測技術研究センター(ITRC: Instrument Technology Research Center)と高分解能光学センサを共同開発することもプログラム目的の一つである。光学センサは、災害・環境監視と FORMOSAT-2 の補完が主なミッションである。FORMOSAT-5 は、500 kg クラス、地表分解能 2 m(パンクロ)／4 m(マルチスペクトル)であり、初の純国産地球観測衛星で 2017 年に打上げた。

FORMOSAT-7 は、台湾と米国の共同プロジェクトであり、台湾側は NSPO、NARL が主催し、米国側は米国海洋大気庁(NOAA)が代表となっている。FORMOSAT-7 では 12 機のコンステレーションを構成し、全球の広範囲を同時に観測している。第 1 期として GNSS 受信機を搭載した 6 機の衛星を 2016 年に展開することが予定されていた。しかし、FORMOSAT-5 同様、ロケットの事故を受けて、打上げは延期となった。第1期の衛星群では低～中高度の大気圏データを取得し天候予測に供するもので、FORMOSAT-7の主製造業者は英国の SSTL である。FORMOSAT-7 は、2019 年に打上げられ、2021 年 2 月に 6 機ミッションの軌道配備が完了した。2023 年 10 月 9 日に FORMOSAT-7R (TRITON)を Vega で打上げた。この衛星は台湾国家宇宙計画局 (NSPO) と米国 (NOAA) の国際協力で 12 機のリモートセンシング超小型衛星からなるコンステレーションの 1 機であり、気象に関する大気データを収集する。

2021 年 1 月に電離層想定を目的とした国立中央大学の cubesat の IDEASSat が打上げられた。

[通信・放送衛星]

2011 年に中華電信が、シンガポール通信最大手 Singapore Telecommunications と共同で三菱電機に製造を委託した商用通信衛星 ST-2(中新 2 号)の打上げに成功した。ST-2 は日本のメーカーが初めて海外の商用衛星を受注した衛星となった。

[技術実証衛星]

2005 年に開始された台湾・ロシア共同衛星開発プロジェクトは、ESEMS (Experimental Scientific-Education Micro-Satellite)と名付けられ、台湾の大学(国立成功大学 NCKU、国立中央大学 NCU)とロシアの大学(ロモノゾフ・モスクワ州立大学)で組織されている。科学目標は磁気圏・電離層の探査であり、そのための磁気計測器と電子温度プローブを搭載している。ESEMS / Tatyana-2 は 2009 年に打上げた。

2014 年には、国立成功大学のプロジェクトである超小型衛星 PACE (Platform for Attitude Control Experiments)を打上げた。姿勢制御システムの性能評価が目的である。

[国際協力]

ISS に搭載する AMS-02 プログラムにも参加しており解析・試験の一部を担当している。2019 年、NSPO と NOAA の合同プロジェクトにより、ORMOSAT -7 が Falcon Heavy で打上げられた。

[その他]

その他の活動として観測ロケット Tan Kong による大気観測がある。打上げ技術実証のための 1 号機が '98 年に成功したのを皮切りに、2014 年までに 10 号機までを打上げた。このうち 2001 年に打上げた 2

号機はエンジン不具合により失敗している。

2014 年には NSPO と NARL が共同で、観測ロケットの探空 9 号(SR-9)と探空 10 号(SR-10)を打上げた。探空 9 号は電離層不規則構造の原因研究、衛星通信品質向上、FORMOSAT-3 のイオン圏データの検証、FORMOSAT-5 のペイロード飛行試験が目的であった。探空 10 号は海への落下までに、台湾南部の上空 90 キロから 286 キロまでの電離層と熱圏の動的観測を行った。搭載した磁場測定磁力計と太陽センサは JAXA 協力で開発されたもので、探空 10 号で得られた計測データは FORMOSAT -3 や FORMOSAT-7 のデータ分析補助に役立てられた。

2016 年に設立された民間の Taiwan Innovative Space (TiSPACE)は、観測ロケット HAPITH I、HAPITH V の開発を進めている。台東県の南天に TiSPACE のロケット発射施設がある。2021 年に南オーストラリア WhalersWay サイトから HAPITH I を打上げたが失敗した。

8. 中国

(1) 航空機産業

中国は '93 年にそれまで国務院の一部であった航空航天工業部(MAS: Ministry of Aerospace Industries)を国務院から分離し、中国航空工業総公司(AVIC: Aviation Industries of China)と中国航天工業総公司(China Space Industry)を設立した。

社会主義的市場経済が進展する中で国有企業の不振とそれに伴う失業者の増大、社会不安の増大を憂える中国政府は、WTO 加盟を控えて国有企業の改革を三大改革の一つとして掲げ、国有企業である中国航空工業総公司(AVIC)も競争の増大と効率化を目的として二つに分割され、'99 年に中国航空工業第一集団公司(AVIC I)と中国航空工業第二集団公司(AVIC II)が設立された。どちらも傘下に航空機メーカー、航空エンジン・メーカー、航空機器メーカー、研究機関を持ち、民間機及び軍用機の設計・開発・製造・販売・プロダクトサポートを行っていた。2008 年、効率的な開発のため、AVIC I と AVIC II は統合され、中国航空工業集団公司(AVIC)として設立された。グループ構成を表 2-3-4 に示す。AVIC は 2010 年に米アラバマ州の航空エンジンの Continental Aerospace Technologies を買収している。

2007 年に Airbus は、中国企業連合と天津に A320 最終組立工場の合弁会社の設立契約を締結し、2008 年に稼動を始めた。2009 年に天津工場から A320 初号機が中国のリース会社に引渡された。Airbus は、天津工場を Final Assembly Line Asia (FALA)と称しており、2016 年から 10 年間の合弁延長でも合意している。2023 年 4 月 6 日、Airbus は天津の A320 組立ラインを増設すると発表した。今後 20 年の中国での貨物機を含めた新造機需要増に対応するためである。

Airbus は、A330 の客室装備、外部塗装、エンジンテスト、飛行試験、引渡作業を担う A330 Completion and Delivery Centre (C&DC)の天津への設置につき TJFTZ 及び AVIC と 2015 年に契約締結し、2017 年に開所した。

また、Airbus は、哈爾濱(ハルピン)に HAIG、Airbus China 及びその他の中国企業との Joint Venture で Harbin Hafei Airbus Composite Manufacturing Centre (HMC)を 2009 年に設立、2010 年から A320 の昇降舵、方向舵、水平安定板スパーを出荷、2012 年からは A350 の方向舵、昇降舵、尾胴の点検扉と翼胴フェアリング部品も出荷している。

このほかAirbusは、2017年、深圳にAirbus China Innovation Center (ACIC)を設立し、深圳市投資推進機関(Invest Shenzhen)と協力契約を締結した。

2008年、中国商用飞机有限责任公司(CACC或いはCOMAC: Commercial Aircraft Corporation of China Ltd.)設立が発表された。

表2-3-4　中国の航空工業グループ

グループ名（創立、人員）	英　語　名（主な生産機種／部品）
中国航空工業集団公司 2008年設立 (AVIC IとAVIC IIとの合併)	Aviation Industry Corporation of China（AVIC）
a. (旧) 中国航空工業第一集団公司	China Aviation Industry Corporation I（AVIC I）
① 上海航空機工業(集団)公司 1951年設立、 6,400人(1997年)	Shanghai Aviation Industry (Group) Corp., Ltd.（SAIC） MD-82/-83(終了)、MD-90-30T、B737水平尾翼、B747主翼リブ
② 西安航空機工業(集団)有限責任公司 1958年設立、21,000人(1996年)	Xian Aircraft Industry (Group) Corp., Ltd.（XAC） H-6/JH-7爆撃機、Y-7ターボプロップ機、MA-60/-40
③ 瀋陽航空機工業(集団)有限公司 1950年代設立、30,000人(1997年)	Shenyang Aircraft Corporation（SAC） J-5/-6/-7/-8/-11戦闘機、JJ-6練習機、B737-NG尾部、Cseries
④ 成都航空機工業(集団)有限責任公司 1958年設立、20,000人(1995年)	Chengdu Aircraft (Group) Corp., Ltd.（CAC） J-7/-10/FC-1戦闘機、JJ-5練習機、B757尾部(終了)
⑤ 中国貴州航空機工業(集団)有限公司	China National Guizhou Aviation Industry Group（GAIG） J-7戦闘機、JJ-7戦闘/練習機
⑥ 中国商用飛機有限責任公司	Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd（COMAC） ARJ-21/C919開発
b. (旧) 中国航空工業第二集団公司	China Aviation Industry Corporation II（AVIC II）
① 洪都航空機工業集団 1951年設立、20,000人(1991年)	Hongdu Aviation Industry Group（HONGDU） CJ-5/J-6戦闘機、CJ-6A練習機、Q-5攻撃機、N-5A農業用機
② 哈爾濱航空機工業集団 1952年設立、18,000人(1998年)	Harbin Aircraft Industry Group（HAIG） H-5爆撃機、Y-11/-12輸送機、Z-5/-9/EC120ヘリコプター
③ 陝西航空機工業(集団)有限公司 1970年代初期設立、10,000人(1994年)	Shaanxi Aircraft (Group) Co. Ltd.（SAC） Y-8ターボプロップ輸送機
④ 昌河航空機工業(集団)有限責任公司 1969年設立、4,300人(2009年)	Changhe Aircraft Industries Group Ltd.（CHAIG） Z-8/-11ヘリコプター、S-92Helibus尾翼
⑤ 哈爾濱Embraer航空機工業 2002年設立、2016年解散	Harbin Embraer Aircraft Industry Co. Ltd.（HEAI） ERJ-145ファミリー(終了)、Legacy 650(終了)
中航通用飛機有限責任公司(珠海) 2009年設立	China Aviation Industry General Aircraft（CAIGA) 軽飛行機、AG600水陸両用機(飛行艇)

2015年、Boeingは、中国市場顧客向けのB737の内装仕上げ、塗装及びデリバリー機能を備えた737 Completion and Delivery Centerを、中国国内に設置することに基本合意し、内装仕上げ、塗装などを行う完成センターは中国商用飛機(COMAC)との合弁事業として2017年に浙江省舟山で起工した。2018年には、米ワシントン州レントン工場で最終組立後に舟山センターで最終仕上げが行われたB737 MAX8を中国国際航空へ初納入した。今後は年間100機程度を中国のエアラインへ納入する計画であったが、同型機の墜落事故の影響で2019年3月から2021年まで運行停止措置が取られた。

＜COMAC ARJ21 リージョナルジェット機＞

2002 年に ARJ21(Advanced Regional Jet for 21st Century)開発計画が報じられ、同年 9 月国務院の承認を得たことが発表された。ARJ21 は、横 5 列配置の 72 席(2-クラス) / 79 席(1-クラス)、ターボファンエンジンを後胴左右に装着した T 型尾翼の双発機である。エンジンは米国 GE Aerospace の CF34 を搭載する。この計画のために 2002 年秋に上海、西安、瀋陽、成都など AVIC I 傘下企業 15 社が出資して中航商用航空機(ACAC)が設立されている。また、2003 年には ARJ21 の VIP 型(30 席)計画も発表された。2004 年には、最初のメタルカットを開始、ARJ21 のローンチオーダーは計 35 機(3 カスタマー)であった。また、貨物型の計画等が発表された。2010 年には、米国ロサンゼルスに初の海外拠点を設立した。2014 年に中国民用航空局の型式証明を取得し、2015 年に成都航空へ納入され、2016 年に中国国内路線に就航した。2023 年 4 月にはインドネシアの LCC トランスヌサにより、ジャカルタからバリ島への路線が就航し、中国国外で初めて商業運用が始まった。2023 年 10 月末で 454 機の確定受注があり、114 機を納入している。

＜COMAC C919 開発＞

2009 年、168～190 席クラスのナローボディ旅客機 C919 の開発が開始された。エンジンは CFMI の LEAP-1C を搭載する。2009 年に機首先端部の製造が始まり、2015 年に COMAC 上海工場で機体がロールアウト、2017 年に初飛行した。C919 は 2022 年 9 月 CAAC から型式証明を取得し、2023 年 11 月現在、オプションを含めて 800 件を超える受注を獲得した。また、2023 年 9 月に胴体の短縮、伸長による 130～240 席派生型の開発を公表した。

2022 年 12 月、初号機が中国東方航空に引き渡され、2023 年 5 月 29 日に上海-成都間で定期運航を開始した。

＜COMAC C929 開発＞

COMAC は、2016 年にロシアの United Aircraft と長距離ワイドボディ旅客機開発の合弁会社設立を検討していることを発表した。2017 年には China-Russia Commercial Aircraft International (CRAIC)を上海に設立、機体名を C929 から CR929 とした。2023 年基本型の C929-600（280 席、航続距離 14,000km）のほか、短胴型 C929-500 と長胴型 C929-700 を計画しており、2023 年以降の初飛行、2028~2029 年の初号機納入を予定していた。2018 年、イタリアの Leonardo は、中国の Kangde Investment Group と CR929 プログラムへの参画について、基本合意した。正式な契約締結後、両社は JV(合弁会社)の Kangde Marco Polo Aerostructures Jiangsu(江蘇省)を設立し、CR929 航空機用の複合材料部品の開発、製造、組立を担当する予定である。2023 年 6 月 COMAC は、ロシア技術者との協力の下で COMAC 単独で開発するとし、機体名を C929 とした。

また、中国広東省の珠海市にある中航通用飛機有限責任公司は、2017 年、水陸両用機(降着装置を持つ飛行艇)AG600 を初飛行させ、2018 年に初めての離着水を行った。2009 年から開発され、2016 年にロールアウトした。2022 年 5 月、全長 38.8m 最大離陸重量 60t の新構造消火用水タンクを搭載した消火・救難型 AG-600 Water Bomber が初飛行した。

a.(旧) 中国航空工業第一集団公司 (AVIC I)

傘下に瀋陽、成都、西安、上海の主要企業、航空エンジン・機器メーカーなど多数の企業、研究機関、

その他を擁し、軍用機、民間機、航空エンジン、航空用機器、武器、爆弾及びガスタービン、自動車、オートバイ、冷蔵庫、環境保護機器など非航空製品の開発・製造、販売プロサポを行っている。

2012年には、Z-8Fをもとに開発された13トン級大型民間ヘリコプターAC313が、中国民用航空局の型式証明を取得した。

(a) 上海航空工業(集団)公司 (SAIC)　上海市

上海航空機製造廠(Shanghai Aircraft Manufacturing Factory: SAMF)を中核企業とし、約40の事業体を傘下に持つ。

'70年代に中国民航が購入したB707を参考にしたY-10(運輸-10) 4発旅客機('80年秋上海で初飛行)の開発からスタートしたと言われているが、'85年から'94年まで実施されたMcDonnell DouglasとのMD-82/83の35機の共同生産を通じて当時中国最大の民間旅客機の製造企業となった。

MD-90は上海のほか西安航空機公司で主翼と胴体部位、瀋陽航空機公司でワイヤーハーネスと関連部品、尾部、成都航空機公司で機首、乗降ドアが製造され、最終組立は上海航空機製造工場で行なわれた。

部品下請けではB737の水平尾翼、B747の主翼リブ、A320の貨物扉フレームなどの生産を行っている。

(b) 西安航空機工業(集団)有限責任公司 (XAC)　陝西省 西安

Tu-16爆撃機をH-6「轟炸6」としてライセンス生産を行っていたが、その後の主要プログラムは、JH-7 (FBC-1)「殲轟7」、Y-7「運輸7」改良型のY7-100 (52席)が生産された。2009年に発表されたターボファン4発の大型軍用輸送機Y-20「運輸20」は、最大離陸重量は220トンあり、2013年には初飛行した。エンジンは、当初Il-76輸送機に装備のソロビヨフ D-30KPを搭載したが、5号機からは国産のWS-20に変更されている。2016年に部隊配備された。

下請生産ではB737のサービスドア、B747の主翼リブ、B737-600/700/800の垂直尾翼、B757の垂直尾翼('98年から出荷)、A320の電気室サービスドア・主翼ボックスや後縁など、Canadair CL-215/415エルロン、フロート・パイロン、アクセスドア、ATR-42のウイングチップ、ATR-72の後部胴体部品を生産している。

＜MA60ターボプロップ機＞

MA60 (Modern Ark 60-seater)は2000年に初飛行し就航した。同年のZhuhai (珠海) Air Showで、西安は中国で初の航空機リース会社、Shenzhen Financial Leasingから発注を得た。

また、AVIC Iは次世代ターボプロップ機 MA700 (70～80 席)の開発も検討しており、RTX、Pratt & Whitney Canada、Honeywellなどがエンジン、装備品などの供給で参画表明している。

(c) 瀋陽航空機工業(集団)有限公司 (SAC)　遼寧省 瀋陽

主として中国の戦闘機の開発・生産を行っている。これまで、J-5「殲撃5」、J-6「殲撃6」、またMiG-21「殲撃7」の技術をベースにマッハ2クラスのデルタ翼戦闘機J-8 (F-8)「殲撃8」、その改良型J-8 II、J-8 IIMを開発・生産してきた。また、'98年からロシアのSu-27をJ-11として組み立て・共同生産を始めている。2012年には、J-31「殲31」次世代ステルス戦闘機試作機の初飛行が行われ、2014年の中国国際航空宇宙博覧会で輸出仕様のFC-31の飛行が公開された。

民間機ではこれまでMD-90の尾部、電線及び関連部品を製造、及びB737–600/700/800の後部胴体・尾部の部品、B757の貨物扉、Dash 8の手荷物扉・サービス扉・非常口扉、A320の主翼リブと前縁部・脱出扉、C-130のテールコーン、脚扉、パイロン・コンポーネント、その他、Boeing、Airbus、Saabの部品の機械加工を行ってきた。2009年にCSeries胴体構造強度試験用供試体をBombardierに納入した。

(d) 成都航空機工業(集団)有限責任公司(CAC)　四川省成都

中国の戦闘機開発・生産の中心工場としてJ-7(F-7)戦闘機(MiG-21ライセンス生産)、JJ-5(FT-5)戦闘／練習機を開発・生産し'91年からJ-10(F-10)戦闘機を、'94年頃からFC-1戦闘攻撃機を開発している。

2011年には、中国軍のJ-20「殲20」次世代ステルス戦闘機試作機の初飛行が行われ、J-20は、改良型が2016年の珠海航空ショーで公開された。

現在はA320の後方乗降扉・前脚室及び周辺フレーム、A350のスポイラーの下請け生産を行っている。

b. (旧) 中国航空工業第二集団公司(AVIC II)

傘下に洪都、哈爾濱、陝西、昌河の主要企業、航空エンジン・機器メーカーなど多数の企業、研究機関を擁しているが、民間機及び軍用機共各々2機種を生産しているのみでAVIC Iとはかなり差があるが、ヘリコプターを製造する哈爾濱、昌河を擁している。

2002年にEmbraerは、哈爾濱航空機工業集団と合弁会社「Harbin Embraer Aircraft Industry Co., Ltd.(HEAI)」を設立しERJ 145ファミリー(50席クラス)を生産する協定に調印した。その後2012年にビジネスジェットLegacy 650をHEAIで生産することでEmbraerと哈爾濱航空機工業集団が合意し、2013年からHEAIでの初号機の組立を開始、2014年から顧客へ納入された。Embraerは2016年にAVICとの13年間の合弁を終了し、HEAIは解散した。

2003年、AVIC IIの非軍事部門の新会社であるAviChina Industry & Technologyを設立し香港証券取引所に上場した。

(a) 洪都航空機工業集団(HONGDU)江西省　南昌

Yak-18練習機のライセンス生産CJ-5、Mig-19をベースにしたQ-5(A-5)「強撃5」攻撃機、An-2をベースにしたY-5「運輸-5」複葉農業用機を開発・生産してきた。現在のプログラムとしてはQ-5(A-5)「強撃5」と、'86年にCATIC(中国航空技術進出口総公司)とイタリアAleniaが合意してアビオニクスを近代化したQ-5M(A-5M)攻撃機がある。

(b) 哈爾濱航空機工業集団(HAIG)黒竜江省　哈爾濱

H-5「轟炸5」爆撃機(Il-28のコピー)、Z-5ヘリコプター(Mi-4)、8席双発レシプロ輸送機Y-11「運輸11」を開発・生産してきた。

現在のプログラムはY-12双発ターボプロップ輸送機とZ-9 Haitan多用途ヘリコプター(Airbus Helicopter AS365N Dauphin 2のライセンス生産)である。'98年にCanadian Aerospace Group (CAC)と提携し、カナダに子会社のPanda Aircraftを設立しY-12をTwin Pandaとして販売を行っている。日本でもアイ・ティー・シー・エアロスペースが販売代理店の指定を受け販売している。

他には、Airbus Helicopter EC120の開発に参画しており胴体部、脚、燃料システムを担当している。下請けでは、Avro RJシリーズの乗降扉、Dauphinの扉を生産し、A320の水平安定板の前縁リブを生産している。2005年にはEurocopter(現Airbus Helicopters部門)と中国は、次世代ヘリコプターEC175(16

席)の共同開発で合意し、2006年に開発を開始し、2009年に初飛行した。

(c) 陝西航空機公司(SAC) 陝西省

An-12をベースにした4発ターボプロップY-8「運輸-8」、Y-8C型、民間貨物輸送用Y-8F型、胴体延長型のY-8F-200型を製造している。

(d) 昌河航空機工業(集団)有限責任公司　江西省　景徳鎮

哈爾濱航空機工業集団、中国直昇機設計研究所(China Helicopter Research and Development Institute)と共にJingdezhen Helicopter Groupのメンバーの一つである。国産技術で2トンクラス、6～7席のZ-11ヘリコプターの開発に成功した。

また、Sikorskyの19～22人乗りS-92多用途中型ヘリコプターの共同開発にJingdezhen Helicopter Groupが、リスク・シェア・パートナーとして2%参画し、垂直尾翼パイロン、水平安定板を製作している。

(2) 宇宙産業

a. 宇宙開発、利用の沿革

宇宙開発は軍事政策の一環として'56年から取組みを進めてきた。'70年に長征1号(Long March 1)で初の人工衛星「東方紅」(Dong Fang Hong)の打上げに成功した。中国初期の宇宙開発は中国航天工業部(MOA)が中心で、'88年に軍事及び民間両者の宇宙産業を監督する航空航天工業部(MOS)を設立し、'93年に中国航天科技集団公司(CASC: China Aerospace Science and Technology Corporation)と中国国家航天局(CNSA: China National Space Administration)に組織を変更し、商業打上げなどに対応できる体制とした。その後、中国航天科工集団公司(CASIC: China Aerospace Science & Industry Corp.)が設立され、現在はCASC及びCASICはCNSA傘下となっている。中国空間技術研究院(CAST: China Academy of Space Technology)は'68年にCASCの研究機関として設立された。射場は酒泉(甘粛省)、太原(山西省)及び西昌(四川省)、文昌(海南島)にあり、2023年は5か所目となる浙江省寧波市の象山にロケット発射センター建設を発表した。文昌射場に隣接させた民間専用の海南商業宇宙発射場(文昌国際航天城)の建設も2022年から行われており2024年から年間40～50回の打上げ頻度で稼働すると発表した。中国初の海上発射母港として「中国東部宇宙港」を山東省煙台の海陽港に建設し、黄海や東シナ海で打上げを実施している。

b. 宇宙開発、利用の現況

中国は、「東方紅」(Dong Fang Hong)の打上げ以降、40年の間に、多数の人工衛星と「神舟」(Shenzhou)シリーズの宇宙船の開発と打上げを行ってきた。現在では回収式遠隔探査衛星、通信放送衛星、気象衛星、科学観測・技術試験衛星、地球資源衛星、航行誘導衛星、宇宙船「神舟」、補給船「天舟」の8つの衛星シリーズを形成し、宇宙技術は世界の先進レベルに達している。宇宙分野の全てにわたり軍民双方の分野で積極的に開発を進めている。2020年時点の年間宇宙予算は87億ドルと言われている。2003年には自力で有人宇宙船を成功させ、この分野では米ロに次ぐ「有人宇宙大国」となった。

5年に1度発行される宇宙白書「2021中国的航天」が2022年に発行された。白書によると宇宙輸送分野では引き続きロケットの種類を増やし、高推力の大型ロケットの開発を加速させること、再利用や新世代の有人ロケットの開発を推進するとしている。宇宙インフラでは地球観測衛星ラインナップが基本

的に完成したとし、空間高分解能、時間高分解能、スペクトル高分解能などの総合力が大幅に向上し、北斗 3 型衛星航法システムが完全に完成したとしている。今後 5 年間計画では宇宙インフラの改善を続け、リモートセンシング、通信、およびナビゲーション衛星融合技術の開発を促進していくとしている。スペースデブリ監視、地球近傍物体防御システム、気候監視システム改善、静止軌道マイクロ波検出、新世代の海洋水色、陸域生態系炭素監視、大気環境監視用の衛星を開発し、デュアルアンテナ X バンド干渉合成開口レーダー、陸域水資源、およびその他の衛星技術を開発して、包括的および効率的な全球地球観測とデータ取得能力を高めるとしている。また高軌道と低軌道の協調を備えた衛星通信システムの構築を促進し、新しい通信衛星技術の検証と商用利用を実現する第 2 世代のデータ中継衛星システムの構築を進める。有人宇宙飛行は継続し、宇宙ステーションや月面宇宙の有人探査と開発の基盤を強化していくとしているほか、将来的には①宇宙アプリケーション産業の育成と拡大、②宇宙科学の探査と研究の実施、③航空宇宙ガバナンスの近代化促進、④航空宇宙における国際協力の新しいパターンを構築するなどを掲げている。

中国国内の宇宙企業は 2023 年時点で 430 社に到達した。宇宙関連の主な企業を表 2-3-5 に示す。2023 年の打上げは 67 回で、そのうち民間ロケットは 17 回である。国内外の人工衛星や有人宇宙船など CubeSat を含め 2053 機を打上げた。なお、2022, 2021 年のロケット打上げはそれぞれ 64, 55 回である。組織動向に関しては 2022 年 2 月に国家航天局が国際月科学研究ステーションや小惑星防御システムなどの重要プロジェクトの論証と実施をする深宇宙探査実験室(天都実験室)の設立を発表した。2022 年 9 月に中国科学院空天情報革新研究院にリモートセンシング衛星応用国家工学研究センターを設立した。これは衛星画像やデータの製品と技術を体系化し技術的ツールを提供するもので、データ利用技術や製品の品質面で商業化を促進する一方、国内の衛星データの共有や応用を図るため地球観測データセンターや気象センター、資源応用センター、応用国際協力センターのほか、海南省と共同で海南衛星データ・応用研究センターなどの機関を組織し、それらと共同で国家リモートセンシングデータ・応用サービスプラットフォームを構築した。2019 年に湖北省で最初の衛星工業団地「武漢国家航空宇宙産業基地」の建設を開始し、国外からの受注を含め年間 100 機の衛星生産能力を有するとしている。また、商業用の新型液体燃料ロケット生産のため浙江省嘉興市の嘉興港湾地域の整備を進めている。同省の台州市沿岸地域にある Geespace の衛星製造施設の強化に浙江吉利控股集団が$ 326M を投資すると発表している。

表 2-3-5 中国の宇宙企業一覧(1/2)

No.	企業名	拠点	分類
1	Beijing Jiutian [Commsat] MSI Technology Development Co., Ltd.	北京市	衛星製造
2	Beijing Commsat Technology Development Co., Ltd.　九天微星	北京市	衛星製造
3	Beijing Galaxy Space Technology Co., Ltd.　銀河航天	北京市	衛星製造
4	Beijing Honeycomb Aerospace Technology Co., Ltd.	北京市	衛星製造
5	Beijing ZeroG Technology Co., Ltd.	北京市	衛星製造
6	HEAD Aerospace	北京市	衛星製造
7	Spacety	北京市	衛星製造
8	Chengdu GuoXing Aerospace Technology Co., Ltd. (Ada Space)	成都市	衛星製造
9	Origin Space　起源太空	深圳市	衛星製造
10	Shenzhen Aerospace DFH Haite Satellite Co., Ltd.	深圳市	衛星製造
11	Shenzhen Keweitai Industrial Development Co., Ltd.	深圳市	衛星製造
12	Shanghai Lizheng Satellite Application Tech Co., Ltd.	上海市	衛星製造
13	Zhejiang Shikong Daoyu Technology Co., Ltd. (Geely Satellite or Geely Space)	上海市	衛星製造
14	GeoSys Hong Kong Ltd.	香港市	衛星製造
15	Hong Kong Aerospace Technology Group (HKATG)	香港市	衛星製造
16	Beijing HEAD Aerospace Tech Co., Ltd.	北京市	衛星製造
17	ZeroG Lab	北京市	衛星製造
18	Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd. (CGSTL)	長春市	衛星製造
19	Hangzhou LaserFleet Space Technology Co., Ltd.	深圳市	衛星製造
20	Shanghai Academy of Spaceflight Technology	上海市	衛星製造
21	Beijing Zhixing Space Technology Co., Ltd.	北京市	衛星製造
22	Recco Defense / Jiangsu Leike Defense Technology Co., Ltd.	北京市	衛星製造
23	StarWiz Co., Ltd.	上海市	衛星製造
24	Xi'an Tianyuan Optoelectronics Technology Co., Ltd.	西安市	衛星製造
25	China Aerospace Science & Technology Corporation (CASC)	北京市	ロケット
26	ExPace Technology Corporation (CASIC Rocket Technology Company)	北京市	ロケット
27	iSpace China　(SpaceHonor/BeijingInterstellar Glory Space Technology Ltd.)	北京市	ロケット
28	One Space Tech	北京市	ロケット
29	Space Transportation	北京市	ロケット
30	Galactic Energy　星河动力	北京市	ロケット
31	LinkSpace　(Link Space Aerospace Technology Inc.)	北京市	ロケット
32	China Rocket	北京市	ロケット
33	Spacetrek	北京市	ロケット
34	Beijing Xingtu Exploration Technology Co., Ltd.	北京市	ロケット
35	Beijing Zhongke Aerospace Exploration Technology Co., Ltd.	北京市	ロケット
36	Space Transportation Co.　凌空天行	北京市	ロケット
37	Deep Blue Aerospace	北京市	ロケット
38	Seres Space ExplorationTechnology	北京市	ロケット
39	Beijing Minospace Technology Co., Ltd.	北京市	搭載機器
40	Space Will Info. Co., Ltd.　航天世景	北京市	搭載機器
41	Suman Satellite Technology Company	北京市	搭載機器
42	Ningbo Huaye Broadband Network Equipment Co., Ltd.	寧波市	搭載機器
43	ZhenJiang LanJian Electron Co., Ltd.　(LANJIAN)	鎮江市	搭載機器
44	Xi'an Space Star Technology（Group）Co., Ltd. (Xi'an Space Star)	西安市	搭載機器
45	Chengdu BoCen Microwave Technology Co., Ltd.	成都市	搭載機器
46	Skylink Microwave	成都市	搭載機器
47	Sunsea AIoT Technology Co., Ltd.	深圳市	搭載機器
48	Hangzhou Linan Wanpeng Telecom Cable Co., Ltd.	杭州市	搭載機器
49	Willingcables	杭州市	搭載機器

表 2-3-5 中国の宇宙企業一覧(2/2)

No.	企業名	拠点	分類
50	China Sun Communication Group Limited Company	西安市	搭載機器
51	Zhuhai Orbita Control Engineering	珠海市	搭載機器
52	Diadem Technologies Inc	上海市	搭載機器
53	SPACE OK　欧科微航天	上海市	搭載機器
54	TreLink Communication Co., Ltd.	佛山市	地上端末
55	Kenbotong Technology Co., Ltd.	佛山市	地上端末
56	Beijing Ruixinfeng Technology Co., Ltd. (RINFON)	北京市	地上端末
57	AKD Communication Technology Co., Ltd.	北京市	地上端末
58	SANETEL	北京市	地上端末
59	SinoSatellite Communications Co., Ltd. (Sinosat)	北京市	地上端末
60	Chengdu Global-way Communication Technology Co., Ltd.	成都市	地上端末
61	Chengdu Spaceon Technology Co., Ltd.	成都市	地上端末
62	Baoan Enterprise Huaxun Ark Co., Ltd.	深圳市	地上端末
63	Anhui Sun Create Electronics Co., Ltd.	合肥市	地上端末
64	Huaxin Antenna	江蘇市	地上端末
65	AnteskyScience Technology Inc.	江陰市	地上端末
66	SATPRO M＆C Tech Co., Ltd.	西安市	地上端末
67	Shaanxi Probecom Microwave Technology Co., Ltd. (Probecom)	西安市	地上端末
68	Shaanxi Tianyi Antenna Co., Ltd.	西安市	地上端末
69	21st Century Space Technology Application Co., Ltd.	北京市	衛星運用
70	China Great Wall Industry Corporation (CGWIC)	北京市	衛星運用
71	Satelliteherd	北京市	衛星運用
72	Beijing Deep Blue Space Remote Sensing Technology Co., Ltd.	北京市	データ処理
73	Beijing Zhongjing View Technology Co., Ltd.	北京市	データ処理
74	Beijing Aerospace Hongtu Information Technology Co., Ltd.	北京市	データ処理
75	K＆Y Co.	北京市	材料燃料
76	Land Space Technology Corporation Ltd. (Beijing Blue Arrow Space Technology Co., Ltd.)	北京市	材料燃料
77	Baoji Titanium Industry Co., Ltd.	宝鶏市	材料燃料
78	Permanent Steel Manufacturing Co., Ltd.	長沙市	材料燃料
79	Starway Exploration	北京市	その他
80	Five Guangzhou environmental equipment Co., Ltd.	広州市	その他

中国の宇宙ビジネスはその全容はなかなか掴めないが 2021 年の中国国内の航空宇宙企業は 95,000 社である。この中にはドローン、航空機エンジン、先端材料、部品メーカーも入る。民間商業宇宙企業は 430 社前後で資金調達は 2021 年で 35 回実施されており、調達額は合計で 6 億 4500 万人民元(約 118 億 2000 万円)であった。資金調達額が全国で 120 億円程度と少なくて済む理由は、国家宇宙戦略を受けてノルマとして課せられた地方省政府が宇宙都市や宇宙工業団地を形成し、企業間の開発効率を上げつつ生産設備購入や試験施設の資金や開発インフラの大部分を提供するからである。したがって民間は事務、技術者オフィスを設立する程度の資金で足りる。宇宙開発の中心地は北京にその大部分があり、地方省政府が生産や試験をサポートする形である。この方法は歴史的に弾道ミサイル開発基盤上に成り立っており事業ノウハウを踏襲している。民間企業は既存インフラを活用、あるいは発展させて新規の宇宙技術を社会インフラに実装するのである。民間宇宙企業の事業目標は軍での採用である。このため中央政府が「軍民融合発展促進センター」を設立し事業支援をしている。国家戦略に合致していれば民間宇宙

ビジネスの失敗にはとても寛容である。このような環境下で民間投資家や民間企業はスタートアップに投資して利益を得ている。中国ではすでにネットショップでロケットや民間衛星(3,800 万円から)を購入できる。この投資の背景には米国と同じように海外向けの宇宙輸送サービス、衛星開発サービス等による官民双方の宇宙産業覇権メリットの獲得である。また、宇宙開発や宇宙利用分野での技術者育成に力を入れており、2023 年 9 月に山東省済南市に中国初の宇宙情報大学を設立することが承認されている。

[宇宙輸送分野]

中国は政府、民間ともロケットの種類が非常に多い。民間の新型ロケットの打上げは年末年始(中国歴の年度末)に集中し、官民ともに西側諸国の宇宙状況把握(SSA)抑止の観点からも打上げ計画は非常に流動的である。

中国の国産ロケットは '70 年の長征 1 の打上げから始まっている。長征シリーズは現在までに開発中を含め大きく分けて 26 種類である。そのうち 7 種類が退役しており、開発中の長征 9, 10 を除き 17 種類のロケットが現役である。

2023 年までに長征シリーズでの打上げは通算で 510 回(内失敗 19 回)となった。2023 年の長征シリーズの打上げ回数は 47 回である。そのうち 2 回は有人船の長征 2F(神舟)で、物資補給船の長征 7(天舟)が 1 回である。有人用ロケットは'99 年に初飛行し、実際の有人初飛行は 2003 年に神舟 5 号を搭載した長征 2 F である。2023 年までに有人で 17 回(神舟 17 号)打上げられている。長征 2 F は信頼性と有人飛行時の安全性を確保している点のほか、精密な飛行制御ができるのが最大の特徴である。そのため軌道上実験モジュールの天宮 1 号、2 号やスペースプレーンを長征 2 F/T で打上げている。2022 年に初飛行した長征シリーズは長征 6A で太陽同期極軌道(SSO)への投入性能を長征 6 の 500kg から 4000kg に大幅に増大させたものである。そのほか、2022 年に打上げた長征シリーズで注目されるのは長征 5 B で、中国の新世代大型輸送ロケットであり、低軌道への打上げ能力は 25 トンで宇宙ステーションコアモジュール「天和」と実験モジュール「問天」を文昌発射場から打上げている。初飛行は 2020 年で 4 回成功している。また、静止トランスファ軌道(GTO)への 7.8 トンの打上げ能力を持ち、2020 年に初飛行した新世代中型輸送ロケットの長征 7 A がある。2022 年 9 月に 4 回目の飛行をした。長征 8 は 2020 年に初飛行した新世代中型の低中軌道用ロケットで太陽同期極軌道(SSO)に 5 トンを投入できる。高頻度打上げに適用させるため、コストパフォーマンスを向上させた設計となっている。2022 年 2 月に 22 機の衛星を打上げて、1 回の打上げ衛星数で中国の最多となった。2011 年から低軌道に最大 150 トンのペイロードを打上げられる長征 9 の開発に着手している。この大型ロケットの直径は現役のロケットの約 2 倍で、宇宙ステーション、有人月探査や深宇宙探査などに重要な役割を果たす。使い捨てロケットとして開発が進んでいたが、2022 年 11 月に再使用型ブースター導入を発表している。長征 9 は月遷移軌道(LTO)に 50 トン、火星遷移軌道に 35 トンを投入可能としている。2023 年には月面研究ステーション建設のため長征 10 を開発することに言及した。長征 10 は次世代の有人打上げ用ロケットとしての役割を担い月遷移軌道(LTO)に 27 トン、地球近傍軌道には 70 トンを投入できるとしている。

長征シリーズは、大部分は液体燃料ロケットであるが、シリーズの中で唯一、長征 11 は 4 段の固体燃料ロケットで太陽同期極軌道(SSO)への投入性能は 350 kg である。長征 11 H は海上プラットフォームを使って 2022 年は東シナ海と黄海から 1 回ずつ打上げている。なお、2023 年の海上発射は Jielong 3(スマー

トドラゴン 3)に移行し 1 回打上げ、民間の Ceres-1 穀神星でも海上発射を 1 回実施しており長征 11H の使用実績はない。

長征シリーズは主に政府の衛星、宇宙探査、有人飛行に適用されるが、中国航天科工集団公司(CASIC)がミサイル技術を活かして、官民両用の低コストの固体燃料ロケットを開発している。その 1 つが快舟 1A ロケットで、すでに 28 回打上げ成功率は 90％近い実績がある。東風 21 号中距離弾道ミサイル(IRBM)の技術を転用した快舟 11 ロケットは 2020 年に初号機打上げに失敗し、2022 年 4 月に引退を宣言されていたが、2022 年 12 月の打上げ成功により運用が再開された。2023 年 7 月は快舟 11 の開発元である航天科工ロケット技術有限公司が 2023 年第 4 四半期(10～12 月)から 24 年第 4 四半期まで 5 回打上げの計画で、余剰貨物スペースの利用を募集している。中国運載火箭技術研究院(CALT)の固体燃料ロケットに天竜(Jielong)があり、天(捷)竜 3 (Smart Dragon 3)が 2022 年 12 月に打上げられた。太陽同期軌道(SSO)への投入能力は 1.5t で、打上げコストを 1 kg あたり 1 万ドルの商業打上げ市場向けのロケットである。

民間企業でも幾つかのロケットが開発され実績を重ねつつあり、中科(Zhongke)、Ceres-1 穀神星(別称:谷神星 1 / Gushenxing)、双曲線(Hyperbola-1)が打上げられている。開発中のロケットとしては LinkSpace (翎客航天)の風暴 1(Fengbao-1)などがある。その中で注目されるのは中科(Zhongke)で、力箭 1 とも呼ばれる固体燃料ロケットは中国科学院の傘下の子会社 CAS Space によって東風 31 長距離大陸間弾道ミサイル技術を元に開発され、低軌道(LEO)に 2 トン、太陽同期極軌道(SSO)に 1.5 トンの投入能力がある。2022 年 7 月の初飛行では 5 種類 6 機の衛星を打上げた。2023 年も 1 機利用された。LOX/LCH4 液体燃料ロケットエンジンを採用している Landspace 社の朱雀 2 (Zhuque-2)を 2022 年 12 月に初飛行させたが失敗し、2023 年 7 月 12 日に打上げが成功した。朱雀 2 は衛星軌道に到達した世界初のメタン燃料ロケットとなった。双曲線(Hyperbola-1)は 2022 年 5 月の打上げに失敗した。2021 年から連続 3 回失敗していたが 2023 年 4 月 7 日に打上げが成功した。2023 年に初の打上げとなった民間ロケットは Hunan Hangsheng Satellite Technology 湖南航昇衛星公司の天竜 2 遥 1 で自社 4U CubeSat(光学)の Jinta を太陽同期軌道に打上げた。また、2023 年 12 月 10 日に北京星際栄耀空間科技(星際栄耀-iSpace)の双曲線 3 (Hyperbola-3)の 2 回目のテスト飛行に成功した。双曲線 3 は垂直離着陸の液体酸素／メタンロケットである。ほかには中国運載火箭技術研究院(CALT)が高度 500 km の太陽同期軌道(SSO)に最大 300 kg のペイロードを投入できる小型衛星打上げ用の再使用可能な空中発射ロケットを開発中である。

2023 年のロケット打上げは長征シリーズ、民間企業ロケットともに失敗は無かった。

[有人飛行・宇宙往還機]

中国初の有人宇宙船「神舟 5 号」(Shenzhou 5)は、2003 年に楊飛行士が搭乗し、酒泉から長征 2 号 F で打上げられ地球を 14 周した後、打上げ翌日に内モンゴル自治区四子王旗に着陸した。有人宇宙船打上げは'61 年のソ連、米に続き世界で 3 番目となった。

2008 年に打上げた「神舟 7 号」(Shenzhou 7)では、3 人の飛行士が搭乗して初の船外活動を実施した。2011 年に宇宙実験室「天宮 1 号」と 2016 年に無人宇宙実験室「天宮 2 号」(Tiangong-2)を打上げて、神舟や無人補給船の天舟 1 号による自動燃料注入、天宮同士とのドッキング実証をおこなった。さらに 2 名の宇宙飛行士が約 1 ヶ月間滞在して医学及び宇宙技術の実験を行った。役割を終えた天宮 1 号は 2018 年に、天宮 2 号は 2019 年に大気圏突入させ廃棄した。2020 年の次世代有人宇宙試験船のテスト飛行後、2021 年 4

月に中国宇宙ステーション(CSS)のコアモジュールである「天和(Tianhe)」を長征 5 B で打上げた。2022 年 7 月に文昌射場から長征 5B で最初の実験モジュールとなる問天(Wentian)を打上げた。問天はロボットアームと衛星放出機構を備え、最大 100 kg の衛星を軌道上に投入できる。続いて 2022 年 10 月に文昌射場から長征 5B で 2 番目の実験モジュールである夢天(Mengtian)を打上げた。有人機の神舟 14 号は宇宙実験室を完成させる任務で 2022 年 6 月に、続く神舟 15 号は 2022 年 11 月に打上げた。補給船の天舟 4 号は 2022 年 5 月、天舟 5 号は 2022 年 11 月に文昌射場から長征 7 で打上げた。CSS は 6 つの宇宙機で最大 180 トンの複合体となり船内活動空間は 110 立方メートルとなる。CSS 基本形の完成により長期 3 人、短期数日で最大 6 人の滞在が可能となった。機能・性能の軌道上でのテスト後、運営段階に移行した。

現在、CSS は T 字型であるが、将来はさらにモジュールを追加して十字型にする計画を 2023 年 2 月に発表した。2023 年は有人宇宙船の神舟 16 号が 5 月 30 日、神舟 17 号が 10 月 26 日、補給船の天舟 6 号が 5 月 10 日にそれぞれ打上げられた。補給船が 1 回しかないのは CSS に 3 か月分のストックがあることと、補給船の積載量が大きいことにあり、運搬コストとリスク低減に配慮したシステムとなっている。また CSS の酸素資源再生率は 100%、水資源再利用率は 95%以上としている。CSS では将来の月探査、火星探査のために数多くの植物栽培実験と医学実験、金属素材実験を行っている。2022 年 12 月末時点で宇宙飛行士の累積宇宙滞在日数は 1,433 日となっており、2023 年初頭に日本を抜きロシア・米国に次いで世界第 3 位となった。

また、2023 年 12 月 17 日には民間企業の北京紫微宇通科技有限公司(Ziwei Technology AZSPACE)が円錐形の大気圏再突入カプセルである迪迩 1 (Dier-1)を双曲線 1 ロケットで酒泉から初飛行させた。

再利用型宇宙実験機の詳細は不明だが 2020 年から年 1 回のペースで続いており、2020 年 9 月に再利用型宇宙実験機 China Chongfu Shiyong Shiyan Hangtian Qi を打上げ、予定地点の砂漠に着陸させた。2021 年 7 月にも試験を成功させた。2022 年は 8 月に酒泉から打上げて、南東約 500km 離れた阿拉善(アルシャー)右旗空港に水平着陸させている。軌道飛行中だった再使用型宇宙往還機は 2023 年 5 月 8 日に帰還し 276 日間軌道上を飛行と発表した。2023 年 12 月 14 日宇宙往還機の 3 回目を打上げた。

2021 年に中国航天科技集団公司(CASC)の下部組織である中国運載火箭技術研究院(China Academy of Launch Vehicle Technology: CALT)が 2033 年から 2 年おきに有人火星探査を行う計画を発表している。

[通信・放送衛星分野／データ中継衛星]

国産技術で開発したスピン型通信衛星 DFH-2A を '88 年に 2 機、'90 年に 1 機を打上げた。

現在利用されている中国の通信衛星のうち政府衛星では中星(Chinasat)、天通(Tiantong)、創新(ChuangXin)、天鏈(TianLian)、行雲(Xingyun)、亜太(APStar)などがある。

中星シリーズは '84 年 4 月に静止軌道への投入が成功した試験通信衛星の東方紅 2 号 B (Dong Fang Hong2B)が最初である。2008 年には中国初の直接受信(DTH)衛星「中星 9 号」(Chinasat 9)(仏 TAS 製)を打上げ 2008 年の北京オリンピック中継に使用された。中星 22 号までを打上げているが政府衛星と商業衛星が混在し、アジア、中近東などへテレビ放送サービス、商業通信サービスや航路高速通信などの様々なサービスを提供している。2022 年の打上げは 2 機で、中星 6 号 D が 2022 年 4 月、中星 19 号が 11 月に長征 3B で西昌から打上げた。2023 年 2 月 23 日に長征 3 B/E で中星 26 号(ChinaSat 26 / Zhongxing-26)をフィリピン上空の静止軌道に打上げた。インターネット通信用途で中国初の 100Gbps 超のハイスループット衛

星である。2023年11月9日に長征3B/Eで商業放送用の中星6E(ChinaSat 6E)を静止軌道打上げた。

創新(ChuangXin)は独自開発した 100 kg 以下の小型通信技術衛星で移動通信の多数衛星ネットワークの構築も計画されており、2014年の創新1号04まで4機が打上げられている。

天鏈(TianLian)は中国初のデータ中継衛星で2008年から2021年まで4機の天鏈1号を打上げている。2019年に第2世代天鏈2号が打上げられ2022年7月に3機目の天鏈2Cが長征3Bで西昌から打上げられた。天鏈ネットワークは7機体制で人工衛星と地上局との中継、有人飛行や宇宙ステーションとの中継通信を担っている。

行雲(Xingyun)は93 kgのブロードバンドIoT衛星である。中国航天科工集団(CASIC)の「Xingyunプロジェクト」でLバンド通信ペイロードと衛星間レーザー通信を備えており技術実証衛星で3機打上げた。CASIC子会社のXingyun Satellite Co.が第3世代の行雲(Xingyun-3)を開発中である。

亜太(APStar)は中国初のKuバンド静止軌道高スループットブロードバンド通信衛星で2020年の亜太6D(APStar 6D)まで11機打上げた。民間企業の通信衛星では天啓(Tianqi)、銀河(Yinheまたは Galaxy)がある。天啓(Tianqi)は Guodian Gaoke(北京国電高科)による IoT コンステレーション衛星で1機 50kg 以下の衛星である。2022年2月に天啓19号を長征8で、2022年12月に天啓7号を捷竜3で打上げており、シリーズ累計で15機となっている。銀河(Yinhe)は Galaxy Space(銀河航天公司)の衛星で144機のグローバル5G通信コンステレーション衛星であり、2020年に銀河1号を打上げている。2022年3月に銀河2号の6機を長征2Cで西昌から打上げて累計7機となった。技術開発では低軌道通信技術試験衛星のRSWシリーズや通信技術試験衛星のTJSWシリーズがある。2016年にQuantum Science Satellite(QSSまたは墨子、QUESS、Mozi)を打上げた。QSSは初の量子通信実験衛星である。

[測位・航行衛星]

中国独自の衛星測位システムである北斗衛星導航系統(BeiDou Navigation Satellite System/英名 Compass)は2020年全55機の全システムが完成し、2018年末から全世界向けサービスを運用している。北斗衛星は3つのシリーズがあり、北斗1シリーズは2012年に運用が終了している。北斗2シリーズと北斗3シリーズが稼働しており、衛星の更新を続けている。2023年は5月17日に BEIDOU 3 G4 を、12月27日に BEIDOU 3 M25 と BEIDOU 3 M26 を打上げた。北斗2および北斗3で58機が運用されている。北斗衛星の一覧を表 2-3-6 に示す。システム強化の試験として2022年10月に Centispace-1 S5 と S6 が長征11Hで黄海上の発射ステーションから打上げられた。北斗3シリーズはショートメッセージ通信機能があり、大衆向けスマホに機能を開放されている。一部のスマートフォンでは「高精度測位」サービスが搭載され 1.2m 測位精度で重慶、成都、東莞、天津、深圳、広州、蘇州、杭州などにサービスを提供している。北斗衛星測位基準ステーションネットワークを活用した国土資源測量や地震監視・予報及び減災への利用も青海省などが始めている。また 2023 年 11 月に北斗システムが国際民間航空機関(ICAO)の標準に加わり、世界民間航空業の汎用衛星測位システムなった。

測位サービス産業規模では 2021 年に 4,690 億元に達し、千尋位置網絡有限公司のサービスでは月間利用回数が1千億回を超えたとしている。航行衛星(AIS)では民間企業の HEAD Aerospace(和徳宇航技術有限公司)が Skywalker コンステレーション商用衛星である和徳(HEAD)シリーズを、Geespace(浙江時空道宇科技有限公司)は吉利星座(GeeSat)の開発をしている。和徳(Hede)は SAST (Shanghai Academy of Spaceflight

Technology)が開発した衛星で 24 時間あたり 200 万件の AIS ショートメッセージを処理し、6 万隻の船を識別でき、VEDS と ADS-B も備えている。2022 年 8 月に和徳 2G が長征 4B で太原から、和徳 2H が 2022 年 12 月に天竜 3 で黄海上から打上げられた。これで 9 機目となり最終的に 48 機の衛星コンステレーションになる予定である。吉利星座(GeeSat)は測位補強衛星で 2022 年 6 月に長征 2C で西昌から 9 機打上げられた。2025 年までに 72 機のコンステレーションを構成する最初の打上げであり、将来は 240 機の衛星からなる Geely Future Mobility Constellation の一部になる。衛星は Intelligent Satellite Production and Testing Center で開発生産されており、年間生産能力は 500 機とされている。Geespace は Geely Technology Group の完全子会社で同自動車ブランドの自動運転に利用され将来的には物流、海上監視、高精度測位、リモートセンシング、衛星通信サービスが計画されている。

表 2-3-6 北斗衛星一覧(1/3)

No.	シリアル	衛星名	打上日	状態	システム	軌道
1	×	BEIDOU 1A	2000/10/30	終了	北斗-1	GEO
2	×	BEIDOU 1B	2000/12/20	運用中		GEO
3	×	BEIDOU 1C	2003/05/24	運用中		GEO
4	×	BEIDOU 1D	2007/02/02	軌道脱離		GEO
5	Beidou 1	BEIDOU M1	2007/04/13	試験のみ	北斗-2	MEO
6	Beidou 2	BEIDOU G2	2009/04/14	軌道脱離		GEO
7	Beidou 3	BEIDOU G1	2010/01/16	運用中		GEO
8	Beidou 4	BEIDOU G3	2010/06/02	運用中		GEO
9	Beidou 5	BEIDOU IGSO 1	2010/07/31	運用中		IGSO
10	Beidou 6	BEIDOU G4	2010/10/31	運用中		GEO
11	Beidou 7	BEIDOU IGSO 2	2010/12/17	運用中		IGSO
12	Beidou 8	BEIDOU IGSO 3	2011/4/9	運用中		IGSO
13	Beidou 9	BEIDOU IGSO 4	2011/7/26	運用中		IGSO
14	Beidou 10	BEIDOU IGSO 5	2011/12/1	運用中		IGSO
15	Beidou 11	BEIDOU G5	2012/2/24	運用中		GEO
16	Beidou 12	BEIDOU M3	2012/4/24	運用中		MEO
17	Beidou 13	BEIDOU M4	2012/4/24	運用中		MEO
18	Beidou 14	BEIDOU M5	2012/9/18	運用中		MEO
19	Beidou 15	BEIDOU M6	2012/9/18	運用中		MEO
20	Beidou 16	BEIDOU G6	2012/10/25	運用中		GEO
21	Beidou 17	BEIDOU I1-S	2015/3/30	運用中	北斗-3	IGSO
22	Beidou 18	BEIDOU-3 M1	2015/7/25	運用中		MEO
23	Beidou 19	BEIDOU-3 M2	2015/7/25	運用中		MEO
24	Beidou 20	BEIDOU I2-S	2015/9/29	運用中		IGSO

表 2-3-6 北斗衛星一覧(2/3)

No.	シリアル	衛星名	打上日	状態	システム	軌道
25	Beidou 21	BEIDOU M3-S	2016/2/1	運用中	北斗-3	MEO
26	Beidou 22	BEIDOU IGSO 6	2016/3/29	運用中		IGSO
27	Beidou 23	BEIDOU G7	2016/6/12	運用中		GEO
28	Beidou 24	BEIDOU-3 M1	2017/11/5	運用中		MEO
29	Beidou 25	BEIDOU-3 M2	2017/11/5	運用中		MEO
30	Beidou 26	BEIDOU 3M3	2018/1/11	運用中		MEO
31	Beidou 27	BEIDOU 3M4	2018/1/11	運用中		MEO
32	Beidou 28	BEIDOU 3M5	2018/2/12	運用中		MEO
33	Beidou 29	BEIDOU 3M6	2018/2/12	運用中		MEO
34	Beidou 30	BEIDOU 3M7	2018/3/29	運用中		MEO
35	Beidou 31	BEIDOU 3M8	2018/3/29	運用中		MEO
36	Beidou 32	BEIDOU IGSO-7	2018/7/9	運用中		IGSO
37	Beidou 33	BEIDOU 3M9	2018/7/29	運用中		MEO
38	Beidou 34	BEIDOU 3M10	2018/7/29	運用中		MEO
49	Beidou 35	BEIDOU 3M11	2018/8/24	運用中		MEO
40	Beidou 36	BEIDOU 3M12	2018/8/24	運用中		MEO
41	Beidou 37	BEIDOU 3M13	2018/9/19	運用中		MEO
42	Beidou 38	BEIDOU 3M14	2018/9/19	運用中		MEO
43	Beidou 39	BEIDOU 3M15	2018/10/15	運用中		MEO
44	Beidou 40	BEIDOU 3M16	2018/10/15	運用中		MEO
45	Beidou 41	BEIDOU 3G1	2018/11/1	運用中		GEO
46	Beidou 42	BEIDOU 3M17	2018/11/18	運用中		MEO
47	Beidou 43	BEIDOU 3M18	2018/11/18	運用中		MEO
48	Beidou 44	BEIDOU 3G2Q	2019/4/20	運用中		IGSO
49	Beidou 45	BEIDOU 2 G8	2019/5/17	運用中	北斗-2	GEO
50	Beidou 46	BEIDOU 3 IGSO-2	2019/6/24	運用中	北斗-3	IGSO
51	Beidou 47	BEIDOU 3M23	2019/9/22	運用中		MEO
52	Beidou 48	BEIDOU 3M24	2019/9/22	運用中		MEO
53	Beidou 49	BEIDOU 3 IGSO-3	2019/11/4	運用中		IGSO
54	Beidou 50	BEIDOU 3M21	2019/11/23	運用中		MEO
55	Beidou 51	BEIDOU 3M22	2019/11/23	運用中		MEO
56	Beidou 52	BEIDOU 3M19	2019/12/16	運用中		MEO
57	Beidou 53	BEIDOU 3M20	2019/12/16	運用中		MEO
58	Beidou 54	BEIDOU 3 G2	2020/3/9	運用中		GEO
59	Beidou 55	BEIDOU 3 G3	2020/6/23	運用中		GEO

表 2-3-6 北斗衛星一覧(3/3)

No.	シリアル	衛星名	打上日	状態	システム	軌道
60	Beidou 56	BEIDOU 3 G4	2023/5/17	運用中	北斗-3	GEO
61	Beidou 57	BEIDOU 3M25	2023/12/27	運用中		MEO
62	Beidou 58	BEIDOU 3M26	2023/12/27	運用中		MEO

[気象観測衛星]

中国の気象衛星は風雲(Fengyun)シリーズ、雲海(Yunhai)シリーズの 2 種類がある。

風雲シリーズは '98 年の風雲 1 号 A を打上げから合計 20 機が打上げられ、2023 年時点で正常に稼働しているのは 11 機である。2023 年は 4 月 16 日に打上げた風雲 3G と 8 月 3 日に打上げた風雲 3F で、3F は風雲 3C と交代した。風雲 4 号シリーズから姿勢制御を 3 軸制御方式にして観測分解能が 250m にまで改善されている。風雲 3 号と風雲 4 号の組み合わせにより 4 時間ごとの観測が可能となっている。2007 年から風雲衛星による気象観測データをアジア地域 17 ヵ国へ提供している。

雲海は太陽同期極軌道で大気海洋環境、防災対策に利用されるもので 2016 年に雲海 1 号の衛星 3 機を打上げ、2018 年には雲海 2 号の衛星 6 機を打上げた。2022 年 11 月に雲海 3 号(Yunhai-3)を打上げている。2023 年 10 月 15 日に雲海 1 号 04 を打上げた。雲海 3 号は主に大気海洋環境要素探査や宇宙環境探査、防災・減災、科学試験などに利用される。中国航天科工集団公司(CASIC)の子会社の Xiyong Microelectronics Park が GNSS 電波掩蔽を使用した商用気象データサービスの衛星として天目 1 号(Tianmu-1)を 2023 年 1 月 9 日から 3 月 22 日、7 月 20 日、12 月 25 日、27 日で計 5 回打上げた。最終的な衛星数の計画は不明だが現在 18 機の衛星コンステレーションを構築している。

[地球観測衛星]

地球観測衛星は 1999 年にブラジルと共同開発した中国・ブラジル地球資源衛星の資源 1 号 A(CBERS-1、Zi Yuan 1A)から始まって、今日では民間衛星を含めて 51 種類ほどの衛星を打上げている。主な衛星はこの資源(Zi Yuan)シリーズのほか、2006 年から遥感(Yaogan)シリーズが打上げられている。2013 年から始まった中国高解像度地球観測システム(CHEOS)計画の高解像度地球画像衛星として高分(Gaofen)シリーズもある。中国の地球観測衛星は光学、ハイパースペクトル、合成開口レーダー(SAR)、また海洋観測用途のマイクロ波センサや赤外線センサを搭載したものがある。近年では測地用途の 3 次元カメラや高精細ビデオカメラを搭載しコンステレーションで動画撮影する衛星も打上げられている。これらは同名の衛星シリーズでも搭載される観測センサが同じとは限らず、マルチセンサ化したものや IoT 機能、光通信機能、AIS 機能を搭載した多機能化した衛星もある。

2022 年 4 月に大気圏環境監視衛星の大気(Daqi)が長征 4 C で太原から打上げた。エアロゾル・二酸化炭素検出ライダー(レーザレーダ)やワイドスペクトルイメージャなど 5 種の観測機器を搭載した衛星である。2023 年地球観測衛星は CubeSat を含め 22 種類で 131 機の打上げとなった。

吉林省政府が支援する民間企業の長光衛星技術有限公司が開発製造した吉林1号シリーズ(Jilin-1)が2023年は4回で47機を打上げて計99機となった。この吉林シリーズは政府、業界及び「一帯一路(One Belt and One Road)」のユーザーにリモートセンシングデータ等のサービスを提供するものである。

政府の高分(Gaofen)は 2022 年に高分 3 号 03、高分 12 号 03 の 2 機の SAR 衛星とハイパースペクトル衛

星の高分 5 号 01A、高分 11 号 04 を打上げている。2023 年は 3 月 17 日に Gaofen 13-02 を静止軌道に、8 月 20 日に Gaofen 12-04 を太陽同期軌道に打上げている。

政府の SAR 衛星で新しい衛星は 2022 年 1 月と 2 月に長征 4C で酒泉から打上げられた陸地探測(Ludi Tance)1 号 01 組 A/B がある。2 機 1 組の L バンド干渉 SAR 衛星で地質環境、山崩れ、地震災害のモニタリング用途で、国家民用宇宙インフラ中長期発展計画（2015–25 年）の 1 つである。2023 年 8 月 13 日に陸地探測 4 号 01 を打上げた。さらに 2022 年 10 月に長征 2C で太原から打上げられた環境減災 2 号 05(Huanjing-2E、S-SAR 01)は地上分解能 5 m の S バンド SAR で自然資源、利水・治水、農林業への用途となっている。環境減災 2 号 06 を 2023 年 8 月 9 日に打上げた。2023 年に打上げた SAR 衛星で注目されるのが 3 月 30 日に打上げた宏図 1 号(PIESAT-1)で 4 機コンステレーションでありトリプレット(3 角形編隊)の中心にメイン機を配置する、X バンド干渉合成開口レーダー(InSAR)衛星システムである。

ハイパースペクトル衛星では 2022 年 8 月に長征 4 B により太原から打上げられた陸地生態系統碳監測衛星 TECIS (Guomang)がある。2023 年 11 月 16 日に新世代海色観測衛星の海洋 3 号 01(Haiyang-3A)を打上げた。レーザーレーダや偏光イメージャなどを 4 種類のセンサを搭載しバイオマスを測定する衛星で、同系列の衛星では 2021 年に SDGSAT-1 (Guangmu-1/CASEarth)を打上げており、夜間光や氷雪変化を観測するものもある。2023 年 11 月 16 日に新世代海色観測衛星の海洋 3 号 01 (Haiyang-3A)を打上げた。政府および地方政府(海南省)が開発し 2022 年 2 月に長征 8 で文昌から打上げられた衛星に海南(Hainan)1 号 A/B と文昌(Wenchang)1 号 A / B がある。これらの衛星は海南省の海域の船舶監視に特化したもので海南は 60kg の衛星で光学と AIS を搭載している。文昌は 62.5 kg の衛星で AIS と広視野マルチスペクトルセンサを搭載している。海南衛星ネットワークと呼ばれており、将来は 10 機体制での運用計画がある。また、海関係の政府衛星では海洋(Haiyang)シリーズがあり海色や水温、海面高の計測用途で 2021 年まで 8 機打上げられ、6 機が稼働中である。2019 年には京師 1 号(BNU 1/Jingshi-1)を打上げて、海氷の変化観測や海路情報を提供する実験衛星がある。

民間衛星では北京(Beijing)、泰景(Taijing)、四維高景(Siwei Gaojing)がシリーズ衛星を打上げている。北京 3 号 B(2 機目)は、21 世紀 AT 社の衛星で 2022 年 8 月に長征 2D で太原から打上げられ、地上分解能 0.5 m の高精度リモートセンシング衛星である。北京シリーズは 2005 年から打上げが始まっており北京 1 号は分解能 4 m で 1 機、北京 2 号は分解能 1 m で 4 機が運用されている。中国四維測絵技術総公司の四維高景 2 号 A/B (Siwei Gaojing、別名 SuperView Neo 2-01 / -02) 2 機が 2022 年 7 月に長征 2C で太原から打上げられた。同社の高景 1 号は 4 機、四維高景 1 号は 2 機打上げており、8 機が運用されている。この衛星シリーズは都市計画や 3 次元地図など汎用性が高く主にビジネス用途で活用される。なお 3 次元立体地図作成用途関係では政府衛星で過去に 5 m 分解能の測地衛星である天絵 1 号(Tianhui)シリーズが打上げられており、2021 年までに 4 機打上げられている。微納星空公司が商業光学リモートセンシング向けに泰景(Taijing)シリーズを打上げており、2022 年 2 月に泰景 3 号 A と泰景 4 号 A の 2 機を長征 8 で文昌から打上げ、2022 年 8 月にも穀神星 1 号(Ceres-1)で酒泉から泰景 1 号 A/B の 2 機を打上げて 2021 年の 1 機とあわせて 5 機が運用されている。その他に香港の香港航天科技集団(HKATG)の衛星である Jinzijing (旧名 Golden Bauhinia)シリーズがある。広東－香港－マカオ大湾区をカバーする 165 機の衛星コンステレーション計画で地上分解能 3m の光学センサとモバイルターゲットモニタリング、通信、ナビゲーション衛星

である。2022 年 12 月に Jinzijing (Golden Bauhinia-1)の 5 号機と 6 号機が天竜 3 号で黄海上から打上げられた。4 号機が欠番した状態で合計 5 機が運用されている。Zhuhai Orbita Control Engineering Ltd. が 2017 年から珠海(Zhuhai)シリーズを 8 機打上げている。将来的には 34 機のコンステレーション運用を計画しており、動画撮影衛星、ハイパースペクトル衛星などで構成されている。

[技術実証衛星]

国の技術実証衛星の 2023 年における打上げは官民で 20 機以上となっている。代表的な衛星は試験(Shiyan)と実践(Shijian)であり名称も似ている。同じシリーズの衛星でもミッション内容が異なり、ほとんど明らかにされていないが、どちらも衛星技術やその運用技術の取得とみられている。試験(Shiyan)は 2018 年 4 月の初打上げから 2023 年まで 27 機打上げられている。2023 年は太陽同期極軌道(SSO)に試験 22 号 A/B 試験 24 号 A/B の 10 機を打上げたが目的や具体的な機能は不明である。実践(Shijian)は予告なしに急に打上げる点が特徴的で、どちらかというと軍事色が強いシリーズである。1971 年に打上げた実践 1 号から今日に至るまで 41 機ほど打上げている。その他 2022 年に打上げた衛星で主な衛星は、2022 年 8 月に快舟 1 A で西昌から打上げた中国科学院(CAS)の創新 16 号 A/B (Chuangxin)で軌道上でのランデブーおよびドッキングの新技術試験とみられている。2022 年 7 月に「中科 1」ロケット(力箭 1 号)で酒泉から打上げた SATech-01 は高性能 AI チップやカメラといった部品や材料の試験など 15 種類のペイロードを搭載している。同時に打上げた済南 1 号(Jinan-1)は低軌道量子鍵配送試験衛星であり、低軌道の超小型衛星と地上小型局の間で量子鍵の伝送を試験の目的としている。

通信関係の実証衛星では TJSW、RSW といったシリーズがあるが TJSW-6 と TJSW-7 のようにドッキング実験をしているような衛星もある。2 主な衛星は、2020 年 8 月に快舟 1A で西昌から打上げた中国科学院(CAS)の創新 16 号 A、B (Chuangxin)で軌道上でのランデブーおよびドッキングの新技術試験とみられている。

2022 年 3 月に長征 6A で太原から打上げられた天鲲 2 号(Tiankun 2)は 16 個の姿勢制御モーターを搭載した小型衛星バスの試験をおこなう中国航天科工集団公司(CASIC)の衛星である。民間企業からも多く打上げられており、主なものでは 2022 年 5 月に長征 2C で酒泉から打上げられた CGSTL LEO Test 1/2 で長光衛星技術公司(CGSTL: ChangGuang Satellite Technology Ltd.)の初の試験実証通信衛星である。同社は 12,000 機の中国版スターリンク通信衛星群の構築を目指すとされている。同時に打上げられた衛星で DTSW 衛星があるが衛星の利用目的や保有機関は不明である。2022 年 9 月に快舟 1A で酒泉から打上げられた向日葵 3 号、4 号(CentiSpace-1 S3, S4)の 2 機と 2022 年 10 月に長征 11H で黄海上から打上げられた向日葵 5 号、6 号(CentiSpace-1 S5 / S6)の 2 機があり GNSS 増強技術、レーザー衛星間通信リンクなどをテストしている、Future Navigation(北京)の商業衛星で 2018 年の 1 機と併せて 5 機となった。

[科学衛星／月・惑星探査機]

中国の月探査プログラム「嫦娥(じょうが)計画」(Chang'e)は 2013 年に米ソに続いて世界三番目に月面に探査機を軟着陸させた国となった。2018 年に打上げた「嫦娥 4 号」(Chang'e 4)は、2019 年に史上初めて月面の裏側に着陸し、探査車「玉兎 2 号」(Yutu-2)により探査を開始した。2018 年に月の裏側との通信のため通信中継衛星「鵲橋」(Queqiao)を打上げた。2020 年に嫦娥 5 号(Chang'e 5)を打上げ、月面の試料 1.731 kg を地球に持ち帰った。嫦娥 5 号軌道モジュールは軌道制御試験と観測を行いながら 2021 年 3 月にラグラン

ジュ 1 に到達した。2024 年に地球近傍小惑星のサンプルリターンミッションに向けた試行とみられているが計画の内容は明らかにされていない。今後の嫦娥ミッション計画は 2024 年頃に嫦娥 6 号では月面の極地域からサンプルを収集する月面探査機を打上げる計画である。このミッションで 2023 年 6 月 8 日に ESA とフランスがペイロードを搭載することで覚書を締結した。嫦娥 7 号は 2026 年頃に別の探査機を配備して、極域の影の領域のホッピング検出を実行、2028 年頃に嫦娥 8 号から月面基地の建設を開始とする内容で、2023 年 10 月から国際協力プロジェクトへの参加の募集を開始した。なお、嫦娥 7 号ではアラブ首長国連邦(UAE)の月面探査車 Rashid-2 を搭載する覚書を 2022 年 9 月に締結している。有人月面着陸用ロケットのメインエンジンの連続試運転に成功したことを航天科技集団第六研究院が 2023 年 7 月 25 日に発表している。有人月面着陸は 2030 年頃までに実現するとしている。

中国初の火星探査機「蛍火 1 号」(Yinghuo-1)は、2011 年に打上げたが失敗した。2020 年 7 月に天問 1 号(Huoxing 1)が打上げられ、火星探査車の祝融号(Zhurong)が 2021 年 5 月に軟着陸した。アメリカに次いで火星表面に着陸し観測データ通信を成功させた 2 番目の国となった。天問 1 号は 709 日目に予定のミッションを完了した。火星探査車の祝融号は 2021 年 5 月から活動を開始し 2022 年 5 月に、休眠したが 2023 年 1 月に休眠状態から復帰しないと明らかにした。天問 2 号は 2025 年 5 月頃に打上げる計画で地球近傍小惑星「2016HO3」の探査をミッションにしている。3 号機は 2030 年前後に火星サンプルリターン、4 号機は木星探査を計画している。

2015 年にダークマター観測衛星 DAMPE (DArk Matter Particle Explore)、2017 年に硬 X 線望遠鏡衛星「慧眼」(Huiyan)衛星、2019 年に微小重力技術実験衛星 Taizhi 1 (KX 09)、2020 年に重力観測衛星 GECAM-A / -B、2021 年に太陽探査衛星 Chinese Hα Solar Explorer (CHASE)を打上げている。2022 年 10 月に太陽観測衛星「先進的宇宙太陽天文台(ASO-S)別名 Kuafu-1」を長征 2D で酒泉から打上げている。この衛星は太陽フレアやコロナ質量放出と太陽磁場の間にある関係などを研究し、宇宙天気予報を提供するものである。

[軍事衛星]

中国の主な軍事衛星は通信衛星、偵察衛星(光学)、船舶検知 ELINT 及び SAR 衛星、SIGINT 衛星、データ中継衛星、軍用地図作成用の SAR 衛星のほか、新しい軍事技術開発を行う各種の技術実証衛星に試験(Shijian)シリーズや LKW シリーズがある。軍事衛星は政府衛星との共用や CubeSat などで小型化、コンステレーション化を進めている。

2000 年に最初の軍事通信衛星「烽火 1 号 A (Feng Huo 1A)を静止軌道に打上げ、現在までに 6 機打上げた。最新は 2022 年 9 月に長征 7A で文昌から打上げた Fenghuo 2 E である。軍用の偵察光学衛星は 2000 年に打上げた資源 2 号 A (Ziyuan 2A 退役済)から始まっており分解能 5 m 以下だった。そのほか数種類の衛星があるが、現在は遥感シリーズや高分シリーズを中心に置き換わってきており今後、軍の受注を目指す民間企業の衛星が担うようになる。しかし、どの民間企業の衛星が担うようになるかは明確でない。光学偵察衛星に限らず各種の衛星は西側諸国の動向と同じように画像高分解能、高時間分解能(コンステレーション)、多機能化などが進められている。2022 年は船舶検知 ELINT 及び SAR 衛星が頻繁に打上げられている。

また、中国政府は 2022 年 4 月に、地球近傍小惑星防御システムの構築を発表しており第 14 次五カ年計画（2021～25 年）の後期に脅威となる小惑星やスペースデブリに対して接近観測と近接衝突を行い、そ

の軌道を変えるための技術実験の実施を目指すとしている。

[国際協力]

国際協力の面では、平等互恵、自助、相互信頼、独立保持の原則に立ち随時各国と協定を結んでいる。'80 年代以降外国衛星の打上げサービスに力をいれ、商業活動のため中国長城工業公司(CGWIC)を設立した。'87 年以降はアメリカ、スウェーデン、オーストラリア、パキスタンなどの衛星を商業打上げしていた。'98 年アメリカはロケット技術がアメリカの衛星製造企業から不正に中国に流出しミサイル技術の改善がみられたとして、米国技術を利用する衛星および衛星搭載機器の中国への輸出を第 3 国経由を含め厳格に禁止した。これにより商業打上げで多くの衛星が打上げられず、市場シェアの大部分を失った。現在もアメリカからの禁輸は続いている。

ブラジルとの地球観測衛星 CBERS の共同開発のほか、'98 年からイラン、タイ、韓国、バングラデシュ、パキスタン、モンゴル等に対して小型マルチミッション衛星(SMMS: Small Multi-Mission Spacecraft)の共同開発プロジェクトで協力している。2008 年には中国は宇宙の資源探査、環境保護、災害防止などを協力して進めるための中国主導によるアジア・太平洋宇宙協力機構(APSCO、本部：北京)を発足させ、バングラデシュ・イラン・モンゴル・パキスタン・ペルー・タイ・インドネシア・トルコの 7 ヵ国が参加している。衛星製造の国際実績は南米地域ではブラジル、アルゼンチンの衛星打上げ、ベネズエラの衛星製造と打上げを、アフリカ中東地域ではトルコ、ボリビアの衛星打上げ、ナイジェリアとアルジェリアの衛星製造と打上げ、エチオピアとの「一帯一路衛星」開発、エジプトと 2019 年にリモートセンシング衛星、地上監視ステーション、地上アプリケーションシステムの技術支援で協力を締結しており、エジプトスペースシティ衛星組立集積統合試験(AIT)センターの構築を終えて、Horus 2 (荷魯斯 2 号)衛星を 2023 年 6 月 25 日に軌道で引き渡した。欧州地域ではフランス、ルクセンブルクの衛星打上げ、東南アジアではインドネシアの衛星打上げ(失敗)と、パキスタン、ラオスの衛星製造と打上げがあった。近年ではセルビアとの協力、2019 年にロシアと北斗 GLONASS 全地球航法衛星システムの平和利用に関する協力協定が締結されている。2021 年に BRICS 諸国とリモートセンシング衛星の高分 6 号、資源 3 号 B の衛星データを共有について協定を締結した。2021 年にロシアの Roscosmos と月面研究ステーション創設について協力覚書を締結した。中国国家航天局(CNSA)は ESA やタイ、アラブ首長国連邦、サウジアラビアの機関など、パートナーの宇宙機関と交渉中であるとしている。2023 年 9 月 1 日に南アフリカ国家宇宙局(SANSA)の間で国際月面研究ステーション協力(ILRS)覚書に署名した。10 月にはベラルーシとアゼルバイジャンも正式参加を調印した。そのほか中国・イタリア地震電磁衛星や中国・ブラジル地球資源衛星（CBERS)、中国-フランス SVOM 天文 X 線宇宙望遠鏡などのプログラムがあるとしている。またアフリカ地域のナミビアと宇宙協力関係を強化と、既存の追跡コマンドステーションのほかにナミビア国内に衛星デジタル受信地上局の建設予定がある。2035 年までに月面研究基地建設でロシアと協力確認している。

9. パキスタン

(1) 航空機産業

PAC (Pakistan Aeronautical Complex)は、4 つの工場から成り立っている。Aircraft Rebuild Factory (ARF)は '70 年代初頭に運営が開始され、同国空軍の瀋陽 F-6 を皮切りに A-5 III、FT-5、Y-12、K-8、F-7 などのオーバーホールを行ってきた。Mirage Rebuild Factory (MRF)は '74 年に設立され、同国空軍の Mirage III / V、F-16 の F100 エンジンのオーバーホールをしてきた。Aircraft Manufacturing Factory (AMF)は'75 年に設立され、SAAB からライセンスを得て Mushshak 及び Super Mushshak 練習機、中国南昌との共同開発で K-8 Karakorm 練習機、中国成都との共同開発で JF-17 Thunder 戦闘機などを生産してきた。Aircraft Production Factory (APF)は '83 年にレーダー整備から開始し、現在は様々なアビオニクス部品を製造している。

10. フィリピン

(1) 航空機産業

'73 年に PADC (Philippine Aerospace Development Corporation)が航空機工業振興のため設立され、現在 DOTC(交通通信省)の下部機関となっている。航空機の製造・組立、整備、航空機及びスペア・パーツの販売、Britten-Norman Islander のサービスセンターを主要な事業としている。これまでに、Islander、Aermacchi S-211 ジェット練習機、Leonardo SF-260 ターボプロップ練習機、Eurocopter BO 105 ヘリコプターをライセンス生産している。また、自主開発としては RPX-Alpha Hummingbird ヘリコプターがある。

2013 年、米国の装備品メーカーB/E Aerospace(現 RTX)は、マニラの南方 50 km のバタンガス州にフィリピン工場を設置し、主に民間航空機用の A350 のギャレー、B787、A350 のギャレーインサート及び B737 のラバトリー等の内装品組立を行っている。

2015 年、ジャムコの連結子会社 JAMCO PHILIPPINES は、B777 のフロアパネル(客室床板)製造のため、パンパンガ州クラーク国際空港近郊に延床面積約 7,000 ㎡の新工場を竣工し、2016 年、米 Boeing へフロアパネルを初出荷した。

11. マレーシア

(1) 航空機産業

マレーシアは航空機産業の育成に力を入れており、国策として航空機産業の誘致や集積を高めている。整備・修理の MAS Technology や AIROD の他に SME や複合材に特化した CTRM がある。また、機械加工メーカーが B757 の尾翼部品の下請け生産を行っている。2005 年には、A400M 軍用輸送機 4 機の発注につき Airbus と契約し、その見返りとしてマレーシアは 2 億ユーロ相当の作業量を得て、それらの仕事は SME や CTRM が担当する。

a. SME Aerospace

'92 年に設立し '93 年から事業を開始した金属製の航空機部品製造、組立てを行っている。現在 A320、A330 / 340、A380、B777、Avro RJ のほか Airbus Helicopter 部門の部品を製造している。

b. CTRM

'90 年設立された CTRM は複合材に特化しており、オーストラリアの Eagle Aircraft に出資し '97 年から

オール・コンポジットの Eagle 150(複座)と、4 座席の Lancair をライセンス生産していた。

下請けでは '99 年から BAE Systems と A300 と A318, A319, A320, A321 の主翼前縁及び後縁パネルを生産について契約し、2002 年に A380 の主翼前縁下面パネルを供給する契約を結んだ。この他、A400M の主脚ドア等の複合材部品や B787 のインレット・アフト・バルクヘッドや、V2500 のエンジンナセル等の複合材部品の製造も行なっている。

c. ACM (Asian Composites Manufacturing Sdn. Bhd)

'98 年に設立されたジョイントベンチャーで、Boeing と Hexcel が等しく出資している。エルロンのスキン、スポイラーの部材、前縁部、後縁部などの複合材構造部品を製造している。

d. IAC Malaysia

今井航空機器工業は、2006 年に航空機の構造部品の製造工場を設立し、2009 年には表面処理・塗装工場も立ち上げ、材料購入～機械加工～表面処理・塗装～サブ組立までの一貫作業を行っている。主に、Embraer 向けの部品を加工しており、表面処理工場は Embraer の認定工場となっている。

e. Spirit Aerosystems Malaysia

2007 年に設立し、2009 年からスルタン・アブドゥル・アジズ・シャー空港に隣接する工場で民間航空機の構造部品組立を開始した。現在、A320 主翼コンポーネント、A350 主翼前縁付根フェアリングの製造を行っている。B787 前縁固定部コンポーネントの納入場所は日本の三菱重工業である。

12. ベトナム

(1) 航空機産業

日本メーカーが進出し、ハノイ工科大学での寄付講座や奨学金設定などの活動により、ベトナム航空機産業の発展を目指して次世代の技術者育成を支援している。

三菱重工業の 100％出資子会社 MHI エアロスペースベトナム(MHIVA)は、2009 年に航空機部品工場をハノイ市郊外に建設し、B737 インボード・フラップの組立を行っている。また、同工場は規模を拡大し、2014 年からは B777 乗降扉及びバルクカーゴ扉の組立を開始しており、2019 年から B777X の乗降扉の組立も行っている。

日機装の 100%子会社 Nikkiso Vietnam, Inc. (NVI、ハノイ市郊外フンイエン省)は、2010 年に航空機用複合材部品の成形、加工、金属部品も含めた組立までを行う専用工場を稼働させ、2011 年から B777 用ブロッカードアの Spirit への出荷を開始した。また、2014 年には、A320 に装備される大型のウイングチップ「シャークレット」の複合材製の桁とパネルの製造契約をシャークレットの 1 次サプライヤーである大韓航空と締結した。さらに同年、米国 Spirit と B787 の主翼前縁の炭素繊維強化複合材部品(通称 J-Panel)の長期供給契約を締結した。また、事業拡大に向けて新工場を建設した。

今井航空機器工業は、Aero-Design & Manufacturing Service (ADMS) を 2004 年ベトナムに設立し、CAD/CAM ソフトを使用した NC データの作成や治具の設計を行っている。

(2) 宇宙産業

ベトナムではベトナム科学技術院(VAST: Vietnamese Academy of Science and Technology)などが宇宙開発を

行っていたが各省庁の協力下で開発が行われ、統一した機関ではなかった。このため、これらの統括委員会形式の組織として 2010 年にベトナム宇宙委員会(VNSC: Vietnam National Satellite Center)が設立され、2017 年には国家宇宙センターとして位置づけられた。

現在、日本の ODA を原資として衛星の研究、組立、統合、試験のためにホアラック宇宙センターを建設中である。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

ベトナム郵電公社(VNPT: Vietnam Posts and Telecommunications Group)が投資主の衛星 VINASAT-1 は Lockheed Martin にて製造し 2008 年に打上げ、さらに VINASAT-2 を 2012 年に打上げた。ベトナムは衛星からの通信リンクによる経済的な利益を目標にしており、海上の漁師への通信情報の提供や天気予報や防御セキュリティに利用される。開発費用は$280M で、重量は 3000kg である。おおよそ電話・インターネット・データ通信に 13000 チャンネル分、テレビ 150 チャンネル分の容量を提供できる。

[地球観測衛星]

VAST は、地球観測衛星 VNREDSat-1a を Astrium に発注し、2013 年に Vega で打上げた。また、VNREDSat-1b を SpaceBel に発注したが、打上げが延期となっている。MicroDragon は超小型衛星(50×50×50cm、重さ 50kg)で、日本の指導を受けながらベトナムで設計・製造され、2019 年、内之浦宇宙センターから Epsilon ロケットで打上げられた。海域観測において水質の評価や水産資源の位置の特定、海域で生じる現象の観察などを行い水産業の発展に資することを目的としている。2019 年、LOTUSat-1 の開発・製造・打上げサービス調達と地上システムの整備、および衛星開発プロセスに関する現地人材育成プログラムを住友商事に発注した。

[技術実証衛星]

FPT University にてベトナム初の独自開発となる超小型衛星 F1 が 2012 年に HTV 3 で ISS に運ばれ、小型衛星放出機構より軌道上に放出したが、同衛星の信号は確認されなかった。また、VNSC が東京大学、IHI エアロスペースと共同開発した超小型衛星 PicoDragon が、2013 年 ISS の小型衛星放出機構より放出され、VNSC と日本の地上局にて同衛星からの信号が受信された。オンボードコンピュータ(OBC)の有効性実証のため NanoDragon 衛星「MadeinVietnam」を Epsilon5 号機で 2021 年に打上げた。

13. ニュージーランド

(1)宇宙産業

2016 年にニュージーランド宇宙庁が設立されビジネス・イノベーション・雇用省(MBIE: Ministry of Business, Innovation, and Employment)下で宇宙政策、規制、セクター開発を担当している。業務として Outer Space and High-altitude Activities Act 2017 (OSHAA)による射場、ロケット、ペイロードの規制と民間へのライセンス付与などを行っている。2021 年 6 月に Artemis 合意に署名した 11 番目の国になった。政府間の協力では、オーストラリアと測位補強システム(SBAS)の SouthPAN との共同プロジェクトがある。2022 年には米国と宇宙開発全般の協力枠組み協定を締結し、ニュージーランドから NASA が打上げられるようになる。ドイツ航空宇宙センター (DLR)とオークランド大学は宇宙船やレーザー光データ伝送に使用される炭素繊維技術の共同研究を 2022 年に締結している。

人工衛星の開発ではHUMANITY STARがニュージーランド初の衛星として2018年に打上げられた。科学衛星では米国とニュージーランド宇宙庁(NZSA)との共同開発でメタン観測衛星の MethaneSAT を 2022 年 12 月に打上げている。民間企業ではキャンベラに拠点を置く Skykraft があり、宇宙ベースの航空交通管理(ATM)サービスの Skykraft ATM 衛星を開発している。2023 年 1 月 3 日にブロック 1 の Skykraft ATM-1A, 1B, 1C, 1D を、12 月 6 日にブロック 3 の Skykraft ATM-3A, 3B, 3C, 3D を Falcon 9 で打上げた。HUMANITY STAR は高反射パネルを使用して肉眼で地球上から確認できるものとした衛星である。

ロケット関連では Rocket Lab があり、現在は米国のロケット打上げ会社であるが、ニュージーランド人の Peter Beck によって 2006 年にニュージーランドに設立され、2018 年より企業、政府・軍、大学などを顧客として、小型衛星をニュージーランドの Māhia 半島の射場から、Electron ロケットで打上げサービスを行っている。2022 年 2 月には 3 番目の Electron ロケット専用発射台(Pad B)を稼働させ、4 日間の準備期間で商用打上げが可能となった。Electron ロケットの打上げは 2017 年の 1 号機から 2023 年 12 月までに通算 41 回であり、日本の宇宙ベンチャー各企業の衛星も打上げている。

宇宙輸送機 Mk-II Aurora や小型衛星用推進モジュールの開発をするニュージーランドの企業に Dawn Aerospace がある。2022 年 2 月の発表ではハイパースペクトル衛星コンステレーションを開発するインド企業の Pixxel に同社の推進モジュールの供給を始めるとしている。

14. 北朝鮮

(1)宇宙産業

北朝鮮の宇宙機関は '80 年代に設立された朝鮮宇宙空間技術委員会(KCST)である。北朝鮮の全ての宇宙開発関連の計画を担当しているが、軍のミサイル指導局と関連し弾道ミサイルも開発している。2015 年に国家宇宙開発局(NADA)が国際宇宙航行連盟(IAF)への加盟を申請したが、国連安保理事会による制裁対象である朝鮮宇宙空間技術委員会の別名であるとし、加盟は抹消された。NADA は 2023 年に 2 回の衛星打上げ失敗を経て、9 月に国家航空宇宙技術総局(NATA)へと名称を変更した。

ロケット射場は舞水端里と東倉里の 2 箇所にあるとされている。衛星管制は平壌市ポトンガン地区の総合衛星管制センターで実施され、衛星通信アンテナは国内のミサイル基地等の数か所に存在していると分析されている。宇宙開発計画は2016年に発表された第二次宇宙開発5カ年計画があり、静止通信衛星の打上げ後、2026年以降に月探査計画、火星探査計画に言及している。

[宇宙輸送分野]

衛星打上げロケットとして、ノドンミサイルの 1 段とスカッドミサイル 2 段を利用した白頭山 1 号(Taepodong-1)により、最初の北朝鮮の衛星である光明星 1 号を '98 年に打上げたが軌道投入に失敗した。ノドンを 4 基クラスター化した後継機の白頭山 2 号(Taepodong-2)、別名 Unha(Eunha)を 2006 年に開発した。同年に打上げたが失敗した。2009 年に Unha で光明星-2 を 2012 年 4 月には光明星-3 を打上げたが、いずれも失敗した。軌道投入成功は2012年12月に光明星-3の別バージョンと2016年に光明星-4である。軍事衛星の打上げ目的で、大陸弾道ミサイル(ICBM)火星 17 をベースにした 3 段ロケットの千里馬-1(Chollima-1)を2023年5月30日と8月23日に打上げたが、いずれも失敗した。3回目で軍事偵察衛星の軌道投入に 2023 年 11 月 21 日に成功した。各国の調査分析によれば、千里馬-1 はペイロード能力は 300 kg

と推定されている。9～10 月にロシア首脳との会談があったことから、打上げに際して多段ロケット切り離しタイミングなどノウハウをロシアから提供されたのでは推察されている。またミサイルや観測ロケットを頻繁に宇宙に打上げており、光学偵察衛星の技術実証として 2022 年 12 月に弾道飛行による地上撮影の実証実験をしている。

[人工衛星]

北朝鮮の人工衛星の詳細は公式にほとんど公開されておらず情報の信頼性も乏しい。このため米国などの専門家の分析によれば、北朝鮮の最初の衛星は '98 年に打上げた光明星 1 号で 72 面の多面体形状技術実験衛星(通信)である。重量は推定で 6～170 kg の間であるとされ、開発には中国国家航天局が関与したとされる。2006 年の光明星 2 号も北朝鮮は通信衛星としているが、ダミー衛星と分析されている。2012 年 4 月の光明星 3 号は 100 kg 以下の地球観測衛星とみられているが、打上げに失敗した。光明星 3 号のバージョンアップ版を打上げ、2012 年 12 月に軌道投入に成功した。しかし、衛星は部分的に機能しただけにすぎず、2023 年 6 月 30 日に衛星は崩壊した。

軍事偵察衛星(光学)の万里鏡 1 号(Malligyong-1)は 2023 年 5 月と 8 月に打上げたが、共にロケットが失敗した。2023 年 11 月 21 日に再び、万里鏡 1 号を打上げて軌道投入に成功した。分析では万里鏡 1 号は 300 kg の衛星で高度 500 km を傾斜角 97.4 度の太陽同期軌道を飛行している。地上分解能など衛星の性能、軌道上の衛星が動作しているかについて、明らかにしていない。

第 4 節 中南米

1. アルゼンチン

(1) 航空機産業

a. FAdeA (Fabrica Argentina de Aviones 'Brig San Martin' SA = Argentine Aircraft Factory 'Brig San Martin' Ltd)

元 FMA(Fabrica Militar de Aviones = Military Aircraft Factory)として知られ、'27 年にアルゼンチンにおける航空関係の研究、生産の中心機関として創立され'92 年に政府は FMA を含む国有防衛産業の民営化された。'93 年に FMA は国防省の企画部の所属になり、FMA のマネジメントは Lockheed Martin に委ねられると同時に LMAASA (Lockheed Martin Aircraft Argentina SA)が設立された。2009 年、Lockheed Martin とのマネジメント契約が切れ、再びアルゼンチン政府の管理下になり現在の社名になった。

現在は航空機の設計・生産・アップグレード・修理を主な事業にしている。自主開発機には IA 58 Pucara と IA 63 Pampa がある。対地攻撃機 IA 58 Pucara はアルゼンチン空軍用等に生産された。IA 58 の次に IA 63 Pampa ジェット練習機が生産され、攻撃/練習機型の AT-63 が開発され 2005 年に初飛行した。

FAdeA は、アルゼンチン軍用機(A-4AR, C-130, F-27, F-28, Grob 120, IA 58 Pucara, IA 63 Pampa, B737-200 など)の整備・改修・アップグレード、完成機製作(IA 63 Pampa など)と下請け部品製造(KC-390 の 180 パーツなど)、エンジン整備(T-56, Atar 09C, TFE 731, J-52, T-53, JT-8D など)、の 3 事業を柱としている。2011 年に KC-390 のスポイラー、前脚扉、ランプ扉、フラップ・フェアリング、テールコーンと電子機器棚を Embraer から受注した。

⑵宇宙産業

アルゼンチンの宇宙開発は '91 年に設立された国家宇宙活動委員会(CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales)によって推進され、'94 年に策定された国家宇宙計画に基づいて活動している。衛星の開発及びその利用が国家計画の柱になっており、地球観測と宇宙科学に重点が置かれている。最初の衛星は NASA との共同ミッションで太陽フレア及び星間ガスを調査する X 線観測衛星 SAC-B (Satellite de Applicaciones Cientificas-B、180kg)で'96 年に Pegasus で打上げたが分離に失敗した。また、衛星データセンターを整備し、大気、日射量や成層圏オゾンの破壊に関する調査を進めている。テオフィロ・タバネラ宇宙センターはアルゼンチンのリモートセンシングデータ収集局として運用している。2020 年 10 月に宇宙分野における地域協力としてアルゼンチン、メキシコ、ボリビア、エクアドル、パラグアイ、ホンジュラス、コスタリカの 7 か国が参加したラテンアメリカ宇宙機関(ALCE)が創設された。ESA がモデルとなっており、宇宙問題における地域の調整と、宇宙、月、その他の物体の探査と平和利用に関連する活動を実施することを目的としている。2023 年 7 月 27 日に Artemis 協定に署名し 28 番目の国となった。

[宇宙輸送分野]

ロケットとしては、Tronador 1 という 3.4 m、60 kg、到達高度 15-20 km、搭載可能ペイロード質量 4 kg (NF 含む)の一段液体燃料推進弾道ロケットを開発し、2007 年に最初の打上げを行った。また、後継機として 10 倍の質量の国産 GNC(誘導航行系)を搭載した Tronador 2 を開発中で、200 kg のペイロードを低高度軌道に投入することが可能である。これにより、国産ロケット保有国の仲間入りを果たし、VEX1 (Tronador 2 のプロトタイプ)を用いた試験を 2013 年から開始している。新興企業として LIA Aerospace がバイオ燃料を使用した小型ロケット Zonda 1.0 を開発している。2021 年 2 月に技術デモンストレーションが成功し、2024 年末までに初飛行の計画で開発が進んでいる。2023 年 7 月 27 日に Artemis 協定に署名し 28 番目の国となった。

[地球観測衛星]

2000 年にアルゼンチン初の国産リモートセンシング衛星である SAC-C が米国の Delta II によって打上げられた。2011 年には、その後継機となる SAC-D が打上げられた。SAC-D の主ペイロードである Aquqrius は、海洋循環や気候との相互作用の研究を目的とし、NASA が開発したセンサである。CONAE はまた、CESAR (Central European Satellite for Advanced Research)衛星をスペインの航空宇宙技術研究所の協力で、SABIA (Satite Argentino-Brasile de Informaci en Alimento Agua Ambiente)地球資源観測衛星(SAC-E)はブラジルの協力で、SIASGE (Sistema ftalo Argentino de Satites para la Gesti de Emergencias)レーダー衛星プロジェクトはイタリアの協力でそれぞれ進めている。SAC-C 衛星バスを用いた L バンド SAR 衛星 Saocom-1A / -1B(コンステレーション)が CONAE のプロジェクトとして計画され、INVAP が設計、製造を担当した。Saocom 2 機と、イタリアの X-バンド SAR 衛星である COSMO-SkyMed 4 機の協力により X/L 2 波の情報をユーザーに提供する計画である。L-バンド SAR 搭載の Saocom-1A は 2018 年に、Saocom-1B は 2020 年にそれぞれ Falcon 9 で打上げた。これにより L バンドアンテナを備えた 3,000 kg のツイン衛星で構成する Saocom システムが完成した。主に農業における土壌水分量などを検出するものである。

ベンチャー企業の Satellogic はサブメートル解像度の衛星画像収集を専門とする垂直統合型の地理空間企業である。商用ハイパースペクトル衛星の ÑuSat による最大 90 機からなる Aleph-1 コンステレーションの

打上げを 2016 年から開始しており、2023 年 6 月 12 日の打上げ分まで合計 44 機を打上げた。サービス提供される衛星画像データの解像度は可視 1m、ハイパースペクトルは 30m である。財務と事業開発拠点は米国と北京、R&D 施設はアルゼンチン、その他イスラエル、スペイン、ウルグアイに拠点を置き、オランダで衛星生産施設が稼働する予定である。2022 年に Satellogic は Nasdaq の株式公開企業となった。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

通信衛星では '93 年以降カナダの AnikC1、C2 を賃貸で使用してきたが、'92 年に DASA、Aerospatiale、Alenia Spazio と共同出資体を設立し、Nahuel-1A (Spacebus- 2000)を開発し'97 年に打上げた。主契約者は Aerospatiale(現 Thales Alenia Space)で 18 本の TV 用 Ku バンド中継器が搭載されている。Nahuel-1 を含む Nahuelsat の資産は、2006 年に設立された政府系衛星運用会社である Arsat に継承された。2014 年には ARSAT-1 が打上げられた。ARSAT-1 はアルゼンチンの INVAP が設計開発、運用を Arsat が行っており、ペイロードは Thales Alenia Space が担当している。ARSAT-1 はテレビや電話、データ伝送といったサービスをアルゼンチンとその周辺地域に行う。2015 年には Arsat と INVAP が共同で開発した ARSAT-2 が打上げられた。ARSAT-2 はアルゼンチンを含む西半球各国への衛星放送、インターネット通信、その他データ伝送サービスを行っている。後継機としてトルコと開発を進めている高スループット通信衛星の ARSAT-SG1 は 2024 年の完成を目指して開発中である。

小型の低軌道通信衛星システムとして、12 kg のマイクロ衛星 64 機からなる LatinSat が Aprize Argentina により運用が始められた。2002 年から 10 機打上げられ、衛星も AprizeSat に改称されている。Aprize は米国に本拠地を置くが、衛星運用は米国籍企業である exactEarth が実施している。

[技術実証衛星]

科学技術生産革新省の支援を受けて 2013 年に CubeBug-1 衛星 2 機、2014 年に BugSat-1 を打上げるなど、アルゼンチンではピコ衛星の開発が進められている。企業では Innova Space 社がある。

2021 年に DIY 1（ArduiQube）が Soyuz 2 (1A)で打上げられた。衛星はイタリアの GAUSS 社が開発した重さ 32kg の小型衛星で衛星から 5 機のピコ衛星を放出する技術試験衛星である。2022 年 1 月に Innova Space 社のピコ衛星プラットフォームの技術実証衛星である MDQube-SAT1 を Falcon 9 で打上げた。2023 年 1 月 3 日に MDQSAT-1A, -1B、6 月 12 日に MDQSAT-1C, -1D、11 月 11 日に MDQUBESAT-2、12 月 1 日に MDQubesat-1 をそれぞれ Falcon 9 で打上げ合計 7 機となった。

2. ブラジル

(1) 航空機産業

a. Embraer (Empresa Brasileira DE Aeronautica SA)

'68 年にブラジルとして初の国産双発ターボプロップ機 EMB 110 Bandeirante の試作を成功させ、技術的にも国際市場で競合し得る航空機工業の基礎を築くに至った。

'90 年以降 '97 年まで赤字が続いていたが、'98 年は合理化の成果と ERJ 145 の好調な販売により黒字に転換した。民間航空機では世界 3 位の事業規模である。

(a) 民間機

イタリアの Aermacchi(現 Leonardo)との契約による Xavante 及び Piper との契約による Urupema のライ

センス生産からスタートし、EMB 110 Bandeirante に続いて EMB 121 Xingu、EMB 201 / 202 Ipanema を国内開発・生産すると共に、Piper の軽飛行機のライセンス生産も行ってきた。

ブラジルは広大な国土を有し、地上交通機関もそれほど発達していないことから、航空機の国内需要は大きく、ゼネラル・アビエーション機を中心とする航空機を輸入に頼っていたが、現在では Embraer の設立により機種や機数の面で国内需要に対しては十分な体制を築くと共に、海外市場へも目を向け、輸出も積極的に行っている。

'79 年から Bandeirante より一回り大きな 30 席クラスのコミューター機 EMB 120 Brasilia の設計を開始し、段階を踏んで大きな機体の開発・製造を手掛けている。

'89 年にブラジル初のジェット旅客機 ERJ 145 (48 席)の開発を開始し'94 年末に量産を決定した。また、'97 年に ERJ 145 の短胴型の ERJ 135 (37 席)をローンチし、更に 2000 年には ERJ 135 をコーポレート・ジェット化した Legacy の開発を発表した。そして、'99 年には ERJ 135 をストレッチした ERJ 140 (44 席)もローンチした。

'99 年には、新規開発の ERJ 170 とそのストレッチ型の ERJ 190 の開発を公表した。E170 は、フライ・バイ・ワイヤのソフトウェアの改修に時間を要したが、2004 年に FAA の型式証明を取得した。2013 年に Embraer は E-Jets ファミリーのエンジンを低燃費の Geared TurboFan 型に換えた E175-E2、E190-E2 及び E195-E2 をローンチした。E190-E2 は 2018 年に初納入した。また、E195-E2 は 2019 年に初納入された。E175-E2 は 2019 年に初飛行したが、2022 年 2 月、COVID-19 等の影響で 3 年間の開発中断が発表された。

また、Embraer は、Very Light Jet の Phenom 100EV / 300E、Executive Business Jet の Legacy 450 / 500 / 650E、Praetor 500 / 600 及び Lineage 1000E などのビジネスジェット機にも力を入れている。その他、リスク・シェア・パートナーとして Sikorsky の S-92 Helibus 開発計画にも参画している。下請けとしては、'87 年から MD-11 のアウトボード・フラップを生産しており、'91 年に B777 の翼端部と垂直尾翼フェアリングの生産契約を締結し、'94 年から納入している。

(b) 軍用機

軍用機では EMB 312 として開発されていたターボプロップ単発機が、ブラジル空軍用基本練習機として、T-27 Tucano の名で正式採用が決定し納入された。また、その派生型の EMB 314 Super Tucano が '93 年に初飛行している。

イタリアの Alenia 及び Aermacchi とジョイントベンチャーAMX International を創設し共同開発した AM-X 攻撃機が納入された。Embraer はブラジル空軍(FAB)の F-5 E / F アップグレード計画の主契約社となっている。

ブラジル空軍の F-X2 プログラムに Saab の Gripen E/F が採用され、2016 年に Embrer の工場に The Gripen Design and Development Network (GDDN)開設された。2022 年 4 月 3 日、最初の 2 機が納入された。

軍用輸送機の分野では、2006 年から C-130 サイズの中型輸送機 C-390 の検討作業が開始された。2009 年ブラジル空軍から空中給油/輸送機型 KC-390 の開発が発表され、2018 年に量産初号機が初飛行し同年型式証明を取得、2019 年に初号機がブラジル空軍に納入された。

⑵宇宙産業

宇宙関係では以前のブラジル宇宙開発委員会(COBAE)を引継いでブラジル宇宙庁(AEB)を'94 年に創設し、独自の宇宙開発を推進している。活動の中心をブラジル国立宇宙研究所(INPE)と宇宙開発活動研究所(IAE)に置き、前者は衛星の開発とデータ受信を、後者はロケット開発を分担している。AEB によって調整管理される宇宙プロジェクトに対する資金のほとんどは科学技術省によって拠出されている。初の国産衛星は地上で計測された気象データを収集する中継衛星 SCD-1 (115 kg)で '93 年に Pegasus で打上げた。

アメリカ戦略軍(USSTRATCOM)とブラジル国防省は、宇宙協力として 2018 年に宇宙状況把握(SSA)に関する協定に合意した。2021 年に Artemis 合意に署名し、参加国としては 12 番目で南米では初の参加である。また、2021 年に BRICS 衛星コンステレーション協定に署名した。この協定によってリモートセンシング衛星の仮想コンステレーションを構築し、ブラジルは CBERS4 の衛星データを提供する。

[宇宙輸送分野]

ブラジルには空軍が所有するアルカンタラ宇宙センター(CEA)があり、赤道に最も近いロケット射場であることから、商業打上げの実現のため 2020 年にブラジル宇宙庁(AEB)と空軍で協定を締結した。アメリカ企業(Hyperion、Orion AST)とカナダ企業(C6 Launch)が空軍との契約交渉中である。2023 年 3 月 19 日に韓国のロケットベンチャー企業 INNOSPACE の HANBIT-TLV 準軌道ロケットを打上げた。これはブラジル国防省航空宇宙科学技術局(DCTA)の慣性航法システム「SISNAV」を HANBIT-TLV に採用することを条件としてアルカンタラ宇宙センター(CEA)からの打上げが実現している。

また、アルカンタラから 800km 東に観測ロケット用のバライラ・ド・インフェルノ射場を有している。衛星打上げ用ロケットは VLS-1 (Veiculo Lancador de Satellites)で 2003 年の打上げ準備中の爆発事故により 2016 年に VLS-1 の開発を中止し、ドイツの DLR と VLM-1 ロケットの共同開発に移行している。一方、観測用ロケットは VSB-30 (Veículo de Sondagem Booster)は 2000 年にドイツの DLR と共同開発した固体燃料ロケットで 400 kg のペイロードを高度 270 km に打上げることができ、主にスウェーデンのエスレンジ射場から打上げに利用され実績も 30 回を超えている。

[有人飛行・宇宙往還機]

'97 年に NASA との協議でブラジルも宇宙ステーション計画に参加することが決まった。ブラジルは無重力環境を利用する実験装置などを開発しており、2006 年にはブラジル初の宇宙飛行士 1 名が宇宙ステーションに短期滞在した。

[通信・放送衛星／データ中継衛星]

通信衛星分野では、国営電気通信公社 Embratel が Hughes(現 Boeing)の HS-376 型バスによる Brasilsat2 機を '85 年と '86 年に打上げた。主契約者は Spar であった。第 2 世代の BrasilsatB1～B4 は Hughes(現 Boeing)が開発し、それぞれ'94～2000 年に打上げられ運用中である。Embratel の衛星運用部門は 2000 年に独立して StarOne となり、現在 7 機の衛星を運用している。衛星運用企業としてはラテンアメリカでは最大である。リオデジャネイロに本社を置き、Embratel が StarOne の株式 80 パーセントを、GE が 20 パーセントを保有している。また StarOne は Ku バンドの地域通信衛星 StarOne C シリーズ(Thales Alenia Space の Spacebus 3000B3)として、2007 年に初号機を打上げ、現在までに 5 機が運用されている。Star One D シリーズ(現 Maxar の 1300E)は、初号機の D1 を 2016 年に、D2 は 2021 年に打上げた。これらの衛星はマル

チメディアや高速インターネット接続を南アメリカ地域に提供している。

2013年、SGDC(Defense and Stragegic Communications Geostationary Satellite)がThales Aleniaに発注された。この衛星はブラジルの官民共用通信衛星で国家ブロードバンド計画(PNBL)のもと、ブラジル全土にブロードバンド通信サービスを提供するもので、2017年に打上げられた。

また、同じく2013年にAstrium(現AD S)に発注された静止通信衛星Sky Brazil-1(別名Intelsat 32EあるいはSKYB-1)は、2017年に打上げられた。従来のデジタルテレビサービスを強固にするとともに、HDTVや3D放送などの新しいサービスを提供するものである。

[地球観測衛星]

地球観測分野では、リモートセンシング衛星CBERSを中国と共同開発しており、CBERS-1(1,450 kg)を'99年に、CBERS-2を2003年に、CBERS-2Bを2007年に打上げた。2013年にはCBERS-3を長征4号Bで打上げたが、軌道に到達せず失敗した。CBERS-4は長征4号Bで2014年に打上げた。また気象データ収集衛星SCDシリーズとして、'93年にSCD-1(115 kg)、'98年にSCD-2(150 kg)を打上げた。小型地球観測衛星のAmazonia 1を2021年に打上げられた。アマゾン地域での森林監視、災害監視、農業に活用される。INPEは、アマゾン地域における森林伐採や農業モニタリング等に衛星データを活用することを目的に、Amazoniaミッションを計画しAmazonia 1に続き、Amazonia 1B/2を開発中である。Amazonia 1ではINPEが開発する500 kg級バスであるMulti Mission Platform(MMP)を採用する。

また、ブラジル初のキューブサットであるNanoSatC-Br 1/2も、サンタマリア大学協力のもと開発され、2014年に打上げた。ブラジル上の磁場を測定することにより、地球磁気圏のモニタリングをし、南大西洋異常(SAA: South Atlantic Anomaly)と赤道エレクトロジェット(EEJ: Equatorial Electrojet)の磁気現象を研究する目的である。科学衛星では磁気圏を調査するマイクロサットSACI-1(60 kg)を'99年に打上げた。2015年、AEB、INPE及びブラジル航空技術大学(ITA)が共同開発したAESP-14が、「きぼう」の小型衛星放出機構(J-SSOD: JEM Small Satellite Orbital Deployer)によって軌道に投入された。2015年にはAEBとブラジリア大学が共同開発したSERPENSがJ-SSODにより軌道投入された。SERPENSは、地上センサからの気象データ等の収集システムとしての技術実証を行う。

地上局としては、ブラジルにはLandsatやGOESなどの受信局がある。また、南半球で初めて海難救助SARSAT計画の地上局を設置した。

3. メキシコ

(1) 航空機産業

メキシコは、同国がNAFTA(North American Free Trade Agreement:米国、カナダ、メキシコ3ヵ国の自由貿易協定)に加盟していること、メキシコ－米国間で航空安全協定を締結していることからメキシコ航空局の認証がそのまま米国で通用すること、作業者の賃金が米国の1/3～1/4と廉価なこと、などを背景に、近年、機体・エンジンの修理工場、新製部品工場などが、首都メキシコシティの北部から米国国境のチワワ州にかけて急速に発展してきた。カナダのBombardier、フランスのSafran Group(エンジン部品)、米国のTextron(機体部品やWyman-Gordon(鍛造部品)などが現地企業との合弁会社や子会社を設立して活動している。現在、航空宇宙関連企業の数は190社を超え、主にケーブル、ハーネス、着陸システム部品、プラスチ

ック成形、精密機械などの部品を製造している。メキシコ政府は工業団地の造成などや作業者や技術者の人材育成を通じて、航空機産業の積極的な誘致を進めてきた。

Bombardier は、2006 年に Queretaro 工場を設立し、主にビジネス機や商業機の電線ハーネスや電子機器のサブ組立を行ってきたが、現在は、それらに加えて Global ビジネスジェット機の後部胴体、Q400 や Challenger 605 の操縦舵面(方向舵、昇降舵、水平安定板)、CRJ 700/900/1000 の方向舵といった構造部品も製造している。また、Learjet85 の複合材構造、電線ハーネス及び主翼の組立のために新工場を増設し 2010 年に竣工した。

⑵ 宇宙産業

メキシコ宇宙機関(AEM: Agencia Espacial Mexicana)は、2010 年に設立された。

Satmex(Loral 資本参加)が衛星通信サービスを中南米地域中心に提供している。当初は Hughes(現 Boeing)製の Morelos-1 / -2(ともに '85 年打上げ)により国内衛星通信を運用してきた。Morelos-1/-2 ともスペースシャトルで打上げられ、Morelos-2 の打上げの際はメキシコ初の宇宙飛行士がシャトルに搭乗し微小重力実験を行った。第 2 世代の通信衛星 Solidaridad 2 機を '93 年と '94 年に打上げた。この衛星は Hughes(現 Boeing)の 601 型バスで中継器は C、Ku バンドを搭載し国内及び中南米地域のほか、スポットビームで北米主要都市にサービス提供と L バンド移動体通信サービスも提供している。

'98 年には後継の Satmex-5 / -6 も打上げ運用されている。2014 年に Satmex が Eutelsat によって買収されたことにより、Eutelsat 115 West B として 2015 年に打上げられ 5 機が運用されている。他の通信衛星ではメキシコ Grupo Medcom と SES WorldSkies による合弁企業である QuetzSat により QuetzSat-1 が 2011 年に打上げられた。本衛星は Maxar の 1300 衛星バスを用い Dish Network グループの DTH サービスに使用されている。

政府の安全保障機関および民間モバイル通信を担う衛星として MEXSAT シリーズがあり、2 機運用されている。放送用通信では 2015 年に打上げた DirecTV の SKY MEXICO-1 がある。

国内ベンチャー企業は SpaceLab および Datiotec Aerospacial が国産ロケットの開発に着手しているほか SpaceJLTC がナノ衛星の開発を手掛けているが、国内規制が課題で 2020 年にメキシコとアルゼンチンが中心となって創設されたラテンアメリカ宇宙機関(ALCE)による規制緩和が期待されている。国際協力ではロシアとの宇宙探査に関する協力協定を 2021 年に締結した。2021 年に国際宇宙探査調整グループ(ISECG)に加盟した。メキシコ宇宙局、NASA が共同でマイクロロボットを月面に送る Colmena プロジェクトが進められ、2024 年 Vulcan 初号機の打上げる Peregrine 着陸機に搭載されたが、着陸機の不具合でミッションは失敗した。

4. チリ

⑴ 宇宙産業

2001 年に設立されたチリ宇宙機関(ACE)は、宇宙開発技術および地球観測の両面において重要な役割を果たす。ACE は、2002 年にフランス国立宇宙研究センター(CNES)と宇宙技術応用の協力協定を締結し、2015 年に 2 国間で宇宙空間の平和利用について互いに協力の意向を表明する等、人材育成や宇宙法策定も

含めた様々な分野でフランスとの強い協力体制の構築を進めている。サンティアゴに建設されるセリージョス国立宇宙センター(Cerrillos National Space Center)を建設中である。地上局もアントファガスタ、サンティアゴ、プンタアレナスの3か所に建設されている。

チリの航空宇宙企業は Magellan Aerospace Industries でカナダ宇宙庁(Canadian Space Agency: CSA)のSCISAT、CASSIOPE 衛星や衛星サブシステムの設計・製造を手掛けている。

'98 年にチリ空軍(FACH)と英国の SSTL の間の技術移転プログラムで製造された技術衛星 FASat Bravo を Zenit-2 で打上げた。2011 年には軍民両用の地球観測衛星 SSOT (Fasat-Charlie)を Soyuz により打上げた。

チリ大学の衛星 SUCHAI は、大学の学生、技術者および物理・数理学部の電気工学、物理工学および機械工学の教授によって開発された最初のチリのキューブサットである。主な目的は、超小型衛星の設計、構築・統合、打上げ、操作の全プロセスを学ぶことであり、2017 年に PSLV-XL で打上げられた。

英国宇宙庁は Sattelite Applications Catapult というスタートアップ事業でチリ海軍と Satellite Enabled Maritime Domain Awareness for Chile (SEMDAC)を実施している。これは AIS を発信しない違法漁業(IUU)の認識実証テストである。2020 年、チリ政府は、防衛及び科学技術開発に貢献する宇宙開発を目的とした新しい国家衛星システムの政策を発表した。2021 年から 2025 年の間に 100 kg 未満の小型衛星 3 機と 20 kg 未満のマイクロ衛星 7 機を Space X で打上げる計画であり、セリージョス国立宇宙センターで衛星製造を行うためイスラエルの企業 ImageSat International（ISI）と 1 億 2000 万米ドルの契約を締結した。この契約に基づき 2023 年 6 月 12 日に ISI 製の光学衛星 RUNNER-1 (チリ国内名 FASat-Delta)を Falcon 9 で打上げた。重量 86 kg、地上解像度 72 cm の衛星である。

また国際協力で 2023 年 3 月に Antofagasta にある Cerro Moreno 空軍基地内に米空軍の共同宇宙領域認識施設としてレイブン級望遠鏡が設置された。

第 5 節 中近東・アフリカ

1. アラブ諸国全般

⑴ 航空機産業

エジプト、サウジアラビア、カタール、アラブ首長国連邦の 4 ヵ国は、'75 年にアラブ工業化機構 (AOI: Arab Organization for Industrialization) という共同組織を作り、工業の振興と近代化を図ることにした。しかし、エジプト以外の 3 ヵ国は、エジプトとイスラエルによるキャンプ・デービッド合意を契機に AOI より脱退した。

AOI はこれまでに、Aerospatiale との提携による SA342 ヘリコプターと Super Puma のライセンス組立、Embraer の EMB 312 Tucano のノックダウン組立及び Dassault-Breguet / Dornier の Alpha Jet 練習機／軽攻撃機、Mirage 2000 のライセンス生産をしてきた。

⑵ 宇宙産業

中近東・アフリカのアラブ地域の衛星通信を自主的に運営するためのアラブ諸国 21 ヵ国で構成されるアラブ衛星通信機構アラブサット Arab Satellite Communications Organization (Arabsat、ASCO)を '76 年に結成

してサウジアラビアのリヤドに本部を置いている。'85 年に打上げた Arabsat1A (Aerospatiale 製 Spacebus1000)は太陽電池パネルの展開不良で失敗し、同年 Arabsat1B が同じ軌道に投入され'92 年夏まで運用した。'92 年打上げの 1C は '94 年まで運用し、'93 年に軌道上で Telesat Canada から購入した Anik D2 を Arabsat1D として運用してきた。後に Arabsat1D は Telstar301 に置き換えられ Arabsat1D-R として使用された。Arabsat2A, 2B (Spacebus -3000)を'96 年に打上げ、Arabsat3A (Spacebus-3000B2)は '99 年に打上げた。Ku バンド 20 本の中継器を有しており、全てがテレビジョン放送に使われてきた。Arabsat 4A, 4B (Eurostar-2000+)が 2003 年に Astrium に発注され、4A は打上げに失敗したが、4B は 2006 年に打上げられた。4A の代替機として 4AR を 2008 年に打上げた。Arabsat 5A, 5B, 5C (Eurostar-3000)のうち、5A, 5B を 2010 年に 5C を 2011 年に打上げた。さらに、6B を 2015 年に打上げ、現在 Arabsat4AR, 4B, 5A, 5B, 5C, 6B の 6 機を運用中である。Arabsat 6A は 2019 年に打上げられ、Arabsat 6D は 2021 年以降の打上げが計画されている。Airbus は Arabsat から、新世代の通信衛星 BADR-8 の開発を受託し、2023 年 5 月 27 日に Falcon 9 で静止軌道に打上げた。BADR-8 は Airbus の最新衛星バス Eurostar Neo の通信衛星でヨーロッパ、中東、アフリカ、中央アジアにインターネット接続環境を提供するが、衛星と地球局間で光通信実証を行う Airbus の光通信ペイロード TELEO も搭載している。

2019 年、Pan-Arab Space Agency をアラブ諸国 11 カ国調印のもと設立した。アルジェリア、バーレーン、エジプト、ヨルダン、クウェート、レバノン、モロッコ、オマーン、サウジアラビア、スーダン、アラブ首長国連邦から構成されるもので、本部は UAE 宇宙局に設置することとなった。最初のプロジェクトは UAE で 813 と呼ばれる衛星の共同開発を行うもので、大気観測を目的としている。また、2020 年、UAE は日・米・加・英・伊・豪・ルクセンブルグと 8 カ国間で Artemis 合意に署名した。

中国は 2022 年 12 月の中国 GCC(湾岸協力会議)サミットで、中東独自での宇宙飛行士訓練への支援や天宮宇宙ステーションの活用などを中東諸国に提案しており、今後の動向が注目される。

2. サウジアラビア

(1)宇宙産業

キングアブドゥルアジズ科学技術都市(KACST: King Abdulaziz City for Science & Technology)は '77 年に設立された。'85 年にケネディ宇宙センターから打上げられたディスカバリーに、STS-51-G ミッションにおけるペイロードスペシャリストとしてアラブ人初の宇宙飛行士 Prince Sultan Bin Salman が搭乗した。サウジ宇宙委員会(SSC)は王国のビジョン 2030 のサウジ宇宙飛行士プログラム実行のため 2022 年 9 月に有人宇宙飛行サービスプロバイダーの Axiom Space と提携した。これによりサウジ初の女性宇宙飛行士を含む 2 人のサウジ宇宙飛行士の訓練を開始するとしている。また、2022 年 7 月に Artemis 合意に参加し 21 番目の国となった。

自国衛星開発では KACST が SaudiComsat プロジェクトで 2004 年から SaudiComsat 衛星を 7 機打上げ、2007 年から SaudiSat を 5 機打上げている。さらに KACST と TAQNIA および米国 DigitalGlobe と共同で画像衛星 WorldView-Scout 1～6 号機を打上げる計画である。

2019 年に初の通信衛星となる SaudiGeoSat-1 (SGS-1)を静止軌道上に打上げた。2023 年 5 月 27 日に通信衛星の Arabsat 7B (BADR-8)を Falcon 9 で静止軌道に打上げた。2021 年 3 月には米国 LinaSpace の開発した

0.9 m分解能の光学とAISペイロードを持つ超小型衛星のNajm 1(Shaheen Sat)とキングサウド大学のKSU-Cubesatが Soyuz 2(1A)で打上げられた。

その他の分野では、'89 年にサウジ・リモートセンシング・センターがリヤド市に完成し、LandSat や SPOT のデータを受信している。受信データを近隣諸国に輸出している。また、宇宙利用技術として衛星データを砂漠の監視、水・鉱物資源の探査などに使うことを研究している。米 Virgin Group に対し$ 1B の投資を検討しており、「宇宙中心のエンターテインメント産業を開発する可能性」を含む将来のサービス開発を支援すると発表した。また、衛星ではないが 2022 年 10 月に Airbus の高高度プラットフォーム ステーション(HAPS)で Salam と戦略的パートナーシップを締結した。

3. エジプト

(1) 航空機産業

エジプトは、中国とパキスタンが共同で開発した K-8E 練習機／軽攻撃機を '99 年の契約に基づき最初の 10 機以外をライセンス生産し、エジプト空軍が 2005 年までに合計 80 機調達した。同年には 40 機の追加生産を決定した。最終的には 94 %のコンポーネントを国産化することに成功し、2010 年に 120 機全ての生産が完了した。

(2) 宇宙産業

エジプトの宇宙科学技術は、高等教育科学研究省の下にあるエジプト宇宙科学技術研究会議(Egyptian Space Science and Technology Research Council)が科学研究技術アカデミーと連携しつつ調整、展開している。エジプト科学研究省(Ministry of Scientific Research)の下、リモートセンシングに関する研究開発を行う機関である、エジプトリモートセンシング宇宙科学局(NARSS: National Authority for Remote Sensing and Space Science)が '91 年に設立されており、リモートセンシング衛星の運用、センサ開発、および資源管理や災害監視等へのデータ活用等に従事している。2019 年にエジプト宇宙庁(EgSA: Egyptian Space Agency)が設立され、アフリカ開発衛星イニシアチブ(AfDev-Sat)を立ち上げた。ボツワナ、ガーナ、ケニア、モロッコ、ナイジェリア、スーダンがメンバーである。2020 年にはフランス宇宙庁(CNES)との宇宙技術と科学の分野における二国間宇宙協力プロトコルに署名した。

エジプトは、アフリカで最初の直接衛星放送を行う Nilesat101 及び 102(MMS 製、 Eurostar2000)を '98 年と 2000 年に Ariane 4 で打上げ、北アフリカを中心にデジタル TV 放送(150ch 以上)、ラジオ、マルチメディア等のサービスを行っている。メーカーはいずれも Matra Marconi Space(現 ADS)である。2010 年に通信機能をさらに充実させた Nilesat 201 を打上げた。2020 年、商用衛星通信事業者 NileSat は、通信衛星 NileSat 301 を 2022 年 6 月に Falcon 9 で打上げた。

また、2007 年にはエジプト初のリモートセンシング衛星である Egyptsat 1 を打上げた。Egyptsat 1 はウクライナの Yuzhnoye と NARSS の国際共同プロジェクトの中で開発された 100 kg 級の衛星である。このプロジェクトは、エジプトへの技術移転も目的としており、Yuzhnoye で行われた Egyptsat 1 の開発にエジプト出身の多数の技術者が参加し、OJT を受けた。Egyptsat 1 は地表分解能 8 m 程度のマルチスペクトルイメージャを搭載し、2010 年まで運用された。

2014年にはEgyptsat 1の後継機であるEgyptSat 2 (MisrSar 2)がSoyuzにて打上げられた。この衛星はロシアのRSC Energiaによって開発された1,050 kgの衛星であり、地表分解能4 m程度のマルチスペクトルイメージャを搭載している。EgyptSat-2の運用は、軌道上不具合の発生により、2015年に終了している。2023年12月4日にMisrSat-2を長征2Cで打上げた。この衛星は2014年に打上げられたMisrSat-2と同名であるが中国版でAiji 2 (Aiji Yaogan Weixing Erhao)とも呼ばれている。地上解像度はパンクロモードで2 m、カラーで8 mの高解像度イメージャを備える。EgyptSat A (MisrSat A)は、ロシアのRKK Energiyaと共同開発し、ベラルーシのOAO Pelengのイメージャを搭載しており、2019年にSoyuzで打上げられた。同年にThales製EurostarE3000バスを使用した軍事通信衛星Tiba1を打上げた。

2023年2月24日に長征2Cで地球観測衛星のHorus-1を打上げた。別名Helusi 1(荷魯斯1号)である。エジプト国家リモートセンシング宇宙科学局(NARSSS)と中国企業DFHが共同開発した衛星とみられ、同年3月13日にはHorus-2を長征2Cで打上げた。

国際動向に関しては2022年9月に中国とのシンポジウムが開催され、中国側は宇宙飛行士訓練を含めた天宮宇宙ステーションの活用やリモートセンシング衛星の応用と宇宙技術を提供しつつアフリカ地域の能力訓練のための、中国・アフリカ協力センター設立をエジプト宇宙庁に対して提案している段階である。

4. アラブ首長国連邦

(1) 航空機産業

a. Mubadala Investment

アラビア語で”変革”を意味するMubadala Investmentは、長期に亘る投資を経て国民に利益をもたらすことを目的としている。同社のAerospace部門は、OEMとの航空機構造部品製造のパートナーシップ、リースなどのファイナンスの提供、中国市場を狙ったMROを基本戦略としている。STRATA Manufacturing、NIBRAS AL Ain Aerospace Park、エンジンのオーバーホールを得意とするTurbine Service and Solutionsなど数社を傘下としている。

b. STRATA Manufacturing

機体メーカーとオフセット契約し、主に複合材部品の工場として2010年より製造を開始した。A330のフラップ・トラック・フェアリング、エルロン、スポイラー、A350のフラップ・サポート・フェアリング、A380のフラップ・トラック・フェアリング、ATR42/72の垂直尾翼と方向舵、B777の尾翼リブ、B787の垂直尾翼リブなどを製造している。

(2) 宇宙産業

アラブ首長国連邦(UAE)を構成する7首長国の1つであるドバイ首長国は、UAEの科学技術育成を目的として2006年に先端科学技術研究所(EIAST: Emirates Institution for Advanced Science and Technology)を設立した。また連邦は2014年には連邦法で国家宇宙開発を目的としたアラブ首長国連邦宇宙庁(UAE Space Agency)をアブダビ市に設立した。同庁の宇宙技術部門として2006年にドバイ首長国が独自に設立したMohammed bin Rashid Space Center (MBRSC)は、衛星開発から運用、宇宙飛行士の育成や国際協力などの役割を担っている。2019年は、Pan-Arab Space Agencyの発足や国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS:

Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)への参加など、国際協調を進展させた。2019年のUAE宇宙法には、宇宙活動許可の発行や宇宙活動に対する責任と保険規制、宇宙資源の利用およびスペースデブリ緩和策の開発などが盛り込まれた。連邦の構成国であるドバイ首長国とアブダビ首長国は、競い合い宇宙開発を進めている。

防衛・安全保障産業の経済評議会 Tawazun Economic Council は、Airbus と国立宇宙科学技術センター(NSSTC: National Space Science and Technology Center)の協力を得て、中型小型衛星の開発、製造、試験設備を備えた AIT 衛星センターを設立した。エミレーツ宇宙庁が議長となりアラブ宇宙協力グループ(Arab Space Coopertion Group)が 2019 年に創設され、アルジェリア、バーレーン、エジプト、イラク、ヨルダン、クウェート、レバノン、モーリタニア、モロッコ、オマーン、サウジアラビア、スーダン、チュニジアが加盟した。各国宇宙当局間の規制の調和など包括的なコラボレーションを目的としている。NSSTC-UAEU (The National Space Science and Technology Centre at United Arab Emirates University)とデンマークのGomSpaceは、2020年に衛星開発プロジェクトを支援する契約に署名した。

[通信・放送衛星]

'97年ドバイに設立したモバイル衛星会社Thuraya Communications Companyは、2000年に1個の携帯電話で衛星・地上携帯電話の両方を可能とする移動体通信衛星を打上げた。'97 年に Hughes(現 Boeing)と $ 1.0B で契約し、衛星 2 機のうち 1 機は予備、地上局、23,500 台の携帯電話、打上げ費用が含まれる。$ 500M は Thuraya が負担し、残りはおもに中近東諸国通信会社や銀行が出資している。BSS702 モデルの衛星は大型アンテナによる 250~300 のスポットビームを有し、中近東を中心に北及び中央アフリカ、ヨーロッパ、中央アジア、インドなど99ヵ国、地球の40%をカバーし、13,750電話回線の通信容量を有する。Thuraya は GPS の位置情報、GSM ネットワークを通じた携帯アクセス等の衛星相互接続を組み合わせるデュアルモードアーキテクチャを利用したモバイル音声とデータサービスを提供している。2003 年に Thuraya 2 を打上げ、引続き Thuraya 3(いずれも Boeing GEO-Mobile バス)も 2008 年に Sea Launch で打上げた。後継機の Thuraya 4 および 5 も計画されている。

また、静止衛星としてはYahsatによるCバンド14本、Kuバンド20本、Kaバンド21本の中継器を搭載したYahSat1A/1Bをそれぞれ、2011年と2012年に打上げた。さらに、2018年には、電気推進を搭載したKa帯通信衛星Al Yah 3が打上げられた。Dubai Electricity and Water Authority (Dewa)がLoRa IoT通信技術を採用した 3U CubeSat の IoT 衛星を開発しており、実証衛星の DEWASAT-1 が 2022 年 1 月 13 日に Falcon 9 で打上げられた。また、シンガポールの SpaceChain がアブダビにオフィスを開設し、中東および北アフリカ(MENA)地域の統合宇宙ブロックチェーン開発を進める。

[気象・地球観測衛星]

地球観測衛星としてMohammed Bin Rashid Space Centre (MBRSC)のDubaiSat-1が韓国Satrec Initiativeに発注され、2009年に打上げた。この衛星はSI-200バス(マレーシアのRazakSatで開発)を用いた小型衛星(重さ180kg、直径1.2m、高さ1.25m)で、2.5m(パンクロ)、5m(マルチ：4バンド)の光学センサを搭載している。また、1 m(パンクロ)、4 m(マルチ：4 バンド)の光学センサを搭載した DubaiSat 2 が 2013 年に打上げられた。

米国シャルジャ大学(AUS)と EIAST が共同開発した Nayif-1(EO-88)キューブサットは、2017 年に打上げ

られた。2018 年に H-IIA ロケットで打上げた MBRSC の地球観測衛星 KhalifaSat は、0.7 m のパンクロマチックと 4 m のマルチスペクトラム光学センサが搭載されている。2019 年には UAE 軍の Falcon Eye 1 を打上げたが Vega の不具合により失敗し、2020 年に Astrium / Thales Alenia Space 製の Falcon Eye 2 高解像度光学偵察システムを打上げた。2018 年にアブダビのハリーファ大学(Khalifa University)のキューブサット MYSat-1 が Antares 230+ロケットの補給船 Cygnus CRS-10 で打上げられ、国際宇宙ステーションから放出された。2020 年に MBRSC は温室効果ガス濃度を調査する CubeSat の MeznSat が打上げられた。2021 年に宇宙飛行研究所(SFL)によって開発された 15 kg の地球監視マイクロ衛星である DMSat-1 が打上げられた。政府は 2022 年 7 月に SAR 衛星コンステレーションを開発する計画を発表した。この計画で開発される Sirb 衛星は X バンドの分解能 1 m で 3 年後の打上げ予定である。

[科学衛星／月・惑星探査機]

2020 年、MBRSC が開発した UAE 初の火星探査機 Al-Amal (HOPE, COSPAR 2020-047A)を H-IIA ロケットで打上げた。エミレーツ・マーズ・ミッション(Emirates Mars Mission: EMM)は、UAE 建国 50 周年の前日である 2021 年 2 月 9 日に火星の軌道に乗った。火星探査機の成功により、2021 年に小惑星ミッションを正式発表した。計画は 2028 年に開始され、2030 年に火星と木星の間の小惑星帯で主要な 7 つの小惑星を観測し、2033 年に小惑星に着陸することを掲げている。2020 年に米国提案の国際宇宙探査 Artemis 計画に協定に署名した。エミレーツ月探査プロジェクトは 2020 年に開始され 2021 年に日本の ispace の着陸機 HAKUTO-R に月面探査車 Rashid ローバーを搭載する契約を締結し、2022 年 12 月に Falcon 9 で打上げられた。打上げ成功により、MBRSC は南アフリカ国立宇宙局(SANSA)とエミレーツ月面ミッション(ELM)の支援契約を締結した。しかし HAKUTO-R 着陸機は 2023 年 4 月 26 日の着陸で月に激突し Rashid はミッション不可能となった。2022 年 9 月に MBRSC と CNSA との間で月表面での探査活動協力に関する覚書に署名した。これは次に計画されている月面探査車 Rashid-2 を中国の嫦娥 7 号で打上げて共同ミッションを行うものである。またイスラエルと Beresheet2 ミッションの共同打上げを含む、多くの宇宙プロジェクトで協力する合意を 2021 年に締結した。

[有人飛行・宇宙往還機]

UAE 初の宇宙飛行士は、2020 年に国際宇宙ステーション(ISS)に 8 日間滞在した。MBRSC と NASA 間の合意にもとづき、4 名の UAE 宇宙飛行士に対しロボット工学、船外活動など様々なミッション訓練をジョンソン宇宙センターで実施している。有人飛行では 2021 年に UAE 初の女性アラブ宇宙飛行士が選抜された。2022 年 5 月、MBRSC と有人宇宙飛行サービス企業の Axiom Space は 2023 年の NASA-SpaceX Crew-6 ミッションで宇宙飛行士を ISS に送る契約を締結した。2023 年 3 月 2 日に同ミッションで Sultan Al Neyadi 飛行士が搭乗し、第 69 次長期滞在 (ISS)と船外活動をした初のアラブ人となった。

[国際協力]

2020 年に UAE 宇宙庁とサウジアラビア宇宙委員会が、将来戦略や宇宙プロジェクト協力などの強化について合意する署名を交わした。6 月には国際連合宇宙局(UNOOSA: United Nations Office for Outer Space Affairs)と「宇宙活動の長期的な持続可能性に関する協力を強化し、持続可能な開発のための宇宙利用を促進するための協定」に署名した。

5. イスラエル

⑴ 航空機産業

a. IAI (Israel Aerospace Industries LTD)

IAI は '53 年に Bedek Aviation として設立され、'67 年に国有化されて Israel Aircraft Industries になり、2006 年に現社名に変更された。

IAI は Mirage をベースとした Kfir 戦闘機を開発・生産した。

また、イスラエルは世界でも早い時期から偵察や攻撃用に無人航空機を開発してきており、Heron、Hunter、Ranger、Scout、Pionner、Panther、Searcher など数多くの無人航空機の生産を行ってきた。

ビジネス機としては、当初米 Rockwell の Jet Commander の製造権を譲り受けて、IAI 1124 Westwind を生産したのに続いて、この性能向上型の IAI 1125 Astra を発表し、1985 年に型式証明を取得した。Astra は CAD/CAM を多用した最初のビジネスジェットの 1 つである。

さらに Astra を再設計し胴体を太くした 19 席の IAI 1126 Galaxy の開発をメーカーらが計画し、2000 年に納入が開始された。なお、Galaxy Aircraft は 2001 年に米 General Dynamics に買収され、同社の航空機部門の Gulfstream に統合されたため Astra は G100、Galaxy は G200 と呼ばれることになったが、生産・組み立てはイスラエルで行われ、その後米国にフェリーされてそこで最終的に完成される。

また、IAI は航空機整備改造事業で 50 年以上の経験を持つほか、特殊用途機への改造事業、旅客機から貨物機への改造事業を得意としており、なかでも貨物機改造は 200 機以上(B737-300 / 400、B747-400、B767-200 / 300 など)の実績がある。また、2019 年から B777-300 に対する旅客機から貨物機への改造事業を開始した。

2005 年に複合材製造技術がある IAI は B787 後胴の扉周り、旅客床部品と貨物床部品及び尾胴のピボット隔壁の供給で Vought(現 Boeing South Carolina)と契約した。また、同年にはデルタ航空の B767-200 を貨物型に改造する契約も得た。2006 年には、B767-300 等の旅客機を貨物機へ改造する合弁会社設立につき、三井物産と合意した。

2013 年、IAI は、Lockheed Martin と F-35 主翼の製造契約を締結した。2014 年に製造ラインを開所後、2015 年から生産を開始し 2016 年以降、出荷を継続中である。

⑵ 宇宙産業

イスラエルは、イスラエル宇宙局(ISA: Israel Space Agency)と IAI (Israel Aerospace Industries)が開発した技術試験衛星 Ofeq-1(地平線 1 号、156 kg)を '88 年に 3 段式の Shavit で打上げ、人工衛星打上げ能力を持つ 8 番目の国となった。続いて Ofeq-2 を '90 年に打上げ、第 2 世代の Ofeq-3 (189kg)を '95 年に Shavit-1 で打上げた。Ofeq-3 は高分解能の地球観測センサを搭載している。2002 年にイスラエル初の偵察衛星 Ofeq-5 (300 kg、分解能 0.8 m)の打上げに成功し、近隣諸国の情勢把握に利用されている。搭載カメラはイスラエルの Elbit Systems が担当した。2004 年にさらに高性能化した偵察衛星 Ofeq-6 を Shavit-1 で打上げたが、3 段ロケット故障で打上げに失敗した。しかし、2007 年にはさらに高性能化した Ofeq-7 を、2010 年には Ofeq-9 を Shavit-2 で打上げた。2014 年に偵察衛星 Ofeq-10、2016 年には Ofeq-11 が、2020 年には光学偵察衛星 Ofeq-16 を Shavit-2 で打上げた。2023 年 3 月 28 日に光学偵察衛星 Ofeq-17 を Shavit-2 で打上げた。自国の

宇宙開発技術の向上をはかるために技術衛星 TechSat を開発しており、TechSat-1 は '95 年に打上げたがロケットの不具合で失敗した。'98 年に TechSat-2 (50 kg)の打上げに成功した。

IAI は通信・放送衛星 AMOS (Afro-Mediterranean Orbital System) -1 を開発し、'96 年に打上げた。AMOS-1 は IAI のほかイスラエルとドイツの Dornier(現 ADS)が加わり共同で開発した重量 996 kg、寿命 10 年の 3 軸静止衛星である。2003 年打上げの AMOS-2 (IAI 製、1,374 kg)に続き、AMOS-3 を 2008 年に打上げた。Spacecom により発注された AMOS-4 は重量 4,300 kg、Ku / Ka のデュアルバンド通信衛星であるが、打上げ契約の問題で遅れて 2013 年に Zenit 3 SLB で打上げられた。AMOS-5 は 2011 年に Proton で打上げた。また IAI は 2002 年に香港に設立された HKSTG (Hongkong Satellite Technology Group)に参加し、2008 年の北京オリンピックまでに打上げる HKSAT-1 及び 2(AMOS バス)を受注したが、契約は 2003 年にキャンセルされた。AMOS-6 は AMOS-2 の代替として 2016 年に打上げ予定であったが、AMOS-6 を積載していた Falcon 9 が燃焼試験中に爆発事故を起こし損失したため、後継機の AMOS-8 とともに中止になった。2019 年に、AMOS-5 の後継機となる AMOS-17 が打上げられた。AMOS シリーズの後継通信衛星として Dror1 が選定され 2020 年 1 月に IAI が受注した。

2017 年、技術実証衛星 BGUSAT (Ben Gurion University SATellite)を打上げた。この衛星は、IAI が SpaceIL Lunar Lander 用に開発した専用コンピュータチップを初めて採用した 3U キューブサットである。

2003 年に$ 3.0B の売上を計上した IAI は、航空宇宙分野で、世界最高の技術を保有する企業として評価されているほか、イスラエルが中東地域で最強の軍事力を保有するのに決定的役割を担っている。IAI は濃縮光電池システムを基にした、太陽熱の電池技術「コンソール」をはじめ、レーダー、フラッシュメモリーの応用技術など 20 あまりの技術について韓国企業の参加を 2004 年に受け入れた。

地球観測衛星では 1.8 m 解像度の 2000 年に Eros-A1(IAI 製、250 kg)、2006 年に Eros-B を打上げた。

Elbit Systems は 2006 年に打上げた韓国の Kompsat-2 のマルチスペクトルカメラを韓国航空宇宙研究所(KARI)に供給した。2017 年に打上げたイタリアの OPTSAT-3000 には、分解能 70 cm 級の開口径センサを供給している。なお、同一バスを用いた X バンド SAR 搭載の TECSAR(分解能 1 m 以下)が 2008 年に打上げられている。

ISA はフランス国立宇宙研究センター(CNES)と協力して、地球観測用マイクロ衛星 Venus を 2017 年に打上げた。さらにインド宇宙研究機関(ISRO)と協力して紫外線天文観測器 TAUVEX を開発しており、2009 年 ISRO の GSat-4 に搭載して打上げ予定であったが、相次ぐインドのロケット打上げ失敗の影響を受けて現在、打上げ中止も含めて計画見直し中である。ISA はテルアビブ大学を通じて、研究機関と協力した研究開発にも力を入れている。NASA の EOSDIS(惑星探査、地球気候・環境調査、地球観測が主目的)や宇宙放射ナレッジセンター(Knowledge Center for Cosmic Radiation：太陽放射線嵐、恒星間磁気嵐観測)、近地球天体技術ナレッジセンター(Technical Knowledge Center on Near Earth Objects：地球に接近し、危害を及ぼす可能性のある天体の調査)があり、ISA が各分野でサポートしているため国際・国内プログラムのプログラム設立に際して助言している。2019 年、非営利団体 SpaceIL が開発した月面探査機 Beresheet を Falcon 9 v 1.2 で打上げた。Google Lunar XPRIZE にエントリーしていたもので、着陸試行中にメインスラストの停止により月面に衝突した。2024 年に 2 回目の Beresheet2 を計画しており、2021 年にアラブ首長国連邦と Beresheet 2 ミッションの共同打上げを含む、多くの宇宙プロジェクトで協力する合意を締結した。月ミッ

ションでは月の土壌から酸素を生成するシステムを手掛ける新興企業の Helios がドイツ企業の OHB と実験を行うことで2021年に合意した。Heliosは日本のispaceとも2021年に2つの実験で合意している。2025年の Beresheet 2 では 5 年間とどまる月周回軌道上で医薬品(抗生物質、睡眠剤、鎮痛剤)の安定性を長期に渡ってテストするとし、イスラエル企業の Space Pharma がミニラボを設計している。Beresheet 2 ミッションで企業の Ramon.Space と Lulav Space がナビゲートを担うとしている。また、2022年1月にイスラエルは Artemis 合意に署名した。

2014年には、Space laboratory of the Herzliya Science Centre (HSC)の学生らによって開発された Duchifat-1 が打上げられた。2020年イスラエルとイタリアの宇宙機関の共同プロジェクトで Spice Pharma が開発した Dido-3 衛星を打上げた。

2020 年、Rafael Advanced Defense Systems が開発した衛星用の電気推進システムのインドへの供給について、ISA と ISRO 間で協力協定が締結された。2021年に技術実証衛星の ADELIS-SAMSON を打上げた。6U の CubeSat であるが複数の衛星と長期的な自律スウォーム飛行を実証するものである。

6. イラン

⑴ 航空機産業

a. AIO (Aviation Industries Organization of The Islamic Republic of Iran)

AIO は湾岸戦争後に航空産業の政策立案、コーディネート、計画立案を目的に設立された。その傘下に Iran Aircraft Manufacturing Industries Company (IAMI、旧 HESA)、Iranian Aircraft Industries(IAIC、旧 SAHA)、Turbine Engine Manufacturing (TEM)などが参集している。

イランは An-140 双発ターボプロップをライセンス生産する工場を IAMI の Isfahan に建設することでウクライナ政府と協定を結び、Ir.An-140 と命名された最初のイラン組立の An-140 が 2003 年に Safiran に引き渡され 2004 年に定期運航を開始した。

Azarakhsh 戦闘攻撃機の開発を 2002 年に開始し 2007 年に初飛行した。

⑵ 宇宙産業

イラン宇宙機機関(ISA: Iranian Space Agency)は 2004 年に設立し本部はテヘランに置かれている。関連機関には宇宙飛行研究所(ARI)、イラン宇宙協会(INSA)がある。

イランは、中国の協力で小型のマルチミッション衛星 SMMS (Small Multi-Mission Spacecraft 開発プロジェクトを進めている。SMMS には低解像度の CCD カメラと実験用通信システムが搭載されており、イラン・中国・タイの共同研究衛星である Huanjing-1 は、2008 年に長征 2C で打上げられた。一方、2005 年にイラン初の人工衛星である Sinah 1 が Plesetsk 射場から Kosmos-3M で打上げられている。

打上げ分野では中距離弾道ミサイルの Shahab-3 を改良した Safir を使い 2009 年にイランが独自に開発した 25 kg の Omid 衛星を高度約 250 km の軌道に打上げた。これによりイランは世界で 9 番目の衛星打上げ能力を有する国となった。2011 年には 15 kg の Rasad-1 を高度約 260 km に打上げ、Iran University of Science and Technology の学生により製作された 50kg の地球観測衛星 Navid を 2012 年に高度 250～370 km に打上げた。2015 年には Fajr を打上げ、イランが自力で開発した衛星として通算 4 機目となった。2017 年には、

250 kg のペイロードを軌道に運ぶ能力を持つ Simorgh Rocket を打上げたが、衛星については明らかにされていない。2019 年に Simorgh (Safir-2)ロケットにより Payam-e Amirkabir 衛星と Dousti 1 を打上げたが、いずれも軌道に投入できなかった。2021 年にも Simorgh を打上げたが失敗した。Zoljanah という 3 段目に液体燃料を使用したロケットを開発中といわれている。

Nahid-1 衛星は Iranian Space Research Center (ISRC)が開発したイラン初の通信衛星であるが、2019 年の打上げ準備中に Safir 1B ロケット爆発により、打上げができない状態となったが、2023 年 3 月 4 日に Nahid-1 衛星を打上げたものの Islamic Revolutionary Guard Corps (IRGC)が開発した Qaem 100 ロケットでの最初の軌道投入ミッションは失敗した。2024 年 1 月 20 日 Qaem 100 ロケットは ISRC の開発した地球観測衛星 Soraya の軌道投入に成功した。その他の地球観測衛星では Zafar-2 が予定されている。

2020 年にイラン初の軍事光学衛星で CubeSat の Noor-1 を Qased ロケットで打上げた。設計寿命 1 年であったが、2022 年 4 月に軌道上で崩壊した。2 機目の Noor-2 を 2022 年 3 月に Qased ロケットで、2023 年 9 月 27 日に Qased ロケットで Noor-3 を打上げた。2022 年 8 月に Khayyam 衛星を Soyuz 2 (1B)で Baikonur 射場から打上げた。Khayyam はロシアの企業 VNIIEM と NPK Barl が開発した 600 kg の衛星で、地上分解能 1 m の光学衛星であり 4 カ月間の試験後、政府と民間に利用される。設計寿命は 5 年とされている。

7. トルコ

(1) 航空機産業

a. TAI (Turkish Aerospace Industries Inc.)

トルコ政府は'81 年初めに自国の防衛産業育成計画を策定し、'84 年に米 Lockheed と TAI (Tusas Aerospace Industries Inc.)を設立した。Turkish Aircraft Industries Inc と Tusas Aerospace Industries Inc は 2005 年に合併した。2020 年の売上高は US$ 1.54B で、従業員は 3,191 名(2017 年)であった。トルコの航空機設計・開発・製造・システム統合・改修・プロサポの技術センターとなっている。

これまでに SIAI-Marchetti SF-260 練習機のノックダウン生産、トルコ空軍向け F-16 C/D ブロック 30/40 のライセンス生産及び米空軍用機の中央胴体、主翼を生産、'91 年から'98 年にかけてのトルコ空軍発注の CN-235 のライセンス生産の経験を持ち、その後はトルコ空軍向け F-16C/D のライセンス生産、エジプト空軍向けの F-16 のライセンス生産、トルコ空軍、ヨルダン空軍、パキスタン空軍の F-16 の近代化改修などを受注している。

また、'97 年にトルコ空軍が発注した Eurocopter AS532 Cougar Mk1 ヘリコプターの完成輸入した 2 機を除いた分を組立て、2003 年までに納入し、その後も追加でライセンス生産した。2007 年にはトルコ陸軍が AgustaA129 Mangusta ヘリコプターをベースとした T129 を発注した。T129 は Agusta Westland と TAI が共同開発したヘリコプターで、2014 年から納入を開始、TAI では現在製造を行っている。

このほか TAI の主要事業には、A400M の開発に参画、トルコ空軍 F-16 の構造改修、海上哨戒機 S-2E の消火航空機への改修、CN-235 の近代化、無人偵察機 ANKA の開発製造がある。

これらの経験を活かし TAI は Lockheed Martin、Boeing、Airbus、Leonardo、Northrop Grumman などのサプライヤーとなっており、A320(胴体パネル、P&W エンジン用ファンカウル)、A350(エルロン)、A330(方向舵)、B737(昇降舵)、B787(昇降舵、貨物バリヤー)、A220(主翼固定後縁)、AW139(胴体部)、F-

35(中胴)の部品生産も行っている。TAI は、2017 年の Boeing のサプライヤー・オブ・ザ・イヤーに選出されている。

2011 年に TAI は、次世代戦闘機 TFX の開発を決定し、SAAB の設計支援を受けて機体を製造し 2023 年 3 月 23 日タキシングテストに成功した。同イベントにおいて、国産ステルス戦闘機「KAAN」という愛称が発表された。

b. Alp Aviation

トルコの航空宇宙産業の輸出高で 3 番目の規模の民間企業である。エスキヒルに 2 つの工場を持ち、総敷地面積は 5 万平米、2020 年の売上高は US$ 947.4M、金属部品の機械加工を得意としており工作機械に加え、熱処理や表面処理、試験施設も所有している。H-60 ヘリコプターのギヤボックス等の駆動部品、B787 や A380 に搭載する APU ディフューザー、KT-1T の方向舵と水平安定板組立、H-60 ヘリコプターの水平安定板センターボックス組立、油圧及び燃料システムのチューブアセンブリなどを製造している。とりわけ F-35 プログラムでは、機体構造とランディングギアの部品のほか、P&W と研究開発契約を結び F135 エンジンの部品を製造している。

⑵ 宇宙産業

トルコ宇宙技術研究機構(UZAY)は、'85 年に研究機関として発足し、2018 年に産業技術省下にトルコ宇宙庁が設立された。2021 年に初の国家宇宙計画を発表し、ロケット開発を含む月面探査を中心とした計画などでロシアなど数か国に協力を求めている。

国内企業は Turkish Aerospace Industries が 2015 年に衛星製造および試験施設として AIT Center を稼働し地球観測衛星 Gokturk を担当した。2021 年以降に通信衛星 TÜRKSAT 6A を担当する予定である。

ロケット開発では Rocketsan が国産の衛星打上げロケット SLS (Turkish Satellite Launch System)プロジェクトを 2017 年に発表し、月面着陸機関連では国内企業の Deltav (Space Technologies Incorporated Company)がロケットエンジン開発をしている。

[通信・放送衛星]

トルコの通信会社である Eurasiasat(現 Tuksat)は、通信衛星 Turksat-1B を '94 年に、Turksat-1C を '96 年に打上げた。後継機は、2001 年に Alcatel (現 Thales Alenia Space)製 Eurasiasat-1(Turksat-2A)を、2008 年に Thales Alenia Space 製(Spacebus4000B2)の Turksat-3A を打上げている。さらに後継機として 2014 年に Turksat-4A、2015 年に Turksat-4B が打上げられ、この 2 機は三菱電機の製造がである。2021 年 に Airbus Defense and Space 製の Turksat-5A が打上げられた。

[気象・地球観測衛星]

2011 年に国産の地球観測衛星 RASAT、2012 年に Gokturk-2、2016 年に Gokturk-1A を打上げた。Gokturk は国防省の地球観測衛星である。トルコ宇宙庁は 2023 年 4 月 15 日にサブ m 級光学衛星の İMECE を Falcon 9 で打上げた。これは衛星サブシステムの国内開発に必要な国内インフラを確立するための投資プログラム「İMECE 衛星サブシステム開発プロジェクト」の衛星である。

[ロケット]

2018 年、防衛関連企業 Rocetsan は、100 kg のマイクロ衛星を約 400 km の低軌道に投入する打上能力を

有するロケット(MUFS)の開発を受注した。

[国際協力]

リモートセンシング関連では、SSTLが進めている7ヵ国コンソーシアムによる災害監視用コンストレーション DMC (Disaster Monitoring Constellation)プロジェクトに参加し、Bilsat-1 (100 kg)を技術移転・訓練プログラム下で開発して2003年に打上げた。

トルコは、中国主導のアジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)に加盟している。

8. 南アフリカ

(1) 航空機産業

a. Denel

'64 年に設立された Atlas Aircraft は、'77 年国連によって禁輸された武器生産を統括する ARMSCOR (Armaments Corporation of South Africa Ltd)グループの一員であったが、'92 年の ARMSCOR のリストラにより Denel Aerospace Group の傘下となり、'96 年に現社名の Denel Aviation に社名が変更された。

Denel Aviation は、これまでに Mirage III を改造した Cheetah 戦闘機の他、Super Puma を ORYX、Aermacchi MB326M 練習機と MB326K 攻撃機を Impara- I、Impara-II としてライセンス生産してきた。また、イタリアの設計を基にした C4M 軽輸送機を開発し、生産している。国際共同開発では、'98 年に Agusta と A119 Koala ヘリコプターの共同生産、及び南ア空軍がオーダーした A109 の機体生産、システム搭載について MOU を結んでいる。自主開発機としては、政府の研究機関である AEROTEK (Aeronautical Systems Technology; Division of Council for Scientific and Industrial Research)と共同で南ア空軍用の NGT T/P 練習機を開発している。ヘリコプターの分野では、Alouette をベースとした XH-1 Alpha、Puma をベースとした XTP-1 / -2 Beta を経て CSH-2 Rooivalk 攻撃ヘリを開発し、空軍向けに生産している。

Denel は、2006 年スウェーデンの Saab と共同で南アフリカに新しい航空機部品製造会社を設立することに合意し、2007 年に Denel Saab Aerostructures が設立された。ここでは Airbus、Leonardo、Boeing 及び Saab 向けの部品を製造している。

(2) 宇宙産業

南アフリカ共和国の宇宙事業は、科学技術庁傘下の科学産業研究会議(CSIR)が南アフリカ科学技術振興庁(SAASTA)ともに連携し行ってきた。2010 年に南アフリカ国立宇宙機関(SANSA: South African National Space Agency)が正式に発足した。

宇宙産業支援として Cape Peninsula University of Technology (CPUT)が実施されており CPUT で開発された 3 機の AIS コンステレーション衛星である MDASat-1 が 2022 年 1 月に Falcon 9 により打上げられた。国内企業は SCS Aerospace Group があり傘下に SCS Space、Space Advisory Company、New Space Systems の 3 社で構成されている。そのほか Dragonfly Aerospace が CubeSat 用やサブメートル級のイメージャを開発している。ロケット開発企業では Rheinmetall Denel Munition がある。国際協力では BRICS リモートセンシング衛星コンステレーションに参加している。

2023年9月1日に中国国家航天局(CNSA)と南アフリカ国立宇宙機関(SANSA)の間で、国際月面研究ステーション協力(ILRS)について署名した。

9. モロッコ

(1) 航空機産業

海外からの投資を受け入れることで急成長し、全土で雇用を創出している。

a. MATIS Aerospace (Morocco Aero-Technical Interconnect Systems)

Boeing、Labinal Power Systems(現 Safran Electrical & Power)および Royal Air Morocco の3社の出資により2001年に設立された。その後 Royal Air Morocco が出資をやめ、現在は、Boeing と Safran Electrical & Power が出資している。Boeing の B737、B737 MAX、P-8、B777、B787 のワイヤリングハーネスの製造のほか、Airbus の A320、Dassault の Falcon 9000 / 2000 / 5X、エンジンでは CFM、Leap と GE90、ヘリコプター用エンジン、これらのワイヤリングハーネスの製造も行っている。

b. Aircelle Morocco

フランス Safran を親会社に持つ主に民間機用エンジンナセルの製造を行う会社で、2006年に操業を開始した。小型機用スラストリバーサは完成組立までモロッコで行うが、中/大型機用スラストリバーサは、小部品を製造し最終組立地のフランスに出荷している。

c. Le Piston Francais (SERMP)

LE PISTON France の子会社で、設立は '99年である。タイヤブレーキ用ピストンの他、機体構造部品の機械加工、エンジン・ディスク加工、各種治工具の製造、設計開発やスペア部品の出荷も行っている。

各国の年平均為替レート（年平均対米国ドルレート）

国　名	通貨単位		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
日本	円 (Yen)		105.82	121.05	108.69	111.74	110.43	109.03	106.77	109.81	131.48
ユーロエリア	ﾕｰﾛ (Euro)		0.7536	0.9019	0.9338	0.9384	0.8472	0.8933	0.8774	0.8457	0.9512
イタリア	ﾘﾗ (Lira)	*	(1,459.20)	(1,746.27)	(1,750.00)	(1,710.94)	(1,640.34)	(1,729.66)	(1,698.91)	(1,637.50)	(1,841.86)
オーストリア	ｼﾘﾝｸﾞ (Schilling)	*	(10.370)	(12.410)	(12.437)	(12.213)	(11.657)	(12.292)	(12.073)	(11.637)	(13.089)
オランダ	ｷﾞﾙﾀﾞｰ (Guilder)	*	(1.6607)	(1.9875)	(1.9917)	(2.0020)	(1.8669)	(1.9686)	(1.9336)	(1.8637)	(2.0963)
スペイン	ﾍﾟｾﾀ (Peseta)	*	124.848	150.060	150.380	147.073	140.957	148.631	145.989	140.712	158.274
ドイツ	ﾏﾙｸ (Mark)	*	(1.4739)	(1.7639)	(1.7677)	(1.7830)	(1.6569)	(1.7471)	(1.7161)	(1.6540)	(1.8605)
フランス	ﾌﾗﾝｽﾌﾗﾝ (Franc)	*	(4.9434)	(5.9159)	(5.9285)	(5.8508)	(5.5571)	(5.8596)	(5.7555)	(5.5474)	(6.2397)
ベルギー	ﾍﾞﾙｷﾞｰ ﾌﾗﾝ (Belgian Franc)	*	(30.401)	(36.382)	(36.459)	(35.699)	(34.175)	(5.860)	(35.395)	(34.115)	(38.373)
ポルトガル	ｴｽｸｰﾄﾞ (Escudo)	*	151.086	180.810	181.196	177.201	169.842	179.089	175.906	169.547	190.707
イギリス	ﾎﾟﾝﾄﾞ (Pound)		0.6073	0.6546	0.7405	0.8285	0.7495	0.7836	0.7800	0.7269	0.9551
スイス	ｽｲｽ ﾌﾗﾝ (Swiss Franc)		0.9151	0.9628	0.9850	1.0354	0.9784	0.9939	0.9388	0.9143	0.9551
スウェーデン	ｸﾛｰﾅ (Krona)		6.8614	8.4370	8.5570	8.5679	8.6940	9.4567	9.2104	8.5805	10.1157
デンマーク	ﾃﾞﾝﾏｰｸｸﾛｰﾈ (Kroner)		5.6179	6.7267	6.7290	6.6263	6.5537	6.6900	6.5382	6.2998	7.0918
カナダ	ｶﾅﾀﾞﾄﾞﾙ (Canadian Dollar)		1.1045	1.2787	1.3248	1.3482	1.2957	1.3269	1.3415	1.2535	1.3013
ロシア	ﾙｰﾌﾞﾙ (Ruble)		38.5654	61.2203	67.0082	58.1565	62.7583	64.7084	72.3336	73.7270	69.8259
インド	ｲﾝﾄﾞﾙﾋﾟｰ (Indian Rupee)		61.0122	64.1145	67.1763	64.9020	68.3895	70.3995	74.1213	73.9351	78.5845
インドネシア	ﾙﾋﾟｱ (Rupiah)		11,862.06	13,397.39	13,295.42	13,332.83	14,229.62	14,144.79	14,539.82	14,297.26	14,850.73
韓国	ｳｫﾝ (Won)		1,053.14	1,132.04	1,160.58	1,126.02	1,100.20	1,165.65	1,180.05	1,144.86	1,291.99
シンガポール	ｼﾝｶﾞﾎﾟｰﾙﾄﾞﾙ (Singapore Dollar)		1.2670	1.3748	1.3805	1.4301	1.2488	1.3641	1.3796	1.3437	1.3788
タイ	ﾊﾞｰﾂ (Baht)		32.478	34.2519	35.2799	33.8544	32.3139	31.0524	31.0381	31.8647	34.9265
台湾	台湾元 (Taiwanese Dollar)		30.310	31.760	32.240	30.356	30.142	30.905	29.463	27.937	29.796
中国	人民元 (Renminbi)		6.1620	6.2840	6.6420	6.7880	6.6140	6.9080	6.9026	6.451	6.730
パキスタン	ﾊﾟｷｽﾀﾝ ﾙﾋﾟｰ (Pakistani Rupee)		101.0204	102.7612	104.7285	100.5886	114.5263	146.2044	161.3436	162.5553	204.2763
フィリピン	ﾌｨﾘﾋﾟﾝ ﾍﾟｿ (Philippines Peso)		42.4035	45.5190	47.4837	50.0845	48.2273	51.4281	49.6172	49.7938	55.2060
マレーシア	ﾘﾝｷﾞｯﾄ (Ringgit)		3.2717	3.9062	4.1423	4.3382	4.0339	4.1425	4.2017	4.8300	5.2961
オーストラリア	ｵｰｽﾄﾗﾘｱﾄﾞﾙ (Austrarian Dollar)		1.10950	1.33190	1.34990	1.35450	1.33850	1.43860	1.45370	1.3316	1.4416
ニュージーランド	ﾆｭｰｼﾞｰﾗﾝﾄﾞﾄﾞﾙ (New Zealand Dollar)		1.20564	1.43463	1.43578	1.45664	1.44544	1.51822	1.54150	1.41409	1.57697
イスラエル	ﾆｭｰ ｼｪｹﾙ (New Shekels)		3.5768	3.88614	3.83956	3.63839	3.38484	3.54715	3.44132	3.22321	3.35296
サウジアラビア	ｻｳｼﾞｱﾗﾋﾞｱ ﾘｱﾙ (Riyal)		3.7507	3.7525	3.7519	3.7906	3.7506	3.7305	3.7526	3.7508	3.7549
アルゼンチン	ﾍﾟｿ (Peso)		8.12090	9.24540	14.76640	16.11550	11.99770	47.33430	70.61732	95.0972	130.4529
ブラジル	ﾚｱﾙ (Real)		2.3530	3.3343	3.4869	3.2335	3.6521	3.9424	5.1541	5.39730	5.16172
メキシコ	ﾆｭｰ ﾍﾟｿ (Mexican Pesos)		13.3062	15.8713	18.6722	18.8887	19.2296	19.2513	21.5064	20.2871	20.1204
南アフリカ	ﾗﾝﾄﾞ (Rand)		10.8480	12.7643	14.6988	13.3108	13.2339	14.4470	16.4671	14.7898	16.3628

略語一覧

略語	名称	日本語名
A		
AAM	Air to Air Missile	空対空誘導弾
AAS	Armed Aerial Scout	武装偵察ヘリコプター
ABS	Agilty Beyond Space	UAEドバイ本社の衛星運用会社
	Asia Broadcast Satellite	アジア放送衛星(香港)
ACAC	AVIC I Commercial Aircraft Co., Ltd.	中航商用飛機有限公司(中国)
ACeS	Asia Cellular Satellite System	アジアセルラー衛星システム
ADA	Aeronautical Development Agency	インド航空開発庁
ADP	Advanced Ducted Prop	先進ダクテッドプロップエンジン
ADS	Airbus Defence and Space	エアバス防衛宇宙社
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	放送型自動位置情報伝達機能
AEB	Agência Espacial Brasileira	ブラジル宇宙庁
AEHF	Advanced Extremely High Frequency	(米国)軍事通信衛星
AESA	Active Electronically Scanned Array	アクティブ電子走査アレイ
AEW	Airborne Early Warning	空中早期警戒機
AIA	Aerospace Industries Association	米国航空宇宙工業会
AIDA	Asteroid Impact and Deflection Assesment	小惑星衝突・方向変化の評価計画
AIDC	Aerospace Industrial Development Corporation	漢翔航空工業股份有限公司(台湾)
AIS	Automatic Identification System	(船舶)自動識別装置
ALCM	Air Launched Cruise Missile	空中発射(型)巡航ミサイル
ALOS	Advanced Land Observing Satellite	陸域観測技術衛星
AMOS	Afro-Mediterranean Orbital System	アフリカ地中海衛星
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer	高性能マイクロ波放射計
ANS	Astronomical Netherlands Satellite	天文観測衛星(オランダ)
AOI	Arab Organization for Industrialization	アラブ工業化機構
APRSAF	Asia-Pacific Regional Space Agency Forum	アジア・太平洋地域宇宙機関会議
APSCO	The Asia-Pacific Space Cooperation Organization	アジア・太平洋宇宙協力機構
APU	Auxiliary Power Unit	補助動力装置
ARH	Advanced Reconnaissance Helicopter	先進偵察ヘリコプター
Artemis	Advanced Relay and Technology Mission Satellite	先端型データ中継技術衛星 (アルテミス)
ARTES	Advance Research in Telecommunication	先端通信システム研究
ASA	Australian Space Agency	オーストラリア宇宙庁
ASAT	Anti-Satellite System	衛星攻撃兵器
ASCO	ARAB SATellite communications organization	アラブ衛星通信機構（アラブサット）
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	東南アジア諸国連合
ASI	Agenzia Spazoale Italiana	イタリア宇宙庁
ASIC	Application Specific IC	特定用途向けIC
ASLV	Augmented SLV	増強型SLV（インド）
ASTOVL	Advanced short Take-off and Vertical Landing	先進短距離離陸・垂直離着陸機
ASTRO	Astronomy Satellite	天文観測衛星
ATC	Air Traffic Control	航空交通管制
ATF	Advanced Tactical Fighter	次期戦術戦闘機
ATK	Alliant Techsystems Inc.	アライアント・テックシステムズ社(米国)
ATP	Advanced Turbo Prop	先進ターボプロップ (エンジン)
ATS	Applications Technology Satellites	応用技術衛星
ATV	Automated Transfer Vehicle	自動型軌道間輸送機
AWACS	Airborne Warning and Control System	空中警戒管制機
B		
BAC	British Aircraft Corporation	英国航空機(BAC)社
BAe	British Aerospace plc	英国航空宇宙(BAe)社
BCRS	Beleidscommissie Remote Sensing	オランダリモートセンシング委員会
BDLI	Bundesverband der Deutsheu Luft und Raumfahrtindustrie e.v.	ドイツ航空宇宙工業会
BDS	Boeing Defense, Space & Security	ボーイング防衛・宇宙・セキュリティ部門
BepiColombo-MPO	BepiColombo-Mercury Planetary Orbiter	水星表面探査機
BepiColombo-MMO	BepiColombo-Mercury Magnetospheric Orbiter	水星磁気圏探査機
BMW	Bayerishe Motoren Werke AG	BMW社(ドイツ)
BIS	(Department for)Business, Innovation & Skills	(英国)ビジネス・イノベーション・技能省
BMFT	Bundesminister für Forshung und Technologie,Germany	ドイツ研究技術省
BNSC	British National Space Center	イギリス国立宇宙庁
C		
C/A	Coarse Acquisition	粗精度
CAB	Civil Aeronautics Board	米国民間航空局
CAD	Computer-Aided Design	コンピュータ支援設計
CALIPSO	Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations	(米・仏)地球観測衛星
CAM	Computer-Aided Manufacturing	コンピュータ支援製造
CASA	Construcciones Aeronautics S.A.	CASA社（スペイン）
CASID	Committee for Aviation and Space Industry Development	台湾航太工業発展推動小組
CBERS	China Brazil Earth Resources Satellite	中国・ブラジル地球資源観測衛星
CCD	Charge Coupled Device	電荷結合素子
CCiCAP	Commercial Crew Integrated Capability	商業乗員統合能力
CCRS	Canadian Center for Remote Sensing	カナダ リモートセンシングセンター

略語	名称	日本語名
CCtCAP	Commercial Crew transportation Capability	商業乗員輸送能力
CDMA	Code Division Multiple Access	符号分割多元接続
CDTI	Center for the Development of Industrial Technology	スペイン工業技術開発センター
CFMI	CFM International	CFM国際社(米国) 50/50% GE Aviation社とSafran Aircraft Engine社ジョイントベンチャー
CGRO	Compton Gamma-Ray Observatory	コンプトンガンマ線観測衛星
CIS	Commonwealth of Independent States	独立国家共同体
CMC	Ceramics Matrix Composite	セラミックス基複合材料
CMOS	Complimentary Metal Oxide Semiconductor	相補型金属酸化物半導体
CNES	Centre National D'Etudes Spatiales	フランス国立宇宙研究センター
CNIAR	Centrul National al Industriei Aeronautice Romane	ルーマニア航空産業ナショナルセンター
COBAE	Commission for Space Activities	ブラジル宇宙開発委員会
COIN	Counter Insurgency	対暴動
COMAC	Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd.	中国商用飞机有限责任公司（中国）
COMETS	Communications and Broadcasting Engineering Test Satellite	通信放送技術衛星
CONAE	Comision Nacional de Actividades Espaciales	アルゼンチン国家宇宙活動会議
COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space	国連宇宙空間平和利用委員会
COTS	Commercial Orbital Transportation Services	商業軌道輸送サービス
	Commercial off the shelf	市販品、既製品
COVID-19	2019 Novel Corona Virus Disease	新型コロナウィルス感染症
CPR	Cloud Profiling RADAR	雲プロファイリングレーダ
CRC	Communication Research Center	(カナダ)通信研究センター
CREST	Core Research for Evolutional Science and Technology	戦略的基礎研究推進事業
CRS	Commercial Resupply Services	商業補給サービス
CRT	Cathode-ray Tube	陰極線管 (ブラウン管)
CSA	Canadian Space Agency	カナダ宇宙庁
CSIR	Council of Scientific and Industrial Research	インド科学工業研究会議
CSG	CosmoSkymed Second Generation	第2世代CosmoSkymed
CSNO	China Satellite Navigation Office	中国航法衛星局
CSS	Chinese Space Station	中国宇宙ステーション
CTOL	Conventional Take-Off and Landing	通常距離離着陸機
CTS	Communications Technology Satellite	通信技術衛星
CV	Carrier (based) Variant	艦載

D

DARA	Deutche Agentur Raumfahrtangelegenheiten	ドイツ航空宇宙機関
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	米防衛高等研究計画局
DASA	Deutsche Aerospace AG	ドイチェ航空宇宙社(ドイツ)
	Daimler-Bentz Aerospace AG	ダイムラー・ベンツ航空宇宙社(ドイツ)
	DaimlerChrysler Aerospace AG	ダイムラー・クライスラー航空宇宙社(ドイツ)
DART	Double Asteroid Redirect Test	二重小惑星方向転換試験
DTH	Direct to Home	直接衛星放送
DFH	Dong Fang Hong (East is Red)	東方紅（中国）
DFS	Deutscher Fernmeldesatelliten System	ドイツ通信衛星システム
DGAC	Direction Generale de L'Aviation Civile	フランス民間航空総局
D.H.	de Havilland	デハビランド社（英）
DHC	de Havilland of Canada	デハビランド・カナダ社（カナダ）
DLR	Deutsche forschungsanstalt fur Luft und Raumfahrt e.V.	ドイツ航空宇宙研究所
DMB	Digital Multimedia Broadcasting	デジタルマルチメディア放送(韓国)
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program	軍事気象衛星プログラム
DoD	Department of Defense	米国国防総省
DPR	Dual-frequency Precipitation Radar	2周波降水レーダ
DRTS	Data Relay Test Satellite	データ中継技術衛星
DSO	Defense Science Organization	シンガポール国防科学機構
DSP	Defense Support Program	防衛支援プログラム
DTH	Direct-To-Home	衛星ビデオサービス

E

EADS	European Aeronautic Defence and Space Company NV	EADS(欧州航空防衛・宇宙)社(欧州)
Earth CARE	Earth Clouds Aerosols and Radiation Explore	雲エアロゾル放射ミッション
EASA	European Aviation Safety Agency	欧州航空安全庁
ECS	European Communications Satellite	欧州通信衛星
EELV	Evolved Expendable Launch Vehicle	発展増強型打上げロケット
EFA	European Fighter Aircraft	NATO次期戦闘機
EHA	Electro Hydrostatic Actuator	電気油圧式アクチュエーター
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service	欧州静止衛星補強型衛星航法 システム
EHF	Extremely High Frequency	ミリメートル波
ELDO	European Launcher Development Organization	欧州ロケット開発機構
ELV	Expendable Launch Vehicle	使い切り型ロケット
EMA	Electro Mechanical Actuator	電気機械式アクチュエーター
EMC	ElectroMagnetic Compatibility	電磁両立性
EO	Electro Optic	電気・光学（光電変換）
EOS	Earth Observing System	地球観測システム
ERA	European Regional Airline Association	ヨーロッパ地域航空協会
ERS	European Remote Sensing Satellite	欧州リモートセンシング衛星

略語	名称	日本語名
ERSDAC	Earth Remote Sensing Data Analysis Center	(財)資源・環境観測解析センター
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
ESOC	European Space Operations Center	欧州宇宙運用センター
ESPR	Research and Development of Environmentally Compatible Propulsion System for Next-Generation Supersonic Transport	環境適合型次世代超音速推進システムの研究開発
ESTEC	European Space Research and Technology Center	欧州宇宙研究技術センター
ETOPS	Extended-range Twin-engine Operational Performance Standards	双発機による長距離洋上飛行
ETRI	Electronics and Telecommunications Research Institute	韓国電子通信研究機構
ETS	Engineering Test Satellite	技術試験衛星
EU	European Union	欧州連合
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites	欧州気象衛星開発機構
EURECA	European Retrieval Carrier	ユーレカ
EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization	欧州通信衛星機構、現ユーテルサット社
F		
FAA	Federal Aviation Administration	米国連邦航空局
FADEC	Full Authority Digital Engine Control	全デジタル電子式エンジン制御装置
FANS	Future Air Navigation System	将来航空航法システム
FAR	Federal Aviation Regulations	連邦航空規則
FBL	Fly By Light	光伝送制御による飛行（ﾌﾗｲ･ﾊﾞｲ･ﾗｲﾄ）
FBW	Fly By Wire	電気信号伝送制御による飛行（ﾌﾗｲ･ﾊﾞｲ･ﾜｲﾔ）
FCC	Federal Communications Commission	米国連邦通信委員会
FIAT	Fiat (Fabbrica Italiana Automobili di Torino) Avio S.P.A	フィアット航空社　（イタリア）
FMS	Flight Management System	飛行管理システム
	Foreign Military Sales	有償援助契約
FOC	Full Operational Capability	(ガリレオの)実運用衛星
FSA	Federal Space Agency	ロシア連邦宇宙局
F-X	Future(-X) stealth Fighter jet	次期戦闘機　(F2後継機)
G		
GA	General Aviation	小型汎用航空機
GAGAN	GPS Aided GEO Augmented Navigation	(インド)航空用衛星航法補強システム
GAMA	General Aviation Manufacturers Association	汎用航空機工業会
GARA	The General Aviation Revitalization Act	ゼネラル・アビエーション再活性化法
GCAP	Global Combat Air Programme	グローバル戦闘航空プログラム
GCOM	Global Change Observation Mission	地球環境変動観測ミッション
GD	General Dynamics	ジェネラルダイナミクス社
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GE	General Electric Company	ゼネラルエレクトリック社(米国)
GEO	Geosynchronous Earth Orbit	静止軌道
	Group of Earth Observation	地球観測に関する政府間会合
GEOSS	GlobalEarth Observation System of Systems	全球地球観測システム
GER	Global Exploration Roadmap	国際宇宙探査ロードマップ
GES	Global Exploration Strategy	国際探査戦略
GIFAS	Groupement des Industries Francaises Aeronautiques et spatiales	フランス航空宇宙工業会
GMS	Geostationary Meteorological Satellite	静止気象衛星
GLONASS	Global Navigation Satellite System	(ロシア)衛星測位システム
GLXP	Google Lunar X Prize	ロボット月面探査コンテスト
GMES	Global Monitoring for Environment and Security	全地球環境・セキュリティ観測(システム)
GMI	GPM Microwave Imager	GPM マイクロ波放射計
GNSS	Global Navigation Satellite System	全地球的航法衛星システム
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite	静止実用環境衛星（米国）
GOMS	Geostationary Operational Meteorological Satellite	静止気象衛星（ロシア）
GOSAT	Greenhouse gases Observing SATellite	温室効果ガス観測技術衛星
GPM	Global Precipitation Measurement	全球降水観測計画
GPS	Global Positioning System	全地球的測位システム
GRO	Gamma Ray Observatory	ガンマ線観測機
GSLV	Geostationary SLV	静止軌道用SLV（インド）
GTF	Geared Turbo Fan	ギアードターボファン
GSSAP	Geosynchronous Space Situational Awareness Program	静止軌道状況認識計画
GTO	Geostationary Transfer Orbit	静止トランスファ軌道
H		
HALO	Habitation and Logistec Outpost	Gatewayの居住・補給モジュール
HEO	Highly Elliptical Orbits	高迎角
HKSTG	Hong Kong Satellite Technology Group	HKSTG社（中国）
HOPE-X	H-II Orbiting Plane Experimental	宇宙往還技術試験機
HST	Hyper Sonic Transport	極超音速機
	Hubble Space Telescope	ハッブル宇宙望遠鏡
HTS	High Throughput Satellite	高スループット衛星
HTV	H-II Transfer Vehicle	宇宙ステーション補給機
I		
IAE	IAE International Aero Engines AG	IAEｲﾝﾀｰﾅｼｮﾅﾙ･ｴｱﾛ･ｴﾝｼﾞﾝｽﾞ･AG
	Instituto do Actividades Espucidas	ブラジル宇宙開発活動研究所
IAI	Israel Aircraft Industry	IAI社（イスラエル）
IATA	International Air Transpotation Association	国際航空輸送協会
ICAO	International Civil Aviation Organization	国際民間航空機関

略語	名称	日本語名
ICBM	Inter-Continental Ballistic Missile	大陸間弾道ミサイル
ICR	Interdepartmental Committee on Space Research and Technology	オランダ宇宙研究技術省間委員会
IFR	Instrument Flight Rules	計器飛行方式
IGSO	Inclined GeoSynchronous Orbit	傾斜地球同期軌道
ILS	International Launch Services	ILS社(米国)
IML	International Microgravity Laboratory	国際微小重力実験室
IMSO	International Mobile Satellite Organization	国際移動通信衛星機構
INDEX	Innovative technology Demonstration EXperiment	小型科学衛星
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization	国際海事衛星通信機構
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	ブラジル国立宇宙研究所
INTA	Instituto Nacional de Tecnica Aerospacial	スペイン国立航空宇宙技術研究所
INTELSAT	International Telecommunications Satellite	国際電気通信衛星機構
INTERSPUTNIK	International Space Communication System and Organization	宇宙通信国際機構
IOC	Initial Operational Capability	初期運用能力
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
IPTN	Industri Pesawat Terbang Nusantara	IPTN社（現IAe社，インドネシア）
IRAS	Infrared Astronomical Satellite	赤外線天文衛星
IRBM	Intermediate-Range Ballistic Missile	中距離弾道ミサイル
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System	(インド)地域航法衛星システム
IRS	Indian Remote Sensing Satellite	インドリモートセンシング衛星
ISA	Israel Space Agency	イスラエル宇宙局
ISAS	Institute of Space and Astronautical Science	文部省宇宙科学研究所
ISECG	International Space Exploration Coordination Group	国際宇宙探査協働グループ
ISEF	International Space Exploration Forum	国際宇宙探査フォーラム
ISIL	The Islamic State of Iraq and the Levant	イスラム過激派組織: ISIL (イラクとレバントのイスラム国)
ISO	Infrared Space Observatory	赤外線天文衛星
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance	情報収集・監視・偵察
ISRO	Indian Space Research Organization	インド宇宙研究機関
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
IT	Information Technology	情報技術
ITP	Industria de Turbopropulsures SA	ITP社（スペイン）
ITSO	International Telecommunications Satellite Organization	国際電気通信衛星機構
IUE	International Ultraviolet Explorer	国際紫外線観測衛星
IXPE	Imaging X-ray Polarimetry Explorer	X線偏光観測衛星
J		
JADC	Japan Aircraft Development Corporation	(一財)日本航空機開発協会
JAEC	Japanese Aero Engines Corporation	(一財)日本航空機エンジン協会
JAROS	Japan Resources Observation System and Space Utilization Organization	(財)資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	(国研)宇宙航空研究開発機構
JCSAT	Japan Communications Satellite	日本通信衛星社
JDAM	Joint Direct Attack Munitions	精密誘導爆弾
JEM	Japanese Experiment Module	日本実験モジュール「きぼう」
JHL	Joint Heavy Lift	統合重輸送
JMR/FVL	Joint Multi-Role/Future Vertical Lift	統合多用途・将来型垂直離着陸機
JSF	Joint Strike Fighter	統合戦闘攻撃機
JUICE	Jupiter Icy Moons Explorer	木星氷衛星探査
JWST	James Webb Space Telescope	ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡
K		
KAI	Korea Aerospace Industries	韓国航空宇宙産業㈱
KAIA	Korea Aerospace Industries Association	韓国航空宇宙工業会
KAIST	Korea Advanced Institute of Science and Technology	韓国科学技術院
KARI	Korea Aerospace Research Institute	韓国航空宇宙研究所
KB	Design Bureau	ロシア設計局
KH	Key Hole	キーホール（NRO光学偵察衛星）
KOMPSAT	Korea Multi-Purpose Satellite	韓国多目的衛星
KSR	Korea Sounding Rocket	韓国観測ロケット
L		
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa National (National Institute of Aeronautics and Space)	インドネシア国立航空宇宙研究所
LEAP	Leading Edge Aviation Propulsion	CFM Internationalのエンジン名称
LEO	Low Earth Orbit	低地球周回軌道
LMCLS	Lockheed Martin Commercial Launch Services	LMCLS社(米国)
LM	Lockheed Martin	ロッキードマーチン社(米国)
LMI	Lockheed Martin Intersputnik	ロッキードマーチン・インタースプトニク社
LNG	Liquefied Natural Gas	液体天然ガス
LOI	Letter Of Intent	発注趣意書
LOX	Liquid Oxygen	液体酸素
LSC	Legal Subcommittee of the Committee	法律小委員会
LUH	Light Utility Helicopter	軽多用途ヘリコプター
M		
M2M	Machine to Machine	機器間通信

略語	名称	日本語名
MA	Multiple Access	多元接続
MARECS	Maritime European Communications Satellite	欧州海事通信衛星
MAV	Micro Aerial Vehicle	マイクロUAV(無人機)
MBB	Messerschmitt Böelkow Blohm Gmbh	MBB社(ドイツ)
MDA	MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.	MDA社（カナダ）
MDC	McDonnell Douglas Corporation	マクドネル・ダグラス社（米国）
MDS	Mission Demonstration Satellite	民生部品・コンポーネント実証衛星
	Mission Demonstration test Satellite	民生部品・コンポーネント実証衛星
MEASAT	Malaysian-East Asian Satellite	マレーシア東アジア衛星
MEO	Midium Earth Orbit	中高度地球軌道
METEOSAT	Meteorological Satellite	気象観測衛星
METOP	Meteorology Operational Polar Satellite	極軌道実用気象衛星
MEV	Mission Extension Vehicle	ﾐｯｼｮﾝ拡張ｻｰﾋﾞｽ機
METOP-SG	METOP Second Generation	METOP第2世代
MIL	Military	軍
MIRAS	Mir InfraRed Atmospheric Spectrometer	ﾐｰﾙ搭載赤外線大気観測ｽﾍﾟｸﾄﾛﾒｰﾀ
MMX	Martian Moons eXploration	火星衛星探査計画
MMO	Mercury Magnetospheric Orbiter	水星磁気圏探査機
MOEA	Ministry of Economic Affairs	台湾経済部
MOS	Marine Observation Satellite	海洋観測衛星
MOU	Memorandum of Understanding	覚書
MPLM	Multi-Purpose Logistics Module	SpaceShuttle/ISS 多目的与圧補給モジュール
MPO	Mercury Planetary Orbiter	水星表面探査機
MRJ	Mitsubishi Regional Jet	三菱リージョナルジェット
MSG	METEOSAT Second Generation	METEOSAT第2世代
MTG	METEOSAT Third Generation	METEOSAT第3世代
MTSAT	Multifunctional Transport SATellite	運輸多目的衛星
MTU	Motoren-und Turbinen-Union München Gmbh	MTU社(ドイツ)
MUOS	Mobile User Objective System	(米国)軍事通信衛星
MUSES	Mu Space Engineering Satellite	ミュー科学工学衛星
N		
Nadcap	National Aerospace and Defense Accreditation Program	国際特殊工程認証プログラム
NAL	National Aerospace Laboratories	インド国立航空宇宙研究所
NAOJ	National Astronomical Observatory of Japan	国立天文台
NASA	National Aeronautics and Space Administration	米国航空宇宙局
NASDA	National Space Development Agency of Japan	宇宙開発事業団
NASRDA	Nigerian National Space Research Development Agency	ナイジェリア国家宇宙研究開発庁
NATO	North Atlantic Treaty Organization	北大西洋条約機構
NAVF	Norwegian Research Council for Science and the Humanities	ノルウェー自然と人文科学研究会議
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	新エネルギー・産業技術総合開発機構
NERC	Natural Environmental Research Council	英国自然環境研究会議
NF	Nose Fairing	ノーズフェアリング
NG	Next Generation	次世代
	Northrop Grumman	ノースロップ グラマン社 (米国)
NG-OPIR	Next Generation Overhead Persistent IR system	次世代早期警戒衛星システム（米国）
NHK	Nippon Hoso Kyokai (Japan Broadcasting Corporation)	日本放送協会
nm	Nautical Mile	海里(1nm=1.852km)
NICT	National Institute of Information and Communications Technology	(独)情報通信研究機構
NIVR	Nederlands Instituut voor Viegtuigontwikkeligen Ruimteonderzoek	オランダ航空宇宙局
NLR	Dutch National Aerospace Laboratory	オランダ航空宇宙技術研究所
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	アメリカ海洋大気局
NPO	Nauchno Proyzvodstvennoe Obeyedineniye	ロシア科学生産連合
NRO	National Reconnaissance Office	アメリカ国家偵察局
NSC	Norwegian Space Center	ノルウェー宇宙センター
NSpC	National SpaceCouncil	(米国)国家宇宙会議
NSPO	National Space Organization	台湾国家宇宙プログラム局
NSS	New Skies Satellites	ニュー・スカイズ・サテライト
O		
OEM	Original Equipment Manufacturer	航空機製造メーカー
OICETS	Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite	光衛星間通信実験衛星
OSC	Orbital Sciences Corporation	OSC社(米国)
O3b	Other Three (3) billion	(会社名)
OTS	Orbital Test Satellite	軌道試験衛星
P		
PFI	Private Finance Initiative	プライベート・ファイナンス・イニシアティブ
PACK-I	Promotion of Asian Cooperation on Kibo/ISS	きぼうでのアジア協力推進イニシアティブ
PL	Product Liability	製造物責任法
PPE	Power and Propulsion Element	Gatewayの電力・推進・姿勢制御・通信モジュール
PPP	Public Private Partnership	官民連携
PROBA	Project for On-Board Autonomy	オンボード自律プロジェクト
PSLV	Polar Satellite Launch Vehicle	極軌道衛星打上げ機（インド）
P&W	Pratt & Whitney	プラット・アンド・ホイットニー社 (米国)
P&WAEI	Pratt & Whitney Aero Engines International	プラット・アンド・ホイットニー国際航空エンジンズ社（米国）
P&WC	Pratt & Whitney Canada	プラット・アンド・ホイットニー・カナダ社

略語	名　称	日本語名
Q		
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	準天頂衛星システム
R		
RAA	Regional Airline Association	地域航空協会(米国)
RASA	Russian Aviation and Space Agency	ロシア航空宇宙庁
RCA	Radio Corporation of America	RCA社 (米国)
RCM	Radarsat Constellation Mission	レーダサットコンステレーション計画
RCS	Radar Cross Section	レーダー散乱断面積
RDF	Rapid Deployment Force	緊急展開部隊
RF	Radio Frequency	無線周波数
RISE	Revolutionary Innovation for Sustainable Engines	次世代CFM Internationalエンジン技術開発計画
Roskosmos	Russian Federal Space Agency	ロシア連邦宇宙局
RPA	Remotely Piloted Aircraft	遠隔操縦航空機
RPASP	Remotely Piloted Aircraft Safety Panel	遠隔操縦航空機安全パネル
RPK	Revenue Passenger Kilometers	有償旅客キロ
RPM	Revenue Passenger Mile	有償旅客マイル
RR	Rolls-Royce	ロールス・ロイス社 (イギリス)
RS	Rohini Satellite	ロヒニ衛星(インド)
	S. P. Kololev Rocket and Space Corporation	S. P. コロリョフ ロケット宇宙会社(ロシア)
RSCC	Russian Satellite Communications Company	ロシア衛星通信社
RSP	Risk and revenue Sharing Partner	リスク・アンド・レベニュー・シェアリング・パートナー
S		
SA	Selective Availability	選択利用性
SAC	Satellite de Aplications Cientificas (Scientific Applications Satellite)	応用科学衛星（アルゼンチン）
SAF	Sustainable Alternative Fuel	持続可能な代替航空燃料
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー
SaTReC	Satellite Technology Research Center	韓国衛星技術研究センター
SAX	Satellite Astronomia Raggi-X	X線天文衛星
SBIRS	Space Based Infrared System	(米)早期警戒衛星システム
SBSS	Space Based Space Surveillance	宇宙監視衛星
SCD	Satelite de Coleta de Dados	環境データ収集衛星
SDB	Small Diameter Bombs	小径爆弾
SDD	System Development and Demonstration phase	システム開発・実証
SDI	Strategic Defense Initiative	戦略防衛構想
SERVIS	Space Environment Reliability Verification Integrated System	宇宙環境信頼性実証システム
SES	Societe Europeenne des Satellites S.A.	欧州衛星社
SFU	Space Flyer Unit	宇宙実験・観測フリーフライヤー
SIGINT	Signal Intelligence	電子・通信情報
SLIM	Smart Lander for Investigating Moon	小型月着陸実証機
SLS	Space Launch System	(米)宇宙打上げシステム
SLV	Satellite Launch Vehicle	衛星打上げ機（インド）
SOHO	Solar Heliospheric Observatory	太陽・太陽圏観測衛星
SOLAR	Solar Satellite	太陽観測衛星
SNC	Sierra Nevada Corporation	シエラネバダ社(米国)
Space X	Space Expoloration Technologies Corporation	Space X社(米国)
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre	スポット(極軌道地球観測)衛星
SRON	Space Research Organization Netherlands	オランダ宇宙研究機関
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	スペースシャトル地形データ
SS/L	Space Systems / Loral	宇宙システムズ／ロラール社(米国)
SSA	Space Situational Awareness	宇宙状況把握
SSC	Swedish Space Corporation	スウェーデン宇宙公社
SS/L, SSL	Space Systems / Loral	宇宙システムズ／ロラール社(米国)
SSPS	Space Solar Power System	宇宙太陽発電システム
SSRMS	Space Station Remote Manipulator System	宇宙ステーション 遠隔マニピュレータシステム
SSTL	Surrey Satellite Technologies Ltd.	サリー衛星技術社
STOL	Short Take-off and Landing	短距離離着陸
STOVL	Short Take Off and Vertical Landing	短距離離陸垂直着陸機
STSC	Scientific and Technical Subcommittee of the Committee	科学技術小委員会
STFC	Science and Technology Facilities Counci	科学技術政策会議
STSS	Space Tracking and Surveillance System	宇宙追跡監視システム
SUPARCO	Space and Upper Atmosphere Research Commission	パキスタン宇宙上層大気研究委員会
T		
TAI	Turkish Aerospace Industries	トルコ航空宇宙社(トルコ)
TAS	Thales Alenia Space	タレス アレニア 宇宙社(フランス)
T/C	Type Certificate	型式証明
TC	Technical committee	技術分野の委員会
TDF	Te'le'diffusion de France	フランステレビ放送
TDRS	Tracking and Data Relay Satellite	データ中継衛星
TES	Test Evaluation Satellite	軍事衛星　ンド
THAAD	Terminal High Altitude Area Defense	ターミナル段階高高度地域防衛システム
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite	熱帯降雨観測衛星
	Tropical Rainfall Measuring Mission	熱帯降雨観測ミッション

略語	名　称	日本語名
TRW	Thompson Ramo Woolridge	TRW社（米国）
TVC	Thrust Vector Control	推力方向制御(装置)
U		
UAE	United Arab Emirates	アラブ首長国連邦
UAV	Unmanned Air Vehicle	無人機
UAS	Unmanned Aerial System	無人航空機システム
UAST	Unmanned Aircraft Safety Team	無人機安全チーム
UCAS	Unmanned Combat Air System	無人戦闘航空システム
UDF	Un-Ducted Fan	ダクト無しファンエンジン
UDMH	Unsymmetrical Dimethylhydrazine	非対称ジメチルヒドラジン
UHF	Ultra High Frequency	極超短波
UKSA	United Kingdom Space Agency	英国宇宙庁
ULA	United Launch Alliance	ULA社(米国)
USEF	Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer	(財)無人宇宙実験システム研究開発機構
USERS	Unmanned Space Experiment Recovery System	次世代型無人宇宙実験システム
UTC	United Technologies Corporation	ユナイテッドテクノロジー社（米国）
UTIAS/SFL	University of Toronto Institute for Aerospace Studies Space Flight	トロント大学航空宇宙学宇宙航行研究所
UVN	Ultra-violet Visible Near-infrared	紫外線・近赤外線スペクトロメータ
V		
VFW	Vereinite Flugtechnishe Werke	VFW社(西ドイツ)
VLBI	Very Long Baseline Interferometry	超長基線干渉
VLS	Veicula Lancador de Satelites	衛星打上げ機（ブラジル）
VTOL	Vertical Take-off and Landing	垂直離着陸
W		
WINDS	Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite	超高速インターネット衛星
WGS	Wideband Global Satcom	(米国)軍事通信衛星
WINDS	Wideband InterNetworking engineering test	超高速インターネット衛星（きずな）
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WWW	World Weather Watch	世界気象観測(プログラム)
X		
XMM	X-ray Multi- Mirror Observatory	マルチミラー型 X線天文望遠鏡
XRISM	X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission	X線分光撮像衛星
Z		
ZARM	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation	ドイツ宇宙利用技術・微小重力センター

令和６年版　世界の航空宇宙工業　編集委員

株式会社 SUBARU	飯　山　　修
株式会社ＩＨＩ	実　生　　浩　久
株式会社ＩＨＩエアロスペース	松　井　直　樹
川崎重工業株式会社	奥　野　崇　啓
住友精密工業株式会社	石　川　麗　子
ナブテスコ株式会社	木　原　　佳　子
一般財団法人日本航空機エンジン協会	幸　田　琢　磨
一般財団法人日本航空機開発協会	吉　澤　博　之
日本電気株式会社	大　和　　純
三菱重工業株式会社	梅　田　　由　香
三菱電機株式会社	角　田　聡　泰
一般社団法人日本航空宇宙工業会 事務局	櫻　井　浩　己
	山　本　　政　彦

索引

項目　　頁

3

3D プリンタ 70

7

737-AEW&C 29

A

A109 226
A129 226
A220 ..... 187, 197
A300 ..... 6, 18, 31, 195
A320 ..... 6, 18, 32, 298
A320neo 34, 197
A321XLR..... 6, 34
A330 ..... 6, 18, 298
A330neo 34
A340 18
A350 . 6, 18, 33, 69, 197, 208, 231, 261
A380 ..... 18, 33
A400M..... 27, 198
A-50 29
AC313..... 301
ADS 93, 95, 198, 205, 209, 219, 220
ADS-B 64
AE1107C-Liberty..... 208
AE2100..... 208
AEB 326
AEHF 121, 140, 161, 162
Aeolus..... 124
Aeritalia 225
Aermacchi 225, 233
Aerojet Rocketdyne 178, 179
Aerospatiale..... 209
Aerospatiale-Matra 198
AESA..... 23, 159
AEW 29
Afternoon Constellation.. 11, 111
AgustaWestland 203, 226
AH-1 ..... 56, 165
AH-64 154
AIDC 295
Airbus..... 6, 14, 15, 187, 193, 203, 207, 211, 216, 217, 218, 298
Airbus Defence and Space 73, 93, 124, 198, 201, 205, 211, 247
Airbus Group 14
Airbus Operations..... 218
AIS 123, 258, 259
Alcatel 211, 215
Alcatel Alenia Space 215
ALCM..... 25
AlliedSignal 175
Allison Engine 208
ALOS.....112
ALOS-3 112
Alouette II..... 56
Alpha Jet 30, 216
alpha rocket..... 136
Amazonas 255
AMOS..... 94, 336
An-12..... 27, 303
An-124..... 27, 243
An-148..... 45, 243
An-22..... 27
An-225..... 243
Angara 78, 235, 236, 289
Anik..... 183
ANS..... 247
Antares 79, 83, 163, 245
Antrix..... 273
Apollo 116
Apollo・Soyuz..... 10
APRSAF..... 12, 126
APSCO 12
Apstar 94
APT Satellites 94
Aqua..... 162
Arabsat 94, 329
ARH 57
Ariane 78, 79, 200, 210
Ariane 5 ... 79, 200, 214, 220, 224, 227
Ariane 6 ... 79, 199, 200, 212, 213, 214, 227
ArianeGroup... 195, 199, 215
Arianespace 79, 134, 211
Ariel 205
ARJ21 ..... 19, 45, 300
Arktika..... 240
Arriel..... 214
Arrius..... 214
Artemis 11, 75, 116, 134, 136, 202, 242, 246, 330
ARTES 201, 215
AS350..... 57
AS365..... 56
ASAT..... 122, 140
ASI 223, 227
AsiaSat..... 94, 265
Astra 265
Astra Space 136
Astrid 252
Astrium..... 198, 209, 217
ASTRO.....122
Astroscale 75
Atlas.....78, 160
Atlas V 78, 135, 160, 179
ATR 195, 226
ATR 42 .....27, 44
ATR 42-600.....46
ATR 72-600.....46
A-Train 軌道 111
ATV ... 84, 126, 199, 202, 223
AVIC 298, 302
Avio 227
Avio Aero.....227
Avro C102 181
Avro Canada.....182
AW139.....57
AWACS.....29

B

B-1.....25
B-2.....25, 161
B-21.....25, 162
B-29.....25
B-47.....25
B-52.....25
B707 ..... 18, 27, 30
B727 30
B737 ..... 30, 152, 299
B737MAX 34
B737NG 32
B737 製造不良.....171
B747 ..... 18, 31, 152
B747-8.....33
B757 18
B767 .....18, 31
B767-300 BCF 296
B777 ..... 18, 33, 152
B777X 34, 152
B787 ..... 18, 33, 152
BAC-111 203
BAe.....205, 206, 211
BAE Systems.....14, 15, 170, 180, 203, 206
Baikonur.....235, 269
Baiterek 射場.....235
Ball Aerospace.. 73, 180, 207
Bars-M 242
Beagle 205

Beech 129
Beechcraft 167
Beidou 108
Bell 130, 182
Bell 222 56
Bell 412 ..... 56, 165
Bell 47 ..... 56, 165
Bell 505 ..... 165, 188
Bell 525 188
Bell Helicopter 164
BepiColombo 12, 199, 201
Beyond Gravity 250, 253
BK117 57
Blue Origin 16, 76, 84, 85, 179
BMW 221
BNSC 204
Boeing 14, 73, 78, 93, 126, 131, 135, 139, 160, 182, 284, 299, 319
Boeing 702SP 156
Bombardier 19, 170, 182
BQM-34 59
BR700 ..... 208, 221
BR725 ..... 25, 208
Brasilsat 94, 326
Bristol Aerospace 192
Bristol Siddeley Engines 208
Britannia 203
British Aerospace 206
British Aircraft 206, 207
BS 106
Buran 84, 237

C

C Series 197
C-130 ..... 26, 160
C-130J 26, 27, 159
C-141 26
C-17 ..... 26, 154
C-2 27
C-27J 26, 27, 226
C-390 325
C3PO 83
C-47 26
C-5 ..... 18, 26, 159, 160
C-54 26
C919 ..... 19, 34, 214, 300
Canadair 181
Canadarm3 ..... 184, 192
Capella 138
Caravan 54
CASA 209, 254, 255, 282
CASC 303
Cassini 200, 205
CASSIOPE 184, 191
CAST 303
CBERS 317
CCDev 84
CCiCap 84
CCtCap 84
CDTI 255
Cessna 129, 166
Cessna 400 54
Cessna SkyCourier 167
CF-100 182
CF34 ..... 69, 174
CF6 173
CFM 214
CFM International 6
CFM56 ..... 6, 32, 66, 69, 174
CH4 ..... 79, 179, 308
CH-46 56
CH-47 154
Challenger 350 52
Chandrayaan 117, 280
Chandrayaan-3 ..... 75, 117
Chinasat 94
Chongfu Shiyong Shiyan Hangtian Qi 309
Citation 50, 51, 167
Citation Latitude 52
Citation Longitude 52
Citation M2 52
Citation Mustang 167
Citation X 52
Cluster 205
CMC 70
CN-235 ..... 27, 254, 282
CNES 111, 113, 210
CNSA 303
Collins Aerospace 171
Columbus 126, 202
COMAC . 17, 19, 34, 299, 300
Comet 28, 203
CONAE 323
Concorde 18, 203
Convair 128, 168
Copernicus 111
COPUOS 76
COSMO-Skymed 113, 224
COTS 83
COVID-19 . 1, 18, 46, 69, 217
Crew Dragon . 75, 76, 78, 83, 84, 85, 126, 135, 179
CRISP 293
CRJ 18, 44, 187, 188
CRJ1000 45
CSA 183
CSO-1 ..... 121, 211
CSS 76, 80, 127, 309
CST-100 75, 78, 84, 126, 135, 156
CTOL 23
C-Train 軌道 111
CTRM 273, 318
CTS 183
Cygnus 83, 84, 135, 163, 225, 245

D

Daimler-Benz 216
DARA 219
DARPA 122
DASA 198, 199, 209, 216, 219
Dash 8 188
Dassault 52
DC-10 18
DC-8 ..... 18, 30
DC-9 30
de Havilland 181, 284
de Havilland Canada 181
Delta 78, 135
Delta IV 179
Deutsche Zeppelin-Reederei 218
DFH 309
DHC-515 188
DHC-6 ..... 44, 181, 188
DHC-8 ..... 44, 181
DigitalGlobe 112, 137
DirecTV 107, 137
DLR 219
DMC 112, 205, 340
DMSP 139, 140, 161
Dnepr 244
Do228NG 218
DoD 139
Dornier 216
Douglas 150
Dragon 79, 83, 135
Dragon V2 ..... 78, 84
Dream Chaser .. 84, 255, 263
DRS 224
DSP 140, 162

E

E170/175 45
E170/190 18
E190/195 45
E190-E2 ..... 34, 45, 325
E195-E2 325
E-2 29
E-2D 162
E-3 29
E-7 ..... 29, 155, 162
E-767 29
E-8C 162
EA-18G 29, 154
EADS . 14, 73, 193, 198, 199,

207, 209, 211, 217, 228
EC145 58
EchoStar 107, 137
Eclipse 500 53
ECS 227
EELV 135, 155, 160
Efim 223
EJ200 ..... 69, 208, 227
E-Jets 325
Ekran 234, 238
Ekspress 238
Electron 82, 135, 321
Elektro 240
ELINT 29
ELINT 衛星 121, 122, 242, 316
EMB 110 44
EMB 120 44
Embraer 19
EMS 104
Encore Composite Holding 206
Energia 237
Enstrom Helicopter 130
Envisat 205, 212, 247
EOS 280
EO センサ 29
Epsilon 81
ERJ 18, 44, 325
Eros 113, 336
ERS 205, 219, 327
ESA 10, 73, 78, 79, 106, 111, 116, 117, 118, 119, 126, 136, 183, 200, 205, 219, 241, 244
Es'hail 94
ETOPS 33
ETRI 289
EUMETSAT 111, 201, 212
Eurasiasat 339
EURECA 127
Eurocopter 195
Eurofighter 23, 198, 203, 226
Eurostar 3000 198
Eurostar NEO 198
Eutelsat 93, 94, 107, 207, 215
Eviation Aircraft 41
eVTOL 16
ExactEarth 192
Express 234

F

F/A-18 22
F100 172
F101 174
F-104 18
F110 174
F119 ..... 69, 172
F124 227
F130 ..... 25, 221
F135 ..... 69, 172
F-14 ..... 22, 162
F-15 ..... 22, 154
F-15EX 22, 154
F-16 ..... 22, 158, 168
F-18 ..... 154, 182
F-2 24
F-22 ..... 22, 157, 158
F-35 .. 23, 157, 159, 203, 207, 226, 335
F-35A 23, 24
F-35B 23
F-35C 23
F-4 ..... 18, 29
F404 174
F414 ..... 69, 174, 272
F-86 18
FA-50 ..... 24, 287
FADEC 57
Fairchild Dornier 45
Falcon 10X 52
Falcon 2000 ..... 212, 227
Falcon 2000LXS 52
Falcon 6X 52
Falcon 8X 212
Falcon 9 16, 75, 79, 135, 138, 179
Falcon Heavy 16, 179
FedSat 286
Fiat 227
Fiat Avio 224
FIAT G91 223
Finmeccanica 203, 227
Firefly Aerospace 136, 163
Fly By Wire 57, 177
FMS 58, 172
Focke-Wulf 216
Fokker 246
Fokker Technologies 207
Ford 180
Ford Aerospace 157
FREJA 252
FSA 234

G

G100 335
G200 335
G280 ..... 51, 169
G650 ..... 51, 169
Gaganyaan 278
Galileo .. 10, 12, 74, 107, 183, 199, 201, 204, 209, 215, 220, 223, 225, 245
Gateway .. 116, 117, 134, 163, 180, 184, 192
GCAP 6, 13, 24, 203, 207, 208, 223, 226
GCOM 11, 111, 112
GE 206, 214
GE Aerospace 67, 173
GE Americom 265
GE Astro Space 160
GE Honda Aero Engines ... 53
GE90 ..... 69, 173
GE9X 34, 174
Gemini ST 57
General Atomics 218
General Dynamics .163, 168, 249
General Electric 173
GEnx 33, 69, 152, 174
GER 10, 117, 134
GKN 226, 252
GKN Aerospace 196, 203, 207, 253, 273
Global 7000 51
Global Hawk 29, 60, 162
Globalstar 105, 137
Glonass 74, 107
GLONASS 107, 121, 239
GMES 201
GMS 109
GOES 109, 139, 160
Gonets-M 239
Goodrich 171
Google Lunar XPRIZE 117
Gorizont 104, 234, 238
GOSAT 11, 111
GOSE 156
GPS 74, 86, 107, 109, 121, 140, 141, 156, 161
Green Propulsion 253
Gripen 23, 207
Gripen E/F 325
Gripen International 207
GRO 116
Grob Aircraft 218
Grumman 161
GSAT 278
GSLV 81, 274
GSLV Mk-III 274
GSSAP 140
GT500 55
GTF 70
Gulfstream 168, 335

H

H135 198
H175 198
H-19 56

H3 ..... 81, 250
HALO 163
Hamilton Sundstrand 171
Harrier 203, 207
Hawk 30, 207
Hawker 4000 ..... 53, 167
Hawker Siddeley 206
HawkEye..... 138, 192
Helios 121, 211
Hellas-Sat 93
Hersche 200
H-IIA 80
H-IIB 80
Hispano-Suiza 213
Hispasat..... 93, 255
HISPASAT 266
HKSTG..... 336
HM7 214
Honda Aircraft..... 52
HondaJet... 52, 174, 208, 246
HondaJet Echelon 53
Honeywell 132, 184, 301
Honeywell Aerospace 192
HST 138, 160
HTS 94, 105
HTV 126
HTV-X 84, 126
Hubble 宇宙望遠鏡. 116, 138, 160
Hughes 155
Huntington Ingalls Industries..... 162

I

IAe 254, 282
IAE 326
IAI 81, 335
IATA 1, 69
ICEYE 260
ICO 105
IDF 160, 295
Ikonos..... 112, 137
Il-114 44
Il-18 28
Il-20 29
Il-76 ..... 27, 229
Il-96 229
ILS..... 79
Ilyushin..... 228, 229
IMSO 104
Ingenuity..... 118
Inmarsat 104, 207
INPE 326
INSAT 107, 279
InSight 118, 138, 160
INTA..... 255
Integral 241
Intelsat..... 73, 91, 92, 93, 94, 104, 137, 160, 205
International Launch Services 236
Intersputnik 234, 239
IRAS..... 205, 247
IRBM..... 80
IRI 223
Iridium 104, 123, 137, 192
Iridium Next..... 104
IRNSS 108, 281
IRS 280
ISA 335
ISEF 117
ISO 205
ispace 74, 222, 266
ISRO.....94, 111, 212, 273
ISS.... 10, 75, 83, 84, 86, 106, 123, 125, 134, 135, 136, 157, 163, 184, 202, 219, 235, 237, 245, 289, 326
ITSO..... 91
IUE..... 205

J

J-10 23
J-20 ..... 23, 302
J-31 ..... 24, 301
J-8..... 301
Jaguar 23
James Webb 宇宙望遠鏡.116, 139, 162, 222
JAS39..... 207
Jason-3.....111
JEM..... 127
JetZero 27
JF-17 ..... 23, 318
JH-7 301
JHL 58
Joby Aviation 42
JPSS..... 139
JSF 22
JT3D 65
JT8D 172
JT9D 66

K

KAI..... 287
KAIST 289
Kaistsat..... 289
Kamov..... 230
Karat..... 241
KARI 288, 336
KC-10A 28
KC-130H 28
KC-135 27
KC-390 ..... 27, 325
KC-46.....28, 155
KC-767.....28, 155
KeyHole 139
KF-21 287
KH.....121
Khrunichev..... 79, 235, 236
King Air 50, 167
Kitsat 289
KN Aerospace 246
Kompsat.....290
Kompsat-2 336
Kondor-FKA 121, 242
Kongsberg.....259
Koreasat 94, 289
Koronas-F 241
Kosmos.....121
Kourou 236
KSLV.....81, 289
KT-1 30

L

L 410 44
L-1011 18
L-39 257
L3Harris Technologies...182, 191
Landsat.....139, 160
LAPAN.....283
Lavochkin 241
LCC.....34
LEAP 6, 34, 70, 152, 174, 197, 214, 300
Learjet 52, 130, 182, 187
Learjet 70/75 52
Legacy.....325
Legacy 450/500.....52
Leonardo. 207, 215, 225, 300
Light Sport Aircraft (LSA)55
Lightning.....203
Lilium 42
Litton 162
LMAASA.....322
Lockheed.....157
Lockheed Martin14, 73, 135, 178, 203, 236
Loral.....157
Lotos-S1.....242
Luch 106, 239
LUH 58
Luna 25.....241
Lunar Prospector 160
Luxor.....223
LVM3 81

M

M10 227
M-346.....30, 233

M88 ..... 69, 213
MA60 ..... 44, 301
MA700 301
Magellan Aerospace 183
MAN 216
MarCO 118, 138
Marconi 209
Marconi Electronic Systems 206
Mars Reconnaissance Orbiter 160
Martin 128
Martin Marietta 157
Matra 209
Matra Marconi 198
Maxar ... 73, 93, 95, 113, 123, 136, 138, 180, 191
MB326 223
MB339 ..... 30, 223
MBB 216
McDonnell Douglas . 14, 150, 301
MD 900 57
MD Helicopters 130
MD-11 18
MD-80 18
MD-90 18
MDA .. 73, 136, 183, 184, 191
Measat 94
Meridian 54
MESA 162
Messerschmitt 216
Messier-Bugatti-Dowty .. 213
Meteor 109, 234, 240
Meteosat .. 109, 201, 215, 227
Metop 212, 219
METOP .. 111, 199, 201, 205, 219
MEV 86, 122, 163
MHI RJ Aviation 182, 186
MHI エアロスペースベトナム 319
Mi-24 233
Mi-26 233
Mi-8 233
Microspace-2 245
MiG 229
MiG-15 22
MiG-29 23
MiG-35 23
Mikoyan 228, 229
MIR 125, 237
MMS 205, 211
MMX 118
Molniya 234
Morelos 328
MOS 112
MPLM 163, 225
MQ-25 63
MQ-28A 24, 284
MQ-4 162
MRO 221, 292
MS-21 ... 19, 34, 47, 228, 231, 232
MS-22 126
MSG 201, 219
MTR390 214
MTSAT 104
MTU 216, 222
MU-300 53
MUOS 121, 140, 161
MUSES-C 119

N

Nahuelsat 265
NASA 83, 134, 136, 139, 241
Nauka 237
NCUBE-2 258
New Shepard 84
NewHorizons 118
Nextant 400 53
NEXTSat 122
NextView 137, 163
NG-OPIR 140
NH90 ..... 58, 198, 226
Nikkiso Vietnam 319
Nilesat 94, 331
Nimrod 28, 207
Nivelir 242
NOAA 109, 139, 160
North American 128, 150
Northrop 161
Northrop Grumman .. 14, 73, 93, 131, 135, 136, 137, 139, 162
Northrop Grumman Space 15
NPO 234
NPO Saturn 214
NPOESS 139, 180
NRO 121
NSAB 252, 266
NSAU 243
NSC 257
N-STAR 104
N-UCAS 63

O

O3b mPower 156
O3b Networks 125
Odin 252
OEM 6, 14, 221
Ofeq 113, 335
OH-58 165
OH-6 56
OHB Systems 209, 220
Okean 245
Olymp-K 242
Olympus 227
Olympus 593 208
Onesat 199
OneWeb 74, 86, 124, 205, 215
OPTSAT-3000 336
Optus 94, 104, 285, 293
ORBCOMM 105, 163
ORBIMAGE 112, 137
Orbital ATK 162, 163
OrbView 112, 137, 163
Orion 75, 78, 83, 84, 116, 126, 160, 202, 219
OSIRIS-APEX 119
OSIRIS-Rex 74, 119, 138

P

P&W 67, 132
P-1 28
P-3C 28
P-8A 28, 155
PA-46 54
PADC 318
Palapa 94, 283
PanAmSat 91
Parker Solar Probe . 119, 138
Passport 51
PC-12 54
PC-24 53
PC-9 30
PD-14 232
Pegasus 208
Perseverance 118
PFI 205
Phenom 325
Phenom 100 53
Phenom 300 53
Pioneer 162
Piper 129
Pipistrel 55, 164
Planck 200
Planet .. 74, 86, 111, 123, 136, 138, 192
Pleiades 111, 211
PPE 180
Praetor 325
Praetor 500/600 52
Pratt & Whitney 172
Pratt & Whitney Canada 301
Predator 60
Premier I 50
Prichal 238
PRIMARY(初級) 55

Prisma 253
PROBA 202, 262
Progress 84, 134, 237
Proteus 211
Proton 77, 235
Proton M 236
PSLV 81, 274
PT6 ..... 183, 189
PW100 189
PW1000G シリーズ 70
PW1100G-JM. 7, 34, 70, 172, 197, 222
PW1400G-JM 232
PW300 ..... 183, 190
PW4000 ..... 69, 172
PW600 190
PW800 183

Q

Q400 ..... 44, 187
Qased 338
QPS 112
QuickBird 112, 137

R

R22 57
Radarsat . 113, 183, 191, 192
RadioSkaf 239
Raduga 234
Rafale 23, 212
RAH-66 57
RapidEye 192
ratt & Whitney 189
Raytheon 131, 206
Raytheon Technologies ... 136
Razdan 241
RB199 ..... 208, 227
RB211 208
RCS 25
RD-843 エンジン 246
RDF 26
Reaper 60
Relativity Space 79
RemoveDebris 75
Republic 131
RJ70 18
rocket 136
Rocket Lab 321
Rockwell Collins 171
Rockwell International .. 150
Rolls-Royce 67, 203, 208
Rolls-Royce Deutschland 208, 219, 220
Rosat 220
ROSCOSMOS ... 79, 118, 234
Rosseta 205, 219
RPM 43
RQ-4 29
RSC Energia 79, 234, 244
RSCC 93
RTX 14, 132, 189, 301
Ryan Aeronautical 162

S

S-211 30
S-55 56
S-76 56
S-92 57
Saab 207
Saab 340 44
Saab Ericsson Space 253
SAC 323
SACI-1 327
SAF 13, 40, 69
Safir-2 338
Safran 209
SaM146 ..... 214, 231
SAR ...29, 112, 113, 121, 138, 184
SARah 220
SAR-Lupe 121, 220
SARS 18
SaTReC 289
SAX 247
SBIRS 121, 140, 161, 162
SCD 326
SCISAT-1 ..... 184, 192
Scottish Aviation 206
SDA 329
Sea Launch 79, 237, 244
SeaGuardian 60
Sentinel 111, 201, 222
SERVIS 127
SES 93, 94, 107, 125, 137, 156, 160, 247, 265
SES ASTRA 265
SES Global 265
SF-260 30
SFU 127
Shavit 81, 335
Siemens 208
Sierra Nevada Corporation 218
Sierra Space 84
SIGINT 29
SIGINT 衛星 316
Sikorsky 130, 158, 303
Singapore Telecom(ST)社 293
Sirius Satellite Radio 107
SJ-100 47
SJ30 50
Skynet 121, 205
SloshSat 247
SLS 78, 116, 126, 134, 156, 163
small GEO 201
SMART-1 ..... 117, 253
Smith Aerospace 203
SMMS 317, 337
Snecma .. 208, 209, 213, 214, 231
SOHO 205
Solidaridad 328
Sovereign 167
Soyuz 75, 77, 79, 84, 134, 200, 235, 237, 238
Soyuz 2 ..... 78, 235, 250
Soyuz 5 ..... 235, 269
Space Drone 123
Space Exploration Technologies Corporation 16, 135, 179
Space Imaging 112, 137
Space Lab 219
Space Shuttle 78, 83, 134, 237
Spacebus NEO 201, 215
SpaceJet 19, 46
Spacelab 78
SpaceShipOne 85, 134
SpaceShipTwo 76, 85, 135
SpaceX 16, 74, 76, 78, 79, 83, 84, 85, 86, 124, 126, 135, 179
Spectrum Astro 136, 163
SPIRALE 211
Spirit 151, 206, 273, 319
Sport Pilot 55
Spot 111, 211
Sputnik 1, 234
SR-71 29
SS/L 73, 136, 180
SSA 76, 123, 140, 156
SSC 252
SSL MDA Holdings ... 73, 191
SSLV 275
SSTL 112, 123, 192, 202, 205, 206, 209, 223, 294, 340
Star One 266
Starliner 78
Starlink 16, 73, 74, 105, 124, 137, 179
StarOne 326
Starship 16, 79, 179
STOVL 23
Su-27 ..... 23, 245, 301
Su-30Mk I 272
Su-35 23
Su-57 ..... 23, 230

Su-75 ..... 23, 230
Sukhoi 228, 230, 271
Sunkar 235
Superjet 100 19, 46, 226, 231
Swedish Space Corporation 252
Syncom 156, 234
Syracuse 121, 211
Syracuse-4 211

T

T-2 30
T-27 325
T-33 30
T-37 30
T-38 30
T-4 30
T-45 30
T-50 ..... 30, 160, 287
T-6 ..... 30, 167
T700 174
T-7A 30, 155
TanDEM-X 113
TAS 211
TBM700 54
TDRS 106, 139, 156, 162
TechSat 336
Telecom 227
Telenor 258
Telesat . 93, 94, 107, 137, 183
Telesat Canada 183
Tele-X 252
Terra 160
Terran ロケット 79
TerraSAR-X 113, 219
Textron Aviation 51
Thaicom 94, 294
Thales 215
Thales Alenia Space .. 14, 73, 93, 137, 201, 211, 215
Themis 252
THEOS 294
Thor 258
Thuraya 104, 333
Tiger 58
Titan 78
Tornado 22, 216, 226
TP400 ..... 208, 213
Travelair 129
Trent 69, 208, 291
Trent 1000 208
Trent 7000 208
Trent 900 ..... 208, 227
Trent XWB 208
Trident 203
Triumph Group 131, 162, 169
TRW 136, 162
TSR-2 203
Tsyklon 244
Tu-126 29
Tu-154 233
Tu-160 ..... 26, 232
Tu-204 233
Tu-22 ..... 25, 232
Tu-95 ..... 26, 232
Tupolev 228
Turbomeca 209
Turksat 94, 339
Typhoon 203

U

U-2 28
UAC 47, 228, 231
UAE 235
UH-1 ..... 56, 165
UH-72 58
UKSA 204, 205
ULA 78, 79, 135, 160
United Aircraft Corporation 19, 228, 231
United Technologies 132
USEF 127
USERS 127

V

V2 ..... 1, 77
V-22 ..... 58, 165
V2500 7, 32, 66, 69, 172, 208, 221, 319
V-280 ..... 58, 165
VaRTM 232
VC-10 203
Vega . 80, 200, 224, 227, 245, 246
Vega C 80, 200, 224, 227
Vega E 227
VFW 216
Viking 252
Vinci 214
Viscount 203
Volocopter 42
Volvo Aero 207
Vostochny 237
Vostok 234
Vought Aircraft 169
Voyager 118, 138, 160
VS-300 56
VTOL 22
Vulcain 214
Vulcan .. 75, 78, 84, 135, 163, 179

W

Wester-1 93
Westinghouse 162
WGS 121, 140, 156, 286
WIGOS 109
WINDS 105
WorldView 112, 180
Wresat 286

X

X-37B 156
X-47B 63
X-66A 41
XM Satellite Radio 107
XMM 205, 219, 222
XQ-58A 25
XQ-67A 25
XRISM 116
X-SAT 293

Y

Y-20 301
Y-7 301
Y-8 303
Yak-130 ..... 30, 233
Yakovlev 46, 233
Yamal 239
Yaogan 122
Yuzhmash 237, 245
Yuzhnoye 236, 244

Z

Zenit 78, 235, 236, 244
Zodiac Aerospace 213

あ

アジア・太平洋宇宙協力機構 (APSCO) 317
アストロスケール 123
亜太 310
アラブ衛星通信機構 94

い

今井航空機器工業 319

う

ウクライナ 236
宇宙活動法 76
宇宙基本計画 76
宇宙基本法 76
宇宙作戦隊 77
宇宙資源探査 266
宇宙資源法 77
宇宙状況監視 76, 140
宇宙条約 76

宇宙ステーション..... 76, 234, 237, 253
宇宙通信国際機構..... 91
宇宙望遠鏡..... 242
宇宙旅行 85
雲海..... 313
運輸 20..... 301
運輸 7..... 301
運輸-8 303

え

遠隔操縦観測システム..... 60

お

欧州宇宙機関 10, 15
欧州通信衛星機構..... 215
オール電化衛星.. 94, 156, 215

か

快舟 1..... 80
快舟 1A 308
快舟 11..... 308
海上プラットフォーム..... 307
開拓者 1 80
カザフスタン 235
火星周回 118
火星探査 .. 118, 134, 138, 309
火星探査機..... 334
火星探査車..... 316
火星着陸 118, 138
貨物機改造..... 335

き

北朝鮮..... 73
吉林 1..... 313
軌道上サービス衛星 122
きぼう
JEM..... 126
行雲..... 310
玉兎..... 117
きらめき 122
銀河..... 310
金星周回 118

く

グラスコクピット..... 57
軍事通信衛星 .. 121, 140, 205, 211, 241, 316

け

経国..... 295
経済安全保障 13
月面基地 316

こ

航空旅客輸送量 35
高バイパス比 26
高分 74, 112, 163, 313
光明星..... 322
小型静止衛星用バス 156
国際宇宙ステーション..... 10, 202
国際共同開発 ... 1, 6, 7, 15, 16
固体燃料 307
コミューター航空..... 42
コンステレーション ..86, 112, 113, 123, 137, 138, 179

さ

再使用 79, 84, 179, 307
再利用 134, 252, 255, 273, 309
サンプルリターン....117, 118, 119, 316

し

持続可能 13
鵲橋 117
ジャムコ 318
準天頂衛星..... 108
嫦娥 74, 117, 315
商業打上げ..... 317
神舟 76, 80, 126, 303, 307, 308
新世代ヘリコプター 57
瀋陽航空機工業 301
神龍 84

す

水星周回 118
水素 69
水素燃料 40
垂直離着陸..... 308
推力偏向ノズル 22
スカパーJSAT 94, 137
朱雀 2..... 308
朱雀 2 80
ステルス 22, 23, 25, 301
スペースプレーン..... 307

せ

西安航空機工業 44, 301
成都航空機工業 302
赤外線センサ 171
ゼネラル・アビエーション再活性化法 50, 130
殲 20 302
殲 31 301
殲撃 8 301
センチネル・アジア 12
千里馬.....81, 321

そ

早期警戒衛星.. 121, 140, 161, 242
双曲線 3.....308
創新 310

た

ターボファンエンジン 18, 27, 51, 173
大量輸送時代.....18, 26
探査車.....315

ち

地球温暖化 39
中国航空工業.....298, 302
中国航天 303
中国国家航天局 242
中星 309
長征 80, 303, 307
長征 10 307
長征 11 .....80, 307
長征 2F 307
長征 2 F/T.....84, 307
長征 3 80
長征 5 80
長征 6 .....80, 307
長征 7 .....80, 307
長征 8 .....80, 307
長征 9 .....80, 307

つ

月周回.....117
月探査.....266
月着陸.....76, 116, 117
月有人探査 116
月旅行.....86

て

偵察衛星 . 121, 139, 161, 222, 241, 316
ティルトローター.....57, 58
データ中継衛星 106
デカップリング 17
テジャス 272
デブリ除去 75
天宮 80, 127, 307, 308
天宮 1 76
天宮 2 76
天啓 310

天舟..... 76, 127, 308
天竜..... 308
天鏈..... 106, 310
電動航空機..... 16, 41
天問 1..... 316
天和..... 307, 309

と

東風 21..... 80, 308
東風 31..... 80, 308
東方紅..... 303
トラスブレース翼..... 41

ね

燃料電池 40, 47, 50

の

ノーター・アンチ・トルク・システム..... 57

は

バイオ燃料..... 41
バイスタティック・レーダー..... 220
バイパス比..... 31, 32, 66, 70
ハブ・アンド・スポーク .. 32, 43
はやぶさ 74, 119
万里鏡..... 122, 322

ひ

微小重力実験 127

ふ

風雲 109, 313
フライングブーム..... 27

へ

ベルリン大空輸 26

ほ

墨子 122
北斗 74, 108, 122, 310

ま

マルチロール 24

む

無人機研究システム 60
夢天 309

め

メキシコシティ宣言 11
メタン..... 80, 227, 308

も

問天 307, 309

ゆ

有人宇宙船 . 80, 84, 237, 238, 278, 303

よ

遥感 122, 313

り

リージョナル航空.....43
リージョナルジェット 18
リスク・シェア・パートナー.....261, 303
リモセン法 76
量子通信 122

れ

レーダー画像衛星.....242

ろ

ロボットアーム 184

わ

ワイドボディ 18, 26

漢字

迪迩 1 309

世界の航空宇宙工業

令和 6年 2月 28日　印刷
令和 6年 2月 28日　発行

一般社団法人　日本航空宇宙工業会

発行・編集　専務理事　　藤 野　琢 巳
〒107-0052
東京都港区赤坂 2 丁目 5 番 8 号
　ヒューリック JP 赤坂ビル 10 階
電話 (03) 3585 - 0511（代）

（免責事項）

(一社)日本航空宇宙工業会は本書の記載内容に関して生じた直接的、間接的、あるいは懲罰的損害および利益の損失に関しては、一切の責任を負いません。これは、たとえ(一社)日本航空宇宙工業会がかかる損害の可能性を知らされていても同様とします。

本書の無断転載と無断翻訳を禁ずる。