

ISSN 0910-1535

令和 5 年版

# 世界の航空宇宙工業

令和 5 年 3 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 5 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	3
(1) 売上高	3
(2) 輸出入	6
(3) 従業員数	6
3 国際協力と企業動向	7
(1) 国際共同開発	7
(2) 航空宇宙技術動向	16
(3) 企業統合	18
(4) 企業経営	20
(5) スタートアップ企業	22
4 各国政府の施策	24
第 2 節 航空機分野の動向	25
1 沿革	25
2 軍用機	28
(1) 戦闘機と攻撃機	28
(2) 戦略爆撃機	33
(3) 輸送機	34
(4) 空中給油機	36
(5) 哨戒機	37
(6) 偵察機	38
(7) 早期警戒機	38
(8) 電子戦機	39
(9) 練習機	39
3 民間輸送機	43
(1) 民間輸送機開発の推移	43
(2) 最近の開発動向	47
(3) 需要予測	49

(4) カーボンニュートラルの動向	55
(5) スタートアップ企業	58
4 リージョナル機(地域航空・近距離航空用旅客機)	60
(1) 沿革	60
(2) 機材の変遷	62
(3) 現況	64
(4) 将来動向	66
5 民生汎用航空機(ゼネラル・アビエーション航空機)	69
(1) 沿革	69
(2) 現況	70
(3) 将来動向	76
6 ヘリコプター	77
(1) 民間用ヘリコプター	78
(2) 軍用ヘリコプター	79
7 無人航空機	81
(1) 沿革	81
(2) 現況	82
(3) 将来動向	85
8 エンジン	88
第3節 宇宙分野の動向	97
1 概況	97
(1) 人工衛星	99
(2) ロケット	100
(3) 有人宇宙	101
(4) 宇宙旅行	102
(5) 法制・規範	102
2 ロケット	103
(1) 衛星打上げ用ロケット	103
(2) 宇宙往還機	111
(3) 宇宙旅行用宇宙船	113
3 人工衛星	116
(1) 通信・放送衛星	119
(2) 移動体／マルチメディア対応通信衛星	134
(3) データ中継衛星	136
(4) 放送衛星	138

(5) 測位・航行衛星	139
(6) 気象衛星	141
(7) 地球観測衛星	143
(8) 科学衛星／月・惑星探査機	149
(9) 軍事衛星	156
(10) 軌道上サービス衛星	157
(11) 衛星コンステレーション	158
4 その他	159
(1) 宇宙ステーション等	159
(2) 宇宙環境利用	162
(3) 宇宙太陽発電システム	162
第2章 各国の航空宇宙工業の現状(各論)	164
第1節 北米地区	164
1 アメリカ(USA)	164
(1) 沿革	164
(2) 現況	182
(3) 企業動向	192
a. Boeing	192
b. Lockheed Martin	201
c. Northrop Grumman	207
d. Textron	210
e. General Dynamics	215
f. Triumph Group	217
g. Spirit AeroSystems	218
h. Raytheon Technologies	220
i. General Electric	222
j. Honeywell	225
k. Parker Hannifin	227
l. L3 Harris Technologies	229
m. Space Exploration Technologies Corporation	230
n. United Launch Alliance	231
o. その他の宇宙企業	231
2 カナダ	233
(1) 沿革	233
(2) 現況	239

(3) 企業動向	240
a. Bombardier	240
b. Bell Helicopter Textron Canada	243
c. Pratt & Whitney Canada	244
d. Magellan Aerospace	245
e. Boeing Canada Operations	246
f. L3 Technologies MAS	246
g. CAE	247
h. 宇宙関連企業	247
第2節 欧州	249
1 欧州共同企業及び機関	249
(1) Airbus	249
1) 沿革	249
2) 現況	249
3) 資本構成	250
4) 業績	251
5) ビジネスストラクチャー	251
6) 構成及び関連企業	251
a. Airbus	251
b. Airbus Helicopters 部門	254
c. Airbus Defense and Space 部門	255
(2) ESA(欧州宇宙機関)	256
2 イギリス	262
(1) 沿革	262
(2) 現況	263
(3) 概要(生産・輸出入等)	263
(4) 宇宙開発	264
(5) 企業動向	267
a. BAE Systems	267
b. GKN Aerospace	268
c. Rolls-Royce	269
d. Surrey Satellite Technologies	270
3 フランス	271
(1) 沿革	271
(2) 現況	272

(3) 宇宙開発	273
(4) 企業動向	275
a. Dassault Aviation	275
b. Safran Group	276
(a) Safran Aircraft Engines	277
(b) Safran Helicopter Engines	278
c. DAHER-Socata	278
d. Thales Alenia Space	279
e. Sodern	279
f. Eutelsat	280
4 ドイツ	280
(1) 沿革	280
(2) 現況	282
(3) 企業動向	286
a. Rolls-Royce Deutschland	286
b. MTU Aero Engines	287
c. 宇宙関連企業	288
5 イタリア	289
(1) 沿革並びに現況	289
(2) 宇宙開発	290
(3) 企業動向	292
a. Leonardo	292
b. Leonardo 航空機部門	293
c. Leonardo ヘリコプター部門	294
d. Avio Aero	294
e. Avio	295
6 ロシア	295
7 ウクライナ	316
8 オランダ	320
9 ギリシャ	323
10 スイス	324
11 スウェーデン	326
12 スペイン	331
13 チェコ	335
14 ノルウェー	336
15 フィンランド	339

16	ベルギー	341
17	ポーランド	344
18	ルーマニア	346
19	ルクセンブルク	347
20	ハンガリー	350
21	オーストリア	351
22	デンマーク	352
23	エストニア	353
24	カザフスタン	354
25	ラトビア	355
第3節 アジア・オセアニア		356
1	インド	356
2	インドネシア	369
3	オーストラリア	373
4	韓国	376
5	シンガポール	383
6	タイ	386
7	台湾	388
8	中国	392
9	パキスタン	417
10	フィリピン	417
11	マレーシア	418
12	ベトナム	419
13	ニュージーランド	421
第4節 中南米		422
1	アルゼンチン	422
2	ブラジル	425
3	メキシコ	429
4	チリ	431
第5節 中近東・アフリカ		432
1	アラブ諸国全般	432
2	サウジアラビア	433
3	エジプト	434

4 アラブ首長国連邦	435
5 イスラエル	439
6 イラン	442
7 トルコ	443
8 南アフリカ	446
9 モロッコ	447
各国の年平均為替レート	448
略語一覧	449
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	3
	図 1-1-2	各国航空宇宙工業売上高の対 GNP-GDP 比率	4
	図 1-1-3	主要国の航空宇宙製品の輸出入差	6
	図 1-1-4	各国航空宇宙工業従業員数	7
	図 1-1-5	国際宇宙探査ロードマップ(GER)の概要	14
	図 1-1-6	Afternoon Constellation の概要	16
	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)	21
	図 1-1-8	欧米主要航空宇宙企業の売上高純利益率	22

	表 1-1-1	各国航空宇宙工業売上高	5
	表 1-1-2	民間輸送機の国際共同開発及び共同事業	10
	表 1-1-3	軍用機の国際共同開発	11
	表 1-1-4	エンジンの主要国際共同開発	12
	表 1-1-5	宇宙開発計画の国際共同開発例	18

第 2 節	図 1-2-1	次期戦闘機 (GCAP) のイメージ図	31
	図 1-2-2	燃料価格の推移	44
	図 1-2-3	民間輸送機の受注・納入機数の推移	45
	図 1-2-4	機種別累計納入機数	45
	図 1-2-5	地域別エアラインの月間輸送量伸び率	50
	図 1-2-6	世界の航空旅客輸送量予測	50
	図 1-2-7	ジェット旅客機の需要予測結果(20 年後)	51
	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	51
	図 1-2-9	世界の貨物輸送量の予測	52
	図 1-2-10	国際航空輸送における輸送量と CO2 排出量の推移	56
	図 1-2-11	アメリカにおける代表的な無人航空機システム	86
	図 1-2-12	アメリカにおける無人航空機システム試験場	88
	図 1-2-13	世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移	91

	表 1-2-1	世界の軍用機主要機種の概要	41
	表 1-2-2	主要民間輸送機の開発日程	53
	表 1-2-3	開発中または計画中の主要民間輸送機	55
	表 1-2-4	主要リージョナル航空機一覧(プロペラ機)	67
	表 1-2-5	主要リージョナル航空機一覧(ジェット機)	68
	表 1-2-6	ゼネラル・アビエーション販売機数実績	70

表 1-2-7	主要ターボプロップ機の販売機数実績	75
表 1-2-8	主要ピストン機の販売機数実績	76
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	77
表 1-2-10	世界の主要ヘリコプターメーカーの部門比率	81
表 1-2-11	軍用エンジンの民間用への転用例	90
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	92
表 1-2-13	民間航空機用エンジン業界の主要提携関係	96
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	97

第 3 節	図 1-3-1	世界の主な人工衛星打上げロケット	110
	図 1-3-2	世界の主な打上げ射場	111
	図 1-3-3	SpaceShipOne 飛行経路	114
	図 1-3-4	国際宇宙ステーション本体の構成	160

表 1-3-1	主要国の宇宙開発予算	103
表 1-3-2	主な宇宙旅行	115
表 1-3-3	国・機関別／年別人工衛星等打上げ機数	117
表 1-3-4	Intelsat 衛星シリーズの主要パラメータ	121
表 1-3-5	運用中の主な商用静止通信衛星	126
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	137
表 1-3-7	各国の測位・航行衛星	141
表 1-3-8	主な運用中の気象衛星	142
表 1-3-9	最近打上げられた主な地球観測衛星	147
表 1-3-10	最近打上げられた主な科学衛星／月・惑星探査機	155
表 1-3-11	代表的な衛星コンステレーションビジネス	159

## 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	166
	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	171
表 2-1-1	アメリカの GDP と国防支出の推移	184	
表 2-1-2	アメリカ航空宇宙工業の貿易収支の推移	184	
表 2-1-3	アメリカ航空宇宙工業の需要別輸出額の推移	185	
表 2-1-4	アメリカ航空宇宙工業の品種別輸入額の推移	186	
表 2-1-5	アメリカ航空宇宙工業の部門別従業員数の推移	187	

	表 2-1-6	アメリカ航空宇宙工業の品種別従業員数の推移	188
	表 2-1-7	アメリカ航空宇宙工業の損益の推移	189
	表 2-1-8	アメリカ航空宇宙工業の賃借対照表の推移	190
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	250
	表 2-2-1	Airbus の機種別開発経緯、受注・納入・就航機数	254
	表 2-2-2	ESA 各国出資比率	257
	表 2-2-3	イギリス航空宇宙工業の生産・輸出入等	264
	表 2-2-4	イギリス主要メーカー別売上高・従業員の推移	267
	表 2-2-5	フランス航空宇宙工業の生産・輸出入等	273
	表 2-2-6	フランス主要メーカー別売上高の推移	275
	表 2-2-7	フランス主要メーカー別従業員数の推移	275
	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	283
	表 2-2-9	Leonardo の主要部門売上及び従業員数	292
	表 2-2-10	ロシアの航空工業グループ	297
第 3 節	表 2-3-1	PSLV 打上げ一覧	362
	表 2-3-2	GSLV 打上げ一覧	365
	表 2-3-3	インドの通信衛星	366
	表 2-3-4	中国の航空工業グループ	393
	表 2-3-5	中国の宇宙企業一覧	401
	表 2-3-6	北斗衛星一覧	408

# 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

#### (1) 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てきたものの、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、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。

#### (2) 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。特に中国における民間機市場分野へ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、米中对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、企業の吸収合併の動きもみられ、機体メーカー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。

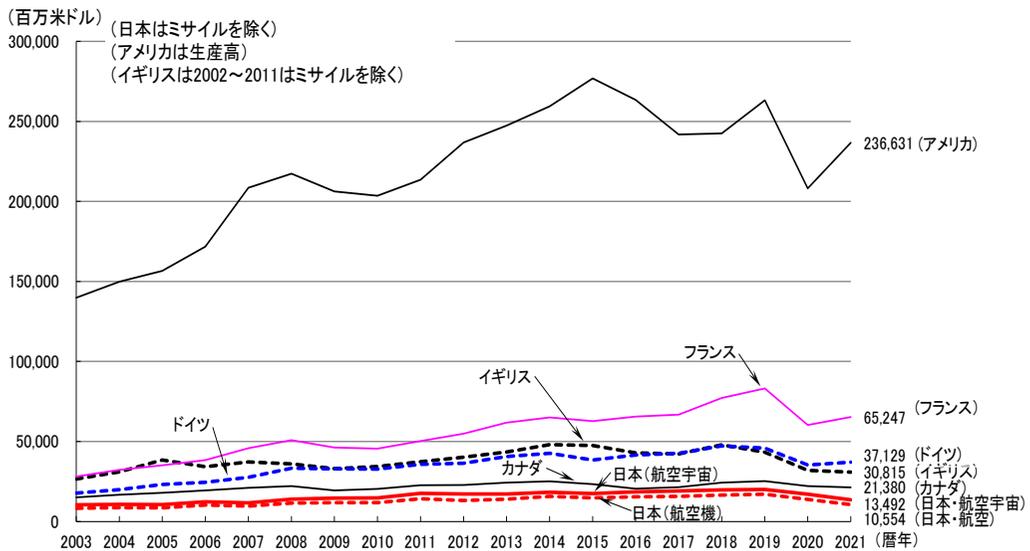
2022年2月に始まったロシアによるウクライナへの侵攻は、開始直後の短期間決着の予測に反し、長期化している。力による現状の変更を見た世界は諸情勢を変化させた。軍事面のみならずエネルギー関連の価格上昇、食料や産業材料の価格上昇によるインフレーションが世界に波及している。この情勢変化により冷戦終了以降の長期間にわたった各国の軍事予算縮減に、顕著な変化が起きた。特に欧州各国で防衛が見直され、複数の国で軍事予算の大幅増加、装備の近代化加速、ロシアの侵攻方法を教訓にしたハイブリット戦、無人システムや人工衛星の活用、ビッグデータ分析による戦術など、国際安全保障環境の変化、新しい戦い方に対応する変化が起こった。既存装備の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2021年売上高の合計は約4,047億ドルで、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カ国(イギリス・フランス・ドイツ)の売上高の合計は約1,332億ドルに達するが、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13%であり大きな格差がある。日本はアメリカの6%に留まっている。(図1-1-1、表1-1-1参照)

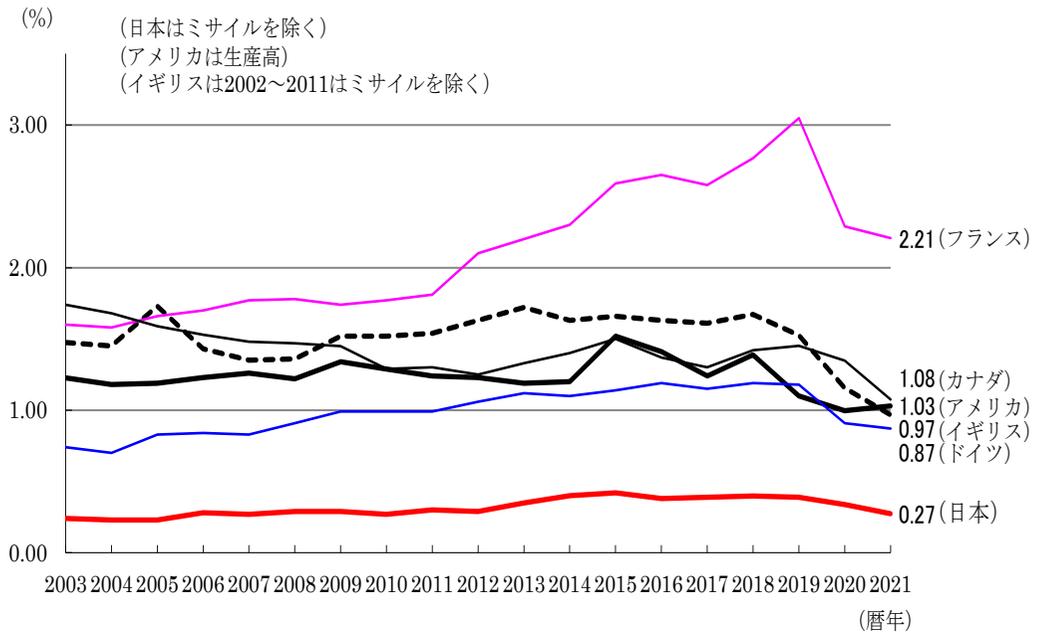
図1-1-1 各国航空宇宙工業売上高



出典：(一社)日本航空宇宙工業会

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1.0%、イギリス1.0%、ドイツ0.9%、フランス2.2%、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)

(各国通貨へ→)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
米国全体(億ドル)	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	2,366.31
英国(億ポンド)	178.67	154.94	162.50	169.00	211.86	186.20	186.40	196.50	211.70	222.80	233.10	254.00	278.00	292.00	311.00	318.00	390.00	399.00	339.00	249.00	224.00
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	563.11	626.90	663.74	743.00	529.33	551.79
韓国(億ウォン)	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
加国(億加ドル)	292.00	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
伊国(億ユーロ)	N/A	N/A	N/A	103	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	14,816
日本航空機(億円)	10,306	10,111	9,660	9,490	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
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	3,226

(米ドル換算)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
米国全体(億ドル)	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	2,366.31
英国	223.03	243.55	275.93	367.78	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	287.18
仏国	33.57	294.43	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	628.89
韓国	136.91	147.76	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	357.88
加国	198.82	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	233.55	205.35	214.97	243.70	253.00	221.90	199.78
伊国	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	134.92
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
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	29.37

(換算レート、IMF年平均レート他)

英国(ポンド/\$)	0.6947	0.6672	0.6124	0.5461	0.555	0.5466	0.4988	0.5449	0.6414	0.6476	0.6296	0.6311	0.6397	0.6073	0.6546	0.7405	0.8285	0.7495	0.7896	0.7800	0.7800
仏国(ユーロ/\$)	7.33	1.0626	0.8854	0.8048	0.8047	0.7971	0.7909	0.6832	0.7198	0.7553	0.7188	0.7783	0.7532	0.7596	0.9019	0.9038	0.9384	0.8471	0.8933	0.8774	0.8774
韓国(ウォン/\$)	1.1175	1.0626	0.8854	0.8048	0.8047	0.7971	0.7909	0.6832	0.7198	0.7553	0.7188	0.7783	0.7532	0.7596	0.9019	0.9038	0.9384	0.8471	0.8933	0.8774	0.8774
加国(カナダドル/\$)	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	1.3415
伊国(ユーロ/\$)	-	-	-	0.8048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
日本(円/\$)	121.53	125.39	115.93	108.19	110.11	116.31	117.81	103.45	93.61	87.78	79.72	79.8	97.57	105.82	121.05	108.68	111.74	110.43	109.03	106.77	109.81

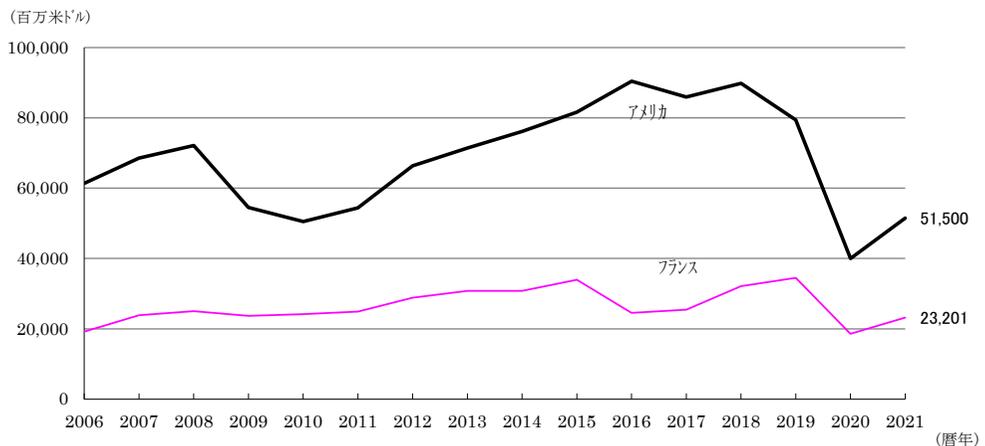
出典：(一社) 日本航空宇宙工業会

(注) ◇日本はミサイルを除く、宇宙は年産額  
 ◇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2003以前リラ表示  
 ◇仏国は2001以前フラン表示  
 ◇伊国は2003以前リラ表示  
 ◇米国は生産高

## (2) 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。2021年はアメリカが515億ドル、フランスが232億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42%、フランスは66%となっている。但しFMSによる外国への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

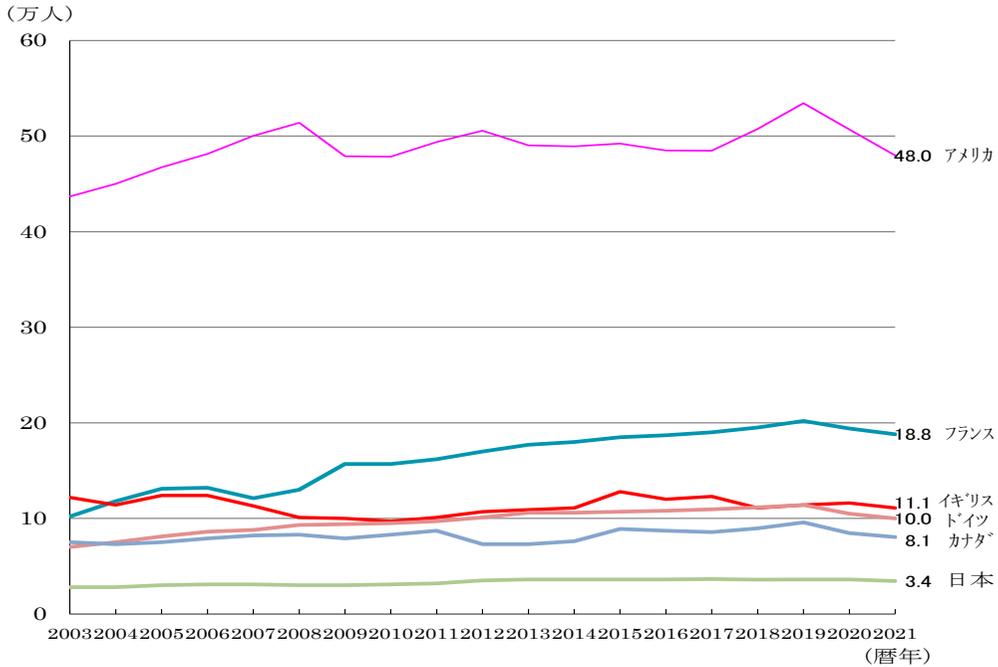


出典：(一社)日本航空宇宙工業会

## (3) 従業員数

2021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19万人、イギリスが約11万人、ドイツが約10万人であり、欧州主要3カ国(イギリス・フランス・ドイツ)の合計は約40万人でアメリカの約83%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るようになった。

第6世代の戦闘機として、2022年12月9日に日英伊の3カ国首相により「グローバル戦闘航空プログラム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(スペイン)]
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(スペイン)]
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(スペイン), IPTN(インドネシア)]
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/スペイン), 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/スペイン)]
(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) (イギリス)
	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	(イタリヤ) (イタリヤ) (ブラジル)
	1994年3月	Eurofighter 戦闘機	Eurojet EJ200 9,185kg x 2	マッハ2.0	EADS BAe Alenia CASA	(ドイツ) (イギリス) (イタリヤ) (スペイン)
	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	ADS A400M 輸送機	TP400 10,000~13,000shp x 4	780km/h	EADS Airbus CASA BAE Systems TAI Flabel	(ドイツ) (フランス) (スペイン) (イギリス) (トルコ) (ベルギー)
	2006年12月	F-35 戦闘機 (JSFプログラム)	P&W F135 17,790kg x 1	マッハ1.6	Lockheed Martin BAE Systems	(アメリカ) (イギリス)
回転翼	1987年10月	Leonardo AW(EH)-101 対潜機/輸送機	GE/RR, Turbomeca T700/RTM322 1,714/2,313 shp x 2	309km/h	Westland Agusta	(イギリス) (イタリヤ)
	1991年4月	Airbus Helicopter Tiger 攻撃機 PAH-2	MTU/Turbomeca MTR 390 972 kW x 2	250~280 km/h	Aerospatiale DASA	(フランス) (ドイツ)
	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(ドイツ) Agusta Fokker	Airbus Helicopter (イタリヤ) (オランダ)

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

(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)

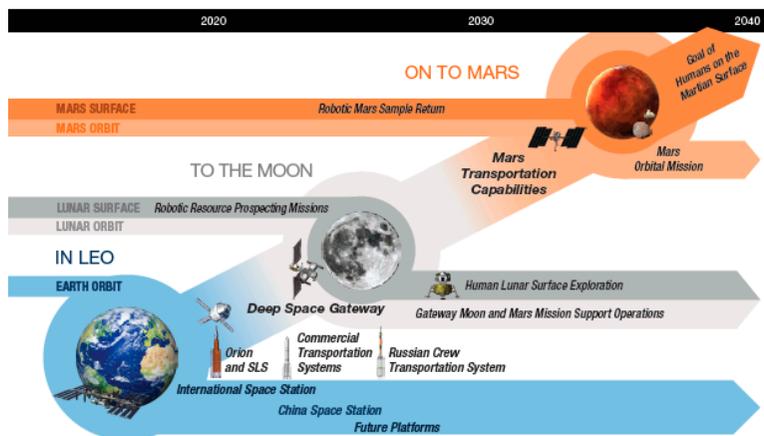
表 1-1-4 エンジンの主要国際共同開発 (2/2)

型式承認 (認定)年	エンジン	開発企業(国籍)		搭載機種
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	GE9x	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カ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計画は利用開始が2010年ごろとされていたが、EUは2016年末に初期サービスを開始し、完成は2021年以降とされている。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」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。2018 年版 GER では、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。(図 1-1-5 参照) 月近傍有人拠点は月周回有人拠点 (Lunar Orbital Platform - Gateway、以下 Gateway)と名称が変更され、米国(NASA)、欧州(ESA)、カナダ(CSA)、および日本(JAXA)等が参加を表明している。さらに、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。2022 年末で Artemis 合意に署名した国は 21 か国である。

図 1-1-5 国際宇宙探査ロードマップ(GER)の概要



出典：NASA

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(Global Earth 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 113 カ国の政府、欧州委員会(EC)及び 138 の国際機関が参加している。2015 年に

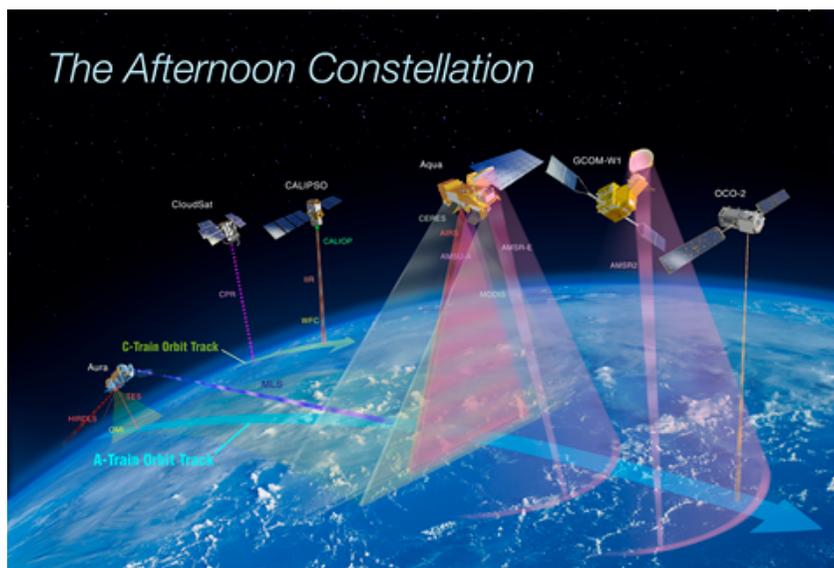
は GEOSS 10 年実施計画の後継となる「GEO 戦略計画 2016-2025」を承認する閣僚級宣言「メキシコシティ宣言」が採択された。日本は、温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT シリーズ、地球環境変動観測ミッション GCOM シリーズ、全球降水観測計画 GPM、雲・エアロゾル放射ミッション EarthCARE など、気候変動予測の精度向上を目的とする衛星計画を担うこととなっている。

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 分野を対象に衛星情報の統合的利用を目指している。2022 年 12 月の時点では、8 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。

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ている。

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



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-28)は、2022年11月15日から12月3日の間ベトナム・ハノイで開催された。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。

本来の宇宙開発の目的は、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。

## (2) 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1日、持続可能な航空燃料(SAF: Sustainable Aviation Fuel)などサステナビリティ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年にボーイング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。

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。

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] (2023)	ESA (仏、独、伊、他数カ国)
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)
地球観測衛星の国際共同開発例		
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	(2023 以降)	ESA、JAXA、NICT
Jason3	2016	NOAA/EUMETSAT/NASA/CNES
ISS(国際宇宙ステーション)計画	～2030	NASA、CSA、ESA、 RSA(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・測位システムの国際共同開発例		
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 打上げ) (2029～)	ESA、JAXA、NICT、NAOJ、大学 他
AIDA(小惑星探査)		
-DART	2021/11 打上げ (2022～)	ESA、NASA、JAXA 他
-Hera	(2024 打上げ) (2025～)	
ExoMars(火星探査)	2016 (2023 以降)	ESA、ROSCOSMOS
宇宙観測		
IXPE(X線観測衛星)	2021/12 打上げ	NASA、ASI 他
JWST(James Webb Space Telescope)	2021/12 打上げ	NASA、ESA、CSA 他

### (3) 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、近年は東西冷戦後の新しい国際秩序に対

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を拡大して、自国には工場や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となった。

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カ国の政府が合意し、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Lockheed 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2月には、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の宇宙産業は主に2社に集約された。Aerospatiale-Matra、DASA、Marconi Electronic Systemsの3社が宇宙部門を2000年に統合し、Astriumを設立した。この統合により欧州の宇宙産業はAstriumと仏Alcatel、伊Aleniaの事実上3社に集約された。その後も再編が進み、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部門となっている。仏Alcatel Spaceと伊Alenia Spazioを2005年に統合し、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。

米国では2014年にOrbital Sciences Cooperation (OSC)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。

2022年にはLockheed MartinがAerojet Rocketdyneの買収を断念したが、同年L3HarrisがAerojet Rocketdyneを買収することを発表した。また、Maxar Technologiesも投資会社Advent Internationalによる買収が発表された。

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。

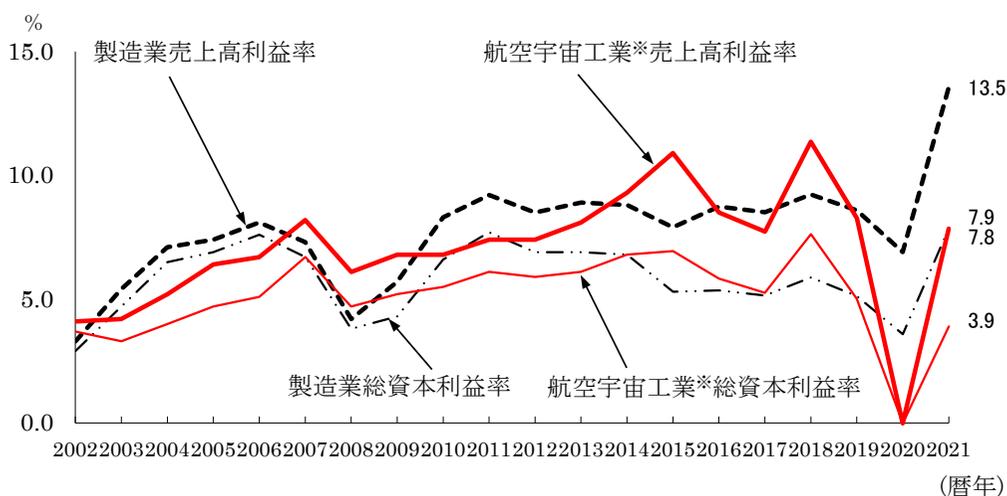
#### (4) 企業経営

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。

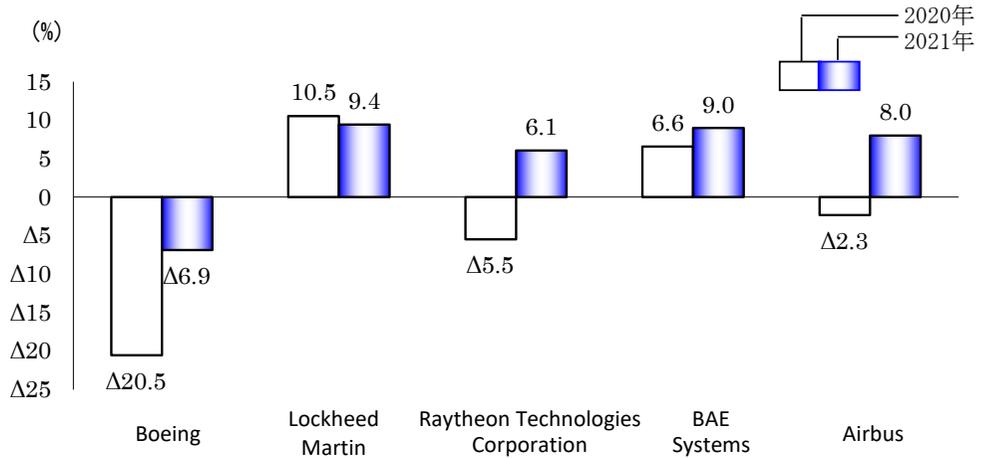
また、企業の形態も多くは国の資本または国営の持株会社として運営されている。これらの効率的運営のため、国の主導による統廃合が行われ、さらに欧州では域内の複数国をまたぐ統合も顕著となり、優良／重要な事業・部門を自国に残しながら、現在では前述のとおり各国とも 1~2 社のメーカーが国の代表企業と位置付けられる、あるいは自国には大企業の本社がないようになった。イギリスの BAE Systems、Airbus(本社オランダ)がその代表例である。(図 1-1-7 および図 1-1-8 を参照)

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)



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 カ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。

#### (5) スタートアップ企業

環境問題への対応、あるいは移動の自由を大きく高める新しいエアモビリティへの期待を受け、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。

水素の分野では、2018年創業の ZeroAvia が 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。

電動航空機の分野では、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、2024年のサービス開始を予定している。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た。

中国企業の億航智能(Ehang)の広東省で設立した自動運行有人ドローン、eVTOL 製造企業である。2016年CESでEHang 184を発表し、2019年には米NASDAQに上場した

Volocopter GmbHは2011年創業の独企業。2人乗りのVoloCityと約200kg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。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り、2023年から2024年のサービス開始を予定している。2021年10月にはJALが最大100機を導入予約したことを発表した。

Vertical Aerospaceは2016年創業の英企業。5人乗りの「VAX4」を開発しており、2024年のEASAの型式証明取得を目指している。アメリカン航空、ヴァージンアトランティック航空や航空機リース会社のアポロン等から合計1,350機、丸紅から最大200機の条件付き予約を受注した。なおJALは同機を最大100機購入またはリースできる契約をアポロンと締結している。

Lilium GmbHは2015年にドイツで創業し、2017年無人実験機による初飛行、2022年5月には電動実験機Phoenix 2で垂直離着陸から水平飛行への遷移を実証した。2021年8月には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発表している。

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。2020年9月にはCessna 337 Skymasterの改造機Electric EELにより、ハワイでの約600kmの試験飛行に成功した。

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800kmの9人乗り電動航空機Aliceを初飛行させた。Cape AirとGlobal Crossing AirlinesからはコミュータータイプのAlice Commuterをそれぞれ75機と50機、DHL ExpressからはAlice Cargoを12機受注した

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、2022年には計1,690機の Starlink 衛星を打上げた。米 Google は 015 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。

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 の Blue Origin や Virgin Record 創業者 Richard Branson の Virgin Orbit 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(月着陸：2022年11月11日打上げ)などがあるものの、海外(主に欧米)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1月に中国共産党軍事

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・旧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世界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ようになった。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くは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)が起これ、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、地域間的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儀なくされるなど、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(Irkut)や同年初飛行したC919(COMAC)、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CRJ929と併せて新規参入を目指す企業による活動が進行中である。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6月に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 4 月、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 (Irkut)や ARJ21 (COMAC)の商業運航が開始された。Mitsubishi SpaceJet(三菱航空機)は、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、開発活動を一旦立ち止ったあと、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、旧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の技術革新に負うところが大きく、戦闘機や爆撃機、輸送機など由来機種種の性能が飛躍的に向上したのはもちろんのこと、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)

### (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2月2日初飛行、初号機は3月10日に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はダクト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7月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9日、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发出した。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27日に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。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30日に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KF-21が2022年7月19日に初飛行し、開発が進んでいる。

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る。これに伴い、既存機種へ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。これまでのように各種単能機を多数運用し、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つである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2月27日には豪州のMQ-28Aが初飛行し、開発試験が進められている。

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9日に「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。

## (2) 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、冷戦の終結などにより、かつて戦略兵器の花形であった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年に初飛行、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、旧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。

### (3) 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、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。2022 年 12 月末までにデモンストレーションを行う計画としている。

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)を開発して使用している。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、2020 年の受注機数は 174 機、納入機数は 94 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 2022 年 3 月末時点で 14 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。

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-390 などにみられるように民間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。現在米空軍では 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 機種を運用している。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。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んでいる。

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。

#### (5) 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、2022年3月末時点で33機を保有している。

英国のBAeがNimrodをベースに改良開発したNimrod MRA4は、'96年に英国政府に採用され、2010年に量産初号機が英空軍に納入された。しかし、国防費の削減により2010年に計画はキャンセルされている。

#### (6) 偵察機

電子機器及び光学機器技術の発達に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 などと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 でも導入が検討されている。

#### (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。積極的妨害や攪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。

#### (9) 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年の運用開始が計画されている。

‘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。

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	アラビアとの共同開発
	中国	瀋陽	J-8	1984	2.2	6,720×2	9.35	20.53	42.2	18,900	J-8 II
		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
	スウェーデン	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	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		
	Airbus A400M	2009	0.72	11,000ehp×4	42.4	45.0	221.5	136,500			
		川崎重工 C-1	1970	800km/h	6,600×2	30.6	29.0	120.5	38,700		
	日	" C-2	2010	0.82	約50,000lb×2	44.4	43.9	240.0	141,000		
		Ilyushin Il-76M/T	1971	0.8	12,000×4	50.5	46.6	300.0	157,000	(推定)	
	ソ連	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	BAE Systems Nimrod	1967	852km/h	5,217×4	35.0	38.6	197.0	87,090		
	仏	Dassault Bureguet ALT2	1981	640km/h	6,220ehp×4	37.4	33.6	120.3	25,300		
	日	川崎重工 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	15,420×2	16.9	32.7	166.8	63,500	
			Boeing RF-1E	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		
	" 737-AEW&C	2004	0.57	12,033×2	33.6	35.7	91.0	77,366			
	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		
		Antonov An-12	1958	670km/h	4,000ehp×4	38.0	33.1	121.7	61,000		
	ソ連	Ilyushin Il-20/22	1957	685km/h	4,250ehp×4	37.4	36.0	140.0	64,000		
	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	
	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(現SUBARU)	T-1	1958	860km/h	1,400×1	10.5	12.1	22.2	4,355	
		三菱重工 T-2	1971	1.6	3,200×2	7.9	17.9	21.1	9,637		
		川崎重工 T-4	1985	0.9	1,660×2	9.9	13.0	21.0	7,500		
富士重工(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		
	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	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			

### 3. 民間輸送機

#### (1) 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ことになった。

’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。

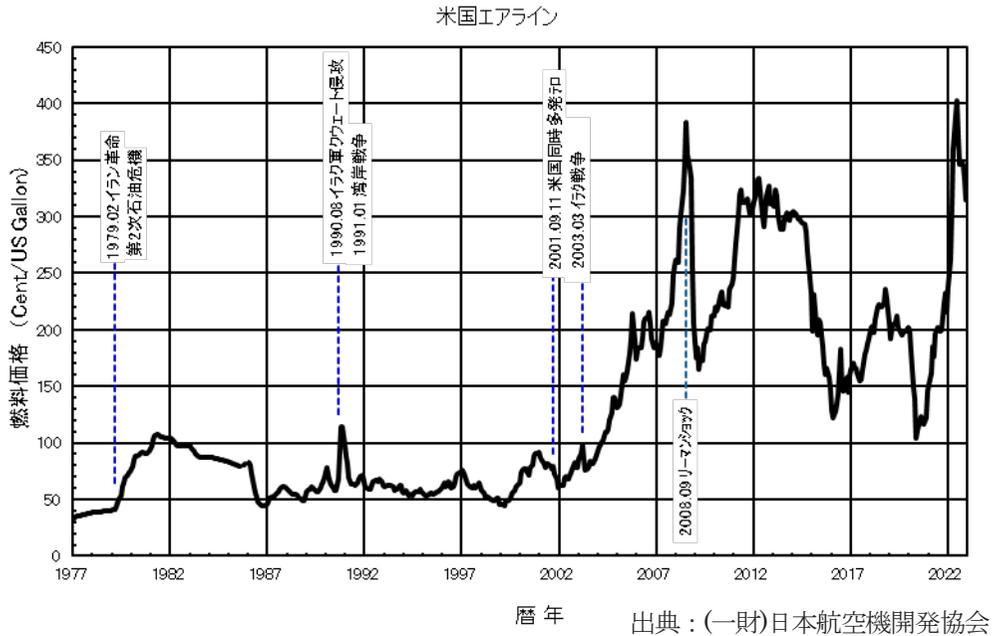
##### b. 大型民間輸送機時代

’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卷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ている。

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)

図 1-2-2 燃料価格の推移(2022 年 12 月末時点)



’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 1-2-3 民間輸送機の受注・納入機数の推移(2022年12月末時点)

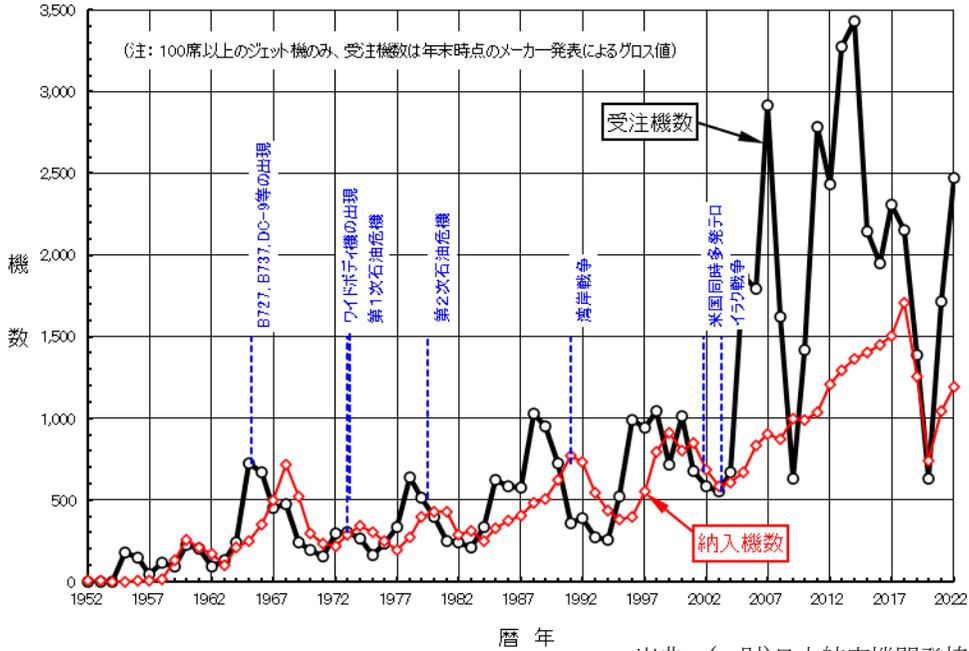
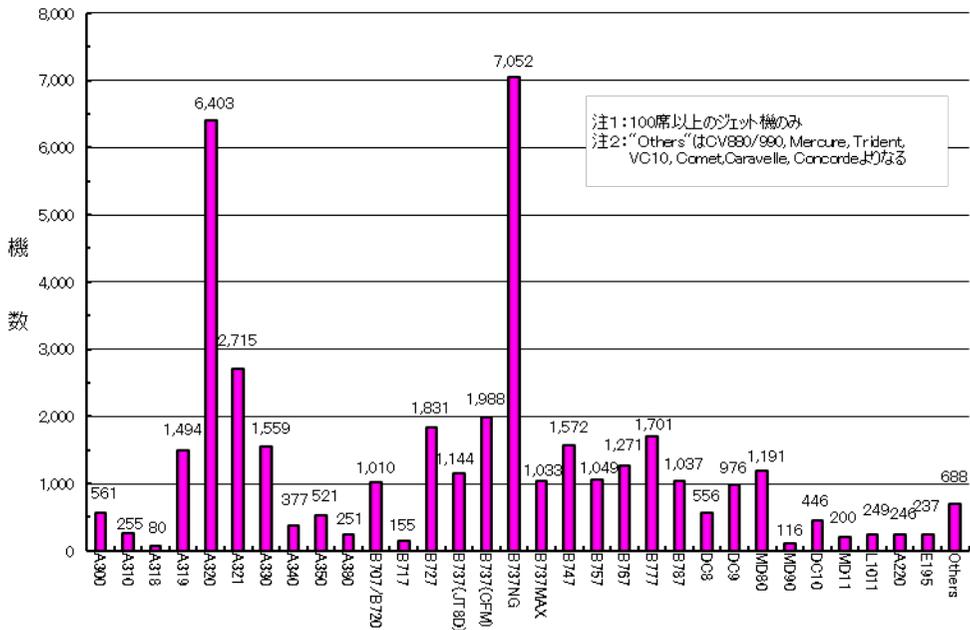


図 1-2-4 機種別累計納入機数(2022年12月末時点)



### c. 騒音基準強化

ICAO は、2001 年に Chapter 3 より厳しい騒音基準 Chapter 4 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。

### 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。

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'85 年双発型 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定めるため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。

## (2) 最近の開発動向

### a. 高効率中・大型機

2001年9月11日の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。2023年2月にアトラス航空に納入された。

Boeingは、2013年に最新技術により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。2022年11月エンジン地上テスト中に、タービンエリアの温度警告によりエンジン運転を停止した。ボアスコープ検査で異常が発見され、原因調査のため全てのテスト飛行を一時中断したが、安全対策を施し12月17日にテスト飛行が再開された。

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A321neoLR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A321neoXLR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取り入れた 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 年に初納入された。

ロシアの Irkut 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。

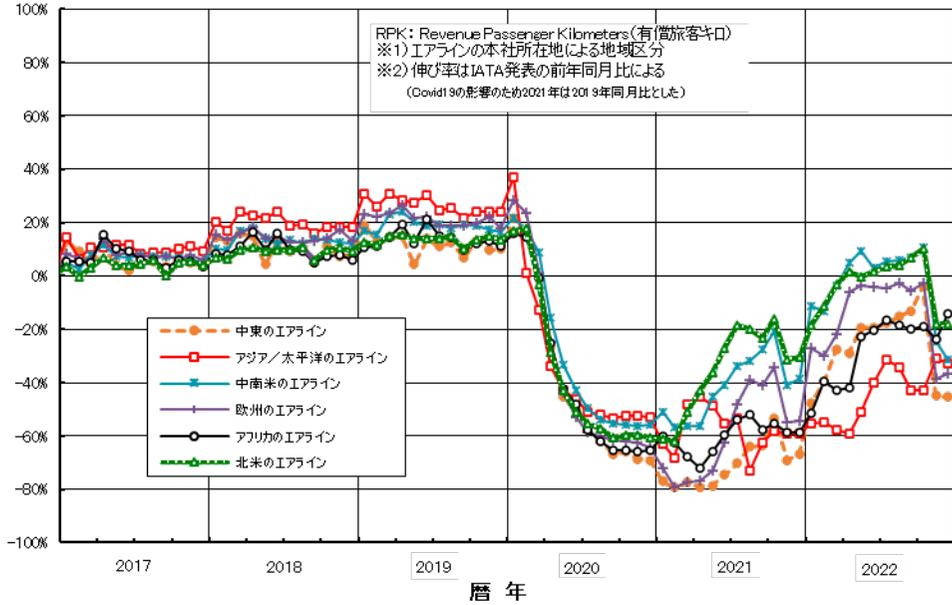
### (3) 需要予測

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。CORVID-19 の影響を織り込んだ予測では、2021 年から 2041 年までの今後 20 年間に、世界の航空旅客輸送量は年平均 4.0% の伸びとなり、2041 年には 2021 年の約 2.4 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 2021 年の 24,055 機から 2041 年には 41,358 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 33,644 機となり、貨物の需要は今後 20 年間に年平均 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

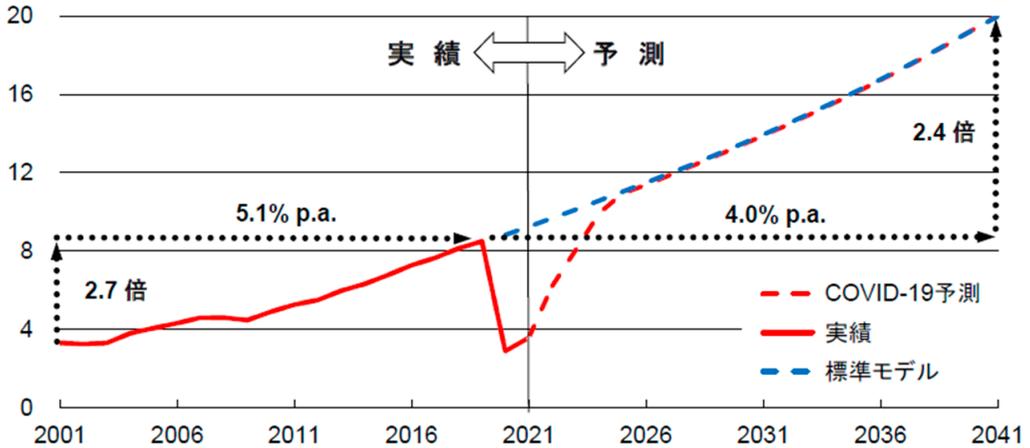
2016年同月からの  
RPK伸び率(%)



出典：(一財)日本航空機開発協会

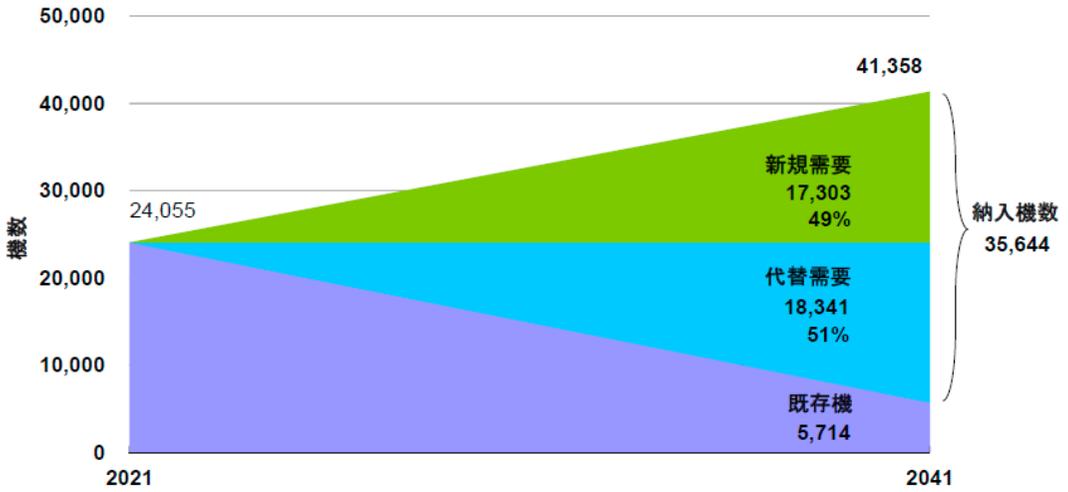
図 1-2-6 世界の航空旅客輸送量予測

航空旅客輸送量  
( $\times 10^{12}$ 人km)



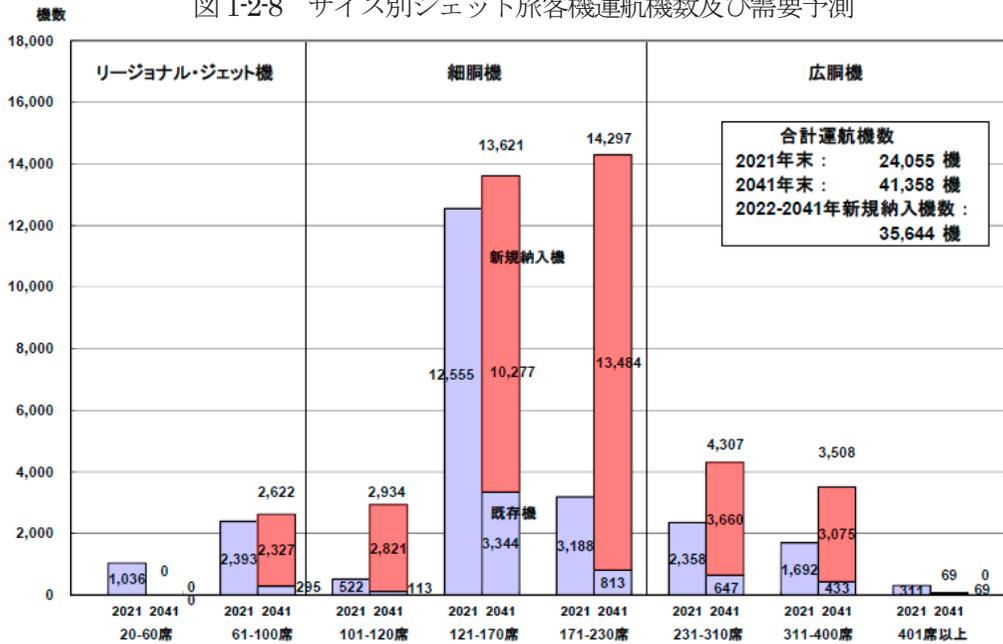
出典：(一財)日本航空機開発協会

図 1-2-7 ジェット旅客機の需要予測結果(20年後)



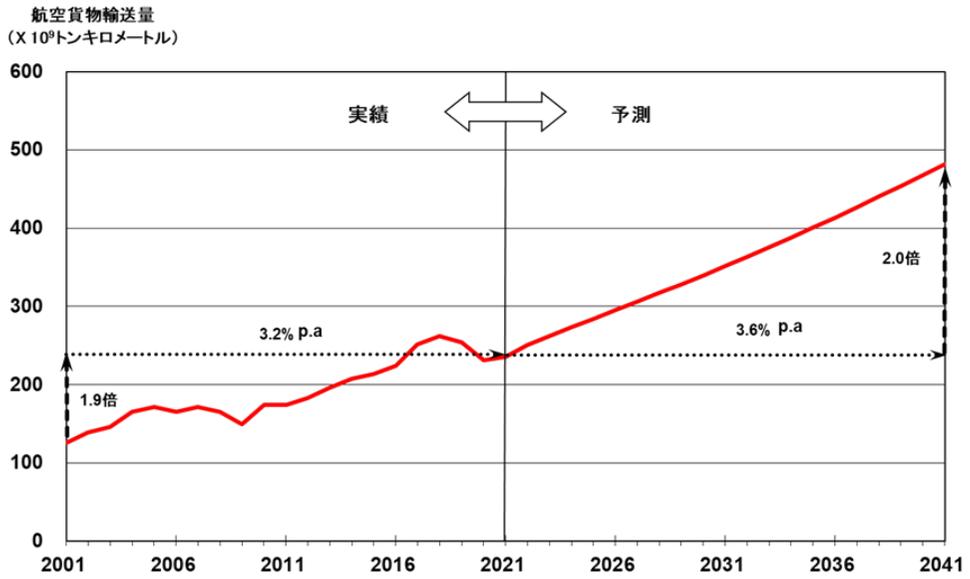
出典：(一財)日本航空機開発協会

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)がス	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		
	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		
	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	2021.06.19					
	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		
	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		
	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		
	B777-200	312 (2)	1990.10.29	1994.06.12	1995.04.19	1995.05.17	1995.06.07		
	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		
	B777-300	388 (2)	1995.06.26	1997.10.16	1998.05.04	1998.05.22	1998.05.27		
	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)

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)775	ローンチ	初飛行	型式 証明	納入 開始	就航 開始	備考	
Airbus	A220-100(CS100)	108-135	(1)	2008.07.13	2013.09.16	2015.12.18	2016.06.29	2016.07.15	型式証明はかが運輸省
	A220-300(CS300)	130-160	(1)	2008.07.13	2015.02.27	2016.07.11	2016.11.28	2016.12.14	型式証明はかが運輸省
	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	1983.07	1984.03	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		生産終了(2007)
	A318	107	(2)	1999.04.26	2002.01.15	2003.06	2003.07		
	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		
	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		
	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	
	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		
Bombardier	CRJ100/200	50	(1)	1989.03	1991.05	1992.07	1992.10	生産終了	
	CRJ440	44	(1)	2001.07.09			2002.10		
	CRJ700	70	(1)	1997.01	1999.05	2001.01	2001.01		
	CRJ900	88	(1)	2000.07.24	2001.02.21	2002.09.13	2003.01		
	CRJ1000	100		2007.02.19	2008.09.03	2010.11.01	2010.12.14		
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		
	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		

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 (3)

メーカー	機種	座席数(参考)		ローンチ	初飛行	型式証明	納入開始	就航開始	備考
		(1)~(3)クラス	(1)						
Irkut	SSJ100-95	95	(1)	2004.2Q	2008.05	2011.02	2011.04.19	2011.04.21	
	SSJ100-95LR	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)	
Xi'an Aircraft	MA-60	56			2000.03			2000.08	
Bombardier	Dash8-400(Q400)	70	(1)	1995.06	1998.01	1999.06	1999.12	2000.01	
Convair	CV-580/600/640	56				1960.04			生産終了
ATR	ATR42	46	(1)	1981.10	1984.08	1985.09	1984.12		
	ATR72	74	(1)	1986.01	1988.10	1989.09	1989.10		

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)		ローンチ	初飛行	型式証明	納入開始	就航開始	備考
		(1)~(3)クラス	(1)						
Airbus	A220-100ER	108-135	(1)						計画中
	A220-300ER	130-160	(1)						計画中
	A350-900	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当てられてきたが、最近では地球温暖化に対する関心が高まり、航空機からの CO2 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 CO2 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

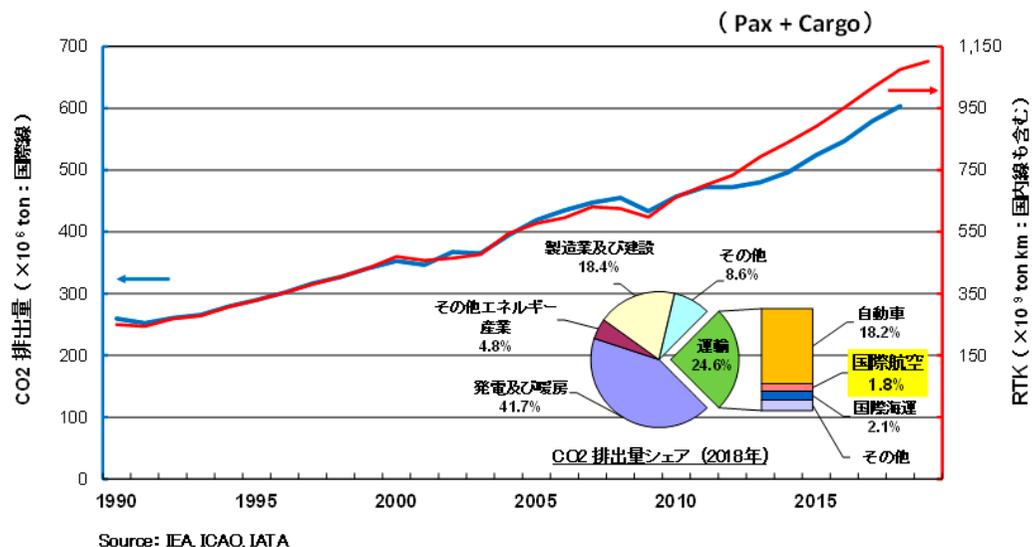
を、今後さらに進めることになる。

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 CO2 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术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 CO2 排出量は、2018 年には  $604 \times 10^6$  トンで、2017 年から 4.2% 増加した。この CO2 排出量は、全世界で排出される CO2 総排出量の約 1.8% であるが、今後と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。

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 CO2 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 ヶ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 CO2 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。

図 1-2-10 国際航空輸送における輸送量と CO<sub>2</sub> 排出量の推移



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 CO2 排

排出量の基準値を定め※2、2021年以降は各エアラインのCO<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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) 日本では2030年までに、機体のモデルチェンジに合わせ、装備品電動化に向けた技術、ハイブリッド電動化向け技術を確立する。2050年に向け、装備品市場拡大や、小型機(20人以下)における全電動化、リージョナル機以上のハイブリッド電動化に向けたコア技術の拡大、組立技術の確立を目指す。
- (b) Boeing 及び Airbus とともに、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ため、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) エアバスは実証機 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。2022年は、水素生産能力が6年で50倍になるという試算をもとに、各国でも開発プロジェクトを立ち上げる民間企業が相次いだ。
- (d) 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、大手航空会社が世界経済フォーラムの Clean Skies for Tomorrow Coalition に参画し「2030 Ambition Statement」に署名、2050年には、航空輸送における二酸化炭素の排出実質ゼロを目指している。Boeing は、2030年までに持続可能なバイオ燃料100%で飛行する目標を発表した。すでに、石油ベースのジェット燃料を純粋なバイオ燃料に置き換えた航空機で試験飛行を実施し、2018年フエデックス社と共同で、100%バイオ燃料を使用する初の商業飛行に成功した。日本では商用化が実現するのは2030年頃とみられている。

## (5) スタートアップ企業

環境問題への対応、あるいは移動の自由を大きく高める新しいエアモビリティへの期

待を受け、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新分野でスタートアップ企業との関係を深めている。

水素の分野では、2018年創業のZero Aviaが2020年に水素燃料電池を動力源とする6人乗りの航空機で飛行実証を行った。2023年1月に乗客19席のターボプロップ旅客機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。

電動航空機の分野では、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、2024年のサービス開始を予定している。2020年にはトヨタ自動車が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た。

Volocopter GmbHは2011年創業の独企業。2人乗りのVoloCityと約200kg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。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り、2023から2024年のサービス開始を予定している。2021年10月にはJALが最大100機を導入予約したことを発表した。

Vertical Aerospaceは2016年創業の英企業。5人乗りの「VAX4」を開発しており、2024年のEASAの型式証明取得を目指している。アメリカン航空、ヴァージンアトランティック航空や航空機リース会社のアポロン等から合計1350機、丸紅から最大200機の条件付き予約を受注した。なおJALは同機を最大100機購入またはリースできる契約をアポロンと締結している。

Lilium GmbHは2015年にドイツで創業し、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8月に発表している。

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。2020年9月にはCessna 337 Skymasterの改造機Electric EELにより、ハワイでの約600kmの試験飛行に成功した。

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製モーターを使用した航続距離約800kmの9人乗り電動航空機Aliceの飛行試験を実施した。コミュータータイプのAlice CommuterはCape Air 75機とGlobal

Crossing Airlines から 50 機、DHL Express から Alice Cargo を 12 機受注した。

#### 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、

- ① 2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 Part135 から大手航空会社と同様の FAR Part121 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 Part121 による安全管理が求められることになり、FAR Part135 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、コンピ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年率平均 5～10% で伸びた。しかし 2008 年には伸びが止まり、リーマンショックでは大きく落ち込んだ。

## (2) 機材の変遷

コンピ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ンピ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 世代コンピューター 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、それが当時のコンピ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 世代コンピューター、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 キロ)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クムピ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、Avro RJ (旧 BAe 146)、Fokker F70/Fokker100 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CRJ200や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。

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、リージョナル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やJetstream、Saab、Fokkerなどの欧州製の機材が運航されていること、また地勢的に米国ほどの大きさもないことから、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。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%、RPM45%、搭乗率58.4%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るが、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不足となり、運航回復の足かせとなっている。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FAAに出されたが、2022年9月19日にFAAにより却下されている。

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

#### (4) 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、MC-21 210機、SSJ-NEW 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	開発メーカー 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Aircraft 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型をストレッツチし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-2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	開発メーカー 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ERJ140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、爆発機能、メンテナンス・プログラム、スベ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、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、Stinson 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。

## (2) 現況

### a. 全般

2001 年の 9.11 同時多発テロ事件や 2008 年の金融危機(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、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、Textron の買収により、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 パンデミックによる景気後退、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パンデミック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	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ピストン 単発	908 (674)	986 (716)	946 (740)	890 (685)	936 (745)	952 (771)	1111 (825)	1155 (851)	1261 (890)
ピストン 双発	122 (80)	143 (72)	110 (43)	129 (33)	149 (41)	185 (58)	213 (58)	157 (31)	148 (15)
ターボ プロップ	645 (527)	603 (468)	557 (420)	582 (411)	563 (409)	601 (444)	525 (385)	443 (317)	527 (376)
ビジネス ジェット	678 (334)	722 (375)	718 (389)	666 (402)	677 (404)	703 (473)	809 (503)	644 (353)	710 (405)

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 2022 年第四四半期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、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 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 9 月には 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 年に以降新規製造を終了すると 2021 年 2 月に発表、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 3 月には同クラスの 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 5 日 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があるため、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 2 月に公表され、

2021年3月に初飛行、現在2023年半ばの型式証明取得に向け飛行試験中である。また2021年5月には、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ズボロに設立した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。

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が伸びていたが、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ンピ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キロメートルを

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 3 月 11 日に取得、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 Aircraft Inc. Meridian/M600	32	34	36	27	34	47	56	44	43	46
Textron Aviation Caravan	107	105	94	102	84	69	92	83	51	54
Textron Aviation 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 などの単発機を生産を再開した。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1,000機を切るまで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。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ペース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 Aviation Cessna 172 R/S	140	106	155	143	100	129	129	126	241	166
Cirrus Aircraft 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

### (3) 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	2021年	2042年	平均年成長率%
固定翼ピストン単発	123.1	101.9	△0.8
固定翼ピストン双発	11.9	11.0	△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	15.8	27.0	2.6
回転翼ピストン	2.9	3.3	0.6
回転翼タービン	6.9	10.2	1.9
Experimental	27.0	33.8	1.0
スポーツ	2.8	5.7	3.4
その他	3.8	4.6	0.7
計	204.4	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。

#### (1) 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広げている。'90年代に入り、グラスcock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始まった他、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始まった。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 Helicopter 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、コンピューター、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。

## (2) 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年以降は UH-72B の納入が予定されている。

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 Helicopter 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5日に採用機種は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。

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始まった。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30日には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

		2017	2018	2019	2020	2021
Airbus (百万ユーロ)	Total	66,767	63,707	70,478	49,912	52,149
	Airbus Helicopters	6,450	5,934	6,007	6,251	6,509
	%	10%	9%	8%	13%	12%
Leonardo (百万ユーロ)	Total	11,527	12,240	13,784	13,410	14,135
	Leonardo Helicopters	3,262	3,810	4,025	3,972	4,157
	%	28%	31%	29%	30%	29%
Lockheed Martin (百万ドル)	Total	51,048	53,762	59,812	65,398	67,044
	Rotary and Mission systems	13,663	14,250	15,128	15,995	16,789
	%	27%	26%	20%	24%	25%
Textron (百万ドル)	Total	14,198	13,972	13,630	11,651	12,382
	Bell	3,317	3,180	3,254	3,309	3,364
	%	23%	22%	23%	28%	27%

## 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。この種の高速度無人航空機は、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搜索する目的で 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になった。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ようになり、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搜索を行った。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く。

## (2) 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ー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 年度より初めての 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。

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。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の創出などがある。

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三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。

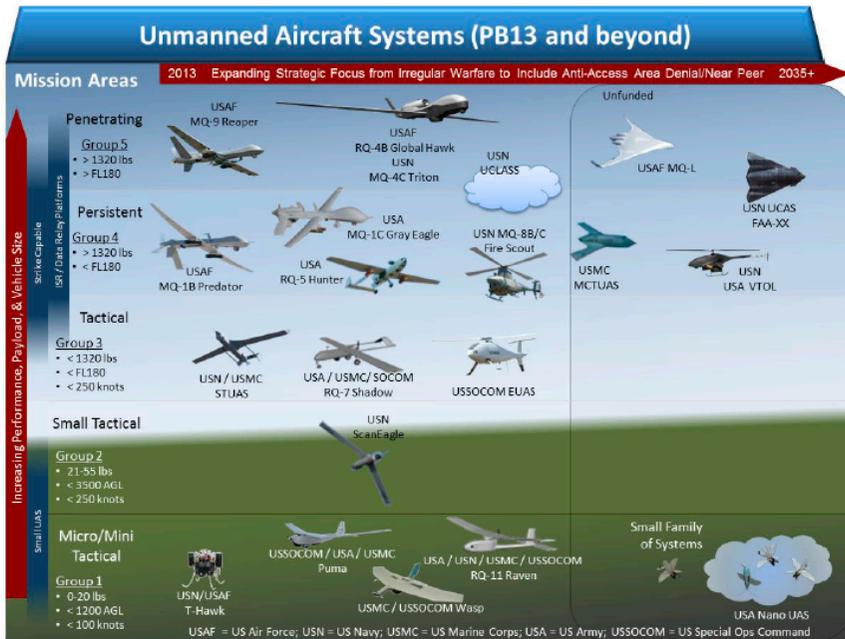
小型無人航空機に関しては、規則等制定を進めるとして、FAAは2015年に商用目的

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)

図 1-2-11 アメリカにおける代表的な無人航空機システム



出典：Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2017-2042

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。

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、地上装置やパ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Annex8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Annex8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* はパイロットの介入を許さない、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Annex2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



## 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よく、整備費は相対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。

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
General Electric	TF39	CF6	DC10、B747他
	F101	CFM56	B737-300他
	T700	CT7	Saab 340 他
	TF34	CF34	CRJ100他
UTC (Pratt & Whitney)	J52	JT8D	B727、DC9他
	F117	PW2000	B757他
Rolls-Royce	RB168	Spey 511-8	Gulfstream II & III
RR Allison	T406	AE2100	Saab2000他
		AE3007	ERJ 145
Honeywell	T55	ALF502	BAe146他

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2021年の売上高合計は図1-2-11及び表1-2-12に示すように、8兆2,260億円であった。世界3大エンジン・メーカーといわれるGE、P&W及びRolls-Royceの3社が全体シェアの67.2%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5.5%となっており、2021年度の売上高合計は4,500億円であった。なお、この集計にはロシア、中国のエンジン・メーカーの売上は含まれていない。

図 1-2-13 世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移(1)

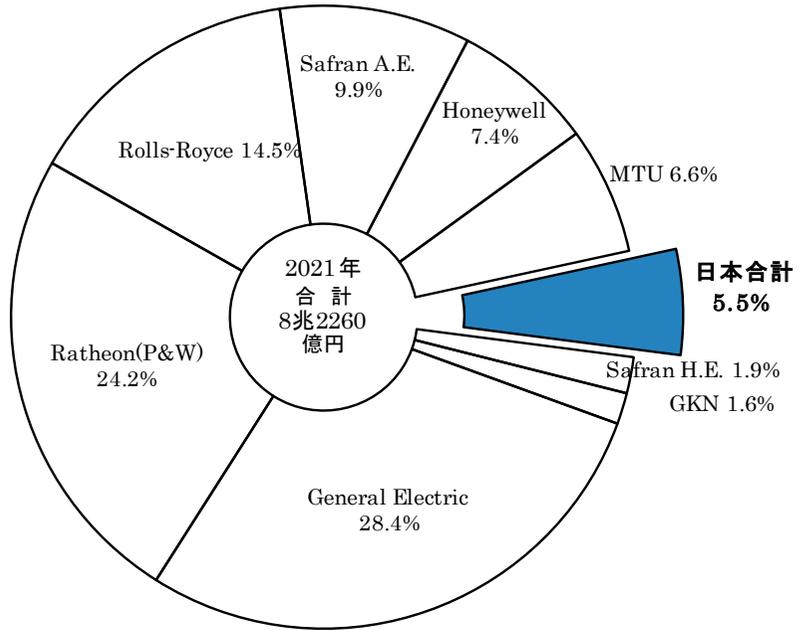
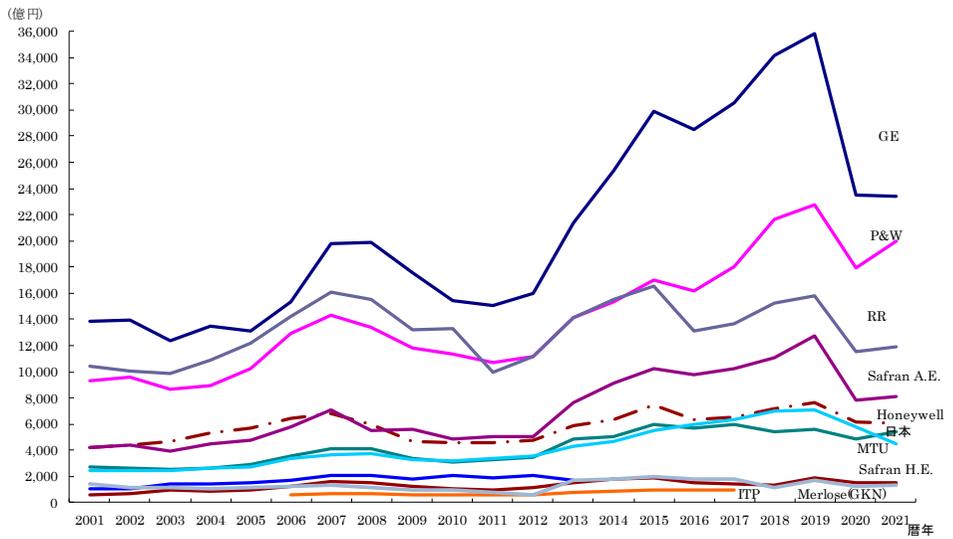


図 1-2-13 世界の主要エンジン・メーカーの売上高推移(2)



(各社アニュアルレポートによる)

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		
			売上高(百万ドル)	シェア(%)	売上高(百万ドル)																		
アメリカ	General Electric (GE Aviation)	売上高(百万ドル)	19,994	21,911	23,990	24,600	26,201	27,013	30,566	32,875	32,875	30,566	22,042	21,310									
		レート(円)	79.80	97.57	106.82	121.05	108.69	111.74	110.43	109.03	110.43	109.03	110.43	110.43	109.81								
	Raytheon Technologies (Pratt & Whitney)	売上高(百万ドル)	15,955	26.8	21,379	27.3	25,386	29.4	29,851	30.7	28,543	31.8	35,842	32.2	24,311	29.0	23,402	28.4					
		レート(円)	13,964	14,501	14,508	14,092	14,894	16,100	19,402	20,902	19,402	19,402	19,402	16,799	18,150								
	Honeywell (Engines)	売上高(百万ドル)	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	18,551	22.1	19,931	24.2	
		レート(円)	79.80	97.57	9,990	6,020	6,138	5,848	5,816	6,436	7,027	6,436	7,027	6,436	7,027	6,436	7,027	6,436	7,027	6,436	7,027	6,436	7,027
イギリス	Rolls-Royce	売上高(百万ドル)	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	6,374	7.6	6,054	7.4	
		レート(円)	8,849	9,246	152.52	174.25	184.92	184.92	146.78	134.87	147.34	139.13	147.34	151.07									
	GKN	売上高(百万ドル)	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	12,457	14.8	11,941	14.5	
		レート(円)	1,122	1,045	1,045	1,100	1,232	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346	1,346
フランス	Safran Aircraft Engines (旧Snecma)	売上高(百万ドル)	4,900	5,900	6,500	7,600	8,100	8,600	9,300	10,479	10,479	9,300	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479	10,479
		レート(円)	102.53	129.54	140.42	134.22	116.40	119.08	130.35	122.05	130.35	122.05	130.35	129.85									
ドイツ	MTU Aero Engines (旧Turbomeca)	売上高(百万ドル)	1,126	1,188	1,266	1,256	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266	1,266
		レート(円)	102.53	129.54	140.42	134.22	116.40	119.08	130.35	122.05	130.35	122.05	130.35	129.85									
イタリア	Avio	売上高(百万ドル)	3,243	3,574	3,914	4,435	4,733	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036	5,036
		レート(円)	102.53	129.54	140.42	134.22	116.40	119.08	130.35	122.05	130.35	122.05	130.35	129.85									
韓国	Yanoo Aero	売上高(百万ドル)	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219	5,219
		レート(円)	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78	11.78
スペイン	ITP	売上高(百万ドル)	581	627	650	710	780	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
		レート(円)	102.53	129.54	140.42	134.22	116.40	119.08	130.35	122.05	130.35	122.05	130.35	129.85									
日本	世界合計	売上高(億円)	59,497	100	77,769	100	86,444	100	97,276	100	89,169	87	95,318	106	106,691	102	111,202	100	84,051	100	82,200	100	
		売上高(億ドル)	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615	10	615

(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 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 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 エンジンを提供している。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 Raytheon Technologies) 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 に名称変更して、2007 年に三菱航空機のリージョナルジェットである Mitsubishi SpaceJet に採用された。このエンジンは従来エンジン比で 10% 以上の燃費低減や騒音レベルの改善を狙っている。

その後、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) プログラム等にも採用された。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	P & W	H o n e y w e l l	(旧 H a m i l t o n T e c h n o l o g i e s ( S u n d s t r a n d )	P & W C a n a d a	R R	(旧 G K N V o l v o ( A e r o )	(旧 S n e c m a )	S a f r a n A i r c r a f t E n g i n e s	M T U	R R d e u t s c h l a n d	A v i o	(旧 T e c h s p a c e A e r o )	S a f r a n A e r o B o o s t e r s	I T P	日 本 航 空 機 エ ン ジ ン 協 会	I H I	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	ベル ギー	ス イ ス	日本											
General Electric (GE)	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 (P&W)	JT8D-200シリーズ	R	○						○		○											○
	JT9D	R	○								○											△
	PW2037/2040	R	○						○		○										△	△
	PW4000シリーズ	R	○						△		○				○	○					△	○
	PW6000	R	○								○											△
	PW1200G	R	○				○				○										△	○
	PW1500G	R	○								○										△	○
	PW1700G	R	○								○										△	○
PW1900G	R	○								○										△	○	
Rolls-Royce (RR)	Tay 620/650	R							○	○												
	RB211-524B/C/D	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

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)	2023年1月現在			
					搭載機種			
推力4万ポンド以上	General Electric (GE)	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			
	Pratt & Whitney (P&W)	Pratt & Whitney (P&W)	GE9X	100,000	(2020)	B777X		
			PW4000シリーズ	52,000～62,000	1986	B747, B767, A300, A310, MD-11		
			PW4168	64,000～68,000	1993	A330		
	EngineAlliance(EA)	EngineAlliance(EA)	PW4084/4098	84,000～98,000	1994/1996	B777		
			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			75,000～95,000	2013	A350			
P&W			PW2037/2040	37,250～43,000	1983/1987	B757		
	RR	RB211-535E4	37,400～43,100	1983	B757			
CFMI	CFMI	CFM56-5C	31,200～34,000	1991	A340-200/300			
	IAE AG	V2500-A1	25,000	1988	A320			
推力1万 ～3万ポンドクラス	IAE AG	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		
	CFMI	CFMI	PW1400G-JM	24,000～33,000	2016	MC-21		
			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	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	(2022年以降)			E175-E2			
PW1900G	～23,000	2017			E190-E2, E195-E2			
GE	CF34-8C/E	12,600～14,000			1999	CRJ700/900, EMBRAER 170		
PowerJet	PowerJet	CF34-10E	18,500	2004	EMBRAER 190			
		CF34-10A	18,500	2010	ARJ21			
		SaM146	13,500～17,500	2010	Superjet 100			
		RR	Tay620/650	13,850～15,400	1986	Fokker70/100		
		RR	BR710	14,750～15,500	1996	Gulfstream V, Global Express		
		Deutschland	BR715	18,750～21,000	1998	B717		
推力1万ポンド以下	Honeywell	ALF502	7,000	1980	Bae 146			
		LF507	7,000	1992	Avro RJ			
		AS900	7,000～7,900	2001	Avro RJX			
		TFE731	3,500～5,000	1972	各種ビジネスジェット			
		GE/Honeywell	CFE738	6,000	1993	Falcon 2000		
	P&WC	P&WC	GE	CF34-3A1/3B1	9,200	1991/1995	Challenger 601/604, CRJ100/200	
			RR Allison	AE3007	6,500～9,000	1995	ERJ 145, Citation X	
			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。2022年には世界で188回の打上げが行われ(有人飛行7回及び失敗8回も含む)、史上最多2,370機(内Starlink衛星1,690機、Oneweb衛星110機)の衛星が軌道に投入された。(打上げ失敗は米国3回、中国2回、欧州、インド、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 (SSL)、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SSL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、同年L3HarrisがAerojet Rocketdyneを買収することを発表した。また、Maxar Technologiesも投資会社Advent Internationalによる買収が発表された。

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。

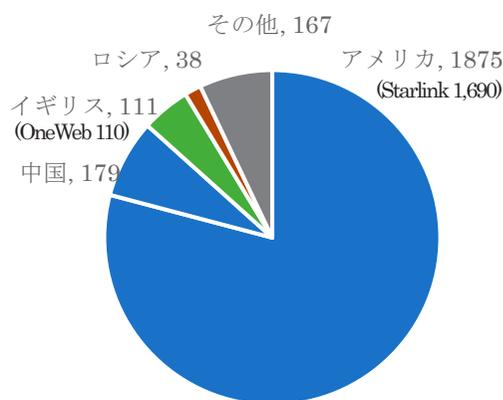
近年は、米国中心に民間 IT 企業等異業種企業/その創始者がスタートアップ会社を立上げ宇宙分野への進出する動きがあり、宇宙産業界の新たな潮流となっている。

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、打上げについても 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。

2022 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 2021 年を上回る 188 機打上げられた。有人宇宙活動においては、米国主導で進められている有人月探査計画「Artemis 計画」で、大型ロケット SLS (Space Launch System)の初号機が打上げられ、搭載された無人の Orion 宇宙船は順調に飛行し、地球に帰還した。また中国は、自国の宇宙ステーション(CSS)を完成させた。2022 年は、ISS 以外の新たな有人宇宙活動の礎が出来上がった年と考えられる。

#### (1) 人工衛星

2022 年には 180 回の打上げが成功し、2021 年より数で 35%増えた 2,370 機の人工衛星が軌道に投入された。2022 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。また、中国の測位衛星「北斗」(Beidou)も 2 機が打上げられた。国別に見ると、米国が 1,875 機(内 Starlink 1,690 機、Flock 44 機、Lemur 11 機)と群を抜いており、以下中国 179 機、英国が 111 機(内 Oneweb 110 機)、ロシア



軌道投入された人工衛星数 2022年

38機、日本が6機(全機ともに軌道投入に失敗)となっている。

測位衛星は、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。日本の準天頂衛星システムと「北斗」は 2018 年からサービス提供中である。米国では次世代システム GPS III が 2018 年から打上げられている。Galileo 衛星は 2021 年 12 月に 2 機が打上げられ、ロシアは Glonass を 3 機(第 2 世代 M: 1 機、第 3 世代 K: 2 機)打上げた。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 2022 年も 10 機強の地球観測衛星を打上げている。科学衛星の分野では、日本の「はやぶさ 2」が小惑星 Ryugu へのタッチダウンとサンプル採取に成功し、2020 年に地球へ持ち帰った他、米国の OSIRIS-Rex も小惑星 Bennu に到達し、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 日に地球に戻る予定である。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 年に打上げられ、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 11 日に打ち上げられた。

小型/超小型衛星コンステレーションに関しては、ICEYE の ICEYE にある、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 が鉤を使った方法、2021 年 8 月には 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。

## (2) ロケット

2022 年には 180 回のロケット打上げに成功した。国別には中国は 62 回、米国の 76 回には下回ったが、ロシアの 21 回を上回った。米国では SpaceX の Falcon 9 が昨年(31 回)のほぼ倍 61 回打上げた他、Rocket Lab の Electron が 9 回、Atlas V が 7 回、Astra と Antares が各 2 回、Minotaur と Delta 4 とが各 1 回の打上げに成功した。この打上げ

のうち、8回（米国3回、中国2回、欧州、インド、日本1回）の打上げが失敗している。米国、中国の5回の失敗は全てスタートアップ企業の導入間もないロケットである。また、NASAは大型ロケットSLS (Space Launch System)の初号機が11月16日に打上げられた。

日本では、2021年にはH-IIAロケットの打上げはなく、Epsilon打上げは失敗した。

### ③ 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2月、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。2022年には2回のSoyuzと3回のCrew DragonによるISSへの乗組員打上げに成功した。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16日にSLSロケットで無人フライトを行い、12月11日に地球に帰還した。2024年以降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社の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年にはCrew-2/-3の打上げに成功し、2022年はCrew-4/-5を打上げた。Boeing社の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年から開始し、2022年に完成させた。2021年10月に打ち上げた「神舟13号」から長期滞在が開始された。

日本も 2022 年 12 月 23 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 7 月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 7 月、10 月、12 月に 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 9 日から 4 月 26 日の間で Crew Dragon による民間人の ISS 滞在(Ax-1)を行った。

#### (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 2022 年 12 月 23 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。新たに 2021 年 6 月には米国、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 17 日に宇宙作戦群に改編、防府北基地に衛星妨害状況把握装置を運用する第 2 宇宙作戦隊 2023 年 3 月に新編する予定である。

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。

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)

	2017		2018		2019		2020		2021	
	(*)	(億円)								
日 本	3,062	3,421	3,257	3,597	3,005	3,276	3,099	3,355	3,500	3,844
アメリカ	43,344	48,433	48,308	53,347	47,169	49,527	51,805	56,084	59,800	65,669
ESA	4,620	5,501	4,228	5,589	4,228	5,160	5,212	6,315	5,328	5,851
フランス	1,500	1,786	1,470	13,439	933	1,138	1,305	1,582	1,269	1,393
ドイツ	891	1,061	1,031	13,439	1,366	1,667	1,205	1,460	1,184	1,300
イタリア	471	561	630	821	341	413	214	259	423	464
イギリス	132	178	179	261	157	218	90	128	145	160

出典：The Space Report 2022(Space Foundation)

(\*)単位：アメリカ：M\$、日本：M\$、仏・独・伊：M€、英国：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、ソ連のロケットは主にロシア、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(ELV: Expendable launch vehicle)が開発・運用されている。

ウクライナの Zenit は最新の ELV 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参入を果たしたが、2022年のロシアのウクライナ侵攻により、ロシアに打上げ運用を依存しており継続は困難な状況である。

なお、ロシアは2001年に Proton M の初打上げ、2004年は Soyuz2 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 Soyuz2(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 Soyuz2 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る。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。2022年現在、従来の Baikonr、Plesetsk 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 TitanII 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ることになった。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。

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上げるロケット(The Ares V Cargo Launch Vehicle: 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社(CST-100)及びSpaceX社(Crew Dragon, DragonV2)が選定された。その後、SpaceX社のCrew Dragon、Boeing社の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16日に、SLS初号機で上げられた無人のOrionは順調に飛行し、12月11日に地球に帰還した。SLSの搭載能力は130t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がノルウェー、ロシア、ウクライナの海外三社と共同出資で人工衛星打上げ会社Sea Launchを設立し、商業衛星を上げていた(現在はロシアS7グループ傘下)。ILS(International Launch Services)は95年にLockheed Martin(LM)と露Khrunichev及びRSC Energiaとの合弁で設立され、現在はKhrunichevの子会社である。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Pegasus、Minotaur及びTaurusなどがある。

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。2015年の19号機失敗により打上げを中断し、同年打上げが再開されたが、2016年には29号機が打上げ前に射点で爆発し、搭載衛星も損失した。2017年に原因究明を終え打上げが再開された。ロケット再使用のための1段回収実験が行われ、2015年に初成功した。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に代り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に引き下げる構想を掲げている。また、欧州Astrium(現Airbus)とSpaceXは、2010年にFalcon 1による欧州打上げ市場開拓で協力することで合意したが、Falcon 9、Falcon Heavyの開発製造に注力することとなり、現在Falcon 1製造は終了している。他、更に大型なStarshipが開発されており、上段の離着陸試験が進められ、2023年の初打上げを目指し最終段階に入っている。

近年は、Astra、FireFly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。

### 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る各種のファミリーを取り揃え、商業目的を徹底的に追求し、低コストでの衛星打上げ事業に成功して世界の商用衛星打上げ市場の過半数を占めるまでに至り、Ariane 5は2022年には3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、2023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。

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。Arianeロケットは累計259機打上げて

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 Spaziale Italiana: ASI)及びイタリア AVIO を中心に 3 段式の固体ロケット Vega ロケットを開発、初号機を 2012 年に打上げ、改良型 Vega C 初号機を 2022 年 7 月 13 日には打上げに成功した。2022 年 12 月 20 日 Vega C 2 号機は 2 段の不良により打上げが失敗した。

#### d. 中国

中国は'70 年に初の人工衛星「東方紅」を長征(Long March)1 号ロケットで打上げて以来、2 号、3 号、4 号と開発を進め、'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。現行ロケットは、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 号、6 号、7 号などの次世代ロケットを同時並行に開発して、中小型ロケット長征 6 号は 2015 年、大型ロケット長征 7 号と超大型ロケット長征 5 号は 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 号は 2020 年に初打上げに成功した。一方改良型の長征 5 号 B (2017 年)、長征 7 号 A (2020 年)は打上げに失敗した。長征 5 号 B は 2020 年に打上げに初成功し、CSS のモジュール打上げに利用されている。長征 7 号 B 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、2022 年末までに累計 400 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)「天宮号」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 100kg 級衛星用に、移動式中距離弾道ミサイル(IRBM)東風 21 号を商業用に転用した 4 段式固体ロケット開拓者 1 号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 号を改良した全段固体の長征 11 号を開発し、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 号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、米国の Saturn V ロケットを超える搭載量 130t の打上げ能力を持つ長征 9 号の開発を計画しており、2030 年頃の初フライトを予定している。中国の民間企業 LandSpace は、2018 年に朱雀 1 号ロケットを打上げたが、搭載衛星の軌道投入に失敗した。

#### 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。しかし 2003 年に 6 号機打上げに失敗し、固体ロケットブースターの設計を一部変更し、2005 年に打上げを再開した。その後連続して国内衛星打上げに成功し、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。2013 年にはカナダの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 ロケットの能力を增強した 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(MHI)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。2021 年 12 月に H-IIA 45 号機で第 6 世代通信衛星「Inmarsat-6」を打ち上げ、2023 年 1 月に H-IIA 46 号機で情報収集衛星レーダ 7 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 月に打上げたが 2 段エンジンが作動せず失敗した。

科学観測用の中型・小型衛星打上げ機である M-V ロケットが 2006 年に廃止され、後継として新型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。Epsilon ロケットは、モバイル管制の採用、オペレーション期間の大幅な短縮を実現し、今後の小型衛星の打上げが期待されている。一方、2022 年 10 月 2 日に打上げた 6 号機は失敗した。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。併せて民間移管と国際競争力強化の為にイプシロン S を開発中である。

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 MOMO3 号機は 2019 年に打上げに初成功した。そして 2021 年 7 月に 6 号機、7 号機

の打上げに成功した。また、民間小型ロケット スペースワンのカイロス(Kailos)ロケットについては、2023年夏を目指すとのプレスリリースが2023年2月にあった。

#### 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。GSLV Mk III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。GSLV Mk III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。2022年10月23日にはNSIL(NewSpace India Limited)がOneWeb衛星36機を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。また、イランは2009年にSafirロケットにより国産衛星Omidを地球周回軌道に投入した。

この他、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 Vehicle)-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100kg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て、2018年、韓国初の純国産ロケットヌリ(Nuri, KSLV-2)号に搭載する液体燃料エンジンの性能検証用試験用ロケット打上げに成功し、2021年10月21日にKSLV-2 1号機を打上げた。

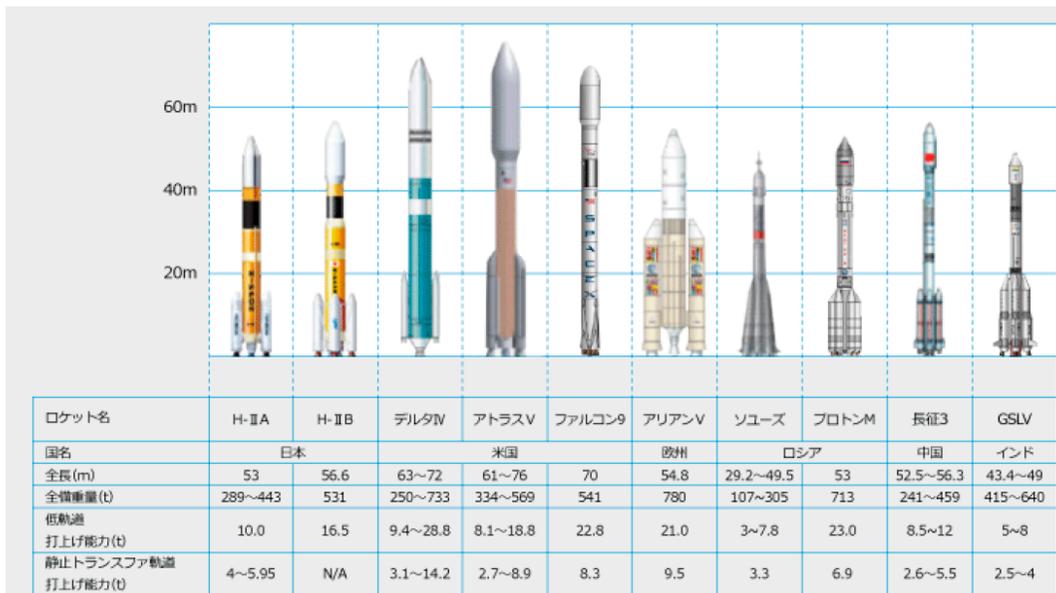
ブラジルは、'70年頃から観測ロケットの開発を行い、Sondaシリーズ、VSシリーズを経て、2004年にVSB-30を打上げている。衛星打上げ用ロケットについて

は、'80年から低軌道に約200kg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。

この他に、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年には2度回収に失敗)

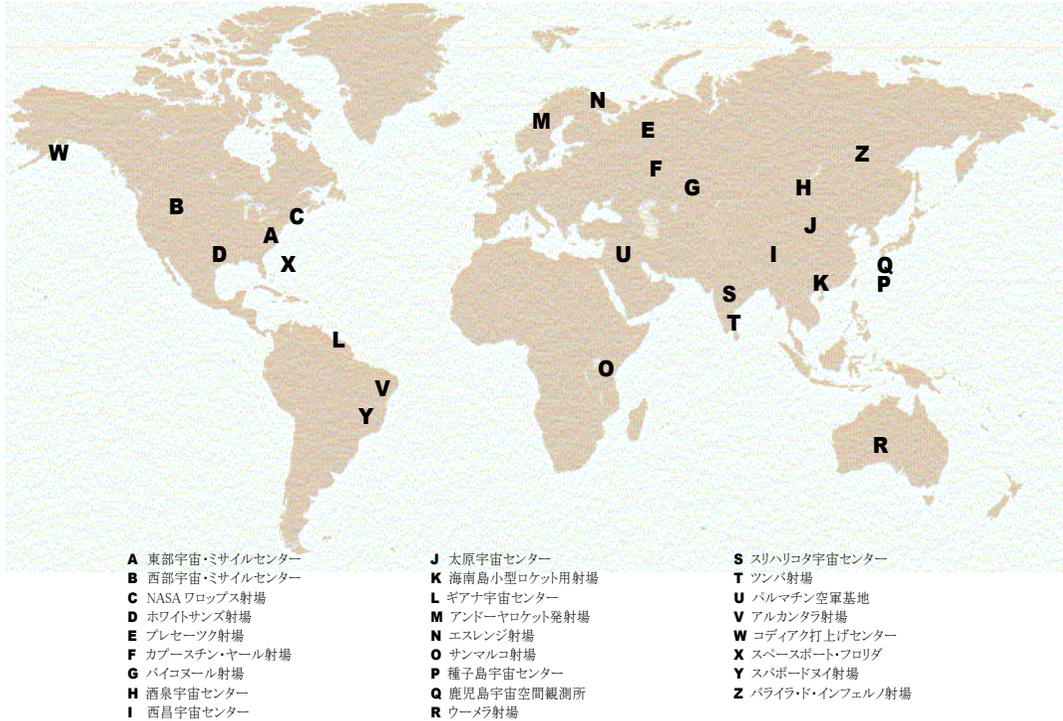
世界の主な人工衛星打上げロケットを図1-3-1、主な打上げ射場を図1-3-2に示す。

図1-3-1 世界の主な人工衛星打上げロケット



出典：JAXA

図 1-3-2 世界の主な打上げ射場



出典：JAXA

## (2) 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では米国の Space Shuttle が運用されていたが、'86年の Challenger 爆発事故、2003年の Columbia 大気圏再突入時の空中分解事故の運用中断があった。Discovery で史上初の機体修復(機体からはみ出したタイル隙間充填材の除去)も実施し、打上げ時の外部燃料タンクからの断熱材脱落や耐熱タイル一部剥落などの問題解決後、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16日に打上げ無人フライトを成功させた。2024年以降に有人での初フライトを予定している。

また、NASA の C3PO (Commercial Crew and Cargo Program Office) 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 2015 年に 2 回目の試験飛行を行い、高度約 100km からの推進モジュールの回収に成功し、別に分離されたクルーカプセルは予定通りパラシュートでの緩降下に成功した。2017 年には試験 3 号機が人体への影響を確認するためにマネキンを搭載して打上げと回収に成功した。その後、2021 年 7 月に初の有人飛行に成功後、10 月、12 月 1 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。

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19日に打上げられ、翌日ISSへのドッキングが成功し、25日には米陸軍のホワイトサンズ・ミサイル実験場に無事着陸した。

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。

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。

また、ESAの宇宙往還機HermesやドイツのSänger 2についても'90年代前半に計画中止となった。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往還システムを2023年に実験を予定し、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宇宙機HTV-Xを2016年から開発、H3ロケットで技術実証機を2024年打上げ予定である。

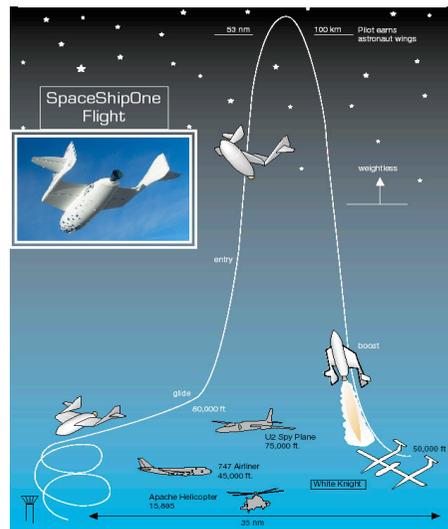
中国は長征2FTロケットで2020年と2022年に再使用型軌道上サービス機の試験機を打上げ、陸上で回収したと新華社通信が報じている。

### (3) 宇宙旅行用宇宙船

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

図 1-3-3 SpaceShipOne 飛行経路



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の次回飛行許可を得るために協議中である。

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9月に行った。単独での往還の他、ISSへの有人宇宙旅行を2022年4月9日から26日まで実施した。

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12月8日から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。

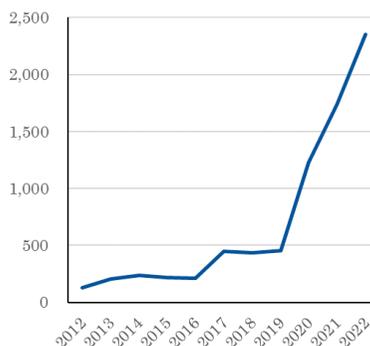
表1-3-2 主な宇宙旅行(計画または実施中)

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 11,000 機を超えているが、アメリカとロシア(旧ソ連含む)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



2022 年には 180 回の打上げが成功し、合計で 2,370 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、2022 年も通信衛星の OneWeb や SpaceX Starlink、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 4 月にターゲットの 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。

これ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、Starlink1,690 機、英国打上数には Oneweb110 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)

年	国	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)

年	国	欧 州 (1)															
		イギリス	イタリア	フランス	ドイツ	仏/独 仏/伊	スぺイン	オランダ*	チェコ	ギリシャ	スイス	スウェーデン	ノルウェー	オランダ フランク	ポルトガ ル	ハンガリー	デンマーク
1957～70		5	2	7	2												
1971～80		7	3	11	4	2	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	1	2
2018		1				1	4			1			1			4
2019		2		1	2											2
2020				1	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	ハンガリア/デジャ	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	80	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
2019	1	73	9	1			2	6			1	1							1	1			1
2020		71	3						2		1												2
2021		99	1					2	1		2												6
2022		177	10				2	1	8					1									1
計	6	860	126	21	6	2	16	19	43	2	14	6	3	10	1	2	1	1	1	1	1	1	39

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												
	カナダ	ブラジル	メキシコ	チリ	コロンビア	エクアドル	アルゼンチン	ベネズエラ	ペルー	ボリビア	ウルグアイ	コスタリカ	グアテマラ
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					
	エジプト	サウジアラ ビア	UAE	クウェート	イラン	カタール	イスラエル	トルコ	ヨルダン	南アフリカ	モロッコ	アル ジェリア	ナイ ジェリア	ガーナ	アングラ	ケニア		エチオピア	スーダン	チュニジア	ルワンダ	
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	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。2020年 Intelsat は Chapter 11 を申請した。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 カ国である。'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。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 カ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	IVA	V	VA	VI	VII	VIIA	IX	X	Epic (Intelsat-296)	Epic (Intelsat-292)
姿勢安定方式	シガル舵ン	シガル舵ン	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)	テュム舵ン (テムウツワナ)
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	1825 / 1470	4725kg	5500kg	LaunchMass 6600kg	LaunchMass 6000kg
電力(W) BOL/EOI	45 / 40	100 / 85	178 / 131	- / 454	1725 / 1221	1742 / 1241	1742 / 1241	- / 2100	3900 / 3531	3900 / 3531	- / 4800	- / 4800	- / 4800	-
伝送容量 (等価電話回線数+TV チャンネル数)	240 or ITV	240 or ITV	240 or ITV	400 +2TV	6000 +2TV	12000 +2TV	15000 +2TV	24000 +3TV	18000 +3TV	18000 +3TV	25000 +3TV	C:70 K:36	C:24 K:246	K:81 K:32
設計寿命(年)	1.5	3	5	7	7	7	7	13	15	15	13~19 (燃料寿命)	13	15	19
初号機打上年	1965	1966	1968	1971	1975	1980	1985	1989	1993	1995	2001	2004	2016	2017
打上機数	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)	6	3 (失敗1)	7	1 (10+02)	4	1
経費 (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(SSL)	Space Systems Loral(SSL)	Hughes	SSL	SSL	Lockheed Martin	Astrium	Boeing (702MP)	AMS (Eurostar3000)

’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ている。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り、特に直接衛星放送が大きな伸びを示し、最近ではデジタル多チャンネル放送が成功を収めている。またインターネットやデータ通信などマルチメディア通信に対応するために大容量高速衛星通信システムが運用されている。

欧州地域では49カ国が加盟する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。

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 Space & Communications 及び Canada's Public Sector Pension Investment Board 傘下)が 13 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 16 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 カ国が加盟する 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 8 日には 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立ち上っており、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、2022年は10機となった。TASが6機、ADSが2機、Maxarが2機、Boeingが1機と欧州勢が多く契約した。また、小型静止通信衛星としては、GapSat(米)やOvzon(スウェーデン/米)、Astranis(米)に続き、Swissto12が小型静止衛星を開発し、2022年は1機の新規契約を行った。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。

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			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 LatinAm	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
アルゼンチン/ARSAT	-D2	Maxar	1300	28	24	X,Ka	2021
	ARSAT-1	INVAP/TAS	ARSAT-3K bus		24		2014
アルゼンチン/ARSAT	-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

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
ギリシャ/ Hellas-Sat	-7	Maxar	1300		11	Ka	2015
	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
UAE/Al Yah Satellite Communications	-6A	LM	A2100A		○	Ka	2019
	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
Qatar/Eshailsat	3	NG	GeoStar-3			Ka-53(58) GW:4	2018
	Es'hail-1 (Eutelsat-25B)	Maxar	1300		32	Ka-14	2013
トルコ/Türksat AS	-2	三菱電機	DS2000		24	Ka-11,S/X	2018
	Türksat-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
アゼルバイジャン/Azercosmos	5B	ADS	Eurostar3000EOR		○	Ka	2021
	Azerspace (Africasat 1a)	NG	GEOSat-2	24	12		2013
カザフスタン/JSC KazSat	-2 (Intelsat38)	Maxar	1300		35		2018
	KazSat 2	Khruichev	Yakhta		16+4(TV)		2011
トルクメニスタン(Turkmen hemrasy) /モナコ(Monaco S.A.M.)	3	ISS Reshetnev	Ekspress-1000		28		2014
	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		
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 (PStar-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/宇宙庁	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 -4 (Merah Putih)	TAS Maxar	Spacebus 4000B2 1300	24+8 60	10		2017 2018
インドネシア/PT BRI	BRI-sat	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 -2	LM LM	A2100A A2100A	8	12 24		2008 2012
シンガポール/SingTel 台湾/Chungwa 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				
	10	CAST	DFH-4	30	16		4k/8k ビデオ 2021
	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:モバイルベイロード 2016
02	CASC	DFH-4				S:モバイルベイロード 2020	
03	CASC	DFH-4				S:モバイルベイロード 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
	JCSAT 1C (18),(Kacific 1)	Boeing	701MP		○	Ka HTP(56 Spot)	2019
日本/スカパーJSAT	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
	BSAT-3a	LM	A2100A		12		2007
日本/放送衛星システム	-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(CSAT-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			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	Alphasat			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

## (2) 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11月に 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 TerreStar Networks (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カ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 Comunicaciones 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19日に打上げた Eutelsat KONNECT

VHTS では 500 GBps の通信容量を備えている。日本においても技術試験衛星 9 号機 (ETS-9)を開発中である。

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構想されている。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。

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 機の改良型衛星を上げた。2022 年には第 2 世代である O3b mPOWER を上げた。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。

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衛星システムを表 1-3-6 に示す。

### (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ッジが全地球の 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。

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)	O3B Network	OneWeb	SpaceX
衛星メーカー	OSC	SNC	TAS/Orbital ATK(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)	32	16	648	約12000~42000
衛星重量	40 kg	172kg	860 kg	700 kg	700 kg	<150kg	約220kg
発電力	160w	400W	2200w	1700w	1500W	(不明)	(不明)
衛星高度	825 km	750km	780 km	1414 km	8062km	約1200km	約340km 約550km 約1150km
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 (@550km)
打ち上げ年月	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)	Ka	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 downlink:4.8kbps		2.4kbps(音声) 64kbps(データ)、512 kbps max.	1.2-9.6 (38.6max.) (音声/データ)	10.5Gbps/sat	8Gbps/sat	~20Gbps/sat

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 278Mbps 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。

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、2023 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/-2b)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/-3b)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100ch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100ch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カ国以上に達した。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。

#### (5) 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へ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)がなされていたが、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、2022年12月時点で計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。2022年12月時点では運用中22機、試験中が1機、メンテナンス中が3機と合計26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 12 月に 2 機の FOC 衛星の打上げに成功した。2021 年 12 月時点では 22 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。2022 年 12 月時点で北斗衛星が 49 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 10 月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,L EX),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	ADSTAS	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 L1,L2,L3, L5	2003-
	Glonass-K1	NPO Lavochkin			2011-
	Glonass-K2	NPO Lavochkin			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-

## (6) 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6月には、中国の FY-4B、7月には中国の FY-3E が、2022年3月1日に 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 (ウェザーニューズ)	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	2017	
	Suomi-NPP	(BCP-2000)	2011	
	JPSS-2	NG(LEOSTar-3)	(2022)	極軌道
米国・台湾 (NOAA,NPSO/NARL)	FormoSat-7(1-6)	SSTL	2019	コンステレーション
	/ COSMIC-2(1-6)			
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 VNIEM	2014	極軌道
	Meteor-M 2-2		2019	
	Elektro-L2	NPP VNIEM	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2022年には Planet の Flock が44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、全地球的なり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。2022 年 12 月の時点では、7 機の Sentinel 衛星が運用中である。

英国の SSTL と BNSC は、6 カ国コンソーシアム(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 年に運用を終了した。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)が、ALOS-2 後継のだいち 4 号(ALOS-4)が 2023 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 1 月「いざなみ」(QPS SAR-2)を上げた。Synspective の StriX-1 が 2022 年 9 月 16 日に打上げられた。

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)を上げ、パナクロマチックで解像度 61cm、マルチスペクトルで 2.44m 解像度の画像を取得している。2007 年にはパナクロ分解能 50cm の WorldView-1 を上げ、2009 年には WorldView-2 を上げている。周回軌道は、傾斜角 98°の太陽同期軌道で高度は約 450km 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

となるパナクロ分解能 31cm 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 25cm 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 gyroscope 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 25cm 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 1.8m 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 の 5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。

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)	温室効果ガス観測	2009			
		だいち2号(ALOS-2)	LバンドSAR, 1.3m	2014			
	NEC	いぶき2号(GOSAT-2)	温室効果ガス観測	2018			
		しずく(GCOM-W)	降水量、水蒸気量、海洋上の風速や水温、陸地の水分量、積雪深度等	2012			
		しずく4号(GCOM-C)	多波長光学放射計	2017			
		ASAR0	パンクロ解像度0.5m	2014			
		-2	高性能小型SAR	2018			
		アタセルスペース	GRUS-1 A-E	アタセルスペース	パンクロ解像度2.5m、マルチ分解能5.0m(GRUS-1Dは「しずく」と同一)	2018~	
		キャン電子	CE-SAT-1	キャン電子	パンクロ解像度1m	2017	
		-2			解像度5m	2020	
iQPS	イザナi(QPS SAR-1)	iQPS	高性能小型SAR	2019			
米国	NASA	LANDSAT 8	NG/Ball Aerospace	地球画像、解像度15mのセマティック・マップ	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)		大気の状態と雲の観測、雲と温室効果の関係に関するデータ	2002		
		SORCE	NG	太陽放射と気候の関連を観測	2003		
		Aura (EOS-C/H1)		地球環境、気象変動の観測	2004		
		Cloudsat			2006		
		NPP(Suomi NPP)	Ball Aerospace	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	NASAGPL	高層大気観測	2015/2021		
		GRACE-FO 1/2	NASAGPZ	重力測定	2018		
米国	MAXAR(DigitalGlobe)	Sentinel-6(MichaelFreilich)	ADS/TAS	海面レベル測定	2020		
		WorldView-1		パンクロ解像度0.5m、マルチ分解能2m	2007		
		-2	Ball Aerospace	パンクロ解像度0.5m、マルチ分解能1.8m	2009		
		-3		パンクロ解像度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		
		SkySat	Planet, Maxar	光学画像、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 Sciences/Orbital	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	
		米/仏	NASA/CNES	Calipso		商用SAR画像衛星(112kg)	2020~2022
Jason-3	TAS			気象(雲、エアロゾル、大気)	2006		
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	2016		
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)		磁場観測	2013
				Sentinel-1A		CバンドSAR、分解能5m、1Bは2022年運用終了	2014~
				-2A/2B	TAS	マルチスベクトル光学センサ	2015~
				-3A/3B	ADS	海洋観測衛星	2016~
				-5P	ADS	大気観測	2017
		SMOS	TAS	土壌水分/海水塩分観測	2009		
		SARAL	CNES/ISRO	レーダー高度計、風速、波浪、気候に依る観測	2013		
		SPOT 6/7(Azersky)		解像度2mによる地球観測	2012/2014		
		仏	(CNES)	Pleiades 1A/B	ADS	高解像度カメラによる地球画像取得(パンクロ解像度0.5m)	2011/2012
Pleiades NEO 3/4				高解像度カメラによる地球画像取得(パンクロ解像度0.3m)	2021		
CSO-1/2				軍事偵察衛星(光学)	2018/2020		
Cosmos-SkyMed-1~4	TAS			地球観測(軍事一般用途用)、XバンドSAR	2007~2010		
PRISMA	Carlo Gavozzi 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(軍事一般用途用)、XバンドSAR	2019/2021		
SAR-Lupe-1~5	OHB			軍事SAR観測、Xバンド(分解能1m)	2006~2008		
Terra SAR-X	ADS			XバンドSAR、分解能1m	2007		
TandEM-X				Terra SAR-Xとの編隊飛行	2010		
独	(DLR)			BIRoS	Kayser-Threde GmbH	大気観測衛星	2016
		DMC2		災害監視	2009		
		SSTL-S1 4	SSTL	災害監視	2018		
		DMC 3-1~3 (SSTL-S1 1~3)		災害監視	2018		
		DM5		災害監視 (パンクロ2.5m、マルチ5m)	2009		
		2		75cm	2014		
		PAZ	ADS	XバンドSAR観測	2018		
		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-DC1/C2/C3/C4/C5			UTIAS SPL	温室効果ガス測定衛星(15kg)	2016~	
(Roskosmos/NTs OMO)	Resurs-DK			TsSKB Progress	Civilian/Military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	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				軍事偵察衛星(光学)	2015		
BARS-M #2	TsSKB-Progress			軍事偵察衛星(光学)	2016		
BARS-M #3				軍事偵察衛星(光学)	2022		
(不明)	Geo-IR 2-2	ISS Reshetnev	湖地衛星	2016			
(不明)	Geo-IR 2-3		湖地衛星	2019			
(Roskosmos)	KANOPUS-V-IR	NPO VNIIEM	大気探知	2017			
KANOPUS-V-1, 3~6		2.5mパンクロ	2017/2018				
インド	(ISRO)	Cartosat-1(IRS-P)		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	ISRO	同上	2008~2018		
		3		光学(パンクロ0.25m、マルチ)、ハイパー	2019		
		RISAT-2B/2BR1/2BR2		レーダーイメージング	2018/2020		
		Oceansat-2		海上監視	2009		
		Oceansat-3	ISRO	海上監視	2022		
		Resourcesat-2/2A		地球画像、自動船舶識別	2011/2016		
		(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(マルチスベクトル光学センサ)	2016
EROS B1				0.7m分解能	2006		
EROS C3				0.3m分解能	2022		
Ofeq 5					2002		
7	IAI				2007		
8(TecSAR1),10(TecSAR2)				軍事偵察	2008/2014		
9					2010		
11,16					2018/2020		
UAE	(EIAS)			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	KAECST	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 (相当機関・企業)	衛星名	製造	ミッション概要	打上げ年	
国家海洋局(SOA)	海洋(Haiyang) 1C1D	CAST	海面監視	2018/2020	
	2A/2B	CAST	海面監視 高度計(C/Ka) 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/Ka) 散乱計	2020/2021	
	資源(ZIYUAN)-2C	CAST		2004	
SASMAC	3F-3-2	CAST	パシフィック直下2.1m, オフセット2.6m, マルチ(5.8m)	2012/2016	
CHRESDA	耀吻(Huanying)JA-1e	CAST	自然災害監視(地震、洪水)	2008~2012	
(C明)	試驗(Shiyan)-94-4-56-7	CAST	大気観測、リモセン	2008~2013	
PLA	天融(Tianrong)1-01-04	CAST	地球図生	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	DPH 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	DPH 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-C07A-C07A-C 20A-C25A-C31A-L	CAST	地球観測/軍事? (光学、SAR、海洋監視等)	2010~
	CAST/SAST等?	2A/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?	13/310	SAST	地球観測(SAR)	2006~
	CAST/SAST等?	01/3/23	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)GF1	SAST	地球観測(光学2m×2m/1.8mマルチ16m広角マルチ)	2013	
	1-02-04	SAST	地球観測(光学2m×2m/1.8m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	高解像度地球観測システム(CHBOS)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×2m/1.8mマルチ)3機同時打上可能	2018/2021	
	6	CAST	地球観測(光学2m×2m/1.8mマルチ)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	
	10	(不明)	地球観測	2019	
	11-01-03	SAST	高解像度地球観測システム(CHBOS)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?	0M	(不明)	高解像度地球観測システム(CHBOS)用	2020	
(CAS)	創新(Chuang Xin)1-1-04	(不明)	災害後復旧除去/気象	2003~2014	
(Chang Guang Satellite Technology)	吉林(Jilin)-1, Jilin-1-3-10		商用地球観測衛星 (0.72m GSD)	2015~2019	
	Jilin-1 Gaofen-02 A,B,D,F		商用地球観測衛星 (0.75mパシフィック, 40km)	2019/2021	
	03 B,C,D,E,F,G,H,L,J		商用地球観測衛星 (1m×1m/4.4m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×1m/4.4mマルチ, 17km)	2019~2022	
	Jilin-1 Guanpu-01.02 (Spectrum-01.02)	(Chang Guang Satellite Technology)	商用地球観測衛星 (5mマルチ)	2019	
	Jilin-1 Koufan-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 (Lingxiao-1 01.02)		商用地球観測衛星 (7デゾ)	2015	
	Shipin-03		商用地球観測衛星 (7デゾ)	2017	
	Shipin-04-8		商用地球観測衛星 (7デゾ)	2017, 2018	
CAS	炭素(TanSat)	CAS	炭素ガス観測衛星	2016	
CAS/SSC	Yitian	CAS/SSC	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)(パシフィック0.5m, マルチ2m)	2016/2018	
CAST	珠海(Zhuhai)-1 OVS-1A/B	Zhuhai Orbita Control Engineering	Civil地球観測衛星(7デゾ)(2m, 20フレーム)	2017	
CAST	OVS-2A/B OHS-2A/2B-2C/2D OHS-3A/3B-3C/3D	Zhuhai Orbita Control Engineering	Civil地球観測衛星(光学)(ハイパスバーストリアル) (10m/150km, 2500km/150km)	2018/2019 2018/2019	
中国/ブラジル	CBERS 4 (ZY-1 02) 4A (ZY-1 04A)	CAST	植生、都市計画、水資源管理、軍事偵察	2014 2019	
韓国	Koepsat 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)	STSATS	SATREC, KAIST	地球観測、天文、技術試験	2013	
(GSSTDA)	THEOS	ADS	衛星2m、4m×15m (750kg)	2008	
アルジェリア	(ASAL)	Alsat 2A, 2B	地図作成、農業管理等、地球観測衛星(116kg)	2010/2016	
Satellitege	NuSat 1+21	SSTL	地球観測衛星(100kg)	2016	
アルゼンチン	CONAE	SAOCOM-1A, 1B	Satellitege	地球観測衛星(光学、37kg)	2016
ペルー	Peruvian armed forces	PeruSat 1	INVAP	LバンドSAR衛星	2018/2020
			ADS	軍事偵察衛星(光学)	2016
(CREST)	X-SAT	Satree Initiative	リモートセンシング	2011	
シンガポール	National University of Singapore	Kent Ridge 1 (KR 1)	National University of Singapore, Berlin Space Technologies	ハイパスバーストリアルセンサ観測衛星	2015
		VeloX-C1		気象観測実証	2015
	AgiSpace	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		地球観測 (寿命7年)	2011
	(TUBITAK-UZAY)	-X	SSTL	地球観測	2011
	(TUBITAK-UZAY)	RASAT	TUBITAK-UZAY	地球観測 (寿命3年)	2011
トルコ	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	(Tarutü 大学)	ESTCube 1	Tarutü 大学	クレーン技術及び地球観測	2013
カザフスタン	(RGS)	KazEOSat 1 (DZZ-HR)	ADS	パシフィック、マルチ	2014
		2 (DZZ-MR)	SSTL	0.5mイメージャ	2014
モロッコ	Kingdom of Morocco	Mohamed VI A/B	ADS	軍事偵察(光学)	2017/2018

## (8) 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。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12月に打上げた。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 では現在、後継機として XRISM を開発中で、2023年度に打上げる予定である。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して発表したが、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、2022 年 12 月末では 22 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 2025 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「玉兔号」(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「玉兔 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、月面への降下を開始したが、途中で交信が途絶え、着陸に失敗した。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为目标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「オモテナシ」を 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ており、2023 年度の打上げを目指している。

#### [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態を観測するほか、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 15kg の超小型衛星により中継された。JPL は 2021 年 2 月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 17 日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。

水星は太陽に近いいため軌道投入が難しく、観測実績は74 年の米 Mariner10 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12月に地球へ帰還し、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 (B型小惑星)に近づき、詳細観測及びサンプルを採取して 2023年に地球に帰還する予定である。OSIRIS-Rex は 2017年に地球スイングバイを実施後、2018年に Bennu に到着した。OSIRIS-Rex も着地点選定のための詳細な観測を実施していたが、2019年に Nightingale をサンプル採取地点と選定し、2020年にサンプル採取後離脱し、地球に向けて帰還中である。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。

DESIGN+ (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、2024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)、ロシアのKoronas-F(2001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 $28.5^{\circ}$ 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11月に太陽まで約850万kmまで接近して12月から観測を行ない、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)		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		惑星間レーザー実験	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	
	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	
中国	實踐10 (Shijian10)	CAST	微小重力実験衛星(植物)	2016	
	實踐15 (Shijian15)	SAST	デブリの観測?	2013	
	實踐16 (Shijian16)-01/02	CAST?	宇宙環境調査?	2013/2016	
	實踐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	
	STSAT2C	KAIST	各種天文計測	2013	
	RHESSI(SMEX-6)	UC Berkeley	高エネルギー太陽フレア観測	2002	
米国/NASA	SIRTf	LM	赤外線天文観測	2003	
	Mars Exploration Rover Spirit & 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つの小惑星に近づくカラー撮影	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	SRING	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 <sub>2</sub> 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			宇宙天文	2009	
EsoMars 2016 (TCO / Schiaparelli)		TAS	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(ASD)	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	
	Spektr R		電波天文	2011	
	Pobos-Grunt	NPO Lavochkin	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	
	MVL 300	モスクワ大等	ガンマ線バースト観測	2016	
	Chandrayaan 1		月観測	2008	
インド/ISRO	Chandrayaan 2		月着陸(着陸には失敗)	2019	
	YouthSat	ISRO	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	

## (9) 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。情報収集では衛星を使って画像収集、電波の傍受、弾道ミサイル発射検知、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発信する。

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世界最大の規模を誇っており、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 60 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。

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 (50cm、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))を打ち上げている。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。

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 年に打ち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 年に打ち上げられた中国の「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。

#### (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 (145kg、Lockheed Martin 製)を打ち上げた。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 年に打ち上げ、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)の打ち上げに成功した。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 年に打ち上げ、2021 年 4 月にターゲットの 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 年に打ち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 年に鉤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 100kg)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。

#### (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 1-3-11 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。2022 年も OneWeb および SpaceX の打上げが継続されると共に、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通信の需要も高まる可能性がある。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。

表 1-3-11 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
	AstroDigital	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	NuSat	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で電波源の位置検定
	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

#### 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カ

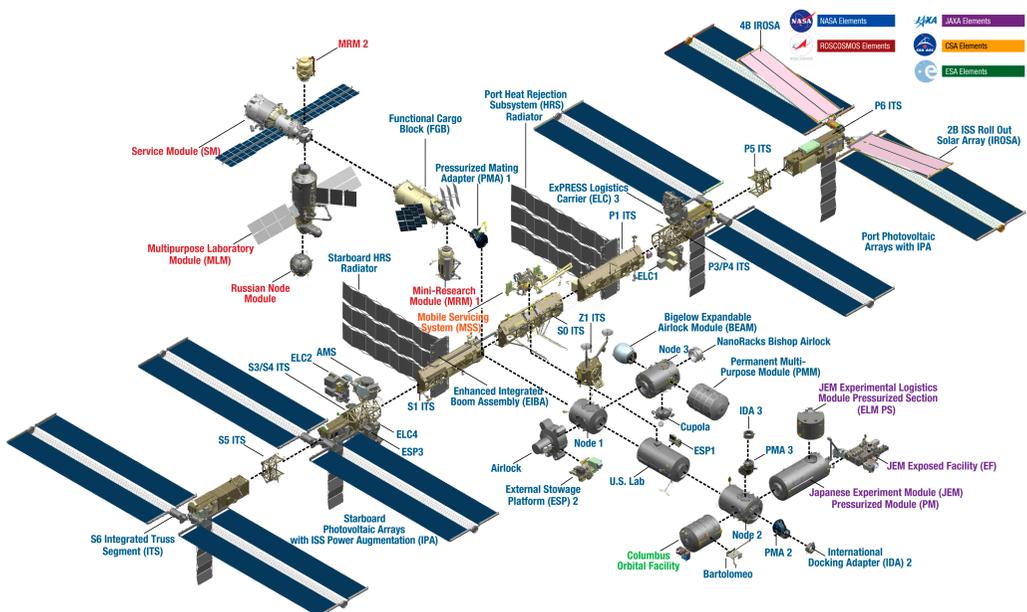
国、日本、カナダが参加する国際協力で開始された。’93年に Clinton 大統領は計画と設計の見直しを指示し、名称も ISS (International Space Station) に変更した。

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カ国となった。’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)

2001年に打ち上げられた 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が2021年11月に打上げられ、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、冷却剤の液漏れが発生し、有人帰還での使用が断念された。

図 1-3-4 国際宇宙ステーション(ISS)本体の構成



出典：NASA

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)を2009年に成功した。HTVは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年度から運用を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の募集し、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を開発に移行

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。

## (2) 宇宙環境利用

微小重力実験は観測ロケット(TT500 など)、気球、航空機及び地上での落下塔を利用して短時間の実験に使われてきた。'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)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。

## (3) 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・J-Spacesystems 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、敗戦ドイツからのジェット機、後退翼などの遷音速空気学の研究成果、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 B707 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。

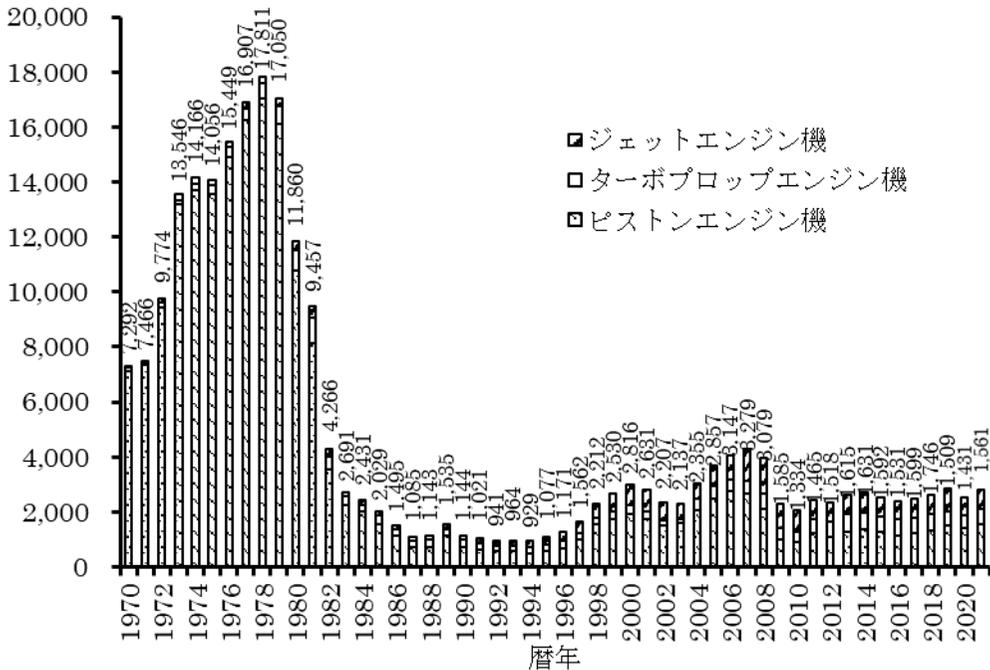
しかし、その裏で展開された旅客機メーカー間の競争を通じて、戦後民間航空輸送の発展に寄与した Martin、Convair、Lockheed の名前が消えていった。Douglas は、戦闘機メーカー McDonnell の傘下に入り McDonnell Douglas となったが、'97年 Boeing に吸収され、アメリカの旅客機メーカーは Boeing 一社になった。現在の大型ジェット旅客機の市場はアメリカ対ヨーロッパの経済圏を背景とした、Boeing 対 Airbus の二強の対立構図となっている。

#### [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 Aviation (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運航されている。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。アメリカ製のコンピューター/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 年に買収していたが、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。レンプロの名門 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 が行って来た。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の製造を行っている。

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、小型エンジンの Honeywell、Rolls-Royce North America、Williams International、GE Honda Aero Engines 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 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に大きく削減されたため、業界再編が促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 となっていたが、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、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。

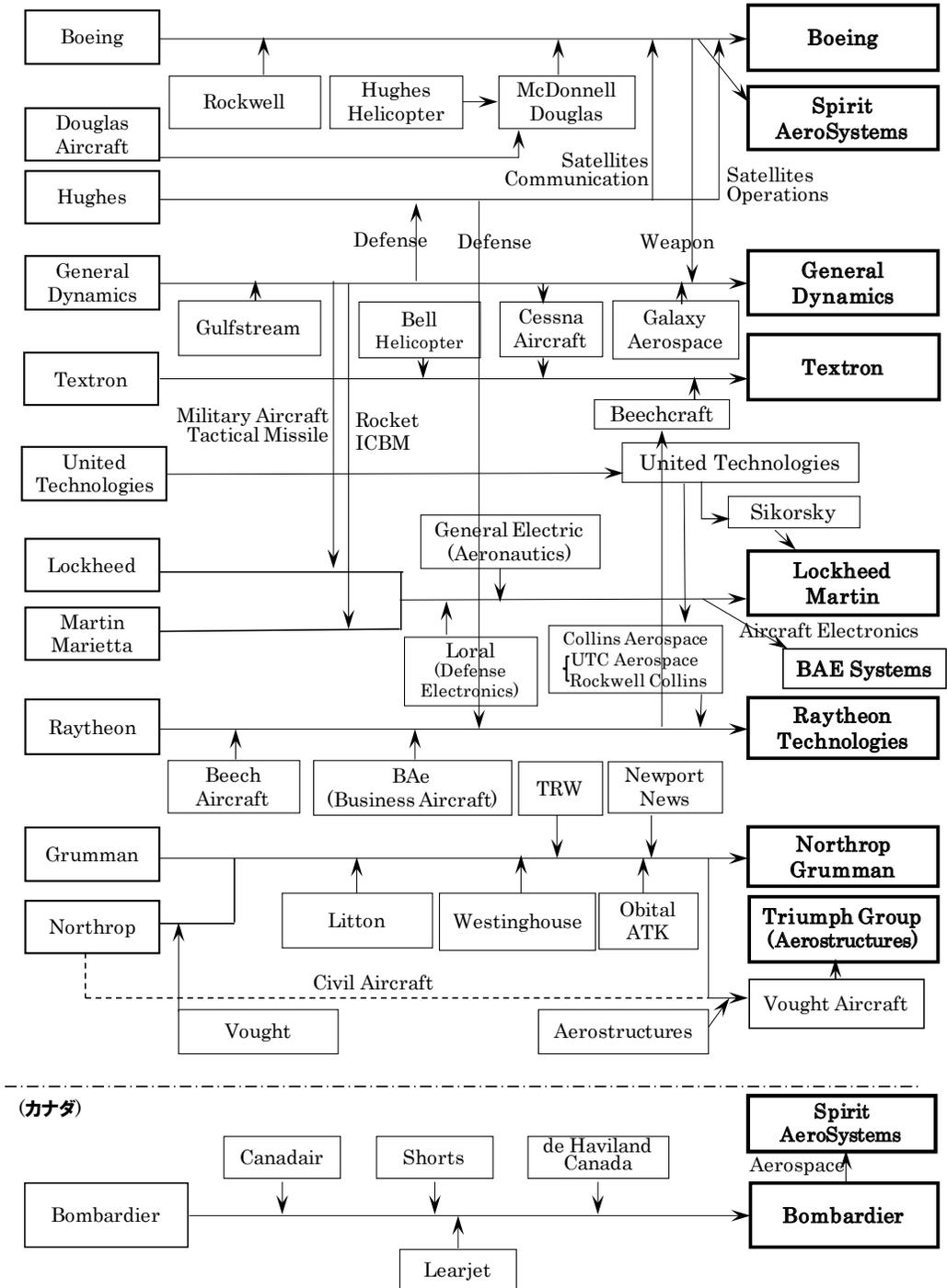
一連の M&A(合併・買収)によって、現在の、アメリカ航空宇宙工業の第 1 階層は、Boeing、Lockheed Martin および Northrop Grumman の 3 巨大企業で構成されるようになった。

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 Sperry、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 Cleveland 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 Aerospace を設立した後に、2020年に Raytheon に売却し、Collins Aerospace は Raytheon Technologies の航空装備品部門となった。

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



## 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・非軍事いずれの宇宙開発・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、2021年の米国政府の宇宙関連予算は、世界の国家宇宙予算の63%程度を占めるに留まっている。(出典：The Space Report 2022Q2) 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年度国防授權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70t、将来的には130tまでの拡張を計画しており、2022年11月16日に初飛行した。

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100kmに到達させ、民間初の有人宇宙飛行に成功、XPRIIZE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82.7km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50mile(80.5km)以上である。)。2021年7月に乗客に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Northrop 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。Boeingがウクライナ、ロシア、ノルウェーなど海外3社と設立した衛星打上げ会社Sea Launchは、可動式の洋上プラットフォームを使って太平洋からロケットを発射する方式で99年に初号機を打上げ、実績を伸ばしていたが、2009年、経営破綻し、連邦破産法11章の

適用を受けた。2016年に Sea Launch はロシア S7 グループ傘下の S7 Space となって打上げ再開を目指しているが、2019年には海上発射拠点を米国から極東に移転すると発表している。

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。

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、2022年には9回の打上げに成功している。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 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年代に入ると冷戦構造の崩壊により軍事費が圧縮され、NASA 予算も減額されたことから、大手航空宇宙企業の大規模な合併・吸収やリストラクチャリングが進行した。'95年には当時売上高最大の宇宙企業 Lockheed Martin が誕生、Boeing も'96年から2000年にかけて買収を重ね世界最大の宇宙企業となった。さらに2002年には Northrop Grumman が TRW を買収、2003年に衛星メーカーの Space Systems/Loral (SSL)が破産法(会社再建)を申請して再建、2004年に GD が Spectrum Astro を買収、その後2010年には Orbital Sciences に吸収された。また、SSL 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、社名が Orbital ATK となった後、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 となった。

[国家宇宙予算]

2019年の全世界の宇宙関連政府予算は\$86.9B程度であり、そのうち約54%に相当する\$47.1B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15倍の規模であるが、そのうち約49%が国防総省等の軍事関係予算と推定される。(出典：The Space Report 2020 Q2) 2021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	<b>22,629</b>	<b>23,271</b>	<b>24,802</b>	<b>25,315</b>	<b>25,869</b>	<b>26,441</b>	<b>27,028</b>

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 の運行が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ており、2018年の宇宙政策指令第 2号では 2025年以降その運用を民間に移管するとの方針が示され、2021年 12月、NASA は Blue Origin, Nanoracks, Northrop Grumman の 3社と概念設計の契約を締結した。2019年には、NASA は ISS を低軌道における商業活動のハブとする案を発表した。また、有人宇宙活動としては、2019年に Artemis 計画を発表し、2025年以降に米国人宇宙飛行士を月面に送り込むことを表明した。

## [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、近年は欧州勢(ADS や TAS)が優位なシェアを占めている。

米国では、Boeing、Lockheed Martin、及び Maxar が、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 のスピン型(376 シリーズ)及び 3 軸安定型(601/702 シリーズなど)、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、軍事予算が減少傾向にあることなどから、最近では再び商用衛星にも力を入れ始めた。これら3社に加え、近年では Northrop Grumman が中型バス(GEO Star バス)により受注している。

#### [通信・放送サービス]

米国の商業衛星通信サービスは最近の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。

一方、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、2022年も継続して打上げている。

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(Sirius Satellite Radio: 高仰角衛星、XM Satellite Radio: 静止衛星)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61cm)が2001年に、ORBIMAGE の OrbView-3(分解能1m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50cm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が独占することとなる。DigitalGlobeは2014年及び2016年に30cm級の解像度を持つWorldView-3/-4(旧GeoEye2)を上げたが、2017年には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も同時に上げられた。

#### [宇宙科学・月惑星探査]

宇宙科学部門では、'77年に上げられたVoyager1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。

火星地表探査は'76年のViking1号以来数回行われている。Mars Science Laboratory (MSL)は2011年に上げられ、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20日に運用終了した。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年に上げられ、太陽を観測しながら周回しているが、2021年11月に太陽から約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 Benu 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 Benu に到着し 2020 年にサンプルを格納し、2021 年 5 月に地球に向かって出発し、2023 年 9 月 24 日に地球に戻る予定である。NASA と日本の JAXA 間では OSIRIS-Rex および「はやぶさ 2」が採取したサンプルを共有するとの協定が結ばれている。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 2.4m 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。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 12 月に打上げ、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 1 日に GOES-18 が打上げられた。このほか、2021 年 9 月には 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 EELV の開発や既存の使い捨てロケットの改良、各種軍事衛星の開発・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たしている。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 年国防授權法で 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号機を上げた後、2020年に6号機が上げられた。NarrowBand 通信の MUOS (Mobile User Objective System) は初号機が2012年に上げられ、2016年には5号機が上げられた。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、老朽化で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新たな衛星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21日には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月に打上げられた。今後、GPS IIIは計10機、GPS IIFは計22機と、合計32機が予定されている。

#### (2) 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2-1-8に示す。

a. 生産高

(単位：億ドル)

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
航空機及び部品	2,171	2,292	2,074	1,365	1,488
民需	1,629	1,725	1,468	946	811
軍需	542	567	606	542	554
探索及び航法装置	520	538	532	533	559
民需	183	190	187	199	178
軍需	336	348	345	360	355
通信装置	28	32	25	27	28
合計	2,718	2,862	2,631	1,925	2,074

(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. 研究開発費

(単位：億ドル)

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
政府機関	83.9	105.9	-	-	-
企業(上位25社)	16.6	17.0	-	-	-
合計	100.5	122.9	-	-	-

(注)：2019年以降はAIAから未公表

c. 輸出入バランス

(単位：億ドル)

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
輸出	1,428.0	1,510.0	1,481.0	900.0	1,004
民需 完成機	1,228.0	1,315.0	1,265.0	724.0	
軍需 完成機・エンジン 部品・宇宙(注1)	200.0	195.0	216.0	178.0	
輸入	569.0	615.0	687.0	500.0	489
貿易バランス(注2)	859.0	895.0	794.0	400.0	515

(注)：ミサイル、ロケット関連部品を含む

出典：“AIA Facts & Figures 2021”

d. 損益

(単位：億ドル)

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年
販売高	3,065	3,248	3,095	2,723
純益(税抜き後)	244	376	256	-0.22
利益率	8.0%	11.6%	8.3%	0.0%

出典：“AIA Facts & Figures 2021”, Aeroweb Forecast International Aerospace Portal(2020年)及びThe U.S. Census Bureau(2022年1月採録)

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	304,732	2.88	23,451	0.22	7.70
02	109,291	348,456	3.19	25,776	0.24	7.40
03	114,565	404,744	3.53	26,573	0.23	6.57
04	122,172	455,833	3.73	29,713	0.24	6.52
2005	130,392	495,308	3.80	29,906	0.23	6.04
06	138,156	521,827	3.78	30,676	0.22	5.88
07	144,743	551,271	3.81	30,805	0.21	5.59
08	147,699	616,073	4.17	33,675	0.23	5.47
09	144,781	661,023	4.57	39,343	0.27	5.95
2010	150,490	693,498	4.61	42,641	0.28	6.15
11	155,997	705,557	4.52	44,340	0.28	6.28
12	162,540	677,856	4.17	45,809	0.28	6.76
13	168,432	660,000	3.92	45,350	0.27	6.87
14	175,507	603,457	3.44	47,260	0.27	7.83
2015	182,060	597,503	3.28	47,790	0.26	8.00
16	186,951	593,372	3.17	47,416	0.25	7.99
17	194,796	598,722	3.07	46,493	0.24	7.77
18	205,272	599,695	2.92	48,125	0.23	8.02
19	213,726	598,284	2.80	44,357	0.21	7.41
2020	208,938	614,149	2.94	-	-	-
21	229,961	686,802	2.99	-	-	-

出典："IMF World Economic Outlook Database" "National Defense Budget Estimates For FY2023"

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	和暦	貿易収支	輸 出	輸 入	貿易収支	輸 出	輸 入	
2000	12	△436,104	781,918	1,218,022	26,734	54,679	27,944	7.0
01	13	△411,899	729,100	1,140,999	26,035	58,508	32,473	8.0
02	14	△468,263	693,103	1,161,366	29,533	56,775	27,242	8.2
03	15	△532,350	724,771	1,257,121	27,111	52,504	25,393	7.2
04	16	△654,830	814,875	1,469,704	31,002	56,817	25,815	7.0
2005	17	△772,373	901,082	1,673,455	46,027	68,919	22,892	7.6
06	18	△827,971	1,025,967	1,853,938	61,372	86,419	25,047	8.4
07	19	△808,763	1,148,199	1,956,962	68,537	99,464	30,927	8.7
08	20	△816,199	1,287,442	2,103,641	72,111	103,577	31,466	8.0
09	21	△503,582	1,056,043	1,559,625	54,502	90,246	35,745	8.5
2010	22	△635,362	1,278,495	1,913,857	50,500	87,726	37,226	6.9
11	23	△725,447	1,482,508	2,207,954	54,392	95,748	41,356	6.5
12	24	△730,446	1,545,821	2,276,267	66,387	112,970	46,582	7.3
13	25	△689,470	1,578,517	2,267,987	71,430	124,385	52,954	7.9
14	26	△734,482	1,621,874	2,356,356	76,132	135,568	59,435	8.4
2015	27	△745,483	1,503,328	2,248,811	81,613	142,824	61,211	9.5
16	28	△735,326	1,451,460	2,186,786	90,400	146,200	55,800	10.1
17	29	△792,396	1,547,195	2,339,591	85,900	142,800	56,900	9.2
18	30	△870,358	1,665,787	2,536,145	89,500	151,000	61,500	9.1
19	R1	△845,759	1,645,940	2,491,700	79,400	148,100	68,700	9.0
2020	2	902,318	1,428,518	2,330,836	36,100	86,100	50,000	6.3
21	3	1,076,810	1,754,300	2,831,111	-	-	-	-

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	和暦	民需	軍需	合計	
2000	12	45,566	9,113	54,679	16.7
01	13	49,371	9,137	58,508	15.6
02	14	47,348	9,427	56,775	16.6
03	15	44,366	8,138	52,504	15.5
04	16	47,772	9,045	56,817	15.9
2005	17	57,587	9,845	67,432	14.6
06	18	71,857	13,405	85,262	15.7
07	19	83,977	13,247	97,224	13.6
08	20	82,264	12,819	95,082	13.5
09	21	70,500	10,666	81,166	13.1
2010	22	72,032	11,471	83,503	13.7
11	23	80,474	10,967	91,442	12.0
12	24	95,101	13,431	108,532	12.4
13	25	106,081	13,963	120,044	11.6
14	26	114,233	16,061	130,294	12.3
2015	27	121,802	15,420	137,222	11.2
16	28	123,802	16,205	140,007	11.6
17	29	122,790	13,865	136,655	10.1
18	30	131,500	19,500	151,000	12.9
19	R1	126,500	21,600	148,100	14.6
2020	R2	72,400	13,700	86,100	15.9

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

表 2-1-4 アメリカ航空宇宙工業の品種別輸入額の推移

暦年		輸入額 (百万ドル)				横成比 (%)		
西暦	和暦	機体	エンジン	部品他	合計	機体	エンジン	部品他
2000	12	12,399	8,966	6,579	27,944	44.4	32.1	23.5
01	13	14,711	10,733	7,029	32,473	45.3	33.1	21.6
02	14	12,680	3,770	10,792	27,242	46.5	13.8	39.7
03	15	12,334	2,514	10,545	25,393	48.6	9.9	41.5
04	16	11,655	2,629	11,531	25,815	45.1	10.2	44.7
2005	17	-	-	-	22,892	-	-	-
06	18	-	-	-	25,047	-	-	-
07	19	-	-	-	30,927	-	-	-
08	20	-	-	-	31,466	-	-	-
09	21	-	-	-	35,745	-	-	-
2010	22	-	-	-	37,226	-	-	-
11	23	-	-	-	41,356	-	-	-
12	24	-	-	-	46,582	-	-	-
13	25	-	-	-	52,954	-	-	-
14	26	-	-	-	59,435	-	-	-
2015	27	-	-	-	61,211	-	-	-
16	28	-	-	-	55,800	-	-	-
17	29	-	-	-	56,900	-	-	-
18	30	-	-	-	61,500	-	-	-
19	R1	-	-	-	68,700	-	-	-
2020	R2	-	-	-	50,000	-	-	-

出典:

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

(注)2005年以降の内訳データは不明

表 2-1-5 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	和暦	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	12	438	77	515	85.0	15.0
01	13	422	76	498	84.8	15.2
02	14	385	72	457	84.3	15.7
03	15	366	71	437	83.8	16.2
04	16	377	73	450	83.7	16.3
2005	17	392	75	467	83.9	16.1
06	18	407	74	481	84.5	15.5
07	19	424	76	500	84.8	15.2
08	20	435	79	514	84.5	15.5
09	21	402	77	479	84.0	16.0
2010	22	403	75	479	84.3	15.7
11	23	421	73	494	85.2	14.8
12	24	432	74	506	85.4	14.6
13	25	418	73	490	85.2	14.8
14	26	420	70	489	85.8	14.2
2015	27	422	71	492	85.7	14.3
16	28	411	74	485	84.7	15.3
17	29	409	76	485	84.3	15.7
18	30	428	79	507	84.4	15.6
19	R1	-	-	535	-	-
2020	R2	-	-	507	-	-
21	R3	-	-	480	-	-
22	R4	-	-	505	-	-

出典:

"AIA Employment for Selected Sectors"

"AeroWeb"

表 2-1-6 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	和暦	機体	エンジン及び エンジン部品	その他部品 及び機器	合計	機体	エンジン及び エンジン部品	その他部品 及び機器	
2000	12	242.4	98.0	97.3	437.7	55.4	22.4	22.2	
01	13	233.4	93.5	95.3	422.2	55.3	22.1	22.6	
02	14	215.5	84.8	84.5	384.8	56.0	22.0	22.0	
03	15	207.4	79.0	79.6	366.0	56.7	21.6	21.7	
04	16	209.3	80.5	87.0	376.8	55.5	21.4	23.1	
2005	17	218.3	83.3	90.5	392.1	55.7	21.2	23.1	
06	18	226.6	84.8	95.6	407.0	55.7	20.8	23.5	
07	19	236.6	86.7	100.7	424.0	55.8	20.4	23.8	
08	20	242.1	86.3	106.1	434.5	55.7	19.9	24.4	
09	21	231.2	74.8	96.2	402.2	57.5	18.6	23.9	
2010	22	229.4	75.3	98.7	403.4	56.9	18.7	24.5	
11	23	238.3	79.6	103.1	421.0	56.6	18.9	24.5	
12	24	244.5	80.0	107.4	431.9	56.6	18.5	24.9	
13	25	235.5	77.3	105.0	417.8	56.4	18.5	25.1	
14	26	234.5	77.1	108.1	419.7	55.9	18.4	25.8	
2015	27	233.0	79.7	108.9	421.6	55.3	18.9	25.8	
16	28	225.1	78.7	107.3	411.1	54.8	19.1	26.1	
17	29	217.5	81.8	109.3	408.6	53.2	20.0	26.7	
18	30	234.3	84.2	109.8	428.3	54.7	19.7	25.6	
19	R1	-	-	-	534.5	-	-	-	
2020	R2	-	-	-	507.0	-	-	-	
21	R3	-	-	-	479.7	-	-	-	

出典：

"AIA Employment for Selected Sectors"

"AeroWeb"

表 2-1-7 アメリカ航空宇宙工業の損益の推移 (百万ドル)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
F/A100(%)	3.0	2.4	2.3	2.5	3.3	4.4	4.6	6.0	3.6	4.3	4.2

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
販売高 (A)	253,103	269,282	273,140	281,363	288,794	284,796	306,452	324,846	309,480	272,211	280,419
営業利益 (B)	24,528	25,442	24,900	29,719	30,882	27,363	34,430	37,012	34,782	15,897	26,073
B/A×100(%)	9.7	9.4	9.1	10.6	10.7	9.6	11.2	11.4	11.2	5.8	9.3
連邦所得税引前利益(C)	24,691	27,496	28,631	32,236	36,615	30,931	37,553	41,622	27,339	437	26,666
C/A×100(%)	9.8	10.2	10.5	11.5	12.7	10.9	12.3	12.8	8.8	0.2	9.5
連邦所得税準備金(D)	5,888	7,654	6,381	6,994	9,042	6,724	13,131	3,985	1,735	468	4,663
D/C×100(%)	23.8	27.8	22.3	21.7	24.7	21.7	35.0	9.6	6.3	107.1	17.5
税引き後利益(E)	18,803	19,842	22,250	25,243	27,573	24,208	24,422	37,635	25,604	(31)	22,003
E/A×100(%)	7.4	7.4	8.1	9.0	9.5	8.5	8.0	11.6	8.3	(0.0)	7.8
内部留保純利益(F)	12,500	12,376	13,064	14,296	15,126	11,385	10,394	23,656	7,691	(9,990)	11,422
F/A100(%)	4.9	4.6	4.8	5.1	5.2	4.0	3.4	7.3	2.5	(3.7)	4.1

出典:

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

表 2-1-8 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
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	638	1,112	885	2,444	2,562	2,074	2,904	2,217	6,456	7,422	5,680
その他有価証券	3,642	9,195	9,351	10,241	13,684	12,393	16,305	11,470	21,509	20,106	20,534
(現金・貯金と有価証券計)	19,438	17,644	40,626	47,945	55,734	57,895	67,191	67,981	46,509	46,642	37,222
流動資産	42,343	40,288	37,081	37,389	45,960	44,387	52,129	67,462	67,928	78,339	90,444
棚卸品計	10,450	9,353	15,967	15,385	19,578	20,032	21,533	14,080	14,991	14,094	15,336
その他流動資産	75,872	76,481	103,024	110,960	134,954	134,906	157,158	160,993	150,937	159,181	163,536
(流動資産計)	28,722	27,567	27,808	27,667	28,838	27,800	29,103	31,407	32,122	33,455	32,590
建物・設備計	79,410	79,684	93,538	103,887	109,336	99,842	110,459	109,189	106,334	114,010	121,766
その他固定資産	184,004	183,732	224,370	242,515	273,129	262,549	296,720	301,589	289,393	306,646	317,892
資産合計	2,084	1,637	1,200	2,394	3,618	2,156	3,154	3,060	1,071	902	2,071
短期融資	10,458	9,184	11,421	13,607	15,703	16,332	17,306	18,666	18,677	19,288	21,639
アメリカ政府前払い 買掛金と支払手形	1,778	2,726	1,384	1,661	2,476	2,105	264	496	852	160	259
流動負債	2,534	2,722	1,768	2,245	3,870	1,289	2,129	4,272	2,720	2,085	4,155
長期負債賦払金	49,708	45,802	67,982	80,683	97,450	100,266	113,418	116,806	93,737	99,133	93,706
その他流動負債	66,562	62,071	83,755	100,592	123,117	122,147	136,270	143,299	117,057	121,568	121,830
流動負債	33,882	32,554	35,782	31,747	30,714	32,525	35,887	41,453	49,687	51,377	52,372
長期負債	27,054	40,330	42,126	40,162	42,786	38,835	39,388	64,157	55,325	58,782	71,764
その他固定負債	127,497	134,954	161,662	172,500	196,617	193,508	211,546	248,909	222,069	231,727	245,966
負債合計	4,190	(1,838)	9,206	11,070	13,259	(2,040)	814	(36,010)	(26,616)	(24,938)	(38,877)
株主 持分	52,318	50,615	53,502	58,945	63,253	71,081	84,361	88,690	93,940	99,857	110,802
利益剰余金と留保金 (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
正味運営資本	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 2-1-8 アメリカ航空宇宙工業の貸借対照表の推移② (百万ドル)

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

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

### (3) 企業動向

#### a. Boeing (The Boeing Company)

##### <売上高・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Commercial Airplane	56,729	60,715	32,255	16,162	19,493
Boeing Military Aircraft	21,057	23,195	26,227	26,257	26,540
Network and Space Systems					
Global Service and Support	14,639	17,018	18,468	15,543	16,328
Total Boeing Defense, Space & Security	35,696	40,213	44,695	41,800	42,868
Boeing Capital Corporation	307	274	244	261	272
Other	660	(75)	(635)	(65)	(347)
Unallocated items and eliminations					
売上高(百万ドル)	93,392	101,127	76,559	58,158	62,286
従業員(人)	140,800	153,000	161,133	141,014	141,582

出典：アニュアルレポート、ホームページ

##### 2022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	州別	人数
Commercial Airplanes	35,926	Alabama	3,039
Defense, Space & Security	14,891	Arizona	4,428
Global Services	18,271	California	12,440
Enterprise	72,494	Missouri	14,865
Total Company	141,582	Oklahoma	3,572
		Pennsylvania	4,399
		South Carolina	5,521
		Texas	5,736
		Washington	55,823
		Other Locations	31,759
		Total Company	141,582

出典：ホームページ

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 がセントレ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る 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。

[現況]

Boeing の総本社は、2001 年に発祥の地シアトルからシカゴに移転した。2021 年の売上高は\$62.3B 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 イリノイ州シカゴ —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－広胴旅客機を生産
- 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)－宇宙ロケット
- 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
- 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
- ⑦ アラバマ州ハンツビル－Network & Space Systems 部門
- ⑧ 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12月時点では、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10月時点では 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。2022 年 12 月、最後の B747-8F が 2023 年 1 月に Atlas Air に引き渡された。

## ③B767

操縦装備のハイテク化、グラスコッ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 空中給油機開発プログラムが進行中である。

## ④B777

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。

## ⑤B787

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、バッテリー発火が発生し 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 COVID19 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2022年9月末での累計納入実績と受注残(暦年)

機種	B737NG	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	9	267	3	24	15	—	9	327
納入計	6,946	926	1,570	1,262	1,692	0	1,015	24,222
受注残	31	4,588	3	111	88	356	517	5,694

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)

機種	C-17	F-15	F/A18 (E/F)	T-45	CH-47	AH64	KC- 767	AEW &C	P-8	C-40A
2010年	14	13	50	0	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		0	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	

出典：アニュアルレポート

### ①F/A-18E/F Super Hornet、EA-18G Growler

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 に替わる対空兵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。

### ②F-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ラ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。

### ③C-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。

### ④CH/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 ヶ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。

#### ⑤AH-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。

#### ⑥KC-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。

#### ⑦P-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練習機

Boeing はリスクシェアリング・パートナーである Saab とともに米空軍より、TX 練習機の開発を 2018 年に受注した。TX 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、TX は正式名称を正式に T-7A Red Hawk (eT-7A) とすることを決定した。

(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 ダグラスで開発され、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、Delta IV 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。2022 年には Delta IV H 1 機が打上げられ、累計は 43 機となっている。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 (BSS)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4日に SES20 と SES21 を、12月16日に O3b mPower1 号機と 2 号機を上げた。Boeing の主な衛星標準バスには以下のものがあるが、現在は 702 シリーズとその派生に絞られているようである。

601 シリーズ：'87年から採用された3軸安定型で、80機以上と最も販売数の多い衛星であるが、TDRS-M以降の予定はない。

702 シリーズ：'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。

また、Boeingはベンチャーキャピタル部門としてBoeing Horizon X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。

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、ViaSat-3、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た。その後、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5月に打上げられた6回目(1号機)のミッションは2022年11月12日に帰還し909日に及んだ。

Space Launch System: Space Launch System (SLS)開発を含むNASAのSpace exploration計画の支援

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、2022年5月25日米陸軍のホワイトサンズ・ミサイル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

合弁事業 : BDSが関連する合弁事業としては以下のものがあつた。

Sea Launch LLC : ノルウェー、ロシア、ウクライナの海外三社との共同出資による衛星打上げの国際コンソーシアム合弁会社 Sea Launch LLC joint partnership として'95年に設立され、クリスマス島沖合の赤道直下の洋上及びウクライナのバイコヌール宇宙基地(Land Launch)から、Zenit-3SL ロケットによる商業打上げを行っていた。2016年にはロシアの大手航空会社 S7 グループが SeaLaunch を買収して S7 Space となり、打上げ再開を目指している。

#### b. Lockheed Martin (Lockheed Martin Corporation)

<売上高・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Aeronautics	20,148	21,242	23,693	26,266	26,748
Missiles and Fire Control	7,212	8,462	10,131	11,257	11,693
Rotary and Mission Systems	14,215	14,250	15,128	15,995	16,789
Space Systems	9,473	9,808	10,860	11,880	11,814
売上高(百万ドル)	51,048	53,762	59,812	65,398	67,044
従業員数(人)	100,000	105,000	110,000	114,000	114,000

[沿革]

出典 : アニュアルレポート

'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 Loughhead と Malcolm Loughhead 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 ジェット練習機、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 ミサイルと Martin の Titan ロケットの技術である。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 の防衛部門などが引き継がれている。

[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。2019 年の売上高は \$59.8B で、その 71% が官需、そして国際事業(防衛関連が主体)が 29% となっている。

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 は、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 キログラムから 33,000 キログラ

ム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 UH-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 5000 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。2021 年の売上高は\$67.0B 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。

#### (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 カ国に達し、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。

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 Liberator 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 の航空宇宙部門 (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併企業が属している。

### 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、事業を一本化している。2022 年には ULA から 7 機の Atlas V が打上げられた。

### 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・オーダーされており、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ラ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(~150kg)の LM50 バス、小型(400~800kg)の LM400 バス、中型(275~2,200kg)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。

### ③ 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。2022年にはSBIRS-GEO 6、GOES-18と2機のLM2100シリーズが打上げられた。

#### 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		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
部門	Aeronautics Systems (旧 Aerospace Systems)	11,955	13,096	13,862	12,169	11,259
	Defence Systems (旧 Innovation Systems)	-	3,276	6,119	7,543	5,776
	Mission Systems	11,382	11,709	12,263	10,080	10,134
	Space Systems (旧 Technology Services)	4,750	4,297	4,110	8,744	10,608
	Intersegment Eliminations	(2,284)	(2,283)	(2,513)	(1,737)	(2,110)
	売上高(百万ドル)	25,803	30,095	33,841	36,799	35,667
従業員数(人)		70,000	85,000	90,000	97,000	88,000

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、Aerospace Systems、Mission Systems、Technology Services および Innovation Systems の 4 部門となっている。

Aerospace Systems 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開始しており、初飛行は 2023年に計画されている。

[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 (304kg)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。また、2013 年には同社の 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。

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あわせており、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。

#### d. Textron

<売上高・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Bell	3,317	3,180	3,254	3,309	3,364
Textron Aviation	4,686	4,971	5,187	3,974	4,566
Textron Systems	1,840	1,464	1,325	1,313	1,273
Industrial	4,286	4,291	3,798	3,000	3,130
Finance	69	66	66	55	49
売上高(百万ドル)	14,198	13,972	13,630	11,651	12,382
従業員(人)	37,000	35,000	35,000	33,000	33,000

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。

(a) Bell Helicopter Textron

<売上高・出荷機数・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
売上高(百万ドル)	3,317	3,180	3,254	3,309	3,364
U.S. Government	60	—	—	—	—
Commercial	132	192	201	140	156
出荷機数	192	—	—	—	—

出典：Textron ファクトブック

[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 Helicopter 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年には量産機が納入開始した。

#### (b)Textron Aviation

<売上高・出荷機数・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
売上高(百万ドル)	4,686	4,971	5,187	3,974	4,566
Business jets	180	188	206	132	167
King Airs	86	94	93	62	71
Caravans	69	92	83	51	54
Piston engine	274	227	218	314	254
出荷機数	609	601	600	559	546

出典：Textron ファクトブック

＜年別の出荷機数＞ Cessna ブランド

機 種		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
ビジネス ジェット	Citation Mustang	7	-	-	-	-
	Citation CJ2+/ CJ3/CJ3+/CJ4/M2	88	100	104	68	87
	Citation Encore+	-	-	-	-	-
	Citation XLS+	18	21	22	13	19
	Citation Sovereign/ Sovereign+/Latitude Longitude	63	63	66	32	61
Citation X/X+	4	4	1	1	-	
ターボプロップ	Caravan 675 /Grand Caravan	69	92	83	51	54
ピストン	Skyhawk	129	129	126	241	166
	Skylane/Turbo Skylane	46	31	33	27	38
	Stationair/Turbo Stationair	40	32	37	26	50
	Corvalis / Corvalis TT	23	1	-	-	-

＜年別の出荷機数＞ Beechcraft ブランド

機 種		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
ターボプロップ	King Air 350	45	52	49	34	49
	King Air 200/250	28	30	31	20	22
	King Air C90	13	12	13	8	-
ピストン	Baron58	23	19	15	8	-
	Bonanza A/G36	13	15	7	12	-

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 の傘下であり、'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。

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、陸上自衛隊の連絡機として King Air 350 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 T6 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 T6A 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。

2022年には新たにターボプロップ機の Cessna SkyCourier が 2022 年 3 月 11 日に連邦航空局(FAA)から型式証明が認定され、また Beechcraft Denali が開発中である。その他、需要回復を受け Citation ラインナップをはじめアップグレード化が進められている。

#### e. General Dynamics (GD)

<売上高・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Aerospace	8,129	8,455	9,801	8,075	8,135
Combat Systems	5,949	6,241	7,007	7,223	7,351
Marine Systems	8,004	8,502	9,183	9,979	10,526
Information Systems and technology	8,891	12,995	13,359	12,648	12,457
売上高(百万ドル)	30,973	36,193	39,350	37,925	38,469
従業員(人)	98,600	105,600	102,900	100,700	103,100

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)も幅広く手掛けてい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 戦略爆撃機、F-106 全天候戦闘機や CV340、CV880 旅客機を生んだ Convair を引継ぎ、'70年代には F-16 戦闘機を開発していた。一時はゼネラル・アビエーションの Cessna Aircraft も傘下に取り込み、軍民に亘り幅広く活動してい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 Aircraft 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に撤退してしまった。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。

(a) Gulfstream Aerospace

<売上高・従業員数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Aircraft manufacturing, outfilling and completions	6,320	6,226	7,355	6,115	5,864
Aircraft Services	1,743	2,096	2,154	1,960	2,271
Pre-owned aircraft	66	133	292	-	-
売上高(百万ドル)	8,129	8,455	9,801	8,075	8,135

出典：アニュアルレポート

<出荷機数>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
G100/150/200	30	29	33	22	16
G300/350/400/450/500/550/600/650ER	90	92	114	105	103

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ェンナに設置したが、'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 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。

(b) 宇宙部門 (旧 Spectrum Astro) (Gilbert, Arizona.)

GD は宇宙部門を強化するために 2004年に Spectrum Astro を買収し、C4 Systems の

一部門とした。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)、MygthySat II-1 (2000 年打上げ、DOD の宇宙技術実証、120kg)、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 41cm/マルチ 1.64m)を開発し GeoEye-1 と名称を変更し 2008 年に打上げた。その後、衛星開発・製造部門は 2010 年 Orbital Sciences (Orbital ATK を経て 2018 年 Northrop Grumman が買収)に売却された。

#### f. Triumph Group(旧 Vought Aircraft)

<売上高・従業員数>

\*会計年度は 3 月決算

年 度*	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
Elimination of inter-segment sales	(24)	(24)	(13)	-	-
Integrated Systems	986		-	-	-
Aerospace Structures	1,955	2,062	1,556	-	-
Precision Components	-	-	-	-	-
Product Support	282	284	-	-	-
Systems & Support	-	-	1357	-	-
売上高(百万ドル)	3,199	3,365	2,900	1,870	1,460
従業員数(人)	13,554	10,776	9,989	6,886	4,894

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 が買収して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 戦闘機で日本でも知名度が高い。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できた。

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 Hawthorne 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Commercial (旧 Fuselage Systems)	3,731	4,001	4,206	1,726	3,128
Propulsion Systems (旧 Wing Systems)	1,666	1,703	2,058	785	585
After Market (旧 All Other)	7	5	11	96	240
売上高(百万ドル)	6,983	7,222	7,863	3,405	3,953
従業員数(人)	13,700	17,000	18,200	14,500	16,100

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9月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の胴体やMitsubishi SpaceJetのパイロンに関する設計・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。

また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。

## h. Raytheon Technologies (RTX: Raytheon Technologies Corp.)

<売上高・従業員数>

(百万ドル)

	部 門	2020年	2021年
売上高	Collins Aerospace Systems	19,288	18,449
	Pratt & Whitney	16,799	18,150
	Raytheon Intelligence & Space	10,841	15,180
	Raytheon Missiles & Defense	11,660	15,539
	連結総計	58,588	64,388
従業員数	グループ全体	181,000	174,000

注: 2020年4月に Raytheon と United Technologies Corp.(UTC)が経営統合して設立されたため、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、\$64B、同年末の従業員数は 174,000 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 2021年の売上高は\$18.4B、同年末の従業員数は 67,000 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、日本の Mitsubishi SpaceJet にはエアデータセンサー、氷結検知装置や統合ブレーキシステム等の部品を供給することになっている。

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。2021 年の売上高は\$18.2B で前年比 8%増、営業利益は 180.5%減の-\$454M で、2020 年末の従業員数は 39,000 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 カ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となった。

#### i. General Electric (GE: General Electric Company)

<売上高・従業員数>

(百万ドル)

項目	部門	2017年 (注1)	2018年 (注1)	2019年 (注1)	2020年 (注1)	2021年 (注2)
売上高	Power	29,426	22,150	18,625	17,589	16,903
	Renewable Energy	14,321	14,288	15,337	15,666	15,697
	Aviation	27,013	30,566	32,875	22,042	21,310
	Healthcare	19,017	19,784	19,942	18,009	17,725
	Transportation					
	Lighting					
	Oil & Gas				2,52875	
	Corporate				,833	2,561
Capital	9,070	9,551	8,741			
合計	99,279	97,012	95,214		74,196	
従業員数		313,000	283,000	205,000	174,000	168,000

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る。

2019年には事業の再編があり、Power、Renewable Energy、Aviation、Healthcare にセグメント分けが見直された。また 2021 年 11 月 9 日に、2024 年を目途として GE Aviation、GE Healthcare、GE Renewable Energy / GE Power / GE Digital の 3 社に分社化することを発表した。

2021 年の売上高(連結)は\$74.2B である。航空エンジン部門(GE Aviation)の売上高は\$21.3B で、前年比 3.3%の減少、営業利益は 134.5%増の\$2.9B 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中である。

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 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を設立した。HF118プロトタイプの後継機種 HF120 エンジン、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壁となる。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>

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Aerospace	14,779	15,493	14,054	11,544	11,026
(旧 Home and Building Technologies)	9,777				
Honeywell Building Technologies		9,298	5,717	5,189	5,539
Performance Materials and Technologies	10,339	10,674	10,834	9,423	10,013
Safety and Productivity Solutions	5,639	6,337	6,104	6,481	7,814
売上高(百万ドル)	40,534	41,802	36,709	32,637	34,392
従業員(人)	131,000	114,000	113,000	103,000	99,000

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子会社であり、'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 \$34B 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、2021 年の売上は全社の売上の約 32%にあたる \$11B 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 Berteau 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 カ国に約 305 の拠点をもち、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 が新設されたことが公表された。上記グループ再編後の 5 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
- ・ Instrumentationp 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 や三菱航空機の Mitsubishi SpaceJet 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、およびアニユ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、防水装置のバルブ、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(ブリ・クーラー、高温エア移送ポンプ、キャビンの空調バルブ)等を保有している。

### 1. L3Harris Technologies (旧 L-3 Communications)

<売上高・従業員数>

(百万ドル)

暦年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Electronic Systems	3,024	2,744			
AeroSpace Systems	2,773				
Integrated Mission Systems			2,783	5,538	5,839
Space and Airborne Systems			4,352	4,946	5,093
Communication Systems	2,229	-	3,340	4,443	4,287
Aviation System			2,368	3,448	2,783
National Security Solutions			1,547		
ISR Systems			4,441		
Communication & Naval Systems					3,059
売上高	9,573	10,244			12,856
従業員数(人)	31,000	31,000	50,000	48,000	47,000

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。2022年 12月  
18日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  
買収することを発表した

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
- ④Aviation Systems 部門

### 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の Falcon 9 が爆発するという事故が発生した。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 を開発中であり、2023 年の軌道打上げ試験を目指し、射点でのフルエンジンの実機燃焼試験も終えている。

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 Falcon 9 により打上げた。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、2022 年も Starlink の打上げを継続している。

#### n. United Launch Alliance (ULA)

2006 年に国防総省や NASA などの衛星打上げを担当する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グゲンに製造、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、新たな打上げロケット Vulcan (1 段推薬 LCH<sub>4</sub>/LOX, Blue Origin BE-4 エンジン、1 段推薬 LH<sub>2</sub>/LOX, Aerojet Rocketdyne RL-10 エンジン)を 2023 年打上げ予定で開発中である。ULA は商用衛星の打上げに進出する計画であり、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た。Project Kuiper を Vulcan で打上げることを 2022 年に発表した。2022 年には Atlas V 7 機、Delta 4 Heavy 1 機が打上げられた。商業衛星 SES-20 / 21 は大型衛星の 2 機を衛星同士で連結する特異な形態で打上げた。

#### 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 SSLMDA Holdings を設立し、米国の SSL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 PRIVATE CAPITAL へ 2020 年に売却した。2022 年の Maxar Technologies 売上は \$1.61B である。

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 (SSL)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)を申請したが、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 L3 Harris 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。2019 年に 1300 衛星バスを拡張し Busek の 6kW Hall 効果電気推進などを搭載した Gateway 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。

2022 年 12 月 16 日、Advent International による買収が発表された。

#### (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。

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 Preparatory 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 0.31m 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 2000km 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 の光学部分の開発も行っている。

## 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、Bristol、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、一方では東西対立が冷戦となり、北極海を隔てて直接脅威と向き合うという国際情勢の中で、カナダの航空機工業は自立した独自の路線を模索するようになった。

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 ターボプロップ4発旅客機をベースにした CL-28 Argus 対潜哨戒機や Britania の後部胴体を長大な貨物の積み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 (CF-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(現 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 の発売で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年には手放すこととなった。

一方、カナダの軍用航空機工業は、冷戦時代の西側陣営内のパワーバランスという国際情勢の影響を大きく受け、核爆弾を搭載する旧ソ連の戦略爆撃機はカナダの安全保障に対する直接的脅威になった。この脅威に対抗するため、カナダ政府は 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。また、'52年に CF-100 の後継機として、Avro CF-105 の開発が開始された。重量30トンのマッハ2の超音速全天候大型戦闘機であったが、完成直前の'59年一切の開発作業が政治的理由で打ち切られた。

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。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少なくなり、'76年に国有化されて対潜哨戒機 P-3C の部品のオフセットなどで生き残っている状況だった。'80年カナダ国防軍が、F-101、CF-104、F-5 に替る戦闘機として138機の CF-18 の採用を決めたときには、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。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。

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、L3 Harris 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。

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 Helicopter 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 of Bombardier、Bell Helicopter Textron Canada、3度目の設立となった新 De Havilland Canada、Viking Air 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發生産は、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 Raytheon Technologies 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。2020年の宇宙予算は約カナダ\$320Mと2019年の約カナダ\$329M、2018年の約カナダ\$349M、2017年の約カナダ\$395Mから減少している。(出典：The Space Report 2021Q2) 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16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 を投資する代わ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3m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。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 SAPPHERE も 2013 年に上げられた。

#### (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上げてきた。2003 年に天文観測衛星 MOST (Microvariability & Oscillations of Stars, Dynacon 製バス、60kg) を上げた。

## (2) 現況

カナダの航空宇宙関連企業は約 400 社であり、2020 年の売上高は \$29.8B(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部品、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 Helicopter 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
売上高	326	343	389	298	268
輸出高	151	167	336	151	241
投資額	19	14	10	10	7
従業員(千人)	85.6	89.5	95.8	84.6	80.5

出典：Aerospace Industries Association of Canada

(3) 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Aerospace	7,693	7,321	7,501	6,488	6,085
Transportation	8,525	8,915	8,269	-	-
売上高	16,218	16,236	15,757	6,487	6,085
従業員(人)	69,500	68,000	60,600	15,800	13,800

[沿革]

Bombardier は'42年にジョセフ・アーマンド・ボンバルディア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13,800人(2021年12月)で主な事業拠点は世界3カ国にある。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位の規模である。

<売上高・従業員数>

(百万アメリカドル)

年度	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Business aircraft	4,961	4,984	5,417		
Commercial aircraft	2,382	1,756	1,227		
Aerstructures and Engineering Services	1,570	1,953	857		
Corporate and Elimination	(1,220)	(1,382)	-	-	-
Aviation				6,488	6,085
総売上高	7,693	7,321	7,501	6,487	6,085
従業員数(人)	25,350	23,360	24,350	15,800	13,800

出典：アニュアルレポート

<出荷機数>

機種	機名	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Business Aircraft	Learjet 40/45 and 70/75	14	12	12	11	10
	Learjet 60 XR	-	-			
	Challenger 604/605/300/350	77	83	76	44	44
	Challenger 800/850	2	-			
	Global 5000/6000/XRS/7500	45	42			
Regional Aircraft	CRJ700/705/700 NextGen	1	2	26	5	
	CRJ900/900 NextGen	18	13			
	CRJ1000 NextGen	7	5			
	Q100/200/300/ Q400/400NextGen	30	15	7		
Amphibious Aircraft	CL215/415	-	-	-	-	-
Commercial Jets	CS100/CS300	17	-	-	-	-
合計		211	172	175	119	120

出典：アニュアルレポート

航空宇宙部門の2021年の売上高は約\$6.1Bである。

ビジネスジェット機については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、ビジネスジェット部門に限ればCOVID-19に関わらず2020年に続き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。Global 8000が開発中とされている。

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の販売は好調で、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 という社名で新会社を設立し 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し、本契約は 2019 年に完了した。また、2020 年 6 月に CRJ シリーズ事業を三菱重工に譲渡した。

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きた。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。

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、2020 年 10 月に Spirit AeroSystems へ売却されたが、現時点の社内組織は事業機能別に再編されている。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。2021 年現在、航空宇宙としてはビジネスジェットの製造、メンテナンスに集約して事業を行っている。

#### 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、その傘下に入れたものである。

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 ウィチタ地区

アメリカカンザス州ウィチタにあり、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. Bell Helicopter Textron Canada

Bell Helicopter 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 が、'89年には Bell 412 の生産も移管された。'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。

#### < 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
出荷機数	132	192	201	140	156

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。

c. Pratt & Whitney Canada (P&WC)

P&WC は、Raytheon Technologies 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 カ国以上において 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 Textron Aviation の Cessna Citation Columbus 大型ビジネスジェット向けに PW810 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、遠心性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。

#### d. 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
売上高	969.0	966.8	1,016.2	744.4	688.4
従業員数(人)	3,800	3,800	4,200	3,400	3,400

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。

#### e. 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。

#### f. 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 L3 Harris Technologies となった。

## g. CAE

<売上高・従業員数>

(百万カナダドル)

年度*1	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
売上高	2,830	3,304	3,623	2,982	3,371
従業員数(人)	8,500	10,000	10,500	10,500	13,847

\*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 L3 Harris 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(MRJ)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。

## h. 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 MDA を Northern Private Capital へ売却し、衛星データ分析会社の Vricon を買収した。SSLMDA Holdings は2017年に Maxar Technologies と名称を変更し、現在は米 SSL、米 Digital Globe 等を傘下に収めている。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Dneprロケットで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。

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 (260kg)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 Harris 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 (旧 Airbus Group)

##### 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。

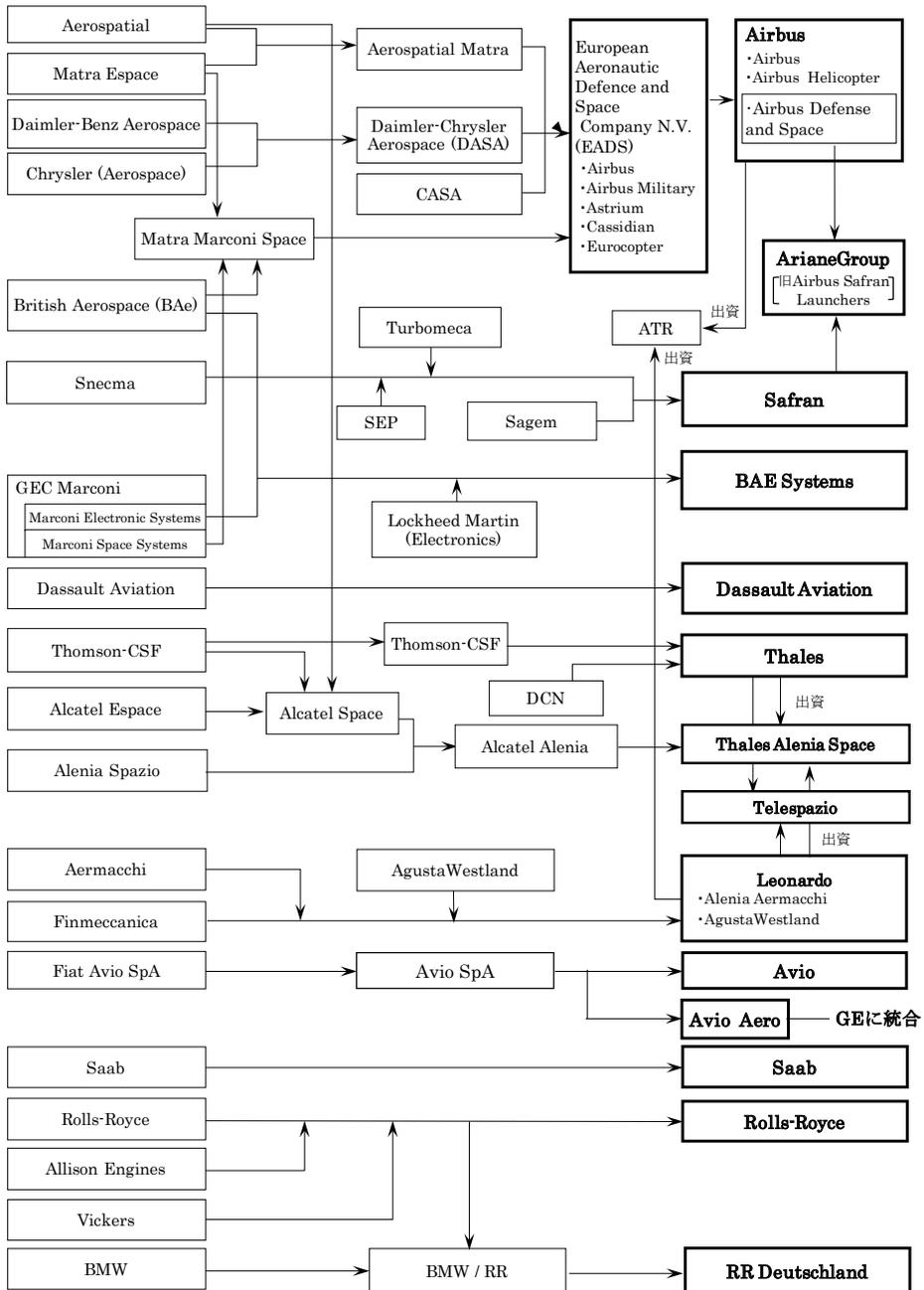
欧州においても米国と同様に、近年、企業間の合併及び統合(M&A)が激しい状況である。(図 2-2-1 参照)

##### 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グループは、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、名称が Airbus に統一された。

図 2-2-1 欧州航空宇宙産業の主な M&A とグループ化



3) 資本構成

Airbus の資本構成(2021 年 12 月末現在)は、フランス政府出資の SOGEP(フランス政府の持株会社)が 10.92%、ドイツ政府が主に投資の GZBV が 10.90%、スペイン

政府出資の SEPI が 4.11%、残りの 74.01%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

2021 年の売上高は€52.1B 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 37%を、アジア太平洋向けが 31%を、北米向けが 20%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 20%で、残りの 80%は民需である。一方、受注高は€62B で、前年比 86%の増加、2021 年末の従業員数は 126,495 人でその 58%に当たる 738,560 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 A330MRITT を生産してきた。

2021 年の民間機部門の売上高は€36. 2B (前年比 6%増)で、研究開発投資は€2.7B (前年と同等)、EBIT は€4.2B (前年比 1.3B 減)であった。

'60 年代の初期、ヨーロッパ各国のメーカーは大きな潜在需要があると予想されが、自国単独の開発はリスクが余りにも大き過ぎるため、'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-Bölkow-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、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)、中国航空工業集团公司(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バイルに建設していた 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。

2022年12月末時点の機種別の開発経緯等は、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・就航機数

機種	代表型座席数				開発経過		2022年12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	就航機数
A220	108		135		2008年7月	2015年12月	773	246	246
A300	251	231			1965年5月	1974年3月	561	561	229
A310	218	187			1978年7月	1983年3月	255	255	54
A318			107	132	1999年4月	2003年6月	80	80	58
A319ceo	124				1993年6月	1996年4月	1,486	1,484	1,349
A319neo			140	160	2010年12月	2018年12月	91	10	10
A320ceo	150		150	180	1984年3月	1988年2月	4,763	4,752	4,298
A320neo			165	189	2010年12月	2015年11月	3,965	1,651	1,651
A321ceo	186		185	236	1989年11月	1993年12月	1,791	1,784	1,732
A321neo			206	240	2010年12月	2016年12月	4,609	931	931
A330	335		277	440	1987年6月	1993年10月	1,774	1,559	1,467
A330neo			287	440	2014年7月	2018年9月			
A340	335	295			1987年6月	1992年12月	377	377	203
A350			325	440	2006年12月	2014年9月	925	521	521
A380			544	853	2000年12月	2006年12月	251	251	237
合計							21,701	14,462	12,986

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。2021 年の売上高は €6.5B(前年比 4.1%増)、受注高は 56.4%増の €5.6B で、2021 年末の従業員数は 20,126 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 2021 年の売上高は €10.2B(前年比 2.5%減)、受注高は €13.7B(前年比 15.4%増)で、2021 年末の従業員数は 32,809 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 System: 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 System の持ち分が EADS に売却され、EADS 100%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 を通じて参画し、Galileo System Test Bed (Giove-B)及び IOV (In-Orbit Validation) 4 機を受注した。2021 年には 3 機の Eurostar E3000 が打上げられた他、Eurostar NEO バス 1 機、Onesat バス 1 機と計 2 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。

## (2) 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erland、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 カ国、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グラ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。2021 年の職員数は約 2,400 人である。

[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。2022 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。各国の出資比率を表 2-2-2 に示す。

表 2-2-2 ESA 各国出資比率(2022 年)

国 名	予算 (Me)	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

[宇宙輸送系]

出典：ESA ホームページ

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 Space Shuttle 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。2022 年末までに累計で 259 機の Ariane ロケットを打上げた。

Ariane 5 は 2022 年中に 3 機打上げられ、累積打上げ回数は 125 回となった。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。原因究明後、日本の DSN-1 号機等の打上げに成功した。現状、2010 年代に台頭してきた米 SpaceX の Falcon 9 と競合する状況にあり、より低価格化が求められているため、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、コロナ禍での射場工事の遅延から打上げ予定が遅れている。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 10 日 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 段目ロケットモータの不具合により失敗した。2020 年 9 月の打上げは成功したが、同年 11 月の打上げは配線ミスにより失敗した。改良型の Vega C は 2022 年 7 月 13 日の初打上げは成功したが、2022 年 12 月 20 日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、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  $\gamma$  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 は中止が発表された。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 15日に 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、2024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 カ国から構成される 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、Sentinel-1B の運用が終了し、Sentinel-1C を Vega-C で打ち上げる予定である。

#### [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、400kg、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 23616km、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 12 月に 2 機が打ち上げられた。EU は 2016 年から Galileo の初期サービス開始を発表した。2019 年には地上設備の不具合により捜索救難(SAR)サービスを除く全サービスが停止していたが、約 1 週間後にサービスを再開した。

#### [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 ST に 6 機の ATV を約€1B で発注した。ATV は 1 号機が 2008 年に打上げられたが、2014 年に打上げられた 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、フォーメーションフライト実証衛星 Proba-3 を開発中であり、2023 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 100kg)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、航空機の開発については、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)等の様々な機体の開発・生産を実施してきた。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・生産も実施してきている。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が中止(2001年)されるなど撤退することになった。

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-'79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。

## (2) 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9日に、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。

## (3) 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 (千万ポンド)	輸出高 (千万ポンド)	輸出比率 (%)	輸入高 (千万ポンド)	従業員数 (人)	従業員1人当たり 売上高(ポンド)
2000	1,825	1,356	72	975	150,651	124,460
2001	1,842	1,160	63	1,206	147,090	125,229
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

～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)

2017～2021年：ADS Group Ltd.資料(INDUSTRY FACTS & FIGURES)

#### (4) 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カ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ラクション(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Skynet6AはADS製Eurostar Neoで製造予定であり、2025年にFalcon 9で打ち上げる予定である。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機を上げた後、2022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年以降に最初の商業サービスを開始予定である。

軌道上サービス分野では、SSTLがSurrey大学と共同で上げたRemoveDEBRISが、2019年には鋳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。

(5) 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
2012	17,834	88,200	1,584	11,300	12,209	42,800
2013	18,180	84,600	2,243	11,700	15,505	55,200
2014	16,637	83,400	2,226	12,350	14,588	54,100
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

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の先駆として株式を公開し、財務内容の改善、マネジメント組織の改革等、経営体質の強化を推進した。’87年には国営兵器メーカーである Royal Ordnance、’88年には車輜メーカーの Rover の買収により、事業拡大とともに経営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 ブランド)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 M&A と売却を積極的に行い防衛産業における地位を強化している。

現在の事業分野は、航空宇宙分野のみならず陸上、海洋、情報機器、電子装備等多岐にわたる防衛事業を主体に構成されている。

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(EADS75%、BAE Systems25%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EADSAstriumへの社名変更を経て、現在はADSに吸収された。

#### 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)、General Electric (GE)、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び、2019 年には航空宇宙事業は売上の 32%を占めている。

### c. Rolls-Royce

Rolls-Royce は創業が'06 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、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 カ国共同開発の 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、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 Airbus A400M 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 (450kg) 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 年に鋸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。

輸出はフランスにとって戦略的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

### (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。2021年のCNESの予算は約€1.3B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たっていたが、'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となつ

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 20cm)、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 1000kg 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。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 Myriade シリーズ(重量約 120kg)を開発し、その第 1 号機の DEMETER を 2004年に打上げた。Myriade 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

ヨーン、Ariane 5/6 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(2021 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 Safran Group、ミサイルやロケットモーターの 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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Dassault Aviation	4,184	4,399	6,976	4,817	6,358
Safran Aircraft Engines	8,572	9,415	10,479	6,437	6,249
Safran Helicopter Engines	1,169	1,164	1,566	1,226	1,190

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	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
Dassault Aviation	8,045	8,205	8,819	8,681	8,815
Safran Aircraft Engines	15,700	16,700	26,632(注)	24,204(注)	23,865(注)
Safran Helicopter Engines	5,620	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。

2021 年の連結売上高は€7.2B で、前年比 31.8.2%の増加であった。連結売上高構成は軍需(国内)10%、軍需(輸出)63%、民需 27%で、輸出は 89%を占めた。単独売上高

は前年比 32%増の€4.8B で、グループ全体の 88%を占めた。2021 年末現在のグループ従業員数は 12,371 人、単独では 8,815 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 年に初飛行を行い、2016 年に Amjet Executive への引渡しを行った。

#### 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、Raytheon Technologies 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。

2021年のグループ売上高は€15.2Bで、そのうちの48.8%(€7.5B)を推進システム部門が占めた。2021年末の従業員数はグループ全体で76,800人、航空宇宙部門は23,865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 (旧 Snecma)

’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及び中国で開発中のC919に採用予定のLEAP-Cエンジンを開発中で、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 第 1 段エンジン、HM7B 第 2 段エンジンの開発/製造社である。Ariane 6 では Vulcain 2.1 第 1 段エンジン、Vinci 第 2 段エンジンの開発担当である。

#### (b) Safran Helicopter Engines (旧 Turbomeca)

'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 (旧 EC135) 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も行っており、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船用ガスタービン (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 Airbu 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、インフラストラクチャ・トランスポーターションの 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(Eutelsat 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 の打上げは中止された。

#### 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 1800 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 カ国が加盟する 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 24 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。2021-2022 年の売上は€1.15B、従業員は 1,200 名(2023 年)である。

## 4. ドイツ

### (1) 沿革

ドイツは、第一次世界大戦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

エクトはドイツの航空技術の向上には貢献したが、実用化にはいたらなかった。

’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として名を馳せていた 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。同年にはコンピ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、外資との合併事業、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。

## (2) 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。

### 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)にドイツ本の機能を持ち、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

へコンピ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。

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

出展：BDLI (和暦；S：昭和、H：平成、R：令和)

\* 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

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)。2021 年の宇宙予算は€1.2B、2019 年の ESA への出資金は€1,186M 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、赤外線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、

ADS(旧 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 1250g で地上解像度は約 25cm (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 の開発を進めており、2021 年以降の打上げを目指している。

#### [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)により上げた。

#### [宇宙輸送分野]

Ariane 5 では、ADS(旧 DASA)が Aestus 第 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 パーターの 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 770kg 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 の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 Luftfahrttechnik 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		2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
売上高	民間エンジン製造(OEM)	2,285.3	2,799.8	1,536.9	1,052	1,066
	軍用エンジン製造(OEM)	444.9	431.1	458.7	483	482
	民間エンジン整備(MRO)	1,289.9	1,602.8	2,711.4	2,522	2,741
売上高		3,897.4	4,567.1	4,628.4	3,977	4,188
従業員数(人)	軍民エンジン製造(OEM)	5,374	5,905	6,698	6,409	6,409
	民間エンジン整備(MRO)	2,994	3,486	3,962	3,904	4,011
従業員数(人)		8,846	9,391	10,660	10,313	10,508

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カ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 Triebwerksbau(当時)は、GEJ79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) Kayser-Threde

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る。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。2013 年に OHB System に吸収された。

#### (d) Carl Zeiss

1846 年にドイツで設立された Carl Zeiss は、Apollo 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 Space Telescope 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。

#### (e) 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。

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 13 日に 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9日に、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 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。2019年のASIの宇宙関連予算は約€872M、(出典: Space Report 2021) 2021年のESAへの出資は€423M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 と合併で 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2019年打上げの14号機まで連続成功したが、15号機によるFalcon Eye-1打上げは2段ロケットモータ不具合で失敗した。2020年16号機打上げは成功したが、17号機同年11月の打上げは配線ミスにより失敗した。2022年7月13日の21号機Vega C初飛行を成功させたが、12月21日、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。VegaC3/4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 EM10エンジン燃焼試験に2022年成功した。

#### [通信衛星分野]

Alenia Spazio(現Thales 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Senti 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Herschel赤外天文衛星、2015年打上げられたLISAPathfinder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)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1m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 1m 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 工場で作られた。

[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。

### (3) 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 S.p.A.

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
2016	3,130	10,367	3,639	11,874	—	—
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	—	—	—

出典：Leonardo アニュアルレポート

Leonardo S.p.A.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、2021 年の売上は約€ 14.1 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SIAMarchetti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、フア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 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 2019 年打上げの 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 号機打上げは成功し、17 号機打上げは配線ミスにより失敗した。2022 年 7 月 13 日の 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 21 日、2 回目である 22 号機打上げは 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 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 Sukhoi
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)	Experimental Design Bureau named for A.S. Yakovlev
f. Mil社(輸送へり)(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。

##### ②VASO

Il-96-300 や Il-96M/N 旅客機が生産及び 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。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。

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

2021 年 7 月、モスクワで開催された 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。初飛行は 2023 年を予定しており、2026 年に初号機の納入が予定されている。

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。

### < Sukhoi Superjet (SSJ)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ッ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 を搭載している。

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。

### 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-50 AWACS 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 Irkut OAO

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年には、それまでの IAPO から新しい社名 Irkut OAO に変わった。正式なロシア名は「Nauchno-Proizvodstvennaya Korporatsiya Irkut OAO」である。2005年に

なって、それまで A320 の部品を製造していた Irkut 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。

#### <Irkut 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及びIrkutが共同で開発している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つて複合材比率は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)を開発中であり、2025年に発売する計画である。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ている

#### ④ Yu.A.ガガーリン記念コムソモールスク・ナ・アムール航空機工場(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 年以來の新型戦闘爆撃機 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(II-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併会社 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。

## (2) 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 カ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。2022年のロシアの活動状況はウクライナ侵攻情勢下でも年間のロケット打上げ回数は23回、自国の衛星は CubeSat も含め全部で45

機を打上げている。ISS 有人飛行は 2 回、プログレス補給船は 3 回となっている。海外衛星の打上げサービスは 2 月 10 日の OneWeb 34 機の 1 回のみである。打上げ衛星の傾向としては、軍事衛星を中心に開発が遅れていた衛星の打上げが集中した形となった。

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られている。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、Roscosmos 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。

#### [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 などを上げた。12 月に EU の Galileo FOC 23, 24 を仏領ギアナ基地から上げた。2020 年 3 月から 2022 年 2 月 10 日までに 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 4 日の 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。

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、欧州が独自に進める見通しである。Proton M の 2022 年打上げは 10 月 12 日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。

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 29 日に EO MKA 2、10 月 15 日に 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 年以降ロシアでの利用は不透明である。

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、極東アムール州で新射場 Vostochny の建設を進めてきており、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。また、同年の Soyuz には古川聡宇宙飛行士が搭乗し、ISS

第 28/29 次長期滞在クルーとして滞在した。2012年には4回の打上げに成功し、星出彰彦宇宙飛行士が第 32/33 次長期滞在クルーとして搭乗し、125 日間に渡って ISS に長期滞在した。2013年にも4回の打上げに成功し、若田光一宇宙飛行士が第 38/39 次長期滞在クルーとして搭乗した。2014年から2015年には、油井亀美也宇宙飛行士の搭乗した M17 を含む、M12~M19 を打上げ、2016年は M20 に続き、大西卓哉宇宙飛行士が搭乗した MS-01、続けて2回打上げた。2017年には Soyuz は15回打上げられ、そのうち4回が有人宇宙船であり ISS 第 54/55 次長期滞在クルーとして MS-07 に金井宣茂宇宙飛行士が搭乗した。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7月に ISS に送られたが、ドッキング後に誤ってスラスタを動作させたため 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いるが、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22日のMS-22では米国人宇宙飛行士1名をISSに送り、10月5日には米国の 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た。ロシア側の確認ではMS-22での地球帰還は困難で代替宇宙船を2023年初頭にISSに送る方向で調整中である。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、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課題にしている。

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 ProtonM 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 ProtonM 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12月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 22 日に 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 機が打ち上げられている。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 カ国が加盟し、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し、最初の 1 機は 2023 年に打上げる計画である。そのプロトタイプの SkifD (14F149)を 2022 年 10 月 22 日に打上げた。

#### [技術実証衛星]

2022 年 8 月 9 日にイランの 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 15 日と 6 月 3 日の 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。

8 月 9 日に打上げられた 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、いずれも成功した。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(700kg)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は 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年の打上げは7月7日に GLONASS-K 16L、10月10日に GLONASS-K 17L、11月28日に GLONASS-M 761 を打上げた。2023年以降 GLONASS-K2 の運用が開始され 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。1960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。Elektro-Lは5機計画のうち3機を上げた。

Arktika-M は地球観測衛星としての性質もあり、静止軌道ではなく HEO(高軌道)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, MSD)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機上げられている。

ロシア国内の民間企業が上げた地球観測衛星は2014年に上げた SPUTNIX 社の地上分解能 15m の光学衛星 TabletSat-Aurora の1機のみである。

#### [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 (2260kg、高度 500km)を2001年に上げた。更に、太陽観測衛星 Koronas-Foton を2009年に上げた。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 を上げた。Spektr-R は直径 10m 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)が2023年の打上げ計画で進められており、着陸機のペイロードで欧州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。

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、Neutron、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22日に 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 0.33m 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 社が担当している。EO-MKA は 150Kg の小型の光学偵察衛星で地上分解能 0.9m、光学系はベラルーシ OAO Peleng 社が担当している。3機打上げているとされるが、全てが運用されているかは不明である。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3機打上げられている。

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2日に6機目を打上げた。

ELINT衛星のLotos-S1は5号機を2022年4月7日に、6号機を11月30日に打上げている。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1~2m、ストリップマップモードで1~3m、Scan SARモードで5~30mの地上分解能を持っている。2013年に打上げた1機のみであるがKondor-Eという輸出型も開発中である。

Neutron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。Olympicはレーザー通信のほか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。

#### [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14日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15日に第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 と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。

旧ソ連の宇宙往還機プ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。

## (2) 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 Ukraine)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、2022 年時点で完全加盟への見通しは立っておらず協力協定で留まっている。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 No.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。

#### [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 工場が製造を行っていた。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 設立に参加している。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る。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。

また、ロシアが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るが、ロシア軍のドニプロ攻撃により 2022 年 7 月 15 日に工場施設が破損している。ウクライナ国立宇宙機関は 2021 年 1 月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 を使用した宇宙港を建設する共同プロジェクトに関する内容である。

### [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(2223kg)及び海洋観測用のマイクロサット Micron 1(66kg)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13日に次号機の Sich 2-30を Falcon 9で打上げた。衛星の地上分解能は光学 8.2m、赤外 58.1m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日に技術試験を目的とした National Technical University of Ukraine の CubeSat 衛星 QBUA01が Falcon 9で打上げられた。

### [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(100kg 級)を製造する契約を結び、2007年に Dnepr で打上げに成功した。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 Yuzhmash 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 Northrop 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 SDO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年の2回の上げが成功している。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は継続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 SDO が開発、Yuzhmash Plant が製造した RD-843 エンジン、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に活動を開始した。

## 8. オランダ

### (1) 航空機産業

#### a. Fokker (現在はイギリス GKN Aerospace の一部門)

オランダの Fokker は、かつ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。

## (2) 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 2022 年の拠出額は約€99.6M 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 7 月にブルーオリジン 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る。Inmarsat2、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 7 月にロシア側の 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 SlosSat (127kg)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 13 日に 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。

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1月に Hiber-4、3月に 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 Airbus Defense and Space Netherlands、Hyperion Technologies、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6月に打上げられた。

## 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

### (1) 航空機産業

#### a. Pilatus (Pilatus Flugzeugwerke AG)

Pilatus は39年に創立され、現在は Oerlikon-Bührle 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 (Swiss Aircraft 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 Helicopter)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 Dynamics にドイツの Do228 製造ライン、関連部門を売却した。

## (2) 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。2022年の ESA への拠出額は約€147.7M 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18日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17日に 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、Orbital Northrop Grumman Innovation Systems、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。2019年に 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1kg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26日と2023年1月4日に打上げた。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する。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る。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。'68 年にトラック及びバス事業を行っている Scania Group と合併、Saab-Scania となったが '95 年、親会社の Investor Group は企業の効率化を図るため同社を再び分割することを決定、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 を負担している。その後'85年に Fairchild は共同体制から手を引き、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年から引き渡しが始まり、'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ト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 Deutschland)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。

## (2) 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。2022年の ESA への拠出額は約€75.0M 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 年に再利用性テスト飛行を予定している。SSC は 2023 年に最初の小型衛星の打上げを目指している。

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 年には 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 SESSIRIUS としていたが、2010 年には SES が SESSIRIUS 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 9 月に 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、40kg)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の代わりとして開発されたシステムであり、2013 年には、NASA が性能試験の実施を決めた。

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。Volvo Aero(現 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。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ている。

## 12. スペイン

### (1) 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と合併して欧州航空防衛宇宙会社(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席クラス的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、Sneema 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 Space)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・ストリング及び一部の中胴、B787-9/10 の後部圧力隔壁など 25 機種のパネルに参画してきた。

#### (2) 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 Nacional de Technica Aeroespacial)が担っている。2022 年の ESA への拠出額は約€220.7M 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。スペインでは自国のみで衛星の打上げを行う技術はまだ保有していないが、Ariane の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 2023 年に打上げ予定である。2020 年 2 月に 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、同年 3 月、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。衛星の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 年に打上げる計画である。Sateliot は 5G の IoT 衛星を開発しており 2021 年 3 月に 3U Cubesat の 3B5GSAT を上げた。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 13 日、5 月 25 日、10 月 1 日に合計 12 機を上げた。

#### [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 25 日に Guardian と Satlantis の 16U CubeSat の Urdaneta-Armsat-1 が Falcon 9 で上げられた。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 3CAT2 を上げた。

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 が Vega ロケットの Vega Small Spacecraft Mission Service (SSMS) で打上げられた。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 が打上げられた。

#### [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 2023 年に打上げ予定の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

#### (1) 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 DHC 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。

## (2) 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、2022 年の ESA への拠出額は約€45.4M 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 13 日、2 号機の VZLUSat-2 を打上げた

## 14. ノルウェー

### (1) 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。

### (2) 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。2022年の ESA への拠出額は約€71.8M 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 2023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 1kg)も他の 20機の小型衛星と共に 2006年に Dnepr で打上げられた

が、打上げは失敗に終わった。Narvik大学の学生による HiNCube が 2013 年に打上げられた。AISSat-1 (6kg) を打上げた。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 (6kg) 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に終わっている。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 4 月に打上げられた。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というものである。Norssat の次号機として Norsat-4、NorSat Technology Demonstrator (NorSat-TD) の計画が進められているが、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 4 月に 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) を 2 機発注した。

[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、2017 年現在で世界各国に 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。

### (2) 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、2022年の拠出額は約€28.7M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Copernicus(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年に設立)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、ReaktorLab、KuvaSpaceなどがある。ReaktorLabは2021年6月に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8月に太陽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12月にRocketLabのElectronで打上げられた。水推進スラスターやプラズマ・ブレーキの試験を予定している。

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 で上げられた。なお、ICEYE X2 と同時に上げた 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 機を上げ、2022 年は 1 月 13 日と 5 月 25 日に Falcon 9 で ICEYE X24 まで上げられており合計 21 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 BAe 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、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。

## (2) 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。2022年のESAへの拠出額は約€238.7M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ー、リアクションホイール、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。2023年に打上げが延期となっている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等の供給を行う。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發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。

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OUTFI-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 Occultation 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、地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 Corporation 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)は 2020 年 9 月に打上げられた。

## 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22日 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部品を 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 SA

’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。

## (2) 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。2022年の ESA への拠出額は約 €44.8M である。国内の産業では 2021年11月に 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6月にSatRevolution 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-4、-5が、2022年1月13日にSTORK-1、2、3の3機がFalcon 9で打上げられた。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28日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

### (1) 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 Lockheed 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)の治工具の設計・製造、各種機種 of 整備等を行っている。また、Romaero は、Agusta、Airbus、Boeing、GKN、IAI、Patria、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 の能力向上も行っている。B737、A320、BAe146 / AVRO RJ の MRO 事業を行っている。

#### c. IAR

1925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 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。2022年のESAへの拠出額は約€47.5M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、2021年10月のSES-17まで16機打上げている。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：ルクセンブルグ)を設立し、その下に欧州アフリカを担当するSES ASTRA(本社：ルクセンブルグ)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Galileo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機の衛星を打上げしており、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0.5m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OHBAG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 Europe S.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1月に締結した。

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、また、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12月には、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7月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10

月にイタリア宇宙庁(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 1 日と 2023 年 1 月 3 日には KSF 2 (Patrol Mission) と KSF 3 (Observer Mission) を 4 機ずつ打上げている。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 とチャン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

### (1) 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。2022年のESAへの拠出額は約€21.2M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年に打ち上げるために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に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、重さ1kg以下の標準的な1Uサイズのキューブサットで衛星の主目的は、学生教育と種々のアビオニクス技術の実証を目的とし、アマチュア無線帯電波のUSB受信機や、リチウムイオンバッテリー等のフライト実証が行われた。また、この衛星にはカメラも搭載され、地表の写真撮影も行われた。

MaSat-1 は 2015 年に大気圏に突入し、3 年間の運用が終了した。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 が打ち上げられた。

## 21. オーストリア

### (1) 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、2022 年の拠出額は約€49.8M であった。

2013 年に、超小型天文観測衛星である UniBRITTE-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 (BRITTE)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(Österreichisches 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 13 日に打上げた。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。

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。2022年のESAへの拠出額は約€33.8M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る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年には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。2023年に12U CubeSat技術実証衛星のGOMX-5A、GOMX-5Bを打上げ予定である。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 との窓口でもある。2015 年には ESA の 21 番目の正式加盟国となった。2022 年の ESA への拠出額は約€2.0M であった。

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 の打上げが予定されている。

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ステーションに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年には後継機である通信・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 基を搭載し、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-3 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 は地球磁場の測定を目的とした 3U の超小型衛星であり、Almaty 宇宙技術研究所が開発した。

## 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。2022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 Eurocopter)の技術協力を得て開発を開始、'92年に Turbomeca 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 (SA 315B 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る。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-30MkI をライセンス生産することで合意した。

#### 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。こ 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プレード、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 年に次の 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 パーセント子会社の 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 (Augmented 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)実用化に成功した。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。インドのロケット打上げ施設は ISRO が運営するサティッシュ・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、一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、二段に液体水素／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 Chandrayaan2 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 Bellatrix Aerospace 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 ISRO の商業部門である 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によるインド初の商業ミッションとして、2022年10月22日に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。

表 2-3-1 PSLV 打上げ一覧 (1/3)

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, AISat-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	

表 2-3-1 PSLV 打上げ一覧 (2/3)

No.	シリアル	形式	打上日	ペイロード	結果	備考
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, Athenosat 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	
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	

表 2-3-1 PSLV 打上げ一覧 (3/3)

No.	シリアル	形式	打上日	ペイロード	結果	備考
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, URSAMAIOR, 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	

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 (Moon Lander)	成功	
17	F10	GSLV	2021/8/12	EOS-03	失敗	
18	M2	GSLV Mk-III	2022/10/22	OneWeb 36 機	成功	

#### [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 2 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 メートル×3.4 メートルの宇宙船で 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。2022 年は試験飛行などの有人飛行ミ

ミッションに関する動きはない。

[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 23日に 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 (1/2)

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

表 2-3-3 インドの通信衛星 (2/2)

衛星	打上日	打上重量	打上機	備考
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 26 日の 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 1m(高度 500km)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 プログラムの衛星を挙げると、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 16km で分解能 0.25m 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 3.6m のパラボラアンテナを使用した 610kg 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。2022年以降、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。2022年4月1日に Falcon 9 で打上げた 15kg の 6U CubeSat の技術実証衛星 Pixxel TD-2 Shakuntala で地上分解能 10m 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6月打上げの計画である。

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。

#### [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 も同年に上げられている。2017 年には、ISRO の超小型衛星 INS-1A/1B を上げた。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 を上げた。

#### [国際協力]

インドはロシア、フランスなど約 20 ヶ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。

## 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。このため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)コンピ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 フィート(1,220m)滑走路から離着陸出来る。

2014 年に Regio Aviast 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。

### (2) 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対して、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 SATRIA を 2020 年に長征 3B で打上げたが軌道に到達できず失敗した。後継機として PT Telkom Indonesia (Telkomsat) の HTS-113BT を開発中で 2024 年の打ち上げを目指している。

#### [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 50kg 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、6m 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 70kg 級の LAPANA2 を打上げた。LAPANA2 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

#### (1) 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/B747/B767/B777/B787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プロン、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等の企業を選定された。

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-28 Ghost Bat (Loyal Wingman計画)の製造組立工場をクイズランド州のトゥーンバに建設する計画を2021年9月Boeingは発表した。2022年に米空軍が調達を交渉しているとした。

#### (2) 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AUSROCI、'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2023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 OptusC1 は三菱電機(主契約者)と SSL(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2023年打上げ予定である。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25日に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。

#### [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 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ー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24日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13日と8月4日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 TX 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 TX 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受注数を増やし採用検討国が増えてきている。

また、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 19 日に初飛行した。

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 がある。

さらに 2005 年に Bell と三井物産と Bell 429 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。旧 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、世界で唯一、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。

## (2) 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10月に行われ、2022年6月21日に羅老宇宙センターから4機のCubeSatの打ち上げに成功した。KSLV-2の開発には約16億ドルが投じられ、太陽同期軌道に1500kg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。

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、2022年12月15日からブラジル北部のアルカンタラ宇宙センターから打上げ予定であったが、天候不良のため年内の打上げを断念した。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、韓国の投資グループ J-Space は 2022 年 8 月 10 日、LauncherOne の発射場候補地の評価に関して Virgin Orbit と提携した。

#### [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年に上げられた。(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 年に上げられた。6号機は Thales Alenia Space へ発注し、2010 年に上げられた。'91年に Lockheed Martin により上げられた LMI-1が香港を拠点とする 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年に上げられた。Thales Alenia Space の Spacebus-4000B2 を採用した Koreasat-7 と Koreasat-5A は、2017年に上げられた。

#### [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(50kg)を'92年と'93年に上げられた。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(110kg)の開発に着手し、新技術習得を目的として'99年に上げ、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-4,100kg)が 2003年に上げられた。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。

#### [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(465kg)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 で打上げられた。Kompsat-3A は 2015 年に打上げられた。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、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 Ariane5 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 3 月に打上げられた。

'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 700kg クラスの衛星で分解能 30cm 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 5 月に韓国科学技術・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 13 日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ち上げる契約を SpaceX と締結した。計画によると最初の 1 機は、2023 年末までに 800 kg の電気光学赤外線衛星が地球低軌道に、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。

## 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ー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(セレーター・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、セレーター・キャンパスを建設し、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.傘下であり、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 SASC (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(MCID)、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: Singapore 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年に上げた。また、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 (120kg 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30日に、国防科学技術庁(DSTA)の分解能0.5m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400km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H-IIBロケットで輸送され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)に設置されたり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 (400kg)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1m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。

[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 社があり 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 社が英国の RAL Space とオランダの ISISPACE と CubeSat 衛星の Spectre 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 Equatorial Space 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

### (1) 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 のロップリ工場は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。

### (2) 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をサリ一衛星技術会社(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2m・質量750kgの地球観測・偵察衛星THEOSをGISTDAが€120MでEADS Astrium(現Airbus Defence and Space, ADS)に発注し、2008年に打上げた。

#### [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Northrop 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も上げられた。Thaicom-8はOrbital Sciences(現Northrop Grumman)が開発し2016年に上げられた。

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)によって開発され、2018年に打上げられた。2020年9月にタイ王国空軍(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6月に Napa-2 が打上げられた。

## 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T5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、三菱航空機SpaceJetのスラット、フラップ、翼胴フェアリング、昇降舵、方向舵の設計・製造に参画している。

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份有限公司(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。

## (2) 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 Northrop 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現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, 760kg、画像解像度 2m、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 Northrop 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、500kg クラス、地表分解能 2m(パンクロ)/4m(マルチスペクトル)であり、初の純国産地球観測衛星で 2017年に打上げられた。

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、全球の広範囲の同時観測を図っている。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。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)で構成されている。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年に打上げられた。

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号機までを上げた。このうち2001年に上げた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 HAPITHI、HAPITHV 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 9 月に南オーストラリア WhalersWay サイトから HAPITHI 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、中国航空工業集团公司(AVIC)として設立された。グループの構成を次ページの表に示す。

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。

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(ハルビン)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)
中国航空工業集团公司 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团公司	China Aviation Industry Corporation I (AVIC I)
① 上海航空機工業(集团)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(集团)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(集团)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(集团)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(集团)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团公司	China Aviation Industry Corporation II (AVIC II)
① 洪都航空機工業集团 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团 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(集团)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(集团)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 21<sup>st</sup> 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。2022年12月末で384機の確定受注があり、79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29日CAACから型式証明を取得し、同年10月現在、オプションを含めて700件を超える受注を獲得した。ただし、そのほとんどが中国国内の航空会社であり、対抗機種であるA320neoや737 MAX8の市場に進出するには、同等の信頼性と安定した生産量が必要であるとみられている。

2022年12月9日、初号機が中国東方航空に引き渡され、2023年春に国内主要路線で運航が始まる見通しである。

#### <COMAC CR929 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、同年 9 月には機体名を CR929 とした。基本型の CR929-600 (280 席、航続距離 14,000km) のほか、短胴型 CR929-500 と長胴型 CR929-700 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る。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。

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 31 日、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团公司 (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Y10(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以主翼と胴体部位、瀋陽航空機公司以ワイヤーハーネスと関連部品、尾部、成都航空機公司以機首、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、Raytheon Technologies、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团公司 (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 Y5「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團 (HAIG) 黒竜江省 哈爾濱

H-5「轟炸 5」爆撃機(II-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 景德鎮

哈爾濱航空機工業集團、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团公司(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、中国航天科工集团公司(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(甘肅省)、太原(山西省)及び西昌(四川省)、文昌(海南島)にあり、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打上げ、この分野では米口に次ぐ「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1月28日に発行された。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施し、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て実施し、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。

中国国内の航空宇宙企業は2022年時点で141社に到達し、うち民間企業は123社としている。宇宙関連の主な企業を表2-3-5に示す。2022年は64回のロケット発射を実施し、衛星や有人宇宙船など CubeSat を含め 181 機を打上げた。なお、前年2021年のロケット打上げは55回と発表されている。組織動向に関しては2022年2月26日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衛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27日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团が\$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 (1/3)

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

表 2-3-5 中国の宇宙企業一覧 (2/3)

No.	企業名	拠点	分類
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 Exploration Technology	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
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

表 2-3-5 中国の宇宙企業一覧 (3/3)

No.	企業名	拠点	分類
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

## [宇宙輸送分野]

中国の国産ロケットは70年の長征1号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25種類に及んでいる。そのうち7種類が退役しており、開発中の長征9号を除き17種類のロケットが現役である。

2022年までに長征シリーズでの打上げは通算で462回(内失敗19回)となった。2022年の長征シリーズの打上げ回数は53回である。そのうち6回は有人宇宙活動関連で長征2F(神舟)・長征7(天舟)・長征5B(CSSモジュール)が2回ずつである。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号Fである。2022年までに有人で15回(神舟15号)打上げられている。長征2号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号FT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号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7Aがある。2022年9月13日に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27日に22機の衛星を打上げ、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号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号は月遷移軌道(LTO)に50トン、火星遷移軌道に35トン投入可能としている。

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350kgである。長征11H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。

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、中国航天科工集团公司(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。快舟1Aロケットで、すでに20回打上げ成功率90%の実績がある。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7日の打上げ成功により運用が再開された。中国運載火箭技術研究院(CALT)の固体燃料ロケットに捷竜(Jielong)があり、捷竜3号が2022年12月9日に打上げられた。太陽同期軌道(SSO)への投入能力は1.5tで、打上げコストを1kg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号/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Landspace(藍箭航天)の朱雀2号(Zhuque-2)、LinkSpace(翎客航天)の風暴1号(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号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号長距離大陸間弾道ミサイル技術を元に開発されたもので、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り、2022年7月27日の初飛行では5種類6機の衛星を打ち上げた。LOX/LCH<sub>4</sub>液体燃料ロケットエンジンを採用しているLandscape社の朱雀2号(Zhuque-2)を2022年12月14日に初飛行させたが、第2段バーニアエンジンが予定よりも早く停止し、軌道速度に到達できなかった。双曲線(Hyperbola-1)は2022年5月13日の打上げに失敗した。2021年から連続3回失敗している。

#### [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5Bで打上げた。2022年7月24日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100kgの衛星を軌道上に投入できる。続いて2022年10月31日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5日に、続く神舟15号は2022年11月29日に打上げた。補給船の天舟4号は2022年5月9日、天舟5号は2022年11月11日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完了後、運営段階に移行していく。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日となりロシア・米国・日本に次いで世界第4位である。

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 Shiyang 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26日に酒泉から打上げて、南東約500km離れたアラ善(アルシャー)右旗空港に水平着陸させている。

2021年6月24日に中国航天科技集团公司(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コン型通信衛星 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15日、中星19号が2022年11月5日に長征3Bで西昌から打上げた。

創新(ChuangXin)は独自開発した100kg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12日に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93kg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27日に天啓19号を長征8で、2022年12月9日に天啓7号を捷竜3号で打上げており、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5日に銀河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測位システム(Compass Navigation Satellite System)は2020年3月にBeidou-54、6月にBeidou-55が静止軌道に打上げられ、全55機のBeiDou全球衛星測位システム(GNSS)が完成している。北斗は3つのシリーズがあり、北斗2号および北斗3号で49機が運用されている。北斗衛星の一覧を表2-3-6に示す。2022年中の衛星交代はなく2023年からであるが、システム強化の試験として2022年10月7日に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号シリーズはショートメッセージ通信機能があり近々、大衆向けスマホに機能を開放される。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。

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 4 日に和徳 2G が長征 4B で太原から、和徳 2H が 2022 年 12 月 9 日に捷竜 3 号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 2 日に長征 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 で開發生産されており、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

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
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
25	Beidou 21	BEIDOU M3-S	2016/2/1	運用中		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

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
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
60	Beidou 56	BEIDOU 3M25	2020/12/30	運用中		MEO
61	Beidou 57	BEIDOU 3M26	2020/12/30	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、2022年時点で正常に稼働しているのは10機である。最新は2021年に打上げた風雲4Bと風

雲 3E である。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 カ国へ提供している。

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 11 日に雲海 3 号(Yunhai-3)を長征 6A で太原から打上げている。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。

#### [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である資源 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 15 日に大気圏環境監視衛星の大気(Daqi)が長征 4C 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(レーザーレーダ)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。

2022 年の主な地球観測衛星だけでも 16 種類以上の衛星が打上げられており、そのうち政府系で 4 種、民間系でも 4 種が注目される。

2022 年の打上げは遥感(Yaogan)を 11 回打上げて計 27 機の衛星を軌道に配置した。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 6 回(他に失敗 1)打上げられ、計 52 機の衛星を低軌道に配置した。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4月6日と2022年6月27日に高分3号03、高分12号03の2機のSAR衛星と12月8日にはハイパースペクトル衛星の高分5号01A、そして12月27日には高分11号04を打上げている。

政府のSAR衛星で新しい衛星は2022年1月25日と2月26日に長征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、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。さらに2022年10月12日に長征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5m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。

ハイパースペクトル衛星では2022年8月4日に長征4Bにより太原から打上げられた陸地生態系統炭素監視衛星TECIS(Guomang)がある。レーダーレーダー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)が打上げられており、夜間光や氷雪変化を観測するものもある。政府および地方政府(海南省)が開発し2022年2月27日に長征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62.5kg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。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、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24日に長征2Dで太原から打上げられ、地上分解能0.5m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4mで1機、北京2号は分解能1mで4機が運用されている。中国四維測繪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15日に長征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機打上げられており、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5m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。微納星空会社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27日に泰景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9日にも穀神星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。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9日にJinzijing(Golden Bauhinia-1)の5号機と6号機が捷竜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2022年における打上げが官民で増加し32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月の初打ち上げから2022年まで23機打上げられている。2022年は太陽同期極軌道(SSO)に試験10号、試験13~17号、試験20号、試験21号の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39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23日に快舟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术試験とみられている。2022年7月27日に「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。同時打上げされた済南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。2022 年に打上げた衛星で主な衛星は、2020 年 8 月 23 日に快舟 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术試験とみられている。2020 年 7 月 27 日に「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。同時打上げされた済南 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。

2022 年 3 月 29 日に長征 6A で太原から上げられた天鲲 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团公司(CASIC)の衛星である。民間企業からも多く上げられており、主なものでは 2022 年 5 月 20 日に長征 2C で酒泉から上げられた 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言われている。同時に上げられた衛星で 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 6 日に快舟 1A で酒泉から上げられた向日葵 3 号、4 号(CentiSpace-1 S3, S4)の 2 機と 2022 年 10 月 7 日に長征 11H で黄海上から上げられた向日葵 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「玉兔 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)を上げた。2020 年に嫦娥 5 号(Chang'e 5)が上げられて、月面の試料 1.731kg 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ブ

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 2022 年 1 月に中国国家航天局 (CNSA) から発表され、5 年間で嫦娥 6 号、7 号、8 号の 3 つのミッションを実施するとしている。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、嫦娥 7 号は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、嫦娥 8 号から月面基地の建設を開始とする内容で、早ければ 2023 年か 2024 年に始めるとしている。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 16 日に締結している。

中国初の火星探査機「萤火 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。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 10 月に太陽探査衛星 Chinese H $\alpha$  Solar Explorer (CHASE)を打上げている。2022 年 10 月 8 日に太陽観測衛星「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 13 日に長征 7A で文昌から打上げた Fenghuo 2E 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 5m 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、平等互惠、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 カ国が参加している。衛星製造の国際実績として、南米地域ではブラジルのほか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、ポ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「一带一路衛星」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、今後エジプト国内に初の衛星組立試験センターを設立する予定である。

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8月に 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4月にロシアの 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。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。2022年は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。また、2035年までに NASA の月面ゲートウェイに相当する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、航空機及びスベア・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 Raytheon Technologies)は、マニラの南方50km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に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 VINASAT-1 は Lockheed Martin にて製造され、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されたが、同衛星から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」がイプシロン 5 号機で 2021 年 11 月に打上げた。

## 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) である SouthPAN で共同プロジェクトがある。2022 年 8 月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 1 月に締結している。

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 22 日に打上げている。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。概念実証衛星 5 機を 2022 年 12 月 27xx 日に打上げた。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、大学などを顧客とする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32回になった。

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。

## 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。

現在は航空機的设计・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 Tucara と IA 63 Pampa がある。対地攻撃機 IA 58 Tucara 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 Tucara、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。

## (2) 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 Aplicaciones 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。

### [宇宙輸送分野]

ロケットとしては、Tronador 1 という 3.4m、60kg、到達高度 15-20km、搭載可能ペイロード質量 4kg(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、200kg 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。

### [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 Aquarius 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 で打上げられた。これに  
より L バンドアンテナを備えた 3,000kg 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、2022  
年 5 月 25 日の打上げ分まで合計 34 機が打上げられている。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、2023 年にはオランダで衛星生産施設が稼働する予定である。  
2022 年 1 月に 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 と共同出資体を作って、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 の打上げが上げられた。  
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-1 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、12kg 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 3 月に 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 13 日に 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 が Falcon 9 で打上げられている。

## 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 ERJ145(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 Embraer 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。

軍用輸送機分野では、2006年からC-130サイズの中型輸送機の検討作業が開始された。2008年にC-390中型双発ジェット軍用輸送機の開発が開始された。2009年ブラジル空軍から空中給油/輸送機型KC-390の発注が発表され、2019年に納入された。

## (2) 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。活動の中心はブラジル国立宇宙研究所(INPE)と宇宙開発活動研究所(IAE)に置かれており、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によって調整管理が行われてい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(115kg)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6月に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。2021年8月に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、Virgin Orbit)とカナダ企業(C6 Launch)が空軍との契約交渉中である。英国Virgin Orbit社はアルカンタラからのLauncherOne打上げのため2022年6月にブラジル子会社を設立した。

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(Veículo 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400kgのペイロードを高度270km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 は 2016年に、D2 は 2021年7月に打上げた。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 Strategic 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(1,450kg)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年に打上げられた。また気象データ収集衛星 SCD シリ

ーズとして、'93年にSCD-1(115kg)、'98年にSCD-2(150kg)を打上げた。小型地球観測衛星は、Amazonia 1は2021年2月に打上げられた。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500kg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 (60kg)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カ国の自由貿易協定)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を設立したり、子会社を設立したりして活動している。現在、航空宇宙関連企業数は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製造に従事している。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。

## (2) 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 Aeroespacial 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9月28日に締結した。2021年2月に国際宇宙探査調整グループ(ISECG)に加盟した。

#### 4. チリ

##### (1) 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。

チリは、'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100kg未満の小型衛星3機と20kg未満のマイクロ衛星7機を Space X で打ち上げる計画であり、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。

## 第5節 中近東・アフリカ

### 1. アラブ諸国全般

#### (1) 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カ国は、'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カ国は、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。

#### (2) 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カ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年に上げられた。4Aの代替機として4ARを2008年に上げた。Arabsat 5A/5B/5C(Eurostar-3000)のうち、5A/5Bを2010年に、5Cを2011年に上げた。さらに、6Bを2015年に上げ、現在Arabsat4AR/4B/5A/5B/5C/6Bの6機を運用中である。Arabsat 6Aは2019年に上げられ、Arabsat 6Dは2021年以降の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年に上げる計画である。

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

エリア、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 7 日の中国 GCC(湾岸協力会議)サミットで、中東独自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 TAQANIA 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)が静止軌道上に打上げられた。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、ランドサットやスポット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。また、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 年及び 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 Nilesat201 を打ち上げた。2020 年、商用衛星通信事業者 NileSat は、通信衛星 NileSat 301 を 2022 年 6 月 8 日に 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。Egypsat 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 100kg 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 Egypsat 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。Egypsat 1 は地表分解能 8m 程度のマルチスペクトルイメージャを搭載している。Egypsat 1 の運用は 2010 年まで行われた。

2014 年には Egypsat 1 の後継機である EgyptSat 2 (MisrSat 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 1,050kg の衛星であり、地表分解能 4m 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。また、後継機となる 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 が打上げられた。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、2014 年には連邦法で国家宇宙開発を目指したアラブ首長国連邦宇宙庁(UAE Space Agency)を設立した。同庁の宇宙技術部門として 2006 年に設立された 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。

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 Cooperation 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 6 月、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 カ国、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、引き続き 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 3UCubeSat 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 Falcon9 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 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נקロ)、5.0m(マルチ:4 バンド)の光学センサを搭載している。また、1m(パנקロ)、4m(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 Nayif1(EO-88)キューブサットは、2017 年に打上げられた。2018 年に H-IIA ロケットで打上げられた地球観測衛星 KhalifaSat は、0.7m のパנקロマチックと 4m 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 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 FalconEye2 高解像度光学偵察システムを打上げた。2018 年にハリーフア大学(Khalifa University)のキューブサット MYSat-1 が Antares230+ロケットの補給船 Cygnus CRS-10 で上げられ、国際宇宙ステーションから放出された。2020 年に温室効果ガス濃度を調査する CubeSat の MeznSat が上げられた。2021 年 3 月に宇宙飛行研究所(SFL)によって開発された 15kg の地球監視マイクロ衛星である DMSat-1 が上げられた。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 1m 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 7 月、Mohammed Bin Rashid Space Centre (MBRSC)が開発した UAE 初の火星探査機 Al-Amal (HOPE, COSPAR 2020-047A)が H-IIA ロケットで打上げられた。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 10 月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 10 月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 4 月に日本の 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 11 日に 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。HAKUTO-R ミッションは 2023 年 1 月上旬時点で順調に進んでおり、2023 年 4 月に月面着陸の予定である。2022 年 9 月 16 日に 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 10 月に締結した。

#### [有人飛行・宇宙往還機]

UAE 初の宇宙飛行士は、2020 年 9 月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 4 月に UAE 初の女性アラブ宇宙飛行士が選抜された。2022 年 5 月 2 日、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。半年の長期ミッションとされている。

#### [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

### (1) 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一つである。

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、LockheedMartinとF-35 Lightning II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。

## (2) 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、156kg)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(300kg、分解能0.8m)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段目ロケットの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Shavit-2で打上げられた。2020年7月には光学偵察衛星 Ofeq-16がShavit-2で打上げられた。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(50kg)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996kg、寿命10年の3軸静止衛星である。2003年打上げのAMOS-2(IAI製、1,374kg)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4,300kg、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 1.8m 解像度の 2000年に Eros-A1(IAI 製、250kg)、2006年に Eros-B を上げた。

Elbit Systems は 2006年に上げた韓国の 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年に上げたイタリアの OPTSAT-3000 には、分解能 70cm 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 1m 以下)が 2008年に上げられている。

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 TAUVEV を開発しており、2009年 ISRO の GSat-4 に搭載して上げ予定であったが、相次ぐインドのロケット上げ失敗の影響を受けて現在、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 10月にアラブ首長国連邦と Beresheet2 ミッションの共同上げを含む、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

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 2021 年 10 月にドイツ企業の OHB と実験を行うことで合意した。Helios は日本の ispace とともに 2021 年 7 月に 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 26 日にイスラエルは 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 5 月、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 3 月に技術実証衛星の 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

### (1) 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。

### (2) 宇宙産業

イラン宇宙機関 (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 2 号 C 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 25kg の Omid 衛星を高度約 250km 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 15kg の Rasad-1 を高度約 260km に打上げ、また、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 250~370km 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、250kg 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 ISRA (Iranian Space Research Center) 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。Nahid-1 衛星自体には損傷がないとされている。

2020 年にイラン初の軍事衛星で 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 13 日に軌道上で崩壊した。2 機目の Noor-2 は 2022 年 3 月 8 日に Qased ロケットに打上げられている。Noor シリーズは光学衛星である。2022 年 8 月 3 日に 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 600kg の衛星で、地上分解能 1m 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-16C/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。

#### 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。

## (2) 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、4A と 4B の 2 機は三菱電機が受注したものである。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。

[ロケット]

2018 年、防衛関連企業ロケットサンは、100kg のマイクロ衛星を約 400km 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 カ国コンソーシアムによる災害監視用コンステレーション DMC (Disaster Monitoring Constellation)プロジェクトに参加し、Bilsat-1(100kg)を技術移転・訓練プログラム下で製作して 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13日に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。

## 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	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
日本	円 (Yen)	97.57	105.82	121.05	108.69	111.74	110.43	109.03	106.77	109.81
ユーロエリア	ユーロ (Euro)	0.7532	0.7536	0.9019	0.9338	0.9384	0.8472	0.8933	0.8774	0.8457
イタリア	リラ (Lira) *	(1,458.36)	(1,459.20)	(1,746.27)	(1,750.00)	(1,710.94)	(1,640.34)	(1,729.66)	(1,698.91)	(1,637.50)
オーストリア	シリング (Schilling) *	(10.364)	(10.370)	(12.410)	(12.437)	(12.213)	(11.657)	(12.292)	(12.073)	(11.637)
オランダ	ギルダー (Guilder) *	(1.6598)	(1.6607)	(1.9875)	(1.9917)	(2.0020)	(1.8669)	(1.9686)	(1.9336)	(1.8637)
スペイン	ペセタ (Peseta) *	125.318	124.848	150.060	150.380	147.073	140.957	148.631	145.989	140.712
ドイツ	マルク (Mark) *	(1.4731)	(1.4739)	(1.7639)	(1.7677)	(1.7830)	(1.6569)	(1.7471)	(1.7161)	(1.6540)
フランス	フラン (Franc) *	(4.9405)	(4.9434)	(5.9159)	(5.9285)	(5.8508)	(5.5571)	(5.8596)	(5.7555)	(5.5474)
ベルギー	ベルギーフラン (Belgian Franc) *	(30.383)	(30.401)	(36.382)	(36.459)	(35.699)	(34.175)	(5.860)	(35.395)	(34.115)
ポルトガル	エスクド (Escudo) *	150.999	151.086	180.810	181.196	177.201	169.842	179.089	175.906	169.547
イギリス	ポンド (Pound)	0.6397	0.6073	0.6546	0.7405	0.8285	0.7495	0.7836	0.7800	0.7269
スイス	スイスフラン (Swiss Franc)	0.9269	0.9151	0.9628	0.9850	1.0354	0.9784	0.9939	0.9388	0.9143
スウェーデン	クローナ (Krona)	6.5134	6.8614	8.4370	8.5570	8.5679	8.6940	9.4567	9.2104	8.5805
デンマーク	デンマーククローネ (Kroner)	5.6170	5.6179	6.7267	6.7290	6.6263	6.5537	6.6900	6.5382	6.2998
カナダ	カナダドル (Canadian Dollar)	1.0299	1.1045	1.2787	1.3248	1.3482	1.2957	1.3269	1.3415	1.2535
ロシア	ルーブル (Ruble)	31.8602	38.5654	61.2203	67.0082	58.1565	62.7583	64.7084	72.3336	73.7270
インド	インドルピー (Indian Rupee)	58.5216	61.0122	64.1145	67.1763	64.9020	68.3895	70.3995	74.1213	73.9351
インドネシア	ルピア (Rupiah)	10,436.17	11,862.06	13,397.39	13,295.42	13,332.83	14,229.62	14,144.79	14,539.82	14,297.26
韓国	ウォン (Won)	1,094.95	1,053.14	1,132.04	1,160.58	1,126.02	1,100.20	1,165.65	1,180.05	1,144.86
シンガポール	シンガポールドル (Singapore Dollar)	1.2511	1.2670	1.3748	1.3805	1.4301	1.2488	1.3641	1.3796	1.3437
タイ	バーツ (Baht)	30.713	32.478	34.2519	35.2799	33.8544	32.3139	31.0524	31.0381	31.8647
台湾	台湾元 (Taiwanese Dollar)	29.683	30.310	31.760	32.240	30.356	30.142	30.905	29.463	27.937
中国	人民元 (Renminbi)	6.1480	6.1620	6.2840	6.6420	6.7880	6.6140	6.9080	6.9026	6.451
パキスタン	パキスタンルピー (Pakistani Rupee)	101.5612	101.0204	102.7612	104.7285	100.5886	114.5263	146.2044	161.3436	162.5553
フィリピン	フィリピンペソ (Philippines Peso)	42.4423	42.4035	45.5190	47.4837	50.0845	48.2273	51.4281	49.6172	49.7938
マレーシア	リンギット (Ringgit)	3.1494	3.2717	3.9062	4.1423	4.3382	4.0339	4.1425	4.2017	4.8300
オーストラリア	オーストラリアドル (Australian Dollar)	1.03590	1.10950	1.33190	1.34990	1.35450	1.33850	1.43860	1.45370	1.3316
ニュージーランド	ニュージーランドドル (New Zealand Dollar)	1.21971	1.20564	1.43463	1.43578	1.45664	1.44544	1.51822	1.54150	1.41409
イスラエル	ニューシェケル (New Shekels)	3.6102	3.5768	3.88614	3.83956	3.63839	3.38484	3.54715	3.44132	3.22321
サウジアラビア	サウジアラビアリアル (Riyal)	3.7508	3.7507	3.7525	3.7519	3.7906	3.7506	3.7305	3.7526	3.7508
アルゼンチン	ペソ (Peso)	2.15713	8.12090	9.24540	14.76640	16.11550	11.99770	47.33430	70.61732	95.0972
ブラジル	リアル (Real)	2.1571	2.3530	3.3343	3.4869	3.2335	3.6521	3.9424	5.1541	5.39730
メキシコ	ニューペソ (Mexican Pesos)	12.7620	13.3062	15.8713	18.6722	18.8887	19.2296	19.2513	21.5064	20.2871
南アフリカ	ランド (Rand)	9.6446	10.8480	12.7643	14.6988	13.3108	13.2339	14.4470	16.4671	14.7898

# 略語一覽

略語	名称	日本語名
<b>A</b>		
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
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	先進ダクト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 (Brazilian Space Agency)	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 Spaziale 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
	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>B</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

略語	名 称	日 本 語 名
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	Bayerische 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 Forschung 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
<b>C</b>		
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
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	Comission 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 Commercial off the shelf	商業軌道輸送サービス 市販品、既製品
COVID-19	2019 Novel Corona Virus Disease	新型コロナウイルス感染症
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

略語	名 称	日本語名
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
<b>D</b>		
DARA	Deutsche 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-Benz 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)
DMSF	Defense Meteorological Satellite Program	軍事気象衛星プログラム
DoD	Department of Defense	米国防総省
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
<b>E</b>		
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
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

略語	名 称	日 本 語 名
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
<b>F</b>		
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・バイ・ライト)
FBW	Fly By Wire	電気信号伝送制御による飛行 (フライ・バイ・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)
<b>G</b>		
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

略語	名 称	日 本 語 名
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
<b>H</b>		
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
<b>I</b>		
IAE	IAE International Aero Engines AG Instituto de Actividades Espaciales	IAE・インターナショナル・エアロ・エンジンズ・AG 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 Transportation Association	国際航空輸送協会
ICAO	International Civil Aviation Organization	国際民間航空機関
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 →INMARSAT Ltd.	国際海事衛星通信機構 →インマルサット社
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	ブラジル国立宇宙研究所
INTA	Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial	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

略語	名 称	日 本 語 名
<b>J</b>		
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	ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡
<b>K</b>		
KAI	Korea Aerospace Industries	韓国航空宇宙産業(株)
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
<b>L</b>		
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・インタースプートニク社
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
<b>M</b>		
M2M	Machine to Machine	機器間通信
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ビス機
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ペクトロメータ

略語	名 称	日本語名
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	台湾經濟部
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	ミュール科学工学衛星
<b>N</b>		
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
NG-OPIR	Northrop Grumman	ノースロップ グラマン社(米国)
NHK	Next Generation Overhead Persistent IR system	次世代早期警戒衛星システム(米国)
	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 Vliegtuigontwikkeligen 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 Space Council	(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
<b>O</b>		
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
<b>P</b>		
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

略語	名 称	日 本 語 名
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
<b>Q</b>		
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	準天頂衛星システム
<b>R</b>		
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. Kolesov 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
<b>S</b>		
SA	Selective Availability	選択利用性
SAC	Satellite de Aplicaciones 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	Satellite de Coleta de Dados (Data Collection Satellite)	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 Exploration 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

略語	名 称	日 本 語 名
SS/L	Space Systems / Loral	宇宙システムズ/ロラル社(米国)
SSA	Space Situational Awareness	
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 Council	科学技術政策会議
STSS	Space Tracking and Surveillance System	
SUPARCO	Space and Upper Atmosphere Research Commission	パキスタン宇宙上層大気研究委員会
<b>T</b>		
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'l'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 ノンド
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
TRW	Thompson Ramo Woolridge	TRW社(米国)
TVC	Thrust Vector Control	推力方向制御(装置)
<b>U</b>		
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razin
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	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
<b>V</b>		
VFW	Vereinite Flugtechnische 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
<b>W</b>		
WINDS	Wideband InterNetworking engineering test and	超高速インターネット衛星
WGS	Wideband Global Satcom	(米国)軍事通信衛星

略語	名 称	日本語名
WINDS	Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite	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)
<b>X</b>		
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
<b>Z</b>		
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 5 年版 世界の航空宇宙工業 編集委員

三菱重工業株式会社	水 野 大 樹
株式会社 I H I	飯 塚 清 和
株式会社 I H I 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	東 原 真
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	森 崎 克 彦
株式会社 SUBARU	小 野 寺 健 太
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

# 索引

項目

頁

## 3

3D プリンタ ..... 100

## 7

737-AEW&C ..... 41

## A

A109 ..... 313

A129 ..... 313

A220 ..... 257, 270

A300 ..... 8, 28, 46, 267

A320 ..... 8, 28, 49, 415

A320neo ..... 51, 270

A321XLR ..... 8, 51

A330 ..... 8, 28, 415

A330neo ..... 51

A340 ..... 28

A350 .. 8, 28, 51, 98, 270, 286, 320, 363

A380 ..... 28, 50

A400M ..... 38, 272

A-50 ..... 41

AC313 ..... 418

ADS . 130, 133, 272, 282, 288, 291, 304

ADS-B ..... 93

AE1107C-Liberty ..... 288

AE2100 ..... 287

AEB ..... 451

AEHF ..... 167, 194, 220, 222

Aeolus ..... 170

Aeritalia ..... 312

Aermacchi ..... 312, 323

Aerojet Rocketdyne ..... 21, 244

Aerospatiale ..... 289

Aerospatiale-Matra ..... 272

AESA ..... 32, 217

AEW ..... 41

Afternoon Constellation ..... 15, 153

AgustaWestland ..... 279, 313

AH-1 ..... 82, 225

AH-64 ..... 211

AIDC ..... 410

Airbus .... 8, 21, 22, 264, 265, 267, 280, 285, 291, 299, 300, 301, 415

Airbus Defence and Space ..... 103, 130, 145, 272, 276, 282, 292, 343

Airbus Group ..... 21, 265

Airbus Operations ..... 301

AIS ..... 170, 359, 360

Alcatel ..... 291, 297

Alcatel Alenia Space ..... 297

ALCM ..... 35

Alice ..... 63

AlliedSignal ..... 240

Allison Engine ..... 288

ALOS ..... 155

Alouette II ..... 82

Alpha Jet ..... 42, 299

alpha rocket ..... 187

Amazonas ..... 355

AMOS ..... 132, 464

An-12 ..... 37, 421

An-124 ..... 38, 337

An-148 ..... 67, 338

An-22 ..... 37

An-225 ..... 337

Angara ..... 110, 325, 327, 401

Anik ..... 251

ANS ..... 342, 343

Antares ..... 119, 223, 339, 340

Antrix ..... 381

Apollo ..... 160

Apollo • Soyuz ..... 13

APRSAF ..... 16, 173

APSCO ..... 16

Apstar ..... 132

APT Satellites ..... 132

Aqua ..... 222

Arabsat ..... 132, 456

ARH ..... 84

Ariane ..... 111, 112, 113, 274, 291

Ariane 5 .. 113, 163, 274, 293, 296, 304, 310, 315

Ariane 6 .. 113, 273, 275, 293, 295, 296,

ArianeGroup.....	267, 273, 298	B737MAX.....	52
Arianespace.....	113, 185, 291	B737NG.....	49
Ariel.....	282	B747.....	28, 46, 208
ARJ21.....	29, 67, 416	B747-8.....	51
Arktika.....	333	B757.....	28
Arriel.....	296	B767.....	28, 47
Arrius.....	296	B767-300 BCF.....	412
Artemis ....	14, 107, 160, 184, 189, 278, 336, 341, 457	B777.....	28, 49, 208
ARTES.....	276, 297	B777X.....	51, 208
AS350.....	82	B787.....	28, 50, 208
AS365.....	82	BAC-111.....	279
ASAT.....	168, 194	BAe.....	282, 285, 291
ASI.....	310, 315	BAE Systems.....	21, 22, 233, 279, 285
AsiaSat.....	132, 370	Baikonur.....	325, 375
Astra.....	369	Baiterek 射場.....	326
Astra Space.....	187	Ball Aerospace.....	247
Astrid.....	350	Beagle.....	283
Astrium.....	272, 289, 300	Beech.....	178
ASTRO.....	168	Beechcraft.....	228
Astroscale.....	106	Beidou.....	149
Atlantic.....	299	Bell.....	179
Atlas.....	110, 219	Bell 222.....	82
Atlas V.....	111, 186, 219	Bell 412.....	82, 226
ATR.....	267, 313	Bell 47.....	82, 225
ATR 42.....	38, 65	Bell 505.....	226, 258
ATR 42-600.....	68	Bell 525.....	258
ATR 72-600.....	68	Bell Helicopter.....	224, 250
A-Train 軌道.....	153	BepiColombo.....	19, 273, 276
ATV.....	120, 173, 273, 278, 308	Beyond Gravity.....	346, 352
AVIC.....	414, 420	BK117.....	82
Avio.....	314	Blue Origin.....	25, 108, 119, 121
Avio Aero.....	314	BMW.....	305, 307
Avro Canada.....	249	BNSC.....	281
AW139.....	83	Boeing.....	20, 103, 111, 130, 172, 181, 186, 193, 219, 249, 395, 416
AWACS.....	41	Boeing 702SP.....	213
<b>B</b>			
B-1.....	35	Bombardier.....	29, 233, 250
B-2.....	35, 221	BQM-34.....	86
B-21.....	35, 222	BR700.....	287, 306
B-29.....	35	BR725.....	35, 287
B-47.....	35	Brasilsat.....	131, 452
B-52.....	35	Bristol Aerospace.....	264
B707.....	27, 39, 46	Bristol Siddeley Engines.....	287
B727.....	46	Britannia.....	279
B737.....	46, 207, 416	British Aerospace.....	284
		British Aircraft.....	284, 285
		BS.....	147
		Buran.....	120, 328

## C

C Series .....	269
C102 .....	248
C-130 .....	36, 218
C-130J .....	37, 38, 217
C-141 .....	36
C-160 .....	299
C-17 .....	36, 210
C-2 .....	38
C-27J .....	37, 38, 313
C3PO .....	118
C-47 .....	36
C-5 .....	27, 36, 218
C-54 .....	36
C919 .....	29, 52, 296, 417
Canadair .....	248
Capella .....	190
Caravan .....	79
CASA .....	289, 352, 354, 392
CASC .....	422
Cassini .....	275, 282
CASSIOPE .....	253, 263
CAST .....	422
CBERS .....	440
CCDev .....	119
CCiCap .....	119
CCTCap .....	120
CDTI .....	354
Cessna .....	178, 227
Cessna 400 .....	80
CF-100 .....	249
CF-105 .....	249
CF34 .....	98, 238
CF6 .....	237
CFM .....	295
CFM International .....	8
CFM56 .....	8, 49, 94, 98, 238
CH4 .....	245, 428
CH-46 .....	82
CH-47 .....	210
Challenger 350 .....	76
Chandrayaan .....	161, 390
Chinasat .....	131
Chongfu Shiyong Shiyang Hangtian Qi .....	429
Citation .....	73, 75, 227
Citation Longitude .....	76
Citation M2 .....	76
Citation Mustang .....	227
Citation X .....	76
Cluster .....	282
CMC .....	100
CN-235 .....	38, 353, 393
CNES .....	153, 156, 291
CNSA .....	422
Collins Aerospace .....	234
Columbus .....	173, 278
COMAC .....	26, 29, 52, 415, 416, 417
Comet .....	39, 279
CONAE .....	447
Concorde .....	28, 279
Convair .....	176, 229
Copernicus .....	153, 154
COPUOS .....	108
COSMO-Skymed .....	156, 311
COTS .....	119
COVID-19 .....	2, 29, 68, 98, 300
Crew Dragon ..	106, 108, 111, 119, 120, 122, 172, 187, 245
CRISP .....	407
CRJ .....	28, 66
CRJ1000 .....	67, 257
CSA .....	251, 252
CSO-1 .....	167, 292
CSS .....	104, 107, 114, 174, 426, 428
CST-100 ..	107, 111, 120, 172, 187, 214
CTOL .....	31
C-Train 軌道 .....	153
CTRM .....	380, 442
CTS .....	251
Cygnus ...	119, 120, 186, 223, 312, 339, 340
<b>D</b>	
Daimler-Benz .....	299
DARA .....	303
DARPA .....	168
DASA .....	272, 273, 289, 300, 303
Dassault .....	76
DC-10 .....	28
DC-8 .....	27, 46
DC-9 .....	46
de Havilland .....	248, 395
de Havilland Canada .....	248

Delta..... 111, 186  
 Deutsche Zeppelin-Reederei..... 302  
 DFH..... 429  
 DHC-6..... 65, 249  
 DHC-8..... 65, 249  
 DigitalGlobe..... 155, 190  
 DirecTV..... 148, 189  
 DLR..... 303  
 DMC..... 154, 283, 470  
 DMSP..... 192, 194, 220  
 Dnepr..... 339  
 Do228NG..... 301  
 DoD..... 193  
 Dornier..... 299, 300  
 Douglas..... 205  
 Dragon..... 112, 119, 186  
 Dragon V2..... 111, 120  
 Dream Chaser..... 120, 354, 366  
 DRS..... 310  
 DSP..... 193, 222

## *E*

E170/175..... 67  
 E170/190..... 28  
 E190/195..... 67  
 E190-E2..... 52, 67, 450  
 E195-E2..... 450  
 E-2..... 41  
 E-2D..... 222  
 E-3..... 41  
 E-7..... 41  
 E-767..... 41  
 E-8C..... 222  
 EA-18G..... 42, 210  
 EADS 21, 103, 264, 272, 285, 289, 291,  
 300, 316  
 EADS Space Transportation..... 273  
 EC145..... 84  
 EchoStar..... 148, 190  
 Eclipse 500..... 77  
 ECS..... 315  
 EELV..... 186, 193, 212, 219  
 Efim..... 309  
 Ehang..... 24  
 EJ200..... 98, 288, 314  
 E-Jets..... 450  
 Ekran..... 324, 330  
 Ekspres..... 330

Electron..... 116, 186, 445  
 Elektro..... 333  
 ELINT..... 42  
 ELINT 衛星..... 167, 335, 439  
 EMB 110..... 65  
 EMB 120..... 65  
 Embraer..... 29  
 EMS..... 143  
 Encore Composite Holding..... 285  
 Energia..... 328  
 Enstrom Helicopter..... 179  
 Envisat..... 283, 292, 343  
 EOS..... 390  
 EO センサ..... 40  
 Epsilon..... 115  
 ERJ..... 28, 66, 450  
 Eros..... 156, 465  
 ERS..... 283, 303, 452  
 ESA... 13, 103, 110, 112, 146, 153, 159,  
 160, 162, 163, 165, 173, 188, 251,  
 252, 274, 275, 282, 302, 334, 338  
 Es'hail..... 132  
 ETOPS..... 50  
 ETRI..... 402  
 EUMETSAT..... 154, 277, 293  
 Eurasiasat..... 469  
 EURECA..... 174  
 Eurocopter..... 265  
 Eurofighter..... 32, 272, 280, 313  
 Eurostar 3000..... 273  
 Eutelsat . 128, 130, 131, 132, 148, 285,  
 297  
 Eviation Aircraft..... 24, 63  
 ExactEarth..... 264  
 Express..... 324

## *F*

F/A-18..... 31  
 F100..... 236  
 F101..... 239  
 F-104..... 27  
 F110..... 239  
 F119..... 98, 236  
 F124..... 314  
 F130..... 35, 306  
 F135..... 98, 236  
 F-14..... 30, 221  
 F-15..... 30, 210

F-15EX ..... 31, 210  
 F-16 ..... 30, 216, 229  
 F-18 ..... 210, 250  
 F-2 ..... 33  
 F-22 ..... 30, 215, 216  
 F-35 ... 31, 215, 217, 280, 285, 313, 464  
 F-35A ..... 31, 33  
 F-35B ..... 31  
 F-35C ..... 31  
 F-4 ..... 27, 41  
 F404 ..... 239, 251  
 F414 ..... 98, 239  
 F-86 ..... 27  
 FA-50 ..... 33, 399  
 FADEC ..... 82  
 Fairchild Dornier ..... 67  
 Falcon 10X ..... 77  
 Falcon 2000 ..... 294, 314  
 Falcon 2000LXS ..... 76  
 Falcon 6X ..... 77  
 Falcon 8X ..... 294  
 Falcon 9 ... 25, 106, 112, 186, 190, 245,  
 275  
 Falcon Heavy ..... 25, 245  
 FedSat ..... 398  
 Fiat ..... 314  
 FiatAvio ..... 310  
 Finmeccanica ..... 279, 314  
 Firefly ..... 187  
 Fly By Wire ..... 82, 242  
 FMS ..... 84, 235  
 Focke-Wulf ..... 299  
 Fokker ..... 341  
 Fokker Technologies ..... 286  
 Ford ..... 246  
 FREJA ..... 350  
 FSA ..... 323

## G

G100 ..... 463  
 G200 ..... 463  
 G280 ..... 75, 230  
 G650 ..... 75, 230  
 G91 ..... 309  
 Gaganyaan ..... 387  
 Galileo 13, 19, 105, 149, 252, 273, 277,  
 281, 288, 297, 304, 308, 311, 340  
 Gateway ... 14, 160, 161, 184, 223, 247

GCAP .. 17, 33, 280, 285, 288, 309, 313  
 GCOM ..... 15, 153, 155  
 GE ..... 95, 285, 295  
 GE Americom ..... 370  
 GE Astro Space ..... 219  
 GE Honda Aero Engines ..... 77  
 GE90 ..... 98, 237  
 GE9X ..... 51, 238  
 Gemini ST ..... 83  
 General Atomic ..... 301  
 General Dynamics ..... 229, 346  
 Genesis ..... 122  
 GEnx ..... 51, 98, 208, 238  
 GER ..... 14, 161, 184  
 GKN ..... 313, 349  
 GKN Aerospace ..... 268, 279, 286, 352,  
 380  
 Global 7000 ..... 75  
 Global Hawk ..... 41, 87, 88, 222  
 Globalstar ..... 144, 189  
 Glonass ..... 105, 149  
 GLONASS ..... 149, 167, 332  
 GMES ..... 277  
 GMS ..... 151  
 GOES ..... 151, 192, 220  
 Gonets-M ..... 331  
 Goodrich ..... 234  
 Google Lunar XPRIZE ..... 160  
 Gorizont ..... 143, 324, 330  
 GOSAT ..... 15, 153  
 GOSE ..... 212  
 GPS 105, 123, 148, 149, 151, 167, 195,  
 213, 220  
 Green Propulsion ..... 351  
 Gripen ..... 31, 285  
 Gripen E/F ..... 451  
 Gripen International ..... 285  
 GRO ..... 159  
 Grob Aircraft ..... 302  
 Grumman ..... 221  
 GSLV ..... 115, 382  
 GSLV Mk-III ..... 382  
 GSSAP ..... 194  
 GT500 ..... 80  
 GTF ..... 99  
 Gulfstream ..... 229, 463

## *H*

H135..... 271  
H175..... 271  
H-19..... 82  
H3..... 115, 120, 346  
HALO..... 223  
Hamilton Sundstrand..... 234  
Harrier..... 279, 285  
Hawk..... 43, 285  
Hawker 4000..... 78, 228  
Hawker Siddeley Aviation..... 284  
Hawker Siddeley Dynamics..... 284  
HawkEye..... 190, 264  
Helios..... 167, 292  
Hellas-Sat..... 130  
Hersche..... 275  
H-IIA..... 115  
H-IIB..... 114  
Hispano-Suiza..... 294  
Hispasat..... 130, 355  
HISPASAT..... 370  
HKSTG..... 465  
HM7..... 296  
Honda Aircraft..... 77  
HondaJet..... 77, 239, 286, 342  
Honeywell..... 181, 419  
HST..... 192, 219  
HTS..... 133, 145  
HTV..... 173  
HTV-X..... 120  
Hubble 宇宙望遠鏡..... 159, 192, 219  
Hughes..... 212  
Huntington Ingalls Industries..... 221

## *I*

IAe..... 353, 392  
IAE..... 451  
IAI..... 116, 464  
IATA..... 2, 99  
ICEYE..... 362  
ICO..... 144  
IDF..... 218, 411  
Ikonos..... 155, 190  
Il-114..... 66  
Il-18..... 39  
Il-20..... 42  
Il-76..... 38, 317

Il-96..... 317  
ILS..... 111  
Ilyushin..... 316, 317  
IMSO..... 143  
INDEX..... 339  
Ingenuity..... 162  
Inmarsat..... 143, 285  
INPE..... 451  
INSAT..... 148, 388  
InSight..... 162, 191, 219  
INTA..... 354  
Integral..... 334  
Intelsat .. 102, 128, 129, 131, 132, 144,  
189, 219, 283  
International Launch Services..... 327  
Intersputnik..... 324, 331  
IRAS..... 282, 343  
IRBM..... 114  
IRI..... 309  
Iridium..... 144, 170, 189, 264  
Iridium Next..... 144  
Irkut..... 316  
IRNSS..... 150  
IRS..... 389  
ISA..... 464  
ISEF..... 161  
ISO..... 282  
ispace..... 106, 308, 371  
ISRO..... 131, 153, 293, 381  
ISS ....13, 107, 119, 120, 123, 147, 169,  
171, 184, 185, 186, 188, 214, 223,  
253, 278, 303, 325, 328, 329, 340,  
403, 452  
ITSO..... 128  
IUE..... 282

## *J*

J-10..... 33  
J-20..... 33, 420  
J-31..... 33, 419  
J-8..... 419  
Jaguar..... 32  
James Webb 宇宙望遠鏡..159, 192, 222  
JAS39..... 285  
Jason-3..... 153  
JEM..... 174  
JF-17..... 33, 441  
JH-7..... 418

JHL ..... 84  
 Joby Aviation ..... 23, 62  
 JPSS ..... 192  
 JSF ..... 31  
 JT3D ..... 94  
 JT8D ..... 235  
 JT9D ..... 94

## *K*

KAI ..... 399  
 KAIST ..... 402  
 Kaistsat ..... 403  
 Kamov ..... 318  
 Karat ..... 335  
 KARI ..... 401, 465  
 KC-10A ..... 39  
 KC-130H ..... 39  
 KC-135 ..... 39  
 KC-390 ..... 38, 451  
 KC-46 ..... 39, 211  
 KC-767 ..... 39, 211  
 KeyHole ..... 193  
 KF-21 ..... 400  
 KH ..... 167  
 Khrunichev ..... 111, 326, 327  
 King Air ..... 73, 228  
 Kitsat ..... 402  
 KN Aerospace ..... 342  
 Kompsat ..... 403  
 Kompsat-2 ..... 465  
 Kongsberg ..... 360  
 Koreasat ..... 131, 402  
 Koronas-F ..... 334  
 Kosmos ..... 167  
 Kourou ..... 326  
 KSLV ..... 116, 401  
 KT-1 ..... 43

## *L*

L 410 ..... 66  
 L-1011 ..... 28  
 L3 Harris Technologies ..... 250  
 L-39 ..... 357  
 Landsat ..... 192, 220  
 LAPAN ..... 393  
 Lavochkin ..... 335  
 LCC ..... 51  
 LEAP ..... 9, 51, 52, 100, 207, 238, 270,

296, 417

Learjet ..... 76, 179, 250, 257  
 Learjet 70/75 ..... 76  
 Legacy ..... 450  
 Legacy 450/500 ..... 76  
 Leonardo ..... 286, 297, 312, 417  
 Light Sport Aircraft (LSA) ..... 80  
 Lightning ..... 280  
 Liliium ..... 24, 62  
 Litton ..... 221  
 LMAASA ..... 446  
 Lockheed ..... 214  
 Lockheed Martin ..... 20, 103, 186, 244, 280, 327  
 Loral ..... 215, 246  
 Luch ..... 147, 331  
 LUH ..... 84  
 Lunar Prospector ..... 219  
 Luxor ..... 309  
 Lynx ..... 122

## *M*

M10 ..... 315  
 M-346 ..... 43, 323  
 M88 ..... 98, 295  
 MA60 ..... 66, 419  
 MA700 ..... 419  
 Magellan Aerospace ..... 251  
 MAN ..... 299  
 MarCO ..... 162, 191  
 Marconi ..... 289  
 Marconi Electronic Systems ..... 285  
 Mars Reconnaissance Orbiter ..... 219  
 Martin ..... 176  
 Martin Marietta ..... 215  
 Matra ..... 289  
 Maxar ..... 103, 130, 133, 156, 169, 187, 189, 190, 246, 263  
 Maxar Technologies ..... 246  
 MB326 ..... 309  
 MB339 ..... 43, 309  
 MBB ..... 299  
 MC-21 ..... 70  
 McDonnell Douglas ..... 20, 205, 418  
 MD 900 ..... 83  
 MD Helicopters ..... 179  
 MD-11 ..... 28  
 MD-80 ..... 28

MD-90 ..... 28  
 MDA ..... 103, 187, 246, 252, 253, 263  
 Measat..... 131  
 Meridian ..... 79  
 Messerschmitt ..... 299  
 Messier-Bugatti-Dowty ..... 294  
 Meteor ..... 151, 324, 333  
 Meteosat..... 151, 276, 297, 315  
 Metop ..... 293, 303  
 METOP ..... 154, 273, 276, 283, 303  
 MEV ..... 124, 169, 223  
 Mi-24 ..... 323  
 Mi-26 ..... 323  
 Mi-8 ..... 323  
 Microspace-2..... 340  
 MiG..... 318  
 MiG-15 ..... 30  
 MiG-29 ..... 32  
 MiG-35 ..... 32  
 Mikoyan ..... 316, 317  
 Minotaur ..... 112  
 MIR ..... 171, 328  
 MMS..... 272, 283, 291  
 MMX..... 162  
 Molniya ..... 324  
 Morelos..... 454  
 MOS ..... 154  
 MPLM ..... 223, 311  
 MQ-25 ..... 91  
 MQ-28 ..... 34, 395  
 MRO ..... 306, 405  
 MS-21 ..... 29, 52, 316, 321  
 MSG ..... 276, 303  
 MTR390 ..... 297  
 MTSAT ..... 143  
 MTU ..... 300, 307  
 MU-300 ..... 78  
 MUOS ..... 167, 194, 220  
 MUSES-C..... 163

## N

Nahuelsat ..... 370  
 NASA ..... 118, 184, 185, 187, 193, 247,  
 253, 334  
 Nauka..... 329  
 NCUBE-2..... 359  
 New Shepard ..... 119  
 NewHorizons ..... 163

Nextant 400..... 78  
 NEXTSat ..... 168  
 NextView ..... 190, 231  
 NG-OPIR ..... 194  
 NH90..... 85, 271, 314  
 Nilesat ..... 132, 458  
 Nimrod..... 39, 285  
 Nivelir..... 336  
 NOAA..... 151, 192, 220  
 North American ..... 176, 206  
 Northrop ..... 221  
 Northrop Grumman.20, 103, 130, 180,  
 185, 187, 189, 222  
 Northrop Grumman Innovation  
 Systems..... 21  
 NPO ..... 324  
 NPO Saturn..... 295  
 NPOESS ..... 192, 247  
 NRO ..... 167  
 NSAB ..... 350, 370  
 NSAU..... 338  
 NSC..... 358  
 N-STAR..... 143  
 N-UCAS ..... 91

## O

O3b mPower ..... 213  
 O3b Networks ..... 145  
 Odin ..... 350  
 OEM..... 8, 20, 306  
 Ofeq..... 464  
 OH-58 ..... 225  
 OH-6 ..... 82  
 OHB Systems ..... 288, 304, 305  
 OICETS ..... 339  
 Okean..... 339  
 Olymp-K ..... 336  
 Olympus ..... 315  
 Olympus 593 ..... 287  
 OneWeb .. 105, 123, 145, 170, 283, 298  
 OPTSAT-3000..... 465  
 Optus ..... 131, 143, 397, 408, 440  
 ORBCOMM ..... 144, 223  
 ORBIMAGE..... 156, 190  
 Orbital ATK.... 188, 221, 222, 223, 231  
 OrbView..... 156, 190, 223, 231  
 Orion ..... 104, 107, 111, 118, 120, 160,  
 173, 278, 303

OSIRIS-Rex ..... 105, 164, 191

## *P*

P&W ..... 95, 182  
P-1 ..... 40  
P-3C ..... 40  
P-8 ..... 40  
P-8A ..... 211  
PA-46 ..... 80  
PADC ..... 441  
Palapa ..... 131, 394  
PanAmSat ..... 128  
Parker Solar Probe ..... 164, 191  
Passport ..... 75  
PC-12 ..... 79  
PC-24 ..... 77  
PC-9 ..... 42  
PD-14 ..... 321  
Pegasus ..... 112, 222, 288  
Perseverance ..... 162  
PFI ..... 283  
Phenom ..... 450  
Phenom 100 ..... 77  
Phenom 300 ..... 77  
Pioneer ..... 222  
Piper ..... 178  
Planck ..... 275  
Planet ..... 105, 123, 153, 169, 188, 190,  
263  
Pleiades ..... 153, 292  
PPE ..... 247  
Praetor ..... 450  
Praetor 500 / 600 ..... 76  
Pratt & Whitney Canada ..... 419  
Predator ..... 88  
Premier I ..... 74  
Prichal ..... 330  
PRIMARY(初級) ..... 80  
Prisma ..... 351  
PROBA ..... 278, 364  
Progress ..... 120, 185, 329  
Proteus ..... 292  
Proton ..... 110, 326  
Proton M ..... 327  
PSLV ..... 115, 382  
PT6 ..... 251, 260  
PW1000G シリーズ ..... 99  
PW1100G-JM 9, 51, 100, 236, 270, 307

PW1400G-JM ..... 321  
PW300 ..... 251, 260  
PW4000 ..... 98, 236  
PW600 ..... 260  
PW800 ..... 251

## *Q*

Q400 ..... 66, 256  
Qased ..... 467  
QuickBird ..... 155, 190

## *R*

R22 ..... 82  
Radarsat ..... 156, 252, 263  
RadioSkaf ..... 332  
Raduga ..... 324  
Rafale ..... 32, 294  
RAH-66 ..... 84  
RapidEye ..... 263  
Raytheon ..... 181, 285  
Raytheon Technologies ..... 20, 182, 188,  
259, 419  
RB199 ..... 288, 314  
RB211 ..... 287  
RCS ..... 35  
RD-843 エンジン ..... 341  
RDF ..... 37  
Reaper ..... 87  
RemoveDebris ..... 106  
Republic ..... 181  
RJ70 ..... 28  
rocket ..... 187  
Rocket Lab ..... 445  
Rockot ..... 328  
Rockwell Collins ..... 234  
Rockwell International ..... 206  
Rolls-Royce ..... 95, 279, 287  
Rolls-Royce Deutschland 287, 302, 305  
Rosat ..... 304  
Roscosmos ..... 324  
ROSCOSMOS ..... 162  
Roskosmos ..... 113  
Rosseta ..... 282, 304  
RPM ..... 64  
RSC Energia ..... 111, 324, 339  
RSCC ..... 128, 131  
Ryan Aeronautical ..... 221

## S

S-211.....	43	Smith Aerospace .....	279
S-55 .....	82	SMMS .....	440, 467
S-76 .....	82	Snecma .....	287, 289, 295, 296, 320
S-92 .....	83	SOHO.....	282
Saab.....	285	Solidaridad .....	454
Saab 340.....	65	Sovereign.....	227
Saab Ericsson Space .....	352	Soyuz.....	106, 109, 113, 120, 185, 275, 326, 329, 330
SAC .....	447	Soyuz 2.....	110, 326, 347
SACI-1.....	453	Soyuz 5.....	325, 376
SAF.....	17, 61, 99	Space Drone .....	169
Safir-2.....	467	Space Exploration Technologies Corporation.....	25, 186, 245
Safran.....	289, 294	Space Imaging.....	155, 190
SaM146.....	295, 320	Space Lab .....	303
SAR .....	41, 155, 156, 167, 190, 252	Space Shuttle .....	110, 118, 185, 328
SARah.....	305	Spacebus NEO .....	276, 297
SAR-Lupe.....	167, 305	SpaceJet .....	29, 68, 411
SARS .....	28	Spacelab.....	110
SaTReC .....	402	SpaceShipOne .....	121, 185
SAX .....	342	SpaceShipTwo .....	107, 121, 185
SBIRS.....	167, 193, 220, 222	SpaceX .....	25, 105, 106, 108, 111, 112, 119, 120, 122, 123, 145, 170, 172, 186, 245
SCD .....	451	Spectrum Astro .....	187, 230
SCISAT-1.....	253, 264	SPIRALE .....	292
Scottish Aviation.....	284	Spirit AeroSystems .....	206, 285, 380
Sea Launch .....	111, 186, 214, 328, 339	Sport Pilot .....	80
Sentinel.....	153, 154, 277, 308	Spot.....	153, 292
SERVIS .....	174	Sputnik .....	1, 324
SES. 128, 130, 131, 132, 145, 148, 189, 213, 219, 343, 369		SR-71 .....	41
SES ASTRA .....	370	SS/L.....	103, 187, 246
SES Global.....	370	SSA .....	108, 194
SF-260 .....	42	SSC .....	349, 350
SFU .....	174	SSL MDA Holdings.....	103, 263
Shavit.....	116, 464	SSTL .....	154, 169, 263, 277, 282, 283, 284, 288, 289, 309, 409, 470
Siemens.....	288	Star One .....	370
Sierra Nevada Corporation .....	301	Starliner .....	111
SIGINT .....	41	Starlink....	25, 103, 105, 145, 170, 189, 245
SIGINT 衛星 .....	439	StarOne .....	452
Sikorsky .....	179, 216, 421	Starship .....	112
Singapore Telecom(ST)社.....	408	STOVL.....	31
Sirius Satellite Radio .....	148, 190	STSat .....	401
SJ30.....	74	Su-27.....	32, 340, 419
Skynet.....	167, 283	Su-30Mk I.....	379
SloshSat .....	343	Su-35.....	32
SLS .....	104, 111, 160, 173, 185, 214		
small GEO .....	276		
SMART-1.....	160, 351		

Su-57 ..... 32, 319  
 Su-75 ..... 32, 319  
 Sukhoi ..... 316, 318, 378  
 Sunkar ..... 325  
 Superjet 100..... 29, 68, 313, 319  
 Swedish Space Corporation ..... 349  
 Syncom ..... 212, 324  
 Syracuse..... 167, 292

*T*

T-2..... 43  
 T-27..... 450  
 T-33..... 42  
 T-37..... 42  
 T-38..... 43  
 T-4..... 43  
 T-45..... 43  
 T-50..... 43, 218, 399  
 T-6..... 42, 228  
 T-7..... 42  
 T700 ..... 238  
 T-7A Red Hawk..... 43, 212  
 TanDEM-X..... 156  
 TAS ..... 133, 292  
 Taurus ..... 112  
 TBM700 ..... 79  
 TDRS..... 146, 193, 213, 222  
 TechSat ..... 464  
 Telecom ..... 315  
 Telenor ..... 359  
 Telesat..... 131, 132, 148, 189, 251, 252  
 Telesat Canada ..... 251, 252  
 Tele-X ..... 350  
 Terra..... 220  
 TerraSAR-X..... 156, 303  
 Textron Aviation ..... 74  
 Thaicom ..... 131, 409  
 Thales..... 297  
 Thales Alenia Space 21, 104, 130, 189,  
 276, 292, 297  
 THEOS..... 409  
 Thor ..... 359  
 Thuraya ..... 143, 461  
 Tiger ..... 85  
 Titan..... 110  
 Tornado ..... 30, 299, 312  
 TP400 ..... 288, 295  
 Travelair ..... 178

Trent .....98, 287, 405  
 Trent 1000 .....287  
 Trent 7000 .....287  
 Trent 900 .....287, 314  
 Trent XWB.....287  
 Trident .....279  
 Triumph Group .....180, 221, 231  
 TRW ..... 187, 192, 221, 222  
 TSR-2 .....280  
 Tsyklon .....339  
 Tu-126..... 41  
 Tu-154 .....323  
 Tu-160 .....36, 322  
 Tu-204 .....322  
 Tu-22 .....36, 322  
 Tu-95.....36, 322  
 Tupolev .....316  
 Turbomeca .....289, 296  
 Turksat .....132, 469  
 Typhoon .....280

*U*

U-2 .....40  
 UAC .....70, 316, 321  
 UAE .....326  
 UH-1 .....82, 225  
 UH-2 .....85  
 UH-72 .....84  
 UKSA.....281, 283  
 ULA.....112, 186, 219  
 United Aircraft Corporation....29, 316,  
 321  
 United Technologies.....182  
 USEF .....174  
 USERS.....174

*V*

V2.....1, 109  
 V-22.....84, 225  
 V2500 9, 49, 94, 98, 235, 287, 306, 442  
 V-280 .....85, 225  
 VaRTM.....321  
 VC-10 .....279  
 Vega .....113, 275, 310, 315, 339, 341  
 Vega C.....113, 275, 310, 315  
 Vega E.....315  
 VFW .....299  
 Viking .....350

Vinci .....	296
Viscount .....	279
VLS.....	451
Volocopter.....	24, 62
Volvo Aero .....	286
Vostok.....	324
Vought Aircraft.....	232
Voyager .....	163, 191, 219
VS-300.....	82
VTOL.....	30
Vulcain .....	296

## W

Wester-1 .....	130
Westinghouse.....	221
WGS .....	167, 194, 213, 398
WhiteKnightTwo.....	121
WIGOS.....	151
WINDS.....	144
WorldView.....	156, 247
Wresat .....	398

## X

X-37B.....	213
X-47B.....	91
XM Satellite Radio .....	148, 190
XMM.....	282, 304, 308
XRISM.....	159
X-SAT .....	407

## Y

Y-20.....	418
Y-7.....	418
Y-8.....	421
Yak-130 .....	43, 323
Yakovlev .....	323
Yamal .....	331
Yaogan.....	168
Yuzhmash .....	328, 340
Yuzhnoye.....	328, 339

## Z

Zenit .....	110, 223, 325, 328, 339
Zodiac Aerospace .....	294

## あ

アジア・太平洋宇宙協力機構(APSCO)

.....	440
アストロスケール.....	169
亜太 .....	430
アラブ衛星通信機構.....	132

## う

ウクライナ .....	328
宇宙活動法 .....	108
宇宙基本計画.....	108
宇宙基本法 .....	108
宇宙作戦隊 .....	109
宇宙資源探査.....	371
宇宙資源法 .....	109
宇宙状況監視.....	108, 194
宇宙条約 .....	108
宇宙ステーション....	107, 324, 328, 351
宇宙通信国際機構.....	128
宇宙望遠鏡 .....	336
宇宙旅行 .....	121
雲海 .....	434
運輸 20 .....	418
運輸 7 .....	418
運輸-8 .....	421

## え

遠隔操縦観測システム .....	88
------------------	----

## お

欧州宇宙機関.....	13, 23
欧州航空防衛・宇宙会社.....	21
欧州通信衛星機構.....	298
オール電化衛星 .....	133, 213, 297

## か

快舟 1 .....	114
快舟 1A.....	427
快舟 11.....	427
海上プラットフォーム .....	427
開拓者 1.....	114
カザフスタン.....	326
火星周回 .....	162
火星探査 .....	162, 184, 191, 429
火星探査機 .....	462
火星探査車 .....	438
火星着陸 .....	162, 191

貨物機改造..... 464

## き

軌道上サービス衛星 ..... 168

きぼう

JEM..... 173

行雲..... 430

玉兔..... 160

銀河..... 430

金星周回 ..... 163

## く

グラスコックピット..... 82

軍事通信衛星 .. 167, 194, 283, 292, 335,  
439

## け

経国..... 411

経済安全保障 ..... 17

月面基地 ..... 438

## こ

航空旅客輸送量..... 52

高バイパス比 ..... 36

高分..... 105, 155, 231, 247, 435

小型静止衛星用バス ..... 213

国際宇宙ステーション..... 13, 278

国際共同開発 ... 2, 7, 8, 9, 10, 19, 23, 25

固体燃料 ..... 427

コンピューター航空..... 63

コンステレーション123, 155, 156, 169,  
189, 190, 245

## さ

再使用 ..... 112, 120, 245, 427

再利用 ..... 185, 350, 354, 381, 429

サンプルリターン .... 161, 162, 164, 439

## し

持続可能 ..... 17

鵲橋..... 161

準天頂衛星..... 150

嫦娥..... 105, 106, 160, 438

商業打上げ ..... 440

捷竜..... 427

神舟 .....107, 114, 173, 422, 426, 428

新世代ヘリコプター .....83

瀋陽航空機工業 .....419

## す

水星周回 .....163

水素 .....99

水素燃料 .....61

推力偏向ノズル .....30

スカパーJSAT.....131, 132, 189

ステルス ..... 30, 31, 32, 35, 419

スペースプレーン .....426

スルージェット .....42

## せ

西安航空機工業 .....66, 418

成都航空機工業 .....419

ゼネラル・アビエーション再活性化法  
.....73, 178

殲 20.....420

殲 31.....419

殲撃 8 .....419

センチネル・アジア .....16

## そ

早期警戒衛星..... 167, 193, 220, 335

創新 .....430

## た

ターボファンエンジン ...27, 38, 75, 237

大量輸送時代.....28, 36

探査車.....438

## ち

地球温暖化 .....58

中国航空工業.....414, 420

中国航天 .....421

中国国家航天局 .....336

中星 .....429

長征 .....113, 421, 426

長征 11 ..... 114, 427

長征 2F .....426

長征 2 F/T.....120, 426

長征 3 ..... 113

長征 5 ..... 113, 426

長征 6..... 113, 426  
長征 7..... 113, 426, 427  
長征 8..... 113, 427  
長征 9..... 114, 427

## つ

月周回..... 14, 160, 161  
月探査..... 370  
月着陸..... 107, 160, 161  
月有人探査..... 160  
月旅行..... 122

## て

偵察衛星 ..167, 193, 220, 308, 335, 439  
ティルトローター..... 83, 84  
データ中継衛星..... 146  
デカップリング..... 26  
デブリ除去..... 106  
天宮..... 114, 174, 426, 428  
天宮 1 号..... 107  
天宮 2 号..... 107  
天啓..... 430  
天舟..... 107, 174, 428  
天鏈..... 147, 430  
電動航空機..... 23, 62  
天問 1 号..... 438  
天和..... 427, 428

## と

東風 21..... 114, 427  
東風 31..... 114, 428  
東方紅..... 421

## ね

燃料電池..... 61, 62, 69, 74

## の

ノーター・アンチ・トルク・システム  
..... 83

## は

バイオ燃料..... 61  
バイスタティック・レーダー..... 305  
バイパス比..... 46, 49, 94, 99  
ハブ・アンド・スポーク..... 49, 64

はやぶさ.....105, 163, 191

## ひ

微小重力実験.....174

## ふ

風雲.....151, 434  
フライングブーム.....39

## へ

ベルリン大空輸.....36

## ほ

墨子.....168  
北斗..... 105, 149, 168, 430

## ま

マルチロール.....34

## む

無人機研究システム.....88  
夢天.....429

## め

メキシコシティ宣言.....15  
メタン.....315

## も

問天.....427, 428

## ゆ

有人宇宙船114, 119, 329, 330, 387, 422

## よ

遥感.....168, 434

## り

リージョナル航空.....64  
リージョナルジェット.....28  
リスク・シェア・パートナー ..363, 421  
リモセン法.....109  
量子通信.....168

## れ

レーダー画像衛星.....336

ろ

ロボットアーム..... 253

わ

ワイドボディ.....28, 36

---

## 世界の航空宇宙工業

令和 5 年 3 月 31 日 印刷

令和 5 年 3 月 31 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。





