

令和5年度 第8回 SJAC講演会を開催

(一社)日本航空宇宙工業会(SJAC)は、令和6年3月6日(水)、SJAC革新航空機技術開発センター(以下、革新センター)による技術動向調査研究事業の成果報告を目的として、SJAC講演会を開催した。

尚、本講演会はSJAC会議室を会場として対面式、及びオンライン参加によるハイブリッド形式での開催とした。

1. はじめに

革新センターでは、将来出現が予想される高性能の革新航空機を開発するために必要とされる技術について調査及び実用化研究開発等を推進する活動として、革新航空機技術の動向調査を行い、その成果はSJAC講演会を通じて会員の皆様に広く共有している。

2. 講演会の概要

今年度は、以下の(1)と(2)の革新航空機技術項目について調査研究を実施し、講演会当日は31の会員企業及び関係団体などから86名(対面式3名、オンライン83名)の参加を得て、成果報告を行った。



航想研 奥田 章順氏

(1)「航空機の推進系／装備品開発における電動化の方向性」に関する調査報告

講演者：(株)航想研 代表取締役 奥田章順氏

(講演概要は、別紙第1を参照願います)

(2)「L/D (Lift-Drag Ratio) 向上技術(可変キャンバ・モーフィング)」に関する調査報告

講演者：(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA) 航空技術部門基盤技術研究ユニット 玉山雅人氏

(講演概要は、別紙第2を参照願います)



JAXA 玉山 雅人氏

3. 所感

今回の講演会においては、航空業界が直面しているCO2削減に関連した電動化、効率化（L/D向上）および実現が秒読み段階に入ったAAM（Advanced Air Mobility、いわゆる空飛ぶクルマ）の技術動向への関心が高く、多くの方が参加された。

航空機の電動化やAAMにおける技術進歩及び国内外メーカーの動向変化はとても早く、それらの最新情報は大変有益であると評価いただいた。

今後も革新センターの各種活動を通じて、会員企業の事業活動に対する有益かつ有意義な情報発信を継続していく所存である。

[(一社) 日本航空宇宙工業会 技術部部长 松田 圭介]

令和5年度 革新航空機技術開発センター技術動向調査研究
航空機の推進系／装備品開発における電動化の方向性

株式会社 航想研 代表取締役 奥田 章順

1. 旅客機における方向性

航空界の脱炭素の流れの中で電動化、水素化への取組がセグメントごとに進められている。コミュータ機・リージョナル機ではハイブリッド、水素燃料電池が、小型機クラスではパラレル・ハイブリッドや水素タービンが、中大型機では水素タービンやターボエレクトリックなどの適用が想定されている。また、AAM (Advanced Air Mobility) やジェネラルエビエーション機では全電動機やハイブリッド機が開発されている。

(1) 電動化・ハイブリッド化

AAMを除けば、現在開発中の電動航空機多くはハイブリッド機で、北米では搭乗者数10人未満をメーカーが、小型機クラスはNASAなどで基礎研究がなされている (EPFD: Electric Powertrain Flight Demonstration、SFNP: Sustainable Flight National Partnership、STARC-ABL: Single-aisle Turboelectric Aircraft with an Aft Boundary-Layer propulsor等)。欧州では10人未満の機体に加え、30~90席のリージョナル機やより大型の180席まで、メーカーの開発対象は広い。欧米ともに実現化時期は2020年代後半とする機体が多く、既に仮発注・オプションを含めれば受注数は3,000機を超えている。開発例としては、Raytheon (Collins Aerospace) がDHC-8の電動化をカナダと共同で進めており、スウェーデンのHeart、オランダのMaevé、Elysian、英国のeasyJet (Wright Electricと共同) 等が、リージョナル機~小型機クラスを開発中である。この他、米Electra、

Aero、イスラエルのEviation等が10席前後の機体を、Regentが地面効果利用の全電動水上機「seaglidors」を開発中。

(2) 水素化 (水素タービン、水素燃料電池)

水素燃料電池機は米Universal Hydrogenと英ZeroAviaがリード、DHC-8/ATRシリーズの内燃エンジンを、液体水素燃料の水素燃料電池推進システムに換装する事業を進めており、両社300機以上を仮受注している。英国のCranfield Aerospace SolutionsはBN2の水素燃料電池化 (高圧水素) を、DLR、MTU等も水素化プロジェクトを実施している。

水素タービンは、米国ではPWがHySITE (水蒸気一部循環型水素燃焼システム) プロジェクトを実施している。一方、欧州ではAirbus「ZEROeプログラム」、英国のUKIR/ATIのG2GEAR (GKN Aerospace等)、FETCH等、複数のプロジェクトが取り組まれており、Rolls Royceなどが水素タービン・エンジンの実証試験を進めている。

(3) 電動推進システム・燃料電池推進システムの要素技術

ハイブリッド・システムは1MWクラスをGE、P&W (RTX)、Honeywell等が、Rolls Royceが500kW~2MWクラスをMTU等と提携して開発中である。また、SafranはEgineUsシリーズ (45/100/500kW) を商用化している。この他、Verdego Aero、LaunchPoint等の新興勢力も数kW~100kW超えクラスのシステムを開発している。

モータではMWクラスをMIT/Innova-Logic（三菱重工業出資）、Collins Aerospace（RTX）、Wright Electric等が開発中で、米H3Xも3MWクラスの開発計画を発表している。実用化に向けては、MagniXがi650などで2025年頃の認証取得を目指している。この他、英国のEvolito、Equipmake、日本のNidecがアキシヤルフラックス型モータで航空分野に参入しており、NidecはEmbraerとJVを設立した。なお、Rolls Royceはバッテリーベースの推進システムからの撤退を2023年秋に発表している。

バッテリーはLiB（リチウムイオン）が主流だが、シリコン・アノードを適用したLiBの開発が米Amprius、Ionblox等で取り組まれている。次世代バッテリーではLiS、Li-MetalをAmprius、Sion Power、日本のEnpower、スウェーデンのNorthvolt等が開発しており、400～500Wh/kgを達成しているが、サイクル数、Cレート向上等が課題となっている。この他、Inx Technology、SOLiTHOR、中国CATL等が全固体や凝縮型バッテリーを開発中。

燃料電池は自動車等に採用されている低温PEMをUniversal Hydrogen等が採用、Rolls Royceは韓国の現代自動車と提携している。また、高効率の高温PEMをHyPoint、Advent等が開発しており、ZeroAvia、Airbus、Safranなどが適用開発のパートナーとなっている。

この他、インバータ／コンバータ、高電圧対応EWIS、熱制御等の開発が進んでいる。

2. AAM（Advanced Air Mobility）における方向性

AAMにはベクタードスラスト、リフト&クルーズ、マルチロータ等の形態があるが、翼を有するベクタードスラスト、リフト&クルーズが旅客輸送などでは主力となりつつある。

（1）主なAAM/eVTOL機の推進装備品

AAMの推進システムの多くは全電動だが、米NFT、カナダのHorizon Aircraft、フランスのAscendance Flight Technologies、イスラエルのUrban Aeronautics、ホンダ等はハイブリッド・システムを採用している。モータはJoby Aviation、Archerは自社開発、日本のNidec（EVE）、Honeywell Aerospace/Denso（Lilium）、米MagicAll、英Evolita、Equipmake等が供給を行っており、Rolls Royce、Safran、BAEsystems等が推進システムを開発している。バッテリーはLiBをスウェーデン・米国のNorthvolt/Cuberg、米EPS、独Customcells、台湾のMolicel/ E-One Moli Energy Corpなどが供給している。燃料電池については、イスラエルのUrban Aeronauticsは英ZeroAviaが取得した米国のHyPointのHT-PEMを採用する計画を発表している。また、Joby Aviationはドイツの水素燃料電池航空機メーカーであるH2FLYを取得している。800V以上の高電圧システム向けEWIS（Electrical wiring interconnection system）ではGKN Aerospace等が、熱制御システムはIntergalacticやBlueshiftなどがAAMメーカーに供給している。

（2）型式証明におけるSpecial Condition（特別要件等）、特徴的な要求事項

欧州EASAは従来からの固定翼機基準（CS-23 Amendant5）をベースに回転翼機（CS-27）を勘案、AAM/eVTOL向けの特別要件（special condition）を加えた基準案を2019年7月に発表している。米国FAAは2022年5月に方針を転換、「パワードリフト機」カテゴリでの認証を進めている。特別要件の項目としては、緊急時にグライディング、オートローテーションができないことに勘案しての「controlled emergency landing」の要件、操縦システムやDPS（Distributed Propulsion

System) の新たなクライテリア、バードストライク対策、高電圧対策、リザーブルールなどがあげられる。なお、AAMの認証取得は2025年頃と考えられているが、後ろにずれる可能性もある。

(3) 社会実装における課題と解決策

AAMの社会実装に向けての課題としては、認証・認可取得、資金調達、インフラ整備(UTM、パーティポート等)、パブリック・アクセプタンス(社会受容性)、用途と事業性確保などがあげられる。認証・認可については基準策定や法整備が、事業化に10億ドルが必要とされる資金調達については、欧米では複数企業がSPAC(特別買収目的会社)上場を行っている。インフラ整備ではパーティポート、充電設備、UTM等の整備が必須となる。社会実装で特に重要となるパブリック・アクセプタンスでは、AAMは地域性の高いことから地域社会・コミュニティなどから十分な理解を得ることが不可欠となる。特に安全性、騒音等の環境適合性、景観問題などが課題となる。事業性に関しては、運用するAAM機やミッションプロファイル等に基づき、事業性シミュレーションを行うことが有効で、あわせて地域への経済波及効果等の試算も重要となる。

(4) 将来のAAM 高密度化における航空管制、遠隔操縦及び自律飛行の方向性

将来のAAMの高密度運航については、米国では航空交通サービス(ATS)と、オペレーター間の協調運航(COP: Cooperative Operating Practices)に基づくxTM(Extensible Traffic Management)の組み合わせが考えられている。また、UAMコリドーの設置やコリドー容量逼迫に対応した協調的フロー・マネジメント(CFM: Cooperative Flow Management)、

DCM(Demand-Capacity Balancing)等のマネジメント、不確実性に対応したバッファなどが検討されている。さらにAAM機に搭載されるDAA(Detect And Avoid)技術や地上からの監視技術であるSAA(Sense-And-Avoid)技術は重要となる。

遠隔操縦では無操縦者航空機で採用されているCバンドや衛星通信などを利用している。より高度な自律飛行については、米国のWisk Aeroや欧州エアバス、ドイツのVolocopter、フランスのAscendance Flight Technologiesなどが取り組んでおり、各種DAA装備(カメラ、ライダー等)やAIの適用(AirbusはEASA Level3)、GPS無しでも飛行可能な先進航法システム(Safran BLACK-ONYX)等を採用している。

令和5年度 革新センター技術動向調査研究
L/D向上技術（可変キャンバ・モーフィング）

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 玉山 雅人

1. はじめに

複数のミッションを単一の機体で実現可能なモーフィングの一種である主翼後退角をスウィープ可能な機体は、軍用機（Bell X-5（Messerschmitt、1951 初飛行）、F-111（General Dynamics、1964 初飛行）、F-14 Tomcat（Grumman、1970 初飛行））で先んじて実現されている。一方、キャンバ可変のようなモーフィングは、同一変位量で比べれば空力性能が従来舵面よりも高いなどの利点があるため欧米で研究開発が盛んであるが、実用化は未達となっている。モーフィングは空力荷重下で構造の弾性変形を実現するため、“空力弾性”分野としてとらえられることが多い。この分野で最近注目されているのが、航空機の環境性能向上（人キロ当たりの燃料消費量低減）に効果的な高アスペクト比翼である。見るからに華奢で突風荷重に耐えうる強度を確保するためには従来機体設計だと構造重量増を伴いそうだが、“これを如何にして回避すれば良いのか？”が研究開発対象になっている。これら、世界的に注目を集めているモーフィングと荷重制御技術について、最近の研究開発の状況を調査した。

2. 調査概要

調査手法としては、抄録・引用データベースScopus（Elsevier提供）を利用し、モーフィングと荷重制御のそれぞれの技術について最新の発表を検索した。モーフィングでは、対象期間2020～2023年として検索ワード“morphing AND aerospace”の設定により149

件の発表が得られた。この統計的処理をScopusの提供機能で実施した。その一例として著者の国別ランキングでは、1位中国、2位米国、3位インドとなっており、これら上位3国で6割弱の発表を占めている。次に、149件の発表を被引用数（著者による引用を除く）により並べ替え、被引用数10以上を対象にして発表件数を20編に絞り込んだ。

荷重制御技術では、対象期間2020～2023年として検索ワード“load AND control AND wing”の設定により464件の発表が得られた。この統計的処理の一例として著者の国別ランキングでは、モーフィングと同様に米国と中国が上位2国となっていることは変わらないが、インドが7位へと順位を下げている。これに代わり、ドイツ、英国、イタリア、オランダといった欧州各国の件数が目立つ。また、ブラジルやカナダも見られ、完成機を製造する主要国・地域が荷重制御に関心を高めていることが分かる。464件の発表を被引用数（著者による引用を除く）により並べ替え、被引用数5以上（と、4以下でも興味をひかれたもの）を対象にして発表件数を30編に絞り込んだ。

また、2024年1月に開催されたAIAA SciTech 2024 Forumおよび2023年11月に開催された日本航空宇宙学会第61回飛行機シンポジウムにてモーフィングと荷重制御技術に関する調査を行った。

これらの調査から見えたことは、モーフィング技術として世界的には機構の設計がトロジー最適化などを利用して継続して行われ

ている一方、3Dプリンティングによるメカニカルメタマテリアルやラティス構造に加え、特にこれらにスマート材料を統合した4Dプリンティングの研究活動が活発であったことである。製造後に特性を変化できるため4Dプリンティングと名付けられていて、軽量・多機能で、かつ制御デバイスとしての利用も可能であり将来性が注目されている。

荷重制御技術としては、高アスペクト比翼や柔軟翼というキーワードの下で、大変形に対応した空力弾性解析や、制御面を利用した荷重制御、また、これに使われる空気圧を利用したり再入四角形 (re-entrant quadrangular) 格子を使った斬新なモーフィング構造が提案されていたりしている。加えて、翼のさらなる改善を期待して鳥／生物模倣の研究も着実に進んでいる。

欧米には大型の研究枠組みが存在し、活発に活動が進んでいる。例えば、荷重制御の最適設計で著名なNASA Ames Research CenterのN. NguyenによるVariable Camber Continuous Trailing Edge Flap (VCCTEF) を使った荷重制御の研究は、NASA Advanced Air Transport Technology (AATT) Projectの資金を得て実施されてきた。EUでは航空産業における環境負荷の低減と持続可能性の向上を推進するプロジェクトやイニシアティブの総称であるClean Aviationの下で、Clean Sky2 Unsteady High Aspect Ratio Wing Aerodynamics and Response to Dynamics (CS2-U-HARWARD) が実施され、高アスペクト比翼へのfolding wingtipによる突風荷重軽減を実現する研究などが行われている。また、計算空弾モデリングの最先端技術と実践技術を評価するためのオープンな場としてAIAA SciTech2023 Forumと同時開催された3rd Aeroelastic Prediction Workshop (AePW-3) では、Large-Deflection working group (LDWG: 大きな非線形変形を伴う細長い翼

に焦点) が設置され、荷重制御とも関連の深い柔軟翼についての解析と実験が行われている。

一方、国内では、高アスペクト比や柔軟翼を対象にした荷重制御技術の研究が過去には玉山らにより行われていたが[1]、最近は見られず、モーフィング機構や飛行安定性、羽ばたき翼等の研究に国内研究の焦点が当てられていることが分かった。

世界的に、モーフィング構造や荷重制御で実機スケールにて飛行実証ができてきている技術は限られており、今後の飛行実証が見込まれるべきである。特に、欧州で実施されているsemi-aeroelastic hinged wing-tipsの活動は、現状はsmall scaleの模型飛行機実証までであり (Airbus AlbatrossONE[2])、今後のフルスケールサイズの飛行実証が望まれる。

以上

[1]玉山雅人他、“荷重制御技術の解析と風洞試験,” 日本航空宇宙学会誌、第70巻、第6号、pp.133-139, 2022.

[2] “AlbatrossONE A revolutionary approach to aircraft wing design,” [Online]. Available: <https://www.airbus.com/en/innovation/disruptive-concepts/biomimicry/wings/albatrossone>. [Accessed 22 2 2024].