

2022 年度
航空機等に関する技術開発動向調査報告書

2023 年 3 月

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金

はしがき

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金では、「情報収集及び情報提供事業」の一環として、毎年、航空機等に関する技術開発動向調査を実施しています。本報告書は、2022 年度に実施した調査の成果を取り纏めたものです。

世界の航空市場は経済の成長とグローバル化に伴い大きく成長してきました。2020 年以降 COVID-19 パンデミックにより航空輸送・航空機製造ともに大幅に需要が落ち込んだ後、最近ようやく回復の兆しが見えて来ましたが、2022 年 2 月のロシアによるウクライナ侵攻の影響によって予断を許さない状況です。

アフターコロナの新しい世界に向けて、航空機産業としても持続的な成長とともに、新技術による脱炭素化への取組の強化、グローバル・サプライチェーンの再構築、DX 化推進などが求められており、従来にない大きな潮流に対応していかなければなりません。

今後、我が国の航空機産業を質・量ともに高いステージに上げるためには、引き続き国際共同開発において我が国航空機産業の存在価値を発揮し役割を果たすことに加え、先端技術開発に関する確固たる戦略の下、我が国の高度な主要産業の一つとして高付加価値産業化を促進し、確実に成長、ステップアップする努力を粘り強く継続していくことが重要です。

こうした考えの下、2022 年度も、当基金に外部専門家で構成される航空機等に係る「技術開発動向調査委員会」を設置し、航空機の開発・製造等に関する国の政策や内外の最新の技術開発等の動向を調査分析し、将来展望等を議論してまいりました。

この調査報告が、我が国航空機産業の拡大・発展のために大いに役立つことを期待するところです。

2023 年 3 月

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金

2022 年度「技術開発動向調査委員会」委員名簿

区 分	氏 名	所 属 ・ 役 職
委員長	石川 隆司	名古屋大学 特任教授 ナショナル・コンポジット・センター担当
委 員 (五十音順)	今村 太郎	東京大学大学院 工学系研究科航空宇宙工学専攻 准教授
	奥田 章順	株式会社航想研 代表取締役
	長嶋 哲矢	三菱重工業株式会社 民間機セグメント 事業開拓室 事業開発グループ 主席チーム統括
	二宮 哲次郎	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 航空安全イノベーションハブ 企画連携チーム チーム長
	姫野 武洋	東京大学大学院 工学系研究科航空宇宙工学専攻 教授
	森 祐司	株式会社 I H I 航空・宇宙・防衛事業領域 民間エンジン事業部 技術部 システム・構造部品設計グループ 主査
事務局	関 淳夫 水谷 智昭 小林 貴 濱本 健司	公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 専務理事 企画調査部長 企画調査部部長代理(*1) 企画調査部部長代理(*2) (注：*1：～2022 年 12 月、*2：2023 年 1 月～)

2022 年度 報告書目次

第 1 章	はじめに	
1.1	調査事業の趣旨と目的	1
1.2	調査委員会の構成と運営	1
第 2 章	民間航空機等の国際共同開発に関する動向	
2.1	調査対象期間	2
2.2	我が国の航空機産業に関わる政策等の動向	2
2.3	我が国の航空機国際共同開発の動向	7
2.4	民間航空機等に関する技術研究開発の主要動向	
2.4.1	民間航空機市場及び機体開発動向	10
2.4.2	エンジン関係	28
2.4.3	装備品関係	32
2.4.4	航空システム・航空管制・無人機・飛行制御関係	39
第 3 章	その他資料の分析	
3.1	関係団体の刊行物における動向情報	44
3.2	公益財団法人航空機国際共同開発促進基金の情報調査 及び情報提供における動向情報	44
3.2.1	2022 年度航空機業界動向情報（月次）	44
3.2.2	2022 年度航空機関連動向解説記事	44
3.3	大学・研究機関・企業等から公表された動向情報	47
3.3.1	国内学会等における研究開発動向	47
3.3.2	国外学会等における研究開発動向	55
第 4 章	2022 年度海外調査報告	
4.1	調査目的	64
4.2	調査概要	64
4.3	調査成果	66
4.3.1	P&W 社	66
4.3.2	GE Aviation 社	68
4.3.3	CAE Inc. 社	70
4.4	訪問先面会者一覧	72
第 5 章	まとめ	
5.1	今後の調査課題	73
5.2	2022 年度調査のまとめ	75

資料

資料 1 関係省庁の刊行物リスト（2022 年 1 月～2022 年 12 月）

資料 2 関係団体の刊行物リスト（2022 年 1 月～2022 年 12 月）

資料 3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022 年 1 月～2022 年 12 月）

第1章 はじめに

1.1 調査事業の趣旨と目的

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金（以下、「当基金」という）は、航空機工業振興法に基づく指定開発促進機関として、航空機等の国際共同開発を行う者等に対する助成を行い、加えて航空機等の国際共同開発を促進する事業等を行うことにより、航空機産業を振興するとともに、産業技術の向上及び国際交流の進展を図り、我が国産業の発展に寄与することを目的としている。今後益々航空機等の国際共同開発事業の拡大と多様化が予想される中で、現在から将来にわたり助成事業の遂行に必要な情報を収集し、分析、編纂して資料として取り纏めておくこと、並びに航空機等の研究開発を行う者等へ情報提供することは重要である。

2009年度から開始した技術開発動向調査事業では、外部の専門家等で構成される航空機等に関する「技術開発動向調査委員会」を設置して、毎年度航空機等の技術開発動向等に関わる最新情報を収集し、現状確認と分析、更には将来展望等を取り纏めることを目的とする。

1.2 調査委員会の構成と運営

(1) 調査委員会の構成

2022年度の技術開発動向調査委員会のメンバーは、冒頭の委員名簿に示すとおり、学界・公的研究機関・航空機関係業界等の専門家7名から構成されている。委員長には航空宇宙分野で幅広く活躍されている名古屋大学特任教授の石川隆司氏にご就任いただき、多大なご教示とご指導を賜った。

(2) 調査委員会の運営

委員会の運営は全員参加型の委員会活動を旨とし、実際の調査活動を分担して行い、全体の合意を形成する方針で臨んだ。具体的には以下の様な運営を実施した。

ア 活動内容の具体的イメージ創り

本調査事業の趣旨・目的・活動内容について委員全員のイメージ合わせと認識の共通化を図り、中味の明確化に努めた。

イ 情報の共有化と共通化

コロナウイルスの感染状況に応じて柔軟に調査を進める。具体的には、対面会議、Web会議及びその組合せで調査を実施し、情報の共有化と共通化を図った。

ウ 共通課題の抽出

航空機等の技術研究開発動向に関する議論から抽出される、時宜を得た課題についての共通化を図った。

第2章 民間航空機等の国際共同開発に関する動向

2.1 調査対象期間

2022年度の調査対象期間は、主として2022年1月1日から2022年12月31日の1年間とし、この期間に発刊、刊行された航空機等の技術研究開発に関する情報を収集し、分析と編纂作業を実施した。

2.2 我が国の航空機産業に関わる政策等の動向^{(1)~(12)}

COVID-19パンデミックは、世界の民間航空輸送及び航空機・エンジン製造、MRO、リース業界、それらのサプライチェーンに大きなインパクトを与え、我が国の航空機産業も深刻な打撃を受けた。その後の変異株対応も含めたワクチンの開発と接種進捗、移動制限緩和により、徐々に経済状況の改善が見られ、旅客需要も国内線から順次回復している。日本航空宇宙工業会（SJAC）会報によれば、「機体部品」「エンジン部品」「装備品」全てが生産増に転じ、2022年度の航空機関連の生産額は、対前年度比130%、対2019年度比で67%との見通しを示している。

一方、最近の環境意識の高まりにより、航空輸送には厳しい目が向けられ、2021年には、国際機関、各国政府が多くの政策、目標を表明、これに対して、業界団体、OEM、エアラインは、持続的成長を目指す動きを強め、2022年の国際民間航空機関（ICAO）総会で2050年ネットゼロ、カーボンニュートラルが合意された。現在、各国で航空関連の環境技術開発プログラムなどが本格的に立ち上げられている。

我が国の航空機産業に関しても、環境、脱炭素化関連の動きが目立った。

(1) 経済産業省

- 2022年3月31日 ドローンなど無人航空機システムの情報漏えい対策が求められていることを受け、NEDOとともに「無人航空機分野サイバーセキュリティガイドライン」を策定・公表した。⁽¹³⁾
- 2022年5月27日 萩生田経済産業大臣とマレーシア政府のマレーシア・アズミン上級大臣兼国際貿易産業大臣は、岸田首相とマレーシアのイスマイル首相立ち合いの下、首相官邸で「日本国経済産業省とマレーシア政府との間の航空機産業に係る協力に関する覚書」（MOC）を締結した。⁽¹⁴⁾
- 2022年6月20日 国土交通省と合同で、「航空機の脱炭素に向けた新技術官民協議会」をウェブ会議方式で開催した。⁽¹⁵⁾
- 2022年8月1日 米国Boeing(ボーイング)社と、次世代の航空機の実現を目指した協力強化を目的として、「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」に署名した。⁽¹⁶⁾
- 産業構造審議会の中に、2021年に立ち上げられたグリーンイノベーションプロジェクト部会は、2022年は下記2回が実施された。

第7回開催 2022年3月18日

第8回開催 2022年11月10日 ⁽¹⁷⁾

- 2021年にグリーンイノベーションプロジェクト部会の下に設置された「産業構造転換分野ワーキンググループ」は、2022年は下記5回が実施された。

第6回開催 2022年2月17日

第7回開催 2022年6月3日

第8回開催 2022年8月25日

第9回開催 2022年9月27日

第10回開催 2022年10月11日 ⁽¹⁸⁾

第8回では、「次世代航空機の開発」が議論された。

(2) 国土交通省

- 2022年2月4日 渡辺猛之国土交通副大臣は、EU加盟国を主な対象としてフランスで開催された「航空サミット」において、我が国の国際航空分野のCO₂排出削減に向けた取組をビデオメッセージにより発信した。⁽¹⁹⁾
- 2022年3月25日 事業者による「空飛ぶクルマ」の機体開発を加速させるため、空飛ぶクルマを念頭に飛行試験に関する許可基準を明確にし、必要な手続きをとりまとめた「試験飛行のガイドライン」を公表した。また内容は2022年12月26日に改定された。⁽²⁰⁾
- 2022年4月8日 航空局は2021年2月からオーストラリア民間航空安全庁との間で航空機の装備品（エンジン、計器類等）の整備の相互受け入れに向けた協議を行ってきたが、2022年3月25日に「航空整備に関する技術取決め」を締結したと発表した。⁽²¹⁾
- 2022年4月19日 産官学の関係者から構成される将来の航空交通システムに関する研究会を通じて、「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARATS）」をとりまとめたと発表した。⁽²²⁾
- 2022年5月9日 「2050カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現」に向けて、日本の玄関口である空港の脱炭素化を推進するため、空港脱炭素化推進事業費補助金の公募を開始した。⁽²³⁾
- 2022年5月13日 航空法及び運輸安全委員会設置法の一部を改正する法律の施行により2022年6月に予備品証明制度が廃止されることに伴い、予備品証明を申請する者の手数料に係る規定の削除等を定めた「航空法関連手数料令の一部を改正する政令」が、閣議決定された。⁽²⁴⁾
- 2022年6月20日 経済産業省と合同で、「航空機の脱炭素に向けた新技術官民協議会」をウェブ会議方式で開催した。⁽²⁵⁾

- 2022年7月26日 2021年第204回国会で成立した「航空法等の一部を改正する法律」の一部規定の施行期日を2022年12月5日等と定める政令が閣議決定された。これにより、航空法において無人航空機の機体認証・型式認証制度及び無人航空機操縦者技能証明制度等が創設され、無人航空機の有人地帯上空における補助者なし目視外飛行が可能となる。⁽²⁶⁾
- 2022年7月26日 「SAFの導入促進に向けた官民協議会第1回SAF流通ワーキンググループ」を開催した。⁽²⁷⁾
- 2022年7月28日 7月19日から22日の日程でICAOにおいて開催された国際航空分野における脱炭素化の長期目標を議論するハイレベル会合で、日本が2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを宣言したと発表した。⁽²⁸⁾
- 2022年9月1日 「航空機運航分野におけるCO₂削減に関する検討会」の、第5回が開催された。⁽²⁹⁾
- 2022年9月27日～10月7日には、ICAO総会が開催され、国際航空分野における脱炭素化の長期目標として、「2050年までのカーボンニュートラル」を目指すこととする長期目標が採択されるとともに、航空安全、航空保安、航空管制などの分野における次期3か年の活動方針・計画等が承認され、日本が理事国に再選されたと発表した。⁽³⁰⁾
- 資源エネルギー庁と合同で、「持続可能な航空燃料（SAF）の導入促進に向けた官民協議会」を立上げた。2022年は下記2回が実施された。
第1回開催 2022年4月22日
第2回開催 2022年11月7日⁽³¹⁾
- 「航空機運航のDX推進に向けた検討会」が、2022年は下記2回が実施された。
第6回開催 2022年3月3日
第7回開催 2022年5月23日⁽³²⁾
- 「運航の改善によるCO₂削減協議会」を設置した。2022年は下記2回が実施された。
第1回開催 2022年6月16日
第2回開催 2022年10月31日⁽³³⁾

(3) 文部科学省

- 航空科学技術委員会は、2022年は下記4回が開催された。
第72回開催 2022年2月18日
第73回開催 2022年5月26日
第74回開催 2022年7月6日
第75回開催 2022年8月1日⁽³⁴⁾
- 2022年2月18日 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会航空科学技術委

員会は、「航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン最終とりまとめ」を発表した。⁽³⁵⁾

(4) JAXA

- 2022年4月15日 NEDOの「水素航空機向けコア技術開発」事業において、幹事企業である川崎重工業の共同実施者に採択されたと発表した。⁽³⁶⁾
- 2022年5月20日 観測ロケット S-520-RD1による超音速燃焼飛行試験を7月23日5時~5時30分、内之浦宇宙空間観測所で実施すると発表した。⁽³⁷⁾
- 2022年6月17日 IHI、NTTコミュニケーションズ、川崎重工業、SUBARU、全日本空輸、東芝デジタルソリューションズ、日本航空、一般財団法人日本航空機開発協会、日本電気、富士通、三菱重工グループ、及び経済産業省との連携のもと、デジタルトランスフォーメーション（DX）による我が国航空産業の裾野拡大・国際競争力強化と、将来の航空産業のDXを担う人材育成を目的とした「航空機ライフサイクル DX コンソーシアム」を発足させた。⁽³⁸⁾
- 2022年7月13日 7月23日に予定していた内之浦宇宙空間観測所からの観測ロケット S-520-RD1による超音速燃焼飛行試験について、共通射場設備等を使用する S-520-32号機の搭載観測機器の技術的に確認すべき事象にかかる原因究明作業の影響で、試験を7月24日に延期すると発表した。⁽³⁹⁾
- 2022年7月24日 「極超音速飛行に向けた流体・燃焼の基盤的研究」の一環として、観測ロケット S-520-RD1を内之浦宇宙空間観測所から打ち上げた。供試体は降下中にマッハ数約5.5に達し、空力加熱と超音速燃焼に関するデータを取得した。⁽⁴⁰⁾

(5) NEDO

- 2022年3月31日 ドローンなど無人航空機システムの情報漏えい対策が求められていることを受け、経済産業省とともに「無人航空機分野サイバーセキュリティガイドライン」を策定・公表した。⁽¹³⁾
- 2022年4月19日 グリーンイノベーション基金事業の一環で、「CO₂等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト」（予算総額 1,145 億円）に着手すると発表した。⁽⁴¹⁾
- 2022年8月9日「次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト（Realization of Advanced Air Mobility Project : ReAMo プロジェクト）」において、次世代空モビリティ（ドローン・空飛ぶクルマ）の性能評価手法や運航管理技術の開発事業を、12件採択したと発表した。⁽⁴²⁾
- 2022年12月12日「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業」において、昨年度から福島県浪江町に整備していた「福島水素充填技術研究センター」が12月から本格的に運用を開始したと発表した。⁽⁴³⁾

(6) NICT

- 2022 年 4 月 11 日 ドローン同士がそれぞれの位置情報などを地上の操縦者やネットワークを経由せずに直接通信するシステムを開発したと発表した。⁽⁴⁴⁾

[2.2 項 出典(1)～(12) : 各、資料 1 の P2022D001～P2022D012 参照]

[2.2 項 出典(13)～(44) : 各、資料 3 の P2022D201～P2022D232 参照]

2.3 我が国の航空機国際共同開発の動向

(1) 次世代中小型民間輸送機用エンジン(PW1100G-JM)開発事業

2010 年 12 月に欧州 Airbus(エアバス)社が 120～220 席クラスの A320 型機のエンジン換装型 A320neo シリーズの開発を決定し、その搭載エンジンの一つとして米国 Pratt & Whitney(プラットアンドホイットニー:P&W)社の PW1100G-JM エンジンの採用を正式決定した。その後、2011 年 9 月に P&W 社と一般財団法人日本航空機エンジン協会(JAEC)及び独国 MTU アエロエンジン社が PW1100G-JM エンジンの共同事業(Joint Venture)覚書に調印し、基金助成対象事業としての選定を経て、2011 年 10 月から共同開発が開始された。なお、2009 年度から P&W 社と共同で開発を開始した基金助成対象事業の次世代中小型民間輸送機用エンジン関連技術(複合材ファンケース・ファン構造物)開発事業は、PW1100G-JM エンジン開発事業の開始に伴い、2011 年 10 月以降に着手する作業から PW1100G-JM エンジン開発事業に統合された。2014 年 12 月にエンジン型式承認を取得、同エンジン搭載の A320neo は 2015 年 11 月に型式証明(Type Certification:TC)を取得し、商用運航を開始した。また、派生型の A321neo は 2016 年 12 月に、A319neo は 2019 年 11 月に型式証明を取得した。

運航後に見つかった問題への対応など更なるエンジン改善に向けた耐久性向上、軽量化等の改良設計、部品修理技術の開発などを継続して行っている。更に、推力・燃費向上型(PIP)エンジンの開発作業は、2023 年の型式承認取得を目指し、設計作業、試験用部品製作等を実施している。2020 年 10 月から開発試験用エンジンの運転試験が開始されており、初号機の初回試験(FETT)、2 号機の試験は完了し、3 号機以降の組立が開始された。

量産ではこれまで生産台数を拡大してきていたが、COVID-19 パンデミックの影響等により、2020 年から 2021 年にかけて当初計画より減産となったが、徐々に生産拡大していくと見込まれている。エアバス社に納入された PW1100G-JM エンジンは、2022 年 9 月末時点で累計 2,868 台となった。

(2) 大型民間輸送機(777X)開発事業

2013 年 11 月にボーイング社が 777 型機後継として 310～399 席クラスの 777X 型機の開発を正式決定し、2014 年 6 月にボーイング社と一般財団法人日本航空機開発協会(JADC)及び日本側機体メーカー 5 社(三菱重工業、川崎重工業、SUBARU(当時は富士重工業)、新明和工業、日本飛行機)が、777X 型機の開発・量産事業に参画するための主要契約条件に関する覚書に調印した。本開発事業は 2014 年 9 月の基金助成対象事業としての選定を経て、2014 年 10 月から国際共同開発が開始された。なお、2013 年 9 月から基金助成対象事業としてボーイング社と共同で実施してきた、軽量化・低コスト化を実現するための主要材料の実用化技術及び量産工程の早期安定化に資する製造組立技術等の大型民間輸送機関連技術開発事業は、2014 年 10 月以降に着手する

作業から 777X 開発事業に統合された。

2019 年 9 月 5 日、777-9 の静強度試験中に後部貨物ドアの不具合による減圧を生じたが、開発計画に重大な影響はなく、2020 年 1 月 25 日から飛行試験 1 号機による飛行試験が開始された。

FAA による承認要件の更新、既存顧客の受領延期要望、COVID-19 パンデミックによる需要動向を主な理由に、商用運航開始は延期されており、現在は 2025 年と発表されている。2022 年 4 月より製造を中断しているが、飛行試験機 4 機による社内飛行試験が進められている。2022 年 1 月 31 日開発着手が発表された 777-8F（貨物機）については、我が国の関連企業からも設計要員の参画が始まっている

(3) 次世代大型民間輸送機用エンジン(GE9X)開発事業

2013 年 3 月にボーイング社が 777X 型機の搭載エンジンとして米国 General Electric（ゼネラルエレクトリック：GE）社の GE9X エンジンの採用（独占搭載）を決定し、JAEC 及び IHI が 2014 年 8 月までに本エンジン共同開発事業への参画を正式決定、共同開発契約書(Risk and Revenue Sharing Partner)に調印した。本開発事業は 2014 年 9 月の基金助成対象事業としての選定を経て、2014 年 10 月から開発作業が開始された。

本開発事業には GE 社と日本側の他、仏 Safran(サフラン)グループ（仏スネクマ社とベルギー テックススペース・エアロ社）及び MTU アエロエンジン社も共に参画しており、2016 年地上性能確認試験開始、2018 年 12 月からは 2 回目となる高空性能確認試験を開始した。

2019 年 6 月に耐久性に係る問題が生じ、高圧圧縮機静翼の再設計を行うことになり、777X 型機の飛行試験計画に遅れをもたらしたが、2020 年 9 月に型式承認を取得した。エンジンを搭載した 777X 型機は社内飛行試験を行っている。並行して機体の型式証明取得後のエンジン成熟化に向けての改良設計検討作業や技術開発作業なども継続して実施している。

(4) 中小型民間輸送機関連技術開発事業

120～229 席クラスの次世代中小型民間輸送機は、機体の設計開発の高度化及び高付加価値化に寄与するシステム統合技術が要求され、その要求への対応としてシステム関連基礎技術を技術実証するための関連技術開発（発電システム技術の開発・高揚力システム技術の開発・電源安定化システム技術の開発）を 2014 年 10 月からボーイング社と共同開発契約を結び、基金助成対象事業として共同作業を開始している。

COVID-19 パンデミックの影響等により、2020 年にボーイング社から開発計画見直しの意向が示され、調整の上、作業を継続して実施している。

(5) 次世代中小型民間輸送機用エンジン(次世代 GTF)関連技術開発事業

効率性・環境適合性の格段の向上と運航費用の低減を目指す次世代中小型民間輸送機用エンジン(次世代 GTF)の中核技術である軽量で高効率な低圧系システム関連技術及び先進燃焼システム関連技術について、JAEC と P&W 社は 2017 年 6 月に共同開発契約を締結、本開発事業は 2017 年 7 月に基金助成対象事業として選定された。2017 年 8 月から P&W 社と共同で開発を実施している。各技術開発項目について技術実証・確認のために供試体の設計・製作を行い、試験・評価などの作業を順次実施している。

2.4 民間航空機等に関する技術研究開発の主要動向

2.4.1 民間航空機市場及び機体開発動向

- ・ 2022 年の航空旅客数は世界的に勢いを増し、2019 年比の RPK (Revenue Passenger Kilometers) は、41.7%(2021 年)から 68.5%(2022 年)となった。国内線の RPK は、2019 年比で 79.6%、国際線の RPK は 2019 年比 62.2%まで回復した。
- ・ 短期的には人材不足と燃料費の高騰が足かせになっているが、中長期的にも CO₂ 排出削減圧力などが要因となり、市場の成長をボーイング社、エアバス社それぞれ 3.8%、3.6%と予測している。
- ・ ボーイング社の David Calhoun CEO は、向こう 10 年半ばまで、新機種を開発しない方針を表明した。今後の CO₂ 排出ガス規制の厳格化を見据え、現行機に比べ燃費を 20%～30%向上させる最新技術が採用された次世代航空機となる必要があり、現段階ではその技術が追いついていないとし、業界全体でも 2030 年代までは画期的な新型機は登場しないとの見解を示した。
- ・ CO₂ 排出ゼロに向け欧州では SAF の利用 (2025 年;2%、2030 年;5%、2040 年;32%、2050 年;63%) を義務付け、米国にも対応を要求している。一方で SAF の価格はケロシンの 3 倍以上であり、生産量拡大という課題が残されている。
- ・ また、市場を牽引してきた中国において、GDP の成長要因である人口と生産性の何れも減少傾向 (2050 年迄に人口が 1 億人減少、政策面で民間企業の発展が妨げられている) にあることも成長を鈍化させている。
- ・ 一方で、電動航空機や車やヘリコプターに代わる移動手段としての eVTOL 機 (空飛ぶ車) のように新たな市場も生み出されつつあり、飛行安全の確保に向け、制度面・インフラ面の整備が進められている。

2.4.1.1 市場動向

(1) 機体市場実績

表 2.4.1.1-1 各メーカーにおける 2022 年の純受注数 (1)(2)(3)(4)(5)

	Airbus	Boeing	Embraer	ATR	De Havilland
Very Large	-	0	-	-	-
Twin Aisle	55	213	-	-	-
Single Aisle	875	561	-	-	-
Regional Jet	-	-	23	30*	-
Turbo prop	-	-	-	-	-
合計	820	774	23	30*	-

*Gross 値

表 2.4.1.1-2 各メーカーにおける 2022 年の出荷数⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

	Airbus	Boeing	Embraer	ATR	De Havilland
Very Large	-	5	-	-	-
Twin Aisle	94	88	-	-	-
Single Aisle	569	387	-	-	-
Regional Jet	-	-	57	-	-
Turbo prop	-	-	-	23	7
合計	663	480	57	23	7

表 2.4.1.1-3 該当機体分類

	Airbus	Boeing	Embraer	ATR	De Havilland
Twin Aisle	Very Large	-	747	-	-
	Large Twin Aisle	A350	777	-	-
	Midsized Twin Aisle	A330	767 787	-	-
Single Aisle	A320 A220	737	-	-	-
Regional Jet	-	-	ERJ E-JET	-	-
Turboprop	-	-	-	ATR 72/42	Q400

(2) 機体市場 (*以降 2.4.1 項の説明文冒頭の xx/xx は日付を示す。)

- 3/12: コロナ禍やウクライナ侵攻などの不確定要素にも拘わらず、ボーイング社及びエアバス社の両社は強気の将来見通しによる増産計画を述べ、サプライヤーに準備を促した。業界関係の予測によると 2022 年の航空機生産は 2021 年の\$113B から 16%増の\$131B に達する。これは 2020 年の\$108B からは大幅増だが 2019 年の\$186B にはまだ遠く及ばない。今後 5 年間は年率 10%で成長を続け 2026 年には\$194B に達する。⁽⁶⁾
- 7/27: ボーイング社の予測では、20 年後の 2041 年の運航機材は、2019 年の 25,900 機から 82%増加し、47,080 機へと伸長し、この間の必要要員は、操縦士 602,000 人、整備士 610,000 人、客室乗務員 899,000 人となる。⁽⁷⁾
- 11/10: ボーイング社とエアバス社は 9 月迄に合計 766 機を出荷した。2022 年末には、2012 年以降最多となる 1,100 機に達すると見込まれる (2021 年は 889 機)。両社は 2023 年も好調が続くと予測している。⁽⁸⁾
- 2023/1: 航空情報会社 Cirium 社の予測では、次の 20 年の商用機出荷量は、3,650 機以上の貨物機を含み合計 44,500 機(30 人乗り以上の航空機とそれに相当する貨物機を対象)、総額\$2.9T で、うち 40%はアジア向けとなる。世界で運航される旅客機は約 22,000 機増加 (年率 3.1%の成長) し、2041 年末には 47,700 機になると見込まれる。⁽⁹⁾

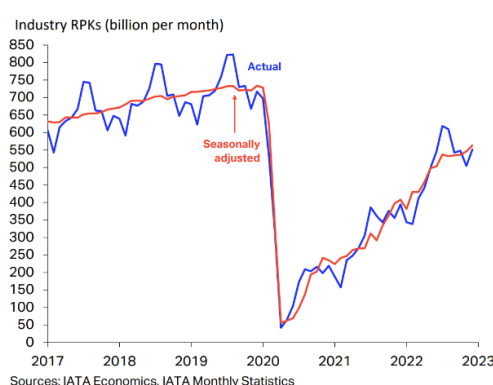
(3) 航空市場（COVID-19 パンデミックの影響）

【全般】

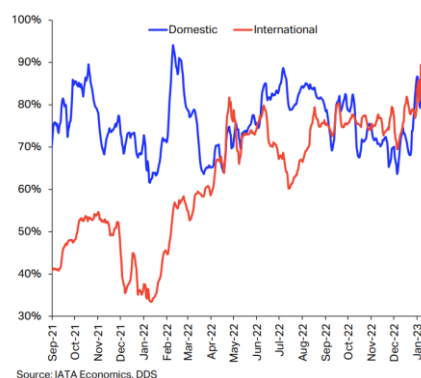
- 3/1: IATA は、航空旅客は 2024 年にコロナ禍前の水準に戻ると予測している。2019 年比で 2021 年 ; 47%、2022 年 ; 83%、2023 年 ; 94%、2024 年 ; 103%、2025 年 ; 111%、うち、国際線旅客数は 2019 年比 2021 年 ; 27%、2022 年 ; 69%、2023 年 ; 82%、2024 年 ; 92%、2025 年 ; 101%と見込む。⁽¹⁰⁾
- 3/8: ANA はコロナ禍収束後の観光需要の取込みのために、アジア等への中距離国際線に 2023 年度就航を目指して新ブランド“Air Japan”を立ち上げる。基本運賃は LCC 並みに抑え、オプションでフル・サービスも提供する。ANA が新ブランドを立ち上げるのは 2013 年就航の LCC、“Vanilla Air”(後に Peach Aviation に統合)以来で、Peach に次ぐ第 3 ブランドとして育てる。⁽¹¹⁾
- 4/5: コロナ禍で世界の航空会社が縮小している。日米欧大手 10 社の有形固定資産は 2015 年から 2019 年末迄の 5 年で 5 割増と急拡大したが、2021 年末に\$220B へ 2019 年比 8%減少している。日本でも 2020 年 3 月期迄の 5 年間に ANA は 1.6 兆円、JAL は 1.1 兆円の過去最大規模の設備投資をしたが、2021 年度末の 2 社合計運航機材数は最盛期(2020 年度末)の 508 機から 2014 年度末と同水準の 460 機に減少している。⁽¹²⁾
4/6: JAL、ANA 共に観光・レジャー需要拡大のために LCC 事業強化に投資している。しかし日本の LCC は国内線が主体で、2019 年で総旅客数 2 億人の 2 割弱しかなく、海外の強力な LCC との競争での市場拡大は容易でない。⁽¹³⁾
4/7: 更に業界への新規参入者も居る。航空券の販売や提携先が提供するチャーター便の手配に特化し、自らは機材や要員を抱えずに航空輸送を行う業者も出現した。また既存航空会社が事業を縮小する中で、割安で機材を調達でき、人員確保も容易なために 2020~2021 年に 200 社以上が創業し、路線開設や厳しい安全規制で参入障壁が高いとされた空の市場概念が変わり始めた。⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾
- 5/22: レジャー旅行への期待、出張需要の回復も加速してきた中で、航空会社は人手と機材の不足で十分な座席を提供できていない。このため、高騰する燃料費や人件費に対し米国航空会社は一段の運賃引き上げで、4 月の航空運賃は前月比 8%、2019 年同月比 27%上昇している。⁽¹⁶⁾
- 6/10: 中国では、上海の住人 2,600 万人がゼロコロナ対策で封じ込められ、航空会社や空港は被害を受けている。国内線が主な対象であるが、国際線も 2019 年比 90%以上減少している。上海に到着する国際便の座席占有率は上限が 40%に制限され、香港-上海間は 50%が上限で各社 3 週に 1 便だけが認められる。SA 機の便は 60%減(2019 年 4 月比)、TA 機は CAAC が 2 年前に定めた 1 航空会社は各国に週 1 便だけが認められ、便数は 20%(2019 年比)まで減少している。⁽¹⁷⁾
- 6/21: IATA は、2022 年の航空旅客は、RPK で 2019 年比 18%減の水準まで回復が早まり、航空貨物輸送量は、前年比 4%増の 6,800 万トンで過去最高になると見通している。航空大手の 2022 年最終損益合計は、\$9.7B の赤字 (2021 年、2020 年はそれぞれ、

\$42.1Bの赤字、\$137.7Bの赤字)と回復、いち早く入国制限を緩和した北米の American 航空や Delta 航空等の損益合計は世界全地域で唯一黒字化すると見通している。(18)

- 8/4: IATA の 2022 世界地域別の航空会社損益予測ではアジア太平洋地域が最悪となり、足かせはゼロコロナ政策を続ける中国や、2 万人/日に入国制限する日本としている。(19)
- 10/5: アジア太平洋地域は 2012 年からコロナが始まる 2019 年まで、航空需要の 1/3 を占める最大市場であったが、中国の異常なゼロコロナ政策や日本等の厳しい入国制限で 2022 年はその地位を失うと見込まれる。この地域の 2022 年の空港利用者は 18.4 億人と推定されるが、これは 2019 年に世界の 37%を占めた 33.8 億人の 45%減となる。2022 年は全世界で 68 億人と推定され、殆どの地域でコロナ前の水準の 70~80%に回復すると見込まれる。アジア太平洋地域のシェアは 27%に下がり北米と同等となり、欧州が首位になる。(20)
- 2022/12: 2022 年の世界の航空旅客数は勢いを増し、2019 年比の RPK は、41.7%(2021 年)から 68.5%(2022 年)となった。国内線の RPK は、2019 年比で 79.6%まで回復し、国際線の RPK は 2019 年比 62.2%まで回復した。国内線航空券販売総額は、2023 年 1 月も主に中国の航空旅客の再開により上昇した。国際線航空券の販売額は、2019 年比で国内航空券販売量まで回復した。(21)



(a) RPK



(b) Sales(2019 年比)

図 2.4.1.1-1 世界の航空旅客の推移 (IATA) (21)

【人不足】

- 3/25: コロナ禍による操縦士不足の中で大手が高給で集めるため、リージョナル航空での不足が酷くなり、Skywest 航空は 29 都市のサービス中断を政府に陳情した。世界では 19,000 名不足と見られている。(22)
- 4/25: 米国では以前から操縦士が不足していたが、コロナ禍で一層酷くなり、将来に亘り米航空業界の成長阻害要因になる可能性がある。(23)
- 5/17: コロナ禍で操縦士訓練や資格認定が滞り、米国では厳しい操縦士不足となり、旅客需要が回復して来た時期に航空会社は飛行取消しを余儀なくされている。(24)

- 7/30: 欧州ではコロナ対策規制の緩和に伴い旅客需要が急回復する中、空港要員不足とインフレを背景とするストライキが重なり、空港が混乱している。英国航空を傘下につく IAG (International Airlines Group) は、職員数が 2021 年末の約 50,000 人とコロナ禍以前から 16,000 人減少した。
米国でもコロナ禍で人員を大幅に削減した結果、夏休みで急速に高まる旅客需要に対応できず、遅延や欠航が深刻化した。7/13~7/27 の予定飛行便は 36 万便でコロナ禍前 2019 年の 14%減である一方、遅延件数は 9 万便と 32%増加した。⁽²⁵⁾
- 11/19: コロナ禍で減った労働力の回復に向け、エアライン各社は新規雇用に注力している。従業員数は 2019 年の水準を超過したものの教育に暫く時間が掛かると見られる。Delta 航空ではパイロットの完全回復は 2024~2025 年頃になると予想している。⁽²⁶⁾
- 11/22: エアラインと航空当局は、コスト削減やパイロット不足緩和するため、現在旅客機のコックピットで乗務するパイロットを 2 人から 1 人にすることを検討している。ドイツや英国、ニュージーランドなど 40 か国余りがシングルパイロットによる安全飛行の実現に向け ICAO に支援を求めている。EASA は、シングルパイロットオペレーション実現に向けメーカーと連携、シングルパイロット運航が 2027 年に始まる可能性を示唆している。⁽²⁷⁾

(4) ウクライナの影響

- 3/2: EU はリース会社にロシアの航空会社との契約を 3 月末迄に終了するよう要請した。ロシア内航空機の 74%はリース機材で、うち 45%が欧州、24%がロシア企業の保有している。⁽²⁸⁾
- 3/8: 150 機をリースする世界最大手の AerCap 社や 36 機をリースする SMBC Aviation Capital 社などが撤退を決め、ロシア民間機の半数の 500 機の運航が困難になった。また航空会社向け保険に関し、市場の中心である英国がロシア航空会社を排除する方針を決定した。
ボーイング社はロシア航空会社への部品供給を止め、主要素材のチタンのロシアからの調達を停止した。⁽²⁹⁾
- 3/9: ロシアは、国外に登録されているリース機材での国際旅客や貨物の輸送の中止を勧告した。ロシアの航空会社が運航する約 900 機の西側製機材のうち、ロシアに登録されている機材は 100 機以下であり、残りは海外リース会社の機材で多くがバミューダ籍となっている。
一方で、国内線維持のため政令により、海外製でロシアに登録されている機材は耐空証明の期限を自動的に 2022 年 9/1 まで延長すること、海外登録機材でも登録国の認証なしにロシア当局の認証で運航すること、また運航会社は海外製機材について OEM の支援や更新が無くても、その運航及び整備マニュアルを使用することを許容した。⁽³⁰⁾
- 3/11: ロシアとベラルーシに対する欧米の制裁に応じて、Collins Aerospace 社や P&W 社の親会社 Raytheon Technologies 社、CAE 社、Honeywell 社、GE 社、Embraer 社、

並びにエアバス社、ボーイング社は当該地域での活動を総て停止した。⁽³¹⁾

- ・ 3/12: 2/24 のウクライナ侵攻から 2/27 までに、ドイツ、英国、オランダ、イタリアなどの EU 諸国及びカナダや米国がロシア航空機の領空通過を禁止した。ロシアも報復措置としてこれらの国々の航空機の領空飛行禁止を発表した。日本は報復の対象ではないが、ロシア上空で故障し緊急着陸した場合の救援が困難かつ保険の契約が結べない可能性が高いことから、ANA では 3/6~3/10 の欧州路線で中央アジア上空を通る南回り航路使用のため成田~ブリュッセルの飛行時間は 3 割増の 15 時間半、JAL では羽田~ロンドン線でアラスカ上空を通る北回り航路使用のため飛行時間は 2 割増の 15 時間 40 分になる。日欧間は週約 300 便がロシア上空を飛行していたが、航路変更で燃料費と人件費が嵩み航空貨物運賃はウクライナ侵攻前から 2 倍程度に上昇した。⁽³²⁾
- ・ 3/14: 米欧による対ロシア禁輸制裁でエアバス社、ボーイング社及びエンジンメーカーからの補用品や整備支援がなくなるため、専門家によると 1 年以内にロシアから航空輸送業が無くなる。⁽³³⁾
- ・ 3/25: 世界の航空会社株で欧州勢の下落が目立っている。空域制限等で航空便の取消や迂回を余儀なくされている上に、原油価格高騰による燃料コスト増大が影響している。侵攻の前日、2/23 からの 1 か月間でハンガリーの Wizz Air は 30%安、英 EasyJet や Finnair は 20%安となった。一方ロシアとの関係が近い国が多いアジアでは影響は少なく、ロシア産原油価格が低下している等により株価は底堅い。T'Way 航空(韓)や Cathay Pacific 航空は 10%高、Jet Airways(印)は 4%高騰している。⁽³⁴⁾
- ・ 4/8: 東邦チタニウムは世界最大のチタン供給国のロシアから入手不可となったエアバス社とボーイング社向けに増産を計画している。今年中にチタン・スポンジ 2,000~3,000 トンを要求されている。⁽³⁵⁾
- ・ 4/20: ロシアに経済制裁を課す欧米側にも燃料高騰で影響が出ている。欧州では軽油が前年比 2 倍以上の\$1,100/トンとなり、備蓄も 38 日分に減り配給制になる可能性もある。米国でも航空燃料が前年比 3 倍近い\$5/ガロンとなった。JAL は航空燃料の 2022 年 2 月~3 月のバレル当り平均価格が燃油特別付加運賃の現水準¥10,000~11,000 を超えて¥14,323 になった為、欧米向けを¥20,200 から¥36,800 に、東南アジア向けを¥5,200 から¥9,900 へ、ハワイ向けを¥12,700 から¥23,600 に引上げる。⁽³⁶⁾
- ・ 4/28: ロシア航空会社はリース会社が保有する 222 機をロシア政令に基づき所有権を奪い、ロシア籍に再登録した。⁽³⁷⁾
- 5/18: AerCap リース社はコロナ禍による旅行制限の解除で需要が急回復する中で、ロシア航空会社にリースした機材の内 22 機とエンジン 3 基が回収できただけで、残り合計\$2.7Bを全損処理して 2022 年第 1 四半期の最終損益に\$2Bの赤字を計上した。⁽³⁸⁾
- ・ 8/9: ロシア航空会社は、米欧による禁輸の影響から、Sukhoi Superjet 100 型機の 1 機と A350 型機の 1 機を部品取りのために分解した。⁽³⁹⁾
- ・ 9/23: 燃料費高騰等で嵩むコストに対し、エアラインは運賃値上げで対応しているが地域差が生じている。米国では旺盛な需要増で運賃への転嫁が進んでおり、United 航空

では 2022 年第 2 四半期に燃料価格は\$4.18/ガロンと 2019 年第 2 四半期比 94%高に対し運賃は¢ 19.9/人 mile となり 2019 年第 2 四半期比で 20%値上げ、3 四半期ぶりに黒字に転じ、American 航空も 21%、Delta 航空も 18%値上げで共に黒字を確保した。一方、AF-KLM グループは 15%、JAL は 18%値上げしたものの、旅客収入は 2019 年第 2 四半期比で United 航空が 3%増となったのに対し、旅客数が戻らない AF-KLM グループが 12%減、JAL が 42%減となった。(40)

(5) 貨物

- 3/7: IATA によると、2021 年の航空貨物は 2020 年比で 18.7%増、コロナ禍前の 2019 年比でも 6.9%増となった。これは電子商取引の発達によるところが大きく、その額は 2021 年の\$4.9T から 2022 年は\$5.5T、2023 年は\$6T 以上、2024 年は\$7T と今後も増大し続ける。これに対し 2021 年の提供輸送能力(トンキロ)は 2019 年比で 10.9%も少なかった。これはコロナ禍で旅客需要が大幅に減った長距離国際線向けの広胴機が世界で 1,176 機も駐機され、床下荷物容量が極端に減ったことによる。今後 3~4 年で 800 機前後は復帰すると見られるが、依然として貨物容量は不足し、これにむけて 777-8F や A350F が開発中だが中古機の貨物転換需要も増える。(41)
- 3/9: Embraer 社は、ターボプロップ機と細胴ジェット機間のサイズの貨物機需要は今後 20 年で 700 機と予測している。このうち中古の E190/E195 型機の貨物機への転換需要は今後 10 年で 100~200 機あると見込み、今年ローンチ顧客を獲得し 2024 年出荷を目指す。現用 E190/E195 型機は 633 機、地域的には西欧;27%、中南米;21%、北米;15.5%等となっており、全体の 84%が 10 年以上を経ている、貨物機への転換で更に 10~15 年延命可能となる。(42)(43)
- 11/22: 10 月の日本発航空貨物輸送量は、前年同月比で 19%減となり 10 か月連続で前年同月を下回り、減少率は今年最大となった。部品不足による自動車関連の低迷、インフレによる購買意欲の低下、コロナ禍で人手不足だった海上輸送の回復が原因と見られる。(44)
- 2022/12: 2022 年の世界の航空貨物輸送 CTK(トンキロ)は、世界経済における様々な逆風により、2021 年の水準を 8.0%、2019 年の水準を 1.6%下回る結果となった。(45)

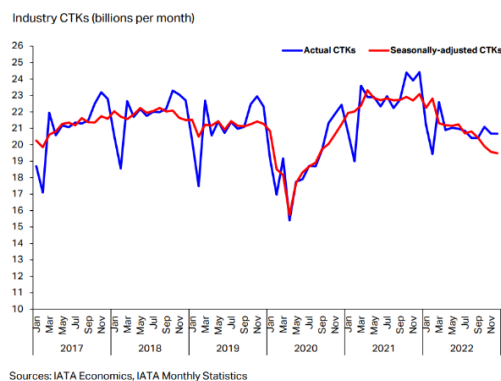


図 2.4.1.1-2 世界の貨物輸送量の推移 (IATA) (45)

(6) ジェネラル・アビエーション、ビジネスジェット

- ・ 8/5: 6月のビジネス機運航は、北米では2021年2月以来、前年同月を下回る一方で、欧州では大型機が前年同月比で20%増大し、全体で12.7%増の102,000回と月間最多記録を更新した。アフリカ、アジア、豪州、南米でも16%以上増加した。⁽⁴⁶⁾
- ・ 12/17: 個人のジェット機による移動が増加している。ビジネスジェットメーカーの2023年の出荷量は2022年を超えると推測される。受注残が年間生産量の2倍を超えているメーカーも数社に上る。⁽⁴⁷⁾

(7) 環境対策

- ・ 3/18: 2035年就航を目指す水素航空機“ZEROe”を開発中のエアバス社はDelta航空と提携した。一方、ボーイング社は2035年迄の水素推進には懐疑的で、SAFの使用に重点を置いている。⁽⁴⁸⁾
- ・ 4/13: 2035年迄に水素航空機の商用化を目指すエアバス社と共同で、川崎重工業は水素の生産から空港への輸送・貯蔵、航空機への補給迄のインフラ運用の問題点や規制を洗い出し、課題を調査する。⁽⁴⁹⁾
- ・ 4/19: 三菱商事とENEOSはSAFの共同生産を検討する。SAFは廃油や植物等を原料にし、Jet A 燃料を置換すれば製造から運航までのCO₂総排出を7~9割削減することが可能となる。EUは域内出発便の燃料を、2030年は5%、2040年は32%、2050年は63%をSAFで代替を義務付ける。2030年には、EUで370万kl、米国で1,140万kl(30億ガロン)、日本でも130万klをSAFで代替する目標としている。ジェット燃料の約10倍の製造コストを要すること、2020のSAF消費量は世界で6.3万kl、ジェット燃料の1%に留まっていることが課題となっている。⁽⁵⁰⁾
- ・ 7/12: SAFはCO₂排出量削減の切り札とされているが、現在までに発表されたSAFの原料は85%が廃食用油や動物油脂でこれらが増える可能性は低く、2050年に必要なJet A 燃料の10%以下と見込まれる。その他の原料であるバイオマスや市街地の固形ごみの収集には2050年に必要なJet A 燃料の25%だけを代替するために1.3兆ドルが、100%を賄うには10兆ドル超が必要と見込まれる。SAF製造コストの80%は原料価格でJet A 燃料価格の2~3倍になる。⁽⁵¹⁾
- ・ 8/6: 欧米では、脱炭素の観点からバイオ燃料(エタノール)への関心が高い。原料のトウモロコシが育つ過程でCO₂を吸収するため、環境保護の効果があるとされ、また米国ではエネルギーの多様化が安全保障につながると見ている。原料のトウモロコシを輸入に頼る日本では、通常ガソリンより高額になるが、輸入規模拡大で解消するとして出光興産はバイオ燃料由来のSAFの量産に取り組むと発表した。現在主流の食廃油由来のSAFの1/5以下の価格で大量生産できるとしている。⁽⁵²⁾
- ・ 11/18: ICAOは2024年以降、CO₂排出量を2019年の85%に抑える事を努力目標、2027年以降は原則義務としているが、現状の技術では水素や全電化は困難であり、廃油や動物油脂に由来するSAFの使用が現実解となる。しかしSAFの年間生産量は航

空燃料消費の 0.03%に過ぎず、殆ど需要を満たさない。そこで需要を見込んだ企業が様々な製法の開発に取り組み事業化を目指しているが、現状はコストが通常燃料の 3～4 倍、大量供給見通しもない。(53)

2.4.1.2 ボーイング社の動向

(1) 全般

- ・ 5/5: 本社 をシカゴから FAA 等に近いワシントン DC の郊外アーリントンに移す。また、同地区に研究・技術ハブを作ることを見込んでいる。(54)
- ・ 8/24: 次世代航空機の開発拠点を名古屋に開設する。SAF や電動航空機などの技術を持つ日本の企業や研究機関と提携する。日揮、ANA、JAL 等が立ち上げた SAF 普及に向けた団体「Act For Sky」にも加盟する。(55)
- ・ 11/6: David Calhoun CEO は、向こう 10 年半ばまで、新機種を開発しない方針を表明した。今後の CO2 排出ガス規制の厳格化を見据え、現行機に比べ燃費を 20%～30% 向上させる最新技術が採用された次世代航空機となる必要があり、現段階ではその技術が追いついていないとし、業界全体でも 2030 年代までは画期的な新型機は登場しないとの見解を示した。(56)
- ・ 1/11: ボーイング社の 2022 年総出荷機数は 480 機(737MAX 型機:374 機、737NG 型機:13 機、747 型機:5 機、767 型機:33 機、777 型機:24 機、787 型機:31 機)で、2021 年の 340 機(737MAX 型機:245 機、737NG 型機:18 機、747 型機:7 機、767 型機:32 機、777 型機:24 機、787 型機:14 機)から大幅増加した。また、純受注は 774 機(グロス受注は 935 機)で、2021 年の純受注は 479 機となった。2022 年末の総受注残は 5,430 機となった。(57)
- ・ ボーイング社の 2022 年の決算は売上高\$25.9B に対し損益は\$2.4B の赤字(2021 年は売上高\$19.5B に対し\$6.5B の赤字)となった。737 型機生産レートは 31 機/月を維持し、2025～2026 年には 50 機/月を目指す。787 型機は 2023 年末迄 5 機/月で 2025～2026 年には 10 機/月を目指す。(58)(59)

(2) 737MAX 型機

- ・ 7/17: Boeing Commercial Airplanes 社の CEO Stan Deal 氏は、「737 MAX 10 の認証は、12 月に施行される新しい規則ではなく、既存のガイドラインに基づくことを求める予定」と述べた。ボーイング社は、すでに認証を受けている 737MAX8 と 737MAX9、そして年内に認証を受けるはずの 737MAX7 と同様の既存の警報技術を 737MAX10 にも搭載すべきで、それが最も安全な方法であり、パイロットが長い間慣れてきた既存のコックピット・アラート・システムから 737MAX10 のみフライトデッキを変更することは、安全性に問題が生じる可能性があるとして主張している。(60)
- ・ 12/20: 米国議会が 737MAX 型機のコックピットに大幅な変更を要求する法案を可決してから 2 年、議会はボーイング社に猶予を与え、別の安全対策で代用することに同

意した。2年前に成立した法律では、12/27以降に認証される飛行機には、パイロットへの警告システムに関するより高い基準を要求することになっていた。737MAX7及び737MAX10の認証が遅れ、12/20に発表された法案では、12/27以降に最初に認証を申請する飛行機にこの要件が適用されることになる。⁽⁶¹⁾

- ・ 12/23: 米国議会は12/27以降の新型機に義務付けられるはずだった新しい乗員警報システムなしで737MAX7及び737MAX10の認証を完了できることを認めた。737MAX7及び737MAX10に対するこの免除は一時的なもので、737MAX10の認証取得日(737MAX7より後の2023年末時点を想定)から3年間にすでに認証取得済みの737MAX8及び737MAX9を含む就航中のすべての737MAX型機に、ボーイング社の負担で新しい乗務員警報システムを導入することが義務付けられている。⁽⁶²⁾
- ・ 11/10: 737MAX型機は9月迄に262機、月平均29機が出荷されたが、この内70〜80機は年初に330機あった在庫から充当された。今年初に目指していた月産7機に、漸く7月に到達した。来年前半で37機/月、年末には47機/月とする計画であるが、サプライチェーンの問題と熟練工不足は解決していない。⁽⁶³⁾

(3) 787 型機

- ・ 5/6: FAAはボーイング社が787型機出荷再開の認証を得るために4月末に提出した書類に多くの不備を指摘した。⁽⁶⁴⁾
- ・ 8/1: FAAが製造上の問題解決と出荷再開計画を承認した。8/9にも出荷が再開される。787型機は2021年6月から出荷できず、完成機120機が滞留している。⁽⁶⁵⁾
- ・ 8/11: 2021年5月以来初の787型機が8/10にAmerican航空に出荷された。今後はFAAが全機の出荷前点検を行う。⁽⁶⁶⁾
- ・ 11/10: 787型機の出荷が漸く始まり、8月に3機、9月に7機出荷した。在庫は120機に達していたが、出荷前に全機を対象に生産時の問題を検査する必要がある。⁽⁶⁷⁾
- ・ 11/18: エアバス社とQatar航空はA350型機の塗装劣化に関して未だに法廷闘争を続けているが、ボーイング社は787型機における同様の問題に対し改良塗装法の採用による例外規定をFAAに要求した。ボーイング社によると、安全性とは無関係な美観の問題で、塗装が剥離する問題への対策方法であるとしている。⁽⁶⁸⁾
- ・ 12/8: 8月にAmerican航空に出荷された時点で、生産品質による出荷滞留は終了すると思われたが、2022年第3四半期の出荷は僅か9機に留まり115機が在庫になっている。問題は2020年末に発覚した表面品質、シム、段差、部材の過大誤差で、1機毎に極めて手間のかかる改修作業が必要なため、今後2年を要すると見込まれる。⁽⁶⁹⁾
- ・ 12/13: United航空は787型機を最大200機発注する契約を発表した。確定発注とオプションが100機ずつで、米国の航空会社によるワイドボディ機の発注として過去最多となった。更に、737MAX型機も100機追加発注した。省燃費で運航コストを抑えられる機材で、経年機を置き換える。⁽⁷⁰⁾

(4) 777/777X 型機

- ・ 3/7: 777-8F は、1 月の Qatar 航空のローンチ発注(確定 34 機+オプション 16 機)に続き、Ethiopian 航空が 5 機発注した。⁽⁷¹⁾
- ・ 5/21: United 航空が複数回のファンブレード飛散故障により 2021 年 2 月から 15 か月間運航を停止していた PW4000 エンジン搭載の 777 型機 52 機は、FAA が最終的に改修及び整備点検要領を定めた耐空性命令を定めたため 5/26 から運航を再開する。⁽⁷²⁾

(5) 747 型機

- ・ 12/6: アトラスエアーに 2023 年初めに引き渡される 747-8F がロールアウトした。747 型機の最終号機となる。世界初の双通路機である 747 型機は、1967 年に製造を開始し、1969 年 2/9 に初飛行した。54 年間で 1,574 機が製造された。総飛行時間は 1 億 1,800 万時間以上、飛行サイクルは約 2,300 万回に及ぶ。747-8 は旧世代の 747 型機と比べ燃費は 16%改善、積載量は 20%増、エンジンの静粛性は 30%向上している。⁽⁷³⁾

2.4.1.3 エアバス社の動向

(1) 全般

- ・ 8/24: 水素航空機の開発やインフラ整備で川崎重工業や関西エアポートと連携してきたが、この度 ANA と提携した。⁽⁷⁴⁾
- ・ 12/7: 今年の民間航空機の納入機数が目標とする 700 機に未達となると発表した。また A320 ファミリーの生産レートを 2023 年から 2024 年は月産 65 機に引き上げる。⁽⁷⁵⁾
- ・ 1/11: エアバス社の 2022 年の総出荷機数は 661 機(A220 型機;53 機、A320 型機;516 機、A330 型機;32 機、A350 型機;60 機)、2021 年は 611 機(A220 型機;50 機、A320 型機;483 機、A330 型機;18 機、A350 型機;55 機、A380 型機;5 機)となった。受注は 1,078 機(純受注 820 機)、2021 年は 771 機。2022 年末総受注残は 7,239 機となった。⁽⁷⁶⁾

(2) A220 型機

- ・ 12/1: Bombardier 社はボーイング社/エアバス社と比べて下請依存度が高く、下請価格もボーイング社やエアバス社より 20%以上高いため A220 型機の競争力が低く、エアバス社は現在その低減に努めている。ミラベル(カナダ)とモービル(米国アラバマ州)に合計 3 つの最終組立ラインがあり、月産 6 機の能力があるが、コロナ禍による下請けの混乱で今年 10 か月に 39 機しか出荷できていない。エアバス社は 2025 年までに月産 14 機に引上げ、黒字に転換を図ると共に胴体延長による大型機開発も検討する。⁽⁷⁷⁾

(3) A320 型機

- ・ 5/6: United 航空が 757 型機の代替に A321XLR(200 席/5,400NM)50 機を発注した。757 型機は 250 席、5,000NM の大型細胴機として中距離市場で多く運航されてきたが、15 年前に生産停止となっていた。ボーイング社は代替に広胴の居住性を持つ

NMA(New Midsize Aircraft)を計画していたが、飛行停止となった 737MAX 型機の復活のために開発を延期した。このため American 航空、Qantas 航空、JetBlue 航空、ブリティッシュエアウェイズ等も 757 型機代替として A321XLR を発注した。United 航空と American 航空に並ぶ 757 型機ユーザーの Delta 航空も A320 ファミリーを発注しており A321XLR に転換可能である。今や NMA の市場は狭まり計画ローンチの可能性は更に低くなった。⁽⁷⁸⁾

- ・ 5/6: A321XLR の認証取得・就航は、FAA の型式認証手順の改訂に伴い、2023 年末から 2024 年初に数か月遅れる見込みとなった。⁽⁷⁹⁾
- ・ 6/15: A321XLR がハンブルグで初飛行した。4 機で 1,000 時間、約 1 年に及ぶ飛行試験の最初の飛行となる。⁽⁸⁰⁾
- ・ 7/11: A320 型機の需要が増えているが、サプライチェーンの要員や原材料不足によるエンジン不足で、5 月中に 20 機が出荷できなかった。⁽⁸¹⁾

(4) A350 型機

- ・ 8/4: Qatar 航空は、2021 年 2 月までに A350 型機を 53 機受領しているが、2020 年までに受領した 20 機以上で胴体表面塗装が劣化し、安全上の問題として係争している。英国裁判所に提訴するとともに残る発注残 23 機の受領を拒否している。エアバス社はこの直後に 4 機、このほど残る 19 機の受注を取り消した。⁽⁸²⁾

2.4.1.4 その他各社の動向

(1) ATR 社

- ・ 5/21: 環境問題から複合電気や水素推進による多くの小型機が提案され、更に Embraer 社が 90 席から始まる新型ターボプロップ機を発表したことを受け、エアバス社も現 ATR42/72 型機又はその胴体延長型で、新型推進システムによる ATR-EVO の開発検討に着手した。燃費、CO₂ 排出及び整備費の 20%削減を目指し、エンジンメーカーに RFI(Request for Information)を発信した。2023 年のローンチ、2030 年の就航を計画している。⁽⁸³⁾

(2) Embraer 社

- ・ 5/11: 2023 年中期ローンチを目指す新型ターボプロップ機開発の提携先でインド等と交渉している。⁽⁸⁴⁾
- ・ 7/20: 70/90 席新型ターボプロップ機に関し、年末までに P&W Canada 社かロールスロイス (RR) 社から新エンジンを選定する。既に 250 機以上の LOI(Letter of Interest)を獲得している。2023 年にローンチを計画、2028 年の就航を予定している。⁽⁸⁵⁾
- ・ 12/12: 次世代 70/90 席新型ターボプロップ機の開発を技術、経済、市場の観点から延期した。⁽⁸⁶⁾
- ・ 8/15: 米国リージョナル航空会社と操縦士組合は協定で、運航機材を 76 席、最大重量

86,000lb に制限 (Scope Clause) しているが、この協定は今後 3 年維持されると見られる。唯一適合する E175 型機の需要は当面固い。Embraer 社は協定改変に備え、エンジン換装型の E175-E2 の 2025 年ころの型式証明取得を準備している。(87)

(3) Irkut 社

- ・ 3/7: 対ロシア禁輸措置のため、電子機器、ブレーキ、タイヤ及び P&W 社のエンジン等輸入に頼る MC-21 型機のロシア国内航空会社向けの今年中の出荷が困難となった。昨年 11 月にドバイ・エアショーで国産エンジン PD-14 によるデモ飛行をしたが、商用化時期は明らかではない。(88)
- ・ 8/9: MC-21-300 のエンジンは、PW1400G エンジンが入手できないため、国産の Adviatel 製 PD-14 エンジンのみが候補となった。認証試験を開始する。(89)

(4) Bombardier 社

- ・ 3/28: Learjet75 の最終号機を出荷した (1 年前に、収益の高い Challenger と Global Express に集中するため Learjet の生産中止を発表した)。60 年間に 3,055 機出荷し、約 2,000 機が運航されている。(90)
- ・ 5/23: Global 7500 をベースとしたこのクラスで最速の最長距離機となる Global 8000(マッハ 0.94、8,000NM)を発表した。就航は 2025 年を予定している。(91)

(5) COMAC 社

- ・ 8/8: C919 型機の 6 機による飛行試験を完了し CAAC の型式証明を待っている。(92)
- ・ 9/16: 9/19 に予定されていると思われる型式証明書の交付式に向け、13 日朝、2 機の C919 型機が北京首都国際空港 (PEK) に飛来した。(93)

(6) 三菱航空機

- ・ 2/7: 三菱重工業(三菱航空機の親会社)は SpaceJet の開発中止を発表した。以下の観点から開発再開に足る事業性を見出せないと判断した。(94)(95)
 - ① 技術：開発長期化により一部見直しを要し、脱炭素対応等も要する
 - ② 製品：海外パートナーからの必要な協力の確保が難しい
 - ③ 顧客：北米でスコープクローズ(労使協定による機体サイズ等の制限)の緩和が進まず M90 では市場に適合せず、足下でのパイロット不足の影響もありリージョナルジェット市場規模が見通せない。
 - ④ 資金：型式証明取得に更に巨額の資金を要し、現市場環境では事業性が見通せない

(7) 電動航空機

- ・ 6/27: スウェーデンの新興 Heart Aerospace 社は 2018 年にローンチした 19 席電動リージョナル機 ES-19 型機の TC ベースをコミューター対象の CS-23(FAR Part23)から

CS-25(FAR Part25)に変更した。理由は、電池重量で総重量の上限 19,000lb を超える可能性があることと、米国で Part121 による定期商用運航会社が運航できるようにする（市場拡大）ためとしている。United 航空とその子会社 Mesa Air が 200 機（+オプション 100 機）を条件付きで発注している。⁽⁹⁶⁾

- 9/15: Heart Aerospace 社は、ES-19 型機を ES-30 型機と名付けられた新しい設計の 30 人乗りリージョナル電動飛行機に更新した。バッテリーと電気モーターで駆動し、ゼロエミッションと低騒音での運航ができる。エア・カナダとサーブ社がそれぞれ 500 万米ドルを出資している。エア・カナダは、更に ES-30 型機を 30 機発注した。持続可能な航空燃料で駆動する 2 台のターボジェネレーターからなるリザーブハイブリッド構成を採用し、30 人乗りで完全電気航続距離 200km に対し 400km 延長、25 人乗りでは航続距離 800km の柔軟性を実現する。

ES-19 型機を発注済の United 航空と Mesa Air は、今回の ES-30 型機の更新設計を容認し、ES-19 型機の LOI ホルダーの多くが、すでに ES-30 型機を反映させるためにそれぞれのレターを更新し、合計 96 機の ES-30 型機の LOI を取得した。ES-30 型機は、2028 年の就航を予定している。⁽⁹⁷⁾



図 2.4.1.4-1 Heart Aerospace 社の ES-30 型機(出典：Heart Aerospace 社 HP)

- 11/21: 10/29 に完全電動のロビンソン R44 (Tier-1 Engineering 社が電動化改修) ヘリコプターが空港間 (Jacqueline Cochran Regional Airport から Parm Springs 国際空港の 21NM) を飛行した。MagniX 社の magni350 モーターとリチウムイオンバッテリーを搭載している。⁽⁹⁸⁾

(8) ジェネラル・アビエーション、ビジネスジェット

- 6/29: Gulfstream 社は、G800 の TC 飛行試験を開始した。RR 社の Pearl 700 エンジンを搭載し、最大 19 席、航続距離はマッハ 0.85 で 8,000NM、マッハ 0.9 で 7,000NM を計画している。⁽⁹⁹⁾
- 10/17: ホンダ エアクラフト社は HondaJet Elite II を発表した。2021 年に発表された「HondaJet Elite S (ホンダジェット・エリート S)」は、4 人搭乗時の航続距離が 1,437NM (約 2,661km) であったが、エリート II は 1,547NM (約 2,865km) に延び

た。2023 年前半には、希望する飛行特性に基づき自動で出力を制御する Autothrottle が利用可能になる。2023 年後半には、緊急時に人の介入なしに機体を自律的に制御して着陸させる Emergency Autoland も発売を予定している。(100)



図 2.4.1.4-2 HondaJet Elite II Black Edition (出典 : Honda 社 HP)

- 10/19: レオナルド・ヘリコプターズ社は NBAA(10 月 18 日～20 日、フロリダ州オーランド)にて、フィラデルフィアで「powered lift category」民間機として開発中のティルトローター機「AW609」の量産初号機 (AC5) が初飛行したと発表した。(101)

(9) eVTOL 機

- 3/18: 政府等が 2025 年の大阪・関西万博で導入を目指す「空飛ぶクルマ」の運航計画が明らかになった。会場周辺の空港や大阪市内等を結ぶ 8 路線が候補で 1 時間当たり 20 便程度を運航する。2022 年度中に各々複数の機体メーカーと運航や発着場の運営を担う業者を選定する。ANA はトヨタも出資する Joby Aviation 社と日本での運航サービスの検討で提携し、JAL は Volocopter 社と機体導入で提携している。国内では SkyDrive 社が機体開発を手掛けている。実用化にはヘリコプターやドローンを含めた低空域での航空管制や離発着場の設置基準等も定める必要がある。(102)
- 11/28: SkyDrive 社は開発中の eVTOL“SD-05”に関し投資会社 Pacific Group とベトナムで運航する 10 機(+オプション 90 機)の総計 100 機のプレオーダーに合意した。(103)



図 2.4.1.4-3 SkyDrive SD-05 (出典 : SkyDrive 社 HP)

- 3/22: スズキは SkyDrive 社と提携し、製品群に小型車とモーターサイクルに電動エアタクシーを加えて、インド市場などへの展開を目指す。(104)

- ・ 4/9: ドイツのコンサルティング会社の予測では、2050 年迄に世界で 161,000 機の空飛ぶタクシーが運航され、アジア太平洋はその 51%を占める。市街地の慢性的渋滞に悩み、先進技術導入に積極的な東南アジアでは空飛ぶタクシーの事業計画が相次いでいる。マレーシアの LCC 大手 Capital A 航空がアイルランドのリース大手 Apollo 社から英 Vertical Aerospace 社の eVTOL“VX4”を 100 機導入する 3 社間覚書を交わした。Vertical 社は 4 月中にも耐空証明取得のための飛行試験を始める。Volocopter 社の 2 席の eVTOL 機はシンガポールにて飛行試験中で、2024 年の遊覧飛行開始を目指している。フィリピンやタイでヘリコプターの相乗りサービスを展開している Ascent Flights Global 社は Embraer 社の eVTOL 機を年間 10 万時間(約 100 機)使用する契約を結んだ。シンガポール政府はインフラや制度作りで試験運用の特区を設け、取組を加速している。マレーシア政府も発着場や運航管制の整備等を検討している。(105)
- ・ 6/15: Joby Aviation 社は、電気エアタクシー運航のための Part135 の認証を得た。今年後半に耐空証明を得て 2024 年の運航開始を計画している。(106)
- ・ 6/30: EASA は、eVTOL 機とその操縦士に関する運航と認可の法案を発表した。AAM(Advanced Air Mobility)の法制基盤構築で FAA をリードした。(107)
FAA は従来、eVTOL 機は Part23 に従う航空機としてきたが、この 5 月に Powered-lift 機に分類を変更した。ただし、現状民間機には垂直離着陸機は存在せず、どのような耐空性審査が行われるか全く見通せない。(108)
- ・ 9/9: eVTOL 機の研究開発が進み、700 以上の試験機が登録されている。しかし、実用化には蓄電池の容量向上等の技術開発や運航制度とインフラの整備が必要となる。開発が最も進んでいる機体の一つに、Joby Aviation 社の 6 基のプロペラを備えた機体があるが、電池の容量が 250WH/kg 程度で、航空燃料に比べエネルギー密度が 1/40～1/100 に過ぎない。実用化には少なくとも現状の 5～10 倍のエネルギー密度向上が必要となる。また EASA や FAA は離着陸場の設計指針草案はまとめているものの、機体故障時の制御や性能要求等の安全性に関する機体要件は整備されていない。(109)
- ・ 10/19: Joby Aviation 社が国土交通省航空局(JCAB)に TC を申請した。機体は 5 人乗りで最高時速 350km/h、240km を連続飛行でき、自動車で 1 時間かかる関西国際空港と大阪駅を 15 分以内に短縮する。国内では SkyDrive 社も TC を申請している。国土交通省は 10/18 に空飛ぶクルマにかかる制度構築で FAA と連携覚書を締結した。(110)



図 2.4.1.4-4 JCAB に TC を申請した Joby Aviation 社の eVTOL 機

(出典：Joby Aviation 社 HP)

- 10/20: Electra.aero 社は Welojet 社と eSTOL 機の 32 機の LOI にサインした。合計受注量は 27 顧客から 1,000 機、\$3B に上る。高翼で 8 基のプロペラは一つのスロットルレバーで制御し、1 操縦席+最大 7 客席、時速 322km/h で巡航し、航続距離は 805km となる。通常燃料でも SAF でも駆動でき、充電インフラは要さない。300ft の滑走路で離発着可能で、FAR Part23 の認証により 2027 年に就航を予定している。(111)



図 2.4.1.4-5 Electra Aero 社の eSTOL 機(出典：Electra Aero 社 HP)

- 11/1: United 航空と Mesa Air は、Heart Aerospace 社の 30 席電動リージョナル機 ES-30 型機を 200 機(+オプション 100 機)発注した。2028 年から運航する計画としている。また両社は、Archer Aviation 社の 4 席 eVTOL 機、Midnight エアタクシーの 200 機(+オプション 100 機)も発注した。2025 年からニューヨークやサンフランシスコの混雑する市街地と空港間で運航する予定としている。(112)
- 11/10: eVTOL 機認証基準に関して、FAA は Joby Aviation 社の eVTOL エアタクシー JAS4-1 に対する認証基準を提案、今後公衆の意見を募る。FAA は 5 月に eVTOL 機を Joby Aviation 社等が望む小型機向け Part35 ではなく、Part21.17(b)に従う Powered-lift 機の特別クラスとして認証する事を決定した。提案された基準はほぼ小型機の Part35、エンジンの Part33 及びプロペラの Part35 に従う一方、垂直離着陸と水平飛行との間の遷移飛行に関する性能要求を含めた。Powered-lift 機は出力喪失時に飛行機の滑空やロータークラフトのオートローテーションの能力を有しないため、滑空とオートローテーションに匹敵する、安全な飛行と着陸及び制御された緊急着陸の性能要求を提案している。更に、低騒音故ヘリコプターより鳥衝突のリスクがあり、1 kg の大型鳥の衝突耐空性要求なども提案している。(113)
- 11/21: Archer Aviation 社の CEO は 2024 年末迄に空飛ぶタクシー「Midnight」の FAA 認証の取得と 2025 年の運航事業開始を計画している。2024 年中にはジョージア州コビントンで「Midnight」の生産開始を計画している。(114)
- 11/29: Archer Aviation 社は初の遷移飛行に成功したと発表した。(115)



図 2.4.1.4-6 Archer Aviation 社の遷移飛行の様子(出典：ArcherAviation 社 HP)

(10) 超音速機

- ・ 4/16: Boom Technology 社の 88 席超音速旅客機 Overture は 4 年後の 2026 年に認証取得飛行試験に着手し、2029 年末の出荷を計画している。現在は縮尺 1/3 の GE J85-15 エンジン 3 発による技術実証機での自動操縦系統などの地上試験が 75%終了し、間もなく飛行試験に移行する。⁽¹¹⁶⁾
- ・ 9/19: RR 社が Overture 向けエンジン開発から撤退を決めた。残る GE 社、Honeywell 社及び Safran 社も同様に興味が無いと述べており開発計画は厳しい状況にある。⁽¹¹⁷⁾
- ・ 12/30: Boom Technology 社は、Overture に Symphony エンジンを搭載する計画を発表した。このエンジンは、エンジン設計を担当するフロリダ・タービン・テクノロジーズ (FTT) 社、添加剤技術の設計コンサルティングを行う GE アディティブ社、及び航空宇宙業界最大の独立系メンテナンス・修理・オーバーホール業者の 1 つであるスタンダードエアロ社の 3 社とのパートナーシップのもと開発される。⁽¹¹⁸⁾
- ・ 2023 年 2 月: Boom Technology 社は、ノースカロライナ州グリーンズボロのピードメント・トライアド国際空港で、Overture Superfactory の建設に着手したことを発表した。この工場は最終組立ラインを備え、Overture の試験場及び顧客配送センターとして運営される予定としている。⁽¹¹⁹⁾
- ・ 1/14: NASA は、X-59 (Quesst) の初飛行は、システム評価の完了後、2023 年になると述べた。一方、X-59 は航空業界の CO₂ 排出量削減という米国政府の目標と矛盾するとの批判を受けており、NASA は、Quesst プログラムのデューディリジェンスを行なうとともにコミュニティ・オーバーフライトの前に、環境への影響を特定すると述べている。⁽¹²⁰⁾

[2.4.1 項 出典(1)～(120)：各、資料 3 の P2022D233～P2022D352 参照]

2.4.2 エンジン関係

エンジンメーカーの業績動向に関して、主要なエンジンメーカーである GE 社(GE Aerospace)、P&W 社 (Raytheon Technologies 社 Pratt & Whitney 部門)、RR 社(Rolles-Royce 社 Civil Aerospace 部門)、Safran 社(Safran 社 Aerospace Propulsion 部門)、MTU Aero Engines 社の 2021 年、2022 年の収益状況を表 2.4.2-1 に示す。2022 年上半期業績を見た場合、前年同期と比べて売上が 1～2 割程度増加していることがわかる。商用運航の回復によりショップビジット増加及びスペアパーツのセールスが増加したことにより、売上、利益が増加している。

表 2.4.2-1 2022 年、2021 年におけるエンジンメーカーの収益⁽¹⁾

		First half			Twelve months		
(in millions \$, €, £)		2022	2021	change	2022	2021	change
GE Aerospace	Revenues	\$11,730	\$9,832	19%	\$26,050	\$21,310	+22%
	Segment Profit/(Loss)	\$2,057	\$818		\$4,775	\$2,882	+66%
Pratt & Whitney	Sales	\$9,498	\$8,310	14%	\$20,530	\$18,150	+13%
	Segment Profit/(Loss)	\$611	\$136		\$1,075	\$454	+137%
Rolls-Royce, Civil Aerospace 部門	Revenues	£2,339	£2,168	8%	£5,686	£4,536	+25%
	Operating Profit/(Loss)	(£79)	£39		£143	(£172)	
Rolls-Royce, Defence 部門	Revenues	£1,609	£1,721	-9%	£3,660	£3,368	+2%
	Operating Profit/(Loss)	£189	£269		£432	£457	
Safran, Aerospace Propulsion 部門	Revenues	€ 4,176	€ 3,249	28.5%	€ 9,506	€ 7,439	+27%
	Operating Profit/(Loss)	€ 723	€ 504		€ 1,566	€ 1,032	+51%
MTU Aero Engines	Revenues	€ 2,469	€ 2,004	23%	€ 5,330	€ 4,188	+27%
	Adjusted EBIT	€ 290	€ 190		€ 655	€ 468	+40%

(1) GE 社

2022 年第 2 四半期の業績では、商用エンジンに関して受注は前年比+26%であり、これは主に商用エンジンのアフターサービスが+27%、機材が+25%増加したことによる。需要は堅調に推移している。また、売上は前年比+27%であり、商用エンジンのショップビジット増加及びスペアパーツのセールスが増加したことによる。2022 年のショップビジット数は前年比 10%後半台の見込みとしている。また、軍用エンジンについてもアフターサービスが増加している。

表 2.4.2-2 GE Aerospace 社 2022 年第 2 四半期及び上半期の業績⁽²⁾

	Three months ended June 30			Six months ended June 30		
(in millions)	2022	2021	year on year	2022	2021	year on year
Orders	\$6,918	\$5,492	26%	\$14,124	\$10,984	29%
Revenues	\$6,127	\$4,840	27%	\$11,730	\$9,832	19%
Segment Profit/(Loss)	\$1,148	\$176		\$2,057	\$818	
Segment Profit/(Loss) Margin	18.7%	3.6%		17.5%	8.3%	

2022 年通期の業績では、受注及び売上は前年比+22%であり、主に商用エンジンのアフターサービス、機材が牽引している。また利益、利益率ともに増加している。商用エンジンに関して 2022 年のエンジン販売台数は 1,663 台であり、2021 年における 1,487 台から増加している。LEAP エンジンについては 1,136 台であり 2021 年における 845 台より大きく増加した。受注については 2,127 台となり 2021 年 2,248 台から若干減少、そのうち LEAP エンジンは 1,515 台となった（2021 年の受注は 1,457 台）。⁽³⁾

表 2.4.2-3 GE Aerospace 社 2022 年第 4 四半期及び通期の業績⁽³⁾

	Three months ended December 31			Twelve months ended December 31		
(in millions)	2022	2021	year on year	2022	2021	year on year
Orders	\$9,682	\$7,705	26%	\$31,106	\$25,589	22%
Revenues	\$7,615	\$6,080	25%	\$26,050	\$21,310	22%
Segment Profit/(Loss)	\$1,434	\$1,218	18%	\$4,775	\$2,882	66%
Segment Profit/(Loss) Margin	18.8%	20.0%		18.3%	13.5%	

(2) P&W 社

2022 年度第 2 四半期の調整後売上高は、前年同期比+16%であり、売上高の増加は、商用アフターマーケットが 26%増、商用エンジンが 22%増、軍用が 5%増となった。商用向け売上高の増加はショップビジット増加及びスペアパーツの売上増加、大型エンジンの構成及び数量が増加したことによる。軍需向け売上高の増加は F135 の生産契約を獲得したタイミングであったこと、及びアフターマーケットの数量が増加したことによる。(4)(5)

表 2.4.2-4 Pratt & Whitney 社 2022 年第 2 四半期及び上半期の業績⁽⁵⁾

(in millions)	2nd quarter			Six months ended June 30		
Adjusted	2022	2021	change	2022	2021	change
Net Sales	\$4,969	\$4,280	16%	\$9,498	\$8,310	14%
Operating profit	\$303	\$93	216%	\$611	\$136	
Profit Margin	6.1%	2.2%		6.4%	1.6%	

2022 年通期の業績では、売上は前年比+13%であり、利益、利益率ともに増加した。営業利益の増加は、主に商用エンジンのアフターサービス、ショップビジット増加が牽引している。商用エンジンに関して 2022 年のエンジン販売台数は 712 台であり、2021 年における 623 台から増加した。(6)

表 2.4.2-5 Pratt & Whitney 社 2022 年第 4 四半期及び通期の業績⁽⁶⁾

(in millions)	4th quarter			Twelve months		
Adjusted	2022	2021	change	2022	2021	change
Net Sales	\$5,652	\$5,115	10%	\$20,530	\$18,150	13%
Operating profit	\$321	\$162	98%	\$1,250	\$487	157%
ROS	5.7%	3.2%		6.1%	2.7%	

(3) RR 社

Civil Aerospace 部門の 2022 年度の売上高は前年同期比+25%であり、エンジン売上は大型スペアエンジンの販売が増加し前年比+23%、アフターサービスは大型エンジンのショップビジット増加やビジネスアビエーションのアフターマーケット売上増により、前年比+26%となった。Defence 部門については 2022 年度の売上高は前年同期比+2%であり、エンジン売上は前年比+10%、アフターサービスの売上-3%減となった。⁽⁷⁾

表 2.4.2-6 Rolls-Royce 社 2022 年上半期及び通期の業績⁽⁷⁾

	(in millions)	Half year			Full year		
	Underlying results	2022	2021	change	2022	2021	change
Rolls-Royce, Civil Aerospace 部門	Revenue	£2,339	£2,168	8%	£5,686	£4,536	25%
	Operating Profit/(Loss)	(£79)	£39		£143	(£172)	
	Operating Margin	(3.4)%	1.8%		2.5%	(3.8) %	
Rolls-Royce, Defence 部門	Revenue	£1,609	£1,721	(9)%	£3,660	£3,368	2%
	Operating Profit/(Loss)	£189	£269		£432	£457	(10)%
	Operating Margin	11.7%	15.6%		11.8%	13.6%	

[2.4.2 項 出典(1)～(7) : 各、資料 3 の P2022D353～P2022D359 参照]

2.4.3 装備品関係

航空業界における「脱炭素」の流れは、装備品の分野においても重要な流れとなってきた。具体的には、航空機の電動化、水素化が挙げられるが、ここでは短期的に最も実現性が高い SAF についても触れる。

①装備品の電動化、水素化

■ゼロエミッションに向けてのシナリオ (Waypoint 2050)

ATAG (Air Transport Action Group) の「Waypoint 2050」改訂版における将来の NZE(Net Zero Emissions)に向けてのセグメント別の航空機の対策技術

- ・ SAF :

2020 年代から全セグメントで導入 (課題は 100%SAF への対応)

- ・ 電動化 :

コピューター、リージョナルクラスが中心だが、特に 30 席以下での開発が目立つ
スウェーデンの Heart Aerospace 社は、19 席に代わり新たに 30 席の ES-30 (ハイブリッド) 型機を発表、ATR 社の「EVO」もハイブリッド (ただし、エアバス社が 2020 年 9 月に発表し、12 月に修正した 6 発リージョナル機は水素タービン)

- ・ 水素化 :

リージョナルクラス (ATR シリーズ、DHC-8 シリーズ、CRJ550 型機)、BN2 等は水素燃料電池で、既に 500 機以上受注 (LOI 等)、2020 年代後半に EIS(Entry into Service)予定

小型機以上は水素タービンで 2030 年代半ば以降、EasyJet の 180 席クラスは電動、ハイブリッド、水素も検討

■装備品開発との関連

- ・ 電動化 :

モーター、ESS (バッテリー)、インバーター、高電圧装備、熱制御システム等

- ・ 水素化 :

水素燃料電池、水素タービン(特に燃焼器)、液体水素タンク、ポンプ、インフラ等

- **SAF(持続可能な航空燃料)**は**2020年代から導入**（機体サイズや航続距離に制限無し）。
- **電動化**は**コムーター機（9-50席、~60分以下のフライト）**や**リージョナル機（50-100席、30~90分のフライト）**を中心に**2020年代後半以降**に導入されていく。
- **水素燃料電池**は**2025年代以降**、コムーター機(9-50席、60分未満のフライト)、リージョナル機(50-100席、30~90分のフライト)を中心に、**水素燃焼技術**は**2035年以降**に中小型機(100-250席、45~150分のフライト)中心に導入。

◆2020年9月公表 “Waypoint2050”

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-50 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF	Electric and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF	Electric or Hydrogen combustion and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF



◆2021年9月改訂 “Waypoint2050 2nd Edition”

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

図 2.4.3-1 航空業界の「脱炭素」のシナリオ (1)

②航空機電動化、水素化に関わる装備品のキープレイヤー

航空機の電動化（ハイブリッド・システム、モーター、バッテリー、インバーター）、水素化（水素燃料電池推進システム、水素燃料電池、水素タンク）の開発、事業化をリードしている企業には、欧米ではスタートアップ企業が多く、一方、航空業界で実績・経験を積んだ人材が参加

●電動化システム

・ハイブリッド・システム：

GE 社、P&W 社、RR 社、Safran 社、Honeywell 社等、航空業界の大手が主流だが、新興の VerdeGo Aero 社も注目

・モーター：

スタートアップ企業が業界をリード。航空機向けモーターは、MagniX 社、Yasa 社（Yasa 社がダイムラー傘下となった時点で、Evolito 社がスピンオフ）、MagicAll 社等が e-Aircraft、AAM/eVTOL 機向けにモーターを供給。Wright Electric 社は EasyJet が計画している 180 席向け 2MW 級の大型モーターを開発中、国内では東芝が 2MW のモーターを開発

・バッテリー：

電動航空機向けバッテリーは、エアバス社、GS ユアサ等の大手も開発しているが、EPS/Electric Power Systems 社、Northvolt AB/Cuberg 社などが AAM/eVTOL 機などをリード。また、Amprius Technologies 社が大容量バッテリーを開発

・インバーター：

GE 社、LaunchPoint 社等とともに、新興の Wright Electric 社も開発

●水素化システム

・水素燃料電池推進システム：

ターボプロップ機やコピューター機クラスを対象に、米国の Universal Hydrogen 社と英国の ZeroAvia 社がリード。また、英国の Cranfield Aerospace Solutions 社が BN-2 コピューター機向けのシステムを開発

・水素燃料電池（PEM 型が主）：

エアバス社、ボーイング社、Honeywell 社、Hyundai 社とともに、商用車向け燃料電池を開発・製造している PlugPower 社や HyzonMotors 社が参画。特に高温作動する燃料電池を開発している HyPoint 社が注目されているが、2022 年 10 月に ZeroAvia 社が HyPoint 社を買収

・水素タンク：

極低温液体水素タンクは、エアバス社、東レ等が中心となり開発を推進。また、高圧水素ガスタンクは、英国の Cranfield Aerospace Solutions 社が開発

表 2.4.3-1 航空機電動化、水素化に関わる装備品のキープレイヤー ②

(赤字は技術開発、事業化でリードしている企業で、太字は特にフロントランナーとみられる企業)

新たな技術領域		既存航空機関連メーカー	スタートアップ(2000年以降)※主な企業 ()内は設立年	異業種(国内)
電動化 装備品	ハイブリッド・システム	IHI、GE、Collins Aerospace/P&W/PWC、 Rolls Royce、Safran、 Honeywell	VerdeGo Aero(2017)、Turbotech(2017)、XAEROS(2015)、 LiquidPiston(2003)	ホンダ
	モーター	UQM Technologies (The Danfoss Group)	Evolito(2021)、H3X Technologies(2020)、LaunchPoint Electric Propulsion Solutions(2020)、 Wright Electric(2016) 、 MagniX(2009) 、 Yasa Motors(2009) 、Aeristech(2006)、Magnomatics(2006)、 MAGicALL(2004) 、SINETON(2004)	デンソー、 東芝
	バッテリー	GSユアサ、Airbus (Airbus Battery Company)、 Sion Power Corp	MOBIUS.energy Corporation(2020)、 EPS/Electric Power Systems(2016) 、Northvolt AB(2016)/Cuberg(2015)、 Customcells(2013)、Electroflight(2012)、 Ampricus Technologies(2009)	
	インバータ	GE、Launchpoint	Wright Electric (2016)	デンソー
水素化 装備品	水素燃料電池推進 システム		Universal Hydrogen (2020) 、Hydroplane (2020)、 Zero Avia(2017)	
	燃料電池 (主にPEM型)	Plug Power、Honeywell (Ballard Unmanned System)、Airbus、 Boeing、Hyundai、	LUFTCAR (2021)、EKPO Fuel Cell Technologies(2021)、Hydroplane (2020)、 Hyzon Motors(2019) 、 Hypoint(2018) 、HES Energy System (2008)、PowerCell(2007)、Horizon Fuel Cell Technologies(2003)	
	水素燃料タンク	Airbus、東レ、Cranfield Aerospace Solutions	Universal Hydrogen (2020)	

③SAFの動向

■現状のSAFの認証状況 (ASTM D7566)

現在7種類のSAFがASTMで認証されており、そのうち2種類は10%ブレンド、残りは50%ブレンド

SAFの安全性評価、規格化支援は「FAA/OEM Review Panel」が行っているが現在のメンバーは、ボーイング社、エアバス社、Dassault社、Embraer社、DeHviland社、Bell社、Bombardier社、Sikorsky社(Lockheed Martin社Sykorsky部門)、GE社、P&W社、RR社、Safran社、Honeywell社、本田技研工業。本田技研工業はアジア企業として初めて参加。なお、「FAA/OEM Review Panel」で安全性の評価が行われた後、ASTMの規格として制定されることが必要^③

■SAFの現状

・HEFA-SPK (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosine) :

植物油燃料 (藻 : algae, ジャトロファ : jatropha, カメリナ : camelina 等)、現状、航空機用として実用されている唯一のSAF

・Bio-SPK :

ジャトロファ、藻、獣脂、植物廃油、藻などを原料に水素処理。Solazyme社、Honeywell UOP社、Solena社、Sapphire Energy社、Imperium Renewable社、Aquaflow Bionomic Corporation社、アリゾナ州立大学、クランフィールド大学などが取り組んでいる他、ボーイング社、Honeywell UOP社、ニュージーランド航空、

United 航空、JAL、GE 社等がこの分野に投資

・ FT SPK (Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene) :

合成燃料。主原料は木質バイオマス、都市ゴミなど有機物で、ガス化 (Fischer-Tropsch)、水素化処理を行いジェット燃料化

・ ATJ-SPK (alcohol-to-jet) :

エタノール、ブタノール等を脱酸素化 ※SPK : synthetic paraffinic kerosene

長期的には、航空分野では PtL (Power to Liquid) が有望とされている。PtL は気候中立な CO₂ (Direct Air Carbon Capture 等) から炭素原料に生成、フィッシャー・トロプシュ等のプロセスを介してグリーン水素で合成して、液体炭化水素を生成する。特に欧州 (エアバス社等) が取り組んでいる。

この他、Synhelion 社と SWISS 社 (ルフトハンザ・グループ) が、メタン、水、CO₂ を混合させて 800 度~1,300 度で合成ガス (syngas) を生成する StL (Sun-to-Liquid) を、United Airlines Ventures 社、OLCV (Oxy Low Carbon Ventures) 社、Cemvita Factory Inc 社が、二酸化炭素と合成微生物 (シアノバクテリア) を用いた SAF の研究開発を行っている。なお、Cemvita Factory Inc 社には三菱重工業が出資している。

■SAF 生産量 (2022 年)

IATA の発表によれば、2022 年の SAF 生産量は 3 億 l 以上とみられ、最大では 4.5 億 l に達する可能性がある。2021 年の 2 億 l から 200%増加する。

エアライン界の脱炭素計画からは、2050 年では年間 4,500 億 l の SAF 生産が必要とされる。

表 2.4.3-2 SAF 生産実績 (2022 年は推計) (4)

	2019	2020	2021	2022
SAF生産量 (mil l)	25	62.5	100	300-450

■SAF の課題

現状、SAF のブレンド率は最大 50%だが、将来的には 100%SAF を目指して、エンジンメーカーや航空機メーカー、航空会社などが実証試験を行っている。100%SAF 実現のためには、既存の SAF (HEFA : Hydroprocessed Esters and Fatty Acids、廃食油や植物油などを原料とする) の成分には無い、芳香族系成分の添加が必要となる。

一方で、国内では 2030 年に航空機燃料の 10%を SAF とすることを目指しているが、現状、SAF の生産能力は限られており、また、価格も高い。

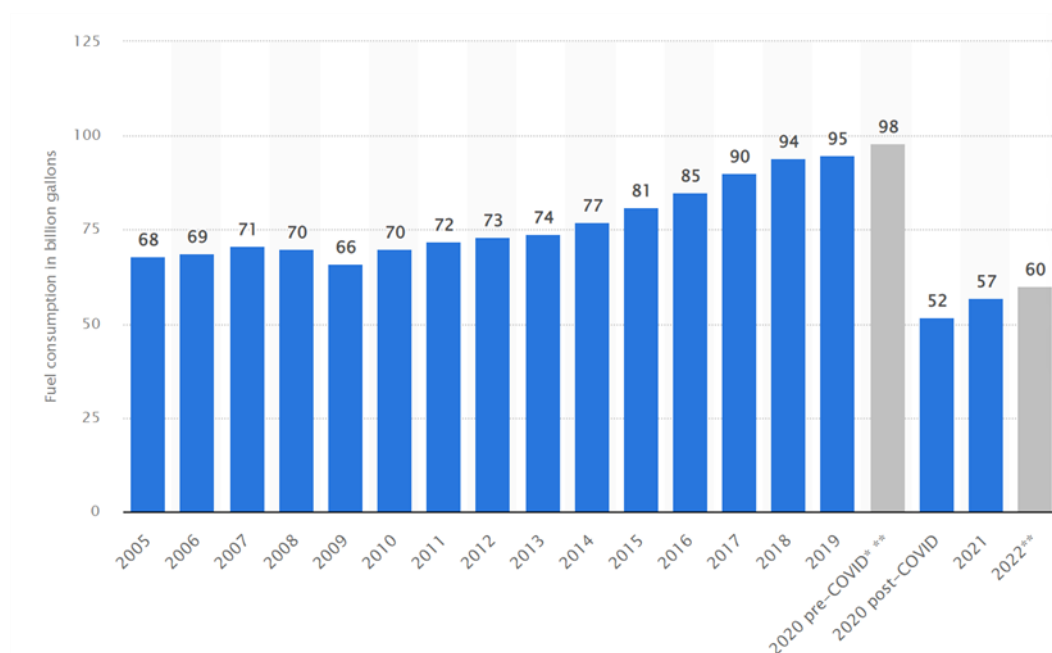


図 2.4.3-2 航空燃料の需要推移

(Commercial airlines worldwide - fuel consumption 2005-2022 Oct 5, 2021)

SAF の生産量は 2018 年で 180 万ガロンに達していない。このため、目標達成には、SAF 生産量の拡大とコスト低減が必要となる。

■100%SAF 実現に向けての取組

欧米では 100%SAF の実現に向けて、航空機メーカー、エンジンメーカー、航空会社などが SAF 生産企業などと連携して 100%SAF の実証試験などを進めている。現状、100% SAF に関しては、ASTM の D7566 で認証されている混合率最大 50%（一部は 10%）の SAF（現状は HEFA-SPK）に合成アロマケロシン（Virent SAK : Synthesized Aromatic Kerosene）を 21%混合する方法が民間航空機の試験で使われている。

一方、米空軍やカナダの NRC（National Research Council Canada）などが、民間での 100%SAF 実証が行われる前に、米国 ARA（Applied Research Associates）の CHJ（Catalytic Hydrothermolysis Jet）での飛行実証を軍用機で実施している。CHJ は、現在の航空燃料（JetA1/A）と同等の成分組成を有しており、100%SAF となりえるが、現状、ASTM では混合率の上限は 50%となっている。CHJ については、日本のユーグレナが ARA 社と提携して国内で CHJ を生産、飛行試験（100%SAF としてではない）を複数実施している。一方、FT-SPK/A も、CHJ と同様、航空燃料と同じ成分組成を有し、南アフリカの Sosal 社等が開発をしているが、こちらも現状は混合率上限が 50%のため、コスト的に見合わないため生産は限られている。

合成アロマケロシンの添加については、ASTM でのマルチミックスの問題への対応が、CHJ、FT-SPK/A については、100%SAF としての認証の動向が重要となる。

④電動化、SAF 等に関する各国の動向例

■GIFAS（フランス航空宇宙工業会）は、スタートアップや中小企業等の企業間提携を促進するための組織「StartAir」を設立（2022/4/28 GIFAS）

GIFAS（フランス航空宇宙工業会）は、スタートアップや中小企業等の企業間提携を促進するための組織「StartAir」を設立した。GIFAS はスポンサーシップ・プロセスを通じて、「StarAir」メンバーのスタートアップ企業などに、航空宇宙分野の制度、技術、産業などの情報を提供して支援する。また、スポンサーシップ・プロセスを通じて、StartAir のメンバーであるスタートアップ企業を支援する。

航空機の電動化、デジタル化、グリーン化などでは、機体のみならずインフラ等を含めて、新しい領域の技術が重要となっており、こうした次世代技術を有したスタートアップや中小企業等を航空宇宙分野に取り込むための支援策で、今後、ますます重要となると考えられる。実際、AAM/eVTOL 機や電動航空機では、スタートアップ企業が製品開発や新領域の技術開発をリードしているケースが欧米では目立つ。

■ボーイング社、次世代航空機技術で日本と連携、名古屋に先進技術の研究所を設置し、ANA とも持続可能な航空技術の研究で協力⁽⁵⁾

2022 年 8 月、ボーイング社と経済産業省は、航空機の脱炭素化等で、植物由来原料を使った SAF、電動化、ロボット技術などの開発を共同で行うことで合意した。

技術協力では名古屋に研究開発センターを新たに設置、50 名程度の研究者で実施する。また、ボーイング社は ANA ホールディングスとも持続可能な航空技術の研究で協力することも発表した。

[2.4.3 項 出典(1)～(5)：各、資料 3 の P2022D360～P2022D364 参照]

2.4.4 航空システム・航空管制・無人機・飛行制御関係

2.4.4.1 NASA Airspace Operations and Safety Program (AOSP)

(1) ATD-プロジェクト (1)

ATD プロジェクトは、過去 5 年にわたり、時間効率が良く、燃料を節約し、コストを抑えながら運航するためのツールの開発と実証を行なってきた。多くの目標を達成するために 3 つのサブプロジェクトに分割されていた。ATD-1 では、航空機が巡航から着陸に向かって降下する際の空港到着に焦点を当て、ATD-2 では地上でのタキシングと出発に着目し、ATD-3 では飛行の巡航段階における天候回避について研究を進めた。ATD プロジェクトが研究と最終レポートの作成を完了すると、ATM-X プロジェクトへと引き継がれる。

(2) NASA AAM ミッション

- NASA の AAM ミッションでは、以下のような取組を進めている。 (2)
 - AAM National Campaign の Integration of Automated Systems (IAS) シリーズでは、AAM 航空機における自動化ソフトウェアとセンサーの使用方法のテスト・検証を目指して、今年後半にテストキャンペーンを開始する。
 - Automated Flight and Contingency Management サブプロジェクトでは、高度に統合された機体とパイロットのインターフェースシステムの自動化について研究している。
 - Air Traffic Management-eXploration (ATM-X)では、現在の ATM システムを新しい空域管理技術やサービスを備えた、より統合されたシステムへと変化させる方法を研究している。
 - System-Wide Safety プロジェクトは、潜在的な運用リスクと設計リスクを分析することにより、自動化などの新技術がどのように安全性に影響を与えるかを評価している。
 - Transformational Tools and Technologies プロジェクトでは、地上のオペレーターが一度に飛行する無人航空機の量を管理するための新しい自動化技術を開発し、現在よりも大規模な運用を可能としている。この将来の運用方法では、高度なセンシング能力と緊急事態に対応できる制御アルゴリズムの使用を前提に、パイロットを介さずに飛行する航空機が含まれる。
- NASA AAM ミッションでは、バーティポートやバーティプレックス(複数のバーティポートを近接させたもの)が、現在の空港やヘリポートなどの既存のインフラにどのように組み込まれるかを研究している。eVTOL 機の離着陸は、初期は既存の空港で行われるが、次第にそのユニークな性能を生かして、混雑した都市部のビルの屋上などのスペースに着陸すると見込まれる。High Density Verticle HDV)サブプロジェクトは、バーティポート自動化システムを開発し、小型の遠隔操縦飛行機を使って、バーティポート自動化がいかに安全性と運航効率向上に役立つかを評価するものである。当初は小型の遠隔操縦機をテストし、より大型の eVTOL 機へと発展させる予定となっている。National Campaign サブプロジェクトは、評価試験の一貫性を確保するための共通の試験方法の開発を目指している。異なるメーカーの eVTOL 機が離着陸するような試験中に、安全

性と精度を高めることを目指し、様々な種類のアビオニクス技術とセンサーをパーティパッド表面に統合し、表面の風向、風速、気温など気象報告システムも構築する予定としている⁽³⁾

- NASA AAM ミッションでは、eVTOL 機の騒音の影響を軽減するために使用できる設計ツールを開発している。eVTOL 機の試験から収集し分析するデータは、騒音の予測ツールの性能の検証に使用され、このツールを用いて社会のニーズに合わせた AAM ルートや低騒音飛行経路を定義・最適化し、FAA の政策立案に役立てられる。⁽⁴⁾
- NASA ATM-X プロジェクトは、シミュレーションと飛行試験を通じて、新しい航空交通管理技術を開発し、既存及び新型の航空機が明確に通信して安全に飛行できるようにすることを目指している。自動航行システムを通じて、航空管制官、新産業の空域サービス、運航者間の空域調整と情報共有を改善する。また将来の空域利用において重要なのは、空域管理システムと機体の両方に組み込まれたより多くの自動化技術であり、これらの自動化されたシステムは、航空交通管理システムと通信し、プロセス全体を合理化し、空域の安全を維持できる。AAM プロジェクトには、自動化、騒音、パーティポート、機体設計、空域統合に関する作業が含まれている。⁽⁵⁾
- System-Wide Safety プロジェクトでは、航空宇宙産業と航空機の近代化が安全性にどのような影響を与えるかを統合的に評価している。現在手動で行っている安全確保とリスク管理の機能を自動化する In-time Aviation Safety Management System (IASMS) という新技術を開発している。IASMS は空域を継続的に監視し、飛行中の航空機、航空管制、空港、地上の状況、天候に関するデータを収集し、潜在的なリスクを評価する。このシステムは航空管制官やパイロットに行動を推奨したり、事前に計画された行動を自動的に統合したりする。この研究は高度に自動化された eVTOL 機が空域に入るにつれてより重要になると考えられる。⁽⁶⁾
- NASA の Revolutionary Vertical Lift Technology (RVLT) プロジェクトでは、低騒音、低ローター振動、乱気流による動揺に強い機体を開発するため、eVTOL 機の乗客が経験すると予想される運動、振動、騒音刺激に対する人間生理学的反応を研究している。NASA エイムズ研究センターの垂直運動シミュレーターを用いてボランティアによるシミュレーター飛行を行い、乗り物酔いのしやすさのテストなど、乗客への影響を理解するために、この種の研究をいくつか計画している。⁽⁷⁾

2.4.4.2 SESAR

SESAR では、3 つのプロジェクトを進めている。⁽⁸⁾

(1) Exploratory Research

現在の研究開発や、欧州 ATM マスタープランで既に特定されている範囲を超えて検討を進める。新しいアイデア、概念、及び技術を調査することを目指す。

- SESAR Innovation Days (2022.12.5-8) ⁽⁹⁾
2 年ぶりに開催された SESAR Innovation Days では、安全性と回復力の予測のためのデータ駆動型手法、気候に最適化された軌道、UTM(UAS Traffic

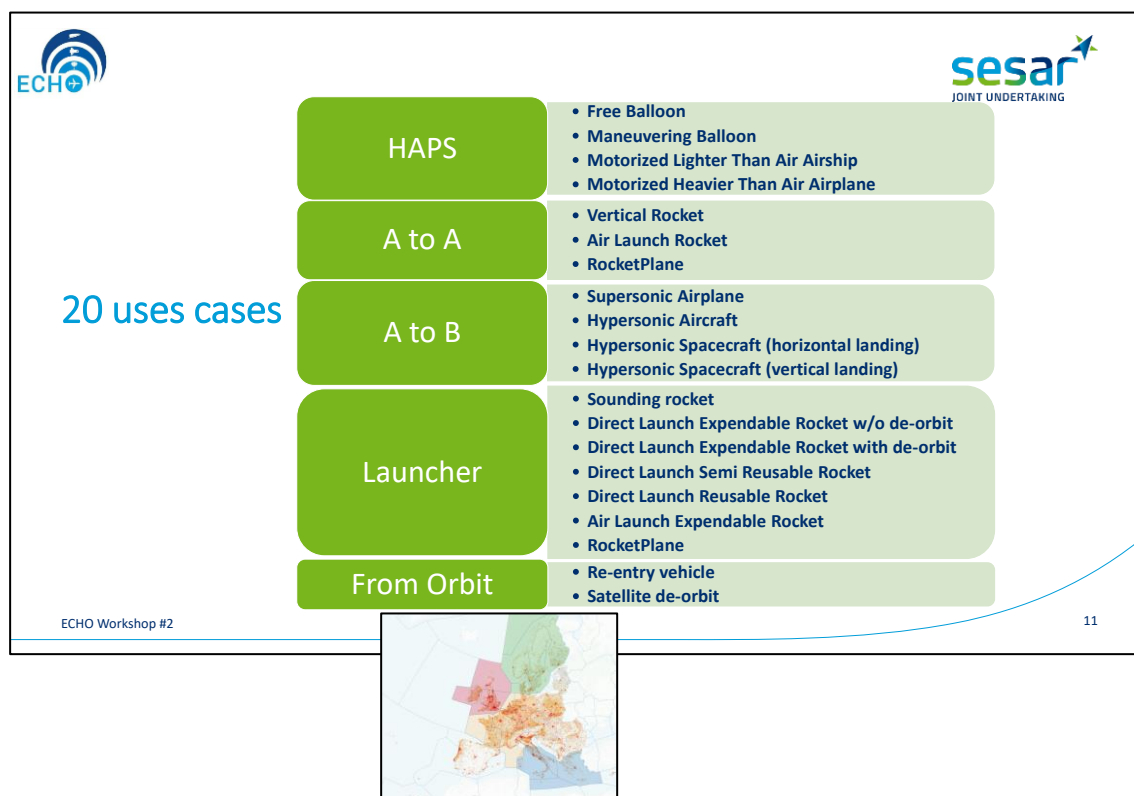
Management)、空港運営など様々な研究分野から 37 のポスターと 51 篇の論文が発表された。特別基調講演では、U-space、ドローンの統合を可能にするフレームワーク、環境、人工知能といった重要なトピックが取り上げられた。

(2) Industrial Research

ヨーロッパの ATM システムを変革するためのより多くのデジタルソリューションを提供することを目的として、2 段階の検討を進めてきた。2019 年に第 1 段階が終了し、多数のソリューションが実用化レベルに達した。

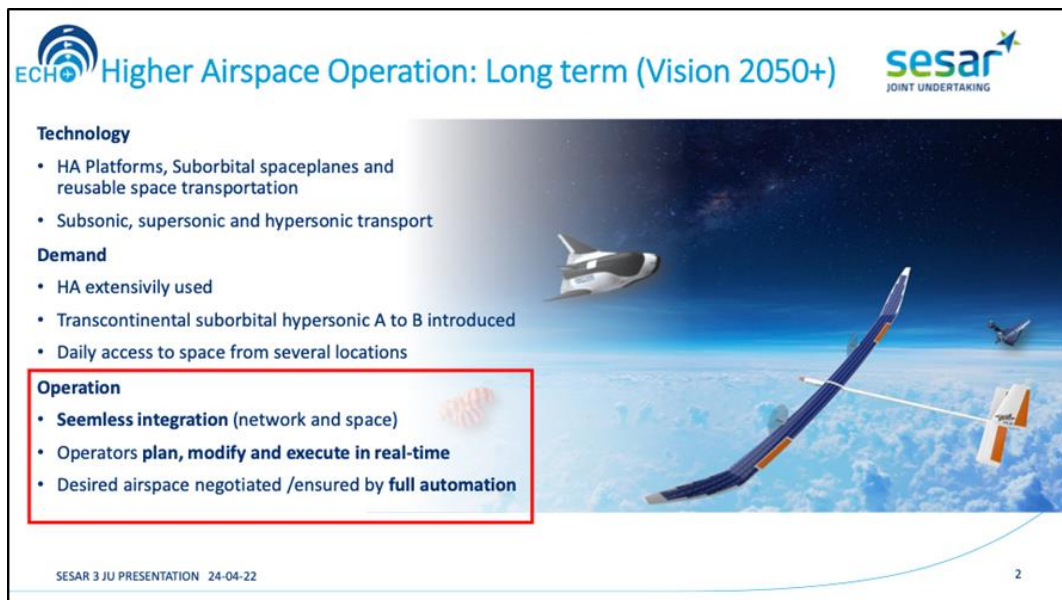
高高度(約 60,000 フィート)はもはやロケットや軍用機だけのものではなく、長時間耐久気球、HAPS(High Altitude Platform Station)、超音速機及び極超音速機など様々な機体も活用している。通信や監視、旅客輸送など様々なミッションに応じて運用特性が異なるこれらの機体により、新たな空域管理の課題が生じている。2020 年 11 月、より高い空域の ConOps(Concept of Operations: 利用者の観点から提案されたシステムの特徴を記述した文書)を開発するために、2 年間の ECHO(European Concept of operations for Higher airspace Operations)プロジェクトが開始された。2021 年半ばに関係者コミュニティ全体が参加するワークショップで、ユーザー要件について詳しく調査を行った。2022 年 1 月の 2 回目のワークショップで最初の ConOps をレビューし、2022 年 12 月に 3 回目のワークショップで最終的な情報を提供することとなっている。(10)

ECHO プロジェクトの 2 回目のワークショップでは、ユースケース、要求シナリオ、ConOps のレビューが行われた。高高度利用のユースケースとして、次の図の 20 のシナリオが検討され、軍事利用などの非協力的なユースケースの考慮などの条件付きで妥当と確認された。



要求シナリオについては、前頁図に示すヨーロッパの4つの地域について、地域ごとの高高度空域の利用方法について、短期的、中期的、長期的な時間軸ごとに検討を行った。これらのシナリオが十分現実的で、ConOpsを開発する上では十分であることが確認された。

ConOpsの概要について報告された(下図参照)。現在から、短中期期間、長期期間を見据えて、空域管理方式をどのように統合するのか、低高度の空域から、高高度、宇宙までの交通管理をどのように行うのかといった基本的な考え方が示された。これを受けて、高高度空域の断片化を避け、公平・公正なアクセスを保証した上で、新しいタイプのサービスが運用で実証され、需要が必要な規模に達するまで、新しい空域のクラスの定義に関する作業を延期することとなった。ATMとSTM(宇宙交通管理)のインターフェースについては、打ち上げや再突入などの空域利用の計画プロセスには、宇宙と航空の全ての関係者が参加する必要があることを確認し、今後の全ての開発は、国家、地域、世界レベルでの明確な責任を伴うグローバルな視点が必要なことが確認された。(11)



(3) Very Large Scale Demonstrations

新しい技術を採用する前に、空港や航空管制センターなど、様々な運用専門家が関与する実際の環境で飛行試験やその他のデモンストレーションを実施している。(12)

- CORUS-XUAM : ユーロッパの U-space サービスの運用概念・アーバンエアモビリティへの拡張
- AMU-Led: エアモビリティの都市部における大規模な実験的実証
- GOF2.0: フィンランド湾 2.0・統合された都市空域
- TINDAIR : 戦術的な機器分離と飛行中の分離・レゾリューション (Tactical instrumental deconfliction and inflight resolution)
- SAFIR-Med : 医療のためのエアモビリティのための先進的な U-space サービスの安全かつ柔軟な統合

- USPACE4UAM : 欧州における UAM の安全な導入を可能にする, U-space サービスの開発と展開の間のギャップ解消

[2.4.4 項 出典(1)～(12) : 各、資料 3 の P2022D365～P2022D376 参照]

第3章 その他資料の分析

3.1 関係団体の刊行物における動向情報

資料1のP2022D001～P2022D012 参照

3.2 公益財団法人航空機国際共同開発促進基金の情報調査及び情報提供における動向情報

3.2.1 2022年度航空機業界動向情報（月次）

当基金は、評議員・役員、各種委員会のメンバーなどに対して「航空機業界動向情報」を提供している。2022年度に調査・提供した主なトピックス、情報の概要を以下に記す。

COVID-19 パンデミックの影響については、ワクチン接種の進展や感染対策の定着に伴って、渡航制限も徐々に緩和され、国内便、国際便ともに回復が見られる。また貨物機需要の高まりを受けて OEM による貨物機開発着手につながった。世界的な環境問題への関心の高まりを背景に、2022 年はこれまでに決まった 2050 年までのネットゼロ目標の実現に向けた取組が具体化されつつある。

機体技術面では 100%SAF 適用実証や、電動化、水素燃料航空機に関する研究開発の動きに加え、NASA とボーイング社による TTBW (Transonic Truss Braced Wing) の実証プログラムが開始されるなど新技術による脱炭素の追求の動きが加速している。

都市交通システム(UAM)では、様々な形態の小型電動垂直離着陸機(eVTOL 機)の開発が進んで認証段階に入りつつあり、規制当局の対応も本格化している。一方、まだ認証側、受審側とも手探りの部分もあり調整に時間がかかっている。どの企業が認証取得、実用化に進んでいくか注目される。

ボーイング社は、737MAX 型機の運航停止が順次解除され、在庫一掃と生産再開に向けて回復しつつある。一方で、COVID-19 パンデミックの影響、更には FAA の認証プロセス見直しの影響があり、777X 型機の開発日程は大幅に見直され、運航開始は2025年第4四半期となった。787型機は、複合材胴体の品質問題に伴い、膨大な技術検討、修理作業を実施しており、業績に大きな影響が出ている。

エアバス社は、長距離ナローボディ機 A321XLR を中心に受注を重ねた。パンデミックの影響で月産 40 機まで下げた A320 シリーズの生産について、月産 60 機まで回復を図ったが、作業者の確保困難などにより部品供給が追いつかず、サプライチェーンが混乱し安定した生産ができていない。

超音速実証機では、NASA の X-59QueSST の機体組立が進んでいる。

3.2.2 2022年度航空機関連動向解説記事

当基金では、航空機等に関する解説事項選定委員会を開催し、時宜を得た航空機に関するテーマを選定し、その解説記事を作成している。2022年度は、以下の7件を選定

し、各専門分野の執筆者に依頼して作成した。

ア. 2022-1「航空機整備における故障予測分析の新たな挑戦」⁽¹⁾

航空機を安全で最高の機材品質に作り込むための取組の一つとして、ビッグデータ分析を用いた航空機の故障予測を行うことにより、発生する不具合を未然に防止する整備が進められている。故障予測分析技術の強化のため、新たに導入の AI 技術による仮説探索型分析手法の成果について、実例を交えながら紹介する。

イ. 2022-2「航空分野のカーボンニュートラル～エアラインの SAF への取り組み～」⁽²⁾

ICAO は 2050 年までに CO₂ 排出量をネットゼロにする国際航空の長期的な目標を採択した。今後、これに向け実行策を具体的に提示し行動していくことが重要なフェーズとなる。航空機運航における CO₂ 排出削減の取組の全体像と、その中で有効策のひとつである SAF（持続可能な航空燃料）への取組と課題について紹介する。

ウ. 2022-3「COVID-19 による航空需要への影響」⁽³⁾

COVID-19 による航空輸送業界への打撃は前例のないものとなった。しかしながら、2022 年以降航空輸送の市況回復は次第に手応えを増し、2024 年には 2019 年の水準を超えて疫禍前の予測線以上にほぼ復帰すると予想されている。各国国内線の旅客輸送量に対するワクチン接種率や新規感染者数、入国制限緩和の有無等の関係の分析等を含め、今後の市況回復について概観する。

エ. 2022-4「リサイクル炭素繊維のリユース技術」⁽⁴⁾

炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastics ; CFRP）は高比強度・高比剛性を有していることから、航空機をはじめ軽量化が求められる分野で適用が拡大している。しかしながら、現状、材料が廃棄される際には、産業廃棄物として埋め立て処理されており、リサイクル技術が必要となっている。本記事では、様々なリサイクル炭素繊維のリユース技術とそれらの課題を紹介する。。

オ. 2022-5「航空機のライフサイクルを革新する DX 技術」⁽⁵⁾

航空機ライフサイクルにおける様々な課題をデジタル技術により解決する取組が世界的に進められている。モデルベースドシステムズエンジニアリング（MBSE）や解析による認証（Certification by Analysis: CbA）といった設計、認証に関わる動向、並びに JAXA における DX（Digital Transformation）研究開発について紹介する。

カ. 2022-6「航空機電動化に関する最新動向」⁽⁶⁾

ICAO が 2050 年までに CO₂ 排出量をネットゼロにする国際航空の長期的な目標を採択した。目標実現の方策の一つである新技術の導入において、航空機電動化は不可欠な要素と位置付けられている。航空機電動化に関する国内外の最新動向、並びに適用に向けた標準化及び耐空証明・型式認証に関する動向について紹介する。

キ. 2022-7「航空機製造現場における課題と DX の取り組みについて」⁽⁷⁾

あらゆる産業界において DX 化が急速に進んでいる。航空機製造現場では、上流である設計部門の要求を下流の製造現場に確実に伝達する「技術情報のフローダウン」

と製造過程における「適切な記録の管理」が強く求められている。こうした中、航空機製造現場が直面する課題を整理するとともに、サプライチェーンの強靱化に向けた取組を紹介する。

[3.2.2 項 出典(1)～(7)：各、資料 2 の P2022D101～P2022D107 参照]

3.3 大学・研究機関・企業等から公表された動向情報

3.3.1 国内学会等における研究開発動向

(1) 日本航空宇宙学会第 53 期定時社員総会及び年会講演会

2022 年 4 月 18 日(月)～19 日(火)にかけて、第 53 期定時社員総会及び年会講演会がオンライン開催された。昨年と同様、本年度もコロナ禍の影響のため、一般講演は実施されない形式となった。

4 月 18 日(月)に、代議員と会員による社員総会と、名誉会員推挙状の贈呈、学会賞授与等を行う“会員の集い”が開催され、夕方には男女共同参画委員会主催でキャリアパスに関する意見交換が行われた。以下、第 53 期 学会賞記念講演題目をまとめる。

【論文賞】

小型探査機の着陸脚用ポーラスアルミニウムの衝撃吸収特性に及ぼすセル形態及び熱処理の影響

○北菌幸一、多田雷泰、杉山嘉一、三浦汀桜子（以上、首都大学東京）

【論文賞】

Multiobjective topology optimization for a multi-layered morphing flap considering multiple flight Conditions

○上林恵太、小木曾望（以上、大阪府立大学）、山田崇恭、泉井一浩、西脇眞二（以上、京都大学）、玉山雅人（JAXA）

【技術賞・基礎技術部門】

NASA-CRM 形状を用いた 3 次元バフエットの予測・現象解明技術の開発

○中北和之、杉岡洋介、中島 努（以上、JAXA）、浅井圭介（東北大学）、橋本 敦、石田崇、小池俊輔、大道勇哉（以上、JAXA）

【奨励賞】

磁気トルカによるプラズマ力を利用した超小型衛星のフォーメーション維持制御
藤原 正寛（東京大学）

【奨励賞】

再帰的なフィッティングによる航空機周りの自動格子生成
菅谷 圭祐（東京大学）

【奨励賞】

低レイノルズ数領域において背景圧力がノズル効率に及ぼす効果
西井 啓太（東京大学）

4 月 19 日(火)は第 53 期年会講演会が開催された。特別講演としては、“将来に向けた航空宇宙領域における Honda のチャレンジ”と題して、川辺 俊氏（㈱本田技術研究所 先進

技術研究所（新モビリティ領域統括）に講演頂いた。他にも第 53 期理事会から新しい取組の紹介としてジュニア会員制度及び航空宇宙技術遺産認定制度について、宇宙ビジネス共創委員会から宇宙ビジネス共創委員会の取組について、航空宇宙ビジョン委員会から JSASS 宇宙ビジョン 2050 及び JSASS 航空ビジョン 2040 について説明があった。

なお、次年度は 2023 年 4 月 13 日(木)～14 日(金)の日程で、日本科学未来館（東京）にて対面開催を予定している。また、コロナのため中止となっていた一般講演も実施を予定している。

(2) 第 54 回流体力学講演会／第 40 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム

第 54 回流体力学講演会／第 40 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウムが 2022 年 6 月 29 日(水)～7 月 1 日(金)にかけて、アイーナ：いわて県民情報交流センターにて開催され、273 名の参加があった。本シンポジウムは、流体力学講演会（FDC）と航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム（ANSS）を合同開催するもので、流体力学と数値シミュレーション技術の分野における研究の発展に寄与することを目的としている。本講演会は 3 年振りに対面を主体（一部オンラインでの講演発表有）として実施された。

また、同期間において講演会参加者を主な対象として、岩手大学大学院機械・航空宇宙コースの見学会が開催され、3 日間で 49 名の参加があった。

【招待講演 (Invited Lectures)】

招待講演 1：Prof. Ali Mani (Stanford University)

“Progress towards multi-physics simulations of two-phase flows using diffuse interfaces”

招待講演 2：Prof. Steve Brunton (University of Washington)

“Machine learning for Fluid Mechanics and Aerospace Engineering”

招待講演 3：藤井 孝藏 教授（東京理科大学、JAXA 宇宙科学研究所 名誉教授）

「先のことはわからない 一ながれとともに 50 年」

招待講演 4：船崎 健一 教授（岩手大学）

「航空エンジン・ロケットエンジン用ターボ機械内部流の非定常現象について」"Reviews on Unsteady Flow Phenomena inside Turbomachines for Aero and Rocket Engines"

なお、次年度は 2023 年 7 月 12 日(水)～14 日(金)の日程で、国立オリンピック記念青少年総合センター（東京）にて開催を予定している。

(3) 第 64 回構造強度に関する講演会

第 64 回構造強度に関する講演会が 2022 年 8 月 3 日(水)～5 日(金)の日程で、東大寺総合文化センター（奈良県奈良市）にて開催された。本年度は 137 名の参加があり、一般講演 84 件、イブニングセミナー 1 件、特別講演 2 件が行われた。

【特別講演】

・イブニングセミナー 「「構造強度」で育てられた本」 三浦 公亮 氏 (JAXA 宇宙科学研究所)

・特別講演 1

「自己展開宇宙構造物の今と将来」 古谷 寛 氏 (東京工業大学)

・特別講演 2

「古都奈良の文化財」ーその特質と将来ー 本中 眞 氏 (奈良文化財研究所)

なお、次年度は 2023 年 8 月 8 日(火)~10 日(木)の日程で、島根県民会館 (島根) で開催を予定している。

(4) 第 60 回飛行機シンポジウム

第 60 回飛行機シンポジウムが 2022 年 10 月 11 日(火)~10 月 13 日(木)にかけて、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (新潟県新潟市) にて開催された。本年度はアジア太平洋航空宇宙技術国際シンポジウム 2021 (APISAT-2022) と同時開催された。369 名 (併催された APISAT-2023 参加登録者は 337 名) の参加者があり、特別講演 2 件を含む計 202 講演が行われた。また、男女共同参画ランチセッション (ダイバーシティと働き方) が講演会 2 日目 (10 月 12 日) に開催された。

特別講演 1

「地域航空トキエアの役割」 長谷川 政樹 氏 (トキエア株式会社)

特別講演 2

「ANA における航空機からの部品脱落防止の取り組み」 竹田 修 氏 (ANA)

なお、次年度は 2023 年 11 月 15 日(水)~17 日(金)の日程で、北九州国際会議場 (福岡) で開催を予定している。

(5) 日本航空宇宙学会原動機推進講演会

航空宇宙推進関連の研究発表が行われる国内学会であり、隔年(偶数年度)で国内開催、隔年(奇数年度)で国際学会(AJCPP)として日中韓の順で開催される。本年度は2022年3月9日(水)~11日(金)にかけて、鳥取県米子市にて開催された。

なお、次年度は2023年3月に、AJCPP2023として金沢で開催を予定している。

特別講演

「『宇宙旅客輸送』とマーケットドライブの新しい輸送技術」 稲谷 芳文 参与
(JAXA/ISAS)

企画セッション

- デトネーション燃焼の航空、宇宙推進への適用 13編
- 航空機電動化・電動航空機推進技術の展開 9編
- 水素航空機の実現に向けた推進技術 8編
- 宇宙輸送用エアブリーザーの研究開発 12編
- 航空宇宙推進×機械学習 8編
- ホールスラストにおけるプラズマ揺動と異常輸送 6編
- 電気推進における代替推進材の開発状況 6編

一般セッション

- ロケットエンジン・ジェットエンジン 4編
- 化学ロケット 5編
- 高速推進機関 3編
- 液体・伝熱技術 4編

(5)-1 日本航空宇宙学会原動機推進講演会

- + 題目：大規模水素サプライチェーン向け液体水素機器試験設備の整備と活動状況
- + 講演者：小林 弘明 氏(JAXA/ISAS)

カーボンニュートラル実現へ向けて、発電設備や、陸上輸送及び船舶機器に加え、航空宇宙分野でも水素の利用が積極的に検討されている。バルブ、着脱コネクタ、貯蔵容器など、極低温環境での作動や断熱性能を求められる機器の試験を実施できる施設が求められている。従来、国内開発企業は、ドイツをはじめとする海外試験場を利用する場合が多かったが、今後の開発の本格化を考慮し、国内試験場の整備が望まれた。JAXA能代ロケット実験場は、液体ロケット関連研究のために、液体水素供給設備を擁しており、これらを拡張のうえ、新たなユーザーにも試験機会を提供し、「低温水素ガス圧縮技術」「液体水素昇圧ポンプ」「極低温着脱コネクタ」などの開発を支援している。

(5)-2 日本航空宇宙学会原動機推進講演会

- + 題目：宇宙輸送系の中長期戦略と新しい往還ロケットの開発研究
- + 講演者：徳留 真一郎 氏 (JAXA/ISAS)

宇宙科学研究所(JAXA/ISAS)は宇宙輸送系専門委員会を設置し、今後20年程度の長期的観点から、宇宙輸送系の研究ビジョンを策定した。重点技術領域として、①低軌道領域への高頻度大量輸送を目指す「再使用型宇宙輸送システム」、②宇宙科学・探査ミッションの頻度と自在性を高める「深宇宙軌道間輸送システム」、③開発研究に必須となる飛行実験手段として「小規模飛翔体システム」の「三本柱」を掲げている。

技術領域①の具体的開発課題として、垂直離着陸型小型ロケット、大気圏再突入技術実証に加え、空気吸込式エンジンの研究開発を掲げた点が注目される。推重比12を超える軽

量な空気吸込式エンジンとロケットエンジンと複合作動させることで、垂直離着陸型小型ロケットの全備重量を小さく(小型化)できるとの検討結果に基づき、同所を中心にかつて研究されたエキスパンダー式エアターボラム(ATREX)エンジンの技術を継承した、エアターボ・ロケット複合エンジン(ATRIUM:Air Turbo Rocket for Innovative Unmanned Mission)を開発に着手していることが報告された。2021年にはLH2/LOXガスジェネレーター要素燃焼試験を実施している。今後はエンジン全機試験へ向けた準備を進めている。

(6) 日本ガスタービン学会第47回定期講演会(GTSJ 50)

日本ガスタービン学会が主催する航空用及び産業用ガスタービン並びに関連するエネルギーシステムの研究発表が行われる学会であり、第50回となる今回は2022年10月12日(水)～13日(木)にかけて、福岡県福岡市で開催された。

なお、次年度は2023年10月4日(水)～6日(金)の日程で、福井県福井市にて開催を予定している。

企画セッション

"ガスタービンにおけるデータ活用技術の最前線と今後の展望"

[モデレーター]

+ 黒瀬 良一 氏 (京都大学)

[パネリスト]

+ 菊地 亮太 氏 (京都大学)

現実世界とバーチャル空間を融合するデータ同化技術の活用可能性

+ 古川 雅人 氏 (九州大学)

遷音速翼列流れ解析におけるデータ同化の活用

+ 伊東 正雄 氏 (東芝)

Flamelet/ANN法を適用した超臨界CO₂タービン燃焼器のLES解析結果と高圧燃焼試験結果との比較について

+ 澤 芳幸 氏 (ヴァイナス)

AIと機械学習処理による次世代型最適化設計とPOD/DMD解析

+ 桜井 旭 氏 (アンシスジャパン)

Ansysのガスタービン開発向け解析とデータ解析技術の今

(6)-1 日本ガスタービン学会第50回定期講演会の講演紹介

+ 題目：XF9-1エンジンを用いたディストーション性能の研究

+ 講演者：坂田友, 宮入嘉哉, 平野篤, 山根喜三郎(以上、防衛装備庁航空装備研究所)、岡田隆一(IHI) 各氏

電動化分散推進システムにおける境界層吸込(BLI: Boundary Layer Ingesting)や、低被

観測性能向上のためのインテークダクト形状の採用により、エンジン入口流の全圧が非一様となるインレットディストーション(ID)が生じる。ID条件下でのエンジン性能低下や失速マージン減少を定量的に予測する技術が重要となる。航空装備研究所では、「戦闘機用エンジンシステムの適応性向上技術の研究」の一環として、XF9-1エンジンのファンリグ試験においてID条件を課した空力性能確認試験、ID条件を課した場合のファン全段性能を予測するための多段CFD解析を実施した。一連の取組により、(1)ファンリグ試験により、一様流入条件と比較したファン性能低下と安定作動マージン減少を確認、(2)ID条件を課したXF9-1エンジン性能データを取得、(3)ファン及び圧縮機全段の非定常CFD解析により、ID条件を課したXF9-1エンジン試験性能と良好な一致を確認した。今後、本研究成果を反映した改良ファンをXF9-1に適用したエンジン試験を実施するとともに、ID条件がエンジン性能及ぼす影響を低計算負荷かつ高精度に予測する手法の構築を目指す。

3.3.2 国外学会等における研究開発動向

(1) AIAA Science and Technology Forum and Exposition (Scitech) 2022

米国航空宇宙学会 (American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA) 主催による Scitech2022 が 2022 年 1 月 3 日(月)～7 日(金)にかけて、ハイブリッド (オンサイト : サンディエゴ (米国) + オンライン) にて開催された。航空宇宙の研究、開発、技術に関する世界最大のイベントには、オンサイト、オンライン合わせて約 5,000 名の参加者があった。

Forum 360 Sessions

- Embracing Sustainability
- Sustainability Throughout the Value Stream
- Fostering a Sustainable Workforce
- 2040: The Aerospace Workforce
- Sustainability Through Innovation Diversification
- Idea Challenge: Harvesting Emerging, Adjacent Technologies to Benefit Aerospace Technologies
- Operational Sustainability in Increasingly Congested and Heterogeneous Airspace
- Operational Sustainability in Increasingly Congested and Heterogeneous Earth Orbits
- Advancing an Environmentally Sustainable Aerospace Future

次回は、2023 年 1 月 23 日(月)～27 日(金)の日程で、National Harbor (米国) にて開催を予定している。

(2) AIAA Aviation and Aeronautics Forum and Exposition (2022 AIAA AVIATION Forum)

AIAA 主催による AVIATION2022 が 2022 年 6 月 27 日(月)～7 月 1 日(金)にかけて、シカゴ（米国）にて開催された。本年度は、39 か国から 653 名の学生を含む 2,300 名以上の参加がした。一週間を通して、航空業界が直面する課題、将来予測や役割の再定義、更なる変化にどのように取り組めばよいかを産官学で議論した。一般の技術セッションでは、特別講演を含め、1,000 以上のプレゼンテーションが実施された。また、Over-the-Wing Engine Mount や Natural Laminar Flow airfoil など、ビジネス航空のための新技術を研究し、HondaJet を開発してこれらの技術を搭載した民間航空機を市場に導入した功績が評価され、Honda Aircraft Company の藤野道格氏が 2021 Elmer A. Sperry Award を受賞し、その授賞式が執り行われた。⁽¹⁾

特別講演 1 : "State of the Industry", Kevin Michaels (Managing director, AeroDynamic Advisory)

特別講演 2 : "Supply Chain", Ron Epstein (Managing Director, Aerospace & Defense, Bank of America Merrill Lynch)

特別講演 3 : "Future State of the Industry", Diana Birkett Rakow (Senior Vice President, Public Affairs and Sustainability, Alaska Airlines)

また、AVIATION2022 に合わせて 7th AIAA Drag Prediction Workshop が開催された。本ワークショップは、数値流体力学プログラムによる旅客機形態の航空機の巡航時における空力性能予測技術の向上を目指したものである。本年度は特に遷音速条件下での衝撃波による剥離が揚力とピッチングモーメントの変化に対して与える影響を予測することをターゲットに、様々な研究グループが解析を実施した。

なお、次回は 2023 年 6 月 12 日(月)～16 日(金)の日程で、San Diego（米国）にて開催を予定している。

(3) 33rd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2022, Stockholm)

2022 年 9 月 4 日(日)～9 日(金)にかけて、ストックホルム（スウェーデン）で開催された。ICAS は、日本航空宇宙学会を含む 28 か国の航空関係学会、36 の協賛団体からなる国際航空学術団体で、航空分野の学術発展と国際連携推進を目的として、1957 年にフォン・カルマン博士の提案によりオランダを本部として設立され、1958 年開催のマドリッド大会から隔年で大会を開催している。

ICAS Daniel & Florence Guggenheim Memorial Lecture, “Aeronautical Innovation – Swedish and European Perspectives”, Anders Blom, Sweden

ICAS Enoch Thulin Lecture for Innovation in Aeronautics “Reflections on Active Aeroelastic Control and the Multidisciplinary Design Optimization of Aircraft” Eli Livne

ICAS von Karman Lecture: “Clean Sky Programme Achievements and Clean Aviation Outlook” S. Klauke CTO Airbus, E. Dalbès CTO SAFRAN, M. Protti Head of Advanced Research Leonardo Aircraft

GL1 “Future Airspace – Meeting Demand Through Integration” Lynne Thompson Hopper, USA

Chair: S. Bagassi ICAS EC member

GL 2 “Towards Certification by Analysis for Flight Characteristics” Robert Gregg III, USA

Chair: F. Collier ICAS EC member

GL 3 Panel session “Towards Sustainable Air Transport”

GL4 “Developing and Flying the Gripen E” Marcus Wandt, Sweden

GL5 ICAS/IFAR „Transforming Aviation towards Zero Emission - to mitigate the climate impact“ I. Yimer, NRCC Canada, B. Sainjon, ONERA France, M. Fischer, DLR Germany, Y. Watanabe, JAXA Japan, P. Krus, SARC Sweden

今回は、2024 年 9 月 9 日(月)～13 日(金)の日程で、Florence（イタリア）にて開催を予定している。

(4) アジア太平洋航空宇宙技術国際シンポジウム（APISAT-2022）

（2022 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, APISAT-2022）

APISAT-2022 は日韓中豪 4 か国の航空宇宙学会の共催により、2022 年 10 月 12 日(水)～14 日(金)にかけて、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（新潟県新潟市）にて開催された。337 名（併催された第 60 回飛行機シンポジウム参加登録者は 369 名）の参加者があり、招待講演 1 件、特別講演 4 件、223 件の一般講演（口頭発表）と 38 件のポスター発表が行われた。

-Invited Lecture:

Recent activities of Japan's Government and ICAO regarding the reduction of CO₂ emissions from civil aviation

+ Hajime Yoshimura, Director, Airworthiness Standards and International Affairs Office, Japan Civil Aviation Bureau

-Plenary Lecture 1:

The Challenges to Advance Composite Materials Use in Aerospace

+ Adnan Raghdoo, BCA Composites Capabilities, Boeing Aerostructures Australia

-Plenary Lecture 2:

JAXA Vision of Future Aviation and R&D Strategy

+ Shigeya Watanabe, Deputy Director General, Aviation Technology Directorate for Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

-Plenary Lecture 3:

To carbon peak and neutrality, the green aviation endeavor in China.

+ SUN Xiasheng, Chinese Aeronautical Establishment (CAE), Chairman of Science and Technology Board

-Plenary Lecture 4:

Operational Digital Twin Technology for Reliable and Autonomous Urban Air Mobility

+ Jae-Woo Lee, Professor and Director, Konkuk University, Korea

次回は、2023年10月16日(月)～20日(金)の日程で、陵水（中国、海南島）にて開催を予定している。

(5) ASME Turbo Expo 2022 ⁽²⁾

ASME IGTI (米国機械学会ガスタービン部門)が主催するガスタービンに関する国際会議で、論文数1,000、参加者3,000名以上にものぼる。近年は毎年6月に北米、欧州交互に開催されてきた。2016年には韓国のソウルで、アジアで初めて開催された。新型コロナウイルス感染症拡大のため、2020年と2021年は対面開催が見送られたが、2022年は6月13日(月)～17日(金)にかけてオランダのロッテルダムで対面開催された。エンジンシステムとしての航空エンジンに関するセッションの他、圧縮機、タービン、軸受けなどの要素、非定常流れ、CFD、伝熱、燃焼、制御、材料などの基礎研究、更に用ガスタービンや蒸気タービン風車まで非常に幅広い研究が、20以上のパラレルセッションで報告された。論文講演の他、"Tutorial"と

して専門家が分野をまとめるレクチャーも開催された。機械系の講演会の中でも査読が厳しいことでも知られており、投稿論文は初回投稿のアブストラクト及びプロシーディングスに掲載するフルペーパーで査読を受ける。

次回は、2023年6月26日(月)～30日(金)の日程で、ボストン（米国マサチューセッツ州）にて開催を予定している。

・ キーノート

“Road-Mapping the Future of Propulsion and Power”

最近の壊滅的な異常気象やロシアのウクライナ侵攻など、地球環境や安全保障の変化に対応するため、新しい次元のエネルギー供給体制の構築を改めて構想し、実現へ向けて行動を加速することが、かつてないほど重要になっている。今、電力分野と航空推進分野は「エネルギーのトリレンマ」（1.エネルギー安全保障の確保、2.安価でクリーンなエネルギーへの公平なアクセス、3.持続可能な地球環境の実現という、ときに相反する3つの課題）に直面している。この動きの中で、ターボ機械が重要な役割を果たせることを強調したい。出力が安定しない再生可能エネルギーを補完し連携するために、ターボ機械による効率的かつ信頼性の高いエネルギー製造とエネルギー貯蔵技術を組み合わせることで、供給の安全性を損なうことなく、エネルギー変革とカーボンニュートラル社会実現が可能となるだろう。電力分野と航空推進分野の将来ロードマップに貴重な情報を共有、安全で気候中立的なエネルギー課題解決に向けた取組みを加速する方法について議論する。

[スピーカー]

- + Pedro Lopez Estebaranz (COO, Uniper)
- + Michael Grootenboer (Senior VP Engine Products, Air France KLM Group)
- + Dr. Thomas Thiemann (Senior VP Energy Transition Technologies, Siemens Energy)
- + Priscilla Chandrasekaran (Global LNG Technology Innovation Manager, Shell Global Solutions International)

[モデレーター]

- + Jaroslaw Szwedowicz (Siemens Energy AG, Conference Chair)
- + Christer Björkqvist (ETN Global, Executive Conference Chair)

・ プレナリーセッション

“Industrializing Terabytes for Propulsion and Power”

今日の航空推進分野及び電力分野は、多額の投資と業界文化の変化を伴う「デジタル化へ向けた旅」の真っ只中にある。DXはそれ自体が目標なのではなく革新へ向けた「旅」の出発点であり、デジタル化とは、データを使用して企業組織を再構築し、より知的な組織に変換することを意味する。その過程で、ビジネスプロセスを改善するのみならず、そこで働く人々の価値観やアプローチを変える。このセッションでは、業界横断的な講演者を招待し、組織におけるデータの利用と管理、及び最新のデータ分析とデータサイエンス技術の適用について調査・議論することを通じ、航空推進分野及び電力分野のコミュニティにおけるデジタル化の旅を支援する。

[スピーカー]

+ Dr. Timothy C. Lieuwen (Executive Director, Strategic Energy Institute)

+ Frida Björneld (Head of Technology & Innovation Industrial Applications division, Siemens Energy)

+ David Robert Noble (Generation Gas Turbine Programs Manager, Electric Power Research Institute)

+ Professor Bill Dawes (Founding Director, CTO and Chairman, Cambridge Flow Solutions Ltd)

[モデレーター]

+ Dr. Eva Verena Klapdor (Generation Service Global Operations, Siemens Energy)

+ Dr. Akin Keskin (Associate Fellow – Design Systems, Rolls-Royce)

・ プレナリーセッション

“Hydrogen & Energy Storage for Propulsion and Power”

二酸化炭素排出量を削減して気候変動に対処し、地球環境を改善するためには、発電及び航空推進における水素技術の開発と展開が不可欠であり、本セッションでは、水素の生成と輸送、エネルギー貯蔵、並びに、発電及び航空推進のための水素利用に関わる最新技術を紹介する。

[スピーカー]

+ Dr. Steven R. Wellborn (Head of Aerothermal and Functional Design Senior Fellow – Turbomachinery Systems, Rolls-Royce)

+ Arnie Feldman (President/Principal, JJDS Environmental)

+ Dr. Tim Allison (Machinery Department Director, Southwest Research Institute)

+ Sarah Hopkin (Hydrogen Researcher: H2 Mobility and Supply, ESPTG /

Shell Oil)

+ Christian Sattler (Head of Solar Chemical Engineering, DLR)

[モデレーター]

+ Frank Michell (Founder, Power Industry Consulting, LLC)

+ Dr. Natalie Smith (Southwest Research Institute)

・テクニカルセッション

一般講演セッションのテーマのうち、航空推進に関連するものを抽出し、分野別に整理して掲げる。

・性能・サイクル

Aircraft Engine

+ Advanced Concepts

+ Propellers & Noise

+ Modelling & Simulation

+ Controls, Diagnostics & Instrumentation

+ Basics of Turboshift Engine Cycle Design and Optimization

Cycle Innovations

+ Innovative Propulsion

+ Low Emissions Cycles

+ Pressure Gain Combustion and Component Instabilities

+ Turbomachinery for Innovative Cycles

+ Hybrid Electric Propulsion

・空力

Fans and Blowers

+ Design and optimization

+ Design challenges

Turbomachinery: Axial Flow Fan & Compressor Aerodynamics

+ Compressor Design

+ Endwall, Seal & Leakage Flows

+ Flow Control

+ Stall Inception

+ Transonic Compressors

+ Fan & Propulsor Design

+ Transition, Re-Number & Roughness Effects

+ Inlet Distortion

Turbomachinery: Axial Flow Turbine Aerodynamics

- + CFD Analyses
- + High-Fidelity CFD
- + Tip Leakage Flows
- + Hot Streaks and Sealing Flows
- + Aerodynamic Analyses
- + Loss & Performance
- + Secondary & Surface Flows

Turbomachinery: Deposition, Erosion, Fouling, and Icing

- + Deposition and Erosion Effects
- + Hot Section Deposition
- + Compressor Erosion
- + Water, Icing, and Lubricant Deposition

Turbomachinery: Design Methods & CFD Modeling for Turbomachinery

- + Machine Learning and Optimization
- + CFD Solver Methods
- + Unsteady Flow Modeling
- + Whole Engine, Through-flow and Mean-line
- + Pumps and Hydraulic Systems
- + Turbines Design Methods
- + Compression System Design Methods
- + Computational methods for compression system stall and surge
- + Cavities and Secondary Air Systems
- + Combustors Design Methods
- + Physics Informed Neural Networks (PINNs)

Turbomachinery: Ducts, Noise & Component Interactions

- + Gas Turbine Engine Transition Ducts and Flow Interactions
- + Gas Turbine Engine Intakes, Exhaust Diffusers, and Ejectors
- + Fan and Engine Noise
- + Compressor and Combustion Noise

Turbomachinery: Multidisciplinary Design Approaches, Optimization, and Uncertainty Quantification

- + Adjoint-based and adjoint-enhanced design optimization methods and applications
- + Aerothermal design and cooling
- + Axial compressors, propellers and fans design optimization
- + Machine Learning-assisted modeling, optimization & analysis

- + Parametric and Topological Optimization Applications
- + Preliminary design methods, digital twins and holistic approaches
- + Radial compressors design optimization
- + UQ and robust design optimization - Manufacturing uncertainties, operating conditions and engi

Turbomachinery: Radial Turbomachinery Aerodynamics

- + Radial and Mixed Flow Turbines
- + Centrifugal Compressors

Turbomachinery: Unsteady

- + Unsteady Flows in Turbines
- + Unsteady Flows in Compressors
- + Stall in Axial Compressors
- + Stall & Surge in Radial Machines

・ 伝熱

Heat Transfer: Combustors

- + Combustor and Turbine Interactions

Heat Transfer: Film Cooling

- + Turbine Film Cooling
- + Film Cooled Rotor Blades
- + Endwall Film Cooling
- + Shaped Holes
- + Optimization of Film Cooling Geometries
- + Conjugate Heat Transfer
- + Advanced Materials with Film Cooling Flows
- + Film Cooling with Thermal Barrier Coatings
- + Computational Techniques

Heat Transfer: General Interest

- + External and Internal Flow Heat Transfer
- + Heat and Fluid Flow Through AM Components

Heat Transfer: Internal Air Systems

- + Cavity Flows
- + Turbine Rim Seals
- + Cavities

Heat Transfer: Internal Cooling

- + Jet Impingement
- + Swirling Flow / Swirl Chambers

- + Additive Manufacturing & Novel Turbulators
- + Rotating Heat Transfer

・ 燃焼

Coal, Biomass, Hydrogen & Alternative Fuels

- + Alternative Gas
- + Alternative Gas Numerical Models
- + Life cycle assessment
- + Liquid fuels
- + Design of Fuel Cells-Based Power & Propulsion Systems for Different Applications: Automotive
- + Life Cycle Assessment Basics and application to optimize the environmental sustainability

Combustion, Fuels & Emissions

- + Fuel flex
- + Flashback and Blowoff
- + Combustion Modeling
- + Combustor Design
- + Emissions
- + NOx Emissions
- + Ignition
- + Kinetics
- + Novel Combustors
- + Combustor Flows
- + Atomization & Sprays
- + Pressure Gain Combustion
- + Combustion Dynamics - Flame Transfer Functions
- + Combustion Dynamics - Experiments
- + Combustion Dynamics - Numerical Methods
- + Combustion Dynamics - Nonlinear Dynamics
- + Plasma Assisted Combustion
- + High Hydrogen

・ 振動・ 動力学

Structures and Dynamics: Aerodynamics Excitation & Damping

- + Compressor aerodynamic damping
- + Aerodynamic excitation and damping under inflow distortions

- + Turbine flutter
- + Forced response
- + Mistuning

・材料学・冶金・積層造形・複合材

Ceramics and Ceramic Composites

- + Mechanical Behavior of Ceramics & Composites
- + Impact Damage in Ceramics & Composites
- + Thermal and Environmental Barrier Coatings

Manufacturing Materials & Metallurgy

- + Nickel & Cobalt Based Alloys for Gas Turbine Applications
- + Metallurgy, Coating & Repair
- + Metallurgy for the Non-Metallurgist
- + Additive Manufacturing
- + Advanced Turbomachinery Manufacturing - Design, Materials & Processes
- + Component Degradation, Failure and Life Prediction
- + Sustainable Production of Advanced Turbomachinery Components in a Digitized Environment

・運用・振動・機械要素・寿命予測

Structures and Dynamics: Bearing & Seal Dynamics

- + Annular Seals
- + Bearings
- + Fluid Film Bearings
- + Bearings and Dampers

Structures and Dynamics: Emerging Methods in Design & Eng.

- + Emerging Methods on Additive Manufacturing

Structures and Dynamics: Fatigue, Fracture & Life Prediction

- + Constitutive Materials Modelling
- + Creep and Thermo-Mechanical Fatigue
- + Fatigue Analysis of Real Components

Structures and Dynamics: Probabilistic Methods

- + Probabilistic Methods
- + General Applications using Probabilistic Methods

Structures and Dynamics: Rotordynamics

- + Active Controls of Rotordynamic Systems
- + Rotordynamic Design and Applications

- + Non-Linear Rotordynamics

Structures and Dynamics: Structural Mechanics & Vibration

- + Damping evaluation and effect

- + Modeling, algorithms and computational techniques

- + Mistuning

- + Experimental and sensing technologies / processing methods

- + Wavelet Transform

- + Reduced Order Modeling

- ・ 制御

Controls, Diagnostics & Instrumentation

- + Advanced Controls for Propulsion Systems

- + Performance Monitoring and Fault Diagnosis

- + AI/Machine Learning & Data-driven Approaches

[3.3項 出典(1)～(2) : 各、資料2のP2022D377～P2022D378参照]

第4章 2022年度海外調査報告

4.1 調査目的

技術開発動向調査委員会の2022年度活動における調査の一環として、温暖化対策、CbA（Certification by Analysis）などのデジタル化、次世代や将来の機体及びエンジンの技術開発、研究開発の動向について、北米の企業及び研究機関の研究者や技術者への研究紹介と、意見交換、施設調査を通して実地調査を行う。

4.2 調査概要

(1) 調査訪問先の選定

前回の北米調査（平成28年度）では、主にNASAの研究施設を視察した。2022年度は、温暖化対策の観点で注目を集めるエンジン関連企業を主に、下記の航空関連企業を視察した。

① Pratt & Whitney (P&W) 社

米国に本拠を置く Raytheon Technologies 社傘下の航空機用エンジンメーカー。民間用から軍事用まで広く手がけ、GE Aviation 社、RR 社と並び航空機用エンジンの3大企業の一つ。

② GE Aviation 社

米国に本拠を置く GE 社傘下の航空機用エンジンメーカー。民間用から軍事用まで広く手がけ、民間機向けで高いシェアを占める航空機用エンジンの3大企業の一つ。

③ CAE Inc.社

航空会社、航空機メーカー、医療専門家、防衛顧客向けにシミュレーション技術、モデリング技術、トレーニングを提供するカナダのメーカー。

(2) 調査日程及び調査団メンバー

ア 日程

2022年11月14日（月）：成田発、Hartford 着

2022年11月15日（火）：P&W 社訪問、Hartford 発、Cincinnati 着

2022年11月16日（水）：GE Aviation 社訪問

2022年11月17日（木）：Cincinnati 発、Montreal 着

2022年11月18日（金）：CAE Inc.社訪問

2022年11月19日（土）：Montreal 発

2022年11月20日（日）：成田着

イ 調査団メンバー

石川 隆司 委員長（調査団長）

今村 太郎 委員

二宮 哲次郎 委員

姫野 武洋 委員

小林 貴 事務局

(3) 調査結果概要

- ・ P&W 社、GE Aviation 社ともに、航空分野と取り組むべき課題として、CO₂、NO_xに加えて、飛行機雲を挙げ、取組を進めている点が目立った。
- ・ 脱炭素技術として、電動化、SAF、水素燃料への取組を並行して進めている。電動化は、現有エンジンの効率化（高バイパス化、コンパクトコア）、SAF、燃料電池、水素燃料と組合せが可能であり、広範な適用が期待される技術と位置付けられている。
- ・ 脱炭素技術のタイムスケジュールは、短期的対応として現有エンジンの効率化とSAFに重点を置き、中期的対応として電動化とハイブリッド電動、長期的対応として水素による燃料電池電動と水素直接燃焼を位置付けている。
- ・ 脱炭素技術のうち、電動化、水素（燃料電池、水素燃焼）の適用は、短距離機（～3,000NM）が現実的と考えている。
- ・ 訪問先との調整にあたり、一般社団法人日本航空宇宙工業会(SJAC)国際部にご支援を頂いた。この場を借りて御礼を申し上げる。

4.3 調査成果

4.3.1 P&W 社

(1) P&W 社概要

Pratt & Whitney(P&W)社は、米国に本拠を置く Raytheon Technologies(RTX)社傘下の航空機用エンジンメーカー。単通路機向けのギアードターボファン(GTF)エンジンをいち早く市場投入。2021 年の売上高は\$18.2B=¥2 兆 5,500 億(140 円/\$)。北米を中心に、欧州、中国、シンガポールに製造拠点を有し、サービス拠点は南米、アジア、オセアニア。P&W 社が大型エンジンを開発製造する一方、関連会社として、P&W Canada (PWC)社を設立し(当初は United Aircraft Canada 社)、同社が小型飛行機用エンジンの設計製作を担当。

RTX 社傘下の他事業会社として、Collins Aerospace 社、Raytheon Intelligence & Space 社、Raytheon Missiles & Defense 社。

(2) 訪問施設概要

訪問した Pratt & Whitney Customer Training Center は、コネチカット州イーストハートフォードの同社工場に隣接している。

民航空会社や整備会社の整備員のトレーニングを行う施設であり、会議スペースとトレーニング施設が併設されている。

トレーニング施設には、小型民間機用エンジン(PW1100G-JM, PW1400 ほか)、大型民間機用エンジン(PW4000、GP4700 ほか)がパイロンに吊り下げる形態で設置されている。また、教育用のエンジン部品(燃焼室カットモデル、ファン、ブレード)が整然と置かれていた。

(3) P&W 社の技術開発動向

脱炭素に関する課題は、新技術開発と代替燃料対応であり、2050 年 NetZero に向けては代替燃料への対応が重要としている。

a 将来エンジンへ向けた技術戦略

エンジン業界全体の共通認識となっており、カーボンニュートラルへ向けて、持続的航空燃料(SAF)、電動化、水素化が選択肢となる。2050年のNetZero達成へ向けては、SAFへの対応が重要としている。当面はSAF、将来的に電動化、水素化に適応できるように技術開発を進めている。

b 持続的航空燃料(SAF)

SAF導入拡大に必要な課題は、
+ SAFを100%とした燃料に対応したエンジン開発(燃焼、熱交換(冷媒性能)、腐食性、等)

+ SAF生産能力の比較的拡大とそれを促進する政策

+ SAF供給インフラの整備

と認識している。CAAFIプログラム(Commercial Aviation Alternative Fuel Initiative)プログラムでは、エンジンのサブシステムであるオイルクーラーなどのデータも取得している。既存ジェット燃料より、冷媒としては優れている。低温側(防氷)の確認は引き続き実施する。

c 電動化

2050年へ向けた電動化については、小型・短距離機体については全電動推進、中大型機体はGTFエンジンとのハイブリッド推進と認識している。中大型機体を手掛ける同社としては、いずれの選択肢においても、GTFエンジン本体の低燃費化($1/SFC = \text{熱効率} \times \text{推進効率} \times \text{燃料発熱量}$)と軽量化により、飛行距離当たり燃料消費量(MFB)を減らすことが助けとなるのは疑い無い。そのための核心技術として、P&W社はGTF技術を中心に据えて磨いていく。GTFには日本のエンジン各社と良いパートナーシップが組んでいる。

d 水素化

P&W社は1957年に水素燃料エンジンを試作した歴史を誇りとして自負している。

欧州のMTU社と協力し、「HySIITE (The Hydrogen Steam Injected, Inter - Cooled Turbine Engine)」プログラムを提案、\$3.8MをDoEから獲得している。液体水素の冷熱を利用し、圧縮機中段での中間冷却(IC)による所要動力低減と圧縮機出口温度を低下させ、排気中水蒸気を凝縮回収した水を燃焼器へ戻して噴射することによりNOx低減、タービン冷却抽気の低温化により抽気量削減を目論む。

航空分野が長期的に取り組むべき環境適合性の課題として、CO₂排出、飛行機雲(Contrail)、NOx排出の3つを挙げている。どれに優先的に取り組むかの判断が重要とする一方で、飛行機雲は航空業界に独自に課せられた課題である点を強調していた。

具体的な取組として、マサチューセッツ工科大学がまとめたEngine Environmental Impact Framework (EED) を例示する。これは、エンジン設計変数を入力として、エンジンサイクル計算(NPSS)→排気組成計算(AEIC)→気候モデル→空気品質モデルを経て、環境影響度を評価する統合モデルであり、航空エンジン排気から出る飛行機雲が、環境及び人体に及ぼす影響の定量評価を目指している。

e その他

これまでのエンジン技術開発は、軍用が先行して民間へ転用されるのが常であったが、環境適合技術に関しては、「民間が先行して軍用へ転用されるようになる」というコメントが印象に残った。

5.3.2 GE Aviation 社

(1) GE Aviation 社概要

米国に本拠を置く GE 社傘下の航空機用エンジンメーカー。民間用から軍用まで広く手がけ、民間機向けで高いシェアを占める航空機用エンジンの 3 大企業の一つ。2021 年の売上高は\$21.3B=¥2 兆 9,800 億(140¥/\$)。仏国の航空エンジンメーカーであるスネクマ(Snecma)社とは、1974 年に CFM インターナショナル社を設立し、民生用中型エンジン分野で提携。大型機市場ではライバルの P&W 社とエンジン・アライアンスを立ち上げ、RR 社に対抗。小型機市場では本田技研工業との合弁企業 GE・ホンダ・エアロ・エンジン社を設立。

GE 社傘下の他事業として、HealthCare、Renewable Energy、Power、Digital、Energy Financial Services。

2022 年 7 月に、大幅な分社化の計画を発表しており、2023 年には GE HealthCare 事業の分社化を、2024 年には GE Aviation 以外を GE Vernova としての分社化を予定。GE 社本体は、名称を GE Aerospace に変更し、航空事業に集中する計画。

訪問時には、HP、プレゼン資料の一部が GE Aerospace となっており、名称の変更が進行中。

(2) 訪問施設概要

訪問した GE Aviation Learning Center は、オハイオ州シンシナティの郊外にあり、同社 Avondale 工場に隣接している。

航空会社や整備会社の整備員のトレーニング用会議スペースと、民間、軍用を含めた GE 社ジェットエンジンの展示スペースが併設されている。

展示スペースには、軍用機用エンジン、大型民間機用エンジン(CF6、GE90 エンジンほか)が展示されていた。

(3) GE Aviation社の技術開発動向

P&W社と同様に、持続的航空燃料(SAF)、電動化、水素化が選択肢となる。当面はSAF、将来的に電動化、水素化に適応できるように技術開発を進めている。

- + 電動 : 航空機搭載 MWクラス発電機の運転実証
- + 推進効率 : オープンローター(RISEプログラム)
- + 熱効率 : エンジン中核要素であるガスタービン技術向上、高圧力比、耐熱材料
- + 燃料転換 : 水素化(ZEROeプログラム)

a 持続的航空燃料(SAF)

単通路機用のLEAPエンジンを使用し、SAFの互換性(Drop-in)の割合を50%あるいは100%としたエンジン飛行実証を実施している。地上試験では、GE-HONDAのHF120でも運転実証している。

b 電動化

電動ハイブリッドは、後述のオープンファン開発(CFM RISE)、Distributed Propulsionなど他技術との共存(統合)が可能なCO₂削減技術であり、選択肢を増やす取組と位置付けている。

開発に当たって、機体へのインテグレーションを含めて明確にした課題には、高電圧、エンジンとの統合、熱対策、バッテリー性能、型式証明取得ほかを挙げている。

c 水素化

+ 水素燃料エンジン実証プログラム(ZEROe)を欧州と連携して実施

Passport20エンジンを改修し、エンジン試験機(A380型機)に搭載している。

環境影響度評価として飛行機雲形成の研究を実施している。

d エンジン要素技術

P&W社のGTF技術に対して、GE社はオープンファン技術に注力している。石油ショックのころから度々UDF(Un-Ducted Fan)などのオープンローター研究を実施してきた技術の蓄積がある。

今回、GE社がCFM社と共同して提唱するオープンファン開発(CFM RISE)は、次世代単通路機向けガスタービン駆動エンジンの推進機(プロパルサー)としてだけではなく、将来的には電動モーター駆動も含めたハイブリッド電動化との共通技術とすることを構想している。

CFM RISEは、オープンファン、電動ハイブリッド、コンパクトコアを統合した技術デモンストレーションプログラムであり、ブレードコンテインメント、発生ノイズ、乗客の不安感など多くの課題があることを認めた上で、いずれも開発中としている。

CFM RISEの飛行実証段階における構成は、

+ Passport20のコアエンジンを使用・軸流圧縮機から成るコアで、最終段翼高さは12mm程度とする。

+ 減速比3程度の遊星歯車によりオープンローターを駆動、二重反転とはしない(Open fan)。

気になる騒音については、

+ 現在の単通路機エンジンであるLEAPよりも低い騒音レベルとする。

4.3.3 CAE Inc. (CAE) 社

(1) CAE 社概要

CAE 社は 1952 年以降、民間及び軍用航空機の飛行シミュレーション技術、モデリング技術の研究とそれら機器の提供、及び航空会社、航空機製造業者、軍関係者への訓練サービスの提供などを行うようになったグローバル企業。最近ではフライトシミュレーション技術を活かし、医療用機器、ヘルスケア関連、手術・採掘・Fire Fighting、災害対応等のシミュレーターなど、航空以外の分野へ進出。ミスの許されないオペレーションの訓練という点で、飛行訓練と要素が共通。

2016 年の売り上げは\$3,371M (3,880 億円) で、内訳は、Civil Aviation が\$1,618M (1,860 億円) で 48%、Defense and Security が\$1,602M (1,840 億円) で 48%、Health Care が\$151.4M (174 億円) で 4%。

シミュレーター製造に関しては、エアバス機、ボンバルディア機、エンブラエル機、ベル・ヘリコプター機などのパイロット訓練シミュレーターを OEM として製造しており、世界シェア 1 位を獲得。最近ではシミュレーター製造からそのシミュレーターを使用した訓練サービスに力点を移しつつあり、結果、売上に占める訓練サービス関係の売上は年々増加。トレーニングセンターなど世界 35 か国に 200 以上の拠点をもち、民間航空機パイロット養成においても世界シェア 1 位。

(2) 訪問施設概要

モントリオール・ピエール・エリオット・トルドー国際空港近くにある CAE 社の本拠地を訪問した。敷地内に、Bombardier 社の訓練施設があり、トレーニング事業の機体メーカーとの密な連携が見て取れる。

会議は、正面入口横の会議室で行った。

正面入口の受付横には、医療用の人形型シミュレーター（ダミー）が置かれ、新規ビジネスへの積極的対応が垣間見えた。小さなスペースに多くの器官を模擬した機材を配置する必要があるため、乳児型のダミーが最も製造が難しいと語った。

製造工場では、エアバス機をはじめとした旅客機から軍用機向けまで、大小数十のシミュレーターが同じフロアで製造されていた。

(3) CAE 社の技術開発動向

- ・ 都市型航空交通（UAM）向けの小型機のシミュレーターやトレーニングへの取組を進めており、既に Joby Aviation 社、Volocopter 社、Vertical 社などから受注を得ている。eVTOL 機のパイロットだけでなく、技術者養成のための訓練教材の開発も進めている。
- ・ UAM が低高度で飛行するため、建物、道路など詳細な地上のモデルの作成が必要となるため、環境モデルのデジタル・ツインを用いたデータ駆動による意思決定支援ツールの開発を進めている。地形データや、地図データベースを元にデジタル・

ツインを作成し、様々なシナリオを元にしたシミュレーションが可能な環境を実現している。

- ・ **CbA** については、特有の課題があるとは考えておらず、シミュレーターの再現性向上が結果として **CbA** への取組みとなると考えている。
- ・ 医療向けでは、血管内の流れ解析に取り組んでいるが、血球の影響等のモデル化が課題で、医療用シミュレーターは、将来はリモート手術につなげて行きたいと考えている。
- ・ パイロットニーズの急増に対しては、訓練の効率化で対応する方針で、訓練データを元にしたテラリングを通じて訓練機関の短縮を図る。
- ・ フライトシミュレーターについて
 - トレーニング酔いの原因の一つに、シミュレーターのビジュアルとモーションにより発生する模擬 G の時間差による違和感があるとしている。
 - 訓練用のシミュレーターとして認証を受けるために、実機との運動の違いや、パイロット席での音の再現性などについて、狭い許容幅で一致していることが要求されている。そのため、シミュレーターについては、飛行データ、機体モデル、音などのデータの購入もしている。
 - 開発中の機体については、最初は設計モデルを用いてシミュレーターを作成する。その後、実際の飛行試験データをフィードバックして、再現性の高いシミュレーターとして完成させていく。
 - アップセットリカバリーが課題になる前は、フライトエンベロープの内側だけでシミュレーションしていた。現在では、失速範囲についてもモデル化が必要となり、失速時の機体振動を再現するために加振機能が必要となった。

4.4 訪問先面会者一覧

(1) Pratt and Whitney 社

Wally Orisamolu	Associate Director, Advanced Propulsion Technologies, Advanced Program & Technology
Vince Sidwell	Director, Advanced Concepts and Technologies
Eli Litchman	Sustainability & Technology Collaboration Engineer
Sean Bradshaw	Fellow, Sustainable Propulsion, Advanced Program & Technology
Michael Foley	Associate Director, Sustainability Business Development & Partnerships
Luca Martini	Associate Director

(2) GE Aviation 社

Gregory Steinmetz	Technology Strategies
-------------------	-----------------------

(3) CAE Inc.社

Aurelian Constantinescu	Project Manager, Research & Development Programs and University Relations, Technology and Innovation
Marc St-Hilaire	Chief Technology Officer and Vice-President, Technology and Innovation and Interim Vice-President, Global Operations, Technology and Innovation
Marc Duval	Senior Sales and Account Manager, Civil Simulation Product
Stella Hughes	Advance Air Mobility Strategy, Business Development & Partnerships Leader

第5章 まとめ

5.1 今後の調査課題

(1) 2022年1月から2022年12月までの技術研究開発動向調査期間においては、各団体及び分野において、次の事項が注目された。

- ・ ボーイング社：
COVID-19 パンデミックからの回復状況、脱炭素化の取組、737MAX 型機の納入再開、777X 型機認証の進捗と派生型貨物機の開発、次期民間機への取組、NASA と共同研究する TTBW 実証機の開発
- ・ エアバス社：
COVID-19 パンデミックからの回復状況、脱炭素化の取組、A320 シリーズの生産状況、A350 型機派生型貨物機の開発、A380 型機を用いた水素航空機の実証試験
- ・ NASA：
低ソニックブーム実験機 X-59 の進捗状況、全電気式 X-57 Maxwell の進捗状況、SFD（Sustainable Flight Demonstrator：持続可能飛行実証機）計画の進捗状況、ボーイング社と実施する TTBW 実証機プログラムの動向
- ・ FAA/EASA：
737MAX における認証関連情報、型式証明における認証機関間の連携に関する議論と合意、ODA（Organization Designation Authorization：指定代行組織承認）の見直し
- ・ 航空管制：
衛星利用型 ADS-B と地上管制－機上のデータリンク通信、無人機の運航管理、管制の研究、遠隔型管制塔の実用化
- ・ その他：
 - － UAM 実用化の進捗、各種形態（電動／ハイブリッド、プロペラ数、制御方式）の機体開発と認証取得の進捗
 - － Embraer 社の民間機（E175-E2、新型ターボプロップ機）取組状況
 - － ロシア、中国（SSJ、MC-21、C919、CRJ929）の機体開発状況
 - － Boom Technology 社 Overture 超音速輸送機の製造進捗と RR 社のエンジンからの撤退

(2) 前項の状況を踏まえ、機体及び装備品関連の技術研究開発動向として、環境、技術、機体構造、機体システムを含め、以下の項目を調査する必要がある。

- ・ 次期中小型民間輸送機の開発進捗（321XLR、NMA 及び 737MAX 後継機）
- ・ 次期大型民間輸送機の開発動向（777X、777X 貨物機、A350 貨物機）
- ・ 2大メーカー以外の民間輸送機の開発動向（E175-E2、MC-21、C919、CRJ929、SSJ）
- ・ 民間ターボプロップ機の開発動向

- ・ 水素燃料航空機など脱炭素に関する研究、開発動向
 - ・ 電動化の各種技術（モーター、バッテリー、制御回路、ハイブリッド）の動向
 - ・ 低コスト複合材（RTM: Resin Transfer Molding 等）、熱可塑複合材の技術動向
 - ・ 高強度アルミ合金（Al-Li 等）、その他先進金属材料（Mg, Ti 等）の開発動向
 - ・ 3D Printing、Additive Manufacturing 技術の開発動向
 - ・ 先進操縦システム（操縦席オープン化、自律飛行、テレグジスタンス等）の動向
 - ・ コネクティビティ技術（衛星通信、5G、大規模データ処理、IoT）の動向
 - ・ 航空法規（有人機、無操縦者航空機、無人機、200g 以下無人機の共存）の動向
 - ・ 新カテゴリー（eVTOL 機、無操縦者航空機など）の研究、開発動向
 - ・ SAF（Sustainable Aviation Fuel:持続可能航空燃料）への対応に関する研究、開発動向
 - ・ CbA（Certification by Analysis）に関する研究、開発動向
 - ・ TTBW やブレンデッド・ウィング・ボディ（BWB）のような低燃費に向けた航空機機体形状の研究、開発動向
- (3) 次世代航空機用エンジンの関連では、中小型民間輸送機用エンジン開発が先行するものの、以下の項目を引き続き調査する必要がある。
- ・ 次世代中小型民間輸送機用エンジンの開発動向（GTF 他）
 - ・ セラミックス基複合材（CMC）の開発動向
 - ・ 炭化ケイ素繊維複合材の開発動向
 - ・ エンジン及びナセルの騒音低減化関連技術の開発動向
 - ・ 極超音速用統合型空気吸入式ロケットエンジン（Skylon 用 SABRE）の開発動向
 - ・ 熱可塑性複合材を含む炭素繊維複合材のエンジンへの適用拡大
 - ・ 環境適合性向上に資するための先進燃焼システム関連技術の開発動向
 - ・ その他の熱効率の向上に資する先進機械要素関連のエンジン技術の開発動向
 - ・ その他エンジン高効率化、CO₂/NO_x 低減、騒音低減等の環境技術の開発動向
 - ・ SAF（Sustainable Aviation Fuel:持続可能航空燃料）への対応に関する研究、開発動向
 - ・ CbA（Certification by Analysis）に関する研究、開発動向
- (4) 将来航空交通システム・航空管制等に関するものとしては、以下の項目を引き続き調査する必要がある。
- ・ NextGen、SESAR、CARATS 各プログラムの進捗状況と相互調整状況、及び目標値達成に向けた高度航空管制システム技術の開発動向
 - ・ 先進航空交通システム（ATM）、航法システムの開発動向
 - ・ 有人機と無人機の空域統合（遠隔操縦・運航管理）に関する技術動向
 - ・ CbA（Certification by Analysis）に関する研究、開発動向

5.2 2022 年度調査のまとめ

2022 年度は暫く休止していた海外調査を再開した。訪問先として米国・カナダの企業を対象に主に脱炭素化やシミュレーション技術についての調査を実施し、数々の最新の技術開発に関する情報や有用な知見が得られた。

COVID-19 パンデミックの影響により市場は変化しており、これに対応して多くの航空機開発や、技術研究開発活動はその計画が見直されながらも着実に推進されている。世界的な気候変動対策への関心の高まりを受け、2022 年 10 月に ICAO により国際航空分野で 2050 年までに CO₂ 排出を実質ゼロにする長期目標が採択された。SAF の実用化・適用拡大をはじめ、電動化や水素燃料航空機といった新しい技術開発の動きが急速に進展し、航空分野の脱炭素化対応が徐々に具体化しつつある。今後の動きを更に注視していきたい。

米国では、NASA が将来民間機技術の実証を目指す SFD (Sustainable Flight Demonstrator : 持続可能飛行実証機) 計画を進めているが、この下で、2023 年 1 月 NASA とボーイング社による Transonic Truss-Braced Wing の実証機開発が着手されることが公表され、新技術開発動向として注視していきたい。

欧州ではエアバス社を中心に電動化、水素燃料化の研究が飛行実証の計画等を含め、精力的に推進されている。特にコピューター機をはじめとする小型機分野での水素燃料電池推進の機体は初飛行を実施、飛行実証が始まっている。(水素燃料電池航空機の飛行試験は米国においても開始された。)

また、エンジン関連では、ハイブリッド化されたオープンファンや水素を燃料とする種々の新技術の研究が進んでいる。

超音速機に関しては、NASA が静粛な超音速飛行技術の実証を計画しており、飛行試験も予定されている。

航空当局の動きでは、737MAX 型機の事故とその後の対策を通じて、FAA は認証プロセスの見直しを行っており、今後開発される機体の飛行安全への寄与が期待される一方、厳格化する認証取得の影響も見えていく必要がある。また、UAM (Urban Air Mobility) の実用化に向けた eVTOL 機などの認証や航空管制に関し、FAA/EASA は対応を進めており、一部メーカーとは協議も開始され動きが加速しているが、これら当局間の認証基準のハーモナイゼーションにはまだ課題がある。

2022 年は、航空輸送市場の回復が大きな進展を見せるとともに、ICAO の長期目標採択に並行して、世界的な脱炭素化技術開発がより具体化された 1 年となった。

これらの調査結果を取り纏め編纂した本報告書が、我が国の航空機等の国際共同開発の促進と航空機産業の発展に貢献することができれば幸いである。

資料 1 関係省庁の動向に関する関連団体の刊行物リスト（2022 年 1 月～2022 年 12 月）

資料番号	標 題
P2022D001	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.817
P2022D002	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.818
P2022D003	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.819
P2022D004	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.820
P2022D005	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.821
P2022D006	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.822
P2022D007	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.823
P2022D008	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.824
P2022D009	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.825
P2022D010	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.826
P2022D011	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.827
P2022D012	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.828

資料 2 (公財)航空機国際共同開発促進基金の刊行物リスト(2022 年 1 月～2022 年 12 月)

資料番号	標 題
P2022D101	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-1「航空機整備における故障予測分析の新たな挑戦」
P2022D102	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-2「航空分野のカーボンニュートラル ～エアラインの SAF への取り組み～」
P2022D103	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-3「COVID-19 による航空需要への影響」
P2022D104	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-4「リサイクル炭素繊維のリユース技術」
P2022D105	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-5「航空機のライフサイクルを革新する DX 技術」
P2022D106	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-6「航空機電動化に関する最新動向」
P2022D107	IADF 航空機等に関する解説記事 2022-7「航空機製造現場における課題と DX の取り組みについて」

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
P2022D201	https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/drone_cyber_security.html
P2022D202	https://www.meti.go.jp/press/2022/05/20220527003/20220527003.html
P2022D203	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk11_000005.html
P2022D204	https://www.meti.go.jp/press/2022/08/20220801002/20220801002.html
P2022D205	https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/index.html
P2022D206	https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/index.html
P2022D207	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08_hh_000029.html
P2022D208	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000225.html
P2022D209	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku11_hh_000098.html
P2022D210	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr13_000006.html
P2022D211	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku06_hh_000037.html
P2022D212	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000218.html
P2022D213	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk11_000005.html
P2022D214	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000220.html
P2022D215	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk8_000008.html
P2022D216	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku08_hh_000035.html
P2022D217	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk8_000004.html
P2022D218	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku05_hh_000186.html
P2021D219	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk8_000008.html
P2022D220	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000035.html
P2022D221	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk13_000038.html
P2022D222	https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/index.html
P2022D223	https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/houkoku/1422805_00001.htm
P2022D224	https://www.jaxa.jp/press/2022/04/20220415-2_j.html
P2022D225	https://www.jaxa.jp/press/2022/05/20220520-2_j.html
P2022D226	https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP634702_X10C22A6000000/
P2022D227	https://www.jaxa.jp/press/2022/07/20220713-1_j.html
P2022D228	https://www.jaxa.jp/press/2022/07/20220724-1_j.html
P2022D229	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101536.html
P2022D230	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101564.html
P2022D231	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101600.html

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
P2022D232	https://www.nict.go.jp/press/2022/04/11-1.html
P2022D233	Airbus Orders & Delivery
P2022D234	forecastinternational.com 2023.2.13
P2022D235	PLANESPOTTERSNET
P2022D236	EMBRAER Results Center
P2022D237	JADC YGR-9001-2301 主要民間輸送機の受注・納入状況(2023年1月末現在)
P2022D238	AVW 2022.03.12
P2022D239	SPN 2022.07.27
P2022D240	MRO Global 2022.11.10
P2022D241	Cirium Fleet Forecast 2022-2041 Executive Summary
P2022D242	IATA Press Release No.10, 2022.03.01
P2022D243	ANA HOLDINGS NEWS 2022.3.8
P2022D244	日経 2022.04.05
P2022D245	日経 2022.04.06
P2022D246	日経 2022.02.19
P2022D247	日経 2022.04.07
P2022D248	日経 2022.05.22
P2022D249	Cirium 2022.06.10
P2022D250	日経 2022.06.21
P2022D251	日経 2022.08.04
P2022D252	CAPA 2022.10.05
P2022D253	IATA, Air Passenger Market Analysis December 2022
P2022D254	AIAA 2022.03.25
P2022D255	CAPA 2022.04.25
P2022D256	AIAA 2022.05.17
P2022D257	日経 2022.07.30
P2022D258	日経 2022.11.19
P2022D259	Bloomberg 2022.11.22
P2022D260	ATD 2022.03.02
P2022D261	日経 2022.03.08
P2022D262	ATD 2022.03.09
P2022D263	ATD 2022.03.11
P2022D264	日経 2022.03.12
P2022D265	AIAA 2022.03.14

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
P2022D266	日経 2022.03.25
P2022D267	AIAA 2022.04.08
P2022D268	日経 2022.04.20
P2022D269	AIAA 2022.04.28
P2022D270	AIAA 2022.05.18
P2022D271	AIAA 2022.08.09
P2022D272	日経 2022.09.23
P2022D273	AVW 2022.03.07
P2022D274	ATD 2022.03.09
P2022D275	AIAA 2022.03.23
P2022D276	日経 2022.11.22
P2022D277	IATA, Air Cargo Market Analysis December 2022
P2022D278	AIAA 2022.08.05
P2022D279	AVW 2022.12.17
P2022D280	AIAA 2022.03.18
P2022D281	日経 2022.04.13
P2022D282	日経 2022.04.19
P2022D283	ATD 2022.07.12
P2022D284	日経 2022.08.06
P2022D285	日経 2022.11.18
P2022D286	Boeing Press Release 2022.05.05
P2022D287	日経 2022.08.24
P2022D288	Sky-budget 2022.11.06
P2022D289	Forecast International 2023.02.13
P2022D290	Boeing Press Release 2023.01.25
P2022D291	Boeing Commercial Airplanes Fact Sheet 2022.12.31
P2022D292	Flight Global 2022.07.18
P2022D293	The Seattle Times 2022.12.20
P2022D294	ch-aviation 2022.12.23
P2022D295	MRO Global 2022.11.10
P2022D296	AIAA 2022.05.16
P2022D297	ATD 2022.08.01
P2022D298	AIAA 2022.08.11
P2022D299	MRO Global 2022.11.10
P2022D300	MRO Global 2022.11.18

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
P2022D301	ATD 2022.12.08
P2022D302	AVW 2022.12.13
P2022D303	ATD 2022.03.07
P2022D304	ATD 2022.05.21
P2022D305	AVW 2022.12.07
P2022D306	日経 2022.08.24
P2022D307	AVW 2022.12.07
P2022D308	SPN 2023.01.11
P2022D309	ATD 2022.12.01
P2022D310	ATD 2022.05.06
P2022D311	SPN 2022.05.06
P2022D312	ATD 2022.06.17
P2022D313	AIAA 2022.07.11
P2022D314	AIAA 2022.08.04
P2022D315	AVW 2022.05.21
P2022D316	AIAA 2022.05.11
P2022D317	ATD 2022.07.20
P2022D318	ATD 2022.12.12
P2022D319	MRO Global 2022.08.15
P2022D320	AIAD 2022.03.07
P2022D321	AIAA 2022.08.09
P2022D322	Bombardier Press Release 2022.03.28
P2022D323	Bombardier Press Release 2022.05.23
P2022D324	AVW 2022.08.08
P2022D325	simpleflying 2022.09.16
P2022D326	三菱重工 HP 重要なお知らせ 2023.02.07
P2022D327	三菱重工決算資料 2023.02.07
P2022D328	AVW 2022.06.27
P2022D329	Heart Aerospace Newsroom 2022.09.15
P2022D330	AW & ST Tech Take 2022 Nov.21-Dec.11
P2022D331	AIAA 2022.06.29
P2022D332	Hondajet News-Events 2022.10.18
P2022D333	European Defence Review On-Line 2022.10.19
P2022D334	日経 2022.03.18
P2022D335	Skydrive news 2022.11.28

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
P2022D336	スズキ企業ニュース 2022.03.22
P2022D337	日経 2022.04.09
P2022D338	AIAA 2022.06.15
P2022D339	Aviacionline 2022.06.30
P2022D340	Aviation Today 2022.05.26
P2022D341	日経 2022.09.09
P2022D342	日経 2022.10.19
P2022D343	AIAA 2022.10.20
P2022D344	ATD 2022.11.01
P2022D345	A4A 2022.11.10
P2022D346	AVW 2022.11.21
P2022D347	Archer 社 Press release 2022.12.01
P2022D348	AVW 2022.04.16
P2022D349	AIAA 2022.09.19
P2022D350	SPACE.com 2022.12.30
P2022D351	Thomasnet.com 2023.02.10
P2022D352	Flight Global 2023.01.14
P2022D353	各社 IR 情報をもとに作成
P2022D354	GE 2nd Quarter 2022 Earnings Webcast
P2022D355	GE 4th Quarter 2022 Earnings Webcast
P2022D356	Raytheon Technologies Second Quarter 2022 Earnings Conference Call
P2022D357	Raytheon Technologies Reports Q2 2022 Results
P2022D358	Raytheon Technologies Fourth Quarter 2022 Earnings Conference
P2022D359	Rolls-Royce 2021 Half Year Results
P2022D360	https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/008_04_00.pdf
P2022D361	各社 IR 資料から航想研作成
P2022D362	https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1419458.html
P2022D363	https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-12-07-01/
P2022D364	https://www.jiji.com/jc/article?k=2022080100848&g=eco
P2022D365	https://www.nasa.gov/feature/nasa-delivers-on-making-gate-to-gate-flights-more-efficient
P2022D366	https://www.nasa.gov/centers/armstrong/features/aam-looks-toward-automation.html
P2022D367	https://www.nasa.gov/centers/armstrong/features/aam-plans-for-

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2022年1月～2022年12月）

資料番号	標 題
	vertiports.html
P2022D368	https://www.nasa.gov/feature/nasas-advanced-air-mobility-researches-noise.html
P2022D369	https://www.nasa.gov/feature/envisioning-a-future-airspace-with-advanced-air-mobility
P2022D370	https://www.nasa.gov/feature/for-advanced-air-mobility-safety-is-paramount
P2022D371	https://www.nasa.gov/feature/smooth-rides-ahead-for-advanced-air-mobility-aircraft
P2022D372	https://www.sesarju.eu/
P2022D373	https://www.sesarju.eu/news/sesar-innovation-days-showcase-aviations-commitment-smart-and-sustainable-future
P2022D374	https://www.sesarju.eu/index.php/news/making-space-new-high-altitude-entrants
P2022D375	https://higherairspace.eu/2nd-echo-workshop/
P2022D376	https://www.sesarju.eu/news/initial-results-sesar-u-space-demos-now-available
P2022D377	https://www.aiaa.org/news/news/2022/06/03/aiaa-to-present-technical-excellence-awards-at-the-2022-aiaa-aviation-forum
P2022D378	Turbo Expo 2022 Final Program