

2021 年度
航空機等に関する技術開発動向調査報告書

2022 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、当基金が行う「情報収集及び情報提供事業」の一つとして、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、2021 年度に実施した調査の成果を取り纏めた調査報告書です。

世界の航空機市場はグローバル化に伴い大きく成長してきました。一方で、事業規模の拡大、航空機技術開発の高度化、複雑化などによって投資規模は拡大し、世界の巨大企業といえども単独でリスクを取るのは困難となり、共同開発、M&A 等の動きは止まりません。この流れの中で、我が国の航空機産業は、国際共同開発の形態で機体やエンジンの開発に積極的に係わり、開発パートナー、サプライヤーとして力を培ってきました。

しかし 2019 年 11 月以降、コロナウイルスの感染拡大は、世界の民間航空輸送及び航空機バリュー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ています。ワクチン接種進捗に伴って、移動制限緩和され航空需要が戻りつつあるものの、本格的回復には至っていません。

また、最近の環境意識の高まりに伴って、航空輸送には厳しい目が向けられ、航空業界は、持続的な成長と脱炭素の両立を迫られています。2021 年は、各国、地域が、航空関連のネットゼロ、カーボンニュートラルに関する多くの政策、目標を表明し、環境技術開発プログラムの本格的な立ち上げなど変化の年となりました。今後も、状況は常に変化していくと考えられます。

今後、日本の航空機産業がより高いステージに上るには、引き続き国際共同開発の場において我が国航空機産業の役割を果たすことに加えて、今後の先端技術開発に関する確固たる戦略の下で、我が国の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が必要と考えるところです。

この考えの下、2021 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。

2022 年 3 月

公益財団法人航空機国際共同開発促進基金

2021 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 主席チーム総括
	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 准教授
	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	公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 専務理事 公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 企画調査部長 公益財団法人航空機国際共同開発促進基金 企画調査部部長代理

2021 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 6
- 2.4 民間航空機等に関する技術研究開発の主要動向 9
 - 2.4.1 民間航空機市場及び機体開発動向 9
 - 2.4.2 エンジン関係 25
 - 2.4.3 装備品関係 27
 - 2.4.4 航空システム・航空管制・無人機・飛行制御関係 32

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 34
- 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 34
 - 3.2.1 2021 年度航空機業界動向情報（月次） 34
 - 3.2.2 2021 年度航空機関連動向解説事項の解説概要 35
- 3.3 大学・研究機関・企業等から公表された動向情報 36
 - 3.3.1 国内学会等における研究開発動向 36
 - 3.3.2 国外学会等における研究開発動向 42

第 4 章 まとめ

- 4.1 今後の調査課題 58
- 4.2 2021 年度調査のまとめ 59

資料

- 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（2021 年 1 月～2021 年 12 月）
- 資料 2 （公財）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
動向情報リスト（2021 年 1 月～2021 年 12 月）
- 資料 3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2021 年 1 月～2021 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、開発助成金の交付の対象となる航空機、航空機用エンジン及び装備品等の国際共同開発事業を選定し、助成業務の的確な実施を遂行することにより、我が国の航空機産業の拡大を促進することを業務の主目的としている。また当基金は、同時に助成業務の的確な実施に必要な知識及び能力を有することを求められており、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、航空機等の国際共同研究開発を行う者等に対する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は有効なことである。

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

2021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、多大の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、極力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なやり方で調査を進める。具体的には、対面会議、Web 会議、Eメール連絡およびその組み合わせを活用し、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

2021年度の調査対象期間は、主として2021年1月1日から2021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)}

コロナウイルスの感染拡大は、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たが、コロナウイルス変異株の感染拡大による再度の出入国制限などにより、旅客需要は本格的回復に至っていない。日本航空宇宙工業会（SJAC）会報によれば、2021年度の航空機関連の生産額は、対前年度比94%、対2019年度比では58%となる見通しとしている。

一方、最近の環境意識の高まりにより、航空輸送は「とび恥」に代表される厳しい目が向けられ、2021年は国際機関、各国政府が多くの政策、目標を表明し、航空業界への脱炭素の圧力が高まっている。これに対し、業界団体、OEM、エアラインは、持続的成長を目指したネットゼロ、カーボンニュートラルの動きを強めており、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、脱炭素関連の動きが目立った。

(1) 経済産業省

- ・ 2021年1月15日 コロナウイルスにより航空機産業が大きな影響を受けている現状から、関係省庁や地方自治体、大手メーカー、日本航空宇宙工業会、政府系金融機関などの関係者が出席し、「航空機産業サプライチェーン対策関係者協議会」を開催した。⁽¹³⁾
- ・ 令和2（2020）年度第3次補正予算において2兆円の「グリーンイノベーション基金」を国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に造成。
- ・ 2021年2月22日 産業構造審議会の中に、グリーンイノベーションプロジェクト部会を立ち上げた。⁽¹⁴⁾
- ・ 2021年3月12日 グリーンイノベーションプロジェクト部会での議論に基づき、「グリーンイノベーション基金」の成果を最大化に向けた「基本方針」を策定。⁽¹⁵⁾
- ・ 2021年5月24日 グリーンイノベーションプロジェクト部会の下に、「産業構造転換分野ワーキンググループ」が設置され、第1回（2021.5.24）、第2回（2021.7.8）で「次世代航空機の開発」が議論された。⁽¹⁶⁾

- ・ 2021 年 7 月 16 日 「グリーンイノベーション基金」を用いて実施予定の「次世代航空機の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画を策定。⁽¹⁷⁾

(2) 国土交通省

- ・ 2021 年 3 月 9 日「航空法等の一部を改正する法律案」が閣議決定された。⁽¹⁸⁾
主な内容は、
[1] コロナウイルスの影響のような航空運送事業に甚大な影響を及ぼす事態下における航空ネットワークの確保
[2]保安検査の受検義務付けなど航空保安対策の確実な実施
[3]ドローンなどの無人航空機の「有人地帯上空での補助者なし目視外飛行（レベル 4 飛行）」を実現するための制度整備 等
- ・ 「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現」に向け、航空機運航全般の CO₂排出削減のための取組を、これまで以上に加速・推進すべく、グリーンリカバリー（環境に配慮した危機からの回復）の観点から我が国の航空関連事業者の国際競争力強化も視野に入れ、我が国の運航分野の取組の方向性について、総合的・複合的な検討を行うため、「航空機運航分野における CO₂ 削減に関する検討会」を立ち上げた。2021 年は下記 4 回が開催された。⁽¹⁹⁾
第 1 回 2021 年 3 月 22 日
第 2 回 2021 年 5 月 28 日
第 3 回 2021 年 10 月 8 日
第 4 回 2021 年 12 月 10 日
- ・ 2021 年 4 月 1 日 ドローンの有人地帯上空での補助者なし目視外飛行（レベル 4）（2022 年度目途）や、空飛ぶクルマの事業開始（目標：2023 年）を実現するため、次世代航空モビリティに係る事務を一元的に担う「次世代航空モビリティ企画室」を設置した。⁽²⁰⁾
- ・ 2021 年 6 月 4 日 空港施設・空港車両からの CO₂ 排出削減の取組を進めるとともに、空港の再エネ拠点化等について具体的な検討を進め、全国の空港における CO₂ 排出削減に資する検討を行うため、「重点調査空港」として 21 空港を選定。⁽²¹⁾
- ・ 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会⁽²²⁾
2018 年 1 月に立ち上げた「航空イノベーション推進官民連絡会」の中で、2025 年までに空港内における自動運転レベル 4 相当の導入を目標に、地上支援業務の省力化・自動化に取り組み、空港の制限区域内において、自動運転の実証実験を実施することとしている。2021 年は下記 3 回が開催された。
第 8 回 2021 年 3 月 17 日
第 9 回 2021 年 9 月 22 日
第 10 回 2021 年 12 月 16 日

(3) 文部科学省

- ・ 2021年3月26日 第6期科学技術・イノベーション基本計画が閣議決定された。
(23)
- ・ 航空科学技術委員会⁽²⁴⁾
2021年は下記4回が開催され、第71回ではJAXAより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について報告された。
第68回 2021年2月1日
第69回 2021年7月2日
第70回 2021年8月23日
第71回 2021年11月1日

(4) JAXA

- ・ 2021年3月31日 日本航空機開発協会（JADC）、日本航空宇宙工業会、三菱重工業、川崎重工業、SUBARU及びIHIと、我が国の超音速機技術の研究開発を連携して進めていくための協定を締結し、JSR（Japan Supersonic Research）協議会を設置。⁽²⁵⁾
- ・ 2021年8月20日 機体騒音低減技術研究開発（FQUROH）の実用化に向けて、200～400人乗りの中型旅客機による実証を目指したエアライン、米国ボーイング社との連携体制構築を発表。ボーイング社との飛行実証計画立案を行い、FQUROHで得た技術の実用化加速を図るもの。⁽²⁶⁾
- ・ 2021年9月10日 災害救援航空機情報共有ネットワーク（D-NET）を東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会の空域統制に導入、運用支援し、警備体制構築に貢献したと発表。⁽²⁷⁾
- ・ 2021年10月14日 米国航空宇宙局（NASA）及びボーイング社と、低ソニックブーム実験機X-59の低ソニックブーム設計を検証する共同研究を開始。⁽²⁸⁾
- ・ 2021年11月1日 第6期科学技術・イノベーション基本計画に基づいて、「Sky Green+」、「Sky4All」、「Sky DX」の研究開発プログラム推進と、航空システム、基礎的・基盤的技術の研究を効率的に実施するため組織改正を実施。⁽²⁹⁾
- ・ 2021年11月18日 北海道エアポート株式会社と、「滑走路雪氷検知」技術の確立と実用化など、航空安全の研究開発の促進及びイノベーション創出等を目的とした連携協定を締結。⁽³⁰⁾

(5) NEDO

- ・ 2021年4月1日 「グリーンイノベーション基金事業」を始めとした新たな事業や世界の動きに対応するため、研究開発プロジェクトの強力な推進、新領域におけるイノベーションの加速、そのための人材開発などを目的として組織体制の変更を実施。「グリーンイノベーション基金事業統括室」ほかを設置。⁽³¹⁾

- ・ 2021 年 5 月 24 日 航空機エンジンに使われる国産材料の競争力強化に向け、「革新的合金探索手法の開発」と「航空機エンジン用評価システム基盤整備」の研究開発事業への着手を発表。⁽³²⁾
- ・ 2021 年 6 月 18 日 「バイオジェット燃料生産技術開発事業」で製造した持続可能航空燃料（SAF）を東京国際空港（羽田空港、東京都大田区）出発の JAL、ANA の定期便に供給したと発表。⁽³³⁾
- ・ 2021 年 10 月 27 日 全国 13 地域で計 52 機のドローンを同時に飛行させ運航管理を行う実証実験を実施し成功。2022 年度の制度整備が予定されている「有人地帯上空での補助者なし目視外飛行（レベル 4）」を見据えて開発した運航管理システムの有効性を検証するもの。（実施先：KDDI とパーソルプロセス&テクノロジー）⁽³⁴⁾
- ・ 2021 年 11 月 5 日 次世代航空機の開発として、「水素航空機向けコア技術」や「航空機主要構造部品の飛躍的軽量化」に関する研究開発事業 4 テーマへの着手を発表。（実施予定先：川崎重工業と新明和工業）⁽³⁵⁾

[2.2 項 出典(1)～(12)：各、資料 1 の P2021D001～P2021D012 参照]

[2.2 項 出典(13)～(35)：各、資料 3 の P2021D201～P2020D223 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プラット・アンド・ホイットニー社 (P&W) 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より 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 年の型式証明取得を目指し、設計作業、試験用部品製作等を実施中。2020 年 10 月より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、コロナウイルスの影響等により、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見込み。エアバス社に納入された PW1100G-JM エンジンは、2022 年 1 月末時点で累計 2,506 台となった。

(2) 大型民間輸送機(777X)開発事業

2013 年 11 月に米国ボーイング社が 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

作業より 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。

2020 年第 4 四半期決算発表時に、FAA による承認要件の更新、既存顧客の受領延期要望、コロナウイルスによる需要動向を主な理由に、商用運航開始の延期が発表され、現在は 2023 年第 4 四半期に予定されている。2022 年 3 月 14 日現在、FAA による飛行試験は開始されていないが、飛行試験機 4 機を使用して社内飛行試験が進められている。2022 年 1 月 31 日 777-8F（貨物機）の受注と、開発着手が発表された。

(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 および 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し、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 月に基金助成対象事業として選定され、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、フランスのサフラングループ（フランスのスネクマ社とベルギーのテックススペース・エアロ社）およびドイツの MTU エア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。

コロナウイルスの影響等により、2020 年にボーイング社より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

2021 年の世界の航空旅客需要は国際線では依然低迷しているが、国内線は盛り返し機材需要も回復してきた。そのため Airbus 社と Boeing 社の合計受注はナローボディ機が牽引して 1,680 機と 2020 年の 3 倍となった。

Airbus 社の 2021 年の出荷は 611 機 (2020 年は 566 機)、純受注は 507 機 (2020 年は 268 機)。その結果、受注残は 7,082 機 (2020 年は 7,184 機) となった。受注機数は前年の約 2 倍の 771 機となり、うち A320 シリーズが 9 割を占めている。出荷数はコロナ禍前の 2019 年より 29%低い水準だった。オミクロン型の感染拡大で依然不透明感が漂う。

一方、Boeing 社の 2021 年の出荷は 340 機 (2020 年は 157 機)、純受注は 535 機 (2020 年は 471 機)。その結果、受注残は 5,136 機 (2020 年は 4,997 機) に増加となった。受注機数は 2020 年の約 5 倍の 909 機と大量で、そのうち 8 割が 737MAX 型機であった。

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 2021 年の出荷機数^{(1) (2) (3) (4) (5) (6)}

	Airbus	Boeing	Bombardier De Havilland	Embraer	ATR
Very Large	5	7	-	-	-
Twin Aisle	73	70	-	-	-
Single Aisle	533	263	-	-	-
Regional Jet	-	-	-	48	-
Turbo prop	-	-	9	-	31
合計	611	340	9	48	31

表 2.4.1.1-2 各メーカーにおける 2021 年の純受注機数^{(1) (2) (3) (4) (5)}

	Airbus	Boeing	Bombardier De Havilland	Embraer	ATR
Very Large	0	2(5)	-	-	-
Twin Aisle	32	107(135)	-	-	-
Single Aisle	475	370(395)	-	-	-
Regional Jet	-	-	-	92	-
Turbo prop	-	-	0	-	32
合計	507	479(535)	0	92	32

*括弧内は会計評価方法を変更した値

表 2.4.1.1-3 該当機体分類

		Airbus	Boeing	Bombardier De Havilland	Embraer	ATR
Twin Aisle	Very Large	A380	747	-	-	-
	Large Twin Aisle	A350-1000	777 777X	-	-	-
	Midsized Twin Aisle	A330ceo A330neo A350-800/900	767 787	-	-	-
Single Aisle		A320ceo A320neo A220(C Series)	737 737MAX	-	-	-
Regional Jet		-	-	-	E170 E175(含む E2) E190(含む E2) E195(含む E2)	-
Turboprop		-	-	Q400	-	ATR 72/42

(2) 航空業界

a. トピックス

(6/16) 米国 EU 首脳会談で、大手航空機メーカーへの補助金を巡る 17 年間にわたる紛争で双方の輸入品に課した報復関税を今後 5 年間停止、作業部会で解決策を検討することに合意。中国が欧米の支配市場への参入を目論み、補助金で国有航空機メーカーを育成する動きに対抗する。⁽⁷⁾

(6/25) 米国の中国に対する態度の変化は Trump 前政権時に始まり、Biden 政権下で加速。担当顧問は、協調の時代は終わり競争の時代に入ると述べた。欧米間の補助金を巡る WTO 紛争の終結は、彼等が対中国で協調する証であり、西欧と中国の間で数十年間続いた経済協調の終りを意味する。米中間相互の海外直接投資の合計額は、最高だった 2016 年に対し 2020 年は 75%減。航空宇宙関係の貿易は、2018 年の 192 億ドルから 2020 年は 51 億ドルに縮小。米中の関係も悪化しており、多くの海外当局とは異なり CAAC は未だに 737MAX 型機の運航再開を認証せず、また米国は中国の航空宇宙企業を軍事関連メーカーに指定(中国産ジェット機向けのシステム輸出が問題になる)。⁽⁸⁾

(8/4) 世界の航空会社の 2021 年第 2 四半期の業績は、米国業界の好調が目立ち、今後の業界再編で優位に立つ可能性が高い。収入の大部分を国際線が占める欧州は、需要回復は 31%と限定的。一方、米国ではワクチン接種が進むにつれて収入の 70%を占める国内線が 85%まで回復、大手 3 社の合計最終損益は 2 億 3,700 万ドルの黒字となり、早くも新機材の導入やサービス拡充の動きもある。⁽⁹⁾

(8/29) 環境問題もあり燃費効率の高い中小型機への切替えが進んでいた所に、コロナ禍で長距離路線の需要消失が重なり、大型機の中古価格は今年初頭から A380 型機が 51%、777-300ER が 39%下落。一方 787-9 は 4%の下落に留まっている。⁽¹⁰⁾

(10/26) 総額 19 兆円の負債を抱え破産し経営再建中の複合企業である海航集団の更生計画案が債権者らに承認された。中核の海南航空は、遼寧方大集団実業社の支援で

再建が進められる模様。中国メディアは、遼寧方大集団実業社が 380 億元（約 6,500 億円）を拠出し、海南航空の筆頭株主になる方向で固まったと伝えている。コロナ禍の影響で中国でも旅客需要の本格回復には至っておらず、海南航空の経営安定化は難しいとの見方もある（海南航空の 21 年 1～6 月期の純損益は 8 億 8,000 万元の赤字）。⁽¹¹⁾

b. 北米

(6/3) 米国国内空港の通過旅客が 5/28 と 5/31 に 190 万人/日を超えた。これは 2020 年 3 月以来の高水準で、2019 年同期比でも 8 割近くまで回復したことになる。米国では 6 月 1 日時点で 5 割を超える成人が 2 度のワクチン接種を終え、航空需要の回復に期待が高まっている。⁽¹²⁾

(6/23) その一方で、急回復する需要に人手が追いつかず、米国航空業界では深刻な問題となっており、American 航空は 6/19～20 の週末に 300 便(6%)をキャンセルしている。2020 年 2 月の航空業界の雇用者数 52 万人に対し同年 6 月は 3 割減の 38 万人、2021 年 5 月は未だ 43 万人に留まっている。⁽¹³⁾

(7/24) American 航空、Delta 航空、United 航空の米国航空大手 3 社の 2021 年第 2 四半期の合計売上高は 2021 年第 1 四半期から 76%増、前年同期の 4.4 倍、200 億ドルに急回復。合計純利益は 2 億 3,700 万ドル(前年同期は 94 億ドルの最終赤字)となり、コロナ禍が始まった 2020 年第 1 四半期以降初の黒字。ワクチン普及による国内線の需要増が回復を牽引した。変異株拡大が懸念される中、国際線や法人需要の動向が持続的回復の焦点となる。American 航空は、従来の慎重な見方を転換し、企業の多くがオフィス勤務や出張を再開しており、2022 年には完全回復すると見る。一方 United 航空は、回復が最も遅いアジア路線がコロナ禍前に戻るのは、早くて 2023 年とする。⁽¹⁴⁾

(10/23) 米国業界の業績回復が鮮明になってきた。米国航空大手 3 社の 2021 年第 3 四半期の決算は揃って最終黒字を確保。計 18 億ドルの黒字で 2020 年同期の▲98 億ドルから大きく改善。黒字は 2 四半期連続。売上高は 3 倍の 258 億ドルで米国国内を中心に需要は戻りつつある。United 航空は 6 四半期赤字が続いたが 2021 年第 3 四半期は 4 億 7,300 万ドルの黒字(前年同期は▲18 億 4,100 万ドル)に転換、American 航空は 1 億 6,900 万ドルの黒字(同▲23 億 9,900 万ドル)、Delta 航空も 12 億ドル強の黒字で、3 社揃っての黒字はコロナ禍以降初。但し、売上はコロナ禍前の 2019 年同期比で、American 航空は 16%減、また Delta 航空は 27%減で回復途上。更に、原油高による燃料費高騰で再度赤字転落の懸念もある。⁽¹⁵⁾

(11/13) 米国政府がワクチン接種済み旅客の入国許可を発表した直後から予約が溢れた事から見て、米国～アジア間も旅行制限が緩和されれば需要が跳ね上がるのは確実と航空会社は見ている。⁽¹⁶⁾

(2022/1/22) 米国航空大手 3 社の 2021 年第 4 四半期の決算は、コロナ禍による需要の低迷、燃料価格高騰及び人手不足の三重苦で、揃って 3 四半期ぶりの最終赤字となった。しかし 3 社合計の赤字額 19 億 8,000 万ドルは、前年同期の 48 億ドルより

縮小している。3 社合計の売上高はコロナ禍前の 2019 年第 4 四半期比 19%減の 270 億ドルで、コロナ禍に入った 2020 年第 1 四半期以来の最大となった。オミクロン型の感染拡大で 2021 年末の休暇需要のピークに回復は鈍ったものの、それまでの米国国内線の復調が国際線の低迷を補っており、3 四半期ぶりの赤字は燃料費高騰が主因。American 航空の 2021 年第 4 四半期の燃料単価は前年同期比で 86%上昇した。更にコロナ禍による従業員の人手不足も追い打ちをかけ、2021 年 12 月の休暇シーズンに数千便の欠航を余儀なくされている。⁽¹⁷⁾

c. 欧州

(2020/12/17) ワクチン普及で回復に向かっていた国際線の予約件数がオミクロン型の感染拡大で 11 月下旬以降急減。各国は更なる水際対策強化に乗り出しており、人の往来の正常化は一段と遅れる恐れがある。特に影響が大きいのは英国行きで、4 週移動平均で 10 月から 3 割の落ち込み。フランス政府は 12/18 から英国からの入国を原則禁止する。航空各社は国内や近距離の需要回復に期待をかけており、British Airways は 2022 年 3 月から London Gatwick 空港からの近距離便を再開すると発表、Lufthansa 航空は 2022 年に欧州外の就航先を 7%減の 70 都市とする一方で、欧州内は過去最多の 160 都市に増やす。⁽¹⁸⁾

(6/17) EU 各国では、5 月初旬以降航空便の予約が回復し、6 月はコロナ禍前の 50%に戻った。一方、ワクチン接種が進んでも安全な渡航先国数を削減している英国から EU への飛行はコロナ禍前の 20%程度に留まっている。⁽¹⁹⁾

(7/8) 欧州の提供座席数は 6/28 の週にコロナ禍前の 50%超まで回復した。国際線の比率が高い欧州、中東の回復は遅れていたが、中東は▲48.5%、欧州は▲46.4%まで回復。この週の欧州の提供座席数は、国内線 6,900 万(2019 年同期比 14.2%減)、国際線 1,280 万(同 55.4%減)、合計 1,970 万(46.4%減)。⁽²⁰⁾

d. アジア太平洋

(7/1) JAL は、ワクチン接種が進みビジネス需要より早く観光需要が回復すると予想。傘下の LCC 3 社(春秋航空日本、Jet Star Japan 航空、Zip Air Tokyo)に総額 100 億円を投じ、アジア等向け路線を拡大、3 社合計売上高を 2026 年に 2020 年の 3 倍に引き上げると共に収益改善を図る。⁽²¹⁾

(7/16) 4 度目の緊急事態宣言等による足元の需要減の長期化を反映し、今年度当初の計画比で 7~8 月に国内線で ANA は 6,040 便、JAL は 4,379 便を追加減便する。⁽²²⁾

(8/7) アジア太平洋は国内線の旅客需要も遅れが目立つ。日本は 67.6%減でほぼ横ばい。5 月に 6.3%のプラス成長を記録した中国は 10.8%減へと再びマイナスに転じた。変異株の流行により、一部地域で観光施設が閉鎖されるなど、影響が及んでいる。⁽²³⁾

(2022/1/6) 国内航空 11 社の年末年始の国内線総旅客数は、ワクチン接種が進み帰省や旅行の需要が戻った影響で、前年同期比 91%増の 316 万人だった。大手 2 社の旅

客数はコロナ禍前の 2019 年度比 80%弱まで回復した。国内線旅客数は、ANA が 2020 年度比 65%増の 116 万人、JAL は 2.2 倍の 106 万人で、各々 2019 年度比で 70%と 85%に相当。一方 2 社の国際線旅客数は 2019 年度比約 90%減の 63,200 人と低迷が続く。ただ航空機リース大手の Aviation Capital 社が Airbus 社製機材 60 機を発注する等、コロナ禍後の需要回復を見据えた動きも出始めている。(24)

ANA はオミクロン株の感染拡大により需要低迷が続くと見て、2 月の国内線 67 路線で 3,644 便を減便し、同月の運航率(2020 年度計画比)を 81%に、1 月から 11 ポイント引き下げる。(25)

JAL は 2 月の国内線 89 路線で 4,991 便を追加減便する。2 月の運航率(2021 年度計画比)は 74%と、1 月(94%)から 20 ポイント引き下げる。(26)

(3) 旅客市場

(4/22) IATA は 2021 年の世界の航空需要予測を、2019 年比 57%減、2020 年 12 月時点で予測した 49%減から下方修正した。ワクチン接種遅れと変異ウィルスの感染拡大による各国の渡航制限により、国際線需要がこの 2 月時点で 2019 年比 9 割減と大幅に回復が遅れていることが影響。(27)

(7/31) 航空関連株は低調である。コロナウイルス・インド株による感染拡大が主要因だが、根底には将来の事業モデル自体への懸念がある。IATA の長期予想では、2023 年に旅客数は 40 億人となり、コロナ禍前を 5%上回る。一方 McKinsey 社の分析では、2008 年の金融危機後の需要回復では、観光や休暇での利用は 3~6 年で危機前に戻したがビジネス利用は未だに復旧していないとのこと。McKinsey 社は、コロナ禍でリモート・ワークが一気に普及し、2024 年時点でもビジネス客はコロナ禍前の 80%程度に留まるとのこと。(28)

(9/14) Boeing 社が発表した市場予測見直しによると、国内線は 2022 年にコロナ禍前の水準に回復、リージョナル路線は 2023 年、国際線は 2024 年と予測。新製機が今後 20 年間に 43,610 機出荷され、これは 7 兆 2,000 億ドルに相当。うち 737MAX 型機クラスのナローボディ機は 32,660 機(去年は 32,270 機と予測)。貨物機は 890 機(去年は 930 機)。旅客量の伸びは年 4%を維持。(29)

(10/6) IATA が発表した世界の航空需要は、2021 年は 2019 年比 40%の水準に留まる見通し。更に 2022 年もアジア等での国際路線の厳しい渡航制限が足枷となり 2019 年比 60%までの回復に留まる。国内路線は 2019 年比 7%減までに回復するものの、単価が高くエアラインの収益源である国際路線は 56%減と苦しい環境が続く。特にアジアでは 2022 年でも域内が 89%減、アジア~北米が 75%減、アジア~欧州が 77%減で、欧州域内の 25%減や、北米~欧州路線の 35%減との差が大きい。欧米ではワクチン接種を条件に制限緩和を打ち出しているが、アジアの多くの国は陽性率ゼロを目指して厳しい入国制限を残す国が多い。(30)

(11/14) Airbus 社の今後 20 年間の予測では、旅客はコロナ禍で 2 年分の成長を失

い、年平均成長率は2019年予測の4.3%から3.9%に下がるものの、2023~2025年には完全に回復する。これは環境適合要求の高まりで非効率な機材の退役が加速度的に早まり、平均機材寿命は24~25年から22~23年に短縮されるため、機材需要は2019年予測とほぼ同じ39,000機(小型機が29,700機、中型機が5,300機、大型機が4,000機)となる。地域別では、アジア太平洋と中国が17,600機、欧州が6,560機、北米が6,420機、中東が3,020機、中南米が2,460機、アフリカが1,100機。また必要な要員は操縦士が55万人以上、技術員が71万人以上としている。⁽³¹⁾

(11/20) Boeing社は、2040年に世界で稼働する航空機が2019年比9割増の49,405機となり、そのうちアジアの割合は2019年の3割から4割に近付くと予測。機種別では小型機が2019年の64%から70%に伸び、大型機は18%で横ばい。一方、日本、韓国、台湾の北東アジアでは今後20年で1,360機の新規需要があり、その内大型機が4割を占めるとしている。⁽³²⁾

(4) GA/Bizjet 市場

(9/24) ジェネラルアビエーションは、2021年のこれまでに世界で240万回飛行し、コロナ禍の低迷から完全に脱した。9月の最初の3週間は2019年比で15%増であった。ビジネス機は未だ2019年比41%減に留まっている。⁽³³⁾

(10/10) Honeywell社のGlobal Business Aviation Outlookは、2022年から2031年に最大7,400機(2兆3,800億ドル相当)のビジネスジェット機需要を予測。これは、昨年の予測より1%増加となる。2021年に調査したビジネスジェット事業者は、中古ジェット機の購入計画を大幅に増やしたと回答し、昨年を12%上回る800機の追加に相当。また、ビジネスジェット機メーカーも受注が大幅に増加したと発表し、業界がコロナ禍の影響をほぼ完全に振り払ったことを示すとしている。⁽³⁴⁾

(2022/1/7) 世界の2021年のビジネスジェット飛行回数は330万回で、2019年比でも7%増の過去最多になった。⁽³⁵⁾

(5) 貨物市場

(4/7) 日本郵船の子会社のNCA(日本貨物航空)は、コロナ禍による貨物特需で、2021年第3四半期の経常損益は3期ぶりに黒字に転換。⁽³⁶⁾

(6/12) コロナ禍で旅客便が大幅減便される中、巣ごもり消費等で貨物輸送需要が急増、コンテナ船輸送の混乱もあり、需給逼迫で航空貨物運賃は2~3倍に高騰。⁽³⁷⁾

(9/2) 米国Eastern航空は大量配送事業の開始を目論み、777型機35機の貨物機への転換を発注。⁽³⁸⁾

(9/28) 日本航空貨物運送協会によると、8月の日本発航空貨物輸出は8万9,000トンで前年同月比59%増、2019年比でも22%多かった。貨物急増で海上輸送の混雑が続く、航空に切り替える動きがあり、クリスマス商戦にむけ運賃が高騰する見込み。⁽³⁹⁾

(11/20) A350Fは2025年就航予定で、既に米国のAir Lease社に7機の納入が決

まっている。Boeing 社も 777X 貨物型を検討中で Qatar 航空が関心を示している。Emirates 航空は売上上の 3 割を占める貨物事業に今後 100 億ドルの投資を決め、在来貨物型 777F 2 機を発注し、現有 777 型機 4 機を貨物型に転換する。2020 年の世界の宅配小包は約 1,300 億個と 1 年で 27%増加。ワクチンや医療物資等の航空貨物も増加し、国際旅客の低迷とは対照的である。

Boeing 社の 2021 年の貨物機の受注残機数は少なくとも 65 機で、コロナ禍前の 2018 年以来の高水準である。Boeing 社は、アジア等の経済成長もあって大型貨物機市場は今後とも拡大し、2039 年に 2019 年比 4 割増の 850 機としている。⁽⁴⁰⁾

(2022/1/25) 航空貨物運送協会による 2021 年の日本発航空貨物輸送量は前年比 49%増の 117 万トンで、コロナ禍前の 2019 年比でも 21%増だった。コロナ禍に伴う海上コンテナ輸送の混乱が長期化し、貨物の流入が進んだ。混乱は 2022 年一杯続くとの見方もあり、当面運賃は高止まりする見通し。⁽⁴¹⁾

(6) 環境対策

(4/10) Deloitte 社の調査によると、2040 年における EU 域内の航空旅客 12 億人のうち、25%が①500 km以下、32%が②1,000 km以下、32%が③2,000 km以下に分布し、①は 100~120 席の電池による電動航空機、②は 60~100 席の水素燃料電池航空機、③は 100~180 席の水素燃料航空機により脱炭素航空輸送が可能。しかし、実現には機材とインフラ開発に政策支援が必要。なお①では自律電気自動車や電気鉄道が競合するが、インフラ整備が課題。⁽⁴²⁾

(4/21) EUROCONTROL（欧州航空航法安全機構）によると、欧州で運航中のフライトは、現有技術で CO₂ を 25%削減可能。更に SAF の使用、空域利用の効率化及び機材の近代化で CO₂ 排出を実質ゼロ相当程度に近づけられる。2030 年からの 20 年間で、中短距離路線は電動ハイブリッド、電動は水素燃料による航空機が占め、長距離路線では SAF の使用が普及すると予測。⁽⁴³⁾

(4/22) 経済産業省は工場等が排出した CO₂ を回収、水素と反応させて燃料を合成するプロセスを実証、2030 年までに大量生産技術を確立、2040 年の商用化を目指し、2050 年までに現在の 300~700 円/l の価格をガソリン以下にして脱炭素化を後押しする。本合成燃料は既存燃料に対応した機器で利用でき、電動化が難しい大型商用車や航空機での需要が見込まれる。⁽⁴⁴⁾

(8/4) 国土交通省/経済産業省、JAL/ANA、川崎重工業/IHI 等は共同で水素燃料航空機運航に必要な液体水素燃料貯蔵タンクや配送管等の空港インフラ、行政制度、コストに関する検討を始める。⁽⁴⁵⁾

(9/13) アジア太平洋航空協会(AAPA)は、2050 年までに CO₂ 排出ゼロを目標に設定すると共に、SAF インフラ増強の必要性を主張。協調メンバーは 14 社中の 5 社(ANA、Cathay、JAL、Malaysia、Singapore)だが、他メンバーも参加検討中の模様。^{(46) (47)}

(10/5) IATA は年次総会にて CO₂ 排出削減目標を採択した。従来の 2050 年までに

2005 年水準の 50%から、純ゼロへと強化するもの。但し、中国の航空会社は反対している。IATA は、目標達成には各国政府、燃料供給業者、更には機体メーカーとの協力が必要と指摘している。⁽⁴⁸⁾

(12/11) 国土交通省は 2030 年までに国内航空会社の使用燃料の 10%を SAF に置換する目標を設定。SAF は当面輸入に頼るが、2030 年を目途に国産商用化を目指し開発を急ぐ。⁽⁴⁹⁾

(12/13) 持続可能な航空を目指すため、Airbus 社は水素燃料の利用を、Boeing 社は SAF の利用を主眼に置いている。⁽⁵⁰⁾

(12/28) ANA は、微生物発酵で製油所の廃ガスからエタノールを製造する技術を持つ米国 LanzaTech 社と契約し、米国 Georgia 州の工場で年間 1,000 万ガロンを生産する計画。JAL は家庭ごみから SAF を製造する技術を持ち、米国 Nevada 州で年間 1100 万ガロンを生産する計画を持つ米国 Fulcrum BioEnergy 社からの調達を見込む。遅れ馳せながら日本でも NEDO の支援で、日揮とコスモ石油は廃食用油から、IHI は微細藻類から、東洋エンジニアリングや三菱パワーは木質バイオマスから、ユーグレナはミドリムシからの SAF 生産を目指している。⁽⁵¹⁾

(7) その他新規市場

(5/20) EASA によると、民間エアタクシーの運航は 2024~25 年にスタート、2030 年には UAM 市場の 31%、42 億ユーロが欧州にあり、9 万人の雇用が創出されるとの予測。EASA では 2024 年までに飛行機材の認証準備を推進中。⁽⁵²⁾

(6/9) FAA と EASA は、エアタクシーサービスは 2024 年頃に始まると予測しているが、耐空性証明以外にも、UAM のサービスを始めるには運航承認、操縦士訓練、空港認可、空域の統合、更にはこれらの国際的調和など、乗り越えるべき障害は多いと警告している。現在 FAA には 7 社、EASA には 24 社が eVTOL 機材認証を申請中。⁽⁵³⁾

(7/30) Morgan Stanley 社は 2040 年の世界市場規模を 1 兆 5,000 億ドルと予測。⁽⁵⁴⁾

(5/21) 日本政府は「空飛ぶクルマ」の 2030 年代の本格導入に向けた運航ルール等法整備の検討に入る。まずは 2025 年の大阪・関西万博で会場移動等の人員輸送で先端技術を披露する。そこには米国 Joby Aviation 社や、ドイツの Volocopter 社が参加する見通し。空飛ぶクルマは交通渋滞の切札として都市間の移動や観光での利用が見込まれるが、まずは 2023 年頃からパイロットが操縦する貨物輸送から始め、2030 年以降には自動操縦での旅客輸送までを視野に入れている。⁽⁵⁵⁾

(8/4) ブラジルの Azul 航空は 2021 年 8 月 2 日、ドイツの Lilium 社との戦略的提携の締結を発表。2025 年に最大 220 機の eVTOL 機を利用したサービスを開始するとし、その場合 10 億ドルに達する契約になる。Azul 航空は機体運航と保守、ブラジルでの型式証明取得支援、メンテナンス用プラットフォーム、バッテリー、補用品の提供を担う。⁽⁵⁶⁾

(9/21) ブラジルの GOL 航空は、eVTOL ライドシェアリング・プラットフォームの商業化で航空機リースの Avolon 社及び大手輸送企業の Grupo Comporte 社との提携を発表。GOL 航空と Grupo Comporte 社は eVTOL「VA-X4」を最大 250 機導入する。Avolon 社は、6 月に Vertical Aerospace 社と「VA-X4」の最大 500 機購入契約を締結済。⁽⁵⁷⁾

(9/21) Airbus 社は、UAM 向け eVTOL 機「CityAirbus NextGen」を発表。同社がこれまで開発してきた「CityAirbus」からデザインを大幅に刷新。固定翼に 8 基のプロペラを装備し、航続距離は 80 km、巡航速度 120 km/h としている。2023 年の飛行試験開始、2025 年ごろの認証獲得を目指している。⁽⁵⁸⁾

(9/22) Volocopter 社は中国の Geely Technology Group の子会社である Aerofugia 社とジョイントベンチャーを設立。社名は Volocopter Technology 社で、中国で UAM サービスを手掛ける。併せて Volocopter150 機を注文。Volocopter 社にとって、初の大型受注となる。⁽⁵⁹⁾

(10/20) JAL は 2025 年の関西・大阪万博等での「空飛ぶクルマ」による乗合サービスの実用化を目指す。アイルランドを拠点とする航空機リース会社である Avolon 社と日本での事業化で提携。子会社の Vertical Aerospace 社が開発中の eVTOL VA-X4 を 100 機(内オプション 50 機)の権利を取得。⁽⁶⁰⁾ なお、既に 2020 年に Volocopter 社とエアモビリティ分野に関し業務提携している。⁽⁶¹⁾

(12/5) 国土交通省は「空の脱炭素」推進へ欧米航空当局との連携を進める。航空分野の温暖化ガス排出削減を目指す電動航空機の普及を見据え、欧米と協力し安全基準の国際標準化を目指す。これには国内航空機及び部品産業の支援の目的もある。⁽⁶²⁾

(12/17) 大手航空会社は、多くの新興企業が開発中の eVTOL を条件付きで発注し始めた。多くの潜在需要が認められるが、航空会社の運営にどのように組み込めるかは不明。eVTOL によるエアタクシーの運航には、大都市と近郊空港を結ぶ離発着場や航空管制網の整備に多大な資金と長期間を要する。また多くの乗客が自宅から空港ターミナルに直行するときに eVTOL を利用するか疑問もある。⁽⁶³⁾

2.4.1.2 Boeing 社の動向

(1) Boeing 社

(4/29) 787 型機の製造欠陥、次期大統領専用機のコスト超過、737MAX 型機の顧客補償(12 億ドル)等で 36 億 8,000 万ドルを失い、2021 年第 1 四半期は 3 億 7,800 万ドルの損失を計上。運航停止中に生産された機体は、顧客未定のものを含め 400 機。⁽⁶⁴⁾

(7/30) 2021 年第 2 四半期の売上高は前年同期比 44%増の 170 億ドルとなり、1 年 9 か月振りに最終損益が 5 億 6,700 万ドルの黒字(2020 年第 2 四半期は▲29 億 6,000 万ドル)となり、2020 年から始めた 3 万人規模の人員削減計画を 2 万人に縮小する。貨物機を含む民間機の出荷は 79 機と前年同期 20 機の 4 倍。737MAX 型機は昨年末の運航再開以降 500 機以上を受注し、今夏も引き続き需要増を見込んでいるものの、コロ

ナウイルス・デルタ型の感染拡大から受注動向には不透明感がある。(65)

(8/11) Boeing 社 CEO は、資金は現在進行中の 737-10 と 777X 型機の認証取得及び実現可能性の高い 777X 貨物型に重点的に投入すると述べている。この 1~6 月の民間機部門の研究開発費は 5 億 2,000 万ドルに過ぎなかった。(66)

(12/17) Boeing 社は A321XLR に対抗する新型機に関してサプライヤーからの情報収集を開始。新型機は 737MAX 型機代替を目的とした以前の New Midmarket Airplane(NMA)とは異なり、2 クラス配置で 250~275 席のワイドボディ機で航続距離 5,000NM を有する 757-200/300 の代替機。2020 年代末の就航を目指す。(67)

(2) 737 MAX 型機

(4/19) Boeing 社は、737MAX 型機の一部機体に代替電源系統の不適合が発見されたと発表。該当する約 90 機を保有する 16 社に運航を見合わせるよう通達。これを受け、Southwest 航空、American 航空、United 航空の 3 社は合計 63 機の運航見合わせを決定。原因は 2 年前の生産ライン変更によるもので、一つの電気部材が正しくアースされてなかったもの。(68)

(6/18) 737MAX10 が初飛行。2017 年 6 月のローンチ時は 2020 年の就航計画であったが、3 年遅れの 2023 年就航予定。胴体は 737MAX9 より 66 インチ延びて 143 フィート 8 インチ、2 クラス配置で 204 席、1 クラス配置で 230 席。737MAX 型機の受注残 3,291 機の内、737MAX10 は 408 機。(69)

(8/27) インド航空当局は、ほぼ 2 年半ぶりに 737MAX 型機の運航再開を承認。(70)

(10/28) 2020 年 11 月の FAA による飛行禁止解除以降、195 機以上が出荷され、航空会社は 200 機以上を運航に戻した。現在は月産 19 機だが 2022 年初頭には 31 機になる。(71)

(12/2) FAA が運航再開を認めた後 1 年を経てようやく CAAC も再開を認めた。中国は米国に次ぐ市場で、未出荷 370 機のうち 3 分の 1 は中国向け。在庫を 2023 年までに一掃する計画だったが 2021 年末でも 6 機/月しか出荷できておらず達成は難しい。Bank of America は、Boeing 社は財務健全化が急務である一方、次世代機開発を遅らせれば更に小型機のシェアを失うジレンマに陥っていると指摘。Boeing 社の業績回復は中国からの 737MAX 型機の受注回復に懸っているが、米中対立は根深く雪融けは見えない。(72)(73)

(3) 787 型機

(4/10) 認証基準に適合させる為の生産品質の点検と改修に長時間を要し、80 機以上の生産済機体が滞留していたがようやく出荷を再開。問題の内、最も多いのは複合材胴体結合部の不適合で、微細な皺による隙間や不正なシムの使用があった。(74)

(5/28) 787 型機出荷の一時停止を発表。FAA が以前確認した品質問題に関し解決策の詳細情報を求めた為で、運航中の機体には無関係。2020 年 11 月から 2021 年 2 月ま

で、胴体結合部の一部の不適合により出荷を中断し 3 月に再開したばかり。CEO は、在庫の約 100 機は今年中に納入の見込みとするが、かなり難しい。(75)

(7/13) South Carolina 州 Charleston の 787 型機組立工場では 2020 年 10 月からの生産品質問題で出荷が滞り、2021 年はこれまでに 14 機を出荷したのみ。滞留している約 100 機の内、今年中に出荷できるのは約半分と見られる。このため、従業員の一部を生産ラインから点検修理部門に異動。月産レートは 5 機以下に。

問題は胴体結合部や貨物扉周囲、更に最近見つけた前方圧力隔壁付近での結合段差、皺、不適切なシムの使用等によるもので、点検修理に手間取っており、最近では FAA からその不手際を指摘されている。(76)

(10/14) 過去 3 年間に Leonardo 社が組み立てた複合材製後部胴体に使用された MPS 社製チタン部品に不適合があることが発覚。Boeing 社は、Leonardo 社に MPS 社製部品の材料仕様の監査を、また同じ MPS 社製部品を使用している Spirit Aero Systems 社に部品の監査を要求した。MPS 社の部品は、Airbus 社製の機体にも使用されている。(77)

(11/6) 787 型機は市場投入後 10 年を経て受注機数は 1,400 機を超え、CFRP による軽量化等で燃費は従来機より 2 割向上することから、コロナ禍で旅客減少が続く 777 型機や A380 型機等の大型機が敬遠される中で、航空会社は優先的に 787 型機を運航している。しかし、2020 年半ばに判明した製造時の不適合で納入を停止、再開に向けて FAA と協議中だがその目途はたっていない。2021 年第 3 四半期の納入はゼロで、105 機の在庫を抱えている。(78)

(11/11) サプライヤーからのチタン部品の不適合も発覚し、月産機数は 5 機から 2 機に下げられているが、出荷再開の時期は不明。(79)

(4) 777/777X 型機

(6/28) FAA は、5/13 付レターで飛行試験中の故障、複数のソフトウェアの問題、及び不十分なデータに関する懸念を表明。関連した分析や飛行試験回数の増加を考えると 2023 年中の認証は難しいと伝えた。FAA によると、TIA(Type Inspection Authorization)の飛行試験開始に関する 11 か月に及ぶ議論は未だ合意に至っておらず、2020 年 12 月の飛行試験で起きた意図せぬ機首上げや 787 型機由来の制御システム CCS(Common Core System)の成熟度を含む 11 項目の未解決事項があるとのこと。これらは航空機開発では珍しくないが、FAA の委託で認証作業を行う 1,500 名の組織 ODA(Organization Designation Authorization)が十分機能していないことが問題。(80)

(2/22) PW4077 エンジンを搭載した 777-200 のホノルル行き United328 便が、離陸直後に右エンジンを破損、デンバー国際空港に引き返したことを受け、米国国家運輸安全委員会(NTSB)が調査を開始、この型特有のファンブレードが破損していたことを確認。United 航空は直ちに運航を停止し、同型機を運航するアジア・太平洋地域の航空会社もそれに続いた。(81)

(10/12) Boeing社はナセルのファンカウルと空気取入口及びファンブレードの改修設計を終えたが、一方でFAAは今後AD(Airworthiness Directives;耐空性改善通報)を発行するとしており、その場合、先行してBoeing社と連携してUnited航空が実施している改修が、ADの指示と一致しないリスクがある。⁽⁸²⁾

2.4.1.3 Airbus社の動向

(1) Airbus社

(7/30) 2021年第2四半期の売上高が前年同期比70%増の141億8,000万ユーロで最終損益は18億7,000万ユーロの黒字(2020年第2四半期は▲14億4,000万ユーロ)となり、2021年通年の出荷予測を566機から600機へ上方修正した。7月29日の株価は1年5か月振りの高値を付けたがコロナ禍前には戻っていない。⁽⁸³⁾

(8/2) 新型機の需要増とBoeing社不調の時機を捉え、次の2-3年で生産量を倍増する計画。しかし、この計画はエンジンメーカーには問題がある。機体メーカーは機材出荷で利益を得るが、これは旧型機の代替を早め、エンジンの整備やオーバーホールで利益を得るエンジンメーカーは利益を得る機会が奪われることになる。⁽⁸⁴⁾

(2) A220型機

(5/22) 生産コストの20%削減が必要とされるも、コロナ禍の減産中でありサプライヤーとの交渉は進んでいない。A220-100/-300は649機受注し165機を出荷、現在は5機/月で生産中。A320型機の部品は殆どが内作だが、A220型機は、電子機器とエンジンをRaytheon社、主翼をSpirit-Belfast社、尾翼をLeonardo社、胴体をCOMAC社(中国商用飛機有限責任公司)西安工場が分担。今後、A220-500の開発では、再編中の欧州域内の自社工場での内製を含め、Make/Buyは大きく変わる見通し。⁽⁸⁵⁾

(2) A320neoシリーズ

(5/27) 生産レートが、2023年6月までにコロナ禍以前を上回る水準に拡大する計画を発表。ワクチンで感染拡大が収まってきた国もあり、航空需要は順調に回復するとみている。A320シリーズは月産60機で生産されていたが、現在は40機に落としている。2021年10~12月に45機、2023年4~6月に64機、その後の航空需要の伸び次第でさらに2024年1~3月に70機、2025年に75機に引き上げる計画。⁽⁸⁶⁾

(3) A350型機

(4/13) 航空貨物需要の拡大を受け、A350-900と-1000の中間のA350-950F及び既存A380型機の1階客室を貨物室に転換する貨客混載型を検討。⁽⁸⁷⁾

(7/29) Airbus社の取締役会はA350貨物専用機の開発と2025年の就航を承認。但し、顧客の発表はなし。⁽⁸⁸⁾

(8/6) A350型機53機を運航するQatar航空は、複合材胴体表面の劣化にかかる航

空当局の指示に従い、13 機の運航を休止。根本原因の解明と恒久的是正法が示されない限り、発注残 23 機は受領しないと述べている。⁽⁸⁹⁾

(12/16) Singapore 航空は A350F 7 機(+オプション 7 機)購入の LOI を締結。2025 年第 4 四半期から出荷が始まり、この新型貨物機の最初の運航会社になる。⁽⁹⁰⁾

(5) A380 型機

(9/15) 胴体後部のテイルコーンの 9in 前方の円錐型部品の外板と構造間の結合が疲労及び損傷許容性の分析の結果不適合となった。EASA は、Airbus 社の提案に基づき A380 型機の AD を 10 月 5 日に発行。世界中の航空局は、A380 型機のオペレーターに欠陥修正の措置を講じるよう指示した。⁽⁹¹⁾

2.4.1.4 その他各社の動向

(1) Embraer 社

電動/水素推進、新型リージョナルターボプロップ機及びハイブリッド電気航空機から 100%の SAF 利用まで、持続可能航空を追求する方針を発表。⁽⁹²⁾

50 席リージョナルジェット機の代替を目指し、ターボプロップエンジンを尾部に搭載し、客室は E-Jet と同一胴体断面で居住性の高い 4 列席で、大きな頭上手荷物収納を備えた 70~90 席の新型ターボプロップ機の概念設計を発表。⁽⁹³⁾

(2) Irkut 社 MC-21 型機

ロシア産業商業省は Irkut 社製 MC-21 型機の飛行試験を 2021 年末に始めると発表。西欧製品への依存から脱却、純国産の複合材主翼を取り付けた。アスペクト比は、前世代ナローボディ機の 8~9 や、大型民間機の 10~10.5 に対して、揚抗比に優れる 11.5。⁽⁹⁴⁾

(3) Gulfstream 社

G550 型機の最終号機を出荷。2003 年以来 600 機以上が生産された。⁽⁹⁵⁾

(4) Textron 社

Cessna Citation Longitude が EASA の TC を取得。⁽⁹⁶⁾

(5) Universal Hydrogen 社

航空技術を有する AeroTEC 社、電動モータの MagniX 社および水素燃料電池の Plug Power 社と提携し、水素燃料向けに改修したリージョナルターボプロップ機の飛行試験を計画。2025 年までに FAA の認証取得を目指す。⁽⁹⁷⁾

(7) COMAC 社

a. ARJ21 型機

2016 年に COMAC 社の子会社の成都航空で就航以来、南方航空や国際航空などで運航されているが、欧米の耐空証明が取得できないため、いまだ海外進出はできていない。そこで 60 機発注しているリース会社である中国飛機租賃集団(CALC)と組み、同社がインドネシアの TransNusa 航空に 2,800 万ドルを投じて 36%の持分を取得し、2026 年までに 30 機の輸出を計画している。しかし、TransNusa 航空はコロナ禍による需要減退で運航休止中であるうえ、南シナ海問題で対立するインドネシア政府が ARJ21 型機に運航許可を与えるか定かでない。(98)

b. C919 型機

(9/13) 中国航空当局は、中国の新型国産旅客機(C919 型機)が中国東方航空への年内引き渡しに向け最終組み立て段階に入ると発表。(99)

(10/2) 中核サプライヤー39 社の内、4 割強が海外。他にも外資大手との合弁企業も含まれており、金額ベースでの海外依存度は更に高い。特にエンジンは CFM International 社製 Leap-1C エンジンで、政治リスクが高い。また、海外の型式取得が課題で、中国当局の諸外国への影響力は低く、輸出は難しい。更に欧米は、長年続いた航空機産業を巡る補助金に関する米国 EU 間の紛争を終結する等、中国を警戒する共通認識を頭わにし始めている。(100)

(12/20) 2008 年のローンチ時は 2016 年の出荷予定だったが、5 年過ぎた現在でも地上及び飛行試験 3,272 項目の半分強である 1,694 項目を終えたところ。飛行試験に限れば 276 項目中 34 項目しか終えてない。原型 6 機の内 3 機が飛行試験を行っているが、未経験のメーカーにとって認証取得が難しいだけでなく、西欧の経済制裁や輸出規制で海外製部品や部材の入手が難しくなり、先が見通せない状況。

また CFM International 社の Leap1C エンジンを ACAE 社製の国産 CJ-1000A エンジンで代替するには何年も要するだろう。

他に Raytheon 社、Honeywell 社、Moog 社、Parker Hannifin 社等が製造する部品もある。確定 523 機+オプション 120 機の受注があるとされるが、多くが国営リース会社からである。(101)

(8) CRAIC 社（中国ロシア共同民間機会社）

(9/3) CR929 型機生産が正式に開始。COMAC 社とロシアの UAC 社（統一航空機製造会社）の合弁会社の CRAIC 社のワイドボディ機は、787 型機や A330 型機の市場が狙い。2017 年に発表された機体は、2035 年までに最低 10%の世界市場シェア獲得が目標。2023 年末までの初飛行、2025 年から 2028 年の間に初号機を出荷する構想。

(102)

(9) UAC 社 MC-21 型機

2007 年のローンチ時は 2016 年の出荷予定であった。原型 4 機での飛行試験は 11 月までに飛行試験 800 回のうち 700 回を終え、2021 年末認証取得とされている。しかし出荷は全機に適用される複合材主翼の追加認証(2022 年第 1 四半期)取得後となるため、Aeroflot 航空の子会社の Rossiya 航空への初出荷は 2022 年中頃の見通し。ナローボディ機初の複合材主翼で、桁と小骨はアルミだが外板、ウイングレット、及び殆どの動翼は複合材製。Aero Composite 社が RTM 製造技術で大型複合材部材を製造する。以前は Hexcel 社と東レがプリプレグを供給していたが、米国産業安全保障局が Irkut 社を軍用品メーカーとして禁輸リストに加えた為に撤退。当初は PW1431G エンジンを装備予定だが、Irkut 社は既に国産 PD-14 エンジンによる MC-21-310 も試験中で、2022 年末に認証取得し、初出荷を 2024 年に予定。確定受注 175 機はほとんどがロシア政府下のリース会社からで、Rossiya 航空向けの 50 機は 26 機目から PD-14 エンジン搭載になり、Red Wing 航空向け 16 機の内 6 機が PD-14 エンジン搭載になる。(103)

(10) その他機体開発動向

a. 超音速旅客機

[Aerion 社] NASA との共同研究による 50 席、マッハ 4 以上で巡航、航続距離 7,000NM の AS3 構想を発表。AS2 就航予定の 2030 頃の初飛行を目指す。(104)

マッハ 1.2 で巡航する 10 席の AS2 の製造に必要な資金を確保できず、開発中止を発表。(105)

[Boom 社] (6/3) United 航空は、型式承認取得を条件に Overture を確定 15 機+オプション 35 機発注。(106)

(6/14) Overture は、巡航速度を初期のマッハ 2.2 からマッハ 1.7 に下げ、Trent1000/XWB エンジンのコアに、中バイパス比の低圧システムを組合せたエンジンを採用、亜音速機と同じ空港騒音基準に適合させた。但し、Concorde 同様超音速飛行は洋上に限定される。Newark~London に 3.5 時間、San Francisco~Tokyo に 6 時間を要するが、運航コストは Concorde より 75%低く、従来のビジネス運賃で採算が合うとのこと。(107)

[JAXA] (6/17) JAXA は 6 月 16 日に IHI、三菱重工業等と超音速旅客機の研究開発を行う官民一体の協議会 “Japan Supersonic Research=JSR” を設立。(108)

b. 小型無人機「eVTOL」

[Beta Technologies 社] (4/8) UPS 航空から 1,400lb の貨物を 250NM 輸送できる ALIA-250 を 10 機 (+オプション 150 機) 受注。最初は操縦士が搭乗するが、低コストの自律機を見込む。(109)

(4/14) Blade UAM 社と ALIA-250 の 20 機追加に合意。FAR Part23 で認証される ALIA-250 は操縦士を含む 6 名又は 3 個の標準貨物パレットを速度 170mph で輸

送可能。50分で再充電可能。(110)

[Lilium 社] (3/30) ドイツを拠点とする Lilium 社は、特別買収目的会社(SPAC)の Quell Acquisition 社との合併で Nasdaq に上場、操縦士が搭乗する 7 席の Lilium Jet の 2024 年認証取得を目指し、生産及び商用運航開始に必要な資金 8 億 4,000 万ドルを調達する。(111)

(9/6) 7 人乗り Lilium Jet の開発で Honeywell 社との提携を発表。Honeywell 社は、全ての可動部を制御する小型のフライバイワイヤシステムと、アビオニクスを供給する。Honeywell 社は、既に Vertical Aerospace 社の機体にも、小型フライバイワイヤシステムを供給するが、Lilium Jet 専用バージョンになる。(112)

[Zero Avia 社] (4/5) 短距離航空での脱炭素化に向け、重量や航続距離に欠点がある全電気やハイブリッド推進に代わり水素燃料電池が有力視されている。先行する Zero Avia 社は水素推進試験機に転換した 6 席の Piper Malibu を飛行させ、英国では 9 席の Britain Norman Islander をレトロフィットで燃料電池に改修。また 2024 年就航を目指す 19 席機に後付けする 600KW 燃料電池推進システムの認証取得に必要な資金を確保した。更に British Airways を含む投資家から ATR42/72 型機や DHC-8 型機等の 50 席以上のリージョナル機に適用する 1.6 MW 級の水素燃料電池推進システムの開発資金 2,430 万ドルも確保した。本格開発費の 2 億 5,000 万ドルを調達できれば 2026 年にも就航可能としている。(113)

[HONDA] (9/30) 電動化技術とガスタービンによるハイブリッドの HONDA eVTOL の開発を発表。航続距離が長く使い勝手の良い都市間移動を実現するとしている。航続距離は 249NM、2 本のブームに 8 基の小型プロペラと後部に 2 機のダクト・プロペラを装備する。(114)

[Joby Aviation 社] (2022/1/7) S4 Tilt Prop eVTOL エアタクシー原型機について FAA の特別耐空性認証及び米国空軍の耐空性承認を取得。2022 年から飛行試験を始める。(115)

c. 宇宙往還機

[Virgin Galactic 社] (7/11) 創業者である Richard Branson 氏ほかを乗せた宇宙船 VSS Unity は、母船 VMS Eve から高度 14 km で切り離され、高度 90 km に到達後、放物線を描き着陸まで 15 分間の有人宇宙飛行に成功。(116)

[Blue Origin 社] (7/20) Blue Origin 社の宇宙船に Amazon の創業者である Jeff Bezos 氏ほか搭乗し、宇宙への飛行に成功。宇宙船 New Shepard は打上げから 2 分半加速し高度 100 km 以上の宇宙空間に到達、3 分間の無重力状態を経験し、打上げ 10 分後に軟着陸した。Bezos 氏は商業ベースの宇宙旅行提供を目指している。(117)

[2.4.1 項 出典(1)～(117) : 各、資料 3 の P2021D224～P2020D340 参照]

2.4.2 エンジン関係

業績動向として、主要なエンジンメーカーである GE 社(GE Aviation), P&W 社(Raytheon 社 Pratt & Whitney 部門)、RR 社(Rolls-Royce 社 Civil Aerospace 部門)、Safran 社(Safran 社 Aerospace Propulsion 部門)、MTU Aero Engines 社の 2021 年の収益状況を表 2.4.2-1 に示す。2021 年上半期業績を見た場合、前年同期と比べて売上が 1 割から 2 割程度落ち込んでいることがわかる。一方で通期業績が公表されている GE 社、P&W 社について前年と同レベルか前年度以上の業績となり、下半期においてコロナウイルスの影響から脱し業績の回復傾向が見られる。

表 2.4.2-1 2021 年、2020 年におけるエンジンメーカーの収益⁽¹⁾

		First half			Twelve Months		
(in millions \$, €, £)		2021	2020	Change	2021	2020	Change
GE Aviation	Revenues	\$9,832	\$11,276	-13%	\$21,310	\$22,042	-3%
	Segment Profit/(Loss)	\$818	\$316		\$2,882	\$1,229	
Pratt & Whitney	Sales	\$8,310	\$8,840	-6%	\$18,150	\$16,799	8%
	Segment Profit/(Loss)	\$132	\$18		\$454	(\$564)	
Rolls-Royce, Civil Aerospace 部門	Revenues	£2,168	£2,516	-13%			
	Operating Profit/(Loss)	£39	(£1,816)				
Safran, Aerospace Propulsion 部門	Revenues	€ 3,249	€ 4,047	-19.7%			
	Operating Profit/(Loss)	€ 504	€ 699				
MTU Aero Engines	Revenues	€ 2,004	€ 2,049	-2.2%			
	Gross Profit/(Loss)	€ 290	€ 315				

(1) GE 社

民間エンジンに関して 2021 年のエンジン販売台数は 1,487 台であり、2020 年における 1,720 台から減少した。LEAP エンジンについては 845 台であり 2020 年における 815 台より増加した。受注については 2,248 台となり 2020 年 738 台から大幅に増加、そのうち LEAP エンジンが 1,457 台であった（2020 年の受注は 351 台）。また、ショップビジットの増加により民間エンジンのアフターサービスでの受注が増加。

表 2.4.2-2 GE Aviation 社 2021 年第 4 四半期および通期の業績⁽²⁾

(in millions)	Three months ended December 31			Twelve months ended December 31		
	2021	2020	year on year	2021	2020	year on year
Orders	\$7,705	\$6,331	22%	\$25,589	\$21,590	19%
Revenues	\$6,080	\$5,847	4%	\$21,310	\$22,042	-3%
Segment Profit/(Loss)	\$1,218	\$564	> 100%	\$2,882	\$1,229	> 100%

(2) P&W 社

民間エンジンに関して 2021 年のエンジン販売台数は 623 台であり、2020 年における 546 台から増加した。⁽³⁾ 2021 年第 4 四半期の調整後売上高は前年比 14%増であり、売上高の増加は、民間エンジンが 32%増加し、民間エンジンのアフターサービスが 28%増加したことによる。⁽⁴⁾

表 2.4.2-3 Pratt & Whitney 社 2021 年第 4 四半期および通期の業績⁽⁴⁾

Adjusted	4th quarter			Twelve Months		
(in millions)	2021	2020	change	2021	2020	change
Sales	\$5,115	\$4,496	14%	\$18,150	\$17,224	5%
Operating profit	\$162	\$105	54%	\$487	\$426	14%

(3) RR 社

民間大型エンジン(Trent シリーズ)の 2021 年上半期の販売台数は 100 台であった。内訳は Trent 1000: 11 台, Trent XWB-84: 60 台, Trent XWB-97: 9 台, Trent 7000:20 台である。通期の見込みは 200 台から 250 台であり、2020 年の販売台数 264 台から減少する予定。⁽⁵⁾

[2.4.2 項 出典(1)～(5) : 各、資料 3 の P2021D341～P2020D345 参照]

2.4.3 装備品関係

(1) 航空機装備品の技術動向

ア. コロナ禍の影響

コロナ禍の影響は 2021 年上半期も続いており、2021 年 7 月 21 日に ICAO が公表した「Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis ⁽¹⁾」の今後のシナリオでも需要回復にはまだ時間がかかると予測している。同シナリオでは、2021 年 10 月で供給座席量は 2020 年 1 月並みに回復すると予測しているものの地域別のバラツキもあり、特にアジア地域の回復が遅れたシナリオとなっている。このため、世界の航空旅客供給座席量がコロナ禍以前のレベルまで回復するのはまだ時間がかかると考えられる。

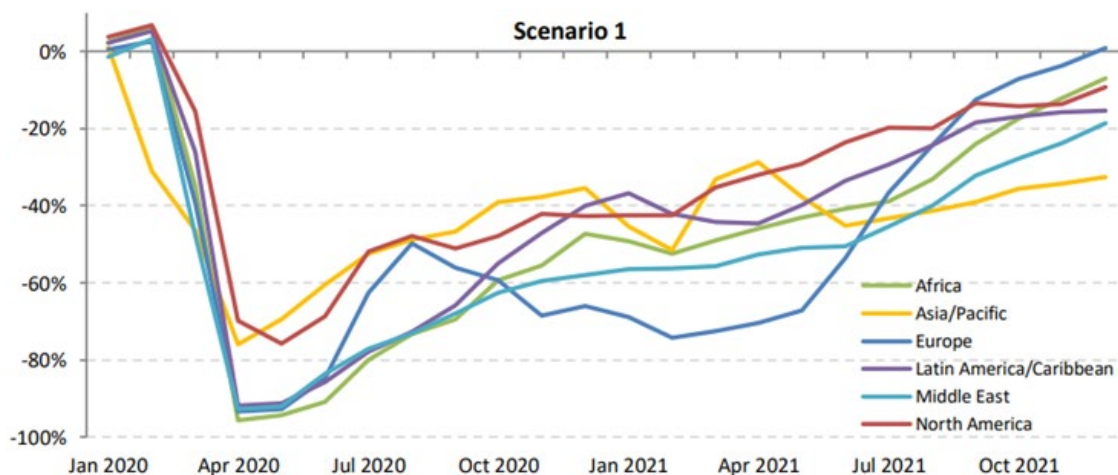


図 2.4.3-1 航空会社の供給座席量（世界：国内＋国際）の予測例 ⁽²⁾

コロナ禍の影響は航空機装備業界にもおよんでいるものの、2020 年の航空宇宙関連全体売上高では、主要航空機メーカーやエンジンメーカーが減少したのに対して、大手航空機装備品メーカー（スーパー Tier1）は増加傾向がみられた。例えば、Raytheon Technologies 社、Honeywell 社、Northrop Grumman 社、L3 Harris 社などは増収となった（このうち Raytheon Technologies 社が、昨年、United Technologies 社の Collins Aerospace Systems 社および P&W 社を取得したことにより売上がほぼ倍になっている）。ただし、Raytheon Technologies 社 Collins Aerospace Systems 部門と P&W 社の売上計は約 23% 減収となっている。したがって大手装備品メーカーは全体では売上は伸びているが、民間航空機関連では、新規機材の引渡し減や MRO 関連事業の減少から減収傾向がみられる。

表 2.4.3.-1 航空宇宙産業の売上高（2019 年ランキング及び 2020 年値）⁽³⁾

2019年ランキング	企業名	2019	2020	20/19
1	Airbus	\$78.9B	\$61.3B	77.7%
2	Boeing	\$76.6B	\$58.2B	76.0%
3	Lockheed Martin	\$59.8B	\$65.4B	109.4%
4	United Technologies	\$46.9B	\$36.1B*	77.0%
5	Northrop Grumman	\$33.8B	\$36.8B	108.9%
6	GE	\$32.9B	\$22.0B	66.9%
7	Raytheon Technologies	\$29.2B	\$56.6B	193.8%
8	Safran	\$28.5B	\$20.3B	71.2%
9	L3 Harris	\$18.0B	\$18.1B	100.6%
10	Rolls Royce	\$15.7B	\$11.8B	75.3%
11	Leonardo	\$15.4B	\$13.8B	89.6%
12	Honeywell	\$14.0B	\$15.5B	110.7%

* : Raytheon TechnologiesのCollins Aerospace SystemsとP&Wの計

例えば、キャビン関連の座席等を供給している Recaro 社や Diehl Aviation 社は、いずれも減収傾向にあり、Diehl Aviation 社は人員を 6,000 人近く削減した。業績面では Recaro 社のほうがよく、これは Recaro 社が主にエコノミークラス向けの座席を扱っていることが要因となっている。前記、ICAO のシナリオにおいても、国内線の回復は国際線よりも早くなると予測されている。国内線（あるいは域内路線）は、LCC が多く、またエコノミークラスが主流となっている。一方で Diehl Aviation 社は、大型機が多い国際線の需要がまだ厳しいことからビジネスクラス向け座席事業が厳しい点を指摘している。このため、Diehl Aviation 社はキャビン向け装備事業にとどまらず、キャビン・ソリューションの提供に注力、2021 年 6 月には HAECO Cabin Solutions 社と提携している。

キャビン向け装備品事業では、ポストコロナ禍に向けて、キャビンの安全・安心に加え、エンターテインメントや快適性などで他社との差別化を図ろうとする動きもみられる。実際、2020 年から複数の製品が発表されている抗菌・抗ウイルス対策（殺菌・抗菌素材、UV 応用製品、タッチレス機能等）等は引き続き重視されており、Honeywell 社が開発した UV 利用クリーニング・システムは、JetBlue 航空の他、中東のエアラインなどでも採用されている。さらにキャビン空気質モニタリング・システムや新コンセプトの座席、エンターテインメント（IFE システム）や LED ライティングなど、利用者に快適性や楽しさを提供する装備が開発・導入が進められている（例えば、LTE4G のサービス拡大など）。

イ. 脱炭素対応：電動化、水素利用

航空機分野の電動化、水素利用は、ICAO、IATA 等のゼロ・エミッション目標、COP26 での評価、航空機に対する社会の目などから、将来に向けての重要な技術開発課題となっている。

a. 地球温暖化対策（GHG：温室効果ガスの排出量削減、ゼロ・エミッション）

- ・ ICAO（2013 年）：CNG2020（Carbon Neutral Growth 2020）
（燃料効率：毎年 2%改善、2020 年以降総排出量増加ゼロ）
- ・ 気候変動枠組条約締約国会議のパリ協定（COP21）発効（2015 年 12 月）
- ・ COP26 ICAO 宣言（2021 年 11 月）
- ・ IATA は 2021 年 10 月に 2050 年ネットゼロを採択した。
（ただし拘束力及び罰則はない）
- ・ その他：EU 2030 目標（GHG を対 2005 年で 2030 年までに 43%削減）
北欧の航空機電動化法案（ノルウェー：2040 年、スウェーデン：2030 年）等

b. COP26 での評価

COP26（2021 年 10 月 31 日～11 月 12 日）では、航空分野への風当たりが強い例もあった

- ・ 英国気候変動委員会（The Committee on Climate Change）の見解
「航空セクターのネットゼロ戦略は、将来技術開発に依存しすぎ。消費者の行動変更を促し、航空機による移動制限の政策も検討すべき。」

c. 航空機に対する社会の目：「飛び恥：Flygskam（フリーグスカム）、Flight shame」

こうした背景を受けて、航空機装備品に限らず、航空機産業では脱炭素対応の技術開発が進められており、SAF（Sustainable Aviation Fuel：持続可能航空燃料）とともに、2021 年には電動推進システム（ハイブリッドも含めて）が目立った。

航空機の電動化は、リージョナル機以上の民間機ではパラレル・ハイブリッド等のコンセプトが中心となっている。また、ターボプロップ機クラスでは Pratt & Whitney Canada 社が DHC-8 型機の電動実証飛行でカナダ政府からファンドを獲得、水素燃料関連の取組も進んでいる（2021 年 7 月、Universal Hydrogen 社と Iceland 航空が水素利用で提携等）。また、リージョナル機（従来のターボプロップ機）の電動化に関しては、NASA が EAP（Electrified Aircraft Propulsion）、SFNP（Sustainable Flight National Partnership）といったプログラムを実施。欧州では、欧州諸国を中心に 13 か国（フランス、ドイツ、スペイン、イタリア、オランダ、オーストリア、チェコ、ルーマニア、ハンガリー、ポーランド、ロシア、中国、韓国）が ZEMA（Zero Emission Aviation）を設立、SAF や UAM（eVTOL）、電動航空機（e Aircraft）といった新技術、設計、開発、運航、メンテナンスなど全てを包含したライフサイクルでの研究を行っている。英国では航空産業界、学識経験者の専門家から構成される EAG（Electric Aviation Group）が、水素燃料電池を ESS（Energy

Storage System：バッテリー、燃料電池）とした 90～100 席の H2HERA（Hybrid Electric Regional Aircraft）のプログラムを進めている。この他、ドイツ、オランダ、北欧諸国等でも電動航空機（コンピューター機やターボプロップ機クラス）の研究開発プログラムが取り組まれている。

完全電動化に関しては、コンピュータークラスやジェネラルアビエーションクラスでの機体開発が各国で取り組まれており、既に EASA の認証を取得した機体もある。さらに、近年注目されている eVTOL/AAM（Advanced Air Mobility）では、複数の eVTOL 機が認証取得や運航に向けた活動を実施、一部では水素燃料電池を採用した機体開発も実施されている。

さらに、こうした eVTOL 機や電動航空機に対しては、2021 年になり複数の大手エアライン（United 航空、American 航空、Virgin Atlantic 航空、ブラジルの AZUL 航空及び大手リース会社の Avolon 社や大手貨物インテグレーター UPS 社傘下の UPS Flight Forward 航空等）やヘリコプター／ビジネスジェット等の運航者（米国 Blade 社、シンガポールの Ascen 社等）が eVTOL 機を発注（基本的には LOI: Letter of Intent、Purchase Agreement で確定発注ではない）している。2021 年 9 月初めの時点で、eVTOL の発注数はオプションや Joby Aviation 社等での自社運航等を含めると 3,630 機となっている。

eSTOL/eCTOL といった滑走路を使用する電動航空機（e-Aircraft）では、United 航空がスウェーデンの HEART 社の ES-19 を 200 機発注（他にオプション 100 機）、Bye Aerospace 社、Electro Aero 社、Airflow Aero 社、Surf Air Mobility 社/Ampaire 社などが 50 機から 100 機超えの受注を獲得している。

日本国内においても、5 月末～6 月初めにかけて、国内初の eVTOL 機の屋外試験飛行が、中国の EHang EH216AAV（無人操縦の eVTOL 機）により実施された。



図 2.4.3-2 eVTOL 機の発注状況（ほとんどが仮発注）（2022 年 1 月時点）⁽⁴⁾

なお、英国の Swanson Aviation Consultancy 社 /ADS Group が発表した報告書では、eVTOL、e-Aircraft (eSTOL/eCTOL) 機の運航レンジを下図のように示しており、これにともない eVTOL、e-Aircraft に求められる装備品のニーズも異なってくると思われる（例えば、モーター出力、バッテリー容量等）。



図 2.4.3-3 eVTOL、e-Aircraft (eSTOL/eCTOL) 機の運航レンジの考え方の例 (5)

こうした eVTOL、e-Aircraft などの電動航空機の開発が進む中、電動推進システムの重要要素技術であるモーターやハイブリッド用エクステンダー、ESS などで技術開発が進むとともに、複数の新製品が 2021 年になり発表されている。また、バッテリー業界では再編の動きもみられる。

また、航空機の水素利用でも下図に示す企業が水素タービン（地上発電用を含む）、水素燃料電池などの研究開発を行っている。



図 2.4.3-4 水素航空機装備システムの例 (6)

[2.4.3 項 出典(1)~(6) : 各、資料 3 の P2021D346~P2020D351 参照]

2.4.4 航空システム・航空管制・無人機・飛行制御関係

(1) NASA ATM-X プロジェクト⁽¹⁾

NASA ATM-X プロジェクトでは、FAA と連携して空の安全性を確保しながら、現行の空域システムに変更を加えて将来の先進的な航空機の運用を実現するための研究開発を進めている。ATM-X プロジェクトには4つのサブプロジェクトがあり、それぞれが異なる領域に焦点を当てて、研究・技術開発を進めている。

- ・ デジタル情報プラットフォーム
デジタル情報プラットフォームのソフトウェアを開発・評価し、空域管理者や将来の空域システムのユーザーに必要なデータを提供
- ・ 都市型エアモビリティの空域管理
新しい電気航空機が低高度(5,000ft 以下)で運航できるような高度な空域管理技術の開発
- ・ 自動飛行型航空機の空域管理への統合に向けた検討
開発が進む自動飛行型航空機が定常的に空域にアクセスできるように、空域統合ソリューションを開発し、遠隔操縦による商業活動および自律飛行のレベル向上の促進
- ・ 拡張可能な交通管理
60,000ft 以上の空域へ無人航空機のアクセスが可能となるように、UTM の統合を検討

(2) NASA ATD-2 プロジェクト⁽²⁾

現在の空港では、到着、出発、遅延、天候の急変など様々な情報を追跡・伝達し、調整する必要がある。これらの情報を、単純な待ち行列（準備ができた機体から列に並んで滑走路の使用を待つ）で処理している。ATD-2(Airspace Technology Demonstration 2)では、FAA やエアライン各社が入力したデータを統合して、様々なシステムで共有することで、ランプや誘導路で燃料を消費しながら待つのではなく、最適な時間までゲートで待機することができるようにすることを目指している。

2021年4月～9月にはTexas州 Dallas Fort Worth 国際空港と近隣の Dallas Love Field 空港における実証実験が行われ、限られた空域を奪い合う近隣の空港での運航管理の効率化を図った。

(3) サイバーセキュリティへの取り組みについて

- ・ GPS のジャミングについて⁽³⁾
全米ビジネス航空協会(NBAA)と航空機オーナーパイロット協会(AOPA)は、GPS のジャミングによる妨害に直面し続けていることを懸念し、米国国防総省(DOD)と FAA に対し、これらの事例による影響を軽減する取り組みについて最新

情報を提供するように求めた。この問題に関して、故意の GPS 妨害の結果として、運用上の影響や空域や空港へのアクセスの減少を報告する事業者が続出している。

(4) その他

・ 遠隔航空管制⁽⁴⁾⁽⁵⁾

London City 空港は、リモートのデジタル航空管制塔で完全に管理を行う初めての主要な国際空港となった。この空港は英国の金融街の中心に位置し、空港から 72 マイル離れた Swanwick にある航空管制サービス事業者の NATS 社(National Air Traffic Service) が運営する航空管制センタから監視されている。フライトデータは拡張現実感(AR)を利用してスクリーン上に航空機とともに表示される。また、画像解析により、鳥や車、不正侵入者、ドローンなどの存在を管制官に知らせる。NATS 社の空港担当ディレクターによると、デジタル技術を活用した新たなツールを追加することで、管制官を置き換えるのではなく、能力を確実に向上させることができると考えている。この技術は Saab Digital Air Traffic Solutions 社が開発したもので、これまでにスウェーデンの小規模空港で採用されている。

[2.4.4 項 出典(1)～(5) : 各、資料 3 の P2021D352～P2020D356 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P2021D001～P2021D012 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 2021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ほかに「航空機業界動向情報」を提供している。2021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。

コロナウイルスの影響については、ワクチン接種の進展や、感染対策の定着に伴って、地域内・短距離運航便を中心に回復が見られたが、渡航制限の全面解除には至らず長距離運航便の回復が遅れている。

長距離運航便の減少は、従来は旅客機胴体下貨物室を利用していた航空貨物の輸送力不足を招いた。貨物機需要が急激に高まり、OEMによる貨物機開発着手につながった。一方、長距離運航便向け機材については、渡航制限による旅客需要の低下により、小型化の動きが見られる。

世界的な環境問題への関心の高まり等を背景に、2021年は国連 COP26 や IATA 総会などで、2050年までのネットゼロ目標の採択、合意表明が相次いだ。これに対応し、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が目立ったほか、空港や燃料供給などのインフラを含め政策レベルでの脱炭素へ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)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。型式取得を条件とした航空会社の発注も進み、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、在庫の一掃と生産再開に向けて回復しつつある。一方で、コロナウイルスの影響、さらには 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 2023 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って必要な技術検討、修理が完了するまで出荷停止となり、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。コロナウイルスの影響で月産 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付かず、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 2021 年度航空機関連動向解説事項の解説概要

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、その解説概要を作成している。2021 年度は、以下の 6 件を選定し、各専門分野の執筆者に依頼して作成した。

ア. 2021-1「航空輸送と eVTOL による新しい輸送システムの融合の可能性について」⁽¹⁾

eVTOL の実用化を見据え、エアラインがその購入に興味を示すなど、既存の航空輸送との相乗効果が生まれる可能性がある。eVTOL の社会実装時の想定ユースケース、将来の航空輸送と新しい航空輸送システムの融合、国内での議論の状況等について解説する。

イ. 2021-2「民間航空機搭載ソフトウェアの開発ガイドライン DO-178C の解説」⁽²⁾

民間航空機のソフトウェア開発ガイドライン DO-178C は、航空機ソフトウェア開発において設計エラーを防止し安全性を担保するための仕組みのひとつで、欧米の認証当局がその適用を強く推奨している。当ガイドラインを特徴付けるキーワードをいくつか取り上げて概説する。

ウ. 2021-3「解析を活用した機体構造認証技術の現状と課題」⁽³⁾

現代の航空機開発には膨大な資金と期間が必要となってきた。そうした中、開発を効率化すべく、解析を活用する認証(Certification by Analysis, CbA)に向けた活動が国際的に活発化している。機体構造の分野における CbA の国際動向の現状、将来日本として取り組むべき課題等を解説する。

エ. 2021-4「セラミック基複合材料 (CMC) 開発の現状」⁽⁴⁾

航空機エンジンの更なる燃費効率向上として、運転温度の上昇や軽量化が求められている。一方で、金属材料は冷却孔や TBC の導入で運転温度上昇に対応してきたが、すでに限界近い運転温度となっており、新たなエンジン高温部材料として CMC の適用が進められている。CMC に関しての材料に関する解説と、世界的に進められている技術開発の現状に関して整理する。

オ. 2021-5「航空機用 Geared エンジンのギヤボックス技術」⁽⁵⁾

脱炭素社会に向け高効率なエンジンが求められる中、GTF (Geared Turbo Fan) エンジンが中小型旅客機に広く搭載されている。GTF エンジンとは、減速ギヤ (gear: 歯車) を用いタービンとファンの回転数を最適化し、燃費と騒音を改善する。ギヤを用いたエンジンの仕組み、ギヤ関連技術と今後の展望を解説する。

カ. 2021-6「航空宇宙 APQP (先行製品品質計画) 及び PPAP (生産部品承認プロセス) について」⁽⁶⁾

自動車産業の品質保証手法である APQP (先行製品品質計画) 及び PPAP (生産部品承認プロセス) を航空宇宙産業で活用するため、AS9145 規格が 2016 年に発行された。国内でも導入の検討が進められている。国内規格である SJAC9145 等を基に APQP・PPAP の概要を解説する。

[3.2.2 項 出典(1)~(6): 各、資料 2 の P2021D101~P2021D106 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 52 期定時社員総会および年会講演会

日本航空宇宙学会第 52 期定時社員総会および年会講演会が 2021 年 4 月 19 日（月）～20 日（火）にオンライン開催された。昨年同様、一般講演は実施されず、パネルディスカッションが実施された。また学会賞受賞記念講演は昨年度実施出来なかったため、本年度は、第 51 期および第 52 期の学会賞記念講演が開催された。

【パネルディスカッション 1】 with コロナ社会における航空科学技術の進む道

モデレーター：李家 賢一（東大）

パネリスト：高野 滋（ANA総合研究所）、巽 重文（日本航空機開発協会）、
大林 茂（東北大）、上野 真（JAXA）

概要：コロナ禍では航空業界が多大な打撃をうけており、コロナ禍からの回復にむけて、直近の対策や長期的視点で検討すべきこと等の議論が各界で進められている。一方、当分の間はコロナウイルスと共存する「with コロナ」の生活は避けられない状況である。そこで日本航空宇宙学会の場合でも、生活様式が大きく変わるであろう with コロナ社会をにらんだ議論をすることで航空科学技術の今後の進むべき方向性を考える。

【パネルディスカッション 2】 有人飛行 60 周年と JSASS 宇宙ビジョン

基調講演：日本の有人宇宙活動への期待 山崎 直子（宇宙飛行士）

話題提供：・JSASS宇宙ビジョン2050増補版の概要 上野 誠也（横国大）

- ・ 有人月面基地 桜井 誠人(JAXA)
- ・ 有人宇宙輸送 後藤 大亮(JAXA)
- ・ 有人宇宙ビジネス 白坂 成功(慶大)

総合討論 モデレーター：上野 誠也（横国大）

パネリスト：山崎 直子（宇宙飛行士）、桜井 誠人（JAXA）、
後藤 大亮（JAXA）、白坂 成功（慶大）

【パネルディスカッション 3】 航空宇宙技術による防災・減災への挑戦

基調講演：防災・減災の学術連携と航空宇宙技術への期待 米田雅子（防災学術連携体）

モデレーター：原田 賢哉（JAXA）

パネリスト：米田 雅子（防災学術連携体）、川北 史朗（JAXA）、
小林 啓二（JAXA）、酒井 直樹（防災科学技研）、武藤 正紀（三菱総研）

概要：東日本大震災から10年。この間の「航空宇宙技術による防災・減災への挑戦」を振り返るとともに、異分野連携という観点から、その更なる発展に向けた課題や方策を議論する。

【第 51 期 学会賞記念講演】

- ・論文賞：ピラミッド配置型CMGをもつ宇宙機の擬似スペクトル法による最適姿勢変更計画 小林 洋(阪大)、莊司 泰弘(阪大)、山田 克彦(阪大)
- ・技術賞・基礎技術部門：準天頂衛星と静止衛星による地域衛星測位システムおよび高精度測位技術の考案と設計 河野 功 (JAXA)
- ・技術賞・プロジェクト部門：機体騒音低減技術の飛行実証 (FQUROH 飛翔フェーズ) FQUROHプロジェクト JAXA-KHI-SPP-MITAC共同研究チーム
(代表：山本 一臣)
- ・奨励賞：Numerical Analysis of a Miniature Microwave-discharge Ion Thruster Using Water as the Propellant 中村 研悟 (横国大)

【第 52 期 学会賞記念講演】

- ・論文賞：はやぶさ2の化学推進系の開発と往路運用
森 治、櫛木 賢一、成尾 芳博、澤井 秀次郎、志田 真樹、丸 祐介、道上 啓亮、中塚 潤一 (JAXA 8名)、高見 剛史、浦町 光 (三菱重工業 2名)
- ・論文賞：Development of Engineering Model Providing Body Force Distribution of Tri-Electrode Plasma Actuator
Kumi NAKAI、Hiroyuki NISHIDA (東京農工大 2名)、Norio ASAUMI、Yuhi TANAKA (IHI 2名)、Takashi MATSUNO (鳥取大)
- ・技術賞・プロジェクト部門：はやぶさ2搭載MINERVA-IIローバ
吉光 徹雄、久保田 孝、富木 淳史 (JAXA 3名)、廣瀬 智之、須藤 泰志、藤村 優 (デジタル・スパイス 3名)、足立 忠司 (セシアテクノ)、朝倉 義信、大江 和広、関根 一秀、藤松 拓也 (nittoh 4名)、中谷 一郎 (愛知工科大)、はやぶさ2プロジェクトチーム (JAXA)
- ・技術賞・プロジェクト部門：革新的衛星技術実証 小型衛星技術実証1号機 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 革新的衛星技術実証グループ、アクセルスペース
- ・技術賞・基礎技術部門：全速度流体計算スキームSLAUの開発
嶋 英志 (JAXA)、北村 圭一 (横国大)
- ・技術賞・基礎技術部門：航空交通データの収集・整備・提供
岡 恵、古賀 禎、瀬之口 敦 (電子航法研究所 3名)
- ・奨励賞：ハイブリッド非構造格子に対するスペクトラルボリューム法の格子収束性に関する研究
澤木 悠太 (東北大)

(2) 第 53 回流体力学講演会／第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム

第 53 回流体力学講演会／第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウムは、2021 年 6 月 30 日（水）～7 月 2 日（金）にかけて東京大学 生産技術研究所 駒場リサーチキャンパス A 棟にて開催予定であったが、ウェブ会議アプリによるオンライン開催（日程変更なし）となった。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へ寄与することを目的としている。本年度は 300 名の参加登録があった。以下に示す 4 件の招待講演、一般講演に加え、2 件のワークショップ（Seventh Aerodynamics Prediction Challenge (APC-7)、直交格子 CFD ワークショップ）が開催された。

【招待講演 (Invited Lectures)】

1. Jeffrey P. Slotnick 氏 (ボーイング社) “Advancing CFD Vision 2030: Progress and Future Plans within the Aerospace Community”
2. Charles Hirsch 教授 (NUMECA Int. / CADENCE) “The Road towards Next Generation CFD Software Systems”
3. 浅井 圭介 教授 (東北大) 「“風洞屋”の流体力学」
4. 松尾 裕一 教授 (東京理科大) 「数値風洞の過去・現在・未来」

講演会終了後には、最優秀賞・優秀講演賞(学生)が発表された。以下に、最優秀賞の受賞者と講演タイトルを記す。

- ・ (流体力学部門)
阿部 圭晃、小西 貴之、安達 正芳、石原 真吾、岡部 朋永 (東北大 5名)
「ガスジェット浮遊法における高温球の浮遊安定性」
- ・ (航空宇宙数値シミュレーション技術部門)
古賀 星吾、窪田 健一、飯島 由美、小池 俊輔、中北 和之 (JAXA 5名)
「航空機タイヤからの水跳ね予測技術開発のための準実機スケール試験と数値解析との比較検証」

なお来年度は、2022 年 6 月 29 日～7 月 1 日に「アイーナ盛岡」(盛岡市)で開催予定である。

(3) 第 63 回構造強度に関する講演会

第 63 回構造強度に関する講演会が 2021 年 8 月 4 日（水）～6 日（金）に、オンライン開催された。本年度は 147 名の参加があり、1 件の特別講演と 68 件の一般講演がなされた。

【特別講演】

「実働荷重推定技術の基礎研究」 中村 俊哉（JAXA）

次回は 2022 年 8 月 3 日(水)～5 日(金)に、奈良県奈良市の東大寺総合文化センターで開催予定である。

(4) 第 59 回飛行機シンポジウム

第 59 回飛行機シンポジウムは 2021 年 11 月 30 日（火）～12 月 2 日（木）に、あわぎんホール（徳島県 徳島市）にて開催予定であったが、同一日程でオンライン開催された。昨年を上回る 440 名の参加者があり、特別講演 4 件を含む計 200 講演が行われた。

【特別講演】

1. 「新型コロナウイルス禍における航空機整備」大芝 慎（JAL エンジニアリング）
2. 「海上自衛隊の搭乗員教育と徳島教育航空群の特性」平尾 智明（海上自衛隊）
3. 「テストパイロットに重要な 5 つのスキル」安村 佳之（AeroVXR 合同会社）
4. 「「空飛ぶクルマ」による医師搬送システムについて」中野 冠（慶大）

また特別企画として、日本航空宇宙学会／男女共同参画委員会、および日本ロケット協会／男女共同参画委員会(宙女)主催で、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をめぐる現状」が実施された。

第 60 回飛行機シンポジウムは 2022 年 10 月 11 日（火）～13 日（木）に、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（新潟県新潟市）で、APISAT-2022 との共同開催の予定である。

(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。奇数年度は国内開催、偶数年度は国際学会として日中韓の順で開催。今回は 2020 年 3 月に、韓国仁川市にて開催予定であったが、新型コロナウイルス拡大の影響で 2021 年へ延期され、2021 年 3 月 3 日～5 日に、オンライン開催された。

キーノート #1

“Space Propulsion System with Green Propellants”

+ Prof. Sejin Kwon (Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea)

キーノート #2

“3D Printed Liquid Rocket Engines: Advancing Performance And Size”

+ Mr. Max Haot (CEO at Launcher, USA)

キーノート #3

“Research and Development Progress of JAXA Kakuda Space Center”

+ Dr. Makoto Yoshida (Kakuda Space Center, JAXA, Japan)

キーノート #4

“Supersonic and Hypersonic Curved Compression System and its Inverse Design”

+ Prof. Kunyuan Zhang (Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China)

(6) 日本ガスタービン学会第49回定期講演会

日本ガスタービン学会が主催する航空用および産業用ガスタービンなら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。第 49 回となる今回は 2021 年 10 月 13 日～14 日に、オンライン開催された。

次年度は 2022 年 10 月 12 日～13 日に、福岡県福岡市にて開催予定。

基調講演

"脱炭素社会に向けたガスタービン関連技術の展開と産官学連携"

+ 渡辺 紀徳 (東大)

企画セッション

"炭素社会実現に向けたガスタービン技術開発の最前線"

[モデレーター]

+ 赤松忠光 (阪学)

[パネリスト]

+ 古谷博秀(産総研) パリ協定からカーボンニュートラルへ移り変わる世界と

ガスタービンにのぞまれること

- + 岡井敬一(JAXA) バイオジェット燃料による燃焼・排気特性と関連技術研究
- + 内田正宏 (IHI) 2MW級ガスタービンのアンモニア噴霧燃焼技術の開発
- + 堂浦康司 (川崎重工業) 中小型ガスタービンにおける水素燃焼技術の紹介
- + 谷村聡 (三菱重工業) 水素・アンモニアガスタービンの開発

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) 2021

米国航空宇宙学会（American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA）主催による Scitech2021 が 2021 年 1 月 11 日（月）～21 日（木）にオンライン開催された。航空宇宙の研究、開発、技術に関する世界最大のイベントである Scitech2021 が初めてオンライン開催され、4,000 人をを超える参加者があった。スケジュールは、2 週間の時間枠で 8 日間の日程に拡大され、約 50 の技術分野に関する講演が実施された。特別講演は 5 件、パネルディスカッション（Forum 360 sessions）は 10 件、実施された。

【Plenary Sessions】

1. Partnering to Accelerate Innovation
2. Accelerating Innovation, Safely and Sustainably
3. Emerging Technologies that Will Change Our World
4. Aerospace Design in the Age of Big Data and Big Compute
5. Building on the Shuttle Legacy

【Forum 360 Sessions】

1. Empowering Innovation
2. A Complex World Demands Smart Teams
3. The Pandemic: A Catalyst for Innovation
4. Embracing Emerging Markets
5. Survive and Thrive: Resiliency Enables
6. The Interdisciplinary Revolution: Evolving a New Mindset for Solving Real-World Problems
7. Machine Intelligence & Autonomy Meet Aviation: Toward Safer & More Accessible Skies
8. Design Faster
9. Idea Challenge: Design Cycle - Go Fast!
10. Perspectives, Inspiration, & Lessons Learned: 2021 SciTech Town hall

(2) AIAA AVATION2021

AIAA 主催による AVIATION2021 が 2021 年 8 月 2 日（月）～6 日（金）にオンライン開催された。43 か国から 828 人の学生を含む 1,900 人以上が参加し、1,000 件を超える講演がなされた。また、特別講演は 2 件、パネルディスカッション（Forum 360 sessions）は 10 件、実施された

【Plenary Sessions】

1. Aviation Recovery, Transition and New Horizons
2. Digital is the New Battlefield

【Forum 360 Sessions】

1. Collaboration to Mitigate the Risks of COVID-19
2. Hope on the Horizon: Interdisciplinary Collaboration to Solve Future Challenges
3. NASA's Aviation Sustainability Strategy
4. Exploring NASA Aeronautics Innovations for Transforming Aviation
5. Modern Development in a Digital Environment
6. Advantages of Digital Thread for the Entire Product Lifecycle
7. Technologies and Processes for Future Air Vehicles
8. Industry Response on Delivering Performance at the Speed of Relevance
9. Safety Certification for Machine Learning
10. Diversity and Inclusion in Next-Generation Airspace

(3) 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS2021, Shanghai)

2020年9月14日～18日に中国上海で開催が予定されていた ICAS2020 上海大会は、1年延期され、2021年9月6日～10日にハイブリッド開催された。一年の延期はあったものの、8件の特別講演・パネルディスカッションと、406件の一般講演が実施された。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ある。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。

次回は2022年9月4日～9日の予定でストックホルム（スウェーデン）にて開催予定である。

【ICAS Daniel & Florence Guggenheim Memorial Lecture】

1. Digital Engineering Transformation and Innovation
Zhang Xinguo (Vice President of CSAA)
2. Project Clean Sky
Sebastien Dubois、Axel Krein、Ron van Manen (Clean Sky Joint Undertaking)

3. ICAS Lecture for Innovation in Aeronautics - Electrification - The third revolution in aviation
Cory Combs (Co-founder Ampaire)
 4. Virtual Aircraft Technology Integration Platform
- Results of DLR's Project Victoria
Stefan Görtz (DLR)
 5. Trends in Aircraft Propulsion: Reflections on ISABE
Ric Parker (President ISABE)
 6. IFAR Perspective on Sustainable Aviation
- (How) Can We Achieve Zero Emission Aviation?
Sergey Chernyshev, Rolf Henke, Sun Xiasheng, Michel Peters, Bob Pearce, Ibrahim Yimer
 7. Skills and Technologies of Future
Cory Combs, (Ampaire), Liping Jiang (COMAC), Takeshi Ito (JAXA)
 8. Active Flow Loads and Noise Control on next Generation Wing (AFLoNext)
M. Wahlich
- (4) アジア太平洋航空宇宙技術国際シンポジウム 2021 (2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology, APISAT-2021)

APISAT2021 は日韓中豪 4 か国の航空宇宙学会の共催により、2021 年 11 月 15 日（月）～17 日（水）にハイブリッド開催（現地開催は済州島（韓国））された。本講演会は当初、2020 年度に開催予定であったが、コロナウイルスのため開催が延期となっていた。参加者は 405 名（日本からは 97 名）であり、学生はそのうち 229 名であった。APISAT2021 においては、空気力学、構造材料、推進・燃焼、制御の分野において 310 件の講演発表（口頭発表 249 件、ポスター発表 61 件）が行われた。前回 2019 年度のオーストラリア開催時には 260 件であったことを踏まえると、今回はコロナウイルスの影響を感じさせない講演件数であった。

次回は、2022 年 10 月 12 日～14 日の予定で、朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター（新潟県新潟市）にて第 60 回飛行機シンポジウムと同時開催の予定である。

【特別講演 5 件】

1. "Flight Testing a 1910 Design Aircraft -My Experience- "
Air Vice Marshal (ret'd), Mark Skidmore AM
Executive Chairman, Skykraft, Australia
Non-executive Director, QinetiQ Australia, Australia
Australia Non-executive Director, TAE Aerospace, Australia

Director, Swift Aerospace Consulting Pty Ltd, Australia

2. “Smart Composite Structures and Their Aerospace Applications”

Prof. Jinsong Leng, Centre for Composite Materials and Structures, Harbin
Institute of Technology (HIT), China

3. “Opportunities and Challenges of UAM”

Dr. Jaiwon Shin (President, UAM Division, Hyundai Motor Group, Korea)

4. “Computational Laminar Flow Technology”

Prof. Shigeru Obayashi (Institute of Fluid Science, Tohoku University, Japan)

5. “Current Status and Future Plan of KARI”

Dr. Sang-Ryool Lee (President, Korea Aerospace Research Institute (KARI),
Korea)

(5) AIAA Propulsion and Energy Forum 2021 (AIAA P&E) ⁽¹⁾

米国航空宇宙学会を中心とした航空宇宙推進関連の研究発表が行われる学会。その前身である AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference の会議名も依然として掲げており第 57 回となる。例年、米国内で開催されているが、今回はコロナウイルスの影響で、2021 年 8 月 9 日～11 日にオンライン開催された。21 世紀に入ってから、宇宙推進（固体・液体・ハイブリッド・電気推進）関連の講演が多いが、近年は将来技術を中心に、航空推進（極超音速・電動化など）関連の講演が増えつつある。

2018 年以降は、電動航空機に関するセッションが独立して、AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS) となり、同一会場で連続して開催される形態が続いている。

次年度は 2021 年 8 月 9 日～11 日に、米国で開催予定。

ア. AIAA Propulsion and Energy Forum 2021 (AIAA P&E)

キーノート

[スピーカー]

+ Bhavya Lal (senior Advisor to the Administrator, NASA)

[モデレーター]

+ Barbara Esker (Deputy Director, Advanced Air Vehicles Program, NASA)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Emerging Markets: Sustainability from Day One"

航空分野の新興市場に対して、持続可能性(sustainability)の意味を考える。革新的航空モビリティ、民間超音速および極超音速輸送、無人航空機の分野のリーダーの展望を聴き、持続可能性への設計と準備について議論する。

[モデレーター]

+ Irewale (Wally) Orisamolu (Associate Director, Advanced Concepts & Technology, Pratt & Whitney)

[パネリスト]

+ Eric Allison (Head of Product, Joby Aviation)

+ Kevin Bowcutt (Chief Scientist of Hypersonics, The Boeing Company)

+ Lisa Ellman (Executive Director, Commercial Drone Alliance, and Partner, Hogan Lovells)

+ James Hileman (Chief Scientific and Technical Advisor, Environment and Energy, FAA)

- + John Kelly (Engineering Director, Propulsion and Powerplant Systems, Boom Supersonic)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Panel on Impacts of Advanced Air Mobility"

産官学を代表するパネリストを迎え、電動化推進の展望を議論する。どのような形態の推進システムが考えられるのか、どのような進歩が進みつつあるのか、どのような技術課題が実現への制約となっているのか?

[モデレーター]

- + Matteo Ugolotti (Postdoctoral Research Associate, University of Wyoming)

[パネリスト]

- + Ruben Del Rosario (Senior Director, Aerospace Systems , Crown Consulting Inc.)

- + Parimal "PK" Kopardekar (Director, NASA Aeronautics Research Institute (NARI))

- + Ben Marchionna (Director of Technology & Innovation, Electra.aero)

- + Yolanka Wulff Executive Director, Community Air Mobility Initiative)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Diversity and Inclusion in Propulsion Engineering"

航空宇宙分野の働き方やキャリア形成に関し、多様性、一体性、平等性の重要性の認識を高めることを目的とする。航空宇宙分野において、各種職場に存在する、様々な形の無意識的偏見(unconscious biases)を認識できるか否かが大切である。そうすることで、我々は互いに最善の状態で、互いを助け合い、航空分野の核心を拓くことができる。

[モデレーター]

- + The Gas Turbine Engines Technical Committee

[パネリスト]

- + Laura J. McGill (Deputy Laboratories Director, Sandia National Laboratories)

- + Claudine Phaire (Principal Systems Engineer, Lockheed Martin)

- + Eric Ruggiero (Engineering Leader in Advanced Military Engineering, GE Edison Works)

- + Karen Thole (University Distinguished Professor, Pennsylvania State University)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Commercial Flight Shaming – Is the Military Next? Does it have to be mission capability OR sustainability?"

民間航空輸送分野は、市場からの圧力により、環境持続性から目を逸らすことができなくなりつつある。従来からの例にもれず、軍事航空分野では、環境持続性はそれほど重要視されてこなかったが、今後はどうなるだろうか？ 軍事システムも、環境持続性に与える影響に対応する必要性が迫られるだろうか？

[モデレーター]

+ Matteo Ugolotti (Chief, Turbine Engine Division , Air Force Research Laboratory)

[パネリスト]

+ Richard Kamin (Senior Scientific Technical Manager: Energy and Fuels, Naval Air Warfare Center)

+ Keith Numbers (Technical Advisor, Air Force Life Cycle Management Center)

+ Chris Tindal (Assistant Director, Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI))

+ Troy Warshel (Principal Director and Chief of Staff, Air Force Operational Energy (SAF/IEN))

+ Michael Winter (Senior Fellow, Advanced Technology, Pratt & Whitney, Raytheon Tech. Corp.)

イ. AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS)

キーノート #1

+ John S. Langford, III (Chairman and Chief Executive Officer, Electra.aero)

キーノート #2

+ Jean Botti (CEO, VoltAero SA and Cassiolle, Former CTO, Airbus)

キーノート #3

+ Amanda Simpson (Vice President, Research and Technology, Airbus Americas)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Electrified Aircraft Rolling Recap – Summary of AVIATION 2021"

[モデレーター]

+ Herb Schlickemaier (President, HS Advanced Concepts)

[パネリスト]

+ Josef Kallo (CEO, H2FLY Gmbh and Institute of Energy Conversion,
University of Ulm)

+ Irewole (Wally) Orisamolu (Associate Director, Advanced Concepts &
Technology, Pratt & Whitney)

フォーラム(パネルディスカッション)

"Forum 360: Hydrogen: Hope or Hype?"

[モデレーター]

+ Josef Kallo (CEO, H2FLY Gmbh and Institute of Energy Conversion,
University of Ulm)

[パネリスト]

+ John-Paul Clarke (Chief Technology Officer and Co-Founder, Universal
Hydrogen; Professor and Ernest Cockrell Jr. Memorial Chair in
Engineering, The University of Texas at Austin)

+ Gary Mills (Staff Consultant, Ball Aerospace)

+ Olivier Savin (Founder & CEO, ZeroAvia)

+ Thomas Rötger (Dassault Aviation; Chairman, joint SAE/EUROCAE
standardization group on Hydrogen and Fuel Cells)

+ Hideyuki Taguchi (Senior Researcher, Hydrogen Aerospace Plane Team,
JAXA)

一般セッション(航空関係抜粋)

空力

GTE-03: Turbomachinery I

GTE-06: Turbomachinery II

GTE-13: Turbomachinery III

INPSI-02: Inlets & Nozzles

伝熱

GTE-15: Gas Turbine Thermal Management

TM-01: Heat Transfer and Transport

TM-03: Thermal System Applications and Unique Environment

TM-04: Thermal Modeling, Simulation and Analysis

燃焼

FPG-01: Fuel and Power Generation

GTE-02: Combustors I

GTE-04/PC-04: Lean Direct Injection (LDI) Combustion

GTE-05: Combustors II

GTE-11/PC-09: Swirl-Stabilized Combustion

GTE-14: Combustors III

PGC-01: Challenges and Successes of Harnessing Detonation-Based Combustion
for Propulsion Applications

PGC-02: Diagnostics and Device Measurement

PGC-03: Modeling and Simulation

PGC-04: Injectors and Inlets

PGC-05: Hollow and Flow-through Rotating Detonation Engines

PGC-06: PGC Applications I

PGC-07: Detonation Physics I

PGC-08: Non-Annular Rotating detonation Engines

PGC-09: PGC Applications II

PGC-11: Detonation Physics II

PGC-12: Pressure Gain Combustion is not just Rotating Detonation Engines!

PGC-13: PGC Applications III

潤滑・二次空気

(単独セッション無)

性能

UAS-01: Unmanned Aircraft Systems I

UAS-03: Unmanned Aircraft Systems II

UAS-04: Unmanned Aircraft Systems III

AIIPC-01: Advanced Integrated Intelligent Propulsion Controls

APC-02: Innovative Concepts I

APC-04: Unique Propulsion Concepts I

APC-05: Innovative Concepts II

APC-06: Unique Propulsion Concepts II

GTE-08: Cycle, Performance and Design Optimization

GTE-12/PC-11: Technologies for Sustainable Aviation

INPSI-01: Propulsion System Optimization

INPSI-03: Propulsion System Integration

INPSI-05: Computational Analysis

性能(電動)

EATS-02: Electrified Aircraft Rolling Recap - Summary of AVIATION 2021

EATS-04: Electric Machines I

EATS-05: Electrified Aircraft Design I

EATS-06: System Dynamics, Modeling, and Control

EATS-08: Electrified Propulsion System Architectures I
EATS-09: High Voltage Considerations
EATS-10: Superconducting and Cryogenic Systems and Components
EATS-11: Electrified Flight Development Programs
EATS-13: Electric Machines II
EATS-14: Electric Power Management and Distribution
EATS-15: Electrified Propulsion System Architectures II
EATS-17: Electrical Energy Generation and Storage
EATS-18: Electrified Aircraft Design II
EATS-19: Power Electronics I
EATS-20: Electric Drive Train Technology
EATS-21: Mission Operations
EATS-22: Advanced Air Mobility
EATS-23: Electrified Aircraft Rolling Recap - Summary of P&E / EATS 2021
EATS-24: Power Electronics II
EATS-25: Thermal Management
EATS-26: Electric Aircraft Technology Symposium Closing Session
GTE-10: Gas Turbine Electrification

超音速

HSABP-01: Measurement Techniques for High-Speed Air-Breathing Propulsion
HSABP-02: Fuel Injection and Flameholding
HSABP-03: Thermal Management for High-Speed Air-Breathing Propulsion
HSABP-04: Combustion Modeling and Simulation
HSABP-05: Flowpath & Component Optimization
HSABP-06: Advances in High Speed Air-Breathing Propulsion Ignition
HSABP-07: Model-based Systems Engineering
HSABP-08: Return of The Hypersonic Gap: Connecting Industry Need with Academic Rigor

製造

AMP-01: Additive Manufacturing for Propulsion - Novel Applications
AMP-02: Introduction to Additive Manufacturing for Propulsion and Energy Applications
AMP-03: Additive Manufacturing for Propulsion - Technology Advancement
AMP-04: Additive Manufacturing for Propulsion - Feasibility and Testing

制御

GTE-09: Gas Turbine Diagnostics, Prognostics and Controls

(6) ASME Turbo Expo 2021 ⁽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 件、参加者 3,000 人以上にもものぼる非常に大きな講演会。近年は毎年 6 月に北米、欧州交互に開催されているが、2016 年には韓国のソウルでアジア初開催。2020 年は英国のロンドンで開催予定であったが、コロナウィルスの影響で対面開催が見送られ、9 月 21 日～25 日にオンライン開催へ変更となった。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、さらに産業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る。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る。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。

次年度は 2022 年 6 月 13 日～17 日に、オランダのロッテルダムにて開催予定。

キーノート

“Turbines thru Time... in the Future”

[スピーカー]

+ Dr. Michael E. Webber (Chief Science and Technology Officer, ENGIE)

[モデレーター]

+ Karen Thole (The Pennsylvania State University)

+ Rich Dennis (Department of Energy NETL)

パネルディスカッション

“Aircraft Engine Panel Session: Machine Learning in Aero Engines”

[モデレーター]

+ Parthiv Shah (ATA Engineering, Inc.)

プレナリーセッション

“Opening up the Design Space Through Computations and Machine Learning”

[スピーカー]

+ Christopher Lorence (GE Aviation)

+ Dr. Dirk Nürnberger (Siemens Energy)

+ Robert D. Gregg III (Boeing Commercial Airplanes)

[モデレーター]

+ Dr. Gregory M. Laskowski (Dassault Systèmes)

+ Dr. James D. Heidmann (NASA Advanced Air Transport Technology Project)

プレナリーセッション

“Engineering in 2030 – How Must Our Educational Programs Change to Better Equip the Needed Workforce”

[スピーカー]

+ Barbara Esker (NASA Aeronautics Research Mission Directorate)

+ Prof. Mark Jefferies (University of Birmingham)

+ Dr. Bryan D. Morreale (National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy)

[モデレーター]

+ Dr. Jacqueline O'Connor (Penn State Center for Gas Turbine Research)

+ Prof. James Dawson (Norwegian University of Science and Technology)

一般セッション(航空関係抜粋)

空力

Inlets, Ducts and Boundary Layer Ingestion

Design Methods and Experimental Studies for Fans and Blowers

Optimization for Fans and Blowers

CFD and Machine Learning for Fans and Blowers

Artificial Neural Networks: From Basics to Turbomachinery Applications

Unsteadiness and Turbulence

Compressor Design

Compressor Design II

Compressor Design Methods

Fan & Propulsor Design

Endwall, Seal, & Leakage Flows

Tip Clearance Flows

Stall & Inlet Distortion

Manufacturing, Variations & Deterioration

Experiments, Rigs & Facility Operation

Transonic Compressors

Loss Generation & High Fidelity CFD

Aerodynamic Analyses

Wakes, Transition & Purge Flows

High-Speed LPT & Turbine Rear Structures

Modeling Erosion, Deposition, & Fouling
Fan / Compressor Design Methods and Applications
Combustion Design Methods and Applications
Novel Approaches for Turbine Optimization
LES and DES Methods and Applications
Centrifugal Compressor Design
Novel Solver and Simulation Framework
Whole Engine and Reduced Order Models
Pumps and Hydraulic Turbines
Unsteady Solvers
Adjoint Optimization and Reduced Order Models
Unsteady Flows in Turbines
Unsteady Flows in Compressors
Cavity Flows & Special Applications
Noise
Ducts and Component Interactions

伝熱

Thermal and Environmental Barrier Coatings
Unusual Cooling Configurations
General Film Cooling
Blade Tips and Endwalls
Advanced Materials with Film Cooling Flows
Film Cooling Optimization
Main Annulus Heat Transfer
Methods and Technologies
Heat Transfer Methods & Technologies
Jet Impingement 2
Additive Manufacturing
Rotating Heat Transfer & Turbulators
Conjugate Heat Transfer & Optimization

燃焼

Lean Blow-Out & Ignition
Combustor Flows, Instability and Passive Control
Ignition
Combustion Dynamics: Experimental Investigations I
Combustion Dynamics: Liquid Fuels
Combustion Dynamics: Numerical Modeling

Combustion Dynamics: Flame Transfer Functions
Combustion Dynamics: High-Frequency Instabilities and Instability Analysis
Combustion Dynamics: Low-Order Modelling
Combustion Dynamics: Machine Learning
Combustion Dynamics: Experimental Investigations II
Chemical Kinetics
Combustion Modelling I
Combustion Modelling II
Dry Low-NO_x Combustor Development and Emissions
Dry Low-NO_x Combustor Development (incl. Micro GT's and Pressure Gain Combustors)
Emissions: Modelling and Experiments
High Hydrogen Combustion
Novel Combustion Concepts
Joint Session CFE-HT: Combustor Wall Cooling
Use of Ammonia as Energy/Hydrogen Carrier in Gas Turbines
Hydrogen Combustion - a Thermoacoustic Perspective
Alternative Fuels
Hydrogen
Bio-Fuels
e-LCA and Eco-Design I
e-LCA and Eco-Design II and Storage

振動・動力学

Rotordynamic Modeling
Rotordynamic Design Friction Damping
Modeling, Simulation, and Validation
Aerodynamic Forcing
Forced Response in Compressors, Turbines & Cavities
Aeroelastic Instabilities and Mistuning
Compressor Aerodynamic Damping and Mistuning
Mistuning
System Vibration - Data Driven
Damping Technologies - Materials
Friction Damping
Rotor-Casing Interaction
Computational Techniques
Prediction Methods & Optimization

材料

Mechanical Behavior of Ceramics & CMCs-I

Mechanical Behavior of Ceramics & CMCs-II

潤滑・二次空気

Thermal Management and Aero-Engine Oil Systems

Seals 1

Seals 2

Oil Bearings

Dampers and Bearings

Seals and Bearings

Gas Bearings

Advances in Design, Analysis & Additive Manufacturing

Fatigue Damage Analysis

- Constitutive Materials Modelling

- Data Driven Life Analysis

Rotating Cavities and Air Systems

Turbine Rim Sealing

Rotating Cavities and Rim Seals

- Jet Impingement 1

性能

Advanced Future Engine Technologies (Combines Combustion and Emissions, Novel Concepts, and Hybrid Aero Engines)

Basics of Turboshift Engine Cycle Design and Optimization

Simple, Combined and Low Emission Cycles

Compressor Instabilities and Novel Cycles

Propulsion and Pressure Gain Cycles

System and Turbomachinery Optimization in ORC and Other Small Applications

Power Plant State of the Art Solutions for Enhanced Flexibility and Energy Storage

UQ & Robust Design - Operation and Geometric Uncertainties

Machine Learning for Turbomachinery Applications & Adjoint-Based Optimization

Aerothermal Design Optimization - Turbine Cooling Systems and Heat Exchangers

Axial Compressors and Aero-derivative Industrial Gas Turbines Design Optimization Cycle

製造

Additive Manufacturing

Subtractive Manufacturing

Life Prediction and Prognosis

Repair and Welding

Digitization, Testing and Validation

Novel and Experimental Material Test Methods

Cyber-Physical-Loop Enabling Power-Generation of the Future

Metallurgy for the Non-Metallurgist

Materials Selection for Turbomachinery in Oil and Gas Applications

Probabilistic Methods for Turbomachinery Applications

Probabilistic Lifting Applications

Structures & Dynamics: Probabilistic Methods Tutorial

[3.3.2 項 出典(1),(2) : 各、資料 3 の P2021D357～P2020D358 参照]

第4章 まとめ

4.1 今後の調査課題

(1) 2021年1月から2021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：
コロナ禍からの回復、脱炭素に関する取組、737MAX 型機納入再開、777X 型機認証の進捗と派生型貨物機開発、次期民間機への取組
- ・ エアバス社：
コロナ禍からの回復、脱炭素に関する取組、A320 シリーズ生産回復状況、A350 型機派生型貨物機の開発
- ・ NASA：
低ソニックブーム実験機 X-59 の進捗状況、全電気式 X-57Maxwell 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
- ・ FAA/EASA：
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 の実用化進捗、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進捗
 - － エンブラエル社の民間機（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
 - － ユナイテッド航空によるブーム社 Overture 超音速輸送機発注、アエリオン社の超音速ビジネス機事業からの撤退

(2) 前項の状況を踏まえ、機体およ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 および 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）
- ・ 二大メーカー以外の民間輸送機開発動向（E175-E2、MC-21、C919、CRJ929、SSJ）
- ・ 民間ターボプロップ機開発動向
- ・ 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）
- (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開発の動向（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）
 - ・ 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
- (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、以下の項目を調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

4.2 2021 年度調査のまとめ

2021 年は、コロナ禍を考慮したため、海外調査は実施せず、委員会は年度前半の 2 回を E-mail 開催とし、後半の 2 回（年末（12 月）と期末（2 月））をハイブリッド形式（対面・Web 併用）で実施した。

このため技術研究開発動向の調査項目は、昨年度報告からの継続を基本とし、それに加えて、コロナ禍からの回復と、脱炭素の観点を加えて実施した。

調査の結果、コロナ禍の影響を受けて市場は変化しており、これに対応して多くの航空機、技術研究開発活動の計画が見直されていることが明らかとなった。また、世界的な気象変動への関心の高まりを受け、電動化や持続可能航空燃料実用化の取組が進められている。米国では SAF の適用拡大を軸とする一方で、欧州を中心に水素燃料航空機への投資の動きがあり、今後どのように世界的な動きにつながるか期待をもって見ていくべきと考える。

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）計画を進めており、航空機の技術開発動向として注視すべきである。

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、ブーム社はユナイテッド航空から受注するなど確実な進捗が見られる。

規制当局の動きでは、737MAX 型機の飛行禁止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認証取得への影響と、飛行安全向上への寄与が期待される。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、一部メーカーとは協議も開始されており動きが加速している。

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（2021年1月～2021年12月）

資料番号	標 題
P2021D001	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.807
P2021D002	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.808
P2021D003	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.809
P2021D004	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.810
P2021D005	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.811
P2021D006	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.812
P2021D007	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.813
P2021D008	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.814
P2021D009	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.815
P2021D010	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.816
P2021D011	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.817
P2021D012	日本航空宇宙工業会会報「航空と宇宙」ISSN1344-1760 No.818

資料 2 (公財)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

動向情報リスト (2021 年 1 月～2021 年 12 月)

資料番号	標 題
P2021D101	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-1「航空輸送と eVTOL による新しい輸送システムの 融合の可能性について」
P2021D102	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-2「民間航空機搭載ソフトウェアの開発ガイドライン DO-178C の解説」
P2021D103	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-3「解析を活用した機体構造認証技術の現状と課題」
P2021D104	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-4「セラミック基複合材料 (CMC) 開発の現状」
P2021D105	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-5「航空機用 Geared エンジンのギヤボックス技術」
P2021D106	IADF 航空機等に関する解説概要 2021-6「航空宇宙 APQP (先行製品品質計画) 及び PPAP (生産部品承認プロセス) について」

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト (2021年1月～2021年12月)

資料番号	標 題
P2021D201	https://www.meti.go.jp/press/2020/01/20210115006/20210115006.html
P2021D202	https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/001.html
P2021D203	https://www.meti.go.jp/press/2020/03/20210312003/20210312003.html
P2021D204	https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/index.html
P2021D205	https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210716003/20210716003.html
P2021D206	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku01_hh_000110.html
P2021D207	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk8_000004.html
P2021D208	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku01_hh_000111.html
P2021D209	https://www.mlit.go.jp/report/press/kouku09_hh_000170.html
P2021D210	https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk9_000023.html
P2021D211	https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html
P2021D212	https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/004/index.html
P2021D213	https://www.jaxa.jp/press/2021/06/20210616-1_j.html
P2021D214	https://www.jaxa.jp/press/2021/08/20210820-1_j.html
P2021D215	https://www.jaxa.jp/press/2021/09/20210910-1_j.html
P2021D216	https://www.jaxa.jp/press/2021/10/20211014-1_j.html
P2021D217	https://www.aero.jaxa.jp/news/event/pdf/sympo211105/sympo05.pdf
P2021D218	https://www.jaxa.jp/press/2021/11/20211118-1_j.html
P2021D219	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101419.html
P2021D220	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101431.html
P2021D221	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101442.html
P2021D222	https://nedo-dress.jp/news/2855.html
P2021D223	https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101488.html
P2021D224	Defense & Security Monitor (2021.10.18)
P2021D225	Flight Global (2021.10.22)
P2021D226	CIRIUM (2021.11.19)
P2021D227	EMBRAER Quarterly Results (2022.2.21)
P2021D228	AIRFINANCE JOURNAL (2022.02.08)
P2021D229	PLANESPOTTERS NET (2022.02.25)
P2021D230	日経 (2021.06.16)
P2021D231	MRO (2021.06.25)
P2021D232	日経 (2021.08.04)
P2021D233	日経 (2021.08.29)
P2021D234	日経 (2021.10.26)
P2021D235	日経 (2021.06.03)
P2021D236	日経 (2021.06.23)
P2021D237	日経 (2021.07.24)
P2021D238	日経 (2021.10.23)
P2021D239	A4A (2021.11.13)
P2021D240	日経 (2021.12.02)
P2021D241	日経 (2021.12.17)
P2021D242	日経 (2021.06.17)
P2021D243	CAPA center for aviation (2021.07.08)
P2021D244	日経 (2021.07.01)
P2021D245	日経 (2021.07.16)
P2021D246	Travel Journal Online (2021.08.09)

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2021年1月～2021年12月）

資料番号	標 題
P2021D247	日経 (2022.01.06)
P2021D248	日経 (2022.01.25)
P2021D249	日経 (2022.01.26)
P2021D250	日経 (2021.04.22)
P2021D251	日経 (2021.07.31)
P2021D252	REUTERS (2021.09.14)
P2021D253	日経 (2021.10.06)
P2021D254	SPN (2021.11.14)
P2021D255	日経 (2021.11.20)
P2021D256	AIAA (2021.09.24)
P2021D257	Honeywell Press Release (2021.10.10)
P2021D258	AIAA (2022.01.07)
P2021D259	日経 (2021.04.07)
P2021D260	日経 (2021.06.12)
P2021D261	AIAA (2021.09.02)
P2021D262	日経 (2021.09.28)
P2021D263	日経 (2021.11.20)
P2021D264	日経 (2022.01.25)
P2021D265	Airlines for America (2021.04.10)
P2021D266	AIAA (2021.04.21)
P2021D267	日経 (2021.04.22)
P2021D268	日経 (2021.08.02)
P2021D269	AAPA Press Release (2021.09.13)
P2021D270	REUTERS (2021.09.13)
P2021D271	日経 (2021.10.05)
P2021D272	日経 (2021.12.11)
P2021D273	AIAA (2021.12.13)
P2021D274	日経 (2021.12.28)
P2021D275	AIAA (2021.05.20)
P2021D276	AD (2021.06.09)
P2021D277	日経 (2021.07.30)
P2021D278	日経 (2021.05.21)
P2021D279	日経 XTECH (2021.08.04)
P2021D280	FLYTEAM (2021.09.24)
P2021D281	AIRBUS Press Release (2021.09.21)
P2021D282	日経 XTECH (2021.09.24)
P2021D283	Aviation Wire (2021.10.20)
P2021D284	JAL Press Release (2020.09.29)
P2021D285	日経 (2021.12.05)
P2021D286	Asia (2021.12.17)
P2021D287	AIAA (2021.08.02)
P2021D288	AIAA (2021.04.29)
P2021D289	AVW (2021.08.11)
P2021D290	Asia (2021.12.17)
P2021D291	AVW (2021.04.19)
P2021D292	MRO (2021.06.21)
P2021D293	SPN (2021.08.27)

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト (2021年1月～2021年12月)

資料番号	標 題
P2021D294	SPN (2021.10.28)
P2021D295	AIAA (2021.12.02)
P2021D296	日経 (2021.12.03)
P2021D297	AVW (2021.04.10)
P2021D298	AVW (2021.05.29)
P2021D299	MRO (2021.07.13)
P2021D300	The Seattle Times (2021.10.14)
P2021D301	日経 (2021.11.06)
P2021D302	MRO (2021.11.11)
P2021D303	Bloomberg (2021.06.28)
P2021D304	Aviation Week Network (2021.02.22)
P2021D305	Airline Weekly (2021.10.12)
P2021D306	Bloomberg (2021.06.28)
P2021D307	Bloomberg (2021.06.28)
P2021D308	AVW (2021.05.22)
P2021D309	日経 (2021.05.27)
P2021D310	AVW (2021.04.13)
P2021D311	REUTERS (July 29, 2021)
P2021D312	AIAA (2021.08.06)
P2021D313	AIAA (2021.12.16)
P2021D314	Aero Telegraph (2021.9.15)
P2021D315	AIAA (2021.8.18)
P2021D316	AIAA (2021.8.16)
P2021D317	AIAA (2021.5.17)
P2021D318	Gulfstream Media Contacts (July 2, 2021)
P2021D319	TEXTRON News Release (July 13, 202)
P2021D320	AIAA (2021.08.04)
P2021D321	日経 (2022.01.12)
P2021D322	REUTERS (2021.09.14)
P2021D323	AVW (2021.12.20)
P2021D324	日経 (2021.10.02)
P2021D325	Simple Flying (2021.09.23)
P2021D326	AVW (2021.12.20)
P2021D327	AIAA (2021.03.30)
P2021D328	AIAA (2021.05.24)
P2021D329	AIAA (2021.06.03)
P2021D330	AVW (2021.06.14)
P2021D331	日経 (2021.06.01)
P2021D332	AIAA (2021.04.08)
P2021D333	AIAA (2021.04.14)
P2021D334	Lilium Media Release (2021.03.30)
P2021D335	Lilium Media Release (2021.09.06)
P2021D336	AVW (2021.04.05)
P2021D337	HONDA ニュースリリース (2021.09.30)
P2021D338	AIAA (2022.01.07)
P2021D339	Virgin Galactic News (2021.07.11)
P2021D340	Blue Originirgin News (2021.07.20)

資料3 大学・研究機関・企業等の刊行物リスト（2021年1月～2021年12月）

資料番号	標 題
P2021D341	各社 IR 情報をもとに委員作成
P2021D342	GE FOURTH QUARTER AND FULL YEAR 2021 RESULTS
P2021D343	Raytheon Technologies Investor Webcast Q4 2021_vFINAL
P2021D344	Raytheon Technologies Reports 2021 Results
P2021D345	Rolls-Royce 2021 Half Year Results
P2021D346	https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO%20COVID%202021%2007%2021%20Economic%20Impact%20TH%20Toru.pdf
P2021D347	ICAO「Effects of Novel Coronavirus（COVID - 19） on Civil Aviation: Economic Impact Analysis」 2021/7/21
P2021D348	各社 IR 資料から航想研作成
P2021D349	各社公表資料から航想研作成
P2021D350	Swanson Aviation Consultancy 報告書内容から航想研作成
P2021D351	航想研作成
P2021D352	NASA, What is Air Traffic Management eXploration?, https://www.nasa.gov/ames/atmx
P2021D353	NASA, What is the Airspace Technology Demonstration 2?, https://www.nasa.gov/ames/atd2
P2021D354	Kerry Lynch, NBAA, AOPA Raise Concerns about International GPS Jamming. Aviation International News online. https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2021-03-08/nbaa-aopa-raise-concerns-about-intentional-gps-jamming
P2021D355	Charles Alcock, Remote Air Traffic Control Begins at London City Airport. Aviation International News online. https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2021-04-30/remote-air-traffic-control-begins-london-city-airport
P2021D356	Tony Osborne, London City Aiport Makes Digital Switchover, AW&ST, May 17-30, 2021.
P2021D357	AIAA P&E 2021 Final Program
P2021D358	Turbo Expo 2021 Final Program