参考資料1

研究開発ビジョン最終取りまとめに向けた研究開発課題と
その取り組み方策の検討結果

最終報告書

2021 年 6 月

宇宙航空研究開発機構

航空技術部門

目次

1. はじめに P2
1.1 委員会設置の経緯、目的
1.2 検討の前提となる文書

2. 航空分野の現状 P3
2.1 我が国の航空輸送／航空利用拡大／航空産業の現状
2.2 JAXA 航空技術部門の現状（リソース、エコシステム）

3. 今後 10 年を見据え取り組むべきと考えられる研究開発領域 P7
3.1 目指すべきと考えられる将来像
3.2 将来像に沿った 10 年後の航空の姿
3.3 抽出された技術課題と取り組むべきと考えられる研究開発領域
3.4 直近 5 年に取り組むべきと考えられる技術課題

4. 直近 5 年に取り組むべきと考えられる研究開発課題 P12
4.1 重点課題の研究開発課題候補とその他の研究開発テーマ
4.1.1 課題 A：脱炭素社会に向けた航空機の CO_2 排出低減技術
4,1.2 課題 B：超音速機の新市場を拓く静粛超音速機技術
4.1.3 課題 C：国土強靭化、空の移動革命を実現する多種・多様運航統合／自律化技術
4.1.4 課題 D：新たな航空機を創出する航空機ライフサイクル DX 技術
4.2 重点課題以外の研究開発課題候補とその他の研究開発テーマ
4.3 研究開発の全体像（研究開発ロードマップ案）と進め方

5. 新しい研究開発に必要と考えられる研究実施体制及び研究環境について P18
5.1 新しい研究開発のエコシステム構築に必要と考えられる外部連携、試験設備
5.1.1 外部連携、試験設備を検討する観点
5.1.2 必要と考えられる外部連携、試験設備
5.2 新しい研究開発に必要と考えられる人材育成・活用
5.2.1 人材育成・活用を検討する観点
5.2.2 必要と考えられる人材育成・活用
5.2.3 必要と考えられる JAXA 外の人材育成への貢献

6. おわりに P22

図表 P24-53

1. はじめに

1.1 検討の経緯、目的

宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA[1]）**航空技術部門の活動の政策的位置づけは、文部科学省が策定する航空科学技術分野の研究開発計画**である。同計画は政府の科学技術・イノベーション基本計画と併せて5年毎に改訂され、次期計画は2022年度開始の予定である。次期計画の検討は文部科学省 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（以下、航空科学技術委員会）で進められており、**2019年10月には次期計画検討のベースとなる研究開発ビジョンの中間取りまとめ**が行われ、さらに**同ビジョンの最終取りまとめに向けて、個別具体の研究開発課題とその取組方策の検討依頼がJAXAに対してなされた**。この際、JAXAでの検討はメーカー・学界・エアラインその他有識者の視点も十分活用することとされた。これを受け、JAXA航空技術部門長の諮問委員会として、航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン検討に係る有識者委員会が2020年10月に設置され、2021年5月までに計6回の委員会が開催された。委員名簿を図1.1.1に示す。**有識者委員会では、JAXA航空技術部門を対象に「今後10年を見据えて取組むべき研究開発領域」、「研究開発領域を踏まえた直近 5 年の研究計画」及び「研究計画を実施するにあたり構築すべき最適な研究環境」が検討**され、2021年6月にJAXA航空技術部門長へ答申された。**JAXA は、この答申を基に、研究開発ビジョンにおける個別具体の研究開発課題とその取組方策の案を取りまとめ**、航空科学技術委員会へ報告する。

1.2 検討の前提となる文書

本委員会での検討の前提となる文書は、**政府の第 6 期科学技術・イノベーション基本計画**（図1.2.1）と、**航空科学技術委員会が取りまとめた研究開発ビジョン中間取りまとめ**（図1.2.2）である。

第6期科学技術・イノベーション基本計画は、我が国が目指す社会として、「国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会」及び「一人ひとりの多様な幸せ（well-being）が実現できる社会」であるSociety 5.0を掲げており、**SDGs[2]の達成を含む「持続可能性の確保」や「強靭性の確保」が主要なキーワード**となっている。この Society 5.0 の実現に向けた科学技術・イノベーション政策として、持続可能で強靱な社会への変革、研究力の強化及び教育・人材育成に向けた方策が示されている。

研究開発ビジョン中間取りまとめは、未来社会デザイン・シナリオとして「**既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展**」と「**次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用**」を掲げ、この2つの調和的創発によりSociety 5.0を実現することを目指している。このデザイン・シナリオを実現する研究開発、基盤技術整備の方向性として、「**優位技術を考慮した研究開発戦略**」、「**異分野連携も活用した革新技術創出**」及び「**出口を見据えた産業界との連携**」が示されている。
本委員会では、上記の2文書で示されたSociety 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策や研究開発、基盤技術整備の方向性を踏まえて、個別具体の研究開発課題とその取組方策の検討を進めることが求められる。

---

[1] Japan Aerospace Exploration Agency
[2] Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標

2. 航空分野の現状

2.1 我が国の航空輸送／航空利用拡大／航空産業の現状

研究開発ビジョン中間取りまとめでも我が国の航空分野の現状がまとめられているが、2019 年 10 月の中間取りまとめ以降に発生した新型コロナウィルス感染症（以下、コロナ禍）により航空分野に大きな影響が出ているため、改めて現状を整理した。この際、中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオとして「既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展」と「次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用」が挙げられていることを考慮し、航空輸送（従来の使われ方）、航空利用拡大（新しい使われ方）、及び航空輸送と航空利用拡大を支える航空産業の 3 つの観点で整理した。

（1） 航空輸送

2020 年のコロナ禍前まで、航空需要は世界的に拡大傾向であり、旅客・貨物共に 20 年で約 2 倍強に伸びることが予想されていた。**コロナ禍により、旅客需要は過去に例を見ない低下を示し、2020 年の航空旅客数は前年比約 60%減**となった（図 2.1.1）。主要航空機メーカーは航空機の減産や開発の凍結を発表し、我が国でも三菱航空機がスペースジェットの開発を凍結した。エアラインも機材削減、路線再編、人員の出向等で固定費の削減に努めている。

一方、世界各国のエアラインが加盟する IATA[1]や航空業界のサステナビリティを推進するグローバル連合の ATAG（Air Transportation Action Group）が示した最新の航空旅客需要予測では、コロナ禍前の水準の需要回復には 3～5 年程度を要し、長期的にもコロナ禍による需要低下の影響は残るものの、**航空旅客需要の拡大傾向は長期的に維持される見通し**が示されている（図 2.1.2）。この長期的な航空輸送の拡大に伴い、**カーボンニュートラルに代表される環境負荷の軽減、更なる事故率の低減、人材不足への対応、次なる感染症流行も含めた有事への備え等が課題**となる。特にカーボンニュートラルに向けた CO_2[2]の排出低減策である電動化や水素燃料・再生可能代替航空燃料（SAF[3]）の利用技術の開発は、コロナ禍後の航空産業の成長戦略として世界的に取り組みが活性化し、我が国でも政府がグリーン成長戦略として工程表を示している（図 2.1.3）。また、米国では複数のベンチャー企業が超音速機開発をアナウンスし、FAA[4]が超音速機の飛行試験を支援するガイダンスを作成するなど、超音速機の開発が加速している。このように、**コロナ禍後の回復期を見据え、CO_2 排出低減や超音速旅客輸送といった高付加価値を目指す動きが活性化**している。

（2） 航空利用拡大（航空輸送の範囲拡大、輸送以外の利用）

防衛分野や航空機の航法・管制などで衛星利用が進む中、**災害対応や危機管理（警備・警戒）**においても航空宇宙機（ヘリコプター、ドローン、衛星等）と地上との情報共有（基盤的防災情報流通ネットワーク SIP4D、JAXA 災害救援航空機情報共有ネットワーク D-NET など）が進み、航空機

---

[1] International Air Transport Association、国際航空運送協会

[2] 二酸化炭素

[3] Sustainable Aviation Fuel

[4] Federal Aviation Administration、米国連邦航空局

が果たす役割が拡大しつつある。また、無人機や空飛ぶクルマの用途として、物流、オンデマンド旅客輸送や空中プラットフォーム（通信・観測等）としての利用が検討されており、官民協議会において、実現に向けたロードマップが策定されている（空の産業革命／移動革命ロードマップ）。

航空利用拡大の実現に向けては、ヘリコプター、無人機、空飛ぶクルマといった多種の航空機が高密度運航環境下で共存・連携するための安全・信頼性の確保及び運航管理、社会受容性を確保するための騒音低減等が課題として挙げられる。

(3) 航空産業

我が国の航空機産業は、機体・エンジンの国際共同開発で 2〜3 割程度のシェアを有しているが、航空機の価値の約 4 割を占める装備品事業の生産高は国内の航空機産業の生産高の 1 割程度とまだ少ない。また完成機事業は、シミラリティ証明（過去に認証された機体データを用いた類似性や同等性による証明）が使えない不利な状態に加え、認証プロセスに対するノウハウが不足しており、型式証明取得に苦戦している。更なる成長のためには、完成機事業／装備品事業の拡大と、海外競合との差別化技術となるシステムレベルのインテグレーション力（設計力）の向上（OEM[1]/Tier 1[2]化）が必要となる。

旅客機の市場拡大に伴い、新造機販売と比較して収益性の高い MRO[3]事業は成長産業と目されているが、OEM の囲い込みが進んでおり、国内基盤は弱い。それに加え、デジタル技術を用いたアフターサービス（予知メンテナンス等）が広がりつつあり、航空機のライフサイクル全体を通じて、デジタル化の流れ（デジタルツイン等）への対応が必要となる。

エアラインを始めとする日本の航空輸送規模は、世界的にも上位であり、主要エアライン 2 社の売上高の合計は航空機産業より大きい。航空交通量の増大に対応するため、航空局は将来の航空交通システムに関する長期ビジョン CARATS を策定し、航空交通システムの将来像を産学官で共有しつつ研究開発・施策導入を進めている。更なる成長のためには、CNS[4]分野等の関連産業の国際展開が課題となる。

2.2 JAXA 航空技術部門の現状（リソース、エコシステム）

個別具体の研究開発課題とその取組方策を検討する際に考慮すべき条件として、我が国の航空科学技術分野における研究開発の中心となる JAXA の現状をまとめる。

（1） JAXA 航空技術部門の主なリソース

JAXA 航空技術部門の予算・人員は、予算 66.1 億円（人件費除く）、職員 189 名（いずれも 2021 年 4 月時点）であり、民間企業や大学では整備・維持・運用が困難な大型の試験設備を含め、国内有数の試験設備群を有している。我が国の産業の競争力強化のため、多くの設備を広く JAXA 外に供用している。

---

1 Original Equipment Manufacturer、完成機メーカー

2 完成機メーカーに直接納入する一次サプライヤー

3 Maintenance, Repair, Overhaul

4 Communication, Navigation, Surveillance、通信・航法・監視

今後も我が国の航空産業の成長に貢献していくためには、社会実装を意識した研究開発を進めるとともに、限られた予算・人員を有効に活用して成果を最大化するため、**外部機関と連携し適切な役割分担の下で研究開発を進めることが必要**となる。

(2) JAXA 航空技術部門の研究開発

JAXA 航空技術部門では、文部科学省策定の研究開発計画で示された方向性である「社会からの要請に応える研究開発」、「次世代を切り拓く先進技術の研究開発」、及び「航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発」に沿って、**航空環境技術（ECAT[1]）／航空安全技術（STAR[2]）／航空新分野創造（Sky Frontier）の 3 つの研究開発プログラムとそれらを支える基礎的・基盤的技術の 4 つの研究開発領域を設定**し、以下の取り組みを進めている（図 2.2.1）。

- **社会からの要請に応える研究開発**： 航空環境技術（ECAT）及び航空安全技術（STAR）の研究開発プログラムとして、**次世代エンジン技術、低抵抗・軽量化機体技術、低騒音機体技術、ヘリコプターや無人機等の利用拡大技術等の研究開発**を民間事業者等と連携して進め、国際競争力の高い技術の実証及びその技術の民間移転等を行う。
- **次世代を切り拓く先進技術の研究開発**： 航空新分野創造プログラム（Sky Frontier）として、**低ソニックブーム設計技術を核とする静粛超音速機統合設計技術**を獲得し、我が国の航空科学技術の国際優位性を向上させるとともに、国際基準策定活動に積極的に貢献する。さらに、航空機起源の CO_2 排出量を抜本的に削減するより高度な**電動航空機等の研究開発**の推進により、社会に変革をもたらす航空技術の革新を目指す。
- **航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発**： 基礎的・基盤的技術の研究として、我が国が得意とする数値流体力学（CFD[3]）等の分野における**世界最高水準の数値シミュレーション技術**を更に向上させるとともに、**試験・計測技術、材料評価技術等の基盤技術**を維持・強化する。これらを通じて、**航空機開発の迅速化、効率化等を実現する航空機設計技術の確立**等を目指し、我が国の航空産業の持続的な発展に貢献する。

(3) 研究成果を社会実装する枠組み（エコシステム）

JAXA 航空技術部門では、研究開発成果を確実・迅速に社会実装するため、外部機関と連携して研究成果を社会実装する枠組み（エコシステム）を構築している。大別して、**①企業戦略密着型、②ユーザー密着型、③多分野連携型、④標準化型、⑤基盤技術提供型**の 5 パターンがある（図 2.2.2）。成果の受取手であるユーザーとメーカー双方のニーズの顕在度等によって、最も有効な方法を選択する。

メーカーへの解析・評価ツールの提供や、メーカー技術の試験・評価等に代表される基盤技術の提供（⑤基盤技術提供型）を除き、**研究開発成果を社会実装するには最終的に技術をシステム化する必要**がある。受け手となるメーカーのニーズが顕在化していれば、システム化する能力を有するメーカーの企業戦略に合致させた緊密な連携の下で研究開発を進め、コア技術となる要素

---

[1] ECAT: Environment-Conscious Aircraft Technology Program
[2] STAR: Safety Technology for Aviation and Disaster-Relief Program
[3] Computational Fluid Dynamics

技術をメーカーに技術移転する（①企業戦略密着型）。また、装備品レベルでは JAXA 主体でシステムのプロトタイプまで開発し、ユーザーである官庁やエアラインと連携して運用評価を行った上で社会実装する例もある（②ユーザー密着型）。一方、ニーズが顕在化する前の段階から、産業界と連携した研究開発を進めるため、③多分野連携型や④標準化型の枠組みを取り入れている。特に、**実用化に時間・費用を要する機体やエンジンの全体システムレベルの研究テーマ（静粛超音速機、電動航空機など）は、基準化を含めて長期にわたる計画的な研究開発と幅広い技術分野の連携が必要であり、コンソーシアムや協議会等の連携枠組みを用いて、産学官で研究開発の長期ビジョンを策定・共有し、ビジョンに沿った役割分担の下で研究開発**を進めている。

（4） 安全保障用途（デュアルユース）への取り組み

安全保障分野は航空宇宙産業の主要な用途の一つであり、研究開発ビジョン中間取りまとめでも、民生用途と安全保障用途のデュアルユースが「出口を見据えた産業界との連携」として研究開発・基盤技術整備の方向性として挙げられている。JAXA 航空技術部門では、**CFD／複合材の解析・試験技術等の基盤技術や設備を防衛省防衛装備庁や国内重工メーカーに提供**してきたが、近年は**防衛装備庁との「航空宇宙分野における研究協力に関する協定」**の下で**滞空型無人機、航空エンジン技術、空力研究における高レイノルズ数技術等の分野で技術情報の共有等の研究協力**を進めている。また、基礎研究に対するファンドとして防衛装備庁が運用する安全保障技術研究推進制度に JAXA 航空技術部門からも積極的に応募し、複合材分野等で採択されている。なお、今後デュアルユースが見込まれる技術分野として、同制度の募集テーマには人工知能、先進材料、センシング等の分野が挙げられており、JAXA の更なる貢献が期待されている。

3. 今後 10 年を見据え取り組むべきと考えられる研究開発領域

今後 10 年を見据え取り組むべきと考えられる研究開発領域を検討するため、以下のステップで検討を進めた。

ステップ 1: 検討の前提となる第 6 期科学技術・イノベーション基本計画、研究開発ビジョン中間取りまとめ及び航空分野の現状を踏まえ、目指すべきと考えられる将来像を設定。

ステップ 2: 将来像に沿って、10 年後の航空の姿を予想。

ステップ 3: 10 年後の航空の姿からバックキャストして技術課題を抽出。この段階では取り組むべきと考えられる技術課題に絞り込まず、広く技術課題を洗い出す。これら技術課題の分類に基づき、取り組むべきと考えられる研究開発領域を設定。

ステップ 4: 研究開発領域の技術課題の中から、取り組むべきと考えられる技術課題を設定。特に、意義・価値が高く、技術の優位性やエコシステムが揃う見込みがあり社会実装の可能性が高い課題は、重点的に取り組むべき技術課題として設定。

以下、各ステップの検討結果を示す。

3.1 目指すべきと考えられる将来像（図 3.1.1）

目指すべきと考えられる将来像として、以下を設定した。

<u>**目指すべきと考えられる将来像: 人と環境に優しい持続可能な航空利用社会**</u>

<u>**1. 環境負荷のない高速輸送で世界をつなぐ**</u>
（航空輸送の環境適合性・利便性の両立）

<u>**2. 日常も災害時も誰にでも航空機の恩恵を**</u>
（持続可能で強靱な社会への航空による貢献）

<u>**3. 循環型のデジタル化した航空産業で世界をリード**</u>
（産業の競争力・持続可能性の強化）

将来像に関連する SDGs 目標は以下の 6 つである。

SDGs 目標 7:エネルギー効率の改善
SDGs 目標 8:高いレベルの経済生産性
SDGs 目標 9:資源利用効率の向上、環境に配慮した技術
SDGs 目標 11:持続可能な輸送システム
SDGs 目標 12:天然資源の効率的な利用、廃棄物の発生を大幅に削減
SDGs 目標 13:気象関連災害や自然災害に対する強靱性、気候変動対策

この将来像の設定に際しては、以下を考慮した。

- 第 6 期科学技術・イノベーション基本計画が SDGs の達成を含む「持続可能で強靱な社会」の実現を目指している点、及びコロナ禍後にカーボンニュートラルへの動きが加速している現状も踏まえ、SDGs への貢献を通じて「持続可能で強靱な社会」の実現を目指す。
- 研究開発ビジョン中間取りまとめにおいて、「持続可能で強靱な社会」を含む Society 5.0 を実

現する「未来社会デザイン・シナリオ」として、「既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展」に加えて「次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用」が挙げられている点を踏まえつつ、さらに我が国の航空産業の発展に貢献する観点から、航空輸送（従来の使われ方）、航空利用拡大（新しい使われ方）、航空産業の 3 分野で、将来像を設定する。

3.2 将来像に沿った 10 年後の航空の姿（図 3.2.1）

将来像に沿った 10 年後（2030 年）の航空輸送、航空利用拡大、航空産業の姿を予想した。予想に際しては、2 章で示した航空分野の現状・課題に加えて、研究開発ビジョン中間取りまとめに示されている未来社会デザイン・シナリオを考慮した。

(1) 持続可能な航空輸送の発展

研究開発ビジョン中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオ「既存形態の航空輸送・航空機利用の発展」において、安全性、信頼性、環境適合性、経済性等の社会共通の要求への対応に加えて、「より速く」、「より正確に」、「より快適に」、「より無駄なく」等のユーザー個々のニーズへの対応が求められていることを受け、**環境適合性、安全性、利便性が両立して発展・向上する姿**を予想した。

- 環境適合性の向上： 燃費や騒音の低減により環境適合性が向上した新型機の導入が始まると共に、運航面では SAF の導入や 4D 運航（時間管理）の導入による効率化等により環境負荷の低減が進む。
- 安全性の向上： 主な事故要因であるヒューマンエラーや気象影響の低減のため、機体側ではヒューマンエラーの検知等を行うパイロット判断支援システム、地上側では管制官や運航者に悪天時の対応策等を提示する運航判断支援システムの導入が進む。
- 利便性の向上： ユーザーの高速化の要求に応えるために超音速機の開発・導入が進む。運航面では、4D 運航（時間管理）の導入や気象影響の低減による定時性・就航率の向上や、他の交通手段との顧客・運航情報等の共有による輸送サービスの一体化が進む。

(2) 持続可能で強靭な社会への貢献

研究開発ビジョン中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオ「次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用」において、人間中心の交通ネットワークの実現に加えて、移動手段にとどまらないインフラの改革が求められていることを受け、**オンデマンド旅客輸送や無人機による物流等の実現に加えて、社会インフラとしての空中プラットフォームの実現や災害・危機管理対応の強化が進む姿**を予想した。

- 次世代エアモビリティの実現： 無人空中物流による省人化や eVTOL[1]（空飛ぶクルマ）による離島アクセスの利便性向上等が実現し、次世代エアモビリティが社会課題の解決に貢献している。
- 空中プラットフォームの実現： 情報収集／通信中継等の社会インフラとして、空中プラットフ

[1] electric Vertical Take-off and Landing、電動垂直離着陸機

オーム（小型無人機、HAPS[1]（高高度滞空機）等）の社会実装が進む。

- 災害危機管理対応： 有人機と無人機の連携等により、災害対応航空機を用いた「公助」の能力拡張が進むと共に、空中プラットフォーム等による情報収集・共有など「共助」・「自助」への航空技術の活用が進む。

(3) 持続可能な産業への転換

航空産業の現状・課題を踏まえ、航空機産業、MRO 事業、エアラインの各分野で DX[2]（デジタルトランスフォーメーション）、自動化、リサイクル等による省エネルギー、省人化が促進される姿を予想した。

- 航空機産業： 完成機事業の再開・ファミリー化が進むと共に、次世代エアモビリティ市場が拡大する。国際共同開発や装備品市場では、システムレベルのインテグレーション力（設計力）の向上により、シェア拡大が進む。さらに、DX 推進による既存システムの再構築や航空機廃材リサイクル等の新しいバリューチェーンの構築も進む。
- MRO 事業： ロボット導入による半自動化・省人化や個別機体に対するエビデンスに基づいた整備の最適化等により国際競争力を強化。OEM や運航者と連携したライフサイクルビジネス化が進む。
- エアライン： SAF や環境性能に優れた新型機の導入、運航方式の効率化等により航空機運航の CO_2 排出量を削減。また、デジタル化等により運航・整備面での省人化が進む。並行して、超音速機や次世代エアモビリティ等の多様化するニーズへの対応が進む。

3.3 抽出された技術課題と取り組むべきと考えられる研究開発領域

将来像に沿った 10 年後（2030 年）の航空輸送、航空利用拡大、航空産業の姿からバックキャストして抽出した技術課題、及び技術課題のグルーピングに基づき設定した、取り組むべきと考えられる研究開発領域を図 3.3.1 に示す。今回の検討では**環境・利便性（Sky Green+）、安全・安心（Sky4All）、DX・自律化（Sky DX）の 3 つの研究開発領域を設定**した。なお、この段階では取り組むべきと考えられる技術課題に絞り込まず、広く技術課題を洗い出した。図 3.3.1 では、横（列）方向に技術課題の技術分野を示す研究開発領域、縦（行）方向に技術課題の適用先（航空輸送、航空利用拡大、航空産業）を示す適用領域をとり、マトリックス状に技術課題をマッピングしている。

- **環境・利便性（Sky Green+）**： 研究開発ビジョン中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオに挙げられている「持続可能性と利便性の両立」を踏まえ、**航空分野の環境適合性と利便性の両立に向けた技術課題に対応する研究開発領域を設定**した。CO_2 排出や騒音の低減、CFRP[3]のリサイクル等の環境適合性の向上に係る技術課題に加えて、超音速機の高速移動等の利便性向上の課題を含む。領域の名称の Green は環境適合性を、＋（プラス）は利便性を意味する。
- **安全・安心（Sky4All）**： **航空輸送の安全性向上に加えて、航空機の利用による安全・安心な**

---

[1] High Altitude Platform System
[2] Digital Transformation
[3] Carbon Fiber Reinforced Plastics

社会の実現に向けた技術課題に対応する研究開発領域を設定した。中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオに挙げられている次世代エアモビリティの実現に向けた機材の信頼性向上や多様な機体に適した認証技術等の課題を含む。領域の名称の Sky4All は、安全・安心技術を通じて実現を目指す、All-people、All-situations、All-vehicles、All-weather の 4 つに対して開かれた航空を意味し、将来像の「誰にでも航空機の恩恵を」を表現している。

- DX・自律化(Sky DX): 安全性・経済性の向上や人材不足への対応に加え、コロナ禍対策の観点も考慮し、航空分野の DX、自律化に向けた技術課題に対応する研究開発領域を設定した。航空輸送や次世代エアモビリティの自動化・自律化に向けた判断支援や遠隔操縦、及びその認証に係る課題や、航空産業の DX に係るデータ科学、ブロックチェーン等の課題を含む。また、DX・自律化全般に共通する課題として、サイバーセキュリティを挙げている。領域の名称の Sky DX は、航空分野のデジタル化を意味している。

3.4 直近 5 年に取り組むべきと考えられる技術課題

(1) 重点的に取り組むべきと考えられる技術課題(重点課題)

研究開発領域の技術課題の中から、目指すべきと考えられる将来像を踏まえ、重点的に取り組むべきと考えられる技術課題(重点課題)を選定した。将来像の実現に資する研究開発成果が着実に社会実装されることを目指し、重点課題の選定条件は、「目指すべきと考えられる将来像に合致し、意義・価値、優位性(JAXA、日本の強み)、エコシステム(研究成果の社会実装の枠組み)の 3 要素が揃う見込みがある」とした。

重点課題は以下の 4 つである。

課題 A) 脱炭素社会に向けた航空機の CO_2 排出低減技術
(航空輸送の環境適合性の向上)
課題 B) 超音速機の新市場を拓く静粛超音速機技術
(航空輸送の利便性の向上)
課題 C) 国土強靱化、空の移動革命を実現する多種・多様運航統合／自律化技術
(持続可能で強靭な社会への航空による貢献)
課題 D) 新たな航空機を創出する航空機ライフサイクル DX 技術
(航空産業の競争力強化)

上記の重点課題 A～D の選定条件に対する評価を表 3.4.1 に示す。いずれの重点課題も将来像に合致した意義・価値を有し、技術的な優位性やエコシステムの見込みがあることから、研究開発成果の着実な社会実装が期待できる。また、多くの重点課題でコンソーシアム等を活用した多分野・異分野連携が想定されている。技術的な優位性やエコシステム構築の見込みがあること、及び多分野・異分野連携の活用は、研究開発ビジョン中間取りまとめにおいて、研究開発の方向性として挙げられている「優位技術を考慮した研究開発戦略」、「異分野連携も活用した革新技術創出」及び「出口を見据えた産業界との連携」と整合している。

(2) 重点課題以外に取り組むべきと考えられる主な技術課題

重点課題以外に取り組むべきと考えられる主な技術課題として、以下を選定した。

- **旅客機の低騒音化技術、気象影響防御技術、運航制約緩和技術**: これらの技術課題は、航空機産業やエアラインからのニーズが顕在化し、エコシステムが成立する見込みがあり、JAXA を始めとする国内機関が技術的な優位性を有している。
- **航空宇宙機への水素燃料適用技術**: 水素航空機の研究開発は、カーボンニュートラルの実現に向けた政府のグリーン成長戦略に位置づけられており、将来的には二地点間高速輸送機等への水素燃料適用も想定されるため、10 年後より先の将来を見据えた研究開発として適している。

取り組むべきと考えられる重点課題とそれ以外の主な技術課題を、今回設定した研究開発領域と適用領域でマッピングした結果を図 3.4.2 に示す。なお、**これらの主な技術課題に係る研究開発に加えて、10 年後より先の将来を見据えた基礎的技術の研究開発や、研究開発を支える試験・計測・評価技術等の基盤的技術の研究開発は着実に実施すべき**と考えられる。

4. 直近 5 年に取り組むべきと考えられる研究開発課題

4.1 重点課題の研究開発課題候補とその他の研究開発テーマ

重点課題 A～D の各課題について、以下を示す。

- 技術課題の全体像と役割分担：技術課題の全体像を示し、その中で公的な研究開発機関が課題解決に取り組むべきと考えられる部分を示す。
- 研究開発テーマの概要とロードマップ：研究開発課題を含む、主な研究開発テーマの概要、成果の出口とエコシステムを示す。

4.1.1 課題 A：脱炭素社会に向けた航空機の CO_2 排出低減技術

（1） 技術課題の全体像と役割分担

持続可能な航空輸送の発展のために、航空業界にも CO_2 排出削減が強く求められている。本報告書では、**航空機の CO_2 排出低減の長期目標として、IATA が示した「国際航空輸送の CO_2 排出量を、2050 年時点で半減（2005 年比）」を用いる。**同目標は、国内の産学官が参加した航空機電動化コンソーシアム（ECLAIR）により策定された「航空機電動化将来ビジョン（2018 年 12 月）」でも採用されている。ただし、コロナ禍後に世界各国でカーボンニュートラルへの動きが加速して各分野の CO_2 排出削減目標が前倒しされており、航空機の長期目標についても ICAO[1]で検討が進められていることから、**今後も動向を注視し、最新の CO_2 削減目標を研究計画に取り込むべき**である。

図 4.1.1.1 に示す通り、IATA 目標の達成には、2050 年に 1 機当たりの CO_2 排出を 2005 年比で 95%削減することが必要である。この内、**従来技術の改善により CO_2 排出の 35%削減が必要**と見込まれ、**その大半を削減しうる、コアエンジン技術、革新低抵抗・軽量化機体技術等の研究開発を実施すべき**と考えられる。また、革新低抵抗・軽量化機体技術は国内完成機事業の再開時の後継機開発において競争力強化に資するものと期待される。一方、次世代技術により CO_2 排出の 60%削減が必要であり、その内約 15%の削減はバイオジェット燃料等の SAF の導入で達成が可能と見込まれるが、**残り約 45%の削減には、電動ハイブリッド推進技術や水素燃料適用技術の導入が必要であり、新たに研究開発に取り組むべき課題**と考えられる。

（2） 研究開発テーマの概要とロードマップ

既存技術の性能向上（コアエンジン技術、革新低抵抗・軽量化機体技術等）に加え、電動ハイブリッド推進技術や水素電動エンジン技術等の新技術を社会実装し、2020 年代後半から 2030 年代前半に予想される次世代細胴機や次次世代広胴機の国際共同開発でのシェア獲得及び国内完成機事業の後継機開発に貢献することが、公的な研究開発機関の役割として考えられる。これを達成するための主な研究開発テーマは以下の 5 技術であり、この内、現時点の研究開発課題がコアエンジン技術、直近 5 年の研究開発課題候補は CO_2 排出削減への貢献度が高いと考えられる電動ハイブリッド推進技術である。他の研究開発テーマは、研究開発課題より小規模なリソースで行うことを想定する。各テーマの概要は図 4.1.1.2 に、成果の出口、エコシステムを示すロードマップは図 4.1.1.3 に示す。

---

[1] International Civil Aviation Organization、国際民間航空機関

① コアエンジン技術（研究開発課題）： 国内エンジンメーカーが参入を目指す燃焼器・高温高圧タービンについて、JAXA の低 NOx[1]燃焼器技術、タービン冷却技術、シミュレーション技術、試験・評価技術に基づき、特に耐熱複合材の活用を重視して国内メーカーと連携して、燃費低減と環境負荷低減（CO_2/NOx 排出削減）において競争力のあるコアエンジン技術を獲得する。

② 航空エンジンロバスト運用技術： エンジン低燃費化・軽量化及び SAF の適用範囲拡大に資する運転範囲拡大・安全性向上技術を開発し、国内エンジンメーカーに技術移転することで、2030 年代に開始すると予測される国際共同開発におけるシェア拡大を実現する。

③ 革新低抵抗・軽量化機体技術： 優位な環境性能を実現する抵抗低減・騒音低減技術と構造軽量化技術を開発し、実用化に向け技術検証を進めることで、国内航空産業の競争力強化に貢献すると共に、環境負荷を低減し、持続可能な航空輸送の発展に貢献する。

④ 電動ハイブリッド推進技術（研究開発課題候補）： 2030 年代中頃に想定される旅客機の国際共同開発に我が国産業界がエンジン電動化技術で参入することを目指し、JAXA 鍵技術と国内企業の優位技術を統合した電動ハイブリッド推進システム技術を地上実証する。

⑤ 水素電動エンジン技術： 従来のジェットエンジン技術の延長では到達することができない、革新的な CO_2 排出削減（燃費低減）を実現する技術の獲得を目指し、水素燃料を利用した燃料電池・ガスタービン複合サイクルエンジン等の水素を利用した電動推進システムの提案・技術実証を行う。

4,1.2 課題 B：超音速機の新市場を拓く静粛超音速機技術

（1） 技術課題の全体像と役割分担（図 4.1.2.1）

さらなる利便性の向上に向けて、米国では複数のベンチャー企業が超音速ビジネスジェット機や小型超音速旅客機の開発をアナウンスするなど民間超音速機の開発が加速しているが、**超音速機の市場を大きく拡大するには、現在禁止されている陸地上空の超音速飛行の実現が不可欠**である。そのためには、ソニックブームと呼ばれる超音速飛行に伴う衝撃波が地上に到達する際に観測される騒音を許容可能な範囲まで下げる必要がある。現在、**陸地上空の超音速飛行を認めるためのソニックブーム国際基準策定が ICAO で進められている。**この基準策定に向けて、NASA[2]は低ソニックブームに特化した実験機 X-59 を開発し、市街地等の上空を超音速飛行する社会反応試験により、ソニックブームの許容範囲を示す社会許容性のデータを ICAO に提供する予定である。一方で、民間超音速機として成立するには、ソニックブーム低減という環境適合性だけでなく、燃費低減という経済性との両立が不可欠である。このため、**市場に許容される実用的なソニックブーム基準値の検討を行うためには、経済性を考慮した上で達成可能なソニックブームの低減幅を示す必要**がある。

JAXA は超音速機のソニックブーム低減や低燃費を実現する機体設計技術の研究開発を継続的に実施してきており、この技術蓄積を活かして、**超音速旅客機の国際共同開発を見据えて国内産業界や海外 OEM と連携しつつ、ソニックブーム低減と低燃費を両立する機体設計技術の開発・実証に取り組むべき**と考えられる。これにより、**陸地上空の超音速飛行を可能にするソニックブー**

[1] 窒素酸化物

[2] National Aeronautics and Space Agency、米国国家航空宇宙局

ム国際基準策定に貢献すると共に、超音速旅客機の国際共同開発に国内産業界が主体的に参画するために必要なコア技術の獲得が期待される。

（2） 研究開発テーマの概要とロードマップ

ソニックブーム低減技術を核に、陸地上空を超音速飛行する超音速機の市場を拓く国際基準策定を推進し、基準策定後に予想される国際共同開発でのシェア獲得に貢献することが、公的な研究開発機関の役割として考えられる。これを達成するための主な研究開発テーマは以下の 2 技術であり、この内、直近 5 年の研究開発課題候補はソニックブームを広範囲に低減し国際基準策定に貢献しうる全機ロバスト低ブーム設計技術である。各テーマの概要は図 4.1.2.2 に、成果の出口、エコシステムを示すロードマップは図 4.1.2.3 に示す。

① 全機ロバスト低ブーム設計技術（研究開発課題候補）： ソニックブームを広範囲に低減し、超音速機の騒音基準を満たす機体設計技術を飛行実証し、国際基準策定に貢献する。

② 統合設計技術： 超音速機の環境適合性(低騒音)、経済性(低燃費)を両立する設計技術を開発し、国際競争力強化に貢献する。

4.1.3 課題 C：国土強靭化、空の移動革命を実現する多種・多様運航統合／自律化技術

（1） 技術課題の全体像と役割分担

持続可能で強靭な社会の実現に向けて、物流、オンデマンド旅客輸送、空中プラットフォーム（通信・観測等）及び災害・危機管理対応等への無人機や空飛ぶクルマの利用が期待されている。これらの利用を拡大するための技術課題は、官民協議会で策定されたロードマップ（空の産業革命／移動革命ロードマップ）にまとめられている。無人機の利用の技術課題は空の産業革命ロードマップにまとめられており、運航側の課題として「UTM[1]の本格的な社会実装」、機体側の課題として「高い安全性と信頼性の機体」が挙げられ、それぞれの課題がさらにブレークダウンされている。また、空飛ぶクルマの利用の技術課題は空の移動革命ロードマップにまとめられており、運航側の課題として「多数機の運航管理、衝突回避等」、機体側の課題として「安全性・信頼性の更なる向上」「自動飛行、地上からの遠隔操縦、高度な自動飛行」「航続距離・静粛性の向上」が挙げられている。（図 4.1.3.1）

管制や運航管理は全ての空のユーザーが恩恵を受けられる協調分野であるため公的な研究開発機関が技術課題解決に注力する分野としてふさわしく、また JAXA がヘリコプターと無人機のそれぞれの運航管理技術の分野で技術蓄積があることから、この技術蓄積を活かして、運航側の課題として挙げられている「航空機、小型無人機相互間の安全確保と調和」及び「多数機の運航管理、衝突回避等」の課題に優先して取り組むべきと考えられる。また機体側では、JAXA が有人・無人機の誘導制御技術の分野で技術蓄積があることから、この技術蓄積を活かして、将来的な技術課題として挙げられている「高度な自律飛行」及び「高度な自動飛行」の課題に取り組むべきと考えられる。

（2） 研究開発テーマの概要とロードマップ

---

[1] UAS Traffic Management、無人機の運航管理システム。UAS は Unmanned Aircraft System の略

有人・無人機の混在運航や高密度運航を実現する運航管理技術、高度な自律飛行を実現する自律化要素技術を社会実装し、2020 年代半ばの災害対応能力の向上や 2030 年代前半の空の移動革命の実現に貢献することが、公的な研究開発機関の役割として考えられる。主な研究開発テーマは以下の 3 技術であり、この内、直近 5 年の研究開発課題候補は、公共性が高く技術的優位性が他テーマより強い有人・無人混在運航管理技術及び eVTOL 高密度運航管理技術である。各テーマの概要は図 4.1.3.2 に、成果の出口、エコシステムを示すロードマップは図 4.1.3.3 に示す。

① 有人・無人混在運航管理技術(研究開発課題候補): 有人機・無人機の運航統合技術を実証し、災害時に混在運航できる環境をいち早く実現する。
② eVTOL 高密度運航管理技術(研究開発課題候補): VFR[1]機と eVTOL 機(空飛ぶクルマ)が同一空域で高密度運航する技術を実証し、マルチエアモビリティ混在運航の実現に貢献する。
③ 自律化要素技術: 「出発から到着まで人間が介在しない完全な自律運航」の成立性を飛行実証し、マルチエアモビリティの完全な運航統合/フリーフライト実現に貢献する。

4.1.4 課題 D:新たな航空機を創出する航空機ライフサイクル DX 技術

(1) 技術課題の全体像と役割分担

持続可能な航空産業への転換を図りつつ、国際競争力を強化していくには、航空機の設計・認証・製造・運用・廃棄というライフサイクル全体を DX により効率化、高速化していくことが必須である。さらに、AI[2]と多分野統合システム解析を組み合わせた設計技術を構築することで、多数のコンセプトをサイバー空間で高速に検討・評価することにより、これまでにない革新的な航空機のコンセプトが創出されることが期待される。

航空機のライフサイクル全体の DX イメージを図 4.1.4.1 に示す。設計フェーズの DX であるデジタル統合設計から運用・保守フェーズの DX であるデジタルツインに至るまで、各フェーズの DX の概要と技術課題を示している。国内の完成機事業が型式認証取得に苦戦している点や、今後は電動航空機や水素航空機に加え、次世代エアモビリティ等の多様な機体の認証が課題となる点を考慮し、航空機の設計・認証・製造フェーズの DX から着手すべきと考えられる。DX は関連する専門分野が多く、成果の適用範囲も広い基盤的な取り組みであり、JAXA、大学、IT ベンダー、メーカー等との多分野連携・役割分担が必要である。JAXA が数値シミュレーションを中心とする解析技術や試験・計測技術等の基盤的技術の分野で技術蓄積があることから、それらを活かしたデジタル統合設計技術の構築、設計や認証に必要な試験を代替する数値シミュレーション技術の開発、及び大型試験設備を活用した解析手法の検証等に取り組むべきと考えられる。

(2) 研究開発テーマの概要とロードマップ

実試験で実証された基盤的な解析技術(主に空力・構造分野)に基づく DX 技術を社会実装し、2020 年代後半にも予想される次世代細胴機、次世代エアモビリティ等の開発・運用や国内完成機事業の再開を対象として航空機ライフサイクルの DX を推進することが、公的な研究開発機関の役割として考えられる。これを達成するための主な研究開発テーマは以下の 4 技術である。各

[1] Visual Flight Rules、有視界飛行方式
[2] Artificial Intelligence、人工知能

テーマの概要は図 4.1.4.2 に、成果の出口、エコシステムを示すロードマップは図 4.1.4.3 に示す。

① <u>デジタル統合設計</u>： AI による解析の軽量迅速化、多分野統合システム解析（空力・構造・飛行・制御・推進等）技術を構築し、サブシステムで実証する。AI を用いたデジタル統合設計により革新コンセプトを創出することを目指す。

② <u>デジタルフライト</u>： 実機スケール・複雑形状を考慮した離着陸形態の高忠実非定常空力解析技術を検証し、飛行試験の代わりに飛行シミュレータを用いた認証（CbA[1]）を提案する。

③ <u>デジタルテスティング</u>： 航空法で定められた要件に適合した一貫性ある構造解析技術の適用により、構造強度証明の認証期間を短縮し、国際競争力強化に貢献する。

④ <u>デジタルプロトタイピング</u>： サイバー空間での構造部材の試作シミュレーション手法を構築・適用により、迅速な量産開始を可能とする開発プロセスの実現を目指す。

4.2 重点課題以外の研究開発課題候補とその他の研究開発テーマ

重点課題に加えて、<u>**社会的ニーズが高い空港周辺地域社会における騒音被害低減に資する旅客機の低騒音化技術及び特殊気象（着氷、雷、乱気流、火山灰など）に起因する航空事故や運航効率の低下を防ぐ気象影響防御技術等に取り組むべき**</u>と考えられる。主な研究開発テーマは以下の 3 技術であり、この内、航空産業界とのエコシステム構築が進んでおり技術的優位性も強い旅客機低騒音化技術が研究開発課題候補である。

① <u>旅客機低騒音化技術（研究開発課題候補）</u>： 機体騒音低騒音化技術を将来の旅客機開発ならびに降着装置開発に適用可能な段階まで成熟度を高めることにより、航空産業界の競争力強化に貢献するとともに、社会的要請の強い空港周辺地域社会における騒音被害軽減に貢献する。

② <u>気象影響防御技術</u>： 特殊気象（着氷、雷、乱気流、火山灰など）を検知・回避・防御する航空機搭載／地上設置型のシステムを開発することにより、航空事故を削減し、また航空機運航の効率を改善することを目指す。

③ <u>運航制約緩和技術</u>： 航空機運航の障害となる気象に関する意思決定支援情報を出力するシステム、および意思決定支援情報と交通状況に基づいて有効な運航方法を導出するシステムを開発することにより、民間航空機運航における気象の影響を緩和し、運航の経済性を向上することを目指す。

また、<u>**10 年後より先の将来を見据えた研究開発テーマとして、航空宇宙機への水素燃料適用技術に取り組むべき**</u>と考えられる。主な研究開発テーマは以下の 1 技術である。

① <u>航空宇宙機への水素燃料適用技術</u>： 宇宙用技術も投入しての民間航空機の水素化技術（燃料供給系、タンク等）の確立を短期目標とし、得られた要素技術は将来宇宙輸送機にも適用してその成立性を高める技術開発を進める。<u>**我が国が有する航空・宇宙の両分野の強みを活かすため、航空・宇宙両分野の研究開発機関が連携して取り組むべき**</u>と考えられる。また、航空・宇宙両分野の連携という面では、重点課題で挙げた革新低抵抗・軽量化機体技術や航空機ライフサイクル DX 技術等は、将来宇宙輸送機の成立性向上にも資する技術と考え

[1] Certification by Analysis、解析による認証

られる。

なお、水素利用は政府のグリーン成長戦略でカーボンニュートラル達成の重要な選択肢として挙げられており、水素の製造、流通、利用(航空機産業を含む)の各分野で以下の目標が設定されている。研究開発を進めていく上では、各目標との整合性や関連施策の動向に常に注意を払う必要がある。

- 水素の製造、流通: 水素産業の成長戦略「工程表」では、水素の製造国内の潜在水素需要が約 700 万トン/年に対し、2030 年に 30 円/Nm^3(現在の販売価格の 1/3 以下)で最大 300 万トンの供給、2050 年には 20 円/Nm^3程度以下(熱量比較でジェット燃料と同等の価格)で 2,000 万トンを供給という目標が設定されている。
- 水素の利用: 各輸送分野で水素利用に向けた工程表が策定されており、航空機産業の成長戦略「工程表」では、水素航空機実現のために 2030 年までにコア技術(水素エンジン、液体水素タンク等)の研究開発が求められている。なお、航空機への適用を実現するためには、製造、流通の他に、空港等の周辺インフラの実現可能性についても、安全性、経済性の観点から検討が必要になる。

また、将来宇宙輸送システムについては、実現に向けたロードマップ検討が文部科学省で行われており、その検討状況を研究計画に随時反映する必要がある。

4.3 研究開発の全体像(研究開発ロードマップ案)と進め方

研究開発の期限と出口を明確化するために、4.1、4.2 で示した<u>各研究開発テーマを JAXA 航空技術部門が主導して実施する場合の今後 10 年間(2022~2031 年度)の研究開発ロードマップ案</u>を図 4.3.1 に示す。ロードマップ案は、航空輸送、航空産業、航空利用拡大の適用領域毎に各研究開発の主要なマイルストーン、成果の出口を示している。太い黒線で囲われた研究開発は、リソースを重点的に投下する候補を示している。また、世界各国で加速しているカーボンニュートラルの実現に資する研究開発(重点課題 A の CO_2 排出低減に係る研究開発、水素燃料適用技術等)は、マークを付けて識別している。参考に、カーボンニュートラルの実現に資する研究開発だけを抜き出したロードマップ案を図 4.3.2 に示す。

これらの研究計画を着実に進め、確実に社会実装につなげていくためには、以下の点に留意する必要がある。

- <u>設定した研究計画は、年度単位の評価、フェーズ毎の審査や外部評価を考慮して定期的に見直す。</u>この見直しの結果に基づき、プロジェクト化等の重点化を段階的に進める。プロジェクト化以降も、定期的な進捗報告やフェーズ毎の審査等を通じて研究開発の進捗や意義・価値が陳腐化していないか等の確認を行い、必要に応じて計画を見直す。
- 研究開始時には<u>目標となるシステム性能からバックキャストした数値目標を設定</u>する。
- 研究成果の社会実装を確実にするため、エコシステムを活用し、<u>受取手との共同での開発・評価、技術移転後のフォローアップを着実に行う。</u>

5. 新しい研究開発に必要な研究実施体制及び研究環境について

5.1 新しい研究開発のエコシステム構築に必要な外部連携、試験設備

5.1.1 外部連携、試験設備を検討する観点

研究開発ビジョン中間取りまとめの「デザイン・シナリオの実現方策を支えるシステム改革」で挙げられている「研究資金の改革」での民間企業との協働、及び「研究環境の改革」での大型試験施設の具体の取り組みを検討するに際し、研究開発成果の社会実装に向けたエコシステム構築に必要な外部連携、試験設備に着目した。エコシステム構築には、外部連携とその核になる設備が必要であり、特に、新しい研究テーマでは、外部連携の新しい取組や、連携の核となる外部機関の利用も考慮した実証設備の新設・改修が必要になると考えられる。従って、本報告書では、JAXA 航空技術部門を例に取り、重点課題の中から、JAXA 航空技術部門にとって**新しい研究開発である電動ハイブリッド推進技術、多種・多様運航統合技術、航空機ライフサイクル DX 技術を対象とし、各研究開発のエコシステム構築に必要な外部連携、設備を検討**した。

なお、公的な研究開発機関にとって、**民間企業からの資金獲得は「研究資金の改革」の重要な観点**である。その方策として、**研究成果を積極的に知財化して知的財産収入の拡大を図ると共に、設備供用に際して計測技術等の知財利用や設備維持の適正な対価を得る等の取り組み**が考えられる。さらに、本報告書で議論した、民間企業等との連携・役割分担（資金分担を含む）により研究成果を社会実装するエコシステムの発展型として、**民間資金により研究開発を行う形のエコシステム（収入型共同研究等）を強化する**ことも考えられる。今後も、外部状況の変化や今回計画しているエコシステムの構築・運用実績を踏まえ、新しいエコシステムの構築に取り組む必要がある。

5.1.2 必要と考えられる外部連携、試験設備

新しい研究開発に共通するエコシステムとその構築に必要と考えられる外部連携、試験設備の検討結果を示す。

（1） 新しい研究開発に共通するエコシステム

電動ハイブリッド推進技術、多種・多様運航統合技術、航空機ライフサイクル DX 技術のいずれも、**我が国の各機関が有する優位技術を組み合わせてシステム技術を獲得することが必要**である。また、多種・多様運航統合技術を筆頭に、**各分野へのベンチャー企業の進出が盛んであり、実証環境や試験・解析・評価ツールの提供、及び技術の標準化等の観点で公的な研究開発機関の支援が必要**とされる。これらの観点から、以下のエコシステムの構築が、新しい研究開発に共通して求められると考えられる。

- 多分野連携型： **多分野連携でシステムのビジョンを共有した技術開発により、システム技術の獲得**を目指す。
- 標準化型： **産学官一体での国際標準化活動への参画により、国内企業が参画しやすいルール作り**を目指す。

（2） エコシステム構築に必要な外部連携

幅広い分野の機関との連携を必要とする多分野連携型、国際的な関係構築が必要な標準化型のエコシステムの構築に適した外部連携として、以下が考えられる。

- コンソーシアム： 産学官のステークホルダーが幅広く参加し、ビジョンやユースケースを共有して、共通の目標システムに対して技術開発を行う。
- 国際標準化活動への参画： コンソーシアム等での情報交換、戦略共有等を通じて、産学官の各機関がそれぞれの強みを活かしつつ連携して標準化活動に参画することにより、国際標準化活動において日本のプレゼンスを向上させ、より有利な立場での標準化活動が可能となる。各機関が有する海外研究機関、海外メーカー等の国際コミュニティとの連携も活用する。

(3) エコシステム構築に必要な設備

システム技術の獲得にはシステム実証を可能にする設備が必要であり、DX 化の核となる解析技術の確立には、検証を行うための試験設備やサイバー空間での協働を可能にするプラットフォームが必要である。これらには、民間企業や大学では整備しにくい大型の試験設備も含まれており、JAXA を始めとする公的な研究開発機関がこれらの設備を有することで、エコシステム構築の核となることが期待される。

- システム実証を可能にする設備： 2MW 級（実機相当出力）電動システム試験設備、飛行実証設備
- 解析技術を検証する基盤研究設備： 世界標準の風洞模型、ラピッドテスティング設備（3D プリンタ等）、強度評価／非破壊検査／製造設備群、等
- サイバー空間での協働を可能にする設備： サイバープラットフォーム

なお、本検討で取り上げなかった設備についても、JAXA を始めとする公的な研究開発機関は各設備の老朽化対策、機能向上策を策定し、技術進歩や社会情勢に応じた新たな技術ニーズに対応するよう、計画的に更新・整備を進めるべきと考えられる。また、設備の整備・運用に際しては、受益者負担としてユーザーにも応分の負担を求め、将来的な設備運用の PPP[1]導入を含めて持続可能な体制の構築を目指すべきと考えられる。

5.2 新しい研究開発に必要な人材育成・活用

5.2.1 人材育成・活用を検討する観点

研究開発ビジョン中間取りまとめの「デザイン・シナリオの実現方策を支えるシステム改革」で挙げられている「研究人材の改革」では、研究人材について以下の観点が示されている。

- 航空科学技術分野で求められる研究人材： 航空科学技術分野は最新技術が積極的に取り入られるため、「時代の変化に対応し、常に重点分野のスペシャリストであり続ける人材」が必要である。また、航空機開発は国際共同開発が主流であり、さらに航空機の利用拡大に伴いより学際領域的な視点での連携が必要なため、「専門分野によらず、国際的感覚を有し、国内関係者（機関）を調整し、一つにまとめ上げることのできる視野の広い人材」が必要である。
- 人材育成への貢献： 研究人材の担い手の多様化・裾野拡大を想定し、「広報活動などを通じた裾野の拡大に関するより一層の取組」が必要である。また、航空を専攻した学生が航空

[1] Public Private Partnership、官民連携

関係の研究開発職等を志すこととなるような支援として「実用に繋がる研究開発に携わる機会の提供等の取組の継続」が必要である。

本報告書では、上記の観点について、外部連携・試験設備の検討と同様に、JAXA 航空技術部門を例に取り、重点課題の新しい研究開発に必要な人材育成・活用という面から必要な取り組みを検討した。

5.2.2 必要と考えられる人材育成・活用

研究開発ビジョン中間取りまとめで求められている「時代の変化に対応し、常に重点分野のスペシャリストであり続ける人材」、「専門分野によらず、国際的感覚を有し、国内関係者（機関）を調整し、一つにまとめ上げることのできる視野の広い人材」は、多分野連携や国際標準化活動への参画を必要とする重点課題の新しい研究開発（電動航空機、多種・多様運航統合、航空機ライフサイクル DX）でも必要な人材である。一方、研究開発を進める上では、全て機関内の既存人材で対応する必要はなく、「新たな人材の取り込み」、「既存人材の育成」、「外部機関の活用」という 3 つの方策を組み合わせることが有効と考えられる（図 5.2.2.1）。以下、各方策の概要を示す。

（1） 新たな人材の取り込み

従来の JAXA 航空技術部門の人材（空力／数値流体解析、推進、構造・材料、誘導・航法・制御、運航、等）に加え、システム設計、データ科学・AI 等の分野は、JAXA 航空技術部門で継続的に有すべき人材である。これらの分野の人材確保は、短期的には企業等からの出向・クロスアポイントや経験者採用を強化して対応しつつ、長期的には高い専門能力を有するドクター人材を積極的に採用する。特に新しい分野の人材採用に際しては、互いのミスマッチを避けるため、インターンシップなどの試用機会を積極的に活用することが必要である。

（2） 既存人材の育成

- 外部機関との交流： 短期間で集中的に専門能力の向上を図るために、企業や大学等との外部機関との相互出向、クロスアポイント、留学・受入を積極的に行う。一度限りではなく、リカレント教育的に同一人材に外部交流を定期的に活用し、既存人材の継続的な能力向上、視野拡大を図る。また、コロナ禍後に定着したオンライン会議を活用し、海外研究機関との意見交換の機会を増やす。
- 学会、コンソーシアムの活用： 学会やコンソーシアムといった幅広い“緩やかな連携”（知見の共有）を通じて、既存人材の視野を広げ、新しい分野への取組を促進する。また、学会やコンソーシアムの運営を通じて、所属機関内外の組織をまとめ上げる能力を養成する。
- 飛行実証の活用： 飛行実証への参画を通じて“携わったものが空を飛ぶ”というワクワクする機会を与え、モチベーションを向上させると共に、システムとしての航空機の理解増進を図る。

（3） 外部機関の活用

企業、研究機関、大学等との共同研究、委託契約やコンソーシアム等を通じたビジョン共有、役割分担により、自らの機関内にはない外部機関の専門能力を活用する。JAXA 航空技術部門の

場合、部門外で対応可能な機関が多い製造・製作、情報通信、経済性、社会受容性等の分野、また JAXA 航空技術部門が対応能力を有しない感染症対策の分野等は、外部機関の能力を積極的に活用する。航空機電動コンソーシアムで行われている、産学官でのビジョン策定・共有と、ビジョンに基づいて産学官の各機関が参加した研究開発グループの活動は、外部機関活用の好例である。

5.2.3 必要と考えられる JAXA 外の人材育成への貢献

JAXA 航空技術部門としても、**JAXA 外の人材育成は、「中長期的に JAXA 内の人材が充実する（若年層への航空科学技術の裾野拡大）」、「外部連携先（大学、企業等）の人材が充実する」というメリット**があると考えられる。特に、重点課題の新しい研究開発（電動航空機、多種・多様運航統合、航空機ライフサイクル DX）では、従来の航空科学技術分野に留まらない幅広い人材が必要となるため、研究開発ビジョン中間取りまとめが示す「広報活動などを通じた裾野の拡大に関するより一層の取組」、「実用に繋がる研究開発に携わる機会の提供等の取組の継続」の 2 つの観点に対応した従来の取組に加えて、**航空科学技術分野に留まらない幅広い人材育成への貢献を目指す**べきである。

（1） 若年層に向けた航空宇宙科学技術の教育機会の提供

JAXA 宇宙教育センターと連携して、高校生を対象に研究・設備の紹介や実習機会を提供する「調布エアロスペーススクール」等の**従来の取り組みを着実に継続しつつ、幅広い分野の人材にリーチする新しい機会に積極的に取り組む**べきと考えられる。具体的には、**SDGs を始めとする気候変動対策への航空分野の取り組みを中高生向けの教育教材として提供する等の活動**により気候変動に関心を持つ幅広い若年層に発信する取り組みが考えられる。

（2） 実用に繋がる研究開発に携わる機会の提供

以下の**従来の取り組みを着実に継続しつつ、新しい研究開発で必要なデータ科学・AI 等を含む電気・情報系の学生への研究開発機会の提供や企業の人材育成への貢献に取り組むべき**と考えられる。具体的には、エコシステム構築に必要な設備として挙げた**サイバープラットフォームを活用して試験・CFD データ等を電気・情報系の学生と共有し、実データの解析機会を提供する**取り組みや、**企業との相互出向やクロスアポイント等の人事交流を強化**し、JAXA 人材の育成のみならず、企業の人材育成への協力を推進する取り組みが考えられる。

継続的な取組例：

- CFD 解析ツールの教育機関への無償ライセンス
- 連携大学院／受託指導学生／技術習得／インターンシップ／リサーチアシスタント等の枠組みによる研究現場への学生の受入
- 大学との共同研究
- 飛行実証への参画機会
- 学会活動への協力（研究会／ワークショップの開催等）

6. おわりに

本報告書では研究開発ビジョン最終取りまとめに向けた個別具体の研究開発課題とその取組方策の検討結果として、今後 10 年を見据えて取組むべきと考えられる「研究開発領域」、研究開発領域を踏まえた直近 5 年で取り組むべきと考えられる「研究開発課題候補、研究開発テーマ」及び研究計画を実施するにあたり構築すべきと考えられる「最適な研究実施体制及び研究環境」の検討結果を取りまとめた。主な検討結果を以下にまとめる。

- 研究開発領域: 政府の第 6 期科学技術・イノベーション基本計画、航空科学技術委員会の研究開発ビジョン中間取りまとめを踏まえ、目指すべきと考えられる将来像「人と環境に優しい持続可能な航空利用社会」を設定した。将来像に沿った10年後の航空の姿からのバックキャストにより技術課題を洗い出し、それをベースに**「環境・利便性(Sky Green+)」、「安全・安心(Sky4All)」、「DX・自律化(Sky DX)」からなる研究開発領域を設定**した。

- 研究開発課題候補、研究開発テーマ: 目指すべきと考えられる将来像に合致し、意義・価値、優位性(JAXA、日本の強み)、エコシステム(研究成果の社会実装の枠組み)が揃うことを選定条件として、以下 **A～D の重点課題を選定し、直近 5 年で取り組むべきと考えられる研究開発課題候補を識別した**。また、重点課題以外では、旅客機の低騒音化技術を研究開発課題候補として識別すると共に、10 年後より先の将来を見据えた研究開発として、航空宇宙機への水素燃料適用技術の研究開発テーマを見いだした。
  課題 A)脱炭素社会に向けた航空機の CO_2 排出低減技術
  課題 B)超音速機の新市場を拓く静粛超音速機技術
  課題 C)国土強靱化、空の移動革命を実現する多種・多様運航統合／自律化技術
  課題 D)新たな航空機を創出する航空機ライフサイクル DX 技術
  さらに、JAXA 航空技術部門が主導してこれらの研究開発課題候補、研究開発テーマを実施する場合の**各研究開発のマイルストーン、成果の出口をロードマップ化**して示した。

- 最適な研究実施体制及び研究環境: JAXA 航空技術部門を例に、重点課題の新しい研究開発(電動ハイブリッド推進技術、多種・多様運航統合技術、航空機ライフサイクル DX 技術)に必要となる外部連携、試験設備、人材育成・活用を検討した。
  - 外部連携、試験設備: 重点課題の新しい研究開発に必要となるエコシステムは多分野連携型、標準化型であり、**産学官のステークホルダーが幅広く参加して多分野連携を可能とするコンソーシアムや、国際標準化活動への参画が有効**と考えられる。また、エコシステムの核となる設備として、**システム実証を可能にする設備、解析技術を検証する基盤研究設備、サイバー空間の協働を可能にする設備**が必要と考えられる。
  - 人材育成・活用: コンソーシアムによる多分野連携や国際標準化活動への参画が必要との観点から、**「重点分野のスペシャリストであり続ける人材」、「国際的感覚を有する視野の広い人材」の育成**を目指して、以下の 3 つの人材育成・活用策を進めることが有効と考えられる。さらに、JAXA 外の人材育成への貢献については、実用に繋がる研究開発に

携わる機会の提供等の従来の取組に加えて、**データ科学・AI 等を含む電気・情報分野等の航空科学技術分野に留まらない幅広い人材育成への貢献**を目指す。

方策①　新たな人材の取り込み：企業からの出向、経験者採用の活用。高い専門能力を有するドクター人材を積極的に採用。

方策②　既存人材の育成：外部機関との人事交流。学会、コンソーシアム、飛行実証を通じた JAXA 内人材の育成。

方策③　外部機関の活用：外部連携により、JAXA 外機関の専門能力を活用。

最後に、本報告書が、航空科学技術委員会での研究開発ビジョンの最終取りまとめの策定に資することを期待する。特に、開発サイクルが長い航空科学技術分野で社会に必要とされるタイミングで技術を提供するには、**長期にわたる計画的な研究開発が必要であり、その推進には政府としての研究開発の中長期ロードマップの策定が有効**と考えられる。今後の研究開発ビジョン最終取りまとめの検討においては、ロードマップ策定について是非ご議論頂きたい。