

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

(案)

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

令和4年2月

目次

1. はじめに
2. 我が国の航空分野の現状
3. 航空科学技術分野における未来社会デザイン・シナリオの実現方策
 3. 1 未来社会デザインとシナリオ
 3. 2 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
4. 実現方策を支えるシステム改革
 4. 1 研究人材の改革
 4. 2 研究資金の改革
 4. 3 研究環境の改革
 4. 4 研究開発実施組織の改革
5. 未来社会デザイン・シナリオを実現する具体個別の研究開発の取組
 5. 1. 既存形態での航空輸送・航空機利用の発展に必要な研究開発
 5. 2. 次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用に必要な研究開発
 5. 3. デザイン・シナリオを実現するための基盤技術の研究開発
6. おわりに

1. はじめに

我が国では平成 28 年度からの 5 か年計画である第 5 期科学技術基本計画において、科学技術イノベーション政策を経済、社会及び公共のための主要な政策として位置付け強力で推進してきた。同計画では、情報通信技術（ICT）の急激な進化やグローバル化の更なる進展等の社会・経済の構造の大変革期にあること、エネルギー問題をはじめとする世界が抱える課題の増大・複雑化が起こりつつあることから、そのような中で我が国及び世界の将来にわたる持続的な成長のため、目指すべき国の姿及びこれを実現するための政策が示されている。

これを受けて文部科学省では、研究計画・評価分科会において、今後実施すべき「重点的に実施すべき研究開発の取組」及び「推進方策」について検討し、「研究開発計画」を策定した。同計画においては、「社会からの要請に応える研究開発」、「次世代を切り開く先進技術の研究開発」、「航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発」の 3 点を航空科学技術分野の研究開発における取組の柱とするとともに、これらの推進のために、人材育成、オープンイノベーション（産学連携）の推進、大型試験設備の整備等に着実に取り組んできた。

今般、令和 3 年度からの 5 か年計画として、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画が令和 3 年 3 月に策定され、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、国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革や、知のフロンティアを開拓し価値創造の源泉となる研究力の強化等を推し進めることが示され、その実現のためには今後も航空に対する社会要求がより一層高まっていくことが想定される。

そこで、文部科学省では、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において、第 6 期科学技術・イノベーション基本計画期間を含む今後の 10 年程度を見通しつつ、航空科学技術分野の現状や今後文部科学省として推進すべき研究開発の方向性等について検討し、令和元年 10 月に「中間とりまとめ」を行った。

その後、航空科学技術分野における研究開発の中心的な実施機関である国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）に「中間とりまとめ」を踏まえた個別具体の研究開発課題とその取組方策の検討を依頼し、その報告内容を踏まえて検討を行い、令和 4 年 2 月にとりまとめた。

2. 我が国の航空分野の現状

航空機はその最大の特徴である高速性を生かし、旅客や貨物の輸送、観測等の様々な部門における利活用を通じ、既に経済社会の発展及び国民生活の向上のために必要不可欠な社会インフラとなっている。そして、世界の経済発展、これに伴うグローバル化の進展、LCCの市場の成長を背景に、航空需要のますますの増加が見込まれていた。しかしながら、2020 年初頭から急速に拡大した新型コロナウイルス感染症の影響により、世界的な航空需要は過去に類を見ないほど大幅に減少し、国際民間航空機関（ICAO）の Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis によると、2020 年は旅客数が前年比 60% 減となるなど、感染症や経済危機、紛争など国際的有事により航空需要が急激に落ち込むことを再認識することとなった。過去の経済危機やテロなどの有事の際にも旅客需要は一時的に停滞したものの、旅客需要は回復し最終的には成長を再開した。一方で、今回は過去の有事とは比較にならない落ち込みで、コロナ禍前の旅客需要に戻るまでに時間を要することが見込まれる。なお、今回のコロナ禍においても貨物需要は比較的堅調に推移している。

世界各国のエアラインが加盟する国際航空運送協会（IATA）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

「WAYPOINT 2050 First Edition Sep.2020」によると、コロナ禍前までの水準まで需要が回復するには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。

一方、世界の旅客機産業は、ここ20年ほどボーイング社とエアバス社の複占状態であり、2社以外では、100席以下のリージョナルジェットにエンブラエル等の企業が参入している程度である。航空機産業全体として長期的に堅調な成長が見込まれる中、特に中小型機の需要拡大、とりわけアジアでの需要拡大が顕著であると見込まれている。一方で我が国の航空機産業の市場規模は1.8兆円前後で推移している状況である。機体構造やエンジンについては、日本航空機開発協会や日本航空機エンジン協会のもと重工各社が連携して国際共同開発へ参画しているが、機体構造についてはボーイングの中大型機以外の機体（ボーイングの小型機やエアバス等の機体）への参画、エンジンについてはコアエンジン（高温高圧部）への参画に新たな開発分担を獲得する余地があると考えられる。一方で、機体・エンジン以外の構成要素である装備品については、機体価格の約4割を占めるにも関わらず、内装品、飛行制御、降着装置などの一部は欧米企業と競合しているが、全体としては参入が限定的と言わざるを得ない。加えて、技術をパッケージングしてシステム化するシステムインテグレーションの分野でも実績を重ねる機会が少ないと言える。政府としては2030年に航空機産業の売上高3兆円を達成する目標を掲げているが、その達成にはこれらの状況や欧米においては航空機産業の技術発展を先導する研究開発にNASA等の公的研究機関が重要な役割を果たしていることも踏まえ、次世代航空技術の研究開発においては航空科学技術行政（文部科学省/JAXA）によるより一層の取組が必要である。

航空機は自動車に比べ部品点数が約100倍に及ぶ複雑なシステムを有し、また、安全性や信頼性に関して非常に厳格な要求がなされるため、開発には高い技術が要求される。よって、航空機産業は、他の産業分野での取組を含む我が国がこれまで蓄積してきた高い技術力を集約することで、世界に対してさらに貢献していくことが可能な分野であると言える。そのためには、我が国が有する技術的な強みを把握し、どの分野の研究開発に注力していくべきかを見極めることが重要である。具体的には、まず、既に我が国航空機産業が国際的な優位技術を有するCFRP（炭素繊維強化プラスチック）をはじめとする先進材料分野が挙げられ、これらは引き続き国際的な優位性を維持することが必要である。これに加え、超音速機のソニックブーム低減技術、コアエンジンの環境負荷低減技術、機体の低騒音化技術、数値解析技術に代表されるJAXAが有する世界最先端レベルの技術及び自動車産業や電機産業等の関連する産業分野が有する電動化技術、自動化などの生産技術、情報技術における優位性の維持が重要である。これらは今後の学術界における研究成果や航空機産業の動向を見極めた上で、産学官の連携体制のもと、適時適切に実用化・製品化することで新たな開発分担の獲得に繋がられるよう取り組むべきである。また、装備品等での参入遅れの一因となっているシステムインテグレーションの分野での実証機会が少ないことについても、より一層の技術レベルの底上げやシステム実証の機会の提供などの対策が求められている。

さらに、コロナ禍の影響を受け経営状態が厳しくなった航空業界、メーカーに多くの財政的負担を求めることは難しくなってくることから、国の果たす役割が相対的に大きくなる。我が国の産業界を支援するために、with/after コロナにおいて社会的ニーズが高まる技術を筆頭に、産業構造の裾野が広い航空機産業が強力に牽引し、挑戦できる新しい場を創出することにより技術・人材を維持することが必要であり、コロナ禍を経て先鋭・多様化するユーザーニーズに応えSociety5.0への移行に貢献しつつ、次なる感染症流行も含めた有事への備えを進めることも必要となってくる。また、コロナ禍後に向けた動きとして、各国でカーボンニュートラルを目指す動きが加速している。欧州ではエアバスが水素燃料を用いたゼロエミッション航空機のコセプトを発表し、カーボンニュートラル、デジタル化に向けて積極的な政府支援を実施している。米国では再生可能代替燃料（SAF）の100%利用を掲げる小型超音速旅客機

を大手エアラインが発注するなど、CO2 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発化している。

また、政府の動きとして、経済財政運営と改革の基本方針 2021（令和3年6月18日閣議決定）においては、「安全保障の裾野が経済・技術分野に急速に拡大するとともに、コロナ禍によりサプライチェーン上の脆弱性が国民の生命や生活を脅かすリスクが明らかになる中、国際連携の充実も図りつつ、経済安全保障の取組を強化・推進する。このため、経済安全保障に係る戦略的な方向性として、基本的価値やルールに基づく国際秩序の下で、同志国との協力の拡大・深化を図りつつ、我が国の自律性の確保・優位性の獲得を実現することとし、こうした観点から重要技術を特定し、保全・育成する取組を強化するとともに、基幹的な産業を強靱化するため、今後、その具体化と施策の実施を進める」という観点も挙げられている。

このような海外や国内の動向を踏まえて、利便性向上や環境負荷低減等、今後多様化していく航空に対する社会要請を満足させつつ研究開発を進めていく必要があるが、航空科学技術行政には産業界・学术界から以下の役割が期待されている。

①民間企業が取り組むにはリスクの高い研究開発への取組

航空機産業における研究開発には、一般的に、多額の費用を要するとともに長い開発期間が必要である。そのため、民間企業での研究開発では十分な投資を行いつらく、短期間で成果が出る既存技術の改良のようなローリスクなテーマとなりがちで、革新的な成果が上がりづらい傾向にある。我が国の競合相手となる欧米等の諸外国においても公的機関が国費を用いた研究開発により民間企業を支援していることも踏まえると、我が国の航空機産業が世界に伍していくためには、航空科学技術行政には必要な資金を確保し、民間企業のみでは取り組むことが難しいハイリスクな先進的技術や短期間で成果の出にくい基盤技術であって、航空業界を中心に社会から求められるニーズに応え期待される効果が大きい研究開発課題を戦略的に実施し、その成果を適切に還元していくことで、我が国の航空機産業を下支えすることが求められる。

②企業単独で保有の難しい大型試験設備の整備・拡充及び効率的な運用

風洞、実証用航空機等の大型試験設備は新技術の実用化までの過程において必要不可欠な設備であるものの、整備あるいは維持に多額のコストを要することから、企業単独で保有することは企業の競争力維持の観点で困難であるケースが多い。また、今後我が国の航空機産業がより広範囲の設計分担の獲得や、システムインテグレーションが可能により上位のパートナーとなっていくにあたっての知見やノウハウの蓄積の観点でも我が国に大型試験設備があることは有意義であり、その役割が航空科学技術行政に求められている。

③産学官連携や国際連携におけるリーダーシップ

我が国は、前述のとおり個別の技術では優れたものを有する一方で、システム技術等ではこれまで実績を積み重ねる機会が少なかったと言える。このような我が国全体で十分な知見の無い分野あるいは航空機電動化のような新たな価値創造が必要な分野については、産学官が連携して協調領域を中心とした我が国の技術レベルの底上げや標準・規格策定などについて国際連携を図っていく必要がある。そのため、最先端の技術に関する幅広い情報に接することができ、かつ、国際民間航空機関（ICAO）における国際標準の検討に参画するなどの実績を有する航空科学技術行政には、こうした役割を担うことが求められている。

④基礎力と応用力を身につけた人材の育成

航空科学技術分野は、極めて成熟した技術レベルが求められる一方で、最新技術が積極的に取り入れられるという特徴があり、求められる人材のレベルも高くなる。そのため、航空機産業の長期的発展にとって、人材確保が重要な課題となっている。長期的視点と短期的視点の両方の視点から将来を見通し、基礎力と応用力、個別の基礎技術とシステム全体いずれにも高い能力を身につけ、成果を社会に還元するまでの視野と実行力を持つ人材が必要であり、若年層から高等教育、若手研究者以降にわたる人材育成の取組が航空科学技術行政に求められている。

3. 航空科学技術分野における未来社会デザイン・シナリオの実現方策

3. 1 未来社会デザインとシナリオ

経済社会の発展及び国民生活の向上のために必要不可欠な社会インフラである航空機の利活用は、コロナ禍以前においては、今後のグローバル化の進展、LCCの市場の成長を背景に20年間で世界の旅客需要が2.3倍以上になると見込まれていたが、世界的な新型コロナウイルス感染症の再拡大により、旅客需要は一時的に落ち込んでいる。需要回復には5年程度の期間が見込まれているものの、長期的には航空旅客需要の拡大傾向は維持される見通しである。グローバル化の進展に関連して、IoT技術の発展等によりコミュニケーション方法が多様化することが想定されるが、コミュニケーションの全体量の増加に伴い、対面でのコミュニケーションが必要な機会も増えていくものと予想される。また、少子高齢化に伴い、航空輸送の担い手不足も深刻化していると考えられる。

一方で、より身近で手軽な移動手段として、近年、次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用の可能性に注目が集まっている。我が国における代表的な動きとして、ドローンによる離島・山間部での物流サービスが始まろうとしていることや、“空飛ぶクルマ”の実現に向けた技術開発や制度整備等に関する官民共同の検討が挙げられ、これらに対して航空科学技術は着実に貢献することが求められている。

また、地球温暖化に伴う気候変動による大規模災害の増加、高齢化社会の進展による救急医療が必要なケースの増加など社会課題が深刻化することに伴って、航空に対してこれらの解決手段を提供する社会要請が高まることが想定される。さらには、世界全体として経済のグローバル化や少子高齢化をはじめとする社会変化が進み、持続可能な人間中心の交通ネットワークの実現が求められる中で、科学技術には第4次産業革命と称されるIoT、ロボット、人工知能(AI)、ビッグデータ等のデジタル技術とデータ活用によるイノベーション創出のプロセスの革新を活用しSociety 5.0を実現することが求められている。

こうしたより豊かな社会の実現に向け航空に求められる「コト」が高度化・多様化していく情勢を踏まえ、それらに 대응する我が国における航空の未来像を、航空科学技術が「モノ」である航空機等の技術の高度化の側面から貢献していくことを念頭に、①既存形態の航空輸送・航空機利用の発展、②次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用の大きく二つの視点から考えることとする。

①既存形態での航空輸送・航空機利用の発展

前述のとおり、航空需要は長期的には増加基調に回復する見込みであり、既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展は引き続き必要である。日本航空機開発協会による「民間航空機に関する市場予測2020-2040」(令和3年3月)では、2020年から2040年の21年間で世界の旅客需要が2.1倍以上になることが見込まれているところであり、これは有償旅客キロメートルにして年平均3.6%の伸び率に相当す

る。これにより運航される機体数も 20 年間で約 1.6 倍になることが予想されている。しかしながら、地球規模での課題となっている環境問題への対応のため、CO₂やNO_xに代表される排出物削減の要求が一層強まることが予想され、交通ネットワークの持続可能性と利便性の両立がさらに求められることとなろう。また、国内においては、大規模災害の増加や救急医療の高度化への要請の増大が見込まれることから、従来型の輸送以外の場においても航空機の果たす役割の重要性は増すことが考えられる。

こうした将来においては、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が追求された上で、「より速く」、「より正確に」、「より快適に」、「より無駄なく」といったユーザー個々のニーズに細かく対応したサービスが提供されることに加えて、コロナ禍を経てオンラインによるコミュニケーションが一般化し、特に「量」の必要性から「質」への要求へのシフト、すなわち移動に対するコスト（時間、費用）や環境に対する意識の変化が増大する。これらの点については、時間的制約の緩和にどれだけのニーズがあるか見極めつつ、航空機の経済性・環境適合性の向上により対応していく必要があり、これまで我が国において蓄積してきた航空科学技術にデジタル技術やデータ活用技術等を高度に融合させつつ、さらに追求していくことが不可欠であろう。また、他分野連携も活用し将来的な有事に対する航空産業のレジリエンス強化が課題となる。

そのため、安全性や信頼性については大型機の事故の原因の約半数を占める乱気流等の気象現象や約 4 分の 1 を占める誤操作等のヒューマンエラーに対応し、航空事故を大幅に削減できる革新技術、あるいは航空機運航の遅延や欠航を極力減らすことができる革新技術が開発されること等により、乗員乗客はもとより空港周辺の住民も含めた全ての関係者に不安に感じることなく航空輸送の発展を受け入れてもらえなければならない。また、環境適合性や経済性については、国際民間航空機関（ICAO）における環境規制の厳格化やパリ協定での長期目標の達成などへの対応、カーボンニュートラルといった社会的役割としての大きな流れや航空会社における燃料コスト削減に対する要求等を満足するための航空機の電動化技術をはじめとする省エネ（脱炭素化）技術とともに空港周辺における環境負荷の低減等に関する革新技術等も開発されている必要がある。これらは、進歩した航空機がその性能を存分に発揮できる運航環境の実現と併せて進められるべきである。そして、これらを前提としつつ、一例として「より速く」というニーズに対する超音速旅客機の提供等、各方面におけるユーザーニーズに対応する高付加価値な技術が開発されることによって、航空輸送がより身近で便利なものとなっていることが予想される。併せて、大規模災害や救急医療等における航空の活躍の場が拡大されていることや、AIやIoTを活用した自動化・省人化といった社会問題への対応も進められるべきである。

②次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用

成長戦略フォローアップ（令和元年 6 月 21 日閣議決定）において、ドローンの社会実装や「空飛ぶクルマ」の実現に向けた制度整備を進めることとされている。具体的には、少子高齢化、過疎化、担い手不足など我が国が抱える諸課題の克服に向け、2022 年度中にドローンの有人地帯での目視外飛行（レベル 4）を可能とする制度を実現するため、ドローンのより効率的な飛行に向けた運航管理の在り方の検討や、ドローンが我が国の未来を支える重要な分野であるとの認識の下、戦略的自律性・不可欠性の観点も含め、要素技術の開発、機体の性能評価手法の開発・国際標準化など、技術的な面からも産業育成を図っていくこととされている。「空飛ぶクルマ」については、「空の移動革命に向けたロードマップ」において、機体や運航の安全基準、操縦者の技能証明などの制度整備を引き続き検討し、さらに、自動・自律飛行技術や運航管理・安全技術等の開発を本格化させること等が挙げられる。そのため、今後 10 年間あるいはさらにその先の時代では、こうした次世代モビリティ・システムが持続可能な人間中心の交通ネットワークの実現とともに、災害対応や農林水産業、離島や山間部、過疎地の物流サービス

やインフラの維持管理をはじめとする様々な分野においても既存形態の航空機にはないメリットも生かしつつ、これまで航空に対して向けられていなかったユーザーのニーズを満たすような性能を持ち、かつ安全な運航を可能とする技術が、電機産業・自動車産業をはじめとする航空以外の分野の技術やデジタル技術とデータ活用に関する技術等と融合しつつ確立されていることが予想される。コロナ禍を経た新たな生活様式の浸透により、オンデマンドな輸送手段に対するユーザーニーズが顕在化していくことから、これに対してはドローンや“空飛ぶクルマ”といった次世代モビリティ・システムを中心に対応していくことが予想される。

また、次世代モビリティ・システムの実現は、単なる移動手段の高度化をもたらすだけでなく、飛行ルートの設定、離着陸場所やそこへのアクセスのためのインフラ整備などまちづくりの在り方などについても大きな変革をもたらす可能性もある。さらに、宇宙基本計画（令和2年6月30日閣議決定）においては、抜本的な低コスト化等を目指した革新的な将来宇宙輸送システム技術について検討することが挙げられているなど、宇宙輸送の分野においても航空科学技術が貢献できる可能性がある。

上記の2つの視点による社会の変化は独立して起こるものでは必ずしもなく、例えば既存形態での航空による大都市間輸送と次世代モビリティ・システムによるローカル輸送の組合せなど、両者が融合した更なる空の利用が広がっていくものと推定される。

3. 2 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

前節に掲げた2つの未来社会デザイン・シナリオを実現するため、航空科学技術行政は、ユーザーニーズ（市場動向）を踏まえた戦略に基づき、我が国航空機産業界あるいはJAXAが有する世界に対する優位技術をさらに発展させることを中心に据えつつ、航空以外の分野の技術やデジタル技術とデータ活用に関する技術等とも積極的に融合を図りながら、国としてどの技術分野に注力していくかを見出していく必要がある。そして、これらはデュアルユースや異分野への技術移転なども含めた出口を常に見据えて行うべきである。同時に、これらの優位技術は、航空機全体や運用を含めて価値創造をする本質的な視点から、航空機システム全体の安全性・信頼性を確保するシステムインテグレーション技術を伴って設計も含めて確立されるよう取り組むべきである。

① 我が国の優位技術を考慮した研究開発戦略

我が国が今後どの技術分野に注力していくかを見出すためには、我が国の優位技術を適切に認識する必要がある。JAXAは既に超音速飛行に関するソニックブーム低減技術やエンジンに関する環境負荷低減技術、機体の低騒音化技術等に関し世界に対し技術的優位性を有しており、いずれも前節の社会要求への対応を追求するための切り札となり得るものである。これらは今後の技術移転に向けた技術実証を進めていく段階にあることから、引き続き産業界とも連携し、技術移転及び実用化に向けた取組を進めていくべきである。加えて、JAXAは航空機設計に欠かせない数値解析技術についても強みを有しており、これまでも我が国航空機メーカーの機体形状の設計に対し技術支援を行ってきた。なお、JAXAは、我が国における航空交通量の増大等に的確に対応した効率的な航空サービスを実現するための国の取組にも積極的に参画しているところ。今後も産業界等に対し、次世代国産旅客機の開発や旅客機の国際共同研究開発等への戦略的な参画、次世代運航システムの実現等をしていくための技術支援とともに、我が国の技術的優位性の維持あるいは国の施策の実現を図るための継続的なリソースの投入が望まれる。さらに、情報化社会において生じた移動に対する社会的価値観の変化が、コロナ禍後において急激に加速されることから、環境負荷の低減や運航コストの削減、時間的・地理的制約の緩和などにより、航空輸送の価値をより一層高める研究開発が必要となる。

我が国航空機産業においては、航空産業ビジョン（平成 27 年 12 月 11 日、基幹産業化に向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議決定）に掲げられているとおり、素材・材料分野は我が国が強みを有する分野の一つとなっている。文部科学省／JAXAは、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）において、材料科学・工学と情報工学を融合し、欲しい性能から材料・プロセスをデザインする研究開発に、JAXAの有する複合材料（CFRP）の知見を生かし、産学と連携して取り組んでいるところであるが、今後も関係機関との連携を継続し積極的に取り組んでいくべきである。

また、航空産業ビジョンにおいては、大型機の事故の原因の約半数を占める乱気流等の気象現象や約 4 分の 1 を占める誤操作等のヒューマンエラーへの対応も課題として掲げられている。JAXAにおいては、これまで検知が不可能だった晴天乱気流を検知できる、航空機搭載用のドップラーライダーの研究開発を行い、現在はメーカーが実用化に向けた検討を進めている。航空科学技術行政では、こうした気象・ヒューマンエラー等の主な航空事故要因に対応する技術開発を今後も推進していくべきである。

②異分野連携も活用した革新技术の創出

我が国の強みを生かした革新技术の創出には、航空以外の分野の技術等とも積極的に融合を図っていくべきである。例えば、航空輸送による環境負荷の革命的な低減や次世代モビリティの実現のためには、航空機の電動化技術が不可欠である。電動航空機の設計開発においては、JAXAや航空機産業界の有する空力解析や構造解析、システム設計技術が中心的な要素となる。しかし、高出力のモーター、大容量のバッテリーなど、主要な構成要素ではあるが航空機産業界のみでは必ずしも十分な知見を有しないものもある。JAXAは電機産業をはじめとする関連産業を含む産学官連携の体制（航空機電動化（ECLAIR）コンソーシアム）を構築し、世界に誇る国内の電動要素技術などを航空機技術と糾合するオープンイノベーションの手法によって、抜本的にCO₂排出削減が可能なエミッションフリー航空機の実現と新規産業の創出に向けた活動を進めている。また、無人航空機（ドローン）の分野においても、電機産業や情報通信業等との更なる協働を図りつつ、離島・山間部での物流サービスや有人地帯での目視外飛行による荷物配送などのサービスを実現していくことが必要である。

さらには、IoT、ロボット、AI、ビッグデータ等のデジタル技術とデータ活用が進む今後の社会においては、航空機製造、装備品技術や運航技術の開発にはこれらの効果的な活用が必須となる時代が到来すると想定される。そのため、異分野連携、糾合をさらに積極的に進めつつ、革新技术の創出を図りながら、非連続な社会変化への対応を苦手とする航空輸送の現状を踏まえ、デジタル技術を活用した連携拡大等により、より多様なシナリオに即応できる機動性を高める体制を構築し、AI・ロボット・IoTを活用した省人化や無人運航、次世代モビリティも組み合わせたオンデマンド輸送を実現するなど、有事の際にも利便性が損なわれないようにする研究開発を進めていく必要がある。

③出口を見据えた産業界との連携

産業界との連携については、JAXAと産業界の役割分担の在り方についても考える必要がある。一般に、国立研究開発法人等の公的研究機関は開発リスクの高い先進的技術の研究開発を行い、いわゆる「死の谷」を越えた段階、すなわちメーカーによる実用化・製品化への開発リスクが過度でなくなった段階で技術移転をし、メーカーは当該技術の製品化を果たしている。しかしながら、この「死の谷」がどこにどの規模で存在するかは、技術の分野や技術移転先となるメーカーの経験等の複雑な要素によるため一概に決めることができない。そのため、研究開発の初期段階から技術移転先となりうる民間企業との密接なコミュニケーションを図り、課題の取捨選択を含む出口

(実用化・製品化)を見据えた研究開発計画を立てる必要がある。また、この出口については、ターゲットとなる製品(大型の旅客機、小型機、無人航空機(ドローン)、あるいは防衛産業とのデュアルユースや他の産業分野への技術移転、経済安全保障等の国の施策への貢献等)によって、求められる技術成熟度レベル等が異なる可能性がある。研究開発成果を効率的に産業界へ還元する観点から、この点を研究開発のプロセスを設計する際に考慮するべきであると考えられる。

また、実用化・製品化という点では、航空機システム全体の安全性・信頼性を確保するための安全認証技術を含むシステムインテグレーションに関し、これまで我が国は実績を積み重ねる機会が少なかったことから、仮に優れた要素技術を開発しても実用化・製品化の段階で再び大きなハードルにぶつかる結果となってしまう。JAXAはこうした問題を解決するため産学官共同で国内の知見を蓄積する取組である航空機装備品ソフトウェア認証技術イニシアティブでの活動に現在中核メンバーとして参画していたが、こうした取組を積極的に推進していくべきである。

さらに、コロナ禍での経験を踏まえると、今後も世界的な有事の発生により国際共同開発が遅延・中止となるリスクを抱えていることから、デュアルユースの拡大等により、技術の陳腐化や実用化・製品化の機会の喪失を回避するとともに、研究開発を効率よく進めるために、出口側からの意見やニーズ・提案を積極的に取り入れる体制が必要と考えられる。具体的には、研究成果の社会実装を確実にするため、研究開発の期限と出口を明確化した上で、エコシステム(研究成果を社会実装する枠組み)を活用し、JAXAが行う一定規模以上の研究開発課題については、開始時点から企業等の成果の受取手との関係を構築し、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等の活動を適切に行っていく必要があると考えられる。

特に、我が国の各機関が持つ優位技術を組み合わせることでシステム技術を獲得する必要があることや、ベンチャー企業の進出に対して実証環境の提供や技術の標準化等の観点で公的な研究機関の支援が必要となること等を踏まえて、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「多分野連携型」、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「標準化型」といったエコシステムを構築していくことが有効であると考えられる。また、このような幅広い分野の機関との連携を必要とする多分野連携型や国際的な関係構築が必要な標準型のエコシステムの構築に適した外部連携の方法として、コンソーシアムにより産学官のステークホルダが幅広く参加し、社会の需要を汲みあげ、ビジョンやユースケースを共有しつつ継続的に評価しながら、共通の目標システムに対して技術開発を行う方法や、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する方法が挙げられる。

4. 実現方策を支えるシステム改革

前章の未来社会デザイン・シナリオを実現する研究開発・基盤技術整備を的確に進めるためには、研究開発を支える人材、資金、環境等のシステム改革に関する多面的な取組が必要である。特に航空科学技術分野においては、要求される技術レベルの高さ、研究開発期間の長さ、大規模な試験設備が必要となることなどの特徴があることから、これらに留意したシステム改革を進めるべきである。

4. 1 研究人材の改革

航空科学技術分野は、最終的な製品である航空機等に対する高い安全性・環境性・信頼性の要求から極めて成熟した技術レベルが求められる一方で、新素材、自動化、電動化をはじめとする最新技術が積極的に取り入れら

れるという特徴がある。そのため、航空科学技術分野を背負って立つ研究者には、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ことが求められる。加えて、航空機あるいは航空機のシステムの開発は海外機関との国際共同開発が主流であり、I C A Oの定める安全性・環境性に関する国際標準等の国際的な基準に適合する必要がある。さらに、航空機の利用の発展を見据えると、従来の航空機開発に係る工学分野に留まらない、より学際領域的な視点での連携が必要となってくる。そのため、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であることも併せて求められる。さらに、コロナ禍の経験をもとに、航空科学技術分野において今後も必要とされる感染症対策に関する知見を持つ人材育成や外部研究者との連携といった取組も求められる。航空産業ビジョンにおいて、人材育成に関する継続的又は中長期的に取り組むべき施策として、担い手の多様化・裾野拡大を想定した教育体制が掲げられていることも踏まえ、航空科学技術行政としてもより一層戦略的に貢献していく必要がある。

具体例としては、まず、大学進学前の学生や人文・社会科学系を含む航空関係の専攻でない学生等の若年層全体に対する宇宙航空科学技術推進委託費の「宇宙航空人材育成プログラム」の取組や、J A X Aにおいては、人材確保の観点から企業や大学等の外部機関との相互出向やクロスアポイントや経験者採用を強化しつつ、長期的には高い専門能力と研究成果を社会に還元する意思を有する博士人材を積極的に採用するなど、新たな人材の取り込みを進めることや、若手研究者を中心に既存人材の育成の観点で、積極的な相互出向やクロスアポイント、留学・受入といった外部交流や研究成果を社会実装まで導く研究開発の経験による継続的な能力向上や視野拡大を図ること、また外部機関の活用と言う観点では、企業等との共同研究やコンソーシアム等を通じたビジョンの共有による外部機関の専門能力の活用、といった取組を進めていくことが挙げられる。さらに、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し、幅広い分野の若年層に向けた航空科学技術の教育機会の提供や、他分野の人材に対して研究開発に携わる機会の提供等、広い視野を持つ実用志向の研究者を育成する取組を継続していくことが挙げられ、これらを総合的に取り組むべきである。

4. 2 研究資金の改革

航空科学技術分野は、求められる技術のレベルが高いことから、新技術の研究開発には長い期間を要し、それに伴い必要な研究資金も他分野と比較して大きくなりがちである。そのため航空科学技術行政は、技術的実現性の観点で長期性・不確実性・予見不可能性が高く、民間企業が取り組むことが困難であるハイリスクなテーマであって将来的な需要は見込まれるものに重点的に取組み、革新的な成果を上げていくことが求められる。一方で、その研究開発費用は国家予算から捻出されるものである以上、限られた予算・期間で効率的に成果を出すことができるよう、研究開発の初期段階からの民間企業など技術移転先となりうる相手方との密接なコミュニケーションを図り、研究開発課題の取捨選択を含む出口を見据えた研究開発戦略を立て、リソース投入を的確に重点化することや、J A X Aの研究開発の成果を活用する民間企業との研究開発段階での協働等を通じた適切な費用分担や、国の競争的資金や民間企業の研究開発資金の活用などを通じて必要な研究資金を確保するなどあらゆるリソースをより効果的・効率的に活用することで、国費を用いた研究開発としての意義を最大化するよう取り組むことが重要である。具体例としては、J A X A航空技術イノベーションチャレンジやコンソーシアム活動等の我が国の航空宇宙分野の研究開発の中核機関としてのJ A X Aの機能強化やS I P（戦略的イノベーション創造プログラム）への参画等、府省の枠を超えた取組や、民間企業での技術開発が活発な次世代モビリティの分野を中心に民間資金の活用にも積極的に取り組んでいくことが挙げられる。また、研究開発の成果を他分野にスピナウトすることにより早期の実用化を図ることで、研究開発に投じた資金が効果的・効率的に社会還元されるよう取り組んでいくことも必要になってくると考

えられる。さらに、リソースを効果的・効率的に活用しつつ革新的な成果を上げるには、デジタル技術とデータ活用の更なる推進などに一層取り組んでいくべきである。

4. 3 研究環境の改革

航空科学技術分野においては、研究開発を進めるにあたり、風洞をはじめとして個別の民間企業や大学等では整備が難しい大規模な試験施設が必要となるケースが多い。航空産業ビジョンにおいても、JAXAの有する試験設備に関して、運用開始から約50年経過し老朽化が著しい風洞設備について継続的に対策を講じること、エンジン実証設備の整備、実証用航空機の老朽化対策・機能向上等による研究開発環境の整備が掲げられていることを踏まえ、産業界や学術界のニーズも踏まえた戦略的な試験施設整備を進めることが望まれる。また、航空機設計の効率化のために不可欠なCFD（数値流体力学）等のソフト面のインフラ整備も必要である。

特に我が国においては、前述のとおりシステムインテグレーション技術を伴った技術力の向上が急務であり、そのためにはシステムレベルでの実証を行うための設備が不可欠であることから、航空科学技術行政は令和元年度にJAXAに導入したエンジン実証設備であるF7エンジン、JAXAが有する実証用航空機をはじめとする設備を、今後の我が国の航空機産業における旅客機事業を含む産業界や学術界の多様なニーズに対応できるよう、適切に維持・管理又は強化するとともに、リモートでの研究環境といった新たな社会に対応する研究設備の整備や、システム実証を可能にする設備や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といった民間企業や大学では整備しにくい大型の試験設備の整備・活用による研究成果を社会実装する枠組みの構築などを通じて、我が国の航空機産業における研究開発環境の高度化に貢献すべきである。

4. 4 研究開発実施組織の改革

航空科学技術分野は、多様な技術の集合体であり、かつ求められる技術のレベルが高いことから、他分野と比較して新技術の研究開発には多額の資金・長い期間を要する傾向となることが避けられない。そのため、コンソーシアム等を活用して、社会の需要を汲みあげながら産学官のステークホルダーが幅広くビジョンやユースケースを共有しつつ継続的に評価しながら、共通のシステムに対して技術開発を行うことが重要であり、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しつつ、コンソーシアム等を通じて産学官の各機関がそれぞれの強みを活かして国際標準化活動に参画することにより、日本のプレゼンスを向上させることが重要である。一方で、研究者（指導教官としての側面も含む）個人としては、身分の保証のためにも着実に業績を上げることも必要となっていることも否めず、これがイノベーション創出という観点からマイナスに働く可能性がある。よって、航空科学技術分野の研究開発実施組織においては、異分野との協働の促進や研究者間での交流の活性化によりモチベーション・創造力を向上させる取組など、研究者が効率的かつ意欲的に研究に取り組むことができる仕組みが重要である。

また、航空科学技術分野に限らない一般論として、組織における研究開発人材の的確な育成には、若年層に対する教育環境、若手研究者のキャリア形成に資する魅力ある環境・仕組みづくりが必要である。具体例として、研究開発の分野における安定したポストの確保、若手研究者の流動性が確保されるような産官学の各セクターにおけるキャリアパスの構築及びその活用を促進する取組など若手研究者の成長を後押しする取組や、若手研究者が能力を十分に発揮できるよう自由度・自主性が担保されるような制度整備についても併せて検討が必要であると考えられる。さらに、研究者の業績を適切に評価できる基準・方法等の仕組みが必要であり、そこにおいては、所属する組織やグループの評価がそのまま研究者個人の評価となることがないよう留意する必要がある。加えて、研究開発成果の組織外部への波及効果を最大化し組織の各取組に好循環をもたらすよう、研究開発の成果が適切に情報発信さ

れるべきである。

5. 未来社会デザイン・シナリオを実現する具体個別の研究開発の取組

未来社会デザイン・シナリオを実現するために、我が国の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术の創出、出口を見据えた産業界との連携の3つの観点を踏まえて、次に掲げる研究開発を推進する。主な研究開発課題においては、当該課題における目標を明確に示した上で、2030年までの時間軸をもった工程表を提示する。

5. 1. 既存形態での航空輸送・航空機利用の発展に必要な研究開発

安全性、信頼性、環境適合性、経済性等の社会の流れを踏まえた共通の要求への対応を追求するとともに、「より速く」、「より正確に」、「より快適に」、「より無駄なく」といったユーザー個々のニーズに細かく対応した高付加価値のサービスが提供されることを目指し、以下の研究開発に重点的に取り組む。

ア. 脱炭素社会に向けた航空機のCO₂排出低減技術の研究開発

2020年代後半に予想される次世代旅客機の国際共同開発における国内メーカーの製造分担率の拡大を目指し、国際航空運送協会（IATA）が掲げる「2050年までにCO₂排出量半減」という目標への貢献が期待される革新的技術の研究開発をエンジン、機体の両面から取り組む。エンジンについては、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、低NO_x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JAXAと国内メーカーとの連携を見据え、燃費低減と環境負荷低減（CO₂/NO_x排出削減）において競争力のあるコアエンジン技術や、ジェットエンジンと電動ファンを組み合わせた電動ハイブリッド推進システム技術の研究開発に取り組む。また、機体については、乱流摩擦抵抗低減技術等の技術実証や、複合材を初めとした各種材料をそれぞれの特性を活かして適用する等、材料開発から機体構造設計までをつなぐ革新低抵抗・軽量化機体技術の研究開発を行う。

さらに、2030年代に想定される旅客機開発を想定し、さらなるエンジン低燃費化・軽量化及びSAFの適用範囲拡大に資する航空エンジンロバスト運用技術や、水素航空機に適用可能な燃料電池・ガスタービン複合サイクルエンジン等の水素電動エンジン技術等の革新的なCO₂排出削減の実現に資する研究開発を進める。

イ. 超音速機の新市場を拓く静粛超音速機技術の研究開発

航空機の付加価値を高め新たな市場を拓くため超音速旅客機の開発を推し進めるために、現在は禁止されている陸地上空での超音速飛行が不可欠であり、ソニックブーム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。2020年代後半に予想される超音速機の国際的な騒音基準の策定及び基準策定後に想定される超音速旅客機の国際共同開発における我が国の製造分担率獲得を目指し、産業界や機体OEMと連携をしつつ、これまで培ったソニックブームを広範囲に低減可能な全機ロバスト低ブーム設計技術の飛行実証を進める。

さらに、民間旅客機として成立するために必要となる超音速機の環境適合性(低騒音)と経済性(低燃費)を両立する統合設計技術の研究開発に取り組む。

ウ. 運航性能向上技術の研究開発

航空機がより速くより正確により快適に運航することを実現し、航空事故等の発生防止や CO2 排出低減にも貢献しうる航空機の運航性能を向上する技術の研究開発に取り組む。具体的には、航空機の運航安全性や定時性に影響を与える要因となり、気候変動により増加する 特殊気象（雪氷・雷・乱気流・火山灰等の航空機に影響を与える気象）等の外的要因及びヒューマンエラーに対して、それらの影響を検知・予測・回避・防御する気象影響防御技術等の研究開発を進める。また、民間航空機の運航における気象の影響緩和や運航の経済性に係る意思決定支援情報を出力するシステム、及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といった運航制約緩和技術を中心とした運航効率向上に資する研究開発にも取り組む。さらに、航空機の運航時に空港周辺で発生する離着陸騒音の低減についても空港周辺環境被害軽減といった社会的ニーズが高いことから航空機の低騒音化技術の研究開発を行う。

5. 2. 次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用に必要な研究開発

無人航空機（ドローン）や“空飛ぶクルマ”が空における次世代モビリティ・システムとして持続可能な人間中心の交通ネットワークの実現に貢献し、既存形態の航空機にはないメリットも生かしつつ、これまで航空に対して向けられていなかったユーザーのニーズを満たすような性能を持ち、かつこれらのモビリティの安全な運航を可能とする技術が、電機産業・自動車産業をはじめとする航空以外の分野の技術や宇宙技術、デジタル技術等と融合しつつ確立することを目指し、基礎的研究や運航管理といった側面から、以下の研究開発に重点的に取り組む。

ア. 国土強靱化等を実現する多種・多様運航統合／自律化技術の研究開発

無人航空機（ドローン）の有人地帯での補助者なし目視外飛行（レベル4）が実現するとされる 2020 年代半ば以降において、持続可能で強靱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航空機（ドローン）の利用が期待されていることから、有人・無人混在運航管理技術等の有人機・無人機と混在した状況において安全で効率的な運航に資する研究開発に取り組む。また、2030 年代の“空飛ぶクルマ”の実用化を念頭に、マルチエアモビリティの高密度運航の実現を目指し、有視界飛行方式の航空機と“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、空飛ぶクルマ高密度運航管理技術を中心としたマルチエアモビリティ混在運航の実現に貢献する研究開発を進める。さらに、その後想定される、マルチエアモビリティの完全な運航統合／フリーフライトの実現に貢献し「出発から到着まで人間が介在しない完全な自律運航」を実現する自律化要素技術にも取り組む。

イ. 宇宙輸送にも適用可能な水素燃料適用技術の研究開発

さらに将来のモビリティとしての宇宙輸送を見据え、航空・宇宙両分野の研究開発機関の連携を深め、航空機で確立された安全性や耐久性といった強みを活かし、航空機のみならず宇宙輸送での活用も想定した水素燃料適用技術の研究開発に取り組む。

5. 3. デザイン・シナリオを実現するための基盤技術の研究開発

デザイン・シナリオの実現に向けて、新たなニーズや社会の変化に対応した新しい発想を取り入れながら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ため、数値シミュレーションを中心とする解析技術や大型試験設備を活用した試験・計測技術等の基盤的技術に着実に取り組むとともに、これらの分野での技術蓄積を

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も取り組む必要がある。

具体的には、航空機的设计・認証・製造・運用・廃棄というライフサイクル全体のデジタルトランスフォーメーション（DX）により効率化、高速化するとともに新たな航空機の創出に資する航空機ライフサイクル DX 技術の研究開発を重点的に進める。特に、設計においては、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し、AIによる解析の軽量迅速化、多分野統合システム解析技術を構築しサブシステムで実証するデジタル統合設計技術の研究開発、認証においては、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を提案するデジタルフライトの研究開発、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デジタルテストの研究開発に取り組む。さらに、製造においては、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・適用することにより迅速かつ手戻りのない量産を実現するデジタルプロトotypingの研究開発とともに、設計・認証・製造といった各過程の情報を一元管理し相互にデータを接続することで生産過程全体の安定を実現するプロダクションシステムの合理化・効率化に資するデジタルスレッドの研究開発に取り組む。

6. おわりに

本最終とりまとめでは、令和元年10月に行った中間とりまとめを踏まえて、第6期科学技術・イノベーション基本計画期間を含む今後の10年程度を見通しつつ、航空科学技術分野の現状や今後文部科学省として推進すべき個別具体の研究開発課題について更なる検討を行ってきた。

コロナ禍で社会のあり方が大きく変化する中で、従前からの社会的課題に加え新しい観点で航空科学技術行政に求められる課題を見直しながら、航空の未来像として高付加価値な需要に対応する超音速旅客機や電動航空機も含む「既存形態での航空輸送・航空機利用の発展」、人間中心の交通ネットワークの主要な要素となる無人航空機（ドローン）等を含む「次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用」の2つを想定した。そして、これら2つの未来像を実現する方策を「我が国の優位技術を考慮した研究開発戦略」、「革新技術の創出に向けた異分野連携」、「出口を見据えた産業界との連携」の3つの視点から整理するとともに、それらの方策を的確に進めるためのシステム改革の方向性について人材、資金、環境、研究開発実施組織の改革の面から整理し、これら必要な個別具体の研究開発課題をまとめた。

引き続き、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では、これから研究計画・評価分科会で検討が進められる次期研究開発計画の策定においても、この最終的なとりまとめを活用しつつ、ビジョンの実現に向けた活動を進めていくとともに、大きな状況の変化等があれば必要に応じて適宜見直しをすることとする。

(参考) 未来社会デザイン・シナリオを実現する具体個別の研究開発の取組 工程表

