

資料69-3-2

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 検討結果について

2021年7月2日
宇宙航空研究開発機構
航空技術部門

外部有識者委員会による検討

- ✓ 「産業界（メーカー）、学会、関係各省庁等の学識経験者、企業実務経験者（エアライン）、その他有識者の視点も十分に活用」という第66回航空委でのご指摘を踏まえ、**航空技術部門長諮問の外部有識者委員会を組織**し、研究開発ビジョンの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を進めてきた。
- ✓ 外部有識者委員会では、「**今後10年を見据え取り組むべき研究領域**」、「**研究領域を踏まえた直近5年の具体的な研究計画**」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**」について、以下のスケジュールにて検討した。
- ✓ 外部有識者委員会での検討を踏まえ、研究開発ビジョンの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を報告**する。

	議題	時期
第1回	委員会の位置づけ 現状分析（航空産業におけるJAXAの位置づけ） 研究領域の議論	2020年10月2日
第2回	研究領域案の確認 研究計画の議論	11月26日
第3回	研究計画案の確認 研究環境の議論 航空委中間報告内容確認	2021年1月13日
第4回	研究環境の確認 その他の論点（航空委指摘等）の議論	3月22日
第5回	最終報告案の議論	4月27日
第6回	最終報告案の確認	5月26日

航空委中間報告（2021年2月1日）

航空委最終報告（2021年7月2日）

検討のベース：航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン

中間とりまとめ（概要）2019年10月

現状

- 航空機産業界が国際的な優位技術を有する先進材料分野等、JAXAが有する世界最先端レベルの超音速機のソニックブーム低減技術、コアエンジンの低環境負荷技術、数値解析技術等及び他産業分野が有する電動化技術、生産技術、情報技術等が我が国の強み。
- 航空機産業における研究開発には、一般的に、多額の費用と長い開発期間が必要であり、諸外国でも公的機関が国費を投入。科学技術行政には民間企業等にはリスクの高い研究開発や企業単独で保有の難しい大型試験設備の整備等の対応が求められている。

知識集約型社会への大転換(モノからコトへ)を加速し、Society 5.0を実現

調和的創発

主に研究開発領域の検討で考慮

未来社会 デザイン・ シナリオ

- 既存形態の航空機による航空輸送・航空機利用の発展
 - －**持続可能性と利便性を両立**した需要増、社会課題(環境問題、災害等)深刻化
 - －安全性、信頼性、環境適合性、経済性等、社会共通の要求への対応
 - －「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



- 次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用
 - －**人間中心の交通ネットワークの実現**、単なる移動手段にとどまらないインフラの変革
 - －ドローンの活用拡大や、より身近で手軽な移動手段として空飛ぶクルマの実現により可能となる物流、災害対応をはじめとする更なるユーザーニーズへの対応



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

- 優位技術を考慮した研究開発戦略
 - －我が国の技術的優位性の適切な認識に基づく超音速機等の次世代の航空機・運航技術等、基盤技術の研究開発産業界・関係行政への技術支援
 - －優位性維持、施策実現のための継続的なリソース投入、関係機関との連携

- 異分野連携も活用した革新技术創出
 - －航空機電動化や空飛ぶクルマ等革新技术の実現に不可欠な電機産業や情報産業等との協働、更なる産学官の連携体制
 - －AI・ロボット・IoTの航空機製造・運航等への効果的な活用

- 出口を見据えた産業界との連携
 - －技術移転先(デュアルユース、施策を含む)との密接なコミュニケーションを通じた適切な計画の策定
 - －実用化・製品化のためのシステムインテグレーションの機会の増強・知見の蓄積

主に研究計画、研究環境 の検討で考慮

デザイン・ シナリオの 実現方策 を支える システム 改革

- 研究人材の改革
 - －求められる人材(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)育成の環境・仕組み構築 等

- 研究環境の改革
 - －産業の取組を後押しする個別の機関では導入が難しい飛行実証用航空機等の大型実験施設の整備・維持又は強化 等

- 研究資金の改革
 - －効率的に成果を出すためのリソース投入の重点化
 - －産学官連携や異分野連携を含む民間企業との協働 等

- 研究開発実施組織の改革
 - －イノベーション創出につながる研究者の業績の適切な評価基準・若手研究者の活躍を後押しする仕組みづくり 等

検討のベース：第6期科学技術・イノベーション基本計画（概要）

2021年3月

■ 主な着目点

- ✓ 我が国が目指す社会（Society 5.0）の中で挙げられている「**国民の安全と安心**」の観点
- ✓ 目指す社会の実現策として挙げられている、SDGsの達成等による「**持続可能性の確保**」、災害等への脅威に対する対応による「**強靱性の確保**」の方向性

科学技術・イノベーション基本計画（概要）

現状認識

国内外における情勢変化

- 世界秩序の再編の始まりと、科学技術・イノベーションを中核とする国家間の**覇権争いの激化**
- 気候危機などグローバル・アジェンダの**脅威の現実化**
- ITプラットフォームによる**情報独占と、巨大な富の偏在化**

新型コロナウイルス感染症の拡大

- **国際社会の大きな変化**
 - 感染拡大防止と経済活動維持のためのスピード感のある社会変革
 - サプライチェーン寸断が迫る各国経済の持続性と強靱性の見直し
- **激変する国内生活**
 - テレワークやオンライン教育をはじめ、新しい生活様式への変化

加速

科学技術・イノベーション政策の振り返り

- **目的化したデジタル化と相対的な研究力の低下**
 - デジタル化は既存の業務の効率化が中心、その本来の力が未活用
 - 論文に関する国際的地位の低下傾向や厳しい研究環境が継続
- **科学技術基本法の改正**
科学技術・イノベーション政策は、自然科学と人文・社会科学を融合した「総合知」により、人間や社会の総合的理解と課題解決に資するものへ

「グローバル課題への対応」と「国内の社会構造の改革」の両立が不可欠

我が国が目指す社会（Society 5.0）

主に研究開発領域の検討で考慮

国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会

【持続可能性の確保】

- SDGsの達成を見据えた**持続可能な地球環境**の実現
- **現世代のニーズを満たし、将来の世代が豊かに生きていける社会**の実現

【強靱性の確保】

- 災害や感染症、サイバーテロ、サプライチェーン寸断等の脅威に対する**持続可能で強靱な社会の構築及び総合的な安全保障**の実現

一人ひとりの多様な幸せ(well-being)が実現できる社会

【経済的な豊かさと質的な豊かさの実現】

- 誰もが**能力を伸ばせる教育**と、それを活かした**多様な働き方を可能**とする労働・雇用環境の実現
- 人生100年時代に**生涯にわたり生き生きと社会参加**し続けられる環境の実現
- 人々が夢を持ち続け、コミュニティにおける**自らの存在を常に肯定し活躍**できる社会の実現

この社会像に「信頼」や「分かち合い」を重んじる**我が国の伝統的価値観**を重ね、**Society 5.0を実現**

国際社会に発信し、世界の**人材と投資**を呼び込む

Society 5.0の実現に必要なもの

サイバー空間とフィジカル空間の融合による**持続可能で強靱な社会への変革**

× **新たな社会を設計し、価値創造の源泉となる「知」の創造**

× **新たな社会を支える人材の育成**

検討のベース：コロナ禍の影響と今後への動き

- ✓ コロナ禍後の回復期を見据え、**CO₂排出低減を中心とした高付加価値を目指す動き**が出ている。
- ✓ 民間が厳しい状況の今こそ、**公的研究機関が新技術の研究開発を先導する必要がある**。

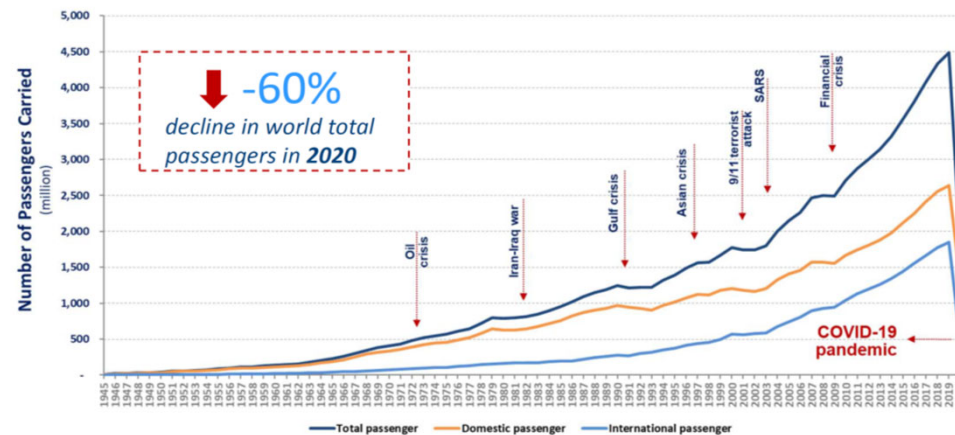
■ コロナ禍の影響

- ✓ **コロナ禍により航空需要は過去に類を見ない大幅な減少**。2020年は旅客数が前年比60%減（ICAO統計、右図）。
- ✓ 航空機メーカーは減産を発表。三菱航空機はスペースジェットの開発を凍結。エアラインは機材削減、路線再編、人員の出向等で固定費を削減。
- ✓ 世界的なコロナ感染の再拡大により需要回復は遅れ、**回復には5年程度を見込むが、長期的に航空旅客需要の拡大傾向は維持される見通し**。（IATA、ATAG推定）

■ コロナ禍後に向けた動き

- ✓ 各国でカーボンニュートラルを目指す動きが加速。我が国では政府のグリーン成長戦略により、**航空機産業の成長戦略（電動化、水素航空機、軽量化／効率化、ジェット燃料）**が示された（右図）。
- ✓ 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**のコンセプトを発表。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。
- ✓ 一方、米国では複数のベンチャー企業が超音速機を開発中で、FAAが超音速機の飛行試験を支援するガイダンスを策定。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超音速機のニーズが顕在化**。

World passenger traffic evolution
1945 - 2020



世界の航空旅客数の推移

出典：Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis, ICAO Air Transport Bureau, 2021/1/14
<https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>

⑩航空機産業の成長戦略「工程表」

- 導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト削減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
輸送	※ 国際航空に關し、ICAOにより2019年比でCO ₂ 排出量を増加させないことを制度化（2021～2035年）							※ 目標 2050年時点でCO ₂ 排出量を2005年比半減（IATA目標）
●電動化	装備品電動化の研究開発					技術実証	技術搭載・採用拡大	
	推進系電動化（ハイブリッド電動）の研究開発					技術実証	技術搭載・採用拡大	
	※ 電動化技術は小型機から順次搭載可能性（2020年代後半～）							
●水素航空機向け技術開発	水素航空機向けコア技術の研究開発					技術実証	技術搭載・導入拡大	
●軽量化効率化	エンジン効率化の研究開発（素材や設計等）					技術実証	技術搭載・採用拡大	
	機体構造向け炭素繊維複合材の研究開発					技術実証	技術搭載・採用拡大	
	※ エンジン、電動化、水素関連技術は一部構完関係あり						機体構造向け炭素繊維複合材の研究開発	
	上記項目での欧米との国際連携を強化							
●ジェット燃料	【バイオジェット燃料種】安定した燃料製造技術の確立・低コスト化					上記項目での欧米との国際連携を強化		
	【合成燃料】CO ₂ から合成燃料までの一貫製造プロセスの確立					上記項目での欧米との国際連携を強化		
	※ 電機・電機によるバイオジェット燃料は、カーボンサイクル産業の実行計画参照					上記項目での欧米との国際連携を強化		

グリーン成長戦略：航空機産業の成長戦略「工程表」

出典：経産省プレスリリース「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定しました」
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>

- ✓ 第6期科学技術・イノベーション基本計画が目指すSDGsの達成を含む「持続可能で強靱な社会」、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を踏まえ、「**持続可能**」をキーワードに設定。
- ✓ 研究開発ビジョン中間取りまとめの未来社会デザイン・シナリオを踏まえ、**航空輸送（既存形態の航空機による発展）、航空利用拡大（次世代モビリティ・システムによる更なる空の利用）、航空産業の3つの分野**で、目指すべき将来像を設定。

人と環境に優しい 持続可能な航空利用社会

1. **環境負荷のない高速輸送で世界をつなぐ**
(航空輸送の環境適合性・利便性の両立)
2. **日常も災害時も誰にでも航空機の恩恵を**
(航空による強靱な社会への貢献)
3. **循環型のデジタル化した航空産業で世界をリード**
(産業の競争力・持続可能性の強化)

■ 関連するSDGs目標



 <p>7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに</p>	 <p>8 働きがいも 経済成長も</p>	 <p>9 産業と技術革新の 基盤をつくらう</p>	 <p>11 住み続けられる まちづくりを</p>	 <p>12 つくる責任 つかう責任</p>	 <p>13 気候変動に 具体的な対策を</p>
エネルギー効率 の改善	高いレベルの 経済生産性	資源利用効率 の向上 環境に配慮した 技術	持続可能な輸 送システム	天然資源の効 率的な利用 廃棄物の発生 を大幅に削減	気象関連災害 や自然災害に 対する強靱性 気候変動対策



1 航空輸送

持続可能な航空輸送の発展



環境適合性の向上

機体 環境適合性が向上した新型機の導入

運航 SAF導入、4D運航（時間管理）の導入による効率的な運航



安全性の向上

機体 ヒューマンエラーを低減するパイロット判断支援システムの導入

運航 ヒューマンエラー、気象影響を低減する運航判断支援システムの導入



利便性の向上

機体 海上超音速飛行機の導入、陸上超音速飛行機の開発

運航 4D運航（時間管理）の導入、気象影響の低減による定時性・就航率の向上。他の交通手段との情報共有（顧客・運航情報等）による輸送サービスの一体化

2 航空利用拡大

持続可能で強靱な社会への貢献



次世代エアモビリティ（オンデマンド旅客輸送、無人空中物流）

無人空中物流による省人化、eVTOLによる離島アクセス等の利便性向上など、次世代エアモビリティが、社会課題を解決



空中プラットフォーム

情報収集／通信中継等の手段として、空中プラットフォーム（小型無人機、HAPS（高高度滞空機）等）が社会実装



災害危機管理対応

有人機・無人機連携等による災害対応航空機を用いた「公助」の能力拡張と、「共助」「自助」への次世代航空利用技術の活用拡大



3 航空産業

持続可能な産業への転換



航空機産業

完成機事業：国内完成機事業の再開・ファミリー化と共に次世代エアモビリティ市場が拡大
国際共同開発、装備品市場：システム統合力の向上によりシェア拡大
新たな動き：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バリューチェーン構築



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る国際競争力の強化。
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

航空機運航のCO₂排出量削減（SAF、新型機の導入、運航方式の効率化等）、デジタル化等による運航・整備面での省人化、多様化するニーズへの対応（超音速、次世代エアモビリティ等）

抽出された技術課題と研究開発領域

- ✓ 将来像に合わせて研究開発成果の適用領域を設定
- ✓ 各適用領域の10年後に予想される航空の姿から技術課題を抽出
- ✓ 技術課題を分野毎にグルーピングすることにより、研究開発領域を設定



以下の3つの研究開発領域を設定
環境・利便性 (Sky Green+)
安全・安心 (Sky4All)
DX・自律化 (Sky DX)

研究開発領域			
	Sky Green+ 環境・利便性	Sky4All 安全・安心	Sky DX DX・自律化
適用領域	航空輸送 <ul style="list-style-type: none"> 環境適合性 (CO₂排出低減) <ul style="list-style-type: none"> ●機体の低抵抗/軽量化/電動化 (MEA) ●ガスタービンエンジンの燃費性能向上 ●バイオ燃料 ●4D運航管制/飛行 ●電動ハイブリッド推進 ●水素利用 環境適合性 (騒音低減) <ul style="list-style-type: none"> ●機体の低騒音化 ●ガスタービンエンジンの環境性能向上 利便性 <ul style="list-style-type: none"> ●超音速機の環境適合性/経済性向上 	<ul style="list-style-type: none"> 安全性 <ul style="list-style-type: none"> ●ヒューマンエラー低減 安全性/利便性 <ul style="list-style-type: none"> ●気象影響防御 	<ul style="list-style-type: none"> 環境適合性/安全性/利便性 <ul style="list-style-type: none"> ●判断支援 (AI) 安全性 <ul style="list-style-type: none"> ●自動化オーソリティ向上/自律化 ●サイバーセキュリティ 利便性 <ul style="list-style-type: none"> ●情報通信/共有/統合 (ICT)
	航空利用拡大 <ul style="list-style-type: none"> 次世代エアモビリティ/空中プラットフォーム <ul style="list-style-type: none"> ●騒音低減等の環境適合性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 共通 <ul style="list-style-type: none"> ●多様な機体/運航に適した管制 ●耐気象/全天候性の向上 次世代エアモビリティ <ul style="list-style-type: none"> ●機材の信頼性向上、装備品電動化 空中プラットフォーム <ul style="list-style-type: none"> ●滞空能力の向上 災害危機管理・対応 <ul style="list-style-type: none"> ●任務情報共有/統合 (ICT) ●高速VTOLの成立性向上 	<ul style="list-style-type: none"> 共通 <ul style="list-style-type: none"> ●サイバーセキュリティ 次世代エアモビリティ <ul style="list-style-type: none"> ●自動化オーソリティ向上/自律化 ●遠隔操縦 空中プラットフォーム <ul style="list-style-type: none"> ●遠隔操縦/複数航空機遠隔管理 ●情報通信/共有/統合 (ICT)
	航空産業 <ul style="list-style-type: none"> 航空機産業 <ul style="list-style-type: none"> ●リサイクル (CFRPリサイクル) MRO事業 <ul style="list-style-type: none"> ●補修部品製作のオンサイト化、高速化 (3Dプリンタ、ロボット) 	<ul style="list-style-type: none"> 航空機産業 <ul style="list-style-type: none"> ●多様な機体に適した認証技術 MRO事業 <ul style="list-style-type: none"> ●コンディションベースメンテナンス (SHM、AI、ビッグデータ) ●デジタルツインによる予知メンテナンス 	<ul style="list-style-type: none"> 共通 <ul style="list-style-type: none"> ●サイバーセキュリティ 航空機産業 <ul style="list-style-type: none"> ●デジタル技術、データ科学、ブロックチェーン ●自動製造技術 ●自動化/自律化技術の認証技術 エアライン <ul style="list-style-type: none"> ●デジタル化による運航/整備の一体化 ●運航/整備の半自動化/省人化 MRO事業 <ul style="list-style-type: none"> ●検査/修理の半自動化/省人化

注)
「Sky Green+」のGreenは環境適合性を、+ (プラス) は利便性を意味する。

「Sky4All」は、安全・安心技術を通じて実現を目指す、以下の4つに対して開かれた航空を意味する。

- All-people
- All-situations
- All-vehicles
- All-weather

注) 全ての技術課題にJAXA航空技術部門が対応するわけではない。対応しない課題も含まれている。

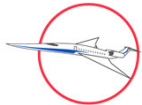
研究開発領域の技術課題の中から、目指すべき将来像を踏まえ、**重点的に取り組むべき技術課題（重点課題）**を選定。

- 重点課題



課題A) 脱炭素社会に向けた航空機のCO₂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

→航空による社会への貢献



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

- 選定条件

目指すべき将来像に合致し、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。

JAXA航空技術部門のエコシステム (研究成果の社会実装の枠組み)

- ①**企業戦略密着型**： ニーズが顕在化しており、コアとなる要素技術をメーカーと共同開発。要素技術レベルでメーカーは受け取れる。
- ②**ユーザー密着型**： 潜在的なニーズをユーザーと共に具体化する。ソリューションレベルまで作り上げないとユーザーは受け取れない。
- ③**多分野連携型**： 必要な要素技術が多分野に跨がるため、連携相手が多数。メーカー、ユーザーの両方と連携。新分野でニーズが顕在化していないことも多く、その場合はソリューションレベルまで作り上げる必要がある。
- ④**標準化型**： 新技術の普及や安全性確保に必要な規格・基準の提案を行う。公共性が高いためJAXA主導。新技術のニーズ顕在化（市場開拓）のためのステップとなる側面もある（新規格・基準を満たすために新技術が必要となる等）。
- ⑤**基盤技術提供型**： JAXAの基盤技術、設備を活用し、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・評価を行う。

エコシステム：研究成果の社会実装の枠組み、ユーザー：最終製品・サービスを使う者、メーカー：最終製品・サービスを製作する者（分担含む）

エコシステムの型	典型例	研究開発時				社会実装時	
		連携する相手*	連携の形態	相手の担当	JAXAの担当	JAXAが関わる成果	成果を受け取る相手
① 企業戦略密着型	環境分野（低燃費、低騒音）	メーカー（少数）	共同研究	技術開発 評価環境 システム化	技術開発 評価環境	コア技術	連携相手と同じ
② ユーザー密着型	安全、防災分野	ユーザー（少数）	共同研究 協定	評価環境	技術開発 システム化	ソリューション	連携相手と同じ
③ 多分野連携型	異分野連携（気象、電動化）	メーカー、ユーザー (多数)	コンソーシアム	技術開発 評価環境 システム化		コア技術、あるいはソリューション	連携相手と同じ
④ 標準化型	新技術に係る規格・基準化	メーカー、研究機関	連携相手と共に、標準化団体の活動に参画	技術開発 (標準化提案のパートナー)	技術開発 評価環境	規格・基準 規格を満たすコア技術	連携相手に限らないメーカー
⑤ 基盤技術提供型	CFD、風洞	連携は必須ではない	—	—	技術開発 評価環境	試験・解析・評価ツール/データ	不特定多数のメーカー

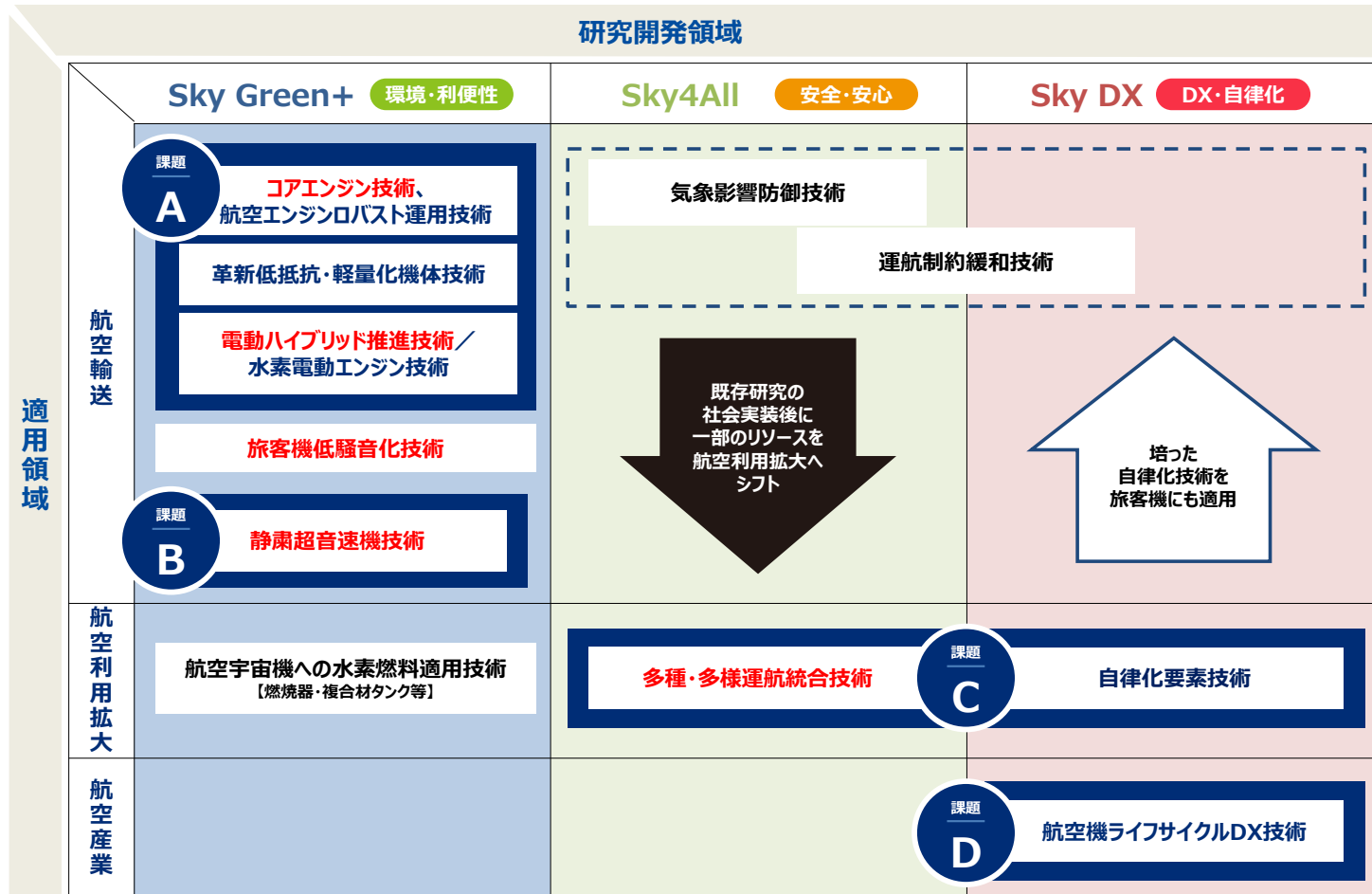
表内の赤字は各型の特徴的な要素

*技術開発リスクをシェアする研究機関（大学含む）は、どのエコシステムの研究開発時でも連携相手になり得る

研究開発課題と今後の候補

主に重点課題の中から、研究開発規模が大きく、航空科学技術委員会での評価対象となる**研究開発課題とその候補を選定**。
 重点課題に加えて、**航空機産業やエアラインからのニーズが高い旅客機の低騒音化技術や気象影響防御技術等**に取り組む。
 さらに10年後より先の**将来を見据えた研究として、航空宇宙機への水素燃料適用技術**に航空宇宙が連携して取り組む。

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
--	------------------------------------	---	--



赤字：
現在の研究開発課題、今後の候補

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。

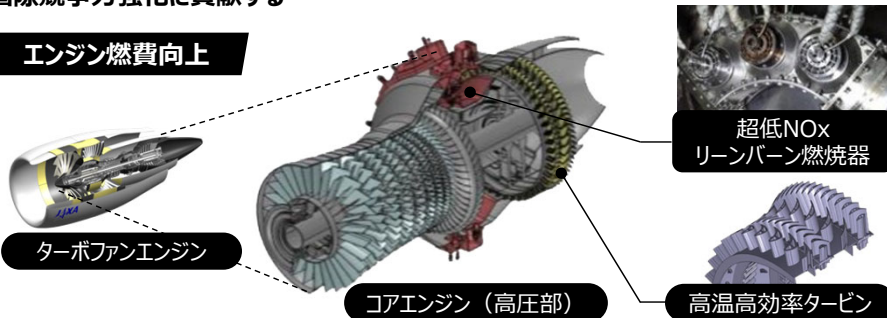
既存技術の性能向上（コアエンジン技術、革新低抵抗・軽量化機体技術等）に加え、**電動ハイブリッド推進技術**や**水素電動エンジン技術**等の新技術を社会実装し、2020年代後半から2030年代前半に予想される次世代細胴機や次次世代広胴機の**国際共同開発でのシェア獲得及び国内完成機事業の後継機開発に貢献する。**

1 コアエンジン技術



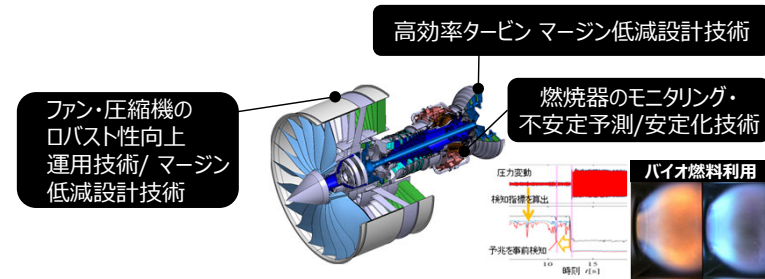
環境性能（CO₂/NOx排出削減）を高める**燃焼器技術とタービン技術**を実証し、国際競争力強化に貢献する

エンジン燃費向上



2 航空エンジンロバスト運用技術

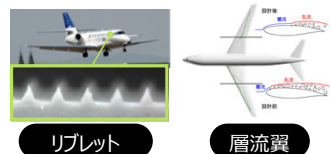
低燃費・軽量化及びSAFの適用範囲拡大に資する**運転範囲拡大・安全性向上**技術を実証し国際競争力強化に貢献する



3 革新低抵抗・軽量化機体技術

優れた環境性能を実現する**低抵抗・軽量化**技術を開発・実証し、国際競争力強化に貢献する

抵抗低減技術 / 層流及び乱流摩擦抵抗低減による空力性能向上



層流及び乱流摩擦抵抗低減による空力性能向上

最適構造設計 / 自動積層装置により荷重に沿った最適な複合材積層構造を実現



自動積層装置により荷重に沿った最適な複合材積層構造を実現

4 5 電動ハイブリッド推進技術 / 水素電動エンジン技術



世界トップの燃費削減効果を有する**電動ハイブリッド推進システム**により、CO₂排出を抜本的に削減する

「エミッションフリー航空機」のキー技術



多発電動BLI*ファン
胴体境界層の制御とファン面積の増加により、推進効率を向上
*BLI: Boundary Layer Ingestion

SOFC-GT複合サイクルエンジン**
燃料電池とジェットエンジンを組み合わせ、熱効率を向上
** SOFC-GT: Solid Oxide Fuel Cell - Gas Turbine

総合効率=熱効率×推進効率
熱効率と推進効率の両方を向上させ、圧倒的な燃費削減を実現

ソニックブーム低減技術を核に、2030年代に予想される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、超音速機の国際共同開発でのシェア獲得に貢献する。

1 全機ロバスト低ブーム設計技術

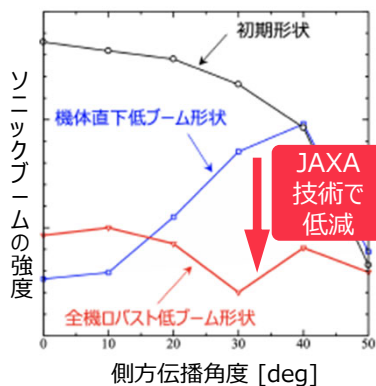


ソニックブームを広範囲に低減し
超音速機の騒音基準を満たす

機体設計技術を飛行実証し、
国際基準策定に貢献する

全機ロバスト低ブーム設計技術

機体形状の最適化技術（特許申請）により、
地上に伝わるソニックブームを側方でも低減



機体直下低ブーム形状

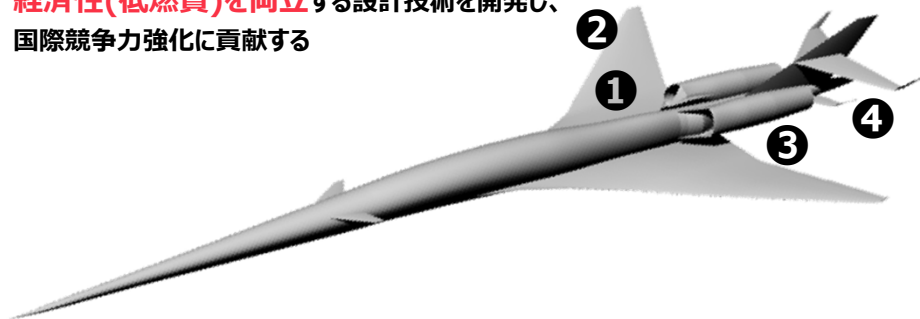


全機ロバスト低ブーム形状

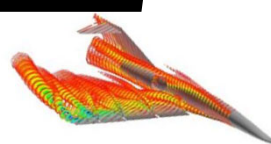


2 統合設計技術

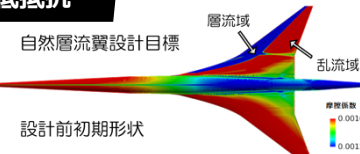
超音速機の環境適合性(低騒音)、
経済性(低燃費)を両立する設計技術を開発し、
国際競争力強化に貢献する



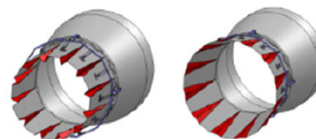
① 空力性能改善



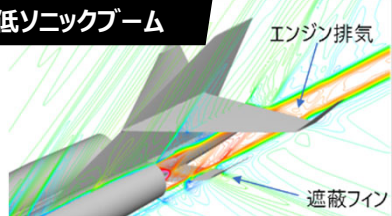
② 低抵抗



③ 低離着陸騒音



④ 低ソニックブーム



有人・無人機の混在運航や高密度運航を実現する**多種・多様運航統合技術**、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**、2030年代前半の**空の移動革命の実現**に貢献する。

1 有人・無人混在運航管理技術

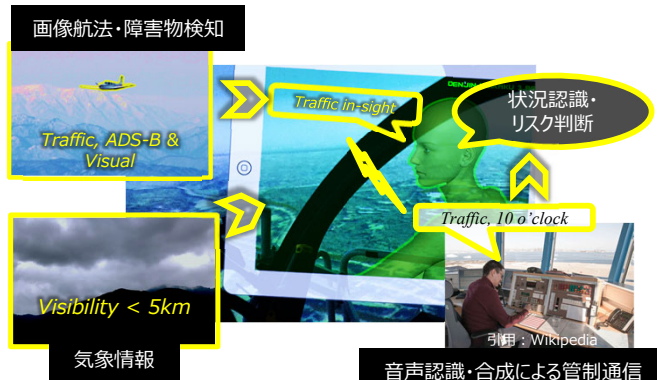
今後の研究開発課題候補

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実現する



3 自律化要素技術

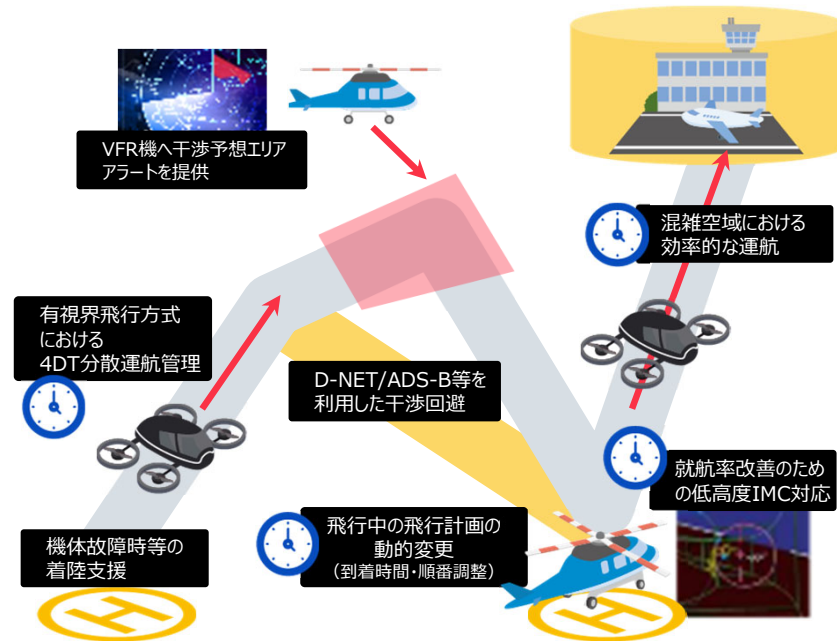
「出発から到着まで人間が介入しない完全な自律運航」の成立性を飛行実証し、マルチエアモビリティの完全な運航統合／フリーフライト実現に貢献する



2 eVTOL 高密度運航管理技術

今後の研究開発課題候補

VFR機とeVTOL機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



主なエコシステム

多分野連携型（メーカ・運航事業者・ベンチャーと役割分担）、標準化型（運航管理、自律化等の基準策定に貢献）

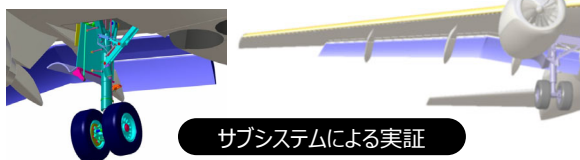
実試験で実証された基盤的な解析技術（主に空力・構造分野）に基づくDX技術を社会実装し、2020年代後半にも予想される次世代細胴機、次世代エアモビリティ等の開発・運用や国内完成機事業の再開を対象として航空機ライフサイクル全体のデジタル化を推進する。

1 デジタル統合設計

■ 多分野統合システム設計の研究開発

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。

AI設計により革新コンセプトを創出

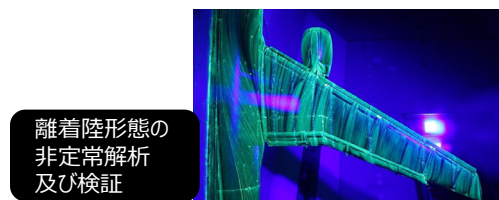


2 デジタルフライト

■ 飛行試験の代替を実現する研究開発

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の検証。

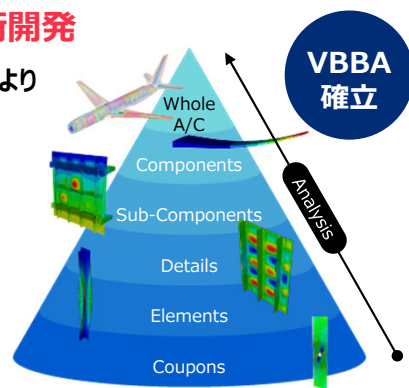
飛行シミュレータを用いた認証（CbA）の提案



3 デジタルテスト

■ 構造強度証明を迅速化する技術開発

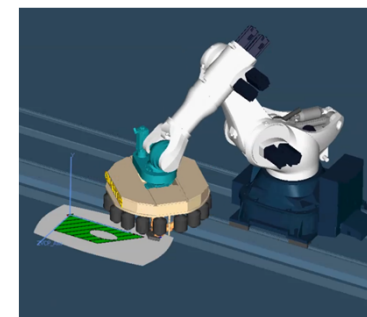
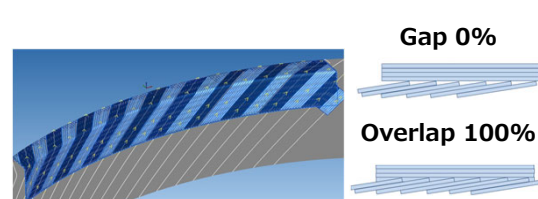
航空法に適合した一貫性ある解析技術適用により認証期間を短縮、国際競争力強化に貢献する



4 デジタルプロトタイプ

■ 迅速な量産開始を実現する研究開発

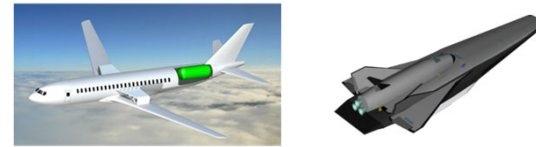
サイバー空間での試作シミュレーション手法を構築し、開発プロセスの実証研究を行う



航空宇宙の一層の連携強化、将来技術の芽出しとして、水素燃料の航空から宇宙までの幅広い適用を目指した研究開発を実施する。

■ 研究の目標

- ✓ 航空分野における水素航空機技術を確立し、その技術を発展させて、宇宙分野における将来宇宙輸送機／二地点間高速輸送機へ適用可能な技術の確立を図る*。



■ アプローチ

- ✓ グリーン成長戦略における水素航空機の実現に向け、2030年に向けたコア技術（液体水素燃料供給、液体水素タンク等）の研究開発を実施し、重点要素技術を実証して、航空機産業界に技術を引き渡す。
- ✓ 得られた水素燃料適用技術を発展させ、将来宇宙輸送機／二地点間高速輸送機に必要な技術を確立する。

■ 航空機への水素燃料適用に向けた研究開発

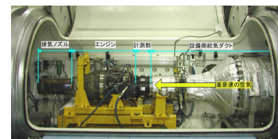
商用航空機の水素化に重点を置き、

- ✓ 液体水素燃料供給技術の確立
- ✓ 軽量低蒸発率タンクの実現
- ✓ 水素ジェットエンジンの排気特性評価

等について、関連するメーカーと連携して国産技術を確立し、メーカーに引き渡す。

*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。

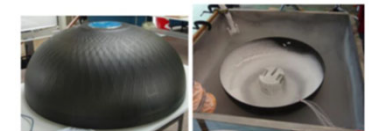
本研究で取り組む重点要素技術



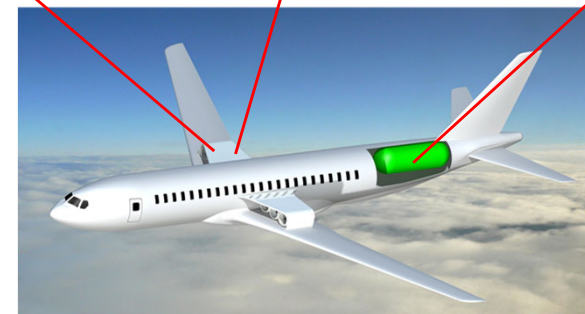
環境影響評価技術
(水蒸気排出特性)



液体水素燃料供給技術
(少流量、高吐出圧、精密制御)

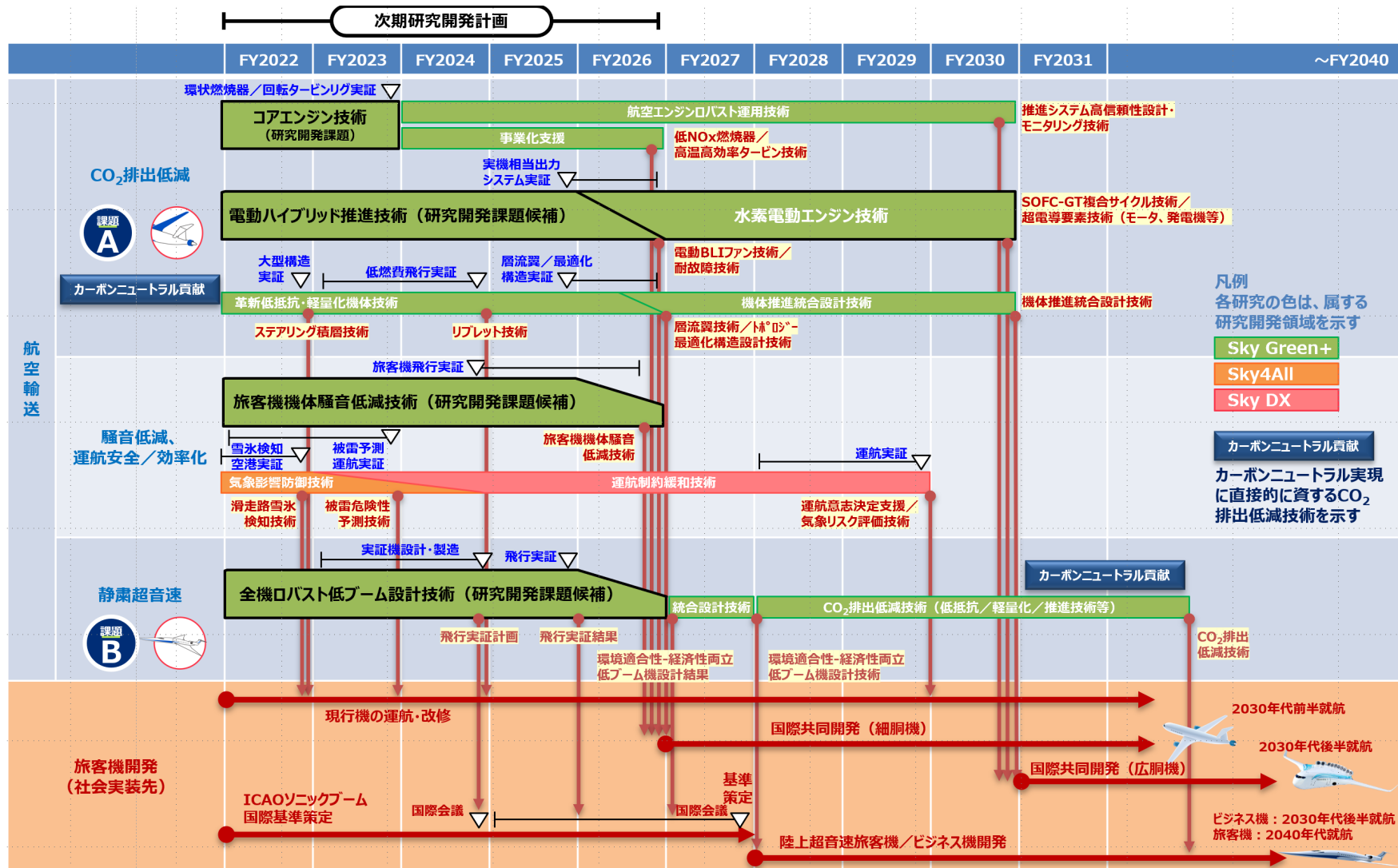


液体水素複合材タンク技術
(口金接合部、漏洩対策、疲労対策)



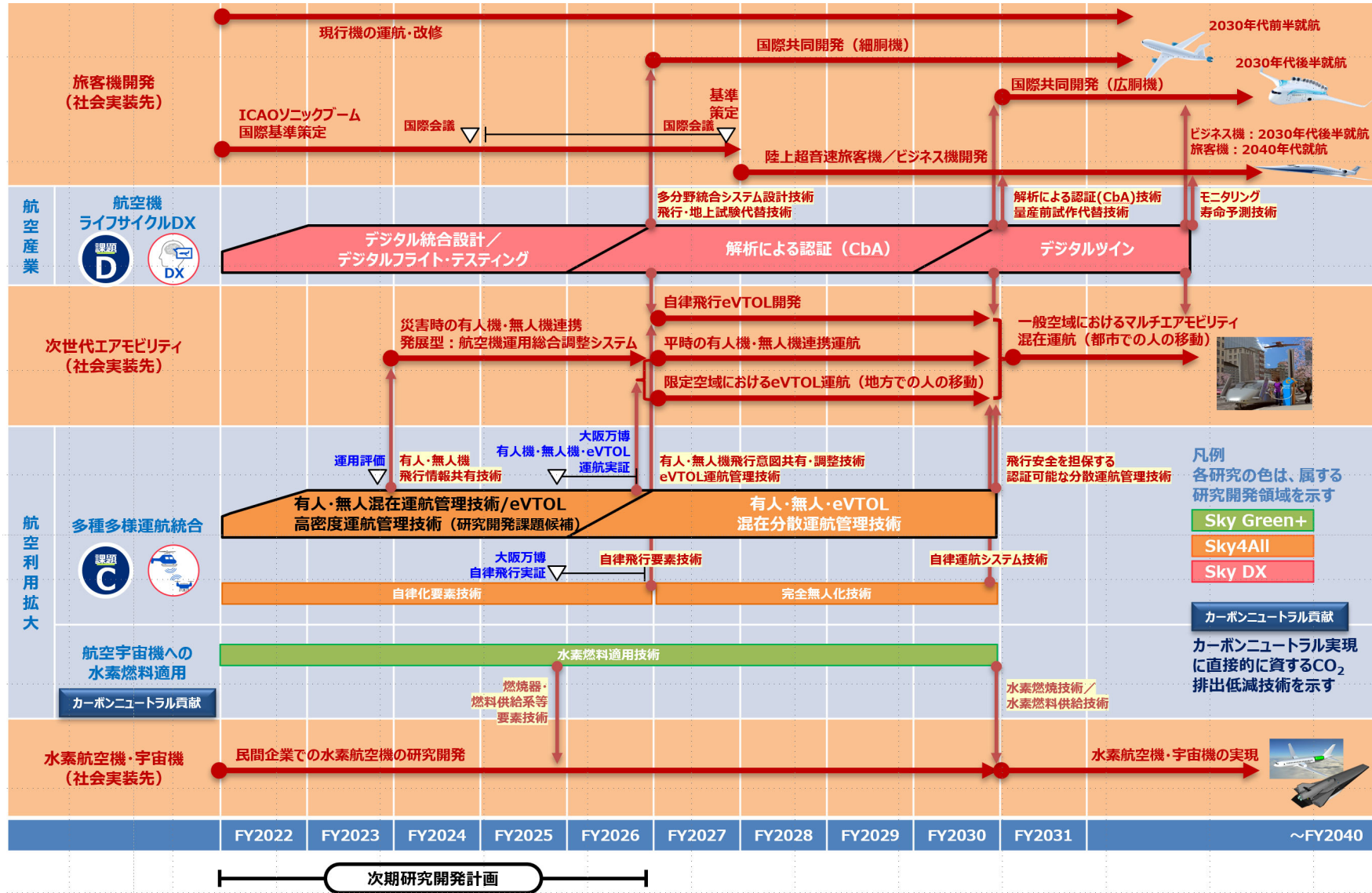
研究開発の中長期ロードマップ (1/2)

- ✓ 研究開発のマイルストーン、成果の出口を明確化する中長期ロードマップ（10年間）を作成
- ✓ ステークホルダーと連携して、中長期の研究開発をロードマップに沿って計画的に実施する
- ✓ 研究評価機会等を活用し、計画は定期的に見直す



適用領域「航空輸送」の中長期ロードマップ

研究開発の中長期ロードマップ (2/2)



適用領域「航空利用拡大」「航空産業」の中長期ロードマップ

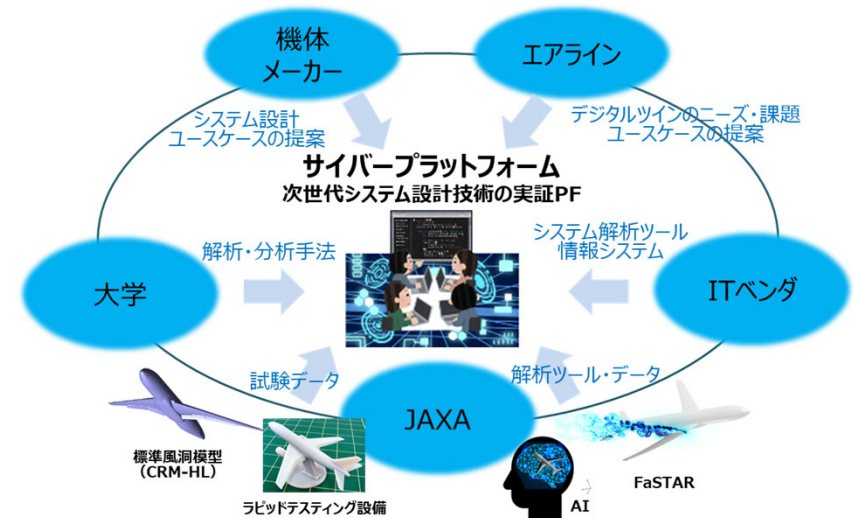
研究実施体制及び研究環境： 新しい研究開発のエコシステム構築に必要な外部連携、設備

研究開発ビジョンの中間取りまとめにおいて「出口を見据えた産業界との連携」が求められていることを踏まえ、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技術を対象に、**研究成果を社会実装するためのエコシステム構築に必要な外部連携、設備を検討した。**

- 新しい研究開発のエコシステム構築に必要な外部連携
 - ✓ **コンソーシアム**：産学官のステークホルダが幅広く参加。**異分野を含む多分野のステークホルダ間で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、国内産業が参入しやすいルール作りを目指す。**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。**
 - 新しい研究開発のエコシステム構築の核となる設備
 - ✓ **システム実証を可能にする設備**：実機相当出力の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**：標準風洞模型、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
- これら設備の整備・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化を含めて持続可能な運用を目指す。

航空機DXコンソーシアムとサイバープラットフォーム構想

航空機ライフサイクルDX技術の開発においては、**多分野のステークホルダが参加する航空機DXコンソーシアム**が必要。その中核として、**サイバー空間での協働が可能なサイバープラットフォーム**を構築。**各機関の強みを組み合わせたデジタル統合設計技術（MBSE）の実証、ベストプラクティス・メリットの共有により、DX技術の社会実装を促進する。**



研究実施体制及び研究環境： 新しい研究開発に必要な人材育成・活用

研究開発ビジョン中間取りまとめで示されている「航空科学技術分野で求められる研究人材」を踏まえ、JAXA航空技術部門を対象に、新しい研究開発に必要な人材育成・活用、及びJAXA外人材への貢献について検討した。

■ 新しい研究開発に必要な人材育成・活用

新しい研究開発においては、**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**である。このため、研究開発ビジョン中間取りまとめで掲げられる「**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**」が必要となる。この人材確保のため、外部機関との連携を活用した以下の3つの人材育成・活用策を進める。（下図）

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。

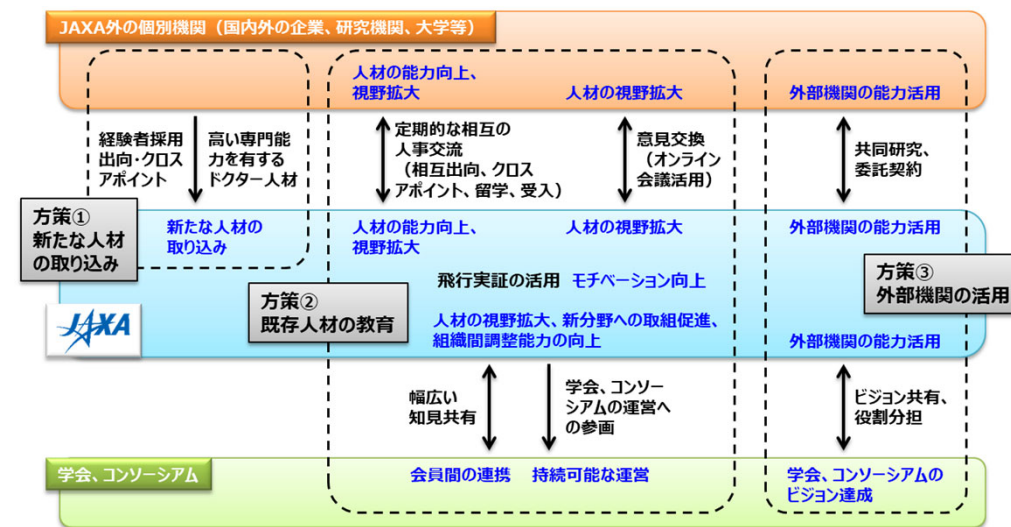
方策② 既存人材の育成：企業、大学等との人事交流。学会、コンソーシアム、飛行実証を通じたJAXA内人材の育成。

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（感染症対策等）。

■ 新しい研究開発に必要なJAXA外の人材育成への貢献

新しい研究開発においては、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、従来の取組に加えて以下の方策により、**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。

- ✓ 教育機会の提供：**幅広い人材にリーチする新たな機会**（STEAM教育ライブラリ開発支援等）に積極的に取り組む。
- ✓ 実用に繋がる研究開発に携わる機会の提供：**データ科学・AI等を含む情報・電気系の学生に、機会提供を拡充**する。また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、**企業の人材育成への協力**を推進する。



人材育成・活用策（黒字：方策、青字：メリット）

■ 検討結果

外部有識者委員会での検討を踏まえ、研究開発ビジョンの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として、「**今後10年を見据えて取り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**」及び「**研究開発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。

- ✓ **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、「持続可能」をキーワードに目指すべき将来像を設定し、将来像に沿った10年後の航空の姿からバックキャストする形で技術課題を洗い出し、それをベースに「**Sky Green+（環境・利便性）**」「**Sky4All（安全・安心）**」「**Sky DX（DX・自律化）**」からなる**研究開発領域を設定した**。
- ✓ **研究開発課題**：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を識別した**。
また、重点課題以外では、**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を見いだした**。

課題A) 脱炭素社会に向けた航空機のCO₂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 →航空による社会への貢献

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

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。

■ 検討結果 (つづき)

- ✓ **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**：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。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。

■ 研究開発の中長期ロードマップについて

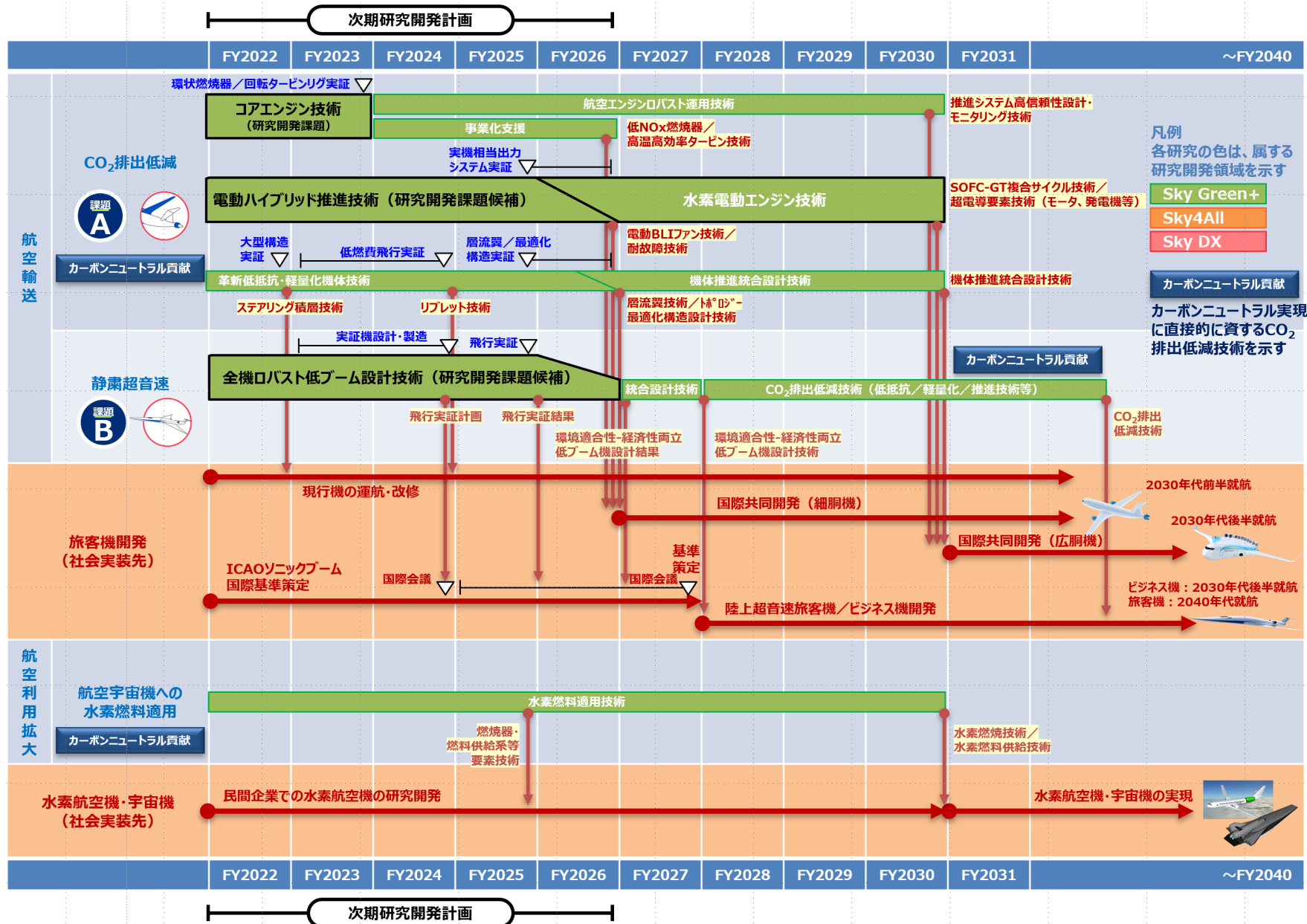
開発サイクルが長い航空科学技術分野で社会に必要とされるタイミングで技術を提供するには、**長期にわたる計画的な研究開発が必要**であり、その推進には**政府としての研究開発の中長期ロードマップの策定が有効**と考えられる。今後の研究開発ビジョン最終取りまとめの検討においては、ロードマップ策定については是非ご議論頂きたい。

略号表

略号	説明
4DT	4D Trajectory
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance–Broadcast
AI	Artificial Intelligence
ATAG	Air Transport Action Group
BLI	Boundary Layer Ingestion
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CbA	Certification by Analysis
CFD	Computational Fluid Dynamics
CFR	Code of Federal Regulations
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics
CO ₂	二酸化炭素
D-NET	Disaster Relief Aircraft Management System - NETWORK
DX	Digital Transformation
eVTOL	electric Vertical Take-off and Landing
FAA	Federal Aviation Administration
GT	Gus Turbine
HAPS	High Altitude Platform System
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization

略号	説明
ICT	Information and Communication Technology
IMC	Instrument Meteorological Condition
IoT	Internet of Things
IT	Internet Technology
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MBSE	Model Based System Engineering
MRO	Maintenance, Repair, Overhaul
NO _x	窒素酸化物
OEM	Original Equipment Manufacturer
PF	Platform
PPP	Public Private Partnership
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SDGs	Sustainable Development Goals
SHM	Structural Health Monitoring
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
STEAM	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics
VBBA	Virtual Building Block Approach
VFR	Visual Flight Rules
VTOL	Vertical Take-off and Landing

参考：研究開発の中長期ロードマップ（カーボンニュートラルへの貢献）



カーボンニュートラルの実現に資する研究開発の中長期ロードマップ

参考：外部有識者委員会 委員名簿（敬称略）

■ 委員長

大和 裕幸 一般財団法人 次世代環境船舶開発センター 代表理事/ 国立大学法人東京大学 名誉教授

■ 委員（50音順）〈専門分野・氏名・所属〉

【電動化】	石塚 康治	株式会社デンソー 執行幹部 環境ニュートラルシステム開発部 部長/エレクトリフィケーションシステム開発部 担当部長
【航空産業】	今清水 浩介	一般社団法人日本航空宇宙工業会 専務理事
【電機】	岩田 明彦	学校法人大阪産業大学 工学部 教授
【超音速】	大林 茂	国立大学法人東北大学 流体科学研究所 教授
【運航/整備】	北田 裕一	日本航空株式会社 取締役常務執行役員
【AI】	櫻井 鉄也	国立大学法人筑波大学人工知能科学センター センター長/教授
【金融】	竹森 祐樹	株式会社日本政策投資銀行 業務企画部 イノベーション推進室長 兼 業務企画部担当部長
【機体開発】	巽 重文	一般財団法人日本航空機開発協会 専務理事
【北°ニオリーダ】	津田 佳明	ANAホールディングス株式会社 グループ経営戦略室 事業推進部長 兼 デジタル・デザイン・ラボ チーフ・ディレクター
【自動車/EVリテイ】	新里 智則	本田技研工業株式会社 エクゼクティブチーフエンジニア
【航空エンジン】	平塚 真二	一般財団法人日本航空機エンジン協会 専務理事
【運航管制】	福島 幸子	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所 航空交通管理領域長
【学協会】	松尾 亜紀子	一般社団法人日本航空宇宙学会 会長/慶應義塾大学理工学部 教授
【運航/安全】	横山 勝雄	全日本空輸株式会社 取締役執行役員

〈関連省庁オブザーバ〉

福井 俊英	文部科学省 研究開発局宇宙開発利用課長
日暮 正毅	経済産業省 製造産業局航空機武器宇宙産業課長
北澤 歩	国土交通省 航空局安全部航空機安全課長
安藤 智啓	防衛装備庁 技術戦略部技術戦略課長

主なご指摘	対応
(1) JAXA が提示した4つの重点課題について	
DX については環境、安全、新分野創造に比べて基盤的取組であることがわかるとよい。	重点課題Dの航空機ライフサイクルDX技術は、基盤的な解析技術に基づく取り組みであり、成果の適用範囲も広い点を報告書に記載しました。（報告書 P15）
これまで取組んできた4つの重点課題の技術が、完成機事業に対してどのように貢献できるかも考慮して頂きたい。	重点課題Aの革新低抵抗・軽量化機体技術や重点課題Dの航空機ライフサイクルDX技術が、完成機事業再開時の認証取得や後継機開発に貢献しうる点を報告書に記載しました。（報告書 P12, 15）
「何をやるか」だけではなく、ロードマップの中で期限と出口を明確にして、期限までに成果を出すための「やり方」を議論する必要がある。特に、研究成果をほぼ計画通りに「出口」（民間企業での実用化や施策での実現）まで結び付けた実績のある研究法人の「やり方」との比較および分析が効果的。近い分野では電子航法研究所（航空交通施策への貢献実績）や、JAXA 宇宙科学研究所（輸送系・宇宙探査機の開発実績）が好例として挙げられる。	研究開発ロードマップにおいて、各研究の期限と出口を明確化しました。（報告書 P50, 51） また、電子航法研究所や宇宙科学研究所が成果の出口である航空局やアカデミアと連携して研究開発を進めていることを参考に、出口と連携したエコシステムを構築し、研究開発を出口側のパートナーと共に行う旨を、報告書に記載しました。（報告書 P17）
新分野創造の研究開発領域において、航空利用拡大と航空産業の部分が空欄であることから、新分野として10年後20年後に世界のトップになれる技術課題の発掘も必要ではないか。	重点課題で挙げている多種・多様運航統合／自律化技術、航空機ライフサイクルDX技術は10年後に世界のトップになり得る新分野の技術課題と認識しています。また、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を設定しました。（報告書 P16） さらに、10年後より先の将来を見据えた基礎的研究を着実に進める旨を報告書に記載しました。（報告書 P11）

参考：中間報告で頂いたフィードバックへの対応状況（2/2）

主なご指摘	対応
(2) 重点課題以外にも、産業界や学界が中心となって取り組むべき技術について	
<p>短期的なDXとして生産技術のデジタル化も重要ではないか。</p> <p>これまで利用者の快適性という観点での研究開発はあまりなされておらず、湿度環境、機内騒音、気圧変化、公衆衛生といった取組があるとよい。</p>	<p>報告書に記載した航空機ライフサイクルDX技術におけるコンソーシアム等の外部連携、JAXA外への人材育成の貢献等により、産業界や学界の取組を支援していく方針です。（報告書 P19～21）</p>
(3) 将来に向けた研究開発として以下2点に取り組む必要がある。 ①航空機産業のグリーン成長戦略に位置付けられた「水素利用技術」、②宇宙基本計画に位置付けられた将来輸送システムを実現する「宇宙技術との連携」	
<p>航空機への水素利用については、環境負荷削減の達成につながる重要な技術であるので、積極的に研究開発を推進して頂きたい。</p>	<p>重点課題Aの水素電動エンジン技術として、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・技術実証に取り組む旨を報告書に記載しました。（報告書 P13）</p>
<p>宇宙機の推進系ではロケットから空気吸い込み式エンジンにも広がりつつあり、航空機では水素航空機や高速化が進み技術の接点が増えてきていることから、こういった技術について航空と宇宙で連携をとっていけるとよい。</p>	<p>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を設定しました。また、本研究は航空・宇宙両分野の研究開発機関が連携して取り組むべき旨を報告書に記載しました。（報告書 P16）</p>
<p>宇宙技術との連携について、重点課題の取組などにおいて波及効果として将来輸送システムにも資する技術であることを明確に書いてもよいのではないか。</p>	<p>重点課題Aの革新低抵抗・軽量化機体技術や重点課題Dの航空機ライフサイクルDX技術は、将来宇宙輸送機の成立性向上にも資する技術である旨を報告書に記載しました。（報告書 P16）</p>
<p>火星大気を飛ぶ探査機で用いるプラズマアクチュエーターや低Re数に関する技術があるが、こういった宇宙技術は空飛ぶクルマなどにも活用できることから、宇宙技術と連携することは有効ではないか。</p>	<p>低Re数環境下でのヘリコプターローター開発等の宇宙技術と連携した基盤研究は既に実施中であり、今後もこうした連携を推進する方針です。報告書には、10年後より先の将来を見据えた基礎的研究を着実に進める旨を記載しました。（報告書 P11）</p>