

「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 (改定案) の概要

令和5年10月10日

製造産業局

前回WGの委員御指摘を踏まえた対応

R5.7.21WG
から追加

- 7月21日に行われた第17回産業構造転換分野WGにおける各委員の御指摘やパブリックコメントの御意見を踏まえ、先日御提示した研究開発・社会実装計画（案）等について以下のとおり対応するとともに、予算規模を追記。

主な御指摘	御指摘を踏まえた対応
<ul style="list-style-type: none">・「具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねる」としているが、海外の開発状況を鑑みると、実施者の実現可能性も踏まえつつ海外の開発動向も踏まえたステージゲートの評価軸とタイミングが設定されるべき。（片田江委員）・ステージゲートのタイミングに捕らわれることなく、状況を見据えて取組を適宜見直していくことが必要。（白坂座長）	本資料p.34に以下文言を追加 「ただし、プロジェクト実施中においても、海外の動向等を考慮してスケジュールを適宜見直すこととする。」
<ul style="list-style-type: none">・水素燃料電池電動推進システムの開発は熾烈な競争になりスピードが勝負になる。スピードを上げるためにノウハウを持った日本企業を総動員できるかが重要で、そのような体制を条件に公募するなど工夫が必要。（長島委員）	研究開発・社会実装計画p.12に記載 （次ページ参照）
<ul style="list-style-type: none">・燃料電池電動推進システムとコア技術開発については、両方が絡み合う部分があるので、両方にコミットするコンソーシアム等が構築できると、さらなるスピードアップが狙える。（長島委員）	研究開発・社会実装計画p.23に記載 （次ページ参照）
<ul style="list-style-type: none">・部品ではなくシステム単位での提案という点においてルールメイキングで各国の動きに対しこれまでと違う取組が必要と考えるが何か戦略はあるか。（堀井委員）・航空機の安全性の認証が必ず必要になる。ルールメイキングについて初期段階からしっかりやってほしい。（白坂座長）	本資料p.31～33を追加

前回WGの委員御指摘を踏まえた対応（研究開発・社会実装計画）

R5.7.21WG
から追加

主な御指摘と御指摘を踏まえた対応①

・水素燃料電池電動推進システムの開発は熾烈な競争になりスピードが勝負になる。スピードを上げるためにノウハウを持った日本企業を総動員できるかが重要で、そのような体制を条件に公募するなど工夫が必要。（長島委員）

【研究開発・社会実装計画】 p.12

2. 目標

● アウトプット

➤ 研究開発の目標

3. プロジェクト終了までに（中略）以下の目標値を達成することを目安とする。

○ 4MW級の燃料電池電動推進システム：

・座席数40席以上で、1フライトあたりの航続可能時間を3時間以上とする。

・巡航高度6,096m（20,000フィート）程度で航続距離が926km（500nm）以上の実証

これらを達成するための各コンポーネントについては他分野含め優れた技術・ノウハウを活用することを前提として、更なる開発が必要な場合には、事業者が提案時にシステム設計の中で目標値を具体的に設定するものとする。

主な御指摘と御指摘を踏まえた対応②

・燃料電池電動推進システムとコア技術開発については、両方が絡み合う部分があるので、両方にコミットするコンソーシアム等が構築できると、さらなるスピードアップが狙える。（長島委員）

【研究開発・社会実装計画】 p.23

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

● 【研究開発項目3】液体水素燃料を用いた燃料電池電動推進システムとコア技術開発（委託・補助の考え方）

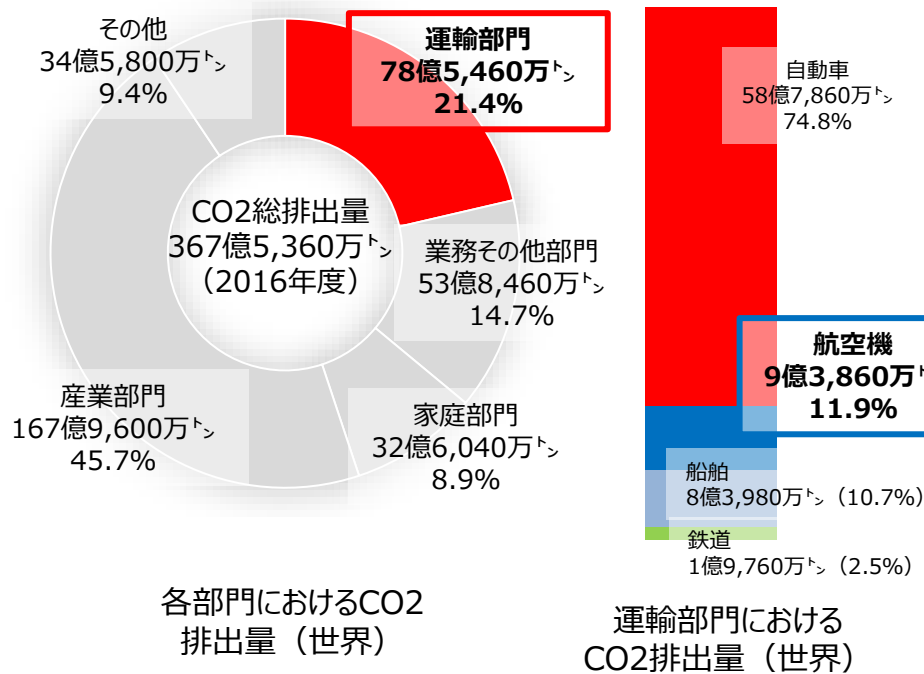
➤ **実施主体については、①②それぞれ異なる企業となることも可能。ただし、技術的に相互補完的に検討が必要な部分等においては、必要に応じて連携することを求める。なお、既存技術を有する者とのコンソーシアム体制やスタートアップとの連携体制での応募が望ましい。**

※①が燃料電池電動推進システム、②がコア技術開発を指す。

航空機分野のCO2排出量（世界・日本国内）

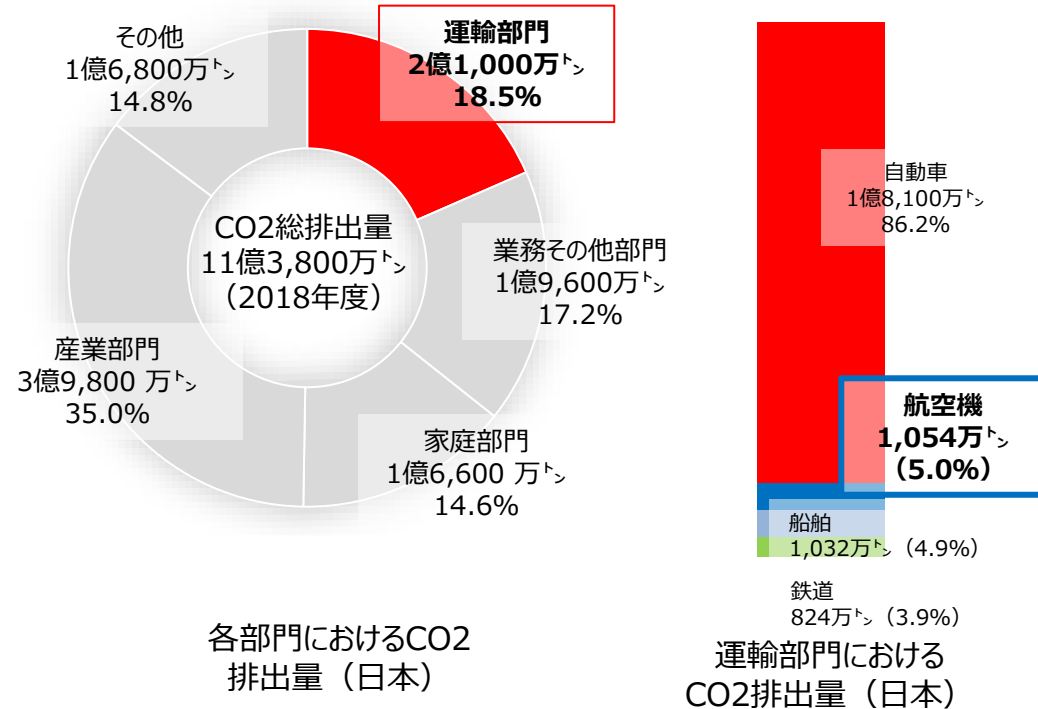
- 航空分野におけるCO2排出量は世界全体で2.6%。
国内では運輸部門の中に位置づけられ、全体の0.9%。

<国際>



全世界でのCO2排出量：367億5360万トン
運輸部門：21.4%（うち 航空分野11.9%）

<国内>

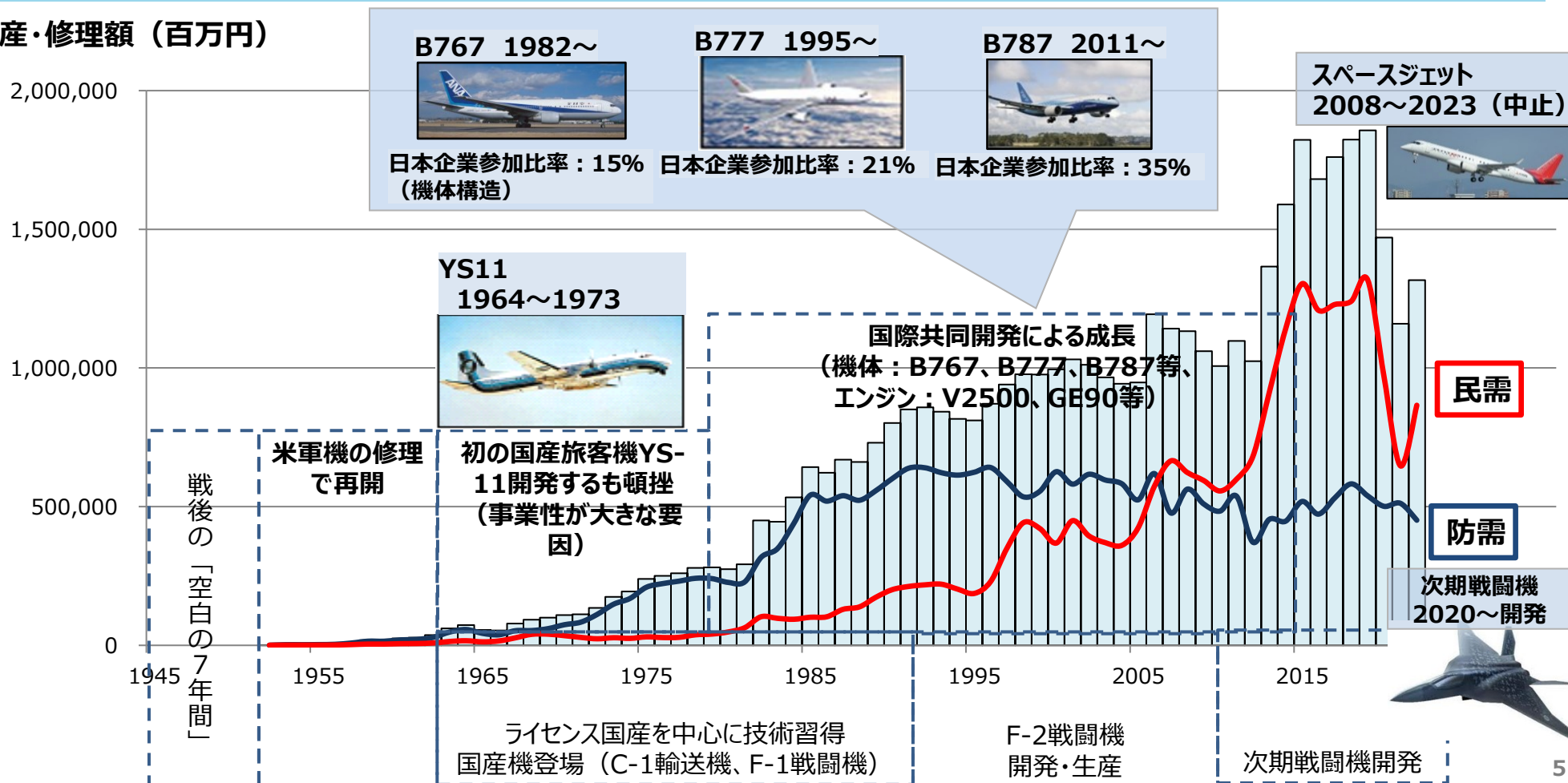


国内でのCO2排出量：11億3800万トン
運輸部門：18.5%（うち 航空分野5.0%）

我が国の航空機産業の歴史

- 我が国の航空機産業は、戦後 7 年間の空白期間を経て、米軍機の修理等から再開し、海外OEMとの機体、エンジンの国際共同開発等を通じて成長してきた。
- 経済産業省は、中長期的に拡大が見込まれる市場の成長性、先端技術の適用性、広い裾野産業を有する重要産業として、その発展に取り組んでいる。

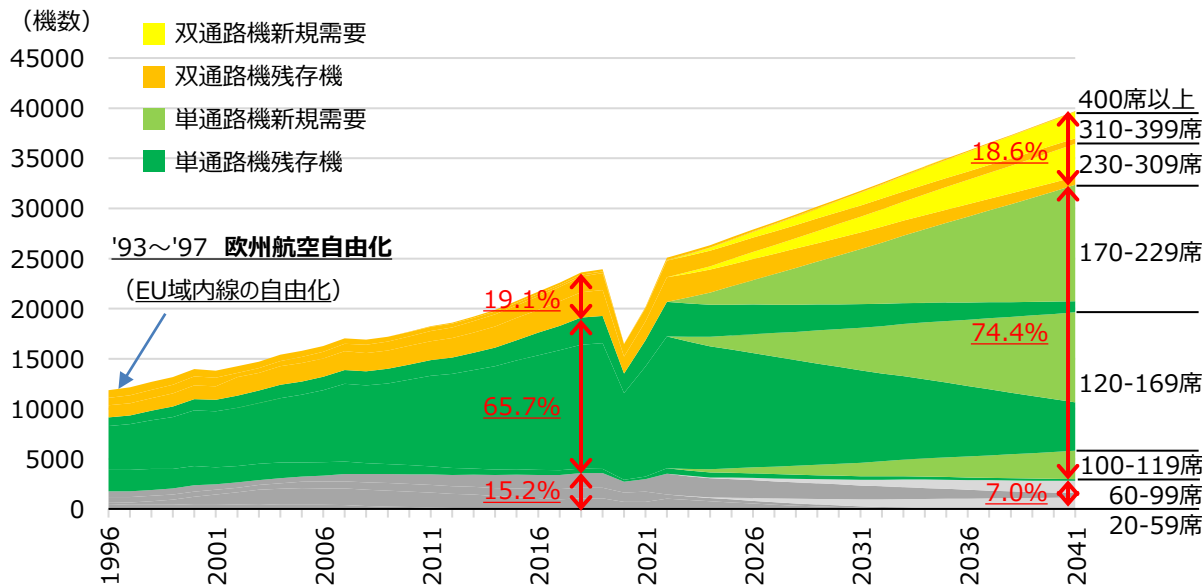
生産・修理額（百万円）



航空機産業の成長予測

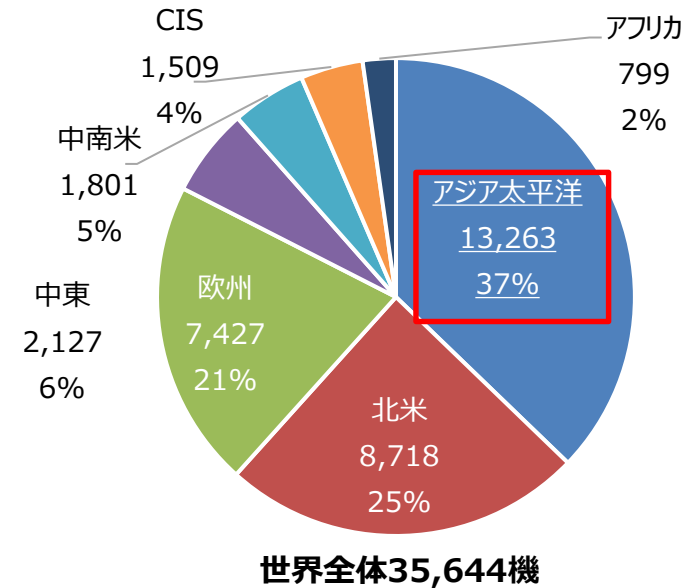
- 民間航空機市場は、年率3～4%での増加が見込まれる旅客需要を背景に、双通路機、単通路機ともに新造機需要も拡大していく見込み。
- これまで、LCCの認知や欧州での航空自由化を背景として単通路機の納入機数が年ごとに増加してきた。今後も、新興国の成長を背景にアジア地域内での旅客需要が増加していくこと、LCC等の利用がさらに拡大していくこと、航空機の性能向上に伴い中小型の航空機の適用可能航路が増える中、そうした航空機の高頻度運航によりエアラインの資本効率が高まる（ハブ＆スポークからポイントtoポイントへの移行）こと等から、単通路機需要が大きく拡大していくことが見込まれる。

ジェット旅客機の運航機材構成の推移



出典：一般財団法人日本航空機開発協会

地域別新造旅客機需要見込み

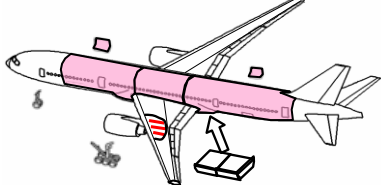


出典：一般財団法人日本航空機開発協会「民間航空機に関する市場予測2022-2041」

【参考】国際共同開発について

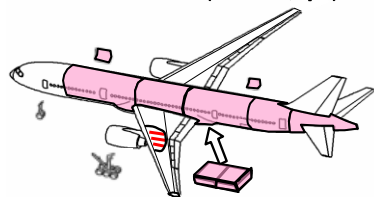
機体

B767 (250席)



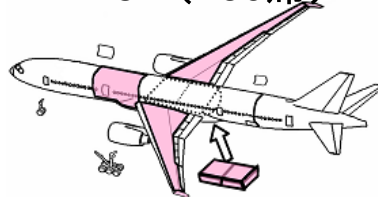
参加比率:15%

B777 (380席)



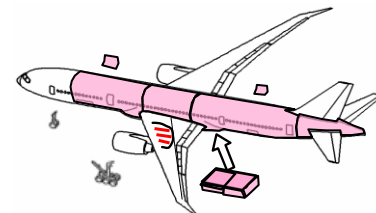
参加比率:21%

B787 (250席)



参加比率:35%

B777X (400席)



参加比率:21%

次世代航空機

エンジン

(A320)V2500



IAE International Aero Engines

参加比率:23%

(B777)
Trent800/ GE90



Rolls-Royce GE

参加比率:9~10%

(CRJ等)
CF34-8/CF34-10



GE

参加比率:30%

(B787)
Trent1000/GenX



Rolls-Royce GE

参加比率:15%

(A320neo)
PW1100GJM



IAE International Aero Engines

参加比率:23%

(B777X)GE9X



GE

参加比率:10.5%

次世代エンジン

航空機産業のサプライチェーン構造、脱炭素化による変化



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・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化すべき政策手法： 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	★規制 国際航空に関し、ICAOにより2019年比でCO2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CO2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		自立的拡大
	※ エンジン、電動化、水素関連技術は一部補完関係あり							
	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等】安定した燃料製造技術の確立・低コスト化						バイオジェット燃料等の国際市場の動向に応じて、競争力のあるバイオジェット燃料等の供給拡大	
	【合成燃料】CO2から合成燃料までの一貫製造プロセスの確立							
	※ 藻類の培養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							

航空分野におけるCO2削減に関する国際目標

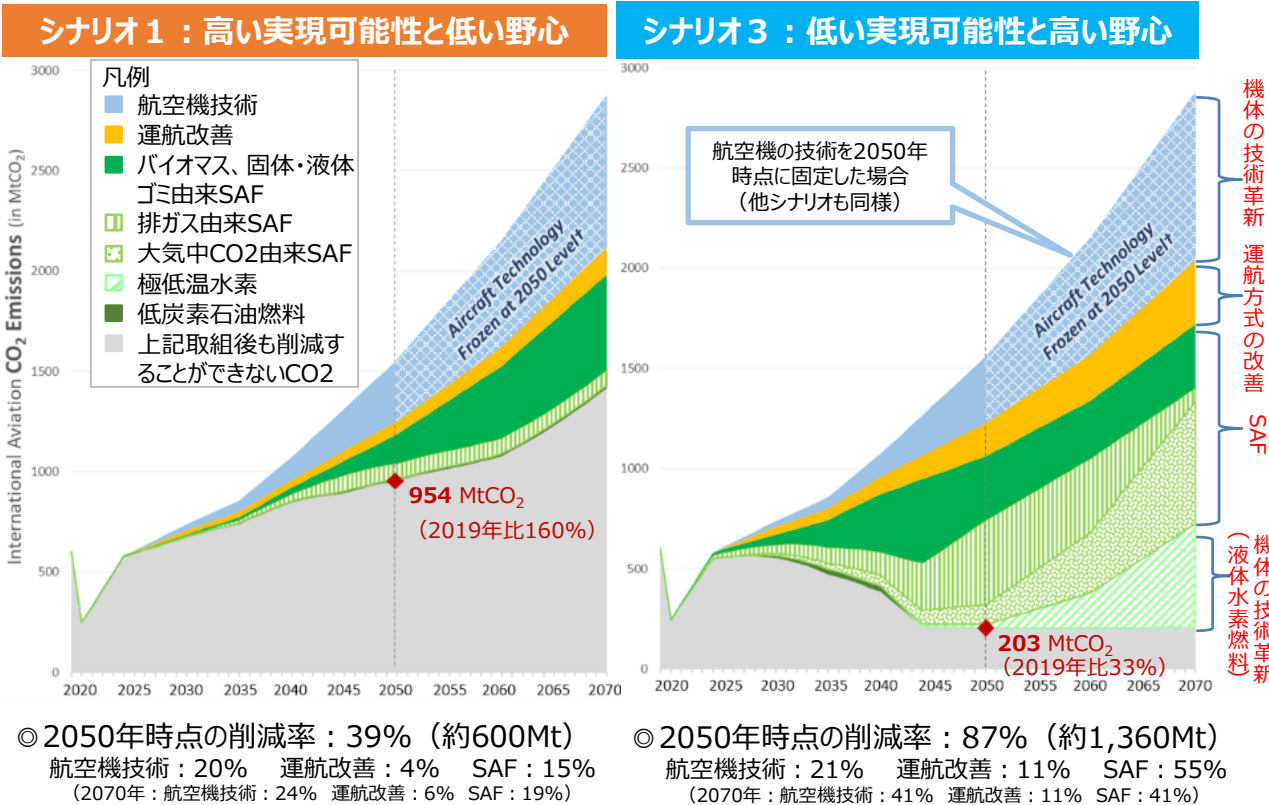
資料3
p.4 再掲

- 航空分野では、従来より温室効果ガス低減に関する国際的な合意目標が存在。2021年10月にIATA、2022年10月にICAOにおいて、**2050年カーボンニュートラル達成の目標を合意**。
- 日本としても、2022年7月下旬、ICAOのハイレベル会合内で、**日本の国際航空分野において2050年までにカーボンニュートラル**を達成することを公式に宣言しており、航空分野におけるCO2削減の動きが活発化。
- SAFの活用、**新技術の導入**、運航方式の改善を組み合わせなければ目標達成が難しいことが示されている。

温室効果ガス低減に関する国際的な合意目標

	短中期目標	長期目標
パリ協定	・産業革命以降の平均気温上昇を2度未満に抑制(義務)、1.5度未満に抑制(努力) ・今世紀後半には排出量と吸収量を均衡させる(義務)	
協定下での日本の目標	・2030年度までに2013年度比総排出量46%減(全分野として)	・2050年カーボンニュートラルの実現を目指す
国際航空業界団体(IATA)	・2020年からの年平均1.5%の燃費改善 ・2020年以降総排出量を増加させない	・2050年炭素排出をネットゼロ(2021年10月4日 第77回IATA年次総会で採択)
国際民間航空機関(ICAO)	・燃料効率を年平均2%改善 ・2020年以降総排出量を増加させない *CORSIA(国際航空におけるカーボンオフセット制度)により2035年に達成することを意図	・2050年炭素排出をネットゼロ(2022年10月7日 第41回ICAO総会で採択)

LTAGレポートで示されたシナリオ



各国政府・研究機関の航空分野ネットゼロに向けた支援策

資料3
p.6 再掲

- 欧米では、航空機の脱炭素化に関する研究開発に対して、多額の政府資金が投入されている。



EU

- 2021年に次世代航空機関連プロジェクトを計画・実施するために、官民コンソーシアム「Clean Aviation」を組成。
- Clean Aviationは、ハイブリッド電動、超高効率化、水素航空機に関してプロジェクトを組成し参画事業者に予算を配分（EU政府が€1.7B(約2,380億円)を拠出）
- 2022～25年のPhase1と2026～30年のPhase2で構成されており、Phase1は、機体コンセプトや技術オプションの開発、絞り込みを実施。Phase2は、選定した技術についてデモ実証など実施していく予定。
- その後、2031年～2035年に新型機の就航を目指す。



アメリカ

- NASAが発表したSFNP（Sustainable Flight National Partnership）は、今後10年間で、大型輸送機のハイパワーハイブリッド電動、超高効率のロング・スレンダー航空機の翼、複合材料の新しい大規模製造技術、NASAのイノベーションに基づく高度なエンジン技術を実証。
- 2021年9月、NASAは、2026年までのハイブリッド電動推進の開発実証のためにGE, MagniX等に対して、\$253M(約330億円)支援すると発表。
- 2023年1月、NASAは、TTBW(支柱付き主翼)の開発実証のためにBoeing等に対して、7年間で\$425M(約550億円)支援すると発表。
- 2022年2月、DoEのARPA-Eプログラムの一環として、Pratt & Whitneyによる液体水素燃焼と水蒸気回収を使用したジェットエンジン技術の開発が採択。



ドイツ

- 2020～24年までの期間に、水素技術(燃料電池ハイブリッドシステム、水素発電機、水素燃焼エンジン)について、€25M(約35億円)支援すると発表。
- 2021年、DLR(ドイツ航空宇宙センター)は、出力約1.5MWの燃料電池システムを開発・試験するためのテストフィールドを建設。



イギリス

- 英国官民が、独自の航空機製造業戦略策定、財務的支援のために2014年に設立したATI (Aerospace Technology Institute) が、これまで£3.2B(約5,200億円)の予算で343のプロジェクトを組成。
- 2022年3月、英国政府は、今後3年間の予算として、£685M(約1,100億円)の拠出を発表。
- エンジン技術開発、主翼設計・量産技術、次世代システム、装備品研究に当てられる。



中国

- 国家発展改革委員会が2022年3月、「水素エネルギー産業発展中長期計画(2021～2035年)」を発表。
- その中で、「燃料電池を航空機分野で活用していく試みを積極的に進め、水素エネルギーを用いた大型航空機の開発を推進していく」との記載あり。

将来技術導入のタイムライン

資料3
p.5 再掲

- SAF(持続可能な航空燃料)は2020年代から導入（機体サイズや航続距離に制限無し）。
- 電動化はコミューター機（9-50席、~60分以下のフライト）やリージョナル機（50-100席、30~90分のフライト）を中心に2020年代後半以降に導入されていく。
- 水素燃料電池は2025年代以降、コミューター機(9-50席、60分未満のフライト)、リージョナル機(50-100席、30~90分のフライト)を中心に、水素燃焼技術は2035年以降に中小型機(100-250席、45~150分のフライト)中心に導入。
- 以前よりも電動ハイブリッド化の適用範囲が拡大し、導入時期も早まっております、将来技術導入へ向けた動きが更に加速している。

◆2020年9月公表 “Waypoint2050”

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

◆2021年9月改訂 “Waypoint2050 2nd Edition”

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

小型旅客機CO₂排出量
約70%

そのうち、電動化/水素技術で
アプローチ可能な
航続距離2,000km以下の
旅客機のCO₂排出量は
約40%

世界のエアラインにおける環境対応

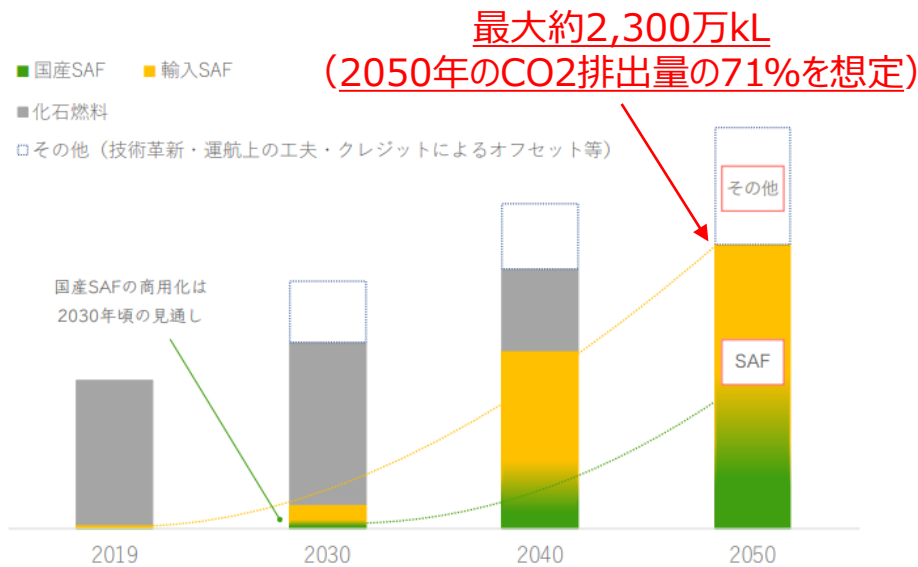
- 世界のエアラインにおいても、ICAOによる国際目標の策定を受け、CO2削減目標の設定や、SAF導入に向けた取り組みを各社が行っている。

エアライン	CO2削減目標		SAF導入に向けた取り組み例
	短中期	長期	
JAL	2030年度にはCO2の総排出量を2019年度の90%に抑える	2050年までにCO2排出量実質ゼロ（機材更新、運航技術、SAF）	Fulcrumに出資 国産SAFを搭載した飛行など、SAFの開発促進や活用を実施
ANA	2030年度にはCO2の総排出量を2019年度（1,233万kL）以下	2050年までにCO2排出量実質ゼロ（航空技術、運航技術SAF、オフセット、ネガティブエミッション技術）	NESTEとSAFの中長期的な供給に向けた戦略的提携 国産SAFを搭載した飛行など、SAFの開発促進や活用を実施
アメリカン航空	2020年以降は純CO2排出量に削減	2050年までに100%GHG削減（機材更新、航空技術、運航技術、SAF、オフセット）	Deloitte社とSAF Certificateと呼ばれるSAF購入スキーム立ち上げ、HEFA+の導入
ユナイテッド航空	—	2050年までに100%GHG削減（オフセットを含まない）	Fulcrumに出資・連携 Direct Air Captureに取り組むベンチャーに出資
デルタ航空	2021～35年の国際線CO2排出増加をカーボンニュートラル化	2050年までに純CO2排出量2005年比▲50%	Northwest Advanced Bio-fuelsと連携
IAG	2020年1月からすべての国内線の排出量をオフセット	2050年までにCO2排出量をネットゼロ	シエル・Velocysと連携
ルフトハンザドイツ航空	2020年からのCO2のニュートラルな成長	2050年までに純CO2排出量2005年比▲50%	Power-to Liquid、CCUSの取り組み有り
KLM・エールフランス航空	2030年にCO2フットプリントを2005年比▲15%	—	企業向けSAF購入サービス有り 欧州Flightpathイニシアチブに積極関与
フィンエアー	2025年までにネットCO2排出量2019年比▲15%	2045年までにカーボンニュートラル	SkyNRGと連携したサービス

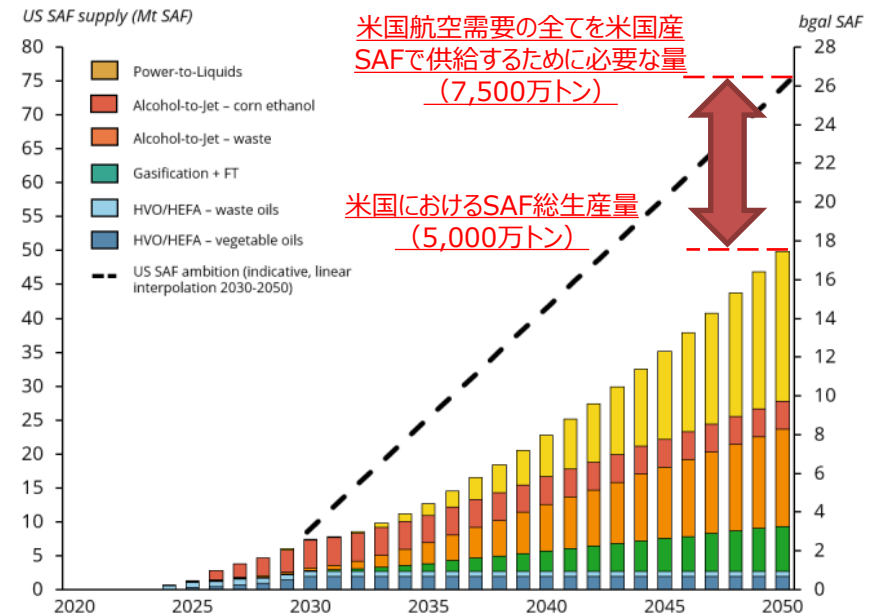
SAFにおける需要・供給見込み

- 2050年にCO2排出量実質ゼロを実現するためには、国内でのSAF必要量は最大2,300万 k Lとの試算も存在しており、今後、将来的なSAFの需要増加を見据え、国内において国際競争力のある価格で安定的にSAFを供給できる体制の構築が重要となる。
- また、SAFのみではCO2削減量に限界があるため、2050年ネットゼロ目標の達成に向けては、その他の方法（技術革新、運航上の工夫、クレジットによるオフセット等）と組み合わせて対応していく必要がある。

国内SAF需要量予測（2021年10月時点）



SAF製造量の長期的な見通し（米国）



【参考】世界のエアラインにおける次世代航空機に係る動き（電動航空機）

採用予定								その他連携方法	
エアライン	企業名	型式	種別	機体数	運用開始時期	導入予定路線	連携概要	連携方法	
フラッグシップ	ユナイテッド航空	Heart Aerospace*1	ES-30	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	100機	2028年	リージョナル路線	NA	投資 (46億円)
	エアカナダ	Heart Aerospace	ES-30	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	30機	2028年	リージョナル路線	出資	投資 (7億円)
	フィンエア	Heart Aerospace	ES-30	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	20機	2028年	リージョナル路線	NA	NA
	ニュージランド航空	Eviation	Alice	全電動	3機 (追加で最大20機)	2026年	NA	NA	NA
リージョナル	メサ航空	Heart Aerospace	ES-30	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	100機	2028年	リージョナル路線	NA	投資 (ユナイテッド航空 と共同投資)
	セブンエア	Heart Aerospace	ES-30	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	3機 (追加で3機)	2028年	リージョナル路線	NA	NA
	Aerus	Eviation	Alice	全電動	最大30機	2027年	リージョナル路線	NA	NA
	Widerøe	Rolls-Royce	NA (Tecnam P2010 に搭載予定)	全電動(~200km) ハイブリッド電動 (200km~)	NA	2026年	コムーター路線	開発協力	パートナーシップ (+Tecnam)

推進系メーカーのRolls-Royce、機体フレームメーカーのTecnam、エアラインのWiderøeの3社で電動航空機を開発する計画

*1: Heart Aerospace社は2022年9月に元々19名乗りの機体(ES-19)の開発を取りやめ、30名乗りの機体(ES-30)に注力する方向に方針転換した。元々ES-19として発注を受けていたオーダーを ES-30に順次切り替えている状況

【参考】世界のエアラインにおける次世代航空機に係る動き（水素航空機）

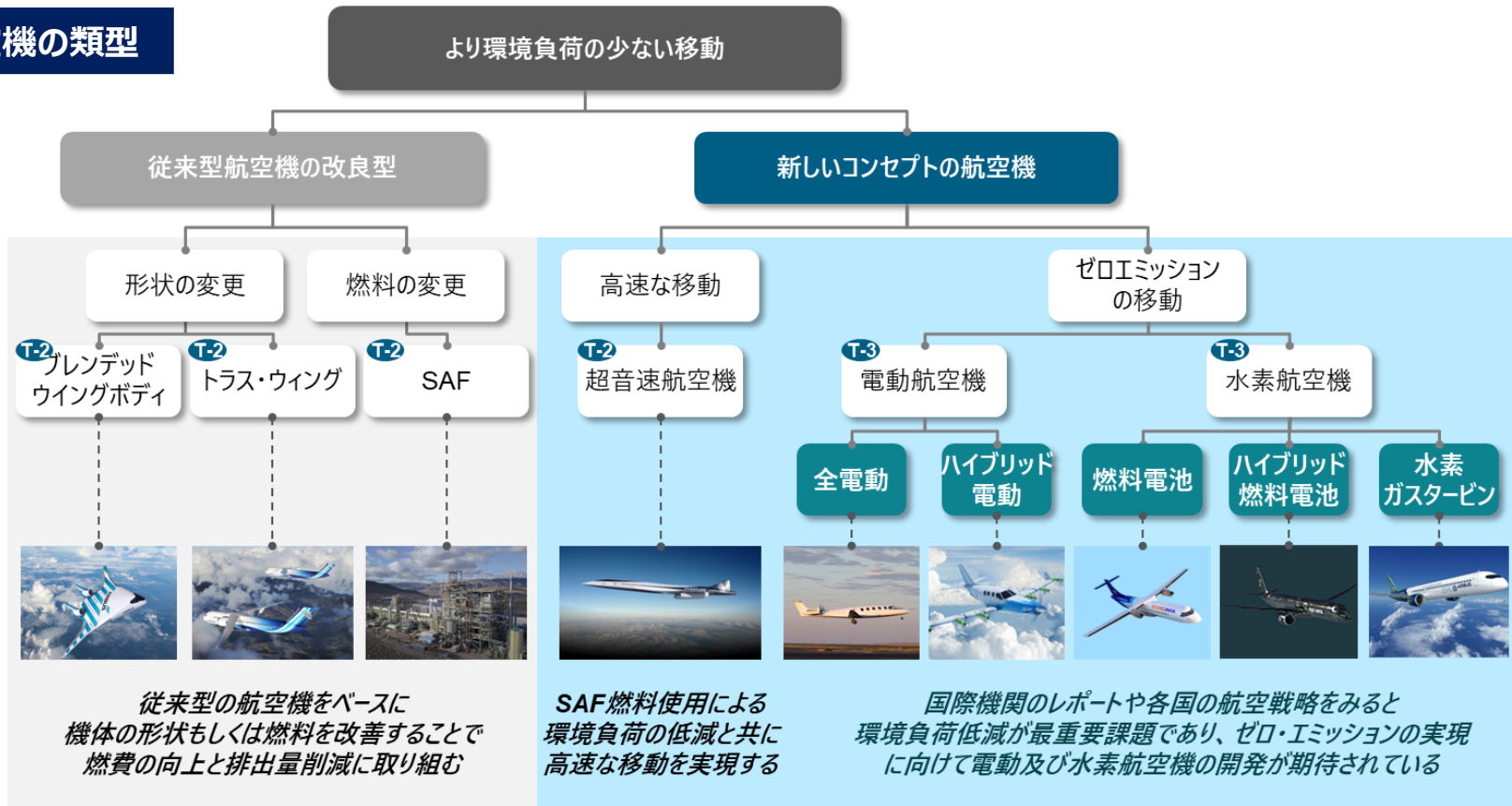
		採用予定						その他連携方法	
エアライン		企業名	型式	種別	機体数*1	運用開始時期	導入予定路線	連携概要	連携方法
フラグシップ	ユナイテッド航空	ZeroAvia	ZA2000-RJ	水素燃料電池	最大50機	2028年	リージョナル路線	出資	投資
	アメリカン航空	ZeroAvia	NA	水素燃料電池	最大50機	2020年代後半	リージョナル路線	出資	投資
		Universal Hydrogen	NA	水素燃料電池	NA	NA	NA	出資	投資
	デルタ航空	Airbus	NA	水素燃焼	NA	NA	NA	開発協力	パートナーシップ (知見提供*2)
	アラスカ航空	ZeroAvia	ZA2000-RJ	水素燃料電池	NA	NA	リージョナル路線	開発協力	パートナーシップ
	ブリティッシュエアウェイズ	ZeroAvia	NA	水素燃料電池	NA	NA	短距離路線	出資	パートナーシップ (投資)
	アイスランド航空	Universal Hydrogen	NA	水素燃料電池	NA	NA	リージョナル路線	開発協力	パートナーシップ
	ANA	Airbus	NA	水素燃焼	NA	NA	NA	開発協力	パートナーシップ
リージョナル	コネクト航空	Universal Hydrogen	NA	水素燃料電池	75~100機	2026年	リージョナル路線	開発協力	NA
	Easy Jet	Rolls-Royce	AE 2100-A	水素燃焼	NA	2030年代中盤	NA	NA	NA

*1: ZeroAvia社のコンバージョンキットは航空機1機当たり2個必要な想定、*2: 実現可能性の高い航空機のコセプト、運航に必要なインフラならびに重要なステークホルダーとの連携について知見を提供する

航空脱炭素化をめざした多様な次世代航空機コンセプト

- 新技術が導入される次世代航空機においては、様々なコンセプトが存在し、どの技術オプションが採用されるかについて、不透明性が大きいことから、戦略的なステップを踏んだ技術開発を進めていくことが必要。
- 全電動航空機どの方式においても必要となる電動化率の向上、エンジンの効率化等の燃費改善に係る技術開発は重要。

次世代航空機の類型



SAFがメインオプションとなったとしても、供給量、価格の観点から、革新的な燃費向上を実現するためのゲームチェンジは必須

次世代航空機に向けた動向（エアバス）

資料3
p.9 再掲

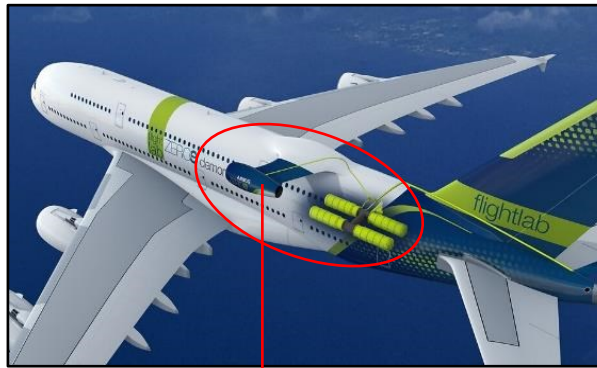
- 2020年9月、2035年に世界初の「ゼロエミッション航空機」の実用化を目指すとして、複数のコンセプト航空機（ZEROe）を公表。3つのコンセプトはいずれも、液体水素を燃料として燃焼させる改良型ガスタービンエンジンとガスタービンを補完する水素燃料電池から構成されるハイブリッド型の推進システム。
- 2022年2月、11月にA380をプラットフォームにした水素燃焼エンジン、水素燃料電池エンジンの飛行実証を実施する旨を発表。

エアバスが発表したZEROeコンセプト機

機体コンセプト	イメージ図	乗客数	航続距離
ターボプロップ機 (水素燃焼)		100人 以下	1000nm以上 (1850km以上)
ターボファン機 (水素燃焼)		200人 以下	2000nm以上 (3700km以上)
翼胴一体機 (水素燃焼)		200人 以下	2000nm以上 (3700km以上)
ポッド式 (水素燃料電池)		100人 以下	1000nm以上 (1850km以上)

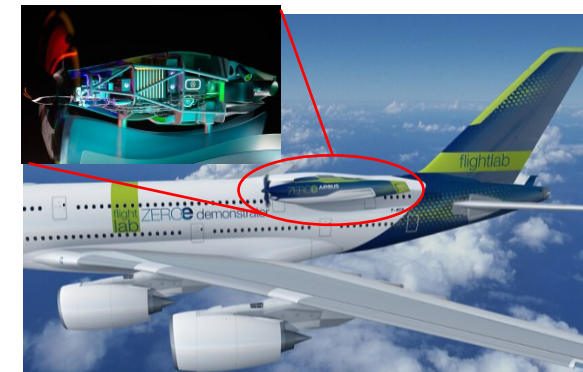
エアバスが発表したデモンストレーター機(左図：水素燃焼、右図：水素燃料電池)

- ・水素タンク、水素燃焼エンジン、燃料供給システムなどの各技術コンポーネントは、個別に地上実証され、その後、システム全体で地上実証し、飛行実証へ移る。
- ・最初の飛行は今後4年以内の予定。



水素燃焼エンジン部分の地上・飛行実証をするためのパートナーシップを、CFMインターナショナルと締結

- ・燃料電池エンジンポッドを搭載するために外部が変更される見込み。テストプラットフォームは、左図イメージ同様A380。
- ・最初の飛行は今後4年以内の予定。



水素燃料電池スタックの開発をエルリングクリンガーと合併企業を設立し実施。

次世代航空機に向けた動向（ボーイング）

資料3
p.10 再掲

- NASAやエンジンOEMと連携をしながら、次世代航空機のコセプト検討、ハイブリッド電動推進システムや、TTBW(支柱付き主翼)といった次世代航空機コンセプトの実証機開発を推進。また水素などの極低温燃料タンクの製造など要素技術検討も進めている。
- 2022年6月に公表したサステナビリティレポートにおいて、「カーボンニュートラルへの移行を可能にするフリート効率の改善、SAF、将来のプラットフォーム技術への投資」を進めることとしている。



＜2022年1月＞

GEアビエーションのハイブリッド電動飛行試験デモンストレーションプログラムにおいて、ボーイングとその子会社であるオーロラと提携を公表。



＜2023年1月18日＞

NASAがTTBW(支柱付き主翼)の実証機の開発と飛行試験について、ボーイングに主導するよう選定。TTBWにより、現行の単通路機と比較して、燃料消費と排出量を最大30%削減可能。

2022年

2023年



＜2022年2月＞

大型かつ複合材で製造された極低温燃料タンクを製造。水素燃料の航空機への活用可能性も示唆。

＜2022年7月＞

大学と共同開発した分析ツール（Cascade）を発表するとともに、ハイブリッド技術、電気及び水素動力の航空機を描いた将来の機体コンセプトの一例も公表。

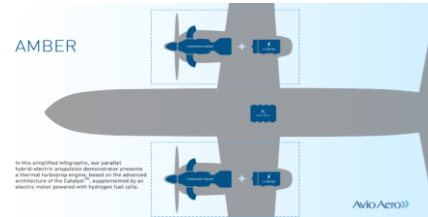


出典：ボーイングHP

航空機の電動化を含めたエンジンメーカーの動向



GE



<EPFDプロジェクト> ハイブリッド電動

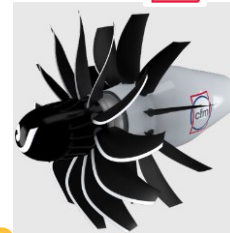
- NASA、Boeing、MagniX、Aurora Flight等への投資を含め、総額2億6000万ドルの取り組み。
- 改造されたサーブ340B航空機とCT7-9Bターボプロップエンジンを使用したハイブリッド電気推進システムの飛行試験を実施。

<AMBERデモンストレーター> ハイブリッド電動

- 子会社である伊 Avio Aero が Clean Aviationの支援を受け、GEやH2FLY、DLRなど産学で構成されるコンソーシアムを主導。
- リージョナルジェット向けの水素燃料電池を動力とするハイブリッド電動推進システムに必要な要素技術を成熟させ、統合する予定。2020年代半ばにリグテスト用の統合を実施。



CFM International



<RISE プログラム>

水素燃焼

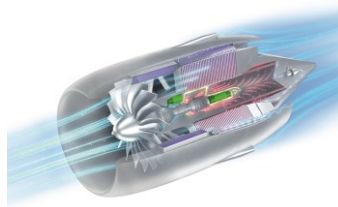
ハイブリッド電動

先進的なエンジン
コンセプト

- CFMIは、GE AerospaceとSafran Aircraft Enginesの50/50のJV。
- オープンファンという特徴ある形式であり、現行のエンジンより20%のCO2排出削減、100%SAFへの互換性などの性能向上を見込む。
- オープンファンのデモフライトは今後10年間の後半に実施予定。
- RISEプログラムの一環である水素直接燃焼技術についても、Airbusとパートナーシップを締結。今後4年間のうちに、地上試験、デモフライトを実施予定。



Pratt & Whitney



<SWITCHプロジェクト> ハイブリッド電動

先進的なエンジン
コンセプト

- Clean Aviationの支援を受け、独MTU、米Collins、独GKN、Airbusと連携し、水噴射ターボファンとハイブリッド電動推進システム2つの革新的技術で、25%の排出削減を目指すことを発表。
- 水噴射とは、エンジン排気から水蒸気を回収し、燃焼室に噴射することで、燃料効率向上と、NOx排出削減に寄与。



<STEP-Techプログラム> ハイブリッド電動

- Pratt & WhitneyとCollinsがハイブリッド電気技術デモンストレータープログラムを立ち上げ。
- 2023年1月には、地上試験が成功。今後、2024年を目途にDash8-100ターボプロップをベースにし、飛行デモを実施予定。
- ハイブリッド電動推進システムと高効率のP&Wのエンジンにより、通常のターボプロップエンジンよりも30%排出削減見込み。



Rolls-Royce



水素燃焼

ハイブリッド電動

先進的なエンジン
コンセプト

- Clean Aviationの支援を受け、①HEAVEN：UltraFanの設計とハイブリッド電動推進システム、水素技術の開発、②HE-ART：ハイブリッド電動ターボプロップシステムの開発、③CAVENDISH：液体水素システム地上試験の3つのプロジェクトのリーダーに。
- 2022年12月、英国エアラインのeasyJetと水素燃料による航空機用エンジンの試験を成功。航空エンジンでの動作確認は世界初。

次世代航空機の実現に向けた技術的課題と海外の動向

- ボリュームゾーンである単通路機においては水素燃焼、電動化率の向上に係る技術開発について主要なOEMを中心に取り組まれている。特に電動化率の向上に係る技術開発は今後使用される燃料がSAF、水素のいずれの場合においても必須となる燃費改善に大きく貢献するため非常に重要。
- 一方で、100席以下の小さいサイズの航空機においては、水素燃料電池推進の適用に関する開発実証が海外スタートアップ企業を中心に取り組まれている。これらの技術は、単通路機サイズへ直接適用するには出力密度等にギャップがあるためハードルが高いものの、水素燃焼、電動化率の向上を航空機システムとして成立するうえでの技術課題は共通しているため、単通路機市場への参画を目指すうえでも、水素燃料電池航空機関連技術に対する知見を国内において獲得しておくことが重要。

直接適用できないが、技術課題は共通

液体水素の貯蔵・供給技術

熱・電力管理・制御技術

バッテリー/燃料電池の安全性・性能

空力/構造技術、耐熱材料技術、駆動系/発電機技術

50席

100席

250席

席数

少

電動

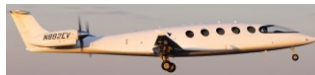
水素燃料電池

水素燃焼

SAF

多

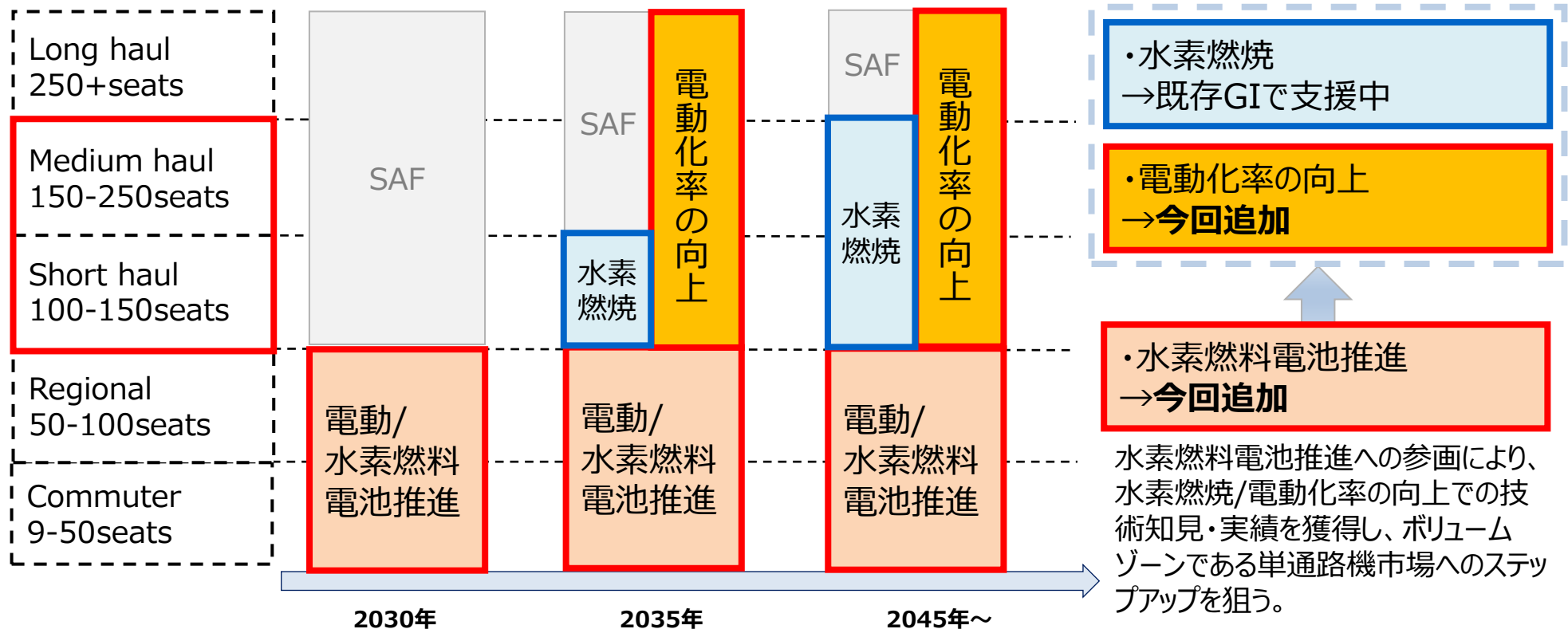
電動化率の向上



次世代航空機の実現に向けた技術開発の方針

R5.7.21WG
から修正

- 需要の伸びが大きい単通路機も含めたより大きな機体サイズへの導入に向けた取組が加速している水素燃焼、電動化率の向上に関する技術の社会実装を目指すことで、我が国航空機産業の成長を目指す。
- 導入時期の早い水素燃料電池電動推進システムの開発実証に取り組むことで、100席以下の小さいサイズの航空機の推進システムの市場を獲得するとともに、極めて高い安全性を求められる航空機における水素の活用や大電力の管理・制御等に関する技術的知見と実績の獲得を通じた水素燃焼、電動化率の向上における競争力強化を狙う。なお、自動車業界における蓄電池技術等、他産業の技術動向も注視していく。



第7回産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会資料（抜粋）

3. 組成済みプロジェクトへの取組内容の追加

（成長分野における競争力強化）

●電動航空機の開発

航空分野のCO₂削減を実現する次世代航空機について、装備品、推進系の電動化率の向上はどの方式においても必須であり、国際的に研究開発が進展している。こうした潮流の中、日本企業が新たに市場を勝ち取っていくため、日本が強みを有するモーター等の電動化技術を発展させるとともに、それらを活用し飛躍的な燃費向上を実現する推進系機器及び装備品を開発し、その信頼性等を実証する研究開発を実施する。

※ ⑯「次世代航空機の開発」プロジェクトへの取組内容の追加

（CO₂排出増加が見込まれる分野への対応及びスタートアップの活躍）

●IoTセンシングプラットフォーム構築

ネットワーク及びデータセンターの負荷低減によるCO₂削減を目的に、様々なセンサーからの情報をエンドポイントを含むエッジ側において高精度かつ低消費電力で処理する革新的 A I 処理技術の開発と、こうした革新的センシング技術のスマートシティ、スマートファクトリ等への社会実装を加速するためのアプリ開発環境を構築する。

※ ⑮「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトへの取組内容の追加

本プロジェクトの目標等と関連する研究開発内容について

R5.7.21WG
から修正

- 本プロジェクトでは、脱炭素化を目指した次世代航空機において適用される可能性の高い、①液体水素を用いた燃料電池電動推進システムと、②電力制御及び熱エアマネジメントシステム、電動化率向上技術について、以下の目標、研究開発内容を設定する。

①液体水素を用いた燃料電池電動推進システムにかかる研究開発目標とその考え方等

- 目標① プロジェクト終了までにサブスケール機での実証デモによりシステムの成立性を実証し、液体水素を用いた4 MW級の燃料電池電動推進システムとしてTRL6*以上を確立することを目標とする。 *NASAが設定する技術レベル。IEAの「TRL6以上」相当
→OEMとの共同開発に参画し、国際的なルールメイキングにおける発言力向上のために必要不可欠。

【(9/10委託→1/2補助) + (1/10インセンティブ)】 【事業期間：7年間（2024～2030年まで）】

研究開発内容①：水素燃料電池電動推進システム技術開発 予算額：132億円

研究開発内容②：水素燃料電池コア技術開発 予算額：41億円

②電力制御及び熱エアマネジメントシステム、電動化率向上技術にかかる研究開発目標とその考え方等

- 目標② プロジェクト終了までに航空機の電動化における国際競争力獲得に重要となる電力制御及び熱・エアマネジメントシステムにおける発電機、電動ターボ機械等のコア技術、航空機の電動化率向上技術（電動タキシング等）においてTRL6以上を確立する。
→ハイブリッド電動推進システムを含む航空機の電動化において燃費を大きく向上させるために必要不可欠。

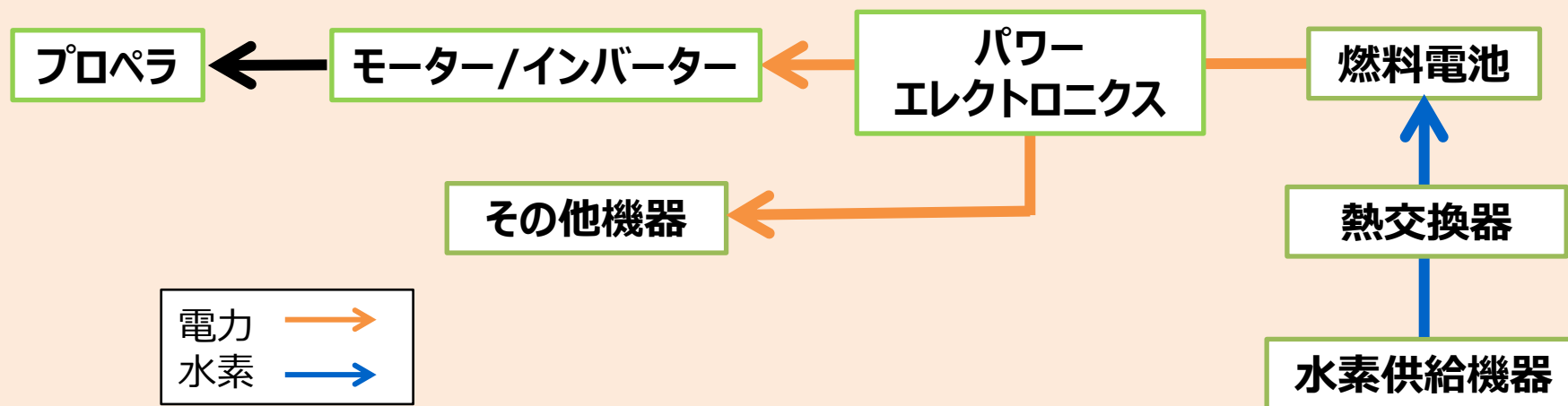
【(9/10委託→1/2、1/3補助) + (1/10インセンティブ)】 【事業期間：7年間（2024～2030年まで）】

研究開発内容①：電力制御及び熱・エアマネジメントシステム技術開発 予算額：127億円

研究開発内容②：電動化率向上技術開発 予算額：6億円

目標①：水素燃料電池電動推進システム技術開発イメージ

水素燃料電池電動推進システム



①世界最高性能のZeroEmission推進システム（※）の開発

（※）

- ・座席数40席以上で、1フライトあたりの航続可能時間を3時間以上とする
- ・巡航高度20,000フィート程度で航続距離が500nm以上の実証

②座席数80席以上等、水素燃料電池推進の適用が可能な航空機の範囲を野心的に広げることが可能なコア技術の開発

目標①：水素燃料電池電動推進システムとして目指すべき性能

R5.7.21WG
から修正

- 水素燃料電池電動推進システムとそれを構築する各コア技術においては以下の目標値を達成することを目安とする。
 - 座席数40席以上で、1フライトあたりの航続可能時間を3時間以上とする
 - 巡航高度20,000フィート程度で航続距離が500nm以上の実証

海外の動向



(2023年9月7日、)H2FLY社は、**液体水素を動力源とする電気航空機の世界初のパイロット飛行に成功**したと発表した。試験飛行の結果は、**気体水素の代わりに液体水素を使用**することで、HY4航空機の**最大航続距離が750kmから1500kmに倍増**することを示しており、排出ガスのない中・長距離商業飛行の実現に向けた重要な一歩となる。H2FLYは6月、**高度27000フィートまでの飛行でフルパワーを供給できる新型燃料電池システムH2F-175の開発を発表**し、低高度での実行可能な飛行実証から実際の商用機への応用に向けた重要な一歩を踏み出した。



航空機開発のスタートアップ企業である**イギリスのZeroAvia**は2023年1月19日、**水素燃料電池を動力とした航空機としては過去最大という、19人乗りの「ドルニエ228」を使った初飛行に成功**した。この飛行は、イギリス政府の航空宇宙技術研究所（ATI）が支援する主要な研究開発である「HyFlyer II」プロジェクトの一環として行われた。同プロジェクトは、9～19人乗りの航空機のゼロエミッション化をサポートする、出力600kWのパワートレインの開発を目標としている。→同年5月には片発を水素燃料電池推進に換装した**19席クラスの航空機にて、22分間、4,000ftの試験飛行に成功**。



アメリカのスタートアップ企業である**Universal Hydrogen**が2023年3月2日、航空機に電力供給するものとしては最大の**水素燃料電池を搭載した、40人乗り旅客機の試験飛行に成功**したと発表した。旅客機は、ワシントン州のグラント郡国際空港を離陸後、**15分間飛行し、高度3500フィートに達した。水素燃料で巡航する航空機としても最大となった**という。今回の試験飛行では、旅客機のタービンエンジンの1つが同社のパワートレインに置き換えられた。

出典：https://engineer.fabcross.jp/archieve/230222_hydrogen-electric-engine.html
<https://www.zeroavia.com/alaska-airlines-zero-emission-q400>
https://engineer.fabcross.jp/archieve/230329_hydrogen-regional-airliner.html
<https://article.yahoo.co.jp/detail/b1e402fb8d1233e78ed35ef462f57b014dbeb1e3>

目標①：技術課題を踏まえた開発の方向性（水素燃料電池電動推進システム）

- 既存機器の性能向上/新たな要素技術開発を行うとともに、システム全体での熱マネジメント等へ対応しつつ、航空機特有の安全性を確保する必要がある。

技術課題

高出力密度化

高効率化

液体水素の管理・制御

熱&パワー管理・制御

耐放電・耐放射線

安全性・信頼性保証

開発の方向性

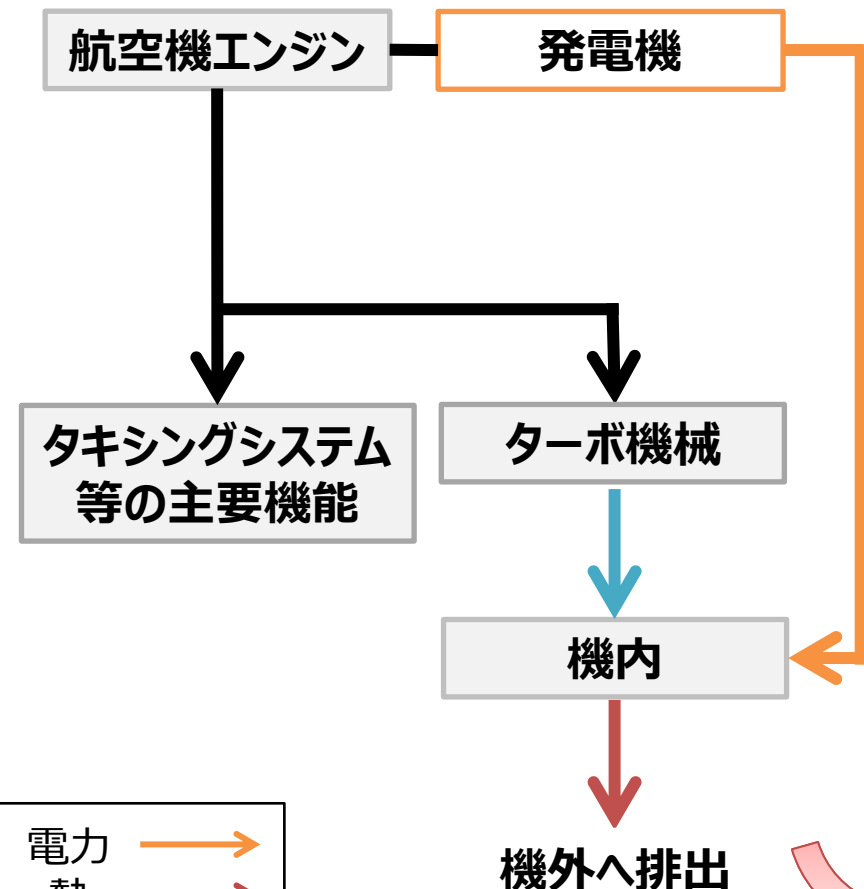
既存の地上設備、あるいは電気自動車等のモビリティで実用化されている機器の性能を小型航空機向けに大きく向上させ、不足する要素技術については開発を行う。

システム内において、熱を発する機器と熱を必要とする機器が混在していることから、システム全体における効果的な熱マネジメントが必要。

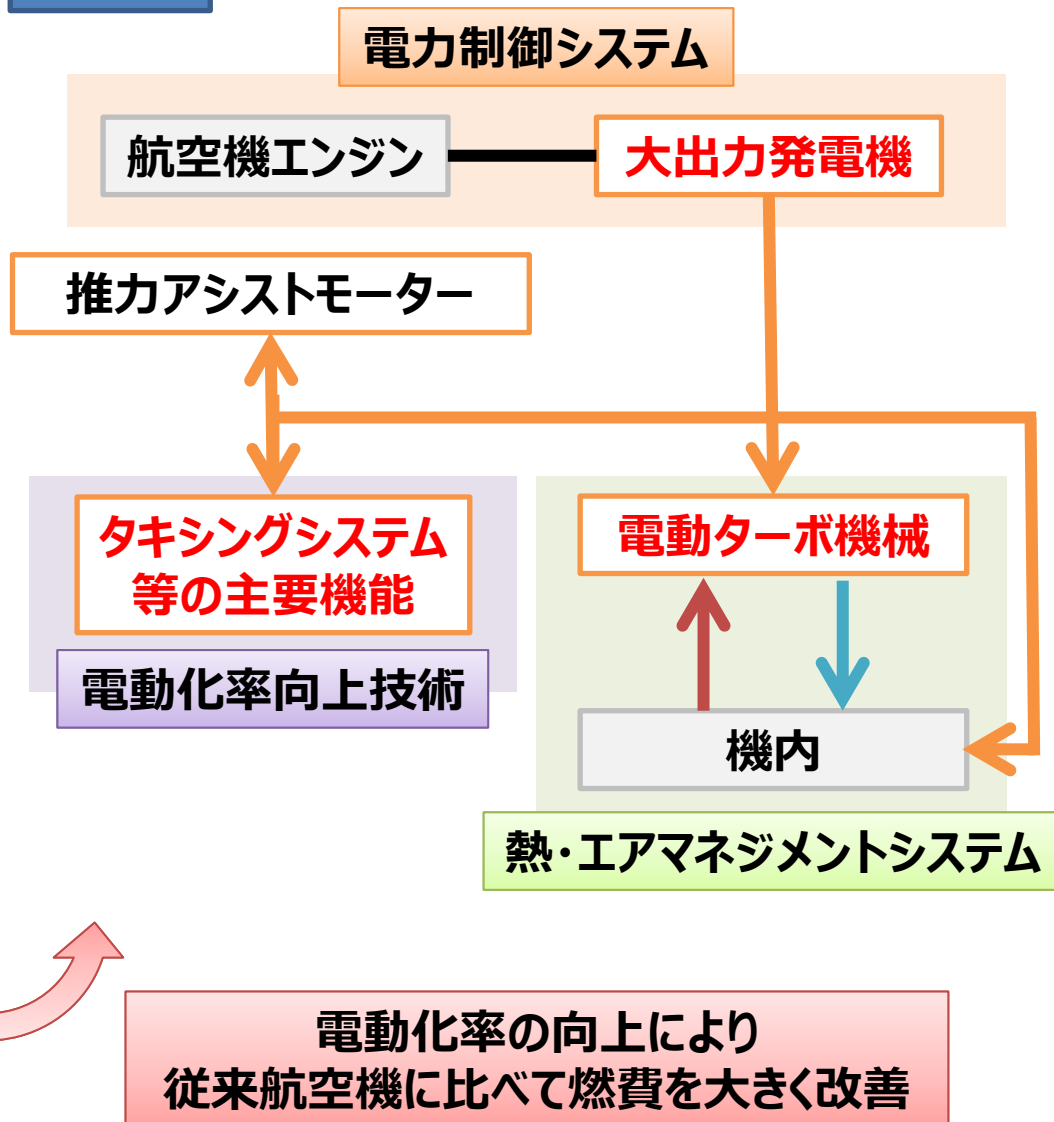
水素燃料電池電動推進システムとして、安全性を担保した形で成立させる必要がある。

目標②：電力制御及び熱・エアマネジメントシステム、電動化率向上技術開発イメージ

従来



本事業



目標②：電力制御及び熱エアマネジメントシステムとして目指すべき性能

- 電力制御及び熱エアマネジメントシステム技術において以下の目標値を達成することを目安とする。
- 航空機の今後の電動化の中核を支える電力制御及び熱・エアマネジメントシステムについて、従来航空機と比べて燃費を5%以上改善するコンセプトを確立し、単通路機を評定とした機体サイズ、運航条件における成立性の実証を行う。
 - － 電力制御システムコア技術：ハイブリッド電動推進システムに対応可能な1 MW以上の出力、かつ従来航空機に搭載されている2倍以上の出力密度を有する発電機を実現する。
 - － 熱・エアマネジメントシステムコア技術：世界最大級（55 kW以上）の出力をもつ航空機向けガス軸受モータを搭載した電動ターボ機械を実現する。

電力制御システムコア技術

例：Rolls Royce社が開発した発電機



ハイブリッド電動推進システム向けターボジェネレーター
SAFへの対応に加え、将来的に水素への対応も目指す
出力：600 kW~1 MW

熱・エアマネジメントシステムコア技術

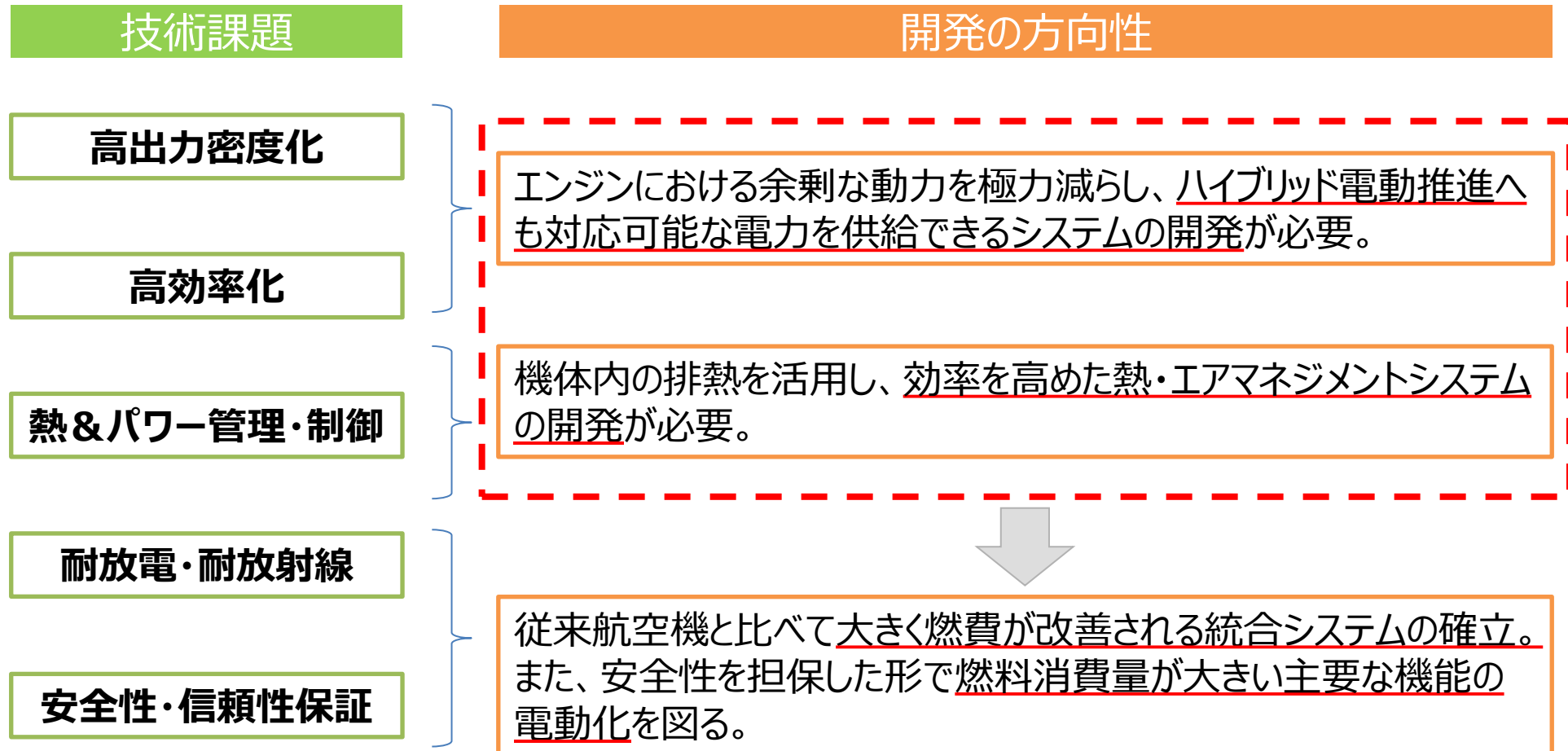
例：Liebherr社が開発した電動ターボ機械



搭載モータ最大出力：55 kW

目標②：技術課題を踏まえた開発の方向性 (電力制御及び熱・エアマネジメントシステム、電動化率向上技術開発)

- 航空機の電動化においては、ハイブリッド電動推進システム等も見据えて、燃費改善に大きく寄与するための技術開発が必要となる。

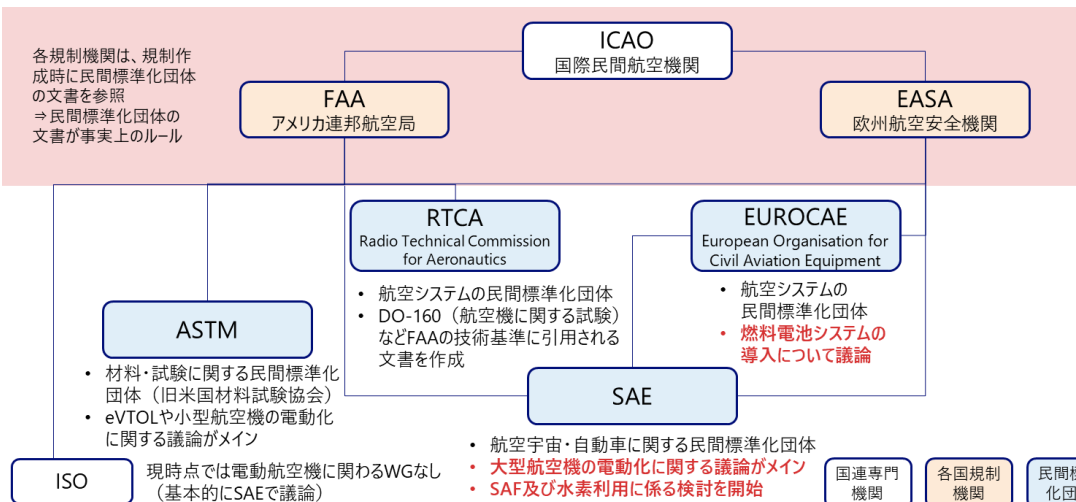


新技術の社会実装へ向けた取組

資料 3
p.11 再掲

- 航空機の耐空性に係る基準については、規範的要件から、性能準拠要件（Performance based regulations）に見直され、国際民間航空機関（ICAO）、欧米航空当局（FAA、EASA）では、**民間標準化団体（SAE、ASTM、RTCA、EUROCAE等）の規格を積極的に活用**する方針に移行しつつある。
- 新技術を社会実装し、航空機の脱炭素化を進め、我が国の競争力強化に繋げていくためには、**技術開発を推進するとともに、官民が連携して、安全基準の策定や国際標準化に向けた取組を進めて行くことが重要**。
- こうした観点から、令和4年度から、国土交通省と合同で、「航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会」を開催。**日本企業が技術に応じて主導的な役割を果たすための戦略的な取組の検討**を行っている。

新技術の社会実装へ向けた安全基準作成のプロセス



航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会



出典：経済産業省「令和2年度省エネルギー等に関する国際標準の獲得・普及促進事業委託費：国際ルールインテリジェンスに関する調査（電動航空機のルール形成（国際標準化含む）戦略に係る調査研究）」を一部修正

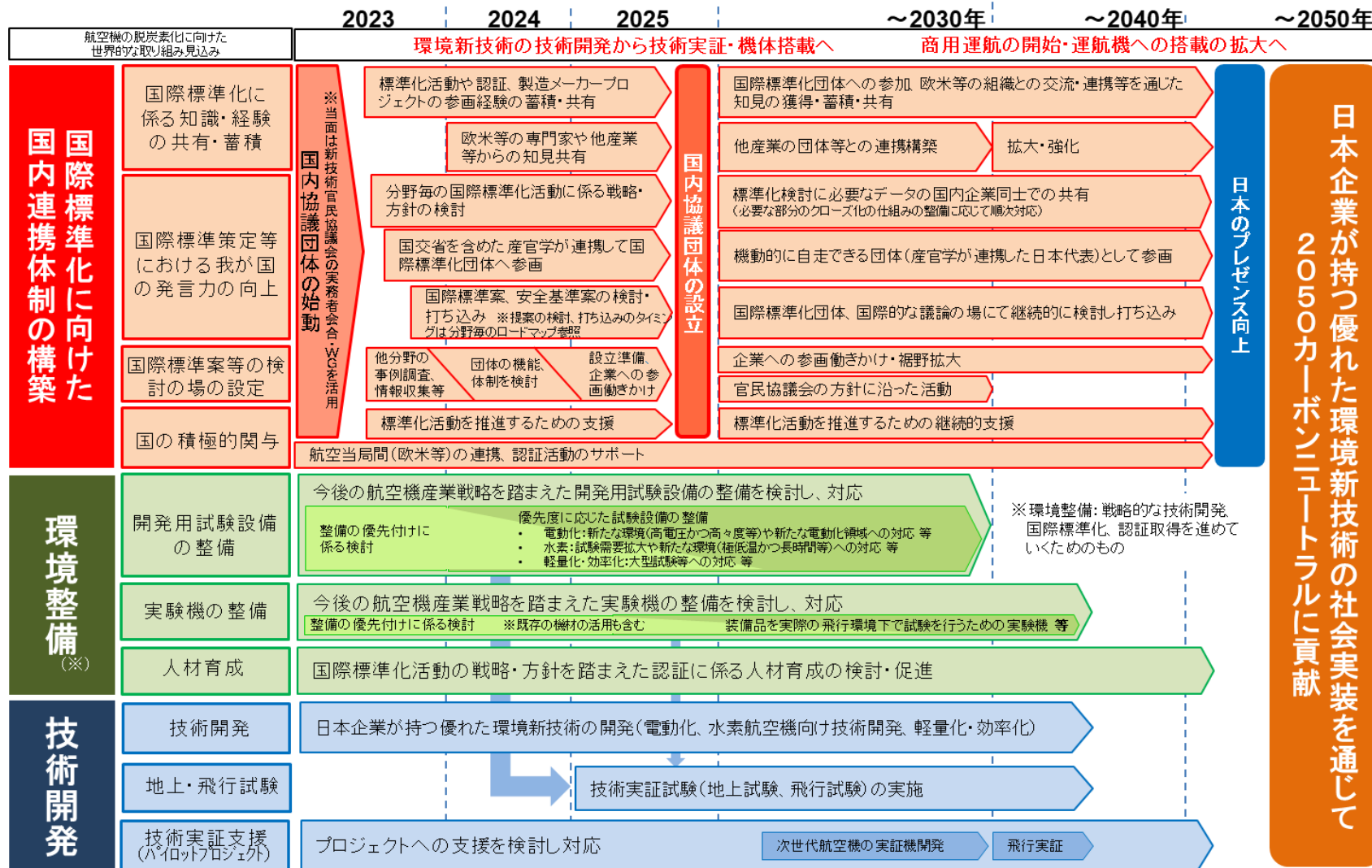
新技術の社会実装へ向けた取組

R5.7.21WG
から追加

航空機の脱炭素化に向けた新技術ロードマップ

2023年3月15日 航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会

このロードマップは、日本企業が持つ優れた環境新技術（航空機の電動化、水素航空機、軽量化など）の技術開発動向を踏まえ、その社会実装及び日本のプレゼンス向上に向け、官民が戦略的に国際標準化等に取り組んでいくべき国内連携体制の構築及び制度整備等についてまとめたものである。

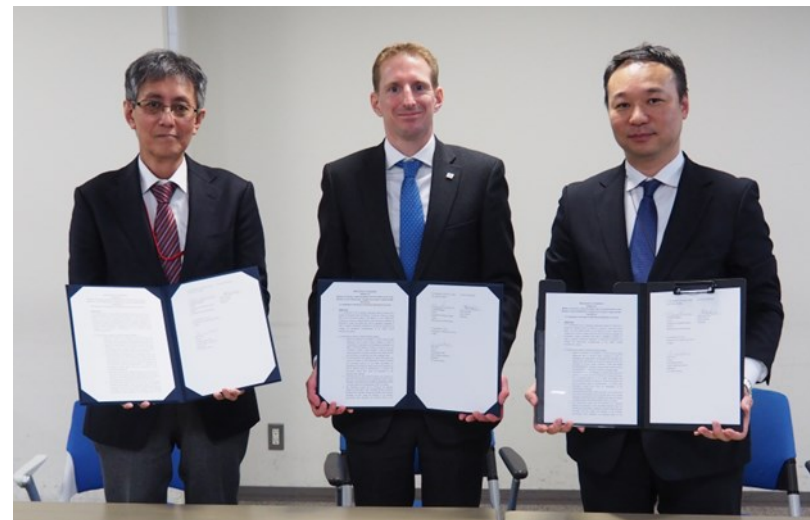


- 2023年3月29日、経済産業省と国土交通省航空局は航空機の国際標準の検討を進めているSAE internationalと、航空機の脱炭素化分野（電動化、水素、軽量化・効率化）における国際標準の検討に関して、日本の産業界との連携を深めるための協力覚書を締結。
- この連携の枠組みを官民協議会での活動と連結させていくことで、他業界も含めた国内産業界での知見を蓄積、共有し、日本全体として標準化団体への貢献を行いながら、新技術の社会実装に向けた標準案の提案を目指す。

「日本国経済産業省、国土交通省航空局とSAEとの間の航空機の国際標準の検討における協力覚書」の内容

- SAEと日本の産業界（※）との間で定期的に意見交換を行う場を設ける。
- 日本の産業界とSAEの関連コミッティの代表者との間の議論の場の実現に向けて相互に協力を行う。
- コミッティの活動に関する情報のうち、両者において開示することが合意された項目について、日本の産業界に開示可能とする。

※SAE会員のみならず、SAEの活動に貢献しうるとして両者が認めた日本の産業界の者を含む。



2023年3月29日

（左から）国土交通省航空局石井航空機安全課長、SAEデビッド・アレクサンダー氏、経済産業省呉村航空機武器宇宙産業課長

実施スケジュール（一例）

R5.7.21WG
から修正

- 具体的なスケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、想定される一例は以下のとおり。**ただし、プロジェクト実施中においても、海外の動向等を考慮してスケジュールを適宜見直すこととする。**また、ステージゲートを設定し、事業進捗を見て、継続可否を判断。

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度
【研究開発項目 1】水素航空機向けコア技術開発事業										
①水素航空機向けエンジン燃焼器技術開発	構想検討 ・仕様検討	★	構成品設計 ・設計・評価			★	システム試作 ・評価		★	実証試験
②液化水素燃料貯蔵タンク技術開発	構想検討 ・仕様検討	★	構成品設計 ・設計・評価			★	システム試作 ・評価		★	実証試験
③水素航空機機体構造開発	構想検討	★	主要系統検討 ・風洞試験	①②での評価試験結果を ③に適切に反映		★	機体使用・運用成立性 検討・TRA策定		★	機体構想の確認 (地上試験)
【研究開発項目 2】航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化に向けた開発										
航空機主要構造部品の飛躍的軽量化に向けた技術開発	仕様検討	★	成型シミュレーション・試験		★		成型評価試験 ・認証ロジック確立等			
【研究開発項目 3】液体水素燃料を用いた燃料電池電動推進システムとコア技術開発										
①燃料電池電動推進システム技術開発			構想検討・仕様検討		★		システム開発		★	実証試験
②水素燃料電池コア技術開発			仕様検討		★		要素技術開発		★	実証試験
【研究開発項目 4】電力制御、熱・エアマネジメントシステム及び電動化率向上技術開発										
①電力制御、熱・エアマネジメントシステム技術開発			構想検討・仕様検討		★		各システム開発・評価		★	システム統合評価
②電動化率向上技術開発			構想検討・仕様検討		★		システム開発		★	実証試験

★ ステージゲート
タイミング案