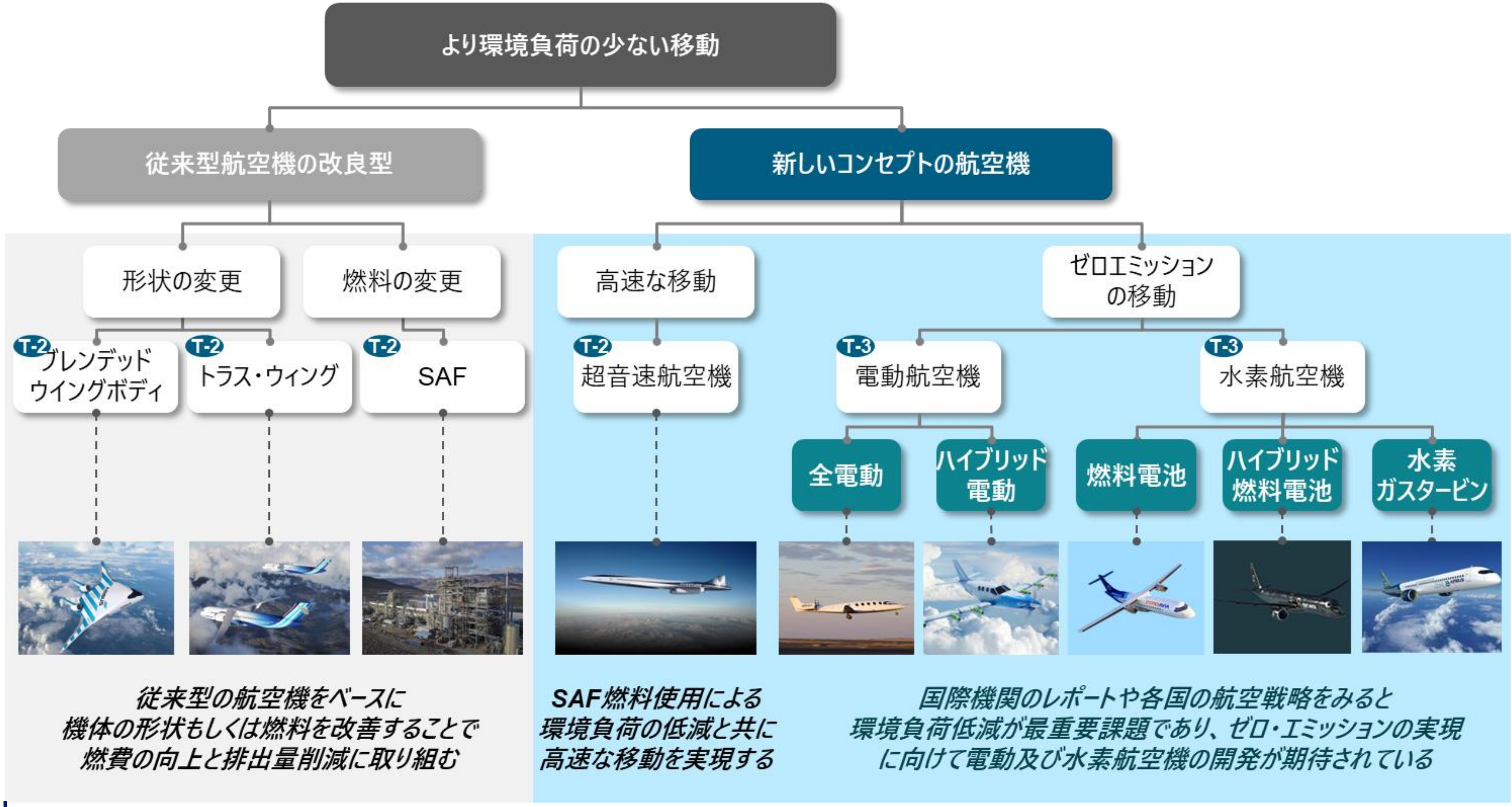
参考資料（航空機）

新技術の導入による排出量削減

■ 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**。

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

（出所） NEDO「2022年度成果報告書 グリーンイノベーション基金事業／次世代航空機の開発/次世代航空機の開発に関する情報収集等調査」を経済産業省にて編集

航空機のエネルギー源の変革の見通し

■ 航空機のエネルギー源の変革の対象、時期については、**SAF(持続可能な航空燃料）**は機体サイズ等に制限されず**2020年代から**導入、**電動化**は**小型機を中心に2020年代後半以降**に導入、**水素燃料電池**は小型機を中心に**2025年代以降**、**水素燃焼技術**は中小型機中心に**2035年以降**に導入されると分析されている。

エネルギー源変革の見通し

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO_2	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
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 potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO_2	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO_2	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

（出所）Waypoint2050 SECOND EDITION（https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf）

※赤枠は、電動ハイブリッド化のタイミング

（参考）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 短中期	長期	SAF導入に向けた取り組み例
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	シェル・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

（出所）国土交通省「航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会」第１回資料と各社公表資料を基に経済産業省作成

（参考）次世代航空機に向けた動向（エアバス）

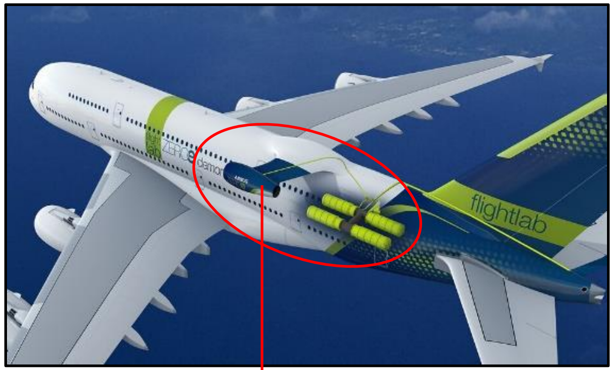
- 2020年９月、2035年に世界初の「ゼロエミッション航空機」の実用化を目指すとして、**<u>複数のコンセプト航空機（ZEROe）を公表</u>**。**<u>液体水素を燃料として燃焼させる改良型ガスタービンエンジン</u>**とガスタービンを補完する**<u>水素燃料電池</u>**から構成されるハイブリッド型の推進システム。
- 2022年2月、11月にA380をプラットフォームにした**<u>水素燃焼エンジン、水素燃料電池エンジンの飛行実証を実施する旨を発表</u>**。

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）

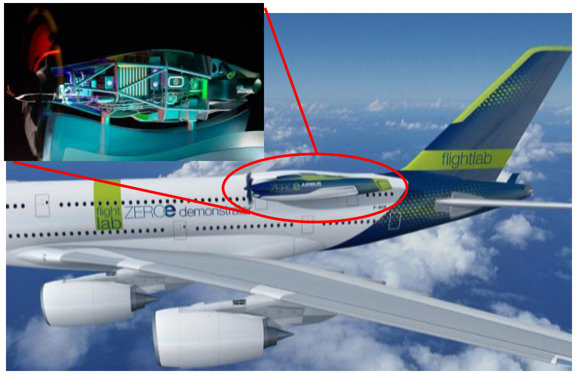
エアバスが発表したデモンストレーター機(左図：水素燃焼、右図：水素燃料電池)

・**<u>水素タンク</u>**、**<u>水素燃焼エンジン</u>**、**<u>燃料供給システム</u>**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。
・**<u>最初の飛行は今後4年以内の予定</u>**。



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。
・**<u>最初の飛行は今後4年以内の予定</u>**。



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弁企業を設立し実施。

（出所）エアバスHP

（参考）次世代航空機に向けた動向（ボーイング）

- NASAやエンジンOEMと連携をしながら、**次世代航空機のコンセプト検討**、**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

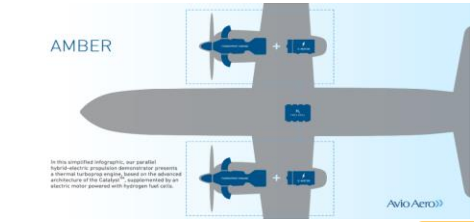
＜2022年2月＞
大型かつ複合材で製造された極低温燃料タンクを製造。水素燃料の航空機への活用可能性も示唆。

＜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。

（出所）ボーイングHP

（参考）海外エンジンメーカーの動き

GE



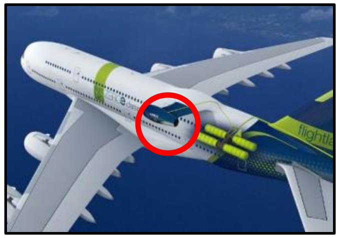
＜ EPFDプロジェクト＞ ハイブリッド電動

- 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。

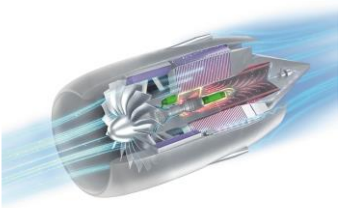
CFM International



＜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。

（出所）各社HP

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

■ 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 & Whittney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

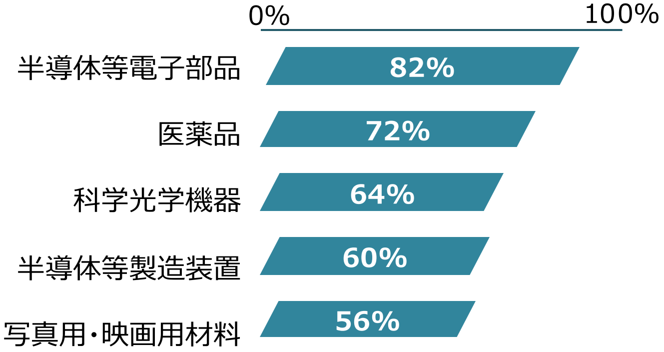
- 国家発展改革委員会が**2022年3月、「水素エネルギー産業発展中長期規画(2021～2035年)」**を発表。
- その中で、「**燃料電池を航空機分野で活用していく試みを積極的に進め、水素エネルギーを用いた大型航空機の開発を推進していく**」との記載あり。

航空機産業の特性

■　航空機産業は、我が国の社会経済活動上の重要インフラとしての自律性の確保、国際的な航空需要の成長の国内産業への裨益、安全保障の維持・強化の観点から、極めて重要な産業であり、官民でその発展を目指すことの意義は大きい。

航空輸送の重要性が高い

- ◆ グローバルな経済活動の根幹である我が国の国際旅客輸送の96%は航空機。
- ◆ 航空機は、少量高付加価値なもの、時間管理・品質管理（湿度や振動等）が厳しいものの輸送に適しており、半導体・電子部品、医薬品などの重要貨物は航空輸送に依存。



（出所）通商白書2020をもとに作成

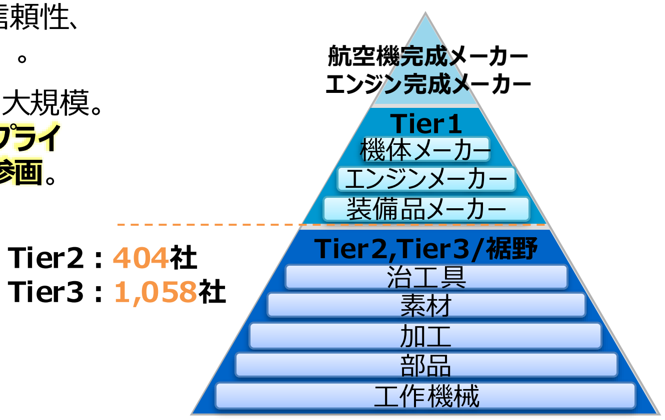
今後の成長性が高い

- ◆ 航空旅客需要の拡大（今後20年間で約2倍）に伴い、航空機需要の増加が見込まれる。
- ◆ **積極投資により、我が国民間航空機産業は1.3兆円/年から約6兆円/年（2050年時点）規模以上に成長する可能性***。

技術波及効果が大きく裾野が広い

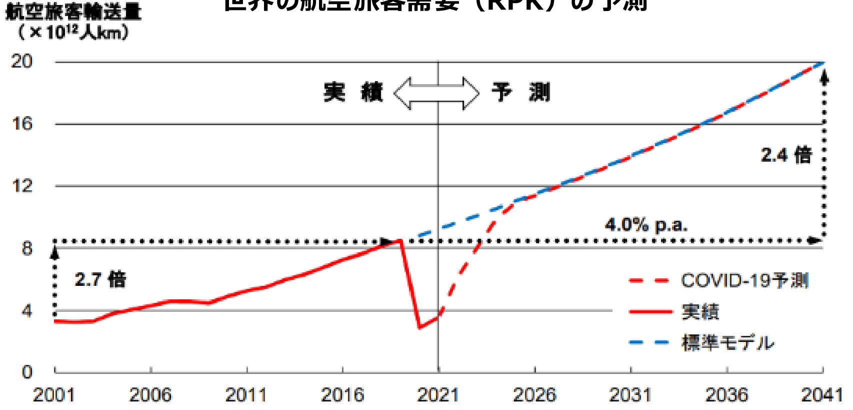
- ◆ 先端技術の集積（高い信頼性、環境面の技術革新要求）。
- ◆ 部品点数が約300万点と大規模。**我が国においても中小サプライヤー含めて多くの企業が参画**。

我が国の航空機産業構造



（出所）日本政策投資銀行「本邦航空機産業の過去・現在・未来」(2016年７月)をもとに作成

世界の航空旅客需要（RPK）の予測



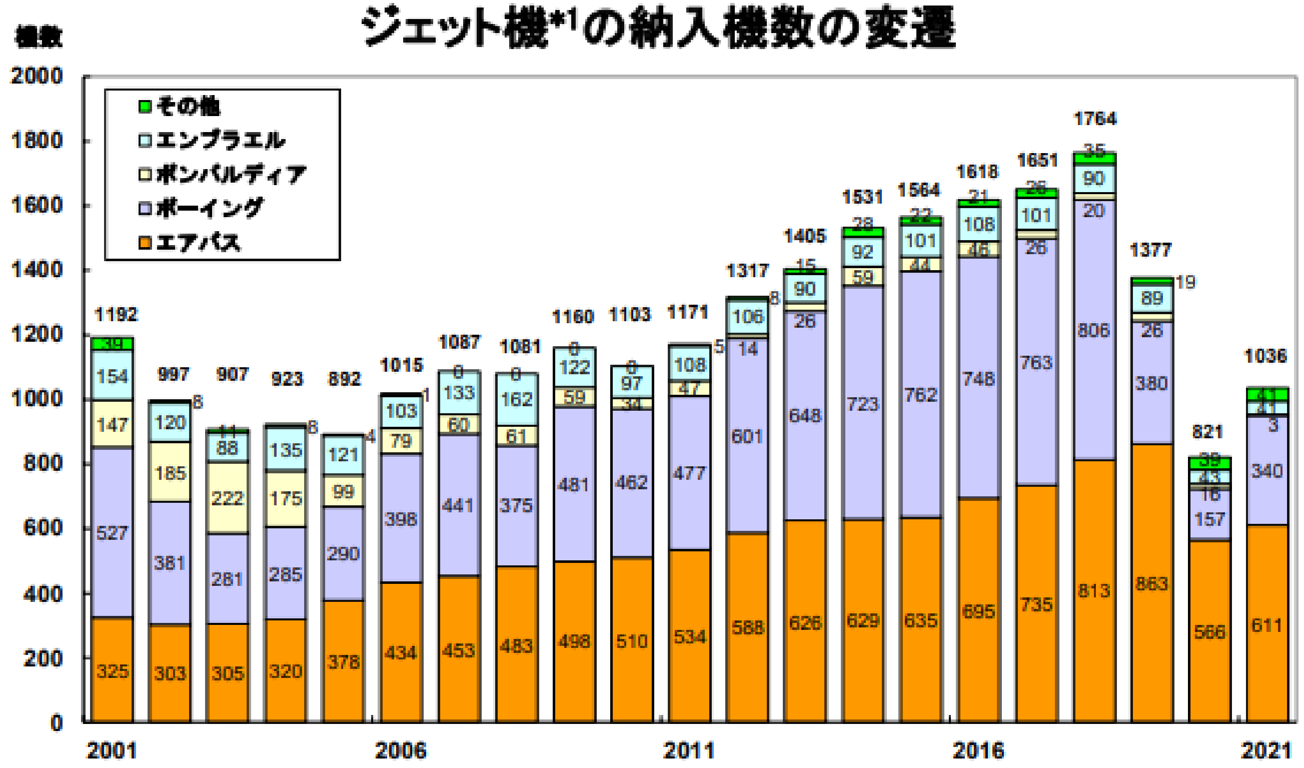
（出所）一般財団法人日本航空機開発協会「令和3年度民間航空機関連データ集」

*（出所）第11回クリーンエネルギー戦略検討合同会合（令和4年12月）

（参考）航空機の年間納入機数の比較

■ ジェット機の年間納入機数を比較すると、新型コロナ前の２０１８年では、**エアバス・ボーイングがそれぞれ４割強**、**エンブラエル・ボンバルディアが約１割**を占める。

納入状況



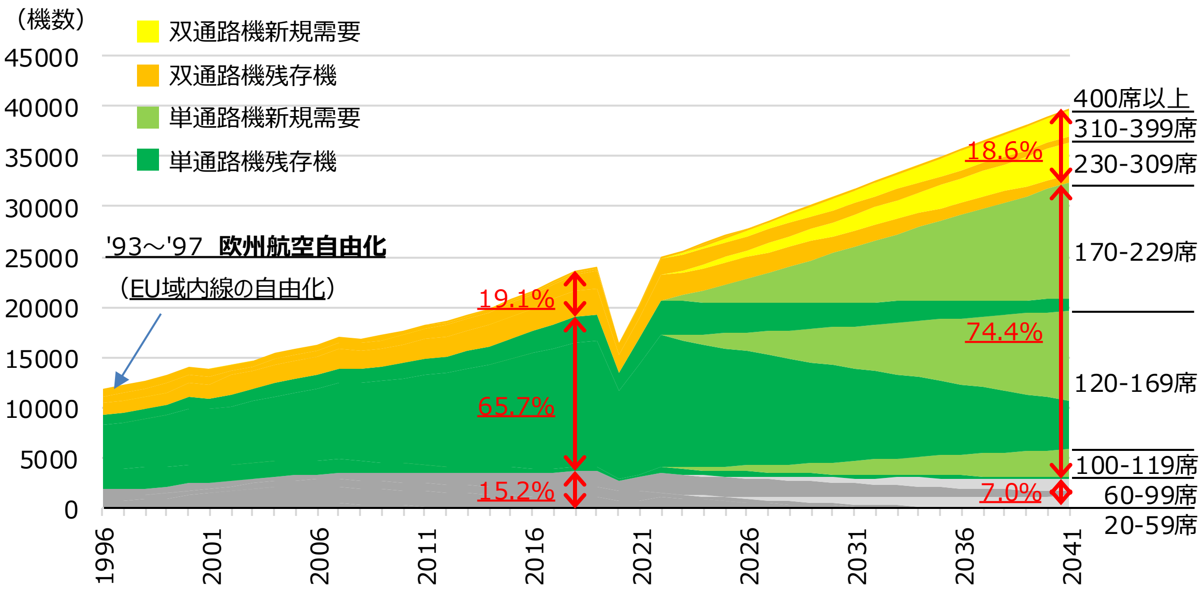
※１：旅客機及び貨物機等派生機

（出所）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 2023-2042」

航空機産業の成長予測

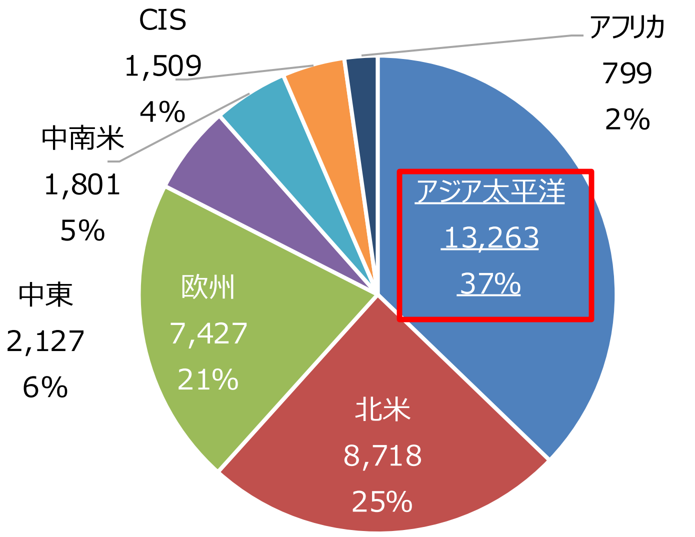
- 民間航空機市場は、年率３～４％での増加が見込まれる旅客需要を背景に、双通路機、単通路機ともに新造機需要も拡大していく見込み。
- これまで、LCCの認知や欧州での航空自由化を背景として単通路機の納入機数が年ごとに増加してきた。今後も、新興国の成長を背景にアジア地域内での旅客需要が増加していくこと、LCC等の利用がさらに拡大していくこと、航空機の性能向上に伴い中小型の航空機の適用可能航路が増える中、そうした航空機の高頻度運航によりエアラインの資本効率が高まる（ハブ＆スポークからポイントtoポイントへの移行）こと等から、単通路機需要が大きく拡大していくことが見込まれる。
- 今後の成長に当たっ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

ジェット旅客機の運航機材構成の推移



（出所）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



世界全体35,644機

（出所）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」

我が国航空機産業が目指すべき方向性

■ 日本の航空機産業は、国際共同開発を通じて、主に機体構造体のサプライヤーとして成長してきたが、機体構造体及びコンポーネントの付加価値は限定的。機体全体、システムレベルでの開発に参入していかなければ、今後の成長は見込めない。

■ 2024年４月に策定した航空機産業戦略においては、自律的な成長を可能とする産業構造へと変革していくための、今後の目指すべき方向性を示した。

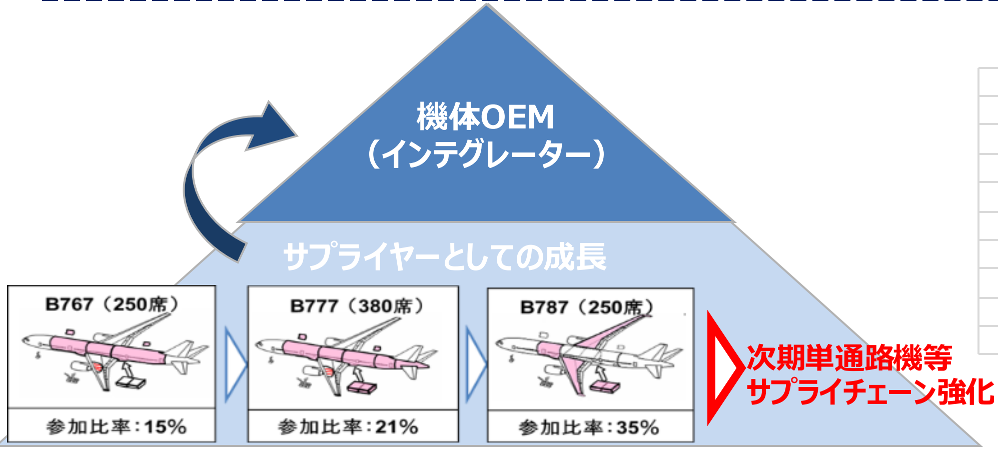
目指すべき方向性

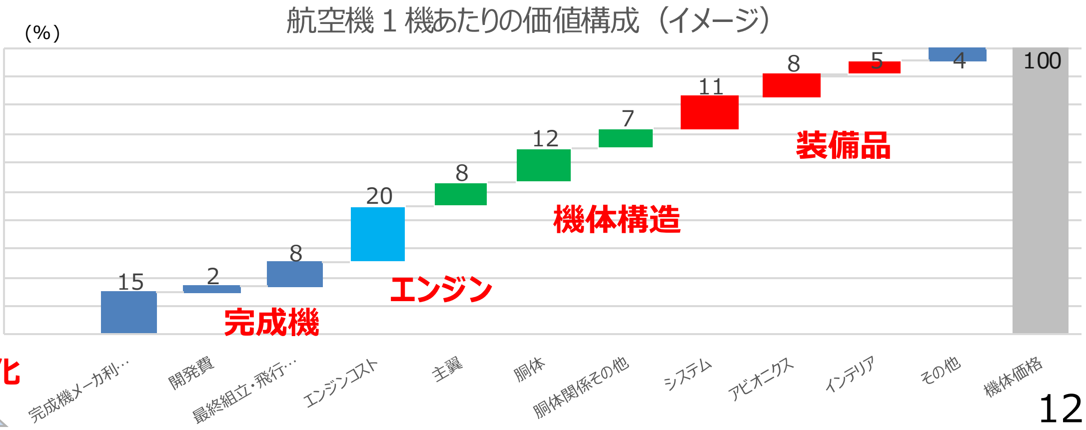
① 主体的かつ継続的な成長を実現するためには**完成機事業への参画が不可欠であり、これを目標として掲げる。**

② 民間航空機事業におけるコアコンピタンスである**インテグレーション能力を磨き、**完成機事業において主導できる領域を得ることで、**既存の産業構造からの脱却を進める。**

③ 今後獲得すべき能力を見極めつつ、我が国の強みを生かし、**完成機事業に向けてステップバイステップでポジションを高め、自律的に付加価値を獲得できる産業構造に変革していく**。

④ 航空機開発・製造が本質的にグローバルな体制で実施されるものであることを踏まえ、今後、**完成機事業の経験を有する者とこれまで以上に踏み込んだ国際的な体制構築を図っていく。**





航空機産業における（排出削減×産業競争力強化）に向けた投資促進策

■ 航空機産業戦略ロードマップに掲げる「ボリュームゾーンにおける成長」を実現するためには、機体の軽量化やエンジンの燃費改善等の要素技術実証、高レート生産に対応するための生産技術実証を実施し、機体・エンジンOEMの次期単通路機事業に上流工程から参画し、次期機体・エンジンの設計、試作・試験、認証取得、製造・市場投入を目指すことが必要。これにより、今後拡大が見込まれるアジア太平洋地域を中心とした単通路機市場の獲得と排出削減の両立を実現する。

■ さらに「収益基盤の構築」に向け、現状は海外の整備拠点を利用せざるを得ない状況にあるエンジン等重要部品のMRO（Maintenance（整備）、Repair（修理）、Overhaul（分解・点検等））について、部品修理や整備後の試運転設備（大型のエンジンテストセル）等の導入により、国内で一貫して整備可能な体制を構築し、海外での整備に伴う外貨流出及び海外の整備需要獲得を実現すると共に、脱炭素に資するSAF導入促進にもつなげることが必要。

機体

【取組の方向性】

- 次世代単通路機の機体主要部品※1を、金属と比べ軽い**「複合材※2」を用いて高レート生産※3するための技術実証**
- 航空需要増に対応するための、**ロボット・AIを活用した高レート生産技術実証・設備投資**
- **国内サプライチェーンが高レート生産に対応**するための**設備投資や認証を取得するために必要な生産実証**

【目指す姿】

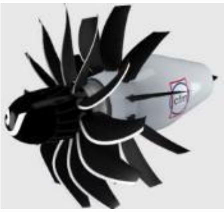
- 機体の**軽量化により低燃費を実現し、CO2削減**
- **月産生産レートを向上※4**し、日本企業がコンセプト設計や仕様設計段階の**上流工程から参入**

※1：主翼、胴体、中央翼等の大型部品
※2：炭素繊維をプラスチックで固めた素材。非常に軽く、丈夫で錆びないという特徴があるため、飛行機の素材に導入すると、強度面だけでなく、燃費や整備コストも大幅に改善可能。
※3：生産工程の改善や、素材・製造方法の技術革新等を通じ、生産性を向上させること。
※4：現在、毎月の生産台数は多いときで14機程度であるが、次期単通路機は今後増加する航空機需要に対応するため、機体OEMより求められる規模（約80機相当が見込まれる）に拡大。

エンジン

【取組の方向性】

- **次世代単通路機に搭載され得る低燃費を実現するエンジン※5開発に向けた技術実証**



【目指す姿】

- 次期単通路機に搭載されるエンジンプロジェクトに、**日本企業が上流工程から参入**
- **革新的な低燃費エンジンの実現によりCO2削減**

※5：次世代GTF ※6 、オープンローターエンジン※7等を想定
※6：既存のエンジン形態（GTF）をベースに、低燃費化の実現を目指し実証中のエンジン
※7：従来のエンジンに開放式のプロペラを組み合わせ、優れた燃費性能と高い推進力を兼ね備えるエンジン

MRO

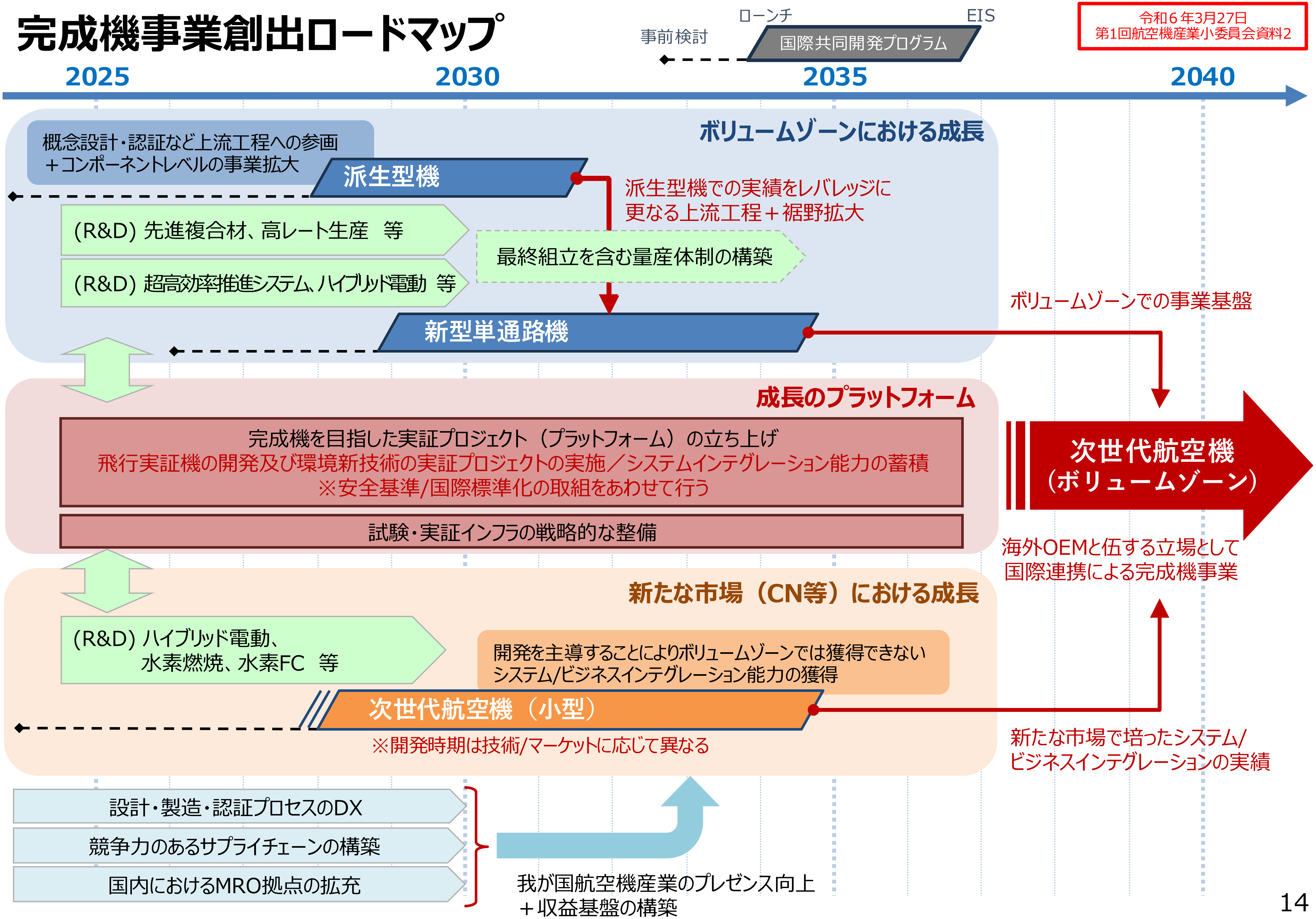
【取組の方向性】

- **エンジン等重要部品のMRO拠点の整備**
- 具体的には、**部品修理の自動化にかかる技術実証**や、**修理整備後試運転を実施する設備**（大型のエンジンテストセル※8等）の導入、**SAF混焼に向けた技術実証**

【目指す姿】

- MRO事業において協業体制を構築し、**国内で一貫した整備体制を確立**。
- また、海外エアラインの整備需要も取り込み外貨を獲得することで、**ものづくりだけでなくサービス含めたエアラインや重工各社の収益基盤を確立**。
- さらに整備を実施した後に試運転試験を実施するエンジンテストセルを使用し、**SAF混焼に向けた試運転試験も実施することで、SAF導入を促進し、脱炭素化を加速する**

※8：エンジンの推力、回転数、温度、圧力、振動等各種運転状態を計測する設備

完成機事業創出ロードマップ

令和6年3月27日
第1回航空機産業小委員会資料2