

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

より環境負荷の少ない移動

従来型航空機の改良型

新しいコンセプトの航空機

形状の変更

燃料の変更

高速な移動

ゼロエミッション
の移動

T-2
ブレンデッド
ウイングボディ

T-2
トラス・ウイング

T-2
SAF

T-2
超音速航空機

T-3
電動航空機

T-3
水素航空機

全電動

ハイブリッド
電動

燃料電池

ハイブリッド
燃料電池

水素
ガスタービン



従来型の航空機をベースに
機体の形状もしくは燃料を改善することで
燃費の向上と排出量削減に取り組む

SAF燃料使用による
環境負荷の低減と共に
高速な移動を実現する

国際機関のレポートや各国の航空戦略をみると
環境負荷低減が最重要課題であり、ゼロ・エミッションの実現
に向けて電動及び水素航空機の開発が期待されている

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

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

(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		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

(参考) 次世代航空機に向けた動向 (エアバス)

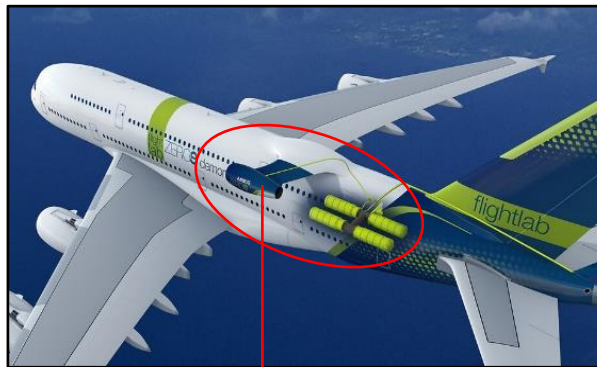
- 2020年9月、2035年に世界初の「ゼロエミッション航空機」の実用化を目指すとして、複数のコンセプト航空機 (ZEROe) を公表。液体水素を燃料として燃焼させる改良型ガスタービンエンジンとガスタービンを補完する水素燃料電池から構成されるハイブリッド型の推進システム。
- 2022年2月、11月にA380をプラットフォームにした水素燃焼エンジン、水素燃料電池エンジンの飛行実証を実施する旨を発表。

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。

(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。

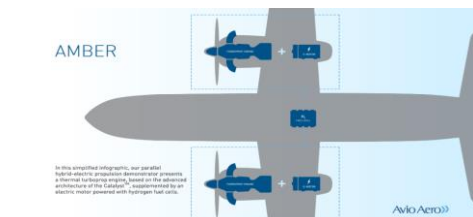


(出所) ボーイングHP

(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



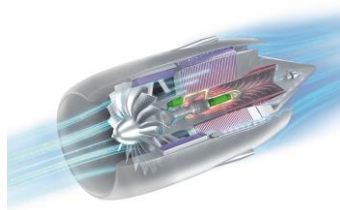
<RISE プログラム>

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。

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 & 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。



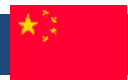
ドイツ

- 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。

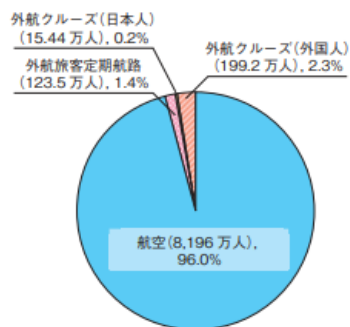
我が国における航空機産業の重要性

- 航空機は国際的な物流・移動手段の要。我が国も、国際旅客輸送の96%は航空輸送に依存しているとともに、付加価値が高い重要貨物は航空輸送が大きな割合を占めており、**国民経済が依拠する重要な産業**。
- また、航空機の部品点数は300万点にも及び中小を含めて幅広いサプライチェーンで支える構造となっており、**波及効果の大きい産業**。
- 加えて、そのサプライチェーンは民間航空機のみならず**防衛産業においても重要な役割を担っており、安全保障上も重要**。

航空輸送の重要性

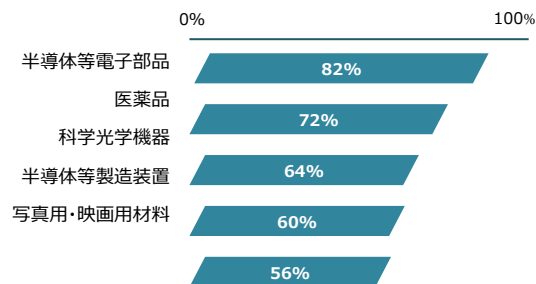
- ◆ グローバルな経済活動の根幹である我が国の国際旅客輸送の96%は航空機。
- ◆ 航空機は、少量高付加価値なもの、時間管理・品質管理（湿度や振動等）が厳しいものの輸送に適しており、半導体・電子部品、医薬品などの重要貨物は航空輸送に依存。
- ◆ コロナ禍においては、ワクチン、マスクなどの医療関係貨物の緊急輸送が航空輸送に集中し輸送費が高騰するなど、航空貨物輸送の重要性が改めて確認された。

我が国の国際旅客輸送量・比率



(出所) 令和4年度交通政策白書

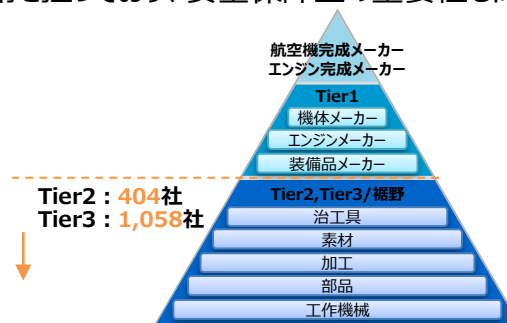
我が国の国際貿易における航空輸送の比率 (金額ベース)



(出所) 通商白書2020をもとに経済産業省作成

我が国における航空機産業の重要性

- ◆ 航空機の部品点数は300万点*にも及び、サプライチェーンへの波及効果が高い。実際に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している。
*出所：中村 洋明「新・航空機産業のすべて」(2021)
- ◆ 航空機生産には、個別に厳格な安全認証が存在し、代替には大きなコストと数年単位の時間を要する。その一部でも欠けると、新規航空機を生産、既存航空機の安全運航にも支障をきたす。そうした観点から、我が国航空機産業はグローバルな航空機生産を支えている。
- ◆ また、民間航空機のサプライチェーンは、我が国防衛産業においても重要な役割を担っており、安全保障上の重要性も高い。



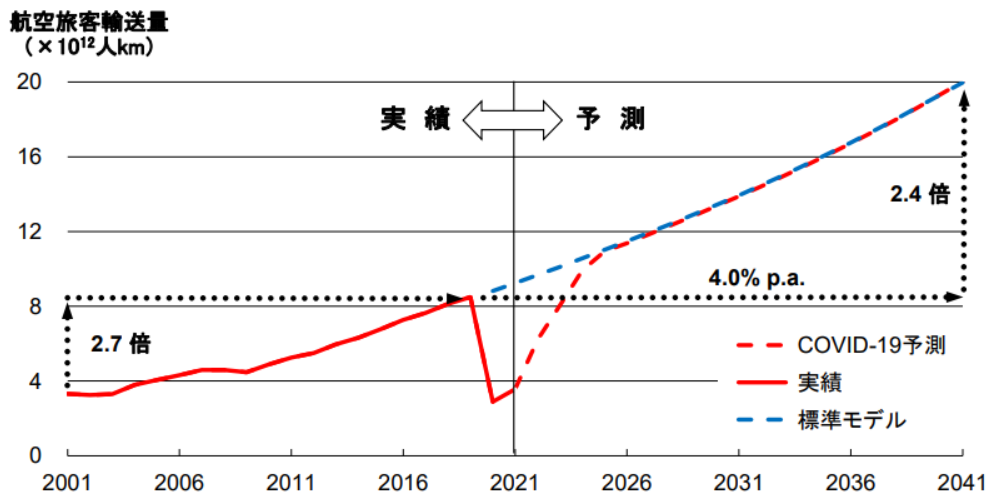
▲ 本邦の航空機・エンジンのサプライヤー構造概念図

(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)をもとに経済産業省作成

我が国航空機産業の世界市場との比較

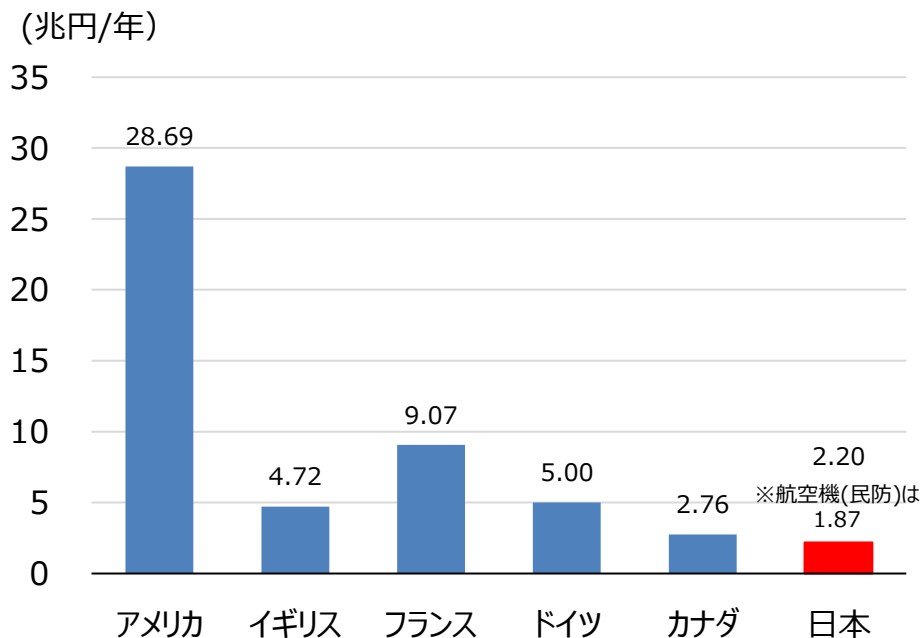
- 民間航空機市場は、一時はコロナで落ち込んだものの、年率3~4%で旅客需要の増加が見込まれている。
- 我が国航空機産業は着実に成長を続けており、コロナ前には売上高ベースで2兆円規模にまで発展した。今後世界市場が拡大する中、欧米主要国と比較し規模は小さいが、その分成長余地が大きいといえる。

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」

主要国の航空宇宙工業生産額

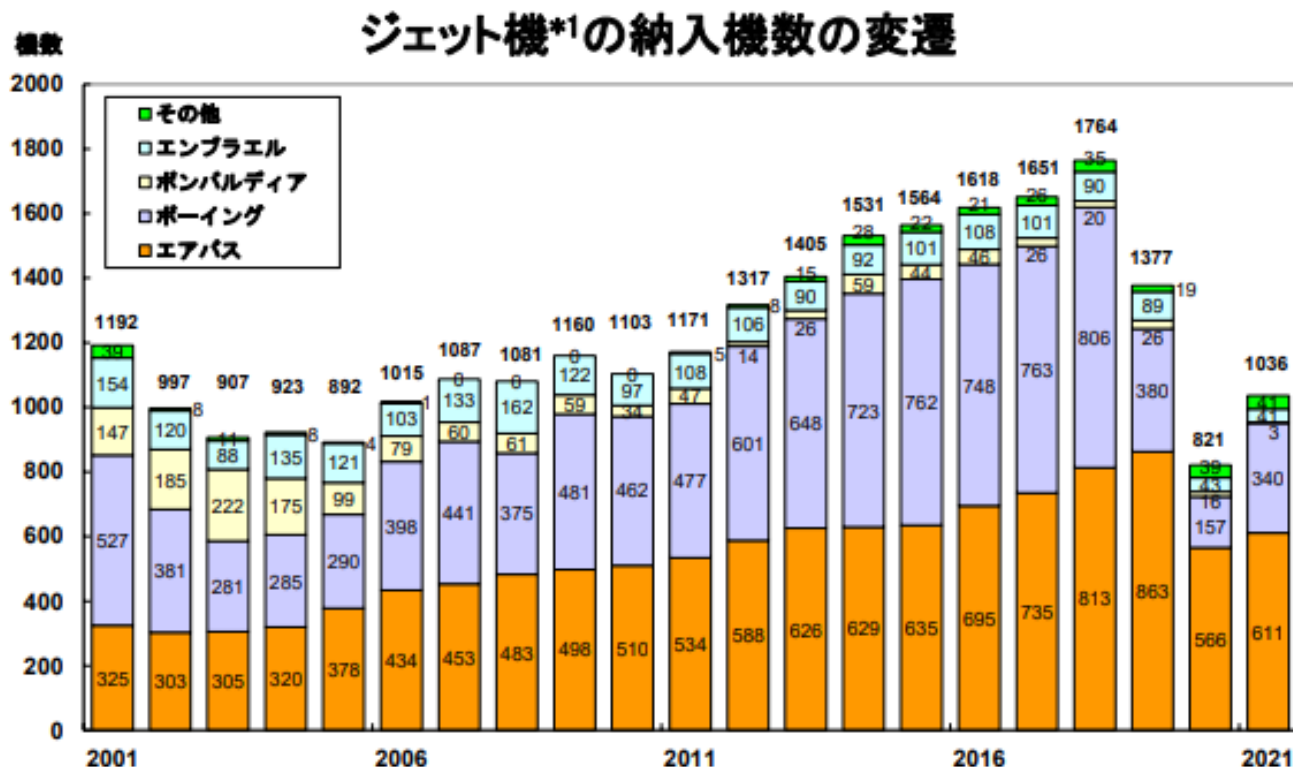


(出所) 日本航空宇宙工業会2019

(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

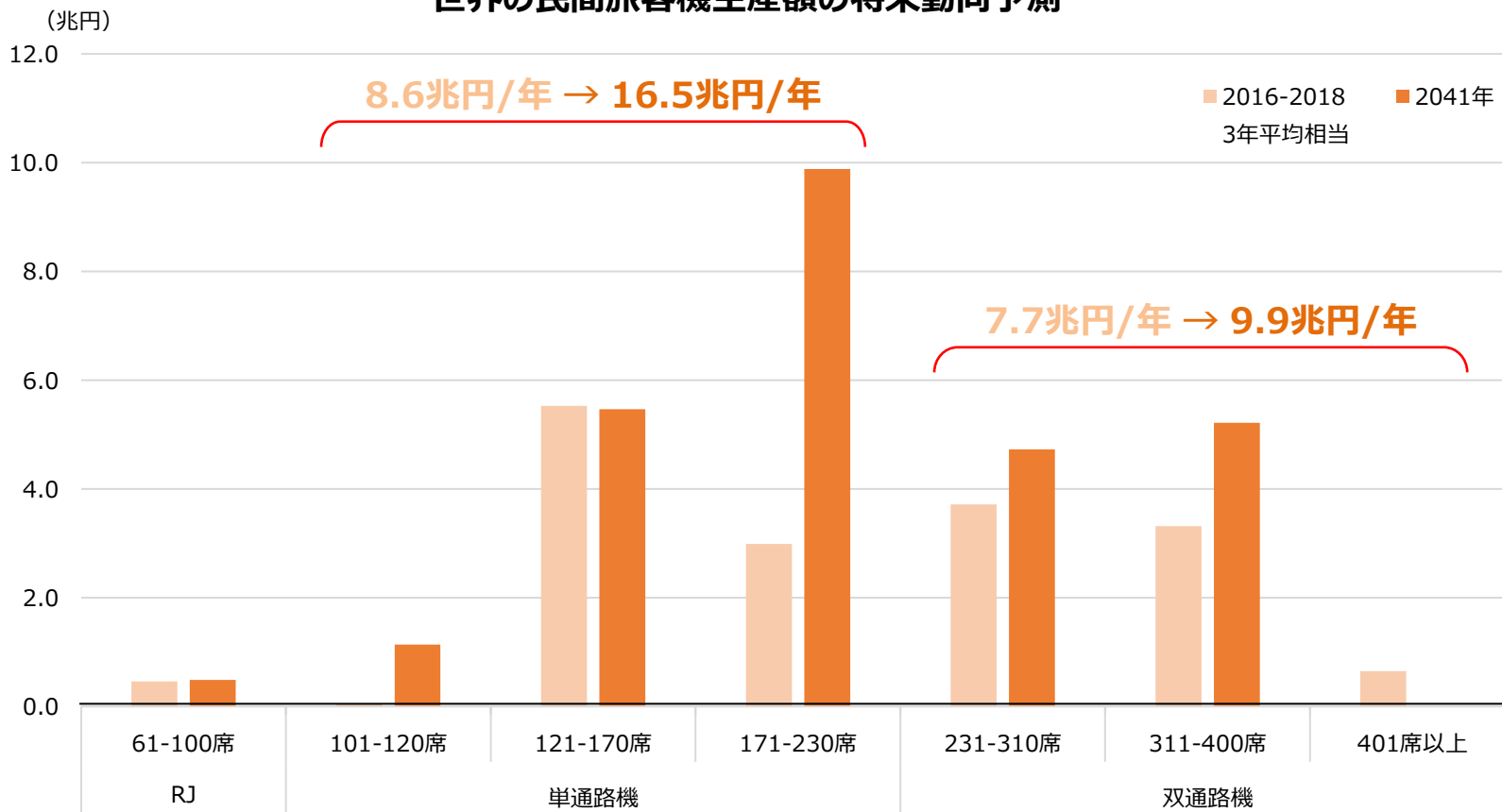


※ 1 : 旅客機及び貨物機等派生機

航空機産業の成長予測

- 双通路機、単通路機の生産額の動向を予測し、それらを比較すると、双通路機に比べ、単通路機市場が拡大が見込まれる。
- 今後の成長にあ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。

世界の民間旅客機生産額の将来動向予測



注1) コロナ、737MAX出荷停止等による影響を排除し、年ごとの増減を平準化するため、2016-2018年の3年平均の納入機数実績を基に推計

注2) メーカーHP掲載のリスト価格からの割引率が50%と仮定して推計

注3) インフレによる価格上昇の影響は考慮していない

我が国の航空機産業の方向性について

- 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**。他方で、**機体構造体及びコンポーネントの付加価値は限定的**。投資回収可能性の観点からMSJは中止となったが、**機体全体、システムレベルでの開発に参入しなければ、今後の成長は見込めない**。
- 産業構造審議会 製造産業分科会 航空機宇宙産業小委員会（6~8月に計4回開催）で、航空機産業をとりまく環境の変化、MSJの振り返り、今後の方向性を議論し、8月までの議論を中間的に整理。**年度末に向け、水素燃焼・水素燃料電池推進、飛躍的軽量化、ハイブリッド電動等、完成機事業参画への具体的プロジェクト組成について議論を継続し、航空機戦略の改定等を実施**。

<航空機宇宙産業小委員会 中間整理の概要>

- 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への波及**、**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意義は大きい。
- 安全認証プロセスの理解・経験不足や対象となる市場の縮小など、投資回収可能性の観点からMSJは開発中止に至った。
- 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**。その際、CNのゲームチェンジをテコに**海外および、他産業との分野を超えた連携を検討**することが重要。
- そのためには、インテグレーション能力の獲得が必要であり、**実証機開発等のプロジェクトを通じて**、要素技術のフィジビリティを向上し、**OEMとの協業による完成機事業への参画を可能とする体制を整える**べき。

(日本の現状)

	完成機	エンジン	機体構造	装備品・システム
民間	未参画	JV,RRSP	Tier1	一部参画
(例) 787	-	参加比率 15% ※GEEnX/Trent1000	製造分担割合 35%	各種機器を納入

**OEMとの協業により
カーボンニュートラルに向けた
完成機事業への参画を目指す**

航空機 1機あたりの価値構成 (イメージ)

