

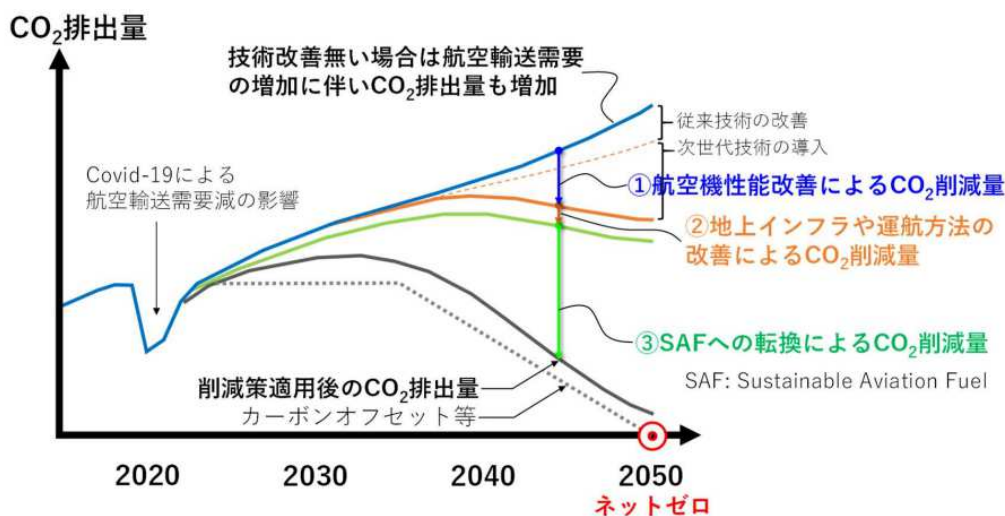
脱炭素化に向けた航空機技術の研究開発について

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
航空技術部門
伊藤 健

◆ 背景：社会動向、国際情勢



脱炭素は航空のトレンド：ネットゼロ目標（ATAG）



航空業界のCO₂削減目標と削減シナリオ※1

※1: ATAG (Air Transport Action Group) のレポートを参考にJAXAが再作成
出典: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>

- 2050年の“ネットゼロ・カーボン”達成に向けて、SAF、水素、電動化等の次世代技術への期待が高まっている。

脱炭素は航空産業政策のトレンド

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・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
 ●具体化する政策手法： 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 国際航空に限り、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CO2排出量を2005年比半減（IATA目標）	
●電動化	●電動化 ●水素航空機向け技術開発 ●軽量化効率化					技術実証	技術搭載・採用拡大		
●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・採用拡大		
●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		
●ジェット燃料	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	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								
	【ガスFET合成】様々な原料の良質を均一化する破砕処理技術の開発と継続 【ATJ】高効率の燃焼反応の制御技術の開発を継続 【微細液滴】CO2吸収効率の向上と燃焼の安定的な増強による生産性向上、品質改良の技術開発を継続等					SAF（代替航空燃料、Sustainable Aviation Fuel）の国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの供給拡大			
	合成燃料の製造技術の開発 -既存技術（煤+ガス+FT合成プロセス）の高効率化 -煤造油プロセスの開発					大規模製造の実証		導入拡大・コスト低減	
	合成燃料の革新的製造技術の開発 -CO2電制・水電制・FFTによる中核技術の開発 -共電解+FF合成プロセスの研究開発 -電解食塩（electrolysis）プロセスの開発							自立商用	

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略、令和3年6月18日、<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf>

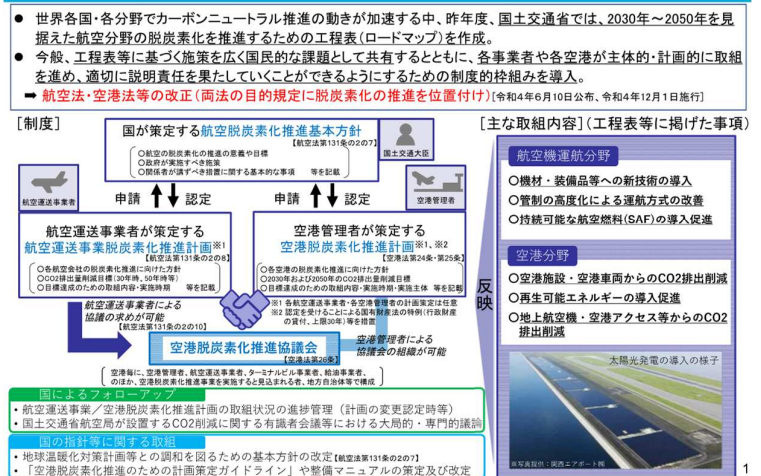
脱炭素は航空行政でもトレンド： 2022年6月航空法改正／航空脱炭素化推進基本方針

第一条 この法律は、国際民間航空条約の規定並びに同条約の附属書として採択された標準、方式及び手続に準拠して、航空機の航行の安全及び航空機の航行に起因する障害の防止を図るための方法を定め、航空機を運航して営む事業の適正かつ合理的な運営を確保して輸送の安全を確保するとともにその利用者の利便の増進を図り、並びに**航空の脱炭素化を推進するための措置を講じ**、あわせて無人航空機の飛行における遵守事項等を定めてその飛行の安全の確保を図ることにより、航空の発達を図り、もって公共の福祉を増進することを目的とする。

第十章 航空の脱炭素化の推進（航空脱炭素化推進基本方針）
 第百三十一条の二の七 国土交通大臣は、**航空の脱炭素化に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針**（以下「航空脱炭素化推進基本方針」という。）を定めるものとする。

3 航空脱炭素化推進基本方針は、地球温暖化の防止を図るための施策に関する国の計画との調和が保たれたものでなければならない。

航空脱炭素化推進の制度的枠組み

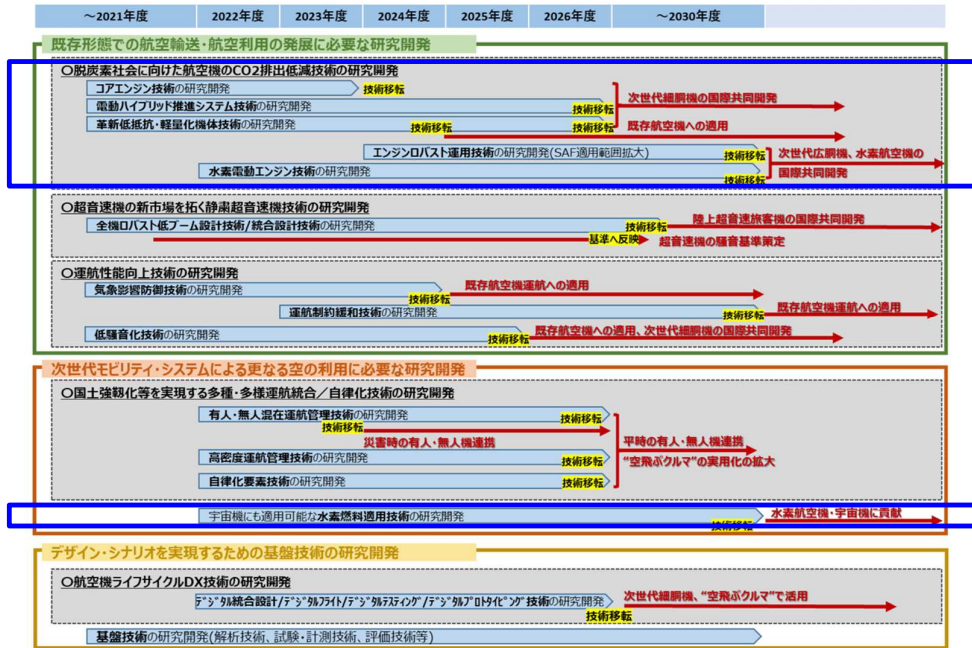


第二〇八回 閣第四四号 航空法等の一部を改正する法律案（抜粋）：
<https://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/gian/208/pdf/t0802080442080.pdf>

航空脱炭素化推進基本方針（概要）、令和4年12月1日
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001573998.pdf>

脱炭素は航空科学技術の最重要課題

（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



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、令和4年4月、https://www.mext.go.jp/content/20220218-mxt_uchukai01-000020582_2.pdf

JAXA航空の研究開発ビジョン

■JAXA航空が目指す将来像

人と環境に優しい持続可能な航空利用社会

Sky Green+ :環境負荷のない高速輸送で世界をつなぐ

Sky 4 All :日常も災害時も誰にでも航空機の恩恵を

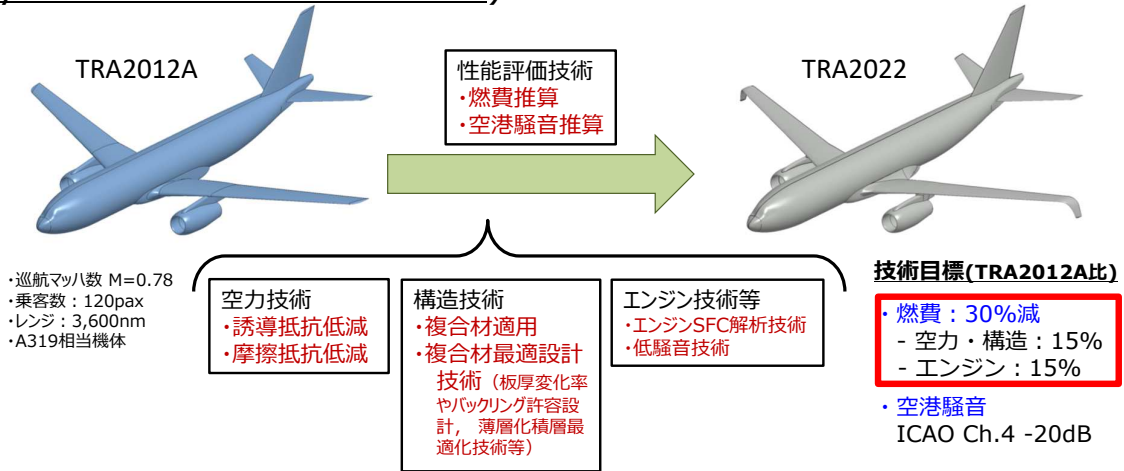
Sky DX :循環型のデジタル化した航空産業で世界をリード



■JAXA航空が取り組む4つの重点課題



技術参照機体の性能評価に基づく技術目標
(Technology Reference Aircraft : TRA)



・要素技術をシステム設計への組み込み
技術参照機体を設定し、要素技術を機体形状に組み込み性能評価



技術目標を設定し、研究開発を進め成熟度を向上、技術の実用化を目指す

脱炭素化に向けた航空機技術の研究開発（JAXAにおける取り組み例）

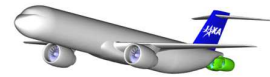
エンジン高性能化

- 低燃費低排出エンジン
 - 低压系(aFJR) : 燃費 1%改善
 - 高压系(EnCore) : タービン温度他 200℃向上等 → 1~1.5%燃費改善



電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



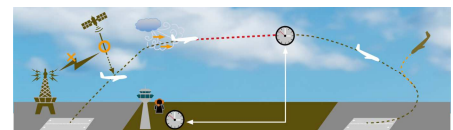
機体性能向上

- 空力抵抗低減
 - リブレット : 全抵抗の 2%低減
 - 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減
- 複合材軽量化 : 扉フレーム重量 18%軽量化 → 9%燃費改善 (全機に適用できた場合)



運航性能向上技術

- 高度判断支援 : 巡航中の燃費 7.2%改善



水素航空機



エミッションフリー

エンジン高性能化

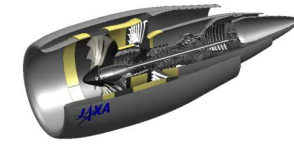
■ 低燃費低排出エンジン

■ 低圧系(aFJR) :

燃費 1%改善

■ 高圧系(EnCore) :

タービン温度他 200℃向上等



→ 1~1.5%燃費改善

電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



機体性能向上

■ 空力抵抗低減

■ リブレット :

全抵抗の 2%低減

■ 層流化技術 :

全抵抗の 1%低減



■ 複合材軽量化 :

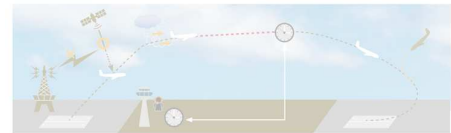
扉フレーム重量 18%軽量化

→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

通航性能向上技術

■ 高度判断支援 :

巡航中の燃費 7.2%改善

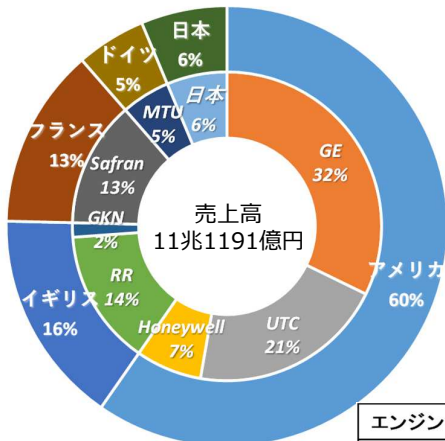


水素航空機



エミッションフリー

エンジン高性能化：低燃費低排出エンジン



世界主要エンジンメーカーの航空エンジン生産(売上)高シェア (2019年)
SJAC令和3年版「航空宇宙産業データベース」を元に作成

- JAXAを中核に進めたFJRエンジンプロジェクト（1970～80年代）をきっかけに国内エンジンメーカーがV2500エンジン国際共同開発へ参画。
- 国内エンジンメーカー（IHI, KHI, MHI）の合計シェアは約6%（2019年）
- 海外OEM（オリジナルエンジンメーカー）のリスク・シェアリング・パートナー（RSP）、サブコン等として、国際的にも一定の役割/存在感を示している。
- **海外OEMエンジン開発において低圧部（ファン、低圧圧縮機・タービン等）分担の獲得へ。**
- さらにエンジンの心臓部である**コアエンジン（高圧部（燃焼器、高圧タービン等））の分担を獲得すれば、我が国航空エンジン産業の大きな飛躍に繋がる。**

エンジン	V2500	CF34	GE9x	Trent1000	PW1100G-JM
イメージ					
国内企業担当部位の変遷	主にファンを担当	ファンに加え、低圧タービンモジュールを初担当	低圧タービンに加え、燃焼器パーツを初担当	低圧タービンに加え、燃焼器モジュール、圧縮機モジュールを初担当	ファン、燃焼器を担当
シェア	23%	30%	15%	15%	23%

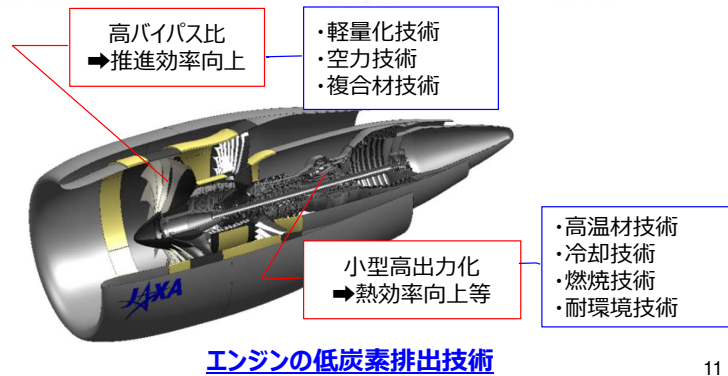
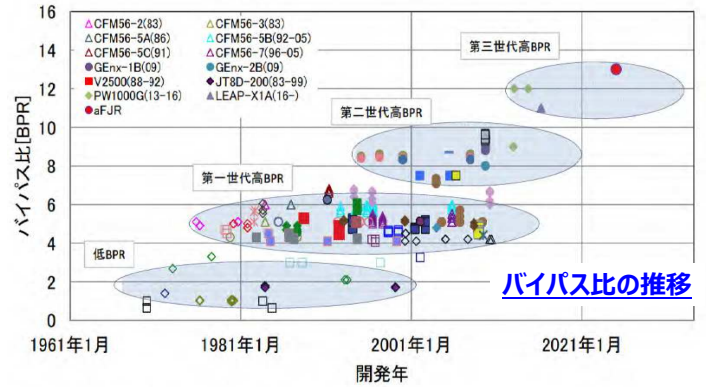
各エンジンの絵は日本航空機エンジン協会事業概要パンフレットより引用

■ 技術動向

■ ガスタービンエンジンの低炭素排出には熱効率と推進効率の改善が必要

- システムの超高バイパス比化
- コア小型高出力化
- 要素の効率向上
- 軽量化
- 高温化

■ エンジンを内包するナセルも縮小化設計がトレンドであり、推進効率改善に寄与する。



エンジン高性能化（低圧系要素）

■ aFJRプロジェクト（2014～2017年）

- エンジンの低炭素排出(燃費改善)を目指した**低圧系要素**に関する研究開発プロジェクト
- 国内エンジンメーカ及び大学と共同で、ターボファンエンジンの**高効率化・軽量化に寄与する技術**を研究開発
- 低圧系要素であるファン、低圧タービンに関連する以下の4つの主要技術に取り組んだ。
①**高効率ファン**、②**軽量ファン**、③**軽量吸音ライナ**、④**軽量低圧タービン**、に取り組んだ。

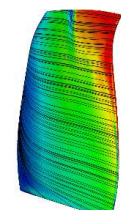
①高効率ファン技術

ファン動翼に層流化設計を適用して空力性能を向上

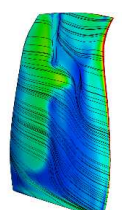
- ・ ファン動翼を試作し、ファン試験設備で空力性能を評価。
- ・ CFDによるフラッタ回避設計が有効であることを確認。



JAXAファン試験装置



適用前



適用後

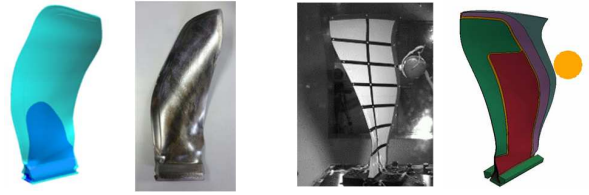
エンジン高性能化（低圧系要素）



②軽量ファン技術

CFRP製のファン動翼に中空構造を設け、**複合材ファンを軽量化**。

- 鳥衝突を想定した高速衝撃時の損傷解析、設計製造技術を向上



中空構造ファン動翼

高速衝撃試験と解析

③軽量吸音ライナ技術

ファン騒音低減のための吸音ライナをアルミ製から**樹脂製に切り替え、軽量化**。

- 吸音ライナの成形可能性、軽量性を達成するとともに、気流中に置かれた場合の音響性能を維持。



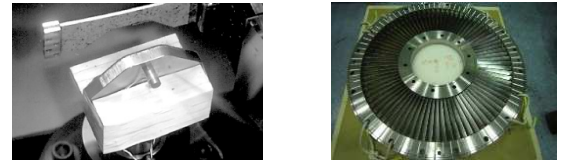
試作樹脂製吸音ライナ

気流中の吸音ライナ試験装置

④軽量低圧タービン技術

低圧タービン動翼の**軽量化のため、セラミクス基複合材料(CMC)適用に向けた課題解決**

- 過回転防止設計を開発。CMC部材の回転衝撃破壊試験、タービン翼列のフラッタ発生限界試験を実施した。



CMC翼モデル回転衝撃破壊試験

タービンフラッタ試験供試体

- 各要素技術成果を仮想エンジンに適用した結果、最新エンジンに対して燃費低減目標(1%)を上回る**世界トップレベルの燃費低減を確認**した。

エンジン高性能化（高圧系要素）



En-Coreプロジェクト（2019～2023）

- NOx(窒素酸化物)やCO2(二酸化炭素)の排出量を減らす技術で競争力を強化する研究開発プロジェクト

取り組み内容

超低NOxリーンバーン燃焼器

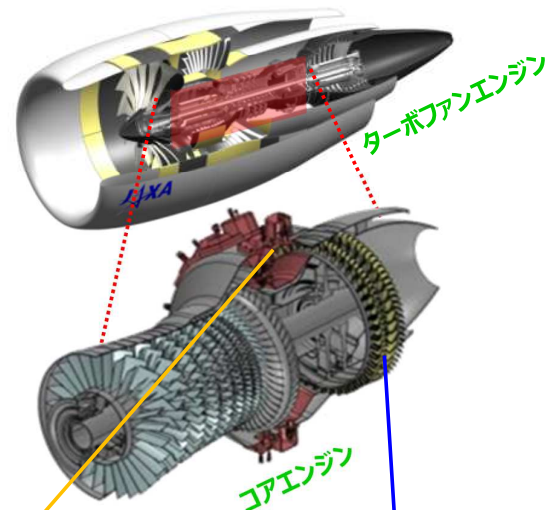
これまでの低NOx燃焼器の研究成果をもとに、エンジンに搭載できるように実用レベルを高め、世界で最もNOxの排出が少ない燃焼器性能を実証する。

高温高効率タービン

損失の少ないタービンによる**エンジン効率の向上**を目的とし、

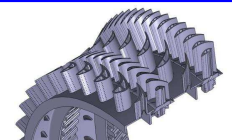
- タービン翼の**空力設計技術**
- 高温下での**耐熱材料技術・冷却技術**

の研究開発にメーカーと連携して取り組み、海外メーカーと勝負できるタービン効率を実証する。



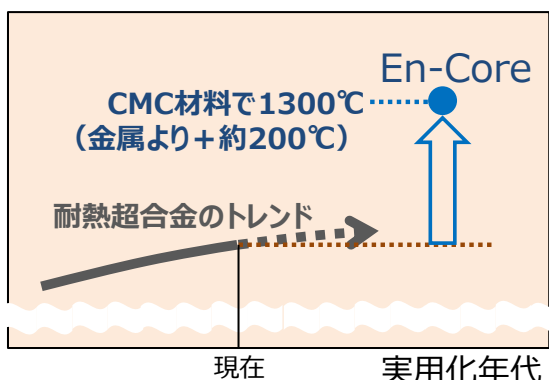
超低NOxリーンバーン燃焼器

高温高効率タービン



高温高効率タービン

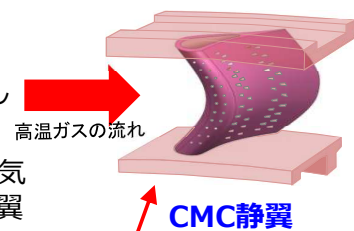
タービン材料実用温度



CMC材料の耐熱性を生かしたタービン設計技術の獲得などにより、タービン効率の競争力を強化する。

CMC静翼設計技術

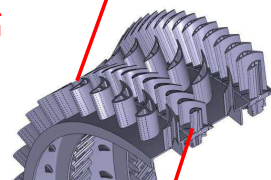
- より耐熱性の高いCMC材料を静翼に採用して、冷却空気による損失を減らす。
- 空力損失を低減する三次元形状、冷却空気を表面に噴き出すフィルム孔形状をCMC静翼で実現する。
- CMC試作翼の健全性を実機相当の高温高圧ガス流試験等で実証する。



CMC静翼

高効率メタル動翼技術

- 三次元形状で空力損失の発生を減らす。
- フィルム冷却性能、内部冷却性能の改善により冷却空気による損失を減らす効果を実証する。
- CMC静翼と高効率メタル動翼の空力設計をもとに回転タービン試験を行い、目標効率値を実証する。



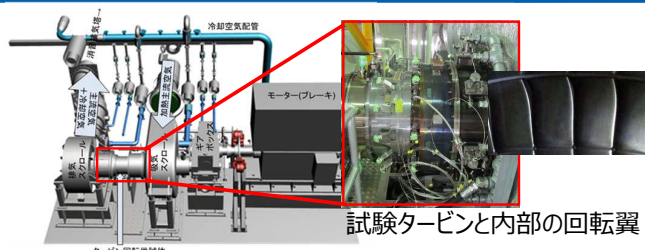
高効率メタル動翼

エンジン高性能化（最近のトピック、今後の計画）

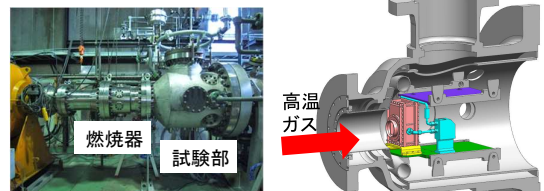


F7-10ターボファンエンジン

- 2020年度から純国産ターボファンエンジンF7-10を運用し、共同研究成果を実証試験する活動を行ってきた。
- aFJR成果について、全樹脂製の軽量吸音ライナをF7エンジンに搭載して構造健全性等を確認した（2022年度）。



回転タービン試験設備で効率改善値を実証



高温高圧試験チャンバーで試作CMC翼の1300℃での健全性実証



バーナ装置で試作CMC翼の健全性実証

タービン効率、CMC静翼健全性の実証を行う

エンジン高性能化

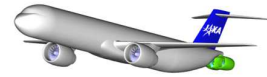
■ 低燃費低排出エンジン

- 低圧系(aFJR) : 燃費 1%改善
- 高圧系(EnCore) : タービン温度他 200℃向上等 → 1~1.5%燃費改善



電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



機体性能向上

■ 空力抵抗低減

- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減

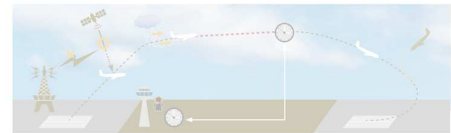


■ 複合材軽量化 :

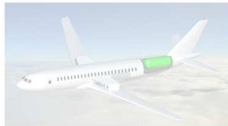
扉フレーム重量 18%軽量化 → 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

通航性能向上技術

- 高度判断支援 : 巡航中の燃費 7.2%改善

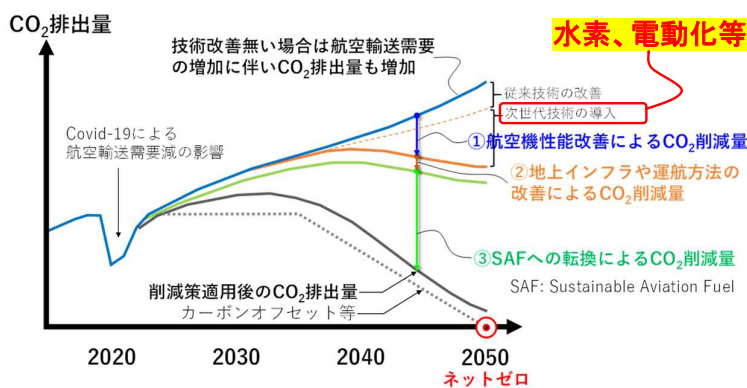


水素航空機



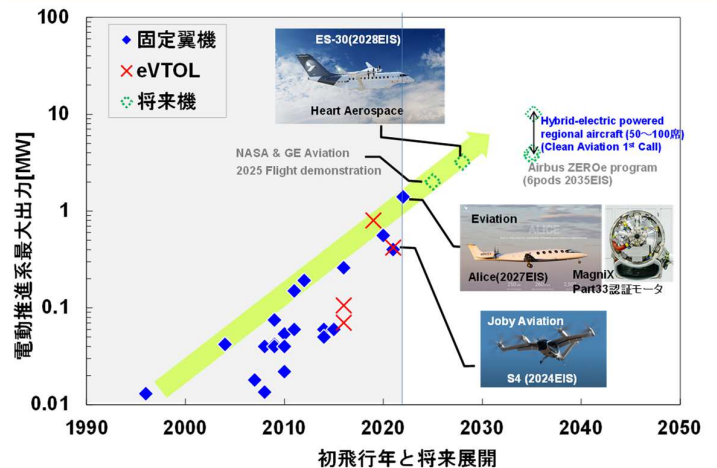
エミッションフリー

電動ハイブリッド推進システム:技術動向



航空業界のCO₂削減目標と削減シナリオ※1

※1: ATAG (Air Transport Action Group) のレポートを参考にJAXAが再作成
出典: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>



電動航空機の飛行実績と将来開発構想

- 2050年の“**ネットゼロ・カーボン**”達成に向けて、SAF、水素、**電動化等**の次世代技術への期待が高まっている。
- 電動航空機の出力規模は指数関数的に向上しており、旅客機の推進系**電動化**(MW級)が視野に入ってきた。

電動ハイブリッド推進システム：国内連携体制

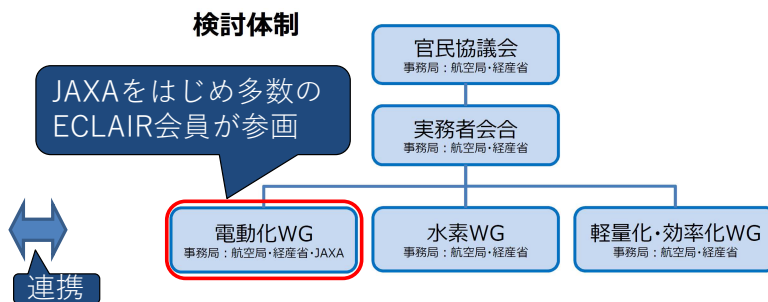
■ 航空機電動化コンソーシアム (ECLAIR※)

※Electrification ChaLlenge for AIRcraft (ECLAIR) Consortium

- 航空輸送によるCO₂排出を抜本的に削減する「エミッションフリー航空機」の実現と新規産業の創出に向けたオープンイノベーションの場 (2018年7月発足)
- 航空産業に加え、電機・自動車・素材・部品産業等の幅広い分野のメーカー、大学等の研究機関、商社等のメーカー、経産省、航空局が参加(142機関参加、2022年10月時点)
- 産学官で将来ビジョンと技術開発のロードマップを共有。産学官連携による研究開発を進めると共に、国際標準化に向けた取組を進めている



航空機電動化 (ECLAIR) コンソーシアムの体制



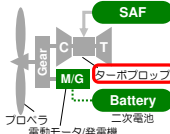
航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会

電動ハイブリッド推進システム：研究開発戦略

電動航空機開発戦略における他機関とECLAIRビジョンの違い

Clean Aviation※1 (4MW~10MW) 2030年代のEIS

Regional
 > 50-100 seats
 > 30-90 minute flights
 ~3% of industry CO₂



※1: EUが17億€の競争資金を拠出する欧州最大規模の航空機技術研究開発プログラム。CleanSky2の後継的位置づけ。2022年3月に1st call開始。

欧米ではターボプロップ機が電動HB化の対象 (燃費削減: 3%程度)

VS.

ECLAIR (2MW級 × 2基) 2030年代のEIS

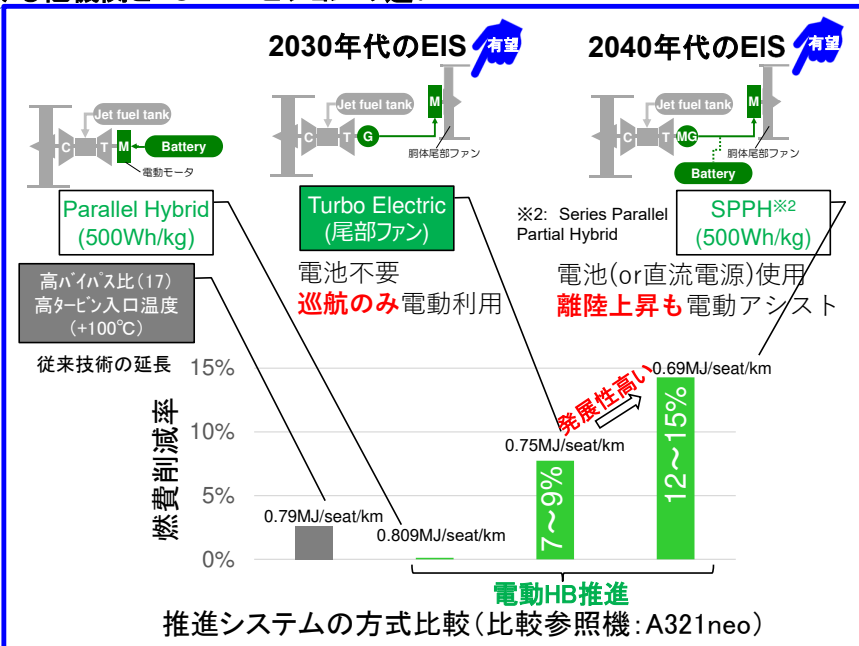
Medium haul
 > 100-250 seats
 > 60-150 minute flights
 ~43% of industry CO₂



ジェット旅客機電動化の鍵技術

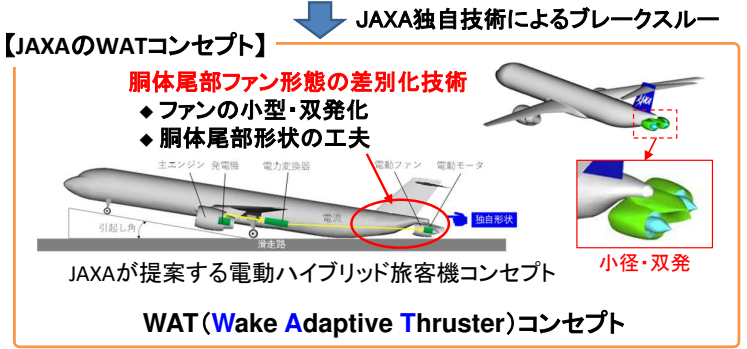
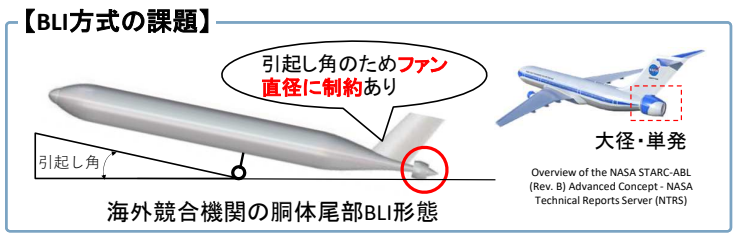
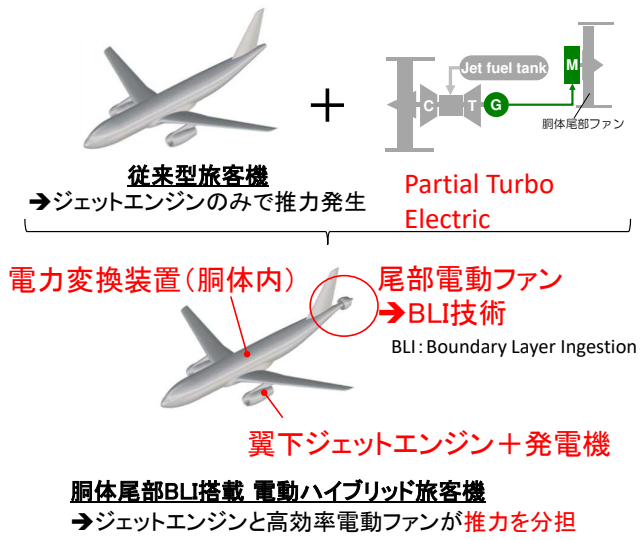
胴体尾部ファン方式

ジェット旅客機が電動HB化の対象(燃費削減:右図)



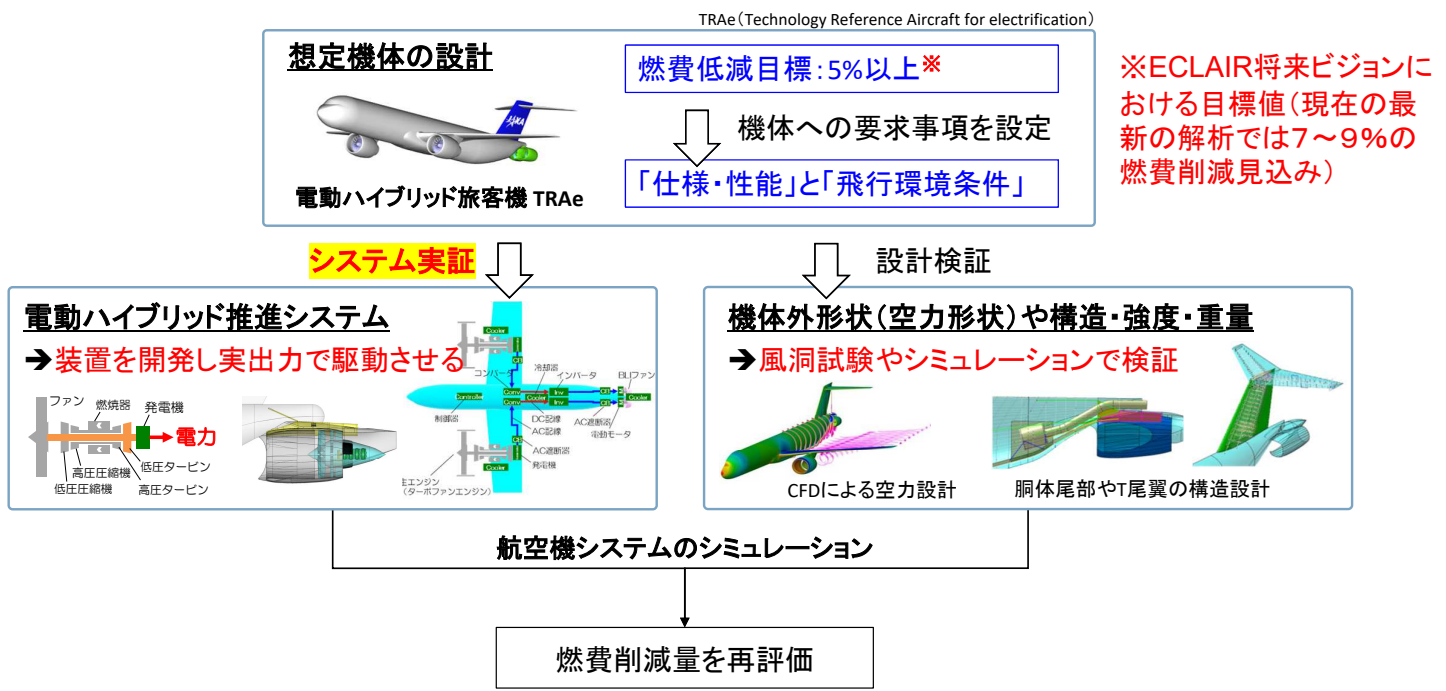
- ターボプロップ機の電動化ではなく、CO₂削減インパクトの大きい「ジェット旅客機」を電動化対象とする

電動ハイブリッド推進システム：旅客機コンセプト



- 電力変換ロスや追加機器重量、空気抵抗増を加味してもシステム全体として効率向上/燃費低減を狙う
- JAXAは、尾部電動ファンに関する独自技術により海外競合と差別化し、実用化を促す

電動ハイブリッド推進システム：研究開発構想



- 近い将来の技術実証プロジェクト化を目指してECLAIRとも連携しつつ準備中

エンジン高性能化

■ 低燃費低排出エンジン

- 低圧系(aFJR) : 燃費 1%改善
- 高圧系(EnCore) : タービン温度他 200℃向上等



→ 1~1.5%燃費改善

電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



機体性能向上

■ 空力抵抗低減

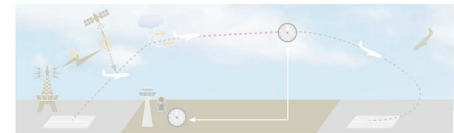
- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減
- 複合材軽量化 : 扉フレーム重量 18%軽量化



→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

通航性能向上技術

- 高度判断支援 : 巡航中の燃費 7.2%改善



水素航空機



エミッションフリー

機体性能向上（空力抵抗低減）

空力抵抗低減技術



■ 摩擦抵抗低減

- 乱流摩擦抵抗低減
- 自然層流翼技術

■ 誘導抵抗低減

- 高アスペクト比翼
- 先進翼端形状（ウイングレット）

【①リブレット】

1970年代にサメ肌からヒント

- ・機体表面に微細な縦溝
-間隔：約0.1mm,
-高さ：0.05mm

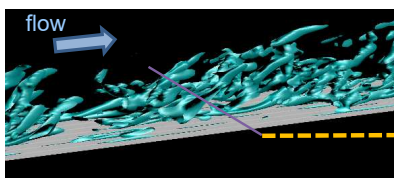


サメ肌の拡大写真

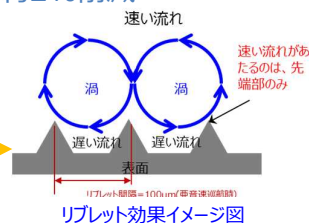
リブレットの拡大写真

- ・乱流境界層の縦渦を制御し、摩擦抵抗を低減

- 摩擦抵抗の約5-6%低減
- 機体全体に施工により全抵抗の約2%削減



リブレット表面近くの乱流流れ解析



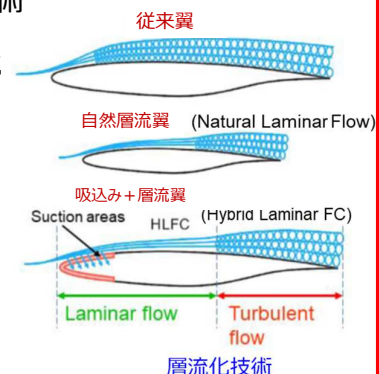
リブレット効果イメージ図

【②自然層流翼】

翼の形状を工夫して層流境界層を維持することで摩擦抵抗低減する技術

層流境界層は乱流境界層に比べ摩擦抵抗が数倍小さい

垂直尾翼の40%層流化で全抵抗の約1%削減



層流化技術

出典：G. Kalvelingulaganam Srinivasan, et al. Preliminary Design and System Considerations for an Active Hybrid Laminar Flow Control System, Aerospace-06-00109, 2019.

空力抵抗低減：①リブレット【課題と取り組み】

リブレット形状：抵抗低減効果の向上

従来リブレットを上回る空力性能

- ・施工性と空力性能を併せ持つ独自の片刃形リブレットを考案
- ・従来より10%程度高い世界トップレベルの抵抗低減を実現

施工良
強度大
三角溝

+

大面積
矩形溝

=

効果大
強度大

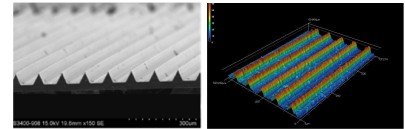


JAXA独自の片刃形リブレット形状
(特許出願)

施工性：接着性、短時間・大面積施工

航空機塗料を用いた施工法

- ・既存の航空機用塗料を用いたリブレット施工技術を開発
- ・転写シート成形法(オーウエル社)とレーザー加工法(Nikon社)
- ・エアラインでサンプル評価試験を実施し、実運用の密着性基準を満足



転写シート成形法 レーザー加工法
リブレット施工形状

耐久性：エアラインでの実運用

2022.7からJAL機による耐久性確認飛行試験を開始

- ・運航中のJAL機にリブレットを施工
- ・塗料型リブレットによる高い密着性を評価
- ・実運用下において形状や耐久性を定期的に確認中

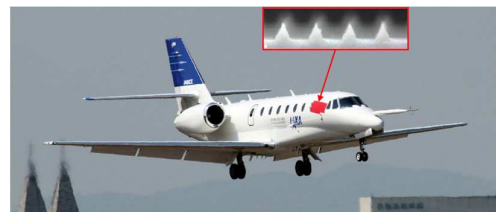


JALによる密着性確認試験
(クロスカット試験の様子)

空力抵抗低減：①リブレット【飛行実証】

リブレット技術の飛行試験実証(～2018)

- ・JAXA試験用航空機(飛翔)にリブレット施工
- ・実飛行環境で抵抗低減効果を確認
- ・流れ場計測による飛行試験技術の確立



飛翔による飛行試験写真

出展：Kurita, M., et al.,: Flight Test for Paint-Riblet, AIAA Paper2020-0560

JAL機による耐久性確認飛行試験(2022.7～)

- ・JAL機の胴体下面の小面積に直接リブレットを施工
- ・実機運用環境においてリブレットの耐久性確認を定期整備毎に実施中。1日6回の飛行サイクルで、定期的な機体洗浄、整備、点検を含む
- ・一部の施工方法では、従来の運用環境において約800時間の飛行(2022/10末)を終え、形状が維持されていることを確認した



JAL機に施工されたリブレット(オーウエル社)



今後は、短時間での施工方法や抵抗低減効果を大きいリブレット形状を開発し、技術的な優位性のあるリブレット実用化技術を確立する。

空力抵抗低減：②自然層流翼【課題】



自然層流翼設計

- ・高後退角翼の自然層流設計
- ・航空機の空力・構造要求との両立
- ・対称翼(垂直尾翼)層流化



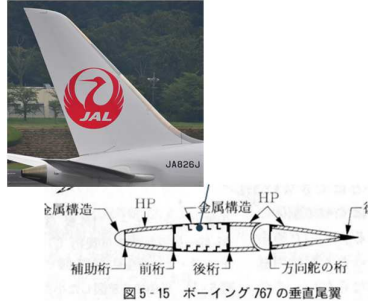
EU BLADEプロジェクト
(浅い後退角の主翼外翼を自然層流翼化)



787-9の垂直尾翼
(前縁附近に吸込みを適用したHLFC)

層流翼製作・製造

- ・翼表面形状の不連続性 (ファスナ、ギャップ、段差等)
- ・強度を維持、高精度形状製作



垂直尾翼の外板形状例
尾翼における形状の不連続性や粗度が境界層遷移を誘起

層流翼維持

- ・離着陸時の虫汚染
- ・運用における汚染
- ・エロージョン



飛行による飛行試験例
虫の付着による汚れによる生成された孤立粗度から遷移誘起

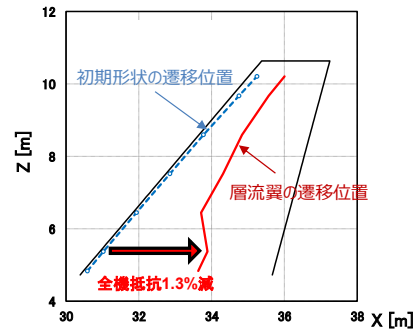
空力抵抗低減：②自然層流翼【設計】



【技術内容】

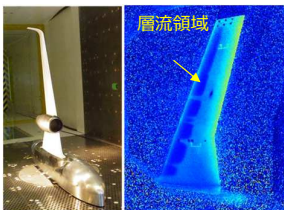
垂直尾翼をターゲットに高後退角・対称翼における自然層流翼を設計

- ・翼根から翼端方向に圧力分布を工夫をする三次元設計手法を適用(JAXA特許)
- ・対称翼では、世界最高レベルの層流域を実現



垂直尾翼の視線層流翼設計効果
(JAXA 技術参照機体TRA2022)

JAXA風洞試験による設計効果を確認($Re_M=2\sim 10mil$)



JAXA 2m遷音速風洞TWT1
($Re=2mil.$)の風試様子
・感温塗料による層流域確認



European Transonic Wind-tunnel
設備での風洞試験イメージ(ETW提供)
ETW:超低温風洞で実機レイノルズ数を実現

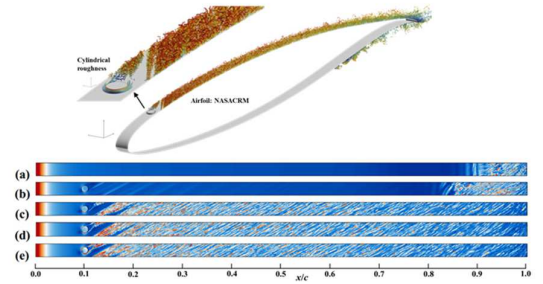
実機飛行レイノルズ数風洞試験で設計効果を確認予定 ($Re_M=24mil.$)

空力抵抗低減：②自然層流翼【製造】

【技術内容】

自然層流翼製造における表面粗度の仕様策定

- 実機の調査を踏まえ、不連続な表面形状を表現
 ファスナ, 継ぎ目, 段差, 虫汚染
 → 孤立粗度, 分布粗度, ステップ, ギャップ
- 形状の不連続性による境界層遷移への影響を解明,
 製造における仕様を策定

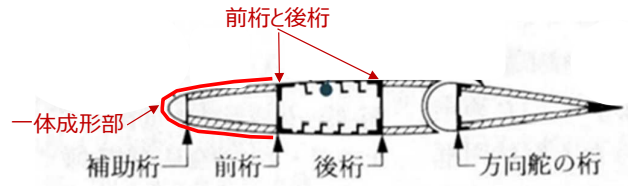


孤立粗度による境界層遷移流れの解析例(DNS)

出展: Ishida, T., et al.: Numerical and Experimental Analysis of Three-dimensional Boundary-layer Transition Induced by Isolated Cylindrical Roughness Elements, APISAT2021, Jeju, 2021.

表面粗度仕様を満たす製造方法 (機体メーカーと連携)

- 構造的な強度確保
- 製造コストを抑制
 → 前桁と後桁の位置を工夫
 → 翼前縁部の一体成形



767の垂直尾翼構造断面と改善案

出展: 飛行機の構造設計_日本航空技術協会

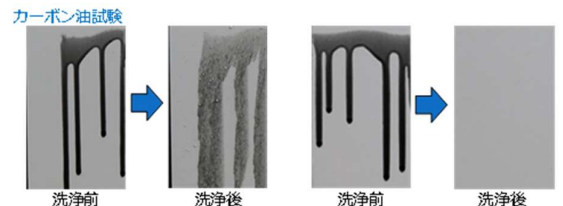
空力抵抗低減：②自然層流翼【高洗浄塗料】

【技術内容】

親水性塗料による高洗浄塗料の開発

- 簡易的な洗浄により層流翼効果を維持
 - 親水性塗料 → 高洗浄性
 - 光触媒機能 → 自己洗浄機能
 - ポリマーブラシ (メッシュ状) 付加することにより超親水化
- 要求される機能: 航空機塗料 + 高洗浄性 + 表面平滑度

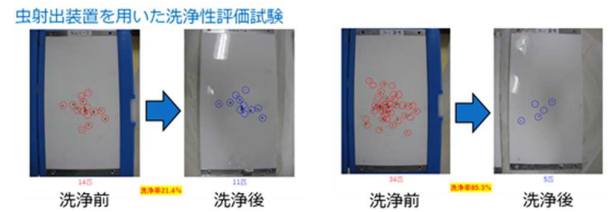
塗料	特徴
親水性塗料	水滴が汚れの間に入り込み、汚れを落とす ・雨などによる水分で自浄作用がある ・ウォータースポットが付着しづらい
撥水性塗料	水滴に汚れが吸着し転がりながら汚れが落ちていく ・汚れが付着しにくい ・水滴が残ってしまうと、汚れが凝縮される ・ウォータースポットが付きやすい



洗浄性能確認クーボン試験(航空機塗料スベック試験)

性能を地上試験で確認

- 航空機塗料スベック試験: 重要な塗料要求を概ね満足
- カーボン油試験: 洗浄性能が向上
- 離着陸時の虫付着に対する洗浄性: 大幅な洗浄性能向上を確認

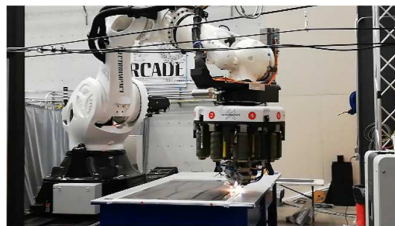


虫射出装置による洗浄性能確認試験

出展: 飯島秀俊ら: 層流翼技術のための親水性塗料の研究開発, 飛行機シンポジウム講演集1C05, 2021.

■ 複合材の最適設計による軽量化

- アルミニウム合金からCFRPに変更することで、比強度等の材料特性からはおよそ20%の軽量化できると見込まれるが、Boeing 787では10%程度の重量軽減効果に留まっている。
- CFRPは異方性を持った材料だが、異方性を活かした構造設計の手法は確立されていない。
- 近年、ロボットを用いた複合材自動積層装置（AFP:Automated Fiber Placement）によって曲線的な繊維の配向（ステアリング積層）や、局所的な板厚変化も可能になってきた。
- これらの技術を活用した複合材の最適設計により、重量軽減を目指す。

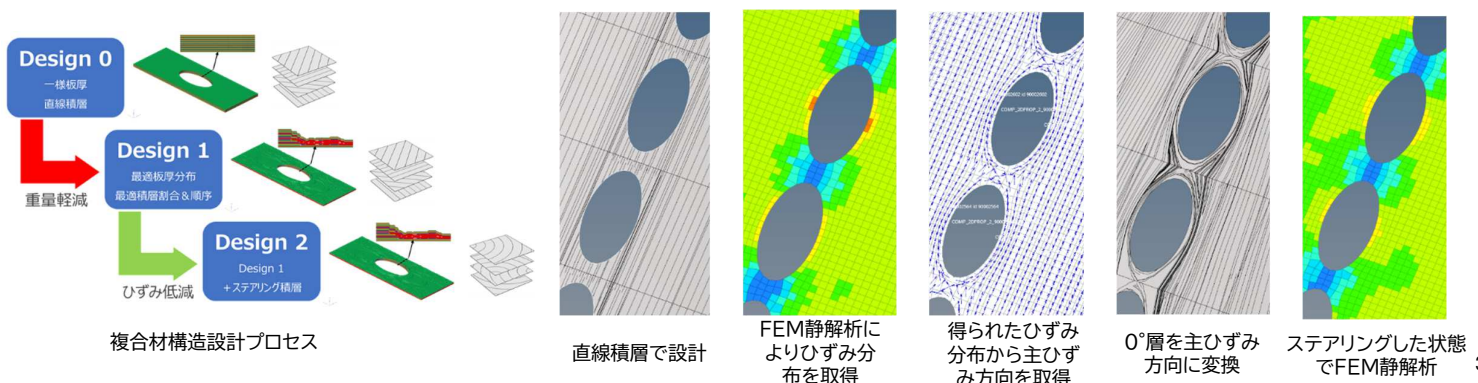


Automated Fiber Placement (AFP)



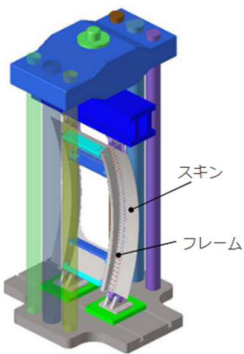
ステアリング積層

- AFP製造装置の制約条件を考慮
- 繊維配向最適化と板厚分布最適化を同時に実現する複合材構造設計プロセスを開発
 - 直線積層の状態ではFEM解析を実施し、得られた主応力/主ひずみ方向を抽出
 - その方向をベースに、製造制約を考慮しながら、繊維配向角に自動で設定できるステアリング積層設計ツールを開発

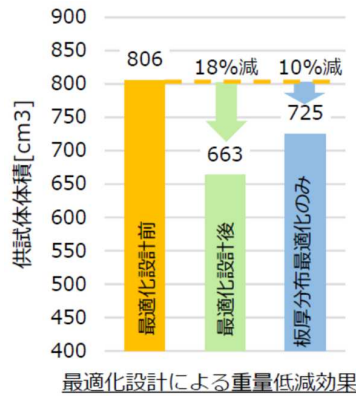


■ 最新の研究開発成果

- ステアリング積層設計ツールを用いた**複合材構造設計プロセスの実証**を進めている。
- **単通路機の非常脱出扉まわりの胴体フレーム**を対象として、実大部分構造による実証試験を実施。
- 事前の解析では、従来の設計および製造方法と比較して、**18%の軽量化**を実現。



試験概要図



- 翼胴モデルに適用したところ、金属材と比較して**30%軽量化**、複合材従来設計と比較して**10%の軽量化**を達成。



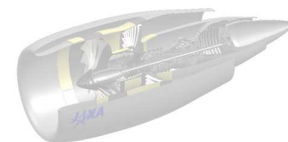
TRA2022翼胴モデル
複合材0°層の繊維配向

脱炭素化に向けた航空機技術の研究開発（JAXAにおける取り組み例）

エンジン高性能化

■ 低燃費低排出エンジン

- 低圧系(aFJR) : 燃費 1%改善
- 高圧系(EnCore) : タービン温度他 200℃向上等



→ 1~1.5%燃費改善

電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



機体性能向上

■ 空力抵抗低減

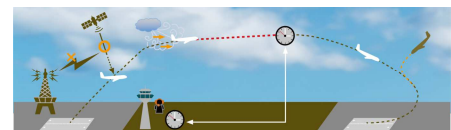
- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減
- 複合材軽量化 : 扉フレーム重量 18%軽量化



→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

運航性能向上技術

- 高度判断支援 : 巡航中の燃費 7.2%改善



水素航空機



エミッションフリー

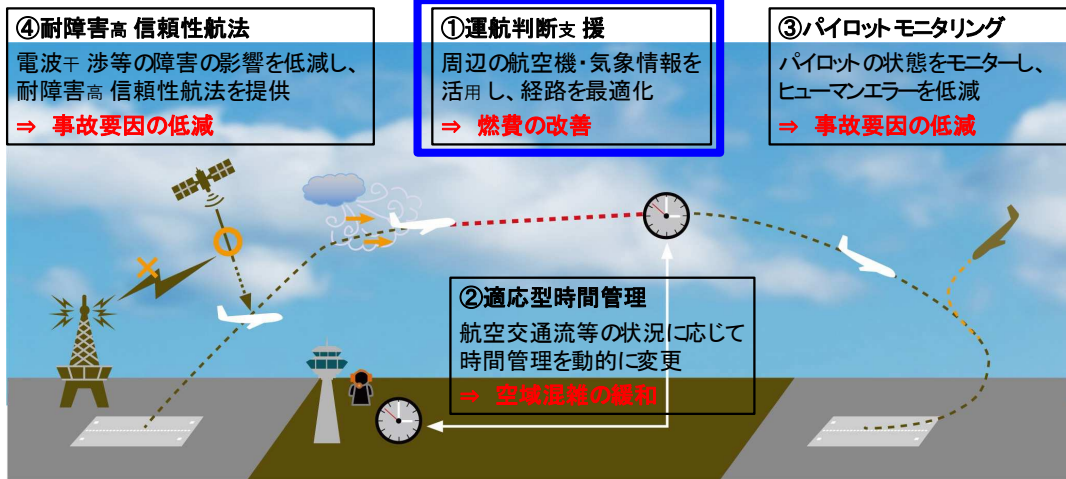
運航性能向上（スマートフライト/高度判断支援）

- 航空交通量は15年毎に概ね倍増
 - 交通量増大に伴う航空機運航における課題
 - ① 空港・空域の容量不足による遅延の増大
 - ② 環境負荷（CO2、騒音等）の増大
 - ③ 航空機事故の増加



（出典：ICAO Doc. 9750）

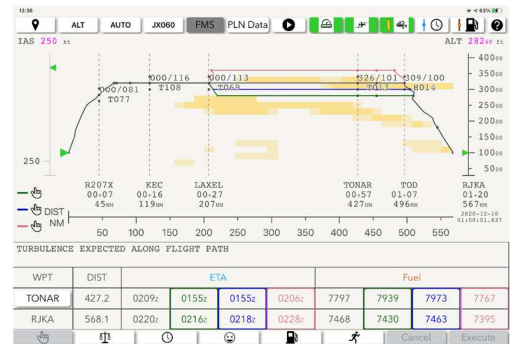
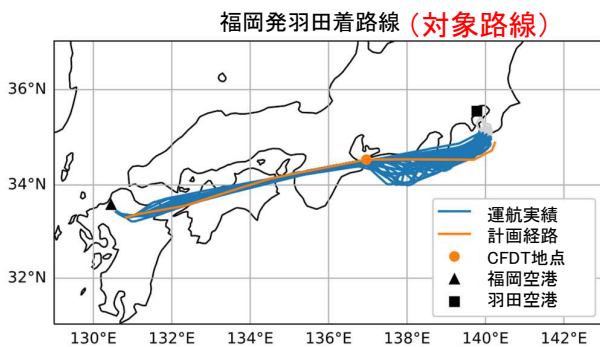
- 航空交通量の増大に対応可能な次世代航空交通システムを実現
- 運航判断支援により燃費を改善する技術に取り組む



運航性能向上（スマートフライト/高度判断支援）

時間管理精度、低燃費、快適性を両立するEFB（簡易計器）のソフトウェアを開発、シミュレーションおよび評価

- 低燃費の実現
 - 航空局が将来導入予定の時間管理運用（メタリング）との併用
 - 飛行経路（速度・高度）を最適化することで、巡航時の平均7.2%の燃料消費削減（低燃費）
- 飛行試験でパイロット評価。
 - 燃費や定時性の改善に有効なシステムであるとの評価を得ている



* 燃料消費削減率 = 1 - 最適軌道の燃料消費 / 運航実績の燃料消費
対象区間: 離着陸区間を除く高度10,000 ft以上の区間
対象便: 福岡発羽田着路線の全4518便(2018年度の84日分)

FAA AC120-76D EFB Design Considerationに適合するよう、視認性・Color Coding (Legibility) や表示機能 (Usability) を改良

エンジン高性能化

■ 低燃費低排出エンジン

- 低圧系(aFJR) : 燃費 1%改善
- 高圧系(EnCore) : タービン温度他 200℃向上等 → 1~1.5%燃費改善



電動ハイブリッド推進

燃費 5%以上改善



機体性能向上

■ 空力抵抗低減

- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減

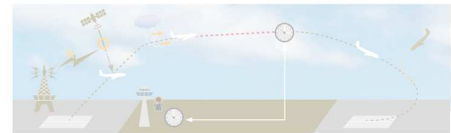


■ 複合材軽量化 :

扉フレーム重量 18%軽量化 → 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

運航性能向上技術

- 高度判断支援 : 巡航中の燃費 7.2%改善



水素航空機



エミッションフリー

水素航空機：技術動向

海外の動向

- Airbus社が水素航空機ZEROeの開発構想を発表。2035年の運航開始を想定。
- 再生可能エネルギーで製造した水素燃料を供給する水素空港構想の検討も開始。



水素航空機 ZEROe



水素空港構想

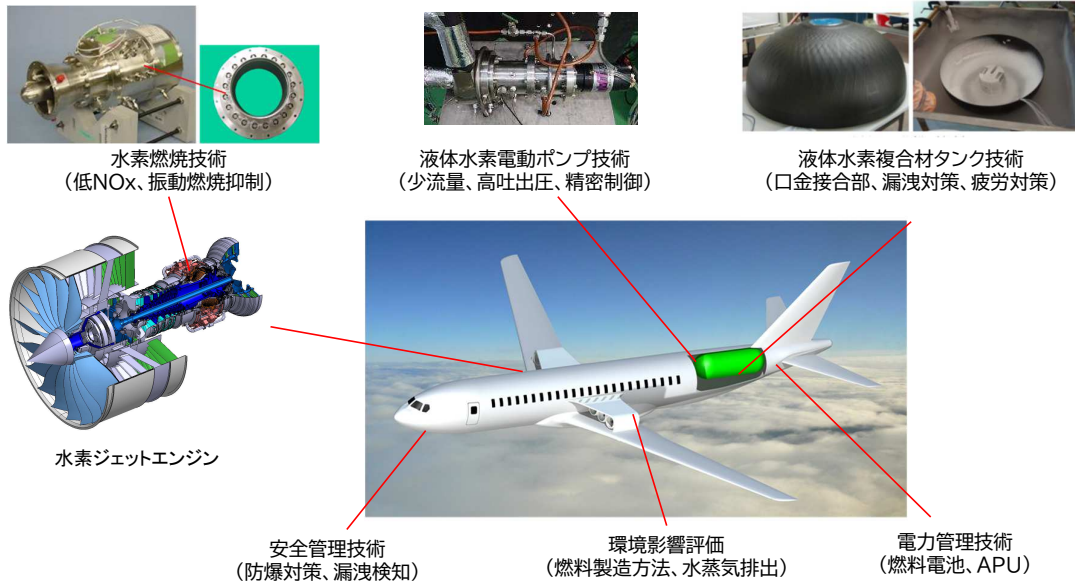
出典：<https://www.airbus.com/>

国内の動向

- 日本でもグリーンイノベーション基金事業として、水素航空機向けコア技術開発を開始。（川崎重工業/JAXA）
- 経済産業省の主導で、水素空港の整備に関する検討も進められている。

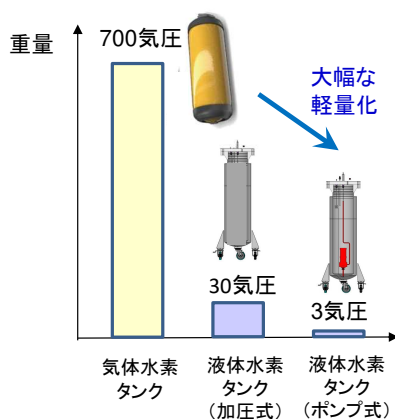
水素航空機：技術課題

- 水素航空機の実現には、既存エンジンを基にした**水素ジェットエンジン**の実用化が現実的
- 水素**燃焼**技術、液体水素**電動ポンプ**技術、液体水素**複合材タンク**技術の実用化が課題
- 他に、水素燃料搭載の**安全管理技術**、**環境影響評価**、**電力管理技術**の構築も必要

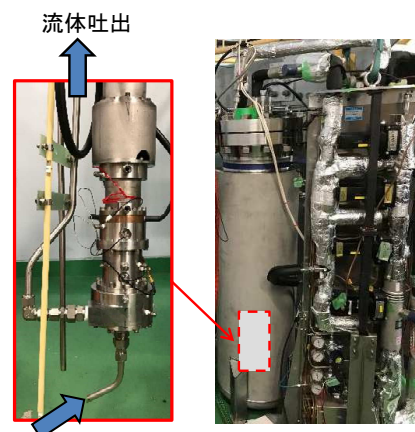


水素航空機：液体水素電動ポンプ

- 水素タンクの小型化/軽量化が課題
 - **気体**水素タンクでは、小型化を実現するため、**高圧化**が必要。→ 非常に**重くなる**
 - **液体**水素では、**蒸発しやすい**燃料を安定的に供給するため、**30気圧**程度の加圧が必要 → 加圧タンクでは、やはり**重くなる**。
- 「液体水素タンク(**3気圧**) + **電動ポンプ**(加圧)」により**大幅な軽量化**の実現を目指す



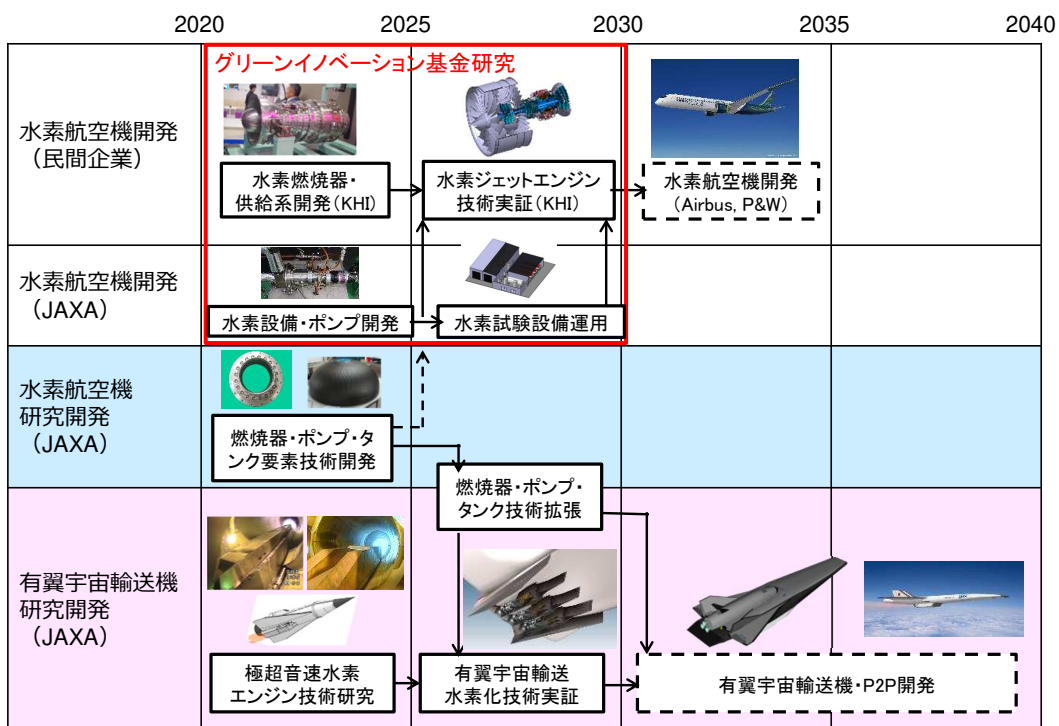
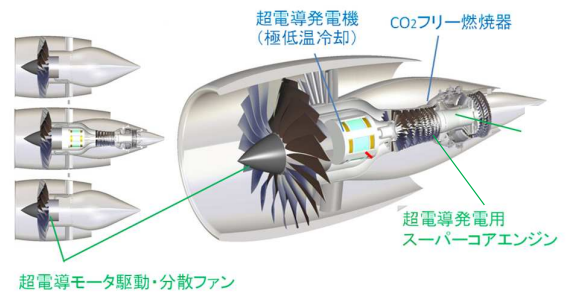
水素燃料タンクの重量比較



液体水素電動ポンプ試験装置



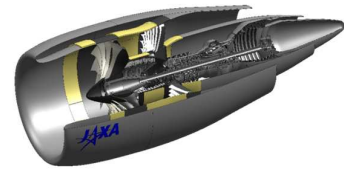
- 液体水素貯蔵・供給技術を活用して、飛躍的な低排出／低燃費を実現する水素航空機の実用化を目指した概念検討を行っている。
- 液体水素(-253℃)の冷却能力を生かし、極低温で作動する超電導発電機と超電導モータ駆動・分散ファンを搭載した高効率エンジンを検討。



エンジン高性能化

- 低燃費低排出エンジン
 - 低圧系(aFJR) :
 - 高圧系(EnCore) :
- 電動ハイブリッド推進 :

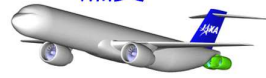
燃費 1%改善
 タービン温度他 200℃向上等
 燃費 5%以上改善



→ 1~1.5%燃費改善

機体性能向上

- 空力抵抗低減
 - リブレット :
 - 層流化技術 :
- 複合材軽量化 :



全抵抗の 2%低減
 全抵抗の 1%低減
 扉フレーム重量 18%軽量化

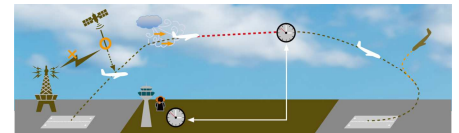


→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

運航性能向上技術

- 高度判断支援 :

巡航中の燃費 7.2%改善



革新航空機システム

- 水素航空機 :

エミッションフリー



まとめ

- 脱炭素は社会動向。技術トレンドもさらなる向上
- JAXAでは多様な研究開発を実施
 - 低燃費低排出エンジン技術向上により、低圧系で燃費1%改善、高圧系でタービン温度の200℃向上等により燃費1~1.5%改善。
 - 電動ハイブリッド航空機の技術実証により、燃費5%以上改善
 - 低抵抗化技術として、リブレットにより全抵抗の2%低減、層流化技術により全抵抗の1%低減。
 - 複合材軽量化技術として、非常扉フレーム重量で18%軽量化
 - 運航技術として巡航中の燃費を7.2%改善
 - 最終的には、水素航空機技術により、カーボンニュートラルを目指す。
- 各方面との連携を通じ、脱炭素社会の実現に貢献してゆく。

