

第 26 回
航空輸送技術講演会

要約集

2023 年 1 月 27 日



公益財団法人 航空輸送技術研究センター

第26回 航空輸送技術講演会

— 航空輸送における脱炭素をはじめとする昨今の課題と技術的取り組み —

公益財団法人 航空輸送技術研究センターでは、航空輸送における運航・整備技術の調査・研究や安全思想の普及啓発を通じて、安全かつ効率的な航空輸送の発展を図るための活動を行っています。

2015年に採択された「パリ協定」の目標達成に向けて、2021年のCOP26で目標追及の決意が確認され、ICAOにおいても国際航空分野における長期目標が採択されました。本邦では地球温暖化対策計画等の政府計画が改定され、様々な温室効果ガス排出削減の取り組みが行われています。

また航空機の運航支援に関して今後の需要回復期および将来にわたって運航をサポートする人材の確保が喫緊の課題となっており、関係車両を自動走行化するなど人の介在を少なくするような対応が望まれています。

今回は、このような脱炭素問題をはじめとした昨今の課題の解決に向けた技術的な取り組みについて、航空当局、研究機関および航空事業者の方々を講師としてお招きし、当センターの取り組みを含め、下記のとおり講演会を開催いたします。

日 時： 2023年1月27日（金） 13:30~17:10（開場 13:00）

会 場： ソラシティ カンファレンスセンター

東京都千代田区神田駿河台4-6（JR御茶ノ水駅、東京メトロ新御茶ノ水駅そば）

主 催： 公益財団法人 航空輸送技術研究センター

後 援： 国土交通省航空局

定 員： 会場200名様、オンライン300名様（参加費無料）

プ ロ グ ラ ム

13:30 開会の辞

13:35 来賓挨拶 国土交通省 航空局 安全部長 平井 一彦 氏

13:45 講演 『航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会の議論状況について』
国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課長 石井 靖男 氏

14:30 講演 『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
航空イノベーション統括 伊藤 健 氏

（休 憩）

15:30 講演 『ANAにおけるカーボンニュートラル、SAF導入の取り組みについて』
全日本空輸(株) 経営戦略室エアライン事業部 GX チームマネジャー 吉川 浩平 氏

16:15 講演 『本邦空港内におけるレベル4自動運転車両走行実現に向けた取り組み』
(公財)航空輸送技術研究センター 技術部マネジャー 小寺 佑季
日本航空(株) グランドハンドリング企画部 GSEグループ 金子 誠 氏

17:00 閉会の辞

講演者略歴

石井 靖男 (いしい やすお) 氏 国土交通省 航空局 安全部 航空機安全課長

- 1992年 運輸省入省 (当時)
- 2008年 在シアトル総領事館領事 (外務省出向)
- 2011年 航空局 安全部 運航安全課 外国航空機安全対策官
- 2012年 航空局 安全部 航空機安全課 航空機技術基準企画室長
- 2013年 航空局 安全部 航空事業安全室 首席整備審査官
- 2015年 航空局 安全部 安全企画課 危機管理室長
- 2016年 航空局 安全部 空港安全保安対策課 航空保安対策室長
- 2017年 東京航空局 成田空港事務所 所長
- 2020年 大臣官房参事官 (航空事業安全)
- 2022年 航空局 安全部 航空機安全課長 (現職)

伊藤 健 (いとう たけし) 氏 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門
航空イノベーション統括

- 1989年 科学技術庁 航空宇宙技術研究所入所 (新型航空機研究グループ)
- 1998年 米国パデュュー大学 客員研究員 (~1999年)、Private pilot(Instrument, Multiengine)
- 1999年 科学技術庁 研究開発局 航空宇宙開発課 課長補佐
- 2003年 (国研)宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 風洞技術開発センター
- 2012年 研究開発本部 研究推進部 研究開発企画室長
- 2014年 航空本部 空力技術研究グループ長
- 2015年 航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ ハブマネージャ
- 2020年 航空技術部門 次世代航空イノベーションハブ ハブ長
- 2021年 航空技術部門 航空イノベーション統括 (現職)

吉川 浩平（よしかわ こうへい）氏 全日本空輸(株) 経営戦略室エアライン事業部 GX チーム
マネジャー

2004年 日産自動車株式会社入社
2010年 全日本空輸株式会社入社 東京空港支店旅客部
2012年 調達部 燃料調達チーム
2017年 調達部 燃料調達チーム マネジャー
2022年 経営戦略室 エアライン事業部 GX チームマネジャー
兼) 調達部 エネルギーチームマネジャー (現職)

小寺 佑季（こてら ゆうき） (公財)航空輸送技術研究センター 技術部マネジャー

2015年 日本航空株式会社入社・株式会社 JALEC エンジニアリング 出向
2015年 JALEC エンジニアリング成田航空機整備センター第2 運航点検整備部
2016年 JALEC エンジニアリング成田航空機整備センター整備技術グループ
2021年 (公財) 航空輸送技術研究センター 出向 技術部マネジャー (現職)

金子 誠（かねこ まこと）氏 日本航空(株) グランドハンドリング企画部 GSE グループ

1997年 株式会社 JAL グランドサービス入社
1997年 手荷物サービス課
2009年 旅客サービス課
2014年 羽田空港国際ランプサービス課
2018年 本社 企画部
2020年 本社 安全品質部、兼) 日本航空株式会社 出向 グランドハンドリング企画部
2022年 日本航空株式会社 グランドハンドリング企画部 GSE グループ (現職)

航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会の議論状況について

令和5年1月27日

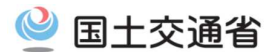
国土交通省航空局安全部

航空機安全課長 石井 靖男



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

航空機運航分野における脱炭素化の取組

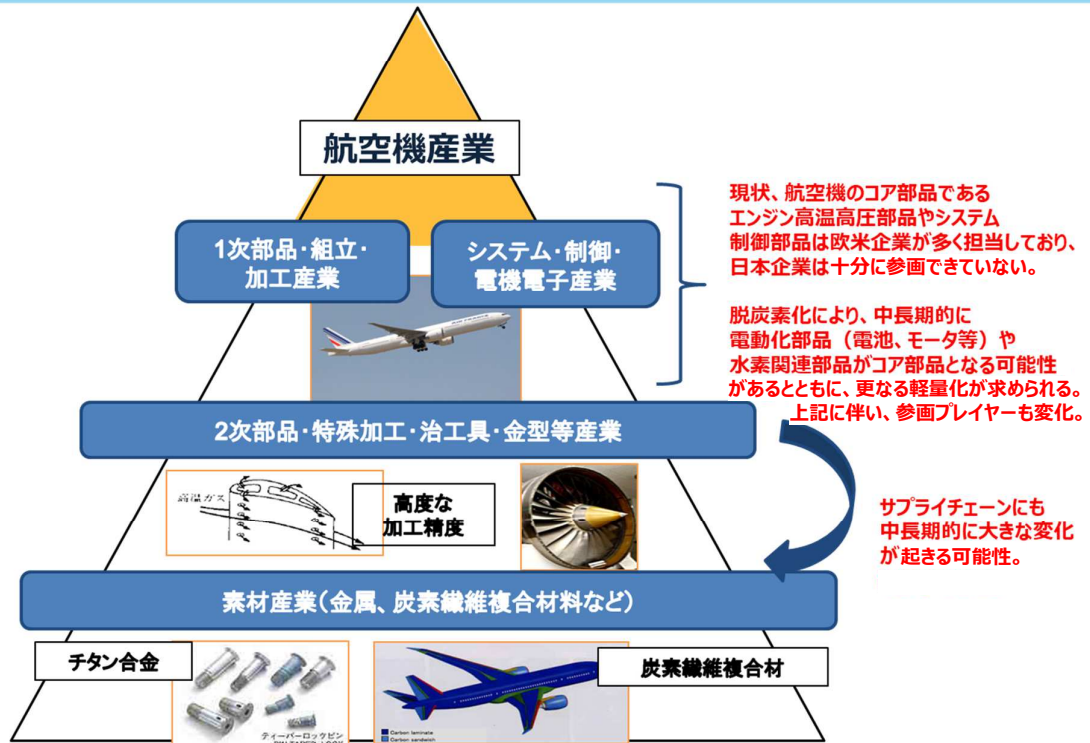


- 2020年10月 内閣総理大臣所信表明演説において、「**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現**」を宣言
- 2020年12月 「**2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略**」の策定（2021年6月改訂）
- 2021年10月 **地球温暖化対策計画**の政府計画 **改訂**
2030年度において、**温室効果ガス46%削減**（2013年度比）を目指す
さらに50%の高みに向けて挑戦を続ける

- エアライン、学識経験者等で構成する「**航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会**」を開催（R3.3月～）
- R3.12月に**航空機運航分野の脱炭素化推進に係る工程表**を策定
- 策定された工程表を着実に進めていくため、実務的な検討の場として**官民協議会**を設置

脱炭素化の潮流の中での航空機産業の構造変化

- 脱炭素化の要請による航空機に適用される技術の変化は、産業構造に変化をもたらし、我が国航空機産業の国際競争力強化の好機となる可能性。

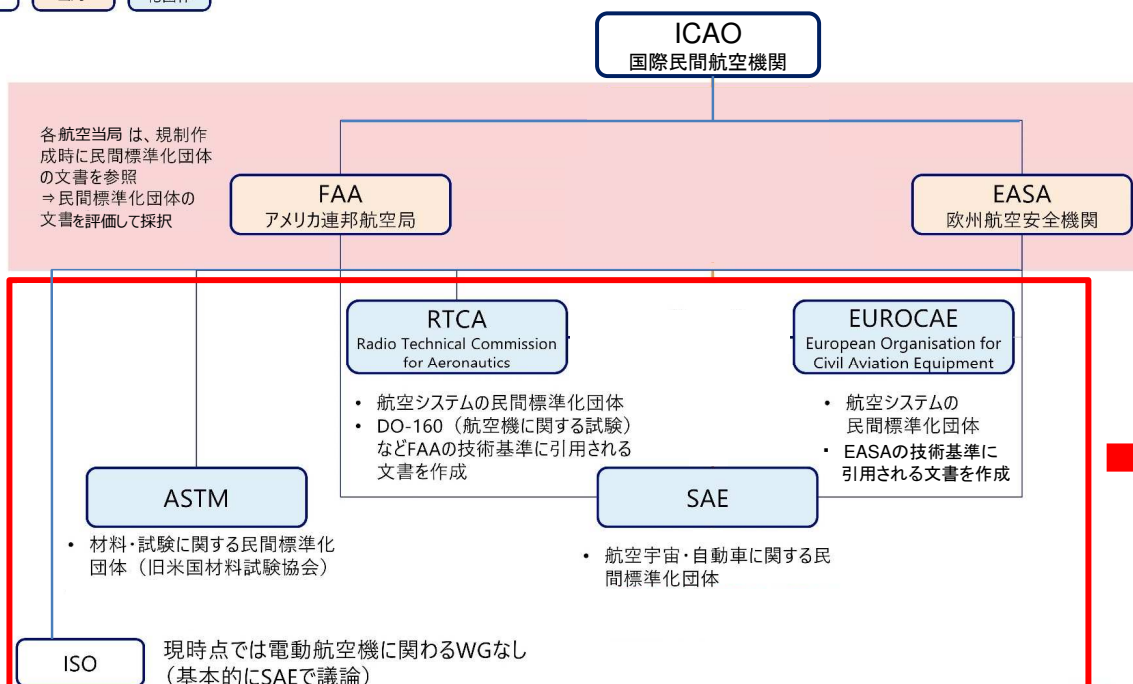


出典：第1回 航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会資料
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk11_000004.htmlを基に航空局にて一部修正

- 航空機の耐空性に係る基準については、規範的要件（自由度がない）から、性能準拠要件（Performance based regulations）に見直され、さらに、国際標準化団体の規格を積極的に活用する方針へと移行しつつある。
- 日本企業が不利にならない形で、技術に応じて主導的に安全基準・国際標準を策定するためには、産学官でタッグを組み、戦略的に国際標準化団体へ参画することが不可欠。

国連専門機関 各国航空当局 民間標準化団体

- ◆ 規範的要件…満たさなければならない特定の技術要件（例：非常脱出口の形・大きさ・形態等を具体的に規定）
- ◆ 性能準拠要件…達成すべき目標を示すもの（例：緊急着陸時に飛行機から迅速かつ安全に避難ができること。）



- 世界に先駆けて我が国の環境技術の実用化を進め、航空分野の環境対策を推進するためには、産学官が連携し、戦略的に安全基準・国際標準の検討を進めることが重要。
- そのため、2022年度に産学官からなる官民協議会の設立・開催。
- 本官民協議会において、2023年度以降の戦略的な安全基準・国際標準策定等の取組に関する計画を作成し、実行することとしている。

- 世界に先駆けて我が国の環境新技術（電動化、水素航空機等）の実用化を進め、航空分野の環境対策を推進するためには、**産学官が連携し、戦略的に安全基準・国際標準の検討を進めることが重要。**
- 日本企業が持つ優れた環境新技術の社会実装、及び日本のプレゼンス・シェアの向上も見据え、日本企業が不利にならない形で、技術に応じて主導的に、当該技術に関連する安全基準等を策定することを目標とし、官民が一体となって取り組む場として「**航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会**」を設立。

<官民協議会の構成員> (事務局：国土交通省、経済産業省)

(順不同)

学識者	李家教授（東京大学大学院工学系研究科教授）
民間	構成員 IHI、川崎重工業、GSユアサ、ジャムコ、シンフォニアテクノロジー、新明和工業、SUBARU、住友精密工業、多摩川精機、東レ、ナブテスコ、三菱重工業 航空イノベーション推進協議会、航空機装備品認証技術コンソーシアム、日本航空宇宙工業会 全日本空輸、日本航空
	オブザーバー 定期航空協会、成田国際空港、中部国際空港、新関西国際空港、関西エアポート
政府等	国土交通省、経済産業省、文部科学省（オブザーバー）、JAXA（航空機電動化コンソーシアムを含む）、NEDO

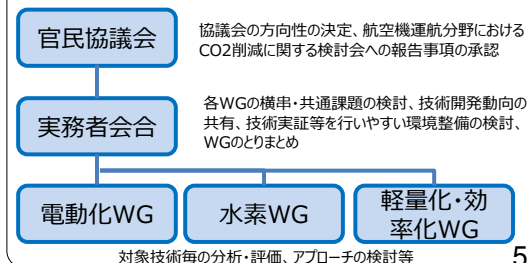
<スケジュール>

- 2022年6月20日 第1回官民協議会：目的・技術開発支援状況の共有、実務者会合・分野別WG立ち上げの提案、構成員からの取組・課題の発表
- 7月26日 実務者会合（第1回：7月26日、第2回：11月22日）を開催。官民協議会で挙げられた課題の整理・各分野共通の課題の検討
- 8月～ これまで、電動化WG（計6回）、水素WG（計6回）、軽量化・効率化WG（計8回）を開催。以降継続して各WGを開催
- 2023年3月 各WGでの議論を踏まえ、実務者会合、官民協議会を開催し、基準策定等の取組に関する計画（ロードマップ）を策定予定

これまで開催した官民協議会・実務者会合・WG等の議論のポイント

- 各メーカーにおいては、グリーンイノベーション基金、NEDO事業等も活用しつつ、電動化、水素航空機、軽量化などの環境新技術の開発を進めている。
- 当該技術の早期社会実装に向けて、産学官が連携し国際標準化を進めていきたい旨の発言があり、国際標準化や認証に関し、主な課題として以下が挙げられた。
 - 国際標準化に係る産学官の連携
 - 国際標準化団体等における我が国の積極的な提案・発信
 - 認証のノウハウの共有 等

<検討体制>



電動化

RHEA¹
与圧空調排熱システム

AACs²
パワエレ空冷システム
機内空調用・エンジン
用に搭載

Mifee⁴
電動燃料システム

E3M³
エンジン内蔵型電動機

航空機電動化プロジェクト

*1: Ram air Heat Exchanger Abolished by fuel cooling integration
*2: Autonomous Air-Cooling System
*3: Engine Embedded Electric Machine
*4: Metering-integrated fuel-feeding electrification

水素航空機

水素燃焼器

液化水素タンク

水素供給システム

機体構想

水素航空機のイメージ

水素燃焼器・タンク

軽量化・効率化

上面スキン
コア
下面スキン

熱可塑複合材製一体成形エルロン

低抵抗主翼形状
(高アスペクト比主翼)

軽量化・高レート化・複雑形状化

出典: 第1回 航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会資料
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk11_000004.html

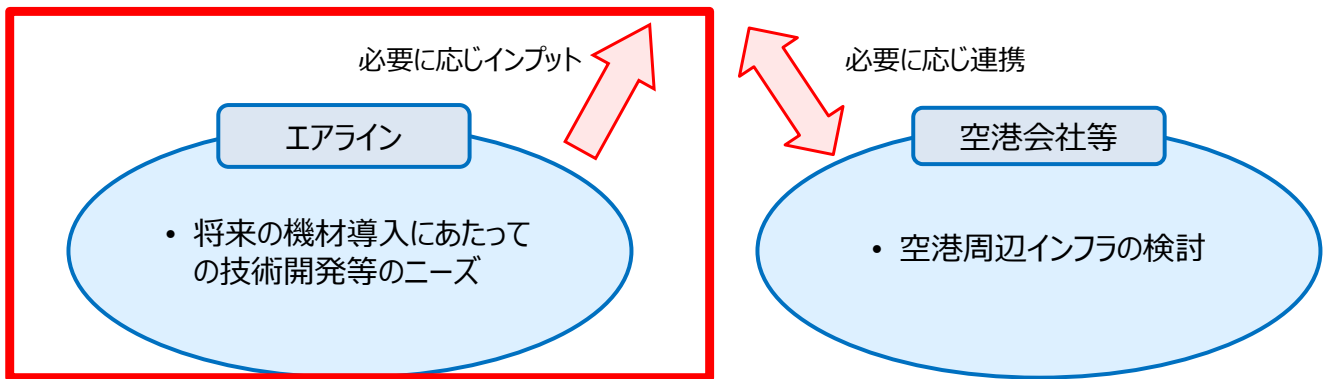
- 個社として国際標準化活動に参加しているが、個社のみでは発言力やプレゼンスに課題
- 官民連携した国際標準化活動への参画の必要性
- 同業他社や機体製造メーカー等と連携し、新技術の国際標準化を推進する機運の醸成、体制の整備の必要性
- 安全性の要求についての知識が不十分であるため知識の獲得が必要
- 新技術の技術実証において必要な試験設備の洗い出し、計画的な整備

○検討対象

- 電動航空機、水素航空機等の新技術の導入にあたっては、設計・開発、基準策定、エアラインへの機材の導入、空港周辺インフラの整備等さまざまなフェーズが想定される場所。
- 本協議会においては、優位性のある対象技術分野の特定、それらの技術開発状況を踏まえた戦略的な安全基準・国際標準の策定に向けた取組、及び認証の促進に向けた取組を対象とする。

協議会の検討対象

- メーカーによる装備品・部品としての設計・開発、優位性のある対象技術分野の特定
産学官による戦略的な安全基準の策定・国際標準化
- メーカー・航空局による航空機・装備品等の認証活動



CO2削減に係るICAO長期目標(LTAG)の策定

背景

- 第40回ICAO総会（2019.10）で、国際航空の長期目標（Long Term Aspirational Goal（LTAG））の実現可能性調査を行い、第41回総会（2022.10）で報告させることを決議
- **2019年12月のICAO航空環境保全委員会（CAEP）にて我が国から、LTAGの検討のためのタスクグループの設置を提案し、多くの支持を得てタスクグループが設置。議長に日本が選任（議長日本、副議長オランダ・サウジ）**
- 本タスクグループで、第41回ICAO総会に向けて、LTAGの実現可能性の議論を行い、2021年11月に報告書をとりまとめ
- 昨年7月にはLTAGに係るハイレベル会合が開催され、**我が国からは、政府として初めて公式に国際航空分野における2050年カーボンニュートラルを目指す旨を宣言し、「2050年までのカーボンニュートラル」を目標として盛り込んだ成果文書が大多数の支持により採択**
- **昨年10月の第41回ICAO総会で「2050年までにカーボンニュートラル」とするLTAGとして採択**

	短中期目標	長期目標
パリ協定	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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） 	
(参考) 協定下での日本の目標	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2013年度比総排出量46%減（全分野として）（2030年度） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2050年カーボンニュートラルの実現を目指す（全分野として）
国際民間航空機関 (ICAO)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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 <p>*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</p>	<p>2050年までにカーボンニュートラルの実現（今度ICAO総会でLTAGとして採択）</p>



航空法改正（令和4年6月10日公布、令和4年12月1日施行）により、国土交通大臣が、航空における脱炭素化の基本的な方向性を示す「航空脱炭素化推進基本方針」を定め、各エアラインや各空港が主体的・計画的に脱炭素化の取組を進めることができるようにするための制度的枠組みを導入。

航空脱炭素化推進基本方針（概要）

1. 航空の脱炭素化の推進の意義及び目標

（意義）

- 2050年カーボンニュートラルに向けて航空の脱炭素化への取組は不可欠
- 国際競争力の維持・強化、航空ネットワークの維持・発展、地域連携・レジリエンス強化のためにも脱炭素化の推進が重要

（目標）

2030年

国際航空：2020年以降総排出量増加制限
国内航空：単位輸送量当たりのCO2排出量2013年度比16%削減
空港：各空港の温室効果ガス排出量2013年度比46%以上削減
さらに、空港全体でカーボンニュートラルの高みを目指す

2050年

航空（国際・国内）：カーボンニュートラル
空港：新技術の活用促進及びクレジット創出・利用拡大

2. 政府が実施すべき施策に関する基本的な方針

3. 関係者が講ずべき措置に関する基本的な事項

4. 航空運送事業脱炭素化推進計画の認定に関する基本的事項

5. 空港脱炭素化推進計画の認定に関する基本的事項

二 航空の脱炭素化の推進のために政府が実施すべき施策に関する基本的な方針

2. ③ 航空機環境新技術の導入

「（前略）中・長期的には水素航空機や電動化といった脱炭素に資する航空機環境新技術の導入が期待されている。我が国が有する航空機環境新技術が適用された航空機を社会実装し、航空機の脱炭素化を進めるため、官民一体となって戦略的に安全・環境基準、国際標準を策定する（後略）」

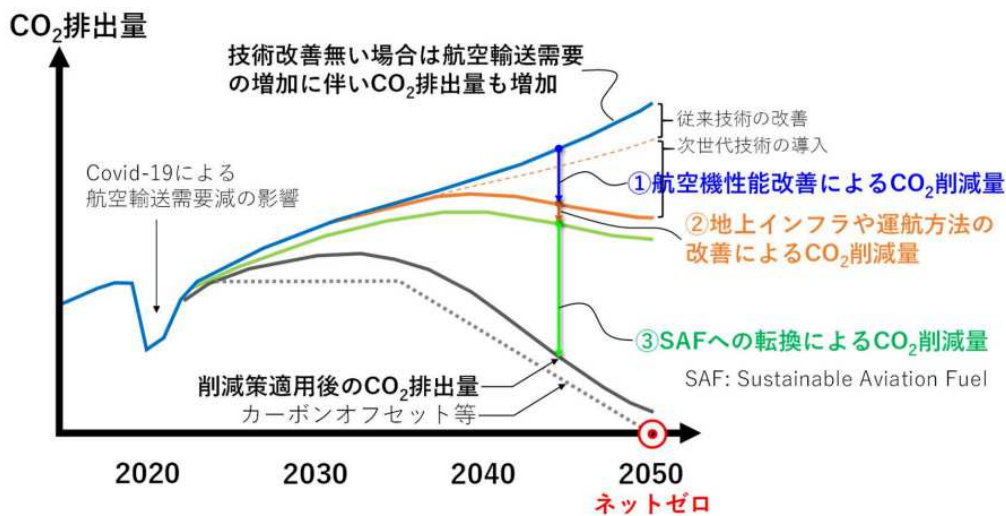
脱炭素化に向けた航空機技術の研究開発について

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 機体部品電動化の研究開発 推進系電動化（ハイブリッド電動）の研究開発 ※ 電動化技術は小型機から順次搭載可能性（2020年代後半～）					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） 機体構造向け炭素繊維複合材の研究開発 ※ エンジン、電動化、水素関連技術は一部補完関係あり					技術実証	技術搭載・採用拡大	自立的拡大
●ジェット燃料	【ガスFT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 合成燃料の製造技術の開発 -既存技術（煤+ガス+FT合成+水素）の高効率化 -煤造油率の向上 合成燃料の革新的製造技術の開発 -CO2電制+水素電制+FT合成による研究開発 -水素電+FT合成+水素の研究開発 -煤+水素+FT合成の研究開発 -煤+水素+FT合成の研究開発					大規模製造の実証	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 導入拡大・コスト低減	自立商用
	上記項目での欧米との国際連携を強化							

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>

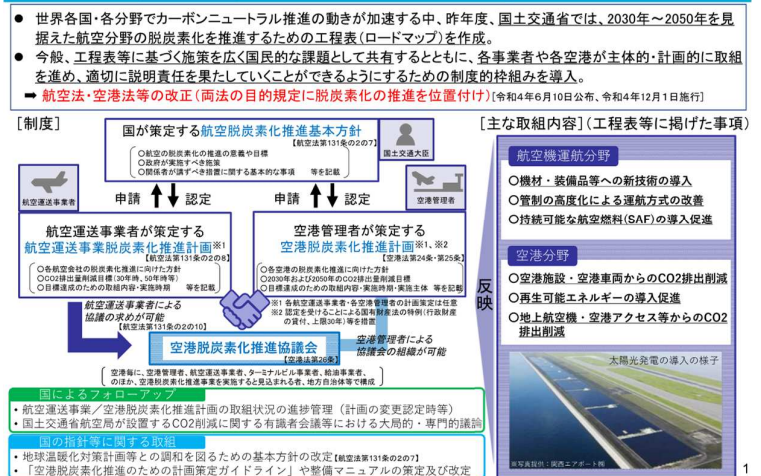
脱炭素は航空行政でもトレンド： 2022年6月航空法改正／航空脱炭素化推進基本方針

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

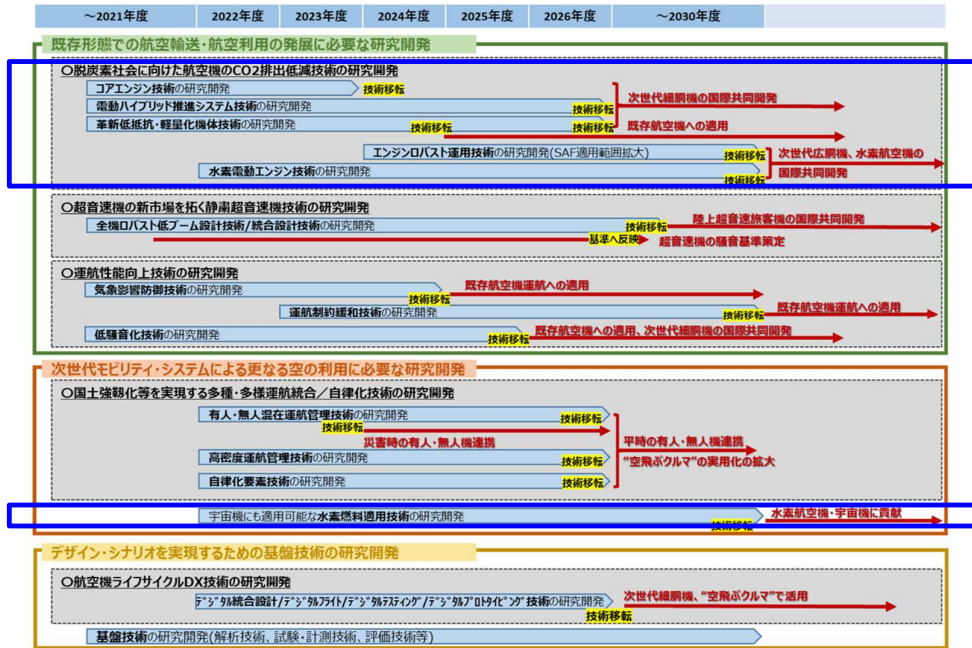


第二〇八回 閣第四四号 航空法等の一部を改正する法律案（抜粋）：
<https://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/gian/208/pdf/t0802080442080.pdf>

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

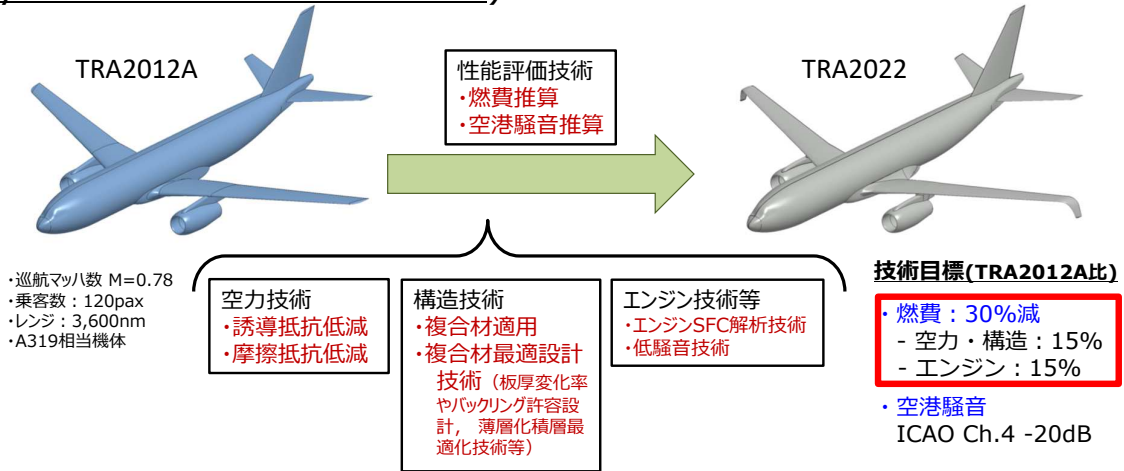
Sky DX :循環型のデジタル化した航空産業で世界をリード



■ 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）

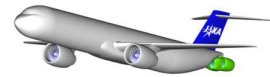
エンジン高性能化

- 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



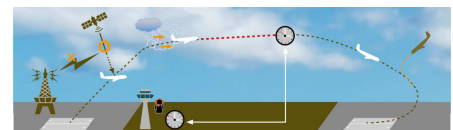
機体性能向上

- 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

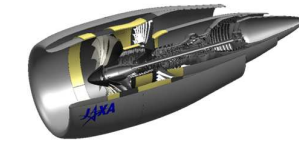
■ 低燃費低排出エンジン

■ 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 :

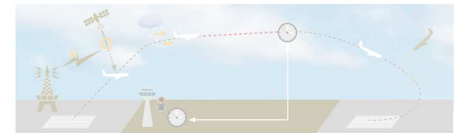
扉フレーム重量 18%軽量化

→ 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

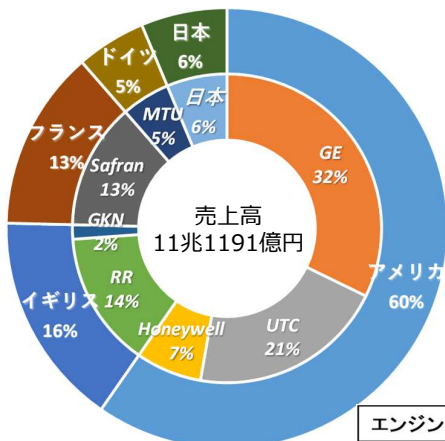


水素航空機



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%

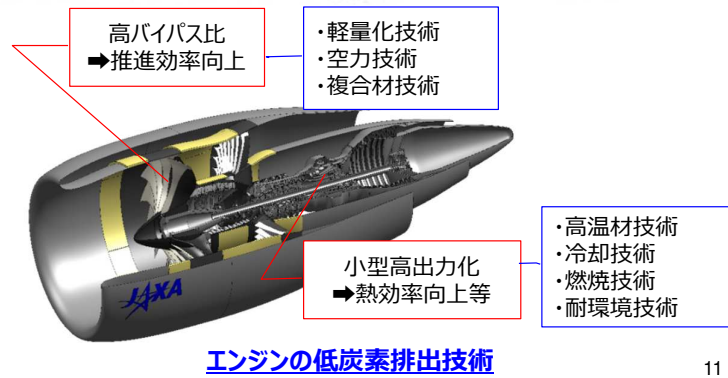
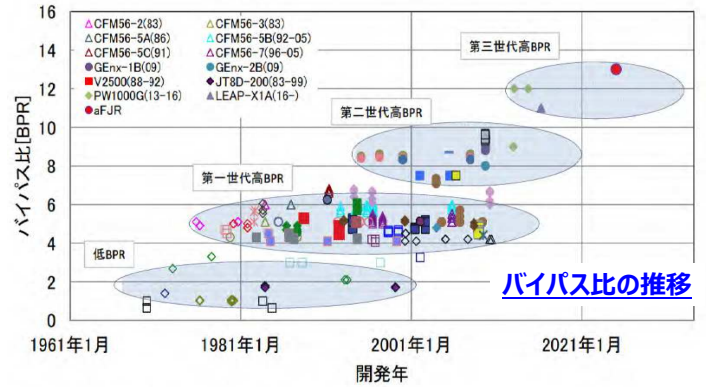
各エンジンの絵は日本航空機エンジン協会事業概要パンフレットより引用

■ 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。



エンジンの低炭素排出技術

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。

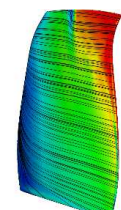
①高効率ファン技術

ファン動翼に層流化設計を適用して空力性能を向上

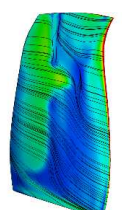
- ・ ファン動翼を試作し、ファン試験設備で空力性能を評価。
- ・ CFDによるフラッタ回避設計が有効であることを確認。



JAXAファン試験装置



適用前



適用後

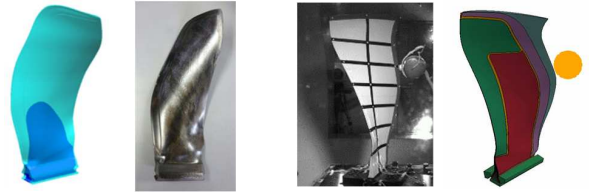
エンジン高性能化（低圧系要素）



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。



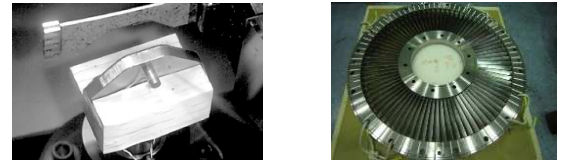
試作樹脂製吸音ライナ

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

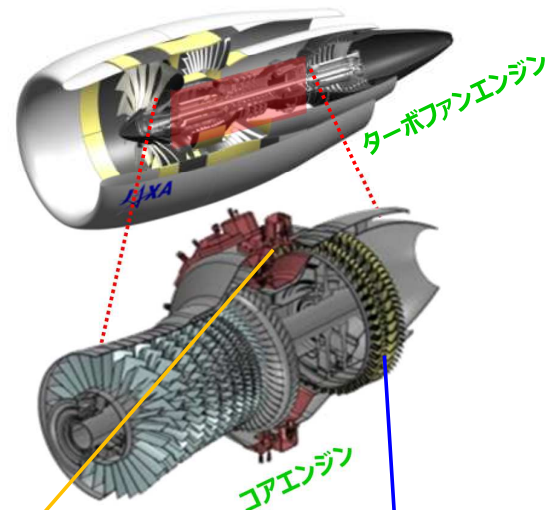
これまでの低NOx燃焼器の研究成果をもとに、エンジンに搭載できるように実用レベルを高め、世界で最もNOxの排出が少ない燃焼器性能を実証する。

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、

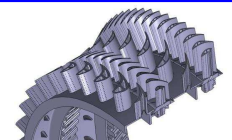
- タービン翼の**空力設計技術**
- 高温下での**耐熱材料技術・冷却技術**

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。



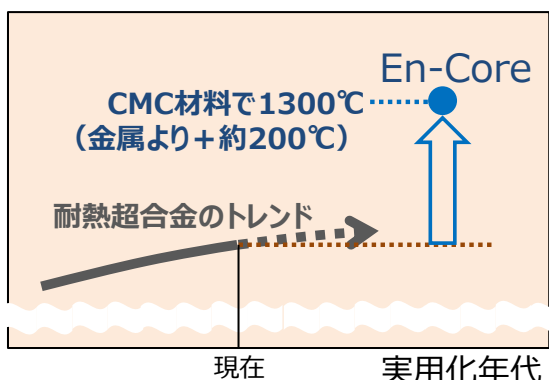
超低NOxリーンバーン燃焼器

高温高効率タービン



高温高効率タービン

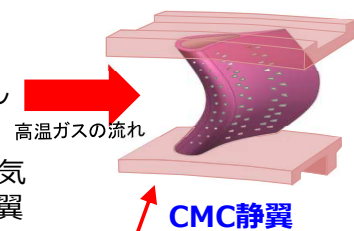
タービン材料実用温度



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

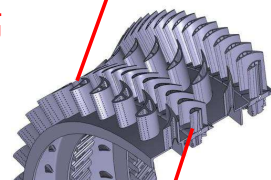
- より耐熱性の高いCMC材料を静翼に採用して、冷却空気による損失を減らす。
- 空力損失を低減する三次元形状、冷却空気を表面に噴き出すフィルム孔形状をCMC静翼で実現する。
- CMC試作翼の健全性を実機相当の高温高圧ガス流試験等で実証する。



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。



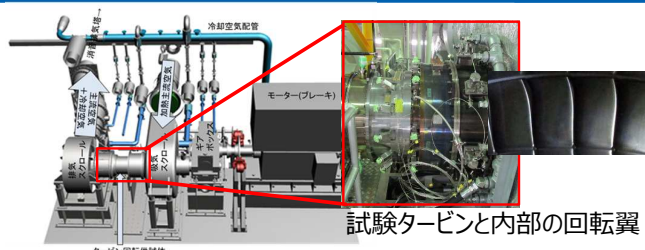
高効率メタル動翼

エンジン高性能化（最近のトピック、今後の計画）

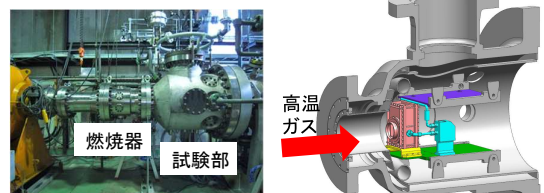


F7-10ターボファンエンジン

- 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

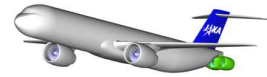
■ 低燃費低排出エンジン

- 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

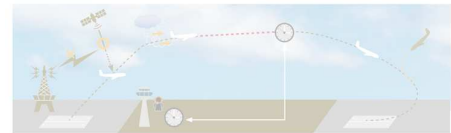


■ 複合材軽量化 :

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

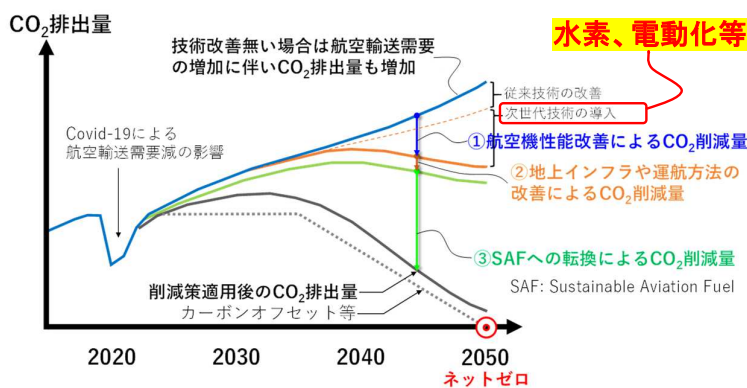


水素航空機



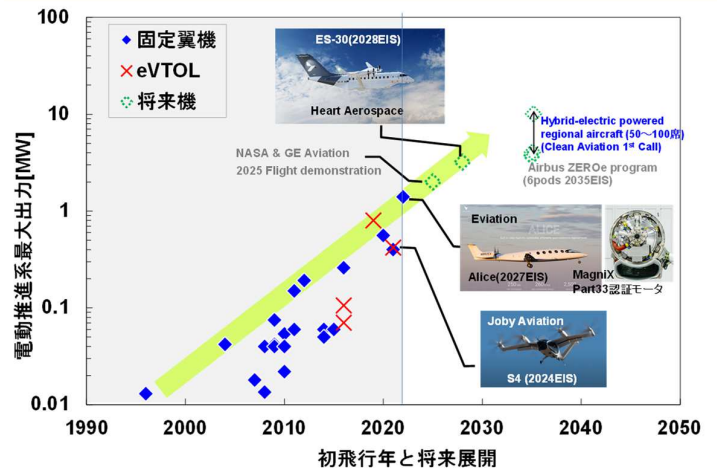
エミッションフリー

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

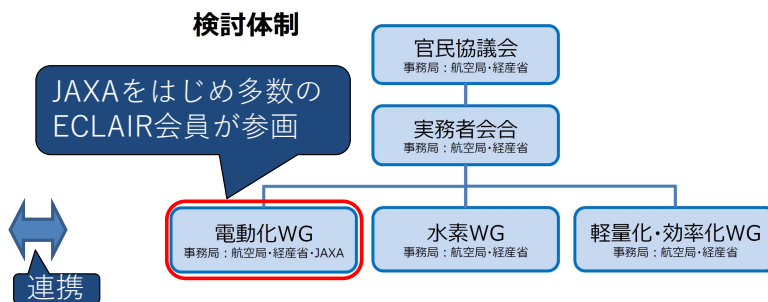
■ 航空機電動化コンソーシアム (ECLAIR※)

※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



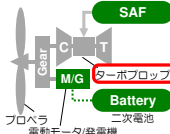
航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会

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

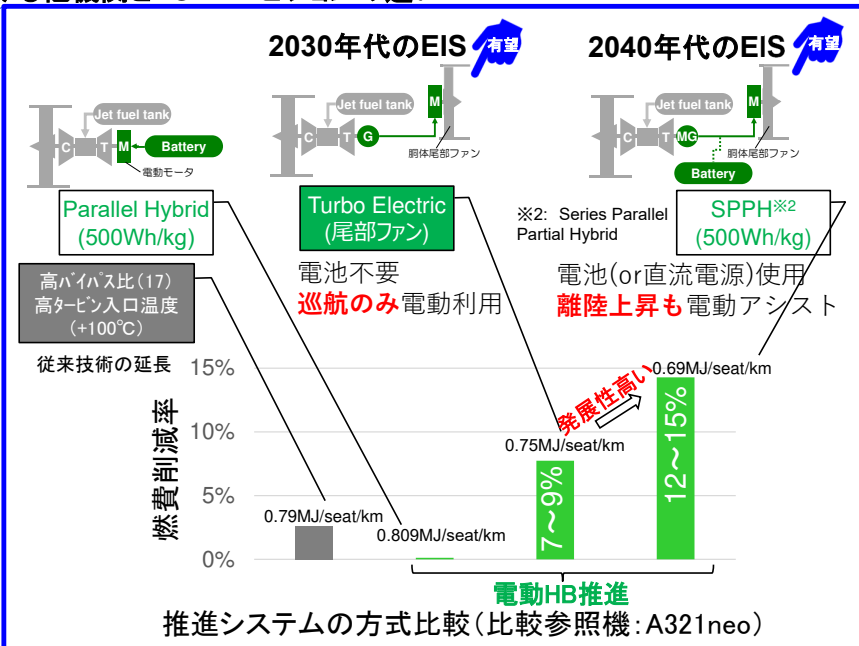
Medium haul
 > 100-250 seats
 > 60-150 minute flights
 ~43% of industry CO₂



ジェット旅客機電動化の鍵技術

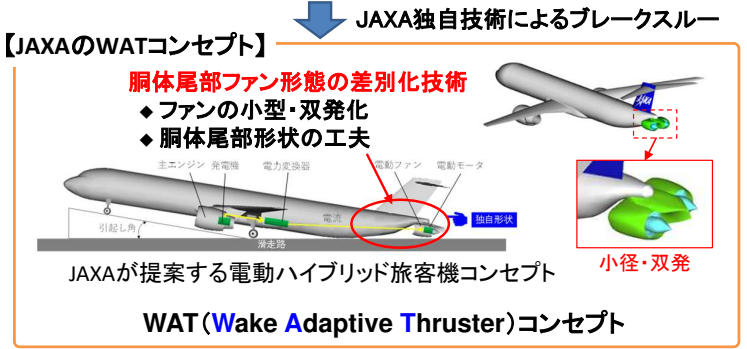
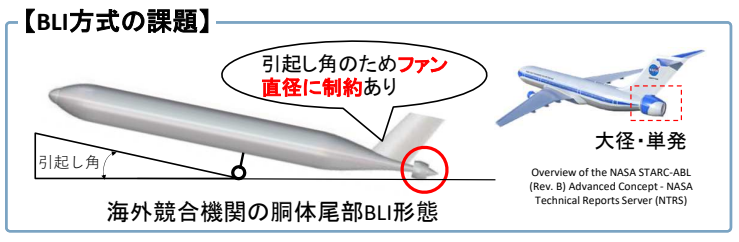
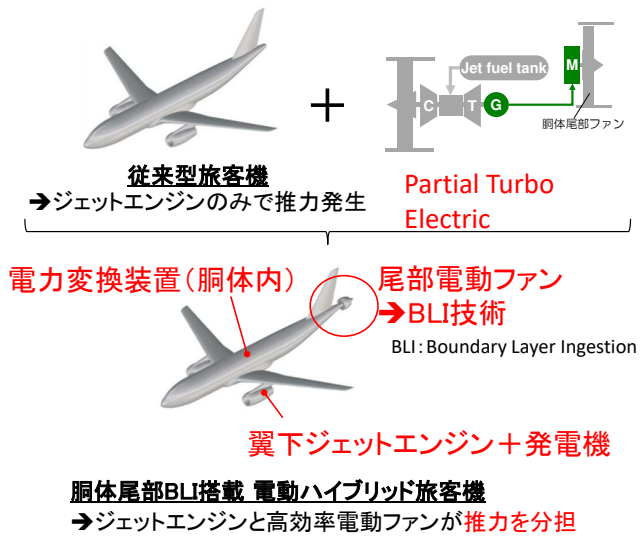
胴体尾部ファン方式

ジェット旅客機が電動HB化の対象(燃費削減:右図)



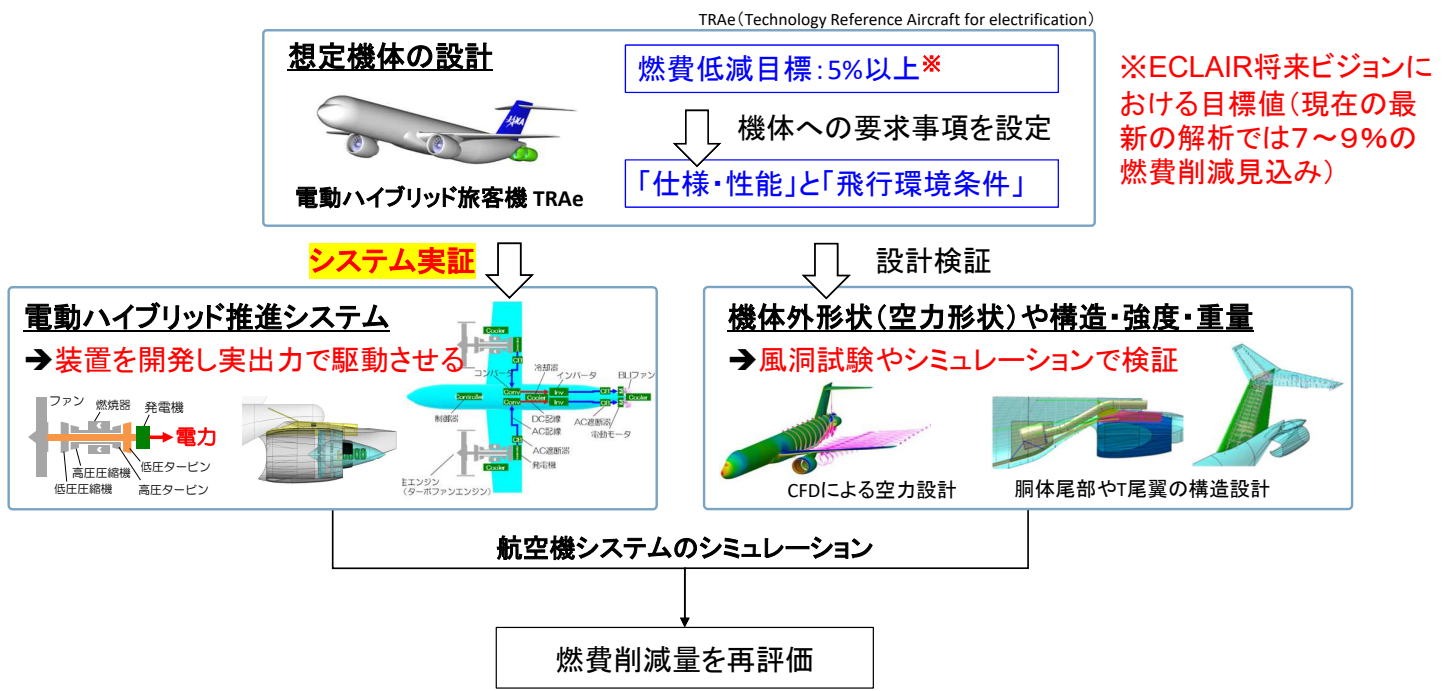
- ターボプロップ機の電動化ではなく、CO₂削減インパクトの大きい「ジェット旅客機」を電動化対象とする

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

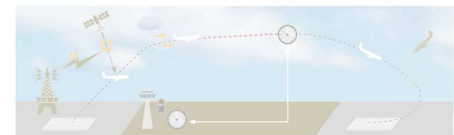
- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減
- 複合材軽量化 : 扉フレーム重量 18%軽量化



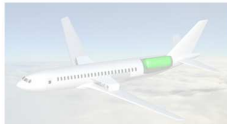
→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

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

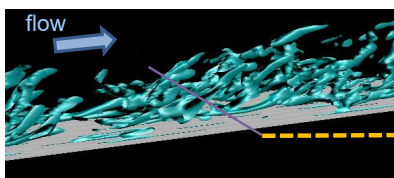


サメ肌の拡大写真

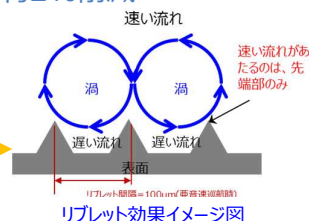
リブレットの拡大写真

- ・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



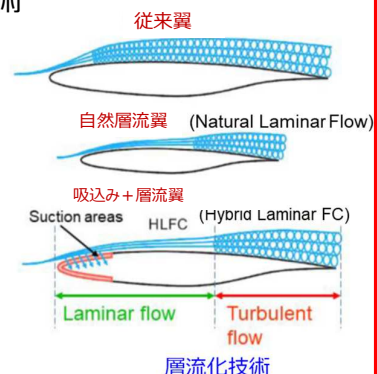
リブレット効果イメージ図

【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



出典：G. Kalvelingulagan, 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

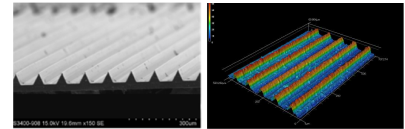


JAXA独自の片刃形リブレット形状
(特許出願)

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

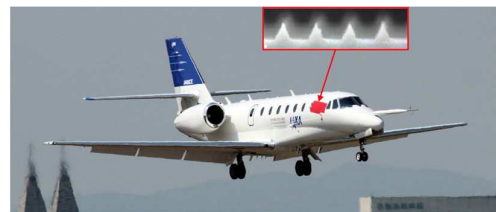


JALによる密着性確認試験
(クロスカット試験の様子)

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



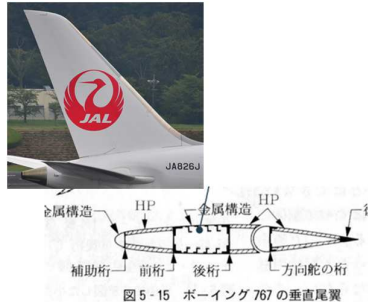
EU BLADEプロジェクト
(浅い後退角の主翼外翼を自然層流翼化)



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

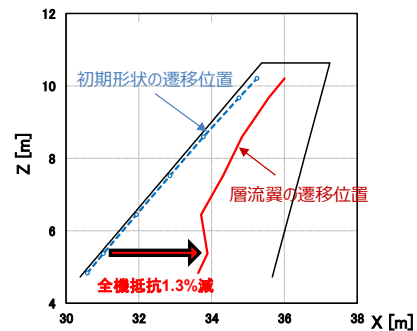
空力抵抗低減：②自然層流翼【設計】



【技術内容】

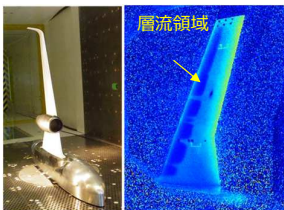
垂直尾翼をターゲットに高後退角・対称翼における自然層流翼を設計

- ・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

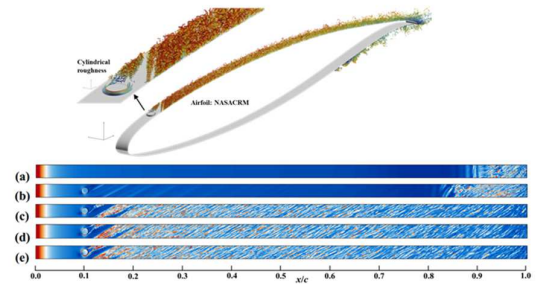
実機飛行レイノルズ数風洞試験で設計効果を確認予定 ($Re_M=24mil.$)

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

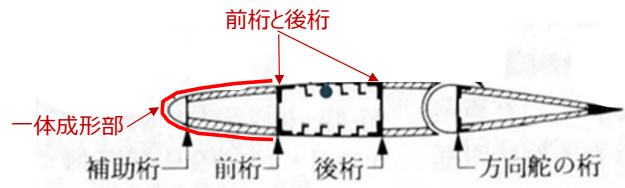


孤立粗度による境界層遷移流れの解析例(DNS)

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

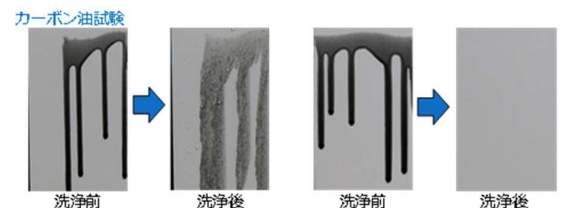
空力抵抗低減：②自然層流翼【高洗浄塗料】

【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

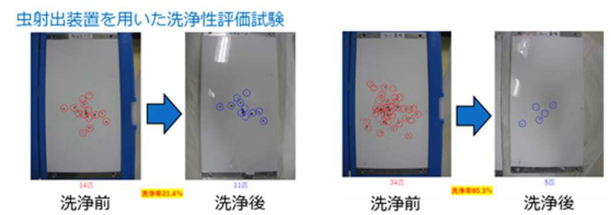
塗料	特徴
親水性塗料	水滴が汚れの間に入り込み、汚れを落とす ・雨などによる水分で自浄作用がある ・ウォータースポットが付着しづらい
撥水性塗料	水滴に汚れが吸着し転がりながら汚れが落ちていく ・汚れが付着しにくい ・水滴が残ってしまうと、汚れが凝縮される ・ウォータースポットが付きやすい



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

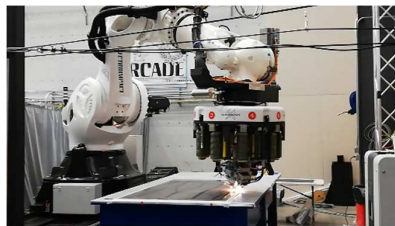


虫射出装置による洗浄性能確認試験

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。

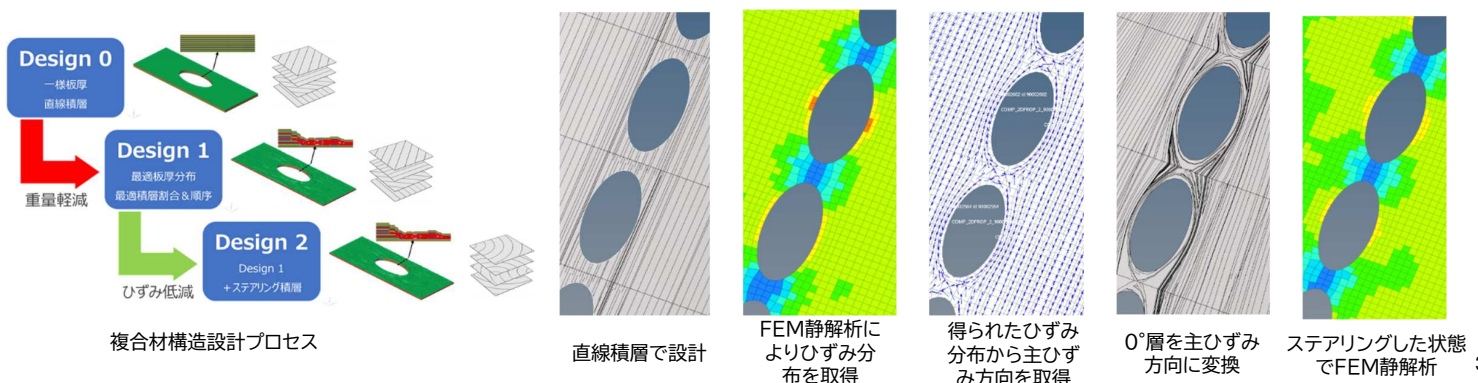


Automated Fiber Placement (AFP)



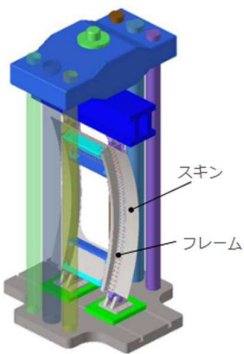
ステアリング積層

- 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

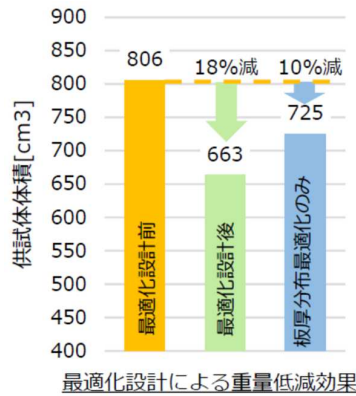


■ 最新の研究開発成果

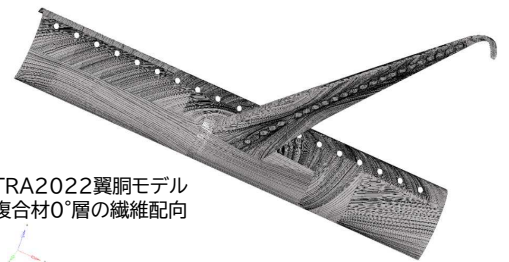
- ステアリング積層設計ツールを用いた**複合材構造設計プロセスの実証**を進めている。
- **単通路機の非常脱出扉まわりの胴体フレーム**を対象として、実大部分構造による実証試験を実施。
- 事前の解析では、従来の設計および製造方法と比較して、**18%の軽量化**を実現。



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。



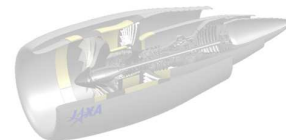
TRA2022翼胴モデル
複合材0°層の繊維配向

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

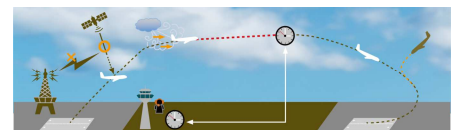
- リブレット : 全抵抗の 2%低減
- 層流化技術 : 全抵抗の 1%低減
- 複合材軽量化 : 扉フレーム重量 18%軽量化



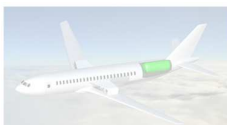
→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

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

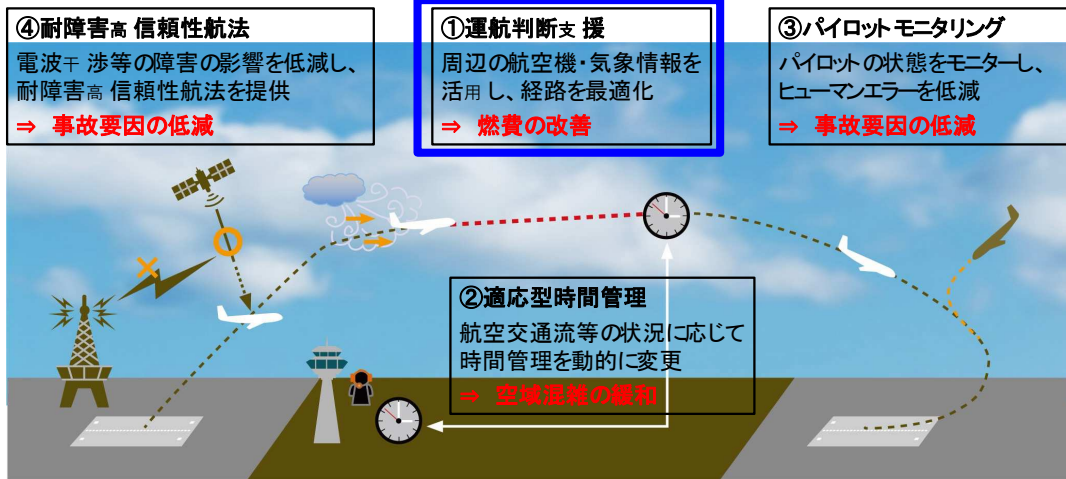
運航性能向上（スマートフライト/高度判断支援）

- 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）

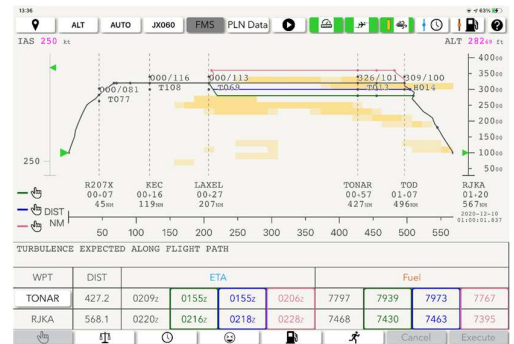
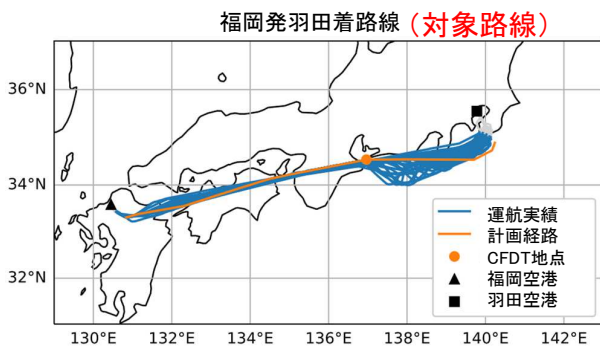
- 航空交通量の増大に対応可能な次世代航空交通システムを実現
- 運航判断支援により燃費を改善する技術に取り組む



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

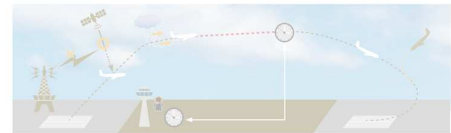


■ 複合材軽量化 :

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

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

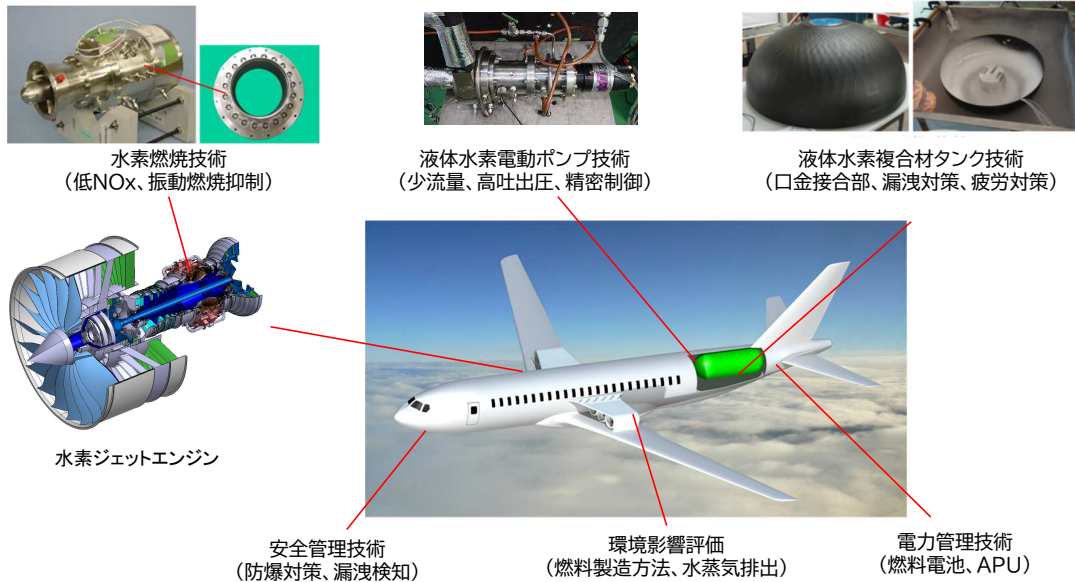
出典：<https://www.airbus.com/>

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。

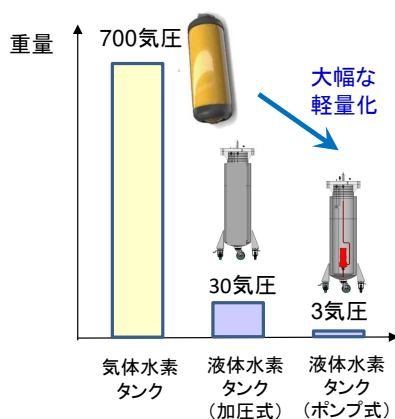
水素航空機：技術課題

- 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

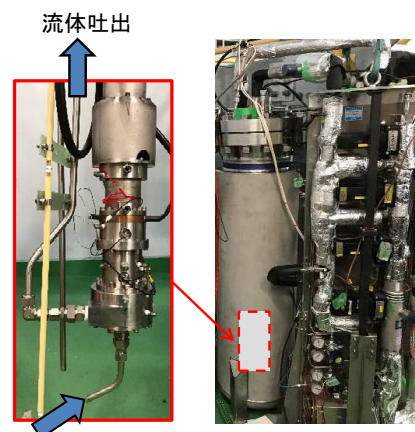


水素航空機：液体水素電動ポンプ

- 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



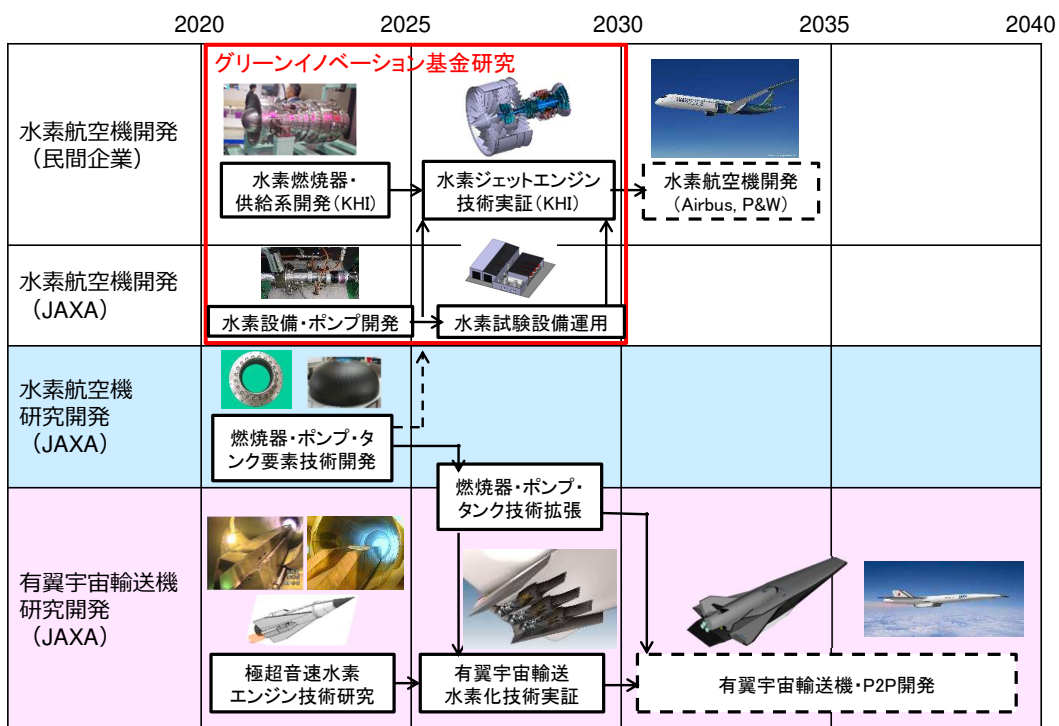
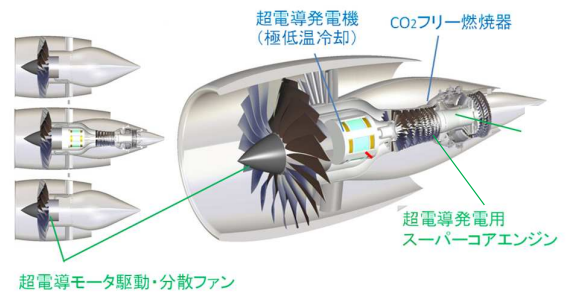
水素燃料タンクの重量比較



液体水素電動ポンプ試験装置



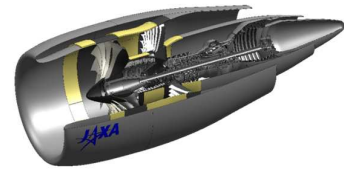
- 液体水素貯蔵・供給技術を活用して、飛躍的な低排出／低燃費を実現する**水素航空機**の実用化を目指した概念検討を行っている。
- 液体水素(-253℃)の冷却能力を生かし、極低温で作動する**超電導発電機**と**超電導モータ駆動・分散ファン**を搭載した高効率エンジンを検討。



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 :

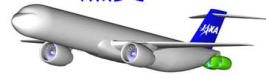
燃費 1%改善
 タービン温度他 200℃向上等
 燃費 5%以上改善



→ 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

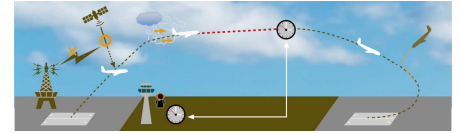


→ 9%燃費改善（全機に適用できた場合）

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。





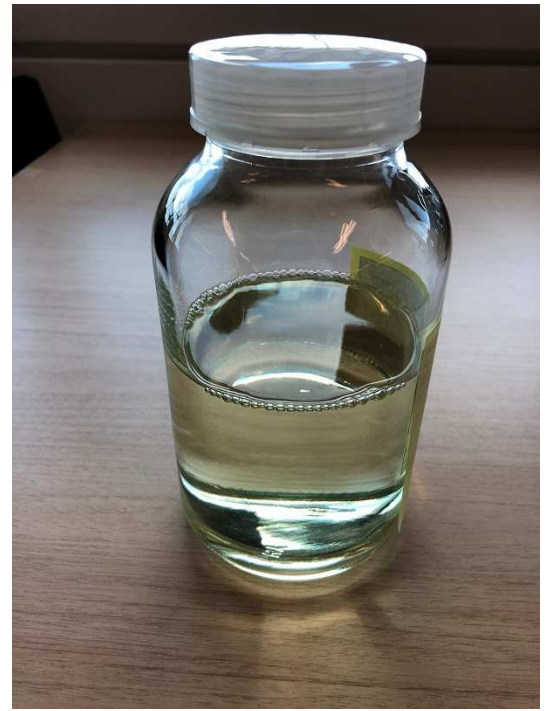
SAF Flight Initiative

For the Next Generation

第26回ATEC 航空輸送技術講演会

ANAにおけるカーボンニュートラル、 SAF導入の取り組みについて

2023年1月27日
ANA経営戦略室
エアライン事業部 GXチーム
吉川 浩平



ANA Inspiration of JAPAN

本日のお話

- ✓ SAFの必要性
(環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標)
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループのSAF導入の取り組み

本日のお話

- ✓ SAFの必要性
(環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標)
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループのSAF導入の取り組み

環境を巡る世界情勢



国連気候変動枠組条約 (UNFCCC)
(1992年採択、1994年発効)
全国連加盟国 (197ヶ国・地域) が締結・参加



京都議定書
(2020年までの枠組み)

- 1997年12月採択 ※ COP3
- 2005年2月発効
- 先進国だけに数値目標を伴う排出削減義務 (法的枠組み)
- 第一約束期間 (2008年～2012年)
米国は当初から離脱、カナダも途中で脱退
- 第二約束期間 (2013年～2020年)
未発効

• 国際民間航空 (ICAO)、国際海事機関 (IMO) に対して温室効果ガスの排出抑制・削減を規定化



2019年12月 スペイン・マドリードで開催
<課題>

- パリ協定の積み残しルールの詳細決定
- 各国の温室効果ガス排出削減目標の引き上げ



パリ協定
(2020年以降の将来枠組み)
※ COP21

- 2015年12月採択
- 2016年11月発効
- 世界の平均温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに1.5℃に抑える努力を追究
- 全ての国が自国の国情に合わせ、温室効果ガス削減・抑制目標を策定

2022年11月にエジプトのシャルム・エル・シェイクで開催

- 途上国向け「ロス&ダメージ」基金設立で合意
- パリ協定6条2項 (ガイダンス)
国際的に移転したクレジットを排出削減目標へ活用する仕組みについて合意されたが、相当調整の方法については来年に持ち越し
- パリ協定6条4項 (実施・モダリティ・手続き)
ベースライン、追加性、除去について合意が得られず、来年に持ち越し

国際航空における環境規制枠組み



ICAO

国際航空にて2021年～2050年まで年平均2%の燃費効率を改善するグローバルな目標を達成するため、2010年の総会で2020年以降は温室効果ガス（CO₂）の排出量を増加させない「CNG2020」を採択



2016年ICAO総会で、2021年以降はCO₂排出量の増加を伴わない国際航空の成長スキーム「CORSA※」を採択。※ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

●グローバル削減目標

- ✓ 燃焼効率を毎年2%改善
- ✓ 2020年以降総排出量を増加させない※

※2022年のICAO総会において、2024～2035年の期間中について、2019年の85%超えないことで合意

●4つの脱炭素手法

- ①新技術の導入
- ②運航方式の改善（燃節）
- ③代替航空燃料の活用（SAF）
- ④排出権取引

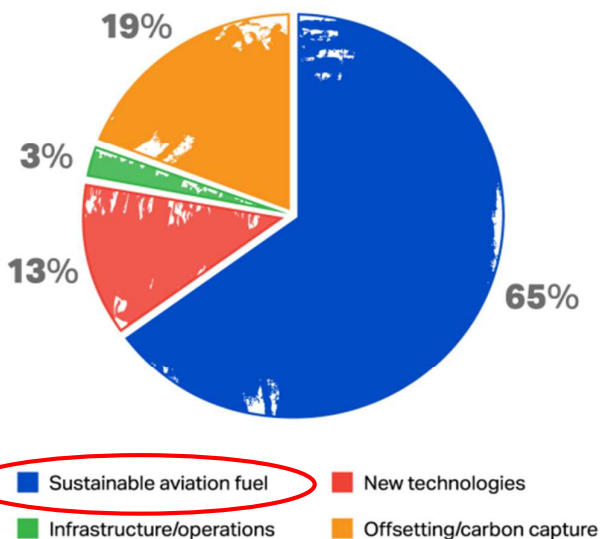


国際航空業界における環境目標



世界の航空会社で構成する国際航空業界団体(IATA)は、2021年度年次総会にて、2050年までのCO₂排出量Net Zero化を決議。
(2022年のICAO総会決定に先駆けた業界目標)

Contribution to achieving Net Zero Carbon in 2050



Net Zero 2050 is achievable through:

Combination of measures

- Sustainable Aviation Fuel, new technologies, operational and infrastructure improvements, and offsetting/carbon capture

Collective effort

- of the entire industry together with governments, oil producers and investors



ANA グループ CO2排出量

財務/データセクション

環境データ

下記のデータはANAグループの環境にかかわる実績集計値です。(2021年度の集計値は速報値です)
2019年度以降はPeach Aviationの実績も加えています。

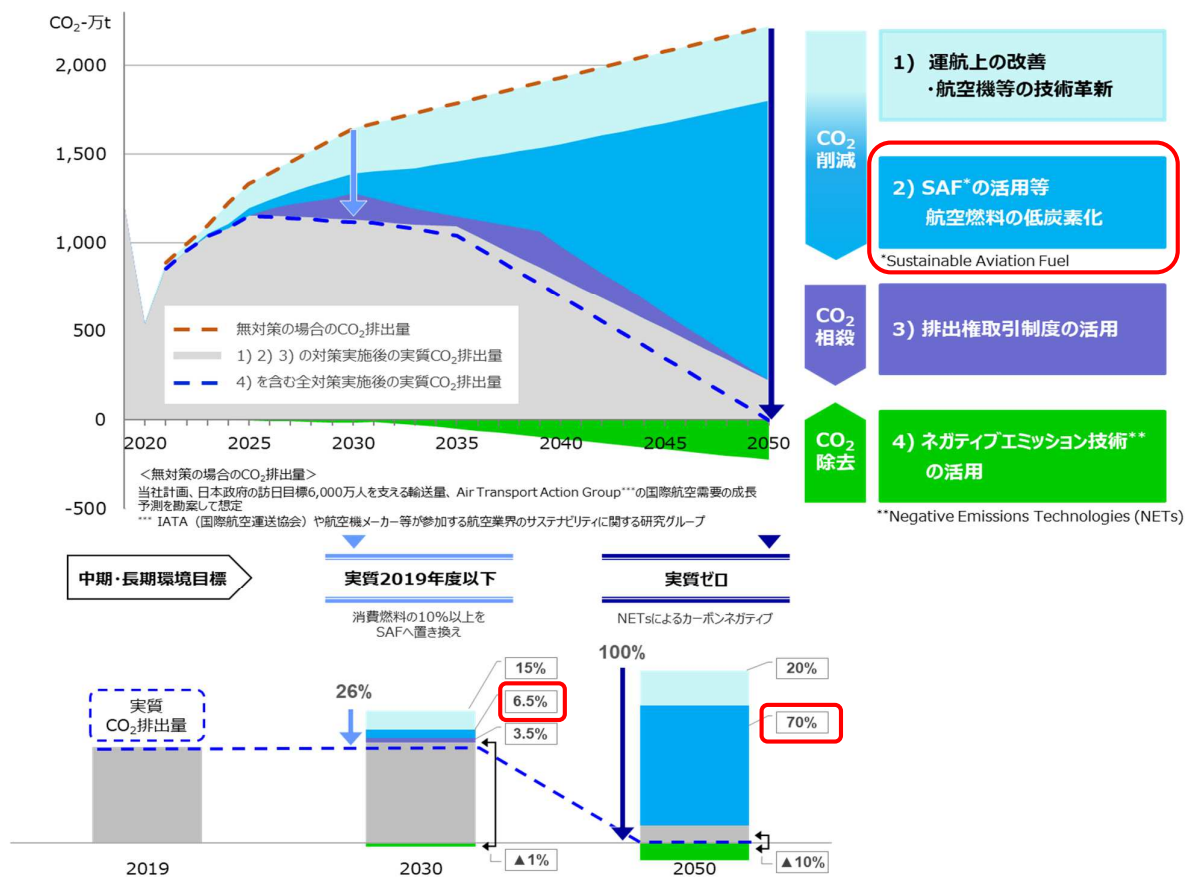
気候変動対策

(年度)	単位	2017	2018	2019	2020	2021
CO₂排出量						
総計(航空機、地上設備、自動車)	万トン	1,161	1,156	1,246	548	776
航空機		1,148	1,143	1,233	539	767
旅客便		1,097	1,098	1,196	471	693
貨物便		50	45	37	68	75
地上設備・自動車		13.5	13.2	12.6	9.3	9.1
A 総計(スコープ1、2、3)	万トン	1,161.6	1,306.3	1,682.2	723.3	975.8
スコープ1		1,152.0	1,147.0	1,237.3	541.4	769.9
スコープ2		9.2	8.9	8.4	7.0	6.6
スコープ3		0.4 ^{*3}	150.4 ^{*2}	436.4 ^{*1}	174.9	199.3
[内訳] カテゴリー ^{*7} 千トン						
1 購入した商品およびサービス		—	—	986.6	624.9	548.8
2 資本財		—	926.4	788.6	361.3	327.2
3 燃料およびエネルギー関連活動 (スコープ1または2に含まれない)		—	572.6	1,664.1	734.2	1,038.1
4 上流の輸送および物流		—	1.4	1.7	0.6	0.7
5 操業で発生した廃棄物		—	—	30.8	17.5	13.6
6 出張		2.0	1.4	1.6	0.3	0.4
7 雇用者の通勤		1.8	2.0	9.4	9.9	8.9
11 販売製品の使用		—	—	881.7	0.0	0.0
13 下流のリース資産		—	—	^{*4}	^{*4}	55.6
有償輸送トンキロ当たり航空機CO ₂ 排出量	kg-CO ₂	0.96	0.97	1.01	1.21	1.09

ANAグループ 中長期環境目標

		2030年度	2050年度
CO ₂ 排出量の削減	航空機	2019年度以下(実質)	実質ゼロ
	取り組み	<ul style="list-style-type: none"> SAFの活用 航空機の技術革新 オペレーション上の改善 排出権取引制度の活用 	
	達成に必要な環境整備	<ul style="list-style-type: none"> SAFの安定供給(量・価格) 航空機の技術革新(電気・水素飛行機などの開発) CO₂クレジット市場の開拓 	
航空機以外	目標	33%以上削減 (2019年度比)	実質ゼロ
	取り組み	<ul style="list-style-type: none"> 施設、設備機器の省エネ化や老朽化更新 再生可能エネルギー(太陽光・風力など)の活用 空港車両の更新時にEV(電気自動車)/FCV(燃料電池自動車)化を促進 	
	達成に必要な環境整備	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの供給拡大 EV(電気自動車)/FCV(燃料電池自動車)化のための空港インフラ整備 	

ANAグループ 脱炭素トランジションシナリオ

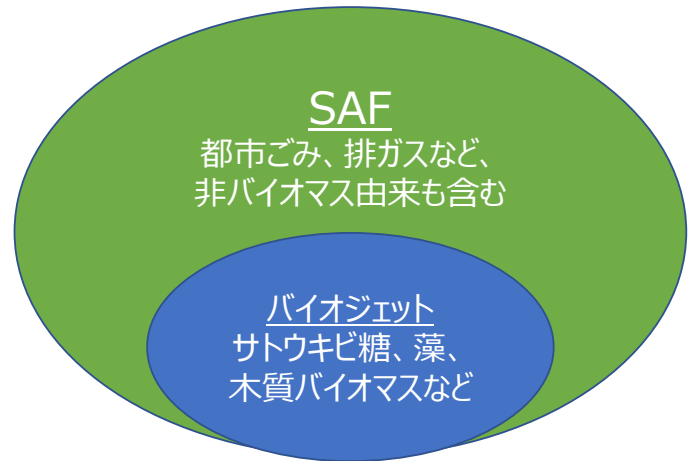


本日のお話

- ✓ SAFの必要性
(環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標)
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループのSAF導入の取り組み

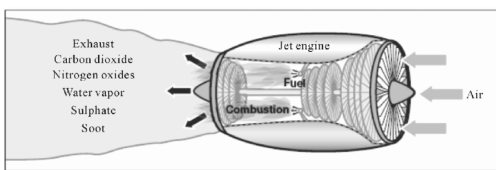
SAFとは何か？

- ✓ SAF (サフ) は、Sustainable Aviation Fuel の略。SAFは原材料の生産・収集から燃焼までのライフサイクルで、CO2の排出量が少ない持続可能な供給源から製造されるジェット燃料。
- ✓ 以前は、バイオジェット燃料と呼ばれていた。昨今、さまざまな原料をもとに製造されていることから、IATAは「バイオジェット燃料」から「Sustainable Aviation Fuel (SAF)」へ呼称を変更。
- ✓ Drop-in Fuel
⇒国際規格で認められた製造法で生産されたSAFは、既存の航空機・エンジン・物流インフラ（タンカー船、ローリー、空港タンク、給油車両等）を改造する事無く、従来型の化石由来ジェット燃料と同様に使用可能

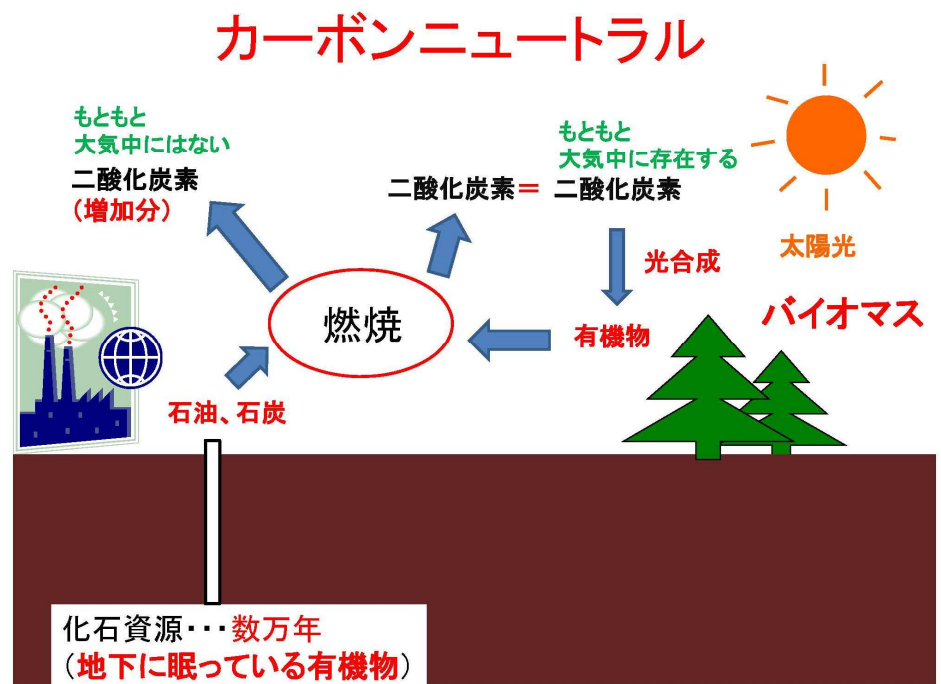


SAFとは何か？

- ✓ CO2排出が少ないメカニズム（カーボンニュートラルの概念）

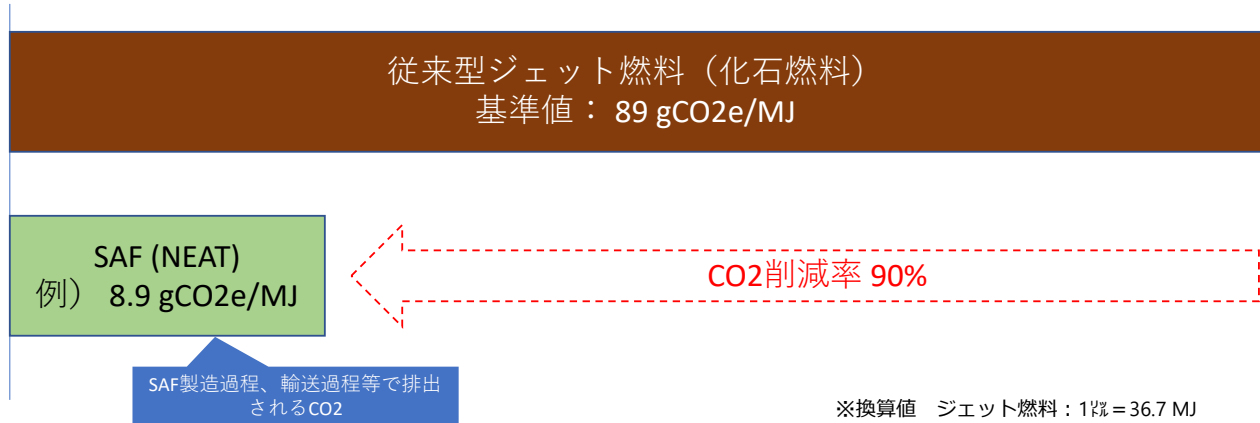


Source: GAO.



SAFとは何か？

ライフサイクルでのCO2の排出削減効果（熱量単位あたり）



注意点

- ✓ SAFを燃やしても、航空機エンジンから排出されるCO₂量は、化石燃料と同じ
- ✓ ライフサイクル比較で、化石燃料と比べて大気中に追加放出するCO₂が大幅に少ない
- ✓ SAFのCO₂排出は、ライフサイクルで大幅に少ないが、決してゼロではない。

ネットゼロを目指すには、SAFに加えてCO₂回収等、別手段の併用を要する点には留意

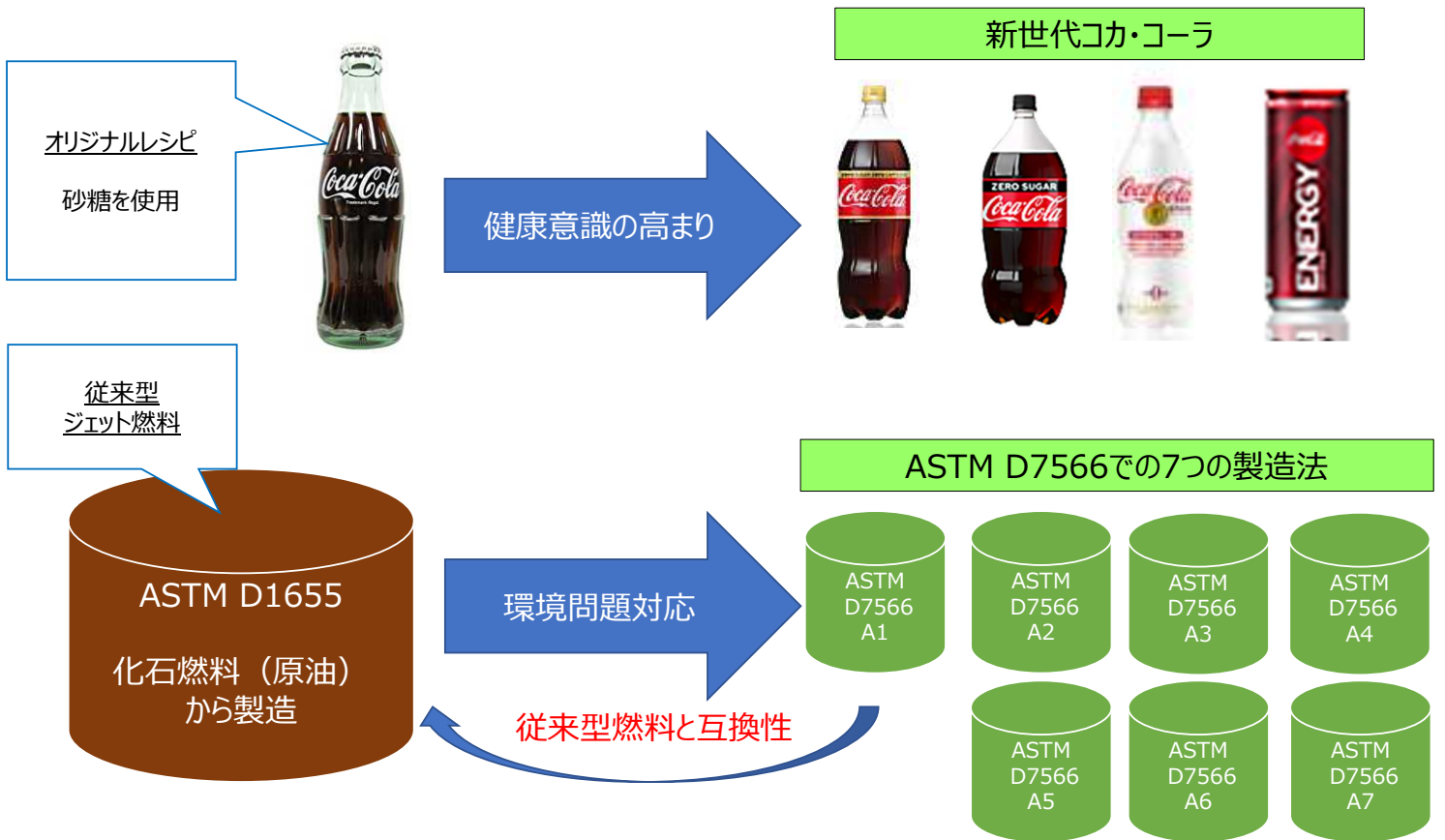
ジェット燃料品質とSAF

- ✓ 航空機・エンジンメーカーの定めるジェット燃料品質規格（世界3大規格）

Specification	Grade	
ASTM D1655	JET A JET A-1	ASTM (U.S.): American Society for Testing and Materials
DEF STAN 91-091	JET A-1	DEF STAN (UK): Defence Standard
GOST 10227	TS-1	GOST (Russia): GOSudarstvennyy STandart

- ✓ 化石燃料（原油由来）以外から製造されるジェット燃料に対応する代替燃料品質規格としてASTM D7566が新設
- ✓ ASTM D7566規格の中で、2022年12月現在、原材料・製法ごとに7つのANNEXが承認されている。
- ✓ 上記製法で製造されたSAF(NEAT)を、ANNEXごとに許容された混合比率以内で従来型ジェット燃料（原油由来）と混合することで、ASTM D1655規格のジェット燃料と同等性が担保される。（使用する上で取り扱い差異無し）

ジェット燃料品質とSAF（例え話）



ジェット燃料品質とSAF（認証された製造方法）

Industry approved SAF Pathways



本日のお話

- ✓ SAFの必要性
(環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標)
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループのSAF導入の取り組み

SAFの原材料、製造方法

Potential sources of SAF



Current most common options

Waste oils

廃油

Municipal solid waste / industrial off-gasses

都市ごみ・排ガス

Wood processing and forestry waste

木質バイオマス

Agricultural waste

農業残渣

Oil and cellulosic crops

油糧・セルロース作物

Power-to-liquid sources

CO2回収技術 / 人工光合成

Most likely mid-century

Each option above was assessed for production potential, with stringent sustainability criteria applied

SAFのFeedstock（原材料）は多様化するが、量産化は原材料ごとにタイムラグあり

SAFの原材料、製造方法

Sustainability is key



Crops grown on high carbon stock land

森林等のCO2吸収源を、SAF製造のために新規開墾／伐採すること

Don't threaten food / water security

食糧との競合

High carbon alternative sources

既存CO2吸収源をSAF原料とすること

Sustainability frameworks

- Developed under ICAO CORSIA for eligible fuels.
- Regional and/or national criteria.
- Roundtable on Sustainable Biomaterials.
- Sustainable Aviation Fuel Users Group.
- GHG emissions lifecycle analysis.
- IATA airlines resolution (2017).

本日のお話

- ✓ SAFの必要性
(環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標)
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループのSAF導入の取り組み

SAFの供給量と需給バランス

- ATAGによる統計/推定によれば、2020年のSAF流通量は、世界のジェット燃料全需の0.03%
- 2021年予想は0.1%未満、2025年で1%~2.6%、2030年で2.5%~6.5%

Year		2020	2021E	2022F	2023F	2024F	2025F	2026F	2027F	2028F	2029F	2030F
F1	000 tonnes	50.4	80	376	1,092	1,877	3,071	4,299	4,914	6,142	7,370	9,213
	m litres	63	100	470	1,365	2,346	3,839	5,374	6,142	7,677	9,212	11,516
	% of fuel	0.03%	0.04%	0.15%	0.4%	0.6%	1%	1.3%	1.5%	1.8%	2.1%	2.5%
F1 high	000 tonnes	50.4	95	562	1,632	2,806	4,591	6,427	7,346	9,182	11,018	13,773
	m litres	63	119	703	2,040	3,507	5,739	8,034	9,182	11,477	13,773	17,216
	% of fuel	0.03%	0.05%	0.22%	0.6%	0.9%	1.5%	2.0%	2.2%	2.6%	3.1%	3.7%
F1 high+	000 tonnes		166	978	2,838	4,879	7,984	11,178	12,774	15,968	19,162	23,952
	m litres		208	1,222	3,548	6,099	9,980	13,972	15,968	19,960	23,952	29,940
	% of fuel		0.09%	0.4%	1%	1.6%	2.6%	3.5%	3.8%	4.6%	5.3%	6.5%
Production facilities (expected date to start producing)		Fulcrum (US)	World Energy (US exp)	SkyNRG (NL)	Velocys (UK)	At least 30 additional facilities (or expansions) anticipated in the 2025-2030 timeframe						
			LanzaTech (Nth Asia / EU)	Red Rock (US)	Eni (IT)							
				UPM (US)	Gevo (US)							
				Neste (SG exp)	ECB (PY)							
				Marathon (US)	Total (FRI)							
				Repsol (CO)	Preem (SE)							
				ST1 (SE)	Phillips 66 (US)							

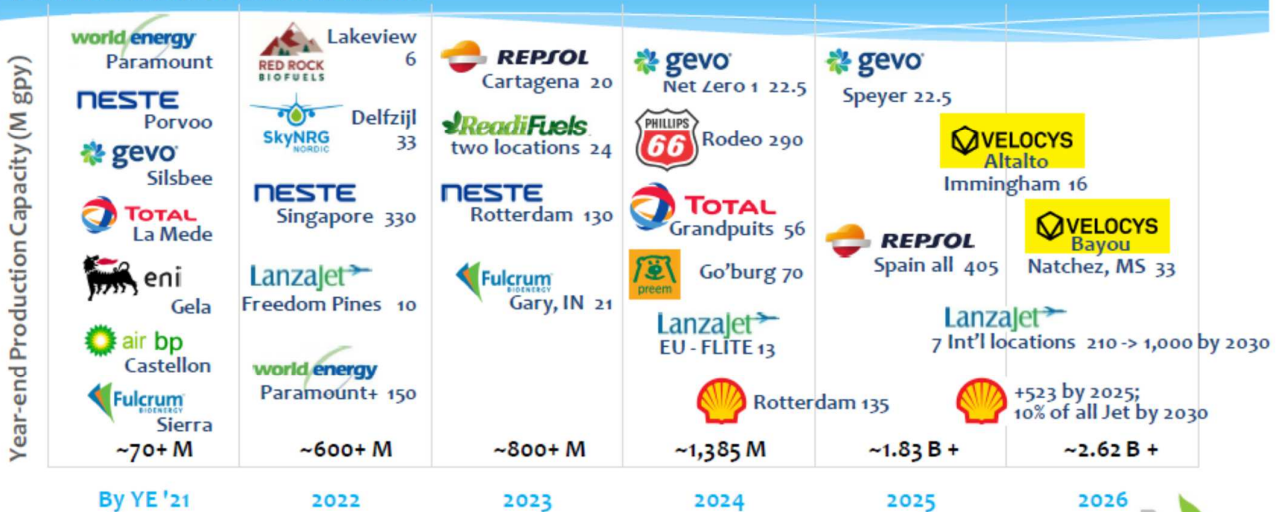
※F1推定：現状のSAF生産能力、公表されている将来のSAF生産計画からの推定値

出典：ATAG. (2021) "WAYPOINT 2050". Aviation Benefits Beyond Borders. p.74
(online) https://aviationbenefits.org/media/167417/w2050_v2021_27sept_full.pdf

SAFの商業生産プロジェクト

- SAFの商業生産の目途を立てている企業は欧米企業に偏在
- SAFを製造可能な企業が限られており、従来の石油会社でない場合も多く、争奪戦が激化

Worldwide SAF production capacity forecast Announced intentions*



* Not comprehensive; CAAFI estimates (based on technology used & public reports) where production slates are not specified. Does not include various small batches produced for testing technology and markets.

20 September 2021

11



出典：CAAFI. (2021) "Aviation's Market Pull for SAF". p.11
(online) https://www.caaifi.org/focus_areas/docs/CAAFI_SAF_Market_Pull_from_Aviation_September2021.pdf

SAFを商業フライトで使うために必要な要素

- SAFを給油可能な空港は、世界中でも限定的（アジアでは、2020年ANA羽田・成田が初の事例）
- SAFの商業導入実現には、航空会社がリーダーシップを取り、サプライチェーン構築等が必要
- ANAの給油量の7割は日本国内空港であり、自国のハブ空港にてSAF供給体制を構築



2016年3月10日 UA708便 ロサンゼルス発サンフランシスコ行
ユナイテッド航空による、世界初の商用連続生産SAFの定期便への導入

SAFの商業使用の要件

- ① SAFの確保（購買契約）
×
- ② サプライチェーン構築
×
- ③ 品質保証体制の確立

上記3点が揃う空港は、世界でも限られる



2020年11月6日 NH114便 羽田発ヒューストン行
日本初、SAFを使用した定期便運航開始

本日のお話

- ✓ SAFの必要性
（環境規制、業界動向、ANAグループの中長期環境目標）
- ✓ SAFとは何か？
- ✓ SAFの原材料、製造方法
- ✓ SAFの供給と商業流通
- ✓ ANAグループ SAF導入の取り組み

ANAグループ SAF導入の取り組み

これまでのANAのSAF搭載実績

- ◆ 2012年4月 **世界初のSAFによる太平洋横断フライト**
B787-8 デリバリーフライト(JA808A) / Seattle to Tokyo
- ◆ 2018年12月 **ANA初の営業便でのSAF使用**
B777-300ER 定期旅客便 / San Francisco to Tokyo
- ◆ 2019年10月 **米国LanzaTech社と協業し、Boeing工場までサプライチェーン構築**
B777-300ER デリバリーフライト(JA797A)/ Seattle to Tokyo
- ◆ 2020年11月 **NESTE（欧州）からSAFを商業規模で輸入**
アジアの初となる定期便でのSAF使用開始（羽田・成田発国際線定期便）
- ◆ 2021年6月 **IHI製 微細藻類由来SAFを使用した国内線定期便運航**
B787-8 世界初のASTM D7566 Annex 7 規格SAFを使用したフライト
- ◆ Sep. 2021 **お客様と共にSAFを使用する日本初の貨物便を運航**



ANAグループ SAF導入の取り組み

- ✓ SAFの導入経験を積み重ね、ノウハウを蓄積
- ✓ 日本でのSAFフライト実現のため、サプライチェーンの構築を実施

Case 1
SFO



Case 2
PAE



Case 3
HND/NRT



SAF 製造

混合

空港への輸送

空港での貯油

機体へ給油

ANAグループ SAF導入の取り組み

2020
アジア初のSAF使用定期便運航



6 Nov, 2020 NH114 HND to IAH
First commercial flight powered by SAF in APAC

2021
SAF Flight Initiativeの立ち上げ



ANAグループ企業理念

安心と信頼を基礎に、世界をつなぐ心の翼で
夢にあふれる未来に貢献します



SAF: 「未来の燃料」を、「当たり前前の燃料」に！！

御清聴ありがとうございました



ANA Inspiration of JAPAN

Appendix

ANA Inspiration of JAPAN

第41回 ICAO総会での採択内容

2022年9月27日～10/7にカナダ・モントリオールにてICAO総会が開催され、以下内容が採択された
(184カ国、および57の機関から、総勢2,500名以上が参加)

1. LTAG (Long Term Aspirational Goal/長期環境目標)

✓ **2050年のカーボンニュートラルを目指す**事を採択

※民間業界団体(IATA)は2050年Net-Zeroを宣言していたが、これまで国連機関(ICAO)としては、2035年までの目標のみ

✓ 航空機新技術の導入、運航改善、SAFの増産と利用等、**目標達成は複数の手段を組み合わせる**て達成する

✓ LTAG達成に向けた資金調達と投資支援の重要性を強調し、SAFのための新しい ICAO 支援、能力構築、および訓練 (ACT-SAF) プログラムを全面的に支持。**「第3回航空および代替燃料に関するICAO会議」を2023年に開催**するよう要請

2. CORSIAベースライン変更及び成長率配分

✓ CORSIAベースラインを2024年以降、**2019年排出量実績の85%とする**ことを決定。

✓ **2032年までは全体成長率 (Sectoral) を100%とする。**

また、**2033年～2035年は全体成長率 (Sectoral) 85% 対 個社成長率(Individual)15%の比率とする**

✓ CORSIAがグローバルで唯一の市場メカニズムであることを確認 (EU-ETS等の地域スキームの乱立や、途上国の離反を回避)

その他：中国・ロシア・ベネズエラの3カ国は、上記議案に対しReservation (留保) を表明したものの、最終的に採択された

(参考) ICAO News Room: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/States-adopts-netzero-2050-aspirational-goal-for-international-flight-operations.aspx>

第41回 ICAO総会での採択内容

2022年のICAO総会で、2024年以降のCORSIAの枠組みが以下の通り決定

Phase	Pilot Phase	Phase 1	Phase 2	
年	2021 - 2023	2024 - 2026	2027 - 2032	2033 - 2035
参加国	自発的参加 2021年 88カ国 2022年 107カ国 2023年 115カ国	後発、小島しょ、内陸開発途上国等を除いた全加盟国		
ベースライン	2019年排出量実績の100%	2019年排出量実績の85%		
抑制 (オフセット) する CO ₂ 量	= (個社排出量) x (全体の排出量増加率*)		= (%Sectoral) x (個社排出量) x (全体の排出量増加率*) + (%Individual) x (個社排出量) x (個社の排出量増加率*)	
Sectoral (全体) と Individual (個社)	(Sectoral : 100%, Individual: 0%)		Sec. 85%以下 Indiv. 15%以上	

本邦空港内におけるレベル4自動運転車両 走行実現に向けた取り組み

(公財) 航空輸送技術研究センター (ATEC) 技術部



小寺 佑季

日本航空株式会社 グランドハンドリング企画部 GSEグループ

金子 誠

©ATEC, ALL rights reserved.

本邦における今までの検討状況

分野	例	2020年		2025年	
		フェーズⅠ 省力化 (実証実験)	フェーズⅡ 省力化 (試験運用・導入)	フェーズⅢ 自動化 (実証実験)	フェーズⅣ 自動化 (試験運用・導入)
旅客		自動運転レベル3相当 (条件付自動運転 (限定領域))	自動運転レベル3相当 (条件付自動運転 (限定領域))	自動運転レベル4相当 (自動運転 (限定領域))	自動運転レベル4相当 (自動運転 (限定領域))
		☆ 2018年度 仙台/成田/羽田/中部 ☆ 2019年度 羽田/中部	★ 2020年度 羽田	2021年度～ レベル4相当 実証実験	2025年 レベル4相当 導入
手荷物 貨物		自動運転レベル3相当 (条件付自動運転 (限定領域))	自動運転レベル3相当 (条件付自動運転 (限定領域))	自動運転レベル4相当 (自動運転 (限定領域))	自動運転レベル4相当 (自動運転 (限定領域))
		☆ 2019年度 成田/中部/佐賀 ☆ 2020年度 羽田/成田/佐賀	★ 2020年度 佐賀	2021年度～ レベル4相当 実証実験	2025年 レベル4相当 導入
【凡例】 2021.3時点 ☆ 実証実験実施 ★ 試験運用実施 (実際の従業員や手荷物等を輸送) ◎ 導入・実運用開始		2019年度～ 共通インフラの整備 ◎ 2020年度 羽田 磁気マーカー敷設、3Dマップ作成 2019年度～ 運用ルールの見直し ◎ 2020年度 空港運用業務指針改正			

第8回空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会資料より引用

©ATEC, ALL rights reserved.

「レベル4自動運転」の定義

・ 空港における「自動運転レベル4の定義」（案）

検討委員会では「車両開発事業者、運行事業者、空港管理者等の関係者間で合意した限定領域（ODD）を前提として、運転者が介在せずに対応可能なシステム。」と定義。

（第9回 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会資料より引用）

・ （参考）SAE-米国自動車技術者協会による「自動運転レベル4」の定義

運転自動化システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域（ODD）において持続的に実行。

作動継続が困難な場合、利用者が介入の要求に応答することは期待されない。

※ODD=Operational Design Domain（運行設計領域等）

自動運転システムが正常に作動する前提となる設計上の走行環境に係る特有の条件のこと

ATEC-諸外国における空港制限区域内の運用に係る基準等に関する調査・研究WGにおける調査・議論状況（令和3年度）

- ・ 海外調査
 - － 香港での実証実験の概要を調査（後述）
 - － その他、諸外国の実証実験状況についても調査
- ・ 国内調査
 - － 空港と環境が類似した閉鎖環境である工場内における自動運転導入状況を調査
 - ・ 自動運転車両/有人車両の優先順位
 - ・ 遠隔操作の範囲や機能、また車両故障時の対応
 - ・ 交差点走行における状況確認
 - ・ インフラ整備状況
 - ・ その他
- ・ WG内での議論内容
 - － 海外/国内調査状況を踏まえて以下について議論を実施
 - ・ 車両走行帯での自動運転車両の優先順位
 - ・ 不測の事態（車両故障等）が発生した場合の対応方法
 - ・ 空港内事故発生時における緊急車両への対応方法
 - ・ 航空機交差が発生するエリアでの走行



R4年度も引き続きWGを継続し、海外調査や本邦への導入において課題となる上記4点について継続した調査・議論を行うこととした。

ATEC-諸外国における空港制限区域内の運用に係る基準等に関する調査・研究WGにおける調査・議論状況（令和4年度）



- 海外調査

- フランスでの実証実験の概要を調査（後述）
- 合わせて、諸外国の実証実験状況についても調査

➡ WGで確認できる範囲では、本邦と同等、またはそれ以上に導入が進んでいる国が無いことを確認した。（調査は継続）

- WG内での議論内容

- 2025年にANA/JALがレベル4自動運転車両導入を予定している走行ルートにおける以下課題に関する議論
 - ・ 車両走行帯での自動運転車両の優先順位（信号機設置要否含め）
 - ・ 不測の事態（車両故障等）が発生した場合の対応方法
 - ・ 緊急車両への対応方法について

➡ 「空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会」に向けて、本WGで事前の議論を実施（議論は継続）

©ATEC, ALL rights reserved.

ATEC-諸外国における空港制限区域内の運用に係る基準等に関する調査・研究WGにおける調査・議論状況（海外事例）



- 香港での導入状況

- 航空機との交差も無く、かつ他車両との交差も限定的な経路での運用

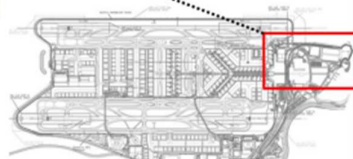
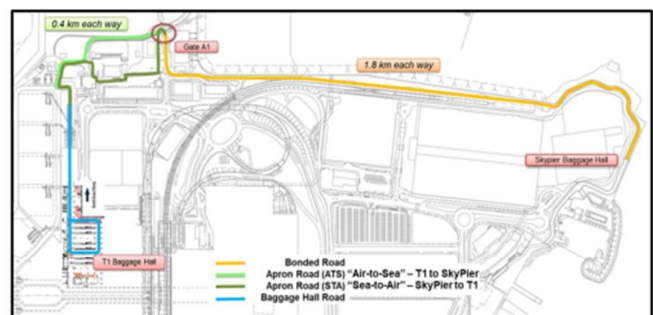


Figure 1
AET Routing Between Baggage Halls at Terminal 1 and SkyPier

©ATEC, ALL rights reserved.

ATEC-諸外国における空港制限区域内の運用に係る基準等に関する調査・研究WGにおける調査・議論状況（海外事例）



- フランスでの導入状況
 - CDG空港のテストはレベル3であり日本での実施内容をより簡素にしたレベル



引用：<https://navya.tech/fr/air-france-charlotte-autonom-skyteam-sustainable-flight-challenge/>

©ATEC, ALL rights reserved.

本邦での検討状況（HND）



- ANAでは、株式会社豊田自動織機とともに、羽田空港において自動運転トーイングトラクターのレベル4実用化に向けた実証実験を重ねている。
- 2025年以内に第2ターミナルと国内貨物上屋を結ぶ国内貨物ルート（黄色）でレベル4実用化を開始し、その後、国内貨物より搬送距離が長く、時間がかかる第2ターミナルと国際貨物上屋を結ぶ国際貨物ルート（オレンジ）の実用化を目指す。

※国内貨物ルート：片道約1.5km、約10分 / 国際貨物ルート：片道約4.5km、約30分



豊田自動織機製3TE25(電動車)
をベースに自動運転改造した車両



緑：国内手荷物ルート
黄：国内貨物ルート（2025実用化）
オレンジ：国際貨物ルート（2026実用化）
紫：国際手荷物ルート

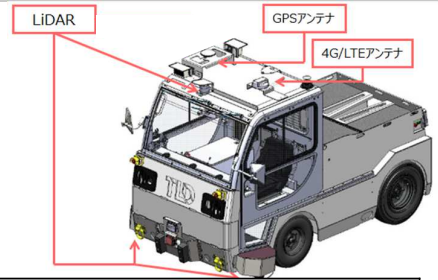
HNDの主な課題
・交通量、合流、車線変更
・誘導路横断、トンネル
・道幅、すれ違い、悪路

©ATEC, ALL rights reserved.

1.使用車両

基本情報*	
使用車両	TLD社製・TractEasy
全長	3.20m
全幅	1.84m
全高	2.05m
重量	4,070kg
ハンドル	有

走行制御技術の概要*	
車両自律型	
以下の技術で自己位置推定を行い、設定経路上を走行する	
●Odometry (走行距離計)	
●IMU (慣性計測装置)	
●LiDAR	
●GNSS	



センサー等の概要*	
LiDAR、GPSアンテナ、4G/LTEアンテナ、IMU (慣性計測装置)	

上記車両を2台所有しており1台を実験で使用し、もう1台をバックアップとする計画 *レベル3実運用と同様

レベル3実証実験時からの変更点

①ソフトウェアのバージョンアップ (Ver.11) に伴って、以下の点の性能向上が期待される

	レベル3実証実験 (2020年)	レベル3相当実用化 (2021年)	レベル4に向けた実証実験 (2022年)
ソフトウェアのバージョン	Ver.6	Ver.10	Ver.11
交差点における他車両の認識範囲	平均22m (実績値) **	平均29m**	平均35m***
カーブ走行時の速度	平均6~8km/h**	平均6~8km/h**	平均10km/h***
交差点で一旦停止後の再加速	0.8m/s ² **	0.8m/s ² **	1.0m/s ² ***

実績値、*理論値

②遠隔監視システムを有効化し、正しく機能することを確認する

2.実証実験目的および検証項目

目的
以下の各項目について、改善の有無を検証する。改善できない課題に対してはインフラや運用ルールの整備の要否について検討する。

検証項目
①ソフトウェアのバージョンアップによる改善目標値

①ソフトウェアのバージョンアップによる改善目標値

	レベル3相当実用化時点 (2021年3月、ソフトウェアVer.10)	目標値 (ソフトウェアVer.11)
交差点における他車両の認識範囲	平均29m	平均35m
カーブ走行時の速度	平均速度6~8 km/h (必要以上の減速が発生)	平均10km/h
交差点で一旦停止後の再加速	0.8 m/s ² (一般車両に比べて緩やか)	1.0m/s ²

②システム全般の目標値

	項目	検証事項
安全	障害物等を検知した際の安全な停車	システムによって安全に停車した実績を監視する
	安全な停車後の自動再始動	システムによって安全に停車した後、人が介入せずシステムにより自動走行を再開した実績を監視する
	安全な停車後の手動再始動	システムによって安全に停止した後、安全を確認し添乗者により手動で自動走行を再開した実績を監視する
	緊急停止操作による走行停止 (添乗者による介入)	作業員が車両の緊急停止ボタンを操作したことによる自動走行停止の実績を監視する
品質	ODD逸脱時の走行停止	ODD逸脱時に安全に自動走行を停止できるか
	車両およびシステムの不具合による走行停止	車両本体やセンサー類のハードウェア、およびシステムの障害が発生した際に安全に自動走行を停止できるか
	誤検知による停車	システムの誤認識、およびセンサーの誤検知による自動走行停止の実績を監視する
	遠隔監視システムによる操作	遠隔監視システムによる車両操作 (作動・停車) 時に、遅滞なく操作できるか

3. 走行ルート・走行条件

レベル3相当実運用と同じルートで実証実験を実施する。

走行ルート	第2旅客ターミナル本館南ソーティング ～ サテライトターミナルソーティング
走行距離	往復約1.2km
走行条件	以下の気象条件を目安とし、気象状況による走行への影響が確認された段階で、手動運転への移行、および自動運転の再開を自動運転車両運転者の判断により行うものとする ① 降雨：3mm/h以下 ② 降雪：弱い雪を上限とし、路面状況等により実施者が判断 ③ 風：20km/h（≒10KT）以下 ④ 視程：200m以上
実績	上記ルートにてレベル3相当実運用化済



★ = 起点/終点

引用元：Google社 Google earth

4. 実証実験結果

実験概要

実施期間	2022年4月6日～6月29日（昼間帯のみ）
総走行回数	196往復
総走行時間	33時間48分
総走行距離	約235km
添乗者による介入回数	52回

ソフトウェアバージョンアップによる改善

	レベル3相当実用化 (2021年3月時点、 ソフトウェアVer.10)	目標値 (ソフトウェアVer.11)	今回の実験 (ソフトウェアVer.11)	結果
交差点における他車両の認識範囲	平均29m	平均35m	平均33.4m	×
カーブ走行時の速度	平均速度6～8 km/h	平均10km/h	平均9.9km/h	×
交差点で一旦停止後の再加速	0.8 m/s ²	1.0 m/s ²	1.0 m/s ²	○

4.実証実験結果

システム全般の実績

	検証項目	結果
安全	障害物等を検知した際の安全な停車	○
	安全な停車後の自動再始動	×
	安全な停車後の手動再始動	×
	緊急停止操作による走行停止 (添乗車による介入)	×
品質	ODD逸脱時の走行停止	○
	車両およびシステムによる走行停止	○
	誤検知による停車	×
	遠隔監視システムによる操作*	—

*遠隔監視システムによる操作実績なしのため

システムによる安全な停車後の自動/手動再始動について

データログが十分に残っておらず、具体的な原因の特定には至らなかった。

誤検知による停車

誤検知による停車した際の理由の内訳は以下の通り

①濡れた路面を障害物として認識していることによるもの (93.92%)
 交差点でのパフォーマンスを向上させるため、ソフトウェアVer.11に新しく導入された路面認識機能により、誤検知が発生しているものと推測される。
 次回のバージョンアップ (Ver.13) では、濡れた路面を正しく認識する性能の向上が見込まれている。

②雨滴を誤検知したことによるもの (1.20%)
 Ver.10においては2.78%発生していた。

③原因不明/その他 (4.88%)
 データログを解析するも車両を停車させる要素の判別に至らず。

誤検知した166回のうちの161回 (97.0%) が雨天時に発生したものの。

4.実証実験結果

緊急停止操作による走行停止 (添乗車による介入)

添乗者による介入は全て交差点 (合流地点含む) で発生した。

交差点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
発生回数	3	2	10	0	0	1	0	4	0	17	4	11
割合(%)	5.8	3.8	19.2	0.0	0.0	1.9	0.0	7.7	0.0	32.7	7.7	21.2

介入が発生した要因は以下のとおり。

- 他車の速度超過 (15km/h超、95.24%)
- 他車の速度超過は無いが、自動運転TT車の他車認識範囲が狭いことによるもの (4.76%)

正面から対向車が走行してくる交差点での介入は47%
 横方向からの車両が走行してくる交差点での介入は53%

(各交差点の位置)



引用元 : Google社 Google earth

5.実証実験総括



<車両>

- レベル3相当実用化時（2021年3月）からの技術的課題については、ソフトウェアのバージョンアップによって一部改善が見られたが、全体の走行品質の向上には至らず、実用性を踏まえて更なる向上が求められる。
- 添乗者による介入が発生している交差点においては、制限速度以上で走行する他車両に対して現状のハードでどこまで対応することが可能なのか、ソフトウェアをバージョンアップしたうえで検証が必要。
- 既にメーカーからリリースされているソフトウェアVer.13にアップデートし、改善の見込みを確認したうえで再度実験を実施し、品質の改善について実績を検証する。（2023年2月予定）

<インフラおよび運用ルール>

- 交差点の走行品質の改善については、手動運転車両の規制が必要と考えており、インフラの整備や制限区域内を走行する車両のルール変更についても検討が必要。
航空局やATEC主催のワーキンググループにおいて他事業者や空港管理者とも協調して議論をしたい。

©Japan Airlines, ALL rights reserved.

本邦空港内におけるレベル4自動運転車両走行実現に向けた取り組み



ご清聴ありがとうございました！



JAPAN AIRLINES



©ATEC, ALL rights reserved.

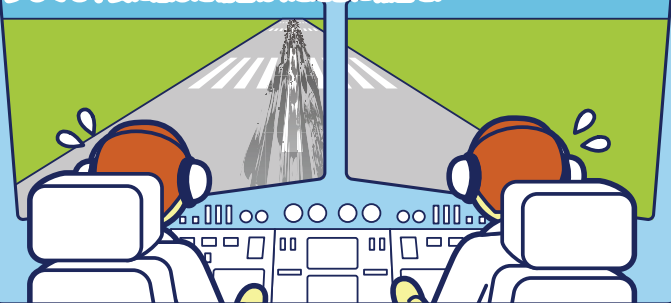
ヒヤリハットは貴重な財産!

みんなの報告が空の安全をより良くする

VOICESは安全情報の共有をお手伝いします

Runway Center Lineはどこだ??

離着陸において、滑走路中心線や滑走路マーキングが見えにくく、少しでも不安に感じた場合は、ただちに報告を!



着陸滑走中の管制指示

注意が逸れOperation中の確認行為が疎かになるため、離脱誘導路の指示は、事前に離脱指示する場所がわかっているのならば進入中が望ましい。



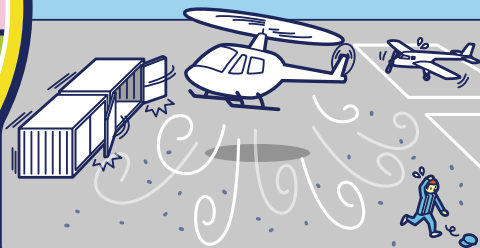
旅客手荷物の落下

旅客ご自身や他の旅客に荷物が落下するケースが増えています。



ダウンウォッシュに要注意!!

思った以上にダウンウォッシュの影響は大きいですよ! ホバリング移動中のヘリのダウンウォッシュに要注意!



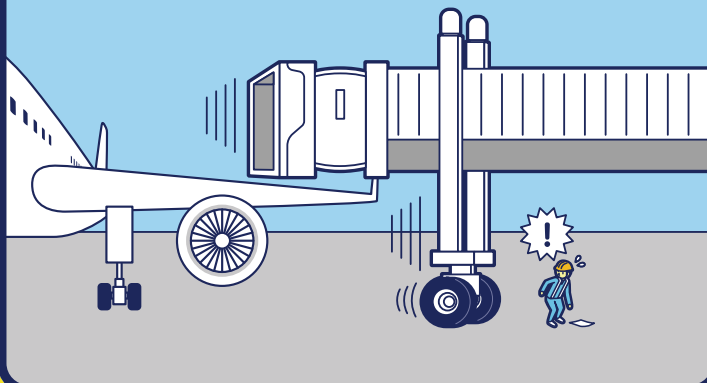
作動エリアには入らないで!

Flap作動テスト中に異音があったため、思わず覗き込んでしまった。



PBBに轢かれそうに!

PBB移動中に係員が横切った。過去には人身事故も発生しています。



皆様から寄せられた情報は、“**FEEDBACK**”としてVOICESホームページに掲載されております。

VOICESに安全情報の提供をお願いします!

ヒヤリハット情報や
お問い合わせはこちらまで

VOICES (航空安全情報自発報告制度)は、いわゆるヒヤリハット情報などの航空の安全に支障を及ぼす可能性があった事象に関する情報を、航空活動に直接携わっておられる方々から収集し、共有するとともに、必要と思われる改善を提案することによって、航空の安全性向上に寄与することを目的としています。VOICESは(公財)航空輸送技術研究センター(ATEC)が運営しており、報告者を保護するため、個人や会社名等が特定されるような情報はすべて秘匿化されて取り扱われます。

VOICES (航空安全情報自発報告制度) ホームページ <http://www.jihatsu.jp>

VOICES運営事務局:(公財)航空輸送技術研究センター(ATEC) 03-5476-5464

