

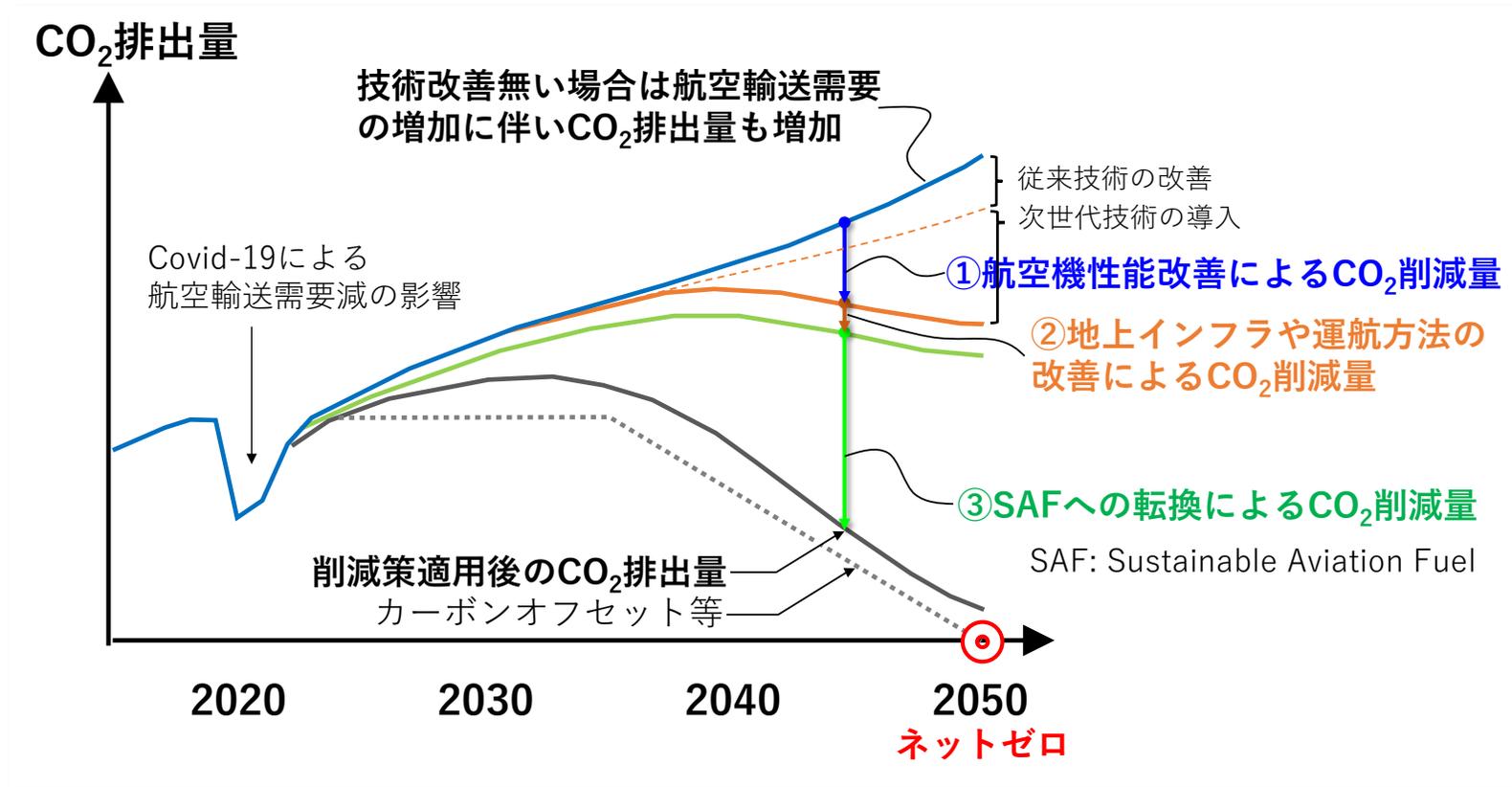
電動ハイブリッド推進システムの技術実証に向けた準備状況

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

航空機用メガワット級電動ハイブリッド推進システム技術実証（MEGAWATT）プリプロジェクトチーム

横川 譲

1. 背景 (社会的要請)



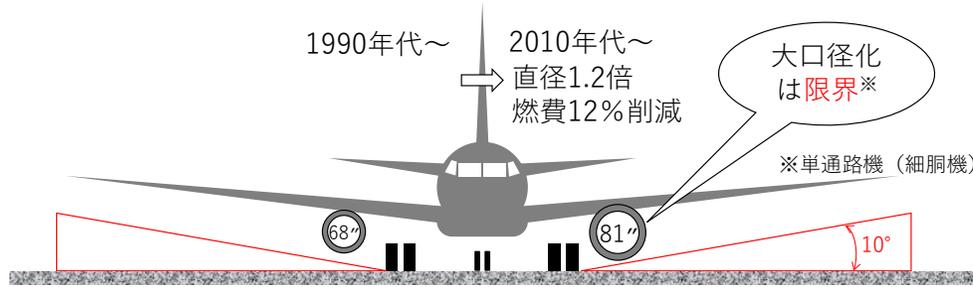
航空業界のCO₂削減目標と削減シナリオ※1

※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

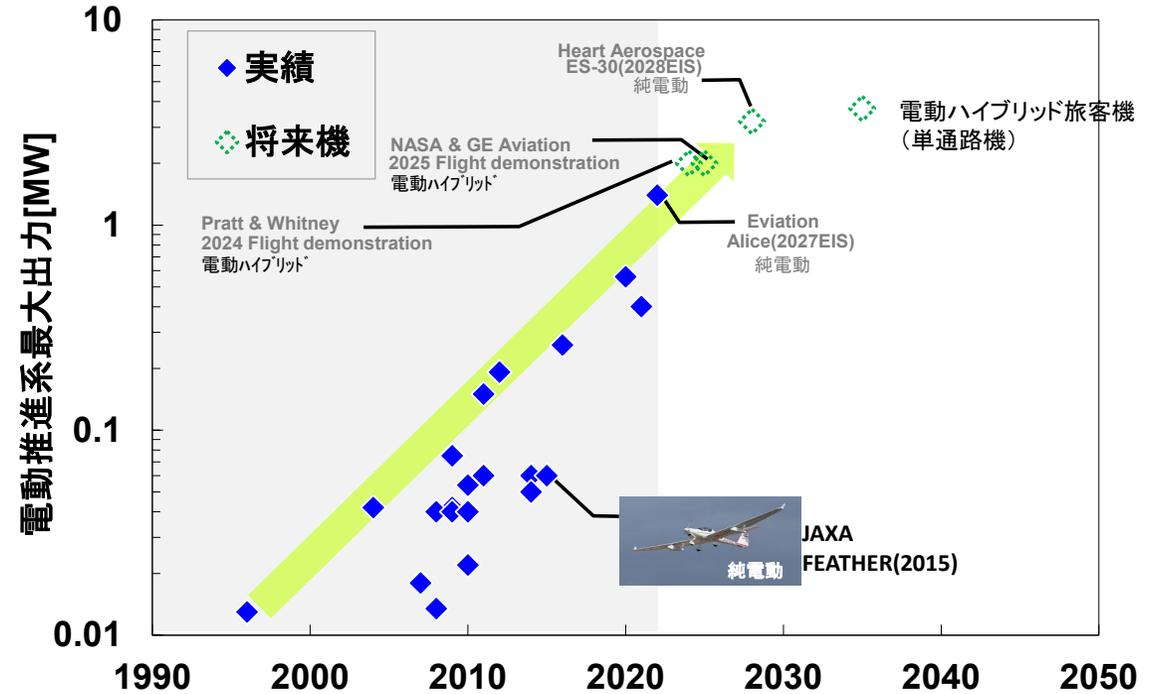
1. 背景 (技術動向)



従来エンジン技術 (大口径化) の限界

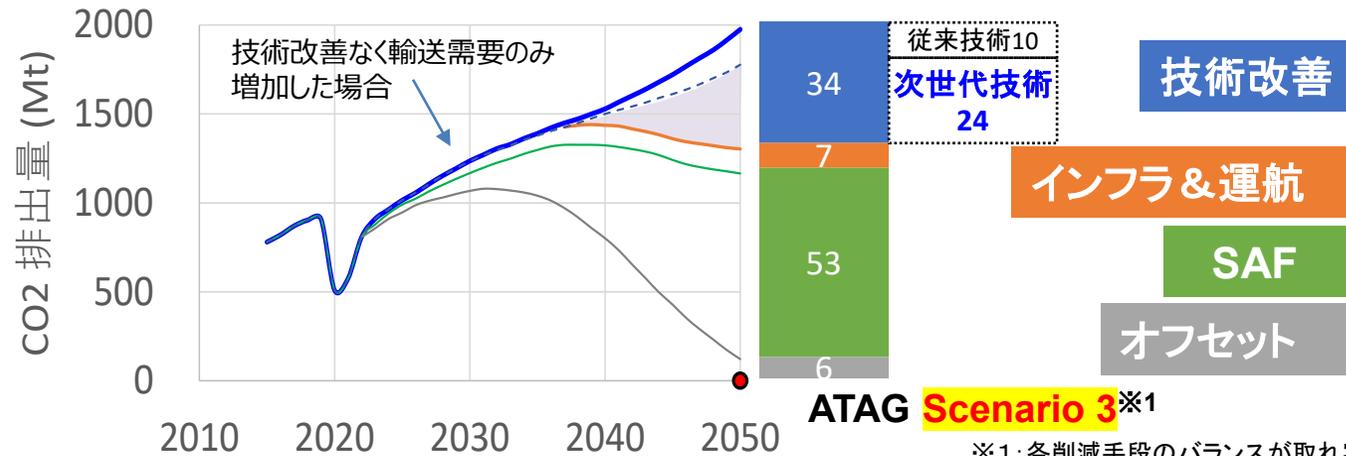
旅客機推進系電動化の研究開発国際動向

企業名	研究開発名	対象	技術方式
GE	EPFD	ターボプロップ機	電動ハイブリッド推進
GE	AMBER	ターボプロップ機	電動ハイブリッド推進 (水素燃料電池)
CFM International	RISE	単通路旅客機	Open fan (電動ハイブリッド含む)
Pratt & Whitney	SWITCH	単通路旅客機	Water-enhanced turbofan (電動ハイブリッド含む)
Pratt & Whitney	STEP-Tech	ターボプロップ機	電動ハイブリッド推進
Rolls Royce	HEAVEN	双通路旅客機	UltraFan(電動ハイブリッド含む)
Rolls Royce	HE-ART	ターボプロップ機	電動ハイブリッド推進



電動航空機の初飛行年と将来構想

- 従来型エンジンの大口径化は限界に近付いている一方、推進系の電動化技術は着実に進歩
- 2030年代にはMW(メガワット)級の電動推進が実現する可能性あり



※1: 各削減手段のバランスが取れ実現性も高い。
<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>

ATAGのCO₂排出量削減目標と削減シナリオ

航空輸送のCO₂排出総量の削減シナリオから逆算して**機材単位の燃費削減目標値**を設定

従来技術 & 次世代技術目標

EIS時期	機材サイズ	燃費削減率目標	従来技術による寄与分	次世代技術による寄与分
2035年頃	細胴(単通路)	20%	(※3) 10%	電動化 10%
2040年頃	広胴(双通路)	35%	(※3) 10%	25%
2045年頃	細胴(単通路)	45%	(※3) 15%	30%

2035年頃に社会実装する単通路旅客機の目標

[従来技術] = [推進] + [空力] + [構造]により**10%削減**

[電動化] = [電動推進] + [MEA^{※4}]により**10%削減**
 [電動推進] 8%以上, [MEA^{※4}] 2%以上

※4 MEA: More Electric Aircraft(装備品の電動化)

JAXAの研究開発対象

EIS: Entry Into Service

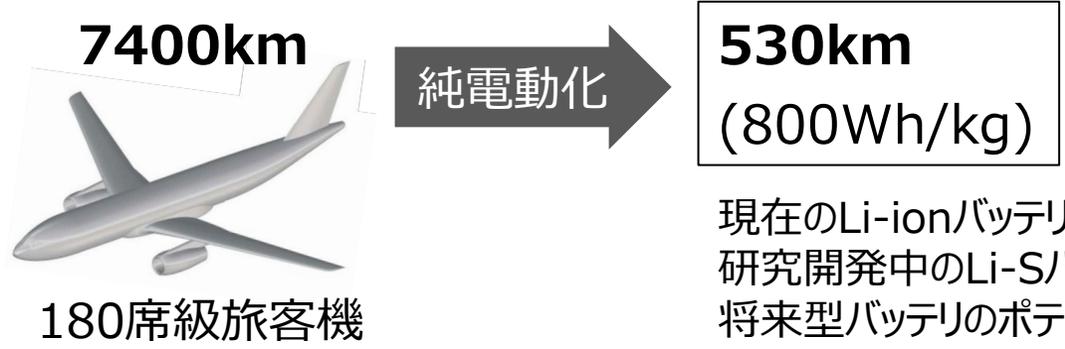
(※3)従来技術による寄与分はシナリオ3の従来技術(青点線)に合致するよう機材単位の性能としてモデル化

(出典: ECLAIR 将来ビジョン ver.1.1)

<https://www.aero.jaxa.jp/news/event/pdf/event211102/program03.pdf>

3. 旅客機の純電動化の難しさ

【純電動化による航続距離の減少】



将来型バッテリーでも航続距離が足りない

現在のLi-ionバッテリー：200Wh/kg以下
研究開発中のLi-Sバッテリー：400Wh/kg (GSユアサ@NEDOプロ)
将来型バッテリーのポテンシャル：1000Wh/kg (Li-空気)

https://www.gs-yuasa.com/jp/newsrelease/article.php?u_code=gs211113354509_1083

【純電動化による総合エネルギー消費の増加】

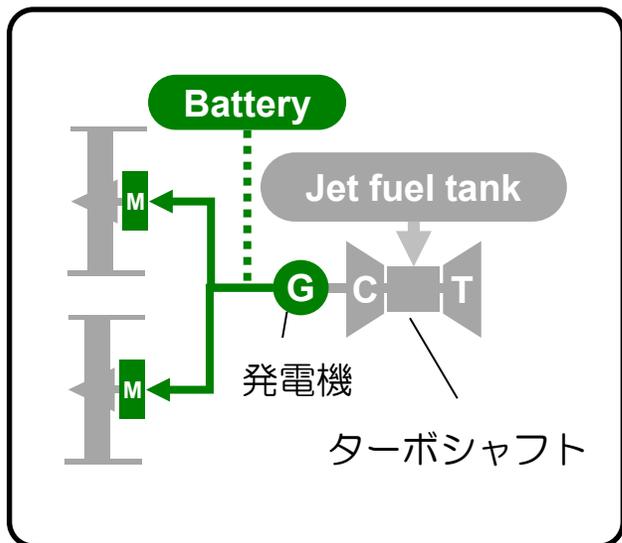


※日本のエネルギーバランス・フローのデータから現在の発電効率平均値を推定。
日本のエネルギーバランス・フロー：
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/html/2-1-1.html>

電力生成のエネルギーロス（発電所の効率等）次第では、純電動旅客機には**エネルギー的な利点がない**

3. 近い将来有望な電動ハイブリッドの方式

Series Hybrid



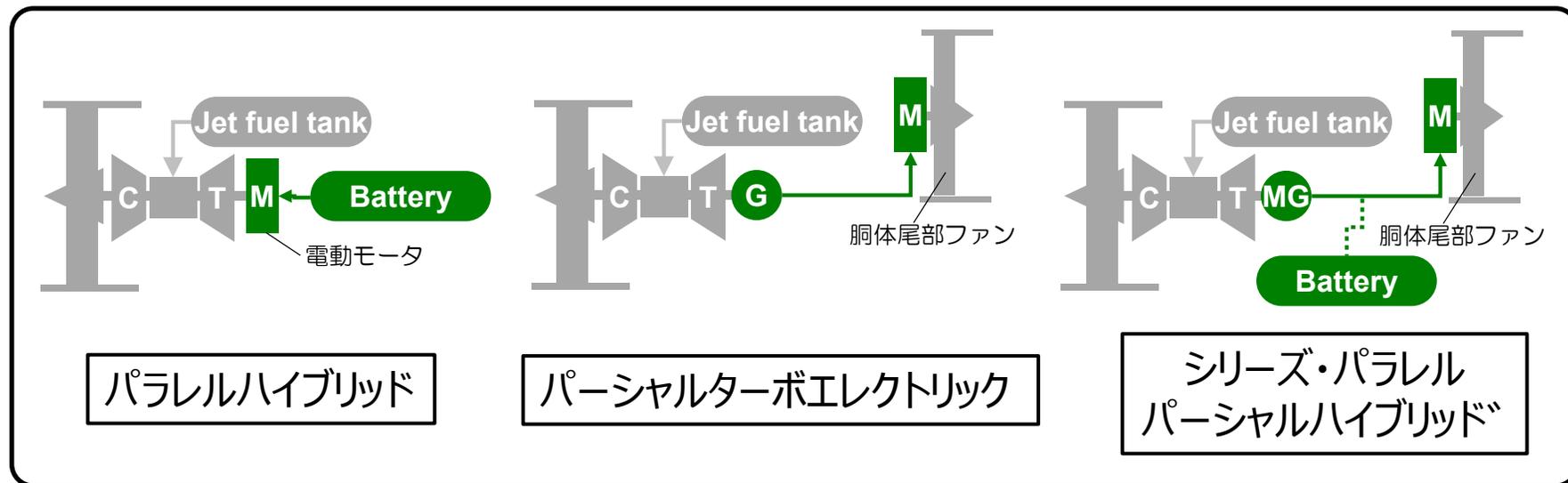
推力を電力のみにより発生

20MW級



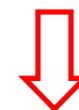
現状の技術では**困難**

Partial Hybrid



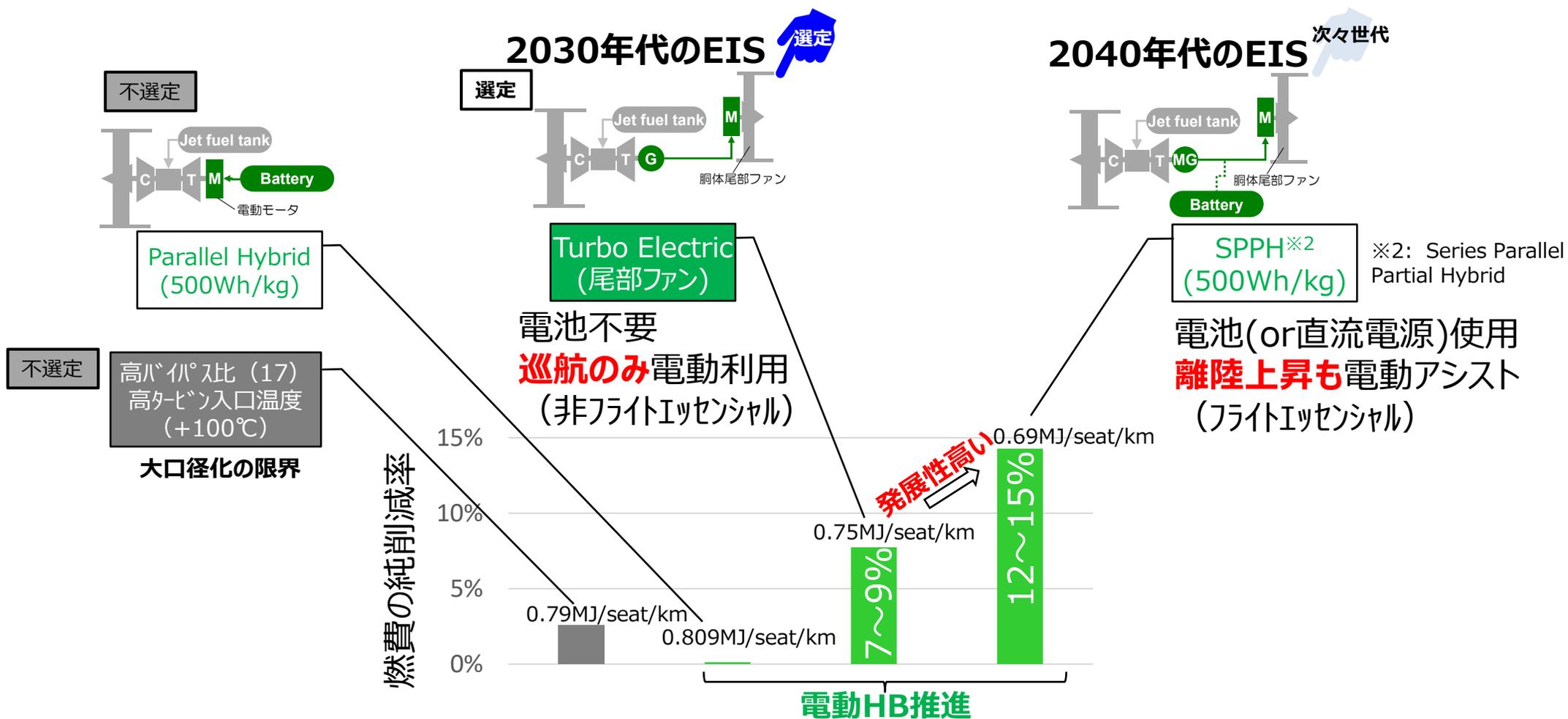
推力をジェットエンジンと電力により発生

2MW級



現状の技術で**実現の見通しあり**

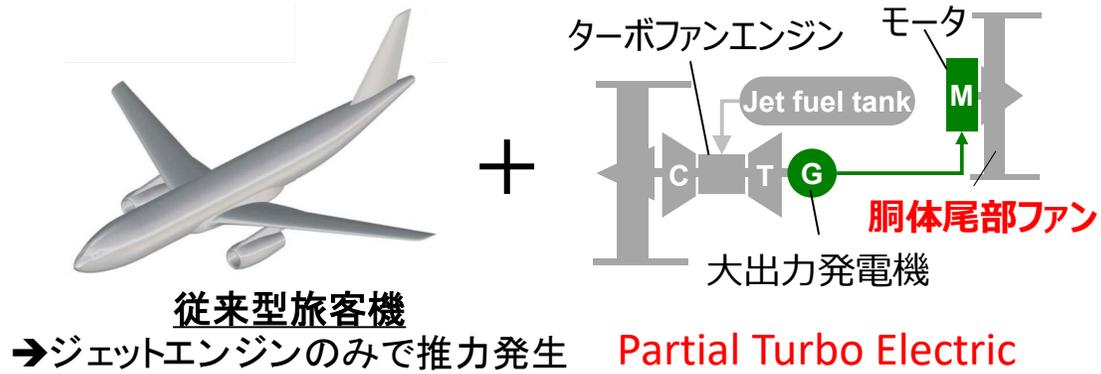
4. 研究開発対象の選定



推進システム方式の違いによる燃費削減効果の比較
(比較方法：参照機 = A321neoに対する削減率を評価)

ターボエレクトリック方式のうち、**胴体尾部に電動ファンを設置する方式**が燃費削減効果が高いので選定

5. 技術課題と解決策：①尾部ファン形態の課題



電力変換装置(胴体内)



翼下ジェットエンジン + 発電機

胴体尾部BLI搭載 電動ハイブリッド旅客機

→ジェットエンジンと高効率電動ファンが推力を分担

【一般的なBLI方式の課題】

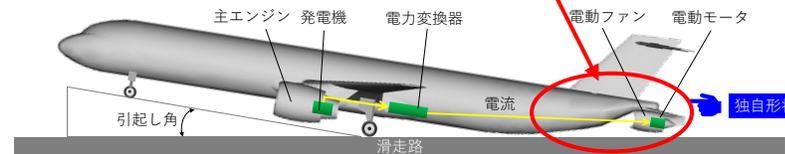


解決策

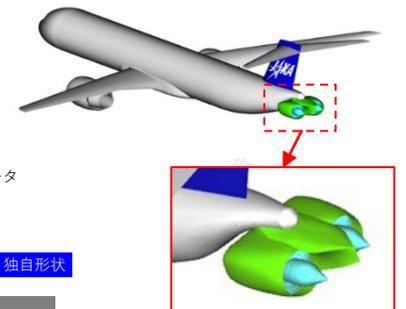
WAT (Wake Adaptive Thruster : 胴体後流適応型推進器) コンセプト

胴体BLI形態の差別化技術

- ◆ファンの小型・双発化
- ◆胴体尾部形状の工夫



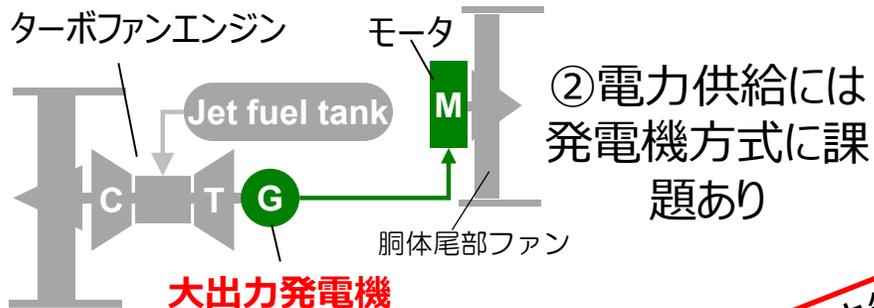
JAXAが提案する電動ハイブリッド旅客機コンセプト



小径・双発

- 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は電動ファンに関する独自技術により差別化し、実用化を促す

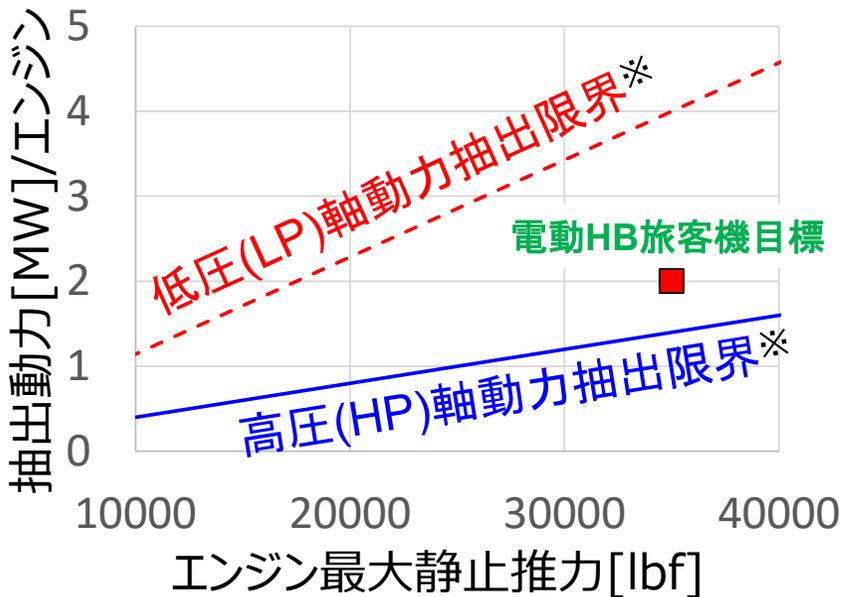
5. 技術課題と解決策：②電力供給の課題



大出力発電機

課題：高圧軸（従来技術）からの**MW級動力抽出は困難**

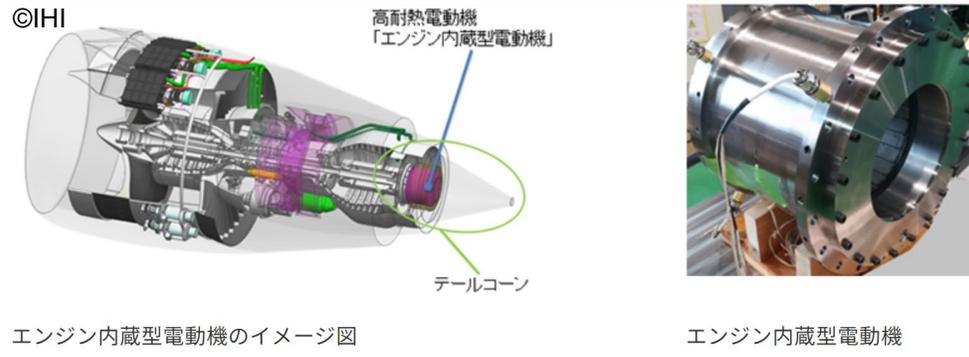
解決策



従来方式（高圧軸）発電機の限界

IHI

世界初、ジェットエンジン後方に搭載可能なエンジン内蔵型電動機を開発

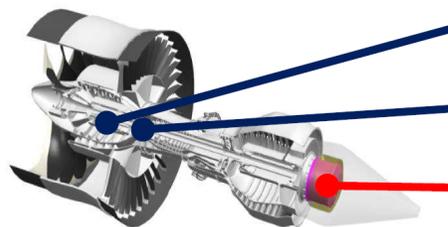


株式会社IHI, 2020年03月30日プレスリリース, https://www.ihi.co.jp/all_news/2019/aeroengine_space_defense/1196481_1594.html

株式会社IHI 井上氏「航空機適用を目指した電動化ソリューションの研究開発」, 航空機電動化 (ECLAIR)コンソーシアム第4回オープンフォーラム, 2021年11月2日, <https://www.aero.jaxa.jp/news/event/pdf/event211102/program05.pdf>

コンセプト

機体システム電動化に伴い増大する電力需要への対応(電動推進含む)



ファン後方 (Rolls-Royce)	課題：メンテナンス性 ⇒取外し時エンジンのばらしが必要
LP軸ギアボックス経由 (P&W)	課題：ギアの耐久性・システム複雑化 ⇒787でギア破損あり(HP軸/IP軸発電機)
テールコーン内 LP軸直結 (IHI)	上記課題をいずれもクリア ・高メンテナンス性、ギアレス、システム簡素化

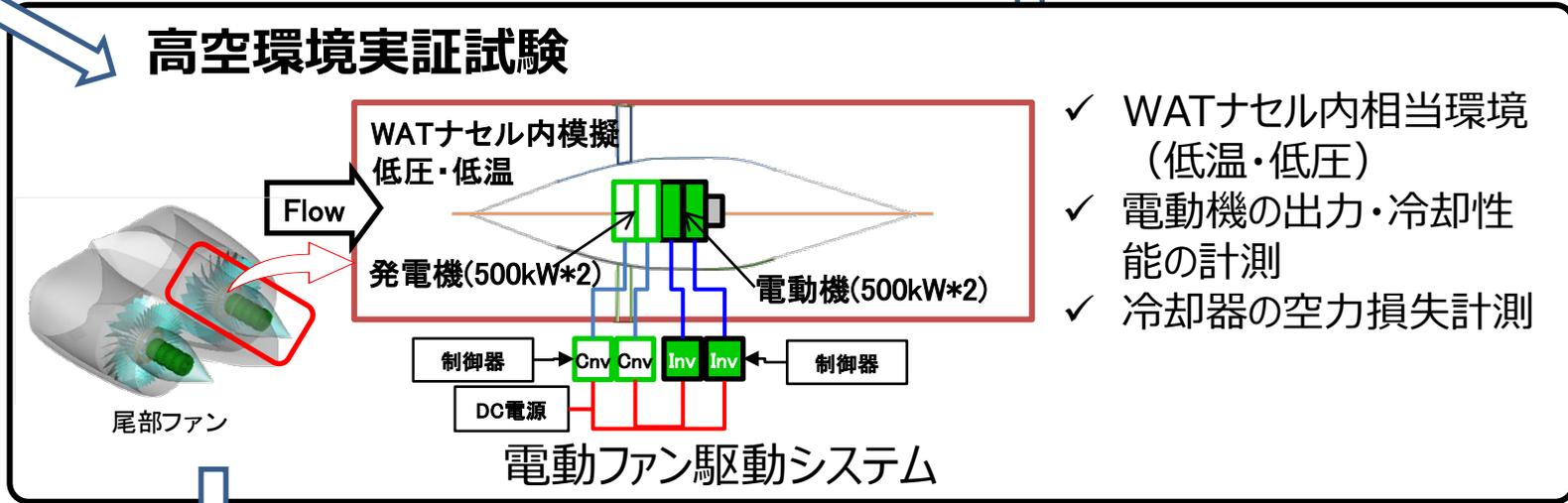
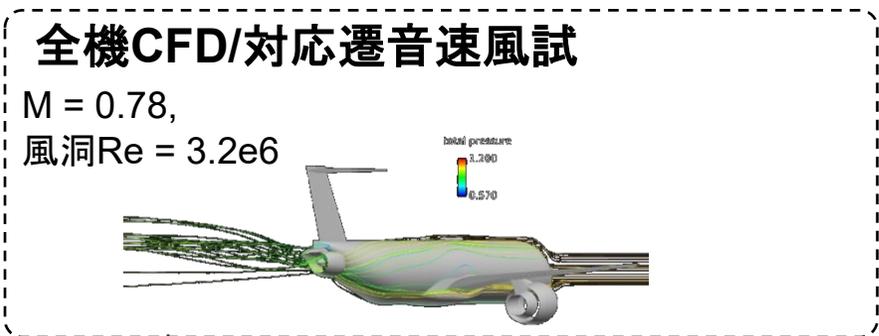
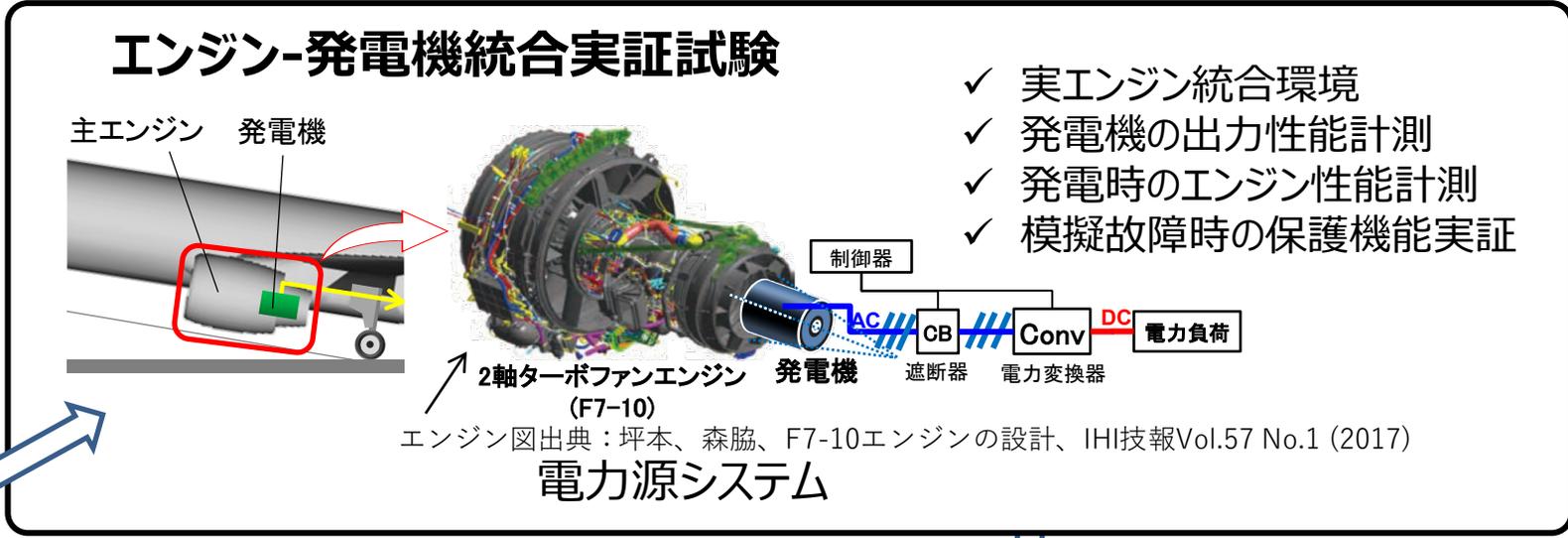
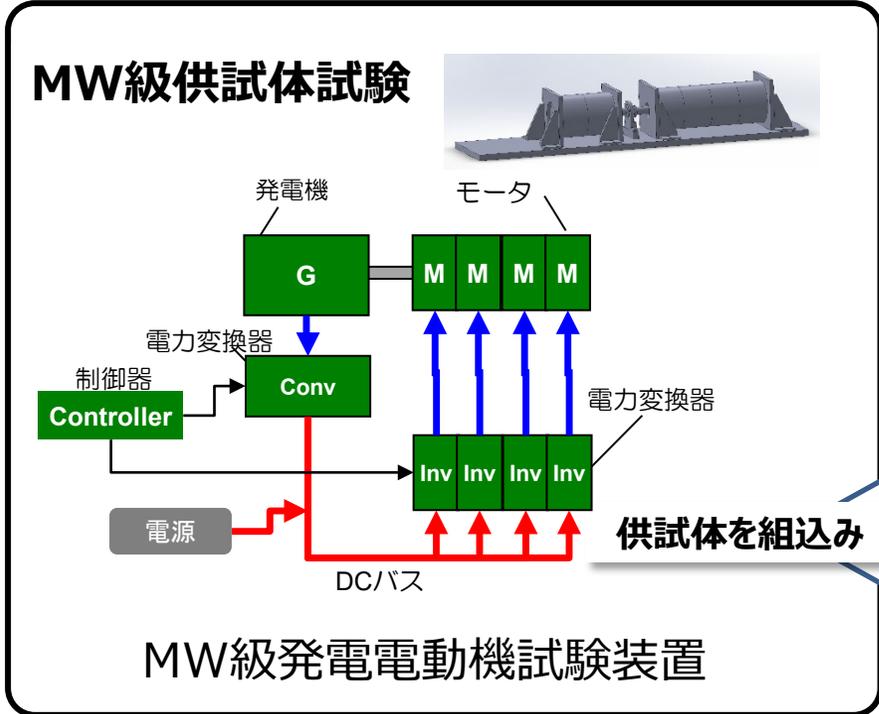
NEDOプロジェクト(2020年度～2023年度)実施中
航空機用先進システム実用化プロジェクト/
次世代電動推進システム研究開発/
電動ハイブリッドシステム

● 国内企業の鍵技術が電動ハイブリッド旅客機実現の**突破口**になる

6. 技術実証の構想

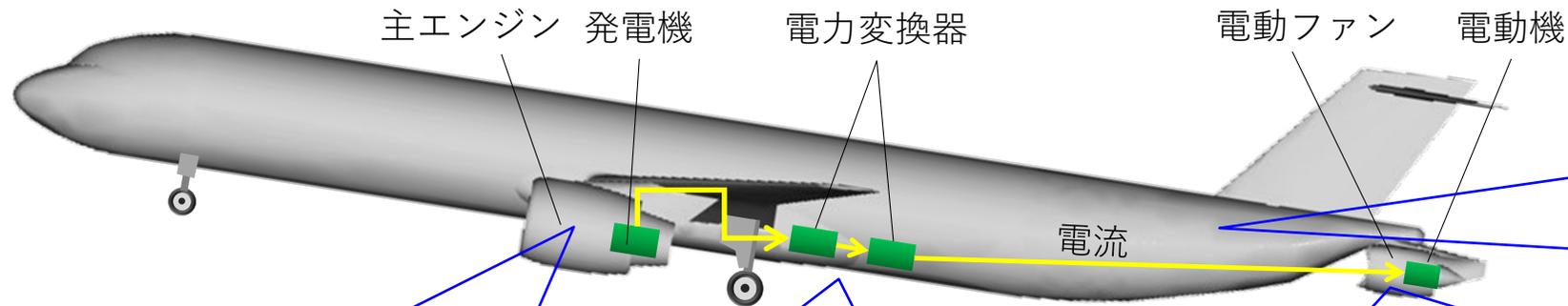
世界初の実証を目指す

航空機用MW級電動ハイブリッド推進システムの技術実証 (MEGAWATT) demonstration of Massive Electric Generation for Aircraft and Wake Adaptive Thruster Technologies



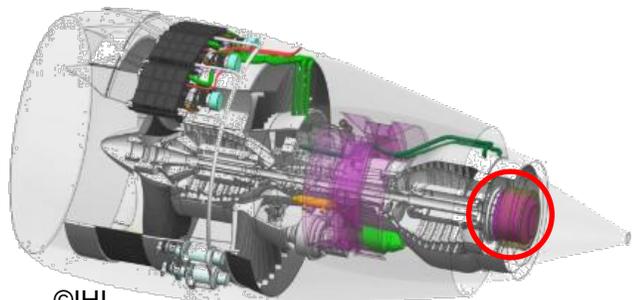
全機システム性能評価 (解析)

7. 研究開発体制



**WATシステム
全機システム評価**
JAXA『WATコンセプト』『CFD・
風洞試験技術』
東北大学『空力設計最適化』
機体メーカー等『航空機設計』

電源システム



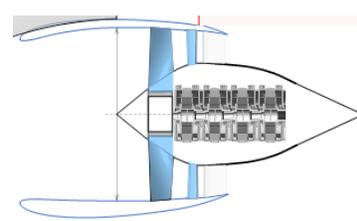
©IHI

JAXA『エンジン保護技術』『解析・試験技術』
株式会社IHI『低圧軸直結型発電機』
(高耐熱発電電動機)

電力変換器・遮断器等

JAXA『電動HB推進システム設計技術』『解析・試験・評価』
国内企業『SiCインバータ』
大学『電力変換器』
大学『半導体遮断器』

電動ファン駆動システム

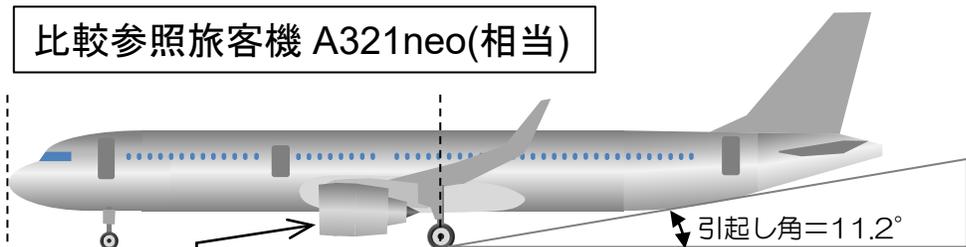


JAXA『電動ファン駆動システム設計技術』『高空環境試験技術』
住友精密工業株式会社『高性能表面冷却器』
ヤマハ発動機株式会社『多重化電動機』
東京大学『絶縁試験・評価』
エスベック株式会社『低圧低温試験・評価』

- 2023年5月1日JAXAにて「MEGAWATTプリプロジェクトチーム」が発足。
- 各社と共研等を開始し、プロジェクト化に向け準備中。

8. 現在までの研究成果

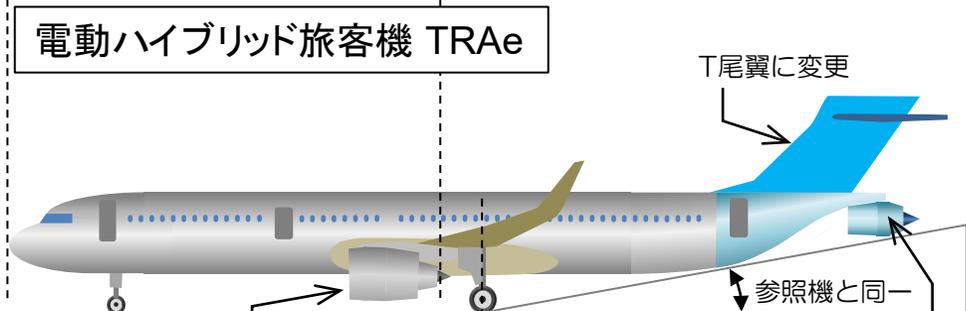
全機システムの概念設計(2023年3月時点※)



比較参照旅客機 A321neo(相当)

引きし角=11.2°

比較参照エンジン = PW1133G



電動ハイブリッド旅客機 TRAE

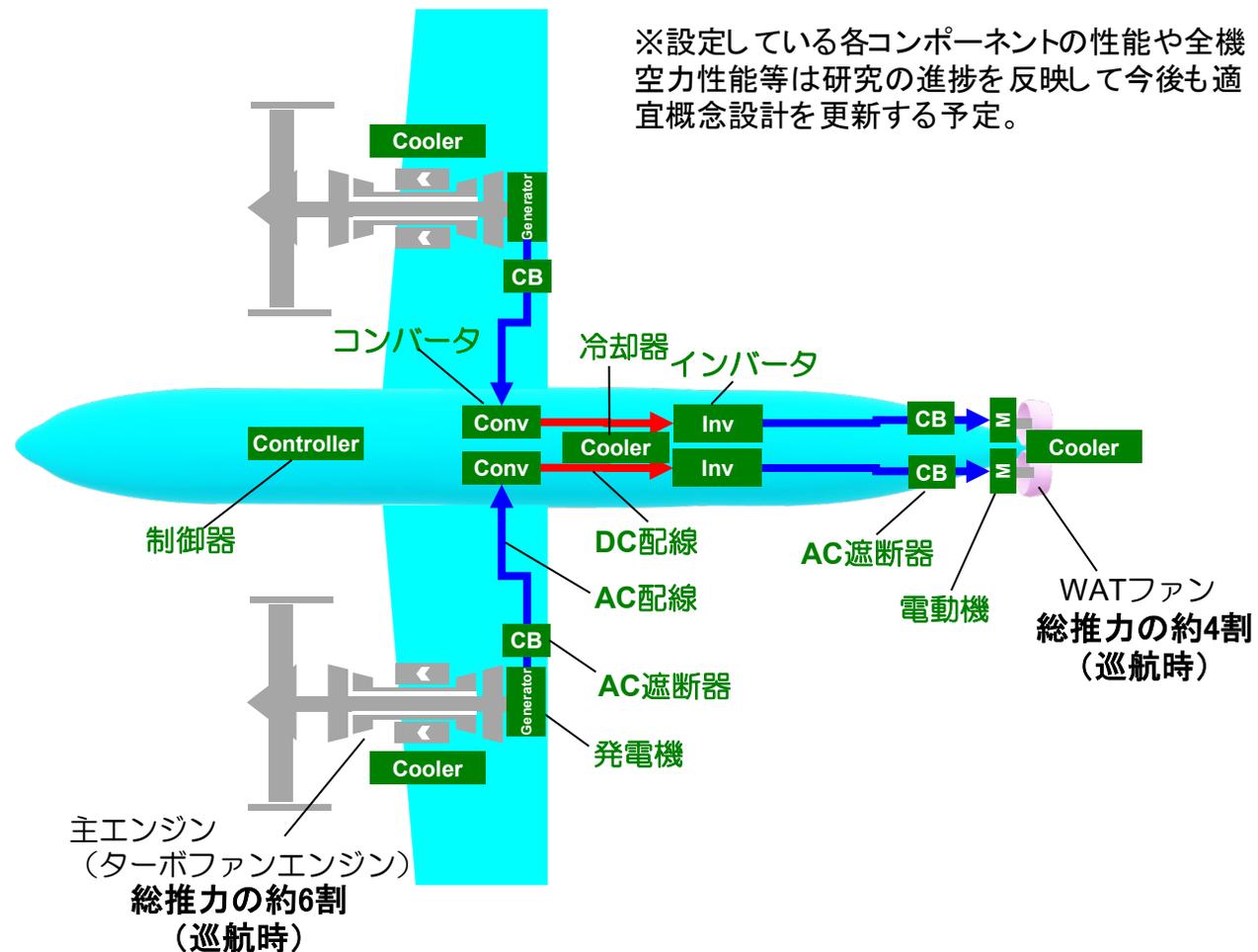
T尾翼に変更

参照機と同一

双発WATファン

PW1133G*+発電機
※発電機搭載のため仕様を変更

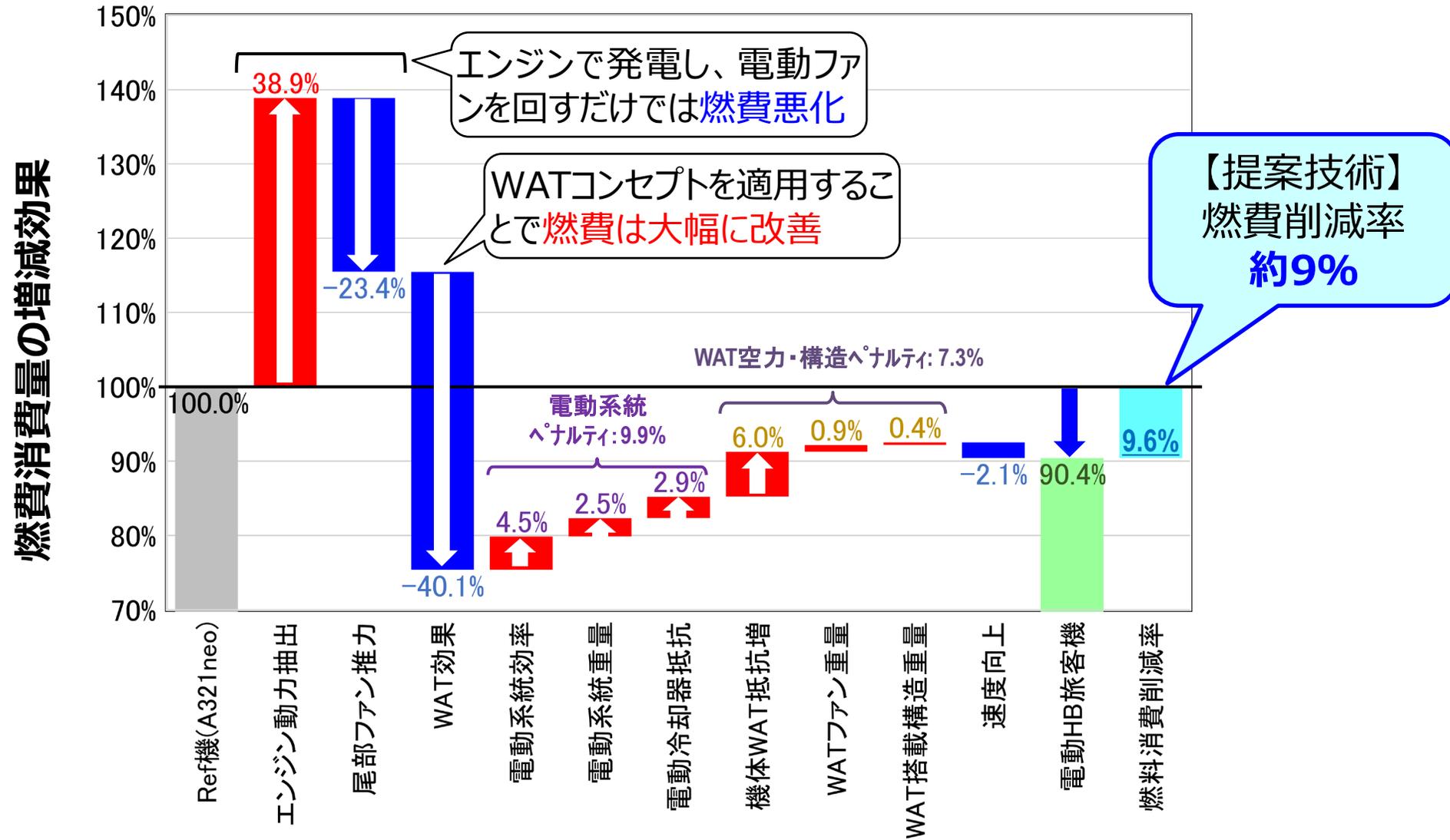
TRAE (Technology Reference Aircraft for electrification)



- 2MWの発電機をエンジン低圧軸直結し搭載
- 1.8MWの電動モータで直径1.4mのWATファンを駆動
- 比較参照機に比べて運用空虚重量は増加

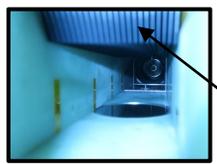
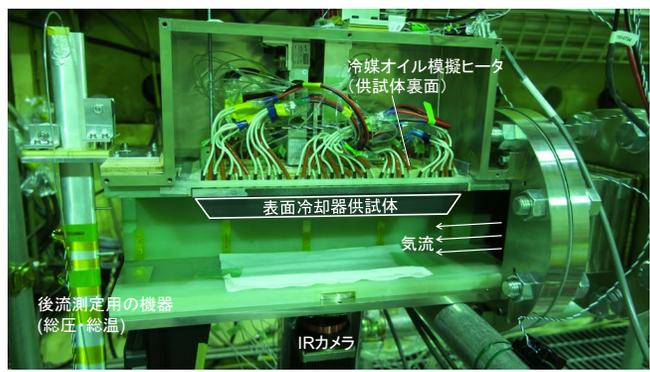
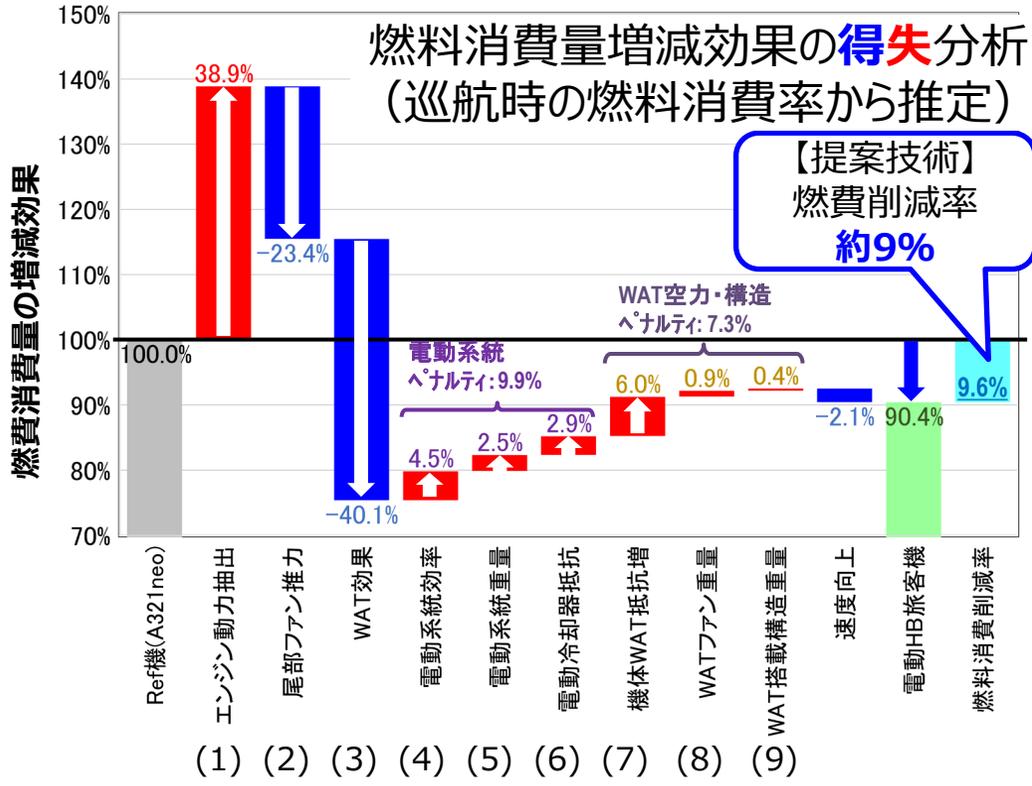
- 電動HB推進システムは巡航時のみ駆動 (ノンフライトエッセンシャルシステム → WATファンが推力喪失しても主エンジン推力で飛行を継続可能)
- 電動WATファンは機体全体の約42%の推力を発生

8. 現在までの研究成果

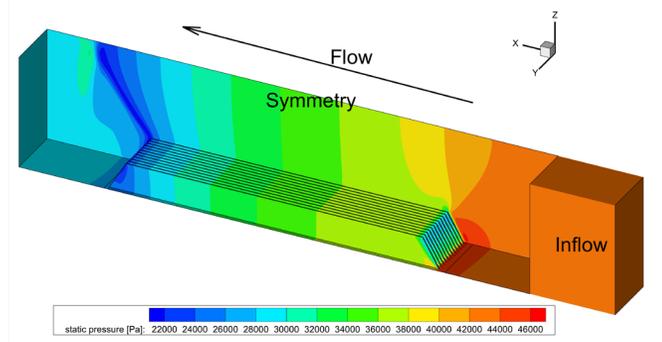


燃料消費量増減効果の得失分析 (巡航時の燃料消費率から推定)

8. 現在までの研究成果



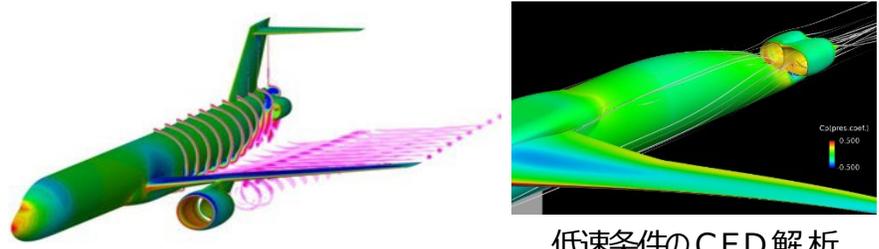
表面冷却器の高空環境試験
表面冷却器 (空気側フィン)



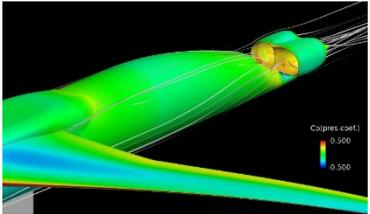
表面冷却器周り流れ場のCFD解析

JAXA 共同研究 住友精密工業株式会社

電動機用冷却器のCFD解析と高空環境試験 (6)



WATナセルまわりのCFD解析

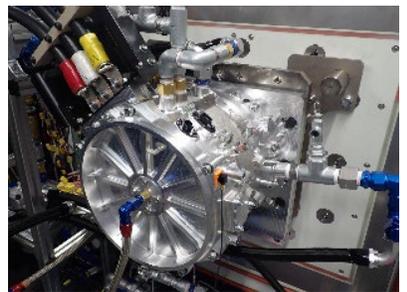


低速条件のCFD解析

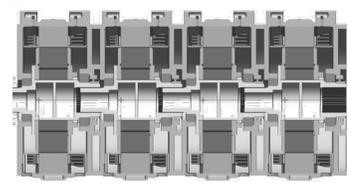


低速風洞試験

WAT形態空力性能のCFD解析と風洞試験 (3)(7)



500kW級電動機の運転試験 (400kWまで試験実施)



多重化電動機設計 (2MW= 500kW×4台)

JAXA 研究開発委託 YAMAHA

電動機のプロトタイプ開発 (2)(4)(5)

- Covid-19で航空業界が大きな影響を受けたにもかかわらず、航空分野におけるCO₂排出削減への要求は全世界規模で関心が高まっており、SAF(Sustainable Aviation Fuel)や水素等、新しいエネルギーへの転換が注目される中、**電動化技術は依然として次世代技術の有力な候補**である。
- 従来のエンジン大口径化が限界に近付きつつある中、推進系の電動化技術は小型機において実用化のフェーズに入りつつあり、近い将来は旅客機に適用可能なMW級の電動推進システムが実現する可能性も出てきた。
- JAXAでは、CO₂削減に寄与する新しい技術方式として推進系電動化を旅客機に適用することを目指し、**関連技術の実証を行うことを目指して「MEGAWATTプリプロジェクトチーム」を発足**。国内の各機関と連携を図りながら重要技術の研究開発に取り組んでいく。
- 技術研究開発と並行し、得られた知見を迅速に国際的な産業標準に反映していくため、「航空機の脱炭素化に向けた新技術官民協議会」とも連携しながら、標準化活動にも取り組んでいく。



飛びたくなる空を、いつまでも。

電気で飛び、美しい空を、未来へつなぐ。
[エミッションフリー航空機]



宇宙航空研究開発機構
航空技術部門
www.aero.jaxa.jp

ご清聴ありがとうございました。