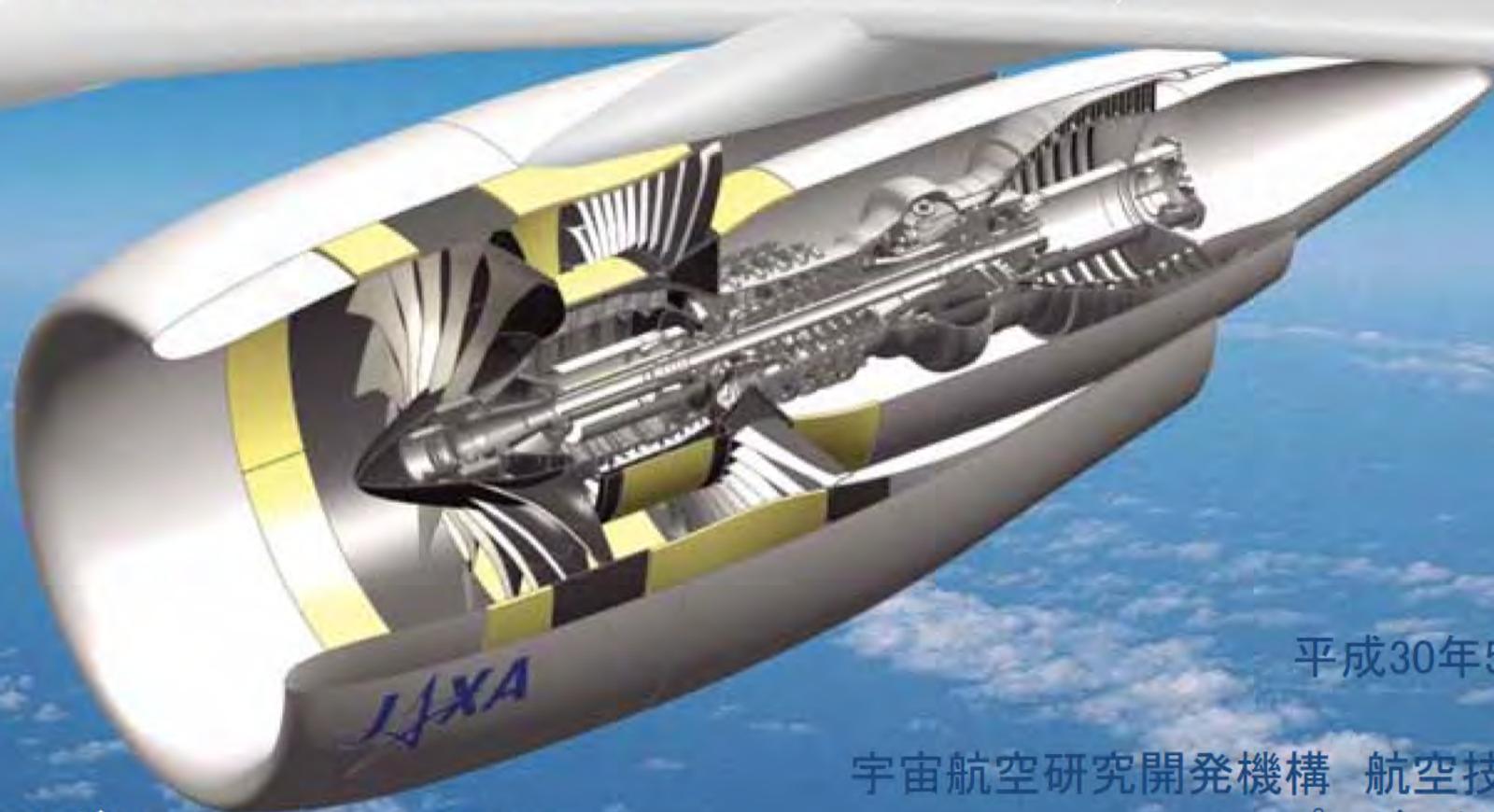


高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR プロジェクト)の 実施結果に関する説明会



aFJR目標エンジン

平成30年5月28日

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門
aFJRプロジェクトチーム
西澤 敏雄

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【航空技術部門の重点化課題(3つの柱+基盤技術)】

- 国の方針や社会ニーズに基づき、「環境」「安全」「新分野創造」の3つの研究開発プログラムを推進するとともに、これらを支える基礎的・基盤的な航空宇宙技術の研究に取り組んでいます。特に航空環境技術と航空安全技術に関する研究開発を重点化しています。

航空環境技術

の研究開発プログラム

ECAT

Environment Conscious Aircraft
Technology Program

次世代ファン・タービン
技術実証、(aFJR)

機体騒音低減技術の
飛行実証、(FQUOH)

航空安全技術

の研究開発プログラム

STAR

Safety Technology for Aviation and Disaster-
Relief Program

災害救援航空機情報共有ネットワーク、
(D-NET)

乱気流事故防止機体
技術の実証、(SafeAvio)

航空新分野創造

プログラム

Sky Frontier

Sky Frontier Program

超音速機の低ソニックブーム
設計概念実証、(D-SEND)

基礎的・基盤的技術の研究

Science & Basic Tech.

Aeronautical Science & Basic Technology Research

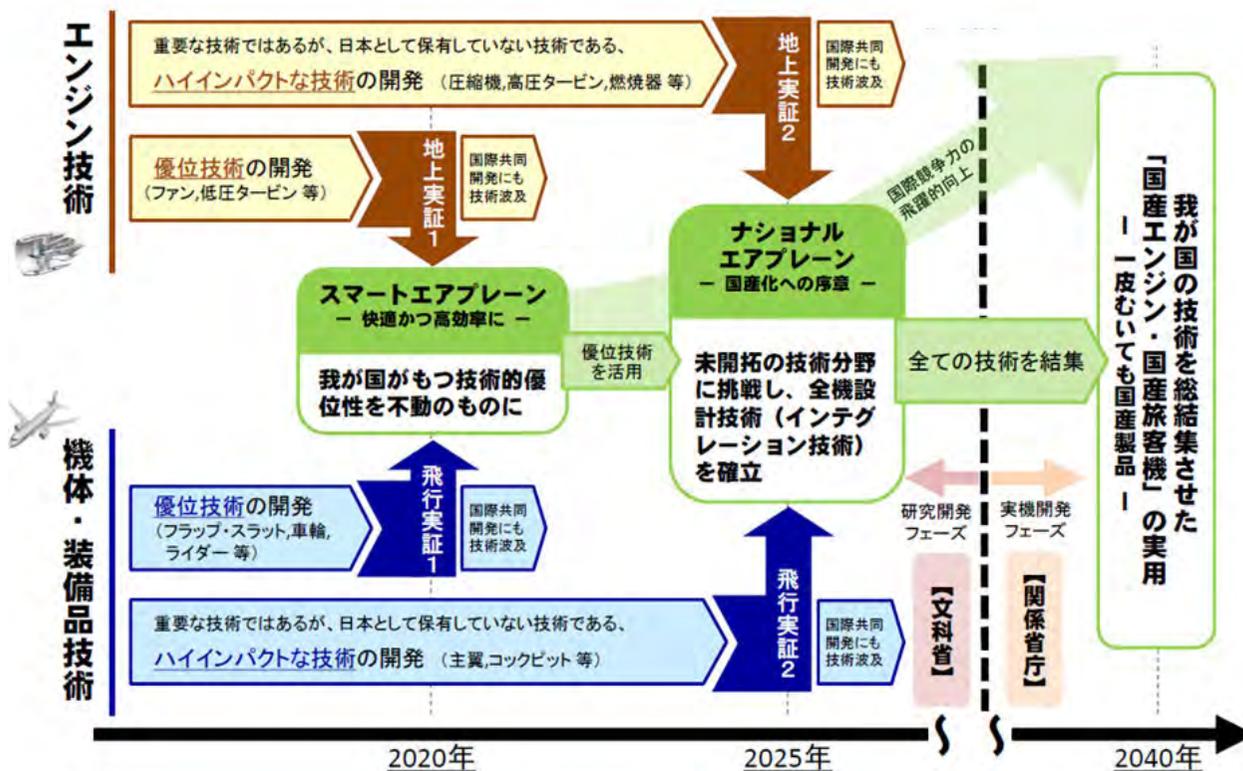
○風洞、○構造・複合材、○エンジン、○実験用航空機・飛行シミュレータ、○数値解析

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【JAXAの研究開発プロジェクト】

- 高い水準の技術目標を掲げ、獲得した技術の社会的・経済的な波及効果をこれまで以上に意識した出口指向のプロジェクトです。企業等とターゲットを共有し、連携して研究開発を実施しました。
- aFJRプロジェクト(実施期間: FY2014~FY2017)で開発した技術は、文部科学省の「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」において、優位技術の開発とされたファンや低圧タービンの技術です。

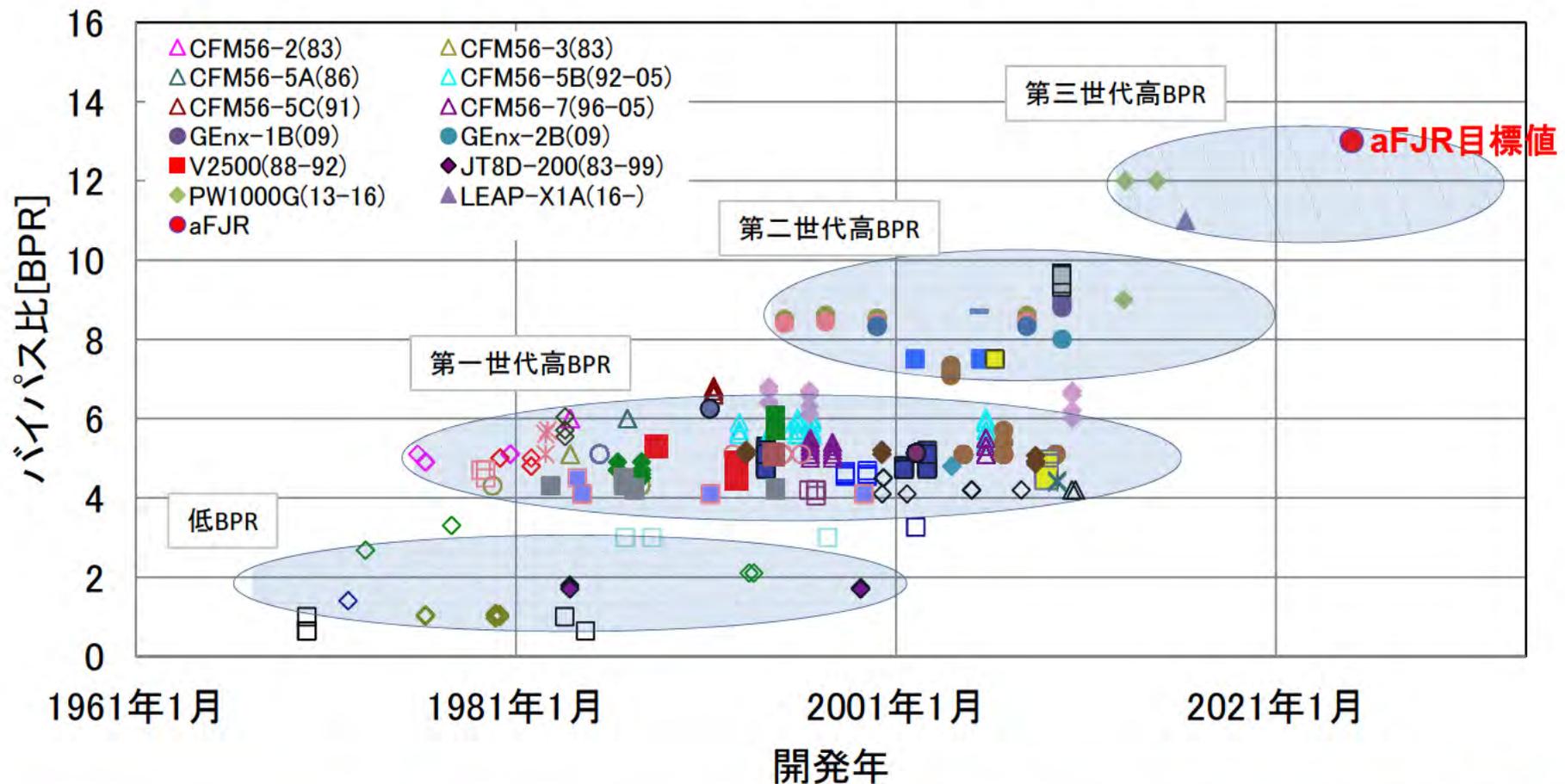
民間航空機国産化研究開発プログラムのターゲット



高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【高バイパス比化の動向】

- 原油価格の上昇、地球温暖化などを背景に、民間航空機用エンジンの燃料消費削減 (CO₂削減) の要求に応えるため、高バイパス比化が更に進む見込みです。今後の高バイパス比化を見越し、燃料消費低減の効果を増す要素技術によって、技術競争力を向上することが重要です。



高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【プロジェクト目標】 国内産業の更なる国際競争力強化に貢献するため、燃費低減を実現するファンの軽量化・効率向上および低圧タービンの軽量化を技術目標*に設定しました。

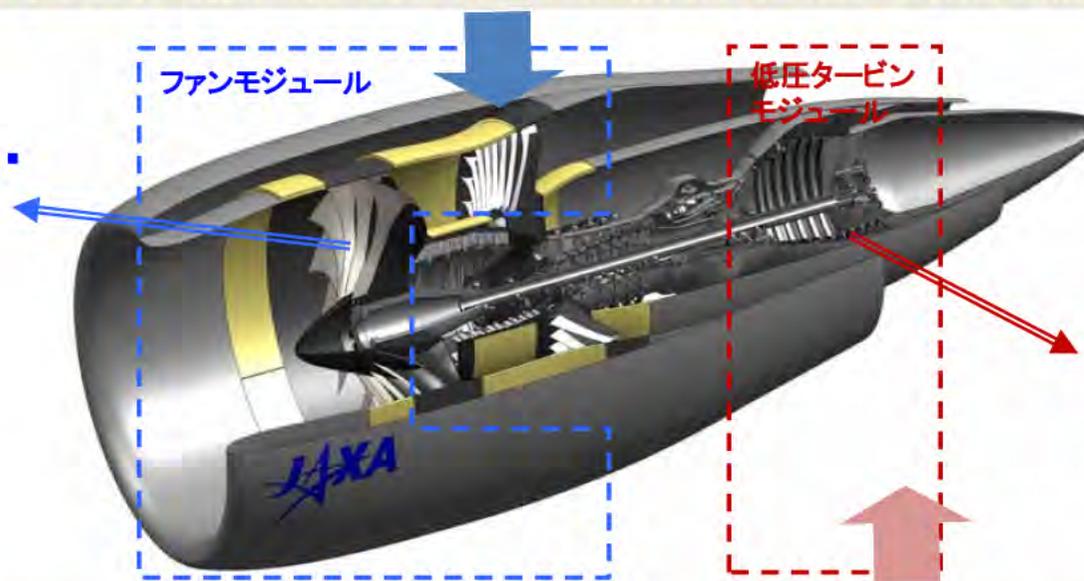
①ファンの軽量化(0.9%)を達成する差別化技術を開発・実証

②ファン空力効率の向上(1pt.)を達成する差別化技術を開発・実証

ファン空力効率向上・軽量化

開発対象:

- ・高効率ファンブレード技術
- ・軽量ファンブレード技術
- ・軽量メタルディスク技術
- ・軽量吸音ライナ技術



低圧タービン軽量化

開発対象:

- ・軽量タービンブレード技術

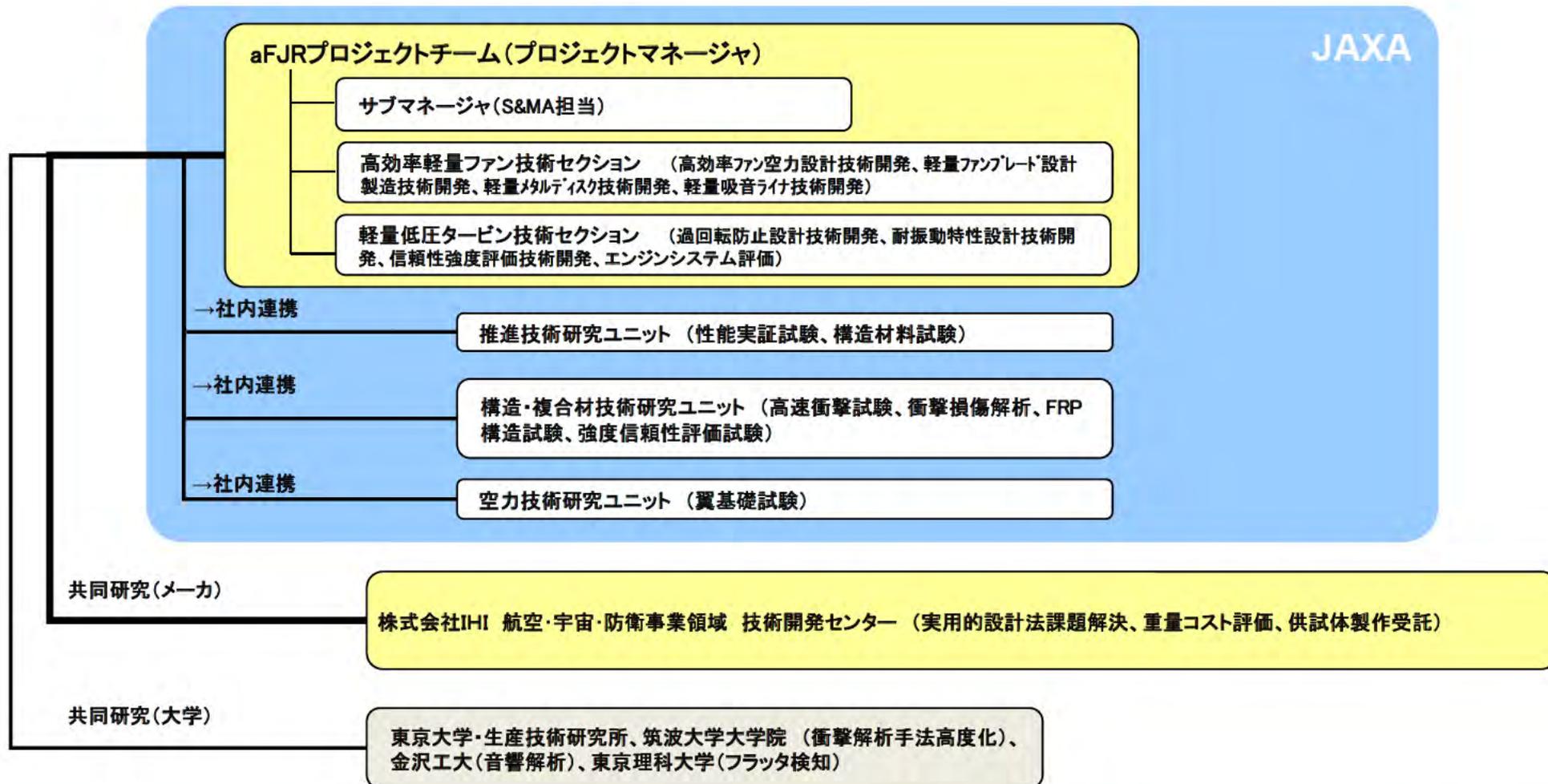
③低圧タービンの軽量化(9.1%*)を達成する差別化技術を開発・実証

①～③の目標は合計で燃費低減1%に相当(エンジン技術の国際競争力強化)

* 現行機エンジン(V2500)重量比、効率値1pt.(=1.0%)増。

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【プロジェクト実施体制】 国内メーカーおよび国内大学との共同研究によるプロジェクト実施体制を構築し、相互連携によって技術成果を創出し、プロジェクト目標を達成することができました。



高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【開発技術】 JAXAの大規模高精度シミュレーション技術や複合材評価試験技術をベースに、プロジェクト目標を達成する高効率化・軽量化の技術コンセプトを開発しました。

①高効率軽量ファン技術

●ファン軽量化(ブレード、ディスク)

✓軽量ファンブレード技術

⇒中空ナローコードCFRP翼設計技術

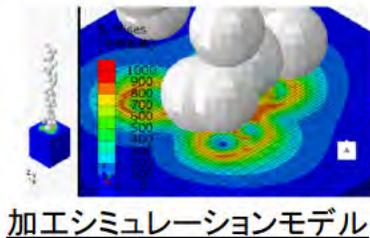
⇒複合材衝撃解析技術

✓軽量メタルディスク技術

⇒加工シミュレーションベース設計技術



中空CFRPブレード試作モデル



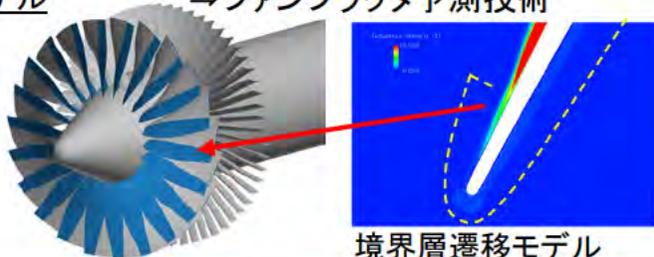
加工シミュレーションモデル

●ファン効率向上

✓高効率ファンブレード技術

⇒層流翼3D設計技術

⇒ファンフラッタ予測技術



境界層遷移モデル

②軽量低圧タービン技術

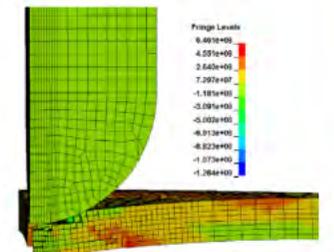
●軽量低圧タービン

✓軽量タービンブレード技術

⇒CMCブレード過回転防止設計技術

⇒タービンフラッタ予測技術

⇒CMC強度信頼性評価技術



CMCブレード衝撃破壊モデル

●ファン軽量化(吸音ライナ)

✓軽量吸音ライナ技術

⇒樹脂パネル成形技術、ハニカム構造音響設計技術、耐熱FRP適用技術



吸音ライナ試作モデル
(樹脂製ハニカム構造)

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【技術実証】 プロジェクト目標を達成するため、aFJRプロジェクトの技術コンセプトをそれぞれ搭載したファン・タービンを構成する供試体を設計製作し、既存試験設備で実証しました。

軽量ファンブレード技術 (中空ナローコードCFRP翼設計技術、複合材ファンブレード衝撃解析技術)

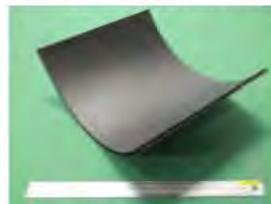


中空CFRPブレード供試体

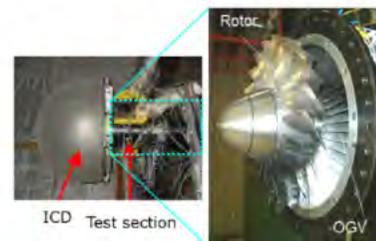


軽量ファンブレード耐衝撃性実証試験 (高速衝撃試験機)

軽量吸音ライナ技術 (樹脂パネル成形技術、ハニカム構造音響設計技術、耐熱FRP適用技術)



樹脂製吸音ライナ供試体



軽量吸音ライナファンリグ音響試験 (IHI殿 無響試験室)



軽量タルディスク技術 (加工シミュレーションベース設計技術)



タルディスク供試体



軽量タルディスク耐久性実証試験 (回転強度試験機)

軽量タービンブレード技術 (CMCブレード過回転防止設計技術、タービンフラッタ予測技術、CMC強度信頼性評価技術)



CMCタービンブレード



衝撃破壊実証試験



強度信頼性評価試験



タービンフラッタ供試体

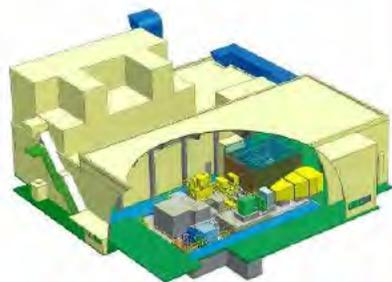


低圧タービン翼フラッタ実証試験

高効率ファンブレード技術 (層流翼3D設計技術、ファンフラッタ予測技術)



高効率ファン空力性能試験供試体 (回転要素試験設備)



高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量ファンブレード技術】炭素繊維強化プラスチック(CFRP)製ブレードの中空化に成功し、軽量の複合材ファンブレード技術を開発しました。CFRP積層構造やメタル接合部を含め、高速衝撃時の損傷解析技術・設計製造技術を向上させ、中空構造を実現することができました。

中空構造による軽量化技術開発

- CFRP中空成形技術



中空ブレードCADモデル



試作品

構造強度解析の技術向上

- 複合材部材の高速衝撃シミュレーション技術



試験



解析

ゼラチン球
(鳥を模擬)

ブレードの高速衝撃試験・解析



高速衝撃試験装置

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量ファンブレード技術】

- 実証試験では、実用化に必要な鳥吸い込みなどの異物衝突に対する耐空性基準レベルをクリアしました。
- 高速衝撃試験(※1)において、ゼラチン衝突後も翼形状を保持し有害な損傷が発生しないこと、軽微な損傷も含めて再現性があることを確認することができました。



ゼラチン衝突直前



衝突直後



試験後(軽微な損傷のみ)

CFRP中空ファンブレード高速衝撃試験結果

※1 中型鳥(2.5ポンド)相当の飛翔体(ゼラチン)を離陸速度相当で打ち込む試験

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量ファンブレード技術】

- JAXAの高速衝撃試験装置により、中型鳥 (2.5ポンド) 相当の飛翔体 (ゼラチン球) を離陸速度相当で打ち込み高速衝撃荷重を与えた実証試験を行い、CFRPブレードに有害な変形・損傷が発生しないことを実証しました。高速衝撃解析の予測能力についても確認することができました。



CFRPブレードの高速衝撃試験

LS-DYNA keyword deck by LS-PrePost
Time = 0



CFRPブレードの高速衝撃解析

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量ファンブレード技術】

- 複合材中空ファンブレードの高速衝撃時に発生しうる損傷現象（接着部はく離、層間はく離）を把握可能とし、耐衝撃性設計に対する予測モデルの有効性を確認することができました。（東京大学および筑波大学大学院との共同研究）
- スパコンを用いた衝撃解析によって、翼表面に発生する歪みのピーク値を高精度（ $\pm 10\%$ 以内）で予測可能とし、高精度かつ軽微な損傷を再現する解析技術を獲得しました。

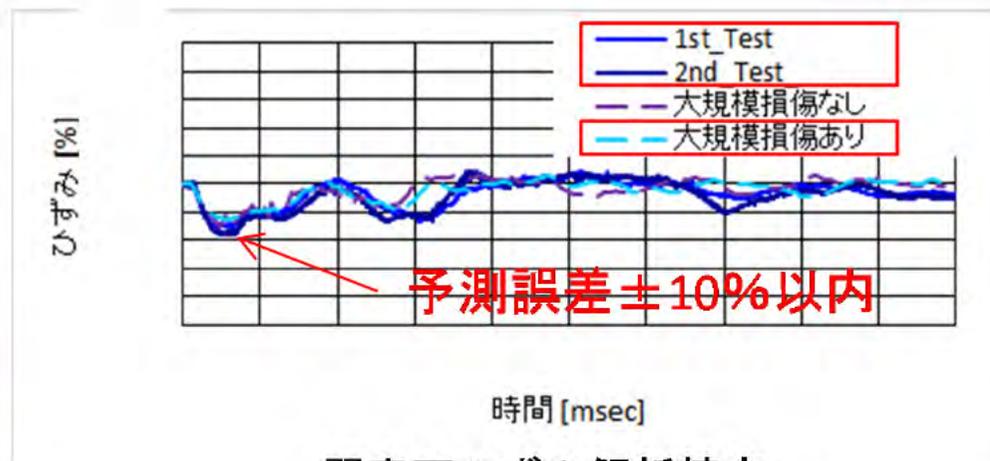


衝突前



衝突直後

高速衝撃損傷（メタルシース接着部はく離）の予測解析検証



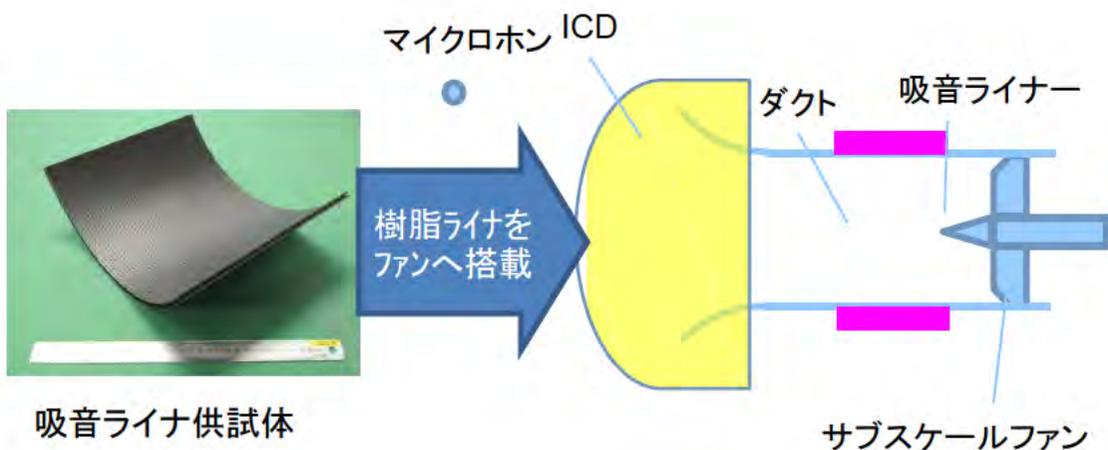
翼表面ひずみ解析精度
（着弾部付近のひずみ波形）

CFRP中空ブレード衝撃解析精度検証

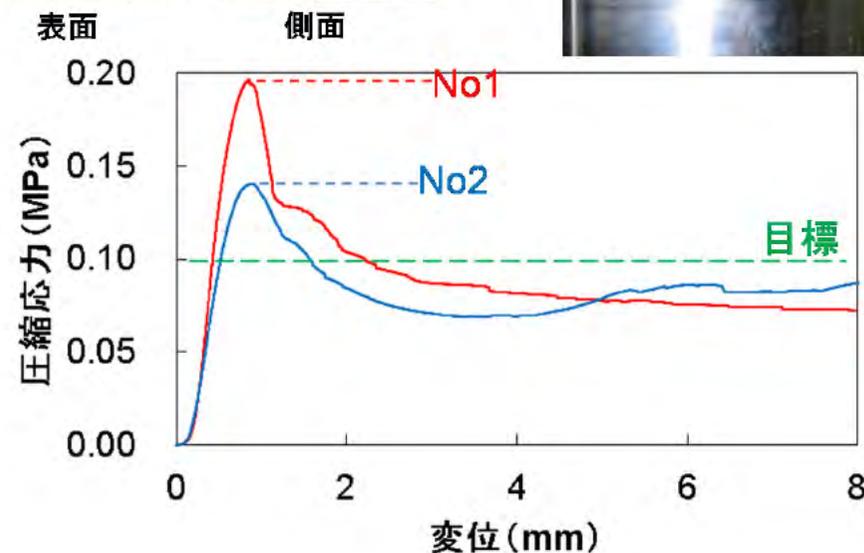
高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量吸音ライナ技術】

- 既存のアルミ製に代わる樹脂製吸音ライナの成形に成功し、大幅な軽量化(フルスケール供試体を設計製作し、嵩比重でアルミ製に対し樹脂製で40%以上の軽量化)を実現しました。
- フルスケール供試体から製作した試験片についてピーク圧縮応力を計測し、耐荷重強度が十分であることを確認しました。



吸音ライナ適用部位



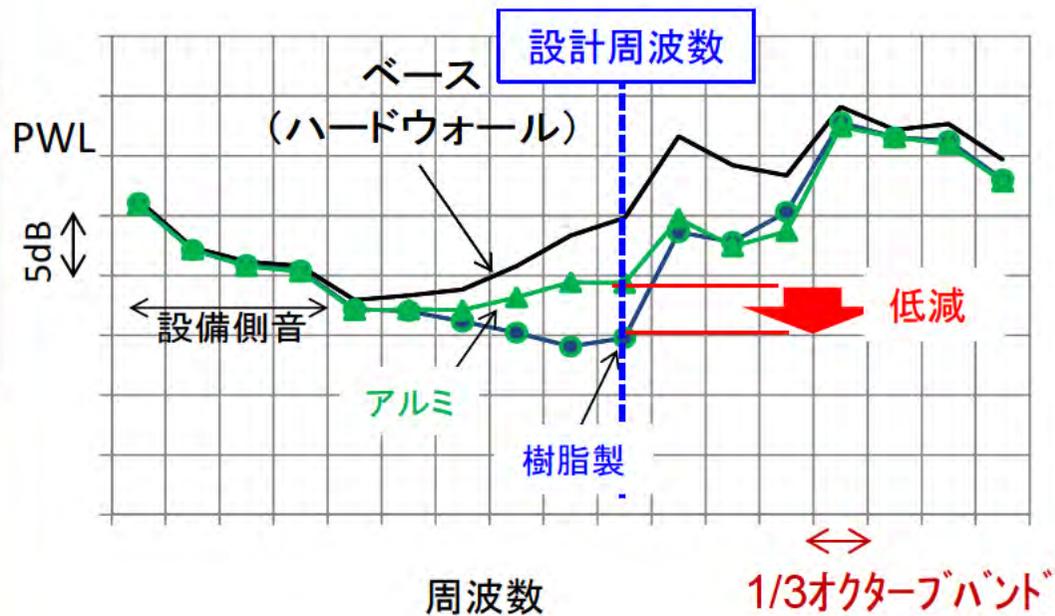
軽量吸音ライナ強度試験結果

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量吸音ライナ技術】

- 開発した樹脂製吸音ライナが、軽量化の達成目標と、騒音低減およびコスト低減の達成目標とを両立できることを、ファンリグ搭載試験の結果等により確認しました。

実証結果	
騒音低減	<p>ハニカム構造音響設計技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ ファンリグ試験に搭載可能なサブスケール樹脂製パネルを設計製作。 ➢ 着目周波数範囲(1/3オクターブバンド中心周波数4kHz)について、ファン回転数50%,55%,60%,65%(着陸時相当)のすべての条件で、樹脂製ライナの音圧低下量(ΔSPL[dB])が、アルミ製ライナ以上となる有意な差(>0.5dB)を示した。
コスト	<p>樹脂パネル成形技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 曲率付きフルスケールパネルを試作し、軽量化目標をクリア。 ➢ 量産製造コスト比^{注1}【30%】削減 <p>注1: 現在のエンジン生産台数で一定年数生産する前提で、素材購入費や成形費を計算した時の量産製造コスト比</p>

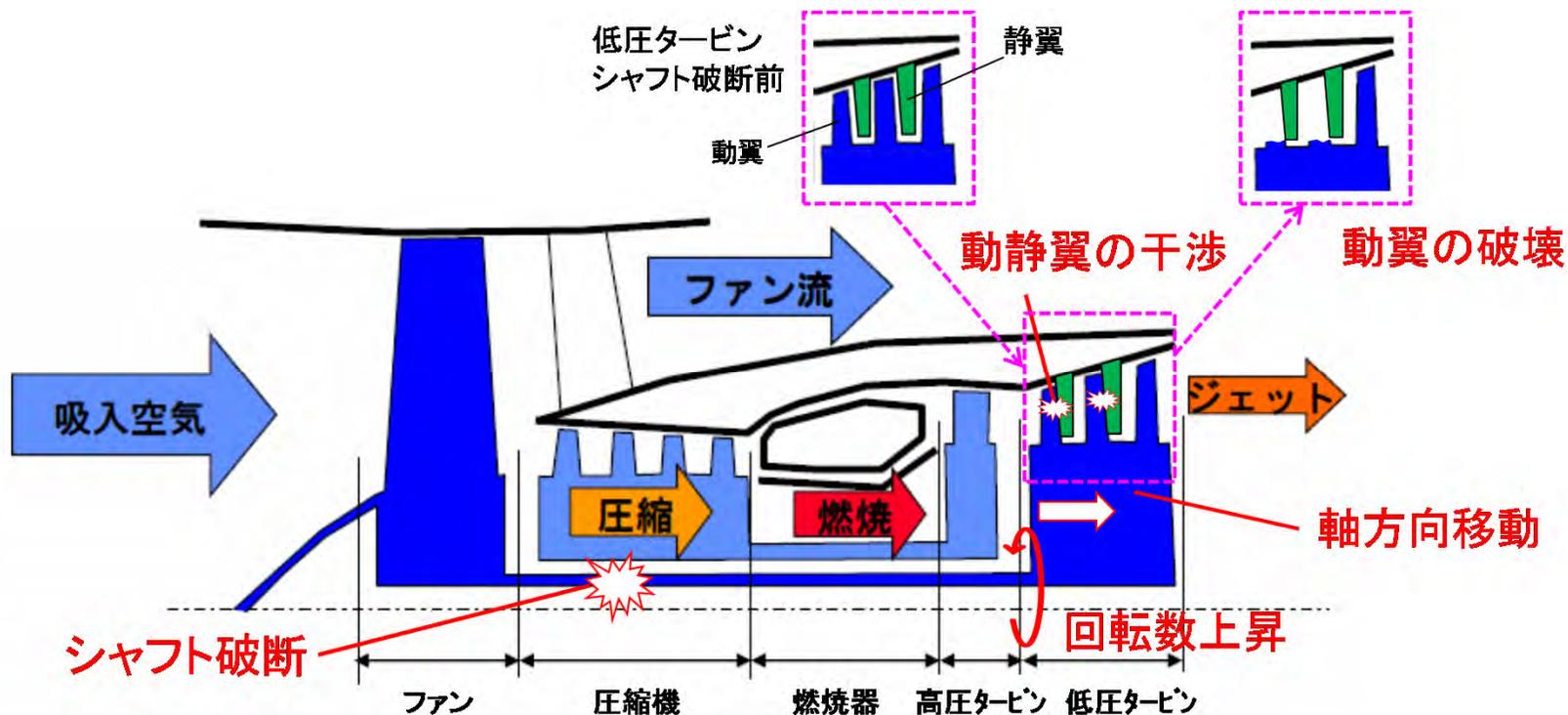


樹脂製吸音ライナの吸音特性

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量タービンブレード技術】

- 過回転防止設計技術： 万一の駆動軸破断時でも、タービンの動翼と静翼を干渉させて動翼を破壊し、空力回転トルクを消失させることによりオーバースピン(過回転)を防止し、回転部材のコンテインメント性を確保するフェールセーフ設計技術です。
- タービン翼を新素材CMCで製作する場合、その高速衝撃破壊特性に適した過回転防止設計が技術的にキーとなります。



過回転防止設計(低圧タービンシャフト破断事象に対する安全設計)

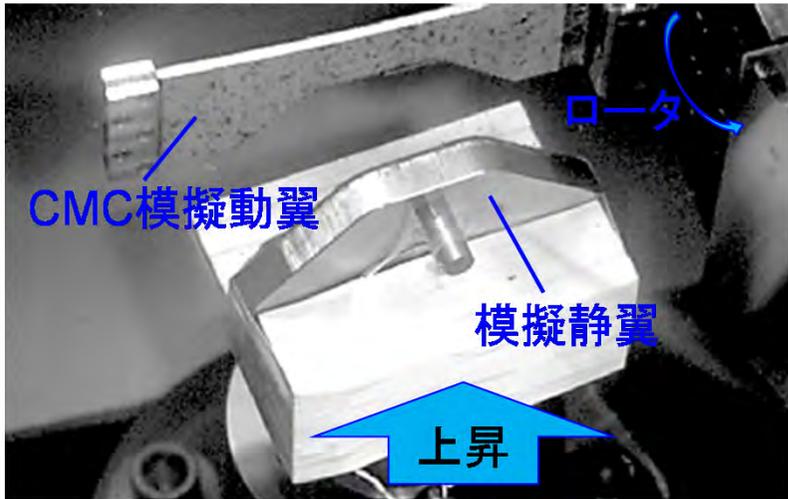
高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量タービンブレード技術】

➤従来の耐熱合金よりも軽量で耐熱性の高いセラミックス基複合材 (CMC※1) 製とすることにより、大幅な軽量化が可能となります。これを実現するため、CMC製ブレードに適した過回転防止設計 (※2) を開発し、回転衝撃破壊試験において安全にCMCブレードを破壊できることを実証しました。



CMC翼モデル衝撃解析



CMC翼モデル回転衝撃破壊試験



回転衝撃試験装置



タービン翼列全周衝撃破壊解析

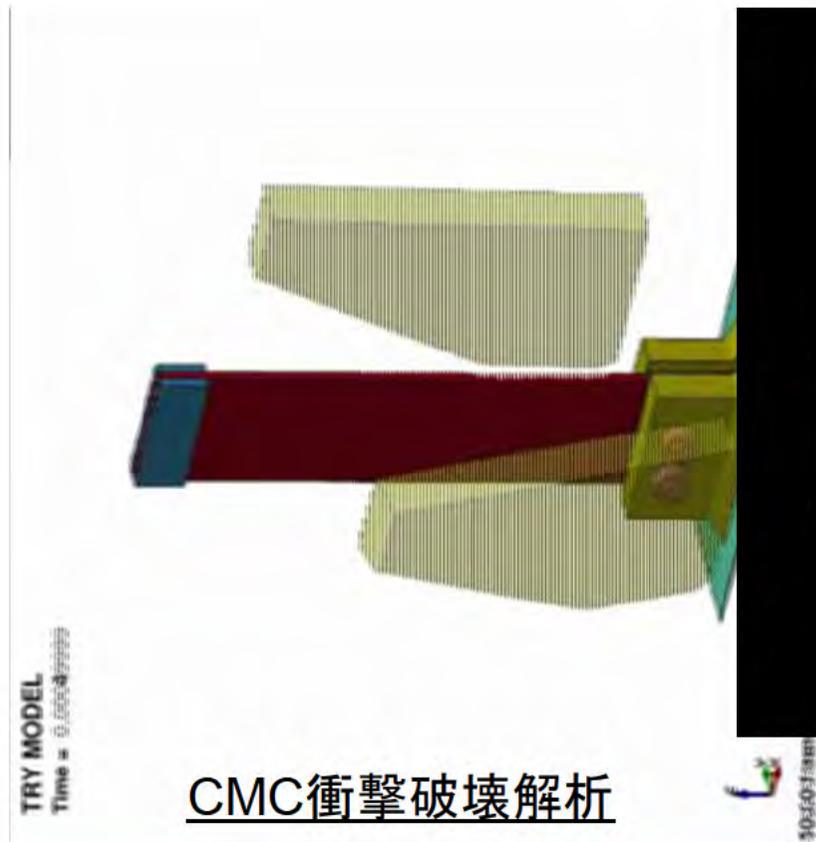
※1 Ceramic Matrix Composites

※2 低圧軸が破断した万ーの場合に回転翼部の過回転を防止する設計

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【軽量タービンブレード技術】

- ▶スパコンを用いた衝撃解析は、回転衝撃破壊試験の結果を高精度に予測可能であり、CMCタービンブレードの過回転防止設計に有効であることを確認できました。

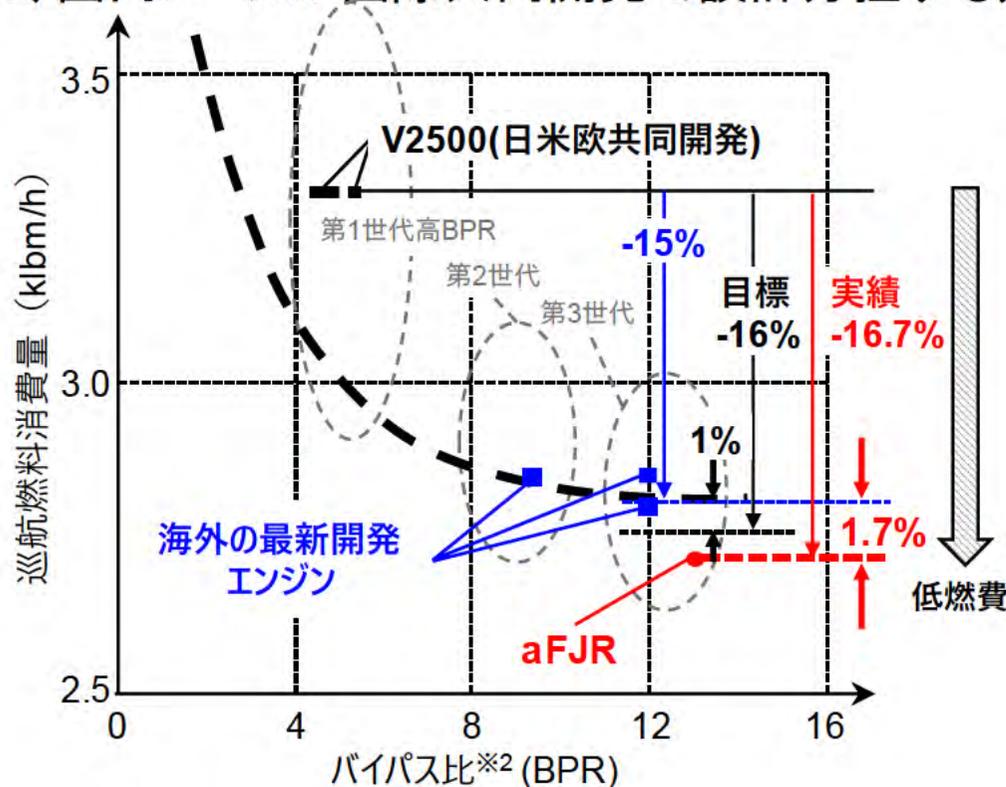


CMC回転衝撃破壊試験

高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)

【プロジェクト目標の達成度】

- ▶国内メーカーと共同で世界初となる複合材ファンブレードの中空化やタービンブレードのセラミック基複合材化等による軽量化および高効率化を実現し、海外の最新開発エンジンと比較した燃費低減目標を7割上回る世界トップレベルの燃費低減技術を開発しました。
- ▶海外で複合材ブレード製造技術を有するメーカーに対し、高効率軽量ファン、軽量タービン技術により差別化が実現され、国内メーカーが国際共同開発で設計分担する競争力を得る効果があります。



最新開発エンジン比
aFJR目標 -16.0%に対し
aFJR実績 -16.7%

高バイパス比化による燃費低減の動向とaFJR成果の優位性

※2 バイパス流量とコアエンジン空気流量の比で、大きいほど低燃費

高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)

【aFJR実用化促進事業(JAXA後継事業)】

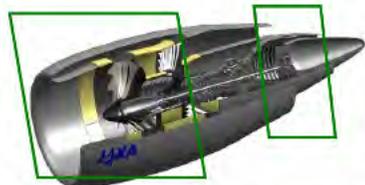
- 事業の目的: 国内メーカーが進める実用化検討や開発事業に対する技術的な支援を行い、次期エンジン国際共同開発参画を可能とします。
- 事業の目標: aFJRプロジェクトの成果(アウトプット)のうち、軽量吸音ライナ技術について、F7エンジン(※1)を用いたシステム実証により、技術成熟度をTRL6(システムレベル)に向上させます。

aFJRプロジェクト(終了)

目的: 産業界からのニーズが高いファン・低圧タービンについて、燃費低減のキーとなる要素技術を開発・実証する。
目標: 効率向上および軽量化に必要な技術目標を要素レベルで実証する。

ファン: 軽量化技術、高効率化技術の開発

低圧タービン: 軽量化技術の開発



要素レベルの技術実証

エンジンシステム解析による評価(効率、重量)

aFJR実用化促進事業

実用化検討
(メーカー担当)

実用化支援

実用化支援
技術協力
(JAXA担当)

A320neo後継機エンジン等の開発

超高バイパス比エンジン国際共同開発事業へ参画。
シェア維持・拡大を狙う。

技術協力

※1 防衛装備庁により民間転用認可済み(防衛装備庁プレスリリース(H28.12.14))

高効率軽量ファン・タービン技術実証 (aFJR)

【aFJR実用化促進事業 (JAXA後継事業)】

- 我が国独自で、獲得した優位技術のシステム実証を適時に行うことが国際競争力の強化に必須です。
- 国産の高バイパス比エンジンとして唯一のF7エンジン (防衛装備庁開発・運用の装備品) が、民間転用を承認されました。
- 技術実証用エンジンとして、平成31年度にJAXA導入予定です。



JAXA地上エンジン運転試験設備



FJR-710/600S
運転試験



超音速エンジン (ESPR)
運転試験



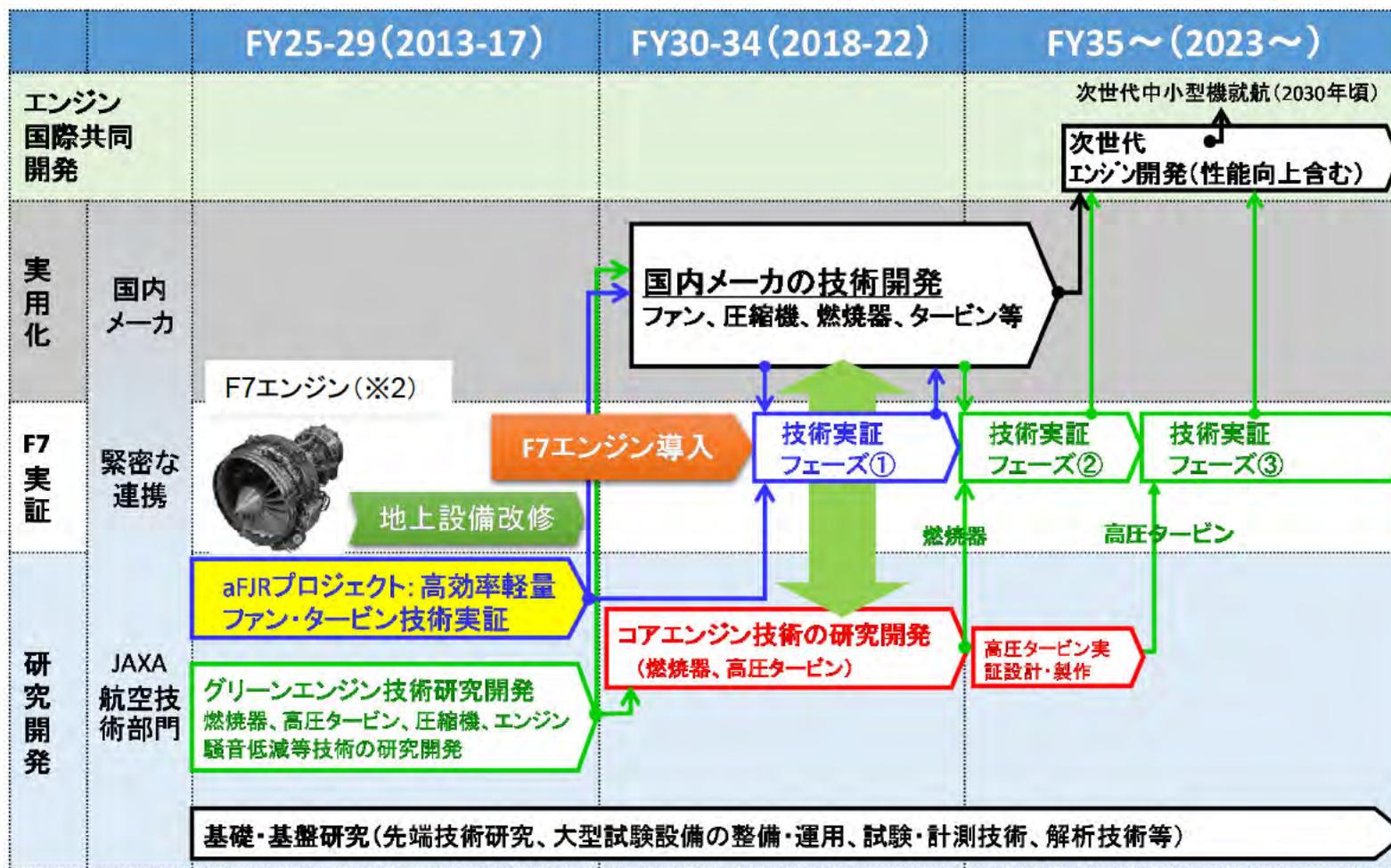
民間転用承認されたF7エンジン (※1)

※1 出典: 防衛装備庁プレスリリース (H28.12.14) より。

高効率軽量ファン・タービン技術実証(aFJR)

【研究開発ロードマップ(※1)】

- JAXAと産業界の技術開発戦略を整合させ、大規模試験設備群(F7エンジン含む)による高い技術成熟度の技術実証を通して、エンジン技術の国際競争力強化に貢献します。



※1 文部科学省航空科学技術委員会資料(H29.6.14)より

※2 出典:防衛装備庁プレスリリース(H28.12.14)より。



ご静聴ありがとうございました。