

aFJRプロジェクト (高効率軽量ファン・タービン技術実証) の成果概要

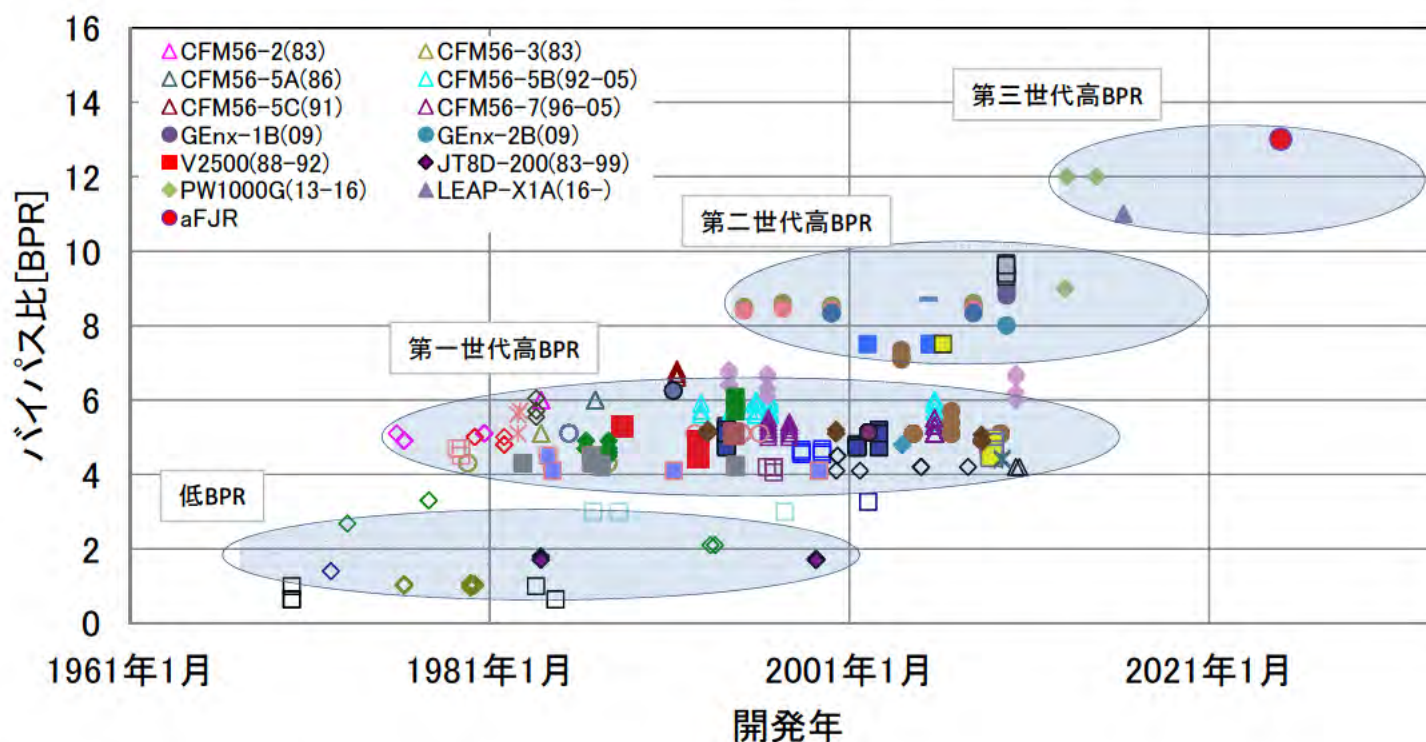
宇宙航空研究開発機構 航空技術部門

推進技術研究ユニット長
西澤 敏雄

1. 概要

【1.1 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、バイパス比*の増大（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。



* ファンのみを通る空気流量と燃焼室空気流量の比で、大きいほど低燃費

1. 概要

【1.2 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。

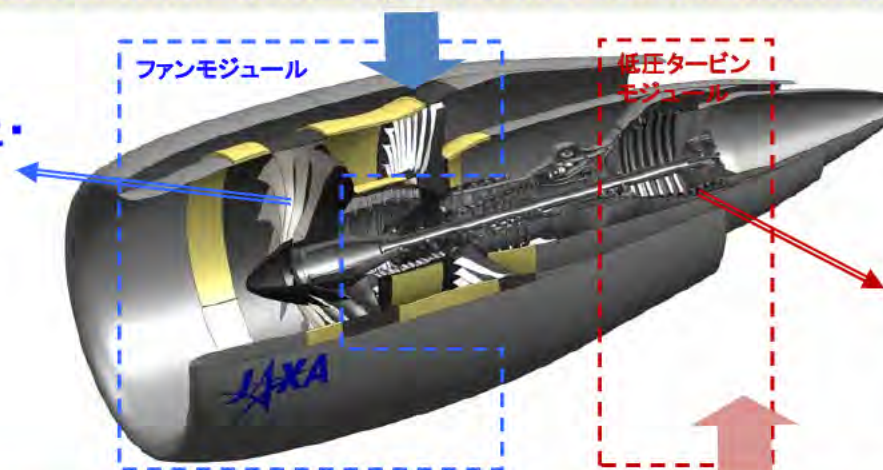
①ファンの軽量化(0.9%)を達成する差別化技術を開発・実証

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。

1. 概要

【1.3 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

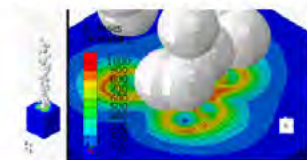
- ⇒中空ナローコードCFRP翼設計技術
- ⇒複合材衝撃解析技術

✓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

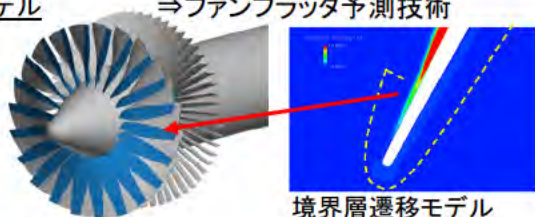


加工シミュレーションモデル

●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



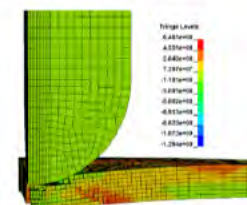
境界層遷移モデル

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)

1. 概要

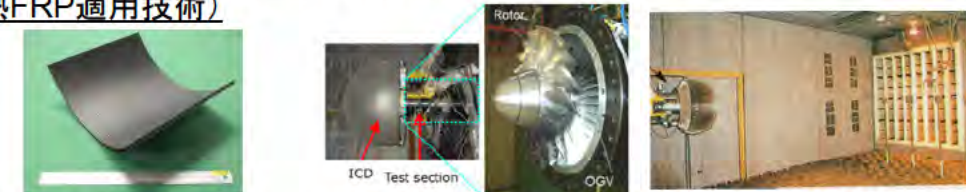
【1.4 技術実証】 プロジェクト目標を達成するため、aFJRプロジェクトの技術コンセプトをそれぞれ搭載したファン・タービンを構成する供試体を設計製作し、既存試験設備で実証しました。

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)



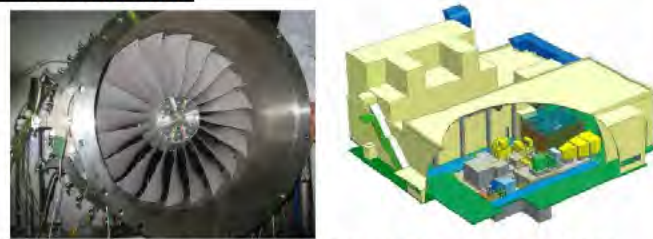
中空CFRPブレード供試体 軽量ファンブレード耐衝撃性実証試験(高速衝撃試験機)

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ング音響試験(IHI殿 無響試験室)

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)

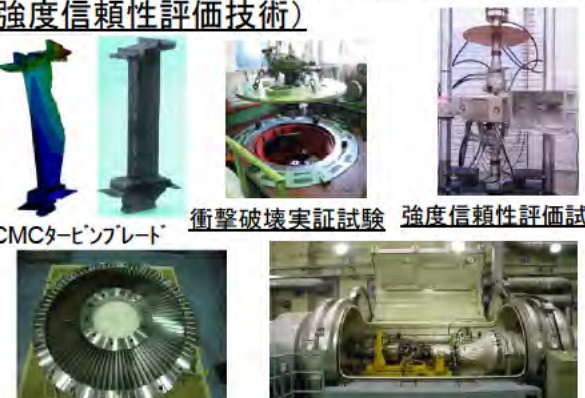
軽量マタルディスク技術(加工シミュレーションベース設計技術)



マタルディスク供試体

軽量マ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)



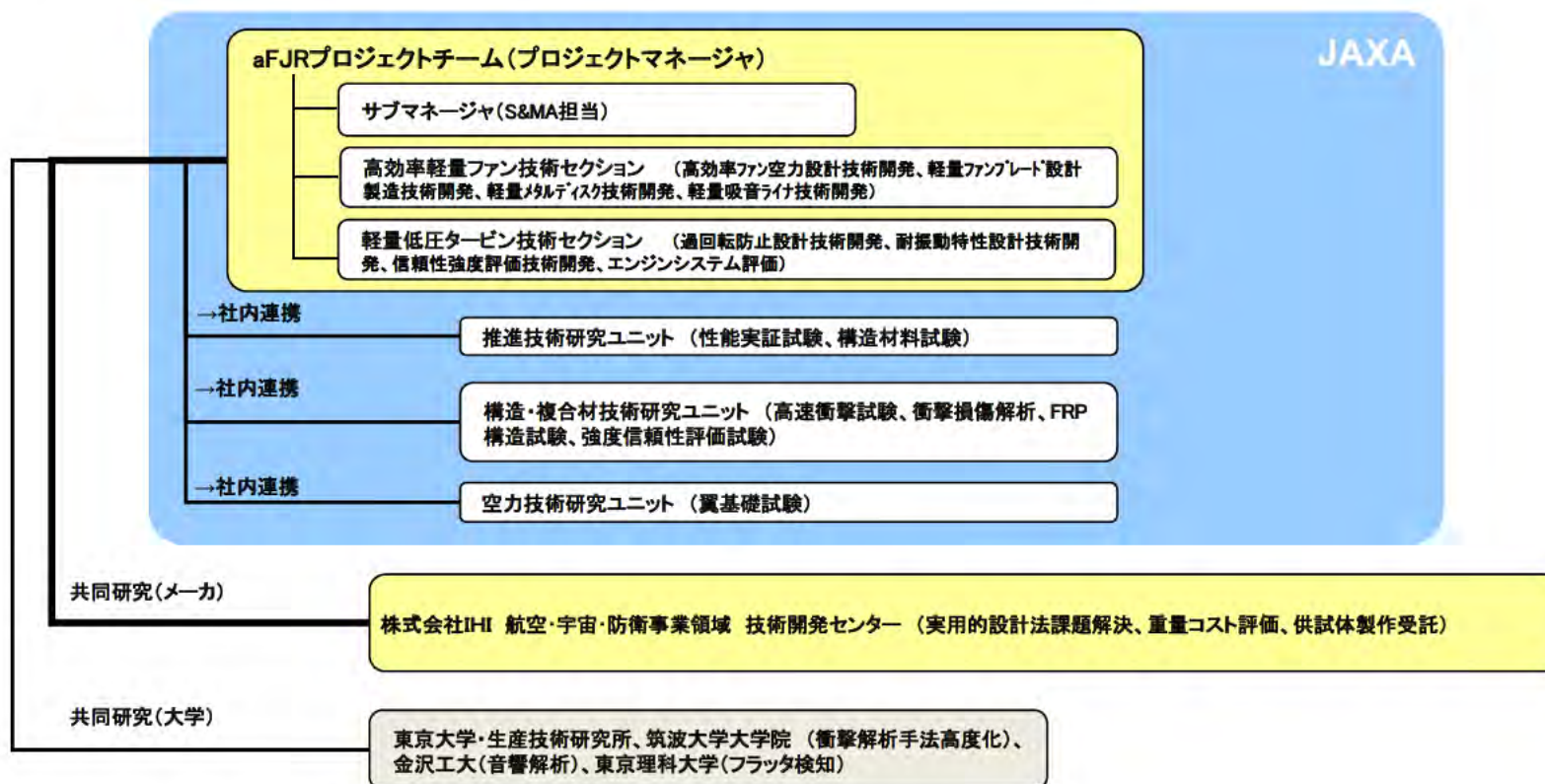
CMCタービンブレード

タービンフラッタ供試体 衝撃破壊実証試験 強度信頼性評価試験

低圧タービン翼フラッタ実証試験

1. 概要

【1.5 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。



2. 研究成果

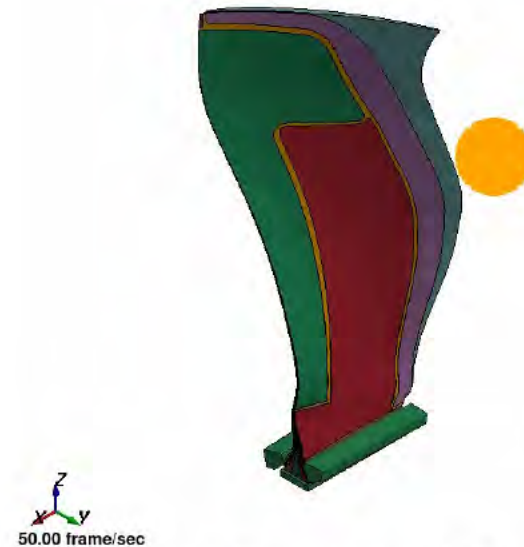
【2.1 軽量ファンブレード技術】

- 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

2. 研究成果

【2.1 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)

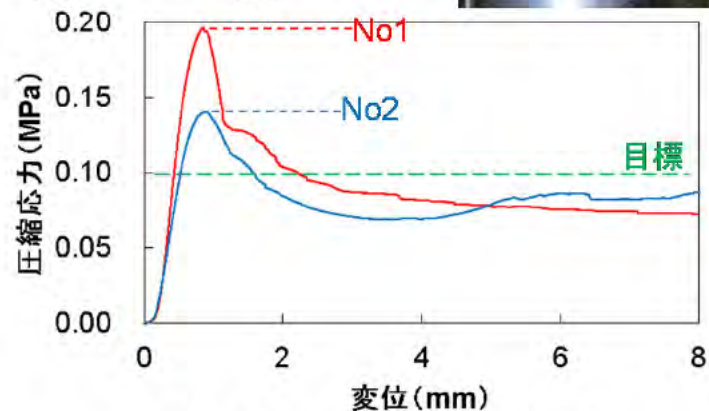
CFRP中空ファンブレード高速衝撃試験結果

※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

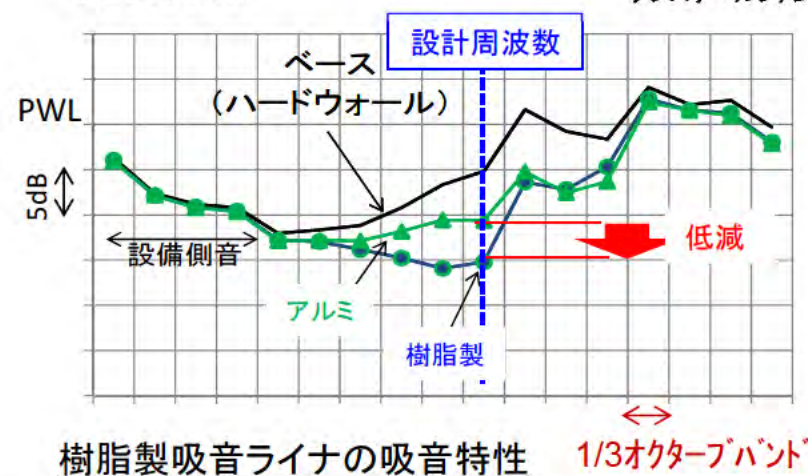
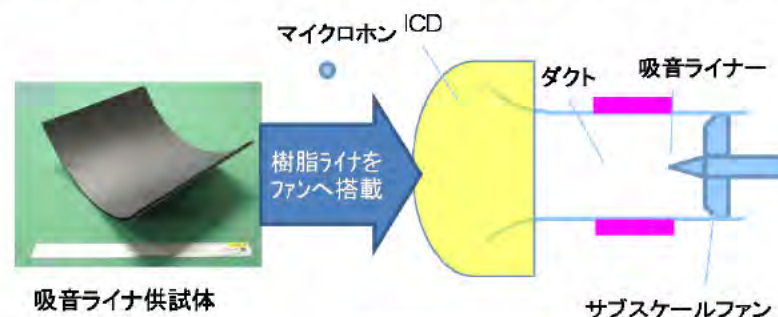
2. 研究成果

【2.2 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で、耐荷重強度（ピーク圧縮応力）が十分であることを確認しました。
- ▶開発した樹脂製吸音ライナが、軽量化の目標と、騒音低減の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。



軽量吸音ライナ強度試験結果



樹脂製吸音ライナの吸音特性 1/3オクターブバンド

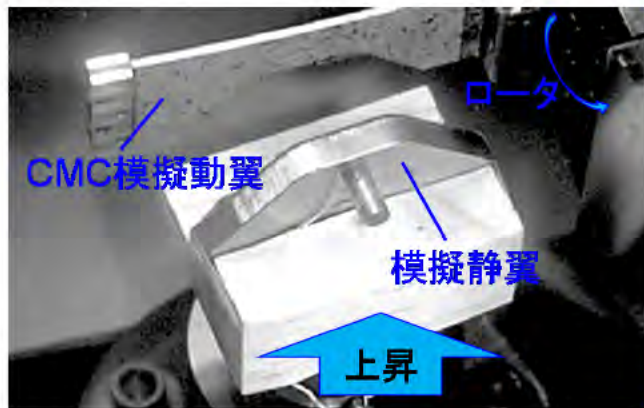
2. 研究成果

【2.3 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

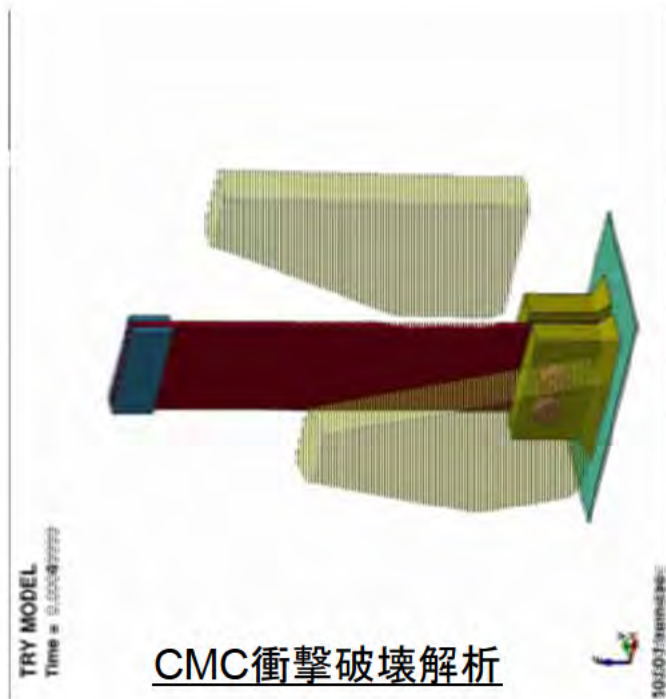
※1 Ceramic Matrix Composites

※2 低圧軸が破断した万一の場合に回転翼部の過回転を防止する設計

2. 研究成果

【2.3 軽量タービンブレード技術】

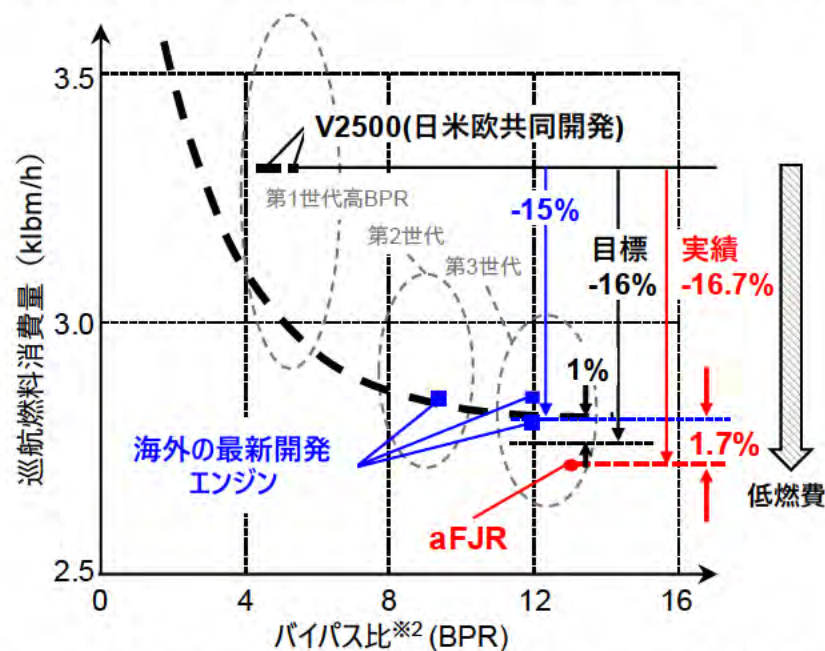
▶スパコンを用いた衝撃解析は、回転衝撃破壊試験の結果を高精度に予測可能であり、CMCタービンブレードの過回転防止設計に有効であることを確認できました。



2. 研究成果

【2.4 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

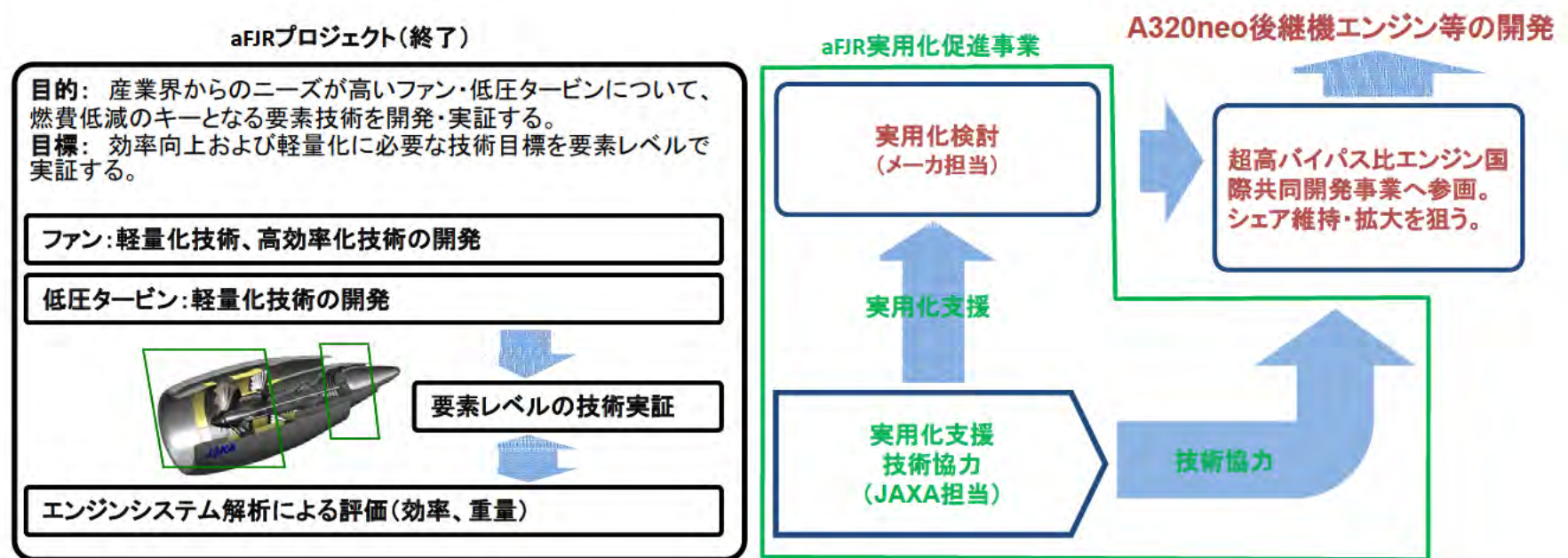
JAXA Proprietary

※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

3. まとめ（今後の展開）

【3.1 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。



※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))

3. まとめ（今後の展開）

【3.2 技術実証エンジンの導入】

- ▶ 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



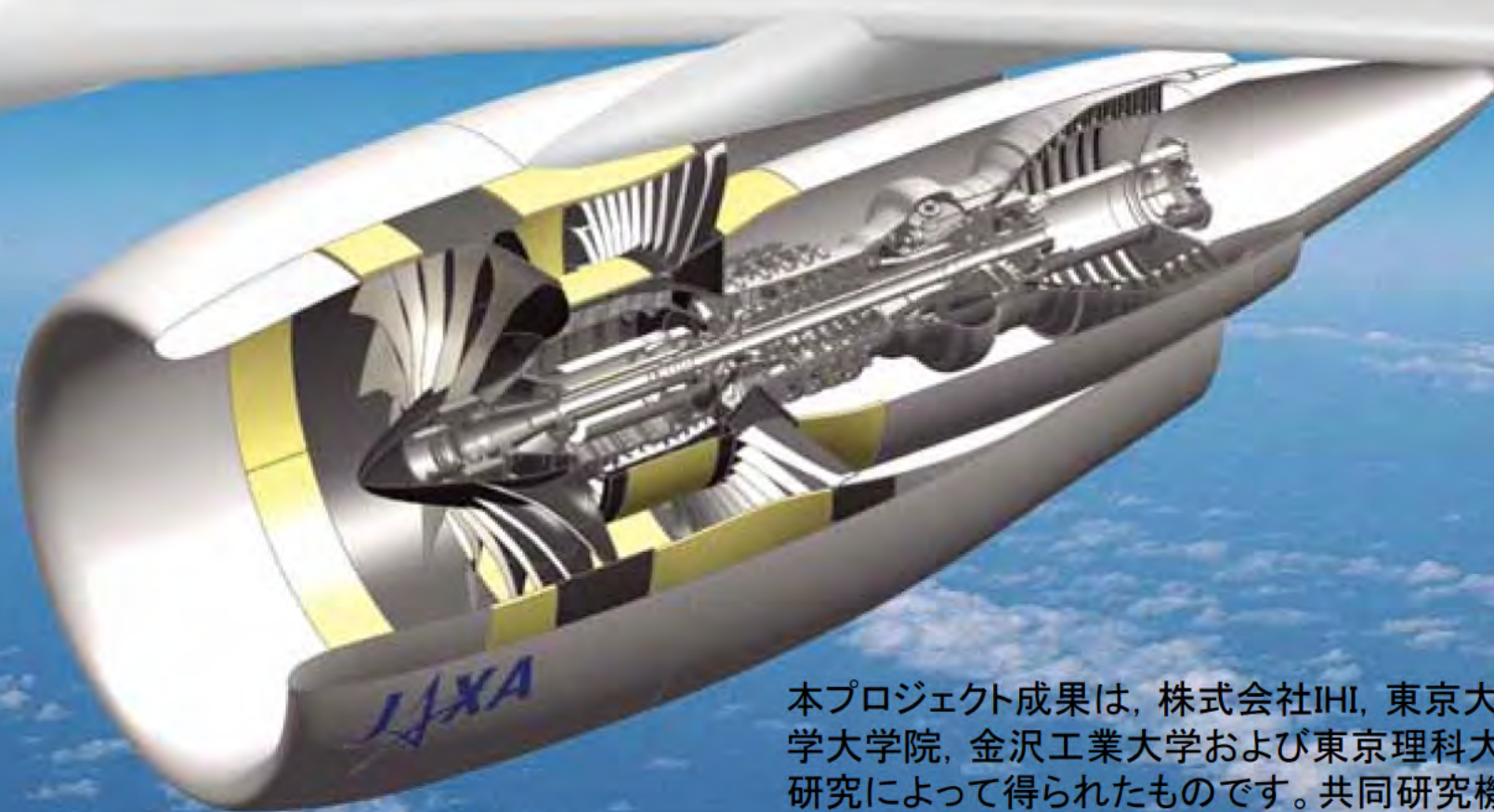
超音速エンジン(ESPR)
運転試験



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。

ご静聴ありがとうございました。



本プロジェクト成果は、株式会社IHI、東京大学、筑波大学大学院、金沢工業大学および東京理科大学との共同研究によって得られたものです。共同研究機関の皆様ならびにJAXAのaFJRプロジェクトチーム員および関係各位の多大なるご協力に深い感謝の意を表します。

JAXA Proprietary