

「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」

(事後評価)

プロジェクトの詳細

(公開)

全体システムエンジン実証

2013年 7月17日

1

インテグレーション技術開発

エンジンシステム特性向上技術

全体システムエンジン実証

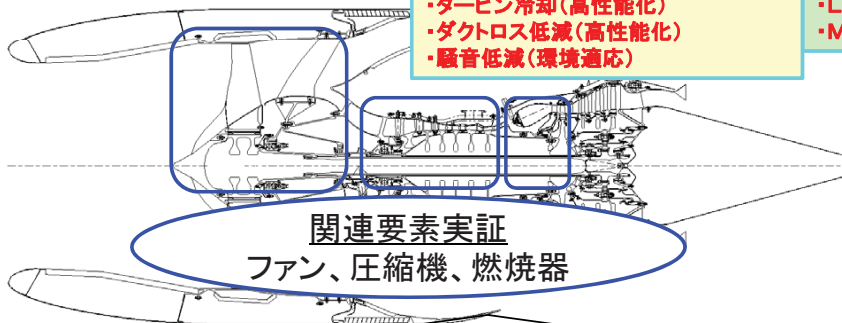
第2期仕様デモエンジン設計／燃費重視仕様エンジン設計
設計確認／製造工程確認

設計確認

- ・作動反転ベアリング(機能確認)
- ・可変静翼機構(低コスト化)
- ・タービン冷却(高性能化)
- ・ダクトロス低減(高性能化)
- ・騒音低減(環境適応)

製造工程確認

- (低コスト製造技術)
- ・鋳造シミュレーション
- ・LFW(線形摩擦接合)
- ・MIM(金属射出成型)



関連要素実証

ファン、圧縮機、燃焼器

型式承認を支える基盤技術

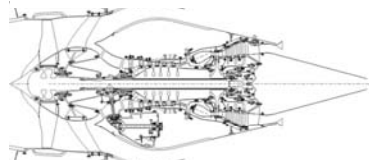
耐久性評価技術
(材料データベース)

耐空性適合化技術
(解析技術の検証)

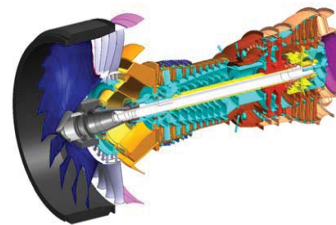
2

- 第2期仕様エンジンのデモエンジン製作に向けた詳細設計を実施
- 情勢の変化に対応し、燃費重視仕様エンジンの設計、直接運航費用(DOC)低減、環境適応性に関する適用技術を開発

第2期仕様のデモエンジン設計



燃費重視仕様エンジンの全体設計、適用技術の開発



情勢の変化

- ・経済危機
- ・燃料価格の高騰

インテグレーション設計

適用技術の開発

設計確認

- ・作動反転ベアリング(機能確認)
- ・可変静翼機構(低コスト化)
- ・タービン冷却(高性能化)
- ・ダクトロス低減(高性能化)
- ・騒音低減(環境適応)

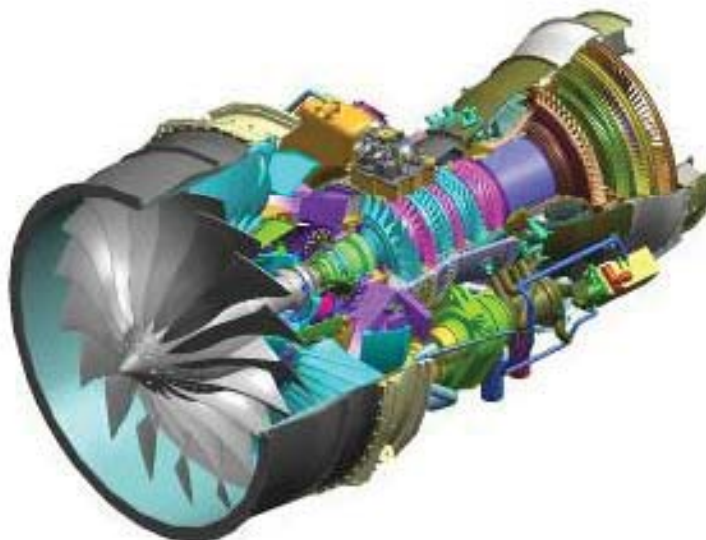
製造工程確認

- (低コスト製造技術)
- ・鋳造シミュレーション
- ・LFW(線形摩擦接合)
- ・MIM(金属射出成型)

事業原簿 Ⅲ-71、72

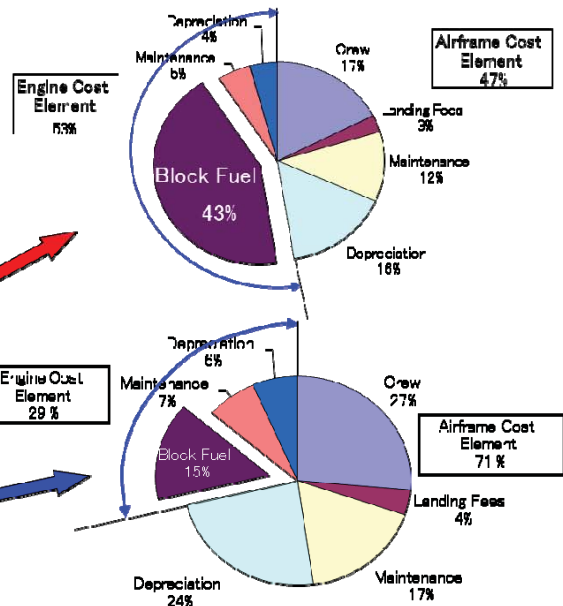
DOC:Direct Operating Cost 直接運航費用

- デモエンジン製作に向け、第2期仕様エンジンの詳細設計を実施
- 直接運航費用(性能、重量、コスト、整備費)の目標を具現化するデモエンジン設計を進め、更なる軸長短縮等による軽量化、組立・整備性向上を図りつつ、FBO(Fan Blade Off:ファン翼飛散)を含む構造成立性を確認 (燃費重視へエンジン仕様の見直しを実施したため中断)



事業原簿 Ⅲ-72~80

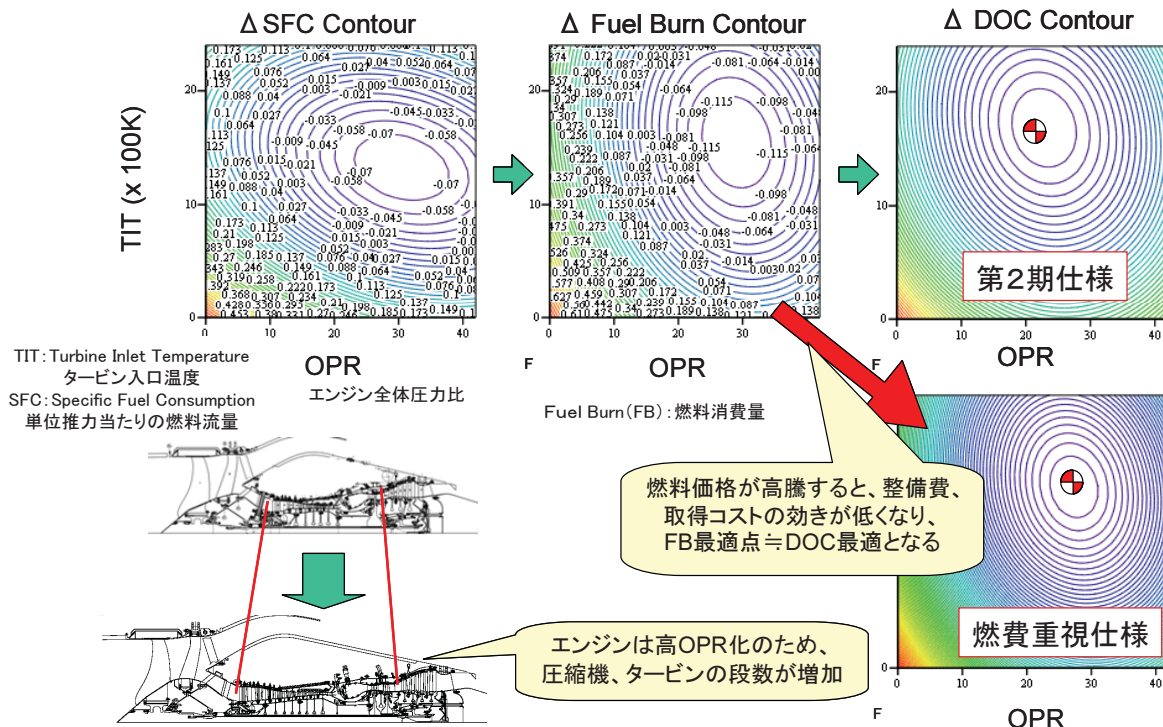
- 急激な燃料費の高騰により、エンジンに係るDOCに占める燃料費の割合が増加（これまでの3割程度から約5割へ上昇）
- 今後の燃料価格動向は不透明だが、世界的な需要増、地球温暖化対策の必要性の高まりから、高止まりするとの見方が大勢
 - 低燃費化が重要に



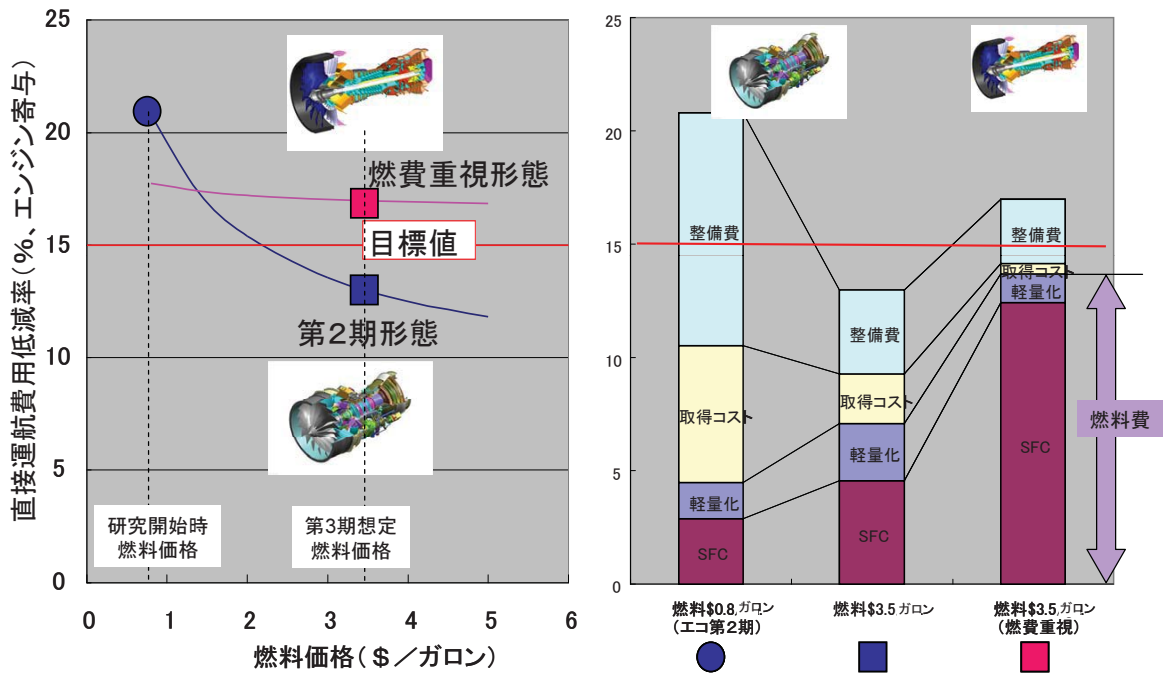
ジェット燃料価格実績と短期予測(米国EIA予測)

市場ニーズ → 低燃費、CO2削減重視へ変化

- 燃費重視の最適サイクルの見直しを実施
- 高圧力比化による熱サイクルの向上が必要となる

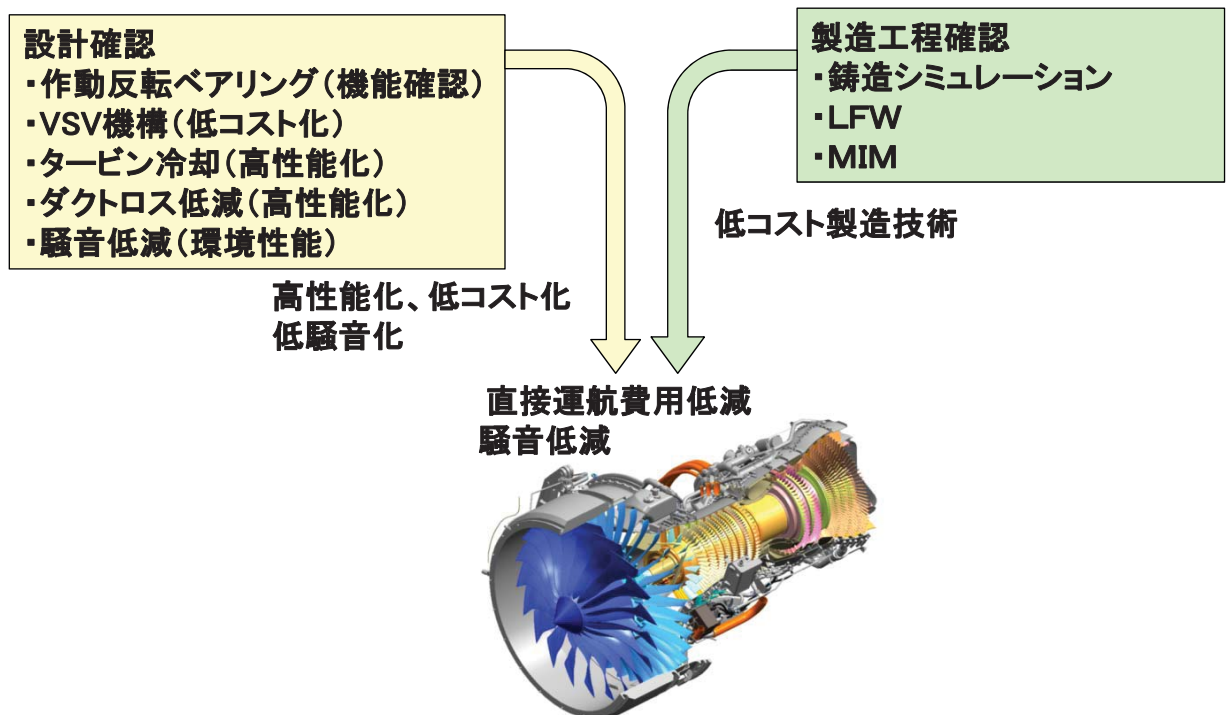


- 燃費を重視したエンジン形態を取ることで、不確実な燃料価格の変動に対して、DOC低減が可能

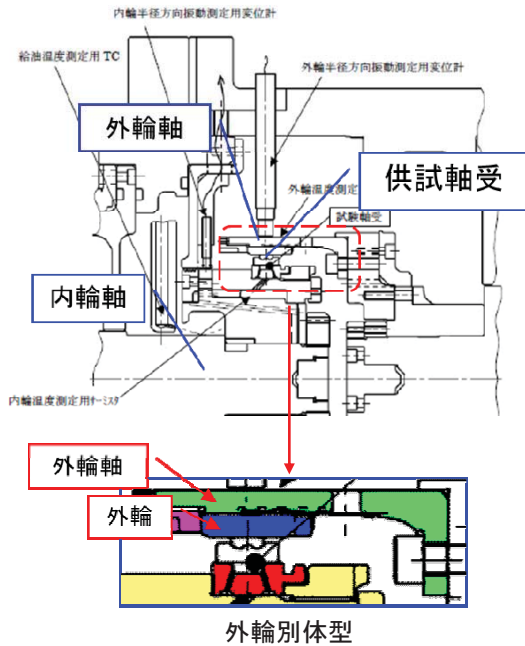


事業原簿 Ⅲ-81~82

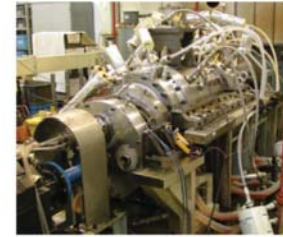
- 燃費重視仕様エンジンを支える各適用技術の開発、確認として設計確認を、直接運航費用低減へ資する低コスト製造技術として製造工程確認を実施



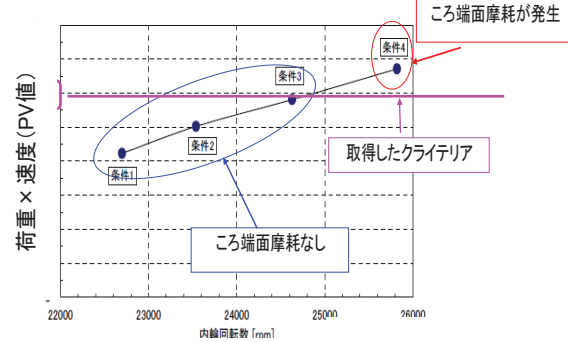
- カウンターローテーション化のキーとなる技術である、作動反転ベアリングを開発
- 第2期までに選定した軸受け形状から、コストダウンが図れる外輪/外輪軸に分離した外輪別体型軸受を考案し、実機で想定される急加減速運転(7500サイクル)で軸受けの耐久性、ころの運動特性(自転・公転運動)を確認、設計データを取得



外輪別体型



試験外観

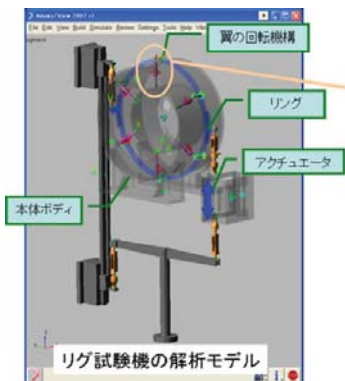
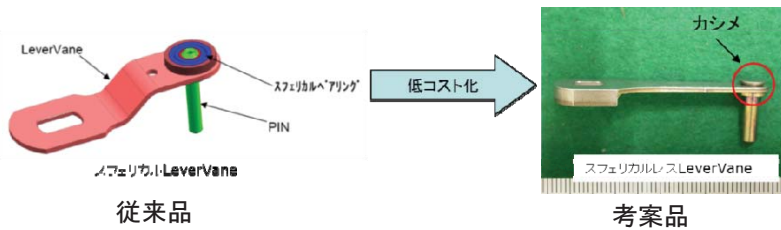


外輪別体型試験結果

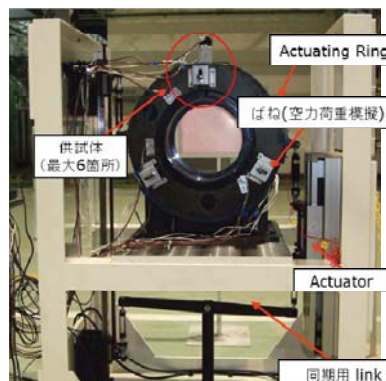
事業原簿 Ⅲ-90

デモエンジン設計、適用に向け、機能および設計データを整備

- 高価なスフェリカルベアリングを廃した、スフェリカルレスLever Vaneを開発
- スフェリカルレスLever Vaneを適用した際のガタ・弾性変形を考慮した同期リングの機構解析技術を開発し、実機の挙動を精度良く予測できることを模擬試験で確認



リンク機構解析

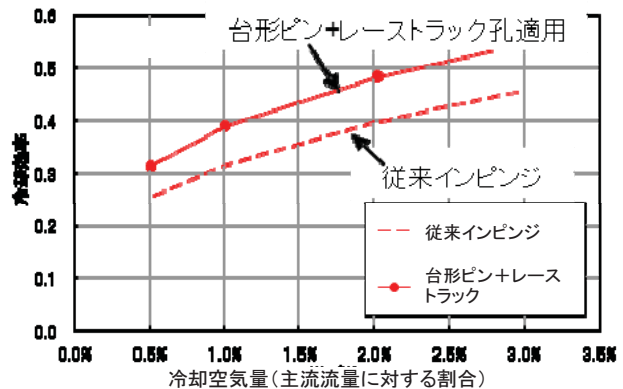
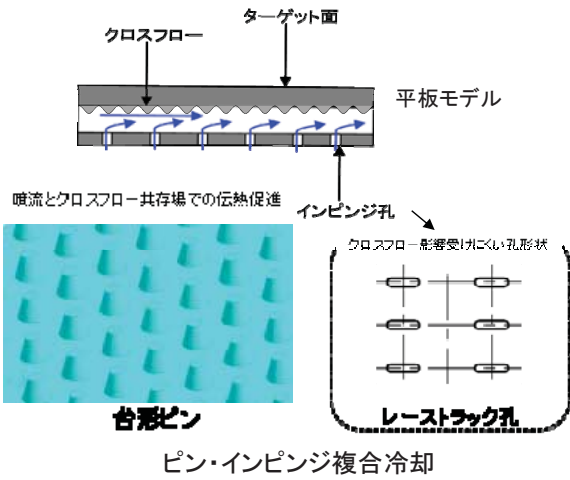


模擬試験による確認

事業原簿 Ⅲ-91、92

・デモエンジン設計、適用に向け、機能および設計手法を整備
・低コスト化で直接運航費用低減に寄与

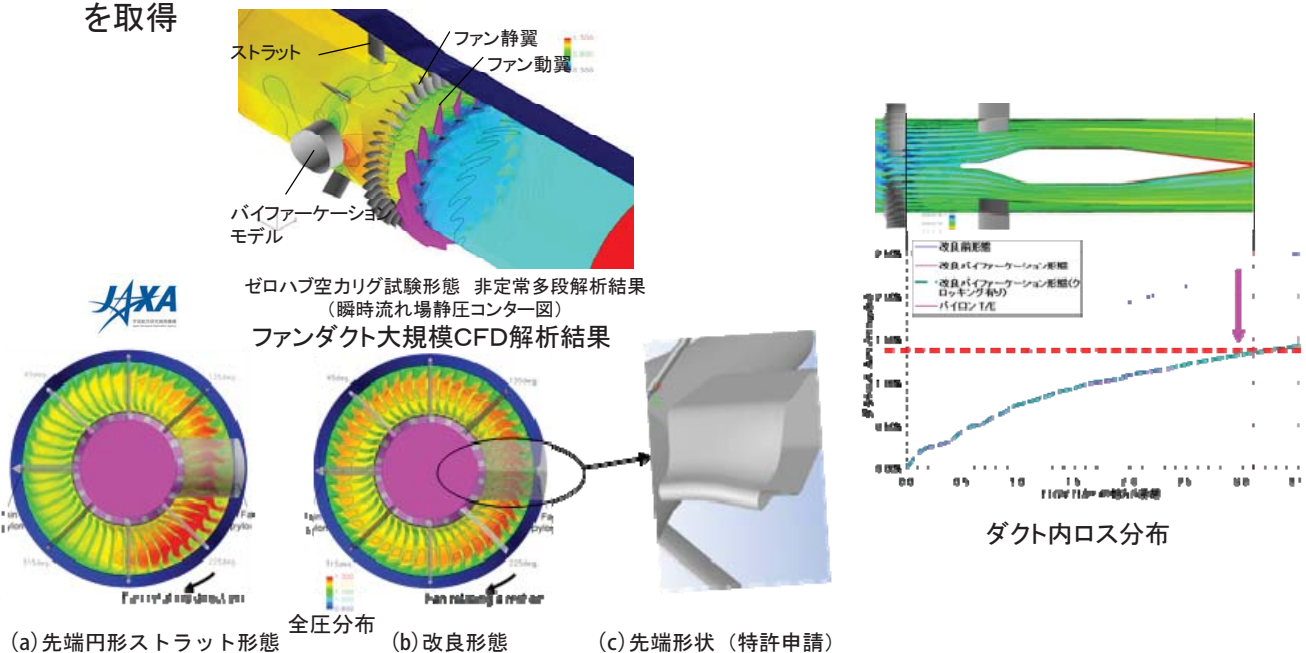
- タービン静翼を対象に冷却効率向上のため、研究を実施。新たな冷却強化方式(ピン・インピンジ冷却、特許取得)を開発
- 従来技術よりも冷却効率が5pts程度向上することを試験で確認
- 冷却性能試験などは、JAXAとの共同研究を活用して実施



ピン・インピンジ複合冷却試験結果 JAXA

・デモエンジン設計、適用に向け、機能および設計手法を整備
 ・冷却空気削減に繋がる技術取得で、低燃費化により、目標の直接運航費用低減に寄与

- 大規模CFD解析(JAXAとの共研)により、ポテンシャル静圧場に起因する圧力損失を精度良く解析
- 本解析を用いて、圧力損失を抑制したダクト内に配置するバイファーケーションの先端形状(特許取得)を考案、ファン静翼との干渉を考慮したインテグレーション設計技術を取得



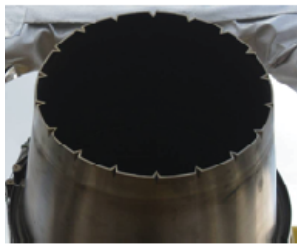
(a)先端円形ストラット形態 (b)改良形態 (c)先端形状(特許申請)

ダクトロス抑制の技術取得で、推力損失低減により目標の直接運航費用低減に寄与

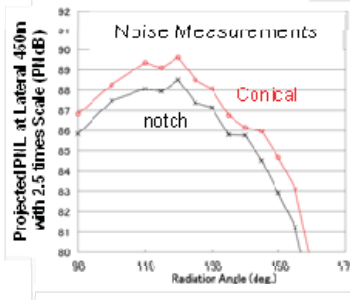
- 第2期開発のノッチノズル(特許)を改良(審査請求中)し、低騒音特性を向上
- JAXAとの共研により、小型実エンジンを用いた試験で低騒音効果を確認
- ノッチノズルの特徴として、推力ロスの小さいことを試験で確認



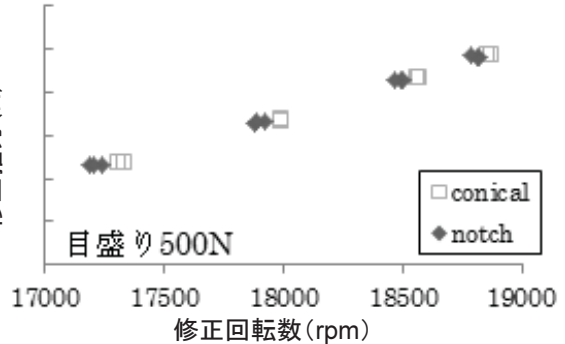
旧ノッチノズル



新ノッチノズル



修正推力(N)



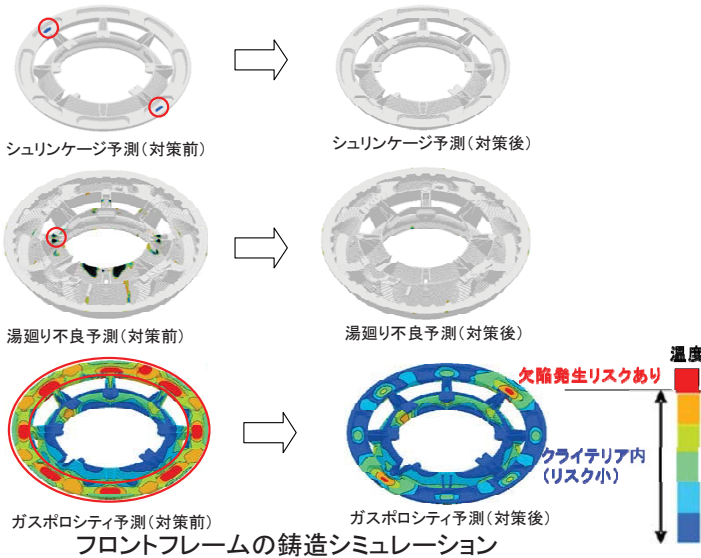
供試したノッチノズルと屋外運動場(JAXA能代ロケット実験場)

ノッチノズルとコニカルノズルの推力係数の比較

事業原簿 Ⅲ-101~104

- ・改良ノッチノズルの騒音低減効果を確認し、低騒音目標達成に寄与
- ・推力ロスの抑制で目標の直接運航費用低減に寄与

- 鋳造シミュレーション技術を開発し、欠陥発生確率が低く、ガスポロシティの発生も抑えた鋳造方案作成を効率化
- 実際に試鋳造した結果、欠陥が無いことを確認
- 型数の削減、検査省力化等により、約半減のコストダウン効果が見込める



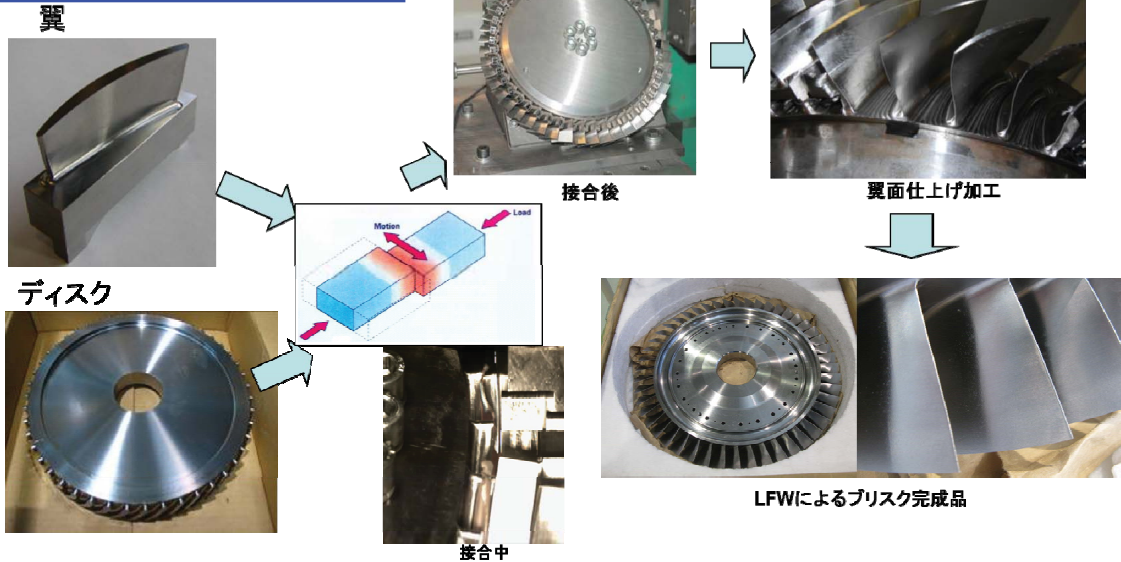
フロントフレームの試鋳結果

- ・デモエンジン設計、適応に向け、機能および設計手法を整備
- ・低コスト化で目標の直接運航費用低減に寄与

事業原簿 Ⅲ-109, 110

- 圧縮機ブリスクの革新的製造方法である線形摩擦接合の技術を開発
- 従来の切削による製造と比較して、ファン・圧縮機ブリスク製造に必要なチタン合金の量を約1/3に、製造コストを約3割低減することが可能

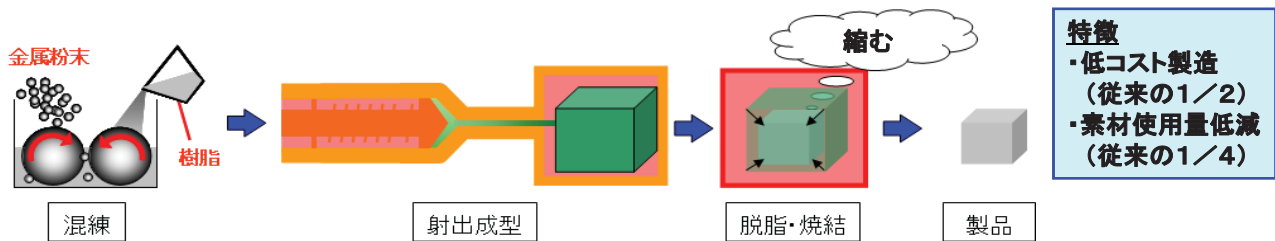
特徴
 ・切削に対し低コスト(3割減)
 ・切削に対し素材使用量低減(1/3)



事業原簿 Ⅲ-111

・デモエンジン適用に向け、製造技術を整備
 ・低コスト化で目標の直接運航費用低減に寄与

- 現在主流の鍛造+機械加工に代わるネットシェイプ金属射出成形技術を開発
- 従来の切削による製造と比較して、圧縮機静翼製造に必要なニッケル合金の量を約1/4に、製造コストを約1/2に低減することが可能



MIM工程: 金属粉末とバインダ(樹脂類)を用いてネットシェイプ素材を得る製法



ネジゲージによる
 検査に合格

圧縮機静翼の試作品

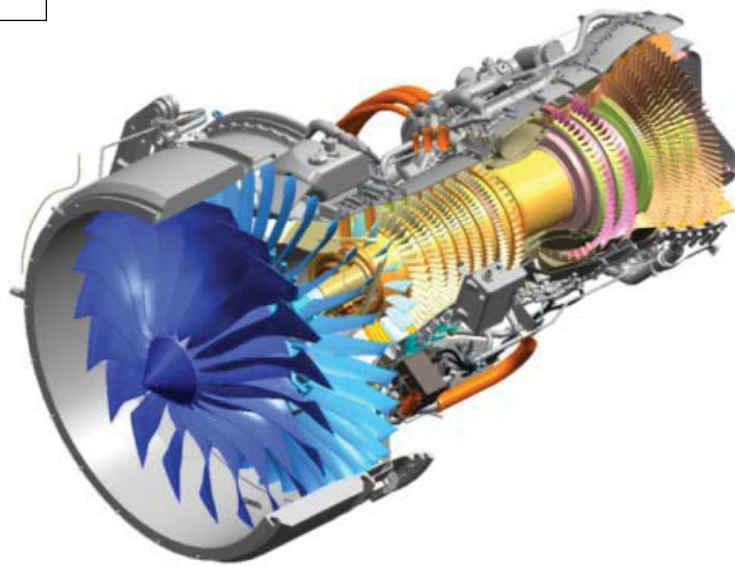


事業原簿 Ⅲ-112

・デモエンジン適用に向け、製造技術を整備
 ・低コスト化で目標の直接運航費用低減に寄与

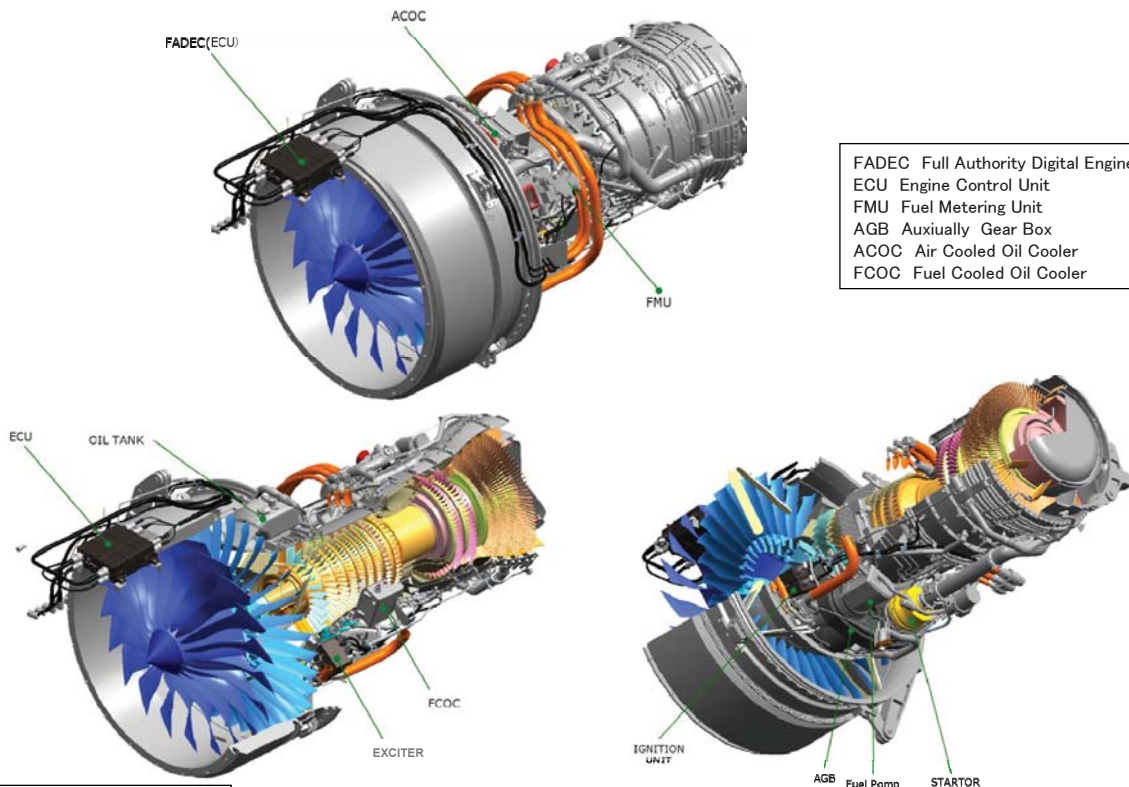
- 第2期仕様エンジンをベースとして、各要素技術成果を反映しながら、燃費重視仕様エンジンのインテグレーション設計を実施

燃費重視仕様エンジン



事業原簿 Ⅲ-84~88

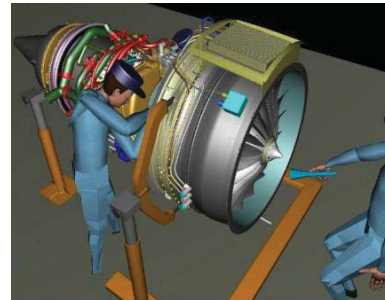
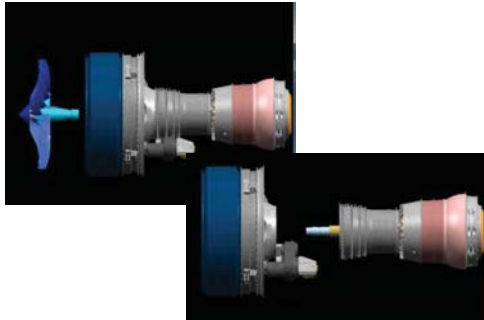
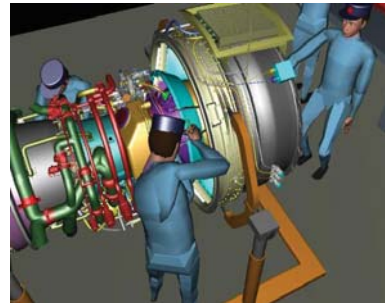
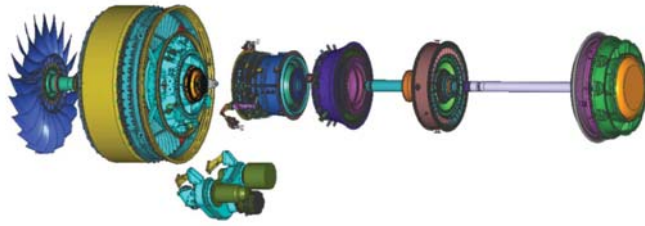
- 艙装、配管類を第2期検討のQEC(Quick Engine Change)の考え方を踏襲し配置



FADEC Full Authority Digital Engine Control
 ECU Engine Control Unit
 FMU Fuel Metering Unit
 AGB Auxially Gear Box
 ACOC Air Cooled Oil Cooler
 FCOC Fuel Cooled Oil Cooler

事業原簿 Ⅲ-84~88

- 燃費重視仕様エンジンについて、組立手順、整備性について3次元モックアップを活用して実施。

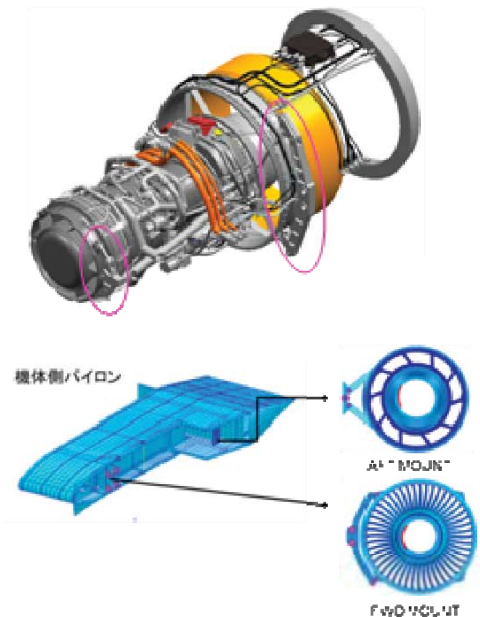
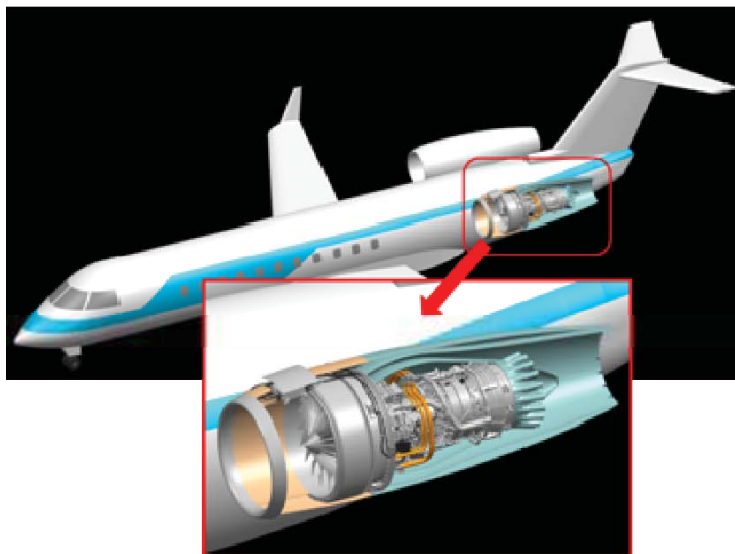


組立、分解手順の検討

整備性、アクセス性の確認

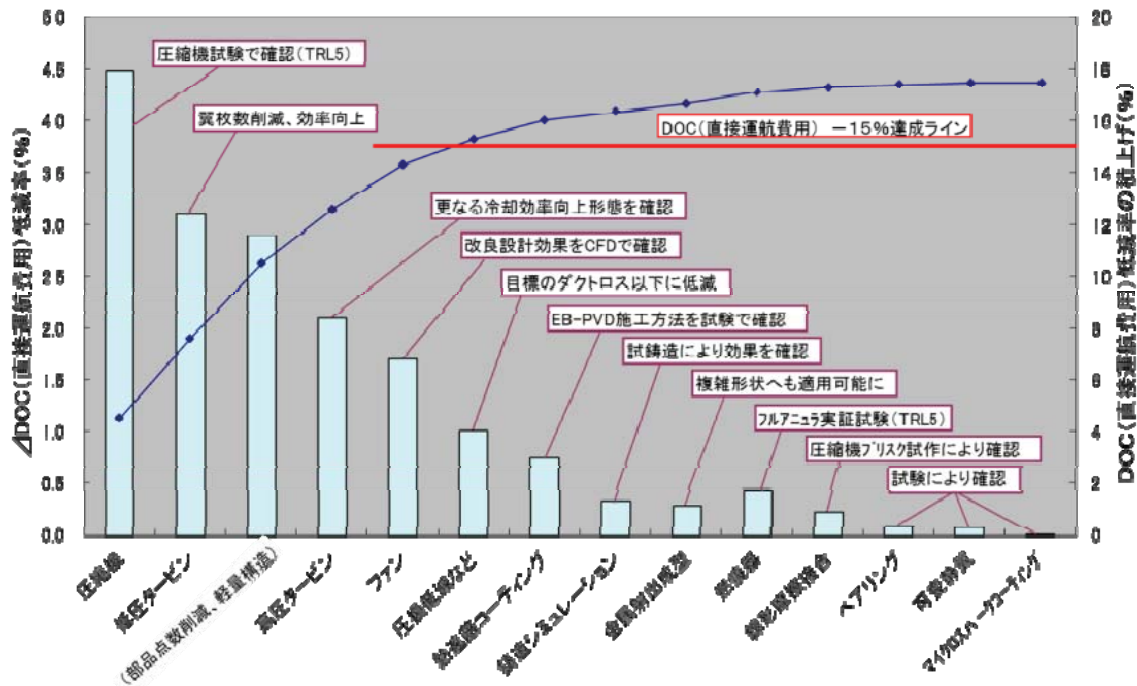
事業原簿 Ⅲ-84~88

- 3次元モックアップを活用して機体搭載状態、マウント配置、リンク機構について、配置を計画



事業原簿 Ⅲ-84~88

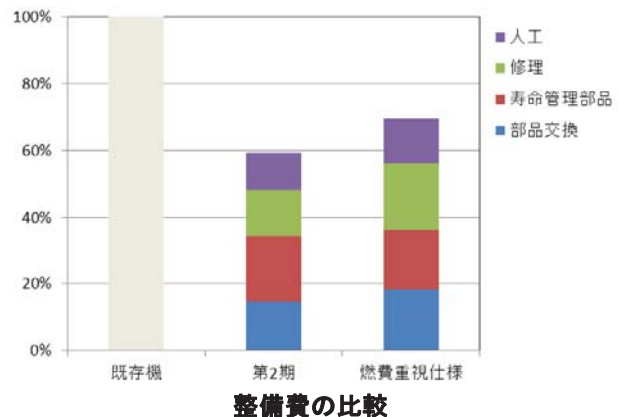
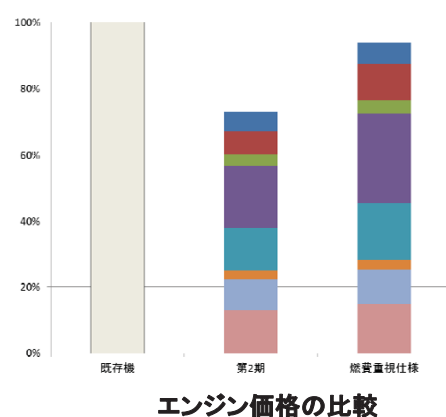
- 燃費重視仕様エンジンにおいて、高性能化、低コスト化技術を開発、適用することで、目標の直接運航費用-15%を達成



事業原簿 Ⅲ-117~119

TRL: Technology Readiness Level NASAの研究開発レベルの指標 (TRL5:リグ試験実証、エンジン適用前段階)
 CFD: Computational Fluid Dynamics 計算流体力学
 EB-PVD: Electron Beam-Physical Vapor Deposition 電子ビーム蒸着

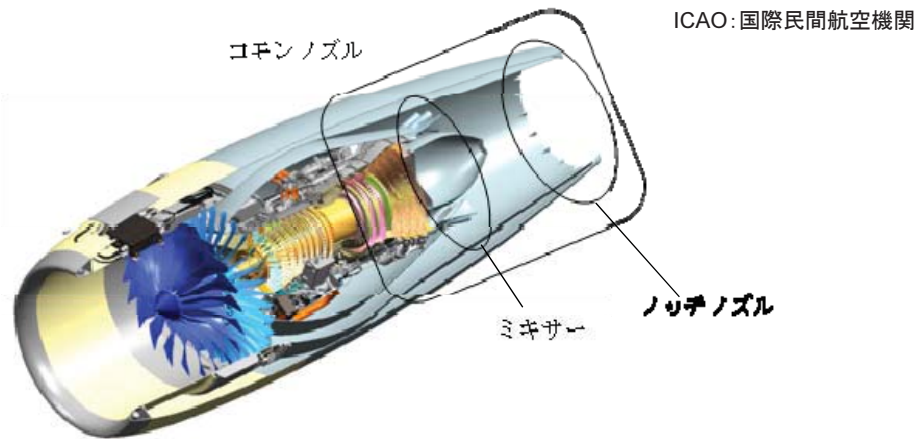
- 燃費重視仕様エンジンとなり、高圧力比化のため段数増加によって第2期仕様からエンジン価格で約20%増、既存機から約10%減となった。整備費は既存エンジンから約31%減、燃料消費量は約17%減との結果を得、十分に魅力あるエンジンであることを確認
- これらにより、燃費重視仕様における直接運航費用の達成を確認



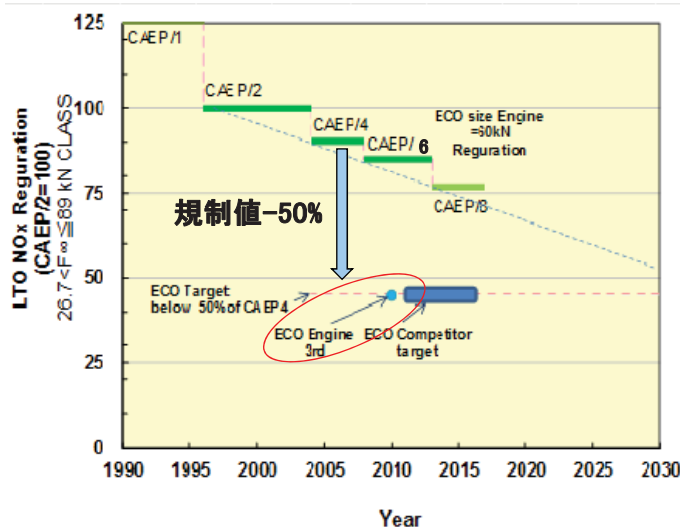
| | 個別項目低減量 | 直接運航費用低減量 |
|---------------------------|---------|-----------|
| | 評価結果 | |
| エンジン価格 | -10% | -0.4% |
| 整備費 | -31% | -1.3% |
| 燃料消費量 | -17% | -7.5% |
| 直接運航費用低減量 (機体+エンジン全体に対して) | | -9.2% |
| 直接運航費用低減量 (エンジン寄与分) | | -17.5% |

- 燃費重視仕様のエンジンサイクルにおいて、改良ノッチノズル(特許取得)に加え、コア・バイパス流をエンジン内で一様に混合するためのインターナルミキサー(ESPRプロジェクトで特許取得)付コモンノズル化により低騒音化
- 特許取得の騒音低減技術を適用することで、目標の規制値-20dBを達成

| | 圧力比 | ピーク排気速度 | 排気ノズル形態 | 騒音達成レベル |
|--------|-----|------------------------|----------------------------------|----------------|
| 燃費重視仕様 | 高 | 410m/s (コア流) | セパレートノズル+改良ノッチノズル | ICAO規制値-15dB |
| | 高 | 313m/s (コア・バイパス混合流) | コモンノズル(インターナルミキサー付) +改良ノッチノズル | ICAO規制値-20.5dB |



- 燃費重視仕様のエンジンサイクルにおいて、エンジン用燃焼器(急速混合燃焼器)を開発して、TRL5のフルアニューラ試験を実施し、低NOx性能を確認
- 特許取得した我が国独自形態の燃焼器を開発、採用し、目標の規制値-50%を達成



| | ねらい | 目標 | 成果 | 達成度 |
|------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|-----|
| 第2期仕様エンジン | デモエンジン試験 | デモエンジン試験によりエンジンシステムの成立性を確認(TRL6) | 第2期エンジン形態でのデモエンジン全体設計を完了し、インテグレーション技術を取得 | — |
| 燃費重視仕様エンジン | 情勢の変化に対し、ニーズに即した研究開発で、燃費、DOCの両者の低減 | 各研究成果を反映し、目標仕様値達成を見込めるエンジン全体設計の実施 | ・情勢の変化を受けて、燃費重視のエンジン仕様を策定 ・燃費重視仕様のインテグレーション設計を実施し、目標エンジンとして設定 ・各研究成果を反映し、直接運航費用低減、低NOx化、低騒音化の各研究成果をエンジンに反映し、目標仕様値を達成 | ○ |
| 設計確認 | 適用技術の機能確認および高性能化、低コスト化 | エンジン適用条件での機能確認、更なる高性能化、低コスト化を実施する | カウンターローテーションを実現する作動反転ベアリングを開発、複雑な機構の可変要素である可変静翼の低コスト化(特許)、ピン・インピンジ冷却構造考案(特許)、ダクトロス低減のストラット前縁形状考案(特許)、ノッチノズルの改良(特許)／低推力ロス確認などの各種技術を取得 | ○ |
| 製造工程確認 | 直接運航費用低減のための製造コスト削減 | | 段数増となった圧縮機の製造コスト削減に寄与するLFW、MIMの各技術を取得。鋳造シミュレーション技術で、大物フレーム等への低コスト化技術を取得 | ○ |

| | 基本計画 | 成果 | 成果の意義 |
|--------------|---|--|--|
| 全体システムエンジン実証 | 第2期のエンジン基本設計結果に基づき、革新的要素技術を取り入れた目標エンジンのインテグレーション設計、ならびにコアエンジン要素の競争力強化、低燃費化に資する高性能化を実施して、目標エンジンのシステム評価を行い、エンジンシステム特性向上技術を習得する。 | 以下によりインテグレーション技術を取得 ・第2期仕様のデモエンジンの全体設計を完了 ・情勢変化に対し策定した燃費重視仕様のエンジン設計を実施 ・各種高性能化、低コスト化技術を開発し、エンジンに反映することで、直接運航費用低減、低騒音化、低NOx化のプロジェクト目標を達成 | ・性能だけでなく、重量、コスト、整備性まで視野に入れたDOCという評価指標を導入、共有化することで、各技術価値をトレードしながらの開発を行うことができた ・他要素との干渉を考慮した設計、エンジン全体を取りまとめた設計経験により、インテグレーション技術を高度化できたことは、今後の国際共同開発の場での役割拡大に大きく貢献 ・燃費重視との方向性は今後も変わらないものと考えられ、低燃費化、低コスト化に資する各技術を取得できたことは、今後の競争力強化に貢献 ・低コスト製造技術である鋳造シミュレーション、LFWやMIMは、直ちに成果活用可能なレベルとなり、事業者の製造技術の世界的な競争力強化に大きく貢献するもの ・低騒音ノッチノズルは騒音低減のみならず、推力ロスの点でも他の形式に比して優位性が見込まれ、付加価値の高い技術を開発 ・国際共同開発の現場へ直ちに活かせる独自(一人立ち)の設計技術を獲得 |