

「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	1 5
評点結果	2 1
（参考）評価項目・評価基準	2 4

はじめに

本書は、第35回研究評価委員会において設置された「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成25年7月17日）及び現地調査会（平成25年7月4日））において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第36回研究評価委員会（平成25年11月6日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」分科会
(事後評価)

分科会長 久保田 弘敏

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」(事後評価)

分科会委員名簿

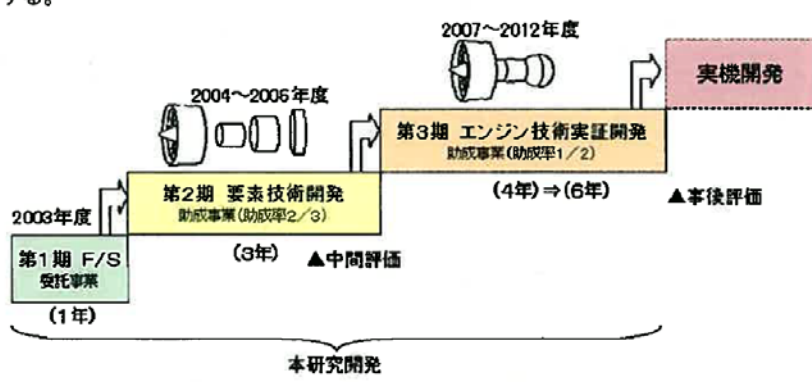
(平成25年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	くぼた ひろとし 久保田 弘敏	帝京大学 理工学部 特命教授
分科会長 代理	つじかわ よしはる 辻川 吉春	大阪府立大学 工学研究科 名誉教授
委員	おかべ ともなが 岡部 朋永	東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 准教授
	ふなざき けんいち 船崎 健一	岩手大学 工学部 機械システム工学科 教授
	もりもと たけし 森本 健	日本航空株式会社 整備本部 企画財務部 統括マネージャー
	やまさき のぶひこ 山崎 伸彦	九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門 教授

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

改訂日	平成25年 7月17日
作成日	平成18年 4月20日

制度・施策 (プログラム)名	経済産業省・民間航空機基盤技術プログラム 経済産業省・航空機・宇宙産業イノベーションプログラム ・エネルギーイノベーションプログラム		
事業(プロジェクト)名	環境適応型小型航空機用エンジン研究開発	プロジェクト番号	P03030
担当推進部/担当者	技術開発推進部 / 草川剛 (平成22年4月～平成25年3月) 機械システム技術開発部 / 小見淳介 (平成19年4月～平成22年3月) 機械システム技術開発部 / 水谷智昭 (平成16年7月～平成19年3月) 機械システム技術開発部 / 西出重人 (平成15年4月～平成16年6月)		
0. 事業の概要	<p>世界の航空需要は今後10年間で現在の約1.7倍、20年間で約2.5倍の規模に増加すると予測されていた。なかでも100席機以下のいわゆるリージョナルジェット機は、ターボプロップ機の代替や新規路線の開拓によって、これまでの10年間で運航機数は約3.2倍の伸びを記録し、今後20年間で現在の約3.4倍の規模に増加すると予想されていた。これに搭載される小型航空機用エンジンについても機体と同様の市場規模の増加が期待されており、今後着実に市場が見込まれる分野と考えられていた。中でも現在就航している50席機は、1990年代に市場投入が開始されたものであり、2010年代中頃には代替需要が立ち上がることが予想されていた。</p> <p>航空機用エンジンは過去一貫して低燃費化の傾向にあることに加え、昨今のエアライン競争の激化等に起因する極めて厳しい経済性要求に対応するため、将来的にも一層の高性能化が求められる。一方で、航空需要の伸びに伴い地球温暖化等の地球環境問題やエネルギー問題への対応が喫緊の課題になりつつあり、エネルギーの使用の合理化や今後ますます厳しくなる環境要求に対応した技術開発の必要性が強く認識されていた。特に小型航空機用エンジンは、中・小のエアラインで使用されることから、環境適合性要求に加えて、取得費、整備費、燃料費で構成される直接運航費用の低減要求が厳しく、これら全ての要求を満足するための技術開発が極めて重要であった。</p> <p>本プロジェクトは、我が国主導のエンジン完成機開発の実現に向け全機開発能力の獲得を目指すとともに、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行ったものである。従来の航空機用エンジン技術の延長線上から飛躍的に進んだ技術を適用することにより、エネルギー使用効率を大幅に向上し、かつ低コストで環境対策にも優れた次世代小型航空機用エンジンの実用化に向けた技術を開発することを目的とした。</p> <p>本プロジェクトは、以下の各期で構成される。</p> <p>①第1期:航空機用エンジンの動向調査(技術・市場等)及びエンジン要素技術検討を実施する。</p> <p>②第2期:クリティカル特性のエンジン条件模擬試験実施による、革新的なエンジン要素技術コンセプト成立性を確認するための要素技術開発を実施する。</p> <p>③エンジンインテグレーション設計を実施するとともに、要となるコアエンジン要素の実機形態、実作動環境での性能、機能を確認するためのエンジン要素技術実証開発を実施する。</p> 		

<p>I. 事業の位置付け・必要性について</p>	<p>航空機用エンジン技術は、国家の戦略技術との位置づけから、欧米先進各国では政府支援のもと不断の研究開発が進められている。米国においてはUEET(Ultra Efficient Engine Technology)プログラムが推進されており、超音速機を含めて広く航空機用エンジンへの適用を狙って、排出物低減、要素高性能化、先進耐熱材料等の分野で革新的技術開発が進められている。また、欧州においても亜音速機用エンジン向けに、高性能で環境適応性、信頼性・整備性に優れ、かつ低コストをねらいとした革新的要素技術の研究開発プロジェクトEEFAE(Efficient and Environmentally Friendly Aero Engine)が進められ、2005年にはエンジン技術実証が行われている。</p> <p>一方、我が国においても、1999年から、エネルギー使用効率の向上を図りつつ、NOx排出物の抑制、離着陸時騒音の低減等、環境適合性向上を実現する次世代超音速輸送機用エンジンの基盤技術開発(ESPRプロジェクト)が開始され、2004年には排気ジェット/ファン低騒音化技術、低NOx燃焼器技術、先進単結晶合金をはじめとする先進耐熱材料、高温部冷却技術などをエンジン試験等で実証し世界トップレベルの基盤技術を修得した。</p> <p>以上のように、欧米先進各国が航空機用エンジンの革新的技術開発に取り組む中、本プロジェクトでは、ESPRプロジェクト成果を有効に活用・発展させ、小型航空機用エンジンの直接運航費用低減や環境適応性向上に関する実用化技術開発に取り組んでいる。</p> <p>本研究開発は、経済産業省の「航空機・宇宙産業イノベーションプログラム」(旧:「民間航空機基盤技術プログラム」)のもとで実施されている。このプログラムは、民間航空機関連技術について、平成24年度(2012年度)までに、材料・構造・システム関連等の中核的要素技術力の一層の強化・保持、機体及びエンジンの完成機開発能力の獲得、また、こうした基盤技術力の維持・向上、これらを用いた航空機・エンジン等の国際共同開発への参画、並びに環境適合等の要請に対応した民間航空機及びエンジン開発への取組を通じて、我が国航空機関連産業の発展を目指すことを目標としている。本研究開発は、エンジン高性能化と環境適応性向上のためのエンジン要素技術の開発とシステムインテグレーション技術の開発によるエンジン完成機開発能力の獲得を目指しており、同プログラムの中に適切に位置づけられているものである。本研究開発が所期の成果を達成することにより、プログラム目的の実現に大きく貢献することが期待される。</p> <p>また、我が国の科学技術基本計画において、航空機は、国民生活を支える基盤技術として、「社会基盤」分野に掲げられており、その中で、航空機・エンジンの全機インテグレーション技術が、重要な研究開発課題のひとつとなっている。さらに、重要な研究開発課題の中から今後5年間に集中投資すべき科学技術として、急速に高まる社会・国民のニーズに迅速に対応すべきもの、国際競争を勝ち抜くために不可欠なもの、国主導の大規模プロジェクトで国家的な目標と長期戦略を明確にして取り組むものとして選定された戦略重点科学技術である、「新需要対応航空機国産技術」に本研究開発は、含まれる。</p>
---------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

1. 全体目標

平成24年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術(シンプル化技術)、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高効率要素設計技術等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

本プロジェクトを構成する各期の目標を以下に示す。

2. 第1期目標

小型航空機用エンジンの動向調査結果を踏まえて将来的に要求されるエンジンシステムの概念並びに仕様を設定し、それを実現するための具体的技術課題及び目標を設定するとともに技術開発計画を立案する。

3. 第2期目標

将来的な市場要求を満足する小型航空機用エンジンに必要な要素技術を確立する。具体的には、開発された要素技術を実機サイズ部品によるリグ試験等を実施することにより評価し、採用すべき候補技術・候補要素の絞り込みを行い、エンジンシステムとして統合することにより下記のエンジン仕様目標値を満足することが見込めるような目標エンジンの基本設計を完了することを目標とする。

[エンジン仕様目標値]

-直接運航費用の削減(エンジン寄与分)

現在運航されている同クラス小型航空機用エンジンと比較して、エンジン寄与分の直接運航費用を15%削減可能なエンジン仕様であること。

-環境適応性の向上

ICAO 規制値(2006年適用)に対して、-20dBの低騒音化

ICAO 規制値(2004年適用)に対して、-50%の低NOx化

4. 第3期目標

エンジンインテグレーション設計を実施するとともに、要となるコアエンジン要素の実機形態、実作動環境での性能、機能を確認するためのエンジン要素技術実証開発を実施する。

[エンジン仕様目標値]

(1)直接運航費用の削減(エンジン寄与分)

現在運行されている同クラス小型航空機用エンジンと比較して、エンジン寄与分の直接運航費用を15%削減可能なエンジン仕様であること。

(2)環境適応性の向上

ICAO規制値(2006年適用)に対して、-20dBの低騒音化

ICAO規制値(2004年適用)に対して、-50%の低NOx化

注)ICAO:国際民間航空機関

事業の計画内容	主な実施事項	第1期 15年度	第2期 16～18年度	第3期 19～24年度	
	フィージビリティスタディ				
	要素技術開発				
	エンジン要素技術実証開発				
開発予算 (助成金ベースの実績額で示す。NEDO管理費除く。単位:百万円)	会計・勘定	第1期 15年度 (100%)	第2期 16～18年度 (助成:2/3)	第3期 19～24年度 (助成:1/2)	総額
	一般会計	0	0	0	0
	特別会計(高度化)	240	4,847	4,565	9,652
	総予算額	240	4,847	4,565	9,652
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 航空機武器宇宙産業課 産業技術環境局 研究開発課			
	幹事会社	株式会社 IHI			
	助成先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	株式会社 IHI 川崎重工業株式会社 三菱重工業株式会社 財団法人日本航空機エンジン協会(参加3社) 超音速輸送機用推進システム技術研究組合(参加3社) (共同研究)独立行政法人宇宙航空研究開発機構、その他			
中間評価結果への対応	第3期研究開発の基本計画および実施方針に反映				
情勢変化への対応	<p>第2期 研究開始以来継続している海外市場・技術動向調査ならびに機体メーカーとの情報交換等の結果から、エンジン仕様目標値、要素技術課題など本プロジェクトの基本計画について、特段の変更を要する情勢変化は発生しなかった。</p> <p>第3期 経済危機、燃料価格高騰に伴い燃費重視型のエンジン仕様への変更の必要性及び50席機を取り巻く市場環境の変化から、燃費重視仕様の高圧力比化で課題となる圧縮機および燃焼器の実証へ実施内容の変更を実施し、基本計画の見直しを行った。</p>				
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>1. 達成状況</p> <p>1.1 中間目標の達成状況 (注:第2期目標を中間評価目標(中間目標)として達成状況を以下に記述する。)</p> <p>(i)第1期 次世代小型航空機用エンジンの動向調査およびエンジン要素技術検討を実施することにより、将来的に要求されるエンジンシステムの概念並びに仕様を設定し、それを実現するための具体的技術課題及び目標を設定するとともに研究開発計画を立案した。</p> <p>(ii)要素技術開発(第2期) 第1期で立案された研究開発計画に基づき、要素技術開発を実施した。環境適応技術の開発においては、環境適応性の向上に関する目標(ICAO規制値(2006年適用)に対して、-20dBの低騒音化(現状からファン騒音を-3dB低減、ジェット騒音を-2dB低減)、ICAO規制値(2004年適用)に対して、-50%の低NOx化)を達成できる見通しを得た。また、直接運航費用低減技術およびエンジンシステム技術の開発においては、直</p>				

接運航費用の低減目標-15%を達成した。

① 環境適応技術

(ア)低騒音化技術

ファン騒音の低減について、スweep/リーンを適用して効率低下なく部品点数削減/軽量化/低騒音化をはかる一体型出口案内翼(OGV)技術を開発した。また、高流量化/低騒音化を併せ持つスweep動翼技術も開発した。これらの一体型出口案内翼技術およびスweep動翼技術で-3.8dBの騒音低減を達成した。

また、ジェット騒音の低減について、コアノズルに装着する小型軽量のノッチノズル技術を開発した。CFD解析等によりジェット騒音を-2dB低減できる見込みを得られた。

小型航空機用エンジンの離陸・着陸時のサイクルに基づき、上記のファン騒音低減量、ジェット騒音低減量を元に騒音評価を実施した。最終的にはICAO規制値(2006年適用)に対し-21dBを実現でき、目標達成を達成した。

(イ)低NOx化技術

従来の拡散燃焼器をベースとしつつ、部分的に予混合希薄燃焼を導入した「部分希薄燃焼技術」、部分的に過濃燃焼/希薄燃焼を導入した「部分過濃燃焼技術」および急速混合燃焼を導入した「急速混合燃焼技術」を開発した。セクター燃焼器リグ試験を実施して、ICAO規制値(2004年適用)に対して50%以上のNOx低減効果を確認でき、目標を達成できた。平成18年度において、CO、未燃炭化水素やスモーク等の排出物特性も試験により確認し、かつコストや重量等を検討・評価して、低排出物、安定燃焼特性および低コストを同時に満足できる「急速混合燃焼技術」を選定した。さらに、選定された燃焼器形態でエンジン模擬条件のフルアニュラー燃焼器リグ試験を行い、目標NOx排出量の確認を行い、目標を達成した。

② 直接運航費用低減技術

(ア)ファン部

ハブ側高圧力比化により低圧圧縮機を削除できる「ゼロハブファン技術」などを開発した。ゼロハブファン分離型のリグ試験で、ハブ側高圧力比1.65、高流量化、高効率化を確認して目標を達成するとともに、ゼロハブファンによるシンプル化構造設計技術を取得できた。また、ファン部の耐衝撃性および振動特性の成立性を構造解析により確認できた。性能向上の見込めるゼロハブファン一体型での試験を実施し、高性能化技術を取得した。

(イ)圧縮機部

圧縮機段数を削減できる3次元翼技術および翼先端隙間流れを抑制する「ディフューザパッセージ動翼技術」を開発した。ベース形態の高負荷多段圧縮機の試作/試験により、6段相当で圧力比12以上(従来技術では10~12段)を確認して目標を達成するとともに、3次元翼技術によるシンプル化構造設計技術を取得できた。また、ディフューザパッセージ動翼技術の有効性をCFDで確認した。上記二つを組合せて翼・通路形状を適正化した多段圧縮機では、さらに性能向上が見込めることをCFDで確認しており、試験実証により高性能化技術を取得した。

(ウ)タービン部

高圧タービンについて、「衝撃波との冷却空気干渉損失低減技術」、「動翼先端隙間流れ低減技術」等を開発した。冷却空気の吹き出し位置調整による衝撃波との干渉抑制効果、およびチップ・バンド動翼技術による動翼先端隙間流れ制御について、CFD解析により各々の技術の効率改善効果を確認し、高性能化技術を取得できた。

低圧タービンについては、「高揚力化翼設計技術」、「カウンターローテーション対応翼設計技術」等を開発した。揚力係数を10%高めた形態のリグ試験を実施し、効率改善、10%程の翼枚数を削減できることを確認して高揚力化翼適用によるシンプル化構造設計技術を取得できた。また、スワールを有効活用し、かつ衝撃波との干渉損失を低減させるカウンターローテーション対応翼を設計してCFD解析で効率向上を確認し、高性能化技術を取得できた。

さらに、CFD解析により、上記技術を適用することで、単段で膨張比4の高圧タービン性能(従来技術では2段)および3段で膨張比3.6の低圧タービン性能(従来技術では4段)を達成できる見通しを得、リグ試験により、目標達成を確認した。

(エ)インテリジェント化

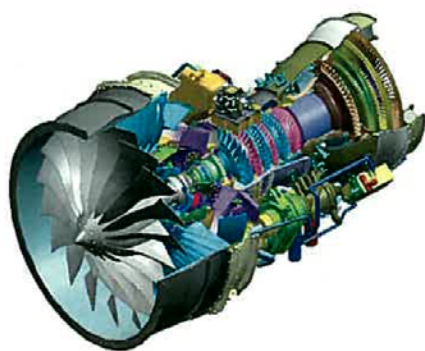
エンジンサイクルモデルを逆解析することによって、劣化部位を特定できる「モデルベースド・モニタリング技術」を開発し、シミュレーション計算によりエンジンモジュール性能劣化の傾向、故障モジュール部位を把握できる基本機能を確認し、目標達成の見通しを得、故障自動検出機能を付加することにより、システムの完成度を高めた。

③エンジンシステム技術

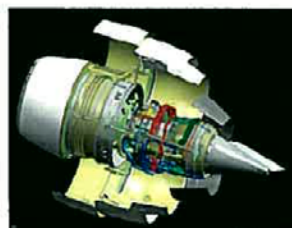
各研究開発テーマにおいて実施の空力設計、構造設計、低騒音化設計、低NOx化設計などの結果を反映するとともに、エンジン構造に整備性向上を配慮した第2次エンジン基本設計を完了した。直接運航費用低減技術開発で取得されたシンプル化構造設計技術を適用して、エンジン段数/部品点数を大幅に削減したエンジン構造を設定できた。さらに、エンジン価格および整備費のコストダウンを検討した結果、従来機種に比べてそれぞれ27%、40%削減した。

また、エンジン基本設計と各研究開発テーマとの連携によって設定した要素設計仕様およびCFD解析によるエンジン外部抵抗を反映したエンジン仕様に基づいて、50席機の飛行解析を実施した。その結果、従来機種にくらべて燃料消費量が11%低減した。最終的に、エンジン価格27%削減、整備費40%削減および燃料消費量11%低減により、エンジン寄与分の直接運航費用低減量を評価した。その結果、目標15%を上回る21%の直接運航費用低減量の見通しが得られた。

また、エンジンに採用する要素技術・候補要素の絞り込みを行うことにより、最終エンジン基本設計を実施し、エンジン仕様目標値を達成する基本設計を完了した。



エンジン鳥瞰図



ナセル込みのエンジン構造



ファン動翼交換、整備性検討

1. 2 最終目標の達成状況

(i)エンジン要素技術実証開発(第3期)

第2期で立案された研究開発計画に基づき、設定した第2期エンジン仕様において、ゼロハブファン、ディフューザパッセージ動翼を有する6段圧縮機や急速混合燃焼器をエンジンに適用するために、リグ試験による確認試験を行うとともに、更なる軽量化、整備性向上を図ったデモエンジンの詳細設計およびコアエンジンの設計を実施し、インテグレーション技術を高度化することができた。

第3期初年度に発生した経済危機、燃料価格高騰により、エアラインの低燃費化要求の高まりという情勢の変化を受けて、直接運航費用の構成要素である取得費、整備費、燃料費の点でバランスのとれた第2期設定のエンジン仕様から、燃費重視のエンジン仕様へ変更を行った。この燃費重視仕様において、直接運航費用低減、低NOx化、低騒音化の各目標値を達成するために必要となるエンジン要素の高性能化、設計確認や低コスト製造などの技術開発を実施した。特に、燃費重視仕様で設計条件が厳しくなる圧縮機、燃焼器のコア要素の実証に注力し、TRL5の実証試験により性能を確認した。これらの成果を燃費重視仕様エンジンのインテグレーション設計に反映し、目標エンジンを設定した。最終的に燃費重視仕様において、直接運航費用(-15%低減)、低NOx化(規制値-50%)、低騒音化(規制値-20dB)の各目標値を達成した。

直接運航費用低減:-17.5%(目標-15%)

ファン、圧縮機、タービン等の高負荷高効率設計、段数削減・部品点数削減、低コスト製造技術



ゼロハブチップレスファン

ダイアモンドコート

鍛造/ミル加工

MIM

整備性を考慮したエンジンシステム設計

我が国独自のファン形態

世界最小クラスの
高負荷高効率軸流圧縮機

小型エンジン初の
高圧/低圧反転タービン

低コスト製造技術

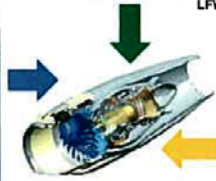
LFW: 鋳造摩擦接合、MM: 金属射出成型

低NOx化:-50.5%(目標-50%)



急速混合燃焼器

我が国独自の燃焼形態
シンプル構造で低NOx/低コスト両立



目標エンジン

低騒音化:-20.5db(目標-20db)



低騒音ノッチノズル

我が国独自の低騒音デバイス
シンプル構造で低損失/低騒音両立

① インテグレーション技術開発

(ア) エンジンシステム特性向上技術

a. 全体システムエンジン実証

第2期で開発された革新的な要素技術をエンジンシステムとして適正にマッチングさせることが実用化には不可欠である。また、顧客や共同開発パートナーに革新的な要素技術の実用性を認知させ、主導的な立場で、市場への新規参入を果たすためには、デモエンジンとして性能・仕様を実証することが必要である。そこで、第3期初年度については第2期仕様の目標エンジン基本設計結果を基に、デモエンジンの詳細設計を実施した。エンジンの高圧系の部分(高圧圧縮機、燃焼器、高圧タービン)を取り出した、いわゆるコアエンジンの全体設計を実施し、デモエンジン試験に向けた準備を行った。

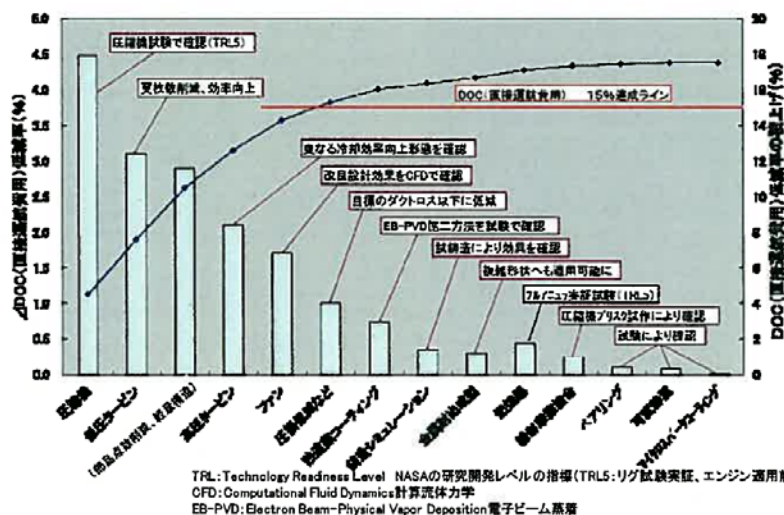
しかし、第3期に入ってから、世界的に燃料価格が高騰するとともに、地球温暖化対策の必要性の高まりを受け、市場のニーズとして燃料消費量の低減が強く求められるようになった。そのため、さらに燃費低減を図る必要性から、エンジンの熱効率向上に繋がる高圧力比化が不可欠と判断された。高圧圧縮機の段数を増加させて圧力比を高く設定し、圧縮機を駆動するタービンの段数も増加させた燃費重視のエンジン形態として、目標エンジンのサイクル計算を行い、全体圧力比(OPR)およびタービン入口温度(TIT)をパラメータにして、直接運航費用(DOC)がミニマムとなるポイントを設定した。燃費重視に変更したことで、想定される燃料価格変動に対しても目標とする直接運航費用低減-15%以上を確保できることを確認した。



高圧圧縮機高圧力比化
(6段 ⇒ 9段)



この燃費重視仕様エンジンを具現化するために必要な技術として、直接運航費用低減、低騒音化に関わる設計確認、製造工程確認の各試験、研究開発を実施しエンジン設計に反映した。設計確認として、本エンジンの1つの特徴であ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の開発、圧縮機の変静翼の低コスト化技術としてスフェリカルベアリングを廃した簡易な機構の開発、燃費重視仕様で高くなったタービン入口温度に対応する高効率冷却のピン・インピンジ冷却(特許化)の開発、燃費低減に資するファンダクトの圧力損失を低減するストラット先端形状(特許化)の開発、低騒音特性を向上させたノッチノズルの改良(特許化)、および整備に必要となるEGI(Eddy Current Inspection)による欠陥発見確率を加味した検査技術、ヘルスマニタリング技術を支える制御技術を開発した。製造工程確認では、直接運航費用低減への貢献として、低コスト製造技術について研究開発を実施した。大型構物フレームや、タービン翼の鍛造方案設定を効率化する鍛造シミュレーション技術、圧縮機の低コスト製造技術である LFW(Liner Friction Welding)、MIM(Metal Injection Molding)、MSC(Micro Spark Coating)の各技術およびタービン翼への TBC(Thermal Barrier Coating)施行技術を開発した。



b. 関連要素実証

<ファン>

ゼロハブファン(特許化)のエンジン搭載時の下流バイファークーションの影響を確認するとともに軽量化設計を実施した。鳥吸い込み時の翼変形予測結果から性能低下をCFDで確認、静翼への着氷現象をシミュレート可能とし、デモエンジン適用へ向けた技術を取得することができた。

<圧縮機>

第2期に開発したディフューザパッセージ動翼(特許取得)の有効性を圧縮機の一部を切り出した部分段リグ試験で、通常翼形態に比してチップクリアランスの影響が小さいことを確認した。燃費重視仕様に必要な圧力比22の9段圧縮機の設計において、後ろ2段にこのディフューザパッセージ動翼を適用し、後段でのチップクリアランスの影響抑制を図った。実機サイズの供試体によるTRL5の実証試験により性能達成を確認し、小型軸流圧縮機では世界レベルの性能、高負化を達成した。これにより、燃費重視仕様を実現するために必要な高圧力比化を達成した。

<燃焼器>

燃費重視仕様エンジンとしたことで、より高圧条件での燃焼となり、物理的にNOxが発生しやすい条件となる。この厳しい条件のもと、本研究開発の目標である規制値に対する十分なマージンとして規制値-50%の達成を目指し研究開発を実施した。エンジン用燃焼器である我が国独自の急速混合燃焼形態により、目標値のICAO規制値-50%を、TRL5の実機形態にて確認、実証を行い、目標を達成した。一方で、エンジ

ン用燃焼器と燃焼方式の異なる部分希薄方式、部分過濃方式の2方式の性能データ取得を行い、エンジン用燃焼器の総合評価を実施し、エンジン用燃焼器の低NOx性、直接運航費用の低コスト性の点でバランスのとれた燃焼器であり、競争力を維持していると評価された。

(イ) 耐久性評価技術

実機エンジンで材料に要求される耐久性を確保するために必要な耐久性評価技術として、材料データベース取得を行った。使用される多くの材料の中でも、寿命制限部品(LLP:Life Limited Parts、ディスク、シャフト等)ならびに構造上重要な部品(フレーム、ケース等)、およびタービン翼等の高温部品に関する材料について、引張、疲労、クリープおよび線膨張率等の材料データについて、デモエンジン設計に必要なデータベースを取得し、目標を達成した。

	設計要求特性							達成度
	物性値	引張	クリープ	LCF	HCF	電製造	破壊靱性	
Inco718DA	○	○	○	○	○	○	○	各材料の設計要求特性に対して、デモエンジン設計に必要なデータを取得でき、材料DBを整備した。
Ti-6-4	○	○	○	○	○	○	○	
高強度鋼(シャフト材)	○	○	○	○	△	○	○	
国産単結晶材	○	○	○	○	△	△	△	

LCF:低サイクル疲労、HCF:高サイクル疲労

(ウ) 耐空性適合化技術

航空機用エンジンの型式承認取得には、構造解析・評価技術の検証、および精度向上が必要である。具体的には、運用の中で繰り返される離着陸に耐え、エンジンの構造健全性を保障するために、寿命管理部品の寿命およびローターの健全性が特に求められる。そのために、ファンケースのコンテイメント解析、鳥衝突時のファン翼の変形解析、ローター過回転多軸応力場のデータ蓄積、温度予測精度の向上等が必要となり、各種試験、解析を実施してデータの取得、解析・評価技術の検証を実施し解析技術を取得した。型式承認に必要な各種解析技術を確立し目標を達成した。

	モデル試験等	成果	達成度
コンテイメント技術	(ゼロハブファンによる試験) ケブラーファンケースのモデル試験によるコンテイメント試験	ケブラーファンケースのコンテイメント性について予測技術を向上	型式承認取得においてクリティカルな部位であるローター、翼結合部、圧縮機部について、各々ローター健全性、寿命予測、温度予測等のデータをモデル試験を通じて取得し検証を行うことで各々解析技術を構築した。
ローター過回転予測技術(タンダリング)	タンダリングを模擬する破壊試験を実施し、データ取得	翼の破壊過程、現象を定性的にシミュレート (時間スケールでのシミュレートに課題)	
異物吸込み(鳥)	(鳥打ち込み試験)	後続の翼の残留変形量の予測精度が向上 (吸込後のアンバランスについてはロータータイムスの中で実施)	
ローターダイヤシス解析技術	アンバランスを模擬した回転リジ試験 圧縮機の部分段リジ試験を活用してデータ取得	ローターケースの接触のモデル化、空力的な剛性の取込み等により、解析精度を向上。 不安定振動についても解析可能になった。	
寿命予測技術			
温度予測精度向上	シール流量計測試験	シール流量試験結果やキビ内流動特性を反映して温度予測精度を向上、寿命予測技術向上に寄与	
疲労試験	ダブテール疲労試験	ダブテール部の疲労寿命の基礎試験から応力評価手法を考案、疲労寿命予測精度を向上	

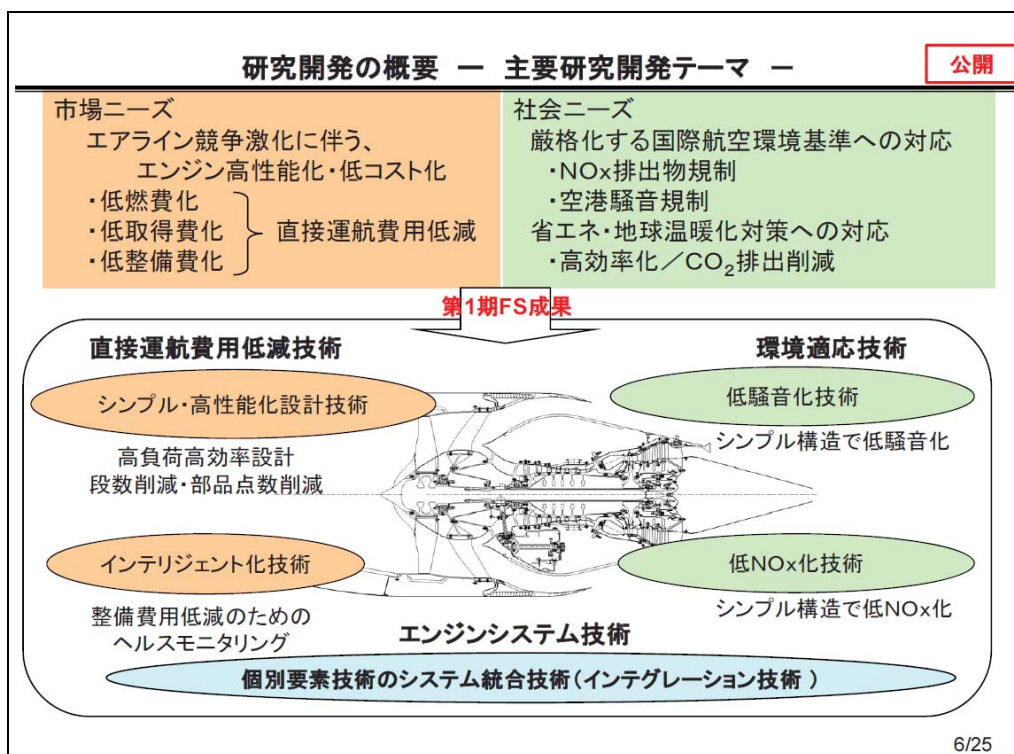
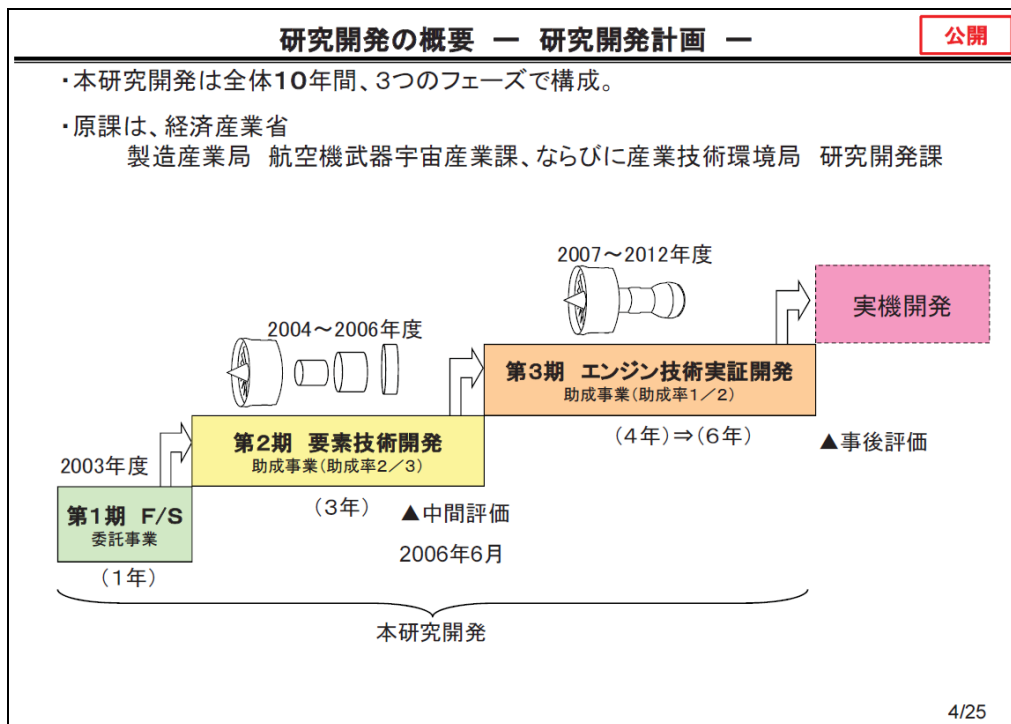
投稿論文	183件(内、国際発表94件)
特許	103件(内、国際出願26件)
報道	11件

IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>第2期</p> <p>次世代50席機の海外市場性について、専門の調査会社を使用して市場予想を実施した。その結果、1992年から欧米で導入された50席機も今後もエアライン機材の重要部分として使用され、その代替時期の2010年代半ばから20年間で欧米を中心に約2000機の需要が期待できることが分った。この需要に対して半分の販売機数の獲得を想定して、新規エンジン、サービス及び補用品合計の市場規模は5000億円程度となり、大きな市場ポテンシャルを有する。リージョナル機体会社への訪問調査を通じて、次世代50席機の運用開始が2015年頃以降との感触を得た。</p> <p>また、早期の課題解決のため研究開発の初期段階から進めているエンジン基本設計でこれらの要素技術のエンジン適用性を性能・構造・コストの観点で見極めを行った。基本設計結果は、適宜、機体メーカーの持つ最新の市場要求情報を反映したものとしていた。一方、並行して技術動向調査を行い、国際学会への参加および海外大学・研究所への訪問により最新の技術情報を集めて、当該エンジンに適用する諸要素技術の国際優位性を分析し、結果として世界市場において他を差別化し十分な競争力を持つ要素技術であることを確認した。</p> <p>第3期</p> <p>需要動向は経済状況やエアラインの経営状況などに大きく左右されるため、市場調査を継続的に進め、世界のエアラインや機体メーカーならびに業界団体への訪問調査、業界関係者が一同に会するカンファレンスなどへの出席を通じて、市場の状況をいち早く把握することに努めてきた。</p> <p>50席RJについては、燃料価格の高騰を受けてその運航経済性の悪化から、エアラインの収益を圧迫している状況にある。ハブアンドスポークとして、メイン空港から地方空港への橋渡しとして一時は活況を呈し、ビジネスモデル(飛行回数に応じた固定費を提携親会社から広範囲に得られた)として定着したが燃料価格の高騰で一変した。不採算路線の減便、運航停止、吸収合併、更には破産に至りChapter11の企業再生に至るRJエアラインが多くなっている。このように、現状のRJエアラインに50席機の新規需要を喚起する要素は見られない状況となっている。</p> <p>一方で、目標とする50席クラス小型航空機のエンジンは、推力1万ポンド(10klb)クラスであり、1990年代以降新たなエンジンの開発はなかったが、2008年頃に同じ推力クラスのエンジンを搭載する中大型ビジネスジェット機の開発計画がいくつかアナウンスされていた。しかし、その後の世界経済状況の悪化から、機体開発計画はどれも凍結されていたが、最近になってビジネスジェット機業界では回復の兆しが見え出し、中大型のビジネスジェット機開発ローンチ、エンジン選定が表明されている。</p> <p>これらビジネスジェットへの派生も含めて考えれば、いわゆる推力1万ポンド(10klb)クラスエンジンの需要としては、今後20年の内、前半10年で2700台(機体1350機)、後半10年で4000台(機体2000機)程度の新規エンジン需要が予想されている。</p> <p>このように、ビジネスジェット機業界では、将来の需要増を見込むなど回復の兆しが見え出し、小型航空機相当の推力クラスのエンジンを搭載する中大型ビジネスジェット機の開発計画が明らかにされている状況となっている。これに対して、本プロジェクトで得られた研究開発成果を早期に活用できる絶好の機会として捉えるとともに、将来の小型航空機用エンジンへの派生型ともなりうるものであり、参入への足掛かりとするためにも、このビジネスジェット機用エンジン事業に対して、必要な措置を執っているところである。</p> <p>以上に述べてきたように、昨今の燃料価格の高止まり、不安定な経済環境、対象とする小型機の将来需要機数予測の状況などの外的要因から、現状では実機開発へ打って出る環境には無く、事業リスクが非常に高いと言える。他方、本事業に参加の重工3社が培ってきた航空機エンジンの個別要素技術の開発に関しては一定の成果を上げ、海外の主要な航空機エンジンメーカーからも高く評価され、国際共同開発の場で成果の一部については実機への適用も進みつつある。こうした状況を勘案すると、個別要素技術の更なる競争力強化により国際共同開発でのより一層の役割拡大、地位向上につながる地道な研究開発活動を継続し力を蓄えていくことが重要と考えられる。</p> <p>本事業で開発された技術については、国際共同開発にて担当する部位に活用可能なものであり、インテグレーション技術開発の各技術および、低コスト製造技術等の各技術は、国際共同開発事業へ早期に活用していくことが可能である。</p>

V. 評価に関する事項	事前評価	平成 15 年度に実施 担当部 機械システム技術開発部
	中間評価	平成 18 年度に実施 担当部 機械システム技術開発部
	事後評価	平成 25 年度に実施 担当部 技術開発推進部
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 15 年 3 月、NEDO 技術開発機構によって基本計画として制定。
	変更履歴	<p>平成16年3月、技術開発課題とし、第2期技術開発内容・目標等を改訂。また、独立行政法人移行に伴う関連項目を改定。</p> <p>平成18年2月、「4. 評価に関する事項」を改訂。</p> <p>平成 18 年 4 月、中間評価のため第3期技術開発の内容、達成目標を追加。</p> <p>平成18年6月、基盤技術研究に係る事項の追加等による改訂。</p> <p>平成19年3月、第 2 期技術開発結果、中間評価結果、技術委員会指摘等の反映により、第 3 期の研究開発計画を見直し改訂。</p> <p>平成20年3月、技術委員会指摘事項を反映して文言等を改訂。</p> <p>平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画制定により改訂。</p> <p>平成 22 年 3 月、技術委員会の議論反映し第 3 期技術開発内容・目標、期間等を改訂。</p> <p>平成 23 年 12 月 東日本大震災の影響による研究開発期間および事業内容の変更</p>

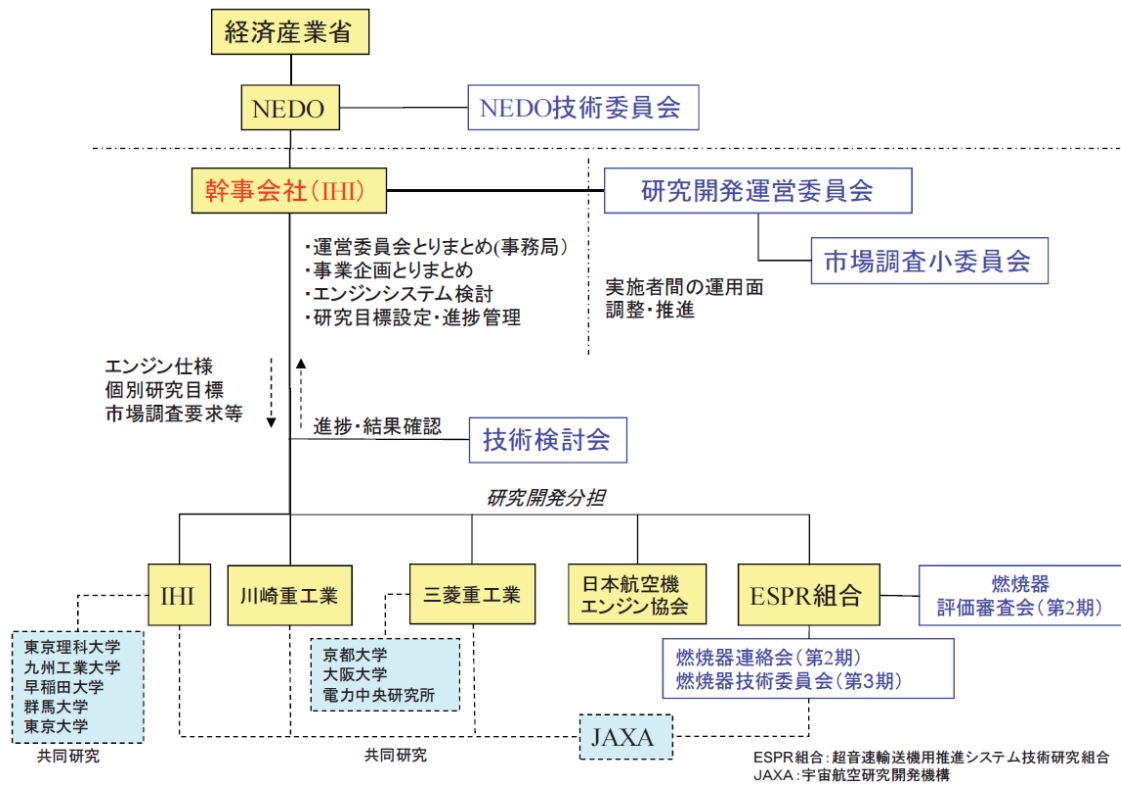
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6-1より抜粋)



「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」

全体の研究開発実施体制



「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」（事後評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは、「環境適応性」という国の政策に基づいて小型航空機用エンジンの研究開発を行うものとして推進され、市場動向調査に照らして必要性が明確である上、極めて公共性の高いものであり、我が国の航空機産業を高付加価値化する方向性を有するので、NEDO が関与する意義は大きい。当初は、プロジェクト開始時の 2003 年ころに有望であった 50 席クラスの機体に搭載するエンジンをターゲットとしていたが、世界の経済事情の変化、航空燃料費の高騰、50 席クラスの航空機の需要の減少等も影響し、試作機（デモエンジン）が製作できなかつたことは、非常に残念である。しかし、達成された技術はビジネスジェット機への適用や国際共同開発にも適用される可能性があり、状況を整えば耐久性評価技術（材料データベース取得、蓄積）および耐空性適合化技術（解析技術検証）を活用して、型式承認取得を行う試作機を製作できる段階にある。搭載機体が確定すれば実機開発に進むポテンシャルがあることから、実用化・事業化への道筋を示したものと評価する。

また、計算科学（CFD）を積極的に利用し、短期かつ低コストで、なおかつ高性能なエンジンを開発しようという試みや、全体システムの評価指標に直接運航費（DOC）を取る提案は大変有意義であり、環境適応型小型航空機用エンジンに対する技術目標、すなわち、ファン、圧縮機、燃焼器改良による直接運航費低減、ノッチノズル適用による低騒音化、急速混合燃焼器による低 NO_x 化技術、LFW（線形摩擦接合）や MIM（金属射出成型）等の適用による製造プロセスの高度化の達成は十分になされたと考える。さらに、論文発表・特許取得等を含む研究開発成果、設計法、製造関連技術、材料開発、評価法などを通して航空エンジン部門における日本の国際競争力は十分に高められ、人材育成の効果も顕著である。実施者の役割とともに JAXA による技術的な協力も評価できる。

一方、プロジェクトの目標設定のあり方や経済性評価の方法に関しては今後若干の課題を残したことは否めない。今後とも、環境変化に応じた出口戦略の検討を継続することが重要であることも示唆された。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトで得られた技術を適用して事業化につなげることを期待する。実用化のステップに対して、当初のデモ機製造という計画からやや後退した感が否めないが、今後の実機製造へと着実に結びつけて頂きたい。今後の開発に向けては実証試験用エンジンの製作及び関連の研究開発施設等の共同利用施設設置等が必要となるが、その際、市場調査と技術開発の間にもう少し一体感を持たせることを期待する。

また、分野分担型のこれまでの下請から、インテグレーション技術を磨き、日本ならではの高付加価値の次世代旅客機・エンジン等の開発をできる体制を構築する必要がある、こうした実利に寄与する研究を積極的に進めていくべきと考える。材料技術は日本が得意とする分野であり、エンジン部材にも例えば CMC（セラミックス基複合材料）等が使われ始めていると聞くが、さらに適用範囲・材料を増やして、日本が世界を先導し得るように働きかけるのが望ましい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

経済産業省の「航空機・宇宙産業イノベーションプログラム」は我が国の航空機産業の基盤技術の強化を目標とするものであり、環境適応型小型航空機用エンジン研究開発は、その研究開発項目として取り上げられている。本プロジェクトはこの目的に合致している。また、航空機エンジン事業には開発費が膨大で、かつ投資回収期間が長いという特有の事業リスクがある。本プロジェクトは、「環境適応性」という目的を有する国の政策として推進する必要がある、極めて公共性が高い。したがって、NEDO が関与することが必要と考える。

本プロジェクトは、適用機種の妥当性、市場動向（燃料費の高騰）等の問題により、実施期間を延長せざるを得なかったが、ビジネスジェットへの転換を図るなど事業化の活路を見出していることは妥当である。

事業の必要性については妥当であるが、出口戦略も考慮した検討が必要であるので、今後とも環境変化に応じた出口戦略の検討を継続することが重要と考える。

2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトにおける研究開発の実施体制については、日本が現在取り得るベストに近いものであり、その運営も適正かつ的確なものであると判断できる。共同研究先である JAXA の役割は非常に大きく、NEDO 技術委員会等、各種委員会の役割も妥当であった。研究開発目標については、取り巻く環境を反映した目標値が定量的に設定されており、測定手法含め、評価できる。また、

開発成果の実用化・事業化に向けた知財戦略等も評価できる。

当初計画より 2 年延長されたことは、その間燃料費の高騰による圧縮機の設計変更、東日本大震災による工場被害等の予期しない事態があったため致し方ないと思われ、情勢変化への対応は妥当である。

一方、事業化にむけたマネジメントについては、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制は構築されていたが、今後の実用化に向けての展開においては、より一層の顧客との綿密な意見交換の場が必要であり、また、技術力や製品のアピールのための努力も不可欠である。

3) 研究開発成果について

研究開発成果として、直接運航費用低減、低 NOx 化、低騒音化については、所期の目標値を達成している。また、耐久性評価技術、耐空性適合化についても初期の目標を達成している。それらの達成に貢献した技術開発についても、独創性がある。低騒音化、低 NOx 化については、広範な実証試験によりその達成が示されている。論文発表数、特許出願数に関しても十分な数である。特に、特許出願数は 103 件の多きにわたり、事業戦略に沿って行われて妥当である。将来の産業につながる戦略的な研究発表も見受けられる。海外大学との技術交流、ITT コンソーシアム等での若手育成にも寄与している。本プロジェクトにおける取組により、エンジン開発のコスト・期間はスリム化されたと考えられる。その点からも本成果は国際的に大変価値のあるものである。

一方、直接運航費用低減については推定であり実証されたものではない、という課題は残る。また、一般社会に向けての成果の発信、公表が少ない。成果が支持されるためには、専門ではない人達への丁寧な広報が必要と思われる。

4) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

試作機（デモエンジン）製作までには至っていないが、耐久性評価技術、耐空性適合化技術を活用して型式承認取得の準備はできている。その前にビジネスジェット機用エンジン開発を図りつつ、小型機市場の動向を見極めることが重要で、並行してリージョナルジェット機への適用も考慮するのが望ましい。また、近い将来における海外エンジンメーカーとの共同開発への参画等、このプロジェクトで獲得した技術の一部が実用に供される予定であり、企業活動に貢献できることは評価できる。エンジン要素技術、低騒音技術、低 NOx 技術は波及効果として継続されるであろうし、人材育成の効果は顕著である。

ただし、当初の「実用化・事業化」の考え方のなかに、デモエンジンの製作が掲げられていたにもかかわらず、達成できなかったのは残念である。市場調査、製品の市場性、競争力などの調査や、継続的な技術開発が実用化にとり重

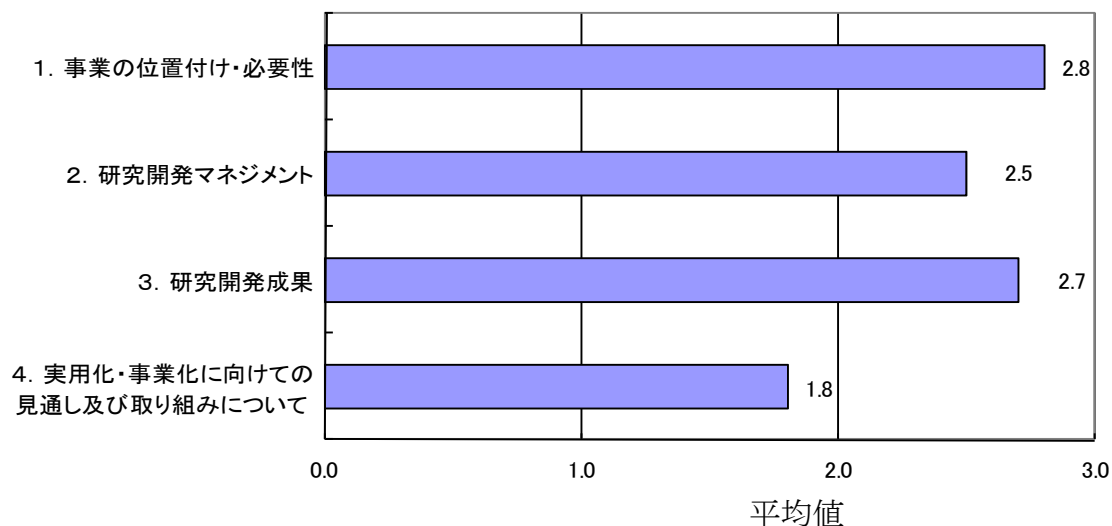
要であり、その点を十分踏まえた対応を期待する。

個別テーマに関する評価

	研究開発成果、今後に対する提言について
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）	<p>第 2 期仕様デモエンジン製作に向けた詳細設計を実施した段階で急激な燃料費高騰によって、燃費重視仕様エンジンの全体設計、適用技術の開発が必要になった。しかしながら、設計確認により、高性能化、低コスト化、低騒音化、また製造工程確認により低コスト製造技術が可能になり、直接運航費低減が達成されることが確認できたことは、大いに評価できる成果である。具体的な要素技術である作動反転ベアリング、可変静翼、タービン冷却、ダクトロス低減、騒音低減、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））などの技術革新により、エンジンインテグレーション技術を高度化できた。また、日本発の技術として、推力低減の少ない騒音制御デバイスであるノッチノズルを高く評価したい。さらに、全体システムの設計を行うための DOC（直接運航費用）という評価指標の有効性が適切に示されている。特に低コスト化にむけての製造技術は独自性、国際競争力を有しており、国際共同開発や、部品製造での受注も十分可能なレベルに達している。</p> <p>一方で、デモエンジンを用いて DOC をより具体的に検証できればさらに有意義であったということが反省事項である。</p>
エンジンシステム特性向上技術（関連要素実証）	<p>主要要素であるファン、圧縮機、燃焼器（特に燃焼ノズル）について、ゼロハブファン適用、軸流 9 段圧力比 22 の高性能な小型圧縮機的设计、ディフューザパッセージ動翼採用、急速混合燃焼器等、世界的に見ても斬新な独自技術の開発に成功している。コスト面、拡張性でも優れており、DOC 低減削減にも貢献している。また、ガスタービン分野、ターボ機械の分野など、技術の水平展開も十分可能であり、</p>

	<p>波及効果という点でも高く評価できる。また、ファン、圧縮機、燃焼器の要素技術はTRL (Technology Readiness Level) 5 レベルであり、実用化につながるものと期待できる。</p> <p>ただし、成果の実用性という点で、上記の技術が仕様変更に対してどの程度拡張性があるのか（新たな開発が必要か、あるとしてどの程度に留まるか）の調査が望ましい。また、ファン、圧縮機の研究開発にはCFDが用いられ、現象のシミュレーションに活用されている。そのこと自体は工学的には妥当であるが、乱流の扱いにおいては、未定係数をチューニングせざるを得ないという欠点を今後も意識しながら更なる改善を進めつつ利用していくべきである。</p>
<p>耐久性評価技術／耐空性適合化技術</p>	<p>耐久性評価技術については、信頼性を求められる航空エンジンの設計にとって、寿命制限部品、高温部品等重要部品の材料特性データ取得は実用化のために必要不可欠な課題であり、かつ継続的（地道）な取り組みが必要であるが、本プロジェクトを通じて貴重なデータベースが構築できており、当該エンジンへの適用のみならず、将来エンジンへの適用に効果的であるという点において、十分に評価できる。特に高温環境試験では共同研究先（JAXA）との協力で、材料データベースの取得、整備ができ、国際共同開発の場での発言力が増すことになった。</p> <p>耐空性適合化技術については、ケブラー材料のコンテインメント性の解析・予測、低圧タービン動翼のタングリングの可視化、鳥衝突時のファン翼の変形予測、ローターダイナミクス解析精度向上、寿命予測精度向上、等が実証できた点は評価できる。試験研究だけでなく、数値シミュレーションで予測することにより、耐空性適合化効率は格段に向上し、その取り組みの意義は認められる。</p> <p>一方で、デモエンジンの実験結果と比較できれば本成果の信頼性は格段に向上したはずであり、その点は大変残念である。</p>

評点結果 [プロジェクト全体]



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	B	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	B	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.5	A	B	A	B	A	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	B	B	A	A	A
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	1.8	B	C	B	B	B	B

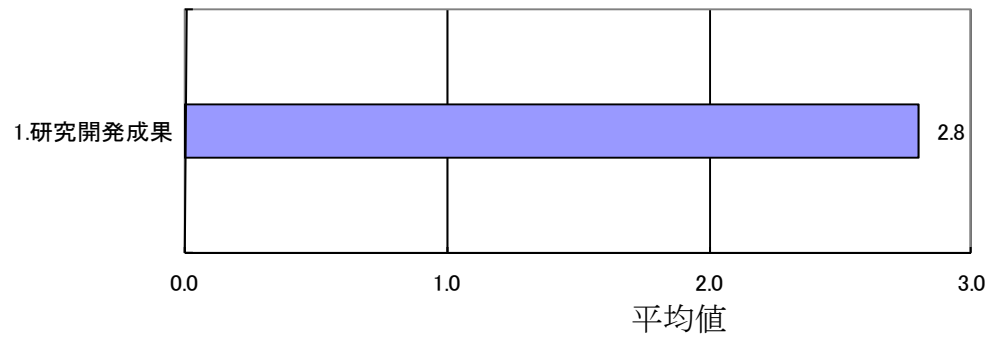
(注) A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

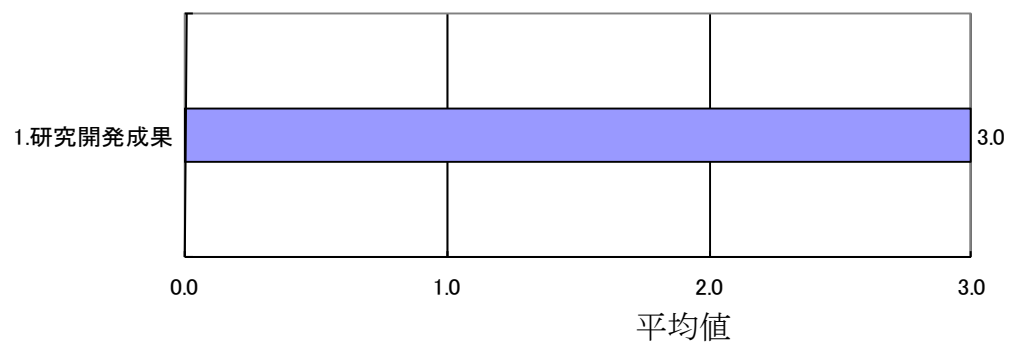
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果 [個別テーマ]

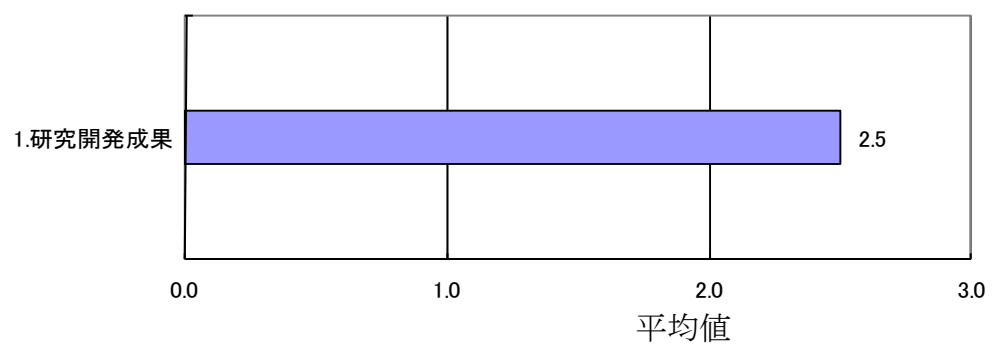
エンジンシステム特性向上技術 (全体システムエンジン実証)



エンジンシステム特性向上技術 (関連要素実証)



耐久性評価技術／耐空性適合化技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)					
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)							
1. 研究開発成果について	2.8	A	A	B	A	A	A
エンジンシステム特性向上技術 (関連要素実証)							
1. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A
耐久性評価技術/耐空性適合化技術							
1. 研究開発成果について	2.5	A	B	A	B	B	A

(注) A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい →A
- ・よい →B
- ・概ね妥当 →C
- ・妥当とはいえない →D

＜参考＞

「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」（事後評価）に係る
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDO の事業としての妥当性

- ・ 「航空機・宇宙産業イノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 適切な研究開発実施体制になっており、指揮命令系統及び責任体制が明確になっているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携や競争が十分に行われる体制となっているか。

- ・ 必要な知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略(オープン/クローズ戦略等)や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義

- ・ 成果は目標を達成しているか。
- ・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながることで期待できるか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 目標未達成の場合、達成できなかった原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
- ・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 大学又は公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、又は実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

*実用化・事業化の考え方

- ・ 本プロジェクトの目標性能を達成し、当該研究開発に係る試作品（デモエンジン）を製作することであり、当該研究開発成果を反映した商品等の販売により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること。

(1) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- ・ 量産化技術が確立される見通しはあるか。
- ・ 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込めるものとなっているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・ プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。