

Overview of "Clean Engine Technology Development Project" at Japan Aerospace Exploration Agency

Shigeru Hayashi

Aeronautical Environment Technology Center

Institute of Space Technology and Aeronautics

Japan Aerospace Exploration Agency

7-44-1 Jindaijihigashi, Chofu-shi, Tokyo 182-8522, Japan

hayashi@chofu.jaxa.jp

Key Words: Clean Engine Technology, Low Emissions, Noise, CO2Reduction, CFD, Engine Test Facilities

Abstract

In Japan, a long-awaited civil aero engine development project has been recently started by the New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO. "High efficiency," "environmentally friendliness" and "low-cost" are the key words of the target engine. The target engine is of 10000-lb thrust with The project consists of three phases: Feasibility studies and market research in the first phase, FY 2003, engine component development in the second phase, FY 2004-2006, and core and full engine demonstrators in the third phase, FY 2007-2009. In league with this government/industry joint funded project, the Institute of Space Technology and Aeronautics, JAXA, has initiated "Clean Engine Technology" project. In

the JAXA project researches on the technologies for the reduction of noise, NOx and CO2 emissions, and on the application of advanced materials to engine components and engine system/control. Reinforcement of the capacity of the existing annular combustor test rig and high-temperature and high-pressure combustion test rig are planned with new installation of a real environment material/10000-lb thrust engine hot parts test rig and an engine test field. This paper overviews the Clean Engine Technology project.

1. まえがき

独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）総合技術研究本部は昨年 10 月、新組織発足にあわせ、航空技術の研究開発を通じた社会への

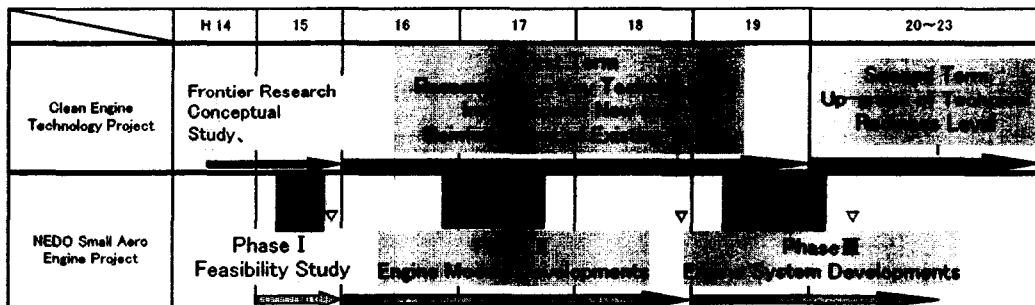


Fig.1. Mile stone for Clean Engine Technology and "Eco" Engine Research and Development Projects.

貢献を中期目標の一つに掲げ「クリーンエンジン技術の開発」プロジェクトを発足させた。平成 15 年度下期はその助走期間であるが、平成 16 年度からは予算措置がされ、本格的に作業が進展する運びとなる。一方、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、航空関連産業の国際競争力の強化を目指して推進している民間航空機基盤技術プログラムの一環として、平成 15 年度から 7 年間にわたる「環境適応型小型航空機エンジン研究開発（通称「エコエンジン」）」プロジェクトを開始した。

図 1 は両プロジェクトのスケジュールを対比して示している。旧航空宇宙技術研究所（NAL）においては平成 14、15 年度、フロンティア研究として今後プロジェクトとして実施すべき研究開発課題やその効率的推進方法、設備整備等について、関係官庁、航空エンジン企業、エアライン、材料関係研究機関等と意見交換し、企業側委員の参加を得て、検討を行ってきた。その結果を反映し「クリーンエンジン技術の開発」プロジェクトにおいては、「エコエンジン」プロジェクトの直接支援のため CFD 設計、エンジン要素試験設備の整備及びそれらを用いた解析・試験を実施するとともに、今後さらに強化される騒音、排気などの航空環境基準に対して余裕を持って適合できる、競争力のある先進的環境技術の研究開発も並行して進めることとした。ここでは、このプロジェクトの計画について紹介する。

2. 航空環境基準の動向

現在、航空機騒音、エンジン排出物に関する国際的な環境基準としては、国連の専門機関のひとつ、国際民間航空機構（ICAO）による基準がある。これらは空港及びその近隣における居住環境、大気環境の保全を目的にしたものである。

騒音に関する ICAO 基準の強化の様子を図 2 に示す。大都市に隣接した離着陸回数の多い空

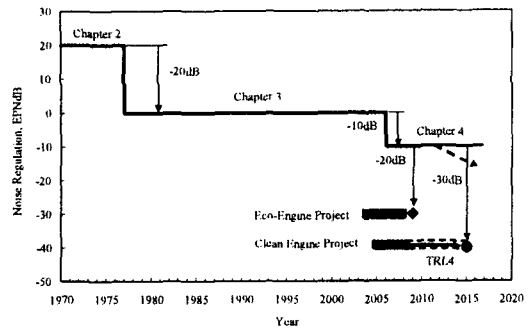


Fig.2 Stringency of ICAO Noise Emissions Standard and Reduction Targets in JAXA and NEDO Projects

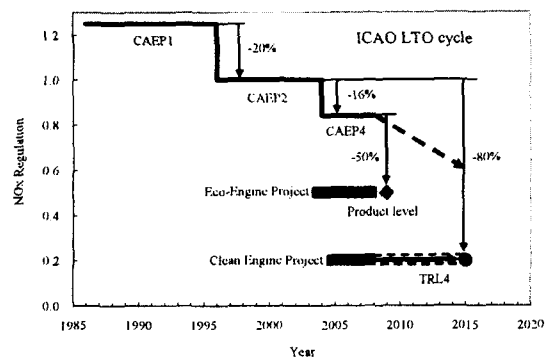


Fig.3 Stringency of ICAO NOx Emissions Standard and Reduction Targets in JAXA and NEDO Projects

港においては、いわゆるローカルルールと呼ばれる、より厳しい基準を導入する動きがあり、より静かな航空機への要求は強まる一方である。

一方、エンジン排出物については現在、離着陸時の窒素酸化物（NOx）、炭化水素、一酸化炭素、スモークが規制対象となっている。NOx については、図 3 に示すように最初の基準制定からこれまで 2 回の強化が行われてきた。地球環境保全の観点からは巡航時や上昇時における排出を規制する必要性が認識されており、現在、ICAO の作業部会において基準等が検討されている。二酸化炭素についても地球温暖化防止の観点から削減が求められている。二酸化炭素排出削減の実質的な手段であるエンジンの高温・高圧化は燃焼器における NOx の生成を促進

することから、より NOx 抑制効果の大きい燃焼技術の実用化が必要である。また、粒子状物質も長期的には規制対象となる可能性がある。エンジン排出物についても、欧州のいくつかの国ではローカルルールによる課金や空港利用料の上乗せが行われている。

以上のように、騒音、エンジン排出物に関する航空環境技術は、今後期待される国産エンジンが国際市場で優位性を確保するには不可欠である。

3. “エコエンジン” 研究開発プロジェクトの概要

第Ⅰ期である平成 15 年度においては、エンジンの市場・技術調査が行われ、その結果を踏まえてエンジンのシステム、仕様が決定され、研究開発すべき技術課題の選定、目標設定に続き、研究計画が立てられることになっている。

この調査では、50 席前後のいわゆるリージョナルジェット機に狙いを定めた推力 10000 ポンド前後が想定されている。エアラインが機種選定において最重視する購入・整備・運用等のコストでの優位性が商品としては絶対的不可欠である。そのため、効率向上、部品点数の削減、インテリジェント化などにより、総合的にバランスの取れた仕様が追求される。

市場投入時期は 2010 年以降と予想されるが、その時点の環境基準に余裕をもって対応できる環境技術は必須である。騒音は 2006 年から導入される Chapter 3 基準の 20dB 減、NOx 排出は 2004 年新型エンジンから対象となる CAEP4 基準の 50%減あたりがプロジェクトの目標とされるであろう（図 2、3 参照）。

4. クリーンエンジン技術の研究開発プロジェクト

4. 1 開発技術課題

このプロジェクトにおいては、①騒音技術、②低 NOx 燃焼技術、③エンジン高温化技術、④

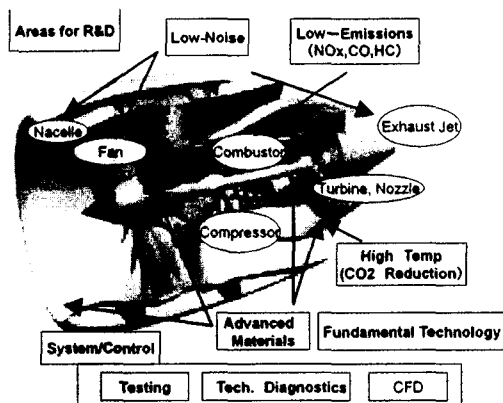


Fig. 4. Technologies to Be Developed in Clean Engine Technology Project.

先進材料適用評価技術、⑤エンジンシステム・制御技術の 5 分野の研究開発を行う。必要な時期に必要な質・量の成果を提供するためには、各種の試験技術、計測技術、CFD 解析技術といった、いわゆる基盤技術の貢献が不可欠である。上記の開発課題とエンジン要素、基盤技術の関連係を図 4 に示す。

このプロジェクトで開発する先進環境技術は、騒音については ICAO Chapter3 基準の 30 dB 減、NOx 排出については CAEP2 基準の 80% 減の可能性のあるものを対象とする。“エコエンジン”プロジェクト直接支援技術については、JAXA の最初の中期計画期間（平成 16 年度から 19 年度）に同プロジェクトの低減目標値の達成を目指す。

“エコエンジン”プロジェクトの第Ⅲ期（平成 19～21 年度）においてはエンジンシステムが試作されるので、クリーンエンジン技術の研究開発プロジェクトで生み出された新しいコンセプトは、TRL (Technical readiness level) をエンジンでの性能確認の段階にまで高めたいと考えている。

以下に、各技術課題ごとに簡単に実施予定の研究内容を記す。

(1) 低騒音化技術

騒音の発生源探査技術（図 5）、CFD を活用し

た低騒音ファンの設計、アクティブファン騒音制御技術等について、これまでの蓄積をもとに技術レベルの向上をはかる。

(2) 低 NOx 燃焼技術

“エコエンジン”プロジェクト支援としては、エンジン企業と共同で、燃焼・排出性能を左右する燃料ノズル、バーナを中心に開発を行うこと、整備される燃焼試験設備を用いて同プロジェクトにおける試作燃焼器の評価試験を行うこと、レーザー計測、CFD (図6)、燃料ノズル設計技術、燃焼器試験技術を提供することなどを予定している。一方、今後国際共同開発される大型エンジンは、燃費の削減等のため圧力比は 50 にも達すると予想されることから、より先進的な低 NOx 燃焼技術が必要となる。

これまで参加してきた HYPR、ESPR プロジェクトにおいて開発してきた超低 NOx 燃焼技術 (図7) をベースとし、亜音速機用、超高压高温燃焼器の作動環境に適した技術の開発を進める。

(3) 高温化 (CO2 削減) 技術

CFD によるエンジン内部流れ予測 (図8) や熱・流体連成解析の技術を発展させるとともに、タービン翼の冷却技術の研究を進め、高性能化、エンジン高温化により CO2 削減に貢献する。また、新世紀耐熱材料プロジェクトの実施主体である独立行政法人、物質材料研究機構と連携し、エアラインや産業用ガスタービンメーカーの協力も得て、エンジン部品の実環境試験をおこない、国産耐熱金属材料の実用化に不可欠なデータベースの構築を進める。

(4) 先進新材料適応評価技術

ファン、燃焼器ライナへの CMC 材料の適用や燃焼器ライナ壁面に適用される先進的セラミックコーティングの評価等について研究を進

める。

(5) エンジンシステム・制御

インテリジェント制御

個々のエンジン要素の性能が向上してもエンジンシステムとして優れた燃費、排出性能を発揮させ、安全性や信頼性を高め、維持コストを削減するためには、より高度な制御やヘルスマニタリングが不可欠である。また、型式証明の取得には騒音試験を始め、種々の性能確認試験を実施する必要がある、そのための試験方法についても研究を行う。

上記の技術開発を支援する CFD 技術、レーザー計測技術、試験技術についても、それらの適用ごとの要求を明確にして高度化を進める。

4. 2 エンジン試験設備の整備

総合技術研究本部が現有するエンジン関係試験設備のうち、高温高压燃焼試験設備の拡充、環状燃焼試験設備の改修に加え、新規に実環境材料試験設備、エンジン屋外試験設備を整備する計画である。それらについて以下に簡単に説明する。

(1) 高温高压燃焼試験設備

この設備は、いわゆる「ムーンライト計画」の「高効率ガスタービンの研究開発」の実施のために設置された燃焼器試験設備で、空気流量 4 kg/s、圧力 5.6 MPa の空気源を備えている。2001 年、700 kW の電気空気加熱器を追加して 1.3 kg/s の空気を 1000 K まで加熱できるようにし、NEDO 主催「環境適合型次世代超音速機推進システム技術の研究開発」における超低 NOx 燃焼器開発に活用してきた。

この設備に新規に 2000kW の空気加熱器を設置することを計画しており、これが実現すると最大空気流量 (4kg/s) において 1000K までの試験ができるようになる。この空気流量は、エコエンジンクラスでは 5 分の 1 セクター燃焼器を装着でき、これまで不可能であった燃焼器出口温度分布の評価などが可能になる。一方、

最先端大型エンジンでは燃料ノズル1本あたりの空気流量が大きいことから、この増強によってようやくシングルセクタ燃焼器試験が可能になる。圧力比が50にも達するエンジンの国際共同開発に先立つ低NOx燃焼コンセプトの実証試験などへの利用が期待される。また、航空エンジンの燃焼試験以外にも、宇宙推進用空気吸い込みエンジンの要素技術試験の高温空気供給源としても活用されよう。

この改修により燃焼ガス量が約3倍になるため排気冷却装置、煙突の改修も合わせて実施する。また、提供するデータの品質の向上のため、データ収録系の更新、排気やスモークの測定のSAE規格等への準拠、ISO規格の取得を進める計画である。

(2) 環状燃焼試験設備

この設備は、わが国の民間企業における航空エンジン技術の基礎造りとなった「FJRエンジンの試作研究」(旧通産省工業技術院主催)において、環状燃焼器試験のためにNALに設置されたものである。空気流量8kg/s、圧力0.7MPa、温度700Kである。STOL機飛鳥の飛行実証に使用されたFJRエンジンの試作第2期において行われた低エミッション燃焼器の環状燃焼試験の後は、わが国において民間エンジン開発プロジェクトがなかったことや、V2500などわが国エンジンメーカーが参加した国際共同開発があったものの、燃焼器の担当とならなかったことから使用されない状況にあった。

エコエンジンの環状燃焼器試験やその後予想される派生型エンジンの燃焼器試験ができる限り実際に近い条件で実施できるよう、供給空気圧力を2.5MPa程度にまで上げ、空気温度もそれに見合ったものにする計画である。最小の費用で最大の効果を目指し、圧縮機は代替するものの電動機は現用のものを使用することを検討している。設置後30年以上経過していることから、試験部やデータ収録計、各種計測プローブのトラバース機構などは高性能なも

のに代替する。

(3) 実環境材料試験設備

これは、タービンノズル・翼、燃焼器ライナなど高温の燃焼ガスに曝されるエンジン部材を実際のエンジンにおけるのと近い環境で試験するための設備である。耐熱性や冷却方法、遮熱セラミックコーティングなど、実エンジン部品で、酸素や水蒸気濃度を変化させた2300K、5.6MPaまでの燃焼ガス流中において試験できるよう、検討を進めている。試験部品に急峻な温度勾配を与える、回転による遠心力の代わりに引っ張り力を与えるなど実際の使用環境を模擬する工夫が盛り込まれる。

わが国では、これまで優れた高温金属材料やセラミックス材料、コーティング材料などの素材が開発されていながら、商用エンジンでの実用例はほとんどないという現状がある。これは、信頼性、耐久性などを推定するには、実際に近い状況でのデータが著しく不足していることが最大の原因と考えられる。実物あるいはそれに近い形態での試験が、エンジンの中の環境を模擬した、しかもよく制御された環境で試験ができることから設計に必要なデータを提供できるものと期待される。これらの試験には、エアラインや産業用ガスタービンメーカーの協力を得て、実用化に向けた改良やデータベースの蓄積を図りたい。

(4) エンジン屋外試験設備

エンジンが飛行に供されるまでには、さまざまな試験により健全性を確認する必要がある。豪雨の中を飛行するときを模擬した水吸い込みや雲の中の飛行を想定したアイシングの試験、取り吸い込み試験、騒音試験などがある。FJRエンジンの研究開発の最終段階においては、NALの角田研究センターの敷地で実施された。この経験はFX3の開発に生かされた。新規に適切な場所に、今後のわが国航空エンジン開発の共用試験場の基礎を築ければと考えている。

5. まとめ

“エコエンジン”プロジェクトは、国の民間航空用エンジン開発プロジェクトとしては、FJR エンジンの研究開発の終了以降 4 半世紀ぶりの事業である。この成功とそれにつながる国産航空エンジンは関係者の長年の悲願であり、JAXA 総合技術研究本部として全力で技術開発を支援する覚悟である。また、今後の大型エンジン国際共同事業においてわが国の航空エンジン企業がより重要な部分を担当できるための先進的技術基盤を準備するよう全力をあげてクリーンエンジン技術開発プロジェクトを実施する。実施に際しては、民間航空関連企業との連携を密接にし、ニーズや要望に的確に応えられるよう努め、大学等の研究機関とも共研究委託などにより実質的な関係を構築していきたい。最後に、関係各位のご支援をお願いする。