

研究開発課題の事後評価結果（案）

令和6年12月
航空科学技術委員会

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会

航空科学技術委員会委員

	氏名	所属・職名
主査	土屋 武司	東京大学大学院工学系研究科 教授
主査代理	山岡 建夫	一般社団法人日本航空宇宙工業会 常務理事
	浦松 香津子	株式会社エーサップ 代表取締役
	太田 恵子	全日本空輸株式会社 安全品質監査部
	河合 宗司	東北大学大学院工学研究科 教授
	佐藤 哲也	早稲田大学理工学術院基幹理工学部 教授
	戸井 康弘	株式会社 SUBARU 航空宇宙カンパニー航空機営業部長付
	富井 哲雄	株式会社日刊工業新聞社東大阪支局 編集委員
	二村 真理子	東京女子大学現代教養学部 教授
	和田 雅子	一般社団法人日本女性航空協会 理事

「コアエンジン技術の研究開発」の概要

1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成30年度～令和5年度

中間評価 令和元年8月、事後評価 令和7年1月

2. 研究開発目的・概要

2030年代に就航が予想される次世代航空機用エンジンの鍵技術として、環境適合性と経済性を大幅に改善するコアエンジン技術(燃焼器、タービン等)の研究開発をJAXAにおいて進める。実用化に向けて、産業界との緊密な連携を図るとともに、エンジンシステムレベルの技術実証も見据えて研究開発を進め、その性能を要素実証する等、コアエンジン技術の確立を目指す。

3. 研究開発の必要性等(必要性、有効性、効率性に関する中間評価結果の概要を記載)

＜必要性＞

2030年代に就航が予想される次世代航空機に搭載されるエンジンの国際共同開発に向け、未だ我が国が獲得できていない高圧系コンポーネントの設計・開発段階から分担を獲得するためには、高い国際競争力を持ったコアエンジン技術の確立が必要がある。また、国際民間航空機関(ICA0)で窒素酸化物(NO_x)排出基準の厳格化が進むとともに、2017年7月に旅客機の CO_2 排出量基準が国際標準として新たに規定されたことを受けた当該基準の国内基準化が見込まれており、次世代エンジンでは格段の排出ガス削減と燃費向上が求められる。以上より、環境適合性と経済性を大幅に改善するコアエンジン技術の研究開発の必要性は高い。

＜有効性＞

これまでJAXAでは、希薄予混合燃焼技術(リーンバーン燃焼技術)を開発し、ICA0基準の75%減をTRL4の技術成熟度で達成するとともに、高圧タービン入口温度 1600°C の超高温タービン技術の研究開発をTRL3の技術成熟度で進めてきており、本研究開発に係る技術の他国に対する優位性は高い。次世代エンジンの国際共同開発を見据え、我が国が優位性を持つ鍵技術の成熟度を早急に向上させ、実証レベルの高い技術を民間企業に提供することは、実用化・事業化の観点で有効である。

＜効率性＞

技術成熟度を活用した技術実証アプローチによって、JAXAが既に有している世界最高レベルの技術をもとに実用化を着実に進める。また、次世代エンジン開発のスケジュールを見据えた研究計画であり、産業界も含めた実施体制となっている。以上より、計画・目標、実施体制は妥当である。

4. 予算（執行額）の変遷

（百万円）

年度	H30 (初年度)	H31	R2	R3	R4	R5	総額
予算額	537	1,049	852	856	723	432	4,450
執行額	383	846	1100	975	615	531	4,450

5. 課題実施機関・体制

研究代表者 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA） 航空技術部門
 コアエンジン技術実証（E n - C o r e）プロジェクトチーム
 プロジェクトマネージャ 山根 敬

主管研究機関 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）

共同研究機関 株式会社 IHI、川崎重工業株式会社

6. その他

研究データについては、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の「研究活動における不正行為の防止等に関する規程」等に基づき適切に管理されている。

事後評価票

(令和 6 年 1 2 月現在)

1. 課題名 コアエンジン技術の研究開発

2. 関係する分野別研究開発プラン名と上位施策との関係

プラン名	航空科学技術分野研究開発プラン
プランを推進するにあたっての大目標	国家戦略上重要な基幹技術の推進（施策目標 9－5） 概要：宇宙・航空、海洋・極域、更には原子力の研究開発及び利用の推進については、産業競争力の強化や経済・社会的課題への対応に加えて、我が国の存立基盤を確固たるものとするものであり、国家戦略上重要な基幹技術として、長期的視野に立って継続的な強化を行う。
プログラム名	航空科学技術分野研究開発プログラム 概要：第 6 期科学技術・イノベーション基本計画期間を含む今後の 10 年程度を見通しつつ、今後文部科学省として推進すべき個別具体の研究開発課題についてとりまとめた航空科学技術分野に関する研究開発ビジョンの実現に向けた活動を進める。
上位施策	航空科学技術分野に関する研究開発ビジョン (令和 4 年 7 月 8 日研究計画・評価分科会決定)

プログラム全体に関連する アウトプット指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 3 年	令和 4 年	令和 5 年
航空科学技術の研究開発の達成状況 (JAXA が実施している共同/委託/受託研究数の観点も含む)	共同研究 2 件	共同研究 2 件	共同研究 2 件

プログラム全体に関連する アウトカム指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 3 年	令和 4 年	令和 5 年
航空科学技術の研究開発における連携数 (JAXA と企業等との共同/受託研究数)	共同研究 2 件	共同研究 2 件	共同研究 2 件
航空科学技術の研究開発の成果利用数 (JAXA 保有の知的財産(特許、技術情報、プログラム/著作権)の供与数)	0	0	0
航空分野の技術の国内外の標準化、基準の高度化等への貢献	0	0	0

3. 評価結果

(1) 課題の達成状況

本研究開発は、2030 年代に就航が予想される次世代航空機用エンジンの鍵技術として、環境適合性と経済性を大幅に改善するコアエンジン技術（燃焼器、タービン）の研究開発を行うものである。技術移転後の実用化を見据え、産業界との緊密な連携を図るとともに、エンジンシステムレベルの技術実証につなげるため、コアエンジン技術の確立を目指すものである。

本研究開発は、以下を活動の柱として進められた。

○超低 NOx リーンバーン燃焼器

○高温高効率タービン

超低 NOx リーンバーン燃焼器は、厳格化が進む国際民間航空機関（ICAO）※1 による NOx 排出に関する国際基準に対応するとともに、海外研究機関の保有する技術に対しても優位性を有するものであり、各技術要素の研究開発は以下のとおり完了した。

- リーンバーン燃焼器技術（高温高圧低 NOx 技術、燃焼振動抑制レゾネータ技術及び燃料ノズル燃料流路断熱・冷却技術）については、試験環境での高温高圧条件で、ICAO CAEP/8（※2）基準値よりも 80% 少ない NOx 値の削減目標を実現する技術開発を完了するとともに、リーンバーンで発生しやすい燃焼振動を抑制するためのレゾネータ設計技術の確立と効果の実証、熱防御構造を持つ燃料ノズルの設計技術の確立を完了した。
- ライナ冷却空気削減技術（CMC※3 燃焼器冷却・構造技術及び CMC パネル耐環境コーティング技術）については、CMC パネルのコーティングを含む冷却設計技術や締結設計技術を確立し、燃焼試験によりパネルの健全性等を実証した。
- 燃焼器過渡応答技術については、開発した燃焼器が過渡応答性能と高空着火性能を有していることを実証した。

高温高効率タービンは、次世代エンジンに求められる高温高圧の動作条件においても既存エンジンを上回るタービン効率を実現することで、燃費向上に大きく貢献するものであり、各技術要素の研究開発は以下のとおり完了した。

- CMC 静翼設計技術については、試作品による織物構造、三次元形状及び冷却構造の成立性を確認するとともに、フィルム冷却孔の加工技術を確立し、設計に必要な強度評価を経て、翼の設計・製作を行った。さらに、実機航空エンジン環境で想定される翼表面温度が 1300℃以上となる高温ガス流試験と加熱・冷却 1000 サイクル試験を実施して、製作した CMC 静翼に損傷がなく健全性が確保されることを実証した。
- 高効率メタル動翼技術については、解析と基礎試験で得た空力性能・冷却性能の改善量に基づいて実証翼を設計・製作した。CMC 静翼の空力設計結果に基づく静翼と統合したタービン性能を回転タービン試験設備で実証し、目標を大きく上回る効率向上の達成を確認した。

※ 1 : 国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization)

※ 2 : ICAO が定めるジェットエンジンの排出ガス規制値

※ 3 : Ceramic Matrix Composites (セラミックス基複合材料)

<必要性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
社会的・経済的意義	定性的	社会からの要請に応える研究開発として、我が国産業の振興・国際競争力の強化に資するか	前・中・後
科学的・技術的意義	定性的	社会からの要請に応える研究開発として、我が国産業の振興・国際競争力の強化に資するか	前・中・後
国費を用いた研究開発としての意義	定性的	社会からの要請に応える研究開発として、我が国産業の振興・国際競争力の強化に資するか	前・中・後

【社会的・経済的意義】

我が国航空機産業は、新型コロナウイルスの感染拡大前である 2019 年時点では年間売上高ベースで 2 兆円規模(民間航空機に限ると 1.36 兆円)にまで発展し、2035 年以降に民間航空機のみで年間約 6 兆円以上の産業として発展するとの見通しもある。航空機産業戦略(令和 6 年 4 月策定)で示されているとおり、世界の民間航空機市場において機体構造・エンジン・装備品・MRO 等で参画可能な事業領域が残されている中、我が国航空機産業には今後の産業規模の拡大余地があることから、我が国の基幹製造産業として発展させるための積極的な取組の重要性に変化はない。

このうち我が国の航空エンジン産業は、世界全体の売上高のうち、約 6% 前後を維持している。これは航空エンジン国際共同開発において、主にエンジンの低圧部において分担を獲得・維持してきた結果であるが、さらなる飛躍のためには低圧部ににとどまらず、高圧部であるコアエンジンの分担の獲得が求められる。本研究課題の成果はコアエンジンの中でも特に高温である燃焼器技術と高圧タービン技術の競争力を大幅に強化するもので、社会的・経済的意義は非常に高い。

【科学的・技術的意義】

2050 年ネットゼロの実現に向けて、ICAO も国際航空分野で 2050 年までに CO₂ の排出を実質ゼロにする長期目標を 2022 年に採択した。この目標の達成には、技術面での研究開発の加速が求められている。

本研究課題で開発した高温高効率タービン技術によるタービン効率の改善とタービン冷却空気削減は、コアエンジン全体の効率向上を実現し、次世代エンジンに求められる燃費向上に大きく貢献する革新性の高い技術である。

また、超低 NO_x リーンバーン燃焼器技術については、厳格化が進む ICAO による NO_x 排出に関する国際基準に対応する目的で開発されたものだが、エンジン全体の効率化・低燃費化を狙う

にはエンジンの高圧化・高温化が欠かせず、高温燃焼で生成されやすい NO_x の抑制は低燃費化との両立に欠かせない意義の高い技術である。

本研究課題が目指したのは 2030 年代に就航が予想される次世代航空機用エンジンの鍵技術としてのコアエンジン技術の獲得であるが、さらに先のエンジンとして期待されるオープンロータや電動ファンの駆動源・発電機としても小型で高性能なコアエンジン技術の重要性は高まっており、科学的・技術的意義は非常に高い。

【国費を用いた研究開発としての意義】

航空機産業は、多額の開発費を要することに加え、開発期間及び商品サイクルが 20 年以上と長く、研究成果と製品開発の間には乗り越えるべき難所がいくつもあり、民間だけでは事業リスクの高い分野である。本研究課題では、民間企業との連携のもと研究開発を進めていくなかで、技術移転後の民間企業主体の開発におけるリスクが過大にならないよう、より実証度の高い計画に基づいて実施された。具体的には、燃焼器については、リーンバーン燃焼器技術の核心の「高温高圧低 NO_x 技術」「燃焼振動抑制レゾネータ技術」のみならず実用化に欠かせない「燃料ノズル流路断熱・冷却技術」、「燃焼器過渡応答技術」、「CMC 燃焼器冷却・構造技術」及び「CMC パネル耐環境コーティング技術」の実証を、タービンについては CMC タービン静翼について強度や加工性に加え高温高圧下での健全性(耐久性)を確保した設計に基づき効率実証を行った。これらにより、我が国航空機産業の振興を支える国費を用いた研究開発としての意義を高めた。

また、本研究開発の実施に際しては、JAXA の持つ試験評価設備・評価技術が大きく貢献した。燃焼器試験設備、回転タービン試験設備ともに、民間で維持・管理を続けることは容易ではない大規模な設備であることから、国立研究開発法人として JAXA は他機関に重複して設置することが多額の経費を要するため適当でない大型試験設備を整備・維持し、研究開発基盤の高度化を実現することで航空科学技術の向上及び航空産業の振興に貢献した。

加えて、本研究開発で得られた成果について、これまで査読論文6件及び口頭発表8件につながっており、民間企業による事業化への貢献のみならず、広く成果の発信にも努めている。

以上から、本研究開発の必要性は高いものであったと評価する。

<有効性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
実用化・事業化への貢献	定性的	他国よりも優位な技術を早急に獲得するものであり、我が国の産業の振興、国際競争力強化に資するか	前・中・後

【実用化・事業化への貢献】

次世代エンジン開発の鍵となる環境適合性と経済性の向上について、本研究開発の成果として他国よりも優位となる以下の技術を獲得しており、我が国の航空エンジン産業の国際競争力の強化に資するものである。

① 低 NO_x 燃焼器技術

ICAO CAEP/8 基準値よりも 80%少ない NO_x 値を実現する「高温高圧低 NO_x 技術」、「燃焼振

動抑制レゾネータ技術」を、燃焼器の実用化に欠かせない「燃料ノズル流路断熱・冷却技術」、「燃焼器過渡応答技術」、「CMC 燃焼器冷却・構造技術」及び「CMC パネル耐環境コーティング技術」とともに確立した。これにより、実機エンジンを使用した試験に供するための環状燃焼器の製作が可能な実証レベルに到達した。達成した NOx 値は現在実用化されているすべての航空機の排出量よりも少ない。また、ICAO の Independent Expert Integrated Review (2019) は 2027 年中期目標として CAEP/8 より 56%減を設定したが、本研究開発が達成した 80%減はこれをはるかに下回る低 NOx 性能で、技術の優位性と競争力の観点で非常に優れている。

② 高温高効率タービン技術

CMC 静翼の設計・製作では損失低減 3D 形状の製作、高性能フィルム冷却孔の加工に成功するとともに、翼表面温度 1300℃(従来の金属翼より約 200℃高温)以上での健全性を実証した。これはいずれも世界に例のない成果である。また、タービン効率についても損失低減設計による効率向上効果を回転タービン試験で実証し、公開資料に基づいて推定した世界最高効率を凌駕する成果を達成したことで、技術の優位性と競争力を獲得した。

以上から、本研究開発の有効性は高いものであったと評価する。

<効率性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
計画・実施体制の妥当性	定性的	・ 技術レベルの向上計画・目標が適切か ・ 研究実施体制及び役割分担は適切か	前・中・後

【計画・実施体制の妥当性】

本研究開発は JAXA 内にプロジェクトチームを設置し、研究開発の開始当初から研究開発成果の受け手となる国内航空エンジンメーカ 2 社との共同研究体制で実施されており、研究開発を着実に推進し、その成果の社会実装を円滑に進める観点からの体制が構築されているといえる。また、国内航空エンジンメーカ 2 社は、海外 OEM との国際共同開発における役割分担が明確で、コアエンジンに関する各技術(低 NOx 燃焼器技術及び高温高効率タービン技術)について、次世代エンジン開発のスケジュールを見据えて、技術ごとに目指す実証レベルを定めて実施された。

以上から、本研究開発の効率性は高いものであったと評価する。

(2) 科学技術・イノベーション基本計画等の上位施策への貢献状況

第 6 期科学技術・イノベーション基本計画に対応する航空科学技術分野に関する研究開発ビジョンでは、次世代航空機の国際共同開発における我が国の分担率拡大を目指し、競争力の高いエンジン技術の研究開発に取り組むこと等が示されている。

本研究開発は、燃焼器に関する希薄予混合燃焼技術や高圧タービン静翼への CMC の適用等の次世代エンジンの鍵となる革新的なコアエンジン技術により航空機の環境適合性・経済性向上を可能とするものである。また、国内メーカが 2030 年代に就航が予想される次世代航空機用

エンジンの国際共同研究開発においても設計分担を狙えるレベルまで技術成熟度を高めることを目的に実施されたものである。

以上から、本研究開発は、航空科学技術分野に関する研究開発ビジョンの実現に資するとともに、我が国の航空科学技術の発展に大きく貢献するものである。

（３）中間評価結果時の指摘事項とその対応状況

＜指摘事項＞

技術移転後の民間企業における開発リスクが過大にならないよう、本研究開発の実施内容及び期間を見直すべきである。

＜対応状況＞

課題開始当初は平成３０年度～令和４年度であった実施期間を、平成３０年度～令和５年度に延長することで、CMC タービン静翼の高温高圧下での健全性を確認するなど、実証度の高い技術を獲得することができた。

（４）総合評価

①総合評価

本研究課題で達成した燃焼器の低 NO_x 技術とタービン効率向上技術は、2050 年ネットゼロに向けた取り組みが求められる中、航空エンジンの CO₂ 排出削減に欠かせないエンジンの高圧化・高温化に欠かせない鍵技術である。燃焼器については、核となるリーンバーン燃焼技術とともに実用化に欠かせない技術項目も目標に設定したうえで着実に技術開発を行ったもので、技術移転を見据えた成果である。タービンについては、推定ではあるが世界最高効率を凌駕する効率を達成するとともに、CMC 静翼について実機と同等の使用環境での耐久性を確認しており、既存の金属翼を置き換える技術開発として大きく前進した。

本研究課題には、研究開発の開始当初から研究開発成果の受け手である国内航空エンジンメーカー 2 社が共同研究体制のもと参加しており、成果の社会実装に向けた体制が構築されている。航空エンジンの国際共同開発において、すでに国内メーカーが分担を獲得しているエンジン低圧部に加えて、コアエンジンの高温高圧部の新たな分担獲得に向けて、成果の活用が大いに期待できる。これは、我が国の航空機産業の振興、国際競争力強化に資するものである。

②評価概要

本研究課題は、コアエンジンのうち超低 NO_x リーンバーン燃焼器技術と高温高効率タービン技術の開発・実証により、所期の開発目標を達成したものと認められる。開発した技術は、2030 年代に就航が予想される次世代航空機用エンジンの鍵技術であり、国際競争力強化に資する基盤となるものである。従って、我が国の航空エンジンメーカーが目指すエンジンの高圧部の分担獲得に資するものである。

③指摘事項

（５）今後の展望

2030 年代に就航が予想される次世代航空機用エンジンの開発の動向を注視しながら、本研究開発に参加し成果の受取り手である国内エンジンメーカ 2 社が、コアエンジンの高温高圧部への設計段階からの参画を目指し、実用化/事業化に向けた検討/活動を主体的に実施する。これにより、航空エンジンの全世界の売上に占める割合を増大する。

JAXA は、実用化に必要なエンジン搭載試験等、成果のより高い TRL での実証や、CMC に代表される新材料の低コスト・高レート製造技術の開発等で、国内エンジンメーカの活動を支援する。さらに、コアエンジン技術を核に、オープンロータや電動化等の、新世代の推進システム実現のための技術開発の取り組みを進める。

JAXA には、本研究開発でも活用した大型設備を活用した基盤研究の維持・強化が期待される。このうち燃焼器評価技術に関しては、水素等の新燃料への対応、エンジンのさらなる高温高圧化に対応した試験評価技術・設備能力の強化が求められる。