

「航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

我が国の航空機産業は、民間航空機の機体構造・エンジンの国際共同開発事業を中心に産業規模を拡大させてきた。近年の世界的なCO₂排出量削減の動向を受け、各航空会社は燃費効率の高い旅客機の導入を進めている。これに伴い、航空機産業においても燃費性能を重視した、より性能の良い航空機・エンジンの製造が求められ、その結果、技術獲得競争がさらに激化している。

このような中、我が国航空機産業の競争力を強化していくためには、基礎開発だけでなく応用開発、特に量産段階における生産性向上を目指した部品や製品一体の製造技術向上や、環境性能の向上に資する材料や要素技術の開発が不可欠となっている。航空機エンジンに注目した場合、燃費向上に直結する高圧タービン技術や、更に材料分野に目を転じると航空機エンジン材料の軽量化、耐熱性・耐久性向上を目指した新たな材料の開発が重要である。

また、航空機産業では最終製品として求められる安全性・信頼性の高さ故、材料の段階から厳しい認証基準等が求められる。

これらのことから、本事業では我が国の航空機エンジン向け材料及び部品製造における競争力向上に資するため、(1) 量産化を志向した航空機エンジン部品の設計・製造プロセス(特に鍛造プロセス)の効率化、(2) 人工知能(AI)、マテリアルズ・インフォマティクス(MI)等の計算機科学を利用した国産材料の開発、(3) 航空当局の認証取得に向けた、航空機エンジンの材料特性及び実環境下における性能等のデータ収集、整備、蓄積を実施していく。

なお、航空機エンジンの耐熱性向上については2020年に文部科学省及び経済産業省が設置した「マテリアル革新力強化のための戦略策定に向けた準備会合」の中で「極限機能を有するマテリアル」及び「マルチマテリアル化技術」として取り上げられており、政府としても注力していくべきとされている。

② 我が国の状況

前述のとおり、我が国の航空機エンジン産業は国際共同開発への参画を通じて事業規模を拡大してきた(日本企業の参画例:Trent 1000、GEnX-1Bの約15%、PW1100G-JMの約23%)。

他方、我が国として航空機エンジン産業を更に成長させるためには、技術革新で優

位性を維持、拡大することが必要であるほか、航空機エンジン設計段階から開発に携わり欧米 OEM メーカーの戦略的パートナーとなっていくことが不可欠である。

③ 世界の取組状況

航空機エンジンの業界構造は欧米中心の寡占状態であり、GE 社（米）、RR 社（英）、P&W 社（米）といった OEM メーカーが、高い安全性とその品質保証体系、当局の認証管理のもと、他社参入による追随を許容しない市場を構築している。

④ 本事業のねらい

航空機の燃費改善、環境適合性向上の要請に応えるため、航空機エンジン向けに高性能材料を開発し、さらにその材料を用いた部品製造、量産化のための加工技術プロセス（特に鍛造プロセスに焦点を当てる）の効率化、高度化を図っていく。また、関連企業や研究機関等と連携し、航空機用エンジンに関する材料データ蓄積及び強度評価、性能評価等に必要データベースを整備する。川下である部素材産業及び加工・製造産業の連携により、当該部品を獲得し、航空機エンジン産業の国際競争力強化を目指す。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

経済合理性を担保した国内における航空エンジン部品（ディスク部分）の鍛造プロセスを確立し、エンジン部品試作・評価を行う。

金属バルク材料の自動合成システム、結晶構造解析、組成分析、金属組織像取得などを順次分析するシステムを構築し、これらのプロセスを利用することで、一日当たり 100 サンプル数のデータを取得可能とする。その結果、従来の 1/10 の材料開発期間及び開発コスト 1/100 を達成する。またコンビナトリアル・バルク創製技術を用いて軽量・耐熱性に優れたハイエントロピー合金材料を 2 つ以上開発するとともに、その製造プロセスを開発する。マテリアルズ・インフォマティクス・ツールを構築して、代表的な金属 20 種のデータを蓄積する。

航空機エンジン用の評価システム基盤を整備し、3 部材以上での活用を可能とするデータベースを構築する。

② アウトカム目標

本事業で開発した成果が次世代航空機に搭載され、軽量化と航空機エンジンの高効率化による燃費改善が図られることにより、2040 年において、92.8 万トン／年の CO₂ 削減が期待される。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）

は、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討するとともに、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行う等、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下のテーマについて、研究開発を行う。
具体的な開発内容は、別紙1の研究開発計画の通りとする。

- 研究開発項目① 「革新的エンジン部品製造プロセス開発」
- 研究開発項目② 「革新的合金探索手法の開発」
- 研究開発項目③ 「航空機エンジン用評価システム基盤整備」

研究開発項目①は、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進すべき研究開発であり、助成事業として実施する。また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は開発段階に合わせて順次実用化する。

研究開発項目②のうち、事業開始から2年目までの【フェーズA：システム開発】は、自動合成システムから複数の分析システムを組み合わせてデータを大量取得可能なシステムの構築を目指す等、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り、協調して実施し、航空機エンジンの新部材への適用を目指す事業であり、委託事業として実施する。また、事業開始から3年目以降の3年間の【フェーズB：合金探索】は、フェーズAで構築したシステムをもとに合金探索のためのデータ取得を行うもので、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進すべき研究開発であり、助成事業として実施する（NEDO負担率1/2助成、中堅・中小・ベンチャー企業2/3助成）。

研究開発項目③は、評価システム基盤整備等、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り、協調して実施し、航空機エンジンの新部材への適用を目指す事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

NEDOはプロジェクトマネージャーとして、NEDO材料・ナノテクノロジー部 飯山 和堯を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

研究開発項目①については、2022年度にNEDOが公募によって研究開発実施者を選定する。研究開発項目②、③については、2021年度にNEDOが公募によって研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独または複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究

開発能力や研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 教授 榎学氏をプロジェクトリーダー（以下、PL」という。）とし、各実施者はPLの下で研究開発を実施する。

また、技術動向調査の結果及び各研究テーマの進捗を元とした事業化（出口）を見据えた開発戦略（全体の最終目標達成に向けたテーマごとの研究開発ロードマップを含む）を構築し、効率的な研究開発・研究成果の実用化を目指す。

（2）研究開発の運営管理

①研究開発の進捗の把握・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、全体の最終目標の効率的かつ効果的な早期達成のため、（新たな課題の対応も含む）関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、実施方針に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

②技術分野における動向の把握・分析

NEDOは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

研究開発項目①については2022年度から2025年度までの4年間とし、②及び③については、2021年度から2025年度までの5年間とする。なお、研究開発項目②については【フェーズA】を2021年度から2022年度までの2年間、【フェーズB】を2023年度から2025年度までの3年間とし、【フェーズB】の実施体制構築に当たっては公募を実施することとする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。評価の時期は、中間評価を2023年度、事後評価を2026年度に実施する。

当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

NEDO及び研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。

② 知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

③ 知財マネジメントに係る運用

委託事業である研究開発項目②【フェーズA】、③については、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

④ データマネジメントに係る運用

委託事業である研究開発項目②【フェーズA】、③については、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針」を適用する。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制、新規テーマの追加等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ニ及び第三号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

① 2021年2月、制定。

② 2021年12月、研究開発項目①に関する事項の変更。

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目① 「革新的エンジン部品製造プロセス開発」

1. 研究開発の必要性

航空機エンジン部材の競争力強化には、後述の研究開発項目②で行うような材料開発や品質向上だけでなく、量産段階における歩留り改善、コスト競争力強化が必須である。そのためには各種材料にあわせた航空機エンジン部品の量産プロセスにおけるタクトタイムの向上や投資効率の向上等、製造プロセスの革新が重要となる。本項目では、特に鍛造プロセスに焦点を当て、製造プロセスの革新を目指す。

2. 研究開発の具体的な内容

航空機エンジン部品に必要な安全性・信頼性を確保するための品質を担保しつつ、航空機エンジン部品の製造工程（鍛造プロセス等）の効率化、高度化を図る。その際、金型材料の見直し等、製造工程に必要な設備の効率化も含めて検討する。

3. 達成目標

【中間目標（2023年度）】

経済合理性を担保した国内における航空エンジン部品（ディスク部分）の鍛造プロセス候補を決定する。

【最終目標（2025年度）】

経済合理性を担保した国内における航空エンジン部品（ディスク部分）の鍛造プロセスを確立する。また、確立した製造プロセスにより、部品試作・評価を行う。

研究開発項目② 「革新的合金探索手法の開発」

1. 研究開発の必要性

航空機エンジン向け材料は、高温、高圧という過酷な環境に耐えることが必要であり、複数の金属元素を適切に組み合わせることで、従来製品よりも軽量、耐熱性、耐摩耗性、熱伝導性、導電性などに優れた「全く新しい合金」の開発が可能となる。

合金特性は金属元素の組合せとプロセス条件で決まるが、その組合せは膨大な数に上るため、従来型の実験方法では天文学的時間が必要となる。合金探索に必要な良質なデータを大量かつ高速に収集し、情報科学を利用することで、所望の特性を有する合金の探索時間を大幅に短縮することで迅速な合金材料開発を行い、航空機エンジンへの適用可能性を模索する。

2. 研究開発の具体的な内容

(a)多種多様な合金組成の金属片を高速かつ自動で作製可能なシステム、(b)多量の合金サンプルを高速に分析できるシステム、(c)(a)と(b)を順次組み合わせてデータを取得可能なシステムの構築、(d)得られた大量のデータから最適な合金組成を導出するシステムが必須となる。上述した目的を達成するためには、laser directed

energy deposition (レーザ DED) 積層造形法を新たにコンビナトリアル材料対応に改良することで、信頼性の高い大量の実験データを効率的に取得することを可能にし、情報科学と融合したマテリアルズ・インフォマティクス合金材料開発への実装を図る。

具体的には事業開始から2年目までの【フェーズA:システム開発】では、自動合成システムと複数の分析システムを順次組み合わせて大量のデータを取得可能なシステムを構築する。また、事業開始から3年目以降の3年間の【フェーズB:合金探索】は、フェーズAで構築したシステムをもとに合金探索のためのデータ取得を行う。

3. 達成目標

【中間目標 (フェーズA 終了時点)】

- 自動合成システムと複数の分析システムを順次組み合わせて一日当たり20サンプル以上のデータを取得可能なシステムを構築する。
- 元素を選択し、金属組織像、結晶構造(X線結晶構造)などのバルク評価特性データを検索により取得できるソフトウェア(代表的な金属6種)を開発する。バルク特性と条件レシピとの相関関係は、アンサンブル機械学習などを用いた境界領域手法を組み込むこととする。

【最終目標 (フェーズB 終了時点)】

- 1日当たり100実験・評価データセットを自動的に取得可能な高速システムを開発することで、年間20,000セットのデータを取得可能とし、従来の1/10の材料開発期間および開発コスト1/10を達成する。
- 本データを用いて本事業で開発したコンビナトリアル・バルク創製技術を用いて、軽量・耐熱性に優れたハイエントロピー合金材料を2つ以上開発することを目標とする。
- 元素を選択し、金属組織像、結晶構造(X線結晶構造)などのバルク評価特性データを検索により取得できるソフトウェア(代表的な金属20種)を開発する。
- ハイエントロピー合金のためのユーザインターフェースを構築し、ユーザが元素間の関係を得やすくするための多元系材料に対応した可視化ソフトウェアを開発する。

研究開発項目③ 「航空機エンジン用評価システム基盤整備」

1. 研究開発の必要性

航空機エンジン用材料は欧米当局の認証を取得する必要があるが、認証取得に当たり、データ取得とベンチマークデータの収集が必要となる。

まず、データ取得に関しては、航空機エンジン材料の諸データ(合金組成、鋳造条件、鍛造条件、熱処理条件等)を使用環境(温度域、圧力等)に応じて試験する必要があり、膨大な試験工数と長期の試験期間が必要である。

また、ベンチマークデータの収集では、既存の航空機エンジン材料や国内材料のデ

ータ等を取得、蓄積、データベース化することが必要となる。

2. 研究開発の具体的な内容

航空機エンジン材料のデータを効率的に取得するために企業や研究機関等と連携し、データベースを整備する。

また、構築したデータベースに基づいて実際に部材を製造し、性能評価試験等を実施する。

3. 達成目標

【中間目標（2023年度）】

国内エンジンメーカーにおいて、1部材以上での活用（部材に使用する認定材料の選定）を可能とするデータベースの構築を中間目標とする。

【最終目標（2025年度）】

国内エンジンメーカーにおいて、3部材以上での活用（部材に使用する認定材料の選定まで実施）を可能とするデータベースの構築を目標とする。

(別紙2) 研究開発スケジュール

	2021	2022	2023	2024	2025	2026
研究開発項目①		効率的な鍛造プロセスの設備設計・導入プロセス開発		鍛造プロセス認証取得に向けた開発		
評価時期			中間評価			事後評価
研究開発項目②	自動合成システム開発 自動分析システム開発 高速データ取得・解析システム開発		軽量・耐熱性に優れた新合金材料の探索に向けたデータ取得			
評価時期			中間評価			事後評価
研究開発項目③	データ蓄積・部材製造・評価試験					
評価時期			中間評価			事後評価
予算(億円)	5	18	29	28	12	