

「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」  
中間評価報告書

2023年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

2023年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 斎藤 保 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「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」  
中間評価報告書

2023年8月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 目次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
研究評価委員会委員名簿	4
第1章 評価	
1. 評価コメント	1-1
1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	
1. 2 目標及び達成状況	
1. 3 マネジメント	
（参考）分科会委員の評価コメント	1-3
2. 評点結果	1-13
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「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」の中間評価報告書であり、NEDO 技術委員・技術委員会等規程第 32 条に基づき、研究評価委員会において設置された「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」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第 74 回研究評価委員会（2023 年 8 月 8 日）に諮り、確定されたものである。

2023 年 8 月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（2023年5月31日）

#### 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

### ● 現地調査会（2023年5月23日）

国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS） 千現地区

### ● 第74回研究評価委員会（2023年8月8日）

「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」（中間評価）

分科会委員名簿

(2023年5月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	みうら せいじ 三浦 誠司	北海道大学 大学院工学研究院 材料科学部門 マテリアル設計分野 教授
分科会長 代理	りのいえ けんいち 李家 賢一	東京大学* 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
委員	きたおか さとし 北岡 諭	一般財団法人ファインセラミックスセンター 副所長
	なかがわ なりひと 中川 成人	株式会社超高温材料研究センター 代表取締役社長
	なかの たかよし 中野 貴由	大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授
	まつもと ひろあき 松本 洋明	香川大学 創造工学部 先端マテリアル科学コース 教授
	わたなべ としやす 渡邊 敏康	PwC コンサルティング合同会社 Public Services (公共事業部) 執行役員 パートナー

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻）、「NEDO 技術委員・技術委員会等規程(平成30年11月15日改正)」第35条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## 研究評価委員会委員名簿

(2023年8月現在)

	氏名	所属、役職
委員長	きのの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー
	いなば みのる 稲葉 稔	同志社大学 理工学部 教授
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	すずき じゅん 鈴木 潤	政策研究大学院大学 政策研究科 教授
	はらだ ふみよ 原田 文代	株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員
	まつい としひろ 松井 俊浩	東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 学部長・教授
	まつもと まゆみ 松本 真由美	東京大学 教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授
	よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員

敬称略、五十音順

# 第 1 章 評価

## 1. 評価コメント

### 1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

航空機産業が、今後 20 年超にわたり成長が見込まれている中、特に仕様条件が厳しいタービン部材の研究開発による航空機エンジンの効率化と軽量化に向けて産学官のオールジャパンで取り組む本事業は、国際的なカーボンニュートラルの流れに沿った、国として意義ある政策である。また、アウトカムまでの道筋として 2040 年度を最終目標とし、ステークホルダーとの対話もされており、材料・部品認定、設計、試作、試験、量産までの具体的スケジュール目標が明示され、更にその成果として CO<sub>2</sub> 削減量の具体的数値目標とその根拠も示されていることは評価できる。

標準化戦略については国内主要メーカー各社との関係性構築方針も含め十分検討されたうえで、実施担当各社の方針による公開と非公開の大別化がされており、知財やデータの取り扱いも知財委員会により適切に管理されており妥当である。

一方、知的財産・標準化戦略について、クロズド戦略の重要性は理解できるが、例えば特許化する技術並びに特許申請数について目標設定するなど、具体的な道筋を明示してほしい。

今後、「合金探索」及び「評価基盤整備」の研究開発項目におけるデータベースの積極的な発信など、システム基盤の発展性・運用展開について、方針・計画の標準化戦略の検討を進めていくことが望まれる。

また、材料・部品認証、上市に向けた製品としてのインテグレーションを見据え、社会実装に向けて対外的な情報発信、ネクストレベルでのステークホルダーとの協議の場を戦略的に企画・立案していくことが期待される。

### 1. 2 目標及び達成状況

アウトカム目標は、航空機分野の現状並びに将来環境条件から適宜見直した目標が立てられたものと判断され、十分現実的かつ具体的な指標や目標が設定されており、目標達成は十分に見込みがあると評価される。また、費用対効果の試算に関しても、現在持ちうる各種情報のもとでは妥当かと考える。本事業がオールジャパン体制で構築されている事からも、国際競争力は高く、大きな期待が持てる。一部のテーマについては、開発技術に対して積極的なステークホルダーとの情報交換を実施することをすでに予定しており、事業化を見据えた取組となっている点も評価できる。

アウトプット目標については、3つの研究開発項目いずれも中間評価段階としては着実に進んでおり、特に「評価基盤整備」においては、国内エンジンメーカー1社において2部材の活用の検討が始まっており、今後のステークホルダーとの対話と具体化が期待される。また、革新的合金探索手法の開発は、従来の3Dプリンター手法とは一線を画す、高融点合金の探索に適した手法であり、後工程の高速スループット評価手法は完成したと思われる。今後はこの合金探索手法の確立及び技術的な精度向上へ優先的に注力することが、材料メーカーの期待に応えることにも繋がり、委託から助成へ向けた道筋も見えてくる。航空機エンジンにおいて、厳しい仕様求められるタービン部材の重要性は揺ぎ無い

ものがあるので、より一層国際競争力を高められるよう、適切な軌道修正を図りながら研究開発を推進してもらいたい。

一方、クローズド戦略の重要性は十分に理解できるものの、論文発表数・特許出願数は少ない、と評せざるを得ないことから、今後、ぜひ学術的な成果発信（論文数）と、技術構築の観点から、各参画企業を中心として特許化についても積極的なチャレンジを期待したい。

### 1. 3 マネジメント

NEDO、PLのリーダーシップによる適切な運営管理、方向性の修正など、アウトプット目標達成に向けた適切なマネジメントがなされており、また、実施者は、国内を代表する技術力、実用化能力を兼備する研究機関・企業が複数参画し、バランスが取れた"オールジャパン"の研究体制が構築できている。さらに、研究データの利活用・オープン・クローズド戦略も十分に検討され、そのシステム基盤はほぼ完成されており、最終目標にむけた"オールジャパン"でのデータベースの構築・充実化が十分に期待できる。加えて、研究を加速させるための予算の獲得など、効果的な研究開発成果の創出に向けた計画の見直し・実践も行われており評価できる。

今後においては、合金開発をより進めるために、特に「ハイエントロピー合金」の開発に対して一層の資源の投入を期待するとともに、プロセスインフォーマティクツールについては、システムとしての単なるデータストレージではなく、例えば逆解析できるような双方向機能も付与するなど、ブラッシュアップして、よりシステムの優位性を高めるような計画も盛り込んでいただくと、より良い成果が期待される。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

<肯定的意見>

- ・ 国際的なカーボンニュートラルの流れに沿って立案された、十分に練られた方針と評価できる。本邦のあるべき国際的役割と整合していると評価される。
- ・ 近年の急激な脱炭素化の流れを先取りした形の計画であり、必要な取組は既に組み込まれていると評価される。
- ・ 国内主要メーカー各社との関係性構築の方針も含め、十分検討されていると評価される。
- ・ CO<sub>2</sub>排出量削減が求められている中で、航空機エンジンの仕様条件が厳しいタービン等に用いられる材料の性能を向上させることは、重要であり、その目的達成のために部品製造プロセス、合金の探索、エンジン材料評価用データベースといった3面から研究開発を行うことは、目標を達成する上で十分に効率的であると判断される。
- ・ 三つの項目に関して、本プロジェクト終了時の目標が達成されたとして、今回アウトカム目標とされているのは、15年後の2040年である。その間に今回開発される技術に基づいて新たに部品の認定、設計、試作並びに試験が行われていき、その後ようやく量産化と次期ジェットエンジンに搭載されるという非常に長い道筋があって、初めてアウトカム目標のCO<sub>2</sub>排出量削減に近づくという計画になっている。このような、長い道のりがあることを理解して計画されている点は理解できる。
- ・ 「革新プロセス」に関しては、そこで開発される技術は、実機エンジン開発に直結する技術であり、エンジンOEMに対して、その優位性を保持することが重要であり、非公開とすることは妥当である。「合金探索」のマテリアルズインフォマティクス技術は学術的価値も高く、わが国の科学技術の評価を高めるためにも、公開とすることは妥当である。
- ・ 航空機産業は日本における有望な技術戦略の一つであり、産学官の密接な連携の基に国際競争力を確実に強化していくことが求められていることから、本事業は、国において実施する意義がある。
- ・ 実用化を見据えた製造技術開発が行われている点は評価できる。
- ・ 知的財産については、担当各社の方針に従い、公開と非公開を明確に分けており、妥当であるといえる。また、知財委員会により知財やデータの取り扱いも適切に管理されている。
- ・ 航空機業界は、コロナ禍で大打撃を受け、当該分野の技術開発も停滞しましたが、今後20年超に渡って、2~5%の右肩上がり成長が見込める数少ない産業です。特に、エンジンは海外主要メーカーが手放したくない分野であることは承知の上で、きちんと国を挙げて材料の強みを全面に出して取り組む姿勢を出してゆくことが必要と思います。
- ・ 民間航空機エンジンの日本未参入部品は何れも厳しい要求性能が求められる耐熱

材料で、これまで数多くの国プロを次世代へと繋ぐ形で実施して来られました。しかし、最後の実用化・標準化・認証取得に至る一番資金が必要なフェーズが尻すばみだったように思われます。委託～助成の段階移行はあり得るとしても、積極的に取り組まれる道筋が示されており、今後の技術の進展が確実に進むことを期待しています。

- 革新的合金探索手法の開発については、3D プリンタでは出来ないプロセスに仕上げることが第一と思われます。委託から助成へ進む要と位置づけ取り組まれることを希望します。革新的エンジン部品製造プロセス開発については、ディスク部材を主要エンジンメーカーに PR されているようで何よりです。一方、航空機エンジン用評価システム基盤整備は、オールジャパン体制で臨まれています。実部材レベルで参加企業の思惑が出て来ると思われますので、NEDO さんがきちんとマネジメント頂けると良いと思います。
- 当該事業は我が国の航空機エンジン向け革新的材料の開発、鍛造を中心とした加工プロセス、航空機エンジン評価用システム構築をデータベース蓄積、データ駆動型手法等の計算科学的手法も取り入れることで、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合により実施する。関連する政策・施策を考慮しつつ、我が国の航空機エンジンの効率化と軽量化による CO<sub>2</sub> 削減に向けた取組として明確な位置づけを定めており、国として意義ある政策である。データ収集部分ではオープン・クローズド戦略も含め、協調領域が明確化されている。中間評価段階までの、意義・社会実装達成までの道筋について、ここまでの良好な成果と今後の成果が見込まれ、高く評価される。
- 本事業では「航空機エンジン」に特化し、その応用展開を指向した産官学オールジャパンでの十分な研究体制を構築されており、「合金探索」、「エンジン部品製造（鍛造）プロセス開発」、及び「評価基盤整備」での具体的な方向性をもって研究を遂行している（広範な TRL で戦略立てられている）。アウトカムまでの道筋でも 2040 年度を最終目標設定として、材料・部品・試作・量産までの具体的なスケジュール（目標）が明示され、しっかり実現できれば、社会的インパクトは非常に強い。アウトカム達成見込みでの CO<sub>2</sub> 削減量の設定（見込み）でも具体的な数値根拠も明示され、説得性も高い。さらに後述でも指摘するとおり、一部のプロジェクトでは既に国内エンジンメーカー・海外エンジンメーカーとの協議も進行されており、アウトカム達成までの道筋も強く見えている状況にもある。市場動向においても積極的に調査がされており、2022 年度ではタービン製造メーカーとの意見交換会も実施されており、アウトカム目標の具体性・説得性により信頼がもてる（評価は高い）。
- これまでの他事業における成果を踏まえつつ本事業で推進すべき事項が明確に示されている。3 つの研究開発の位置づけを明確にしたうえで、社会実証に向けた道筋について検討している。
- エンジンメーカーとの対話や市場ニーズの把握を含めた活動を進めている。
- 協調領域・競争領域を考慮したうえで、研究成果の活用、データベースの構築の考

え方が整備・検討されている。

<問題点・改善点・今後への提言>

- 全体として、TRL 進度が同レベルの取組が各研究開発項目で並行して実施されることが望ましい。例えば、Cantor 合金や Senkov 合金の実作による HEA 探索手法の有効性のアピールなどがあってもよいのではないか。
- 国際的な観点からの情報発信は、潜在的なステークホルダーの掘り起こしにも繋がるのではないか。
- 三つの項目が現在ほぼ平行に実施されている。概括的に考えるとこれらは本来常にお互いに（あくまでも可能な範囲内ではあるが）情報交流されることによって、目的達成に対して、より効果的になるのではないかと考えられる。
- 一方で、CO<sub>2</sub> 排出量削減を実現するためには、2040 年からさかのぼっていくと、次世代ジェットエンジンに搭載されねばならないこと、パーツとして量産が可能となること、部品としての性能が確認されることといった数多くのハードルが待ち受けている。このようなプロジェクト終了後に乗り越えねばならない事項が多くあることを十分に認識したうえで、本プロジェクト実施中にそれを見据えた準備を積極的に進めていっていただきたい。
- 革新プロセスのデータベースに関する扱いであるが、競争領域に係わる内容は関係者までとし、それ以外を登録ユーザーに公開するという点は妥当と考えるが、我が国において開発された合金の優位性を広く世界に周知するという点から本データベースをベースにした世界への情報発信ということも、差支えの無い範囲でこれまで以上に行われても良いかと考えられる。
- 開発した材料や技術を航空機エンジンの設計・製造に活かすためにも、国際的な認知度を高めるための取組を期待する。その一つとして、知財を確保した上で、欧文誌への論文投稿や国際会議での発表等を積極的に実施することを期待したい。
- 航空機エンジン、要の仕様条件が厳しいタービン部材へ打って出られるかどうかは、我が国が取り組んできた先端技術分野の長年の宿願です。真に、国が取り組むべき課題としますので、プロジェクト終了後の道筋を付けられるよう取り組んで下さい。
- 産学官の連携は、NEDO さんが全体を調整・マネジメントされており、試験計画・進捗も適宜、見直しも視野に入れて取り組んでおられることが判りましたので、引き続き、上手く調整して進められたら良いと思います。
- 学会発表、論文投稿は積極的に進められると思いますが、新しい知見が得られたら、知財を確保するまでは発表すべきではありません。特許は数を出せば良いものではありませんし、要のものが 1 件でも成立すれば良いと思います。知財の確保は、進め方次第では重要な決め手になりますので、慎重に対処して頂くことが肝要と思います。
- 柱となる 3 つの事業はそれぞれが要素技術として将来シームレスにつながるべきも

のであり、現状は各要素の深化のために個別に進めるべき課題である。本事業終了後には、将来的にそれぞれが相互作用し、相乗効果が発揮できるようなアウトカム達成までの長期的ビジョンの具体策を強く意識することが望ましい。本事業終了後の自立化の仕組みや材料開発のためのコンソーシアム組織の整備など、効率的に進めていただきたい（特に合金探索部分）。知財戦略、標準化戦略については全体を通じて、構想はあるものの、その具体的な道筋が見えにくく、時間軸・3つの事業ごとの相互連携・標準化戦略については、今後具体化していただきたい。広くステークホルダーにオープンできる情報については積極的に発信し、本成果を広くアピールしていただきたい。

- ・ 本事業では、「合金探索」、「エンジン部品製造（鍛造）プロセス開発」、及び「評価基盤整備」での3本柱が並行して研究展開されているものの、アウトカム達成までの、それぞれの連携体制・方向性が明確ではない。多くの機関が参画され、それぞれの研究開発を着実に遂行する事が最重要ではあるものの、横展開の強化も重要であり、アウトカム目標のため、連携体制の強化についてご検討頂きたい。また、知的財産・標準化戦略について、クローズ戦略の重要性は理解できるものの、特許化する道筋・目標設定（どの技術を強力的に特許化する、また特許数など）が明確ではないために、ある程度（具体性は欠けても構わない）でも構わないので、その目標設定を明示頂きたい。また「合金探索」及び「評価基盤整備」の事業では、データベースの構築・インフォマティクスの活用・システムの運用に注力されているが、将来的なこのシステム基盤の発展性・運用展開については詳細に明示されておらず、最終目標の設定の過程で、この点もご検討頂く事を希望している。
- ・ 航空機部品としての認証、上市に向けた製品としてのインテグレーションを見据えた社会実装を最終ゴールと据えた際、対外的な情報発信、エンジンメーカーや航空機メーカー、エンドユーザー（エアライン）をはじめとするステークホルダーとの協議の場を戦略的に企画・立案していくことが望ましい。
- ・ 本研究開発の対象外としている標準化戦略については、知財との兼ね合い・オープン・クローズ戦略をはじめとする事業会社・研究機関としての方針・計画は別途検討を進めて頂くことを期待している。

## 1. 2 目標及び達成状況

### <肯定的意見>

- ・ 現時点でのCO<sub>2</sub>削減量の見込みや、国際競争力などの点に関しても、十分現実的な指標や目標が設定されている。目標達成は十分に見込みがあると評価される。
- ・ 現時点で、十分に達成されていると評価される。
- ・ 本事業が掲げるアウトカム目標は、航空機分野をとりまく現状並びに将来満たさねばならないと想定される環境条件からみて、適切に目標が立てられたものと判断される。また、費用対効果の試算に関しても、現在持ちうる各種情報のもとでは妥当かと考える。

- ・ 「合金探索」に関してデータ取得可能なシステムを構築し、評価のためのソフトウェアを開発するというアウトプット中間目標に関しては、目標とするサンプル数以上の取得を可能とするシステムを開発したことであり一定の評価がされる。「革新プロセス」に関しては、アウトプット中間目標は、適切に見直しが行われており、また最終目標達成にむけて、今後とるべき手段等について適切に構想がなされていると判断され、最終目標の実現が期待される。「評価基盤整備」に関してはアウトプット中間目標である「国内エンジンメーカーによるデータベース構築中の合金に関する活用検討」が目標の数以上に始まったことは評価される。
- ・ 一部のテーマについては、開発技術に対してエンジンプライムとの情報交換を積極的に実施することを予定しており、事業化を見据えた取組である。
- ・ 次フェーズへの展開をより確実なものにするために、開発目標を適宜見直したことは評価できる。全てのテーマにおいて実施者の設定した中間目標を達成している。また、一部に当初予定以上の成果を挙げているテーマもあり、全体として、計画どおり順調に進捗していると判断される。
- ・ 航空機エンジンを取り巻く環境も、2050年カーボンニュートラル実現、SDGsの観点からもCO<sub>2</sub>をより低減出来る技術、例えば、植物由来燃料の使用や、アンモニア、水素の混焼、さらには、オールエレクトリックエンジンまで多様な価値観を織り込んだ技術開発も進められています。しかしながら、何と云っても、航空エンジンの主要部位である仕様条件が厳しいタービン部材の位置付けは不動の揺ぎ無いものがありますので、当分野で国際競争力をきちんと高められるよう、適宜、目標を見直してでも推進して貰いたいものです。
- ・ 3つのプロジェクトは何れも中間目標をクリア出来そうで特に問題は見られません。オープン/クローズの問題は、航空機エンジン用評価システム基盤整備においては、NIMSさん開発の新合金を、参加企業が実部材造りをしながら部材レベルでの基礎データを採取されることは、より有効なデータベース構築を担う上で、今後の取組が極めて重要と思われれます。最終目標達成とその後の展開を見通せるような加速研究費を引き出せるような進展を期待します。
- ・ 社会実装に向けた合金探索、加工技術、評価システムに向けたデータベース構築は中間評価段階としては着実に進んでいる。CO<sub>2</sub>削減効果などについての算出や目標設定がなされている。さらに、合金探索については当初目標値からの変更により、質の向上やMI-AI活用等逆問題計算手法を取り入れて、より現実的かつ意義ある形への修正がなされている。革新プロセスについては、より具体的な目標設定がなされている。評価手法については当初よりも中間評価時での目標が2部材への適用検討ということで、加速化しており、今後の海外OEMとの対話と具体化が期待される。
- ・ アウトカム目標に対しては、2040年度までの長期計画において、具体的な指標が明示できている。特にCO<sub>2</sub>削減量については、信頼できる数値根拠から明示されており、説得力がある（妥当である）。本事業がオールジャパン体制で構築されている事

からも、国際競争力は高く、強く期待がもてる。アウトプットの達成状況（中間）についていずれの3事業においても中間目標に対して達成される見込みであり、達成状況に問題はない。特に「評価基盤整備」においては国内エンジンメーカー1社において適合する2部材への活用の検討が始まっており、今後の成果が更に期待される。

- ・ 3つの研究開発項目それぞれが、必要に応じて適切な軌道修正を図りつつアウトカム目標に向けた研究開発を推進してきている。
- ・ 3つの研究開発項目において、必要な軌道修正も図りつつ、アウトプット目標に向けた活動が推進できている。

#### <問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 現時点でのCO<sub>2</sub>削減量の計算結果について、その見通しの数値が今後大きく低下しないことをどのように担保・保証できるかの説明構築は、プロジェクトの中途段階での企業との交渉で重要になると思われる。
- ・ 既に記載したが、TRLの指標値が各研究開発項目で同程度になるような進行方法の摺り合わせがあると、外部から見たプロジェクトの総合的な評価が更に高くなり、より好適と思われる。
- ・ 先述もしたが、今回のアウトカム目標はCO<sub>2</sub>排出量削減で数値目標を与えているものであり、それが達成されるためには、今回参画している個社による努力だけでは不十分で、エンジンOEMが開発する次世代エンジンが市場に受け入れられて、一定数のエンジンが運用されることが前提となっている。その観点から見て、非常に重要なことは、本事業終了後から15年という長期間をかけて、パーツとしての量産体制を確立し、エンジンOEMへ提供できるようにする努力を常に続けていくことだと考えられる。
- ・ 「合金探索」に関して、そのアウトプット最終目標である「軽量・耐熱性に優れたハイエントロピー合金材料」を開発するという観点では、現在のところ、その「ハイエントロピー合金」に対する認識がかなり欠落されているような感じを受け、不安を感じる。この点からの改善が強く期待される。「革新プロセス」に関して、事業開始からまだ1年と少々しかたっておらず、これまでの実施内容も中間目標達成のための前段階にとどまっており、今年度終了時の目標達成にむけて引き続きの努力をお願いしたい。「評価基準整備」に関しては、多くの国内エンジンメーカーが参画しており、その役割分担のもとで活動を続けていることは理解しているが、本事業のアウトカム達成のためには、これらの参画企業が本事業終了後に強い決意をもって活動を継続することが非常に重要であり、その面でもいまから十分な準備を続けていってもらうことが期待される。
- ・ 本プロジェクトの事業化計画に対しては、次期量産機のローンチと比較して説明された方が事業化に向けた取組の理解がより深まるものと思われる。「航空機分野全体のCO<sub>2</sub>排出量」に対する「アウトカム目標のCO<sub>2</sub>削減量」の割合を示すことに

より、本プロジェクトに対する社会的影響のインパクトがより明確になったと思われる。

- ・ 革新的合金探索手法の開発は、産業技術総合研究所さんが提唱される手法は、3D プリント手法とは一線を画す、高融点合金の探索には打って付けの手法と思われます。後工程の高速スループット評価手法は完成したと思われますので、今後は、この手法の技術的な精度・確立を最優先させて注力することが、材料メーカーの期待に応えることに繋がり、委託から助成へ向けた道筋も見えて来るのではないのでしょうか。
- ・ 最終的なアウトカムとしての CO<sub>2</sub>削減が、実際になされるだけの合金探索やデータベース構築になりえるか。さらに、プロセス開発が単なる装置導入になることがないように注意が必要である。データベースの構築についても、真に有効なものとなっているかの恒常的な検討が必要である。新合金の探索手法が真に航空機部材メーカーの求める形になり活用化されるのかを常に念頭において進めていただきたい。論文発表や特許申請は可能な範囲で積極的に行っていただきたい。
- ・ アウトカム目標について 2040 年度までの長期計画において、長期間での目標設定のために、多少、それぞれの事業での方向性に具体性（各年度・期間毎）が欠けるのも否めない。社会情勢・他競合となる技術動向に対して、どう取り組んでいくのかについてなどは明示されておらず、多少の不安要素も残る。アウトカム目標及び達成状況では、各事業で設定された中間目標はクリアされているが、クローズ戦略の重要性は十分に理解できるものの、論文発表数・特許出願数は少ないと判断される（参画機関の数も鑑みると、現時点での発表数は少ない）。目標設定（中間・最終）においてこれらの"数"については言及されていないものの、本事業では NIMS や AIST の研究者も多く参画されている事から、ぜひ学術的な成果発信（論文数）においても積極的にコミット頂きたい（希望する）。また技術の構築の観点でも、各参画企業を中心としてぜひ特許化についても積極的にチャレンジ頂きたい（希望する）。
- ・ アウトカム目標として CO<sub>2</sub>削減を掲げているところのうち、航空機エンジンとしてのシステムインテグレーションの視点から見たときの寄与度が具体的にどのような形で反映されるのかを掘り下げても良いのではないかと。※材料としての寄与、材料・加工技術セットでの寄与、製品としての信頼性の観点からの寄与、等々の視点があるものと想定。
- ・ それぞれの研究テーマにおいて、研究評価委員会で指摘のあった各委員からの内容について、今後の研究開発の計画・軌道修正に反映・検討頂きたい。

### 1. 3 マネジメント

#### <肯定的意見>

- ・ 十分機能していると評価される。
- ・ 適切であると評価される。
- ・ 適切な対応がなされていると評価される。

- ・ 本事業は日本の産業競争力強化を目的とするが、その点は NEDO の使命と合致していることから、執行機関は適切と判断される。実施体制や採択プロセスに関しても、これまでの NEDO プロジェクトで行われてきた手法を踏襲しており、適切である。特に採択審査時にあたえられた採択条件を満たすように事業は実施されてきたと考えられ、管理体制の面からも不足はないとみられる。
- ・ 「革新プロセス」を助成事業として全期間行うことと「評価基準整備」を委託事業として全期間行うことは、それぞれが目指す TRL レベルから見て適切であり、今後も予定どおり継続されることが適切であると判断される。
- ・ 連携やスケジュール見直しに関して全般的に適切に実施されており、進捗管理に関しても多くの面では適切に対応されていると考えられる。
- ・ 研究開発の実施体制は、関係各社による分担がなされており、しかも、材料データの共有化を図ることにも取り組んでいることから、実用化・事業化へ向かって推進する体制ができていると思われる。
- ・ 開発した先進的な素材や技術が航空機エンジンに採用されるまでには、長期間の研究開発が必要であるため開発リスクが高く、しかも、厳しい国際的な産業競争に打ち勝たなければならないことから、産学官の密接な連携の下で効率良く開発することが重要である。したがって、本プロジェクトを NEDO 事業として実施するのは妥当である。
- ・ 海外の先行技術等についても積極的に情報収集するとともに、それを基に研究開発の方向性を検討しており、競合技術の動向や情勢変化への対応がとれている。
- ・ 航空機、特に、エンジン開発に向けた実施体制として、METI～NEDO～実施者（研究者）の流れで取り組むのは妥当で、NEDO さんは全体を見通して推進されていると感じました。特に、国内で初めて FAA 認証を取得され、小型旅客機分野に打って出られた航空機メーカーさんが参加されているのは、重工各社の航空機エンジン事業のビジネスモデル構築の上でも参考にすべき内容も多いと思われますので、大変心強いと思いました。
- ・ 革新的合金探索手法の開発については、3D プリンタでは出来ないプロセスに仕上げるのが第一と思われます。TRL0～1 のフェーズですので、委託事業の間に合金合成手法の確立に注力されては如何でしょうか。革新的エンジン部品製造プロセス開発については、仕様条件が厳しいタービンの要であるディスク部材へのチャレンジは重要と思われますので、現状の助成率を維持して進められると良いと思います。一方、航空機エンジン用評価システム基盤整備は、オールジャパン体制で臨まれています。実部材レベルでデータベースを構築してゆくためには相当の資金・期間が必要と思われますので、次期フェーズへの展開も見据えて取り組んで頂けると良いと思います。
- ・ 研究開発の進捗によって、NEDO～PL～実施者間で進捗確認されており、必要に応じて、スケジュール調整・管理もなされているようで問題ありません。

- ・ 実施体制は本事業を実施するに当たり最適であり、執行機関としての NEDO、さらに PL のリーダーシップにより適切な運管・理営、方向性の修正など、アウトプット目標達成に向けて適切なマネジメントがなされている。さらに実施者は国内を代表する技術力、実用化能力を兼ね備え、オールジャパン体制が組まれている。
- ・ 3本のメイン事業「合金探索」、「エンジン部品製造（鍛造）プロセス開発」、及び「評価基盤整備」での執行機関・実施者ともに極めて充実した運営・研究体制が構築されている。実施者の研究能力も、日本を代表する研究機関・企業（大企業）が参画され、企業においても偏りなく、まさに"オールジャパン"の研究体制が構築できている。研究データの利活用・オープン・クローズ戦略も十分に検討され、そのシステム基盤がほぼ完成されたとの事で、最終目標にむけたオールジャパンでのデータベースの構築・充実化が十分に期待できる。今後の研究開発計画においても、各事業で掲げた目標設定を達成するため充実した内容で計画されている。
- ・ 3つの研究開発のテーマ間の整合性を意識しながらプロジェクトマネジメントをリード頂いている。個別の研究開発についても、リーダ及び実施事業者との連携を図りながら実施している。
- ・ 研究開発に関連した進捗の遅れ等は見られない。研究を加速させるための予算の獲得など、効果的な研究開発成果の創出に向けた計画の見直し・実践も行われている。

#### <問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 三つの研究項目はそれぞれ独立したものであり、現状の実施体制で問題はないが、ある研究項目でえられた知見やノウハウに関して、他の研究項目実施者にとって有益な情報も一部含まれている可能性があるため、そのような内容に関して、差支えの無い範囲内で異なる研究項目の実施者にも共有できるようなルートを構築するともっとよろしいかと考えられる。
- ・ 「合金探索」に関して、これまでは委託事業であり、2024年度からは「実用化に向けて企業の積極的な関与」により推進すべきとのことで助成事業に転換される予定ではあるが、上述のように、この研究項目の本来の目的である「ハイエントロピー合金」を開発するという趣旨に鑑み、かつこの点での進捗に不安が感じられることから、「合金探索」に関して今後は「ハイエントロピー合金」の開発に重点をおいた研究開発ができるような事業体制を構築することも視野に入れてよろしいのではないかと考えられる。
- ・ 「合金探索」に関しては、先述のように「ハイエントロピー合金」の開発の視点から十分な成果が得られるように、その点に対する集中的な資源と努力の投入があってもよろしいのではないかと考えられる。
- ・ MI-AI 統合化プロセスインフォマティクスツールに関しては、他機関が開発した材料・プロセス探索システムとの連携や情報共有等を図ることを期待する。
- ・ 次フェーズの実用化研究に確実に移行させるためにも、外部環境の変化に対する課題を明確にするとともに、その情報を共有する体制を更に強化していくことを望む。

- ・ 当該技術分野として見れば、内閣府、防衛省、文科省（JST＝国立研究開発法人科学技術振興機構）がありますが、防衛省には NEDO のように実務を仕切る外郭団体は、今のところ、ありません。このような状況の中、省庁の横通しは経済安全保障の観点からも、より一層重要になることは必須です。今後は、NEDO さんに権限をより集中して実施するのも良いのではないのでしょうか。海外のエンジンメーカーに対し、日本の重工各社は関係する多方面の各署に配慮しながら進めて来られた経緯はあるものの、オールジャパン体制で、その牙城に一つでも食い込むことが叶うよう、注力して貰えれば幸いです。
- ・ 合金探索については、早い段階での補助事業として継続するために、本開発システムの強みを積極的に広報していただきたい。さらに、単に複数のノズルにより粉末を投入するだけでなく、異なる粉末を高品質に混ぜ合わせるための魅力的な開発が今後望まれる。
- ・ (2) 受益者負担の考え方において、「合金探索」の事業では、これまでの研究開発に比べた大幅な迅速化・自動化の実験・評価システムが構築できているものの、より具体的な材料開発の観点で、合金開発が出来ているとは言い難く、その中で 2024 年度からの助成事業への切り替えについては、多少のリスクも感じる。2023 年度での研究成果・進捗状況に期待しながら、ぜひ企業との連携体制の強化を更に図って頂くことを希望する。
- ・ また (3) の研究開発計画において、各事業（3 事業間）での連携体制が明示されておらず、相互（横展開）での連携体制も構築・強化すべきとも考える（シナジー効果を期待して）。加えて、データベースを構築する過程（「評価基盤整備」）において、各社（参画企業）が活用するだけでなく、積極的にブラッシュアップするような方針（計画）も盛り込んでいただけると、より企業が積極的にコミットできるシステムに仕上がる事が期待できる。また、データベース化する中で（システムの構築・運用）、システムとして単にデータのストレージとしての役割を担うだけでなく、例えば逆解析できるような機能も付与する事で、よりアドバンテージをつけたシステムになるので、そのようなブラッシュアップできる計画も盛り込んでいただくとより良いシステム設計・運用が出来るものと期待される。
- ・ 引き続き執行機関のリーダーシップのもと、航空機エンジンへの研究開発成果の採用に向けた研究テーマ間の連携や協議の場を設けて頂くことを期待している。

## 2. 評点結果

評価項目・評価結果	各委員の評価							評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋								
(1)本事業の位置付け・意義	B	A	A	A	A	A	A	2.9
(2)アウトカム達成までの道筋	A	B	B	B	A	A	A	2.6
(3)知的財産・標準化戦略	A	B	A	A	B	B	A	2.6
2. 目標及び達成状況								
(1)アウトカム目標及び達成見込み	A	B	B	A	A	A	A	2.7
(2)アウトプット目標及び達成状況	A	B	A	B	B	B	A	2.4
3. マネジメント								
(1)実施体制	A	A	A	B	A	A	A	2.9
(2)受益者負担の考え方	A	B	A	B	A	B	A	2.6
(3)研究開発計画	A	B	A	A	A	B	A	2.7

《判定基準》
A：評価基準に適合し、非常に優れている。
B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。
C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。
D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

(注) 評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

## 第2章 評価対象事業に係る資料

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「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」

事業原簿 概略版

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部
-----	---

## —目次—

### 内容

概 要 .....	2
プロジェクト用語集 .....	6
研究開発項目ごとの成果 .....	7
1 研究開発項目①：「革新的エンジン部品製造プロセス開発」 .....	7
2 研究開発項目②：「革新的合金探索手法の開発」.....	13
3 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」.....	37

#### (添付資料)

- ・プロジェクト基本計画
- ・プロジェクト開始時関連資料（事前評価結果、パブリックコメント募集の結果）
- ・特許論文等リスト

## 概要

		最終更新日	令和5年5月1日	
プロジェクト名	NEDO プロジェクト名 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 METI 予算要求名称 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	プロジェクト番号	P21007	
担当推進部/ PMまたは担当者 及び METI 担当課	材料・ナノテクノロジー部 PM 飯山 和尓（令和3年4月～令和5年5月現在） 材料・ナノテクノロジー部 主査 小西 弘之（令和3年4月～令和5年5月現在） METI 担当原課：産業製造局 金属課、航空機武器宇宙産業課			
0. 事業の概要	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、性能評価等に必要な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。			
1. 事業のアウトカム（社会実装）達成までの道筋				
1.1 本事業の位置付け・意義	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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 CO<sub>2</sub> 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。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・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、下記を実施していく。               <ol style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> </ol> </li> <li>・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。</li> </ul>			
1.2 アウトカム達成の道筋	NEDO 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。			
1.3 知的財産・標準化戦略	知財マネジメント基本方針（「NEDO 知財方針」）に関する事項 NEDO 知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成する。			

2. 目標及び達成状況	
2.1 アウトカム目標 及び達成見込み	<p>■ アウトカム目標</p> <p>本事業で開発した成果が次世代航空機に搭載され、航空機エンジンの高効率化と軽量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 CO<sub>2</sub> 削減が期待される。</p> <p>■ 達成見込み（令和 4 年度末時点）</p> <p>材料データベースを用いたエンジン性能効果検証により CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を算出する。検証に用いるエンジンモデル等を決定するため、航空エンジン技術全般について、過去数年から比較的近い将来までの動向調査を行った。予備検討として材料の耐用温度を用いて CO<sub>2</sub> 排出量を見積もるシステムの構築に着手し、2024 年度以降にデータベースに蓄積された材料特性を用いて削減量を算出可能とする見込みである。</p>
2.2 アウトプット目標 及び達成状況	<p>■ 研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」</p> <p>【アウトプット目標（令和 7 年度末）】</p> <p>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。</p> <p>【達成状況（令和 4 年度末時点）】</p> <p>抵抗式金型加熱については、金型表面温度 1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10℃となるシステム、誘導式金型加熱については、金型表面温度 1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30℃となるシステムを構築すべく、主要な装置と関連する金型の作製を進めた。</p> <p>■ 研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」</p> <p>【アウトプット目標（令和 7 年度末）】</p> <p>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。</p> <p>【達成状況（令和 4 年度末時点）】</p> <p>4 種類の金属材料を所望の量を用いて自動合成を行うシステムの開発に成功し、中性液体を用いた電解砥粒エッチングによる金属表面の平坦化を可能にした。また、結晶構造解析、組成分析、金属組織像取得、電気抵抗率(導電率)、ピッカース硬さ試験などの複数のハイスループット評価を連続的に評価できるシステムの構築を行った。さらに、耐熱性および軽量化に優れたハイエントロピー合金材料予測を可能とするマテリアルズ・インフォマティクス・ツールを構築し、これらのシステムを順次活用して多量のデータ取得およびデータ解析を可能にする技術的な指針を得ることができた。</p> <p>■ 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」</p> <p>【アウトプット目標（令和 7 年度末）】</p> <p>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。</p> <p>【達成状況（令和 4 年度末時点）】</p> <p>ブレード用単結晶合金およびディスク用鋳鍛造合金の組成、熱処理条件等の仕様を検討した。またクリープ特性、疲労特性、き裂進展特性等のデータ取得を開始した。汎用海外材料と比較し、特性の優位性を確認している。これらの取得データを整理するためのデータベースソフトウェアを設計し、システムを構築した。今後データの蓄積によりデータベースを充実させ、部材設計に結び付くよう機能を改良していく。</p>

3. マネジメント							
3.1 実施体制	経産省担当原課	製造産業局 金属課、航空機武器宇宙産業課					
	プロジェクトリーダー	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授 榎 学					
	プロジェクトマネージャー	材料・ナノテクノロジー部 主任 飯山 和亮					
	委託先および助成先	研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」 助成先：(株) プロテリアル 研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」 委託先：(国研) 産業技術総合研究所、 (一財) 金属系材料研究センター、JX 金属 (株)、筑波大学 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」 委託先：(国研) 物質・材料研究機構 (株) I H I、川崎重工業 (株)、三菱重工業 (株)、 三菱重工航空エンジン (株)、(株) 本田技術研究所					
3.2 受益者負担の 考え方  事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実 績額 (評価実施年 度については予算 額) を記載) (単位:百万円)	主な実施事項	R3fy	R4fy	R5fy	R6fy	R7fy	
	研究開発 項目①		—————→				助成
	研究開発 項目②	—————→			—————→		委託→助成
	研究開発 項目③	—————→					委託
	会計・勘定	R3fy	R4fy	R5fy	R6fy	R7fy	総額
	特別会計 (需給)	442	839	1240	( )	( )	2521
	開発成果 促進財源	0	421	0	( )	( )	421
	総 NEDO 負担額	442	1260	1240	( )	( )	2942
	(委託)	442	1184	1125	( )	( )	2751
	(助成) : 助成率 1/2	0	76	115	( )	( )	191
3.3 研究開発計画							
情勢変化への 対応	<p>■ NEDO としても積極的に情報収集活動に参画</p> <p>当該分野で先行する米国の動向を中心に、事業者と共に NEDO としても積極的に情報収集活動 (国際会議、調査機関、展示会、意見交換) に参画して研究開発の方向性を議論、プロジェクトマネジメントに役立てた。</p> <p>「注視すべき米国での超合金開発動向」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・GE/NASA/Ohio State Univ.が開発した Ni 基超合金</li> <li>・米国ナショプロ「Material Genome Initiative」、「ULTIMATE」</li> <li>・次世代の超耐熱合金 (高融点ハイエントロピー合金) および関連要素技術</li> </ul>						

	<p>■ 研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」における事業方針の見直し</p> <p>技術推進委員会での結果も踏まえ、高品質かつ魅力ある自動合成システム*1を構築すべく、実施内容の充実化及び 開発期間/費用について議論を重ね、基本計画変更の妥当性について技術推進委員会にて審議、経済産業省をはじめとする関係各所への調整を行い、事業方針を見直した。</p> <p>*1：高品質かつ魅力ある自動合成システムとは ①高品質な合金を作製可能な自動合成システムを開発する ②MI/AIを組み合わせたシステムを高度化する。</p>	
中間評価結果への対応	-	
評価に関する事項	事前評価	令和2年11月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部
	中間評価	令和5年5月実施予定 担当部 材料・ナノテクノロジー部
	終了時評価	-
別添		
投稿論文	「査読付き」0件、「その他」4件	
特許	該当なし	
その他の外部発表 (プレス発表等)	学会発表・講演；5件、新聞・雑誌等への掲載；7件、その他（展示会等）；1件	
基本計画に関する事項	作成時期	令和3年2月制定
	変更履歴	令和3年12月改訂（研究開発項目①に関する事項の変更） 令和5年2月改訂（研究開発項目②に関する事項の変更）

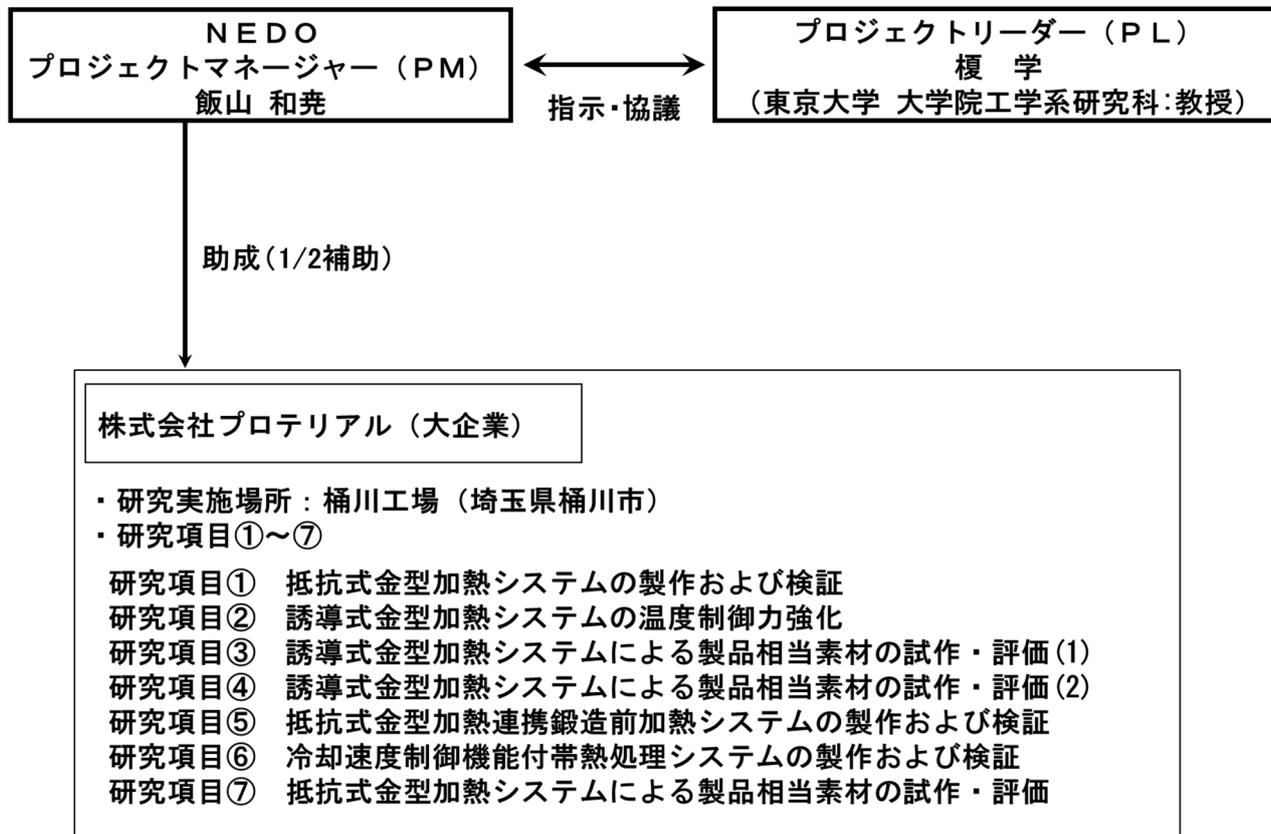
## プロジェクト用語集

用語	用語の説明
アウトカム（社会実装）	研究開発に係る活動自体やそのアウトプットによって、その受け手に、研究開発を実施または推進する主体が意図する範囲でもたらされる効果・効用
アウトカム目標	成果の本質的又は内容的側面であり、活動の意図した結果として、定量的又は定性的に評価できる、目標の達成度を測る指標 NEDOプロジェクト基本計画上は、市場創成効果や省エネルギー効果、CO <sub>2</sub> 削減効果等、社会や経済（市場）に対する貢献を主たるアウトカム目標として設定する
アウトプット	研究開発に係る活動の成果物、目的達成に向けた活動の水準を表す
アウトプット目標	成果の現象的又は形式的側面であり、主として定量的に評価できる、活動した結果の水準を測る指標
基礎的・基盤的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、実用化まで達することを目指す研究開発
事業化	当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること
実用化	当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること
知的基盤・標準整備等の研究開発	知的基盤・標準整備等を目的としており、研究開発成果による事業化・実用化を目標としていない事業
波及効果（インパクト）	研究開発を実施または推進する主体が、必ずしも意図しない範囲で副次的にもたらされる効果・効用
標準的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に、事業化まで達することを目指す研究開発
プログラム	目指すべき将来像（ビジョン・目標）を実現するための研究開発のまとめ

# 研究開発項目ごとの成果

## 1 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. 実施体制



### 2. 期間/予算

事業期間:2022年6月10日から2026年3月31日まで

予算:下記表の通り。

今後予算要求

年度	2021	2022	2023	2024	2025	合計
研究開発項目						
①革新的エンジン部品製造プロセス開発	-	76	115	-	-	191
②革新的合金探索手法の開発	200	535	580	-	-	1,315
③航空機エンジン用評価システム基盤整備	255	663	545	-	-	1,463
合計	455	1,274	1,240			2,969

(単位:百万円)

### 3. 目標

#### 【中間目標(2023 年度末)】

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。具体的な目標は以下のとおりである。

##### (1) 抵抗式金型加熱方式:

- ・金型表面温度 1000~1100°Cにおいて、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10°Cとなる抵抗式金型加熱システムを開発し、被加工材が以下の特性を満足することを確認する。
- ・形状:円板形状
- ・金属組織:平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒であること  
(ASTM E112 による)

##### (2) 誘導式金型加熱方式:

- ・金型表面温度 1000~1100°Cにおいて、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30°Cとなる誘導式金型加熱システムを開発し、製品相当素材の試作を通して、製品相当素材が以下の特性を満足することを確認する。
- ・形状:設定した製品形状が得られる型打鍛造形状
- ・金属組織:平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒であること  
(ASTM E112 による)

#### 【最終目標(2025 年度末)】

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。具体的な目標は以下のとおりである。

##### (1) 抵抗式金型加熱方式:

- ・さらに高い品質要求を安定して実現するための鍛造前素材加熱システムを構築し、その機能を検証する。併せて製品種毎に熱処理(溶体化処理)直後の冷却速度の制御が可能な熱処理システムを構築し、その機能を検証する。構築したシステムを用いて、製品相当素材を試作し、製品相当素材が以下の特性を満足することを確認することにより、量産適用性を検証する。
- ・形状:設定した製品形状が得られる型打鍛造形状
- ・金属組織(\*1):平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒であること  
(ASTM E112 による)
- ・引張特性:(649°Cあるいは 650°Cにて)引張強さ 1300MPa 以上、耐力 1000MPa 以上、伸び 10%以上、絞り 10%以上

(\*1):エンジンプライムの要求によって変わる可能性あり

##### (2) 誘導式金型加熱:

- ・さらに製品相当素材の試作実績を増すとともに、製品相当素材が以下の特性を満足することを確認する。

- ・形状: 設定した製品形状が得られる型打鍛造形状
- ・金属組織(\*1): 平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒であること (ASTM E112 による)
- ・引張特性: (649°Cあるいは 650°Cにて)引張強さ 1300MPa 以上、耐力 1000MPa 以上、伸び 10%以上、絞り 10%以上

(\*1): エンジンプライムの要求によって変わる可能性あり

事業項目	2022 年度				2023 年度				2024 年度				2025 年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q												
①抵抗式金型加熱システムの製作および検証																
②誘導式金型加熱システムの温度制御力強化																
③誘導式金型加熱システムによる製品相当素材の試作・評価(1)																
④誘導式金型加熱システムによる製品相当素材の試作・評価(2)																
⑤抵抗式金型加熱連携鍛造前加熱システムの製作および検証																
⑥冷却速度制御機能付帯熱処理システムの製作および検証																
⑦抵抗式金型加熱システムによる製品相当素材の試作・評価																

#### 4. 成果の達成状況と根拠

抵抗式金型加熱については、NEDO 先導研究(2019~2020 年度)で得られた設計技術を活用して金型加熱装置の製作を進めた。また、金型加熱装置と組み合わせる専用の金型の製作を順次進めた。2023 年度には、金型加熱装置および金型を完成させ、金型表面温度 1000~1100°Cにおいて、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10°Cとなること、同システムを用いて鍛造した素材で円板形状と平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒となる金属組織が得られていることを検証する。

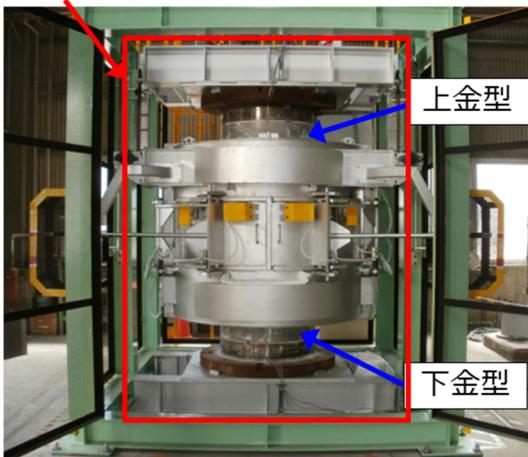
誘導式金型加熱システムについては、温度制御能力を強化するための、追加の装置導入を完了した。また、金型加熱装置と組み合わせる専用の金型の製作を順次進めた。2023 年度には、金型加熱装置および金型を完成させ、金型表面温度 1000~1100°Cにおいて、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30°Cとなること、同システムを用いて鍛造した素材で、設定した製品形状が得られる型打形状であること、平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒となる金属組織が得られていることを検証する。

事業項目①: 抵抗式金型加熱システムの製作および検証

達成状況: ○

抵抗式金型加熱については、NEDO 先導研究(2019～2020 年度)で作製した抵抗式金型加熱試験機(図 1)で得られた設計技術を活用して、シミュレーション(図 3)も併用しながら、既設の 6000ton 油圧プレス用の新規の抵抗式金型加熱装置(図 2)の仕様検討、設計を実施し、金型加熱装置の製作を進めた。また、自社既開発の金型用 Ni 基合金を用いた、金型加熱装置と組み合わせる専用の金型の製作を順次進めた(図 4)。2023 年度には、抵抗式金型加熱装置および専用金型を完成させ、金型表面温度 1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10℃となること、同システムを用いてディスク用 Ni 基合金の鍛造を行い、鍛造した素材で円板形状と平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒となる金属組織が得られていることを検証する。

金型加熱装置



NEDO先導研試験機

図 1 先導研による金型加熱試験機

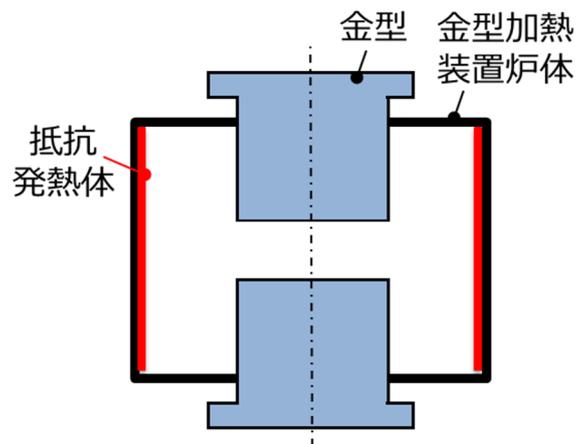


図 2 抵抗式金型加熱方式の模式図

<平金型>

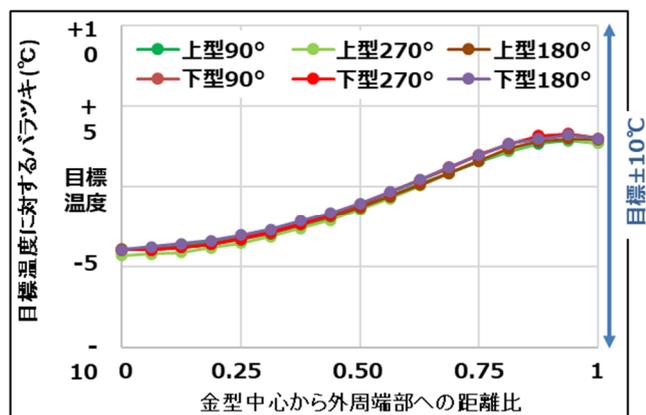
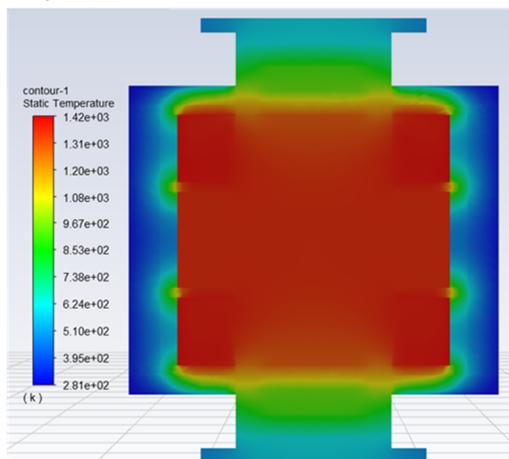


図 3 抵抗式金型加熱方式による金型および雰囲気温度分布の計算例

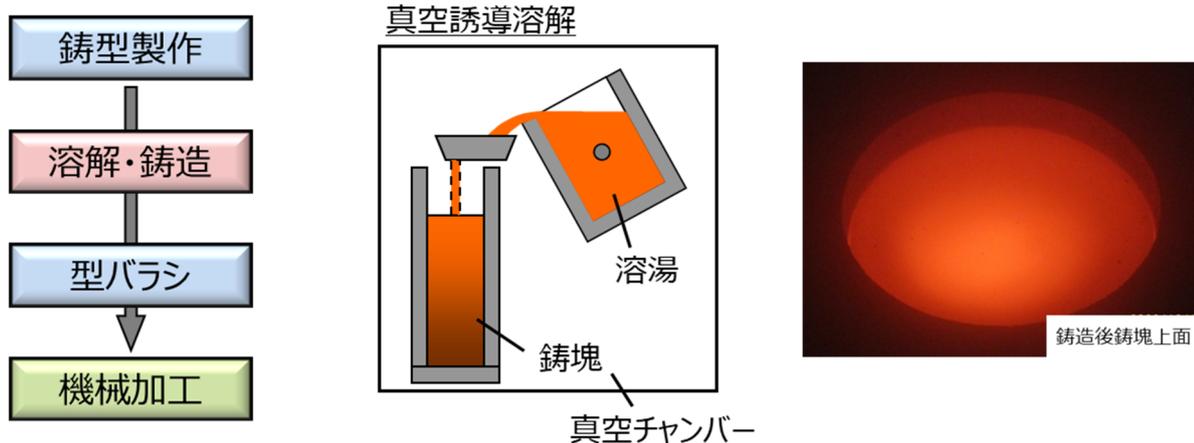
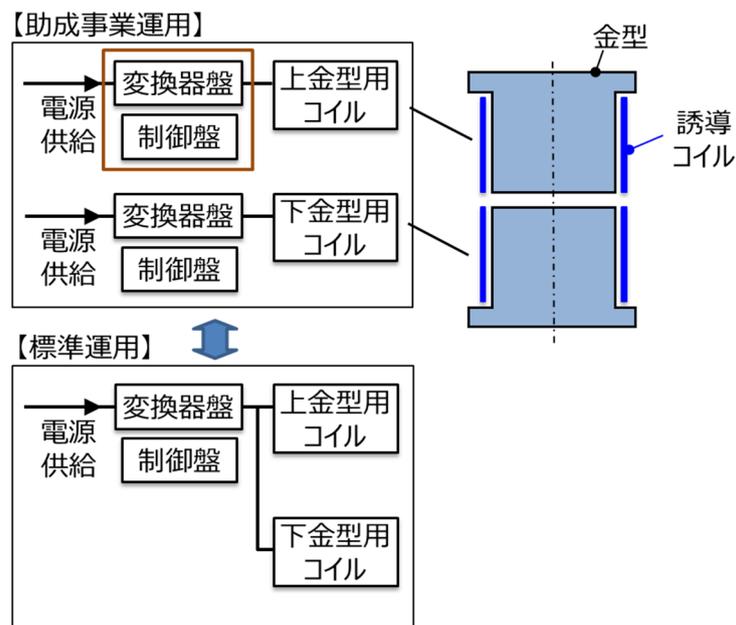


図4 自社開発合金による専用金型の製作工程、溶解-鑄造の模式図および鑄造時の写真

事業項目②: 誘導式金型加熱システムの温度制御力強化

達成状況: ○

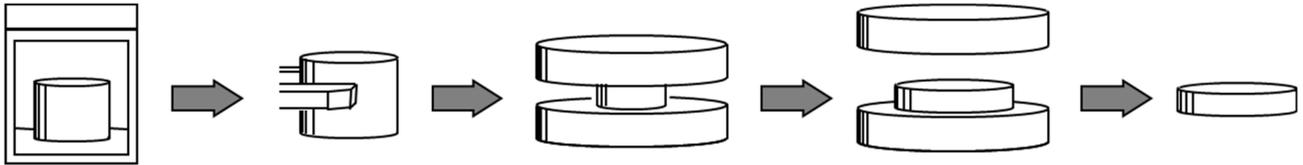
誘導式金型加熱システムについては、株式会社プロテリアルにて実績のある方式であるが、さらに安定した精度の鍛造を実現するために、温度制御能力を強化するための、追加の装置導入を完了した。また、抵抗式金型加熱システムと同様に、自社既開発の金型用 Ni 基合金を用いた、金型加熱装置と組み合わせる専用の金型の製作を順次進めた。2023 年度には、金型加熱装置および金型を完成させ、金型表面温度 1000~1100°Cにおいて、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30°Cとなることを検証する。



事業項目③: 誘導式金型加熱システムによる製品相当素材の試作・評価(1)

達成状況:○

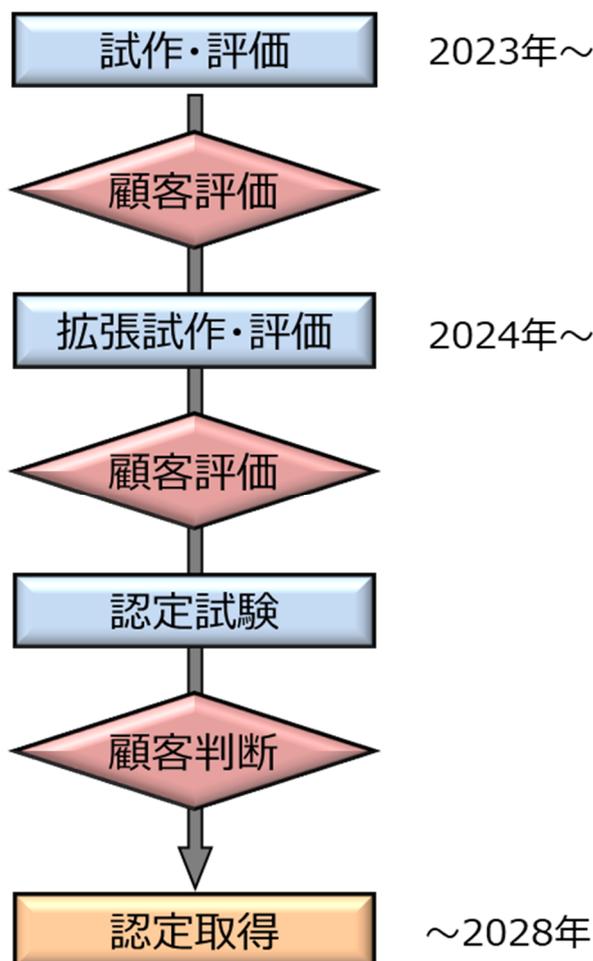
誘導式金型加熱システムを用いてディスク用 Ni 基合金の鍛造試作を行い、鍛造した素材で、設定した製品形状が得られる型打形状であること、平均粒径 ASTM No. 8(22 μm)あるいはそれより細粒となる金属組織が得られていることを検証する。



5. 成果の意義

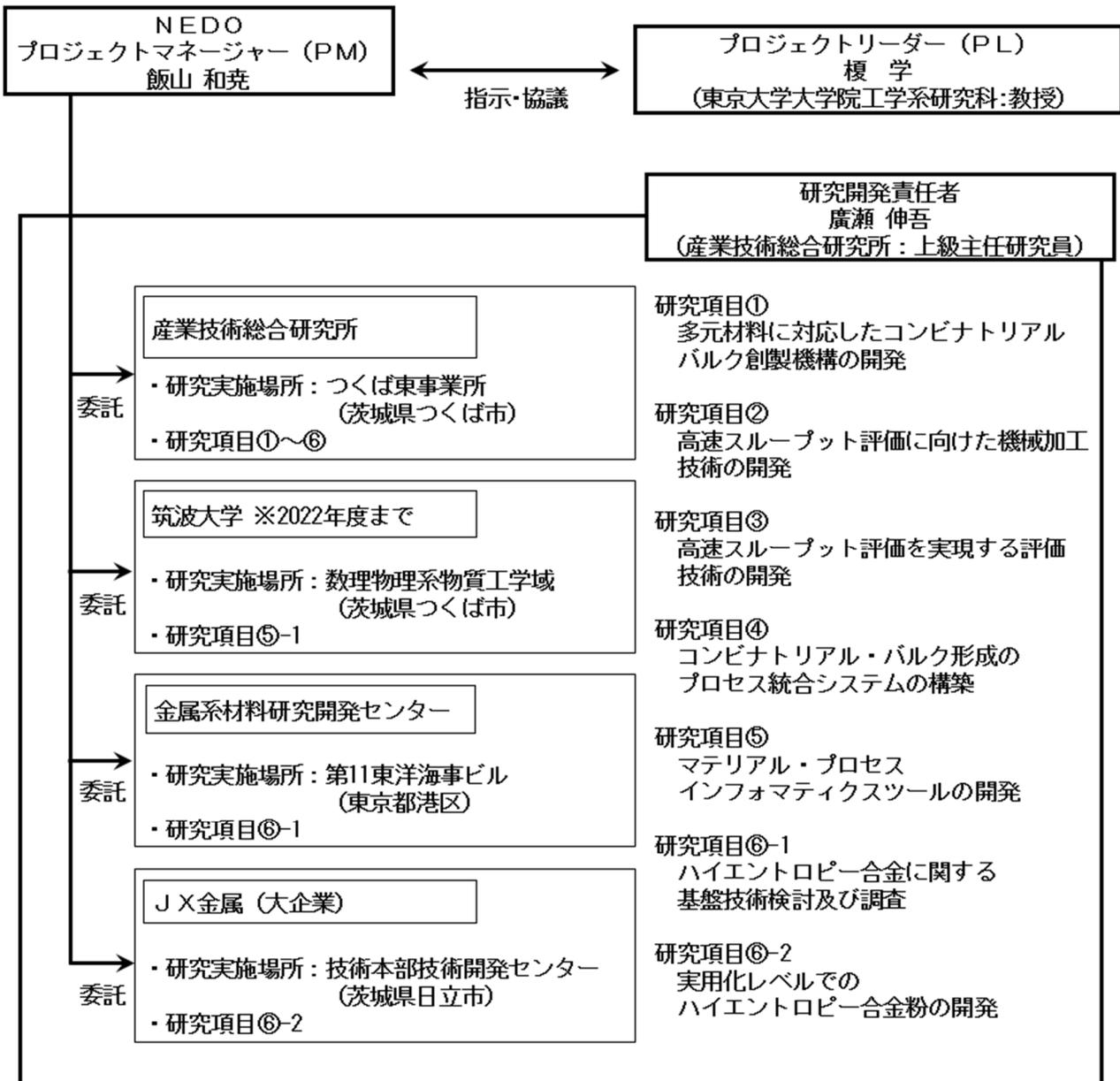
(株)プロテリアル桶川工場が保有する 6,000ton 油圧鍛造プレスと、開発した抵抗式金型加熱システム、誘導式金型加熱システムとの組合せによって、初期設備投資を圧縮しつつ、現時点では欧米の限られた素材メーカーしか供給できない、最も品質要求水準の高い高圧系ディスク素材の国内での製造が実現可能であることを技術的側面から確認できる。二つの金型加熱システムは、製品要求に合わせて使い分け、随時取付け、取外しが可能な付帯装置であるため、生産の柔軟性、鍛造プレスの高稼働率での運用といった生産性の点での魅力的な特徴を持つ。

6. 実用化への道筋と課題



## 2 研究開発項目②:「革新的合金探索手法の開発」

### 1. 実施体制



## 2. 期間/予算

事業期間:2021年5月21日から2026年3月31日まで

予算:下記表の通り。

### 今後予算要求

研究開発項目 \ 年度	2021	2022	2023	2024	2025	合計
①革新的エンジン部品製造プロセス開発	-	76	115	-	-	191
②革新的合金探索手法の開発	200	535	580	-	-	1,315
③航空機エンジン用評価システム基盤整備	255	663	545	-	-	1,463
合計	455	1,274	1,240			2,969

(単位:百万円)

## 3. 目標

### 研究開発項目① 多元材料に対応したコンビナトリアル・バルク創製機構の開発

(担当:産業技術総合研究所)

#### ① -1 多元材料対応のための同時異種材供給機構の開発

##### 【目標(2021年度)】

多元材料に対応したコンビナトリアル・バルク創製機構を開発するため、粉末噴射ノズル、機構制御部を導入し、4種類の材料を供給可能とする。また、粉末送給機構を導入し、1kg以下の少ない粉末の使用量で20回の試行実験を可能とさせる。

##### 【目標(2022年度)】

高品質な合金を作製可能な自動合成システムを開発する。作製した材料の品質を確保するためには、現有の航空機エンジンに使われている材料(インコネル718など)のバルク材と比較検証を行い、硬さや引張強度などの機械特性試験により同等かそれ以上の性能が得られること、6mm角以下のバルク体を評価する際に光学顕微鏡で複数箇所観察し、原料粉末の溶け残りなど異常がないこととする。新たに粉末噴射ノズル、機構制御部を導入し、6種類の材料を供給可能とする。また、10%以下の精度で材料供給を制御可能にする粉末送給機構を導入し、実現する。これらの技術を開発することにより、バルク評価可能なバルク体を5分以内で一つ形成することができるようにする。

##### 【目標(2023年度)】

複数の単元素粉末や合金粉末を用いて高エントロピー合金の作製を行い、対応可能とする元素および合金の種類を6種類以上に増やす。

#### ① -2 形状精密制御技術の開発

##### 【目標(2021年度)】

後工程となる切削、研削、研磨において平坦化処理を行う上で、可能な限り平坦化、微細化されてい

ることが望まれる。そこで、ステージ駆動系、ステージ制御部を導入し、数 $\mu\text{m}$ 以下の表面の凹凸を制御可能とするとともに、6mm角以下のバルク形成を基板上に形成可能とする。

#### ① -3 雰囲気制御機構の開発

##### 【目標(2021年度)】

可能な限り酸素や水素などの不純物の混入を防ぐために、グローブボックスによるガス循環による極低酸素濃度化により酸化を防止するガス雰囲気制御機構、ガス純化装置を導入し、ppmオーダーの酸素および水分量の環境とする。

##### 【目標(2022年度)】

グローブボックスによるガス置換による極低酸素濃度化により酸化を防止するガス雰囲気制御機構、ガス純化装置を導入し、ppmオーダーの酸素および水分量の環境とする。また、作製した合金材料の品質に影響する合金合成時の酸素濃度や水分量などを条件パラメータとし、条件パラメータと試料の品質の関連性についてマッピングを行うこととする。

##### 【目標(2023年度)】

循環型グローブボックスによる低酸素濃度のバルク形成を行う。また、高融点材料のクラック発生や内部応力低減のため、基板加熱機構を開発し、高品質バルク形成を行う。

#### ① -4 レーザ光高反射率材料向け造形ガン機構の開発

##### 【目標(2021年度)】

レーザ光源の波長に対して反射率が高く吸収が少ない材料系にも適用できるように、ハイパワーの近赤外光レーザ発振器およびその光学系を導入し、銅およびアルミニウム系材料への対応を可能とする。

##### 【目標(2022年度)】

レーザ光源の波長に対して反射率が高く吸収が少ない材料系にも適用できるように、ハイパワーの短波長レーザを導入し、銅およびアルミニウム系材料への対応を可能とする。

##### 【目標(2023年度)】

ハイパワー短波長レーザを用いたバルク形成を行い、合金作製時の合金種の適用拡大を行う。

#### ①-5 波長分割を利用したリアルタイムバルク形成モニタリング手法の開発

##### 【目標(2021年度)】

金属蒸発の情報を得るためには、加工中での加工点の観測が最も重要である。そこで、波長分割を利用したバルク形成中でのリアルタイム観測を実現する。

##### 【目標(2022年度)】

加工中で得られる大量の画像データを解析することで、異常状態を防いだり、元素含有量の制御に活用するため、得られた観測現象を機械学習で学習、判定可能とするアルゴリズムを開発する。

##### 【目標(2023年度)】

機械学習を組み込んだ判定機能を活用し、バルク形成中での金属蒸発による組成ずれに関する知見を得る。

## 研究開発項目② 高速スループット評価に向けた機械加工技術の開発

(担当:産業技術総合研究所)

### ②-1 電解砥粒研磨による金属エッチング機構の開発

【目標(2021年度)】

造形バルクの寸法が小さく、また高さの異なる造形バルクが40×40mmの板上に12個以上並び、隣の造形バルクの間も狭いため、電解砥粒研磨機構を導入し、造形バルク用小面積電解砥粒エッチング処理工具を開発する。

【目標(2022年度)】

電解砥粒エッチング機構を導入し、加工液の供給、電解砥粒エッチング、加工液回収、洗浄の一連の動作を1サンプルあたり7分以内で実現する。

### ②-2 切削・研削を組み合わせた連続機械加工システムの構築

【目標(2021年度)】

電解砥粒エッチング処理を行うために必要な平坦面を確保するため、切削、研削加工機構を導入し、切削・研削にて、造形バルク表面の仕上げを、表面粗さRa 0.2 μm以下にする。また、切削と研削加工で、加工時間を1サンプルあたり20分以内で実現する。

【目標(2022年度)】

試料搬送のためのステージ駆動系を導入し、切削・研削・金属エッチングを組み合わせた連続機械加工システムを構築する。

【目標(2023年度)】

新たに精密研磨、洗浄、乾燥工程を追加し、機械加工による造形バルク表面の仕上げを、表面粗さ(Ra)を1 nm程度とし、超平坦化バルク面形成を実現する。また、10分で1個のバルク体の粗切削(20個で200分)、10分で1個のバルク体の精密研削(20個で200分)を実現する。

### ②-3 精密機械加工のためのモニタリング技術の開発

【目標(2021年度)】

造形バルクの高さや表面状態はバルクごとに異なっている。また、切削速度や切り込み量を決定するためにも状態の確認が必要となる。そこで、造形バルク用に、切削・研削高さ調整のための造形物高さ測定機構を導入し、構築する。

【目標(2022年度)】

逃げ面摩耗幅が大きくなると切削能力が下がり、加工が進まなくなるため、安定した切削状態かどうかモニタリングする必要がある。そこで、切削・切削力測定機構を導入し、切削抵抗をモニターすることで切削条件を決定する技術を開発する。

【目標(2023年度)】

機械加工間において切削、研削、研磨の加工面の粗さやバルク高さ情報を共有化するために、各工程において非接触による表面プロファイル観測を行えるようにする。

## 研究開発項目③ 高速スループット評価を実現する評価技術の開発

(担当:産業技術総合研究所)

### ③-1 金属組織のハイスループット計測手法の開発

【目標(2021年度)】

3D積層造形によってサンプルを作製、切削、研磨処理を行った後、サンプルの組織を導入する自動焦点深度補正機構により自動で金属組織を観察し、組織のデータを取得するシステムを開発する。

【目標(2022年度)】

ハイスループット計測に対応するための制御機構を導入し、20サンプルで200分、すなわち1サンプルあたり10分で観察できるようにする。また、金属組織観察ソフトウェアコーディングを外注し、金属組織画像処理システムを構築する。

【目標(2023年度)】

レーザ顕微鏡による金属組織観察機構を導入し、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に20サンプルで200分、すなわち1サンプルあたり10分で観察可能とする。

### ③-2 結晶構造のハイスループット計測手法の開発

【目標(2021年度)】

結晶構造をハイスループットで調べるために、Z軸制御X線回折装置を導入する。レーザ光による高さの変位制御を可能とし、スクリーニング法の有効性を検証する。

【目標(2022年度)】

レーザ光による高さの変位制御及びバルク用3次元ステージを採用し、各サンプルを自動的に装置にセットできる制御機構を導入し、X線回折パターンを得られるようにすることで、現状の所要時間(セット時間も含め1サンプルあたり通常1時間、20個で20時間)を20サンプルで5時間(300分)、1サンプルあたり15分に短縮化できるハイスループット計測システムを開発する。

【目標(2023年度)】

さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に20サンプルで5時間(300分)、1サンプルあたり15分で計測可能にする。

### ③-3 組成のハイスループット計測手法の開発

【目標(2021年度)】

作製した試料の組成をハイスループットで計測するために、XRFシステムを導入し、オフライン計測による組成分析を行う。

【目標(2022年度)】

大型のサンプルを測定室に入れることが可能な超軽元素対応マイクロXRF装置を導入し、12個のサンプルをまとめて測定室に入れ、計測する多軸制御機構を導入することにより、サンプル20個5時間(300分)、すなわちサンプル1個あたり15分で計測できるシステムを開発する。

【目標(2023年度)】

さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的にサンプル20個5時間(300分)、すなわちサンプル1個あたり15分で計測可能とする。

### ③-4 硬さのハイスループット計測手法の開発

【目標(2021年度)】

深層学習を用いた実用的な硬さの自動計測システムを開発し、オフライン計測による硬さ測定を行う。

【目標(2022年度)】

ハイスループット計測用硬さ試験機を導入し、前年度開発した自動計測システムを組み込み、さらに

多軸制御機構を導入することにより、サンプル1個あたり10分すなわち20サンプルあたり200分で計測できるようにする。

【目標(2023年度)】

さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的にサンプル1個あたり10分すなわち20サンプルあたり200分で計測可能とする。

### ③-5 プローブ計測で物性を決定可能とするハイスルーブット計測手法の開発

【目標(2021年度)】

電気抵抗率測定装置を導入し、多軸制御機構を設けることで、電気抵抗を自動で計測するシステムを開発し、20個のサンプルを100分で計測可能にする。

【目標(2022年度)】

超音波パルス法を用いた超音波パルスエコー装置およびプローブ計測用多軸制御機構を導入し、縦波と横波の音波を自動で測定して、ヤング率、ポアソン比を導出するシステムを構築し、20個のサンプルを150分で計測可能にする。

【目標(2023年度)】

さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に20個のサンプルで、ヤング率、ポアソン比を150分で計測可能とする。

## 研究開発項目④ コンビナトリアル・バルク創製および評価のプロセス連結統合化システムの構築

(担当:産業技術総合研究所)

### ④-1 コンビナトリアル・バルク創製・機械加工のプロセス連結システムの構築

【目標(2021年度)】

ロボットによるサンプル搬送機構を構築するため、工程間を移動するための加工用基板搬送機構を導入し、共通試料ホルダーを開発する。また、加工時において、得られた加工条件をデータベース化するシステムを開発する。その際、加工条件データベースソフトコーディングを外注する。

【目標(2022年度)】

コンビナトリアル・バルク創製装置、切削・研削加工装置、金属組織用研磨装置それぞれの装置をグローブボックスのように区切られた空間に構築する。また、共通試料ホルダーを使用し、各工程間を移動する加工間自動連結機構を導入し、各工程を繋げて連続加工システムを構築する。さらに、前年度に引き続き、加工時において、得られた加工条件をデータベース化するシステムを開発する。その際、加工条件データベース改良ソフトコーディングを外注する。

【目標(2023年度)】

各加工に対しての加工プロセスデータベースを開発し、かつそれらを統合化した加工プロセスデータベースを構築する。さらに、評価プロセスデータベースと連携させることで加工・評価プロセス統合化システムを構築する。

### ④-2 ハイスルーブット評価の評価連結システムの構築

【目標(2021年度)】

表面観察装置とX線回析装置について、共通試料ホルダーを使用した評価用基板搬送機構を導入し、連続評価システムを構築する。また、評価時において、得られた各種測定データをデータベース化し、加工条件データと連携するシステムを開発する。その際、物性評価データベースソフトコーディングを

外注する。

【目標(2022年度)】

表面観察装置、X線回折装置、元素制限XRF、プローブ式評価を連結させるため、共通試料ホルダーを使用した評価間自動連結機構を導入し、連続評価システムを構築する。また、前年度に引き続き、評価時において得られた各種測定データをデータベース化し、加工条件データと連携するシステムを開発する。その際、物性評価データベース改良ソフトコーディングを外注する。

【目標(2023年度)】

各評価に対しての評価プロセスデータベースを開発し、かつそれらを統合化した評価プロセスデータベースを構築する。さらに、加工プロセスデータベースと連携させることで加工・評価プロセス統合化システムを構築する。

研究開発項目⑤ マテリアル・プロセス・インフォマティクスツールの開発

⑤-1 耐熱性評価のための少量サンプルによる計測データ取得(担当:産業技術総合研究所、筑波大学)

航空機エンジン向けの材料開発における材料データベース構築するため、試験片作成や試験時間が長くなる機械的特性・耐熱性評価より得られる計測データを蓄積する。また同様に、開発する新しい耐熱材料の破壊・変形メカニズムを解明する。

【目標(2021年度)】

産総研では、ミクロンサイズの微小試験片を作成し、微小試験を用いた引張・圧縮強度、降伏強度、ひずみ(伸び)、硬さ等のラウンドロビンテストによるデータを取得する。また、既設の高温強度試験機、高温硬さ試験機、高温摩擦摩耗試験機を用いて～1200℃までの高温環境下での圧縮強度、硬さ、摩擦係数、摩耗量を測定する。同様に、既設の熱分析装置を用いて非熱、熱伝導率等の熱物性も取得する。その際、各種試験機の保守費用を計上する。

筑波大では、透過電子顕微鏡によるナノ力学実験法を活用し、当該技術で作製された少量サンプルについて、組織を原子レベルで観察する。特に、3000Kを超える材料組織の原子ダイナミクスをその場で観察できる透過電子顕微鏡を用いて、作製された材料の耐熱特性を～2000℃までの組織変化観察(結晶構造、相変態)をもとに評価する。その際、観察時の分解能と操作性の向上を目的として、電子顕微鏡電子銃交換作業を計上する。

【目標(2022年度)】

産総研では、前年度に引き続き、微小試験を用いた引張・圧縮強度、降伏強度、ひずみ(伸び)、硬さ等のラウンドロビンテストによるデータを取得する。また、～1200℃までの高温環境下での圧縮強度、硬さ、摩擦係数、摩耗量や非熱、熱伝導率等の熱物性を取得する。その際、効率的な加工を行うため集束イオンビーム加工装置を導入するとともに、微小試験における加熱機構を導入する。加えて、材料試験機に1600℃まで加熱可能な超高温大気炉を導入し、～1600℃までの高温・大気環境下での圧縮強度、クリープ特性のデータを取得する。その際、各種試験機の保守費用を計上する。

筑波大では、前年度で取得するデータに加え、組織と対応させた機械的特性などを明らかにする。また、～2000℃までの超高温組織を電子顕微鏡観察し、材料を加熱しながら、引張、圧縮、せん断、曲げ等の荷重を負荷し、そのときに現れる転位、粒界・界面、積層欠陥などの各種結晶欠陥の挙動を導入する電子顕微鏡用カメラにて直接観察し、強度特性の劣化と破壊を組織観察をもとに調べる。その際、試料を加熱するため、加熱試料ホルダーのヒーターを交換し、装置の冷却性能向上のため、チラー室外機を交換する。こうした高温その場解析から、耐熱特性に優れた材料を探索し、その耐熱

性向上の機構を導く。これらの成果から、当該技術で耐熱性の高い材料組織を導出し、耐熱材料開発の方針を打ち出す。

【目標(2023年度)】

産総研では、レーザDEDで作成した試料の、微小試験を用いた引張・圧縮・降伏強度、硬さ等のデータを取得するとともに、航空機エンジンに必要な耐熱性・機械的特性評価のために必要な、1200°Cを超える高温圧縮強度、クリープ特性や比熱、熱伝導等の熱物性について2022年度に導入した試験機を用いてデータを取得する。

加えて、電子顕微鏡観察による組織状態、荷重負荷時の転位構造等を調べるとともに、クリープ・引張その場観察装置を導入し、高温環境下でのクリープ・引張荷重負荷したときのすべり線、粒界等の変化を直接観察し、強度特性と破壊を組織観察を元に調べる。これら取得したデータは研究項目⑤-4に反映させる。

⑤-2 経験則に基づいたレーザDED用ハイエントロピー合金予測ソフトウェアの開発(担当:産業技術総合研究所)

【目標(2021年度)】

コンビナトリアル・バルク創製の条件を設定するにあたり、事前にハイエントロピー合金予測を行うことで、膨大な量の実験を行わなくても計算結果に基づき、求める結果を得ることができる。そこで、元素の組成比、あるいは合金粉末の混合比から高エントロピー性に関わる特性値と、密度・硬さ等の特性値の理論計算を行い、高エントロピーになる条件を満たす元素の組成比(合金粉末の混合比)を探索するソフトウェアを開発する。その際、ハイエントロピー合金予測計算ソフトコーディングを外注する。

【目標(2022年度)】

2021年度に開発した高エントロピーになる条件を満たす元素の組成比(合金粉末の混合比)を探索するソフトウェアで得られる計算結果を活用し、ベイズ推論等の機械学習手法を用いて、合金組成を提案するソフトウェアを開発する。

【目標(2023年度)】

熱力学ソフトウェアや高エントロピー合金の経験則、機械学習を活用し、所定の特性が期待できる合金の元素およびその混合比率が得られる合金探索ソフトウェアを開発する。

⑤-3 多元系材料の事例データのデータベース化と可視化ソフトウェアの開発(担当:産業技術総合研究所)

【目標(2022年度)】

ハイエントロピー合金探索では、入力、出力データ量が多く、その特性也多岐にわたっており、データ管理のためには事例データのデータベース化が必要である。また、データを扱いやすくするために、グラフィカルユーザインタフェースや多次元グラフを用いて、入力や出力を可視化する必要がある。そこで、多元系材料の事例データのデータベースを構築する。元素周期表から材料を選択し、スライダを操作あるいは直接数値を入力して組成比を指定し、計算結果をグラフ表示させる可視化ソフトウェアを開発する。さらに、グラフ上でハイエントロピー性、密度や硬さ等の特性を表示させ、グラフ上の点を選択するとその点に含まれているデータ(組成比、結晶構造等)を表示させる可視化ソフトウェアを開発する。その際、多元系材料物性可視化ソフトウェアコーディングを外注する。

【目標(2023年度)】

計算結果や実験データをわかりやすく表現するために、4次元以上の複雑なデータに対応したグラフ

などの可視化ソフトウェアを開発する。

#### ⑤—4 機械学習を用いた多元系材料へのMIソフトウェアの開発(担当:産業技術総合研究所)

##### 【目標(2022年度)】

目的の合金組成比を得るためには、元素の混合比や造形装置条件等のパラメータと、それにより得られる合金組成比との関係を見つけなければならない。しかし、混合する元素の種類や造形パラメータはとて多く、組み合わせは膨大になり、そこから関係性を見つけるのは困難である。そのため、得られた各種実験データに機械学習を適用することで、安定した品質(造形後に原料粉末の未溶解のないこと/ボイド・割れがないこと)が得られる製造条件を見つけ出すことのできるMIソフトウェアを開発する必要がある。そこで、ハイエントロピー合金製造のプロセスパラメータ決定のために、多元系材料へのMIソフトウェアを開発する。

また、材料特性に優れた合金組成を探索するため、良質な材料特性データに機械学習を適用及び項目⑤-3と連携した、MI-AI統合化プロセスインフォマティクスツールを開発する。その際、プロセス・インフォマティクス・ツールコーディングを外注する。

##### 【目標(2023年度)】

2022年度に引き続き、得られた材料物性値とその製造プロセスパラメータと機械学習による解析、⑤-3で開発する可視化ソフトウェアを組み合わせることで、MI-AI統合化プロセスインフォマティクスツールを開発する。

#### 研究開発項目⑥ 航空機エンジンのニーズに即した材料実現のための基盤技術検討

##### ⑥—1 ハイエントロピー合金に関する基盤技術検討および調査(担当:金属系材料研究開発センター、産業技術総合研究所)

航空機エンジン用のハイエントロピー合金の研究開発で先行する米国空軍などの世界の耐熱性ハイエントロピー合金及び軽量高強度ハイエントロピー合金の特許および文献を調査し、技術動向を明らかにすることで、研究開発の方向性をより明確にする。特許調査には、特許調査ソフトウェアを使い、企業や公的機関の特許出願状況をマッピングすることが可能である。

本研究項目においては、「コンビナトリアル手法」や「ハイエントロピー合金」、「3D積層造形」、「マテリアルズ・インフォマティクス」などの複数のキーワードを用いて精密に調査することが必要であり、2年間において技術動向調査を行う。また、専門家へのヒアリングを行い、検索ワードや調べるべき項目などをブラッシュアップしていくとともに、ジェットエンジン等の材料開発に深い知見を有する企業や有識者からなるユーザー委員会を開催し、世界動向、ニーズや知財状況を把握しつつ、次世代の材料開発に迅速に対応できるようにする。

##### 【目標(2021年度)】

・米国空軍を中心とした耐熱用ハイエントロピー合金に関する特許500件、論文300件程度の検索・抽出と、注目論文・注目特許各20件程度の分析により現状開発レベルを明確化する。

##### 【目標(2022年度)】

・データ駆動型材料科学および多元系合金の計算熱力学に関する論文および特許各200件程度の検索・抽出と、注目論文・注目特許各20件程度の分析によりハイエントロピー合金への適用の課題を抽出する。

・コンビナトリアル手法に関する論文50件程度の検索・抽出と注目論文10件程度の分析により現状開発レベルを明確化する。

#### 【目標(2023年度)】

- ・ジェットエンジン等の材料開発に深い知見を有する企業や有識者と議論し、ニーズの把握や要望を受けて、材料開発に迅速に対応できる仕組みを構築する。
- ・ハイエントロピー合金に関する最新の80件の文献情報を分析し、データベースを構築する。
- ・航空機エンジン用材料に関する300件の論文の動向整理と、20件の論文の分析により適用の課題を抽出する。
- ・ハイエントロピー合金の論文100件について時系列的に技術を調査する。
- ・フェーズBに向けた取り組みとして、2022年に引き続き、産総研と協力の上、ユーザー会を開催し、合金探索システムに対するユーザーニーズを確認する。

#### ⑥-2 実用化レベルでのハイエントロピー合金粉の開発(JX金属株式会社)

ハイエントロピー合金は基本として、5種類以上の金属粉末をほぼ等量含有する合金であるが、その組成に合金化された粉末を作製することは技術的ハードルが高く、そのような合金粉末を作製、提供できる場所は限定的である。ハイエントロピー合金のように5種程度、または、それ以上の元素からなる合金では、それぞれの元素の蒸気圧が異なり、粉末製造時に工夫を施すことが必要となる。また、元素によっては溶け残りが生じる等もあり、粉末組成を制御するのは困難である。

本事業ではレーザーDEDで作製されたバルク材の元素組成をもとにして粉末の設計を行うこととなる。このため、バルク造形結果によって得られた元素組成から粉末として用意すべき元素組成を有する粉末を製造することが必要である。そこで本事業では、レーザーDEDによる組成制御可能なバルク創製を実施するために、フレキシブルに配合率を決定可能とするハイエントロピー合金粉末の開発を行う。

#### 【目標(2021年度)】

- ・ハイエントロピー合金の合金設計に必要な構成元素球状粉末を作製する。
- 平均粒径(D50): <45 $\mu$ m、流動度: 30sec/50g(穴径 0.1inch)

#### 【目標(2022年度)】

- ・DED法に適した新規合金組成粉末を作製する。
- ハイエントロピー合金の平均粒径(D50): <45 $\mu$ m  
ハイエントロピー合金の流動度: 30sec/50g(穴径 0.1inch)  
ハイエントロピー合金の合金組成精度:  $\pm 1.5\%$ 以下

#### 【目標(2023年度)】

- ・ハイエントロピー合金のバルク体作製を目的として、DED造形に適した2元系の新規合金粉末を作製する。
- 合金の平均粒径(D50): <45 $\mu$ m  
合金の流動度: 30sec/50g(穴径 0.1inch)  
合金の合金組成精度:  $\pm 1.5\%$ 以下

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
① 多元材料に対応したコンビナトリアル・バルク創製機構の開発（産総研）												
①-1 多元材料対応のための同時異種材供給機構の開発												
①-2 形状精密制御技術の開発												
①-3 雰囲気制御機構の開発												
①-4 レーザ光高反射率材料向け造形ガン機構の開発												
①-5 波長分割を利用したリアルタイムバルク形成モニタリング手法の開発												
② 高速スループット評価に向けた機械加工技術の開発（産総研）												
②-1 電解砥粒研磨による金属エッチング機構の開発												
②-2 切削・研削を組み合わせた連続機械加工システムの構築												
②-3 精密機械加工のためのモニタリング技術の開発												

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
③高速スループット評価を実現する評価技術の開発 (産総研)												
③-1 金属組織のハイスループット計測手法の開発												
③-2 結晶構造のハイスループット計測手法の開発												
③-3 組成のハイスループット計測手法の開発												
③-4 硬さのハイスループット計測手法の開発												
③-5 プローブ計測で物性を決定可能とするハイスループット計測手法の開発												
④コンビナトリアル・バルク形成のプロセス統合システムの構築 (産総研)												
④-1 コンビナトリアル・バルク創製のプロセス統合システムの構築												
④-2 ハイスループット評価の評価連結システムの構築												

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
⑤マテリアル・プロセス・インフォマティクスツールの開発												
⑤-1 耐熱性評価のための少量サンプルによる計測データ取得（産総研、筑波大学）												
⑤-2 経験則に基づいたレーザーDED用ハイエントロピー合金予測ソフトウェアの開発（産総研）												
⑤-3 多元系材料の事例データのデータベース化と可視化ソフトウェアの開発（産総研）												
⑤-4 機械学習を用いた多元系材料へのMIソフトウェアの開発（産総研）												
⑥ 航空機エンジンのニーズに即した材料実現のための基盤技術検討												
⑥-1 ハイエントロピー合金に関する基盤技術検討および調査（金属系材料研究開発センター、産総研）												
⑥-2 実用化レベルでのハイエントロピー合金粉の開発（JX金属）												

#### 4. 成果の達成状況と根拠

コンビナトリアル・バルク創製技術による自動合成を行うシステムの開発に成功し、中性液体を用いた電解砥粒エッチングによる金属表面の平坦化を可能にした。また、結晶構造解析、組成分析、金属組織像取得、電気抵抗率(導電率)、ビッカース硬さ試験などの複数のハイスループット評価を連続的に評価できるシステムの構築を行った。さらに、耐熱性および軽量化に優れたハイエントロピー合金材料予測を可能とするマテリアルズ・インフォマティクス・ツールを構築し、これらのシステムを順次活用して、多量のデータ取得およびデータ解析を可能にする技術的な指針を得ることができた。

#### 研究項目①: 多元材料に対応したコンビナトリアル・バルク創製機構の開発

達成状況: ○

担当; AIST

##### ① -1 多元材料対応のための同時異種材供給機構の開発

多元材料に対応したコンビナトリアル・バルク創製機構を実現するため、少量材料供給対応の粉末送給機構や粉末噴射ノズル、機構制御部を開発し、4種類の材料を供給可能とした。また、開発したバルク創製機を用いて所望の箇所に所望の合金を形成し、ハイエントロピー合金の作製に成功した。

開発したバルク創製機の性能確認のため、作製したバルク合金の品質を調べた。現有の航空機エンジンに使われているインコネル 718 の市販バルク材と比較検証を行い、硬さや引張強度などの機械特性試験により同等かそれ以上の性能が得られた。また、6mm 角以下のバルク体において光学顕微鏡で複数箇所観察し、原料粉末の溶け残りなど異常がなく、99.9%を超える充填密度の高品質バルク形成に成功したことを示した。さらに、ステンレス鋼など一部の合金では 5 分以内でバルク体を一つ形成する高速形成も実現できた。

2023 年度は、さらなる改良を重ね、複数の単元素粉末や合金粉末を用いて高エントロピー合金の作製を行い、対応可能とする元素および合金の種類を 6 種類以上に増やす。



図 1 コンビナトリアルバルク合金の作製

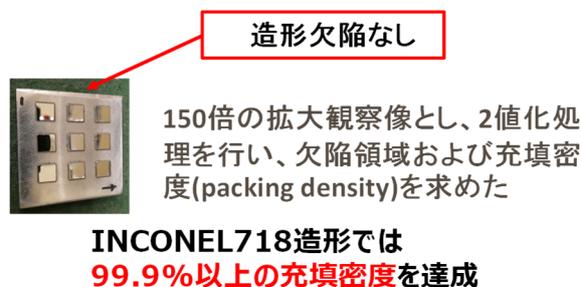


図 2 インコネル 718 バルク形成とその品質

##### ①-2 形状精密制御技術の開発

ステージ駆動系、ステージ制御部を開発し、数  $\mu\text{m}$  以下の従来法よりも表面粗さを低減させた表面凹凸を制御可能とし、後加工の加工時間低減につながるニアネットシェーブ化に成功した。

##### ①-3 雰囲気制御機構の開発

可能な限り酸素や水素などの不純物の混入を防ぐために、グローブボックスによるガス循環による極低酸素濃度化により酸化を防止するガス雰囲気制御機構を開発し、ppm オーダーの酸素の環境形成を

可能とした。また、作製した合金材料の品質に影響する合金合成時の酸素濃度や水分量などを条件パラメータとし、バルク形成時の酸素量を減らすことで大幅な品質の向上が見られることを明らかにした。

2023 年度は、循環型グローブボックスによる低酸素濃度のバルク形成を行う。また、高融点材料のクラック発生や内部応力低減のため、基板加熱機構を開発し、高品質バルク形成を行う予定である。

#### ①-4 レーザ光高反射率材料向け造形ガン機構の開発

レーザ光源の波長に対して反射率が高く吸収が少ない材料系にも適用できるように、ハイパワーの短波長レーザを導入し、銅およびアルミニウム系材料への対応を可能とする。

2023 年度は、ハイパワー短波長レーザを用いたバルク形成を行い、合金作製時の合金種の適用拡大を行う予定である。

#### ①-5 波長分割を利用したリアルタイムバルク形成モニタリング手法の開発

金属蒸発の情報を得るために波長分割を利用したバルク形成中でのリアルタイム観測を実現可能とした。また、得られた観測現象を機械学習で学習、判定可能とするアルゴリズムについても着手した。

2023 年度は、機械学習を組み込んだ判定機能を活用し、バルク形成中での金属蒸発による組成ずれに関する知見を得る予定である。

### 研究項目②: 高速スループット評価に向けた機械加工技術の開発

達成上状況: ◎

担当: AIST

#### ②-1 電解砥粒研磨による金属エッチング機構の開発

造形バルクの寸法が小さく、また隣の造形バルク間も狭いため、電解砥粒研磨機構を導入し、所望のバルク体だけにエッチングできる、造形バルク用小面積電解砥粒エッチング処理工具を開発した。試作した工具での加工を実施し、INCONEL718 の造形物に対して高速エッチングに成功。局所的、かつ液体を外に漏らさない加工を可能にし、加工液の供給、電解砥粒エッチング、加工液回収、洗浄の一連の動作を1サンプルあたり7分以内で実現した。

2023 年度は、さらなる改良を加えて、工具機構の安定化、加工能力向上を目指す。

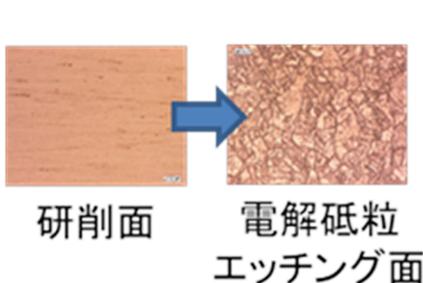


図3 銅面への電解砥粒エッチング

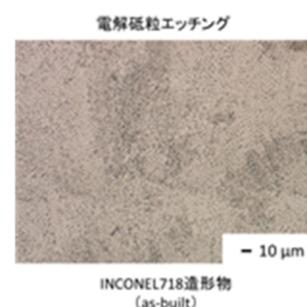


図4 インコネル718面への電解砥粒エッチング

#### ②-2 切削・研削を組み合わせた連続機械加工システムの構築

電解砥粒エッチング処理等を行うために必要な平坦面を確保するため、切削、研削加工機構を導入した。INCONEL718 バルク造形表面の仕上げを、表面粗さ Ra 0.2 μm 以下に成功した。また、切削と研削加工

で、加工時間が1サンプルあたり 20 分以内を実現した。また、試料搬送のためのステージ駆動系を導入し、加工時の試料固定自動化と試料搬送自動化を実現。切削・研削・金属エッチングを組み合わせた連続機械加工システムを構築した。

2023 年度は、精密研磨、超音波洗浄、乾燥工程を追加し、表面の残留砥粒や不純物の除去を実現する。新たに精密研磨、洗浄、乾燥工程を追加することで、機械加工による造形バルク表面の仕上げを、表面粗さ(Ra)を 1 nm 程度とし、超平坦化バルク面形成実現を目指す。

### ②-3 精密機械加工のためのモニタリング技術の開発

造形バルクの高さや表面状態はバルクごとに異なっているため、切削速度や切り込み量を決定するために状態の確認が必要となる。そこで、造形バルク用に、切削・研削高さ調整のための造形物高さ測定機構を導入し、構築した。造形後、レーザ変位計によりバルク高さ測定可能を確認した。また、逃げ面摩耗幅が大きくなると切削能力が下がり、加工が進まなくなるため、安定した切削状態かどうかモニタリングする必要がある。そこで、切削・研削力測定機構を導入し、切削抵抗をモニターすることで、正常切削、異常切削の判断を可能にした。

2023 年度は、機械加工間において切削、研削、研磨の加工面の粗さやバルク高さ情報を共有化するために、各工程において非接触による表面プロファイル観測を行えるようにし、その情報をもとに加工条件最適化を目指す。

## 研究項目③: 高速スループット評価を実現する評価技術の開発

達成状況: ○

担当: AIST

### ③-1 金属組織のハイスループット計測手法の開発

3D 積層造形によってサンプルを作製、切削、研磨処理を行った後、サンプルの組織を自動焦点深度補正機構により自動で金属組織を観察し、組織のデータを取得するシステムを開発した。

ハイスループット計測に対応するための制御機構を導入し、20 サンプルで 200 分、すなわち 1 サンプルあたり 10 分で観察可能にした(図 5)。

2023 年度は、レーザ顕微鏡による金属組織観察機構を導入し、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に観察可能とする。

### ③-2 結晶構造のハイスループット計測手法の開発

結晶構造をハイスループットで調べるために、Z 軸制御 X 線回折装置を導入した。レーザ光による高さの変位制御を可能とし、スクリーニング法の有効性を確認した。

レーザ光による高さの変位制御及びバルク用 3 次元ステージを採用し、各サンプルを自動的に装置にセットできる制御機構を導入し、X 線回折パターンを得られるようにし、現状の所要時間(セット時間も含め 1 サンプルあたり通常 1 時間、20 個で 20 時間)を 20 サンプルで 5 時間(300 分)、1 サンプルあたり 15 分に短縮化できるハイスループット計測システムを開発した。

2023 年度は、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に計測可能にする。

### ③-3 組成のハイスルーブット計測手法の開発

大型のサンプルを測定室に入れることが可能な超軽元素対応マイクロ XRF 装置を導入し、12 個のサンプルをまとめて測定室に入れ、計測する多軸制御機構を導入することにより、サンプル 20 個 5 時間(300 分)、すなわちサンプル 1 個あたり 15 分で計測できるシステムを開発した(図 5)。

2023 年度は、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に計測可能とする。

### ③-4 硬さのハイスルーブット計測手法の開発

ハイスルーブット計測用硬さ試験機を導入し、遠隔で計測可能となるシステムを開発した。また、計測データの自動取得、自動解析を可能にした。

2023 年度は、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、20 サンプルあたり 200 分で計測可能にする予定。

### ③-5 プローブ計測で物性を決定可能とするハイスルーブット計測手法の開発

電気抵抗率、導電率、色、反射率を遠隔、かつ自動で計測するシステムを開発した(図 5)。また、超音波パルス法を用いた超音波パルスエコープローブ計測用多軸制御機構を開発し、縦波と横波の音波を自動で測定して、ヤング率、ポアソン比を導出するシステムを構築した。

2023 年度は、さらなる高速化、自動取得、遠隔管理、自動解析のための機構を開発し、遠隔で自動的に 20 個のサンプルで、ヤング率、ポアソン比を 150 分で計測可能とする。電気抵抗率、導電率、色、反射率については 20 個のサンプルを 100 分で計測可能にする予定。



図 5 プローブ計測で物性を決定可能とするハイスルーブット計測手法の開発

## 研究項目④:コンビナトリアル・バルク創製および評価のプロセス連結統合化システムの構築

達成状況:○

担当:AIST

### ④-1 コンビナトリアル・バルク創製のプロセス統合システムの構築

コンビナトリアル・バルク創製装置、切削・研削加工装置、金属組織用研磨装置それぞれの装置をグローブボックスのように区切られた空間に構築を行った。また作製されたハイエントロピー合金の表面の組織観察を容易にするために、切削・研削加工装置と金属組織用研磨装置との間に新たに超音波洗浄、及び砥粒研磨工程を行う工程を構築した。サンプルを各工程に搬送するため、共通試料ホルダーを使用

し、各工程間を移動する加工間自動連結機構を導入し、各工程を繋ぎ、連続加工システムの構築を行った。

#### ④-2 ハイスループット評価の評価連結システムの構築

各種物性値の評価装置と硬さ測定装置との間にレーザ顕微鏡による表面観察工程、及びSEM・EDSによる成分分析評価工程を新たに構築した。また表面観察装置、X線回折装置、元素制限 XRF、プローブ式各種評価、EDX 成分分析評価等の各種評価工程を連結させるため、共通試料ホルダーを使用した評価間自動連結機構を導入し、連続評価システムを構築した。

④-1 工程、及び④-2 工程における各工程を①コンビナトリアル・バルク創製工程、②切削・研削加工工程、③洗浄研磨工程、④電解砥粒エッチング工程、⑤XRF 測定工程、⑥XRD 測定工程、⑦各種物性測定工程、⑧表面観察工程、⑨EDS 評価工程、⑩硬さ測定工程、⑪ヤング率測定工程の合計 11 の工程群に分け、それらの工程群ごとに Unix 系サーバーを設置し、各工程群が独立して管理運営を行えるような分散型のシステムを構築した。分散型のシステム設計にすることにより、故障等のトラブルに対して故障部分を切り離し修理を行うことが可能である。また大規模なシステムの工程の変更等にも容易に対応できる。

またそれぞれの工程を繋ぐ合計 11 の工程間自動連結機構自体は PLC(Programmable Logic Controller)を用いて各工程間のサンプルの受け渡しのための各種センサやアクチュエーターを直接制御している。今回個々の PLC をネットワークで管理するために Unix 系のシングルボードコンピュータを 11 工程間の自動連結機構すべてに設置を行い、各工程間自動連結機構自体も各工程と同じように、各工程間のサンプルの搬送を独立して管理運営を行える分散型システムとして構築した。

2023 年度は、各工程間自動連結機構でサンプルを自由に受け渡しを行うために AMR(Autonomous Mobile Robot)を導入し、工程間を自由に選択対応可能とする予定。また、より上位のシステム管理を行うためのサーバー群を構築し、各種データのデータ蓄積および管理や各種評価法とサンプルの運行管理を切り離すことによる、システムとしての冗長性を高めることとする。

### 研究項目⑤: マテリアル・プロセス・インフォマティクスツールの開発

達成状況:○

担当: AIST

#### ⑤-1 耐熱性評価のための少量サンプルによる計測データ取得

ミクロンサイズの微小試験片を作成し、微小試験を用いた引張・圧縮強度、降伏強度、ひずみ(伸び)等のデータを取得した。その際、効率的な加工を行うため集束イオンビーム加工装置を導入し、インコネル 718、ハイエントロピー合金およびミドルエントロピー合金の微小強度試験データを取得した。

また、既設の高温強度試験機、高温硬さ試験機、高温摩擦摩耗試験機を用いて～1200℃までの高温環境下での圧縮強度、硬さ、摩擦係数、摩耗量を測定。同様に、既設の熱分析装置を用いて比熱、熱伝導率等の熱物性も取得した。

高温環境が必要な圧縮、クリープ試験および熱物性評価については、試験装置の納入が遅れたため(2022 年度末納入)、現状の装置、依頼試験にて実施した。

2023 年度には、作製した試料の微小試験を用いた引張・圧縮・降伏強度、硬さ等のデータおよび、2022 年度に納入が遅れた微小試験用加熱機構を導入し高温微小強度データを取得するとともに、航空機エンジンに必要な耐熱性・機械的特性評価のために必要な、1200℃を超える高温圧縮強度、クリープ特性や比熱、熱伝導等の熱物性について 2022 年度に導入した試験機を用いてデータを取得する。

加えて、顕微鏡観察による組織状態、荷重負荷時の転位構造等を調べるとともに、クリープ・引張その場観察装置を導入し、高温環境下でのクリープ・引張荷重負荷したときのすべり線、粒界等の変化を直接観察し、強度特性と破壊を、組織観察を元に調べる。これら取得したデータは研究項目⑤-4に反映させる。

担当:筑波大学

#### ⑤-1 耐熱性評価のための少量サンプルによる計測データ取得

粉末噴射コンビナトリアル・バルク創製法で作製された金属元素5元系の高エントロピー合金組成の材料について、この材料の機械的特性に適合した透過型電子顕微鏡検鏡試料作製の手順と条件を最適化した。粉末噴射時にバルク材を堆積させる基板の選択も含めて、検鏡試料作製の切り出しと研磨に関する条件を調べた。この結果、常温観察を十分に実施できる検鏡試料作製の条件を導出した。また、この条件を基に、常温観察とは異なる高温観察用の検鏡試料を設計し、その作製法を開発した。さらに、当該試料特有の微小歪みを解析する方法とそれぞれの母材の機械的特性に合わせた透過型電子顕微鏡ナノ力学実験法を開発した。これらの観察準備が完遂した結果、当該試料で発現する機械的特性の組織学的背景を求め、作製されたバルク材を実用化するときの組織調査の指針を得た。

粉末噴射バルク作製時の非加熱処理材と同じ組成のアーケ溶解材の結晶構造、格子定数、方位の乱れや転位などの歪みについて調べた。透過型電子顕微鏡に取り付けられたX線エネルギー分析装置を用いて、これらの材料の組成を評価し、両者の違いを調べた。

粉末噴射バルク作製時の非加熱処理材を透過型電子顕微鏡内部で常温のまま変形し、その過程をその場で原子間隔レベルで観察した。引っ張り変形などの過程を観察し、作製時の非加熱処理試料の常温における破壊・変形機構を調査した。透過型電子顕微鏡内部で同じ粉末噴射バルク材を加熱し、圧縮・引っ張り変形を観察した。これらの結果から、この材料における変形・破壊機構を調べた。

#### ⑤-2 経験則に基づいたレーザDED用ハイエントロピー合金予測ソフトウェアの開発

元素の組成比、あるいは合金粉末の混合比から高エントロピー性に関わる特性値と、密度・硬さ等の特性値の理論計算を行い、高エントロピーになる条件を満たす元素の組成比(合金粉末の混合比)を探索するソフトウェアを開発した。また、機械学習アルゴリズムを開発し、所望の結晶構造を満たす元素配合率を高速で予測するソフトウェアを開発した。

2023年度は、熱力学ソフトウェアと高エントロピー合金の経験則、機械学習を活用し、所定の特性が期待できる合金の元素およびその混合比率が得られる合金探索ソフトウェアを開発する。

#### ⑤-3 多元系材料の事例データのデータベース化と可視化ソフトウェアの開発

多元系材料の事例データのデータベースを構築した。元素周期表から材料を選択し、スライダを操作あるいは直接数値を入力して組成比を指定し、計算結果をグラフ表示させる可視化ソフトウェアを開発した。さらに、グラフ上でハイエントロピー性、密度や硬さ等の特性を表示させ、グラフ上の点を選択するとその点に含まれているデータ(組成比、結晶構造等)を表示させる可視化ソフトウェアを開発した。

2023年度は、計算結果や実験データをわかりやすく表現するために、4次元以上の複雑なデータに対応したグラフなどの可視化ソフトウェアを開発する。

#### ⑤-4 機械学習を用いた多元系材料への MI ソフトウェアの開発

得られた各種実験データに機械学習を適用することで、元素の混合比とバルク形成条件パラメータ、安定した品質(造形後に原料粉末の未溶解のないこと/ポイド・割れがないこと)が得られる製造条件を見つけ出すことのできる MI ソフトウェアを開発した(図 6)。また、バルク欠陥の存在の有無、欠陥存在率を機械学習により判定可能とするソフトウェアを構築した。

2023 年度は、2022 年度までに開発したソフトウェアが一体的に利活用できるようにソフトウェア開発を行う予定である。

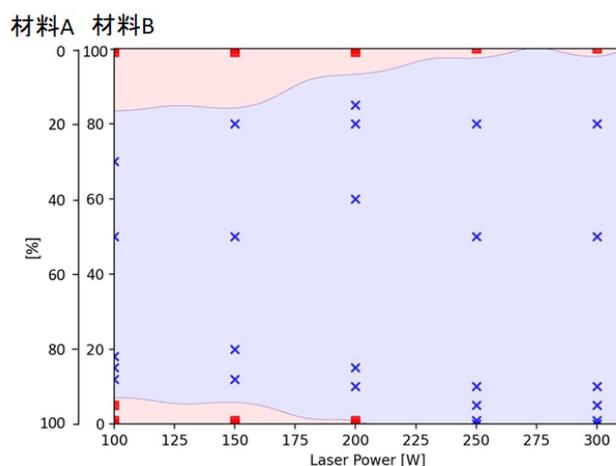


図 6 機械学習による材料組成の比率と正常なバルク形成領域の範囲決定

#### 研究項目⑥: 航空機エンジンのニーズに即した材料実現のための基盤技術検討

達成状況: ○

##### ⑥-1: ハイエントロピー合金に関する基盤技術検討および調査

担当: AIST

バルク金属の作製では、結晶構造がどのようなものであるか、元素はどのような種類であり、その配合率はどのような割合か、材料強度などの機械特性や熱膨張や熱伝導などの熱物性はどのようなものか、製品の利用される環境や目的に応じて必要とさせる物性値を満足することが望まれる。ハイエントロピー合金でどのようなバルク構造特性、機械特性、耐熱特性を示すかをそれぞれのバルク特性機能と捉えて、既に報告されている文献等を特性(機能)別に事例データを整理し、材料特性事例として提示するハイエントロピー合金データベースを構築した。

Web 画面上において、利用者が合金により得られる機能(機械特性、熱特性、構造特性など)から一つを選択し、次に表示される画面において、各種バルク特性を選択することで、事例データリストが表示される。さらに、表示された事例データリストから閲覧したいデータを選択することで、選択した合金のバルク特性と合金の組成、また、その組成がハイエントロピー合金となりえるのかを経験則に基づいて計算を行い、得られた計算結果もデータ事例として閲覧可能とした。(図 7)。

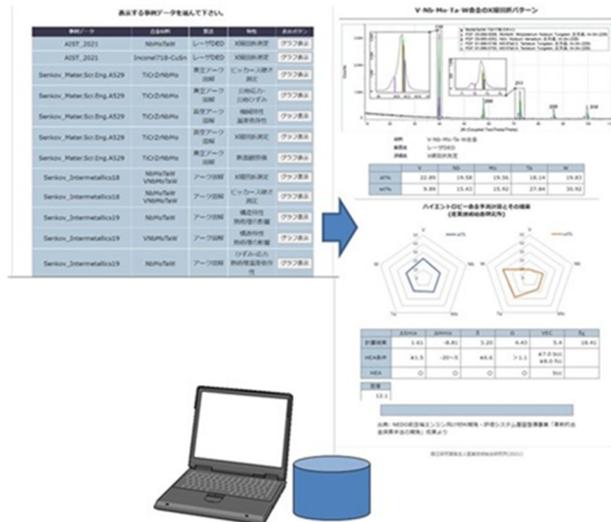


図 7 ハイエントロピー合金データベース

2003 年から報告が始まったハイエントロピー合金についてのバルク物性についての報告を調査し、それらの中から本プロジェクトに関連すると思われる主要文献について精査した。それらの文献から、航空機エンジンと関連の深い合金系をピックアップし、データ事例化を行った。データ事例化した材料開発事例は約 150 事例となり、上記で開発したハイエントロピー合金データベースのデータ事例をして登録し、活用可能とした。2023 年度末ではデータ事例を 200 事例とする予定である。

**担当：一般財団法人金属系材料研究開発センター**

世界のハイエントロピー合金、MI、コンビナトリアル手法の注目論文・特許の概要紹介だけでなく、種類・耐熱温度ごとの動向、世界と日本の研究開発状況の比較、航空機エンジン用材料としての性能の評価、技術別分析まで行うことができた。

ハイエントロピー合金の報告からは、Cantor 合金 (CoCrFeMnNi) が最も多く、Al 系合金、Ti 系合金が続く。世界のハイエントロピー合金の出願先国別の特許出願件数比率 (2012 年～2021 年公開の 1593 件) から、出願国順位は、中国が圧倒的に多く、次いで韓国、米国と続いている (図 8)。

ハイエントロピー合金の温度別の論文数は、600～1000℃が最も多く (図 9)、また、米国空軍研究所などの VNbMoTaW 系超耐熱合金以外は、既存の航空機エンジン材料を凌駕する HEA は無いことが確認できた。

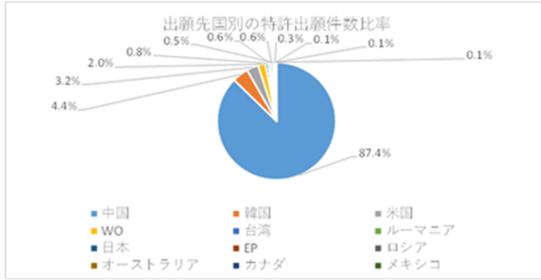


図 8 世界のハイレントロピー合金の出願先国別の特許出願件数比率 (2012 年～2021 年公開の 1593 件)

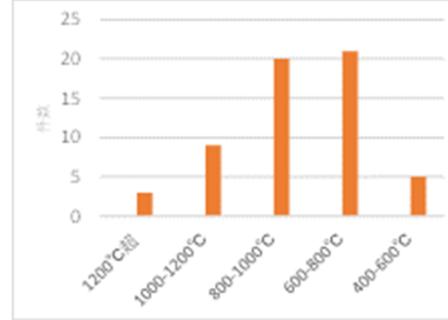


図 9 ハイレントロピー合金の温度別の論文数

2023 年度は、80 件の論文情報に基づいたデータベース構築と航空機エンジン用材料に関する論文調査を行う。データベースは、AIST のデータベースへの情報展開、今後の航空機エンジン用材料以外への展開も考慮し、データ入力・利用の利便性などを考慮したシステムを目指す。航空機エンジン用材料に関する論文調査は、300 件の動向調査と 20 件の概要整理、活用における課題整理を行う。

### ⑥-2 実用化レベルでのハイレントロピー合金粉の開発

#### ・ハイレントロピー合金組成球状粉末の作製

ハイレントロピー合金組成について、AIST と相談検討し、組成、粒径、流動度の目標を満たす粉末を作製し、AIST に供給した。

#### ハイレントロピー合金組成球状粉末の物性値

平均粒径: 33 μm

流動度: 7.7sec/50g

合金組成精度:

元素a -0.5%、元素b -0.6%、元素c +0.3%、元素d +0.6%、元素e +0.1%

#### ・構成元素球状粉末の作製

ハイレントロピー合金の合金設計に必要な構成元素球状粉末について、AIST と相談検討し、粒径、流動度の目標を満たす粉末を作製し、AIST に供給した。

#### 構成元素球状粉末の物性値

平均粒径: 粉末 A 136 μm※1、粉末 B 40 μm、粉末 C 36 μm

流動度: 粉末 A 16sec/50g、粉末 B 7sec/50g、粉末 C 17sec/50g

※1 粉末 A の平均粒径については 53~150 μm にて AIST と整合済

#### ・DED 法に適した新規合金組成粉末の作製

DED 法に適した新規合金組成粉末について、AIST と相談検討し、組成、粒径、流動度の粉末を作製し、AIST に供給した。

#### 新規合金組成粉末の物性値

平均粒径: 39  $\mu$  m

流動度: 15sec/50g

合金組成精度:

元素a -0.3%、元素f +0.8%、元素e +0.5%、元素b -1.0%

#### ・DED 造形に適した 2 元系の新規合金粉末の作製

2023 年度はハイエントロピー合金のバルク体作製を目的として、DED 造形に適した 2 元系の新規合金組成について、AIST と相談検討し、組成、粒径、流動度の目標値を満たす粉末を作製し、AIST に供給する予定である。

#### 5. 成果の意義

本事業により開発したシステムはコンビナトリアルにバルク状ハイエントロピー合金を作製し、組織、特性の評価をハイスループットで行うものである。化学素材や薄膜状の材料に対して同様なハイスループットシステムの報告はあるが金属材料に関する報告は国内のみならず国外においても見られず、本システムが世界に先駆けて開発したものである。また、本システムで得られたデータは統合管理され、データベース化されるため、AI、MI による新材料開発に活用できる。

本システムにより、優れた特性を有する新材料の開発段階でのスピードとコストの改善と、高性能な材料の開発により航空機の燃費の改善をもたらし、環境負荷低減に寄与する。

本事業では航空機部材を開発するためのシステムであるが、他の輸送機器を軽量化するための材料開発や他の評価装置を加えることで医療機器材料などの開発にも貢献するものであり、その波及効果は非常に大きいと言える。さらに本システムの完成は総合エンジニアリングの高さを示すものである。国産ジェット機の開発の頓挫に見られるような、今の日本に欠けている個々の優れた要素技術を組み合わせでシステムを構築する総合エンジニアリング力の高さを国内外に示すことで、日本のモノづくり力を復元する契機につながる副次的な効果が期待できる。

#### 6. 実用化への道筋と課題

##### (1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所

開発したシステムについて知財化を行うとともに、本事業でのユーザー会や学会、展示会での発表により成果を発信、企業との共同研究やコンサル業務にて成果を普及させるとともにシステムの改善、データベースの充実化を行う。航空機エンジン材料のみでは、国内の需要は制限されるため、その他の材料開発に着手する。5年後には産総研の制度を利用してベンチャーを立ち上げて、本システムによる材料開発の事業化を目指す。

##### (2) 国立大学法人筑波大学

粉末噴射創製バルク材料の電子顕微鏡観察による組織評価を、材料設計と製作時条件(組成、堆積速度、レーザー照射密度等)にフィードバックさせ、材料特性を改善する方針をまとめ、具体的手順を得る。この材料開発への貢献によって、経済効果、ユーザーニーズ、性能・コスト面、知財等に対して益を得る。現在、種々の条件で作製した材料を評価することでこれらが可能になっている。

##### (3) 一般財団法人金属系材料研究開発センター

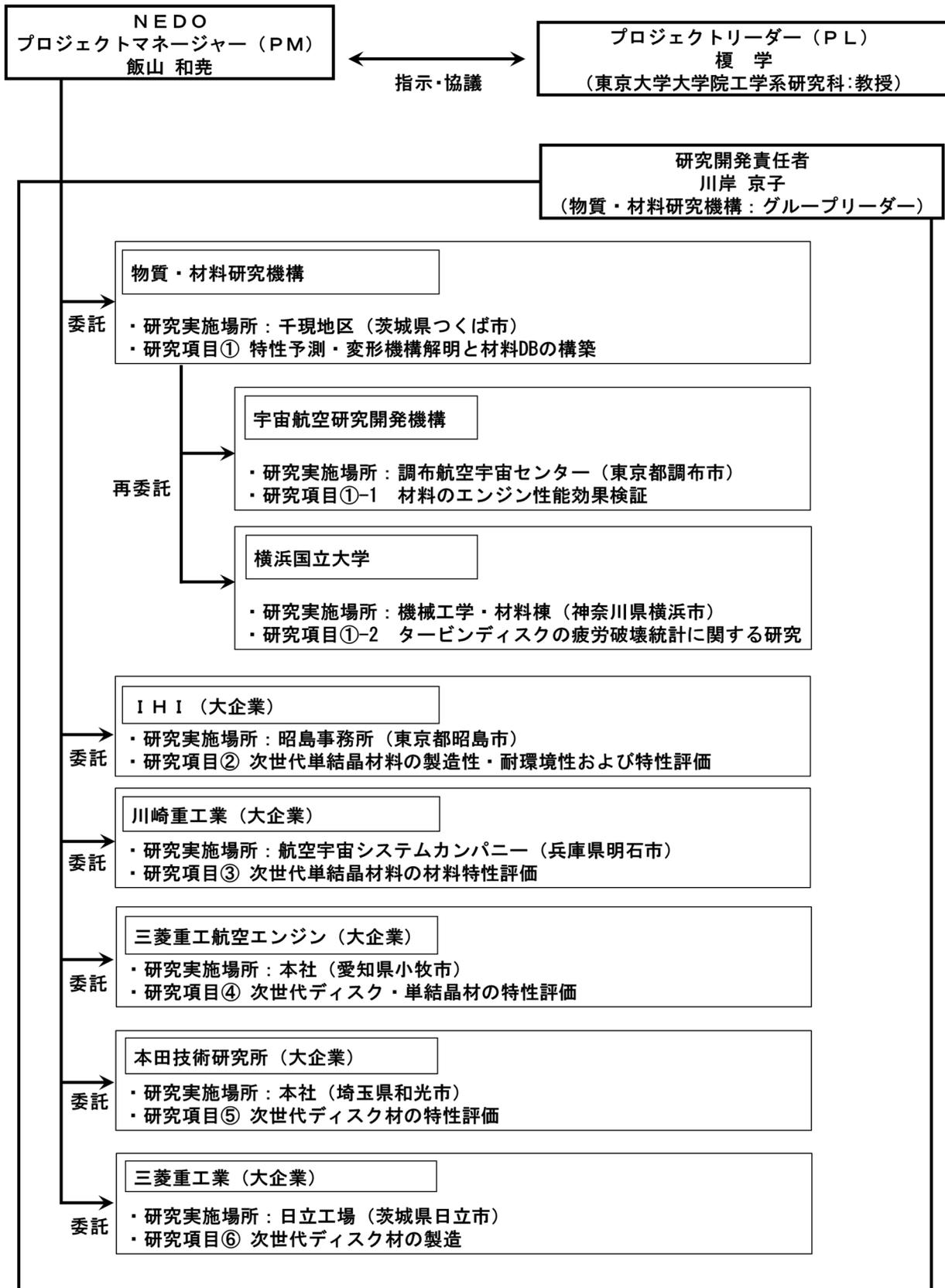
コンビナトリアル手法については世界の中でも進んだ手法を研究開発中だが、ハイエントロピー合金、マテリアルズ・インフォマティクスについては、これまでの日本の研究開発は米国、中国、欧州に大きく後れを取っている。早急に挽回するためには、産学連携でのデータベース構築を急ぐ必要があると考えられる。実験からの大量のデータ取得は本研究開発が効果を発揮すれば成し遂げられるが、文献情報からのデータ取得の予算確保、体制構築が課題と考えられる。

#### (4) JX 金属株式会社

本 PJ の成果物であるコンビナトリアル探索プラットフォームを用い、優れた特性を持つ、Nb、Ta 系の新規ハイエントロピー合金組成を探索・検証により見出し、その合金組成の粉末を一早く市場に供給する事業モデルを考えている。2026 年後半から顧客への試作品提供や少量販売を通し実用化を図る予定で、2028 年に事業化を目指している。

### 3 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. 実施体制



## 2. 期間/予算

事業期間は 2021 年 5 月 21 日から 2026 年 3 月 31 日まで

### 今後予算要求

研究開発項目 \ 年度	2021	2022	2023	2024	2025	合計
①革新的エンジン部品製造プロセス開発	-	76	115	-	-	191
②革新的合金探索手法の開発	200	535	580	-	-	1,315
③航空機エンジン用評価システム基盤整備	255	663	545	-	-	1,463
合計	455	1,274	1,240			2,969

## 3. 目標

### 【中間目標(2023 年度末)】

材料カタログデータベースを構築し、そこで得られたデータから部材として使用する候補材料を選定する。国内エンジンメーカーにおいて 1 部材以上での活用を想定することを可能とするデータベースの構築を目標とする。

### 【最終目標(2025 年度末)】

国内エンジンメーカーにおいて 3 部材以上での活用を可能とするデータベースの構築を目標とする。

### 研究項目①: 特性予測・変形機構解明と材料データベースの構築

(担当: 国立研究開発法人物質・材料研究機構)

開発材料の組成および熱処理条件等仕様を検討する。サブスケール素材を用いてクリープ、疲労試験等の評価を行い、高温変形挙動の機構解明を行う。更に、材料の組織と特性の相関から特性予測を試み、データ取得の効率化及びデータベースの高度化に貢献する。

横浜国立大学への再委託により、タービンディスクの疲労破壊統計に関する研究を実施し、部品の信頼性の検証を行う。更には、これらデータを活用することで、宇宙航空研究機構(JAXA)への再委託によりエンジン特性の評価を行う。

本研究により得られるすべてのデータを集約し、共通利用可能なデータベースを構築する。データベースには市販データベースシステムを NIMS 内に導入することで、参画企業各社が取得するデータ容易にインポート・エクスポート可能であり、かつ、事業終了後も保守・運用が可能な体制を構築する。

### ① -1 材料のエンジン性能効果検証 (担当: 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)

材料のエンジン性能効果検証を進めていくにあたり、まず航空エンジン技術全般について、過去数年から比較的近い将来までの動向調査を行う。その上で、その動向調査の成果等を踏まえ、取得する材料

データベースを用いた性能効果検証を行うためのエンジンモデル等を検討する。そして、そのエンジンモデルを用いて、材料データベースに基づく材料のエンジン性能効果検証を行う。

① -2 タービンディスクの疲労破壊統計に関する研究(担当:国立大学法人 横浜国立大学)

サンプル N 数の最適化等、より効率的なデータベース構築には、疲労破壊統計が重要となる。ここでは、横浜国立大学が保有する材料組織・欠陥情報から部品の破壊統計を予測する解析スキームを、NIMS が保有する超合金における特性予測技術に融合することで、疲労寿命のばらつきを予測するとともにタービンディスクの信頼性の検証を行う。

研究項目②:次世代単結晶材料の製造性・耐環境性及び特性評価

(担当:株式会社 IHI)

- a. NIMS において開発された国産次世代単結晶材料 TMS-238 の将来のエンジン開発における採用を目指し、製造性・耐環境性を確認するデータを取得し、設計に必要な材料データベースの構築を行う。比較材でのデータ取得を行ない、TMS-238 の競争力を検証するとともに、製品模擬形状での試作を行ない、製造性を確認する。
- b. 製造性の確認においては、マイクロ組織と結晶欠陥の発生を最適化するような熱処理条件の設定を行う。Heat Lot ごとのばらつきや casting 固有の製造条件 ( casting 方案, 鑄型, 鑄造炉 ) に起因する影響評価するための特性データおよび結晶欠陥に対する強度影響データを蓄積するなどして材料スペックを仮設定する。
- c. 耐環境性の確認においては、強度だけではなく、高温での組織の安定性や腐食性などの使用において不具合を起こすリスクを検証するデータを取得する。
- d. 上記を踏まえ、設計に必要な疲労強度などの材料データベースを構築する

研究項目③:次世代単結晶材料の材料特性評価

(担当:川崎重工業株式会社)

国内共同利用が可能な材料データベースの構築に向けて、航空機エンジン向け材料の物性値・機械的特性等の材料特性の取得を行う。航空機エンジン部材の中でエンジンの高効率化に寄与するタービン動翼用の耐熱材料として用いられている Ni 基単結晶合金を対象材料として、具体的には物質・材料研究機構にて開発されて優れた高温強度と耐環境性を有する Ni 基単結晶鑄造合金 TMS-238 ならびに汎用単結晶合金について、材料特性評価を実施する。

TMS-238 については、まず最初に材料に求められる優れた機械的特性を安定して得るための各種製造条件を定めるため、種々の条件で製造した試験用材料を用いて基礎的な強度試験を実施して、材料の製造条件(管理値)を定める。

次に定められた製造条件に従って試験用材料の製造を行い、基礎的な部品設計に必要な強度特性値を得るために一定量の各種強度試験を実施して信頼性を有する材料特性データを取得する。また得られた材料データをもとに材料の機械的特性の仕様要求値を定める。また汎用単結晶合金についても同様の材料特性を取得し、TMS-238 との比較を行う。なお製造条件の確定ならびに材料特性データの信頼性確保のためには相当量の各種強度試験を実施する必要があるため、参画機関内で分担して試験を行い、それらを統合して最終的に標準的な材料特性を決定する。

#### 研究項目④: 次世代ディスク・単結晶材の特性評価

(担当: 三菱重工航空エンジン株式会社)

##### a. データベース構造検討

構築する材料データベースに入れるべきデータ種類等を関係機関とともに検討・決定する。

##### b. ディスク材料データベース構築

材料データベースに入れるデータの一つとして NIMS 開発ディスク材料である TMW-4M3 を対象として材料評価・部品評価を行う。なお、評価に用いる材料は三菱重工業が主導して製造し供給されたものを用いる。取得すべき材料データを明確化して、評価を行う。また、比較材料の特性評価も行う。さらに、部品形状の評価も行う。

##### c. ブレード材料データベース構築

材料データベースに入れるデータの一つとして NIMS 開発ブレード材料である TMS-238 を対象として材料評価・部品評価を行う。なお、評価に用いる材料インゴットは IHI が主導して製造し供給されたものを用いて、単結晶供試体を作製する。取得すべき材料データを明確化して、評価を行う。

##### d. データ比較・検証

NIMS 開発材料である TMW-4M3、TMS-238 のデータと比較材のデータの比較を行い、それぞれの材料の特徴を明確化する。各種材料評価での試験条件・試験場所等のラウンドロビン評価を行う。また、ディスク材のき裂進展試験において、パリス則評価を行う。

#### 研究項目⑤: 次世代ディスク材の特性評価

(担当: 株式会社本田技術研究所)

ディスク材に関する材料スペックの作成、材料データベースを構築するために必要な評価項目および仕様の作成、材料評価を実施する。

#### 研究項目⑥: 「次世代ディスク材の製造」

(担当: 三菱重工業株式会社)

次世代タービンディスク材料の製造技術を確立するとともに製造したディスク素材を航空機エンジンメーカーに供給。また、製造仕様のひな形を策定、確定し、各航空機エンジンメーカーの部材製造時にひな形として使うことを可能とする。本業務では、NIMSが開発した溶解鍛造材(TMW-4M3)とNIMSと Honda が開発した粉末鍛造材(HGN300 および HGN200)を対象とする。また、実用化に不可欠な金型の仕様策定も実施する。

##### ⑥-1 溶解鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定

2021 年度は、インゴット作製のため、採用するトリプルメルトプロセス、VIM、ESR、VARを国内に製造所がある2社にて実施する。ただし、1社については、トリプルメルトプロセスの仕様を妥当化するため、当該材の凝固偏析試験を実施した上で、溶解を開始するため、VIMまでのみの実施とする。凝固偏析の試験結果は、VARプロセスの製造仕様の決定に用いる。これらの製造仕様を参画する航空機エンジンメーカーとともに取りまとめる。

2022 年度は製造したトリプルメルトインゴットを熱間鍛造し、アップセット鍛造前のビレットを作製する。ビレットのサイズは、航空機エンジンメーカーと協議し決定する。また、ビレットの製造仕様を取りまとめる。

2023年度は、2022年度に作製したビレットをアップセット鍛造し、ディスク素材に仕上げる。仕上げる形状は参画する航空機エンジンメーカーと調整する。また、アップセット鍛造、その後の熱処理、加工について製造仕様書を策定する。作製したディスク素材は、参画メンバに供給する。

2021年度から2023年度に、材料評価を早期に開始できるよう、参画する航空機エンジンメーカーの要望にもとづき、小型の試験材を提供できるよう調整する。また、外注先の素材メーカーの協力を得て、ディスク素材提供時期の前倒し可能とする施策を検討する。

#### ⑥-2 粉末鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定

2021年度から2022年度にかけて、素材メーカーでの量産化に必要な予備検討を実施するとともに、粉末鍛造ディスク用の粉末製造を開始する。

2023年度からは、2021年度から2022年度の予備検討結果、2022年度で終了するSIPプロジェクトの成果に基づき、粉末鍛造ディスクの製造、製造要領書の策定を実施し、作製したディスク素材を参画メンバに供給する。2023年度は、粉末製造を継続し、参画する航空機エンジンメーカーと協議し、製造仕様書を策定する。

2024年度は、2023年度に作製した粉末および2024年度にも追加製造する粉末を用いて、HIP成型、ビレット製造を実施する。また、航空機エンジンメーカーと協議し製造仕様書を策定する。

2025年度は、2024年度に作製したビレットをアップセット鍛造して、ディスク素材に仕上げる。仕上げる形状は参画する航空機エンジンメーカーと調整する。また、アップセット鍛造、その後の熱処理、加工について製造仕様書を策定する。作製したディスク素材は、参画メンバに供給する。

#### ⑥-3 鍛造金型の製造と仕様策定

アップセット鍛造時の金型として粉末HIP金型、DED造形金型(補修にも対応)について量産化対応を行い、製造仕様書を策定する。

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度				2024年度				2025年度			
	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期
① 特性予測・変形機構 解明と材料データベ ースの構築	組成・プロセススペック決定支援								データベース構築											
	1500トンプレス鍛造				耐環境き裂進展・ギガサイクル疲労・長時間クリープ															
	航空機エンジン技術動向調査								エンジン性能効果検証											
①-1 材料のエンジン 性能効果検証	航空機エンジン技術動向調査								エンジン性能効果検証											
①-2 タービンディスク の疲労破壊統計に 関する研究	破壊統計プロトタイプモデル構築								NIMS特性予測 モデルとの連結				実機模擬形状品 でのケーススタディ							
② 次世代単結晶材料の 製造性・耐環境性及 び特性評価	a. 製造性・耐環境性データ取得																			
	競争力の検証								模擬形状での製造性確認											
	b. 欠陥影響把握/材料スペック仮設定																			
	材料欠陥の影響把握								スペックの仮設定											
	c. 使用リスク検証データ取得																			
d. 材料データベース構築																				
③ 次世代単結晶材料の 材料特性評価	材料データベース整備																			
	熱処理条件検証および製造条件の確認								仕様要求値・材料特性の設定 (スペック)											
	引張・LCF・HCF・クリープ試験																			
④ 次世代ディスク・単結 晶材の特性評価	データベース構築																			
	ディスク材特性影響評価								ディスク材 LCF/HCF/クリープ試験											
	ディスク部材評価																			
	ブレード材特性影響評価								ブレード材 LCF/HCF/クリープ試験											
	ブレード部材製造性評価																			
	比較材評価・検証																			

事業項目	2021年度				2022年度				2023年度				2024年度				2025年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
⑤ 次世代ディスク材の特 性評価	<p>熱処理条件と強度の相関DB 成分・鍛造比・バラツキ影響 LCF/HCF/クリープ試験 部品評価条件の事前検討 部品評価</p>																			
⑥ 次世代ディスク材の製 造	<p>溶解鍛造ディスク製造・仕様策定 溶解 ビレット ディスク 類似品による予備検討 粉末鍛造ディスク製造・仕様策定 溶解 ビレット ディスク</p>																			

#### 4. 成果の達成状況と根拠

ブレード用単結晶超合金 TMS-238 およびディスク用鋳鍛造超合金 TMW-4M3 について、組成、プロセス等の仕様検討を行い、素材を調達、各種試験を開始した。製造プロセスが特性に与える影響を検討し、また海外汎用材料との特性の比較を行った。材料データベースのシステムは計画より2年早く、導入が完了した。2023年度からデータの蓄積を開始する予定である。

国内エンジンメーカー1社において、データベース構築中の TMS-238 および TMW-4M3 に関してそれぞれ適合する2部材への活用の検討が始まっており、目標を上回る成果となっている。

研究項目①: 特性予測・変形機構解明と材料データベースの構築 担当: 物質材料研究機構

達成状況: ◎

ブレード用単結晶 Ni 基超合金 TMS-238 の仕様検討支援として、組成のずれによるクリープ強度の変化を検討し、許容できる組成範囲を提案した。NIMS が開発した合金設計プログラムを用い、TMS-238 の公称組成と、その組成から各元素を±0.5wt%増減させた場合について、1100°C/137MPa の条件でのクリープ破断寿命を計算した。図1に計算結果を示す。

公称組成の TMS-238 のクリープ破断寿命は 1350 時間と予測され、これに対して各元素の添加量を増やすと寿命は長くなるのがわかる。しかし添加量を増やすと  $\gamma$  相、 $\gamma'$  相の固溶限を超えて組織安定性が低下し、TCP (Topologically Closed Pack) 相が析出する。この析出はクリープ強度を低下させるため、合金設計プログラムにより固溶指数 SI 値を計算し、組織が安定となる上限の添加量を計算した。これらの予測により、強度、組織安定性の観点から許容できる組成範囲を提案した。

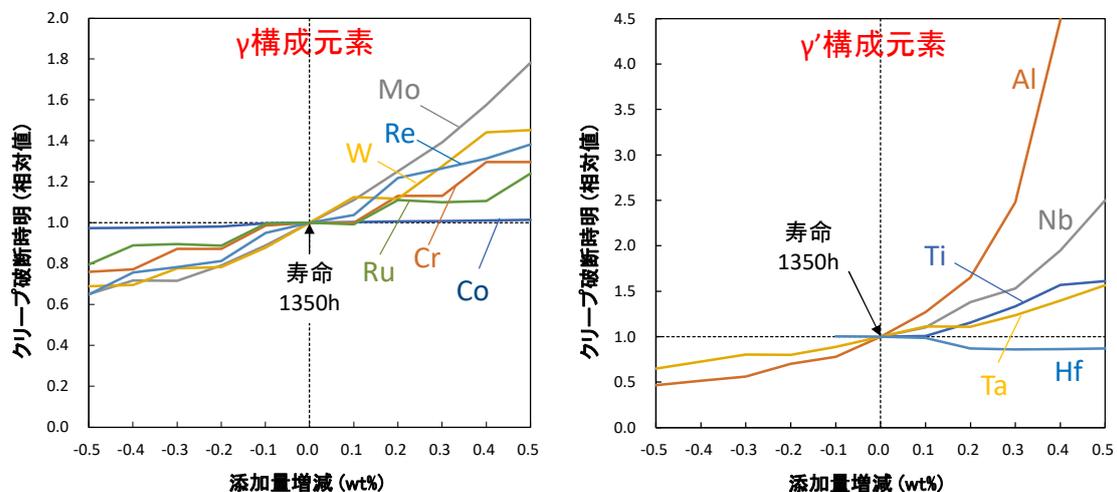


図1 合金元素の増減によるクリープ破断寿命の変化予測

さらに、TMS-238 の仕様検討支援として、溶体化(均質化)熱処理条件の検討を行った。熱処理温度、時間を変えた試料の組織観察と濃度分布分析を EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) により行った。最初に凝固するデンドライトコア部と最終凝固部となるインターデンドライト部の各元素濃度の比を熱処理温度に対して図示したものが図 2 である。熱処理温度が上昇すると、デンドライト中の濃度 ( $C_d$ ) とインターデンドライト中の濃度 ( $C_{id}$ ) の比は 1 に近づき、均質化されていることがわかる。また、拡散が遅いレニウムの均質化が最も難しいことがわかる。経済性の観点から、熱処理条件はなるべく低い温度、身近に時間が望ましいとされる。しかし均質化が不十分な場合強度特性が低下することを実験により明らかにした。また熱処理温度が高すぎると部分溶融が起こりやはり強度低下につながるため、部分溶融が起こらない範囲で許容できる溶体化熱処理条件を提案した。

材料データを蓄積するデータベースシステムの導入を行った。プロジェクト参画機関内で検討したデータ項目、構成によるシステムを構築し、加速予算により計画より 2 年早く導入することが可能となった。2023 年度から各参画機関によるデータの蓄積を開始し、システムの微修正を行いながらデータベースの充実化を図っていく予定である。

データベース構築については計画より早まり、他は計画通りため、達成状況は◎とする。

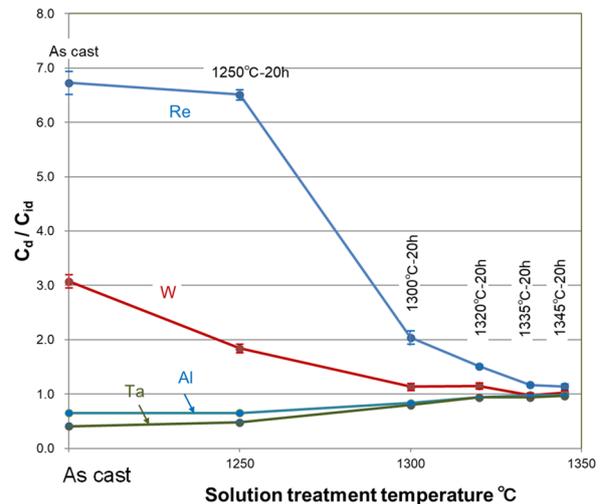


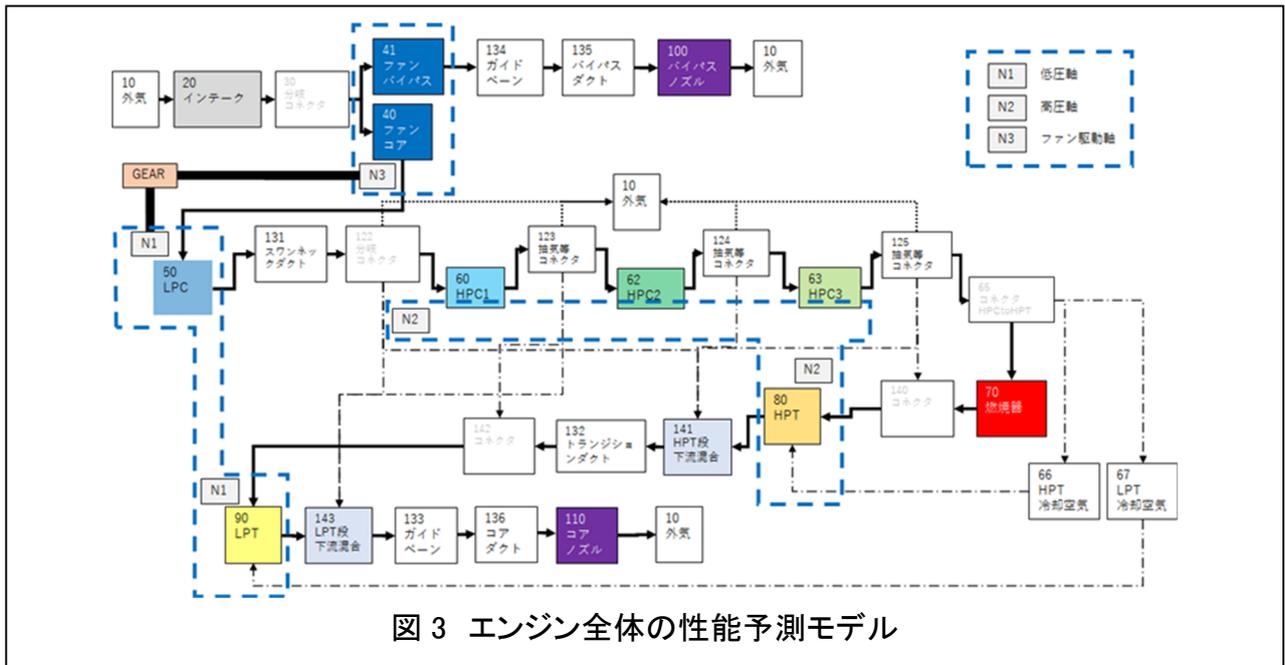
図 2 溶体化熱処理温度と元素濃度

### ① -1 材料のエンジン性能効果検証

担当; JAXA

エンジン性能効果検証の対象となる想定エンジンを推定するため、航空エンジン技術の動向調査を行った。調査は、市場台数が多い(従ってインパクトが大きい)推力レベル 100~150kN 程度の単通路亜音速機用ターボファンエンジンを中心に行った。この調査結果を踏まえ、エンジン形態やその代表諸元(推力、燃費、全体圧力比、バイパス比、等)の相関を把握し、またその相関から、当該開発材が適用されるであろう近い将来の想定エンジン案の代表諸元を推定した。

また、性能効果を算出するため、並行して、エンジン全体の性能予測モデルも検討した(図 3 参照)。この全体モデルの策定に引続き、2024 年度以降は、当該開発材の適用を想定しているタービン翼等を中心に、さらに詳細な要素性能予測モデルを検討し、そして最後に、構築したエンジンモデルを用いて、材料データベースに基づく材料のエンジン性能効果検証まで進める予定である。



① -2 タービンディスクの疲労破壊統計に関する研究  
 担当; 横浜国立大学

横浜国立大学が保有する材料組織・欠陥情報から部材の破壊統計を予測する解析スキームについて、NIMS が保有する超合金における特性予測技術への融合に向けた準備を行った。具体的には、図 4 に示すような材料組織・欠陥の様々な分布特性に対して、一般化極値分布、一般化パレート分布、対数正規分布およびべき乗則分布などの各種確率密度関数を用いて近似するための方法論を整理した。また、任意の有限要素解析モデル内に材料組織・欠陥を確率的に発生させ、強度解析用の構成式の入力情報として使用するためのサブルーチンを構築した。他方、タービンディスクの疲労破壊統計解析に向けた取り組みとして、N 個の簡易ディスクモデルを作成し、確率的に分布する欠陥周りの局所破壊応力を評価するとともにモデルごとの危険部位を可視化した(図 5)。加えて、Ni 基超合金疲労モデルの有限要素法サブルーチン化について NIMS との議論を開始した。

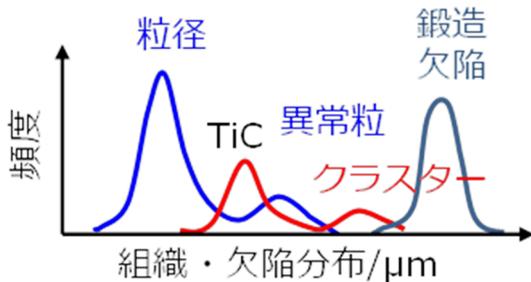
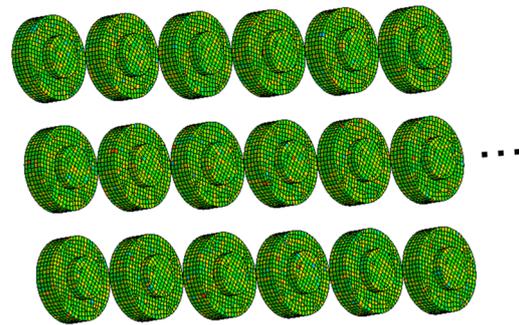


図 4 材料組織・欠陥の分布特性



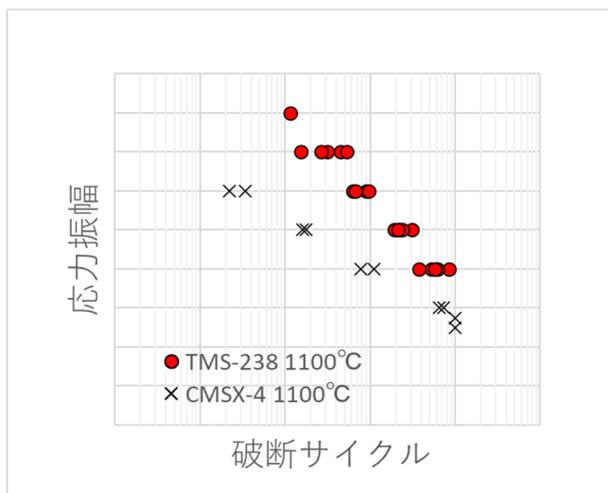
き裂発生応力のカウンター：赤色が危険部位 (均一応力・室温の条件の例)

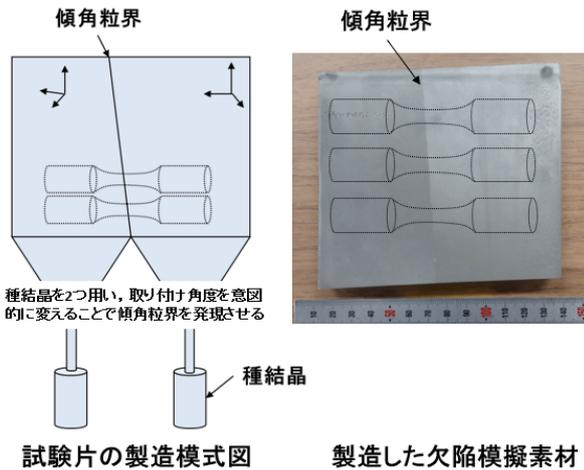
図 5 起点欠陥の確率的分布を導入したディスクの有限要素解析モデル

a. 製造性・耐環境性評価データの取得

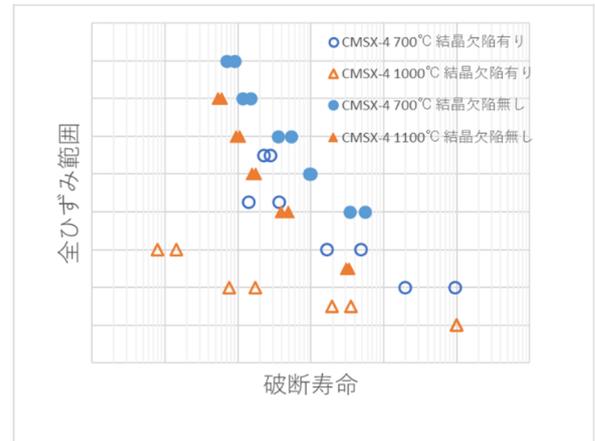
参画機関への提供用も含めて TMS-238 インゴットの製造を行い、評価データ取得用の単結晶素材の製造を実施した。クリープ強度については TMS-238 が既存の単結晶素材に対して競争力があることがわかっていたが、高サイクル疲労、低サイクル疲労特性についても 700°C, 1100°C いずれの温度域においても CMSX-4 よりも強度が高く、競争力を有していることが確認できた。

一方、NIMS の試験試作用の鑄造炉の標準製造条件を用いて、量産鑄造炉にて TMS-238 の製造を実施したところ、想定よりも多くの結晶欠陥が発生し、鑄造条件の検討をしていく必要があることがわかったことから、鑄造シミュレーションの適用や欠陥発生メカニズム解明を実施しながら、製造性の評価を実施していく。





傾角粒界を含む試験片素材の製造方法の開発



傾角粒界の低サイクル疲労寿命に与える影響評価

c. 使用リスク検証データ取得

TMS-238 の溶体化処理の熱処理条件の選定のため、マイクロ組織、材料強度、工業的な経済性を判断項目として評価を行い、条件を 2 条件に絞り込むことができた。また製造工程中に発生する可能性のある再結晶欠陥について、CMSX-4、TMS-238 の 2 材料を用いて、再結晶欠陥の発生しやすいさの定量的な評価手法を開発することができた。

今後は、現在製造中のエンジン部材にて適用されている耐酸化コーティングを模擬したコーティングを施工し、コーティングと合金との相性の確認及び耐酸化性の評価を実施し、使用リスクの検証データの取得を実施していく。

d. 材料データベース構築

素材の来歴や試験条件、試験結果について航空エンジンの材料データベースに必要な収録項目を整理し、参画機関で共通のデータフォーマットを完成させ、海外 OEM でも使用実績のある管理システムの運用の開始に目途が立った。今後はこれまでに取得したデータの登録を実施し、収録内容の追加や使いやすいフォーマットの改修を実施していく。

国内共同利用が可能な材料データベースの構築に向けて参画機関で協議を行い、必要な機能を有した材料データベースの管理システムとして海外 OEM でも使用実績のある管理システムを選定した。参画機関で共通してシステムを利用するため、代表機関であるNIMSへのシステム導入に向けた調整を行っており、2023年度中に運用を開始する予定である。

材料データベースへ格納する航空エンジンのタービン動翼用の耐熱材料のうち、NIMSにおいて開発された次世代単結晶材料 TMS-238 について、優れた強度特性と経済性を両立する熱処理条件を見出すために複数の候補条件を定め、各熱処理を行った試験片を用いて材料試験を実施した。図 1 および図 2 に熱処理条件の異なる試験片で実施した高温引張試験ならびに高温クリープ破断試験の結果を示す。

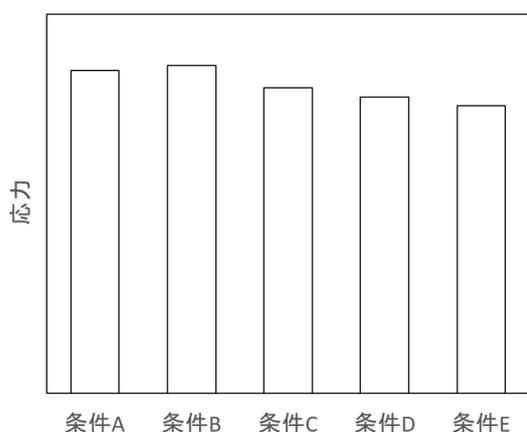


図 1 TMS-238 高温引張強度

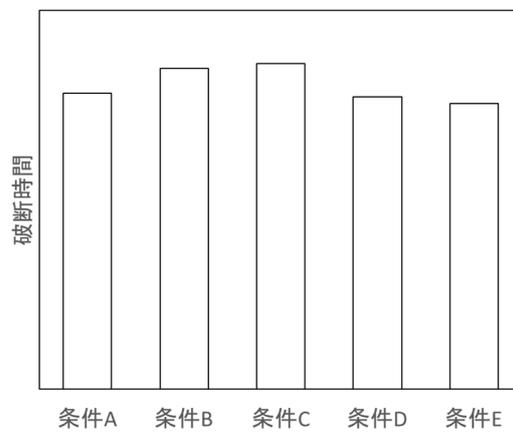


図 2 TMS-238 高温クリープ破断時間

熱処理条件によって引張強さとクリープ寿命に異なる傾向が見られたが、今後は更に材料試験を実施したうえで、製品への適用を考慮した熱処理条件を決定する予定である。

TMS-238 の比較として汎用 Ni 基単結晶材料 CMSX-4 について材料試験を実施した。これまでに引張試験、クリープ試験、ならびに疲労試験を行い、各試験データを取得した。図 3 および図 4 に引張試験ならびにクリープ試験の結果を示す。

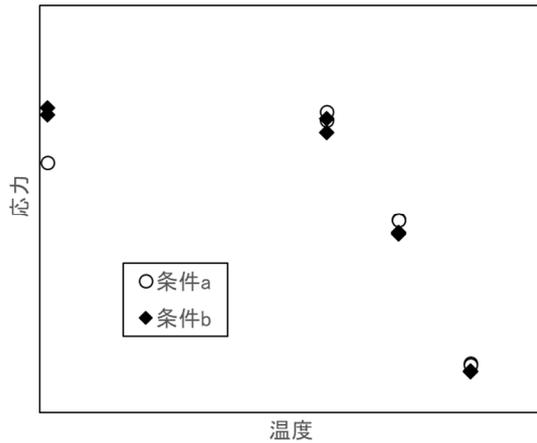


図 3 CMSX-4 引張強度

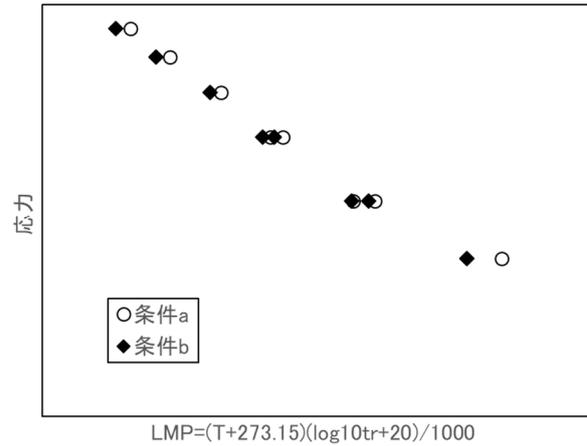


図 4 CMSX-4 クリープ強度

CMSX-4 の一般的な 2 種類の熱処理条件 a および条件 b を適用した試験片を用いて試験を行ったところ、条件 a の方が高温引張強さおよびクリープ強度に優れていたため、条件 a を選定して以降 CMSX-4 の材料データを取得した。引き続き材料試験を実施してデータを取得するとともに、単結晶合金の結晶方位による材料特性の違いを確認する予定である。

達成状況: ○

a. データベース構造検討

構築する材料データベースに入れるべきデータ種類等を関係機関とともに検討中。構造の基本フォーマットを作成し、関係機関で共有した。2023 年度中に基本フォーマットを確定させる予定。

b. ディスク材料データベース構築

材料データベースに入れるデータの一つとして NIMS 開発ディスク材料である TMW-4M3 を対象として材料評価を行い、基本特性(高温引張特性)を取得した。なお、評価に用いる材料は三菱重工業が主導して製造し供給されたものを用いた。2023 年度中に動的特性(高温疲労特性等)を取得する予定。

c. ブレード材料データベース構築

材料データベースに入れるデータの一つとして NIMS 開発ブレード材料である TMS-238 を対象として材料評価を行い、基本特性(高温引張特性)を取得した。なお、評価に用いる材料インゴットは IHI が主導して製造し供給されたものを用いて、国内メーカーにて単結晶供試体を作製した。

2023 年度中に動的特性(クリープ特性等)を取得する予定。

d. データ比較・検証

NIMS 開発材料である TMW-4M3、TMS-238 のデータと比較材のデータの比較を行った。ディスク材料の比較材としては、AD730と IN718DA を選定し、それらの基本特性(高温引張特性)を取得した。下図に、ディスク材(TMW-4M3)とその比較材(AD730、IN718DA)の高温引張特性を示す。TMW-4M3 の優位性が確認できた。今後様々な特性において比較する。

ブレード材料の比較材としては、CMSX-4 を選定し、その基本特性(高温引張特性)を取得した。下図に、ブレード材(TMS-238)とその比較材(CMSX-4)の高温引張特性を示す。TMS-238 の優位性が確認できた。今後様々な特性において比較する。

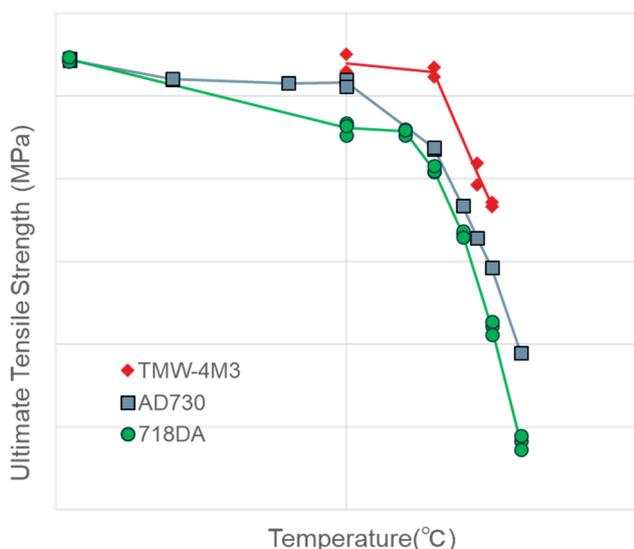


図 ディスク材料とその比較材の高温引張特性

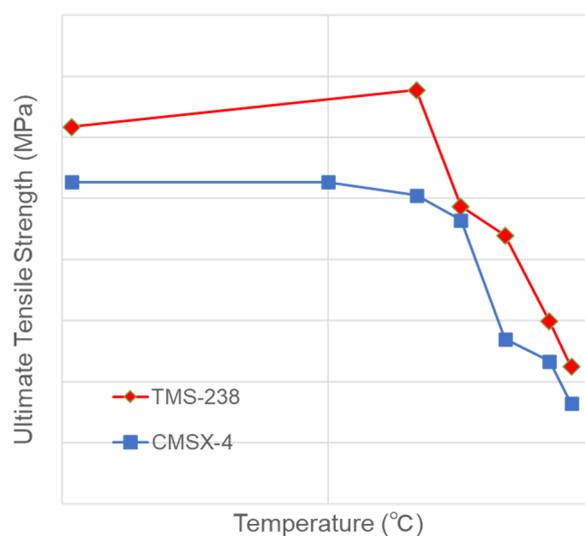


図 ブレード材料とその比較材の高温引張特性

達成状況:○

本田技術研究所では次世代タービンディスク候補材として(株)三菱重工業より提供された TMW-4M3 合金および比較材として AD730 合金の評価を進めている支給材の評価を実施している。取得結果の一部を図 1 および図 2 に示す。

図 1 TMW-4M3 の疲労強度

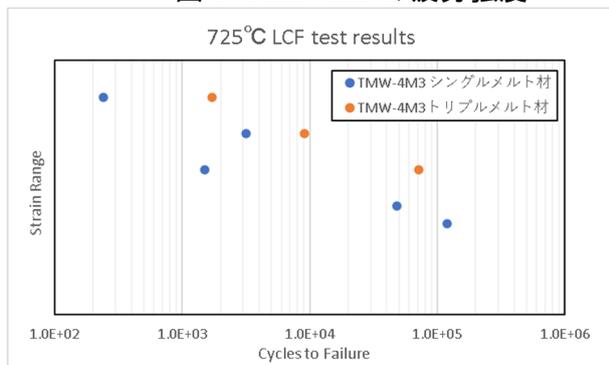


図 2 評価材のクリープ強度

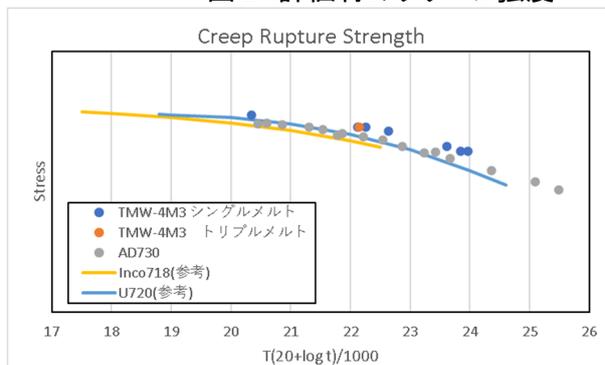


図 1 より TMW-4M3 のシングルメルト材とトリプルメルト材を比較するとシングルメルト材において疲労強度が低く、ばらつきが大きいことが確認された。事前の組織観察よりシングルメルト材には不均質組織が形成していることが分かっており、この差はその組織の違いに起因していると思われる。航空機エンジン設計においては最小値が重要であり、こういった特性におけるばらつきは設計許容値に重大な影響を与えるため、厳密に管理されなければいけない。これらの試験から得られた結果を反映し、航空エンジン用途に向けた TMW-4M3 のスペックを作成する予定である。

図 2 より本プロジェクトの評価対象である TMW-4M3 合金は実用材である Inco718 や U720、比較材である AD730 より優れたクリープ特性を有しており高圧ディスク材として高いポテンシャルを有していることが分かる。

2022 年度においては素材の支給遅れにより評価に遅れが生じたが、2023 年度末には表 1 に示す特性を使用想定温度の全域で取得し、評価材での部品の成立性の簡易判断が可能となるデータベースの構築が完了する見込みである。

表 1 本田技術研究所で構築予定の材料データベース登録項目

物理的 特性	密度	引張特性	0.2%耐力
	ヤング率		引張強さ
	剛性率		伸び
	ポアソン比		絞り
	比熱		クリープ特性
	熱伝導率		高サイクル疲労特性
	熱膨張率		低サイクル疲労特性
機械的 特性		亀裂進展特性	
		破壊靱性値	
		衝撃試験	

⑥—1 溶解鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定

国内ファーストベンダのトリプルメルトインゴットを熱間鍛造し、ビレットを経てディスク素材まで作製し、参画メンバに供給した。また、航空機材ではコストや信頼性を競争させるためにマルチベンダ化が必要であり、実績のあるファーストベンダに加えて国内セカンドベンダでも規格化を目指したインゴットを製造した。2023 年度に鍛伸・据込鍛造し、プロセスの異なる別水準のディスク素材に仕上げるとともに、これら対象材の製造仕様書の策定を開始する予定。



図 溶解鍛造ディスク材(ファーストベンダ)



図 VAR インゴット(セカンドベンダ)

⑥—2 粉末鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定

製造プロセス中にコンタミが混入しないための仕様策定を行い、使用する粉末の粒径分布を検討するとともに、小型粉末 HIP 材を試作し、組織観察により健全性を確認した。また、粉末鍛造ディスク材の試作結果を製造プロセスにフィードバックする十分な期間を確保するために、前倒しで粉末製造を開始した。2023 年度は、一連の製造プロセスでディスク試作する予定であり、参画する航空機エンジンメーカーと協議し、製造仕様書の策定を開始する計画。

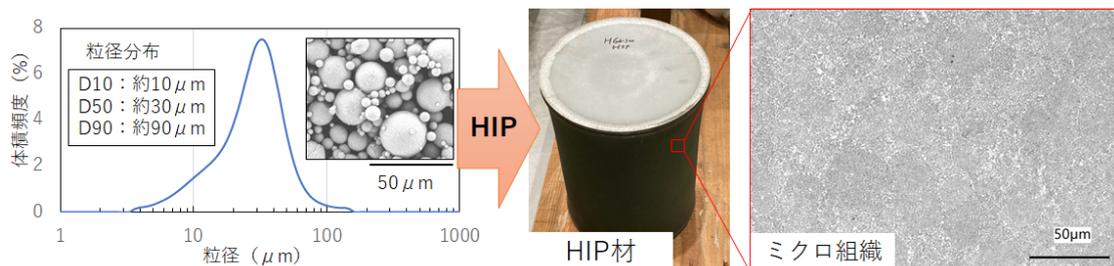


図 粉末予備試作および HIP 材の組織確認

### ⑥—3 鍛造金型の製造と仕様策定

アップセット鍛造時の金型として粉末HIP金型やDED造形金型について量産化対応を検討し、検証用の小型金型造形モデルを試作した。2023年度はこの設計技術を基に、小型金型を試作し耐久性を検証するとともに、粉末HIP金型技術についても検証を実施する予定。

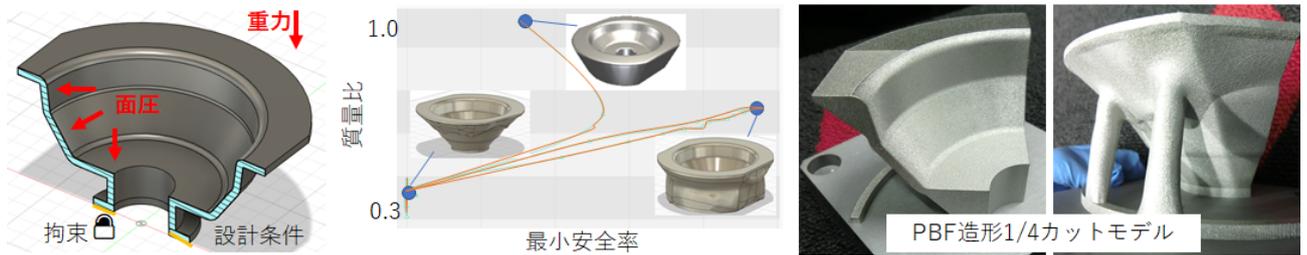
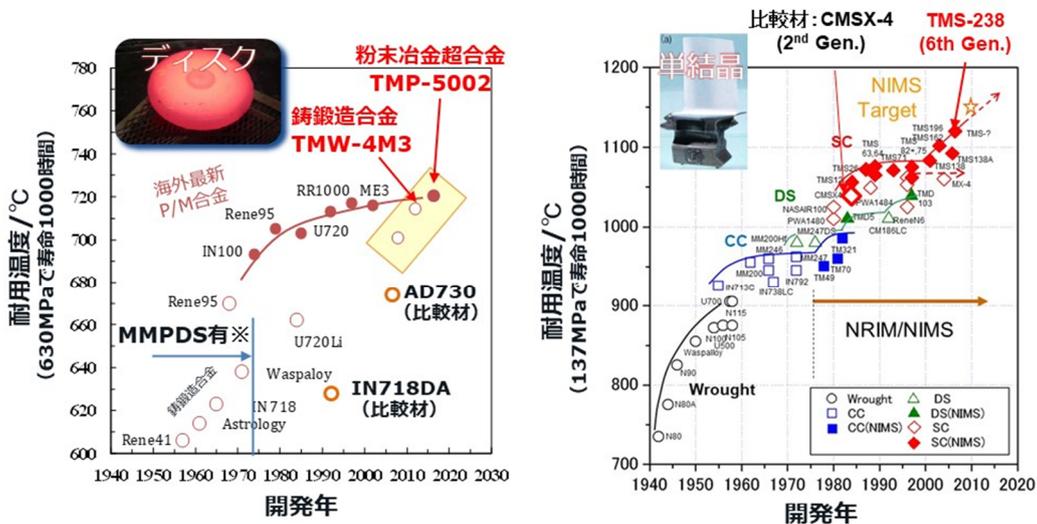


図 金型設計および縮小カットモデル

## 5. 成果の意義

本プロジェクトでデータ取得対象とした TMS-238、TMW-4M3 は、図に示すように海外の汎用材料に比べて顕著に高い耐用温度を持つ。これらの材料を航空エンジン部材として実用化することで、エンジン性能の向上、燃料消費率の低減、CO<sub>2</sub> 排出量の低減を実現することができる。本プロジェクトは国内のエンジンメーカーがこれらの先進材料を部材として検討するためのデータベース構築を行うものであり、NIMS、JAXA、横浜国大が特性予測による仕様検討、エンジン性能予測、破壊統計予測等を行って、企業による特性評価、データベース構築を支援している。



※MMPDS: Metallic Material Properties Development and Standardization

図 TMW-4M3、TMS-238 と海外材料の耐用温度

波及効果として、本プロジェクトの対象合金は発電タービンに適用することが可能であり、構築するデータベースを公開することで発電分野での応用につながれば、さらに CO<sub>2</sub> 排出量の削減を期待することができる。また、今回国内の競合企業が共通利用できるデータベースを作るという枠組みが実現したことは、今後の材料開発、材料評価において画期的な副次的成果と言える。

## 6. 実用化への道筋と課題

### (1) 国立研究開発法人物質・材料研究機構

今回構築するデータベースは、プロジェクト終了後も NIMS のデータ中核拠点に置き、産官学連携の場としてこの枠組みを継続運営していく。各参画企業が部材設計などさらに実用化に向けたフェーズに入る場合は、データベースを用いた特性予測技術を高度化し、各企業を個別に支援していく。

### (2) 株式会社 IHI

TMS-238 は先進の第 6 世代単結晶材であり、クリープ強度と高温での耐食性をバランスよく兼ね備えた材料であり、本研究開発でも高いクリープ強度が確認されている。耐食性コーティングとの親和性や製造のロバスト性を確認し、TMS-238 の競争力を明らかにしていく。

2050 年のカーボンニュートラルに向けて、燃費改善の要求が上積みされており、第 6 世代単結晶材をもたない欧米のエンジン OEM に TMS-238 の採用を働きかけていく。

民間エンジンの国際共同開発において、日本メーカーが高圧タービン翼の設計を担当した実績はないが、JAXA との共同研究などを通じて、世界に通じる設計技術を獲得し、高圧タービン翼への参入を目指している。

### (3) 川崎重工業株式会社

設計および製造パートナーとして参画している海外 OEM における材料に関するニーズを捉え、新規のエンジン開発への参画時に優れた開発材料の適用提案を行う。ただし適用に際しては参画可能なエンジン部位、ならびに材料認証の取得要件が課題となる。

### (4) 三菱重工航空エンジン株式会社

三菱重工航空エンジンは、現在、欧米航空エンジンメーカーの Tier1 の立場で航空エンジン部品製造を行っている。作業シェア拡大のために、新規材料を用いた部品設計・製造を計画している。本プロジェクトで得られた材料データベースを活用して、材料レベルの検証、部品レベルの検証、エンジン組み込み試験による検証を実施していきたい。

### (5) 株式会社本田技術研究所

実用化については、まずは本プロジェクトで目標が達成されること、実用化に向けた解決不可能な課題がないことが確認されてから、社内において目標時期を含めて実用化に向けた検討を行う予定である。実用化を検討する時点での世の中の状況や、外部との関係、社内事情、サプライヤーの事情、開発スケジュールやコスト等により様々な制約が生じる可能性があるが、それらを解決することが課題である。

### (6) 三菱重工業株式会社

開発した溶解鍛造ディスクと粉末 HIP 鍛造ディスクの製造技術および金型設計技術を速やかに国内エンジンメーカーや素材メーカーに継承することで、航空機エンジン部材への実用化を加速し国際競争力の向上に貢献する計画。本PJで策定した標準仕様(製造要領、スペック等)を基に実機部品に展開する際の、各適用部品の形状や要求仕様に合わせた製造プロセスの最適化およびそれに伴う量産体制の構築が課題である。

## 添付資料

- プロジェクト基本計画
- プロジェクト開始時関連資料：事前評価結果、パブリックコメント募集の結果
- 特許論文等リスト

「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 CO<sub>2</sub> 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、他社参入による追従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 CO<sub>2</sub> 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3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4年目以降の2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2023年度までの3年間、【フェーズB】を2024年度から2025年度までの2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

①2021年2月、制定。

②2021年12月、研究開発項目①に関する事項の変更。

③2023年1月、研究開発項目②における【フェーズA】の事業期間の延長。

## (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はなく、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			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		
	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					
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	8	13	(13)	(12)	

(添付資料) プロジェクト開始時関連資料：事前評価結果

## 2020 年度事前評価結果

研究評価委員会において 2021 年度NEDO新規案件の事前評価を実施しました。結果は以下の通りです。

当該評価結果は、今後基本計画等に反映してまいります。

2020 年 11 月

案件名	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
推進部署	材料・ナノテクノロジー部
総合コメント	本事業は我が国の優位性のあるマテリアル分野での研究開発であり、その開発手法が劇的に変わるステージにさしかかる中で、本事業の実施は時宜を得ており、また国際的な競争力強化が期待できる。一方、過去の SIP を含めた構造材料開発研究の成果を活用し、新たな社会経済システム下でのグローバルな航空(機)需要を見極めたうえで、材料設計戦略を標準化や認定までを見据えて見直す必要がある。また、航空機エンジンは大量生産ではないので、本事業はできるだけ多くの他分野で利用できる基盤技術の開発となることが望ましい。

以上

(添付資料) プロジェクト開始時関連資料：パブリックコメント募集の結果

**「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（案）」に対する  
パブリックコメント募集の結果について**

2021年2月12日

NEDO

材料・ナノテクノロジー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間  
2021年1月19日～2021年2月3日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞  
計0件

以上

(添付資料) 特許論文等リスト

## 特許論文等リスト

【特許リスト】 該当なし

【論文リスト】 「査読付き」 0 件、「その他」 4 件

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	川岸京子	物質・材料研究機構	(報告) 航空機エンジン材料の国際標準化に向けたデータベース構築	日本ガスタービン学会誌, Vol. 49, No.4 (2021) 299-300.	無	2021/7
2	廣瀬伸吾, 江塚幸敏, 小木曾久人	産業技術総合研究所	(解説) レーザDEDによる細書/異種材造形と溶射との関わり	溶射, 58 (2021) 212-215	無	2021/10/31
3	廣瀬伸吾, 江塚幸敏	産業技術総合研究所	(総説) 電解砥粒研磨による高速金属鏡面化と各種金属材料への研磨事例	表面技術, 73 (2022) 2-6.	無	2022/11/01
4	廣瀬伸吾, 荒川さと子, 江塚幸敏	産業技術総合研究所	(解説) 教師付き機械学習を用いた溶射皮膜の品質管理と良否判定	溶射, 59 (2022) 233-236.	無	2022/10/31

研究開発項目① ; 該当なし、研究開発項目② ; 番号 2 ~ 4、研究開発項目③ ; 番号 1

【外部発表リスト】

(a) 学会発表・講演 5 件

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	廣瀬伸吾	産業技術総合研究所	(招待講演) デポジション方式積層造形(DED)と溶射	日本溶射学会第 115 回(2022 年春季)全国大会	2022/06/09
2	廣瀬伸吾	産業技術総合研究所	(特別講演) 表面処理プロセスのデータ化とプロセス・インフォマティクス	先進加工技術懇話会第 102 回例会	2022/07/15
3	廣瀬伸吾	産業技術総合研究所	(特別講演) 電解砥粒研磨を用いたステンレス鋼の高速鏡面化とデータ駆動型研磨プロセスの実現に向けた取り組み	日本溶接学会 2022 年度第 2 回表面改質技術研究委員会	2022/09/09
4	廣瀬伸吾	産業技術総合研究所	(依頼講演) 表面処理におけるデジタルトランスフォーメーション	日本溶射学会第 116 回(2022 年秋季)全国大会オーガナイズドセッション	2022/11/28
5	廣瀬伸吾	産業技術総合研究所	(依頼講演) 細書・異種材レーザDEDの開発と最近の試み	日本塑性加工学会 第 350 回塑性加工シンポジウム	2023/2/2

研究開発項目① ; 該当なし、研究開発項目② ; 番号 1 ~ 5、研究開発項目③ ; 該当なし

(b)新聞・雑誌等への掲載 7件

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	NEDO	航空機向け合金開発に JX 金属	日刊工業新聞	2021/5/25
2	物質・材料研究機構	材料進化の最前線-NIMS 最新成果 114_航空機エンジン国産材料特性 DB 構築	日刊工業新聞	2021/12/22
3	NEDO	航空機部品製造で革新的プロセス-Ni 基合金の鍛造金型材を開発	鉄鋼新聞	2022/4/18
4	NEDO	日立金属と新事業-航空機部品 鍛造プロセス開発	日刊工業新聞	2022/4/18
5	NEDO	日立金属の航空機部品製造 鍛造プロセス効率化	日刊産業新聞	2022/4/18
6	NEDO	航空機エンジン部品 製造プロセス確立へ	日刊油業報知新聞	2022/6/28
7	NEDO	大規模 CO2 削減！航空機の燃費向上と水素航空機	YouTube	2023/2/1

研究開発項目①；番号 3～7、研究開発項目②；番号 1 及び 7、研究開発項目③；番号 2 及び 7

(c)その他（展示会等）1件

番号	所属	タイトル	展示会名	発表年月
1	物質・材料研究機構	航空機エンジン用材料の特性予測・変形機構解明と材料データベースの構築	Nanotech2023	2023/2

研究開発項目①；該当なし、研究開発項目②；該当なし、研究開発項目③；番号 1

以上

## 2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業を説明する際に使用した資料を示す。

資料5

(中間評価分科会)



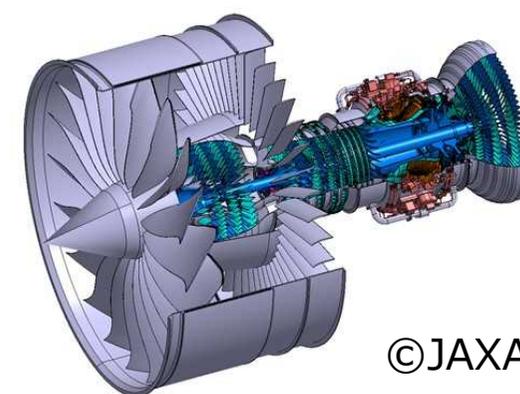
# 「航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業」

2021年度～2025年度 5年間

## プロジェクトの概要説明（公開セッション）

2023年5月31日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構  
材料・ナノテクノロジー部



©JAXA

# 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

材料・ナノテクノロジー部 飯山 和亮 (PM)

関連する技術戦略：機能強化新合金分野の技術戦略

プロジェクト類型：基礎・基盤



## プロジェクトの概要

### 【背景】

○我が国の航空機産業の競争力強化には、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。  
○量産段階における生産性向上を目指した部品の製造技術向上が不可欠。  
○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、蓄積が必要。

### 【研究開発の内容】

- ・革新的合金探索手法の開発 (合金探索)  
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データを大量取得可能なシステムを構築、新合金を開発する。
- ・革新的エンジン部品製造プロセス開発 (革新プロセス)  
航空機エンジンの製造工程 (特に鍛造プロセス) の効率化・高度化をはかる。
- ・航空機エンジン用評価システム基盤整備 (評価基盤整備)  
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。

## 既存プロジェクトとの関係

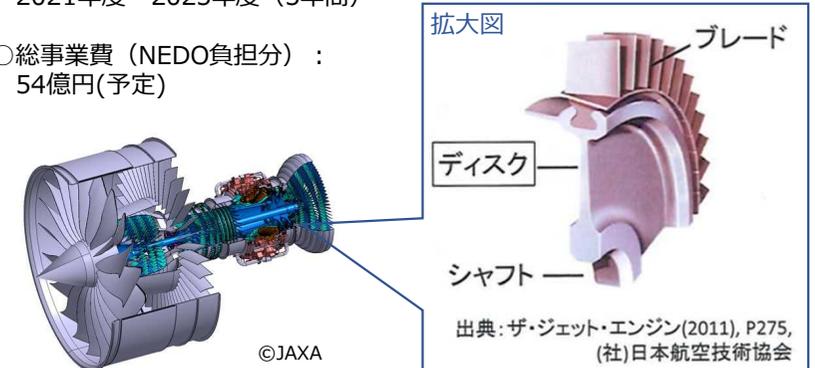
- ①SIP1期「革新的構造材料」(‘2014～’2018)
- ②SIP2期「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」(‘2018～’2022)  
①②ではエンジン材料を開発。実験室レベルまで完了し、開発成果をMETI/NEDOの本プロジェクトに移行し、高度化を図る。
- ③NEDO「次世代複合材創製・成形技術開発」(‘2020～’2024)  
航空機エンジン材料としてCMCを開発。適用部材が異なる。
- ④NEDO「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」(‘2017～’2021)  
マテリアルズ・インフォマティクス(MI)、データマイニング(DM)等を有機材料を対象として開発しており、合金材料は対象としていない。

## 想定する出口イメージ等

アウトプット目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>・合金探索：期間1/10、コスト1/100の材料開発、MIによる新合金開発2つ</li> <li>・エンジン材料製造プロセス開発：認証取得に向けた量産製造プロセス確立</li> <li>・材料試験拠点、解析システム開発：DBの活用3部材以上</li> </ul>
アウトカム目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>・航空機エンジンの高効率化に伴う燃費改善によるCO<sub>2</sub>削減：92.8万トン</li> </ul>
出口戦略 (実用化見込み)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新プロセス及び新合金を用いた航空機エンジンの実用化</li> <li>・航空機エンジン認証のための合金データ蓄積、評価技術</li> <li>・マテリアルズ・インフォマティクス(MI)による合金物性の予測技術確立</li> <li>・マテリアルズ・インフォマティクス・ツールによる合金情報の蓄積</li> <li>・国際標準化提案：無</li> <li>・第三者提供データ：無</li> </ul>
グローバルポジション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PJ開始時：RA ⇒ PJ終了時：DH</li> <li>・航空機エンジンメーカーはGE社、RR社、P&amp;W社といった欧米が独占しており、我が国は航空機エンジンの構成品の15～23%のシェアに留まっている。</li> <li>・本事業にて計算科学や試作、計測との連携による新規合金開発や、合金の製造プロセスを開発することにより、欧米のエンジン部材メーカーと互角に戦える技術力を開発することが期待される。</li> </ul>

## 事業計画

- 期間：
  - ・革新的合金探索手法の開発 :適用先 航空機エンジン部材 (全般)  
2021年度～2025年度 (5年間)
  - ・革新的エンジン部品製造プロセス開発 :適用先 タービンディスク  
2022年度～2025年度 (4年間)
  - ・航空機エンジン用評価システム基盤整備 :適用先 タービンディスク/ブレード  
2021年度～2025年度 (5年間)
- 総事業費 (NEDO負担分) :  
54億円(予定)



# 報告内容

ページ構成



## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向と比較
- 他事業との関係
- アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- 知的財産・標準化戦略
- 知的財産管理



## <評価項目 2> 目標及び達成状況（概要）

- 本事業における「実用化・事業化」の考え方
- アウトカム目標の設定及び根拠
- アウトカム目標の達成見込み
- アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組
- 費用対効果及び波及効果
- アウトプット（研究開発成果）の意義
- アウトプット（研究開発成果）のイメージ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット中間目標の達成状況
- 特許出願及び論文発表



## <評価項目 3> マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制（責任体制・実施者間での連携）
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- 研究開発のスケジュール
- 目標達成に必要な要素技術
- 開発促進財源投入実績
- 進捗管理：
  - 進捗管理：動向・情勢変化への対応

# 報告内容

ページ構成



## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向と比較
- 他事業との関係
- アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- 知的財産・標準化戦略
- 知的財産管理



## <評価項目 2> 目標及び達成状況（概要）

- （1）アウトカム目標と達成見込み
- （2）アウトプット目標と達成状況



## <評価項目 3> マネジメント

- （1）実施体制
- （2）受益者負担の考え方
- （3）研究開発計画

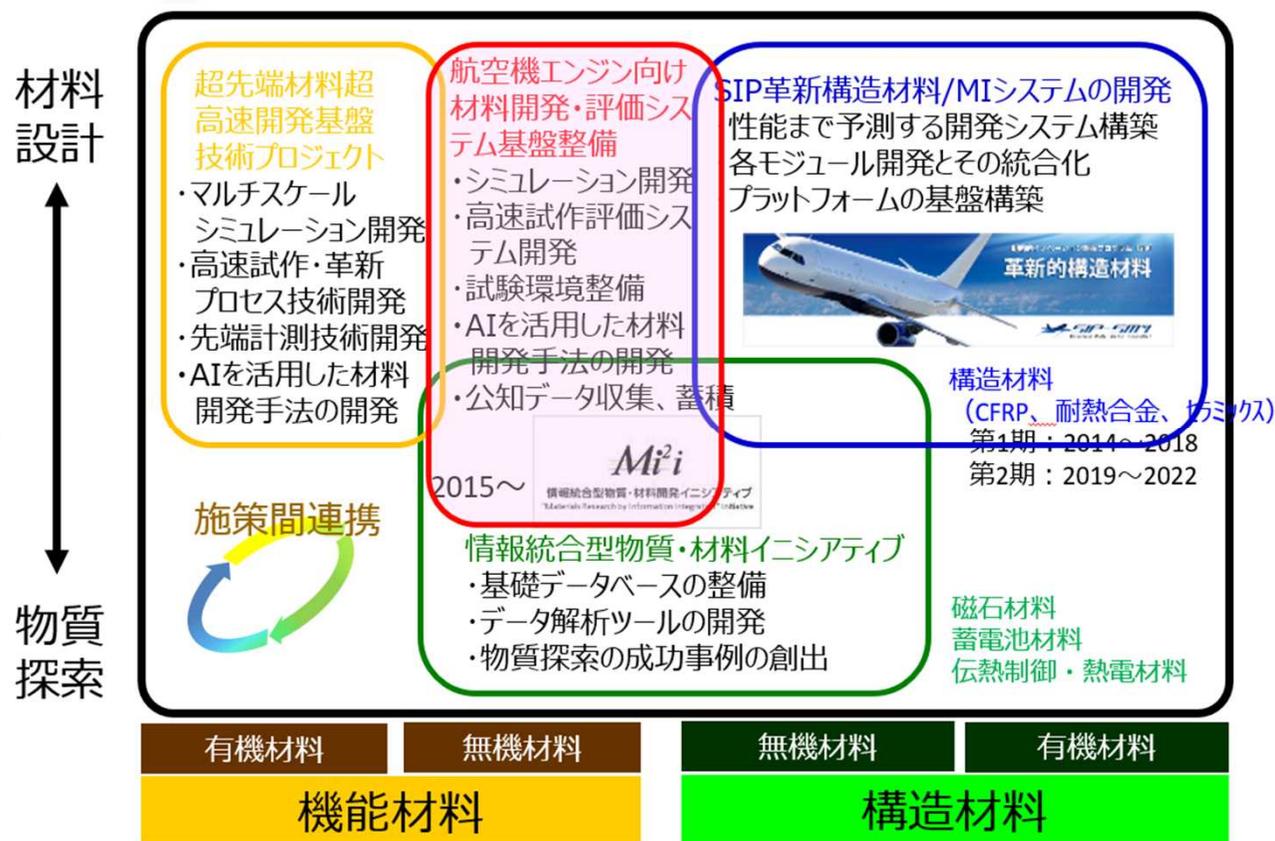
## 事業の背景・目的・将来像

- 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CO<sub>2</sub>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。

## 政策・施策における位置づけ

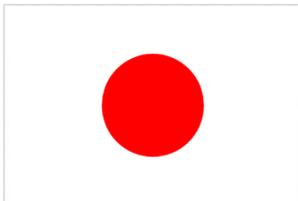
- ①2020年に文部科学省及び経済産業省が設置した「マテリアル革新力強化のための戦略策定に向けた準備会合」の中で重点技術領域（例）として掲げられる「極限機能を有するマテリアル」及び「マルチマテリアル化技術」
- ②パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（令和元年6月閣議決定）
- ③革新的環境イノベーション戦略（令和2年1月、統合イノベーション戦略推進会議決定）
- ④「日本再興戦略」（平成28年6月閣議決定）
- ⑤「航空産業ビジョン」（平成27年12月、基幹産業化に向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議）

# 技術戦略上の位置づけ



本事業は、NEDO技術戦略研究センターにより策定されている「機能強化新合金分野の技術戦略（含：高効率モータ用磁石技術戦略）」のうち、効率的な新合金探索基盤構築と機能性新合金開発に係る技術戦略において、あるべきプロジェクトとして適切に位置付けられている。

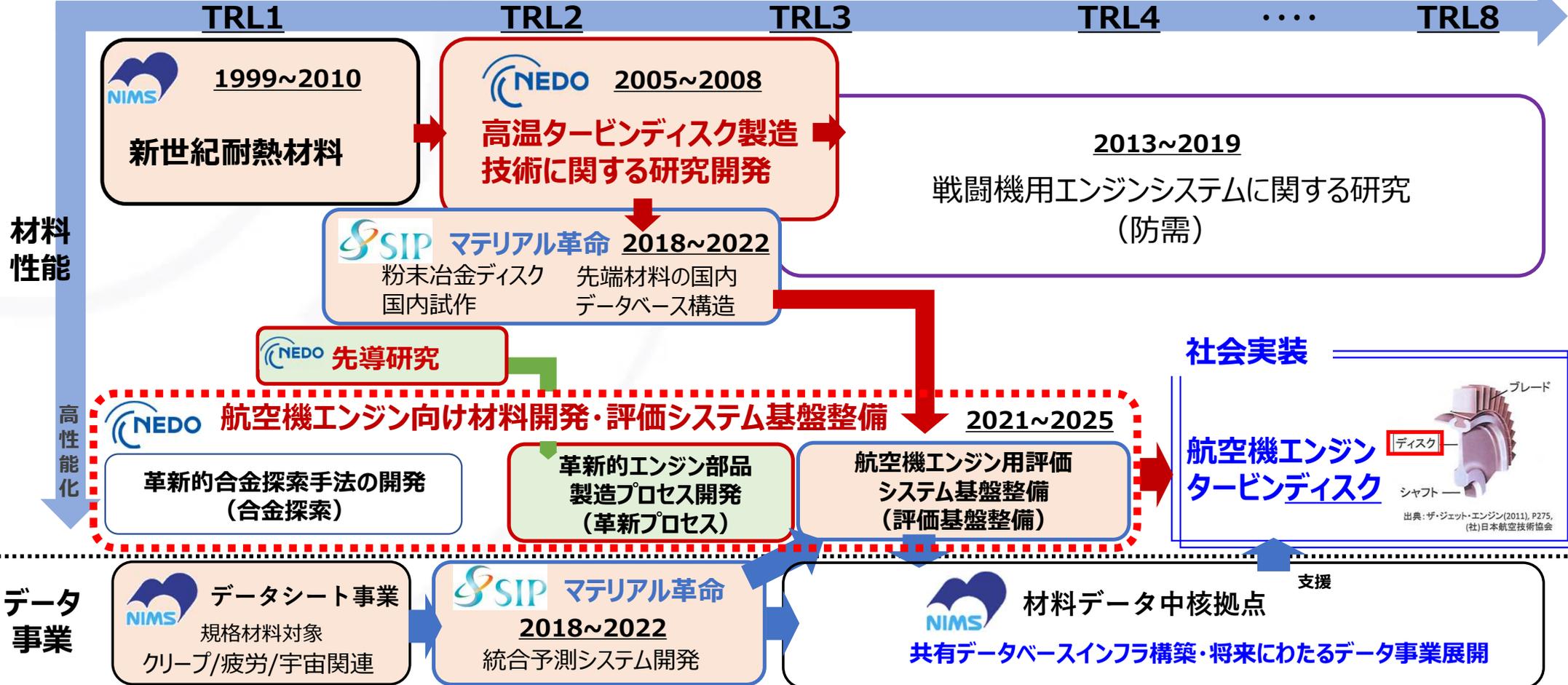
# 国内外の動向と比較

国	プロジェクト名	事業内容/対象	中心参画機関
 米国 米国が新材料開発およびデータマネジメント（輸出管理）含め世界を先導	Ultra-Efficient Engine Technology (UEET)  ULTIMATE Refractory Alloy Innovations for Superior Efficiency (RAISE)  Materials Genome Initiative (MGI)	先端航空エンジン材料・構造設計事業 1999-2006 <b>TRL 2-9</b> Ni基超合金 CMC  先端航空エンジン用新規材料設計事業 2021- <b>TRL 1-3</b> 新規耐熱材、コーティング材  材料設計・計算・DBインフラ構築事業 2011-現在 設計システム全体の構築	NASA/GE/P&W/Honeywell /Williams International /Rolls Royce  GE/Air Force Research Lab /ATL/UC Santa Barbara /Case Western Reserve Univ.  Northwestern Univ. /NIST /NASA/国防総省/米軍/国務省/エネルギー省/NNI/など多数参画
 日本	戦闘機用エンジンシステムに関する研究  SIP-革新的構造材料（航空機耐熱材料関連）  SIP-統合型材料開発システムによるマテリアル革命	防衛エンジン材料・構造設計開発事業 2013-2019 ~ <b>TRL9</b>  民間エンジン材料・プロセス開発事業 2014-2018 <b>TRL 2-3</b> Ni基超合金/CMC/Ti合金  材料設計・計算・DBインフラ構築事業 2018-2022 <b>TRL 2-3</b> 粉末プロセス+予測システム	株式会社IHI/防衛装備庁  NIMS/日本エアロフォーシ/日立金属/大同特殊/神戸製鋼/大学多数 など  NIMS/MHI/HONDA/IHI/KH I/JAXA/大学多数 など



# 他事業との関係（エンジン部材：タービンディスク）

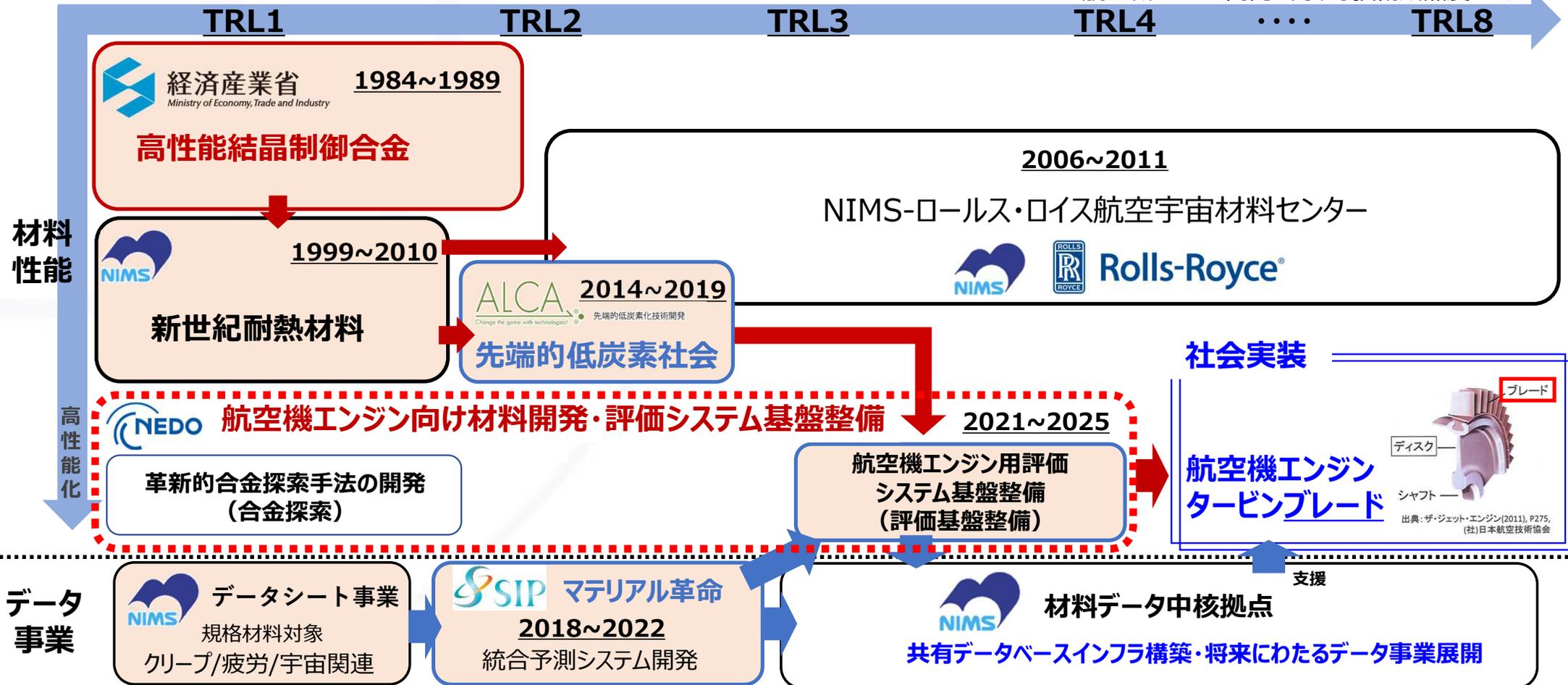
TRL: 航空機エンジン開発に対する技術成熟度レベル





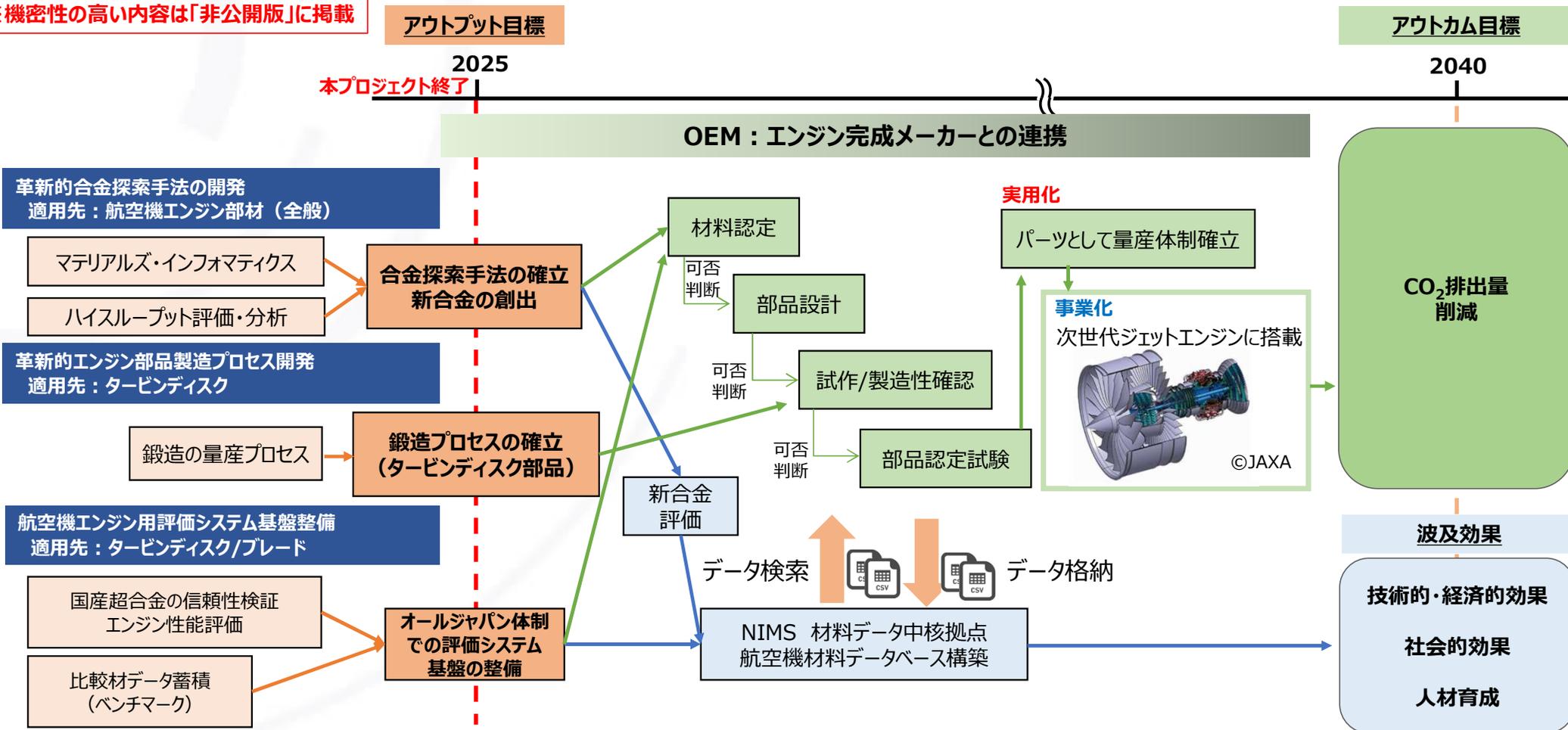
# 他事業との関係（エンジン部材：タービンブレード）

TRL: 航空機エンジン開発に対する技術成熟度レベル



# アウトカム（社会実装）達成までの道筋

※機密性の高い内容は「非公開版」に掲載





# 知的財産・標準化戦略

※標準化戦略は本事業の評価対象外

## ●オープン・クローズ戦略

基礎的で広く産業の発達に寄与する技術は公開（特許/論文）  
 実用化技術（設計情報）は非公開（ノウハウ秘匿or限定開示）

	非競争域	競争域
公開	自動分析技術	マテリアルズ・インフォマティクス
非公開	材料寿命予測技術	積層造形技術
	エンジン部材データベース収録DATA	
	←ユーザ登録すれば閲覧可能→	←国研NIMSのみ閲覧可能→
		鍛造プロセス技術

合金探索
  革新プロセス
  評価基盤整備

## ●特許戦略

革新的合金探索手法の開発（合金探索）  
 ・基本技術について特許出願する。

航空機エンジン用評価システム基盤整備（評価基盤整備）  
 ・超合金の基本特許は国内外で本事業開始前に権利化済み  
 ・“もの”特許（改良/周辺特許等）の出願を検討する。

### 参考)

革新的エンジン部品製造プロセス開発（革新プロセス）  
 ※知財等は助成先に帰属

基本/周辺特許ともに本助成事業の提案前に特許出願完了  
 NEDO事業での特許は、都度追加出願の必要性を判断し、出願

# 知的財産管理

## ● 知的財産権の帰属

産業技術力強化法第17条（日本版バイ・ドール規定）を適用し、知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属する。

## ● 知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項

NEDO知財方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成し、運用中。

## ● データマネジメントに係る基本方針（NEDOデータ方針）に関する事項

NEDOデータ方針に記載された「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「データの取扱いに関する合意書」を作成し、運用中。

# 報告内容

## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

## <評価項目 2> 目標及び達成状況（概要）



- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

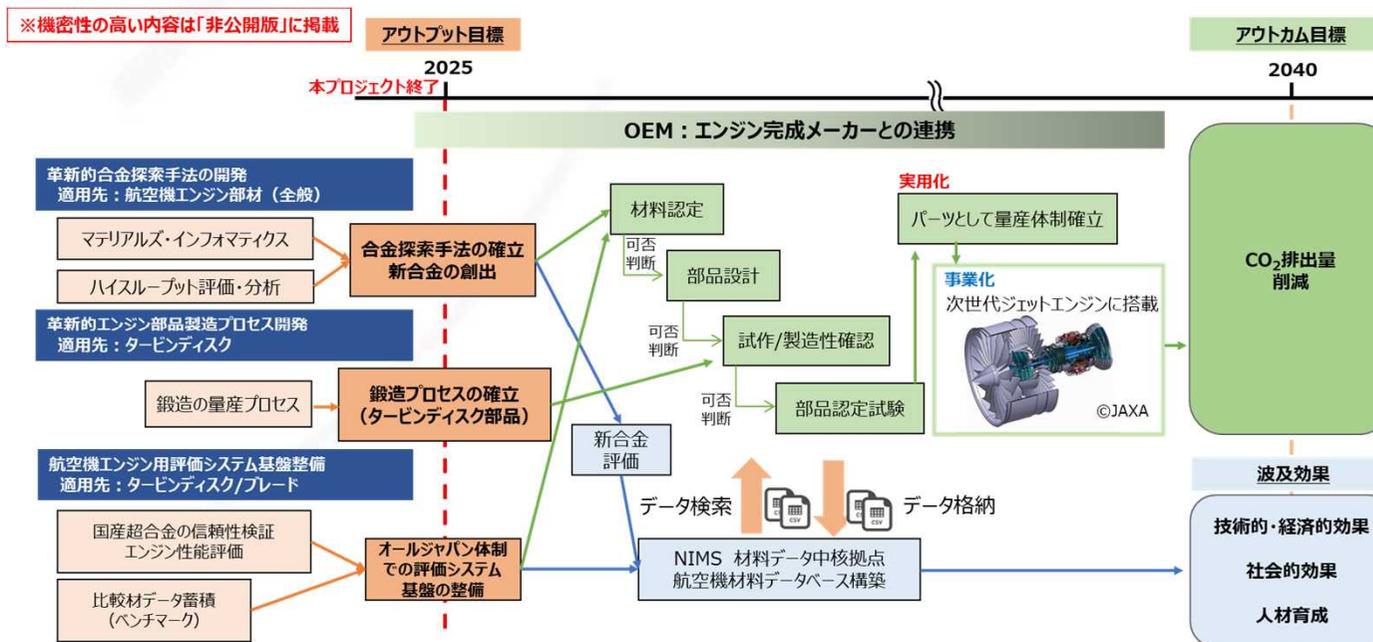
- 
- 本事業における「実用化・事業化」の考え方
  - アウトカム目標の設定及び根拠
  - アウトカム目標の達成見込み
  - アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組
  - 費用対効果及び波及効果
  - アウトプット（研究開発成果）の意義
  - アウトプット（研究開発成果）のイメージ
  - アウトプット目標の設定及び根拠
  - アウトプット中間目標の達成状況
  - 特許出願及び論文発表
- 

## <評価項目 3> マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

# 本事業における「実用化・事業化」の考え方

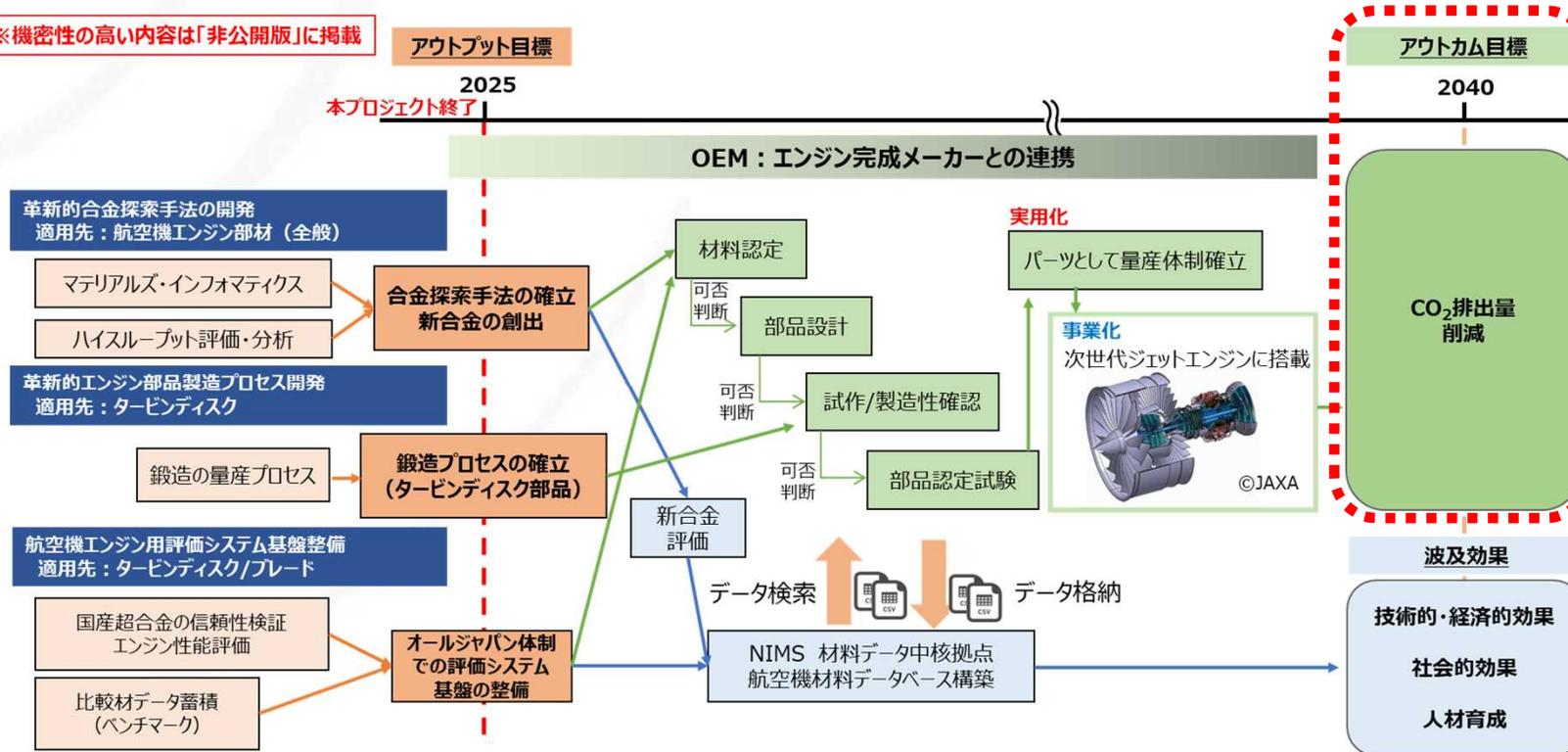
プロジェクト類型	実用化・事業化の考え方
標準的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に、 <b>事業化</b> まで達することを旨とする研究開発
基礎的・基盤的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、 <b>実用化</b> まで達することを旨とする研究開発
知的基盤・標準整備等の研究開発	知的基盤・標準整備等を目的としており、研究開発成果による <b>事業化・実用化</b> を目標としていない事業



# アウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標	算出式
2040年においてCO <sub>2</sub> 排出量を93万トン／年削減する	CO <sub>2</sub> 削減量 = (ジェット燃料消費率の性能アップによるジェット燃料油の削減量) × (ジェット燃料油排出係数) ※ジェット燃料油排出係数：2.46 tCO <sub>2</sub> /k L (出典：環境省等)

※機密性の高い内容は「非公開版」に掲載



# アウトカム目標の達成見込み

※機密性の高い内容は「非公開版」に掲載

## アウトカム目標

CO<sub>2</sub>削減量 = (ジェット燃料消費率の性能アップによるジェット燃料油の削減量) × (ジェット燃料油排出係数)  
93万トン/年

※ジェット燃料油排出係数：2.46 tCO<sub>2</sub>/kL (出典：環境省等)

開発した国産耐熱合金をエンジン部材として採用した際に、ジェット燃料消費率の性能がどの程度向上するかを見積もるエンジンモデルの開発が必要となる。 ※ジェットエンジンのモデリング技術は既に保有

### STEP1 (済)

将来を考慮した機体モデル・  
エンジンクラスの選定

航空機エンジン技術全般（推力、  
燃費、全体圧力比、バイパス比、等）  
について過去数年から近い将来  
までの動向調査

### STEP2 (予定通り)

選定したエンジンモデルの開発

- ・エンジン全体モデル
- ・エンジンサブコンポーネントモデル
- ・開発対象  
タービンブレード・ディスク

### STEP3

国産耐熱合金を採用した際の  
ジェット燃料消費率の算出

取得した材料データベースを  
エンジンモデルに入力して検証

# アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

※機密性の高い内容は「非公開版」に掲載

民間旅客機の航空機エンジンにおいて、これまで我が国が参入できていない部品に関して、オールジャパン体制で国産超合金の信頼性を担保し、燃費の良い次期エンジンに搭載していくことで、CO<sub>2</sub>排出量を削減する。

**Tier1 :**  
エンジンメーカーにエンジン部品を供給するメーカー

**IHI** Realize your dreams

**Kawasaki**  
Powering your potential

**三菱重工航空エンジン**

**OEM :**  
Original Equipment Manufacturer

**HONDA**

**Tier 2 :** 部品用素材メーカー

**PROTERIAL**  
(旧 ; 日立金属)

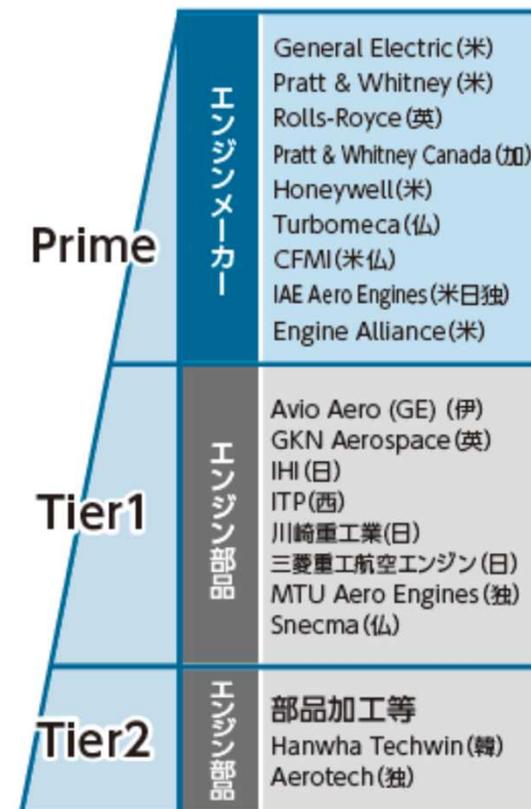
**国研 :** 我が国の航空機エンジン産業を支援

**NEDO** 国立研究開発法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

**NIMS** 国立研究開発法人  
物質・材料研究機構

**JAXA**  
**産総研**

航空機エンジン産業のメーカー俯瞰図



資料：中部経済産業局「航空機産業海外ビジネスのヒントと知財対策」H28.2

# 費用対効果及び波及効果

※機密性の高い内容は「非公開版」に掲載

大分類	中分類	効果	備考
費用対効果 (見込み)	CO <sub>2</sub> 排出削減量	930,000ton/年 (目標)	2040年度
	ジェット燃料油の削減量	378,000kL/年 (目標)	ジェット燃料油排出係数*1 2.46 ton-CO <sub>2</sub> /k L *1:出展 環境省等
	ジェット燃料油の費用削減	<b>33,370百万円</b> /年 (見込)	Jet Fuel Price*2:106 \$ /bbl, *2:IATA公表値: 6 April 2023、為替レート: 132円/\$
	<b>本プロジェクト事業費</b>	<b>5,400百万円</b> (予定)	NEDO負担額 (2021年~2025年)

大分類	中分類	効果
波及効果 (見込み)	技術的・経済的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業用ガスタービンへの適用も想定され、発電分野でのCO<sub>2</sub>削減が期待される</li> <li>合金探索システムは、異業種の優れた新材料の開発スピード向上が期待される</li> </ul>
	社会的効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本国内の競合他社が共通利用できる材料データベースの枠組みは、異業種の材料開発・材料評価のモデルケースとなり、我が国の国際競争力を高める。</li> </ul>
	人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>我が国の強みである超合金分野の技術伝承を行い、航空機エンジンの最重要技術に携わることで技術ノウハウを蓄積し、航空機エンジン産業を牽引する人材を育成する。</li> </ul>

## アウトプット（研究開発成果）の意義

### ■「革新的合金探索手法の開発」（合金探索）TRL0～1

- ①フェーズAでは合金探索に必要な良質のデータを大量かつ高速に収集し、マテリアルズ・インフォマティクスを利用して所望の特性を有する合金の探索時間を大幅に短縮するデータ駆動型の革新的な合金探索手法を開発する。
- ②フェーズBではフェーズAで開発したシステムを利活用して複数の金属元素を適切に組み合わせることで、航空機エンジン部材に要求される過酷な環境に耐えることが可能な新合金を創出する。

### ■「革新的エンジン部品製造プロセス開発」（革新プロセス）TRL2

航空機エンジン部品の量産化に欠かせない、製造プロセスの効率化・高度化する。従来の鍛造プレス機は金型材が高温下で酸化しやすいことから加工時に真空引きをする必要があるが、空气中でそのまま加工しても酸化しにくい金型材の適用により、鍛造プロセスを効率化する。また、多品種生産に対応できる金型加熱装置を開発することで、設備投資額を削減する。

### ■「航空機エンジン用評価システム基盤整備」（評価基盤整備）TRL3

- ①オールジャパン体制で航空機エンジン用評価システム基盤を整備することで、タービンディスク及びブレード部材として適用する際に必要となる基本的な材料の性能評価／信頼性評価について、我が国の産官学で共有・分担し、大幅に時間とコストを削減する。
- ②信頼性の高い材料データベースや部材として採用した際のエンジン性能を具体的に示すことで海外OEMへの訴求力が向上する。
- ③研究開発成果である材料データベースは将来創出される新規な耐熱合金に対するベンチマークとしても有効であり、所望のエンジン性能から必要な合金特性を「合金探索」にフィードバックすることで新たな耐熱合金の創出を加速する。

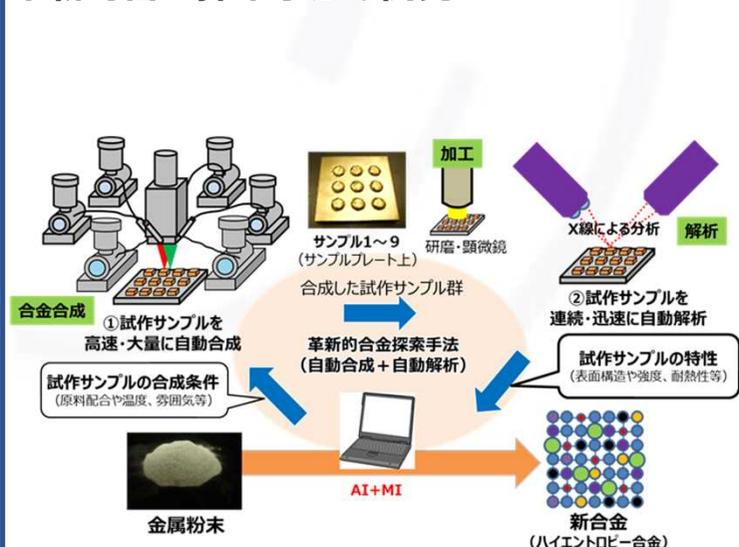
連続した研究開発により航空機エンジン向け国産材料の開発と競争力を強化し、航空機の燃費改善に貢献

# アウトプット（研究開発成果）のイメージ

TRL: 航空機エンジン開発に対する技術成熟度レベル

## TRL0~1

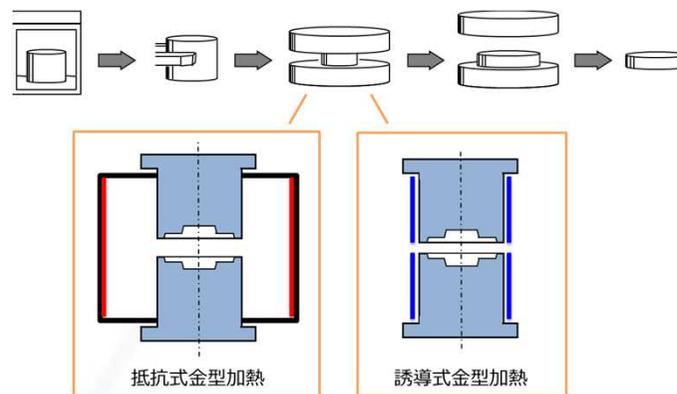
### 革新的合金探索手法の開発



適用先：航空機エンジン部材（全般）

## TRL2

### 革新的エンジン部品製造プロセス開発

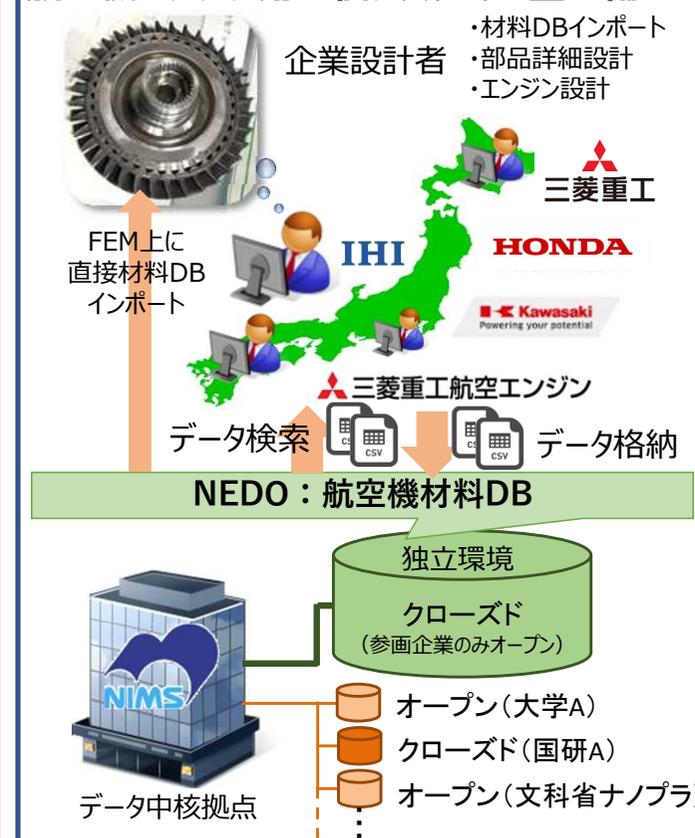


既存熱間鍛造プレスに脱着可能な2種類の金型加熱方式を開発し、要求に応じた使い分けによる高効率の鍛造を実現

タービンディスク部材

## TRL3

### 航空機エンジン用評価システム基盤整備



タービンディスク/ブレード部材



# アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
<b>革新的合金探索手法の開発</b>	委託事業		中間評価	助成事業	最終目標
革新的エンジン部品製造プロセス開発					
航空機エンジン用評価システム基盤整備					

研究開発項目	中間目標 (当初)	中間目標 (中間評価時)	見直し根拠
合金探索	<ul style="list-style-type: none"> <li>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1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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記に追加 (自動合成 : 質の向上)</li> <li>高品質な合金を自動合成し、複数の分析装置により、20サンプル/1日以上データを取得可能なシステムを構築する。高品質であることは、インコネル718との強度比較検証及び溶け残り異常が無いことにより確認する。また合金合成時の条件パラメータと品質の関連性のマッピングを行う。</li> </ul>	<p>技術推進委員会でのご助言を受け、航空機エンジン水準の高品質な合金を作製可能な自動合成システムを開発すべく、目標設定及び検討期間の見直しを行った。上記により、ユーザー企業にとって、更に魅力的な合金探索システムを構築し、助成事業に繋がる確度を高める。</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>元素を選択し、金属組織像、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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記に追加 (MI-AI統合化プロセスインフォマティクス : 機能の強化)</li> <li>MI-AI統合化プロセスインフォマティクスツールを開発する。具体的には、機械学習を適用した以下のソフトウェアを組み合わせる。                         <ul style="list-style-type: none"> <li>HEAとなる条件を満たす合金組成を提案するソフトウェア</li> <li>安定した品質が得られる最適な自動合成条件を導くソフトウェア</li> <li>材料特性に優れた合金組成を導出するソフトウェア</li> </ul> </li> </ul>	

# アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
<b>革新的合金探索手法の開発</b>	委託事業		中間評価	助成事業	最終目標
革新的エンジン部品製造プロセス開発					
航空機エンジン用評価システム基盤整備					

研究開発項目	最終目標 (当初)	最終目標 (中間評価時)	見直し根拠
合金探索	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>	同左	—

# アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
革新的合金探索手法の開発	→	→	→	→	→
<b>革新的エンジン部品製造プロセス開発</b>		<b>助成事業</b>	<b>中間評価</b>	<b>中間目標</b>	<b>最終目標</b>
航空機エンジン用評価システム基盤整備	→	→	→	→	→

研究開発項目	中間目標 (当初)	中間目標 (中間評価時)	見直し根拠
革新プロセス	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。	同左	—
	抵抗式金型加熱： 金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10℃となる抵抗式金型加熱システムを開発し、その機能を検証する	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 左記に追加</li> <li>・形状：円板形状</li> <li>・金属組織：平均粒径ASTM No. 8(22μm)あるいはそれより細粒であること (ASTM E112 による)</li> </ul>	採択審査委員会でのご助言を受け、鍛造プロセスに関する目標設定だけでなく、 <b>製造されるエンジン部品の物性に関する目標を追加</b> することで、成果の最大化を図る。
	誘導式金型加熱： 金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30℃となる誘導式金型加熱システムを開発し、製品相当素材の試作を通して、その機能を検証する	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 左記に追加</li> <li>・形状：設定した製品形状が得られる型打鍛造形状</li> <li>・金属組織：平均粒径ASTM No. 8(22μm)あるいはそれより細粒であること (ASTM E112 による)</li> </ul>	



# アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
革新的合金探索手法の開発	進捗	進捗	進捗	進捗	進捗
<b>革新的エンジン部品製造プロセス開発</b>		<b>助成事業</b>	<b>中間評価</b>	<b>中間目標</b>	<b>最終目標</b>
航空機エンジン用評価システム基盤整備	進捗	進捗	進捗	進捗	進捗

研究開発項目	最終目標 (当初)	最終目標 (中間評価時)	見直し根拠
革新プロセス	経済合理性を担保した国内における航空エンジン部品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。	同左	
	抵抗式金型加熱： さらに高い品質要求を安定して実現するための鍛造前素材加熱システムを構築し、その機能を検証する。併せて製品種毎に熱処理直後の冷却速度の制御が可能な熱処理システムを構築し、その機能を検証する。構築したシステムを用いて、製品相当素材を試作し、製品相当素材が以下の特性を満足することを確認することにより、量産適用性を検証する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 左記に追加</li> <li>・形状：型打鍛造形状</li> <li>・金属組織：平均粒径ASTM No. 8 あるいはそれより細粒であること</li> <li>・引張特性：(649℃あるいは650℃にて)引張強さ1300MPa以上、耐力1000MPa以上、伸び10%以上、絞り10%以上</li> </ul>	(前スライドと同じ) 採択審査委員会でのご助言を受け、鍛造プロセスに関する目標設定だけでなく、製造されるエンジン部品の物性に関する目標を追加することで、成果の最大化を図る。
	誘導式金型加熱： さらに製品相当素材の試作実績を増すとともに、製品相当素材が以下の特性を満足することを確認する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 左記に追加</li> </ul> 同上	

# 前身事業の成果に基づくアウトプット目標の設定及び根拠

## 革新的エンジン部品製造プロセス開発 (革新プロセス)

※中間評価時に変更なし (事前評価時と同じ)

**【アウトプット目標】：研究開発項目「革新的エンジン部品製造プロセス開発」(革新プロセス) 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。**

### 抵抗式金型加熱：

金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10℃となる抵抗式金型加熱システムを開発し、その機能を検証する

### 誘導式金型加熱：

金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30℃となる誘導式金型加熱システムを開発し、製品相当素材の試作を通して、その機能を検証する

### 前身プロジェクトや先導研究等

2019～2020年度のNEDO先導研究において、抵抗式金型加熱試験機を作製。各種評価を通して、1100℃までの金型表面温度条件下で±10℃の温度分布が得られていることを確認するとともに、実鍛造プレス用加熱装置の設計技術を獲得。併せて望ましい金型内温度測定位置等を検討。

### 取組の成果とその評価

獲得した設計技術を活用して、6000ton油圧プレス用の抵抗式金型加熱装置の仕様検討、設計を実施。温度監視点の考え方を装置設計に反映。また独自の事前数値解析によって、±10℃の実現性が高いことを確認。

# アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
革新的合金探索手法の開発	委託事業		中間評価	中間目標	最終目標
革新的エンジン部品製造プロセス開発	委託事業				最終目標
<b>航空機エンジン用評価システム基盤整備</b>	<b>委託事業</b>				最終目標

研究開発項目	中間目標 (当初)	中間目標 (中間評価時)	見直し根拠
評価基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料カタログデータベースを構築し、そこで得られたデータから部材として使用する候補材料を選定する。</li> <li>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）を想定することを可能とするデータベースを構築する。</li> </ul>	同左	—

研究開発項目	最終目標 (当初)	最終目標 (中間評価時)	根拠
評価基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>航空機エンジン用の評価システム基盤を整備し、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）を可能とするデータベースを構築する。</li> </ul>	同左	—



# アウトプット中間目標の達成状況

※機密性の高い詳細版は「非公開版」に掲載

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

研究開発項目	中間目標 (要約版) (2024年3月時点)	成果 (実績) 概要 (2023年3月時点)	達成度 (見込み)	達成の根拠/ 解決方針
合金探索	<ul style="list-style-type: none"> <li>高品質な合金を自動合成し、複数の分析装置により、20サンプル/1日以上データを取得可能なシステムを構築する。</li> <li>MI-AI統合化プロセスインフォーマティクス (HEA条件の算出/最適な自動合成条件/優れた合金組成提案) ツールを開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高品質な合金を自動合成し、複数の分析装置により、20サンプル/1日以上データを取得可能なシステムを構築した。高品質であることは、インコネル718との強度比較検証及び溶け残り異常が無いことにより確認すると共に合金合成時の条件パラメータと品質の関連性のマッピングを行った。</li> <li>MI-AI統合化プロセスインフォーマティクスツールを開発した。</li> </ul> <p>具体的には、機械学習を適用した以下のソフトウェアを組み合わせた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HEAとなる条件を満たす合金組成を提案するソフトウェア</li> <li>安定した品質が得られる最適な自動合成条件を導くソフトウェア</li> <li>材料特性に優れた合金組成を導出するソフトウェア</li> </ul>	○ 2024年3月に達成見込み	開発項目が多い中で、目標値をクリアしつつ、補助事業に向けて必要な環境整備や材料探索の試行実験に取り組んでいる。
革新プロセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>金型表面温度1000～1100℃下で温度差±10℃[抵抗式金型加熱]、±30℃[誘導式金型加熱]</li> <li>被加工材が円板形状[抵抗式金型加熱]、設定した製品形状が得られる型打形状[誘導式金型加熱]で、かつ平均粒径ASTM No. 8(22µm)以上の細粒金属組織</li> </ul>	抵抗式金型加熱については、金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±10℃となるシステム、誘導式金型加熱については、金型表面温度1000～1100℃において、金型表面の被加工素材との接触域での温度差が±30℃となるシステムを構築すべく、主要な装置と関連する金型の作製を進めた。	○ 2024年3月に達成見込み	装置、金型ともに2022年度作製計画に沿った進捗、抵抗式金型加熱装置は数値解析等でも設計の適正を事前評価、誘導式金型加熱装置は基本的機能を確認完了
評価基盤整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料カタログデータベースを構築し、そこで得られたデータから部材として使用する候補材料を選定する。</li> <li>国内エンジンメーカーにおいて、1部材以上の活用 (部材に使用する認定材料の選定) を想定することを可能とするデータベースを構築する。</li> </ul>	国内エンジンメーカー1社において、データベース構築中のTMS-238およびTMW-4M3に関してそれぞれ適合する2部材への活用の検討が始まった。	◎ 2024年3月に達成見込み	目標である1部材以上を上回る2部材での適用が検討されている。



# 報告内容

## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

## <評価項目 2> 目標及び達成状況（概要）



- (1) アウトカム目標と達成見込み
- (2) アウトプット目標と達成状況

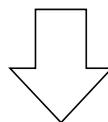
## <評価項目 3> マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画

- NEDOが実施する意義
- 実施体制（責任体制・実施者間での連携）
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- 研究開発のスケジュール
- 目標達成に必要な要素技術
- 開発促進財源投入実績
- 進捗管理：
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応

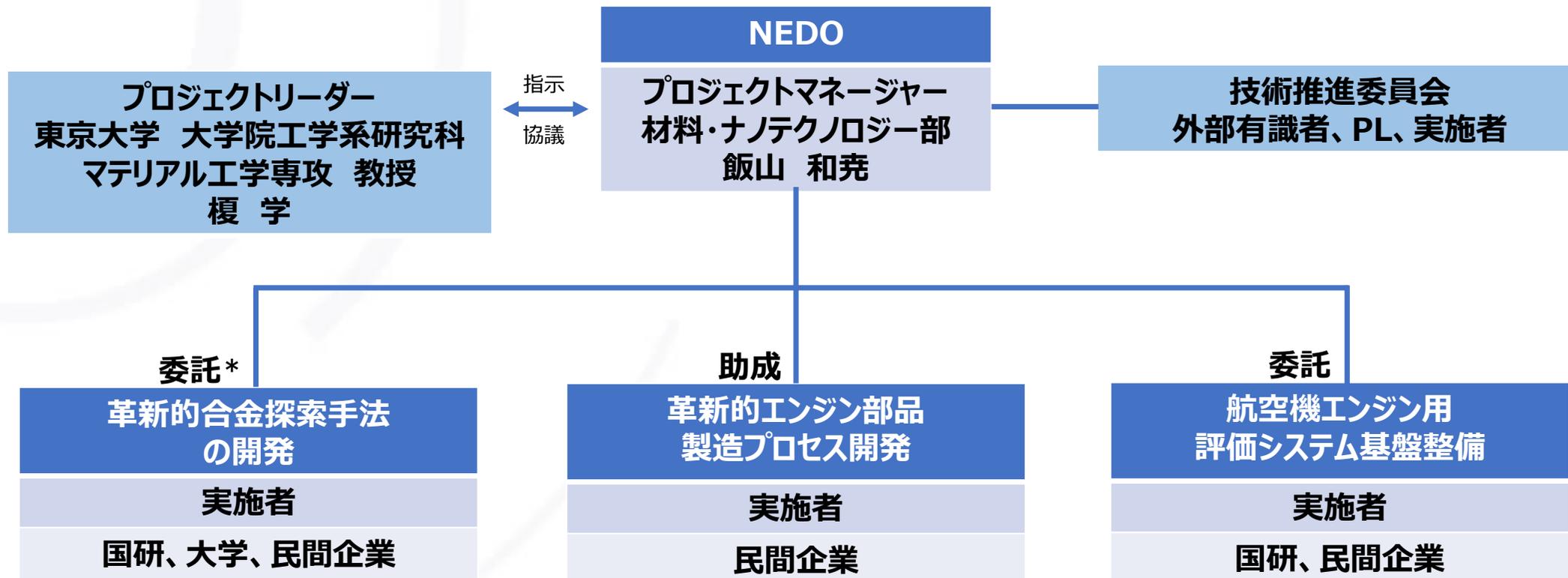
## NEDOが実施する意義

- NEDOは第四期中期計画におけるミッションとして、「技術戦略に基づいたチャレンジングな研究開発の推進」を掲げ、リスクが高い研究開発テーマにも果敢に挑戦することが求められている。また産業技術分野の目標として、「次世代航空機をリードするような、低コスト化等に寄与する先進技術等に関する技術開発に取り組む」（抜粋）ことを掲げている。
- 本プロジェクトの狙いは、産業構造の裾野が広い航空機産業の国際競争力を維持・拡大し、これらを他産業分野へ波及させることにより、輸送機器をはじめとした様々な分野における製品の高付加価値化を進めることで日本の主要産業の競争力を強化し、新たな産業創成を目指すものであることから、NEDOのミッションと合致する。さらに、素材開発から材料、部材と航空機に採用されるまでには非常に長い研究開発期間を要するためリスクが大きく、また単独企業での開発ではなく産学官の密接な連携の下で激化する厳しい国際的な産業競争に勝つ必要があることから、NEDOプロジェクトとしての実施が必要である。
- 「機能強化新合金分野の技術戦略」では「顧客ニーズの高度化に適應するための材料技術開発、後工程プロセス等の最適化とのセットでの技術開発、従来材料では限界となりつつある材料特性へのブレイクスルーの創出」（抜粋）が課題として取り上げられており、本プロジェクトの狙いに合致する。



**NEDOが保有する知識・実績を活かして推進すべき事業**

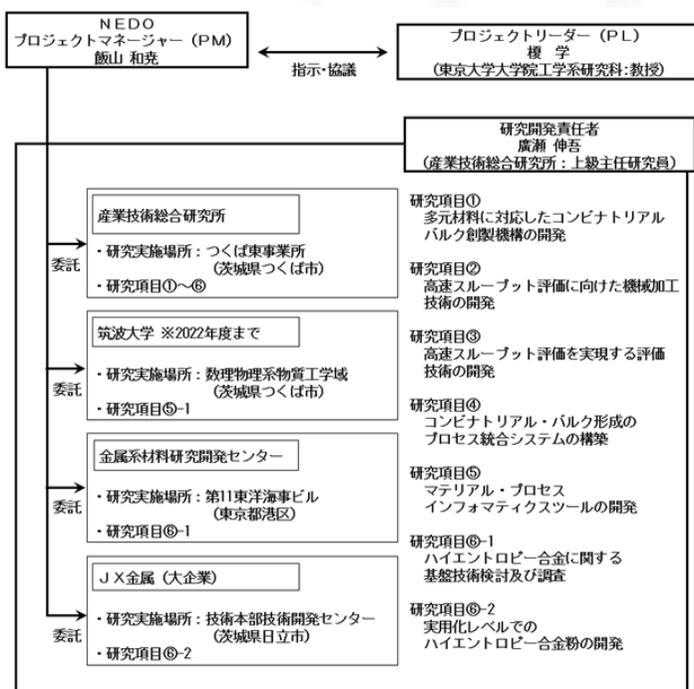
# 実施体制 (責任体制)



\* : 2021-2023年度が委託、2024-2025年度が助成

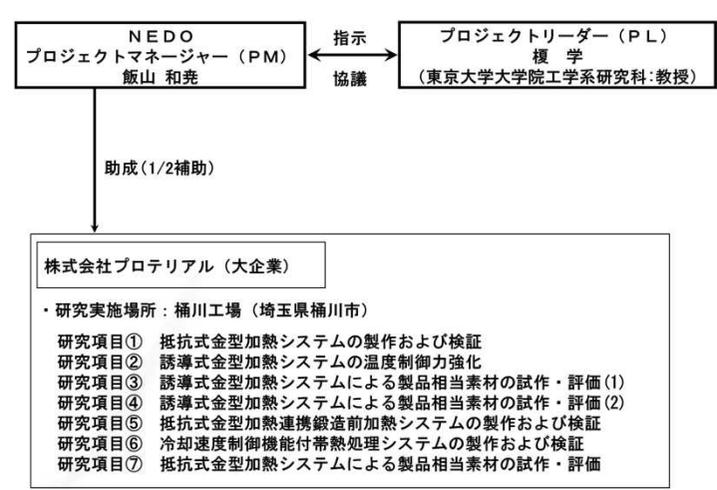
# 実施体制 (実施者間での連携)

## 革新的合金探索手法の開発 (合金探索)



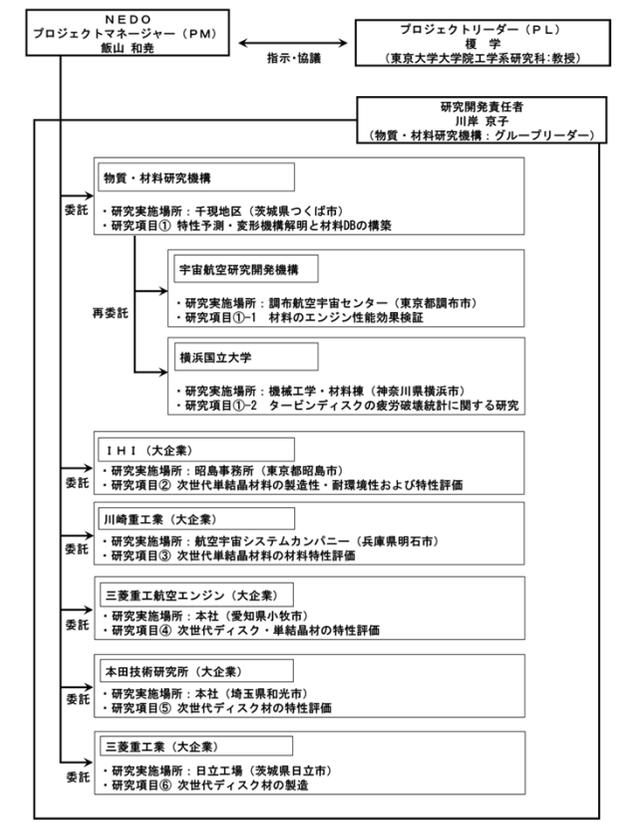
適用先: 航空機エンジン部材 (全般)

## 革新的エンジン部品製造プロセス開発 (革新プロセス)



タービンディスク部材

## 航空機エンジン用評価システム基盤整備 (評価基盤整備)



タービンディスク/ブレード部材

## 個別事業の採択プロセス

### ■ 2021年度開始事業

1. 対象：研究開発項目
  - ・「革新的合金探索手法の開発」（合金探索）
  - ・「航空機エンジン用評価システム基盤整備」（評価基盤整備）
2. 公募：
  - ・公募予告（1/15）⇒公募（2/18）⇒公募〆切（4/6）
3. 採択：
  - ・採択審査委員会（4/16）
  - ・審査項目；NEDOの標準的採択審査項目に加え、下記を審査項目に加えた。
    - 合金探索：本委託事業の成果（【フェーズA:システム開発】）を、後継事業（【フェーズB:合金探索】）で使用することを想定しているか。
    - 評価基盤：本委託事業で構築したデータベースについて、将来のエンジン部材整備への社会実装に向けた活用方法が示されているか。
  - ・採択条件
    - 合金探索：なし
    - 評価基盤：①海外OEMとの連携を含めた実用化迄の道筋を明確に示すこと  
整備 ②データベース構築にあたり、統計学の専門家との連携が図れる体制を検討すること
  - ・留意事項；（参考：公募要領の留意事項（20））
    - 研究の健全性・公平性の確保に係る取組；公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

### ■ 2022年度開始事業

1. 対象：研究開発項目
  - ・「革新的エンジン部品製造プロセス開発」（革新プロセス）
2. 公募：
  - ・公募予告（12/23）⇒公募（1/26）⇒公募〆切（3/1）
3. 採択：
  - ・採択審査委員会（3/28）
  - ・審査項目；NEDOの標準的採択審査項目に加え、下記を審査項目に加えた。
    - 革新プロセス：本提案の研究開発成果を社会実装させるまでの道筋が明確に示されているか。（具体的なOEM先等）
  - ・採択条件
    - 革新プロセス：航空エンジン部品（ディスク）の物性に関する目標を追加すること
  - ・留意事項；（参考：公募要領の留意事項（20））
    - 研究の健全性・公平性の確保に係る取組；公募の際にその他の研究費の応募・受入状況を確認し、不合理な重複及び過度の集中がないか確認した。

# 予算及び受益者負担

## ◆ 予算

研究開発項目	委託/助成	NEDO負担額					合計
		2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	
革新的合金探索手法の開発	委託	200	535	580			1,315
	助成 (1/2または2/3補助)				-	-	-
革新的エンジン部品製造プロセス開発	助成 (1/2補助)		76	115	-	-	191
航空機エンジン用評価システム基盤整備	委託	255	663	545	-	-	1,463
	合計	455	1,274	1,240			2,969

(単位：百万円)

## ◆ 委託及び助成事業の理由

- 「革新的合金探索手法の開発」(合金探索)【フェーズA：システム開発】、【フェーズB：合金探索】  
 フェーズA：産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り、**協調して合金探索システム開発する公共性の高い事業**であることから、**委託事業**として実施する。  
 フェーズB：フェーズAで開発したシステムを元に、大量のデータ取得を行い新合金を創出するもので、**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ることから、**助成事業**として実施する。
- 「革新的エンジン部品製造プロセス開発」(革新プロセス)  
 技術的な難易度が高く、日本の素材製造メーカーがこれまで参入出来ない領域ではあるものの、**事業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ることから、**助成事業**として実施する。
- 「航空機エンジン用評価システム基盤整備」(評価基盤整備)  
 産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り、**協調して航空機エンジン用評価システム基盤を整備する公共性の高い事業**であることから、**委託事業**として実施する。

# 研究開発のスケジュール

▼アウトプット中間目標

▼アウトプット最終目標

		2021	2022	2023	2024	2025	2026
合金探索		  					
	評価時期			中間評価			事後評価
革新プロセス							
	評価時期			中間評価			事後評価
評価基盤整備							
	評価時期			中間評価			事後評価
予算※1 (百万円)	合金探索※2 委託+助成	200	535	580	-	-	
	革新プロセス 助成	-	76	115	-	-	
	評価基盤整備 委託	255	663	545	-	-	

委託事業

助成事業

※1 : NEDO負担額

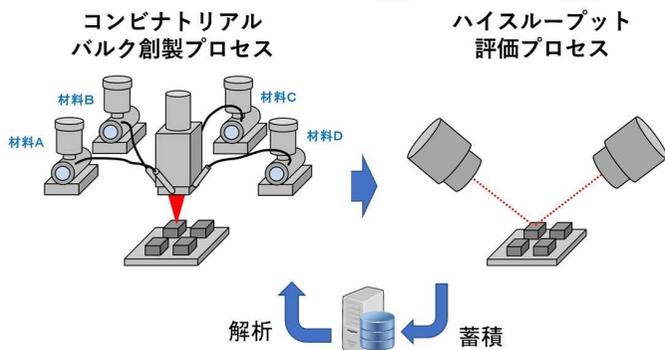
※2 : 合金探索は2021-2023年度が委託、2024-2025年度が助成

# 目標達成に必要な要素技術

## 革新的合金探索手法の開発

TRL0~1

- 自動合成・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

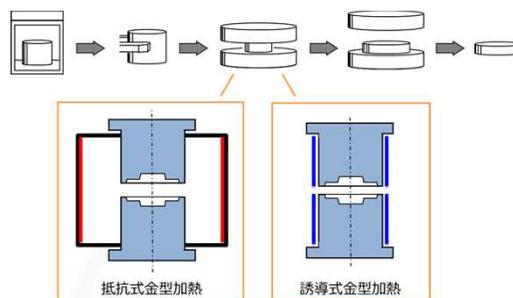


適用先：航空機エンジン部材（全般）

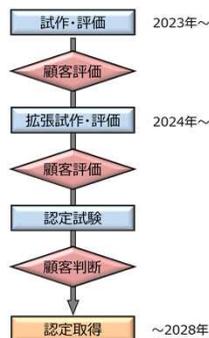
## 革新的エンジン部品製造プロセス開発

TRL2

- 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

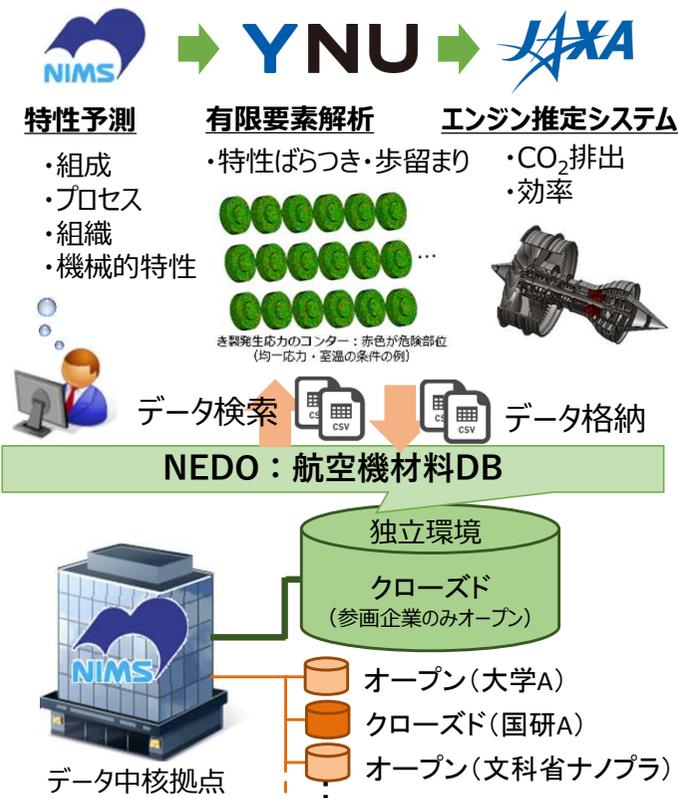


タービンディスク部材

## 航空機エンジン用評価システム基盤整備

TRL3

- データ蓄積・部材製造・評価試験



タービンディスク/ブレード部材

# 開発促進財源投入実績

目的	実施内容（追加事項）	成果・効果	開発促進費
合金探索システムの品質向上  (合金探索)	《2022年度》 航空機エンジン部材評価で重要な高温環境下でのデータを取得可能な高温試験用の機械装置等の追加導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>航空機エンジンの合金探索に有用な追加取得したデータを合金設計にフィードバックすることで、<b>より耐熱性に優れた</b>高品質な合金の創製が可能となった。</li> <li>将来のユーザー企業にとって魅力のある合金探索システムを構築することで助成事業への円滑な移行が期待される。</li> </ul>	114百万円
海外OEMへ提案するためのデータベースの構築、データベース収録内容の充実化  (評価基盤整備)	《2022年度》 <ul style="list-style-type: none"> <li>材料データ管理システムを前倒しで立ち上げ</li> <li>き裂進展試験装置の早期導入による材料破壊メカニズムの理解の深化</li> <li>製造プロセスウィンドウ評価手法の開発</li> <li>タービンディスクの疲労破壊統計に関する研究など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ構造の最適化によりユーザー企業にとって使いやすい材料DBの構築が早まる。</li> <li>高度な材料寿命予測技術の早期確立により、信頼性の高い材料DBの構築が早まり、<b>海外OEMに対しタイムリーな提案</b>が可能となる。</li> <li>完成度の高い製品形状の部材製作が可能となり、材料DBの信頼性を高めることで<b>海外OEMへの訴求力が向上</b>する。</li> <li>多角的なアプローチによる材料寿命予測技術の導入により材料DBの信頼性が高まり、海外OEMへの訴求力が更に向上する。</li> </ul>	307百万円
合計			421百万円

# 進捗管理

名称	参加者	目的	開催頻度
年間計画説明会	PL,事業者,NEDO	年度初めに計画を確認し、方針決定する	年1回
サイトビジット	PL,事業者,NEDO	研究開発現場にて技術者と意見交換する	適宜
サイドミーティング (事業者主体)	事業者,NEDO	事業者間の調整を行い、円滑なプロジェクト運営を行う	毎月
技術指導会	PL,事業者,NEDO	研究開発の進捗状況を確認し、今後の対応を協議する	適宜
予算執行状況調査	書面	研究開発が計画通り実施されているか予算面から確認する	毎月
四半期報告会	NEDO	NEDO担当理事に懸案事項/課題解決状況を報告する	四半期毎
技術推進委員会	技術推進委員, PL,事業者,NEDO	外部有識者と研究開発の方向性を議論する	年2回 程度

# 進捗管理：動向・情勢変化への対応

## ■ NEDOとしても積極的に情報収集活動に参画

当該分野で先行する米国の動向を中心に、事業者らと共に**NEDOとしても積極的に**情報収集活動（国際会議、調査機関、展示会、意見交換）に参画して研究開発の方向性を議論、プロジェクトマネジメントに役立てた。

### 「注視すべき米国での超合金開発動向」

- ・GE/NASA/Ohio State Univ.が開発したNi基超合金
- ・米国ナショナル「Material Genome Initiative」、「ULTIMATE」
- ・次世代の超耐熱合金（高融点ハイエントロピー合金）および関連要素技術

## 《主な情報収集活動》

- 2022年11月 米国材料学会（技術動向調査）



- 2022年12月 NEDO海外事務所（調査依頼）



- 2023年2月 米国金属学会（技術動向調査）



## ■ 「革新的合金探索手法の開発」（合金探索）における事業方針の見直し

技術推進委員会での結果も踏まえ、高品質かつ魅力ある自動合成システム\*<sup>1</sup>を構築すべく、実施内容の充実化及び 開発期間/費用について議論を重ね、基本計画変更の妥当性について技術推進委員会にて審議、経済産業省をはじめとする関係各所への調整を行い、事業方針を見直した。

\* 1：高品質かつ魅力ある自動合成システムとは ①高品質な合金を作製可能な自動合成システムを開発する ②MI/AIを組み合わせたシステムを高度化する。

**ご清聴ありがとうございました**

## 参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

## 研究評価委員会

### 「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」（中間評価）分科会議事録及び書面による質疑応答

日時：2023年5月31日（水）10：15～15：35

場所：NEDO川崎本部 23F 2301～2303 会議室（オンラインあり）

（神奈川県川崎市幸区大宮町 1310 ミューザ川崎セントラルタワー23F）

出席者（敬称略、順不同）

＜分科会委員＞

分科会長	三浦 誠司	北海道大学 大学院工学研究院 材料科学部門 マテリアル設計分野 教授
分科会長代理	李家 賢一	東京大学 大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授
委員	北岡 諭	一般財団法人ファインセラミックスセンター 副所長
委員	中川 成人	株式会社超高温材料研究センター 代表取締役社長
委員	中野 貴由	大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授
委員	松本 洋明	香川大学 創造工学部 先端マテリアル科学コース 教授
委員	渡邊 敏康	PwC コンサルティング合同会社 Public Services（公共事業部） 執行役員 パートナー

＜推進部署＞

林 成和	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
佐々木 訓	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 統括主幹
飯山 和堯(PMgr)	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任
小西 弘之	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査

＜プロジェクトリーダー（PL）＞

榎 学	東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授
-----	-----------------------------

＜実施者＞

廣瀬 伸吾	産業技術総合研究所 製造技術研究部門 上級主任研究員
原田 祥久	産業技術総合研究所 製造技術研究部門 研究グループ長
三宅 晃司	産業技術総合研究所 製造技術研究部門 研究部門長
松井 孝憲	株式会社プロテリアル 桶川工場 工場長
藤田 悦夫	株式会社プロテリアル 特殊鋼事業部 航空機エネルギー部 開発部長
石割 雄二	株式会社プロテリアル 桶川工場 技術部 部長
川岸 京子	物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料創製分野 超耐熱材料グループ グループリーダー
長田 俊郎	物質・材料研究機構 構造材料研究センター 材料創製分野 超耐熱材料グループ 主幹研究員

<オブザーバー>

富永 和也 経済産業省 産業技術環境局 金属課 課長補佐  
岡田 周祐 経済産業省 産業技術環境局 金属課 産業技術企画調査員

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長  
山本 佳子 NEDO 評価部 主幹  
木村 秀樹 NEDO 評価部 専門調査員  
内田 悠斗 NEDO 評価部 職員  
鈴木 渉 NEDO 評価部 専門調査員

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 意義・社会実装までの道筋
  - 5.2 目標及び達成状況
  - 5.3 マネジメント
  - 5.4 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」
  - 6.2 研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」
  - 6.3 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」
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

### 1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

### 2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価委員、評価事務局、推進部署)

**【三浦分科会長】** 北海道大学の三浦です。私は、金属材料の、特にニッケル基の超合金に関わる研究に長年携わっており、本日非常に重要な研究に対して、このような立場で臨めることを非常にうれしく思っております。どうぞよろしく願いいたします。

**【李家分科会長代理】** 東京大学の李家です。専門分野は航空機設計学や空気力学であり、主に航空機の概念設計のように機体全体に関する研究を続けております。本日は、よろしく願いいたします。

**【北岡委員】** ファインセラミックスセンターの北岡です。専門はセラミックスの腐食防食技術並びにコーティングに加えまして、固体内の拡散などを実施しております。本日は、よろしく願いいたします。

**【中川委員】** 超高温材料研究センターの中川です。今は社名が「UBE」に変わりましたが、宇部興産時代からチラノ繊維に関わる金属系並びにセラミック系の複合材料をやっておりました。その後、超高温材料研究センターに移ってから、もう16年となりますが、いろいろな高温材料に携わられる皆様方からの委託試験といったものに携わっております。本日は、よろしく願いいたします。

**【中野委員】** 大阪大学の中野です。私は、耐熱性の材料、合金、金属間化合物、生体材料といったものの結晶塑性学・材料強度学を専門にしております。最近では、3Dプリンティング、金属3D積層造形にも携わっている状況です。本日は、どうぞよろしく願いいたします。

**【松本委員】** 香川大学、創造工学部の松本です。専門は、航空機用向け金属合金の塑性加工プロセス並びに金属冶金学となります。本日は、どうぞよろしく願いいたします。

**【渡邊委員】** PwCコンサルティングの渡邊です。私は、これまで航空・宇宙産業や新エネルギーをはじめ、社会インフラを対象としたコンサルティングや中央省庁をはじめとした技術戦略の支援を行ってまいりました。本日は、このように非常に壮大なプロジェクトにおいて、評価委員といった立場で参加させて頂くことを光栄に思っております。どうぞよろしく願いいたします。

### 3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6、「プロジェクトの詳細説明」及び議題7、「全体を通しての質疑」を非公開とした。

### 4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1から4-5に基づき説明した。

### 5. プロジェクトの概要説明

#### 5.1 意義・社会実装までの道筋

#### 5.2 目標及び達成状況

#### 5.3 マネジメント

推進部署より資料5-1から資料5-3に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

#### 5.4 質疑応答

【三浦分科会長】 ご説明ありがとうございました。技術の詳細につきましては次の議題6で取り扱うため、ここでは主に事業の位置づけ、アウトカム達成への道筋、マネジメントについての議論を行います。

それでは、事前の質疑応答も踏まえて、委員の皆様、ご意見、ご質問等はございますか。北岡委員、お願いします。

【北岡委員】 ファインセラミックセンターの北岡です。ご説明ありがとうございました。全体を伺いまして、実用化を見据えた製造技術開発が行われている点に対し大いに評価できるものと思っております。また、次フェーズへの展開をより確実なものにするために、適宜開発目標を見直していかれた点も評価できると思います。その上で少しコメントと質問をいたします。まずコメントとしては、まだ始まったばかりであり、これからに期待をするところですが、開発された技術を航空機エンジンの設計や製造に生かすためにも、国際的な認知度を向上させるための取組においても目を向けていただきたい。例えば、知財を確保した上で、積極的に学術論文誌への投稿であるとか、国際会議での発表といった形でアピールして頂くのがよいと思います。

質問としては、17ページのアウトカム目標のCO<sub>2</sub>削減量についてです。このジェット燃料の消費率自体は今プロジェクトのエンジンモデルの開発の中で決定するというのですが、そうであるならば目標値の算出根拠を教えてください。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問いただきまして、ありがとうございます。アウトカム目標の算出根拠ですが、こちらは、この事業開始当初の段階ではありますが、実際に将来運航される航空機の数を見据えた上で、その航空機エンジンに対して、本事業で対象とするような新合金が搭載された場合にどの程度の軽量化、耐熱性が図られるか検討し、その結果を基に算出した数値となります。

【北岡委員】 そうすると、このジェット燃料消費率を使われたわけではないということですか。もちろん、今後このプロジェクトの中でこの値の精度を上げていかれるものと思いますが。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 おっしゃるとおりでございます。本事業のアウトカム目標の設定段階において、こちらに示しているような算出根拠自体は、実際にジェットエンジンに使われる航空機エンジンから軽量化等を基にしたCO<sub>2</sub>の削減量を算出しておりますが、アウトカム目標の達成度はこちらの消費率を基にして算出したいと考えている次第です。

【北岡委員】 分かりました。ありがとうございます。

【三浦分科会長】 それでは、ほかにかかがでしょうか。李家分科会長代理、お願いします。

【李家分科会長代理】 李家です。詳しいご説明をありがとうございました。今のご質問とも関連いたしますが、3点ほど伺います。まず1つ目は、16ページにおけるアウトカムのご説明のところですが、こちらの事業としては、右のほうにあるパーツとして量産体制を確立し次世代ジェットエンジンに搭載するということが目標であり、今後、事業終了後もこの活動を行っていかれるものと思っております。今ご説明がありましたアウトカム目標のCO<sub>2</sub>削減量として考えた場合には、今回の事業ではこういった材料や要素技術を開発するものの、アウトカムを実現するためには、やはりエンジンが売れなくては行かないと。そうすると、そのあたりのところでOEMに飛行機へエンジンを搭載してもらえるようになるかという流れがどうしても入ってくるように思います。ですので、そのように見ると、このアウトカムが、それまでの活動に対してここで一気に飛躍しているような印象も受けました。この点に関しての考え方を教えてくださいと幸いです。

次に2つ目ですが、やはりエンジンを実際に使ってもらうためには認証を受けることと、特に標準化への対応という部分が非常に重要であると考えます。これは確認の意味も込めて伺いますが、12ページに赤字で上のほうに「※標準化戦略は本事業の評価対象外」との記載がありますので、そこまでは行わないものと理解いたしますが、もし標準化戦略に対しNEDO殿のほうで既にお考えをお持ちなら

れるのであれば、教えていただきたく思います。

最後に3つ目ですが、我々が評点をつける際の文章を見ると、「幅広いステークホルダーに情報を発信するための具体的な取組が行われていること」といった文言があります。それについて、資料29ページのところで、いろいろな情報発信をされるといったご説明をいただきましたので理解をいたしました。そういった情報発信をした後に外部からのフィードバックを受ける場合が考えられますが、それをこの事業に反映していかれるのかどうか。その点に関して特に方策を持っておられましたら教えてください。以上3点につきまして、よろしくお願いいたします。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** ご質問いただきまして、ありがとうございます。最初に1つ目ですが、こちらは実際のアウトプットからアウトカムまでのつながりの部分に対するものと理解いたしましたので、もう少し我々の考え方について補足をいたします。まず、本事業は、李家委員からご指摘いただいたように、材料開発を中心として実施するものであり、エンジンに搭載されてCO<sub>2</sub>排出量削減を目指すところまでは、その間を埋めるための取組が必要になると考えている次第です。その内容を記載したものが16ページの図となるのですが、こちらのオレンジ色の枠にあるのが本事業のアウトプット目標という形になりまして、この中ではいわゆる材料開発とそのデータベースの構築という2つの軸が走っております。まずは、OEMメーカーに対してこのエンジン材料を採用していただくために、材料認定試験を完了させていく必要があるという考えの下、特に評価基盤整備の中で構築をしたデータベースを使用しながら、材料認定から認定試験を完了させるところまでのフェーズを進めていくことを考えております。さらに、この事業の中で開発した合金が、先ほど申し上げたような認定プロセスを経て実際に認定された際には量産体制を確立し、さらにその後、搭載されていくことを目指すといった流れです。その実用化・事業化の流れにあたっては、海外OEM、エンジンメーカーとの連携が非常に重要となってまいります。したがって、このプロセスを進めていく中で、その都度OEMメーカーとも連携をしながら進めていくような形を考えているところです。少しまとめますと、最終的にはエンジンメーカー、OEMメーカーと連携をし、認定試験を完了した上でエンジンに対して採用いただく、そして最終的な目標であるアウトカム目標の達成を目指す、このようなストーリーを描いております。

続きまして2つ目、12ページの標準化戦略のところでも右上に記載している「※標準化戦略は評価対象外」につきまして、こちらは当初想定していた内容として、国際標準化をこの事業の中で考えているかどうかというのがこの項目に対する評価指標となっております。それに対し、本事業の中では、まずはオールジャパン体制で材料データベースを構築、そして材料開発を目指していくという位置づけにあることから、本事業の評価対象外という形での標準化戦略の位置づけに至っておりますが、一方で、各社特許戦略等にも記載してあるように、本事業の中で得られた成果やノウハウに関しては出願を検討していくことによって、ある種、標準化を考えているというところになります。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_小西】** プロジェクト担当の小西です。標準化の点に関しまして飯山が説明したとおりですが、我が国の耐熱合金を世界に広く使っていただくために、本事業の成果物として材料カタログスペックを公開することによって興味を持っていただくという考え方でやっていることも補足をいたします。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** 続きまして、3つ目のところで、例えば29ページ目に載せているような形で我々が情報発信をした結果、どのようなフィードバックがあることを想定されているかという趣旨として理解いたしましたが、こちらにつきましては、まずは我々の中で実施している事業の取組を対外的に発信することにより、我々が取り扱っている超合金に関して「こういった材料の性能であればぜひ使ってみよう」といったメーカーからの声をいただけることで、この事業の実用化が進んでいくものと考えます。また、これは合金探索のフェーズ等になりますが、例えば合金探

索システムに関して航空機エンジン用途での利活用を想定されるとか、あるいは、さらにそれ以上の性能に関して利活用を想定しているといったようなお声をいただければ、ぜひそちらへの利活用にもつなげていただけるものとして考えていますので、そういった形で我々の情報発信にフィードバックをいただきたいと思っている次第です。

【李家分科会長代理】 分かりました。どうもありがとうございました。

【三浦分科会長】 それでは、ほかにかかがでしょうか。中川委員、お願いいたします。

【中川委員】 中川です。プロジェクトが中間目標に向けて順調に進んでいるものと見て取れましたが、1つ教えてください。知財戦略の観点として、国内外で今いろいろと出願の準備なりをされているところと思うものの、今のところはゼロだということで、今後どのように進めていかれるのか伺えたらと思います。

そして、これはコメントになります。最後の締めくくりとして飯山様がおっしゃられていた、特に米国の学会なり主要研究開発機関を訪問されたところでは、米国でもかなり大がかりなプロジェクトが立ち上げられて同じような合金開発が進められているということで、その予算的な規模感であるとか内容的なことであるとか、実際に見て感じ取られた印象としてはどのようなものだったかを伺いたいです。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問いただきまして、ありがとうございます。まずは1点目の知財関係について、今お示ししているこちらの件数が今後どのように推移していくかというところでは、先ほど知財戦略の箇所でも申し上げたとおり、いずれの項目においても、この事業で得られた成果を必要に応じてしっかりと出願していくことを検討しております。現時点におきましては一旦ゼロという形にはなっていますが、今後少しでも増加させていければと考えている次第です。

次に2点目について、米国の学会等に参加させていただいたところに関しましては、実際に米国で実施されるナショプロ等の情報も得たところですが、こちらに対する私どもの所見としては、非常に大規模な府省横断的な連携が実施されている点が参考になるところでありました。日本の中でも、産学官連携が実施されており非常に重要なところとして考えていますが、米国では、さらにそれを超えた形で府省をまたいだ分野で技術交流がされているという理解です。そういった意味でも、日本以上に広い枠組みの中で事業に取り組まれているという印象を持っております。

【中川委員】 分かりました。ありがとうございます。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ありがとうございます。

【三浦分科会長】 それでは、ほかにかかがでしょうか。中野様、お願いいたします。

【中野委員】 大阪大学の中野です。飯山様からのご説明を伺いまして、非常によく理解できました。やはり、こういった耐熱材料の開発から実用化に至るデータベースの構築というのは大変重要なテーマであります。アメリカでも見られてきたということで、すごく競争的な領域ではありますが、その部分でしっかりとベースを持っておかなければ、日本もなかなかものづくり大国としてはやっていけない。ましてや、FAAの認証までということになると、今、航空機を飛ばせていない日本は材料で勝負するしかないといったところでしょうか。そういう意味で、いろいろと中間目標、最終的な達成目標も含め非常に重要な位置づけを設定されているという印象であります。それから、途中で中間目標などを、特に最初の合金探索がそうですが、適切に修正を加えつつ実施している点は非常に現実的であり、実際の研究機関のパフォーマンスを十分に生かすような体制を取られているということで、すごくよいことだと思いました。その上でコメントとなりますが、今回3つのカテゴリーを設定され、その3つのカテゴリーにおいてまずはそれぞれ要素技術としてしっかりとやっていくべきだということでは、あまり相互に交じる必要がなく、まずはしっかりとそれぞれ単独で掘り下げて、そして事業終了後に3つをしっかりとつなげていくという道筋をしっかりと持つ。今は中間ですけれども、最終目標に向か

っては、そのようにやっていただければと思いました。

それに関連して、1つ伺いたい点は、今回、中間目標でハイエントロピー合金の部分の設定といたしまいか、目標設定を適切に変更されておられますが、最終目標としては修正されていなかったように思います。そうすると、例えばNIMS様のデータベースはニッケル基でやられているといったところを鑑みると、もちろん部分的にはやられると思いますが、最終的な目標としてハイエントロピーだけでよいのだろうかというのが少し気になりました。もしよろしければ、その点についてご教示いただけないでしょうか。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** ご質問いただきまして、ありがとうございます。内容としましては、合金探索に関する中間目標と最終目標、かつターゲットの趣旨と理解いたしました。まず合金探索の中間目標の段階では、技術推進委員会の皆様よりいただいたご助言を踏まえ、特にハイエントロピー合金を主眼において質の向上に力点を強く置いて取り組んできたところになります。こちらは、申し上げましたとおり、当該事業で作成をしている合金探索システムというのが、もとよりハイエントロピー合金 5 種類以上の元素を混ぜ合わせた合金を実際に作製可能であるという、そういった合金探索システムを構築することを念頭に置いておりましたので、中間目標としてはそちらを掲げているということです。続いて最終目標ですが、スライドに示すように、こちらの中でもやはりハイエントロピー合金材料を 2 つ以上開発することを掲げておりますので、我々としては本事業の委託・助成を一貫する形でハイエントロピー合金材料を開発することを念頭に進めております。したがって、中間目標でハイエントロピー合金開発のための探索システムを構築しておりますが、最終目標の段階では、それを用いてハイエントロピー合金を実際に開発するといったところを実施してまいる所存です。

**【中野委員】** ありがとうございます。要するに、最終的にこの事業が終わった後にはなりますが、ハイエントロピー合金の質の向上ができれば、ニッケル基超合金等の新しい合金開発や、ミドルエントロピー、ローエントロピー合金に関してもその技術が拡張できるという理解でよろしいでしょうか。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** そのご理解で合っております。

**【中野委員】** よく分かりました。どうもありがとうございます。

**【三浦分科会長】** それでは、ほか伺いかがでしょうか。松本委員、お願いします。

**【松本委員】** 香川大学の松本です。2点伺います。まず1点目は、11 ページ、16 ページのアウトカム目標のところですが、今回このアウトカム目標の目標年度を 2040 年度に設定され、その一方として、NEDO の目標設定の中では 5 か年で実用化を目標とするといった設定だと存じます。そういった位置づけであるとして、この 2040 年を大きな目標とした意味と併せて、プロジェクト終了から 15 年という期間がある中で持ってこられるのでしょうか。やはり 15 年の中では時代が大きく変わってくところもありますし、まずどのようにしてスケジュール感を設定されているのかについて教えていただきたいと思っております。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** ご質問いただきまして、ありがとうございます。まずアウトカム目標の達成として設定している 2040 年度という数字ですが、我々の原課である経済産業省の下、航空機武器宇宙産業課及び金属課と意見交換を実施し、実際に次期の航空機エンジンが将来運航される際にはどの程度の年度を見積もって設定するべきか、相談を行った中で導かれた数字となっております。そして、基礎基盤的研究開発において事業終了後から 5 年、あるいはそれ以上の期間をもって実用化を目指す事業という位置づけではありますが、こちらについては、まず 2025 年度の段階で、こちらに示しているようなアウトプット目標として成果を創出した上で、その成果を実用化につなげられるところというのがパーツとしての量産体制確立ということになるのですけれども、最短で例えば 5 年になるものもあるかとは思いますが、基本的にはもう少し長いスパンをもって実用化ま

でをつなげるような流れとして考えている次第です。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_小西】 小西からも、少し補足をさせてください。5年を目途という点ですが、NEDO プロジェクト類型の中で、5年未満と5年目途もしくはそれ以上といった期間設定の考え方があります。しかしながら、本事業で申し上げると、航空機エンジンというものは素材開発から実装されるまで、5年というスパンではできないということについて、皆様ご存じのところかと思えます。そういった意味では、5年を目途もしくはそれ以上と書いているものの、10年以上といったスパンでのイメージを持って頂ければ幸いです。

【松本委員】 分かりました。今のところと関連して、今回、大きく3つの柱でプロジェクトが遂行されている中では、それぞれフェーズが違ってくるものと思いますが、それぞれでこのような年度のアウトカム目標が設定されているのでしょうか。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問ありがとうございます。アウトカム目標自体は3項目で共通のものとなっておりますので、本事業で一つとしてご理解いただけたらと思います。

【松本委員】 分かりました。ありがとうございます。それでは2点目として、アウトプットの中間目標の設定ということで、28ページ、29ページのところを伺います。この点で、今現在おおむね達成を見込まれているものと理解しておりますが、例えば特許出願などを含めたところでは、こういった数値での目標設定というものは掲げられているのでしょうか。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問ありがとうございます。特許、標準化等に関するところでの数値目標の設定というのは、設けておりません。

【松本委員】 それというのは、最終目標でも検討されないという理解で正しいでしょうか。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 実際には、恐らくこの掲げられている最終目標と別の戦略といいますか、並行した戦略として特許戦略も取り組んでいくような形となります。

【松本委員】 分かりました。ありがとうございます。

【三浦分科会長】 それでは、ほかにかかがでしょうか。渡邊委員、お願いします。

【渡邊委員】 PwCの渡邊です。まず38ページのところについて伺います。先ほどのご説明において、加速的な財源の投入によって幾つかの効果があつたものと理解しました。データベースの開発に関連するような、こういったデジタル化を推進するための実験的な投資というのは非常に大事なところであると思っています。こういったところの効果が、どのような形で今の研究開発の中で前倒しを期待できる要素となるのか、少し具体的なものをご紹介いただくと助かります。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問いただきまして、ありがとうございます。こちらに今示しているものが加速の2種類ですが、私から合金探索に関して説明をしまして、評価基盤整備に関しては私からの説明に加え、小西からの補足も併せて行いたく思います。まず合金探索に関しては、先ほど申し上げたとおり、航空機エンジン用途に適用可能な合金を探索するというものになります。こちらの中では、やはり航空機エンジン用途を想定した際の高温評価試験が必要になってまいりますので、そのデータをしっかりと取り入れて合金を導出することが必要と考え、そのためにこの試験装置を追加導入したところですが。結果としては、耐熱性に優れた合金を創製し、そして、さらにその性能及び組成をフィードバックすることが可能になりましたので、そういった成果が見込まれたものと考えている次第です。

続いて、評価基盤整備になります。こちらにつきましては、特に材料データ管理システムの前倒しであるとか、立ち上げであるといったところで非常に効果的であったと考えております。また、こちらは実際に航空機エンジンメーカー等で活用されているような類いのデータベースをひな形として活用し、そちらにデータを落とし込んでいくような形を考えている次第です。要は、そういったデータ構造を最適化することによって、この事業の中に含まれるようなユーザー企業にとって非常に使いやすいデー

データベースとなり、さらには OEM メーカーに対して示しやすいデータベースになると思いますので、そういった形で非常に訴求力のあるデータベースをつくることにつながられたのではないかと考えております。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_小西】** 続きまして、評価基盤整備に関して補足いたします。ここでは、我が国の耐熱合金が優れていることを海外 OEM に示すことが社会実装する上で重要となります。時間を要する材料評価については加速試験装置を導入してデータを補完するなど、データ収集を前倒しで行ったことで、早期に海外 OEM に示すことができる状態まで引き上げたという点において効果があったものと考えます。

**【渡邊委員】** ありがとうございます。あと 2 点伺います。40 ページ目の対外活動の話、その過程としての 39 ページの進捗において、今回の開発成果をエアラインや航空機メーカー、エンジンメーカーに対して伝えていくところも大切になってくるものと思います。今後の活動として、コンポーネント材料として採用されるためにはどうするかというレベルに加えて、FAA の認証のような日本の航空機産業としての能力を高めていくためにはどうするかを考えたときには、その先を見据えた活動が必要になるのではと捉えています。エアラインがエンジンをどのようにメンテナンスしているのか、航空機メーカーがエンジンメーカーをどのように選択するのか、エンジンメーカーが材料をどのように採用していくのか、というように、お客様に至るプロセスというものが多くあると思います。そのような対外の場で得る気づきも大きいと考えるため、今後の活動におけるご見解を伺えますと幸いです。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** ご質問いただきまして、ありがとうございます。ただいまの公開セッションにおいては、少しお話できる部分が限られますが、我々としては、実際にこの材料が採用される際に非常に重要となる海外 OEM メーカーとも意見交換を実施してまいりたいと考えております。そういった場については、今後検討していく段階ではありますが、やはりそういったエンジンメーカーにこの材料のことを知っていただく必要があります。そして、さらに採用につなげるためにはその性能をしっかりと理解いただくことが重要と考えますので、そういった場を積極的につくっていくことを想定しております。

**【渡邊委員】** ありがとうございます。最後に 11 ページ目のところで伺います。材料認定、部品設計、製作、部品認証試験というところでのデータベースの関係性の説明があったかと思えます。データベースとして最終的に目指す姿はどこになるのでしょうか。それぞれのフェーズによって求められるデータベースの内容、あるいは項目というのは変わってくるかと捉えています。今の段階でどこまでの部分を開発の目標とされているのか、研究開発終了の段階で NIMS 様のほうでデータベースとするところがどこなのか、競争領域の観点でメーカーが蓄積するところの部分はどこなのかといった観点で、可能な限りで構いませんのでご見解を伺えるとありがたいです。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】** ありがとうございます。ここの詳細な情報については、非公開セッションの NIMS 様のところで改めてご質問いただくとありがたいです。その上で、私のほうからご回答できる事項といたしましては、先ほど渡邊委員がおっしゃいましたとおり、やはり競争領域と協調領域に基づいてデータベースの構造を分けて管理していくところがあるかと思っております。当然、協調領域としては、例えばこの事業に参画している重工メーカーが、それぞれ共通のデータとしてしっかりと共有できる部分の線引きを行う。そして、そこをさらにデータベースのほうに提供いただいて構築していくというような流れとなります。競争領域に関しては、その競争領域の中でもどこまでを実際に共有できるのかというところを参画企業間でお話ししながら、必要に応じてデータベースのほうに組み込んでいただいているというような状況です。最終的には、当初は限られたユーザーの間にはなると思うのですが、ここで構築したデータベースをユーザーのほうに活用いただきながら、この材料に関してのさらなる利活用を進めていきたいというふうに考えているところにな

ります。

【渡邊委員】 どうもありがとうございました。

【三浦分科会長】 ほかにいかがでしょうか。

それでは、私、三浦のほうから1つ伺います。35ページの委託や予算に関するところで、革新的合金探索手法の開発がフェーズAからフェーズBに移られるときに予算の形が委託から助成に変わられるというご説明でした。そこでは企業様との関係性をつくっていくというお話だったかと思いますが、これに関する何か見通しのようなものをお持ちでしたら教えてください。

【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_飯山 PMgr】 ご質問いただきまして、ありがとうございます。こちらの構想としては、フェーズAのほうで合金探索システムを構築し、それを今度フェーズBの中でユーザー企業に実際に利活用いただき、その上で企業の希望するような所望の特性を有する合金を開発することを目指すというのが流れとなっております。さらに、この合金探索システムをしっかりとフェーズBで使っていただけるように、実際に使用してもらえる可能性のあるユーザー企業に対し、このシステムをアピールするような「ユーザー会」という場を設けております。そこでユーザー企業に対して実際に紹介することに加え、そういった企業に実際に現地にもお越しいただく形を取りながら、開発状況や性能に関するご覧いただいているところです。そして、当日も含めまして、その後のアンケート等により合金探索システムに関する様々な所見を頂戴し、それをシステムに対してフィードバックするなどしながら検討している状況となります。まだ具体的なものとして示すのは難しいところもあるのですが、こういった取組の下、フェーズBにつなげるため、さらにはユーザー中心の合金開発につなげていくためにアピールを行っているところです。

【三浦分科会長】 どうもありがとうございます。それでは、まだご意見やご質問があるかとも思いますが、予定の時刻となりましたので、以上で議題5における質疑応答を終了といたします。

(非公開セッション)

#### 6. プロジェクトの詳細説明

省略

#### 7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

#### 8. まとめ・講評

【三浦分科会長】 議題8に移ります。

これから講評を行います。ご発言いただく順序につきましては、冒頭に行った挨拶と逆の形とし、最初に渡邊委員をお願いいたしまして、最後に私、三浦という流れで進めてまいります。

それでは、渡邊委員、よろしく願いいたします。

【渡邊委員】 PwCの渡邊です。本日は、長時間にわたるご説明をいただき、ありがとうございました。3つの大きなテーマの下、航空機エンジン向けのプロセス開発及びアウトカムに向けた達成ということで、今後さらに日本の航空機産業を広げるためのベースとなるご活躍に期待いたします。こうしたオールジャパンとしての活動が、NEDO様や経産省様のリーダーシップの下で、FAAへの認証にも繋がるようなインテグレーション技術を持つための場として、次のステップに繋がることを願っています。また、協調領域としてのデータベースが開発されるといった意味では、若手の研究者やいろいろな研

究開発に携わる方々にも広く使って頂けるようになることで、研究開発のすそ野が広がり、エンジニアが増えていくようになるものと考えています。そのような副次的な効果をもたらす場となることも併せて期待しています。以上です。

【三浦分科会長】 ありがとうございます。続きまして、松本委員、よろしくお願いいたします。

【松本委員】 香川大学の松本です。本日は、どうもありがとうございました。本プロジェクトは、産学官のオールジャパン体制の下、具体的に航空機エンジンにターゲットを絞った研究開発であり、進捗状況も非常に順調とのことですばらしい限りですし、今後ますます期待できるものとして理解いたします。また、「革新的合金探索手法」、「革新的エンジン部品の製造プロセス」、「航空機エンジン用評価システムの基盤整備」という3つの大きな柱の中、例えば、革新的合金、航空機エンジン用評価システムのところでは、いわゆるデータベースの構築といった部分が非常に重要なテーマだったでしょうか。まだテーマそれぞれの柱が始まったばかりではあるものの、後半戦に向けて、例えばインフォマティクスの取組なども含め、そういった横串の連携をさらに強化することにより、データベース、インフォマティクスにおいてもさらなる高度化に期待ができるものと考えますし、鍛造試験機といったところの装置共有などを深めていくことによっても、さらに結果が出てくるのではないかと感じた次第です。以上になります。

【三浦分科会長】 ありがとうございます。続きまして、中野委員、よろしくお願いいたします。

【中野委員】 大阪大学の中野です。本日は、非常に詳しくご説明を伺いまして、大変理解が深まりました。NEDOの担当部署で全体PJを見渡したアレンジがなされ、それが今回トータルとして中間目標を大きく上回る成果へとつながったのではないかと印象を持ちました。また、先ほど松本委員からの講評にもありましたように、現状、横串として見たときに完全には刺さっていないといったところでは、ここまでは要素技術としての深掘りを行う段階としてよしとして、横串を意識だけしていただければと思います。今後しっかりと役割分担を取っていく中では、やはり新しい技術というのはなかなかユーザーが理解しにくい部分というものもございますので、外部発信も含めて尽力していただけたらと思います。そういった課題においては、実施者の方とNEDOの方、そして榎先生を中心にこの1年でしっかり話をさせていただくことで、最終評価においては、「もう日本にしかない技術である」という形に至るのではないかと期待を持っていますので、ぜひよろしくお願いいたします。以上です。

【三浦分科会長】 ありがとうございます。続きまして、中川委員、よろしくお願いいたします。

【中川委員】 超高温材料研究センターの中川です。本日は詳しいご説明をありがとうございました。既に各委員が講評にて述べられているとおり、経済産業省製造産業部局航空機武器宇宙産業課様、金属課様という原課の下、NEDO様がしっかりとマネジメントを取られ、榎先生がしっかりとサポートをされるという体制が構築されているものと理解いたします。これだけ日本を代表する国研、大学、大手のシステムメーカーや素材メーカーが入っておりますし、もうすぐ戦後80年も過ぎるところで、ぜひ残り数年においてしっかりと進めていただき、日本がこれまで参入出来ていない分野に参入できるような形にしていただけたらと願うところです。また一方で、セラミック複合材のプロジェクトも多々走っているものとして、それらを含め日本の「材料技術立国」としての地位をまた築いていけるように、このプロジェクトを通して進めていただけたらと思います。そうしたことが、「こういう材料をやりたい」と感じる学生さんの増加にもつながると考えますので、ぜひそういう積極的なPRも併せてよろしくお願いいたします。以上です。

【三浦分科会長】 ありがとうございます。続きまして、北岡委員、よろしくお願いいたします。

【北岡委員】 ファインセラミックスセンターの北岡です。本日は、長きにわたりまして、詳細なご説明をありがとうございました。まず、こういった先進的な材料や技術開発というものが実際にエンジンに対応されるためには、非常に長期間の研究開発が必要であるとともに、開発リスクも大きいところがあ

りますので、ぜひ今後とも産学官の密接な連携の下、この体制を強化しながら進めていってほしいと思います。また、全てのテーマにおいて、実施者側の方々の設定した中間目標が達成されているだけでなく、一部は目標を上回る成果も得られているという状況であり、計画どおり順調に事業が進められていることを理解いたしました。中でも、研究開発の実施体制において関係各社による分担がしっかりとされている点について非常に感心いたしましたし、評価システム基盤整備事業においては、材料データの共有化を図ることにも取り組んでおられるといったことから、実用化・事業化に向かって推進する体制ができているものと判断いたします。最後に、後半2年では、是非とも国際的な認知度を向上させる取組を強化して頂きたいと考えております。

**【三浦分科会長】** ありがとうございます。続きまして、李家分科会長代理、よろしく願いいたします。

**【李家分科会長代理】** 東京大学の李家です。今日は、長時間にわたりまして、ご説明いただきありがとうございます。中間目標に向けて全て達成見込みであることから、プロジェクトが順調に進んでいるものと理解いたします。また、資料5で伺った部分で、最初の2021年度の採択審査における採択条件として「海外OEMとの連携を含めた実用化までの道筋を明確に示す」といったものがありました。今日のご説明を伺いまして、どの課題に関してもこの観点についていろいろと考えられていることがよく分かりました。ぜひ、このまま先に進めていただければと思います。そして、今日の午前中に議論となった2025年に本プロジェクトが終了後のアウトカム目標となっている時期が2040年だといったところに関してです。2025年にプロジェクトが終わればもう何もやらなくていいというわけではなく、このプロジェクトに関わっている関係者の方々と、先ほど示していただいた図にある「OEMエンジン完成メーカーとの連携」といったところを是非目指していただきたいです。2040年まで15年という長きにわたる予定になっていますが、今回示された予定に従って先に進んでいただければ本当にありがたく思います。以上です。

**【三浦分科会長】** ありがとうございます。それでは最後に、本日の分科会長を仰せつかりました北海道大学の三浦より講評を行います。本日は、午前中から長きにわたりまして、いろいろなご説明をいただき誠にありがとうございました。そして、委員の方々からのご質疑により、我々が互いに理解を深めたことがとても多かったものと感じます。この分科会が非常に実り豊かなものとなったことに対しまして、まず御礼を申し上げます。また、今までの講評においてもいろいろなコメントを頂戴したように、このプロジェクトというのは最先端の研究を進めていくということであり、特に日本のいろいろな会社を引っ張っていくというような非常に重要な立場を担っていただいているものとして理解しております。中には、技術成熟度のレベルがそれぞれ違っているといったところもあるかとは思いますが、先ほど松本委員からご指摘のあった横串のような形が見えてくると、全体としてのまとまりができ、日本国内のいろいろな会社であるとか、もしくは国際的なところに大きくアピールすることができるようになるのではないのでしょうか。ぜひそのような形となってアピールをし、日本でこういったことができるということを広く認知していただくような形に持っていただきたいと思いますし、それによりプロジェクト終了後もさらに広がりを持ったものになるのではないかと考えます。残りの時間においては、ぜひそういったあたりを考慮しながら進めていただければ幸いです。私からは以上となります。どうもありがとうございました。

**【鈴木専門調査員】** 評価委員の皆様、ご講評を賜りまして誠にありがとうございました。続いて、ただいまのご講評を受けまして、推進部署からも一言賜りたく存じます。材料・ナノテクノロジー部、林部長、どうぞよろしくお願いいたします。

**【NEDO 材料・ナノテクノロジー部\_林部長】** 材料・ナノテクノロジー部の部長をしております林と申します。まず、本日は参加が途中からとなりましたことに、おわびを申し上げます。委員の皆様におかれましては、朝から長い時間にわたるご評価を賜りまして、誠にありがとうございました。本日最初から参

加をしていた者から話を聞きましたが、公開及び非公開セッションにて多々いただいた詳細なご質問というのは、ある意味アイデアを頂戴しているものとして理解しております。私の立場としましては、このプロジェクトのチーム、あるいは PMgr を含む担当者しかり、仕事のしやすい環境を整えていくことと、業務配分においても配慮していくことが課題と考えている次第です。NEDO の総体のマネジメントをよくしていき、その結果として、プロジェクトがまた成果を生むようにしてまいりたいと思いますので、今後ともご指導のほど、どうぞよろしく願いいたします。私からは以上です。

【三浦分科会長】 ありがとうございます。それでは、以上で議題 8 を終了といたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における技術評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	評価スケジュール
番号なし	質問票（非公開）

※分科会前に実施した書面による質疑応答は、全ての質問について質問または回答が非公開情報を含んでいるため、記載を割愛する。

以上

## 参考資料 2 評価の実施方法

## NEDOにおける技術評価について

### 1. NEDOにおける技術評価の位置付けについて

NEDOの研究開発の評価は、事業の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおけるPDCAサイクル（図1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODAループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価事業等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

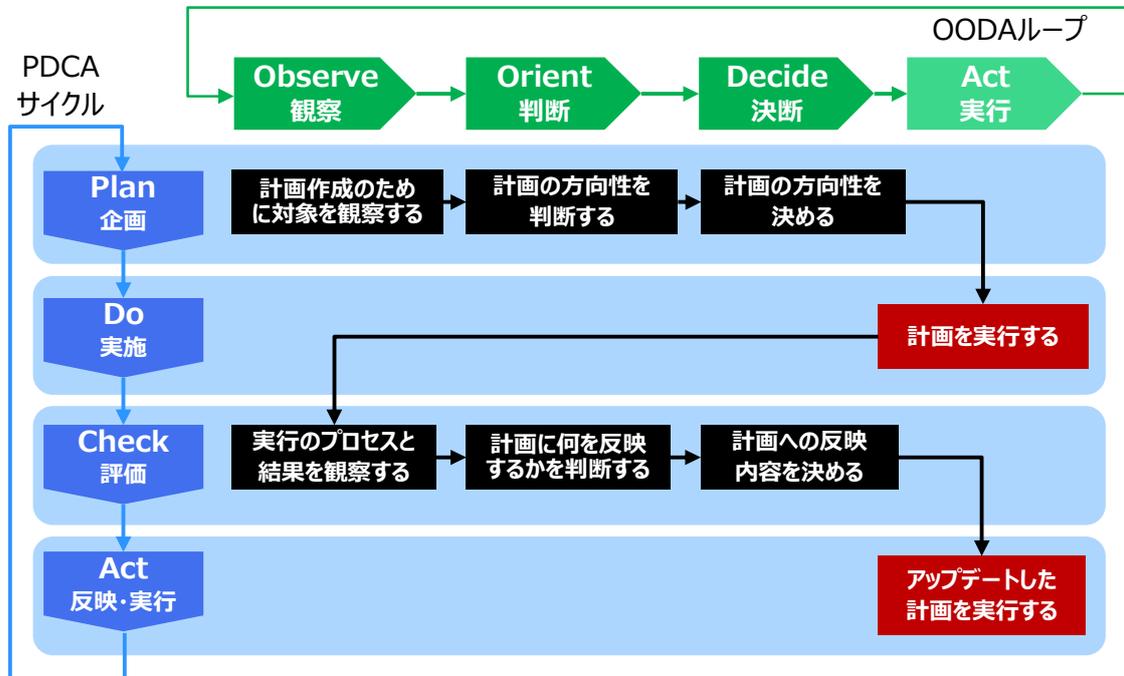


図1 研究開発マネジメントPDCAサイクルとOODAループ組み合わせ例

### 2. 技術評価の目的

NEDOでは、次の3つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む。
- (3) 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する。

### 3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の5つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。
- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

### 4. プロジェクト評価の実施体制

プロジェクト評価については、図2に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクトの技術評価を統括する研究評価委員会をNEDO内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト毎に当該技術の外部の専門家、有識者等を委員とした分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクトの技術評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮る。
- (4) 研究評価委員会の審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告。

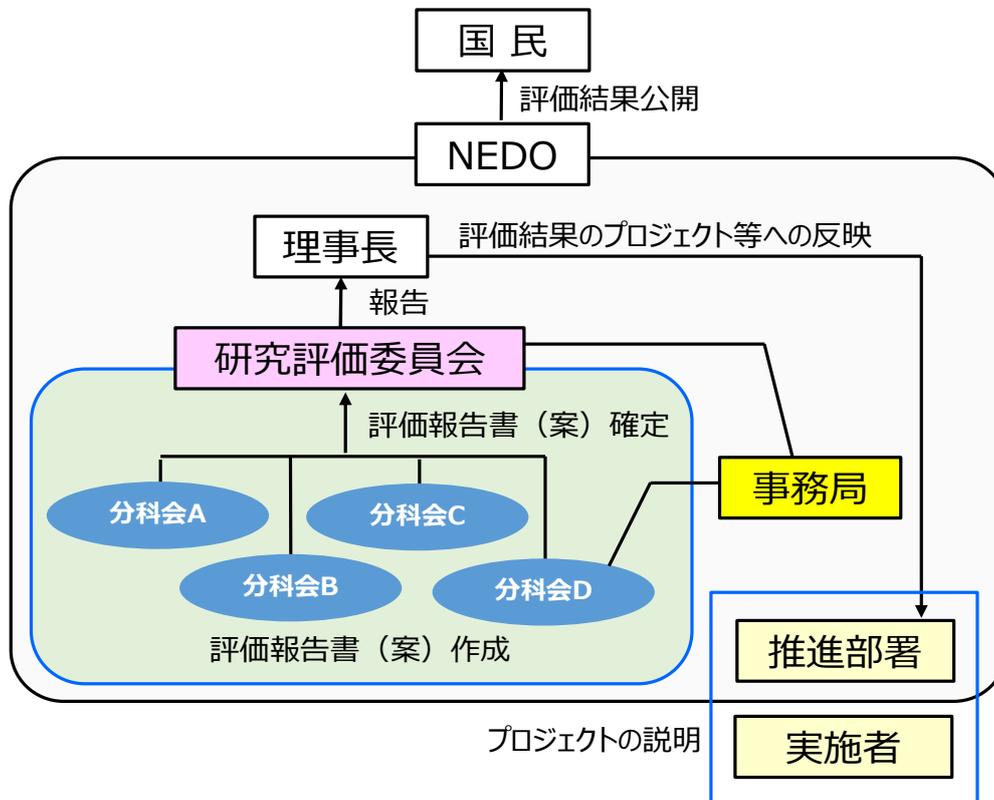


図2 評価の実施体制

## 5. 分科会委員

分科会は、研究開発成果の技術的、経済的、社会的意義について評価できる NEDO 外部の専門家、有識者で構成する。

## 6. 評価手順

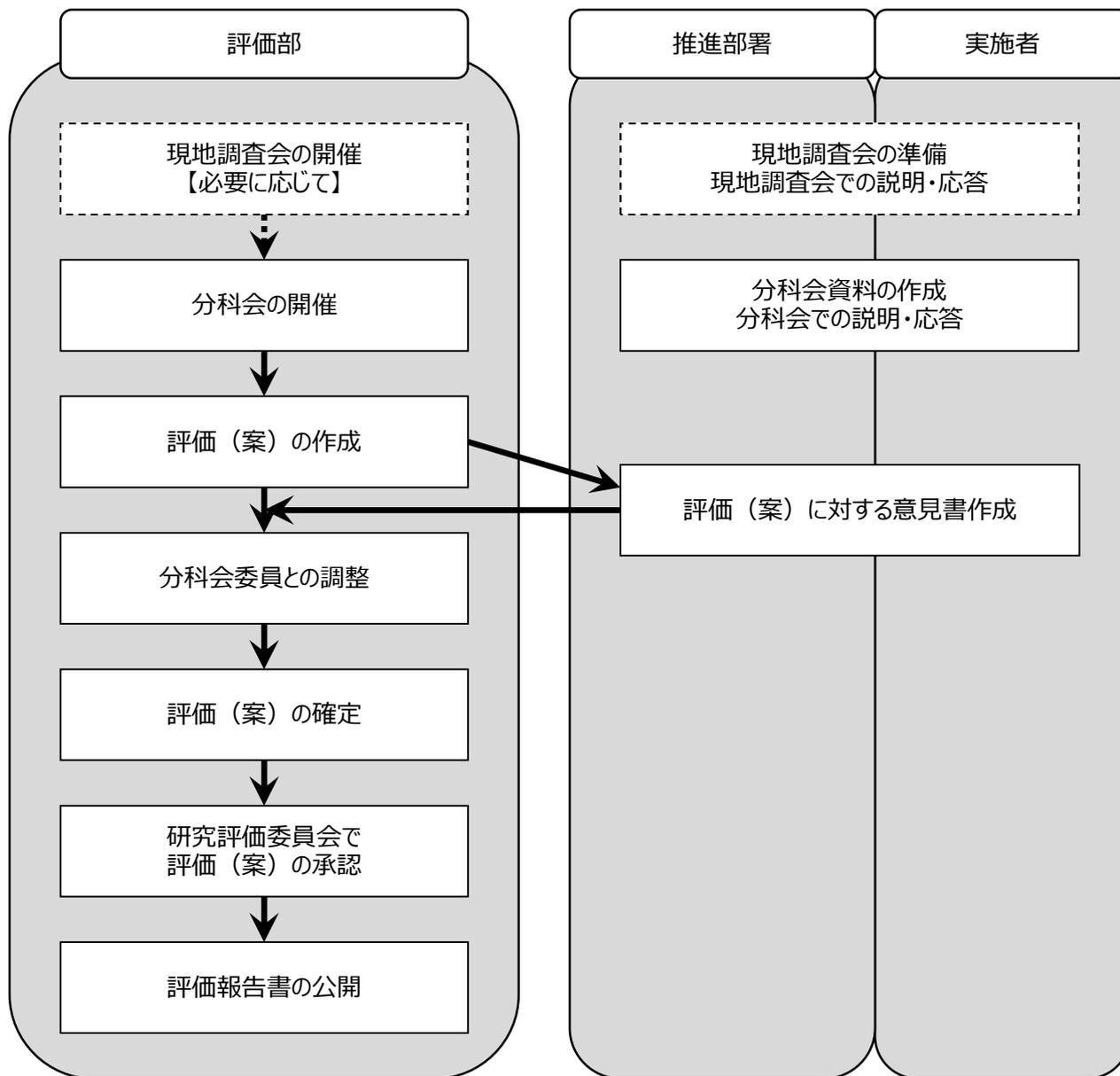


図 3 評価作業フロー

「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」  
(中間評価) 分科会に係る  
評価項目・評価基準

1. 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋

(1) 本事業の位置づけ・意義

- ・本事業が目指す将来像 (ビジョン・目標) や上位のプログラム及び関連する政策・施策における位置づけが明確に示された上で、それらの目的達成にどのように寄与するかが明確に示されているか。
- ・外部環境 (内外の技術・市場動向、制度環境、政策動向等) の変化を踏まえてもなお、本事業は真に社会課題の解決に貢献し、経済的価値が高いものであり、国において実施する意義があるか。

(2) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」\*の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮しているか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像 (ビジョン・目標) の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(3) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データを含め、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当か。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い (知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等) や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであるか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点 (デジュール、フォーラム、デファクト) で取り組んでいるか。

## 2. 目標及び達成状況

### (1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に※見直しているか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあるか（見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当か）。
- ・費用対効果の試算（国費投入総額に対するアウトカム）は妥当か。

#### ※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO<sub>2</sub>削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

### (2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に※見直しているか。
- ・中間目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切か。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあるか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われているか。

#### ※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックとTRL※の併用）により設定されていること。

※TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

### 3. マネジメント

#### (1) 実施体制

- ・ 執行機関（METI/NEDO/AMED 等）は適切か。効果的・効率的な事業執行の観点から、他に適切な機関は存在しないか
- ・ 実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は有効に機能しているか。
- ・ 実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化を目指した体制となっているか。
- ・ 個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切か。
- ・ 本事業として、研究データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしているか。

#### (2) 受益者負担の考え方

- ・ 委託事業の場合、委託事業として継続することが適切<sup>※</sup>か。補助事業の場合、現状の補助率の設定を続けていくことが適切<sup>※</sup>か。

##### ※ 適切な受益者負担の考え方

- ・ 委託事業は、「事業化のために長期間の研究開発が必要かつ事業性が予測できない<sup>※</sup>、又は、海外の政策動向の影響を大きく受けるために民間企業では事業化の成否の判断が困難な場合において、民間企業が自主的に実施しない研究開発・実証研究」、「法令の執行又は国の政策の実施のために必要なデータ等を取得、分析及び提供することを目的とした研究開発・実証研究」に限られていること。
- ・ ※「長期間」とは、技術特性等によって異なるものの「研究開発事業の開始から事業化まで10年以上かかるもの」を目安とする。「事業性が予測できない」とは、開発成果の収益性が予測不可能であり、民間企業の経営戦略に明確に記載されていないものとする。
- ・ 補助事業は、事業化リスク（事業化までの期間等）に応じて、段階的に補助率を低減させていくなど、補助率が適切に設計されているものであること。

#### (3) 研究開発計画

- ・ 外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえ、アウトプット目標達成に必要な要素技術、要素技術間での連携、スケジュールを適切に見直しているか。
- ・ 研究開発の進捗を管理する手法は適切か（WBS<sup>※</sup>等）。進捗状況を常に関係者が把握しており、遅れが生じた場合、適切に対応しているか。

※ WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

### 参考資料 3 評価結果の反映について

「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」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p><b>【1】</b> 知的財産・標準化戦略について、クローズド戦略の重要性は理解できるが、例えば特許化する技術並びに特許申請数について目標設定するなど、具体的な道筋を明示してほしい。</p> <p><b>【2】</b> 「合金探索」及び「評価基盤整備」の研究開発項目におけるデータベースの積極的な発信など、システム基盤の発展性・運用展開について、方針・計画の標準化戦略の検討を進めていくことが望まれる。</p> <p><b>【3】</b> 材料・部品認証、上市に向けた製品としてのインテグレーションを見据え、社会実装に向けて対外的な情報発信、ネクストレベルでのステークホルダーとの協議の場を戦略的に企画・立案していくことが期待される。</p> <p><b>【4】</b> 今後、ぜひ学術的な成果発信（論文数）と、技術構築の観点から、各参画企業を中心として特許化についても積極的なチャレンジを期待したい。</p>	<p><b>【1】</b> 超合金の基本技術は国内外で本事業開始前に権利化済みである。特許化すべき技術は参入障壁を築けるように特許出願する。</p> <p><b>【2】</b> 本事業の成果物である材料データベースはオープン・クローズド戦略の考え方に従って国内外への情報発信を強化する。（例、航空宇宙機器の設計に使用する金属材料に関する世界標準ハンドブック（MMPDS）の改訂を議論する会合でのPRなど） また、事業終了後もシステム基盤が利活用される仕組みを検討する。</p> <p><b>【3】</b> 次世代航空機エンジンへの社会実装を目指し、個別事業者によるエンジン完成メーカーへの情報発信に加えて、NEDO 主導の協議の場を参画事業者と共に戦略的に企画/立案する。</p> <p><b>【4】</b> オープン・クローズド戦略の考え方に従って、材料カタログスペック等の公開すべき内容は超合金分野の学术界に貢献すべく、学会/論文発表を強化する。的確に国内外への情報発信を強化する。また、特許化すべき技術は参入障壁を築けるように特許出願する。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p><b>【5】</b> 合金開発をより進めるために、特に「ハイエントロピー合金」の開発に対して一層の資源の投入を期待する。</p> <p><b>【6】</b> プロセスインフォーマティクツールについては、システムとしての単なるデータストレージではなく、例えば逆解析できるような双方向機能も付与するなど、ブラッシュアップして、よりシステムの優位性を高めるような計画も盛り込んでいただくと、より良い成果が期待される。</p>	<p><b>【5】</b> 2023年度の実施計画を遂行するため、人的補強・予算配分を行いつつ、ハイエントロピー合金の開発を実現出来るよう注力します。</p> <p><b>【6】</b> 実験による物性データの取得・蓄積のみならず、シミュレーション、機械学習、順・逆問題解析などに取り組み、材料探索に対してより効果的な手法の開発を行います。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 三代川 洋一郎

担当 鈴木 渉

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。  
([https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162