

資料5

(中間評価分科会)



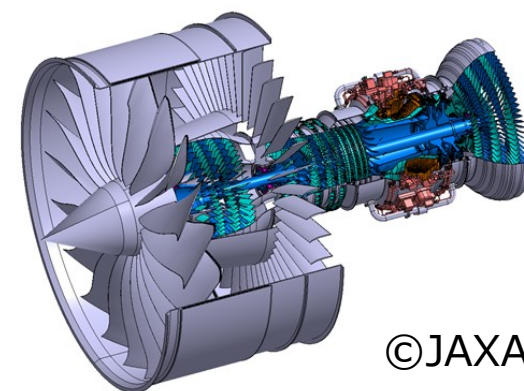
「航空機エンジン向け材料開発・評価システム基盤整備事業」

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 和堯 (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

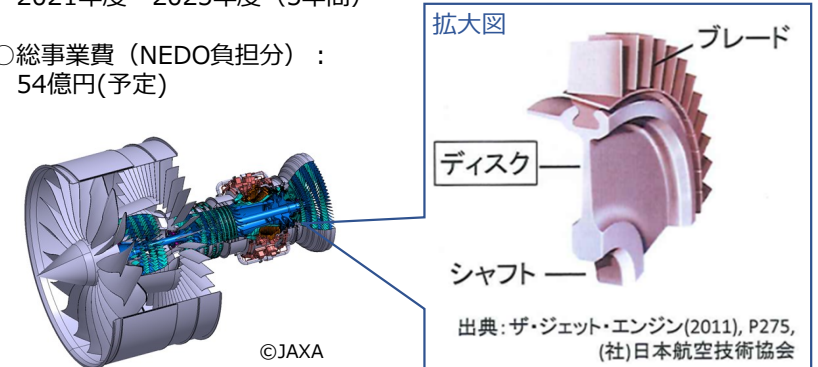
- ①SIP1期「革新的構造材料」(‘2014～’2018)
- ②SIP2期「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」(‘2018～’2022)
①②ではエンジン材料を開発。実験室レベルまで完了し、開発成果をMETI/NEDOの本プロジェクトに移行し、高度化を図る。
- ③NEDO「次世代複合材創製・成形技術開発」(‘2020～’2024)
航空機エンジン材料としてCMCを開発。適用部材が異なる。
- ④NEDO「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」(‘2017～’2021)
マテリアルズ・インフォマティクス(MI)、データマイニング(DM)等を有機材料を対象として開発しており、合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"> ・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 ・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 ・材料試験拠点、解析システム開発：DBの活用3部材以上 |
| アウトカム目標 | <ul style="list-style-type: none"> ・航空機エンジンの高効率化に伴う燃費改善によるCO₂削減：92.8万トン |
| 出口戦略 (実用化見込み) | <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・航空機エンジン認証のための合金データ蓄積、評価技術 ・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 ・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 ・国際標準化提案：無 ・第三者提供データ：無 |
| グローバルポジション | <ul style="list-style-type: none"> ・PJ開始時：RA ⇒ PJ終了時：DH ・航空機エンジンメーカーはGE社、RR社、P&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。 ・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。 |

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）

- （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

- ・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

(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

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CO₂排出量削減の動向を受け、各航空会社は燃費効率の高い旅客機の導入を進めている。これに伴い、航空機産業においても燃費性能を重視した、より性能の良い航空機・エンジンの製造が求められ、その結果、技術獲得競争がさらに激化している。
- このような中、我が国航空機産業の競争力を強化していくためには、基礎開発だけでなく応用開発、特に**量産段階における生産性向上を目指した部品や製品一体の製造技術向上や、環境性能の向上に資する材料や要素技術の開発が不可欠**となっている。航空機エンジンに注目した場合、燃費向上に直結する**高圧タービン技術や、更に材料分野に目を転じると航空機エンジン材料の軽量化、耐熱性・耐久性向上を目指した新たな材料の開発が重要**である。
- また、航空機産業では最終製品として求められる**安全性・信頼性の高さ故、材料の段階から厳しい認証基準等が求められる**。
- これらのことから、本事業では我が国の航空機エンジン向け材料及び部品製造における競争力向上に資するため、
 - (1) 量産化を志向した航空機エンジン部品の**設計・製造プロセス(特に鍛造プロセス)の効率化**
 - (2) 人工知能(AI)、マテリアルズ・インフォマティクス(MI)等の計算機科学を利用した**国産材料の開発**
 - (3) 航空当局の認証取得に向けた、**航空機エンジンの材料特性及び実環境下における性能等のデータ収集、整備、蓄積**を実施していく。
- なお、航空機エンジンの耐熱性向上については2020年に文部科学省及び経済産業省が設置した「マテリアル革新力強化のための戦略策定に向けた準備会合」の中で「**極限機能を有するマテリアル**」及び「**マルチマテリアル化技術**」として取り上げられており、政府としても注力していくべきとされている。

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



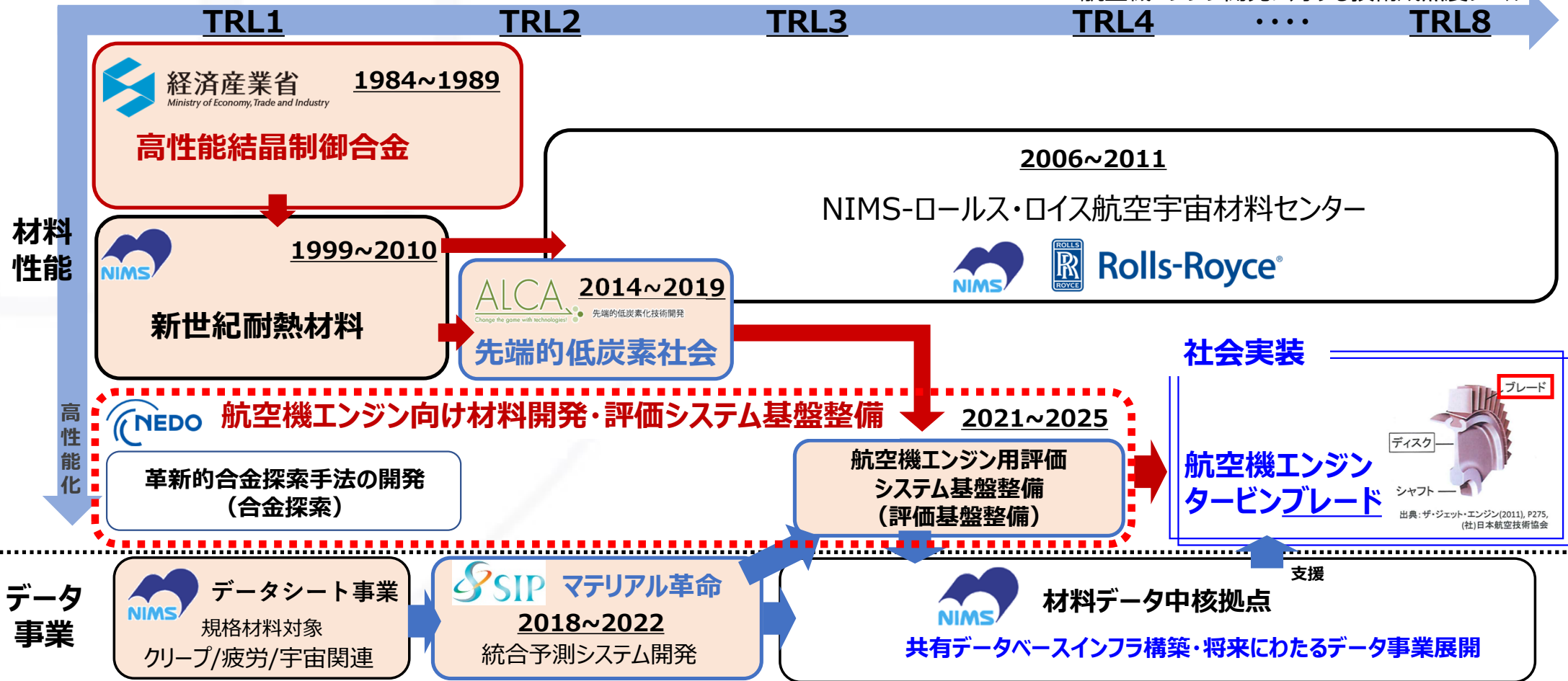
本事業は、NEDO技術戦略研究センターにより策定されている「機能強化新合金分野の技術戦略（含：高効率モータ用磁石技術戦略）」のうち、効率的な新合金探索基盤構築と機能性新合金開発に係る技術戦略において、あるべきプロジェクトとして適切に位置付けられている。

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 TRL 2-9 Ni基超合金 CMC 先端航空エンジン用新規材料設計事業 2021- TRL 1-3 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 ~ TRL9 民間エンジン材料・プロセス開発事業 2014-2018 TRL 2-3 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 TRL 2-3 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）

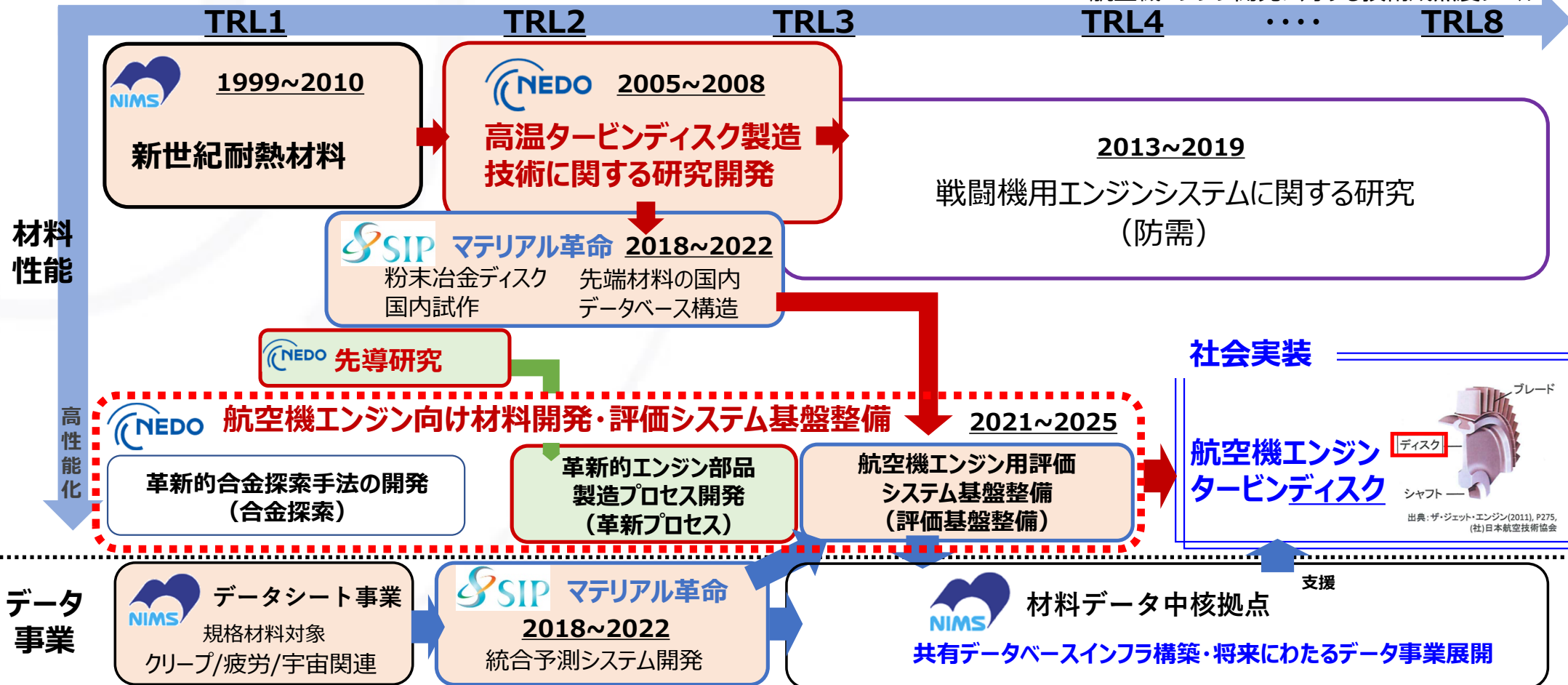
TRL: 航空機エンジン開発に対する技術成熟度レベル





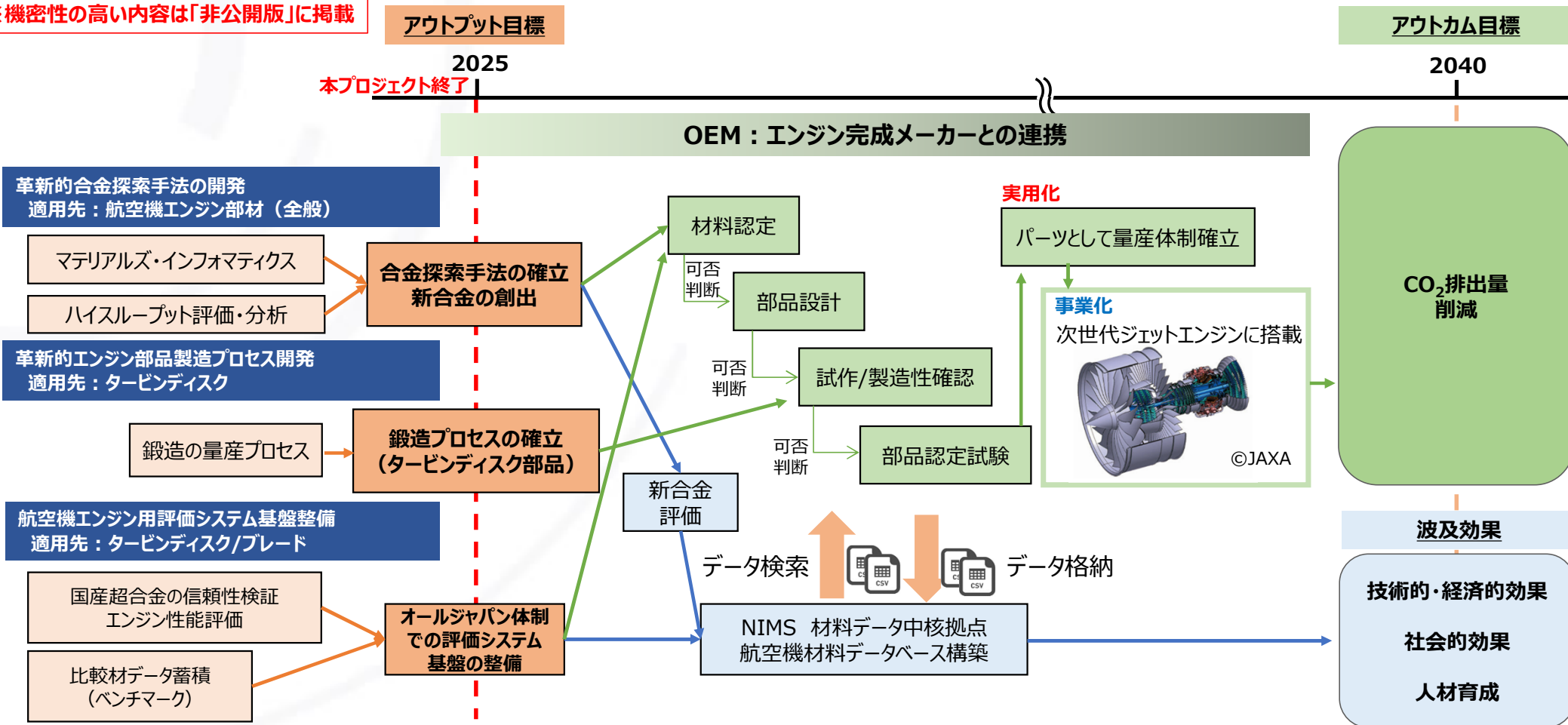
他事業との関係（エンジン部材：タービンディスク）

TRL: 航空機エンジン開発に対する技術成熟度レベル



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

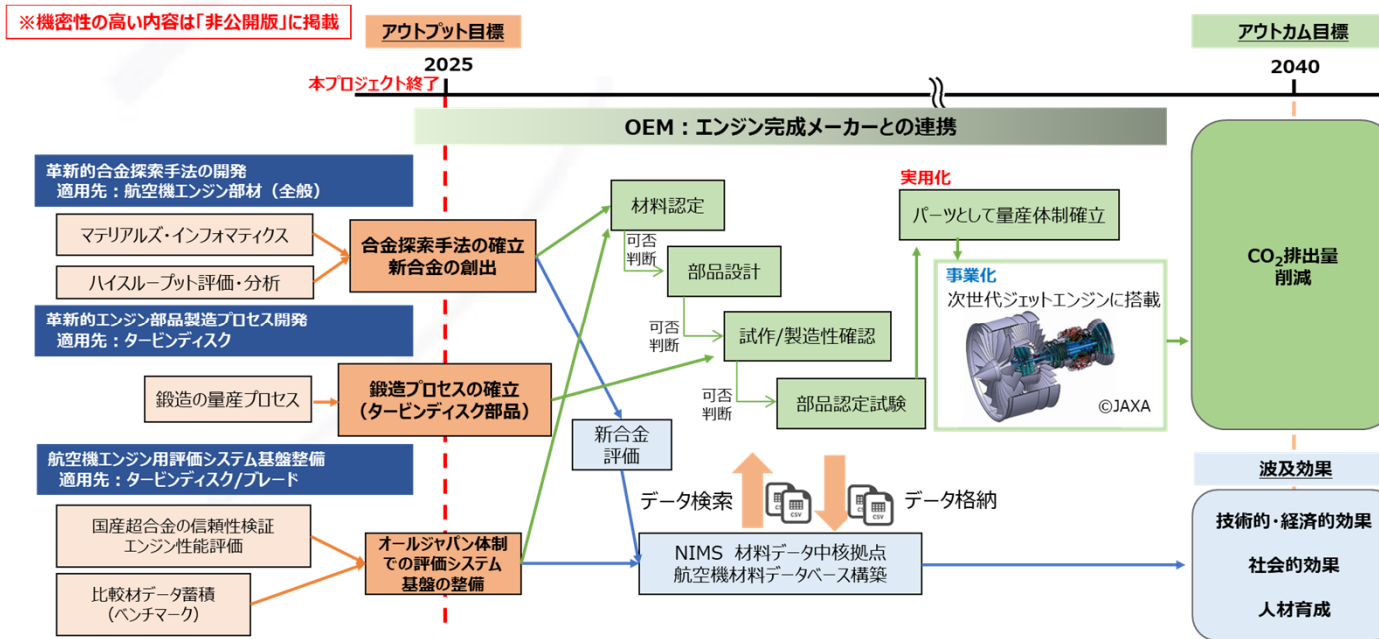
-
- 本事業における「実用化・事業化」の考え方
 - アウトカム目標の設定及び根拠
 - アウトカム目標の達成見込み
 - アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組
 - 費用対効果及び波及効果
 - アウトプット（研究開発成果）の意義
 - アウトプット（研究開発成果）のイメージ
 - アウトプット目標の設定及び根拠
 - アウトプット中間目標の達成状況
 - 特許出願及び論文発表
-

<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

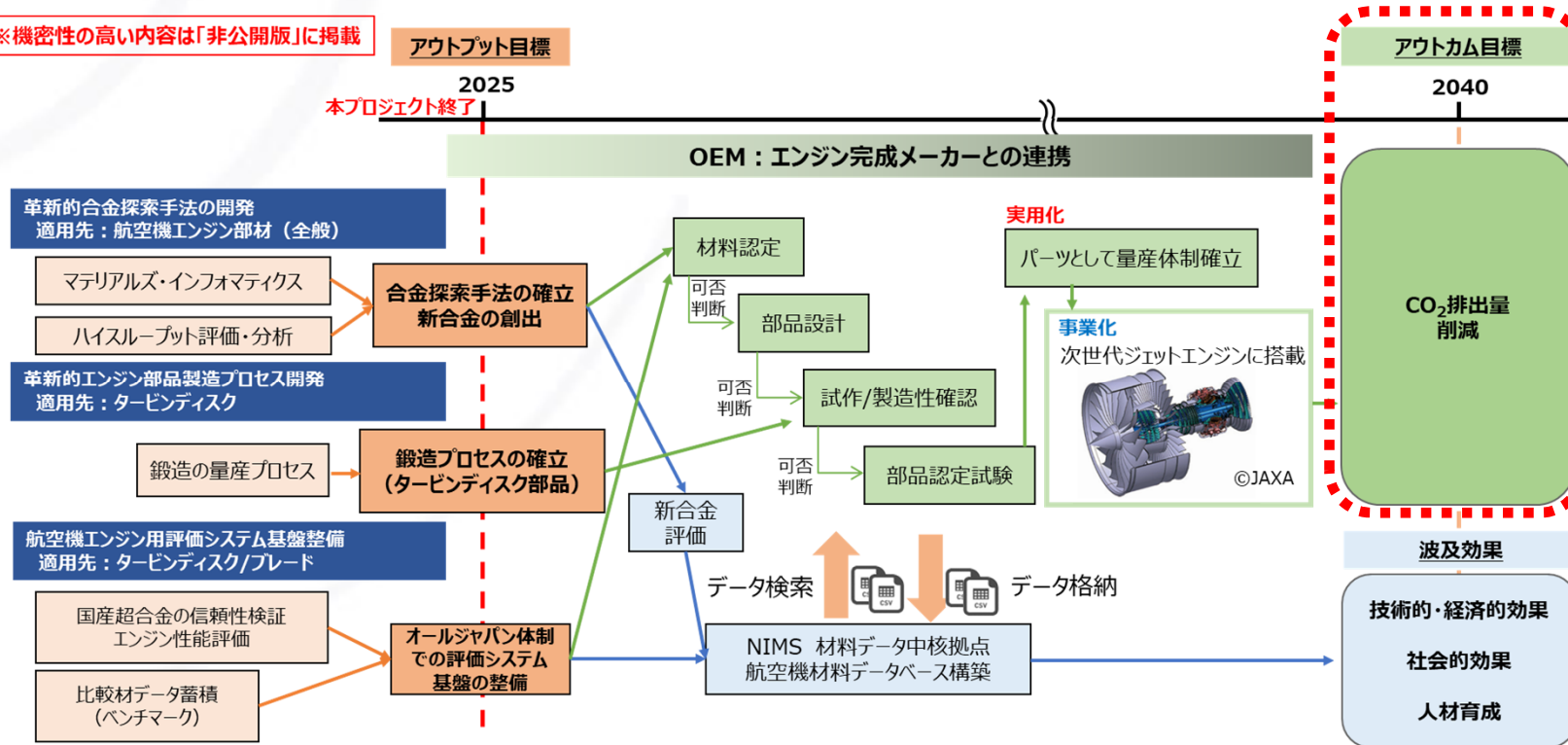
| プロジェクト類型 | 実用化・事業化の考え方 |
|-----------------|--|
| 標準的研究開発 | プロジェクト終了後5年を目処に、 事業化 まで達することを旨とする研究開発 |
| 基礎的・基盤的研究開発 | プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、 実用化 まで達することを旨とする研究開発 |
| 知的基盤・標準整備等の研究開発 | 知的基盤・標準整備等を目的としており、研究開発成果による 事業化・実用化 を目標としていない事業 |



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 ₂ 排出量を93万トン／年削減する | $\text{CO}_2\text{削減量} = (\text{ジェット燃料消費率の性能アップによるジェット燃料油の削減量}) \times (\text{ジェット燃料油排出係数})$ <p>※ジェット燃料油排出係数：2.46 tCO₂/kL (出典：環境省等)</p> |

※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

CO₂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 tCO₂/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、CO₂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)

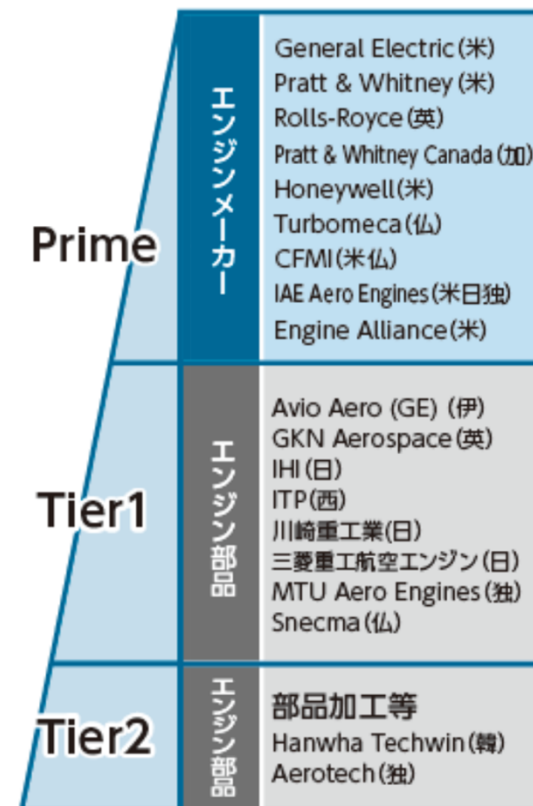
国研 : 我が国の航空機エンジン産業を支援

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 ₂ 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 ₂ /k L *1:出展 環境省等 |
| | ジェット燃料油の費用削減 | 33,370百万円 /年 (見込) | Jet Fuel Price*2:106 \$ /bbl, *2:IATA公表値: 6 April 2023、為替レート: 132円/\$ |
| | 本プロジェクト事業費 | 5,400百万円 (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"> 産業用ガスタービンへの適用も想定され、発電分野でのCO₂削減が期待される 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 |
| | 社会的効果 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 |
| | 人材育成 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 |

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。

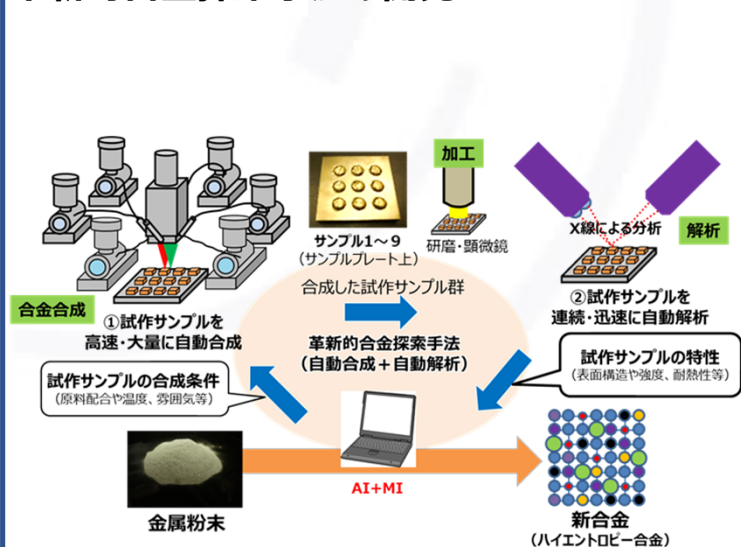
連続した研究開発により航空機エンジン向け国産材料の開発と競争力を強化し、航空機の燃費改善に貢献

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

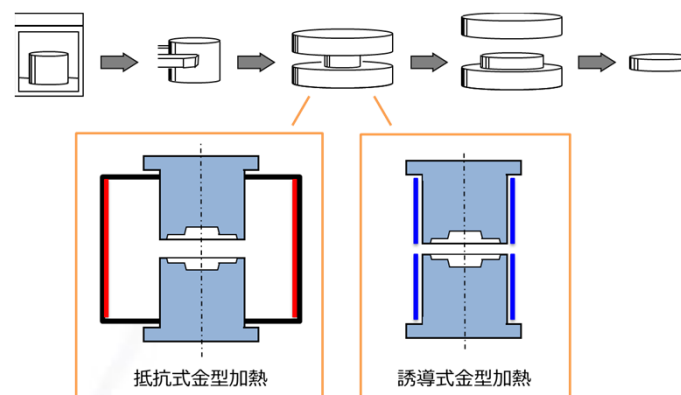
革新的合金探索手法の開発



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

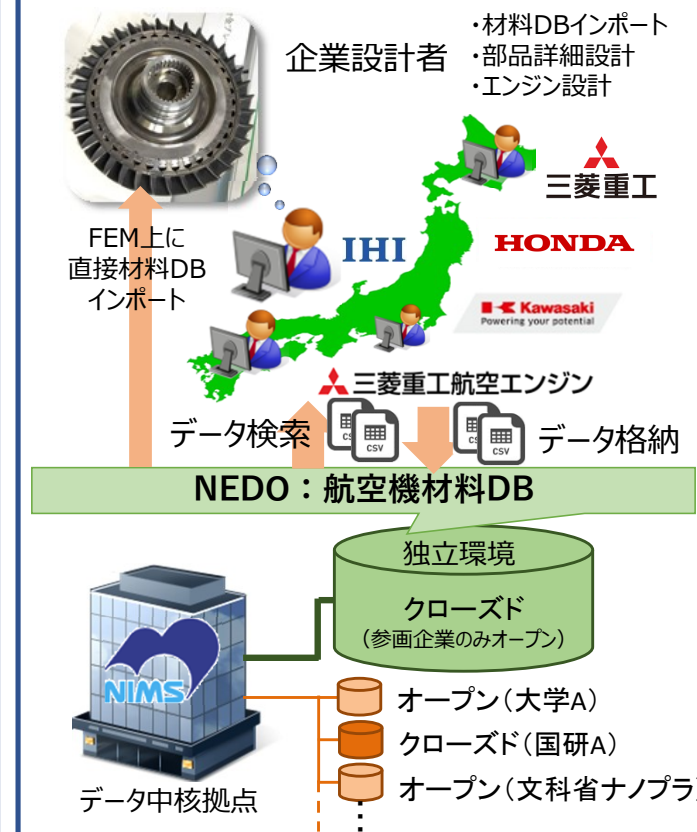


既存熱間鍛造プレスに脱着可能な2種類の金型加熱方式を開発し、要求に応じた使い分けによる高効率の鍛造を実現

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 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 革新的合金探索手法の開発 | 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"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 左記に追加 (自動合成 : 質の向上) 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。 | <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"> 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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) 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"> 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 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 材料特性に優れた合金組成を導出するソフトウェア | |

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 | 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 | → | → | → | → | → |
| 革新的エンジン部品製造プロセス開発 | | 助成事業 | 中間評価 | 中間目標 | 最終目標 |
| 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"> ■ 左記に追加 ・形状：円板形状 ・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) | 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： 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"> ■ 左記に追加 ・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(22μm)あるいはそれより細粒であること (ASTM E112 による) | |

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 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 |
| 革新的エンジン部品製造プロセス開発 | | 助成事業 | 中間評価 | 中間目標 | 最終目標 |
| 航空機エンジン用評価システム基盤整備 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 | 進捗状況 |

| 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"> ■ 左記に追加 ・形状：型打鍛造形状 ・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 ・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 | (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"> ■ 左記に追加 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 |
| 航空機エンジン用評価システム基盤整備 | 委託事業 | | | | 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"> 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（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。 | 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"> 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。 | 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"> 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。 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。 | <ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 <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"> 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 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 材料特性に優れた合金組成を導出するソフトウェア | ○ 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"> 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] 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 | 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"> 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。 | 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月に大きく上回って達成見込み | 目標が「1部材以上」であるところ、「2部材」での適用が検討されているため。 |

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

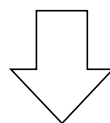
<評価項目 3> マネジメント

- (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

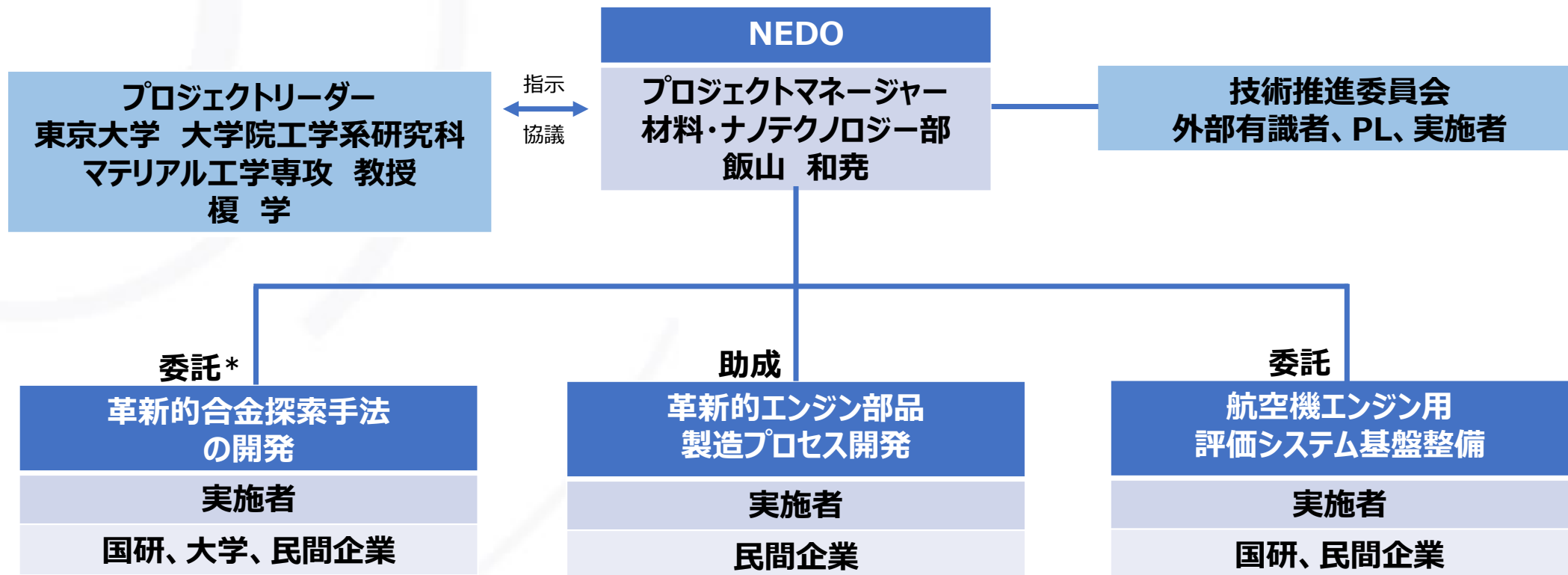
NEDOが実施する意義

- 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

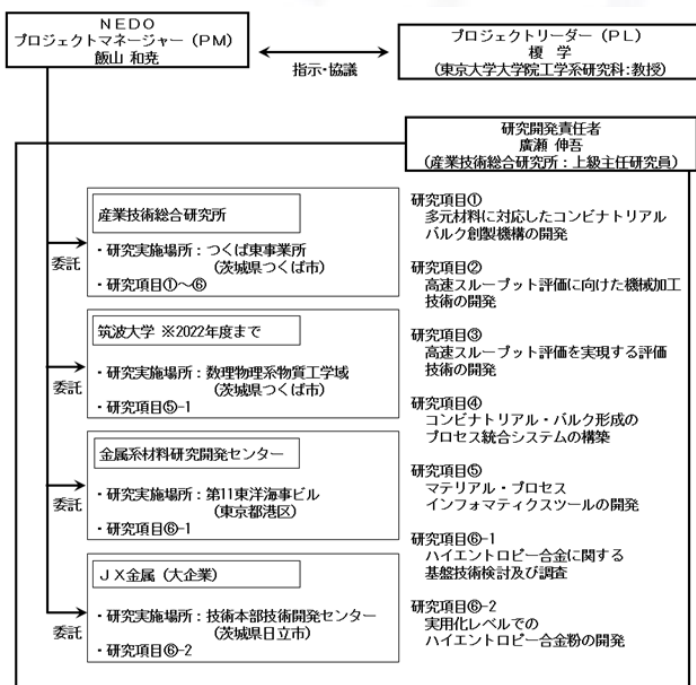
実施体制 (責任体制)



* : 2021-2023年度が委託、2024-2025年度が助成

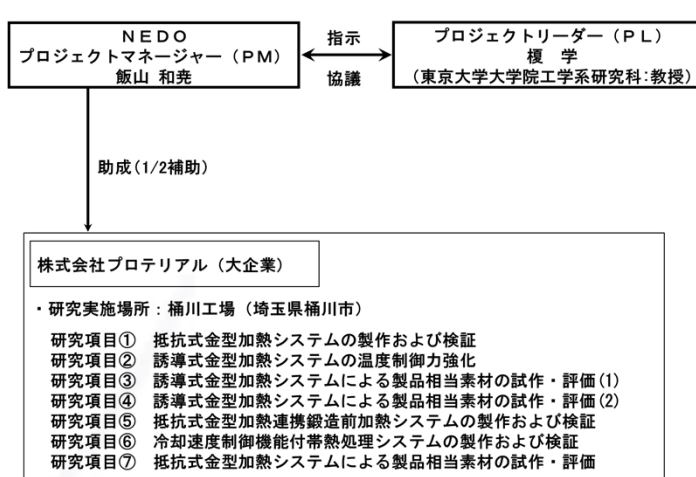
実施体制 (実施者間での連携)

革新的合金探索手法の開発 (合金探索)



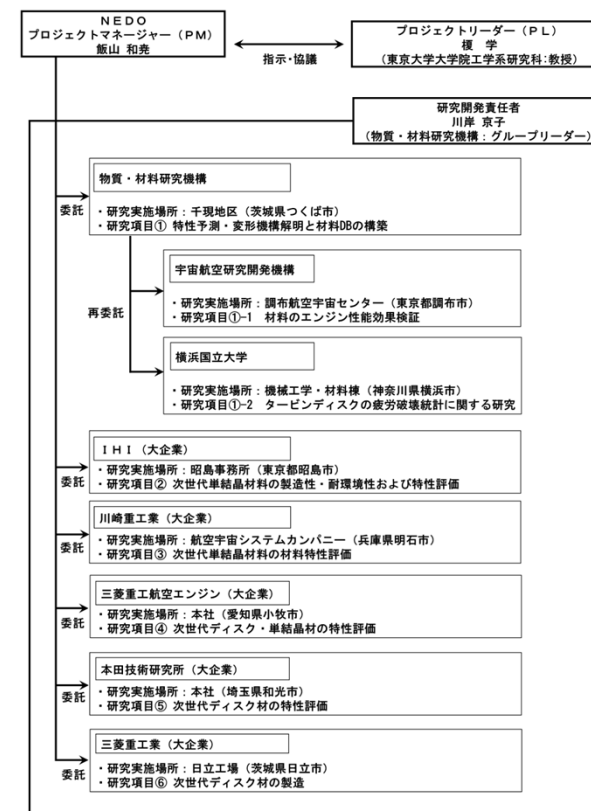
適用先: 航空機エンジン部材 (全般)

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

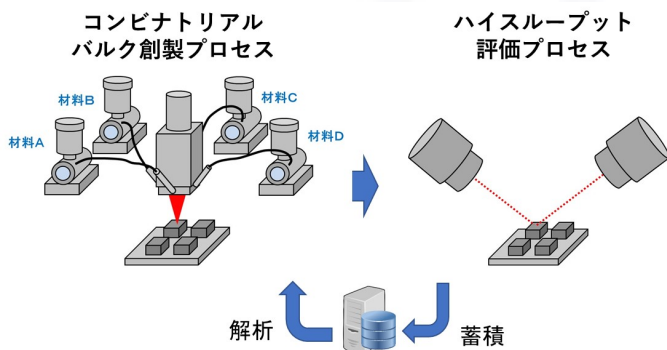
※2 : 合金探索は2021-2023年度が委託、2024-2025年度が助成

目標達成に必要な要素技術

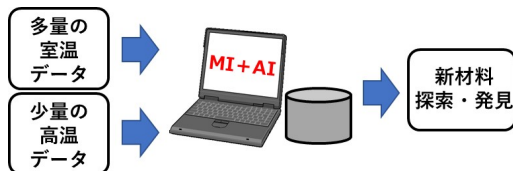
革新的合金探索手法の開発

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

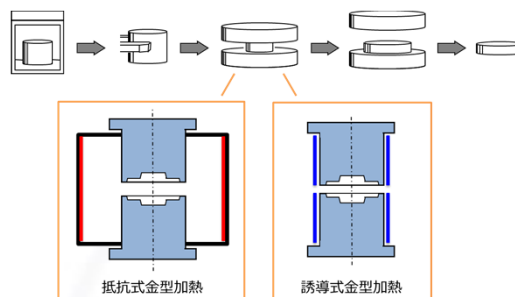


適用先：航空機エンジン部材（全般）

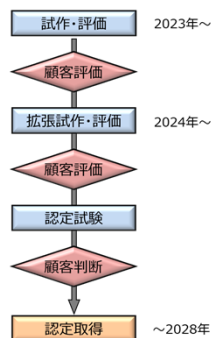
革新的エンジン部品製造プロセス開発

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

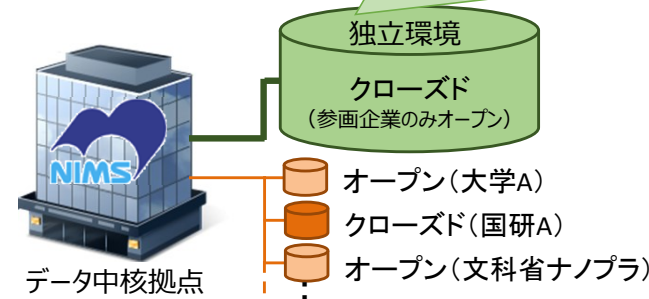
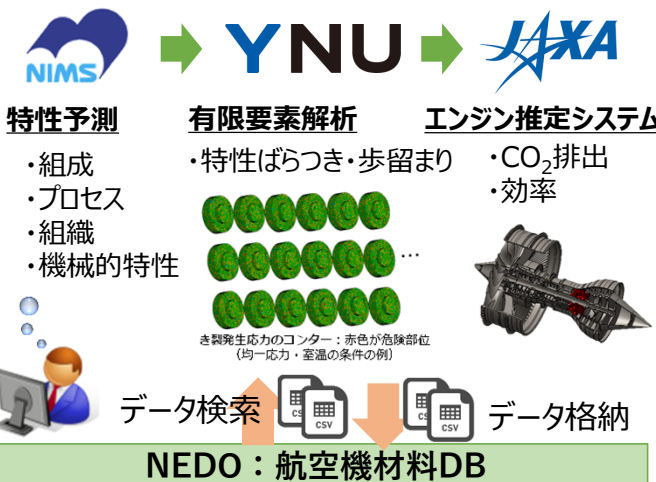


タービンディスク部材

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"> 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、より耐熱性に優れた高品質な合金の創製が可能となった。 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。 | 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"> 材料データ管理システムを前倒しで立ち上げ 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 製造プロセスウィンドウ評価手法の開発 タービンディスクの疲労破壊統計に関する研究など | <ul style="list-style-type: none"> 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。 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、海外OEMに対しタイムリーな提案が可能となる。 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海外OEMへの訴求力が向上する。 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。 | 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

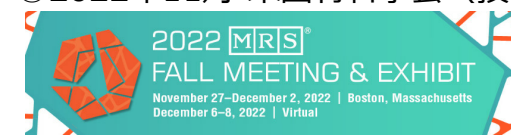
当該分野で先行する米国の動向を中心に、事業者らと共に**NEDOとしても積極的に**情報収集活動（国際会議、調査機関、展示会、意見交換）に参画して研究開発の方向性を議論、プロジェクトマネジメントに役立てた。

「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》

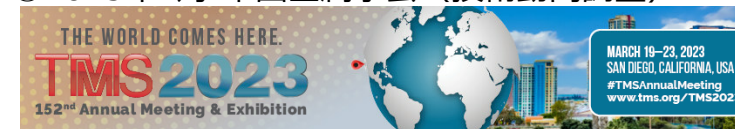
- 2022年11月 米国材料学会（技術動向調査）



- 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*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。

* 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