

2022年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名:

(大項目)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

2. 根拠法

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二及び第三号

3. 背景及び目的・目標

3. 1 背景

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、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、技術獲得競争がより激化している。

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、燃費向上に資する高圧タービン技術等、我が国が今後優位性を獲得可能な重要技術を開発するべきである。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。加えて、航空機産業では最終製品として求められる安全性・信頼性の高さゆえ、材料の段階から厳しい認証基準等が求められる。

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. 2 目的・目標

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機能材料を開発し、さらにその材料の部品製造、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、性能評価等のデータベースを

整備する。これらによって、川下である部素材産業及び加工・製造産業の連携により、航空機エンジン産業の国際競争力強化を目指す。

[助成事業(助成率:1/2 又は 2/3)]

研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」

【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。

[委託事業、助成事業(助成率:1/2 又は 2/3)]

研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」

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、自動分析システム、これらを繋ぎ合わせて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。

【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 1/100 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。

[委託事業]

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」

【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。

4. 実施内容及び進捗(達成)状況

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た。

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、以下の研究開発を実施した。

4.1 2021年度実施内容

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)

2022年度からの公募開始に向け、実施内容の精査及び公募の準備を実施した。

研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」(委託)

(実施体制:AIST、筑波大学、JRCM、JX 金属株)

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(担当:AIST)

レーザ DED による複数の元素を合成するバルク創製システムの開発に着手した。高温での活用を目指したハイエントロピー合金のバルク創製を行うことで、小さなエリアで形状精度の良い精密な造形が可能であることを示した。

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(担当:AIST)

電解砥粒エッチング加工として銅、ステンレス鋼を高速で加工し、金属組織観察が可能であることを示した。また、バルク造形後の難削材のハイエントロピー合金の切削性、研削性を評価し、連続機械加工実現への知見を得た。

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(担当:AIST)

独自の移動機構による電気抵抗率(導電率)、表面粗さ3次元測定器の開発を行い、高速スループット評価の可能性検証を行った。

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(担当:AIST)

空圧式と電磁式を併用した基板材料の搬送機構を開発し、連続的に加工および評価が可能なシステムを構築することで、加工および評価の連続プロセス化への可能性検証を行った。

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

(担当:AIST、筑波大学)

- バルク造形物のオフライン評価に着手し、レーザ DED 造形物に対して元素マッピングによる元素の分散度合や微小引張試験における強度評価などを行った。ハイエントロピー合金予測ソフトウェアを開発し、選択した元素について、ハイエントロピー合金に該当するかどうかを予測するソフトウェアを開発した。加工機および評価機から得られる加工条件および評価条件データを事例化するデータベース開発に着手した(担当:AIST)。
- 自動合成システムで作製された材料の組織を評価するため、電子顕微鏡を用いて組織像を撮影する方法と手順を立案した。これを少量のサンプルについて応用し、観察・評価を実施した(担当:筑波大学)。

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

(担当:AIST、JRCM、JX 金属株)

- 文献調査した中から本プロジェクトに関係する論文をピックアップし、産総研で行った計算データを含めて 38 事例のデータ化を行い、データベース構築に着手した(担当:AIST)。
- 耐熱用ハイエントロピー合金に関する特許及び論文を、検索式からの検索・抽出し、米国空軍等の注目論文・注目特許各 20 件程度を分析することにより現状の開発レベルを明確化した(担当:JRCM)。
- コンビナトリアル DED 法の妥当性試験用として、当社グループで開発した 5 元系合金粉末を提供した(担当:JX 金属株)。
- 5 元系合金粉末提供までの一連の手続きを通じて、JX 金属社内の受注・発注、測定、出荷までの手順を確立した(担当:JX 金属株)。
- JX 金属は提供した合金粉末の諸特性を測定し、産総研に報告するとともに、産総研から造形品組織のフィードバックを受けた(担当:JX 金属株)。

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)

(実施体制:NIMS、株IHI、川崎重工業株、三菱重工航空エンジン株、株本田技術研究所、三菱重工業株、再委託先:JAXA)

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:NIMS)

データベースのデータ取得対象とするタービン翼用材料 Ni 基単結晶超合金 TMS-238 及びタービンディスク用材料 Ni 基鋳鍛造超合金 TMW-4M3 の組成仕様・熱処理条件の検討を行った。NIMS 合金設計プログラムにより組成の変動が与える高温クリープ寿命への影響を明らかにし、許容できる組成幅を検討するための指針を得た。またデータベースの構造、項目を検討し、フォーマット案を作成した。

研究項目① -1 材料のエンジン性能効果検証(担当: NIMS-再委託先: JAXA)

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を見通した動向調査を進めている。

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)IHI)

TMS-238 の製造性について、インゴットの製造条件及び試験片の鋳造条件を検討し、単結晶鋳物試験片を製造した。

耐環境性評価について、比較材の CMSX-4 材を用いた耐環境性リスク検証の項目を検討し、TMS-238 の評価準備が完了した。

材料データベースの構築について、参画団体で共有のデータベース構築に向け、共用のデータ取得用フォーマットを作成した。

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))

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、データベースの基本構造について参画機関と検討を開始した。また TMS-238 について、製造条件を定めるために、試験用材料に数種類の熱処理を施工して各種強度試験を実施する計画を立案した。併せて TMS-238 との比較のために汎用単結晶合金である CMSX-4 について、試験用材料を入手して材料特性を取得するための各種強度試験を開始した。

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))

データベース構造検討について、構築する材料データベースに入れるべきデータ種類等の基本事項を決定した。

ディスク材料データベース構築/ブレード材料データベース構築/データ比較・検証について、NIMS 開発ディスク材料である TMW-4M3、ブレード材料である TMS-238 を対象として取得すべき材料データを明確化した。比較材の材料評価を実施した。

研究項目⑤ 次世代ディスク材の特性評価(担当: (株)本田技術研究所)

材料スペック構築に向けて、材料スペックとして管理すべき項目を洗い出し、具体的な管理内容について参画団体で議論を重ね、内容の整合を開始した。

材料データベース構築に向けて、材料データベースフォーマットや素材調達スケジュールについて、参画団体で議論を重ね、内容の整合を開始した。

研究項目⑥ 次世代ディスク材の製造(担当:三菱重工業株)

- 溶解鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定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)について、国内に製造所がある2社にて検討を行った。うち、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。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。これらの製造仕様の検討を参画する航空機エンジンメーカーとともにを行った。
- 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。2021年度は粉末作製に用いる素材調達を行った。
- 鍛造金型の製造と仕様策定高温鍛造に用いる金型について納期短縮とコスト削減を目的に金属3Dプリンタによる金型製造を検討した。また、金型製造に用いる候補材の粉末調達、ジェネレイティブデザインによる金型設計検討、モデル金型の造形および評価を行った。

4.2 実績推移

	2021年度
	委託
実績額推移 需給勘定(百万円)	455(実績) (NEDO)
特許出願件数(件)	0
論文発表数(報)	0
フォーラム等(件)	0

5. 事業内容

5.1 2022年度(助成)事業内容

研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセスの開発」(実施体制:日立金属株)

効率的な鍛造プロセスの設備設計及び導入プロセスの開発を開始する。

5.2 2022年度(委託)事業内容

研究開発項目②「革新的合金探索手法の開発」(委託)

(実施体制:AIST、筑波大学、JRCM、JX 金属株)

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(担当:AIST)

バルク形成時に可能なかぎり酸素の混入を低減する機構や、レーザの反射率が高い材料に対応した機構などを開発し、6種類の材料をコンビナトリアルに組成制御可能とするバルク創製が可能なシステムを構築する。

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(担当:AIST)

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、高速スループット評価に対応した面や形状の形成を実現する。また、各機械加工工程に対してインプロセスモニタリング技術を導入し、最適加工条件の選択が可能となる技術の開発を行う。

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(担当:AIST)

ハイスループット計測に対応するための制御機構を開発し、1サンプルあたり、10分で金属組織観察、15分で結晶構造、10分で硬さ、7分でヤング率、ポアソン比が計測可能な高速評価システムを開発する。

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(担当:AIST)

各加工の工程間を移動する加工間自動連結機構を開発し、連続加工システムを構築する。また、金属組織観察、結晶構造、元素組成等の開発した評価装置に対して、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。さらに、前年度に引き続き、加工時や評価時において、得られた加工条件・評価条件をデータベース化するシステムを開発する。

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

(担当:AIST、筑波大学)

- 選択した少量サンプルによる材料データの取得するため、微小試験片を用いた引張強度、バルク試験片による高温環境下での硬さや摩擦、複数の熱物性に加えて、高温・大気環境下での圧縮強度、クリープ特性データを取得する。また、研究項目③および⑤で得られたデータや理論計算結果などからなる多元系材料のデータベースを構築し、機械学習などの機能を含めた 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(担当:AIST)。
- 2021 年度に立案した電子顕微鏡を用いた組織像評価の方法と手順を最適化し、少量のサンプルについて応用して、材料組織を評価するとともに機械的特性との関係などを明らかにする。各サンプルの作製条件と評価された組織を対応させ、材料設計

と高性能材料作製に活用する(担当:筑波大学)。

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

(担当:AIST、JRCM、JX 金属株)

- 前年度開発したハイエントロピー合金事例データベースのデータ事例の数を増加させ、現状開発レベルを明確化する(担当:AIST)。
- データからの材料設計を可能とするデータ駆動型材料科学など、材料開発を加速させる方法に関する論文及び特許、さらに、コンビナトリアル材料溶製・ハイスルーブット評価手法に関する論文の中からそれぞれ注目すべき10件程度を抽出し、分析することで開発レベルを明確化する(担当:JRCM)。
- 提供した5元系合金粉末の造形物の評価結果から得られた課題に対して粉末側でできる改善策を検討する(担当:JX 金属株)。
- 5元系以外の成分系のDED法に適した合金粉末の開発と提供(担当:JX 金属株)。
- 本プロジェクト参加機関からの造形体の調査結果のフィードバック、文献調査の情報を生かした新合金粉末開発に向け基礎技術を確立する(担当:JX 金属株)。

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)

(実施体制:NIMS、(株)IHI、川崎重工業(株)、三菱重工航空エンジン(株)、(株)本田技術研究所、三菱重工業(株) 再委託先:JAXA、横浜国立大学)

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:NIMS)

対象材料の組成、熱処理条件等仕様の検討を継続する。サブスケール素材を用いてクリープ、疲労特性等の評価を行い、高温変形挙動の機構解明を行う。また、前年度に引き続きNIMS合金設計プログラムにより組成の変動が与える高温クリープ寿命を評価するとともに、各機関で取得するクリープ特性との比較を行い、組成スペック決定を支援する。

参画機関で共通利用可能なデータベースの構造を検討し構築を開始する。

研究項目① -1: 材料のエンジン性能効果検証(担当:NIMS-再委託先:JAXA)

2021年度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エンジン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。

研究項目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:NIMS-再委託先:横浜国立大学)

2022年度は予備検討として、タービンディスク模擬形状品に対応する有限要素モデルを作製の上、均一温度条件下における回転試験に対応した計算を実施する。これにより、局所的な静的き裂発生応力の分布を有する模擬形状品のマクロ破断強度のばらつきを

表現可能な解析スキームを実現する。

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IHI)

製造性について、前年度に製作した TMS-238 鋳物試験片および比較材の CMSX-4 単結晶鋳物試験片を用いて、特性・耐環境性の比較データを取得し、優位性を確認する。耐環境性評価について、TMS-238 及び比較材の CMSX-4 を用いて、前年度検討したリスク検証の項目である高温での組織安定性の評価を行う。データベース構築については、前年作成した共用のデータ取得フォーマットを用いたデータ取得を行っていく。

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)

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、引き続きデータベースの基本構造について参画機関と検討を行う。また TMS-238 について、製造条件を定めるために、数種類の熱処理を施工した試験用材料を入手して各種強度試験を実施する。併せて TMS-238 との比較のために汎用単結晶合金である CMSX-4 について、材料特性を取得するための各種強度試験を引き続き実施する。

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)

データベース構造検討について 材料データベースの運用基本事項を決定する。ディスク材料データベース構築/ブレード材料データベース構築/データ比較・検証について ディスク材料 TMW-4M3、ブレード材料 TMS-238 の特性評価を実施する。比較材の材料評価を継続実施する。

研究項目⑤ 次世代ディスク材の特性評価(担当:株本田技術研究所)

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)

・溶解鍛造ディスク材の製造と製造仕様策定

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ピレットを作製する。ピレットのサイズは、航空機エンジンメーカーと協議し決定する。また、ピレットの製造仕様を取りまとめる。もう一社の国内メーカーについてもインゴット製造を開始する。

・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、前年度に購入した粉末によりピレット製造を行い、その妥当性を検証する。

・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、レーザ粉末 PBF 方式について量産化対応を行い、製造仕様を策定する。

6. その他重要事項

(1) 評価の方法

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。

(2) 運営・管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMIは、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術推進委員会等を組織し、様々な観点から定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

(3) 関係省庁の施策との連携体制の構築

NEDO が実施する「革新的新構造材料等研究開発」や内閣府が実施する「戦略的イノベーション創造プログラム：統合型材料開発システムによるマテリアル革命」の実施体制と緊密に連携する。

(4) 複数年度契約の実施

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

(5) 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。

(6) 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(委託者指定データを指定しない場合)」を適用する。

6. 本年度のスケジュール

研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」

2021年 12月下旬……………公募予告

2022年 1月下旬……………公募開始

3月上旬……………公募締切

3月下旬……………採択審査委員会

4月中旬……………契約・助成審査委員会

6月中旬……………交付決定通知

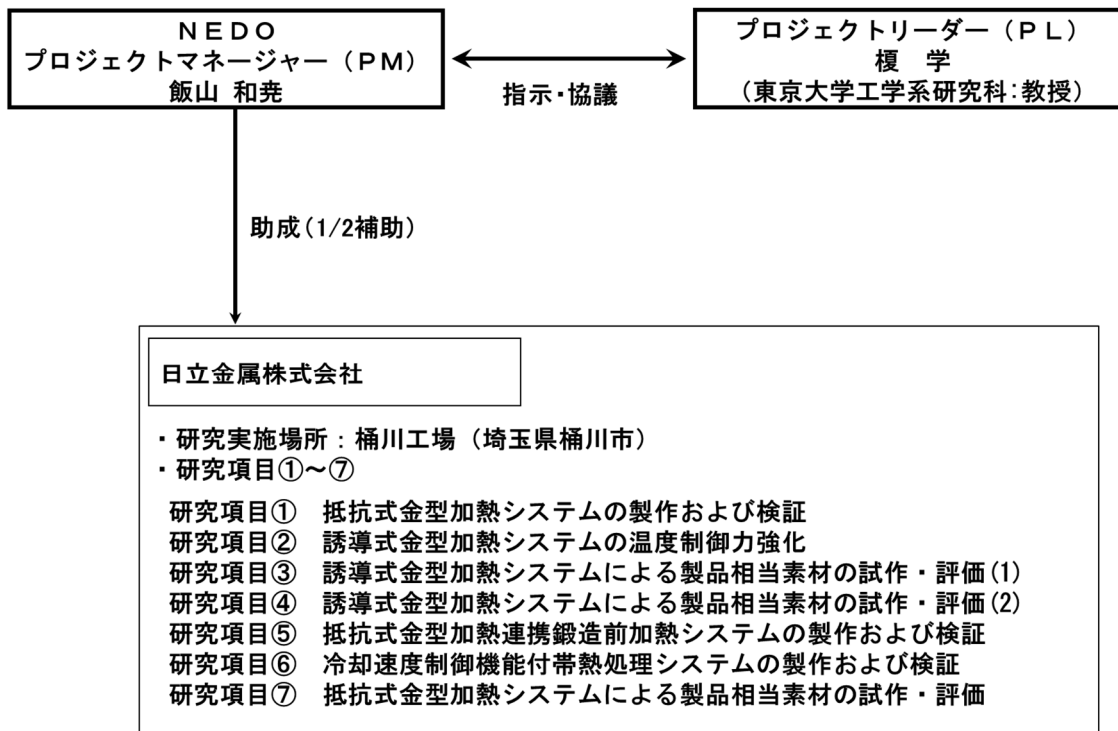
7. 実施方針の改定履歴

(1)2022年1月、制定

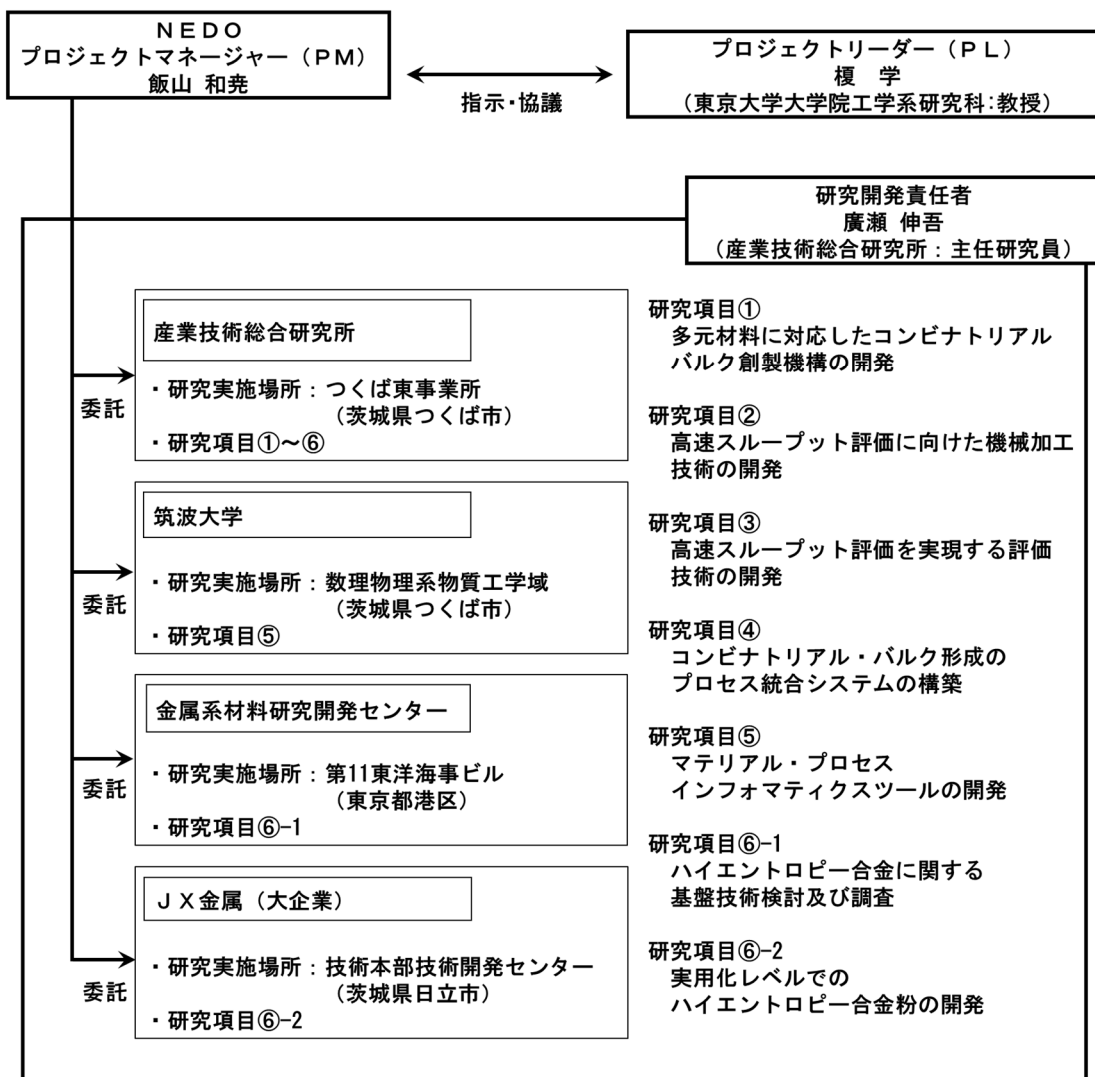
(2)2022年8月、研究開発項目①に関する研究体制の決定及び研究開発項目③に関する研究体制の変更

(別紙) 事業実施体制図

研究開発項目①「革新的エンジン部品製造プロセス開発」 ※体制図追加



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」 ※体制図差し替え

