

## 2024 年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

## 1. 件名:

(大項目)次世代ファインセラミックス製造プロセスの基盤構築・応用開発

## 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九号

## 3.背景及び目的・目標

## 3.1 研究開発の背景・目的

## ①政策的な重要性

Society 5.0(超スマート社会)の実現に向けて、デジタル機器の小型化、高性能化及び高信頼化の要望が高まってきている。一般社団法人 電子情報技術産業協会の「電子情報産業の世界生産見通し 2020」によると、デジタル機器の安定作動を支える日本のファインセラミックス電子部品等は世界市場の約 4 割を占めている。今後市場が拡大するエネルギー・IoT 分野や医療・ヘルスケア分野でのデジタル化においても、海外の技術的な追い上げを許さない高い産業競争力と高い世界シェアを確保していく必要がある。

ファインセラミックスの製造プロセスは、原料粉末を成形し焼成する過程で、微構造等の形体や混合状態等の質が変化し、それらの形質変化の情報が製品にほとんど残らないため、リバースエンジニアリングが困難であり、ブラックボックス化されることで強いノウハウを生み出していた。その一方で、最適なプロセス条件の設計は「経験と勘」や「製造プロセス間の人的なすり合わせ」に多く頼ってきた。

本事業では、理論的なアプローチによる革新的なプロセス技術開発の確立を目指し、ファインセラミックスの製造工程で生じるメカニズムを理解するプロセス解析技術の高度化や、計算科学の進歩によるプロセスシミュレータでの設計を可能とする「ファインセラミックスのプロセス・インフォマティクス技術」の確立と産業利用に向けた基盤構築を目指す。

本技術開発は「統合イノベーション戦略 2020(2020 年 7 月閣議決定)」、マテリアル・イノベーション創出のための「マテリアル革新力強化」等の政府戦略の中で重点的に取り組むべき課題として位置付けられている。

## ②我が国の状況

ファインセラミックス産業は日本で戦略的に創出され、1990 年代の経済産業省主導の国

家プロジェクト「通産省ファインセラミックスプロジェクト(1981-1992 年度)」や「経済産業省シナジーセラミックス開発 1994-2003 年度」等にて、産学連携でファインセラミックス技術開発が実施された。近年では、JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新(2016 年～2020 年)」が実施され、アカデミア主体での将来の革新プロセス技術創出に向けたシーズ創出研究が行われた。また、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP : Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)の中では、「高付加価値セラミックス造形技術の開発」(2014 年-2018 年)として、複雑形状のファインセラミックスの3D 積層造形プロセス技術の開発やレーザー焼結技術・難焼結性セラミックスの反応焼結技術の基盤研究等が取り組まれ半導体設備向けの軽量複雑形状ステージ部材や複雑形状のフィルター部材等の試作技術開発が行われた。

我が国でのインフォマティクス技術を用いた材料研究は、材料予測から材料試作・検証を行い、「なにを作るか」にフォーカスした材料設計を加速する研究開発事業が主として行われている。例えば、SIP 革新構造材料プロジェクトでの金属系構造材料開発でのマテリアルズ・インフォマティクス技術や文部科学省 MI2I プロジェクトでの電池・磁石・熱電材料等の革新構造材料や新規機能設計に関わる取り組みが挙げられる。また、経済産業省・国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合研究開発機構(以下「NEDO」という。)が進める「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」での取り組みは有機材料のナノスケールから高次構造までのマルチスケール設計や機能設計に関するものである。

このような中、計算科学を利用した、「どう作るか」にフォーカスしたファインセラミックス部品の製造プロセス開発プロジェクトは世界初の取り組みである。本プロジェクトは日本の素材産業のなかで世界シェアが高い電子部品等のファインセラミックス分野の産業競争力強化に繋がるものである。

### ③世界の取組状況

ファインセラミックスのプロセス研究開発では、米国 National Science Foundation (NSF) の制度で、大企業から中小企業までの産業界の要望に応えた革新的研究開発分野での開発プログラム Industry-University Cooperative Research Centers Program (IUCRC) の一つとして、Center for Dielectrics & Piezo-electrics において、次世代誘電体・圧電体に関する基礎研究開発が進められている。

中国では、2015 年 5 月に中国国務院が公表した「中国製造 2025」で、製造業の研究開発支出を 10 年で約 2 倍に引き上げる目標が掲げられており、具体的な「国家重点開発計画」のテーマの中で、新型特殊セラミックス材料革新技術や高性能セラミックス高機能性精密製造技術等の研究開発が行われている。

インフォマティクスを用いた材料研究に関しては、米国では、2011 年 6 月に新たな素材開発インフラの構築を目指すプロジェクトとしてマテリアル・ゲノム・イニシアチブをオバマ政権が打ち出した。本プロジェクトでは、最先端素材の開発から市場導入までに要する時間を半減さ

せることを目標に掲げ、素材開発に用いられる計算機シミュレーションや実験的手法等、様々なデジタルデータを活用した統合的アプローチにより素材開発基盤の高度化を図ることを目指し、金属、有機化合物、無機化合物等未知の新材料開発を進めてきた。

中国でも中国科学院と中国工学院が連携して中国版マテリアルゲノム計画に着手している。

韓国は 2015 年から 10 年計画で同様のクリエイティブ・マテリアルズ・ディスカバリー・プロジェクトに取り組んでいる。

#### ④本事業のねらい

一企業では困難な、ファインセラミックスの一連の工程を対象とした製造プロセス技術と計算科学の融合・連携により、次世代のファインセラミックスのプロセス基盤技術を確立するとともに、企業における実用化を支援する。

具体的には、理論的なアプローチに基づくプロセスメカニズム解析技術やファインセラミックスの原料粒子製造～成形～焼成～加工等のセラミックス部品製造の全工程をカバーするプロセスシミュレータ等の革新的なプロセス開発基盤の構築と企業における開発基盤を活用した製造プロセス開発をナショナルプロジェクトとして行うことで、これまでの「経験と勘」に基づいた製造プロセス開発を変革するとともに競争力の高い素材産業の優位性を確保する。

### 3. 2 研究開発の目標

次世代ファインセラミックスの製造プロセス開発支援を可能とする高度な計算科学、先端プロセス計測技術等を駆使して革新的なプロセス開発基盤を構築する。これらの開発基盤により、ファインセラミックス部品の新規製造プロセスを 20 種以上開発し、このプロセスを使用した新規部品の試作を実施する。

#### [委託事業]

##### 研究開発項目① 革新的プロセス開発基盤の構築

##### 研究開発項目①-1 製造プロセスの可視化技術及びメカニズム解析技術の開発

各種計測技術、画像処理等を活用してファインセラミックスの各製造プロセスの可視化技術の開発を行う。また蓄積したプロセスデータをもとにプロセス間での状態変化等のメカニズム及び制御因子を明らかにする。

##### 【中間目標(2023 年度)】

対象とするプロセスの可視化に必要な装置・システムの開発及び可視化技術の開発を行う。また、可視化技術により得られたプロセスデータを活用する事により、プロセスシミュレータの開発に必要とされるプロセス間の状態変化等のメカニズムを解明するとともに各プロセスの制御因子を明らかにする。これにより、研究開発項目①-5 において目標とするプロセス技術開発に資する。

##### 【最終目標(2026 年度)】

中間目標までに開発した可視化技術をもとに、プロセスシミュレータのブラッシュアップのために必要なプロセスデータを取得し、プロセス・インフォマティクス標準プラットフォームに蓄積する。これにより、ファインセラミックスの新規製造プロセス開発(20種以上)に資する。

#### 研究開発項目①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発

ファインセラミックスの製造プロセスにおける一連の複雑な現象が関係した計算を一気通貫に扱うことのできるシミュレーション技術を開発し、ファインセラミックスのプロセス・インフォマティクスのための標準プラットフォームを構築する。

##### 【中間目標(2023年度)】

成形・乾燥・脱脂・焼成等の各要素及び一連の製造プロセスを一気通貫に扱えるシミュレータを開発する。これにより、研究開発項目①-5において目標とするプロセス技術開発に資する。

##### 【最終目標(2026年度)】

中間目標までに開発したプロセスシミュレータと実験から得られるプロセスデータの蓄積及びプロセス探索を可能とする「プロセス・インフォマティクス標準プラットフォーム」を構築する。これにより、ファインセラミックスの新規製造プロセス開発(20種以上)に資する。

#### 研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発

次世代ファインセラミックスに必要とされる小型・高性能・高信頼性を実現するための製造プロセスを開発する。

##### 【中間目標(2023年度)】

次世代ファインセラミックスに必要とされる製造プロセス技術を開発する。これにより、研究開発項目①-5において目標とするプロセス技術開発に資する。

##### 【最終目標(2026年度)】

中間目標までに開発したファインセラミックスの新規製造プロセスのプロセスデータを取得し、プロセス・インフォマティクス標準プラットフォームに蓄積する。これにより、ファインセラミックスの新規製造プロセス開発(20種以上)に資する。

#### 研究開発項目①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発

次世代ファインセラミックスの高信頼性を確保するために必要となる計測・評価技術等を開発する。

##### 【中間目標(2023年度)】

欠陥の生成過程や進展過程等の評価に必要な計測・評価技術を開発する。これにより、研究開発項目①-5において目標とするプロセス技術開発に資する。

##### 【最終目標(2026年度)】

中間目標までに開発した計測・評価技術により欠陥の生成過程や進展過程等のデータを

取得し、プロセス・インフォマティクスの標準プラットフォームに蓄積する。これにより、ファインセラミックスの新規製造プロセス開発(20種以上)に資する。

#### 研究開発項目①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発

研究開発項目①-1～①-4 で開発したプロセス開発基盤を活用し、次世代電子部品、エンジニアリングセラミックス部品等について材料設計・プロセス技術に関する課題を設定し実施する。

##### 【最終目標(2023年度)】

研究開発項目①-1～①-4 で開発したプロセス開発基盤を活用し、製品群毎に必要なプロセス技術の開発を行う。また、これらのプロセス技術をプロセス開発基盤へ反映する。これにより研究開発項目②におけるプロセス技術開発に資する。

[助成事業(助成率:1/2 又は 2/3)]

#### 研究開発項目② 革新的プロセス開発基盤の応用開発

2023年度までに開発したプロセス開発基盤をもとに、新規製造プロセス開発のための課題を設定して実施する。

##### 【最終目標(2026年度)】

2023年度までに開発したプロセス開発基盤を企業での製品開発に適用し、ファインセラミックスの新規製造プロセスを開発する。また、このプロセスを使用した新規部品の試作を実施する。

## 4. 実施内容及び進捗状況

プロジェクトマネージャー(PMgr)にNEDO材料・ナノテクノロジー部 高島 英彰を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、プロジェクトに求められる技術成果及び政策的効果を最大化させた。国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下、「AIST」という)、一般財団法人ファインセラミックスセンター(以下、「JFCC」という)、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテドは AIST 藤代 芳伸氏をプロジェクトリーダー(以下、「PL」という)として、さらに JFCC 木村禎一氏をサブプロジェクトリーダー(以下、「SPL」という)として以下の通り研究開発項目①を実施した。

### 4.1 2023年度事業内容

#### 研究開発項目①「革新的プロセス開発基盤の構築」(委託)

次世代ファインセラミックスの製造プロセス開発支援を可能とする高度な計算科学、先端プロセス計測技術等を駆使して革新的なプロセス開発基盤構築を進めた。

#### 研究開発項目①-1 製造プロセスの可視化技術及びメカニズム解析技術の開発

(実施体制: AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 東京大学、横浜国立大学、物質・材料研究機構)

スラリー中の分散状態可視化技術を開発し、セラミックス粒子内の欠陥状態に関する評価手法について分光学的手法や核磁気共鳴法等の検討を進め、評価技術の信頼性確認を経て、データの収集を開始した。プロセスシミュレーションを構築するためのデータセットを 12 種類蓄積した。

#### 研究開発項目①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発

(AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 京都工芸繊維大学、東北大学、東京大学、筑波大学、九州大学)

開発する各プロセスシミュレーションの目標精度を原料粒子のサイズを基準に策定し、成形・乾燥脱脂シミュレーション及び焼結シミュレーションにおいて、所望の空隙を再現・予測可能とした。

研究開発項目①-1 及び項目①-3 の実験結果等との比較を通じて、シミュレーションのさらなる高精度化のための課題を明らかにした。また、要素シミュレーションの「統合化」に向けて、各要素シミュレーションの入力および出力データを整理し、統合型シミュレーションを実現するためのプラットフォームの基礎を構築した。

#### 研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発

(AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 名古屋大学、横浜国立大学、長岡技術科学大学、東海大学)

微小原料粒子のフロー製造において、複数の金属から構成される酸化物粒子の粒径や分布の制御に関するプロセス-分析データセットを構築し、AI などの活用による最適製造条件探索の有用性を例証した。また、スラリーデータセット構築のための技術を検証した。

また、モデル材料に対する成形、乾燥脱脂実験を実施しデータセットを構築するとともに、データセットを用いたシミュレーションおよび AI などの活用から提案される最適条件の妥当性を実実験との比較により評価し、開発技術の有用性の検証を行った。また、シミュレーション技術の構築および高度化に必要なプロセスデータの蓄積を進めた。

#### 研究開発項目①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発

(AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 東京大学、横浜国立大学、物質・材料研究機構)

ーリミテド、再委託：中京大学、横浜国立大学、長岡技術科学大学、東京大学)

破壊現象メカニズムの解析手法を開発するにあたり、破壊に影響を与える構造因子を明らかにするとともに、気孔や欠陥を予測・解析・数値化するための手法を探索した。また、熱応力解析技術ならびに温度変化時のデバイス変形挙動等の計測技術を活用し劣化要因となる因子を明らかにし、加速劣化試験法開発の方向性を検討した。

#### 研究開発項目①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発

(AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド)

研究開発項目①-1～4の技術開発の内容に関して、研究開発項目②で実施する実用化研究への円滑な接続を目的として開発技術の有用性を検証し、さらに、2024 年度以降の研究期間において研究開発項目①で取り組むべき共通研究課題の明確化と達成レベルの提示を行った。また、研究開発項目②の最終目標の達成のために、新たに拡充すべき技術を明確化した。

#### 研究開発項目②「革新的プロセス開発基盤の応用開発」

なし。

### 4. 2 実績推移

	2022 年度	2023 年度
	委託	委託・助成
需給勘定(百万円)	2,801	1047
特許出願件数(件)	0	0
論文発表数(報)	0	7
フォーラム等(件)	0	0

### 5. 事業内容

引き続きプロジェクトマネージャーにNEDO材料・ナノテクノロジー部 高島 英彰を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、プロジェクトに求められる技術成果及び政策的効果を最大化させる。

2023 年度に引き続き、AIST 藤代 芳伸氏を PL として、さらに JFCC 木村禎一氏を SPL として研究開発項目①及び②を実施する。

#### 5. 1 2024 年度事業内容

##### 研究開発項目①「革新的プロセス開発基盤の構築」(委託)

プロジェクト中間目標の達成に向けて、次世代ファインセラミックスの製造プロセス開発支援

を可能とする高度な計算科学、先端プロセス計測技術等を駆使して革新的なプロセス開発基盤の構築を引き続き進める。

#### 研究開発項目①-1 製造プロセスの可視化技術及びメカニズム解析技術の開発

(実施体制: AIST、JFCC、株式会社 村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社 ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 東京大学、横浜国立大学、物質・材料研究機構)

セラミックス製造プロセス、特に成形プロセスにおける微構造形成メカニズムの理解のために重要なスラリー中の分散状態可視化技術を開発し、欠陥構造の評価のための分光学的手法や核磁気共鳴法等の検討を進め、評価技術の信頼性確認を経て、高精度のデータ収集を進める。プロセスシミュレーションを構築するためのデータセットを 10 種類以上蓄積する。また、これまで開発した可視化技術等を用い、研究開発項目①-2 と連携し、プロセスシミュレーションに必要な物性およびプロセスパラメータを明らかにし、その取得方法の高度化を図る。

#### 研究開発項目①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発

(AIST、JFCC、村田製作所、京セラ、太陽誘電、AGC、日本特殊陶業、日本ガイシ、TOTO、ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 京都工芸繊維大学、東北大学、東京大学)

開発する各プロセスシミュレーションの目標精度を原料粒子のサイズを基準に策定し、成形・乾燥脱脂シミュレーション及び焼結シミュレーションにおいて、所望の空隙を再現・予測可能とする。

開発プロセスシミュレータの高度化およびシミュレーションの基盤要素(シミュレーションを用いたプロセスデータの蓄積及びプロセス条件の探索および最適化)の拡充や利用を進める。要素の連結による「統合型」シミュレーションへの展開を進める。

#### 研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発

(AIST、JFCC、村田製作所、京セラ、太陽誘電、AGC、日本特殊陶業、日本ガイシ、TOTO、ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 名古屋大学、横浜国立大学、長岡技術科学大学、東海大学)

微小原料粒子のフロー製造において、複数の金属から構成される酸化物粒子の粒径や分布の制御に関するプロセス—分析データセットを蓄積し、AI などの活用による最適製造条件探索の有用性を例証する。また、スラリーデータセット構築のための技術を確立する。

また、前年度に引き続き、モデル材料系を対象とした成形、乾燥脱脂および焼結実験を実施してプロセスデータセットを構築するとともに、構築したデータセットを用いたシミュレーションおよびその結果の解析によって提案される好適条件の妥当性を実実験により検証し、開発技術の有用性を検証する。



#### 研究開発項目①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発

(AIST、JFCC、村田製作所、京セラ、太陽誘電、AGC、日本特殊陶業、日本ガイシ、TOTO、ノリタケカンパニーリミテド、再委託: 中京大学、横浜国立大学、長岡技術科学大学、東京大学)

破壊現象メカニズムの解析手法を開発するにあたり、破壊に影響を与える構造因子を明らかにするとともに、気孔や欠陥を予測・解析・数値化するための手法を探索する。微構造観察画像からの特徴量抽出技術を基盤として、開発シミュレータでの計算画像を含む組織情報から信頼性の低下をもたらす欠陥構造の定量化する手法開発を進める。

#### 研究開発項目②「革新的プロセス開発基盤の応用開発」(助成)

(実施体制: 株式会社村田製作所、京セラ株式会社、太陽誘電株式会社、AGC 株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本ガイシ株式会社、TOTO 株式会社、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、共同研究: AIST、JFCC)

2023 年度までに実施した研究開発項目①の成果、および 2024 年度に実施する研究開発項目①-1~4 の成果に関して、各社が実用化を目指す部材およびプロセスへの適用のための取り組みを進める。特に、研究開発項目①で主として取り扱うモデル部材およびモデルプロセスと実部材および実プロセスとの相違点に留意しつつ、両者の円滑な接続を目的とした開発技術の高度化を進め、さらに、研究開発項目①で取り組む共通研究課題の明確化と実用化に必要な達成レベルを提示する。また、研究開発項目②の最終目標の達成のために、拡充すべき技術を明確化し、実用化のための着実な進展を図る。

### 5. 2 2024 年度事業規模

委託、及び助成(助成率: 1/2 又は 2/3)

需給勘定 870 百万円(予定)

事業規模については、変動があり得る。

### 6. その他重要事項

#### (1) 評価の方法

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、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、中間評価として2024年度、終了時評価を2027年度に実施する。

なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じて事業の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、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、事業実施を前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、研究開発を効率的に推進するため、研究開発項目①を対象として、ステージゲート方式を適用する。

## (2) 運営・管理

NEDOは、研究開発実施者と緊密に連携し、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。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) 複数年度契約の実施

2024年度は単年度契約、単年度交付を行う。

## (4) 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①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。

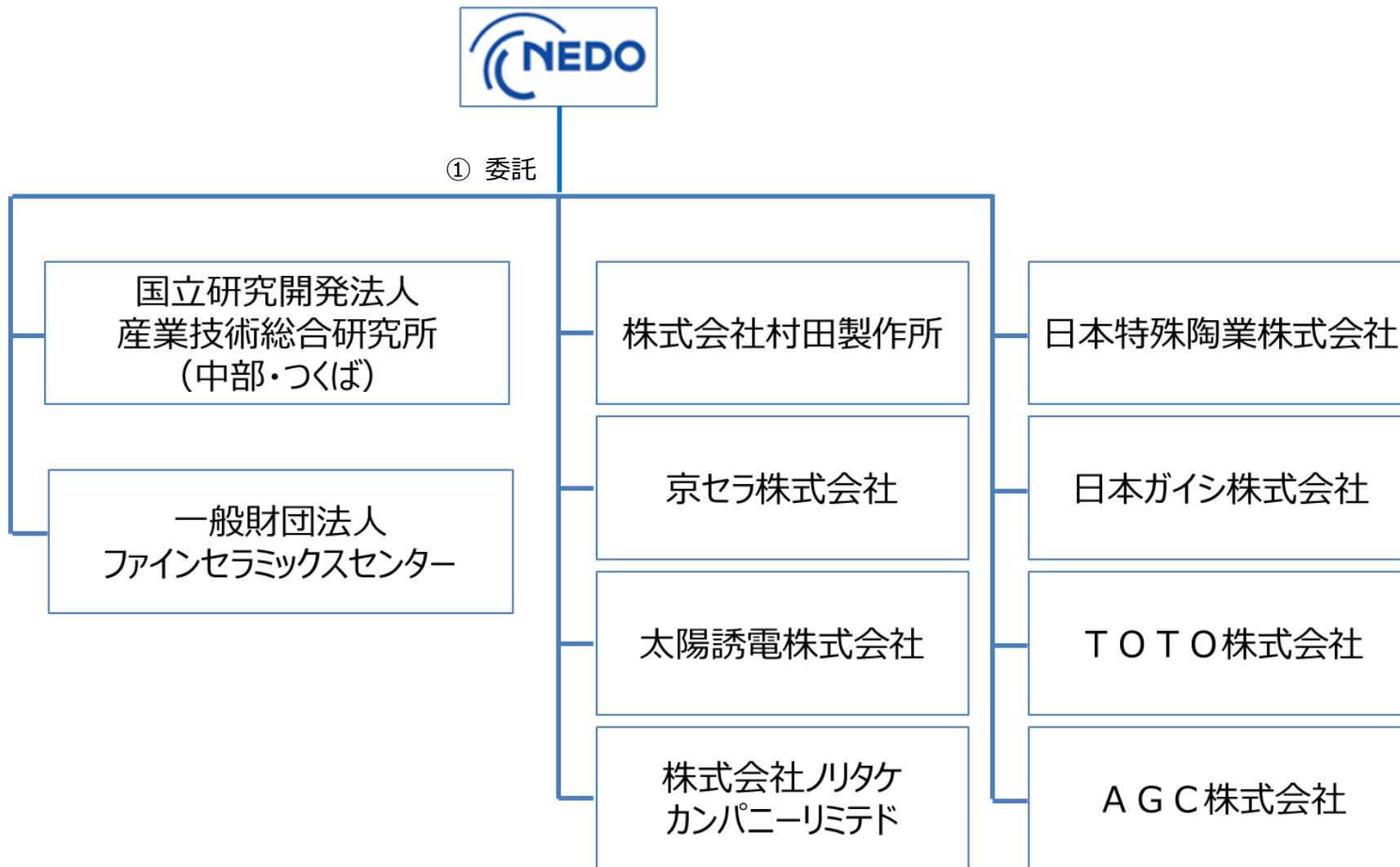
## (5) データマネジメントに係る運用

委託事業である研究開発項目①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。

## 7. 実施方針の改定履歴

### (1) 2024年4月制定

(別紙)実施体制図





②助成

