

「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」(中間評価)

2022年度～2026年度 5年間

プロジェクトの説明 (公開版)

2024年6月18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

1

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

プロジェクトの概要

【背景】
○ファインセラミックス電子部品の製造プロセスに関する多くの「経験とノウハウ」は高い世界シェアの源泉。
○超小型・高性能・高信頼性が要求される次世代ファインセラミックス市場において引き続き高い世界シェアを確保するためには、「従来の「人的なすり合わせ」に代わる新たなプロセス基盤技術開発が不可欠」。

【目的】
ファインセラミックスの製造プロセス技術と計算科学の融合・連携により、「革新的なプロセス基盤技術」を確立するとともに、「企業における実用化」を支援する。

【研究開発の内容】
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(プロセスインフォマティクス(PI))のプラットフォームを構築する。
②革新的プロセス開発基盤の応用開発(助成)
プロセス開発基盤を活用し、企業における製品化を加速する。

PIプラットフォーム

プロジェクトの概要

プロジェクト類型: 基礎的・基盤的研究開発

関連する技術戦略: 電子部品用ファインセラミックス分野の技術戦略

既存プロジェクトとの関係

- JST A-STEP「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」(2016～2020)
- SIPI 期「高付加価値セラミックス造形技術の開発」(2014～2018)
- 情報統合型物質・材料開発イニシアティブ(MI2I)(2016～2021)
- NEDO「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」(2016～2021)
⇒ 計算科学を利用した、ファインセラミックス部品を「どう作るか」にフォーカスしたPJの例はない。2021年度より、マテリアル先端研究「ファインセラミックスのPI基盤構築」を開始。

事業計画

期間: 2022～2026年度(5年間)
総事業費(NEDO負担分): 67億円(予定)(委託/1/2助成 等)
2023年度予算額: 9億円(需給) + 1億円(NEDO加速予算)

< 研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模 >

	2022	2023	2024	2025	2026	2027
研究開発項目①(委託)	プロセス可視化技術開発					
	プロセスミレータ開発					
	革新的製造プロセス開発					
	内部欠陥評価技術開発					
製品適用に向けたプロセス技術開発						
研究開発項目②(助成)			プロセス開発基盤を活用した企業での製品開発			
評価時期		SG	中間評価			終了時評価
予算(億円)	28	10	9	10	10	

ページ構成

- 事業の背景・目的
- 政策・施策における位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、政策動向）
- 技術戦略上の位置づけ
- 本事業の位置づけ意義
- NEDOが関与する意義
- アウトカムの妥当性
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産：オープン・クローズ戦略
- 知的財産に関する戦略

- 実用化・事業化の考え方と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
- 費用対効果
- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- 研究開発目標（アウトプット目標）
- 研究開発成果の副次的成果等

- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用
- 予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋



2. 目標及び達成状況



3. マネジメント

- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産戦略

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

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

<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) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略

ページ構成

- 事業の背景・目的
- 政策・施策における位置づけ
- 外部環境の状況（技術、市場、政策動向）
- 技術戦略上の位置づけ
- 本事業の位置づけ意義
- NEDOが関与する意義
- アウトカムの妥当性
- アウトカム達成までの道筋
- 知的財産：オープン・クローズ戦略
- 知的財産に関する戦略

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) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産戦略

2. 目標及び達成状況

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

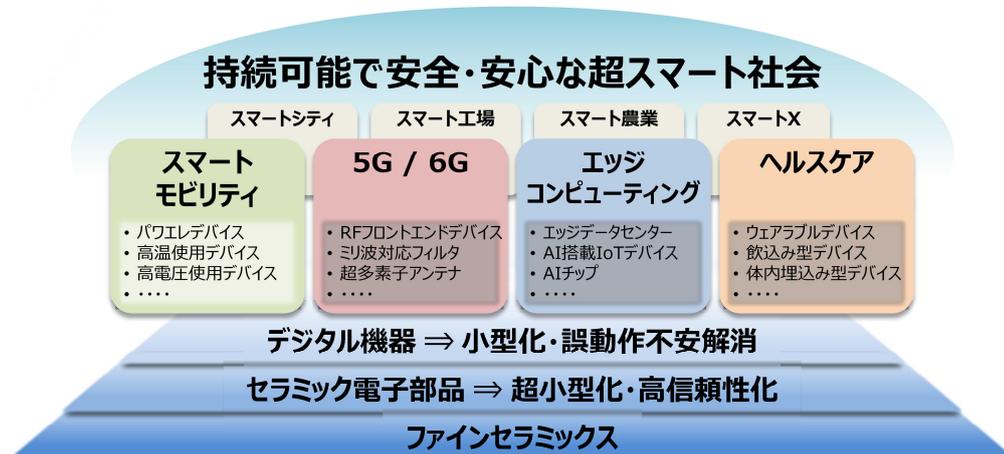
3. マネジメント

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

1. 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋 (1) 本事業の位置づけ・意義

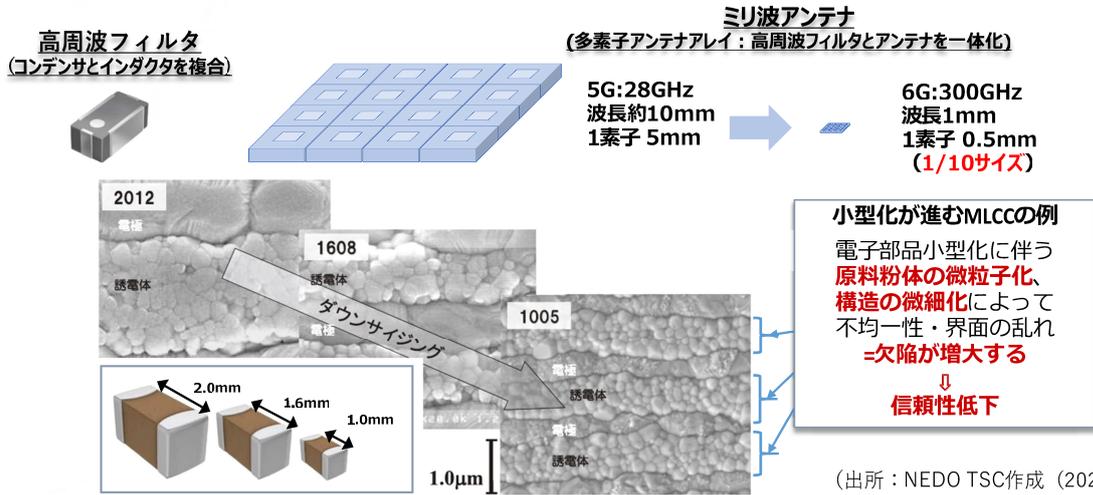
事業の背景

6G技術などを前提とした**Society 5.0の実現**に向けたデジタル機器の小型化、高性能化及び高信頼化の要求。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**を占める。今後、市場拡大が予想されるモビリティ・ICT分野やヘルスケア分野においても、**高い産業競争力と高い世界シェアの確保**が必要。



事業の背景

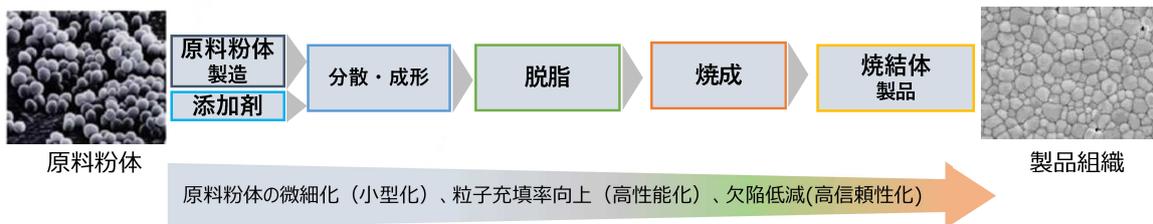
次世代ファインセラミックス電子部品として、6G向け高周波フィルタおよびミリ波アンテナ(多素子アンテナアレイ)が挙げられる。6G向けミリ波アンテナは5G向けミリ波アンテナの1/10サイズとなる。6Gで必要とされる小型化と高信頼性の両立のためには、ナノスケールの原料粉体の制御による欠陥の抑制が必要。



事業の目的

ファインセラミックス電子部品の小型化、高性能化および高信頼性化の実現のためには、従来の「経験と勘」や「製造プロセス間の人的なすり合わせ」に多く頼ってきたプロセス技術に代わる革新的なプロセス技術が必要。

本事業では、理論的なアプローチによる「ファインセラミックスのプロセス・インフォマティクス*1技術」の確立と産業利用に向けた基盤の構築を目指す。



ファインセラミックス製造プロセス

*1：プロセスインフォマティクス
材料の形状や化学的な質が時間軸で変化するプロセス設計・制御の為のインフォマティクス技術。サイエンス（物理・化学）に基づき、多工程にわたる製造プロセスの基本設計や、そのスケールアップに活用できる計算科学と実験科学の融合技術。

政策上の位置づけ

本事業は、「統合イノベーション戦略2020(令和2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。

「統合イノベーション戦略2020」より抜粋

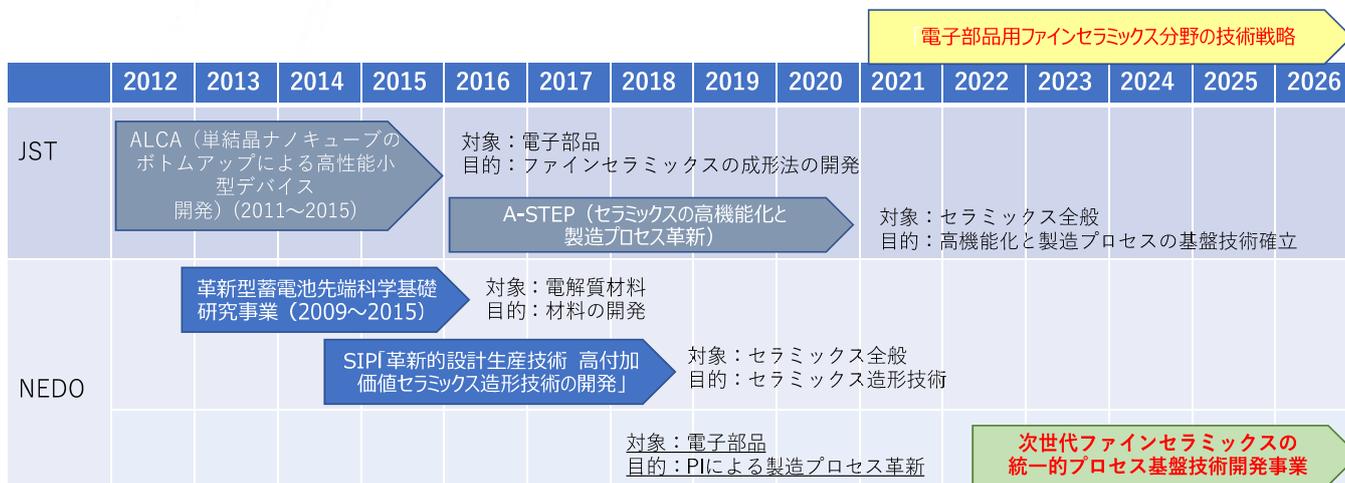
計算科学・データ科学を駆使した革新的な機能性材料、構造材料等の創製を進めるとともに、その**開発期間の大幅な短縮**を実現する。

「マテリアル革新力強化のための政府戦略に向けて（戦略準備会合取りまとめ）」より抜粋

スーパーコンピュータ「富岳」をはじめとする国内のスパコンを最大限活用しつつ、シミュレーションとAI・データ科学の連携・融合を通じて**マテリアルの解析・開発を高度化**するための取組を進めていくことも重要である。

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策定の「電子部品用ファインセラミックス分野の技術戦略」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**。
 近年の電子部品関連セラミックスの研究プロジェクトと本事業の比較
 本事業は、プロセス・インフォマティクス（PI）による製造プロセス革新を目的にしている点が差異。



外部環境の状況（技術、政策動向）

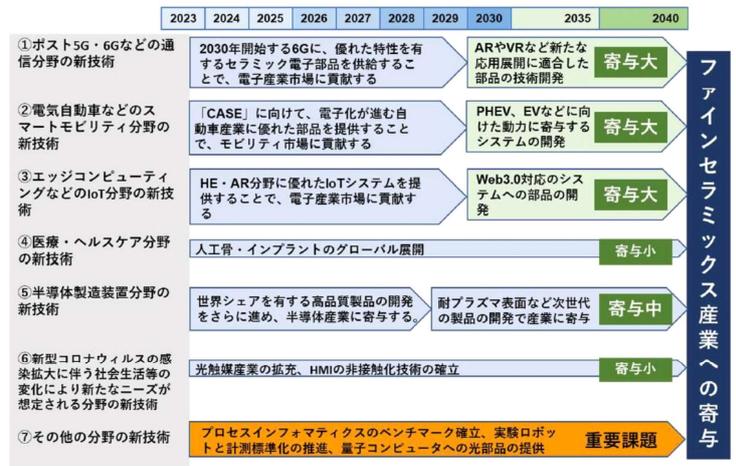
＜調査資料＞

「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／次世代のファインセラミックス産業の技術動向及び市場動向に関する調査」調査事業報告書

＜調査結果＞

ファインセラミックス市場の製造プロセスの要素技術を7項目に分けて国内外の技術動向を調査。**通信、モビリティ、IoT分野の寄与度が大きくなる見込み。**計算科学等を活用した材料設計の海外の取組および中国・韓国におけるファインセラミックスへの公的資金の投入を調査。**韓国勢が活発化**、研究開発への投資が先行、先進セラミックスの工業化に注力。

ファインセラミックス新技術の市場寄与の全体像



https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html

外部環境の状況（市場）

＜調査資料＞

「電子部品用ファインセラミックス分野の技術戦略策定に向けて」 TSC Foresight

＜調査結果＞

超スマート社会実現に向け、特にセラミック電子部品が重要な役割を担うと考えられる、5G/6G、エッジコンピューティング、スマートモビリティ、ヘルスケアの分野において、それぞれセラミック電子部品が関連する市場について調査し、いずれの分野についても**大幅な成長**が予測されている。

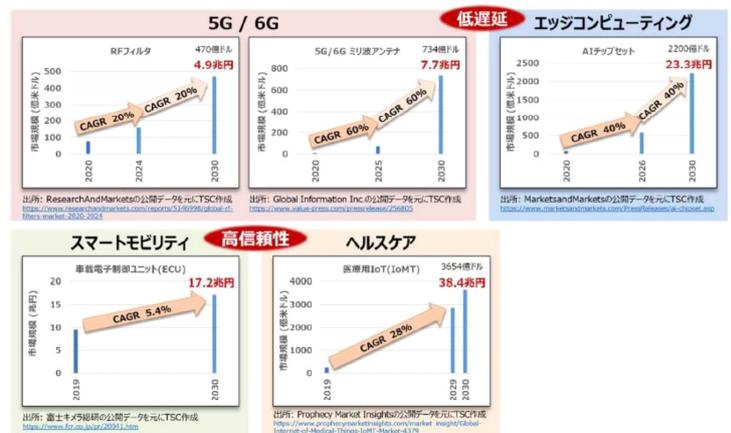


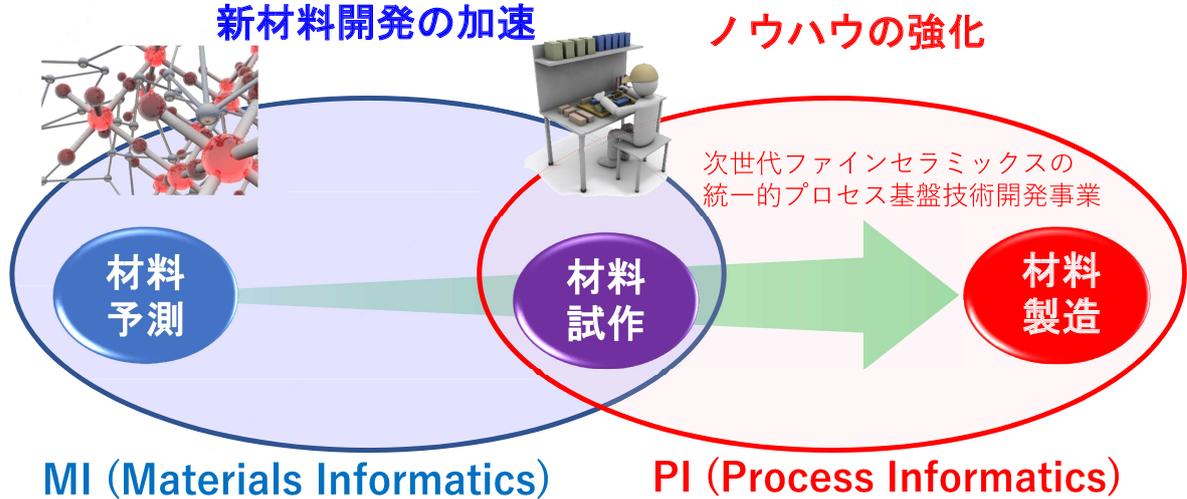
図 11 成長が期待される分野の2030年に向けた市場予測
出典：公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

<https://www.nedo.go.jp/content/100941031.pdf>

技術戦略上位置付け

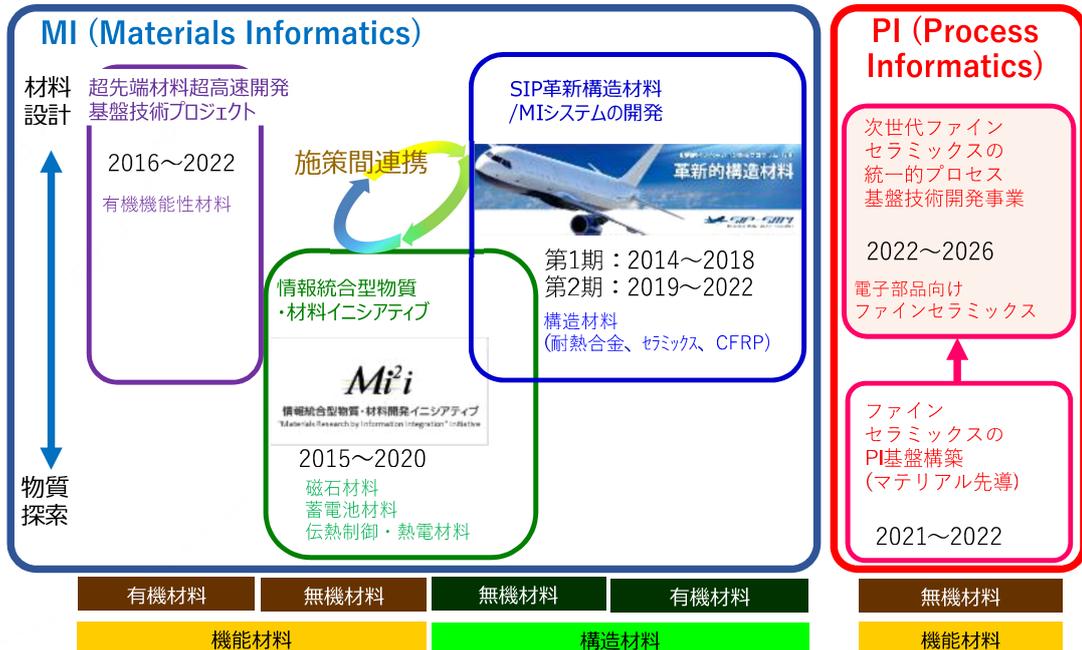
近年のインフォマティクス関連の研究プロジェクトと本事業の比較

本事業では、「何を作るか」にフォーカスしたマテリアルズ・インフォマティクスに対して、「どう作るか」にフォーカスしたプロセス・インフォマティクスに注力する。



本事業の位置付け意義

近年のインフォマティクス関連の研究プロジェクトと本事業の比較



NEDOが関与する意義

NEDO第四期中期計画（抜粋）

- 技術戦略に基づいたチャレンジングな研究開発の推進。
- 我が国の産業構造の特徴を活かし、川上、川下産業の連携、異分野異業種の連携を図りつつ、革新的材料技術・ナノテクノロジーに取り組む。

電子部品の小型化、高性能化及び高信頼性化のために必要となる革新的プロセス技術の確立には、企業個社での対応が困難な高度解析技術や計算リソースが必要であり、産学官一体となった取り組みが求められる。

多工程にわた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」の確立は、モデル事例となり、他分野への波及効果が期待できる。

N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業

アウトカムの妥当性

アウトカム①：ファインセラミックス部材の出荷額増加

達成年 (単年)	対象市場（領域：Global）		出荷額増加 (2019年比)	想定アウトカム
	想定範囲	シナリオ 根拠情報	出荷額増加率（%）	出荷増加額
2035	2035年の ファインセラミックス部 材の出荷額	2019年の ファインセラミックス 部材の出荷額 30,504億円/年	約33%	1兆円*1

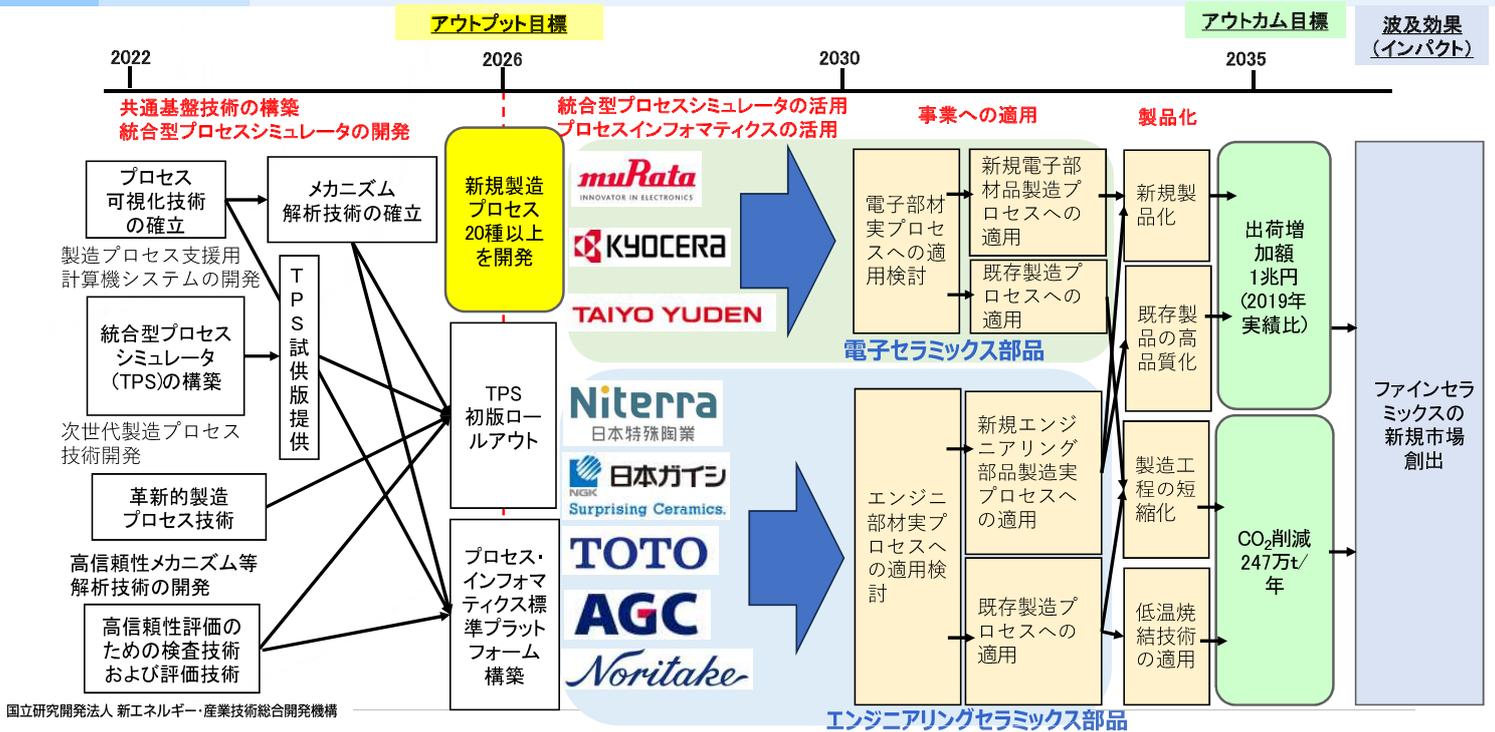
* 1: 1991～2020年の30年間でファインセラミックスの市場は約2兆円拡大。本事業の実施により、2021～2035年の15年間に於いて2兆円÷30年×15年=1兆円の市場拡大を見込む。

アウトカム②：CO₂削減効果

達成年 (単年)	対象市場（領域：Global）		CO ₂ 削減効果	想定アウトカム
	想定範囲	シナリオ 根拠情報	CO ₂ 削減効果（%）	削減量
2035	2035年の 窯業・土石製品全体の CO ₂ 排出量	窯業・土石製品全体の CO ₂ 排出量 2,470万t/年	10%	247万t/年*2

* 2 窯業・土石製品のCO₂排出量2470万 t/年のうち、セラミックスのCO₂排出量は約30%を占める。セラミックス製造工程のうち、脱脂・焼成工程がCO₂排出量の70%を占める。低温焼結等の革新的プロセス技術を適用し脱脂・焼成工程のCO₂排出量を半減させることにより、2470万 t/年×0.3×0.7×1/2=247万t/年 のCO₂削減を見込む。

アウトカム達成までの道筋



知的財産:オープン・クローズ戦略

オープン	基盤技術（公知の技術・PJ前の成果） ①-1個別の評価技術 ①-2単独の要素シミュレーション技術 ①-3材料合成、汎用プロセス、特性評価 ①-4画像逆解析・特性予測 ⇒発表・標準化・知財化 PJのクレジットをつけない	応用技術 ①-1~4 ⇒特許出願
オープン	基盤技術（新規orBIPをPJで高度化したもの） ①-1個別の評価技術 ①-2単独の要素シミュレーション技術 ①-3材料合成、汎用プロセス、特性評価 ①-4画像逆解析・特性予測 ⇒発表・標準化・知財化 クレジット	個社事業・オープン ①-5
クローズ	コア技術 ①-1シミュレーションに直結する評価技術 ①-2要素シミュレータの統合化 ①-3モデル材料(ナノ粒子)合成・成形 ①-4シミュレーション結果を使った特性予測 ・統合シミュレータ ・付加価値が高い技術・漏洩すると脅威となる技術 ・経済安全保障・産業競争力確保の観点で重要な技術 ⇒各技術についてクローズとする期間を定める	事業化・ノウハウ ①-1~4クローズにすべき技術 ⇒ノウハウ化・著作権管理（有償でライセンス） ②（①-1~4技術の活用含む） ⇒非競争域のオープンクローズ戦略を踏まえたうえで企業が判断 量産技術、統合シミュレーションで創出したプロセス
	非競争領域	競争域

研究開発項目
①-1プロセス可視化技術での統合的メカニズム解析技術の開発
①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発
①-3 次世代製造プロセス技術開発
①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発
①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発
② 革新的プロセス開発基盤の応用開発

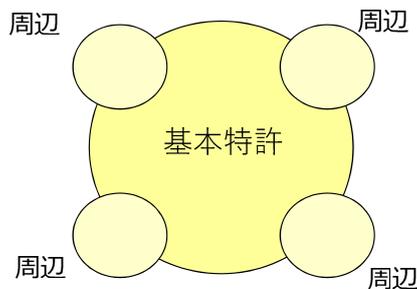
- 研究課題の技術がどの領域になるか仕分け
- クローズは学会発表・標準化・知財化しない
- PJ後も企業が知財を有効活用できる仕組み→有償ライセンス

知的財産等に関する戦略

プロジェクトにおける事業に係わる成果(超微粉体原料を取り扱う製造装置等)については、参画企業で調整の上、適宜知財化を検討し、プロジェクト成果を適用した将来の製造プロセスをもカバー可能とするような本質的な内容での権利化を検討すべきである。

製品解析から特定可能な部品構造や材料組成、材料微細構造パラメータ等については、事業者の事業戦略に応じて適宜出願する。(NEDO TSC分析結果による)

積極的に権利化	・ 製造装置等
事業者の事業戦略に応じて適宜出願	・ 部品構造 ・ 材料組成 ・ 材料微細構造パラメータ



基本特許：セラミックス
 周辺特許：製造技術、計測技術
 戦略的な特許取得

プロジェクト成果の出願に関する考え方

<評価項目 2> 目標及び達成状況

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

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) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産戦略



2. 目標及び達成状況

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



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

ページ構成

- 実用化・事業化の考え方と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
- 費用対効果
- 前身事業との関連性
- 本事業における研究開発項目の位置づけ
- 研究開発目標（アウトプット目標）
- 研究開発成果の副次的成果等

2. 目標及び達成状況 (1) アウトカム目標

実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

アウトカム目標	根拠
① 2035年においてファインセラミックスの出荷額1兆円の増加（2019年比）	1991～2020年の30年間でファインセラミックスの市場は約2兆円拡大。本事業の実施により、2021～2035年の15年間に於いて2兆円÷30年×15年＝1兆円の市場拡大を見込む。
② 2035年に247万トン/年のCO ₂ 削減	窯業・土石製品のCO ₂ 排出量2470万t/年のうち、セラミックスのCO ₂ 排出量は約30%を占める。セラミックス製造工程のうち、脱脂・焼成工程がCO ₂ 排出量の70%を占める。低温焼結等の革新的プロセス技術を適用し脱脂・焼成工程のCO ₂ 排出量を半減させることにより、2470万t/年×0.3×0.7×1/2＝247万t/年のCO ₂ 削減を見込む。

社会実装（事業化から9年後）

事業化

新規製品の量産、市場投入

本事業の実施により、2021～2035年の15年間に於いて2兆円÷30年×15年＝1兆円の市場拡大を見込む

実用化

革新的技術を適用した製品

低温焼結等の革新的プロセス技術を適用し脱脂・焼成工程のCO₂排出量を半減させることにより、2470万t/年×0.3×0.7×1/2＝247万t/年のCO₂削減を見込む

類型に基づきPJ毎に定義された内容

当該PJにおける実用化とは、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)が開始されることであり、事業化とは、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)に貢献することを言う。

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目指す研究開発

アウトカム目標の達成見込み

①2035年においてファインセラミックスの出荷額1兆円の増加(2019年比)

	達成見込み	課題
製品イメージ	本PJの成果を適用した次世代MLCC製品群を始めとする電子部材・半導体部材・高強度セラミックス材のリリース	<ul style="list-style-type: none"> ナノレベルでシミュレータと可能なPI技術 統合型プロセスシミュレーターの完成と評価
競合技術	中国、韓国などの電子部品メーカーの技術	中国、韓国などの電子部品メーカーの追い上げ
量産化	PJ期間内にて技術の確立と検証	<ul style="list-style-type: none"> ナノレベルで制御された原料製造技術 電気特性評価とPIとの接続

②2035年に247万トン/年のCO₂削減

	達成見込み	課題
製品イメージ	革新的プロセス適用により脱脂・焼成工程のCO ₂ 排出量の低減	<ul style="list-style-type: none"> 低温処理技術の確立 既存プロセスの短縮化
競合技術	該当なし	<ul style="list-style-type: none"> 該当なし
量産化	脱脂・焼成工程の脱CO ₂ 工程の適用	<ul style="list-style-type: none"> 既存製品への置き換え 性能の維持

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

23

費用対効果

インプット：本プロジェクトの総費用 (2022～2026年予定)	70億円
アウトカム①：ファインセラミックス部材の出荷増加額 (2035年予測)	1兆円*1
アウトカム②：CO ₂ 削減効果 (2035年予測)	247万トン/年*2

*1：2019年のファインセラミックス部材の出荷額に対する2035年の出荷増加額

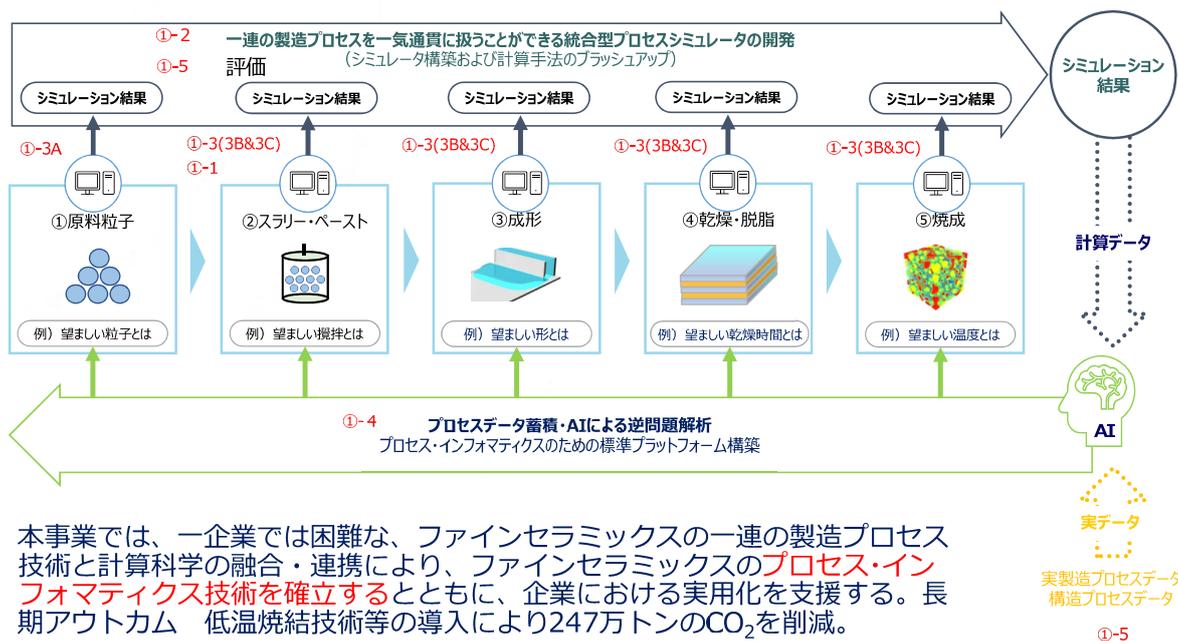
*2：窯業・土石製品の1年間のCO₂排出量の1/10の削減効果

前身事業との関連性

先導研究プログラム：ファインセラミックスのプロセスインフォマティクス基盤構築

前身事業 評価後の方針	取組の成果とその評価
<ul style="list-style-type: none"> 本事業のアウトプット目標については、製造プロセス開発期間の短縮による効果に加えて、焼成温度の従来の10分の1への低下及び小型化に対する信頼性確保のための絶縁耐性を10倍向上という形でブレークダウンすることで、事業の意義に説得力を持たせる。 また、製造技術の高度化の成果としてのPIプラットフォームは、次世代型の新素材開発のためのMIプラットフォームとしても活用していく。 標準プラットフォームの構築においては、ノウハウの可視化による粉体メーカ、部品メーカ、ユーザ企業といった上流下流のメーカのコネクティッド化が成果として想定されるため、知財のクロスライセンス化や排他利用等、他業界の事例や国外の事例を十分に踏まえて戦略を練る。 ノウハウ等の取り扱い方については既存のPJの事例等を参考に事前に検討を進め、公募要領へ反映する。 	<ul style="list-style-type: none"> 先導研究プログラムにて開発したプロセスシミュレータを拡張し、原料→スラリー→成形→脱脂→焼成迄を一気通貫にてシミュレーションが可能な統合型プロセスシミュレータ (TPS)の開発体制を構築した。さらに逆問題解析も目指しており、製造プロセス開発期間の短縮化・新規プロセス開発に資する。データの蓄積・ノウハウ技術を蓄積し、参画企業によるPIプラットフォームの活用を目指す。 可視化技術の確立を目指しスラリーのその場観察、構造欠陥に起因する原因解明を進めた。(①-1) TPSの開発を進め、参画企業が活用するための体制を整えてきた。(①-2) ナノ粒子合成技術の確立 (①-3A)、データセットの蓄積 (①-3B) (①-3C) を実施した。構造欠陥に起因する欠陥の可視化、現象の解析を実施した。(①-4) 知財マネジメントに係る運用に関しNEDOの運用方針を適用し、実施者間で知財合意書を締結した。

本事業における研究開発項目の位置づけ



研究開発項目
①-1 プロセス可視化技術での統一的メカニズム解析技術の開発
①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発
①-3 次世代製造プロセス技術開発
①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発
①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発
② 革新的プロセス開発基盤の応用開発

本事業では、一企業では困難な、ファインセラミックスの一連の製造プロセス技術と計算科学の融合・連携により、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**を確立するとともに、企業における実用化を支援する。長期アウトカム 低温焼結技術等の導入により247万トンのCO₂を削減。

研究開発目標 (アウトプット目標)

研究開発項目	中間目標	最終目標
①-1プロセス可視化技術での統一メカニズム解析技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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可視化技術の開発。 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説明するとともに各プロセスの制御因子を明らかにする。 	中間目標までに開発した可視化技術をもとに、統合型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。
①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発	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 統合型プロセスシミュレータ を開発する。	中間目標までに開発した統合型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。
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 製造プロセス技術 を開発する。	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。
①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発	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。	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。
①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発 ② 革新的プロセス開発基盤の応用開発	①-5 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。	② 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。

共通目標

①-1～①-4 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

①-1～①-4 **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。

研究開発成果の副次的成果等

研究課題項目	意義	波及効果
①革新的プロセス開発の基礎	<ul style="list-style-type: none"> 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基盤技術を確立する企業における実用化を支援 	<ul style="list-style-type: none"> 産業における川上から川下へ計算科学の普及を推進することで開発期間の短縮化が期待される
②革新的プロセス開発基礎の応用開発	<ul style="list-style-type: none"> 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強化につながる 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 	<ul style="list-style-type: none"> ファインセラミックス事業において世界的な優位性を確保し、持続的な経済成長につながる事が期待される

<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

報告内容

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) アウトカム達成までの道筋
- (3) 知的財産戦略



2. 目標及び達成状況

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



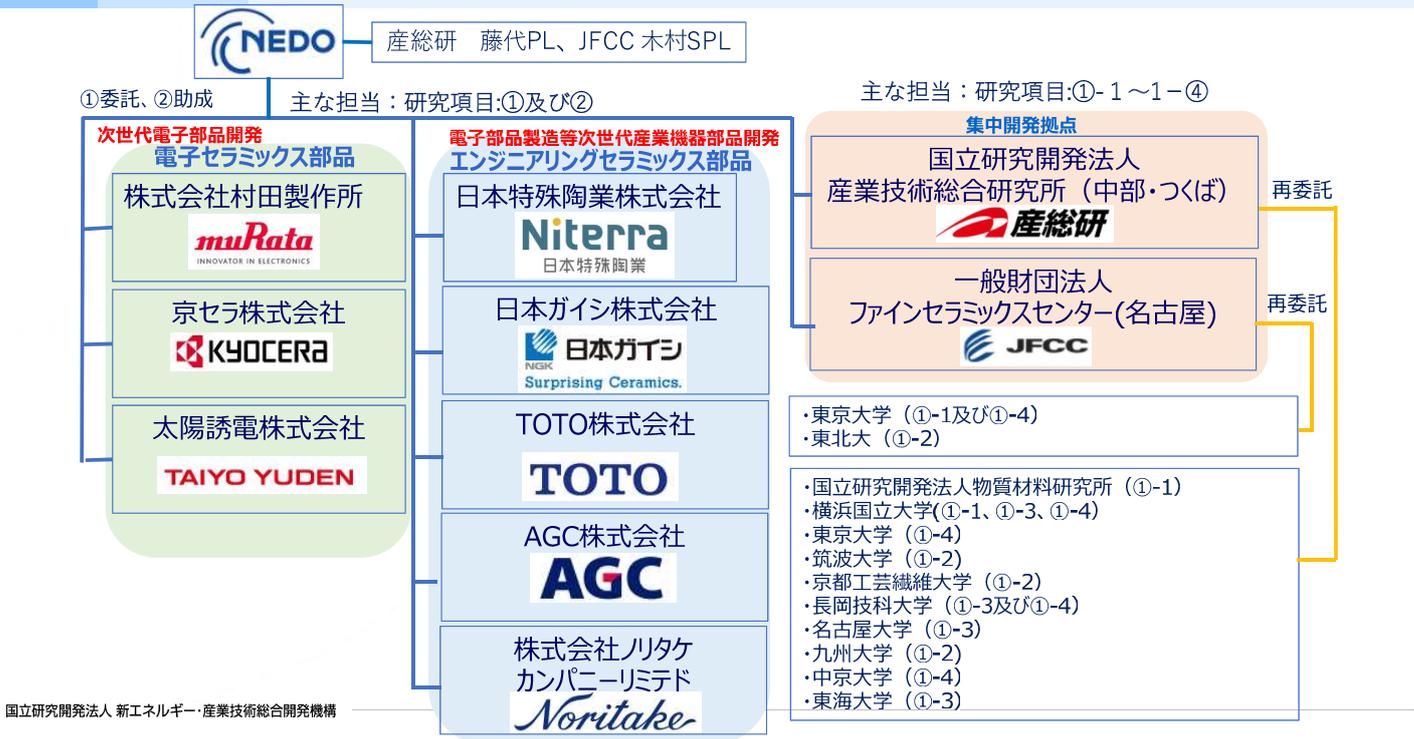
3. マネジメント

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

ページ構成

- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 研究データの管理・利活用
- 予算及び受益者負担
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理：事前評価結果への対応
- 進捗管理：動向・情勢変化への対応
- 進捗管理：成果普及への取り組み

実施体制



個別事業の採択プロセス

【公募】

・ 公募内容

研究開発項目1：革新的プロセス開発基盤の構築

高度な計算科学や先端プロセス計測技術などを駆使してファインセラミックスの製造プロセスの可視化・解析・シミュレーション技術とともに、逆問題を解くシステムを開発することによって、次世代の製品の材料開発・プロセス開発支援を可能とする革新的なプロセス開発基盤を構築。

研究開発項目2：革新的プロセス開発基盤の応用開発

プロセス開発基盤を活用し、企業ごとに課題を設定し新規製造プロセスの開発を実施。

公募予告 (2022年3月日) ⇒公募 (3月16日中順) ⇒公募×切 (4月14日)

【採択】

- ・ 採択審査委員会 (4月26日)
- ・ 採択審査項目:NEDOの標準的採択審査項目に加え、応募者の評価、研究成果の実用化・事業化計画の評価、ワーク・ライフ・バランス等推進企業に関する認定等の状況を審査項目に加えた。
- ・ 採択条件:採択審査委員会では、評価点の60点以上を条件に採択が行われた。
- ・ 留意事項:研究の健全性・公正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。

研究データの管理・利活用

<データの管理方針>

NEDO

本プロジェクトは「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。実施者はデータマネジメントプランをNEDOに提出し、NEDOはデータの取り扱いを管理する。

産総研

共通基盤での取得する参画機関で共有するデータは、産総研においては材料化学領域でのプライベートネットワークの中に、プロジェクト専用ゾーン&NASを設置。産総研ID付与後、VPN接続で外部よりアクセスする仕組みや、SE等によるアクセス管理を実施する見込み。また、参画企業にコンパイルしたプログラムを配布し、企業内でデータ管理、計算データを取得できるように進める。

JFCC

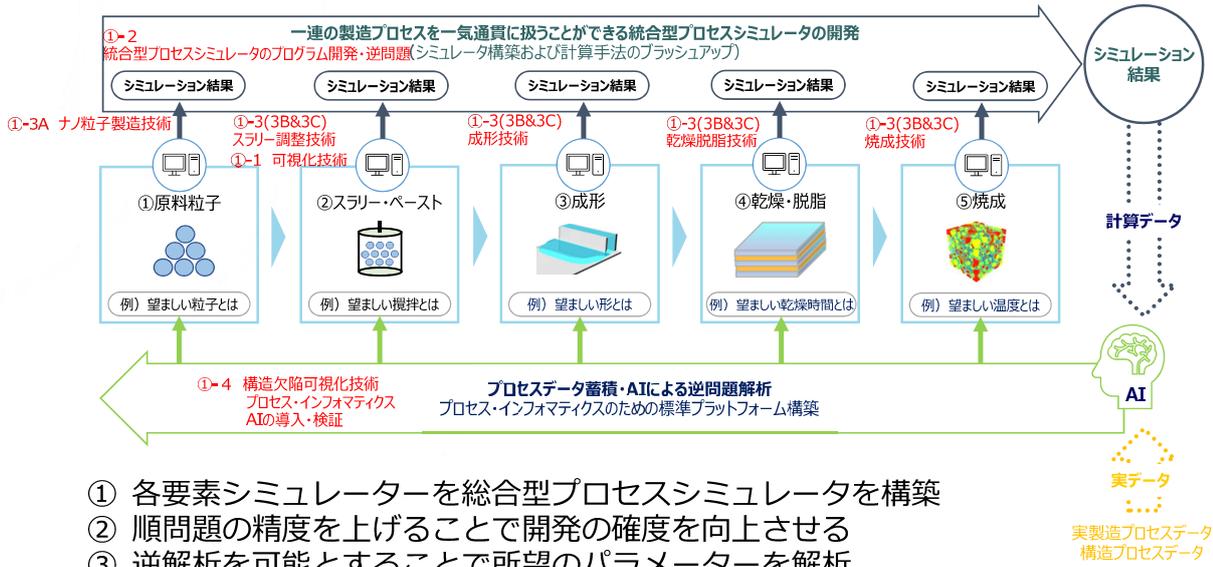
ネットワークを介したデータをのやり取りを一切しない。参画企業はデータをJFCCに持ち込むがその場でデータを削除し、JFCC内にデータを残さない。

予算及び受益者負担

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
予算額 (百万円)	2800	904	1019	1134	978
うち、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	765	162	241	262	200
うち、①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発	510	117	236	410	350
うち、①-3 次世代製造プロセス技術開発	772	204	201	292	250
うち、①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発	633	286	114	136	150
うち、①-5 製品適用に向けた応用プロセス技術の開発	120	102	-	-	-
うち、② 革新的プロセス開発基盤の応用開発	-	33	227	34	28

- 2022年度～2023年度までは実績、2024年度以降は見込み
- 2023年度よりNEDO運営費を含む
- 2023年度 加速予算(+1.3億円) 後ろ倒し (-1.0億円)
- 2024年度 加速予算(+0.9億円)
- ①委託事業 NEDO負担率：100%
- ②助成事業 参画企業の負担率は50% 負担率は妥当

目標達成に必要な要素技術



- ① 各要素シミュレーターを統合型プロセスシミュレータを構築
- ② 順問題の精度を上げることで開発の確度を向上させる
- ③ 逆解析を可能とすることで所望のパラメータを解析
- ④ ①～③を関係することで従来よりも開発速度を短縮化

研究開発のスケジュール

	2022	2023	2024	2025	2026	2027
研究開発項目① (委託事業)	革新的プロセス開発基盤の構築 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 ①-2: 製造プロセス支援用 計算機システムの開発 ①-3: 次世代製造プロセス技術開発 ①-4: 高信頼性メカニズム等 解析技術の開発 ①-5: 製品適用に向けた プロセス技術の開発		中間 評価	革新的プロセス開発基盤の構築 PIプラットフォーム構築 ・プロセス探索手法開発 ・データ蓄積		最終目標 新規製造 プロセス 20種開発 及び 新規部品の 試作
研究開発項目② (助成事業)			ステージ ゲート 審査	革新的プロセス開発基盤の応用開発 企業における技術開発		事後 評価
委託事業①-5 ステージゲート審査(SG)にて助成事業②に移行						

事業期間：2022年度～2026年度

- ・ 研究開発項目①-1～①-4：2022年度～2026年度までの委託事業
- ・ 研究開発項目①-5：2022年度～2023年度までの委託事業
- ・ 研究開発項目②：2024年度～2026年度までの助成事業（2023年度のSG後開始）

進捗管理

会議名	主なメンバー	対象・目的	頻度	主催
技術推進委員会	外部有識者 PL、SPL、PM、 PT	各研究開発項目ごとに設置し、個別の技術開発の進捗状況等について外部有識者が確認	研究開発項目ごとに年に1回	NEDO
技術開発会議	PJの実施者 PL、SPL、PM、 PT	PJにおける技術開発の報告共有の場としての会議を定期的開催し、開催単位ごとに技術開発の進捗に係る重要事項を議論	年に4回	実施者
知財運営委員会	知財運営委員会のメンバー	研究開発の成果についての権利化・秘匿化等の方針決定や実施許諾に関する調整を行う。知財に係る進捗管理を実施	不定期	実施者
NEDO内会議	PM、PT	PM等のNEDO内関係者で定期的にプロジェクト全体の進捗を確認し、今後の方向性を議論	不定期	NEDO

進捗管理：事前評価結果への対応

	問題点・改善点・今後への提言	対応
1	本事業はファインセラミックス産業を牽引してきた我が国として素材開発技術の変革の道筋を明確にするものであり、世界市場において産業競争力を顕示するためにも国が手掛けるのは妥当である。	
2	アウトプット目標については、製造プロセス開発期間の短縮による効果を製造効率や製品機能の向上等へブレイクダウンすることで、その意義に説得力を持たせる。	アウトプット目標については、 ファインセラミックスの新規製造プロセス開発を20種以上実施すること としている。製造技術の高度化の成果としては、次世代型の新素材開発に対応したPIプラットフォームを構築する。
3	標準プラットフォームの構築においては、我が国のノウハウが可視化されるという側面もあるため、知財戦略は他業界や国外の事例を踏まえて十分に練る必要がある。	標準プラットフォームの構築においては、ノウハウの可視化による粉体メーカー、部品メーカー、ユーザ企業といった上流下流のメーカーのコンネクティッド化が想定されるため、知財のクロスライセンス化や排他利用等、他業界や国外の事例を十分に踏まえて戦略を練る。
4	参加企業の協力体制が問われることから、公募の段階からノウハウの取り扱い方をよく検討すること。	ノウハウ等の取り扱い方については既存のPJの事例等を参考に事前に検討を進め、公募要領へ反映する。

進捗管理：動向・情勢変化への対応

【サイトビジット】

- ・ 技術推進委員および実施者参加にて**サイトビジット**をJFCCにて開催（2023年8月）
- ・ 委員より技術および運営方針について指導を受ける

【ステージゲート審査会】

- ・ 助成事業に進む参画企業がステージゲート審査委員会を受審（2023年11月1日、2024年1月16日）
- ・ 委託事業の成果、助成事業の実施計画、事業計画について有識者により審議
- ・ 審議の結果：**受審参画企業合格**

【体制の見直し】

- ・ 選択と集中を促進するためプロジェクトの全研究課題について継続の可否を全実施者同席のもと実施（2024年2月27日）
- ・ 36全テーマの内、優先度の低い**6テーマを中止**、体制を見直した
- ・ 2025年度予算より中止予算を統合型プロセスシミュレータの開発へ**重点的に振り向け**、開発を**加速**する

進捗管理：成果普及への取り組み



NEDOと産総研、ファインセラミックス内部のキラー欠陥の可視化技術を開発
—ファインセラミックスのプロセス・インフォマティクス構築を目指す—

2024年3月8日
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）
国立研究開発法人産業技術総合研究所

2024年3月8日 プレスリリース
NEDOと産総研 ファインセラミックスの内部
のキラー欠陥の可視化技術を開発
企業からの問い合わせ有

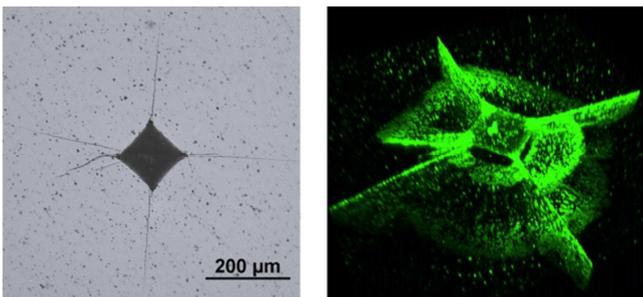


図2 アルミナに導入されたピッカース圧痕と亀裂の金属顕微鏡による反射像（左）
レーザーを用いた蛍光顕微鏡観察より得られた亀裂形態の3次元像（右）
（右図中で緑に光っている部分が亀裂を表している。）

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101728.html

「次世代ファインセラミック製造プロセス基盤構築・ 応用開発プロジェクトの研究開発」（中間評価）

2022年度～2026年度 5年間

プロジェクトの詳細説明（公開版）

2024年6月18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

1

報告内容

2. 目標及び達成状況（詳細）

研究開発項目●

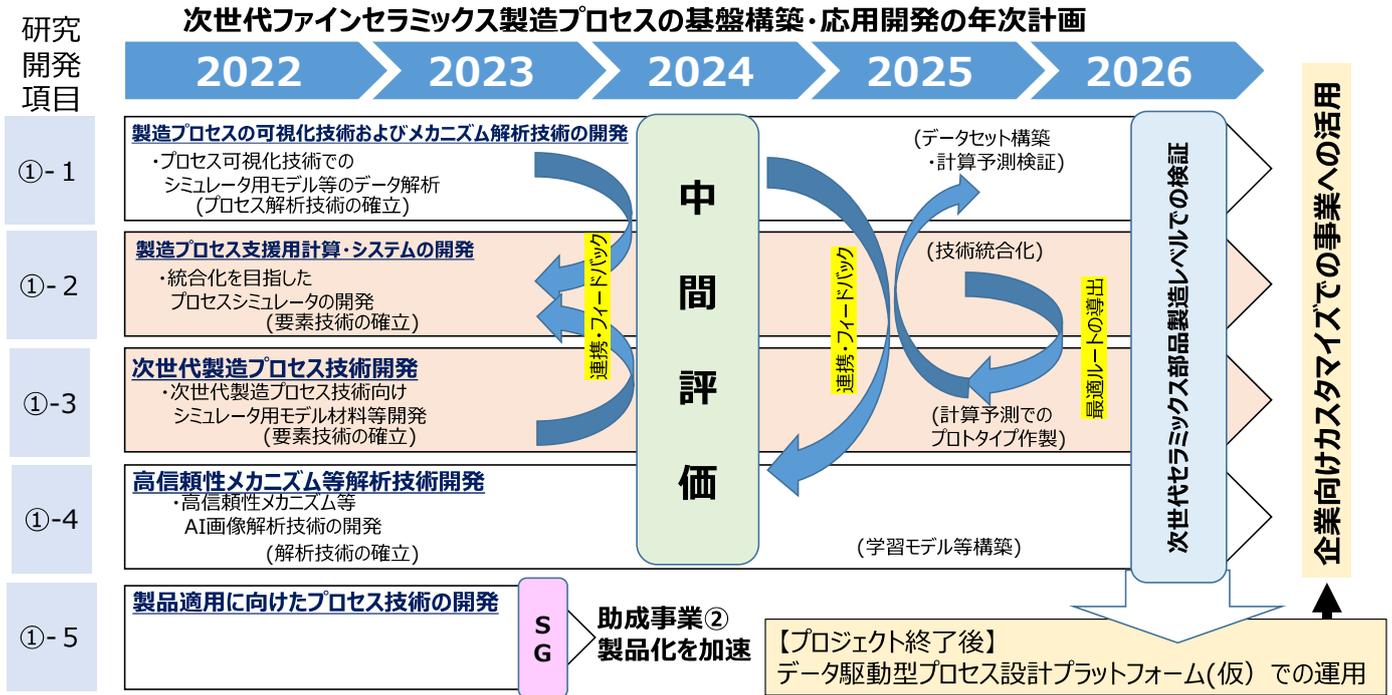
- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

ページ構成

- ・アウトカム達成に向けた戦略・具体的な取組
- ・アウトカム目標達成の見込み
- ・個別事業ごとの目標と根拠
- ・個別事業ごとの目標達成状況
- ・個別事業の成果（アウトプット目標達成度）と意義

アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

アウトカムを実現するために必要なアウトプット（プロセス開発と部品試作）を得るための各研究項目の関係



アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

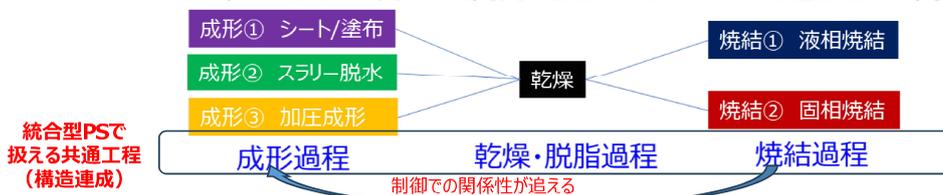
アウトカム実現に資するアウトプット(新規プロセス開発)のカギとなるのはプロセスシミュレータ(PS)

参画企業の実施計画との対応
(PJ前半のオープンな開発でのプロセスシミュレータ等の開発・検証)

	原料	成形	乾燥脱脂	焼結
エレセラ3社 (村田、京セラ、太田誘電)	酸化物誘電体/金属電極 (~100 nm)	成形① シート/塗布 シート成形 塗布 (金属層)	乾燥脱脂 常圧・加熱	焼結① 液相焼結 還元雰囲気 液相焼結
AGC	非酸化物スプレッドライ粉	成形③ 加圧 固相加圧成形	常圧・加熱	不活性雰囲気 ガス圧・液相焼結
TOTO	酸化物スラリー	成形② スラリー脱水 鑄込成形	常圧・加熱	大気 液相焼結
日本ガイシ	酸化物スラリー	成形① シート/塗布 フィルター成形	常圧・加熱	焼結② 固相焼結 大気 固相焼結
日特	酸化物/金属	成形① シート/塗布 シート成形 塗布 (金属層)	常圧・加熱	大気 固相焼結
リタケ	ガラス	塗布 (ガラス層)	常圧・加熱	ガラスの緻密化 金属との接合

各社が必要とする
プロセスに対応した
PSを開発

企業のプロセスに合わせた開発プロセスシミュレータの共通基盤での関係 (組織構造変化)



アウトカム目標の達成見込み

	電子セラミックス (エレセラ)	エンジニアリング セラミックス (エンセラ)
原料粒子	10~100 nm	数100 μm
部材構造	金属/セラミックス積層体	緻密体、多孔体、積層体
原料	スラリー	粉体、スラリー
プロセス	シート成形、シート圧着、共焼成等	加圧成形、鋳込成形、シート成形、フィルター成膜等
企業 (略称)	村田、京セラ、太陽誘電	AGC、Nittera、NGK、TOTO、リタケ

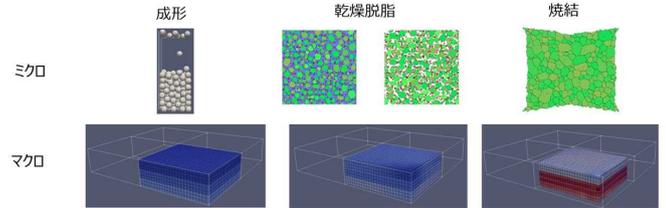


アウトカム(売り上げ1兆円、CO2削減)目標を実現するための新規プロセス開発

- ・事業前半では、アウトカムを実現するためのアウトプット目標である20種以上のプロセス開発へ繋げるためのプロセスシミュレータ群を準備・開発し、検証を進めた。
- ・計算手法の特徴を生かした事業オリジナルのモデル創出や本事業独自の手法提案の確認を行った。

目標実現のためのマクロ・ミクロ・ナノレベル構造を設計するプロセスシミュレータ

○統合型シミュレータの動作テスト開始



高度化によりアウトプット目標を実現

アウトカム目標の達成見込み

開発中のプロセスシミュレータの状況と目標実現に向けた今後の開発課題

計算コア技術	対象プロセス	現時点でできること	今後の開発課題 (PJ期間内)
DEMコード (固相) FSI-DEMコード (スラリー) (ミクロ-マクロ プロセス動的挙動)	・加圧成形 ・顆粒加圧成形 ・鋳込成形 ・フィルター成形 ・シート成形	・成形時の密度分布予測 ・成形条件による欠陥生成の定性的予測 (スラリー) ・3次元対応完了	・微小粒子の粒子間相互作用 ・シート成形時の剪断力 ・鋳込成形/フィルター成形で用いられる多孔質基板からの透水 ・離散要素法の複雑形状粒子への対応
MCコード FEMコード (ミクロ-マクロ プロセス動的挙動)	・加熱脱脂 ・常温乾燥 ・固相焼結 ・液相焼結	・混合液相 (溶媒、バインダー、分散剤) への対応 ・乾燥脱脂に伴う粒子の再配列、収縮挙動 ・焼結に伴う粒成長、緻密化、収縮挙動 ・異方粒成長 ・3次元対応完了	・固相反応によって液相が生成する系への対応 (反応そのものは取り扱わずに、実験で生成した液相のみ考慮)
MPH-I コード (ミクロ-マクロ プロセス動的挙動)	混合 成形	・高粘度、複雑回転・変形への対応 ・外力・自重等に対する変形への影響の考慮 ・プロセス装置 (ダイス等) にそった形体での計算モデル対応	・非Newton性を有するスラリーの対応 ・微粒子挙動
FSI-DFEM コード (ナノ-ミクロ構造)	成形	・形状や分布をもった原料粒子での成形時の外力と密度分布・溶媒の分布等の予測 ・成形時の外力や時間経過による凝集構造変化の予測・欠陥生成の定量的な予測 (スラリー・ペースト)	・各種レオロジー特性への対応 (各種モデル実験との整合)
FSI-DFEM コード (ナノ-ミクロ構造)	乾燥 脱脂	・ミクロ成形シミュレーション結果の取り込み ・混合液相 (溶媒、バインダー、分散剤; 媒体の影響考慮) への対応 ・乾燥脱脂に伴う粒子の再配列、収縮挙動 (形状や粒子径分布の影響)	・各種モデル実験との整合
PFMコード (ナノ-ミクロ構造)	焼結	・乾燥・脱脂計算結果の取り込み ・焼結に伴う粒成長、緻密化、収縮挙動 ・異種材料 (多相・多層) を考慮した焼結 ・欠陥状態や雰囲気の影響 (拡散係数) ・任意の温度プロファイルの設定 ・実時間、実スケール (物理量・理論密度値) での計算 ・3D大規模並列計算への対応	・液相焼結への対応 ・異方粒成長への対応 ・温度空間分布への対応 ・①-4 機械学習モデルへの連携

個別課題ごとの目標と根拠、目標達成状況

プロセスシミュレータのモデルや計算検証で必要なデータや確認したいプロセス挙動を再現するプログラムの準備のための目標を設定し実施

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	中間目標 (2023年度)	得られている成果 (2023年度)	達成状況
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	・粒径100nm～数μmオーダーのセラミックス粒子に対して、10 nmオーダーのセラミックス粒子を含むスラリー中の分散状態可視化技術を開発する。さらに、前年度に引き続き、10 nmオーダーの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する。また、開発した技術等を用いて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。	・誘電顕微鏡と画像処理技術を組み合わせた観察技術で、10nmオーダーの解像度でスラリーの直接観察を行い、ペーストを扱うシミュレータモデルの開発につなげた。また、市販アルミナおよびBaTiO3で、粒径やバインダーの組み合わせが異なる12種・20項目の物性等のデータセットを取得した。	100% 達成
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	・開発する各プロセスシミュレーションの目標精度は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においては原料粒子の「抜け」や「凝集」、焼結においてはこれらの「抜け」「凝集」に起因する欠陥が再現・予測可能なシミュレータを開発する。具体的には、200 nmの粒子を原料として用いるプロセスについて、成形・乾燥脱脂シミュレーションでは100 nm (粒子サイズの1/2) の空隙、焼結シミュレーションでは、50 nm (粒子サイズの1/4) の空隙を再現・予測可能とする。	・セラミックスのプロセス挙動を計算するDEM法、DFEM法、PFM法、MC法等で、市販の200nmのアルミナ原料を用いた、ペーストのナノ構造の凝集・分散モデルを構築し、粒度分布や粘度等の違いにより、外力との構造変化の計算実験や、温度プロファイルや時間を変えて焼結構造の変化(空隙は10nm以下) 計算できる計算手法を開発した。	100% 達成
研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発	・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50種類以上蓄積し、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認する。固相原料では、セラミックス原料の平均粒径との比、セラミックス原料粒子との接着性、融点等の異なる代表的可塑性有機バインダー10種以上を用いた成形、乾燥脱脂実験を行い、固液複合原料では、溶媒成分の体積分率、分散剤の分子サイズ、セラミックス粒子表面との結合状態が異なる10種以上のスラリーを用いたシート成形を行い、溶媒およびバインダー成分の性状が異なる20種以上のシートを作製する。固相原料では、前年度に引き続き、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、実実験により検証し、開発技術の有用性を実証する。	・多点モニタリングが可能な原料ナノ粒子のフロー製造装置を開発しBaTiO3系で、95種(条件)のフロー水熱原料合成のプロセス分析データセットを構築し、AI(機械学習)により粒径20nmの粒子製造条件を推定し、実際に粒子を合成した。課題①-1に必要な12種のスラリーや20種のシート部材等を作製し、プロセスシミュレータの計算での構造変化の検証を行った。 ・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、実実験により検証し、開発技術の有用性を実証ができていない。	90% 達成
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	・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、数～数10 μmオーダーの気孔や欠陥を予測・解析・数値化するための手法を探索する。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する。	・アルミナにて破壊現象に関わる数～数10 μmオーダーの粒界や気孔等の実組織画像を学習させ(1000～1500個の画像をAI学習) その学習画像と破壊特性の相関より、シミュレーションによる破壊予測に基づく組織画像のAI予測が可能な技術を確認した。さらに10～50個の学習データから破壊予測をする技術も開発した。金属セラミックス接合での2～3段階の温度差で剥離特性との相関性が確認できた。成果の一部は「ファインセラミックス内部のクラック欠陥の可視化技術を開発」としてNEDOプレスリリースをおこない、日経新聞Web版等に掲載された。	100% 達成
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	ステージート審査にて各社の達成状況を確認。(全課題、後半事業への移行が承認)		84% 達成 (平均値)

個別の開発目標はほぼ達成、プロセス技術開発のための実装・連携に遅れが生じている。

プロジェクトとしての達成している成果 (アウトプット目標達成度) と意義

<達成状況>

- ・次世代セラミックス部材のプロセス最適化のためのデータ創出 (20種類以上のプロセスをカバーする) プロセスシミュレータ手法の選定、実験データの実験と計測での取得 (12種) を行い、ナノオーダーの組織の挙動を扱える準備を行った。
- ・事業後半での、プロセスシミュレータの適応条件範囲の拡張や、構造連成での解析を可能とする実験からパラメータを取得する「統合化」プロセスシミュレーション (DME,MC) の要素プログラムやそれを補完する数理モデルのプロセスシミュレータ (PFM, DFEM) 作動を確認した (PFM焼結シミュレータについては、事業での活用に向け、参画企業等へ配布を進めチュートリアルを進めた)。
- ・各研究課題の開発目標はほぼ達成、新規プロセス開発のためのプロセスシミュレータ実装と連携が遅れており、加速が必要。

統合型プロセスシミュレータ開発・解析での共通基盤技術を産学でしっかり作り上げるため事業後半での課題を全体で確認、優先順位をつけて開発内容の選択と集中をおこなった。

<成果の意義>

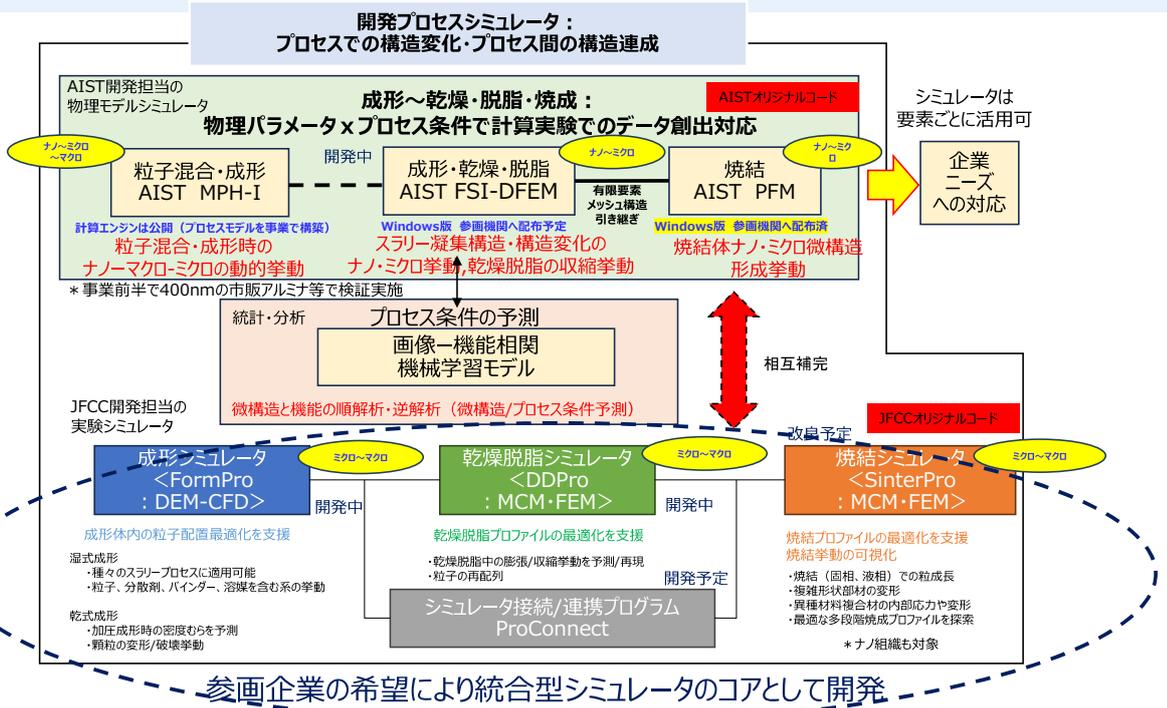
- ・本事業で開発した統合型プロセスシミュレータを活用した、事業後半でのプロセス開発手法での事例創出にて、参画企業でのデータ駆動型プロセス開発へ進め、プロジェクト終了後、ファインセラミックス産業での開発力・競争力強化に寄与する。

研究開発成果

次世代ファインセラミックス事業 統合型シミュレータの概要

理論式をベースとしたシミュレータ

実験パラメータをベースとしたシミュレータ



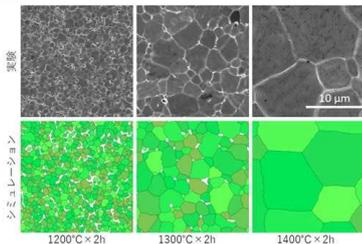
研究開発成果

研究開発項目 ①-2

プロジェクト開始前 (2021年先導研究時)

組織変化 焼結体のSEM写真とシミュレーション画像

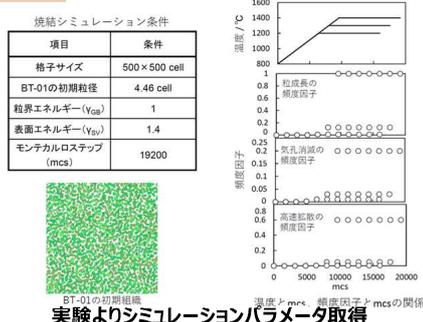
MC法



BaTiO₃ (BT-01、初期粒径0.4 μm) の焼結後組織のSEM写真とシミュレーション画像

- ・1300°C以上で緻密化し、著しく粒成長した。
- ・シミュレーションはBaTiO₃の焼結・粒成長挙動を再現した。

組織変化 チタン酸バリウムの焼結シミュレーション条件と初期組織

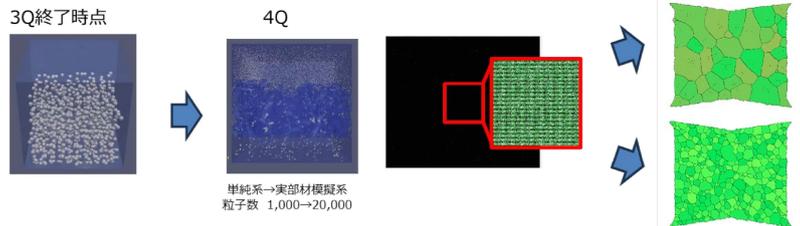


プロジェクト開始後 (2023年度末)

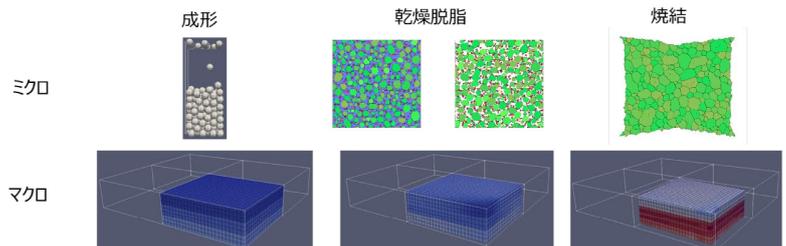
マクロ-マイクロ構造の実験を再現するシミュレータの統合化

DEM, MC, FEM プログラムによる ミクロ～マクロ構造での実験シミュレータでの統合化状況

- 成形シミュレータの高精度化・大規模化
- 焼結シミュレータを用いた異常粒成長の再現



○統合型シミュレータの動作テスト開始



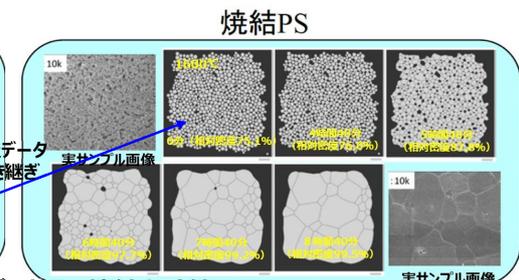
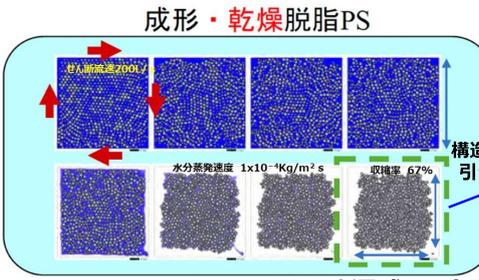
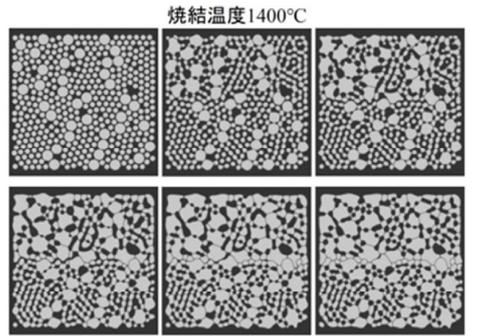
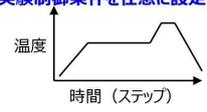
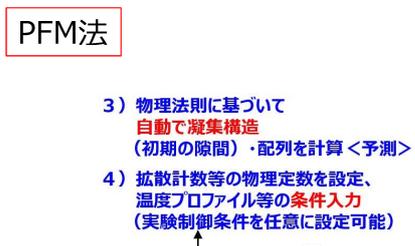
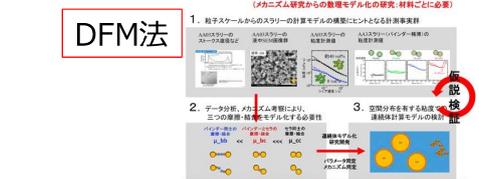
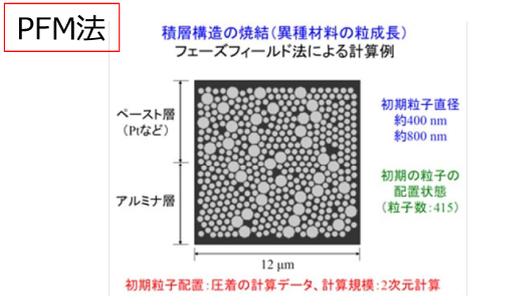
研究開発成果

研究開発項目 ①-2

プロジェクト開始前 (2021年先導研究時)

プロジェクト開始後 (2023年度末)

実験ナノ-マイクロ構造を再現する成形～焼結の統合化を実現



異相の界面関数での数値モデルと物性値よりシミュレーション

アルミナ湿式シートプロセス、焼結を計算

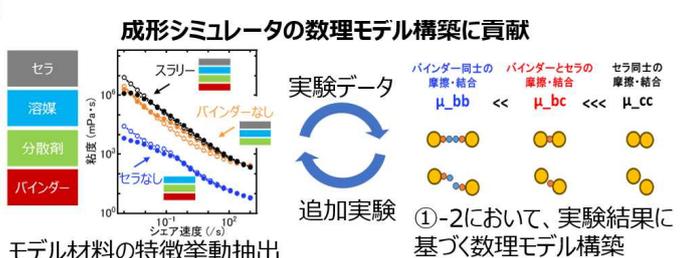
研究開発成果

研究開発項目 ①-1、①-2、①-3

アルミナおよびチタバリ粉体を用いたモデル材料について、スラリー、成形シート、脱脂体、焼結体のシミュレーション構築データセットの収集蓄積

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
セ号	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	AA3	
分散剤	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	CA	
バインダー	AcEm	DB2L	AcEm	PVA500	PVA1500	DB2L	AcEm	AcEm	PVB	AS2B00	PVA/BuOH	PVA/BuOH	PVA/BuOH	PVA/BuOH	
溶媒	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	
脱脂剤	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
セラ構造: SEM															
スラリー内: 断面構造: 電顕															
粒径(DCS) (μm)	3.1	0.52	0.52	0.39	0.39	0.21	0.21	0.22	0.40	0.40	0.35	0.40	測定予定	測定予定	
密度(g/cm³)	2.37	2.01	2.02	1.57	1.55	2.02	2.05	1.60	1.57	1.96	1.31	1.30	測定予定	測定予定	
接触角(°)	62.4	79.9	58.5	86.6	84.9	78.5	69.5	66.7	90	86	46.9	49.3	測定予定	測定予定	
表面張力(mN/m)	12.6	21.5	10.7	30.3	29.0	4.6	<2	<1	3.0	21.2	16.2	15.7	測定予定	測定予定	
粘度(mPa·s)	249	240	2,000	113	870	15,500	23,200	21,740	3,180	337	240	86	測定予定	測定予定	
せん断応力(μPa)	3.2	3.1	25.9	1.4	11.1	197.4	295.8	277.0	40.5	4.3	3.1	1.1	測定予定	測定予定	
膨張率(W%)	1.87	2.02	1.91	2.02	1.91	1.14	1.11	0.89	0.38	1.33	0.19	0.18	測定予定	測定予定	
比熱(J/kg·K)	2.98	3.66	3.25	3.66	3.25	3.68	3.33	3.13	2.02	3.17	1.76	2.08	測定予定	測定予定	
弾性率(N/kg)	8.7	10.0	8.3	3.0	3.7	11.2	9.9	9.7	3.3	3.2	4.1	3.8	測定予定	測定予定	
相対密度(%)	71.2	62.6	65.9	55.8	63.8	64.8	64.9	58.9	51.0	65.0	69.9	40.0	測定予定	測定予定	
ヤング率	0.27	1.58	(0.5)	1	0.4	1.7	2.7	測定不可	1.52	測定予定	測定予定	測定予定	測定予定	測定予定	
ポアソン比	0.17	0.1	0.13	測定不可	測定不可	0.12	0.2	測定不可	0.12	測定予定	測定予定	測定予定	測定予定	測定予定	
断面構造: SEM															
発生ガス															
相対密度(%)	---	49.9	49.8	46.8	47.3	53.5	50.3	---	46.4	50.2	58.8	32.7	測定予定	測定予定	
空隙CT															
断面構造: SEM															
相対密度(%)	緻密化不可	96.5	99.1	99.5	99.4	93.5	94.9	緻密化不可	83.3	95.6	76.5	55.8	測定予定	測定予定	

12種・20項目の物性等のデータセットを取得



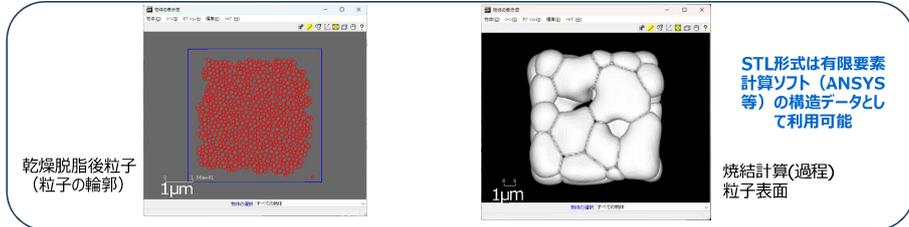
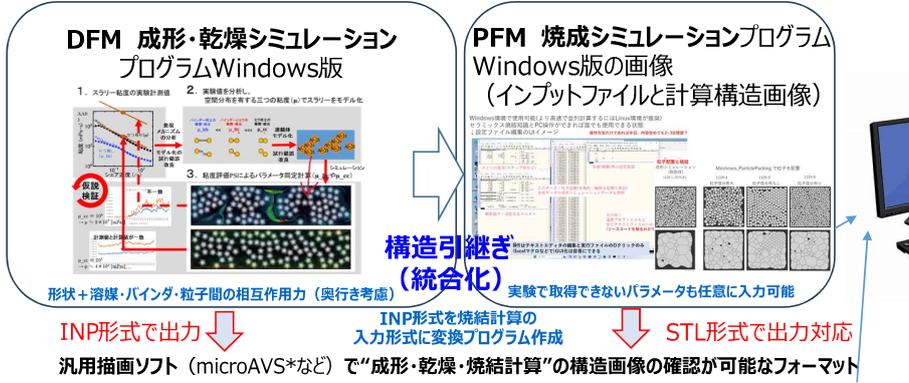
研究開発成果

研究開発項目 ①-2

出力を汎用形式に対応させることで各シミュレーション間の統合、外部出力を実現
開発数値モデルプログラム利用でのナノ〜マイクロ構造での統合化状況計算結果の一気通貫での可視化

粒度・粘度・外力・初期構造
=> ①成形・乾燥構造計算実験

温度・時間のステップ初期構造 (①計算乾燥構造)
=> ②焼結構造計算実験



*https://www.cybernet.co.jp/avs/products/microavs/

研究開発成果

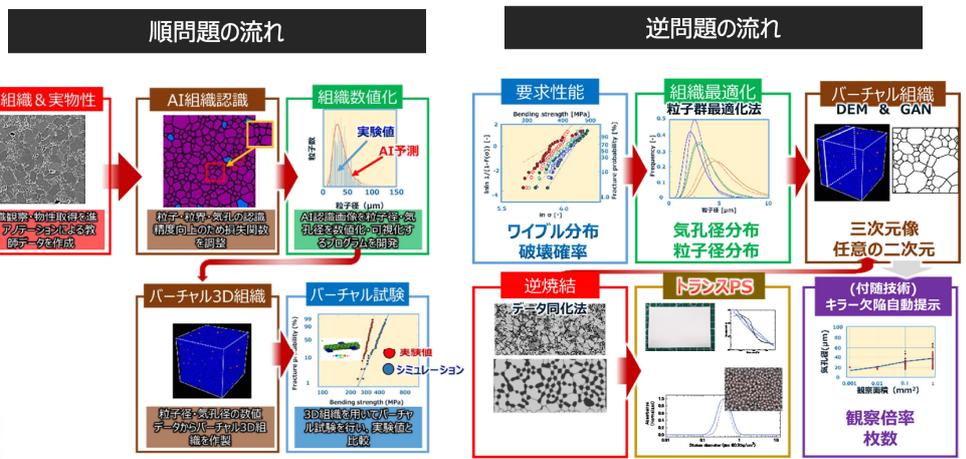
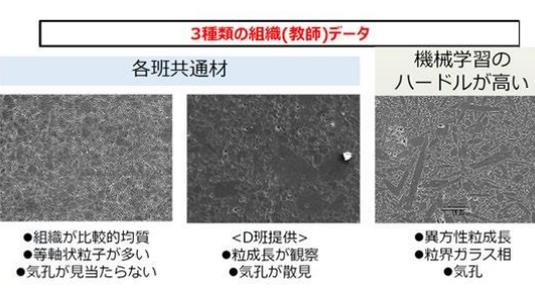
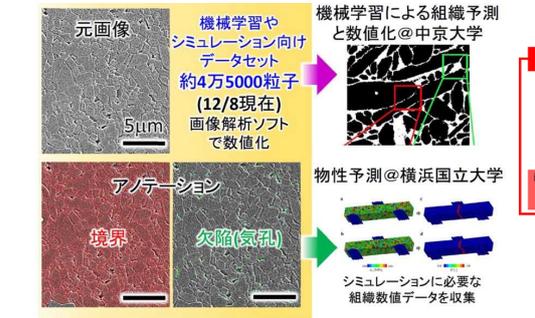
研究開発項目 ①-4

プロジェクト開始前 (2021年先導研究時)

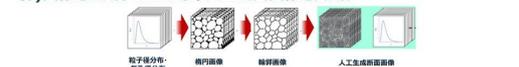
プロジェクト開始後 (2023年度末)

破壊や劣化に影響する欠陥解析に向けたセラミックス組織の画像特徴や特性の解析事例

機能から構造を予想する逆解析に成功



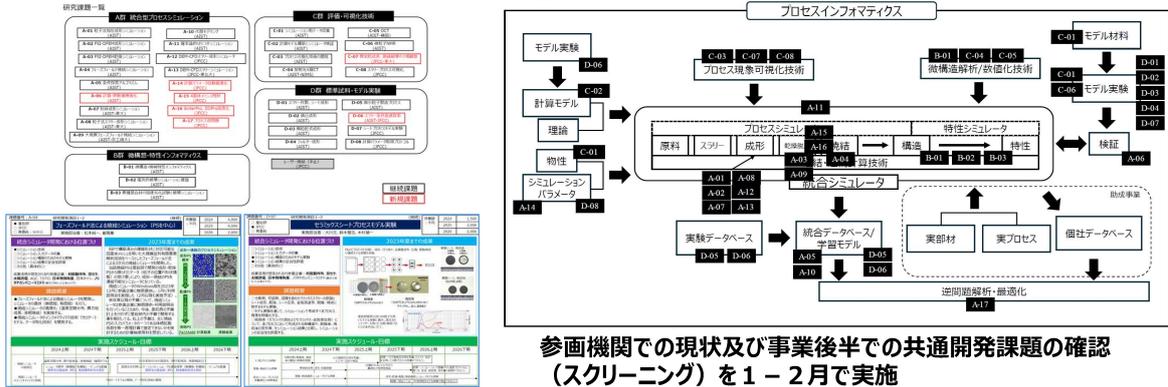
【粒子群最適化法】: 実験値と逆解析による粒子径分布の一致を確認
【AIによる人工画像生成】: 任意の粒子径分布・気孔径分布から、精円(輪郭)画像を生成しGANにより人工断面画像を合成。



シミュレーションとの連携により求める物性・組織を実現する実験条件の予測することを目指す

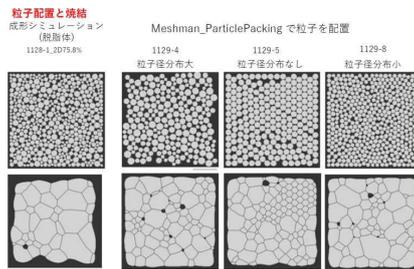
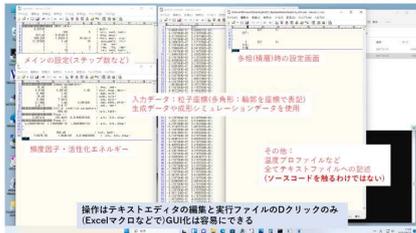
その他 プロセスシミュレーション実装・連携を強化するための取り組みについて

1. プロジェクト内での事業後半での共通課題の精査



2. プロジェクト内での開発シミュレータ (第一弾：フェーズフィールド焼結シミュレータ) の共有

Windows環境で使用可能(より高速で並列計算するにはLinux環境が推奨)
セラムックス焼結知識とPC操作ができれば誰でも使用できる状態
↓ 設定ファイル編集のUIイメージ



Windows版焼結シミュレータの
配布とマニュアルの整備、
利用説明会を実施 (24年1~3月に3回)
→ 継続して実施

特許出願及び論文発表



	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	—	—	—	0
論文	3	11	—	—	—	14
研究発表・講演	7	60	—	—	—	67
受賞実績	0	0	—	—	—	0
新聞・雑誌等への掲載	1	1	—	—	—	2
展示会への出展	1	1	—	—	—	2

※2024年5月9日現在

事業の軸であるプロセスシミュレータ開発はプログラムのため特許出願は無し (著作権)
後半事業はシミュレータを使用したプロセス開発について出願がある見込み

まとめ

前半2年では次世代ファインセラミック製造プロセス基盤となるプロセスシミュレーション(PS)技術の開発およびPS技術に欠かせない可視化及びメカニズム解析技術、プロセス技術、信頼性メカニズム解析技術の開発を実施した。各研究課題の中間目標に対する主な成果は以下の通り

①-1：10 nmオーダーの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等の検討。データセットを10種類以上蓄積する。

→誘電顕微鏡観察技術で、10nmオーダーの解像度でスラリーの直接観察を行った。組み合わせが異なる12種・20項目の物性等をデータ取得した。

①-2：ナノオーダーの原料粒子の「抜け」や「凝集」、焼結においてはこれらの「抜け」や「凝集」に起因する欠陥が再現・予測可能なシミュレータを開発する。

→・200nmのアルミナ原料を用い外力との構造変化の計算実験や、温度プロファイルや時間を変えてナノオーダーの焼結構造の変化が計算できるプログラムの開発をおこなった。

①-3：プロセス分析データセットを50種類以上蓄積し、AIなどの活用による最適製造条件探索の有用性を例証。原料の平均粒径との比、10種以上のスラリーを用いたシート成形を行い、溶媒およびバインダー成分の性状が異なる20種以上のシートを作製する。固相原料ではシミュレーションの最適条件の有用性を実証する。

→粒径・分布の制御に関するデータセット50種以上、12種のスラリーや20種のシート部材等を作製し、プロセスシミュレータの計算での構造変化の検証した。固相原料でのシミュレーションの最適条件探索妥当性の実証は一部できていない。

①-4：破壊に影響する構造因子の解明と数～数10 μmオーダーの気孔や欠陥を予測・解析・数値化するための手法を探索する。

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する。

→アルミナにて破壊現象に関わる数～数10 μmオーダーの粒界や気孔等の実組織画像を学習させ、シミュレーションによる破壊予測に基づく組織画像のAI予測が可能な技術を確認した。

①-5：各社の目標に沿ってステージゲート審査にて各社の達成状況を確認。

統合的なシミュレーションで、インフォマティクス展開に必要な十分なデータ蓄積までは未達。

概要

プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P22005
担当推進部/ プロジェクトマネージャーまたは担当者 及びMETI 担当課	材料・ナノテクノロジー部 PMgr 高島 英彰 (2024年5月現在) 材料・ナノテクノロジー部 PMgr 高宮 健治 (2022年6月～2023年3月) 素材産業課 革新素材室		
0. 事業の概要	本事業は、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、密接な産学連携体制のもとで実施し、これまでの「経験と勘」に基づいた製造プロセス開発の手法を変革し、我が国素材産業の優位性を確保するものである。		
1. 意義・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	<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>		
1.2 アウトカム達成までの道筋	事業前半で、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。事業後半で、開発されたプロセスシミュレータや画像解析技術等の開発基盤の手法を、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し、アウトカム目標に繋がる企業での開発手法としての活用へ繋げる。		
1.3 知的財産・標準化戦略	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」を適用し、企業活用へ繋げるための実施者間でのプロジェクト内でのオープンでの開発を進め、事業後半では企業への助成事業を実施しクローズでの開発も加速させる。		
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	セラミックス部品の低温焼結等の革新的なプロセス技術の開発により、2035年に約247万トン/年のCO2削減が期待される。また、本事業が関連産業の競争力強化に貢献することで2035年においてファインセラミックスの出荷額約1兆円の増加(2019年比)が期待される。当目標に向けて、次世代ファインセラミックスの製造プロセスの省エネ化や高性能化につなげるための高度なプロセス開発を短期間で進める手法としてのファインセラミックスの一連の工程を対象とする新たなプロセスシミュレータの開発等を事業前半で進めてきた。事業後半ではそれらの企業活用へ向けた開発を行い、アウトカム目標に繋がる手法へ繋げ、目標達成に向けて開発を進める見込み。		
2.2 アウトプット目標及び達成状況	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ため以下を実施した。

- 1) 成形プロセスの計測技術開発
セラミックスの原料スラリー、原料ペースト等の可視化技術及びメカニズム解析技術を開発した。
- 2) 乾燥・脱脂・焼成プロセスの計測技術開発
セラミックスの乾燥～脱脂～焼成プロセスの可視化技術及びメカニズム解析技術を開発した。

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とともに、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した。具体的には、粒径 100nm～数 μm オーダーのセラミックス粒子に対して、10 nm オーダーのセラミックス粒子を含むスラリー中の分散状態可視化技術を開発した。さらに、10 nm オーダーの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、データを収集した。開発した技術等を用いて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

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貫通貫に扱うことのできるシミュレーション技術群を開発し、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基盤プラットフォームを構築する開発を実施した。

- 1) 要素プロセスシミュレーション技術の開発
成形・乾燥・脱脂・焼成等の各要素プロセスに対応したシミュレーション技術を開発した。
- 2) ファインセラミックスのプロセスシミュレータの開発
要素シミュレータの連結および連続動作によってファインセラミックスの製造プロセス全体を取り扱うことのできるシミュレーション技術を開発した。
- 3) 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の構築
プロセスデータの蓄積とプロセス最適条件の探索、さらにはデータの逆問題解析を可能とする「プロセスインフォマティクス標準プラットフォーム」を構築した。

プロセスインフォマティクスの標準プラットフォーム構築では、研究開発項目①-1～①-4 間の相互連携による開発技術群の一体化を進め、ファインセラミックスの製造プロセス開発に資する革新的プロセス開発基盤システムの構築を進めた。

実用プロセスに適用可能な精度を有する成形・乾燥・脱脂・焼成等の各要素プロセスシミュレータ、およびこれらの連結により製造プロセス全体を取り扱えるシミュレータを開発した。各要素シミュレーションの目標精度は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においては原料粒子の「抜け」や「凝集」、焼結においてはこれらの「抜け」や「凝集」に起因する欠陥を再現・予測可能なシミュレータを開発した。より具体的には、200 nm の粒子を原料として用いるプロセスについて、成形・乾燥脱脂シミュレーションでは 100 nm (粒子サイズの 1/2) の空隙、焼結シミュレーションでは、50 nm (粒子サイズの 1/4) の空隙を再現・予測できることを可能とした。

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付加価値、すなわち小型・高性能・高信頼性を実現するための製造プロセス開発を実施した。

- 1) 革新的な原料粒子高速開発技術の開発
原料となるセラミックスナノ粒子の最適合成条件をデータ科学を活用して高速探索することが可能なナノ合成プロセスを開発した。
- 2) 革新的な成形技術の開発

スラリーやペーストの流動性を確保しつつ、セラミックス粒子体積率を向上できる溶媒、バインダー等の設計、選定する技術を開発し、高充填密度のセラミックス成形体を作製する技術等を開発した。

3) 革新的な焼結技術の開発

焼成温度を従来よりも大幅に低減することを目的としたプロセス基盤技術を開発し、目標温度において異種材料層から構成される積層成形体を共焼成する技術等を開発した。

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の開発に向け、材料および部材の試作を進めた。微小原料粒子のフロー製造プロセスにおいては、複数の金属元素から構成される複合酸化物粒子の粒径や粒度分布の制御に関してプロセス条件—粒度解析データセットを50種類以上蓄積し、AIなどを活用した最適な製造条件を探索する手法の有用性を例証した。また、スラリーについても同様に、データセットを構築する技術を確立した。固相原料では、セラミックス原料の平均粒径、粒度分布および平均粒径の異なる原料の混合による粒度分布の制御による成形体密度の向上、セラミックス原料粒子との接着性や融点等が異なる複数の代表的熱可塑性バインダー10種以上を用いた成形、乾燥脱脂実験を行い、また、スラリーやペースト等の固液複合原料に関しては、溶媒/原料粒子の体積分率、分散剤の極性や分子サイズ、セラミックス粒子表面との結合状態が異なる10種以上のスラリーを用いたシート成形を行い、性状の異なる溶媒、分散剤およびバインダーからなる20種以上の固液複合原料を用いたグリーンシートを作製した。さらに、固相成分のみからなる原料では、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により検証し、開発技術の有用性を実証した。

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

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・評価技術等を開発した。

1) 画像解析による破壊予知技術の開発

高分解能の高速非破壊観察等により得られた画像データを用いて、機械学習による欠陥予測技術を開発するとともに、データの多面的解析により破壊現象と構造欠陥の関係を明らかにした。

2) 新たな加速劣化試験方法の開発

次世代セラミックスデバイスの実環境において発生する破壊を予測するため、実使用環境下において破壊の原因となる応力を推定できるシミュレーション技術及び実測技術等を活用し、新たな加速劣化試験方法を開発した。

欠陥の生成過程や亀裂の進展過程等の評価に必要な計測・評価技術を開発した。破壊現象メカニズム解明のための解析手法の開発では、破壊に影響を与える構造因子（いわゆるキラー欠陥等）を明らかにし、画像解析による数～数10 μm オーダーの気孔や欠陥の定量化技術と予測・解析手法を探索した。また、熱応力解析技術ならびに温度変化に伴う部材の変形挙動等の計測技術を活用して劣化の要因となる構造上の因子を明らかにし、加速劣化試験法開発の開発指針を確認した。

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

共通基盤技術を各社の実用プロセスに適用するための検討を行った。

1) セラミックス/金属積層デバイスについて、モデル材料系およびモデルプロセスを設定し、開発したプロセスシミュレーションをプロセス最適化およびプロセス設計技術として用いるための基盤技術を構築するとともに、実用プロセスにおける課題を抽出した。

2) 非酸化物モデル材料について、顆粒作製から成形、焼結に至るプロセスを可視化し、さらにプロセスシミュレーションを適用することによって、実プロセスに対応したシミュレーションが構築できることを示した。

3) フィルター成形・成膜プロセスについて、モデル実験系を構築し、また流体計算を含む粒子堆積シミュレータを開発して、実部材サイズの堆積挙動のシミュレーション基盤を構築した。

4) 鋳込成形プロセスについて、給水型と高濃度スラリーからなるモデル実験系を開発し、プロセスシミュレーションの構築の際に考慮すべきプロセス現象と、シミュレーション取り込みの際の課題を抽出した。

	<p>5) 異種材料接合技術について、新たなシミュレーション手法を適用し、微構造比較による妥当性評価を行い、実材料系への適用可能範囲を明らかにした。</p> <p>実用プロセスの詳細は各企業が徹底した情報管理をしているため、委託事業における共通基盤技術開発では、ごく一般的なプロセスをモデル実験として取り扱い、対応するシミュレーション技術を構築してきた。プロジェクト後半では実際の製造プロセス技術を取り扱うこととなるため、参画企業が独自に共通基盤技術を検討評価し、自社事業への適用可能性についての判断を得た。各社によるプロセス上の詳細な工夫を完全に反映できるかは見通せない面があるものの、プロセスの本質的現象を取り扱う基盤は構築できており、実用プロセスへの適用を進められるとの見解を得た。</p>
--	--

3. マネジメント

3.1 実施体制	プロジェクトマネージャー	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 高島 英彰
	プロジェクトリーダー	PL 産業技術総合研究所 材料・化学領域 研究部門長 藤代芳伸 SPL ファインセラミックスセンター 研究グループ長 木村禎一
	委託先	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 一般財団法人ファインセラミックスセンター 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：東北大学、東京大学、筑波大学、横浜国立大学、長岡技術科学大学、東海大学、名古屋大学、京都工芸繊維大学、九州大学、中京大学、物質・材料研究機構)

3.2 受益者負担の考え方	受益者負担の考え方 協調領域での共通基盤開発を進めるため、PJの前半は委託事業として実施。					
	主な実施事項	2022fy	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy
	研究開発項目①-1 製造プロセスの可視化技術およびメカニズム解析技術の開発	委託	委託			
	研究開発項目①-2 製造プロセス支援用計算・システムの開発	委託	委託			
	研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発	委託	委託			
	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	委託	委託			
	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	委託	委託			
	研究開発項目②		助成			

	革新的プロセス 開発基盤の応用 開発					
3.3 研究開発計画						
事業費推移 [単位:百万円]	主な実施事項	2022fy	2023fy	2024fy	2025fy	総額
	研究開発項目① -1 製造プロセス の可視化技術お よびメカニズム 解析技術の開発	765 (追加404)	162			927
	研究開発項目① -2 製造プロセ ス支援用計算・ システムの開発	510 (追加180)	117			627
	研究開発項目① -3 次世代製造 プロセス技術開 発	772 (追加333)	204			976
	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	633 (追加294)	286			919
	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	120	102			222
	研究開発項目② 革新的プロセス 開発基盤の応用 開発		33			222
	事業費	2022fy	2023fy	2024fy	2025fy	総額
	会計(特別)	2800	871			3,671
	追加予算	(1211)	(33)			
	総NEDO負担額	2800	904			3,704
情勢変化への対 応	特に無し					
中間評価結果へ の対応	推進委員会の実施(2回)、調査研究の実施(2022年)					
評価に関する 事項	事前評価	2021年度実施 担当部 評価部				
	中間評価	2024年 中間評価実施				
	終了時評価	2027年度 終了時評価実施見込み				
別添						
投稿論文	「査読付き」14件、「その他」0件					
特許	「出願済」0件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願0件) 特記事項:事業前半ではプロセスシミュレータ構築に絞り込んだ実施					
その他の外部発表 (プレス発表等)	<ul style="list-style-type: none"> 「100℃以下“焼かないセラミックス”製造プロセス確立 26年度めど、NEDO次世代ファインセラミックス製造プロセス基盤技術の開発スタート」(日刊工業新聞1面掲載、2022/08/10) 「NEDOと産総研、ファインセラミックス内部のキラー欠陥の可視化技術を開発」(NEDOプレスリリース 日経新聞Web版等掲載、2024/3/8) 					
	作成時期	2022年3月 初版作成				

基本計画に関する 事項	変更履歴	2023年2月 改訂
----------------	------	------------