

「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」
中間評価報告書

2024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

2024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。

「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」
中間評価報告書

2024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	1-12
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、「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」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「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）分科会において評価報告書案を策定し、第 77 回研究評価委員会（2024 年 8 月 8 日）に諮り、確定されたものである。

2024 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（2024年6月18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. プロジェクトの説明

非公開セッション

6. プロジェクトの補足説明
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

● 第77回研究評価委員会（2024年8月8日）

「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)

分科会委員名簿

(2024年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	わしづ ひとし 鷺津 仁志	兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 教授
分科会長 代理	とみや しげたか 富谷 茂隆	奈良先端科学技術大学院大学 データ駆動型サイエンス創造センター 先端科学技術研究科 物質創成科学領域 計測インフォマティクス研究室 教授
委員	い で ひろし 井出 裕史	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第1部 課長
	いまなか よしひこ 今中 佳彦	上智大学 研究推進センター シニアリサーチアドミニストレーター
	す だ せいいち 須田 聖一	静岡大学 工学部 電子物質科学科 大学院総合科学技術研究科工学専攻 電子物質科学コース 教授
	たかい ちか 高井 千加	岐阜大学 工学部 化学・生命工学科 物質化学コース 准教授 / 東北大学 多元物質科学研究所 准教授
	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

敬称略、五十音順

研究評価委員会委員名簿

(2024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 産業創発部 事業戦略グループ 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

本プロジェクトは、データ計算科学によりファインセラミックス製造プロセス開発の効率向上を目指すものであり、諸外国の技術開発がスピードアップしている中で、持続的にセラミックス部品開発等で世界のトップを維持していく上で取り組んでいくべき重要な施策であるため、国において実施する意義がある。アウトカム達成までの道筋において、事業展開に役立つ統合形プロセスシミュレーターの構築に向けて日本のセラミックス業界をけん引している8社が参加している意義は大きい。知財戦略は、ファインセラミックス業界各社が独自のコア技術を有するところ、コア技術はクローズとし、共通部分をオープンにする戦略は適切と判断する。参加企業に対して、適切なデータマネージメントのもとでシミュレーターが提供され、フィードバックが得られている。

一方、「エンジニアリングセラミックス部品」に関しても「電子セラミックス部品」のように技術・市場予測調査を行い、個別・具体的な方向性を見出していきたい。アウトカム達成までの道筋は、社会の変化の想定が現時点からの単純な線形的予測となっており、2035年時点の環境の変化を考慮したアウトカム目標とすることが望ましい。アウトプットを、アウトカムに結びつけるためには、NEDO、産総研^{*1}、JFCC^{*2}と参画企業との更なる連携が必要と思われる。シミュレーターに対する各社の具体的なニーズに踏み込めることを期待する。知財戦略において、これまで知財出願がないが、プロセスシミュレーターを企業個社で利用して特許出願に繋げるだけでなく、要素技術や、要素技術の連結など、本事業中においても知的財産の取得を積極的に推し進められるよう、今後を期待する。複数の出願が互いに連携するような知財ポートフォリオを考えることを推奨したい。また、プロジェクト終了後のシミュレーターの維持・発展については終了時に、より明確に方針を定めるべきと思われる。

^{*1} 産総研：国立研究開発法人 産業技術総合研究所

^{*2} JFCC：一般財団法人 ファインセラミックスセンター

1. 2 目標及び達成状況

アウトカム目標及びその達成時期の設定は、現時点における市場成長予測のもとでは適切であり、設定根拠は妥当である。新規製造プロセス20種以上の開発というアウトプット目標に対して順調に進捗しており、中間目標をほぼ達成している。また、単純なモデルだけではなく、電子セラミックスやエンジニアリングセラミックス製品で不可欠な積層体や多孔体について積極的に取り組んでいるなど、各種シミュレーターの開発が進んでおり、標準材料に対するデータ化も行われている。特に、スラリー生成から焼結にいたるシミュレーション技術を開発できた意義は大きい。

一方、アウトカム目標は、諸外国の想定以上の成長を踏まえた非線形な変化を意識したストーリーを考慮することが望ましい。AI 活用のさらなる拡大等を考慮するなど、最終目標の見直しを継続的に検討いただきたい。参画企業によって多種多様なセラミックス部材の製造が対象であり、多くの部材が異種材料の組み合わせによる複雑なものだが、着目すべき要素をとり入れることで、汎用性のある統合形プロセスシミュレーター開発に繋がると考える。また、今後はプロセスデータを蓄積し、AI による逆問題解析を行うことで、研究開発のさらなる加速化と、従来の「経験と勘」や「人的なすり合わせ」の可視化を期待したい。

1. 3 マネジメント

実施体制は、NEDO ならびに実施者の産総研、JFCC を中心として、必要十分な実施体制が整っている。集中研における研究会を定期的に実施するなど、民間企業との定期的な会議を持ちながら実施されている。受益者負担の考え方は妥当であり、産総研と JFCC が引き続き委託事業として統合形プロセスシミュレーターの高度化に取り組んでいくこと、参画企業の全 8 社がステージゲートを通過し、助成事業として個別の応用事業へ移行しつつあることは適切である。研究開発計画は、外部環境の変化や参画企業の要望・意見を適宜取り入れながら、研究テーマの絞り込みも実施しており、適切な見直しがなされている。各要素シミュレーターについては高いレベルで成果が得られており、現時点において大きな問題となっている点は見受けられない。

一方、今後は DX 研究者・技術者がより積極的に関わり、システム全体の使いやすさ、種々のシミュレーションの連続性、AI との連動を考慮したプラットフォーム構築に努めてもらいたい。また、実施者間の連携、成果のユーザーによる関与など、利害を乗り越え連携強化を図っていただきたい。研究開発計画においては、要素シミュレーターの「連結」をどのような戦略で進めるのかを明確にし、統合形プロセスシミュレーターを完成させる道筋が示されることが望ましい。また、後半は参加企業における実証フェーズとなるが、各社におけるデータ計算駆動型開発モデルを可能な範囲で共有・展開していただきたい。

(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>

- ・ 本プロジェクトはファインセラミックスの製造プロセスのデータ計算科学による効率向上を目指すものであり、プロセスに焦点を当てていること自体が画期的である。評価・可視化技術やメカニズム解明とセットとなっており、目的も手段も明確であるといえる。
- ・ 本事業は「統合イノベーション戦略 2020」で謳っている計算科学・データ科学をフルに活用するプログラムに沿っており、NEDOにおける「電子部品用ファインセラミックス分野」の技術強化施策にも適合している。
- ・ 電子セラミックス部品の今後の成長を予測し、基盤技術としてプロセスインフォマティクス技術を構築する意義は十分にある。
- ・ 国内ファインセラミック産業の更なる競争力強化に向けた取り組みとして位置づけられており、国において実施する意義がある。
- ・ 現在、ファインセラミック産業分野は、世界トップであるが、欧米アジア諸国の技術開発がスピードアップしている中で、持続的に世界のトップを維持していくために、先行して取り組んでいくべき重要な施策である。位置づけ、寄与内容が明確に示されている。
- ・ 高度化しているセラミックス材料は、その製造プロセスに大きく依存している。その製造プロセスを要素シミュレーターに落とし込みした上で、統合的な解析を可能とする試みは、今後のセラミックス産業の躍進に向けて、その意義は大きい。
- ・ 本事業が目指す将来像や政策・施策における位置づけは明確に示されている。また、社会問題の解決に貢献し、経済的価値が高く、実施する意義がある。
- ・ 本事業の実施体制は、我が国のセラミックス業界の方向性を明確化する上でも意義があると考ええる。
- ・ 「すりあわせ」に頼るのではなく、プロセス開発基盤を作るという方向性については、外部環境の変化や社会的影響と関係なく必須事項であるといえる。
- ・ 統合シミュレーター構築は非常に挑戦的なアウトプット目標であり、その実現のために初期は委託事業で行い、その後の個別課題への対応は助成事業へ移行する計画は合理的である。
- ・ 2035年アウトカムに向けた一歩として、本件取り組みが位置づけられている。
- ・ 現時点では、外部環境変化を十分考慮している計画であるが、AI、ICTなどDX技術進歩のスピードが極めて速いため、これらの技術進歩を考慮しながら、場合によっては、適宜、修正も必要となるかもしれない。
- ・ 2035年の参画企業によるアウトカム達成にむけて、2026年までにどのようなアウトプット目標を設定すべきかが明確に示されている。
- ・ アウトカム達成までの道筋の見直しの工程において、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は、時間軸も含めて明確に記載されている。本事業終

了後の自立化を見据えている。

- ・アウトカム達成までの道筋を示す上で、官民の役割、特に、日本のセラミックス業界をけん引されている 8 社が参加されている意義は大きい。
- ・オープン・クローズ戦略の設定は適切である。参加企業に対して、適切なデータマネージメントのもとでソフトウェアが提供され、フィードバックが得られている。
- ・オープン・クローズを考えた知財戦略であることは十分に理解できる。
- ・ファインセラミックスは、各社が独自のコア技術を有するところ、コア技術はクローズとし、共通部分をオープンにする戦略は適切と判断。
- ・オープン・クローズ戦略により、特に企業間での情報共有、情報制限がなされるとともに、標準化の筋道も描けているが、他国からの技術防衛について、より深い考慮が、今後必要になるかもしれない。
- ・本事業のオープン・クローズ戦略は妥当である。セラミックスプロセスはノウハウに帰属する部分も多いが、それを適正に分類化していることは評価に値する。
- ・オープン・クローズ戦略は、適切に設定されている。
- ・対外的な発表は十分になされていると思われる。特許出願は現段階ではゼロとのことだが、経済安全保障の観点に立てば、特許出願は無理にするものではない。特に、開発の主体が革新的プロセスの構築に資する統合シミュレーターなので尚更である。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・産総研、JFCC における取組みを社会実装するために、後半における参加企業のお一層の相乗効果をきたいしたい。
- ・NEDO 技術戦略では「電子セラミックス部品」にフォーカスしているが、本事業では「エンジニアリングセラミックス部品」にも展開している。この理由を明確に記載すべきである。また、「エンジニアリングセラミックス部品」の市場予測調査が行われていない、もしくは記載されていない。
- ・本事業に期待される成果は大きいものの、それを達成するためには多くの要素研究を含んでいると感じる。今後、データを纏めていく中で、成果の発散に終着しないように心がけていただきたい。
- ・電セラ、エンセラに大別したとして、国内外の技術・市場動向を踏まえて、個別・具体的な方向性を見出して頂きたい。PJ 後半で官民一体となって、革新的プロセス開発に繋がられる統合型シミュレーターのベースを構築出来れば、3 兆円の市場規模を持つ我が国のセラミックス市場を 4 兆円に発展させられると考える。
- ・プロジェクトは 2026 年までのものであるが、ビヨンド 6G を目指す際に必要な修正については、プロジェクト終了時に技術的見地から指摘できることがあると良い。
- ・2035 年のアウトカム目標に対して、出荷増加額および CO₂ 削減量の具体的数値の妥当性はともかく、2035 年時点での社会の変化の想定が現時点からの単純な線形的予測にとどまっている。2035 年時点の社会環境の変化を考慮し、バックキャスト

したアウトカム目標へ修正すべきである。

- 幅広いステークホルダーに対する情報発信として、委託事業の成果として「セミナー」や「シンポジウム」などの単独開催が期待される。しかし、資料にはそのような記載が見当たらなかった。
- 現在の取り組み及びアウトプット（データ整備、シミュレーション）を、アウトカム達成（事業化）に結びつけるためには、事業者と NEDO 他との更なる連携が必要と見られる。今後本格化する助成事業においては、双方、目的を一にし、利害を乗り越え連携強化を図っていただきたい。
- 本事業が達成されると、製品出荷だけでなく参画企業の品質管理及びその効率化にも大きく寄与できる。セラミックスのように品質管理が不可欠な産業では、これも大きなアウトカム（あるいはインパクト）として捉えられるのではないかと見られる。
- 事業目的にある、ファインセラミックスの小型化、高性能化、高信頼性化の実現のために、従来の「経験と勘」や「製造プロセス間の人的なすり合わせ」に頼ってきたプロセス技術に変わる革新的なプロセス技術が必要であり、本事業の意義は大変大きい。PI 技術の確立によって、いわゆる職人技をデータ化することが可能となる。そして、技術の継承やノウハウの強化、開発期間の大幅な短縮も含めた革新的プロセスの開発に繋がる。PI 技術の確立は、モデル事業となり、電子部品に限らず、セラミックスにも限らず、他分野への波及効果が期待できる。これらは NEDO が持つ知識、実績を活かして推進すべき事業であるといえる。具体的に「経験と勘」「人的なすり合わせ」がどのようにデータとなって表れたのか、要所で確認しながら、見える形で事業を進めていただけることを期待したい。
- AIST/JFCC が各社の事業展開にどれだけ役立つ統合シミュレーターの基礎を構築出来るかが鍵だと考える。セラミックス業界は個別の技術力で事業分野も上手く棲み分けが出来ているので、共通する技術基盤を統合シミュレーターに取り込めるように進展させて頂きたい。
- プロジェクト終了後のソフトウェアの維持・発展については終了時により明確に方針を定めるべきと思われる。
- 要素シミュレーション技術は知財化しうると謳っているが、これまで知財出願がされていないのは残念である。今後期待する。
- ある一つの技術を完成させ、単に出願するだけでは、現在では活用しうる知財にはなりにくい。複数の出願が互いに連携する出願群となるような知財ポートフォリオを考えることを推奨する。
- 他国が模倣してきたときの対処方法を技術防衛、世界標準化など、戦略を考えておく必要がある。
- 参画企業間の競合領域での出願に際して、それが本事業の特許出願として妥当かどうかを出願前に判断する仕組みが見当たらない。
- 開発したプロセスシミュレーターを多様な製造プロセスを有する企業個社で利用することで、特許出願に繋げるだけでなく、要素技術や、要素技術の連結など、本

事業中においても知的財産の取得を積極的に推し進められるよう期待したい。

- ・ 欠陥の可視化技術についてのプレスリリースが出されている。評価技術ももちろん非常に重要であるが、本事業により深く関連する技術についても、成果普及への取り組みを期待したい。
- ・ 中間評価を終えて、PJの後半で必要に応じて助成事業が入ってくるので、シミュレーターの検証に関わる場所では、各企業がどれだけ有意義なデータを提供してくれるのかがポイントとなる。特に、当面のユーザーは参加の8社となるが、AISTが各社の具体的なニーズに踏み込めることを期待する。

1. 2 目標及び達成状況

<肯定的意見>

- ・ 新規製造プロセスを20という目標に対して必要な数の技術開発は提示されている。参加企業に対してシミュレーターが提供され、それぞれの企業において実践されフィードバックが行われている。
- ・ 現時点における線形的な市場成長予測のもとでは、妥当と考えられる。
- ・ セラミック製造工程をデータ化するという非常にチャレンジングな取り組みであり、社会的意義は高く、現時点にて費用対効果は妥当。
- ・ 外部環境が大きく変化し、先が見通せない状況であるが、アウトカム目標については、エネルギー・CO₂削減量や6G、ポスト6G市場を照らし合わせて、柔軟に見直しを行っている。今後も柔軟に見直し、費用対効果を考慮頂きたい。
- ・ 単純なモデルだけではなく、電子セラミックスやエンジニアリングセラミックス製品で不可欠な積層体や多孔体について積極的に取り組んでいる。アウトカム目標の設定根拠は妥当である。
- ・ 本事業が目指す将来像と関係のあるアウトカム指標・目標値及びその達成時期の設定は適切である。アウトカム目標の設定根拠は妥当である。
- ・ 現時点では費用対効果を議論するのは難しいと考える。また、大きなアウトカム目標が掲げられているが、今後の展開に期待する。
- ・ 各種シミュレーターの開発が進んでおり、また、標準材料に対するデータ化も行われている。実験解析側の成果として、欠陥可視化技術を提示することにも成功している。とくに、スラリー生成から焼結にいたるシミュレーション技術を開発できた意義は大きい。
- ・ 中間目標時点では、おおむね計画通りに順調に推移している。
- ・ 現時点では、順調に進捗しており、アウトプット目標について見直しの必要はない。今後、外部環境の変化がある際には、適切な見直しを検討いただきたい。
- ・ アウトプット目標を適切に見直しながら、順調にスケジュール通りに事業を進めている。一部、参加企業との技術すり合わせに関する考えの違いで遅れが生じているが、本質的問題でなく、課題分析は十分であり、今後についての見通しが得られている。

- ・ 中間目標をほぼ達成している。また未達の部分についてもその課題や見通しが明確となっている。また研究の取り組みについても、統合型シミュレーター構築を目標とした優先順位が付けられている。
- ・ 新規プロセス開発の鍵となるのは PS であり、PS の開発には参画企業との情報共有を基盤とした強固な連携が不可欠である。開発技術の有用性の実証は、参画企業との情報共有を基盤とした強固な連携が不可欠である。連携を強化、または見直し、目標達成に繋がられることを期待する。
- ・ 中間評価の数値目標はクリアされていると考える。論文発表は十分に行われている。特許出願は現時点でゼロだが、実用化に向けた各企業のオープン・クローズ戦略を考慮されたものと理解した。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 費用対効果について明瞭に算出することは困難であるが、プロジェクト終了時に製造プロセス効率化による概算ができると良い。
- ・ 今後、AI の活用のさらなる拡大等を考慮すると、中国や韓国などの想定以上の成長を含む非線形な変化を意識したストーリーを考慮することが望まれる。
- ・ アウトカム達成（事業化）への道のりが長いプロジェクトのため、進捗に応じ、中間目標の設定（スケール化に向けた目標、助成事業のなかで必要とされる目標等）、及び、最終目標の見直し（出荷額以外に、事業化というゴールに即した目標等）を、継続的に検討いただきたい。
- ・ アウトカムが実現した場合の国際競争力について、これをアウトカムと捉えるのかインパクトとして捉えるのかは、解釈による違いがあるが、いずれにせよ本 PI の成果として、例えば超高品質の保持による国際競争力に与える効果が期待できるのではないか。
- ・ 一連の製造プロセスを一気通貫に扱うことができる統合型プロセスシミュレーターの開発は、セラミックス製造分野に関わらず、意義のある開発項目であるといえる。しかし、要素技術の連結は単純ではなく、それを一気通貫に扱える段階まで押し上げる技術が可能になるか、現段階では見通しが立っていないように思われる。さらに、今後は、プロセスデータを蓄積し、AI による逆問題解析を行うことで、経験と勘や人的なすり合わせがもたらした効果を明らかにできるとのことなので、研究開発のさらなる加速化が求められる。
- ・ 加速化のために、要素技術のシミュレーションは、既存のシミュレーション技術を使ったり、重要度の高い要素技術間の連結を試行したりするなど、統合型シミュレーターを完成させる道筋が見える形を示されることが期待される。
- ・ せっかく、我が国を代表するセラミックスメーカー8社が参画されているので、それぞれの意向、将来展開も取り込んで、より良いアウトカム目標達成に向けて議論、軌道修正も辞さず、積極的に企業のニーズを反映させて下さい。
- ・ 後半は、参加企業における実証フェーズとなるが、各社内においてデータ計算駆動

型の開発モデルをしっかりと提示していただきたい。技術論として、逆問題の解決は常に困難が伴うが、成功例を増やしていただきたい。

- ・ 集中開発拠点以外の参画企業及び再委託先研究機関の寄与が不明確である。
- ・ 理論式をベースとしたシミュレーター、実験パラメーターをベースとしたシミュレーターの二つの方式が必要である理由が明確でない。本事業の目標である統合型シミュレーターの完成を目指すには、各シミュレーションに重きを置くより、要素技術のシミュレーションの連結技術開発に重きを置いた進め方を強く推奨する。
- ・ マクロ-ミクロ構造の実験を再現するシミュレーターの統合化において、統合化の妥当性評価が明確でない。参画企業と連携した統合化の妥当性評価を進めることで、統合型シミュレーターの完成、意義に繋がるので、連携強化を期待する。
- ・ 電子部品セラミックスの製造に向け、今後統合型シミュレーターを適用していくことを考えると、モデル粉体と電子部品用セラミックス原料との違いを具体的に考慮して進めることを強く推奨する。必ずしも、モデル粉体で必要であったデータセットが電子部品用粉体で必要とは限らないため、今後の展開を見据え、例えば原料粉体の純度や結晶配向など、電子部品に特化した特徴量を見出せる進め方を期待する。
- ・ AIST/JFCC の特質上もあるかと理解するが、これだけ対外的な発表をされていると、特許出願が必要になった時に弊害になるように思われた。

1. 3 マネジメント

<肯定的意見>

- ・ 進捗管理について、階層別に4種類の会議体を有しており、適切な運営をしているといえる。研究テーマの取捨選択を実施するなど、適切なマネジメントを実現している。コロナ後においては、集中研における研究会を定期的実施するなど、研究テーマの共通部分の共有を実現している。
- ・ 必要十分な実施体制が整っている。
- ・ NEDO、産総研、ファインセラミックスセンターにて、各社の強みを生かした連携体制が構築されている。
- ・ NEDO ならびに実施者の産総研、JFCC を中心として、適切に事業執行、実施、推進を行っている。
- ・ 集中開発拠点が中心となって本事業に取り組んでいる状況が見て取れる。実施体制は妥当である。
- ・ 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。日本を代表するセラミックス企業とチームを組むことで、現場における課題を吸い上げ、企業個社の課題に応じた技術開発を進めることで、多種多様な製造プロセスに対応した多様なプロセスシミュレーターの開発に繋がることを期待する。
- ・ 業務執行の流れとして、METI/NEDO→AIST/JFCC (大学への再委託を含む) →企業は問題ない。特に、主たる実施者である AIST 中部の技術力が問われる処と思う

が、民間寄りの JFCC も含めて、民間企業との定期的な会議を持ちながら実施されていることを確認出来た。

- ・ 順次、個別の応用事業に移行しつつある。これは、適切な受益者負担の概念に適合しているといえる。
- ・ 2022 年度～2026 年度の予算額に関して、初年度の比重が高く、その後はほぼ均等な予算となっており、妥当と考える。
- ・ 国内ファインセラミックス産業の競争力強化に向けた取り組みとして、取り組み継続が妥当。
- ・ 企業側の参画会社は、ステージゲートを通過し、事業の後半では、助成事業として、自社の次世代製品の開発に向けて、本事業の統合シミュレーションシステムを適用していくことになる。また、今後、産総研、JFCC は引き続き、統合シミュレーションシステムの高度化に向けて取り組んでいくことになる。受益者負担の考え方は、これまでも適切であり、今後も適切と考える。
- ・ 参画企業の全 8 社が、ステージゲートを通過し、助成事業へ移行したことは、受益者負担として妥当であり、高く評価できる。
- ・ 本事業における統合型 PS の開発は、今後も成長し続ける電子部品セラミックス製造分野において、大きな意義を持ち、事業の継続による PS 開発の加速化を期待する。
- ・ 委託事業として継続することが適切と思われた。本 PJ は令和 6 年度も含めて 3 年間あるので、その間は委託事業で進める方が良いと思われる。
- ・ 個別にステージゲート審査を経ており、中間段階で大きな問題となっている点は見受けられない。また、研究テーマの絞り込みも実施しており、適切な見直しがなされているといえる。
- ・ 2024 年度から応用開発は本格的に助成事業となるが、基盤構築は委託事業として継続する体制となっている。本事業の基盤技術は国として支えるべき内容であり、呼び水効果の役割も期待されるため、委託事業として適切であると考えられる。
- ・ 現時点では、アウトプット目標へのスケジュールについて見直しの必要なく、問題ない。今後、外部環境の変化がある際には、適切な見直しを検討いただきたい。
- ・ 外部環境の変化や参画企業を要望・意見を適宜取り入れながら、研究開発計画・スケジュールを適切に見直している。
- ・ セラミックスプロセスのカギとなる要素技術について丁寧にデータの取得に取り組んでおり、各要素シミュレーターについては高いレベルで成果が得られており、評価できる。
- ・ 参画企業個社の要望を吸い上げ、個々に対応したシミュレーターの提供、要素技術開発を進めており、一定の評価ができる。
- ・ アウトプット目標の達成に向けた議論は定期的な会合が行われ、適宜、適切な修正も行われているようで何よりである。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・社内における本開発品の検証、とくにフィードバック部分について適切に実施いただけたらと思われる。終了後、2026年以降もソフトウェアの改善ができるような課題あぶり出しも必要と思われる。
- ・アウトカム達成（事業化）に向けては、事業者と NEDO 他との更なる連携が必要と思料。今後本格化する助成事業においては、双方、目的を一にし、利害を乗り越え連携強化を図っていただきたい。
- ・DX 研究者・技術者がより積極的に関わり、システム全体の使いやすさ、種々のシミュレーションの連続性、AI との連動を考慮したプラットフォーム構築にも努めてもらいたい。
- ・参画企業及び再委託先研究機関のつながりが不鮮明である。また、アウトプットをアウトカムにつなげる参画企業間での連携やそれに向けたサポートに懸念がある。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、本事業の開発、完成に向けた体制にやや疑問が残る。開発の加速化が鈍化する原因を探り、見直しを図るなど、体制を整えることも視野に入れることが望ましい。
- ・AIST/JFCC が民間企業 8 社の抱えている問題点、今後の技術の方向性を考慮した開発課題を機密は考慮した上で取り込んでいるか？電セラ、エンセラでは扱う材料、プロセスが大きく異なる中、共通基盤的な課題として本 PJ に落とし込むのは難しいことだったのでないかと拝察した。全体論としてではなく、個別具体的なものが一つでも多く取り上げられてゆくと良い。
- ・2024 年度以降の応用開発事業は見込みであるが、目標達成を意識して実施していただけたらと思われる。
- ・後ろ倒し予算（-1.0 億円）や加速予算の内容・必要性、および助成事業における参画企業各社への助成額の開示が望まれる。
- ・委託事業の成果を各参画企業の助成事業に反映できるように、成果情報を速やかに共有する仕組みが必要と考える。
- ・事業継続にあたり、開発の加速化は必須である。参画企業・メンバーと密に連携し、信頼に基づき、情報共有を行い、これを基盤とし、適切な実施体制を整え、現場の要望に沿った PS 開発に向け加速化することを強く期待する。
- ・助成率とは関係なく、委託から助成事業になると、各社の思惑がより前面に出てくるし、具体的な課題、その解決策～道筋を議論するのが難しくなるように思われた。
- ・後半は実証フェーズとなり、本事業によるプロセス設計効果の大きなものとそれほどでもないものとに別れると想定されるが、後者においても参加者の連携により成果創出をしていただきたい。
- ・統合シミュレーター構築のためには、各要素シミュレーターの結合が重要かつチャレンジングであると考え。時間の制約も見えてくるので、要素シミュレーターの「連結」のどのような戦略で進めるのかをより一層明確にすべき。

- 実施項目ごとの目標達成状況
参画企業と連携し、各要素技術のシミュレーションを、企業個社保有技術に合わせて開発していることが伺え、一定の評価ができる。一方で、参画企業によって、進捗状況に大きな差が出ているように思われる。情報共有や開発の進行の妨げになる要因を探り、必要であれば見直しをするなど、改善が望まれる。
- 参画企業によって多種多様なセラミックス部材の製造が対象となる。ほとんどの部材が異種材料の組み合わせによるものである。異種材料の接合界面は複雑で、どのような素材、粒子径、粒子径分布なのか、またその環境や工程条件によって、界面の状態は異なるはずである。これは乾燥や脱脂、焼成工程にも影響を与えると考えられるため、本事業の目的である「経験と勘」「人的すり合わせ」が行われた箇所ではないかと推測される。一貫通貫の PS 開発にあたって、着目すべき要素と、ある程度無視できる要素が存在し、これらをうまく取り入れることで、汎用性のある PS 開発に繋がると考える。多種多様な部材に対応することは非常に骨の折れる取り組みであると推測されるが、目標達成のための加速化を期待する。
- AIST/JFCC に各社が出向いて議論されているようだが、むしろ、AIST/JFCC が各企業に出向いて、現場の課題について、差支えの無い範囲でデータを抽出され、より良いプロセス統合シミュレーターに仕上げて頂きたい。

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	A	B	A	A	A	A	B	2.7
(2)アウトカム達成までの道筋	A	C	B	A	A	A	B	2.4
(3)知的財産・標準化戦略	A	C	A	B	B	A	B	2.3
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	B	C	2.3
(2)アウトプット目標及び達成状況	A	A	A	B	A	B	B	2.6
3. マネジメント								
(1)実施体制	A	A	B	B	B	B	B	2.3
(2)受益者負担の考え方	A	B	A	A	A	B	B	2.6
(3)研究開発計画	A	A	A	A	A	B	B	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。

「次世代ファインセラミックス製造プロセス
基盤構築・応用開発プロジェクト」

事業原簿
(公開)

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
-----	---

更新履歴

更新日	更新内容
2024年5月16日	初版発行

目次

概要	1
プロジェクト用語集	1
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1-1
1.1. 事業の位置づけ・意義	1-1
1.2. アウトカム達成までの道筋	1-3
1.3. 知的財産・標準化戦略	1-7
2. 目標及び達成状況.....	2-1
2.1. アウトカム目標及び達成見込み	2-1
2.2. アウトプット目標及び達成状況	2-2
3. マネジメント.....	3-1
3.1. 実施体制	3-1
3.2. 受益者負担の考え方	3-2
3.3. 研究開発計画	3-2
4. 目標及び達成状況の詳細	4-1
4.1. 研究開発項目：①革新的プロセス開発基盤の構築	4-1
添付資料.....	1
●プロジェクト基本計画	1
●関連する施策や技術戦略.....	12
●プロジェクト開始時関連資料	4
●各種委員会開催リスト	4
●特許論文等リスト	5

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
----------------	------	------------

プロジェクト用語集

用語	説明
プロセスインフォーマティクス	計算科学手法や情報科学手法を活用するプロセス開発のための手法
要素シミュレータ	各プロセス（工程）の要素を扱う計算シミュレータ
統合シミュレータ	要素シミュレータを組み合わせて、複数のプロセス（工程）間の構造変化等を扱えるシミュレータ
物理シミュレータ	プロセスでの構造変化を物理（数理）モデルで記述し、物理定数等を任意にパラメータとして入力し、偏微分方程式での最適化により計算すシミュレータ。物理定数が分かれば実験でのパラメータ取得が無くても計算が可能。
実験シミュレータ	実験より計算でのフィッティングパラメータを取得する数理計算シミュレータ
モンテカルロ（MC）法	乱数を用いて構造発展を計算する手法
有限要素法（FEM）	偏微分方程式の近似解を要素に分けて計算する手法
フェーズフィールド法（PFM）	連続体モデルとして拡散界面等のモデルでの変化を計算する手法
離散要素法（DEM）	変形等を離散モデル（座標点）で計算する手法
拡張有限要素法（DFEM）	不連続な状態等の変化を記述し要素に分けて計算する手法

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1. 事業の位置づけ・意義

持続可能な社会の実現に向け、持続可能な開発目標（SDGs）への取り組みが世界的に活発になっている。日本では2050年までのカーボンニュートラル達成が政府目標として掲げられ、産学官を挙げた目標達成への気運が高まっている。また、新型コロナウイルスの世界的な感染拡大により様々な社会的リスクが顕在化した結果、強靱な経済社会システムの構築が強く求められている。SDGsの達成やカーボンニュートラルの実現、経済社会システムの強靱化は、第5期科学技術基本計画（2016-2020年）に提唱された「Society5.0」によって解決しようとしてきた社会課題そのものであり、その意味でSociety5.0は、「目指すべき近未来社会のイメージ」から、「早急に構築すべき社会の姿」へと変貌を遂げたと言っても過言ではない。

Society5.0の中核となるハードウェアはデジタル機器である。新型コロナウイルス感染症の感染拡大が続く中で、リモートワークやWeb会議が普及して人同士のコミュニケーションが進化し、モノをつなぐIoTの普及により多様な人・モノ・組織が密接なネットワークを形成するようになった。このようなデジタルネットワークの拡大は現実世界の新たな価値を創造しており、社会基盤としてのデジタル機器の重要性はますます高まっている。このようなデジタル機器を支える日本の電子セラミックスや電子部品製造等に関わるエンジニアリングセラミックスなどのファインセラミックス部材は、高い技術力を背景に世界市場の約40%を占めているが、今後の継続的発展、市場シェアの維持・拡大のためには、我が国セラミックス産業が特に強みとしてきた製造プロセス技術を飛躍的に発展させる取り組みが必要である。さらに、次世代通信技術（ポスト5G）を支える様々な電子部品、半導体製造設備の基幹部品、脱炭素、エネルギー問題などの解決に貢献する次世代セラミックス部材の実現のためには、ファインセラミックス製造プロセス技術のさらなる高度化とともに、国際競争力に打ち勝つ革新的な機能、革新的な構造制御技術の創出が求められる。部品性能の向上に伴ってセラミックス部品製造プロセスは複雑になっており、このような複雑プロセスの全体最適化技術の創出によって、部材の性能、信頼性、耐久性等の向上を果たすことが重要である。

ファインセラミクス製品の社会実装のイメージ・インパクト

新型コロナウイルス感染症の拡大を受け、動画配信、電子決済、遠隔医療、自動運転、リモートでの開発・生産など社会のデジタル化、および Society5.0社会の実現のため**ポスト5G高速通信技術の必要性が増大**。



新たなファインセラミクス材料開発を加速するための基盤構築
超高品質・超高信頼性・超耐久性

全固体電池

積層セラミックコンデンサ(MLCC)

5Gから6Gへ

6G

パワエレ放熱基板

*6G Flagship White Paper

ファインセラミクス産業は、今後の超スマート社会(Society5.0)を牽引する日本が強みを持つ分野。10年先以降の新規市場における競争力・高いシェアを維持する革新的な技術開発が必要。

製造プロセスが複雑で模倣困難なファインセラミクス部材産業は近年堅調に成長し、2019年国内生産額は約3兆円。日本のシェアは世界の約4割を占める。



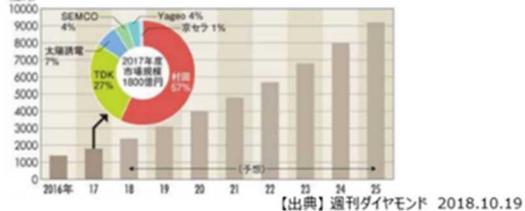
最新電気自動車(EV)には、7,000~10,000個の電子セラミクス部材が搭載され、今後、さらに市場が拡大することが予想されている。



ファインセラミクス産業の2018年国別市場規模



自動車向け積層セラミックコンデンサ(MLCC)の2017年度シェアと市場規模予想



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 (第1回) 内閣府配付資料より (令和2年4月27日)

ファインセラミクス製造プロセスには、原料合成、成型、乾燥・脱脂、焼成（焼結）等の要素プロセスがあり、各要素プロセスにおいて形成される微構造が、部材の品質や信頼性、耐久性などの最終特性を左右する。しかし、各要素プロセスにおいて微構造が形成されるメカニズムは

必ずしも明らかではなく、このことが近年注目されている計算科学を活用したプロセス研究・プロセス開発の妨げとなってきた点は否めない。

そこで本事業では、強力な産官連携体制のもと、次世代の電子セラミックスやエンジニアリングセラミックスの高度化に不可欠な製造プロセスの設計および最適化を短期間かつ効率的に実現するため、プロセス現象の解明と理解に基づいて、各要素プロセスで形成される微構造を予測可能な計算シミュレーション技術を構築し、さらには複数の要素プロセスからなる製造プロセス全体に適用可能なシミュレーション技術の開発、プロセス条件と構造の相関などへの情報科学的アプローチを通じて、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新たに開発し、高性能かつ高信頼性部材製造のための次世代プロセス技術開発プラットフォームを創出する。また、部材の信頼性低下の原因となる微構造を特定・検出するための評価技術を開発し、シミュレーション技術を活用した製造プロセス最適化を通じて高信頼性を達成する。本提案の実施によって得られた成果は、Society5.0の早期実現に資するため、速やかな産業利用を図る。

なお、本事業は、NEDOマテリアル革新技術先導研究「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」（2021-2022年度）で得られた知見および明らかになった技術的課題を踏まえて実施する。

1.2. アウトカム達成までの道筋

我が国のファインセラミックス産業は世界シェアの40%を占め、中でも高い技術力を必要とするハイエンド・先端部材では、セラミックス電子部品で60%以上、パワー半導体向け放熱板で77%以上の圧倒的シェアを有する。このような状況は、各企業が保有する世界トップレベルの製造プロセス技術によってもたらされており、シェアの維持・拡大のためには、製造プロセス技術の持続的高度化が不可欠である。

Society5.0等の施策によって社会のデジタル化が急激に進展し、自動走行自動車や遠隔医療等の次世代技術の実現が目前に迫っている。これらの次世代技術では、安全・安心の確保のために部材の耐久性・安定性が特に求められ、キーマテリアルであるセラミックス部材の信頼性向上が急務である。また、情報化社会の根幹をなす社会インフラとして5G/6Gの高速通信技術が求められており、日本が高いシェアを有する部材群の性能向上は喫緊の課題である。また、脱炭素社会の実現に当たっても、新たな環境デバイス・エネルギーデバイスの開発が求められ、優れた機械的特性、高温特性、電気特性を有するセラミックス材料の活用は必須である。

ファインセラミックスの世界市場は2019年では651.5億ドルと想定され、2024年では934億ドルまで成長すると予想されている（日本ファインセラミックス協会調査）。このような状況の中で、我が国が高い市場シェアを獲得し続けるためには、セラミックインフォマティクスを活用した独自のプロセス技術革新を世界に先駆けて進めることが急務である。

本事業では、ファインセラミックス部材の高度化に向けたプロセス設計や開発スピードの加速を成し遂げるため、新たなプロセスシミュレーション基盤技術の確立及びその基礎となるプロセス現象の可視化技術、構造と部材特性の相関関係の解明、信頼性評価技術の開発を強力な産学官連携のもとで実施する。本事業の成果の活用を通じて、ファインセラミックス関連企業に次世代プロセス技術を普及させ、国内ファインセラミックスの市場規模を1兆円拡大させることを目指す。そのために、先導研究および調査研究で得られた知見をもとに、産業界、業界団体を含む広範で緊密な産学官連携体制を構築し、世界初のセラミックス製造プロセスインフォマティクス技術を創出する。プロジェクトへの参画企業および参画機関は、このような技術革新を先導すると

ともに、適切なオープン・クローズ戦略により我が国ファインセラミックス産業全体の競争力強化を図る。

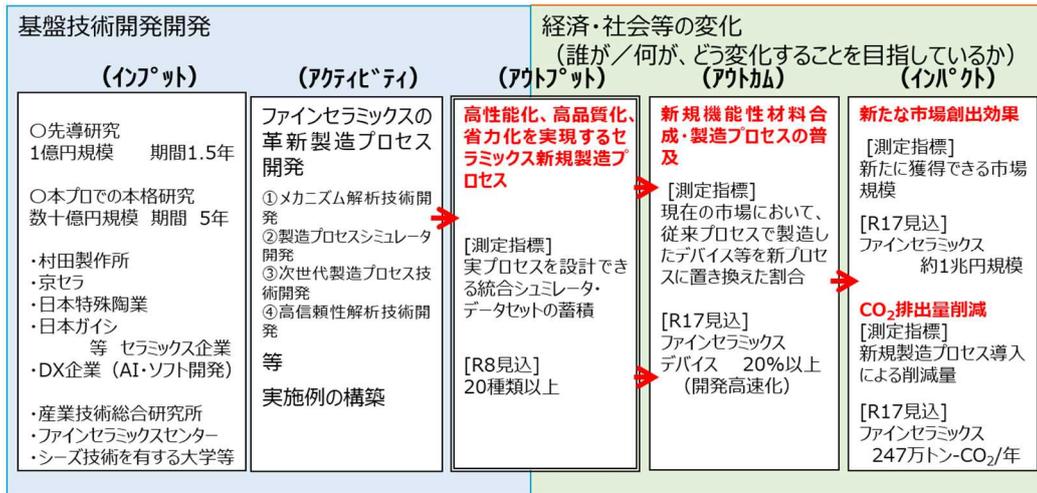
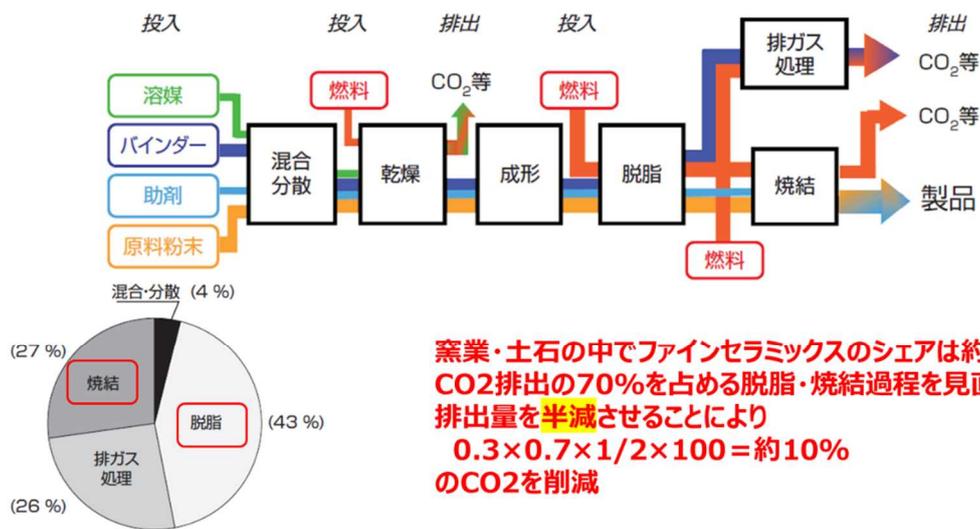


図 本事業でのアウトカムの戦略 (ロジックツリー)

また、省エネルギーに資する製造プロセスを新たに開発するには、多くの時間と人材が必要であるが、本事業で開発する計算科学支援開発手法の産業応用が進めば、開発に要する時間やエネルギーの低減と、セラミックス製造プロセスにおいて多くのエネルギーを消費する脱脂プロセスや焼成プロセス等の省エネルギー化に繋がり、セラミックス産業での二酸化炭素排出低減技術の進展に資する。



**窯業・土石の中でファインセラミックスのシェアは約30%
CO₂排出の70%を占める脱脂・焼結過程を見直し、
排出量を半減させることにより
 $0.3 \times 0.7 \times 1/2 \times 100 = \text{約}10\%$
のCO₂を削減**

図2 各プロセスの消費エネルギー量の割合 (いずれも研究室レベル、粉末合成に関わるエネルギー量は除く)
アルミナ1kgの焼結に要する消費エネルギー。有機バインダー添加量: 10 mass%。脱脂工程 600℃ 1h 保持 (12℃/h)。排ガス処理工程: 900℃ 保持。焼結工程: 1400℃ 4h 保持、(600℃/h)。脱脂工程と焼結工程には、6KWの電気炉を使用。排ガス処理工程には、1.4KWの電気炉を使用。

1991~2020年の30年間でファインセラミックスの市場は2兆円拡大。2021~20235の15年間で $2 \div 30 \times 15 = 1 \sim 2$ 兆円以上の市場拡大を見込む。

低温焼結プロセスの省エネと他の焼成プロセスとの比較

コールドシンタリング等の低温プロセスの優位性

○プロセスエネルギーの低減

BaTiO₃の原料粉末の緻密化（密度95%）に必要なエネルギーで比較した、コールドシンタリングのエネルギー低減効果

- ・古典的な大気炉での固相反応焼結の約1/100
- ・積層セラミックス等の焼結に用いられている高速焼結の約1/4

表. BaTiO₃粉末の焼結（95%緻密化）に要するエネルギー消費量

焼結法	BaTiO ₃ 粉末の焼結に要するエネルギー消費量の換算値
固相焼結	2800 kJ/g
液相焼結	2000 kJ/g
FAST焼成	1050 kJ/g
マイクロ波焼成	540 kJ/g
高速焼成	130 kJ/g
コールドシンタリングプロセス	30 kJ/g

D. S. B. Heidary et al., Journal of the European Ceramic Society, 38, 1018-1029 (2018)を基に、独自に表を作成

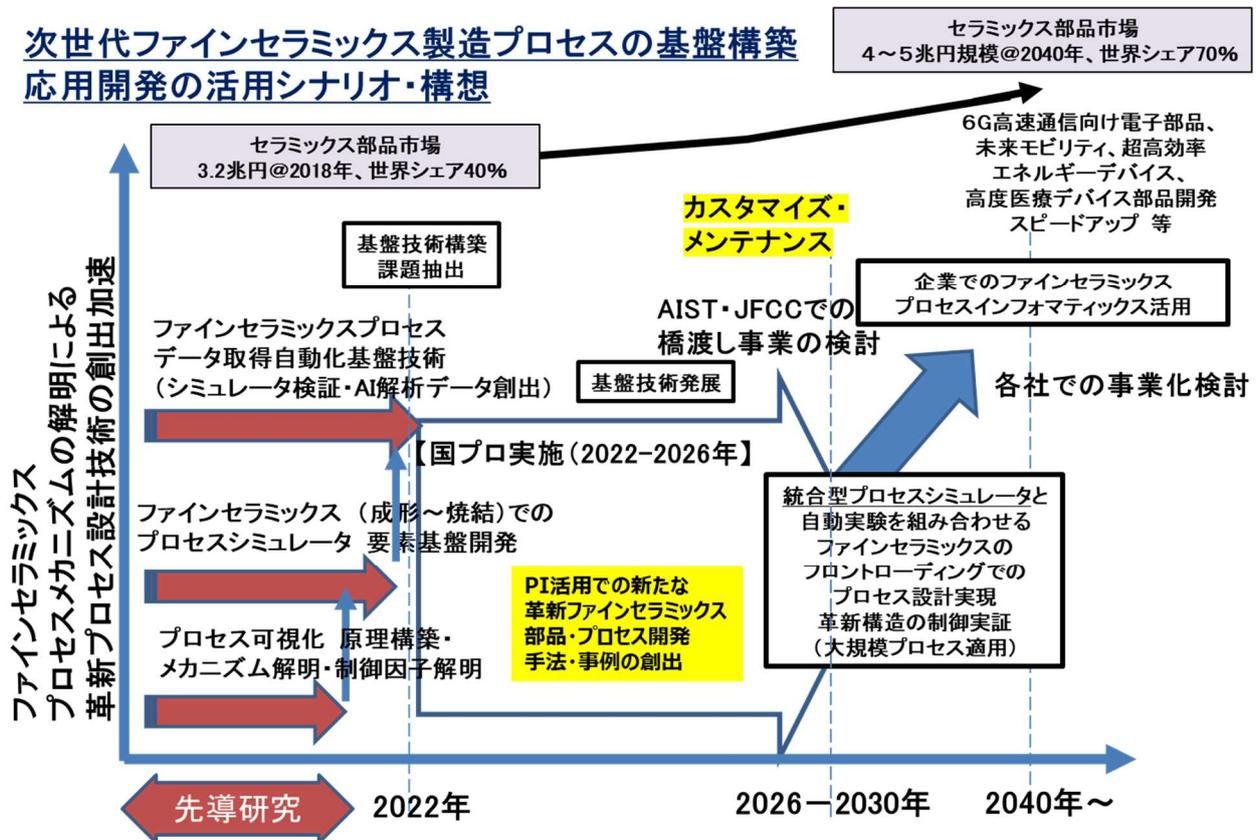
○低温焼結により、有機物との共焼結など、複合材料の選択肢が拡大

ファインセラミックス産業を含む窯業土石産業における2019年度のCO₂排出量は、およそ**3,100万ton-CO₂/年**。その中で、年間に310万トン程度がファインセラミックス産業からの排出量と考えられ、内約70%が電子デバイス関連として、セラミックス製造プロセスの中の焼結に關与するエネルギーは70%程度とした場合の試算。

コールドシンタリングにより、焼成温度を300℃に低温化を実現した場合、7割程度の電力削減が可能であることから、電子デバイス関連の製造低温化により、
 $3100 \times 0.1 \times 0.7 \times 0.7 = \text{約}152\text{万ton-CO}_2/\text{年}$ （2019年度分で試算）削減の可能性はある。

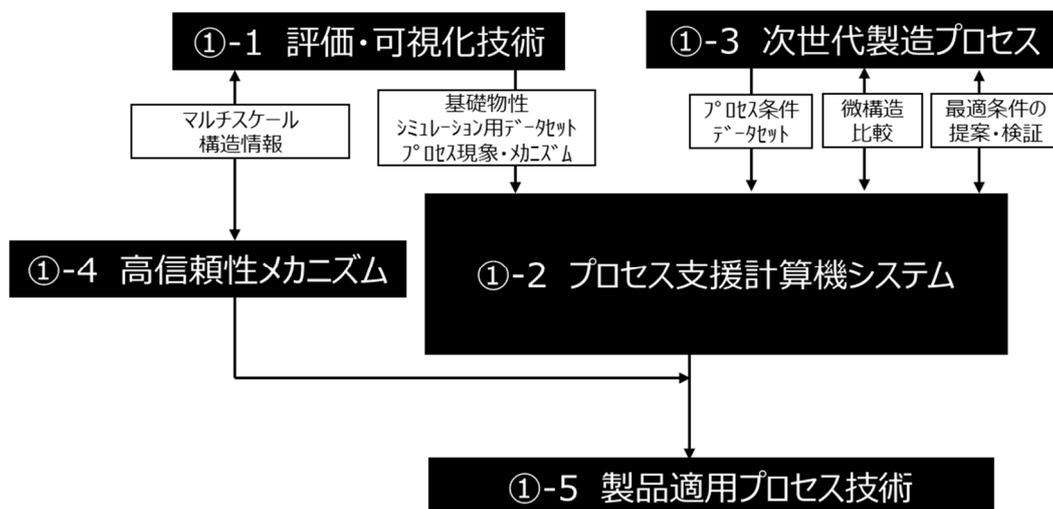
セラミック電子デバイス関連は、近年、年2%程度の成長率で市場規模が拡大していることを考慮すると、**2030年で約185万ton-CO₂/年の削減**が期待できる。

図 次世代プロセス開発による市場の拡大と二酸化炭素排出量削減への貢献



本技術開発を効率的に進めるために、事業前半では、研究開発項目① 革新的プロセス開発基盤の構築として、「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」「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」「研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発」「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」「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」の各項目を設けて下図のような連携のもと、集中研究拠点（集中研）において、参画機関が共同で研究開発を実施している。



図：研究開発項目①の各項目の位置づけと課題間連携

集中研は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所と一般財団法人ファインセラミックスセンターを中核実施場所とする。

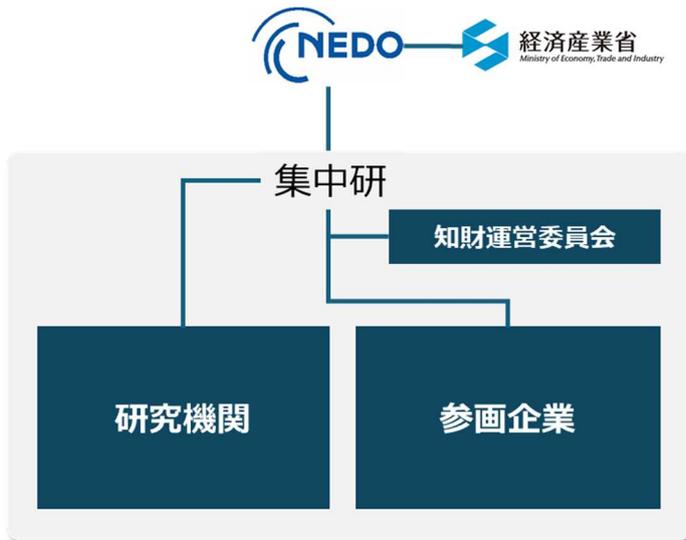
このうち、国立研究開発法人 産業技術総合研究所では、次世代ファインセラミックスの製造プロセス基盤技術として、新たな機能向上・信頼性向上と製品開発～企業での事業化を加速する高度な計算科学技術、先端プロセス計測技術、革新的なプロセス技術、並びに高信頼性向上に向けた革新的な破壊や劣化因子の解析技術を5年間で実施し、すでにスタートしているデータ駆動型コンソーシアム（2025年以降の第2期への展開）や社会実装のための事業組織を検討し、開発シミュレータやデータセット、開発計測技術等に関わる事業成果の移行による産業界での活用（有償）に向けた仕組みへ事業を展開する。さらに、基盤技術の構築状況等に応じて、ナショナルイノベーションエコシステムでの産業利用を加速するための外部企業等を活用する社会実装加速を検討することなどで、本研究開発事業終了後、ファインセラミックス企業での活用（カスタマイズやメンテナンスの有償実施）が進むよう研究の支援事業を進める予定である。

もう一方の、一般財団法人ファインセラミックスセンターでは、本プロジェクトの成果として得られるプロセスシミュレーション技術、プロセスシミュレーション用データセット構築技術、部材試作および評価技術を、プロジェクト終了後、直ちに、研究・試験評価事業として広く産業界に提供することを計画しており、企業受託研究、共同研究、試験評価などを通じてファインセラミックス産業を含む部材産業分野の発展に貢献する。

また、全ての参画機関は、本事業における基盤技術や応用技術で得られる成果に関して、内外との技術動向や市場動向についての調査・技術収集に努め、NEDO 担当部等との密接な連携を通じてプロジェクト終了後の社会実装システムの構築を進める。

1.3. 知的財産・標準化戦略

本事業では、研究機関を拠点とする集中研方式で研究開発を進め、最先端技術を取り入れた共通基盤技術を創出し、世界トップレベルの技術構築を目指す。集中研に知財運営委員会を設置し、オープン&クローズ戦略を策定し、関係機関での知財合意を踏まえて戦略を実施する。なお、当事業に関して、工業所有権情報・研修館からの知的財産プロデューサー派遣事業を通じてPD派遣を要請し、知財等に関する支援を受けている。



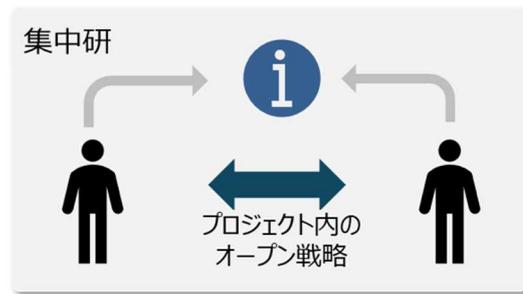
プロジェクト開始前の知的財産権等に関する検討

- ①プロジェクト開始前に、参画機関にて「知財の取扱いに関する合意書」を策定。
- ②合意書では、知財運営委員会や知財の帰属、秘密の保持等、プロジェクトの出口戦略において重要となる知財ルールを整備。
- ③オープン&クローズ戦略のスキームを基本計画に明文化。

基盤研究と応用研究を事業項目で分けて実施

プロジェクト参画企業間

プロジェクト内の オープン戦略

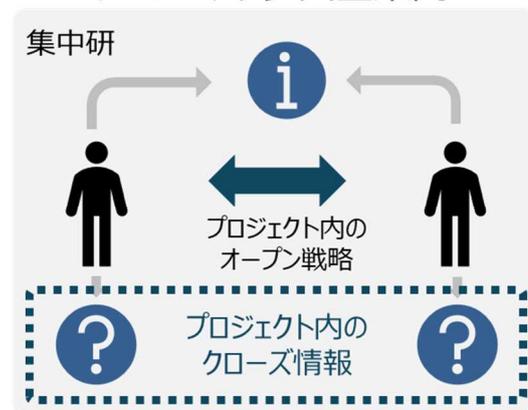


i プロジェクト内の
オープン情報

- オープン開発では企業間の垣根を外す。
- 皆で共有できる研究テーマ（本質的なモデル構造・シミュレータ技術・革新プロセス）を扱う。
- 各社が一体となって分担・協力して課題解決に取り組む。
- 共有成果として、集中研の成果は、企業間も含む共同発表（論文発表前に関係機関へ共有）。
- 企業は将来の事業に関わる技術を開発（ノウハウを強化）
- 大学・国研研究者は知識拡充、新規テーマ創出

プロジェクト参画企業間

プロジェクト内の クローズ戦略



i プロジェクト内の
オープン情報

? プロジェクト内の
クローズ情報

- 企業の事業領域へは踏み込まない。事業に関わることはプロジェクト外で議論（二面性・割り切り）。
- プロジェクト外（後）産総研が個別にサポート・メンテナンスを実施
- 成果発表は企業と相談。事業に関わる成果は企業間で調整、企業が知財化

<プロジェクト内>

・集中研究体制（研究機関<委託、再委託>・企業）での議論に必要な新たに創出した手法・創出データおよび持ち込まれたデータは、集中研究体制内ではオープン（共有）～知財合意の範囲内。

・ NEDO 事業外において登録・発表された各機関での技術<バックグラウンド IP については、各機関より書面<判断となるエビデンスを含め>で知財委員会へ提出。～NEDO 事業で取り扱うプロセスシミュレータに関しては、コアとなるシミュレーション手法等、持ち込まれた根幹プログラム類は NEDO 事業前に作成されたものと理解<NEDO 事業で機関間のアイデアで取り込まれ改良部分については取り扱いを統合シミュレータ開発終了後、整理し、著作権を尊重し、協議>。

・ NEDO 事業内での開発成果については、NEDO 委託事業期間内、参画機関は活用可能。
 ・ 集中研の全機関に共有され、議論を進めた事業後創出された統合型プロセスシミュレータでのインプットとアウトプットでの計算データ（相関情報）成果（再委託先を含む）をプロジェクト成果とする。

<プロジェクト外>

・ モデル材料や検証プロセスとして、共有されたデータでも成果創出に企業が関わり、企業での事業創出に関わる成果（国益に関わる）は、プロジェクト外への持ち出しを行わない（クローズ）。具体的には、企業からの持ち込みデータやアイデア等が紐づいている新たな手法や新規創出データについては外部発表を行わない。

・ 企業からの持ち込みデータやアイデア等が紐づいていない検証段階での共有データについては、参画機関の意見を集約し<産業利用ではなく学術的な貢献で重要なもの>判断。

<その他>

- ・ オープン可能な情報・クローズ情報（および協議が必要な情報）の明文化・整理
- ・ プロジェクト終了後の共有プロセスシミュレータの企業での利用法の明文化
- ・ 個社の事業のみに関わるクローズ情報に関しては、助成事業で、企業が成果管理を行う。

PJ外 オープン	・ 公開文献等をもとにしたシミュレータでのインプットデータ、取得パラメータ、計算結果、公開版の報告書 ・ 発表研究機関でPJ前に所有していた実験データを用いたインプットデータと計算データ（BIP登録） （国外での発表は原則計算条件と結果が紐づかないもの）	
PJ内 オープン	・ コンパイルされた開発プログラム（無償で機関共有） ・ 集中研内で共通基盤の議論で決定した、事業期間内で取得したモデル実験での取得パラメータ・計算条件・計算データ（インプット条件・アウトプット構造が紐づくもの）、計測データ（検証データ） ・ 発表の必要性を集中研で協議する	・ 企業で事業期間内に取得した検証用データ、計算データ
PJ外 クローズ	・ 開発プログラムソースコード（秘匿：開発機関で著作権、技術移転は著作権を有する機関と相談） ・ 集中研で企業と議論したアイデア、持ち込まれた企業の事業で用いている条件で実施したモデル実験データや取得パラメータ、計算条件、計算データ（インプット条件・アウトプット構造が紐づくもの）。計測データ検証データ。	・ 企業で事業期間前（未発表）、事業期間内に取得した検証用データ ・ 事業活用が想定される事業開始後取得した計算データ、検証データ（実験・計測）
	非競争領域	競争領域につながるもの

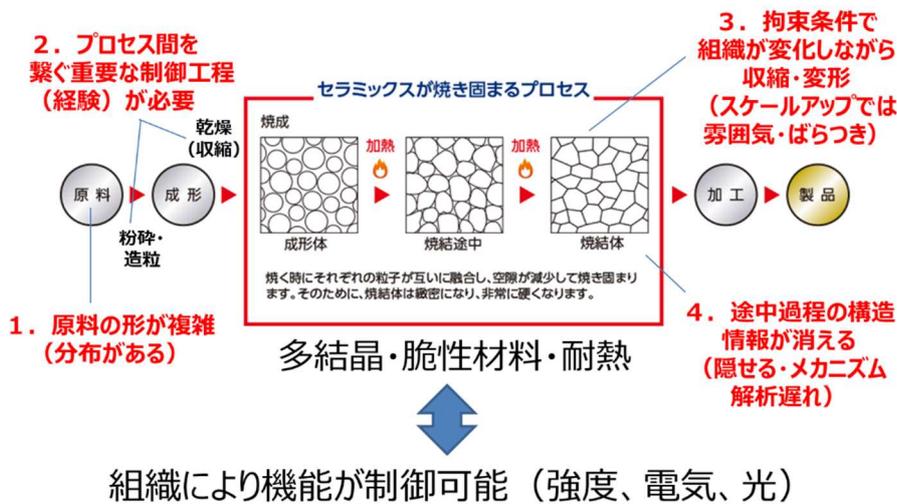
*** 取得計算データ、検証データ（実験・計測）は計算を実施した機関が管理
 PJ内オープン情報は、原則、共用するが、共有はしない データマネジメント**

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

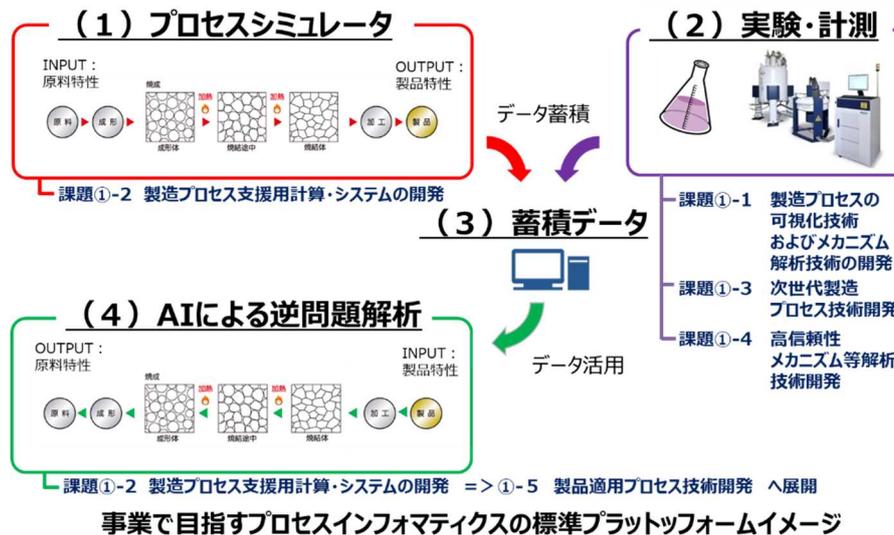
セラミックスの特性向上では、下記のような製造工程での組織制御が重要となる。本事業のアウトカム目標となっている経済効果や省エネ化を実現するために、従来は、経験と勘を含めた製造技術に関するノウハウを蓄積し、様々な試作や計測を繰り返して、製品製造技術を構築してきた。本事業では計算科学手法を新たに導入し、開発期間の短縮や効率化のための最短アプローチを提示する新たなプラットフォームの構築を進める。

ファインセラミックス（工業用セラミックス素材）



出典) 京セラ資料より

ファインセラミックスの製造プロセスデータの取得では、種々のプロセス条件の下で、成形から焼成に至る過程での構造変化を一貫してデータ化し蓄積する。事業前半では、シミュレーションを活用したデータの蓄積に重点を置き、各プロセスにおける成形～焼成の組織構造を再現/予測できるセラミックス製造プロセスシミュレータの開発と動作検証を進めた (下図(1)(2))。また、集中研におけるシミュレーション結果を参画機関間で共有して検討を進め、さらには各参画企業において秘匿データを用いたシミュレーションが実施できるよう、開発シミュレータの共有とチュートリアルを段階的に進めた。各シミュレータの高度化も継続して進めており、取り扱える材料や実プロセスも拡大している。アウトカム目標として掲げたプロセスインフォーマティクスプラットフォーム創りに向けて進展しており、事業後半では下図(3)(4)に記載した逆問題解析のためのデータ蓄積、逆問題解析の試行を重点的に推進する。



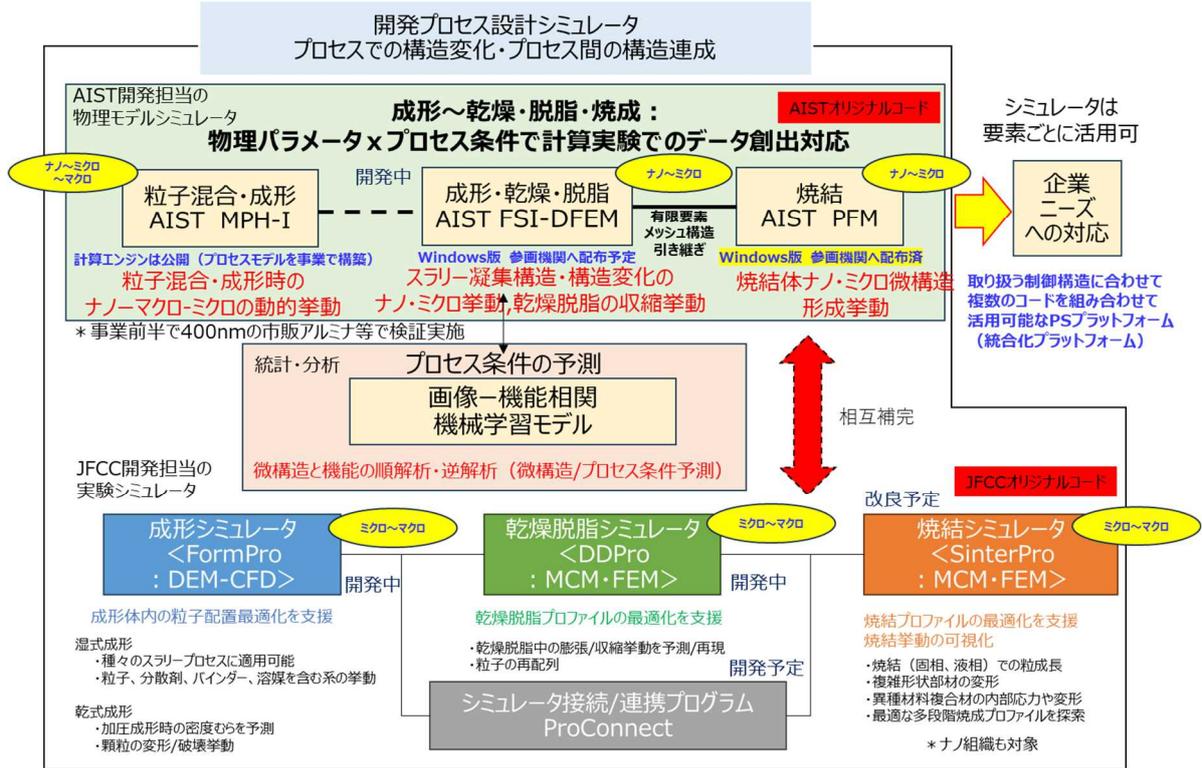
2.2. アウトプット目標及び達成状況

アウトプット目標として、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し、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ことを掲げた。具体的には、開発した基盤技術の活用により、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、このプロセスを適用した新規部品を試作する。

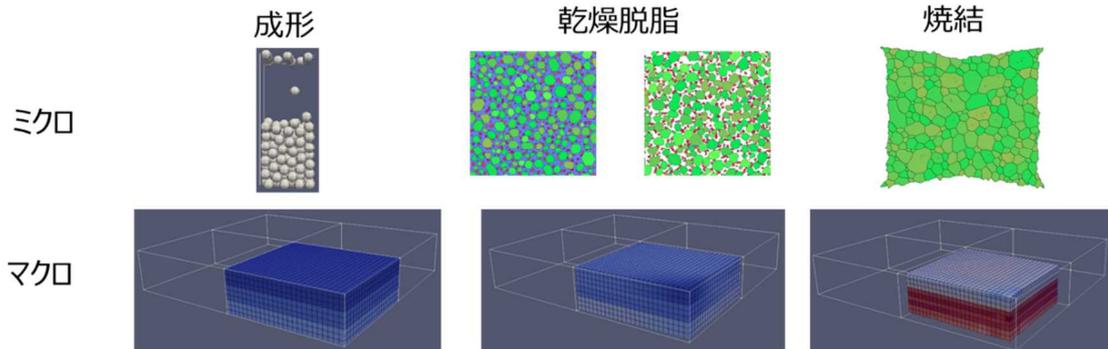
プロセスシミュレータの開発では、スラリーを用いて作製される積層体の製造プロセス、比較的大きな粒子を含むスラリーを用いた成形プロセス等を共通開発モデル（モデル材料、モデルプロセス）として課題を設定し、原料・スラリー合成プロセス、成形プロセス、乾燥脱脂プロセス、焼結プロセスに対応するシミュレータを開発した。事業後半では、実プロセスへの展開を想定して、各社独自のプロセスに対応可能な拡張性を有するシミュレータへと高度化させ、シミュレータによる最適条件の提案と、その提案に基づく試作を進めることとしているが、事業前半での取り組みは概ね計画通り進捗し、事業後半への準備が進んだ。

なお、新規プロセス技術20種については、事業前半での成果を考慮した各社の活用計画を取りまとめ、総計で26種のプロセス技術へと進展する見込みであり、アウトプット目標を達成できる見込みである。

次世代ファインセラミックス事業 開発統合型シミュレータの概要



○統合型シミュレータの動作テスト開始



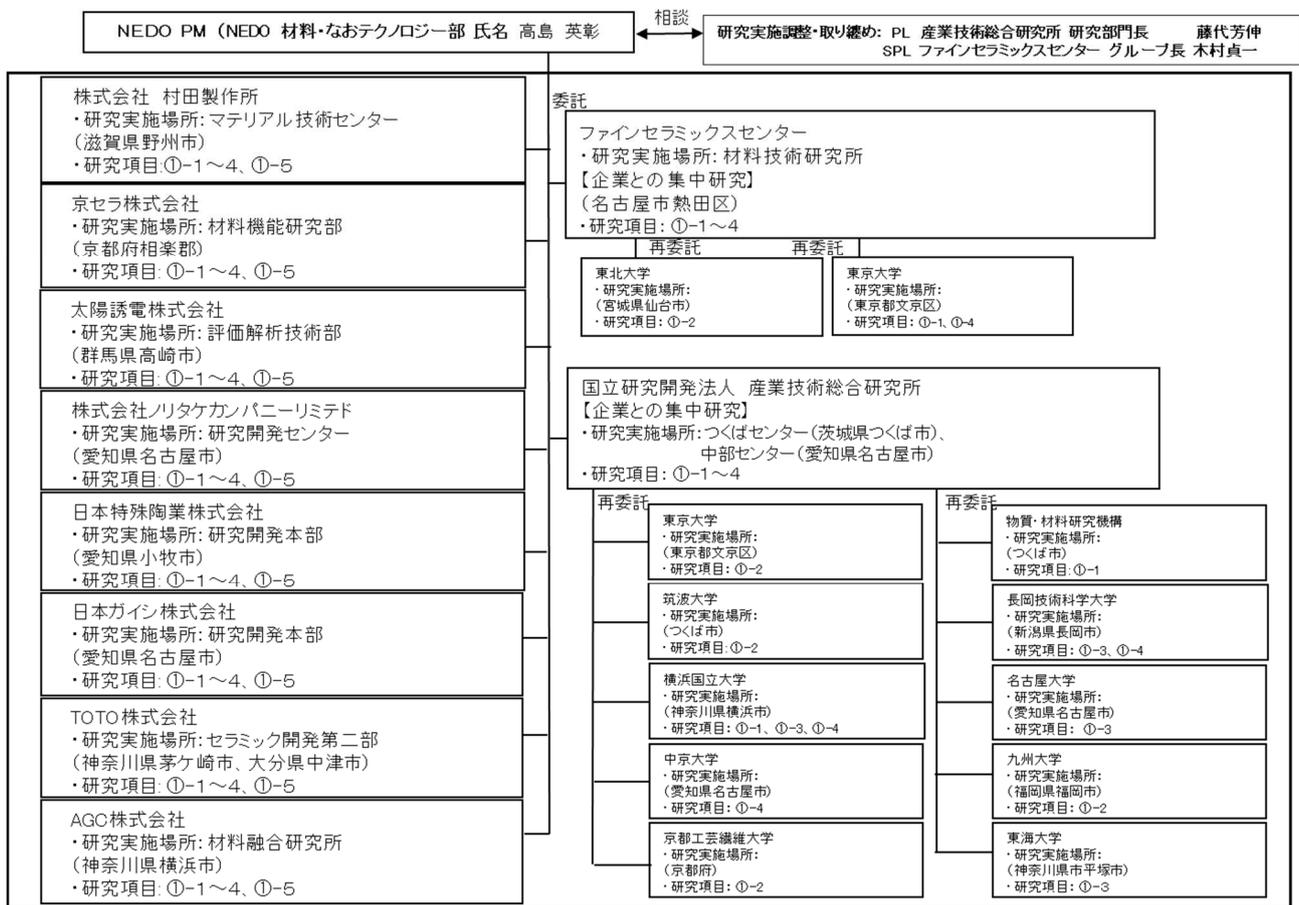
3. マネジメント

3.1. 実施体制

本事業では、進行全体の企画管理や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ために、プロジェクトマネージャー（PMgr）のもと、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的に研究開発を推進する観点から、プロジェクトリーダー（PL）およびサブプロジェクトリーダー（SPL）を指名し、産総研に事務局機能を設置して進めている。

本事業全体のPMとしてNEDO 材料・ナノテクノロジー部の高島 英彰を任命している。またPLとして産業技術総合研究 藤代芳伸 研究部門長、SPLとしてファインセラミックスセンター 木村禎一 グループ長を指名している。また、課題①—1～4については課題項目単位でグルーピングし、課題間を繋げる取りまとめ担当主査を指名し実施している。

「ファインセラミックスのプロセスインフォマティクス基盤構築」実施体制図



実施課題の概要と課題実施体制

2022-2023年度

NEDO	
PL・SPL	
事務局	
課題項目	課題取り纏め
課題 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 <small>(先端プロセス計測技術等)</small>	産総研 首席研究員 岡崎俊也
課題 ①-2 製造プロセス支援用計算・ システムの開発 <small>(プロセスシミュレーション開発 等)</small>	産総研 研究チームリーダー 松本純一 [物理シミュレータ] ファインセラミックスセンター グループ長 木村禎一 [実験シミュレータ]
課題 ①-3 次世代製造プロセス技術開発 <small>(低温焼成プロセス・精密積層・異種構造制御プロセス等)</small>	産総研 研究グループ長 A) 陶 究 [原料合成] ファインセラミックスセンター グループ長 C) 木村貞一 [固相、助剤、異種材料、パイン列] 産総研 上級主任研究員 B) 近藤直樹 [固液、低温焼結]
課題 ①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の 開発 <small>(迅速評価・画像解析等故障要因の解析技術等)</small>	産総研 研究グループ長 福島学

研究開発の運営管理として、NEDO は研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進歩のほか、外部環境の変化を適切に把握するために、2022 年度は調査研究事業を実施し、必要な措置を講じた。また運営管理として、実施での集中研技術会議への参加や、外部委員を含めた推進委員会を開催し、運営管理を効果的かつ効率的に進めている。

各課題について集中研の研究員および企業の研究員が共同で研究開発を進めてきた。

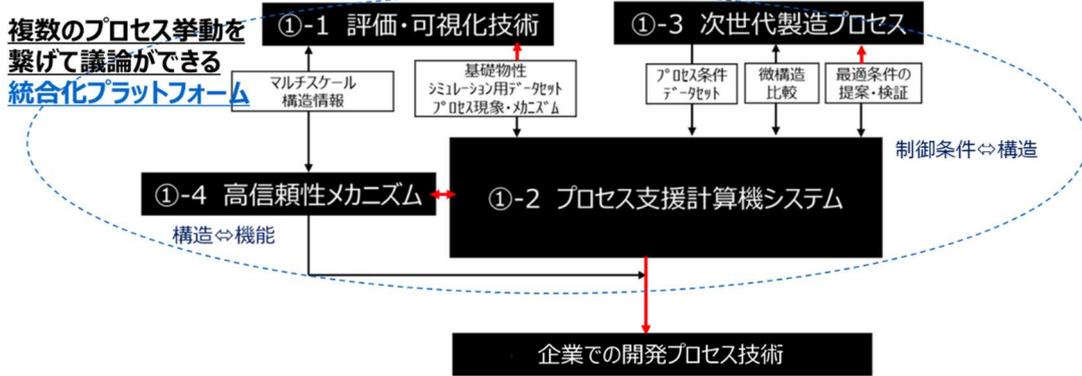
3.2. 受益者負担の考え方

事業前半の研究開発項目①は協調領域での共通基盤開発を進めるため委託事業として実施した。また事業後半に並行して開始する研究開発項目②は、企業各社による実用化研究であり、受益者負担の観点から助成事業として実施する。

3.3. 研究開発計画

実施計画に基づき、課題①—1～5で複数のプロセス挙動を繋げる研究計画を下表の線表の計画に沿って進めた。

次世代ファインセラミックス製造プロセス基盤構築・応用開発での各課題での連携（提案時のスキーム）



事業前半：PS共通基盤技術のインプット&検証データや理論モデル、計算コード等の開発・構築・PJ内共有
 => 事業後半：開発PS技術を活用しプロセスメカニズム解析高度化・学習モデル構築・
 次世代プロセス開発へ活用検証：赤矢印

アウトプット目標

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。

実施計画とマイルストーン

	2022	2023	2024	2025	2026
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	原料評価・可視化技術・プロセス現象の可視化技術開発	シミュレーション用データセット構築	プロセスメカニズムの解明・可視化高度化		
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、焼結シミュレーション技術の開発	物理手法を用いたファインセラミックスプロセスインフォマティクス基盤技術の創出	プロセスシミュレータの共通基盤高度化・プロセス条件探索		
①-3 次世代製造プロセス技術開発	微小原料粒子製造プロセスの革新的高度化技術	成形、乾燥脱脂および焼結プロセスのプロセスデータ構築	革新的プロセス技術開発		
①-4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発	部材特性を支配するキラー欠陥の特定および可視化技術	セラミックスの加速劣化試験方法の開発と破壊シミュレーションの基盤技術開発	構造-特性インフォマティクス解析技術の高度化		
①-5 製品適用に向けたプロセス技術の開発 (5A)~(5H)	モデル実験等でのデータ取得	プロセスシミュレーション適応性検討・課題抽出	課題② 開発PS基盤技術等を活用する 企業によるプロセス技術開発		

4. 目標及び達成状況の詳細

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、企業における実用プロセスへと展開することを目標とし、以下の課題①-1~5を設定し実施した。

研究開発項目①-1~4は共通基盤技術開発であり、参画企業の実用化研究(研究開発項目②)の実施に必要な基盤技術のうち、各課題に共通する技術課題を抽出して、集中研において研究開発を実施する。産総研つくばセンターでは、主として材料/原料データセットの構築と微構造データセットの構築、可視化技術開発、シミュレーション技術開発、微粒子製造プロセスの開発を実施し、産総研中部センターでは、主としてプロセスデータセットの構築と高信頼性メカニズムの解明、ファインセラミックスセンターでは主としてプロセスデータセットの構築とシミュレーション技術開発、信頼性評価を実施した。また、微粒子研究開発項目①-5では、共通基盤研究と実用化研究をシームレスにつなぐため、上記の共通基盤技術の中から各参画企業の製造プロセスに対応する要素技術をピックアップし、それぞれの要素技術について実用化研究の開始に必要な技術水準を達成するための取り組みを進めた。

4.1. 研究開発項目：①革新的プロセス開発基盤の構築

・4.1.1. 研究開発項目：①-1 革新的プロセス開発基盤の構築/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（産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター、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、再委託：東京大学、横浜国立大学、物質・材料研究機構）

ファインセラミックス部材の製造プロセスでは、原料セラミックス粒子のみならず、バインダーや分散剤などの有機物、分散媒などが原料として用いられ、各要素プロセス中にそれぞれが複雑に変化しながら最終部材の微構造が形成される。そこで本研究開発項目では、各要素プロセス前後の微構造変化と、要素プロセス中に微構造が形成されていく過程の可視化によって、プロセスシミュレーションの構築に必要な微構造データセットおよび微構造形成メカニズムの解明に取り組んだ。

表1 2種のアルミナスラリー（粒径0.4 μm 、0.1 μm ）をもちいてシミュレーションに必要なパラメータを測定

	スラリー	測定法	状況
①	粒径サイズ・分布	・遠心沈降 ・SEM ・誘電率顕微鏡/液中SEM	○ ○ ○
②	粒径形状・分布	・SEM ・誘電率顕微鏡/液中SEM	○ ○
③	密度	密度計	○
④	粘度・レオロジー特性	レオメーター	○
⑤	濡れ性(接触角)	接触角計	○
⑥	表面張力	ペンダントドロップ法	○
⑦	比熱	ホットディスク法	○
⑧	熱伝導率	ホットディスク法	○
⑨	分解物成分	熱分解GC-MS/EGA-MS	○
⑩	蒸発熱・反応熱	示差走査熱量(DSC)	○
⑪	ヤング率・ポアソン比	引張試験	○

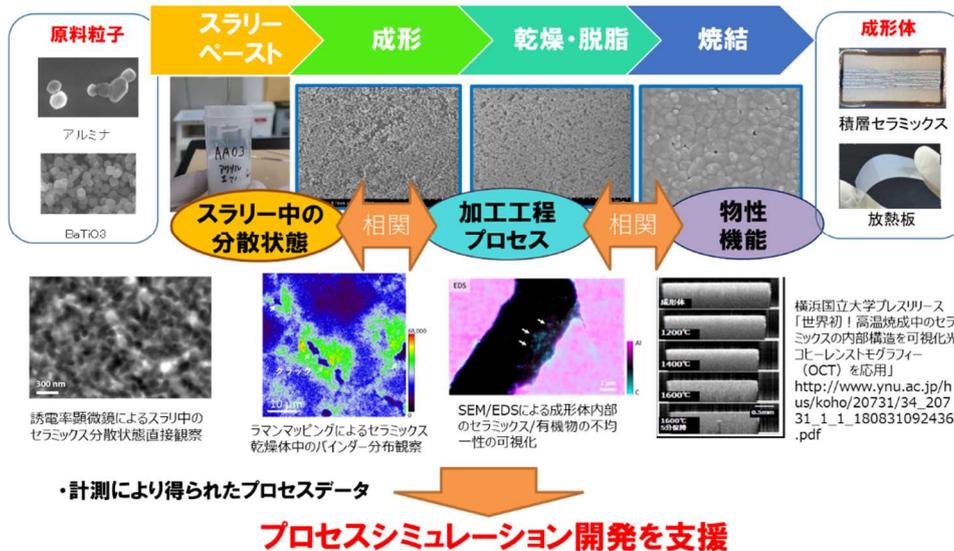
表2 相互作用可視化技術の適用範囲を検討

	状況・課題
熱分解GC-MS 発生ガス分析-質量分析(EGA-MS)	バインダーの組成分析可能 脱脂過程における分解物成分分析法として有用
顕微IR	スラリーおよび成形体における有機物の空間分布を約10 μm の空間分解能で評価可能
液体/固体NMR	有機成分からの信号検出に成功。原理的に高感度化可能
誘電率顕微鏡/液中SEM	スラリー中のセラミックス粒子を可視化 バインダー種による分散状態の違いを観察
顕微ラマンイメージ	スラリーおよび成形体における有機物の空間分布を約0.1 μm の空間分解能で評価可能
高分解SEM/EDS	スラリーおよび成形体における有機物の空間分布を約0.01 μm の空間分解能で評価可能

・2種のアルミナ粒子（粒径0.4 μm 、0.1 μm ）からなる成形体の内部構造をSEM、ラマンマッピングなどにより取得

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

ファインセラミックスの各種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。



その中で、粒径 100nm～数 μm オーダーのセラミックス粒子に対して、製造プロセス中で形成される 100 nm オーダー以下の各種欠陥や微構造変化を可視化する技術を確立し、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計測を実施した。また、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（達成率 100%）。

・研究の進捗状況

- ①アルミナ10種類のモデル系について、各種物性パラメータをほぼ取得済み。さらに、チタン酸バリウム4種類のモデル系についての測定を開始
- ②誘電率顕微鏡によって、スラリー中の粒径20nmチタン酸バリウム粒子の観察に成功
- ③誘電率顕微鏡中で元素分析をおこなうことで、スラリー中のアルミナ粒子、助剤、バインダの分散状態を可視化
- ④遠心沈降法によってセラミックス・バインダーの相互作用を評価
高感度固体NMRによって、BTの結晶構造変化（欠陥）評価できる可能性があることを確認

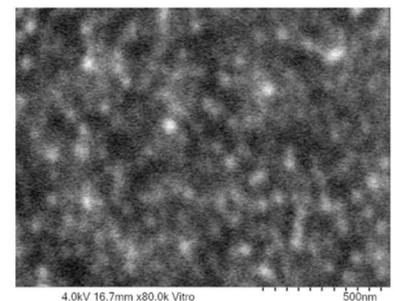


図 .スラリー中のチタン酸バリウム（粒径約20 nm）の誘電率顕微鏡像

また、ファインセラミックスセンターが開発している実験シミュレータでは、比較的簡易な実験を通じてシミュレータの入力パラメータを取得する必要があるが、成形シミュレータ、乾燥脱脂シミュレータ、焼結シミュレータのそれぞれについて、パラメータ取得実験を繰り返し、標準的なパラメータ取得プロトコルを策定した。（達成率 100%）

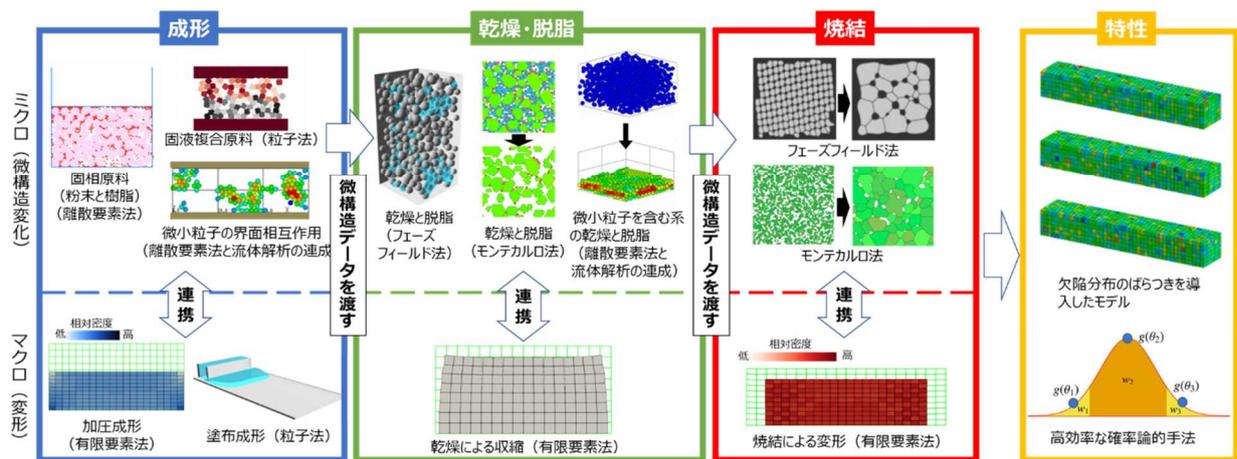
・4. 1. 2. 研究開発項目①-2 製造プロセス支援用計算機システムの開発（産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター、村田製作所、京セラ、太陽誘電、AGC、日本特殊陶業、日本ガイシ、TOTO、リタケカンパニー、再委託：京都工芸繊維大学、東北大学、東京大学、筑波大学、九州大学）

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では、プロセス条件－微構造－特性からなるデータセットを蓄積したプロセスデータベースを構築し、多数のデータ間の相関から制御すべきプロセス条件を見出すことによって、非経験的なプロセス条件最適化が可能となる。しかし、ファインセラミックスの製造プロセスは一般に長時間を要するため、プロセス条件を網羅的に変化させた実験を通じてデータベースを構築することは現実的ではない。そこで、本研究開発項目では、研究開発項目①-1で実施するシミュレーション用データセットの実験的取得と、①-3で実施する実プロセスによる微構造データセットの取得実験と連携し、セラミックス組織構造解析プラズマ FIB での取得構造データなども活用することで、実験で得られたプロセス条件－微構造データを、プロセスシミュレーションで補完するデータ同化型のデータベース構築手法の開発を目的として、プロセスシミュレーション技術開発を進める。特に、分散型プロセスシミュレーション・プロセスインフォマティクス計算システムや先駆的シミュレーション技術を積極的に導入し、シミュレーション技術の高度化を図る。また、プロセス全体を取り扱うことができる「統合型」プロセスシミュレーションへの展開を企図して、各プロセスシミュレーションを微構造データのやりとりによって連結し、複数のプロセスシミュレーションを接続可能な接続を構築する。

ファインセラミックス製造プロセスは、成形、乾燥脱脂、焼結の各プロセスから構成され、各プロセスで進行する物理的・化学的現象は大きく異なる。また、各プロセスの手法は多岐にわたり、例えば成形プロセスだけでも、加圧成形、テープ成形、鋳込成形、押出成形、射出成形など、種々の手法がある。その一方で、成形時の粒子の移動、液相－固相混合系における液相流と固相粒子の変位など、複数の手法に共通する素過程があり、このような共通素過程のプロセスシミュレーション技術と、各手法に特有の特異な素過程のシミュレーション技術を組み合わせることによって、効率的なプロセスシミュレーション技術開発が進められる。このため、本研究開発項目では、研究期間前半(2年程度)で、共通素過程を含むモデルプロセスを選定して基盤となるシミュレーション技術を開発し、研究期間後半で、各手法の特異性を考慮した個別プロセスシミュレーションへの展開を進めている。

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、焼結の各プロセスシミュレーション技術の開発、高度化を進める。
各プロセスシミュレーションを微構造データのやりとりによって連結し、複数のプロセスシミュレーションを接続可能な接続プラットフォームを構築する。



研究開発項目①-1で実施する可視化技術によって明らかになる種々のプロセス現象を再現可能なシミュレーションの要素基盤技術を開発し、項目①-3で実施する実験結果との比較を通じて、シミュレーションのさらなる高精度化のための課題をモデル材料での動作確認等により明らかにした。500 nm程度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

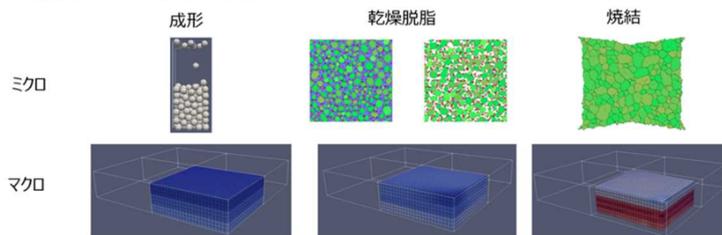
ンでは250 nm(粒子サイズの1/2)の空隙、焼結シミュレーションでは、125 nm(粒子サイズの1/4)の空隙を計算実験で、再現・予測可能とした。開発する各プロセスシミュレーションの目標精度は原料粒子のサイズを基準に策定し、成形・乾燥脱脂シミュレーションにおいては原料粒子の「抜け」や「凝集」、焼結においてはこれらの「抜け」や「凝集」に起因する欠陥が再現・予測可能なシミュレータを開発した。具体的には、200 nmの粒子を原料として用いるプロセスについて、成形・乾燥脱脂シミュレーションでは100 nm(粒子サイズの1/2)の空隙、焼結シミュレーションでは、50 nm(粒子サイズの1/4)の空隙を再現・予測可能とした(達成率100%)。

・研究の進捗状況

【統合型PSの実施と計算結果と実験結果の比較】

- ・研究課題①-1,3,4と連携し、実際(アルミナAA03)の実験データを反映(使用)したシート成形の統合型プロセスシミュレーション(成形、乾燥、焼結の一連の統合型PS)を実施し、実験との比較結果を9月15日に開催された集中研会議で発表した。
- ・成形と乾燥のPSは同一のプログラム、焼結PSは乾燥PSから得られたデータ(粒子の位置や形状情報)の受け渡しにより、一連の統合型PSを実現したシミュレータとなっている。
- ・フェーズフィールド法による焼結PSはWindows版を参画機関に配布し、計算実験のチュートリアルを実施した。

○統合型シミュレータの動作テスト開始



統合型プロセスシミュレーションの実施

成形PS 攪拌

同一プログラム ↓

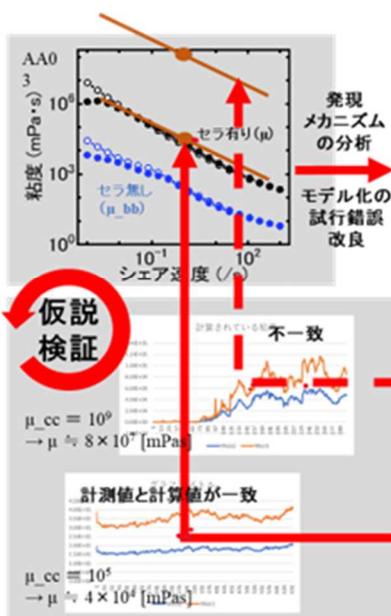
乾燥PS

データの受け渡し ↓

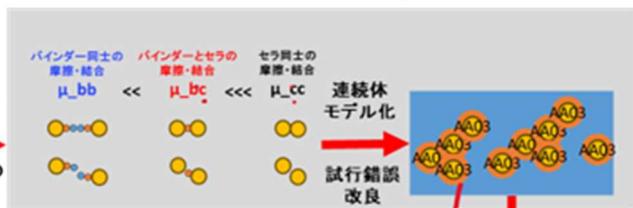
焼結PS

アルミナAA03 計算結果 実験結果

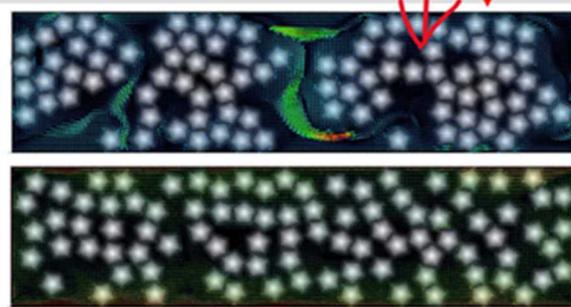
1. スラリー粘度の実験計測値



2. 実験値を分析し、空間分布を有する三つの粘度(μ)でスラリーをモデル化



3. 粘度評価PSによるパラメータ同定計算(μ_{bc}やμ_{cc})



開発プロセスシミュレータの特徴

2023年度末

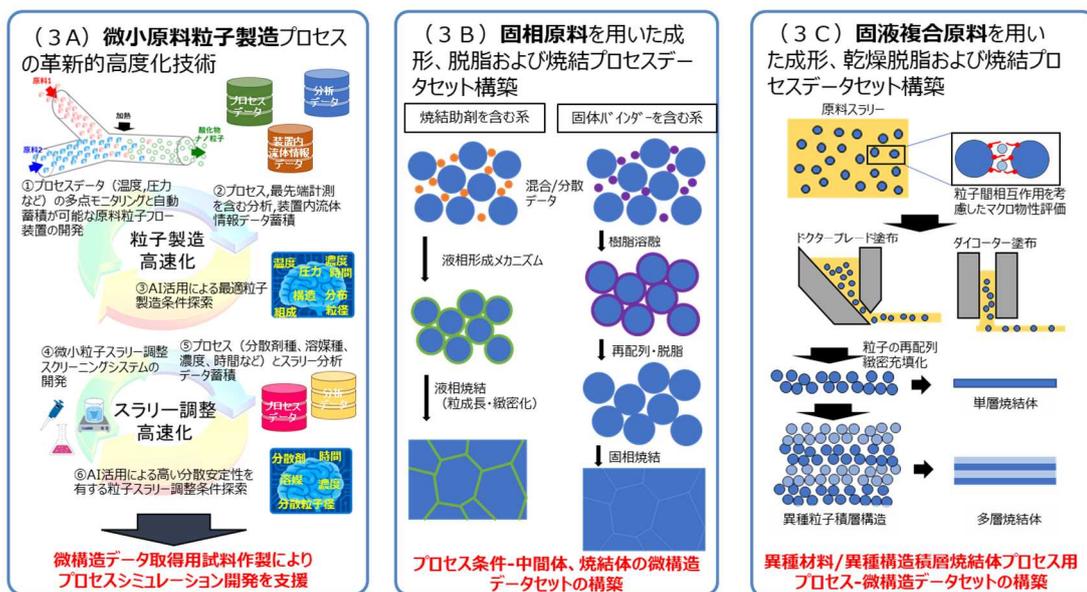
事業開発PS コード	ペースト 構造 (凝集構造)	成形構造 (湿式：バインダ・溶媒共存)				乾燥脱脂 構造		焼結構造		
使用 目的例	外力=> ペーストナノ~ ミクロ構造変化 (粒子複雑形 状・粒度分布)	外力=> ナノ~ミクロ 成形挙動 (粒子複雑形状・ 粒度分布)	外力=> ナノ~ミクロ 成形挙動 (粒子単一 形状)	外力=> ミクロ~マクロ 複雑成形挙動 (粒子単一形状・ 実プロセスに近い スケール検証)	温度・時間=> 有機層脱脂・取 締 (粒子複雑 形状・粒度分 布)	温度・時間=> 有機層脱脂・取 締 (粒子単一形 状)	温度・時間=> 焼結・収縮ナノ~ ミクロ構造変化挙 動	温度・時間=>焼 結・収縮ナノ~ミ クロ構造変化挙動 (界 面構造・空孔変化を 精密計算・メカニズム 考慮)	温度・時間=> 焼結・収縮 マクロ構造変化挙 動	
MPH-I (粒子法)				○ 高粘度、粒子の複雑 回転、複雑大規模変形						
FEM (有限要素法)									○ 実験より 変形/応力等抽出 応力・変形	
MC (モンテカルロ法)							○ 実験より 初期/中間・終端・ 液相焼結対応			
PFM (フェーズフィールド法)								○ 任意の組織形状・分布で、 物理定数を使用し、任意 の設定条件を入力し計算 実験が可能 (すくなくとも 適量・特種メタの酸化化 異種材料定数、拡散係 数比率等も任意に設定)		
DEM (離散化要素法)			○ 相互作用力 未考慮			○ 相互作用力 未考慮				
DFEM (拡張有限要素法)	○ 相互作用力 考慮・ 計算量大	○ 相互作用力 考慮・ 計算量大				○ 相互作用力 考慮・ 計算量大				
構造データ フォーマット	各シミュレータでの計算構造出力を計算コードが異なっても汎用のCADフォーマット (microAVSなど) 等へ変換し、2D・3Dで一つのソフトウェア上でつなげて扱えるように工夫するなどを検討等									

4. 1. 3. 研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発 (産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター、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、リタケカンパニー、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)

研究開発項目①-1 で開発したプロセス可視化技術・評価技術によって得られたデータを、研究開発項目①-2 のシミュレーション技術・インフォマティクス技術に活用し、さらに、本研究開発項目で得られた実際の実験結果との比較検証を経て、新たなプロセス条件最適化技術あるいは革新的製造プロセスへと展開を目指した。そのために、正確なプロセス条件でのプロセス実験を通じて再現性のあるプロセス微構造データ取得用試料を作製することと、シミュレーション/インフォマティクスで提案された最適プロセス条件下での実験によって、新たなプロセス最適化技術としてのシミュレーション/インフォマティクスの有用性を明らかにするとともに、革新的製造プロセス技術を見いだすことを行った。なお、事業後半の研究内容は、事業前半までに開発したシミュレーション技術群を基盤とする「統合型」プロセスシミュレーションの有用性検証のためのモデル実験が研究開発項目①-3 全体の研究開発課題となることから、研究内容を整理統合し、一括して実施することとする。

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要求される高性能化、高信頼性化、省力化等を実現するために必要となる次世代製造プロセス技術を開発する。

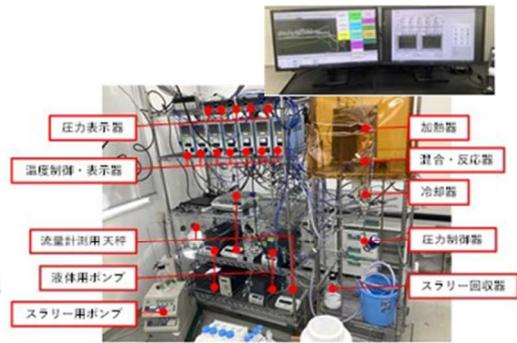


粒径10nmオーダーの微小原料粒子のフロー製造において多点モニタリングが可能な装置を開発することを目的とした。固相原料について、セラミックス原料の平均粒径との比、セラミックス原料粒子との接着性、融点等の異なる可塑性有機バインダーを用いて作製した5種以上の固相複合材料を用いた成形、乾燥脱脂実験を行った。さらに、焼結助剤の機能を勘案したモデル材料を策定して、成形、乾燥脱脂、焼結の実験を開始し、5種以上の性状が異なる粒子を対象にデータセットを構築した。固液複合原料では、溶媒成分の体積分率、分散剤の分子サイズ、セラミックス粒子表面との結合状態が異なる3種以上のスラリーを用いたシート成形を行い、溶媒およびバインダー成分の性状が異なる6種以上のシートを作製する。固相原料では、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た。

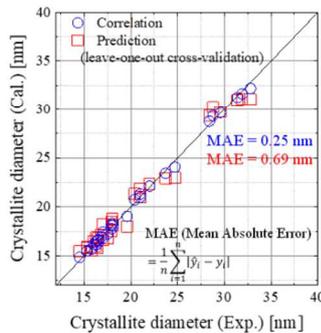
微小原料粒子のフロー製造において、複数の金属から構成される酸化物粒子の粒径や分布の制御に関するプロセス-分析データセットを50種類以上蓄積し、AIなどの活用による最適製造条件探索の有用性を例証する。また、スラリーデータセット構築のための技術を確立した。固相原料では、セラミックス原料の平均粒径との比、セラミックス原料粒子との接着性、融点等の異なる代表的可塑性有機バインダー10種以上を用いた成形、乾燥脱脂実験を行い、固液複合原料では、溶媒成分の体積分率、分散剤の分子サイズ、セラミックス粒子表面との結合状態が異なる10種以上のスラリーを用いたシート成形を行い、溶媒およびバインダー成分の性状が異なる20種以上のシートを作製した。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確認も検討した（達成率90%）。

・研究の進捗状況

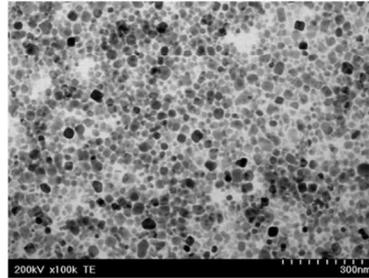
- ・多点モニタリングが可能な原料ナノ粒子のフロー製造装置を開発し、BTO系で95条件のプロセス-分析データセットを構築中（年内終了予定）
- ・AI（機械学習）により粒径20nmの粒子製造条件を推定し、実際に粒子を合成するとともに、集中研内で連携してスラリー調整から可視化、焼結データの取得までを検討中
- ・高濃度域までを含めたスラリーデータセット蓄積の体制を整備



多点モニタリングが可能な原料粒子のフロー製造装置



機械学習による結晶子径の相関・予測結果



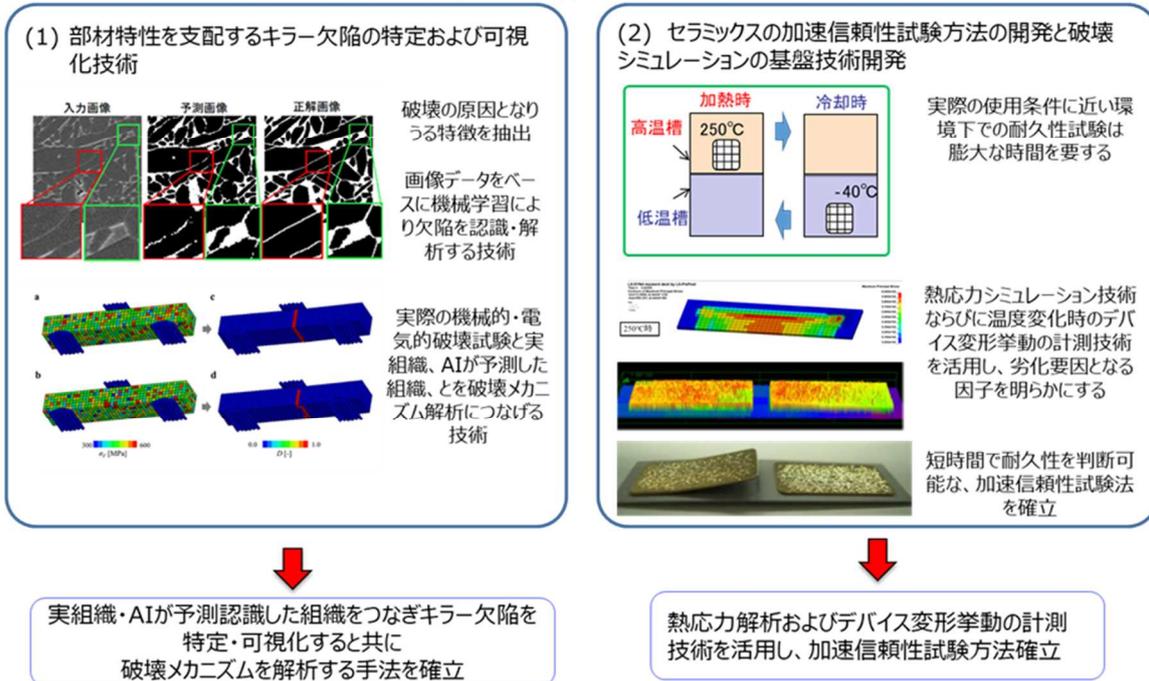
合成粒子(20nm)で作成したスラリーの液中TEM像

4. 1. 4. 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（産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター、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、リタケカンパニー、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）

研究開発項目①-1～3によってプロセス条件と部材の微構造の相関が明らかになる一方で、部材に求められる性能を満足するための微構造は、微構造と特性の関係から明らかにする必要がある。そこで本研究開発項目では、対象とする部材の特性と微構造との相関を明らかにし、さらに、特性低下の主たる要因となるキラー欠陥の特定/推定を行うとともに、プロセス解析を通してこれらの欠陥構造を明らかにするための取り組みを進めた。さらに、ファインセラミックス部材の長期信頼性評価のために、新たな加速劣化試験方法の開発を実施した。なお、事業後半の研究内容は、「統合型」シミュレーションの実用化に重要な基盤技術となる微構造画像からの特徴量抽出、「統合型」プロセスシミュレータと接続可能な破壊現象インフォマティクス技術が研究開発項目①-4 全体の研究開発課題となることから、研究内容を整理統合し、一括して実施する。

① - 4 高信頼性メカニズム等解析技術の開発

ファインセラミックスの内部欠陥観察等を通しての計測技術及び耐久性の保証等の評価技術を開発し、次世代ファインセラミックスの高信頼性確保のための材料物性予測手法等を確立する。

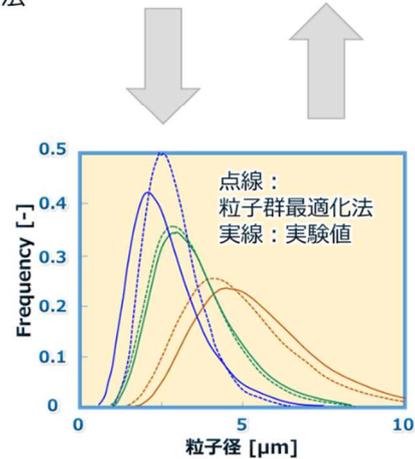
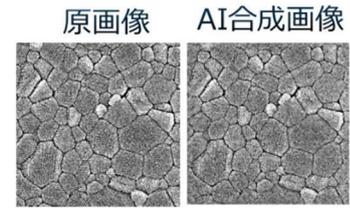
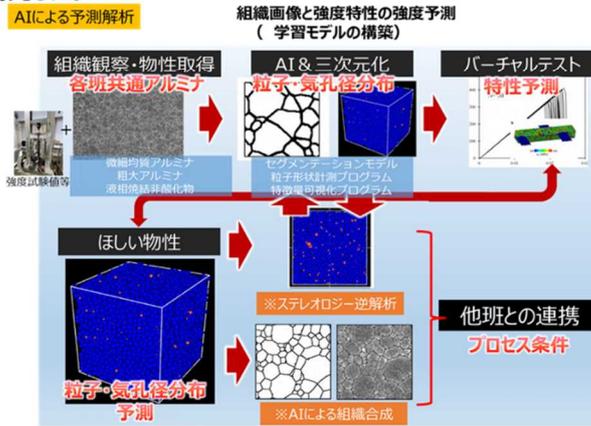


材料の信頼性に影響を及ぼす特徴的の微構造を抽出・可視化・数値化する方法を探索するとともに、物性予測シミュレーションに展開するため欠陥の存在確率を整理する方法を整理して実際の実験結果と比較し、使用するモデルの基本形を提案する。加えて、プロセスシミュレーションに向けて簡易モデルの準備を行った。またセラミックス/金属複合体の熱疲労現象を温度サイクルあるいは亀裂成長の観点から検証するため、セラミックス材の変形挙動の測定と、局所領域の応力最大値をシミュレーションにより解析する。さらに、数～100 μm オーダーの気孔や欠陥を予測・解析・数値化するための手法を開発した。

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見出した（達成率 100%）。

・研究の進捗状況

- ①組織観察結果から粒子・粒子・気孔をAIが予測し、その数値データをシミュレーションに接続すると共に、実験結果の整合性を検証した。
- ②これまで粒子・気孔総数1000-1500個の原画像から手作業で教師データ作成を行ってきたが、最低限のアノテーション (10-50個)でAIが組織合成する手法を開発した。
- ③逆解析にも着手し、要求物性を満たす粒子径・気孔径分布を粒子群最適化法により求めると共に、その特性となる人工画像生成法を開発した。



・4. 1. 5 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①-1～4と連携し、電子材料に展開可能なPIの開発(株式会社村田製作所、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、電子材料に適用可能な統合型シミュレータの開発(京セラ株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、計算科学を活用したセラミック電子デバイスの開発と信頼性試験法の高度化の開発(太陽誘電株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、高信頼性非酸化物焼結体の開発(AGC株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、異種材料積層体の焼結整合性解析技術およびそのプロセスシミュレーション技術の開発(日本特殊陶業株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、層形成シミュレーション技術、欠陥評価技術の開発(日本ガイシ株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、セラミックスのプロセスシミュレーション技術の開発(TOTO株式会社、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)、金属と無機材料の異種接合温度の低温化(株式会社ノリタケカンパニーリミテド、産業技術総合研究所、ファインセラミックスセンター)の各課題について、実用化研究への展開に必要な課題を明確にするるとともに、研究開発項目①-1～4の成果およびその高度化やカスタマイズによって課題解決が可能であることを確認した。

共通基盤技術開発で実施する共通モデル部材および共通モデルプロセスの策定を通じて、各項目に挙げる各製造プロセスへの適用に必要な基盤技術を明確化し、新製造プロセスの創出へとつなぐためのプロセスシミュレータ活用での開発での具体的指針を策定するための議論を行った。研究開発項目②の最終目標の達成のために、研究開発項目②と並行して実施する共通基盤技術開発の事業後半での課題の絞り込みの提案を行った。(達成率85%)。

・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。

- ・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の適用によって、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。
- ・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。
- ・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に当たって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。
- ・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。

添付資料

●プロジェクト基本計画

P22005

「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」 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

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まとめら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。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

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。

②アウトカム目標

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。

③アウトカム目標達成に向けての取組

プロジェクトで確立する基盤技術は、NEDOの成果報告や展示会、セミナー等で積極的に宣伝し、国内のファインセラミックス開発研究者へ本基盤技術を周知することにより成果の拡大を促進する。

(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。

【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

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

研究開発項目①-3 次世代製造プロセス技術開発

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

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

本研究開発は、長期間の開発を要しファインセラミックス産業分野の研究開発を支援する「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

【助成事業】

研究開発項目② 革新的プロセス開発基盤の応用開発

本研究開発は、2023年度までに委託事業で開発された製造プロセス支援用計算機システム等のプロセス開発基盤を用いて、企業における製品化を加速するための助成事業（助成率：1/2または2/3）とする。

4.1.1. 2. 研究開発の実施方式

4.1.1.1 (1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（PM）にNEDO材料・ナノテクノロジー部 高宮 健治を任命して、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。

NEDOは、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、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。

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、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー 藤代 芳伸 及びサブプロジェクトリーダー 木村 禎一）を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

本事業は、基盤技術の確立を目的としているため、研究開発実施者はNEDOと協議の上、可能な限り研究拠点を集約して、プロジェクトリーダー等の指揮の下、組織的に知見・ノウハウを蓄積しながら研究開発等を推進することとする。

(2) 研究開発の運営管理

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

NEDOは、経済産業省及び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。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、事業終了後にプロジェクトで構築したプロセス開発基盤を自立的かつ継続的に運用可能とする社会実装システムの構築に資する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

③ 研究開発テーマの評価

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。その際、外部有識者による審査を活用し、研究開発項目①-5から研究開発項目②への移行可否を決定する。

3. 研究開発の実施期間

2022年度から2026年度の5年間

4. 評価に関する事項

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、事後評価を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。

5. その他重要事項

(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

研究開発実施者は、プロジェクトで構築したプロセス開発基盤を自立的かつ継続的に運用可能とする社会実装システムを企画・準備し、構築するものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

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。

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。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応をおこなう。

(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九号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2022年 3月、制定

(2) 2023年 2月、プロジェクトマネージャー及びサブプロジェクトリーダーの追加、研究開発テーマの評価の追加、中間評価時期の変更

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目① 革新的プロセス開発基盤の構築

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。

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

1. 研究開発の必要性

ファインセラミックスの市場競争力を確保するためには、従来の「経験と勘」を頼りに確立されてきた製造プロセス開発に代わり、近年飛躍的に進歩している高度な計算科学をベースとした「機能」と「製造プロセス」の予測を可能とするプロセスシミュレータによる開発の加速化が必要である。プロセスシミュレータの構築にあたり、プロセス可視化技術をもとにファインセラミックスの各製造プロセスのメカニズムを解析する技術を確立することが不可欠である。

2. 研究開発の具体的内容

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。

3) 成形プロセスの計測技術開発

セラミックスのスラリー・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する。

4) 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する。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

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」により得られる各プロセスのメカニズムや制御因子がファインセラミックスの一連の製造プロセスに与える影響を計算可能とする一貫通貫のプロセスシミュレータの開発が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

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。

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する。

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

ファインセラミックスの一連の製造プロセスを一貫通貫に扱うことのできるシミュレーション技術を開発する。

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構築

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。

プロセスインフォマティクスの標準プラットフォームは、研究開発項目①-1～①-4間の連携を明らかにし、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として、一体化システムを開発する。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

次世代ファインセラミックスには、小型・高性能・高信頼性が必要とされるため、平均粒径ナノサイズでの原料粒子の作り分けや成形されたセラミックスの高充填密度化等が不可欠となる。

また、セラミックスデバイスの小型化や多層化に伴って、従来焼結技術では目的とする複雑構造と信頼性を両立させることが難しくなりつつある。

さらに、ファインセラミックスの製造工程において排出されるCO₂の大半は脱脂・焼成工程で発生している。

上記問題を抜本的に解決する製造プロセス技術を開発する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

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。

2) 革新的な原料粒子高速開発技術の開発

原料粒子の最適な合成条件を自動化等により高速探索することが可能となるセラミックナノ粒子の合成プロセス等を開発する。

2) 革新的な成形技術の開発

スラリーペーストの流動性を確保可能かつセラミック粒子体積率を増加可能な溶媒、バインダー等を開発し、高充填密度化されたセラミック成形体を作製する技術等を開発する。

3) 革新的な焼結技術の開発

従来よりも大幅に低い焼成温度条件の目標値を設定し、その温度条件下において異種材料から成る積層体を同時焼成する技術等を開発する。

例えば、プロセスインフォマティクスによって開発された新規焼結技術によって、焼成温度を数百度低減する等。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

次世代ファインセラミックスに必要とされる高信頼性を確保するために、内部欠陥の非破壊検査技術の向上、破壊現象のメカニズム解明及び新たな加速劣化試験方法の開発等を実施する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

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。

1) 画像解析による破壊予知技術の開発

高分解能・高速での非破壊観察等により得られた画像データをベースに機械学習による欠陥予測技術を開発するとともに、データ駆動型の解析を実施し破壊現象と欠陥の関係を明らかにする。

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、作動環境下における応力推定のシミュレーション技術及び実測技術等を開発し、新たな加速劣化試験方法を開発する。

3. 達成目標

【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

1. 研究開発の必要性

研究開発項目①-1～①-4で開発したプロセス開発基盤と研究開発項目②におけるプロセス開発基盤を活用した企業での製品開発を繋ぐために、プロセス開発基盤の開発と並行

して、製品群毎に必要なプロセス技術の開発及びプロセス開発基盤への反映を行う必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

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。

1) 次世代電子部品向けプロセス技術開発

ナノ欠陥構造を制御し、従来の 1/10 のシート膜厚及び単位体積当たり 10 倍の積層数の構造を作製するプロセス技術開発等。

2) 次世代エンジニアリングセラミックス部品向けプロセス技術開発

マイクロ欠陥構造を制御し、従来の 1/10 の厚さで同等以上の強度となる構造を作製するプロセス技術開発等。

3. 達成目標

【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。

研究開発項目② 革新的プロセス開発基盤の応用開発

1. 研究開発の必要性

日本のファインセラミックス産業の優位性を確保する観点から、早期に高付加価値なファインセラミックス製品を市場に提供することがきわめて重要である。そこで、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へ適用し、実用化を加速する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

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。

3. 達成目標

【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。

(別紙2) 研究開発スケジュール





技術戦略研究センターレポート
TSC Foresight

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

2022年1月

Vol. **107**

はじめに	2
1章 解決すべき社会課題と実現したい将来像	5
1-1 社会課題と将来像	5
1-2 解決・実現のための方法	6
1-3 環境分析とベンチマーキング	8
2章 解決・実現手段の候補	15
2-1 セラミック電子部品の製造技術と技術課題	15
2-2 実現手段の候補	21
2-3 技術開発の方向性	26
3章 おわりに	29

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

はじめに

ファインセラミックスは、図 1 に示すように、「高度に精選または合成された原料粉末」を用いて、「精密に調整された化学組成」を「十分に制御された製造プロセス」によってつくられた高精密なセラミックスであり¹、図 2 に示すような高い性能や精度が要求される各種産業用途に用いられている。

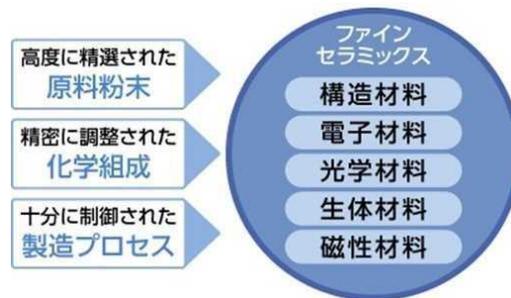
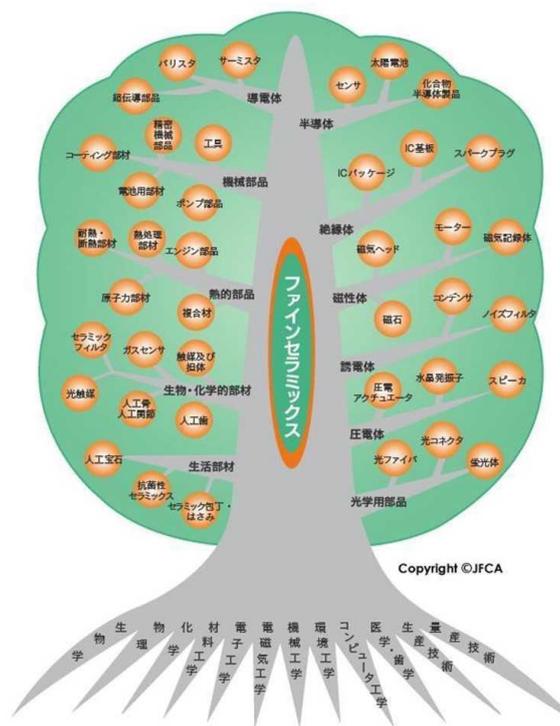


図 1 ファインセラミックスの概念図出典：京セラウェブサイト



2 ファインセラミックスの木

出典：日本ファインセラミックス協会ウェブサイト

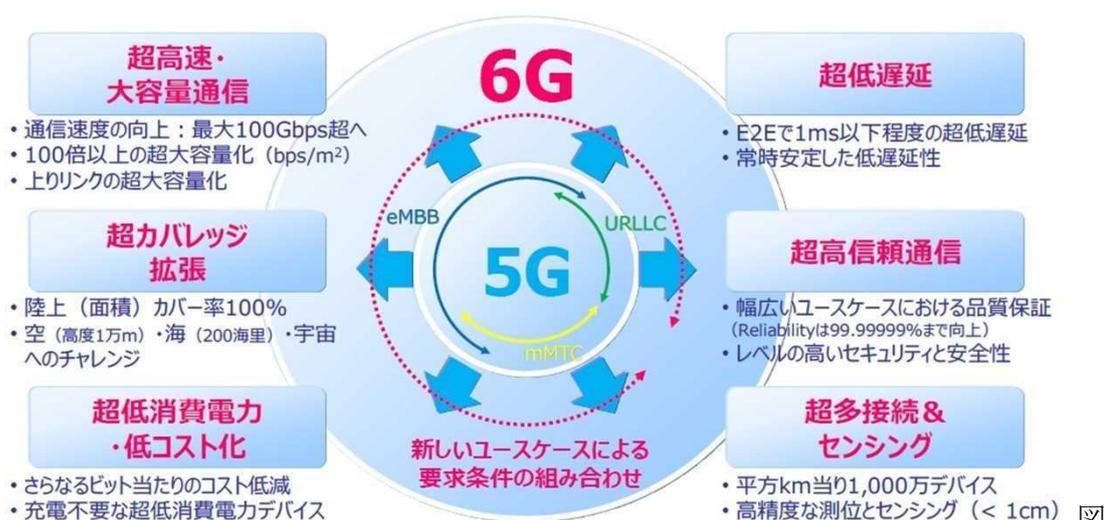
¹ “ファインセラミックスとは?”. 京セラ. <https://www.kyocera.co.jp/fcworld/first/about.html>

² <https://www.jfca-net.or.jp/tree.html>

20 世紀半ば以降、特にエレクトロニクス産業において、ファインセラミックスが大きな役割を果たすようになってきた。セラミックパッケージの開発により半導体が広く使われるようになり、また、小型・高性能のセラミック電子部品の開発により電子機器自体の小型化が実現した。さらに、半導体製造装置や液晶製造装置といった高精度を要求される大型装置には、数 m に及ぶ大型サイズのファインセラミックス部品が必須となっている。このように、ファインセラミックスが今日までのエレクトロニクス産業を支えてきたと言える³。2018 年には、積層セラミックコンデンサ（MLCC）の供給不足が世界的な問題として顕在化し⁴、セラミック電子部品がデジタル機器の安定動作を支えるデジタル技術の根幹部品であることが改めて認識されるとともに、主要サプライヤである日本企業数社が世界的に大きな影響力を持っている現状が浮き彫りになった。

テレワーク、電子決済、遠隔医療、自動運転、リモートでの開発・生産、動画配信などといった、社会のスマート化のニーズは従来からあったものだが、新型コロナウイルス感染症の拡大によってそのニーズは急激に増大した。社会のスマート化の実現に向けては、超高速・大容量通信が必要不可欠であり、具体的には最新の通信インフラである

5G、さらにその先 6G のネットワーク技術（図 3）の実装が必要である。



3 6G で目指す無線ネットワーク技術への要求条件

³ “ファインセラミックスの歴史”. 京セラ. <https://www.kyocera.co.jp/fcworld/first/history.html>

⁴ MLCC が深刻な品不足。中国勢と競争激化の引き金にも。ニュースイッチ（日刊工業新聞）。2018-08-21. <https://newswitch.jp/p/14146>

出典：NTT ドコモ「5G の高度化と 6G（3.0 版）」（2021）

6G では 5G 以上の高速大容量通信を実現するためには高熱・高周波数での使用環境となることが予測され、電子部品に関してもそれらへの高い耐性が課題となる。

これらの課題に対して、本レポートで詳述するファインセラミックスは、元来熱膨張率が低くかつ高い熱伝導率を有していることから、高出力時の発熱に対応可能である。また、近年では低損失材料が開発され、高周波数帯域における誘電損失の増大という課題も解決しつつある。このように、6G 対応の電子部品用材料としてファインセラミックスが重要な役割を担うことが期待される（図 4）⁵。

今後、超スマート社会「Society5.0」の実現に向け、電子部品用ファインセラミックスがデジタル技術の革新を支える重要な材料となると考えられる。



4 4G から 6G に至る技術の変遷と、6G がもたらす社会像

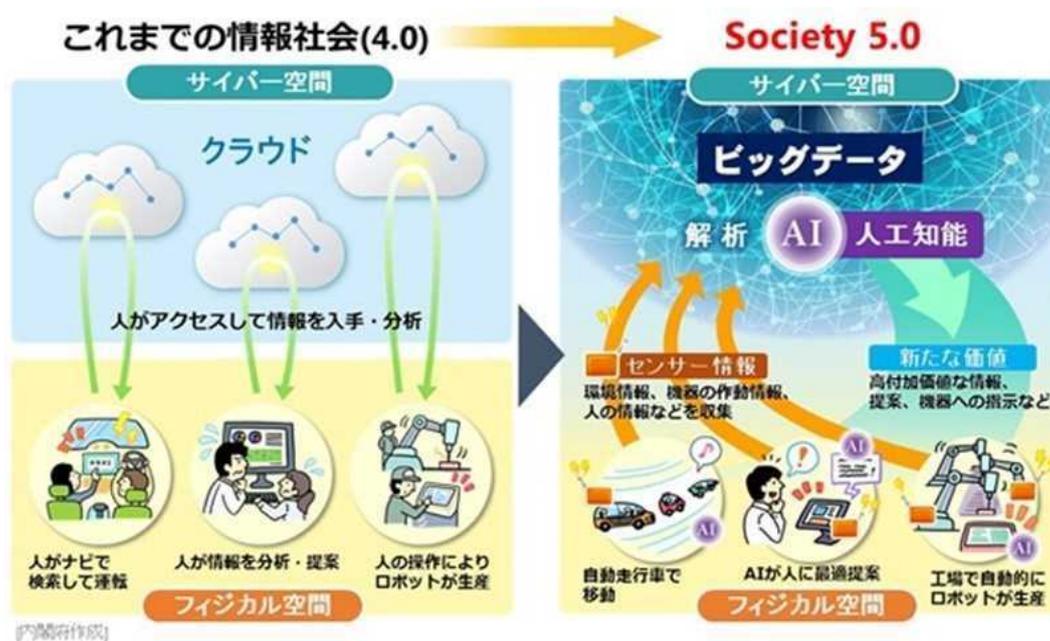
出典：産業技術総合研究所

⁵ "6G 実現に向けたセラミックデバイスのスペックロードマップを策定". 産業技術総合研究所. 2020.

5.章 解決すべき社会課題と実現したい将来像

5.1. 1-1 社会課題と将来像

内閣府が掲げる超スマート社会「Society 5.0」（図 5）とは、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立させる人間中心の社会（Society）である⁶。本社会では様々な情報がクラウドに自動収集され、人工知能（Artificial Intelligence：AI）を駆使したビッグデータ解析のアウトプットを、エッジに配置されたデジタル機器を通じてヒトに種々のサービスを提供することが想定されている。これらのサービスの安全・安心な利用は、クラウドとエッジコンピューティングを高度に融合したデジタルシステムが超高速かつ正確に動作することが必須であり、これを支える超高速性と高信頼性が確保されてはじめて成り立つものである。



5 Society 5.0

出典：内閣府ウェブサイト（2016）

⁶ https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/

5.2. 1-2 解決・実現のための方法

超スマート社会の実現には、リアルタイムの制御を可能とする 5G/6G の高速・大容量・低遅延の通信技術が必要であるが、これにはエッジコンピューティングの寄与が大きい（図 6）。将来的に、エッジコンピューティングを普及させるには、搭載する AI や通信デバイス等の各種デバイスの超小型化が不可欠である。



図

6 AI エッジコンピューティングコンセプト

出典：OKI テクニカルレビュー 234 号「AI エッジコンピューティングが拓く高度 IoT 社会」
(2019)

スマートモビリティやヘルスケアは人命に直接係わる分野であり、特にこの分野のシステム・デジタル機器においては誤動作を起こさない高信頼性が最重要となる。

図 7 に示すように、医療機器（特にインプラント医療機器）や車載機器などの高信頼性機器では、民生機器に対して、そのコンセプトや信頼性の考え方が全く異なる。民生機器では、コストが一定重視される傾向があるのに対し、高信頼性機器では、信頼性にかなりの重きが置かれ、使用環境や寿命、評価基準も大きく異なる⁷。



図

7 高信頼性機器用電子部品のコンセプト

⁷ “医療機器向けコンデンサのコンセプト”. 村田製作所.

<https://www.murata.com/ja-jp/products/capacitor/ceramiccapacitor/medical>

出典：村田製作所ウェブサイト

このように、デジタル機器に用いられるセラミック電子部品の超小型化と高信頼性化の両立は、超スマート社会実現の基盤となる技術であると言える（図 8）。

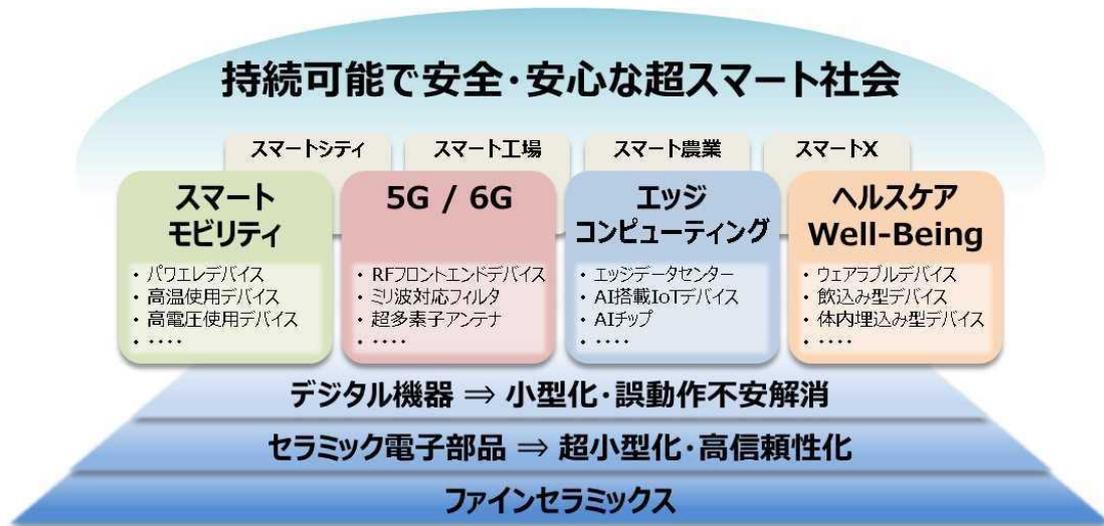


図 8 将来像「セラミック電子部品が支える超スマート社会」のイメージ

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

5.3. 1-3 環境分析とベンチマーキング

(1) 日本の電子部品分野の位置づけ

図 9 に示すように、電子情報産業の中で、最も大きな市場はソリューションサービス分野であり、ビッグテックが台頭する中、日本の存在感は低下しつつある。一方で、デジタル機器の安定動作を支える電子部品分野では、日本企業のシェアが 36%を占め、依然として存在感を示している。生産額としても、8.7 兆円であり、デジタル技術に係わる産業の中で、日本最大となっている。

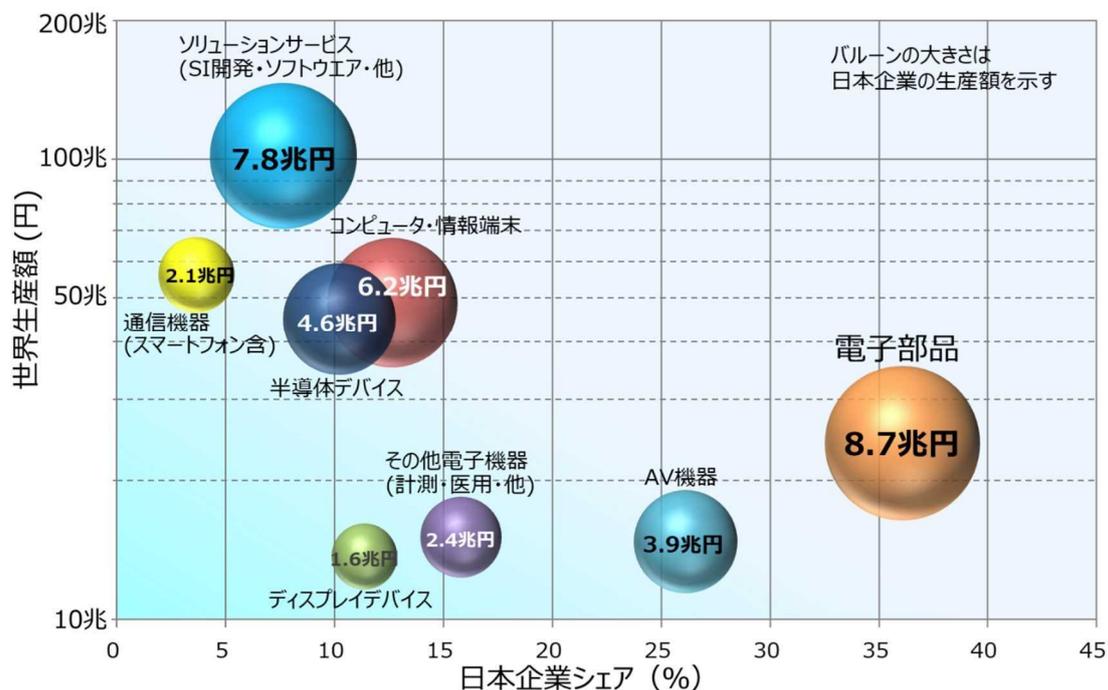


図9 電子情報産業の世界生産額と日本企業シェア（2019年実績）

出典：JEITA 電子情報産業の世界生産見通し 2020⁸ のデータを基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

(2) 主要セラミック電子部品の日本企業シェア推移

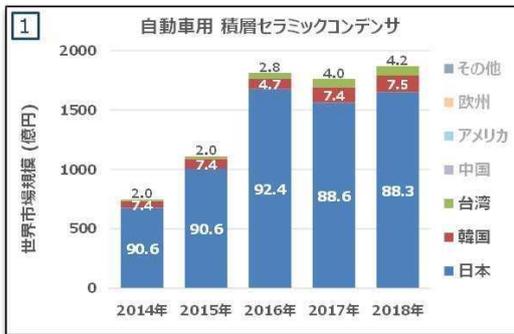
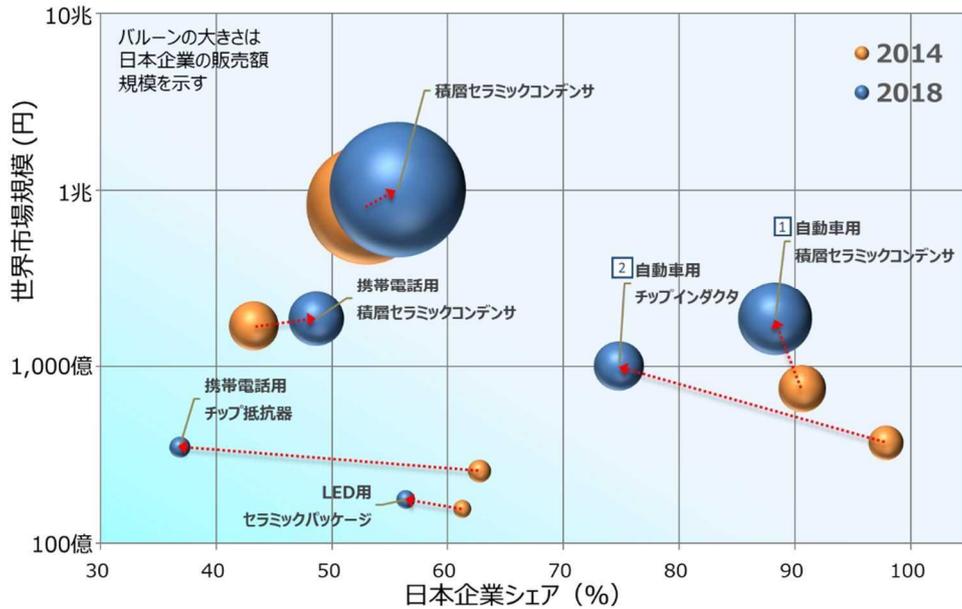
主要セラミック電子部品の2014年から2018年の日本企業のシェア推移を図10に示す。2018年現在、日本企業はおおむね40%以上の高シェアを維持している。一般グレードである携帯電話用積層セラミックコンデンサにおいては、韓国や台湾のシェアが大きくなってきているが、高信頼性が求められる自動車用電子部品（車載グレード⁹）においては、日本企業のシェアが高い。2014年から2018年でシェア低下が見

られる自動車用の積層セラミックコンデンサやチップインダクタでは、市場の急激な伸びに追従しており、販売額自体は大きく増加している。

⁸ <https://www.jeita.or.jp/japanese/topics/2020/1216.pdf>

⁹ 電子部品製造企業においては、民生機器用を「一般グレード」、医療機器用、車載機器用をそれぞれ「医療グレード」、「車載グレード」、あるいは「高信頼グレード」として製品カテゴリーを分けている。

日本企業が積層セラミックコンデンサ開発の中で大きなシェアを獲得するに至った背景としては、「セラミック材料から製品までの一貫生産」、「材料・生産設備・プロセス技術の自前開発と内製化」、「長年にわたる開発・生産によるノウハウの蓄積」といった点にあると考えられる¹⁰。



図

10 セラミック電子部品の日本企業シェア推移 (2014～2018) 出典：NEDO

「2019年度日系企業のITサービス、ソフトウェア及びモノの国際競争ポジションに関する情報収集」調査結果を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

¹⁰ “積層セラミックコンデンサ”. 戦後日本のイノベーション 100 選, 発明協会.

http://koueki.jiii.or.jp/innovation100/innovation_detail.php?eid=00047&age=high-growth

(3) セラミック電子部品分野の市場動向

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を図 11 に示す。いずれの分野についても大幅な成長が予測されており、特にヘルスケア分野については 2030 年に 38.4 兆円に及ぶ大きな成長が見込まれている。

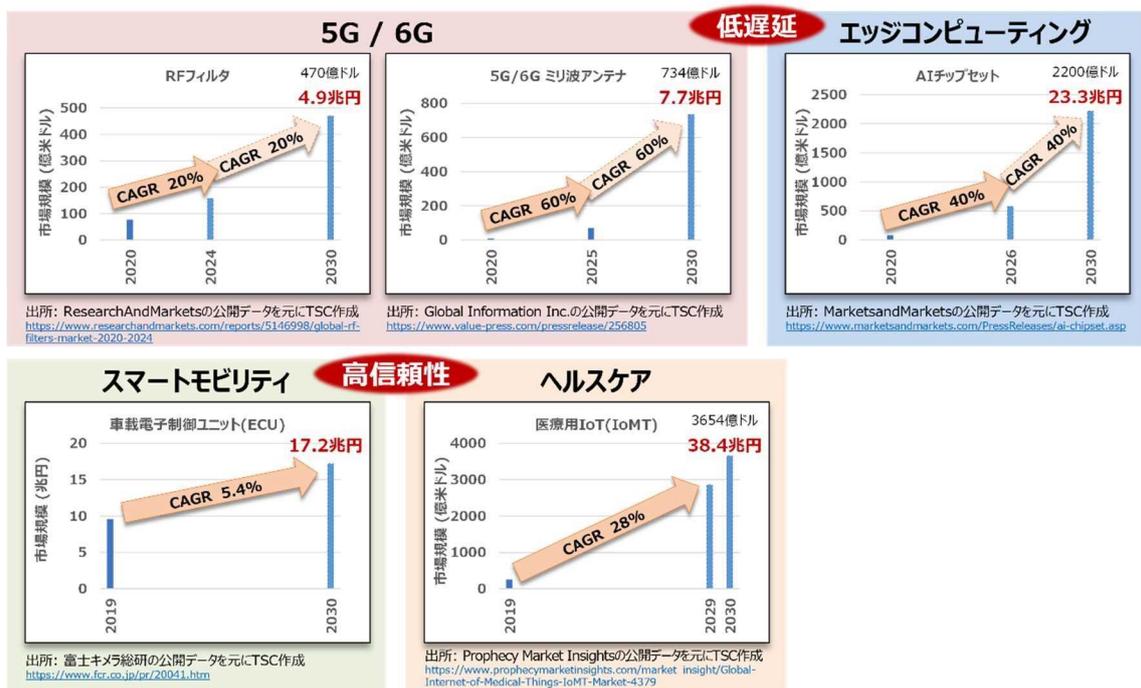


図 11 成長が期待される分野の 2030 年に向けた市場予測

出典：公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

(4) セラミック電子部品分野の政策動向

各国・地域の政策動向として、近年のセラミック電子部品関連の研究プロジェクトを表 1 にまとめた。世界的には固体電解質、固体酸化物燃料電池、といった電池関係のプロジェクトが多い。

中国では、「国家重点研究開発計画」においてセラミックスの研究開発を支援している。2021 年 1 月には「基礎電子部品産業開発行動計画」を公表し、2023 年に達成すべき具体的な目標を挙げるなど、電子部品の国産化を加速する動きが見られる。表 1 国・地域別 近年の電子部品関連セラミックスの研究プロジェクト

国・地域	近年の電子部品関連セラミックスの等	主な研究拠点研究プロジェクト
------	-------------------	----------------

日本	<p>【内閣府・NEDO・JST 等】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 電解質材料: NEDO 「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」 (226 億円) • パッケージ材料: SIP 「次世代パワーエレクトロニクス」 (70 億円) • 誘電材料: JST 「ALCA 単結晶ナノキューブ」 (3 億円) • セラミックス全般: JST 「A-STEP セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」 (約 10 億円) 	<ul style="list-style-type: none"> • ファインセラミックスセンター (JFCC) • AIST • NIMS
アメリカ	<p>【DOE・NSF 等】</p> <p>※ファインセラミックス全般は DOD、DOE、NASA が主要プレーヤー</p> <ul style="list-style-type: none"> • 固体酸化物燃料電池: DOE 「Small-scale Solid Oxide Fuel Cell Systems」 (3,400 万ドル) • 固体酸化物燃料電池: ARPA-E 「Protonic Ceramics for Ammonia」 (460 万ドル) • 低温焼結: ARPA-E 「Cold Sintering Composite Structures」 (100 万ドル) • NNI 「Nanomanufacturing NSI」 、 「Nanoelectronics NSI」 にセラミックス関連研究が含まれる 	<ul style="list-style-type: none"> • Center for Dielectrics and Piezoelectrics (CDP) (ノースカロライナ州立大学・ペンシルベニア州立大学・シェフィールド大学 (英))
欧州	<p>【HORIZON 2020】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 固体酸化物燃料電池: 4 件 ALifeInSOFCs / Micro-SOLUTION / Cell3Ditor / OxiGEN (計 554 万ユーロ) • 低温焼成セラミックス: 2 件 LTCeramics / FUNCOMP (計 30 万ユーロ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS
韓国	<p>【科学情報通信部】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 「政府の R&D 中長期の投資戦略」 (2019～2023)の中にセラミックス関連の研究が含まれる (2021 年計画: 1,237 億ウォン) 	<ul style="list-style-type: none"> • KAIST
中国	<p>【国務院】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 「国家重点研究開発計画」 (2016～)の中にセラミックス関連の研究が含まれる (新型特殊セラミックス材料革新技術/新型セラミックス原料高効率合成調整 /高安全性長寿命固体電池の基礎応用研究/高性能セラミックス高機能精密製造先端技術)¹¹ • 「基礎電子部品産業開発行動計画」 (2021～2023)¹² 	<ul style="list-style-type: none"> • 中国科学院 上海セラミックス研究所

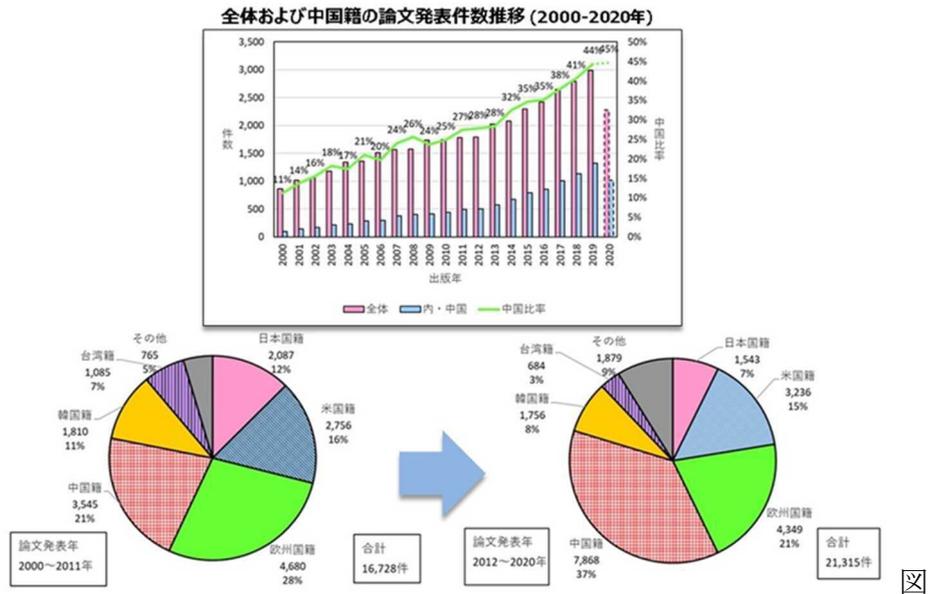
出典：公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

¹¹ “中国ファインセラミックス産業の動向 (2019 年 7 月) 株式会社富士経済より”. 日本ファインセラミックス協会. 2019-08-01. <https://www.jfca-net.or.jp/overseas/view/3291>

¹² (仮訳) 基礎電子部品産業開発行動計画 (2021-2023). [2021-01-15]. JETRO. https://www.jetro.go.jp/ext_images/world/asia/cn/ip/gov/20210115_jp.pdf

セラミック電子部品分野の技術動向

図 12 に示すように、論文は全体的な傾向として、2000 年以降ほぼ一定に件数が増加してきている。その中でも、中国籍論文数の伸びは著しく、2000 年には全体の内の 11%であったものが、2019 年には 44%を占めるまでに至っている。



12 論文発表件数推移と国地域別シェア

出典：特許庁令和 2 年度機動的マイクロ調査「セラミックス（電子部品に係わるもの）」報告書（2020）

図 13 に示すように、特許出願動向（2012～2018 年）においても、中国が出願ファミリー件数でトップである。ただし、出願人別件数ランキングでは、日本国籍企業が上位を占め、日本が優位を保っている。中国では、出願件数の少ない出願人が多数存在すると考えられる。



13 出願人国籍別出願ファミリー件数シェアと上位出願人

出典：特許庁令和2年度機動的マイクロ調査「セラミックス（電子部品に係わるもの）」報告書（2020）

特許の出願動向の詳細な解析を行うと、中国のシェアが高い技術区分は、用途で「導波管（高周波用フィルタ）、アンテナ」、材料で「LTCC¹³」であった（表2）。一方、材料と用途の組合せで見ると「LTCC」の主要用途は、「導波管（高周波用フィルタ）、アンテナ」であり、中国は5G/6Gを目標にした「LTCC」を用いた「導波管（高周波用フィルタ）、アンテナ」に注目していると考えられる（表3）。

表2 技術区分別出願動向と国地域別シェア

技術区分	全ファミリー数 2012-2018	国・地域別シェア						
		日本	アメリカ	欧州	中国	韓国	台湾	その他
セラミックパッケージ	1790	2.6%	19.3%	10.1%	12.8%	6.9%	7.1%	1.2%
コンデンサ	5358	2.0%	7.6%	3.6%	20.5%	24.4%	1.4%	0.6%
固体電解質	1482	1.7%	19.6%	7.8%	12.8%	16.9%	0.7%	0.5%
フィルタ（RFフィルタ等）	569	23.7%	30.2%	12.1%	16.0%	8.3%	1.2%	8.4%
半導体用放熱材	1219	40.9%	7.5%	14.4%	28.7%	5.7%	2.5%	0.3%
導波管（高周波用フィルタ等）	1606	6.5%	17.3%	8.2%	59.2%	4.7%	1.5%	2.6%
アンテナ	3472	7.6%	18.7%	11.1%	41.6%	13.1%	5.3%	2.5%
圧電素子	4202	40.1%	11.1%	9.5%	24.1%	11.4%	1.4%	2.3%
プリント基板	8550	32.1%	10.4%	7.5%	28.4%	14.9%	5.8%	1.1%
複合ウエハー	1225	11.6%	35.8%	7.7%	32.1%	4.7%	6.5%	1.7%
チタン酸バリウム	1756	25.8%	8.1%	3.8%	36.2%	21.4%	3.3%	1.4%
窒化ケイ素	2806	22.5%	17.2%	10.9%	33.2%	8.0%	6.2%	2.0%
窒化アルミニウム、酸化アルミニウム	6532	22.9%	13.5%	7.9%	37.5%	12.3%	4.0%	2.0%
チタン酸ジルコン酸鉛	1017	27.9%	16.4%	8.5%	26.9%	15.1%	1.8%	3.3%
LTCC（低温同時焼成セラミックス）	1370	7.9%	10.5%	8.8%	56.4%	6.0%	3.8%	6.7%

出典：特許庁令和2年度機動的マイクロ調査「セラミックス（電子部品に係わるもの）」報告書（2020）のデータを基にNEDO技術戦略研究センター作成（2021）

表3 技術区分別出願動向の用途と材料との関係

¹³ LTCC（Low Temperature Co-fired Ceramics：低温同時焼成セラミックス）。900℃程度で焼成可能なセラミックス材料であり、一般にアルミナ+ガラスの組成。同時焼成する金属として、導電性のよい銀や銅を用いることができる。従来のセラミックスであるアルミナは1,500℃以上での焼成が必要なため、同時焼成する金属が導電性の低いタンングステンやモリブデンなどに限られていた。

用途別材料の集計 ファミリ件数 2012-2018	材料				
	チタン酸バリウム	窒化ケイ素	窒化アルミ・酸化アルミ	チタン酸ジルコニウム酸鉛	LTCC
セラミックパッケージ	12	212	450	3	56
コンデンサ	848	112	538	63	43
固体電解質	40	44	384	18	0
フィルタ (RFフィルタ等)	11	125	286	49	25
半導体用放熱材	4	183	362	3	13
導波管 (高周波用フィルタ等)	27	89	204	16	406
アンテナ	49	348	294	17	188
圧電素子	374	211	623	854	19
プリント基板	294	506	1558	29	135
複合ウエハー	9	637	289	13	8

出典：特許庁令和 2 年度機動的マイクロ調査「セラミックス（電子部品に係わるもの）」報告書（2020）のデータを基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

（6）環境分析のまとめ

日本は、車載グレードといった高信頼性を求められる電子部品で非常に高いシェアを有し、また、特許出願においても、出願人別ファミリ件数ランキングで、多くの日本企業が上位を占めている。日本の強みは、前述のように、「セラミック材料から製品までの一貫生産」、「材料・生産設備・プロセス技術の自前開発と内製化」、「長年にわたる開発・生産によるノウハウの蓄積」をベースにした日本企業の技術力の高さにあると言える。

韓国・台湾は、近年、一般グレード部品でシェアを伸ばしてきており、企業の技術力は上がってきている。

中国は、近年、特許出願件数や論文件数を急激に伸ばしてきている。また、国主導による電子部品の国産化加速の動きが見られる。現時点では市場シェアに表れていないものの、潜在的な脅威となっていると言える。

6. 章 解決・実現手段の候補

6.1. 2-1 セラミック電子部品の製造技術と技術課題

(1) セラミック電子部品の製造技術：積層同時焼成技術

代表的なセラミック電子部品である積層セラミックコンデンサの構造と製造工程を図 14 に示す¹⁴。

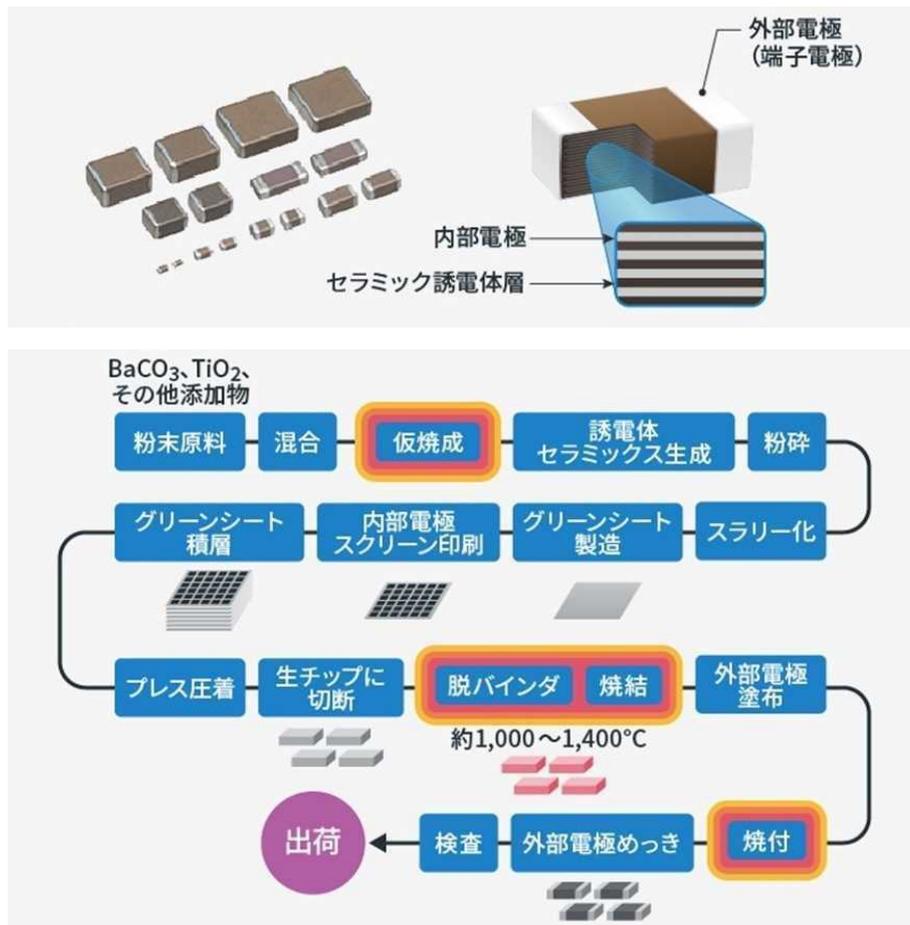


図 14

積層セラミックコンデンサの構造と製造工程 (積層同時焼成)

出典：TDK ウェブサイト

まず誘電体セラミックスの微細粉を溶剤や分散剤、バインダ (結合剤) などと混合して泥状のスラリーとし、これをキャリアフィルム上に薄く伸ばして誘電体のグリーンシ

¹⁴ “積層セラミックチップコンデンサ (MLCC) と微細構造制御技術”. TDK のコアテクノロジー. Vol.4, TDK. 2021. <https://www.tdk.com/ja/tech-mag/core-technologies/04>

ート（生のシート）を形成する。次にこのグリーンシートに内部電極パターン（金属粉体

ペースト）をスクリーン印刷したものを、精密に位置合わせを行って積み重ねて圧着してから、多数のチップ個片に切断し、これを焼成炉でセラミックス化する^{14 15}。このように、内部電極パターンが印刷されたセラミックス粉体の薄いシートを積層して3次元的な電極回路を内包する電子部品の前駆体を形成し、次いでセラミックス粉体と金属粉体とを同時焼成することを特徴とするものである。焼成・セラミック化前の加工しやすい状態でチップ個片へ切断するため、ブレードによる垂直押切り方式が用いられている。ブレードによる垂直押切り方式は切断によるロス（切り代）が生じないことから、超小型のチップ個片への切断に非常に適している¹⁶。

経済産業省生産動態統計年報（2018）¹⁷によると、セラミックコンデンサの国内の年間生産数量は、1兆460億個であり、生産金額は5,208億円となっている。単価は0.50円であり、非常に低コストで超大量生産を実現していると言える。この「積層同時焼成技術」はセラミック電子部品製造のコア技術としてとらえることができ、現在、種々の小型セラミック電子部品に適用されている（図15）¹⁸。また、積層セラミックフィルタ（バンドパスフィルタ：BPF）とアンテナとを「積層同時焼成技術」の一種であるLTCC工法を用いて一体化した、5G（28GHz）用のアレイアンテナ（アンテナインパッケージ：AiP）も製品化されている（図16）¹⁹。

¹⁵ [TDK 広報部, ITmedia]. “積層セラミックチップコンデンサはこうして作られる”. EDN Japan. 2012. https://edn-japan.com/edn/articles/1205/24/news099_3.html

¹⁶ ブレードによる垂直押切り方式の例。“製品案内，電子セラミック用カット機”. 太平洋テック. https://pacific-technology.co.jp/service/e_greenenergy/電子セラミック用カット機/

¹⁷ 経済産業省生産動態統計年報，機械統計編. 2018. https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/gaiyo/resourceData/03_kikai/nenpo/h2dcd2018k.pdf

¹⁸ 特集，太陽誘電の価値創造. 統合報告書 TAIYO YUDEN Report 2020. <https://www.yuden.co.jp/jp/ir/2020ar/feature/https://www.yuden.co.jp/jp/ir/2020ar/feature/>

¹⁹ “5G”通信をサポートする TDK の“LTCC AiP”技術. TDK Front Line. vol.3, 2019. https://www.tdk.com/ja/tech-mag/front_line/003

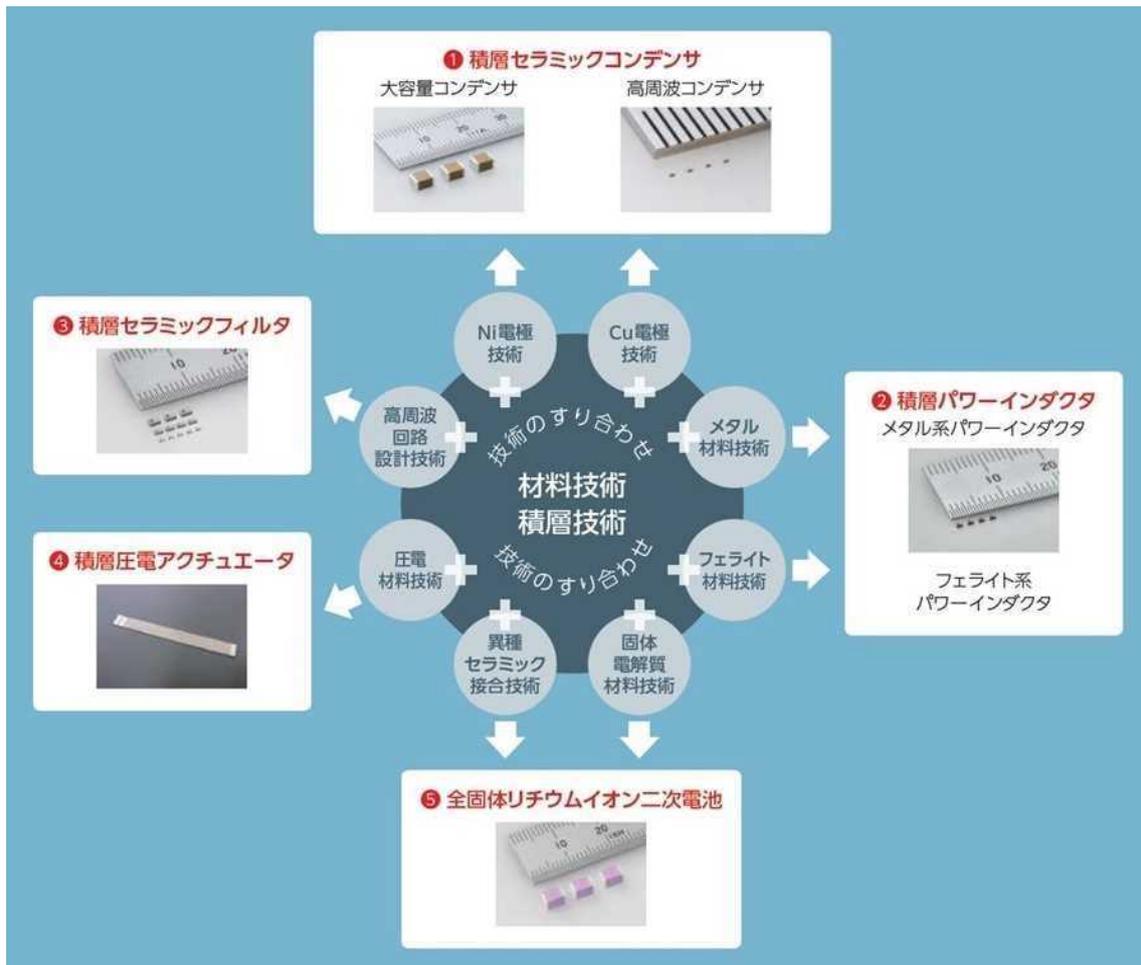


図 15 材料技術、積層技術を中心とした商品展開

出典：太陽誘電ウェブサイト

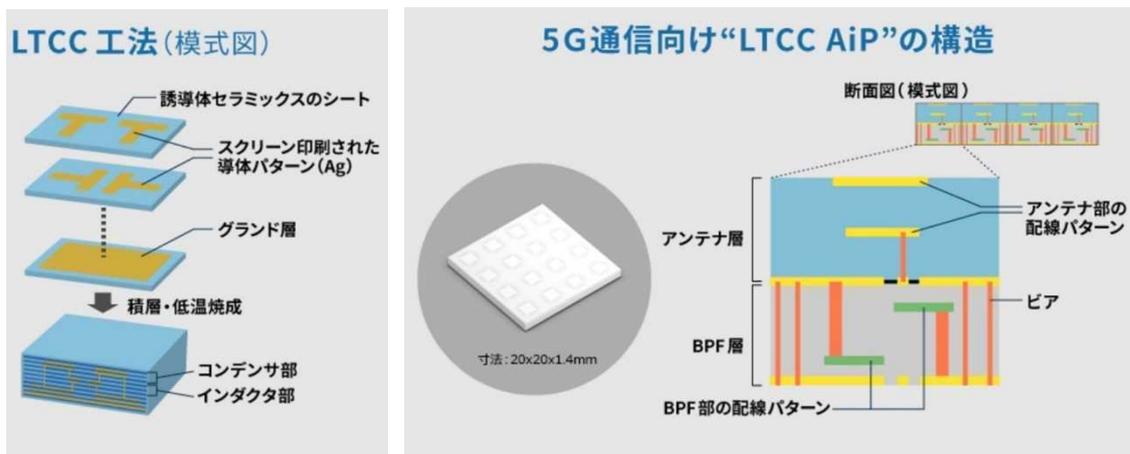
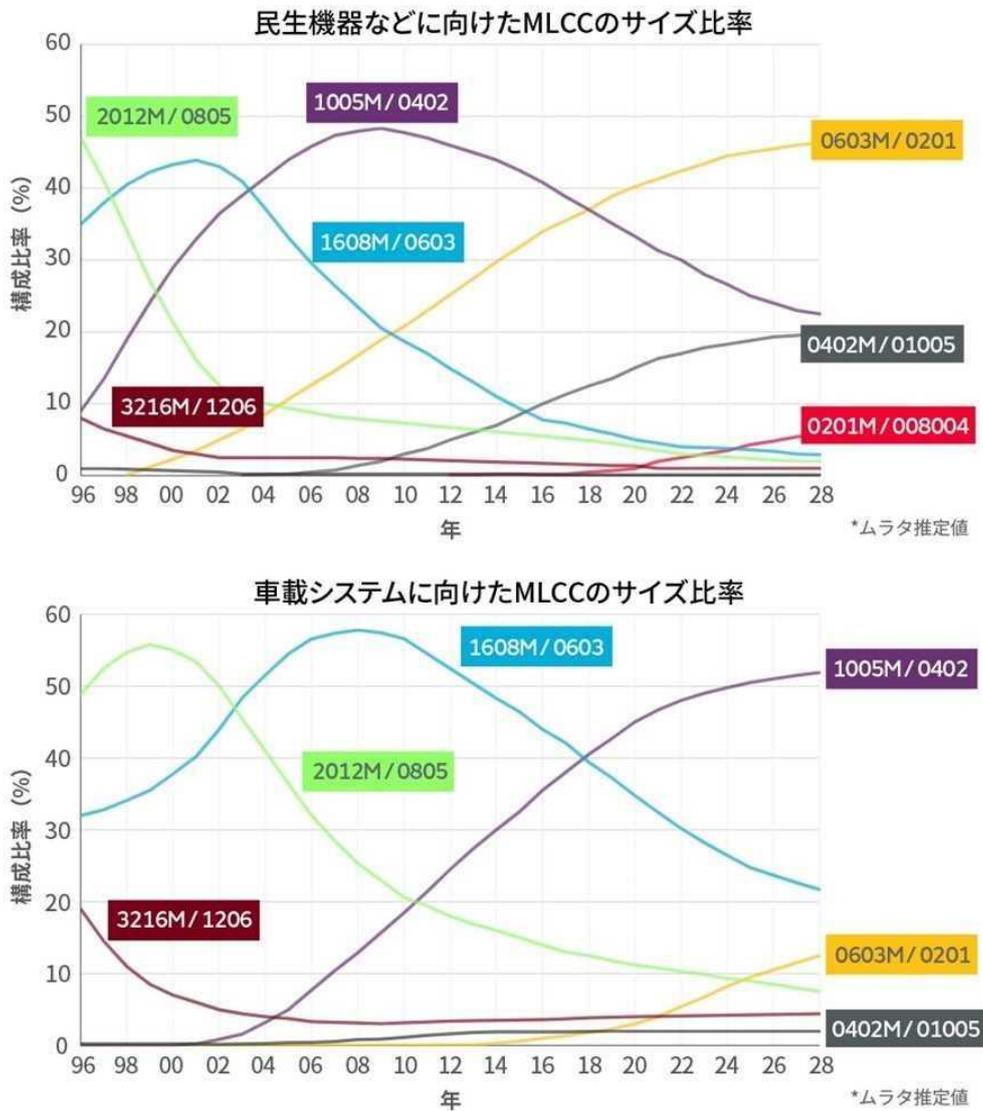


図 16 アンテナ素子と BPF を一体化した“LTCC AiP デバイス”

出典：TDK ウェブサイト

(2) セラミック電子部品の超小型化と高信頼性化の両立のための技術課題
 超スマート社会実現に向けて、セラミック電子部品は更なる超小型化と高信頼性化との両立が求められる。図 17 に積層セラミックコンデンサのサイズ比率予測²⁰を示す。
 このように、2020 年以降、スマートフォン等の民生用途では 0603M (0.6 mm×0.3 mm) 以下、車載用途では 1005M (1.0 mm×0.5 mm) 以下のサイズが主流になると予測されている。



17 積層セラミックコンデンサのサイズ比率予測

²⁰ “信頼性と小型・大容量を両立、CASE トレンドに寄り添い進化する車載用 MLCC (3/3) ”. 村田製作所. 2021. <https://article.murata.com/ja-jp/article/automotive-mlcc-3>

セラミック電子部品の超小型化と高信頼性化の両立には、部品というパッケージを小さくしながらも機能を維持するために、部品の内部構造（図 14 の構造図を参照）自体を微細かつ精密に作り込むことが必須となる。これには、図 18²¹に示すような、「積層構造の各層の薄層化」、「セラミック原料粉体の微粒子化」、「正確な積層」による信頼性低下の原因となる欠陥（不均一な構造等）の低減が必要である。一般的に、微粒子化は凝集を生じやすく分散が困難となる傾向がある。これが欠陥増大の一因となっていると考えられる。

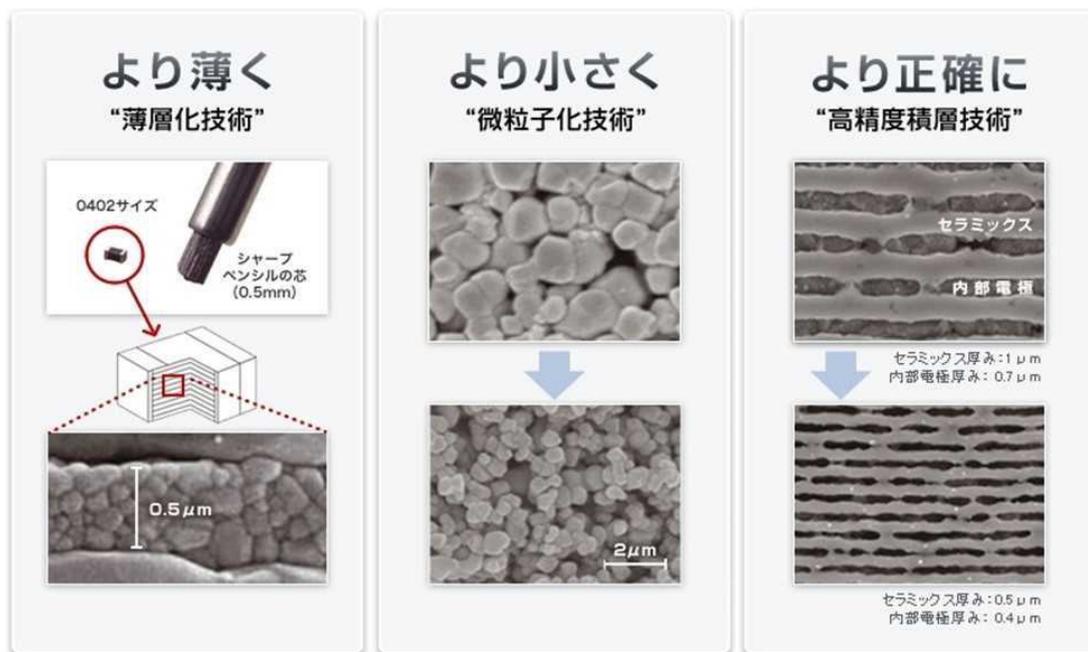


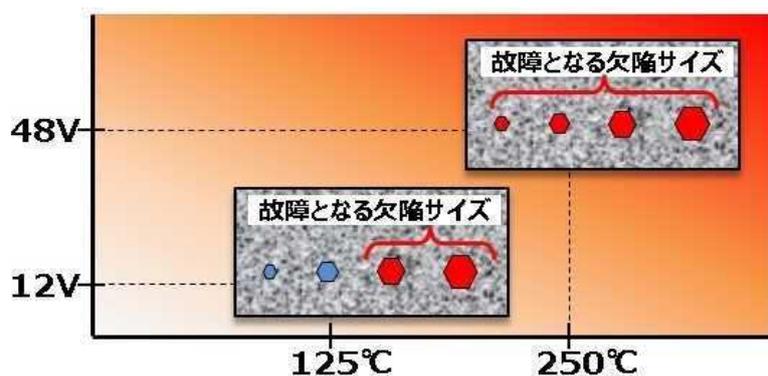
図 18 電子部品の超小型化と高信頼性化の両立に必要な技術例

また、車載用電子部品では、電動化に伴うバッテリー電圧の高電圧化に耐え得る、より高い信頼性が要求されるものと考えられる²⁰。さらに、次世代パワーエレクトロニクスにおいては、自動車向け SiC モジュール開発が進められている。戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 次世

²¹ “ムラタコンデンサの強み、開発力”。村田製作所。 <https://www.murata.com/ja-jp/products/capacitor/ceramiccapacitor/overview/strength>

代パワーエレクトロニクス研究開発計画（2018）²²においては、研究開発項目 I SiC に関する拠点型共通基盤技術開発の（2）-③次世代 SiC モジュールの技術開発、の項目で「モジュール化技術においては、素子開発で先行する 1 kV 級耐圧の SiC パワーデバイスを利用

する高電流密度型モジュールの開発を行い、超小型・高電流密度・高速モジュールの実現を目指す。併せて、モジュール実現に必要な高温・高電流密度に耐える受動素子、周辺材料と高耐圧用の受動素子、周辺材料開発を行う。」との記載があり、高温に耐える受動素子＝電子部品の開発が必要であることが言及されている。具体的な耐熱温度の目標は 250℃とされており²³、今後の車載用電子部品は、高電圧×高温という過酷な環境での高信頼性と超小型化との両立が求められることになる。高温×高電圧下では、より微小な欠陥が故障の起点となりうるため（図 19）、高信頼性確保には微小な欠陥までを含めた、欠陥を大幅に低減する、より高度な微細構造の精密制御技術が必要となると考えられる。



図

19 使用環境による欠陥サイズ許容度変化のイメージ

出典：公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

近年、粒子径 15nm のセラミック誘電体粒子も開発されており²⁴、将来的にはこのような超微粒子を適用して、超小型セラミック電子部品を製造していくことが必要となると考えられる。そのためにはナノスケールの粒子の精密な制御を可能とする、プロセス技術の開発が課題である。

²² 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP） 次世代パワーエレクトロニクス（どこでもパワエレ機器で豊かな省エネ社会）研究開発計画. 内閣府. 2018. <https://www.nedo.go.jp/content/100877977.pdf>

²³ “戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) /次世代パワーエレクトロニクス”. NEDO. https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100090.html

²⁴ “超微粒子酸化チタン「スーパータイタニア®」生産設備の増強を完了”. ニュースリリース, 昭和電工. 2018. <https://www.sdk.co.jp/news/2018/27175.html>

超小型化と高信頼性化とを両立するセラミック電子部品の製造に必要な要件を整理すると、下記のようなになる。

- A) 非常に微細な部品構造を制御して作りこむ高度製造技術
 - B) 年数兆個レベルの量産において安定品質を維持する製造管理に対応できる技術
 - C) 競争力のあるコストで製造可能な技術
-

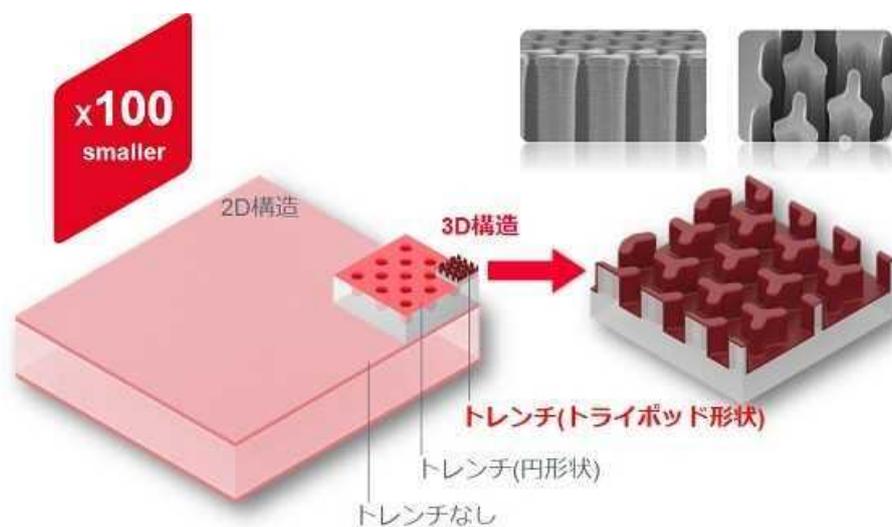
6.2. 2-2 実現手段の候補

実現手段の候補として、下記の①～③を挙げる。

① 半導体微細加工プロセスを適用する

先に示した必要な要件である「A) 非常に微細な部品構造を制御して作りこむ高度製造技術」の観点から、まず挙げられるのは、半導体加工プロセスの適用である。半導体加工プロセスは、ウェハー上にナノスケールの微細構造を精密に制御して作り込む技術として確立されている。近年、電子部品の製造技術としても注目され、図 20 に示すシリコンコンデンサやフィルタ等の高周波用部品が製品化されている。ただし、この手段では、先述したブレードによる垂直押切り方式を用いることができず、部品チップへの切断にダイシング加工²⁵を用いるため、少なくとも数 10 μm の切断幅（ストリート幅）が必要となり、これが切断ロスとなる。したがって、個々の部品サイズを小さくするほど切断ロスとなる面積が増加することになり、超小型部品の大量生産には適さないと考えられる。「C) 競争力のあるコストで製造可能な技術」の観点で、現行の「積層同時焼成技術」によるコストレベルには対応できないと考えられる。

²⁵ ダイシングによる切断方式の例。“砥石による切削加工ブレードダイシング”。ディスコ。
<https://technology.disco.co.jp/jp/method/dicing/>



図

20 シリコンコンデンサ

出典：村田製作所ウェブサイト

② 薄膜プロセスを適用する

同様に、「A) 非常に微細な部品構造を制御して作りこむ高度製造技術」の観点から、真空下での CVD やスパッタを用いる薄膜プロセスの適用が考えられる。薄膜プロセスはナノスケールの均一な薄膜形成に広く用いられる製造方法である。電子部品においても、セラミック誘電体層をスパッタで形成した薄膜コンデンサとして製品化されている。しかしながら現時点で、この手法は、誘電体層 1 層の構成のみ可能なものであり、積層には向いていない。【削除】したがって B)、C) の要件からすると、更なる研究開発を要するレベルであると考えられる。

③ 積層同時焼成プロセスを精緻化するためのツールを開発する

この手段は、高精度のプロセスシミュレーション等のツールを開発し、活用することにより、「積層同時焼成」の各工程におけるプロセスで生じる現象を科学的なアプローチで解明し、「A) 非常に微細な部品構造を制御して作りこむ高度製造技術」として確立させることを目指すものである。日本の強みである、企業が蓄積してきた技術やノウハウをデータとして活用することが可能であり、日本企業にとって特に有利な方法であると考えられる。「積層同時焼成技術」を継承することで、B)、C) の要件はクリアできると考えられる。

以上のことから、実現手段の候補の中で③が最も適しているものと考えられる。積層同時焼成プロセスの精緻化には、プロセスシミュレーション技術を、ファインセラミックス製造の全工程にまで拡張することが課題である。図 21 は、先に示した積層同時焼成の製造工程の図 14 を一般化したもので、上流工程の因子の下流工程への影響のイメージを表しているものである。ファインセラミックスは原料粉体と添加剤を出発材料とするが、連続する各工程で大きな形質変化が起こる（例えば、有機物の添加剤の「脱脂（脱バインダ）」の工程における焼失や、「焼成」工程におけるセラミック粒子の粒成長や化学変化など）。さらに、上流工程の因子が下流工程に、直接、あるいは間の工程をまたいで、横断的に影響することもある。したがって、製造工程全体を精緻化するには、一つ一つの工程を個別に精緻化した上で、さらに、前工程からの影響、及び、後工程への影響も考慮する必要がある。



図 21 ファインセラミックス製造工程における工程間の因子の影響のイメージ出典：公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

現時点のプロセスシミュレーションの技術例としては、ファインセラミックスセンター（JFCC）の取り組みが挙げられる。JFCC では、独自の焼結シミュレーション技術を基に開発した焼結シミュレーションソフトウェア SinterPro (ver.2) による開発の支援を行っている²⁶。シミュレーションの例を図 22 に示す。2020 年度の研究成果集には、課題として「セラミックス製品の開発・製造では、試行錯誤を繰り返して焼結プロセスを最適化している。プロセス最適化

²⁶ “焼結時の課題を解決！シミュレーションソフト SinterPro”。T-7, 2020 年度 JFCC 研究成果集。
<https://www.jfcc.or.jp/result/20t07.html>

を高効率で短期間に進めるためには、プロセスシミュレーション技術の活用が不可欠である」との言及がある²⁷。

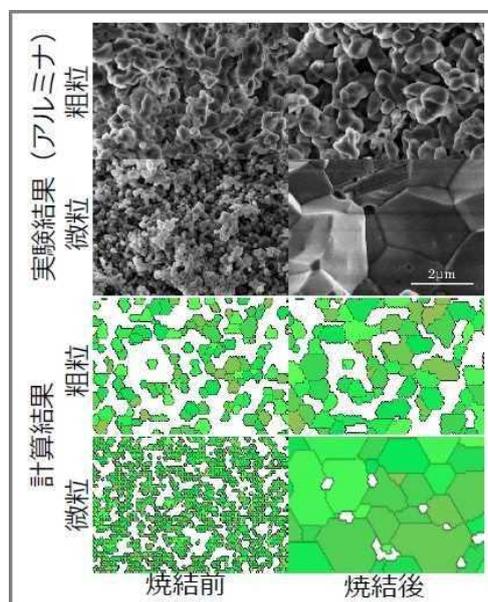


図 22 焼結・粒成長シミュレーションの例

出典：2020 年度 JFCC 研究成果集 R-22

プロセスシミュレーション技術をファインセラミックス製造の全プロセスにまで拡張するには、各プロセスで生じる現象のメカニズムを解明するための解析技術の開発も重要である。その中でもプロセス中の挙動をリアルタイムで解析する高解像度動的解析技術や、内部構造や欠陥の高解像度 3D 観察技術が特に求められている。

動的解析技術の例としては、横浜国立大学による光コヒーレンストモグラフィを用いたセラミックスプロセス中の構造形成過程のリアルタイム 3 次元観察が挙げられる (図 23)²⁸。

²⁷ “SinterPro を用いたプロセスシミュレーション技術の開発”. R-22, 2020 年度 JFCC 研究成果集.
<https://www.jfcc.or.jp/result/20r22.html>

²⁸ “セラミックスプロセスチェーン最適化を目指した構造形成過程のリアルタイム 3 次元 OCT 観察法による理解とその制御因子の科学的解明”. 横浜国立大学多々見・飯島研究室.
<http://ceramics.ynu.ac.jp/study.html>

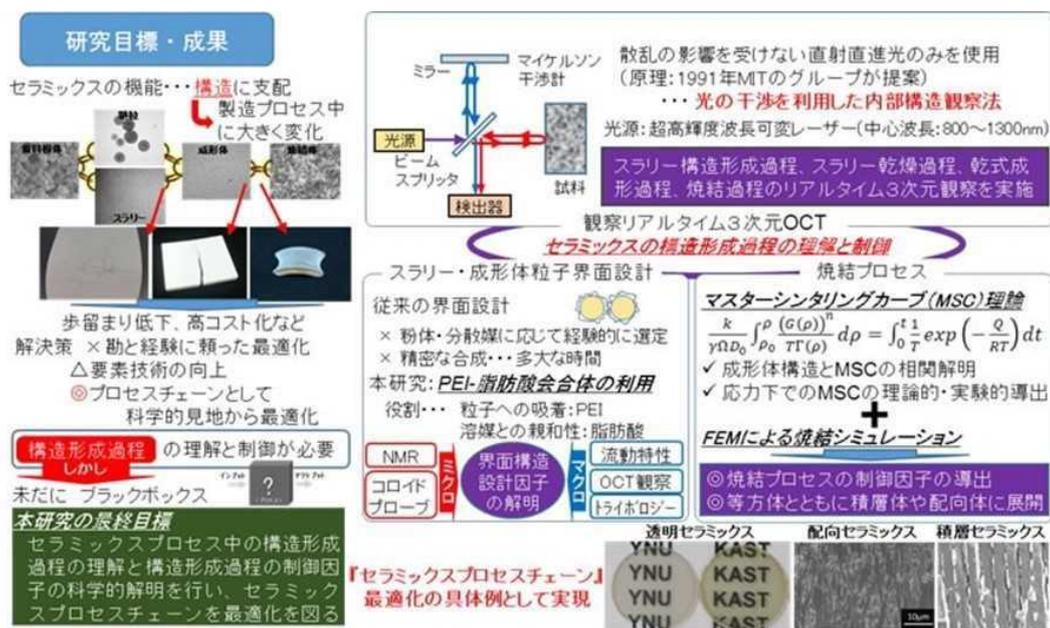


図 23 セラミックスプロセスチェーン最適化を目指した構造形成過程のリアルタイム 3 次元 OCT 観察法による理解とその制御因子の科学的解明

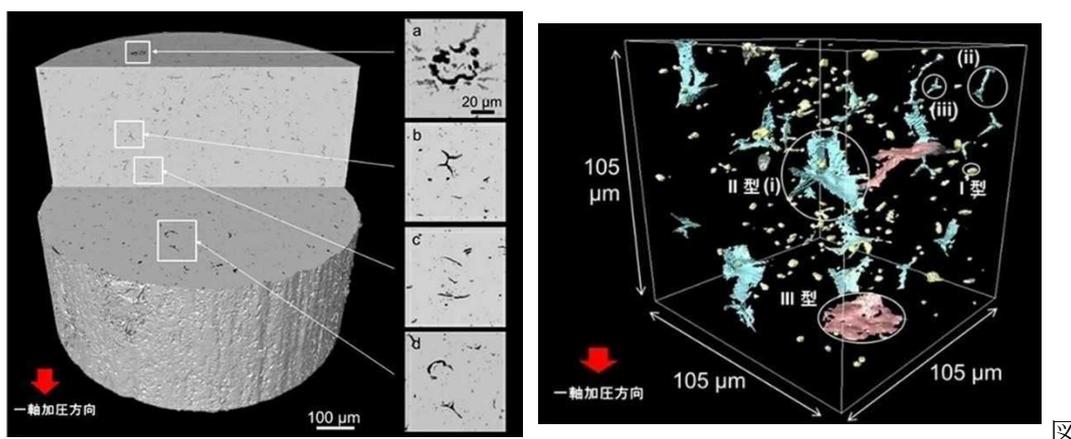
出典：横浜国立大学 多々見・飯島研究室ウェブサイト

また、高解像度 3D 観察技術の例としては、東京工業大学らの研究グループによる大型放射光施設 (SPring-8) を活用した、放射光マルチスケール X 線 CT が挙げられる (図 24) ^{29,30}。

²⁹ “放射光でセラミックス内部の欠陥観察に成功”。東工大ニュース。

<https://www.titech.ac.jp/news/2019/045066.html>

³⁰ 大熊他. 放射光マルチスケール CT で見るセラミックスの 3 次元内部欠陥構造. 粉体および粉末冶金. 2019, vol.66, no.12, p. 604-610. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjspm/66/12/66_604/_pdf



24 放射光マルチスケール CT で見るセラミックスの 3 次元内部欠陥構造

出典：東京工業大学プレスリリース

6.3. 2-3 技術開発の方向性

ここでは実現手段③「積層同時焼成プロセスを精緻化するためのツールの開発」について詳述する。

セラミック電子部品製造のコア技術と言える「積層同時焼成」を精緻化するには、各工程において、原料粉体の超微粒子化などに伴って生じる新たな現象や特性に関わるメカニズムを解明するとともに、各工程で生じる現象の変化が最終的に焼結体製品の構造や信頼性に与える影響を、図 21 に示されているような「プロセスチェーン」として理解し、メカニズムに基づいた科学的アプローチで全工程を統一的に設計することが重要であると考えられる。

現状は、ファインセラミックス製造各工程で生じる現象のメカニズムの統一的な理解が十分ではない状態である。ギャップ分析より、技術開発課題と具体的手段の候補を表 4 のようにまとめた。これら実現手段の候補は、それぞれが関係し合うものであり、図 25 に示すように連携させる、いわゆる「プロセスインフォマティクス」手法を通じて技術開発を進めることが重要であると考えられる。

「プロセスインフォマティクス」については、現時点で明確な定義はないが^{31 32}、本レポートでは、「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・

³¹ 必ずしも明確な定義がある用語ではないが、広くは、材料合成プロセス開発にデータ科学の手法を導入し、これまでできなかった材料の合成や、既存の材料の特性向上を可能にするサイエンス/テクノロジーとして理解されている。プロセスインフォマティクスの俯瞰～材料合成プロセスへのデータ科学適用の現状と展望～。CRDS-FY2020-WR-06, 俯瞰ワークショップ報告書。JST, 2021.

<https://www.jst.go.jp/crds/report/report05/CRDS-FY2020-WR-06.html>

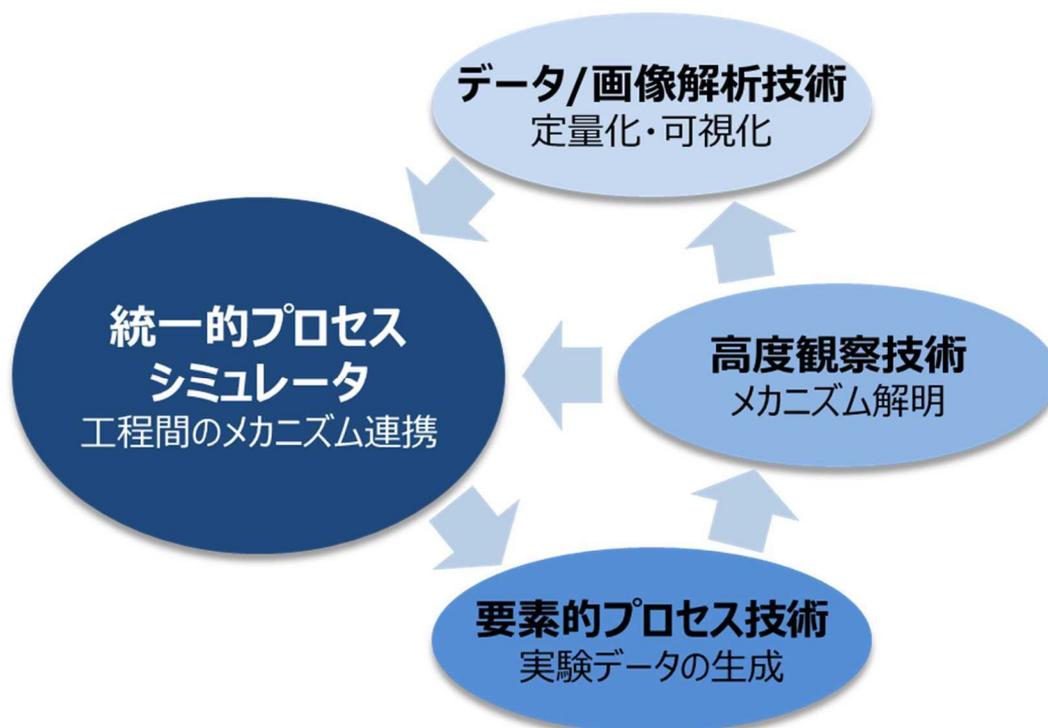
³² 「従来からの実験科学、理論科学、計算科学と、近年の進展が著しいデータ科学を、統合的・融合的に活用することにより、目的材料の合成プロセスを効率的かつ統合的に探索する方法」材料創製技術を革新するプロセス科学基盤～プロセス・インフォマティクス～。CRDS-FY2021-SP-01, 戦略プロポーザル。JST, 2021. <https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2021-SP-01.html> における定義。

制御のため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」と定義する。

表 4 現状とのギャップと技術開発課題

現状とのギャップ・課題	必要となる技術	技術開発課題	具体的実現手段の候補
ファインセラミックス製造各工程で生じる現象のメカニズムの統一的理解	各工程で生じている現象のメカニズムを解明する技術	メカニズム解明のための観察技術の高度化	・高度観察技術
	各工程の前(入力)/後(出力)で生じる変化を特定する技術	原料、各工程後の中間体、焼結体の特性の定量化・可視化	・データ/画像解析技術
	前工程から後工程へと横断的に影響する因子に係わるメカニズムを解明する技術	各工程で生じる現象をメカニズムに基づいて全工程に連携させる、プロセスチェーンツールとしてのシミュレーション	・統一的プロセスシミュレータ
	シミュレーション結果を実現させる技術	メカニズム・シミュレーションに基づく知見の実プロセスへの反映	・要素的プロセス技術

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）



図

25 プロセスインフォマティクスの連携イメージ

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

図 26 に、ファインセラミックスの製造工程と表 4 及び図 25 で具体的実現手段の候補として挙げた四つの技術開発項目との関係とその方向性を示した。2-2 でも述べたように、ファインセラミックス製造各工程で生じる現象のメカニズムの統一的理解を目指すためには、各技術開発項目ともに、全工程をカバーするような開発に取り組む必要があると考えられる。

高度観察技術の開発に関しては、図 24 に示したような、SPring-8 等の大型放射光施設の活用が望まれる。

また、統一のプロセスシミュレータの開発に関しては、ファインセラミックス粉体粒子一つ一つの挙動を、工程を連携させながら計算する、大規模で複雑なモデルを扱うことが想定されるため、大規模な計算リソースを持つ HPC（High Performance Computing）システムの活用が望まれる。

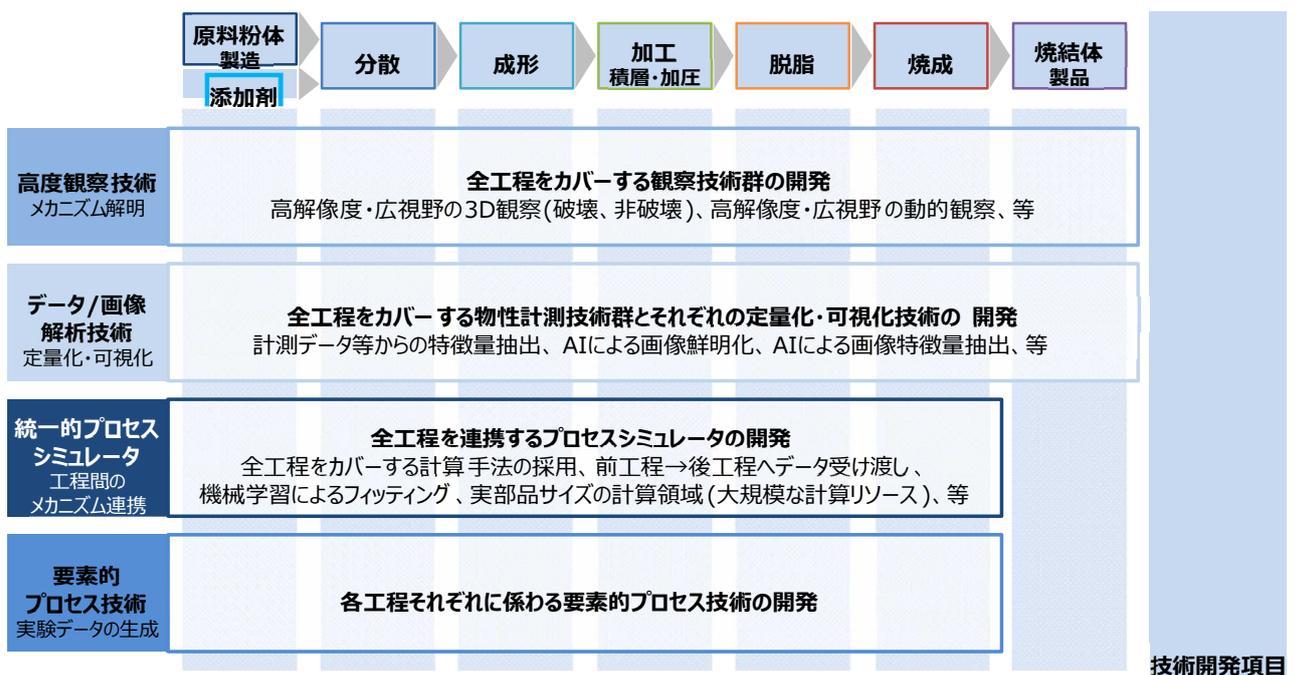


図 26 技術開発項目とその方向性

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

7.章 おわりに

電子部品用ファインセラミックス分野は、日本企業が競いながら技術力を高めてきた経緯があり、現在においても高い国際競争力を有している。しかし、超スマート社会の実現に向け、次世代のセラミック電子部品は、「超小型化と高信頼性化」を前提とした上で、求められる機能や性能も大きく変化することが予想される。また、中国をはじめとする海外勢の脅威も目前に迫っている。これらに対応した部品設計・材料・プロセスの技術開発の推進は喫緊の課題である。

本レポートで提案した方向に技術開発を推進するためには、国立の研究機関や大学などが有する高度な解析技術・装置の開発や高度な計算モデル設計手法の拡充や、大規模な計算リソースの活用が前提となる。さらに、激しい国際競争に対応するために垂直統合や水平分業といった様々なビジネスモデルを通じて、セラミック電子部品の製造に関わる多くの企業が協力・連携することが不可欠となる。このような、多様なプレーヤーによる有機的な連携を実現するためには、知的財産をはじめとする技術情報共有の仕組みづくり（例えば、「オープン・クローズ」の明確化）が重要であると考えられる。

本レポートを契機として、10年先、そしてそれ以降も日本が本分野を技術でリードしていくことを目指した、次世代のセラミック電子部品製造の基盤となる革新的な技術開発を、産学官が一体となって取り組む必要がある。

TSC Foresight

2022年1月11日発行

・研究員

・フェロー

戦略策定に向けて

TSC Foresight Vol.107 電子部品用ファインセラミックス分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構技術戦略研究センター(TSC)

■センター長 岸本 喜久雄

■センター次長 飯村 亜紀子

西村 秀隆 (2021年6月まで)

■ナノテクノロジー・材料ユニット

・ユニット長 藤本 辰雄 森 孝博 岡田 明彦

松下 智子 (2021年4月まで)

川合 知二 大阪大学産業科学研究所 招へい教授、東京都市大学特別教授北岡 康夫 大阪大学 共創機構産

業共創本部 副本部長／教授

井上 貴仁 国立研究開発法人産業総合研究所 材料・化学領域研究戦略部イノベーションコーディネータ三島 良直

国立研究開発法人日本医療研究開発機構理事長

●本書に関する問い合わせ先

電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

●本書は以下 URL よりダウンロードできます。

<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。

掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。

引用を行う際は、必ず出典を明記願います。

●プロジェクト開始時関連資料

●各種委員会開催リスト

採択審査委員会		
件名	内容	実施日
第1回	採択審査委員会でのプロジェクト申請内容の説明	2022年4月26日

ステージゲート委員会		
件名	内容	実施日
	課題①—5実施機関の課題②へのステージゲート審査	2024年1月16日

技術推進委員会		
件名	内容	実施日
第1回	外部委員を含めた事業の実施状況の確認と今後の開発への意見交換	2022年1月18日
サイトビジット	推進員の研究現場見学と意見交換（JFCC名古屋市）	2023年8月25日
第2回	外部委員を含めた事業の実施状況の確認と今後の開発への意見交換	2023年11月1日

●特許論文等リスト

【特許】

事業前半はプロセスシミュレータ群の開発のため知財出願は無し

【論文】 リスト例

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 (掲載日)
1	Chihiro Ito, Toshio Osada, Shingo Ozaki	横浜国立大学	Finite element analysis of fracture behavior in ceramics: Competition between artificial notch and internal defects under three-point bending	Ceramics International, 48, (2022) 36460-36468 https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.08.206	有	2022/12/15
2	Gaku Okuma, Masaya Endo, Haruki Minagawa, Ryo Inoue, Hideki Kakisawa, Takuma Kohata, Toshio Osada, Takafumi Yamamoto, Masaki Azuma, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, Olivier Guillon, Fumihiro Wakai	NIMS	3D visualization of morphological evolution of large defects during spark plasma sintering	Adv. Eng. Mater. 25 (2023) 2201534 https://doi.org/10.1002/adem.2022015349	有	2023/2/21
3	Hiromasa Kuroda, Junichi Tatami, Motoyuki Iijima, Takuma Takahashi	横浜国立大学	Novel operando observation technique based on combined optical coherence tomography-thermogravimetry for monitoring internal structural changes of drying ceramic slurries	Journal of the Ceramic Society of Japan 131 (2023) 37-41 https://doi.org/10.2109/jcersj2.23008	有	2023/2/25
4	Mariko Minami,	横浜国立大学	In-situ investigation on	Ceramics International 49 (2023) 15387-15394	有	2023/5/15

	Junichi Tatami, Motoyuki Iijima, Takuma Takahashi, Tatsuki Ohji		crack-initiation and deformation of Al2O3 green bodies during dewaxing process by combined OCT-TG-FTIR and TMA	https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.01.123		
5	Minh Chu Ngo; Hiroyuki Miyazaki; Kiyoshi Hirao; Manabu Fukushima	産総研	Measurement of Thermal Strain of Metalized Silicon Nitride Substrate in Thermal Cycling Test by Digital Image Correlation Method	Ceramics International 49 (2023) 15387-15394 https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.01.123	有	2023/5/23
6	Gaku Okuma, Fumihiro Wakai	NIMS	Synchrotron X-ray multiscale tomography: Visualization of heterogeneous microstructures, defects, and microfractures in ceramics	J Am Ceram Soc.107 (2024) 1706-1724 https://doi.org/10.1111/jace.19366	有	2023/8/3
7	Minh Chu NGO、宮崎 広行、平尾 喜代司、福島学	産総研	Analysis of Thermal Strain of Metallized Silicon Nitride Substrate Under Cyclic Thermal Loading by Digital Image Correlation	Int J Appl Ceram Technol. 21 (2024) 1032-1041 https://doi.org/10.1111/ijac.14565	有	2023/10/10
8	白村佑真, 伊藤太陽, 松井七織, 秋庭祐弥, 青木公也, 中島佑樹, 平尾喜代司, 福島学	中京大学・産総研	Loss function for ambiguous boundaries for deep neural network (DNN) for image segmentation	Journal Electronics and Communications in Japan, 143 (2023) 914-921 https://doi.org/10.1002/ecj.12429	有	2023/12/2
9	伊藤 千 紘, 前田太陽, 東龍之介, 長田 俊郎, 小幡 卓真, 尾崎 伸吾	横浜国立大学	Application of extreme value statistics to internal pore distribution in ceramics and prediction of size-dependency of strength scatter	Journal of the European Ceramic Society 44 (2024) 3381-3392 https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.021	有	2023/12/10
10	中島秀朗、松本尚之、小椋俊彦、近藤直樹、三村憲一、田中真司、鶴田彰宏、	産総研	Hidden correlation between rheological dynamics and crack formation	Journal of the European Ceramic Society 44 (2024) 4141-4149 https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.069	有	2023/12/20

	渡邊亮太、大石晃広、薄川隆太郎、小橋和文、岡崎俊也		in water-based slurry			
11	Ryuji Yoshida, Yasutoshi Mizuta, Takeharu Kato, Teiichi Kimura	JFCC	Large volume 3D reconstruction using Plasma FIB-SEM system vs X-ray CT	Microscopy 00 (2024) 00 1-4 https://doi.org/10.1093/jmicro/dfae003	有	2024/1/19
12	Kai-en Yang, Shuo LI, Guangtao DUAN, Mikio SAKAI	東京大学	On Fostering Predictions in Data-driven Reduced Order Model for Eulerian-Lagrangian Simulations: Decision of Sufficient Training Data:	Journal of Chemical Engineering of Japan 57 (2024) 2316155 https://doi.org/10.1080/00219592.2024.2316155	有	2024/2/22
13	Toshihiko Ogura, Hideaki Nakajima, Ryutarō Usukawa, Naoki Kondo, Toshiya Okazaki	NIMS、産総研	Direct observation and elemental analysis of material nanoparticles in solution using scanning electron-assisted dielectric microscopy and EDS	Applied Physics Letters 124 (2024) 092902 https://doi.org/10.1063/5.0190602	有	2024/2/26
14	Shuo Li, Guangtao Duan, Mikio Sakai	東京大学	On reduced-order modeling of gas-solid flows using deep learning	Physics of Fluids 36 (2024) 033340 https://doi.org/10.1063/5.0193480	有	2024/3/15

【外部発表】リスト

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	福島学	産総研	次世代パワーモジュールで 사용되는マルチマテリアル材開発と DX 技術の適用	2022 年度 マルチマテリアル・シンポジウム	2022/11/10
2	Minh Chu NGO、宮崎広行、平尾喜代司、福島学	産総研	Study of metalized silicon nitride substrate reliability under thermal cycling test using digital image correlation	47th International Conference and Exposition on Advanced Ceramics and Composites (ICACC 2023)	2023/1/24

3	秋庭祐弥, 白村佑真, 松井七織, 伊藤大陽, 村山賢人, 三谷智輝, 青木公也, 中島佑樹, 平尾喜代司, 福島学	中京大学・産総研	人工的に生成された断面画像を用いたセラミックスの微細構造分布の予測	動的画像処理実利用化ワークショップ	2023/3/2
4	田中諭	長岡技術科学大学	窒化ケイ素のシート成形における成形体内部構造の可視化	日本セラミックス協会 2023 年年会	2023/3/8
5	中村 美佑・多々見 純一・飯島 志行	横浜国立大学	OCT で観察した温度上昇に伴うアルミナスラリーの内部構造変化	日本セラミックス協会 2023 年年会	2023/3/8
6	黒田 啓真・多々見 純一・飯島 志行・高橋 拓実	横浜国立大学	SiO ₂ スラリーの乾燥過程と焼結過程における 内部構造の同一視野 OCT その場観察	日本セラミックス協会 2023 年年会	2023/3/8
7	福島学・平尾喜代司・中島佑樹・青木公也・尾崎伸吾・中尾航	産総研	セラミックス材料評価技術への DX 技術の融合	日本セラミックス協会 2023 年年会	2023/3/9
8	Minh Chu NGO, 宮崎広行, 平尾喜代司, 福島学	産総研	Measurement of Thermal Strain of Metalized Silicon Nitride Substrate in Thermal Cycling Test by Digital Image Correlation Method	International Conference on Electronics Packagin	2023/4/20
9	宮崎広行, Minh Chu NGO, 平尾喜代司, 福島学	産総研	Effect of Thermal Cycle Temperature Gap on Thermal Fatigue of Metallized Silicon Nitride Substrates for SiC Power Modules	International Conference on Electronics Packagin	2023/4/20
10	西村桃葉, 中澤葵, 坂根慎治, 高木知弘	京都工芸繊維大学	粒子のサイズ分布を考慮した焼結過程の multi-phase-field シミュレーション	第 28 回計算工学講演会	2023/5/31
11	澤田有弘, 松本純一	産総研	液中における粒子パッキングから焼結までの連成・連携解析	第 28 回計算工学講演会	2023/5/31
12	田中諭	長岡技術科学大学	Elucidation of the cause of defect formation in bulk ceramics by three-dimensional internal structure observation method	XVIII Conference of the European Ceramic Society	2023/7/6
13	寺坂宗太, 野村浩, 木村禎一	JFCC	セラミックスの成形～焼結プロセスマイクロ/マクロシミュレーション	JFCC 研究発表会	2023/7/21
14	澤田 有弘, 松本 純一	産総研	Computational FSI with contact method for multi-phase particulate flows	17th U.S. National Congress on Computational Mechanics	2023/7/25
15	楊 凱恩, 李碩, 段 广涛, 酒井 幹夫	東京大学	A Novel Technique for Determination of Proper Sampling Interval for Data-driven ROM based Bead Mill Simulations	化学工学会山形大会 2023	2023/8/8
16	Shuo Li, Guangtao Duan, Mikio Sakai	東京大学	LPOD-based Reduced Order Model for Eulerian-Lagrangian Simulation of a Bead Mill	日本混相流学会 混相流シンポジウム 2023	2023/8/24

17	西村桃葉, 中澤葵, 坂根慎治, 高木知弘	京都工芸繊維大学	Effect of powder size distribution on the densification behaviour of alumina ceramics sintering: phase-field study	Sintering 2023	2023/8/28
18	Gaku Okuma	NIMS	Heterogeneous evolution of pore distribution during sintering of a submicron alumina powder visualized by using synchrotron X-ray CT	Sintering 2023	2023/8/28
19	高木知弘, 中澤葵, 西村桃葉, 坂根慎治	京都工芸繊維大学	Phase-field study of densification and grain growth during sintering	Sintering 2023	2023/8/29
20	吉田竜視, 加藤丈晴, 木村禎一	JFCC	プラズマ FIB を用いた無機材料の大領域 3 次元構築	SCANTECH2023	2023/8/31
21	Fumihiko Wakai	NIMS	Rigid body motion of multiple particles in solid-state sintering	国際会議 Sintering2023	2023/8/31
22	秋庭祐弥, 伊藤大陽, 松井七織, 三谷智輝, 村山賢人, 青木公也, 中島佑樹, 平尾喜代司, 福島学	中京大学・産総研	セラミックス焼結体 SEM 画像の画像生成手法の性能評価	第 28 回知能メカトロニクスワークショップ 2023	2023/9/3
23	岡崎俊也	産総研	セラミックス製造プロセスの可視化技術開発とメカニズム解明への挑戦	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
24	中島秀朗, 松本尚之, 小椋俊彦, 近藤直樹, 三村憲一, 岡崎俊也	産総研	シート成形時のクラック形成に関する水系スラリーのレオロジカル挙動	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
25	小野巧, 竹林良浩, 陶究	産総研	機械学習を利用したセラミックスナノ粒子フロー製造プロセス開発の高度化	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
26	大熊学, 長田俊郎, 垣澤英樹, 若井史博, 皆川開, 新井優太郎, 井上遼, 竹内晃久, 上相真之, 田中諭	NIMS・長岡技術科学大学	Heterogeneous evolution of pore distribution during sintering of a submicron alumina powder observed by using synchrotron X-ray CT	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
27	山口祐貴, 中山麗, 鷲見裕史	産総研	酸塩基反応を利用した BaZrO ₃ セラミックスの低温緻密化と機械特性のプロセス依存性	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
28	大久保岳人・田中諭	長岡技術科学大学	窒化ケイ素シート体の微構造に及ぼす焼結助剤の分散性の影響	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/6
29	中山麗, 山口祐貴, 鷲見裕史	産総研	室温近傍での低温焼結プロセスを用いたチタン酸バリウムの作製とその物性	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/7
30	清野元紀・久保正樹・木村禎一・寺坂宗	東北大学・JFCC	離散要素法シミュレーションを用いた溶媒蒸発に伴う粒子の構造形成過程に及ぼす分散剤の影響の検討	日本セラミックス協会 第 36 回秋季シンポジウム	2023/9/7

	太・小池修・辰巳怜				
31	Shuqi Guo, Gaku Okuma, Kimiyooshi Naito, Hideki Kakisawa	NIMS	Mechanical Properties of Hot-Pressed VB2-SiC Composites With and Without WC	Ceramics International	2023/9/8
32	田中諭	長岡技術 科学大学	窒化ケイ素セラミックスのマル チスケール観察と機械的特性へ の影響	日本セラミックス協 会 第36回秋季シ ンポジウム	2023/9/8
33	小野巧、竹林 良浩、陶究	産総研	インフォマティクスを利用した セラミックスナノ粒子フロー製 造プロセス開発	化学工学会 第54 回秋季大会	2023/9/11
34	Shuo Li, Guangtao Duan, Mikio Sakai	東京大学	A graph neural network based surrogate model for granular flows with complex boundary geometries	DEM9	2023/9/17
35	大熊 学	NIMS	放射光 X 線 CT 技術を駆使し た高信頼性材料設計の革新	日本金属学会	2023/9/20
36	Shuo LI, Guangtao DUAN, Mikio SAKAI	東京大学	How modal-analysis techniques be applied to industrial granular flow simulations?	The 4th International Conference and Exhibition on Powder Technology Indonesia 2023	2023/9/21
37	東 龍之介, 前田 太陽, 平尾 喜代 司, 中島 佑 樹, 福島 学, 中尾 航, 尾崎 伸 吾	横浜国立 大学	曲げ試験結果に基づくアルミナ 焼結体の内部欠陥分布の逆推定	第30回機械材料・ 材料加工技術講演会	2023/9/27
38	石田 大樹, 長田 俊郎, 尾崎 伸吾	横浜国立 大学	仮想組織モデルを用いたステレ オロジーの精度検証	第30回機械材料・ 材料加工技術講演会	2023/9/27
39	福島学, 平尾 喜代司, 中島 佑樹, 青木公 也, 尾崎伸 吾, 中尾航	産総研	Strategy to Estimate Mechanical Properties of Engineering Ceramics by Using AI-determined Grain Information and Simulation	MS&T 2023	2023/10/3
40	Gaku Okuma, Fumihito Wakai	NIMS	Synchrotron X-ray multiscale tomography: Visualization of heterogeneous microstructures, defects, and microfractures in ceramics	MS&T 2023	2023/10/3
41	中澤葵, 坂根 慎治, 高木知 弘	京都工芸 繊維大学	焼結過程の材料組織と欠陥を高 精度に予測可能な multi- phase-field シミュレーション 法の開発	第9回材料 WEEK	2023/10/10
42	中澤葵, 坂根 慎治, 高木知 弘	京都工芸 繊維大学	Multi-phase-field 法による成 形体形成から焼結過程までの連 続シミュレーション	日本機械学会 第36 回計算力学講演会	2023/10/25
43	大久保岳人・ 田中諭	長岡技術 科学大学	窒化ケイ素シートにおける欠陥 形成原因の解明	日本セラミックス協 会東北北海道支部研 究発表会	2023/11/3
44	中山 麗, 山 口 祐貴, 鷲 見 裕史	産総研	化学焼結プロセスにおける含水 チタニアゲル中へのカチオン拡 散メカニズム	無機マテリアル学会 第147回学術講演会	2023/11/9

45	福島学, 平尾喜代司, 中島佑樹, 青木公也, 尾崎伸吾, 中尾航	産総研・中京大学・横浜国立大学	Reliability evaluations of ceramic materials by applying AI and simulation technology	第33回日本MRS年次大会	2023/11/14
46	中島秀朗	産総研	Correlation between rheological dynamics and crack initiation in aqueous slurries	第33回日本MRS年次大会	2023/11/14
47	中澤葵, 西村桃葉, 坂根慎治, 高木知弘	京都工芸繊維大学	Large-scale phase-field computation for predicting material microstructures from shape forming to sintering	The 11th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing	2023/11/19
48	植松昌子, 木村禎一	JFCC	共焦点蛍光顕微鏡を用いたスラリー内部粒子運動の3次元観察	東海支部学術研究発表会	2023/12/2
49	Minh Chu NGO, 宮崎広行, 平尾喜代司, 福島学	産総研	Thermal strain measurement of metallized silicon nitride substrate under thermal cycling test using digital image correlation	VANJ Conference 2023	2023/12/2
50	伊藤大陽, 松井七織, 秋庭祐弥, 三谷智輝, 村山賢人, 青木公也, 中島佑樹, 平尾喜代司, 福島学	中京大学・産総研	表現学習による機械的な判別困難性を考慮した領域分割DNNにおける損失関数の検討	ViEW2023 ビジョン技術の実利用ワークショップ2023	2023/12/7
51	松井七織, 伊藤大陽, 秋庭祐弥, 三谷智輝, 村山賢人, 青木公也, 中島佑樹, 平尾喜代司, 福島学	中京大学・産総研	粒子セグメンテーションDNN学習のためのカリキュラム学習によるアノテーションコスト低減手法の検討	ViEW2023 ビジョン技術の実利用ワークショップ2023	2023/12/7
52	中山麗	産総研	室温近傍における金属複合酸化物の緻密化プロセス開発	日本セラミックス協会関東支部 第11回若手研究発表交流会	2023/12/9
53	Minh Chu NGO, 宮崎広行, 平尾喜代司, 福島学	産総研	Acoustic Emission Monitoring of Metallized Ceramic Substrate During Thermal Cycling Test	MRM2023/IUMRS-ICA2023	2023/12/11
54	Minh Chu NGO, 宮崎広行, 平尾喜代司, 福島学	産総研	Measurement of Thermal Strain of Metallized Silicon Nitride Substrate in Thermal Cycling Test by Digital Image Correlation Method	第6回次世代電子実装システム技術講演会	2023/12/11
55	Minh Chu NGO, 宮崎広行, 平尾喜代司, 大司達樹, 福島学	産総研	A DIC-Based Study of Thermal Stress-Strain Behavior of Cu on Metallized Si ₃ N ₄ Substrate under Thermal Cycling	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
56	Taiyo Maeda, Toshio Osada, Shingo Ozaki	横浜国立大学	Numerical prediction of strength scatter of ceramics: Inverse estimation of microstructural	48th International Conference and Expo on Advanced	2024/1/28

			distribution based on strength test data	Ceramics and Composites	
57	Ryunosuke Higashi, Minh Chu Ngo, Hiroyuki Miyazaki, Kiyoshi Hirao, Manabu Fukushima, Shingo Ozaki	横浜国立大学・産総研	Finite element analysis of thermal cycling test for metallized ceramic substrate	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
58	Shingo Ozaki, Taiyo Maeda, Ryunosuke Higashi, Toshio Osada	横浜国立大学	Numerical prediction of strength scatter of ceramics: Forward analysis of strength distribution based on microstructural information	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
59	中澤葵, 坂根慎治, 高木知弘	京都工芸繊維大学	Large-scale phase-field computation for predicting material microstructures from shape forming to sintering	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
60	高木知弘, 中澤葵, 坂根慎治	京都工芸繊維大学	Continuous phase-field simulation of powder compaction and subsequent sintering	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
61	大司達樹, 福島学, 平尾喜代司, 中島佑樹, 青木公也, 尾崎伸吾, 中尾航	京都工芸繊維大学	Computer-aided analyses for structural reliabilities of ceramic materials	48th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites	2024/1/28
62	村山賢人, 伊藤大陽, 松井七織, 秋庭祐弥, 三谷智輝, 村上昂史, 青木公也, 小椋俊彦, 岡崎俊也, 中島秀明, 近藤直樹, 薄川隆太郎, 福島学	中京大・産総研	誘電率顕微鏡画像に基づくセラミックスラリーの粒子分散状態計測手法の検討	精密工学会・画像応用技術専門委員会主催 動的画像処理実利用化ワークショップ	2024/3/4
63	植松昌子, 木村禎一	JFCC	鋳込成形における石膏型近傍の粒子挙動その場観察	日本セラミックス協会 2024 年年会	2024/3/14
64	中島秀朗, 小椋俊彦, 薄川隆太郎, 近藤直樹, 岡崎俊也	産総研	遠心沈降法を用いたアルミナスラリーの粒子-バインダー相互作用の定量解析	日本セラミックス協会 2024 年年会	2024/3/14
65	宮崎 広行, 福島 学	産総研	蛍光型のレーザー顕微鏡と多光子励起顕微鏡を用いたビッカース圧痕の形態観察	セラミックス協会 2024 年年会	2024/3/15
66	宮崎 広行, 中島祐樹, 平尾喜代司, 福島 学	産総研	蛍光型のレーザー顕微鏡と多光子励起顕微鏡を用いたセラミックス焼結体中の粗大欠陥観察	セラミックス協会 2024 年年会	2024/3/15

67	福島学	産総研	AI およびシミュレーションによるセラミックス材料の物性予測	セラミックス協会 2024 年年会	2024/3/16
----	-----	-----	--------------------------------	----------------------	-----------

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	NEDO 他	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	2022/08/10
2	NEDO、産総研	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	2024/3/8
3				

(c) その他 展示会への出展

番号	所属	タイトル	展示会名	発表年月
1	NEDO 他	次世代ファインセラミックス製造プロセス基盤構築・応用開発プロジェクト	Nanotech 2023	2023 年 1 月
2	NEDO 他	次世代ファインセラミックス製造プロセス基盤構築・応用開発プロジェクト	Nanotech 2024	2024 年 1 月
3				

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。

「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

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

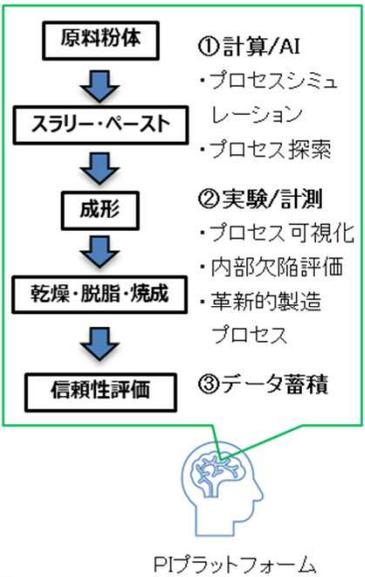


プロジェクトの概要

【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。



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)
 - ・SIP1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、マテリアル先導研究「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 >

想定する出口イメージ等

アウトプット目標	革新的なプロセス開発基盤を構築し、新規製造プロセスを20種以上開発。また、このプロセスを使用した新規部品の試作を実施。
アウトカム目標	・ファインセラミックスの出荷増加額: 約1兆円(2019年比) ・CO2削減量: 247万トン/年
出口戦略(実用化見込み)	・PIプラットフォームの自立的・継続的な運用を可能とする社会実装システムの構築。 ・各企業でのPIプラットフォームの活用による6G向けデバイス等の次世代ファインセラミックス部品の実用化。 ・国際標準化活動予定: 無、委託者指定データ: 無
グローバルポジション	・PJ開始時: DH ⇒ PJ終了時: LD ・現状、ファインセラミックス電子部品の世界市場における日本のシェアは約4割。6G向け電子部品、エネルギー、IoT、医療・ヘルスケア分野等の次世代ファインセラミックス市場においてトップシェアを目指す。

	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	プロセス可視化技術開発	プロセス可視化技術開発	プロセス可視化技術開発	プロセス可視化技術開発	プロセス可視化技術開発
	プロセスシミュレータ開発	プロセスシミュレータ開発	プロセスシミュレータ開発	プロセスシミュレータ開発	プロセスシミュレータ開発	プロセスシミュレータ開発
	革新的製造プロセス開発	革新的製造プロセス開発	革新的製造プロセス開発	革新的製造プロセス開発	革新的製造プロセス開発	革新的製造プロセス開発
	内部欠陥評価技術開発	内部欠陥評価技術開発	内部欠陥評価技術開発	内部欠陥評価技術開発	内部欠陥評価技術開発	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	製品適用に向けたプロセス技術開発	製品適用に向けたプロセス技術開発	製品適用に向けたプロセス技術開発	製品適用に向けたプロセス技術開発	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	プロセス開発基盤を活用した企業での製品開発	プロセス開発基盤を活用した企業での製品開発	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

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

- 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

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

- 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

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

- 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

<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

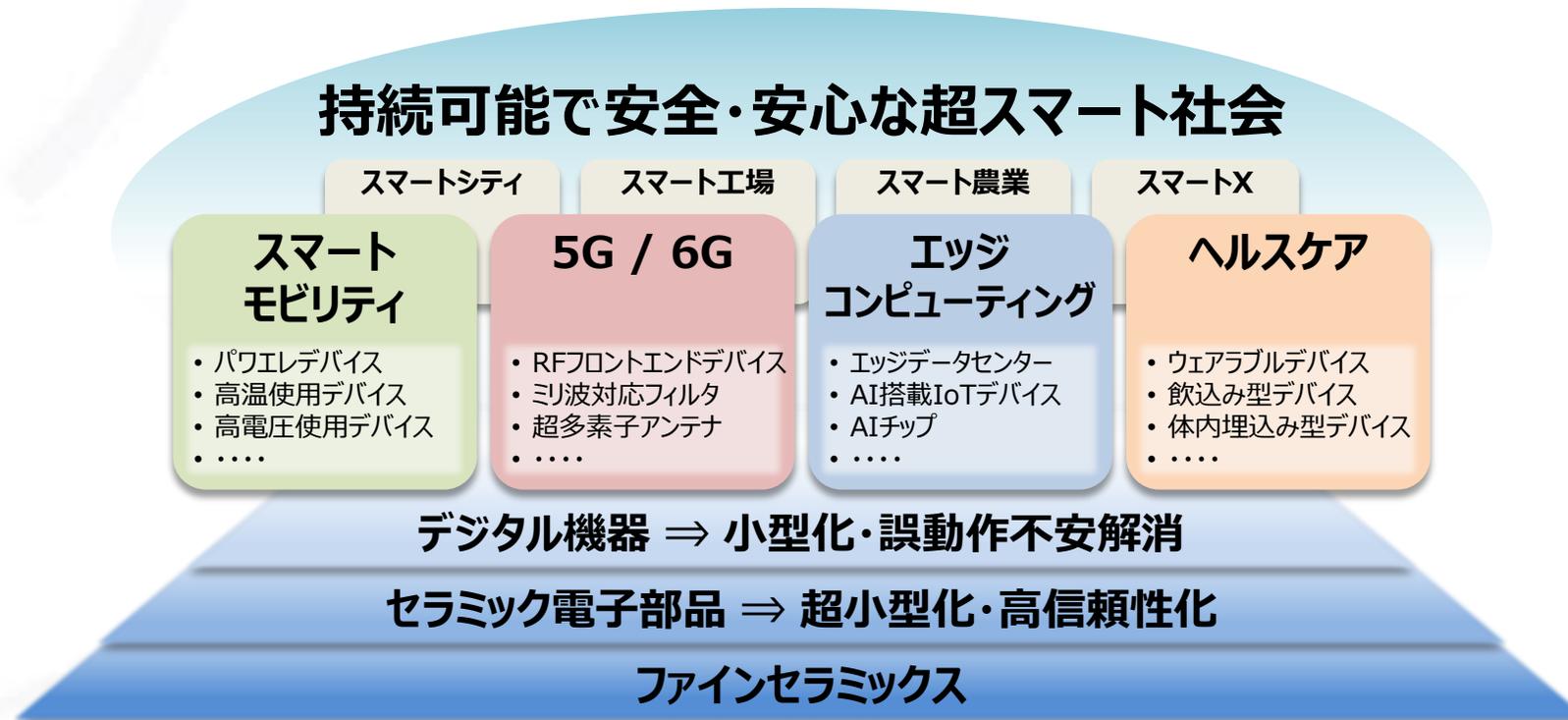
- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

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

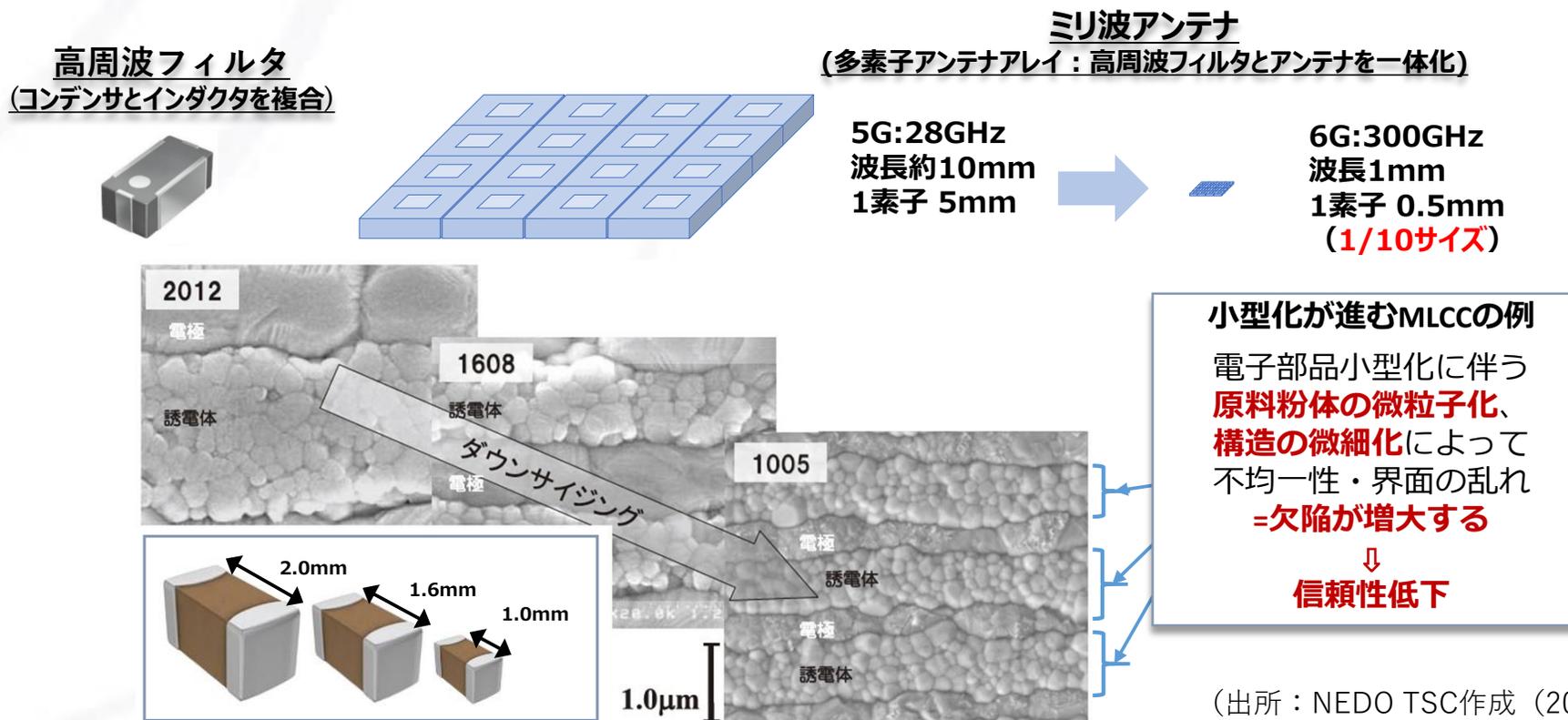
事業の背景

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

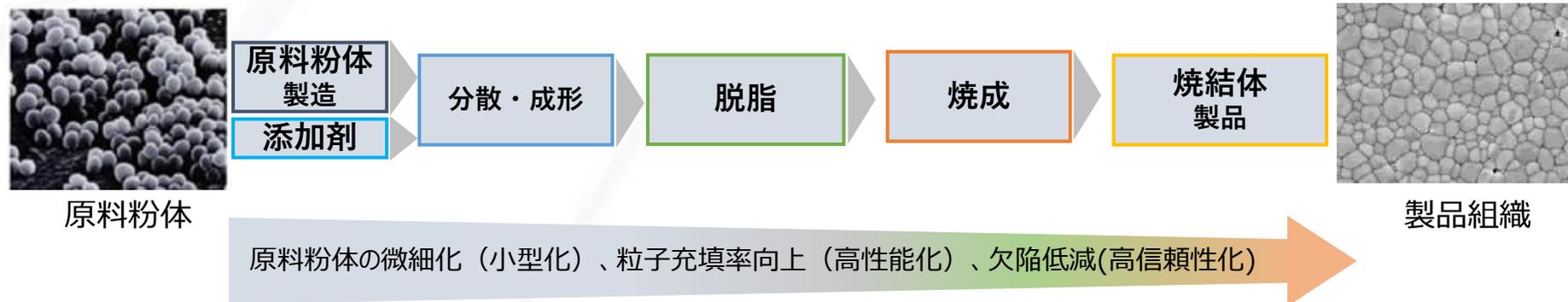
次世代ファインセラミックス電子部品として、6G向け高周波フィルタおよびミリ波アンテナ(多素子アンテナアレイ)が挙げられる。6G向けミリ波アンテナは5G向けミリ波アンテナの1/10サイズとなる。6Gで必要とされる小型化と高信頼性の両立のためには、ナノスケールの原料粉体の制御による欠陥の抑制が必要。



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・インフォーマティクス*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：プロセスインフォーマティクス

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・制御の為にインフォーマティクス技術。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

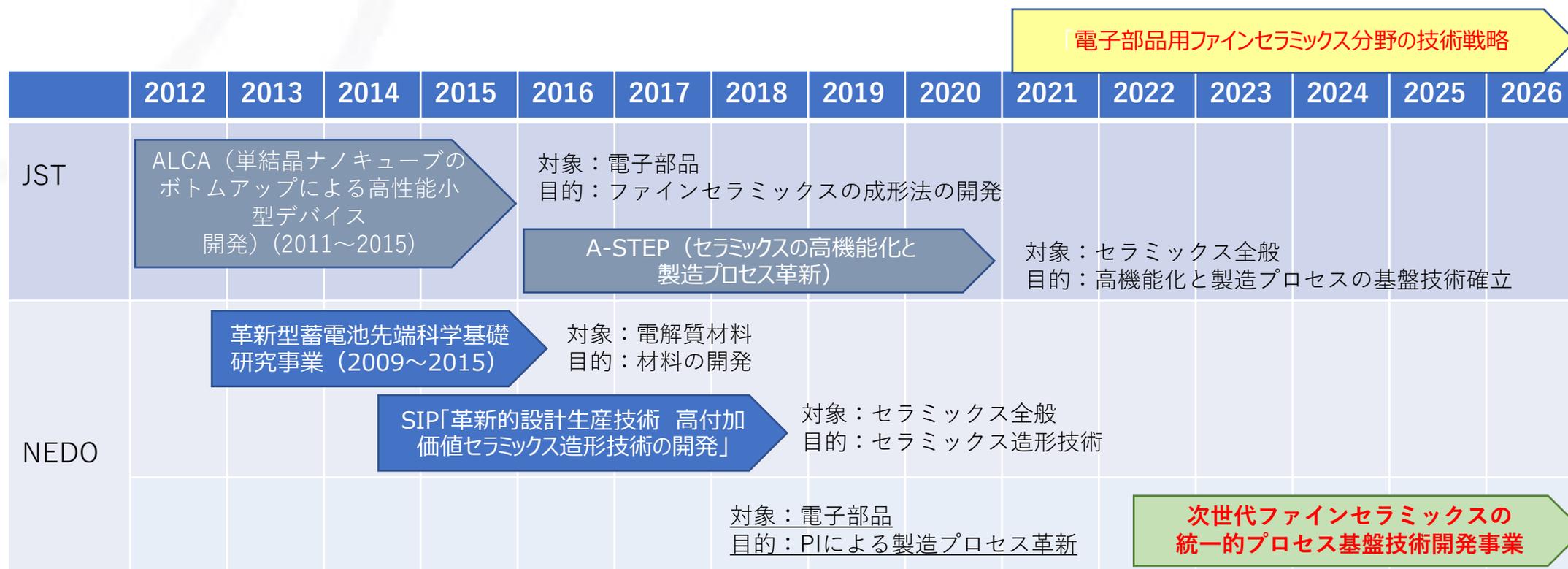
スーパーコンピュータ「富岳」をはじめとする国内のスパコンを最大限活用しつつ、シミュレーションとAI・データ科学の連携・融合を通じて**マテリアルの解析・開発を高度化**するための取組を進めていくことも重要である。

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）

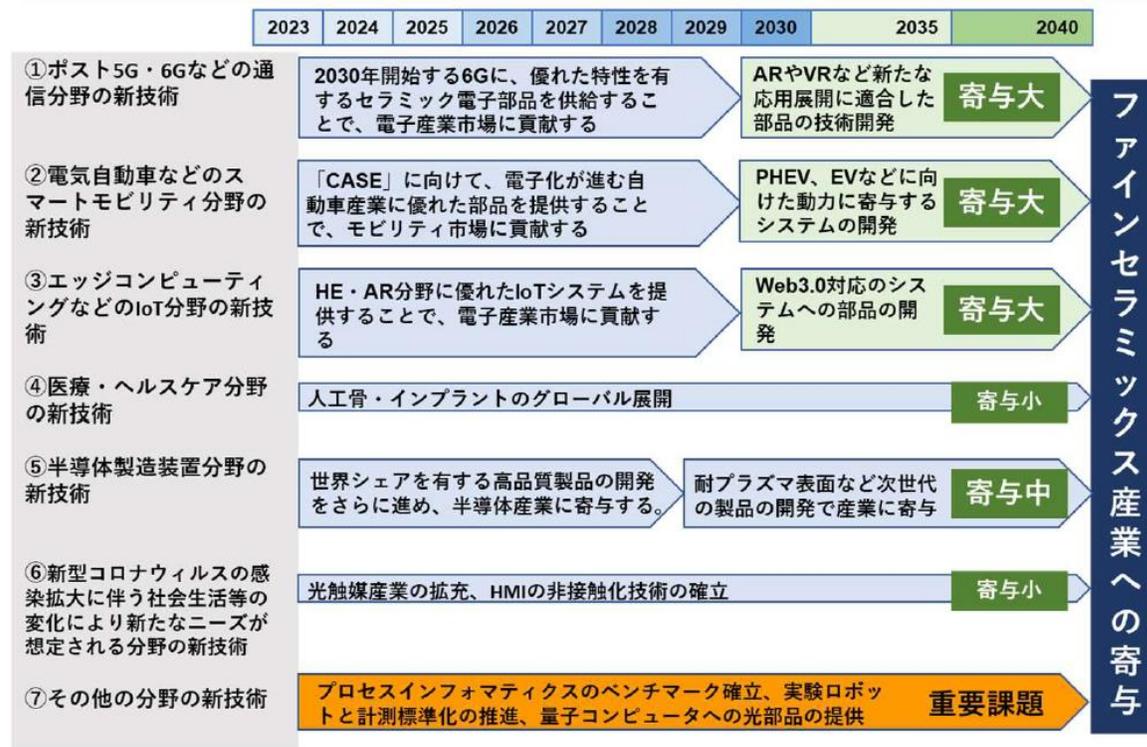
＜調査資料＞

「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。



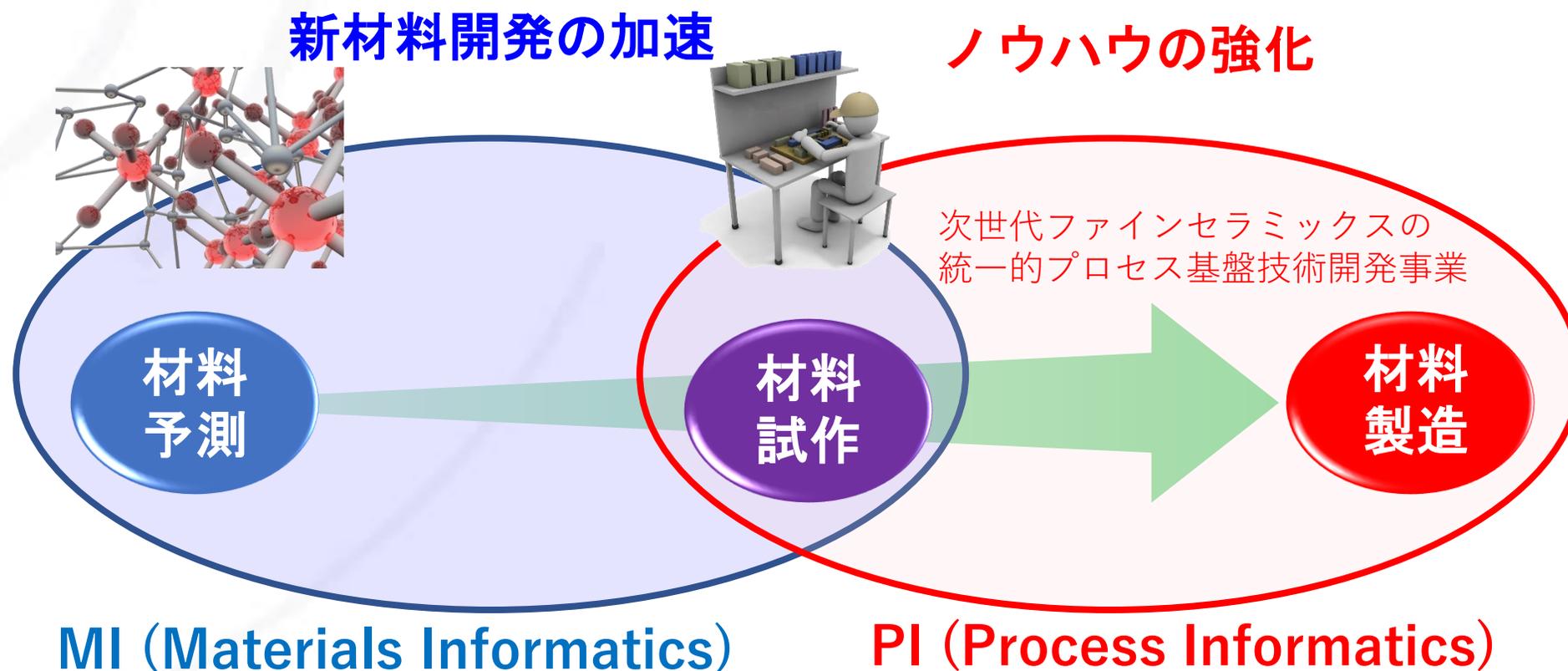
図 11 成長が期待される分野の 2030 年に向けた市場予測
 出典: 公開情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成(2021)

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

技術戦略上位置付け

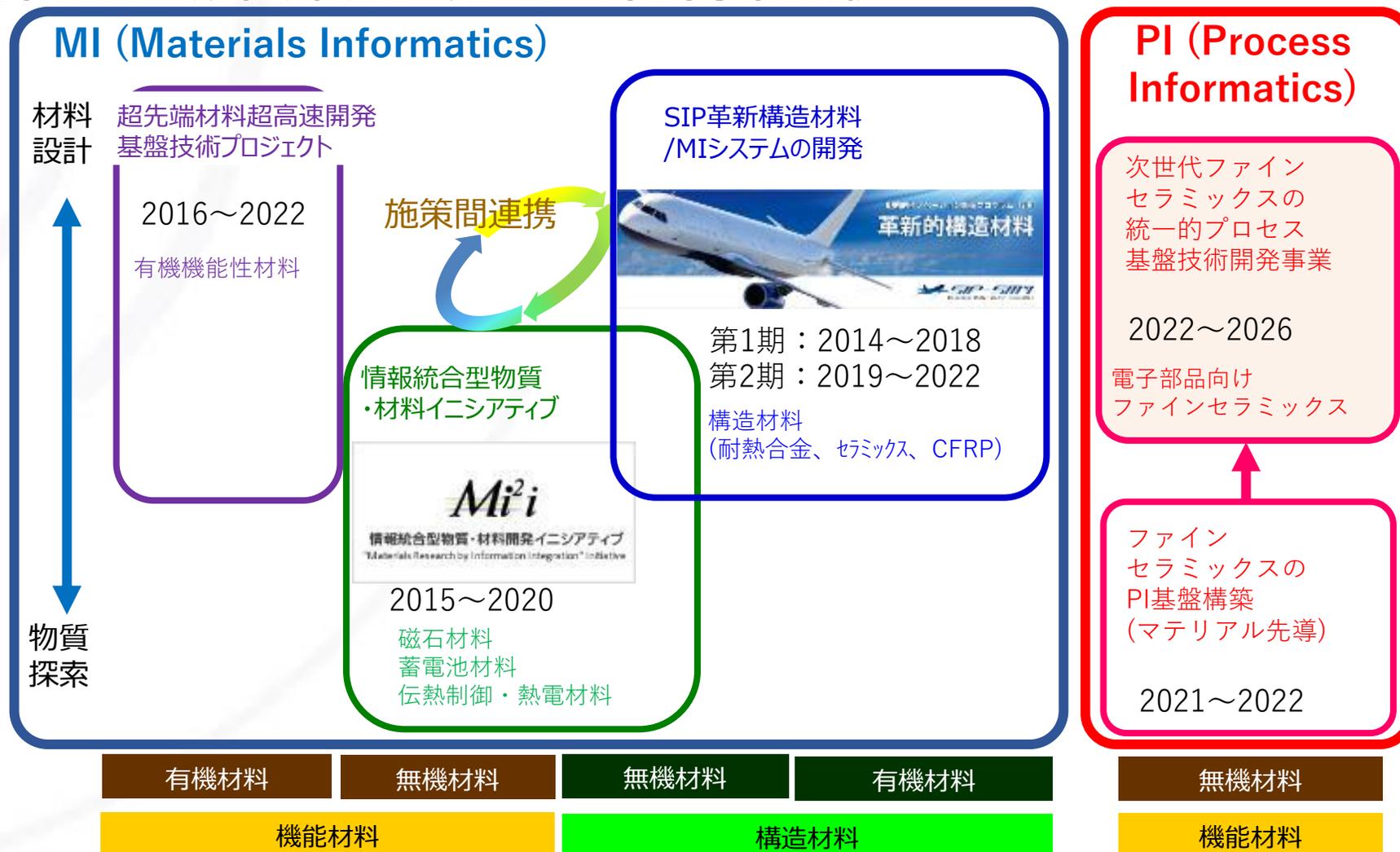
近年のインフォマティクス関連の研究プロジェクトと本事業の比較

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

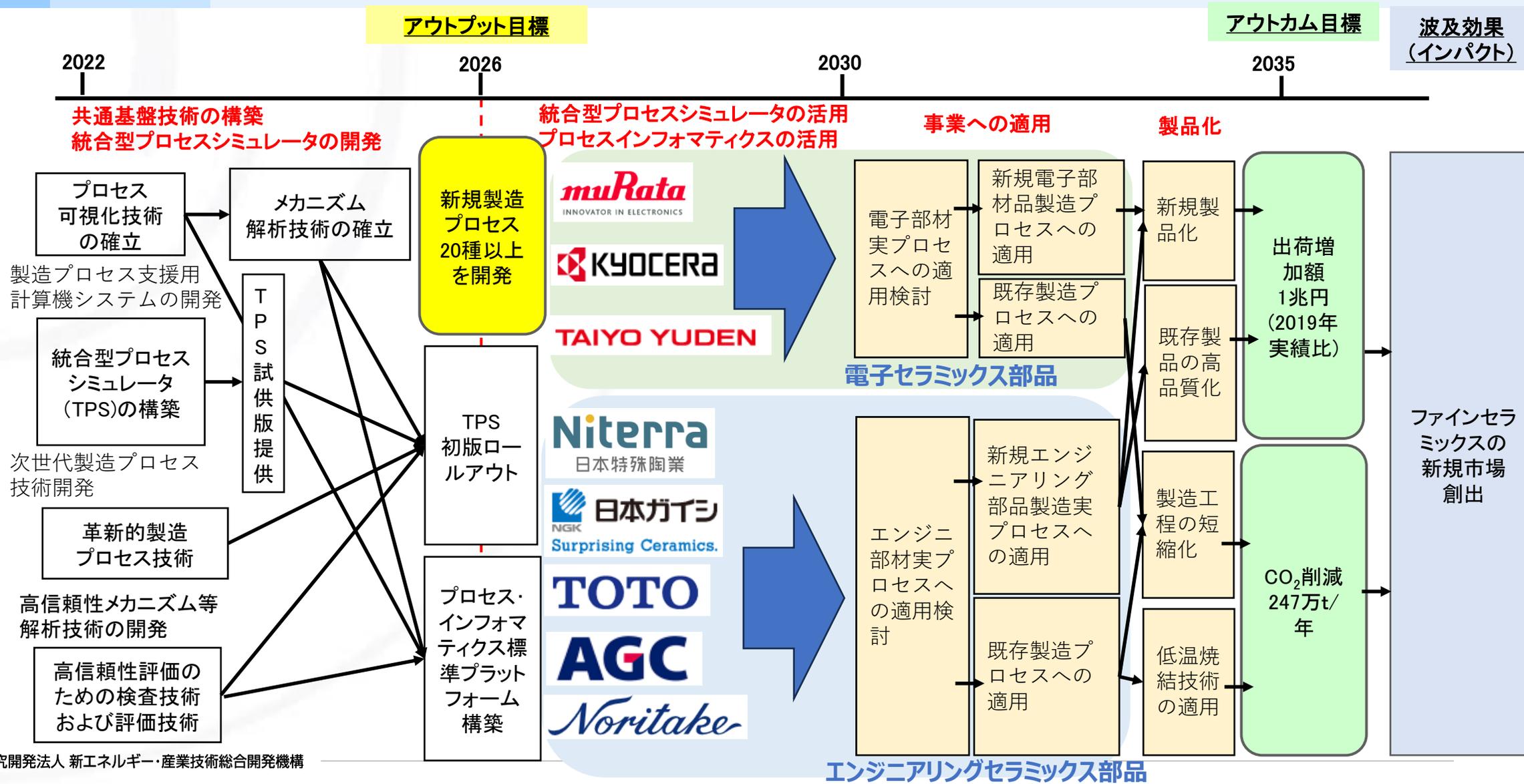
* 1:1991～2020年の30年間でファインセラミックスの市場は約2兆円拡大。本事業の実施により、2021～2035年の15年間に於いて2兆円÷30年×15年 = 1兆円の市場拡大を見込む。

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BIP	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PIP	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くて企業が判断 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

- 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

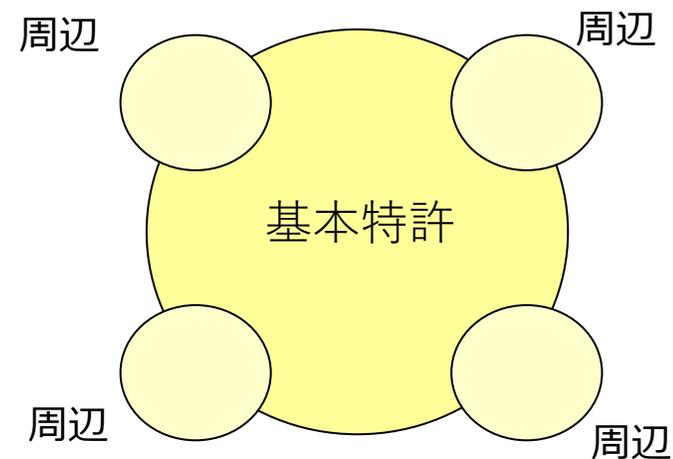
知的財産等に関する戦略

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

プロジェクト成果の出願に関する考え方



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

<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

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年間において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CO₂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年間において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

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）

	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

② 2035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

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

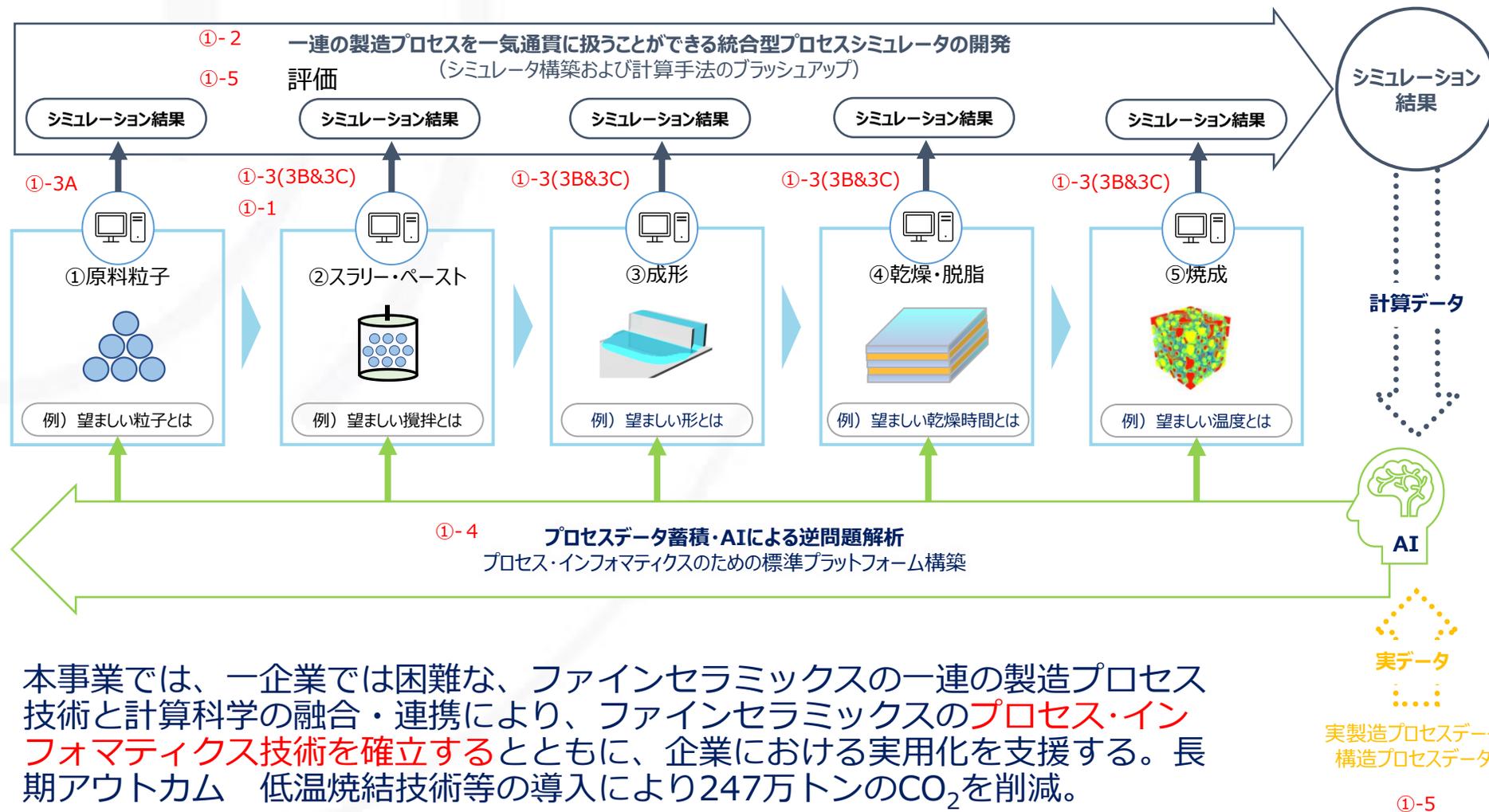
*2：窯業・土石製品の1年間のCO₂排出量の1/10 の削減効果

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ックス基盤構築

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説明を進めた。(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的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。 	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げる 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ことを期待される

<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

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



産総研 藤代PL、JFCC 木村SPL

①委託、②助成

主な担当：研究項目:①及び②

主な担当：研究項目:①-1～1-④



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）⇒公募〆切（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

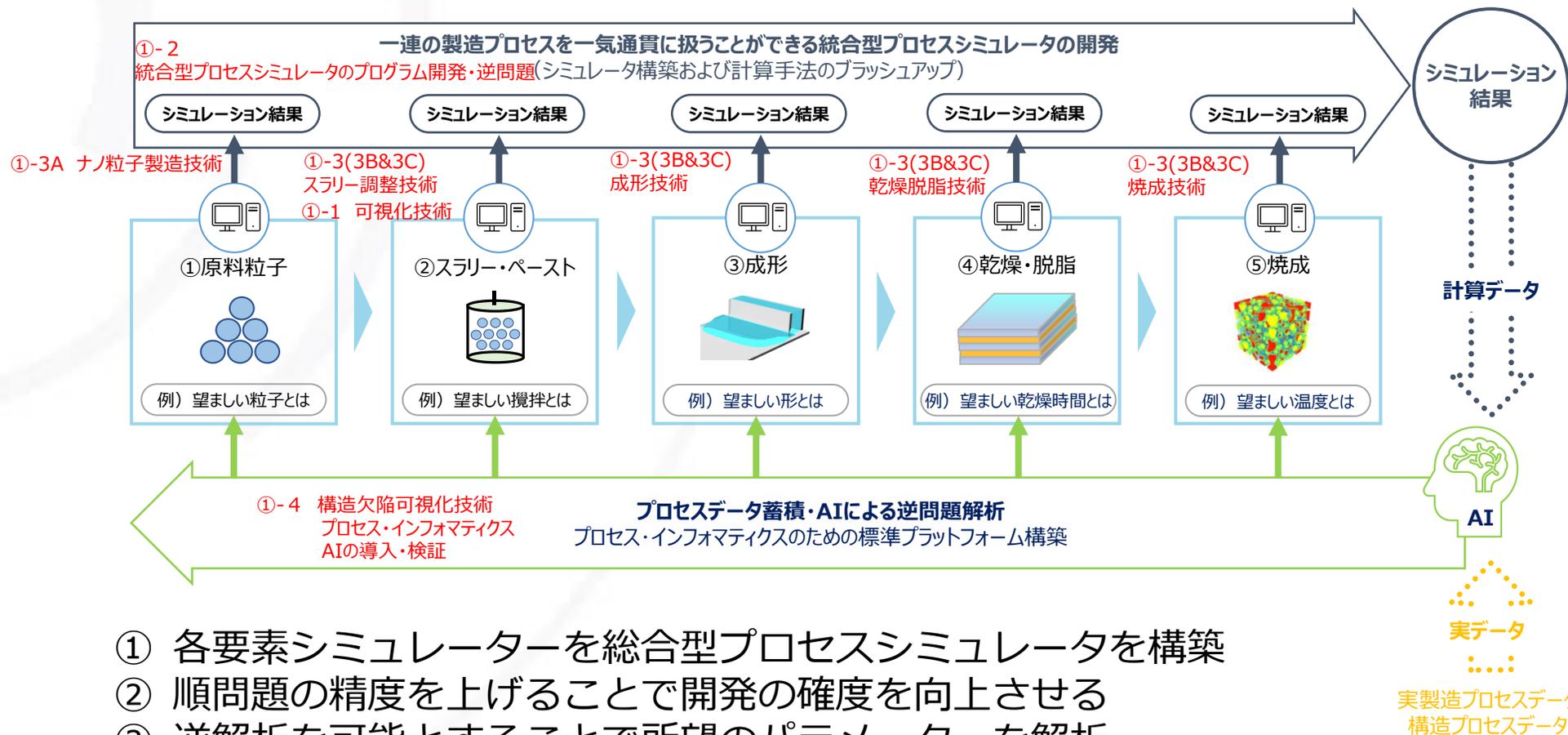
ネットワークを介したデータをのやり取りを一切しない。参画企業はデータをJFCCに持ち込むがその場でデータを削除し、JFCC内にデータを残さない。

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

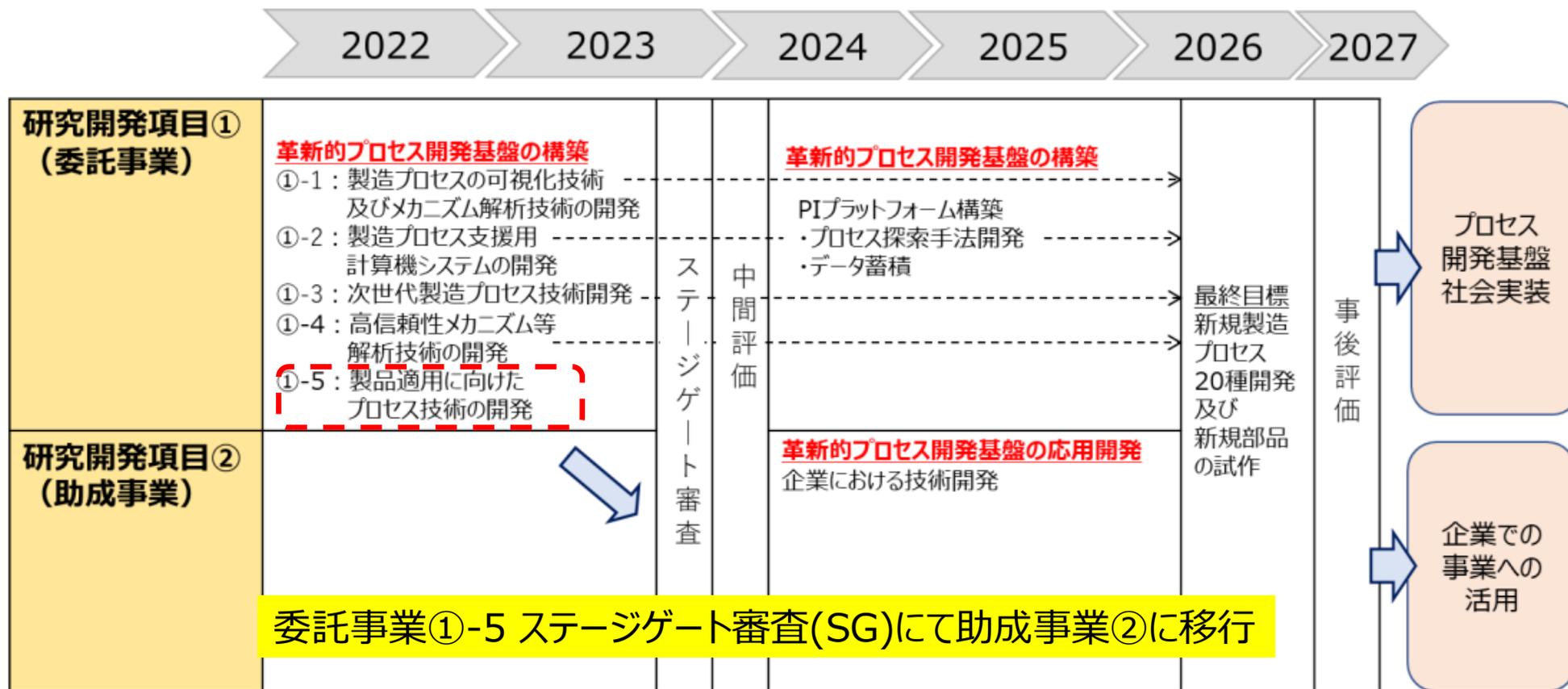
- 2022年度～2023年度までは実績、2024年度以降は見込み
- 2023年度よりNEDO運営費を含む
- 2023年度 加速予算(+1.3億円) 後ろ倒し (-1.0億円)
- 2024年度 加速予算(+0.9億円)
- ①委託事業 NEDO負担率：100%
- ②助成事業 参画企業の負担率は50% 負担率は妥当

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ーを解析
- 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



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で開催し、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ー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



ホーム > ニュース > ニュースリリース一覧 > NEDOと産総研、ファインセラミックス内部のキラ欠陥の可視化技術を開発

NEDOと産総研、ファインセラミックス内部のキラ欠陥の可視化技術を開発

ー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ー

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

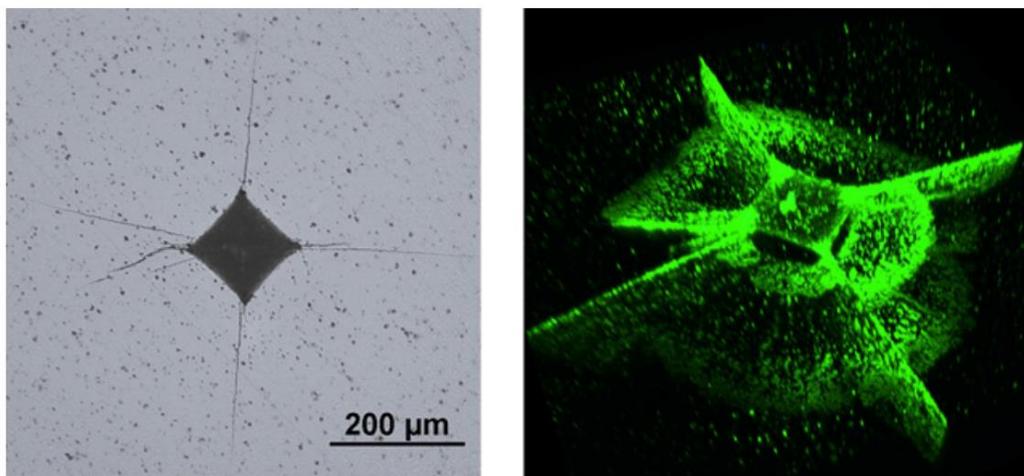


図2 アルミナに導入されたピッカース圧痕と亀裂の金属顕微鏡による反射像（左）
レーザーを用いた蛍光顕微鏡観察より得られた亀裂形態の3次元像（右）
（右図中で緑に光っている部分が亀裂を表している。）

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

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

次世代ファインセラミックス製造プロセスの基盤構築・応用開発の年次計画

研究
開発
項目

2022

2023

2024

2025

2026

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

・プロセス可視化技術での
シミュレータ用モデル等のデータ解析
(プロセス解析技術の確立)

①-2

製造プロセス支援用計算・システムの開発

・統合化を目指した
プロセスシミュレータの開発
(要素技術の確立)

①-3

次世代製造プロセス技術開発

・次世代製造プロセス技術向け
シミュレータ用モデル材料等開発
(要素技術の確立)

①-4

高信頼性メカニズム等解析技術開発

・高信頼性メカニズム等
AI画像解析技術の開発
(解析技術の確立)

①-5

製品適用に向けたプロセス技術の開発

SG

助成事業②
製品化を加速

中間
評価

連携・フィードバック

連携・フィードバック

最適ルートの導出

(データセット構築
・計算予測検証)

(技術統合化)

(計算予測での
プロトタイプ作製)

(学習モデル等構築)

次世代セラミックス部品製造レベルでの検証

企業向けカスタマイズでの事業への活用

【プロジェクト終了後】
データ駆動型プロセス設計プラットフォーム(仮)での運用

アウトカム達成に向けた戦略・具体的取組

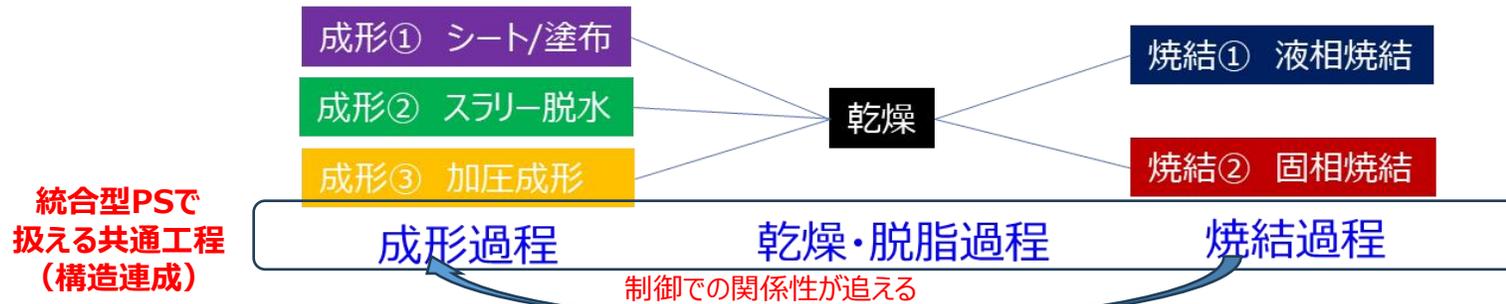
アウトカム実現に資するアウトプット(新規プロセス開発)のカギとなるのは[プロセスシミュレータ\(PS\)](#)

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、太陽誘電)	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	非酸化物スプレードライ粉	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 鋳込成形	常圧・加熱	大気 液相焼結
日本ガイシ	酸化物スラリー	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)



2023.06.14 集中研技術会議

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

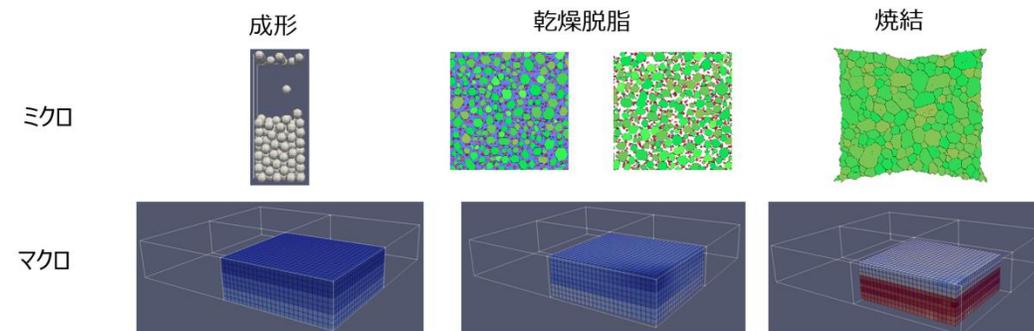


アウトカム(売り上げ1兆円、CO2削減)目標を 実現するための新規プロセス開発

- ・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) (マイクロ・マクロ プロセス動的挙動)	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 (マイクロ・マクロ プロセス動的挙動)	<ul style="list-style-type: none"> ・加熱脱脂 ・常温乾燥 ・固相焼結 ・液相焼結 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 (マイクロ・マクロ プロセス動的挙動)	<p>混合成形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・混合、多層圧着、 ・シート成形、CIP、塗布、鋳込み 等 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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～マイクロ構造)	<p>成形</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鋳込成形 ・フィルター成形 ・シート成形 	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・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～マイクロ構造)	<p>乾燥脱脂</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加熱脱脂 ・常温乾燥 	<ul style="list-style-type: none"> ・マイ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) 	<ul style="list-style-type: none"> ・各種モデル実験との整合
PFMコード (ナノ～マイクロ構造)	<p>焼結</p> <ul style="list-style-type: none"> ・固相焼結 ・液相焼結 ・異種材の積層焼結 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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um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」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。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 um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 um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キラ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	ステージゲ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。

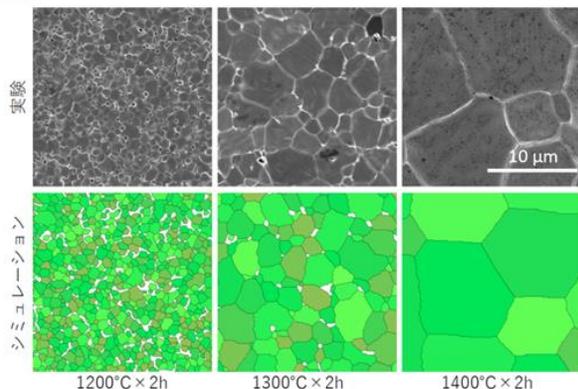
研究開発成果

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

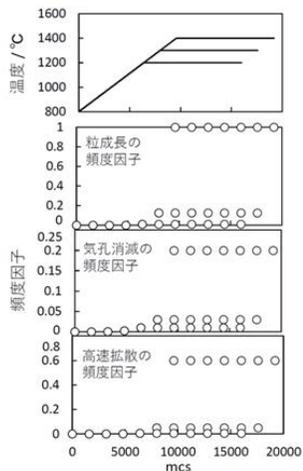
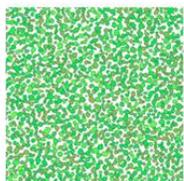


BaTiO₃ (BT-01、初期粒径0.4 μm) の焼結後組織のSEM写真とシミュレーション画像

- ・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

焼結シミュレーション条件	
項目	条件
格子サイズ	500×500 cell
BT-01の初期粒径	4.46 cell
粒界エネルギー (γ_{GB})	1
表面エネルギー (γ_{SV})	1.4
モンテカルロステップ (mcs)	19200



温度とmcs、頻度因子とmcsの関係

実験よりシミュレーションパラメータ取得

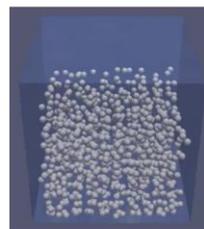
プロジェクト開始後 (2023年度末)

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

3Q終了時点

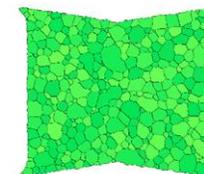
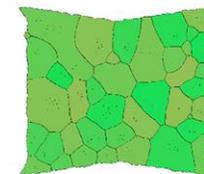
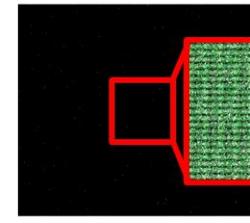


4Q

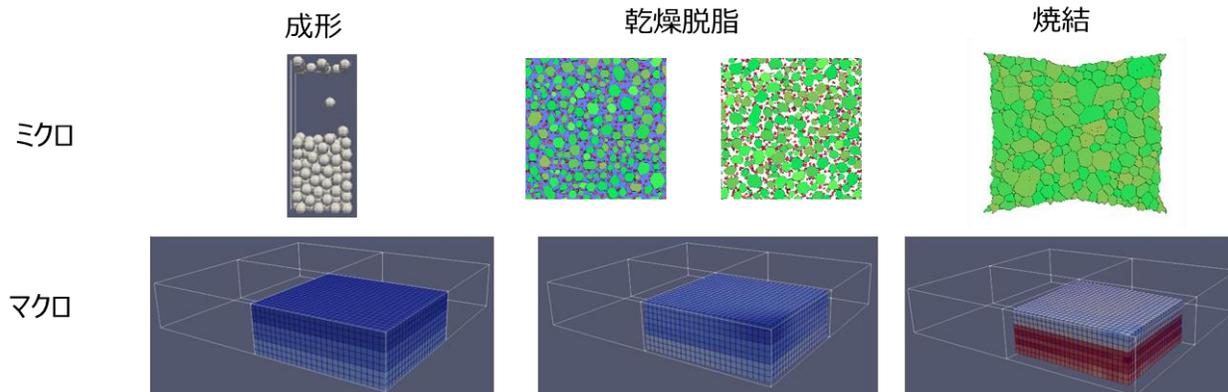


単純系→実部材模擬系
粒子数 1,000→20,000

○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

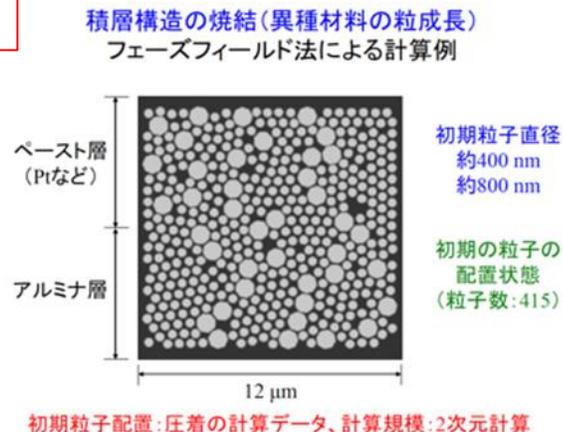
研究開発項目 ①-2

プロジェクト開始前 (2021年先導研究時)

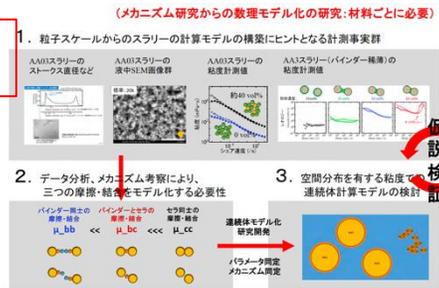
プロジェクト開始後 (2023年度末)

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

PFM法

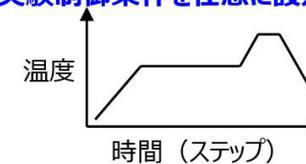


DFEM法



PFM法

- 3) 物理法則に基づいて自動で凝集構造(初期の隙間)・配列を計算<予測>
- 4) 拡散計数等の物理定数を設定、温度プロファイル等の条件入力(実験制御条件を任意に設定可能)



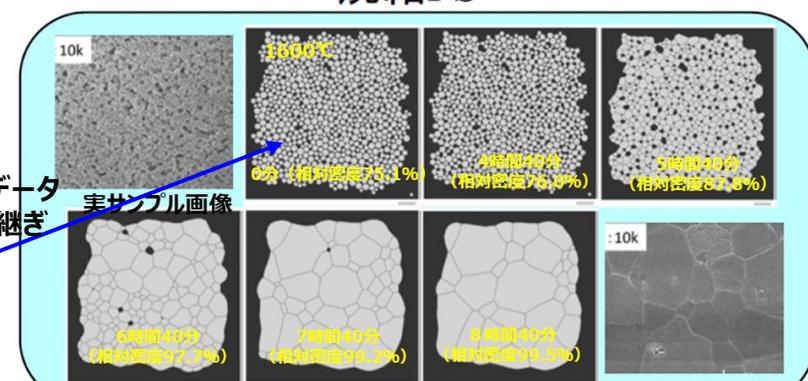
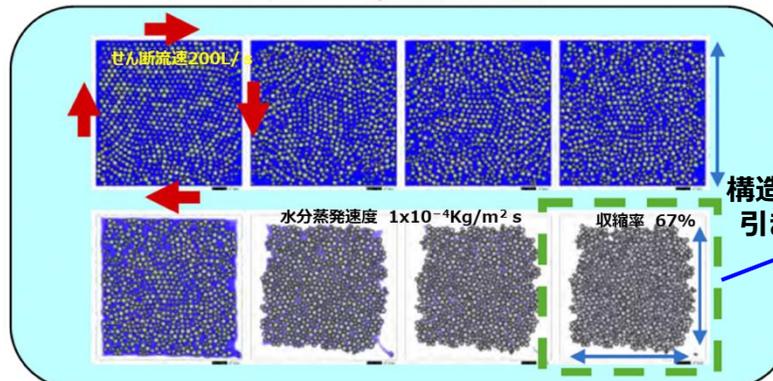
1) 入力情報：スラリー組成の情報
(粒子径分布、形状、粘弾性、バインダー相互作用)

2) 攪拌・せん断力・圧力等の外力の入力
(実験制御条件を任意に設定可能)



成形・乾燥脱脂PS

焼結PS



異相の界面関数での数理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

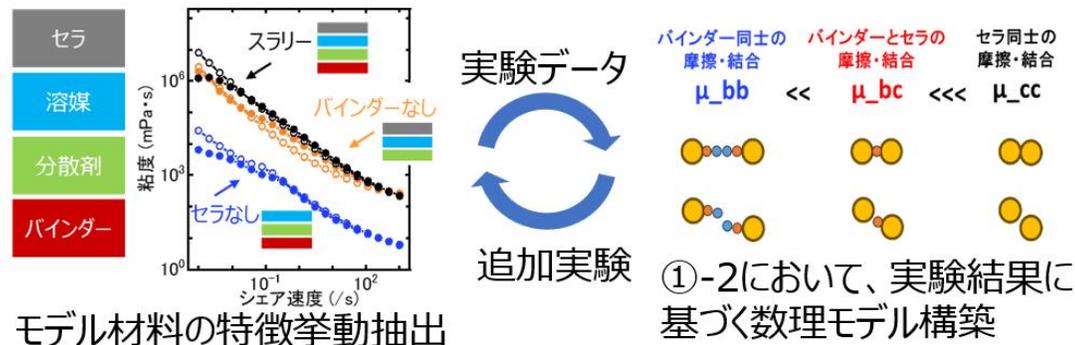
研究開発項目 ①-1、①-2、①-3

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	
セラ	Al ₂ O ₃ -1	Al ₂ O ₃ -2				Al ₂ O ₃ -3			Al ₂ O ₃ -4	AA03	BaTiO ₃ -1	BaTiO ₃ -2			
分散剤	分散剤A										分散剤B	分散剤C			
バインダー	Binder-A	Binder-B	Binder-A	Binder-C	Binder-D	Binder-B	Binder-A	Binder-A	分散剤B	Binder-E	Binder-F	分散剤C			
溶媒	水										IPA/BuOH	IPA/BuOH	IPA/3メトキシ-1ブタノール		
助剤等	---										可塑剤DOP	---	可塑剤DOP		MgO, MnO ₂ , Dy ₂ O ₃ , BaSiO ₃
セラ構造: SEM															
スラリー内部構造: 誘電率顕微鏡															
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	0.27	0.27	
密度(g/cm ³)	2.37	2.01	2.02	1.57	1.55	2.02	2.05	1.60	1.57	1.96	1.31	1.30	1.35	1.31	
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	51.4	50.5	
表面張(mN/m)	12.6	21.5	10.7	30.3	29.0	4.6	< 2	< 1	3.0	21.2	16.2	15.7	16.8	16.4	
粘度(mPa·s @10/s)	249	240	2,000	113	870	15,500	23,200	21,740	3,180	337	240	86	305	314	
せん断応力(Pa@10/s)	3.2	3.1	25.9	1.4	11.1	197.4	295.8	277.0	40.5	4.3	3.1	1.1	3.8	3.9	
熱伝導率(W/mk)	1.87	2.02	1.91	2.02	1.91	1.14	1.11	0.89	0.38	1.33	0.19	0.18	0.20	0.21	
比熱(MJ/m ³ 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	1.79	1.77	
潜熱(kcal/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	3.5	4.5	
相対密度(%)	71.2	62.6	65.9	55.8	63.8	64.8	64.9	51.0	65.0	69.9	40.0	89.4	89.4	91.5	
ヤング率	0.27	1.98	(0.5)	1	0.4	1.7	2.7	測定不可	1.52	0.31	1.55	1.50	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	測定不可	測定不可	測定不可	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	46.6	47.3	53.5	50.3	---	46.4	50.2	59.8	32.7	42.2	49.6	
X線CT															
断面構造															
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	98.8	96.8	

12種・20項目の物性等のデータセットを取得

成形シミュレータの数理モデル構築に貢献



追加実験

課題①-2において、スラリーのレオロジー挙動を再現する成形シミュレータの開発に成功

後半は、実験研究者もシミュレーション計算をおこない課題①-2へフィードバックすることによってシミュレータ開発を加速

研究開発成果

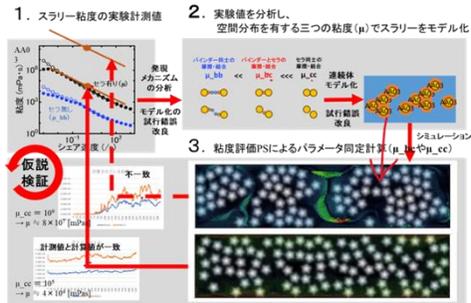
研究開発項目 ①-2

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
開発数理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

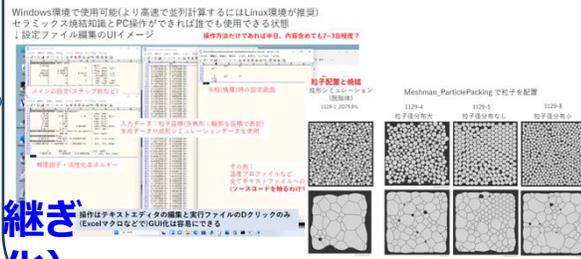
粒度・粘度・外力・初期構造
=> ①成形・乾燥構造計算実験

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

DFEM 成形・乾燥シミュレーション プログラムWindows版



PFM 焼成シミュレーションプログラム Windows版の画像 (インプットファイルと計算構造画像)



形状+溶媒・バインダ・粒子間の相互作用力(興行き考慮)

実験で取得できないパラメータも任意に入力可能

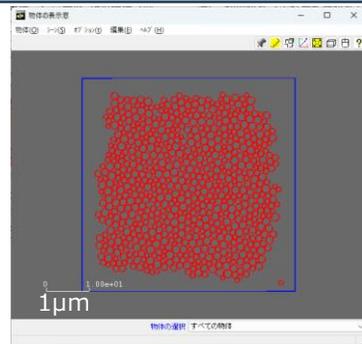
INP形式で出力

INP形式を焼結計算の
入力形式に変換プログラム作成

STL形式で出力対応

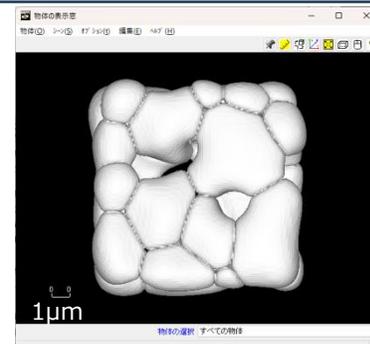
汎用描画ソフト (microAVS*など) で“成形・乾燥・焼結計算”の構造画像の確認が可能フォーマット

乾燥脱脂後粒子
(粒子の輪郭)



STL形式は有限要素
計算ソフト (ANSYS
等) の構造データとし
て利用可能

焼結計算(過程)
粒子表面



外部(市販)シミュレータ
との連携も可能

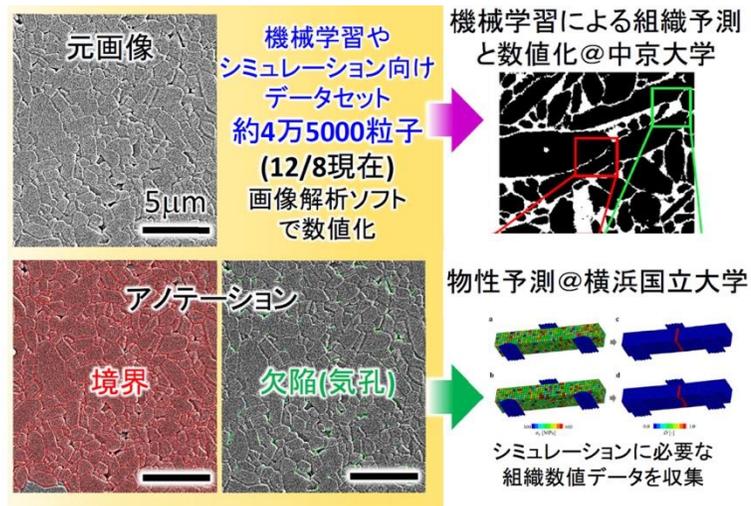
*<https://www.cybernet.co.jp/avs/products/microavs/>

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)

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

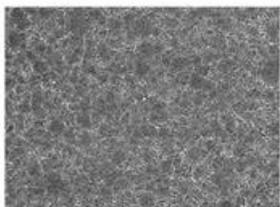


物性予測@横浜国立大学
シミュレーションに必要な組織数値データを収集

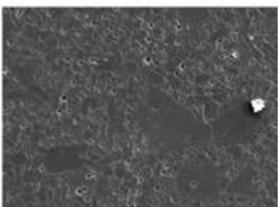
3種類の組織(教師)データ

各班共通材

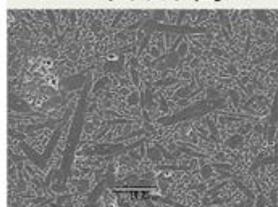
機械学習のハードルが高い



- 組織が比較的均質
- 等軸状粒子が多い
- 気孔が見当たらない



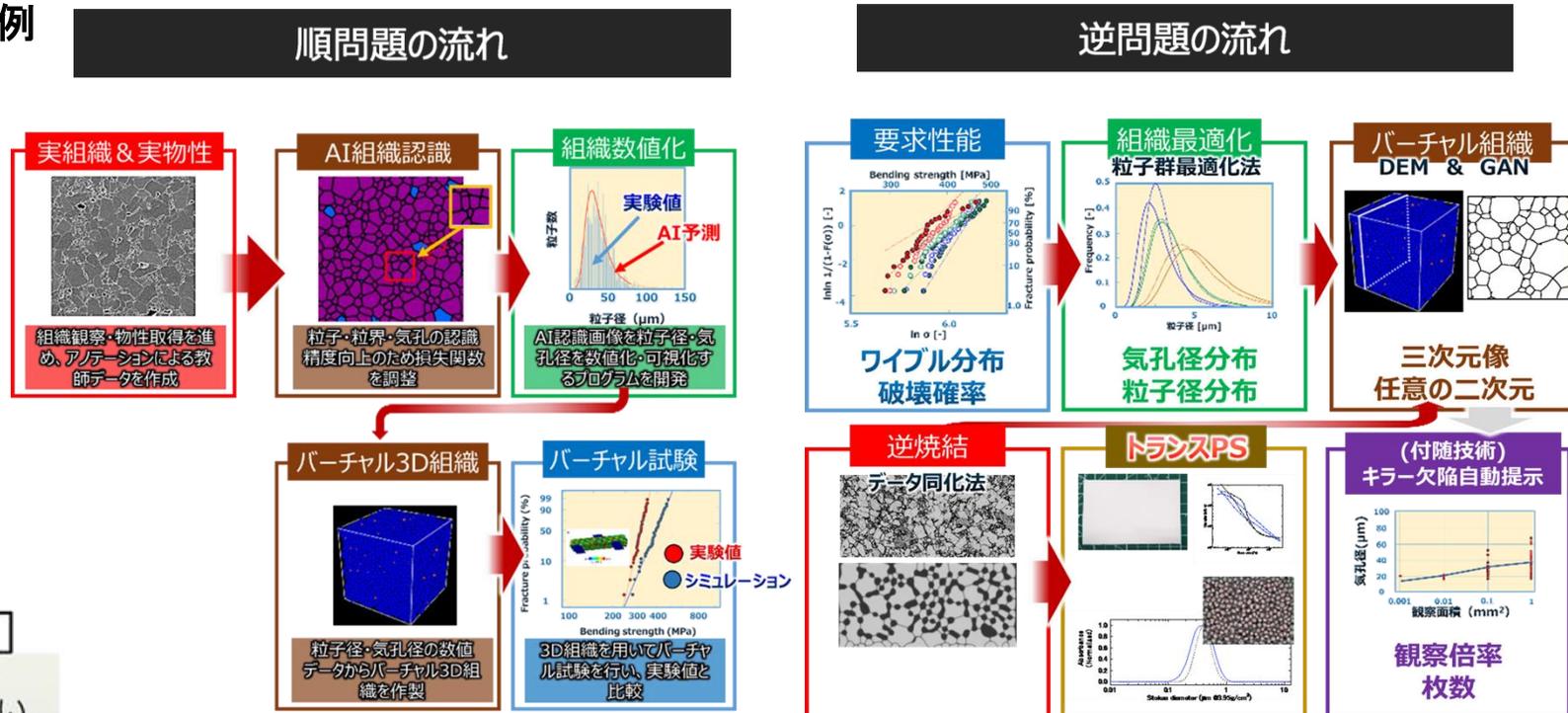
- <D班提供>
- 粒成長が観察
 - 気孔が散見



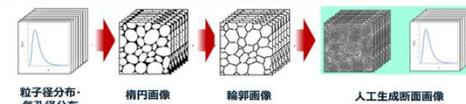
- 異方性粒成長
- 粒界ガラス相
- 気孔

プロジェクト開始後 (2023年度末)

機能から構造を予想する逆解析に成功



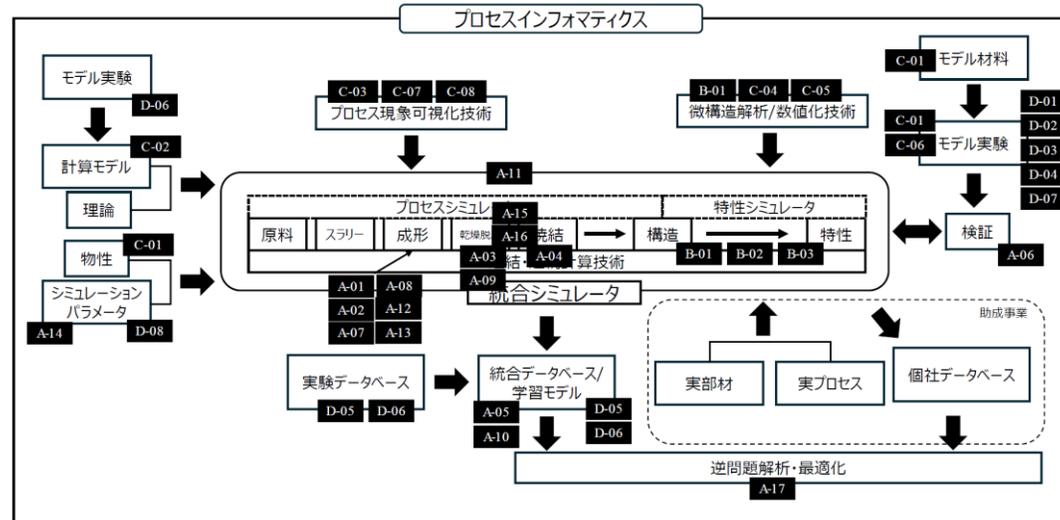
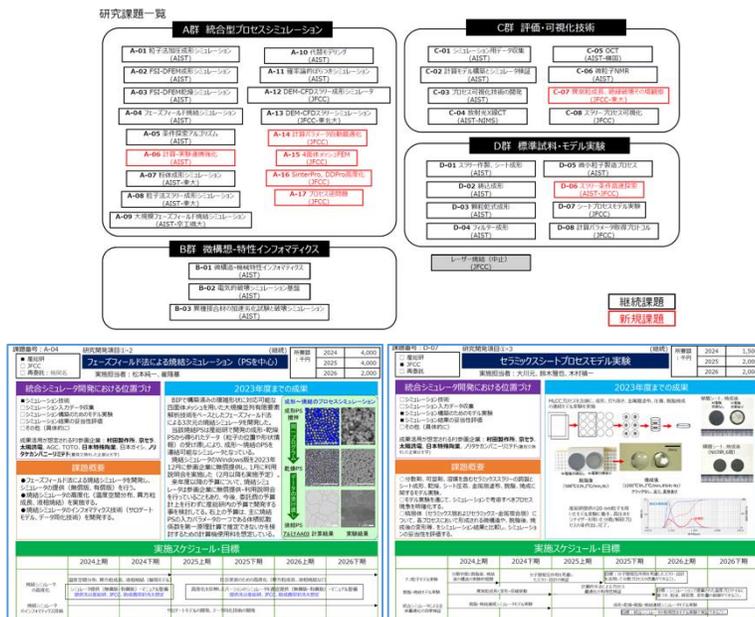
【粒子群最適化法】：実験値と逆解析による粒子径分布の一致を確認
【AIによる人工画像生成】：任意の粒子径分布・気孔径分布から、楕円(輪郭)画像を生成しGANにより人工断面画像を合成。



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

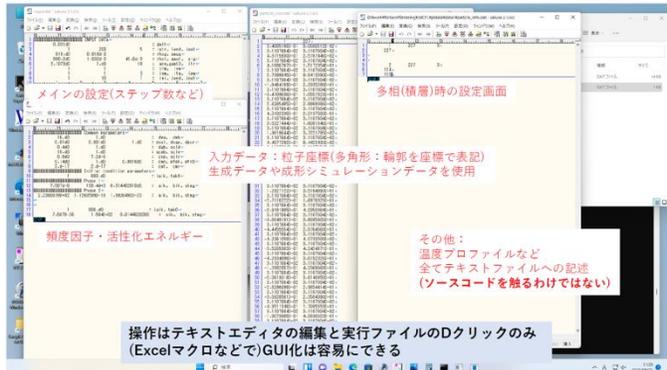
1. プロジェクト内での事業後半での共通課題の精査



参画機関での現状及び事業後半での共通開発課題の確認 (スクリーニング) を1-2月で実施

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

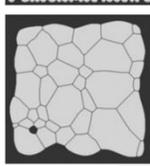
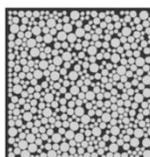
Windows環境で使用可能(より高速で並列計算するにはLinux環境が推奨)
セラミックス焼結知識とPC操作ができれば誰でも使用できる状態
↓設定ファイル編集のUIイメージ



粒子配置と焼結

成形シミュレーション (脱脂体)

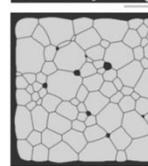
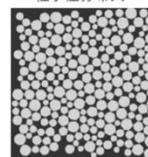
1128-1_2D75.8%



Meshman_ParticlePackingで粒子を配置

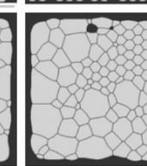
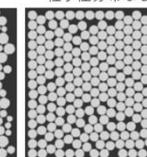
1129-4

粒子径分布大



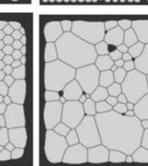
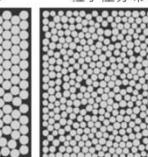
1129-5

粒子径分布なし



1129-8

粒子径分布小



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：プロセス一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。

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

「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）分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2024年6月18日（火）10:00～16:25

場 所：ステーションコンファレンス川崎 A～C 会議室（リモート開催あり）

出席者（敬称略、順不同）

<分科会委員>

分科会長	鷺津 仁志	兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 教授
分科会長代理	富谷 茂隆	奈良先端科学技術大学院大学 データ駆動型サイエンス創造センター 先端科学技術研究科 物質創成科学領域 計測インフォマティクス研究室 教授
委員	井出 裕史	株式会社日本政策投資銀行 企業金融第1部 課長
委員	今中 佳彦	上智大学 研究推進センター シニアリサーチアドミニストレーター
委員	須田 聖一	静岡大学 工学部 電子物質科学科 大学院総合科学技術研究科工学専攻 電子物質科学コース 教授
委員	高井 千加	岐阜大学 工学部 化学・生命工学科 物質化学コース 准教授 東北大学 多元物質科学研究所 准教授
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

<推進部署>

金子 和生	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 部長
日高 博和	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 統括主幹
高島 英彰(PM)	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査
大類 和哉	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 専門調査員
柳本 勝巳	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主任研究員
原 信也	NEDO 材料・ナノテクノロジー部 主査

<実施者>

藤代 芳伸(PL)	産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 研究部門長
木村 禎一(SPL)	一財 ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 グループ長
岡崎 俊也	産業技術総合研究所 ナノカーボンデバイス研究センター 首席研究員
松本 純一	産業技術総合研究所 材料コンピューターショナルデザイン研究センター 研究チーム長
陶 究	産業技術総合研究所 化学プロセス研究部門 研究グループ長
福島 学	産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 研究グループ長
青柳 倫太郎	産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 主任研究員
寺坂 宗太	一財 ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 上級研究員
宮川 直通	AGC 株式会社 技術本部 先端基盤研究所 ケミカルプロセス部 無機ケミカルプロセスチーム プロフェッショナル
高浪 健太郎	AGC 株式会社 技術本部 先端基盤研究所 ケミカルプロセス部 無機ケミカルプロセスチーム マネージャー

稲山 伸悟	京セラ株式会社 基盤技術研究所 材料機能研究部 材料機能研究 1 課 課責任者
稲岡 康二	株式会社ノリタケカンパニーリミテド 研究開発センター グループリーダー
川村 拓也	株式会社ノリタケカンパニーリミテド 知財企画部 部長
森 行正	日本ガイシ株式会社 研究開発本部基盤技術研究所 解析 G マネージャー
沖村 康之	日本特殊陶業株式会社科学研究所 参事
山本 洋	日本特殊陶業株式会社科学研究所 主管専門職
岩崎 譽志紀	太陽誘電株式会社 開発研究所 材料科学研究室 副主席研究員
清水 寛之	太陽誘電株式会社 開発研究所 材料開発部 次長
清原 正勝	TOTO 株式会社 フェロー
久保 文靖	TOTO 株式会社 セラミック開発第二部 セラミック開発第四グループ 主席技師

<オブザーバー>

竹内 勝彦	経済産業省 製造産業局 素材産業課 研究開発専門職
-------	---------------------------

<評価事務局>

山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
木村 秀樹	NEDO 評価部 専門調査員
北原 寛士	NEDO 評価部 専門調査員
指田 丈夫	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. プロジェクトの説明
 - 5.1 プロジェクトの説明
 - ・意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
 - ・目標及び達成状況（概要）
 - ・マネジメント
 - 5.2 プロジェクトの詳細説明
 - ・目標及び達成状況（詳細）
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの補足説明
 - 6.1 製造プロセス支援用計算機システムおよび高信頼性メカニズム等解析技術の開発
 - 6.2 計算機支援に向けた製造プロセスの可視化技術及び
メカニズム解析技術および次世代製造プロセス技術の開発
 - 6.3 製品適用に向けたプロセス技術の開発
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)

【鷺津分科会長】 分科会長を拝命いたしました鷺津と申します。神戸の南にポートアイランドがあり、「京」コンピュータであるとか、「富岳」などがある研究所と同じ敷地でスパコンを使った研究開発を行っています。対象としては自動車材料等が多く、有機/無機、金属材料のシミュレーションを主とし、原子レベルからメソスケールまでを扱っています。本日は、セラミックスに関して専門の先生方の御意見を聞きながら取りまとめてまいります。また、本プロジェクトがよりよいものとなるように、ぜひ皆様、活発な御意見をいただけますと幸いです。よろしくお願いいたします。

【富谷分科会長代理】 富谷と申します。奈良先端科学技術大学院大学にて、バイオ/情報/物質の3領域が一体となって活動しているデータ駆動型サイエンス創造センターに所属しています。また、同学では「計測インフォマティクス研究室」を運営しております。私の研究室では、半導体の材料、デバイスの計測において、具体的には透過電子顕微鏡、走査電子顕微鏡、三次元アトムプローブ、フォトルミネッセンス、カソードルミネッセンスを組み合わせ、マルチモーダルのデータ科学を使って材料物性、あるいはデバイス評価を行うといった研究をしています。また、前職では主にプロセスインフォマティクスも注力してやっておりましたので、そこでの知見が本日の中間審査にて皆様の役に立てられれば幸いです。よろしくお願いいたします。

【井出委員】 井出と申します。日本政策投資銀行は主に中堅企業から大企業様向けの長期の融資及び投資をさせていただいている政府系の金融機関になります。私が所属する企業金融第1部は、素材のお客様を担当しております、鉄/化学/非鉄/窯業/土石/セメント/ガラス等々ございます。その中でも私は化学のお客様を担当するラインにおります。金融機関という立場から何か今回の委員会でも有意義なコメントができればと思っておりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

【今中委員】 上智大学の今中と申します。40年近く電子セラミックスの研究開発をやってきております。前々職の富士通では、疑似量子コンピュータを使い、イジングモデルでのマテリアルインフォマティクス等の研究開発も行っておりました。また、このプロジェクトでは長く技術推進委員等に携わりながら見てきており、中間評価を非常に楽しみにしておりました。本日は評価として貢献できればと思っていますので、よろしくお願いいたします。

【須田委員】 静岡大学の須田と申します。実は2週間ほど前に2回目のコロナにかかってしまい、まだ喉が本調子ではありませんが、よろしくお願いいたします。私の専門はセラミックスであり、特に電気化学的な観点から燃料電池や他の環境材料に取り組んでいます。今回、特に情報とものづくりをどのように合わせていくのかといった決して簡単ではないところに対し、どういった成果が出ているのかといったところで非常に興味を持っております。よろしくお願いいたします。

【高井委員】 高井と申します。岐阜大学と東北大学に所属しております。私は、粉体工学という分野を専門とし、粉の形状をいろいろと制御しながら、分散状態であるとかの評価技術の作成をはじめ、そうした構造と機能の関係を機械学習で調べることを行っています。評価委員は今回が初めてとなるため不慣れな点もあるかもしれませんが、本日はどうぞよろしくお願いいたします。

【中川委員】 中川と申します。現在、超高温材料研究センターにありますが、私自身は、宇部興産（現・UBE）にて SiC 繊維が産声を上げた頃に入社し、専ら複合材料及び繊維の特性評価をやってまいりました。その後、今から 18 年前になると思いますが、超高温センターとの縁があり出向し、今に至るといった状況です。今は、どちらかと言えば民間企業のお客様の研究開発というよりも、事業化寄りのものづくりの手伝いを行うことがメインになりますが、航空・宇宙、半導体関連、電池関連といったトレンドに合った様々な仕事が舞い込んでまいります。本日、オブザーバーには弊社のお客様も多数いらっしゃるようですから楽しみにしております。どうぞよろしくお願いいたします。

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.「プロジェクトの補足説明」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 4-1～4-5 に基づき説明した。

5. プロジェクトの説明

(1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料 5-1 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。

(2) 目標及び達成状況の詳細説明

実施者より資料 5-2 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。

【鷺津分科会長】 御説明ありがとうございました。

それでは、ただいまの説明に対する御意見、御質問等をお受けいたします。中川委員お願いします。

【中川委員】 全体のマネジメントとして、中心は産総研の中部・つくば、JFCC で担っていることはよく分かりました。また、企業も日本のセラミックス業界を支えている代表的な 8 社が入っているということで、先導研究から始まり、本プロジェクトの目標をそれぞれ電子セラミックスとエンジニアリングセラミックスに分け、現状抱えるものづくりの課題であるとか、それを各社が今後どのように克服し、将来の高集積化において 5G から 6G に向けて物をつくっていくかといった点がプロジェクトに反映され、中間評価以降、事業化に向けた展開をされていくのだろうと理解いたします。その上で 2 点伺いますが、1 点目は、2 つの研究拠点に各社が集中研のように入り日頃から常駐するといった場はあるのでしょうか。2 点目は、8 社の皆様方はそれぞれ事業分野も異なりますし、事業展開もそれなりに独自の技術で世界市場をつくっていらっしゃる企業ばかりです。そういった取りまとめの難しさというのも様々あるでしょうし、どこに共通基盤技術を持ってきて新しいプロセスにつなげるのかといったところでも非常に難しかったのではないかと拝察するのですが、そのあたりの感触について教えてください。

【高島 PM】 まず集中研ですが、現状は常駐という形ではないものの、JFCC 及び産総研中部センター・つくば側に企業を受け入れるかたちはできており、企業が集中研に來まして、JFCC、産総研の研究員の方と共に開発できるような体制になっていますし、実際に來られているといった状況です。また、このプロジェクトの大きな目標は「共通課題をプロジェクトで解決する」というものが大きな前提になります。一方、個社ごとの目標は助成事業で落とし込んでいきます。こちらは競争領域になり、オープン・クローズドがございます。したがって、共通でやるべき部分と個別で行うものとを PL がしっかりと見ながら進めてきている状況です。

【藤代 PL】 私からも補足をいたします。この事業ですが、実はコロナ禍で始まったこともあり、皆が集まり同じ釜の飯でということがやりにくかった状況がございました。しかしながら、集中研機能という

ことで、それぞれ目的に沿ってデータを取りに来るとか、計算をしに来るといったところでの機能や場を産総研中部・つくばと JFCC の両方に設け、企業の方々が必要に応じて来られるといったか形でうまく回っている状況です。今後、計算シミュレーション等、皆で集中する必要性が生じれば、確認を取りながら行ってまいりたいと考えます。

【中川委員】 ありがとうございます。追加で伺います。非常に微粒子を使って微細分散をしているというのはよく分かりますが、それが電子セラミックスであるとか、エンジニアリングセラミックス、ましてや、つくりたい部材そのものを考えていくと相当異なる扱いになるのではないかと思います。特に電子セラミックスで言えば、例えば表面の起伏や粒子間の欠陥があることをはじめ、様々なことがデバイス化する上で障害になると考えます。そうした場合、このシミュレータでいろいろ分散の具合等をデータとして蓄積されていくとは思うものの、粒子が微細になればなるほど、例えば分散剤等の種類・量も当然増えるわけです。そうした点から、それぞれどのあたりを目標にしてやられるのかというもあります。また、これはリクエストになりますが、デバイス、電子セラミックス、エンジニアリングセラミックスでもそうなのですが、粒子そのものをいかにつくるか、その最終製品を考えるとセラミックスの微粒子を作る上で高純度化が課題だろうと認識しています。セラミックスですから、それなりの温度で焼く必要性を考えると、今のセラミックス原料を作っているメーカーが出されているものはフォーナイン、ファイブナインがあるものの、一部のセラミックスではまだそこまでいいません。当然それはニーズがないからだとも考えますが、今後エンジニアリングセラミックスの世界では特に重要になる気がいたします。いかに高純度の細かい粉を作れるかといったあたりも産総研と JFCC が皆様方と一緒に、原材料メーカーも巻き込んで目指していけると、よりよいものになるとは思います。そのあたりの見解はいかがでしょう。

【藤代 PL】 おっしゃるとおり原料というのが大事ですし、そのあたりがどういうものを制御していくかというのはセラミックスの性能に効いてくると思います。一方、この事業は 5 年間という期間が決められており、PI をきちんと追うといったときに原料が種々変わってきてしまえば、その辺というのは時間もかかります。また、先ほどのナノとマクロといったあたりの違うところを見なくてはいけないところが一つのウェイトとしても違うといったところで、そこを少し絞り込んだ形で整理をしました。それを基に、各企業の原料レベルにおいて、企業からそういった相談があれば、そこに向けたところに多分つながっていくのではないかと思います。この事業としては、先ほど言った共通性のところをまず解決するといったところで、企業それぞれのところで原料のところは多分やられていますので、このプロジェクトの次のフェーズ 2 が来たら、そういったところにつながるのではないのかとも考えているところです。そして、電子セラミックスのしている原料と機械部品で違うという点は、壊れ方といいますか、破壊因子、信頼性も違うため、工夫としては電子セラミックスのほうでナノ材料を扱うところは、電子セラミックス 3 社でローカルな会議をつくっていただきながら、そこで議論を行います。同様に、エンジニアセラミックスのほうも、それぞれ使う原料及び大きさといったところを出していただきながら、ローカル会議において集約して解決するという形を取っております。

【鷺津分科会長】 中川委員、藤代 PL ありがとうございます。私からも追加で伺いますが、幾つか固有の材料が出てきましたけれども、標準サンプルを定められたのでしょうか。

【藤代 PL】 そのようになります。シミュレータでいろいろ出てくるとブレしまいます。アルミナといった材料はいろいろな粒子サイズで市販材料をそろえるといった様々な文献や過去の知見があるため、そこできちんとそういう方向性を絞れるといったことから、標準的には市販のアルミナを使っています。ただ、電子材料ですとペロブスカイトの部分で出てくるものがあるということで、チタン酸バリウムというものも市販の材料レベル、そして公表されている文献のデータが追えるといったところでそろえ、データセットとしてはモデル材料のルールを絞り込んだ形で行っております。

【鷺津分科会長】 ありがとうございます。それでは、富谷分科会長代理をお願いします。

【富谷分科会長代理】 まずマネジメント的なところを伺います。途中で連携がうまくいかなかったという話があったと思いますが、具体的には、先ほど言われたように、コロナ禍で実際に集中研に企業の方がなかなか参画できなかったことによるコミュニケーションの問題なのか、それとも別の要因があったからなののでしょうか。

【高島 PM】 コミュニケーションの問題が一番大きいと思っております。その点は、今後このプロジェクトにおける課題でもありますが、より一層、企業、産総研、JFCC とのコミュニケーションを活性化していくことが重要と考えます。

【富谷分科会長代理】 分かりました。次に、進捗管理の点で伺います。理解不足で恐縮ですが、例えば年に4回の技術開発会議が開催されているということで、そこには各企業の方も参画されているという認識でよろしいでしょうか。

【高島 PM】 そのようになります。

【富谷分科会長代理】 分かりました。それから、テクニカルな話になりますが、1つはPIプロセスということから伺いますけれども、あまり具体的に何かプロセス装置を想定したようなシミュレータ構築には感じ取れなかったのですが、それほどのように考えていらっしゃるのか。プロセスの中身はいろいろシミュレートされていると思うものの、プロセスとして、例えば分散プロセスにおいて、炉の大きさ、装置の大きさでスケールするときにもいろいろ課題があると思います。そこに関する今後の展望、あるいは今までの状況について伺います。

【藤代 PL】 ありがとうございます。最終的にプロセス設備に対してのジグの大きさや、そこに合わせたような変形といった動きに持っていきたいと思っています。ただ、具体的な装置の大きさ、計算量であるとか、速度に合わせるというのはまだ現実的ではないということで、今の段階ではモデル的な部分、スリットの隙間、剪断力であるとか、そういったところを整理した形でやっています。後半において、DEM 法や粒子法技術を使い、装置の形や大きさといったところにリンクさせていきたいという作戦で進めております。

【富谷分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。これで様々な手法を連携させていくといった計画をされていると思うのですが、その際に、例えば一部商用のシミュレータも使うといったところを感じ取りました。例えばそのときに、どのようにそれら商用のソフトウェアとオリジナルのソフトウェアを組み合わせるとユニファイドといいますか、統一といったところのイメージについて見解を伺いたく思います。

【藤代 PL】 先生の御専門だと思いますが、商用のシミュレータというのは単一操作といったところではいろいろ実績があるものは我々も理解しており、それは使っていこうという形で考えています。また、そこがないものというのをつくっていかなくてはなりませんし、つなげるところの構造をどのようにボタンタッチしていき、構造変化がちゃんとつながっているかといったところを検証していく必要があります。また、実際にマクロのところでは、DEM 法や粒子法といったところは市販のソフト、形も含めたところを確認しているところです。マイクロでのフェーズフィールド計算であるとか、ペーストの中の動き、相互作用というのがシミュレータ技術としても難しいところがあるため、今構築を始め、最終的にはちゃんとマネジメントして企業の最終的な装置部分につなげていけるような形を目指したいと思っていますが、時間が限られているため、優先順位をつけながら進めてまいります。

【富谷分科会長代理】 例えば、フェーズフィールドだと2次元であるものの、実際に求めたいのは3次元ということでは、2次元から3次元の変換というのでも必要ではないかと思えます。

【藤代 PL】 おっしゃるとおりです。フェーズフィールド計算の部分は、実は3次元のソフトを既につくっています。計算量があるので、まず2Dで当たりをつけ、計算量リソースに合わせて3Dということ

で、そこも企業様には3D版も配付している状況です。

【富谷分科会長代理】 分かりました。具体的に最終的なアウトプットとしてどのような計算リソースで活用できるかといったイメージはお持ちでしょうか。例えば「富岳」を使わなければいけないとか、あるいは手元のちょっとしたワークステーションでオーケーなのかとか、そうしたゴール的な姿を伺います。

【藤代 PL】 最終的な装置の形としては、スーパーコンピュータレベルになると思います。また、走るほうにも Linux のソースコードにしっかり落とし込んでいく必要があります。ただ、今は実施者の皆様にリソースを確保できませんし、この事業としても、恐らく「超超プロジェクト」は年間10億円ほどをスーパーコンピュータのリソースにかけていますが、この事業ではそこまでできません。ちゃんと使える形ということで、ワークステーション128コアぐらいのCPUがあれば、先ほどのあるウインドーの10マイクロぐらいでの計算ができるといったところです。そこでの Windows の OS でできるということが使いやすいということで、そこをコンパイルした形で使い始めていますし、最終的には、そういったスーパーコンピュータレベルでスケールを上げていくところも意識しながら開発を進めています。

【富谷分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【鷺津分科会長】 富谷分科会長代理、高島 PM、藤代 PL、ありがとうございます。それでは、須田委員をお願いします。

【須田委員】 セラミックスの川上から川下までのそれぞれのプロセスにおいて、細かくそれぞれのシミュレーションとして、今回6種類の要素シミュレータという形で行ったものと理解しています。一方、それぞれのシミュレーションごとであれば、川上から川下までそれぞれ独立ではなく、非常に相互依存があるのではないかと思います。粉から成形、焼結は一体できるかもしれませんが、そこをつなぎは結構難しいところではないでしょうか。今後になるかもしれませんが、その辺でシミュレーションの独立性であるとか、相互依存といった点をどのように考えているのか教えてください。

【藤代 PL】 まさにその構造を連成させるところであるとか、このプロセス間でしっかり焼結の前どころがどのような形に効いているかというのは大事な視点だと思っています。恐らくそこを実験系で今セラミックスの皆様が苦勞をされており、そこをシミュレータでしっかりつなげていくことがミッションだと考えます。この場で詳細は言えませんが、そこを意識した形の検証というのがこの事業では大事であり、アカデミアでは見えていないところもしっかり企業様と話合って進めていくことや、精度のあたりでも確認を行いながらと思っています。

【須田委員】 そこがこのプロジェクトの一番の肝ですし、市販のソフトウェアでできないところだと思うので、非常に期待しております。

【藤代 PL】 ありがとうございます。

【須田委員】 あと、最初のところで出てきた積層体に対する取組については、どのようにお考えでしょうか。

【藤代 PL】 最終的には、複雑になれば先ほどの計算量、積層の界面の中で組織構造が微細化すれば量は増えます。そこは意識した形で、図の「アルミナ層」と「ペースト層」と書いているところになりますが、物性が多分計算のところでは変えられるため、異種材料で積層のモデルといったところは実際この計算プログラムの中には組み込んでおります。

【鷺津分科会長】 須田委員、藤代 PL ありがとうございます。それでは、井出委員をお願いします。

【井出委員】 まさに2026年のアウトプット目標に向けて着実に進んでいるものと理解いたしました。私個人的には、アウトプット目標と、一方、2035年のアウトカム目標に向けての連続性を考えると、製造コスト的なものが実際にどうなるのかという議論もどこかのタイミングで必要になってくるのではな

いかと思っております。先ほど、ほかの委員からの質問にもあったように、実際に社会実装をしようとすると、それなりのプラントが必要になってきますし、それも数値制御していかなければいけないとなると、それなりの初期投資になるかと思えます。また、データセットを準備するなど様々なコストがかかるかと理解しています。その一方、開発費用及び人件費が削減できるといった逆のメリットもあるというところかと思っており、トータルで見たときに、この1兆円の出荷額を達成するためには、それなりの一定程度の価格見合いのコストでちゃんと物がつくられる、新製品がつくられるということかと考えています。現時点で、そのあたりの議論についてどのようにお考えなのかを教えてください。

【高島 PM】 現時点では、「2026年のアウトプットをまず目指す」というものが、このプロジェクトの大きな目標であり、「新規製造プロセス 20 種類をつくる」といったところまでがプロジェクトの目指すところになります。おっしゃるとおり、アウトカム目標に関しては、この技術を使い、企業に投資いただき、実際にいろいろな課題に向けて取り組んでいただくところがございますが、このプロジェクトに関しては、あくまでも 2026 年度までを想定しております。そこから先がなかなか国プロでの難しさになりますけれども、このプロジェクトの成果を活用いただき、企業に尽力いただきながら目標を達成いただくところになります。また、そうしたところで、このプロジェクト内で活用いただくために企業からいろいろ要望をいただいて改善すべきところを改善していくといった取組を現状進めております。

【井出委員】 ありがとうございます。

【鷺津分科会長】 井出委員、高島 PM ありがとうございます。それでは、高井委員をお願いします。

【高井委員】 先ほどの須田委員の質問とも少し類似しますが、今回の統合型のプロセスシミュレータを開発される上で、工程ごとの情報の受け渡しというのは非常に大事になってくると思えますし、全ての情報を受け渡した場合には、今後、汎用性のある統合型シミュレータを開発するという今回のプロジェクトの目的だと計算の負荷が大きくなってしまいうように思います。例えば、先ほど中川委員もおっしゃっていましたが、最終的に焼成体を作ったときには、例えば電子部品であれば原料粒子が持っている結晶の配向性であるとか、そういったところが最終的な製品の機能として効いてくると考えます。また、間の例えば分散状態、成形、乾燥、脱脂の工程のときには、結晶の配向性というのはそれほど大きく効いてこないのではないかと思います。先ほどの説明のように、どちらかと言えば粒子の表面の物性のほうが成形体や乾燥状態を計算するには効いてくるように思います。そういった意味では、例えば結晶の配向性といった情報はもしかしたらなくしてもいいのではないかと、そこで計算の負荷を減らしてもいいのではないかと考えるところです。そうすると、原料粒子が持っている結晶の情報というのは間のプロセスでなくなってしまうような状態になるものの、最後の焼成のときにはまたその情報が必要になってくるといった形を今想像しています。そのように考えた場合、一旦なくなった情報をまた受け渡す際に再度出現させるというのは、それぞれの要素シミュレータを開発されている方々の間の交流といいますか、情報共有というものが非常に大事になってくると考えますが、私の理解は合っているでしょうか。

【藤代 PL】 最終的に、多分企業の皆様も含め、製品開発においてそこを目指したいということで理解しています。ただ、先ほどの結晶配位であるとか、そのあたりのなくなった情報をどのようにして引き継いでいくかといったところの全部をできればいいのですが、そこは今までなかったものを一歩進める上では難しい部分といいますか、計算として、情報として扱うにはその辺を絞り込まなくてはいけないというのが現状です。しかし、そこは要望として理解しておりますので、質問にありました PI だけでなく MI 技術といった部分をうまく計算科学の中でマネジメントするといったところもしっかり意識していきたいと思えます。あと、なくなった情報は復活できないため、先生の御説明のとおり、しっかり分析して情報を取っていくことが大事です。そうしたところの情報をつなげる形というのも議論してまいります。

【高井委員】 ありがとうございます。つまり、基本的には必要な情報を最初からなくさないという形になるでしょうか。

【藤代 PL】 そうなります。取った情報をしっかりデータセットとして引き継ぐようにしますし、多分、今回のシミュレータで一番大事なのは、実験すると実験の時間がかかる、構造の変化でさえ時間がかかるといった部分を、こういったシミュレータの中で構造変化の部分をデータにすることにより、物性等といったところの時間を割ける点があると思っています。まずはできるところといえますか、構造変化のところは今回の事業では優先順位とし、発散しないようにと皆で議論をしております。

【高井委員】 ありがとうございます。

【鷺津分科会長】 高井委員、藤代 PL ありがとうございます。それでは、今中委員をお願いします。

【今中委員】 まず PM から御説明いただいた資料 5-1 の 18 ページになりますが、知財戦略のところ、最終的にはプラットフォーム化したシミュレータを有償ライセンスにすると言われましたが、有償ライセンスとなると、プラットフォームもきちんとつくり、例えば企業であるとか、ほかの方々にこれを渡した際に、その企業のほうでこれを改良することはできないといった感じになるのでしょうか。

【高島 PM】 御指摘のとおり、有償化になると具体的には産総研で開発したソースコードを企業に使っていただくこととなります。また、そのソースコードを改良するときは産総研の担当の方に改良いただく形になり、企業の中でそのソースコードを使い、自社の製品適用するために改良していくといった流れになります。

【今中委員】 そうすると、基本的なところのシミュレータは開発し、あとは企業の方々がライセンスをする中で企業独特の PF をつくることは可能ということですか。

【高島 PM】 そのとおりです。

【今中委員】 そこに、また企業独特のオリジナリティーも出すことができるということですか。

【高島 PM】 そういった理解になります。

【今中委員】 分かりました。もう一点は、先ほども指摘がありましたけれども、最終的に事業化して 1 兆円規模の市場をつくるということですが、多分、売上げレベルでは 1 兆円になると思うものの、このプロジェクトで PI をつくっていき、要するに短期間で独創性のある製品をつくっていくわけですが、このプロジェクトのつくったシミュレータの貢献分というのはどのくらいになるのでしょうか。全体的な費用対効果的なところも含めて考えていかなくてはいけないと思います。

【高島 PM】 非常に答えにくいというのが率直なところであり、まだその部分は精査ができておりません。具体的にこの PI の効果は全体のどれだけかというものは見えていないものの、現状として PI を活用いただき、今後 1 兆円規模に伸びていこうという想定をしております。

【今中委員】 ありがとうございます。もう一点は、PL からの御説明で資料 5-2 の 7 ページ目あたりに書いてあったのですが、進捗状況でデータセットをいろいろ構築していったものの、一部、企業でのデータセットをつくった後の検証、妥当性ができていないというような説明があったと思います。そこで、少し遅れているという説明もありました。その妥当性を見るときに、今、中間評価レベルまではデータセットを構築するというのがメインの仕事だったと思うのですが、今後もデータセットというのを検証してうまくいかなかった場合は継続的に作り上げていくという御認識でしょうか。

【藤代 PL】 その点は 2 月に相当議論を行いました。そこは企業としっかり目標を決め、検証事例といったシナリオを立て、そこに計算科学、データセット、その解析率というものを結んだ形で進めていくのが後半 3 年において大事だということで、アカデミアを含め、皆で共通認識を持ちました。そういった形で前半 2 年間の課題を改善していきたいと思います。

【今中委員】 ありがとうございます。もう一点 PL に伺いますが、資料 5-2 の 9 ページ目に産総研のシミュレータと JFCC のシミュレータの 2 つがございます。御説明では、産総研はどちらかという物理モ

デルを中心としたシミュレータであり、JFCC のほうは実験的なところを反映させたようなシミュレータになっているということでした。ここでまさに真ん中に書いてある「相互補完」ですが、具体的にはどのようにやられていくのでしょうか。ここに書いてあるのは、実験的なパラメータの JFCC のほうが、統合シミュレータのコアとして使うということでしたが、それに加え、相互補完という点での意味合いについて具体的に教えてください。

【藤代 PL】 ここで1つ黄色の丸で書いていますが、ナノ構造を精度よく計算するときに測れない物性値等があるところや、物理量といった構造を様々変えて計算するというのが多分この理論シミュレータが得意なところだと思います。ですので、その部分をしっかりデータとして創出するという点で、産総研で担当しているシミュレータというのは補完ができると考えております。

【今中委員】 大体イメージ的には分かりました。大きな統合的なシミュレータというのは、実験シミュレータとして JFCC のもので統合的、連続的にやっていき、個別の非常に細かいマイクロ、ナノレベルの解析をさらに行う場合は、物理シミュレーションのほうでといった理解になるのでしょうか。

【藤代 PL】 おっしゃるとおり、物理解析やデータ創出といった使い分けになります。

【今中委員】 どうもありがとうございました。

【鷺津分科会長】 今中委員、高島 PM、藤代 PL、ありがとうございました。それでは、中川委員お願いします。

【中川委員】 今中先生の質問にも絡むのですが、16 ページにこれまでの成果の公表という形でまとめられているものの、今のところ多々発表されていて特許出願はゼロになるのでしょうか。そうした点で、企業の人間からすると、これだけ発表していて特許の出しようが今後あるのだろうかと考えるところです。そのあたりは、あえて今控えていらっしゃるなど何か戦略があるのでしょうか。

【藤代 PL】 先ほど御説明したように、シミュレータの技術をしっかりと開発しようということで、シミュレータは著作権といいますか、その辺の部分にはなりますので、そこはしっかり構築しております。ただ、これからこれを使う中で、恐らく今の知財、物質特許であるとか、その辺でできるものというのは多分創出されてくるものと考えます。

【高島 PM】 私から補足をいたします。おっしゃるとおり、知財は非常に重要だと思っており、特に物として見えるというような権利化は重要だと考えます。その一方、企業が権利化をしていくといったところで、このプロジェクトはあくまでもシミュレータの開発になります。そういった意味では、特許に関しては先行していない状況ですが、今後、助成事業において企業が新製品を開発していく中で生まれていくのではないかと思います。

【中川委員】 ありがとうございました。

【鷺津分科会長】 中川委員ありがとうございました。それでは、富谷分科会長代理をお願いします。

【富谷分科会長代理】 有償利用についてお聞きいたします。ソフトウェアは継続的にサポート開発をしていかないと使い物にならなくなるというのが一般的です。これは多分アウトカムにつながると思うのですが、そのあたりはどう考えていらっしゃるのでしょうか。また、今の質問に関係するところで、今回の粉体プロセスのシミュレータというのはセラミックスに限らず、リチウムイオンのバッテリーにおける塗布乾燥プロセスにも使えるなど、その他様々お聞きしております。また、中国・韓国の追い上げがあるというところで、私が不勉強で恐縮ですが、例えば国プロのようなものが、中国・韓国でもあるのかどうかを教えてください。

【高島 PM】 まず、1 点目ですが、有償ライセンスに関して、このプロジェクトにおいては企業も一緒に取り組む中で、まずは使ってみようという形で使っていただく形になります。その次の段階というのは、実際に自社プロセスに応用していくことになれば、有償化し、言うならば産総研あるいは JFCC に対価としてお支払いし、さらにリニューアルをしていくということは個別に必要なようになってくると考えて

おります。また諸外国、特に中国・韓国の動きになりますが、おっしゃるとおり、特にその二国は国プロに近い形の動きがあることを確認しています。そういった意味では、このプロジェクトの妥当性はあると考えている次第です。

【富谷分科会長代理】 ありがとうございます。1 点目の質問に関して、例えば具体的にソフトウェアメーカーであるとか、あるいはベンダーへ販売するようなライセンスを渡すことは将来として考えているのでしょうか。

【藤代 PL】 そこは事業を進めながら議論するところだと思っています。ただ、ベンダー様に渡して、海外に技術が流出し、ベンダーごと買われてしまうというのは国の事業としては気をつけなくてはなりません。先ほどのライセンスングということも、そこにしっかりチェック機能を持たせるということと、先生がおっしゃっていたように、ソフト開発者の維持管理というものも大事ですから、そういったところの仕組みはこの事業を進めながら、実施者間で不利益にならない形を議論していきたいと思えます。

【富谷分科会長代理】 できれば、日本のベンダーを育てていただきたいと思っております。

【藤代 PL】 承知いたしました。

【鷺津分科会長】 ありがとうございます。最後の富谷分科会長代理の御質問ですが、「超超プロジェクト」等であれば、国内のベンダーが非常に一緒に走るような形で実施されていると思っています。それでは時間になりましたので、以上で議題 5 に係る質疑応答を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの補足説明

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

【中川委員】 今日是一日お疲れさまでした。非常に興味深く話を聞かせていただきました。産総研の方、JFCC の方が統合シミュレータの確立に向けて取り組まれていることもよく分かりましたし、企業 8 社の方も、我が国を代表するそうそうたる企業の面々です。それぞれ取り組まれている事業製品分野、技術を確立され、世界のトップランナーで頑張っている中で、シミュレーションそのものも独自でお持ちのところもあれば、このプロジェクトに参加し、新たな知見を得られることもあるでしょうか。また、課題そのものは現場にあると思うため、双方が真摯に技術を受け止め、可能であれば様々な現場も見させていただきながら、よりよいシミュレータを仕上げていただけたらと思います。そして、それぞれに大学の方も関わっている中では、それら大学にいる若手の学生も、先々セラミックス業界に入社される方が多いと考えますから、そういう方々のモチベーション及び教育にもつながればよいと思っております。ありがとうございます。

【鷺津分科会長】 ありがとうございます。それでは、高井委員お願いいたします。

【高井委員】 本日はお疲れさまでした。今回初めての評価委員をやらせていただいたのですが、いろいろと質問を伺う中で非常に理解が深まり、私自身、勉強になりました。今回、統合型のプロセスシミュレータといった大きな課題に向かって皆様で取り組まれているということで、様々な困難なこともあると思

いますが、きっとこのプロジェクトを通し、これまでの経験及びすり合わせ等でやられてきたことが大幅に短縮されるといいますか、製造の現場にとって非常に有益な技術になると思っています。また、今回のプロジェクトで取り組まれているようなプロセスシミュレータというのは、きっとセラミックスの製造以外の他分野でも同じような課題があると思います。例えば原料が大事であるとか、どこの工程が大事だといったところは、セラミックスに限らず広く展開できるような技術であるため、今後の御活躍を大変楽しみにしております。ありがとうございました。

【鷺津分科会長】 ありがとうございました。それでは、須田委員お願いいたします。

【須田委員】 今日は本当にありがとうございました。非常に楽しくいろいろなことを聞かせていただきました。特にセラミックス技術のプロセスシミュレータというのは、実際にセラミックスを作ったことがある人にとっては、かなりチャレンジングであり、どうやって定量化するのかという話が日々出てくる中で、非常に真摯に向き合っているという印象を持っております。この中で、多分これからキーとなるパラメータは、個々のシミュレータをどうやってリンクするか、例えばつなげるときに何か補正パラメータが必要となると言ったことが出てくると思っています。また、せっかくつくったものをメーカーがどう評価してくださるかというところをフィードバックすることも重要だと思います。この2つがクリアできれば非常に有意義なシミュレータができるのではないかと思います、期待しております。今後とも頑張ってください。

【鷺津分科会長】 ありがとうございました。それでは、今中委員お願いいたします。

【今中委員】 今回のプロジェクトはセラミックスの PI ということで、よく半導体産業であるとか、そういったところだと非常にプロセスが高度化されているため、ある意味、装置的に確立させる装置があれば、そこでもう完全なレシピがあり、ある意味ボタン一つ押せば同じような製品ができるということもあるのですけれども、セラミックスというのは非常にノウハウが多く、同じようにやってもできない、ある職人でなければできないといったことがあり、非常に重要な仕事となります。かつ、セラミックスがなぜ難しいかと言えば、御存じのとおり、不均一状態がものすごく多く、例えば粒子に対しても粒度分布が非常にあるため、いびつな粒子が入ります。つまりシミュレーションでは大体一つの単一球でシミュレーションをするものの、実際はそうではないといったところもあって非常に難しいのです。そうした難しいところにチャレンジされ、この2年間非常によくやられているのではないかと私は思いました。今回の話を聞く中でも相当成果が挙がっており、難しい問題を克服されていると思えました。今後、また逆問題などの様々な課題がありますので、企業の方々の要望をぜひ聞き入れ、価値あるといえますか、使いやすい統合シミュレータにしてほしいと思います。日本の産業力が上がることを期待しております。

【鷺津分科会長】 ありがとうございました。それでは、井出委員お願いいたします。

【井出委員】 本日は一日どうもありがとうございました。セラミックス産業の国際競争力強化であるとか、恐らく職人の経験値であるとか、勘をデータ化するというのは今後の労働力の高齢化に対しても非常に有益な解決手段だと思い、とても有意義な取組だと改めて認識した次第です。そうした意味でも、まずは2026年のアウトプットシステムやPF整備を着実にいき、次いで2035年の事業化、出荷額というところの段階ではビジネス化で儲けるという議論も必要になってくると思いますが、そういった一連の動きに向けては、NEDOの皆様とぜひ事業会社8社の皆様とが二人三脚となりプロジェクトを進めていただければと強く思ったところです。私どもは金融機関ですから、そういったスケール化したときには様々な形で御協力できればと思いますし、いろいろな形で応援できればと思っております。

【鷺津分科会長】 ありがとうございました。それでは、富谷分科会長代理お願いします。

【富谷分科会長代理】 本日は非常に長時間お疲れさまでした。私も大いに勉強する機会となりました。統合型プロセスシミュレータを構築するというのは非常にハードルが高い話であり、今後あと3年は逆問

題に挑戦するという一方で、これもまた非常にハードルが高いものとなりますが、ぜひ企業の皆様方からニーズをうまくすくい上げて、これらを構築していただければと思います。そして、2035年に向けてのアウトカムに関しては、恐らくPL、SPLの方が引退され、次の世代の若い方に引き継いでいかなければいけないというような形になるとも考えます。このプロジェクトを呼び水として、人材育成という観点を踏まえ、各企業においても必要なことになってくると思いますので、人材育成にも少し取り組んでいただければと思います。それと同時に、昨今このPI、セラミックスの分野ではないのですが、自動実験とが相当盛んになってきており、例えばMITやイギリス等ではかなりの投資をかけております。自動実験が立ち上がって、さらに多くのデータが出てくると、AIを使ってあまりシミュレーションをやらなくてもよいといった時代になるかもしれませんが、私は統合的なシミュレータというものは非常に重要になってくると考えております。今後そうした観点で、この事業をうまく成功させていただけたらと思います。

【鷺津分科会長】 ありがとうございます。それでは、最後に私のほうから講評をいたします。既に委員の先生方が大事なことをおっしゃっていますから、特に申し上げることもないのですが、少し申し上げます。私はメーカーにいましたが、特にセラミックスの電子デバイス系になりますが、電子状態が決まれば何か物の物性が全部決まってオーケーだという考え方がシミュレーション業界ではあったわけです。とはいえ、よいものが出てくるとは限らないということで、なぜプロセスについてやらないのだろうかと考えれば、そこには論文にならないからといった部分があったと思います。しかし、このプロジェクトは、そういう意味でプロセスに一番の主眼を置くということで感慨深く、非常にすばらしいと思いました。プロセスシミュレーションは大事なものです。また、皆様方が精力的に取り組んでおられる姿勢及び研究成果にも感銘を受けました。これからスパコンを使っていかれると思いますが、日本の計算機資源というのは世界第2位、つい最近3位になっているかもしれませんが、まだアメリカの次だと私は認識しております。そういう意味で、コンピュータを使ったようなものづくりにおいて、日本のものづくりはまだまだ伸びるのではないかと思っています。一方、ソフトウェアはいろいろ進化していくため、コンピュータだけで何とかするというのは先進国らしくないといったところもあります。今回のプロジェクトの報告を受け、実験に基づくデータとそれを支える計算技術といった観点から非常にバランスが取れているものと感じています。これから後半は各メーカーが主役になると思いますが、その各メーカーは日本を代表するメーカーであるものの、得意分野は分散しております。そういう意味では、個々の課題が難しいとは思うのですけれども、非公開のところでもった技術はそれぞれ大変すばらしいものでしたから、JFCCと産総研とメーカーで実際にタッグを組んで実績を出していただけたらと思います。そして、大型計算機においては、国の公共的なものが多くありますから、そういう費用をいわずに使いながら、ものづくりの成果としてまとめていただけたらと思います。お疲れさまでした。

【指田専門調査員】 分科会長、委員の皆様、御講評をいただきまして誠にありがとうございました。続いて、推進部長及びPLより一言頂戴いたします。

【金子部長】 NEDO材料・ナノテクノロジー部の金子です。本日は長時間にわたり、非常に熱心に議論をいただきまして誠にありがとうございました。改めて感謝申し上げます。本日は、研究開発のこれまでの状況を説明し、まずプロジェクトの進め方、NEDOのマネジメントの方法について御助言をいただきました。また、我々の目指すところは、研究開発をするだけではなく、これが世に出ていく、社会実装されていくということで、ここで我々が進めるべき課題と考えているところやビジネスとしての在り方において、他方面からアドバイスをいただいたところです。非常に多くの御指摘をいただいたのも、先生方がこの事業に対する期待を非常に大きくお持ちだということだと私は認識したところです。それに応えるべく、我々も一生懸命この事業を推進していきたいと思っておりますし、この事業に参画され

ている企業の皆様はそうそうたるメンバーが集まっていますから、ぜひともこれを成功裏に進めていきたいと考えます。そのためには、産総研の皆様及びJFCCの皆様としっかりタッグを組みながら、企業のニーズをくみ、この事業を今後とも進めてまいりたいと思います。本日はどうもありがとうございました。

【藤代 PL】 事業実施者を代表して申し上げます。本日は委員の先生方からいろいろと厳しい言葉も頂戴しましたが、期待の籠もったアドバイスと受け止めており、心より感謝を申し上げます。この事業は、最終的に産業界が求めるゴールにしっかり形づくる、成果を出すということが我々のミッションであり、国が旗を振っていただいてやるべきことだと思っています。前半 2 年間でいろいろ課題等も受けましたので、そこを実施者間でしっかり話し合いながら、解決していくスタイルにぜひ持っていきたいと思っていますし、本日頂戴した貴重な意見を反映させてまいります。本当にありがとうございました。

【指田専門調査員】 ありがとうございました。最後に、経済産業省 製造産業局 素材産業課 竹内様より一言頂戴いたします。

【竹内研究開発専門職】 経済産業省 素材産業課 革新素材室の竹内でございます。私のような立場の者が最後に挨拶させていただくことは大変恐縮ですが、御容赦のほどよろしく願いいたします。まずは、この雨の中、来場いただきました分科会委員の皆様及び実施者の皆様、そしてこの委員会の運営をいただいている NEDO の皆様に感謝を申し上げます。ありがとうございました。今回の中間評価の内容に関して、委員の皆様からすばらしい評価をいただいたと思っておりますので、詳しいことは述べませんが、課題の部分に関してはおおむね進捗していると認識しております。また、遅れている部分につきましてはテーマの整理をする、または人員の強化をする、コミュニケーションの機会を増やすなどの対策を取ることで今後に向けて準備をしていくという認識でおります。一方、今後目を向けていきますと、目標としては統合シミュレータの構築、特に使える統合シミュレータ、企業の人が使いたくなるような統合シミュレータの構築が鍵になると思っております。そのためには、今回評価いただいた委託事業の推進も当然ながら、別途、先日ステージゲートを経て始まっている助成事業との連携、フィードバックというのも重要になってくると思います。しかしながら、その部分からデータを頂くにおいては非常にセンシティブなデータを扱うことになるため、データのオープン・クローズド戦略や、データマネジメント、セキュリティ面でも議論を進めていく必要があると思っております。経済産業省でもその部分について非常に議論を進めている次第です。このオープン・クローズドの議論、またデータのマネジメントの部分、研究の推進につきましても、事業者の皆様、企業の皆様、産総研、JFCC の皆様に引き続き御協力いただきながら、研究の推進に御尽力賜れば幸いです。以上、私の挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。

【鷺津分科会長】 竹内様、ありがとうございました。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 5-1 プロジェクトの説明資料（公開）
- 資料 5-2 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの補足説明（非公開）
- 資料 7-1 事業原簿（公開）
- 資料 7-2 事業原簿（非公開）
- 資料 8 評価スケジュール

以上

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「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）分科会

ご質問への回答（公開分）

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-2 P.9	統合プロセスシミュレータ（TPS）を構築，試供版を提供するとのことだが，参加 8 社あるいは研究テーマごとに今後どの程度「統合化」するのか，プロジェクト実施期間内の目標について教えていただきたい。	鷺津 分科会長	プロジェクト前半では、セラミックス製造の核となるプロセス現象を取り扱えるプログラムの開発を進めました。プロジェクト後半では、開発プログラムを各社の実プロセスに対応させるための取り組みを行います。例えばシート成形や異種積層材の共焼結などの共通部分を切り出して共通基盤としての拡充を進めます。共通性の高い、成形、乾燥・脱脂、焼成工程を統合・連続して計算し、構造と条件を逆解析可能なデータを構築できるプロセスシミュレータを 2025 年度の第一四半期に企業へ配布する事を目標としています。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-2 P.9	AIST の物理モデルシミュレータ、 JFCC の実験シミュレータの二本のシ ミュレータがあり、企業は実験側から のフィードバックを行うプロジェクト のようにも見える。企業側の数値計算 担当者は関与しているのか。最終形態 としては、企業の実験研究者が計算科 学、データ科学を駆使してプロセス設 計を行うものと考え、技術の指導・啓 蒙について本プロジェクトでどのよう な取り組みがあるのかを教えてください。	鷺津 分科会長	企業へ開発したプロセスシミュレータを配布し、企業での試用を進めています。そのために、シミュレータのインプットデータ作成や計算条件設定が各社で進められるよう、マニュアル作成や操作チュートリアルも実施するなどの取り組みをしてきました。企業の数値計算担当者も関与しており、試用だけではなく、計算結果のフィードバックや開発課題の提示を受けています。実験研究者がプログラムを動かし、シミュレーション結果を参考に実験を進めている企業もありますので、製造技術と計算技術を融合させるという点では、本プロジェクトを通じて進展していると考えています。
資料 5-1 P.27	プロジェクト終了後、TPS は管理維 持されていく予定があるかどうか。ユ ーザーは参加 8 社だけなのか、市販化 またはオープンソース化するなど、拡 張する予定はあるのか。	鷺津 分科会長	公的プロジェクトになりますので、研究成果が広く産業界で活用されることを想定しています。プロジェクト終了後も、維持管理および研究開発は継続します。ただし、日本のものづくり産業の競争力強化という観点から、原則としてオープンソース化は考えておらず、事業期間内は本事業内でクローズとしますし、海外への流出を防ぐために、開発機関との契約に当たって審査を行う等、活用・普及形体は参画企業等と相談をして、決める方針です。
資料 5-1 の スライド 16	脱脂・焼成過程の CO ₂ 排出量を 1/2 す るとした、具体的な算出根拠を教え てください。	須田委員	PI 活用による低エネルギープロセス(化学焼結、低温焼結、レーザー焼結、フラッシュ焼結など、新たな製造プロセスとして期待されている低エネルギープロセス)の早期実用化により、PJ 後に、PI を用いて低 CO ₂ プロセスを迅速に実生産プロセスに適用することを想定し、概算として算出した目標値です。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
資料 5-1 の スライド 19	特許戦略に関して、参画企業の意向が最大限尊重されているように伺えますが、個別委託 PJ ではなく、国 PJ の知的財産構築もある意味期待されていると考えます。その点について、マネジメントとしてどのようにバランスを取られてるのでしょうか。	須田委員	委託事業前半では共通基盤としてシミュレータ開発に重点を置いており、シミュレータのプログラム自体は特許の対象外です。一方でプロジェクトの成果物となるプログラムのソースコードは公開せず、今後企業がシミュレータを使って開発した成果を特許化していくという方針です。
資料 5-2 スライド 9	本プロジェクトで取り上げている 3 種のシミュレータの高度化について、今後それを統合する計画であることは理解できるが、どのようにプラットフォームを統合されようとしているのでしょうか。データ連携だけでなく、シミュレータの連携もお考えでしょうか。	須田委員	各要素プロセスに対応したシミュレータを連携させるために、構造データの記述形式変換プログラム等の基盤技術を構築しました。PJ 後半では、各プログラムを一括して制御できる「マネジメントプログラム」を導入し、製造プロセス全体を取り扱える統合シミュレータとしての一体化を進めます。
資料 5-2 の スライド 13	特に企業では有限要素法をはじめとして市販のシミュレータを用いていることが多いと思いますので、市販のシミュレータなどソフトウェアと連携できることは重要だと考えます。「連携も可能」について、より具体的に教えて欲しい。	須田委員	ご指摘のように、企業が既に使用しているプログラムも多いことから、これらのプログラムも統合シミュレータの一部として利用できるような仕組みが不可欠です。上記の「マネジメントプログラム」は、PJ 開発プログラムだけではなく市販プログラムにも対応します。各社の取り組みの中で要望があれば、新たに対応が可能です。

資料番号・ ご質問箇所	ご質問の内容	委員名	回答
			説明
事業原簿 (公開)の 添付資料-5の 特許論文 リストの 【特許】箇所	これまでの2年間は、「革新的プロセス開発基盤の構築」としてファイナセラミックスのプロセスインフォーマティックスのプラットフォーム開発を手掛けてきたと理解している。このプラットフォーム自体が、世界初めてのチャレンジングな取り組みであり、多くの発明が組み合わせられて成し遂げられたものである。この独創性を知的財産として権利化しておくべきであると考えますが、何故、知財出願はゼロなのか？教えて頂くと幸甚である。	今中委員	委託事業前半では共通基盤としてシミュレータ開発に重点を置いており、シミュレータのプログラム自体は特許の対象外です。一方でプロジェクトの成果物となるプログラムのソースコードは公開せず、今後企業がシミュレータを使って開発した成果を特許化していくという方針です。
資料5-1 スライド16 アウトカムの 妥当性	<ul style="list-style-type: none"> ・2035年アウトカムの設定として、事業化/マネタイズの観点では、 <ul style="list-style-type: none"> ①製造コスト（現行水準と同等、もしくは、目標コストの設定など）、 ②出荷額のみでなく付加価値額/利益額（量と質の双方を追求する観点で）、といった項目を設定することが望ましいと思料 ・また、現状と著しい乖離がある場合には、ビジネス化の観点でのロードマップの作成も望ましいと思料 	井出委員	利益額については、企業毎に事業戦略が異なり収益目標が異なりますので、統一目標とすることが難しい面があります。出荷額は国際需要に対する競争力を維持する定量的な目標となりまして妥当と考えています。

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、プロジェクト/制度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、被評価プロジェクト/制度等の資源配分、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。

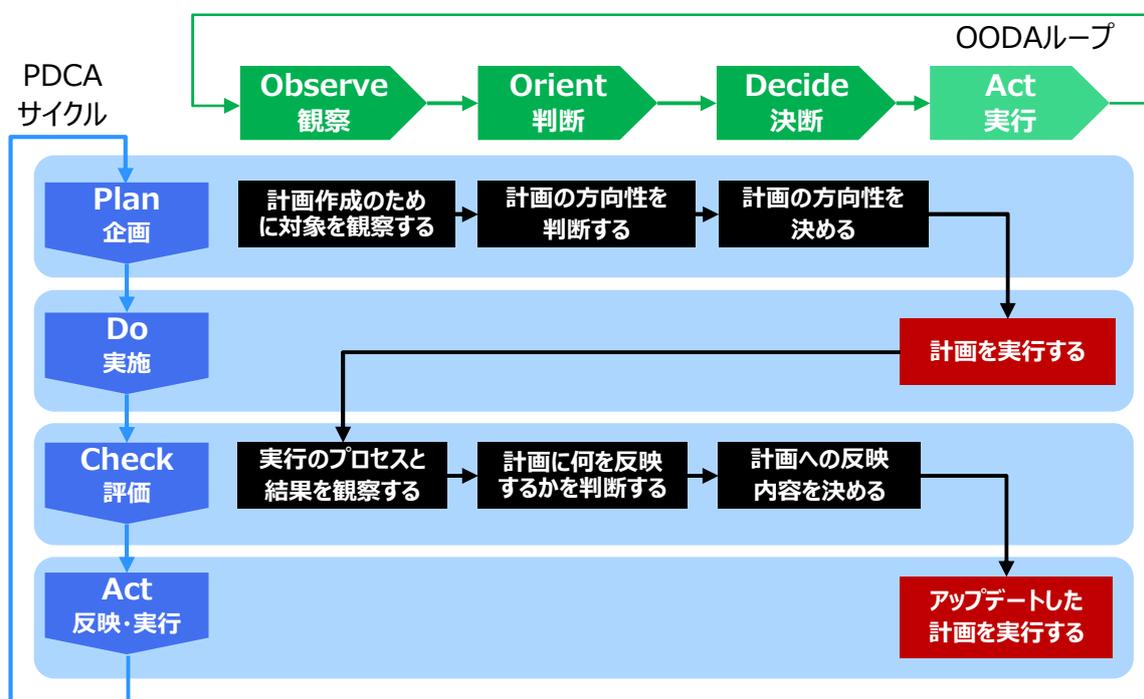


図1 研究開発マネジメントPDCAサイクルとOODAループ組み合わせ例

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/制度評価の実施体制

プロジェクト評価/制度評価については、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/制度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/制度毎に当該技術の外部の専門家、有識者等からなる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/制度の技術評価を行い、評価（案）を取りまとめる。
- (4) 研究評価委員会の了承を得て評価が確定され、理事長に報告。

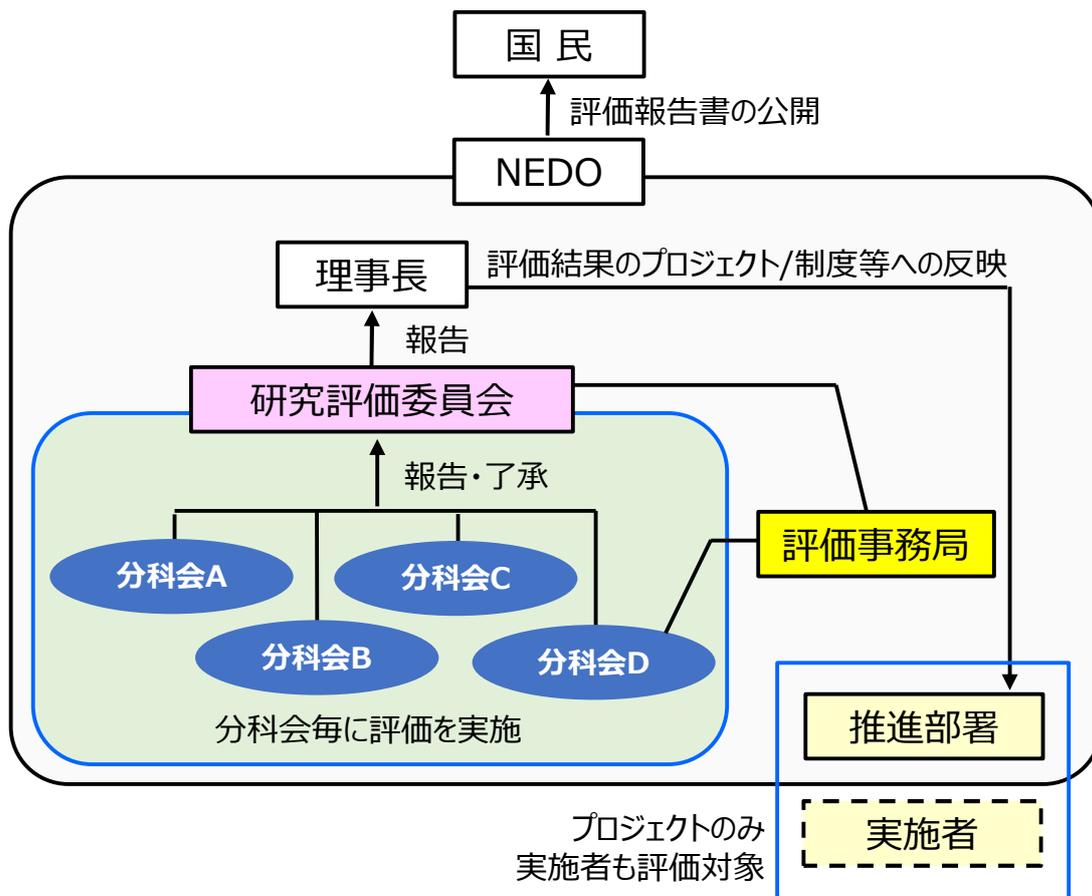


図2 評価の実施体制

5. 評価手順

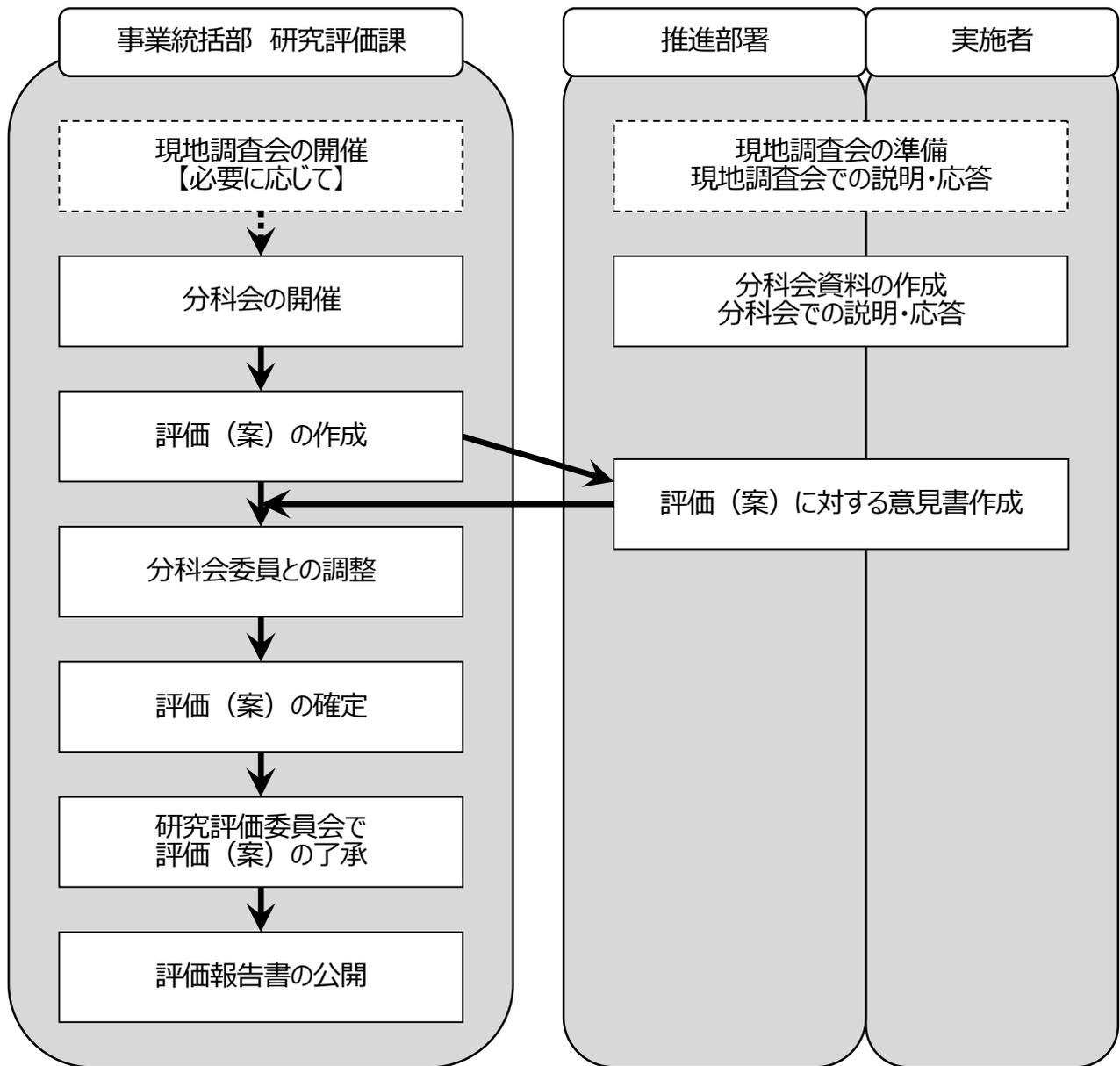


図3 評価作業フロー

「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) 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・CO₂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・事業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[※]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[※]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[※]、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[※]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。

- ・研究開発の継続又は中止を判断するための要件・指標、ステージゲート方式による個別事業の絞り込みの考え方・通過数などの競争を促す仕組みを必要に応じて見直しているか。

参考資料 3 評価結果の反映について

「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）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>【1】「エンジニアリングセラミックス部品」に関しても「電子セラミックス部品」のように技術・市場予測調査を行い、個別・具体的な方向性を見出していきたい。</p> <p>【2】アウトカム達成までの道筋は、社会の変化の想定が現時点からの単純な線形的予測となっており、2035年時点の環境の変化を考慮したアウトカム目標とすることが望ましい。</p> <p>【3】アウトプットを、アウトカムに結びつけるためには、NEDO、産総研、JFCCと参画企業との更なる連携が必要と思われる。シミュレーターに対する各社の具体的なニーズに踏み込めることを期待する。</p> <p>【4】プロジェクト終了後のシミュレーターの維持・発展については終了時に、より明確に方針を定めるべきと思われる。</p>	<p>【1】「エンジニアリングセラミックス部品」の技術・市場調査は調査事業にて実施済み。調査結果より通信・製造装置・モビリティ分野における「エンジニアリング部品」の需要が見込まれており、開発指針として通信分野では高周波絶縁性、製造分野では緻密化、モビリティでは放熱性材料の開発を見出している。本PJでは上記セラミックス材料の開発につなげる構造変化のデータ化を優先する。</p> <p>【2】アウトカム目標は国際需要に対する競争力を維持する最低レベル目標となり、環境の変化に応じてアウトカム目標の見直しを検討する。</p> <p>【3】密なコミュニケーションにより、課題、要望を共有し、連携を強化していく。また開発状況の見える化を進め、開発したシミュレーターを企業へ順次配布し、操作チュートリアルを開催、企業への試用を進めると同時に、シミュレーターにフィードバックを検討する。</p> <p>【4】プロジェクト終了後に国内セラミックス企業が統合型プロセスシミュレーターを活用することを想定し、関係者と協議を重ね、維持・管理・発展のための仕組みを検討する。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【5】 知財戦略において、これまで知財出願がないが、プロセスシミュレーターを企業個社で利用して特許出願に繋げるだけでなく、要素技術や、要素技術の連結など、本事業中においても知的財産の取得を積極的に推し進められるよう、今後に期待する。複数の出願が互いに連携するような知財ポートフォリオを考えることを推奨したい。</p> <p>【6】 アウトカム目標は、諸外国の想定以上の成長を踏まえた非線形な変化を意識したストーリーを考慮することが望ましい。AI活用のさらなる拡大等を考慮するなど、最終目標の見直しを継続的に検討いただきたい。</p> <p>【7】 参画企業によって多種多様なセラミックス部材の製造が対象であり、多くの部材が異種材料の組み合わせによる複雑なものだが、着目すべき要素をとり入れることで、汎用性のある統合形プロセスシミュレーター開発に繋げていただきたい。</p> <p>【8】 今後はプロセスデータを蓄積し、AIによる逆問題解析を行うことで、研究開発のさらなる加速化と、従来の「経験と勘」や「人的なすり合わせ」の可視化を期待したい。</p>	<p>【5】 プロセスシミュレーターに直接関係する技術だけでなく、周辺の技術も含めて技術の囲い込みを想定し、特許出願をINPITと相談、検討する。</p> <p>【6】 アウトカム目標については【2】の再掲。</p> <p>【7】 AIおよびシミュレーションを活用する情報の絞り込みが難しく、必要な情報を精査する。今回のシミュレーターは実験にかかる時間の短縮を優先し、まずは構造変化のデータ化を進めていく。</p> <p>【8】 プロセスデータの自動取得化を進め、インフォマティクスの構築を目指すし、逆問題解析の実現を検討する。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【9】 今後は DX 研究者・技術者がより積極的に関わり、システム全体の使いやすさ、種々のシミュレーションの連続性、AI との連動を考慮したプラットフォーム構築に努めてもらいたい。</p> <p>【10】 実施者間の連携、成果のユーザーによる関与など、利害を乗り越え連携強化を図っていただきたい。</p> <p>【11】 研究開発計画においては、要素シミュレーターの「連結」をどのような戦略で進めるのかを明確にし、統合形プロセスシミュレーターを完成させる道筋が示されることが望ましい。</p> <p>【12】 後半は参加企業における実証フェーズとなるが、各社におけるデータ計算駆動型開発モデルを可能な範囲で共有・展開していただきたい。</p>	<p>【9】 関係者の意見を取り入れ、統合型プロセスシミュレーターのインターフェースの改良等、システム全体の使いやすさの向上に努め、AI と連動するプラットフォームの構築を検討する</p> <p>【10】 共通課題において実施者間で情報を共有し、議論をする場を設けることで実施間の連携強化を検討する。参画企業がプロセスシミュレーターを検証し、結果をフィードバックすることで、作る側と使う側の連携の強化を検討する。</p> <p>【11】 産総研、JFCC が要素シミュレーター間のデータを変換するプログラムを開発し、統合型プロセスシミュレーターの連結を検討する。</p> <p>【12】 標準試料によりデータ計算駆動モデルを各社で開発し、参加型のシミュレーターの開発体制の構築を検討する。</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）事業統括部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 事業統括部 研究評価課

* 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)

〒212-8554
神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地
ミュージア川崎セントラルタワー
TEL 044-520-5160