

高付加価値セラミックス造形技術の開発

1) 開発の取り組み内容

日本のセラミックス技術は世界的優位に立っており、製品シェアもほぼ半分を占めるが、近年諸外国の急速な追い上げに直面している。当該産業分野を持続的に発展させるためには、イノベーションの芽となるアイデアを迅速に具現化し、ものづくり技術を革新することが重要であった。従来のセラミックス製造プロセスにおいては、複雑形状、中空形状の部材を作製することや、金属、樹脂基材上への高密着な皮膜を付与することが困難であり、造形上の都合によりセラミックスを採用できる部材が限られていたが、本研究によりこれらの課題を解決することで、セラミックスの本来の優れた特性をより多くの製品に適用できる技術を開発することにした。

■実用化ツールの開発

【技術アイデアの創出】

・3D積層造形技術

複雑形状や中空形状の部材作製を可能とするために、2000年頃から欧州等において研究されてきたセラミックスの粉末積層造形法やスラリー積層造形法を前進させ、種々の材質や製品等に対応できる技術とするとともに、3D積層造形技術にとっての大きな課題である焼結プロセスの抜本的見直しによる最適化がブレークスルーの鍵であると考え、成形と焼結の同時実現により後焼結プロセスの省略、焼結炉不要など焼き物の常識を変える直接造形法等の開発を行い、製品形状設計の自由度向上や生産工程短縮に資する造形技術としての基盤を構築することとした。

・ハイブリッドコーティング技術

ハイブリッドコーティング技術として、H14年頃からNEDOナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術において研究されてきたプラズマ援用AD法技術をさらに前進させ、原料粒子の微細化やプラズマ制御により、溶射法では困難な金属、樹脂基材上への高密着な皮膜形成を可能とするハイブリッドAD（エアロゾルデポジション）法や微粒子スラリー溶射法を開発し、3次元表面上への高密着・高機能な複合膜、積層膜のコーティングを実現することで、製品設計の自由度や機能向上を図り、同時に皮膜対象物の大型化につながる生産速度やコスト低減に資する基盤技術を構築することとした。

【研究体制の構築】

我が国セラミックス産業は、世界トップレベルの製造/生産技術を有し、世界シェアのほぼ半分を占める。その代表的企業群である森村グループ（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）の積極的な連携により、各社の出口部材を題材に、3D積層造形技術とコーティングの2大課題についてそれぞれ革新的生産技術の基礎を築くこととした。3D積層造形技術では、従来から種々の造形技術の研究を行っていた産総研（中部センター）、スラリー積層造形技術の大阪大学、直接レーザー焼結技術のJFCCと連携し、産総研（中部センター）と大阪大学への集中研として森村グループの研究者

を派遣する形態とした。コーティング技術では、従来からAD法の開発を進めてきた産総研（つくばセンター）、微粒子スラリー溶射の大阪大学と連携し、これも集中研として森村グループの研究者を派遣することとした。

【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ>

TOTO：衝撃結合効果を利用した窯業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度 H13～H15。

TOTO：ナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術、実施年度 H14～H18

TOTO：エアロゾルデポジション法を用いた固体酸化物形燃料電池の開発、実施年度 H20～H21

TOTO：革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度 H21～H25。

- ・SIP 公募に提案し採択(H26/9)。

<産総研>

- ・SIP 以前のセラミックス積層造形関連国 PJ 名
 - ・革新的省エネセラミックス製造技術開発、実施年度 H21～H25（産総研 PL）。
- ・SIP 以前のセラミックスコーティング関連国 PJ 名
 - ・NEDO 衝撃結合効果を利用した窯業プロセスのエネルギー合理化技術に関する研究開発、実施年度 H13～H15（産総研 PL）。
 - ・NEDO ナノレベル電子セラミックス材料低温成形集積化技術、実施年度 H14～H18（産総研 PL）。
 - ・NEDO MEMS—半導体横方向配線技術、実施年度 H18～H20（産総研 SPL）。
 - ・NEDO 高周波低損失高感度電気光学材料の研究開発、実施年度 H18～H22。
 - ・NEDO ナノキャピラリー構造を有する大容量電解コンデンサの研究開発、実施年度 H19～H20。
 - ・NEDO エアロゾルデポジション法を用いた固体酸化物形燃料電池の開発、実施年度 H20～H21。
 - ・NEDO 高性能AD圧電膜とナノチューブラバーを用いたレーザTV用高安定光スキャナーの基盤技術開発、実施年度 H20～H22（産総研 PL）。
 - ・JST 住環境向け色素増感型アンビエント太陽電池の研究開発、実施年度 H23～H25。
 - ・中企庁 微粒子常温スプレー方式による産業用ロールへの硬質アルミナ表面形成技術の開発、実施年度 H23（産総研 PL）。

【技術開発のマネジメント】

実施者を中心とする「イノベーション検討委員会」を発足させ、本事業におけるイノベーションの推進と総括、外部企業のイノベーションを支援するための枠組みの検討等、効果的にイノベーションを誘起するための具体的な方策を総合的に検討した。

【技術開発】

- ・ 3D積層造形技術
 <TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ、産総研> H28年度までは、粉末積層造形に適した粉末作成や造形条件の最適化、スラリー積層造形による複雑構造部材の試作、酸化物セラミックス粒子のレーザー照射プロセス基盤技術開発を実施。H29年度以降は、粉末積層用原料の混合による改良と予熱温度高温化等の条件改善、スラリー積層造形プロセス開発で得られたサポート付与を含む複雑構造技術等の適用、レーザー照射下の温度分布等の物性基礎解明を進め、実部材を想定したモデル部材などの試作技術を構築する。また、トポロジー最適化手法を用いた設計品の試作を実施。
- ・ ハイブリッドコーティング技術
 <産総研、TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ> H28年度までは、ハイブリッドAD法におけるエアロゾル中の微粒子へのプラズマ緩用条件の解析、既存のAD装置に熱プラズマ発生機構等の導入による成膜速度、膜密度、基材密着性向上技術開発、複合粒子の樹脂基材等への密着性向上を実施。H29年度からは、開発したハイブリッドAD法の複合材料粒子最適化を行い、高成膜速度、高被膜性を実現し、ハイブリッドAD法をコアとするプラットフォーム技術を構築。
- ・ 部材化技術
 <TOTO、産総研、大阪大学> 28年度までは、半導体製造用セラミックス部材、耐プラズマ部材、移動式トイレ、セラミックフィルター、人工膝関節、骨補填材、セラミックコアについて、部材設計、試作、プロセス技術の構築を実施。H29年度からは、各部材について、模擬形状の試作とその評価を通じた、実形状・実用サイズの試作と評価を実施。

【技術の検証方法の決定】

3D積層造形技術とハイブリッドコーティング技術について、それぞれ産総研（中部センター、つくばセンター）を拠点とする集中研へ、参加企業（TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ）が人員派遣し、参加企業ごとにあらかじめターゲットとなる部材を決め、現場で実用化を前提とした技術を検証することとした。

【技術検証】

- ・ 半導体製造用セラミックス部材：炭化ケイ素系およびアルミナ系部材を開発、造形条件の最適化により、高ヤング率、高曲げ強度をもつ部材を開発。
- ・ 耐プラズマ部材：RFプラズマ緩用技術を導入した製膜技術を開発、製膜粉体・製膜条件を最適化し、膜硬度、耐プラズマ性を目標とする物性まで向上。
- ・ 移動式トイレ：ABS・PP基材へのセラミック製膜サンプルを試作、密着性の課題を解析し、膜硬度・密着強度を向上。
- ・ セラミックフィルター：微粒子スラリー溶射技術およびハイブリッドADコーティング技術を検討。目標とするシール緻密性を有する部材を開発。
- ・ 人工膝関節：大腿骨コンポーネントに、3D積層造形技術とハイブリッドコーティングを適用、耐摩耗性、形状、密度等の最適化条件を決定。
- ・ 骨補填材：造形プロセスに適した粉体・スラリーを開発、造形パターンや造形条件を最適化するとと

もに、造形テストピースを大型化した場合の条件も評価。

- ・セラミックコア：スラリーおよび粉末積層造形方法を開発。脱脂－焼成条件や充填剤等の検討も実施。

【知的財産の確保】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

今回の SIP 以前に 3D 積層造形、ハイブリッドコーティングに関する知的財産の取得は無し。

SIP 期間中に部材化技術の研究結果として 8 件の特許を出願。

< 産総研 >

H10 年に、プラズマ援用 AD 法の基本特許を出願。

SIP 期間中にハイブリッド AD 法に関して 4 件、粉末積層造形技術に関して 3 件の特許を出願。

< JFCC >

SIP 期間中にレーザー直接造形の基本特許を含む計 9 件の特許を出願（基本特許 4 件を併合した国際優先権出願 2 件を含む）。

【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

- ・各部材に最適化されたプロセス条件やノウハウを持ち帰り自社にて活用（有効性の検証中）。

TOTO：半導体製造装置用部材、ノリタケ：セラミックスコア、日本特殊陶業：骨補填材、日本碍子：フィルター、等

< 産総研 >

- ・SIP 後も、粉末積層造形装置を保持し、SIP 外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。

SIP 後も、ハイブリッドコーティング装置、コーティング設計ソフトウェアを保持し、SIP 外部含む企業・大学等からの使用ニーズに対応する。

< JFCC >

- ・SIP 後も、レーザー直接造形装置（プロトタイプ）を保持し、受託研究および共同研究を通じて、SIP 外部含む企業等からのニーズに対応する。

■ 出口戦略

【ツールの出口戦略の決定（コンソーシアム、ベンチャー設立、販売、オープン利用など）】

< TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ >

- ・自社に持ち帰った部材を用いた製品化を各社にて決定。

< 産総研 >

- ・事例の創出（専用機の導入）、拠点の自立的運営に向けた取り組み（レンタルソフトの買い取り等）を検討。SIP 外部企業・大学等によるテストユースには、イノベーション検討委員会での審議を行い、各種規程との整合を図る。

< JFCC >

- ・SIP 終了後、企業等からの委託研究・依頼試験に装置を解放し、研究費・試験費を基盤財源として装置を運営し、産業界のニーズに広く対応する。また、企業等との共同研究を通じて開発技術のさらなる高度化を図る。

【コンソーシアムの運営】

<産総研>

- ・先進コーティングアライアンスにおいて民間企業 44 社と運営中。

【ベンチャー設立】

—

【ツール販売】

<TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ>

- ・開発した粉体、プロセス条件は自社セラミックス製品に活用。

<産総研>

—

<大阪大学>

—

<JFCC>

SIP 内企業 4 社と国際共同出願した基本特許のライセンス供与による装置販売を模索。

【ツールオープン利用】

<産総研、JFCC>

SIP 後も、3D 積層造形装置、ハイブリッドADコーティング装置を拠点に設置し、企業・大学等からの使用ニーズ、共通基盤技術（SIP 参加企業の独自ノウハウに属さない一般のプロセスパラメータ等）への問い合わせに対応し、セラミックス造形技術の普及のための環境を整備。コーティング拠点の利用検討半期で 40 件、利用事例の創出 4 件、拠点技術拡散のための普及モデル（例：先進コーティングアライアンス(www.adcal.org)の活用)の構築。

<JFCC>

直接造形に関する産業界からのニーズは高いが、SIP において蓄積した原料の調整方法や造形条件に関するノウハウの流出を避けるため、開発ツールのオープン化は困難。研究契約等での秘密保持に留意しながら、個別用途に適したツールの開発を進める。技術の成熟（汎用化、標準化）により、将来的にオープンとする可能性はある。

【技術の PR】

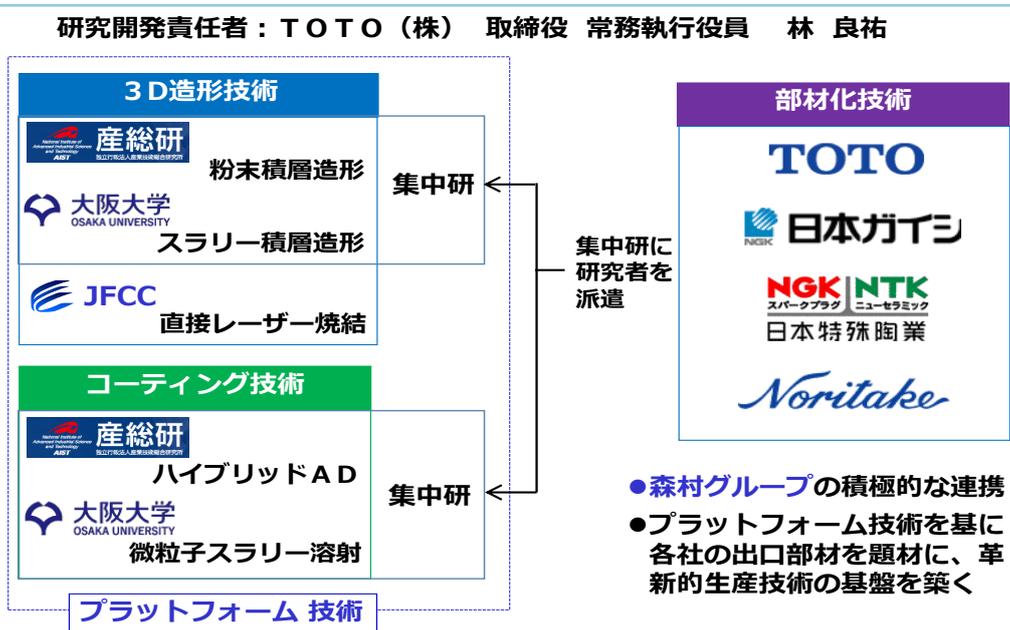
インターネットや年間を通じた各種シンポジウム、講演会等での発表を中心に技術の PR を実施。このほか、高機能セラミックス展、ナノテク展、3D Printing 展、Ceramic Expo などの主要な展示会に出展。日本セラミックス協会や粉体粉末冶金協会、溶射学会などの国内学会に加え、米欧の各種国際学

会での発表を行い、さらには、日本セラミックス協会協会誌の2017年10月号に、本プロジェクトである高付加価値セラミックス造形技術の特集を組んでいただいた。このような活動が、日経新聞、日経BP、日刊工業新聞などの主要なメディアに取り上げていただくことにもつながった。また、拠点利用成果の拡散を強化のため、「歯科部材応用事業」、「吸湿シート応用事業」、「放熱基板応用事業」「キッチン用品」等の拠点利用について、試作品提示、試作性能評価を完了。

2) 開発のタイムライン (詳細別紙)

3) 開発形態ダイアグラム

研究体制



1

4) 成功要因と課題

- ・世界トップレベルの製造/生産技術を有し、世界シェアのほぼ半分を占める我が国セラミックス産業界において、その代表的企業群である森村グループ (TOTO、日本ガイシ、日本特殊陶業、ノリタケ) が、当初からプログラムに参加し、明確に出口部材を題材にした技術ターゲット (3D積層造形技術、ハイブリッドコーティング技術) を設定したこと。
- ・参加した企業群が、同業企業であっても個々の利害関係を一旦棚上げし、日本の産業競争力強化を目的に一致団結できたこと。知恵の出し惜しみ・隠し合いや成果の帰属問題などの懸念を、スタート時点で経営レベルにおいて解消・合意したこと。技術会議にて技術的知見を共有。それぞれが担当する部材化技術の開発に活用、もの創りのノウハウとして日本の産業力強化に結び付けたこと。
- ・要素・基盤技術を持つ、産総研、大阪大学が連携し、実用化を担う森村グループの人員を集中研の形態で受け入れ、出口を明確に意識した現場開発を基本とした研究体制。
- ・直接レーザー焼結装置を、早い段階で JFCC が内部に設置し、テストユースを進めユーザからのフ

ードバックを共有できた。

- プロセス技術は企業にとって外部開示し難いことを当初から理解し、ノウハウに関する部分をクロージドイノベーションとして切り分け内部にしっかり保持し、その他共通基礎・基盤技術となる部分をオープンイノベーションとして外部企業にテストユース適用するなどの、技術の切り分けと目利き戦略が優れていたこと。
- 技術の PR として、シンポジウムや講演会での発表を、年間を通じて行った。このような場で会話した方や企業との長く続く関係を構築できる傾向があり有効である。
- 先進コーティングアライアンスの活動に AI 技術などを取り入れることにより、マッチングの確率を上げ、ビジネス創出の機会向上を積極的に狙っていく必要がある。

5) 場・仕組みからの FB

産総研に、3D積層造形装置、ハイブリッドADコーティング装置を設置し、企業・大学等からの使用実績（「歯科部材応用事業」、「吸湿シート応用事業」、「放熱基板応用事業」「キッチン用品」等）について、試作性能評価結果の FB を受け、技術開発に役立てている。また、プロト機を設置した JFCC で、レーザー焼結装置を活用の場として運用している。

