

## ナノ物質の集積複合化技術の確立と戦略的産業利用

### 1) 開発の取り組み内容

素材の新規特性付与と高特性化にはナノ物質をマトリックスに添加することで得られる複合材料の開発が有効であり、これまでに多くの試みがなされてきた。しかしながら、従来の粉末冶金的手法では、大きさ、比重、形状が大きく異なる添加物（ナノ物質）と基材となるマトリックス粒子を機械的に混合するために、均質な混合原料粉末を得ることができず、この結果、ナノサイズの添加物を有効に材料内に導入することができなかつた。これまで膨大な研究例があるにも関わらず、任意の微構造を再現性良く導入する製造プロセスが確立されておらず、この分野の閉塞感を招いていた。

本研究実施者は、静電相互作用を用いて、マトリックス粒子表面にナノ添加物を均一、かつ高分散状態で吸着させる技術を提案し、得られた複合粒子を出発原料とすることで、従来の機械混合プロセスを一切用いることなく再現性良く、高機能ナノ複合材料を開発することができることを示し、複合材料開発において世界から注目を集めてきた。しかしながら、当該研究開始前は、複合粒子の作製手順は煩雑で多くの時間を要しており、材料開発に供する為の十分な量を供給することができなかつた。本課題では、世界に先駆けて、複合化プロセスの自動化、連続化に取り組み、迅速で高精度、かつ安価に複合粒子を供給できる量産化プロセスの構築と製造装置の開発に取り組むこととした。

### ■ 実用化ツールの開発

#### 【技術アイデアの創出】

SIP以前のかかなり早い段階から、本研究実施者はナノ複合材料の基礎検討を進め、成果を各種学会・展示会で紹介し、また技術相談にも応じてきた。2012年から、本研究実施者の元への技術相談は75社にのぼっていた。幾つかの展示会（イノベーションジャパン等）への出展においては、ブースへの来訪者が途切れることがないほど、多分野から多大な関心を寄せられていた。特に、充填剤の混合が必須となる樹脂材料メーカーや、多成分系が材料設計の基本となるガラス・セラミックスメーカーにおいては、材料複合化における問題は切実であった。その一方で、かかる企業は最終製品の製造メーカーであるため、原料物質そのものをデザインし、更に複合粒子として製造する技術を持たない。つまり、本研究実施者との共同研究やサンプル提供にて、所望の特性を有する原料物質の創成がラボスケールで確認できても、その原料物質の供給が可能な体制が世の中にないため、パイロットスケールの試験を行うこともままならず、事業化への障壁となっていた。

#### 【研究体制の構築】

本研究実施者は、機動力を最大限発揮できるよう大学単独による研究体制で事業を進めるとした。一方で、創成された研究成果が広く活用されるよう研究会（「ナノ物質集積複合化技術研究会」）を立ち上げた。SIP開始前から、愛知県の公益財団法人科学技術交流財団が支援する研究会（ナノ物質の高度集積化技術による新規機能性微粒子と革新的複合材料の創製）や共同研究等を通じた大学・企業等との連携実態があったため、SIP開始時にはこれら連携先と引き続き技術交流を続けることで、

自然と新たな研究会が立ち上がり、連携体制が構築された。また、SIP開始後は、SIP内での連携も積極的に推進した。具体的には、岩手大学平原グループの分子接合の技術を利用した協調を進めカスタム複合チップの作製を行い、テストユースを行った。また、横浜国立大学丸尾グループをはじめとする3D造形グループとの連携も進め、複合粒子の提供等で協力関係を築いた。その他、材料の新規分野開拓は基礎研究に実績のある大阪大学、ナノ複合膜の形成は産業技術総合研究所と、それぞれ情報交換を進めつつ連携を推進した。加えて、SIP外においては、新たな取り組みとして公設試との連携を進め、東海地区の企業との共同研究を推進できる体制を構築した（粒子設計拠点）。また、研究会参加企業、先行する共同研究企業へは、SIPでの研究成果を展開し、更に発展的な研究開発を促進した。

#### 【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

ナノ複合粒子を設計する手法の確立と、迅速かつ安価に供給できる量産技術の開発を SIP に提案し、H26 に採択され研究に着手した。

#### 【技術開発のマネジメント】

本研究実施者が提案するナノ物質集積化技術（複合粒子設計）は、粉末の基盤技術となるものであることから、製造装置・方法に関する技術確立に特定の民間企業が関与することを排除し、大学のみで独自確立することを基本方針として定めた。そして、ナノ物質集積化技術の社会実装と汎用化のため、「ナノ物質集積複合化技術研究会」を設立、H29 年度末までに計 10 回の研究会を開催した。この研究会にて、モデル材料であれば誰でも作製できるスキルの習得を目的とした実習や、自動装置の使用手法、先端的な基礎研究のトピック紹介等を実施した。

#### 【技術開発】

##### ・ナノ複合粒子製造装置の開発

H28 年度までは、従前のプロジェクトで開発した反応槽型の複合粒子製造装置（試作機）を改良することで処理能力の向上を目指した。処理量改善を目指し、反応槽の形状、攪拌システムの検討を通して濃厚溶液（20～30vol%）での作製法を確立し、先の試作機との比較において、3～4 倍程度の処理量（300～400g/h）を達成した。さらに反応槽での処理限界を超えるため、「連続型」の複合化装置を提案し、最適化を行った。本装置により、処理量の大幅な改善のみならず、母粒子への子粒子付着量の制御や均質性の向上が可能となることが明らかとなった。H29 年度以降は、連続製造のためのシステム化を進め、最終目的として掲げた傾斜構造、内部構造の 3D 化構造部材開発に繋げる。

##### ・エアロゾルデポジション（AD）用ナノ複合粒子の開発

H28 年度までは、自作の AD 成膜装置（低温厚膜製造装置）の導入と、汎用性の高い典型的なセラミックスであるアルミナを原料とした硬質透明膜の成膜条件の検討を行い、そこから新たな機能を付与した機能性膜の製造手法を確立した。そして、次の段階として、複数種のナノ物質が膜中に取り込まれた多元多機能（マルチファンクション）AD 膜の開発に取り組んだ。（H28 年度で終了）

##### ・付加製造技術の発展に寄与する各種原料の開発

H28 年度までは、炭酸ガスレーザー等で十分に焼結可能なナノ複合粒子を開発するため、焼結助剤との複合化等を検討し、他機関への粉末提供を徐々に開始した。また、グリーン体の複雑造形技術に

資するナノ複合粒子（ポスト焼結）について、企業との連携を進めるべく、特定企業とNDA下での研究交流を進めた。H29年度以降は、H28年度までに予備的検討を終えた、セラミックス直接3D造形用粉末を原料とした焼結実験を平行して実施している。また、特殊用途に向けた傾斜組織材料の開発をいち早く達成するために、組成比を連続的に変化させる製造技術（母材粒子と子粒子との体積比を0～40%程度）を進展させ、傾斜構造を有する板材（傾斜組成範囲：0～100%程度）の開発を行っている。さらに、京都大学、西脇教授らのグループとの連携を進めて、トポロジカルデザインを導入した機能性部材の検討を開始する。最終目的とする、特殊用途に向けた傾斜組織材料（傾斜組成範囲：0～100%）を用いて傾斜構造を有する板材の開発を行う。

#### 【技術の検証方法の決定】

実施者（大学）は、ナノ複合粒子の迅速かつ安価な供給方法を開発、そこで試作したサンプルを、製造メーカー等、量産化を前提とする機関へ提供し、テストユースを実施する方法とした。

#### 【技術検証】

SIP 実施者の開発した連続複合粒子製造装置で作製したサンプルを、製造メーカー等へ提供してテストユースを実施。具体的には、付加製造技術用粒子提供、特定用途の複合材料提供、AD用粉末提供等を実施した。それぞれのフィードバックを活かし、材料の多様性、オンデマンド性を検証した。

#### 【知的財産の確保】

<豊橋技術科学大学> SIP 期間前に、ナノ複合材料と製造方法に関して6件を出願。

さらに SIP 期間中に、複合粒子製造装置の知財化（H29年PCT出願）をはじめ、複合粒子およびその製造方法に関連して合計4件を出願中。

#### 【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

<豊橋科学技術大学> 複合粒子製造装置開発および複合粒子の設計技術の開発を通じて、迅速かつ安価な製造方法の確立を行い、企業へサンプル提供を行うと共に、企業が自律的に製造できるようにマニュアルを整備する。

<岐阜県セラミックス研究所> 東海地区の企業との共同研究体制を構築し、粒子設計拠点とする。

### ■ 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）】

ナノ複合粒子の精密な製造手法が確立され、複合粒子量産装置が実用化されると、川下側のユーザへそれらが提供され、ユーザは仕込み成分が予め複合化された状態の原料物質を入手できる。添加物の偏在によってバルク全体の特性を向上させることができないという現状の課題を解決し、添加量に応じた所望の（設計通りの）特性を発現させることができ、自社製品の改良・高機能化を行うことができる。実用化される研究開発成果は、デザインされた原料物質の供給という川上の源流に位置する技術であるため、高分子材料から金属、セラミックス材料に至る幅広い素材メーカーが本技術の活用先になる。

### 【コンソーシアムの運営】

科学技術交流財団の研究会に参画した企業（約 30 社）、過去に技術相談で来校した企業（約 75 社）、イノベーションジャパン等の展示会・学会にて名刺交換した企業（約 200 社）を対象に、特に関心を持つ企業を選び、H27 年度にコンソーシアム（ナノ物質集積複合化技術研究会）を設立した。これらの企業に対して情報提供の場として研究会（セミナー・実習）を実施した（年 4 回程度）。研究会は、登録機関数 37（民間企業 35、公的機関 2）、登録人数 90 人となり、産業界からの高い関心を集めた。H29 年度以降は、社会実装の実現性の高い企業を選定し個別での共同研究に比重を移している。また、地域創生を加速させるために、研究会メンバー以外にもセミナー・実習への参加を開放し、東海エリアを含めた企業が参加する実習を開催している。最終年度は、研究会の体制も維持しつつ、実用化に向けた個別の対応に更に重きを置き、十分な量の複合粒子を提供することで、社会実装の実現を加速する。

### 【ベンチャー設立】

—

### 【ツール販売】

1. メーカー自身による製造：共同研究に発展した企業には、基本特許の通常実施権をライセンスし、自社生産による事業化を可能とする。
2. 粒子設計拠点の活用：有料での技術講習を定期開催し、企業による複合粒子作製の基本スキル習得（企業内への浸透と醸成）を図る。ラボスケール、パイロットスケールでの必要量の複合粒子は、拠点に設置する複合粒子製造装置を企業が時間利用することで、試作できるよう整備する。尚、企業が試作から商用的な生産スケールで製造へステップアップする際には、製造装置・方法について通常実施権をライセンスする。
3. その他：ナノ複合粒子の成果として、複数企業との産学連携が創出され、今後の実用化に向けた検討が開始された。

### 【ツールオープン利用】

<豊橋技術科学大学> 開発したナノ複合粒子の製造方法を全て開示するとともに、定期的に研究会を開催して参加者が自ら複合粒子を作製できるようにするなど、基本的にオープン化の戦略をとり、これをもって SIP 外の機関が広くテストユースできる結果となった。

<岐阜県セラミックス研究所> ツールを設置する。オープン利用を開始（H31 年～）。

### 【技術の PR】

ナノ複合粒子活用に関する動向調査を本テーマ実施項目の一つとした。本研究実施者は、従来から技術相談を通じて、電器、機械、材料、ヘルスケア、化粧品、食品等々、ナノ物質を含む粉末を扱う全ての業種がナノ物質集積化技術に強い関心を寄せていることを把握していたため、粉を扱う企業が一堂に会する粉体工業展へ出展し、これを最大限に活用して動向調査を進めた。

粉体工業展、更には nanotech への出展は大きな反響を呼び、多数の来訪者から多岐にわたるニーズを収集することができた。更には、粉末について切実な課題を抱える企業とのマッチングが成立し複数の共同研究へと発展した。また、あいち産業科学技術総合センターと協調して、愛知県内外における3Dプリンタを中心としたニーズや動向調査・課題の抽出を進めた。その結果に基づき、材料種の選定を行い、試作品を提案するための検討を行った。

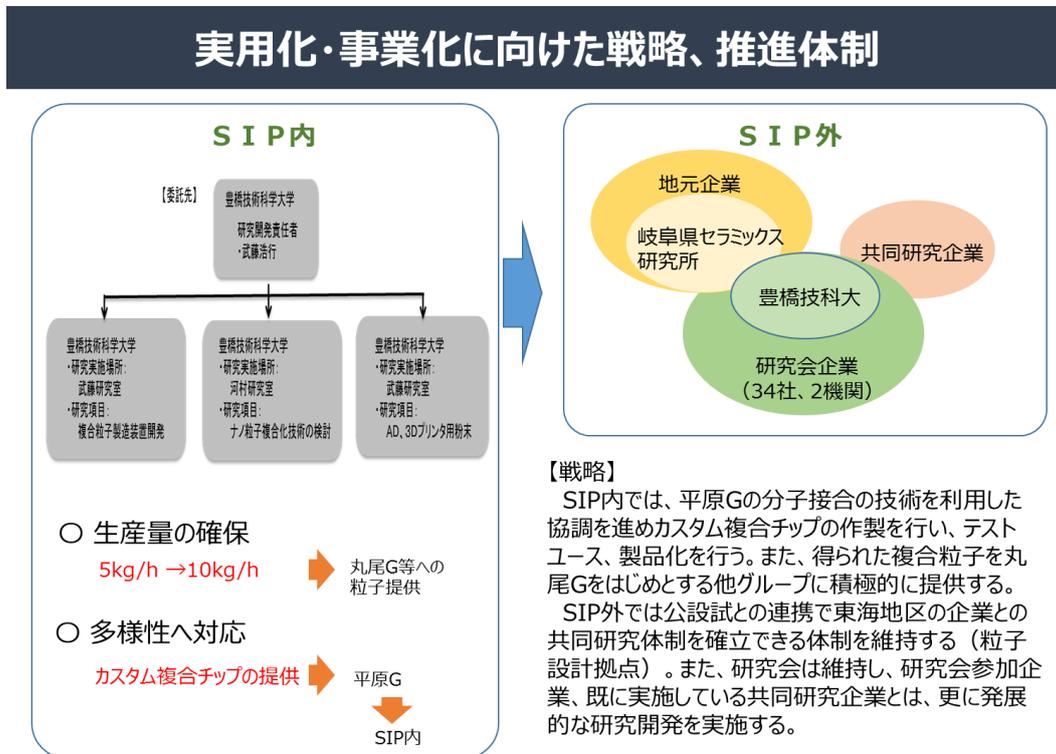
H29年度以降は、新規に開発を進めている傾斜材料製造プロセスに関する情報を、学会、展示会等を利用して積極的に情報発信しながら、活用領域の開拓を進める。必要に応じて、あいち産業科学技術総合センター、岐阜県セラミックス研究所、三重県工業技術センター等の公設試内での広報活動（パネル、試作品の展示）を実施する。特に岐阜県セラミックス研究所では、主催されるセミナーでの講演を予定しており、岐阜県セラミックス研究所を介した周辺企業とのマッチングを試みる。また、費用の問題がクリアされる場合には、各試公研への装置設置の可能性に関して検討を進める。研究開発の実績を踏まえて、実現可能と思われる材料種、組成、微構造の提案を行い、媒体で提供できるように整備する。これに関してもプロジェクト終了以降も、公開可能な範囲で更新できる仕組みを確立し、企業の積極的な利用を促すために展示会等の広報活動を行う。H29/9月、複合粒子製造実習（20名）等実績あり。

主なアウトリーチ活動

- ・招待講演（8回）
- ・企業内講演会（2回）
- ・プレス報道（1回）
- ・展示会（H27年度3回、H28年度2回、H29年度3回）

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



4) 成功要因と課題

- SIP 以前の早い段階からナノ物質集積化技術の基礎検討を進め、その成果を各種学会・展示会で紹介し、技術相談にも応じてきたこと。このため実用化を目指す樹脂材料メーカーやガラス・セラミックスメーカーの関心があらかじめ高まっており、テストユース先候補をゼロから探索する必要がなかったこと。
- SIP 内の他テーマで、ナノ複合粒子を3D造形に適用できる可能性が広がったこと。また、分子接合技術など、本テーマの流路チップ作成に応用できる技術が見つかったことなど、SIP 内のテーマ間の技術連携を実施したこと。
- 大学起点の研究会を維持し、東海地区企業をはじめとする参加企業や地元公設試と発展的な研究開発を実施できたこと。

5) 場・仕組みからの FB

開発した複合粒子製造装置を、豊橋技科大、岐阜県セラミックス研究所にそれぞれ設置し、企業研究者にテストユースしてもらい、各社自らサンプルを製造し有用性を確認することができる。

