

ナノ物質の集積複合化技術の確立と戦略的産業利用

Development of Nano-Assembly Technique of Advanced Materials and Strategic Applications for Future Industry

“次世代モノづくり”に「粉」で貢献します

近年、Industry4.0をはじめとした新たな産業スタイルが提唱され、次世代製造業のあり方にも、多様化・高度化を見据えた改革・変革が迫られています。しかしながら、この新たな「うねり」においても、出発原料の「粉末」が果たす役割は重要です。例えば、3Dプリンタと称される、付加製造技術 (Additive Manufacturing: AM) は、次世代の製造業を代表する技術として脚光を浴びていますが、出発原料の多くは依然として「粉末」です。

本プロジェクトでは、産業の基盤となる「粉末」を、より高付加価値化する複合化技術の確立 (複合粒子の開発) に取り組んでいます。母材粒子表面にナノ物質を静電吸着 (複合化) することで得られる複合粒子を出発原料として用いれば、材料性能の飛躍的な向上、また、これまでに想定しなかった新たな用途展開が期待できます。綿密にデザインされた複合粒子は、従来法では実現できなかった新奇な微構造の創成を可能とし、勘

と経験に支えられていたモノづくりを一変する可能性を秘めています。提案する複合粒子を活用した新たなモノづくりを普及、持続的に推進するべく、複合粒子を迅速、安価に供給するための連続製造装置の開発もプロジェクトの重要な柱と位置づけ、世界に先駆けた研究を推進しています。

本研究開発は、内閣府、戦略的イノベーション創造プログラム*の11課題の1つである「革新的設計生産技術」の支援に基づき実施されています。

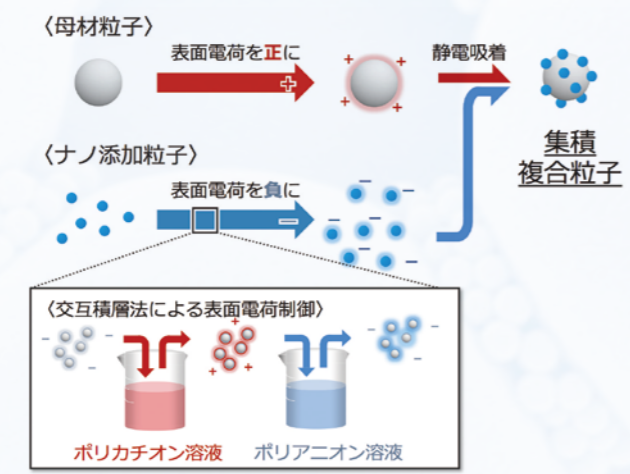


*「戦略的イノベーション創造プログラム」(SIP)は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議が自らの司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネションを実現するための国家プロジェクトです。国民にとって真に重要な課題や、日本の経済再生に寄与できる課題に取り組むものです。

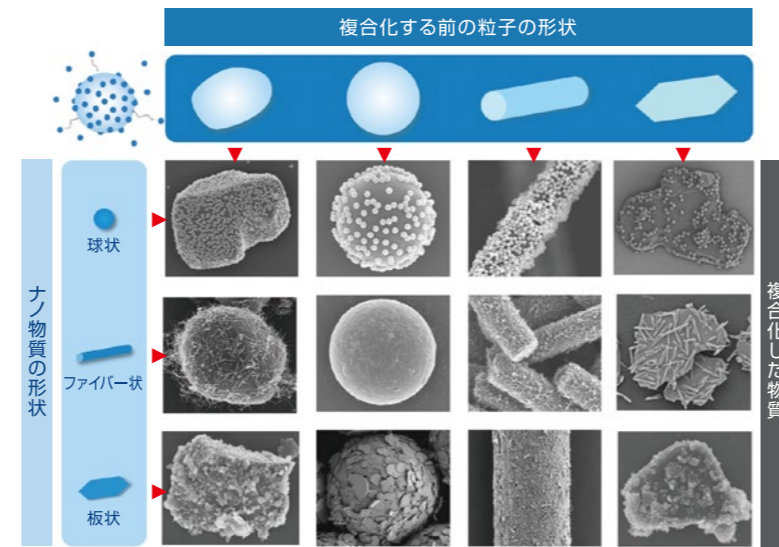
ナノ物質、常温・常圧で精密に集積化

ナノ物質を単体で取り扱う際に、必ず生じる深刻な問題があります。表面エネルギーが高いことに起因した「凝集」です。一時的にうまく溶液中に分散できたとしても往々にして再凝集し、他の材料と混合して複合材料を作製する際にはうまく混ざらず、材料開発の障害となります。そこで本研究では、従来通り簡単に取り扱うことができる大きさの粒子 (母材粒子) にナノ物質 (ナノ添加粒子) を吸着させて固定化する方法を提案しています。吸着には、粒子間に生じる静電相互作用を用います。図のようにポリカチオン、ポリアニオンなどの高分子電解質をそれぞれの粒子表面に吸着させて強い表面電荷を付与します。ナノ物質、母材粒子それぞれが相反する電荷を有する場合、両者を混合することで静電引力が生じて吸着し、図に示すような集積複合粒子 (ナノ複合粒子) を得ることができます。特別な装置を用いずに、溶液中、常温、常圧にてナノ物質を集積する

技術は実用性も高く安価にナノ複合粒子を提供する事ができます。様々な用途への適用が期待されています。



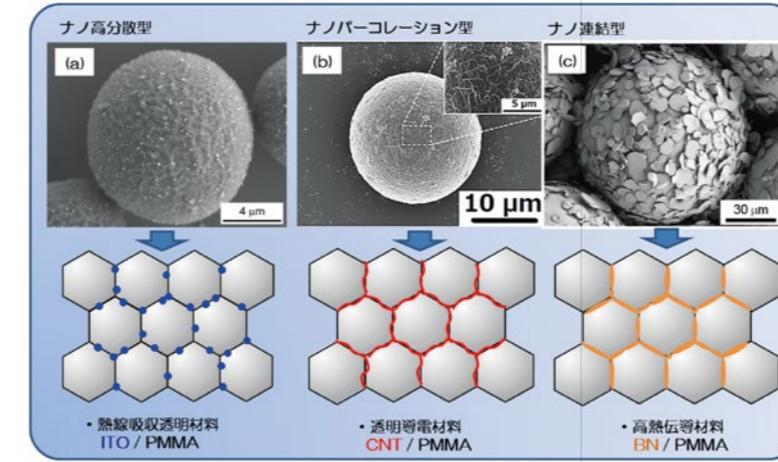
■ 複合粒子の設計



● どんな材料でも、どんな形状でもとにかく複合化

静電相互作用を用いれば取り扱いが困難なナノ物質をより使いやすく変身させることができます。この手法は、単純に表面電荷を調整するだけです。そのため、どんな材料 (金属、セラミックス、高分子) でも、どんな幾何形状の物質 (球状、ファイバー状、板状) でも、如何なる組み合わせに対しても適用できます。アイデア次第で多くのナノ複合粒子を創製することが可能な汎用性の高いアセンブリ技術です。

■ バルク材料の微構造設計

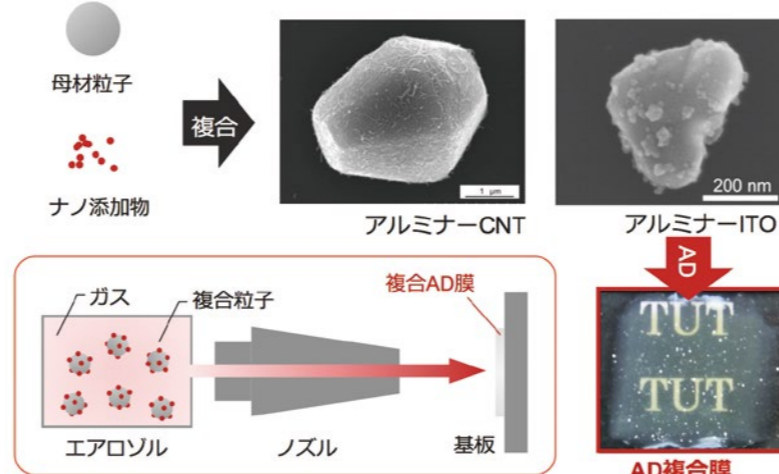


● ナノ複合材料の微構造制御が思いのまま ~新機能付与~

集積複合粒子を用いることで、これまで困難であった新規なナノ複合材料を開発することができます。例えば、母材粒子にナノ粒子を少量吸着させたナノ複合粒子をホットプレス成形すると、ナノ粒子が均一に分散した高分散ナノ複合材料を作製することができます。母材粒子とナノ粒子を従来のように機械的に混合してもナノ粒子は均一に分散されず、思ったような効果 (特性) を得ることは困難でしたが、本手法で予め集積複合粒子を作製してしまえば、通常の粉末冶金プロセスで高分散ナノ複合材料を創り出すことができ、期待した効果を得ることが可能です。ナノ添加物としてカーボンナノチューブ (CNT) を用いることでパーコレーション構造を導入した導電性高分子材料、熱伝導性の高い板状窒化ホウ素粒子 (BN) を用いることで高熱伝導性高分子材料の開発に成功しています。

■ 次世代モノづくりへの展開

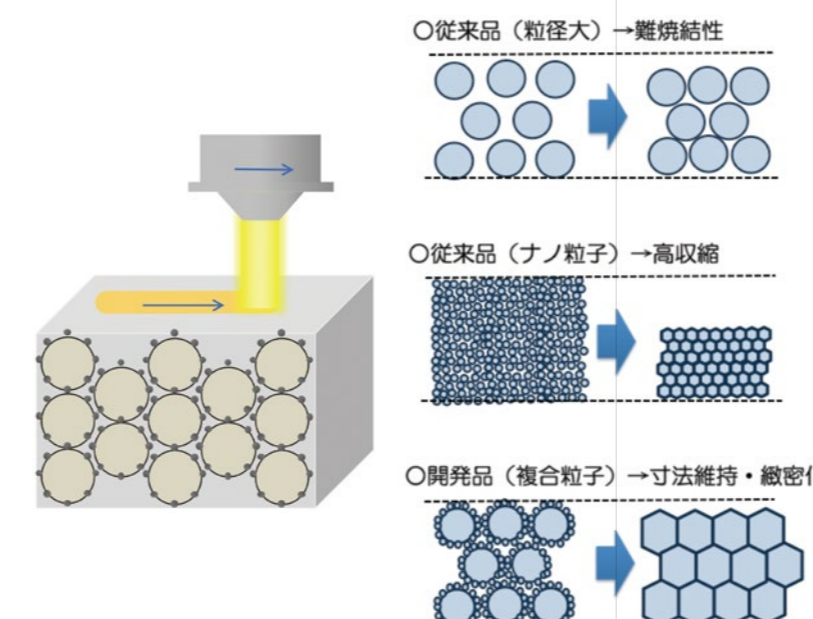
AD法によるナノ粒子分散複合膜の作製



● エアロゾルデポジション

エアロゾルデポジション (AD) 法は、焼結しにくいセラミックス粒子などを基板に吹きつけるだけで緻密な厚膜を成膜できる手法であり近年注目を集めています。透明なセラミックス膜を常温で成膜できる夢の技術であり、様々な用途への展開が期待されています。次世代技術として更なる発展を見越して、我々の複合粒子がこの分野でも大きな貢献できると考えています。現行技術では、単相 (モノリシック) の膜が主流で、ナノ物質が添加されている複合膜を得ることは困難です。そこで複合粒子の出番となります。例えば、母材粒子表面にナノサイズの機能

性物質を吸着させた複合粒子をAD成膜の原料として用います。母材粒子とナノ添加物質は大きさも密度も異なる物質ですので同時に基板に吹きつけても分離してしまい均一な膜にはなりません。複合粒子を原料に用いればナノサイズの機能性物質が緻密な母材膜内に均一に取り込まれた複合膜を得ることができます。これまでに、この手法を用いて酸化インジウムスズ (ITO) を添加物とした熱線遮蔽アルミナ透明複合膜、カーボンナノチューブ (CNT) を用いた導電透明アルミナ膜の開発等に成功しており、今後益々適用範囲が広がると期待されています。

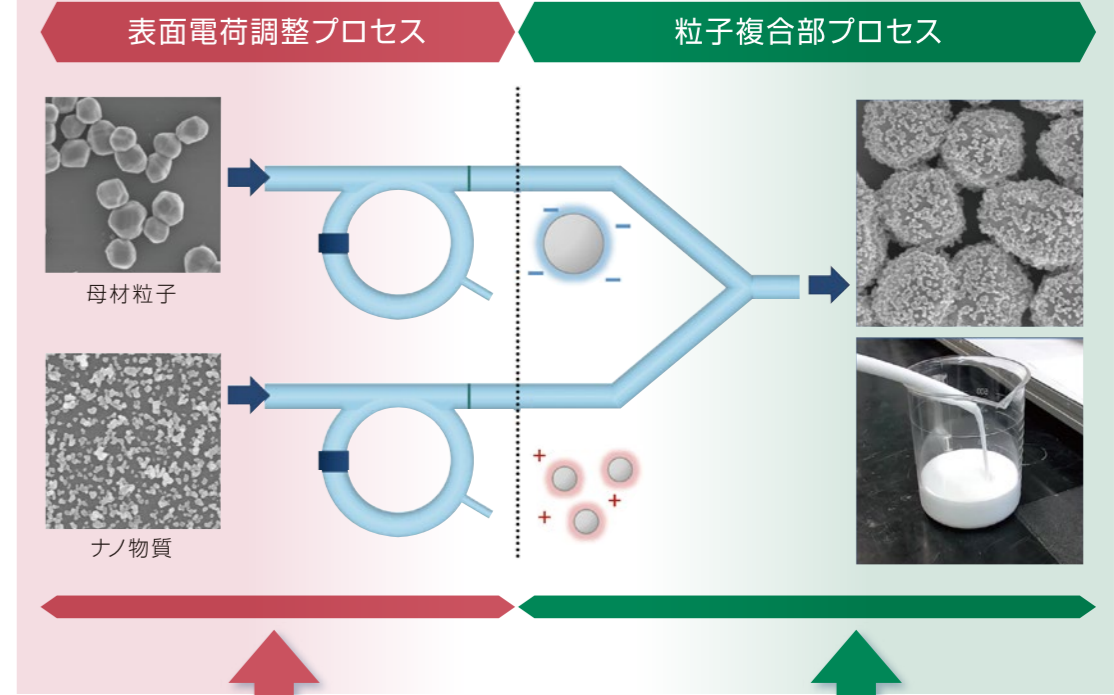


● 付加製造技術

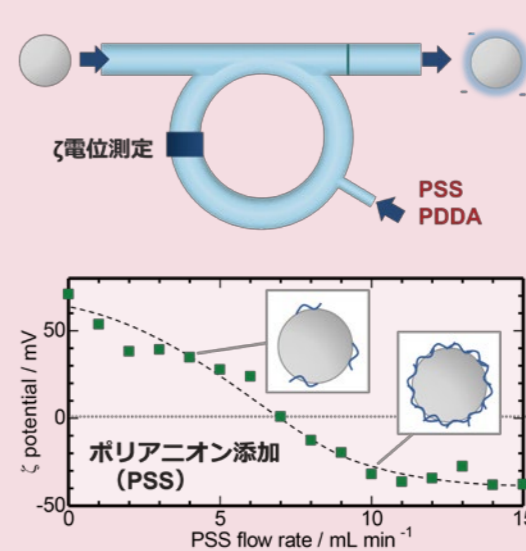
綿密に設計された複合粒子は、粉末床溶融結合方式の3Dプリンタ原料にも用いることができます。局所加熱源としてレーザー光が用いられますが、レーザー吸収率が低いセラミックスでは、直接造形が困難です。そこで本プロジェクトでは、レーザー吸収率の高いナノ粒子を、母材であるセラミックス粉末に均一に吸着させた複合粒子を開発し、セラミックスの直接造形の可能性を見いだしました。さらに発展させて、従来、単一材料で作られていた3D造形物を複合材料で実現する試みや、高寸法精度を維持するために焼結時の収縮が極めて小さい粉末の開発を進めています。我々は、提案する複合化技術によって次世代モノづくりを牽引していきます。

■ 複合粒子の量産技術

新規複合材料の開発においては、ある程度まとまった量の複合粒子を準備する必要があります。そこで、本プロジェクトでは、均質な複合粒子を大量に、かつ高速に製造するためのシステム開発も行っています。複合粒子を得るためには、2つの要素技術が必要です。1つは電引力を有効に発現させるための表面電荷の最適化プロセスであり、もう1つは電荷調整された粒子同士の間質混合プロセスです。開発システムでは各プロセスの自動化を進めています。

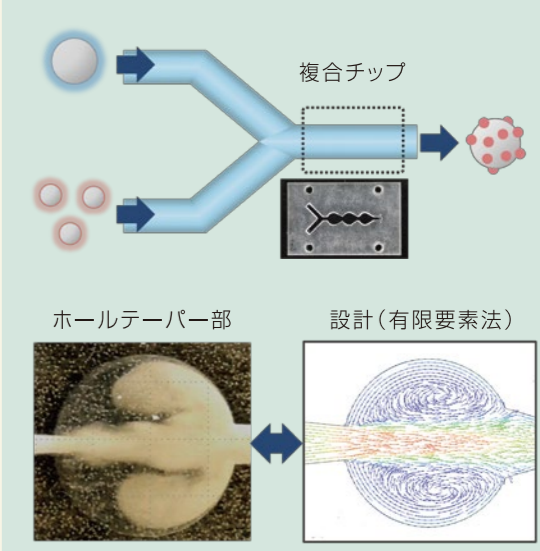


表面電荷調整プロセス



表面電荷調整プロセス: 最適な粒子の電荷はζ電位にて決定されます。電荷調整のためには高分子電解質を静電吸着させる必要がありますが、過不足がある場合、良質な複合粒子を得ることができません。開発したプロセスでは、サスペンションを円環内で攪拌混合しながら高分子電解質を徐々に吸着させ、この過程を逐次モニタリングします。これにより、最適電荷を自動で付与することができます。

粒子複合部プロセス



粒子複合プロセス: 母材粒子、ナノ物質それぞれを表面電荷調整プロセスにより相反する電荷に調整した後、両者を混合すれば、静電引力によりナノ物質が吸着した複合粒子を得ることができます。しかし、単純に混合するだけでは、高品質な複合粒子を得ることができません。そこで、均質混合のためのデバイスを提案しています。開発したデバイスは、テーパ部、ホール部が直列に連結した特殊な流路を有しており、サスペンションがこの流路を通過する際に、強い攪拌が起こることで良好な混合状態を実現します。結果として均質な複合粒子を連続的に製造することが可能となります。