

# 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

点(粒子)を制御する集積複合化技術が、面(機能性膜)、そして、立体(付加製造技術)への「革新的な“ものづくり”」に貢献します。

近年、様々なナノ物質が提案され、その電気的特性や化学的特性が注目されています。しかしながら、ナノ物質を単体で取扱うことは容易ではありません。

複合粒子は、静電引力を用いて母材粒子にナノ物質を複合化したものです。このため、母材粒子を取扱うのと同じ操作でナノ物質を簡単にハンドリングすることができます。

我々は、最終製品に求められるスペック・特性から、それを発現する複合粒子を設計することや、複合粒子を用いることで最終製品の微構造をデザインすることに挑戦しています(デライト設計)。

これにより、これまでには思いもよらなかった、「喜び」、「驚き」を感じる「デライト」な複合材料が生み出されてきています。更に、我々は、この新規な複合材料を迅速、かつ、安価に供給できる仕組みを確立することを目指しています。

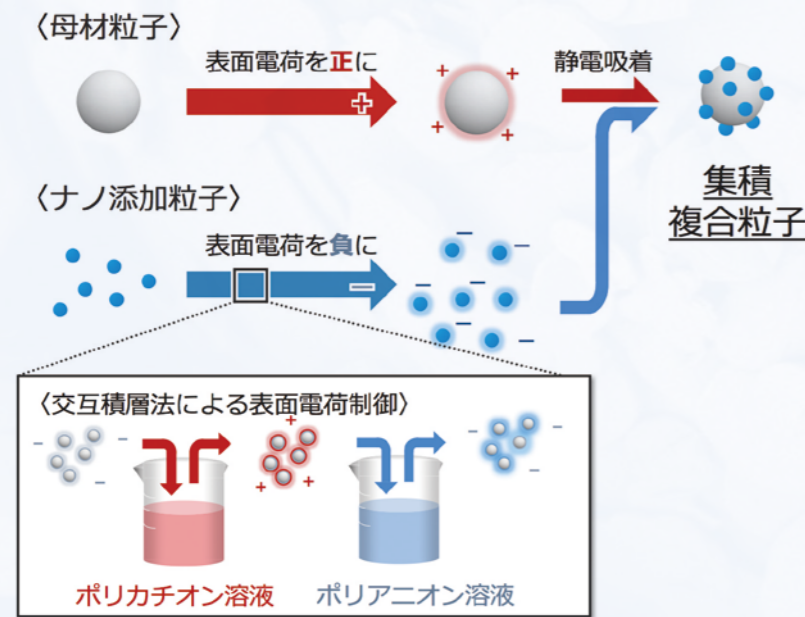
本研究開発は、2014年度に戦略的イノベーション創造プログラムの10課題の1つである「革新的設計生産技術」に採択され、複雑な構造・形状の製品をスピーディに製造加工する技術として、より一層の研究開発を推進しています。

「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ない場合が多く、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

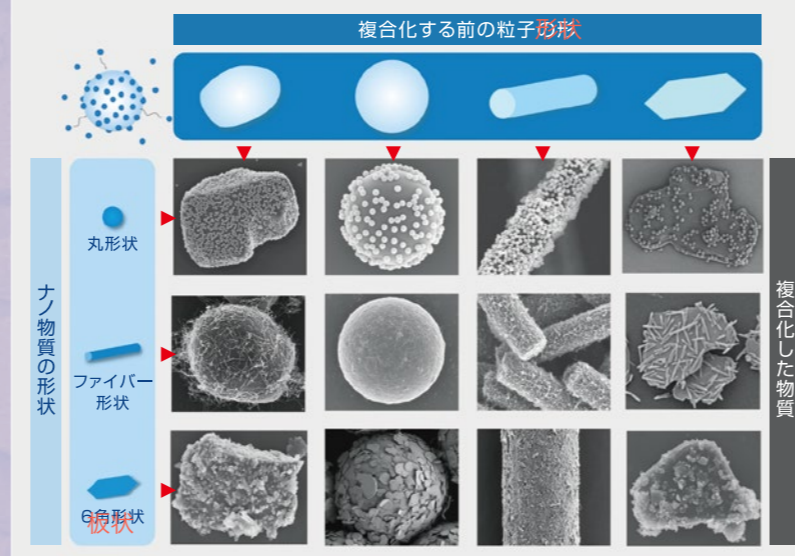
ポリカチオン、ポリアニオンなどの高分子電解質をそれぞれの粒子表面にナノ吸着させて強い表面電荷を付与します。ナノ物質、母材粒子それぞれが相反する電荷を有する場合、両者を混合することで静電引力が生じて吸着し、図に示すような集積複合粒子(ナノ複合粒子)を得ることができます。特別な装置を用いずに、溶液中、常温、常圧にてナノ物質を集積する技術は実用性も高く安価にナノ複合粒子を提供する事ができます。様々な用途への適用が期待されています。



## 基礎研究

### 集積複合粒子の設計

#### 科学的現象説明



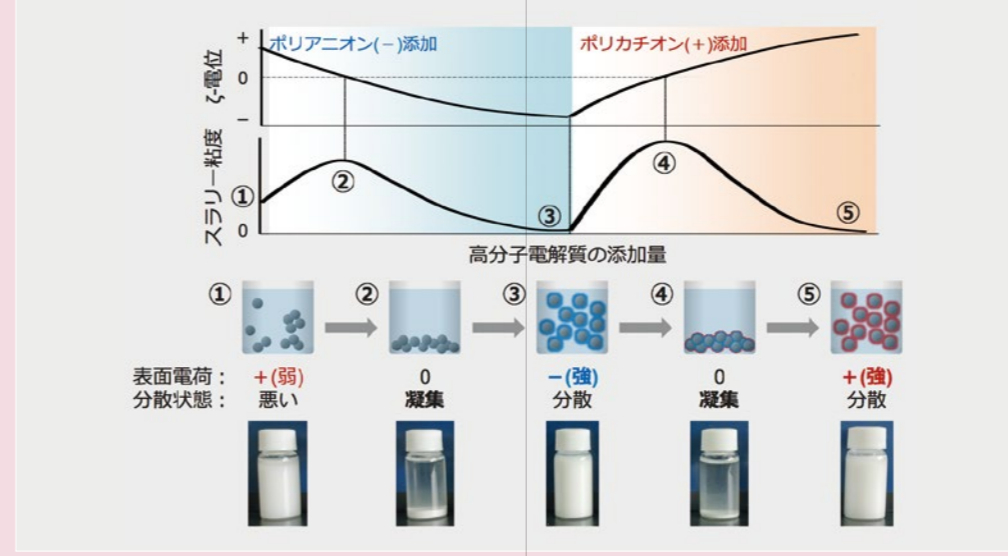
#### ●どんな材料でも、どんな形状でもとにかく複合化

静電相互作用を用いてナノ物質を複合化する技術に関して説明しました。この手法では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。更に、集積には単純に表面電荷を調整するだけです。なので、どんな材料(金属、セラミックス、高分子)、

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る汎用性の高いアセンブリ技術です。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です。

## プロジェクトの概要 — ナノ集積技術 —

#### ■量産化/高品質化

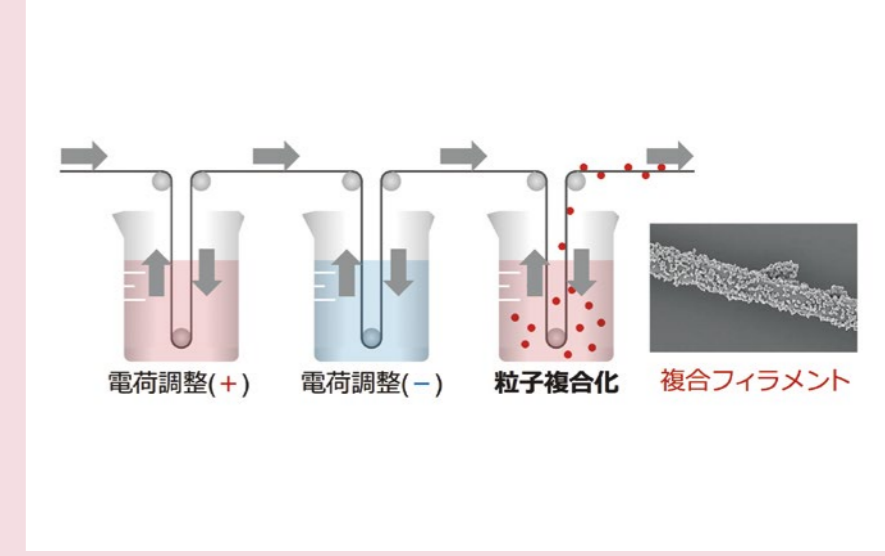


#### ●実用化間近、量産技術確立で社会実装へ

静電相互作用を用いたナノ物質の集積技術が次世代の材料開発に大いに役立つ可能性を秘めていると考えられますが、ナノ複合粒子を量産化できるのが気になります。本プロジェクトでは、社会実装に耐える複合粒子の量産技術の確立にも精力的取り組みをしています。静電相互作用によるナノ物質の吸着には、粒子表面の表面電荷を強く安定に付与することが重要です。表面電荷(κ電位)は、

特殊な装置を用いて計測する必要がありますが、我々はサブベンションの粘度を連続的に計測する事で最適な表面電荷を調整する技術を開発しました。これにより量産の目的がたち、最終的には、10kg/h程度の生産能力を有する複合化装置を確立する計画です。同時に、ナノ物質の吸着量の精密制御(高品質化)を見据えた装置開発も進行しており、社会実装間近です。

#### ■



#### ●まだまだ、活用ナノ集積化(高分子3Dプリンタへの貢献)

静電吸着によるナノ物質の複合化は様々な応用が可能です。粒子表面への集積化はもちろん、連続繊維表面への複合化も得意です。例えば、現在急速な広がりを見せる高分子材料を原料とした3Dプリンタ、フィラメントと呼ばれる繊維状の高分子原料の表面に少し細工をすることができます。繊維表面の電荷を精密に制御した後、ナノ物

質を連続的に吸着させて複合フィラメントを作製します。これを市販のプリンティング技術により造形することで、高分子内にナノ物質が添加された複合材料による複雑造形物が得られます。導電性、高熱伝導性、高強度、耐燃性を有する高分子複雑造形物など、現在の単相材料から更なる広がりが見込まれます。

## 年代

2014

2015

2016

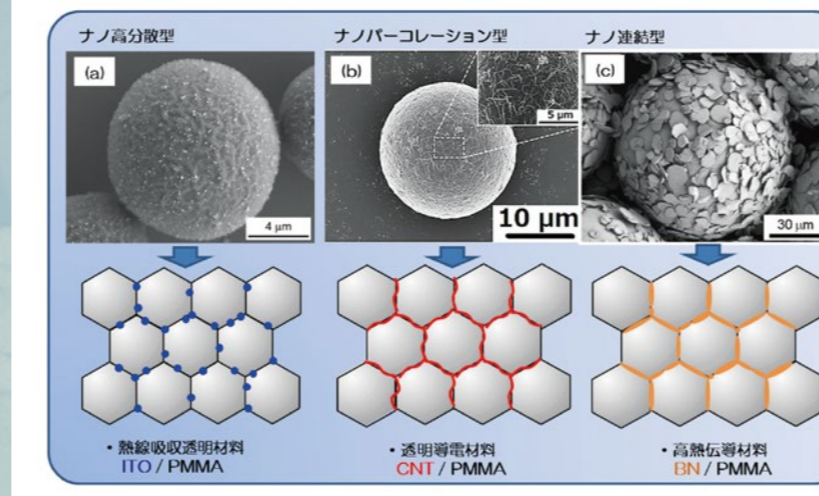
2017

2018

社会実装

## 産業利用

#### ■1D(バルク素材)点

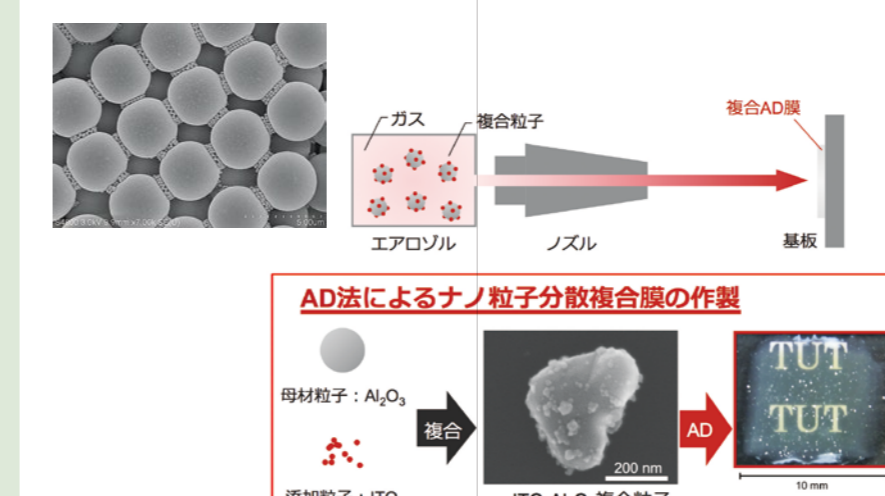


#### ●ナノ複合材料の微構造制御が思いのまま ~新機能付与~

静電相互作用により集積化した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。これまでに、酸化インジウム

スズ(ITO)ナノ粒子を透明な高分子粒子に吸着させた複合粒子を用いて高分散ナノ複合材料を作製した結果、透明な高分子内にナノサイズのITO粒子(近赤外域を吸収する特性がある)が良く分散していることを意味しています。また、電気伝導性を有するカーボンナノチューブ(CNT)や、高熱伝導性の板状セラミックス(BN)のナノ粒子を吸着させたナノ複合粒子を用い、成形される高分散ナノ複合材料にそれぞれナノレベルのバーコーション構造を導入して、導電性、高熱伝導性を高分子材料に付与する事に成功しています。

#### ■2D(コーティング技術)面

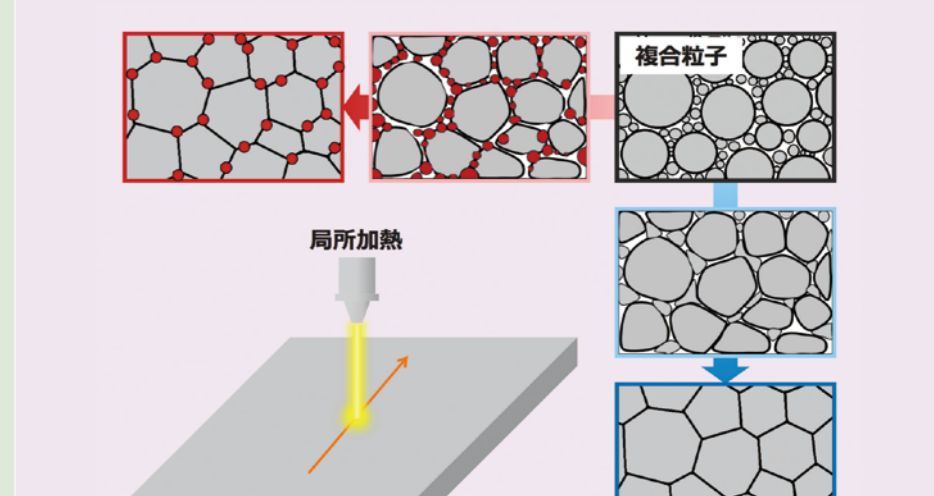


#### ●ナノ複合粒子、いろいろな場面で活躍します(2D成膜への貢献)

エアロゾルデポジション(AD)法は、焼結し難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薄膜を成膜できる手法であり近年注目を集めています。特に、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ができると考えています。現時点では、単相(モノリシック)膜が主流で、例えばナノ物質が添加されているAD膜を精密に成膜する事が困難です。そこで複合粒子の出番とな

ります。例えば、アルミナ粒子表面にナノサイズの酸化インジウムスズ(ITO)を吸着させた複合粒子をAD成膜の原料として用います。アルミナとITOは大きさも密度も異なる物質です。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ITOが緻密なアルミナ膜内に高分散した複合膜を得ることができます。これまでに、この手法を用いて熱導遮蔽アルミナ透明複合膜の開発に成功しており、今後益々適用範囲が広がると期待されています。

#### ■3D(複雑造形)立体



#### ●ナノ複合粒子、いろいろな場面で活躍します(3D造形への貢献)

ナノ物質を集積させたナノ複合粒子は、従来の粉末冶金プロセスにそのまま適用しただけでも、微構造制御に大いに貢献し、新機能付与、特性改善のための武器になります。更に進んで、次世代技術への適用にも役立ちます。たとえば、近年、注目を集める「ものづくり」の手法に付加製造技術があります。一般に3Dプリンタなどと呼ばれ、製造技術を一変させる夢の新技術として期待されています。現状では、単相(モノリシック)単一物質)での複雑造形物ばかりのレベルで確立し

つつありますが、次世代型では、複合材料による造形が望めます。本提案で作製するナノ複合粒子は付加製造技術へ適用しうる重要な原料物質になる可能性を秘めています。また、セラミックスなどの造形が困難な物質に対して、複合粒子を用いることで造形性の向上が達成できると思われま。本プロジェクトでは、様々な組み合わせ可能なナノ複合粒子の技術を基礎として、付加造形技術への貢献・応用展開も検討しています。