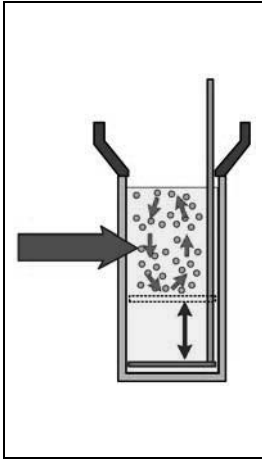


機能性微粒子の自己組織プロセスと その応用

首都大学東京
諸貫信行



1. はじめに

マイクロ／ナノ微粒子はバルク素材に比べて体積より表面積の影響を強く受けるようになり、素材の持つ機能性が高まることが多い。微粒子に機能を付与することができれば、これを既存構造の表面に固定化することで様々な機能化を実現することができる¹⁾。しかし、実現すべき機能を得るための方法論や技術の体系化は残念ながら行えていない。例えば、多様な機能を実現するための設計論が確立されていないため、どのような材質・粒径の微粒子をどのように固定化すべきか事前に検討することもできない。また、ナノメートルレベルの微粒子一つ一つをハンドリングすることはあまりに非効率であり、自己組織プロセスの適用が期待されているものの、汎用性をもって確立されたプロセスとはなっていない。

本稿ではこれらの背景をまとめるとともに筆者らがこれまで進めてきた自己組織プロセスの幾つかの成果を紹介する。

2. スケール則と粒子材料の多様性

市販されている微粒子寸法はマイクロメートルからナノメートルレベルまで幅広く用意され、粒度分布についても標準微粒子のように厳格に寸法管理されたものから安価ながら多様な分布を持つものもある。物体の代表寸法が小さくなると、通常は無視される力などの影響が顕著に表れるようになる。図1は粒子直径 ϕ d が作用力に及ぼす影響を示す概念図である。たとえば質量は直径 d の3乗に比例し、表面積は d の2乗に比例するため、大きな物体では慣性力の影響が摩擦力の影響よりも強くなる。従ってゆっくりと動き出し、動き出したら止まりにくい傾向にある。一方、微小な世界では慣性力よりも表面力の影響の方が顕著になるため、物体の急加速や急停止が行いやすくなるものの静電力や摩擦などの影響を受けやすい。その他の因子として、ファンデルワールス力は d の1/4乗に、拡散時間は1/2乗に、表面張力は1乗にそれぞれ比例する。これはスケール則、スケール効果あるいはスケールリングと呼ばれ、微小な機構(MEMS)や分析機器(μ TAS)等で話題となる²⁾。

有機、無機、半導体特性を有する金属酸化物を含め、様々な材質の微粒子が製造・販売されている。スケール則の影響で機能が強まった微粒子を表面に固定化することで構造の機能化を図ることができ、その応用範囲は多岐にわたる。例えば、表面反応を利用したガスセンサの感度向上などが期待できる。特定の誘電率を有する微粒子を固体表面に固定化して光学機能を調整したり、濡れ性の調整、あるいは摩擦の調整等を行ったりすることもできる。導電性微粒子を固定化することができれば、プリントドエレクトロニクスとしての応用も考えられる。

さらにマイクロ／ナノ微粒子の表面を特定の機能分子で修飾することで多様な機能を得ることもできる。例えば疎水性の性質を持つ微粒子表面を修飾し、カルボキシル基あるいはアミノ基等を最表面に出すことで親水化したり、あるいは両親媒性に変えたりするなどの処理もよく行われる。図2はシリコン基板にオクタデシルトリクロロシラン(OTS)を単分子修飾したイメージを示す。それぞれの