

第29回青葉工学研究奨励賞



微粒子の空間配置制御により機能を発現する新しい材料形態の開拓

東北大学大学院工学研究科
化学工学専攻
助教 渡部 花奈子

数ナノ～数百ナノメートル程度の小さな粒状材料である微粒子(コロイド)は、その高い比表面積やナノサイズ効果により触媒活性、光学特性などバルク材料には見られない多様な特性を有する。ナノ粒子をはじめとする微粒子の機能は、主に粒子表面で発現する。そのため、一般的に微粒子は液中などで離散状態(分散状態)であることが多い。微粒子の機能を効果的に引き出す方法として、微粒子を局所空間に集めることが有効である。しかしながら、微粒子は極めて不安定であり、局所的な粒子数密度(液中における粒子間の衝突頻度)が増大するとともに不可逆凝集のリスクが高まる。微粒子、特にナノ粒子はその相互作用の強さから、一度凝集すると再び分散状態に戻すことは難しい。そのため、「微粒子表面を維持したまま微粒子を集める」方法論の確立が求められてきた。

著者らは、機能性微粒子を中空殻に格納した構造である“卵型粒子”を提案した(図1(a))。卵型粒子であれば、集合状態にさせても卵の“黄身”に相当する機能性微粒子(コア粒子)の表面特性を維持することができる。卵型粒子を構成する中空殻ならびにコア粒子の材料種は、想定する応用用途によって変更可能である。例えば図1(b)に示すように、金ナノ粒子クラスターをコア粒子として用いることもできる[1]。金ナノ粒子は粒子表面近傍に存在する物質のラマン散乱光を増強する効果(表面増強ラマン散乱)を発現するため、微量物質のセンシング材料として有望視されている。優れたセンシング能を有するナノ粒子クラスターを液中安定性の高い中空シリカ殻に格納することで、集合化させた際のナノ粒子クラスター間の不可逆凝集を物理的に回避できる。

微粒子間の不可逆凝集を抑制するのみならず、卵型粒子は他の微粒子構造では成しえない材料の空間配置制御が実現可能である(図2)。著者らは、液体で満たされた中空殻中でコア粒子がブラウン運動することを実証した[2]。コア粒子が自由に運動できること、つまり「閉空間中のコロイド運動」を有効利用すれば、外部刺激によって粒子集合体の構造を自在に制御できる。著者らの研究グループは、卵型粒子の集合体に外部交流電場を印加することで、内包コア粒子が中空殻内部で特異的に運動し、コア粒子の空間配置が制御可能であることを示した[3]。特に、低周波数の交流電場を印加することで電場印加方向従ってコア粒子が集団運動することを見出した。短距離秩序性を有し、コア粒子の運動性を利用することで長距離秩序性を自在に制御できる卵型粒子の集合体は、安定性と微粒子特有の機能を兼ね備えた新しい材料形態となる。

卵型粒子集合体の工学利用として、著者らは最近、外部電場印加によりその光反射率が自在に制御可能な光学材料を提案した[4]。コア粒子が中空殻内でランダム運動するアモルファス状態と比較して、コア粒子が集団的規則運動する結晶状態では、Braggの法則に従い特定波長の光を強く反射することがわかった。従来は、微粒子の形状や材料種の変更で機能創成を目指す方法論が一般的である。これに対し、微粒子の空間配置制御により材料の機能を見出す本アプローチは、卵型粒子ならではの機能創製概念と言える。この新しい材料創製概念は、年々高まるナノ材料の高機能化、高効率利用に繋がると考えている。

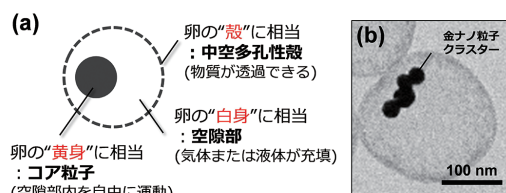


図1 (a)卵型粒子の模式図、(b)金ナノ粒子クラスターを内包した卵型粒子の電子顕微鏡像

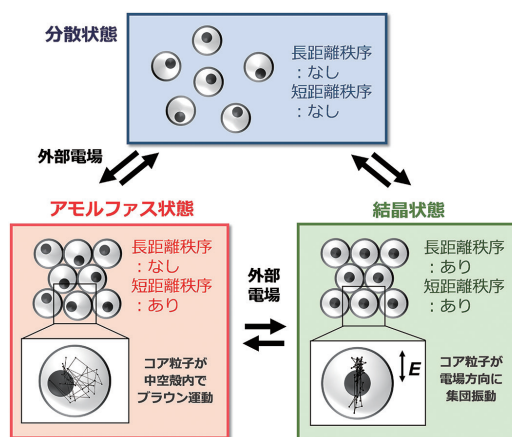


図2 卵型粒子で実現可能な材料の空間配置制御

- [1] K. Watanabe *et al.*, *J. Colloid and Interf. Sci.*, **566**(15), 2020, 202–210.
- [2] T. A. J. Welling, K. Watanabe *et al.*, *ACS Nano*, **15**(7), 2021, 11137–11149.
- [3] K. Watanabe *et al.*, *Langmuir*, **33**, 2017, 296–302.
- [4] H. Namigata, K. Watanabe *et al.*, *ACS Appl. Opt. Mater.*, 2024, *under review*.