

Elucidation and Control of Self-assembled Structures of Patchy Colloidal Particles

野口, 朋寛

<https://hdl.handle.net/2324/2236021>

出版情報 : 九州大学, 2018, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 野口 朋寛

論 文 名 : Elucidation and Control of Self-assembled Structures of Patchy Colloidal Particles
(パッチコロイド粒子の自己組織化構造の解明および制御)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

コロイド粒子がその表面物性に異方性を持つと、他の物体との相互作用に異方性が現れる。すると多粒子系において表面の特定部位のみで互いに吸着(結合)する“コロイド分子”として振る舞い、異方性に応じた凝縮相を示す。またこの凝縮相はコロイド粒子をビルディングブロックとするナノ-マイクロ構造でもあり、異方性の設計を介して求める構造を自己組織的に形成できる新規な手法としてナノテクノロジーでの利用が試みられている。コロイド分子の異方性と自己組織化および相挙動の関係の解明は理論・数値計算が先行しているが、結合部位の数や向き、強さなどそのパラメータ空間は広大であり、全容の解明には程遠い。特に実験で粒子の異方的な構造や相互作用を適切に制御することは容易ではなく、学術・応用両面から実験による研究が強く求められている。そこで我々は最も単純なコロイド分子である、粒子表面に物性の異なる領域(パッチ)一つを持つ1パッチ粒子を用い、その表面物性による異方的な相互作用の制御や異方性により形成される自己組織化構造の解明に取り組んだ。

まず我々は、親水半球と疎水半球を持つ両親媒性1パッチ粒子(ヤヌス粒子)を用い、粒子-水-油3成分系で形成される構造について調べた。この系は界面活性剤としてのエマルション化作用(水-分散状態の安定化)に関する研究例は比較的多いが、両親媒性に依存した多様な自己組織化構造は、我々の1粒子レベルの観察によって今回始めて解明された。実験の結果、水の体積が粒子体積より小さいとき、水のキャピラリーブリッジがヤヌス粒子の親水面間をつなぎ、棒状ミセル構造が形成された。また水の体積が多いときは球状エマルション構造が形成され、その構造形成過程は均一表面の粒子によるピッカリングエマルションと同様であった。これらの構造は粒子の両親媒性構造を反映しており、両親媒性分子系のミセル/エマルションと定性的に同様であることが分かった。さらに凝集構造は熱揺動が効かない固体的なものであること、すべての粒子が水-油界面に吸着する“理想的な界面活性”を示すことなど、コロイド粒子特有の挙動が現れることも分かった。

次に我々は、幅広いコロイド粒子系に異方性を導入する手法として、コロイド粒子間に働く最も基本的な相互作用であるDLVO相互作用の異方性を制御することを目指した。DLVO相互作用は同種物質間に働くvan der Waals引力と表面電荷に由来する電気二重層斥力からなるが、この引力は金属面間が非常に強い。そのため、金属パッチを持つ誘電体粒子を用いると、粒子のパッチ間およびパッチとバルクの金属面間に選択的な吸着が生じることが期待できる。実験では金属パッチの膜厚により引力を、表面電位によって斥力をそれぞれ独立に制御することにより、粒子分散系においてパッチ粒子同士は吸着せず金属パッチのみが金属面に吸着する、高度な吸着選択性を実現することに成功した。さらにこれを利用して大きな金属粒子表面にパッチ粒子のモノレイヤーの形成し、凝集に対する保護膜となる固体誘電層を形成することにも成功した。

我々の研究によって、両親媒性分子を模したコロイド分子の自己組織化構造が1粒子レベルの観察から解明され、また普遍性の高いDLVO相互作用を利用したコロイド分子の形成と自己組織化制御が実現された。前者の高い界面活性は応用面でも大きな可能性があり、後者はコロイド分子実験系の実現に有用であり、その研究の発展に貢献するものであると考えている。