

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)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	木村 康之
	副 査	九州大学	教授	福田 順一
	副 査	九州大学	准教授	稲垣 紫緒
	副 査	九州大学	助教	岩下 靖孝

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

コロイド粒子がその表面物性に異方性を有すると他の物体との相互作用に異方性が現れる。その結果として、多粒子系においては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k”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構成単位とするナノ-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可能な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、現状ではその全容の解明には程遠い状況にある。特に実験的に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・応用両面からこのような系の実験的研究が強く求められている。本論文では、異方性を有する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）1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および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でいる。

まず、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ている。従来、両親媒性ヤヌス粒子が示す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、本研究により、1粒子レベルの観察により両親媒性に依存した多様な自己組織化構造が始めて解明された。その結果、水の体積が粒子体積より小さい場合には、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ること、水の体積が多い場合に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ることが明らかとなった。これらの結果から、(1) 観察された構造が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、(2) 凝集構造は熱揺動が効かない固体的なものであり、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が初めて解明された。本研究により両親媒性コロイドが界面活性剤分子とコロイド粒子の特徴を併せ持つ新規のコロイド分子であることが明らかとなった時点で学術的にその新規性を高く評価できる。

次に、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研究を展開している。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。

金属面間の van der Waals 引力は非常に強いため、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。本研究では、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ている。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ている。

本研究によって解明された両親媒性分子を模したコロイド分子の自己組織化構造、および普遍性の高い 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は当該分野の基礎的研究として高いオリジナリティを有し、応用面での新たな可能性をも有している。

以上の結果、新規ソフトマターの物性に関する基礎的理解に貢献した点、および新規の構造制御法の基礎を確立した点により、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。