

リオトロピックラメラ相におけるナノ粒子のダイナミクス

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 木村康之¹, 水野大介

1 はじめに

生体をはじめとするソフトマター複合系の特徴はその内部にさまざまな空間スケールの構造が階層的に存在する点にある。一方、これらの内部構造の存在がソフトマター複合系を典型的な複雑流体としてその巨視的スケールでの物性の理解を困難にしてきた。従って、ソフトマター複合系のミクロな構造やダイナミクスを理解するためには各構造に対応したさまざまな時空間スケールで物性測定を行い、それらに関する知見を得ることは重要である。近年、サブミクロンサイズの粒子をプローブとしてソフトマター中に分散させ、その粒子の揺らぎから周囲の媒質の局所的な力学特性を測定するマイクロレオロジーの研究が活発に行われている。本研究ではこれらの受動的な測定法に対して、不均一な内部構造を持つソフトマター中にナノサイズの荷電コロイド粒子を分散させ、その交流電場に対する複素電気泳動易動度を測定することで周囲のソフトマターの局所的な力学物性に関する知見を得ることを目指している。

2 広帯域交流電気泳動光散乱スペクトロスコピー

本研究ではコロイド粒子の複素電気泳動易動度を測定するために我々が独自に開発した交流電気泳動光散乱スペクトロスコピーを用いている [1]。測定は正弦波を印加した試料からの散乱光の時間変化をヘテロダイン検出（散乱光と入射光を迂回させた参照光を混合する）することで行っている。コロイド粒子からの散乱光信号には電気泳動の情報を含んだ印加電場の高調波周波数を持つ信号が含まれており、バンドパスフィルタを用いてこれらの信号成分を抽出する。さらにブラウン運動による寄与を取り除くために信号をアナログ2乗演算した後、2相ロックイン検出することにより、1Hz – 100kHz にわたる広帯域での複素電気泳動易動度の強度および位相の高精度測定を実現している。本方法では媒質の揺らぎが大きな系においてもコロイド粒子の電気泳動による散乱光成分のみを分離検出することが可能であることに加え、分散するコロイド粒子のサイズを数十 nm まで小さくすることができるという利点を有している。

3 リオトロピックラメラ相におけるコロイド粒子の局所輸送現象

内部構造を有する典型的なソフトマター系として非イオン性界面活性剤ペンタエチレングリコールモノデシルエーテル ($C_{12}E_5$) とヘキサノールからなる2分子膜と水が交互に積層して作るリオ

¹E-mail: kimura@exp.t.u-tokyo.ac.jp

トロピックラメラ構造を対象とし、その膜間に膜間隔 d より小さな直径 $2a$ を有するラテックス粒子を分散させ (図 1)、その複素電気泳動易動度スペクトル測定を行った。本研究で用いたラメラ相では膜の曲げ弾性率が熱エネルギー程度と柔らかく、大きな熱揺らぎを伴った膜同士の立体斥力によりその膜間隔が数百 nm 程度にまで広がること知られている。

図 2 に膜間隔 $d=70\text{nm}$ のラメラ構造中でのラテックス粒子 (直径 $2a=42\text{nm}$) の複素電気泳動易動度スペクトル $\mu^*(\omega) (= \mu' - i\mu'')$ の測定例を示す [2]。1kHz および 3Hz において 2 つの緩和過程が存在する。図中の実線は 2 つの単一緩和スペクトルの和による最適当てはめ曲線である。観測された緩和周波数から緩和を引き起こすポテンシャルの空間スケールを見積もると、高周波緩和では 33nm、低周波緩和では 500nm となった。これらは膜間隔 d の半分および膜の配向の相関長 l にほぼ一致しており、観測された緩和がラメラ相中の特徴的な構造による立体障害に起因したものであると考えられる。すなわち、高周波領域 (領域 I) では膜間を自由に揺らいでいた粒子が中間の周波数領域 (領域 II) では膜間隔程度の空間スケールに束縛 (トラップ) されつつ、より長距離を拡散するようになる。最も低周波領域 (領域 III) では粒子が配向の相関長程度の領域にほぼ完全に束縛されるために易動度がほぼゼロになっていると考えられる。

4 おわりに

このような不均一構造を有した媒質中におけるナノ粒子のダイナミクス測定によって得られる媒質の局所的な構造や輸送現象に関する情報は、ソフトマターを用いたナノ空間の設計やその空間内での物性制御のための基礎的知見を与えるものと期待している。

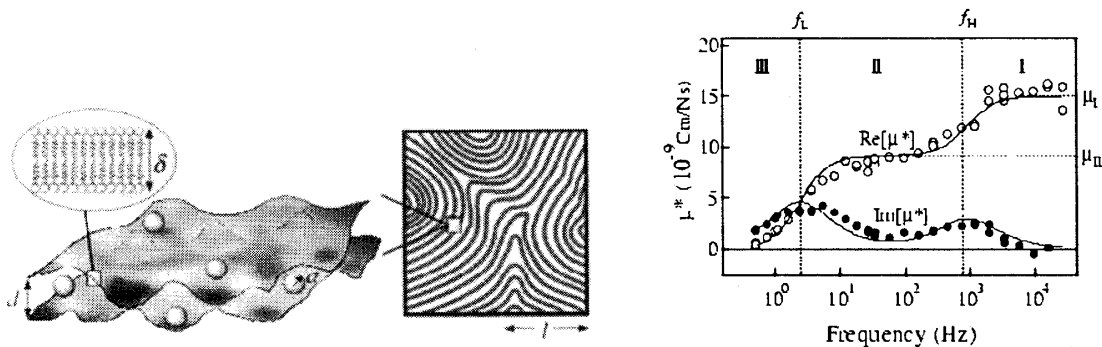


図 1: リオトロピックラメラ相の階層構造. 図 2: ラメラ中でのラテックス粒子の複素電気泳動易動度スペクトル.

参考文献

- [1] D. Mizuno, Y. Kimura and R. Hayakawa, Langmuir **16** (2000), 9547.
- [2] D. Mizuno, Y. Kimura and R. Hayakawa, Phys. Rev. Letts. **87** (2001), 88104.