

Effects of Interactions between Particles on Nonequilibrium Steady States in Colloidal Dispersion Systems

井上, 雅郎

<https://doi.org/10.15017/1928614>

出版情報 : 九州大学, 2017, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名	井上 雅郎			
論 文 名	Effects of Interactions between Particles on Nonequilibrium Steady States in Colloidal Dispersion Systems (コロイド分散系の非平衡定常状態に対する粒子間相互作用の効果)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	中西 秀
	副 査	九州大学	教授	福田 順一
	副 査	新潟大学	教授	吉森 明

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

微視的なレオロジー研究に、マイクロレオロジーと呼ばれる実験的手法が用いられる。数 μm 程度の微小なプローブ粒子を光ピンセットなどで操作してその動きを観察するが、その際、外力を加えずプローブ粒子の揺らぎを観測するパッシブな手法と、外力に対する応答を観測するアクティブな手法があり、平衡状態では両者は揺動散逸定理で関連付けられる。本研究では、非平衡統計物理の手法を用いて、アクティブ・マイクロレオロジーでプローブ粒子に働く力を理論的に解析した。

系として、定常に流れているコロイド分散媒質中に固定されたプローブ粒子を考え、コロイド粒子がプローブ粒子に及ぼす力を求めた。先行研究において、(i)コロイド間相互作用が無く、かつ、(ii)媒質の流速が空間的に一様な仮定の下での解析がすでになされている。本研究ではこの2つの仮定を除いて、コロイド粒子間の相互作用や、媒質流がプローブ粒子によって乱される効果に注目した。理論解析の方法としては、コロイド粒子の分布を動的密度汎関数法によって解析する理論 I と、密度汎関数法と 2 流体モデルを組み合わせて溶媒の流れ場も変数として扱う理論 II による、2通りの解析をした。前者では仮定(i)のみを除いて粒子間相互作用を取り入れ、後者では、仮定(ii)も除いて、溶媒の流れ場がプローブ粒子によって受ける影響を部分的に取り入れた。

まず理論 I では、溶媒の流速が時間空間的に一様との仮定の下、動的密度汎関数理論により固定されたプローブ粒子周辺でのコロイド粒子の空間分布の満たす方程式を導出した。その定常解を数値的に求め、それからプローブ粒子に働く力を決定した。いくつかの流速、コロイド粒子の体積分率に対して、力と流速の比、即ち抵抗係数を求め、結果をコロイド粒子間に剛体球斥力相互作用がある場合と、ない場合とで比較した。その結果、流速が遅い場合にはコロイド粒子間の斥力相互作用によって抵抗係数が小さくなることを示した。それに対して、流速が大きい場合には、体積分率が小さい領域では斥力相互作用の効果は見られなかったが、体積分率が大きな領域ではむしろ斥力相互作用によって抵抗係数が大きくなることが分かった。

次に理論 II では、密度汎関数理論と 2 流体モデルを組み合わせることによって、溶媒の流速場がプローブ粒子から受ける影響を部分的に取り入れた。2 流体モデルでは、コロイド分散媒質をコロイドと溶媒液体の 2 つの流体からなるとして扱い、2 つの流体間の相互作用から流速場を求める。コロイド粒子間の相互作用は密度汎関数理論の枠組みで扱い、溶媒とコロイド分散媒質の 2 つの流速場の間には流速の差に比例する力が働くとした。ただし、プローブ粒子との相互作用はコロイド粒子とのものだけを取り入れ、溶媒はコロイド粒子を通じて間接的にプローブ粒子の影響を受けるものとしている。コロイド粒子の平均密度のべきで展開し、その 2 次までの近似でコロイド粒子の

分布を求め、それからプローブ粒子に働く力を求めた。結果は、流速を一定とした理論 I の体積分率の小さな領域の結果と整合することが確かめられた。

以上の結果は、非平衡統計力学を用いたマイクロロジー測定の解析手法に、重要な知見を与えるものである。よって、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。