

氏名	すぎた かずき <b>杉田 一樹</b>
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第824号
学位授与の日付	平成29年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 生命物質科学専攻
学位論文題目	<b>Studies on Dynamics of Microsphere Suspensions Probed by Dynamic Ultrasound Scattering Techniques</b> (動的超音波散乱法によるマイクロ微粒子懸濁液のダイナミクスに関する研究)
審査委員	(主査)准教授 則末智久 教授 宮田貴章 教授 猿山靖夫

### 論文内容の要旨

微粒子は塗料や化粧品、燃料電池など様々な分野で用いられている。これらの粒子径はその特性を決める要因であり、今日様々な手法を用いて評価が試みられている。一般的には動的光散乱法(DLS)や原子間力顕微鏡(AFM)、核磁気共鳴(MRI)などが用いられるが、これらの手法では試料の希釈や乾燥が必要であったり、時々刻々と発展する系に対して測定時間がかかりすぎるといふ問題がある。

本論文では、先行研究で開発された動的超音波散乱法(DSS法)を活用し、マイクロ粒子からサブミクロン粒子の運動ダイナミクスの研究を行った。粒子径がマイクロメートルオーダーである場合は沈降運動を示すが、粒子径が小さくなると熱拡散の効果が無視できなくなり、ブラウン運動がカップリングする。特に、この複雑な沈降ダイナミクスを解析するために、超音波パルス周波数ごとに分け、それぞれの散乱ベクトルにおける運動を評価する手法(FD-DSS)を開発した点が新しい。

本論文は4つの章から構成されている。第1章では、超音波パルス周波数ごとの成分に分けそれぞれの周波数で解析する新手法を提案し、沈降運動とブラウン運動が競合するサブミクロン粒子懸濁液の階層的なダイナミクスの評価に成功した。第2章では、DSS測定に伴う超音波印可エネルギーが与える測定結果に対する影響を詳細に評価し、測定手法を確立した。第3章では、従来の高分子有機微粒子に加えて、無機材料を用い流体力学的相互作用の定量的な評価を試みた。この結果、これまで報告されていない特異的な挙動を発見し、さらに、その効果を消す方法を明らかにした。第4章では、FD-DSSによる高精度なマイクロ粒子の沈降速度の評価方法と超音波パルスがもつ位置解像力を活用し、マイクロ粒子の粒径分布評価方法を確立した。この手法を用い、単分散試料と超単分散試料を識別する事に成功した。

以上の様に、本論文は特異的な沈降ダイナミクスの発見による学術的な貢献はもちろん、粒度分布解析手法の提案およびDSSの測定対象の下限を拡張し、DSS法を産業界で実用できる技術へと発展させている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、これまでマイクロ粒子のみを測定対象としていた動的超音波散乱法をさらに発展させ、マイクロ粒子ならびにサブミクロンの微粒子懸濁溶液の沈降ダイナミクスを定量的に測定する手法を確立した。インクや塗料等を代表とする幅広い分野における特性解析に応用されることが期待される。特に本論文で提案された、線源である超音波パルスを周波数成分に分け、それぞれの周波数ごとに運動を解析する手法は、超音波パルス固有の散乱ベクトルが規定できないという問題を解決するだけでなく、沈降運動とブラウン運動がカップリングする複雑な系におけるダイナミクスを解析可能にする画期的な手法である。さらに、厳密に運動を解析することができるようになったことにより、粒子径の高精度評価が実現している。この解析手法に加えて超音波パルスが持つ空間解像力を合わせる事で、従来の平均粒子径に加えて、その粒径分布の解析を実現している。

また、高分子有機材料に加えて、無機材料に対する測定手法の妥当性ならびに流体力学的相互作用の定量的評価を行っている。この検証の結果、これまで報告されていない特異的な沈降ダイナミクスを見だし、学術の発展に貢献した。

本論文は以下に示す4編の主論文から構成されている。申請者はこれらの論文のうち1編が筆頭著者になっている。

1. “Dynamics of submicron microsphere suspensions observed by dynamic ultrasound scattering techniques in the frequency-domain”, Kenta Igarashi, Tomohisa Norisuye, Keisuke Kobayashi, Kazuki Sugita, Hideyuki Nakanishi, and Qui Tran-Cong-Miyata, *Journal of Applied Physics*, VOL. 115, 203506, 2014
2. “Effects of pulse repetition rate and incident beam energy on the dynamic ultrasound scattering data”, Tomoyuki Sawada, Tomohisa Norisuye, Mariko Kohyama, Kazuki Sugita, Hideyuki Nakanishi, and Qui Tran-Cong-Miyata, *Japanese Journal of Applied Physics* VOL. 53, 07KC10, 2014
3. “Effect of electrostatic interactions on the velocity fluctuations of settling microspheres”, K. Sugita, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, *Physics of Fluid*, Vol. 27, 013304, 2015
4. “Dynamics of micron-sized particles in dilute and concentrated suspensions probed by dynamic ultrasound scattering techniques”, Tomoyuki Konno, Tomohisa Norisuye, Kazuki Sugita, Hideyuki Nakanishi, Qui Tran-Cong-Miyata, *Ultrasonics*, VOL. 65, pp. 59–68, 2016