総　説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., **87**〔1〕，19–24（2014）

超音波によるソフトマテリアルの新しい構造・物性解析法

則末智久*,†・杉田一樹*・中西英行*・宮田貴章*

*国立大学法人京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科　京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町（〒606-8585）
† Corresponding Author, E-mail: nori@kit.jp

（2013年11月28日受付，2013年12月13日受理）

要　　旨

光が透過しない高度に乳濁もしくは着色した懸濁微粒子溶液に対する，粒径および分散安定性を解析するための新しい手法，動的超音波散乱（DSS）法を開発した。この技術を用いて，粒子径が数マイクロメートルから数十マイクロメートルの粒子分散溶液を解析し，粒径および流体力学的相互作用を評価した。DSS法は，線源に超音波を用いているため，光学的手法では測定が困難な光が透過しない試料の分析が行えることに加えて，超音波パルスの位相解析によりサンプルセル中の構造の可視化も可能とする。この技術は，今後さまざまな製産場においてこれまで中身が確認できなかったために理解できなかった材料の特性をより明解に理解するための技術になることが期待される。

キーワード：超音波，微粒子，粒径，サイジング，分散安定性

1. 緒　　言

塗料や化粧品をはじめとして，ナノもしくはミクロンサイズの微粒子は，さまざまな分野で利用されている。研究開発においてはこれら微粒子のサイズやその分布の評価に加えて，液中における微粒子の分散安定性や凝集体形成の確認を要することが多々ある。試料溶液を希釈することなく分析する手法はこれまでにもいくつか知られており，レーザー回折光度計や動的光散乱法はその代表例である。これらの方法は，溶液中の微粒子の構造もしくは運動状態をリアルタイムで計測する手法であり，走査型電子顕微鏡などのように試料を乾燥させる必要がない。しかしながら，光学的手法の場合，試料が透明である必要があり，濃度の高い試料や光散乱の顕著なマイクロ粒子等，高度に乳濁した試料に対して適用することは困難である。そこでわれわれは，超音波を用いた新しい解析手法である動的超音波散乱法を開発してきた。

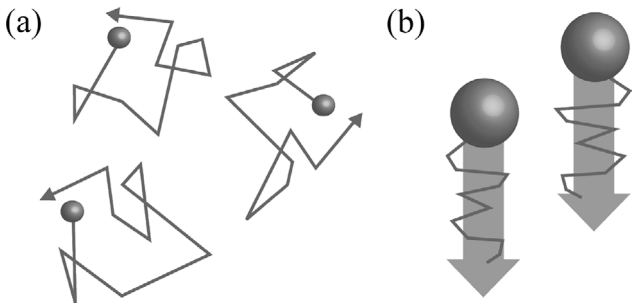

Fig. 1　Schematic representation of Brownian motion and sedimentation.

〔氏名〕 のりすえ　ともひさ
〔現職〕 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 准教授
〔趣味〕 写真
〔経歴〕 准教授，Oct. 1, 2008（京都工芸繊維大学）。助教，Apr. 1, 2007（京都工芸繊維大学）。助手，Jan. 1, 2000（京都工芸繊維大学）。博士（工学），Nov. 26, 1999，在学期間短縮修了（京都工芸繊維大学）。日本学術振興会特別研究員，Jan.～Dec., 1999。

前述の動的光散乱法も，本稿で述べる動的超音波散乱法も，微粒子に照射したビームの反射波もしくは散乱波から，微粒子の運動状態を調べる手法である。これらはおもに対象とする微粒子のサイズによって大きく解析手法が異なる。一般的にナノ粒子の場合には，ブラウン運動が顕著であり，熱揺動力によって引き起こされる微粒子の拡散を計測する。その一方でサイズがマイクロメートルオーダーになると自重の影響が無視できないため，粒子は沈降運動を示す。これらの様子を**Fig. 1**に模式的に示した。(a) ブラウン運動の場合，沈降することなく変位の中心の周りで拡散運動（熱揺らぎ）を示すが，(b) 沈降の場合には，重力の方向に平均速度成分を有した沈降運動を示す。微粒子が複数存在する場合には，粒子間の衝突に加えて，溶媒の流れが生み出す流体力学的相互作用の影響により，単体の場合とは異なる運動状態を示す。微粒子の運動を短い時間スケールで見た場合には図のように粒子の運動方向が時々刻々と変化しており，平均沈降速度に加えて，その“ゆらぎ”成分が存在すると考えることができる。微粒子の動きを捉えずとも，粒子の沈降にともなって液面が低下する速度を観察すれば，微粒子の平均沈降速度は定まり，それから粒子の大きさを推定することができる。ただし，微粒子のサイズが数マイクロメートルと小さくなるとその速度はかなり低下し，測定にかなりの時間を要する。その点では超音波の波長（数十マイクロメートル程度）の微小な変位を短時間で計測できれば，正確かつ大幅な時間短縮になる。ブラウン運動に基づくナノ粒子サイジングと同様に，マイクロ粒子の速度揺らぎからも粒径算出が行えると期待されるが，実はこれは容易なことではない。これは次節に述べる流体力学的相互作用の複雑性によるものである。

© 2014 Journal of the Japan Society of Colour Material