

(様式11)

論文審査の要旨 (課程博士)

生物システム応用科学府長 殿

審査委員 主査 岩井 俊昭

副査 齋藤 隆文

副査 山田 晃

副査 梅田 倫弘

副査 西舘 泉



学位申請者	生体機構情報システム学専修 平成23年度入学 学籍番号11701204 氏名 渡會 俊晴
申請学位	博士(工学)
論文題目	Analysis on particle dynamics in the vicinity of the interface by a low-coherence dynamic light scattering technique (干渉動的光散乱法による異相界面近傍における微粒子動態計測に関する研究)

論文審査要旨 (2000字程度)

本申請の学位論文は、固体と液体または気体と液体の異相界面の近傍における拡散粒子の運動が抑制される効果を解析する手法として、干渉動的光散乱法を新たに確立し、実証を行っている。干渉動的光散乱法としては、スペクトル領域低コヒーレンス動的光散乱法を中心に研究を行っており、深さ位置の精度を極限まで高めるために、極短時間領域低コヒーレンス動的光散乱法についても実証を行っている。

第1章では、光散乱と光応用計測の歴史、及び本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本研究において用いられる動的光散乱法の基礎理論と微粒子の拡散運動について流体力学理論を定式化している。

第3章では、干渉動的光散乱法の計測原理について、時間領域低コヒーレンス動的光散乱法を基に概説している。スペクトル領域低コヒーレンス動的光散乱法については、理論導出の過程を詳細に説明している。低コヒーレンス干渉法の特徴である光路長分割計測を用いて、散乱体積の中心位置を選択的に変化させることができることを利用して、固体と液体や気体と液体という異相の界面から十分離れた自由拡散領域から異相界面効果に起因する抑制拡散領域におけるブラウン粒子の拡散係数をシームレスに計測することが可能であることを説明している。

第4章では、干渉動的光散乱法の基礎である時間領域低コヒーレンス動的光散乱法を用いて、固液界面効果の実験例を示している。同法の光学系においては、参照平面鏡からの反射光と試料からの後方散乱光との光路長差が光源のコヒーレンス長以下のとき、干渉信号が検出される。参照光はピエゾ素子を正弦振動させることにより位相変調される。位相変調信号をロックイン検出することで、変調周波数周りの散乱光のパワースペクトルを選択的、かつ高感度に抽出することができる。散乱体積の中心位置を変化させながら、異相界面からの光路長毎の拡散係数を計測することによって固液界面効果を実証している。試料は半径 1.5、2.5、5.0 μm の球状粒子を体積濃度 10%で懸濁させたポリスチレン懸濁液を用いている。計測された拡散係数は、異相界面近傍で大幅に減少し、界面から遠く離れるに従って自由拡散係数に漸近する傾向が得られている。さらに、半径が小さい粒子ほど、壁面近傍領域における拡散係数の変動が大きいという結果を示している。半径が大きい粒子については、Brenner による wall-drag 効果理論とよい一致を得ているが、小さい粒子径では低コヒーレンス光源のコヒーレンス関数の有限な広がり内における平均の影響が発現することを示している。

第5章では、前章で示された光源のコヒーレンス関数の広がり内における平均の影響を抑制し、固液界面の極近傍における測定精度の向上を目指し、ファイバレーザ光源を用いた極短時間コヒーレンス動的散乱法を提案し、wall-drag 効果の直接計測の可能性を示している。ファイバレーザは可視光領域において広いスペクトルを有するが、可変波長フィルタによって中心波長と帯域幅をそれぞれ 600nm と 113nm に設定して、深さ方向分解能 $1.4\mu\text{m}$ を達成している。実験では、半径 0.23、0.40、 $0.55\mu\text{m}$ の体積濃度 10% のポリスチレン懸濁液に対して、Brenner 理論と一致を得ている。このことにより、極短時間コヒーレンス動的散乱法を確立し、サブミクロン粒子に対する固液界面における抑制ブラウン運動の動態計測に成功している。

第6章では、時間領域低コヒーレンス動的散乱法をスペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法へと展開している。スペクトル領域計測では、検出器として分光器を用いることによって、壁面から粒子までの深さ方向の動態をワンショット計測できることを実証している。独自に構築した分光部は回折格子と高速ラインセンサから構成されており、任意の波長範囲を高速に走査できる特性を有する。本法を用いることにより、計測時間を大幅に短縮することが可能となるため、実用的な計測技術としての干渉動的散乱法を確立している。

第7章では、スペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法を用いて、気液界面近傍における微粒子拡散運動の抑制現象を観測している。気液界面では、固液界面と異なり液面では絶えず蒸発が発生しその位置が時々刻々に変化するため、時間領域低コヒーレンス動的散乱法を用いては計測が不可能な測定対象である。したがって、スペクトル領域低コヒーレンス干渉法の深さ方向ワンショット計測の特性が最も活用される事例であり、気液界面効果近傍における微粒子の抑制効果を世界で初めて観測している。さらに、沈降の影響により気液界面効果の観測は困難であった $1.5\mu\text{m}$ 以上の粒子に関しても、気液界面近傍での拡散運動の抑制効果を観測している。

第8章では本学位論文を総括し、異相界面近傍におけるブラウン粒子の動態解析における干渉動的散乱法の優位性を示している。

これを要するに、異相界面近傍におけるブラウン粒子の動態の解析にあたり、極短時間コヒーレンス動的散乱法とスペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法の構築、ならびに実証を行うことによって、同法の測定法としての有効性と優位性を証明し、異相界面から遠方場までのブラウン粒子の動態計測に成功しており、光応用計測学および界面化学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、東京農工大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。