



Title	Optical Manipulations in Microscale Electrohydrodynamic Processes
Author(s)	二戸, 郁賀
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76590">https://hdl.handle.net/11094/76590</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 二 戸 郁 賀 )

論文題名

Optical Manipulations in Microscale Electrohydrodynamic Processes  
(マイクロスケールの電気流体力学過程における光マニピュレーション)

## 論文内容の要旨

近年、生体細胞、ウイルス、単分子のような微小物質の物理化学的性質を調べるため、マイクロ/ナノ工学を基盤とした研究が注目されている。しかしながら、それらのスケールにおいて、微小物質のふるまいに対して熱揺動の影響が強く現れるため、精緻な操作が困難となる。そこで本論文では、光操作技術および一粒子電気計測技術に着目し、微小粒子の動力学かつ電気流体力学過程を評価するための実験手法を確立する。

はじめに、電解質溶液において、陽イオンの流束が巨視的な流動に発展するEHD流れを生成して評価を行った。一般的に、EHD流れの生成には、高電圧を印加して液体中に電荷を注入する必要がある。そのため、1.23 Vの電圧で電気分解を生じる水は作動流体として不適とされ、油など非水系の溶液が用いられてきた。そこで本研究では、陽イオン交換膜のイオン選択性を利導し、陽イオンと陰イオンを分離して膜表面近傍で溶液を分極させ、そこに2.0 Vの低電圧を印加することにより、イオン電流に駆動されるEHD流れの生成を水溶液で実現した。これにより、流動現象と液中のイオン分布や電場との関係が明らかにされた。次に、マイクロ粒子にかかる光圧を一粒子追跡により実験的に評価した。液中では、その周囲流体の影響により、光圧の評価が困難であるとされている。たとえば、集光レーザーの照射は、液温を上昇させ、熱対流や熱泳動などの現象を引き起こす。そこで本研究では、スリット状マイクロ流路を用いて熱効果を抑制し、光圧が支配的となる環境を実現して粒子運動を可視化解析した。この結果から、光圧と流体抵抗力がつり合うことを示し、液中の光圧を定量的に評価した。最後に、上述の電気流体力学現象と光操作技術を一粒子電気計測へと応用するための基盤技術を構築した。定常的なイオン電流環境下で、マイクロ粒子がその検出部であるオリフィスを通過するとき、粒子の存在は電流値の変化により検出される。先に確立した光操作技術を用い、マイクロ粒子を流路中のオリフィスで往復運動させ、その動特性を評価した。これより、微弱な電流信号の検出に対し、往復運動による同期加算を可能とし、SN比の改善が期待される。

本博士論文では、電気流体力学現象に基づくイオン濃度場やイオン電流の理解と光圧の定量評価、さらに、それらは一粒子電気計測技術への発展につながる有効な手段となることを示した。これらの成果をもとに、マイクロ/ナノ流体デバイスの今後のさらなる応用展開が期待される。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 二 戸 郁 賀 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	川野 聡恭
	副 査	教 授	尾方 成信
	副 査	教 授	杉山 和靖
	副 査	准教授	土井 謙太郎

## 論文審査の結果の要旨

二戸郁賀さんは、本研究論文の中で、(i)電解質水溶液の陽イオンに誘起される電気流体力学（EHD）流れの生成と評価、(ii)液中のマイクロ粒子に働く光圧の定量評価、(iii)マイクロ流路における一粒子電気検出のための光操作技術の基盤構築に関する3課題について、独自の実験手法によりアプローチして現象の解明を試みている。

第一の課題として、水溶液を用いたEHD流れの生成を試みており、2Vの印加電圧で流動の生成に成功している。近年のマイクロ・ナノ流体デバイスの発展に伴い、水溶液におけるEHD流れの制御に関心が集まっている。従来、EHD流れの生成には非極性溶媒が用いられており、そこに電荷を注入するために数10kVの高電圧が必要とされてきたが、水溶液では1.23Vで水の電気分解が発生することから、電荷注入に要する高電圧の印加に困難があった。本研究では、液中への電荷注入について、イオン交換膜を用いることにより液の帯電を試みている。特に、デバイスに液を注入後約18時間待った後に電圧を印加することにより、2Vの印加電圧でEHD流れの生成が可能であることを見出している。これにより、電荷注入のための高電圧が回避され、イオン電流を発生させるために必要となる必要最小限の印加電圧でEHD流れの生成が可能となった。この成果は、水溶液におけるEHD流れの駆動を可能とするものであり、今後幅広い分野での応用が期待される。第二の課題として、液中の一粒子に作用する光圧の定量的評価を行っている。液中にレーザー光を集光することにより、マイクロ粒子を捕捉する技術は光ピンセットとして知られているが、集光による液の昇温により発生する対流や熱泳動が光ピンセットに及ぼす影響が懸念されている。本研究では、マイクロ流路を用いることで、液中の対流や熱泳動を抑制し、それらを切り分けた一粒子に作用する光圧の定量的評価を行っている。粒子サイズをパラメータとし、顕微鏡の対物レンズを介してマイクロ流路中に形成される光圧場における一粒子の挙動を粒子追跡法により解析している。液中における一粒子の流動解析から、粒子半径に依存する光圧が定量的に評価され、光圧場の空間分布が明らかにされた。本結果に関連し、第三の課題では、電気流体力学現象と光操作技術を一粒子の電気計測へと応用するための基盤技術の構築を行っている。光ピンセットにより一粒子を捕捉し、マイクロ流路中に設置された電気検出用のオリフィスを反復運動させ、その通過流動特性を評価している。将来的にはナノ粒子の検出を見据え、オリフィスで光ピンセットした粒子の微弱な電気信号を反復して取得することによりSN比の改善が期待される。上記3課題は、流体力学やマイクロ・ナノ工学における先駆的な研究であり、その成果は、ナノ粒子や一分子解析技術のさらなる発展につながる基盤技術となるものである。

以上の理由より、二戸郁賀さんの論文は、研究課題とそれを解決するための手法に独創性があり、学術的にも機械工学の新分野を開拓するものと評価されることから、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。