The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	A Study on Dynamical Behaviors of Micro- and Nanoparticles Driven by Thermal Fluctuations, Electrohydrodynamic Flows, and Optical Vortices
Author(s)	名倉, 諒
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/72272
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　名　倉　諒　）	
論文題名	A Study on Dynamical Behaviors of Micro- and Nanoparticles Driven by Thermal Fluctuations, Electrohydrodynamic Flows, and Optical Vortices （熱揺動場・EHD流動場・光渦場に駆動されるマイクロ・ナノ粒子の動特性解析）

論文内容の要旨

近年，広範な分野で注目されるLab-on-a-chipデバイスの発展に向けて，液中微小物質の動特性を捉えることが求められている．そこで本論文では，液中のマイクロ・ナノ粒子に注目し，熱揺動による拡散挙動，液中で電気的に駆動されたEHD流動場中の応答，軌道角運動量を有する光として知られる光渦による光硬化性樹脂の応答について，理論と実験の両面から現象の解明を試みる．

はじめに，溶媒分子に対する質量比が十分に大きいとは言えない溶質ナノ粒子について，質量およびサイズをパラメータとして，分子動力学法を用いて熱揺動による拡散挙動を数値的に解析し，拡散係数を導出した．質量比が十分に大きい場合，溶質粒子の運動はLangevin方程式で記述されるが，上記の条件では，ナノ粒子のサイズが水分子と同程度の場合に質量依存性が見られ，既存の理論からは導かれない事象を見出した．次に，陽イオン交換膜を用いてイオンを偏在させ，電気的に分極させた溶液中における負に帯電した荷電マイクロ粒子の外部電場に対する定常応答を電気的中性な溶液中における応答と実験において比較検討した．その結果，電気的中性な溶液中において電場と逆向きに電気泳動する粒子が，電気的に分極した溶液中ではEHD流れの発生によって電場と同じ向きに応答した．従って，液中のイオン濃度を調整することにより，粒子運動の方向を可変とした．さらに，光硬化性樹脂中にUV光の光渦を照射することで形成されるらせんファイバーの形成に着目し，らせん構造の周期が光のそれと大きく異なる原因を粗視化ナノ粒子モデルから理論的に解析した．ナノ粒子の光に対する応答を表すRayleigh散乱理論に光渦から樹脂への光吸収を考慮することで，ナノ粒子の描くらせん軌道が光硬化性樹脂のらせん周期に対応することを見出した．

本研究では，溶媒分子および外力場の存在するマイクロ・ナノスケールの空間における微小粒子の動特性に注目し，分子流体力学の立場から現象の解明に取り組んだ．ここで得られた研究成果は，微小流路中におけるマイクロ・ナノ粒子の流動現象について，熱揺動による影響の予測および適切な外力場の選定という立場からマイクロ・ナノ流体デバイスの工学的応用に発展することが期待される．

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　名　倉　諒　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	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

名倉諒さんは，本研究論文のなかで，(i)液相におけるマイクロ・ナノ粒子の流動現象に注目した熱揺動による拡散挙動，(ii)電気的に駆動された電気流体力学（EHD）流れ場におけるマイクロ粒子の応答，(iii)軌道角運動量を有する電磁波として知られる光渦による光硬化性樹脂の応答に関する三課題について，理論，実験および数値解析を駆使した独創的アプローチにより現象の解明を試みており，液中に印加される力場に応答するマイクロ・ナノ粒子の動力学について深い考察を行っている．

第一の課題として，溶媒分子との質量比が同等の溶質ナノ粒子について，質量と粒径をパラメータとした分子動力学手法を独自に考案し，熱揺動による拡散挙動から拡散係数を導出している．一般に，溶質粒子の質量が溶媒分子のそれに比べて十分に大きい場合, バルクの液中における溶質粒子の運動はLangevin方程式でよく記述されることが知られているが，溶質がナノ粒子となり，その大きさが水分子と同程度の場合には質量依存性があることを導き出している．このことは，一様なランダム性を仮定する従来理論からは導かれ得ない独創的な結論であり，マイクロ・ナノ工学分野のおける学術的深化が得られたものと認められる．第二の課題として，陽イオン交換膜を用いて溶液中に陽イオンと陰イオンを分離して偏在させ，電気的に分極した溶液場を形成し，負に帯電したマイクロ粒子の外部電場に対する定常応答について実験的アプローチを試みている．電気的中性な静止流体中において，荷電粒子は電場に応答して泳動するが，帯電した溶液中ではEHD流れの生成によって粒子の荷電による電気泳動とは逆向きの流動を可視化により確認し，理論的にも考察がなされている．また，液中のイオン濃度を調整することで粒子運動の方向を可変としていることから，新しい物質輸送技術として応用発展が期待される．第三の課題として，光硬化性樹脂に紫外光の光渦を照射して得られるらせん状ファイバーの形成過程に着目し，構造の周期が光の波長に比べて大きく異なる原因について究明している．光硬化性樹脂が固化する過程の一部を粗視化ナノ粒子でモデル化し，らせん形状に成長する過程を理論的に解析している．Rayleighの散乱理論に基づき，光渦から樹脂への光吸収を考慮することで，ナノ粒子の描くらせん軌道が光硬化性樹脂のらせん周期に一致することが見出されている．液中の粗視化ナノ粒子に作用する光圧を解析しているところに独創的アイデアがあり，光学の未解決課題に対する流体工学的アプローチは学際的にも有意義であると認められる．

以上の理由より，名倉諒さんの論文は，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．