

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	マイクロ粒子の形状・外力場の非対称性により生じる方向性をもった自律運動の構築と解析
Title(English)	
著者(和文)	早川雅之
Author(English)	Masayuki Hayakawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10433号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:瀧ノ上 正浩,山村 雅幸,小長谷 明彦,三宅 美博,青西 亨
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10433号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		早川 雅之	
			氏名	職名		
論文審査 審査員	主査		瀧ノ上 正浩	准教授	青西 亨	准教授
	審査員		山村 雅幸	教授		
			小長谷 明彦	教授		
			三宅 美博	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「マイクロ粒子の形状・外力場の非対称性により生じる方向性をもった自律運動の構築と解析」と題し、和文全4章で構成されている。

第1章「序論と現状分析」では、マイクロメートルスケールにおける自律運動の人工的構築の意義と現状について論じている。はじめに、近年、自律的な方向のある運動の構築と解析が注目されており、これらはアクティブマターに関連した物理学的な意義だけでなく、自律的な輸送システムやマイクロマシンなどの工学分野においても重要性があると述べている。マイクロメートルスケールのようなレイノルズ数 $Re \ll 1$ となる環境では、粘性抵抗が支配的になり慣性が無視されるほど小さくなるため、従来のマクロなスケールの方法に基づいた自律運動の構築は非効率だと述べ、生物の運動原理のように、周囲に存在するエネルギーを利用する自律運動が効率的であるとしている。さらに、物体の自律運動が方向性を獲得するためには、物体の非対称形状または外力場の非対称性という2つの原理のうちどちらかが必要であると述べ、先行研究を概説し、未解決の問題点を指摘している。

第2章「複雑形状マイクロ粒子による方向性のある自律運動の構築と解析」では、第1章で述べた、物体の非対称形状により実現される方向性のある自律運動について論じている。はじめに、先行研究では単純形状粒子を用いており自律運動が直線的な並進運動に限られるという問題点を述べている。また、揺らぎが自律運動に与える影響について明らかでないことにも言及している。これらの問題を解決するため、非平衡流を用いた複雑形状マイクロ粒子の作製法を確立したとしている。さらに、遠心流体デバイスの使用により、マイクロ液滴に生じる流れの制御が可能になり、極めて短い時間スケールにおける流れを制御できることを明らかにしたと述べている。次に、作製した複雑形状マイクロ粒子の一部に触媒粒子を封入して実現した自律マイクロモータについて解析し、駆動力の揺らぎを考慮した数理モデルによって、非自明な運動の存在を明らかにしたとしている。最後にこれらの結果についてまとめ、複雑形状マイクロ粒子の自律運動の今後の可能性について考察している。

第3章「定常非対称電場により生じるマイクロ粒子の方向性のある自律運動の構築と解析」では、第1章で述べた、外力場の非対称性により実現される方向性のある自律運動について論じている。はじめに先行研究として、分子モーターの運動モデルとして知られているフラッシングラチェットモデルについて述べ、このモデルでは時間周期的にON/OFFする非対称ポテンシャルが不可欠であるという点について言及している。一方で、定常な非対称ポテンシャル下での方向性のある自律運動の実現が、物理学や工学分野における自律輸送システムの構築に大きく貢献できると述べている。本章では、そのような時間変化しない非対称電場下での、マイクロ粒子の方向性のある自律運動の実験とその数理解析について述べている。数理解析により、粒子の排除体積効果が本質的であることを示し、従来のフラッシングラチェットモデルとは異なる新規なメカニズムを発見したとしている。最後にこれらの結果についてまとめ、マイクロ粒子の自律運動の応用等について考察している。

第4章「総合討論」では、第2章および第3章で論じたそれぞれの方向性のある自律運動の構築・解析に関してまとめ、考察している。最後に、自律運動の構築に関する研究全体の今後の展望について述べている。

以上を要するに、本研究は、マイクロメートルスケールにおける複雑な自律運動を実験および数理解析することによって、その本質を解明したものであり、理学的貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。