

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, 学位の種類: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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	知能システム科学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (理学)
学生氏名： Student's Name	早川雅之		指導教員 (主)： Academic Advisor(main) 瀧ノ上正浩
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、マイクロメートルスケールにおいて、自律的な方向のある運動を人工的に構築する試みが盛んに行われている。これらはアクティブマターに関連した物理学的な需要だけでなく、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からも求められている。マイクロメートルスケールのようなレイノルズ数 $Re \ll 1$ となるような環境では、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、従来のロボット工学に基づいた自律運動の構築は非効率である。そのため、生物の運動する原理として知られる周囲に存在するエネルギーを利用する自律運動が注目されている。周囲のエネルギー利用による自律運動が方向性を獲得するためには、物体の形状・外力場の非対称性に着目した二つの原理のうちどちらかが必要である。先行研究においても、これらの原理に基づいた自律運動が構築されているが、運動パターンが単調なものや、特定の環境下でしか自律運動できないものなど、単純な自律運動しか実現できていない。したがって本論文では、マイクロメートルスケールにおける複雑な自律運動の構築と解析を目的とする。

第 2 章では、物体の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る。本研究では、近年様々な分野への応用が期待されている、白金触媒により生じる気泡の放出を駆動力とした自律運動に焦点を当てた。先行研究における自律運動は、単純形状粒子を用いたものだったため、自律運動が直線的な並進運動に限られるという問題点があった。さらに、気泡の放出による推進においては、気泡サイズの揺らぎが自律運動の軌跡に与える影響について明らかでないという未解決な課題もある。したがって、本章ではまず複雑形状マイクロ粒子構築手法を開発し、その後気泡を駆動力とした自律運動の構築および解析を行った。まず、遠心力を利用したマイクロ流体デバイスと、マイクロ液滴に生じる拡散流とマランゴニ流による変形を利用することで、複雑形状マイクロゲル粒子の作製を行った。遠心流体デバイスの使用により、ゲル化前の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のダイナミクスが明らかになった。複雑形状マイクロゲル粒子は、変形したマイクロゲル粒子を部分的に溶解することで作製された。次に、作製された複雑形状マイクロゲル粒子の一部に白金ナノ粒子を封入し、過酸化水素水溶液内での自律運動の観察・解析を行った。過酸化水素水溶液内では、複雑形状マイクロゲル粒子が気泡の放出により非自明な円運動を示すことがわかった。この自律運動に関し、気泡サイズの揺らぎによる駆動力の揺らぎを考慮したモデルを構築しシミュレーションした結果、円運動が揺らぎの強度の非対称性により観察されるということが明らかになった。

第 3 章では、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る。キネシンなどの分子モーターの運動は、外力場の非対称性を利用していると考えられている。この運動は、フラッシングラチェットモデルと呼ばれ、時間周期的に ON/OFF する非対称ポテンシャルの下で方向性のある運動が実現する。しかしながら、大量の分子で満たされた細胞内において、キネシンなどの輸送システムがこの原理のみに基づいて物体を輸送できるかどうかなどはよくわかっていない。また、この原理を輸送システムとして利用する際には、物体の拡散時間に応じたポテンシャルの ON/OFF 時間周期の調整など、煩雑な作業を行う必要がある。したがって、定常ポテンシャル下での方向性のある自律運動が実現することで、混雑環境における輸送の理解や、定常ポテンシャル下での自律輸送システムの構築に貢献できる。本章では、定常的な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を観察し、数値シミュレーションと数理モデルにより解析を行った。本研究では、二次元ガラス上のマイクロパターン電極による電場を定常非対称場とした。電極間のマイクロ粒子は、粒子密度が高い場合のみ方向性ある自律運動を示すことがわかった。また、それぞれの粒子が従う運動方程式を用いた数値シミュレーションと実験結果を比較したところ、両者の傾向はよく一致した。次に、この自律運動の抽象化モデルを構築した。本モデルを計算することで、時間変化しない定常非対称ポテンシャル下においても、方向性のある自律運動が得られることが明らかになった。

本研究で得られた成果は、より複雑で高度な自律運動の理論構築、またそれを用いた技術開発や、生物の示す自律運動における未解決な問題の解決に貢献することが期待できる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	知能システム科学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (理学)
学生氏名 : Student's Name	早川雅之		指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	瀧ノ上正浩
			指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis is composed of 4 chapters, and it is entitled "Construction and analysis of autonomous directional motions occurred by shapes of microparticles and asymmetry of external force fields".

In chapter 1, introduction and current situation analysis are described. A construction of directional motion has been attracting much attention because such directional motion is helpful for not only from active matter physics but also Nano/Micro engineering. Generally, methods to realize directional motion is classified mainly two ways; the one is to focus on shapes of objects and another is to focus on asymmetry of external force fields. However, in both way, the autonomous motion reported by previous study is monotonous or limited in specific situations. Thus, the construction and analysis of the more sophisticated complex motions is required.

In chapter 2, the author firstly show a fabrication of complex-shaped gel microparticles. The fabrication was performed using a centrifuge-based microfluidic device and deformations due to a diffusional flow and a Marangoni flow in/on prior microdroplets. The centrifuge-based device made it possible to control the flows, then, dynamics of the flow over a very short time scale were revealed. Complex-shaped gel microparticles were produced by partial dissolution of the deformed particles. Next, autonomous motions of the complex-shaped gel microparticles by bubble detachment was described. By enclosing Pt powders in some parts of the microparticles, autonomous rotations were observed in a hydrogen peroxide solution. Additionally, it is found that a non-trivial circular motion due to asymmetry of fluctuation is observed by numerical simulations using dynamical models with force fluctuation.

In chapter 3, the author show directional autonomous motion of microparticles under a stationary asymmetric field. The directional motion was observed only when the particle density was high, and this is also observed in numerical simulation performed using the equation of motion of each microparticle. Additionally, the construction and simulation of the abstract model was described. In this model, the asymmetric potential weakens depending on the number of particles. This mechanism is different from a flushing ratchet model known as a model of biological motors, and it is shown that directional autonomous motions can be obtained even under a stationary asymmetric potential which does not change with time.

In chapter 4, summary and general discussion is described. Particularly in the discussion, future prospects are stated by comparison with autonomous motions of cells. Finally, future prospects of the whole study on the construction of autonomous movement is described.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).