HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Active Self-Organization of Microtubules and Formation of Two-Dimensional DNA Network by Biomolecular Motor System [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Afroze, Farhana
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14688号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83271
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Farhana_Afroze_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理学）　氏名　アフロズ　ファルハナ

審査担当者

主査	教授	石森 浩一郎
副査	教授	佐田 和己
副査	教授	坂口 和靖
副査	教授	渡慶次 学
副査	准教授	角五 彰

学 位 論 文 題 名

Active Self-Organization of Microtubules and Formation of Two-Dimensional DNA Network by Biomolecular Motor System
（生体分子モーターシステムによる微小管の能動的自己組織化と 2 次元 DNA ネットワークの形成）

集団運動は、動物や鳥、社会性昆虫などに普遍的にみられる現象である。集団運動の形成原理や制御機構の解明は、動物行動学や社会学など分野だけでなく、自律分散を目指す制御工学やロボット工学などの応用分野の発展においても重要な課題となっている。近年、多数の自己駆動型粒子から構成される物質（アクティブマター）が集団運動を再現する系として注目されている。アクティブマターの中でも、簡便さなどの観点から、化学エネルギーによって駆動する生体分子モーターを用いた系（微小管/キネシンやアクチン/ミオシンなど）が汎用されてきた。これまでに静電相互作用や枯渇力などの遠距離の相互作用だけではなく、DNA の二重鎖形成などを微小管に導入することで集団運動が可能であることが実証されている。
本学位論文では、キネシンにより駆動される微小管を自己駆動型粒子とした集団運動において、微小管のキラリティなどの構造的な特徴に基づく回転トルクと集団運動の秩序との関連について述べられている。さらに後半部では応用研究として微小管を介した長鎖 DNA の伸張とネットワーク化について述べられている。
全五章のうち、第一章では微小管およびキネシンの基本的な役割や動的な特徴，ナノテクノロジーを目指した DNA の利用などについて述べながら、本研究に関連した研究背景から本研究の位置付けを明らかにするとともに、取り組むべき課題や研究の新規性、独自性が明確に示されている。
第二章では、微小管の集団運動のおける微小管のキラリティの影響に関して述べられている。具体的な成果として微小管のキラリティに沿った回転運動が、微小管同士が接触する際に相互作用トルクとして働き、その結果の方向の揃った集団運動が実現されることを明らかにしている。
第三章では、微小管の自走性を利用した長鎖 DNA の伸張とネットワーク化についての実験系に関する詳細な説明がなされている。微小管とプライマー DNA を化学的に修飾し、ローリングサークルアンプリフィケーション（RCA）法をつかって DNA を増幅させ、長鎖 DNA と微小管を複合化させている。さらにこの微小管をキネシン基板上で駆動させることのより長鎖 DNA の伸張や DNA 鎖同士の絡み合いによるネットワーク形成を実現している。
第四章では、自走する微小管を介して形成される長鎖 DNA のネットワークのモルフォロジーと DNA の増幅反応の条件や微小管の密度などのパラメータとの相関について述べられている。モルフォロジーの評価はフラクタル解析が用いられている。さらに長鎖 DNA のネットワーク形成は微小管の自走性が重要な役割を果たしているということも明らかにしている。
第五章では、第二章から第四章までの研究を総括し、アクティブマターの集団運動の制御やアクティブマターによる長鎖 DNA のネットワーク化について、今後の研究の展望を述べている。
これらを要するに著者は、アクティブマターの集団運動において、自己駆動型粒子間の相互作用トルクが集団運動全体の秩序を決定づける主要な因子であることを明らかにした。さらにアクティブマターの駆動力は、長鎖 DNA のエントロピー弾性に拮抗しうるだけでなく、伸張させた DNA 鎖を絡み合わせることでネットワーク形成の実現も可能であることを示した。
本研究成果は、集団運動の形成原理や制御機構の解明に大きく貢献しうるとともに、新興分野である分子群ロボティクスや DNA ナノテクノロジーなどの応用分野への波及効果も期待される。よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。