

実績報告書（創成特定研究事業）

理学研究院 准教授
角五 彰

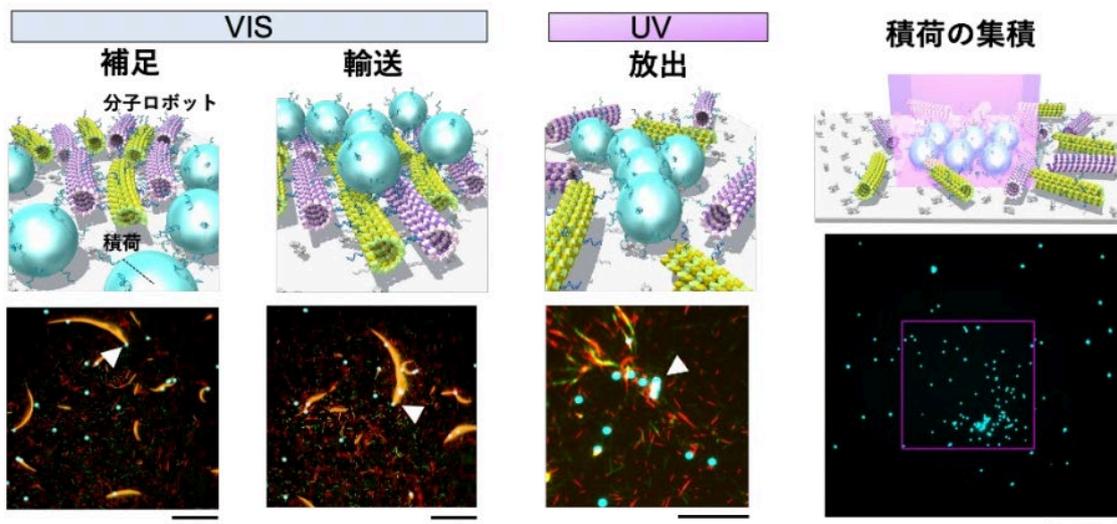
■プロジェクト研究構想名：

スケール横断的なアクティブマターの動作原理解明とそれに基づく新物質の創出

1. 研究成果

本研究では、上記研究者を中心に、1) ミクロからマクロまでスケール横断的にアクティブマターの集合体（群れ）の動作原理を統一的に理解し、その知見をもとに、2) 制御可能でかつ自在にデザイン可能な新たなアクティブマターを一から創出するための方法論の確立を目指す。さらに非線形・非平衡物理学の観点からアクティブマターの集団運動に関する理論的研究や、実時間可視化シミュレーションシステムの開発を、深層学習によるアクティブマター評価に実績のある研究者らも含めた共同研究体制で実施することを予定している。

22年度（実施期間2022年4月1日～2022年11月30日）の研究代表者の成果として、これまでに開発してきたマイクロサイズのアクティブマターに、群れの形成解離を遠隔で操作する分子機構を導入することで、アクティブマターによる物質輸送という実効的な仕事の遂行に成功した。アクティブマターは直径25ナノメートル、全長は5マイクロメートル程度のサイズを有する。群れの形成解離を利用したアクティブマターが、単体では実現し得なかった数十マイクロメートルサイズという大きな物質を輸送できるようになった。分子ロボット単体と比べると約5倍の輸送効率の向上、積荷サイズは10倍にも拡大されている。さらに積荷の輸送先は光（紫外光）を照射するだけで任意に指定することも可能とした。この成果は、ミクロスケールにおけるアクティブマター集合体の動作原理の理解を深めるものと期待される。



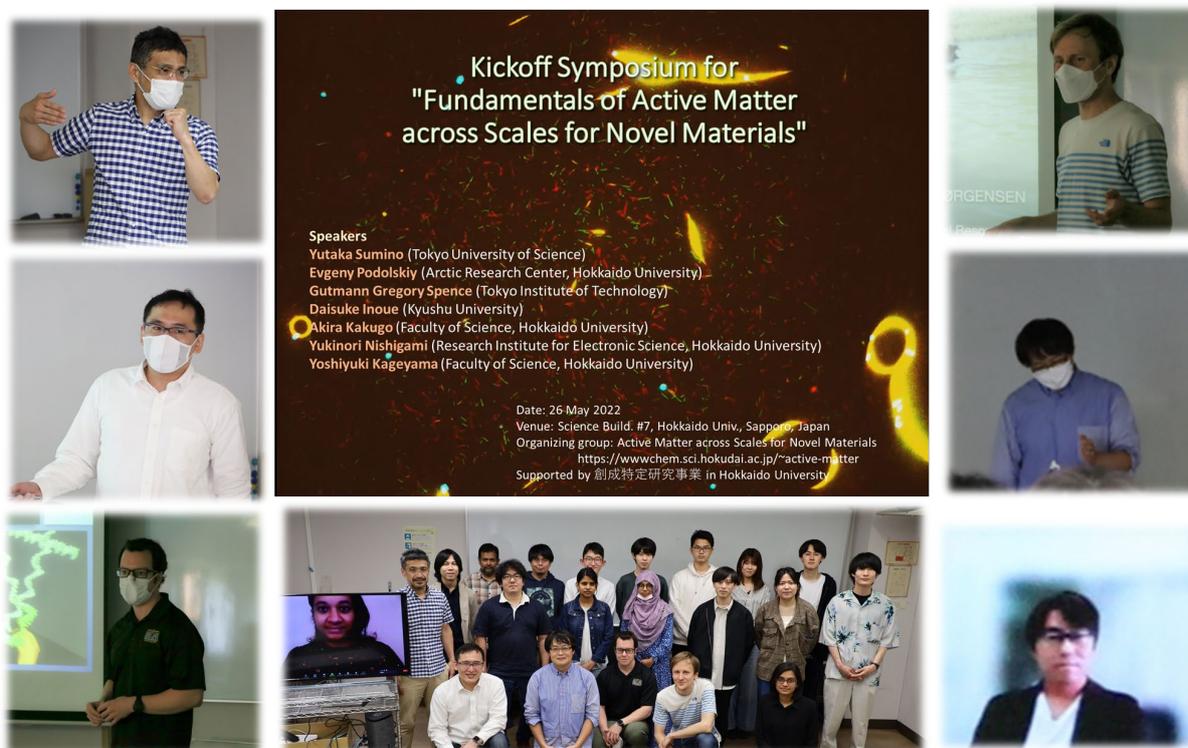
分子ロボットの群れによる物質輸送の概念図（上段）と物質を輸送している分子ロボットの蛍光顕微鏡写真（下段）。光照射位置を指定することで目的の場所に積荷を集積させることも可能（右）。

2. 若手研究者のプロジェクトへの関与の状況、若手研究者育成への効果、および、参画によるプロジェクトへの効果

本研究構想ではアクティブマターの学理の構築とそれに基づく新たな物質科学を創出する足掛かりを築くことを最終的な目的とする。そのためには様々なスケールでのアクティブマターを研究する若手研究者間での問題意識の共有が必要不可欠である。これまでに2回のシンポジウムを企画し、学生および外部講演者も交えて各スケールでのアクティブマターの研究動向を学び、解くべき課題を見出してきた(写真)。参画する若手研究者たちは、このような企画を通じて自分達が対象としているスケールのアクティブマターだけでなく、幅広いスケールのアクティブマターについて学んできた。このようなシンポジウムに加え、国内外から講演者をお呼びしセミナーを開催することで、アクティブマターに関する世界的な動向についても学んできた。これらの活動を通じて本研究課題であるスケール横断的なアクティブマター研究の土台が築かれたものと思われる。

若手研究者の22年度の原著論文数は7編である。国際的な会議での招待講演1件(AGU FALL MEETING)、国内学会および研究会での招待講演5件(Active Matter Symposium 2023, 第32回非線形反応と協同現象研究会、新化学技術推進協会分科会勉強会、名古屋大学VBLシンポジウム、第103日本化学会春季年会シンポジウム(予定))、サイエンスアゴラでの出展など、若手研究者のプレゼンスは高く、当プロジェクトが研究者育成につながっているものと思われる。さらには、当該プロジェクトで構築したステレオ顕微鏡を用いた計測や、研究試料提供などにおいて、若手研究者間での共同研究も開始された。

アクティブマターの研究は、まだ草創期にある。若手研究者および共に研究する学生らとの協同により、アクティブマター研究の活性化が進み、代表者の研究の幅も拡がりつつある。



当プロジェクトのキックオフシンポジウム(2022年5月26日開催)の様子

3. 業績（プロジェクト開始以降）

（1）研究構想に記載した論文等に係る目標値の達成状況

二年間の研究期間中に、国際学術雑誌への論文を 10 編（うち国際共同論文 5 編、Top10%論文誌への掲載 3 編）掲載させることを目標とした。これに対し研究期間は7ヶ月になった一方で、この期間に出版された査読付き国際学術雑誌への論文掲載数は9編、うち国際共著論文数1編であり、進捗率は順当であった。このうち、Physical Review Research および Science Robotics は、物理学分野および学際領域分野で高被引用数を誇る学術誌と認知されている。加えて、PLOS Computational Biology へ掲載された論文の Altmetric Score は 239 に達するなど、注目される研究を進めてきた。

【参考】プロジェクト開始以降出版された査読付き原著論文数9編（うち国際共著論文数1編）

（2）特許申請・取得状況

なし

（3）外部資金獲得状況 ※課題名、研究期間、獲得総額等を記載

【継続課題（研究代表者として受給）】

科研費）発動分子素子の階層化による自己秩序機能の創出 2018 年度～2022 年度 119,100 千円

科研費）分子群ロボティクス：分子群ロボットによる仕事の検証と社会実装課題の提案 2021 年度～2023 年度 32,500 千円

科研費）細胞骨格「微小管」がメカのトランスデューサーであることの実験および理論的検証 2021 年度～2023 年度 4,900 千円

科研費）反応により自己生成する μm スケール自己駆動体の集団挙動の解析 2021 年度～2022 年度 4,400 千円

【継続課題（分担研究者として受給）】

NEDO）人と共に深化する次世代人工知能に関する技術開発事業 2020 年度～2024 年度

科研費）環境連成力学を基盤とした微生物行動シミュレータの開発 2021 年度～2025 年度

科研費）濃度場を通して相互作用する自己駆動粒子系モデルの構築と解析 2021 年度～2024 年度

科研費）再構成アプローチで解明するダイナミンの膜切断機構とその破綻に起因する疾患発症機序 2019 年度～2022 年度

科研費）発動分子素子の階層化による自己秩序機能の創出 2018 年度～2022 年度

（4）その他特筆すべき業績

代表者のアウトリーチ活動：

TEDx での講演（2022 年 10 月 30 日）

NHK サイエンスゼロでの研究報道(2023 年 1 月 22 日)

スケール横断的な アクティブマターの動作原理解明とそれに基づく新物質の創出

アクティブマターとは
自律的に動作する動的な物質系

動的



アクティブマター ≫ ソフトマター > ハードマター

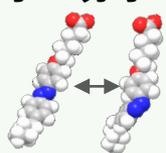
静的



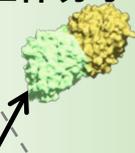
階層・スケール・種別・解析手法を横断する普遍性の追求

ミクロ nm μm mm m km マクロ

原子・分子



生体分子



単細胞生物



多細胞生物



単体

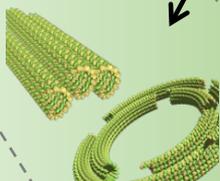
相関

相関

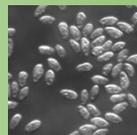
相関



結晶



集団



コロニー



群れ

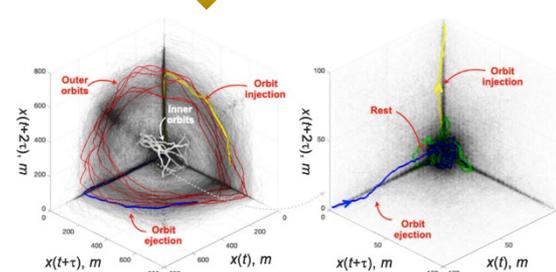
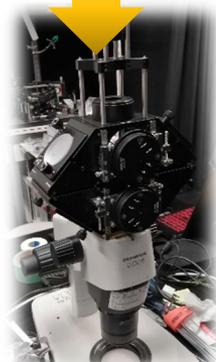
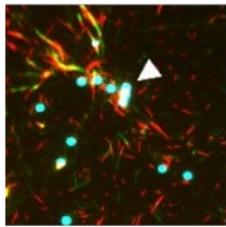
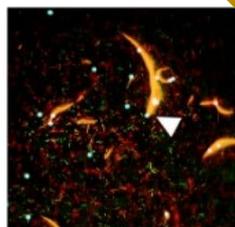
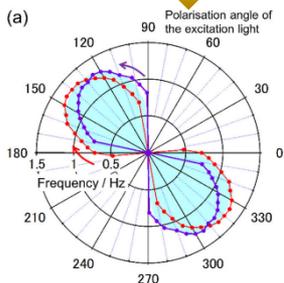
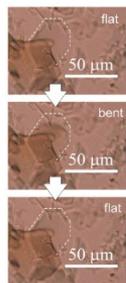
多体・集団

景山 (合成)

角五 (バイオ)

西上 (計測)

Podolskiy (解析)



分子集団化による環境応答動作と人工記憶の概念創出

微小管ロボットの集団化による物体運搬制御の達成

ステレオ顕微鏡の製作による集団ダイナミクス計測

動物の環境応答行動から自然環境変化を捉える