

補助事業番号 2024M-407

補助事業名 2024年度 生分解できる自動推進型マイクロマシンの駆動力となるバイオポリマー
MreBの物性の調査 補助事業

補助事業者名 国立大学法人 長岡技術科学大学 物質生物系 生体運動研究室 藤原郁子

1 研究の概要

本研究では、生分解可能な自動推進型マイクロマシンの開発を最終目標とし、その駆動源となるバイオポリマーMreBの物性に関する基礎的理解を深めることを目的とした。MreBは細菌におけるアクチン様タンパク質である。通常は細菌自身を守る細胞壁を合成する酵素を乗せる「いかだ」として繊維を形成し、そのダイナミクスは静的であるが、螺旋推進する細菌スピロプラズマ由来のMreBは、その螺旋推進運動を発現・駆動するという特異な能力を有する。今回、スピロプラズマの持つ5種類のMreBのうち、MreB5およびMreB1を人工リポソーム内に封入し、リポソームの形状変化や動的挙動を通じて、駆動力の源となり得る構造形成メカニズムの解明を試みた。

リポソームの形態観察には、外部位相差ユニットとXYステージを取り付けた光学顕微鏡を用い、時間分解能と視野内の多点同時観察を両立させる実験系を構築した。これにより、MreB5の単独封入による線維状形態の形成、およびMreB1との共存による変形の制御機構の発生といった新たな現象を確認した。また、人工細胞Syn3を用いた系でも、MreB発現量が形態変化に寄与することが示され、MreBがマイクロバイオマシンの形維持と駆動力生成において重要であることを明らかにした。

2 研究の目的と背景

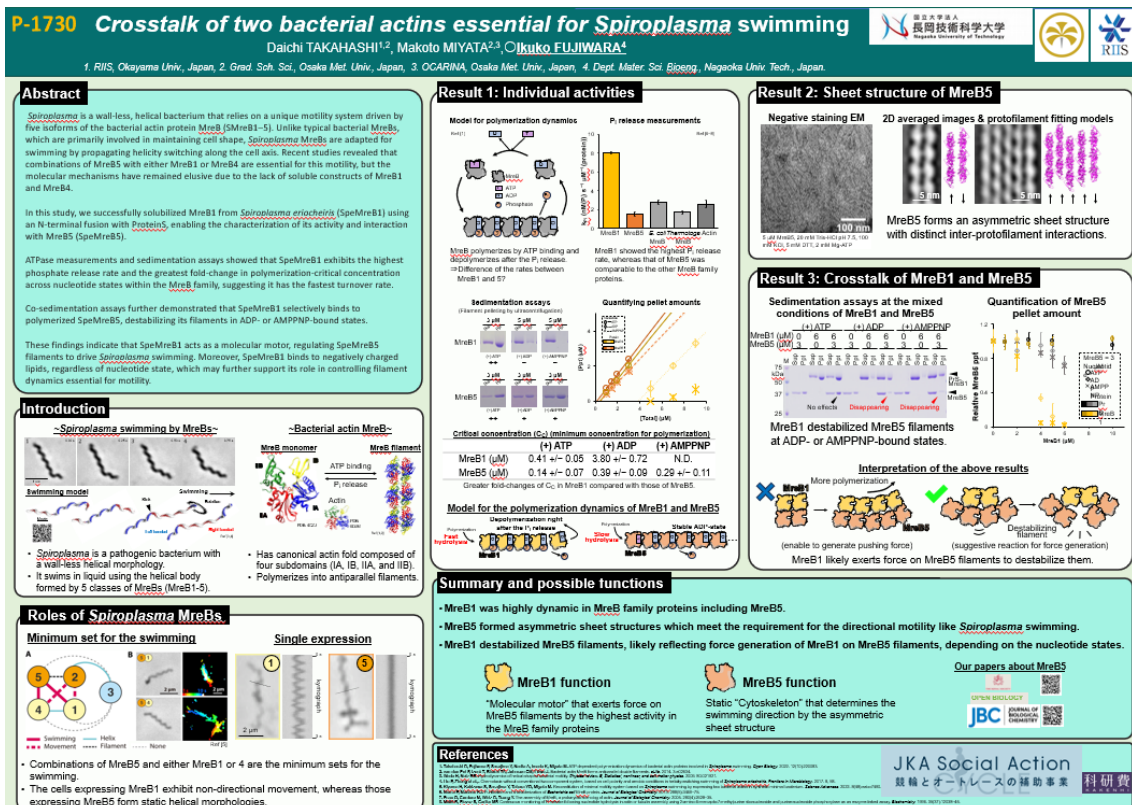
近年、エネルギーを外部から供給することなく自律的に運動するマイクロ・ナノスケールの自律駆動システムへの関心が高まっている。なかでも、生体分子を駆動源とした生分解性マイクロマシンは、環境負荷の低さや生体親和性により、医療・環境・農業分野での応用が期待されている。

本研究では、細菌の形態維持や運動に関与するアクチン様タンパク質MreBに着目した。細胞壁をもたない細菌スピロプラズマはらせん形状の細胞構造とワインオープナーのようにらせん推進するような運動を示すが、その駆動機構には複数種のMreBが関与すると考えられている。本研究では、これらのMreBを人工リポソームに封入し、その構造変化を観察することで、MreBによる構造形成と駆動力生成の物理的メカニズムを明らかにすることを目指す。

3 研究内容

生分解できる自動推進型マイクロマシンの駆動力となるバイオポリマーMreBの物性の調査の調査
(URL https://msb.nagaokaut.ac.jp/labo/biological_motility/)

以下のポスター内容は、現在再査読中の論文に基づいており、2025年夏頃までの出版・公開になると思われます。なお、その他のデータにつきましては、現在、論文にまとめている段階であり、研究の性質上、本項目での詳細なご紹介は控えさせていただいておりますが、【7】-2(別紙1)「事業の実施内容等報告書」にてご覧いただけます。



4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発・解析を進める生分解性の自動推進型マイクロマシンは、その小型・高機能性を活かし、多様な分野での応用が期待される。まず、宇宙などの極限環境において、限られた空間で高精度かつ自律的に動作する医療機器や研究機器のコア技術として活用可能である。小型ゆえに溶液や装置類も小型化・軽量化でき、より多くのデータを取る事ができるため、新たな医療・科学支援システムの構築に貢献する。

さらに、本研究の拠点である新潟県の地域特性を活かし、稲作をはじめとした農作物の生育状態や病害診断に用いるバイオセンサーとしての展開も視野に入れている。生分解性マイクロマシンを用いた現場即応型の生体情報収集システムは、持続可能な農業の推進や環境負荷低減に寄与し、地域産業の活性化にもつながる。

加えて、バイオポリマーMreBの物性を活用した駆動メカニズムの解明は、生体模倣型ロボティクスや環境浄化技術への応用も期待される。将来的には、水質汚染物質の検出・回収や、生分解性素材による環境調和型マイクロマシンの実用化が見込まれ、社会的課題の解決に貢献することが可能である。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業対象者は早稲田大学にて博士号取得後、Yale大学および米国立衛生研究所(NIH)での研究を経て、京都大学、名古屋工業大学、大阪市立大学にて細胞骨格の動態や機能に関する研究を行ってきた。特に、アクチン細胞骨格の重合・脱重合の制御メカニズムやアクチン結合タンパク質との相互作用の解析に注力し、TIRF顕微鏡を用いたリアルタイム観察技術の開発などにより、細胞内の動的現象を詳細に解明してきた。これらの研究を通じて、細胞の運動や形態形成におけるアクチンの役割を明らかにするとともに、細胞骨格のダイナミクスを制御する因子の同定にも貢献している。

特に、アクチンと類似した構造を持つ細菌の細胞骨格タンパク質であるMreBに関する研究では、MreBが細菌の形態維持や運動に関与することが示されている一方で、アクチンの研究知見を活かし、両者の共通性に注目した独自の研究を展開している。

現在は長岡技術科学大学において、推進力を生み出すポリマー材料としてMreBを利用した自動推進型マイクロマシンの開発を目指し、リポソーム内でのMreBのポリマー形成およびその動的挙動の詳細な解析を進めている。これにより、細胞骨格タンパク質を用いた新たな駆動機構の解明と、それを応用したマイクロマシン実現のための基盤技術の構築を図っている。

アクチン細胞骨格の動態解析からMreBを利用したマイクロマシンの開発へと展開する本研究は、細胞骨格の理解を基盤とした新技術創出への重要なステップとして位置づけられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. A highly active bacterial actin actuates the polymerization of another isoform essential for swimming motility of *Spiroplasma*としてbioRxiv(プレプリント)として出版・公開。
doi: <https://doi.org/10.1101/2024.09.04.611326>
2. A bacterial actin with high ATPase activity regulates the polymerization of a partner MreB isoform essential for *Spiroplasma*として、国際英文誌に投稿中。
3. Deformation of Liposomes by Encapsulation of Syn3B Extract from Spiroplasma and MreB(仮題)として、現在、執筆中。

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

https://msb.nagaokaut.ac.jp/labo/biological_motility/

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 国立大学法人 長岡技術科学大学

(コクリツダイガクホウジン ナガオカギジュツカガクダイガク)

住 所： 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1

担 当 者： 藤原郁子(フジワライコ)

担 当 部 署： 物質生物系 (ブッシツセイブツケイ)

E - m a i l: nutsuishin@jcom.nagaokaut.ac.jp

U R L: <https://www.nagaokaut.ac.jp/index.html>

https://msb.nagaokaut.ac.jp/labo/biological_motility/