

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01767

研究課題名（和文）ウイルス捕集能を有する蛋白質/高分子ハイブリッドマイクロチューブモーターの創製

研究課題名（英文）Synthesis of Protein/Polymer Hybrid Microtubes with Virus Capturing Ability

研究代表者

小松 晃之（Komatsu, Teruyuki）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30298187

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：合成高分子と蛋白質からなる中空シリンダー構造のマイクロモーターを合成し、それが過酸化水素水溶液中で酸素バブルを噴出しながら自走することを見出した。チューブの内孔表面や外表面は後から自由に機能化することができる。外表面をフェチリン蛋白質で被覆したマイクロチューブは、インフルエンザウイルス模倣ナノ粒子を捕捉した。また、内孔表面にカタラーゼを固定したチューブの自走速度は、可視光照射により制御できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光重合と交互積層を組み合わせる手法により、機能性マイクロモーターを効率よく合成できるようになった。得られた成果は、バイオコンテナ、病原体クリーナー、分子マシンなど、新しい機能材料の創出につながると考えられる。さらにオンデマンドな薬物送達技術の担体としての利用や、治療診断技術に役立つ超小型デバイスへの実装が可能となれば、人類の健康・福祉にもたらす波及効果と意義はきわめて大きい。

研究成果の概要（英文）：We synthesized tubular micromotors with a hollow cylindrical structure composed of synthetic polymers and proteins. They are capable of self-propulsion by ejecting oxygen bubbles in an aqueous hydrogen peroxide solution. The inner and outer surfaces of the tube can be freely functionalized post-synthesis. Microtubes coated on their outer surface with fetuin protein successfully captured influenza virus-mimicking nanoparticles. Additionally, the swimming speed of tubes with catalase immobilized on the inner surface could be regulated by visible light irradiation.

研究分野：高分子化学

キーワード：光重合 交互積層 チューブ マイクロモーター 白金ナノ粒子 過酸化水素 カタラーゼ 光熱効果

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

水中で自走する(自発的に泳動する)マイクロモーターの合成と応用に注目が集まっている。なかでも中空シリンダー(チューブ)構造のマイクロモーターは、内孔、管壁、外表面にそれぞれ異なる機能を付与できるため、物質捕捉、薬物輸送、免疫診断、環境浄化など、様々な応用が検討されている。チューブ状マイクロモーターの多くは、過酸化水素(H_2O_2)水溶液中で末端開口部から O_2 バブルを噴出しながら自走する。燃料である H_2O_2 を不均化し($2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$)、効率よく O_2 を発生させるため、チューブの内壁は白金(Pt)で覆われていなければならない。Pt層を構築する一般的な方法は、(i) Pt 薄膜のロールアップ(Schmidt et al., *Adv. Mater.* **2008**, *20*, 4085)、(ii) 多孔性膜内での Pt の電着(Wang et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 11862)、(iii) 多孔性ポリカーボネイト(PC)膜内への Pt ナノ粒子(PtNP)の積層(Komatsu et al., *ACS Appl. Nano Mater.* **2019**, *2*, 4891)である。一方、チューブ管壁の主要成分は Pt 層の作り方で決まり、それぞれ(i) Pt 以外の金属、(ii) 導電性ポリマー、(iii) 水溶性高分子電解質に限定される。また、いずれの手手法も煩雑で多段階からなるため、調製に時間を要することが欠点である。

もし、管壁成分を光硬化性樹脂で簡便に作成し、後から内外表面を機能化することができれば、様々なマイクロモーターの合成が可能となり、構造設計の自由度は格段に広がる。Newlandらは、陽極酸化アルミナ(AAO)膜内でポリエチレングリコールジアクリレートの光重合を行うと、均一なナノチューブが得られることを報告している(*Nanoscale*, **2018**, *10*, 8413)。しかし、AAO テンプレートの溶解を水酸化ナトリウム水溶液中で行うため、チューブの一部が崩壊(加水分解)してしまうという問題がある。また、モーターとしての応用は検討されていない。

他方、インフルエンザウイルスは感染力が強く、拡散防止措置が施された実験室(P2 レベル以上)でしか取り扱うことができない。インフルエンザウイルスの表面にはスパイク蛋白質ヘマグルチニン(HA)が突き出しており、それが宿主細胞表面にあるシアル酸を認識することで感染が始まる。適切なサイズの蛍光ナノ粒子(FNP)に HA を結合したインフルエンザウイルス模倣ナノ粒子、すなわちインフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子(HA-FNP)ができれば、ウイルス研究の発展に大きく寄与するものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、多孔性 PC 膜を用いた「鋳型内光重合法」と「交互積層法」により、均質で分散性の高い蛋白質/高分子ハイブリッドチューブマイクロモーター(図1)を合成し、それが水中で自走しながらインフルエンザウイルス模倣ナノ粒子を捕集する現象を明らかにすることを目的とした。鋳型内光重合法によりチューブ骨格を作成した後、交互積層法を駆使して内孔表面に PtNP、外表面にフェチュイン(Fet)を固定し、目標とする蛋白質/高分子ハイブリッドチューブを得る。Fet はシアル酸含有糖鎖を有するシアロ糖蛋白質であり、インフルエンザウイルスのスパイク蛋白質 HA と選択的に結合する。また、本研究を進める中で、外部刺激(光)によりマイクロモーターの速度が変調できることを見出した。その現象と機構についても解明する。

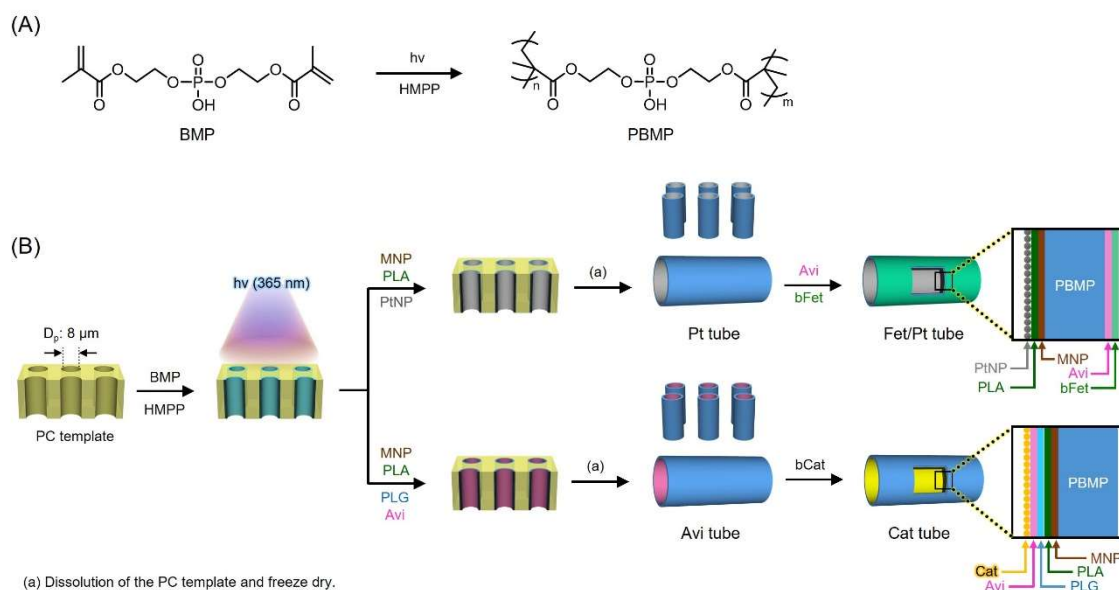


図1. (A) BMP の光重合と PBMP の構造、(B) 蛋白質/高分子ハイブリッドチューブマイクロモーター(Fet/Pt チューブ、Cat チューブ)の合成

3. 研究の方法

(1) 高分子チューブマイクロモーターの合成

まず、多孔性PC膜(孔径8.0 μm)を用いた鋳型内光重合により、チューブの基本骨格を作成した(図1)。リン酸ビス[2-(メタクリロイルオキシ)エチル]と 2-ヒドロキシ-2-メチルプロピオフェノン(開始剤)を含むメタノール溶液をPC膜上に滴下し浸透させた後、 N_2 雰囲気下で紫外線を照射(365 nm, 620 mW/cm^2)することにより、ポリ[リン酸[2-(メタクリロイルオキシ)エチル](PBMP)からなる高分子チューブを合成した。そのPC膜をシリンジホルダー内に装着し、酸化鉄ナノ粒子(MNP)、ポリ-L-アルギニン(PLA)、PtNP(粒径:約 5 nm)の水溶液を順次通過させた(鋳型内交互積層法)。得られたPC膜をDMF中に浸すと、瞬時にテンプレートが溶解し、中空シリンダー構造のPBMP/MNP/PLA/PtNPチューブ(Ptチューブ)が得られた。チューブの形態を走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察した。

(2) 高分子チューブマイクロモーターの自走能の解析

Ptチューブのリン酸緩衝水(PB)分散液(pH 7.0)に H_2O_2 水溶液を添加すると(H_2O_2 : 2 w/v%、TritonX-100: 0.2 w/v%)、チューブは末端から O_2 バブルを噴出しながら自走した。チューブが泳動する様子をハイスピードカメラ(HAS-220)を装着した倒立型光学顕微鏡(OLYMPUS, IX73)システムを用いて観察し、自走速度を測定した。

(3) 蛋白質/高分子ハイブリッドチューブマイクロモーターの合成と自走能の解析

3(1)で得たPtチューブをAvi水溶液に浸漬し、外表面にアビジン(Avi)を導入した後、ビオチン化フェチン(bFet)を結合することにより、bFet-Avi/PBMP/MNP/PLA/PtNPチューブ(Fet/Ptチューブ)を合成した(図1B)。チューブの自走能を3(2)の方法で解析した。

3(1)で光重合した後のPC膜に、MNP、PLA、ポリ-L-グルタミン酸(PLG)、Aviの水溶液を順次通過させ、得られたPC膜をDMF中で溶解すると、中空シリンダー構造のPBMP/MNP/PLA/PLG/Aviチューブ(Aviチューブ)が得られた(図1B)。AviチューブのPB分散液にビオチン化カタラーゼ(bCat)を加え最内層に結合することにより、PBMP/MNP/PLA/PLG/Avi-bCatチューブ(Catチューブ)を合成した。チューブの形態をSEMで観察し、自走能を3(2)の方法で解析した。また、異なるpH(pH 6.0–9.0)、温度(15–45 $^{\circ}\text{C}$)における自走速度を測定した。

(4) インフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子の合成

蛍光ナノ粒子(FNP、粒径:100 nm、表面修飾基:COOH)のPB分散液に1-ethyl-3-(3-dimethyl aminopropyl)carbodiimide hydrochloride(EDC)およびN-hydroxy succinimide(NHS)を加えた後、(5S)-N-(5-amino-1-carboxypentyl)iminodiacetic acid(NTA)を添加し、遮光下で15時間攪拌した(図2A)。この分散液に NiCl_2 およびHis-tagged HA水溶液を加え、目的のインフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子(HA-FNP)を得た。HA-FNPの形態をクライオ透過型電子顕微鏡(Cryo-TEM)を用いて観察した。

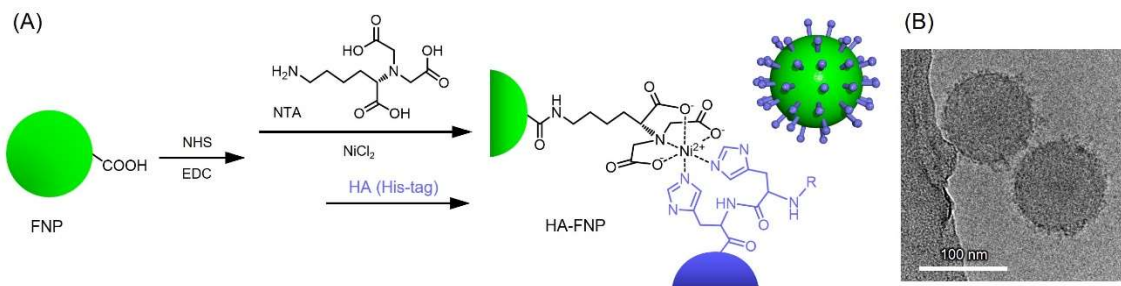


図2. (A)HA-FNPの合成. (B)HA-FNPのCryo-TEM像.

(5) インフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子捕集能の解析

3(3)で合成したFet/PtチューブのPB分散液に H_2O_2 を加えた後(H_2O_2 :2 w/v%、TritonX-100:0.2 w/v%)、3(4)で合成したHA-FNPを添加し、チューブが自走する様子を顕微鏡で蛍光観察した。混合2時間後、ネオジウム磁石を用いてチューブを除去し、上清の蛍光スペクトル測定を行うことにより、Fet/Ptチューブマイクロモーターが捕集したHA-FNPを定量した。

(6) 光照射で自走速度を制御できるCatチューブの自走能の解析

3(3)で合成したCatチューブのPB分散液に H_2O_2 を加えた後(H_2O_2 :2 w/v%、TritonX-100:0.2 w/v%)、光照射下(水銀ランプ、OLYMPUS 蛍光ミラーユニット:U-FGW、 λ_{ex} :400–495 nm、 λ_{em} :510 nm、光強度0–88 mW/cm^2)でチューブの自走速度を測定した。また、光照射のON/OFFを複数回繰り返し、Catチューブマイクロモーターの速度変化を解析した。

4. 研究成果

(1) 高分子チューブマイクロモーターの合成

多孔性PC膜を用いた鋳型内光重合により、従来法に比べ1/10の時間でチューブ骨格を合成できるようになった(図1)。SEM観察から、Ptチューブが均一な中空シリンダー構造である

ことを明らかにした(図3A)。マイクロチューブの外径($7.6 \pm 0.3 \mu\text{m}$)と長さ($18.3 \pm 0.3 \mu\text{m}$)はPC膜の孔径と膜厚にそれぞれ一致し、管壁厚($284 \pm 26 \text{ nm}$)はMNP、PtNPの粒径、およびPBMP層、PLA層の厚みから見積もった計算値と一致した。

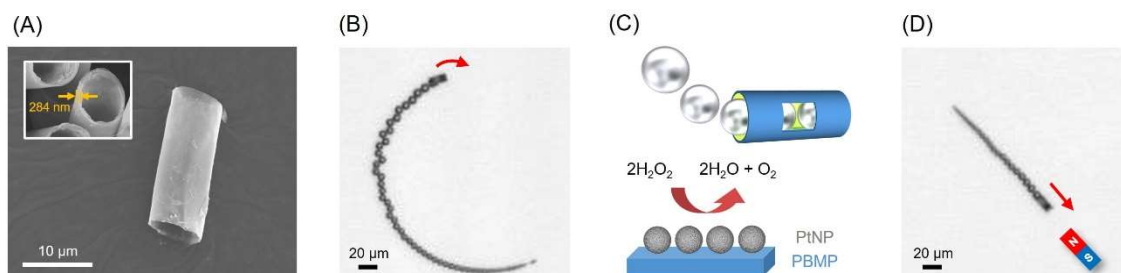


図3. (A)PtチューブのSEM像. (B)自走(回転泳動)するPtチューブの顕微鏡観察像(矢印:自走方向). (C)自走するPtチューブのイメージ図. (D)自走(直進泳動)するPtチューブの顕微鏡観察像(矢印:自走方向).

(2) 高分子チューブマイクロモーターの自走能の解析

得られたPtチューブのPB分散液(pH 7.0)に H_2O_2 水溶液を添加すると、末端開口部から小さな気泡が連続的に噴射され、チューブは一方向に泳動した(図3B、 $305 \pm 63 \mu\text{m/s}$)。内孔表面にあるPtNP層で H_2O_2 の不均化反応が生じ、 O_2 バブルが発生している(図3C)。また、回転しながら自走するチューブにネオジム磁石を近づけると、チューブは磁石に向かって直進した(図3D)。磁力によりマイクロモーターの自走方向を制御できることが明らかとなった。

(3) 蛋白質/高分子ハイブリッドチューブマイクロモーターの合成と自走能の解析

Ptチューブの外表面にAvi-ビオチン結合を利用してFetを固定した(図1B)。フルオレセイン標識bFet(FL-bFet)を用いて調製したFL-bFet/Ptチューブを蛍光観察すると、管壁に強い発光が見られ、チューブの外表面にFL-bFetが結合していることが裏付けられた。Fet/Ptチューブは H_2O_2 水溶液中で O_2 バブルを噴出しながら自走した($320 \pm 84 \mu\text{m/s}$) (図4A)。

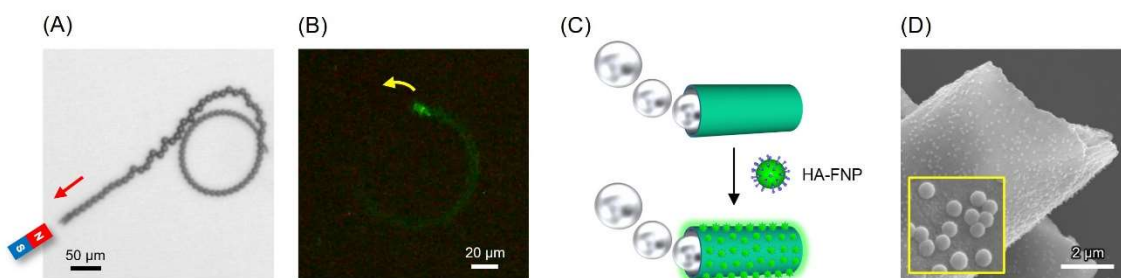


図4. (A)自走するFe/Ptチューブの顕微鏡観察像(矢印:自走方向). (B)自走するHA-FNP捕捉Fe/Ptチューブの蛍光観察像. (C)自走するFe/PtチューブがHA-FNPを捕捉するイメージ図. (D)HA-FNP捕捉Fe/PtチューブのSEM像(黄色枠内は拡大像).

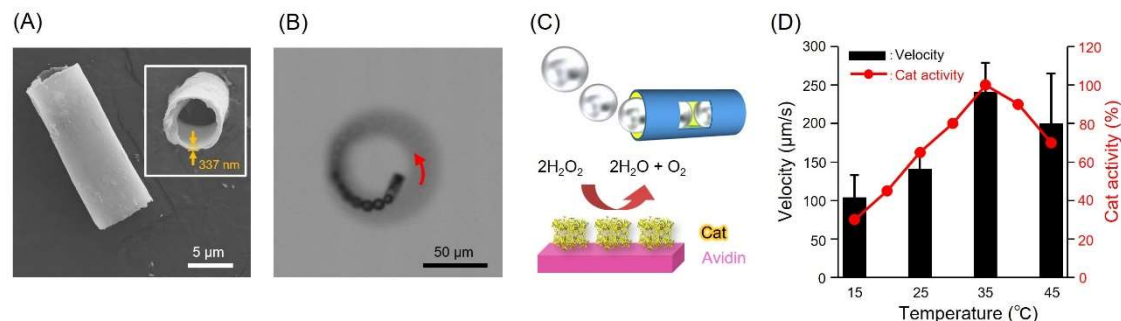


図5. (A)CatチューブのSEM像. (B)自走するCatチューブの顕微鏡観察像(矢印:自走方向). (C)自走するCatチューブのイメージ図. (D)Catチューブの自走速度と温度の相関.

また、内孔壁をCatにしたチューブも合成した(図1B)。CatはPtと同じ H_2O_2 不均化能を有する酵素である。SEM観察から、中空シリンダー構造のCatチューブの形成を確認した(図5A)(外径 $8.0 \pm 0.9 \mu\text{m}$ 、長さ $17.7 \pm 0.7 \mu\text{m}$ 、管壁厚 $339 \pm 62 \text{ nm}$)。また、フルオレセイン標識bCat(FL-bCat)を用いて調製したFL-bCatチューブを蛍光観察すると、管壁に強い発光が見られ、

チューブの内側にFL-bCatが結合していることが裏付けられた。CatチューブはH₂O₂水溶液中でO₂バブルを噴出しながら自走した(130 ± 35 μm/s) (図5B,C)。このマイクロモーターの自走速度(25°C)はCatの最適pH(7.0)付近で最大(128 ± 10 μm/s)に達した。また、pH 7.0一定の条件では、Catの最適温度(37°C)付近(35°C)で最高値(241 ± 38 μm/s)に達した(図5D)。自走速度のpHおよび温度依存性は、Cat活性の温度依存性とよく一致した。酵素活性を調節することにより、Catチューブマイクロモーターの自走速度を制御できることが明らかとなった。

(4) インフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子の合成

蛍光ポリスチレンビーズの表面カルボキシル基にニッケル(ニトリロ三酢酸)錯体を結合した後、His-tag HAを混合する方法で、表面にHAを有するHA-FNPを合成した(図2A)。Cryo-TEM観察により、HAが粒子表面に結合していることを確認した(図2B)。酵素結合免疫吸着法(ELISA)で算出した粒子1個当たりのHA結合数は400であり、インフルエンザウイルス表面のHA数と同等であった。HA-FNPは通常の実験室で扱えるインフルエンザウイルス模倣ナノ粒子である。他のウイルスでも、His-tagのついたスパイク蛋白質さえあれば、感染性のないウイルス模倣ナノ粒子を調製することができる。粒径や蛍光発光波長も自由に選べるため、バイオイメージング、感染経路の可視化・診断にも役立つと期待される。

(5) インフルエンザウイルス形状蛍光ナノ粒子捕集能の解析

自走するFet/PtチューブマイクロモーターのPB分散液にHA-FNPを加え、顕微鏡で蛍光観察すると、チューブが発光している様子が見られた(図4B、286 ± 70 μm/s)。ネオジム磁石でチューブを除去し、上清の蛍光スペクトルを測定すると、蛍光強度はFet/Ptチューブを添加しない場合(コントロール)に比べ約35%に低下した。表面にHAを持たない蛍光ナノ粒子で同じ実験を行ったところ、蛍光強度はコントロールと同等であった。チューブ外表面にあるFet層にHA-FNPが結合していることが明らかとなった(図4C)。チューブ1本当たりのHA-FNP結合数は2.3 × 10⁴個であり、SEM像からもチューブ表面にHA-FNPが吸着している様子が観察された(図4D)

(6) 光照射で自走速度を制御できるCatチューブの自走能の解析

本研究を進める中で偶然、自走するCatチューブマイクロモーターに可視光を照射すると、速度が約2倍に増大する現象を見いだした。マイクロモーターの速度は光強度に比例しながら増大した(図6A)。内孔表面がPtNPであるPtチューブマイクロモーターや、管壁にMNPを含まないCatチューブマイクロモーターに光を照射しても自走速度は変わらなかった。MNPとCatを有するCatチューブでのみ、光照射による速度増加が見られた。MNP層の光熱効果により、隣接するCat層の温度が上昇し、酵素活性が増大したためと考えられる(図6B)。3(1)に記した通り、Catチューブの自走速度はCatの最適温度(37°C)付近で最大となる。光強度62–88 mW/cm²の時、内壁がCatの最適温度に達していると推察される。興味深いことに、光のON/OFFに伴い加速と減速は繰り返し観測され、その応答はきわめて迅速であった(3秒以内)(図6C)。可視光によりマイクロモーターの自走速度を変調できることが明らかとなった。

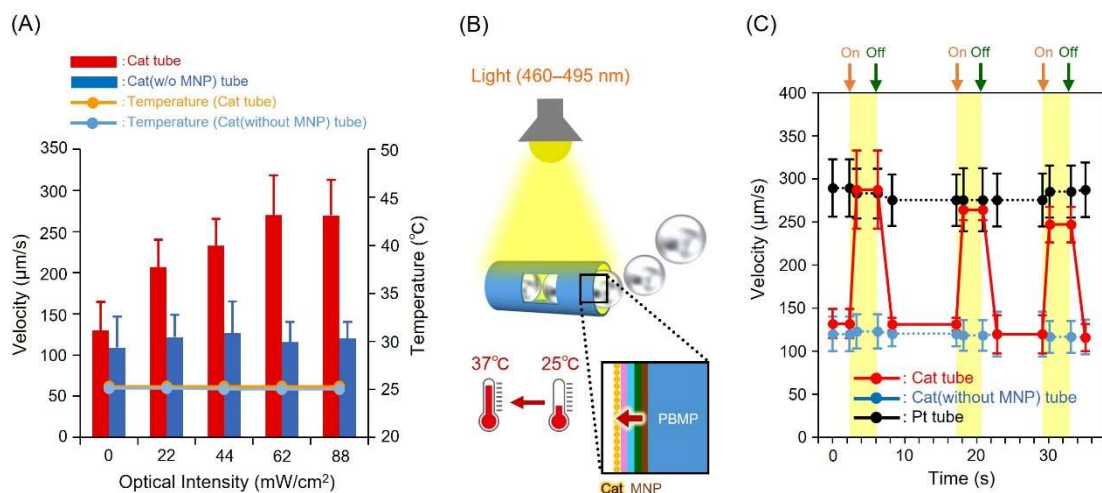


図6. (A) Catチューブの自走速度と光強度の相関. (B) MNP層の光熱効果によりFet層の温度が上昇するイメージ図. (C) 光のON/OFFに伴うCatチューブの自走速度の変化.

本研究により、蛋白質/高分子ハイブリッドチューブマイクロモーターの合成、機能、応用に関する基礎化学を確立することができた。これらのチューブは、バイオコンテナ、病原体クリーナー、分子マシンなど、新しい機能材料の創出につながると考えられる。さらにオンデマンドな薬物送達技術の担体としての利用や、治療診断技術に役立つ超小型デバイスへの実装が可能となれば、メディカルサイエンス分野に大きな貢献をもたらすものと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 M. Hashimoto, Y. Akashi, Y. Sakai, T. Sugawara, R. Kato, B. Schade, K. Ludwig, T. Komatsu	4. 巻 6
2. 論文標題 Photocurable Acrylic-Resin-Based Tubular Micromotors with Smart Exterior Surfaces	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Appl. Polym. Mater.	6. 最初と最後の頁 5822-5832
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsapm.4c00486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 S. Batori, T. Komatsu	4. 巻 7
2. 論文標題 Acrylic-Resin-Based Tubular Micromotors Bearing Magnetic Nanoparticles and Enzymes Driven by Visible Light Irradiation: Implications for Accelerating Reactions and Cargo Transport	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Appl. Nano Mater.	6. 最初と最後の頁 6804-6809
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsanm.4c01103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Yamada, M. Katsumi, K. Ishii, T. Komatsu	4. 巻 19
2. 論文標題 Zinc-Substituted Hemoglobin-Albumin Cluster as a Porphyrin-Carrier for Enhanced Photodynamic Therapy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 e202400257:1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/asia.202400257	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Akashi, N. Sugai, R. Kato, T. Komatsu	4. 巻 3
2. 論文標題 Swimming Protein Microtubule Motors Capture Virus-Shaped Fluorescent Nanoparticles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mater. Adv.	6. 最初と最後の頁 6988-6992
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2MA00566B	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Yamada, M. Katsumi, Y. Yagisawa, M. Ichihara, T. Komatsu	4. 巻 3
2. 論文標題 Catalase-Albumin Cluster Incorporating Protoporphyrin IX: An O ₂ Generating Photosensitizer for Enhanced Photodynamic Therapy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mater. Adv	6. 最初と最後の頁 6151-6157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2MA00242F	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Enomoto, M. Akiyama, Y. Morita, T. Komatsu	4. 巻 16
2. 論文標題 Polyelectrolyte/Gold Nanoparticle Nanotubes Incorporating Doxorubicin-Loaded Liposomes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 4057-4061
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202101109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Umebara, N. Sugai, K. Murayama, T. Sugawara, Y. Akashi, Y. Morita, R. Kato, T. Komatsu	4. 巻 2
2. 論文標題 Catalase-Driven Protein Microtubule Motors with Different Exterior Surfaces as Ultrasmall Biotools	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mater. Adv.	6. 最初と最後の頁 6428-6438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1MA00610J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 木村光里、小松晃之
2. 発表標題 アビジン-ピオチン結合を利用した高分子チューブマイクロモーターの合成
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 坂井悠真、小松晃之
2. 発表標題 酸化チタンナノ粒子で被覆した高分子マイクロチューブモーターの合成と大腸菌殺傷能
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 橋本真衣、小松晃之
2. 発表標題 ウイルス形状ナノ粒子を捕集する高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 馬鳥沙希、小松晃之
2. 発表標題 光照射で速度制御可能な高分子マイクロチューブモーターの合成（優秀ポスター賞受賞）
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 坂井悠真、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 酸化チタンナノ粒子で被覆した高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 馬鳥沙希、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 内孔表面にカタラーゼを有する高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 橋本真衣、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 高分子マイクロチューブモーターを用いたピオチン化合物の検出
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 明石勇志、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 タンパク質マイクロチューブモーターによるウイルス形状蛍光ナノ粒子の選択的捕集
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 加藤 遼、蒲地海州、小松晃之
2. 発表標題 水素バブルの噴射で自走する高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 橋本真衣、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 アビジン被覆高分子マイクロチューブモーターの合成とピオチン捕捉
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 蒲地海州、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 水素パブルで自走する高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 菅原智直、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 過酸化水素水溶液中で自走する高分子マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 梅原瑞希、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 酵素被覆タンパク質マイクロチューブモーターの合成と触媒反応
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 明石勇志、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 人工ウイルス粒子捕集能を有するタンパク質マイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 加藤 遼、菅原智直、小松晃之
2. 発表標題 鋳型内光重合法による高分子マイクロチューブモーターの合成（依頼講演）
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 明石勇志、加藤 遼、小松晃之
2. 発表標題 人工ウイルス粒子捕集能を有するマイクロチューブモーターの合成（優秀ポスター賞受賞）
3. 学会等名 第33回生物無機化学夏季セミナー
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 梅原瑞希、加藤 遼、森田能次、小松晃之
2. 発表標題 自己攪拌型 -グルコシターゼマイクロチューブモーターの合成
3. 学会等名 第33回生物無機化学夏季セミナー
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 加藤 遼、菅原智直、森田能次、小松晃之
2. 発表標題 照射で速度制御可能な金ナノ粒子被覆カタラーゼマイクロチューブモーター
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年～2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>中央大学理工学部 生命分子化学研究室ホームページ（日本語版・英語版） https://komatsu-lab.r.chuo-u.ac.jp/ 中央大学理工学部 生命分子化学研究室ホームページ（日本語版・英語版） https://komatsu-lab.r.chuo-u.ac.jp/ 研究代表者が中央大学産学官連携推進ウェブサイトで理工学部を代表する研究者として紹介された https://plus-c.chuo-u.ac.jp/researcher/teruyuki-komatsu/ 研究協力者（大学院生）が第33回生物無機化学夏季セミナーにおいて優秀ポスター賞を受賞した https://www.chuo-u.ac.jp/academics/faculties/science/departments/chemistry/news/2021/07/55502/ 研究協力者（大学院生）が第72回高分子討論会において優秀ポスター賞を受賞した https://www.chuo-u.ac.jp/academics/faculties/science/departments/chemistry/news/2023/10/68485/ 研究代表者が第70回高分子討論会において特定テーマ「バイオ超分子マテリアルの新戦略」を企画運営した（セッションオーガナイザー） https://main.spsj.or.jp/tohron/70tohron/call/s15.html</p>
--

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分 担者	森田 能次 (Morita Yoshitsugu) (40795308)	中央大学・理工学部・助教 (32641)	2021年度

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ドイツ	Free University of Berlin	Charite-Universitätsmedizin Berlin	
ベルギー	Universite catholique de Louvain		