

令和元年6月3日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18852

研究課題名（和文）マイクロロボットの3Dプリントのための自己組織型「人工筋肉」インクの開発

研究課題名（英文）Development of "artificial muscle" ink for 3D print of microrobots

研究代表者

平塚 祐一（Hiratsuka, Yuichi）

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：10431818

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：近年3Dプリンタ技術が発展し産業構造に大きな変革が生じ始めている。一方アクチュエータに相当する部分は未だ3Dプリンタでは構築できず、アクチュエータ部品は後乗せという状況にある。我々は最近、モータータンパク質と呼ばれる生命の運動タンパク質を利用し水溶液中に人工筋肉を形成させることに成功した。この人工筋肉を利用して大きさ数ミリメートルのマイクロロボットを稼働させることに成功している。本研究ではこの技術をさらに発展させモータータンパク質を封入した「人工筋肉」インクを開発し、マイクロロボットのアクチュエータ部位を三次元造形する手法を探索した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昆虫サイズのマイクロロボットの出現がさまざまな分野で期待されているが、実現にはアクチュエータの開発を含め様々な課題がある。特にその製造方法はマイクロロボットのボディが小型なため従来のロボット製造とは大きく異なる手法が必要となる。本研究では従来不可能であったアクチュエータ部位の3Dプリント技術の開発に取り組み、この問題の解決を試みた。

研究成果の概要（英文）：In recent years, the rapid development of three-dimensional printing (3-D printing) opens new technologies. On the other hands, the construction of actuator by 3-D printer is not realized, so that actuator parts will have to be assembled into the frame part fabricated by 3-D printer after printing. Recently, we succeeded in constructing an artificial muscle using motor proteins by UV light illumination similar to a 3-D photo printing. We also succeeded in the operation of millimeter scaled micro-robot using this artificial muscle. In this project, we developed 'artificial muscle ink' containing the motor proteins, and began to develop new techniques for the 3-D printing of actuator of micro-robot.

研究分野：生物物理学

キーワード：モータータンパク質

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年マイクロロボット分野において注目すべき論文がいくつか発表された。一つは心筋細胞を利用したエイ型ロボットで、遺伝子工学的に光応答性を付加された心筋細胞シートを動力として動くロボットである (Park S.J. et al. Science, 2016)。また 3D プリンタで構築されたタコ型ロボットはマイクロ流路を内蔵し化学反応により酸素圧力により駆動する (Wehner, M. et al. Nature 2016)。これらは従来のロボット技術とは異なる新しいコンセプト (生体材料や 3D プリンタ、マイクロ化学反応など) を持ち、マイクロロボット開発の新しい潮流が生まれつつある。

一方、我々は最近モータータンパク質の一種キネシンを遺伝子工学的に改造することにより、光照射により指定した特定部位に大きさ数ミリメートルの人工筋肉を形成させる分子システムの構築に成功した。この人工筋肉は、キネシンの力学的な活性により微小管 (繊維状のタンパク質) を自己集積的に折りたたまれ筋肉のような収縮性のファイバーに形成される。予め作製した骨格構造にこの人工筋肉を形成させ、ミリメートルサイズの人工筋肉で駆動する微小ピンセットや昆虫型マイクロロボットのプロトタイプを構築することが可能となった。この光照射部位のみに人工筋肉を発生させることを生かすことで人工筋肉の 3 次元光造形の実現の可能性が見えてきた。

2. 研究の目的

本研究ではモータータンパク質溶液を粘性の高いゲル状にして、ディスペンサーにより 3 次元描画し、その後、光刺激等で人工筋肉に成熟させる手法を提案する。特に本研究ではこの光応答性のゲル状の人工筋肉インクの開発に取り組む。この人工筋肉インクにより人工筋肉の三次元造形の実現のみならずこれまで水溶液中のみでしか可動できなかったモータータンパク質の人工筋肉が大気中で駆動可能となる。

3. 研究の方法

モータータンパク質溶液をゲル状にするために増粘剤またはゲル化剤を加えるという単純な手法は使えない。溶液の粘性抵抗が人工筋肉の形成と運動活性を阻害するためである。そのため、モータータンパク質の活性を阻害せずゲル化させる手法を考案する必要がある。そこで本研究では人工筋肉の素材 (ミオシン、アクチン) を脂質二重膜の微小カプセル (リポソーム) に封入し、リポソームの界面間の相互作用を増すことで増粘効果を増す手法を提案する。光照射などにより界面を破壊し多種のリポソームを融合させ、内包する溶液を混合することで人工筋肉の形成反応を開始させる。

リポソームのゲル化はリポソーム間の相互作用を増すことで既存の技術で比較的容易に達成できる可能性がある。既にリポソームのゲル化作用が報告されている食品添加物にも使われるポリグリセリンポリリシノレートの添加 (参考文献 1) や、カルシウムイオンの添加によるリン脂質リポソーム界面間の接着を試した。

さらに外部刺激によりリポソームゲル内のリポソームを融合させる手法を開拓する。外部刺激としては光、温度、磁場、電場、超音波などを想定した。特に光照射がもっとも簡便であり実用性が高いと思われる、光応答性脂質・アゾベンゼン脂質を中心に試した。

参考文献

1. Hirosuke HATAYAMA, Taro TOYOTA, Hideki HAYASHI, Tomonori NOMOTO, and Masanori FUJINAMI, Application of a Novel Near Infrared-Fluorescence Giant Vesicle- and Polymerosome-based Tissue Marker for Endoscopic and Laparoscopic Navigation, ANALYTICAL SCIENCES FEBRUARY VOL. 30, pp. 225 (2014)

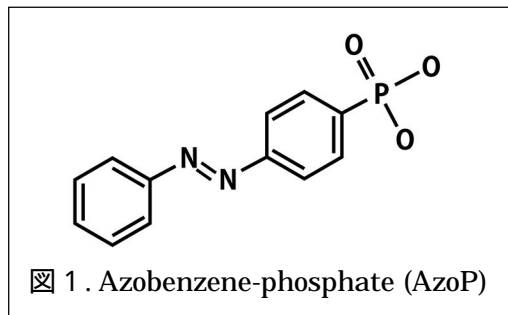
4. 研究成果

本研究では、モータータンパク質を封入した「人工筋肉」インクを開発し、マイクロロボットのアクチュエータ部位を三次元造形する手法の開発を目指した。人工筋肉インクは 2 種類のリポソームからなる。一つは筋肉のモータータンパク質であるミオシンを含むミオシン玉とそのレールタンパク質であるアクチンを内包するアクチン玉からなり、光照射によりリポソームが破壊し内部のミオシン・アクチンが混合されることにより収縮・凝集し人工筋肉が形成させる方法を考案した。

リポソーム複合体を簡便に作成できることが報告されているポリグリセリンポリリシノレートをを用いて生理的な条件の緩衝液に溶けたミオシンまたはアクチンを含むリポソーム複合体を作成することができた。さらにこれらを混合することにより、ミオシン玉およびアクチン玉を含んだリポソーム複合体を作ることが可能となった。

一方、報告光応答的にリポソームを簡便に破壊する手法はこれまで報告例がなく、本研究ではアゾベンゼンにリン酸基が付いた azobenzen-phosphate (AzoP) を脂質に添加し、シス・トランス転移でリポソームの状態変化 (破壊) を作り出す手法の開発に着手した。その結果、シス体 AzoP は水溶性が高いため脂質に組み込まれる量が少なくリポソーム形成に影響を及

ばさないが、高濃度のトランス体添加はリポソームが不安定化することが分かった。また高い粘性を持ったインクにするためにゲル状リポソームになるポリグリセリンポリリシノレートを含む多量体リポソームも本 AzoP の手法が適用できる可能性を見いだした。今後、リポソームに精製したアクチンまたはミオシンを封入し光照射によりシス トランス変移を起こさせ、人工筋肉を発生させる。



5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/hiratsuka/index.php>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：新田 高洋

ローマ字氏名：Takahiro Nitta

所属研究機関名：岐阜大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号 (8桁): 20402216

研究分担者氏名：森島 圭祐

ローマ字氏名：Keisuke Morishima

所属研究機関名：大阪大学

部局名：工学(系)研究科(研究院)

職名：教授

研究者番号（8桁）: 60359114

研究分担者氏名：野村 慎一郎

ローマ字氏名：Shin-ichiro M. Nomura

所属研究機関名：東北大学

部局名：工学（系）研究科（研究院）

職名：准教授

研究者番号（8桁）: 50372446

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、研究者個人に帰属されます。