



Title	革命的分子アクチュエータの創成
Author(s)	田崎, 旭
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/60333">https://hdl.handle.net/11094/60333</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	たざき あさひ 田崎 旭	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	3年
ふりがな 共 同 研究者名	もんだ ゆうや 門田 優哉	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	1年
	みやした まさひろ 宮下 和大		工学部 応用理工学科		1年
	いけうち たいし 池内 太志		基礎工学部 電子物理科学科		1年
アドバイザー教員 氏名	森島 圭祐	所属	工学研究科 機械工学専攻		
研究課題名	革命的分子アクチュエータの創成				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。				

### 1. 目的

現在の技術に飛躍的な発展をもたらすためにはこれまでとは異なった新しい側面から研究していく必要があると考えられる。本研究ではその理由からナノの世界に焦点を定め、研究を進めていく。分子レベルの機械を作成することで2, 3年後といった短いスパンではなく、10年後、100年後を見越した技術に貢献するということが我々の研究の目的である。

今回、国際生体分子コンテスト BIOMOD (<http://biomod.net/>) が10月28日～10月30日にアメリカのサンフランシスコで開かれることをうけ、それに向けて研究を重ねていくことにした。BIOMOD とは Harvard 大学の Wyss Institute 主催の国際生体分子コンペティションで、世界各国の学部学生が生体分子に関する実験プロジェクトを立ち上げ、その内容を競う大会である。内容の評価は、研究内容に基づいて作成する Wiki とよばれるウェブサイト及び YouTube 動画、そしてアメリカで開催される本大会におけるプレゼンテーションの総合評価によって行われる。あくまで国際大会であるため、プレゼンテーションはもちろん、ウェブサイトと動画の内容もすべて英語で表現しなければならない。この国際大会に大阪大学の代表として初出場し、自らの構想力を世界の場で試したいと思うと同時に、”HANDAI”的な名前を世界に発信したいと思った。これがこの研究のもう一つの目的である。

## 2. 発想の経緯及びその動作原理

2016年春、基礎セミナー「生命と機械の融合を目指したものづくり」（担当教員：工学研究科・森島圭祐教授）を受講した学部学生4名でチームを結成し、DNAを用いて革命的な分子アクチュエータの創成に挑戦してみたいと思った。大阪大学ではこれまでに BIOMODへの出場経験がなく、道がないところに道を作るという新たな挑戦だった。

さて、今回そこで、「分子にどのような動きをさせたら面白いか」を考えた。初出場さらには学部一回生を主体としたチーム構成であるため、柔軟な発想が可能なのではないかと考えたからである。DNAという生物のデザインを担う物質をマテリアルとして使うので、あえて生物から離れた動きを持たせることができ新しさにつながるのではないか。その発想から次の三つの動きを実現することを我々は目指す。膨張→爆発→自己再生、「落下→跳躍→振動」、「電力→磁力→引力」の三つである。

このなかでも、我々が最も興味深いと考えた「電力→磁力→引力」特に、電力、磁力についてまず初めに研究していくことにした。これまで世界で誰もやったことがないような研究は何なのかについて考えていくうちに我々は次のようなアイデアを着想するに至った。

### 磁場によるナノ構造体の動きの制御

である。つまり、周辺の磁場を変化させ、その変化に伴って磁性をもたらせたナノ構造体を三次元的に動かし、制御するといった考えである。具体的に述べると、磁性ナノ構造体をらせん状に形成し、らせんの軸と回転中心の一致した回転磁場をかけると構造体はらせんの軸で回転を始め、推進力を生みだすことができる。この原理を利用すれば、三次元的な動作が実現可能である。図1を用いて説明すると、図1中の磁場の向き（矢印）が構造体の軸に対して垂直な面で回転することで、構造体に軸に沿った方向に推進力が生じる。

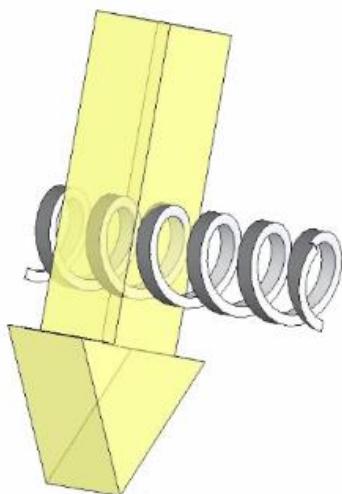


図1. 構造体と磁場の向きの関係

さらに、この運動には磁場による制御が可能な点のほかにもう一つ利点がある。それは、運動の効率である。分子レベルのスケールになると、水の粘度は相対的に大きくなる。これによって構造体の運動を妨げる力が大きくなってしまうのだが、上記の運動のメカニズムは人間の精子の運動でよく知られる鞭毛運動に一致しており、その効率はほかの運動よりも高い。よって、この二つの利点から、この鞭毛運動を磁性ナノ構造体によって実現し、それを磁場によって制御することに決めた。

ここで、どのようにしてナノスケールで磁性らせん構造体を形成するのかという疑問が浮かぶ。しかし、この問題は DNAorigami によって解決される。DNAorigami とは文字通り DNA を折り紙のよう

を利用して構造体を作成するというものである。DNA には相補性があり、その相補性を利用して一本の長い DNA を折り紙のように折り曲げていくことによってさまざまな構造体を作成することができるという技術である。DNA の半径が 2nm であるからナノスケールの複雑な構造体が比較的簡単に作成することができるというものである。この手法を用いて、ナノスケールのらせん構造体を作成し、強磁性体であるニッケルをスパッタすればよい。膜厚については後に考察する。

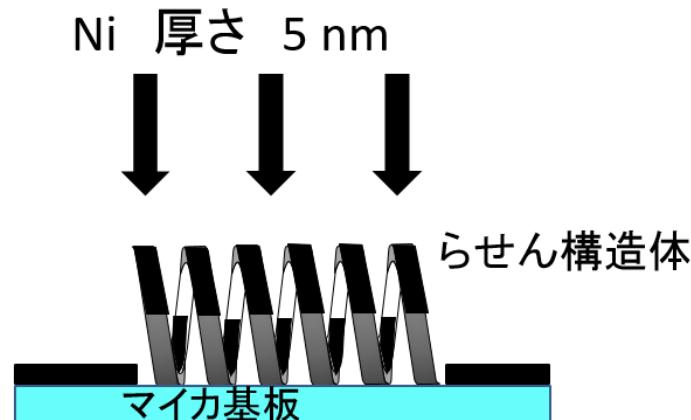


図2. ニッケルスパッタの概要

磁場の制御には、ヘルムホルツコイルを用いる。ヘルムホルツコイルは同一の二つのコイルを、中心軸を一致させた状態で配置し、同様の一対のコイルを計三対、中心軸が直交座標系のそれぞれの軸に一致するように配置させたもので、コイルに流れる電流を操作することで内部の磁場を三次元のレベルで操作することができる。これによって回転磁場を発生させ、構造体を動かすこととする。以上の原理をもとにして、DNA 合成によって構造体を形成し、ニッケルをスパッタした後、ヘルムホルツコイルによって生じた回転磁場の中で動作を確認するといった流れで研究を進めた。

### 3. 研究結果

#### 3. 1. 構造体の設計

DNA 合成を行う前に構造体のモデルが適切なのかシミュレーションによって検証すると、図3で示されているらせん構造はあまりに強度がなく、らせん構造を維持できない可能性が高いという結果が得られた。そこで、モデルを見直し、図4のようにらせん構造を支える支柱を挿入したモデルに再設計を行った。らせんの全長はおよそ 100nm、らせんが描く円の直径はおよそ 30nm 程度となった。

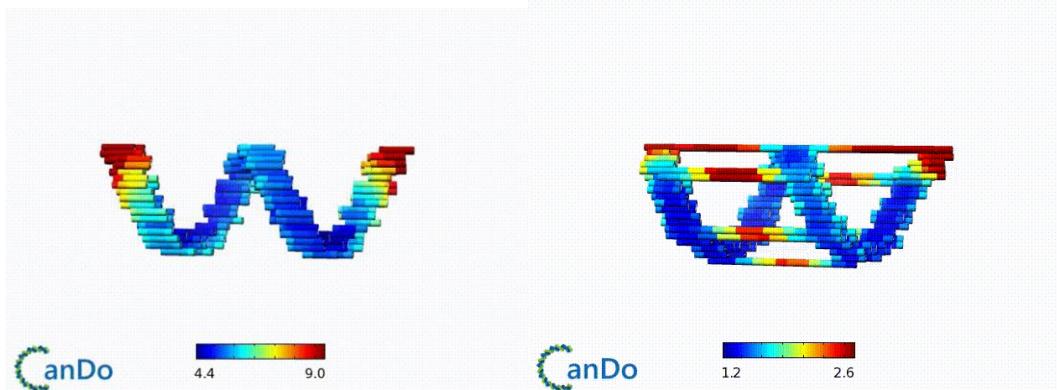


図3. 螺旋構造①

図4. 螺旋構造②

### 3. 2. 構造体の作成

DNA の合成を行い、らせん構造体の作成を試みた。その結果を以下の図 5 に示す。

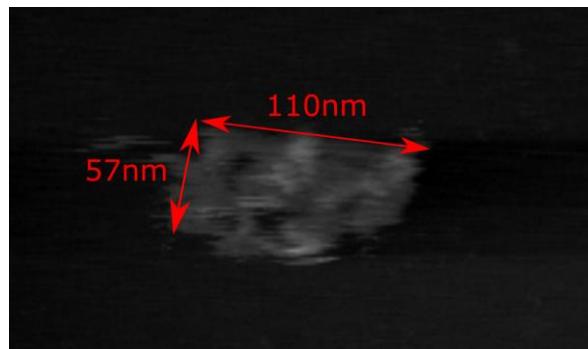


図 5. AFM によって観察された構造体

この画像を取得する際、構造体は基板上に張り付いているため、立体構造がおしつけられてできた平面構造が観察されていると考えられる。すなわち、らせんの直径は少し大きくなることになる。このことを踏まえると、大きさ、形等はほぼ一致しており、設計した通りのらせん構造体を作成することができたことがわかる。

続いて、ニッケルのスパッタを行ったのだが、ニッケル膜の厚さは構造体を壊してしまわないかつ、磁場からより大きなエネルギーを得るようにすることを踏まえると 5nm とするのが最適であると考えられたため、厚さを 5nm とした。

### 3. 3. 磁場中の動作確認

図 6 に示すようにスパッタした構造体を乖離する際に構造体が単体のみで剥離することではなく、集合体として剥離してしまった。図 6 を見ると、ニッケルスパッタが剥離している部分と剥離していない部分が存在している。これは、溶液が蒸発する際に DNA 構造体が溶液の周りへと分散してしまい、この剥離している部分にのみ、DNA 構造体が存在していることに起因すると考えられる。つまり、多数の DNA 構造体が存在している薄膜を取り出すことに成功したと考えられる。この薄膜は溶液中ににおいて図 7 のような形状となっている。

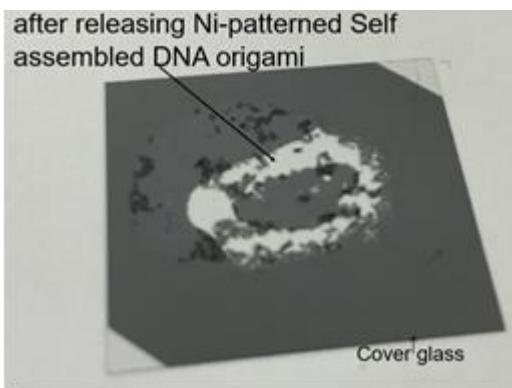


図 6 ニッケルスパッタした構造体が乖離する様子

図 7 剥離した薄膜の液中での様子

図 7 の溶液をヘルムホルツコイルによって生じた回転磁場中に置くと、磁場によって薄膜がはつきりと動作することが確認でき、薄膜をヘルムホルツコイルによって制御することに成功した。

#### 4. 今後の課題

今回マクロサイズのアクチュエータの作成には成功したもの、本来の目的としたナノスケールアクチュエータの作成には未だ成功していない。

これまでの議論の大前提としてきた一つのナノスケール構造体のアクチュエータの実現はまだはたせていない。これからのはじめの作業としては、作成された薄膜を一つ一つの構造体に分離して行くということである。このためには、AFM を利用したカッター技術等を考えている。今後、実験していく予定だ。

#### 5. 大会結果

サンフランシスコで開催された 2016 BIOMOD に実際に我々 4 人は参加をした。大会には全部で 24か国の国から参加されて、自分たちのアイデアについてディスカッションした。初出場ながら、見事、銅賞を受賞することができた。

当初、目標としていた金賞を受賞することができなかつたことは、非常に悔しかつた。英語力の不足、ホームページ作成能力の無さ、動画編集技術の欠如、課題は数えることができないほど多くある。しかし、この大会に出場することによって、得た刺激、自分たちの課題が浮き彫りになったこと、そして銅賞をとれたことをポジティブに考えて、今後に生かしていきたい。



以下に我々大阪大学チームの製作した Youtube ビデオと web ページのリンクを示す。

Youtube ビデオ : <https://youtu.be/C6KzAgt9Pg0>

Web ページ : <https://biomod2016.gitlab.io/osaka/>

#### 6. 参考文献

[ 1 ]BIOMOD 公式ホームページ, biomod.net (閲覧日 : 2016/12/12)