



Title	マイクロマシンを駆動させるためのセンシングの研究
Author(s)	上田, 彩花
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	https://hdl.handle.net/11094/60316
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	う え だ あ や か 上 田 彩 花	学部 学科	基礎工学部 システム科学科	学年	1 年
ふりがな 共 同 研究者名	や ま ぐ ち み り あ 山 口 弥 利 安	学部 学科	基礎工学部 化学応用科学科	学年	1 年
	に し お み ほ 西 尾 美 穂		理学部 化学科		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	マイクロマシンを駆動させるためのセンシングの研究				
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.はじめに

本研究を行った3名は、今年度4月に開講された基礎セミナー「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・機械工学専攻 森島圭祐教授)を受講したメンバーである。

今回出場したBIOMOD (International Bio-molecular Design Competition) とは、大学生が生体分子をナノスケールで制御するための技術を習得し、システムを設計・構築・分析して、その成果を発表する国際競技会である。BIOMOD は年に1回開催され今年で6回目となるが、大阪大学のチームとしては初めての参加であった。夏休み期間中には東京大学で行われた国内大会に出場し、さらに10月28日～10月30日にアメリカ・カリフォルニア大学サンフランシスコ校で行われた国際大会にも出場した。それぞれの大会では、英語でのプレゼンテーションや質疑応答を行い、さらに研究内容をまとめた3分間のYoutube動画とWebページを作成し、これらの評価でYoutube賞やWiki賞がきまり、また総合成績の金賞・銀賞・銅賞が決定する。

今回、初出場ではあるがBIOMODで金賞を受賞するために、新しいセンシング手法の開発を目的としてこの研究が始まった。

2.研究計画

4月にTeam HANDAIを結成しBIOMOD金賞受賞に向けアイデア出しが始まった。そこで、我々はまず過去のBIOMODでどのようなアイデアがあったかを調べてみた。そして気づいたことは、ほとんどのアイデアはDNAorigamiという技術が用いられており、さらに今までのアイデアは生物的な性質に焦点をあてたものが多く、物理的な性質に注目したアイデアがないということである。

よって、我々はDNAorigamiを用いたセンシング手法として、生物的な性質と物理的な性質の両方に焦点を当て、バネの振動で生体情報のセンシングすることに思い至った。さらに、センシングする生体情報を決めるにあたって、「どのような生体情報が知りたいか・センシングできたら面白いのか」を考えた。

そこで、ストレスや感情などのセンシングができれば面白いのではないかと思った。ストレスを感

じている時とリラックスしている時では、ホルモンバランスの関係で体液の粘度などに変化が現れる。また、喜怒哀楽で体温が変化することも分かっている。粘性は温度依存のため、感情とホルモンバランスの相乗効果で粘度が大きく変わるのではないかと想定した。DNAorigami で作ったバネ状の構造体で粘度をセンシングすることで、ストレスやリラックス度・感情などの生体情報の読み取りを目標とした。以下、研究内容の課程を示す。

1. 理論立て
2. CNC を用いた実験
3. DNAorigami 構造体を用いた実験
4. 実際に生体情報のセンシング

また、これらの実験の進行とともに Youtube 動画の作成や Wiki ページの編集・作成、英語でプレゼンテーションや質疑応答を行うための英語力も身につける取り組みも行った。Youtube 動画や Wiki ページの締め切り前には連日徹夜の作業が続いた。

3.研究内容・研究成果

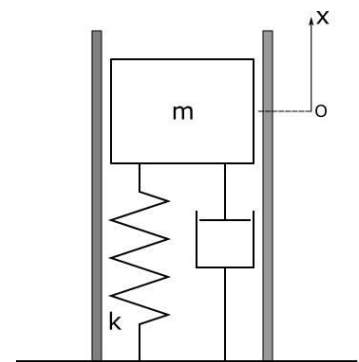
3.1 理論立て

まず、我々は次の 4 項目を仮定して、バネ振動の様子を考えた。

1. 1次元での振動とする
2. 外力はブラウン運動とクーロン力のみとする
3. ブラウン運動は周期的な外力とする
4. ブラウン運動の周期は温度に依存する

この時点で、運動方程式は次のように表せる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t + \frac{A}{(x+l)^2} \quad (1)$$



m	質量
c	粘度係数
k	弾性力
$F_0 \sin \omega t$	外力
A	電荷を含んだ文字
l	自然長

この時点で、この周波数は具体的な関数ではなく、この具体的な関数を実験して決定する。計算を容易にするために、

$$c = 2m\zeta\omega_n, \quad k = m\omega_n^2$$

よって、運動方程式は次のようになる。

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{F_0\sin\omega t}{m} + \frac{A}{m(x+l)^2} \quad (2)$$

ラプラス変換（初期値はすべてゼロ）して、

$$(s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2)X(s) = \frac{F_0}{m} \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} + \frac{A}{m(X(s) + l)^2} \quad (3)$$

この時点で、 $\frac{A}{m(X(s)+l)^2}$ でテイラー展開を行い、式は以下ようになる。

$$\left(s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2 + \frac{A}{4l^3}\right)X(s) = \frac{F_0}{m} \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} + \frac{A}{2l^2} \quad (4)$$

逆ラプラス変換を用いると、方程式の解は次のようになる。

$$\begin{aligned} x(t) = & \frac{F_0\omega}{m\{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + 4\zeta^2\omega_n^2\omega^2\}} \left[\cos\omega t + \frac{\omega^2 - \omega_n^2}{2\zeta\omega_n\omega} \sin\omega t \right. \\ & - e^{-\zeta\omega_nt} \left(\cos \sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2} t \right. \\ & \left. - \frac{\zeta\omega_n}{\sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2}} \sin \sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2} t \right) \\ & \left. + \frac{\omega_n^2 - \omega^2 + 4\zeta^2\omega_n^2}{2\zeta\omega_n\sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2}} e^{-\zeta\omega_nt} \sin \sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2} t \right. \\ & \left. + \frac{A}{2l^2\sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2}} e^{-\zeta\omega_nt} \sin \sqrt{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \zeta^2\omega_n^2} t \right] \quad (5) \end{aligned}$$

次に、このシステムの安定性を考える。そのため、伝達関数を求める。まず、式（４）を式（５）に書き換える。U(s)は入力を意味し、X(s)は出力を意味する。したがって、伝達関数(G(s))は以下の通りである。

$$G(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2 + \frac{A}{4l^3}} \quad (6)$$

s の代わりに jω を代入する。よって、以下のことが得られる。

$$|G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left(\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \omega^2\right)^2 + (2\zeta\omega_n\omega)^2}} \quad (7)$$

$$\angle G(j\omega) = -\tan^{-1} \left(\frac{2\zeta\omega_n\omega}{\omega_n^2 + \frac{A}{4l^3} - \omega^2} \right) \quad (8)$$

これからボード線図を描き、このシステムの安定性を決定することができる。

しかし、大会において以下のような質問・提案があった。

(1) ブラウン運動を \sin の関数で近似するのはやりすぎである。ブラウン運動はランダムな運動なので周期的にはならない。

(2) ミクロの世界では粘性抵抗が大きく、質点の質量もかなり小さいので、オーバーシュートが起きない可能性が高い。よって、上記のような二次系でなく、一次系で表す方がよい。

以上の質問があったため、我々が構築した理論式が未熟であることが分かった。(1)の改善点としては、統計熱力学をよく勉強した上でランジバン方程式を解くことである。シミュレーションは Unity を用いて振動の様子を可視化すればよいと考える。(2)は方程式自体を変更するが、二次系より一次系の方が簡単のため、改善はしやすい。といったようにいくつか改善点は考察できるので、時間があれば、適用した結果を導出したい。

3.2CNC を用いた実験

まず、フォトリソグラフィという技術を用いてシリンドーを作成した。フォトリソグラフィとは基板上にレジストと呼ばれる溶液を付着させ、光を照射することでレジストを固化させ回路パターンなどを作成する技術である。光を照射する際に、マスクを用いて光を照射する部分を制御することで必要なパターンの作成が可能になる。実際に我々が作成したシリンドーの観察した様子を以下に示す。

(図 1)

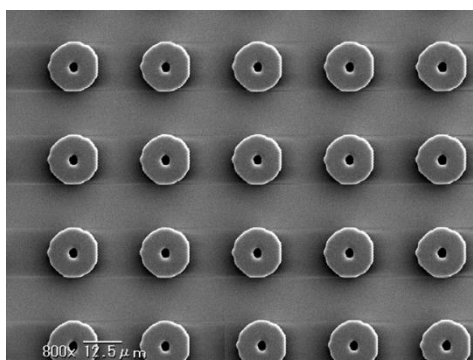


図 1：フォトリソグラフィで作成したシリンドー

次に作成したシリンドーに CNC を入れた。最終目標は DNA バネを入れることだが、難易度が高いため、最初はモデルとして DNA の代わりに CNC を用いたのである。そして、CNC を入れることには成功した。シリンドーに CNC を入れたものを観察した様子を以下に示す。(図 2)

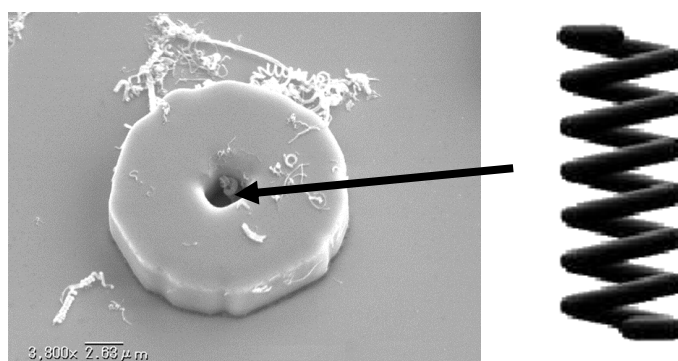


図 2：CNC を入れたシリンドー (左図) CNC のイメージ図 (右図)

3.3 DNAorigami 構造体を用いた実験

先ほど述べた CNC を用いた実験をするとともに、DNAorigami で CNC のようなバネ状の構造体の設計を行った。実際に作る構造体を決めるにあたって、構造体を caDNAno で設計をし、CanDo で設計した構造体のシミュレーションを行った。バネ状構造体を設計する際に、強度と安定性を求めた。それは、ブラウン運動の影響によって構造体が崩れないようにするためである。

まず初めに考えた構造体は、右巻きのただのバネ状構造体である。しかしそれだけでは強度が足りないと思い、ハニカム構造でバネ状構造体を作ることによって強度の増加を図った。(図 3)

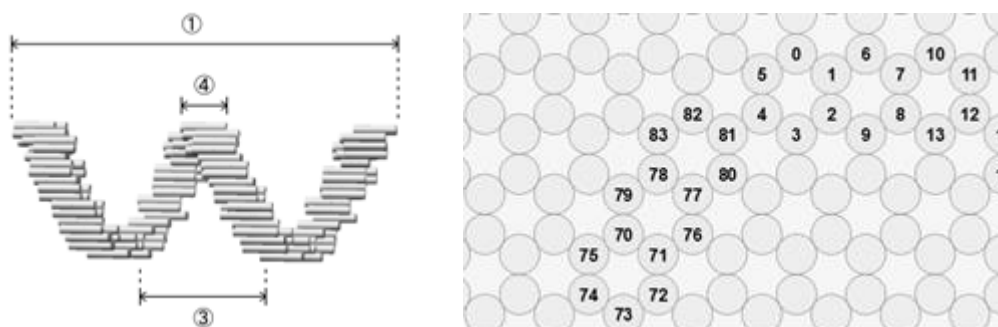


図 3：螺旋構造(左図)とハニカム構造(右図)

しかし、CanDo でのシミュレーション結果によってハニカム構造だけでは強度が足りず、まだまだ不安定であることが分かった。

3.4.実際に生体情報のセンシング

先ほど述べたように、ばね状構造体の設計は行ったが実際に DNA を発注して合成し、生体情報のセンシングには至らなかった。

5.BIOMOD 国際大会結果・感想

10 月 28 日～10 月 30 日にアメリカ・カリフォルニア大学サンフランシスコ校で行われた国際大会に出場した。大会には中国・オーストラリア・ドイツなど世界各地から 24 チームが参加しており、どのチームも英語が堪能で注目を集めるような魅力的なプレゼンテーションを行っていた。自分たちとのレベルの違いを実感し、委縮してしまい外国チームとコミュニケーションなどはあまりとれず勿体無いことをしたと思う。

大会結果は当初目標としていた金賞には届かず、銅賞であった。他チームとは違い初出場でこれまでの経験やノウハウがなく仕方ないと思う反面、大変悔しい思いをした。他チームは英語力だけでなく、Youtube 動画や Wiki ページのクオリティも Team HANDAI のものとはかけ離れており、とても素晴らしいものであった。日本国内だけでは経験できなかったような刺激的な体験ができ大変うれしく思う。今後も大阪大学から Team HANDAI として BIOMOD に出場していき伝統を築けたらと思う。



BIOMOD 国際大会の様子

6.謝辞

本研究を行うにあたり、大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻の森島圭祐教授と上杉薫助教ならびに森島研究室の皆様には様々なご指導・ご鞭撻をいただきました。また、関西大学機能性高分子研究室葛谷明紀准教授ならびに京都大学物質・細胞統合システム拠点の遠藤政幸教授ならびに技術職員の皆様にもご協力いただきました。さらに、本研究を通して貴重な機会を得ることができたのは、本自主研究奨励事業を支えてくださる皆様のお陰であると感じております。この場をお借りして、深くお礼申し上げます。

以下が我々大阪大学チームの製作した Youtube 動画と web ページのリンクである。

Youtube 動画：<https://youtu.be/C6KzAgt9Pg0>

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

参考文献

- [1]BIOMOD 2016 日本大会 分子ロボティクス, <http://www.molecular-robotics.org/biomod2016jpn/>
- [2]BIOMOD 公式ホームページ, biomod.net
- [3]吉川隆夫、松井功一、石井範昭。エンジニアリングにおけるダイナミクスコロナ出版