Osaka University Knowledge Archive

Title	DNAを用いた分子ロボットの知能の設計
Author(s)	田坂, 直也
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/11094/60329
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

申請先学部　工学部
採択番号　　No.８

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	たさか　なおや 田坂　直也	学部 学科	工学部 応用理工	学年	３年
ふりがな 共　同 研究者名	おきもと　まさたか 沖本　将崇	学部 学科	工学部 応用理工	学年	１年
	たなか　れいじ 田中　澪士		基礎工学部 システム科学		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	DNA を用いた分子ロボットの知能の設計				
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

BIOMOD(International Bio-molecular Design Competition)は，学部生からなるチームを結成し，生体分子を制御する技術を身に着け，その成果を発表する大会である．生体分子に関係するなら自由にテーマが選べ，その分野は多岐にわたる．2016 年大会はカリフォルニア大学サンフランシスコ校にて 10 月 28 日（金）－30 日（日）で開催され，世界各地からほぼ同学年の学生が集まる．参加チームは 10 分間のプレゼンテーションを会場で行い，さらに Youtube ビデオ，研究内容をまとめた web ページを期限までに作成する．その 3 要素で評価が下され，賞が決定する．

今年度 4 月より開講された，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・森島圭祐教授）を受講したメンバーのうち 3 名が本研究に携わった．**大阪大学で初めて結成され，チーム名は「Team HANDAI」と名付けられた**．初出場であり，ノウハウを持った人間が周りにいない中でも金賞を取ることを目指して研究が始まった．

このようなナノロボットの開発の裏側には，将来的に生体内で動かし，医療用ロボットとして活用するということがある．したがって，人体にはなるべく影響がないようなロボットを考える必要がある．DNA 自体に知能を持たせるのは困難なので，駆動源に知能を持たせる．そこで我々は磁場を駆動源とし，ロボットを制御することを思い立った．また，ロボットにゲーム性を持たせ，知能を可視化できるようにし，その実用性を明らかにする．今回は迷路から脱出することを目的としたゲームを考えた．

２．研究目的

BIOMOD で金賞を獲得するための，ナノスケールのロボットを制御できる知能の開発．

３．研究計画

４月　　チーム結成

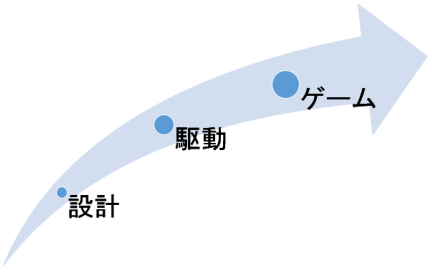
5 月	アイデア出し
6，7 月	理論構築，動画編集・web ページ作成技術習得
8 月	実験開始，web ページ作成
8 月末	BIOMOD 国内大会＠東京大学
9 月	アイデア再構築，caDNAno によるロボット設計，DNA 発注
10 月	実験，動画・web ページ作成
10 月末	BIOMOD 国際大会＠UCSF

４．研究方法

主に作業，実験は森島研究室の中で行った．その際大学院生の方に協力していただいた．基本的に 4 月～7 月までは毎週金曜日に集まり，作業を進めた．夏休みは週 3 日以上活動し，国際大会直前にはほとんど毎日作業行った．

目標はゲーム性を持った知能ロボットを開発することだが，まずはナノロボットが磁場によって運動する様子を確認することから始めた．目標とした研究方法は以下の通りである．

（1）ナノロボットの構造を決定し，caDNAno を用いて設計する．**設計**
（2）DNA を合成した後，AFM で構造を確認する．
（3）磁場と反応するように Ni をスパッタリングする．
（4）AFM では運動している様子は確認できないので，運動を可視化できる方法を考える．
（5）実際に磁場の中で駆動させ，その様子を確認する．**駆動**
（6）迷路を設計し，その中で運動させる．**ゲーム性**



５．研究内容・研究成果

５．１　構造設計

生体内で開発したロボットを使用するとすれば，血液やその他の体液はナノロボットからすればかなり大きな粘度である．つまり，運動の抵抗になり簡単には進まない．そこで我々はドリルや鞭毛といった粘性が高い状況の中でも推進できる螺旋構造に着目し，設計に至った．ただの螺旋構造ではブラウン運動による影響や推進に伴う抵抗により，破壊する可能性が大きいことがシミュレーション結果より分かった．そこで，強度を増すため図 1 に示すように支柱で螺旋を支えるような構造を思い立った．

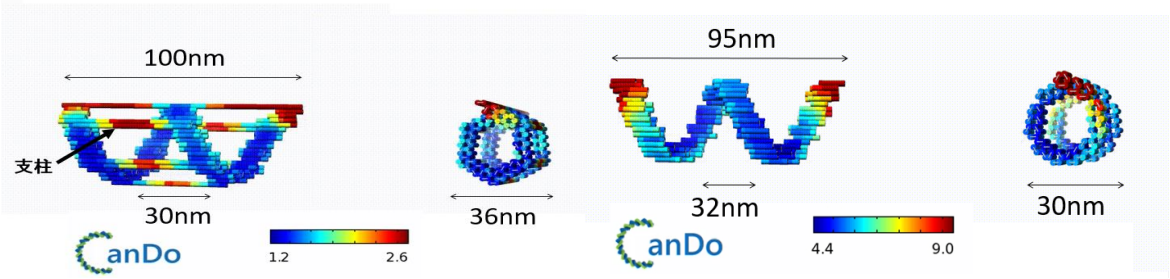


図 1：ただの螺旋構造体（図右）と支柱あり螺旋構造体（図左）のシミュレーション結果

図 1 の濃淡がこの螺旋構造体の安定性を示す．ただの螺旋と支柱ありの螺旋を比較すれば，明らかに支柱ありの方が安定であることが分かった．

以下の図 2 に AFM でその構造体を確認できた様子を示す．図 2 より，その構造が確認でき，合成は成功したと考える．

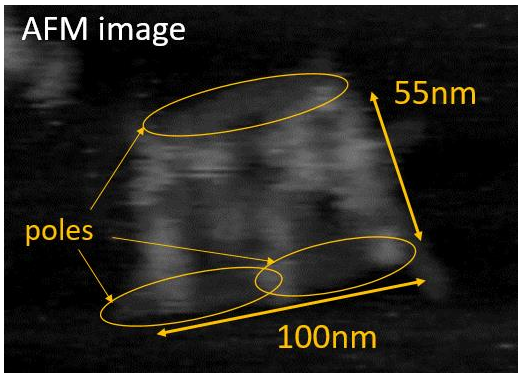


図 2：支柱あり螺旋構造体の AFM イメージ

５．２　磁場と反応する仕組み

DNA 自身では磁場に応答することはない．そこで Ni を DNA 構造体にスパッタリングすることで磁場に応答するようにした．Ni スパッタリングはマイカ基板の上で行った．

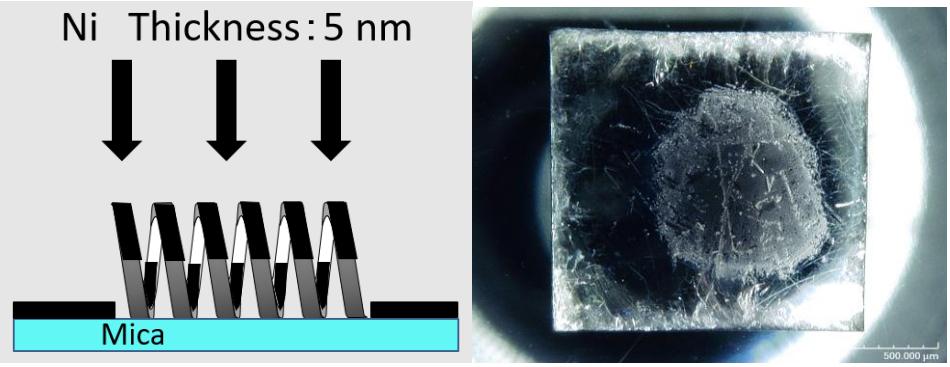


図 3：Ni スパッタリングプロセス（図左）と実験結果（図右）

図 3 のようにマイカ基板に合成した DNA 構造体を乗せ，その上から Ni 粒子を振りかけ，螺旋構造体の上半分が Ni でコーティングされるようにした．また，DNA 構造体のスケールがナノ単位なので，5nm の Ni 膜にした．

５．３　磁場駆動原理

磁場駆動原理は詳しくは共同研究「革新的分子アクチュエータの創成」をご覧いただきたい．以下はその簡単な概略を説明する．

ナノロボットはヘルムホルツコイル（図 5）によって生み出される回転磁場内で運動させる．回転磁場を用いたのは，形状が螺旋であることに起因する．ヘルムホルツコイルは 6 つのコイルで構成され，図 6 に示すようにその中心に回転磁場を生み出す．その回転磁場によって，ナノマシンが推進するという原理である．

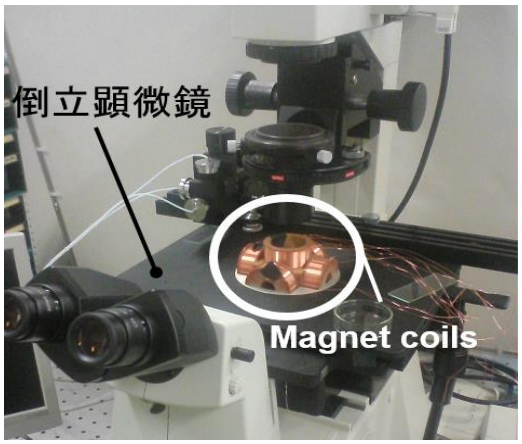


図 5：実験器具

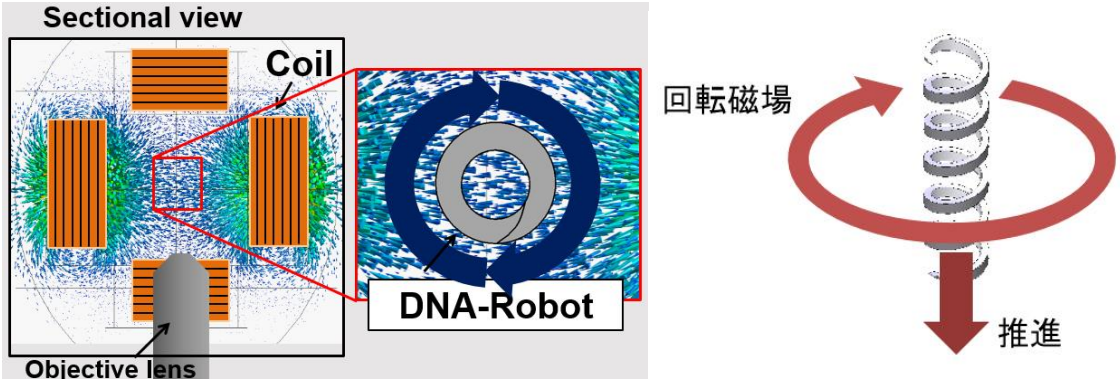


図 6：回転磁場で推進する原理

5．4　Ni スパッタ・磁場駆動の実験結果

これまでは Ni スパッタリングによってナノロボットが個別に分離されることを前提に議論してきた．しかし，図 7 に示すように，ナノロボットが個別に分離されることはなく，ドーナツ状に Ni の膜の破片が浮かび上がった．したがって，ナノロボットを単体として分離することには失敗した．しかし，Ni の膜が磁場に応答する様子を確認することはできた．

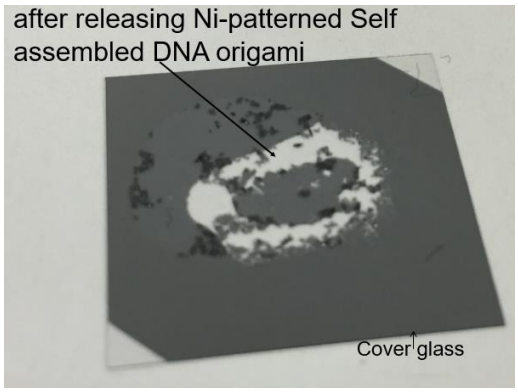
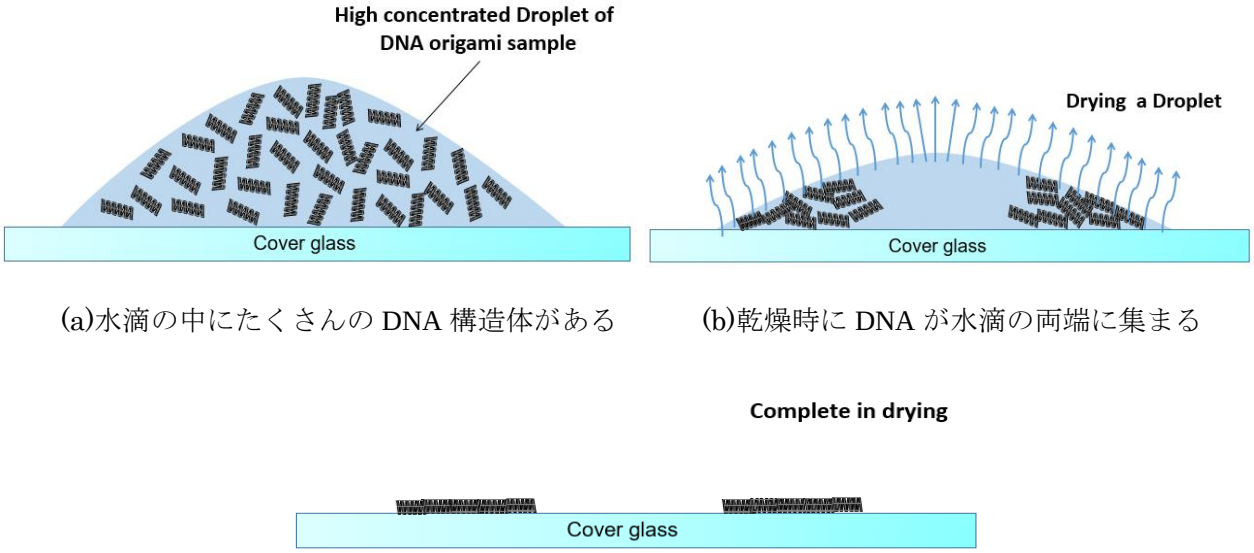


図 7：Ni の膜が分離する様子

6．考察

目標としては個別のナノロボットを磁場で制御し，迷路の中でゲームすることであったが，図 7 で示すように，単体のロボットを分離することができなかった．それは Ni の膜が DNA 構造体よりも相対的に多すぎたからと考える．ドーナツ状に分離されたのは，水滴の端に DNA 構造体が集合し，乾燥させたときにその部分が分離されたと考えられる．（図 8）



(a)水滴の中にたくさんの DNA 構造体がある　(b)乾燥時に DNA が水滴の両端に集まる

(c)両端の Ni 膜が分離される

図 8：ドーナツ状に Ni 膜が分離したプロセス

目標のように単体の DNA が分離される具体的な方法は思い至っていない．しかし，DNA のサイズをより大きくするとか微細加工で Ni 膜の破片から単体を分離する，などが考えられる．

7．大会結果と感想

以下に 10 月 28 日 - 30 日まで行われた BIOMOD 国際大会の結果を記載する．大会には全部で 24 のチームが参加した．アメリカ，中国，台湾，韓国，インド，ドイツなど様々な国，地域からほとんど同学年の学生が集まった．金賞，銀賞，銅賞の 3 つの賞が用意されている．銅賞は期限までに web ページと Youtube ビデオをアップロードしたか，銀賞は銅賞の要件を満たし，かつ実験を成功させたか，金賞は銀賞の要件を満たすチームの内で点数の高いチームが選ばれる仕組みである．我々大阪大学チームは，課題は提出したが，先述した通り実験を成功させることができなかったため，銅賞で大会が終わった．

初出場のため仕方がないという気持ちもあるが，悔しいという気持ちの方が大きかった．BIOMOD では， TED のように魅力的なプレゼンをするチームやかなりハイレベルな研究を示すチームが大半で，実験が成功せず，英語もろくにしゃべれないチームは数少なかったと思う．自分たちがどれだけ井の中の蛙であったか思い知らされた．特に英語を話せないとコミュニケーション自体取れないので，その点については研究が終わってからも課題であると感じた．また，本研究も知能をゲームで表現するといった目標があったが，駆動させる前段階で終了してしまった．時間が許す限り研究を続行し，何とか成功させたいと思った．

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摘や数多くのアドバイスを頂きました．また，関西大学機能性高分子研究室葛谷明紀准教授にも，初出場である大阪大学チームに数多くのアドバイスを頂き，実験器具も貸していただきました．さらに，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は AFM 画像の取得をお手伝いしていただきました．この場を借りて，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 ビデオと web ページのリンクである．

Youtube ビデオ：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/（閲覧日：2016/12/6）

[2]BIOMOD 公式ホームページ，biomod.net（閲覧日：2016/12/6）