

第35回 (平成29年度)

助成研究の概要

研究助成金贈呈式
平成29年12月1日

研究助成推薦要項 抜粋

1. 助成の趣旨

自然科学(特に電気・機械工学系)／(医学・生理学系) および人文科学の研究を助成し、わが国の学術研究の振興に寄与しようとするものです。この目的達成のため、大学研究機関の推薦協力を得て有意義な研究、特に若手研究者で萌芽的な段階にある先駆的・独創的研究を重点的に選定し、本年度の研究助成を行います。

〈特別テーマ〉

自然科学および人文科学のすべての分野が対象となります。

題目「地球環境を課題とする問題解決に向けた研究」

人類が直面している温暖化・資源の循環・環境汚染等の問題に対しての研究を募集いたします。

〈基本テーマ〉

- A

 電気工学・機械工学を中心とした15分類に該当する幅広いテーマがすべて対象となります。
- B

 健康維持・増進を目的とした電子工学と医学/生理学の異分野からなる学際的研究を中心とした4分類に該当するテーマが対象となります。
- C

 人間育成・人間行動を中心とした2分類に該当するテーマが対象となります。

2. 対象とする研究者

大学研究機関が推薦する研究グループの代表研究者または個人研究者であり、職名については申請時点で、教授・准教授・講師・助教・助手に限ります。

応募状況ならびに助成実施状況

1. 募集及び応募

募 集 期 間 平成29年4月12日～5月31日
 応 募 数 91大学より288件

2. 選考審査

選考予備会議 7月14日開催 選考方針・選考基準の確認
 個別書類審査 7月18日～8月21日
 選 考 会 議 9月13日開催 助成候補者の選出
 理 事 会 10月13日開催 助成金受領者41名の決定

3. 研究分野別の状況

〔特別テーマ〕 特別テーマの主旨にあったもので、分野を問わない。

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
特別テーマ		地球環境を課題とする問題解決に向けた研究	56	6

〔基本テーマA〕(電気・機械工学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
電子デバイス 材料・物性	1	半導体関連	16	2
	2	表示・光学関連	7	2
	3	入出力・記録関連	2	1
	4	通信・伝送用デバイス	4	0
	5	新素材・ナノテクノロジー関連	47	7
システム 情報・通信 ネットワーク メカトロニクス	6	ヒューマンインターフェイス	8	1
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	6	2
	8	ソフトウェア・知識処理・セキュリティ	7	0
	9	通信・放送	6	0
	10	計測・制御	11	2
	11	機構・ロボット	6	2
環境 その他	12	環境エレクトロニクス	14	1
	13	シミュレーション科学	5	0
	14	加工法・工作法・リサイクル技術	4	2
	15	信頼性・最適デザイン	2	0

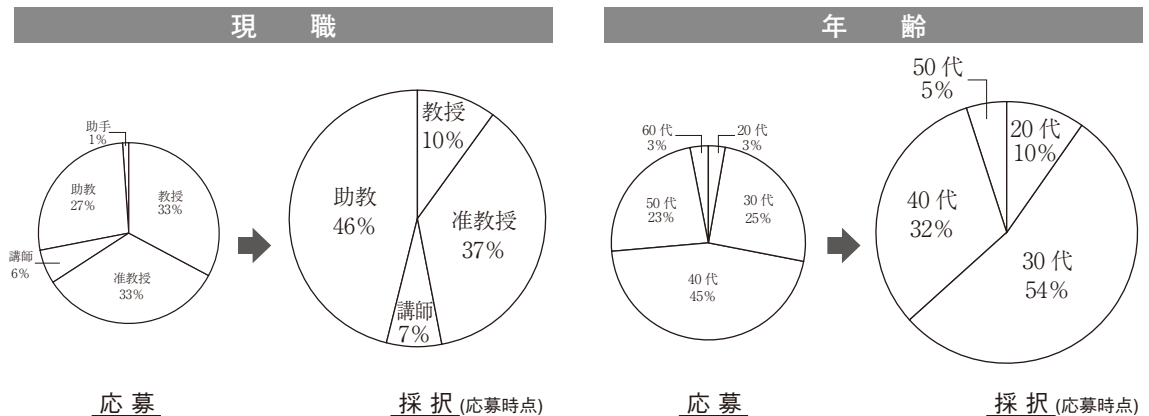
〔基本テーマB〕(医学・生理学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
健康 ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	8	0
	17	ヒューマンエレクトロニクス	2	0
	18	ヘルスエンジニアリング	34	6
	19	バイオエレクトロニクス関連	17	3

〔基本テーマC〕(人文科学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
人材育成 人間行動	20	人材育成に関する研究	12	1
	21	変革期における人間行動の研究	14	3

4. 研究者 (代表研究者)



5. 助成金額

【年度別 研究助成総額の推移】

回数	年度	件数	総額(千円)
第 1 回	昭和 58	24	25,900
第 2 回	〃 59	28	34,912
第 3 回	〃 60	33	41,460
第 4 回	〃 61	34	43,165
第 5 回	〃 62	30	40,905
第 6 回	〃 63	33	42,950
第 7 回	平成 元	34	42,900
第 8 回	〃 2	33	43,925
第 9 回	〃 3	33	44,900
第10回	〃 4	41	51,760
第11回	〃 5	36	47,980
第12回	〃 6	39	51,690
第13回	〃 7	40	50,850
第14回	〃 8	39	49,830
第15回	〃 9	39	49,920
第16回	〃 10	38	49,940
第17回	〃 11	39	50,780
第18回	〃 12	39	49,710
第19回	〃 13	37	49,800
第20回	〃 14	42	55,640

回数	年度	件数	総額(千円)
第21回	平成 15	40	50,400
第22回	〃 16	39	50,740
第23回	〃 17	44	50,000
第24回	〃 18	46	51,990
第25回	〃 19	49	54,350
第26回	〃 20	43	53,000
第27回	〃 21	42	52,000
第28回	〃 22	39	50,750
第29回	〃 23	38	49,000
第30回	〃 24	38	50,000
第31回	〃 25	38	50,000
第32回	〃 26	38	49,960
第33回	〃 27	40	60,000
第34回	〃 28	40	59,990
第35回	〃 29	41	64,870

現在までの

助成件数 1,326件
助成金総額 1,715,967千円

【設立認可】 昭和57年12月23日

【特定公益増進法人認可】 昭和59年10月20日～平成22年11月30日

【公益財団法人設立登記】 平成22年12月1日

選考委員

秋 田	喜代美	東京大学 大学院教育学研究科 教授
荒 木	光 彦	大阪電気通信大学 理事 京都大学 名誉教授
五十嵐	哲	工学院大学 名誉教授
伊 藤	彰 義	日本大学 理工学部理工学研究所 上席研究員 日本大学 名誉教授
内 川	義 則	東京電機大学 理工学部 教授
枝 松	圭 一	東北大学 電気通信研究所 教授
木 村	忠 正	電気通信大学 名誉教授
越 田	信 義	東京農工大学 特別招聘教授・名誉教授
笹 瀬	巖	慶應義塾大学 理工学部 教授
定 本	朋 子	日本女子体育大学 大学院研究科長 教授
高 橋	智	東京学芸大学 総合教育科学系 教授
平 川	一 彦	東京大学 生産技術研究所 教授
広 田	照 幸	日本大学 文理学部 教授
松 山	泰 男	早稲田大学 名誉教授・理工学研究所 名誉研究員

平成29年度

研究助成

第35回(平成29年度) 研究助成一覧

41件

助成金総額 6,487万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	メタンを資源化するための自然に倣った物質合成	東京工業大学理学院 教授 河 野 正 規	500
2	光合成細菌が形成した化合物半導体のデバイス応用展開	広島大学大学院先端物質科学研究科 助教 富 永 依 里 子	500
3	低木類牧草アルファルファを利用した沙地修復技術の確立	高知大学教育研究部総合科学系 教授 康 峪 梅	500
4	マイクロ波プラズマと火炎の融合燃焼法による高度廃棄物処理プロセスの開発	九州大学大学院工学研究院 准教授 山 本 剛	500
5	水産養殖池における水温成層逆転現象と水産病害の実態把握に関する研究	九州大学熱帯農学研究センター 助教 尾 崎 彰 則	498
6	水月湖の年縞堆積物を用いた、大規模な気候変動のスピードと伝播経路の解明	立命館大学総合科学技術研究機構 教授 中 川 毅	489
7	キラリティがもたらす液晶材料の新規自己組織的マイクロパターン形成と光学素子への応用	北海道大学大学院工学研究院 助教 佐 々 木 裕 司	100
8	ナノ炭素ケージ内に封じた金属原子の特異な磁性・発光性の開拓と利用	北海道大学電子科学研究所 准教授 高 野 勇 太	100
9	環境に呼応して多様な運動パターンを発現可能な自律分散型索状ロボットの開発	東北大学電気通信研究所 准教授 加 納 剛 史	100
10	火星航空機の革新展開翼のための制御理論を取り込んだ流体構造連成モデル開発	東北大学大学院工学研究科 准教授 槇 原 幹 十 朗	100
11	ルテニウム系磁性超伝導体単結晶を用いた新奇固有接合特性の開拓に関する研究	宇都宮大学大学院工学研究科 助教 八 巻 和 宏	100
12	分子ドーピングによる絶縁ポリマーデザイン	東京大学先端科学技術センター 助教 佐 藤 正 寛	100
13	強誘電体HfO ₂ トンネル接合メモリの低電圧動作実証に向けた原子レベルでの構造計算に基づく研究開発	東京大学生産技術研究所 准教授 小 林 正 治	100
14	段階型圧力センサーとして機能する革新的有機発光ゲルの創製	横浜国立大学大学院工学研究院 准教授 伊 藤 傑	100
15	偏光顕微鏡観察と深層学習によるSiC結晶中の転位の自動識別	名古屋大学未来材料・システム研究所 講師 原 田 俊 太	100
16	有機薄膜上への半導体性カーボンナノチューブ製膜法の開発とフレキシブルトランジスタへの展開	名古屋大学物質科学国際研究センター 助教 大 町 遼	100
17	フォノンエンジニアリングへの応用を目指した移動型非線形局在振動の基礎的研究	京都大学国際高等教育院 附属データ科学イノベーション教育研究センター 特定講師 木 村 真 之	100
18	圧縮センシングのレーザー走査型顕微鏡法への応用	大阪大学免疫学フロンティア研究センター 特任助教 PAVILLON Nicolas	100
19	グラフェン触媒を搭載した化学工具による次世代半導体表面の創成に関する研究	大阪大学大学院工学研究科 准教授 有 馬 健 太	100
20	メンブレン型応力センサーを用いた超微量溶液試料テラヘルツ電子スピン共鳴分光法の開発	神戸大学大学院理学研究科 准教授 大 道 英 二	100
21	強誘電的性質を有する分子素子の開発と応用	広島大学大学院理学研究科 准教授 西 原 禎 文	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額
22	感光性複合材料を用いた集積型分子輸送システムの開発	山口大学大学院創成科学研究科 助教 中 原 佐	万円 100
23	配位環境を高度に制御した新規バナジン酸化合物の探索と蛍光材料への展開	高知大学教育研究部総合科学系 助教 長 谷 川 拓 哉	100
24	CMG搭載型宇宙ロボットにおけるアーム動作とCMG駆動の協調制御に関する研究	首都大学東京大学院システムデザイン研究科 教授 小 島 広 久	100
25	術中骨折の回避技術に関する研究 ～周波数解析による診断システムの開発～	北里大学医療衛生学部 准教授 酒 井 利 奈	100
26	エッジ学習のためのネットワークスイッチによる高効率オンライン逐次学習	慶應義塾大学理工学部 准教授 松 谷 宏 紀	100
27	環境親和性に優れた超軽量ミリスケール脚式移動ロボットの開発	早稲田大学創造理工学部 准教授 石 井 裕 之	100
28	IoTデバイス上での高速かつ低消費電力なセンシングデータ処理のための機械学習にもとづく集積回路設計	早稲田大学理工学術院総合研究所 研究院助教 川 村 一 志	100
29	極細径微小還流針を用いた慢性筋痛組織の代謝特性と発症メカニズム解明に関する研究	東北大学大学院工学研究科 助教 鶴 岡 典 子	100
30	人工神経ネットワークを自在に配線するための光応答性表面修飾材料の開発	東京大学生産技術研究所 講師 池 内 与 志 穂	100
31	神経筋疾患解析のためのOrgan-On-A-Chipの開発	名古屋大学大学院工学研究科 准教授 清 水 一 憲	100
32	テラヘルツ時間領域分光法による水構造を指標としたアミロイド線維形成初期段階の検出	神戸大学大学院理学研究科 准教授 茶 谷 絵 理	100
33	低線量3次元CT画像を用いた骨粗鬆症診断支援システムの開発	徳島大学大学院社会産業理工学研究部 助教 鈴 木 秀 宣	100
34	発光色スイッチング機能を有するナノエマルジョンを利用した迅速かつ簡便な細菌検出デバイスの開発	高知大学教育研究部総合科学系 助教 仁 子 陽 輔	100
35	細菌1個体レベルの検出感度を狙ったATP発光測定用フォトセンサーの研究開発	九州工業大学マイクロ化総合技術センター 助教 有 吉 哲 也	100
36	最先端の遺伝子工学技術を用いた線条体における学習メカニズムの解明	福島県立医科大学医学部 特任助教 瀬 戸 川 将	100
37	再生医療応用に向けた光応答性の動的培養足場による細胞挙動制御システムの創成	早稲田大学理工学術院先進理工学部 助教 今 任 景 一	100
38	移民社会の複合性指標 (MSPEX) の構築	宇都宮大学国際学部 准教授 松 尾 昌 樹	100
39	幼児の身体像に接近するための臨床描画法に関する実証研究	星美学園短期大学幼児保育学科 専任講師 太 田 研	100
40	公職選挙法の改正が有権者におよぼす影響の解明	関西外国語大学外国語学部 准教授 白 崎 護	100
41	環境問題を題材に人類史を反省するとともに今日的な統計的リテラシーを備えた人材を育成する実証的研究	岡山理科大学教育支援機構 助教 福 田 博 人	100

①**背景**：油井などで焼却処理されているメタンは地球温暖化の原因の一つである二酸化炭素を大量に大気に放出している。メタンは極めて安定な無極性分子のため他の有効な分子へと変換することが難しい。これまで高温での触媒を利用したメタンの活性化反応では二酸化炭素が容易に発生するか炭素数が増加する反応が進行したとしても全体のエネルギー収支では割に合わないことが知られている。しかし、自然界には金属イオンとその金属周りの高次構造を利用してメタンを常温常圧でメタノールまで酸化できるメタンモノオキシゲナーゼなどの金属酵素が存在する。メタンを温和な条件下で他の有用な化合物に変換できれば、二酸化炭素を削減できるだけでなくメタンを新たな資源として有効活用できるようになる。

②**目的**：金属イオンと多座配位子を速度論的に自己集合することによりメタンや酸素と相互作用できる反応活性空間を有するネットワーク錯体を構築し、反応場の構造を分子レベルで明らかにし、温和な条件下でメタンのC-H結合の活性化を検討する。

③**学術的な独自性と意義**：これまでメタンモノオキシゲナーゼのモデル錯体などが多数報告されてきたが、残念ながら未だメタンの活性化には至っていない。メタンの活性化のためには、自然界が利用している酵素ポケットに相当する「場」と「活性点」が必須である。そのため様々な配位子が設計され数多くのモデル錯体が研究されてきた。今回申請者らはメタンの活性化のために金属イオンと配位子から構築できる細孔性ネットワーク錯体を不均一系で利用する。酵素ポケットに相当する場としてネットワーク錯体の細孔を活用し、活性点としてネットワーク錯体に使われる金属コネクタを利用する。既存の細孔性ネットワーク錯体の研究との大きな違いは、速度論的にネットワーク化することによりこれまでになく反応活性空間を構築することにある。申請者らは、速度論的にネットワーク化することにより基質と相互作用できる細孔を構築できることを見出してきた。これは最安定な構造に落ち着く前にネットワーク化することで相互作用点が細孔内に原理的に生き残ることによる必然の結果であった。しかしながら、これまでこのネットワーク化における活性点生成に関する速度論的な効果に着目した研究例は皆無である。それは速度論的に組み上がる構造は不安定で実用化に向いていないと考えられていたことと構造解析が困難なことに起因している。申請者らはこれまでネットワーク錯体の合成と構造解析に関して実績があり、速度論的に生成するネットワーク錯体でも固体状態では熱力学的生成物と遜色ない安定性を持ち得ることを実証してきた。

④**期待される成果と発展性**：疎水的な細孔は疎水性相互作用による濃縮効果によりメタンを効率よく吸収でき、相互作用点との相互作用によりメタンを分極することが期待できる。また、速度論的にネットワーク化することで意図的に欠陥を生成でき、配位不飽和な金属サイトも生成可能になる。特に、d軌道にスピンを有する金属イオンを用いることにより活性酸素の誘起が可能になり基質への酸素の挿入反応が期待できる。さらに、本手法の特徴は、高い設計性にある。適切な金属イオンと配位子の設計により、金属周りの環境を精密に制御できる。また、自然界で見られる突然変異の原理をネットワーク化に適用することで、自在に相互作用点をネットワークの中に作り出すことができる。つまり、他の官能基を導入した配位子の形が似ている場合、もとの配位子とともに速度論的にネットワーク化することで間違えて取り込まれ、同じネットワーク構造を保持しつつ反応活性点を導入できる。最近この突然変異法により金属酵素のポケットのような空間の構築に成功し、将来温和な条件でメタンを活性化できる設計が可能であると期待している。また、油井や日本近海に大量に埋蔵されているメタンの有効利用だけでなく本課題を通して合成する細孔体は相互作用点を有していることから二酸化炭素を効率よく吸着できる可能性も秘めている。

研究者 広島大学大学院先端物質科学研究科 助教 富 永 依里子

【①背景：微生物を利用した、人体に有害な元素の回収技術の確立】ある種の微生物は、重金属イオンを体表面に吸着あるいは体内に取り込み、酸化還元反応や化合物合成反応を介して、重金属の毒性を回避する性質が知られている。これらの能力は、自然環境や産業廃液の重金属除去に利用されたり、または積極的に、常温・常圧での化合物合成に応用されたりしている。その例としてCdTeのナノ粒子を合成する菌がある。CdTeはII-VI族化合物半導体に属し、薄膜太陽電池や高性能放射線検出器がそのデバイス応用例である。これらのデバイスの研究開発過程では、毒性の強いCdを含んだ廃棄物の処理に細心の注意が必要である。前述のCdTeナノ粒子を合成する菌を用いれば、廃棄物や製品を工場などで廃棄処理する際に発生する廃液内の有毒な重金属イオンを効率よく除去することができるとして期待されている。このような「元素の回収技術」の確立を目的とした研究がカリフォルニア大学サンタバーバラ校のグループらによってこれまで取り組まれてきた。

【②目的：光合成細菌を活用して形成した様々な化合物半導体のデバイス動作の実証】本研究では、上述の元素回収技術を発展させ、研究代表者と共同研究者が既に採取・培養に成功している光合成細菌を利用して形成した化合物半導体を用いた実デバイス製作の可能性を初めて明らかにする。光合成細菌による材料形成技術を実デバイス応用まで初めて展開すべく(図1)、細菌が合成した半導体の電気的・光学的両特性から、その結晶品質を明らかにする。

【③独自性と意義：半導体・バイオ両分野の新たな融合】光合成細菌を用いて化合物半導体を「結晶成長する」という認識は世界的にもほとんどなく、当該結晶を用いた半導体デバイス作製技術は全く未開拓である。本研究で得た成果を基に、細菌を用いた化合物半導体デバイス作製技術が実現されれば、半導体とバイオ、両分野を融合した結晶工学および半導体工学両学問領域が新たに開拓されることになる。

【④期待される成果と発展性：地球資源を活用した低コストかつ省エネルギーな材料生成・デバイスプロセス両技術の確立】現在、通常用いられている半導体結晶成長装置は、一般に大型でコストがかかる。また、半導体結晶の種類によっては、猛毒であったり引火・爆発しやすいガスを成長時に利用したりもする。本研究によって細菌を利用してデバイス品質の結晶が得られることが実証できれば、常温常圧下で、低コストかつ安全に化合物半導体結晶を成長する技術を新たに提案することができる。また、光合成細菌を用いれば希薄な溶液からでも得たい元素を回収することができるため、レアメタル・レアアースを含む新材料・半導体結晶の成長の可能性も高まる。半導体デバイスは、現代の我々の社会基盤を支える最も重要な技術の一つであり、本研究は、その作製プロセスの低コスト化・省エネルギー化を新たなアプローチから追及するものである。本研究遂行の暁には、近年プロセス工学において重要項目となっている「グリーンプロセス」「カーボンニュートラル」という概念を半導体分野においてこれまで以上に積極的に導入することが可能となる。

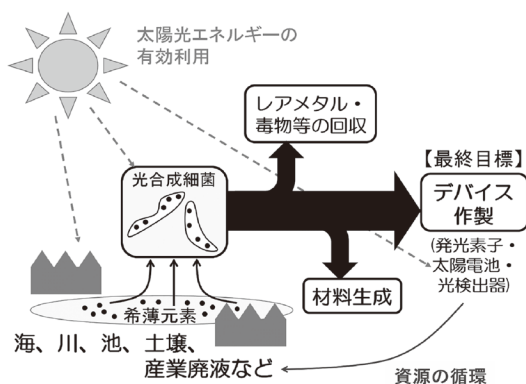


図1. 本研究で確立を目指す資源循環技術の概要。

低木類牧草アルファルファを利用した沙地修復技術の確立

研究者 高知大学教育研究部総合科学系 教授 康 峪 梅

【背景】 中国内モンゴル自治区のホルチン沙地は日本から最も近い砂漠で、当地域から発生する黄砂やPM2.5は近隣地域・諸国へ深刻な影響を及ぼしている。ホルチン沙地は総面積が5.06万km²で、最近百年余の人為的な作用によって草原が破壊され砂漠化した場所である。中国では気候的になるべくしてなった自然砂漠と区別して、人為によってできた砂漠を沙地と呼ぶ。このように、沙地は本来気候的には草原が分布し、人々の生活の息吹が感じられる場所である。従って、適切な方法を取れば、沙地を緑の草原に戻せる可能性が残っている。現にホルチン地域は数百万人の人口を抱え、軽工業、農業、小規模の牧畜業を営んでいる。しかし、土壌の砂質化、沙地面積の増加、砂嵐の頻発、地下水位の低下など様々な環境問題が進行しており、生態環境は危機的な状況にある。この地域での砂の固定、植被の回復は喫緊な課題である。

中国ではこれまでに沙地修復の対策として主に植林が行われてきた。しかし、ホルチン沙地の気候では樹木の活着が難しく、失敗に終わるケースが多い。よく知られている草方格（麦わらなどの格子状のシートを作り、その中に草を植える）は鉄道線路周辺などに優先的に使われることが多く、費用と手間がかかる。一方、申請者らの研究グループは2015年に低木類牧草アルファルファの現地品種（*Aohan*）を沙地で栽培し、成功した。ただ、予算の制約上一種類の土壌での試験となり、現地の多様な土壌環境を全部包含できていない。ホルチン沙地の土壌を大きく三つのパターンに分類することができる。すなわち、①平坦な沙地、②起伏のある砂丘、③地下水位の高い塩類集積地である。現在のところ①についてアルファルファの栽培技術は確立されているが、②と③については未着手である。

【目的】 アルファルファの発芽は土壌の水分と塩分状態に強く影響されることが知られている。砂丘の場合は初期の水管理が、また塩類集積地の場合は品種選定が課題となる。そこで本研究の目的は砂丘と塩類集積地でのアルファルファ栽培方法を確立し、ホルチン沙地の修復技術を構築することである。

【学術的な独自性と意義】 これまでの沙地修復に関する研究は樹木あるいはその代わりとなる低木を植え、砂を固定することに重点を置いてきた。本研究の学術的独自性と意義として以下三点が挙げられる。①沙地修復植物として樹木ではなく、乾燥に強く栄養価の高い低木類牧草アルファルファを用いることである。適切な管理を行えば、固沙だけではなく、アルファルファ栽培地は放牧地や牧草生産地としても有望である。②平地、砂丘及び塩類集積地の土壌環境条件に応じてアルファルファの品種選定、水管理方法を変えて検討し、それぞれに合った栽培技術を確立することである。各々のモデル試験を住民に示すことによって、これらの技術の普及を促進し、ホルチン沙地全体の修復につなげることができると思われる。③アルファルファはマメ科植物であるため、根粒菌が窒素固定など重要な役割を果たしていると考えられる。ホルチン沙地に分布している根粒菌は乾燥や高塩分状態に強いと推察されることから、本研究ではその特性を遺伝子レベルで明らかにする。また、ほう素（B）は根粒の組織およびバクテロイドの形成に、モリブデン（Mo）は窒素固定に必須の元素とされている。本研究ではこれらの微量元素含量を測定し、根粒菌との関連を明らかにする。

【期待される成果と発展性】 アルファルファは多年生牧草で、根圏が大きく、乾燥に強いので、沙を固定し、沙地に緑を回復させる可能性が高い。実際2015年に植えたアルファルファは毎年4月の初めに自然発芽し、順調に生育している。従って、この技術を普及させ、適切な管理を行えば、アルファルファ栽培地は短期的に放牧地や牧草生産地としても有望であり、また長期的にみれば植生が遷移し、元の草原植生が回復する可能性が高い。沙地は砂漠と異なり、地域住民の生活の場そのものである。アルファルファの栽培が普及すれば、流沙、飛沙が固定され、緑が増えることによって、地域住民の生活環境が改善される。また、家畜の飼料が確保でき、従来の主産業であった牧畜業の再生を促進することができる。さらに、沙地を修復し、草原生態系の二酸化炭素固定能を回復することによって、地球全体の大気汚染および温暖化防止につなげることが期待され、その意義は極めて大きい。

①背景

近年、環境意識の高まりから環境汚染物質の捕集・除去技術のみならず、その分解処理技術についても高度化が求められている。環境汚染物質の分解にはしばしば燃焼が用いられるが、環境規制が年々厳しくなっているため、従来の処理法では環境規制をクリアできなくなるものが増えていくと予想される。燃焼処理では環境規制がクリアできない場合、環境汚染物質の分解には熱プラズマが用いられることになる。熱プラズマの分解能力は燃焼をはるかに凌ぐものであり、あらゆる物質を分子レベルにまで分解することができるが、一方でその使用には膨大なコストがかかる。多くの環境汚染物質の分解において、熱プラズマほどの高い分解能力が要求されることはほとんどない。したがって、熱プラズマよりもコストが低く、燃焼と熱プラズマの中間に位置する分解処理能力を有した分解処理方法が開発されれば、非常に有用な分解処理装置となる。

②目的

プラズマ科学の分野において、燃焼火炎は弱電離状態にあることからプラズマの一種とみなされ、プラズマ科学の方法論で燃焼を制御しようとする試みがなされている。これは燃焼よりも強い非平衡プラズマを火炎に重畳し、活性なラジカルを反応場に生成することで反応を促進する手法である。申請者らは高密度・高均一性かつプラズマ形成領域の拡大が容易なマイクロ波非平衡プラズマに着目し、マイクロ波を反射・拡散することで拡大したプラズマを火炎全体に重畳することに成功した。本法は通常燃焼よりも優れた反応特性を示し、火炎全域で反応が促進される手法である。本研究では、これまで行われていない固体の環境汚染物質を想定した流動層式マイクロ波非平衡プラズマ支援燃焼装置を開発する。

③学術的な独自性と意義

非平衡プラズマを用いたプラズマ支援燃焼に関する研究は、パルス放電等を用いた方法が一般的である。しかし、これらは火炎に重畳するプラズマの領域を拡大することが難しいため、燃料供給部近傍に小さなプラズマを重畳した着火促進に関する研究を行っているのみである。これに対し、本研究では高密度・高均一性かつプラズマ形成領域を拡大することが容易なマイクロ波非平衡プラズマを適用する点が独創的である。また実際にプラズマ形成領域を拡大し、燃焼火炎全体に重畳することで火炎全域における反応促進に成功している。さらに、本研究ではこれまで行われていない流動層燃焼器と形成領域を拡大した非平衡プラズマを融合し、固体燃料を対象とした新たな流動層式非平衡プラズマ支援燃焼装置を開発する点に意義がある。

④期待される成果と発展性

環境汚染物質の分解処理の代表的な方法として、燃焼と熱プラズマがある。燃焼と熱プラズマの分解処理能力に大きな隔たりがあることはもちろんであるが、コストにも大きな違いがある。例えば、PCB（ポリ塩化ビフェニル）の分解処理において、燃焼処理や洗浄・化学処理の場合では数千円/kgであるものが、熱プラズマでは30,240円/kgと10倍以上の価格となっている。これに対し、本研究成果が達成されれば、従来の燃焼処理法よりも優れた分解能力を有した環境汚染物質処理装置の開発へと繋がる。さらに、本研究で使用するマイクロ波プラズマのランニングコストは、熱プラズマの千分の一程度であり、大幅なコストダウンに繋がる。以上のことから、本法が開発されれば、今後の環境規制の強化に対しても十分に対応可能な分解能力を有し、かつ低コストで運用可能な装置となることから、環境分野における貢献度は非常に大きい。

① 研究背景

近年の世界における水産物の消費は、健康志向の高まりに伴い、欧米や中国を中心に消費量が増加傾向にある。この消費に対する供給は、熱帯に位置する途上国の養殖生産量が大きな割合を占めており、世界の水産物市場に大きく貢献している。世界の水産養殖を担う途上国においては、先進国に対する水産物輸出による利益が国内経済成長に大きく貢献する一方で、熱帯特有の環境が水産病害の発生を助長し、生産量および収益を不安定にするといった問題も抱えている。特に、近年の地球温暖化による暑熱や洪水など異常気象は、水産養殖池における水環境を悪化させ、水産病害等による水産物被害を拡散させると考えられることから、水産業界の世界市場の安定性、ひいては水産物輸出途上国の経済発展のためにも、途上国の水産養殖池にみられる地球温暖化の影響と水産病害の動態について早急に解明し警鐘を促す必要がある、地球規模の課題であるといえる。

研究代表者らは、地球温暖化の影響とみられる熱帯特有の水産養殖池環境異変の一つである水温成層逆転現象をタイ王国で観測している。水温成層逆転現象は、水産養殖池等の塩分を含む水域において、塩分成層および温度成層の状態により発生する現象であり、降雨が塩分成層、日射による受熱・放熱が温度成層の状態支配要因となり、熱塩対流が発生し水温成層が逆転する。この水温成層逆転現象は、特異的な成層構造を形成し水質を悪化させることに加え、高温水域で発生する水産病害の温床となることから、水産養殖業の生産性に強く影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、水産養殖池における水温成層逆転については、既往の研究事例が皆無であり現象理解が進んでいないことに加え、成層状態と水産病害との因果関係等、未解明な部分が多い。

② 研究目的

本研究では、特に地球温暖化の影響により劣悪化する熱帯環境下の水産養殖池で起こり得る水温成層逆転に着目し、(1)水温成層逆転を誘引する気象条件を特定し、水温成層逆転に関わるプロセスおよびメカニズムを解明すること、(2)水温成層逆転形成過程における水産病害の発生および動態を把握し、水温成層状態との関係性を解明すること、以上の2点を研究目的とし、特に熱帯地域に位置する水産養殖池の水温成層逆転による水質汚濁対策および水産病害の拡散予防について提言しうる研究を目指す。

③ 学術的な独創性・意義

本研究は、研究代表者が観測した水産養殖池における水温成層逆転現象に着目し、この現象の形成過程の水温環境が水産病害の発生および拡散に関与するという視点に立ち、環境工学および環境微生物学の双方の側面から水温成層逆転について検証する独創性が高い研究である。得られる研究成果は、水産養殖池における水質管理に対する指針を提言することに加え、水産養殖物の安定生産に寄与できることから、学術分野のみならず水産業界へも貢献しうる点で、意義が高い研究成果となることが期待される。

④ 期待される成果と発展性

本研究によって得られる研究結果は、近年の地球温暖化進行過程において、世界における水産養殖現場で問題となっている養殖場のウイルス蔓延や汽水域の魚類の大量死問題等の既存の未解明問題に対して、従来の視点とは異なる独創性の高い問題解決アプローチを提案すると期待される。なお水温成層逆転は、拡散係数が異なる二つの流体成分間で起こる二重拡散対流によって形成されるものであり、濁度成層等の塩分とは異なる流体成分によっても同様に水温成層逆転が観測される可能性も考えられる。このことから本研究による知見は、水産養殖池のみならず一般的な湖沼、貯水池等の問題にも適用可能であり、これらの水域における地球温暖化に伴う水質汚濁問題との関連性からも学術的な発展性は極めて高い。

①背景（内外における当該分野の動向）

地球規模の温暖化など、21世紀に起こると言われている気候変動の様相を正確に予測するためには、過去に実際に起こった気候変動について信頼できる情報を集め、気候変動のメカニズムを理解した上で、気候シミュレーションに反映させていくプロセスが必須である。とくに、地質時代におこった大規模な気候変動が地球のどこで最初にはじまり、どのような速度で、どこに波及していったかの情報は欠かすことができない。

気候変動の起源と伝播経路を正確に知るためには、世界各地の気候変動の記録の中から、時代が正確に判明しているものを選び出し、詳細に比較する必要がある。だが、このような条件に合致する記録はきわめて少ない。具体的には、グリーンランドと南極の氷床、中国の沿岸部の鍾乳石、ドイツとノルウェーの湖の堆積物、ベネズエラの沿海堆積物など数えるほどしかなく、しかもそれぞれに欠点がある。

また、氷床と海洋の分析においては酸素と水素の安定同位体を測定することがルーチンとして確立しているが、陸上（湖沼）の研究では、安定同位体比を測定するのに適した材料を得ることが困難であり、氷床や海洋と共通の基準で比較をおこなおうとすると、本質的な障壁になっていた。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、福井県の水月湖から採取された「年縞」と呼ばれる特殊な堆積物に含まれる化石花粉の安定同位体比を分析し、過去5万～1万年前の気候変動を詳細に復元する。その上で、変動のタイミングを上記の各地点と詳細に比較し、「どこから」「どのように」伝播していったかを解明する。

③学術的な独自性と意義

背景で述べた研究の各地点は、年代に不確かさがある（グリーンランド、南極、中国、ベネズエラ）、カバーできる時代が短い（ドイツ、ノルウェー）などの短所がある。これに対し水月湖の年縞は、世界最高精度で年代が判明しており（水月湖は地質年代の国際標準に認定されている）、しかも過去7万年を連続的にカバーしている。さらに、化石花粉を同位体比測定のために高純度抽出する技術は、申請者のグループが2016年に世界に先駆けて開発したものである。以上の利点を活かして、水月湖の安定同位体比データを中心に据えることで、これまで断片的だった世界各地の記録を統合的に比較できるようになる。

④期待される成果と発展性

本研究により、5～1万年前の日本で起こった気候変動が、200～50年の分解能で復元される。また、得られた気候変動の記録を、宇宙線強度の記録によってグリーンランドおよび南極と、放射性炭素年代によって中国およびベネズエラと、また火山灰対比により、いわゆるチャンピオンデータではないが日本周辺の海洋の堆積物と、それぞれ精密に対比することで、大規模な気候変動の時空間構造の理解が飛躍的に進む。とくにダンスガード・オシュガイイベントと呼ばれる、グリーンランドの気温が数年で5度以上も上昇するような激しい気候変動が起こった時代に、日本ではどのような状況だったのかが明らかになる。そのような急激な変動のメカニズムは未知であるが、本研究で実施するタイミングの比較により、原因の絞込みが可能になる。

本研究から得られた知見は、論文および研究者のネットワークを通じて、気候シミュレーションの研究者コミュニティに提供される。その結果、気候変動の予測モデルの精度向上に大きく貢献することが確実である。正確な気候予測は、信頼性の高い被害予測や政策策定のための基本情報であるため、本研究が現代社会に及ぼす間接的な波及効果はきわめて大きい。

- ① ナノ・マイクロスケールの周期構造は光学をはじめとした様々な分野で重要な役割を果たす。多くの場合、構造を作るには表面微細加工技術が用いられるが、それらは一般に高価な装置を必要とする。また、構造が複雑になると作成に要する時間も急激に増加してしまう。そのため、ナノ・マイクロパターンを作成するに当たり、コスト・時間の観点から改善が必要とされている。この課題を克服するためのハイスループットな方法の一つとして、ソフトマターの自己組織化の活用が注目されている。現在までに、コロイド、ブロック共重合体、液晶などの材料で多くの研究がなされている。特に、液晶材料の場合、光学的異方性(複屈折性)をもつため、電子・光学デバイスへの応用が最適である。しかしながら、自己組織化のみで広範囲にわたり様な構造を作るのは容易ではなく、液晶分野においても光配向と呼ばれる表面を処理する方法が主流となっている。光配向法も、特殊な装置・材料を用いるため、誰もが容易に研究できない状況にある。そのような背景の中、近年、申請者らは図1Aのような従来はランダムに生成される”液晶のトポロジカルな欠陥構造”をイオンの効果と組み合わせることで、図1Bのように規則正しく、広範囲に作成する方法を見出した。(Sasaki et al, Nat. Commun. 7, 13238, 2016) (模式図の点線が棒状分子を表している) トポロジカル欠陥は、光渦を発生させる軸対称偏光子としての役割をもつ光学的に重要な構造である。そこで、この自己組織化パターンを活用し、素子へ応用することを目指して研究を行っている。
- ② 本研究の目的は、申請者らが昨年に見出した、ネマチック液晶のトポロジカル欠陥の周期構造にキラリティを導入し、新しい構造を生み出すことである。初期の実験によって、図1Cのように、パターンが劇的に変化することを見出している。実験条件を系統的に変化させ、パターン形状の制御・理解を目指す。さらに、この構造をゲルとすることで回折実験を行い、光学材料としての応用を実験・理論的に検討する。
- ③ 本系は、広範囲(mm単位)にわたるパターン形成が可能な、ソフトマターのなかでも特異な題材である。液晶のトポロジカル欠陥は光学的に興味深い構造である一方で、リソグラフィーの手法を用いずに安定化させることが困難であった。本系は、自己組織的に欠陥をパターン形成可能な、現時点で唯一の方法であり、液晶本来の性質を損なうことなく、電気・熱的に物性を制御することが可能である。これは光学素子として応用するにあたり、通常の固体の素子とは大きく異なる利点である。キラルの効果については研究例がなく、他の研究グループに先駆けて情報を得ることが可能である。実際に、キラル剤を添加しない系では、実回折格子としての振る舞いがみられており、偏光変換素子としての性質を実証可能な題材を提供する。
- ④ 申請者らの先行研究では図1Bのような正方形のパターンであったが、キラル剤の添加により、図1Cのような、新奇的な光学的パターン構造を作り出すことが期待される。さらに、キラルと非キラル系との比較が可能となり、現象についての相補的な理解が見込まれる。キラリティの効果は外場によって制御することができるため、非キラルの系を含むより多機能な素子の作成に繋がる。

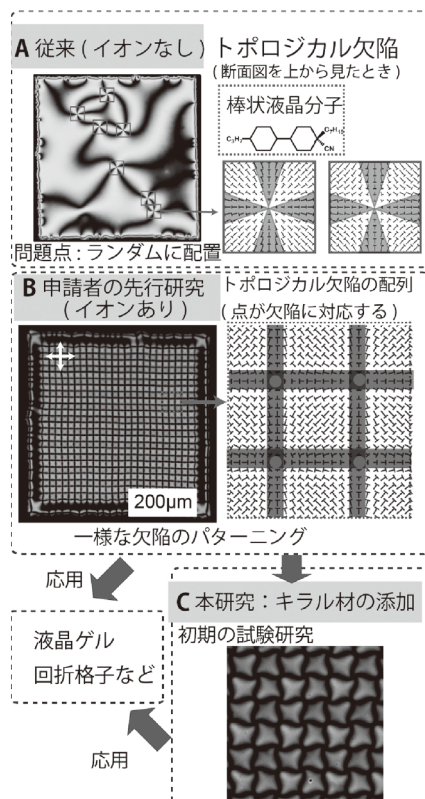


図1：研究背景の概略

研究者 北海道大学電子科学研究所 准教授 高 野 勇 太

①**背景** サッカーボール型のナノカーボン物質であるフラーレンの内部に金属原子を閉じ込めた「金属内包フラーレン」は(図1)、様々な金属を外界から隔てられた環境に内包でき、特異な構造に起因して他の分子種では見られないユニークな分子特性を有する。

しかし、金属内包フラーレンは生成量が極めて少ない(mgスケール以下/1週間・1研究グループ)ため、これまでの研究は非常に基礎的な構造・物性解明が主流であった。そのような状況でも、有機半導体として世界最高レベルのキャリア移動度を示したり[S. Sato et al. JACS誌2011年報告]、単分子磁石特性を示すなど[R. Westerstrom et al. JACS誌2012年報告]、ナノテクノロジー材料としてのポテンシャルが見られる新興ナノ物質である。

②**目的** 金属内包フラーレンの内部空間に閉じ込められた金属原子のポテンシャルを化学修飾で開花させ、ナノスケールでの分子磁性材料や光センサーとしての利用法開拓を行うことである。その上で生体内環境内のナノスケール微小空間中で作用する磁気・光プローブとして分子機能を実証することで、新規ナノ材料として金属内包フラーレン利用法を確立する。

③**学術的な独自性と意義** 近年、金属ナノ粒子やポリマーベースのナノ材料が盛んに研究され、量子効果を利用した単分子センサーや、単一細胞観測技術等のナノプローブ実用化に向けた報告が多くされている。新たなナノ材料の開拓と利用法確立は、ナノテクノロジー材料科学や生物学・医療分野にて用いられるナノプローブ技術の発展に大きく寄与する。

金属内包フラーレンはナノ材料として非常に興味深い基礎的知見が断続的に報告されているものの、いまだ多くの部分が未解明である。その主因は金属内包フラーレンの生産量の少なさだが、申請者らは合成・精製方法を改善して各種化学修飾を用いた実験を可能として数々の新発見を行って来ている【業績リスト②-1), -3), -5); JACS誌2016年,2014年,2012年報告等】。本研究を通して金属内包フラーレンの新規利用法を実証することで、革新的な金属特性の利用法提示や新規ナノ材料としてのブレークスルーを呼び込むことが期待できる。

④**期待される成果と発展性** 本研究の完成により、外部環境から遮蔽された特殊環境における金属特性の解明と利用が可能となる。特殊環境における金属特性や量子ドット効果を基にした物性解明・利用を行うことで、多くの新たな知見が得られることが期待される。特に、他の化学種には見られない金属内包フラーレン由来のユニークな分子構造・性質を組み合わせることで、全く新しいナノテクノロジー材料として量子材料分野にブレークスルーをもたらすことが可能である。

そして、これを実際に生体内にて細胞工学的な分子ツールとして利用することで、生体機能の新規解明や人工操作を可能とする医療応用ツールとしての新たな基盤技術となることが期待できる。

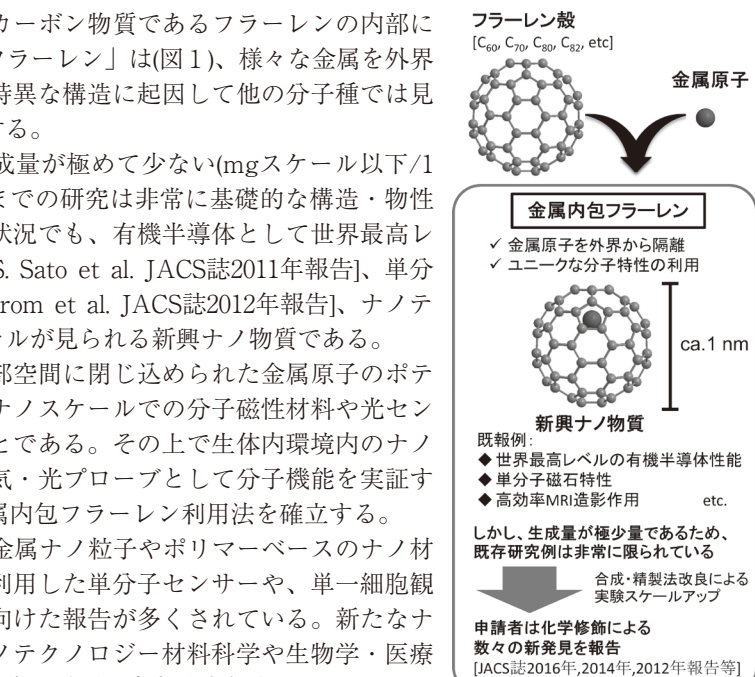


図1. 本研究の鍵分子である「金属内包フラーレン」

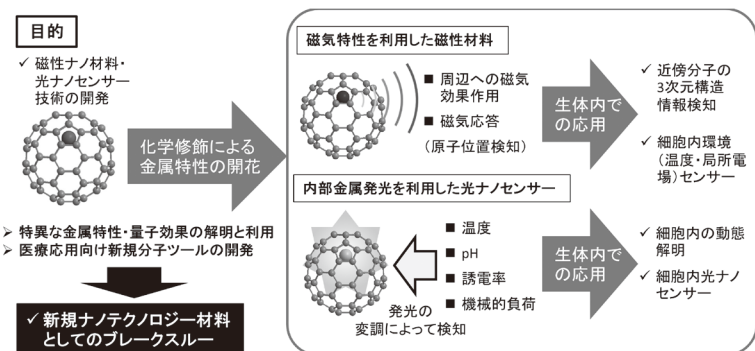


図2. 本研究のフロー

【背景】

近年、災害現場における探索・救助や月などの掘削、医療用・工業用内視鏡などへの応用を目的とした、狭窄空間を推進可能なロボットの開発が求められている。この要請に応えるべく、ヘビが示す蛇行運動やミミズが示す蠕動運動を模倣した索状ロボットの開発が盛んに行われている。この理由は、蛇行運動や蠕動運動は推進に大きなスペースを必要とせず、狭窄空間にきわめて適した移動様式であるからである。

索状ロボットの実用化を考える上で重要なのは、ロボットは予測不能的な実世界環境にリアルタイムに適応して適切な運動パターンを生成する必要があるという点である。しかしながら、従来開発されてきた多くのロボットが示す運動は予定調和的かつ画一的であり、想定環境下では優れた機能を発揮するものの、予期せぬ事態に適応することはきわめて困難であった。この問題解決を試みた研究も存在するが、依然としてロボットの環境適応能力は十分とは言えないのが現状である。

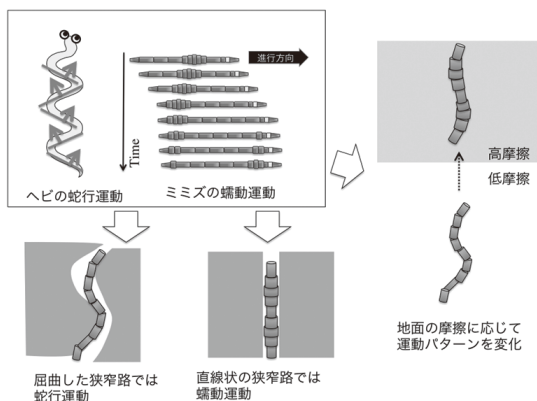


図1: 本研究の概要

【目的】

上記問題解決のため本研究では、環境に呼応した運動パターンを自律的かつリアルタイムに発現可能な索状ロボットを、世界に先駆けて開発する。具体的には、申請者の研究グループがこれまで提案してきた「手応え制御」という制御手法(※)を発展させることで、「直線状の狭窄路ではミミズ型の蠕動運動、屈曲した狭窄路ではヘビ型の蛇行運動を発現する」「地面の摩擦係数に応じて蠕動運動と蛇行運動が適切な寄与分で混在した運動パターンを発現する」(図1)などというように、環境に適合した運動パターンをロボット自ら発現することが可能な自律分散制御則を設計する。そして、伸縮と屈曲の自由度を有する索状ロボットを開発し、提案制御則が適切に機能することを実世界検証する。

(※) 手応え制御: 制御系の「意図」と環境から得られる「感覚情報」が整合するように制御指令を修正する自律分散制御方策

【独自性と意義】

これまでにも蛇行運動と蠕動運動の双方を発現可能な索状ロボットは開発されてきたが、運動パターンは操作者が中央集権的に選択しており、環境適応能力も不十分であった。本研究は、環境に呼応した運動パターンを自律的に発現可能な索状ロボットを実現しようとする、全世界的にも初の試みである。質的に異なる運動パターンを自己組織的に発現することで、ロボットの稼働環境は劇的に拡張されるはずである。

本研究で開発するロボットは、単に環境適応能力が優れているのみならず、その適応が「リアルタイムに」行われる点も意義深い。このリアルタイムな適応は、近年流行となっている学習を用いた適応アルゴリズムなどでは計算コストがかかるため実現不可能である。申請者の研究グループが以前に提案した「手応え制御」を発展させることで、初めて実現への道は切り拓かれる。

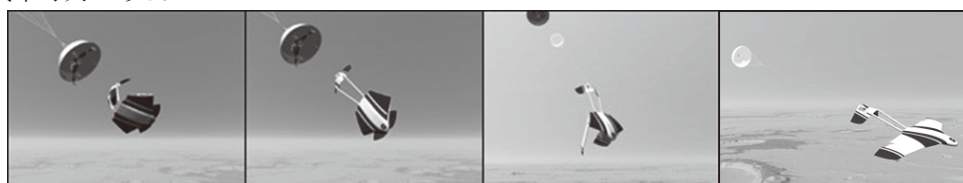
このように、本研究は「適応的な知能」を有するロボットを開発しようという野心的な試みであるが、その実現に向けてのロードマップはすでに描かれている。

【成果と発展性】

本研究が成功すれば、災害現場における探索・救助や月などの掘削、医療用・工業用内視鏡など、さまざまな方面への応用が可能であり、波及効果はきわめて大きい。また、ロボットの各体節に脚を追加し、伸縮・屈曲のみならず脚運動も可能にすることで、さらに稼働環境を拡張化できる、などといった発展性も有している。さらに、本研究は工学応用のみならず、生物の移動推進原理の理解にも資することができると期待される。本研究で開発するロボットはいわば高度な環境適応能力を有する「人工生命体」であり、その構築を通して生物が示す適応的な振る舞いの発現原理を構成論的に解き明かすことができるはずである。

①背景

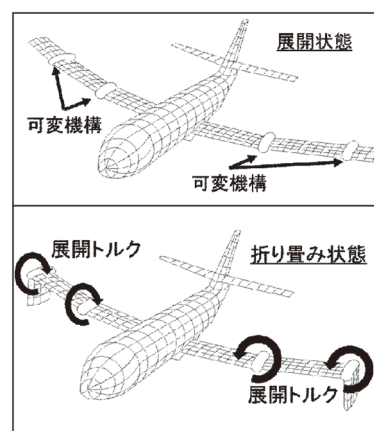
航空機の収納スペース節約や運動性能向上を目指して、飛行中に折り畳み展開する斬新な翼が提案された。2010年からJAXAが推し進めている航空機による火星探査計画では、展開翼実用化が期待されている。しかし、火星探査航空機の設計開発において、火星大気や火星重力の模擬は容易ではなく、コストや時間的にも展開挙動実験は難がある。そこで、流体構造連成を考慮した数値モデルに基づく展開挙動解析が重要になる。加えて、展開翼の早期実現のためには、数値モデルに基づく展開機構の制御系設計が必要不可欠である。



また、2016年からNASAは一般航空機への適用を視野に入れた展開翼研究を開始している。しかし、展開翼の数値モデル構築において、JAXAやNASAを含め世界的に制御の観点を取り入れた研究は存在しない。

②目的

「火星航空機用の展開翼開発のための変形挙動解析と制御系設計を同時に実現する数値モデルの創成」が本研究目的である。既存の翼にはありえなかった展開挙動を如何にモデル化し、制御するかが解決すべき課題である。本研究グループが過去数年進めてきた新手法「航空機翼の展開トルクのモデル化」を発展させ、展開翼挙動解析を行うための数値モデルを構築する。優れた数値モデルを実現するためのモデリング条件（モデルの非線形性、次元、制御性能など）とシミュレーション特性（解析精度・時間・適用限界など）を明らかにする。さらに、制御との融合を考慮した数値モデルの改良をねらう。最終的に本助成金を利用した実験装置で提案モデルの解析精度と制御性能を実験の面からも実証する。



③学術的独自性と意義

従来の展開翼の関連研究では、流体ばかり着目し、構造や制御に関する研究は皆無だった一方、本研究は制御の観点を取り入れて展開翼モデルを構築する点に世界的に類をみない学術的独自性がある。異分野工学領域である流体・構造・制御を融合して可変翼の早期実現に向かうという学問的にも学際的な研究である。大規模変形を伴う可変翼を有する航空機と空気流れの支配方程式研究に繋がる類を見ない学問的意義をもつ。展開翼という新技術実用化に向けた本研究は、ありとあらゆる航空機の性能向上につながる将来社会に必要な意義を有している。劇的な航空機性能向上に寄与するブレイクスルーを目指す新技術：展開翼の実現そのものに将来への先進性がある。航空宇宙業界に日本初の大きな革新を与えるる。

④期待される成果と発展性

展開翼が実用化されれば、火星探査のみならず、災害地の調査・無人機による深森林の探査、有人機の燃費向上が見込まれる。流体・構造・制御の設計開発が1つのモデルで一貫して行われるので、翼設計開発の時間とコストの大幅削減が期待できる。本研究は風力発電などの航空機以外の分野への発展性を有する。

①背景

磁性と超伝導の関係は1957年のV. L. Ginzburgの理論的考察以来、多くの関心を集めてきた。実験的には1970年代のChevrel化合物や1990年代の $\text{ReNi}_2\text{B}_2\text{C}$ が磁気的な秩序状態と超伝導が共存する系として研究されてきた。本研究で対象とするルテニウム系銅酸化物高温超伝導体は、磁性層(F)と超伝導層(S)が交互に積層した結晶構造を有しており、超伝導転移温度より高温で、基底状態で反強磁性、磁場中で強磁性的に振る舞う。前述したChevrel化合物や $\text{ReNi}_2\text{B}_2\text{C}$ との最大の違いは磁気的な秩序状態である強磁性と超伝導が同時に共存している点にある。これは強磁性を担う RuO_2 層と超伝導を担う CuO_2 面の間の相互作用が極めて弱いことを示唆しており、一方で結晶のc軸方向に電流を印加することで、固有接合特性に π 接合を始めとする特異な物性の発現が期待できる。

②目的

そこで、本研究の目的は**磁性と超伝導が共存し、結晶構造内部に超伝導層／（反）強磁性層／超伝導層が積層したSFS接合を含有する新奇固有ジョセフソン接合として期待されるルテニウム系銅酸化物高温超伝導体（組成式： $\text{RuSr}_2\text{Gd}_{1.4}\text{Ce}_{0.6}\text{Cu}_2\text{O}_{10}$, RuGd 1222）の「単結晶」を申請者が独自に開発してきた「High Temperature Self-Powder Compaction (HTSPC) 法」により合成することである。更に当該試料のc軸方向の臨界電流の温度依存性から、ルテニウム系銅酸化物高温超伝導体が「0- π 転移」を示すことを実験的に実証し、結晶構造に起因した「固有接合特性」を評価する。 π 接合は**磁場の印加なしに量子ビットとして働くため**、将来的には、RuGd1222系を用いることで**外部からのノイズの影響を受けにくい頑強な量子ビットの実現**が期待される。**

③学術的な独自性と意義

本研究を介してルテニウム系磁性超伝導体に関する研究を進めることによって、巨視的に単一の量子として扱える超伝導とスピンの秩序状態である（反）強磁性との間の相互作用に関する理解が深まることが期待できる。更に固有接合系は、ジョセフソン接合が結晶構造そのものであることから、原子レベルで周期的に配列した均一な特性を有する超伝導／（反）強磁性／超伝導(SFS)接合が直列に接続した超格子構造が実現できる。このような構造は単一のSFS接合に関する信号が接合数の分、増幅されるのみならず、隣接する接合間のコヒーレンスに起因した接合特性の発現が期待できる。近年、超伝導層と強磁性層の界面では中間層の状態を制御することによってスピン3重項の超伝導が発現するとする報告もあり、**ブロック層の強磁性に起因した新奇固有接合特性の開拓は興味深い研究テーマである**。

④期待される成果と発展性

ルテニウム系銅酸化物高温超伝導体は6元系の分解熔融型化合物で単結晶の育成が極めて難しいことが知られている。HTSPC法を発展させることで、「**独自の試料合成手法の確立**」というイニシアティブを取った上で超伝導と磁性の共存という極めて興味深い問題に取り組むことが出来る。また応用に目を向けると、超伝導体のジョセフソン接合は**量子コンピュータの構成要素の一つであるジョセフソンキュービットとして研究が進められている**。通常の超伝導体を用いたジョセフソンキュービットの場合、量子力学的な重ね合わせを実現するために磁場を印加する必要があるが、この磁場が重大な外部ノイズを与える要因となっている。しかし、RuGd1222系で期待される π 接合の場合、磁場の印加なしに量子力学的な重ね合わせ状態が実現するため、外部ノイズに対して安定な、頑強な量子ビットが実現する可能性を秘めている。

① **背景** 新技術の創生は材料の技術革新なくしては語れない。再生エネルギーの大量導入は直流-交流システムの連携によって実現されるため、同システムの基礎となる直流ケーブルやパワーモジュールの高信頼・高耐電圧・高寿命化に対する要求水準が高まっている。これらの電力機器の絶縁には高分子材料が用いられるが、直流システムでは絶縁体内に蓄積する空間電荷が絶縁劣化・破壊を引き起こし、従来の交流システムとは絶縁設計の考え方が一線を画している。直流絶縁への要求に応える絶縁材料を開発するため、高分子材料には種々の添加剤(ドーパント)が添加されている。添加剤によって材料の電気特性が大きく変化することが知られているものの、その要因は明らかになっていない。さらには、添加剤を含まない材料に関しても絶縁材料においてもっとも本質的な、材料中電荷輸送機構すらよくわかっていなかった。これは、現象が本質的に量子論的であるにも関わらず、それを定量的に扱う手段が存在しなかったことによる。計算機、計算アルゴリズムの進歩もあり、今世紀に入ると誘電絶縁分野においてもQM計算を用いた萌芽的な研究が始まった[1-4]が、非常に初歩的な研究にとどまっていた。そこで、申請者はQM計算を基本とする、その場しのぎのパラメータを一切用いないマルチスケールなモデリング方法を構築し、絶縁材料における電荷移動度を定量的に評価し始めた(図1)。

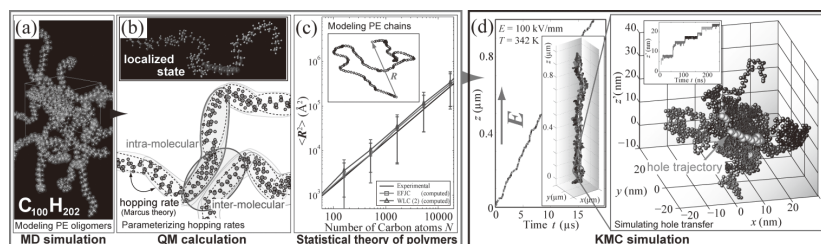


図1. 高分子アモルファス絶縁材料における電荷輸送のマルチスケールモデリング方法の一例 (MD: 分子動力学計算、QM: 量子化学計算、KMC: モンテカルロ計算)

② **目的** 以上を踏まえ、本研究ではQM計算を柱としたマルチスケールな計算科学的アプローチにより高分子絶縁材料への低分子のドーピングによる優れた電気特性発現要因を明らかにする。高分子絶縁材料の特徴的物理量は広い空間・エネルギー(時間)スケールにまたがるが、これらを実験によって包括的に評価することで計算モデルの妥当性を各階層について検証し、究極的には計算と実験を両輪とする高分子絶縁材料の開発プラットフォームを構築することを目的とする。

③ **学術的な独自性と意義** 申請者はQM計算の絶縁材料への適用の試みを発展させ、高分子非晶材料についても絶縁材料の要である電荷輸送特性の定量評価に成功しつつある。この時点ですでに世界的に前例が無いことであるが、その上、本研究ではこれまでの成果をさらに展開・発展し、ドーピングによる電気特性の変化要因のメカニズムに迫ろうとするもので、非常に挑戦的な課題であるとともに、高い学術的・工学的な価値を持つ。また種々の実験によって、計算方法の信頼性の評価を網羅的に行うことで、高分子絶縁材料の電気特性の定量評価(予測)に耐えうる高品位なマルチスケールモデリング方法を構築することを狙った本研究は極めて革新的である。

④ **期待される成果と発展性** 本研究は高分子絶縁材料に関して、「経験則や偶発的要素に頼る点の多かった総当たり攻撃的な従来型の材料開発手法」から「量子化学計算を柱とした計算科学的アプローチによる、理論的な材料特性の予測と実験による検証を両輪とする体系的な材料開発方法」へと転換させ、材料開発を加速するものである。申請者は、本研究成果は高機能高分子材料の開発を我が国の産学が主導して行うために必要不可欠であり、その成果は広く電力・半導体・材料分野等に還元されるものであると確信している。

[1] M. Meunier and N. Quirke, J. Chem. Phys., **113**, 369 (2000), [2] M. Unge, IEEE ICD, (DOI: 10.1109/ICD.2016.7547744) (2016), [3] T. Takada et al., IEEE Trans. DEI, 22, pp. 1240-1249 (2015), [4] F. Seiz et al., Chem. Phys. Lett., **664**, 143, (2016)

強誘電体HfO₂トンネル接合メモリの低電圧動作実証に向けた 原子レベルでの構造計算に基づく研究開発

研究者 東京大学生産技術研究所 准教授 小林 正 治

①背景 将来数兆個もの導入が予想されるIoTデバイスは複雑なセンサーネットワークを形成し膨大なセンシングデータを取得する。そのためIoTデバイスにおいては超低消費電力化が最も重要な性能指標となる。IoTデバイスは間欠動作で動作するためアクティブ率はMHz以下でも十分といえる。この場合CPUを構成するトランジスタのスイッチングによる消費電力ではなく、待機状態の大容量のメモリの消費電力が支配的になる。そのため待機中はスリープモードに入る必要があり、揮発メモリのデータは不揮発性メモリに保存しておかなければならない。したがって、低消費電力でかつ低コストな不揮発性メモリがIoTデバイスには不可欠となる。従来のフラッシュ・EEPROMは比較的消費電力が高く低消費電力IoTデバイスには最適とは言い難い。私達は低消費電力不揮発性メモリとして歴史の長い強誘電体メモリに改めて注目している。

従来の強誘電体メモリは低電圧・低消費電力という特徴をもつものの、基盤となるCMOS技術との相性がよくなくプロセスコストが高いことが問題であった。ところが最近CMOS技術で成熟したhigh-k材料であるHfO₂において強誘電性が発見され[1,2]、強誘電体メモリ応用のブレイクスルーと考えられている。メモリデバイスとしてはいくつかのアーキテクチャが考えられ、右図に特徴をまとめた。この中で私達は、強誘電体ナノ薄膜を金属電極で挟んだ構造をもつFTJ[3]が最も有力であると確信している。大容量・超低消費電力化・多様なアプリという点で高い潜在能力を有する。FTJはしかし後述するように非常にきめ細かな設計が必要であり、デバイス設計と材料開発の協力が極めて重要である。現在、実用可能な強誘電体HfO₂を用いたFTJについては実験結果があるものの[4]、3V以上の電圧が必要であり電流オンオフ比も10倍程度と低電圧・低消費電力動作デバイスへの実用からはほど遠く、詳細な設計が必要であるもののその研究は未開拓である。

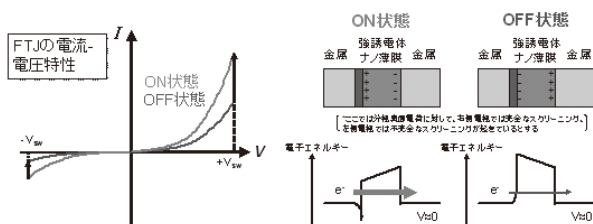
②研究の目的 本研究ではFTJメモリのデバイス開発と強誘電体HfO₂材料開発を結ぶための詳細なデバイスモデリングと設計を原子レベルの第一原理計算と解析モデルを用いて行う。電流オンオフ比100倍以上、サブ1V動作を目標として、具体的な設計指針を示すことで材料開発を促進すると共に、回路設計で必須となるコンパクトモデルを構築することで産業界での研究開発を促進することに貢献できる。

③学術的な独自性と意義 FTJの起源は今から45年ほど前に江崎玲於奈先生が発明されたPolar switchというデバイスに端を発する[5]。FTJではトンネル伝導が可能なほど薄い強誘電性薄膜を金属電極で挟むことでトンネル接合素子を構成し、分極反転によって抵抗率を変化させ不揮発性メモリとして利用する。このメモリがまだ実用化していない理由としては、これまで数nmの薄膜での強誘電性発現が難しかったこと、プロセスコストの高さ等が理由に挙げられる。私達はCMOSとの整合性を最重要視して強誘電性HfO₂ナノ薄膜での低電圧動作・低消費電力FTJ実用化を目指した設計指針を打ち立てコンパクトモデルを構築し、江崎先生の発明から45年来のデバイス実用化に向けた基礎技術を確立する。

④期待される成果と発展性 本研究では実用的な超低消費電力FTJの実現に向けて、デバイスモデリングに基づきFTJを構成する上部・下部電極、強誘電体薄膜、およびそれらの界面に関して実現すべき材料物性を明らかにし材料開発のための指針を提示する。また第一原理計算に基づきモデルを検証、回路設計に必要なコンパクトモデリングを作成し回路設計者に提供する。材料開発とデバイス・回路設計を結ぶ基礎技術をコミュニティに提供することを成果と考えている。FTJデバイス構造に関する新規性については特許取得を、モデリングの詳細については論文等対外発表を行う。

[1] J. Muller et al., Nano Lett., 12 4318 (2012), [2] T. Shimizu et al., APL 106, 112904 (2015), [3] Y. Tsymbal et al., Science, 313 181 (2006), [4] S. Fujii et al., VLSI Tech Symp. p.148 2016. [5] L. Esaki et al., IBM Tech. Discl. Bull, 13 2161 (1971)

FeRAM (1T1C)	FeFET (1T)	FTJ(1C1D)
ODRAM構造であり、最も実績がある △1T1C構造で面積コスト大 △書き換え速度が速く、書き換え耐久性・エネルギー効率が優れる △多値化が難しい	○1T構造で面積コスト小 ○非破壊読み出し ○多値化が可能 △強誘電ゲート絶縁層とチャンネルとの界面準位制御が難しい △高温プロセスに耐えることが要求される	◎クロスポイント構造で面積コストが非常に小さい ○非破壊読み出し ○多値化が可能 ○低動作電圧・低消費電力 ○セルコンプライアンス ○高非線形性・低スリーク電流 ○FeRAMと比べて約2倍の書き換え速度



① 背景

有機発光体は、外部から供給された光や電子エネルギーを「蛍光」や「燐光」として発光する。蛍光は、光の吸収に基づく見た目の色調変化と比べて100倍以上の高感度検出が可能であるため、蛍光バイオプローブを始めとする幅広い分野においてセンサー技術に応用されている。一方、先進諸国における社会基盤施設や生活基盤施設の老朽化は、持続可能な社会の実現を目指す上で大きな課題となっている。劣化構造物に生じた亀裂に大きな局所圧力が加わると破壊が起こるため、損壊や崩落による事故を未然に防ぐためには、亀裂部の圧力変化から破壊の予兆を検出する劣化診断技術を向上させることが急務となっている。しかし、気体や液体の圧力を測定する圧力センサーは広く用いられているが、固体材料に加わる局所圧力の検出は困難である。

② 目的

本研究では、高感度・高精密な劣化診断の実現に向けて、「亀裂部位に浸透し、圧力に応じて段階的に蛍光色に変化する圧力センサー」を開発することを目的とする。最近申請者は、薬さじで“こする”などの機械的刺激を加えると固体蛍光色が段階的に変化する有機発光体を創製することに成功している（図1）。また、粉末試料の可逆的なゲル化に伴い、内包した分子を放出・回収可能な有機ゲルを創製することにも成功している。これらの研究を基盤として、本研究では圧力に応答して段階的に蛍光色に変化する有機ゲルを創製する。

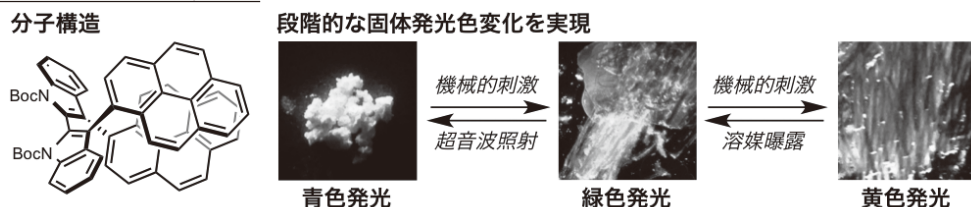


図1. 機械的刺激に応答した段階的固体発光色変化

③ 学術的な独自性と意義

圧迫や摩擦などの機械的な刺激に応答して固体状態の発光色が可逆的に変化する現象は「メカノクロミック発光 (MCL: Mechanochromic Luminescence)」と呼ばれる。有機発光体のMCLに関する研究報告は近年増加しているが、薬さじでこするといったMPaオーダー程度の機械的刺激で発光色が段階的に変化する例は極めて限られており、学術的・実用的に興味深い。数GPaの超高压条件において蛍光色が連続的に変化する例は知られているが、コンクリート材料等の破壊はMPaオーダーで起こるため劣化診断には不向きである。また、MCLを示す有機発光体としては、粉末以外にも結晶や高分子フィルム、熱可塑性樹脂、液晶色素の例が知られているが、有機ゲルに関する研究は例がない。これは、「MCLを示す有機発光体」と「有機ゲル」の両研究に携わってきた申請者独自の着想に基づくものであり、実現することで学術的に新規の知見を与える。

④ 期待される成果と発展性

機械的刺激に応答する粉末状の有機発光体から流動性のある有機ゲルを創製することで、亀裂部に浸透する圧力センサーとして機能することが期待できる。本研究により劣化診断技術を確立すれば、劣化要因の解明や劣化抑制に関する研究へも波及効果を及ぼす。また、圧力に応答する有機ゲルは、構造物の劣化診断以外の他分野へも応用可能な新素材として有用である。例えば、生体適合性の高いゲルは生体組織の圧力を検知するバイオセンサー、印刷用インクと混合すれば圧力変化を利用する偽造防止セキュリティインクに応用できる。

①研究の背景

省エネ・低炭素社会の実現のために、電力変換に用いられるパワーデバイスの高性能化が求められている。半導体デバイス、特に大電力を扱うパワーデバイスでは結晶中の欠陥（転位、積層欠陥）が、デバイスの特性や信頼性、歩留まりに影響を与える。また、転位の種類によってデバイスへの影響が異なるため転位の種類や位置を正確に評価できる技術が必要となる。

デバイスの高性能化・歩留まり向上には全数検査を行うことが理想的である。このため、高分解能で広い面積に対して、非破壊かつ短時間でデバイス製造ラインに組み込むことができる欠陥評価技術が必要となる。

偏光顕微鏡を用いた複屈折イメージングは、応力によって複屈折が変化する光弾性効果により、応力分布を可視化できる方法であり、原理的には転位の向きやバーガースベクトルを決定することが可能である。ところが、偏光方向や光の入射方向によって像が大きく変化するため、その解釈が複雑である。

②研究の目的

高品質結晶成長の研究開発を加速するためには、ラボレベルにおいて精密に欠陥を評価することが可能な新しい方法が必要であるそこで、本研究では、偏光顕微鏡の複屈折像から、半導体結晶中の転位を自動的に判別するために、下記技術・方法論を確立する。

- ・転位の周りのひずみ分布の複屈折像をシミュレーション
- ・深層学習により実験像から転位を自動識別

③学術的な独自性と意義

深層学習の材料科学への応用は、材料設計のためのマテリアルインフォマティクスが主流であり、本研究のように、材料計測に用いる研究はこれまでにない。画像識別の深層学習には、一般的には1,000個以上のデータが必要であり、データ数が多いほど予測の精度が上がる。実験結果を学習データとして用いる場合、複屈折像の取得とX線トポグラフィなどほかの方法による転位の観察を1,000回以上行う必要があり、現実的ではない。そこで本研究では複屈折像のシミュレーションを行い、シミュレーション像を学習することで、複屈折像の特徴を抽出し、実験像の識別を行う。精密なシミュレーション技術が確立すれば、学習データを1,000個以上準備することは容易である。また、計算機の性能と時間の許す限り学習データを増すことで、さらに予測精度を向上させることも可能である。

④期待される成果と発展性

本研究では、SiCを一例に取り上げるが、多くの半導体結晶にも拡張可能な方法であり、同様の方法によりSi、GaN、ダイヤモンドの欠陥自動識別も行うことができる。複屈折イメージングは、従来の欠陥評価技術と比べ、非破壊で短時間の測定が可能であり、製造ラインにも組み込むことができる。ここに欠陥自動識別システムが加わることで、各種半導体材料の研究開発に大きく貢献することができる。

また、本研究では複屈折イメージングに着目するが、高精度に像やスペクトルを計算することができる計測方法であれば、原理的には同様の方法によってより多くの情報を計測結果から抽出することができる。蛍光X線分析、透過電子顕微鏡法、電子エネルギー損失分光法、核磁気共鳴法など、多くの計測技術に応用が可能な技術である。

有機薄膜上への半導体性カーボンナノチューブ製膜法の開発とフレキシブルトランジスタへの展開

研究者 名古屋大学物質科学国際研究センター 助教 大 町 遼

① 背景(内外における当該分野の動向)

カーボンナノチューブ(CNT)は平面のグラフェンシートを丸めて円筒(チューブ)状にした構造を有している。その丸め方により金属型もしくは半導体型の特性を示すものの、通常の製造法ではランダムに合成され金属型と半導体型の混合物としてしか得ることができない。薄膜トランジスタ(TFT)の材料として応用する上では、この半導体型CNTを高い純度で取り出す必要がある。この問題を解決する上で、申請者らは半導体型CNTを大量に分離する手法を確立しており、実際にTFTとして高い性能で動作することを実証している(特願2017-066945)。ここではCNT薄膜をシリコン基板上で製膜することでTFTを作製したが、CNTの長所の一つである機械的強度と構造柔軟性を活かす上では、フレキシブル基板、すなわち有機高分子膜上への製膜が求められている。

シリコン基板上へのCNT薄膜形成技術は確立されている一方で、有機高分子膜上への形成技術は未だに決定版が存在しない。これまでに報告されている技術の例として、メンブレン転写法(*Nat. Commun.* 2013, 4:2302, *ACS Nano*, 2014, 8, 328)やエアロゾルデポジション法(*Appl. Phys. Lett.* 2015, 107, 243301)が挙げられる。前者は合成したままの未分離のCNTを用いることしかできない。半導体純度の低い未分離のCNTでは金属型CNTが電極間を橋渡し(短絡)する確率が高く、素子間バラツキの主原因の一つとなってしまう。また、CNTの密度や膜厚の制御についてはいずれの手法でも難しく、特に大面積に渡ってムラなく製膜すること極めて困難である。TFTの実用化に向けては、広い面積に数多く配置されたTFT素子間のバラツキをできるかぎり小さくする必要があり、有機高分子膜上へ如何に均質にCNT薄膜を形成するかが鍵である。

② 目的(課題設定とねらい)

本研究計画では、まず有機高分子膜の化学修飾を利用した半導体型CNT薄膜形成技術の開発(課題1)を目的とする。有機高分子膜の表面にCNTとの相互作用する官能基を導入することで、表面エネルギーの差を利用しCNTの膜厚の制御を試みる(図1a)。化学修飾法として、具体的には以下の2つのアプローチを検討する。1つ目としてあらかじめ側鎖に官能基を導入した高分子膜を作製し、その表面に有機高分子膜へのCNT薄膜形成する手法ある。2つ目は有機高分子膜にあとから官能基を導入する手法である。申請者らの開発した分離法で得られた半導体型CNTの高純度溶液を用いて、実際に薄膜形成に有効な塗布プロセスの検討を行う。

課題1で高密度なかつ均質なCNT薄膜が形成でき次第、フレキシブルCNT-TFTの作製と評価(課題2)を行う(図1b)。ここで、化学修飾した有機高分子膜については、ゲート絶縁層としてそのまま利用することを第一に探索する。想定通りに行かない場合には、有機高分子膜の易溶性を利用することで、任意のゲート絶縁層にCNT薄膜を転写するプロセスについても検討を予定している。特性評価を課題1へとフィードバックすることで最適化し、最終的にはシリコン基板上のCNT-TFTと同等以上の動作特性を目指す。

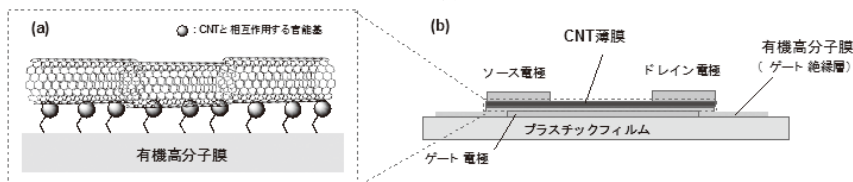


図1. (a) 化学修飾した有機高分子膜とCNT薄膜の模式図 (b) 想定しているフレキシブルCNT-TFTの模式図

③ 学術的な独自性と意義

本研究の独創性は、有機高分子膜自身を改質する点にある。これまでのCNT-TFT研究の多くは、既存の半導体や有機エレクトロニクスに用いられてきた技術などの組み合わせを試すことで特性向上を目指す研究がほとんどであり、素材開発まで立ち戻る例はごく一部に限られていた。しかし前述のようにCNT-TFTの特性向上やフレキシブル化を行う上では、これまでのプロセスを刷新するような素材開発が必須である。申請者はこれまでCNTの修飾や分子内包などをはじめとした化学的な研究に取り組んでおり、課題として設定したCNTと相互作用できる有機高分子膜の合成や改質を行う上で必要な有機合成化学の知識やスキルを有している。従来にはなかった分子科学的なアプローチにより、CNT-TFTの特性向上や機能の付与が達成できればその意義は極めて大きい。

④ 期待される成果と発展性

本研究計画の遂行により、従来にはなかった高性能なフレキシブルCNT-TFTが実現できる。近年研究が進んでいるヒステリシスフリー封止層と組み合わせることで、より実用的なCNT-TFTへの発展が見込まれる。またそれだけにとどまらず、高分子設計によるCNTの膜厚制御は、今後のCNTの膜形成技術の新たな指針となる。CNT薄膜の転写技術の開発も含めて、CNT薄膜に対するニーズは極めて大きい。有機薄膜太陽電池の輸送層としての利用や、今回はターゲットとしないものの金属型CNT薄膜の電極材料応用など、その発展性は著しいものと期待できる。

研究者 京都大学国際高等教育院附属データ科学イノベーション教育研究センター 特定講師 木村 真之

① 背景(内外における当該分野の動向)

非線形局在振動とは、振動子が多数結合した結合振動子において、エネルギーが空間的に局在する振動現象(図1参照)のことで、1988年に理論的に存在が言われ、様々な数値モデルで研究が積み重ねられてきた。近年では、より現実 に即したモデルでの研究報告が多くなされており、例えばロシアを中心とした研究グループは、層構造を持つバルク結晶や低次元材料において非線形局在振動が存在する可能性を示している。国内では、申請者も含めた数名の研究者が、主に数理的な側面から探求を行っている。最近では、フォノンエンジニアリングにおけるナノスケールでの熱輸送に移動型の非線形局在振動(移動型局在振動、図2参照)を応用しようという動きが広まり、その性質に関心が集まっている。移動型局在振動は、まるで粒子のように系を伝搬し、運動エネルギーを運ぶことができるため、熱輸送のキャリアとして利用できる可能性がある。しかしながら、その性質、例えば移動速度や寿命、ノイズ耐性などは、その解析の困難さからほとんどが未解明である。

② 目的(課題設定とねらい)

移動型局在振動の解析が困難な理由の1つに、その数値的生成法が確立されていない点が挙げられる。これまで、速度の遅い移動型局在振動については、静止型局在振動を摂動する経験的な手法が用いられてきたが、速い移動型局在振動を生成しようとすると、短時間で崩壊してしまう問題があった。そこで、本研究課題では、速い移動型局在振動の生成手法を確立し、未解明な性質を解明することを狙いとする。具体的には、以下の3点を本研究の主目的とする。

(1) 速い移動型局在振動の近似関数の構成。(2) 移動型局在振動の移動速度と寿命の系パラメータ依存性の解明。(3) 移動型局在振動の寿命と周囲温度との関係解明。

③ 学術的な独自性と意義

移動型局在振動を遅いものと速いものに分けて、近似関数を用いて生成手法を検討する点に独自性がある。また、移動型局在振動に対して、固有速度や寿命を導入しているのも本研究の特色である。本研究で提案する生成法が確立できれば、これまでほとんど解析されてこなかった速い移動型局在振動研究の端緒が開かれる意義がある。

④ 期待される成果と発展性

速い移動型局在振動の生成法確立により、移動型局在振動の性質、すなわち移動速度の上限や寿命、ノイズ耐性が明らかになる。また、これまでの研究成果と合わせて、静止型局在振動から速い移動型局在振動までの統一的な力学的理解が得られる。また、本成果をさらに発展させれば、局在振動が移動しやすい物質の探求や設計が可能になると考えられる。したがって、本成果はフォノンエンジニアリングに新たな視点での熱制御手法を提案できると期待される。

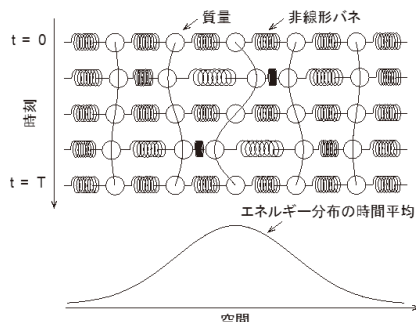


図1 エネルギー局在振動

移動型局在振動は、

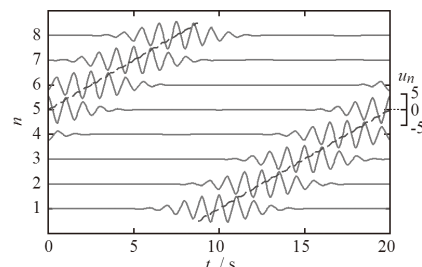


図2 移動型局在振動

①背景

近年、圧縮センシングはデータ取得速度を向上させる大きな可能性を示してきた[1]。条件を満たせば計測データから未知データの復元が可能であることから、データ損失が非常に低いか、あるいは全くなしに、少ない計測点数で効率的に画像を再構成することができる。この手法は、いくつかのイメージング手法に応用されその有効性が実証されている。たとえば、この手法により、1ピクセルカメラを使用し、実際の画像画素数よりも大幅に少ない計測点数で画像を再構成することが可能である[2]。

しかし、圧縮センシングを用いるためには既知パターンを観察対象に投影する必要がある。したがって、従来の手法では、レーザーを走査し焦点での計測を用いるレーザー走査型顕微鏡（例えば、共焦点顕微鏡法または二光子蛍光顕微鏡法）のような顕微鏡法に対して既知パターンの適用ができないことから、圧縮センシングを適用することができなかった。

我々は、最近、イメージングの点広がり関数と圧縮アルゴリズムを組み合わせた新しい圧縮センシングの方法を開発した。この手法により、レーザー走査型顕微鏡法への圧縮センシング技術の適用が可能となり、我々は、共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡およびラマンイメージング法において10%の観測データから画像を復元できることを実証した。また、この手法では、ハードウェアの変更を必要としないことから[3]、市販のレーザー走査型顕微鏡においても圧縮センシング技術を用いることが可能である。

②目的

本課題の目的は、我々が新たに開発した圧縮センシング手法を非線形イメージングのような先端的顕微鏡技術に応用することである。また、我々のデータ取得手法の効率をさらに高めるための高度化を行う。従来のラスタ走査代わる走査方法を導入することでさらに効率的な計測手法を開発する。

③学術的な独自性と意義

より少ない取得データ点数での計測方法の開発は、応用を考える上で特に重要である。取得データ点数を減らすことで、計測速度向上と蛍光観察における光退色を減少させることが可能である。この計測の高速化により、生体試料における動的観察および三次元観察が可能となる。

④期待される成果と発展性

本課題によって、非線形イメージング、蛍光顕微鏡、およびSTEDといったレーザー走査型顕微鏡法における、より効率的なデータ取得方法の開発が期待できる。さらに、本課題では、既存の市販機器に応用することを前提とした開発を行うため、学術的研究に加えて産業に対しても貢献することが期待される。

参考文献

- [1] E. J. Candès, T. Tao, "Decoding by linear programming," IEEE Trans. Inform. Theory 51(12), pp. 4203-4215 (2005).
- [2] M. F. Duarte, M. A. Davenport, et al., "Single-Pixel Imaging via Compressive Sampling," IEEE Signal Proc Mag 25(2), pp. 83-91 (2008).
- [3] N. Pavillon, N.I. Smith, "Compressed sensing laser scanning microscopy," Opt. Express 24(26), pp. 30038-30052 (2016).

① 背景（内外における当該分野の動向）

シリコン（Si）を基板とした電子デバイスの性能向上が限界に達しつつある今日、従来とは異なる材料を導入する試みが世界レベルで進んでいる。ゲルマニウム（Ge）は、Siに代わる次世代半導体デバイスの基板である。半導体デバイスの性能は、半導体表面のナノレベル領域での微細な粗さによって決まる。しかし今日、Siウエハ表面を凌ぐ平坦性が実現できるGe表面の研磨法は皆無である。応募者はこれまでに、酸素還元触媒である白金（Pt）を用いた独自の平滑化に関する研究を遂行してきた（申請4頁図5参照）。そして、Siウエハと同等の表面粗さ（Root Mean Square roughness (RMS)：0.2 nm以下）が実現できる見通しを得た。

一方で応募者は、提案した手法に大きな問題を見出した。それは、仕上げ表面へのPt汚染の残留である。Pt汚染は通常、王水（塩酸・硝酸混合液）等の強い酸化力を持つ、環境負荷の大きい酸性溶液により除去する。しかし、Ge表面は薬液に対する耐性が低く、得られる平坦表面を損ねずにPt汚染だけを除去することは不可能である。また、Ptは希少かつ高価であり、Ptに替わる触媒材料の探索が急務である。応募者は、炭素（C）原子のみから成るグラフェンが (1) Ptと似た触媒作用を示し、なおかつ、(2) ドライ雰囲気下での紫外線／オゾン洗浄により固体表面上から容易に除去できる、という二つの特徴を持つことに着目した。そして、金属元素を含まない触媒工具（以下、“化学工具”と呼ぶ）のアイデアを着想した。既に、水中でのグラフェン触媒を援用したGe表面の選択エッチングについて、基礎的な特性を把握している（申請3頁 図1参照）。

② 目的（課題設定とねらい）

Ge表面を短時間で平滑化できる、実用的な化学工具の具現化には、その構成部材となるグラフェン触媒の性能向上が必須である。現在、水中でグラフェン触媒と接触したGe表面の加工速度は、数nm/hourに留まっている。本申請では、これを二桁（数百nm/hour）以上に向上することを目指すと共に、これを搭載した化学工具を製作する。本研究期間内に実施する項目を以下に示す。

1. 空孔密度やN原子のドーピング位置・密度の制御に基づく、グラフェン構造の最適化
2. 水中に溶存する酸素ガスの高濃度化等を利用した、エッチング条件の探索
3. 化学工具の試作と性能評価

③ 学術的な独自性と意義

1996年にノーベル化学賞を授与されたハロルド・クロトー博士は、『19世紀は鉄、20世紀はシリコン（Si）の世紀であり、21世紀はカーボン（C）の世紀になる』と語った。Cの多彩な同素体の中でもグラフェンは、電子工学・光学・電池などの幅広い技術分野で、次世代の材料として期待されている。応募者は、グラフェンが物質の表面を加工する“化学ツール”として機能する可能性を世界に先駆けて見出した。このアイデアを発展させ、我が国発のグラフェン応用技術を発信することは、大きなチャレンジと意義を有すると考える。

④ 期待される成果と発展性

本研究により、他に例を見ない化学工具が具現化できる。応募者が提案する、この化学工具を用いた表面平坦化法は、金属除去のための高濃度酸薬液による後洗浄を必要とせず、環境負荷の小さい、次世代型の生産工学の扉を開くと期待される。また本手法は、ガリウムヒ素や酸化亜鉛等の多くの半導体材料にも適用できるため、波及効果が極めて高く、電子デバイス分野に強い日本の復活に繋がると予想される。

メンブレン型応力センサーを用いた 超微量溶液試料テラヘルツ電子スピン共鳴分光法の開発

研究者 神戸大学大学院理学研究科 准教授 大 道 英 二

【背景】申請者はこれまでマイクロカンチレバーを用いたテラヘルツ領域における電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance: ESR) 測定法の開発を行ってきた。テラヘルツ領域でESR測定を行うことにより、高いスペクトル分解能が得られるという利点がある。また、大きさが100 μm 程度の大きさの微小なカンチレバー（片持ち梁）を用いることで、極めて微弱なESR信号を検出することができる。申請者はこのマイクロカンチレバーを用いて、わずか1 μg 以下の超微小試料について0.1-1.1 THzにわたる広い周波数領域でのESR分光測定を可能にしてきた。この成果は関連する研究分野で高い評価を受けており、この業績に対し複数の受賞を受けている。

しかし、その一方で大きさが100 μm 程度しかないカンチレバーの場合、カンチレバー上に搭載できる試料が粉末試料や単結晶試料のような固体試料に限られているという欠点が挙げられる。実際、生物関連分野の研究者からは溶液試料の測定を希望する声を多数うけており、微量溶液試料にも適用できる新しいテラヘルツESR測定手法の必要性を強く感じていた。

【目的】本研究では、この問題を解決するため市販のメンブレン型応力センサーに着目し、超微量溶液試料のテラヘルツESR測定を可能にする新しい測定法の開発を行う。もともと匂いセンサーとして開発されたこのデバイスは溶液試料の搭載に適したメンブレン構造をしていることに加え、 piezo抵抗検出による簡便かつ高感度な信号検出が可能である。そこで、本研究では従来のカンチレバーによるテラヘルツESR測定法と同等以上の性能を示すため、溶液試料体積にして10-100 nLの超微量試料に対し、テラヘルツ領域におけるESR信号の検出を目指す。

溶液試料では磁気異方性がないため、ESR吸収に伴う磁化の変化を検出するためにファラデー法と呼ばれる手法を用いる。この方法では、試料空間に意図的に磁場勾配を導入し、試料に働く磁場勾配力の変化としてESR信号の検出を行う。まずは、標準的な有機ラジカルの溶液ESR信号検出を通じて測定技術を確認し、最終的には実際の生体関連物質への応用を目指す。具体的には、鉄イオンを含む金属タンパク質の一種であるミオグロビンの溶液試料のテラヘルツESR信号検出を目指す。

【独自性と意義】市販されているメンブレン（膜）型応力センサー（Nanoworld社）を用いることで、超微量溶液試料のテラヘルツESR測定を可能にする点が最も独自性の高い点である。しかも、抵抗測定でESR信号が検出できることから、コンパクトで誰にでも簡単に使える装置である、という点が大きな利点に挙げられる。これまでテラヘルツESR測定には不慣れなユーザーでも簡単に微量溶液試料の測定が測定が行えるようになれば、関連する研究分野において強いインパクトを与えることが可能である。

【成果と発展性】金属タンパク質など複雑なESR信号を示す系ではテラヘルツ波を用いた高分解能ESR測定が極めて有用な解析手法である。本研究では、従来の測定法に比べ1/100程度の超微量溶液試料の測定の実現を目指す。本研究課題により、特にミオグロビンなどの金属タンパク質における機能発現メカニズムの理解に向けた成果が得られることが期待される。すなわち、金属タンパク質の活性中心である金属イオンのテラヘルツESR測定は重要な分析手法の一つであるが、これまで感度不足が理由でその応用は限定的であった。本課題により、超微量溶液試料のテラヘルツESR測定手法が確立されれば、より多くのユーザーに採用されることが期待される。また、抵抗測定で簡便に測定が行えることから、将来的には市販の全自動物理測定システム（例えば、Quantum Design社のPPMSなど）に組み込み、ルーチン的なテラヘルツESR測定法への発展が期待できる。

【背景】

1993年にD. Gatteschiらによって磁性体分野に新風を巻き起こす重要な成果が発表された。単一分子であたかも強磁性体のような履歴現象を示す「単分子磁石」の発見である【図1 a、*Nature*, **365**, 141 (1993)】。この単分子磁石は一軸性の磁気異方性を持った多核金属クラスター錯体から構成されており、逆方向のスピンの状態間にエネルギー障壁が存在する【図1 b、対称二極小ポテンシャル】。これにより、エネルギー障壁よりも十分に低い温度（ブロッキング温度）以下では磁化の反転に磁場が必要となる為、磁気ヒステリシスが出現する【*Nature*, **383**, 145 (1996)】。この単分子磁石が発表されて以降、新たな単分子磁石の探査や物性、応用に向けて、理論・実験の両面から破竹の勢いで研究が進められ、当初の発見者はノーベル賞候補者にも選出されている。しかし、これを誘電体に適応させた単一分子で強誘電体的な性質を示す「単分子強誘電体」に関しては未だ報告されておらず、設計指針も示されていない状況にある。そこで、本研究では単分子磁石のエネルギー構造をベースに、究極の強誘電体である「単分子強誘電体」の開発を目指す。

【目的】

「単分子強誘電体」の開発には、カプセル状の形体を有するPreyssler型ポリオキシメタレート分子【以降、POM分子とする】を用いる。このPOM分子の内部には、エネルギー障壁によって隔てられた結晶学的に等価な2箇所のイオン安定サイトがあり、そこに1つの金属イオンが格納されている【図1 c】。最近になって申請者は、POM分子の内部に単分子磁石と同様のイオン位置の対称二極小ポテンシャル構造が存在していることを突き止め【図1 d】、単一分子で強誘電体的な振る舞いを示す結果を得た。そこで本研究では、この分子をベースに「単分子強誘電体」の新たな特性を見出し、デバイス展開への足掛かりを得ることを目的とする。

【学術的な独創性と意義】

- ・ 一般的な強誘電体は、多原子あるは多分子間の相互作用に基づく協同効果や協奏機能によって強誘電性が発現する為、微小化によって強誘電性が失われる。この様な背景の中、申請者は世界に先駆けて「単分子強誘電体」の開発に成功した点で新規性があり、革新的な結果を既に得ている。
- ・ これまでに開発された単分子磁石は、次世代の超高密度メモリや高速駆動トランジスタだけでなく、量子コンピュータなどへの応用も期待されている。しかし、これまでに開発された単分子磁石のブロッキング温度は3～50 K程度である為、実用化に適していない。一方、本研究で提案する「単分子強誘電体」のブロッキング温度は、予備実験から160 K程度と見積もられており、デバイス展開を目指した際に実用性が高いという点で重要であり、学術的にも意義がある。

【期待される成果と発展性】

本研究を達成できれば、世界に先駆けて「単分子強誘電体」の性質を発信することが可能になり、誘電体研究のイニシアチブをとることができる。また、本研究で開発された「単分子強誘電体」はナノレベルでのメモリや赤外線センサー、piezoelectronic素子、actuatorsなどへの応用が期待されるのみならず、強誘電体ゲートトランジスタや、光電スイッチング素子などの要素材料としての活用が見込まれ、有機エレクトロニクス分野やナノエレクトロニクス分野に革新をもたらすものと考えられる。

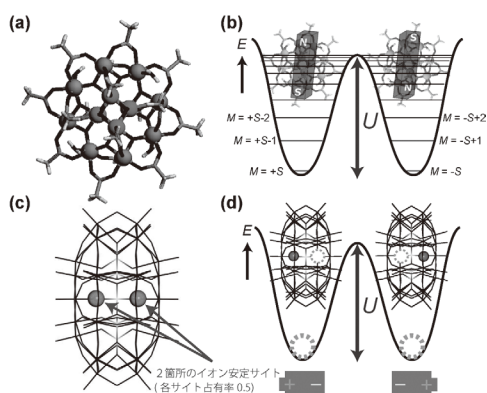


図1. (a)代表的な単分子磁石であるMn錯体の構造。(b)対称二極小ポテンシャル構造。(c)2箇所のイオン安定サイトを有するPreyssler型POMの構造。(d)2箇所のイオン安定サイトに起因する二極小ポテンシャル構造。

①**背景**：近年，医療や環境分析において，少量の試薬から対象の物質を検出，評価するために，Micro Total Analysis Systems (μ TAS)と呼ばれる分野が広く研究されている。 μ TASにおいて，特定の分子のみを捕捉し，分離するために，生体分子モータであるキネシンと細胞骨格の微小管に着目した方法が提案されている。キネシンは，アデノシン三リン酸（ATP）を加水分解することによって得られるエネルギーを利用して，微小管上を歩くように移動し，生体内における物質輸送を担っている。この運動系を生体外で応用する方法として，グライディングアッセイと呼ばれる運動系が提案されている。この運動系の課題点として，高速で輸送するためには微小管の移動速度を制御する技術が必要となる点，および所望の領域へ輸送するためには不規則な微小管の移動方向を制御する技術が求められる点が挙げられる。これまでに速度および方向制御に関する研究は個別に行われてきたが，それらの集積化および微小管による分子輸送系を融合し，システムとしての有用性を示した例は報告されていない。

②**目的**：本研究は，速度および方向制御技術の一つの基板上に集積化するとともに，微小管への分子結合系を融合することによって，迅速な分子輸送および収集を実現することが目的である。狙いとしては，対象分子を捕捉した微小管を約2倍の移動速度で目的の領域に誘導し，これまでの方法に比べて短時間で効率良く微小管を収集するためのシステムを構築することである。図1に示すように，(a)複合材料の光熱効果による速度制御，(b)電界による移動方向制御，(c)マイクロ構造による収集，(d)DNAの相補的結合を用いた分子輸送システムの構築，の4点を課題として設定し，研究期間内に解決方策を導出する。

③**学術的な独自性と意義**：本研究は，微小管運動の速度および方向制御の機構の一つのデバイス上に集積化した点に独自性がある。また，上記の制御機構の集積化に加えて，分子結合系を用いて効率的な輸送システムを構築する発想は，他に例をみない独創的な点である。本研究の意義はキネシン－微小管の運動系による新たな輸送システムの提案に加え，分子スケールの輸送・分離を必要とする μ TAS分野への発展性を示せる点にある。

④**期待される成果と発展性**：本研究で提案する輸送システムを確立し，応用することで，医療や化学をはじめ，様々な分野で極少量の試料から目的の物質を検出するツールとして活用できると考える。研究期間内では，上記システムの有用性の実証を目的とするが，期間後においては遺伝子解析や腫瘍マーカー検出の精度向上を目的としたシステムを開発することで，国民生活の質を向上させる基盤技術としての発展性が期待できる。

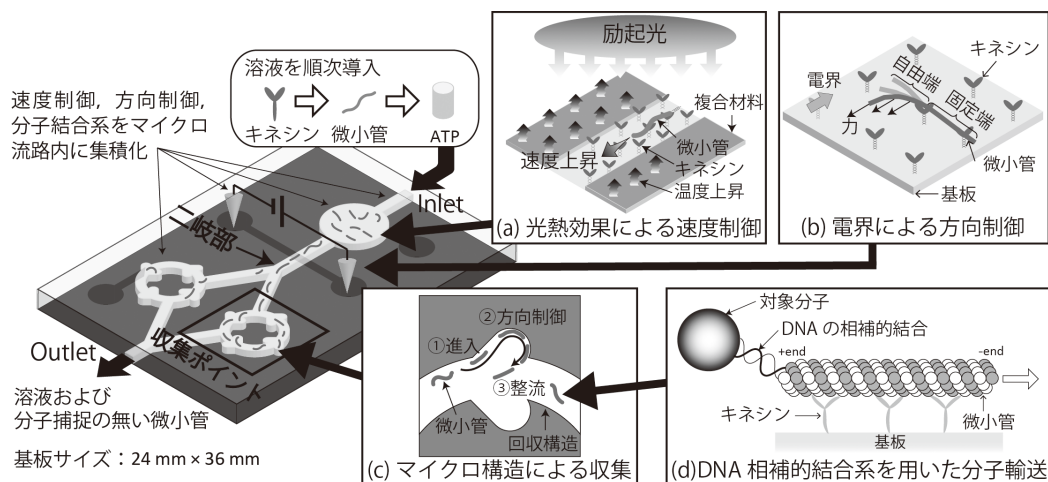


図1 集積型分子輸送システムの概念図

研究背景

白色LEDやカラーテレビの波長変換材として用いられる蛍光材料には、希土類元素がキーエレメントとして使用される。しかし、希土類元素は資源としての遍在性が高く、資源供給の面で高いリスクがある。一方で、遷移金属は資源的な遍在性が低く、希土類元素とは異なり資源供給に関するリスクは低い。そのため、遷移金属を用いた蛍光体材料が期待され、その開発が強く求められている。一部の遷移金属イオンは、周囲の陰イオンとの間で電荷移動遷移（CT遷移：遷移金属と周囲の陰イオンとの間の電子遷移）を示す。その吸収エネルギーは遷移金属種およびその周辺環境（配位数や陰イオン種等）に依存する。また、吸収したエネルギーを放出する際に、高効率な蛍光を示すことが知られ、とりわけ、バナジウム（V）からなるバナジウム酸塩は、紫外線を強く吸収し、高効率な発光を示す材料が見出されている。これらのバナジウム酸塩はバナジウムの最安定配位である4配位（ $[\text{VO}_4]^{3-}$ ）を持ち、蛍光の報告があるバナジウム酸塩のほとんどが $[\text{VO}_4]^{3-}$ を持つが、紫外光にのみ鋭敏で、可視光は全く吸収することができない。このままでは、可視光吸収が求められる白色LEDをはじめとした最新のデバイス、さらにはレーザーダイオードを用いた白色LEDなどの次世代の光デバイスへの応用ができない。つまり、過去の技術として埋もれてしまう。一方で、 $[\text{VO}_5]^{5-}$ や $[\text{VO}_6]^{7-}$ のような、5および6配位のバナジウム酸ユニットを持つ材料の蛍光体開発は、これまで行われていなかった。申請者は近年、 $[\text{VO}_5]^{5-}$ ユニットを持つ材料が可視光を吸収し、弱いながらも発光を示す、極めて珍しい材料を発見した。つまりこの発見は、配位環境を高度に制御したバナジウム酸ユニットを持つバナジウム酸塩蛍光体は、今後の次世代デバイスへの応用の可能性を秘めているといえる。

② 研究目的

本研究では、 $[\text{VO}_5]^{5-}$ や $[\text{VO}_6]^{7-}$ のような、バナジウムの高い配位環境を持つユニットにおけるCT遷移に注目した、新たな蛍光材料開発を目的とする。しかしながら、高い配位数を持つバナジウムの配位多面体を有する化合物自体がほとんど知られておらず、新しい化合物を発見する必要がある。そのため、本研究では、新規化合物の探索から始める。バナジウムは比較的小さいイオンであるため、それらよりも大きなイオンが結晶中にあると、大きいイオンの隙間に存在してしまうため低配位数（ $[\text{VO}_4]^{3-}$ ）を取る。そこで、硫黄や炭素といったバナジウムよりも小さなイオンからなる化学組成においては、相対的に大きなバナジウムは高い配位数を取りやすいと考えられる。したがって、バナジウムの配位環境を高度に制御した多面体を構成する新規化合物の探索のために、バナジウム硫酸塩やバナジウム炭酸塩などを中心に探索する。さらに、これらの材料の蛍光特性を評価することで、蛍光体材料への応用を目指す。

③ 学術的な独自性と意義

従来のバナジウム酸塩蛍光体は、 $[\text{VO}_4]^{3-}$ ユニットを持つありふれた材料のみに注目され、 $[\text{VO}_5]^{5-}$ や $[\text{VO}_6]^{7-}$ のような高配位数のバナジウム酸ユニットの蛍光を評価した報告はほとんどない。このような特異的なバナジウム酸ユニットを持つ蛍光材料開発は極めて独自性が高い。

④ 期待される成果と発展性

高配位数を持つバナジウム酸ユニットを持つ新しい化合物の発見は、従来にはない結晶構造を持つ無機化合物の発見となるため、その化合物は蛍光材料のみならず、触媒材料などの他分野材料への応用が期待できる。また、新コンセプトでの蛍光材料開発であるため、そのブレイクスルーになりうる、発展性の大きい研究である。加えて、基礎科学上重要な知見を得ることができるため、インパクトの大きな研究となる。

①背景（内外における当該分野の動向）

宇宙デブリの増加や宇宙空間における宇宙飛行士による活動の増加に伴い、デブリの捕獲や軌道上で衛星・宇宙機に対する故障の有無の確認や修理といったサービスを実施する宇宙ロボットが期待されている。カナダ宇宙機関は、スペースシャトル搭載のカナダアームや国際宇宙ステーション搭載のカナダアーム2など、宇宙空間での建設作業や補給機の捕獲に使用されるアームを実用化している。また、故障衛星捕獲のためのビジョンシステム・レーダーシステムを搭載した宇宙ロボットの研究を長年行っている。また、JAXAは技術試験衛星7号機を打ち上げ、宇宙ロボットにおけるアーム動作とRW(リアクションホイール)の協調制御による姿勢変動抑制制御やRW不稼働時における衛星姿勢変動を最小化させるアーム軌道実験などを実施した。

一方、国際宇宙ステーションに代表される大型宇宙機の制御には、高トルク発生可能なコントロールモーメントジャイロ（CMG）が適している。国内では東工大・大阪府立大・大阪大・慶応大学・横浜国立大などが、国外ではジョージア工科大・コロラド大などが研究を実施している。ただし、衛星の姿勢制御が主であり、ロボットアーム搭載宇宙機におけるアームとCMGの協調制御は実施されていない。しかし、高トルク発生・大角運動量保持が可能なCMGは大型デブリを捕獲する宇宙ロボットには必須と考えられる。

②目的（課題設定とねらい）

本研究ではデブリ捕獲を目的とする宇宙ロボットにおいて、デブリの角運動量を吸収できるようCMGを搭載し、アーム動作とCMG駆動の協調制御手法を開発し、また、アーム先端の位置・姿勢にはデュアル・クオタニオンを用いることにより、アーム先端の位置・姿勢を簡潔に表現し、その表現に適したアーム先端制御則を考案する。協調制御においては、アーム特異点をCMGで回避する、また逆にCMG特異点をアームの残余自由度を用いて摂動トルクを発生させて回避する制御法を新たに検討する。そして、その有効性を数値シミュレーションおよび微小重力環境下での実験を通じて検証することを目的とする。CMG搭載衛星の姿勢制御はエアベアリングを用いることで地上でも実験可能ではあるが、アーム搭載宇宙ロボットの場合、アーム動作により質量中心が移動するため、エアベアリングを使用した地上実験は不可能であり、微小重力実験が不可欠である。

③学術的な独自性と意義

過去、宇宙ロボットのアーム制御は、本体の姿勢制御を行わず、全角運動量がゼロの一般化ヤコビアンを用いた研究および本体姿勢をRWで制御する研究が行われてきたが、デブリ捕獲を行う場合には、RWでは不十分である。本研究では高トルク発生・大角運動量保持可能なCMGを宇宙ロボット本体に搭載し、アーム・CMGの特異点を考慮してアーム動作・CMG駆動の協調制御を行う点に独自性がある。CMGはスラスタのように燃料消費型のアクチュエータではなく、電力供給が可能で故障しない限り利用可能であるため、燃料使用を軌道制御に集中させることができ、結果的に宇宙ロボット衛星の寿命化に貢献し、デブリ捕獲パフォーマンスの向上が見込める。

④期待される効果と発展性

RW搭載宇宙ロボットでは実現が困難な、大角運動量吸収可能な宇宙ロボットが実現でき、大型デブリ捕獲の実現性が高まる。また、提案手法を地上ロボットに応用することで、歩行・走破性能が大幅に向上した地上ロボットへ発展する可能性がある。

背景 本邦では4人に1人が高齢者となり、高齢者の9割が関節疾患を患っている（読売新聞2009.7.1）。末期の関節疾患には人工関節置換術（以後THA）が適用となり、患部を除去するため疼痛の除去効果が著しい。その点が高く評価されTHAは積極的に行われ年間15万件の手術が施行されている（日経新聞2012.6.22）。THAの際に生じる大腿骨の術中骨折（図1）は合併症の一つであり、術後におけるリハビリ開始を遅延させる。これが高齢者においては寝たきりの原因となることから（佐藤，2009）、術中骨折の発生を防ぐ対策は極めて重要かつ急務である。術中骨折は海外においても多数報告され、その発生率は30%にも上る（Schwartz, 1989）。ネガティブな内容であるため臨床報告は積極的になされていないと推察され、報告のない件数を含めると、その発生頻度はさらに高いと判断できる。厚生労働科学研究によると国内における医療事故は3万件/年に及び、整形外科においては6500件/年と推計される（医療事故の全国的頻度に関する研究，2006）。うちTHAに関する医療事故は1300件/年頻発していると試算される（整形外科手術調査，2009）。医療事故の7割は防ぐことができた米国ニューヨーク・ハーバードスタディーが示したことより（A Measure of Malpractice, 1993）、本邦においても予防可能性の高い事故が半数以上を占めると推察される。

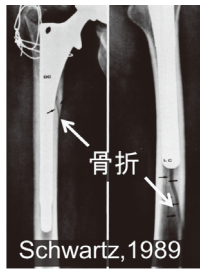


図1術中骨折

申請者は術中骨折の発生原因として人工関節インプラント時に十分な固定性が得られたか否かの判断基準がなく、術者の経験や感覚に依存している点が問題であると考えている。打ち込みが少なすぎると固定不良が生じ、固定力を増すために過度に打ち込みを行うと、術中に骨折が生じることから（図2）、術中リアルタイムで科学的根拠に基づいた打ち込みを実施することで骨折を回避することが可能となる（酒井，特願2013-34441）。これまで対象物の固定性により音程が変化する周波数解析に着目し、手術時打ち込み音から術中骨折を予防できる可能性について示してきた（酒井，特許6029103号確定）。打ち込み音の周波数変化が認められた場合、それ以降の打ち込みには骨折が危惧されるため力を加減する必要があることを学会にて報告し、国内のみならず海外においても大きな関心と反響を得た（Sakai, 2011）。

目的 上述の背景を鑑み当該研究において以下3項目を最重要検討課題とし重点的に推進する。

- 課題1) 手術室への持ち運びと操作性が簡便な小型診断システムの開発と実証実験
- 課題2) 骨粗鬆症患者を模擬した病態モデルに対する骨折予防診断システムの有効性の検討
- 課題3) 科学的根拠に基づく客観的評価指標の取り纏めと実用化のための臨床研究

学術的な独創性と意義 人工関節を工業製品として見ると、たかだか数個の部品によって構成される単純な構造物であり、水準の高い学術研究の対象と成り得ないように思える。しかし人工関節を生体にインプラントするということは、医学分野と工学分野にまたがった広く複雑な様相を呈するため、そこでの問題に対する取り組みは高度な学術的な価値を有することになる。従来、人工関節の固定性評価として振動解析が提案されてきた（Jaecques, 2004）。しかし、その解析を行うためには対象物へ直接器具を設置する必要があるが、臨床応用は困難であった。そこで申請者は直接器具を設置しない方法として、周波数解析を提案した。術中骨折予防を視野に入れた研究は我々の報告（酒井，2011）以外に存在しない。本研究課題が果たす意義は、医療を受ける立場である患者にとって安心・安全な医療技術を提供すること、また医療経済的観点からその有益性をもって社会に還元することにある。

期待される成果と発展性 本課題で診断システムを開発し臨床応用された暁には以下の成果と発展性が期待できる。

- 1) 術中に骨折した症例と比べ入院期間は1/6に短縮される（標準的入院期間：2-3週間、骨折を合併した場合の入院期間：2-3ヵ月）→患者の生活の質を短期に改善できる点において、患者に対する臨床上の効果が高い。
- 2) 人工股関節置換術中に骨折した症例と比べ入院費用は1/6に短縮される（人工股関節置換術の平均的入院費用：3割負担で50万円、骨折を合併した場合の入院費用：3割負担で300万円）→本技術により医療費を大幅に削減できる可能性があり、経済的観点からも大きな社会貢献につながる。
- 3) 日本主導により人工関節分野の技術開発をアピールできれば、国際的な産業競争力が得られ産業界の活性化と優れた医療機器開発のシナジェティック効果が狙えるはずである。

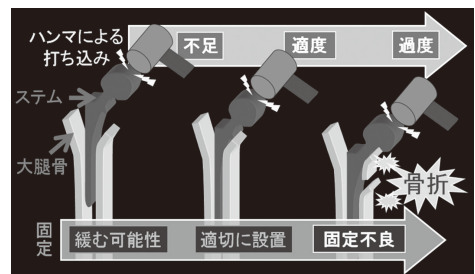


図2 打ち込みと固定力の関係

①背景（内外における当該分野の動向）

パターン認識のための特徴量はこれまでエンジニアが手動で設定するものであったが、ディープラーニングによって特徴量は自動的に学習でき、かつ、とくに画像認識などの分野において高いパターン認識精度を実現できるようになった。特徴量の学習には多量の学習データと多量の計算リソースを必要とし、主として、データセンタに蓄積したビッグデータに対して多量の計算機を用いて学習処理を行う。しかし、センサとしてのIoT（Internet of Things）デバイスの爆発的普及、および、個人情報保護の観点からすべてのセンサーデータをデータセンタに集めるアプローチはいずれ限界が来ると考えられる。一般的なエッジヘビーコンピューティングにおいてはエッジ（IoTデバイスに近い場所）側の処理は「推論」に限定することが多いが、本研究ではIoTデバイスに近い場所での「学習」（エッジ学習）に着目する。具体的には、IoTデバイス群を収容する広帯域ネットワークスイッチにおいて学習を行う。IoTデバイス群によって得られたデータ（例えばセンサーデータ、画像データ）は自然とネットワークスイッチに集まるためこれは無理のないアプローチであると言える。

②目的（課題設定とねらい）

本研究の最終的なゴールは「ネットワークスイッチによるエッジ学習」のための要素技術確立することである。このために次の3つの課題を解決しなければならない。

- 1.一般的なネットワークスイッチやゲートウェイ機器にとって、学習処理の計算負荷は大きすぎる。
 - 2.隣接地地点（近隣の別ネットワークスイッチ）を流れるデータを自スイッチの学習に活用できない。
 - 3.過学習や起こしたネットワークスイッチを発見、リカバリする仕組みが必要となる。
- これらの課題を解決するための方策を導き出すことを本研究の目標とする。

③学術的な独自性と意義

まず、一般的なエッジヘビーコンピューティングにおいてはエッジ側の処理は推論に限定することが多く、本研究が対象とするエッジ学習はユニーク、かつ、挑戦的な課題である。本研究では、課題1の解決のために、オンライン逐次学習アルゴリズムを導入し、それをFPGAによる専用回路として実現したうえでネットワークスイッチに統合する（解決策1）。課題2のために、傾向が類似しているネットワークスイッチ同士での転移学習やマルチタスク学習を行う（解決策2）。課題3のために、各ネットワークスイッチにおける推論精度を監視し、場合によっては過去の学習状態へのロールバックを行う管理フレームワークを開発する（解決策3）。

オンライン逐次学習アルゴリズムはすでに存在するが、それでもネットワークスイッチのCPUには負荷が大きすぎるため、低消費電力かつ高性能なFPGAによる専用回路化が必要である。FPGAによる推論専用回路はホットな研究テーマであるが、オンライン逐次学習アルゴリズムの実現例は少なく、それをネットワークスイッチと統合した例は無い。また、傾向が類似しているネットワークスイッチ同士での転移学習やマルチタスク学習を行うというアイデアについても他に例は無い。このように本研究は独自性が強いものの、スケーラビリティと個人情報保護の観点からデータセンタにおけるデータと学習の一極集中はいずれ限界が来るため、エッジでの分散協調学習の要素技術を固めるという本研究の意義は大きい。

④期待される成果と発展性

本研究はすでに準備を開始しているが1年の研究期間ですべてを完遂することはできない。この研究期間内に上述の解決策1のプロトタイプ実装を完成させ、解決策2～3については有効性を評価し、論文発表を通してアイデアを公開する。その後、ここで得られた成果を基に実環境にエッジ学習スイッチとして統合したい。

①背景

半導体ならびに機械加工技術の進歩により、日々より小型で高性能なセンサやアクチュエータが登場している。これにともない、超軽量小型ロボットの開発が世界中で行われている。例えば、ハーバード大学の研究者らは、Robobeeと名付けられた質量0.1[g]の蜂形飛行ロボットを開発し、世界を驚かせた。Robobeeの用途としては、蜂が行う果樹の受粉作業の代替や災害現場での捜索などが想定されている。これら農林業や災害救助の分野でロボットを活用するには、環境保全や2次災害防止の観点から、環境負荷の最小化が必要であるため、超軽量小型ロボットは非常に有望な手段として期待されている。超軽量小型ロボットの別の例としては、樹木や壁面を昇降可能な脚式ロボットの研究事例が国内外で報告されている。一般に脚式ロボットの利点は、路面の凹凸を乗り越えて移動できる点にあるが、ロボットの質量が小さくなると、節足動物がそうであるように、壁面上の移動が容易になっていく。垂直に移動する技術としてはドローンが有望視されているが、天候や用途によっては使用できない場合があり、壁面脚式移動ロボットを開発する意義は大きい。

②目的

本研究では、樹木等の垂直な壁面を登攀可能な超軽量小型脚式移動ロボットの開発を目的とする。開発するロボットの要求仕様は、国内外で研究されている同種のロボットの性能を超えることとし、質量10[g]以下、到達高さ5[m]以上と設定する。

③学術的な独創性と意義

脚式ロボットの研究は、世界中で盛んに行われているが、1辺の長さが10[cm]から200[cm]の範囲にあるロボット、すなわちセンチスケール・ロボットが中心となっている。一方、一辺の長さが50[mm]以下の範囲にあるロボット、すなわちミリスケールのロボットの開発は、世界的に見ても緒に就いたばかりといえる。前述のとおり、超軽量小型脚式ロボットの研究事例は存在するが、10[g]以下の質量で、植物学において高木として分類される高さ5[m]以上の樹木の最上部まで到達できるロボットの開発はなされていない。この実現を目指す点において、本研究は独創的で挑戦的である。

ミリスケール・ロボットの開発には、マイクロ以下のオーダーでの精密加工技術および微細加工技術が必要不可欠である。これらの技術は、わが国が最も得意とする分野であり、本研究には、それらの技術がイノベーションの種を創出する原動力となることを示す意義がある。

④期待される成果と発展性

上記の超軽量小型ロボットが開発されれば、生態系の調査や災害発生時の捜索などの新たな手段としての活用が期待される。申請者は、森林内で移動するセンチスケールの不整地移動ロボットの開発にも取り組んでおり、それによって超軽量小型脚式ロボットを樹木の下まで運搬し、そこから登攀を開始するシステムの構築を計画している。また前述のドローンなど、他の空間移動技術との連携も視野に入れており、ドローンによって超軽量小型脚式ロボットを樹木の上空へ運び、そこから樹木に落下させて使用することも計画している。

IoTデバイス上での高速かつ低消費電力な センシングデータ処理のための機械学習にもとづく集積回路設計

研究者 早稲田大学理工学術院総合研究所 研究院助教 川 村 一 志

①背景, ②目的

近年, 身の回りのものすべてがインターネットに繋がる【モノのインターネット:IoT】(Internet of Things)と呼ばれる仕組みが急速に広がっている. 総務省の報告によると, インターネットに接続されるモノ(IoTデバイス)の数は2020年までに304億個(現在の約2倍)になるとされ, 関連技術の研究・開発が急がれている. 特に, 今後のIoTにおいては, IoTデバイス自身がセンシングしたデータの処理・解析を部分的に担う【エッジコンピューティング】の重要性が高くなる. すなわち, 大量のセンシングデータを高速にリアルタイム処理することのできるIoTデバイスが求められる. 一方, IoTデバイスは非常に小型であることが求められ, 大きなバッテリーを組み込めない等の理由で消費電力に関して厳しい制約が課される. 従って, エッジコンピューティング実現のためには「高速処理」と「低消費電力」を両立可能なIoTデバイスの設計が不可欠である.

IoTデバイスに搭載される集積回路の「処理速度」と「消費電力」の間にはトレードオフの関係があることから, 従来の集積回路設計手法ではこれらを両立することは難しい. そのため, 本研究では集積回路設計に【Approximate Computing:概算】の考え方を導入する. Approximate Computingとは, 計算結果に若干のエラーを許容して高速かつ低消費電力な演算の実行を可能にする技術である. IoTデバイス上でセンシングされたデータには元々ノイズが含まれること, センシングデータの処理結果には多少の誤差が許容されることから, Approximate Computingを活用した集積回路設計により「高速処理」と「低消費電力」を両立したIoTデバイスの実現が期待される. 『課題設定』: 本研究では, Approximate Computingを活用した集積回路設計として【機械学習】にもとづく手法を構築し, 従来の50%以下の消費電力でセンシングデータのリアルタイム処理を可能とする集積回路の実現を目指す.

③学術的な独自性と意義

Approximate Computingを活用した既存の集積回路設計手法は大きく2つのステップを踏むことで実現される. まず, 基本となる概算算術演算回路(概算加算器, 概算乗算器)を設計し(Step.1), その後, Step.1で設計した回路をベースにアプリケーション専用回路を設計する(Step.2). このような設計の流れでは, 設計の階層ごとに局所的に最適な回路を設計することとなり, アプリケーション全体として最適な回路を設計することが困難である. すなわち, 許容可能なエラー制約内でApproximate Computingの適用箇所が限定され, 十分に高速化・低消費電力化することができない. 一方, 申請者が提案する機械学習にもとづく設計手法では, アプリケーションをひとつの【ニューラルネットワーク】回路として表現することによりアプリケーション全体として最適化された回路を設計する. 本研究により, 既存の設計手法に内在していた設計の階層が取り払われ, 高速かつ低消費電力なアプリケーション専用回路が実現される.

④期待される成果と発展性

本研究目的の達成により, IoTデバイス上でセンシングしたデータを「高速」かつ「低消費電力」で処理できる集積回路が実現される. 申請者が提案する設計手法では, 様々なセンシングデータ(画像データ, 環境音データ)に様々な処理(圧縮, 特徴量抽出)を施す回路を【自動設計】できるため, IoTデバイス上のあらゆるセンシングデータ処理に対応可能である. 『発展性』: 本集積回路設計手法はIoTデバイス上でのセンシングデータ処理以外にも応用できる可能性があり, 例えば, クラウドコンピューティングにおけるビッグデータ処理に用いる集積回路設計に発展・拡張することが考えられる.

① 背景

慢性筋痛（腰痛や肩こりなど）は完治が困難であり、日本人の約2割が悩まされている（平成25年度国民生活基礎調査）が、世界的にみても明確な診断・治療法も確立されていないのが現状である。多くの動物実験において、神経伝達物質やサイトカインといった炎症性因子と、それらの作用を増強する筋代謝産物による酸性環境が疼痛発症に重要なことが支持されている¹⁾。その一方で、ヒト疾患ではその侵襲性の問題からも報告が少なく、研究知見の臨床応用を阻んでいるのが実情である。

申請者らはこれまで、外径200 μm の鍼灸針表面に微小流路を搭載した微小還流針を作製してきた（図1）2)。この針は、組織に刺入した状態で流路に還流液を循環させることにより、針の周りにある組織液成分を浸透圧により還流液中に拡散させ、それを体外まで流す。これにより極低侵襲で組織液成分を採取できるデバイスである。

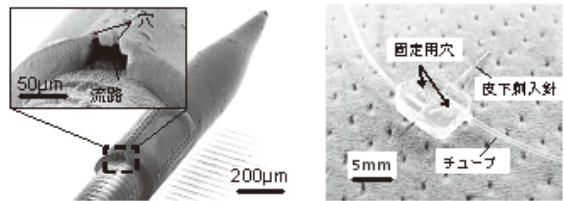


図1:微小還流針の断面構造(左)とチューブを取り付けたセットアップ(右)

② 目的

本研究では極低侵襲での採取が可能な微小還流針を用いて、これまで難しかった慢性筋痛患者の疼痛部局所より直接組織液を採取し、メタボローム解析によりその代謝特性を明らかとすることを目的とする。

③ 学術的な独自性と意義

本研究で使用する微小還流針は市販の鍼灸針表面に独自に開発した円筒面微細加工技術により流路を作製したことにより、極細径でも十分な組織への刺入性を有しており、過去に類を見ないほどの極低侵襲性を実現している。また、針が細径であることから組織の損傷を最小限に抑え、局所からの成分採取が可能である。

慢性筋痛には、様々な炎症性因子や筋代謝物により構築される組織環境が筋膜（知覚神経）の疼痛閾値を低下させることが報告されているものの、侵襲性の問題からヒト生体内での情報は非常に少ない。極細径微小還流という新たな手法により、疼痛部位局所における組織液の組成解析を可能とする。

④ 期待される成果と発展性

本研究により得られた、解析結果を指標とした疼痛増強や慢性化のメカニズム解明は、将来的には大きな社会問題である慢性筋痛の新たな診断・治療法策提示に直結する。これにより、これまで理学所見や画像検査（MRI、CT、超音波など）では確定診断が困難であった筋・筋膜性疼痛の的確な診断・病態把握が可能となる。また、その病態に合わせた治療の指針となる情報を悦子とが可能となれば、「腰痛」や「肩こり」といった慢性筋痛治療の解決につながる本研究は、疾患に苦しむ患者を救済するだけに留まらず、1兆円／年で増加する我が国の医療費問題の解決の糸口となると考えられる。

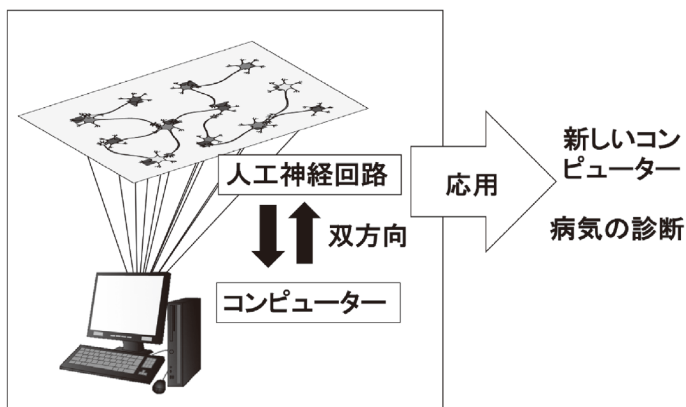
1) Gregory NS, et al., PLoS One. 2015 Sep 17;10(9):e0138576.

2) Tsuruoka N, et al., Proc. of EMBC 2013. 2013; pp.4478-4481

①**背景** ヒトの脳内では、多数のニューロン(神経細胞)が複雑なネットワークを構築して電気信号をやり取りすることによって情報処理し、意識や行動といった高度な機能を作り出している。ニューロンは複数持っている樹状突起からシグナルを受け取ったうえで統合し、一本だけ持っている軸索という別の種類の突起を介してシグナルを出力する。神経科学研究領域においては複雑な神経回路を理解する研究が進められており、一方で、数理工学研究領域においては神経回路を模したニューラルネットワークの研究が進められている。産業応用として特に近年人工ニューロンモデルが効率的な新しい情報処理モデルとして発展しているが、実際の回路からは異なる方向に発展を遂げ、神経神経科学との乖離が著しくなっているのが現状である。

このギャップを埋めて新しいニューラルネットワークの開発の可能性を開拓するために、本物のニューロンを用いて神経回路を自在に構築し、これをコンピューターと接続することが必要であると考えられる(図)。しかし、培養条件においては、生きた細胞が構築する神経回路を自在に構築することができないため、現状ではランダムに接続しあったニューロンを解析する研究が行われている。これまでに、細胞接着性物質を任意の空間的パターンに塗布することで軸索の通り道を制限し、神経回路を構築する試みがなされてきたが、軸索の方向性や数をコントロールできないことから、実用的な神経回路の構築には至っていない。

②**目的** 試験管内のニューロンの配線を自在に制御するために、本研究提案に於いては軸索の伸長方向を任意に操作できる技術を開発することを目的とした。光に応答して軸索の伸長を「許可」および「誘引」する2種類の培養表面修飾化合物を開発し、これらを混合して培養表面に塗布した上で、任意の部位に光を照射することによって軸索を伸長自在に伸長させ、任意の神経回路を作成することを目指す。構築した神経回路をコンピューターと接続し、人工ニューロンモデルと比較することで、ニューラルネットワークの特性解析を行い、新しいタイプのコンピューターや医療診断への応用することを目指す。



③**学術的な独自性の意義** 本研究は神経科学、化学、情報科学という広い分野にまたがった融合領域であり、他に例を見ない研究領域を切り開こうとする挑戦的な研究である。一方で、具体的かつ実現可能な化学物質の開発とその応用を合わせて提案している。ニューラルネットワークと実物の神経回路を組み合わせることは神経科学と数理工学の両方の分野において長年の夢であり、実現すれば大きな学術的成果が得られると期待される。

④**期待される成果と発展性** ニューラルネットワークと実物の神経回路を組み合わせることで、これまでにない新しいコンピューターの開発可能性が拓ける。また、既存のニューラルネットワークの改良を可能にすると考えられる。また、疾患iPS細胞などを用いることにより、病気の診断や治療薬の探索などにも応用できると考えられる。

①背景（内外における当該分野の動向）

神経筋疾患では、運動神経細胞や骨格筋細胞の変性、あるいはそれらの接着部である神経筋接合部の異常により、生命をも脅かす進行性の運動機能障害がもたらされる。多くの神経筋疾患には有効な治療法がほとんどなく、疾患の機構解明や医薬品開発が重要な課題となっている。Organ-On-A-Chipは培養細胞周囲の微小環境を厳密に制御し、臓器や組織特異的な生理機能を生体外で再現した細胞培養マイクロデバイスであり、疾患基礎研究や創薬のための革新技術として、非常に期待されており、国内外で研究開発が進んでいる。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、神経筋疾患解析のためのOrgans-On-A-Chip（神経支配筋組織チップ）を開発する（図1）。iPS由来運動神経細胞－神経筋接合部－筋組織で構成される運動神経支配筋組織をマイクロデバイス上で構築し、神経筋疾患解析のための基盤技術を構築する（図2）。

③学術的な独自性と意義

申請者はこれまでに骨格筋細胞を用いてOrgans-On-A-Chip（筋組織チップ）の開発を精力的に進めてきた[関連論文13報、特許成立3件]。開発した筋組織チップの特徴は、培養筋組織の収縮力測定機能を搭載した点である。これにより、筋組織最大の特徴である収縮力を指標に、筋組織の状態を非接触・非破壊的に評価することが可能になった。本研究では、これらの技術をさらに発展させる。運動神経細胞との共培養機構を搭載し、運動神経細胞からのシグナルで収縮する神経支配筋組織を非接触・非破壊的に評価する技術を確認する。このような細胞アッセイ技術はこれまでになく、高度にヒトの生理応答を模倣した革新技術となり、疾患発症機構の理解や医薬品開発に有用であると期待される。

④期待される成果と発展性

本研究は、運動神経細胞－神経筋接合部－筋組織に関連する様々な神経筋疾患（筋萎縮性側索硬化症（ALS）、顔面神経麻痺、筋ジストロフィー、サルコペニアなど）に対する新たな創薬支援技術基盤を提供する。本研究成果を基に神経筋疾患特異的ヒトiPS細胞を用いた疾患神経支配筋組織解析用マイクロデバイスの開発へと研究を展開する予定であり、新たな創薬支援技術の開発に大きく貢献出来る。

運動神経支配筋組織チップを開発する

（要素技術）
iPS由来運動ニューロン培養
培養骨格筋組織構築
マイクロデバイス開発

神経筋疾患に対する
疾患基礎研究や創薬のための革新基盤技術

図1 本研究計画

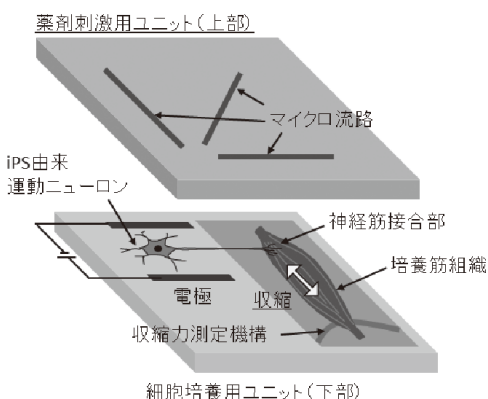


図2 開発する神経支配筋組織チップの概略

テラヘルツ時間領域分光法による水構造を指標とした アミロイド線維形成初期段階の検出

研究者 神戸大学大学院理学研究科 准教授 茶 谷 絵 理

① 背景

アミロイド線維とアミロイドーシス

アミロイドーシスは、アミロイド線維とよばれるタンパク質の異常凝集体が沈着することにより、臓器や神経系に重篤な機能障害をもたらす疾患の総称である。アルツハイマー病、プリオン病、II型糖尿病、透析アミロイドーシスはその代表例である。さらに最近では、パーキンソン病やハンチントン病などの神経変性疾患にもアミロイド線維が関与することが判明している。従って、アミロイド線維形成の有無を診断する技術は、これらの疾患の早期発見、および予防のために重要な課題である。これまで、アミロイドーシス診断は、蛍光色素を用いた染色法に頼ってきた。この手法は、アミロイド線維沈着を判定するための唯一の手法として使われ続けてきた。一方、染色法は生体組織の外科的抽出が必要であり、患者への無視できない負担が生じてしまう。また、これらの染色法は病気が進行した段階でアミロイド沈着を認識するには適しているが、発症前のそれほどアミロイド線維形成が進行していない状態、あるいは近い将来アミロイド線維を形成すると予想される状態を早期発見するには不向きである。現状では、これらの問題をクリアする新たな診断技術の開発は未だ進んでいない。

アミロイド線維前駆中間体

そもそも、アミロイド線維形成メカニズム自体がまだ明らかになっていないのが現状であり、アミロイド線維形成の早期発見を阻んできた一因である。アミロイド線維形成には、正常構造のタンパク質が核と呼ばれる線維の最小単位を形成することが必須であることは知られていたが、どのようなメカニズムで核が形成されるのか、これまでほとんど解明されていなかった。我々は近年、インスリン由来ペプチドにおいて、核を形成する元となるアミロイド線維前駆中間体を発見し、かつ大量蓄積させることに成功した。このアミロイド線維前駆中間体を検出できる診断技術が開発されれば、アミロイドーシスの早期発見および予防に大きく貢献できると期待される。

テラヘルツ時間領域分光

テラヘルツ(THz; 1012 Hz)波は、波長300 μm 程度の電磁波である。近年THz電磁波パルスの発生および検出技術の向上によりTHz時間領域分光法が大きく発展した。THz波はエネルギーの低い電磁波であり、生体組織内部への侵入が可能であるという特徴も兼ね備えている。これらの特徴を生かしたイメージング技術も発展してきており、爆発物などの危険物の発見や、がん細胞の早期発見などに応用されつつある。我々は近年、THz時間領域分光を中心とした分光学的測定により、血糖値調節ホルモンタンパク質であるインスリンにおいて、正常構造とアミロイド線維構造では、タンパク質周辺の水和水の構造の違いに由来するスペクトル成分における温度依存性の違いが存在することを見出した。この結果は、THz時間領域分光を用いたアミロイドーシス診断を可能にすることを示唆している。

② 目的

そこで本研究では、アミロイドーシスを早期発見することが出来るイメージング技術開発を指向した、THz時間領域分光法によるアミロイド線維形成初期段階検出のための分光学的実験をおこなう。インスリンやインスリン由来ペプチドをターゲットタンパク質として、正常構造がアミロイド線維前駆中間体を経由しアミロイド線維となる過程を、THz時間領域分光を用いて追跡し、アミロイド線維形成初期段階を特徴づけるスペクトルの同定を行う。また、誘電分光や中赤外分光といったTHz領域以外の周波数領域を補完する分光法も合わせて用いる事で、より強固な知見の取得を目指す。

③ 学術的な独自性と意義

我々は、世界に先駆けて、タンパク質の正常構造とアミロイド線維構造の違いをTHz時間領域分光により明らかにしつつある。また、アミロイド線維前駆中間体を安定に蓄積させることが出来る技術も、世界的に見ても我々独自のものである。これら2つの最先端の知見を組み合わせることにより、これまでまだ未発見のままであったアミロイドーシス早期発見のための知見を得ることが出来る。

④ 期待される成果と発展性

本研究を行うことにより、アミロイド線維形成初期段階を特徴付ける分光学的知見を得ることが出来る。その知見はTHz時間領域分光を用いたアミロイドーシスの非破壊的早期発見技術として応用させることが出来ると期待される。その技術が世に普及すれば、アミロイドーシスの早期治療および予防が可能となり、アミロイドーシスに苦しむ患者の数を有意に減少させることが出来ると期待される。

①背景（内外における当該分野の動向）

我が国の骨粗鬆症患者数(40歳以上)は1,280万人(男性300万人、女性980万人)と推計されている(日本骨粗鬆症学会, 他, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン, 2015)。骨粗鬆症による手関節・大腿骨・椎体骨折のライフタイムリスクは先進国において30%から40%であり(WHO, Summary meeting report brussels, 2007)、欧州における骨粗鬆症による骨折は650,000例/年である(Hertzman JO, HEN report, 2006)。骨粗鬆症による骨折は身体機能低下、運動機能障害、内臓器障害を併発するため、寝たきりの原因となる。骨粗鬆症の診断において椎体の変形や骨密度・骨塩量の低下を定量化するためにQCT (Quantitative computed tomography) 法が用いられている。近年、高分解能のX線CT装置を用いた低線量肺がんCT検診が普及しつつある (NLST, N Engl J Med, vol.365, 2011)。このCT画像は胸椎・腰椎を含み、皮質骨・海面骨の三次元形状解析や骨密度計測による定量的な骨粗鬆症の早期診断を可能とする (Lenchik L, et al., J Comput Assist Tomogr, vol.28, no.1, 2004)。椎体の3次元形状解析から骨粗鬆症の検出に至る定量的に自動処理する手法が求められている。

②目的（課題設定とねらい）

本研究は胸部低線量3次元CT画像から胸椎を自動抽出して皮質骨・海面骨・椎間板の3次元形状・骨密度・骨塩量に基づいて骨粗鬆症を検出し、これらの経年評価によって椎体骨折の高リスク群を層別化するシステムを開発する(図1)。このために(1)低線量3次元CT画像の椎体の抽出法、(2)椎体の統計形状モデルを用いた皮質骨・海面骨・椎間板の分類法、(3)皮質骨・海面骨・椎間板の3次元形状・骨密度・骨塩量に基づく骨粗鬆症の検出法、(4)経年評価による椎体骨折の高リスク群の層別化法を開発する。

③学術的な独創性と意義

低線量CT画像を用いて椎体の皮質骨・海面骨・椎間板の3次元形状・骨密度・骨塩量を定量化し、これらに基づいて骨粗鬆症の病態を明らかにして椎体骨折の高リスク群を層別化できる。

④期待される成果と発展性

骨粗鬆症による骨折を早期に診断し、併存症を予防してADL(Activities of daily living)とQOL(Quality of life)の維持・改善が期待される。

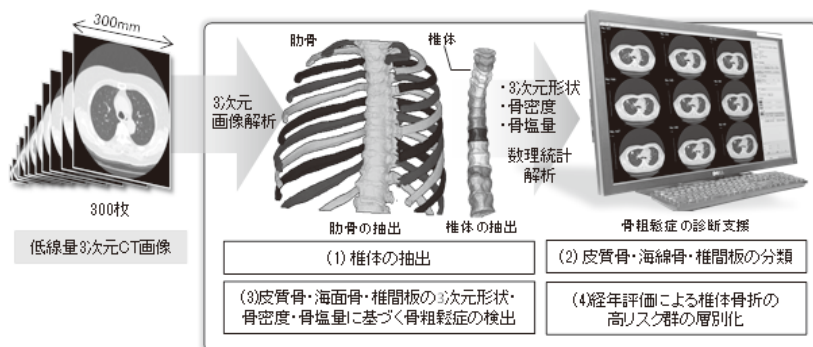


図1 低線量3次元CT画像を用いた骨粗鬆症診断支援システム

発光色スイッチング機能を有するナノエマルジョンを利用した 迅速かつ簡便な細菌検出デバイスの開発

研究者 高知大学教育研究部総合科学系 助教 仁 子 陽 輔

【背景】 2016 年末、神奈川県にて大腸菌 O-157 による集団食中毒が発生し、大きく報道されたことは記憶に新しい。近年、食中毒と言えばノロウイルスによるものが注目されているが、O-157 やサルモネラ菌、黄色ブドウ球菌、ボツリヌス菌が原因となる細菌性食中毒も未だ頻発している。また厚生労働省の報告によると、我が国において日和見菌による感染症（免疫力低下が引き起こす感染症）の増加も確認されており、それら日和見菌の中には薬剤耐性を獲得したものも存在する。さらに WHO の報告によると、世界の死者の三分の一は感染症によるものであり、その多くが適切な診断と処置さえ受けられれば救うことのできる、貧困国の人々である。このように、「食中毒含む細菌感染症の早期発見・診断・予防」、「薬剤耐性菌の増加防止」は国際社会的な重要性が極めて高い課題であり、中でも**特定の細菌を安価かつ迅速に検出できる新規デバイスの早期開発が強く要求されている**。これにより、細菌性中毒の原因菌の早期発見が可能となり、食中毒等の予防と、薬剤耐性菌を出現させてしまうような医療行為（不適切な種類・量・期間の薬剤投与）の予防、さらに治療期間の短縮に伴う患者への負担軽減、院内感染（＝薬剤耐性菌の拡散）の防止が期待されるためである。しかし、現行の細菌検出方法としては“培養法”が公定法であり、これは数日間もの検出時間を要してしまう上、PCR などの高額（数百～数千万円）かつ大型な機器と、それらを扱う専門技術も必要となる。

【目的】 細菌検出法は培養法の他に“**蛍光法**”が知られている。蛍光法とは、紫外線を照射することで発光する「**蛍光物質**」を用いるのが特徴であり、この蛍光物質を細菌に吸着させることで可視化・検出を行う。一般的に蛍光法は極微量の細菌をも検出できる利点をもつが、ほとんどの場合高額な蛍光顕微鏡との併用が前提となっているため、培養法同様、簡便性やコストの点において未だ課題が残る。ここで申請者は、もし蛍光物質に、細菌への吸着と同時にその発光性を変化させる機能（＝発光スイッチング）があれば「**目視による細菌検出**」が可能となり、“安価かつ迅速な細菌検出デバイス”が実現できると考えた。これが、本研究課題における達成目標である。この着想を実現するため申請者は、サラダ油のようなオイルと、洗剤に用いられるような界面活性剤を混ぜ、そこに水を加えるだけで調整できる極粒子“ナノエマルジョン”の利用を考案した。端的に述べると、標的細菌の存在下において、ナノエマルジョンに内包させた蛍光物質（赤色発光）が漏出し、その発光色を変化させる（赤→黄色発光）仕組みを作ることが本研究の実施内容である。詳細は次項「今後の具体的な研究方法」を参照されたい。

【学術的独創性と意義】 これまで、ナノエマルジョンは主にがん細胞イメージング用造影剤として広く利用されてきた。一方ナノエマルジョンには、内包した蛍光物質が僅かな外部刺激によって漏洩しやすい性質があり、それを欠点として克服するための研究も行われている。本研究課題は、その「**蛍光物質が漏洩しやすい**」という欠点を**逆手にとった点に高い学術的独創性**がある。また、蛍光物質はその光化学の観点上、単独では発光スイッチング機能の発現が困難であっても、ナノエマルジョンと組み合わせることで容易になる。このように本研究では、申請者がこれまで培ってきたナノ材料と蛍光物質に関する知見を統合し、その長所・短所を絶妙に融合させた点に特色があると言え、今後のナノマテリアルの新しい応用法を開拓することとなるだろう。

【期待される効果と発展性】 ナノエマルジョンは、アメリカ食品医薬品局に認可された安全性の高い材料であり、また長期保存が可能である。従って、この**蛍光性ナノエマルジョンとハンディブラックライト（約千円）**さえあれば、いつでもどこでも、そして誰にでも**細菌検出が可能**となる。すなわち、病院だけでなく、学校給食を含めた飲食業界・各家庭でも利用可能であり、世界各地の集団食中毒をはじめとする細菌性中毒の予防にも繋がると期待される。

研究者 九州工業大学マイクロ化総合技術センター 助教 有 吉 哲 也

①背景（内外における当該分野の動向）

衛生管理などにおける生物関連物質や細菌の検査は我々の生活を安心なものとするに欠かせない基幹技術産業となっている。細菌などの検査には培養法があるが、検査結果には数日かかる問題がある。迅速な細菌の検査技術として、酵素とアデノシン三リン酸（以降、ATPと表記）を必須因子とするホタルの生物発光現象を応用したATP発光測定法が採用されている。ATPは細菌類を含めて全ての生物の細胞内に存在しているので、その発光量を測定することで、ATPを必ず含む細菌や食物残渣などを数分で検査できる。図1に、汎用のATP発光検出装置（以降、ルミノメーターと表記）の概略図を示す。

検査対象の器具・手指の表面を拭き取り、酵素などの試薬とともに溶液容器に入れ、検査溶液とする。溶液容器ごとルミノメーターに差し込み、溶液容器に対向して設けられている光検出素子でATP発光を検出する。しかし、汎用のこの方法では、ATP発光は等方的に拡散するので光検出素子で検出できるATP発光量は制限される。このようなATP発光の集光効率の低下により、汎用のルミノメーターでは検出下限のATP量は 100amol （ $=10^{-16}\text{mol}$ ）程度とされている。1個の細菌にATPは平均して 1amol 存在するので、細菌の検出下限数は100個程度となり、より少ない検出細菌下限数が求められる。

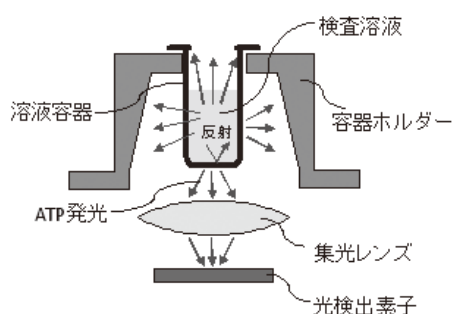


図1 汎用のルミノメーターの概略図

②目的（課題設定とねらい）

本研究では光検出素子として溝状に形成したトレンチ構造型フォトダイオードを提案する。このトレンチ構造型フォトダイオードによって 1amol 程度のATP量を検出でき、細菌1個体レベルの高検出感度を示すルミノメーター用光検出素子の研究開発を目的とする。

③学術的な独自性と意義

先行研究を見る限り、シリコン基板に形成したトレンチ構造型フォトダイオードによるATP発光検出はこれまでにない。このトレンチ構造型フォトダイオードに検査溶液を直接注入してATP発光を検出する。トレンチ構造型フォトダイオードは検査溶液の周囲を囲っているのでATP発光をほぼ漏れなく検出できる。よって100%に迫るATP発光の集光効率が可能となり、1細菌相当の 1amol のATPが検知できる。また、溶液容器と集光レンズが不要となり、装置の小型化も実現できる。

④期待される成果と発展性

本研究は所要検査時間が数分という迅速さと細菌1個体レベルの高検出感度を併せ持つATP発光測定法であり、増殖する生菌の数がゼロか1かという無菌性を迅速に且つ厳格に検査することが求められる医薬品製造現場や食品工場の製造ラインでの応用が期待される。また、医療施設において、生菌1個でも健康に悪影響が及ぶ病人・患者に対する砦のような役割も本研究では期待される。

①背景

身体活動やスポーツは、健やかな日常生活を送る上で重要である。その際に「できなかった」ことが「できるようになる」ことは、身体活動を“継続”するためのモチベーションを左右する(Duda, 2005)。しかしながら、運動技能の獲得能力には個人差があり、場合によっては獲得自体が困難な場合もある。この学習困難性は、運動習慣の定着を阻み、結果的に継続的な健康維持を阻害する。この問題の解決には、運動技能の獲得をもたらす脳内メカニズムを解明し、神経科学的根拠に基づいた学習困難者への新たな運動処方の創出が望まれる。

これまで申請者は、小動物脳機能イメージング法を用いた新規の実験系を確立し、感覚情報をもとにした適切な行動選択を学習(知覚-運動学習)する際の“大脳基底核・線条体にて生じる学習依存的な神経可塑性”について研究を進めてきた。その中で、ラットが聴覚弁別行動を獲得する際に線条体前方部の神経活動が学習初期に増加し、後方部が後期に増加することを発見した(図1a,b)。また、我々の先行研究において、線条体前方部の薬理的破壊が、正確な行動の実行を障害する一方で、再学習は可能であることを明らかにした(Nishizawa et al., 2012)。これらの結果は、線条体と学習に関する多くの研究で報告されてきた“線条体の前方部が学習に最も重要である”という既存の概念とは異なり(Yin et al, 2009, Gremel & Costa., 2013), “線条体の前方部は学習よりも行動の実行に重要であり、主に後方部が学習に関与する”という新たな仮説を提起する。この仮説を実証するためには、特定の学習段階と相関関係にある脳領域が、行動の実行や学習に対してどのような機能を有するか明らかにする必要がある。

②目的

本研究は、“学習依存的に異なる神経活動パターンを示す線条体の前方・後方領域”を化学遺伝学的手法で一過性に機能阻害することで (Roth, 2016), 異なる学習段階において異なる線条体領域が学習や行動の実行に対して、どのような機能的役割を有するか明らかにする。

③学術的な独自性と意義

本研究は、学習中に生じる異なる神経活動パターンが持つ機能的意義を、所属研究室の有する最先端の遺伝子工学技術および独自のプログラムにより制御された実験装置を用いて明らかにする。また、線条体領域の持つ機能的役割が、知覚-運動学習の獲得段階に応じて変化する事を明らかにすれば、学習に関わる既存の理論・概念を拡張・発展させることができる。

④期待される成果と発展性

身体活動やスポーツを継続し、日々の身体活動量を増加させることは、健康寿命の延伸や疾病予防にも繋がることから、厚生労働省が策定した“健康日本21”にて国策として推進される重要課題である。本研究成果は、神経科学的知見を根拠にした学習困難者への新たな運動処方プログラムの開発・応用へ寄与し、身体活動からの離脱を減らし、国民の健康維持の促進に繋がることが見込まれる。

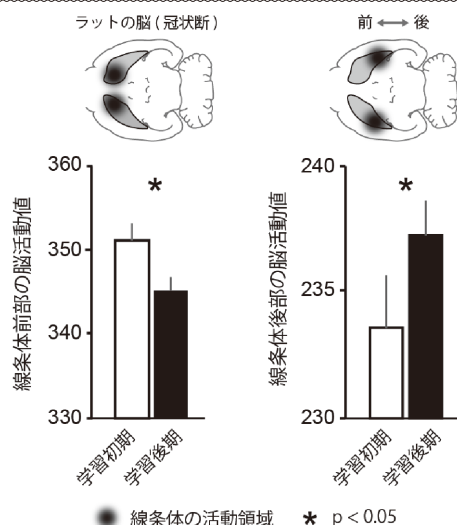


図1. 線条体の学習段階に応じた異なる脳活動パターン
a. 脳機能イメージング法で検出された活動領域。
b. 学習中に観察された脳活動の異なるピーク

【1 背景 (内外における当該分野の動向)】

創傷治癒、組織再生、がん転移などに深く関わる細胞挙動（接着・増殖・遊走・分化）を制御する技術の開発は、健康増進や医療の発展の観点で極めて重要である。これまでは、ヒトとは異なる動物由来の生理活性物質（ホルモンなど）の添加で制御が試みられてきたが、ヒト細胞組織に対する副作用の惹起や分子の交差交換による汚染などの恐れがある。一方、近年になって、細胞が培養足場の物理的・化学的性質（硬さ・粘弾性・官能基・親疎水性・微細構造）を認識して挙動を大きく変えることが次々と明らかとなり、従来の生理活性物質ではなく、培養足場の性質のみで細胞挙動を制御する技術が大きな注目を集めている。現在は主に、構造や物性が静的に固定された足場による細胞挙動制御が精力的に研究されているが、生体内が動的に変化する環境であることから、外部刺激で性質が可逆的に変化する動的な足場の方がより精密な細胞挙動制御が実現できる。さらに、局所的かつ任意のタイミングで一部の細胞のみに挙動変化を誘起する高度な時空間操作が可能なシステムは、生体の発生や複雑な組織の構造を反映した再生医療研究への応用も期待できる。

【2 目的 (課題設定とねらい)】

本研究では、近年、申請者らが開発した光刺激により表面の【A】親疎水性の可逆的な変化と【B】ナノ微細構造の転換（詳細後述）が可能な2つの高分子薄膜を基盤として、分子設計の改善や機構解析と共に細胞挙動の制御を展開して、新たな動的培養足場の実現と設計論を確立することを目的とする。温度やpH、電場、応力など他の外部刺激と比較して、光は離れた部位にも非接触で瞬時かつ局所的に刺激を与えられる。具体的には、光応答性分子のスピロピラン（SP）を導入したジブロック共重合体の高分子薄膜を用いる。すでに、SPとメロシアン（MC）間での可逆的な光異性化を（図1a）、高分子ブロック間の相互作用変化へと増幅し、低分子のみでは不可能な大きな表面物性や相分離構造の変換を実現している（図1b）。本研究では、これら薄膜の分子設計を改善しつつ、光応答性の動的培養足場としてまずは細胞の接着/脱着の制御を実施する。さらに、生理活性物質を投与せずに足場表面の性質変化のみによる幹細胞の分化方向の制御も試み、機構解析を進めながら新たな動的培養足場の設計論確立を目指す。

【3 学術的な独自性と意義】

申請者らが開発した光刺激で表面の【A】親疎水性の可逆的な変化と【B】ナノ微細構造の転換を発現する高分子薄膜は、「SPの極性変化とは逆の親疎水変化の誘起」、「相分離構造の生成・消失の完全なスイッチング」、「可逆的変換」を初めて実現した点において、独創的で革新的な系である。これを発展させ、高分子構造を改善して光応答性の変動表面の設計論確立を目指す本研究は、表面化学や高分子科学分野での学術的意義は非常に高い。

現在、温度応答性高分子を表面に固定した動的足場上で細胞を培養し、熱刺激で剥離回収したシート状移植組織片を用いる治療が実現している。しかし、温度制御では単一細胞レベルの局所的かつ瞬時の刺激付与は難しく、また表面変化のみで幹細胞の分化誘導も実現できていない。本研究の光刺激を用いた細胞挙動の時空間制御は、表面物性のみならず微細構造変化も利用しながら、単一細胞レベルでの接脱着制御および分化誘導も目指している点に独自性があり、動的細胞培養足場を飛躍的に発展させる意義深く挑戦的な研究である。

【4 期待される成果と発展性】

本研究で実施する「光応答性の性質変動足場の設計論確立」は、基礎研究として表面化学や高分子科学分野の新たな論理体系の構築に貢献しうる。さらに、これを応用する「細胞の接脱着や分化挙動の制御」は、幹細胞の移植治療に有用な体細胞種のみへの分化誘導、細胞種間の接着性の違いを利用した分離精製、単一細胞を検体に用いた薬物毒性試験用細胞アレイ、単一細胞レベルで複数の細胞種を配置・積層した複雑な再生組織の構築などへの発展も望める。扱う材料は合成高分子であるため、大量生産も比較的容易であり産業化への展開も期待される。

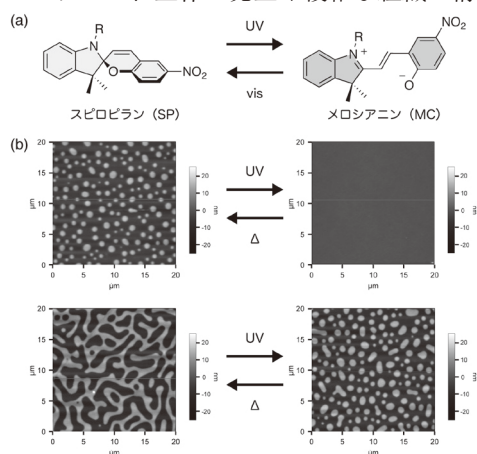


図1. (a) SPとMCの光異性化. (b) 光刺激により相分離構造が変化する高分子薄膜表面のAFM観察像

①背景

21世紀の人間社会最大の課題の一つは、移民問題である。移民の急激な増加は、「変革期」と呼ぶにふさわしい転換をもたらし、特に移民受入国である先進国では、格差拡大と移民の流入が並行し、新たな社会集団や階層の形成、エスニック・ネットワークに代表される集団間の多様な情報伝達や新たな生産活動形態（出身国に基づく分業体制）など、これまでに見られなかった社会構造が立ち現れている。

このような新しい社会構造の分析には、それをもたらした要因（移民の質、量、受入国の経済・社会構造）の特定と、その指標化に基づく多国間比較が欠かせない。しかしこれまでの研究では、複雑な移民政策に注目するあまり、多国間比較に資さない指標が生み出されてきた。例えば、代表的な移民政策の指標であるMIPEX（Migrant Integration Policy Index）は、移民の権利や滞在期間、ビザ手続きなどの細部を全てデータとして収集したが、結果的にデータが整備・公開されている欧米を中心とする先進国(38カ国)に限定され、アジア・アフリカ諸国が欠落しているためにグローバルな多国間比較を行うことができない。

②目的

本研究では移民社会のグローバル比較に有効性を発揮する、非常にシンプルな「移民社会の複合性指標」（MSPEX: Migrant Society Plurality Index）を構築する。移民問題は複雑だが、その多くは移民-国民間の経済的・社会的摩擦によって発生する点が共通する。この摩擦の発生可能性を最も明瞭に示し、かつ入手が容易なデータは、国民と移民の就労分野の差異と移民の滞在期間である。移民と国民の就労分野が異なれば、例え経済格差が存在しても、社会的接触機会が減少するため、摩擦発生可能性が低下する。移民の滞在期間の長短も同様である。民族学では、社会的接触機会が希薄な複数の集団で構成される社会を説明する概念として「複合社会 Plural Society」が知られている。本研究ではこの概念を援用し、労働統計と移民統計を元に国民-移民関係の希薄さ/濃密さを「複合性」の観点から指標化する。本指標は移民受入実績の高いOECD35カ国に、石油輸出収入によって惹きつけられた移民を多く受け入れているOPEC13カ国を加え、さらにアジアにおいて移民を多く受け入れているシンガポール、香港、マレーシアを合わせた51カ国を対象国とする。

③学術的な独創性と意義

古典的な「複合社会」の概念を21世紀的な「移民問題」に当てはめ、「複合性」という概念から移民社会をとらえる試みは、申請者が進める研究プロジェクト（「新・複合社会論」、申請書6を参照）が唯一であり、学術の伝統に基づきながらそれを独創的に発展させるものである。移民社会のグローバルな多国間比較を実施できる簡便な指標構築は、移民研究のフロンティアを拓くという大きな意義を有する。

④期待される成果と発展性

第一に、本研究で構築されるMSPEXは、対象地域と国家数を共に拡大させるため、これまで不可能だった移民社会のグローバル比較を実現することが可能となる。第二に、MSPEXはシンプルであるがゆえに適用範囲が広く、様々な研究に活用することが期待される。例えば、この指標を移民以外の諸事象?経済成長や移民受け入れ社会の安定性?と関連させることで、移民の経済的効果の研究や、移民受入と社会的安定性を両立する政策研究に応用することが期待される。

①背景(内外における当該分野の動向)

身体は、環境の中に在る物質ではなく、心と環境の境界である。我々は、身体を通して、環境に働きかけ、環境から様々な情報を得る。個人が自身の身体に対して抱くイメージを身体像という。身体像は、身体について抱く「図像」、身体に関する「知識」、身体への自信や身体を制御している達成感としての「情緒」から成る。身体像の形成には、視覚、聴覚、触覚、運動感覚といった感覚体験のみならず、身体についての自己評価や他者評価が関与する。ところで、心と環境の境界は、道具を使用する時、身体から道具の周辺に移行する。たとえば、虫あみ持って蝶を追いかける時、虫あみは身体の一部として意識され、スコップで砂を掘る時、スコップを通じて砂の感触を感じる。身体像は、身体そのもののみならず、身体周辺の空間をも内包するのである。

先行研究では、幼児の身体像を評価するにあたり、描画を用いてきた。描画は、非言語行動の産物であり、言語能力の影響を受け難い。言語による表現では限界のある描き手のイメージが投映される。描画により身体像に接近しようという試みは、人物画、バウム・テスト、S-HTP、動的家庭画、動的学校画に見て取れる(表1)。本研究では、幼児が捉える現実や興味関心の対象が映される「動的学校画」を用いる。動的学校画は、学校で何かしている様子を自分や先生、友達も含めて描く方法である。本法を用いた描画の解釈は、対人関係の力動に主眼が置かれてきた。ただし、幼児が活動の様子を描くこと、活動の際の対象物を描くことから、評価項目の改変により、遊具や自然物、保育室などの周辺の空間や環境も内包する身体像を評価できると考える。

投映描画法	描画対象	投映対象	環境との関係
人物画	人物像	身体概念・情緒	身体のみのため少ない
バウム	実のなる木	理想的自己	理想が映されるため抽象的
S-HTP	家・木・人	理想的家族像	理想が映されるため抽象的
動的家庭画	家族での活動	現実的家族像	現実が映されるが自由度が低い
動的学校画	学校での活動	現実的集団像	現実が映され、自由度が高い

②目的(課題設定とねらい)

本研究では、幼児が抱く心と環境の境界としての身体像を評価する方法を検討する。この目的を達成するために、物理的環境への自発的な働きかけや活動範囲を定量的に測定し、動的学校画に表れる変化との関連を評価する。幼児の環境との関わりが変化するに従い、環境に在る対象物の量、対象物との距離、対象物との関わりの様相が変容するか検証する。

③学術的な独自性と意義

動的学校画に関する先行研究では、描き手の発達の特徴、情緒的安定性やクラス成員間の人間関係について検討されてきた。すなわち、保育者や友達などの人的環境を評価する方法として、高い妥当性や信頼性を有しているか否かを検証することが主題であった。本研究では、遊具や自然物などの物理的環境と関わる身体像を評価することに独自性がある。さらに、描画の変容と行動データを定量的に収集する。従来の研究は、質問紙による回答と描画との関連を検証する研究が多く、行動データとの関連を扱う研究は希少であり意義がある。

④期待される成果と発展性

幼児教育の基本は、環境を通した教育であり、生活の中での直接的、具体的な体験を通して、自主性や自発性が培われる。環境を通した教育を展開する際、個々の幼児が遊具や自然物、保育室や園庭などの物理的環境、保育者や友達などの人的環境と関わる自分をどのように捉えているのか実態を把握する必要がある。本研究により、幼児の身体像を物理的環境も含めて評価する観点を明らかにできる。評価観点は、具体的であり、幼児が抱く身体像に接近し、豊かな身体像の育成につながる保育環境を構成するために用いることができる。

①.背景

選挙情報の提供の充実と政治参加の促進を目的とする2013年の公職選挙法改正の結果、インターネットを用いた選挙運動が解禁された。インターネットは政治参加に必要な情報の源であり、また情報発信や議論の場となるので、民主主義の発展を促しうる。だが、情報検索における利用者の能動性が高いインターネットでは自身の意向に沿う情報に対して選択的に接触しやすいので、自身と異なる意見への無理解が生じやすいとされる。インターネット上での政治的情報への選択的接触に関する先行研究は、党派性に沿った選択的接触の存在を実証するにとどまる。他方で本研究は、選択的接触により分極化を見せる政治意識の内容と程度を解明する点、および分極化の程度に作用する要因を解明する点で、先行研究を発展させる。

②.目的

市民の政治参加により社会は成立するが、全世代でインターネットの利用が日常化した将来の社会における政治参加は、政治的情報に対する選択的接触の結果として他者に不寛容な市民同士の相克の場となるのか。この問題意識に基づく次回総選挙時の世論調査を通じ、政党・候補者のHPやソーシャル・メディアを通じた選挙運動が招く有権者の政治意識の変化を捉え、選択的接触の結果として政治意識の分極化が生じる条件と分極化の程度を解明する。新たなメディア環境が選挙を通じた社会分裂を促す現象の全容解明を通じ、社会の分裂を招かない形のインターネットによる選挙運動のあり方を検討する必要性を示す学術的資料、および検討の方向を示す学術的資料を得る。

③.学術的な独自性と意義

まず、次回総選挙に関する公職選挙法改正の効果の検討は、同選挙の特徴を2点で捉える意義を持つ。第1に、有権者年齢引下げ後の初の総選挙なので、若年層に多いソーシャル・メディアの利用の効果が判明すれば、新たに選挙権を得た者を含め、ソーシャル・メディアの利用が活発な若年層の政治参加の過程を解明する礎となる。第2に、新聞各紙による2013年参議院選挙の分析によると、原発・改憲など世論が分裂しやすい争点についてソーシャル・メディア上の議論が盛んであったので、昨年の参議院選挙における与党の大勝を経て改憲も視野に入る次回総選挙は適当な調査対象である。加えて、本研究は公示期間直前と投票日直後という2度の調査に基づき公職選挙法改正の効果を厳密に測定する。公示期間のみ選挙運動を許す法制度に基づき、政策を実施する前後の状況を比べるDifference in Difference (DID)という手法により、公職法改正という政策の効果を厳密に測定する。DIDは近年の政策評価で主要な地位を占める手法だが、賃金・物価など「ハードデータ」への適用が通例である。他方、本研究は心理的な変数に対して分析手法を適用する。特に、政策評価の手法を心理的な変数に用いた政治過程論の研究例が存在しないので、研究目的を達した際の方法論上の意義は大きい。

④.期待される効果と発展性

本研究は、「公示期間中に複数の政党のHPやソーシャル・メディアに接触した有権者と、特定の政党のHPやソーシャル・メディアのみに接触した有権者に関して、公示期間前に抱いていた政治意識に生じる変化を見ると、前者では自身と異なる政策意見への寛容性が向上する一方、後者では寛容性が低下する」との仮説を検証する。当仮説が実証されたならば、「政策上の多様な意見に接した上で有権者が意思決定を下す社会は、自身と異なる意見の他者への寛容を導き、将来の社会分裂を回避する点で望ましい」との新たな市民意識が社会に共有されうる根拠を得る。すると、この市民意識の実現に向けたインターネット関連の選挙法制が議論される基盤も整う。この結果、本研究は「公示期間において政党がHPやソーシャル・メディア上に特定の政策目標を記す際、他党のHPやソーシャル・メディアにおいて関連政策に関する主張がなされた特定の箇所へのリンクの掲示を義務づける」など、インターネット上で有権者が多様な政策意見に触れる機会を得やすい選挙法制改革の具体化に必要な学術的資料を提供する。

環境問題を題材に人類史を反省するとともに 今日的な統計的リテラシーを備えた人材を育成する実証的研究

研究者 岡山理科大学教育支援機構 助教 福田 博 人

◇背景（内外における当該分野の動向）

インターネットの普及の結果、今日の社会は情報をどこからでも得られるユビキタス社会へ突入しているといえます。情報が指数関数的に増加し続けると予期されている将来を考慮に入れば、**情報やデータをいながら意思決定を行うことは不可欠なもの**といえます。研究の背景として大きく次の3点が挙げられます：

- ・今日社会が情報化社会や知識基盤社会と呼ばれている中、我々はこの社会の影響で多くの恩恵を受けていますが、一方で膨大な情報の中には人間に害を及ぼす情報も数多く含まれているため、**正しい情報か否かを判断する能力が求められています**(Utts, 2003；神原, 2010；熊倉, 2011)。
- ・情報化社会を生き抜くリテラシーを身に付ける上で、**統計教育が企業及び社会において重要視されています**(Gal, 2002；瀬沼他, 2002；長崎他, 2006)。

そして現在、国内では、統計教育に関する数多くの教材開発及びその実践が行われています(中隣, 2013；金児, 2011；中本, 2011；新井, 2009)。一方、国外における統計教育研究では主に、個々の統計的知識に関する研究も為されてきています。例えば、平均値に関する研究(Watson & Moritz, 2000)、ばらつきに関する研究(Watson, 2002)、分布に関する研究(Reading & Shaughnessy, 2004)などが挙げられます。

◇目的（課題設定とねらい）

上述した数多くの国内外における先行研究は、ある時期の子どもに対して、ある単元のある事柄・性質を教授するための教材・実践であり、汎用性の高い教材に関する研究は、まだまだ十分な蓄積があるとは必ずしもいえません。つまり、**統計教育の課題は、体系化が図られているとはいえない点**にあります。そこで、福田(2014)などによって、体系的な統計教育教材の開発研究を行ってきました。ところが、この研究の問題点として、社会性による考察が為されていない点が挙げられます。何故ならば、教育の目的は人格形成であり、統計教育を通して人間形成をしなければならないからです。そこで本研究では、**今日的な統計的リテラシーを備えた人材を育成するような体系的な統計教育カリキュラムを開発することを目的**とします。

◇学術的な独自性と意義

平成24年度から実施されている学習指導要領から、統計教育が数学教育カリキュラムに位置付けられたことを受け、統計教育研究も増加傾向にあります。しかしながら、小学校から高等学校までの統計教育カリキュラムを俯瞰的に考察している研究が十分に蓄積されているとはいえません。例えば、青山(2013)は数少ない統計教育カリキュラムの俯瞰的研究の1つであるが、統計的概念の系統性を視点にしているものであり、今日的な社会性を意識したものではありません。統計的概念が生まれた背景には常に社会的文脈が存在している点を踏まえれば、今日的な社会に応じた統計的概念の形成が求められます。本研究では今現在ある社会性を着眼点として、微分積分を中心としたこれまでの数学教育カリキュラムから、統計を中心とした数学教育カリキュラムへ変換を図ることを、具体的なカリキュラムを開発することによって主張するものであり、その意味において独自性を有するものであると考えられます。

◇期待される成果と発展性

本研究では、数学教育のキャップストーンを微分積分から統計へと変換することを主張し、具体的な統計教育カリキュラムを開発するため、**数学教育が担う意味を捉え直す**という点でインパクトは大きいと考えられます。また、統計教育が持つ他の教科教育との繋がりを含めた教科横断的・学際的な研究への発展性も、将来の見通しとして示唆することができます。

公益財団法人 カシオ科学振興財団
事務局

〒151-8543 東京都渋谷区本町一丁目6番2号
電話 (03) 5334-4747

再生紙を使用しております。