

第42回 (令和6年度)

助成研究の概要

研究助成金 贈呈式
令和6年12月6日

H2 白ページ

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 助成額 600万円〉

題目： 「持続可能な社会の実現に向けた研究」

持続可能な社会の実現に向けた研究を先述の電気・機械工学系、医学・生理学系、人文科学系の22分類に該当する分野から、助成金額を600万円として募集します。申請にあたっては、その研究成果が、国連の定める「持続可能な開発目標（SDGs）」のいずれの目標に貢献するか、ゴール番号をご記入いただきます。

但し、SDGs自体は2030年までの解決目標として設定されていますが、研究が2030年時点で完了成果を持つものであることは要件とはいたしません。

〈基本テーマ1 助成額 100万円〉

- 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、パフォーマンス向上を目的とした電子工学と医学／生理学の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・ICT教育を中心とした3分類に該当するテーマが対象となります。

〈基本テーマ2 助成額 300万円〉

基本テーマ1と同様の、合計22分類が対象となります。

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・研究員に限ります。

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 令和6年4月5日～5月31日

応 募 数 103大学より257件

2. 選考審査

選考予備会議 7月19日開催 選考方針・選考基準の確認

個別書類審査 7月24日～8月20日

選 考 会 議 9月13日開催 助成候補者の選出

理 事 会 10月4日開催 助成対象者51名の決定

3. 募集テーマ別の応募件数と採択状況

	応募件数	採択件数	金 額
特別テーマ	15件	2件	1,200万円
基本テーマ1	167件	36件	3,600万円
基本テーマ2	75件	13件	3,900万円

4. 研究分野別の状況

〔A系：電気・機械工学系〕

分 野	分類No	分 類	応募件数	助成件数
光・電子デバイス 材料・物性 融合技術	1	半導体関連 エレクトロニクス スピントロニクス	19	5
	2	電気・電子・磁性デバイス MEMS	9	5
	3	光デバイス 表示素子 情報記録	10	1
	4	通信・伝送用デバイス センサデバイス	2	0
	5	新素材 ナノテクノロジー関連	22	3
システム 情報・通信 ネットワーク メカトロニクス セキュリティ 国際標準化	6	ヒューマンインターフェイス ウェラブル	7	1
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	2	0
	8	ソフトウェア 知識処理 AI	9	1
	9	放送 通信 IoT	5	0
	10	計測 制御 センシング	25	5
	11	機構 ロボット	4	0
環境 その他	12	環境エレクトロニクス (材料 新エネルギー 省資源 省エネルギー)	17	5
	13	シミュレーション科学	9	1
	14	加工法 工作法 リサイクル技術	2	0
	15	信頼性・最適デザイン	1	0

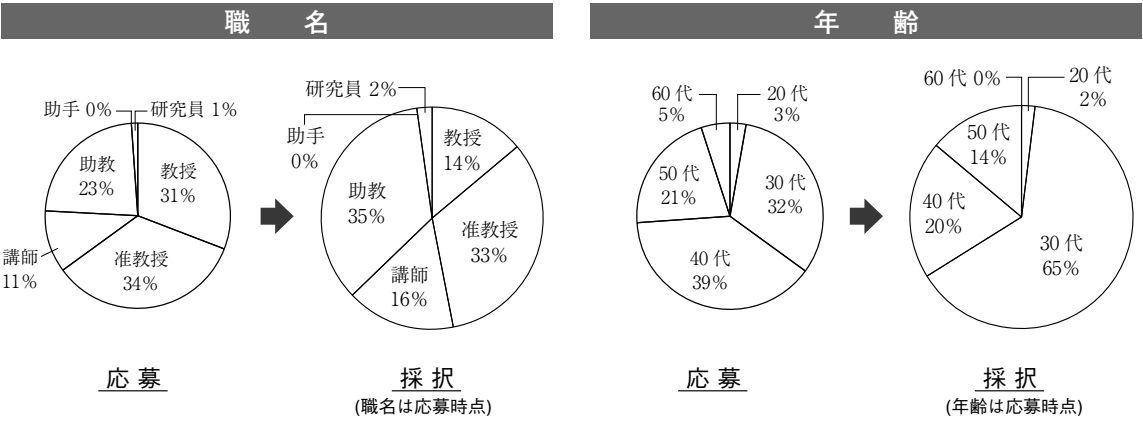
〔B系：医学・生理学系〕

分 野	分類No	分 類	応募件数	助成件数
健康・スポーツ ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	11	4
	17	ヒューマンエレクトロニクス ヒューマンパフォーマンス	14	2
	18	ヘルスエンジニアリング	26	5
	19	バイオエレクトロニクス関連	15	3

〔C系：人文科学系〕

分 野	分類No	分 類	応募件数	助成件数
人材育成	20	人材育成に関する研究	24	6
人間行動	21	変革期における人間行動の研究	12	2
ICT教育	22	ICTを活用した学習支援システム・学習コンテンツに関する研究	12	2

5. 研究者 (代表研究者)



6. 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
第21回	平成 15	40	50,400

回数	年度	件数	総額(千円)
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
第36回	〃 30	45	72,680
第37回	令和元	47	78,850
第38回	〃 2	54	71,750
第39回	〃 3	61	82,960
第40回	〃 4	70	98,000
第41回	〃 5	51	79,000
第42回	〃 6	51	87,000

現在までの
 助成件数 1,705件
 助成金総額 2,286,207千円

【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

五十嵐	哲	工学院大学 名誉教授
伊 藤	浩 志	山形大学 大学院有機材料システム研究科長
内 川	義 則	東京電機大学 名誉教授
枝 松	圭 一	東北大学 名誉教授
笹 瀬	巖	慶應義塾大学 名誉教授
定 本	朋 子	日本女子体育大学 名誉教授
高 木	康 博	東京農工大学 大学院工学研究院 教授
高 橋	智	日本大学 文理学部 教授 東京学芸大学 名誉教授
塚 本	新	日本大学 理工学部 教授
西 保	岳	筑波大学 体育系 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
益 子	典 文	岐阜大学 教育学部 教授
松 山	泰 男	早稲田大学 名誉教授
宮 本	恭 幸	東京科学大学 工学院電気電子系 教授
村 垣	善 浩	神戸大学 未来医工学研究開発センター長 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 客員教授
若 原	昭 浩	豊橋技術科学大学 理事・副学長(学長代行)

(令和6年10月1日現在)

令和6年度

研究助成

第42回(令和6年度) 研究助成一覧

51件

助成金総額 8,700万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	時間変調照明を用いた蛍光指紋計測に基づくマイクロプラスチックの識別・同定システムの開発	豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授 中 内 茂 樹	600
2	飲むナノカプセルを創る研究	北海道大学大学院薬学研究科 教授 山 田 勇 磨	600
3	不妊治療応用に向けた折紙工学とMEMSを用いた3D細胞培養折紙デバイスの開発	北海道大学大学院教育推進機構 准教授 繁 富 香 織	300
4	走査プローブ顕微鏡によるトポロジカル磁性の制御	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 杉 本 宜 昭	300
5	異常ネルンスト・サーモパイル内部の熱電機能可視化	日本原子力研究開発機構 研究員 一 色 弘 成	300
6	非線形振動分光を用いたポストリチウムイオン電池の充放電反応の定量的検討	東京科学大学物質理工学院 助教 岩 橋 崇	300
7	メタンを含酸素化合物へ資源転換するための2元機能触媒システムの開発	静岡大学工学部 講師 茂 木 堯 彦	300
8	超ワイドバンドギャップ半導体窒化アルミニウムのp型電気伝導発現への挑戦	京都大学大学院工学研究科 助教 石 井 良 太	300
9	量子ビームの新たな地平～世界初のミュオンビームを実現する量子ビーム計測・制御技術の開発	総合研究大学院大学先端学術院 准教授 大 谷 将 士	300
10	触覚感覚の伝送と再現を実現する触覚センサ・ディスプレイの構築に関する研究	早稲田大学先進理工学部 教授 澤 田 秀 之	300
11	ステロイドホルモンの同時判別を可能とする化学センサデバイスの開発	東京大学先端科学技術研究センター 講師 佐 々 木 由 比	300
12	化学物質のヒト胎児への移行性を評価する革新的な細胞培養システムの開発	東京科学大学生体材料工学研究所 助教 堀 武 志	300
13	音楽による動物の行動、生理、代謝変容の統合的理解	九州大学生体防御医学研究所 准教授 宇 留 野 武 人	300
14	均質な細胞集団の構築に資する非標識・網羅的な単一細胞の評価と回収法の開発	兵庫県立大学大学院理学研究科 准教授 鈴 木 雅 登	300
15	ChatGPT の倫理的な使用のための調査研究	公立小松大学生産システム科学部 教授 梶 原 祐 輔	300
16	強スピン軌道相互作用を有する磁性酸化物薄膜を基盤とするグラデーションスピントロニクスの開拓	東北大学大学院工学研究科 助教 神 永 健 一	100
17	反強磁性トポロジカル磁気構造の電氣的検出	東北大学電気通信研究所 助教 土 肥 昂 堯	100
18	輻射輸送シミュレーションに基づく大質量星進化末期の質量放出メカニズム解明	山形大学理学部 助教 石 井 彩 子	100
19	VUV光を活用した金属錯体から金属膜への変換に関する研究	山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンター 助教 孫 鶴	100
20	新規酸化チタンTi3O5の結晶構造解析による多彩な相転移のメカニズム解明	東京科学大学物質理工学院 准教授 吉 松 公 平	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
21	高压下で高温超伝導を示すNi酸化物の常圧下における超伝導の実現	横浜国立大学大学院工学研究院 准教授 上 原 政 智	100
22	畝検出とGANを用いた大豆圃場における微小アサガオデータセット作成と検出の自動化	福井大学学術研究院工学系部門 講師 築 地 原 里 樹	100
23	未利用水産資源のサケ白子を利用した機能性DNA繊維の開発	信州大学繊維学部 准教授 矢 澤 健 二 郎	100
24	光学的に生体試料の硬さを計測する機械物性顕微鏡の開発-硬さイメージングのための二次元計測の実現-	浜松医科大学光医学総合研究所 助教 田 村 和 輝	100
25	メカノセンシング機構解明に向けた3次元培養モデル用マイクロ流路デバイス開発	名古屋大学大学院工学研究科 助教 KIM JEONGHYUN	100
26	力覚フィードバック機能を持つ手術シミュレータのためのリニアダブルモータの研究開発	三重大学大学院工学研究科 准教授 矢 代 大 祐	100
27	矩形マイクロ流路内の気体流の分子気体力学的研究	京都大学大学院工学研究科 助教 初 鳥 匡 成	100
28	気液界面を利用した単分子磁石薄膜の構築と分子スピントロニクスへの展開	奈良女子大学研究院自然科学系 助教 堀 井 洋 司	100
29	Radiogenomics解析による脳腫瘍代謝産物の可視化と、治療応用	岡山大学学術研究院医歯薬学域研究 准教授 大 谷 理 浩	100
30	再生・細胞医療で重要となる幹細胞ステムネスの質を長期的に保障する磁性ナノ粒子分散型ハイドロゲルの開発	熊本大学大学院先端科学研究部 教授 森 田 康 之	100
31	新奇ホイスラー合金を用いた極低温環境で動作する固体冷凍材料の開発	鹿児島大学大学院理工学研究科 准教授 重 田 出	100
32	相対論的クーロン電磁場による物性制御に関する研究	総合研究大学院大学先端学術院 助教 太 田 雅 人	100
33	環境調和型ロボティクスを指向した有機材料のみからなる電動ソフトロボットアクチュエータの開発	中央大学理工学部 助教 吉 田 昭 太 郎	100
34	スキャホールドフリー筋腱連結組織体の作製と力学刺激に対する応答評価	弘前大学大学院理工学研究科 准教授 森 脇 健 司	100
35	高精度化と軽量化を両立するウェアラブル深部体温計測プローブの開発	東京科学大学工学院 助教 橋 本 優 生	100
36	旋回歩行時の斜め方向転倒リスクの低減に向けた歩行安定性評価モデルの開発評価	信州大学繊維学部 准教授 秋 山 靖 博	100
37	Virtual Reality therapyが筋痛を軽減させる効果の検証	京都大学大学院医学研究科 助教 林 和 寛	100
38	エクソソームを用いたオートファジーモニタリング方法の開発	大阪大学大学院医学系研究科 特任助教 南 聡	100
39	補助感覚に着目した残存機能利用による立ち座り動作支援機器の開発	香川大学創造工学部 講師 土 谷 圭 央	100
40	鼻・脳輸送系と磁気ターゲティングを利用した脳への薬物デリバリーと脳内動態制御	名古屋市立大学大学院薬学研究科 講師 小 川 昂 輝	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
41	生細胞イメージングによるマクロファージ表現型のAI識別システムの開発	芝浦工業大学システム理工学部 准教授 中 村 奈 緒 子	100
42	運動による実行機能低下の生理機構：末梢血乳酸がバイオマーカーとなりうるか	新潟医療福祉大学健康科学部 講師 越 智 元 太	100
43	「スクールカースト」が子どもの主体的な学びに及ぼす影響	北海道教育大学教育学部旭川校 准教授 水 野 君 平	100
44	中近世の変革期における霊場の実態と「日本的霊場」誕生の解明-立石寺木札資料の考古学的検討から-	山形大学学士課程基盤教育院 教授 荒 木 志 伸	100
45	データ駆動型モデリング能力を育成する数学教材原理の導出と検証：体系的教材レビューと授業化を通して	宇都宮大学共同教育学部 准教授 川 上 貴	100
46	デジタルファブリケーションで駆動する生徒の主体性を高めた特別支援教育	千葉大学教育学部 准教授 木 下 龍	100
47	人口減少とスマート農業の普及による人と農との関わりの変容と組織内外の連携による学習プロセスの解明	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 八 木 洋 憲	100
48	ジェンダー・バイアスへの気づきを促す即興演劇「ザ・ベクデルテスト」を応用した教師教育に関する研究	三重大学大学院教育学研究科 准教授 園 部 友 里 恵	100
49	地方部の基盤産業における「外国人材」の受入とその持続可能性に関する調査研究	神戸大学大学院人文学研究科 講師 梅 村 麦 生	100
50	保育士の専門性開発～保育士と園児の視線行動の分析と分析結果に基づいた研修プログラムの実施～	江戸川大学社会学部 講師 石 橋 美 香 子	100
51	高等教育政策過程における私立大学団体の機能に関する研究	びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部 講師 松 本 圭 将	100

※所属・職名は助成時点

令和6年度

研究の概要

時間変調照明を用いた蛍光指紋計測に基づくマイクロプラスチックの識別・同定システムの開発

研究者 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 教授 中 内 茂 樹

【背景】マイクロプラスチック（MP）とよばれる微小プラスチック粒子は、海洋生物たちを直接傷つけるだけではなく、「海」そのものを汚染する深刻な地球環境問題であり、国連や首脳会議でも大きく取り上げられている。なかでも MP に吸着した有害化学物質の生物濃縮による人体への影響は重大な問題であり、海洋環境を地球規模で監視する必要性が急速に高まっている。MP による汚染実態を明らかにするためには、海表面の浮遊物や海洋生物による誤食物を採取し、それらを分析する必要があるが、従来手法である理化学分析や赤外分光法を用いた場合においては、採取した資料を実験室に持ち帰り分析するため、結果を得るまでに数日から数週間を要し、MP による海洋汚染の実態解明にとって大きな障壁となっている。

【目的】本研究では、MP がその種類によって独自の蛍光特性を有する点に着目し、LED による時間変調照明と機械学習による解析技術と組み合わせることで、MP を迅速に同定し、映像として可視化するシステムを構築する。特にフィールドでの使用を念頭に置き、①暗室やレーザーなどの特殊装置を用いることなく、外光の影響を受けないリアルタイム計測が可能であること、②小型で可搬性の高いコンパクトな形状であること、③機械学習と組み合わせることで、採取した MP の種類と量を自動的に計量できること、を目指す。

【学術的な独自性と意義】MP のような有機化合物は、蛍光と呼ばれる照射光よりも長い波長の光を発することがある。励起光の波長を変化させ反射光を分光することで得られる分光蛍光スペクトル（**蛍光指紋**とも呼ばれる。図 1 はポリ塩化ビニル PVC の計測例）は対象の化学構造に依存して変化するため、蛍光指紋から対象物を同定することが可能である。しかしながら、蛍光は非常に微弱であり、外光の影響を受けやすいため、通常は暗室で計測されることが多い。そこで、本研究では図 2 に示すように、GPS 信号で用いられているスペクトラム拡散にヒントを得て、複数の励起波長の LED 光源を時間的に直交符号に従って時間変調照射し、その反射光からそれぞれの LED によって励起された蛍光を復号化することで、外光の影響を受けず蛍光指紋情報を抽出、MP を同定するシステムを構築する。これにより、分光フィルタや暗室等を用いることなく、外光を遮断できないフィールドにおいても採取した MP を即座に分析・定量することが可能となる。

【期待される成果と発展性】海洋環境の MP 汚染状況は、現在では採取した MP を実験室に持ち帰って分析する海洋環境調査に頼らざるを得ない。しかしながら、MP に関してはどのような経路で海洋のどこへ運ばれているのか、海洋生態系への影響の度合いなど、まだまだ分からないことが多く、格段にデータが不足しているのが現状である。しかも海洋に流出したと考えられている約 2,500 万トンのプラスチックのうち、現在計測等で見つかっているものはその 10%にも満たないと言われている（例えば、Kaandorp et al., 2023）。こうした状況を打破するために必要な計測技術は、広範囲の浮遊物や海洋生物が誤食した MP をその場で誰もが容易にそして迅速に計測できる技術であり、本研究で開発を目指している時間変調照射による MP 蛍光指紋計測技術はその先駆けになると考えている。すなわち、本計測システムを用いれば、海表面の浮遊物や海洋生物により誤食された MP に関する定量データを計測地点の情報等と結びつけて可視化したり、専門的な知識を必要とせず計測できることから、民間機関や公的機関と連携すれば格段に多くの MP 関連データを取得できるようになる。また今後、本計測システムをさらに低消費電力化、小型化すれば、現在、地球規模で行われているアメダスなどの気象モニタリング、地震観測網、温室ガスモニタリングなどと同様の規模と精度で、MP の定点観測を実施できるようになり、例えばプラスチックゴミの動態や、いわゆる「ミッシングプラスチック問題」など、地球規模の課題に対する解決の道筋を日本の技術を用いて示すことができるものと考えている。

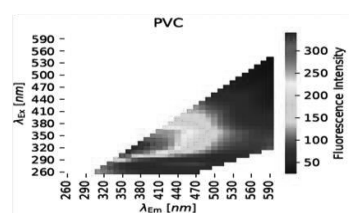


図 1：MP の蛍光指紋の例 (PVC)

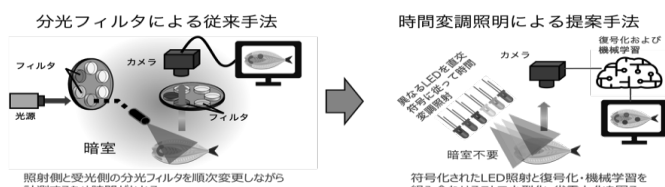


図 2：時間変調照射による蛍光指紋計測システムの開発

飲むナノカプセルを創る研究

研究者 北海道大学大学院薬学研究院 教授 山 田 勇 磨

① 背景 人類は 1990 年代に体内動態制御型 Drug Delivery System (DDS)の開発に成功し、リポソーム製剤として承認されたドキソルビシンを封入した polyethylene glycol (PEG)修飾リポソームであるドキシル(R) が抗癌剤封入ナノカプセルとして上市されている。それから 30 年近く経過し、細胞内動態を制御する DDS 研究が発展を遂げ、2018 年には世界初となる siRNA 封入 Lipid Nano Particle (LNP)として Onpattro (R)が、2020 年には新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)のワクチンとして mRNA 含有 Lipid Nano Particle (LNP)が承認され、ナノカプセル製剤が広く知られるようになった。一方で、上市されているナノカプセルは注射製剤であり、**ナノカプセルを服用する術はなく用途が限定的であった。**

② 目的 抗がん剤治療の選択肢が**注射 (入院)から内服 (外来診療)**へと増えたことにより、多くの患者の QOL が向上した (治療を継続しながら働くこと、生活を送ることができる)。革新的医薬品であるナノカプセル製剤に関しても**飲むナノカプセル (内服型ナノカプセル)**が創製されれば、多くの難病と苦しむ人の治療・予防に役立つ事が期待される。本課題では、**①小腸に到達するため胃酸分解などからの保護、②小腸上皮細胞内を通過し肝臓へ移行、③肝臓での代謝を免れて血管系に移行する事が可能な内服型ナノカプセルの基盤技術の開発を到達目標に据える。**

③ 学術的独自性と意義

独自性: 注射型ナノカプセルの開発は進められているが、内服型ナノカプセルの報告例はない。代表研究者の薬剤学的背景を基盤とし、小腸 (消化管吸収)までのプロセスを剤形制御することで**独自性の高い内服型ナノカプセル製剤の構築が可能になると考えた (詳細は後述)。**

意義: 本研究で開発を進める内服型ナノカプセルは**非侵襲的な投与**が可能となり、対象となる患者の QOL 向上、および**予防医薬品・健康食品・サプリメント**への発展も期待できる。

④ 期待される成果と発展性

・**具体的な SDGs への寄与:** ナノカプセルは、重篤な疾患治療にだけ使用されるというイメージがあったが、ナノカプセルワクチンによってそのイメージが転換された。内服型ナノカプセルは難病患者以外の患者、さらに予防医薬・健康食品・サプリメントへと展開することが可能になり、健康な人も飲むことができる。以上より、**【SDGs3: 全ての人に健康と福祉を】**を実現する有用な技術になると確信している。

・**研究内容の優秀性:** ナノカプセルの開発は製剤の形をつくる物理薬剤学的観点が大きな役割を担う。一方で薬を服用してから体の中の運命は、**吸収・分布・代謝・排泄 (ADME)**が支配する**生物薬剤学的観点が大きな役割を担う**。薬剤学分野の研究者である研究代表者は、ナノカプセルに最適な ADME をプログラムした製剤 (内服型ナノカプセル)を創製する。本コンセプトは国内・国外での報告はなく、ナノカプセル分野の大きなブレイクスルーになることが期待される。

・**社会への波及効果と周辺領域の発展:** 内服型ナノカプセルは難病治療のナノカプセル製剤の範囲を、多様な疾患の治療薬、予防医薬、検査薬、健康食品、サプリメントなど多くの領域に拡張することが可能となる。また、動物への応用も可能となるため、餌に混合することで従来の技術を一新し得る (獣医学、農学分野への波及)。研究代表者が在住している農業が盛んな北海道での地方創成にも一役かう。

・**研究者の思い:** ナノカプセルの初期開発に成功し、研究も軌道に乗り始めていた頃、一通の E mail が届いた。そこには、「娘の病気の治療のために、ナノカプセルを使わせてもらえませんか。」というものだった。自分達の研究に希望を持ってくださっている事をうれしく思う一方で、まだヒトの治療に応用できるレベルにまで研究が達していなかった事を、悔しく思った。そこで、研究をさらに進め、実際に患者さんに届けられるところまで技術を完成させたいと強く思い、研究活動、クラウドファンディングなどの啓蒙活動を精力的に進めてきた。小児領域の病気では、飲むナノカプセルは大きな効果を生むと期待できる。また、内服型ナノカプセルが医薬品・関連品として市場に出回る事で価格が低下することも期待できる。このような思いのもと、「**ナノカプセルを身近なアイテムに！！**」することを目指し、今回の応募に至った。

不妊治療応用に向けた折紙工学とMEMSを用いた3D細胞培養折紙デバイスの開発

研究者 北海道大学大学院教育推進機構 准教授 繁 富 香 織

① 背景

再生医療において、ES 細胞や iPS 細胞などの多能性幹細胞は有望な細胞源として期待され、その分化に影響するファクターを調べることは、再生医療の実現化にとって極めて重要である。近年、細胞の接着面積が、種々の細胞の分化などの機能に影響を与えていることがわかってきている [p4 参考文献 1, 2]。しかしながら、これまでの細胞のマイクロパターニング技術では、2次元平面上で細胞の培養接着面積を変えることしかできず、細胞を生体に近い状態である立体（3次元:3D）的に培養するのは困難であるため、細胞の立体的な形状変化と細胞の機能発現・分化に関する解析は不可能であった。

② 目的

マイクロ・ナノ加工技術と折紙工学の折り畳み技術を利用して、細胞が培養されたマイクロプレート折り畳み・展開することにより、細胞の形状を立体的な制御が可能な折紙デバイス（能動的折紙デバイス）を実現することを目的とする（図1）。折り畳み・展開は、プレートに埋め込んだ磁性体と外部からの磁場により制御する。これにより、従来困難であった細胞培養過程での能動的な細胞の形状変化と細胞に多種の力学刺激を印加することが可能となり、細胞の立体的な形状変化が細胞の機能発現や分化に及ぼす影響の解析・解明を明らかにできる。本研究では特に立体的な形状変化と力学刺激が多能性幹細胞から胚盤胞に分化する際に起こる影響の解析・解明を目指す。

③ 学術的な独自性と意義

本研究提案の能動的折紙デバイスは、マイクロプレートに磁性体を埋め込み、外部磁場を ON・OFF することで、3D 形状や形状変化のタイミングを能動的に選んで折り畳み・展開することを可能とするものである。これにより形状変化や力学刺激による種々の細胞の接着・増殖・分化などの機能変化を調べることが可能になる。上記の特長を持つ本研究の能動的折紙デバイスは、世界で初めての系であり、新たな細胞生物学的な知見が得られることが大いに期待でき、研究としての意義は深い。

④ 期待される成果と発展性

このような提案は、申請者の得意とする折紙工学の折り畳み展開構造物の作製技術、マイクロ・ナノ加工技術、細胞組織工学を融合することで初めて可能になった試みであり、世界的に例がなく独創的であり、斬新なアイデアである。本研究では、特に不妊治療への貢献を目指す。日本は世界最大の不妊治療国であり医療技術も世界トップと言われているが、成功率は約 13%と他の国と比べて低い。不妊治療の重要なステップの一つとして胚盤胞の形成がある。胚盤胞は、卵子が受精してから数日後に形成されるもので、子宮に着床後、胎児へと発達する細胞凝集塊である。胚盤胞へ分化する過程における形状変化と力学刺激に関する研究は行われてなく、本研究成果は、胚盤胞の分化メカニズムを知る上で重要になると考えている。さらに、効率よく人工胚盤胞を構築できる技術に繋げ、次世代の不妊治療技術のブレークスルーを目指す。

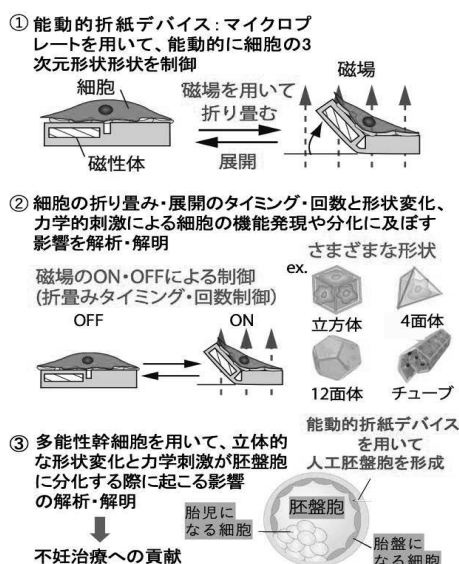
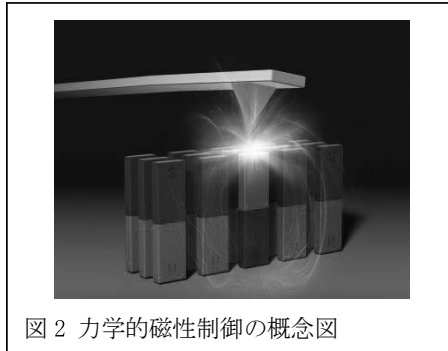
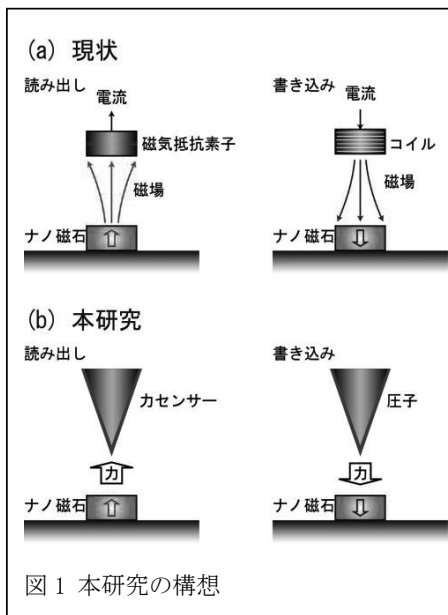


図1 能動的折紙デバイスと細胞の機能・分化への影響

羅針盤の発明以来、磁石は様々な用途で我々の生活を支えてきた。現代文明では、ハードディスク（HDD）が磁気記録媒体として身近に用いられている。HDD では、微小な磁石の磁気モーメントの向きを 0,1 に対応させて情報を記録している。HDD では、ナノ磁石が配列した記録媒体のディスクに、磁気ヘッドを約 10 nm にまで近接させ、ビットの読み出しと書き込みが行われる。読み出しは、1 ビットに対応する各々のナノ磁石からの漏洩磁場を磁気抵抗効果によって検出して行われる。一方、書き込みは、電流によって発生させる磁場によって、磁気モーメントを反転して行われる。スピン偏極した電流によって、スピントルクをかけて磁気モーメントを反転させる方式も考案されている。このように現状の HDD では、読み出しにも書き込みにも電流を流していることがわかる[図 1 (a)]。その結果、ジュール熱によるエネルギーの損失と発熱による悪影響が問題となっている。記憶容量を増やすために素子をさらに微細化すると、それらの影響がより深刻となる。このような事情は、次世代の磁気記録媒体として期待されている磁気抵抗メモリ（MRAM）等でも同様である。

そこで、省エネルギー、低発熱デバイスとして、電流を流さない磁気モーメントの検出と操作が必要とされている。例えば、電場による磁気モーメントの操作が、盛んに研究されている。素子に電圧をかけるだけなので、充放電の際の分を除くと電流を流さないで、損失と発熱を少なくできる。このような、電流を流さない磁気記録システムは、ジュール熱を発生しないだけでなく絶縁体も扱えるので、材料選出の幅が広がるという利点もある。

本研究では、電流を流さない新しい方式として、力による磁気モーメントの検出と操作を提案する[図 1 (b)]。個々のナノ磁石の磁気モーメントを力学的に検出し操作することを研究目的とする。そしてそれらの動作機構を明らかにし、本方式の基礎を確立する。電流はおろか、磁場も電場も用いずに磁気モーメントを操作しようとしている点が挑戦的である。本研究では原子間力顕微鏡（AFM）によりナノ磁石の磁気モーメントを力学的に検出し、力学的に操作する（図 2）。それらは、磁気記録の力学的読み出しと力学的書き込みに対応する。マクロな磁石に力を加えて、N 極と S 極を反転させることはできない。しかし、量子力学が支配するミクロな世界では、そのような磁性の力学制御が原理的に可能であると考えている。空間的に広がる傾向にある電流や電磁場と比較して、力はより局所的に作用を与えられるので、より微細なナノ磁石の検出と操作に有利であり、さらなる微細化につなげられる。この研究により、省エネルギー、低発熱、超大容量な磁気記録デバイスの実現という破壊的イノベーションにつながる。



①背景：熱電変換により人体熱で各種センサを駆動する、ウェアラブル・エレクトロニクス素子の研究が盛んに行われている。この分野では、異常ネルンスト効果と呼ばれる磁気熱電現象が注目されている。従来のゼーベック効果では熱流と平行な電場が生成されるが(図 1(a))、異常ネルンスト効果では強磁性体の磁化と熱流の両方に垂直な電場が生成される(図 1(b))。そのため、従来の熱電対を直列に並べたサーモパイル構造に比べて、極めて薄く単純な構造である『異常ネルンスト・サーモパイル』(図 1(c))をもちいて効率的な熱電変換を実現することができる。これは熱電デバイスの大幅な低コスト化に直結する(薄型熱電発電モジュールは、従来型で 5 万円/cm² が異常ネルンスト型で 100 円/cm²)。最近では巨大な異常ネルンスト効果の熱電能(S_{ANE})を持つ物質が続々と発見されており、近い将来、異常ネルンスト・サーモパイルが熱電変換モジュールの主流になり、生体センサやバッテリーの異常検出などの様々な用途で社会実装されることが予想される。しかし、これまでの研究では、主にデバイス全体が作る熱電信号の大きさだけが測定され、ミクロな視点が欠落していた。

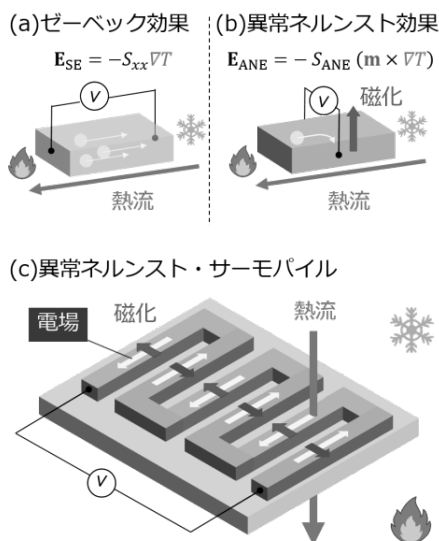


図 1. (a)ゼーベック効果. (b)異常ネルンスト熱電効果と異常ネルンスト・サーモパイルの概念図.

②目的：異常ネルンスト・サーモパイルのデバイス内部の熱電機能を高空間分解能で可視化する方法の開発。

③学術的な独自性と意義：申請者らは原子間力顕微鏡をもちいて、ナノ細線型試料に適用可能な新しい磁気イメージング法を開発した(図 2, 詳細後述)。この測定法を立体的な構造を持つデバイスに適用できるように大幅に改良することで、これまで不可能だった様々なデバイス内部の熱電機能の可視化が実現され、微視的な観点から熱電デバイスの研究を遂行するための基礎が作られる。

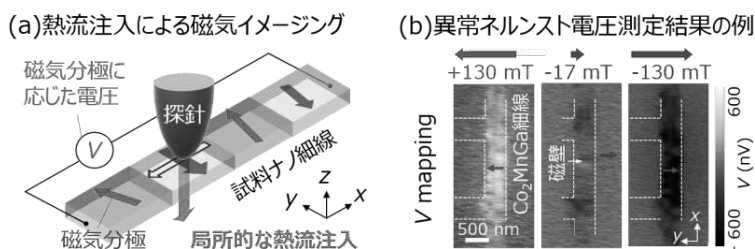


図 2. (a)局所異常ネルンスト効果の測定概念図. (b)Co₂MnGa 細線での測定例. 外部磁場に応じて、異常ネルンスト信号の分布が変化する。

④期待される成果と発展性：本研究の遂行により、異常ネルンスト効果を示す殆どすべての材料・デバイスに直ちに適用可能な非常に汎用性の高い高空間分解能(～80 nm)の熱電機能可視化法が確立される。また、本測定法は従来のゼーベック効果や、スピントラップ効果に基づいた熱電デバイスにも適用可能である。

① 背景

我々の生活を支える二次電池において、電解液/電極界面の帯電電極表面と吸着イオンからなる電気二重層（図 1a）が、充放電反応を支配する。リチウムイオンなど、金属イオンの電気化学反応を基本とした二次電池の充放電反応では、溶媒とされた金属イオンが電気二重層にて脱溶媒和し（図 1b）、金属イオンと電極が反応（図 1c）する。すなわち、電気二重層における脱溶媒和や電極反応の活性化エネルギーが充放電反応（電位）を特徴づける。ゆえに、電解液・電極材料設計による電気二重層の反応制御は、電気化学分野の最重要課題の一つである。

近年の次世代二次電池開発において、リチウムイオンと異なる金属イオンを利用した二次電池（ポストリチウムイオン電池）が精力的に研究されている。代表例として、低コスト・省希少資源化を実現するナトリウムイオン電池や、高いエネルギー密度を実現する多価イオン電池が挙げられる。これらポストリチウムイオン電池の電解液・電極設計において、長年蓄積されたリチウムイオン電池材料の設計指針は流用できない。これは、リチウムイオン電池と比較して、ポストリチウムイオン電池の電気二重層における脱溶媒和や電極反応の活性化エネルギーが大きく異なり、充放電過電圧が著しく増大（図 2）すること起因する。ゆえに、充放電反応における電気二重層の寄与の理解に基づく、ポストリチウムイオン電池の適切な電解液・電極材料設計が求められる。

② 目的

本研究は、ポストリチウムイオン電池の充放電反応における電気二重層の寄与の定量的理解（図 3）を目指す。このため、界面敏感な非線形振動分光の赤外・可視と周波発生振動分光（IR・visible sum-frequency generation vibrational spectroscopy; SFG）を用い、電気二重層を in situ 計測する。特に、金属イオンの溶媒和構造と電極反応に伴う電極構造変化に着目し、電気二重層の電位応答追跡から、脱溶媒和と電極反応の活性化エネルギーを定量化する。同時に、電気二重層の溶媒和・電極構造を精査し、活性化エネルギーとの相関を解明する。様々な電解液・電極の充放電反応における電気二重層の寄与を明らかとし、ポストリチウムイオン電池の電解液・電極開発の新たな指導原理の確立を図る。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の特色は、界面敏感な SFG を駆使し、電気化学反応における電気二重層の寄与を精査する点である。電解液/電極界面に SFG を適用した研究例はあるが、電気二重層の電位応答追跡から、充放電反応の活性化エネルギーを定量化する試みは前例がなく、独創的である。電気二重層の溶媒和構造・電極構造を同時計測し、活性化エネルギー各種との相関を理解する試みも前例がなく、ポストリチウムイオン電池の電解液・電極材料の新たな設計指針の構築に貢献する。上記電気二重層における充放電反応の定量的検討の試みは、電池開発の進展だけでなく、電気化学反応の基礎的理解の深化にもつながり、基礎・応用に跨り電気化学分野における意義は大きい。

④ 期待される成果と発展性

本研究が達成されたら、これまで様々な仮定に基づき電気化学計測から推定してきた、活性化エネルギーの直接計測が実現し、充放電反応の高精度な定量的検討につながる。同時に、「電解液・電極組成-電気二重層構造-活性化エネルギー」相関の理解は、電極・電解液材料の定量設計に基づくポストリチウムイオン電池の性能改善につながり得る。なお、当該計測技術は電池だけでなく、電解合成や電析、電溶など、あらゆる電気化学系に展開でき、電気化学における本成果の発展性は極めて高い。

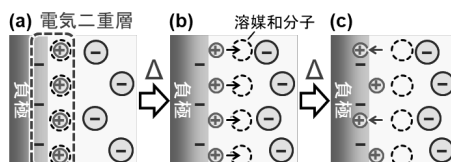


図 1. (a) 電気二重層にて (b) まず金属イオンが脱溶媒和し、(c) 続いて電極と反応する。

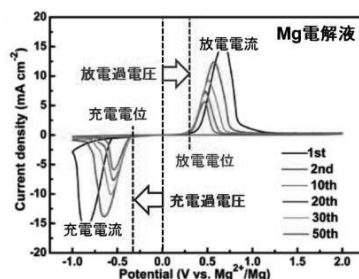


図 2. Mg イオン電池は大きな活性化エネルギーに起因した充放電過電圧によりエネルギー効率低下。

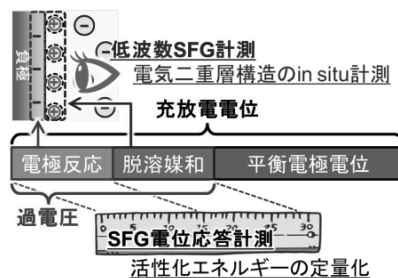


図 3. SFG による充放電反応の電気二重層構造要因の定量的検討。

メタンを含酸素化合物へ資源転換するための2元機能触媒システムの開発

研究者 静岡大学工学部 講師 茂 木 堯 彦

①背景

現在、多くの化成品は石油由来の低級オレフィン類から製造されているが、脱石油の観点からも、天然ガス（メタン）を出発資源とする炭化水素製造プロセスを再検討する必要がある。新たなメタン転換技術が数十年に渡り模索されてきたが、その中でもメタンの直接部分酸化による酸素含有化合物の合成は、夢の高難度反応として触媒化学の目標とされてきた。固体触媒系の開発の中では、ナノ空間内に銅や鉄をイオン交換したゼオライト触媒が、メタン部分酸化反応に高い選択率（> 95%）を示すことが見出され（E. I. Solomon ら, *Chem. Rev.* 2018, 118, 2718 等）、活性点構造が酵素（メタンモノオキシゲナーゼ）のそれと類似していたことから注目を集めた。しかしながら、メタノール収率は低く1%に満たなかった。この様に、生態システムに類似したコモンメタルを中心とした活性サイトの形成では限界があり、人工触媒としての特徴を生かした触媒探索が行われる必要がある。このような状況の中、申請者や他のグループがロジウム単原子をゼオライトに担持した触媒が、一酸化炭素の存在下において従来の10倍以上の効率でメタンを含酸素化合物へと転換させることを見出した。これらの研究が起点となり、ナノ空間触媒においても生態酵素模倣型のコモンメタル活性点と高いC-H活性化能を持つレアメタルを活性点との協奏効果の発現が必要であると考えた。

②目的

本研究では、異なる役割を有する複数の金属を、複核サイトとして有するゼオライト触媒を設計し、メタン部分酸化反応をさらに高効率に達成することを目的とする。特に、低温（423 K 程度）で反応を進行させることができれば、逐次酸化反応を抑制し二酸化炭素などの副生成物生成を抑制できる。高いC-H活性化能を持つ金属（ロジウム、イリジウム、パラジウム、等）と、活性酸素種生成能を持つ金属（銅、鉄、等）を、同一ゼオライト担体上に高分散に調製することで、低温で高い反応性と選択性を有する触媒の開発を目指す。

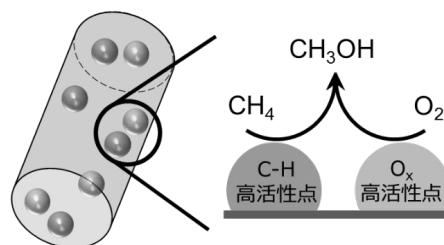
③学術的な独自性と意義

固体触媒によるメタン部分酸化反応開発では、生成物の過酸化の抑制、すなわち選択性の制御が困難であった。その中でも、結晶の細孔空間をフォールディング酵素内の空間とみなし、銅や鉄の活性点を模倣したゼオライト触媒は、比較的低温で反応が進行することが明らかにされた。過酸化が抑制されたため、選択性についての向上は見られたものの、反応率は向上せず収率は1%にも満たなかった。これに対し、生態では見られないレアメタルを活性点として導入することで、活性が数～十倍程度向上することが報告された。これは貴金属の利用による大きなブレークスルーであったが、実用レベルには至っていない。本申請では、レアメタル-コモンメタルの複核活性点を設計し、協奏的効果の発現による触媒活性のさらなる向上を目指す。

④期待される成果と発展性

空気中の酸素を酸化剤として用いるメタン部分酸化反応触媒をより高い収率で実現できれば、経済性・環境性のいずれの観点からもC1資源を根幹化成品へと転換させる、新たなプロセス開発へと繋がる。同時に、メタンのみならず低級アルカンへと同様の反応が展開できることが期待される。

細孔内高分散担持 協奏的触媒活性点



①背景（内外における当該分野の動向）

半導体材料研究の新たな潮流として、超ワイドバンドギャップ半導体の研究が盛んになりつつある。光デバイスの観点から見ると、超ワイドバンドギャップ半導体によって深紫外発光素子の作製が可能となる。また、パワーデバイスの観点から見ると、従来にない超低損失・高耐压電力変換素子の実現が可能となる。

しかしながら、ここで発光素子に着目すると、長年に渡る研究開発にも関わらず、超ワイドバンドギャップ半導体を用いた深紫外発光ダイオード(LED)の外部量子効率(発光効率)は低く留まっているのが現状である(図 1)。これは、窒化アルミニウム(AIN)やダイヤモンドといった超ワイドバンドギャップ半導体のバルク結晶育成、薄膜成長、およびデバイス作製技術が未成熟であることによる、とされている。

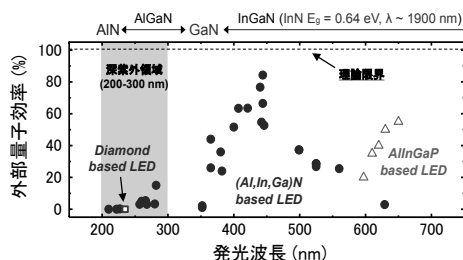


図 1. 半導体発光ダイオード(LED)の現状
(深紫外LEDの発光効率は極めて低い)

②目的(課題設定とねらい)

申請者は、上記の問題点に加えて、超ワイドバンドギャップ半導体の物性理解が不完全であることに問題意識を持っている。とりわけ、従来のシリコン半導体などと異なり、超ワイドバンドギャップ半導体においてp型とn型両方の両極性電気伝導制御が確立されていないことが、超ワイドバンドギャップ半導体を用いた光・電子デバイス応用可能性を阻んでいると申請者は着想した。そこで本研究では、超ワイドバンドギャップ半導体の1つである AIN の p型電気伝導発現に基礎物性解明と応用開拓の両観点から挑戦する。

③学術的な独自性と意義

半導体物理・工学の心臓とも言えるべき概念・技術として、両極性電気伝導制御が挙げられる。超ワイドバンドギャップ半導体では、その大きなドナー・アクセプタイオン化エネルギーのため、両極性電気伝導制御は一般に困難または不可能と考えられている。実際、本研究対象であるAINのMgアクセプタイオン化エネルギーは例えば630 meVと報告されており[Taniyasu *et al.*, Nature **441**, 325 (2006)], AINのp型電気伝導制御可能性は絶望視されている。しかしながら申請者は、先行研究で報告されている実験手法および理論計算手法に問題があることに気づき、深紫外分光実験と新たなモデルによる理論計算を行うことで、AINのMgアクセプタイオン化エネルギーは報告値のおよそ半分であることを提唱した[Ishii *et al.*, Phys. Rev. B **108**, 035205 (2023)]。本研究提案はこの申請者の発見に基づき、その知見を深化、実応用へと転回を図るものであり、超ワイドバンドギャップ半導体の真の物理限界の解明と物性制御の両方を目指しているところに本研究の学術的な独自性と意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究は、半導体と絶縁体境界に位置する超ワイドバンドギャップ半導体材料において、原理的に難しいまたは不可能と考えられている電気伝導性の発現を狙った研究である。本研究によって超ワイドバンドギャップ半導体AINの真の物理限界が露わとなり、またp型電気伝導性が発現すれば、従来物理限界と考えられてきた事象の打破を意味するため、その学術的価値は極めて高いと考えている。また、AINのp型電気伝導発現は、工学応用の観点からは、超高効率深紫外発光素子の実現へと繋がる知見となる。現在、世界で4人に1人が安全でない水を飲用しており、この水問題を解決することは喫緊の課題である。深紫外光照射は水の浄化やウイルスの不活化を可能とすることから、本研究が実を結んだ暁の、我々人類社会への波及効果は極めて大きいと考えている。

量子ビームの新たな地平～世界初のミュオンビームを実現する 量子ビーム計測・制御技術の開発

研究者 総合研究大学院大学先端学術院 准教授 大 谷 将 士

①背景

ヒッグス粒子の発見や小林・益川理論の証明、量子線を用いたがん治療など、過去 100 年にわたり人類が培ってきた加速器技術の成果と恩恵は、人類の知性と生活様式を一新してきた。新たな粒子が扱えるようになるごとに、多様な二次粒子生成や衝突型加速器による宇宙創成の解明、量子ビームによる新しい医療手法など、加速器技術はその範囲と質において異なる技術の恩恵をもたらしてきた。近年、申請者が実現したミュオンの加速は、新たな量子ビームの可能性を示している。

ミュオンは 1930 年代に宇宙線観測で発見された素粒子であり、現在ではその強い透過力を利用してピラミッドや火山、コンテナのスキャンなどに活用されている。発見から約半世紀後に加速器で人工的にミュオンを生成することが可能となり、多くの学術分野で不可欠な量子プローブとしての地位を確立している。しかし、3 次ビームとして生成されるミュオンビームは指向性が低く、既存の技術では加速することが実際上不可能であった。

近年、申請者は高い効率でほぼ停止したミュオンを生成して加速することで、ビームの指向性を千倍向上することに成功し、国内外で唯一の技術を確立した。しかし、実現したのは初段加速による光速の高々数パーセントまでの加速であり、多彩な利用の実現には、さらに高いエネルギーまで加速する必要がある。

加速エネルギーのマイルストーンとなるのが、ほぼ光速で相対論的となる 200 MeVである。高品質で相対論的なミュオンビームは、既に実績のある相対論的電子の加速技術を用いてさらに高いエネルギーまでの追加速が容易であり、衝突型加速器やイメージング装置の基盤となる。

②目的

以上の背景を踏まえ、本研究では 200MeV までのミュオン加速技術を確立する。ミュオンはこれまで加速実績のある安定・準安定な粒子と異なり、約 2 マイクロ秒の寿命を持ち、他の粒子に変化してしまうため、寿命よりも十分短い時間で加速を完了させる必要がある。申請者は、医療用加速器における小型化・高効率化技術と、電子加速で培われてきた高勾配加速技術を進化・融合することで、全 4 種類の加速空洞で約 0.7 マイクロ秒という短時間でミュオンをほぼ光速である 200MeV まで加速するミュオン専用加速器の設計に成功している。本設計に基づいて世界初のミュオン専用加速器を実現するには、これまででないミュオンビームを計測・制御する技術を確立する必要があり、その技術確立が本研究の目的となる。

③学術的な独自性と意義

素粒子ミュオンの加速に成功しているのは国内外で申請者らの研究グループのみである。ミュオン加速技術の確立によってほぼ様々な利用の基盤となるほぼ光速の加速ミュオンビームの実現を目指す本研究は、我が国の最先端技術の国際的な優位性をさらに前進させるものである。

④期待される成果と発展性

ミュオンをほぼ光速で相対論的となる 200 MeV まで加速する上で不可欠な新しい量子ビームの計測技術が実現する。ミュオンを 200 MeV まで加速することで、ミュオンビームを用いた革新的なイメージング技術の基盤が確立するとともに、ミュオン異常磁気能率(g-2)の精密測定が実現する。ミュオン g-2 は素粒子標準模型(SM)と過去の測定値の間に 5 標準偏差以上の乖離が示唆されており、SM で説明できない暗黒物質の正体解明など宇宙の謎を紐解く手がかりになると期待されている。しかし、これまでの測定ではミュオンビームの指向性に起因する大きな不確実性が含まれており、この問題を解決しなければ測定値に definitive conclusion を出すことはできない。200 MeV までミュオンを加速することで高い指向性を持つミュオンビームを実現すれば、これまででない精度で g-2 を測定し、本問題に決着をつけることが出来る。

①背景

計算機能力の向上と通信の高速化、これらを活用する情報インフラ技術、メカトロニクス技術や開発環境の整備に伴い、様々なマン・マシンインタフェースやインタラクションシステムが実現されている。これらの技術開発においては、三次元映像や音声、音響に基づいた、主に視覚と聴覚を通じたインタラクションの実現が先行し、実環境に於いて人間同士が自然におこなうタッチコミュニケーションや触覚を通じた知覚に関するものは、未だ基礎研究のレベルに留まっている。実際、人間のようにタッチ感覚や触覚を検知し、また多様な触覚感覚として工学的に提示する手法の開発が国内外で進められており、これまでに振動や微小変形、電気信号を用いるものが提案されているが、未だ標準化はなされていない。

②目的

本申請研究においては、人が触覚を知覚する際のなぞり動作や接触動作によって触覚感覚を計測するセンサおよび、計測データを遠隔地に伝送して触覚感覚として提示するディスプレイの研究開発をおこなう。触覚は、対象物に皮膚を接触させることによって知覚される感覚であり、マン・マシンインタフェースのデザインと実現の点から、人が様々な把持動作、物体操作、対象認知を行うために必要不可欠な要素である。触覚生成の機構を物理学的、情報論的に解明し、実システムとして実現することで、人間の能力拡張、人間型ロボット開発や高臨場感コミュニケーションシステムの構築に繋がる。人同士のコミュニケーションや人と仮想物体とのインタラクションにおいては「肌」感覚が大きな役割を果たしており、本申請においては皮膚の接触における触覚感覚のセンシングならびに提示を、物理工学、情報科学、認知科学、脳科学の観点から考察し、テレプレゼンスの実システムとして実現することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

本研究では、Ti-Ni-Cu 系形状記憶合金(SMA)ワイヤが、パルス電流によってその周波数に同期して高速伸縮動作を起こす現象を利用した触覚ディスプレイと触覚センサの構築ならびに、これらを応用した触覚感覚の伝送システムの構築を行う。SMA の相変態は熱の移動によって引き起こされるため、これまでは高速動作が要求されるようなアクチュエーションとその制御には不向きであると考えられていた。しかし我々のこれまでの研究により、SMA ワイヤが 1kHz 以上の周波数で変位を起こし、また外部応力による変位量が内部抵抗値の変化として高精度に計測できることを示した。これらの発見と、微小振動の精密な制御手法の確立は前例のないもので、同時に触覚感覚の計測と提示の可能性を見だしてきた。

④期待される成果と発展性

本申請研究の目標は、新規に開発する SMA 触覚センサによって触覚感覚を計測し、これを遠隔地に伝送して触覚感覚を再現することで、これまでにない触感のコミュニケーションを実現することである。これまでの研究で、人の皮膚下の 4 つの触覚受容器を個別に刺激できる微小振動アクチュエータを構築し、更に触覚の仮現運動を生起させて様々な触覚感覚を提示することに成功した。本研究は、現在までに未だ困難である、人の「肌」で感じる触覚感覚を忠実に再現することを目的とし、遠隔地どうして人肌や物体を「触る」ことを可能とする人間能力の拡張に挑むものである。昨今、人と人とのコミュニケーションの主体がネットワークへと移り、孤立化や実体間の希薄な繋がりが、世界的な社会問題となっている。触覚感覚の伝送により、コミュニケーションのリアリティが上がり、また人や物体の存在を現実的に伝えるための有効な手段となる可能性がある。過疎地域や島嶼部、途上国においては医師不足が問題となっており、遠隔診断、医療にも大きく貢献できると考えている。

ステロイドホルモンの同時判別を可能とする化学センサデバイスの開発

研究者 東京大学先端科学技術研究センター 講師 佐々木 由比

背景: ヒト尿・唾液・血液などの体液には、数多くの標的化学種（バイオマーカー）が含まれており、それらの種類と濃度からなる網羅的な化学情報によって、我々の健康状態を診断することができる。非侵襲で採取できるヒト唾液にはコルチゾールが含まれており、当該種は心理的ストレスとの因果関係が報告されているステロイドホルモンである。一般的に、ヒト体液中に含まれるバイオマーカー類は、信頼性の高い機器分析装置を用いて分析されるが、体液サンプルは分析前に前処理を施す必要があり、測定自体も長時間に及ぶため、その場で結果を知ることはいできない。そこで、その場で簡便に分析するための化学センサが望まれる。

目的: 本研究では、分子の自己集合を活用したその場分析用比色ケモセンサを開発し、コルチゾールを含むステロイドホルモン類の定性・定量分析に挑戦する。

学術的な独自性と意義: 天然では、受容体の緩やかな選択性(交差応答性)を巧みに利用し、例えば嗅覚系では数十万種の標的種に対して数百個程度のみの受容体を用いて匂いを判別している。即ち、標的種に対して数少ない受容体であっても、交差応答性を示すセンサをアレイ化することで多成分検出を達成し得る。人工分子認識材料で作製されるケモセンサは交差応答性を示すことから、当該機構を模倣したセンサアレイは標的種の捕捉に伴い多成分を同時に捕捉する化学センサの基盤となり得る。さらにパターン解析技術を導入することで、学習データに基づく正確な多成分検出・判別を可能とする実サンプル分析に耐え得る強力な分析システムが確立される（総説：佐々木ら, Coord. Chem. Rev. 2021, 429, 213607; Chem. Lett. 2021, 50, 98; 分析化学 2018, 67, 519.）(図 1)。

期待される成果と発展性: 本申請で提案する化学センサが具現化されることで、これまで課題とされてきた人工分子認識材料を用いた実サンプル分析が実現する。本研究では、当該種を簡便に分析するための化学センシングシステムの開発に注力するが、更なる発展として、本比色ケモセンサを印刷用インクとして安価な紙基板に塗布することで、使い捨て可能な紙基板型センサアレイチップを作製することができる。実サンプル（数 μL ）を塗布した紙基板上の比色応答は、スマートフォンのカメラで撮影可能であり、画像解析を搭載したアプリを用いることで、誰でも・どこでも・簡便に実サンプル分析を達成することができる。（総説：佐々木ら, Anal. Chim. Acta, 2024 342741.）

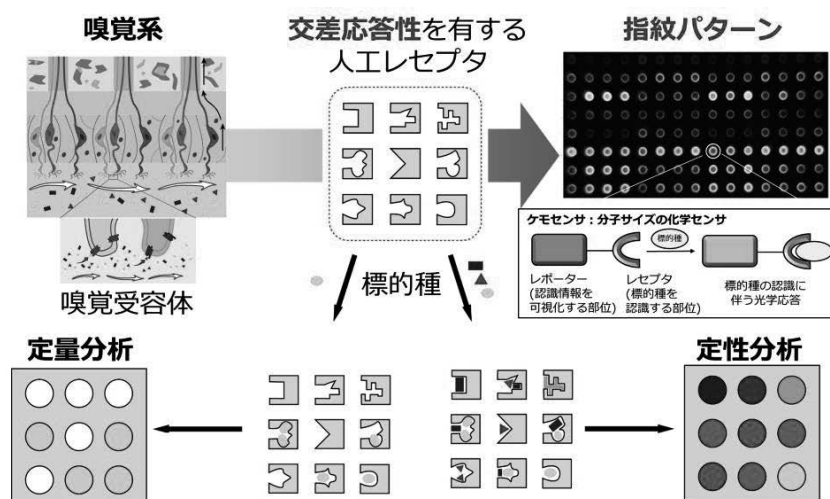


図 1. ケモセンサアレイの概念図

化学物質のヒト胎児への移行性を評価する革新的な細胞培養システムの開発

研究者 東京科学大学生体材料工学研究所 助教 堀 武 志

① 研究の背景

妊婦に対する適切な保険指導は、次世代社会の健康を確保する上で極めて重要である。たとえば、妊娠期（特に妊娠初期）には、継続的に葉酸や鉄分、カルシウムなどの摂取を行い、一方でアルコールやカフェイン、タバコといった胎児に有害な物質の摂取を控えるよう指導が行われる。薬物治療も適切に行う必要があり、多くの奇形児が生まれる結果となったサリドマイド被害事件があったように、薬物の胎児への安全性情報が不十分であれば、次世代社会への悪影響は甚大である。

しかしながら、実際のところ妊婦の摂取量と、胎児への移行量との関係については定量的なデータが得られていない物質も多い。胎児への物質移行量を正確に予測することができれば、サプリメントの適切な摂取量を指導することができ、また、有害な嗜好品の摂取を断ち切ることが困難な人々に対しても、適切な摂取指導をすることが可能となる。また、適切な薬物治療を行うことができる。

物質の母体から胎児への移動を制御しているのは胎盤である。すなわち、ヒトの胎盤における物質透過性が分かれば、胎児への物質移行量が分かることになる。しかし、胎盤はヒトと動物で構造や機能が大きく異なっているため、実験動物を用いて物質のヒト胎盤透過性を正確に予測することができない。胎盤透過性は、胎盤内のバリア細胞によって制御されているが、これまで有用なヒトの胎盤バリア細胞が存在しなかったことから、細胞を用いた正確な予測も困難であった。

2018年に東北大学医学部 有馬教授のグループがヒト胎盤幹細胞の樹立に成功した (Okabe et al, Cell Stem Cell, 2018)。この東北大学のグループと協力して申請者らは最近、この胎盤幹細胞を用いて世界で初めてヒトの胎盤バリアを模倣するオルガノイドモデルを作製することに成功した (Hori et al, Nature Communications, 2024)。

② 目的

本研究では胎盤バリアモデルを用いて母側から胎児側への物質移行量と移行メカニズムを解明する。

③ 学術的な独自性と意義

これまでの胎盤バリアモデルは絨毛癌 (BeWo細胞等) に由来する細胞が使用されてきた。この細胞は融合率が低いためバリア能は極めて低く、生体内の胎盤細胞 (栄養膜細胞) とは異なる機能を持っていることが証明されている。申請者らの胎盤バリアモデルは胎盤幹細胞を使用しており、バリア細胞の融合率がほぼ100%である。このモデルを用いて物質胎盤透過性を調べる点で独創性・新規性が高い。

妊娠初期に多くの妊婦は胎児の神経管閉鎖障害等のリスクを減らすため葉酸を摂取している。しかしながら、葉酸の胎児への輸送機構は殆ど明らかになっておらず、良い解析手段 (細胞培養モデル) も存在しなかった。本研究では、葉酸の胎盤透過率 (胎児への移行率) を明らかにし、また、その透過メカニズムを解明することにより、適切な葉酸服用指導を確立する。さらに、葉酸アナログ (構造類似体) であるメトトレキサートは絨毛癌の治療に使用されることがあるが、詳細な薬効メカニズムは不明である。そのため、メトトレキサートの薬効機序を解明することにより、より適切な薬物治療の確立につなげたい。

④ 期待される成果と発展性

新薬の開発においては、基本的には妊婦が治験に参加することはないため、被験物質の胎児への影響について正確な情報を得ることは難しい。胎盤バリアモデルの使用により、非臨床試験の段階で被験物質の胎盤透過性情報が得られ、これは創薬の効率化、胎児に安全な医薬品の開発の観点から大きな意義がある。本研究により、葉酸 (ビタミンB9) 輸送体やメトトレキサートの輸送メカニズムが明らかになるだけでなく、胎盤細胞の機能解析 (網羅的遺伝子解析を含める) を行うことにより、その他の薬物の胎盤輸送メカニズムの解明にも繋がる。

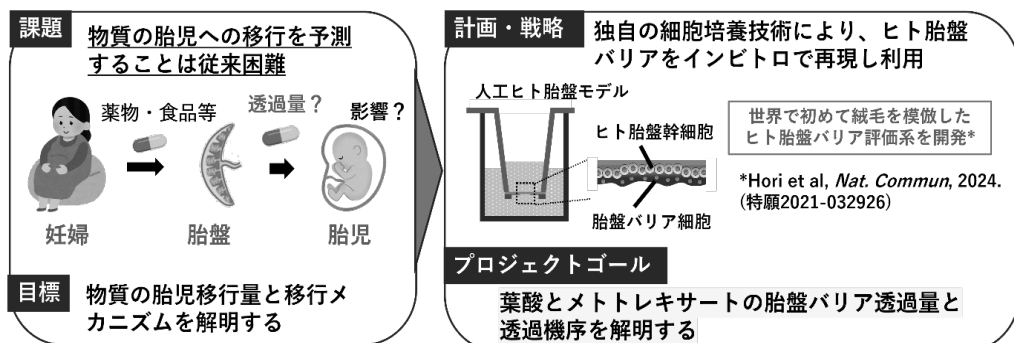


図1 本研究の概要

①背景

音楽は人間の感情や行動に深い影響を与える。音楽の医学的効能（ヒーリングやリラクゼーション効果）は、エジプト最古の医学書（紀元前 1825 年）に既に記されており、現在でもパーキンソン病をはじめとした脳疾患に対する音楽療法の臨床試験が精力的に推進されている（Neurology 100:868, 2023）。またスポーツの試合前に音楽を聴いて集中力や気分を高めることも実践されている。音楽が生体に様々な有益作用をもたらすことは広く知られているが、その効果は主観的に語られることが多く、実際にどのような生理代謝レベルの変化によって効能がもたらされるか、客観的評価は不十分である。特に、音楽のどのような特徴が、どの特定のホルモンや神経伝達物質により強く働きかけ、結果として種々の行動や生理状態の変容に繋がるかについてはよく理解されていない（図 1）。



図 1. 音楽の生体への作用と効能

②目的

本研究は、音楽が動物の行動や生理に与える影響を明らかにするために、様々な音楽や設計音源をマウスに聴かせて、行動と生理的指標および代謝変化を解析する。得られたデータの統合解析によって、音楽の特徴（リズムパターンやテンポといった各要素）と特定のホルモンや神経伝達物質、代謝産物の変化（個々にストレス軽減や心地よさ、意欲亢進、愛情形成や社会性促進などの作用を有する）の関連性を明らかにする。

③学術的な独自性と意義

音楽が生体に及ぼす影響については、認知科学分野の研究から、音楽リズムはまず脳神経活動のビート同期によって認識されると考えられている。しかしながら、それ以降どのように処理されて、行動や生理に影響を与えるかは依然として不明である。特に、各種生体分子の変動と音楽の特徴との関連性はよく分かっていない。人を対象にした実験は、得られるデータが限られる上に音楽の嗜好や主観などの個人差による影響が大きく解析が困難である。本研究は、人間同様に音楽のビート同期が可能で歯類のマウスを用いることで、先の問題を解消し、様々な音楽・音源による行動、生理、代謝への影響を体系的アプローチによって統合的に解析し、音楽の特徴と生体応答の関連性を解明しようとする点において学術的な独自性と意義がある。

④期待される成果と発展性

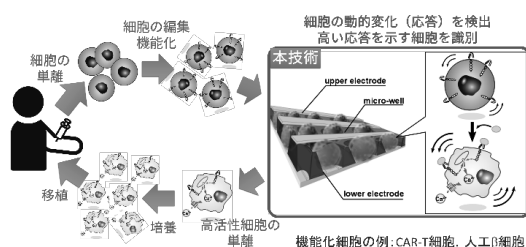
本研究は、(1) 音楽による動物の行動や生理状態、代謝変容に及ぼす影響を体系的アプローチによって解析し、(2) 音楽の特徴と特定のホルモンや神経伝達物質、代謝産物の変化との関連性を明らかにする。本研究の成果は、将来的に人での検証実験を経て、音楽による運動・学習機能の向上や健康増進などのパフォーマンス改善、愛情形成や社会性助長、疾患治療など様々な分野への応用が期待される。

均質な細胞集団の構築に資する非標識・網羅的な単一細胞の評価と回収法の開発

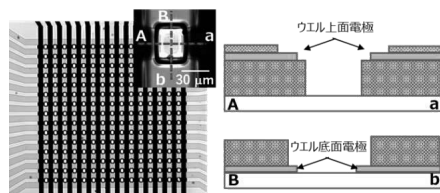
研究者 兵庫県立大学大学院理学研究科 准教授 鈴木 雅 登

①背景 血液がんの効果的な治療法の1つに、ガン細胞に対して高い選択性と駆除能力（免疫活性）が付与された人工 T 細胞（CAR-T 細胞）がある。CAR-T 細胞の移植は高い有効性を示す患者がいる一方で、重篤な副作用や治療効果がない患者も存在する。治療効果の振れ幅の大きさが課題である。その原因の1つが CAR-T 細胞群のばらつきである（Nat. Med., 26, 1813, 2021）。最新の単一細胞解析技術によって CAR-T 細胞群を構成する細胞の種類や状態に大きな多様性があることが判明している（Oncoimmunology, 10, e1866287, 2021）。しかし**通常の細胞解析方法は、細胞の破碎や染色を必要とし解析された細胞を利活用できず**、均質な細胞集団を構築することができない。そのため個々の細胞機能を評価しその評価結果に基づき目的の機能を持つ単一細胞を回収・培養によって均質な細胞集団を得る方法が必要とされている。

②目的 本研究の目的は、申請者の電極デバイスを用いて単一細胞の機能を傷つけずに分析し、その結果に応じた目的の単一細胞の回収である。さらに回収した単一細胞を培養し均質な細胞集団の取得を実証する（右図）。その実証に T 細胞を用いる。T 細胞はがん細胞の抗原と結合するとサイトカインと呼ばれるタンパク質群を分泌し異物を排除する。サイトカインの分泌の際に細胞膜の微細な凹凸構造が増加する。この細胞膜表面積の僅かな増加に由来した細胞膜容量の増加を、電極デバイスから発生させた回転電場によって誘起される細胞の回転速度（電気回転計測）の増加として検出する。この回転速度の増加を指標にしてサイトカインの分泌活性の高い T 細胞を分析・単離し培養し均質なサイトカイン分泌活性を持つ T 細胞集団の樹立を実証する。



③学術的独自性と意義 研究の独自の点は、単一 T 細胞の抗原に対する応答の非破壊で網羅的な分析である。従来、細胞応答の分析には細胞に対して蛍光分子や磁気粒子での染色が必要で、染色した時点の情報しか取得できない。そのため、T 細胞のサイトカインの分泌量や増殖速度など時間情報を取得できず細胞移植治療に有効な細胞を識別できなかった。本電極デバイスは単一細胞を捕捉するマイクロウェルとウェルに捕捉された細胞の細胞膜電気特性を計測する微小電極から構成される。異物との結合によって生じる細胞膜の微細な構造の変化による細胞膜容量の増加を細胞の電気回転速度の増加として検出する。**マイクロウェルの上下面への立体的な電極配線が新規な点で特許取得（特許第 7486162 号）済みである（右図）**。本デバイスにより T 細胞の経時追跡が可能となり分泌活性に基づく T 細胞の選別が達成される。



④期待される成果と発展性 本研究完了時に、機能が明らかになった単一細胞の取得・培養が達成され、均質な機能をもつ細胞集団が獲得できる。この細胞集団を移植することで均質で安全な細胞移植医療に貢献できる。また本電極デバイスは細胞への染色や破碎などの前処理することなく細胞種や細胞の状態の分析が可能である。そのため近年注目される培養肉に代表される細胞性食品に利用される細胞培養プロセスの品質管理、抗体医薬品の産生に利用される高品質な細胞の選別など、細胞の培養プロセスの品質管理へ応用できる。

① 背景（内外における当該分野の動向）

教育では、ChatGPT は学習目的、管理（例：奨学金や授業料などの重要な情報の提供）、アドバイス（例：キャリアの意思決定のサポート）、および研究開発（例：専門分野の知識の提供）に利用できる。ただし、ChatGPT の倫理教育の有効性は十分に検証されていない。多くの教育者は ChatGPT を導入する前に、適切かつ倫理的な使用に関する明確なガイドラインが必要であることを認識している。

さらに、急速に人気を集めている ChatGPT が最近リリースされ、その使用法と実行例に関するレポートが公開された。また、ChatGPT が生徒の認知スキルに及ぼす影響など、実践教育の効果についても議論されている[5]。しかし、倫理的な側面を取り入れた実践的な教育の有効性は十分に検証されておらず、関連する知識も限られている。OpenAI は ChatGPT の使用に関するガイドラインを提供しているが、これらはまだ AI 倫理教育フレームワークに完全には統合されていない。近年開発された ChatGPT の適切かつ倫理的な使用に関する倫理ガイドラインやカリキュラム設計は、現時点では存在しない。さらに、2024 年の時点で、ChatGPT が技術的に受け入れられる条件を調査する研究のほとんどは、大学生の年齢層に限定されているさらに、これらのテクノロジー受容モデルには、AI の倫理原則が統合されていない。つまり、体系化された AI 倫理原則を組み込んだ AI リテラシー教育が AI の技術的受容に影響を与える影響を調査した実践的な研究は行われていない。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の主な目的は、ChatGPT の利点を最大限に引き出すためにユーザに必要な AI リテラシーを習得させることにある。ChatGPT はその先進的な自然言語処理機能により、多岐にわたるタスクやコミュニケーションにおいて優れた性能を発揮する。しかし、その利用には十分な理解と倫理的配慮が必要である。AI リテラシー教育により ChatGPT の利点と欠点を正確に理解し、適切な活用法を習得することで、ユーザは ChatGPT の利点を最大限活かすことができる。同時に、ユーザは倫理的なガイドラインを遵守することで、情報漏洩や著作権違反、不正確な情報（幻覚）の提供といった ChatGPT の潜在的なリスクを回避できる。

③ 学術的な独自性と意義

本研究のテーマは、世界で進行中の ChatGPT の活用を国内で促進し、文化活動の促進および業務の効率化を図り、我が国の学術及び文化の向上発展に寄与する。活用していない企業は「必要性を感じない」「使い方が分からない」といった理由から導入が進んでいない。ゆえに本研究テーマは学術的独自性と意義がある。

④ 期待される成果と発展性

本研究テーマは、生成 AI の更なる活用と普及を促進する原動力となる。その効果は教育分野だけでなく、金融、観光分野など多岐にわたり、生成 AI の活用が進む様々な分野への波及が期待できる。本研究は我が国に大きな社会的価値をもたらす研究であり、意義深い。

研究代表者は石川県小松市のひとものづくり科学館「サイエンスヒルズこまつ」と共同で、2021 年から 2023 年にかけて AI リテラシー教育ツールのプロトタイプ「ML-RPG(Machine Learning Role Playing Game)」を開発し、高い教育効果をあげた。本研究ではこのプロトタイプを本格的に Web アプリケーションとして社会実装し、世界に向けて公開する。



図1 ML-RPG
を体験

強スピン軌道相互作用を有する磁性酸化物薄膜を基盤とする グラデーションスピントロニクスの開拓

研究者 東北大学大学院工学研究科 助教 神 永 健 一

① 背景（内外における当該分野の動向）

ペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO) は、室温で強磁性ハーフメタルを示し、次世代スピントロニクス材料として注目されている。最近、LSMO の B サイトの Mn の一部をスピン軌道相互作用の大きな Ru で置換した Ru:LSMO が提案され、室温強磁性を維持しつつ保磁力の向上と垂直磁気異方性の発現が達成された。さらに、磁性金属合金では、材料の組成を連続的に変調した傾斜組成構造が研究され、ユニークな磁気特性が報告されている。しかし、LSMO のような磁性酸化物の傾斜組成構造の作製は難しく、スピン特性との相関は未解明であった。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究では室温強磁性体である重元素ドーブ LSMO 薄膜をベースに、申請者考案の、スピントロニクス分野と傾斜組成薄膜の融合研究である“グラデーションスピントロニクス”という新分野創製を目的とする。これまで磁性酸化物に関する傾斜組成構造とスピントロニクスとの融合研究はない。本研究では申請者らの研究室が独自開発したガルバノミラー走査型パルスレーザ堆積

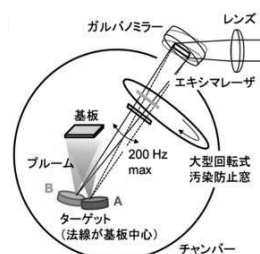


図1 ガルバノミラー走査型 PLD 装置の概略図。

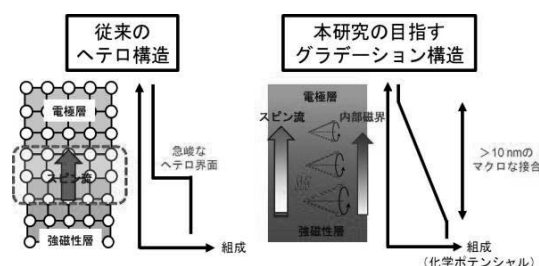


図2 従来のヘテロ構造（左）と本研究の目指すグラデーション構造（右）の対比。化学ポテンシャル勾配をもった磁気モーメント(M)を意図的に設計することでスピン流生成量増大の可能性。

(PLD)装置(図1)で重元素ドーブ LSMO のナノ傾斜組成エピタキシャル薄膜を作製し、傾斜組成構造が磁気・スピン特性に及ぼす影響を調べることを目的とする。

③ 学術的な独自性と意義

傾斜組成構造では、磁化スピンの傾斜して安定化されている可能性が高いため、詳細な構造とスピン特性の相関を明らかにするためには、薄膜内部のミクロなスピン状態の深さ分布を調べる必要がある。本研究では、SQUID 型の磁気特性測定装置 (MPMS) で薄膜全体のマクロな磁化情報を得るとともに、J-PARC での高圧中性子反射率測定を利用して傾斜組成薄膜のスピンチルト角やモーメントの深さ分布を調査する。

本研究の意義として、傾斜組成構造の導入によるスピン特性の向上が期待される。ガルバノミラー走査型 PLD 装置を用いることで、強磁性層から電極層までの連続的な組成傾斜を実現し、膜厚方向に強磁性磁気モーメントの化学ポテンシャル勾配を設計することができる。この場合、理論的には膜厚方向に内部境界が自己発生し、従来のヘテロ構造に比べて磁気モーメントの歳差運動に伴うスピントランスファートルクが大きくなり、均一組成薄膜を上回るスピン特性が発現する可能性がある。

④ 期待される成果と発展性

LSMO 薄膜は室温強磁性ハーフメタルであり、Pt などの電極層とヘテロ接合を形成することでスピントロニクスデバイスとして既に展開が始まっている。したがって、傾斜組成構造を導入した重元素ドーブ LSMO 薄膜でも同様の応用展開が期待される。この応用展開の前段階として、傾斜構造とスピン特性との相関を明らかにすることで、LSMO などの磁性酸化物を基にした新分野開拓に発展する可能性がきわめて高い。

反強磁性トポロジカル磁気構造の電氣的検出

研究者 東北大学電気通信研究所 助教 土 肥 昂 亮

①背景（内外における当該分野の動向）、②目的（課題設定のねらい）

近年、図1（左）に示すような磁気スキルミオンに代表されるトポロジカルに安定化された磁気構造“トポロジカル磁気構造”が電氣的制御の容易性とナノメートルスケールでの高熱安定性を兼ね備えていることから、これらを情報担体とした革新的情報処理技術への応用に向けて研究が活発になされている。しかし、これまで研究されてきた“強磁性”スキルミオンでは、そのダイナミクスにおいて特有の旋回力が働き、それが電流方向に対して直交した力であるためデバイス応用上、速度限界を与えることが問題となっていた。そのような背景の中、申請者は二つのトポロジカル磁気構造が反強磁性的に対をなすよう結合した反強磁性トポロジカル磁気構造（図1右）を実現し、それぞれの副格子で旋回力を打ち消すことにより、トポロジーに起因する高い安定性を維持しながら超高効率な電氣的制御を世界で初めて実証した[T. Dohi *et al.*, Nat. Commun. 10, 5153 (2019); Editors' highlights; Highly cited paper in Web of Science Core Collection (Top1% 論文)].これを契機として、超高速、超高効率な電氣的制御による革新的情報処理や反強磁性特有の非常に小さな漏洩磁場を活用した超高密度メモリ素子の候補として、反強磁性トポロジカル磁気構造が有望視されるようになり、現在では世界中で研究が盛んにおこなわれている。

デバイス応用に向け、ダイナミクスの観点から非常に有望な反強磁性トポロジカル磁気構造であるが最重要な課題が残っている。それは、反強磁性特有のマクロな磁化が消失した状態において、トポロジカル磁気構造を如何に“電氣的に”読み出すかである。本研究では、反強磁性トポロジカル磁気構造の電氣的検出を目的として設定する。ここでは特に、図1（右）に示している申請者らが世界で初めて実現した人工反強磁性スキルミオン、メロン・アンチメロン[T. Dohi *et al.*, Nat. Commun. 10, 5153 (2019)., M. Bhukta, T. Dohi* *et al.*, Nat. Commun. 15, 1641 (2024).]に焦点をあて、電氣的な検出を実現するために、反強磁性トポロジカル磁気構造存在下での電氣的輸送特性を研究する。

③学術的な独自性と意義 ④期待される成果と発展性

これまで反強磁性トポロジカル磁気構造の研究としては、どのような反強磁性トポロジカル磁気構造がどのような材料系で誘起できるのか、またどのようにして高速に制御できるのかに焦点が置かれてきた。実際、申請者の研究を契機としてダイナミクスに関する研究が活発におこなわれてきた一方、反強磁性トポロジカル磁気構造を電氣的に検出するという試みは、デバイス応用において最重要課題にも関わらず、反強磁性トポロジカル磁気構造の孤立/格子状態を再現性良く実現する難解さから、これまで研究がなされていない挑戦的な研究課題である。これは申請者のこれまでの研究に基づいた薄膜構造制御技術と電気/高周波系・光学系の洗練された測定法によって初めて達成し得る極めて独自性の高い研究である。

本研究により、反強磁性トポロジカル磁気構造の電氣的検出が実現することで、超高速情報処理・超高密度メモリのようなトポロジカル磁気構造を用いた革新的スピントロニクスデバイスの実現へ大きく前進することができる。また反強磁性トポロジカル磁気構造の電氣的検出は、反強磁性トポロジカル磁気構造の存在下でスピンを伴った電子がどのような場を感じるかを調べることに外ならない。実験的観点からそのような知見が得られることで、反強磁性スキルミオン・反強磁性マグノン結合のような複合準粒子における新たな学術的潮流が生まれることも期待できる。

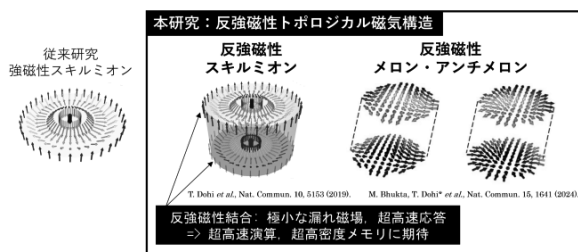


図1 様々なトポロジカル磁気構造と本研究対象。本研究では、従来研究されてきた強磁性トポロジカル磁気構造（左）ではなく二つのトポロジカル磁気構造が対をなすように結合した“反強磁性”トポロジカル磁気構造（右）に焦点をあてる。反強磁性トポロジカル磁気構造では、磁気モーメントと角運動量の補償により超高密度、超高速応答が見込まれる。

①背景

太陽よりも約8倍以上重い恒星(大質量星)は、非常に明るいため宇宙空間に電離領域を作る主要因であり、また一生の最期に超新星爆発を起こして周囲に重元素を含む物質を撒き散らすなど周りの環境に大きな影響を与えるため、宇宙の化学進化を理解する上で欠かせない要素である。しかしその重要性とは裏腹に大質量星の進化的理論はまだ発展途上であり、その理論の抱える課題の一つが進化末期の大規模質量放出である。大質量星は恒星風形で定常的質量放出を起こすというのが伝統的な考え方である。しかし近年、この考え方に疑いを生じさせるような観測がIIn型超新星において得られている。IIn型超新星はスペクトル上に水素の幅の狭いラインが見られる超新星であり、高密度の星周物質に覆われた中で超新星爆発が生じ、超新星噴出物と星周物質との衝突をエネルギー源として光ると考えられている。星周物質の起源は超新星爆発前の親星からの質量放出であり、IIn型超新星における親星の質量放出率は一般的な重力崩壊型超新星の親星に比べて3桁近く大きな値になると示唆されている。この異常に大きな質量放出率は、IIn型超新星の親星が超新星爆発の直前に大規模な質量放出を起こしたことを示している。このような大規模質量放出のメカニズムは明らかにされていない。大質量星の終末期は期間が短く親星の活動を直接観測することが難しいため、理論的に提案されているいくつかのシナリオを観測的に検証し区別するということができないからである。

②目的

申請者は、IIn型超新星のスペクトルのライン形状に、質量放出シナリオに制限をつけるための鍵が隠されていると考えている。IIn型超新星の観測スペクトルでは幅の広い輝線に狭いP-Cygライン(輝線と短波長側にシフトした吸収線が組み合わさったライン)が重なった特徴的な構造が見られる。申請者のこれまでの研究により、時間変化する狭いP-Cygラインの幅は星周物質の速度分布を、広い輝線の幅は電子散乱の不透明度すなわち星周物質の柱密度分布を、それぞれ反映することが分かっている。これは、衝撃波がスキャンした星周物質構造を、ライン形状から読み取れるということを意味する。星周物質は超新星親星の質量放出の結果として作られるため、星周物質構造がわかれば、質量放出の履歴、つまり質量放出が定常的なか爆発的なのか、爆発的ならばいつ、どのくらいの大きさのエネルギーが星の外層に注入されたのか、などの性質が決定でき、これにより質量放出メカニズム解明に迫ることができる。よって本研究の目的は、観測されたライン形状から星周物質構造診断を経て大質量星の質量放出メカニズムを明らかにすることである。

③学術的な独自性と意義

ライン形状という観測量から出発して質量放出メカニズムを判別できるという発想は、これまでの研究においてライン形状から星周物質構造を診断できることをいち早く突き止めた申請者ならではのもので独自性がある。また、放射スペクトル上のライン形状と星周物質構造の関係を明らかにするには、申請者が独自開発してきたモンテカルロ法を用いた輻射輸送計算コードを用いる。光子一つ一つの軌跡を追う本計算コードにより、スペクトルを形作る光子がどのような物理プロセスを経て放射されているのかを詳細に明らかにでき、これまで大雑把に行われてきたライン形状の解析に強固な物理的基盤を与える。

近年ではより広視野かつ高時間分解能の大規模サーベイが行われ始めており、今後超新星爆発の前駆放射も含めて観測される超新星の検出数は飛躍的に増えていくだろう。観測数が増えつつあるいま、ライン形状に基づく大質量星の質量放出メカニズム解明の手法を世界に先駆けて構築することは喫緊の課題である。

④期待される成果と発展性

本研究により大質量星の大規模質量放出メカニズムが明らかになれば、質量放出に必要な星の内部構造を知ることにつながり、大質量星終末期の進化過程を検証できるようになる。これは恒星進化理論を刷新する足がかりとなるだけでなく、大規模質量放出が生じた後には星の構造は大きく変化する可能性があるため、これが長年明らかにされていない重力崩壊型超新星の爆発メカニズムにも関連するかもしれない。また、本研究で使用するライン吸収/放射入りの輻射輸送計算コードはあらゆる型の超新星や銀河からの放射などにも応用でき、様々な天体現象について直接観測できない内部の様子を探る強力なツールになるとも期待できる。

① **背景** 金属材料の多様性と独自の特性から、金属は様々な分野で不可欠な役割を果たしている。ここで金属片ではなく金属薄膜に着目する。金属薄膜は光学機器や電子デバイス、包装のバリア技術などに広く利用されており重要な技術である。金属「薄膜」の製造には、**ドライ法とウェット法**の2つのアプローチがあり、それぞれ独自の利点と課題がある。ドライ法は主に蒸着法などの真空成膜であり、緻密で膜厚制御しやすいものの生産性や生産エネルギーに課題がある。ウェット法は主にメッキ法であり、低コスト・高生産性であるものの、その廃液など環境面に課題がある。これらの課題に対処し、より効率的で持続可能な金属成膜方法の開発が求められている。

次世代の金属成膜技術は、基板表面への均一な被覆、密な金属薄膜の形成、環境への影響の少なさ、簡単かつ迅速な加工プロセス、そして少ないエネルギー消費という特性を備える必要がある。

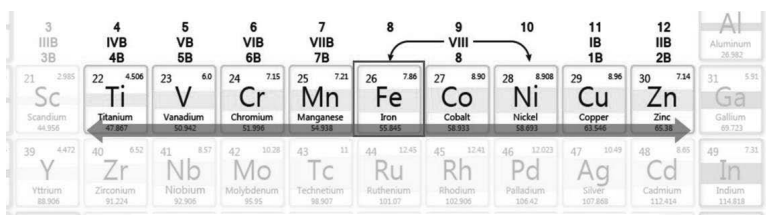


Fig. 1 本研究にFeを中心とする遷移金属が利用

これらの特性を備えた金属成膜技

術の開発は、**持続可能な未来への貢献**につながると考えられる。

② **目的** 本研究の目的は、①**有機金属錯体**をプリカーサーとし、溶液法で均一なプリカーサー膜を生成し、**VUV (Vacuum Ultraviolet) 光照射**により**有機リガンドを完全に除去し、金属薄膜**を作製することである。これは世界初の手法である。本研究では第一遷移金属（特にFe）にフォーカスし研究する。②**薄膜組成・状態**を分析することで、**VUV 照射後の有機金属錯体の反応メカニズムを検証し、理論的基盤を構築する。**

③ **学術的な独自性と意義** 将来的に**全ての金属に挑戦**することを考えているが、申請書においては**Fe**を中心とした**第一遷移金属**に焦点を合わせる。第一遷移金属は**高性能は新しい材料や技術の開発**に寄与し、特に**電極、バッテリー、磁性材料、高強度合金、エレクトロニクス**などの分野で重要な役割を果たしているためである。さらに、様々な配位子と異なる**酸化状態の錯体**を形成できるほか、良い均一系・不均一系**触媒**となり、注目を集めている。金属薄膜を例えば樹脂フィルムの上に形成する場合、**真空成膜**（蒸着法、スパッタ法）や**メッキ**（無電解メッキ等）が用いられているが、前述の通り課題がある。本研究は、**遷移金属の錯体**を金属プレカーサーとして、基板上に**溶液塗布**し、**室温もしくは低温下で、VUV 光**（ $\lambda=172\text{nm}$ ）焼成を行うことで、金属薄膜を得る手法である。**波長 172 nm の光子エネルギーは 697 kJ/mol の高エネルギーを持つため、多くの有機結合を切断できる。****VUV 光分解による製膜は、2007 年から報告された手法**（金属酸化物に関する研究 L. Prager, *Chem. Eur. J.*, 2007）や、申請者が所属する研究室にて、ポリシラザンへのVUV光照射により緻密なSiNxによるウルトラハイバリア膜が研究（論文T. Sasaki, et al, *Adv. Mater. Interfaces*, 2022）されている。一方で、**VUV 光で金属にコンバートする手法は申請者の知る限り前例が無く、世界初の新規反応である。**VUV 光焼成による金属薄膜の製膜が実現できれば、低炭素プロセスかつ高生産性により産業界に寄与するだけでなく、学術面としても金属薄膜が関わる新研究領域の創生が可能であると考えている。

④ **期待される成果と発展性** 本研究は金属薄膜が関わる技術、例えば**電極、包装用バリア層、光学材料、電気化学触媒**（CO₂還元触媒等）、**金属 3D プリント**など、様々な分野の発展に寄与できる。光焼成によるものであるため製造エネルギー削減による環境寄与も期待できる。加えて、低温プロセスであることから、低Tg樹脂上にも形成可能であり、広く金属製膜に活用可能である。すなわち、**新規金属薄膜成膜法の創出は、低炭素プロセスが渴望される産業技術に貢献する極めて野心的且つ創造性の高い研究である。**

①背景

地球環境問題やエネルギー問題は人類が解決すべき地球規模の課題であり、我々材料研究者は、新機能や高性能の物質を提案・開発することでこれら問題の解決に取り組んでいる。近年では地政学的なリスクも加わり、性能だけでなく地球上に豊富に存在するユビキタス元素のみを用いた材料開発が重要となっている。

研究対象とする酸化チタンの一種 Ti_3O_5 は、圧力・光・電界など外からの刺激で多彩な相転移を示す特徴的な酸化物である。圧力誘起の相転移を利用した熱を運搬可能な蓄熱技術、光誘起相転移を利用した光記録素子パルス電圧を利用した相変化メモリなど、エネルギーやエレクトロニクス分野での応用を期待させる多機能材料として注目を集めている。二酸化チタン(TiO_2)は光触媒効果や超親水性の特徴から外壁の塗装材として実用化されており、 Ti_3O_5 は安価・安全な酸化チタンのさらなる応用につながる未来材料である。準安定な Ti_3O_5 は 2010 年に発見された新しい物質であり、まずは材料の本質を徹底的に明らかにし、その上で最適なデバイス構造の設計・構築を進める必要がある。しかしながら、 Ti_3O_5 は試料形状の問題から、基礎的な電子物性や構造物性の知見すら満足に得られていない。

②目的

Ti_3O_5 の蓄熱・光記録・相変化メモリは全て多彩な相転移現象を動作メカニズムとする。すなわち、これらデバイスの実用化には、相転移現象の本質的な理解が不可欠である。応募者は、これまで電気測定から相転移に伴う電子物性変化の解明を進めてきた。本提案では相転移に伴う構造変化の直接観測を目的とする。応募者独自の技術で合成した Ti_3O_5 単結晶薄膜試料を用い、放射光 X 線構造解析と構造因子に基づいた回折パターンのシミュレーションから相転移に伴う構造変化を原子レベルで捉えることを目的とする。

③学術的な独自性と意義

多彩な相転移を示す Ti_3O_5 は準安定物質であり、ナノ粒子形状でしか得られていない。詳細な構造解析には大きな単結晶試料が不可欠である。しかし準安定と単結晶は相反する性質であり、通常の熱力学的平衡に従う合成法では Ti_3O_5 単結晶は実現できない。そこで応募者は、速度論的平衡が強い薄膜合成技術を活用し、世界で初めてミリサイズの Ti_3O_5 単結晶合成を実現している。

相転移現象の理解には、電気・磁気・構造物性と多方面の測定を合わせた包括的な議論が不可欠である。中でも構造解析では 3 次元的な結晶方位を規定した精密測定が最重要であり、 Ti_3O_5 単結晶薄膜を用いた放射光 X 線構造解析により相転移現象の理解を深めることで、応用研究を推進していく。

④期待される成果と発展性

単結晶薄膜試料を用いた構造解析により、特定の結晶方位に注目した構造変化を捉えることができる。図 1 に電気測定から応募者が予測した相転移に伴う構造変化を示す。相転移に伴い特定の **Ti 原子の位置が c 軸方向にずれ**、電気伝導と構造変化が共に c 軸方向に大きく変化する (図 1)。すなわち、**c 軸方向に特化した X 線回折測定**から、相転移に伴う

明瞭な変化 (回折強度や半値幅など) が期待される。このような構造解析は結晶方位がランダムな多結晶ナノ粒子では観測不可能であり、単結晶薄膜を用いることで初めて、詳細な構造変化の議論が可能となる。

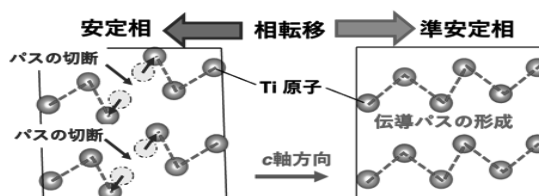


図 1. Ti_3O_5 の相転移に伴う構造変化。Ti 原子のみを取り出している。c 軸方向にパスが形成/切断され、構造と電気伝導が密接に関係していることがわかる。

①背景（内外における当該分野の動向）

2023 年、Ni 酸化物 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ が約 14 GPa の高圧下で超伝導転移温度 $T_c \sim 80$ K の高温超伝導を示すことが報告された[1]。 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ は一般式 $\text{La}_{n+1}\text{Ni}_n\text{O}_{3n+1}$ で表される Ruddlesden-Popper 相の $n=2$ に相当するが、 $n=3$ である $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ も高圧下で超伝導が示唆されており[2]、銅酸化物や水素化物に続く新たな高温超伝導物質のグループとして注目されている。しかし高圧下でしか超伝導発現しないために実験的な困難が多く、研究の進展のためには常圧下での超伝導発現が望まれている。

②目的（課題設定とねらい）

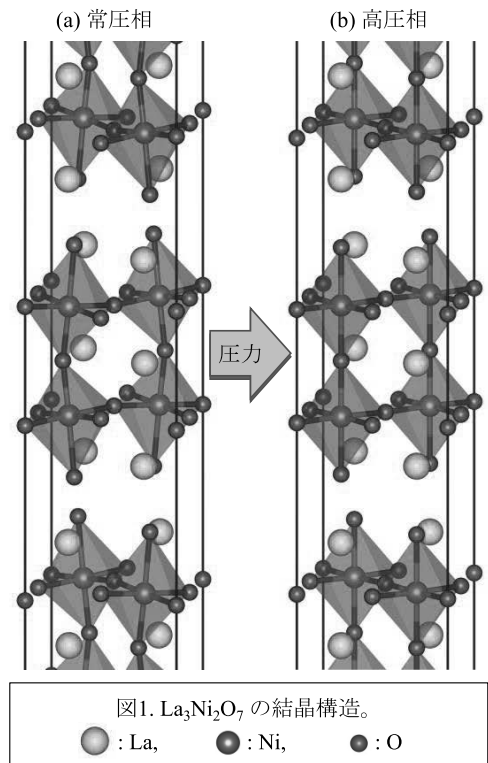
本系の超伝導発現には、図 1 に示すように、常圧では傾いて積層する NiO_6 八面体が圧力印加により直線状に整列し、層間の Ni 原子同士が強く軌道混成することが重要と考えられている。ここで、「もし常圧下で NiO_6 八面体の傾きを解消できれば圧力印加しなくても超伝導発現するのか？」という問いが生まれる。このような NiO_6 八面体の傾きは陽イオン・陰イオンの大きさによって制御できることがペロブスカイト系の研究により知られている。そのため本物質系においても同様に、適切な元素置換を行い陽イオン・陰イオンの大きさを調節することで、常圧下において NiO_6 八面体の傾きを制御することが可能と考えられる。以上を踏まえ、本研究では、 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ および $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ に対して元素置換を行い NiO_6 八面体の傾きを制御することを目的とする。最終的には、常圧下で NiO_6 八面体の傾きを解消して超伝導を実現する。

③学術的な独自性と意義

$\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ および $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ は、常圧下で最高の T_c を持つ物質群である銅酸化物高温超伝導体 (HTSC) と類似した積層ペロブスカイト型の結晶構造を持つ。そのため、これらの構造や物性についての類似点・相違点を検証することで、高温超伝導メカニズムを解明し、更なる T_c 向上や新たな高温超伝導物質開発に貢献できる意義がある。また Ni 酸化物では、詳細な実験研究に必要な「バルク試料かつ常圧下」での超伝導発現はいまだに得られていない。そのため、今後のさらなる研究の進展のためにも本物質系を詳細に研究する意義がある。HTSC と類似した Ni 酸化物における超伝導としてはすでに $(\text{Nd},\text{Sr})\text{NiO}_2$ 薄膜試料 ($T_c \sim 15$ K) [3] などが存在するが、本物質系はバルク試料であり、かつ HTSC に匹敵する高い T_c を持つことが他の物質系にはない独自の特徴である。すなわち、より詳細な超伝導特性の研究が可能であり、さらに将来想定される実用材料としての応用においても有利である。

④期待される成果と発展性

常圧下での超伝導発現の有無にかかわらず、本物質系の元素置換に伴う構造変化と物性との関係を議論し、HTSC との類似点・相違点を比較することにより、高温超伝導の必要条件を明らかにし、更なる T_c 向上や新たな高温超伝導物質開発に対する指針を与える。さらに、仮に常圧下で超伝導が得られた場合、Ni 酸化物バルク試料初の常圧下での超伝導として、Ni 酸化物超伝導体に対する基礎研究から応用研究までをリードする存在となる。すなわち、基礎物性解明へ向けた実験研究が加速するだけでなく、新たな高温超伝導材料として広く実用化するための応用研究へのモチベーションが高まる。例えば、現在実用化へ向けた研究開発が進んでいる HTSC は主に Ba や Bi など毒性の強い元素を含むが、 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ および $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ はこれらの元素を含まない物質としてより広く応用可能な高温超伝導材料となり得る。さらに $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ および $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ は、HTSC のようにブロック層の種類を様々に変えることによって、非常に大きな超伝導物質群に発展する可能性を持っている。

[1] H. Sun *et al.*, Nature **621**, 493 (2023).[2] H. Sakakibara *et al.*, Phys. Rev. B **109**, 144511 (2024).[3] D. Li *et al.*, Nature **572**, 624 (2019).

① 背景（内外における当該分野の動向）

近年、農業従事者の減少と高齢化が加速している。農業において雑草への対策は必要不可欠であるが、農業従事者にとって広大な圃場全体に発生した雑草の量や種類、分布を見極め、雑草に適した防除を行うことは身体的、精神的負担がかかる作業である。雑草への対策の重労働性や農業従事者の減少・高齢化という観点から、ドローンで撮影された圃場の空撮画像から機械学習を使って雑草を認識する研究が進められている。教師なし雑草学習データ収集による畳み込みニューラルネットワークの研究では、ドローンで撮影された圃場の空撮画像から圃場の畝を検出し、畝間雑草のデータを自動で収集、それらのデータに対して手動でアノテーションを行い学習させた（Remote Sensing 2018, Dian）。同じ空撮画像から専門家が目視で収集をした雑草のデータを用いた教師あり学習と比較して、同じ程度の精度で作物と雑草の認識ができています。雑草の画像データ収集の効率化はできている反面、機械学習においてかなりの時間と労力がかかるアノテーション作業が手動となり、正解ラベルの確認の手間を省くことはできていない。

② 目的（課題設定とねらい）

福井県では農林水産業へ注力しているが大豆の収量は伸び悩み、全国と比較すると下位に位置する。原因の1つに外来アメリカアサガオが挙げられ、大豆圃場に侵入し大豆の生育と収穫を阻害している。申請者は、育成初期の大豆圃場のドローン画像に対し、作物や雑草の色彩情報、作物畝の直線性（図1）を活かした畝上の作物除去により、畝の間に存在する4から5 cmほどの微小なアサガオ（図2）の画像データを収集した。収集したアサガオ画像上の色彩情報や形状特徴を用いラベル付けを自動化し、雑草のデータ収集から、アノテーション、学習、雑草検出までをプロセスを自動化した。本手法はテスト画像に対して6割程度の正答率でアサガオの検出が可能となっているが、畝の近くに発生している密集したアサガオを検出することができておらず、データセットに含めることもできていない。圃場内を網羅的に雑草検出するには密集アサガオを抽出する必要がある。

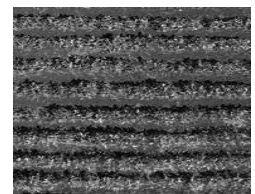


図1:大豆圃場空撮画像

図2:微小アサガオ
(4、5 cm 程度)

本研究では、密集アサガオをデータセットに含めることで、大豆圃場内に発生するアサガオ検出の精度を向上する。先行研究では畝上の作物の直線性を利用したアサガオ抽出アルゴリズムを用いていたため、畝直線近くのアサガオ画像を削除していた。本研究では畝検出にセマンティックセグメンテーション手法のSegment Anything モデルを用いることで、密集アサガオが取り除かれることを防ぐ。また、更に教師データ拡充を狙い、敵対的生成ネットワーク（GAN）を用いて疑似画像・データを生成することで、アサガオ画像を入力としGANモデルを生成し疑似アサガオ画像を得る。加えて、生成した疑似アサガオ画像をランダムに貼り合わせることで、複数の組み合わせにおける密集疑似アサガオ画像を生成する。これらのアルゴリズムを用い、微小アサガオの検出率を向上する。

③ 学術的な独自性と意義

路上の車や人間などの検出や規格化された家庭・実験室環境の物体認識においては既に多くのデータセットが公開されているが、多品種・種目が存在する植物のデータセットは網羅的に公開されていないことが多い。また、車載・スマートフォンによる撮影画像による微小雑草検出の研究は存在するものの、日本の圃場は侵入せずに作物に触らず雑草検出することが求められる。ドローンによる微小雑草検出の研究は未だ少ない。発生初期の微小雑草を検出可能となることで、作物の成長を阻害せず収量を増大できる。

④ 期待される成果と発展性

福井県や様々な場所で生息区域を広げている外来アサガオを検出可能となることで、他の作物の収量確保が可能となる。また、アサガオに限らず微小雑草は存在することから、本研究の汎用性は高いと言える。

研究者 信州大学繊維学部 准教授 矢澤 健二郎

①背景（内外における当該分野の動向）：環境低負荷型の繊維開発が望まれる背景のもと、バイオベース繊維が再注目されている。コットンをはじめとした多糖性繊維やシルク等のタンパク質性繊維が実用化されている一方で、生体の構成要素である核酸由来の繊維は、実用化されていない。核酸の中で DNA は遺伝情報物質として見なされがちであるが、塩基と糖とリン酸から構成される高分子量のポリアニオンであり、カチオンの捕捉能や芳香族化合物のインターカレーション作用を有する。そこで、DNA を繊維材料として利用できれば、耐熱性と強度が高いため防災・防護服への利用、環境中に放出された有害金属イオンやタバコの煙に含まれる発がん性物質に対するフィルター、さらには電子機器に含まれるレアアースの回収能を有する機能性繊維材料を作製できる可能性がある。繊維材料として用いる DNA を未利用バイオマスから回収する技術は、持続可能な開発目標の観点で重要であり、未利用水産資源であるサケの白子が DNA を大量に含むことに注目した。食用されるタラやフグの白子とは異なり、サケの白子は傷みやすく味が落ちやすいため、一部が飼料として用いられるものの、使用用途が少ないため多くが産業廃棄物として廃棄されている現状がある。

②目的（課題設定とねらい）：本研究では、未利用バイオマスのサケ白子から DNA を抽出し、溶液紡糸法を利用して、DNA 由来の再生繊維を大スケールで作成し、機能材料として利用することを目指す（図 1）。サケ白子から抽出する DNA は 2 万塩基対を超えるものが調製可能であり、分子量に換算すると 1000 万程度となる。繊維科学の観点では、繊維の強度や耐熱性を高めるには繊維内部の構造欠陥をできる限り減らすことが重要である。特に分子の末端は構造欠陥となりやすいため、繊維の構成要素を高分子量化することは、繊維物性の向上に寄与する。

③学術的な独自性と意義：分子量が多分散を示す傾向にある合成高分子と比較して、サケ白子由来 DNA は生体分子であり、分子量が単分散であるため構造欠陥部の発生を抑えることにつながり、繊維の機能性だけでなく物性面においても、フィルター、衣服、補強材などの実材料用途に耐える力学物性や熱的物性を有することが期待される。

④期待される成果と発展性：世界の人口が 80 億人を突破し、今後将来にわたり世界中の人々へ衣服が行き渡るか否かは、深刻な懸念である。現状では、石油由来の化学繊維に頼らなければ世界の人口に必要な衣服を調達することは出来ない。そのため、バイオマス資源を利用した繊維生産が課題となっているが、現状では、多糖性のセルロース由来の繊維の利用に限られている。一方で、DNA はあらゆる生物の遺伝情報物質として普遍的に存在し、果物や野菜の皮などの食品廃棄物、さらに酵母や植物などの未利用バイオマスにも多く含まれるため、本研究

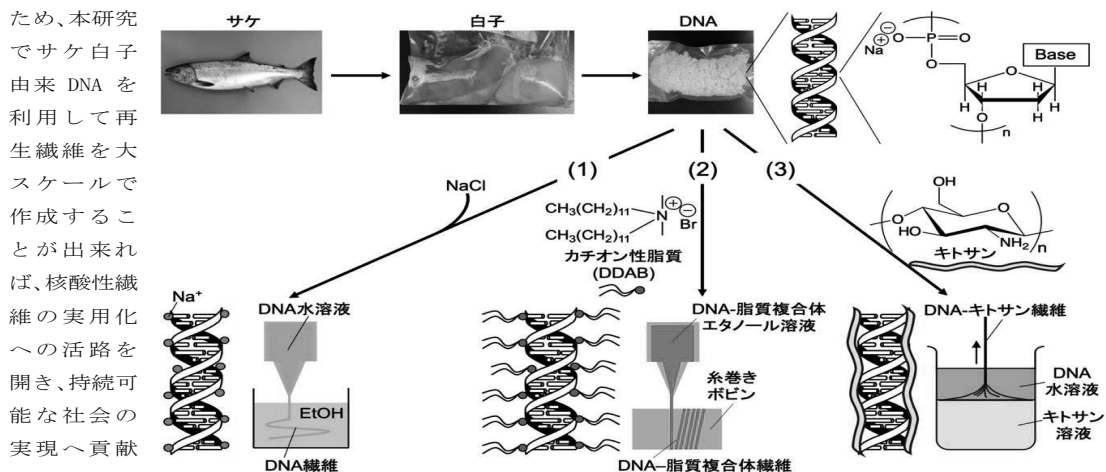


図 1：未利用水産資源のサケ白子 DNA を用いた 3 種類の再生繊維の作成スキーム。

期待される。

光学的に生体試料の硬さを計測する機械物性顕微鏡の開発 -硬さイメージングのための二次元計測の実現-

研究者 浜松医科大学光医学総合研究所 助教 田 村 和 輝

① 背景（内外における当該分野の動向）

本研究の目的は非接触的にサンプルの硬さを計測する技術を確認し、毒性や感染の恐れがあるサンプルや汚染を嫌うサンプルの硬さの計測を密閉下を実現することである。”硬さ”，は固体・液体・粘弾性体においてその性状を特徴づけるパラメータの一つである。工業的には引っ張り試験による硬さ試験，動的粘弾性試験などで固体や液体の硬さが測定され，品質管理に利用されてきた。これらの手法はサンプルを把持したりサンプルの中にプローブを浸らせる必要があるため，1 mm 以下のサンプルや少量の液体サンプルでは計測が困難であった。小さなサンプルを計測する方法として超音波伝搬を使った計測手法が提案され，小さい物体又は少量の液体サンプルに超音波センサを接触させることで弾性率や粘性率を定量評価する手法が提案されてきた。しかしながら，これらの手法でも試料に対して超音波センサを直接触れさせる必要があることに変わりはない。

② 目的（課題設定のねらい）

本研究は光学的な手法を用いて微小サンプルの硬さを計測する手法を開発する。光学計測の利点は容器内のサンプルを非接触で計測できることである。光学的に硬さに関係する物性値を計測する取り組みは 1980 年代よりレーザー超音波という分野で研究されており，金属製品や建築物などの大規模なサンプルの計測について研究されてきた。申請者はこの技術を顕微鏡視野内の小領域に適用するアプローチを提唱し，先行研究に対して 1000 分の 1 以下の弱い出力のレーザーで計測を実現し，小さなサンプルであっても熱的な影響が極めて小さくすることに成功している。本手法は密閉下で少量サンプルに対して硬さ計測を実現する特性を活かして，材料開発や生物研究，臨床検体検査の方法を根本から変える。

③ 学術的な独自性と意義

手法の独創的な点は，光音響波の発生と変位計測を試料そのものではなく試料に接する基板を介して行うことである。この特徴はレーザー超音波で課題とされてきたサンプルの熱的損傷や集光点で発生する光音響波が安定しない課題を解決し，反射波の計測感度向上にも寄与する。この特徴により，試料の色などの光学特性に影響を受けない硬さの計測が可能となる。もう一つの独創性は計測視野のリアルタイム観察が可能となる点である。光音響波の発生と計測に使用する波長と異なる波長を使えば計測位置をリアルタイムに光学カメラで観察できることを意味し，この特徴は試薬等の添加で時系列的に起こる硬さの変化を形態と同時に観察することを可能とする。生物学では細胞の薬物応答，化学的には硬化剤の添加時応答，機械加工においては加工中の脆弱材料の内部応力を光学像と同時に取得できる可能性がある。また，全ての計測を対物レンズを介して行うことから，すでに光学観察が行われているアプリケーションへの導入の障壁が低い。さらに，任意の基盤を介して計測する手法はディスポーザブル容器の使用を基本とする生物実験と相性がよいという他にはない特徴を持つ。

④ 期待される成果と発展性

超音波顕微鏡や原子間力顕微鏡を使った研究では細胞種や細胞周期によって細胞の硬さが変化することが知られている。[Arahira et. al., J. Mech. Behav. Biomed. Mater., 2016]

本提案を達成し培養細胞の固有音響インピーダンスを安定的に実現可能とすることで，再生医療への応用を考えている。（図 1）再生医療では細胞が正しく分化しているか厳しい品質管理が要求され，サンプリング検査や透過光を使った形態観察によって評価されている。申請者は硬さ情報を品質管理の要素に追加することで，現状の検査とは別の視点の情報を提供できると考えている。最終的には顕微鏡などの光学装置に対してカメラのような感覚で追加され，硬さが手軽にイメージングできるようになる。本研究の達成により硬さの計測が一般化し，基礎研究・産業・医学で活用されることを期待する。



図 1 再生医療における

非侵襲硬さ計測の応用

研究者 名古屋大学大学院工学研究科 助教 KIM JEONGHYUN

骨は、骨吸収による破骨細胞と骨形成による骨芽細胞が交互に作用して骨代謝（骨リモデリング）を行う、ダイナミックな器官です。運動不足や無重力状態の宇宙飛行士の骨密度が減少することから、機械刺激と骨の関わりは広く知られている。機械刺激は細胞機能制御において重要な因子であり、細胞が機械刺激を感知する細胞力学応答システムは、生体の発生過程や恒常性の維持に重要な役割を担っている。特に、骨細胞はメカノセンシング細胞として機械刺激を感知し骨代謝を調整する司令塔の役割を持つ。この骨細胞は、骨基質内の液体に満たされた小さな空隙(Lacunae)に存在しているため、体の動きにより骨内に伝達される機械刺激から、**骨細胞は静水圧・せん断力を感知し、骨のリモデリングを調節する。**

骨細胞は、間葉系幹細胞および骨芽細胞から分化した細胞であるが、骨細胞は硬い骨組織に埋まっているため、仮に骨細胞の単離が困難であり、また、骨細胞の単離が成功しても、試験管内においてその特性を長時間維持することができない。そのため、骨細胞分化に関する実験では骨芽細胞が用いられることが多く、骨細胞の実験モデルの確立が望まれてきた。近年、基礎研究において臓器が有する機能を試験管内で再現できるオルガノイドが注目されている。一方、骨細胞の効果的な分化誘導法がないため、骨細胞を含む骨オルガノイドの報告は未だにない。申請者の先行研究から、3次元骨細胞スフェロイド(球体細胞凝集体)において、骨細胞分化能の誘導(図1)及び静水圧刺激に対しメカノセンシング機能を持つこと(図2)が明らかになった。この静水圧メカノトランスダクション機序の理解は骨組織発生及び再生において重要といえるが、未だにその詳しい機構は不明である。また、申請者が展開した静水圧負荷実験系は加圧時のスフェロイドの状態を確認できない問題がある。

そこで、静水圧メカノトランスダクション機構解明に向け、**静水圧負荷時のスフェロイド内の変化をリアルタイム観察できるマイクロ流路デバイスを開発する**ことを本研究の目的とする。このマイクロ流路デバイスを用いたスフェロイド内の力学応答のリアルタイム観察が可能になれば、静水圧により骨リモデリングの調整が可能になる。本研究で開発されるデバイスは、近年研究が活発に行われている様々な臓器を対象としたオルガノイド研究においても静水圧刺激負荷が可能となる。本研究のような骨だけでなく、高圧力下環境におかれた臓器である心臓や血管などを対象とした基礎研究への応用が期待される学術的な意義がある。さらに、骨細胞分野においても、静水圧刺激による骨細胞のメカノセンシング機構解明に繋がる研究が可能になると期待される。この研究は、生命化学分野及びメカノバイオロジー分野のフロンティアとなる画期的な研究である。

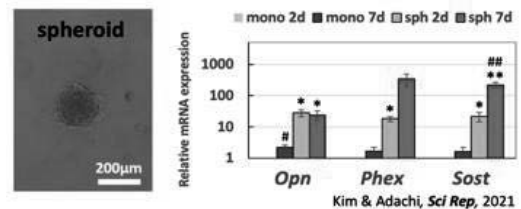


図1 ヒト間葉系幹細胞のスフェロイド化による骨細胞分化マーカー上昇. ヒト間葉系幹細胞由来スフェロイドを骨分化誘導剤(Osteogenesis supplement: OS)培地で培養すると骨細胞マーカー遺伝子発現(Opn, Phex, Sost)が大きく上昇する(培養2, 7日目)(Kim & Adachi, *Sci Rep*, 2021)

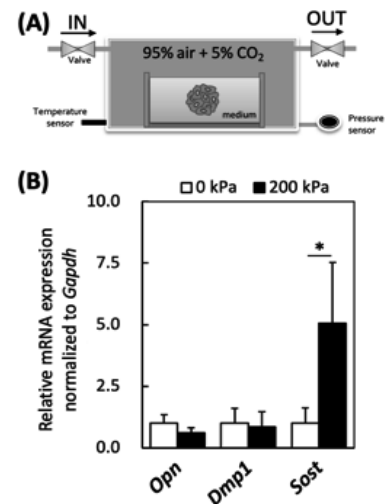


図2 静水圧負荷によるマウス骨芽細胞様由来スフェロイド内の遺伝子発現上昇 (A)空気圧式加圧装置開発, (B)マウス骨芽細胞様由来スフェロイドに200kPaの静的静水圧を4時間負荷すると, Sost遺伝子発現は5倍上昇した. (*Bone Rep*, under revision)

①背景（内外における当該分野の動向）

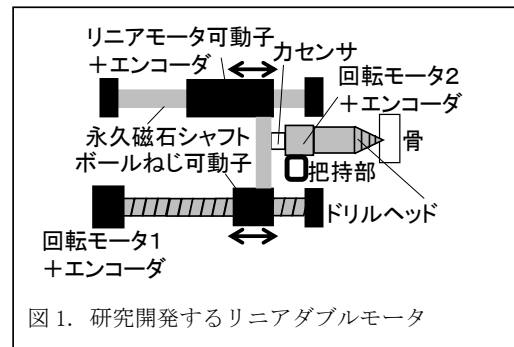
歯科インプラント手術や脊椎脊髄手術は、骨穿孔を伴う侵襲性の高い手術であるため、適切なトレーニングと十分な知識を要求する。骨の模型を用いたトレーニング法があるが、模型が高価であり、骨密度のばらつきを体験できないという欠点がある。実際、死体骨のドリリングに必要な力は、骨密度の増加と正の相関があることが知られている。力覚フィードバック機能を持つ手術シミュレータも開発されているが、下記のような問題が指摘されている：

問題 1：リニアモータやダイレクトドライブモータは位置制御性能と力制御性能が高い反面、推力重量比が低いため、再現できる力覚の大きさが十分でなく、可動域も狭い。

問題 2：ボールねじや減速機内蔵モータは推力重量比が高い反面、ボールねじや減速機の摩擦・慣性・バックラッシュ等の機械的特性が再現される力覚の中に混入してしまう。

②目的

上記の問題を解決するため、**本研究では力覚フィードバック機能を持つ手術シミュレータのためのリニアダブルモータ及び制御器を研究開発する（図 1）**。回転モータ 1（3 相式永久磁石同期モータ）を電流制御することでボールねじ可動子の駆動力を制御する。また、リニアモータ可動子（3 相式永久磁石同期モータ）を電流制御することで駆動力を微調整する。合計 6 相分の線電流は力センサ値とエンコーダ値に基づき同一のコントローラにより協調制御する。力センサの先には回転モータ 2 を介してドリルヘッドを取り付ける。このドリルヘッドにより骨切削をおこない、骨切削の数理モデルを作る。手術シミュレートの際には、骨を取り除いた上で、把持部を操作する。切削力は、リニアダブルモータの駆動力により模擬される。



③学術的な独自性と意義

意義：ダブルモータは上記の問題 1 と問題 2 を解決するポテンシャルを持つ。応募者が持つ、連続体力学、電力変換工学、制御工学に関する知見を駆使することで、高い推力重量比、高精度位置・力制御の両立を図る。

学術的な独自性：ダブルモータが手術シミュレータに採用された事例は応募者の知る限り存在しない。ダブルモータ自体の研究事例は存在するが、ダブルモータ内の非線形粘弾性モデルに基づきモータ電流を最適化し、高精度な駆動力制御をおこなった事例はない。

④期待される成果と発展性

- ・高精度な力覚フィードバック機能を持つ手術シミュレータを実現し、トレーニングに活用する。
- ・手術以外の熟練作業のトレーニングに活用する。例えば、厚生労働省が毎年認定する機械加工や金型製作等に関わる卓越した技能者や高度熟練技能者の技術継承に活用する。
- ・卓越した技能者や高度熟練技能者のスキルのデジタル化・見える化により、熟練作業の自動化に挑む。

① 背景（内外における当該分野の動向）

MEMS 技術（微小な機械要素と電子回路を統合して様々な機能を持つデバイスを製造する技術）を用いた各種のセンサは様々な箇所に搭載されている（例：自動車、航空機、宇宙船、医療機器などの内部の MEMS 圧力センサ・フローセンサ）。その設計では、周囲気体が微小構造物におよぼす抵抗や熱輸送の把握、微細な流路内の気体の流動特性の理解が重要になる。これは流体力学の問題である。しかし、通常の巨視的な流体力学では、これらマイクロスケールの微小な系内の気体の現象を正確に把握できない（例えば、流路内の気体流量が流体力学の予言値と大きく異なる）。これは、気体分子の平均自由行程と系の代表長が同程度になる（図 1）ために、気体の状態が局所平衡にごく近いという流体力学的前提が破れるからである。この場合、気体の振舞いを正しく把握するには微視的立場にたつ分子気体力学を要する。

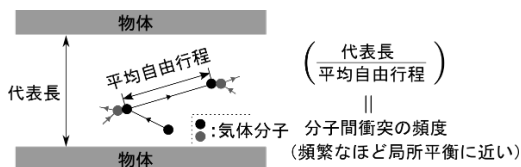


図1: 微小系における長さスケールの模式図

分子気体力学の支配方程式は気体分子の速度分布関数に対するボルツマン方程式である。時刻・位置に加え分子速度の分だけ独立変数が増えること、分子間衝突の効果を表す衝突項が複雑なこと、からその求解には単純なジオメトリでも大規模な計算を要する。先人の努力により、空間 1 次元的な系の結果には今日ではかなりの蓄積がある。一方で、MEMS デバイスでは実に様々な形状があることから実用上重要であり、また学術上も 1 次元系に比べてよりリッチな挙動を見せるであろうことから興味深い対象である空間多次元の系の結果はまだ同様の十分さには至っていない。

② 目的（課題設定とねらい）

上述の状況をふまえ、申請者は微小系内の多次元気体流の分子気体力学研究を展開していきたい。本研究課題では、具体的には矩形断面の流路内に圧力差で駆動される気体流を考える（図 2）。本研究ではボルツマン方程式の境界値問題の精密な数値解析により、この気体流の振舞いの詳しい解明を目指す。流路内の気体流量や流速・応力・熱流・温度などの巨視量空間分布といった基本特性に加え、後述の微小矩形流路に特有の 2 次流れの理解を目指す。

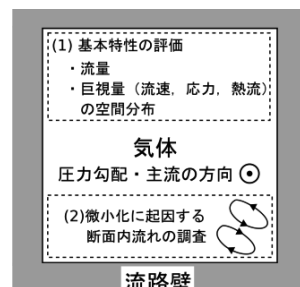


図2: 微小な矩形流路内を占める気体の圧力駆動流れ

③ 学術的な独自性と意義

矩形流路内の圧力駆動流は通常の巨視的流体力学では系統的に調べられてきた正準的な問題の一つで、非円形な断面形状と気体の非線形性により流路断面内に副次的な循環流（Prandtl の第 2 種 2 次流れ）が生じるという興味深い挙動を呈することがよく知られている。この 2 次流れは主流がカオティックとなった乱流の状態の時に限り生じる。一方で、申請者は、流路サイズの微小化が加わるとき、分子気体効果による別のメカニズムで流れが層流（定常的で整然とした流れ）の段階でも断面内の循環流が生じるだろうと予想している。実用・理論の両面で重要な微小系内多次元気体流の基本特性の知見の提供と同時に、微小系に特有の現象の存在を示すことに挑むという点で、本課題には学術的に強いインパクトが期待できると考えている。

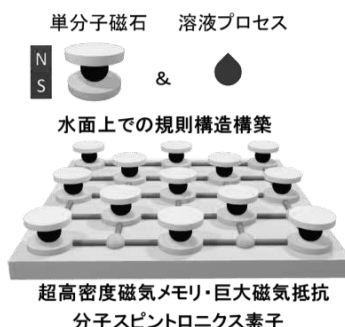
④ 期待される成果と発展性

本課題では、上の②、③の特徴から、分子気体力学やマイクロ流体工学の分野での波及効果がまず期待できる。本課題で土台を固められれば、それを足がかりに、(1)伝熱の現象に着目し上記の 2 次流れのそこへの寄与の研究や、(2)通常の流体力学でも研究の歴史の長い 2 次流れの体系 [Nikitin, Popelenskaya, and Strohh, Fluid Dyn **56**, 513-538 (2021)] の微小系版の構築、といったさらなる興味深い展開が自然と期待できる。

研究者 奈良女子大学研究院自然科学系 助教 堀 井 洋 司

① 背景

電子の電荷に加えて電子のスピンを情報処理へと応用する試み、すなわちスピントロニクスが省エネおよび情報処理速度の観点から注目を集めています。一部のスピントロニクス技術はすでに実用化されており、巨大磁気抵抗効果を利用した高感度な磁気センサーの開発によって、磁気記録デバイスの記録密度が飛躍的に向上しました。分子の自己組織化によってスピントロニクス素子を構築する「分子スピントロニクス」は、素子の小型化およびデバイス作成時の省エネルギーにおいて優れていますが、その実現のためには、分子を精密に自己集積させる手法の開発が求められます。分子スピントロニクス素子として、分子レベルで磁石として振る舞う単分子磁石をカーボンナノチューブと複合化したデバイスでは、300%にもおよぶ巨大な磁気抵抗効果が観測されています。また、単分子磁石はそれ自身が磁化の上下として 1 bit の情報を記録できることから超高密度の磁気記録媒体として利用可能ですが、個々の単分子磁石への情報の読み書きを実現するために、均一かつ大面積な 2 次元配列の形成が必要不可欠です。



② 目的

本研究では、溶液を用いた省エネルギーな分子集積手法である Langmuir-Blodgett 法を利用し、単分子磁石からなる機能性の超薄膜を構築するとともに、磁気円二色性測定や X 線回折測定、磁気測定、電気伝導度測定を用いてその機能性を解明し、分子スピントロニクスを強力に推進します。配位サイトを有する単分子磁石を独自に設計・合成し、リンカーを含んだ水溶液上にこれを展開すると、単分子磁石とリンカーとの結合形成に伴う薄膜形成が起こります。また、適切な分子設計によって 2 次元平面内に π 共役系を付与することで、電気伝導性と単分子磁石特性が共存した新奇機能性材料の構築を行います。従来のカーボンナノチューブと単分子磁石を複合化したデバイスではカーボンナノチューブと伝導電子の相互作用が弱く、動作温度が低いことが欠点でしたが、今回構築する薄膜では伝導層と単分子磁石がダイレクトに連結されており、強い相互作用の導入に伴う動作温度の向上が期待できます。また、申請者はこれまでに気液界面を利用した単分子磁石薄膜構築を報告してきましたが、より均一かつ大面積な薄膜の構築を目指して、分子設計を見直すことで均一性の向上した薄膜の構築を試みます。同時に、Layer-by-layer 法によって物性の異なる単分子磁石薄膜を交互積層することでヘテロ構造を作成し、磁気特性の向上を図ります。

③ 学術的な独創性と意義

気液界面を利用した省エネなプロセスによってスピントロニクス素子を作成する点に独創性があります。本手法ではファンデルワールス力ではなく、より方向性を持った配位結合、共有結合、あるいは水素結合によって薄膜を構築するため、構造が均一で結晶性の高い薄膜を得ることが可能です。また、拡張 π 共役系と単分子磁石を単一の薄膜において共存させた例は無く、これを実現できれば大きなスピン依存電流が期待されることから、基礎および応用の両面から本課題を実施する意義は大きいです。

④ 期待される成果と発展性

本研究によって高性能なデバイスの構築が可能となり、分子スピントロニクスが強力に推進されます。また、本課題の売りとする構造の均一な薄膜の構築は、分子をベースとしたエレクトロニクスデバイスやガス分離材料等、様々な分野へと応用が利くため、その波及効果は広範にわたります。

背景

近年、人工知能技術の進歩と一般化に伴い、医用画像診断の分野においても人工知能を用いた医学研究が活発化している。神経膠腫においても機械学習・深層学習を用いて医用画像から遺伝子情報を推定する「radiogenomics」解析が注目されている。肝腫瘍における radiogenomics では、画像情報・遺伝子情報に血液データ等の情報を付加することで、より高い精度の診断やクラス分類を実現している。しかしながら、脳腫瘍は一般的に他臓器の腫瘍と比較しても、血液データ等の有用なバイオマーカーが乏しいという問題がある。本邦では、腫瘍代謝産物を測定可能な MRSpectroscopy(MRS)が導入され、脳腫瘍の画像診断の一助となってきている。そこで我々は神経膠腫の癌代謝に着目し、腫瘍代謝産物を測定可能な MRS 情報を付加した機械学習・深層学習を行うことで、より精度の高い検出・診断が可能になると考えた。

目的

神経膠腫のうち CDKN2A/B 遺伝子の共欠失を伴う症例は特に予後が悪く、2021 年に発表された WHO 分類第 5 版でも診断に必須である。近年、標的遺伝子が欠失した際に周辺遺伝子も同時に欠失する現象である Neighboring passenger gene deletion という概念が報告され、治療標的として注目されている。CDKN2A/B は 9 番染色体に存在し、共欠失時に MTAP 遺伝子が同時欠失することが知られている。MTAP はメチオニン代謝に関与しており、欠失時にメチオニン代謝に関連する Methylthioadenosine (MTA) 等の基質が蓄積し、さらにプリン代謝が亢進し細胞外プリンが増加することが報告されている。CDKN2A/B 共欠失は癌代謝を変化させるため、術前に MRS を撮影することで CDKN2A/B 共欠失について、手術を行わずとも検出可能と考えた。一方、癌代謝経路とその代謝産物は複雑に交絡しており複数の代謝産物に変化していると考え、ヒトによる読影では判断困難であると予想した。このため本研究では機械学習・深層学習を用いた解析を導入し、unbiased な解析技術を用いて CDKN2A/B 共欠失の検出を目指す。

学術的な独自性と意義

我々は CDKN2A/B 共欠失時に同時欠失する MTAP の腫瘍代謝産物に注目し、簡便かつ非侵襲的に CDKN2A/B 共欠失を診断出来る可能性を見出した。神経膠腫において MRI 検査を用いた radiogenomics 解析が行われているが、多くの場合、通常の MRI データが使用されており、MRS を用いた radiogenomics 解析はほとんど報告されていない。本研究は最新技術である人工知能による MRS 解析を用いて、神経膠腫における腫瘍代謝産物に着目した画像解析システムを構築し、医工連携により難治・稀少癌である神経膠腫に対する治療開発の加速を目指す独創的な研究である。

期待される成果と発展性

膠芽腫をはじめとする神経膠腫の網羅的ゲノム解析により IDH や CDKN2A/B、MTAP 等の遺伝子変異が高頻度に同定され、新規治療の開発が進められている。一方で脳腫瘍における遺伝子検査等は保険収載されていない場合も多くあり、分子診断が得られない症例があること等が臨床上の課題となっている。我々は難治癌である神経膠腫において腫瘍代謝産物情報を付加した非侵襲的な画像解析システムの技術開発を目指す。これらの画像解析システムの構築により、手術検体による分子診断を行うことが出来なかった症例にも癌代謝を標的とした新規治療の応用が可能となり、神経膠腫に関連する医学的および社会的課題の解決に寄与すると考える。

再生・細胞医療で重要となる幹細胞ステムネスの質を長期的に保障する 磁性ナノ粒子分散型ハイドロゲルの開発

研究者 熊本大学大学院先端科学研究部 教授 森 田 康 之

①背景

ヒト間葉系幹細胞 (MSC) は、体のあらゆるところに存在し、生体組織の恒常性維持や修復に関与している体性幹細胞の一種である。そして MSC は、生体内外で骨、軟骨、脂肪、心臓、神経組織を含む様々な中胚葉組織へ分化する。試験管内でも強い増殖能を示し、さらには細胞の採取、単離、培養の方法が比較的簡単で、その技術が確立されていることから、今後の医療技術を支える「再生・細胞医療」の一翼を担う細胞ソースである。

ヒトの MSC 利用製品の臨床応用を進めていく上で重要となるのが、細胞利用製品としての品質管理である。特に解決すべき大きな課題の一つに、MSC のステムネスの減弱が挙げられる。 このステム

ネスの減弱は、MSC の未分化状態の不均一化を誘発し、この不均一化が治療効果のばらつきおよび信頼性低下に直結している。このステムネスの減弱の問題は、細胞利用製品としての品質管理と表裏一体な関係である。 すなわち、MSC の長期培養は、再生・細胞医療応用への品質管理のため必要不可欠である。しかしこの長期培養により、MSC は培養基板の弾性率を能動的に検知し、自らのステムネスを棄て、特定の体細胞に分化する (図 1) (Engler et al, Cell, 2006)。MSC のステムネス減弱の現象は 2014 年に発見されたが (Yang et al, Nat Mater, 2014)、問題視され始めたのは臨床応用が拡大してきた最近のことである。MSC のステムネスを長期的に保持させるような決定的な技術はまだ開発されておらず、個々の質が異なる MSC を細胞利用製品として再生・細胞医療に応用される日本の現状に Nature 誌も警鐘を鳴らしており (Nature, 2019)、解決すべき喫緊の課題と言える。

②目的

本研究は、再生・細胞医療の主要な細胞ソースの一つである MSC のステムネスを長期保持する技術を開発する。ステムネスの減弱を防ぐためには、MSC を長期培養する基板の弾性率を意図的に変化させ、一定の弾性率を経験させないことである。申請者は、磁性ナノ粒子を分散させた磁場応答性ハイドロゲルを培養基板とし、磁場印加により培養基板の弾性率を制御し、MSC のステムネスを長期保持する技術の開発に取り組む。

③学術的な独自性と意義

物理的観点からこのステムネス減弱の問題に取り組む研究はいくつか散見され、九州大学の木戸秋らもその一つである。彼らは培養基板の各場所に弾性率高低のアンジュレーションを与え、MSC ステムネスを保持することに取り組んでいる (Kidoaki, Biophys Rev, 2019)。しかし基板弾性率高低の経験が、細胞の自発的な遊走に依拠していることから、ステムネスの新たな不均一性を誘発する懸念がある。提案する研究ではその懸念は生じず、これまでにない独自の発想に基づく技術開発に取り組み、現状の再生・細胞医療が抱える問題を克服することに本研究の意義がある。

④期待される成果と発展性

再生・細胞医療が黎明期から産業基盤の基幹技術となる成熟期を迎える昨今、十年前には予想できなかった大量 ($10^8 \sim 10^9$ 個) の MSC を一度に取り扱う要求があり、その大量の MSC の個々のステムネス状態をコントロールすることが重要な課題になってきている。本研究が実現できれば、大量の細胞の品質管理が可能となり、再生・細胞医療に対するコストが大幅に削減され、再生医療のさらなる普及に貢献する。

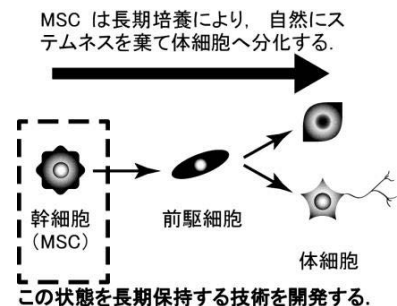


図 1 MSC の特性

①背景（内外に置ける当該分野の動向）

地球温暖化が世界的な課題となる中、ダイキン工業は、2030年を目途にCO₂を上回る温室効果がある冷媒を必要とせず、消費電力も2割程度減らせる環境負荷の低い新技術として、「磁気冷凍効果」を活用した次世代エアコンの実用化に取り組んでいる。他方、昨年3月、理化学研究所などが作製した超伝導量子コンピューターの国産1号機の稼働開始した後、2号機や3号機の稼働も報じられ、今後、超低温と呼ばれる数十～数百mKの温度領域の需要が高まることも必至である。さらに、今後の水素社会や宇宙開発に加えて、入手が困難になりつつある昨今のヘリウム事情の観点からも、室温環境での磁気冷凍技術のみならず、極低温環境を実現するための高性能・高効率な固体冷凍材料の研究・開発への展開は極めて重要である。

②目的（課題設定とねらい）

マルテンサイト変態や量子臨界点では、大きなエントロピー変化を伴うため、固体冷凍材料への応用も期待される。固体冷凍材料としては、Ni基ホイスラー合金の磁気冷凍の研究・応用が主流である。他方、量子臨界現象や量子揺らぎを利用した超低温領域の固体磁気冷凍材料の研究も進められている。しかし現状では、マルテンサイト変態の研究は、実用化の観点から室温付近での研究が主流であり、今後需要が見込まれる水素やヘリウムを対象にした極低温領域の固体冷凍材料の研究はほとんど行われていない。そこで本研究の目的は、マルテンサイト変態と量子臨界現象に注目して、これらを同時に合わせ持つ新しい多機能性ホイスラー合金を創製し、極低温（数百mK～200K）の広い温度領域で利用可能な固体冷凍材料へ応用することである。

③学術的な独自性と意義

申請者は、第一原理バンド計算ではハーフメタルであるにも関わらず、自発磁化の実験結果と第一原理バンド計算の結果が合致しない材料を発見した。磁気特性を調べたところ、常磁性－常磁性転移のマルテンサイト変態と考えられる磁化の履歴を観測した（図1）。同時に、○印のSeries 2の系列では5%程度の組成変化で急激に強磁性－常磁性転移を示すこともわかった（図2）。そこで、マルテンサイト変態と量子臨界現象を組み合わせ、広い極低温領域で動作する固体冷凍材料を開発する。極低温環境のための固体冷凍材料という観点からも独自性が高く重要である。

④期待される成果と展開性

第一原理バンド計算も併用したマテリアルデザインによって、構成元素の種類や組成の制御と最適化によって、多機能性を有する新奇ホイスラー合金の実現を目指す。①マルテンサイト変態と②量子臨界現象という多機能性をもつ新奇ホイスラー合金を創製し、それを今後ニーズが高まることが期待される固体冷凍材料へ応用するという野心的な研究課題であるという意味でも独創的で、申請者以外には皆無である。

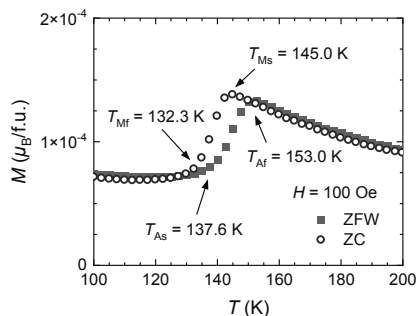


図1 磁化の零磁場昇温（ZFW）過程と磁場中冷却（FC）過程。

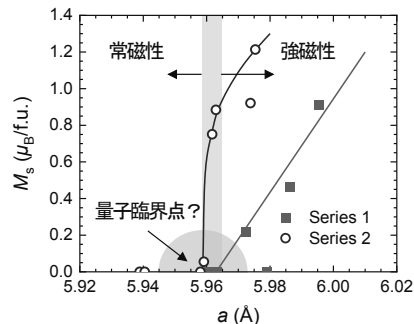


図2 本研究のホイスラー合金の自発磁化 M_s の格子定数 a に対する依存性。

④背景 ～相対論的クーロン電磁場と光誘起相転移～

準光速な荷電粒子（エネルギーMeV 以上）の周りに形成されるクーロン電磁場は、相対論的な効果により、静止系の観測者に対して進行方向に収縮する（図1）。この時、パルス幅がピコ秒の電子ビームの周りの相対論的クーロン電磁場は、ハーフサイクルのテラヘルツ電磁場として見做すことができる。超高速な電場計測という課題が立ちはだかり、近年まで、この電磁気学における特殊相対性理論を特徴づける、相対論的クーロン電磁場の収縮現象の直接実証[1]はなされていなかった。[1] M. Ota et al., Nat. Phys. 18, 1436-1440 (2022).

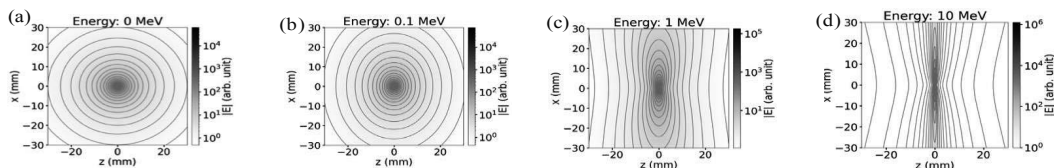


図1 エネルギー(a)0 MeV、(b)0.1 MeV、(c)1 MeV、(d)10 MeVを有する点電荷の周りに形成される電場の絶対強度に対する二次元分布&等電荷に対して相対速度のある系。

光誘起相転移は、瞬間的に光を物質に照射し、物質の相を非平衡状態で変化させることで生じる。光誘起相転移の研究は、理学（非平衡多体問題等）・工学（超高速光スイッチ等）の両面から、精力的に研究が行われてきた。特に、強相関電子系では、スピン・電荷・軌道が電子間相互作用において複雑に絡み合うことで、一般の物質（弱相関電子系）で起こる熱化（エントロピーの増加）とは対称的に、光誘起相転移を通して、新たな秩序系を形成する（エントロピーの減少）と考えられている。フェムト秒のパルス幅を有する超短パルスレーザーを用いることで、光誘起相転移の過程（電子相互作用や電子-格子相互作用）を実時間で観察されるようになり、その複雑なプロセスが明らかになりつつある。

④目的 ～相対論的クーロン電磁場を用いた固体中の電子状態の制御～

本研究の目標は、相対論的クーロン電磁場を用いた固体中の電子状態（運動量・スピン）の制御、それを介した新規物性機構の開拓である。本内容は、加速器で生成された高エネルギー電子ビームの周りに形成される電磁場を光源とした光誘起相転移現象の実験的研究である。

④学術的な独自性と意義 ～世界で初の相対論的クーロン電磁場の固体物性への応用～

上述した相対論的クーロン電磁場のハーフサイクルパルスであるという性質は、一般的な、どのシングルサイクル以上のパルス光源とも一線を画する。なぜならば、シングルまたはマルチサイクルで荷電粒子に電場を印加する場合は電子の運動量の総和は打ち消されるが、ハーフサイクル電場を印加する場合は一方向に選択的に運動量を付与できるからである。これにより、固体中の電子のエネルギーバンドを操作することが原理的に可能となり、理論的に予想されていた様々な物性機構（強相関電子系における室温超伝導の発現[2]等）を実験的に実現する事が期待される。今は電場に着目したが、磁場に着目をすれば、ハーフサイクル磁場に特有な電子スピンの制御も可能である。[2] N. Tsuji, et al., PRB 85, 155124 (2012).

荷電粒子が加速度運動を行う際に放出される放射電磁場は、現代物理に欠かせない計測手段になっている。一方で、本研究では、今まで着目されてこなかった、静止・等速直線運動を行う荷電粒子周りのクーロン電磁場を固体物性に応用する点で、他に類を見ない独自性を有する。

④期待される成果と発展性 ～通信技術への応用&非平衡物性物理の実験的研究手法の確立～

光（電場・磁場）を用いた物性制御は、超高速・大容量な通信等の産業応用が期待されており、Beyond 5Gに向けた研究が精力的に行われている。本研究は、相対論的クーロン電磁場のハーフサイクルパルスという性質を主に利用することで、今までにないアプローチでの物性（電子のエネルギーバンド・スピン）制御が期待される。さらに、非平衡物性物理に関する実験的研究のプラットフォームにもなりうる。

環境調和型ロボティクスを指向した有機材料のみからなる 電動ソフトロボットアクチュエータの開発

研究者 中央大学理工学部 助教 吉田 昭太郎

① 背景および動向

この 10 年ほど国内外で研究開発が激化している従来のソフトロボット研究は、柔らかい素材を利用して生物を規範とした機械を構築し、屈曲駆動や物体把持を可能とする技術を実現してきた(図 1 上部)。しかしながら硬さ・柔らかさの制御のためレアメタルや貴金属を利用するため環境負荷が高い問題があった。さらに多点動作や姿勢制御が困難、また主に空気圧を駆動源とすることから大型のポンプと有線を必要とし自立駆動化が困難である課題があった。この課題を解決する手法は未だ提案されていない。

② 目的(課題設定と狙い)

本研究の目的は、全て有機物材料で電動のソフトロボットアクチュエータを構築することである(図 1 中央)。申請者が開発した硬さ・柔らかさを制御可能な内骨格を有するソフトアクチュエータについて素材・構造を変更し拡張する形で、金属より生物に近く環境に優しい有機物の薄膜(皮膚)・硬軟可変材料(内骨格)と、圧力を発生する有機材料(筋肉)を小型電源によって駆動する電動化により無線化・小型化したオール有機物電動ソフトロボットアクチュエータを構築する。

機能性有機材料を複合させ、特性評価により最適組成を検討することで、金属不使用でも実用的な動作速度で駆動される電動ソフトロボットを世界で初めて実現することを狙う。

③ 学術的な独自性と意義

従来の金属ロボティクスとは異なり、独自のオール有機物で構成する利点は図 1 下部に示す。環境調和型機器の開発の重要性が増している昨今、自動車を含む様々な機械を電動化する取り組みが進んでいるが、本研究は初めて全て有機物でできた環境に優しいロボットの電動化技術の開発を目指し、未来社会への動向に合致した新たなソフトロボットの形を世界に向けて提示する。

④ 期待される成果と発展性

本研究によって、人が触れても安心・安全であり、環境負荷が少なく、低コストな人/環境調和型のソフトロボット技術を開発する。初めてのオール有機物のソフトロボットの構築技術が登場することにより、持続可能社会に向けた新しいロボット技術の概念を発展させてメーカーでの新製品開発に繋がる。

従来のソフトロボット研究



- ✓ 生物のような柔軟素材製
- ✓ 屈曲駆動や物体把持可能
- 近年開発激化

問題点

- × 一部が金属
- × 空気圧印加
- × 有線・大型

本研究の解決策

- ◎ オール有機物
- ◎ 電動化
- ◎ 無線・小型

有機材料を駆使したオール有機物“電動”ソフトロボット



オール有機物機械の利点



- ◎ 人が触れても安心・安全
- ◎ レアメタル等の廃棄時に高環境負荷な材料不使用
- ◎ 製造時の環境汚染少ない
- ◎ 低コスト大量製造技術
- 持続可能社会に貢献する人/環境調和型の“有機機械”技術革新を目指す

図 1. 研究背景と目的、独自性、意義、成果、発展性

① 背景

骨格筋は運動や代謝において重要な役割を担う組織であり、健康寿命延伸やQOL向上のカギとなるため、超高齢化社会を迎える本邦のみならず全世界で機能不全の機構解明と治療法確立が急務とされている。また、創薬における薬効評価スクリーニングで、複数の組織体を繋げてチップ上に細胞回路を形成した「臓器／生体チップ」が動物実験に代わる倫理的かつ経済的な次世代手法として期待され、基盤技術や産業化を見越した応用技術開発が各国で活発に進んでいる。しかし、これらの多くはコラーゲンゲルやマトリゲルなどの足場（スキャフォールド）上での培養であり、チップ上の筋組織の発揮力を簡便にモニタリングする手法も確立していない。

また、最近の細胞培養や動物実験による研究では、筋力の改善には筋組織そのものより、連結している腱からの作用が重要であることが指摘されている。筋と腱はお互いにホルモンを分泌し合うことで、良い共生関係を築いており、筋力改善の評価には筋 - 腱の連結組織を作製することが重要である (図 1)。さらなる知見を得るためには、外部からの力学刺激や神経からの電気信号に対する応答について詳細に調べる必要があるが、簡便かつコンパクトな実験システムは未確立である。

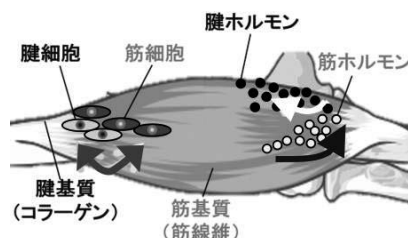


図1 筋と腱のコミュニケーション

② 目的

上記した背景を鑑み、本研究では、生体と同様に細胞みずからが足場材料を産生するスキャホールドフリー培養によって筋と腱からなる三次元細胞組織を形成し、代表者らが提案する磁性ピラーによる力学刺激の任意制御システムで培養を行い、培養中の力学刺激が電気刺激や薬剤投与による筋-腱組織の発揮力に影響を調べる。以下の2つの課題解決に取り組み、筋力改善に関する基礎的な知見を獲得するとともに、一般的なインキュベータ内で簡便に実施できる安価でコンパクトな培養システムを構築し社会に広く普及することをねらう。

課題 1 : 腱で補強することで、みずからの収縮力で破断しないスキャホールドフリー筋 - 腱組織を作製

課題2：培養中に周期的な力学刺激を制御し、力学刺激に対する筋-腱組織の性能変化を評価

③ 学術的な独自性と意義

本研究は、共同研究者が独自に開発した細胞自己凝集誘導材（CAT）を用いることで、一般的な筋培養と異なりスキャホールドフリーで任意形状の細胞組織体を形成できる。より細胞そのものの特性を反映するスキャホールドフリー培養により特に強度と発揮力に関してよりクリアな評価ができ、電磁石へのパルス波形の設計による筋組織への周期的な力学刺激の任意制御から筋組織に対する理解を深めるのが、本研究の意義である。

④ 期待される成果と発展性

上記の基礎的な知見の獲得のみならず、開発する培養システム自体は国内外の他の研究グループに広く応用できる可能性がある。今後、代表者が別テーマで開発を進める小型圧力センサ技術と併合することで、電気・力学刺激と発揮力モニタリングができる生体チップとして、創薬における薬効評価スクリーニング試験への応用を目指す（図2）。また、筋組織の成熟化技術は、医療としての筋力改善のみならず、食糧危機問題の解決策として近年注目される培養肉の作製技術への応用も期待できる。

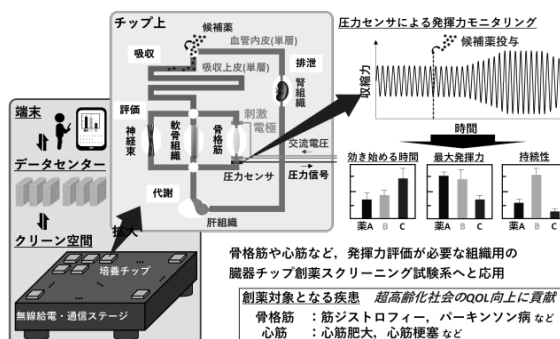


図2 本研究が将来的に目指す姿

高精度化と軽量化を両立するウェアラブル深部体温計測プローブの開発

研究者 東京科学大学工学院 助教 橋 本 優 生

①背景

温暖化に伴い、熱中症搬送者が増加する現代において、その対策は喫緊の社会課題である。熱中症は発症過程で身体内部の温度（深部体温）が上昇することから、ウェアラブルセンサで、日常生活下で深部体温を簡便かつ高精度に計測する技術が期待されている。

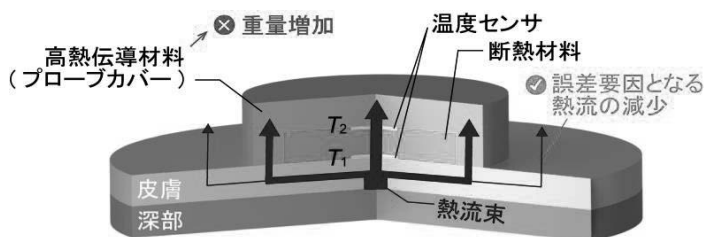


図1 先行研究で開発したウェアラブル深部体温センサの概要

一般的な深部体温計測では、体内への温度計の留置が必要で侵襲性が高く、日常利用は困難である。一方、非侵襲計測法の1つとして、皮膚近傍の熱流変化から深部体温を推定する手法（熱流束法）がウェアラブル化に向け注目されているが、気温や気流等の環境変化に伴う計測誤差の発生が実用上の課題であった。近年、申請者の研究グループが、従来の計測プローブの周囲を高熱伝導材料で被覆することで、上記誤差を低減する手法を開発した（図1）（Hashimoto et al., 2024）。しかし、上記被覆材料には質量密度の大きな金属が必要であり、計測プローブ全体の重量が市中のウェアラブル深部体温センサの3倍以上増加するため、計測プローブの軽量化がウェアラブル化に向けて解くべき課題の1つとなっている。

②目的

本研究では、先行研究において軽量化のボトルネックとなっていた被覆部（プローブカバー）に着目し、高精度化と軽量化を両立するプローブカバーの開発を目的とする。

③学術的な独自性と意義

独自性 先行研究における実用上の課題として計測プローブの軽量化を見出し、軽量化のボトルネックとなっていたプローブカバーに着目し、高精度化と軽量化を両立するプローブ開発を試みる。また、先行研究に当たるプローブカバーを用いた手法は申請者独自のものであり、熱流体解析とトポロジー最適化を組み合わせ、軽量かつ高精度なプローブカバー形状を開発する取り組みは管見の限り見当たらない。

意義 先行研究では困難であった、軽量かつ高精度なウェアラブルセンサの実現が期待される。さらに、当該センサにより、熱中症対策を始めとする計測データに基づくさまざまな体調不良予知への応用が期待される。また、本研究は、深部体温計測のハードルを大きく下げ、これまでにはない新たな深部体温の活用シーンの創出をもたらすことが期待される。

④期待される成果と発展性

先行研究では困難であった、軽量かつ高精度なウェアラブル深部体温センサの実現が期待される。さらに、当該センサにより、計測データに基づくさまざまな体調不良予知への応用が期待される。例えば、社会的要請の高い、高齢者や労働者の熱中症対策技術への応用や医療からヘルスケアまで幅広い分野での活用が期待される。また、本研究は、深部体温計測のハードルを大きく下げ、これまでにはない新たな深部体温の活用シーンの創出をもたらすことが期待される。

① 背景（内外における当該分野の動向）

高齢者および労働者の転倒災害の低減は社会的な課題である。そのために、転倒リスクを見積もる複数の指標が提案されている。力学的な観点から安定性余裕を定量化する MoS (Margin of Stability) はその一つであり、歩行中の重心と足の位置に加え、重心速度を反映できることから歩行の動的特性を捉えられる有意性がある。しかし、こうした指標は前方および側方への安定性を独立に評価するものが主流であり、日常環境で見られる斜め方向転倒が想定されていない。旋回歩行や左右非対称な歩行など、斜め方向転倒が想定される場面は数多くあり、全周方向への転倒リスク評価が求められている。申請者は、MoS を全周で評価する拡張 MoS を提案し、斜め方向転倒リスクの評価を行っている（図 1）。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の目的は、申請者が開発した安定性指標である拡張 MoS を用いて様々な条件下での旋回歩容をモデル化し、バイオメカニクスの観点から妥当性を評価することで斜め方向転倒リスク増加のメカニズムを解明し、その低減に貢献することである。

そのための課題として、第一に、旋回歩行時の拡張 MoS をバイオメカニクスの歩容パラメータで説明する重回帰モデルを構築し、斜め方向転倒リスクに対する歩容パラメータの影響を定量化する。次に、装具による動作干渉や身体機能の低下（フレイル）の影響下にある旋回歩容のモデルパラメータを健常者と比較し、旋回歩行時のバランス因子を明らかにする。これらより、転倒骨折を防ぐための安全工学およびバイオメカニクス分野の知見を得る。

③ 学術的な独自性と意義

MoS は力学的な安定性を定量化する代表的な指標である。しかし、これまでは前方あるいは側方のいずれか 1 方向のみの安定性評価に用いられてきた。拡張 MoS はこれを図 1 のように水平面で算出することで斜め方向への安定性評価を可能とした。旋回歩行は重心移動方向および足位置が左右非対称であり、斜め方向転倒リスクの方向依存性が高いため、拡張 MoS の有効性が高い。

本研究は、日常環境では広くみられる斜め方向の転倒リスクをバイオメカニクスのパラメータと関連付け斜め方向転倒のメカニズムを明らかにすることで転倒災害対策という社会的使命を果たす意義を持つ。

④ 期待される成果と発展性

本研究で扱う課題は、日常生活で頻繁に遭遇する旋回歩容における斜め方向転倒リスクを、拡張 MoS を用いて定量化するというものであり、将来的な発展および派生的な課題の解決が広く期待される。具体的には、装着型、寄り添い型など様々な支援機器の歩行安定性改善効果の定量化、フレイルなどの歩容に影響する疾患による転倒リスクの見積もり、日常生活環境におけるリアルタイム歩行分析、などが考えられる。このように、本研究は不安定歩行の知見を提供するのみならず、旋回歩行を含む多様な歩行における安定性定量化指標を提供し、様々な支援機器および日常環境を対象とした転倒リスク評価および転倒対策に貢献する

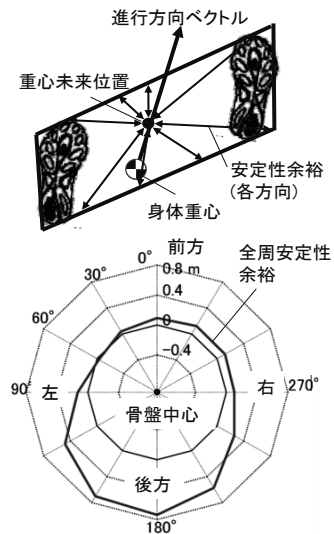


図1. 斜め方向転倒リスクを評価する全周方向安定性余裕評価

○ 本研究課題の要旨

痛みは多くの国民が経験する症状であり十分な治療が望まれるが、従来の薬物療法やリハビリテーションでは、痛みが改善していない者が少なくない。本研究は、脳、感覚モダリティ、身体に対して融合的に介入することを目的に、Virtual Reality therapy を用いて痛みに対する新しい治療介入の開発を試みる。

① 背景（内外における当該分野の動向）

人口の高齢化が進行する現在、リハビリテーションは健康寿命を延伸するために重要な方策である。申請者は、多様な疾患を有する患者に対してリハビリテーションを提供し、その効果と課題を検証してきた (Hayashi K, et al., Phys Ther (米国理学療法学会機関誌、当該分野の top journal), 2023、他)。その結果、各種のリハビリテーションは生活障害を改善させることが確認されたが、個々に診ると、**痛みによる苦痛が大きい患者を多く経験した**。各国の疫学調査においては、痛みの有訴率は国民の4分の1を超えたまま改善されていないことが指摘されており、痛みに対する新たな治療介入の開発が必要と思われる。

痛みによる苦痛が大きい患者の多くは、従来の薬物療法やリハビリテーションでは十分な改善が得られず、長期にわたって医療機関を受診する特徴がある。その要因には、感覚運動連関の異常を有する患者が多く、従来の治療介入では十分な改善を得ることが難しかったことが挙げられる。そこで、申請者らは、従来のリハビリテーションの枠組みを超えて、痛みを非侵襲的に改善させる方策として、クロスモーダル感覚に着目した。クロスモーダル感覚とは、五感の中のある感覚が刺激されることによって、実際には起こっていない他の感覚を脳が補完して錯覚するものであり、実際の感覚情報だけでは得られない新しい体験が得られることが期待される。五感の中でも、視覚情報は日常的な体験の感覚の大部分を占め、視覚の仮想体験である Virtual Reality は、クロスモーダル感覚の提示に用いやすいとされている。クロスモーダル感覚を用いた介入は、脳、感覚モダリティ、身体に対して融合的に介入する治療方策であり、従来のリハビリテーションでは引き出すことが難しかった、**身体の新しい一面を活かすことを期待**している。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の目的は、**Virtual Reality therapy が痛みを軽減させるか**、その効果とメカニズムを明らかにすることである。これまで申請者らは、Virtual Reality therapy が健常者の実験的な痛覚刺激の感じ方を軽減することを報告した。本研究計画では、Virtual Reality therapy が筋痛を軽減させる効果を検証する。

③ 学術的な独自性と意義

Virtual Reality therapy を用いた治療介入は、近年の科学技術の進歩に伴い、急速に発展している分野である。多くの分野へ向けた応用が期待されており、痛みに対する治療介入として有用性の検証が始められている。申請者らは、**リハビリテーションの立場から痛みに対する Virtual Reality therapy の実臨床応用に一早く取り組んでおり、当該分野においてリードしている研究室であると考えている**。

④ 期待される成果と発展性

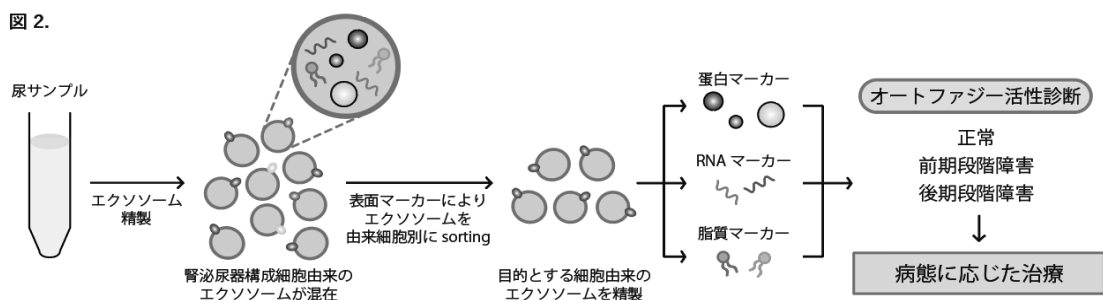
クロスモーダル感覚を用いた介入は、実臨床における応用には至っていない。本研究によって、痛みに対する介入方法を確立することは、リハビリテーションの新たな選択肢を提示することが期待される。Virtual Reality therapy は非侵襲的治療であることから、本研究が完成した後は、集中治療期から生活期リハビリテーションにわたる**さまざまな患者へ応用する研究を開始できる**。本研究計画は、多くの患者の痛みを軽減させるとともに、各種の治療介入効果を高めるための礎になるものであると考えている。

①背景（内外における当該分野の動向）：近年主要な細胞内分解システムであるオートファジーが様々な疾患に対して保護的に働くことが明らかとなり、世界的にオートファジー創薬の開発・臨床応用が期待されている。特にここ数年、化合物スクリーニングなどによりオートファジー創薬を同定する試みが国内外で数多く行われている。これらの研究により、オートファジー創薬が多数同定され、培養細胞や実験動物を用いた研究により種々の病態を改善するという成果が得られている。一方、これらオートファジー創薬のうちヒトにおいて臨床試験が開始されたものもあるが、その治療成績は必ずしも良好とは言えず実用化には至っていない。申請者は、オートファジーの後期段階が障害される病態において前期段階の活性化を行うとむしろ病態が増悪することをはじめとするこれまでの10年以上に及ぶ申請者自らの研究成果の蓄積から、**オートファジー創薬の実用化のためには、個々の患者においてオートファジーの各段階を非侵襲的にモニタリングし、障害段階に合わせたオートファジー創薬の投与を行うことが肝要である**という結論に至った（図1）。一方、現状ではオートファジー活性を評価する方法としては対象臓器の採取が必要であり、**非侵襲的なオートファジー活性のモニタリング法は存在せず**、このことが現在全世界的に開発が強力に推進されているオートファジー創薬を臨床応用する際のボトルネックとなっている。

近年エクソソームが様々な疾患のバイオマーカーとなることが期待されている。エクソソームとは様々な細胞から分泌される微小な小胞で血液や尿など体液中に存在しており、由来する細胞の多様な情報を含む。近年の国内外の研究によりエクソソームに含有されるタンパクやRNA、脂質などが、様々な疾患の新たなバイオマーカーとなることが報告されている。申請者は最近の予備検討から、**エクソソーム内にオートファジー関連分子が含まれること、オートファジーの各段階における活性化あるいは阻害により劇的にエクソソームの分泌が変化すること**を明らかとし、またさらなる検討にて**複数のエクソソームタンパクが後期段階障害を反映する**という予備知見をえた。これらの予備知見に基づき、申請者はオートファジー各段階の活性測定にはエクソソームを用いることが有望であると結論づけた。

②目的：以上より本研究は**個々の患者でエクソソームを用いたオートファジー各段階の活性測定法の確立を目指す**なお申請者は尿中エクソソームは主に腎尿路由来細胞から構成されているため尿中エクソソームを用いた腎オートファジー活性の測定法の確立は他臓器に比して実現可能性が高いと考えた。そのため本研究では個々の患者で尿中エクソソームを用いることによる腎オートファジー活性評価法の確立を目指す（図2）。

図2.



③学術的な独自性と意義：本研究は現状世界的に存在しない**非侵襲的なオートファジー活性測定法の確立を目指す**という点で独自性がある。また上述のようにオートファジー後期段階障害時に前期段階の活性化はむしろ病態を悪化させるという自らの知見に基づき、申請者は「オートファジー創薬の実用化のために個々の患者においてオートファジーの各段階を非侵襲的にモニタリングし、障害段階に合わせたオートファジー創薬の投与を行うことが肝要である」という結論に至った。この自らの知見に基づき**オートファジーの各段階にわたる活性評価を目指す**点においてさらなる独自性があり、**本研究が実用化されればオートファジー創薬の臨床応用に直結する**という点で意義深い。

④期待される成果と発展性：本研究成果は将来的に他臓器（髄液エクソソーム因子と神経オートファジー活性、血中エクソソーム因子と全身オートファジー活性など）に応用することも期待される。また本研究が実用化されれば**オートファジー創薬に対するコンパニオン診断薬・治療効果判定のバイオマーカー**として臨床応用が期待される。

①背景

介護予防・自立支援において最も大切な事は、加齢により徐々に低下する身体機能を適切に支援し、高齢者の活動範囲を可能な限り維持することであると考えられる。移動能力(歩行能力)の低下がその要因の1つであることは周知の事実である。日常生活動作(ADL: Activities of Daily Living)のひとつである立ち上がり動作は、足の筋肉によって体を支えながら、重心を移動させる動作のため、筋肉の衰えた高齢者には難しい。立ち上がり動作が行いにくいがために、身体活動量が減ってしまうと、さらに筋肉が衰える。このような高齢による衰弱は、要支援者になった理由の第2位となっている。ひいては活動量の低下からフレイルを引き起こし、健康寿命の短縮につながるという負のスパイラルに陥る。また、現在、**ADL 向上のために介護ロボットを含む様々な介護福祉機器が開発・販売されている**。しかし、使用者の残存機能を活かし活動量を向上すること(自立支援)に焦点をあてて作成された機器は少ない。**過剰な支援は高齢者の残存機能を低下させ、かつ機器の大型化・高価格化を招く**。加えて多機能化は、使用法(操作法)を煩雑化させ、介護職員の負担増大となる。結果として、機械の使用頻度減少に繋がる。このため、自分自身で利用可能であり必要な時に必要な補助を与えるシステムが求められる。

②目的

残存機能を活かした自分自身利用可能な立ち・座り動作を支援する機器の開発を行う。これまで、持ち運び性担保した杖型のシステムと負担推定ウェアラブルセンサの開発を進めてきた。このため、現在製作中の支援システムに負担推定機能を入れることで、対象者が自分自身で利用可能であり必要な時に必要な補助を与えるシステムとする。また、補助力と補助感覚についても解析することによって、残存機能を低下させない補助提示方法を提案する。これらより、残存機能を生かした立ち・座り動作支援システムとする。

③学術的な独自性と意義

これまでの研究において、動作と身体負担の関係性を解明することで、**センサフュージョン技術および動作と身体内部情報の解析から侵襲計測システムの開発を進めてきた**。この技術を用いて学術的課題である感情の可視化・定量化に対して、バイオメカニクスを軸とし、多変量解析等の統計的解析やロボティクス技術を融合したデジタルヒューマン技術を用いるのである。これらの工学的アプローチによって、**補助感覚に着目した残存機能利用による立ち座り動作支援機器の開発を実現する**。

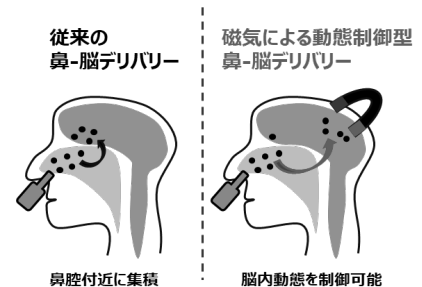
本研究の意義は、適切な補助力提供のための、補助力と補助感覚の関係性を解明することである。下肢における動作から筋活動を推定し、動作と必要な補助力の関係性を解析することで、**動作からの補助感覚可視化技術を新たに提案すること**で、自分自身で利用可能であり必要な時に必要な補助を与えるシステムの開発を目指す。「補助力」として、考慮することは身体負担を低減することだけではなく、心理的に補助されている感覚が必要である。30%以上の補助力を与え続けると、筋力が低下することが知られている。しかし、30%以下の補助力では心理的には補助を感じることは難しいことも知られているため、補助力と補助感覚の関連性を解明する必要もある。

④期待させる成果と発展性

補助力と補助感覚の関係性から、人の認知において外部による影響を解明することに繋がる。これにより加齢に伴う身体能力低下を補助するだけでなく、トレーニング時の補助感覚可視化に転用することができる。また、2022年の日本の総人口に対し高齢者人口は3627万人と29.1%を占めている。人数は年々増加傾向にあり、要支援者、要介護者も増えている。その1%が立ち座り動作支援機器の利用対象だとしても36万人が対象となり、事業規模は10億円程度であり、社会への技術還元にも有効である。

①背景

脳には血液脳関門 (Blood-brain barrier; BBB) が存在し、物質の移行が制限されるため、脳へ効率よく薬物を送達するためにはドラッグデリバリーシステム (DDS) 技術が必要となる。一方で、経鼻投与を介した鼻から脳への薬物移行経路 (鼻-脳経路) の存在が示唆され、これを利用した脳デリバリー研究も精力的に行われている。しかし、鼻-脳デリバリーでは、鼻腔から離れた部位には分布しにくく、薬物が移行する脳部位が限定されている。そのため、脳疾患治療に幅広く応用するためには、**脳内での薬物分布を精密に制御する方法論**が必要となる。これまでに申請者は、薬物の体内動態を制御する手法として、磁性材料と外部磁場を利用した**磁気ターゲティング**の研究を、がん治療に対して行ってきた。そこで、申請者は**鼻-脳デリバリーと磁気ターゲティングを併用することにより効率のかつ疾患部位選択的な脳への薬物デリバリーを可能にし、疾患治療への可能性を広げられると考えた。**



②目的

経鼻投与に適した**磁気誘導性 DDS キャリア**を設計し、経鼻投与と**磁気ターゲティング**により脳の狙った部位に薬物をデリバリーするシステムを開発する。申請者らはこれまでに、薬物をポリ乳酸-グリコール酸 (PLGA) ナノ粒子に封入することで鼻-脳デリバリーの効率を向上させられることを見出している。そこで、目的の薬物および鉄ナノ粒子を PLGA ナノ粒子に封入した新規 DDS 材料を開発する。そして、脳の特定部位に磁気をあてることで薬物の脳内動態制御を目指す。最終的にはグロウマモデル動物を用いてその有用性を確認する。

③学術的独自性と意義

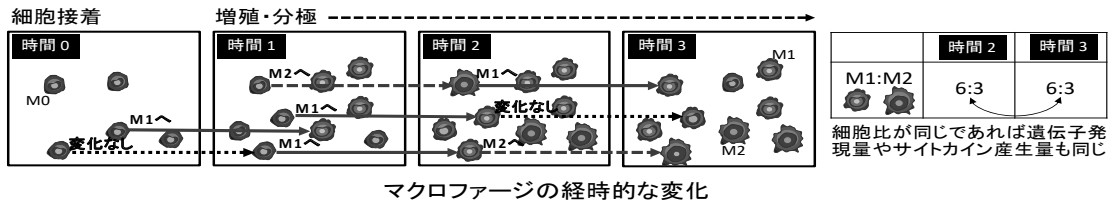
鼻-脳デリバリーは全身循環への薬物移行を最小限に抑え、非侵襲的に薬物を脳へ送達できるため、脳デリバリーのための新規戦略として期待されている。しかし、鼻-脳デリバリーにおける脳内薬物分布は薬物の拡散特性に依存し鼻腔に近い部位に限局するために、応用できる疾患に限られる。今回、申請者が開発するシステムは**磁気を用いる新たな手法により薬物の脳内拡散特性を外部から制御し、脳内分布の改善を図るものである。**これは鼻-脳デリバリーが直面する課題に対してこれまでにないアプローチで解決策を提案する。

④期待される成果と発展性

本研究が成功することで、脳疾患に対する非侵襲的かつ副作用の少ない薬物治療プラットフォームができると期待される。脳への薬物到達率は非常に低いため、脳疾患に対する薬物治療では大量の薬物を全身投与することで行われる。これは全身性の副作用発現を誘導する上、医療経済的観点からも問題である。また遺伝子治療などでは脳に直接遺伝子ベクターが投与されるが、頭蓋骨に穴をあけるため、侵襲性の課題がある。鼻-脳デリバリーによって効率的に脳の疾患部位に薬物を送達できれば、これら**脳疾患治療の課題 (侵襲性・全身性副作用・経済学的問題)**を解決できると期待される。さらに将来的には MRI と同じプラットフォームで磁場を照射することができれば、診断と治療を同時に行う、「セラノスティクス」が実現できると考えている。

① 背景

人工臓器や再生医療用足場材料などに使用されるバイオマテリアルは、マクロファージなどの作用により、炎症反応の一種である異物反応を引き起こすことが知られている。そのため、炎症性評価の第一歩としてマクロファージをバイオマテリアル上で培養し、マクロファージが炎症促進作用を示す M1 型と炎症抑制や組織修復を導く M2 型のどちらに誘導されるかを評価する。一般的な遺伝子発現解析や免疫染色は細胞を殺すものであり、経時的に細胞を評価するためには時間ごとに別のサンプルを準備する必要がある。また、遺伝子発現解析では、細胞個々の遺伝子発現量ではなく、細胞集団の傾向を評価しており、さらに表現型は外的環境に応じて可逆的に変化するにもかかわらず、個々の細胞の表現型の変化を評価できていない。マクロファージは表現型によって形状が異なるが、経時的にも大きく変化するため、定量的な閾値を定義することは難しく、数値的に表現型を評価するには至っていない。蛍光顕微鏡画像を用いた細胞画像の分類では、細胞核と細胞骨格を染色して表現型を識別した報告がある (Hassan M. Rostam, et al. Sci. Rep., 2017)。この染色手法は細胞膜透過処理 (侵襲的) の必要があり、細胞は死ぬため、生きた細胞の経時的な変化は捉えられない。そこで、広く使用されている種々の簡易な生細胞イメージング (非侵襲) で取得した細胞の蛍光顕微鏡画像を用いることで、外的環境に応じて可逆的に変化するマクロファージのバイオマテリアル上での表現型の識別を実現できるとの着想に至った。



② 目的

本研究課題の目的は、マクロファージの表現型の識別のための生細胞イメージング画像の AI 分類である。AI 画像分類を導入することで、新たな細胞表現型評価法を確立する。具体的には、マクロファージの表現型と細胞画像を学習させ、表現型が未知のマクロファージの画像を評価させることで表現型を明らかにする。生細胞イメージングのための染色法には、細胞質全体を染色するものから、細胞の一部である細胞骨格、小胞体、細胞核などの小器官のみを染色するものまで様々である。細胞の何が各表現型を特徴付けるのかは明らかになっていないため、生細胞染色試薬を単独あるいは複数の組み合わせで染色し、各生細胞染色法による識別精度を比較することで、表現型の識別に有用な生細胞染色法の特定とともに、各表現型における細胞小器官の特徴を明らかにできる。

③ 学術的な独自性と意義

マクロファージは表現型によって、その形状が異なることが報告されている (R. Sridharan et al. Acta Biomaterialia, 2019) もの、形状から表現型を識別するまでには至っていない。深層学習による画像分類の導入により、形状情報を表現型の識別に応用する点が本研究課題の特徴である。本研究課題で提案する手法は、細胞を生存させたまま経時的に観察することを可能とするため、バイオマテリアルのサンプル数削減や、経時的に変化するバイオマテリアルに対するマクロファージの評価に有用である。

④ 期待される成果と発展性

この技術はバイオマテリアルに接着して機能発現を行う上皮細胞や間葉系幹細胞の分化評価に活用でき、様々な細胞応答性の評価に応用可能である。したがって、医療機器の中でも特に生体内に移植して用いられる人工臓器や再生医療用材料などに大きく貢献できると考える。また、マクロファージは、人工股関節などの摩耗粉などの異物だけでなく、体内に入った PM2.5 などの微小粒子状物質や海洋マイクロプラスチックにも関与すると考えられている。これらの評価や、医薬品等の薬物スクリーニングにも本研究課題は応用可能であることから、社会的に懸念されている環境汚染物質の人体への影響や新規医薬品開発等の評価・解明にも貢献することが期待できる。

運動による実行機能低下の生理機構: 末梢血乳酸がバイオマーカーとなりうるか

研究者 新潟医療福祉大学健康科学部 講師 越 智 元 太

1. 本研究の背景: 激しい運動は、筋機能だけでなく注意集中・選択判断といった実行機能の低下も招く。実行機能は、スポーツ時の選択判断 (Vestberg ら, 2012) や、別々に動く体部位をまとめて制御する運動協調性 (Piek ら, 2004) の基盤であり、実行機能低下は、競技力低下 (Wylie ら, 2018) だけでなく、危険行動誘発や、労働時の事故、怪我発生などと関連しうる (Reynolds ら, 2019)。そのため、早期の生理機構解明と対処法開発が望まれる。

運動による実行機能低下は前頭前野神経活動低下によって生じるが (Ochi ら, 2018)、その発生機序は不明である。興味深いことに、疲労困憊運動や乳酸溶液の静脈内注入による末梢血乳酸濃度増加は注意機能課題成績と逆相関関係を示す (Coco ら, 2009)。血液脳関門を通過する乳酸は、前頭前野に存在する受容体 (Lauritzen ら, 2014) と結合し、急性認知障害を発現するなど (Rayhan ら, 2013)、運動による実行機能低下の生理指標となる可能性がある (図 1 A)。実際に、ヒト脳内乳酸を評価できる MR スペクトロスコピー法 (MRS) を用い、最大運動後の脳内乳酸が増加することも確認されている (Świątkiewicz ら, 2023)。そのため、一過性運動後の末梢中枢の乳酸増加が実行機能低下に関係している可能性があるが (図 1 B)、未だ検証されていない。加えて、ヒト脳内神経活動を評価する MRI や fNIRS は運動中の脳活動を評価することが難しく、運動中の末梢血乳酸増加時にヒト脳活動が低下しているか、運動後に生じる実行機能低下と関係するかは不明であった。近年、瞳孔径の変化が、脳幹部のモノアミン作動性神経の修飾を受け、脳内覚醒状態の生理指標となるとして (Joshi ら, 2020)、応募者らは長時間の e スポーツプレーによる実行機能低下を瞳孔径から予測できることを見出した (Matsui, Ochi ら, 2024)。この運動時瞳孔径評価により、実行機能が低下する際の新たな運動時脳機能イメージングが可能となり、運動時乳酸増加と運動後実行機能低下の因果関係解明が可能になると考えた。

2. 本研究の目的: 本研究では、運動による実行機能低下の生理機構として、末梢血乳酸増加に伴う前頭前野乳酸増加および運動時脳活性低下が関係するかを明らかにすることを目的とする。

3. 学術的独自性と創造性: 動物研究において運動時の脳機能低下の検証が進められる一方で、前頭前野の司る実行機能はヒト特異的に発達した脳機能であり、動物研究では検証が難しい。運動の脳機能に与える影響を検証するためには、運動前後の脳活動を評価する方法に限定されており、運動中の生理指標変化と実行機能変化の因果関係は不明であった。この問題を、脳活性の指標であり運動中の測定も可能な瞳孔径評価法と、水素を含む物質の信号から濃度を推定する ^1H -MRS (プロトン磁気共鳴分光法) を用いて乳酸 ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) を測定するなど、最新のヒト脳機能イメージング技術を運動に応用する新しい研究と言える。本手法は運動以外で生じる実行機能低下条件にも応用可能であり、一過性で生じる脳機能低下の生理機構解明の足がかりにもなりうる。

4. 期待される成果と発展性: 運動による実行機能低下の生理指標として末梢血乳酸の関与が明らかとなることで、運動による脳疲労の生理機構解明と対処法開発の足がかりとなる。さらに、運動中の脳の状態を瞳孔径と ^1H -MRS で検証する点は、これまでブラックボックスだった、運動中の脳活性の変化と運動後の実行機能変化の因果関係を解明し、アスリートの競技力向上や、安心安全な部活動の実施のための方策開発などの基盤的な研究となりうる。

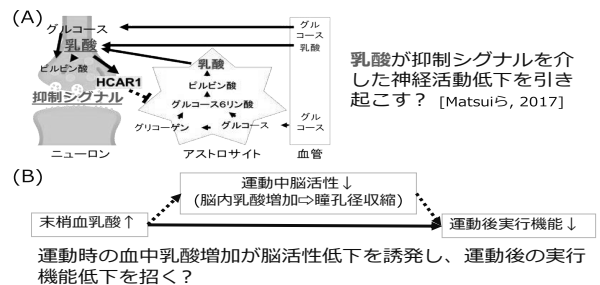


図 1. 実行機能低下の生理機構仮説 (A) と相互関係 (B)

「スクールカースト」が子どもの主体的な学びに及ぼす影響

研究者 北海道教育大学教育学部旭川校 准教授 水 野 君 平

■背景

主体的・対話的で深い学びとは、子どもたちがこれからの時代に必要とされる資質・能力を身に付けて深く理解し、生涯にわたって能動的に学び続けることができるようにするため必要とされる学びの姿である。改定された学習指導要領では、21世紀の社会で必要とされる資質・能力の育成を目指しており、主体的・対話的で深い学びが柱として位置づけられている。具体的には学習者が自らの学習をコントロールする学び、生徒同士の対話や教師との対話を通じて学びを深める学び、探究学習などで知識の理解を深めて応用力を養う学びであり、そのためにはクラスメイトなど他者と共に学ぶことが必要となる。

しかし、他者と共同で学習するためには生徒同士の肯定的な人間関係が基盤となるだろう。近年、「スクールカースト」と呼ばれる友人集団（グループ）間の地位格差が急速に注目を集めるようになり、学校適応などとの関連が指摘されてきた。例えば、「スクールカースト」で低地位グループに属する生徒ほど、学校適応も低く（水野・日高, 2019）、いじめ被害を受けやすい（Mizuno et al., 2022）。加えて、低地位グループに属する生徒ほど、理科の班活動で批判的議論ができずストレスを抱えやすい（亀山他, 2021）という、授業中のパフォーマンスへの影響も示唆されている。このように、生徒がどのグループに属するかといった本来は学習活動と関係のないはずの人間関係が学習活動に影響することが示唆されている。

亀山他（2021）の知見から「スクールカースト」が他者との共同を必要とする主体的・対話的で深い学びのリスク要因となることが考えられるが、教科横断的な学習態度との関連や因果関係の検証を含め十分に検討されていない。そのため、本研究では「スクールカースト」が主体的・対話的で深い学びのリスクとなるのかについて実証的に検討する。

■目的

本研究では、中学生を対象にして「スクールカースト」が主体的・対話的で深い学びのリスクとなるかを検討する。具体的には、所属する友人グループの地位が低ければ主体的・対話的で深い学びに関する学習態度が低くなるのかについて縦断的に検討する。これによりある時点の「スクールカースト」がその後の生徒の主体的・対話的で深い学びの態度や、主体的・対話的で深い学びの成長度合いに対する影響といった因果関係を明らかにする。

■学術的な独自性と意義

学術的な独自性は「スクールカースト」が生徒の学習態度へ与える影響を評価することである。従来の「スクールカースト」研究では主にいじめや学校適応といった心理・社会的指標が扱われており、学習パフォーマンスを扱った亀山他（2021）でも主体的・対話的で深い学びといった今後必要とされる資質・能力を育む基盤となる学習態度への影響は未検討であった。本研究では上記の先行研究の限界点を克服する意義がある。

■期待される成果と発展性

本研究によって心理・社会的側面だけでなく、学習面まで検討することによって「スクールカースト」の問題を正確に理解し、説得力をもって教育上の課題として問題提起し、教育実践にも示唆を与える。

中近世の変革期における霊場の実態と「日本的霊場」誕生の解明 -立石寺木札資料の考古学的検討から-

研究者 山形大学学士課程基盤教育院 教授 荒 木 志 伸

①背景（内外における当該分野の動向）

歴史学において、政治権力の変遷や経済構造の解明等に主眼が置かれ、宗教や精神文化に関する研究は看過されてきた。史上に名を残しにくい庶民のヒストリーは、「大きな歴史」の叙述から零れ落ちる傾向にあった。近年、考古学分野では日本列島内で均一的にとらえられてきた歴史観への反省として、地域に残るモノ資料の実証的検討が活発である。本研究がテーマとする霊場は日本各地に存在し、いつの時代も常に地域の信仰・文化・経済の中心地であった。現代でも世界遺産や日本遺産の核として認定され、国内のみならず海外からの関心も高い。しかし「日本の霊場に固有の特徴は何か」と問われると、その明確な答えが存在しないことに気付く。今回、中世から近世にかけてという時代の変革ににおいて霊場の変容と庶民信仰の展開について検討し、日本的霊場の誕生とその特徴について解明を試みるものである。

②目的（課題設定とねらい）

世界中の霊場と日本のそれとの違いは何か、それを解き明かすキーワードは自然との共生ではないかと考えている。日本では世界的にみても山岳信仰が発達し、独自の世界観のもと山中に霊場が形成された。神道、修験道や仏教を問わず山は崇拝の対象で、修行者は山中に入り、平安時代以降には延暦寺や高野山のような寺院が次々に建立された。こうしたなか、時を同じくして木札が出現した。

この木札は誰が準備し、何のために納入されたのだろうか。木札が列島内で急激に増加する中世から近世にかけての時代の変革期がキーポイントとなろう。各地に存在した霊場は中世末期（戦国時代）の動乱に巻き込まれ、その多くは激しく衰退した。江戸時代（近世）に入ると幕府の宗教統制のもと再編され、檀家を持たない寺院や修験道、神道の聖地は、後ろ盾を失うなどして困窮した。霊場内の宗教者達は発想を大きく転換し、そこで着目したのが庶民層であった。それまで霊場に入ることができなかった庶民へ段階的に霊場を開放し、結果として近世中頃には伊勢信仰や富士山信仰等に象徴される空前の参詣ブームが起きた。では、その前段階で霊場側はどのような意識変革をおこない、庶民を集める為の工夫をしたのだろうか。立石寺の膨大な木札は、空白期であった中世から近世にかけて霊場内におきた変革と日本的霊場の誕生を雄弁に語ることができる資料群といえる。

③学術的な独自性と意義

本研究のフィールドである立石寺（通称：山寺）は列島最北域の霊場で、芭蕉の句「閑さや岩にしみ入る蟬の声」（『おくの細道』1702）でも著名な平安時代草創の山林寺院である。近世には奥の高野（『出羽國風土略記』1762）と称された庶民信仰の聖地であった。2020年、立石寺奥の院の一切経蔵裏の岩窟から 10万点の木札が発見された。これまで愛媛県岩屋寺の16,800点を遥かに超える国内最大点数の木札群である。しかも、中世から近世にかけての資料で、これまで空白期であった時代に霊場と庶民の間に出現した信仰遺物である。特筆されるのが保存状態が良好な点で、銘文の詳細な解説・分析はもちろん考古学的な形式（デザイン）分類や製作技法等、精緻な分析が可能である。霊場に庶民が加わり、自然との共生のなか出現した、まさに変革期の資料群といえる。

④期待される成果と発展性

本研究による成果は、今後の国内での木札研究における基礎的分析法として、学界に大きく寄与することができる。また、地域の歴史解明のみならず「霊場が大きく転換し、日本的な霊場としての誕生はいつか」という命題についてアプローチし、その結果を国内外へ発信することが可能になる。日本固有の信仰の在り方を明確に示すことは、観光等の振興政策等へ寄与するのみならず、多様化する世界のなかで日本人のアイデンティティを明確に提示し、社会全体へと貢献することができる。

データ駆動型モデリング能力を育成する数学教材原理の導出と検証： 体系的教材レビューと授業化を通して

研究者 宇都宮大学共同教育学部 准教授 川 上 貴

①背景

パンデミック、気象変動、自然災害をはじめとする複雑で不確実な現代社会においては、取扱う種々のデータの役割や意義が一層増している。メディアでも、コロナ禍の罹患患者数グラフのように、数学と統計を用いたモデル（事象の大切な特徴を表現したもの）が、データに基づく予測や意思決定の根拠として目にするようになった。そのため、数学と統計を総合的に用いてデータからモデリング（モデルの生成・評価・改訂）を行い、よりよい予測・意思決定やその吟味に繋げる「データ駆動型モデリング」（Data-Driven Modelling: DDM）の能力があらゆる市民に必要であると国内外の数学教育で認識されつつある（川上, 2023; Geiger et al., 2023; OECD, 2023）。

だが、これまで数学教育では、関数または統計に関するデータを扱うモデリングの教材が多く開発されてきたものの（Niss & Blum, 2020）、データを起点に数学的知識と統計的知識が総合すると捉える DDM の概念は新しく、教師が DDM の教材開発を行う際の拠り所となる一般的な指針（教材原理）は開発されていない。今日のデータ駆動型 AI 社会に対応すべく DDM の授業を学校現場に広め、DDM 能力のある市民・人材を育成していくためには、DDM の教材原理の開発が喫緊の課題である。そして、実践可能な DDM の教材を導くことができる一般的な指針の開発には、先行研究のモデリングの教材群に共通する指針を見いだす試みと、その指針から教材を開発・実践し、指針の有効性を検証する試み、即ち、「実践に根差した理論の生成と実践への還元」（杉山, 2012）が重要となる。

②目的

これからの市民・人材に欠かせないデータ駆動型モデリング（DDM）能力を育成するための数学教材原理の開発を目的とし、以下の 2 つの研究課題を設定する。（研究課題Ⅰ）「国内外の数学教育のモデリング先行研究で開発されてきたデータを含む教材を体系的にレビューすることを通して、DDM の教材原理を導出する」、（研究課題Ⅱ）「導出原理に基づく DDM の教材開発と中学校での授業実践を通して、DDM の教材原理の有効性を検証する」。

③学術的な独自性と意義

数学と統計を総合的に用いる DDM には、先行研究で実践されてきた、関数または統計に関するデータを扱うモデリングの特徴が含まれている（川上, 2023）。この点に着目し、国内外のモデリング研究で開発されてきた教材の包括による原理の導出と授業化による実証という「理論と実践の往還」を通して、これまでなかった DDM の教材原理を開発する点が、本研究の学術的先駆性や独自性にあたる。また、本研究の意義は、AI や機械学習というデータに基づくアルゴリズムの理解の基礎にも繋がる DDM の学びを学校数学の中に広め、数学教育の立場から、データサイエンスの素養やデータ駆動型 AI 社会への対応力を備えた市民・人材の育成に貢献する点にある。

④期待される成果と発展性

DDM の教材原理は、数学教師が DDM の教材を開発する際の拠り所となる実践的な枠組みとなり、わが国で DDM を扱った数学の授業が増えることが期待される。また、研究者が既存の DDM 教材の力点の強弱を相対化し、新たに必要な教材を特定するための理論的な枠組みとなり、わが国の DDM の教材や学習指導に関する研究が活性化することも期待される。さらに、モデリングとデータは、自然科学や社会科学を横断する普遍的な方法論と内容であるため、本研究の成果は、わが国で整備が課題となっているデータサイエンス教育や STEM (Science, Technology Engineering and Mathematics) 教育の教材原理の開発にも発展でき、それらの教育分野の振興に寄与する。

① 背景（内外における当該分野の動向）

インクルーシブ社会の実現はSDGsにも明記されており、これから我々が取り組むべき喫緊の課題である。この社会ではすべての人がそれぞれの多様性を活かし、その才能を発揮することが求められる。特別支援教育において、自己効力感を高め、主体的に学び続ける姿勢を養成することは、障害者等を含む多様な人材がその能力を活かした社会参加を実現する、インクルーシブ社会実現へ向けた重要な取り組みである。

近年の3Dプリンタに代表されるデジタルファブリケーション—デジタルデータを元にものづくりを行うICT技術—の発展は、専門性や技能の巧緻によらないものづくりを実現した。学校教育の中で、デジタルファブリケーションを用いたものづくりは、製品が「できた」という達成感からの自己効力感を高め、協働的な営みの中での主体的に学ぶ姿勢の養成に寄与することが明らかとなってきた（p7.最近の論文 1~4）。しかしながら、普通教育と比較して、特別支援教育におけるデジタルファブリケーションの利用・普及は現状限定的である。デジタルファブリケーションの利用は、障害に起因する困難を取り除き、ものづくりの可能性を広げることができる。特別支援教育こそ、できなかったことができるようになる経験は、生徒への自己効力感や学ぶ意欲の高まりに効果を有すると考えられるが、その教育効果を特別支援教育や技術教育の観点から評価した例は皆無である。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、特別支援学校の作業学習において、デジタルファブリケーションを導入し、生徒の才能を伸長する授業開発を行う。そしてデジタルファブリケーション活用が個別最適化教育の観点も含め、生徒の自己効力感の獲得・向上に如何に作用するかという教育的意義を明らかにする。なお、作業学習とは、特別支援学校の特徴的な指導形態の一つで、農耕や木工製品づくりなどの作業を基軸に、自立や社会参加を学ぶ教育活動である。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、デジタルファブリケーションを特別支援教育—作業学習における自己効力感や主体性を高めるためのツールとして捉え、その教育的意義を明らかにする点である。作業学習に関するこれまでの検討は、教室内の掲示や補助具の導入により生徒ができる作業を多くするためのものが多かった。一方、ものづくりの過程で、アイデアを瞬時に形にでき、失敗しても試行錯誤ができる中での学びは、技術教育的な視点で「できることの増やし方」を提案するもので、申請者らの研究グループの特色であるといえる。

④ 期待される成果と発展性

デジタルファブリケーションを導入した作業学習プログラムは、障害を持つ生徒のより新しい学び方・活動の構築、すなわち 1) 主体的な学びのサイクルの実現および 2) 学習参加機会の増加が、成果として期待される。デジタルファブリケーションによるものづくりは、失敗—修正を容易に繰り返すことができる。見通しを持って行動し内省するという主体的な学びのサイクルは、生徒が学び方そのものを学習することにつながる。また、障害の種類や程度によらずに取り組むことができる工程の種類が増え、学習参加機会が増加する。これは、より多くの生徒が主体的な学びのサイクルに取り組めることを意味し、学習意欲や自己効力感、有用感の向上に寄与する。

デジタルファブリケーションは、図面をデータで保存・送信できるため、特別支援学校以外の組織・機関と連携したものづくりの作業学習という発展性がある。例えば、健常の生徒がデザインし作業学習で製作するなど、インクルーシブで協働的な活動を創出できる。地域連携の充実は社会参加経験の増加や社会貢献力の向上に繋がり、キャリア形成にも発展すると考える。

人口減少とスマート農業の普及による人と農との関わりの変容と 組織内外の連携による学習プロセスの解明

研究者 東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授 八 木 洋 憲

①背景：OECD 諸国のみならず，世界人口が 21 世紀半ばには人口減少局面に突入することが予想されており，同時に高齢化の水準も高くなることが想定されている。こうした中で，農業生産の効率化だけでなく，農と人との関わり方—すなわち，都市と農村における農と関わる人々の生活スタイルのあり方が問われている。

スマート農業（smart agriculture）とは，一般に ICT を活用した農業と理解されるが，とくに，人工衛星による位置の把握，クラウドによる情報共有，および，センサーとロボティクス技術の融合により，農業生産を飛躍的に効率化するイノベーションの導入を指す。日本国内において，今後 20 年間で基幹的な農業従事者は現在の 4 分の 1 にまで減少すると予想されており，2024 年に入ってから，政府はスマート農業の普及を推進し，農業生産の効率化を図るための法制を策定している。

2020 年からのコロナ禍によりネットワーク技術は急速に進展し，その社会的影響についての議論が進められつつある。スマート農業は，農業生産を効率化するだけでなく，ネットワークを通じて，農業者とサプライヤー（資材業者等），出荷先，消費者，さらには都市住民を含む市民とがリアルタイムで連携できる基盤が整い，都市と農村の生活空間が大きく変化することが予想されている。

②目的：以上の社会的背景を踏まえ，本研究では，人口減少が進み，かつ，比較的中小規模の家族経営が主体で有り，伝統的な地域コミュニティも存在するイギリス農村部を主な対象として詳細な実態調査を行う。具体的には，スマート農業の普及が農業に関わる主体（企業，組織，従業員，消費者等の個人）および都市と農村の関係性に与える影響について明らかにし，情報化時代における持続可能な農と人との関係について展望する。

③学術的独自性と意義：スマート農業に関する近年の人文社会科学での研究動向について，1）技術の採用および普及，2）生産面での影響，3）倫理および社会公正，4）知識とイノベーション，5）価値創造の経済および経営管理といった側面からの研究蓄積がなされている。これらによる国民生活への影響として，ベンダーと生産者とがクローズな形で情報共有する一方で，オープン・イノベーションをはじめ，多様な主体が情報共有し，学習していくという側面も持つことが指摘されている。

こうした中で，本研究の学術的独自性と意義は，ICT による効率改善ではなく，ネットワーク形成と学習のプロセス，それによる生活空間の変化を中心に据えている点である。過去 10 年ほどの間に，IoT，クラウド技術，センサー，人工衛星といった ICT を背景としたスマート農業が急速に普及する中で，これらの情報を組織内外においてどのように活用し，持続可能な社会に繋げるのかという視点から，詳細な実態調査による情報提供が求められる。

④期待される成果と発展性：本研究を通じて，従来の地域コミュニティを維持しつつ，都市生活が成熟し，かつ人口減少の進んだイギリス農村部を対象として，スマート農業の普及に伴う，関係主体の変化とその学習プロセスを明示的に示すことができる。各主体の変化には，一定の共通点と特異点があると考えられるため，その結果を分かりやすいイメージとして図示し，来たる人口減少社会への展望を行うとともに，国内外に発信したい。

日本国内では，2000 年代末から，農業機械に搭載可能な GPS ガイダンス，収量センサーといった技術が市販化され，さらに近年では，クラウドを介した農業経営情報システム（FMIS）が普及しつつある（たとえば，クボタの K-SAS は，2014 年にサービス開始し，登録 2.6 万組織（2024 年 3 月）となっている）。SNS や e コマースの進展，IC タグによる家畜管理，リモートでの農場管理といった技術も進展しており，2024 年に農林水産省の基本計画にも，喫緊の課題である人口減少社会への対策として盛り込まれた。したがって，政策面での貢献も期待される。

ジェンダー・バイアスへの気づきを促す即興演劇 「ザ・ベクデルテスト」を応用した教師教育に関する研究

研究者 三重大学大学院教育学研究科 准教授 園部 友里恵

①背景：日本の教育におけるジェンダーの問題と、教師教育としての即興演劇の可能性

日本のジェンダー・ギャップ指数の低さ（世界 125 位、2023 年）は深刻な状況にある。子どもたちのジェンダー観を形成する際に、良くも悪くも影響を与えてしまう大人として「教師」がいる。その一方、学校内におけるジェンダーの問題にどのように向きあっていけばいいのか悩む教師たちがいる。例えば、申請者は、将来教師になったときに自身の担任学級に LGBTQ の子どもがいたとしたらどのように接すればいいのか不安を抱える教職志望学生たちに少なからず出会ってきた（園部 2022）。

こうした問題状況にアプローチする手段として、申請者は「即興演劇」、すなわち台本なしで上演される演劇の学びに着目する。即興演劇は近年、演劇の世界を超え、多様な教育場面に応用されている（Dudeck & McClure 2021）。しかしその一方で、即興演劇は、即興すなわち事前の準備ができないがゆえに、日常に存在する様々なジェンダー・バイアスが無意識に持ち込まれてしまう。例えば、「病院」の場面を即興で演じるとき、医者役で出ていく男性演者と看護師役で出ていく女性演者、のように（直井・園部 2021）。

このような即興演劇におけるジェンダー・バイアスの克服をめざし開発されたのが「ザ・ベクデルテスト」（以下、「BT」と表記）である。BT は、2016 年に米国の非営利即興演劇集団「BATS Impro」の Lisa Rowland らにより考案・上演された即興演劇の上演形式である。BT では、主人公を 3 人の女性とし、その女性らの多様で複雑な日常を描くことを目的に即興演劇が展開される。日本では、実践家の直井玲子氏によって国内に持ち込まれ、主に即興演劇経験者や俳優を中心に実践・上演が進められてきた。

申請者は、上記日本での実践に関わるなかで、教育領域、特に教師教育の文脈における BT の応用可能性を実感してきた。しかし、現状、日本における BT の展開は演劇領域に留まっている。その原因の一つは、BT が即興演劇上級者向けの形式であるということにある。教育領域への応用にむけて、BT の理念や要素をより際立たせ、（即興）演劇経験者ではない教師・学生たちでも負担なく取り組める実践方法の開発が求められている。

②目的

本研究の目的は、BT が教職志望学生や現職教員（以下「教師たち」と表記）に、ジェンダー・バイアスをめぐるいかなる気づきを促すのかを明らかにすることである。具体的な課題は、次の 2 点である。

- 1) BT を（即興）演劇の専門的トレーニングを積んでいない教職志望学生や現職教員ワークショップ（「BT×教師 WS」（仮称））を開発し、実践をとおしてその効果的なあり方を提案すること。
- 2) 「BT×教師 WS」実践中および実践後における教師たちの言動から、その意識変容過程を明らかにし、教師教育におけるジェンダー・バイアスの問題を提起し、その克服における BT の可能性を示すこと。

③学術的な独自性と意義

【教育学研究への貢献】これまで十分に解明されてこなかった「教師のもつジェンダー・バイアス」に関して、実践的にアプローチ可能な方法を提示できる点。

【演劇研究への貢献】応用演劇の実践主体として教師を捉え、演劇未経験者であっても容易に取り組める方法を開発・提示できる点。

④期待される成果と発展性：ジェンダー・バイアスに気づき、克服にむけた実践ができる教師人材の育成

本研究が開発する WS は、ハウツーではなく「教師としてのあり方」に迫る体験の機会となると確信している。参加教師たちが所属校や学級において、同僚教員や子どもたちとの関わりのおかげでその「あり方」を体現していくことで、「ジェンダー・バイアスへの気づきと克服」を拡大させていくことができる。

地方部の基盤産業における「外国人材」の受入とその持続可能性に関する調査研究

研究者 神戸大学大学院人文学研究科 講師 梅 村 麦 生

【①背景（内外における当該分野の動向）】

2024年2月9日、政府は有識者会議の提言を踏まえて、国内外からさまざまな問題や実態との乖離が指摘されてきた「外国人技能実習制度」について、現行の制度を「発展的に解消」し、「人材確保」と「人材育成」を目的とする「育成就労制度」を新たに設ける方針を決定した。

その一方で、少子高齢化と若年層の転出により人口減少がより顕著な日本の地方部において、労働力不足の慢性化を背景として、外国人技能実習生の依存度を急速に高めてきた。「国産」の農水産物、「日本製」の衣類や精密機械部品、「日本のおもてなし」を提供する地方部の基盤産業において、技能実習生の働きがますます不可欠のものとなっている。2020年度に始まった特定技能制度も、地方部での新規受入と都市部への転出という課題を残し、特に地方部での技能実習生の新規受入が継続されているのが現状である。上述の有識者会議も、「技能実習制度及び特定技能制度の在り方」の「見直し」にかかる留意点として、地方からの「人材流出」の懸念を挙げている。

【②目的（課題設定とねらい）】

本研究では、以上の制度的環境の変化を目前に控え、都市部に比して賃金や生活環境など「人材確保」の面で「条件不利地域」と呼ばれる日本の地方部にある各地域が、今後も技能実習生や特定技能者のように国外に就労の機会を求める「外国人材」から「選ばれ続ける」ための条件を探ることを、研究の目的とする。

その目的のもと本研究では、これまで各地域に雇用と地域外からの所得をもたらし、その地域を支えてきた「基盤産業」のなかで、特に外国人技能実習生や特定技能者の受入実績がある産業（例、農業、漁業、水産加工業、造船業、宿泊業）を対象に、(1) 国内の受入地域で技能実習生と特定技能者の就労・生活の現況に関する調査と、(2) 国外の送出地域での送出と帰国後の現況に関する調査を、申請者と共同研究者によって共同で実施する。

調査にあたっては、とりわけ帰国後の技能実習生や特定技能者と送出地域の双方に利点があるものとして、日本の地方部に位置する受入地域で先行して発展し、送出地域に潜在的なニーズがある、各基盤産業の「技能」に注目する。

【③学術的な独自性と意義】

これまで技能実習生に関しては、雇用条件の改善と生活環境の向上、そして日本語学習の機会の確保が問題とされてきた。しかし地方部では、いずれの面でもさらなる改善の必要がある一方で、都市部に比して不利な部分がどうしても残る。したがって本研究では、外国人材が地方部で働くことを選択するうえでの積極的な利点として、受入地域に特有の基盤産業とそこで発展した「技能」の可能性を、今日あらためて追究する。

各国間の経済格差が縮小し、先進国のみならず全世界で少子化が進む現在では、外国人材から選ばれるのみならず、送出地域の側にも「人材育成」と「人材確保」を含む利点がなければ、海外送出が早晩困難になる。そして現に、長く技能実習生の受入を続けてきた地域は、制度改正や送出国の経済発展にもかかわらず、送出地域との継続的な関係を構築しており、そこに農業や漁業などの基盤産業の共通性が寄与してきた。さらに送出地域における経済発展は、高付加価値の農水産物や地方部での観光業の需要をもたらしており、日本の受入地域での就労を経て得られる技能やノウハウを送出地域で活かす環境は、今日むしろ整いつつある。

【④期待される成果と発展性】

本研究では、「ポスト技能実習制度」時代に向けて、農業、漁業、造船業、宿泊業といった、各地域の雇用と所得を支えてきた基盤産業とそこで得られる「技能」にあらためて注目し、それが外国人材にとっての海外就労の機会とその後のキャリアに加えて、彼・彼女らの「人材育成」を介した受入地域と送出地域との有機的な関係の構築に資する可能性を明らかにする。そのことを通して、地方部の基盤産業と地域社会の持続可能性に寄与する議論を提供する。

① 背景

我が国においては、「こどもの誕生前から幼児期まで」の子どもが育つ環境の質が非常に重要であるとされ、とりわけ保育所を利用する子どもにとって保育の質の保証は、子どもの健やかな育ちにつながり、生涯にわたる健康や幸福を予測するものであるとされる（子ども家庭庁，2023）。なかでも保育士の資質や専門性は保育の質の中核を成す重要な要素である。日々の保育において、保育士は個々の園児の状態やクラス内の様子を読み取った上で、状況に応じて柔軟で的確な対処を行うことが求められる。そのためには、単に知識を積み重ねるだけでは不十分であり、経験に裏打ちされた実践・熟達知（＝身体化された知）が不可欠である。保育士の熟達過程に関する研究では、保育士の経験年数が高まるほど複数の観点から子どもの状態を把握することができるような視線情報処理を行っていることが明らかになっている（石橋他2020）。しかしながら、熟練のこつや手掛かりがいかに獲得されるのかという、保育士の熟達過程については実証研究が不足しており、インタビューや質問紙調査による手法がほとんどで、自身の行動を振り返り改善に活かせるような「保育ノウハウの積み重ね」は難しい現状がある（後藤，2009）。

② 目的

そこで本研究では、ウェアラブル型アイトラッカー（眼鏡型の視線計測装置）を保育士に着用してもらい、日々の保育環境下で視線の停留等を測定・記録する。また、子どもの視線をAIによる自動解析手法に基づいて分析し、園児の保育士やそれ以外の対象への注視時間を記録することで、保育士が園児に最適に関わるタイミングの分析を行う。保育士と園児それぞれの視線行動を可視化し、それらのデータを用いた研修プログラムを実施し、保育士の専門性開発に資する研究成果の発信を目指す。

③学術的な独自性と意義

まず、経験年数の異なる保育士（例えばベテラン保育士と新任保育士）の視線行動（認知情報処理）の差異が、注視時間等のデータにより明らかになることで、保育士の園児やクラス環境の「視点／捉え方」が可視化される。さらに、園児の視線データは、園児と保育士の視線が共起するタイミングや、園児の視線追従行動により園児の行動予測につながり、最適な介入タイミングの把握につながる。本研究では、①熟達状況に関わる指標の開発、②初任者を対象とした研修プログラム開発、③経験・熟練者同士が自身らの実践知を相互に学習し、更に専門性を高めるための教材・素材の提供につながるという点で、保育士人材における専門性開発・実践知の継承に大きく貢献すると考えられる点で独自性と意義がある。

④期待される成果と発展性

現在、保育現場では保育士の若年早期離職者の抑止が課題となっている（厚生労働省，2015）。加えて、都心部を中心に保育施設が急増していることもあり、園の保育実践・運営上において保育士の資質の維持・向上が重要視されている（後藤，2009）。これと関連し、初任者を対象とした効果的な研修システムの開発の必要性も高まっているため（例えば高濱，1997）、これらの点において、成果が期待できる。また、得られた視線データはヒヤリハットや事故の予防といった園内の安全管理という視点からも解析することも可能である（ブラインド・スポットの解析等）。以上の点から、本研究の成果を報告することにより、保育士が客観的に自身の業務を可視化し内省できることにつながり、保育士の人材育成および質の高い保育環境の提案をできる可能性がある点で発展性が見込める。

研究者 びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部 講師 松 本 圭 将

①背景

近年、大学改革が政府によって強く推し進められている。こうした大学改革は大学の自律性に基づいたものでないため、十分な成果を上げることもできず、「改革疲れ」と言われるような状況にある。

このような大学改革の在り方を改善する一つの方策として、中間団体による大学の支援が考えられる。金子（2012）は、大学改革において当事者である大学関係者の主体的な行動による大学改革の重要性を説く。そしてその際に、政府と大学の間にあって各大学における教育改革のフィードバックなど積極的に大学を支援する組織が必要になると指摘し、こうした組織の日本における育成が必要だと述べる。

こうした組織となりうる団体として、国立大学協会（国大協）や日本私立大学協会（私大協）に代表される、大学関係者によって組織される**大学団体**が存在する。江原（2022）は大学改革において**大学団体**が一定の役割をすでに果たしていると指摘しているものの、それを学術的に検討した研究は不足し、その意義が周知されていないと指摘する。

先行研究では1980年代の高等教育政策に関する政策形成への関与に注目した研究が多く、入試改革において国大協が国立大学の合意形成を図った事例等が紹介されている（中村 2021 など）。一方で、私大協が政策過程に関与した2010年代後半の事例を取り上げた申請者の研究においては、**従来の研究が注目してきた政策形成ではなく政策実施の場面で**大学団体が緩衝的な役割を通じて会員大学の自律性確保に貢献したことを明らかにした（松本 2023）。

こうした研究から従来とは異なる機能が発展していることも考えられるが、戦後の大学団体の活動を網羅的に取り上げて精緻に分析した研究は管見の限り存在しないため、**大学団体の政策過程における役割がどのように展開し、変容してきたのか不明瞭な現状にある。**

②目的

そこで本研究の目的は、**現存する私立大学団体の機能が設立された当初からどのように変容してきたのかを明らかにしようとするものである。**

具体的には、1) **大学団体の活動の多様化の流れを整理**した上で特に、2) **大学団体の政策形成過程における活動のあり方を分析**する。

③学術的な独自性と意義

大学団体の活動は、政策提言などの政府などに対する対外的な活動と会員に対する情報提供などの内部的な活動に大別され（羽田 2019）、これは大学改革への関与の仕方とも理解しうる。このような活動の中で、対外的な活動と位置付けられる1980年代を中心とする国大協の政策過程への関与が中心的研究テーマとなってきた。しかし、**申請者の研究から示唆された大学団体の活動の変容とその要因を明らかにすることで、大学の置かれた状況に対応すべく活動する多様な日本の大学団体の活動や機能を示すことができる。**また、先行研究の多い国大協でなく私学系の大学団体を対象としている点にも独自性がある。大学団体の機能が本研究を通じて明らかになることで、大学の自律性を確保した大学改革の実現に寄与すると考えられる。

④期待される成果と発展性

秋吉（2020）は、政策過程に関する知見を、個別学問に関係し政策形成において利用される「inの知識」と、政策過程に関する知識としての「ofの知識」という二つに分けている。「ofの知識」は、「inの知識」の活用において重要な役割を果たすとされる。本研究を通じて、**大学団体という政策過程に関与する団体の関与の実態が明らかになることで、「高等教育政策が形成されるために必要な知見がいかに活用されうのか」を明らかにすることにつながる。**こうした研究は、**大学における人材育成の具体的方策を考え、実現させていく上で重要な知見を提供しうる**と考えられる。

H3 白ページ

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
