

第41回 (令和5年度)

助成研究の概要

研究助成金 贈呈式
令和5年12月1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 500万円〉

題目： 「SDGsの達成に向けた研究」

人類が直面している問題に関して国連の定める「持続可能な開発目標 (SDGs)」のうち、いずれかの目標を達成するための課題解決に向けた研究を、先述の電気・機械工学系、医学・生理学系、人文科学系の2分類に該当する分野から、助成金額を500万円として募集します。

〈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で指定するA:電気・機械工学系、B:医学・生理学系の19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5年4月7日～5月31日

応 募 数 90大学より207件

2. 選考審査

選考予備会議 7月21日開催 選考方針・選考基準の確認

個別書類審査 7月26日～8月21日

選 考 会 議 9月15日開催 助成候補者の選出

理 事 会 10月6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	20件	3件	1,500万円
基本テーマ1	133件	40件	4,000万円
基本テーマ2	54件	8件	2,400万円

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	15	3
	2	電気・電子・磁性デバイス MEMS	9	1
	3	光デバイス 表示素子 情報記録	13	2
	4	通信・伝送用デバイス センサデバイス	3	1
	5	新素材 ナノテクノロジー関連	18	4
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	2	0
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	0	0
	8	ソフトウェア 知識処理 AI	9	3
	9	放送 通信 IoT	2	0
	10	計測 制御 センシング	16	6
	11	機構 ロボット	3	1
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)	14	4
	13	シミュレーション科学	3	1
	14	加工法 工作法 リサイクル技術	3	0
	15	信頼性・最適デザイン	1	0

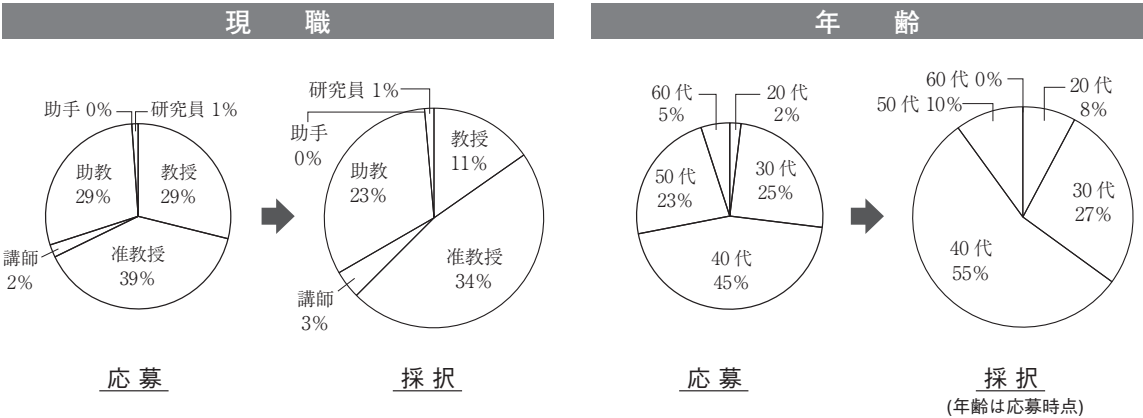
〔B系：医学・生理学系〕

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	19	3
	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	18	2
	18	ヘルスエンジニアリング	24	8
	19	バイオエレクトロニクス関連	8	4

〔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	11	3
人間行動	21	変革期における人間行動の研究	7	3
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	9	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

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

現在までの

助成件数 1,654件

助成金総額 2,199,207千円

【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

阿 江 通 良	筑波大学 名誉教授 日本体育大学 名誉教授
五十嵐 哲	工学院大学 名誉教授
伊 藤 浩 志	山形大学 教授 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 電気通信研究所 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・特任教授
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
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・理工学術院総合研究所 名誉研究員
宮 本 恭 幸	東京工業大学 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 教授 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

令和5年度

研究助成

第41回(令和5年度) 研究助成一覧

51件

助成金総額 7,900万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	CO ² を排出せずにプラズマで直接メタンをアセチレンに選択的に転換する効率の劇的向上	京都工芸繊維大学電気電子工学系 教授 比 村 治 彦	500
2	水素エネルギー社会への移行を加速させる高活性燃料電池電極触媒の創製	東京理科大学理学部第一部 教授 根 岸 雄 一	500
3	末梢の生物時計をマイクロ電流刺激することで「認知機能障害」の予防・治療を目指す	九州大学大学院薬学研究院 教授 松 永 直 哉	500
4	立体的な構造を持つグラフェンによる高性能トランジスタの研究	筑波大学数理物質系 准教授 伊 藤 良 一	300
5	リザーバーコンピューティングを実現するチップ型フォトニック素子の開発	東京工業大学工学院 准教授 雨 宮 智 宏	300
6	がんを早期発見するための高コントラスト・マンモグラフィ装置の開発	名古屋大学大学院医学系研究科 准教授 砂 口 尚 輝	300
7	ROV搭載型水中バイラテラル制御システムの開発	神戸大学大学院海事科学研究科 准教授 元 井 直 樹	300
8	バイオミメティクスによる非線形マイクロ流路壁の実現と細胞分取デバイスへの応用	立命館大学理工学部 准教授 磯 崎 瑛 宏	300
9	“生き返る”細胞の凍結乾燥保存技術の開発	山梨大学大学院総合研究部 助教 若 山 清 香	300
10	示差熱検出型テラヘルツバイオセンシング技術の開発	神戸大学大学院理学研究科 准教授 大 道 英 二	300
11	高精度な細胞機能評価を実現する革新的細胞診断デバイスの開発	慶應義塾大学薬学部 准教授 長 瀬 健 一	300
12	昆虫嗅覚・機械ハイブリッドによる嗅覚飛行ロボットの創出	信州大学繊維学部 准教授 照 月 大 悟	100
13	特異ナノ構造を利用したディラック電子系Zintl相化合物の熱電物性制御に関する研究	茨城大学工学部 助教 坂 根 駿 也	100
14	タンパク質と核酸の「揺らぎ」を考慮したフレキシブルドッキングに基づく複合体モデリング技術の開発	筑波大学計算科学研究センター 准教授 原 田 隆 平	100
15	知能的・知覚的に応答する柔軟構造を用いた風を受け流す飛行技術の創出	千葉大学大学院工学研究院 准教授 中 田 敏 是	100
16	ポラリトン効果を設計指針とした新規アンチストークス発光材料の開発	千葉大学大学院理学研究院 教授 山 田 泰 裕	100
17	HAPS社会実装に向けた複数カナード無人航空機の突風荷重軽減制御とシステム検討	東京大学大学院工学系研究科 助教 森 田 直 人	100
18	オンラインアプリの活用による暗号プロトコルの新展開	電気通信大学大学院情報理工学研究科 助教 宮 原 大 輝	100
19	NMR用超伝導RFコイルに向けた高特性超伝導薄膜の創製	山梨大学大学院総合研究部工学域 助教 作 間 啓 太	100
20	果樹栽培管理・支援システム開発に向けた圃場画像AI解析による管理作業判定モデルの開発	信州大学農学部 助教 大 迫 祐 太 朗	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
21	磁性単原子終端されたナノ構造体を用いた高輝度 スピン偏極電子源の開発	三重大学大学院工学研究科 准教授 永 井 滋 一	100
22	シリコン光集積回路による量子分類手法の確立	香川大学創造工学部 助教 小 野 貴 史	100
23	近赤外光を選択的に吸収する透明色素の開発	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授 荒 谷 直 樹	100
24	生体脳の生後発達を模した人工知能モデルの開発 と、人の知覚特性との類似性の検証	岩手県立大学ソフトウェア情報学部 准教授 眞 田 尚 久	100
25	大規模農地を対象としたエゴマ栽培における株間 除草ロボットの走行時雑草判別の研究	富山県立大学工学部 准教授 澤 井 圭	100
26	高エネルギー落雷の発生検知・予測を目的とした 雷エネルギー観測網の構築	公立小松大学生産システム科学部 准教授 山 下 幸 三	100
27	デジタルホログラフィック顕微鏡による液晶 オンシリコン空間光変調器のサブピクセル応答評価	青山学院大学理工学部 助教 前 田 智 弘	100
28	光合成光捕集システムを模倣した量子ナノアンテナ 開発のための数値シミュレーション	北里大学理学部 教授 岡 寿 樹	100
29	自動ガス供給システム付き縦型流路分離式CVDによる ウェハサイズTMDC薄膜の安定的合成技術の開発	東邦大学理学部 講師 柳 瀬 隆	100
30	炭素材料の複合利用によるバイオマス由来カーボン を用いた多機能導電助剤の開発	日本大学工学部 助教 江 口 卓 弥	100
31	脳－計算機－超音波閉ループによる脳疾患の実時間 制御	北海道大学大学院薬学研究院 准教授 竹 内 雄 一	100
32	喜び・悲しみ・怒り・恐怖の情動が上下肢筋の皮質 脊髓路興奮性に及ぼす影響の解明	東京大学大学院総合文化研究科 助教 金 子 直 嗣	100
33	ソフトアクチュエータの蠕動運動による細胞組織塊 の高速形成	東京農工大学大学院工学研究院 准教授 倉 科 佑 太	100
34	実空間課題における予期的注視を用いた自己効力感 の定量的計測にむけた巧緻性計測デバイスの開発	東京農工大学大学院工学研究院 助教 辻 愛 里	100
35	肥満が運動抵抗性を惹起するメカニズムの解明と 応用-数理モデルを用いた解析-	電気通信大学大学院情報理工学研究科 准教授 星 野 太 佑	100
36	腸内細菌が脳機能に与える影響の解明	金沢大学医薬保健研究域 准教授 倉 石 貴 透	100
37	事象関連電位測定による乱流現象の視覚に対する ヒト生理心理反応の解明	三重大学大学院工学研究科 助教 高 橋 護	100
38	高精度放射線治療における次世代品質管理法の 確立に関する研究	京都大学医学部附属病院 特定助教 小 野 智 博	100
39	気液界面制御によるオルガノイドのコンビナト リアル培養	京都大学大学院工学研究科 助教 藤 本 和 也	100
40	高齢者の下向き歩行を脱却させるVRシステムの 開発	東京都立大学大学院人間健康科学研究科 教授 樋 口 貴 広	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
41	生体電気インピーダンス法による体成分分析を応用した尿路上皮がん患者の新規がん悪液質治療戦略の開発	名古屋市立大学大学院医学研究科 研究員 三 村 佳 久	100
42	溶液試料の核磁気共鳴 (NMR) の感度を室温で約 1000 倍のオーダーで向上させた創薬 NMR 実験法の開発	北里大学薬学部 准教授 杉 木 俊 彦	100
43	開発途上国向けスマートフォン診断支援システム	早稲田大学人間科学学術院 准教授 岡 崎 善 朗	100
44	日米大学連携によるグローバル・シティズンシップ育成の理論的研究と開発	東京大学大学院教育学研究科 教授 福 留 東 土	100
45	産後早期の夫婦の抑うつ症状を予防するための育児の役割分担の在り方の検討	大阪大学大学院医学系研究科 教授 白 石 三 恵	100
46	シミュレーション教育を活用した人材育成システムの開発	岡山大学学術研究院医歯薬学域 助教 辻 憲 二	100
47	沖縄の教職員の休職率低減のための実証的研究	琉球大学グローバル教育支援機構 教授 西 本 裕 輝	100
48	小学校女性管理職を増加・維持させる要因は何か？	宮崎公立大学人文学部 准教授 寺 町 晋 哉	100
49	場所同一性の行動学—行動再現モデルの検証	駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部 講師 青 柳 西 蔵	100
50	プレゼンテーション練習支援のための聴講者ロボット構築に関する研究	関西大学システム理工学部 教授 小 尻 智 子	100
51	算数学習における「他者の考え方の解釈」を促進する一人一台端末活用授業の開発に関する研究	札幌市立北陽小学校 教諭 瀧 ケ 平 悠 史	100

(代表研究者の所属・職位は助成贈呈時点)

令和5年度

研究の概要

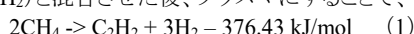
CO₂を排出せずにプラズマで直接メタンをアセチレンに選択的に転換する効率の劇的向上

研究者 京都工芸繊維大学電気電子工学系 教授 比 村 治 彦

① 背景

ゴムやカーボンブラックなどの化学品は、石灰石 (CaCO₃) からのカーバイド由来のアセチレン (C₂H₂) や、石油 (ナフサ) 由来のエチレン (C₂H₄) 等を原料として製造されている。これらの製造工程では、地球温暖化ガス CO₂ が生成される。このため、CO₂ を発生する化学反応プロセスは、2050 年のカーボンニュートラルの達成に対して大問題になっている。

温室効果第 1 位の CO₂ に次いで 2 番目に多い温室効果ガスがメタン (CH₄) である (https://media.kepco.co.jp/_ct/17524689)。この CH₄ を水素 (H₂) と混合させた後、プラズマにすることで、



の化学反応が進む。CO₂ はまったく発生しない。CH₄ が消費されつつ、上述した炭素材の原料 C₂H₂ ができる。これに目を付けた米国のベンチャー (Transform Material 社) は、図 1 のような技術で事業を立ち上げている (米国特許 US10676353B2, Example 1 (2020)、日本: 特表 2022-508353, 2022.1.19)。その方法は、915 MHz のマイクロ波を、CH₄/H₂/N₂ の混合ガスが流れている石英管に対して、垂直に照射する。この方法で、CH₄ の 95.7 % を水素生成物、および、炭化水素物に変換して C₂H₂ 収率 92 % を得ている。

② 目的

しかしながら、図 1 の方法には、以下の二つの欠点がある。第一に、流路の内径が 45 mm と細い。第二に、その流路に 19 kW もの大電力が投入されている。これらより、電力原単位は 9.5 kWh/kg- C₂H₂ と計算されている。これらの欠点のために、消費電力がもっと低い大口径リアクターを開発して、(1) 式の反応を引き起こす新しい方式が必要とされている。

③ 学術的な独自性と意義

プラズマ科学の観点からは、図 1 のようなタイプのマイクロ波プラズマは、石英管内壁とプラズマの間に波が励起される表面波プラズマである (例えば、「大気圧プラズマ」オーム社)。表面波が立つ領域は石英管内壁から 20~30 mm 以内に限定される。この制限のため、プラントの流路を太くすると、流路の外側から流路に対して垂直にマイクロ波を照射する図 1 のような方法では、流路の中央領域までプラズマが到達しない。このため、その中央領域を通過する原料ガスは、(1) 式の化学反応を起こさず、そのまま通過してしまう。結果として、図 1 の方式で流路を太くしても、CH₄ の変換率と C₂H₂ 収率は、激減すると予想される。申請者は、同じくプラズマを使うものの、全く異なる独自の手法で TM 社の欠点を克服し、C₂H₂ 生産力も圧倒的に高くなる技術を着想した。その技術とは、図 2 の内径が 550 mm の大口径プラズマ装置のように、プラントの上面にマイクロ波ソースを複数取り付けの形に変えて、CH₄/H₂ 混合ガスも、その上面から z 軸下向きに向かって入れる。この新方式で、わずか 0.7 kW で ~40% 以上の C₂H₂ 選択率を達成した (後に詳述)。これを実施例の一つとして、現在特許出願中である [比村、特願 2023-077418 号]。

④ 期待される効果と発展性

今回実現を目指す CO₂ を全く排出しない高周波プラズマ生成方式による CH₄ ガスからの C₂H₂ ガスへの選択的な転換技術 (本技術) が実現した際には、C₂H₂ の製法はカルシウムカーバイド法から、再生可能エネルギーである水力発電の電力を利用した本技術に転換される。その結果、CO₂ の排出量と、将来本格的に賦課されるであろう炭素税が大幅に抑制されると同時に、副生してくる H₂ ガスの有効活用 (火力発電でのグリーンエネルギーとしての燃料利用、CO₂ との反応による化学品製造用の原料としての活用、等) も期待され、脱炭素と経済性が大きく推進される。

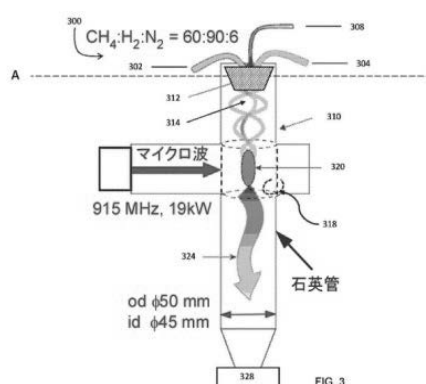


図 1 TM 社の方式。流路が細く、マイクロ波を横からあてるため、大型化に向かない。

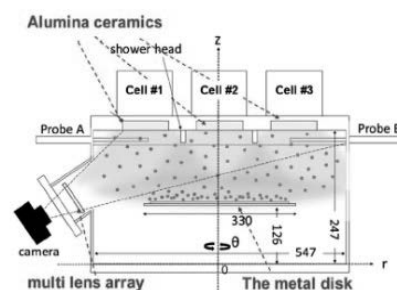


図 2 口径は 550 mm (図 1 の 10 倍) である一方、投入電力はわずか 0.7 kW である (Ninomiya *et al.*, JJAP 61, SI1009 (2022) より転載)。

【①背景】

カーボンニュートラルの実現において水素 (H₂) は中心的役割を担うことが期待されている。固体高分子型燃料電池 (PEFC) は、H₂ と酸素 (O₂) から電気を創り出す発電装置であり、そうした H₂ をエネルギー源とした社会において不可欠な装置である。それゆえ、今後は、PEFC が広く普及することが期待されている。しかしながら、現状では、PEFC にてかなりの量の白金 (Pt) が使用されており、このことも関係して、現在の PEFC は極めて高価となっている。また、Pt 触媒以外の部分の改良により PEFC の低コスト化が実現したとしても、現行の Pt 触媒のまま PEFC が普及したのでは、遅かれ早かれ Pt が不足する事態に遭遇する。今後、できるだけ早く水素エネルギー社会へと移行するためには、**PEFC の電極触媒にて使用されている Pt 使用量の削減が不可欠である**。PEFC においては、カソードにおける酸素還元反応 (ORR) が律速となっており、そうしたカソードでは、カーボンブラック (CB) 上に 2-3 nm の粒径の Pt ナノ粒子 (NPs) が担持された触媒 (Pt NPs/CB) が広く利用されている。最近になり、1 nm 程度の Pt ナノクラスター (NCs) は、2-3 nm の粒径の Pt NPs よりも高い ORR 活性を有していることが示された。こうした事実に基づく、**1 nm 程度の Pt NCs を ORR 電極触媒として利用すれば、PEFC における Pt 使用量の削減が可能**になると期待される。

【②目的】

本研究では、2050 年におけるカーボンニュートラル実現を目指し、**2030 年以降の燃料電池の普及拡大に繋がる高機能的な ORR 電極触媒の創製**に取り組む。具体的には以下の 2 つを実現する。

- 1) Pt の構成原子数、合金化、メラミン吸着、担体加工の 4 つのパラメーターを制御することで、2030 年目標である 1740 A/g の 2 倍の **3480 A/g の Pt 質量活性を有した ORR 電極触媒の sousehutu を実現**する。
- 2) 適切なメラミン吸着法を確立することにより、合金触媒における耐久性の課題を克服する。これにより、**合金触媒についても市販の Pt NPs/CB (TEC10E50E 等) よりも高い耐久性を実現**する。

【③学術的独創性と意義、及び④期待される成果と発展性】

水素エネルギー社会の実現に向けて、燃料電池の高機能化技術は今後も確実に深化してゆくと思われる。しかしながら、**ブレイクスルーの創出には、専門家による継続的な努力に加え、専門分野を超えた学際的な研究が必要**となる。申請者らは、金属原子の凝集を原子レベルの精度にて制御するという、いわば、金属 NCs に対する極限的なナノテクノロジーを確立しており、また、投稿論文が総計 16,000 回以上引用され、この 13 年間に 45 報の論文がカバーピクチャーに選出されるなど、極微細な金属 NC に関する研究分野を現在、世界的に牽引している。

ORR 電極触媒についても、こうした技術を駆使することで、**「簡便さ」、「収率」、「安定性」のどれにおいても課題のない触媒作製法の確立に成功**している。燃料電池分野におけるこうした他分野の革新的な技術の導入は、ブレイクスルーの創出につながり、**燃料電池の価格低下、ひいては、燃料電池の普及拡大、すなわち、カーボンニュートラルの実現に繋がる**と期待される。

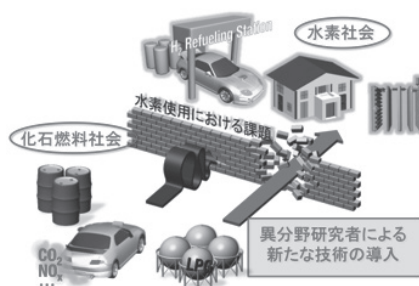


図 1. 本研究の意義。

末梢の生物時計をマイクロ電流刺激することで「認知機能障害」の予防・治療を目指す

研究者 九州大学大学院薬学研究院 教授 松 永 直 哉

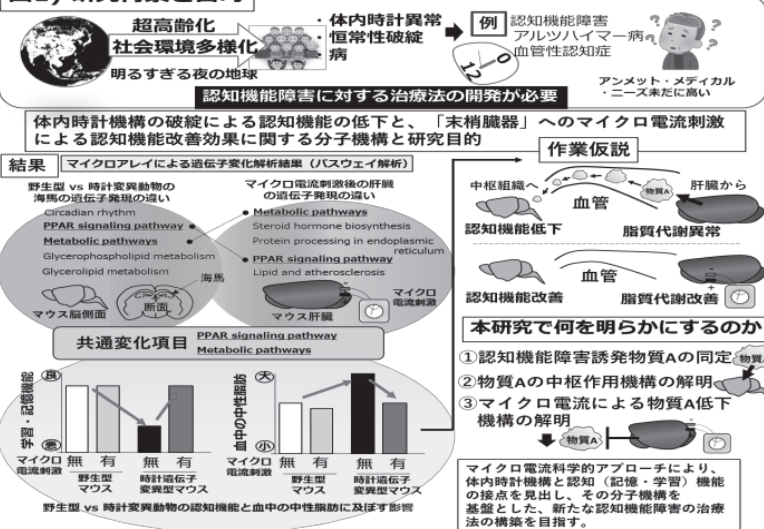
①背景：「体内時計の破綻は様々な疾患の誘発に関連している」。人間社会は多様化し、光にあふれ眠らない世界となっている。申請者は自らの時計も狂いつつも、体内時計が生体機能にとって重要な役割をはたし、病気の程度や薬物治療効果に影響を及ぼすことを証明した (Matusnaga et al., Nature commun 2021 など多数)。つまり、体内時計機構を整えることは、健康増進、病の治療につながることを示す。しかし多様性を増す現代社会に応用できる体内時計を調節する簡便な方法は存在していない状況であった。そこで数年かけ申請者は、偶然にもマイクロ電流が細胞の時計遺伝子発現リズムを変容させる作用を有することを明らかにし、さらにこの作用を応用した新規の体内時計調整機器 MIG24 を開発した (特許申請/PTC 2019)。また近年の研究で体内時計を制御する時計遺伝子に変異した動物では、老化に伴う認知機能の低下が認められ、この障害は「末梢臓器」にマイクロ電流刺激を施すことで改善した。さらにヒト臨床データ解析と動物実験から、その原因が脳と肝臓の脂質代謝能の変容 (海馬-肝臓連関：新発見) である可能性を見出した (図 1)。

②目的：すなわち時計の乱れにより障害される学習・記憶が、中枢でなく、「末梢臓器」へのマイクロ電流刺激により改善する機構を探索することは、新たな学習・記憶機構の発見と、認知機能障害の予防や治療法に応用できる可能性を秘めている。本研究を通じて、多様化した現代社会、高齢化社会における問題「認知機能障害」を予防・治療させる新たな方法を構築したい。

③学術的な独自性と意義：我々の生体機能調整にマイクロ電流は欠かせない。細胞に流入出するナトリウムやカリウム元素のイオン濃度勾配により生じる電位差などが主なところである。またその一方で生体機能は元素-タンパク質-細胞-組織-臓器-個体に至るまで階層構造を示し、この階層構造を連動させる機能の一つに体内時計機構ある。この体内時計機構は個々の細胞に存在し、様々な機能分子と密に関連し、種々の生理機能に日周リズムを生み出す。よって中枢から末梢にいたる様々な生体機能は、リズムカルなマイクロ電流により統合されているといっても過言でない。これまでの研究で得ている、外部からマイクロ電流を体の一部に流し、体内時計を活性化させることに成功した技術を利用し、認知機能の新たな分子機構の解明や、認知症を予防や治療する新たな方法の開発を目指すなど独自性や社会的意義が高い研究である。

④期待される成果と発展性：マイクロ電流と認知機能と体内時計機構との相互作用について、分子機構を解明し、全く新しい視点から新たな生体内ネットワークの解明の挑戦であり、世界的にも類を見ない極めて新規性の高いアプローチといえる。人生 100 年時代、平均年齢と健康寿命差の問題等、多様化した現代社会の健康問題の改善に貢献できると考えている。

図1) 研究背景と目的



①背景

炭素のみで構成された 6 員環構造を持つグラフェンは様々な優れた物性を持つことが知られている。その電子移動度は室温で $15,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と驚くほど高く、高い機械的強度と鋼鉄の 200 倍の破壊強度であるため、様々な分野で応用研究が進んでいる。しかし、研究が進むにしたがって、原子 1 個分の厚さの“2 次元シート”であることが応用上の制約となっていることが明らかとなってきた。この問題を解決するため、近年、グラフェンに立体的な構造（多孔質構造）を与える研究が進んでいる。グラフェンの立体化は、体積当たりの高性能化を目指すうえでエレクトロニクスと相性が良く、空隙率 99% かつ厚みのある多孔質構造や特異な熱伝導特性から光や熱に対応する巨視的な応答性の良さが利点である。これは、電氣的に効率よく検出する PN 接合を形成するための要素技術であり、多孔質グラフェンの空孔内部表面で形成される電気二重層などを利用した電荷移動によるキャリア注入が可能なトランジスタ特性にも活用できる。このような立体的な 3 次元構造を持つグラフェンを用いたエレクトロニクス、特にトランジスタ応用を考えると、大容量化および高速化するには素子となる多孔質グラフェン自身の特性の理解が重要とされる。多孔質構造は、平面と曲面の足し合わせで構成され、曲面は 6 員環のみで構成できないため、5 員環や 7 員環（欠陥）を導入して曲面の形成が行われている。したがって、多孔質グラフェンの物性は、平面部だけでなく曲面部の影響も大きく受けていることになる。このため、曲面（曲率半径）を変化させることでフォノンや電子フォノン相互作用がどのような影響を与えているかを様々な角度で検証する必要性がある。

②目的

グラフェンのトランジスタ測定とラマン分光測定を組み合わせ、ゲート電圧を印加しながらグラフェンに特徴的なラマン散乱の変化を観察する。これにより、ディラック点付近の強い電子フォノン相互作用やディラック点から離れたときにパウリの排他原理より起こる減結合など多彩な変化の観察が可能となる多孔質グラフェンの場合、この変化に加えて、曲面由来の効果が追加される。したがって、立体的構造を持つグラフェントランジスタの開発に向けて曲面由来のフォノン物性を明らかにしたい。

③学術的独創性と意義

2 次元グラフェンの上でも D、G と 2D バンドがゲート電圧に依存して変化（格子の状態が変化）することが知られている。2 次元グラフェンを立体化させて表面積を増大させることで大容量化高速化が期待できるが、曲面を持つグラフェンがゲート電圧に対してどのような状態変化を起こしているのか調べた研究者はいない未踏研究である。トランジスタデバイスを用いてグラフェンのフェルミ準位を変調することで曲面上の電子フォノン相互作用を理解すれば、その知見を様々なデバイス特性への応用が期待できる。

④期待される効果と発展性

2 次元グラフェンシートを無秩序に並べても短絡やグラフェン間の接続不良などによりエレクトロニクスデバイスとして十分な性能は発揮しない。2 次元グラフェンの特性を保ったまま綺麗に立体化するには、曲面導入は必須である。しかし、6 員環以外の欠陥を多く含む格子から形成される曲面を持ったグラフェンの物性はいまだにわからないことが多い。ラマン分光法はグラフェンの格子に関する情報を得る強力な方法であり、本提案によるトランジスタ測定と組み合わせることで曲面由来のフォノン物性を明らかにすることができる。これらに加えて曲率半径などを系統的に変化させることで、立体的なグラフェンエレクトロニクスデバイス開発に必要な基礎的な物性の知見が得られると期待される。

1. 背景（当該分野の動向）

脳の神経細胞のネットワークを模した人工ニューラルネットワークは、機械学習のモデルに利用され、画像や音声などの非構造化データの高効率な処理を可能にすることから、近年、様々な機関で研究が推進されている。リザーバーコンピューティングは、そのような人工ニューラルネットワークの中で動的な時系列情報処理に適したモデルのひとつであり、その最大の特徴は、他のニューラルネットワークに比べて、学習が極めて高速であるという点にある。そのような中、近年、リザーバーの非線形変換機能を物理現象によって実現する物理リザーバーコンピューティングが注目されており、電子、光、スピン、流体、細胞などさまざまな媒体を利用した手法が提案されている。物理系のダイナミクスによって実現したハードウェアベースのリザーバーは、ソフトウェアベースのリザーバーに比べて高速性や低消費電力性をもつ実装が可能であり、高効率な機械学習デバイスを実現するための基盤技術となりえる。

2. 目的

本研究では、機械学習のための次世代処理技術として、半導体レーザ構造の一部をリザーバーとして用いた「フォトニック・リザーバーコンピューティング」の実現を目指す。具体的には、III-V 族化合物半導体基板上に活性領域と過飽和吸収領域をアレイ状に作りこむことで連続媒質型リザーバーを構成し、リザーバーに必須とされる短期記憶性・非線形性・高次元性の 3 つを同時に実現する。最終的に、チップレベルで高いエネルギー効率を有する光情報処理を行い、スケーリングの枠組みから解放された新しいコンピューティング技術の確立を目指す。

3. 学術的な独自性と期待される成果・発展性

現在、光を媒体としたリザーバーコンピューティングは、半導体レーザ、光ファイバー、シリコン光回路などをディスクリットに組み合わせることで実現されることが殆どである。このような構成の場合、リザーバーの情報処理性能が上がるほど規模が指数関数的に拡大するため、スケーリングは容易ではない。それに対して、本申請課題で実現するフォトニック・リザーバーは、これまで報告されているディスクリット型ではなく、スケーリングが容易なチップ型（連続媒質型）であり、各種電子デバイスとの一体実装が可能となっている。

機械学習のための次世代処理技術としてリザーバーコンピューティングの市場規模が拡大した際、将来的に開発素子と同系統の素子が広く用いられる可能性がある。それに伴い、現在、光通信用途が主の III-V 族半導体光素子の市場規模も大きく拡大すると考えられる。以上の点において、本課題の潜在性はきわめて高く、相応の成果が期待できる。

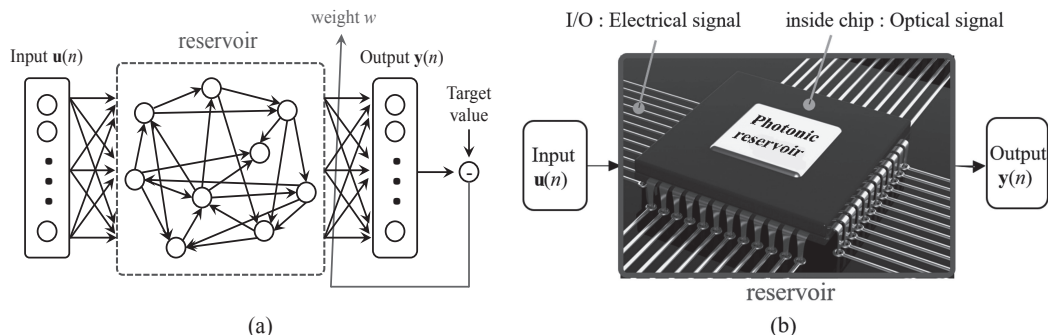


Fig. 1 (a) リザーバーコンピューティングの概要：リザーバーコンピューティングでは、リザーバーと出力層の間の結合重みだけを線形学習で最適化する。そのため、全ての結合重みを学習する通常のニューラルネットワークに比べて計算量の大幅な低減が可能となる。(b) 本研究目標であるフォトニックリザーバー：Fig. 1(a)の点線領域をデバイスに落とし込んだもの。入出力(I/O)は電気信号であることはCMOSベースのCPUと変わらないが、チップ内は光が処理媒体であり、リザーバーに必須な3要素（短期記憶性・非線形性・高次元性）を同時に実現する。

①背景

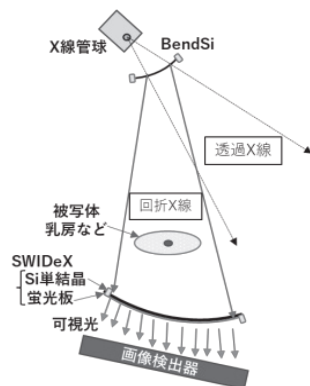
現在、臨床で使用されている吸収コントラスト X 線撮影法は、骨から空気まで幅広く人体内を画像化できるものの、水素・炭素・酸素のような低原子番号の元素に対する吸収が著しく弱く、低原子番号で構成される軟組織内のコントラストが得られにくかった。特に軟組織のコントラストが重要なマンモグラフィでは、高濃度乳腺（デンスブレスト）内の乳がんや初期の乳がんの発見を困難にさせている。一方で X 線の位相情報を利用する位相コントラスト法は、軟組織のコントラストの改善に期待されており、様々な研究機関で開発が続けられている。しかし、この手法は X 線の発生装置に高い干渉性を必要とするため、干渉性の低い一般的な X 線管球ではコントラストの劇的な改善は見込めなかった。また、被写体と X 線検出器の間に位相コントラストを生成するための距離を空ける必要があり、従来のマンモグラフィのように被写体と検出器を接近させた高空間分解能撮影ができなかった。位相コントラスト法を医療で実用化するためには、これら 2 つの課題を解決することが必要となる。

②目的

本研究の目標は、上記の課題を克服した、高コントラスト・マンモグラフィ装置を実現することである。本申請では 1 つ目の課題の解決を目的とし、干渉性の高い単色 X 線を生成する X 線照射環境を開発する。

③学術的な独自性と意義

この目的のために、X 線管球にベンディング型シリコン (Si) 単結晶 (**Bend Si**) を用いた X 線光学系を接続することを考えている。Si 単結晶は、Spring-8 や高エネ研の放射光施設で指向性の高い X 線を回折させて、単色化（連続な波長から特定の波長を切り出すこと）や干渉性を高める目的で利用されている。一方で X 線管球からの放射状に発散した連続 X 線（様々な波長をもつ X 線）を結晶で回折させた場合、様々な波長の弱い X 線が射出するだけである。これに対し申請者は、Si 単結晶を薄く研磨し、決められた曲線になるように高精度に湾曲させて X 線管球に接続することで、X 線管球から高い干渉性を持った単色 X 線（特性 X 線）を生成できると考えている。2 つ目の課題に対しては、申請者が提案した X 線回折波 2 重撮影法 (**SWIDeX**, N. Sunaguchi et al, *Appl. Phys. Lett.* 122, 123702 (2023), 特許出願済) を利用する。SWIDeX は Si 単結晶薄膜に X 線蛍光板を張り合わせた光学デバイスにより、被写体の位相コントラストを得る方法である。従来の位相コントラスト法と異なり、被写体ぎりぎりまで検出器を近づけることができるため、高い空間分解能が望める。申請者はこれまで放射光施設で SWIDeX を用いて生体組織を高画質に撮影できることを実証してきたが、SWIDeX の結晶薄膜を Bend Si 同様に湾曲させることで X 線管の発散光にも対応できると考えている。Bend Si と SWIDeX とともに独自技術であり一体化したものがこの研究で目指す次世代 X 線撮像法 **SWIDeX+** である (右図)。



④期待される成果と発展性

SWIDeX+は、マンモグラフィのようなスクリーニング検査で、デンスブレスト内の乳がんや石灰化が生じる前の初期の乳がんの早期発見に貢献できる可能性を持つ。また、CTに応用することで、医療だけでなく産業分野での利用も期待できる。例えば、リチウムイオン電池の性能を劣化させるリチウム析出現象の可視化や、食品や化粧品などの内部構造の可視化、農作物の生育状況の可視化など様々な分野で活用できる。

ROV搭載型水中バイラテラル制御システムの開発

研究者 神戸大学大学院海事科学研究科 准教授 元 井 直 樹

① 背景

我が国のエネルギー自給率はわずか 11.8%である。また、エネルギー資源は少数国に生産が偏っており、我が国への供給構造は極めて脆弱と言える。この打開策の一つとして、我が国の排他的経済水域に存在するメタンハイドレート等の豊富な海底資源の活用が挙げられる。つまり、**海底資源の探索、およびその有効活用が我が国の持続的発展のための存立基盤となりうる**。海洋資源探索として Remotely Operated Vehicle (ROV) 等の水中ロボットが用いられている。しかし、水中ロボットの遠隔操作は視覚情報のみに頼り、操作性が悪く、採取する試料を破損することがある。つまり、**視覚情報のみならず力覚情報を含む複合的な感覚情報を用いた直接的な環境への遠隔操作技術の確立が熱望されている**。

② 目的

本研究では、ROV 搭載の水中マニピュレータの遠隔操作に注視し、操作性の飛躍的な向上による**海底資源探索や水中プラント・船舶等の施工・メンテナンス等の海洋産業体系の革新を目指す**。そのために、**視覚・力覚情報の伝送による直観的な遠隔制御技術の実現を試みる**。しかし、水中では潮流や流体力による動的な環境外乱が存在する。また、水中マニピュレータ作業中、環境からの反作用力により、水中ロボットの位置・姿勢が変化し、作業効率が著しく低下する。さらに、防水・防圧といった機構的制約も考慮する必要があり、**極限環境といえる**。そのために、**[1]力センサレスでの水中バイラテラル制御技術の確立、[2]視覚センサと加速度センサの融合による定点保持制御の確立、[3]視覚・力覚伝送機能を有する水中ロボットシステムの試作開発の3点を実施する**。本技術の確立により、高臨場感を有する遠隔操作技術が確立され、**あたかも操作者が深海において直接作業を行っているような直感的な操作が可能となる**。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性は、水中マニピュレータの接触環境の硬さ・柔らかさという力覚情報を伝送する**水中バイラテラル制御の確立と、直感的な遠隔操作の実現による飛躍的な操作性の向上である**。これまでの水中ロボットの遠隔制御は視覚情報に基づいており、力覚伝送を実現したものは希有である。さらに、本研究で確立する力覚推定は独創的なオブザーバ理論に立脚する。そのため、**水中ロボットシステムに対して力センサレスでの力覚伝送機能を実現するものであり、学術的な独創性は極めて高い**。

水中は、潮流等の時間変化を伴う時変環境であり、また高水圧が存在する極限環境である。そのため水中マニピュレータに防水・防圧といった機構的制約が存在する。**本研究の学術的な意義は、時変環境・極限環境における機構制約を考慮した革新的な最適システム設計論という知見を与えることである**。

④ 期待される成果と発展性

本研究の技術の確立により、直感的な遠隔操作が可能となり、**海底資源探索や水中プラント・水中船舶等の施工・メンテナンス等において人間の代替として水中ロボットを用いることが可能となり、産業界に大きな効果が期待される**。そのため、**本研究が有する産業界、特に海洋産業への貢献は非常に大きい**。

本研究の発展性は、**多岐にわたる技術の応用先である**。本確立技術は産業のみならず、深海探索や海底カルデラ調査に活用することで、深海生物の生態把握、そして生物・地球の起源・進化の解明の一助となりうる。また、深海以外の極限環境にも展開可能であり、宇宙や災害対策への寄与も期待できる。

背景 マイクロ流路は電子回路とのアナロジーで理解されることが多く、10 年ほど前にはマイクロバルブを用いてトランジスタ機能を再現した非線形マイクロ流路素子が多数提案されてきた。近年では実現される非線形特性が広がりを見せるだけにとどまらず、それらの応用研究も盛んになってきた。例えば、非線形マイクロ流路を用いたマイクロ流路ネットワークの形成によりプライスのパラドックスを再現した研究(Case et al., Nature 574, 647, 2019)が報告されるなどマイクロ流体工学の応用範囲は広がり続けている。このように非線形マイクロ流路素子を構築することは、マイクロ流体工学における設計の自由度と応用領域を飛躍的に向上させる可能性を秘めており、さらなる素子の創出が望まれている。

目的 本研究では、非線形マイクロ流路壁の創出を、昆虫の形状からヒントを得て実現することを目指す。具体的には、高レイノルズ数領域では流体を通し、低レイノルズ数領域では通さない非線形マイクロ流路壁を、アザミウマの羽からヒントを得て実現する。自然界にはチョウのように薄膜状の翼を羽ばたかせて飛翔する昆虫が多く存在する。その一方で、体長が 1 mm 程度と小さいアザミウマは、支脈のみで構成された櫛歯構造の翼を持つことによりタンポポの綿のように飛ぶ戦略をとっている。アザミウマの羽の櫛歯間隔は数十ミクロンと非常に小さいため、櫛歯周りの空気流れは低レイノルズ数領域となる。このため、櫛歯の間に空気がほとんど流れず、翼は仮想的に 1 枚の翼のように振舞っている。さらに面白いことに、突風が吹いたときなどは高レイノルズ数領域となるため櫛歯の隙間から空気が漏れていく。この機能から着想すると、流路中にアザミウマの羽構造を形成することにより、高速流体は通すが、低速流体は通さないような非線形マイクロ流体素子を実現できると予想している。この仮説を実証して、細胞分取デバイスへと応用し、生物学の発展に寄与することが本研究の目的である (Fig. 1)。

学術的な独自性と意義 本研究は、新規な非線形マイクロ流路素子である非線形マイクロ流路壁を実現してマイクロ流路設計の自由度を向上させるという意義と、その素子を細胞分取デバイスへ応用してデバイス性能を大幅に向上させることで生物学的研究の発展に寄与する意義がある。実現する非線形マイクロ流路壁も独自性は高いが、それにとどまらず、生物模倣 (バイオミメティクス) を使うところにも大きな独自性がある。マイクロ構造を作製する際に昆虫に学ぶことは良くあることだが、今回のアザミウマの羽をマイクロ流路壁へと応用する例は申請者の知る限り無く、生物と工学を結びつけるという観点においても学術的に意義深い。

期待される成果と発展性 流速によって液体を通すか通さないかを受動的に制御できる非線形マイクロ流路壁が実現されることが期待できる。これは電子回路中の電子素子のように、汎用的に使える技術となるため、幅広い発展が見込まれる。例えば、流速によって流れる方向が変わる流体素子ともなり得る。本研究提案においては、申請者がこれまで作製してきた細胞分取装置に導入することにより、その有効性を示す。

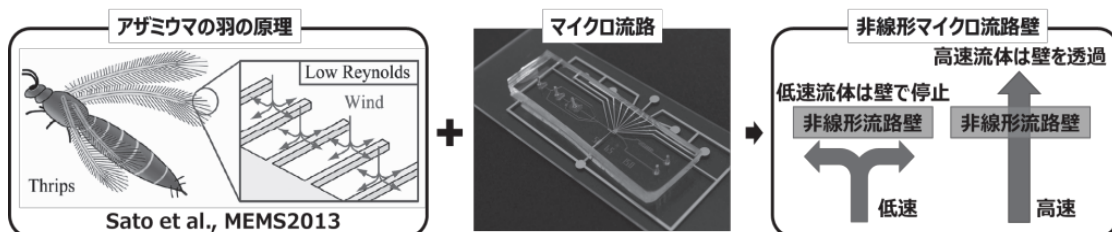


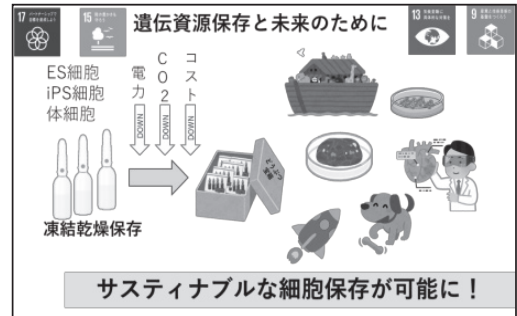
Fig. 1 研究概要

“生き返る”細胞の凍結乾燥保存技術の開発

研究者 山梨大学大学院総合研究部 助教 若山 清香

① 背景

遺伝資源は一度失われてしまったら二度と手に入らないため、地球上すべての遺伝子を保全する必要性が叫ばれて久しい。多くの国で遺伝子バンクが設立されているが、動物細胞の遺伝資源は現在液体窒素または、超低温冷凍庫が必須である。しかし、凍結による保存は災害などの不測の事態が起きた場合、液体窒素や電力の安定的な供給ができず溶けて試料が損失するため、確実な保存方法とは言い難い。またそもそも、液体窒素下での維持管理は多くの費用と労力がかかること、昨今の電力の高騰により莫大な維持費がかかることが問題としてあげられる。



② 研究目的

このように、従来の動物資源の凍結保存方法では“サスティナブルな遺伝資源保存”とは程遠いのが現状である。これらの問題を解決するために、簡便かつ低コスト低人員で、さらに電力供給がなくなっても確実に生物試料を長期に保存できる方法の開発が望まれている。そこで申請者は、培養細胞（体細胞やES細胞）をフリーズドライ化し、水を加えるだけで、再び培養可能となる全く新しい保存方法を開発する。

③ 学術的な独自性と意義

本研究では、哺乳類の細胞では今までどうしても克服できなかった凍結乾燥後の生き返りを、凍結法の改善や細胞刺激方法を中心に網羅的に試し、試行錯誤を繰り返して達成する。申請者は今までに、哺乳類では絶対に実現が不可能といわれるテーマをいくつか実現化してきた。本テーマも独自性を保ち、申請者のノウハウによって実現は不可能ではないと考える。もしこれを実現することができれば、哺乳類細胞の乾燥＝死の概念が変わるだろう。そして本研究によって、災害時に電力や液体窒素供給が停止しても貴重な細胞株を安全に保存する、という課題を解決することができるはずである。

④ 研究終了時に期待される成果・効果

一般的な研究室で培養細胞を凍結保存維持する場合の経費は大きい。さらに、遺伝子保存となると安全で確実な恒久的な保存が求められるが、維持期間が長くなればなるほど経費の増大は避けられない。本研究が実現すれば以下のように問題が解決されるため、大きな社会的インパクトが想定される。

その1：保存費用、電力、CO2ガス排出の大幅削減 細胞保存用の超低温冷凍庫、または液体窒素タンクを1台維持するためには一年間に約100万円の経費が必要である。本申請書の手法が全世界で利用された場合、世界規模で冷凍保存が不要となるため電力の削減、ひいてはCO2ガスの排出削減に貢献する。 その2：災害に強い保存 本研究により室温保存が可能になれば、たとえ大震災が起こっても、周りの環境に影響されずに保存可能なため安心である。将来的に宇宙での保存も可能となるだろう。 その3：輸送の簡便化 遺伝子保存用だけでなく医療向けの細胞を目的の機関に輸送するためには、液体窒素の入った特殊な容器を使用するためその輸送費は非常に高額となる。しかし本研究が実現すれば輸送費は1/1000になる。

本研究はSDGs目標の13・15に貢献する。また、細胞の輸送を容易にし、低コストになれば開発途上国でも実施可能になるため、国際的な共同研究が促進されることから、目標17にも関連する。そして最終的に目標9の基盤技術革新につながっていくだろう。

①背景： テラヘルツ波と呼ばれる電波と光の中間に位置する周波数帯（0.1-10 THz）では、指紋スペクトルと呼ばれる物質固有の吸収スペクトルが観測される。そのため、テラヘルツ帯の吸収スペクトルを測定すると測定対象に含まれる物質をラベルフリーで決定することができる。そのためテラヘルツ吸収スペクトル測定は化学・バイオセンシングへの応用が期待されている。具体的な応用例として、糖類の一種であるグルコースを挙げることができる。涙に含まれるグルコース量は血液中の血糖値と相関を示すことが知られているため、涙中のグルコース量を検知することで糖尿病患者の血糖値状態を簡便かつ非侵襲的に知ることができる。しかし、バイオ、ヘルスケア応用では水分を含む試料や溶液状態の試料がしばしば測定対象になるため、水による大きなテラヘルツ波の減衰が問題になる。そのため、溶液試料のテラヘルツ吸収スペクトルを測定することは一般に困難である。

②目的： 本提案ではこのような問題を解決するため、示差熱測定という新しい原理に基づいたテラヘルツ吸収スペクトル測定法を提唱する。すなわち、通常のテラヘルツ吸収測定とは異なり、本提案では試料を載せた微小な熱検出デバイスを用意し、試料が吸収したテラヘルツ波を熱検出デバイスの温度変化として検出する。この方法はボロメータを用いた熱検出法の一種とみなすことができるが、試料と検出器が一体化している点で異なっている。そのため、試料によって吸収された熱量はそのまま検出器の温度上昇に消費される。本研究で用いる熱検出デバイスは MEMS（微小電気機械システム）技術を用いて示差熱測定用に作製されたデバイスであり、参照セルと試料セルが同じチップ上に搭載されている。そのため、2つのセルで吸収された熱量の差分のみを検出することが可能である。また、熱検出デバイスの感温部サイズは直径 500 μm となっており、わずか数 10 nL 程度の溶液体積での測定が可能になる。本研究では、この示差熱検出という新しい原理に基づいたテラヘルツ吸収測定法を確立し、ラベルフリーによる超微量バイオセンシングを可能にする

③学術的な独自性と意義： 従来のテラヘルツ分光法では、水による巨大減衰のため溶液試料を測定することは困難である。本提案では、示差熱検出というこれまでにない新しい原理に基づいて、微量な溶液試料のテラヘルツ吸収測定を可能にする点が最も独自性の高い点に挙げられる。また、一般的なテラヘルツ分光に用いられるテラヘルツ時間領域分光装置では高価なフェムト秒レーザーが必要になる。一方、本提案では低コストの連続波テラヘルツ光源を用いることから装置の大幅な省スペース化と低コスト化を実現できる。その結果、いつでも、どこでも、だれにでも（ubiquitous）使いやすいテラヘルツ分光装置を提供することが可能になる。

④期待される成果と発展性： 高感度かつ小型で低コストのテラヘルツ分光装置が実現すれば、バイオ・ヘルスケア分野の現場でラベルフリーの分子同定が可能になり、分析、検査の効率が大幅に向上する。さらに、この測定法の確立によってこれまでテラヘルツ応用が進まなかった分野への応用が大きく進むことが期待できる。特に、水を含む試料や溶液試料がしばしば測定対象となる食品・農業分野などにおけるラベルフリーセンシング応用が期待できる。また、装置の小型化によって屋外環境での使用が可能になるため、河川や雨水といった屋外サンプルに対する環境モニタリングへの展開も期待できる。

1. 背景

がん診断において、血中に循環するがん細胞(CTC)が、がんの早期発見を可能にするバイオマーカーとして注目されている。血中循環がん細胞は、がん組織の原発巣から、血管内に浸潤するがん細胞であり、血管内を循環し、原発巣から離れた組織・臓器に転移する(図1a)。この血中循環がん細胞を、非侵襲的に採取することで、がん細胞の浸潤性(転移性)の評価や、がん細胞の抗がん剤の感受性の評価が可能となる。これらの理由より、血中循環がん細胞を血液から効果的に活性を維持したままで採取する技術が必要となる。

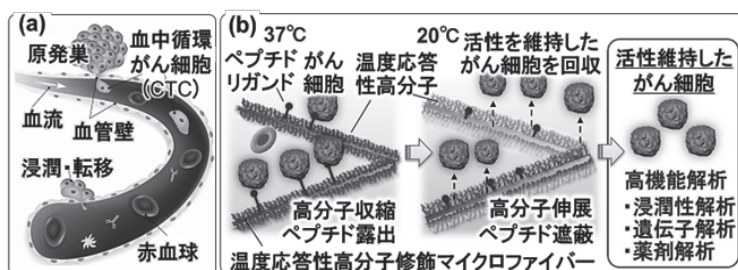


図1 (a) 血中循環がん細胞 (b) ペプチド担持温度応答性高分子修飾マイクロファイバー

2. 目的 (課題設定とねらい)

そこで本研究では、温度制御により血中循環がん細胞を捕捉し、非侵襲に回収する細胞分離技術を開発する(図1b)。マイクロファイバー表面に、血中循環がん細胞と親和性を有するペプチドリガンドを修飾し、温度に応答して伸長・収縮する高分子を修飾することで、温度 37°Cでファイバー表面に血中循環がん細胞を捕足し、冷却により血中循環がん細胞を回収する(図1b)。

3. 学術的な独自性と意義

現在、フローサイトメトリー(FACS)などを用いた血中循環がん細胞の検出方法の研究は行われているが、標的のがん細胞に蛍光色素を修飾するため、がん細胞の特性が失われてしまう。このように、血中循環がん細胞の活性を維持した状態で低侵襲に回収する技術は開発されていない。これにより血中循環がん細胞が保有するがん本来の特性を得られていないため、患者のがんの性質に合わせた精密な細胞診断には至っていない。もし、血中循環がん細胞が本来有する性質を保ったまま回収することができれば、従来よりもさらに高精度ながん細胞の特性解析や診断が可能となる。

4. 期待される成果と発展性

本研究により、血中循環がん細胞を本来の活性を維持した状態で回収できれば、現在までに不可能だった様々ながん細胞の高精度測定・特性解析が可能となる(図2b)。通常のがん細胞回収法では細胞の中に含まれている核酸が漏出してしまいうため、全ての遺伝子情報を得ることはできない。しかし本研究では、細胞が有する遺伝子情報を全て用いることができるため、より高精度な遺伝子解析が可能となる。また、がん細胞の活性を維持したまま分離できるため、がん細胞の浸潤性試験に応用することができる(図2c)。

このように本研究により、従来までにできなかった血中循環がん細胞の特性の高精度な測定を可能にし、革新的な細胞診断を実現させる。

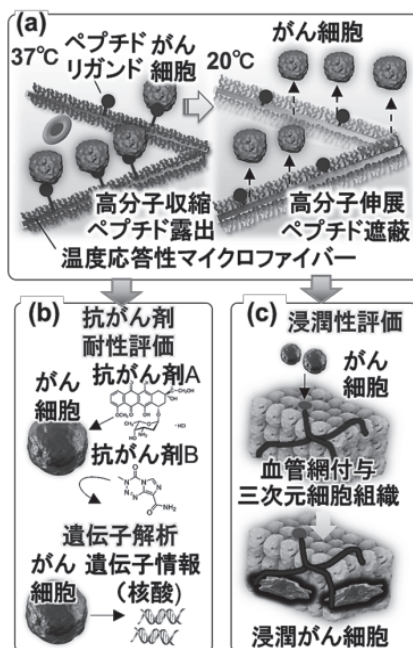


図2 (a)温度制御によるがん細胞の低侵襲回収 (b)抗がん剤耐性評価と遺伝子解析 (c) 血管網を有する3次元細胞組織によるがん細胞浸潤性評価

①背景(内外における当該分野の動向)

生物は環境中に漂う匂い情報を有効に活用し、エサやパートナーの発見、危機回避などを行う。例えばガルのオスは、交尾のため、フェロモンを頼りに数 km 先にいるメスに到達する。匂い情報の利活用は、非接触かつ長距離から空間情報を把握できるため、基幹インフラの点検（ガス漏れ検出など）や危険物質の検出（麻薬・爆発物など）、災害現場での人命救助など、幅広い応用が期待される。しかし、既存のロボット技術はカメラや LiDAR によるナビゲーションが主流のため、環境中に存在する匂い情報の利用は進んでいない。また、ロボットの鼻となるガスセンサは、匂いに対する応答速度や感度が十分でなく、技術的ブレークスルーが必須である。

昆虫（例：カイコガ）の嗅覚は、既存のセンサをはるかに上回る匂い検出能力を持ち、バイオセンサ応用に関する研究が進展している。中でも昆虫の触角は、触角電図(Electroantennogram; EAG)と呼ばれる手法により、環境中に分布する匂いをリアルタイムかつ高感度に検出可能な匂いセンサ素子として機能する。

②目的(課題設定とねらい)

そこで本研究では、複雑に分布する匂いに追従可能なカイコガ触角ベースのセンサ（EAG センサ）の開発と、飛翔性昆虫を規範とした 3 次元匂い追跡アルゴリズムを飛行ロボットに実装することで、環境中の匂い検出と追跡が可能な新しい嗅覚飛行ロボットの創出を目的とする。

③学術的な独自性と意義

独自性：匂いを追跡する距離が長くなるほど、匂いの濃度分布変化や飛来方向の複雑さが増大し、センサによる検出が困難になる。本研究では、昆虫触角の様に EAG センサをアレイ化することで、匂いに対する高い追従性を獲得する点に独自性がある。また、2 次元的な匂い追跡を行う生物を規範としたアルゴ

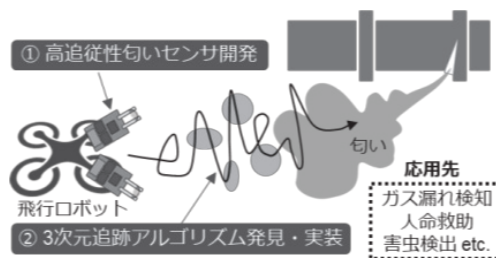


図1 本研究のスキーム。

リズムから脱却し、飛翔性昆虫から 3 次元の匂い追跡に特化したアルゴリズムを発見して飛行ロボットへ実装を目指す点は独自性が高い。本研究のスキームを図1に示す。

意義：本研究は、これまでロボットが利用できなかった「匂い」という環境中に存在するリッチな情報に基づく新しいナビゲーション技術を創出することに重要な意義がある。

④期待される成果と発展性

成果：本研究では、環境中に複雑かつ不連続に漂う匂い情報を、即座に検出してその発生源を高効率に追跡可能な、新規の嗅覚飛行ロボットの構築が期待できる。

発展性：カイコガの触角は遺伝子操作によって、フェロモン以外の幅広い匂い物質に応答する遺伝子改変した触角を作出できるため、嗅覚飛行ロボットは幅広い検出ターゲットを設定可能である。日本の人口減少を念頭に置くと、基幹インフラ維持の自動化・効率化は喫緊の課題であり、本研究の成果はガス漏れや漏電の検知などへの活用が期待できる。また、ヒト臭の検出による災害時の人命救助への応用や、他種の昆虫のフェロモン検出から害虫発見などにも展開可能である。

① 背景

エネルギーハーベスティング技術の一つとして、熱を直接電気エネルギーに変換することができる熱電材料が注目されている。熱電材料の性能は無次元性能指数 $ZT=S^2\sigma T/\kappa$ (S : ゼーベック係数、 σ : 電気伝導率、 κ : 熱伝導率、 T : 絶対温度) で表され、高い S , σ , 低い κ が求められる。室温近傍で高熱電性能を示す Bi_2Te_3 ($ZT>1$) には希少で毒性の強い Te が含まれているため、その代替材料として Mg 系 Zintl 相化合物が注目されている。 Mg_3Bi_2 を用いたバルク焼結体は室温近傍で $ZT=0.2$ を記録しているが、 Bi_2Te_3 の代替としてはさらなる性能向上が求められる。

Mg_3Bi_2 は Γ 点近傍にディラック点を有しており (図 1)、ディラック電子由来の高い移動度によって高い $S^2\sigma$ を示すことが期待される。しかし、これまで報告されている Mg_3Bi_2 はほとんど多結晶体であるため、多結晶界面における散乱によってこのディラック電子を活かしきれていない。また、熱伝導率に関しては単体で $\kappa\sim 3$ W/mK であり、 Bi_2Te_3 ($\kappa\sim 1$ W/mK) 比較すると高い。そのため、さらなる低減に向けてフォノン散乱を誘発させるナノ構造の導入が有効である。以上より、結晶方位のそろったナノ構造を導入すれば高い $S^2\sigma$ と低い κ を同時に実現することが期待できる。

② 目的

本研究では、分子線エピタキシー法を用いてエピタキシャル Mg_3Sb_2 ナノ構造含有 Mg_3Bi_2 薄膜を作製し、ディラック電子状態由来の高い $S^2\sigma$ とナノ構造界面におけるフォノン散乱による κ 低減を同時に実現することで新規ナノ構造化 Mg_3Bi_2 熱電材料を開発することを目的とする。

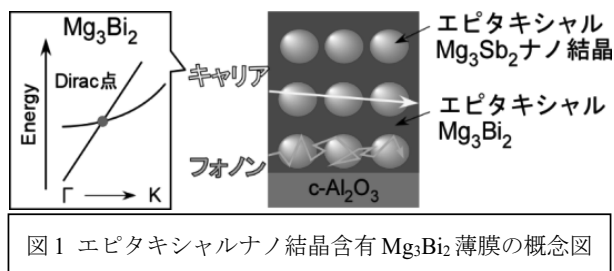


図 1 エピタキシャルナノ結晶含有 Mg_3Bi_2 薄膜の概念図

③ 学術的な独自性と意義

本研究では、 Al_2O_3 基板上に単結晶 Mg_3Bi_2 エピタキシャル薄膜を作製することで、ディラック電子由来の高い $S^2\sigma$ を実現することができる。また、単にナノ構造を含有しただけでは、キャリア散乱によって $S^2\sigma$ が低減してしまう可能性があるが、申請者独自のナノ構造作製方法を用いてエピタキシャルナノ結晶を導入することで、キャリアは散乱されず、フォノンを選択的に散乱させることで、高い $S^2\sigma$ と低い κ の同時実現を可能にすることができる (図 1)。独自技術を用いて作製するエピタキシャルナノ結晶含有 Mg_3Bi_2 薄膜は飛躍的な熱電物性向上が期待できることから、本研究の意義は非常に高いと考える。

④ 期待される成果と発展性

同様の結晶構造を有する Mg_3Sb_2 においては単結晶にすることで 2 倍の $S^2\sigma$ 増大が実現されている。また、ナノ構造を導入することで平均自由行程は 1/3 ほどまで低減することが期待できるため、 κ も 1/3 の低減が期待できる。これらを合わせると、エピタキシャルナノ結晶含有 Mg_3Bi_2 薄膜を作製すると、 ZT は現状 ($ZT\sim 0.2$ @ 室温) の 6 倍の 1.2 を記録することが期待できる。この値は Bi_2Te_3 に匹敵し、初めて Bi_2Te_3 を代替する材料が実現する。薄膜熱電材料は IoT デバイスやセンサの自立電源として期待できるため、様々なデバイスの電源などの利用が期待できる。

タンパク質と核酸の「揺らぎ」を考慮した フレキシブルドッキングに基づく複合体モデリング技術の開発

研究者 筑波大学計算科学研究センター 准教授 原 田 隆 平

背景(内外における当該分野の動向) タンパク質や核酸などの生体分子は、分子間相互作用を介して複合体を形成することで、生体機能を発揮する。ゆえに、機能解明にあたり、複合体にはたらく分子間相互作用を詳細に解析する必要がある。国内外の動向として、実験技術の進歩によりタンパク質と核酸の複合体構造が決定できる時代が到来し、「分子多体系における分子間相互作用の解析」が現実的になってきた。計算技術では、深層学習にもとづく構造予測器として (AF2: Alpha Fold2) が開発され、これまで不可能だった巨大タンパク質の構造予測も可能になりつつある。以上をふまえた研究動向として、高精度な複合体構造モデリングの実現と分子間相互作用の解析に基づく分子多体系における機能解明の機運が高まっている。

目的(課題設定とねらい) 実験・計算技術が進歩したものの、構造決定・予測可能な複合体は生体分子が示す揺らぎが小さい場合に限られる。本研究では、生体機能の解明に重要な例として、タンパク質と核酸が大きく揺らぎながら複合体を形成する場合に注目する。核酸はタンパク質と結合して複合体を形成することで様々な生体機能を制御しており、複合体構造の決定と分子間相互作用の解析は機能解明において重要である。複合体形成プロセスでは、タンパク質と核酸が大きく構造を揺らがせて結合することから、構造決定において揺らぎが果たす役割を無視できない。一方、既存の計算技術では両分子の揺らぎを考慮しないリジッド（剛体）ドッキングによる複合体構造予測が主流であるため、高精度な複合体モデリングが難しい。以上をふまえ本研究では、タンパク質と核酸の揺らぎを考慮した複合体モデリングを実現するフレキシブルドッキング技術開発を研究目的とする。さらに、高精度に予測された複合体構造を利用して分子多体系の分子間相互作用を解析して生体機能を解明することがねらいである。

学術的な独自性と意義 複合体構造を高精度にモデリングするには、タンパク質と核酸が示す固有の揺らぎを考慮して複合体形成プロセスを抽出しなければならない。計算技術として、分子動力学計算(MD)は揺らぎをあらわに考慮できるものの、複合体形成に伴う時間スケールまでダイナミクスを追跡できない。直面する困難を打開する独自性として、応募者が開発した長時間ダイナミクス抽出法 (**PaCS-MD: Parallel Cascade Molecular Dynamics**, R. Harada and A. Kitao, J. Chem. Phys., 2013) を適用し、複合体形成プロセスを抽出する。PaCS-MD は、長時間スケールで誘起される生体分子単体の大規模構造変化（揺らぎ）抽出に適用され、機能解析に成功してきた。本研究では適用範囲を拡大し、複数分子から構成される分子多体系(タンパク質+核酸)の複合体形成プロセス抽出に適用する。PaCS-MD を駆使して従来の計算技術(MD)では到達できない複合体形成に重要な長時間スケールで観測される重要な揺らぎを抽出しながら複合体構造を予測して、分子多体系における機能解析を実現させることが本技術を開発する意義である。

期待される成果と発展性 複合体構造の予測と分子間相互作用の解析が実現すれば、機能解明に貢献できる。理学的観点から、本技術を駆使して高精度に予測された複合体の分子間相互作用を詳細に解析できれば、生体機能の発現に重要なタンパク質と核酸の間にはたらく相互作用パターンを蓄積できると同時にデータベースを構築できるという学術的成果が得られる。データベースは、医学的観点から活用が期待される。例えば、タンパク質に変異が生じて正常に機能でなくなった場合、データベースから正常に機能する場合の相互作用ネットワークを参照すれば、変異部位がどの相互作用を直接的あるいは間接的に変化させ異常をきたして機能失活させているのかを推定できるため、疾患原因の特定に役立つという発展性が期待できる。

①背景 情報収集等の様々な応用が期待されるドローン (Floareano & Wood *Nature* 521, 2015) は、変動する風には抗って飛行するため、変動風の吹く環境では、消費エネルギーが増大し、安定性が低下する (Clark *Comput. Law Secur. Rev.* 30, 2014)。一方で、鳥類は、柔軟な身体によって自然環境での予測不可能な風を検知しながら、風の影響を打ち消して受け流し、上昇気流などの自然風を利用するという、これまでの飛行ロボットとは全く異なる方法で、安定・効率的飛行を実現している (図1)。特に、風を受け流す技術は、ドローンの課題解決に極めて有用であるが、風を受け流し利用する飛行は実現に至っていない。

②目的 本研究計画では、鳥のように有用な風を発見し、風を乗り越えて、効率的かつ安定に飛行する飛行ロボットの創製を最終目的として、風の影響を抑制しながら検知可能な、鳥の羽根を規範とした柔軟構造を開発し、これを利用した、風を受け流す新しい飛行技術を開発することを目的とする。

③学術的な独自性と意義 鳥の羽根のような翼面上の柔軟な構造の風に応じためくれによって、あたかも構造が知能を持っているかのように、風外乱による力の変動を受動的に抑制できる (知能性: 業績 7) と共に、翼近傍の渦の剥離などの流れの変動を検知できる (知覚性: Brown & Fedde *J. Exp. Biol.* 1993)。飛翔体が外乱を受けると、翼近傍で流れが変動し、その後姿勢が変化する (図2) ため、柔軟構造の知能的・知覚的な応答が、上記の目的の達成の鍵となる。

独自性: ドローンのような小型の飛翔体で、このような柔軟構造の応答を飛行安定性向上に用いた研究はなく、この点が独自である。

意義: 本研究の実現によって、ドローンの自然風に“抗う”飛行から、自然風を“受け流し利用する”飛行へと発想の転換が促進され、ドローンの信頼性が大幅に向上できる。この点に、本研究の大きな意義がある。

④期待される成果と発展性 風を受け流す飛行技術の実現は、外乱下で飛行するロボットの効率と信頼性の大幅な向上に寄与する。また、鳥のように、森林・海上などの自然環境や都市での上昇気流などの様々な形態の有用な自然風を発見・利用する新しい飛行ロボットの実現へ道が開ける。したがって本研究は、飛行ロボットの研究分野や、これを利用した災害対応・生態調査などの様々な研究分野へ大きな波及効果が期待できる。また、本研究の実現によって、生物の飛行メカニズムの解明に向けた新たな仮説の提唱につながるため、生物学への波及効果も期待できる。以上のことから、本研究課題は、飛行するロボット・生物に関わるあらゆる研究分野に新しい潮流を誘引する先駆的な研究になると考えられる。

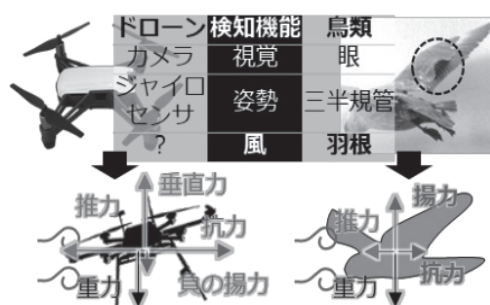


図1 ドローンと鳥類のセンサ系の構成と飛行手法: ドローンは風を検知せず風に抗うのに対して、鳥は風を羽根のめくれで検知しながら風を受け流す。

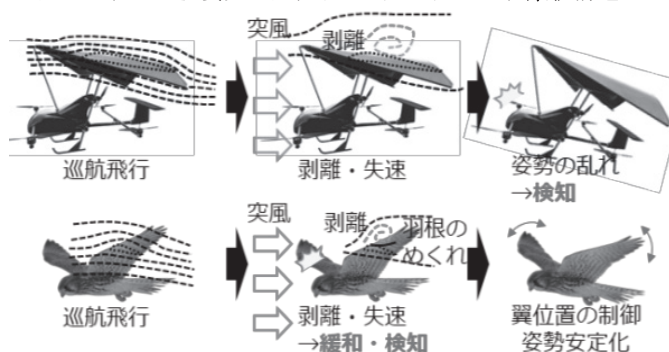


図2 風外乱への対応: (上) ドローンは姿勢の変化を介して風外乱を検知し、姿勢を制御するのにに対し、(下) 鳥類は風外乱を検知することでより迅速に姿勢を制御できる。

① 背景

低温環境の実現は基礎・応用両面で科学技術を支える基盤テクノロジーであり、これまでに様々な冷却技術が開発されている。その中で、申請者らは半導体のアンチストークス (AS) 発光を用いた全く新しい冷却手法—半導体光学冷却—について研究を行っている。AS 発光とは、入射光よりも高エネルギーの光を放出する過程である。AS 発光効率が 100%であれば、発光によって系はエネルギーを失い、冷却される (図 1(a))。固体光学冷却は希土類イオンをドープした結晶で実現されているが、この系には原理的な限界があり低温への冷却は困難である。一方半導体では、理論的に極低温までの冷却が可能とされているほか、既存の半導体加工技術と組み合わせることで革新的な冷却デバイスの実現も期待できる。

しかしながら、AS 発光による光学冷却にはほぼ 100%の発光効率が必要とされ、これが半導体光学冷却実現の大きなハードルとなってきた。申請者らはこれまでに強い電子・フォノン相互作用と高い発光効率を兼ね備えた半導体ナノ構造を対象に研究を進め、最近では冷却を示唆する実験結果も得られているものの、ナノ構造半導体では、高い発光効率の実現・維持とデバイス化へ向けた大規模化を両立することが難しい。そのため、全く新しい原理に基づく光学冷却材料の設計指針を確立することが必要と考えた。

② 目的 (課題設定とねらい)

発光効率を増大させるためには、光と物質の相互作用を強くすることが必要である。そこで、半導体中に生成される励起子 (電子と正孔のペア) と光が分かち難く結びついた状態である励起子ポラリトンに注目した。ポラリトン効果が強い半導体では、光の波形と電子の空間分布 (波動関数) の形状が一致するときに光と物質の相互作用が発散的に強くなり、発光効率が著しく増大する (図 1(b))。このような非局所的なポラリトン効果によって、特定の膜厚ではほぼ 100%の AS 発光効率を実現することが予想される。そこで、本研究では、ポラリトン効果による AS 発光効率の制御を実証することを目的とする。本研究結果を用いてポラリトン効果を設計指針とした新たな AS 発光材料の開発に道筋をつける。

③学術的な独自性と意義

ポラリトン効果を設計指針とした光学冷却材料はこれまで提案されておらず、本研究の独自性と言える。本研究の成果として高い AS 発光効率を有する材料が実現できれば、光学冷却の研究に革新をもたらす点で大きな意義がある。

③ 期待される成果と発展性

本研究成果によって固体光学冷却が実用化されれば、そのインパクトは計り知れない。光学冷却ではコンプレッサーのような機械的振動を伴う装置が不要となるため、完全無振動での冷却が実現できる。このような冷却技術は、高精度な干渉光学測定システムや生体微小磁場測定のような医療応用への展開が期待できる。また、熱を光に変えて長距離を輸送するような高次の熱エネルギー活用など、多方面に破壊的イノベーションをもたらす技術に発展する可能性が極めて高い。

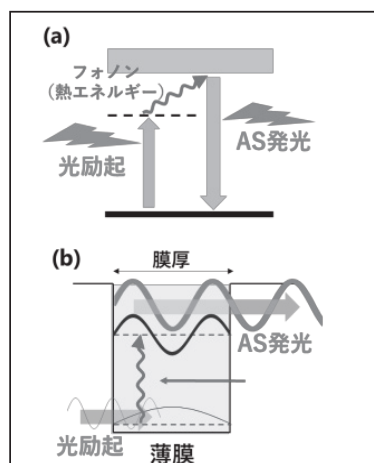


図 1 (a) AS 発光の模式図。フォノン吸収を伴う光励起が AS 発光をもたらす。(b)非局所的ポラリトン効果の概念図。電子の波動関数と光波の形状が一致すると、相互作用が大きくなる。これを用いて AS 発光の高効率化を実現する。

① 背景

人工衛星を用いたリモートセンシングや情報通信の社会インフラとしての地位は確固たるものとなったが、解像度の限界や信頼性の追求による高コスト化、定点観測ができないなど、その欠点も多く明らかになってきた。そこで人工衛星の機能を補完し、その多くのミッションを代替できる存在として「高高度滞空型擬衛星」(High-Altitude Pseudo-Satellite :HAPS) の存在が注目されている。

HAPS は高度約 20km に滞空し続ける航空システムの総称であるが、バッテリーや電動無人航空機技術の発展から、ソーラー発電と電動固定翼無人航空機を組み合わせたものの開発が盛んである。固定翼型の HAPS は偏西風に逆らって自由かつ高速に移動ができるため発着箇所の制約が緩和されるだけでなく、航空機という特性を生かした、高度変更による情報解像度の調整やデータ回収、機体修理など、人工衛星と比較してもメリットが大きい。

HAPS が社会インフラとして実装された暁には、距離の近さを活かした高速データ通信網の構築に貢献できるだけでなく、日常的な気象・工学観測および災害時の迅速かつ柔軟な情報提供、通信インフラ構築が期待できる。メリットの大きい HAPS システムであるが、未だ「全ての緯度での季節を問わない運用」は実現できていない。

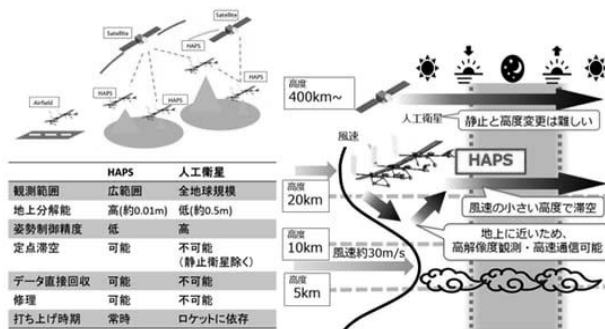


図 1. 人工衛星と比較した HAPS の特徴

② 目的

そこで、申請者は柔軟な航空機の能動的な構造制御を飛行中に行うことによって、軽量・ロバストな無人航空機技術を確立できるのではないかと考えた。本研究ではこの「能動空力弾性技術」の確立と、軽量・安価で高性能な HAPS システムの実現を目指して研究を行う。

③ 学術的独自性

本研究で用いている機体は、非常に細長い主翼とその途中から伸びた 3 本のカナード（先尾翼）によって構成されており、これらのカナードを用いて主翼の構造変位を制御している。これによって主翼構造を安定化させるだけでなく、疑似的な主翼変形機構を追加機器不要で実装できる。学術的観点においては、空力弾性解析の数値計算に関する研究は広く行われているが、飛行実験まで踏み込んで行っている研究例は希少である。加えて複数カナードという機体構成は世界で類を見ない形態であり、この形態を活かした制御を研究することで、今後 HAPS における標準を獲得する可能性がある。

④ 期待される成果と発展性

宇宙工学分野では、近年超小型衛星の発展が著しい。これまで大型衛星に依っていたシステムが 50kg 以下の小型衛星で実現できるようになってきた。開発コストが低くロケット相乗りなどの打ち上げ手段も整ってきたため、小規模なベンチャーや研究室でも運用することができる。これによって今までになかった新たな宇宙の利活用の道が拓かれるようになった。HAPS においても、研究室レベルでの運用が可能になれば、新たな観測機器や通信機器の研究プラットフォームになれるだけでなく、教育活動や災害監視等においても多くの知見や情報を得ることができるようになる。

① 背景

封筒やカード組等の物理的な道具を用いて、秘密計算に代表される暗号タスクを手軽に実現する方式を物理暗号プロトコルという。これまで申請者は当該分野において、新たな計算への応用や実装評価に関する成果を国際会議・論文誌（合計 39 本）で積極的に公表し、当分野をリードしてきた。当分野は日本が発信する特色ある研究分野であり、暗号技術に関する日本最大のシンポジウムである SCIS 2023 では、関連するセッションが 4 つ設けられるほど盛んに研究されている。海外の研究者にも広まりつつあり、今では 5 つの海外機関から論文が継続的に発表されている。

② 目的

本研究では、物理暗号プロトコルには遠隔で実行できない制約が存在することに注目し、手軽に遠隔で実行できる暗号プロトコルの開発に取り組むことで、当該分野に新展開をもたらすことに挑戦する。具体的には、近年スマートフォンの普及によって急速に浸透している Gmail や LINE 等のオンラインアプリに注目し、それらに備わっている既読機能等の標準機能を活用することで、オンラインアプリに基づく実用的な暗号プロトコルの考案とその計算原理の解明に取り組む。

③ 学術的な独自性と意義

上述したように応募者はこれまでに物理暗号プロトコルに関する研究成果を積極的に発信してきている。この取り組みを通じて、当該分野には次のような潜在的な制約が存在することを確信するに至った：「カード組等の物理道具を用いるため、参加者は必ず同一の場所にいる必要がある。」この制約に気づき、「申請 4」にも記載する通り事前研究を行って実現可能性を検討しているのは応募者だけであり、国内の有力な賞も受賞しているため、上述した目的を達成する本研究には非常に特色がある。また上図に示すように応募者のこれまでの研究業績は Scopus/Scival において top10%論文に該当する論文が 21 本あり、応募者の研究が日本の研究力向上に貢献していることが分かる。当分野に新展開をもたらす本研究課題も学術的価値の高い試みであり、日本発の研究分野としてブレイクスルーが見込まれる。

Publications of Miyahara, Daiki that fall within the top 10% most cited publications worldwide
Year range: 2012 to 2021

Authors	Title	Year	Scopus Source	Citations
☐ Miyahara, D.	The minimum number of cards in practical card-based protocols	2017	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	30
☐ Mizuki, T.	Efficient card-based zero-knowledge proof for Sudoku	2020	Theoretical Computer Science	27
☐ Sone, H.	Physical zero-knowledge proof for sudoku	2018	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)	24
☐ Lafourcade, P.	Secure implementations of a random selection cut	2020	International Journal of Information Security	21
☐ Sasaki, T.				

④ 期待される成果と発展性

本研究により、学術的には、今や急速に普及している多種多様なオンラインアプリに注目する研究が現れ、それらを活用する魅力的な暗号プロトコルが提案されていくことが期待できる。実用的には、本研究により、物理暗号プロトコルの実行可能距離が無制限に（電波の届く範囲まで）向上するため、物理暗号プロトコルが実現する秘密計算技術の浸透にも寄与する。提案方式はデモ活動に相応しく、実演を通した暗号教育によってセキュリティ分野のみならず社会に広く還元されることが期待できる。

①背景

強磁場(9 ~ 30 T)を用いる核磁気共鳴(NMR)装置は、医療・材料分野など広範な分野において必要不可欠な分析装置である。しかし、測定感度(S/N 比)が分析装置の中でも絶対的に低く、感度向上は至上命令とされている。感度を向上させる最も有力かつ安価な方法は **RF コイル[RF 信号(磁場)照射と NMR 信号検出を行う]の高感度化**である。RF コイルの感度は「**高 Q 値**」であるほど向上し($S/N \propto \sqrt{Q}$)、Q 値は表面抵抗(R_s)を低下させることにより向上する($Q \propto 1/R_s$)。従来材料(銅) の R_s はこれ以上低減できないため、さらに高感度の RF コイルは**実現不可能**である。この問題を解決する唯一の方法は銅と比べて R_s が 3 桁以上低い『**超伝導体**』の利用である。

②目的

しかし、超伝導体を用いた NMR 用 RF コイルには、材料およびコイル構造について 3 つの問題が存在する。**1. 静磁場強度の増加に伴い、 R_s が増加し、Q 値が低下する(材料問題)。****2. 静磁場強度の増加に伴い、臨界電流密度(J_c)が増加し、入力電力が低下する(材料問題)。****3. 超伝導体特有の現象であるマイスナー効果により、静磁場が乱される(コイル構造問題)。**上記の問題 1 により感度が低下し、かつ、問題 2, 3 により NMR 用超伝導 RF コイルに必須の要求を満たせないため NMR 測定が出来ず、高感度 NMR 用超伝導 RF コイルの開発は材料・コイル構造の両面において暗礁に乗り上げている。

本研究では、現在の NMR 用超伝導 RF コイルが抱えている材料面の問題(1, 2)を解決し、NMR の測定感度の限界を打破することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

問題 1, 2 は、磁場印加時超伝導体に侵入する磁束数の抑制および磁束運動の抑制により解決することができる。本研究では、申請者が有するキャリア制御技術およびナノ組織制御技術を融合し、**「キャリア密度を制御することにより超伝導体に磁束が侵入し始める磁場(臨界磁場)を向上させ侵入する磁束数の抑制」**および**「磁束ピン止め点制御により磁束運動の抑制」**を行い、高特性超伝導薄膜の創製を試みる。問題 3 は、測定試料に印加されている静磁場が超伝導体近傍を通過しないコイル構造を設計することにより解決することができる。本研究では実施しないが、先行研究の結合コイル構造を発展させた新規コイル構造であるスプリットコイル構造を用いて静磁場の乱れの抑制が可能である。上記の技術によって、材料・コイル構造の両面において暗礁に乗り上げていた NMR の測定感度の限界を唯一打破することが可能である。

④期待される成果と発展性

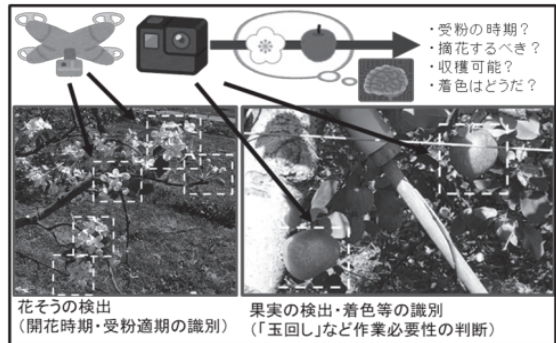
本研究は、NMR の測定感度の限界を打破しえる唯一の研究であり、これまで 1 日かかっていた測定が 1 時間程度で完了でき[測定時間 $\propto 1/(S/N)^2$]、また、これまで観測できなかった極めて微量な試料(天然物や合成困難試料)を観測できるようになると考えられる。

本研究で創製した高特性超伝導薄膜はアンテナやフィルタなどの高周波デバイスにも応用でき、宇宙太陽光発電に利用されるマイクロ波無線電力伝送の高効率化や次世代移動体通信(6G)に利用されるフィルタの省エネ化などへの貢献が期待される。

①背景

果樹は「受粉」や「摘花・摘果」、「剪定」など栽培農家の経験に大きく依存した作業が必須であり、機械化・合理化が著しく難しい。また、果樹は三次元の複雑な形状をしており、改植・栽培法の転換にも時間がかかりことも機械の開発・導入を妨げている。これによりビックデータの取得も難しく、近年発展するAI技術の果樹栽培現場への参入を阻んでいる。

現在、農業就業者人口が減少の一途であるとともに、約70%が65歳を超えており（農水省「農林業センサス」）、各種作業の機械化・自動化は急務である。特に果樹は栽培品目が多彩で地域性があり、新たに果樹栽培を始めたい人にとっては困難がつきまとう。持続的な果樹生産のため、新規就農者を促進するような施策や技術開発が求められている。



②目的

このような背景において、今後の持続的な果樹生産には、スマート農業・AI技術による果樹栽培の支援・効率化が必要不可欠である。そこで本研究は、果樹の栽培管理支援システムの開発のための果樹園場フェノタイピング技術の構築を最終目標とし、この目標の足掛かりとして、画像判別・物体検出AIによる「開花」・「受粉」・「結実」・「収穫」・「病害虫」等の作業適期判定システム開発を目的とする。

③学術的な独自性と意義

果樹の栽培環境・管理は多彩であり、画像・AI解析に資する園場調査は非常に難しい。そこで、特にシンプルで画一的な栽培環境を有する「リンゴの高密度植園場」を対象とする。一見すると限定的で発展性に乏しいが、本テーマは園芸分野においても特に遅れており、早急な研究推進と現場への実装を考える必要がある。確かな研究進展が見込まれる範囲からスタートさせることで、果樹園場におけるAI解析技術の展開可能性を示し、現場への実装も考える本申請は、学術的な独自性を有する提案であると考えている。

本研究は果樹におけるスマート農業やAI技術の実用化に資するものであるが、果樹園芸学を専門とする申請者らが主導して行う。このことは、工学・情報学研究者では知りえないものの、栽培上重要で特異的な形質に着目した研究遂行を可能とする。また、申請者らは園芸学分野では先駆的にAI・インフォマティクス技術を応用してきた実績があり、他の園芸学研究者と比較し解析面でもノウハウを有する。果樹栽培におけるスマート農業研究・実用化の遅れには、研究目標と実際のニーズとの乖離が大きな要因の1つと考えられ、農業現場・解析技術の両方を知る申請者らが研究することは、学術的意義も大きいと考える。

④期待される成果と発展性

本研究はデータ収集および解析の観点から「リンゴの高密度植園場」に着目し展開するが、近年の果樹栽培管理においてはこの高密度植に類似した樹の仕立て方が様々な樹種で広まっている。このことから、本研究結果はほぼ直接的に応用可能な品目が数多く存在し、今後の多面的な研究展開を可能にする。また本申請で提案する解析手法は、ひとたび開発できれば果樹生産・育種、それらのベースとなる基礎研究に至るまで、農工連携のための基礎的プラットフォームとして用いることができる。それと同時に本研究で開発を目指すモデル群は、新規就農者等における栽培管理支援に、直接的に活用することが期待できる。以上のように、本提案は農学研究および農業現場の両面で成果と発展性が望めるものであると考える。

① 背景

電子スピンに関連した物理現象を電子デバイス等に応用するスピントロニクス分野は、高速、省電力デバイスの開発技術として期待されている。スピントロニクス分野の進展には、ナノ領域での磁性体表面ダイナミクスの知見を得る必要がある。そのプローブとしてスピン偏極電子源を搭載した顕微分析技術の進展は不可欠である。現在、光電子型スピン偏極電子源を搭載した低速電子顕微鏡が実現されているが、スピン偏極電子を励起するレーザー光の焦点径によって光源サイズが制限されるため、空間分解能に課題が残されている。そのため、高分解能化を実現には、原理的に異なる電子源を開発する必要がある。

② 目的

本研究では、磁性薄膜を始めとしたスピントロニクス材料表面のダイナミクスを微視的観察への応用に向け、超高輝度スピン偏極電子ビーム放出を実現するための電界放出型電子源を開発する。そのために、Fe 単原子終端されたナノピラミッド構造を作製する最適な系を検討するとともに、表面組成を原子レベルで制御するための条件を確立する。作製した Fe 終端された陰極からの電界放出電子ビームの放出電流とスピン偏極度を測定し、最適動作条件（温度、印加電界、安定度、寿命）について明らかにする。

③ 学術的な独自性と意義

電子源の輝度は電子光学系による集束径を決定し、電子顕微鏡および分析装置における空間分解能を左右する重要な性能指数である。従来の光電子型スピン偏極電子源の輝度は $10^7 \text{ Am}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{V}^{-1}$ 、励起光の焦点限界に起因する電子放出領域の大きさによって制限されている。一方で、本研究で提案する電界放出型電子源は、先端数 10nm の針形状の陰極であり、その先端から放出される電子ビームを用いるため、2 桁以上高い輝度が得られる。さらに、本研究では磁性元素で単原子終端することで、 $10^{10} \text{ Am}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{V}^{-1}$ オーダーに達する高輝度特性、これまでに類を見ないスピン偏極電子源の実現が期待される。

④ 期待される成果と発展性

電子スピンに関連した物理現象を電子デバイス等に応用するスピントロニクス分野は、高速、省電力デバイスの開発技術として期待されている。スピントロニクス分野の進展には、ナノ領域での磁性体表面ダイナミクスの知見を得る必要がある。低速電子顕微鏡に現在搭載されている光電子型スピン偏極電子源は、電子を励起するレーザー光の焦点径によって光源サイズが制限されるため、ナノスケールの空間分解能に要求される輝度を満たせていない。そこで、本研究によって電界放出型スピン偏極電子源の更なる高輝度化と偏極度向上が同時に実現されれば、既存の電子顕微鏡、分析装置への搭載によるスピン情報の抽出、および磁性表面のナノスケールでのダイナミクスの解明に寄与する。スピントロニクス分野の基礎研究から応用開発のツールとして幅広い活用が期待され、当該分野の進展を加速させることとなる。

① 背景

近年、機械学習と量子回路を組み合わせた、量子機械学習に関する研究が注目されている(Nature 549, 195(2017))。量子機械学習では、所望の処理能力を持つ量子回路を実装するために、機械学習の手法を使って量子回路を最適化する。量子回路の実装には、超伝導素子、冷却原子、光集積回路などが有力視されている。中でも、シリコンを用いた光集積量子回路は、小型で拡張性や制御性が高く、大規模な量子機械学習を実装するためのプラットフォームとして期待されている(Nat. Photon. 14, 273 (2020))。特に、シリコンの持つ3次の非線形性を利用することで量子力学的にもつれ合った光子を生成することができ、光源から光量子回路までの全ての素子をモノリシックに作製できるといった利点がある。

② 目的

このような背景の下、申請者らはシリコン光集積回路を用いて、量子機械学習の一つである量子分類器を実装し、90%以上の正答率で入力データを分類することに成功した(Ono et. al. arXiv:2207.06614(2022))。この研究は、機械学習を光集積量子回路へ適用させたという点で新しい研究であったが、レーザー光源を弱めた疑似単一光子を用いていた点において、分類器の性能においては制限があった。本研究では、量子もつれ光子を利用した量子分類器を光集積回路で実装する手法を確立し、光量子分類器のさらなる応用の可能性を探索することを目的とする。これまでの研究により、量子分類器の性能は、量子回路のアーキテクチャに加えて、光源である量子状態の特性に大きく依存していることが示唆されている。本研究では、機械学習の手法を光量子回路へ適用し、もつれ合った光子を分類器の入力として利用した場合に、光量子回路を最適化する手法を確立する。さらに、シリコン光集積回路を用いて実験で量子分類器を実装し、分類するパターンの形状や学習精度の観点から、光量子分類器の性能を評価し、実用的な量子分類器の可能性を調査する。

③ 学術的な独自性と意義

これまで、機械学習の手法を光量子回路へ適用するアプローチは明らかではなかった。申請者らは、近年、data-reuploading と呼ばれる手法を使うことで、機械学習が光量子回路へ適用できることを実験で実証した。本研究の学術的な問いは、量子力学的に特有な状態である量子もつれ光子が分類器へ適用できるかを理論的に調べ且つ実験的に検証することであり、これまで未開拓であった分野に挑戦している点において学術的意義は大きい。また、これまで光集積回路を用いた量子分類器に関する実験的報告は申請者らのみであることから、独自性は非常に高いと考えられる。

④ 期待される成果と発展性

近年、シリコン光集積回路を利用した量子情報処理は急速に発展しており、その実用化が期待されている。これまで、2キュービット量子計算機や、ボソンサンプリングなどの光集積量子回路の応用が報告されているが、現状では技術的な観点からその応用範囲は限られたものとなっている。本研究で調査する量子分類器は、機械学習という手法の観点からその適用範囲に制限はなく、技術的にも実用的にも大きな可能性を秘めた研究対象である。量子もつれ光子が量子分類器へ適用できることを実証することで、量子分類器研究の新たな方向性を示すことができ、その性能を定量的に評価することで現段階における量子分類器の技術的な応用範囲を示すことができる。本成果により、シリコン光集積回路を利用した、実用的な量子機械学習に関する新たな発展が期待される。

研究者 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授 荒谷 直樹

① 背景（内外における当該分野の動向）

廃熱利用や近赤外光利用とともに、蓄熱・遮熱はカーボンニュートラルの観点からエネルギー問題の要解決課題である。日射光のうち室内温度の上昇に繋がる赤外光のみを選択的に遮蔽し、可視光は透過することで室内の明るさを保つことのできる遮熱材は、夏の冷房の効率アップや冬の室内の暖気を逃さないために重要な環境素材である。

現状では無機系の材料をフィルムに練り込み、層状構造を工夫することで透明遮熱シートとして利用している。無機系材料は耐久性の観点から利点があるが、分子設計の難易度が高く性能の微調整が難しい。具体的には、多電子をもつ金属酸化物や金属錯体の可視光の透明性を 100% 近くにするには、多くの離散的な電子遷移をもつため本質的に不可能であり、透明性を上げるためにフィルムを薄くしたいことと、近赤外領域を幅広く吸収するために膜厚を上げたいことが、ジレンマとなる。

② 目的（課題設定とねらい）

空調などのエネルギー消費量を減らして CO₂ 削減・脱炭素社会に貢献するために、可視光領域に吸収をもたず、選択的に近赤外線領域の光を吸収するナノカーボン材料を開発し、屋内・車内の採光を遮ることなく熱を通さない熱線遮断フィルムを作製する。

③ 学術的な独自性と意義

有機分子では無機系材料と比べて耐久性に劣るものの、分子設計により吸収帯を制御することが容易である。解決すべき課題は、酸化電位が低いために本質的に化学的に不安定であること、これまでに開発された近赤外吸収色素のうち、分子内電荷をもつシアニン色素などは、イオン対で存在するために蒸着による基板配向なども困難であることなどである。さらに、 π 系を二次元に大きく拡張した分子は吸収スペクトルが容易に長波長シフトするが、この場合は化合物自体が着色する。これらの問題を解決する分子設計として、 π 共役が一方向に伸び、アスペクト比が大きい分子であれば電子遷移が可視光領域に現れないため、デザイン性が高く可視光領域に吸収のない、選択的に近赤外線光を吸収するナノカーボン材料が開発でき、脱炭素社会に貢献できる。

④ 期待される成果と発展性

近赤外線吸収色素の用途としては、熱線遮断フィルムに留まらず、近赤外線カットフィルター、セキュリティインクなどがあるが、いずれの応用も可視部に吸収を示さない、いわゆる無色に近い近赤外線吸収色素が望まれている。より発展的な用途として、光線力学療法がある。一般に、癌細胞をもつ生体に可視光を吸収する π 共役系の有機色素を投与すると、癌組織に色素が堆積し、これにレーザーを当て活性酸素を発生させて癌組織を破壊するのが光線力学療法である。従来の有機系色素では、生体組織の吸収と吸収領域が重なるため、治療そのものが組織にダメージを与える可能性がある。人体の皮膚組織の透過性の高い波長領域である 700 nm から 1000 nm に強い近赤外吸収をもつ有機分子であれば、従来の生体イメージング用蛍光プローブでは達成できない非侵襲的で低損傷の医療を提供できる。現状の近赤外蛍光体は主に無機系の微粒子であるが、これらは毒性が高いカドミウムや高価なパラジウムを含んでいる。一方で、有機化合物では従来の蛍光プローブは BODIPY やローダミン、シアニン系色素など種類が非常に限られており、それらの吸収スペクトルは可視光領域に吸収帯ピークが存在する。また、潜在的に化学的安定性の低い。本格的な有機合成によって堅牢な新しい骨格をもつ多環式芳香族化合物を基軸とした平面状化合物の合成研究によって、化学的安定性を十分に有し高効率な近赤外光励起・近赤外発光検出が可能なケミカルプローブの開発に発展する可能性がある。

①背景

人の視覚システムでは、網膜に入力された2次元像が視床を経て、後頭葉の脳視覚領野で情報処理される。神経科学研究により、視覚情報は視覚特徴ごとに異なる情報処理経路で分散処理されることや、階層的に特徴抽出が行われた後、情報統合されることが分かっている。

脳視覚システムは生後発達により視覚機能を獲得していくことが知られている。生後間もない乳児の視覚はぼやけており、輪郭がはっきりしない状態だが、数か月の視覚経験を経て像がはっきりとしはじめ、物体識別。また両眼像の統合による奥行き知覚が成熟してゆく。

深層学習モデルは脳視覚システムと類似した階層構造をしており、生体と同程度以上の物体識別能力を獲得している。脳視覚システムの神経活動と深層学習モデルの応答パターンの類似性を比較した研究から、いくつかの深層畳み込みニューラルネットワークモデル(DCNN)は生体脳と類似性が高いことが示されている。しかし、DCNNモデルは階層構造の点では類似しているが、物体識別を獲得する学習プロセスは生体脳とは異なる点が多い。人の生後発達過程では、生後直後は視界がぼやけている状態であり、目に触れるものは近距離にある物体が多く、数か月の視覚経験によって徐々に視距離が長くなってゆくのに対して、DCNNモデルは自然画像の画像データベースを網羅的に与えることで学習を繰り返す。また、生後は物を見る視点は低く、大人になる過程で高い視点からの視覚情報を得られるが、DCNNモデルはそのような変化は適用されない。

②目的

本研究では、人の生後発達過程を擬似的に再現した画像データセットを作成し、DCNNモデルを学習させることで、より生体脳の特性を再現した深層学習モデルを開発する。学習過程で人が生後発達の過程で得る視覚像を、学習過程で段階的に訓練データとして与えることで、視覚発達で人が獲得する視覚機能をDCNNモデルでも再現する。各学習プロセスでの情報表現が生体脳の視覚システムを再現するかを、内部情報表現を解析することで検証する。

③学術的な独自性と意義

深層学習モデルは近年目覚ましい発展を遂げ、人間の思考を再現しているような振る舞いをするが、その内部情報処理はあまり理解されていない。深層学習モデルは、膨大なデータを学習させることによって、結果として人間が期待する結果を出力しているに過ぎず、学習データに依存してその識別能力も変わる。本研究では、構造や内部情報特性を、神経科学データと照らし合わせ、改良することによって、より人の脳機能に近いモデルを作成する。近年物体認識などのツールとして用いられている深層学習モデルが、なぜ高精度な識別ができるのかを理解することで、さらに高性能のモデルを開発するための根拠を示すことができると考えられる。

④期待される成果と発展性

本研究で行う、生後発達と類似した学習過程の実装により、より人の視覚システムと類似性の高いモデルを開発することができる。学習後の最終的な性能だけでなく、識別能力を獲得する前でのプロセスも人の脳システムと類似させることで、より人の脳に近い深層学習モデルの開発ができると考えられる。人の脳システムに類似した人工知能モデルを擬似脳として扱うことで、様々な脳疾患のシミュレーションへの活用ができると期待される。

① 背景：

近年、農業分野における基幹的農業従事者数の減少や、65 歳以上の従事者数割合の増加による労働力不足が深刻な問題として表面化している。そして農業の現場では、人手に頼る作業や熟練者でなければできない作業が未だ多いことが耕作放棄地の増加に現れており、労働力不足を議論する上で重要な課題とされている。そのような中で、先進技術を農業に取り入れるスマート農業が提唱され、国内で幅広く議論されている。

富山市は平成 30 年に「SDGs 未来都市」に選定されたことを受け、新たな特産品の創出による農業振興を進めると共に、耕作放棄地解消を目指した大規模圃場におけるエゴマの栽培促進に取り組んでいる。耕作放棄地を一つにまとめる大規模圃場化施作は、富山市に限らず日本各地で行われているが、作物の生育促進に不可欠な除草は現状人力で行うほか手段がなく、大規模圃場運営の顕著な課題となっている。申請者らは、富山市と共同で大規模農地のエゴマ栽培における除草ロボットの開発を目指して活動を行ってきた。本申請では農業ロボットの自律走行時における雑草判別システムを議論し、実際に農業ロボットへの実装、実環境での実利性評価を行う。

② 目的：

本研究では、農業ロボットの自律走行時におけるロバストな雑草判別システムの構築を目的とし、農業ロボットの自律走行アルゴリズムや画像センサの設置位置・設置個数等の実利的な議論を交えた雑草判別システムの開発を行う。除草を想定した農業ロボットの研究はこれまでに多くなされている。しかし実環境における実利性を伴った手法を提案するためには、移動速度・旋回動作や、雑草判別への環境光の影響等を含めた議論が求められる。申請者らは、これまでに畝を有する圃場を自律的に走行可能な農業ロボット、除草機構、そして静的な環境下(静止状態での判別)における雑草判別システムの開発を行っており、これらの成果を用いて議論を行う。

③ 学術的な独自性と意義：

現行の農業ロボットは GPS を用いた移動制御が一般的であり、GPS による位置推定の誤差範囲内で作業可能な耕運・畝立てに利用されている。しかし、畝立て後の作業は、GPS による位置推定だけを頼りに自律走行を行うと、位置推定誤差によって畝を踏みリスクが生じる。また移動ロボットの位置推定に一般的に論じられる SLAM 技術は、環境地図が動的に変化する圃場のような環境下での利用が困難である。そのため、畝立て後の栽培・育成時期における農業ロボットの圃場利用は限定的となっており、そのような状況の中で、畝を跨ぐ形で畝上を自律走行可能な除草ロボットは一つのシステムとして学術的な意義があり、本研究にて実施する実環境での走行時に利用する雑草判別システムの議論もまた実利性の観点にて独自性を有すると考える。

④ 期待される成果と発展性：

申請者らは大規模農地のエゴマ栽培における除草ロボットの開発を目指しており、圃場内自律走行、画像解析によるエゴマ株と雑草の判別システム、そして除草機構による雑草除去を自律的に行えるシステムの議論を行ってきた。本申請では、農業ロボットが自律走行時における雑草判定精度の向上に関する議論を行い、実際にロボットへ実装を行う。評価結果はシステム改善へフィードバックし、実利性向上を考慮した議論を展開する。この成果はすなわち圃場における作業負担軽減に寄与でき、大規模圃場の持続可能な運営に役立てると考える。

(1) 背景：国内外における当該分野の動向

国内外の既存雷観測網は雷の発生位置・空間分布のリアルタイム監視を実現したが、雷エネルギーの導出は原理上できない。一発で電力、通信等の社会インフラへ深刻被害を与える高エネルギー落雷(平均的な落雷の100倍以上のエネルギーを消費)発生の検知・予測は未だ雷害対策における中核課題である。

雷エネルギーは落雷で消失する電荷量(雷電荷量)として評価される。現在、雷電荷量の評価は高層建築物(大型風車、通信鉄塔、等)に付設した雷電流計測器による直接計測が主流である。計測対象は高層建築物への直撃落雷に限定される。高エネルギー落雷の発生状況・被害実態には現在も不明点が多い。

雷電荷量の遠隔推定の唯一解として落雷に伴う静電界変化(図1の ΔE [V/m])の多点計測が提案された(1980年代～)が、現在まで実用段階にない。静電界センサーは装置内の機械駆動部を必要とする。同部に起因する静電界変化 ΔE [V/m]の多点計測精度の低さが技術障壁となっている(2頁(3)に詳細記載)。

(2) 目的：高エネルギー落雷の発生頻度把握、遠隔検知技術の確立

本研究の目的は、高エネルギー落雷発生の遠隔検知・予測技術の実現である。国内外で実用化の目処が立たない静電界計測による雷電荷量(雷エネルギーに相当)の遠隔推定法を開発する。本申請課題では独自開発した静電界センサーを用いて落雷に伴う静電界変化(図1の ΔE [V/m])の多点計測を高精度化(誤差5%以下)し、落雷で消失する電荷の位置・電荷量の遠隔推定技術を確立する。高エネルギー落雷の多発域とされる冬季石川県域にて落雷の位置・エネルギーが推定可能な静電界計測網を構築する。同域の落雷エネルギー分布導出に取り組み、高エネルギー落雷の発生頻度把握、遠隔検知技術を確立する。

(3) 学術的な独自性と意義：独自開発センサーによる静電界変化 ΔE [V/m]の多点計測の高精度化

静電界センサーは装置内に溜まる静電気を定期放出する機械駆動部を必要とし、同部の制御精度が計測誤差に直結する。従来システムは駆動部の時刻同期機能がなく、静電界の多点計測精度の評価自体が難しい。独自開発センサーは最新デジタル回路技術・GPS 技術による機械駆動部の時刻同期、静電界変化 ΔE [V/m]の多点計測の高精度化(誤差5%以下)を世界に先駆け実現した、独自性の高い技術である。従来の雷研究では未着手であった雷エネルギー分布導出を可能とする同技術の学術的意義は高い。

(4) 期待される成果と発展性：雷雲の「帯電」と「放電」の観測による高エネルギー落雷の発生予測

独自開発センサーによる静電界計測は、地上静電界 E_s [V/m]から雷雲の「帯電」が、静電界変化 ΔE [V/m]から「放電」が並行観測できる。最新雷観測網(3次元雷放電路推定)や気象レーダ網(降雨域を1-10分間隔観測)でも観測できない雷雲の「帯電」から「放電」への移行プロセスを秒スケールで詳細計測可能である。従来研究で未着手課題となっていた高エネルギー落雷の発生予測への発展が期待できる。

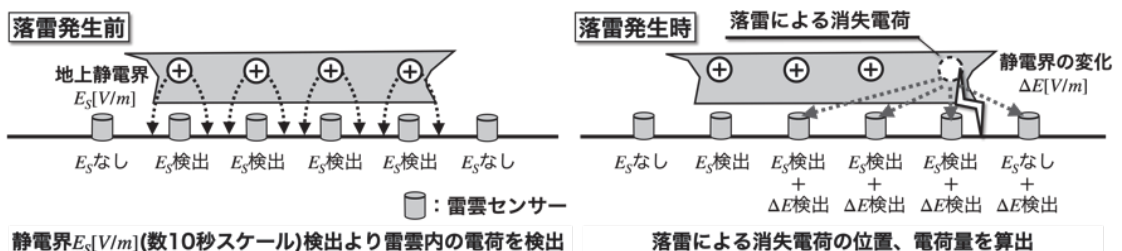


図1 本申請課題における観測計画の概要

デジタルホログラフィック顕微鏡による 液晶オンシリコン空間光変調器のサブピクセル応答評価

研究者 青山学院大学理工学部 助教 前田 智弘

①背景（内外における当該分野の動向）

液晶オンシリコン空間光変調器（LCOS-SLM）はシリコン基板上に液晶素子を搭載した反射型デバイスであり、光波面の忠実な再現による3次元像の表示、皮膚組織等によって生じる散乱の補償、光通信システムにおける経路切り替えなど、様々な分野で活用されている。近年の半導体製造技術の革新により LCOS-SLM も高性能化が進み、市販品でも画素ピッチ $3.74\ \mu\text{m}$ かつ画素数 4K といった極めて高解像度なデバイスが開発されている[1]。

画素の高密度化は制御可能な空間周波数の帯域拡大を意味し、3D ディスプレイにおける視域角の拡大など、システムの自由度向上に寄与する。一方で、画素の微小化に伴い、電界の漏洩や液晶分子の弾性力など、近傍画素からの影響が顕著になる。これらのクロストークは画素ごとの独立した制御を困難にし、光波に与えられる変調に歪みを生じる（図1）。この課題に対して、画素間に数百 nm 幅の誘電体シールドを形成することで近傍画素からの影響を抑制する技術[2]が提案されているが、製造プロセスの複雑化や実効的な変調領域面積の減少など、別の課題を生じることが懸念される。

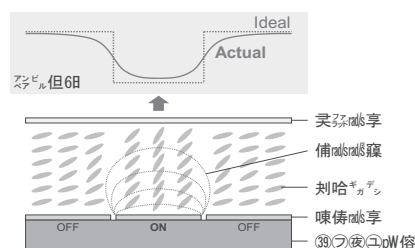


図1 近傍画素から受ける影響の概念図

②目的（課題設定とねらい）

デバイス構造に特殊な操作をせずとも、近傍画素の電気信号に対して光波が実際に受ける影響を詳細に把握することができれば、与える電圧分布の補正によって変調歪を相殺することができるのではないか。

これが、申請者が設定した課題である。本研究では、LCOS-SLM の変調歪の克服に向けて、光波の複素振幅分布を定量的に評価することができるデジタルホログラフィック顕微鏡を用いて LCOS-SLM のサブピクセルオーダの応答を評価する。

③学術的な独自性と意義

これまで LCOS-SLM を用いる際は入力する電気信号に対する位相変調量の線形性を事前に評価して電気信号に補正をかけるキャリブレーションが必須とされてきたが、通常はキャリブレーション時に液晶に印加する電圧は全画素に対して均一である。液晶面をいくつかのサブ領域に分割して応答を評価するキャリブレーション方式[3]も提案されているが、画素ごとの応答評価、ましてや近傍画素からの影響を考慮した方式は申請者が知る限り存在しない。一方で、液晶に与える電圧分布に対して光波に与えられる変調分布は一意に定まるが、10 bit 分解能で 4K 解像度の SLM の場合、全画素の組み合わせの総数は $1024^{3840 \times 2160}$ 通りとなり、すべての組み合わせに対応したルックアップテーブルを作成するのは現実的ではない。これらに対して、実際に光波に与えられる変調を詳細に把握するという本研究の試みは、近傍画素からの影響を考慮した全く新しいキャリブレーション方式の実現に向けた極めて重要な学術的知見をもたらすものである。

④期待される成果と発展性

本研究により、LCOS-SLM によって「実際に光波に与えられる変調にはどのような歪みが生じるのか」や、「どの程度離れた画素まで影響が及ぶのか」といった知見の獲得が期待できる。これらの知見を活用することで、空間周波数やウェーブレットなど近傍画素からの影響を考慮可能な基底系で補正を与えるような革新的なキャリブレーションが実現し、今後活用の幅が広がっていくことが期待される LCOS-SLM ベースの光波制御技術の高性能化につながる。

[1] HOLOEYE, <https://holoeeye.com/gaea-4k-phase-only-spatial-light-modulator/> (accessed May 5, 2023).

[2] Y. Isomae *et al.*, Opt. Rev., **24**, 165–176 (2017).

[3] D. Engström *et al.*, Opt. Express, **21**(13), 16086–16103 (2013).

【背景】光励起エネルギー移動は、近接した粒子間において、ドナーにより吸収された光エネルギーがアクセプターへと移動する現象であり、光合成や太陽電池における重要な素過程の一つである。特に自然界の光合成細菌(図1)における集光アンテナ(LH)では、構成する色素分子が環状に並んだ**円環構造**を形成し、高速なエネルギー移動を実現することが知られている。そのエネルギー移動時間は短いもので約 1ps であり、量子ドット(〜100ps)と比較すると文字通り桁違いに速く、慣習的な**Förster 型エネルギー移動理論では全く説明ができない**。

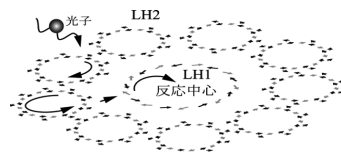


図1. LHの概念図。中央のLHIを取り囲むようLH2が分布し、光エネルギーを反応中心へと伝搬する。LHを構成する矢印は色素分子の双極子モーメントを表す。

近年、この光合成系エネルギー移動には、量子コヒーレンスや量子もつれといった量子効果が寄与する可能性が議論され、量子生命科学の格好の研究対象として注目を集めている。実際、上述の高速エネルギー移動は、量子効果を取り入れた**拡張 Förster 理論**により説明される。具体的には、色素間相互作用により形成された**フレンケル励起子が円環構造に非局在化し、光学禁制準位を含めた全励起子準位間でエネルギー移動が生じることで高速化される**。これまで、円環構造を人工ナノ構造体で模倣した研究が報告されているが、高速化を実現した例はなく、単なる構造の模倣だけでは再現できない物理があると考えられる。

【目的】申請者は、この光合成系エネルギー移動をその励起子準位一つ一つを詳細に解析することで、「光吸収に寄与する準位」と「高速エネルギーに寄与する準位」とに分かれて存在し、その**2つがエネルギー準位内において上手く機能分担されている**ことを明らかにした。図2はエネルギー準位内機能分離による高速エネルギー移動の概念図である。入射光子は光学許容準位($k=\pm 1$)で吸収され(①)、熱ポンピングにより薄く塗りつぶされた光学禁制準位帯へ励起される(②)。この禁制準位帯では運動量の大きな励起子が存在し、回転方向($\pm$)を反転させながらスムーズに円環構造を波状伝搬し高速エネルギー移動を実現する(③)。興味深いのは熱ポンピング②が常温においてのみ効率良く機能する点であり、自然界の光合成系が自身を取り巻く環境に如何に上手く適応しているかを示す結果といえる。

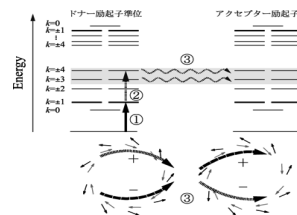


図2. エネルギー移動機能分担の概念図。

上記の機能分担は、構成要素の**対称性とそれにより形成される量子準位によって特徴付けられるため**、構成要素の物性を選ばない。つまり**量子効果を引き起こす量子ナノ構造体であれば同様のメカニズムを獲得できる可能性がある**。本研究の目的は、量子ナノ構造を用いて光合成系 LH の円環構造を模倣し、適切なデバイスデザインで励起子準位を制御することで、光合成系 LH を超える量子ナノアンテナを構築するためのデバイス指標を与えることである。量子ドットや金属ナノ構造など工学応用度の高い量子ナノ構造体に対して数値シミュレーション解析を行い、最適なデバイスパラメータの選定を目指す。

【学術的な独自性と意義】従来の人工光合成や太陽電池のエネルギー移動研究は、分子置換や構造制御などがメインである。例えば人工光合成にみられる葉緑素(クロロフィル)を安価な人工ポルフィリンで置き換える研究がこれにあたる。これまでにも円環構造を模倣した研究は数多く存在するが、本研究のように「量子準位内における機能分担」を取り扱う研究は、我々の知る限り無く、高い学術的独自性と意義を持つといえる。

【期待される成果と発展性】本研究の成果は、量子効果(量子コヒーレンスや量子もつれ)を用いた様々な量子ネットワーク系への波及効果が期待できる。例えば、現在注目を集めているニューロモルフィックに本研究成果を応用すれば、脳機能の量子準位による機能分離が可能になり、量子生命や量子ニューロンなどの新しい人工デバイス創成の可能性も期待できる。このように応用の波及性の広さからも本研究はその発展性が高いといえる。

自動ガス供給システム付き縦型流路分離式CVDによる ウェハサイズTMDC薄膜の安定的合成技術の開発

研究者 東邦大学理学部 講師 柳 瀬 隆

グラフェンの研究が契機となり、他の 2 次元物質についても新規合成法の開拓や物性評価が行われるようになった。六方晶系の 2 次元物質は、ディラックコーンやバレー自由度に由来する基礎科学的な面白さに留まらず、IoT・スマート社会の実現につながるエ

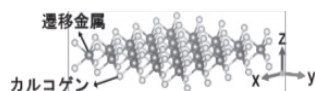


図1 TMDCの結晶構造

レクトロニクス材料として期待されている。その中で遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDC, MX_2 : $M = Mo, Hf, W$ など、 $X = S, Se, Te$)は 20 種以上からなる 2 次元物質群で、グラフェンにはない特性と多様性から注目されている。図1に TMDC 単層膜の結晶構造を示す。化学気相蒸着法(CVD 法)は高品質かつ大面積の薄膜を作製できる手法として有望であるが、これまでの研究では大気中での取り扱いが可能な酸化物を CVD 原料として用いることが多かった。しかし、蒸気圧の高い酸化物原料は MoO_3 と WO_3 に限られ、その他の遷移金属を利用できないという問題がある。

このような問題を解決し、すべての TMDC を有効に利用できるようにするため、申請者は独自の流路分離型 CVD(申請 3/7 で詳述)を構築して塩化物原料による TMDC の合成に取り組んできた。ほとんどの遷移金属塩化物は蒸気圧が高く CVD 原料に適している。塩化物原料の弱点は大気に触れると酸化されて蒸気圧が安定しないことであるが、特別にデザインした CVD 装置を利用して大気暴露を防止すれば、CVD 原料として有効であることを申請者は実証してきた。その上で、TMDC 薄膜をエレクトロニクス材料として飛躍させるためには、単に薄膜を作製するだけではなく、再現性・均一性・配向性・結晶性を高めなければならない。そこで、本研究では自動ガス供給システムを組み込んだ独自の縦型流路分離式 CVD を構築して、大面積の TMDC 薄膜の安定的基盤合成技術を確立することが目的である。TMDC 薄膜作製の低コスト化も視野に入れて、将来的には基礎・応用研究用として TMDC 薄膜を市場に供給するねらいである。

TMDC の安定的基盤合成技術を確立するためには、塩化物を原料として高度に制御された CVD 装置を利用することが重要と考える。そのために、装置の縦型化と気化器の導入およびコンピュータによる流量制御の自動化を同時に実現した CVD 装置を製作し、1cm×1cm のウェハ上に安定した品質で薄膜を合成できるようにする。縦型化による原料ガス濃度の均一化、気化器を用いることによる原料ガス濃度の安定性向上、そして流量のコンピュータ制御による再現性と制御性の向上を実現する。これらをすべて考慮して、TMDC 薄膜の作製に取り組んでいる研究はこれまでにない申請者独自の技術となる。また、塩化物原料を利用することで Mo と W 以外の遷移金属も利用できるようになり、すべての TMDC を統一的な手法により合成できるため普遍性の高い CVD 法と言える。

本研究では純粋な材料を安定的かつ高品質で合成・生産することを目標としているが、原料ラインを増設すれば混晶化によるバンドギャップ変調、ドーピングによる電気伝導率制御やセンサー・触媒としての利用を目指した活性サイトの導入などへと本技術は展開できるため、拡張性の高い技術であると言える。さらには、積層構造やヘテロ接合界面を利用した新規物性の発現などの新たな学際領域へと発展させることが可能と考えている。具体的には周期的な積層による人工超格子構造の作製や 2 次元物質シート材料の接合界面における 1 次元電子状態の実現などである。

① 背景

脱炭素社会の実現に向けて、バイオマス資源としてケナフが注目されている。ケナフから抽出される繊維はグリーンな強化繊維として機械部品に活用されているが、抽出過程では排出されるケナフ残渣は活用用途が限られている。ケナフ残渣の効果的な活用用途の一つとして、蓄電デバイスの電極材料への変換が挙げられている。蓄電デバイスの電極は活物質、導電助剤、バインダーから構成される。導電助剤は電極の電子導電パスを形成するために必要不可欠な材料である。導電助剤は主に天然ガスから製造された炭素材料であるカーボンブラック (CB) が使用されている。バイオマス残渣から電子導電性が比較的高い構造を有するカーボンの作製は試みられているものの [N. Jäckel, et. al, J. Power Sources 272 (2014)] CB と比較して蓄電性能が低下する課題がある。KB は粒径が数十 nm と小さいために電極の電子導電性パスが容易に形成されるが、バイオマス由来カーボン (BC) の粒径は通常数十 μm ～数 μm であるために電子導電性パスが形成され難い。申請者はこれまでの研究により、微量の数十 μm の活物質が生み出す電極の数百 nm の空隙が電極内における電解液中のイオン移動抵抗を減少させることで優れた蓄電性能を示すことを明らかにしてきた [T. Eguchi, et. al., Batteries 6 IF 5.938 (2020)]。電極の抵抗を考慮する上では、電子移動抵抗だけでなくイオン移動抵抗も重要になる。粒径が大きく異なる炭素材料を複合して導電助剤に用いた場合の電極の抵抗成分に与える影響については明らかにされていない。

② 目的 (課題設定とねらい)

本研究では BC を電極の導電助剤として使用して CB を複合することにより、電子導電性とイオン導電性の両方の導電性を向上させる多機能導電助剤を開発する。BC としてケナフ残渣由来カーボン、粒径が異なる炭素材料として CB を使用する。ケナフ残渣由来カーボンと CB を複合して電極の導電助剤に用いた場合の電極の電子導電性およびイオン導電性に与える影響を明らかにし、BC と CB の適切な割合、多機能導電助剤として不足している特性を特定する。そして、炭素材料の結晶構造または粒径を改良することで、多機能導電助剤を開発する。異なる粒径を有するケナフ残渣由来カーボンと CB を複合して導電助剤として使用することにより、電極の電子移動抵抗の低減と電極内に空隙が生み出されることで電極内でのイオン移動抵抗の低減を図る (図 1)。

③ 学術的な独自性と意義

導電助剤の複合利用として、カーボンナノチューブ (CN)/カーボンファイバー (KF) KB/KF CB/CN など高電子導電性材料×高電子導電性材料を組み合わせた研究はある。一方で、イオン移動抵抗は主に電解液に関連するため、導電助剤からイオン移動抵抗の改善は試みられていない。しかしながら、イオンの移動抵抗は電極の構造にも関連している。本研究は BC と CB の組み合わせることで、電極の電子導電性とイオン導電性に寄与する導電助剤を創り出す研究である。BC と CB の複合はイオン導電性の向上により総合的に高電子導電性材料×高電子導電性材料の複合材料よりも電極の抵抗を低減できる可能性があり、導電助剤による電極のイオン導電性と電子導電性に与える影響は学術的に興味を持たれる。

④ 期待される成果と発展性

ケナフは 4-5 ヶ月程度で 2.5-3.5 m の長さまで成長するため CO₂ の吸収率が高い植物とされ、ケナフを栽培する国は 20 ヶ国以上あり、2015 年での収穫量は 200 万トン生産されている [A.G.N. Abbas, et. al Fibers 10 (2022)]。ケナフ由来繊維の抽出過程で排出されるケナフ残渣は全体の約 60% (残り 40% が繊維) であり、本研究はケナフ残渣の活用の選択肢を広げることに繋がる。様々な分野で電動化が進む中で、蓄電デバイスの需要は高く、バイオマス資源の活用は世界的に行われている。ケナフ残渣由来カーボンが導電助剤として活用できれば、その他のバイオマス資源に応用されることが期待でき、世界に大きなインパクトを与えることができる。

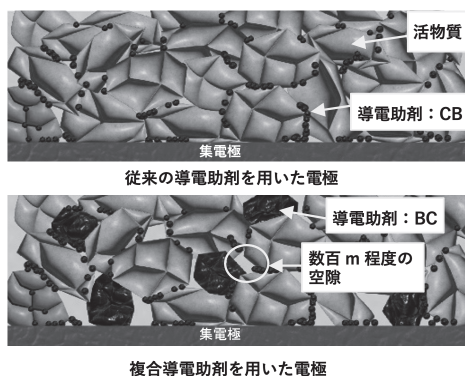


図 1 電極構造 (上: 従来モデル、下: 本研究モデル)

①背景

うつ病や依存症などの精神疾患およびアルツハイマー病やてんかんなどの神経疾患はしばしば薬物抵抗性である。これらの脳疾患は脳の働き方の障害であるため、その症状制御には医療機器等を介した脳刺激で疾患症状を司る脳活動に直接介入して脳内神経細胞の活動操作により、脳の働き方を整える戦略が効果的である。脳刺激による脳活動介入は、正常生理機能を司る脳活動の阻害による副作用の回避のため、必要な際にもみ刺激がトリガーされる閉ループ制御によるオンデマンド刺激が重要である。そのためには脳活動を常にモニターし、病態脳活動へオンデマンド介入する医療機器の研究開発が必要である。当該医療機器により、精神・神経疾患（脳疾患）を克服した社会の実現が求められている。

②目的

脳活動のモニターおよびオンデマンド介入を行うシステムにより脳疾患を克服した社会を目指し、申請者はこれまでにうつ病やてんかんを題材に、疾患症状が生じるや否や脳深部を直ちに電気刺激することで症状を緩解する“閉ループ脳活動介入法（閉ループ脳深部刺激法）”を開発してきた（次々項図3；[Takeuchi and Berényi, *Neurosci Res* 2020](#); [Takeuchi et al, *Brain* 2021](#); [Takeuchi et al, *Front Neural Circuits* 2021](#); [Takeuchi et al, *Front Behav Neurosci* 2022](#); [Li† and Takeuchi† et al, *Neuron* 2023](#)）。さらに非侵襲的かつ効率的な電気刺激法“経頭蓋集束電気刺激法”を開発した（[Vöröslakos, Takeuchi et al., *Nat Commun* 2018](#)）。現在当該2技術の応用により、脳疾患の症状制御が可能というデータを得ており、難治性患者を対象にした臨床研究を行っている（<https://neunos.com/>）。しかしながら、これまでの閉ループ脳活動介入法および経頭蓋集束電気刺激法には、それぞれ刺激電極を侵襲的に脳実質に刺入する必要がある、および刺激焦点の空間解像度が低く脳深部刺激も困難である、という課題があった。そのため最近申請者は生体を透過する超音波を用いた神経活動操作法（超音波ニューロモデュレーション法）を研究開発している（[竹内、関、*Clin Neurosci* 2022](#)）。超音波は既に生体イメージングは結石破碎などで臨床応用されている安全なモダリティであるうえ、刺激の時空間解像度が高く、微小刺激素子の開発により超音波刺激のためのウェアラブル機器実装も可能になるそこで本研究では、申請者らの閉ループ脳活動介入法と超音波ニューロモデュレーション法とを融合し、代表的脳疾患であるうつ病およびアルツハイマー病の非侵襲的制御法の開発に挑む。

③学術的な独自性と意義

本研究は、申請者らが独自開発し優位性を有する時間特異的な脳活動介入法“閉ループ脳活動介入法”に最新の経頭蓋集束超音波照射技術を融合することで初めて可能になる大変独創的な研究である。当該研究に必要な、自由行動動物からの大規模電気生理学的記録、閉ループ脳活動介入法、非侵襲的脳刺激法、集束超音波照射による神経活動操作はそれぞれ高度に専門的であるため、参入障壁が非常に高い。当該開発により、非侵襲性、時空間解像度、さらには申請者が実施中の小型超音波照射装置・ウェアラブル医療機器の実装と合わせることで、院外利用も可能なポータビリティにも優れた理想的な脳刺激法を創出できる。

④期待される成果と発展性

経頭蓋集束超音波刺激はこれまで特定脳部位を標的とした熱凝固やドラッグデリバリーシステムとして脳疾患制御に用いられてきた（[Meng Y et al, *Nat Rev Neurol* 2021](#)）。しかしながら超音波による神経活動直接操作は未だその機序解明を目指した基礎研究に留まっていた。本研究は、経頭蓋集束超音波と申請者の閉ループ脳活動介入法の融合により、世界に先駆けて脳疾患の制御に挑むものであり、申請者が実装中の小型超音波照射装置・ウェアラブル医療機器の開発と合わせて大きな波及効果が期待される。

【背景】人には、喜び・悲しみ・怒り・恐怖といった感情が身体運動に影響を及ぼす「心身相関」が存在する。感情は人々の経験や状況により時々刻々と変化し、一時的な感情の変化は「情動」と呼ばれる。喜怒哀楽や恐怖などの情動は、リハビリテーションやスポーツ現場において、運動パフォーマンスに影響を与える一つの要因として考えられている。例えば、下肢の障害により転倒する恐れがある場合、もしくは実際に転倒した経験がある場合は、転倒恐怖により足が竦んで思うように動けなくなる。また、現場では、楽しさや喜びを実感できる環境の方が、そうでない環境よりもトレーニング効果が高いことが確認されている。しかしながら、各々の情動がどのような機序で運動パフォーマンスに影響を与えているかについては十分に明らかではない。したがって、本研究では運動パフォーマンス

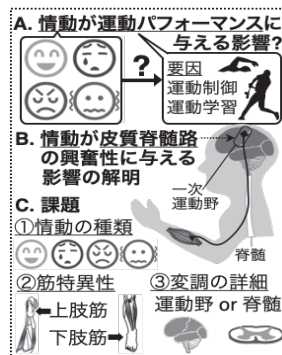


図1 本研究の概要

の向上に関与する運動制御および運動学習に対して、喜怒哀楽や恐怖などの情動が与える影響について明らかにすることを最終目標とする(図1A)。

申請者は、情動が運動制御および運動学習に及ぼす影響を明らかにするために、皮質脊髓路の興奮性に着目する(図1B)。この経路は、運動指令を一次運動野から脊髄を介して筋に伝える出力経路であり、運動制御および運動学習に大きく貢献する。先行研究により、実験的に情動を誘導する介入方法を用いて、各々の情動が皮質脊髓路の興奮性を変調することが報告されている(e.g., Coombes et al., 2010 *CABN*; Xia et al., 2021 *NeuroImage*)。これらの研究を踏まえて、申請者は現状挙げられる三つの課題解決に取り組む。

【目的】喜び・悲しみ・怒り・恐怖の情動が皮質脊髓路の興奮性に及ぼす影響の解明(課題：図1C)

課題①情動の種類によって皮質脊髓路の興奮性に及ぼす影響は異なるのか？(種類による差異の有無)

皮質脊髓路の興奮性は喜びや不快の情動介入時には増大し、恐怖の情動介入時には減少することが報告されている(e.g., Borgomaneri et al., 2015 *Sci. Rep.*)。個々の感情に対する興奮性の変調は解明されつつあるが、代表的な情動(喜び・悲しみ・怒り・恐怖)について、実験条件を揃えて比較した研究は未だない。

課題②情動が皮質脊髓路の興奮性に及ぼす影響は対象とする筋により異なるのか？(筋特異性の有無)

身体には機能が異なる筋が数多く存在し、複数の筋が協調的に働くことで円滑な身体運動は達成される。しかしながら、ほとんどの先行研究は手内筋につながる皮質脊髓路の興奮性にのみ着目してきた。したがって、前腕・上腕筋群や下肢筋群につながる皮質脊髓路の興奮性について調べる必要がある。

課題③情動による興奮性の変調は皮質脊髓路のどのレベル(皮質もしくは脊髄)で起きているのか？

皮質脊髓路の興奮性の変調は、一次運動野と脊髄運動ニューロンの興奮性の変調の総和で説明できる。したがって、皮質脊髓路の興奮性の変調をこれら二つの側面から説明することで、皮質脊髓路の興奮性に対する情動の影響についてより詳しく明らかにできる。

【学術的な独自性と意義】本研究の独自性は、先行研究により明らかにされてきた情動介入時の皮質脊髓路の興奮性の変調について、情動の種類と筋間の差異を明らかにする点にある。リハビリテーションやスポーツ現場では様々な情動が起ころうこと、運動が複数の筋の協調的活動により達成されることを鑑みると、各々の情動が皮質脊髓路の興奮性をどのように変調するのか、また、その変調の筋特異性について解明する意義は高い。さらに、一次運動野と脊髄運動ニューロンという二つの観点から興奮性の変調の詳細に迫る点も、申請者が得意とするアプローチであり、本研究の高い独自性と意義を示す。

【期待される成果と発展性】本研究により、運動パフォーマンスの根幹にある皮質脊髓路の興奮性に対する情動の影響について明らかとなる。この興奮性の変調は運動制御および運動学習と大きく関与することから、本研究成果は心身相関の根幹にある神経メカニズムの基礎知見となる。また、様々な情動や筋特異性に着目した本研究を皮切りに、心身相関の科学的根拠が集まることで、現場における情動を考慮したトレーニング・コーチング法などの発展・普及に貢献すると考えられる。

研究者 東京農工大学大学院工学研究院 准教授 倉 科 佑 太

①背景 現在、再生医療の治療として有力視されている手法は臓器全体の移植ではなく、臓器の一部を細胞組織により形成して患部に投与する手法である。例えば、iPS 細胞から製作した心筋細胞を球状の組織として生体に投与することで、重篤心不全(全世界患者数:2,600 万人)を治癒する手術方法が臨床応用間近である。この治療を支える技術は心筋の球状組織を形成することであるが、形成された組織は幼弱であり、治療効果は限定的といった問題を抱えている。そこで本研究では、ソフトアクチュエータの蠕動運動を用いることで細胞組織塊の形成を促すことを目的とする。これにより細胞組織を高品質で高速に製作できるシステムを開発し、心臓や軟骨などの臓器の機能回復を目指す。こうした最先端の医療へ貢献するシーズを機械工学技術から創出することで、人生 100 年時代に向けて、機械工学と医学の融合した研究で健康寿命を伸ばし、活力ある社会を構築することを目指す。

②目的 本研究では、細胞組織形成システムに細胞を充填して、培養空間を圧縮することで球状の細胞組織を高速で形成するシステムを構築する。本研究は、細胞組織形成ロボットを前半で構築し、後半では生成した球状細胞組織の状態について検討する。システムの構造について具体的には、ポリジメチルシロキサン(PDMS)のソフトロボットの中にアガロースゲルを満たす。このアガロースゲルの中心に細胞を播種して培養する。なお、アガロースゲルを包み込む PDMS は空気圧で圧縮駆動することで、細胞を押し固め、細胞の組織化を促す。この研究目標の設定は、組織化することで機能が発現する骨芽様細胞を採用し、組織化の観察と機能性の発現を測定して装置の妥当を示す。本研究の技術的課題には、細胞を損傷せずにいかに素早く細胞組織を形成できるかという点であり、組織の押し固める条件を圧縮力・繰り返し動作のタイミングなどソフトアクチュエータの制御を網羅的に検討して、詮索する必要がある点である。

③学術的な独創性と意義 細胞組織の生成方法はこれまで様々な手法が用いられてきた(R.-Z. Lin and H.-Y. Chang, *Biotechnol J* 2008)。例えば、細胞非接着の材料の鋳型の中で組織を形成する方法(A. P. Napokitano *et al.*, *BioTechniques*)や液滴の表面張力で形成する方法(A. Albanese *et al.*, *Nat Commun* 2013)が用いられている(図 1a)が、外側から外力を加えて細胞組織を形成する研究は報告されていない。一方で、倉科はこれまでに超音波の音響流(Y. Kurashina *et al.*, *Lab Chip* 2017)や定在波(M. Nakao *et al.*, *Ultrasound Med Biol* 2019)により細胞に圧力を加えて細胞組織を形成することで、高速で細胞を組織化することに成功した(図 1b)。一方で、これらの手法は発生する熱や周囲への影響から大量に培養する目的には不向きであり、臨床医とのヒアリングを踏まえた医学的な需要から本研究(図 1c)を着想した。

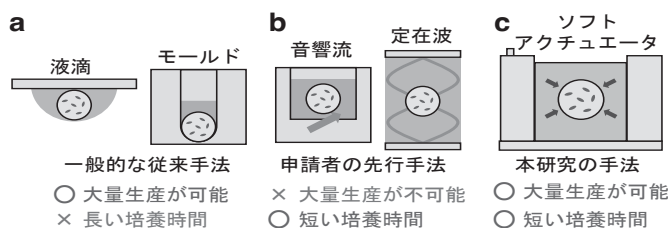


図 1 従来手法と本研究の比較。

図 1a)が、外側から外力を加えて細胞組織を形成する研究は報告されていない。一方で、倉科はこれまでに超音波の音響流(Y. Kurashina *et al.*, *Lab Chip* 2017)や定在波(M. Nakao *et al.*, *Ultrasound Med Biol* 2019)により細胞に圧力を加えて細胞組織を形成することで、高速で細胞を組織化することに成功した(図 1b)。一方で、これらの手法は発生する熱や周囲への影響から大量に培養する目的には不向きであり、臨床医とのヒアリングを踏まえた医学的な需要から本研究(図 1c)を着想した。

④期待される成果と発展性 上記の通り、本研究は研究者自らの過去の知見から、細胞組織の形成を高速化できる可能性を見出したものであり、細胞組織を形成するために必要とする時間を飛躍的(数日から数時間)に縮めることが可能となる。再生医療の現場では、患者への投与を少しでも早める必要があることから、また、本システムは駆動源が空気であることから並列に使用すれば大量に生産できるため、再生医療で必要とする大量の細胞組織(細胞総数 $10^9 \sim 10^{11}$ 個)を簡便に形成することに期待できる。さらに、細胞組織に外部から刺激を加えることで、細胞組織の成熟化が進むことが報告されている(Z. Zhao *et al.*, *J Cell Mol Med* 2020)。本研究で加える圧縮刺激も細胞組織の成熟化に寄与する可能性が期待でき、成熟化が進めば、患者の移植後にも良好な治療効果を発揮することができる。以上のように、本研究で製作する細胞組織形成デバイスは従来の細胞組織形成デバイスとは一線を画すデバイスであり、細胞培養から再生医療に繋げるための革新的な技術となることを確信している。

実空間課題における予期的注視を用いた 自己効力感の定量的計測にむけた巧緻性計測デバイスの開発

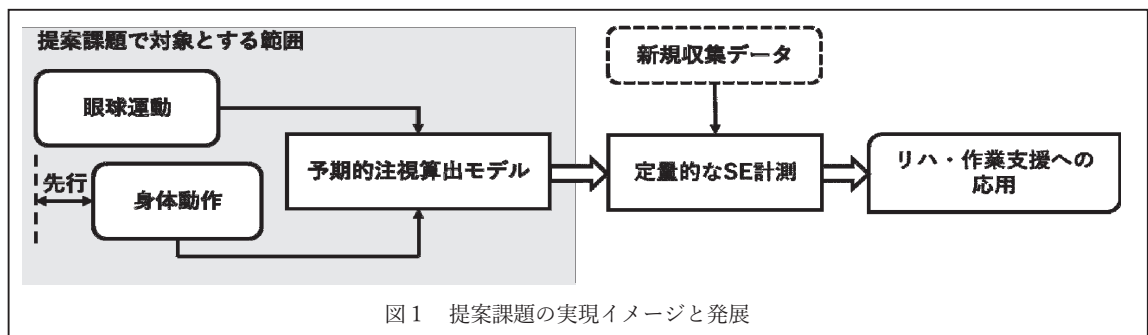
研究者 東京農工大学大学院工学研究院 助教 辻 愛 里

① 背景

自己効力感 (Self-Efficacy:以下、SE) とは個人の行動遂行能力に対する確信の程度であり (Bandura 1994) 教育や臨床心理領域では SE を質問紙によって測定している (江本 2000)。SE の定量的かつ即時的な計測が可能となればオンラインのフィードバックによるモチベーション向上や幅広い分野への活用が見込まれる。申請者は SE を定量的に計測する上で利用可能な、低侵襲かつ低負荷で計測可能な内在状態として、視線データの中でも予期的注視に着目し、先行研究としてマウスを操作し行うディスプレイ中の巧緻性課題における視線行動を分析した。その結果、サッカー距離等の予期的注視を構成する指標に変化が見られ、質問紙による SE と相関が見られた[1]。このことから、サッカー距離や注視時間のような視線特徴量について予期的注視を構成する指標として用いることで、SE の計測が可能であるとの知見を得た。

② 目的: 課題設定とねらい

本研究では実空間課題における予期的注視を用いた SE の定量的計測にむけた、巧緻性計測デバイスの開発を目指す。図 1 に提案課題の実現イメージと発展を示す。ディスプレイ課題から得られた知見をもとに、リハ現場において用いられる巧緻性計測器具に対し電磁的に操作のタイミングや圧力を取得できる機能をもたせ、視線計測装置を併用することで、より現実のリハに即した形で SE の計測が行えることを目指す。



③ 学術的な意義と独創性

本研究の第一の独自性は実空間で SE を計測する上で予期的注視に着目した点である。SE に関する先行研究は口頭でのアンケートや質問紙といった内観報告に基づくものであり、予期的注視への着目は申請者独自のものである。さらに申請者は、先行研究の結果から作業の難度によって視線運動の予期的行動が変化する傾向を発見しており、新たな学術的知見と応用可能性を秘めた極めて独創的なアプローチといえる。

④ 期待される成果と発展性

リハにおいては適切な声掛けがモチベーションの維持に寄与することが知られている。実際にリハで用いている器具と視線計測によって実空間課題でも SE が定量的かつ即時的に計測できるようになることで、リハ支援における対象者の内的状態の評価や、評価結果を活用した適切な声掛けによって対象者のモチベーション向上を促すことが可能となる。またリハ以外でも、組み立て作業時の SE と実際の作業精度の比較により、ヒューマンエラー要因の分析のような応用も期待できる。

① 背景（内外における当該分野の動向）

運動は、健康の維持増進に重要な要因である。しかしながら、運動をおこなっても、効果が大きい人と小さい人がいる。例えば、肥満、糖尿病などの代謝疾患がある人は、運動による効果が減弱する。特に、肥満のヒトは、レジスタンス運動後のタンパク質合成が弱まり、筋肉が肥大しづらいこと（運動抵抗性）が明らかにされている（Beals et al. 2018）。しかしながら、この運動抵抗性の分子メカニズムは明らかではない。

肥満や II 型糖尿病は、骨格筋においてインスリンの効きが悪くなるインスリン抵抗性も惹起する。このインスリン抵抗性の分子メカニズムは明らかではなかったが、Nyman らは、インスリンシグナリング経路の数理モデルを構築し、正常と肥満患者のパラメータを比較することで、この謎に迫った。その結果、リン酸化酵素である mTOR からのインスリン受容体基質へのフィードバックが肥満者特異的に弱まることから、インスリン抵抗性の 1 つの分子メカニズムとして明らかとなった (Nyman et al. 2014)。このことは、数理モデルを構築することで、分子 1 つではなく、シグナル伝達経路のネットワークによる分子メカニズムを明らかにすることができることを意味している。

我々は、すでに健康ラットに対する筋収縮後のタンパク質合成経路のシグナル伝達の数理モデルを構築し、定量的な解析を行ってきた (Sotani and Hoshino 投稿準備中)。よって、すでに確立済みの数理モデルを肥満ラットに対しても応用し、数理モデルを構成するパラメータを正常ラットと比較することで、運動抵抗性の分子メカニズムの解明に迫ることができると着想した。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の目的は、肥満によりレジスタンス運動後の分子応答が減弱化する分子メカニズムを解明することである。そのために、肥満ラットと正常ラットを用いてレジスタンス運動後のタンパク質合成経路のシグナル伝達の数理モデルを構築し、パラメータを比較する。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、運動の効果の減弱化の分子メカニズム解明に数理モデルを構築することで迫ることである。数理モデル構築の意義は、分子メカニズムの解明だけでなく、分子応答を予測することが可能になる点にある。様々な状況（あるタンパク質が多い少ないとき、あるリン酸化酵素の活性を強弱させたときなど）のシミュレーションをすることで、運動効果の減弱化を改善する方法に迫ることも可能になる点で意義がある。

④ 期待される成果と発展性

肥満がレジスタンス運動後の分子応答を減弱化する分子メカニズムを明らかにし、それに対抗する栄養介入、物理療法、薬物投与などと組み合わせることで、効果的な運動処方提案につながる。さらに、コンピュータ上でシミュレーションが可能になることで、運動を模倣できるドラッグターゲットの同定や開発に発展する可能性がある。本研究の概要を図1に示す。

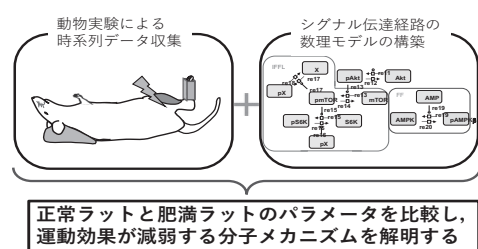


図1. 本研究の概要

1. 背景（内外における当該分野の動向）

腸内細菌が宿主の生理機能にさまざまな及ぼすことが近年次々と明らかになっており、自閉症などの中枢神経系機能にまで腸内細菌の影響が及ぶことが報告されている。特定の腸内細菌と宿主との相互作用を調べるためには、腸内細菌叢を完全に取り除いた「無菌動物」を作成して維持する必要がある。さらに、無菌動物に特定の細菌を定着させた動物を用いて解析する必要がある。申請者は、遺伝学的解析が可能なモデル生物であるショウジョウバエを用いて、無菌化方法や飼育装置とエサ滅菌法を改良し、完全な無菌ハエを何世代にもわたって維持することに成功した。すなわち、世界初の無菌ハエ長期間維持技術を世界に先駆けて確立し、腸内細菌が宿主の本能行動や中枢神経系に与える影響を解析した。そして、ショウジョウバエ腸内細菌の一つである乳酸菌が、オスの攻撃行動を制御していることを発見した。本研究では、乳酸菌がどのように脳機能の制御を行っているのか、そのメカニズムを解明することを目的として研究を行う。

2. 目的（課題設定とねらい）

乳酸菌から宿主中枢神経系への情報伝達に関わる菌因子を同定することを目的とする、そのために、乳酸菌変異株を用いたスクリーニング解析や、菌特有の代謝産物を候補とした攻撃行動解析を行う。

3. 学術的な独自性と意義

先行研究における「無菌ハエ」は、主に抗生物質により腸内細菌を除去して作出されている。しかし、抗生物質は神経毒性があることや、全ての腸内細菌を完全に除去することができないことが知られている。また、生きた菌を再び無菌ハエに導入することが不可能である。そのため、ショウジョウバエを用いた腸内細菌と宿主の脳機能制御に関する研究はあまり行われていない。申請者は、無菌マウスの作出に用いられるアイソレータをハエに応用することで、抗生物質を用いずに、腸内細菌を完全に除去した「真に無菌のショウジョウバエ」を安定的に長期間維持する技術を世界に先駆けて確立した（論文投稿準備中）。そのため本研究では、これまで行うことができなかった無菌ハエの本能行動の解析や、生きた菌の変異株ライブラリーを用いた大規模スクリーニングを実施できる。

4. 期待される成果と発展性

自閉症スペクトラム症候群は、近年世界中でその増加が報告されている。増加のしている環境要因の一つとして、腸内細菌叢の乱れが挙げられる。特に米国においては、治療目的での抗生物質の多用や、家畜に用いられた抗生物質の間接的な摂取がヒト腸内細菌叢攪乱の原因と指摘されている。若年期における抗生物質の多用は、腸内細菌叢の乱れを通じて肥満につながるという報告もある（Nature 488:621-6 (2012)）。しかし、腸内細菌がどのように自閉症という脳の機能へ影響するのか、その機構はほとんどわかっていない。

広範な症状のスペクトラムを有する自閉症において、攻撃性の亢進が幅広く見られると指摘されている。攻撃行動は、ヒトを含む多くの動物のオスにおいて共通に見られる本能行動である。したがって、その神経学的・分子的基盤に種を超えた普遍性が存在すると考えられる。攻撃行動が腸内細菌の影響を受けるとイヌやマウスなどの哺乳動物で報告されているが、そのメカニズムは不明である。一方ショウジョウバエでは、攻撃行動に関する中枢神経系機構が詳細に解明されつつある。すなわち、ショウジョウバエを用いることで、未解明である「腸内細菌が脳機能に与える分子基盤」を解明できる背景知識が整いつつある。本研究において得られる成果は、哺乳動物において、腸内細菌による攻撃行動調節メカニズム解明の手がかりとなり、ひいては自閉症などのヒト精神神経疾患が腸内細菌叢により制御されるしくみの解明に貢献する。

1. **背景** フラクタル性（全体と部分が同じ形状である，自己相似的と言われる図形的性質）を有した適度に複雑な模様，風景を視覚することで，ヒトにストレス低減効果がもたらされることがわかっている（Taylor ら，Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci., 2005 など）．この事実はヒトが自然風景に親和性を示すとされる，Biophilia 仮説を説明し得るものとして期待されている．実際，自然環境の再現として水の音を被験者に提示した研究などが既存している（Annerstedt ら，Physiol. Behav., 2013）．申請者が専門とする乱流現象は，大小さまざまなサイズの渦運動が折り重なって形成されるマルチスケール現象でありフラクタル性を有する．そこで申請者は，ヒトが乱流現象を視覚することでも，何らかの生理心理学的反応が誘発されるだろうと着想した．さらに乱流現象のフラクタル性のため，乱流現象もヒトに対する親和性を備えていると予想でき，その視覚によって人間工学的に好ましい効果が得られる可能性が期待される．
2. **目的** 本研究では乱流現象を題材とした生理心理学試験を実施する．より具体的には，数値シミュレーションにより生成された乱流現象の可視化結果を視覚刺激として被験者に提示し，それを視覚させた際の EEG を測定する．被験者が乱流現象の可視化結果を視覚してから数百ミリ秒以内に，被験者の頭部表面にて取得される電位に特徴的な変動（事象関連電位）が現れる．本研究では萌芽的であるため，第一段階として実験結果データベースの充実が望まれる．そこで本研究では複数の乱流現象を素材として採用し，それらに対する結果を相互比較することで，どの乱流現象がどのような視覚事象関連電位を誘発するかを明らかにする．
3. **独自性と意義** 上述のような流体現象を題材とした既往の生理心理学研究は流体現象の物理的特性をほとんど記述していないため，流体力学知見に基づいて丁寧に題材現象を選定できる点に流体力学を専門とする申請者が実施する実験の意義がある．また本研究のように視覚を刺激する実験結果報告は見当たらない．それは流体現象の可視化結果が適切かの評価が，非専門家にとって高い障壁となるためだと考えられ，それによって流体力学専門家による生理心理学実験という本研究の独自性がさらに強調されている．
4. **成果と発展性** 本研究は流体力学と生理心理学という遠く離れた 2 分野の協働であり，どちらの分野にとっても新しい発展を促すものとなる．生理心理学分野では，本研究の完了後でも例えば乱流以外の流体現象による刺激はどうか，EEG 以外の生理心理指標はどう反応するか，被験者の属性（世代や性別など）に応じて結果が変化するかなど，本計画を基にした興味は無限に生じる．そのどれもが生理心理学専門家が見たこともない結果を提供する可能性を秘めており，その意味で著しい創造性を有する．一方流体工学分野にとっても，ある流体現象がヒトに親和的で積極的に応用する価値があるか，反対にヒトに不快感を与えうるかは新規的なヒントである．既存の流体力学研究のほとんどは，環境・エネルギー問題解決（摩擦抵抗低減や汚染物質拡散予測など）を動機とするものがほとんどである．本研究の結果はその枠を飛び出し，ヒトにとって心地よい・ストレスのない空間の実現という重要な工学課題に，流体力学知見の新たな応用を開拓する．

①背景

高精度放射線治療である強度変調放射線治療(Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT)において、照射プランの品質保証(Quality Assurance: QA)を行うことは極めて重要なプロセスである。従来より、QAは実測線量に基づく手法が国内ガイドライン及び国際的ガイドラインとしてアメリカ医学物理学会によるタスクグループ(AAPM 218)により確立されている¹⁾が、VMATの普及に伴いより効率的な手法が望まれている。近年、同アメリカ医学物理学会より強度変調照射のQAに関する新たなタスクグループ(AAPM TG219)が発行された²⁾。本報告では計算ベースのQAの実施を推奨しており、実測を要さず患者体内の線量分布を独立した線量計算システムを用いて再計算し評価する。しかしながら、計算ベースQAの実施には専用の独立線量計算システムが必要であり、多くの施設で容易に導入はできないのが現状である。臨床のニーズからも強度変調照射は年々増加傾向にある中、本邦においても計算ベースQAの普及とその手法の確立は早急に実施すべき課題である(図1)。

- 1) AAPM TG218, Med Phys. 2018,
- 2) AAPM TG219, Med Phys. 2021

②目的

本研究課題は施設が所有する治療計画装置(Treatment Planning System: TPS)を用いて独立的に線量分布を計算することでVMATに対する計算ベースのQAの新たな手法を考案する。次世代の品質管理手法として実臨床へ展開を目指し効率的で汎用的なQAシステムを構築することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

本邦において計算ベースQAの独立線量計算システムの普及は進んでいない一方、日本医学物理学会のQAの調査研究³⁾によると2台以上のTPSを有する施設は全体の40%程度であり、多くの施設で独立して患者線量分布を計算可能な環境下にあると言える。すなわち、異なるTPS(primary TPS: pTPS, second TPS: sTPS)を用いてQAを実施するシステムを開発すれば、AAPM TG219に則った計算ベースQAの普及に大きく貢献するものといえる。予想される研究結果として、独立した線量計算システムを介さず効率的な計算ベースQA手法の提案に繋がり、新規手法として国内外への波及効果も見込まれる。これらの観点より、本研究は潜在的発展性を有し学術的独自性・創造性に富むものであると言える。

- 3) Y Anetai et al., J Appl Clin Med Phys. 2022

④期待される成果と発展性

我が国における強度変調放射線治療は保険診療改訂に伴い、現在では限局性の固形悪性腫瘍の患者全てに対し適用が認可されているが、マンパワー不足などにより十分なQA体制が整っている施設は未だ少ない。本研究課題により、効率的なQAシステムの提供、汎用化を実現することが可能であり、国際水準に則った放射線治療の安全性の向上が期待される。また本研究課題は基盤システムの開発として位置づけ、長期に持続可能な研究開発として国内外における学会発表・学術論文誌への報告により本システムの発信を行い、国内における計算ベースQAのガイドライン制定のための端緒を開く。

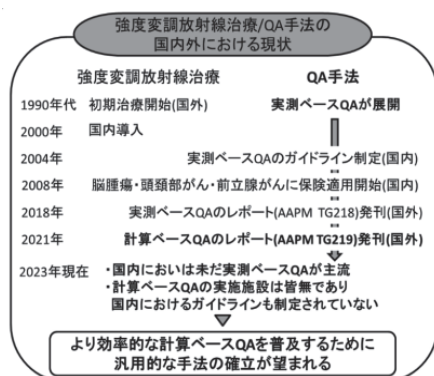


図1 申請テーマの国内外における現状

① 背景

幹細胞を一定の条件で3次元的に培養することで、細胞が自発的に分化しオルガノイドとよばれる臓器に類似した細胞塊を形成する。オルガノイドは高度に分化した臓器モデルとして発生過程の研究や再生医療への応用、疾病モデルへの利用が期待され、きわめて大きな関心を集めている。オルガノイド作成は従来の細胞培養と比較して長期間で複雑な実験過程を必要とし、繊細な幹細胞を利用することから安定した作出も困難である。これらの技術的な課題がオルガノイド研究をさらに発展させるうえでの大きな制約となっている。近年コンピュータ制御された分注装置等を利用して細胞培養を自動化することが注目され、産業界・学術界双方で研究が進んでいる。しかし、立体構造をもつオルガノイドの培養過程では依然として手作業を必要としている。例えば腎臓オルガノイドの培養では前駆細胞の塊を形成したのち、多孔膜を底面に有する容器へと移し替え、底面からの培養液供給を維持しつつ気液界面で培養を維持する必要がある。

② 目的

本研究では、培養プロセス途中での培養容器移動作業の必要なく気液界面培養を実現することで、オルガノイド培養の再現性と効率を向上させることを目標とする。微小スケールでの流体力学の理解とシミュレーションに基づいたデバイスを設計・製作して、オルガノイド培養に必要な作業を削減する。オルガノイド培養に必要な複雑な作業は、培養過程を機械化するうえでの障害となるとともに、作業の個人差により再現性を担保することが困難となっていた。気液界面培養をデバイスの構造によって実現することで作業を単純化し、再現性を高めるとともに将来的な自動化を目指す。



図 1. 研究の概念図

③ 独自性と意義

オルガノイド培養の効率化・自動化には大きなニーズがあり、これまでも研究が行われてきた。しかし、気液界面形成について取り組んだ例は申請者が知る限り報告されていない。その原因として、気液界面を形成するためには表面張力の検討が必須となり、理論・シミュレーションの面からもファブリケーションの面からも難易度が高まることが考えられる。申請者は機械工学のバックグラウンドをもち、学生時代からナノ・マイクロスケールにおける物理現象のシミュレーションに基づくデバイス設計・製作を行ってきたとともに、3次元組織の培養に関しても多くの経験を有している。このような独自のバックグラウンドに基づいてオルガノイド培養の新たなアプローチを提示する。

④ 期待される成果と発展性

オルガノイドを用いた研究には大きな可能性があるものの、経済的・時間的なコストは大きく、不安定であることから研究者の負担は大きい。これらのコスト・不安定性を取り除くことは単なる効率化にとどまらず、これまでアイデアはありながら試せなかった実験を実現させることにつながる。

腎臓の機能は生命に直結するが、一度失われた腎機能を回復させることは困難である。腎不全が進行して透析が必要となった場合、患者自身の経済的・生活的な負担とともに行政への医療費負担も非常に大きい。腎臓オルガノイド培養の効率化を通して研究を加速し、これらの社会問題解決の一助となることが期待できる。

① 研究の背景

高齢者が抱える歩行中の安全上の問題として、足元と遠方の状況の同時管理が難しいという問題がある。加齢によってデュアルタスク能力が低下することや[1]、足元に視線が落ち、遠方の状況を知覚していないこと[2]が原因の一端と考えられる。日常生活においては、足元の段差などに留意しながら、遠方の危険を察知して歩行を調整する必要があるため、足元と遠方の状況の同時管理が困難になると、歩行中の安全確保が困難となりうる。問題の改善には、視線を遠方に向けてもらう必要がある。しかし、下向き歩行には歩行中の姿勢を安定化させる作用があるという指摘もあり[3]、強制的な視線誘導は転倒の危険性を高める可能性がある。よって、バランスを悪化させない形で高齢者を下向き歩行から脱却させ、足元だけでなく遠方の状況も同時管理できるよう支援するシステム開発が、重要な課題である。

② 目的

本研究では、歩行中の接地の正確さが連続して求められる課題（Multi-Target Stepping：以下 MTS 課題）[4]を、バーチャルリアリティ（VR）環境下で再現し（以下、VR-MTS 課題）、歩行中に遠方のターゲットを遮蔽する方法を導入することで、段階的に視線を遠方へ誘導できるかを検討する。MTS 課題とは、歩行路に配置された赤、青、黄の 3 色の四角形のうち、指定された 1 色のみ連続して踏んで歩く課題である。これまで、ターゲットを 1 つでも踏み外す高齢者は転倒危険性が高いこと[4]や、転倒危険性が高いほど足元のターゲットしか見ていないことがわかっている[5]。本研究では MTS 課題を VR 環境下で再現することにより、歩行中に特定のターゲットを一時的に消去させる。この状況下で課題を遂行するためには、ターゲットが消去する前に遠方のターゲットを認識しなければならず、視線を遠方に誘導できるのではないかと考えた。下向き歩行からの脱却の程度は、頭部屈曲角度を用いて評価する。

③ 学術的な独自性と意義。

本研究の学術的独自性は、デュアルタスク能力に関する考え方と、開発する VR システムの手法にある。従来の研究では、歩行中のデュアルタスクとして、歩行に無関連な情報の処理を求めることが多かった（例：歩きながら数字の減算をする）。これに対して本研究では、歩行路のターゲット位置を連続的に探索させ、歩行軌道を常に調整することを求める。こうした調整は実生活で起こりうるにもかかわらず、そうした発想の課題開発はほとんどなく、独自性が高い。またヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた VR 研究は多く存在するが、その多くにおいて、身体位置の同定は頭部と手に限定されている。本研究では三次元動作解析装置と同期した本学独自のシステムを用いることで、足の接地位置を特定できる。VR 環境内で歩行中の接地位置を正確に測定できる点が、もう一つの独自性である。

④ 期待される成果と発展性

本研究で開発する VR システムでは、歩行中にターゲットの位置や色を自由に操作することができる。現在のところ、状況に応じた柔軟な歩行調整力を評価するシステムは限られており、新たな評価法の提案が可能である。さらに、このシステムは脳卒中者の半側空間無視の評価に利用したり、発達障害児のワーキングメモリの評価に利用したりと、様々な発展性が期待できるシステムでもある。

[1] Fraser et al. 2013, *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. [2] Menant et al. 2010, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. [3] Koren et al. 2021, *R Soc Open Sci*. [4] Yamada et al. 2011, *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. [5] Yamada et al. 2012, *Arch Gerontol Geriatr*.

生体電気インピーダンス法による体成分分析を応用した 尿路上皮がん患者の新規がん悪液質治療戦略の開発

研究者 名古屋市立大学大学院医学研究科 研究員 三 村 佳 久

①背景（内外における当該分野の動向）

がん悪液質は、がんの進行に伴う炎症反応、タンパク異化の亢進から骨格筋量減少を特徴とする栄養が低下した状態と定義される。申請者らの研究グループは、mUC 患者は化学療法中に骨格筋量低下や低栄養などのがん悪液質の状態となると、予後不良となることを世界に先駆けて報告した（図1）。

がん悪液質は、「前悪液質、悪液質、不可逆的悪液質」の3段階のステージに分けられる。日本緩和医療学会は、がん悪液質に対して“早期”から栄養療法、薬物療法、理学療法を導入し病態の進行を遅らせることが重要としている。がん悪液質に対する早期からの介入には、がん悪液質の発症時期を把握する必要がある。しかし、従来のがん悪液質の骨格筋量評価にはCT画像が用いられるため、被爆の問題により短期間の経時的評価が困難である。そのため、mUC 患者のがん悪液質発症時期が明らかとなっていないことが問題となっている。そこで申請者は、体成分分析装置に着目した。本装置は、生体インピーダンス法を用いることで被爆することなく体成分（骨格筋量、水分量、体脂肪量、ミネラル量など）や栄養状態に関するデータをわずか60秒で簡便に測定することができる。本装置を用いることで mUC 患者の体成分を経時的にモニタリングでき、がん悪液質の発症時期を解明できるのではないかという着想に至った。

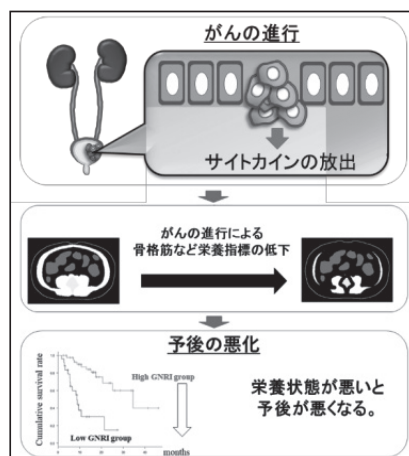


図1：本研究の学術的背景

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、体成分分析装置である Inbody 990 Body Composition Analysis (Biospace, Seoul, South Korea) を用いて体成分データを蓄積し、電子カルテに保存された診療情報を統合した リアルワールドデータベースを構築し解析することで、mUC 患者のがん悪液質の発症時期を明らかにする。

③学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、体成分分析装置を用いて mUC 患者の骨格筋量や栄養状態の変化を経時的に計測・蓄積したリアルワールドデータを解析する点にある。mUC のがん悪液質に関する研究は、治療開始時点でのがん悪液質の有無を評価し治療アウトカムとの関連を評価する報告がほとんどで、経時変化に着目した報告はない。従って、本研究は世界で初めてのプロジェクトであり、学術的に意義のある研究であると考えられる。

④期待される成果と発展性

本研究によって、mUC 患者のがん悪液質の発症時期を同定することが期待される。がん悪液質の発症時期が同定することで、栄養療法、薬物療法、理学療法といった がん悪液質に対する包括的治療への橋渡しを簡便にし、がん悪液質に苦慮する mUC 患者の QOL の向上かつ生命予後の延長に寄与することが期待できる（図2）。さらに、本研究は他のがん種にも応用することが可能である。このように、本研究は発展性に富んでおり、がん悪液質研究において非常に有益な研究であると考えられる。

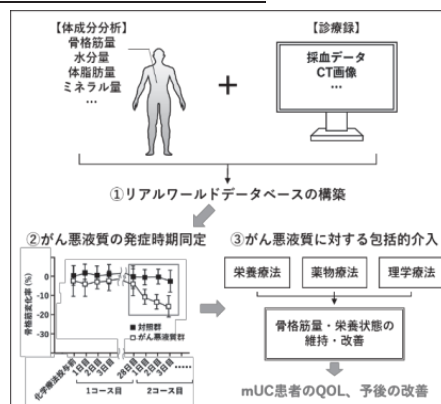


図2：本研究の戦略と今後の展望

溶液試料の核磁気共鳴 (NMR) の感度を室温で 約1000倍のオーダーで向上させた創薬NMR実験法の開発

研究者 北里大学薬学部 准教授 杉 木 俊 彦

① 背景

溶液試料を観測する核磁気共鳴 (溶液 NMR) 分光法は、低分子化合物からタンパク質、細胞などの幅広い試料について、生理的条件下での立体構造や分子間相互作用などを原子レベルで解析できるため、タンパク質に結合する化合物や薬剤の探索 (リガンドスクリーニング) 等の創薬研究においても不可欠な手法である。

NMR の最大の弱点は、感度の低さである。それは、溶液 NMR 観測に必要な十分な濃度 (マイクロモル～ミリモル) の水溶液に出来ない難溶性化合物の場合、特に深刻な問題となり、それが NMR を使ったリガンドスクリーニングで扱える化合物の種類・数を制限してしまう要因の一つとなっている。

NMR が低感度である原理的原因是、静磁場中での核スピンの分極率の小ささ (数万分の 1 程度しか分極しない) にある。一方、電子のスピンは、核スピンの比べて約 660 倍大きな分極率をもつ。そこで、電子スピンの分極率を核スピンへと量子力学的に移す「動的核偏極 (Dynamic nuclear polarization; DNP)」という操作で、NMR の感度を 100～1000 倍増強することが可能となる。しかし、従来の DNP 技術では、極低温 (−270℃以下) で試料を凍結させた後、高温溶媒をかけて急速に溶解させるなどの必要があり、タンパク質等の生体試料に適用するうえでのボトルネックとなっていた。

しかし近年、溶液試料を室温で超偏極する技術「トリプレット DNP」が国内のグループで開発されたことで、生体試料の溶液 NMR 実験の感度問題を抜本的に解決するブレイクスルーが現実的なものとなってきた。

② 目的

本研究は、トリプレット DNP 技術を用いて、溶液試料を凍結融解することなく溶液 NMR 観測の感度を向上させることで、NMR の高感度化を生体試料へ適用できる技術を発展させるとともに、化合物の水溶性の限界に起因する制約を大きく低減させ、従来よりも幅広い構造バリエーションをもつ化合物群でリガンドスクリーニング NMR 実験を可能とする技術を開発し、創薬 NMR 実験が直面している問題の打開をもたらすことを目的とする。

③ 学術的な独自性と意義

海外では G. Bodenhausen, C. Hilty, P. Giraudeau なども DNP 技術による溶液 NMR 実験の高感度化研究を進めており、世界的にも競争が熾烈な研究領域である。しかし、彼らの DNP 技術は、極低温で試料を凍結したうえで、高磁場下に曝しながら高周波ラジオ波を照射することで DNP を行い、その直後に試料に高温の溶液を加えて瞬時に溶解してから溶液 NMR 観測するというものであり、タンパク質等の生体試料に適用するには限界があるのが現状である。一方、トリプレット DNP は、溶液試料に対して、室温で (凍結融解することなしに)、低磁場下で低出力のマイクロ波の照射で DNP を可能にする (Nishimura K *et al.* (2019) *Phys. Chem. Chem. Phys.* **21**: 16408-)。これは生体試料を用いる溶液 NMR 実験では理想的な技術であり、世界的にも独自性が高く、他の追随を許さない技術である。この技術を基盤として、生体試料を用いる溶液 NMR 実験、中でも特に感度の低さが障壁となる創薬 NMR 実験の感度を根本的に向上させるという戦略が、本研究の独自性と意義である。

④ 期待される成果と発展性

難水溶性の化合物でも溶液 NMR 観測が可能になることで、リガンドスクリーニングの対象となる化合物の種類・数が増加し、これまでに発見されていなかった新しい創薬シーズ化合物を同定できる可能性が高まると期待される。また、トリプレット DNP は、溶液 NMR だけでなく MRI 等にも適用可能であり、しかも小型・安価の外付け装置で実行可能であるため、既存の NMR や MRI 装置を高感度化することが比較的容易という特長もある。本研究の成果は、創薬研究だけでなく、医療分野、特に疾患予防や病理診断技術の発展へも波及が期待できる。

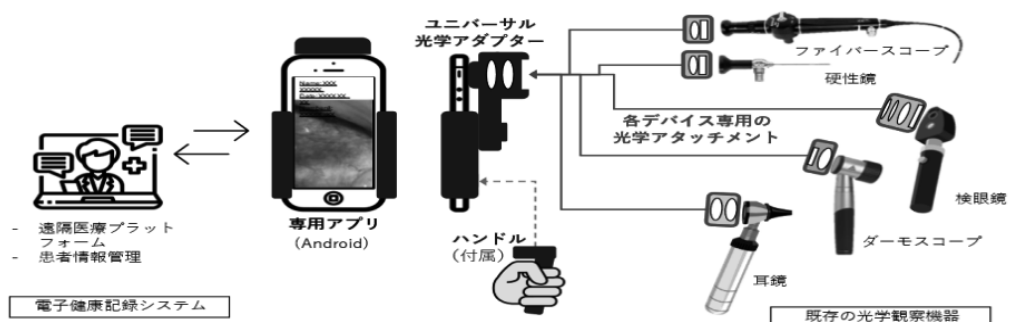
途上国における医療へのアクセスは社会問題化しており、医師、医薬品、医療機器の不足が深刻な課題となっている¹⁾。先進国で用いられる医療機器は高額であり、適切に扱える人材の不足している。実際、インドでは先進国製の中古機器が多く用いられている。一方、スマートフォン（以下、スマホ）の普及と政府主導の e-Health の取り組みにより、新たな医療イノベーションの機会が生まれている。近年、スマホセンサーを利用した診断支援機器が、途上国の医療現場で注目されている。これらの機器は遠隔地で簡単に使用でき、ネット接続できることから、遠隔診療への応用も期待されている²⁾。しかし、スマホのカメラと内視鏡、ダーモスコープ、検眼鏡などのポータブルな光学観察機器を統合する試みはまだ未開拓領域である。

そこで本研究では、途上国の一次医療環境に適応したスマホカメラと光学機器を組み合わせた診断支援システムを開発し、評価することを目的とする。具体的には、光学機器とスマホカメラを接続する光学アタッチメント、医師以外の医療従事者でも簡便に使用できる操作部、撮影画像を電子健康記録システムに記録するための専用ソフトウェアを開発する。開発にあたり、インドの医療ベンチャー、金沢工業大学、国内企業と協力して進める。

本研究は、既存の光学機器とスマホ技術を、途上国の臨床課題に合わせた形で統合する点で独自性がある。これらを組み合わせた先行例はあるが現場に適した形にはなっていない。本研究は、提案システムの実用的な側面だけでなく、途上国の医療エコシステムにおける社会文化的・経済的な意味合いについても、新たな洞察をもたらす可能性を持っている。

本研究を通して、スマホ一体型観察機器による途上国の医療アクセス向上の可能性について検証することができる。また、Universal Health Coverage の達成という SDGs の目標に貢献できる可能性がある。さらに、本システムの有用性が確認できれば、日本企業が途上国や新興国の巨大マーケットに参入する足掛かりを作ることができる。

スマートフォンカメラと光学観察機器の統合による診断支援システムのイメージ



参考文献

- 1) Shadmi, E., Chen, Y., Dourado, I. et al. Health equity and COVID-19: global perspectives. Int J Equity Health 19, 104, 2020
- 2) Wang S, Lifson MA, Inci F, Liang LG, Sheng YF, Demirci U. Advances in addressing technical challenges of point-of-care diagnostics in resource-limited settings. Expert Review of Molecular Diagnostics 24, 16(4), pp.449-59, 2016

① 背景（内外における当該分野の動向）

本研究では、スタンフォード大学 SPICE（国際・異文化理解教育プログラム）と東京大学教育学研究科学校教育高度化・効果検証センター（CASEER）との協働によって、国際平和につながる多文化共生を実現する国際理解教育とグローバル・シティズンシップ育成の研究と開発に取り組む。現在、世界は深刻な国際課題に直面している。武力侵攻、ジェノサイド、自国優先主義による分断、気候変動など、平和で持続可能な世界を構築する上で重大な課題である。これら課題の解決は容易ではないが、世界の市民が、困難を抱える当事者の痛みを共有し、問題に関心を寄せ続けることが重要である。これら社会変化に対して、日本の教育政策では、グローバル人材の育成や社会人基礎力・学士力の涵養が提言されてきたが、これら枠組みは旧来的な経済発展モデルを念頭に置いており、人間・社会の文化や歴史、思想といった側面からのアプローチが希薄であった。グローバル人材の育成については、国際的な政治・経済競争に勝ち抜くための人材を育成するという視点が前景化していた。グローバル化と社会の多様化の中でより強く求められるのは、多様性とその包摂に理解を寄せ、他者との共生の中で創造性を持って社会課題に取り組むリーダーと市民の輩出である。そのための方途が、教育を通じた異文化理解の促進と多文化共生社会の構築を目指したグローバル・シティズンシップの育成である。本研究による国際的協働を通して、学術研究、教育実践、そして政策形成という3つの側面から、我が国における社会の転換に寄与し、グローバルな社会イノベーションを生み出したい。

② 目的（課題設定と狙い）

上記の課題意識は教育学研究の中で近年、高まっている。特に、国際・異文化間教育の分野では異文化理解に資する教育に関する研究が精力的に進められている。しかし、教育学研究の研究動向は下位分野ごとに形成される傾向が強く、より大きな社会的インパクトを生み出す取組は十分とは言えない。また、異文化間教育の分野で進展する足元の社会課題と関連した研究—貧困、ジェンダー、在日外国人などを、国際社会のリーダー育成に不可欠な多様性の理解とその包摂を目指した教育と接続することを通して、より視野の広い教育・学習へと若者を導くことが必要である。本研究では、これまでに築いてきた日米の主要大学間の緊密なパートナーシップを活かし、率直な対話による友情関係の先に、国の枠組みを越えた共通の価値観を醸成し、交流の場を形成したい。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性は主に3点にある。(1)多様性理解に関する学際的アプローチを採用することで、幅広い射程に基づき、国際・多文化理解教育を再構築する。次に、(2)国際・多文化理解教育のプログラム開発と実装を行い、効果検証を通じた理論化・一般化を図る。その上で、(3)学術研究、教育実践、そして政策形成の3つの側面を視野に収め、それらの有機的連関を重視する。

④ 期待される成果と発展性

本研究を通して国際・多文化理解教育を巡る新たな知見を生み出すことはもちろんだが、合わせて研究者・教育関係者らを含めた国際的な交流プラットフォームを形成することが重要な目標である。それを通して、学術研究と教育を巡る若手研究者、実践者の育成基盤を構築する。

①背景

近年、産後1年以内に発症する産後うつ病は、児への愛着低下や虐待、自殺のリスク因子であるといった観点から社会的問題として注目されている。早期発見・予防を目的として、日本では、エジンバラ産後うつ病質問票 (Edinburgh Postnatal Depression Scale : EPDS) によるスクリーニングを産後2週間、産後1か月に行い、産後うつ病ハイリスク者には重点的に介入している。産後1か月の母親は、EPDSにより特定されるハイリスク者(抑うつ症状あり)の割合が初産婦17-25%、経産婦5-9% (Takehara, et al. 2018) と、その他の時期に比べて特に高い。父親においても、産後6か月までの割合は10-13%と他の時期に比べて高いこと (Tokumitsu, et al. 2020) から、この時期に夫婦双方のうつ病を予防する重要性が認識されている。母親・父親の産後うつ病のリスク因子の多くは介入することが難しい要因であるが、そのうち疲労や育児ストレスは介入により軽減する可能性が高く、抑うつ予防につながるものが期待される。また、産後早期は、夜間の頻回授乳や児の不安定な睡眠サイクルにより、うつ病の先行要因とされる睡眠の質の悪化もよく見られる (Wang, et al. 2018; Okun, et al. 2018) ため、睡眠の質の悪化予防も重要である。

産褥早期の疲労や育児ストレスを軽減するためには、夫婦の育児の役割分担やソーシャルサポートが重要な要因となる。ソーシャルサポートの充実を前提として、近年は産後パパ育休の推進を背景に、夫婦で協力して育児に取り組むことの重要性も認知されている。諸外国では夫婦の役割分担の指標の一つである父親の育児関与が高い場合、産後の母親の抑うつ症状を有するリスクが低いことや睡眠の質が有意に高いことが示されている (Zhang, et al. 2023; Hung, et al. 2022; Maselko, et al. 2019; Tikotzky, et al. 2015)。これらの関連について日本では調査がなされていないが、父親の育児関与や夫婦の育児の役割分担、それらに伴う育児ストレスには、母親役割・父親役割への認識など文化的価値観が影響することから、日本では他国とは異なる結果となる可能性もある。したがって、育児の役割分担と夫婦双方の抑うつ症状、睡眠の質との関連について検証し、抑うつ症状のリスクを低減するために日本の社会的・文化的背景に適した育児の協働の在り方を検討する必要がある。また、日本には乳児を養育する父親の育児関与を評価する尺度がないため、Paternal involvement with infant scale [PIWIS]の日本語版を開発した上で、本尺度と独自の質問項目を組み合わせる育児状況の詳細について調査する。

- ②目的**
1. 夫婦の育児の役割分担と抑うつ症状の関連を横断的、縦断的に明らかにすること。
 2. 夫婦の育児の役割分担と母親の睡眠の質の関連を横断的、縦断的に明らかにすること。

③学術的な独自性と意義

- ・産後うつ病は、夫婦および児の心身の健康への影響があるため、予防が重要である。産後うつ病予防としての夫婦の育児の役割分担の提案は、生活の中で取り入れやすいものであると期待される。
- ・母親・父親のどちらか一方を対象とするのではなく、母親・父親双方を対象としてうつ予防や睡眠の質の維持につながる生活状況について検討することは、本研究の独自性の一つである。
- ・本研究ではPIWIS日本語版の妥当性・信頼性の検証を併せて行う。この尺度開発により父親の育児関与の程度の測定が可能となる。PIWIS日本語版の活用により、教育的介入として必要な内容が明確になる。

④期待される成果と発展性

- ・産後パパ育休の推進によって、今後は育児休業を取得する父親の増加が予測される。夫婦双方の精神面への影響を考慮した上で、育休中の父親に対して育児実践の在り方を提案する際の一助となる。

① 背景

医学部卒前教育において、臨床実習におけるシミュレーション教育の重要性が指摘されており、Advanced Cardiovascular Life Support (ACLS)、手背静脈シミュレーター、導尿トレーニングモデル、腹部超音波トレーニングモデルなどが活用され、安全かつ効果的な実習としてその有用性が示されている。超音波ガイド針生検のシミュレーションは臨床実習において生検の適応および検査方法を理解するために有用と考えられる一方で、組織生検用のシミュレーションモデルは非常に少なく、日本では幅広くは行われていないのが現状である。

② 目的

我々は近年鶏卵を用いた腎生検シミュレーションモデルを開発し、腎臓内科研修生に用いることによる臨床的な有用性を報告した。本モデルは衛生面の問題と長期保管が難しいという課題があり、その克服のために我々はスチレン樹脂を用いた新たな腎生検シミュレーションモデルを開発した。

本研究では、医学部卒前教育の臨床実習において新たな腎生検シミュレーションモデルを用いた実習を実施し、前後のアンケート調査によってシミュレーション教育の有用性を評価することによって新たな人材育成システムとしての有用性を検討することを目的とする。

③ 学術的な独自性と意義

医学教育において、診療参加型臨床実習が重要視されている。スチューデントドクターとして行われる医行為として穿刺検査は原則として実施の介助・見学にとどめるもの（レベルⅡ）と考えられており、実習において経験は困難であるが、シミュレーション教育により補完される。

本研究ではスチレン樹脂を用いた新たな腎生検模擬モデルを用いて医学教育への有用性を検討する。本モデルは、模擬針生検として形態学的な理解も容易であり、超音波プローベの使用の熟達のためにも有用と思われ、興味を持ち主体的に参加しやすく、また腎臓に限らない幅広い臓器の針生検の理解にも役立つものと考えられる。

④ 期待される成果と発展性

腎生検模擬モデルを用いて実際に腎生検の練習を行うことで、超音波検査や穿刺針の使用方法や検査方法を含めた腎臓に限らない針生検検査に関する技能レベルを高めるとともに、医療行為に対する安全性を高める責任を実感し、良質な医療を提供するための土台となることが期待される。

さらに、本シミュレーション教育を全国に拡げることで日本全体の医学教育における充実度の向上への貢献が期待される。

① 背景

現在、全国的に教職員の休職者が年々増加しており、教職員の働き方が叫ばれている。その中で特に沖縄県は、残念ながら教職員の精神疾患による病気休職率が全国一高い。文部科学省（2022）「令和3年度公立学校教職員の人事行政状況調査」によると、沖縄の教職員の精神疾患による休職率は全国平均0.64%のところ約2倍の1.29%で15年連続のワースト1位となっている。つまり沖縄はメンタルを病んでいる教職員が全国一多いということであり、待ったなしの危機的な状況にある。

この問題には、沖縄の学校が抱える厳しい環境が大きく関連していると思われる。例えば、文科省（2022）「令和3年度児童生徒の問題行動・不登校等生徒指導上の諸課題に関する調査」によると、不登校の1000人当たりの数は小学校では全国13.0人のところ沖縄は18.8人となっており、全国1位と厳しい状況にある。また同調査ではいじめの「重大事態」について言及しているが、その1000人当たりの数は全国平均0.05人、沖縄0.11人と全国平均の2倍になっており、順位も全国5位となっている。

さらに、文科省（2022）「令和4年度全国学力・学習状況調査」によると、沖縄の小中学生の学力は全国最下位となっている（小学国語：最下位、小学算数：最下位、小学理科：46位、中学国語：最下位、中学数学：最下位、中学理科：最下位、総合順位：最下位）。

このように沖縄には不登校が多く、いじめが多く、学力も低いということがデータから明らかになっており、沖縄の教職員は日々その対応に追われている。以上のような厳しい教育現場の環境が、教職員の精神疾患のリスクを高め、休職率を高めているものと推察される。

② 目的

そこで本研究では、いくつかの調査を実施し収集されたデータの分析に基づき、教職員に悪影響を与える要因について明らかにするとともに、この問題の解決策について提示する。

③ 学術的な独自性と意義

沖縄の教職員の休職率の高さ及びメンタルヘルスの問題に関しては、深刻な状況にありながら、専門家が県内に不足していることもあってほぼ手つかずのまま放置されてきたと言ってよい。つまりアカデミックな研究がなされてこなかったのである。ゆえに15年連続でワースト1位という不名誉な状態が続いていると言える。よって、この問題に焦点化すること自体、独自性のある研究となる。

さらに、こうした問題の解決のための原因分析には詳細な統計分析が不可欠である。しかしながらこれまで教育委員会等が行政の立場から各種調査を行ってはいないものの、実際の問題解決には至っていない。それは詳細な統計分析ができていないためであると考えられる。申請者は統計分析の専門家であるので、得られたデータを用いて問題を解決に導くことができると考えている。

④ 期待される成果と発展性

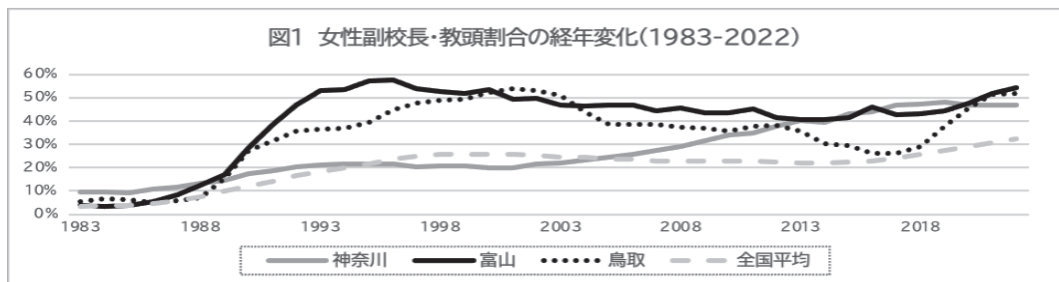
本研究の効果は計り知れない。教職員が病気休職に至るメカニズムが解明されれば、沖縄の教職員の病気休職率を低下させることも可能となり、元気にすることができる。そうなれば余裕が生まれ教育現場でのさまざまな問題に対応できるようになる。具体的には現在起きている様々な問題（不登校、いじめ、低学力等）が解決に向かうことが期待される。そして何より教職員が元気になれば子どもたちも元気になる。さらにここで得られたノウハウは沖縄のみならず他の都道府県にも応用可能であり、汎用性の高いものである。その点で発展性もある研究であると考えている。

小学校女性管理職を増加・維持させる要因は何か？

研究者 宮崎公立大学人文学部 准教授 寺 町 晋 哉

①背景（内外における当該分野の動向）

近年、「女性活躍・男女共同参画の重点方針」のように、女性管理職を増加させる政策が打ち出されているが、小学校においても 2015 年頃から女性管理職割合は増加傾向にある。その最たる例が鳥取県であり、小学校教頭・副校長（以下、教頭）の女性割合が 2016 年度の 26.0%から 2021 年度 51.3%へ急増している。この背景には、鳥取県教育委員会が策定した「鳥取県教育委員会における女性教職員の活躍の推進に関する特定事業主行動計画（2016 年～2021 年の 5 年計画）」が影響していると考えられる。しかし、下図から分かるように、鳥取県は 2000 年初頭に小学校教頭の女性割合が 50%超だったが、その後減少し、2010 年以降 30%を下回っている。仮に政策的基盤がなくなった場合、過去と同様、女性管理職割合が低下していく恐れがあるだろう。鳥取県と類似の傾向をもつ都道府県は複数存在しており、女性管理職割合の増加傾向を維持、あるいは更なる増加を目指す手立てを模索する必要がある。



②目的（課題設定とねらい）

そこで参考になるのが富山県と神奈川県である。富山県は 1990 年代に女性教頭割合が急増し、1996 年には 57.6%（全国含め過去最高値）にまで達し、その後も高水準を維持し、近年でも女性管理職割合が全国トップクラスである。また、神奈川県は 2000 年以降、女性管理職割合を停滞・減少させることなく増加させ続け、かつ女性管理職割合が高い都道府県の中で唯一急激な上昇を経験していない。神奈川県も女性管理職割合が全国トップクラスである。この 2 県の小学校女性管理職をめぐる政策や制度、管理職の意識などを分析することで、上述した女性管理職割合を増加・維持させる要因を探ることができるだろう。以上をふまえ、**本研究の目的は、富山県・神奈川県が小学校女性管理職割合を増加させ、それを維持できている要因を明らかにすることによって、小学校女性管理職の育成モデルを検討する基盤となる知見を提示することである**とする。

③学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性と意義は大きく二点ある。第一に、「申請 4」で述べるように、従来の先行研究では、女性管理職割合が急増した要因、女性管理職割合の高さが維持された要因、いずれかのみを明らかにしたものしかなく、富山県を事例にすることで双方の要因に迫ることができる。第二に、そもそも神奈川県がこれまで着目されたことはほとんどなく、なぜ漸進的に女性管理職割合を増加させることができたのかがわかっていない。女性管理職割合が急増、あるいは高水準を維持する都道府県と漸進的に増加している神奈川県の共通点・相違点を明らかにすることができる。

④期待される成果と発展性

富山県では、女性管理職割合の急増と高水準維持の背景にある取り組みや教員の意識を解明することで、近年女性管理職割合が急増している都道府県に必要なモデルを提示することが期待できる。神奈川県では、女性管理職割合が徐々に増加している背景を解明することで、鳥取県のような女性管理職割合の減少という「副作用」を避けるために必要なモデルを提示することが期待できる。また、急進的な増加ではないため、現在も女性管理職割合が低い道府県（15 の道府県女性教頭割合が 25%を下回っている）であっても参照しやすい汎用的なモデルを提示することも期待できる。

①背景

城郭の復元や有名建造物の複製など、場所の再現が古来数多く作られてきた。近年では、メタバースの流行に伴い、バーチャル渋谷や池袋ミラーワールド等の VR(virtual reality)技術を用いた仮想の場所再現が見られる。メタバース流行は幻滅期に入りつつあるが、実世界と仮想環境が高度に融合した真のメタバースの普及は不可避であり、現在はその変革期に位置づけられる。今後は、ミラーワールドという言葉が表すような全世界規模の VR 場所再現が様々な目的に合わせ大量に現れるだろう。

実世界の場所再現は、学術的な検討や観光における見学など比較的限られた目的のために存在し、その設計においては材質や構造において如何に忠実に再現するかが主眼であった。これに対し、VR 場所再現は、上記の現存する例のように、その内部でユーザが自由に移動し、コミュニケーションし、物やサービスを購入する等、自由な行動の場である。そのため、その設計においてはユーザの行動原理を把握し、目的に併せたユーザの自発的な行動を如何に促すか、を考えることになる。

②目的（課題設定とねらい）

しかし、これまで、設計上重要な大きな特徴が見過ごされてきた。VR 場所再現の多くは元の場所と併存していて片方での行動がもう片方での行動に影響を与えることである。VR 場所再現内の行動が、元の場所での行動にどのようにつながるか、その逆はどうか、は共に解明されていない。現存するいくつかのメタバースは再現元への観光を促す宣伝という目的があるが、その学術的な根拠はない。

本研究の目的は、VR 場所再現の設計理論の基礎となる、VR 場所再現の元の場所の併存を前提とした基礎行動モデル、「行動再現モデル」をフィールド実験によって検証することである。このモデルの核となる仮説は、(1)VR 場所再現でとられた行動は、実世界の元の場所でも取られやすい、(2)実世界の元の場所でもとられた行動は、VR 場所再現でも取られやすい、ことである。

③学術的な独自性と意義

申請者らの研究チームはこれまで、世界で唯一、VR 場所再現と元の場所との存在としての「同じさ」に着目し、これを場所同一性という概念として提唱し、その高め方の研究に取り組んできた(青柳・福森 2022, 廣瀬ほか 2023)。本研究はこれを発展させ、同じさが引き起こす行動に着目した独自の研究である。また、復元などの場所再現についての研究は建築に関する美学や哲学、日本文化論の分野で進められてきたが、これらは同じ物体が複数あるという現象を解釈し記述することに主眼を置いていた。さらに、VR を始めとする情報工学の分野では、前述のように忠実な再現のための技術開発が進められてきたが、VR 場所再現の元の場所との同じさと、それが引き起こす行動についての注目は皆無である。これらに対し本研究は、記述ではなく実験による実証研究であること、そして VR 場所再現内の行動に着目する点に意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究に期待される直接的な成果は、行動再現モデルが、環境配慮行動の促進やサービスの宣伝など社会的課題に即した行動促進ツールとして VR 場所再現を利用する科学的根拠となることである。また、行動再現モデルには、上述の真のメタバース社会を如何に設計すべきかなど、将来的に様々な目的の VR 場所再現を設計する基礎となるという発展性がある。

① 背景

プレゼンテーション（以下、プレゼン）で聴講者に伝達したい内容を正しく伝えるためには、聴講者が理解しやすいように話すだけでなく、アイコンタクトやジェスチャといった非言語表現を用いて聴講者の注意を誘導するプレゼン・スキルが重要である[1]。プレゼン・スキルを高める方法の一つとして、自身の発表に対する聴講者からの反応をもとに振り返りを行う方法がある。聴講者はプレゼンがおもしろければ身を乗り出して話を聞くが、つまらなければ寝たりよそ見をしたりするように、聴講者の態度は振り返りのきっかけとなる。しかし、反応の仕方や基準は聴講者によって異なり、また同じ聴講者であっても飽きや疲労などにより反応が一定でないことがある。プレゼン・スキルの育成につなげるためには、同じ基準で規則的に反応を返してくれる聴講者と練習を続ける必要があるが、そのような聴講者を見つけるのは困難である。

一方、近年人間のように振舞い、人間と共に活動するロボットが多く開発されている。発表者のプレゼンを自動で評価し、反応を返す聴講者ロボットがあれば、プレゼン・スキルの育成を支援できる可能性がある。

② 目的

本研究課題の目的は、プレゼン・スキルの育成を支援する聴講者ロボットを構築することである。聴講者ロボットは、プレゼンの内容からプレゼンを評価し、評価に応じた振舞いを行う。そのような聴講者ロボットを構築するために次の2点を明らかにすることも、本研究課題の目的である。

1. 発表者の言語・非言語情報に応じて変化する聴講者の心理モデル、2. 心理モデルを反映した振舞い。

③ 学術的な独自性と意義

プレゼン・スキルを対象とした学習支援システムの分野では、聴講者の反応を振り返りの手段として与えるアプローチに独自性がある。発表者の動作の評価を点数や文章で与える研究[2]に対し、実際のプレゼンの場でも観察可能である聴講者の反応を与えることで、単にプレゼン・スキルが向上するだけでなく、現実世界のプレゼンの場で聴講者の反応に応じてプレゼン方法を動的に変更するスキルが身につくようになる。

コミュニケーション・ロボットの分野において、聴講者のプレゼンの評価指標を明らかにするアプローチに独自性がある。機械学習を用いてその時点の状況に対して人と同じような振舞いをするロボット[3]は多く存在するが、これらは振舞いの原因がわからないことが多い。本研究では聴講者のプレゼンの評価指標をもとに心理モデルを構築することで、心理状態の原因となる発表者の言語・非言語情報が明らかとなり、不適切さを的確に指摘することが可能となる。

④ 期待される成果と発展性

聴講者が悪い反応を表出する原因となる発表者の言語・非言語情報を明らかにすることで、具体的な改善案を指示するような、プレゼン・スキルの教師ロボットの構築が可能となる。また、プレゼンだけではなく、教師による授業や、一般的な対話においても、相手に良い印象を与える言語・非言語情報はある程度共通している。よって、本研究で得られる成果はより広い場面における対話支援へも応用できると考える。

[1] 栗原ら (2006). プレゼン先生: 音声情報処理と画像情報処理を用いたプレゼンテーションのトレーニングシステム. 第 14 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ. pp. 59-64.

[2] J. Schneider, et al. (2015). Presentation Trainer, Your Public Speaking Multimodal Coach. Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction, pp.539-546

[3] 杉山ら(2016). 多人数対話におけるユーザの状態に着目したロボットの応答義務の推定. 人工知能学会論文誌. 31(3), C-FB2_1.

算数学習における「他者の考え方の解釈」を 促進する一人一台端末活用授業の開発に関する研究

研究者 札幌市立北陽小学校 教諭 瀧ヶ平 悠史

① 背景

コロナ禍により前倒しとなった GIGA スクール構想の下、全国の公立小・中学校には一人一台の端末が一律に導入され、近年ではこれをコミュニケーション場面に活用した授業の在り方が模索されるようになってきた。そこでは、令和の日本型学校教育の構築に向けて全ての子どもたちの可能性を引き出すことを目標に、個別最適な学び、及び協働的な学びを実現するために、一人一台端末は必要不可欠であるとされている（中央教育審議会,2021）。

こうした中、算数科においても、この一人一台端末を活用した学びが強く推奨されているところである。コンピュータ上に表現したものを瞬時に共有できるという端末の特徴を考えれば、これを導入した新たな算数の授業づくりでは、特にコミュニケーションの場（式や図などの数学的表現を介して互いの考え方を解釈し合う場）の設定を含めた授業設計や教師の指導法そのものを大きく見直していくことが求められる。そして、そのためには、一人一台端末を算数学習のコミュニケーション場面にどのように活用することが効果的なのかを検証する必要がある。しかし、端末の導入が間もない現時点では、こうした研究は十分に進められていない。また、このように具体的な効果や活用方法が明らかにならないままに端末の導入が先行したため、現場では、大きな混乱が生まれているのが現状である。

② 目的

本研究では、算数科の学習において、一人一台端末を「コミュニケーション場面でどのように活用することが他者の考え方の解釈をより促進するのか」について明らかにし、これを基に端末を生かした算数授業構築の手法について提案することを目的とする。

③ 学術的な独自性と意義

教科における一人一台端末活用の具体的な学習促進効果、「コミュニケーション場面」での端末の活用効果に関わる研究は現在十分に進んでおらず、端末の使用状況と意識調査（2021,デジタル庁ほか）や、リフレクション（省察、内省、熟考）への影響について検証したものに限られている（中西ほか,2022）。一方、これまでの研究から、抽象度の高い数学的表現（式、図、表）を介する算数・数学における端末活用は、他教科と比較して難しいと感じている教員が多いことが分かっている（瀧ヶ平,2022）。このことから、算数・数学におけるコミュニケーション場面での端末活用授業を構築するための手法をモデル化し、検証してその有効性を明らかにすることは強く求められているところであると考えられる。

④ 期待される成果と発展性

本研究によって期待される成果は、算数学習におけるコミュニケーション場面での一人一台端末の有効性を最大限発揮させる方法の解明に留まらず、それを取り入れた授業構築の手法の開発までである。これにより、算数・数学学習におけるコミュニケーションはこれまで以上に促進されることが期待される。また、「一人一人の学び（個別）」と「他者とコミュニケーションを取りながら考えを深める学び（協働）」を効率的よく往還する授業の日常化へとつながっていくと考える。

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
