

第40回 (令和4年度)

助成研究の概要

研究助成金 贈呈
令和4年12月2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を達成するための課題解決に向けた研究」

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、基本テーマで指定する自然科学および人文科学の22分類に該当する研究分野からの応募が対象となります。

〈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4年4月8日～令和4年5月31日
 応 募 数 95大学より192件

2. 選考審査

選考予備会議 7月22日開催 選考方針・選考基準の確認
 個別書類審査 7月27日～8月22日
 選 考 会 議 9月16日開催 助成候補者の選出
 理 事 会 10月7日開催 助成対象者70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	6件	2件	1,000万円
基本テーマ1	152件	58件	5,800万円
基本テーマ2	34件	10件	3,000万円

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	12	5
	2	電気・電子・磁性デバイス MEMS	3	1
	3	光デバイス 表示素子 情報記録	10	5
	4	通信・伝送用デバイス センサデバイス	1	1
	5	新素材 ナノテクノロジー関連	19	7
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	6	1
	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	5	2
	9	放送 通信 IoT	2	0
	10	計測 制御 センシング	12	3
	11	機構 ロボット	2	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)	15	8
	13	シミュレーション科学	1	0
	14	加工法 工作法 リサイクル技術	1	0
	15	信頼性・最適デザイン	2	1

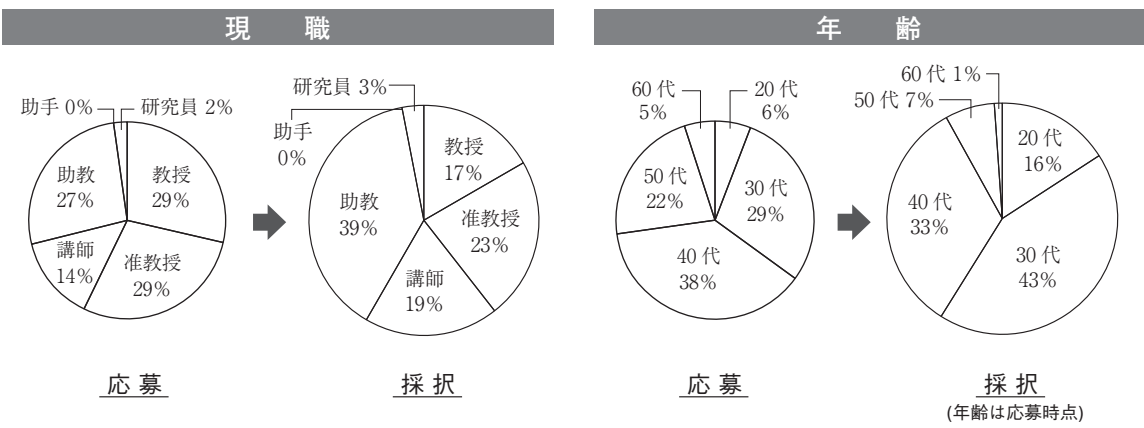
〔B系：医学・生理学系〕

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	20	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	13	7
	18	ヘルスエンジニアリング	24	7
	19	バイオエレクトロニクス関連	11	6

〔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	10	3
人間行動	21	変革期における人間行動の研究	9	5
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	14	4

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

現在までの
 助成件数 1,603件
 助成金総額 2,120,207千円

【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	日本体育大学 教授 大学院研究科長代表・大学院体育科学研究科長 筑波大学 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 理工学部 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 放送大学 客員教授
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	東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授
若 原 昭 浩	豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授

(令和4年4月1日現在)

令和4年度

研究助成

第40回(令和4年度) 研究助成一覧

70件

助成金総額 9,800万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	廃プラスチックのビッグデータ分析による識別モデルの構築と評価手法の確立	東北大学大学院国際文化研究科 准教授 大 窪 和 明	500
2	高開口率の細胞足場シートを用いたサスティナブル食肉培養システムの開発	東京医科歯科大学学生体材料工学研究所 教授 梶 弘 和	500
3	磁性扁平粒子の形状異方性を利用したナノ複相膜の磁気光学効果の高感度化	東北大学大学院工学研究科 講師 青 木 英 恵	300
4	磁性ワイル半金属のトポロジーに由来する駆動力を用いた磁気秩序の高効率制御法の確立とプロトタイプ実証	東北大学材料科学高等研究所 特任助教 竹 内 祐 太 朗	300
5	食道癌リンパ節転移を見落とさず検知するPETを応用した術中計測支援機器の開発	千葉大学フロンティア医工学センター 助教 川 村 和 也	300
6	超臨界CO ₂ が創出する量子空間欠陥に基づいた可視発光ドットの開発	東京工業大学物質理工学院 助教 織 田 耕 彦	300
7	マルチロボティック測位システムの開発:リアルタイム測位の普遍化・高精度化が変える未来の情報化社会	京都大学大学院情報学研究科 准教授 櫻 間 一 徳	300
8	紫外光励起-可視光検出-遷移状態分光装置開発	神奈川大学工学部 教授 岩 倉 い ず み	300
9	電気光学変調コムを用いた広帯域周波数可変かつ極低ノイズなマイクロ波発生	日本大学生産工学部 教授 石 澤 淳	300
10	ウェブゲームと計算論的モデリングを通して、人の汎化及び弁別能力を測定し、統合失調症との関係を評価する	東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構 講師 Cai Mingbo	300
11	機能性磁性ナノ粒子を用いた磁場誘導型がん温熱療法の開発	名古屋大学大学院工学研究科 教授 井 藤 彰	300
12	多品種少量の放射性薬品を精緻に調製するための唯一無二の自動化システムに関する研究	東京電機大学工学部 教授 茂 木 克 雄	300
13	機動的レーダリモートセンシングの実現に向けた小型無人機搭載合成開口レーダの開発	室蘭工業大学大学院工学研究科 助教 泉 佑 太	100
14	多元系スピネル酸化物ナノ粒子の合成と水分解触媒への応用	東北大学多元物質科学研究所 助教 岩 瀬 和 至	100
15	ハロゲン架橋銅(II)錯体一次元鎖のスピン量子ビットへの展開	東北大学学際科学フロンティア研究所 助教 脇 坂 聖 憲	100
16	電荷移動錯体導入による多積層型ペロブスカイト量子ドット創出と高効率・長寿命LEDの開発	山形大学理学部 助教 江 部 日 南 子	100
17	機能性ドメイン境界における相転移・物性発現機構の解明	千葉大学大学院理学研究院 准教授 横 田 紘 子	100
18	省エネルギー技術の実現に向けた強磁性酸化物材料の開拓	東京大学大学院工学系研究科 准教授 Hirschberger Maximilian	100
19	強分極薄膜を自発形成する極性分子の開発 -分子の末端構造による分子配向制御-	東京農工大学大学院工学研究院 助教 田 中 正 樹	100
20	鋭利なガラス管先端を利用した超電導ナノセンシング技術の開発	電気通信大学大学院情報理工学研究科 准教授 小 久 保 伸 人	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
21	元素戦略を考量した透明太陽電池の高効率化	長岡技術科学大学大学院工学研究科 教授 田 中 久 仁 彦	100
22	二次元半導体を利用したマイクロ発光ダイオードへの機能付与	信州大学工学部 助教 浦 上 法 之	100
23	反力可変触覚ディスプレイ用触知ピンアクチュエータ	名古屋大学大学院工学研究科 准教授 櫻 井 淳 平	100
24	酸化物異相界面におけるバンド変調機構の解明と制御に向けた原子・電子レベル解析	名古屋大学大学院工学研究科 講師 横 井 達 矢	100
25	光生成キャリアの空間分離を特徴とする量子ドット太陽電池の開発	豊橋技術科学大学大学院工学研究科 准教授 山 根 啓 輔	100
26	接合形成と機能発現を同時に成す半導体界面材料工学	京都大学大学院工学研究科 准教授 田 辺 克 明	100
27	メタ表面を用いる光マネジメント科学の実践－蛍光の100%前方放出を目指して	京都大学大学院工学研究科 助教 村 井 俊 介	100
28	送受信回路系極低温組込み核磁気共鳴法による微小物質の高感度測定の開発と新奇物性探索	大阪大学大学院基礎工学研究科 准教授 棕 田 秀 和	100
29	位相的データ解析による料理空間の構造解明とおいしい新料理の客観的な提案への応用	神戸大学大学院人間発達環境学研究科 助教 ESCOLAR Emerson Gaw	100
30	長波長側の可視光を利用可能にする螺旋型有機光触媒の開発	岡山大学異分野基礎科学研究所 助教 田 中 健 太	100
31	マルチモーダル分光計測による材料認識ペプチドの機能解明	徳島大学ポストLED フォトニクス研究所 特任助教 加 藤 遼	100
32	Si-CdTe一体型3次元半導体放射線イメージセンサの開発	宮崎大学工学部 准教授 武 田 彩 希	100
33	伝搬型表面プラズモンを励起子と結合して発光として系外に取り出す技術の開発	兵庫県立大学大学院理学研究科 准教授 小 簀 剛	100
34	弾性偏光回折格子を用いた非メカ式レーザー偏向機の開発	兵庫県立大学大学院工学研究科 准教授 近 藤 瑞 穂	100
35	デュアル光コムによる非接触リモート計測技術の開発	東邦大学理学部 講師 中 嶋 善 晶	100
36	深層学習による遺伝子発現制御ネットワーク解析技術の開発	早稲田大学理工学術院総合研究所 主任研究員 大 里 直 樹	100
37	双方向ワイヤレス電力伝送のオンライン磁気パラメータ同定による高効率制御に関する研究	立命館大学理工学部 助教 清 水 悠 生	100
38	高輝度円偏光発光材料創出を志向したキラルヘテロカーボンナノバルト開発とキロプティカル特性の解明	就実大学薬学部 講師 山 本 浩 司	100
39	脳－計算機－超音波閉ループによるてんかん発作の実時間制御	北海道大学大学院薬学研究院 准教授 竹 内 雄 一	100
40	ジュニアスポーツにおける主観的運動強度によるトレーニング負荷定量化の妥当性と障害との関連性の検討	北海道教育大学教育学部(旭川校) 講師 土 橋 康 平	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を用いて骨格筋の量と質を評価するための電氣的パラメータの検討	筑波大学体育系 助教 下 山 寛 之	100
42	自動ヒト培養幹細胞動態解析による再生医療支援システムの構築	東京大学医科学研究所 准教授 難 波 大 輔	100
43	MR (Mixed Reality: 複合現実) を用いた気管支鏡支援	名古屋大学医学部附属病院 助教 岡 地 祥 太 郎	100
44	小児てんかん発作の頻度と気圧変動の統計的相関を調べる研究	鳥取大学医学部附属病院 助教 荒 井 勇 人	100
45	パーキンソン病患者における頸部多チャンネル表面筋電図による嚥下動態の解析と電気刺激による効果の検討	広島大学大学院医系科学研究科 助教 中 森 正 博	100
46	CEST-MRIと機械学習を組み込んだ定量的pHイメージング手法の開発	徳島大学医学部 助教 金 澤 裕 樹	100
47	人工知能および距離センサーを用いた次世代手術トレーニングシステムの開発	九州大学病院 助教 福 田 篤 久	100
48	タイピングスキルを支える手指運動制御則の解明	埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究科 准教授 国 分 貴 徳	100
49	殺菌レーザーとバクテリオファージを融合した狙撃分子の創成	北里大学医学部 講師 阪 口 義 彦	100
50	慢性疼痛患者に対するストレス評価方法の開発と生活習慣病のリスク判定への応用	帝京平成大学健康医療スポーツ学部 助教 守 屋 正 道	100
51	皮膚表面形状の計測方式の差が手の動作認識の精度に及ぼす影響についての検証	東京電機大学理工学部 助教 趙 崇 貴	100
52	寒冷誘発性血管収縮の新規メカニズム解明 -塩素イオンチャネルTMEM16Aに着目して-	新潟医療福祉大学健康科学部 講師 藤 本 知 臣	100
53	緑内障治療に向けた微弱電流刺激による眼球の若返り	愛知医科大学医学部 講師 池 上 啓 介	100
54	柔道の初心者における頭部外傷を予防する安全な大外刈りの構築	びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部 教授 林 弘 典	100
55	腱の三次元培養技術と力学的収縮を組み合わせた抗運動器治療戦略	同志社大学スポーツ健康科学部 助教 土 屋 吉 史	100
56	光操作技術による適切な行動を生み出すtop-down入力の解明	立命館大学生命科学部 助教 塩 谷 和 基	100
57	加速器ホウ素中性子捕捉療法におけるデータ駆動型アプローチによる全身被曝線量の予測	大阪医科薬科大学関西BNCT共同医療センター 助教 柿 野 諒	100
58	末梢神経刺激が静的ストレッチの柔軟性向上効果に与える影響とその神経機序	九州産業大学健康・スポーツ科学センター 助教 齋 藤 輝	100
59	変貌する日本の食文化 -はじまりの米と魚の食文化から再考する-	山形大学学士課程食盤教育機構 准教授 白 石 哲 也	100
60	森林伐採と気候変動の飲み水のアクセスへの影響：高解像度衛星データとGPS付き人口健康調査による分析	筑波大学人文社会系 教授 内 藤 久 裕	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
61	感染症予防難易度の高い社会福祉施設における環境特徴量抽出と空気質管理方法に関する研究	電気通信大学i-パワードエネルギー・システム研究センター 教授 横 川 慎 二	100
62	小中学生のハイリスクなネット利用行動に及ぼす規定因の研究:個人レベルと学校レベルの分析	奈良女子大学研究院人文科学系 教授 中 山 満 子	100
63	学校数学における生徒が確率的に推論する授業の理論的・実証的研究	岡山大学学術研究院教育学域 講師 石 橋 一 昂	100
64	個別最適な学びと協働的な学びの一体化を目指したプログラミング教育における学習プロセス評価手法の開発	九州工業大学教養教育院 准教授 山 田 雅 之	100
65	幼児期の「サウンド・エデュケーション」を支援するアプリケーションの開発と検証	つくば国際短期大学保育科 常勤講師 仲 条 幸 一	100
66	自閉スペクトラム症児を支援する大学生に対するヒデユン・カリキュラムの効果	星美学園短期大学幼児保育学科 専任講師 渡 邊 孝 継	100
67	障害者福祉拠点における利用／支援実態と拠点間連携の研究-共生型地域包括ケアシステムの構築を目指して-	東京電機大学未来科学部 教授 山 田 あ す か	100
68	移民第二世代のオートエスノグラフィー	早稲田大学人間科学学術院 教授 樋 口 直 人	100
69	デジタル時代におけるヒト固有なコミュニケーション方策の変化予測	同志社大学研究開発推進機構 特別任用助教 阪 口 幸 駿	100
70	熟練の情報科教師に見られる「翻案」の特徴の解明	活水女子大学健康生活学部 講師 古 賀 竣 也	100

令和4年度

研究の概要

廃プラスチックのビッグデータ分析による識別モデルの構築と評価手法の確立

研究者 東北大学大学院国際文化研究科 准教授 大 窪 和 明

① 背景（内外における当該分野の動向）

海洋汚染に代表される廃プラスチック問題の解決のためには、多様なプラスチックのビッグデータ分析と最新の技術を活用した自動選別システムが不可欠である。プラスチック製容器包装にPE, PS, PP, PETといった異なる素材が含まれており、各素材に応じた再資源化を行うための選別が行われている。現在、多くのリサイクル工場では手作業による選別が行われており、選別の効率性やCOVID-19禍での安全性が課題となっている。昨年度、共同研究者らは、テラヘルツ波を照射したときに観測される廃プラスチックの性質（透過率）を用いた廃プラ選別装置を開発した。しかし、廃プラスチックの形状や状態は多用かつ、複雑であり、実際の観測データから各素材を、より高精度に識別するモデルの構築が課題であった。

一方、観測データから特定の素材を識別する技術は、廃プラスチックの識別に関する研究は世界的に見ても、実証データ分析が遅れており、まだ始まったばかりである。また、これらの研究における識別モデルの性能評価は、識別モデルが素材を正確に識別することができた割合（正答率など）による評価が主である。本研究では、リサイクル現場のビッグデータ分析の結果に基づき、正答率が異なると、廃プラスチックの再資源化量も結果的に異なることに着目し、各識別モデルの適用により、最適なりサイクル手法の選択によって期待できる再資源化の経済価値という新たな観点からの評価を検討する。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の目的は、市中で回収された廃プラスチックの素材の識別方法を確立することにある。具体的には、実際に市中で回収された容器包装系の廃プラスチックに対して、異なる周波数を持つ複数のテラヘルツ波を照射し、観測データを取得する。観測データに対して複数の識別モデルを適用し、それぞれの性能・特徴を比較し、廃プラスチックの識別に適した方法を明らかにする。また、識別モデルの性能を評価する指標の一つとして、各識別モデルによって識別され、最適技術で再資源化されたと仮定したときに期待される経済価値や環境負荷を考える。

③ 学術的な独自性と意義

テラヘルツ波は、光と電波の間の周波数領域にある電磁波のことであり、今後、様々な場面での応用が期待されている電磁波である。本研究課題では、現在、研究が進められているテラヘルツ波の応用分野を廃プラスチックの識別にまで広げる意義がある。また、実際に市中から回収された廃プラスチックに対して、複数の識別モデルを適用し、性能を比較する点において新規性を有する。再資源化による経済価値や環境負荷の観点から識別モデルの性能を評価する点においても独自性がある。

④ 期待される成果と発展性

先月「プラスチック新法」が施行されるなど、廃プラスチックの資源循環を促す取り組みは、さらに重要になってくる。それに伴い、最新の機械学習などを活用した廃プラスチックの自動選別技術の必要性も高まっていく中で、本研究で提供する識別モデルの予測性能に関する研究成果は有用な情報を提供できる。また、本研究で提案する最適資源か技術選択、経済価値からの識別モデルの評価は、リサイクル工場において付加価値の高い最適な識別技術を検討し、自動選別技術の導入を促すのを助けることが期待できる。

高開口率の細胞足場シートを用いたサステナブル食肉培養システムの開発

研究者 東京医科歯科大学学生体材料工学研究所 教授 梶 弘 和

①背景

現在の漁業や畜産業に依存した食肉供給システムでは将来的に需要に対して供給が追いつかなくなると懸念されている。特に、健康志向の高まりから魚類の消費が増加しており、漁業の生態系への影響と環境負荷が問題視されている。一方で、環境汚染により魚に水銀が含まれる場合があり、健康への影響が懸念されている。したがって、持続的に供給できる安全な魚肉の作製が社会的な課題である。持続可能な食糧供給システムとして細胞農業が注目されている。細胞農業とは、動物や植物から収穫される産物を、人工的に細胞を培養することにより生産する方法である。2040年には世界で約60兆円の市場になると考えられており、多くの企業が細胞農業の技術に注目している。また、細胞農業は世界的に高まる動物福祉への要求に対応することができる。2020年にはシンガポールで培養鶏肉の販売が世界で初めて承認されている。

②目的

上記のように細胞農業は世界的に開発が進んでおり、これまでは牛や魚の筋肉細胞の入手条件や培養液（培地）の組成が主に研究されてきた。現在は、培養肉の成形技術（細胞の積層化など）やマテリアルの比率に関する以下の課題がある。

1. 成形技術が未発達（たとえばペースト状の培養肉になっている）
2. 足場材料の存在比率が高い（細胞以外のマテリアルが多く存在している）
3. 本来の動物や植物などの食品と比較してコストが高い

これらを解決するために、組織工学分野の研究開発動向として、細胞を三次元的に培養・増殖させる「三次元培養法」が注目されている。本研究では、申請者らが開発した三次元培養法の「三次元メッシュ培養法」により実際の魚肉に似た層状の組織を効率的に作製し、上記課題の解決を目指す（図1）。これまでのメッシュシートは食用に利用できない材料で作製されていたが、本研究では、カニやエビなどの殻の主要成分であるキトサンに由来するキトサンを細胞足場材料とした食べられるメッシュシートを作製する。

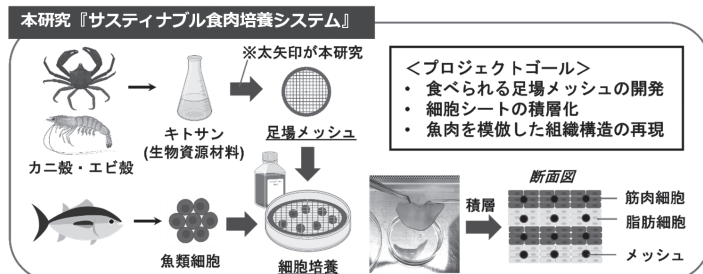


図1. 本研究の概要

③学術的な独自性と意義

申請者らが開発したメッシュ培養法は、底面から浮かしたメッシュシートの上で細胞を培養するこれまでに無いタイプの細胞培養法である。この培養法では、微細な目を持った網の上に細胞を接着させ、増殖した細胞がその目（開口部）を埋めることで細胞シートが形成される。この培養法のユニークな点は、メッシュの目の中の細胞は、生体内の細胞と同様に主に細胞間接着に頼って生存しており、細胞培養に通常使われるプラスチック基板などに張り付いた細胞とは状態が異なるという点である。この様な状態の細胞は、容易に立体化（三次元化）することができる。したがって、メッシュ培養により、簡単に厚みを持った細胞シートを作製することができる。メッシュシートの線幅は5-20ミクロン程度であり、メッシュの開口部の一片の長さは直径100-200ミクロン程である（開口部の形は自由に決められる）。したがって、作製した細胞シートに対して足場材料の混入が極めて少ない。メッシュで補強された組織であるため、細胞シートとして取り扱いが容易であり、積層化もできる。さらに、メッシュ開口部の形をひし形や長方形にすることにより細胞の向きを揃える（配向させる）ことができ、細胞の配向性の制御は筋肉繊維を作製する上で極めて重要である。

④期待される成果と発展性

本研究で「キトサンメッシュシートを用いた培養魚肉作製デバイス（と作製方法）」が成果物として得られる。それを食品メーカーに使用してもらい、その培養魚肉を広く提供できるようにする。魚類細胞も牛、鶏の細胞も基本的には培養技術は同じであるため、本技術は培養魚肉だけでなく、培養牛肉、培養鶏肉の作製にも利用できる。株式会社グローバルインフォメーションの市場調査レポートによると培養肉の市場規模は、2021年には164万米ドル、2030年には2億7,810万米ドルに達すると算出されている。また本研究で使用するキトサンは、バイオマスマテリアルであり、キトサンやキチンは、地球上での生物生産量がセルロースに匹敵するほど多量に存在するが、セルロースほど有効利用されていない。持続可能社会の実現のためには再生可能資源への原材料転換が急務であり、バイオマスから製造される材料は脱石油に向けて注目されており、キトサンの利活用は意義がある。

磁性扁長粒子の形状異方性を利用したナノ複相膜の磁気光学効果の高感度化

研究者 東北大学大学院工学研究科 講師 青 木 英 恵

① 背景(内外における当該分野の動向)

磁気光学効果は、近年の高度情報化社会を支える光エレクトロニクスの分野で光の変換・制御を司る中心であるが、代表的な磁気光学材料はフェライトガーネット(YIG)が不動である。一方で、高品質な結晶性が求められるYIGにはナノサイズの微細化が望めず、光エレクトロニクスと高度集積化を基盤とするナノエレクトロニクスの融合においては、材料学的な発想の転換が求められる。申請者らは、透明セラミクス中に磁性金属ナノ粒子を分散させた「ナノ複相膜」において、YIG結晶の40倍のファラデー回転角(θ_F)が得られることを見出した^(N. Kobayashi, et al., Sci. Rep. 8, 4978, 2017)。これはYIG結晶の原子に束縛されるスピン依存電子より、ナノ複相膜の強磁性ナノ粒子間のスピン依存トンネル伝導電子の方が、外部磁界への感受率が大きく、誘電率の非対角成分に大きく寄与するためと考えられる。

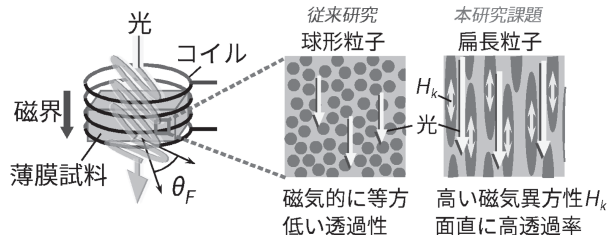


図1 薄膜の磁気光学効果(左)と球形(従来研究、中央)および扁長粒子(本研究課題、右)からなるナノ複相膜

② 目的(課題設定とねらい)

本研究提案では、ナノ複相膜中の金属ナノ粒子を「球」から「扁長」形状へ変化(図1右)させ配列させることで、形状異方性を利用し磁気光学効果の高感度化を実現することを目的とする。

ナノスケールの極限的な磁気-光変換機能の基盤技術を確立することは、情報化社会において通信の高速化・低電力化やデバイスの小型化を可能にする。既存のYIG系光学結晶は、 q_F が小さく、十分な θ_F を得るために強力(巨大)な磁石が必要である点が、素子の小型化・薄型化に向けた課題であった。本研究提案の狙いである磁気光学効果の高感度化を達成できれば、わずかな磁界で大きな θ_F が期待でき、磁石の体積を減少または磁石自体を省けるため、光学素子の小型化・薄型化に貢献できる。

③ 学術的な独自性と意義

本研究提案では、透明セラミクス中の金属ナノ粒子を「球」から「扁長」形状へ変化させ配列させる申請者の独創的な発想ならびに申請者が習熟する薄膜作製技術により独自に実現される。本研究課題の成果としてもたらされるナノ粒子の形状と配列を制御可能な技術基盤は、様々な方向や波長に対応できるのみならず、ナノスケールに適用可能な新しい磁気-光機能性を切り拓く意義がある。

④ 期待される成果と発展性

申請者は、2021年度に、論文2件(オープンアクセス)、著書1件、国内・国際会議で合わせて4件発表し、国際会議で受賞するなど、本研究課題を十分遂行し、学術成果を国内外へ広く発信することが可能である。ナノ粒子の形状異方性に着目した本申請課題は、ナノ構造に起因する新しい磁気光学領域のほか、磁気-誘電、磁気-圧電、磁気-熱電、磁気-生体応用など、多方面の技術領域に広がりをもたらす学際的な成果となると確信している。

磁性ワイル半金属のトポロジーに由来する駆動力を用いた 磁気秩序の高効率制御法の確立とプロトタイプ実証

研究者 東北大学材料科学高等研究所 特任助教 竹内 祐太郎

近年、物質の特性をトポロジー(位相幾何学的性質)によって特徴付け、材料やデバイスの機能創発を図る研究が多くの領域で活発になっている。スピントロニクスはその代表例である。**ワイル半金属**(図1a)はトポジカル物質の一種であり、強磁性体(図1b)やカイラル反強磁性体(図1c)と呼ばれる磁性材料の中には、このワイル半金属に該当する物質が存在する。これらの物質ではバンドが交差した点(ワイル点)の近傍で数千テスラもの仮想磁場が生じ、これにより例えばカイラル反強磁性体では磁化がゼロであるにも関わらず巨大な異常ホール効果が現れる。このようなワイル半金属の特異な物性は新規デバイス等への応用も期待される。

こうした中で申請者は世界で初めて反強磁性ワイル半金属 Mn_3Sn のエピタキシャル薄膜の作製に成功し、スピン軌道トルクと呼ばれる電流誘起駆動力によって、そのスピン構造の回転すなわちワイル点対の回転現象を発見した。申請者らの研究をはじめ、ワイル半金属におけるトポロジーの電氣的制御の研究は近年増加しているが、その一方でワイル半金属のトポロジー由来の駆動力による磁性材料の電氣的制御に関する研究は極めて少ない。本研究では強磁性・反強磁性ワイル半金属を用い、**トポロジー由来の駆動力**の利用方法の確立に挑戦する。新規量子効果がもたらす巨大な駆動力による**スピン構造の高効率制御法**を構築して、**ナノスケールの磁気トンネル接合や細線素子でのプロトタイプ実証**を行い、**超低消費電力デバイスへの道を切り拓くことが本研究の目的である。**

ワイル半金属を用いたトポロジー由来の駆動力についていくつかの理論的予言があり、実験でも低温にて強磁性ワイル半金属 SrRuO_3 で従来の理解では説明できない駆動力が観測されている。申請者らは世界で初めてかつ現時点で唯一の反強磁性ワイル半金属 Mn_3Sn エピタキシャル薄膜作製技術を有しており、また共同研究者のHanは Co_2MnGa など**強磁性ワイル半金属薄膜の研究を世界に先駆けて**行っている。これらの材料は室温動作が可能であり、デバイス応用に発展する条件を満たしている。また、申請者らの所属する研究グループは磁気トンネル接合などにおいて、**世界屈指の微細加工技術**を有しており、申請者らにしか遂行できない独自性の高い研究といえる。すなわち本研究は、これまで理論研究と低温実験の対象に留まっていたトポロジー由来の駆動力が、室温動作ナノデバイスへと発展する契機となるものである。また、磁化がゼロで共鳴周波数の高い反強磁性体は、現行の強磁性体を主として用いるスピントロニクス研究では到達できない高速性、高集積性、外乱耐性を備えた集積システムへの道をも切り拓く。これによって、不揮発性メモリ素子をはじめ超低消費電力な人工ニューロン素子等の実現に向けた新規材料・デバイス技術の研究に新展開をもたらすものと期待される。

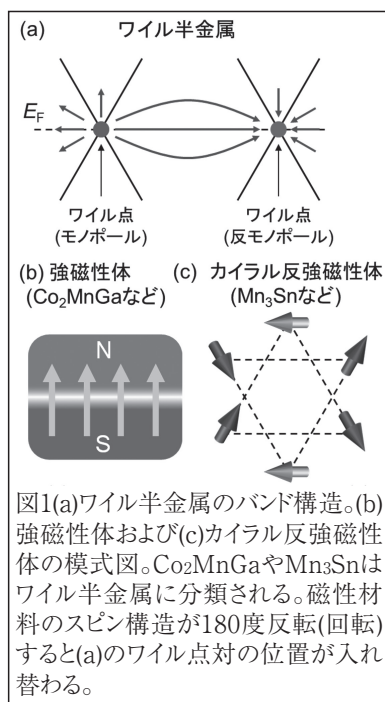


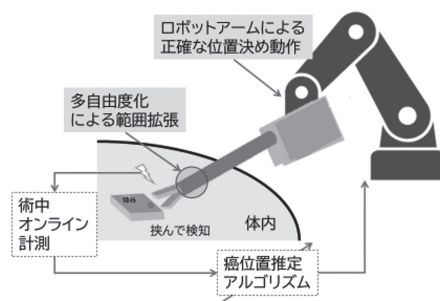
図1(a)ワイル半金属のバンド構造。(b)強磁性体および(c)カイラル反強磁性体の模式図。 Co_2MnGa や Mn_3Sn はワイル半金属に分類される。磁性材料のスピン構造が180度反転(回転)すると(a)のワイル点対の位置が入れ替わる。

食道癌リンパ節転移を見落とさず検知するPETを応用した術中計測支援機器の開発

研究者 千葉大学フロンティア医工学センター 助教 川 村 和 也

①研究背景 内視鏡手術やロボット支援手術の進歩にともなう、外科の「取る」技術が進歩を続ける今、「術中にがんを見る」技術が求められている。特に、術中における食道癌のリンパ節転移の見極めは、術前の画像診断を用いても、術前・術中での患者の体位差や呼吸運動の影響などから非常に難しい。術中にリンパ節転移を目視することはほぼ不可能であるため、現状の外科治療では、転移する可能性のあるリンパ節をすべて切除する治療を標準とし、根治性を高めてきた。しかし、高侵襲な治療となるにも関わらず、切除後の病理検査で転移が認められたものは極めて僅かであると報告されている（S.Yoshimura Clinical Nuclear Medicine 2020, Y Kakeji, Journal of Thoracic Disease 2017）。術後の死亡率の高さも指摘されている（H.Takeuchi, Ann Surg Oncol 2017）ことから、術中において適切な切除範囲の決定が課題となっている。

②研究目的 先行研究として、陽電子放出断層撮像（PET）を小型化し、術中利用する鉗子型ミニPETの開発を行い、PET機能を応用した癌検知の可能性を確認した。しかし、鉗子構造を模したことで、検知精度が対象部位の大きさや使用者の技量に大きく依存することが確認され、術中に安定かつ正確に計測することが課題となっている。そこで、鉗子型ミニPETを基本構造とし、体内自由度の拡張と計測動作を支援するロボット技術の組み込み、および強化学習を利用した検知支援機能の構築により、適切な食道癌の切除範囲をヒトの技量に依存せず術中に決定する手法の実現を目指す。本申請では、実験的検討段階として、提案システムに必要な機構面と制御面における仕様選定と試作開発を主たる目的とする。



③学術的独自性と意義 「術中に得られる限られた情報」で「切除範囲の判断」をすることが課題となる。PETの特性として、計測時に患部と検知部の接触状態を維持する必要があるため、対象癌に高い負荷をかけないこと、サイズに対する順応性を確保することが重要となる。この2点をもとに正確な癌検知に求められる仕様を明確化することは、術前のみの利用に止まっていたPET機能を術中利用に押し広げ、癌切除の精度向上につながる点で学術的な独自性を有する。さらに、癌治療の正確性の向上に加えて、遠隔計測を可能とすることから、医療従事者の被爆量を抑制可能となる。被爆という課題点を克服しつつ、PET機能を最大限活用した術中オンライン癌位置特定という点で大きな意義があると考えられる。

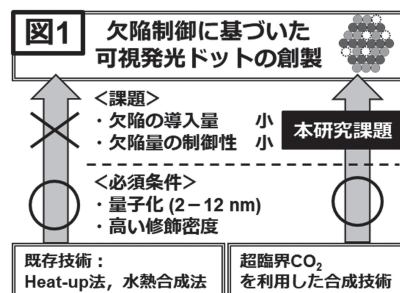
④期待される成果と発展性 本技術は、小型なシステムとして実現することで臨床現場への導入しやすさを担保するとともに、PET機能を医療従事者の被曝を抑えた形で治療に応用することが期待できる。近年のロボット技術を利用した手術機器の実用化が進む中、それらへの応用も可能となることから、大きな発展性を持つ。そして、核医学とモノづくり技術を組み合わせた最先端治療支援技術として、将来的な社会還元実装を目指す。

超臨界CO₂が創出する量子空間欠陥に基づいた可視発光ドットの開発

研究者 東京工業大学物質理工学院 助教 織 田 耕 彦

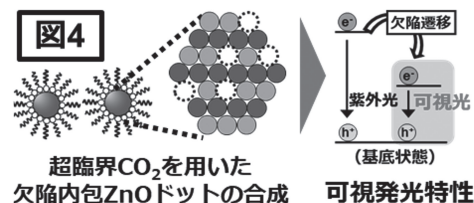
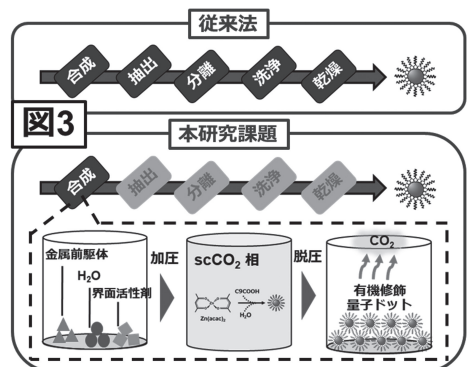
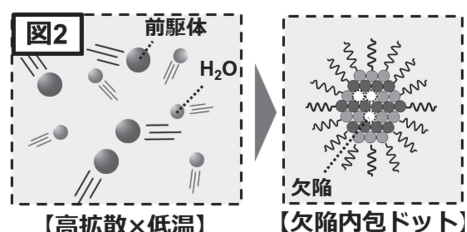
① 背景 (内外における当該分野の動向)

ZnOは紫外発光特性を有するワイドギャップ半導体であるが、量子化することで欠陥構造に起因した可視発光特性が発現するため、GaやInといった希少元素に代わる次世代の発光材料として期待を集めている。一方で、量子化されたZnOドットは高い表面エネルギーに起因して容易に凝集し、「発光強度とハンドリング性の著しい低下」が頻発することが問題として知られている。有力な解決策として、量子ドット表面に界面活性剤が結合した「有機修飾量子ドット」が提案されている (*Angew. Chemie. Int. Ed.*, 44 (2005) 6712)。量子ドットの表面に有機分子が化学的に結合することで、粒子の粗大化による発光強度の低下を回避できるだけでなく、有機溶媒への完全分散性を付与できるため、製膜や配列制御といったデバイス実装面でのハンドリング性を著しく向上させることが可能である。しかしながら、有機修飾量子ドットを合成する現在主流のHeat-up法 (*ACS Nano*, 13 (2019) 7716) や水熱法 (*Cryst. Growth Des.* 14 (2014) 5388) は、図1に示すように、「量子化」を達成できる一方で、300℃以上の高温域の利用が不可欠であるため、粒子の結晶化がいち早く進行し、欠陥構造の導入や制御が困難な点が問題である。



② 目的 (課題設定とねらい)

前述の問題に対して、本研究課題は「超臨界CO₂による有機修飾量子ドット合成技術」を用いる。超臨界流体は分子の運動が激しい高拡散場であり、高い過飽和度を得られるため、合成粒子の「量子化」を達成できる。また、高拡散性を有する超臨界流体場では、核生成・結晶成長プロセスにおける非平衡性も大きい。欠陥構造の導入にも有利である。しかしながら、これまで量子ドットの合成に利用されてきた超臨界流体は、水 (*Adv. Mater.*, 19 (2007) 203) やアルコール (*J. Supercrit. Fluids*, 52 (2010) 76) といった200℃以上の臨界点を有する物質群であり、粒子の結晶化も迅速に進行するため、欠陥構造の導入や制御には困難な側面も有していた。一方で、超臨界CO₂は31℃という低温の臨界点を有するため、図2に示すように「高拡散×低温」という、「欠陥導入」と「欠陥量の制御」の双方において理想的な条件を達成できる媒体である。更に超臨界CO₂は、図3に示すように、脱圧するのみでCO₂が分離される「無溶媒プロセス」であるため、従来技術と比べ、「有機溶媒の使用回避」や「後処理工程の大幅な簡素化」といった優位性もある。従って、超臨界CO₂を用いた量子ドット合成技術は、「欠陥導入」と「欠陥量の制御」の双方を満たしつつも、合成過程で有機溶媒を排出しない革新的なドライ合成法へと昇華していく潜在性がある。以上より本研究課題は、図4に示すように、超臨界CO₂を用いた欠陥内包ZnOドットの合成と欠陥制御に基づいた可視発光特性の創出を目的とする。



③ 学術的な独創性と意義 ④ 期待される成果と発展性

本研究課題は、「ガス溶媒である超臨界CO₂」を反応場とする点に独創性があり、液体溶媒を反応場とした「既存の量子ドット合成の学術」に変革を齎す可能性がある点に学術的な意義がある。また、超臨界CO₂は「高拡散×低温」という点で、既存のZnOドット合成技術の課題を克服し、「欠陥内包ZnOドットを用いた発光デバイスの実用化」ひいては、希少元素に依存しないLEDデバイスの創出に繋がることが期待される。更には、CO₂と水のみを利用して、「無溶媒合成」と「後処理操作の大幅な簡素化」を実現する点は、環境調和型の量子ドット合成技術として新たな技術領域を切り開き、カーボンニュートラルの実現に大きく貢献し得る点に発展性がある。

マルチロボティック測位システムの開発： リアルタイム測位の普遍化・高精度化が変える未来の情報化社会

研究者 京都大学大学院情報学研究科 准教授 櫻 間 一 徳

① 背景

移動体の位置を即時に測定する「リアルタイム測位技術」は、現代社会において様々なサービスを受けるために欠かせない。特に、GPSによる屋外測位は、カーナビゲーションやスマートフォンによる誘導など日常的に利用されている。今後は準天頂衛星システムみちびきによって測位精度が飛躍的に向上することで、自動車の自動運転、農作物の自動収穫、ドローンでの自動運送など、あらゆるシステムの無人化・自動化を実現することができる。

一方、建物内部やその周辺のようなGPS電波が届かない非GPS環境における屋内測位も重要である。一般に、屋内測位には、ユーザーが外部測位装置（カメラや電波受信機など）を設置する手間がかかり、また、装置を設置した場所でしか利用することができない欠点がある。外部測位装置に頼らないSLAM（自己位置推定と環境地図作成）のような自己測位技術もあるが、精度が低い、遅延が大きい、重量のあるセンサを測位対象に取り付ける必要があるという欠点がある。これらはペイロードの小さい小型ドローンなどの測位には致命的である。いまだに、屋内測位の技術には多くの欠点があり、さらなる技術革新を必要としている。

② 目的

本研究の目的は、非GPS環境、外部測位装置を事前に設置しない、自己測位では低精度になる、という既存システムでは高精度なリアルタイム測位ができない状況に対応する「マルチロボティック測位システム」を開発し、リアルタイム測位の普遍化・高精度化を図ることである。本システムは多点に配置された測位装置を能動的に動作させる新しい構成のシステムである（次ページ図1参照）。対象物と測位装置を協調的に移動させることで測位情報の高精度化を実現することが可能となる。ハードウェアを試作、本システム特有の制御・計測の技術的課題を克服した協調測位法を考案し、その社会的ニーズを検討することが本研究における課題となる。

③ 学術的な独創性と意義

複数のセンサ情報の統合には、従来、線形システムを対象としたカルマンフィルターが用いられてきた。しかし、本システムでは、ロボットの位置姿勢（特殊ユークリッド群）とマニピュレーターの関節角度（円周群）のように状態変数は数学的な群構造を持つため、線形空間上で表すことはできない。このようなシステムにおけるセンサ情報が相対的になる（ロボットの位置姿勢によって測定値が変化する）ため、一意に測位することはできない。つまり、協調測位には解像限界が存在するが、カルマンフィルターはこの根本原理を扱うことはできない。

本研究では、このような数学的な群構造をもつシステムの測位理論を構築し、それに基づくことで、カルマンフィルターではなし得ない高精度な協調測位法を考案する。これは、申請者がこれまで開発した群論に基づく協調制御理論（後述の文献で発表済み）を援用した独創性の高いアプローチである。また、本手法は、様々な測位装置を群論によって統一的に扱う汎用性の高いものであり、その学術的な波及効果は高い。

④ 期待される成果と発展性

本システムによるリアルタイム屋内測位の実現は、みちびきによる屋外測位とともに、未来の情報化社会を革新する。例えば、小型ドローンによる建物や橋脚の点検、視覚障害者の屋内外のシームレスな誘導など社会的課題が解決される。さらに、個人の動作履歴などのこれまではないビッグデータを取得することができる。このように社会・産業への波及効果は大きいため、多方面において議論を続けることで、社会を変革する技術に発展させることを目指す。

背景：5フェムト秒パルス光を用いる遷移状態分光～化学反応に伴う分子構造変化の直接観測～

人の目でみることが困難な高速現象は、高速ストロボ光を用いて連続写真を撮影することで可視化できる。分子振動周期より閃光時間が短い、5フェムト秒パルス光をストロボ光として用いると、分子振動を振動の実時間で計測でき、**反応に伴う結合解離・生成過程を可視化**できる(遷移状態分光法)。しかし、研究成果は特定の分子内光反応に限定されていた。この状況下、申請者は、光を利用して瞬時に電子基底状態の擬似熱反応を誘起する“コヒーレント分子振動励起反応”を開発し、**熱反応を、金属イオンを用いて反応基質を会合させ、分子衝突によるコヒーレンスの消失を回避し、分子間反応を、可視化した。**

**目的：紫外励起-可視検出-遷移状態分光法の開発～種々の反応への応用を目指して～**

さらに、反応系中に微量に存在する会合体のみを選択的かつコヒーレントに励起可能なスペクトルに整形し、整形-5フェムト秒パルス光(5-fs光)を用いて分子間光反応を可視化した。しかし、これまでの研究において構築してきた遷移状態分光装置では、励起光の整形と同時に検出光も整形されるため、検出可能な波長域が限定されるという欠点がある。本研究では、励起光と検出光の波長が異なる「紫外励起-可視検出遷移状態分光装置」を新たに構築し、より広範囲な化学反応への応用を可能にする。

学術的な独創性と意義：化学反応遷移状態を直接観測したいと思いませんか？

化学反応を理解する上で、遷移状態を含む反応遷移過程の可視化は化学者の夢である。化学反応機構の解明は、新たな反応開発に多大な寄与をするのみならず、化学研究における普遍的課題である。反応機構の考察から、収率の向上、手法の改良、さらには合理的な新反応開発などが可能になれば、社会的には大きな経済効果となる。しかし、現状では反応遷移状態を直接観測する手法はほとんど存在せず、反応中間体の単離や中間安定状態のスペクトル計測、理論計算などから反応遷移状態が推定されている。本研究には、**遷移状態を含む反応遷移過程を直接観測し、反応機構を確定できるという特色**がある。

近年、パルス幅が20 fsのレーザー光発生装置が商品化された。有機化合物の分子振動は、例えば、C-C伸縮振動が 1300 cm^{-1} 、C=C伸縮振動が 1600 cm^{-1} 、C-H伸縮振動が 3000 cm^{-1} に現れ、これらは26 fs、21 fs、11 fs周期の振動である。その為20-fs光では 1300 cm^{-1} 以下の分子振動変化しか実時間で計測できない。ところが、パルス幅を20 fsから5 fsに圧縮する技術を有する研究室はほとんどなく、5-fs光発生装置は国内外を含めて数台しか構築されていない。また、5-fs光は温・湿度に敏感であり、非常に不安定なため、安定に発生させることはさらに難しく、分光実験に使用可能な世界最高レベルの安定性で、可視5-fs光・紫外5-fs光を各々発生させていることが、申請者の強みである。近年、物理領域では、超高速物理過程や生体反応に対する分子振動変化の実時間計測が試みられている。しかし、化学反応機構解析に5-fs光を用いている例はほとんどなく、主に、ナノ秒から数十フェムト秒パルス光を用いる電子状態変化の実時間計測から、化学反応経路が追跡されている。物理学の最先端技術である遷移状態分光法を化学に導入し、熱反応、及び、分子間反応の可視化を実現できたのは、申請者自身が有機合成化学を専攻したという優位性を持つ由である。

期待される成果と発展性：医薬品合成反応や錯体触媒反応などの機構解析ツールとしての応用

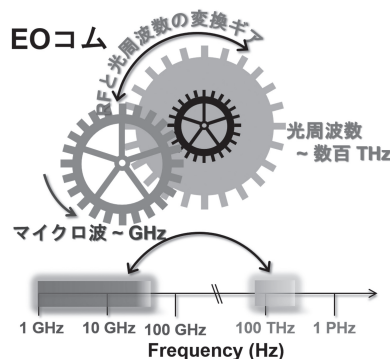
この5-fs光を用いる遷移状態分光法は、数年、もしくは、十数年後、レーザー光の専門家以外でも5-fs光を日常的に扱えるようになった暁には、**化学反応機構解析ツール“遷移状態分光法”として、幅広く定着すると期待**できる。その結果、様々な反応が実験による直接観測により得られる遷移状態構造・詳細な分子情報を基に設計される時代を迎えるであろう。そのような時代に先駆けて、**測定装置の波長領域の制限を緩和**できれば、今後、均一系・不均一系、光・熱、及び、分子内・分子間反応を問わず、種々の医薬品合成反応や錯体触媒反応など、様々な反応機構解析に応用できると考えられ、産学を問わず、新反応開発に多大な貢献をすると期待される。

①背景(内外における当該分野の動向)

高精度な時刻周波数同期は金融・証券分野における高頻度取引、エネルギー分野におけるスマートグリッドの蓄給電タイミング合わせ、IoT、及び、高度交通システムの自動運転補助等への活用が期待されている[信学誌 vol.100, p.112 (2017)]. 国際機関ITU-Tはその時刻配信マスタークロックを現在のCs原子時計から光格子時計に変更することを検討している. 光格子時計に変更した場合, 正確な時刻の校正作業が300年間も不要となり、通信機器の消費電力を大幅に削減できる. 更に、上下回線の干渉防止用帯域を新たにデータ通信利用できる為、無線通信の大容量化も同時に実現できる. LNE-SYRTE(仏)グループはモード同期(ML)レーザーを用いて超低雑音なマイクロ波(12 GHz)の発生に成功した[Nat. photon.11, 44(2017)]. 一方、高繰返し周波数かつ超小型なマイクロコムによる光電変換は共振器のQ値がMLレーザーより低い為、低ノイズのマイクロ波発生は困難である. 時刻同期応用には3周波数以上の極低ノイズな電磁波発生が必要となる.

②目的(課題設定とねらい)

本目的は電気光学変調(EO)器ベースの光コムの、連続的に繰り返し周波数を可変できる特徴(右図)に着目し、光とGHz周波数を自在に結合することや連続可変かつ低ノイズなマイクロ波を発生することを目指す. そのため、世界でNIST(米国)と研究代表者しか実現できていないEO変調器コムの絶対位相制御技術を発展深化させ、変調器駆動用の信号発生器の発振周波数帯域の拡大や波形整形器を駆使して、GHz~THzのマイクロ波周波数領域(ミリ波~サブミリ波)までの帯域にわたる低ノイズ電磁波発生を実証する. 本研究の狙いは、光格子時計をマスタークロックとした時刻周波数配信の際、各局舎の通信機器の動作RF周波数へ高品質な“時”をつなぐ為に、その機能を担うEOコムを用いた“真の光電変換”を実現することである.



③学術的な独自性と意義

学術的独自性は、従来EOコムの欠点と考えられてきた雑音特性について180° 発想を転換させ、高感度な雑音検出器として用いるという着眼点にある。このようなアプローチによる研究はこれまで例が無く、世界に先駆けて我々が独自に実証した[Sci. Rep. 6, 24621 (2016)]. このGHz~THzのマイクロ波周波数領域は光通信・宇宙・センシング・量子応用等のいずれの研究分野においても重要となる周波数領域である. 一方で、光周波数の活用を可能とするレーザー工学も数多くの学術研究の基盤技術となっている. 光とマイクロ波は同じ電磁波であるが用途も性質も全く異なる. 光周波数領域とGHz~THz領域の電磁波領域を自由に行き来するギアが手に入れば、人類は各電磁波の特性を最大限に活用する新しい次元の応用分野を創出できる電磁波制御技術のプラットフォームを手に入れる事ができる。

④期待される成果と発展性

本提案が実現すれば、EO変調器を利用するデバイス型光コムが従来の光コムでは利用が難しかった広大な周波数帯域を使い尽くすことができる。また、集積性に優れ省エネでもあることから新たな電磁波利用も期待できる. 本研究は光コムの進化と周波数を使い尽くす究極の電磁波利用のプラットフォームを創出する. 更に、将来の無線通信のBeyond5Gでは、300 GHzのテラヘルツ波を用いることを計画しているが、エレクトロニクスで発生可能な周波数上限に達している. そのため、本提案のEOコムを用いた低ノイズなテラヘルツ発生技術がBeyond5Gで有用な要素技術になり得る。

ウェブゲームと計算論的モデリングを通して、 人の汎化及び弁別能力を測定し、統合失調症との関係を評価する

研究者 東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構 講師

Cai Mingbo

背景

Schizophrenia (統合失調症) is a mental disorder that creates a huge burden to the society. Although with intensive research, its cause remains unclear. The major medicines to treat schizophrenia target a neural transmitter receptor for dopamine named D2 (ドーパミンD2受容体). Recently, my collaborator found that this receptor is critical for animals to learn to discriminate the difference between similar situations in their predictability of future outcome (Iino, et al., Nature 2020). In other words, there is deficit in D2 receptors, animals over-generalize (過度の汎化) what they have learned. Arguably, over-generalizing in a similar but different situation from past experiences can lead to wrong prediction, and cause people to misattribute the surprising outcome to the wrong cause. It is possible that frequent confusion caused by over-generalization and misattributing causes may eventually lead people to have a disorganized view of the world, developing into delusion (妄想). However, this hypothesis has not been tested. Importantly, in order to eventually transform biological findings into the understanding of schizophrenia, behavioral experiments on human participants have to be conducted to confirm that people who have tendency to develop schizophrenia indeed over-generalize or under-discriminate different situations. Towards this goal, we have designed a **web-based game** to measure the degree by which people can generalize and discriminate when they need to learn to obtain better outcome.

目的

The purpose of this study is to apply computational modeling (計算モデリング) to investigate how the ability to generalize and discriminate (汎化と弁別) during learning differs in people who have tendency to develop schizophrenia (統合失調症) with a web-based game (ウェブゲーム). We will develop computational models to quantify people's behavior in a cognitive experiment and analyze a big database (from 1007 volunteers) we have collected across a wide range of age (distribution of participants' age shown below.). In addition, we will test the game on a cohort of adolescent identify the potential correlation between over-generalization / under-discrimination and minor symptoms arising earlier that may eventually develop into schizophrenia.

学術的な独自性と意義

To the best of my knowledge, the experiment we have designed is the first to specifically evaluate people's generalization and discrimination simultaneously and aim to elucidate the cognitive mechanism of schizophrenia. It would be an important **application of ICT to psychiatry.**

期待される成果と発展性

If successful, we will confirm a relationship between over-generalization and risk for schizophrenia. In the future, the game we designed can be adapted into a **mobile app (モバイルアプリ)** to detect early signs predictive of development into schizophrenia and may become a training app (トレーニングアプリ) to teach schizophrenia patients to generalize more properly.

機能性磁性ナノ粒子を用いた磁場誘導型がん温熱療法の開発

研究者 名古屋大学大学院工学研究科 教授 井 藤 彰

我が国における癌の死亡者数と罹患者数は高齢化を主要因として増加し続けており、根治を目指した強力かつQOLの高い（侵襲性の低い）治療法が望まれる。高周波磁場は生体における透過率が高く、かつ影響を及ぼさない一方で、磁性ナノ粒子は交流磁場中でヒステリシス損失、超常磁性緩和（ネール緩和）および粒子の回転運動の摩擦によるブラウン緩和によって発熱する（図1）ことから、薬物送達システム（DDS）で腫瘍内へ送達された磁性ナノ粒子を体外から高周波の交流磁場を照射して発熱させることで腫瘍特異的であり低侵襲な（通院治療可能なQOLの高い）新しい癌治療が可能となる。

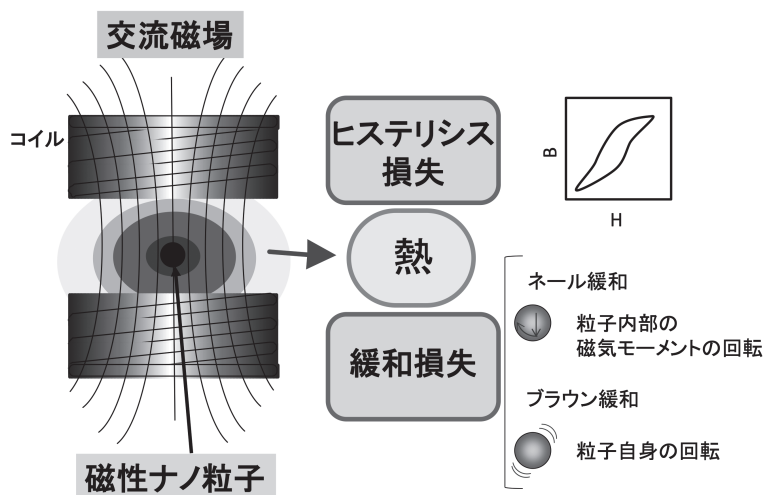


図1 磁性ナノ粒子の発熱メカニズム。交流磁場は人体には熱くも痛くもないが、腫瘍内の磁性ナノ粒子だけが三つのメカニズムによって発熱して、癌細胞を殺す。

申請者は、これまでに機能性磁性ナノ粒子および交流磁場照射装置を開発し、動物実験において高い完全退縮率を達成した。抗癌剤ではない無機材料である磁性ナノ粒子が交番磁場中で発熱する性質を利用して、癌を熱で殺す工学的な新しい癌治療法を開発した。さらに、興味深いことに、磁性ナノ粒子を用いたナノメディシンで抗腫瘍免疫が誘導されることを世界で初めて見だし、メラノーマに対する臨床研究を行った。

磁性ナノ粒子の発熱によるナノメディシンは、低侵襲・低毒性かつ癌を根治に至らしめることができる強力な治療手段であるものの、その適用は磁性ナノ粒子を直接投与出来る体表近くの癌に限られている。本研究では、高分子化学に根ざした戦略により、生体親和性が高くステルス効果が知られる2-methacryloyloxyethylphosphorylcholine (MPC) ポリマーで被覆した磁性ナノ粒子を完成させる。これにより、全身投与による癌のナノメディシンを成功させ、体内の癌に広く適用できるよう限定解除を実施する。また、ステルス化磁性ナノ粒子の体内分布、癌への集積挙動をMRIで追跡し、治療前診断と治療を同時に可能とする医療技術を確認する（図2）。

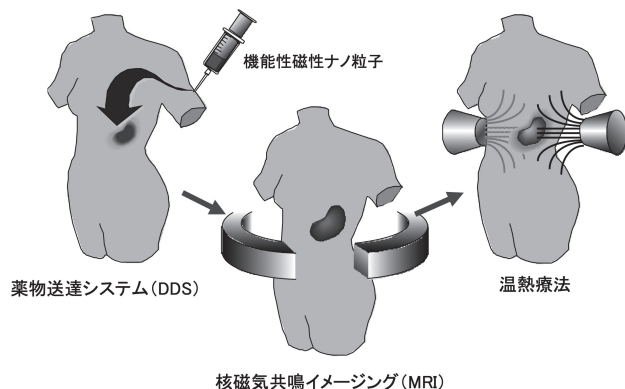


図2 磁性ナノ粒子を用いた癌の診断と治療の統合（セラノスティクス）。左）DDSを駆使して腫瘍特異的に磁性ナノ粒子を送達する。中）MRIで磁性ナノ粒子を検出して腫瘍を診断する。右）体外から交流磁場を照射し、腫瘍特異的に加温して治療する。

研究者 東京電機大学工学部 教授 茂 木 克 雄

① **背景：** 微量の放射性核種を用いた非破壊的な画像診断技術は、がんの診断だけでなく社会的関心の高い疾患（アルツハイマー病や、パーキンソン病、糖尿病など）の確定診断や、創薬分野のリード化合物の評価検証に有効性が示されており、世界的にその重要性が増してきている。一方で、普及を妨げている致命的な二つの課題がある。

課題の一つは、放射性薬品の調製にかかる膨大な運用コストである。放射性薬品を調製する際に使用する容器や機器は、放射性物質で汚染された箇所を洗浄・廃棄しなければならない。市販されている半自動調製装置でも同様の洗浄・廃棄作業が必要のため、運用コストは増加する一方である。

課題のもう一つは、人材の不足である。日常診療や新薬開発に用いられる放射性薬品の多くは、物理的半減期が短いため病院や創薬機関の中で現場調製される。その中でも、テクネチウムの放射性同位体（ ^{99m}Tc ）を標識した検査薬については、放射性核種の製造から検査薬の標識調製に至るまでを、放射線技師が行わなければならない。しかし、多くの病院が放射性薬品の調製に携わる資格保有人材を確保できていない。海外に目を向けてみると、米国、ヨーロッパ諸国や、韓国では ^{99m}Tc だけでなく既に ^{68}Ga についても院内で製造できるジェネレータが普及しており、 ^{90}Y や ^{225}Ac のジェネレータの開発も進められている。これに伴い、人材不足も世界規模で生じている。

② **本テーマの目的：** 核医学と創薬の発展の妨げになっていた運用コストと人材不足の致命的な課題を、ロボティクスと微小液滴の操作技術によって解決し、健康長寿社会の新しい枠組みを拓く。

③ **学術的な独自性と意義：** 本テーマでは、微量試薬を精緻に操作するためにEWOD(ElectroWetting on Dielectric)を用いる。EWODとは、図1のような絶縁膜に接した電極の印加電圧で、膜表面を親水化させる作用のことである。申請者の有するEWODに関する独自の知財技術は、絶縁膜上で液滴状試薬の操作を可能にするもので、微量の試薬調製を安全かつ正確に行うことができる。これにより、

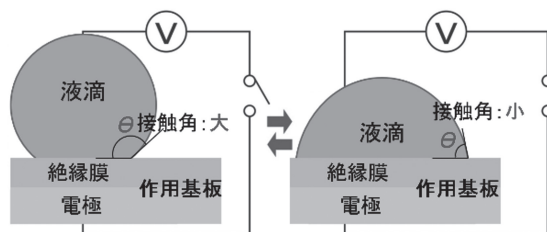


図1. 試薬操作に用いるEWODの作用

より、これまで難しかった高濃度の放射性薬品のハンドリングや、半減期の短い放射性核種を用いたマイクロドーズ試験、小動物によるリード化合物の薬効試験が容易に行えるようになるため、この技術は、医療・創薬にとって革新的な分野開拓技術となる。また、EWODによる絶縁膜の濡れ性制御は、膜上の液滴形状を非加熱・非接触で変えることができるため、液滴形状と凝縮過程の関係を表すケルビン方程式の実証実験に適用できる。そのため、本テーマは沸騰凝縮の基礎研究においても重要な意義を内包している。

④ **期待される成果と発展性：** 本テーマで開発する技術は、多くの有能な放射線技師を単純作業から解放する画期的なものであり、有能な人材が高度な医療や創薬の学術研究に専念できる新しい社会の仕組みを拓くことができる。さらに、開発するシステムは放射性薬品だけでなく、抗癌剤や、毒劇試薬、病原性ウイルスなどの危険物質への適用も可能である。また、開発する機械、電気、通信の各要素技術は、様々な領域での応用が可能であり、医療産業、創薬産業、IT産業、製造業などへの波及効果は計り知れない。

機動的レーダリモートセンシングの実現に向けた小型無人機搭載合成開口レーダの開発

研究者 室蘭工業大学大学院工学研究科 助教 泉 佑 太

【背景】

合成開口レーダ（SAR: Synthetic Aperture Radar）は能動的にマイクロ波を送信・受信することにより地球の情報（画像）を得る環境リモートセンシング技術の一つである。SARデータは、**多偏波観測（複数アンテナによる観測）**によって対象物の構造・形状を推定できる点や、地表面の変位量（沈下や隆起）を面的に画像として推定できる点といった、唯一無二の特徴を持つ。そのため農作物の収量観測、地殻変動計測、水害範囲の推定、土壌水分量推定、橋梁・ダム変位モニタリングなど、様々な場面で応用・実装されている。

人工衛星は広域に観測できる（観測幅20～50km）といったメリットがある一方で、回帰日数が数日のため、希望する時間・場所での観測が困難である。更に橋梁の床版裏やトンネル内部など、人工衛星とターゲットの位置の関係上観測できない箇所が存在する。こういった課題を解決するため、航空機搭載型SARや地上設置型SARが近年研究開発されている。しかし、航空機搭載型SARは運用に膨大なコストがかかる、地上設置型SARは定点観測のため観測範囲が限られる、などといった問題が残る。災害発生時の迅速な観測や準リアルタイム広域観測が可能な**新たなSARリモートセンシング技術の開発が現在望まれている**。

【目的】

本研究ではSARを小型無人機に搭載した、**小型無人機搭載型SARを開発**することを目的とする。特に、小型無人機のうちマルチロータ型のドローンに搭載することを考える（図1）。これにより、**機動的かつ準リアルタイム広域SAR観測が可能な計測技術を目指す**。本研究の最終目標として、**多偏波観測が可能なシステムを目指す**。

【学術的な独自性と意義】

ドローン搭載型SARは軌道誤差や機体の周期的な振動など、ドローン固有の問題があり、これらを解決する新たな信号処理・画像処理アルゴリズム開発が必要となる。そのため、**ハードとソフトの両面において学術的に重要な要素技術を含む**。したがって、本研究テーマは新たなドローンリモートセンシング分野の確立となり、**基盤となる研究として貢献**することが期待される。

【期待される成果と発展性】

ドローンの性能の進歩や普及率は近年著しく、物流、点検、農業、土木・建築など産業界において様々な場面で利用されつつある。ドローン市場の拡大の背景にあるのは、社会インフラの老朽化や農業従事者の持続的減少・高齢化など、日本の喫緊の課題の解決策として認知されつつあることが大きな理由の一つである。こういった、**我が国の重要課題を解決する技術として、近年ドローンによるリモートセンシングが利用**されつつある。一方、従来利用されてきたセンサはスペクトル情報や温度情報を計測する光学センサであり、取得できる物理パラメータや精度に限界がある。

本研究で開発するドローン搭載型合成開口レーダは、（1）社会インフラの振動・変位計測による点検業務の効率化、（2）農作物のバイオマス・収量予測、（3）圃場の土壌水分量推定、（4）高精度積雪深マッピングによる除雪作業の効率化、（5）被災直前や被災中の自然災害観測による防災・減災効果など、これまでのドローンリモートセンシング技術では成し得なかった計測が可能となる。

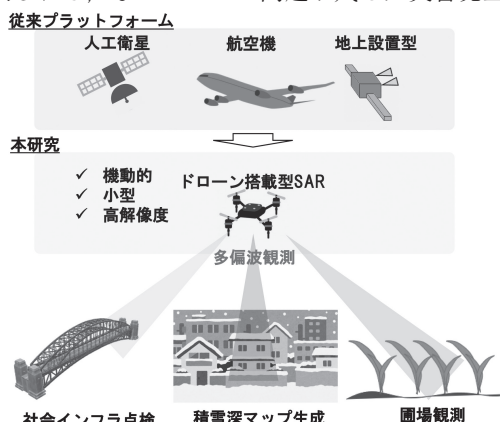


図1: ドローン搭載型合成開口レーダによる観測イメージ

① 研究背景

持続可能な社会の実現のため、高効率な物質・エネルギー利用を支えるエネルギー変換系の確立が求められている。電極触媒(電気化学触媒)は、電位印加により常温常圧でエネルギー変換反応を進行させることが可能であり、特に近年は太陽エネルギー等の再生可能エネルギーを用いた水素製造の手法として注目されている。電気化学的な水分解による水素製造プロセスは、還元反応である水素発生反応(HER: hydrogen evolution reaction)と酸化反応の酸素発生反応(OER: oxygen evolution reaction)により達成される。この一連の反応では、アノードでのOERが4電子反応であり過電圧(すなわち、エネルギーロス)が大きく、電気化学的な水分解のボトルネックになっている。

② 研究目的

以上の背景から本研究では、高活性なOER触媒の開発を行う。特に、既報より高効率なOER触媒として期待されているスピネル構造を有する金属酸化物(以下スピネル酸化物)からなる高活性OER触媒の開発を目的とした。特にスピネル酸化物のうち、近年磁性材料として注目されている多元金属元素からなるハイエントロピースピネル酸化物(HE-SO)に着目したOER触媒開発を行う。HE-SOは一般に、構成する金属元素が多成分(概ね5成分以上)であるスピネル酸化物を指す。HE-SOを始めとする多元系金属材料(合金、酸化物)は、原子同士の電子的相互作用により特異な電子状態を有することから、磁性材料や構造材料として近年着目を集めている。

③ 学術的な独創性と意義

金属活性中心を有する触媒においては、金属中心の電子状態、配位構造は電極触媒反応中間体の吸着エネルギー、ひいては触媒活性に影響する。HE-SOを始めとする多元系金属材料(合金、酸化物)は、原子同士の電子的相互作用により特異な電子状態を有することがこれまでの研究から報告されており、そのため近年触媒材料としても着目されている。従来のHE-SOの研究では、比較的高温(1000 °C程度)での炭酸塩の混合熱処理、及び金属水酸化物の前駆体の熱処理と言った多段階プロセスで合成され、比較的結晶性の高く粒子径の大きい(数百nm程度以上)粒子による材料特性評価が行われてきた。触媒材料においては一般に、その粒子径を低減する事により単位重量あたりの反応サイト(表面積)の増加やサイズ効果により特異な触媒活性を発現させることが可能である。しかしながら、HE-SOナノ粒子の合成手法、特に簡便なワンポット合成の手法は限られていた。本研究では申請者の前段階での実験結果を元に、HE-SOナノ粒子の合成手法を確立したうえで、触媒活性評価と原子レベルでの構造解析によりHE-SOの触媒材料としてのポテンシャルを引き出し、高活性OER触媒の開発を目指す。

④ 期待される成果と発展性

本研究ではHE-SOナノ粒子からなるOER触媒開発を試みるが、スピネル酸化物は多くの触媒反応、電極反応で高活性を示すと期待されている物質である。つまり本研究が成功裏に進んだ際は、高活性OER触媒の開発が達成できるだけでなく、本研究の知見は上述の様々な物質・エネルギー変換材料、蓄電デバイスへと展開できる基盤技術となると期待できる。

ハロゲン架橋銅(II)錯体一次元鎖のスピ量子ビットへの展開

研究者 東北大学学際科学フロンティア研究所 助教 脇坂 聖 憲

【1. 背景】ノートパソコンやスマートフォンといった小型で高性能な半導体の電子機器は我々の暮らしを便利にして来た。その半導体コンピュータを超えると期待されているのが量子コンピュータである。量子コンピュータは、「0」と「1」の重ね合わせ状態にある量子ビットと呼ばれる素子を用いる。この量子ビットを多数並べて量子もつれ合い状態にすることで、同時並列的に、膨大な量の計算を一瞬ですることが可能になると期待されている。量子ビットになる物質は数多く見つかったが、量子ビットを多数並べることは難しく、極めて重要な課題である。

【2. 目的】ハロゲン架橋金属錯体は、金属イオンとハロゲン化物イオンが交互に一直線に並ぶ鎖構造の一次元錯体である（図1）。これまでの研究で、金属イオンにニッケル、パラジウム、白金が用いられ、金属イオンの d_{z^2} 軌道とハロゲン化物イオンの p_z 軌道が重なることで一次元電子系の半導体となることが明らかにされている。ところが最近、銅(II)のハロゲン架橋金属錯体が見つかった。銅(II)イオンは磁気異方的な $S = 1/2$ の電子スピンを持つ。したがって、一次元に並んだ銅(II)の電子スピンは、遅い時期緩和を示すスピ量子ビットとして使える可能性がある。そこで本研究では、ハロゲン架橋銅(II)錯体の合成と構造、磁気特性、スピ量子ビットとしての振舞いを明らかにする。

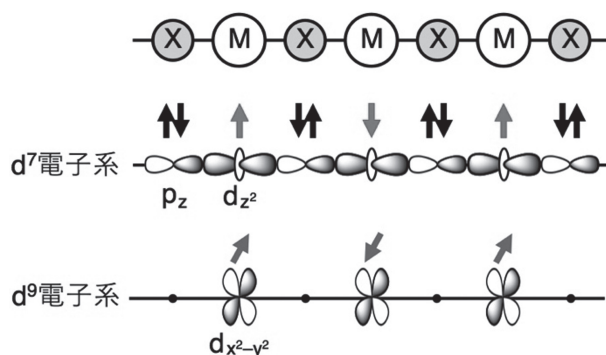


図1.ハロゲン架橋金属錯体の主軸の構造 (Mは金属イオン, Xはハロゲン化物イオン), 及び d^7 電子系と d^9 電子系の電子スピンの模式図.

【3. 学術的な独自性と意義】ハロゲン架橋金属錯体は、ニッケルの場合は電子相関が強いため三価(d^7)のモット絶縁体となり、パラジウムや白金の場合は電子相関が弱いため二価(d^6)と四価(d^8)が交互に現れるパイエルス絶縁体となる。ニッケル(III)は奇数電子系のため $S=1/2$ のスピンを持つが、 d_{z^2} 軌道の非常に強いカップリングにより全く磁化を示さない。一方で銅(II)は d^9 電子系であり、ヤーン・テラー効果により d_{z^2} 軌道は占有され、スピンは直交する $d_{x^2-y^2}$ 軌道に現れる。この直交性により、一次元鎖の中で孤立スピンの量子ビットとして振舞うと予想されるが、いまだ実証されていない。

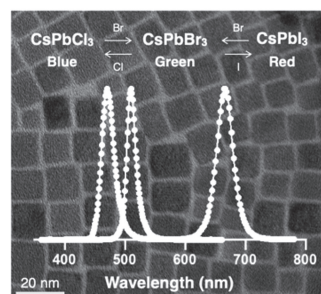
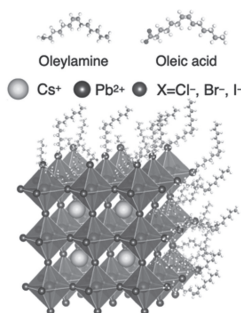
【4. 期待される成果と発展性】ハロゲン架橋金属錯体を始めとする金属錯体のフレームワークは、金属イオン、有機配位子、対イオンの組み合わせによって多彩に構造と電子状態を制御可能である。本研究は、一次元の金属錯体フレームワークに孤立状態の電子スピンを導入することでスピ量子ビットとして機能することを実証する。さらに、ハロゲン架橋金属錯体の一次元半導体としての機能と合わせることで、スピントロニクス材料へ展開する。

電荷移動錯体導入による多積層型ペロブスカイト量子ドット創出と 高効率・長寿命LEDの開発

研究者 山形大学理学部 助教 江部 日南子

① 研究背景

ペロブスカイト量子ドット(PQD)は、優れた発光量子収率と色純度、化学組成制御により全可視域の発光色を再現することができ、次世代の発光デバイス(LED)材料として期待されている。PQDは、長鎖アルキル配位子で被覆されたコロイド状の半導体ナノ結晶であり、簡便かつ安価な製造プロセスにより合成することができる。しかしながら、イオン結晶のPQDは、精製過程やデバイス駆動時に表面イオンや配位子が容易に脱離し、低い材料安定性や消光サイトの形成が課題である。また、長鎖アルキル配位子は、有機溶媒中における均一分散性を担う一方、絶縁性により電子デバイスにおける電荷輸送を阻害し、デバイス性能の著しい低下を引き起こす。さらに、PQDの高い分散性は、薄膜状態の低い溶媒耐性を意味し、全塗布法による多積層化が極めて困難であり、デバイス設計が著しく制限される。以上より、従来の長鎖アルキル配位子は、優れた光物性を担保する一方、低い電子物性や材料安定性、溶媒耐性により、PQD-LEDの性能低下が課題であった。

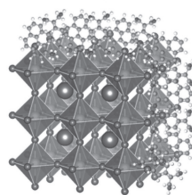


✓ 高い発光量子収率 (~100%) ✓ 高い色純度 (半値幅 ~30 nm) ✓ 全可視域の波長

② 研究目的

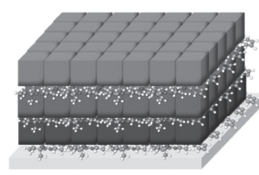
本研究は、PQDの表面保護層として高い電子物性と材料安定性を示す電荷移動錯体(CT)を導入し、高発光かつ超安定なPQDの創出により、PQD-LEDの高効率・長寿命化を目指す。CT層は、既に申請者らにより確立されている配位子置換技術により導入を試みる。また、PQDのハロゲン組成比率の制御により青・緑・赤色発光を有するPQDを合成し、全可視域のPQDにおけるCT層の導入を試みる。さらに、CT間の強固な架橋構造の形成により、優れた溶媒耐性を示すPQD膜を開発し、全塗布法による多積層化技術を確認する。これらの技術により、これまで成し得なかった新規ヘテロ型PQDを創出し、高効率・長寿命PQD-LEDを開発する。

✓ CT被覆QDの開発



電子・光物性の面立

✓ 高分子膜-QD間のCT形成



多積層化技術への応用

③ 学術的な独自性

CT層の導入により、二律背反であったPQDの光物性および電子物性を両立することができる。また、CT間の強固な架橋構造の形成により、高い溶媒耐性を実現し、これまで成し得なかった全塗布法による多積層化技術を確認する。これらのCT被覆PQDの創出により、従来構造のPQDを凌駕した、優れた光物性および電子物性、材料安定性を実現する。

④ 期待される成果

PQD表面へのCT層の導入は、優れた光物性および電気物性を両立により、PQD-LEDの高効率・長寿命化が期待できる。また、CT間の強固な架橋構造の形成により、PQD保護層としての役割を担い、湿気や熱、光に対する高い材料安定性を実現できる。加えて、これらのCT間架橋構造は、PQD膜の溶媒耐性の向上が期待され、これまで困難とされてきた全塗布法による多積層型PQDを創出することができる。さらに、本研究で得られた成果をもとに、過酷な環境下での使用を目的とした光触媒やX線センサーなど幅広い用途への展開が期待される、極めて汎用性の高い技術である。

機能性ドメイン境界における相転移・物性発現機構の解明

研究者 千葉大学大学院理学研究院 准教授 横 田 紘 子

① **背景**：強誘電体や強磁性体、強弾性体に代表されるような強制的秩序を有するフェロイック物質群は有用な機能性を有することから多くのデバイスに利用されている。これらの物質群においてはエネルギー的に等価で方位の異なる領域(ドメイン)が必然的に存在し、それらドメインを隔てているのがドメイン境界として知られている。ドメイン境界はこれまで単にドメインを隔てている壁としてのみ取り扱われてきたが、2000年代以降バルクとは異なる独自の性質を示す可能性が理論的に示唆され、実験的にも確認されるようになったことから注目が集まり、特に欧米を中心に盛んに研究されるようになってきている。一方で、ドメイン境界は数格子分と非常に薄いことから物性計測や内部構造を評価できる実験手法が限られており、研究が大きく進展するのを妨げている原因となっていた。これまでに申請者は非線形光学効果の一つである光第2高調波を用いた顕微システム(SHGM)を開発し、ドメイン境界に適用してきた。その結果、SHGMがドメイン境界に対して有用な実験手法であることを確立してきた。また、応力によって機能性を有するドメイン境界を生成・移動させることができることを世界に先駆けて明らかにしてきた。しかしながら、なぜドメイン境界でバルクとは異なる物性が発現するのか、その起因については未だに明確な結論が得られていないのが現状である。

② **目的**：本研究はドメイン境界において発現する極性を外部制御が容易な温度や電場、光などを用いて**外部制御を行うことで、ドメイン境界で発現する物性の起因を明らかにすること**を目指す。これによりドメイン境界を積極的に利用した**新しい材料設計の指針を築く**。これまでのドメイン境界に関する研究は、その構造や物性を評価するにとどまっており、応用を見据えた実践的な研究は殆ど行われていない。例えば、ドメイン境界は幅が狭いことに加えて高い電気伝導度や極性を示すことから高密度メモリへの応用などが期待されているが、実現にあたってはドメイン境界への情報の書き込み・読み出しが不可欠となる。本研究では世界に先駆けてこの課題に取り組む。すでに応力によって機能性ドメイン境界を生成・移動可能であることを実験的に示してきているが、応力は他の外力に比べて制御が難しいという問題点がある。そこで、制御が容易な温度や電場、光などに着目をし、ドメイン境界における機能性の制御を目指す。

③ **学術的な独自性と意義**：外部刺激に対するドメイン境界の応答(ダイナミクス)を計測することを通して、ドメイン境界における物性の発現機構および相転移機構を明らかにする。これにより、バルクだけでは理解できなかった反強誘電体の相転移機構や巨大物性発現機構について従来とは異なる視点から知見を与えることができ、学術的な意義は大きい。ドメイン境界における相転移機構に着目した研究は行われておらず、先駆的な役割が期待できる。

④ **期待される成果と発展性**：理論計算によるとドメイン境界を高密度メモリに利用した場合には、既存デバイスの数桁以上の情報量を記憶することができる。このため、ドメイン境界における物性を制御することが可能となれば高度情報化社会に対応するうえで非常に意義がある。世界に先駆けて研究を行うことで次世代記憶媒体開発の主導権を握ることが可能となり産業的な意義も大きい。

①背景（内外における当該分野の動向）

本研究課題の焦点は、熱電効果と呼ばれる、廃熱を有用な電気に変換するプロセスである。現在、民生用・産業用プロセスの多くで、エネルギーが廃熱として失われている。例えば、大規模計算機施設の電子回路や自動車などがその例である。この問題を解決するのが熱電効果であり、ゼーベック効果とネルンスト効果の2種類に分類される。前者は1990年代から盛んに研究されているが、磁性材料におけるネルンスト効果がエネルギー効率の良い熱変換の代替手段になることが最近の研究で明らかになってきた。申請者は、2021年10月より東京大学で独立した主任研究員として新しい研究室をスタートさせた。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、酸化物強磁性体および反強磁性体のネルンスト効果を探索することで、ネルンスト効果の研究をさらに発展させる。酸化物は300℃以上の高温でも化学的に安定であるという特徴を持つが、そのネルンスト効果についてはこれまで詳しく研究されてこなかった。

③学術的な独自性と意義

近年、磁性材料の熱電ネルンスト効果は、熱と電気を効率よく変換できる可能性があり、また、コスト効率が良く、化学元素を用いた柔軟なデバイス設計が可能であることから注目されている。この分野では、主に金属材料、例えば、いわゆるトポロジカル電子構造を持つ鉄またはコバルトを含む強磁性体を中心に研究が進んできた[Nature **581**, 53 57 (2020)]。しかし、申請者は1年前、磁性体で大きなネルンスト効果を実現する方法として、スキルミオンと呼ばれる傾斜したスピン配置を利用した新しい手法を開拓した[Physical Review Letters **125**, 076602 (2020)]。さらに申請者は、このようなスピンの傾きと大きなネルンスト効果は、高温で熱揺らぎのある磁気スピンによっても実現できる、より一般的な現象であることを示した[Proc. Natl. Acad. Sci. USA **118**, e2023588118 (2021)]。つまり、申請者は、鉄やコバルトを含む強磁性金属とは全く異なる、効率的な熱電デバイスの設計原理を考案した。高温酸化物磁石で同様の効果を実現することで、廃棄物エネルギー利用という社会的な喫緊の課題の克服に貢献できると考える。

④期待される成果と発展性

その後、当研究室の既存の測定設備を用いて、対象物質の熱電特性を報告する予定である。助成期間は1年を希望する。最初の目的物質は、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ や $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ など、高い転移温度を持つ代表的な酸化物強磁性体である[Rep. Prog. Phys. **69**, 797 (2006)]。少なくとも5種類の x の異なる組成の試料を合成し、強磁性相および転移温度以上でのネルンスト効果を観測することを目指す。マンガン酸化物では、精密な組成制御により、 $zT_{xy}=0.01$ を超える横方向の熱電性能指数を実現し、酸化物での既報値を超えることを目標とする。さらに、コバルト系酸化物強磁性体 $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_3$ の合成を行い、この系の高温金属状態におけるネルンスト効果を探索する。この物質においても、 $T=50^\circ\text{C}$ で $zT_{xy}=0.01$ の実現を目標とする。この効果を室温以降の酸化物磁石で実現することが、申請者の提案する本研究の目標である。

強分極薄膜を自発形成する極性分子の開発—分子の末端構造による分子配向制御—

研究者 東京農工大学大学院工学研究院 助教 田 中 正 樹

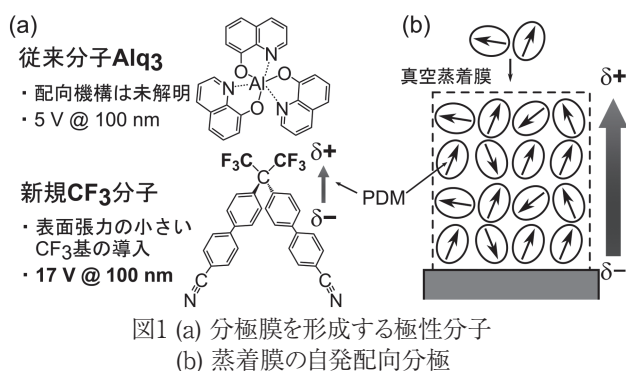
①背景（内外における当該分野の動向）

一部のアモルファス極性有機分子は、真空蒸着過程で分子の永久双極子モーメント（permanent dipole moment: PDM）を膜厚方向に配向し、大きな膜分極を発生する（*J. Appl. Phys.* (2002)、自発配向分極、図1）。このような分極膜は、有機EL素子の低電圧化（*Appl. Phys. Lett.* (2013)）や振動発電（*Sci. Rep.* (2020)）へ応用可能であると報告されており、高性能なデバイスを実現するには膜分極を大きくする必要がある。従来の分子蒸着膜では膜厚100 nmで5 Vの表面電位を発生する。

蒸着するだけで形成できる分極膜は様々な応用が考えられるが、分極膜を形成する自発配向のメカニズムは明らかになっていない。膜分極を大きくするには、分子のPDMを高秩序に膜厚方向に配向させる必要がある。実際、既報分子のPDM配向度は10%以下であり、大きな改善の余地がある。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では膜分極を形成する分子配向メカニズムを明らかにし、高配向性の極性分子を開発する。従来分子の10倍以上、すなわち100 nm膜厚あたり50 V以上の強膜分極を実現する。特に、膜分極形成のためには分子の向きを揃えて配向させる分子設計が必要であり、気相成長の分野では未踏の研究領域といえる。



③学術的な独自性と意義

強力な膜分極を誘起する分子配向制御が困難な理由として、膜内部では分子のPDMが互いに打ち消し合う反平行配置が最安定であることが挙げられる。すなわち、強分極膜を実現するには、分子PDMが同一方向に配向する準安定状態を意図的に形成する必要がある。本研究では、真空蒸着の過程で分子が気体から過冷却液体状態を経てアモルファス膜を形成することを利用して、高秩序な配向形成に挑戦する。

自発形成できる強分極膜は有機EL素子の駆動電圧低下や振動発電の出力向上および作製プロセス簡素化に寄与し、電子デバイス・エネルギーハーベスティングの高性能化に貢献する。

④期待される成果と発展性

申請者は、世界に先駆けて図1bのフッ化アルキル（CF₃）系分子が蒸着過程で高秩序に配向し、100 nmで約17 Vの強分極を発生することを見出した（M. Tanaka et al., *Nat. Mater.* accepted）。この値は現状で世界最高値である。本研究ではこの分子骨格を拡張し、より大きな膜分極を実現する。電子デバイスや環境発電デバイスの高性能化のためには、膜分極を大きくすることが求められている。

また、本研究の実施により、アモルファス蒸着膜における膜分極を形成する自発配向メカニズムに関する理解に貢献する。アモルファスにも関わらず高秩序な配向を形成するメカニズムは完全には理解されていないが、申請者がこれまでに提案している過冷却液体を介する配向成長によるものと解明できれば、これまでにない分子設計へ発展しさらに強力な膜分極の実現へ加速する。

研究者 電気通信大学大学院情報理工学研究科 准教授 小久保 伸人

極めて微弱で局所的な磁場をナノスケールの分解能で可視化し、凹凸のトポグラフィー像などと組み合わせるセンシング技術は、ナノサイズの磁性粒子や磁気構造あるいは電流分布を扱うさまざまな分野で強い関心を集めています。微小化したホール素子やスピン偏極した探針、最近ではダイヤモンド量子磁気センサを用いた磁気顕微鏡の開発が進められ、測定対象となる試料の表面状態、磁場の大きさや向き、温度などの条件に合わせ、最適な磁気センサを選択できるようになってきました。

超伝導量子干渉計（SQUID）は、測定感度が量子限界に迫る究極の磁気センサです。物質材料の磁気特性だけでなく、脳磁図などの医療分野、資源探査を含む地質学にまで幅広く普及しています。センチメートル程度の平面基板上に微細加工したSQUIDがこれまで一般的でしたが、最近では微小化したマイクロあるいはナノSQUIDも報告され、これを用いた磁気顕微鏡も開発されています。しかし、微小SQUIDを支持する基板（の角）が測定対象物と物理的に接触するため、十分に近づけることができず、本来の磁気感度、空間分解能を活かすことができませんでした。

最近、生物学で用いられるナノピペット（先端径がナノサイズの針状ガラス管）を利用したナノSQUIDが注目を集めています。図1のようにガラス管の両側面と正面の3方向に超伝導薄膜を蒸着した素子で、先端部の超伝導ループ（2つのブリッジ接合を含む）がSQUIDとして機能します。アルミニウムや鉛、インジウムといった低融点の単元素金属超伝導体が好んで用いられ、単一電子スピンの磁気モーメントに匹敵する磁束感度が報告

されています。鋭利な先端形状はナノSQUIDを測定対象物に近づけやすいので、本来の磁気感度を十分に活かします。これを探針としてプローブ顕微鏡に用いれば、ガラス管先端が受ける力から凹凸像も同時に取得できます。しかし、露出された素子先端の金属細線が劣化しやすく、実用に大きな課題を抱えていました。

そこで本研究は、酸化に強い窒化物超伝導体を用いて、大気中で安定なナノSQUIDを実現します。さらに、これを探針としたプローブ顕微鏡を構築し、ナノスケールの磁気像と凹凸像を取得することで、素子の実用性を示します。

本課題の独自性はこれまで報告例がない窒化物超伝導体を用いることです。単元素超伝導体のナノSQUIDに比べ、稼働する温度及び磁場領域を大きく拡張することができます。グラフェンを含む原子層材料や磁気スキルミオンなどを用いた機能性デバイスの評価など革新的なナノスケールのセンシング技術への展開も期待できます。

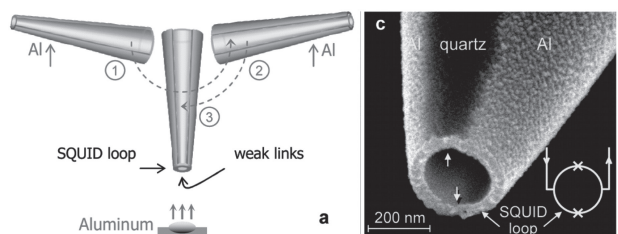


図1. セルフアライメント法による成膜と電子顕微鏡像。先端のアルミニウム薄膜リングがSQUIDとして機能する。文献(A.Finkler et al., Nano Lett. 2010, 10, 1046)より

背景 太陽電池が透明であれば、窓にも設置できるため化石燃料使用量の低減に大きく貢献出来る。また、人体に有害な紫外線を吸収して発電するため、室内環境の改善にもつながる。これまでいくつかの透明太陽電池が報告されているが、効率が高いものは透過率が低かったり、有機色素を用いているため耐久性に疑問があるなどの問題がある。我々の研究室ではこれら問題点に対応するため透明p型・n型半導体を組み合わせた太陽電池の研究を行っている。半導体を用いて透明太陽電池を作った場合、透明n型半導体中の自由電子が赤外線＝熱線を反射する。そのため、夏は室内の温度上昇を、冬は熱が外に逃げるのを防ぎ省エネルギーに繋がるためさらにSDGs達成に繋がるという利点がある。

透明太陽電池を実現するには透明p型・n型半導体が必要である。透明n型半導体にはZnO:Al等、汎用元素で構成された優れたものが知られている。しかし、透明p型半導体は未だ研究段階にある。また、太陽光に含まれる紫外光は少ないので効率良く発電するには、p型半導体、太陽電池構造に工夫が必要となる。そこでこれらの問題点を解決するために以下の様に研究を進めてきた。

透明p型半導体についてはCuBr_{1-x}I_x（以下CuBrI）に着目した。CuBrIは汎用元素である銅(Cu)、日本の生産量が世界2位のヨウ素(I)、5位の臭素(Br)からなり元素戦略において優れている。また、Brの量を変えることで、吸収光の波長が長くなってわずかに可視光を吸収するようになり、光の吸収量がx=0.0、1.0より4割程度増加し発電効率を改善することができる。

太陽電池構造については微細構造に着目した。通常の太陽電池はp型・n型の薄膜積層構造なのに対し、Fig. 2に示す、透明n型ナノロッドの隙間を透明p型で埋める構造の太陽電池を検討してきた。これにより発電に不可欠なpn接合部分が増加し、また、電子移動距離が減り電子消滅確率が減るので発電効率が上昇することが期待できる。

目的 これまで、低コスト化を目指し大気圧下にてFig.2に示す構造の太陽電池の作製・発電に成功している。しかし、発電効率が非常に低い。そこで、本研究ではp型半導体の高品質化、微細構造改善により効率改善を図ることを目的とする。

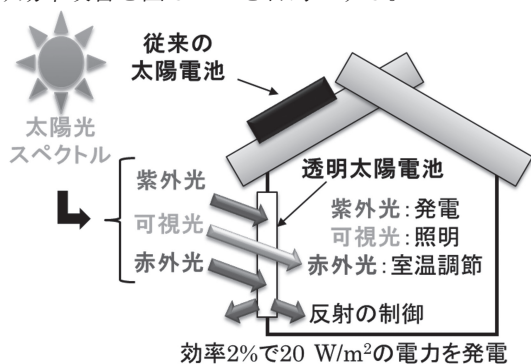


Fig. 1 透明太陽電池の機能

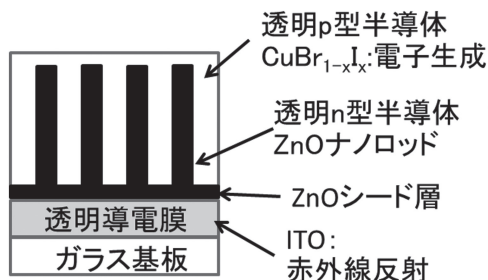


Fig. 2 透明太陽電池の構造

学術的な独創性と意義

透明太陽電池の研究例はいくつかあるが、本研究の様に元素戦略を考慮した素子設計（国内に存在量が多い元素を利用）はない。また、高効率化を目指し微細構造を採択している例はない。

期待される成果と発展性

本申請の透明太陽電池は大気圧下で作製するため、安価・容易に製造できる。よって、本申請で高効率透明太陽電池を実現できれば、透明太陽電池の普及に大きく貢献できる。また、透明p型半導体は透明発光素子、透明センサーなど多くの応用例が挙げられるため、透明n型半導体と比べて研究が遅れている高品質透明p型半導体の作製法を確立できれば、透明半導体素子の発展に大きく寄与できる。

① 背景：内外における当該分野の動向

窒化ガリウム(GaN)系混晶の微細加工により作製可能な青色マイクロ発光ダイオード(μLED : $< 10^4 \mu\text{m}^2$)は、安定して高い外部量子効率 η_{ext} が得られるだけでなく小型端末への集積化の親和性も高いことから、「新しい発光素子のかたち」として強い関心が寄せられている。 μLED の開発で重要な技術の1つは、青色以外の放射色を実現する放射色の制御である。発光層である $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ のIn組成の増加により発光色を青色から緑色や赤色に制御可能であるが、結晶性の低下が懸念され結晶成長技術のみでは実現が容易でない。そのため、放射色変換のための発光材料を青色 μLED 上に直接塗布することで配置し、青色光を励起源とした光励起発光により他の放射色を得る手法が採用されている(図1)。青色 μLED の放射色変換材料には、単色性など視認の観点から、蛍光体や半導体微粒子(量子ドット: QDs)が用いられている。

他方、層状物質の単分子層(0.7 nm)からなる二次元半導体は、室温を超える励起子結合エネルギーにより、安定した光励起発光が得られる。また速い発光寿命や内因性の円偏光を放出可能なことから、新奇な機能性発光素子への展開が期待できる。しかし有効的な材料体積が小さく不純物添加によるpn制御が複雑であるため、その潜在能力はLED構造において電氣的に制御が困難である。

② 目的：課題設定とねらい

本研究では、青色 μLED の放射色変換技術を二次元半導体に展開し、その光励起発光を利用した機能性発光素子の創生を目的とする。具体的には、青色光の導波の詳細解析に基づいた設計により、青色 μLED への二次元半導体からなる積層構造の実装手法を検討する。また様々な二次元半導体を利用し、多機能化に資する μLED の実現に挑む(図1)。

③ 学術的な独自性と意義

微細化と高機能化を同時に実現する青色 μLED であるが、本研究はその応用展開が次世代ディスプレイのみに一極化してきた流れを変える可能性を有しており、 μLED における新たな価値の創造に繋がると考えている。また二次元材料を利用することにより、放射色変換材料の厚さは既存技術と比較して100倍以上薄く設計でき($< 1 \mu\text{m}$; 浦上 他,国際会議RPGR2021.)、素子の厚さ方向の縮小化にも貢献できる。

④ 期待される成果と発展性

円偏光を放射可能な二次元半導体を利用することで、擬似的な偏光LEDが単純な材料の積層のみで実現でき量子情報通信技術への波及も見込める。また応募者が最近発見した黄色発光する二次元半導体(業績6, 8)と組み合わせると、微小な白色 μLED へ展開でき、生活への干渉なしに照明として利用しながら光による無線通信や給電の実現が期待できる。以上から、特異な物性を持ちながらこれまで素子レベルでの展開ができていなかった二次元半導体の応用開拓に繋がる。

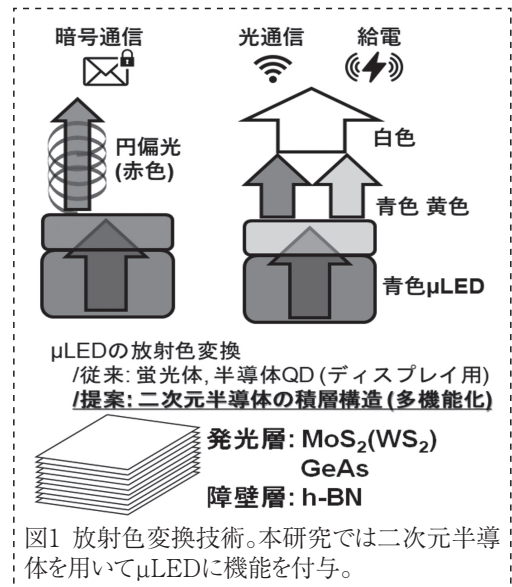


図1 放射色変換技術。本研究では二次元半導体を用いて μLED に機能を付与。

① 背景

触覚ディスプレイの触知部の情報提示は様々な手法での研究が行われており、触知ピンの上下運動や、振動刺激等の単純な情報提示が多い。特に力覚の表現は乏しく、振動刺激の振幅や周波数等で定性的な表現も試みられているが、受け手の個人差があるため、定量的な力覚の表現は難しい。力覚の表現できるデバイスとして、発生力の大きい形状記憶合金製触覚ディスプレイも検討されているが、その動作にはバイアスばね機構が必要で、小型化には不向きである。

申請者はこれまでに、非晶質時の粘性流動特性を利用して成形加工が可能な高成形性形状記憶合金 (High Formable Shape Memory Alloy: HFSMA) の開発を行ってきた。本合金を用いることで従来にない3次元構造を持った形状記憶合金マイクロアクチュエータの実現可能となる。そこで、触知部と駆動部を一体化させた小型化した触知ピンアクチュエータと温度により触知部からの反力を制御できる、新しい触覚・力覚の表現可能な触覚ディスプレイ用触知ピンアクチュエータの構想に至った。

② 目的

本申請では、HFSMAの加工特性を活かした成形加工により、駆動部と触知部が一体化したマイクロアクチュエータ（以下、触知ピンアクチュエータ）を集積化した触覚ディスプレイを作製することを目的とする。新しい駆動原理に基づき、アクチュエータ温度を変えることで触知部からの指への反力の大きさを線形的に制御可能である。

③ 学術的な独創性と意義

一般的な形状記憶合金の挙動は、温度・応力ヒステリシスが付随するが、図1に示す様に試作した触知ピンアクチュエータは、反力が温度により線形に変化しヒステリシスは示さない。SMAのヒステリシスは、SMAに蓄えられていたエネルギーを解放する際（形状回復や回復力）に生じるが、本触知ピンアクチュエータは常時指で一定量押込まれた状態であるため、温度変化しても弾性ひずみの解放が起こらず、応力ヒステリシスが表れない。

④ 期待される成果と発展性

新しい触覚・力覚の表現可能な触覚ディスプレイの実現で、Virtual Realityの分野のさらなる発展に貢献する。この反力制御が可能かつ小ヒステリシス特性を示す新しい駆動原理による形状記憶合金の利用法は、触覚ディスプレイに限らず新しい応用分野に拡大できる。

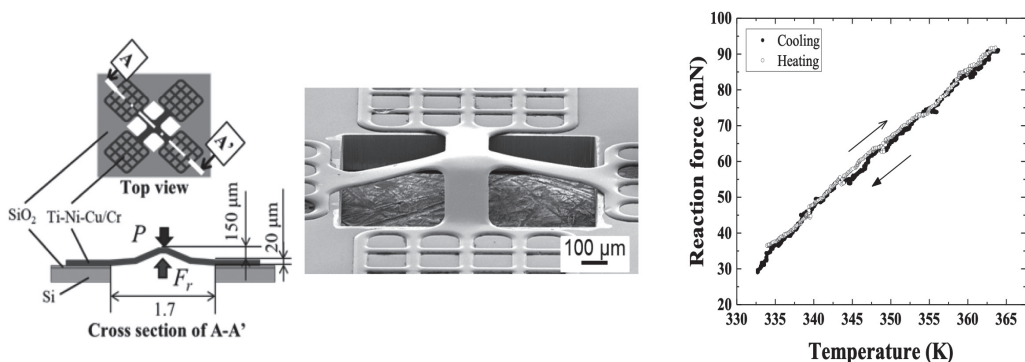


図1 試作触知ピンアクチュエータと反力と温度の関

【① 背景（内外における当該分野の動向）】

異なる酸化物を原子層厚さで積層した酸化物薄膜は、極薄の電子・磁気デバイスや燃料電池電極として期待される。他方、異なる酸化物どうしの界面『酸化物異相界面』では、その特異な原子構造に起因し、電子バンド変調や電荷移動が生じ、構成材料の足し合わせではない特異な電子特性が発現する。よって酸化物薄膜の電子特性を精密制御し、また新奇な材料特性を付与するためには、異相界面における原子・電子構造の決定と、電子特性との関係の解明が必須である。

上記に対し、電子顕微鏡観察が用いられてきたが、多元系かつ複雑な原子構造をもつ酸化物異相界面に対する解析は今なお難しい。また量子力学にもとづく第一原理計算も用いられているが、計算コストが莫大なため、単純な組成や結晶構造に限定される。よって酸化物異相界面における電子特性の起源は多くが未解明なため、その制御方法は今なお経験則のみであり、最適な制御指針は確立されていない。

【② 目的（課題設定とねらい）】

本研究では人工ニューラルネットワーク（ANN）、第一原理計算、電子顕微鏡観察による『人工知能技術、理論計算、実験』を融合させた方法を確立する。まず第一原理計算データを学習させた多元系ANN原子間ポテンシャルを構築して大規模分子シミュレーションを行い、異相界面の原子構造を高速・高精度で予測する。また得られた異相界面構造を用いて、スパコンによる大規模第一原理計算を実行し、電子バンド構造を決定する。そして電子顕微鏡観察により、計算結果と観察像を比較し、異相界面構造を正確に決定する。

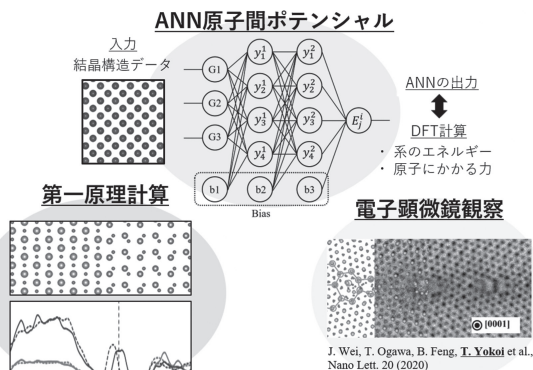
同様に界面の結晶方位や組成を変えて解析し、原子構造と電子バンド構造との関係を系統的に解明する。得られた知見から、酸化物異相界面の最適な設計指針を提案する。

【③ 学術的な独自性と意義】

酸化物異相界面では、反強磁性酸化物の強磁性伝導性や誘電性酸化物の超伝導の発現など、特異な電子特性が多数報告されている。これは、既存の酸化物を用いて新奇な電子特性を獲得できる可能性を示しており、材料科学の発展において重要である。しかし、その起源を解明した研究例はなく、そのための方法も未だない。これに対し、人工知能技術、理論計算、実験を融合させた手法を確立し、酸化物異相界面の原子・電子構造を解明する試みは国内外でも研究例がない。本研究は、申請者が酸化物界面の理論計算、ANN原子間ポテンシャルおよび分子シミュレーションの実装、実験グループとの連携を行ってきた経験があるからこそ達成できる内容である。

【④ 期待される成果と発展性】

酸化物異相界面を高速・高精度で原子・電子レベル解析するための手法が確立されることで、異相界面の原子構造と電子バンド構造変調の起源が明らかになる。これにより、微視的知見に根差した制御指針の提案が可能となる。また本研究の手法は、様々な酸化物に同様に適用できるため、多様な酸化物異相界面に対する微視的理解が飛躍的に進展する。



背景

申請者は自身の経験からも、災害時の電源確保は重要な問題と捉えている。しかしながら、非常用電源の法定点検は、東日本大震災を経験した現在でさえ、9割が未実施という危機的な状況が続いている。これは、定期点検にかかるコストや時間を割けないことなど、実質的な維持管理の限界の現れといえる。したがって、発電機のみには頼らない、メンテナンスフリーの非常用電源を用意することは極めて有効と考えられる。そこで本研究では、新奇化合物半導体材料（GaAsPN）を開発することにより、高効率かつ高い設置性を有する非常用太陽電池を提案する。

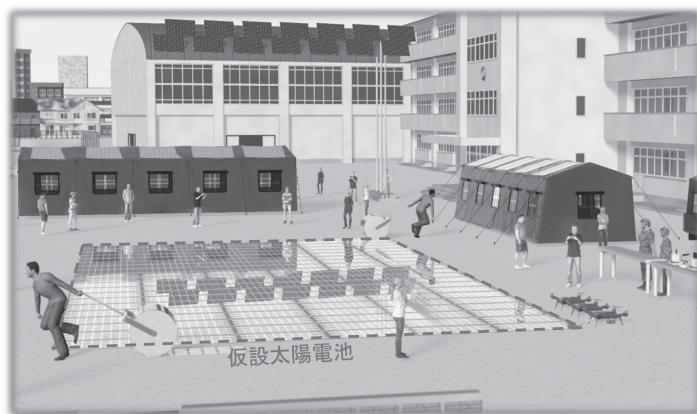


図1 避難所における非常用太陽電池の活用例. 非常用電源として軽量・フレキシブル太陽電池を仮設し、避難所生活、救援ドローン等への電源供給を行う。

目的

非常用太陽電池に求められるものは、①コンパクトな収納性と設置の簡便性、②備蓄時の定期点検が不要であること、③高い効率と経済性である。しかしながら、既存の太陽電池でこれらを満たすものはない。そこで、市販の太陽電池の材料として用いられるシリコン結晶と、新奇化合物半導体材料（GaAsPN 結晶）を用いた新たな太陽電池構造を開発し、これまでに独自開発した転写技術と融合して上記①～③の条件を満たす太陽電池を実現することを目的とする。

学術的な独自性

以下、類似研究であるシリコン単体の太陽電池と化合物半導体単体の太陽電池について特徴を示しながら、これらを積層すること（本研究の独自性）の利点を説明する。シリコン単体の太陽電池では、安価で大面積化が可能であるが、原理上、吸収したエネルギーの一部が必ず熱的な損失になるため、高効率化には不向きである。一方、化合物太陽電池は、吸収するエネルギー幅を分割できるため、損失は小さいが、利用できる基板材料が小面積のものしか存在しないため高価である。もし、シリコン結晶を基板として、その上に化合物半導体結晶を高品質に積層させることができれば、両者の利点を最大限に生かした太陽電池が実現可能である。さらに、コンパクトな収納性を実現するために、硬質な板状のシリコン基板から柔軟なフレキシブル基板への転写技術を用いる。

期待される成果と発展性

本研究の先に目指す最終的なゴールは、世界初のシリコン基板上完全無欠陥化合物半導体薄膜の実現による、究極部材の創出である。シリコンは人類が有する唯一無二の大面積完全結晶であり、CPUやメモリなど広範囲な応用分野を有している。シリコン・化合物半導体を真に融合することができれば、機能・サイズの観点で全く新しい材料プラットフォームが提供可能になり、太陽電池のみならず、様々なエレクトロニクス分野にもパラダイムシフトを与えることができる。

【1. 背景】

異種材料の接合技術は、幅広い工学分野において要求される。特に、光・電子半導体素子の分野においては、低消費電力光通信・演算のためのオンチップ集積化発光・受光素子や、高発電効率を有する積層型ハイブリッド太陽電池等の実現に、高性能な接合技術が強く求められている。一方で近年、顕著な機械・光・電氣的性質を示す単原子層材料や機能性固体・液体材料の進展が目覚ましい。

【2. 目的】

界面材料に上記のような物質を採用することで、単一の作製工程にて高性能な接合形成と機能発現という一人二役のプロセスを提案するとともに、以下の二つの新規機能性接合技術を実現する。

1. 単原子層材料を介した半導体接合の開発および高性能光・電子デバイス構造の作製

2. 波長変換材料を介した接合とそれを利用した高効率多接合太陽電池の作製

1では、単原子層材料を活性層、接合される二つの半導体材料を電流の入出力や光閉じ込め用のクラッド層としたレーザや変調器等の超高性能光・電子素子を、2では、太陽光のうち各発電層の禁性帯幅に適した波長域の入射や発電層間の電流整合、また、光集積回路において光源層からの発光の接合された光導波路に最適な波長への変換のなされた高効率な太陽光発電や信号処理をもたらす。

【3. 学術的な独自性と意義】

申請者の把握している限り、これまでにグラフェンないし単原子層材料を介した半導体接合の報告例は存在しない。ガラス上にグラフェンが高強度で接着されるという報告 (S. P. Koenig et al, Nat. Nanotechnol. 6, 543, 2011) はあるものの、グラフェンの物性を調査するという内容にとどまっており、グラフェンを接合に用いるという発想は申請者のみによるものである。当然、単原子層材料を接合に用いる太陽電池としても初めてのものとなる。特にグラフェンは、単層炭素という低環境負荷かつ安価な、また、突出した機械的・電氣的・光学的特性から、太陽電池の更なる高効率化のための新しい接合材料として最適であるとともに、幅広い用途に通ずる高機能な異種材料接合およびそれにより生み出される新規高性能光・電子デバイスの実現につながる。また、波長変換材料を介した接合も、世界に先駆けた試みとなる (田辺ら, 特開2020-136475)。さらに、これまでの報告例における酸化物や金属といったウェハ接合の界面材料はいずれも、機械的強度や熱・電気伝導性の確保のための接合形成の役割にとどまっており、接合形成と機能発現を同時に成す発想も前例のないものである。

【4. 期待される成果と発展性】

本研究より創出される技術は、界面材料に機能性材料を採用することで、接合形成と素子としての機能発現を同時に成すことを可能とし、簡便（低コスト、高スループット）でかつ高性能な光・電子デバイスの生産プロセスの実現につながる。具体的には、グラフェン等の単原子層材料の突出した光・電氣的性質から、接合と同時に超高性能LED、レーザ、光検出器、太陽電池、光変調器などの素子構造を形成することができる。また、波長変換機能を持つ接合界面により、多接合太陽電池の高発電効率化や光集積回路・光コンピュータの高効率な信号処理が可能となる。プラスチックフィルム上に薄膜型半導体素子を形成した低コスト・軽量・フレキシブルな太陽電池等のユビキタスな光・電子デバイスへの展開も期待される。このように、本研究で提案、開発する新規高性能半導体接合技術は、ハイブリッド接合型光・電子素子という新たな研究・産業分野を切り拓くものである。

メタ表面を用いる光マネジメント科学の実践－蛍光の100%前方放出を目指して

研究者 京都大学大学院工学研究科 助教 村 井 俊 介

① 背景－白色LEDは青色LEDと、青色を吸収して黄色に光る蛍光体の組み合わせからなり、吸収されなかった青色と黄色の混色により白色を得る装置です。現在、より高輝度の照明応用に向け青色レーザダイオード（LD）を使った白色光源の開発が進んでいますが、青色LDは青色LEDに比べ直進性が強くハイパワーであるため、混色の問題（青色レーザが指向性をもって直進するのに対し、黄色蛍光は全方向に放たれるので均一な白色が得られない）が起こります。現状では青色レーザ光を散乱させて指向性を失わせて均一に混合した後、レンズやミラーなどの嵩高い光学系によって指向性を付与し使用しています。しかしながらこれは青色レーザの直進性を活かした解決策ではありません。他方ナノ光学分野で近年のトピックとなっているメタ表面は、高さ数百ナノメートルの平面構造で光を制御する新技術で、これを用いたレンズ（メタレンズ）やフィルタ（メタフィルタ）が開発されてきました。申請者はこの技術を白色光源に応用すべく研究を進め、黄色蛍光を垂直方向へ優先的に放つメタ表面と青色LDを組み合わせた“メタ表面蛍光体”を作製してきました。申請書作成段階（2022年5月）でメタ表面の無い場合に比べ垂直方向の発光強度では10倍の増強を、垂直方向から30°以内の光束割合では1.6倍（メタ表面なしで25%、ありで40%）の増強を達成しました。

② 目的－現時点の課題として、まだ有効利用できていない蛍光成分があることが挙げられます。垂直方向で10倍の発光強度の増強を示す試料でさえ、蛍光基板内で発生した蛍光の50%程度しか前方に放てていません。残りの50%は後方に放たれるか、側方に逃げています。本研究では、これらをすべて前方に放つことでさらに蛍光強度を高め、高輝度・狭角配光の超小型非コヒーレント指向性点光源としてその特性を評価することを目的とします。

③ 学術的な独自性と意義－本研究ではメタ表面蛍光体における蛍光の指向性100%前方放出の達成を研究します。得られるメタ表面蛍光体は、今までなかった「超小型非コヒーレント指向性点光源」となります。これはレンズを始め多くの光学部材の設計変更を通じて身の周りの照明機器（ヘッドライト、プロジェクタ、内視鏡etc.）の見た目を一変させる可能性があり、関連技術・産業に大きなインパクトがあります。

④ 期待される成果と発展性－本研究の成果は超小型指向性インコヒーレント光源の作製につながります。これは高輝度・指向性・小型化が望まれ、人に向けられる可能性がありレーザでは都合が悪い光源に適しています。具体的には小型省エネヘッドライト・検品用画像処理システムの高輝度光源・手乗りプロジェクタ・スマホのライト・可視光通信（Li-Fi）用光源・ディスプレイ用高輝度マイクロLED・超小型内視鏡・高輝度軽量野外照明などが挙げられ、さらに製造コストが見合えば、最終的には一般家庭用の省エネ光源への応用も可能です。必要な方向にのみ光を放つ照明を実用化できれば、必要な光量を得るための照明器具の個数を減らすことができ、省エネにつながります。たとえば照明は家庭の消費電気量の13.4%（2009年）を占めますが、非常に大まか（楽観的）に照明の電力消費を半分に出るるとして試算すると、年間で4800万トンのCO₂排出量削減、日本の総排出量（11億3800万トン、2018年）の4%削減となります。

研究者 大阪大学大学院基礎工学研究科 准教授 椋 田 秀 和

①背景 超高压(270 GPa)の水素化物で超伝導転移点 $T_c = 288$ Kという室温を超える高温超伝導体が2020年に発見された[1]. 鉄系物質においても超高压下で $T_c \sim 60$ Kに達する高温超伝導相が突如出現すること、超薄膜化により T_c が8Kから60 K以上にまで8倍も上昇するなど[2], T_c が劇的に上昇する高温超伝導現象が超高压下や超薄膜で続々と報告されている. しかし、超高压下や薄膜など超微小試料の実験の困難さから、その起源に迫る実験研究がほとんどない. 原子スケールで動的な物性、揺らぎを検出できる核磁気共鳴 (NMR) 測定は超伝導機構の本質に迫る極めて重要な実験手法であるが、未だ行われていない. そのため T_c 向上の鍵となる超伝導機構は実験的に謎のままである. この機構が解明できれば、新しい原理の超伝導材料の探索の方向性が示され、室温超伝導体を応用した新しい超省エネルギーの未来が見えてくる.

②目的 超薄膜や超高压下の実験が困難である最大の理由は、劇的に少ない試料の量にある. そこで本研究で、 T_c 向上の鍵となる超伝導機構の解明を目指し、微小物質に対して高感度・高解像度で測定を可能にするNMR実験の基盤技術開発に取り組む. 具体的には、微小試料に伴う微弱NMR信号を検出するため、徹底的にノイズを抑制しながら信号強度の向上も図るアイデアとして、(1) 極低温に設置できる超小型プリアンプを開発し、(2) 薄膜試料に最も密着できる平面型コイルで感度増大を試みる. さらに、これら全てを極低温部に最短距離で組み込み、高感度・高解像度NMR実験の微小試料測定の限界に挑戦する.

③学術的な独自性と意義 信号増幅のプリアンプを含む送受信回路系全体を極低温設置するという独自のアイデアでノイズを抑制し、さらに薄膜試料により密着させることができる平面型コイルを用いて、超微小物質の微弱NMR信号を高感度で測定する手法の開発は独自のアイデアである. このような2つのアプローチを極低温部で組み合わせたNMR測定は世界にまだ例がない. 本研究を通じて、様々な微小な対象物に対し最適化をし、ナノ薄膜や微小物質でしか現れない超伝導現象・異常伝導・磁性現象などの研究に適用する. その物性解明から実績とノウハウを積み、さらなる超伝導転移温度の向上の提唱を目標とする.

④期待される成果と発展性 これまでの試作による予備実験で、実際にミランダ型とスパイラル型などタイプの異なる平面型コイルを作製し、ミクロン域の薄膜 ^{27}Al -NMR測定を行ったところ、十分な強度のNMRスペクトルの観測に成功した. 独自開発中のNMRプリアンプも市販のものよりノイズを低減できていることと、低温で動作すること、強磁場中でも動作することも確認できつつあり、より微小な試料の測定へ有望な方向へ歩んでいる感触を得ている. これら独自アプローチによる高感度化の試みは世界でも例がなく、将来の超微小物質の固体NMR測定技術として重要な基盤となると期待できる. 今後、ナノスケール薄膜測定を目指し、自作のプロープ組込型のNMRプリアンプと平面型コイルを組み合わせることで、世界でほとんど類例のない独自方式のNMR測定システムとする.

また本研究を通じて、将来を担う若手研究者を育てることも大きな目的の一つである. 現在までの上記の装置開発の経過を発表した西岡君(D3)が低温工学・超伝導学会において「若手奨励賞」を受賞した(次ページ参照). 将来展望として、巣立っていく若手研究者と共に、高感度NMR測定技術開発を進め、超薄膜や微小物質でしか現れない異常な磁性現象や超伝導現象に挑んでいきたい.

[1] E. Snider, et al. Nature 586, 373–377 (2020). [2] Q.Y. Wang et al., Chin. Phys. Lett. 29, 037402 (2012).

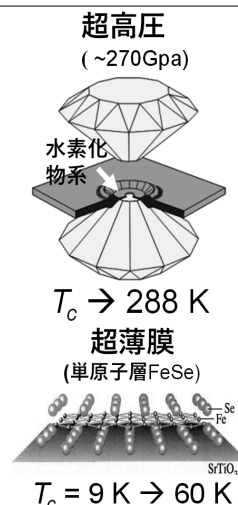


図1 (上)超高压下の室温超伝導はダイヤモンドで挟まれた数ミクロンのサイズの体積内で観測される. (下) 超薄膜で超伝導転移温度が8倍も上昇する鉄系超伝導. どちらも超伝導機構が実験的に未解明のままである.

① 背景（内外における当該分野の動向）

料理人が新しい料理を作る場合、通常は彼らのセンス、インスピレーションおよび経験から得られるアイデアをもとにして考案される。しかし、1人の料理人が考案できる料理の数には限界があり、その嗜好性には偏りが生じる。そのため、料理人の主観に頼らない客観的なアイデアの創出は、これまでにない食材・味付け・調理法の新たな組み合わせ（以下、新料理）の提案を容易にすると考えられる。我々は、既存の料理で用いられる食材や調理法のデータに位相的データ解析を適用することで、「料理空間」の構造を数学的に解明し、新料理をその空間の「穴」として特定できると考えた。位相的データ解析とは、対象データが持つ「穴」や「枝分かれ」といった構造や特徴を正確に捉える、適用範囲が広い解析手法である。例えば申請者はこれまでに、ガラス材料の構造解明や、企業の持つ技術の特徴を捉えるために本解析を応用してきた。本研究では、本解析が新料理の考案の客観的なアイデアを得るために有用であると予想している。なお、これまでにAI・ロボット技術・物理や化学の原理を調理の便利化や新しい調理法の提案に利用する試みはあるが、位相的データ解析を新料理提案に応用した例はない。

② 目的（課題設定とねらい）

上述の背景をもとに、新料理のための客観的なアイデアの創出は料理人の新料理創作に資すると考え、本研究では、位相的データ解析を用いて既存の料理空間の構造を解明し、おいしい新料理の客観的な提案への応用を目指す。

③ 学術的な独自性と意義

本研究では、これまで料理人の主観により考案されていた食材・味付け・調理法の組み合わせ（既存料理の「料理空間」）の構造を調べる。理論上、食材や調理法の組み合わせが多くあるため、料理空間は高次元であり、その解析は通常困難であるが、位相的データ解析によりその構造が解明できると考える。本研究では、位相的データ解析の導入により、料理空間の構造を数学的に調べた上で料理のおいしさを考慮し、全く新しい新料理の提案手法の確立を目指す。

また、提案する新料理のおいしさも考慮するために、従来の解析手法をそのまま適用するのではなく、既存手法を改良してより料理空間の構造解明に適した解析手法を開発する（申請3：今後の具体的な研究計画を参照）。この試みにより、本研究で扱う料理データに限らず、複雑なデータに対応できる適応範囲が広い新しい解析手法が得られる。

④ 期待される成果と発展性

本研究により、既存料理における空間の構造が明らかになり、その特徴が明確になるとともに、料理人の新料理の考案を容易にするなど、客観的な新料理の提案方法が確立できると予想している。これまでにない新しい料理はそのおいしさを通じてより豊かな食生活の形成をもたらし、人類の生活の質（QOL）の向上に有用な知見になると考えている。他方、現在調理学分野ではAI技術の活用やロボット化の導入が進んでいる。位相的データ解析による料理空間の構造を捉える解析はAI技術に組み込む展開も可能であり、本研究成果は新しい技術の発展だけでなく、AIの学術的発展にも寄与できる。

長波長側の可視光を利用可能にする螺旋型有機光触媒の開発

研究者 岡山大学異分野基礎科学研究所 助教 田 中 健 太

【背景】

近年の地球環境問題への世界的な取り組みとして「持続可能な開発目標（SDGs）」を目指した活動が活発に展開されており、有機合成化学の分野においても環境に対する負荷を軽減しうる新たな合成プロセスの開発が試みられている。可視光を光源とすることのできる光触媒反応はクリーンで持続可能な化学プロセスに応じる新戦略の1つであり注目を集めている。その一方で、現在報告されている光触媒反応は紫外領域に近くエネルギーの大きい短波長側の可視光である紫～青色光(波長380-490nm)を光源として使用しており低いエネルギー効率が課題となっている。太陽から地球に降り注ぐ光は長波長側の可視光が高い強度を有する波長域であることから、長波長側の波長領域の可視光を吸収することのできる光触媒を開発することは、効率的な太陽光エネルギーの活用に基づく持続可能な社会の実現のために欠かすことの出来ない研究課題である。

【目的】

このような背景から、本研究では長波長側の可視光である赤色光(波長620-780nm)を光源として利用することの出来る新規螺旋型有機光触媒(TXTH)の開発を目標と有機EL材料合成への応用を目的とする。

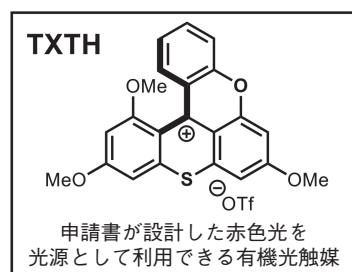
【学術的な独自性と意義】

今回、申請者が考案したFriedel-Crafts-SNAr連続反応により螺旋構造を有するヘリセニウムイオン構造を一挙に合成する手法は世界初の試みであり、ヘリセニウムイオン構造を有する螺旋型有機光触媒の網羅的合成を可能にする点において学術的な独自性が高い。本研究は、新たに創出する有機光触媒を利用して全世界の研究者が赤色光をエネルギー源とした環境調和型の有機合成反応を開発することができるようになる点において意義がある。

【期待される成果と発展性】

① 本研究で開発する有機光触媒は安価な原料から容易に合成することから、世界中の化学者が容易に利用可能であるため、全世界でエネルギー効率の高い合成反応を開発できるようになると考えられる。また、現在光触媒反応に利用されている触媒の多くがルテニウムやイリジウムなどの高価で毒性を有する希少金属触媒である。一方で、申請者が今回独自に開発する螺旋型光触媒(TXTH)は有機元素のみで構成され安全性に優れた触媒であり、従来の希少金属触媒(1g 約15,000-30,000円)と比較し圧倒的に安価で合成できる(1g 約2000円)。即ち、希少金属触媒の代替の触媒としても利用可能であることから、**地球の限りある資源である希少金属を消費せずに安全性の優れた合成反応を世界中の化学者が開発できることが期待できる。**

② 本触媒によって赤色光を光源とした光触媒反応を開発できるようになることから、高いエネルギー効率に基づく消費電力の削減が期待できる。更に持続可能なエネルギー資源である**太陽光の利用に基づく持続可能な化学製品の合成プロセスの開発が可能になる**という発展性を有していることから、有機合成化学や有機化学分野のみならず、エネルギー分野や地球環境分野への大きな波及効果が期待できる。



1. 研究の背景

無機固体材料の表面に特異的に吸着する材料認識ペプチドは、材料表面の電子特性や分子修飾性を改変・改質することが可能なため、バイオセンサーへの応用が近年盛んに行われている[Hayamizu et al., Sci. Rep., (2016)]。材料認識ペプチドと固体表面との相互作用を理解することは、バイオセンサーの多機能化や性能向上はもちろんのこと、生体1分子の生物学的振る舞いに関する基礎的な知見を得ることに貢献する重要な研究である。しかしながら、これまでのペプチド-固体界面に関する研究は、材料表面上に形成する自己組織化構造の観察や、デバイスの電気特性の評価に集中しており、ペプチドの材料表面への吸着メカニズムを明らかにする試みは少ない。

ペプチドの材料表面への吸着機能の原理は、ペプチドの立体構造の変化(2次構造)と吸着する宿主材料の電子特性(バンドギャップ等)の局所的な変化の両方が重要であると予想されている。そのため、**吸着機能の理解にはペプチドの化学構造と宿主材料の電子特性の両方の計測が必要不可欠である**。生体分子の2次構造情報を1分子レベルで計測できる技術として、探針増強赤外分光法がある(図1)。この手法は、ナノメートルサイズの金属探針の先端に生じるナノ局在光で励起した分子の赤外吸収信号を計測する。同様の原理で、可視光で励起した分子のフォトルミネッセンスを検出することで、無機材料の電子特性は観察できる。したがって、**フォトルミネッセンスと赤外吸収の両方を同時にナノ計測することで、吸着機能を支配する化学・電子特性を包括的に理解できる**。しかしながら、これら2つの計測を共立するシステムは未だ実現できていない。その理由は、可視域と赤外領域の異なる波長領域の光信号を同時に検出するために、複雑な検出系を独立に必要とするからである。

2. 研究目的

本研究の目的は、**フォトルミネッセンスと赤外吸収情報を同時にナノ計測できるマルチモーダル計測法を開発し、ペプチドの化学構造と無機材料の電子特性の相関を観察することで、材料認識ペプチドの吸着機構に新たな知見を与えることである**。

3. 学術的な独自性・意義

これまで独立に計測・議論されてきたペプチドと無機材料の化学・電子特性を同時にかつナノスケールで計測することで、それぞれの特性の変化と吸着機能との相関を明らかにできるため、学術的独自性・意義の大きい研究課題である。また、可視域と赤外域の光と相互作用するそれぞれの物性をマルチモーダルに計測できる本技術は、光ナノ計測技術の観点からも新規性は高い。

4. 期待される成果と発展性

本研究により、材料認識ペプチドの吸着メカニズムが明らかになれば、これまで網羅的なスクリーニング手法で設計・開発されてきたペプチドを、合理的に設計・開発することが可能になる。デバイス応用が期待される様々な二次元材料に特異的に結合するペプチドやタンパク質の吸着機構の解明に貢献する。その結果、生体分子を利用した高感度・多機能なバイオセンサー開発が加速的に進歩することも期待できる。また、分子の発光と化学構造を観察できる本手法は、例えば**蛍光タンパクと生体分子の相互作用を理解するための手法としても活用できるため、バイオエレクトロニクス分野だけでなく、生物・医学分野の基礎研究にも貢献する研究課題である**。

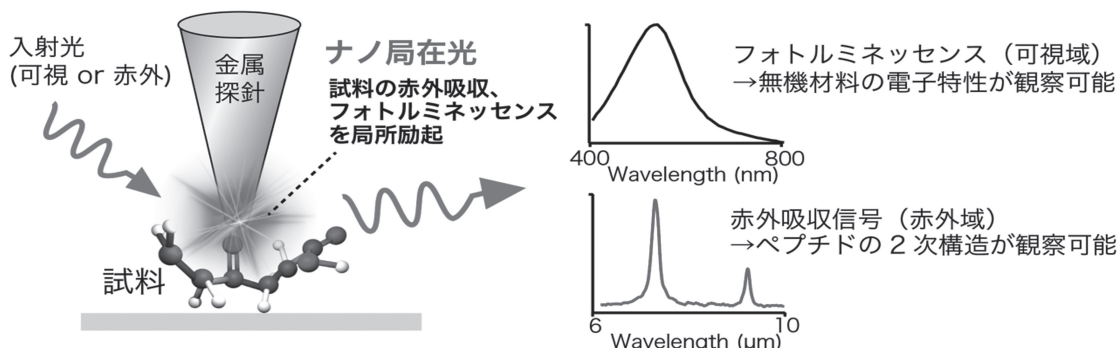


図1：一般的な探針増強フォトルミネッセンス分光法と赤外吸収分光法の概要

① 背景

X線天文学は、アメリカ、ヨーロッパと並び日本が世界を牽引する分野のひとつである。これまで世界的にみて数多くの研究成果を挙げているが、それには優れた観測装置によるところが大きい。次世代の宇宙X線観測では、0.5–100 keVの広帯域な撮像分光が要求される。現在X線天文衛星の主力であるSiセンサは、高い撮像分光能力をもつが、現実的なエネルギー帯域は0.5–20 keVであり十分ではない。そこで、100 keV程度までのエネルギー帯域があるCdTeセンサをSiセンサの後段に配置（スタック）することで、広帯域な撮像分光を実現する。しかし、この形式ではSiセンサ・CdTeセンサを独立した基板に配置することになり、センサ間は最小4 mmの隙間ができる。このため焦点深度との兼ね合いで両者に対し同時に焦点を合わせることができない。つまり、ピンボケした画像となる。例えば、10 mの焦点距離では空間分解能が10秒角に制限される。また、Siセンサ・CdTeセンサは互いに独立するためシステムとして複雑になり、排熱や機械環境の成立性を難しくする。これらの課題を解決する方策として、Siセンサ・CdTeセンサを一体化した半導体イメージセンサが考えられる。一体化させることで焦点深度の制限がなくなり、システムとして単純化・小型化することができる。

② 目的

本研究は、Siセンサ・CdTeセンサを一体化させた、これまでにない3次元半導体放射線イメージセンサを実現させることが目的である。軟X線（0.5–20 keV）のエネルギー帯域はSiセンサ、硬X線（20–100 keV）のエネルギー帯域はCdTeセンサで主に検出する。これにより、単一素子で0.5–100 keVのX線撮像分光が可能となる。本研究における具体的な開発項目は2点ある。1つ目は、次世代宇宙X線観測へ向け開発しているSiセンサ「イベント駆動型SOI-CMOSイメージセンサ」に対し、CdTeセンサ用の読み出し回路を組み込むことである。イベント駆動型SOI-CMOSイメージセンサは、Silicon-on-Insulator (SOI) 技術を基盤とする、Siセンサ・CMOS回路が一体化した放射線イメージセンサである。画素毎に放射線入射を感知する比較器回路を、またイメージセンサ内に独自開発したパターン処理回路を組み込むことで、放射線入射時のタイミング・入射位置・形状パターンの情報を出力する機能をもつ。本研究では、画素内に新たにCdTeセンサ用の読み出し回路を配置する。2つ目は、CdTeセンサ用読み出し回路を組み込んだイベント駆動型SOI-CMOSイメージセンサとCdTeセンサの接合である。イベント駆動型SOI-CMOSイメージセンサの回路側へ画素毎に配置した電極に対しマイクロバンプを用いてCdTeセンサを接合する。以上により、「Si-CdTe一体型3次元半導体放射線イメージセンサ」を試作し、動作試験を経て原理実証と技術的課題の洗い出しをする。

③ 学術的な独創性と意義

本研究は、次世代宇宙X線観測に特化したイベント駆動型SOI-CMOSイメージセンサをベースとする。これは、Siセンサだけでなく回路構成から開発してきた独自のイメージセンサである。宇宙空間において、バックグラウンドとなる荷電粒子を棄却し、観測対象となる天体からのX線を効率よく選択的に読み出すことができる。これまで開発してきたイメージセンサを応用してSi-CdTeを一体化させた新たな形態を構想するが、実現すれば革新的な放射線イメージセンサとなる。次世代宇宙X線観測の質を向上させ、新たなサイエンスを切り拓く「眼」として貢献する。

④ 期待される成果と発展性

Si-CdTe一体型3次元半導体放射線イメージセンサは、焦点深度の制限を無くし、システムの単純化・小型化を可能とする。また、単一素子として2層のセンサをもつため、単体で荷電粒子を識別でき、バックグラウンド棄却効率を大幅に高めることができる。さらに、CdTe以外のセンサを貼り付けることで、新たな応用が広がるであろう。例えば、HgCdTeやInSbと組み合わせれば近赤外–可視光領域の広帯域イメージセンサが可能となるかもしれない。回路構成を変更すれば、さらに自由度が高まる。

①背景

発光材料の励起子が金属の表面プラズモンと結合すると、発光の増強もしくは消光という両極端の効果を与える。発光の増強は、主に金属ナノ粒子の局在型プラズモンと励起子の共鳴効果によって起こる。他方、消光は、薄膜などのバルクの金属の伝搬型プラズモンに励起子のエネルギーが移動することによって起こる。(図1) 後者の効果は発光デバイスにおいて悪玉となる。この効果を抑えるために、たとえば有機ELでは、励起子と伝搬型プラズモンの結合を抑制するために分子配向の制御がなされている。つまり、発光デバイスの分野では伝搬型プラズモンによる消光を抑制するための研究が行われている。

②目的

励起子を消光する悪玉である伝搬型プラズモンを、発光の増強を生む善玉に変えるための研究を行う。伝搬型プラズモンが励起子を消光する原因は、プラズモンが励起子のエネルギーを吸収しつつ励起子のサイトから離れ去ってしまうことにある。そこで、伝搬型プラズモンを励起子の近傍に閉じ込める工夫を講じる。具体的には、金属薄膜と発光材料の薄膜を積層させたマイクロ共振器を開発し、伝搬型プラズモンによる発光の増幅に挑戦する。

③学術的な独創性と意義

局在型プラズモンが発光の増強に寄与できる要因は、局在型プラズモンが定在波を作り、励起子のサイトにとどまることにある。したがって、共振器を利用すれば、伝搬型プラズモンにおいても発光の増強が期待できる。しかし、通常の伝搬型プラズモンでこのことを実現することは困難である。なぜならば、プラズモンの伝搬長は一般に数ミクロンと短いため、サブミクロン以下の共振器が必要となるためである。これでは、金属ナノ粒子と大差がない。しかし、数10 nm程度の金属薄膜を用いることで1桁以上もプラズモンの伝搬長が伸びることが知られている。本研究の独創性は、この長距離伝搬プラズモンをマイクロ共振器に閉じ込め、さらに励起子と結合してプラズモンのエネルギーを共振器の外部に取り出す機構の開発にある。(図1) このことは、発光デバイスにおいて悪玉と認識されている伝搬型プラズモンを、発光の増強に寄与する善玉に変換する意義がある。

④期待される成果と発展性

通常の発光デバイスの電極の厚さ(数100 nm)では、その近傍にある励起子は消光される。他方、本研究で開発する構造を用いることで発光の増強が期待できる。本研究では発光の増強に主眼を置くが、この構造で本質的に重要なことは励起子の寿命が延びることである。したがって、励起子のエネルギーの用途は発光のみに限らず、人工光合成や励起状態のダイナミクス制御といった光化学・光物理に根差したデバイスへの水平展開が可能である。

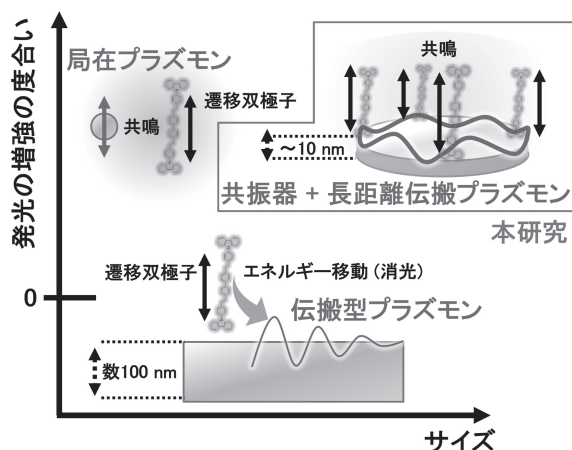


図1 金属と分子の間で起こる共鳴効果

弾性偏光回折格子を用いた非メカ式レーザー偏向機の開発

研究者 兵庫県立大学大学院工学研究科 准教授 近 藤 瑞 穂

①背景：レーザー光を一次元もしくは二次元的に走査することを可能にするビームステアリングは、生体認証や高速3Dスキャナー、自動運転における障害物検知センサなどへの応用が期待されている。ビームステアリングはモーターや半導体微細加工により作製されたマイクロミラーを用いて機械的にビームの方向を制御するメカ式と、光音響効果をはじめとした媒体の屈折率・位相変調によってビームの方向を制御する非メカ式が知られている。メカ式は動作原理が明確で制御が容易である一方、非メカ式は構造が単純で小型軽量化が容易であるという利点を有する。非メカ式の中でも、偏光回折格子を用いた手法は、レーザー光を単一方向に回折できることに加え、円偏光を入力に用いることから反射光の分離が容易であるなどの利点を有し、精力的な研究が行われている。これまでに申請者らは軸選択的な光反

応・光誘起配向・表面レリーフ格子の形成が可能な光配向性液晶ポリマーを用いて偏光回折格子を形成し、回折光の電氣的スイッチングを実証した(crystals 2022, vol.12. 00273,図1)。これは偏光回折格子(図内LPG)に入射する光の偏光状態を、液晶セル(図内TNcell)の電場応答を利用してス

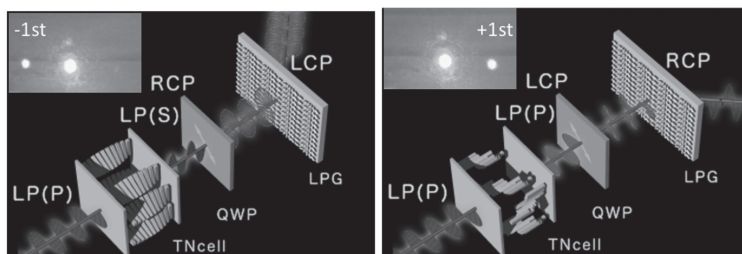


図1 偏光回折格子と液晶セルを用いた回折光の電気スイッチング

スイッチングさせることにより、偏光回折格子の回折方向をスイッチングする手法であり、多段化することにより高分解のスイッチングが可能となり、ビームステアリングへの応用が期待できる。しかし多段化は回折効率の低下や構造の複雑化を招くことから、より少ない素子を用いた連続的な回折角制御が望まれる。

②目的：以上の背景を元に、電場応答を利用した連続的な回折角変化が可能な偏光回折格子を、これまでの単純な延長である、多段化を用いることなく実現する。これまでに申請者らが報告してきた液晶高分子上に偏光回折格子を形成する技術を架橋高分子系に拡張し、電歪アクチュエーターの変形と連動した回折格子の弾性変形により、単純な電圧入力制御による連続的な回折角制御を実現する。

③学術的独自性と意義：弾性回折格子による回折制御は、メカ式の動作機構に似た単純な制御系と、非メカ式の回折構造という両者の利点を併せ持ち、高機能化に寄与することが期待できる。これまでにナノインプリント技術を用いた表面レリーフ回折格子では電圧による連続的な回折角制御が可能であることが既に示されているが、偏光回折格子を用いた研究例はない。申請者らは、原理的には物理的な凹凸を必要としない偏光回折格子を適用することで、耐久性の向上と効率的な回折制御をめざす。

④期待される効果：単純かつ小チャンネルの電圧入力でビーム制御が可能となることで、非メカ式のビーム回転角制御をシングルボードコンピュータのような安価な制御系で構築することが期待できる。また、この手法では入力ビームの精密な位置合わせが必要なく、照射面と垂直方向の素子で実現できることから、既存のレーザー照射装置への増設が容易である。これらの利点によって多くの技術者・研究者の回折制御技術の検討や応用が可能になることで該分野の活性化が期待できる。

①背景：近年、カーボンニュートラルや脱炭素社会を実現するために、プラントや発電所、清掃工場などのエネルギー効率の改善や生産性の向上に対するニーズが高まっている。地球温暖化の原因物質と発生源を把握し適切な対策を組み合わせるとともに、工場エネルギー管理システムによるエネルギーの最適化と制御性の向上による省エネルギー化を進める必要がある。そのためには、センサーが不要な非接触リモートで簡便な装置による多成分ガスの種類や濃度の計測技術の創出が求められる。

プラントなどの煙突から排出されるガスを計測する従来技術としてガス分析計がある。ガス採取器を用いるサンプリング方式ガス分析計は、一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（CO₂）などの同時計測が可能である。しかし、ガス採取器とサンプリングモジュールを接続するための配管が必要となり、大型・複雑・高価という欠点がある。また、ガス採取器とサンプリングモジュールが物理的に離れているため、計測時間が長い。一方、レーザー方式ガス分析計は、半導体レーザー（LD）光源と受光器、および制御部で構成されており、非接触リモート・高速・小型・安価な計測装置が実現されている。しかし、一方、1台のLDにつき1種類のガス分子にしか対応できないため、多成分ガスの計測には複数のLD光源と受光器を用いる必要があり、大型・複雑・高価な計測装置となる。そのため、光・レーザーを用いた非接触リモート・高速・小型・簡便・低価格な多成分ガス計測技術を新たに開発する必要がある。

②目的：本研究では、高度レーザー技術である光コムを2台用いたデュアルコム分光法[業績2]に基づく非接触リモートでの多成分ガスの計測技術を開発する。デュアルコム分光法では、2台の光コムのヘテロダイン検波を検出するため、単一の受光器と電子計測器による多成分ガス分子の高速・高精度な計測が可能である（図1）。本提案研究では、プラントなどへの設置導入を想定し、実用デュアルコム光源の小型・堅牢化を重要視した設計開発を行い、デュアルコム分光法を基本原理とした光コムガス分析計の実現を目指す。これにより、従来のガス計測技術における問題点を解決でき、カーボンニュートラル・脱炭素社会への配慮が必要な次世代産業に対し必要不可欠な技術になり得ると信じている。

③学術的な独自性と意義：デュアルコム分光装置の光源に、実用デュアルコム光源を用いることで、デュアルコム分光装置の小型・簡便・低価格化が可能となる。これにより、プラントなどへの設置が可能な、非接触リモート・高速な多成分ガス分析計の実現が期待できる。本提案技術の新規性は、研究代表者の独自技術である実用デュアルコム光源により、従来のガス分析計の問題点（サンプリング方式（測定時間が長い、大型、複雑、高価）、レーザー方式（多成分ガス分子の同時計測が難しい））を解決するという点にある。さらに本研究では、実用デュアルコム光源の要素技術を基に小型・堅牢化を進めながら、多成分ガス分析計として設計開発が可能である点に独自性がある。

④期待される成果と発展性：光コムガス分析計がもつ「多成分」「高速」「非接触」という特徴は、半導体製造プロセス中のガス純度管理・排出ガス管理等に適用可能である。現状サンプリング式により管理しているこれらの項目が、光コムガス分析によりリアルタイム計測が可能になることは産業上、極めて有意義である。

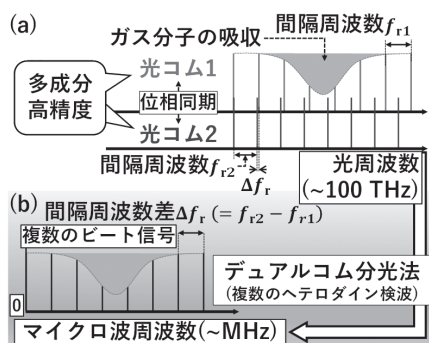


図1 デュアルコム分光法の概要

① 背景

生物・ゲノム科学の分野で私が所属した研究グループでは、ヒトや（研究に使われる）モデル生物の一種であるマウスの全遺伝子を集めるプロジェクト（完全長cDNAプロジェクト）が進められていた。マウスやヒトの様々な細胞から全遺伝子のクローニングと全長配列決定、遺伝子発現解析を行い、データベースで公開した（Okazaki Y, ..., Osato N et al. *Nature* 2002）。この全遺伝子発現情報データベースから、胚性幹細胞（ES細胞）で発現している遺伝子を調べ、マウスiPS細胞の作成に必要な転写因子（遺伝子発現を制御するタンパク質および遺伝子で約1600種類存在する）の候補の絞り込みに使われ、実験の手間を減らし、幹細胞の機能をもつiPS細胞の発明に大きく貢献した。次の研究課題として、**転写因子等による遺伝子の発現制御を理解し制御できれば、細胞分化のメカニズムの理解と制御や、遺伝子発現の異常による疾患の解明や治療法の開発などが期待される。**

② 目的

遺伝子発現制御のカスケードやネットワークを解析する手法を開発し、転写制御因子の発現量を変化させた時に、他の遺伝子の発現量がどのように変化するかを、遺伝子間の発現制御の相互作用を考慮して、定量的に予測できるようにする。遺伝子ネットワーク予測のための条件検討を行い、予測精度を向上し、遺伝子ネットワークに含まれる遺伝子発現制御の関係を予測し解明する。

③ 学術的な独自性と意義

遺伝子発現は複数の転写因子による制御や他の因子による制御もあり、複雑なネットワークとなることがある。ネットワークを網羅的に生物実験により解析することは困難である。遺伝子発現制御ネットワークを予測するだけでなく、人工的に特定の遺伝子の発現量を変化させたときに、他の遺伝子の発現量の変化が予測できれば、生物実験による解析の手間や費用を削減し、効率的・効果的に様々な研究を進めることができる。

④ 期待される成果と発展性

ES細胞（胚性幹細胞）において、転写因子の発現量を変化させたときに、他の遺伝子の発現量の変化を解析した実験データがあり、この実験データをもとに学習し、ES細胞において、転写因子の発現量を変化させたときの他の遺伝子の発現量変化を予測する。これにより、**発現制御ネットワークにおける遺伝子発現量の変化について、定量的な予測が可能になることが期待される。**コンピュータ上で細胞分化に関わる転写因子の発現量の変化したときに遺伝子発現がどのように変化するか、また発現量の変化に関わる他の因子について予測できる。細胞分化により目的の細胞を作製するための条件検討や効果的な方法の開発に貢献すると期待される。**遺伝子発現制御ネットワークを網羅的に予測し、予測結果に基づき、生物実験により検証でき、効率的に研究を進めることができる。**

遺伝子発現制御の異常から生じる様々な疾患について、原因となる遺伝子発現制御の関係や、異常を抑制し治療するための標的となる遺伝子の予測に役立つことも期待される。さらに成熟して分化する機能がなくなった細胞においても、疾患や怪我などで損傷した細胞・組織・臓器を再生する機能を活性化させるための遺伝子発現制御や遺伝子を予測できる可能性もある。例えば、細胞周期に関わる遺伝子を制御することにより、肝臓や心筋細胞、神経細胞が増殖し再生することが報告されており（Izumi et al. *Nature Communication* 2018; Tamer et al. *Cell* 2018, Oshikawa et al. *Development* 2017; Nguyen et al. *Nature* 2020）、転写因子の発現を制御して肝臓や心筋細胞が再生することが示されている。オルガノイドを用いた臓器の再生は、発生初期の段階まで研究が進んでいるが、その後の成熟した臓器を作製する方法は明らかでなく、挑戦的課題と考えられている。**各臓器や細胞の遺伝子発現・転写制御が明らかになれば、再生医療に役立つと期待される。**

① 背景

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて、自動車の電動化や再生可能エネルギーの普及が推進されている^[1]。再生可能エネルギーは発電量が時間や気候によって大きく変動するため、発電した電気を蓄える蓄電システムが必要不可欠となる。そこで、台数の増加が見込まれる電動車を系統に連携し、「動く蓄電池」として活用する技術が国を挙げて推進されている^[1]。

電動車は、バッテリーの性能限界による航続距離の短さや充電時間の長さが課題であり、解決策の一つにワイヤレス電力伝送（WPT: Wireless Power Transfer/Transmission）がある。WPTは電動車の走行/停止中に無線給電を行う技術（図1）で、バッテリー容量の補填という点で注目されている^[2]。



図1 WPTシステムの送受電コイルの例 (周辺部品除く)

WPTは既に様々な機関において研究・実証が進められているが、多くが「系統→電動車」という一方の給電のみを想定している^[3]。しかし、上述した系統連系型電気自動車の実現には、「電動車→系統」という逆方向の電力の流れにも対応可能なシステムが不可欠である。そこで本研究課題では、双方向の給電が可能であるWPTシステムの実証と高性能化に取り組む。

[1] 経済産業省, 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定しました」, <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html> (2022年5月10日)

[2] NEDO, 「グリーンイノベーション基金事業」, <https://www.nedo.go.jp/activities/green-innovation.html> (2022年5月10日)

[3] H. T. Nguyen et al., *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 37, No. 4, 2022

② 目的

双方向WPTシステムにおいて、センサ情報から磁気パラメータを正確に同定し、同定情報を利用した高効率制御法を提案する。

③ 学術的な独自性と意義

電動車用などの大電力WPTの効率向上は、省エネルギーという観点から意義が深い。高効率な無線給電には、送受電コイルの位置関係に依存するパラメータを正確に把握する必要があるが、自由度の高い電動車ではそのパラメータが常に変化する。そのためWPTシステムの高効率制御において重要な課題は、(a)磁気パラメータの正確な同定、(b)同定した情報を活用した高効率制御法の確立、である。

申請者は機械学習や数理モデリング分野の専門性を有し、過去にモータの磁気パラメータ同定による高効率制御法を提案した。また共同研究者は、過去に類似の変換回路（双方向絶縁型DC/DCコンバータ）の高効率制御手法を提案した。そこで、申請者と共同研究者の知見の共創により(a),(b)の課題を解決し、双方向WPTシステムの高効率化を目指す。このような別分野の知見の融合による新たな価値創造が、本研究の学術的な独自性である。

④ 期待される成果と発展性

本研究により、送受電コイルの位置関係が動的に変化した際にも高効率に電力が伝送できる、ロバストなシステムが期待できる。双方向WPTシステムが発展すれば、系統連系型電動車の技術発達・普及に寄与し、スマートモビリティ社会の実現に大きく貢献する。

高輝度円偏光発光材料創出を志向した キラルヘテロカーボンナノベルト開発とキロプティカル特性の解明

研究者 就実大学薬学部 講師 山 本 浩 司

①背景

円偏光発光 (CPL: Circularly Polarized Luminescence) は、高輝度液晶ディスプレイ用の偏光光源をはじめ、3Dディスプレイ、セキュリティペイント、光通信などの高度な光利用法が期待されている。そのため、優れた有機CPL材料の開発は、学術的にも産業的にも要請が高く、その分子設計の確立は重要な課題である。最近、高輝度CPLの実現には「剛直なキラル筒状構造」が重要であることが報告された (図1左, H. Isobe *et al.* PNAS 2017)。この構造的な要請から、芳香環が筒状に縮環したキラルベルト状分子 (キラルナノベルト) はさらに剛直であり、魅力的な標的分子と期待される (図1右)。さらに、そのベンゼン環の一部を他のヘテロ原子で置き換えたキラルヘテロナノベルトでは、立体構造および電子状態が変化し、特異な光物性の発現が期待される。しかし、高度な歪みを有するナノベルトの合成自体が極めて挑戦的であり、量的供給と物性解明が困難である。その解決には、まず、ヘテロナノベルトの効率的合成法の開発が求められる。

最近、申請者は、カルバゾール誘導体1に三臭化ホウ素およびルチジンを反応させることで、1の求電子のホウ素化が進行し、ホウ素化体2が高収率で得られることを見出した (図2左) (Chem. Lett. 2022)。本手法は高度な歪みを有する分子も合成できることから (図2右)、高度な歪みを有するヘテロナノベルトの高効率の合成も可能であると着想した。

②目的 (課題設定とねらい)

カルバゾール誘導体の求電子のホウ素化を利用して、巻き方向キラリティーを有するナノベルト (キラルヘテロナノベルト) を開発する。キラルナノベルトにおけるCPLなどのキロプティカル特性を解明し、高輝度CPL材料開発に挑戦する。

③学術的な独自性と意義

ナノベルトの合成では、分子に歪みを導入しながら縮環構造を構築する必要があり、多段階を要する。これに対し、申請者が見出した求電子のホウ素化は1箇所のホウ素導入につき3本の結合を一挙形成でき、高歪み分子も合成できるという強みがあり、ナノベルトの効率的合成を実現できる。ナノベルトは発光材料や半導体材料としての応用が期待され、カーボンナノチューブの性質を理解するためのモデルでもある。ヘテロナノベルトの高効率の合成確立は、その研究進展にも大きく貢献できる。

④期待される成果と発展性

キラルナノベルト分子は革新的なキラル分子素子になる可能性を秘めているが、それを実証した例は極めて限られている。本申請では、そのCPL材料としての有用性を世界に先駆けて開発・実証する。キラルナノベルトの安定供給が可能になれば、分子を「作る」だけでなく、構造有機化学を土台に性質を調べ、実際に「使う」ことを可能にする。したがって、その効率的合成戦略の提示は、合成化学にとどまらず、多方面に大きなインパクトを与える。キラル素子の潜在性の観点では、高輝度CPL素子のみならずホスト分子や多孔性材料への展開も期待できる。

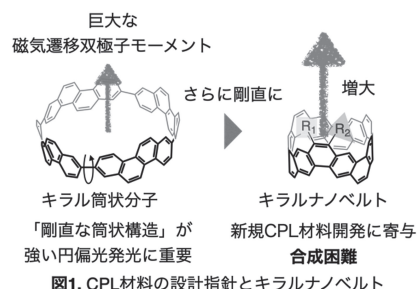


図1. CPL材料の設計指針とキラルナノベルト

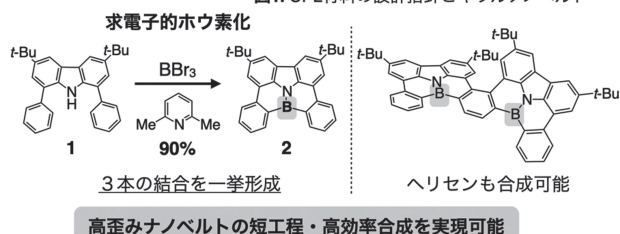


図2. 本申請の基盤となる結果と着想

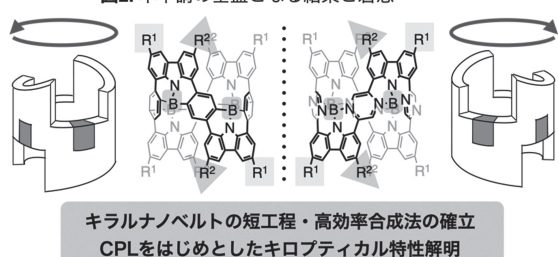


図3. 本申請の目的

①背景

てんかんやアルツハイマー病などの神経疾患、うつ病や依存症などの精神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、ウェアラブル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することで、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回避による副作用減少のため、必要な際にのみオンデマンドに刺激を行うことが重要である。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に介入するウェアラブル・埋め込み医療機器の開発が必要である。脳活動のモニター・刺激介入をオンデマンドに行うウェアラブル医療機器により、神経・精神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神経・精神疾患症状を克服した社会を目指し、申請者はこれまでにてんかんを題材に、発作が生じるや否や脳深部を直ちに電気刺激することで発作を終息する“閉ループ脳深部刺激法”を開発した（Takeuchi Y and Berényi A, *Neurosci Res* 2020; Takeuchi Y et al, *Brain* 2021; Takeuchi Y et al, *Front Neural Circuits* 2021）。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 M, Takeuchi Y et al, *Nat Commun* 2018）。現在当該2技術の応用により、薬剤抵抗性てんかんの発作制御が可能というデータを得ており、てんかん患者を対象にした臨床研究を行なっている（<https://neunos.com/>）。しかしながら、閉ループ脳深部刺激法には刺激電極を侵襲的に脳実質に刺入する必要がある、経頭蓋集束電気刺激法には刺激焦点の空間解像度が低く脳深部刺激も困難である、という点がそれぞれ課題であった。そこで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に着目した（竹内、関、*Clinical Neurosci* 2022）。超音波は既に生体イメージングは結石破砕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、超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。

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刺激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、集束超音波刺激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、さらには超微小刺激素子開発によるウェアラブル医療機器実装により、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前臨床研究レベルに留まっていた。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、超微小刺激素子の開発も含めて大きな波及効果が期待される。

ジュニアスポーツにおける主観的運動強度による トレーニング負荷定量化の妥当性と障害との関連性の検討

研究者 北海道教育大学教育学部（旭川校） 講師 土 橋 康 平

① 背景

生涯スポーツの普及やアスリートの強化において、外傷・傷害の予防やそのための知識は必要不可欠である。特にジュニア期（小学生・中学生）における体づくりの時点で練習量を適切にコントロールし、外傷・傷害をいかに減らせるかが重要である。しかしながら、小学生からの時点で外傷・障害の発生は非常に多く、陸上やクロカンの全国大会に出場している選手では4割以上が外傷・傷害（疲労骨折や肉離れなど）を経験していることが報告されている（日本陸上競技連盟, 2019）。また、この外傷・傷害の発生率は練習を週4日以上行うことで、週3日以内の練習よりも高くなることが報告されていることから（日本陸上競技連盟, 2019）、普段の練習（トレーニング）負荷を適切にコントロールし、外傷・傷害を減らすことができるかが重要である。

トレーニング負荷の間接的な評価として、トレーニング時の主観的運動強度（1～10段階で運動のきつさを測る指標）と運動時間の積によって負荷を定量する方法が用いられている（Foster, 1998）。この方法により定量化したトレーニング負荷は心拍数や走行距離などで定量化した客観的なトレーニング負荷と相関することからその妥当性が認められている（中垣, 2014; Takegami et al. 2021）。しかしながら、このような主観的運動強度により算出したトレーニング負荷の評価は成人を対象としており（Busso et al. 1994; Foster, 1988; Suzuki et al. 2004; Takegami et al. 2021）、ジュニアスポーツにおいて主観的運動強度を用いてトレーニング負荷を評価したもの、その評価した負荷を活動計などを用いて客観的に評価した負荷と比較し妥当性を検討した研究もない。さらに、主観的運動強度などで評価したトレーニング負荷と、身体（脚など）の疼痛程度や全身の慢性的な疲労度、ストレス指標などの関連性を評価した研究もない。

② 目的

ジュニアスポーツにおける主観的運動強度を用いたトレーニング負荷定量化の妥当性と障害との関連性の検討

③ 学術的な独自性と意義

これまで、主観的運動強度を用いたトレーニング負荷の定量化やその妥当性の検討は成人を対象に行われてきた（Busso et al. 1994; Foster, 1988; Suzuki et al. 2004）。しかしながら、この主観的運動強度を用いた方法が、ジュニア層にも応用できるかは明らかではない。実際に、小学生にもかかわらず「疲れやすい、だるい、眠れない」などのオーバートレーニング症候群を報告している割合は4割にものぼる（陸上競技連盟, 2019）。そのため、ジュニア期は知らず知らずのうちにオーバートレーニングに陥っている可能性があり、主観的運動強度で評価したトレーニング負荷が過小評価される（主観的には疲れていないけど、客観的指標では練習量が多くなっている）可能性がある。本研究では、ジュニア層を対象に主観的運動強度により算出したトレーニング負荷が適切に評価されているのかを検討する点において独自性が高い。また、定量化したトレーニング負荷と身体の疼痛程度や疲労度の関連を併せて検討することで、オーバートレーニングや障害を防ぐための新たなトレーニング処方提言に繋がる点で本研究の意義がある。

④ 期待される成果と発展性

本研究により、ジュニア期において主観的運動強度を用いたトレーニング負荷の妥当性や身体的疲労度・ストレスなどの関係性を評価することができれば、傷害予防を目的とした新たなトレーニング負荷評価法開発の一助となることが期待される。

生体電気インピーダンス法を用いて骨格筋の量と質を 評価するための電氣的パラメータの検討

研究者 筑波大学体育系 助教 下山 寛之

①背景

骨格筋の減少と栄養不良は、罹患率の増加、入院期間の延長、機能的能力の低下、多額の医療費、死亡率の増加など臨床集団における複数の有害な結果と関連している。近年、生体電気インピーダンスから得られる生体電気インピーダンス値、位相角をはじめとする生体パラメータが臨床集団における栄養状態の代替バイオマーカーとして使用されることへの関心が高まっている。

位相角の研究から得られた知見をさらに発展させたものとして、生体電気インピーダンスベクトル解析 (BIVA) 法がある。古典的なBIVA法と最近提案された特異的BIVA法はレジスタンスとリアクタンス、そして派生する変数の位相角とベクトル長（主にレジスタンスに起因するインピーダンス）を方程式が無くても、単独で解析するので、身体組成に関するより正確な情報を得ることができる。

しかしながら、生体電気インピーダンス法で使用される周波数は、50kHz以下の低周波であれば細胞内を通さず、対して高周波であれば細胞内を通すが、高すぎると生体情報を得るための適切な値とはならないという特徴がある。そのため、若年層やアスリートかといったヒトの集団の特徴により、電気インピーダンス値ひいては身体組成結果が影響を受ける可能性があることが報告されている。これまでに、生体が大きく変化する成長期の若年層やアスリートにおいて、どの周波数が最も適切な生体電気インピーダンス値や位相角を求めるポイントであるかは明らかになっていない。対象者の身体特性に応じて、どの周波数が最も適切であるかを明らかにするには、身体組成評価を行う数々の方法（磁気共鳴画像 (MRI) 法、二重エネルギーX線吸収 (DXA) 法、コンピューター断面画像 (CT) 法など）を使用した骨格筋「量」としての評価と筋力測定を行う骨格筋の「質」としての評価の視点から、複合的に評価する必要がある。

②目的

本研究は生体電気インピーダンス法を用いて得られる、電気インピーダンス値と位相角の適切な周波数のパラメータを活動的な若年層を対象として明らかにすることを目的とする。

③学術的な独創性と意義

栄養状態を定義するために、位相角測定を実用化するには、関連する健康な集団からの基準カットポイントが必要である。現在、健康なアメリカ人、ドイツ人およびスイス人の集団に基づいた位相角の基準値が発表されている。これらの公表値の違いは、BMI、年齢、性別、民族、年次推移などの変数がインピーダンスパラメータに影響を与えていることを示唆している。したがって、本研究から日本人若年層の基準カットポイントを明らかにすることにより、集団に応じた栄養状態を把握することができ、意義のある研究につながると考えられる。

④期待される成果と発展性

本研究の「どの周波数でのインピーダンスパラメータを使用することが適切であるか」を明らかにすることにより、統一した周波数精度にて世界的に集約したデータを扱うことが可能となる。また、インピーダンスパラメータを搭載した家庭用の身体組成計の開発にも発展し得る可能性がある。

①背景

培養幹細胞を用いた再生医療が様々な疾患に対して応用されようとしている。しかしながら、発展途上にある培養幹細胞による治療は、幹細胞移植後の治療成果を予測できるほどの精度にはなく、熟練の細胞培養技術者による直感、いわば暗黙知によって、治療に最適な幹細胞が選別され、その治療が行われているのが現状である。ヒト表皮幹細胞を培養することで得られる培養表皮シートは、すでに臨床応用されており、多くの重度熱傷患者を救ってきた。しかしながら、その治療効果の決定要因である表皮シートの製造過程は細胞培養技術者の熟練度に大きく依存している。このことも要因の一部となって、実際に移植された培養表皮シートが正常に表皮として機能する割合は50～60%と低く、また培養表皮シートの製造プロセスに予測不能な要因が多いため、移植を待つ間に患者の約半数が死亡する。このような現状は、培養中の幹細胞の状態に関する情報と、最終的に形成される培養表皮シートの品質に関する情報、さらに移植後の治療効果に関する情報が全く乖離しており、再生医療システムの中に組み込まれていないことが原因の一つである。皮膚の再生医療だけでなく、今後の幹細胞を用いた再生医療をさらに前進させるには、これらの情報を統合した治療効果予測技術の開発、及び、そのフィードバックによる治療成績の向上が不可欠である。

②目的

本研究は、申請者らが独自に開発した自動細胞動態追跡システム (Hirose et al. *Stem Cells* 2021)を培養ヒト表皮幹細胞に応用し、細胞動態データを最終的な医療の成果（移植後の生体組織の状態）と紐付けすることで、移植が成功しやすい培養幹細胞の状態を明確にし、実際の治療に活かす再生医療支援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

申請者らはすでに、表皮幹細胞の維持に関わる分子が、その運動性にも関与していることを明らかにしている(Liu et al. *Nature* 2019; Nanba et al. *J Cell Biol* 2021)。本研究は、この幹細胞動態情報を培養表皮シート移植の有効性予測に活用する独自性の高い研究である。本研究計画は、ヒト表皮幹細胞研究に精通した難波を中心とし、医学領域に数理的な手法を適用する医学物理の分野で、イメージングと機械学習を組み合わせた研究を行っている古徳、さらに培養表皮シート移植医療の第一人者であり、熱傷治療などで多くの臨床経験を有する形成外科医である松崎という、様々な専門性を持つ研究者の強みを活かすことで、非侵襲イメージングによって培養幹細胞から得られる情報を活用した新しい再生医療の基盤技術の創出を目指すものである。

④期待される成果と発展性

本研究の特色は、非侵襲イメージングによる幹細胞動態の定量データの取得にある。観察をベースとする今回の開発技術は、今回モデルとして研究を行う現行の培養表皮シートによる熱傷治療にそのまま応用することが可能であり、現在の成功率が50～60%である培養表皮シートによる熱傷治療の成功率を上昇させる可能性がある。

また、本研究によって開発された技術は、iPS細胞や他の臓器の幹細胞を用いた再生医療にも応用可能であり、これらの幹細胞を用いた医療が十分な精度を持った通常医療となるための基盤技術となる。他種の培養幹細胞の動態解析については、今回開発した機械学習モデルを転移学習の手法によって転用することが可能であり、本研究の成果は極めて汎用性の高いものになる。以上のように、培養幹細胞の情報から、移植後の治療成績を予測するシステムの構築を目指す本研究は、今後の幹細胞を用いた再生医療を、十分な治療効果のある現実的な医療としてより発展させるものであるだけでなく、幹細胞動態情報を基にした新しい幹細胞研究および再生医療分野を開拓する可能性を有しており、その成果の応用範囲も広いと期待される。

①背景

AR (Augmented Reality : 拡張現実) やMR (Mixed Reality : 複合現実) などのxR (Cross Reality) は現実世界と仮想世界を融合させ現実にはないものを知覚できる技術である。HoloLens2 (Microsoft)などのHead-mounted display (HMD)を使って現実空間で仮想の体験をしたり、遠隔地から仮想空間を通して現実空間の人に指示を与えたり共同作業をすることができる。xRは医療分野においても教育、医療者間のコミュニケーション、遠隔医療などにおいて広く活用が期待されており、いくつかのコンテンツがすでに実用化されている。気管支鏡は肺癌など呼吸器疾患の診断や治療に必須の内視鏡的手技であるが、その習得にはモデルを用いたシミュレーショントレーニングやエキスパートによる技術指導が欠かせない。しかしながら指導する医師は慢性的に不足しており、その教育方法も個人差がある。また、近年はCOVID-19の世界的流行に伴い直接対面を必要としない遠隔からの教育や技術支援の必要性がさらに増している。

②目的

本究の目的は、MRを用いて気管支鏡の教育・指導を支援する方法を開発することである。さらに大きく2つの目的に分けられ、一つ目は、HoloLens2の MR情報によるリアルタイムガイダンスを活用した教育用気管支鏡シミュレーションの開発・教育現場への実装と、二つ目は遠隔地からエキスパートがMRを活用して気管支鏡の支援を行う遠隔指導の実現可能性評価である。

③学術的な独自性と意義

xRの技術を用いた気管支鏡教育・支援に関する研究は知りうる限り今までに報告されておらず、市販されたアプリケーションやツールも存在しないため独自性がある。意義としては、遠隔地からの支援やHMDデバイスを用いたセルフトレーニングによって近くにエキスパートや指導者がいない状況でも技術指導や支援を受けられること (人的リソースの最適化) と、優れたARコンテンツやエキスパートの遠隔技術指導によって受け手の学習意欲や学習効率が増加したり、対面では受けられない高いレベルの指導を遠隔地から受けられること (質の高い教育・指導の提供) などであると考える。

④期待される成果と発展性

期待される成果は、HoloLens2と気管支モデル・内視鏡システムを使ってリアルタイムに気管支の解剖や内視鏡操作法をガイドするMRコンテンツが作成されることと、現在でも臨床の現場でニーズの高い遠隔地にいるエキスパートからの気管支鏡技術指導の実現可能性を評価できることである。これらの研究で得られた知見は、現在の医学生教育や臨床現場ですぐにでも利用可能なものも多く、世界中の気管支鏡に携わる臨床医、研修医やこの検査を受ける患者の利益につながる。また、より患者数の多い消化管内視鏡や全身の手術など様々な医療手技に応用できる可能性がある。現在はHMDデバイスの重量や通信速度などの課題もあるが、今後デバイスの改良やデータ通信環境の改善に伴いさらなる普及が期待される非常に発展のある研究である。

① 背景

てんかんは発作そのものの心身へのダメージだけでなく、発作の予測不能性が患者の生活制限を強くし、患者や家族の心理的ストレスを増大させる (Fisher Epilepsy Behav. 2000)。小児てんかん患者の10人に1人が、少なくとも1回以上、発作を契機に溺水や眼外傷などの重篤な外傷や事故を経験すると言われている (Camfield C, et al. Seizure. 2015)。発作出現を予測することは、重大な合併事象を回避させることを可能にする。近年、気圧・気象の変動が、てんかん発作を増加させることが成人てんかん患者においては明らかにされているが、小児てんかん患者においては明らかになっていない。小児期には、発熱で発作が誘発される「熱性けいれん」、過換気で発作が誘発される「小児欠神てんかん」が多いことから、小児てんかん発作は何らかの機会によって誘発される傾向にあり、仮説としては、気圧・気象変動も成人に比べより明らかな発作誘発因子になると推測する。

② 目的

我々は、小児のてんかん発作と気象・気候の関連性を明らかにするために、多施設共同前向き疫学調査を行う。また、睡眠不足、疲労、感冒などの既知の発作誘発因子を含めた気象・気候の関連についての詳細な分析も行い、小児のてんかん発作の高精度予測モデルを開発することを最終目標とする。

③ 学術的な独創性と意義

気圧・気象変動とてんかん発作の頻度との相関について調べた先行研究は、いずれも成人患者での研究であり、小児患者での研究はこれまでない。また、成人における研究についても、てんかんセンターと呼ばれる高度医療提供施設において、最重度難治てんかん患者での入院中のデータでの報告があるが、患者群としても環境としても特殊なサンプルである。他にも発作時の救急外来の受診状況から得たデータにおける研究があるが、てんかん患者は発作時に救急外来を受診することはむしろ少なく、発作全体の把握とは言えない。また、既報告は後方視的研究のみで、高精度予測モデル作成のためには既知の発作誘発因子との詳細な分析を行う前向きデータが必要である。

今回、我々は「15歳以下の小児てんかん外来患者に特化し、日常生活で覚知しえる発作全てとそれぞれの発作毎の誘発因子の有無を患者家族に記載してもらい、既知の発作誘発因子を含めた気象・気候の関連についての詳細な分析を行う前向き研究」を行う。

④ 期待される効果と発展性

近年、てんかん患者向けの携帯アプリケーションが世界的に普及している。実際、アプリによって患者の自己管理能力向上を報告する文献、患者がてんかんと肯定的に向き合えるようになったという報告が世界的に散見される。本邦では、ノックオンザドア株式会社が小児てんかん患者向けに携帯アプリケーション (nanacara) を初めて導入し、日本全国に広め、患者や医療機関から高評価を受けている。今回、高精度予測モデル作成を最終目標に、この「小児てんかん発作の頻度と気圧変動の統計的相関を調べる研究」をノックオンザドア株式会社と共同研究することとなった。

加えて、患者リクルート時に「携帯アプリケーションを通じた医療に期待すること」を参加患者にアンケート形式で聴取する。これは、医療は患者主体であるべきという原則に基づき、今後の小児てんかん患者の遠隔医療が目指すべき道を明らかにするためである。

パーキンソン病患者における頸部多チャンネル表面筋電図による 嚥下動態の解析と電気刺激による効果の検討

研究者 広島大学大学院医系科学研究科 助教 中 森 正 博

① 背景（内外における当該分野の動向）

パーキンソン病は運動緩慢、筋強剛、振戦を主症状とする有病率の高い神経変性疾患（国内の患者数が15万～20万人）で、その多様な症状のため生理学的評価やリハビリ介入が非常に難しい。特に**嚥下障害**の機序は複雑で、誤嚥性肺炎のリスクが高く死因の第一位である。

リハビリにおいて、**生理学的な評価**は極めて重要である。その中で、近年研究が進んでいる『**多チャンネル表面筋電図**』に着目した。通常の表面筋電図は、皮膚に一对の電極を貼付して神経筋の電気活動を検出する方法で、被検筋全体の振幅、周波数を計測することになる。『**多チャンネル表面筋電図**』は、**一枚の貼付シートに60～120個程度の電極が高密度に埋め込まれており**、振幅、周波数のみならず、複数のチャンネルに渡り伝播するように発生する**電位の筋活動線維伝導速度を抽出**することができ、**個々の筋活動の特徴や構成、変動を調べることができる**。すなわち、**運動単位レベルでの筋活動評価や筋収縮メカニズムを明らかにすることが可能**となる。特に神経疾患を中心とした疾病の生理学特徴を詳細に把握することができ、有用なリハビリ手法の探索にもつながりうる。

これまで当施設では、パーキンソン病患者の大腿四頭筋において『**多チャンネル表面筋電図**』での検討をおこなっている。その背景として、パーキンソン病モデルラットに対して筋内筋電図法（針筋電図）を用いて運動単位の発火頻度を調べた結果、正常ラットと比較して有意に運動単位の発火頻度が少ないという研究結果がある（Barghi E et al., Int J Mol Cell Med, 2013, 72-79）。そこで、**当施設ではパーキンソン病患者を対象として持続的な筋収縮中の筋活動分布パターンを健常者と比較し、疾患特異的な筋活動パターンを多チャンネル表面筋電図法により明らかにした**（Nishikawa Y et al., J Electromyogr Kinesiol, 2017, 125-131）（図1）。具体的にはパーキンソン病患者は健常高齢者と比較して持続的な筋収縮時の筋活動は一部の筋線維に局限していることが視覚的に確認でき、疾患特異的な筋活動の評価ツールとして多チャンネル表面筋電図法の有用性が示された。

しかし、これまで神経疾患の嚥下障害において電気生理学的検討が行われた研究はほとんどなく、今回『**多チャンネル表面筋電図**』を用いて検討することを着想した。

② 目的（課題設定とねらい）

今回、**パーキンソン病患者を対象に、『舌骨上筋群（頸部筋）』の『多チャンネル表面筋電図』を行うこととした**。これは国内外で初めての試みであり、**パーキンソン病の嚥下動態を新たな手法で電気生理学的に解明するのが目的、ねらいである**。あわせて**頸部電気刺激のリハビリ介入を8週間行い前後の比較をする**。評価には、嚥下造影（時相解析含む）、1%クエン酸咳テスト、舌圧、カフピークフローの評価もあわせて実施し、既存の嚥下評価と対応させることでより詳細にパーキンソン病の嚥下動態を評価する。

③ 学術的な独自性と意義

『**多チャンネル表面筋電図**』は、生理学的検査手法としての歴史がまだ数年と浅く、特に嚥下に関わる頸部筋に対して行われた研究はこれまでにない。嚥下動態を電気生理学的に評価するために実施された研究はなく、きわめて独自性の高いと言える。また、これまで申請者らが蓄積してきた、嚥下に関わる検査手法（特に嚥下造影を1/30秒単位で行う時相解析）自体が、独自性、創造性の高いもので、それと対比して検討するため、きわめて意義のある研究となる。

④ 期待される成果と発展性

頸部筋における『**多チャンネル表面筋電図**』の評価、および、嚥下造影、咳テスト、舌圧、カフピークフローの評価を対応させ、**パーキンソン病に特異的な嚥下動態の生理学的探索、および頸部電気刺激による変化がどの構成要素において特に有用なのかを見出すことが期待される**。また、侵襲性の低い検査であることも利点であると考えられる。嚥下リハビリにおいてエビデンスの高い手法は非常に少ないため、本研究で効率的かつ有用な嚥下リハビリ介入法が見出されれば画期的研究となる。

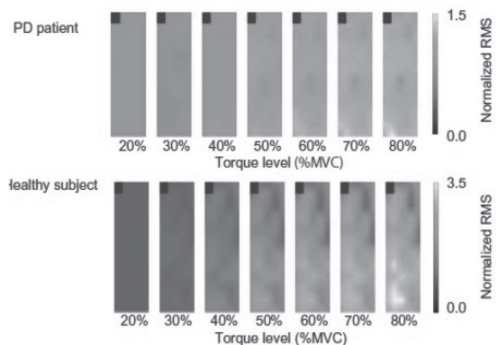


図1 健常人とパーキンソン病患者の大腿四頭筋多チャンネル表面筋電図

①背景（内外における当該分野の動向）

Amide proton transfer (APT) イメージングを代表とするchemical exchange saturation transfer (CEST) イメージングは、核磁気共鳴画像 (magnetic resonance image : MRI) 診断装置を利用して、可動性タンパク・ペプチド内のアミド基やヒドロキシル基のプロトンが周囲のバルク水と水交換されているために、その濃度や交換速度に基づくコントラストを得ることが可能である。最初にCESTイメージングを用いたpHに起因すると提唱した手法 (Zhou J, *Nature Med.* 2003) では、ラット脳の生体と剖検による過去の文献値から算出している。ヒトを対象にしたとき、また異なる組織を想定したときに、Zhouらの手法によって算出したpHは直接的に求めているとは言えない。また、MR spectroscopyにおいてもpHの測定は行われているが、多くの場合造影剤を投与する必要がある、その造影剤物質のキレートの影響を受けるので、生体の静的なpH変化を捉えることはできない。

②目的（課題設定とねらい）

本研究は、MRIを用いて、生体内組織のpHを定量的に可視化するために、内因性CESTイメージング手法と機械学習を組み込んだpHキャリブレーションの手法を開発する。単に信号を取得する従来手法とは異なり、物理的および科学的な数値を算出し、機械学習により精度を向上させることで、生体内組織のダイナミックな物性を評価することを目指す。

そのためには、次の(A)(B)(C)の項目に焦点を当て開発を行う。

- (A) ファントム物質の安定性とpHダイナミックレンジの検討.
- (B) CESTイメージングの撮像条件によるpHの変化.
- (C) pHキャリブレーションと機械学習を適応したCESTイメージングの可視化プログラムの開発 (pHイメージング) .

③学術的な独自性と意義

本手法は、単に信号を取得する従来手法とは異なり、装置特有の物理的および科学的な数値を算出することで、恒久的に変化しにくい物質ファントムで規格化し、機械学習により生体固有の誤差を減らし生体内組織のダイナミックな物性を低侵襲に評価することを目指す。ファントムを撮像したキャリブレーションデータを用いて補正し、さらに機械学習を組み込むことでデータの信頼性が向上し、**生体内での定量的なpH変化を直接的に算出することが可能となることである。**さらに、装置のベンダーや種類にとられないので、他施設研究での定量化手法が実現する可能性がある。MRIは、物質プロトンの位相変化を利用した温度計測も可能であるため、提案するpHイメージングを組み合わせることで、温度依存性および補正も可能となることは、**生体内の温度計として活用できる可能性がある**ので、**投薬などによる細胞活性を評価できる見込みがある。**

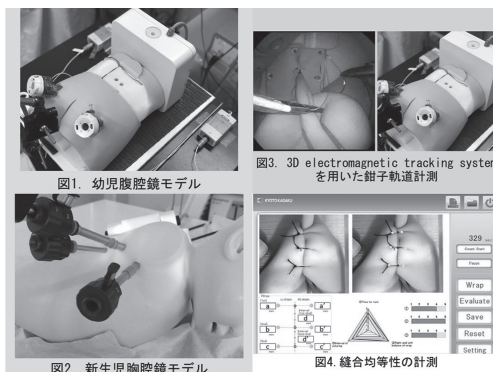
④期待される成果と発展性

本申請により、この課題を克服することが実現すれば、pHは水の含有量に寄与するので、本手法と対比関係となるCESTイメージングにおけるpHの変化量とその因子の解明に貢献することが期待できる。将来的には、機械学習を組み込みながら画像診断に応用して、個人レベルで異なる健康阻害因子を特定することで、投薬・処置を総合的に選択し最善の治療を行うことが可能になり、効果の期待できない治療を排除できる。

① 背景

若手外科医にとって、**内視鏡手術のトレーニングは重要課題**である。我々のグループでは様々な疾患を模した疾患特異的手術シミュレータを開発し、三次元磁気式計測技術などを併用することで手術技術を客観的に評価可能なシステムを開発し報告してきた(図1-4)。更に、同モデルを用いた継続的手術トレーニングにおける学習効果を検証し成果を得た。しかしながら実臨床では「見て学ぶ」、「慣れて学ぶ」といった主観的かつ経験的指導が行われているのが現状である。

技術の担保は「医療安全」に関わり、「医療安全」は常に社会問題のトピックスとして注目され、**内視鏡外科手術による医療事故が社会問題になっている現代において、安全な内視鏡外科医療を安定的に供給できる教育環境の構築が求められる。**



② 目的

本研究は我々が開発してきた技術定量評価システムを備えた内視鏡外科シミュレータを応用し、人工知能(AI: Artificial Intelligence)および距離センサを用いることで内視鏡手術下での縫合手技を定量化し、客観的なトレーニングシステムを構築するものである。安全な内視鏡手術を遂行する上で確実な鉗子操作および愛護的な組織の取り扱いが重要であり、**次世代外科医教育システムを構築する上のメリットは大変大きい。**本研究の実現によって、これまで行われてきた生体動物を犠牲とするトレーニングや臨床ベースのトレーニングに代わる**新たな教育環境を実現することが目的である。**

③ 学術的な独自性と意義

近年ではロボット手術や手術トレーニングにおいてAIを応用する試みが行われている。一方で、**AIによる評価システムの構築には莫大なデータ量が必要**であり個々の症例数が限定される外科領域での開発における課題であった。我々が三次元磁気式計測システムを用いて評価・蓄積してきた熟練医から修練医までの客観的評価データを用いることで、**限られたデータ量でも技術評価のルール化が可能**となりシステム構築がより現実的となる。その結果、これまでは経験則で語られていた熟練医の技術を「可視化」・「定量化」することが可能となる。

④ 期待される成果と発展性

本研究の実現によって、修練医に対する外科教育、熟練医に対する手技のフィードバックを可能とし、内視鏡外科手術による医療事故が社会問題になっている現代において、安全な内視鏡外科医療を安定的に供給できるシステムの構築を目指す。さらにはこれまで行われてきた生体動物を犠牲とするトレーニングや臨床ベースのトレーニングに代わることが可能と考える。

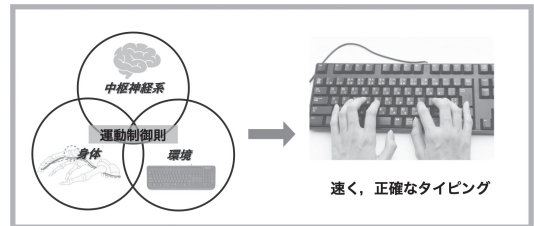
開発するトレーニングモデルは携帯性とコストに配慮し、またAIはソフト化することで「いつでも」、「どこでも」使用可能なシステムを構築する。

最終的には内視鏡手術における教育格差をなくし広く安全な内視鏡手術を提供可能な医療環境の構築が期待される。

① 背景（内外における当該分野の動向）

タイピングは現代社会における重要な日常生活タスクであり、その作業効率によって生産性が左右される。速くて正確にタイピングを行うためにヒトがどのような運動制御則に基づいて指を動かしているかを明らかにすることは、安全で効率的なタイピングの学習に向けた運動学的根拠に基づくアプローチの確立に貢献し得る。

ヒトの運動制御の研究はこれまで、複数筋の協調構造を表す筋シナジー解析(Bernstein 1996)や単一筋内の運動単位の協調構造を分析し、動作の安定性を評価する手法(Madarshahian & Latash, 2022)をはじめ、収縮要素である筋の協調機能から運動の規則性が導かれてきた。しかし、関節の安定化や力伝達には靭帯や腱などの非収縮要素も寄与し、動作速度や正確さに影響する。これらは筋による制御コストを低減するが、非収縮要素の構造特性を包含した運動制御に迫る研究はこれまでない。

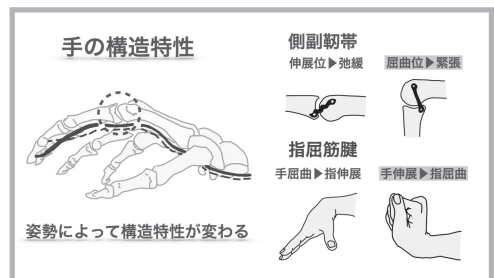


② 目的（課題設定とねらい）

非収縮要素である靭帯や腱の構造特性を包含した運動の規則性を評価する指標を確立し、この指標に基づいてタッピングやタイピングの手指運動を評価する。これによって筋に焦点を当てた既存の制御則にはない新たな制御則を導き、手指運動スキルの習熟を加速させる基盤データとする。

③ 学術的な独自性と意義

ヒトの手には代表的な非収縮要素として側副靭帯と指屈筋腱があり、これらの構造特性は姿勢（角度）によって変化する。側副靭帯は指の中手指節(MP: Metacarpophalangeal)関節に走行している。この構造体はMP関節の屈曲・伸展角度に応じて緊張度合いが変化し、屈曲角度が大きくなると外転（横への）運動が制限される。また、指屈筋腱は手関節とMP関節を走行する。そのため、手関節の伸展運動を行うと指屈筋腱は伸張されるためにMP関節は受動的に屈曲し、手関節の屈曲運動を行うと指屈筋腱は弛緩するためにMP関節は受動的に伸展する。これらの構造特性は姿勢（関節角度）によってその作用を変化させることで、筋の作用と協調し、関節の安定化や力伝達に寄与している。そのため、真の関節運動制御の理解には、これまでの筋活動制御則の知見に加え、これらの構造特性を制御変数とした制御則を導く必要がある。すなわち、速く・正確な運動を行う手指運動においては、収縮要素と非収縮要素の双方を包含した新たな運動制御則モデルを確立することが、複雑な手指運動を支えるスキルの運動学的根拠になると着想した。



④ 期待される成果と発展性

ヒトの巧みな手指運動を支える非収縮要素である靭帯や腱の構造特性を包含した運動制御則を解明することで、手指運動スキルの習熟を加速させる学習方法の確立に向けた基盤データとする。タイピングを例に挙げると、本邦における既存の学習方法について、左右の手を用いた交互打鍵や、子音から母音の組み合わせのキー入力を反復して練習する方法(石田 2005, 高岡 2014)が推奨されている。しかし、これらの学習方法については如何にして指を動かすと効率的な学習が行われるのかについては説明されていない。本研究に期待される成果は、速くそして正確に手指運動を行うための規則を示すことで、既存の学習方法にはない、運動学的根拠に基づいた学習方法の確立に寄与し得ると考える。また、ここで示す手指運動制御については、タイピングスキルの習熟のみならず、中枢神経障害や整形外科的疾患による手指運動機能障害に対するリハビリテーション介入やヒトの動きを支援するロボティクス技術の開発とその発展を促進する基盤ともなり得る。

殺菌レーザーとバクテリオファージを融合した狙撃分子の創成

研究者 北里大学医学部 講師 阪 口 義 彦

<背景>

現在、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のみならず、*Clostridioides difficile* 感染症（CDI）もその治療に苦戦している。CDI は、*C. difficile*が原因で引き起こされる難治性の下痢症・腸炎であり、死に至ることもある。CDI の治療には抗菌薬が用いられるが、抗菌薬では、*C. difficile*のみを特異的に死滅させることは困難であり、腸内の有益な微生物（細菌、真菌、ウイルスなど）までも死滅させる。最近、その微生物の消失により、様々な疾患（認知症、心筋梗塞、肝臓など）を引き起こすことが報告されている。従って、*C. difficile* を特異的に死滅させることが治療の“鍵”を握る。

<目的>

申請者らは、*C. difficile*のみ特異的に殺菌する手法を開発するために、バクテリオファージ（ファージ）に着目した。ファージは、自然環境などに生息しており、特定の細菌にのみ結合する。その特異性は、ファージ尾部が重要な役割を担っている。一方で、申請者らが着目した蛍光プローブIR700は、近赤外光を殺菌レーザーに変換することで、様々な病原体（*C. difficile*、新型コロナウイルスなど）に強い殺菌活性を示す（図1）。申請者らは、これまでの研究成果（*PNAS*, 2012; *Nat. Med.*, 2011; *Nature*, 2010; *PNAS*, 2005）により、これらを融合させた新しい“狙撃分子”を考案した。狙撃分子を用いることで、標的となる微生物のみを特異的に狙撃（スナイプ）することから、“スナイプ法”と名称する。本研究テーマでは、狙撃分子を利用し腸内微生物叢を乱さないスナイプ法を検証する。

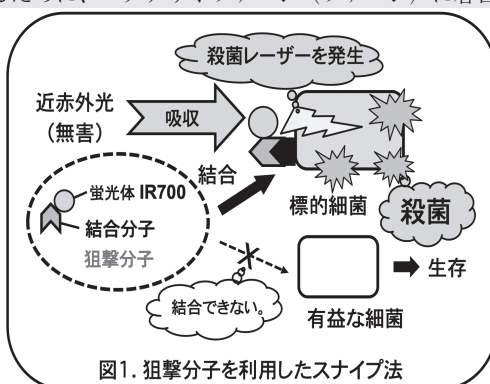


図1. 狙撃分子を利用したスナイプ法

<学術的な独自性と意義>

1. ファージは、自然界の至る所に存在している。多様な病原細菌と戦うための天然由来の“武器”であり、抗菌薬に代わる新たな感染症治療法を発見する“鍵”となると考えられる。
2. 抗菌薬使用により、原因となる病原細菌以外に様々な有用細菌も死滅する。しかしながら、狙撃分子は、特定の有害な細菌のみを“一網打尽”にすることができ、残りの微生物叢には害を及ぼさない。従って、腸内微生物叢を攪乱しない治療法が期待される。
3. ファージは、バイオフィルム（粘性の凝集菌塊）を形成する細菌に対しても殺菌効果を示す。従って、スナイプ療法は、難治性バイオフィルム感染症に対しても治療効果を示す。
4. 現在、COVID-19による感染症が世界中で猛威を振るい、未だその治療法が確立されていない。一方で、“知らずに侵攻”する*Clostridioides difficile*感染症（CDI）があり、その治療が非常に困難である。CDIは、*C. difficile*が原因で発症する再発率が高い下痢症・腸炎であり、死に至ることもある。
5. CDIは、アメリカでは毎年数十万人の罹患者と1万5千人の死亡者が報告され、毎年約1,000億円の医療コストを費やしている。米国疾病管理予防センター（CDC）は、*C. difficile*を“差し迫った脅威”に分類しており、緊急に解決すべき課題である。また、日本でも同等またはそれ以上に多いと推察されている。

<期待される成果と発展性>

1. 腸内微生物叢を乱さない治療法が期待される。
2. 狙撃分子の殺菌作用は、抗菌薬とは異なることから、多剤耐性菌に対しても殺菌効果を示す。
3. スナイプ法に用いる材料は、新しい抗菌薬の開発に比べはるかに安価で迅速である。また、抗体医薬に比べ安定した品質が確保できる。
4. スナイプ法は、人体の様々な細胞や臓器を傷害しないという利点を有する。従って、本開発は、抗菌薬とは異なり副作用のない治療法の確立が期待され、臨床医学上極めて有用である。
5. CDIは、“無症状”であっても知らないうちに発症する恐れがある。従って、抗菌薬に代わるCDI治療法だけでなく“予防法”としても期待される。
6. 本研究成果を基盤として、他の感染症（新興ウイルス感染症、薬剤耐性菌など）にも応用できる。

① 背景（内外における当該分野の動向）

慢性疼痛患者にとっての痛みは、存在そのものがストレスとなり不安などの心理的影響を受け、生活の質（quality of life; QOL）を低下させる。そしてこのようなストレス状態は、更なる痛みの悪化要因となりうると考えられている。臨床において「痛み」は、主観的な感覚であることから客観的な評価が難しく、慢性疼痛患者への治療効果の判定は主観的な患者の評価でなされているのが一般的である。近年、慢性疼痛の原因や客観的評価についての脳機能研究が多数報告されている。その中で、慢性疼痛の一つである腰痛の重要な因子として背外側前頭前野（dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC）が関与しているという内容が注目されている。

② 目的（課題設定とねらい）

本研究の目的は、**痛みによるストレスを患者自身が計測・管理する評価システムを確立すること**である。そのためには、血圧測定と同様に、簡便かつ短時間で（安価に）測定可能であり、評価の妥当性が十分である必要がある。そこで、NIRS（Near-Infrared Spectroscopy）で計測したデータと、痛みの主観的な評価8種類の質問紙（厚生労働省慢性の痛み研究班参加31大学・医療機関共通）との関連性を調査することで、評価法の確立と妥当性の検討を実施する。

③ 学術的な独自性と意義

従来、多くの質問紙で、膨大な時間をかけて痛みの評価が行われてきた。本研究では、簡単に（NIRSの装着は数秒）、短時間（測定時間は2分程度）で痛みによるストレスを評価することが可能か検討する。これによって（1）慢性疼痛患者の質問紙に要す時間を短縮できる可能性（2）慢性疼痛患者自身で簡単にストレスを計測できれば、ストレス過多の対応も迅速になる（3）自己管理能力が向上すれば、痛みの軽減だけでなく予防にも貢献できる、など波及性の高い独自性と意義を有している。

④ - 1 期待される成果

- （1）慢性疼痛患者の多くは痛みにとらわれてしまい痛みを受容することが困難となり、『痛いものは痛い』で思考がストップする。集学的治療の中で患者教育は必須であり、特に痛みの自己管理は重要とされる。**本研究は慢性疼痛患者のストレスを自己管理できるシステムを開発できる期待がある。**
- （2）複雑な慢性疼痛を多面的に評価するため、多くの質問紙によって多大な時間を要していた。しかし、**本研究でNIRS評価と質問紙との関連を明らかにすることができれば質問紙の簡略化が期待できる。**質問紙でなければわからないことがあるため（質問紙の回答時間や回答の仕方、患者の書体（字体）なども重要な評価である）、NIRS評価を補助的に利用することを想定している。

④ - 2 発展性

QOLが著しく低下する慢性疼痛患者はストレス過多であり、生活習慣病のリスクが高まる可能性がある。本研究でできるだけ多くのデータを収集して、将来的にはデータベースを構築したいと考えている。ストレス計測でのNIRSデータ・生体情報（血液検査など）・一般情報（年齢・性別など）を機械学習させ、AIを用いた生活習慣病のリスク判定システムへ発展させることを視野に入れている。

①背景

生体信号に基づく手の動作認識は様々な分野における入力インタフェース（電動義手，外骨格ロボットアシスト，VR）に適用されている。表面筋電位は最も一般的に用いられる生体信号であり，随意的な筋肉の収縮を反映し，非侵襲なセンシングで人間の動作意図を取得できる。前述の通り，表面筋電位は随意的な筋収縮に対応しているため，動作意図に機敏に反応できる高い応答性を有する。しかし，一定の入力を維持したい場合は筋肉の収縮を常に維持する必要があることに加え，人体の生理的な反応における微細な電気信号を皮膚表面で取得しているため，筋肉の疲労や汗などによって信号が変化してしまう。また，筋肉の収縮のみを反映しているため，日常生活中において重要な動作の一つである前腕の回内外で生じるような大きな骨の変位などの活動は取得できない。

これらの問題点を受け，表面筋電位以外の生体信号で人間の動作意図を取得すべく，動作によって生じる皮膚表面形状の変化を計測する手法が提案されている。皮膚表面形状は，力センサ，距離センサ，歪みセンサなど様々な計測方式で取得され動作認識に応用されており，表面筋電位と比較しても豊富な運動情報を含むことが先行研究より確認されている。この**皮膚表面形状は皮膚の機械的な変形を計測しているため，筋肉の収縮に加え関節運動に伴う筋肉の変形，腱の伸長，骨の変位などの多くの体組織活動が含まれている**。多くの先行研究において，皮膚表面形状は表面筋電位と比較され，動作認識の精度などをもって，それぞれの信号の特徴・得手不得手が議論されている。

しかし，皮膚表面形状の計測方式の違いによる認識精度の差について比較・議論されている論文は少ない。特定の計測方式内で，センサの数や計測部位を変化させ精度を比較する研究はあるものの，同一のセンサ数で同一の計測部位を対象とした異なる計測方式間の精度比較はなされていない。

②目的

本研究の目的は，**皮膚表面形状の計測方式の差が手の動作認識の精度に与える影響を検証**することである。様々な計測方式（力，距離，歪みセンサなど）で皮膚表面形状を取得し，動作認識の精度や特徴空間における動作ごとの分布を比較することにより，差の有無を検証する。前述の通り皮膚表面形状には多くの体組織活動が含まれるため，センサごとの特性の違いにより計測される皮膚表面形状に差異が生まれるのか，その特徴の差によって動作ごとの推定精度が変化するかといった議論は，皮膚表面形状に含まれる体組織活動に対する理解を深める助けになると考えられる。

③学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性は，計測の簡便さや堅牢性の側面ではなく，皮膚表面形状から取得可能な体組織活動の種類に着目した点である。これまでの皮膚表面形状計測では比較対象が表面筋電位であったため，主には計測ノイズや筋疲労による信号の変化などを回避できるアプローチの側面が議論の中心となってきた。本研究を遂行することにより，取得している信号の質，つまりはどのような体組織の活動を実際に取得しているのかといった側面の議論を深めることができる。

④期待される成果と発展性

本研究を遂行し得られる結果は二通り考えられる。計測方式によって差が生じた場合，取得可能な体組織活動に差があることとなる。計測方式によって差が生じなかった場合，取得可能な体組織活動に差がないこととなる。前者では**推定対象となる動作に関与する体組織活動を最も取得しやすい計測方法を選択する必要性**を示すこととなり，後者では**動作推定の精度に影響がないため目的によって計測方法を自由に選択できる可能性**を示すことができる。

動作に対する皮膚表面形状の細かな特性を明らかにすることにより，単なるインタフェースのための信号ではなく，動作解析・評価にも応用が可能な確固たるひとつの生体信号として，より一層の利用が期待される。

①背景

私たちが寒冷に曝されたときには皮膚血管収縮反応が生じ、この反応が不十分である場合には低体温症、過剰に生じる場合には冷え性やレイノー症候群と呼ばれる末梢の皮膚血管障害に陥るため、ヒトの皮膚血管収縮反応のメカニズムを解明することは健康な日々の生活には必要不可欠である。これまで、皮膚血管収縮には交感神経調節が強く関与していることが報告されてきたが (Stephens et al. 2004; Pérgola et al. 1993)、その他のメカニズムは明らかになっておらず、冷え性やレイノー症候群の発生メカニズムの解明には至っていない。そのため、申請者らは皮膚血管収縮に関する新規メカニズムの解明に取り組んできた (Arnold et al. 2020; Fujimoto et al. ARIHHP Forum 2022)。

近年、塩素イオンの透過やニューロンでのシグナル伝達など多数の生理機能に関わる塩素イオンチャネルTMEM16Aの構造解明が進み (Paulino et al. 2017)、さらに、血管収縮反応に関連している可能性がTMEM16A阻害剤や を用いた動物実験において報告されつつある (Cil et al. 2021; Leo et al. 2021)。しかしながら、ヒトの皮膚血管収縮に対する塩素イオンチャネルTMEM16Aの関連については検討されておらず、明らかでない。

②目的

本研究では、ヒト皮内マイクロダイアリス法を用いて、塩素イオンチャネルTMEM16Aが寒冷暴露時に生じる皮膚血管収縮に及ぼす影響を明らかにし、ヒトの皮膚血管収縮に関する新規メカニズムの解明を目指す。

③学術的な独自性と意義

本研究では、国内外でも数少ないヒトにおける皮内マイクロダイアリス法を用いて、塩素イオンチャネルTMEM16Aの働きを検討する。皮内マイクロダイアリス法では、経口投与や皮下注射などによる一過性の阻害剤投与では不可能な持続的な阻害剤投与を行うことができ (独自性)、皮膚刺激などによる一時的な皮膚血管拡張などを排除した状態で皮膚血管収縮に対する塩素イオンチャネルTMEM16Aの影響を詳細に検討することができる (意義)。

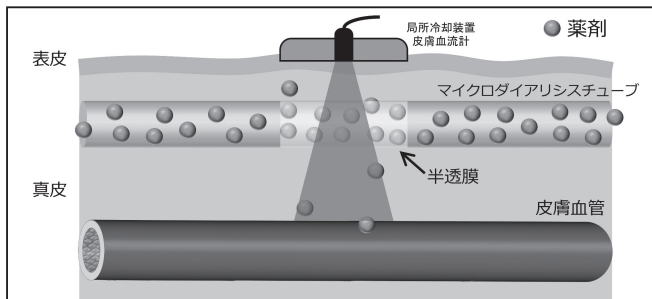


図1. 皮内マイクロダイアリス法の概略図

④期待される成果と発展性

本研究の成果は、ヒトの寒冷暴露時の皮膚血管収縮反応の新規メカニズムの解明につながるだけでなく、体温調節に関わる障害 (冷え性やレイノー症候群など) や糖尿病や高血圧などの循環障害のメカニズム解明や治療法の開発にも寄与するものとなると考えられる。また、今後は皮膚血管反応に関してこれまで明らかになっていた交感神経調節や、現在申請書が研究を進めている温度感受性TRPチャネルとの関連を検討していくことで、ヒトの皮膚血管収縮メカニズムの完全解明に寄与できる。

緑内障治療に向けた微弱電流刺激による眼球の若返り

研究者 愛知医科大学医学部 講師 池 上 啓 介

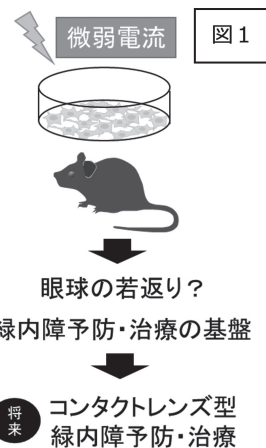
①背景…“緑内障”は中途失明原因第一位の疾患で、世界では1億人近くが罹患しているといわれ、予防や根治の方法が未だ見つかっていない。網膜神経節細胞からなる視神経が傷害され、加齢に伴い増加する。眼球内の圧力（眼圧）が緑内障の主な原因で、近年増加しているといわれる高眼圧を伴わない正常眼圧緑内障も原因が不明なことが多く減圧抑制が主な対処療法となる。進行が遅く自覚症状が少ないため、気づいた時には悪化している場合が多く、高齢化に伴い新たな予防方法や検査方法の開発および治療法の開発が重要な課題になっている。

眼圧も約24時間周期の概日リズムがあり、我々は交感神経と副腎皮質グルココルチコイド（GC）の時間情報により調節されていることを発見した（Ikegami et al., IOVS 2020; Ikegami and Masubuchi, Commun Biol 2022）。眼圧は毛様体からの眼房水の産生と線維柱帯からの排出のバランスで生み出されているが、加齢に伴いそれらの調節機能は低下し、眼圧が上昇しやすく、視神経も障害されやすくなる。緑内障は生活習慣や加齢と非常に密接に関係しており、夜型社会や高齢化に伴い今後増加すると考えられる。夜間シフトワーカーでは眼圧リズムが消失し、眼圧リズムの消失と視神経障害との関連性が近年報告された（Neroev et al., Int J Mol Sci 2021）。さらに、加齢とともに緑内障発症リスクは高まるが、加齢とともに眼圧概日リズムと内分泌リズムの脱同期といった概日リズム異常も報告されている（Mansouri et al., IOVS 2012）。これらから、我々は外的環境の調整で加齢に伴う眼圧リズムの乱れや視神経障害といった老化を抑制または若返り効果が期待できるのではないかと考えた。再生誘導や細胞活性化の外的刺激の一つに微弱電気刺激が知られているが、微弱電流刺激は筋再生を加速させたり、神経の軸索伸長を促したりする（Liu et al. Alzheimer's Research & Therapy 2020）ことが知られている。

②目的…しかし、微弱電流の検出により眼圧を測定するコンタクトレンズ（SEED社製など）はすでに開発されているが、微弱電流刺激により眼圧を制御したり、眼球リズムを整えたり、神経で構成されている網膜の視神経障害を抑制できるかは分かっていない。そこで本研究ではマウス眼球や網膜組織、初代培養細胞を用いて微弱電流刺激により眼房水産生排出部位の機能が亢進し、眼圧リズムの乱れが改善され網膜神経節細胞（視神経）の細胞死が抑制または若返るかを検証する（図1）。

③学術的な独自性と意義…微弱電流刺激を用いた緑内障治療予防法はこれまで確立されておらず、これまでは生活習慣の改善や、眼圧抑制剤の薬理的対処療法が主であったが、手術を伴わない微弱電流刺激により視神経障害を抑制、さらには視神経再生できるのであれば、失明による生活の質（QOL）低下を劇的に改善できる可能性があるため本研究は非常に意義がある。

④期待される成果と発展性…本研究により、微弱電流刺激による眼球機能の若返りが一部でも解明されれば、将来微弱電流（または電子）発生コンタクトレンズによる緑内障予防法の確立や既存のコンタクトレンズ型眼圧測定装置と組み合わせ、ヒトでも眼圧をモニタリングコントロールし、状況に応じて制御するオーダーメイド緑内障治療予防の確立に繋げたい。



①背景（内外における当該分野の動向）

【柔道の頭部外傷】日本の中学校・高校の柔道の部活動において、1983～2011年に73名が頭部外傷で亡くなっており、大外刈りで投げられて死亡するケースが多いと指摘されている（内田、2013）。その後、全日本柔道連盟の安全対策によって、2012～2014年の死亡事故は0件となったが、2015～2020年に急性硬膜下血腫等が10件、脳震盪が11件報告されている。2021年には重篤な頭部外傷はなく、7件の脳震盪が報告されている（全日本柔道連盟、2022）。コロナウイルスによる活動自粛が影響しているために、重篤な頭部外傷が発生しなかったと推測される。一方、海外では、近年の頭部外傷の報告は皆無に近いが、今後の頭部外傷の発生が十分に考えられる。

【問題の所在】日本では、人やダミー人形を投げる実験において、大外刈りによる頭部外傷の危険性を検証した研究が非常に多く（Ishikawa et al, 2018, Koshida et al, 2017, 2019 ; Murayama et al, 2019, 2020）、海外でも同様の研究が行われている（Vacca et al, 2020）。Hayashi et al (2019) やIshikawa et al (2020) は、外力が付与された際の反応が頭部外傷に影響を及ぼすことを示唆し、頭部外傷の発生要因の解明に取り組んでいる。研究全体として、どのような大外刈りの投げ方が頭部外傷の危険を高めるのか、どのような投げ方が安全であるかは解明されていない。そのため大外刈りを掛ける者が注意すべき具体的な安全対策が講じられていない。

②目的（課題設定とねらい）

【課題】以下の3つの課題を設定した。

- (1) 頭部外傷の危険が高まる大外刈りの投げ方を検証する。
- (2) 頭部外傷を防ぐ安全な大外刈りの投げ方を検証する。
- (3) 前述の2つの大外刈りの投げ方を比較し、頭部外傷を防ぐ安全な大外刈りの効果を実証する。

【ねらい】本研究の目的は、頭部外傷の危険が高まる大外刈りの投げ方を解明し、頭部外傷を防ぐ安全な大外刈りの投げ方を提言することである。

③学術的な独創性と意義

【独創性】受け身が未熟であることが頭部外傷を引き起こすという先入観が柔道関係者に根強くあるために、「投げられる者」に問題あるという視点で研究が行われている。本研究は、大外刈りで「投げる者」に問題がある、つまり「投げ方」に問題があるという視点から研究を行うことに独創性がある。

【意義】「投げられる者」に問題あることから、受け身の熟練度や筋力を向上させれば頭部外傷を防止できるという認識を改めさせ、危険な大外刈りの投げ方をさせず、安全な大外刈りの投げ方をさせるという具体的な安全対策を提言することに意義がある。

④期待される成果と発展性

【成果】危険な大外刈りの投げ方をしなくなり、安全な大外刈りの投げ方が学校等における授業や部活動に定着することによって、頭部外傷を防止することが期待できる。

【発展性】背負い投げなど大外刈り以外の技における頭部外傷の研究はほとんど行われていないが、本研究の成果によって、他の技による頭部外傷の研究や安全対策が進む。これによって、さらに柔道を行う者の生命や健康を守ることができる。

研究者 同志社大学スポーツ健康科学部 助教 土 屋 吉 史

① 背景: 高齢化を迎えている我が国では、加齢に伴う肥満・糖尿病などの「代謝疾患」だけでなく、筋萎縮症・骨粗鬆症などの「運動器疾患」への対策が健康寿命の延伸を図る上で喫緊の課題となっている。この対策として、「運動療法」が効果的であることは疑いようない事実である。その一方で、これらの取り組みは殆どが代謝疾患などの克服に向けた治療を目指しており、比較的強度の高い運動が求められる高齢女性などは、代謝疾患克服のための運動さえ実施困難な状況にあり、結局、効果が現れにくい低用量の運動を繰り返さざるを得ない現状にある。この現状を物語るように、様々な治療対策が講じられてきているものの、筋萎縮症・骨粗鬆症の罹患率はいずれも増加しており(平成30年国民健康・栄養調査)、決定的な解決には至っていない。

② 目的(課題設定とねらい)

課題は、加齢性筋萎縮により効果の低い運動を繰り返さざるを得ない高齢者、特に女性ホルモンが激減する高齢女性などが運動効果を得ることなく「運動不足-虚弱-QOL低下の悪循環」に陥ることにある。この背景には、既存の研究の多くが代謝疾患に対する効果を独立して検討している問題点が挙げられる。そこで申請者はこの悪循環を断ち切るべく、「腱」のもつ臓器間コミュニケーションを活かした治療戦略に着目した。国内外の研究機関では、幹細胞からの腱分化や組織再生に注力しており、腱の臓器連関に繋がる研究データはみられない。本研究では上述の命題を解決すべく、閉経後に著しく萎縮する筋量や衰退する筋再生能を腱特異的な進展刺激により維持・改善することをねらいとする。

③ 学術的な独自性と意義

学術的な独自性は「腱」に着目した点にある。興味深いことに運動器に属しながらこれまで注目されてこなかった「腱」でも、運動による筋や骨量維持に重要な因子(IL-6/BMP)の産生や血管新生(Millar et al, *Nat Rev Dis Primers* 2021)が報告されている。また、複数の系譜をもつ細胞集団(Best et al, *FASEB J* 2019)やコラーゲンタンパク分泌・合成の概日リズムの存在も明らかになってきている(Chang et al, *Nature Cell Biol* 2020)。これらの報告は、腱が単なる結合組織ではなく可塑性を有し、筋萎縮を防ぐメッセージを送る内分泌器官である可能性を示唆している。そして本年度申請者は、ヒト腱細胞が刺激を与えなくとも液性因子を介し筋前駆細胞の分化能を促進させたことを見出した(Tsuchiya et al, *Exp. Cell Res.* 2022)。この知見を加齢性筋萎縮症に応用することができれば、腱の細胞間コミュニケーションシステムを利用した、予防医学的な運動療法構築に繋がるとの着想に至った。

④ 期待される成果と発展性

既存の研究では、力学的刺激を加えているものの腱内の遺伝子やタンパク質発現の確認のみに留まっている。一方で、本申請課題では閉経後に変化していると予想される腱由来液性因子の特定とその機能解析までを説明対象とする。本計画が奏功すれば、運動器疾患の罹患率が減少しない現状を開き得る、新たな運動器治療戦略が見込まれる。

■ 背景

突然、部屋から焦げ臭さを感じた時には、とっさに火元や匂い源を確認する。しかし、家族の誰かが料理をしているような状況（文脈）であれば、同じ匂いを感じてもそのような行動はとらない(図1)。このような、文脈に基づき感覚入力を行動出力に正しく結びつけるための脳の神経回路の働きは、動物の生存においてきわめて重要である。しかし、末梢からの感覚情報が文脈に応じた意味を持つためには、高次領域からの情報と統合されなければならないが、どこでどのように情報統合が行われるのかはほとんど不明である。これまで感覚入力と高次領域からの入力の統合は、比較的高次の情報処理段階で行われると考えられてきた(Miller et al., 2005)。しかし、情報処理が高次の段階へ進めば進むほど、感覚情報の持つ意味が不明瞭となるという問題があった。



図1. 文脈に基づく嗅覚の匂い情報処理

■ 目的

そこで申請者は、嗅覚系に注目することで、その問題を回避できると考えた。嗅覚は五感の中で唯一、感覚受容器からの入力、視床を経由せずに、一次中枢の嗅球から二次中枢の嗅皮質へ最短でわずか2つの神経細胞を介するだけで到達するというシンプルな解剖学的構造をもつ。さらに、嗅皮質は、嗅球からの匂い入力を受けだけでなく、適切な行動を取るために必要な文脈情報を担う高次領域からの入力を受けるventral tenia tecta(vTT)という亜領域が存在する。申請者は、これまでの研究でvTTの個々の神経細胞が、文脈に依存した様々な行動状態に対して応答することを明らかにした。さらにこれまでに、mPFCを中心とした回路で文脈情報が作られていることもわかっている(Hyman et al., 2012)。それらのことから、嗅球からの入力とmPFCからの入力の両方を受けるvTTは、感覚情報と文脈情報を統合する重要な場であることが容易に想像できる。そこで本研究は、文脈に応じて感覚情報を正しい行動に結びつける神経メカニズムを明らかにするために、末梢からの感覚情報と高次領域からの文脈情報がvTTで統合され、行動につながるための神経回路を解明することをめざす。

■ 学術的な独自性と意義

これまでの嗅皮質の研究では、嗅球で表現される「匂い地図」(匂い分子の物理的特性によって決まる応答パターン)が嗅皮質でどのように保存されているのかという視点のみで研究が行われてきた。これに対して申請者は、嗅皮質に存在する各亜領域の機能特性が、高次領域から受け取る情報の違いによって異なると考えた。その結果、嗅皮質の亜領域各々が匂いから適切な行動を取るまでの行動状態に対して応答特性が異なり、嗅皮質内の機能差の存在を示唆する成果が得られ、嗅皮質の機能解明に大きな発展をもたらした、新規な学術的価値を生み出してきたと考えている。

■ 期待される成果と発展性

高次領域であるmPFCより付与される文脈と行動状態の情報を解明することで、嗅覚が関係する疾患の解明にも、十分貢献することが可能となる。新型コロナウイルス感染症や神経変性疾患であるアルツハイマー病の初期症状として、嗅覚異常が起こることが知られているが、その原因は不明である(Zou et al., 2016)。嗅皮質の情報処理を明らかにする本研究は、不明であった嗅覚情報処理の謎を解き明かすことで、嗅覚異常の原因の解明と、嗅覚異常をきたす疾患の改善や予防につながるのではないかと考えている。

研究者 大阪医科薬科大学関西BNCT共同医療センター 助教 柿 野 諒

①背景

ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy: BNCT)は、原子炉等から照射される中性子と、中性子に増感効果のあるホウ素薬剤との反応を利用し、腫瘍細胞のみを選択的に破壊する治療法である(図1)。我が国では世界に先駆けてBNCTのプロジェクトが進行し、近年では原子炉に替わり病院に設置可能な加速器BNCTシステムが国内の病院に

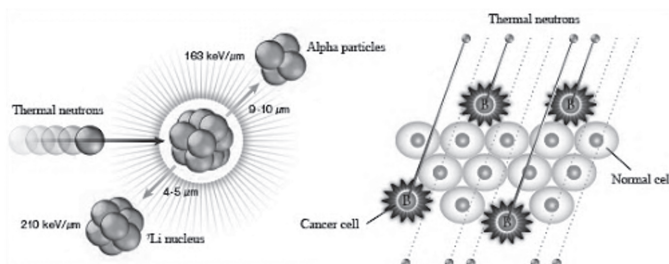


図1: ホウ素中性子捕捉療法の原理

導入され、次世代放射線治療法として期待されている。申請者の所属機関では、産学共同で開発されたBNCT治療システムNeuCure[®]が設置されており、**2020年6月に切除不能な局所進行および局所再発の頭頸部癌が保険診療となった**。また、再発高悪性度髄膜腫に対するBNCTが第Ⅱ相臨床試験として実施されており、今後様々な臓器への適応拡大が期待される。

一方、加速器BNCTでは中性子のみならず、照射野内外からγ線が発生することが知られ、全被曝線量の多くを占める¹。また、患者の全身状態や照射部位に応じて、患者設定体位が様々であるために、患者毎に全身被曝線量は異なると考えられる。そのため、BNCTを施行する全患者に対して、線量計を複数部位に貼り付けて治療中の被ばく線量をオフラインで測定している。しかし、その手技が煩雑かつ多大な時間を要するため、抜本的な改善策が求められている。

参考文献：1. T. Tukamoto, et al., Appl Radiat Isot, 2011;69:1830-1833.

②目的

本研究の目的は、加速器BNCTにおける全身被曝に影響を与える因子を解明し、さらに患者個別の被曝線量予測モデルを構築することである。具体的には、データ駆動型アプローチの中核を成す機械学習アルゴリズムを活用して、BNCTに係るパラメータを入力因子とし、高精度に被曝線量を予測する。最終的には、患者個別に行っている被曝線量測定の省力化を目指し、更には本研究より得られる知見に基づき、被曝線量を低減するような治療計画の立案方法を確立する。

③学術的な独自性と意義

2022年現在、保険診療としてBNCTを行う施設は、世界中で申請者の所属施設を含む2施設のみである。一方、BNCT開始を計画する施設は世界中にあるため、世界に先駆けて全身被曝線量に影響を与える因子を解明することは、国内外への学術的手法としての波及効果は非常に大きいと考えられる。さらに申請者は、機械学習アルゴリズムを組み合わせた被曝線量予測手法を提案する。BNCTによる全身被曝線量測定は幾つかの施設で研究されてきたが、その予測を行った試みはない。そのため本研究は、他に類をみない革新的な研究開発といえる。

④期待される成果と発展性

本研究課題で得られる成果は、今後BNCTを展開する全施設に幅広く展開可能である。国内外に先駆けて本成果を発信することにより、個々の患者の予測モデル。そのため、新規手法としての確立、及び実臨床への展開と発展性を有する研究課題となると考えられる。将来的には線量測定の省力化に向けたデータ駆動型アプローチによる被曝線量の評価に移行することが可能であると考えられる。

① 背景

ストレッチングは関節の可動域を広げ、柔軟性を向上させる。関節の柔軟性はスポーツ競技者の身体運動パフォーマンスの決定因子になることに加え、スポーツ傷害の発生リスクとも関連する。そのため、身体各関節の柔軟性を向上させるストレッチングに関する知見は、子どもから高齢者まで人間の健康や身体機能を維持・向上させるために重要である。

最も代表的なストレッチング法は、静的ストレッチングである。静的ストレッチングは長座体前屈のように、関節可動域の限界まで筋を伸ばし、数十秒間その姿勢を維持する。これを繰り返し行うことで、関節可動域の拡大が期待できる。近年では、効果的に柔軟性を向上させるストレッチング法が提案されている。例えば、固有受容性神経筋促進法（PNFストレッチング）は、ストレッチングの対象となる骨格筋を意図的に収縮や弛緩させることで、可動域の限界近くまでのストレッチングを実現させる。申請者は、末梢神経刺激を用いてストレッチングの対象となる骨格筋を弛緩させてストレッチング効果を高める研究に取り組んだ。その結果、骨格筋を弛緩させる神経活動の増減に関係なく、末梢神経に電気刺激することによってストレッチング効果の改善が見られた。この研究結果から、『末梢神経刺激による感覚神経活動の増大が静的ストレッチング効果を促進させたのでは？』と考え、本研究計画の着想に至った。

② 目的

本研究の目的は、末梢神経刺激で誘起した感覚神経活動がストレッチングの柔軟性向上効果に与える影響を明らかにすることである。ストレッチング効果を高める神経メカニズムを特定し、従来のストレッチング法を刷新することが本研究の最終目標である。

③ 学術的な独自性と意義

本研究は、末梢神経への電気刺激によって感覚神経活動を操作する方策で研究課題の解決を目指す。関節の柔軟性には、骨格筋や腱の伸びやすさである組織の柔軟性と骨格筋や腱が伸びた時に生じる痛みに対する耐性である知覚的な柔軟性に大別される。末梢神経への電気刺激は優先的に感覚神経を動員させるという神経メカニズムを利用して、知覚的な柔軟性を変化させる。そして、本研究は知覚的な柔軟性がストレッチング効果に及ぼす影響まで明らかにする。静的ストレッチングに対する知覚的な柔軟性の寄与の程度を明らかにすることができれば、「痛くないストレッチング」や「短期間で柔軟性を高められるストレッチング」など、従来のストレッチング法を刷新する手法の開発を加速させることができ、新たなストレッチング法をスポーツ現場や臨床現場に実装する研究につながる。

④ 期待される成果と発展性

電気刺激を静的ストレッチングに付加することで、静的ストレッチングの柔軟性向上効果を飛躍的に高める方法を開発できる可能性がある。静的ストレッチングは、対象とする骨格筋や腱の組織の柔軟性を向上させることに加えて、骨格筋を司る神経活動も変調させる。したがって、脳卒中や長期的な不活動などによる顕著な柔軟性の低下（関節の拘縮）やそれに起因する身体運動機能障害を改善するためのリハビリテーション法の開発に応用することができる。

変貌する日本の食文化ーはじまりの米と魚の食文化から再考するー

研究者 山形大学学士課程基盤教育機構 准教授 白石 哲也

海で囲まれた日本列島の食文化は、「米と魚」を基本としてきた。その食文化は、弥生時代に稲作農耕が導入され、縄文時代以来の魚食文化と融和したことで、日本独自の「米と魚食」の食文化が醸成され、和食へと昇華されていった。

しかし、近年、日本の「米と魚」の食文化は、衰退の一途を辿っている。昭和から平成にかけて生鮮魚介類購入量は約3割減少している一方で、国民の食に対する健康・安全志向は高まり、魚食への関心も非常に高い。そこには、経済性・簡便性を求めた肉食傾向の拡大と健康・安全性を求めた魚食への期待が認められるが、長引く不況により、肉に比べ高価格帯である魚への十分な回帰は無く、結果として魚食が減り、日本独自の魚食文化は衰退しつつある。同様に、米の消費量も主に欧米やアジアなど様々な食文化の普及により、減少の一途をたどる。その結果、日本の食文化が消えつつある状況にある。だが、米と魚は食糧安全保障の要でもあり、日本の風土に適した「米と魚」の食文化を守ることは、多様化する食習慣のなかで、守るべき大切な文化である。

【①背景】

そこで、本研究では現代日本に繋がる「米と魚」の食文化の開始期である弥生時代の魚食文化を解明することを目指す。そして、「米と魚」の食文化について、根源的な見直しを推し進め、次世代へと継承していくモデルを構築する。

【②目的】

人の魚食に関する営為には「漁をして、それらを加工・調理し、食す」という一連の流れがあり、それらは切り離されるものではない。また、文化とは「食べる」だけでなく、漁や調理をするための行動・道具・思想を含める。

しかし、先史時代の文化は、これまで個々別に語られることで、研究も個別細分化してきた。それ自体は研究内容の昇華を進めてきたが、本来目指すべき「食文化の全体」が見えなくなってしまった。それゆえ、本研究では、個々別々に用いられてきた魚食に関する考古学・理学・民俗学・文化人類学の研究を有機的に繋げる基礎を作り、食材の獲得から調理方法までの一連の流れを体系化する。これにより分野を超えた画期的な複合的分析方法が確立され、新たな融合領域を開拓することができる。これは、先史社会の食文化研究において日本列島や弥生時代に限定せず、様々な地域・時代に応用可能な方法であり、今後、研究期間を超えて日本の先史時代食文化を解明するための方法論としても大きな貢献を期待できるものである。その結果、先史魚食文化複合の解明が期待される。

【③独自性と意義・④成果と発展性】

また本研究では、現代日本の課題である魚食文化の衰退を止め、次世代につないでいくことを目指す。そのためには学術研究を通じて、市民や博物館と協働することで、日本独自の魚食文化の意義を改めて社会に示し、学術研究から一般社会への新たな協働モデルを構築・実践する。

森林伐採と気候変動の飲み水のアクセスへの影響： 高解像度衛星データとGPS付き人口健康調査による分析

研究者 筑波大学人文社会系 教授 内 藤 久 裕

① 背景および目的

国連によれば、2020年において、世界人口の26%が清潔な水にアクセスできていない(SDG 6)。この問題を考えるうえで、しばし議論されるのが森林伐採と安全な飲み水へのアクセスへの関係である。

興味深いことに、森林面積と安全な飲み水へのアクセスへの影響に関しては、これまで環境学や水文学の中では否定的な議論がなされてきた。例えば、Filoso S, Bezerra MO, Weiss KCB, Palmer MAらは、306の文献をサーベイし、森林面積の増加は、水源での水量を減少させると結論づけている。この直感に反する研究結果は、森林自体が水を消費しその水を空气中に排出するためと、先行研究において説明されている。

このような森林伐採と水へのアクセスに関する先行研究の定説に対して、申請者は、水源における水量の物理的増加は、消費可能な水の増加を意味しないと議論してきた。これまでの環境学および水文学での先行研究は、森林部分の面積と水源での水量の関係を物理的な側面から分析したものである。しかしながら、水源における物理的水量が増加したとしても、世帯の安全な水へのアクセスが増加するとは限らない。その増加が水質の減少によってもたらされているならば、消費者は安全な水にアクセスできない可能性がある。

以上のような理由から、準備研究として、申請者とその学生のMapulangaは家計に直接サーベイを行っている人口家計調査と高解像度衛星画像を使って、森林伐採と安全な飲み水へのアクセスへの関係を統計的に解析した。具体的にはアフリカで森林伐採が問題になっているマラウィに注目し、マラウィでの森林伐採が家計の安全な飲み水へのアクセスにどのような影響を与えるかを分析した。その結果、1%ポイントの森林面積の減少は、安全な水へのアクセスを1.3%ポイント減少させることを発見した。これは、当該国で過去20%ポイント森林面積が減少していることを考えると、安全な水へのアクセスが26%ポイント減少することを意味する。著者らのこの準備研究の結果は、Nature, Scienceに次いで世界的に最も権威が高いと言われている全米科学アカデミー紀要に出版されている(Mapulanga and Naito (2019))。

② 独自性および得られる結果

準備研究で得られた結果は、マラウィという1か国だけのものであり、途上国一般に成り立つとは限らない。申請者は、この準備研究を踏まえ、今回の研究では研究を3つの方向に拡張する。第一に研究対象国をアフリカ全体に拡張する。具体的には、解像度3mの衛星画像データを用い、過去30年間の森林伐採の衛星画像をデータとして読み込み、画像識別を行う。GPS情報をもとに、人口健康調査の各世帯のGPSデータと衛星画像データを紐づけ、各家計周辺20kmにおける森林伐採が飲み水のアクセスにどのような影響を与えているかを分析する。第2に森林が飲み水へのアクセスに関して気候変動のショックをどれほど緩和するか検討する。地球温暖化によって、サブサハラ地域でも大規模な気候変動が予想されている。それゆえ、これは喫緊の課題である。第3に、森林伐採がおよびそれに伴う安全な水へのアクセスの減少が、大規模な地域間人口移動を起こしているのかを、センサス-マイクロデータを使って検証する。この研究により、より一般的な範囲で、森林伐採と安全な飲み水へのアクセスの関係を検証することができる。

感染症予防難易度の高い社会福祉施設における 環境特徴量抽出と空気質管理方法に関する研究

研究者 電気通信大学iパワードエネルギー・システム研究センター 教授 横 川 慎 二

① 背景

これまで、我々の研究グループでは、COVID-19の感染拡大防止に関する東京都、京都府など自治体との連携により、飲食店・音楽会場・医療／介護施設向けの換気方法について調査、研究を行い、結果をプレプリント6本（現在、論文投稿中）で発表するとともに、一般の方々にも理解が容易な「実践！換気対策ガイドブック」にまとめて配布する活動をおこなってきた。それらの内容は、感染が沈静化しつつある現在（2022年5月）、ポストコロナ社会の形成に貢献している。ところが、**特殊な環境であるがゆえに、通常管理が難しい場所が置き去りになりつつある**。

代表的なものの一つに保育施設がある。クラスター発生時には保護者も休業を強いられるなど社会的インパクトが大きい施設である一方で、乳幼児の安全確保のため部屋の構造が特殊である、近隣への配慮から窓開による換気が憚られる、食事や昼寝などマスクを外さざるを得ない場面が多いなど、感染症対策が難しい。

このように、**社会的に重要な社会福祉施設ほど、感染対策が難しいにも関わらず予防策に関する議論、研究から取り残されている場所が多く、事業者のリソースを圧迫する社会課題となっている**。

② 目的

エアロゾル感染に関する対策が難しく、かつクラスター発生時の社会的インパクトが大きい社会福祉施設における感染症予防のための空気質管理方法を、**実際にCOVID-19のクラスターが発生した現場におけるCO₂センサーなどIoTデバイスを用いた環境分析とモニタリング、機械学習による特徴量抽出と感染症拡大リスクの定量化、発生状況に関する疫学的調査と因果推論を通じて明らかにし、管理すべき特性と管理手法について明らかにする**。それらの結果を学術論文として公開するとともに、社会福祉施設向けのガイドブックに編集し、広く配布して啓蒙を図る。

③ 学術的な独自性と意義

実際にCOVID-19のクラスターが発生した現場において、IoTデバイスによる環境分析と疫学的調査の結果を因果推論を通じて統合し、管理すべき特性と管理手法について明らかにするような**異分野連携の提案**である。それぞれの現場に予防策を提供するとともに、**リスク管理における客観的かつ合理的な解決法を導く方法論として、変革期における人間行動の意思決定モデルとして提案する**。

④ 期待される成果と発展性

成果は、随時論文投稿などにより発表する。特に、COVID-19研究に関与するコミュニティへの情報共有のため、medRxivなどのプレプリントサイトを活用して、タイムリーに成果を公表してゆく。発表や反響などについては、大学のニュースリリースなどを通じて積極的に広報する（例：電気通信大学HP；https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2021/20210430_3337.html）。

事業者向けに編纂したガイドブックは、省庁や自治体と連携して広く公表し、業界へ啓蒙の活動を進める（例：東京都HP；https://www.seisakukikaku.metro.tokyo.lg.jp/basic-plan/daigaku/kyodo-jigyo.html#item_dentsu、京都府HP；<https://www.pref.kyoto.jp/sanroso/news/co2monitoring-data.html>）

小中学生のハイリスクなネット利用行動に及ぼす規定因の研究： 個人レベルと学校レベルの分析

研究者 奈良女子大学研究院人文科学系 教授 中山 満 子

①背景

今日、小中学生（以下、子ども）でもスマートフォンやタブレット、ゲーム機器などを用いてインターネット（以下、ネット）を利用し、ネット上のコミュニケーションに対するハードルが下がっている。見知らぬ相手とも簡単にSNS等でコミュニケーションをとり、その結果、犯罪被害（性被害、誘拐など）にあう事件も起きている。しかしこのような現象が議論の俎上には上がってはいるものの、ハイリスク行動をとる子どもを対象とした実証研究はほとんど行われていない。またネット依存についての研究は非常に多く行われているが、ネット上で見知らぬ人とコミュニケーションをとり、実際に会うといったハイリスク行動についての学術研究はほとんど行われていない。申請者は、これまでハイリスク行動をとる子どもの特徴を明らかにするための調査研究を行い、地域を問わず2%程度はネットで知り合った見知らぬ人と実際に会うという非常にリスクの高い行動の経験をもつ子どもがいること、それらの子どもたちは孤独感が強く居場所感が低いこと、まわりにサポートされている感覚が低いことを報告している（鈴木・中山, 2021, 2022予定）。

②目的

本研究では、申請者の先行研究をふまえて子どものネット上のハイリスク行動（以下、ハイリスク行動）を規定する要因について、子どもを取り巻く環境、とりわけ学校との関係に焦点づけて検討する。近年のGIGAスクール構想やコロナ禍の影響により、学校からタブレット端末が配布され、配布された端末を利用して、オンラインゲームやSNSを利用し、これがハイリスク行動につながっていると推察される。本研究では、子どもの個人特性に加えて、学校での情報教育やICT利用の方針を調査し、ハイリスク行動への影響を検証する。これをふまえて情報教育やICT利用のあり方についても考察し提言する。

③学術的な独自性と意義

子どものネット利用についての問題はかねてより指摘されており、教育の実践も行われているが効果が上がっているとは言い難い。それは、これまでの提言や教育プログラムが、一般的・包括的なものにとどまっていること、問題を子ども自身と家庭にのみ帰属させることが多いこと、学校での取り組みを対象とした実証的研究はほとんど行われていないことが一因である。申請者が行った先行研究においても、子どものタブレット端末利用率は高く、目的でも述べたように学校からタブレットやPCが配布されていることが一因と推察される。しかし学校におけるセキュリティの管理や情報教育は必ずしも十分ではなく、子どものハイリスク行動につながっている可能性がある。本研究では、社会心理学的な実証研究、すなわち個人レベルと学校レベルのマルチレベル分析を行い、ハイリスク行動への個人特性の影響と学校ごとの特徴の影響を分離して分析するという、これまで行われてこなかった検討を行う点で学術的意義が高い。またハイリスクな子ども個人のみならず、学校や教育行政レベルでの支援の方策を提案することにも学術的意義を有する。

④期待される成果と発展性

子どものハイリスク行動について、これまで明らかにされていない要因が明らかになるとともに、学校現場や家庭で対応するための方策を提言できる。特に教育行政のあり方として、教育へのICT利用の推進とともに、より安全で適応的な利用についての検討材料を提供することができる。

①背景（内外における該当分野の動向）

確率的に推論することは、すべての市民が日常にある不確実性を考慮して意思決定を行うために、また、ビジネス、医療、政治、法律、心理学などの様々な専門的分野においてサンプリングや推測を行うために必要である。確率的推論とは、次の4つの段階で構成される推論である。

- [1] 自然、技術、社会におけるランダムな事象を特定する。
- [2] そのような事象の条件を分析し、適切なモデル化の仮定を導き出す。
- [3] 確率的状況に対する数学的モデルを構築し、そのモデルから様々なシナリオや結果を探索する。
- [4] 確率・統計の数学的手法と手続きを応用する。

日常的な例では、COVID-19の検査結果の解釈に確率的推論が利用されている。専門的な例では、インターネット検索システムであるGoogleのWWWページのランク付けに確率的推論が利用されている(本村, 2003)。このように私たちにとって確率的推論は身近に必要な推論であることから、学校数学（中学校・高等学校の数学）には、すべての生徒に対して確率的推論を身につけさせることが要請されている(Batanero et al., 2016)。

しかしながら、「学校で教わる確率というのは、…（略）…数学を展開する意味では重要だが、世の中での生活や仕事には、直接役に立つとは言えないものなのだ」(小島, 2013, pp.32-33) や、「確率は、学校で学ぶだけの無味乾燥な技術的なことがらでは決してない」(マクテロウ, 2015, p.1) などのように、現在の国内外の学校数学における確率の授業は、学校卒業後の生活や仕事に役立っていないと批判されている。実際に、私たちは学校数学で確率を学習したにもかかわらず、社会に出てからは確率的に推論することが苦手であることが、認知心理学や行動経済学の研究によって明らかにされている。このような背景から、生徒が確率的推論を身につけることができる授業の在り方を明らかにすることは、学校数学の確率に関する研究において喫緊の課題である。

②目的（課題設定とねらい）

以上より本研究の目的は、次の3つである。

- (1) 生徒が確率的に推論する授業をデザインする。
- (2) デザインした授業を高等学校で実施していただき、その有効性を検証する。
- (3) (2) の結果から、生徒が確率的に推論する授業が具備すべき条件を明らかにする。

③学術的な独自性と意義

現在の学校数学の確率では、例えば「自然、技術、社会におけるランダムな事象を特定する」という活動が意図されていないため、さいころやコインが教材として扱われている。一方で、確率的推論を目指す場合には、病原菌の検査や商品の売り上げ予測などが教材になる。これまでの学校数学の確率では実施されていない教材や授業に関する研究となるため、独自性があると考える。また、前述のようにすべての市民にとって確率的推論は必要であることから、不確実な現代社会をより良く生きる人材の育成の点で意義があると考える。

④期待される成果と発展性

本研究の結果から、理論的・実証的に有効が示された、生徒が確率的に推論する授業を提案できると考えている。また、その授業が具備している、生徒が確率的に推論する授業の条件を明らかにすることによって、国内外の様々な学校でも、生徒が確率的に推論する授業をデザインし実施できるようになることが期待される。さらに、社会における意思決定のために必要な確率的推論に着目する本研究は、学校数学の確率が、すべての市民の生活や仕事に役立つものへと改善されるための基礎的研究になることが期待される。

個別最適な学びと協働的な学びの一体化を目指した プログラミング教育における学習プロセス評価手法の開発

研究者 九州工業大学教養教育院 准教授 山 田 雅 之

① 背景

令和の日本型学校教育（中央教育審議会，2021）では「個別最適な学び」と「協働的な学び」の一体的な充実が求められている。一方で小学校では、プログラミング教育が2020年に開始され、かつGIGAスクール構想（文部科学省2019）によって一人一台端末を活用した実践が進められている。両者を踏まえると、プログラミング教育における個別最適な学びと協働的な学びを一体的に引き起こすことで、学習指導要領で求められている「主体的・対話的で深い学び」の実現を目指した取り組みが求められているといえる。具体的には、児童生徒個人がプログラムを作成しつつ、他者との共有や対話の中でより良いプログラムを創造していくような過程が想定される。指導と評価の一体化の観点では、児童生徒の評価を付けるために行う「評価」とともに、教師が次の授業改善に活かすための、子供の学びのプロセスをとらえるような「評価」が求められているといえる。

プログラミング教育の領域では、正解の決まったプログラム（本研究ではこれを正解モデルと呼ぶ）を速く正確に記述できることだけでなく、自らゴールを設定しそのゴールへ自ら接近したり、ゴールをより高い目標へと設定し直したりする創造的な活動が注目されている（Resnick, 2017）。正解モデルによる研究では、ある問題を与えた際に、その問題を解くために最適な手続きと比較することで、学習者の操作が速く正確だったかが評価されている（小林・太田・長谷川，2022）。一方で、創造的なプログラミングでは、正解が学習者によって異なるため、各学習者のプログラミングについて共通する「不適切な手続き」の定義は困難である。また、不適切な手続きのデータが未蓄積のため、AI（教師あり学習）を用いて不適切な手続きを自動抽出することも不可能である。

② 目的

本研究では、創造的なプログラミング実践場面における「不適切な手続き」に着目し、それを「バグ」と同定してアノテーションすることで、その学習プロセスにおける特徴を顕在化させる評価手法の開発を目指す。具体的には以下の2つの実践を実施する。一つは、小学生が一人でプログラミングを実施する場면을対象とし、バグがどのように起きているかのデータを収集する。もう一つは、小学生および大学生を対象として、一人でプログラミング課題を実施したのちに、ペアで話し合い活動を実施し、その後再び一人でプログラミング課題を実施する中でのバグのデータを収集する。これらのデータ分析を通じて、創造的なプログラミング活動遂行時に発生するバグの傾向や種類を同定し、教育方法の改善に活かすとともに評価手法について検討する。

③ 学術的な独自性と意義

従来のバグを対象とした代表的な研究では、正解モデルからどれだけ逸脱するかが主として検討されてきた。ここには、プログラミングが「正確な手続きを教え込むことで身に着く」という暗黙の前提があった。一方でAIが定型的なプログラムを自動生成するようになった現代では、自分で設定したゴールに向けてプログラムを作り、それを協働の中でより良く作り替えていけるような資質能力が重要である。こうした背景を受け、小学生段階から実現したいプログラムを作る過程やそれを協働的に改善する過程に関する知見が求められているといえる。

④ 期待される効果と発展性

本研究で子供の学習過程に着目した質的な分析結果を蓄積することを通じて、AI等を用いた分析の自動化を進めるための知見が得られると期待される。アノテーションされた量的な学習データの蓄積があれば、創造的なプログラミングを支える可能性が期待できるバグと、そうでないバグの選別が進む可能性がある。また、小学校教師に対しても、子供たちのバグの性質を理解する支援になるため、教育改善へつながら可能性も極めて高い。

幼児期の「サウンド・エデュケーション」を支援するアプリケーションの開発と検証

研究者 つくば国際短期大学保育科 常勤講師 仲 条 幸 一

①背景（内外における当該分野の動向）：カナダの作曲家マリー・シェーファー（1992）の著書『サウンド・エデュケーション』は、日本の音楽教育に「音を聴く」という行為の重要性を啓発し普及した（阪井2011）。幼児期の子どもを対象に『サウンド・エデュケーション』を実施した研究については、今川（2006）の実践研究や、吉永（2012）の音感受の研究等で知見が示されており、日本の幼稚園・保育園・認定こども園においても様々な「音を聴く」ことに関連した報告を確認することができる。他方、「音を聴く」こととも密接に関わる「音楽をつくる」活動については、幼児期の子どもを対象とした音楽づくりでは坪能ら（2005）による2004年から続く実践研究の蓄積や、「応答性」に着目した駒（2013）の研究が挙げられる一方、現時点で多くの研究が為されているとは言い難く、その研究の多くは小学生以上の子どもを対象としている。さらに、日本の小学生以上の年齢において対象となる教科「音楽」では、教科の目的を達成するためにコンピューターやタブレット等のICTの利点を活用した音楽づくり・創作の授業事例も見ることができる。音楽科においてICTを活用する教育的価値については、時得ら（2011）による、音や音楽が空間に響いた後に消えて無くなってしまふ特性によって生じる子どもの「知覚」「感受」「価値判断」の3つの段階を支援するためにICTが有効であると示した研究や、サンプリング手法に焦点をあてた創作活動におけるアプリケーションの教育的意義を検討した木下ら（2018）の研究が挙げられる。こういったアプリケーション利活用の知見が幼児期の音楽表現に援用可能な一方、幼児の「音を聴く」「音をつくる」ことを目的にアプリケーションを活用した先行研究は、菅見の限りでは確認できない。

②目的（課題設定とねらい）：本研究では、ICTのもつ「音の記録」の機能に着目して次の2点の課題を達成することを目的とする。1つ目は、複数の幼児が協同的に身のまわりの音に耳をすましながら、音を記録・操作して音響作品をつくり、それを幼児自身が振り返り聴取するといった「サウンド・エデュケーション」を支援するアプリケーションを開発することである。そして2つ目はそのアプリケーションを搭載したタブレットを用いた音を聴く活動・音楽づくりを幼稚園で実践し、幼児の行動や音への興味関心等の分析を通じて、ICT活用によって幼児の協同的・能動的な音楽づくりに与える影響を実証し、保育の質の向上を音楽経験の視点から目指すことである。

③学術的な独自性と意義：学校教育における「教材」を、樋口（2020）は3つに分類し、その1つとして「授業の場面で必要になる道具・教具としての役割」と述べている。音の記録や可視化、録音した音の操作といったアプリケーションのもつ多様な機能を、幼児が自らの音楽表現探究の道具として主体的に活用することは、幼児の音を聴く姿や音楽をつくる姿を表出し、幼児期の創造性や音の聴き方について新たな知見が学術的に提案できると考えられる。また、本来一過性となりがちな音による表現が、作品として記録されるということは、その作品の分析や評価が可能となることを示している。すなわち、言語での表現が未成熟な幼児が、自分では説明することのできない「どのようなことを理解しているか」、「どのようなことを工夫して表現しているのか」等を読み取るヒントとすることが可能であり、これまでの幼児期の音楽表現の追究とは異なる視座から、音・音楽に向かう幼児の姿を教師（あるいは保育者）が発見することにつながると考えられる。こういった幼児期の音楽表現にICTを活用する実践については、現時点では研究の緒に就いたばかりであり、本研究によって達成されるアプリケーションの開発と実践には研究の意義が認められるものである。

④期待される成果と発展性：今後、GIGAスクール構想やSociety5.0、COVID-19の対策と学びのイノベーションといった社会的状況の中で、家庭内での電子機器の配備やIoT化が進み、必然的にICTが環境の一部となって幼児が触れる機会は増えていくことから、ICTに関する幼児の学びの検証は喫緊の課題である。佐藤（2021）は、コンピューターを「教える道具」としてではなく、「学びの道具」あるいは「探究と協同の道具」として活用する方途を探索する必要があると指摘しているように、本研究は、幼児がタブレットやアプリケーションを「学びの道具」として扱うことに発展性がある。

①背景（内外における当該分野の動向）

将来、自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder：以下、ASD）児を援助する職に就くことを志望する大学生は、学外のボランティアに積極的に参加する。学内の授業では身に付け難い実践的な知識やスキル修得のためである。しかし、学外のボランティアでASD児と関わる体験を得ることができても、関わりの困難さを解決するスーパービジョンが脆弱であり、大学生は悩みや困り感を抱え易い（土居,2012）。そこで、有為な人材育成には、ASD児と実際に関わる体験を得て、その場でフィードバックを受ける教育プログラムが必要になる。このような教育プログラムは、国家資格等を取得する特別なカリキュラムを除くと、大学での単位化にはいくつかのハードルがある。この点を解決するために、海外の医学教育システムでは、ヒデューン・カリキュラム（Hidden Curriculum）と呼ばれ、一定の歴史がある手法を用いている。

それは、正課外で行われ、大学生の専門能力の開発に強力な影響を与える学習形態の一型をなしている（Neve & Collett, 2017）。以上をふまえ、本研究では対人援助職を志望する大学生への臨床発達心理領域のヒデューン・カリキュラムを開発する。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、将来ASD児への対人援助職を志望する大学生を対象として、臨床発達心理領域のヒデューン・カリキュラムを開発することをねらいとする。そのため、以下の2点を課題として解決する。

①大学生がASD児の行動変容を引き起こす上で必要な専門能力（知識とスキル）を促進する教育プログラムを作成、効果検証を行う。②①の教育プログラムで、大学生の専門能力を高める要因を同定する。

③学術的な独自性と意義

ヒデューン・カリキュラムは、海外の大学・医学部で実施されてきた（Elliot, Baumfield, Reid & Makara, 2017）。医学部でのヒデューン・カリキュラムの効果は実証され（Neve & Collett, 2017）、教育カリキュラムの内容も整理されている（Bandini, Mitchell, Epstein-Peterson, Amobi, Cahill, Peteet, Balboni & Balboni, 2015）。しかしながら、臨床発達心理領域では未解明である。申請者らは、長年にわたり大学生の専門能力を高めるトレーニングを行ってきたという実績を有する。しかし、その汎用化についてまとまりのある報告等はない。本研究のねらいが達成されれば、臨床発達心理領域のヒデューン・カリキュラムを提案することができ、今後ASD児への対人援助サービスを志向する大学生の人材育成に大きな影響を与えることができる。

④期待される成果と発展性

本研究の実施により、臨床発達心理領域のヒデューン・カリキュラムを開発することができる。そして、この教育を受けた大学生が、支援対象者のプライバシーや人権に配慮し、データを重んじ、申請者らが抱えて立つ行動変容法（個人と社会の相互影響関係を客観的に分析して介入を行う心理技法）を実践することができる。本研究により、当初の志望を叶えASD児への対人援助サービスを提供する職に就く大学生にとって直接的な利益をもたらすばかりでなく、将来実業界や家庭経営を生業とする大学生にも、科学的思考やエビデンスを基に意思決定する態度や内省の実践家としての精神を涵養することができ、高等教育の価値形成に寄与できる。

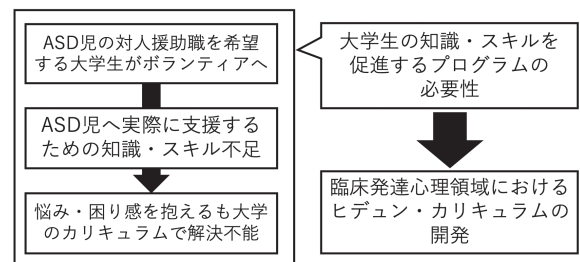


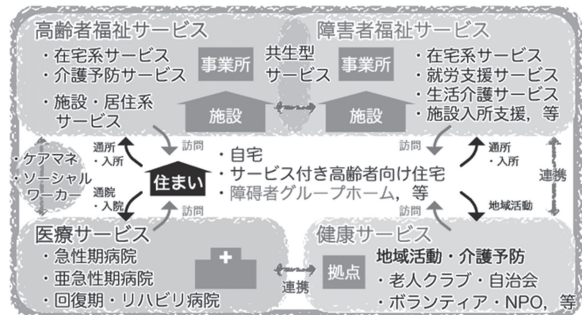
図1 ヒデューン・カリキュラムの必要性

障害者福祉拠点における利用／支援実態と拠点間連携の研究 -共生型地域包括ケアシステムの構築を目指して-

研究者 東京電機大学未来科学部 教授 山田 あすか

① 背景（内外における該当分野の動向）

我が国では戦後の人口増加時代に高齢者福祉と障害者福祉の仕組みがつくられ、各分野に専門特化する形で支援やケア体制が構築された。2000年代には各分野で介護保険法／障害者自立支援法が施行され、措置から契約へとサービス体系が切り替わり、施設収容から住み慣れた地域での生活支援／ケアへと方針が転換された。現在、高齢者福祉では重度の要介護状態でも住み慣れた地域で自分らしい暮らしを人生の最後まで続けられる「地域包括ケアシステム」の構築が進められている。しかし人口減少で物的・人的資源が縮減するこれからの社会で地域密着型の支援／ケア体制を持続するには、両分野を広義の福祉として捉え直し、障害者福祉の施設や事業所等（以下、拠点）もまた地域資源として組み入れる「共生型地域包括ケアシステム（右図）」として再構築し、高齢／障害／疾病等で何らかの支援やケアが必要な人たちを包摂する必要がある。



② 目的（課題設定とねらい）

本研究では「共生型地域包括ケアシステム」構築に資する知見を得ることをねらいに、まずは幼児期～高齢期にかけて多様な支援サービスが提供される障害者福祉の拠点での利用／支援実態と拠点間連携を明らかにすることを目的とする。地域での拠点間連携による障害当事者への支援実態と、総合的な支援拠点となる施設での地域生活移行や地域生活支援の実態の解明を本研究課題に設定する。

③ 学術的な独自性と意義

●**学術的な独自性** 建築計画分野では主に入所施設やグループホームでの生活実態や環境整備について事例研究をもとに知見が蓄積されてきた。本研究ではこれらの施設を含む多様なサービス拠点が地域の中にどう分布し、不足するサービスをどう補いながら地域で生活する障害当事者のニーズを包摂するかを、拠点間連携とその空間・環境のあり方の両視点から捉える点に学術的な独自性がある。

●**意義** 人口減少下で物的・人的資源が縮減する我が国では、要介護者／要支援者もまた人的資源として可能な範囲で誰かを支える役割の担い手となる共生支援／ケアの実現が必要だと考える。本研究では共生支援／ケア拠点の一役を担う障害者福祉拠点の実態や拠点間連携が明らかとなり、今後の持続可能な支援／ケアを可能とする「共生型地域包括ケアシステム」構築につながる点に意義がある。

④ 期待される成果と発展性

●**期待される成果** 障害当事者の支援ニーズは多様・複合的で各拠点内では主たる対象とは異なるニーズの利用者がいることが想定される。本研究遂行で拠点での利用者実態が顕在化し、異なるニーズに対して各拠点がどのように体制・空間・環境を整えているかが明らかになる。

●**発展性** 本研究では障害者福祉の拠点を対象とするが、その中には高齢者福祉のサービスも併せて提供される共生型サービス拠点も含まれる。当該拠点での調査分析は高齢者福祉の拠点実態となる知見で、高齢者福祉拠点としての課題抽出が見込まれ、今後の研究展開への発展性がある。

① 背景

日本で移民が急増してから30年以上が経過し、日本育ちの移民二世が研究者になっている。しかし、日本では在日コリアンを除けば移民は研究の客体であり続けており、移民による移民研究の発信には至っていない。移民による研究の困難は、大きく2つの要因による。第1に、高階層出身者が支配的な研究者の世界で、ブルーカラー層出身が多い第二世代には、「民族」「階級」の不利のしかかる。

第2に、不利を克服したとしても、主流パラダイムへの同化により自己疎外が生じてしまう。第二世代研究者は、既存のパラダイムを用いて論文を書くに際して、自らを含む移民集団を一人称ではなく、三人称で（＝他者として）呼ぶこととなる。業績主義に適応することで、他者（主流のパラダイム）の枠組みでしか自己を語りえなくなるという意味で、オリエンタリズムと同型の問題が発生する。

これらは、第二世代研究者自身だけでなく、日本の移民研究全体にとっても大きな損失をもたらしてきた。マジョリティ視点を前提とした主流の研究は、移民を統合の客体とみなし、移民側の視点は軽視されている。

② 目的

では、日本のニューカマー移民第二世代は、どうすれば当事者ならではの研究発信を行えるのか。そこで用いるのがオートエスノグラフィーという研究手法である。これは、自伝（autobiography）と民族誌（ethnography）を掛け合わせた造語で、著者自身の経験を記述し体系的に分析する手法を指す。代表者以外全員が日本で教育を受けた第二世代の研究者からなるチームにより、『移民第二世代のオートエスノグラフィー』という書籍を刊行し、当事者を担い手とする新たな研究潮流を作り出すことが、本研究の目的となる。

③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、オートエスノグラフィーという方法を移民研究に本格的に導入する初めての試みたることにある。このアプローチは、マイノリティを排除してきた主流の研究手法（他者を研究し表象）に対する挑戦で、当事者にしかできない発信を意識した研究を志向する。第二世代研究者は、高校・大学受験や経済状況などによる競争上の不利を被ってきたが、自らを分析対象とすることで、移民の背景を研究上の発見につなげられる。たとえばブラジル人学校は、教育社会学者から否定的に評価されてきたが、それではリーマンショック後も存続している理由を説明できない。メンバーであるヨシイは自己経験の分析から、日伯の教育制度の狭間で排除された在日ブラジル人のニーズに特化したサービスの提供が、ブラジル人学校の優位性を生み出し、存続に結び付いているという。このような経験をオートエスノグラフィーの手法で分析することで、公立学校とブラジル人学校の相違を当事者目線から解明できる。

④ 期待される成果と発展性

まず本研究には、移民二世による移民二世の分析を単行本として刊行するという形式上の新奇性があり、それに対してオートエスノグラフィーという方法論をセットで提示する。その意味で本研究は、単に新たな分析例を提示するにとどまらず、今後増加する移民第二世代研究者、ひいては当事者研究を志す研究者に対して、分析のガイドラインや範型となる方法論を提供する目的をもつ。

次に、オートエスノグラフィーは自らが知悉するデータを用いること、インサイダーとしての視点を生かした分析を行うことで、新たなパラダイムをもたらさう。個々の研究者が日本の社会制度のもとで苦闘してきた経験の分析を抽象化すれば、印象論や表面的な比較文化論にとどまらない「移民からみた日本社会論」の展開も可能である。

デジタル時代におけるヒト固有なコミュニケーション方策の変化予測

研究者 同志社大学研究開発推進機構 特別任用助教 阪 口 幸 駿

<①背景>

三菱総合研究所が昨年出版した『スリーエックス 革新的なテクノロジーとコミュニティがもたらす未来』では、来るべき100億人・100歳時代の社会をより豊かに迎え、かつ、国連「持続可能な開発目標」で宣言された「だれ一人取り残さない」社会を実現するための方策として、「革新的な技術」と「新しい人のつながり」の確保が重要であるとの提言がなされている。DX化が叫ばれ高度に情報化・デジタル化されつつある昨今の潮流は経済的な豊かさを増強させるものではあるが、技術革新のみを押し出した「なりゆきの未来」では、本来アナログな生き物であるはずの人間の、人間らしさや人間性の喪失につながることが懸念され、心の豊かさの存在が脅かされている。コンピュータが登場する以前の世界では、人々はオンラインではなく実際に会って会話し、表情や声色といったアナログ情報をもとにした情緒的なコミュニケーションを介することでこれが緩衝材の役割を果たし、価値観の異なる他者や集団とも親和的に意見を調整し、互いに融和的な信頼関係を構築してきた。

しかしながらオンライン変革期である現代のコロナ禍事情や、より情報化が加速することが見込まれる未来の社会においては、人々はスマートフォンなどのデジタル媒体や購買情報などのデジタル記録によって極限まで個人化され、個人個人で多様ではあれど互いに交わることのない、他者不信と怒りに支配された社会が構築されつつある。事実、Twitterを始めとしたSNS上ではすでに利用者のクラスター化（自己が選好する意見にしか耳を傾けない）と異なるクラスターへの過剰な攻撃や誹謗中傷が繰り返されており、他者や外集団への無関心や無理解という形で、デジタル化の弊害が表出し始めている。

したがって、「加速度的に進展する高度なデジタル社会やそれを後押しするデジタル技術」と、「心の豊かさが担保された中でのつながりの維持」の両立は喫緊の課題であり、特に後者に表される、「人間本来のコミュニケーション」の持続可能性向上を目指す新たなコミュニケーション様式の模索と、そのための社会基盤の整備が不可欠となる。

<②目的>

デジタル時代におけるコミュニケーション方策の変化予測と、アナログ時代に享受されていたメリットの持続的維持のため、本研究では以下の3つの目的を掲げる。

A: 生物学的ヒトが元々どのようなコミュニケーションを形成しているのか、動物や機械の特徴と比較する比較認知科学的見地から、ヒト固有な行動特徴を明らかにする

B: 上記ヒト固有な行動特徴が、デジタル社会の中ではどのように変容すると見込まれるのか、予測して未来の社会構造のあり方を描く

C: アナログからデジタルへの移行で削ぎ落される要素について、移行後も維持するための施策を提案する。

<③学術的な独自性と意義・④期待される成果と発展性>

デジタル社会における人間行動については、社会心理学や行動経済学など、応用行動科学的分析が多く実施されている。しかしながら申請者はこれでは不十分だと考えており、なぜならそれは、そもそも「人間」がどのような認知的特徴を持つ固有な生物なのか、その前提条件が曖昧であるからである。「人間らしさ」や「人間性」を学術的に精緻に定義できていない限り、応用的な分析はその意義を見失う。「人間は他の動物と異なり、また機械とは異なり、何がどう違うのか。どう違うからこそ、どの部分でデジタルとの親和性を低下させてしまうのか」、この「人間」に的確に注目した上での社会予測は、どの先行研究にも見られない、学際性豊かな本研究独自の最押しポイントである。これゆえ、本研究の成果は本研究以外にも多方面に応用されうる潜在性を秘め、「人間」を中心としたこれからの多様な時代のいかなる分析にもまず前提として利用される、無限の可能性を内包する。

①背景(内外における当該分野の動向)

高等学校の必修教科である共通教科情報(以下「情報科」と呼称)は、2022年度から初の必修科目「情報Ⅰ」が設置され、統計学やプログラミングなど学習内容が高度化する。また2025年度から、大学入学共通テストに「情報」が加わる。このような状況の中、充実した授業展開に向けて、情報科教師の専門性の向上が期待されている。

一方、様々な学習内容の指導に「自信がない」や「あまり自信がない」と回答する情報科教師が一定数いること(文部科学省 2017)や、情報科の専任が不足していること(中山ほか 2017)などの課題がある。こうした先行研究は、情報科教師の専門性の向上を目的とした研修の充実を指摘することに帰結する。しかし、そもそも情報科教師の専門性とは何か、という具体性が検討されてこなかった。

②目的(課題設定とねらい)

教師は、教育的推論と行為(右図)の過程で学習する(Shulman 1987)。つまり、まず教科内容や教科書を「理解」し、生徒の特性を踏まえてそれらの内容を教材へと「翻案」する。そして、実際に授業で「指導」し、生徒を「評価」する。その後、これらの活動を「省察」し、「新しい理解」を得る。



図 教育的推論と行為(pedagogical reasoning and action)

教科ごとに学習内容が異なることを踏まえると、各教科の教師の専門性は、特にこの過程の「翻案」周辺から検討できると考えられる。そこで本研究では、情報科教師の専門性の一側面として「翻案」の特徴を明らかにすることをねらいとする。また、このねらいの達成に向けて、以下の課題を設定する。

課題：熟練の情報科教師への学習指導案作成に関するインタビューと授業観察を通して、情報科の教科内容をもとに教材や指導案を作成する方法を、明らかにする。

③学術的な独創性と意義

情報科教育研究では、授業実践や理解度調査など生徒や教材に焦点が当てられてきた。本研究は、熟練の情報科教師がどのように教材や指導案を作成するのかを解明するため、従来この研究分野で着目されてこなかった教師研究に焦点を当てている。また、情報科はICTを積極的に利用する教科であるため、本研究の解明は、ICTの活用を前提とした教師の専門性の解明へと繋がる。このように本研究は、情報科教育における教師教育という研究分野や、教師教育におけるICT活用という研究分野の発展に寄与する基礎的な研究である。

④期待される成果と発展性

本研究で明らかにする熟練の情報科教師の「翻案」の特徴は、若手の情報科教師や情報科教師を目指す学生が身に付けるスキルとしての指標として機能する。そのため、大学での情報科教育に関する科目や情報科教師を対象とした自治体の研修などの、質的向上(カリキュラム改編や研修項目の追加など)に繋がる。また、本研究の成果の公表により、情報科教師の専門性における「翻案」以外の側面を検討するきっかけとなり、今後の情報科教師の専門性研究の進展に繋がると考えられる。

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
