

第43回 (令和7年度)

# 助成研究の概要

令和7年12月5日

# 研究助成推薦要項 抜粋

---

## 1. 助成の趣旨

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

### 〈基本助成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

 人材育成・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。

### 〈基本助成2 助成額 300万円〉

基本助成1と同様の、合計22分類が対象となります。

## 2. 対象とする研究者

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

## 応募状況ならびに助成実施状況

### 1. 募集及び応募

募 集 期 間 令和7年4月4日～5月30日

応 募 数 120大学より289件

### 2. 選考審査

選考予備会議 7月18日開催 選考方針・選考基準の確認

個別書類審査 7月24日～8月20日

選 考 会 議 9月12日開催 助成候補者の選出

理 事 会 10月10日開催 助成対象者57名の決定

### 3. 募集枠別の応募件数と採択状況

	応募件数	採択件数	金 額
基本助成1	179件	41件	4,100万円
基本助成2	110件	16件	4,800万円

### 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	10	2
	2	電気・電子・磁性デバイス MEMS	6	1
	3	光デバイス 表示素子 情報記録	10	1
	4	通信・伝送用デバイス センサデバイス	3	0
	5	新素材 ナノテクノロジー関連	33	13
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	1	0
	8	ソフトウェア 知識処理 AI	11	0
	9	放送 通信 IoT	3	0
	10	計測 制御 センシング	20	3
	11	機構 ロボット	6	2
環境 その他	12	環境エレクトロニクス (材料 新エネルギー 省資源 省エネルギー)	28	4
	13	シミュレーション科学	5	1
	14	加工法 工作法 リサイクル技術	3	0
	15	信頼性・最適デザイン	2	0

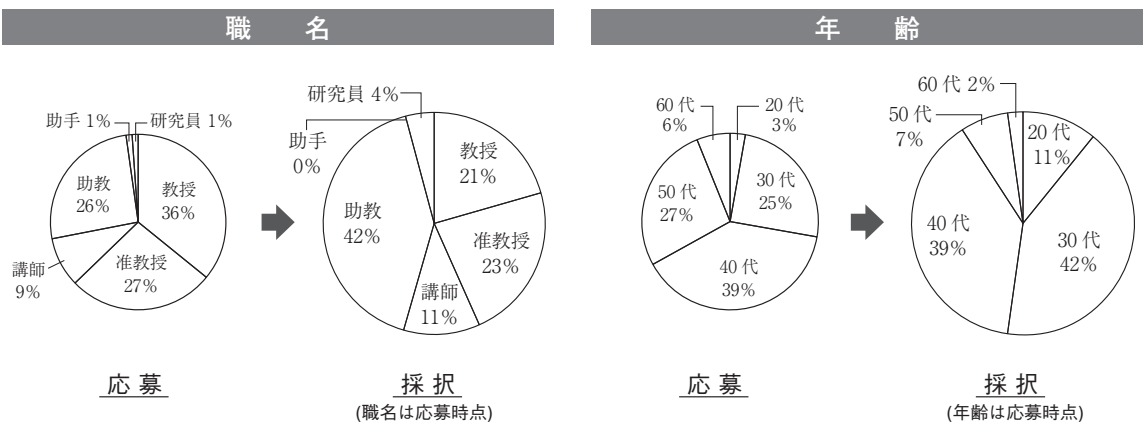
〔B系：医学・生理学系〕

分 野	分類No	分 類	応募件数	助成件数
健康・スポーツ ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	24	1
	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	17	3
	18	ヘルスエンジニアリング	29	7
	19	バイオエレクトロニクス関連	18	7

〔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 人間行動	20	人材育成に関する研究	23	2
	21	変革期における人間行動の研究	14	4
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	17	5

## 5. 研究者 (代表研究者)



## 6. 助成金額

### 【年度別 研究助成総額の推移】

回数	年度	件数	総額(千円)
第1回	昭和58	24	25,900
第2回	〃 59	28	34,912
第3回	〃 60	33	41,460
第4回	〃 61	34	43,165
第5回	〃 62	30	40,905
第6回	〃 63	33	42,950
第7回	平成 元	34	42,900
第8回	〃 2	33	43,925
第9回	〃 3	33	44,900
第10回	〃 4	41	51,760
第11回	〃 5	36	47,980
第12回	〃 6	39	51,690
第13回	〃 7	40	50,850
第14回	〃 8	39	49,830
第15回	〃 9	39	49,920
第16回	〃 10	38	49,940
第17回	〃 11	39	50,780
第18回	〃 12	39	49,710
第19回	〃 13	37	49,800
第20回	〃 14	42	55,640
第21回	〃 15	40	50,400
第22回	〃 16	39	50,740

回数	年度	件数	総額(千円)
第23回	平成17	44	50,000
第24回	〃 18	46	51,990
第25回	〃 19	49	54,350
第26回	〃 20	43	53,000
第27回	〃 21	42	52,000
第28回	〃 22	39	50,750
第29回	〃 23	38	49,000
第30回	〃 24	38	50,000
第31回	〃 25	38	50,000
第32回	〃 26	38	49,960
第33回	〃 27	40	60,000
第34回	〃 28	40	59,990
第35回	〃 29	41	64,870
第36回	〃 30	45	72,680
第37回	令和元	47	78,850
第38回	〃 2	54	71,750
第39回	〃 3	61	82,960
第40回	〃 4	70	98,000
第41回	〃 5	51	79,000
第42回	〃 6	51	87,000
第43回	〃 7	57	89,000

現在までの

助成件数 1,762件

助成金総額 2,375,207千円

【設立認可】 昭和57年12月23日

【特定公益増進法人認可】 昭和59年10月20日～平成22年11月30日

【公益財団法人設立登記】 平成22年12月1日



## 選考委員

---

五十嵐	哲	工学院大学 名誉教授
伊 藤	浩 志	山形大学 副学長
内 川	義 則	東京電機大学 名誉教授
枝 松	圭 一	東北大学 名誉教授
笹 瀬	巖	慶應義塾大学 名誉教授
定 本	朋 子	日本女子体育大学 名誉教授
高 木	康 博	東京農工大学 大学院工学研究院 教授
高 橋	智	東海学院大学 人間関係学部 教授 東京学芸大学 名誉教授
塚 本	新	日本大学 理工学部 教授
西 保	岳	筑波大学 体育系 教授
平 川	一 彦	キヤノンメディカルシステムズ株式会社 先端研究所 所長 東京大学 名誉教授
広 田	照 幸	日本大学 文理学部 特任教授
益 子	典 文	岐阜大学 副学長
松 山	泰 男	早稲田大学 名誉教授
宮 本	恭 幸	東京科学大学 工学院電気電子系 教授
村 垣	善 浩	神戸大学 大学院医学研究科 医療創成工学専攻 教授 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 客員教授
若 原	昭 浩	豊橋技術科学大学 学長

(令和7年9月22日現在)

令和7年度

# 研究助成

## 第43回(令和7年度) 研究助成一覧

57件

助成金総額 8,900万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	フォトリック結晶大面積共振と分子振動の強結合形成による物質変換の研究	東北大学大学院工学研究科 教授 北 村 恭 子	300
2	セラミックス材料の1nmスケーリングによる新規エレクトライド物質の創出	東京大学生産技術研究所 講師 塚 本 孝 政	300
3	コア・シェル構造を有するプラズモニック二酸化炭素光触媒の開発とメカニズム解明	東京大学大学院工学系研究科 講師 豊 島 遼	300
4	新概念光メモリ実現に向けた室温安定・高移動度・長寿命エキシトンの生成	九州大学大学院システム情報科学研究院 教授 板 垣 奈 穂	300
5	2次元層状磁石の磁性強化を目指したスピン流による層間磁気結合の定量的評価手法の開発	九州大学大学院理学研究院 助教 飯 森 陸	300
6	磁気粘弾性ハイブリッド構造を応用したソフトロボットの創生	大分大学理工学部 教授 菊 池 武 士	300
7	レーザーヘテロダイン分光による地球近傍宇宙空間のヘリウムの高波長分解能光学観測手法の開発	総合研究大学院大学先端学術院 助教 西 山 尚 典	300
8	生物学的相分離内の化学環境モニタリングによる酵素反応の理解	東北大学学際科学フロンティア研究所 卓越准教授 奥 村 正 樹	300
9	人体の外にある体内の創出と非侵襲生体内化学センシングへの応用	山形大学大学院有機材料システム研究科 教授 長 峯 邦 明	300
10	非脂質性mRNA医薬品の高効率製造に向けた新規マイクロ流体デバイスの開発	東京科学大学総合研究生体材料工学研究所 助教 堀 真 緒	300
11	ソフトアクチュエータによる軟骨オルガノイドの並列培養システムの開発	東京農工大学大学院工学研究院 准教授 倉 科 佑 太	300
12	近赤外線半導体レーザー技術とバクテリオクロリンを用いた低侵襲がん治療法の開発	名古屋市立大学大学院医学研究科 講師 田 中 守	300
13	次世代口腔ヘルスエンジニアリングの基盤となる歯槽骨のメカノセンシングと骨代謝の連関機構の基礎研究	同志社大学生命医科学部 教授 西 川 恵 三	300
14	仮想現実(VR)内の一人称アバターに対する適応を利用したヒト能力拡張手法の研究	大阪電気通信大学総合情報学部 准教授 松 居 和 寛	300
15	改変可能な情報倫理教材の開発と多段階相互評価を用いた情報倫理の学習手法に関する研究	北海道大学情報基盤センター 教授 布 施 泉	300
16	潜在的態度の可視化によって人材開発研修の効果が向上するか? :潜在連合テスト(IAT)の導入	東京科学大学大学院医歯学総合研究科 講師 伊 角 彩	300
17	機械学習を導入した透明な伸縮性電子皮膚デバイスの開発	北海道大学大学院情報科学研究院 教授 竹 井 邦 晴	100
18	ナノ構造化ハロゲン化物光学結晶材料の創製	東北大学金属材料研究所 准教授 横 田 有 為	100
19	超音波ファインバブルによるバブルテンプレート法を用いた無機中空ナノ粒子の開発	山形大学大学院理工学研究科 教授 幕 田 寿 典	100
20	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup> 液体熱電変換におけるケトン・アルコール混合有機溶媒系開発	茨城大学学術研究院応用理工学野 助教 井 上 大	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
21	光制御スマート流体による革新的省エネルギー熱交換器の創出	宇都宮大学工学部 助教 KIM YUNA	100
22	ホウ素含有中性子シンチレータの高発光量化に関する研究	宇都宮大学工学部 助教 竹 淵 優 馬	100
23	物理リザバーコンピューティング応用に向けた自己形成量子ドットの電気特性と時系列異常検知能力の評価	電気通信大学大学院情報理工学研究科 助教 OON Sim jui	100
24	モット絶縁体二重量子井戸を用いたモットロニクス研究	金沢大学理工研究域 教授 高 橋 圭	100
25	光応答型ハイドロゲルによる農業資材自動供給技術の開発	信州大学社会実装研究クラス-繊維科学研究所 准教授 李 志 河	100
26	電子線励起アシスト光学顕微鏡によるダメージレスな高空間分解能観察に向けた電子線散乱制御手法の開発	静岡大学工学部 助教 益 田 有	100
27	潤滑特性の最適化に向けた添加剤分子のバルク・界面挙動の統合的解析	名古屋大学大学院情報学研究科 助教 宋 玉 璽	100
28	中分子医薬用ナノケージの効率的調製法の確立	名古屋工業大学大学院工学研究科 助教 松 原 翔 吾	100
29	トポロジカルデータ解析に基づくSOFC電極の迅速評価	京都大学大学院工学研究科 准教授 岸 本 将 史	100
30	短パルスUVレーザー破壊による結晶多形転移の精密制御	大阪大学大学院工学研究科 助教 高 橋 秀 実	100
31	内視鏡ロボット鉗子の触覚計測および視覚誘導性錯触覚による提示システムの開発	山口大学大学院創成科学研究科 准教授 森 田 実	100
32	金ナノ三角プレート自己組織化膜と半導体ナノ粒子のハイブリッドナノ構造形成による超強結合の実現	九州大学先端物質化学研究所 助教 梶 野 祐 人	100
33	パイロクロア型オキシフルオライドナトリウムイオン伝導体の創製と電気化学特性の評価	九州大学大学院工学研究院 助教 王 健	100
34	機械的刺激により発光する有機半導体結晶の開発とメカノ発光センサーへの応用	大阪公立大学大学院工学研究科 特任助教 大 垣 拓 也	100
35	屋内エネルギーハーベスティング用量子ドット蛍光集光型光電変換デバイスの開発	慶應義塾大学理工学部 専任講師 磯 由 樹	100
36	異構造バイラテラル制御による力覚提示型遠隔作業ドローンの開発	芝浦工業大学システム理工学部 准教授 桑 原 央 明	100
37	高齢者のための対話的音声入力によるメッセージ作成支援システムの開発	立命館大学情報理工学部 教授 泉 朋 子	100
38	介護予防事業を目的に開発した遠隔モニタリング式運動システムの効果検証－高齢男性を焦点とした取り組み－	筑波大学システム情報系 特任助教 鈴 木 康 裕	100
39	表皮の創傷治癒過程を再現する細胞培養モデルとインピーダンスによる解析	群馬大学大学院理工学府 助教 高 田 裕 司	100
40	病理検体を対象としたヘッドマウントディスプレイを用いたARナビゲーションシステムの開発	千葉大学フロンティア医工学センター 助教 長 野 菜 穂 子	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
41	ナノ材料-酵素ゲルハイブリッド粒子の微細化とバイオセンサ応用	東京科学大学総合研究院未来産業技術研究所 助教 菅 野 佑 介	100
42	がん治療と細菌叢制御を両立する次世代口腔内近赤外光デバイスの創出	名古屋大学大学院医学系研究科 特任助教 岡 田 龍	100
43	即時的な筋水分変動と筋線維伝導速度評価で紐解く運動時の筋収縮動員パターンの推定	京都大学大学院医学研究科 特定助教 廣 野 哲 也	100
44	超小型磁気センサ内蔵カテーテルとIVUS統合による低被曝3D細血管ナビゲーションシステム	横浜市立大学大学院医学研究科 助教 大 屋 貴 志	100
45	電気生理・ATP同時計測で探る代謝依存性認知障害メカニズム	大阪公立大学大学院医学研究科 助教 黒 木 暁	100
46	光技術を用いた情動制御に関わる新たな神経メカニズムの解析	大阪公立大学大学院医学研究科 教授 近 藤 誠	100
47	心筋PETと人工知能を用いた心筋再生医療のためのRadiomics開発	東京女子医科大学医学部 助教 山 本 篤 志	100
48	歌唱における豊かな表現力の可視化：画像AIを用いた顔・身体動作の多角的分析	大阪芸術大学短期大学部保育学科 専任講師 高 橋 純	100
49	米国の文化外交ーラジオ放送の意義	東京大学附属図書館ヒューマニティーズセンター 特任研究員 市 川 紘 子	100
50	日本中世前期の首都京都における武士の軍事行動と貴族の情報記録行動	富山大学学術研究部人文科学系 准教授 長 村 祥 知	100
51	生成AIとの言語的相互作用に基づく情報発信の変容機序と教育的効果の解明	山梨大学大学院総合研究部教育学域 准教授 小 野 田 亮 介	100
52	数学の基礎概念に困難を抱える生徒のためのAI学習システムの開発:個別最適化による根元的定着を目指して	岩手県立大学ソフトウェア情報学部 准教授 田 村 篤 史	100
53	臨床心理士が知能検査を訓練できる児童型ロボット・システムの開発	愛知県立大学情報科学部 准教授 Felix Jimenez	100
54	大規模ゲームプレイデータの類型化に基づく行動変容支援システムの開発とその有効性の検証	北翔大学教育文化学部 准教授 入 江 智 也	100
55	日韓農業における海外労働力の受入れと東南アジアの階段状送出メカニズムに関する研究	東海大学文理融合学部 教授 深 川 博 史	100
56	大規模言語モデル(LLM)活用による薬学生の省察的実践を促す対話型学習支援システムの開発	慶應義塾大学薬学部 助教 木 崎 速 人	100
57	人の"距離感"音声表現と呼吸の関係の研究	玉川大学脳科学研究所 嘱託研究員 村 上 遥	100

※所属は助成時点で記載

令和7年度

# 研究の概要

## フォトニック結晶大面積共振と分子振動の強結合形成による物質変換の研究

研究者 東北大学大学院工学研究科 教授 北 村 恭 子

---

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

分子はその原子間の結合が振動している。水分子 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) では、酸素原子と水素原子との間に生じる伸縮振動や、変角振動が挙げられ、それぞれ固有の振動周波数を有する。近年、分子の振動モードと光共振器の有する固有共振モードとが強結合状態を形成する振動強結合 (vibrational strong coupling) が注目を集めている。これは、実験的な結果として、強結合状態の形成により水溶液中のイオン伝導度の増大や誘電率の増大などが報告され、化学反応速度の自在な制御や反応選択制にも寄与すると期待されるためである。すなわち、光共振器による光を用いない物質変換が可能になる。当該分野は、2012 年に仏国の研究者らによって光異性化反応での結果が報告されて以来、ヨーロッパおよび米国の物理化学者を中心として、様々な実験および理論の構築が進められてきた。しかし、用いる光共振器は、最も基本的な合わせ鏡によって構成されるファブリーペロー型に限られていた。そのため、光共振器と結合する分子数は非常に限定的であった。

一方、光の波長程度の周期的な誘電体構造からなるフォトニック結晶は、フォトニックバンド構造と呼ばれる特異な分散関係を示す。フォトニックバンド構造中の特異点（バンド端）では、群速度ゼロ状態、すなわち共振状態を形成することができる。バンド端を示す周波数は、フォトニック結晶を構成する格子点間隔（格子定数）等の格子点の構造設計により自在に制御可能である。バンド端での共振効果は、大面積の 2 次元共振状態を形成することから、半導体レーザー構造中にフォトニック結晶を埋め込んだ、フォトニック結晶レーザーが注目を集めている。研究代表者は、フォトニック結晶レーザーにおいて 2 次元共振状態を制御し、様々な出射ビームの生成をこれまでに研究している。

### ② 目的（課題設定とねらい）

以上のような背景の下、本研究では、フォトニック結晶が 2 次元大面積共振効果を有することに着目し、フォトニック結晶バンド端共振器と分子振動との強結合状態の形成とその制御を目指す。これにより、結合に寄与する分子数を大幅に増大させ、物質変換を原理的に無限大のレベルまでスケールアップ可能であることを明らかにする。

### ③ 学術的な独自性と意義

本研究では、①に記載の通り、物理化学者を中心として研究されてきた振動強結合系に対して、研究代表者がこれまでに培ってきたフォトニック結晶による大面積光共振状態制御技術を導入する。すなわち、化学分野に光エレクトロニクス分野から学術的に越境することに独自性と意義がある。

### ④ 期待される成果と発展性

光共振器・分子の強結合系において、フォトニック結晶大面積共振器を用いることは、学術的新規性に富み、また、その効果は、原理的に無限数の分子との強結合を可能にし、新たな物質変換の可能性が拓けることで示される。振動強結合状態の形成により、化学反応速度の自在な制御が可能になれば、光共振器が既存の触媒と同等の効果をもたらすことに他ならず、さらに、フォトニック結晶の 2 次元大面積共振でこれが実現可能となれば、化学プラントレベルへのスケールアップも可能な共振器となる。すなわち、光エレクトロニクス分野が、物理化学のみならず反応工学分野をも一変させうる発展性を有する。



**背景** 従来のナノ粒子（粒径 5~500 nm）よりもさらに小さな、粒径が 1 nm に達する「**クラスター物質**」は、**固体と分子の境界領域に位置する物質群**であり、従来材料では得られなかった特異な物性を発現することから、次世代材料の候補物質の一つとして大きな注目を集めている（図 1）。しかしながら、当該物質群の合成には原子レベルの精密操作が必要不可欠であり、この技術的課題によってクラスター物質の化学は長らく未開拓の分野となっている [T. Tsukamoto *Nanoscale* 2024]。近年申請者は、カプセル型高分子を利用してクラスター物質を簡便に合成する独自の手法「**アトムハイブリッド法**」の開発に成功し、**クラスター物質の精密かつ元素統一的な合成を初めて可能とし** [T. Tsukamoto et al. *Nature Commun.* 2018, *Acc. Chem. Res.* 2021, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022]（図 2）、実際に本手法を用いて、**クラスター物質が固有の電子構造・化学構造に由来した特異的化学反应性を有する**ことを実験的に明らかにした [T. Tsukamoto et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2020, *J. Am. Chem. Soc.* 2020]。

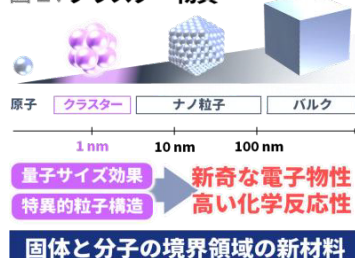
このような検討の中で、申請者は、一部のクラスター物質において、通常は**非磁性である元素が磁性を示す**、本来は**無色である元素が強い発色を示す**など、奇妙な現象をしばしば観測してきた（図 3）。これらの現象は、これまで明らかになっていたクラスター物質の特性では説明できず、**粒子内部に閉じ込められた不對電子（エレクトライド）に起因する**ような、当該物質群に固有の新たな原理に基づく可能性が高いと考えられた。エレクトライドは、固体材料ではいくつか報告例があるものの、一般的に極めて不安定な物質であり、1 nm の**分子サイズ材料として単離することは困難**とされていたが、クラスター物質を基盤材料とすることで、このような新奇物質の合成可能性が初めて見出されたといえる。

**研究目的** 本研究の目的は、申請者独自の合成手法を応用し、「**クラスター物質を基盤材料とする分子サイズエレクトライドの探索**」を行うことである。特に、普遍的な無機化合物（酸化物・硫化物・フッ化物等のセラミックス）に着目し、クラスターに固有の高対称構造や欠陥構造の誘起により不對電子の生成を促進することで、量子サイズの微粒子内に電子を閉じ込めた**新たな物質群の創成を目指す**とともに、**新たな物質設計概念の学理構築を狙う**（図 4）。

**学術的な独自性と意義** これまで、精密な理論的予測や実験的合成が困難とされていたクラスター物質の領域において、本研究の一連の検討プロセスはすべて**申請者独自の合成技術と物質設計コンセプトに立脚**しており、これを基盤として「1 nm の物質科学」における新たな領域開拓と学理構築を目指す本研究提案は、**大きな独自性を有している**といえる。特に、これまで困難とされていた分子サイズエレクトライドの単離が達成され、原子レベルの構造微細化を利用した**新たな物質設計概念**が見出されれば、無機化学・物理化学・材料化学を始めとした様々な基礎化学分野において大きなイノベーションを興すことから、**学術的に大きな意義を有している**。

**期待される成果と発展性** 分子サイズエレクトライドが持つ、「**非磁性元素に磁気特性を付与**」「**無色の元素に光学活性を付与**」できる特性により、従来は物理的・化学的に不活性とされていた**ユビキタな無機物質を機能材料へ転換する、資源戦略の視点を組み込んだ材料開拓**の発展が期待される。さらに、1 nm の空間に電子を閉じ込めた材料は、量子コンピュータをはじめとした量子技術・新興のエレクトロニクスの分野において、**新たな量子材料**として利用できる可能性を秘めており、このことから**応用・産業的な側面から大きなインパクトを与える**と予測される。このように、本研究は従来の物質科学の体系や方向を大きく変革・転換させる潜在性を有しているといえる。

図 1. クラスター物質



① 原子レベルの精密合成が課題

図 2. アトムハイブリッド法



図 3. 一部クラスターの特異現象

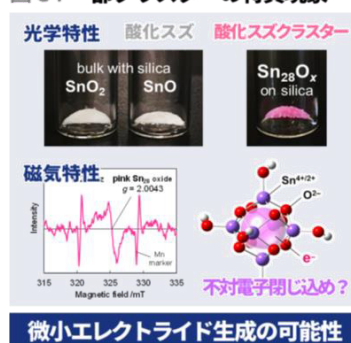


図 4. 本研究の目的





## コア・シェル構造を有するプラズモニック二酸化炭素光触媒の開発とメカニズム解明

研究者 東京大学大学院工学系研究科 講師 豊 島 遼

### ①背景（内外における当該分野の動向）

近年、地球規模の気候変動の抑制、持続可能な資源循環の実現を目指して、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) の資源化が求められている。最も抜本的な解決策は  $\text{CO}_2$  を資源として捉え、ポリマーや燃料などの有価物質を作り出す技術の開発である。金属ナノ粒子上で起こる特異的な光吸収過程である局在表面プラズモン共鳴を利用することで可視光をエネルギー源とした  $\text{CO}_2$  の光還元触媒の実現が期待できる。本触媒系は無尽蔵の可視光をエネルギー源として利用するため次世代触媒として期待されるが、従来の熱エネルギーを使った触媒[ACS Catal., 8, 1405 (2018) など]と比較して現段階の活性は 1/10 程度であり、実用化に向けて更なる開発が求められる。

### ②目的（課題設定と狙い）

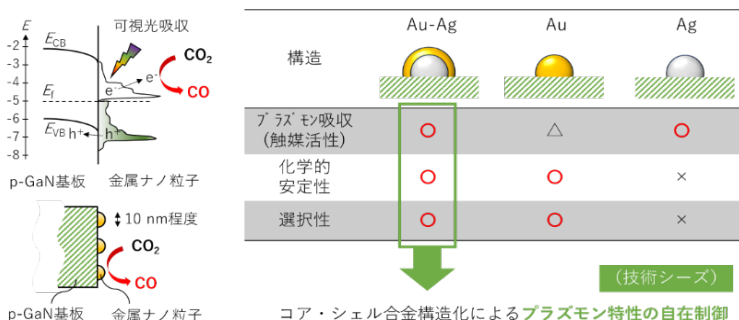
申請者の保有技術であるコア・シェル合金化とナノスフィアリソグラフィを駆使して 3 次元的に構造化された「プラズモニック光触媒」を創出し、光電気化学環境下で  $\text{CO}_2$  からメタンやメタノールなどの有価分子を高活性かつ選択的に生成する技術を開発する。

### ③学術的な独自性と意義

本研究では「触媒粒子のナノ構造制御」と「オペランド表面計測」を融合した新しいアプローチで触媒機構の最適化を実現する。金属ナノ粒子は光吸収を担うと同時に  $\text{CO}_2$  還元反応の起点でもあるため、その存在形態を最適化することが触媒の高効率化に直結する。プラズモン吸収は粒子内部で生じるのに対して触媒反応は外周部で進行する。そこで Ag をコア、Au をシェルとしたコア・シェル合金構造を作製することができれば高いプラズモン吸収強度と化学的安定性、選択性を兼ね備えた理想的な触媒を実現できると考えられる。本研究では、触媒構造を制御することで触媒活性、選択性、材料安定性をチューニングして総合的な触媒機能を最大化する。このような多様なパラメータを最適化するためには、その根源となる反応機構の理解が欠かせない。そこで動作中の触媒表面を直接観測するオペランド X 線分析を駆使して、直接分析によってプラズモニックナノ粒子に特有の物理化学プロセスを明らかにする。

### ④期待される成果と発展性

可視光による光エネルギーを利用したプラズモニック  $\text{CO}_2$  光還元触媒は、局所的に大きなエネルギーを反応系に与えられ、また環境負荷も小さいことから脱石油やカーボンリサイクルに向けた基幹技術の 1 つになり得る。本研究によって最適化される  $\text{CO}_2$  光還元触媒はクリーンで持続可能な可視光(太陽光)をエネルギー源として利用するため幅広い利用が期待され、資源循環の実現に貢献する。



**①背景：**コンピュータの進化において、メモリへのアクセスは常にボトルネックとなってきた。微細化・集積化により CPU 処理速度やメモリ容量は飛躍的に向上した一方、大量のデータ転送を担うことになった CPU-メモリ 間通信がそのスピードについていけず、これが全体を律速するためである。また現在、データ転送にかかるエネルギーは演算にかかるそれを優に超え、電力消費という点でもボトルネックとなっている。これは、命令を実行するためには主記憶装置にアクセスしなければならないノイマン型コンピュータが常に抱える問題であり、「ノイマン・ボトルネック」として知られる。これを解決する有力なアプローチの 1 つが、光電融合型コンピュータである。データ転送に光を用いるため配線の 2 桁の高速化・低消費電力化が実現する。しかしメモリには依然として電子デバイスを使うことが想定されており、そこでは当然、光による読み書きができず、これが新たなボトルネックとなる。光子を担体とする光メモリも提案されているが、光子は本質的に不安定であり、またそれを保持できるデバイスサイズが波長の制約を受ける(集積性が低い)という課題がある。つまり、従来の電子や光子を担体とするメモリでは、光配線との親和性と集積性がトレードオフとなる(図 1)。

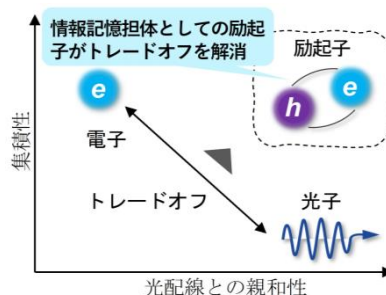


図 1. 各種情報担体の比較。

**②目的(課題設定とねらい)：**本研究のねらいは、上記トレードオフを解決する新概念メモリ「エキシトン型・光メモリ」の創製である。電子-正孔ペアからなる準粒子であるエキシトンをメモリに使う、という報告は例がないが、情報担体としてこの準粒子を眺めると、光との素早いインタラクションや偏光情報の保存能力など、光メモリデバイスとして高いポテンシャルを持つことに気づく。光情報をエキシトンに転送出来れば、メモリサイズは波長の制約から解放され高い集積性も実現する。図 2 に本提案のデバイス構造を示す。基本構造は既に動作実証されているエキシントントランジスタとほぼ同じだが、ゲートを ON にするまでソース直下にエキシトンを保存する点で大きく異なる。書込みの際は、ソースにレーザー光を照射しエキシトンを生成、ソース直下に保存する。読み出しの際は、ゲートを ON し保存したエキシトンをドレインに輸送、再結合させ光出力を得る(輸送機構は 3 頁で詳述)。ゲートを透明導電膜/光導電層/金属電極の 3 層構造とすることで、光照射時にのみゲートが ON し、光信号によるスイッチが可能となる。課題はエキシトンの安定性とデバイス動作速度の間に存在するトレードオフだが、本研究ではこれを新材料 ZION からなり歪量子井戸により解決し(3 頁で詳述)、デバイス動作有効性を示す。

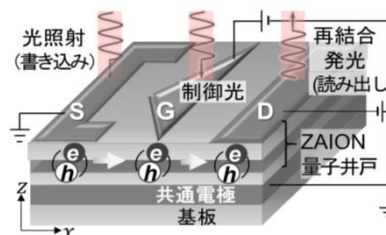


図 2. 本提案のエキシトン型・光メモリ。

**③学術的な独自性と意義：**エキシトンは半導体の光機能を担う中核として、生成・消滅に着目した物性解明と工学的応用がなされてきた。一方で「電子と正孔が再結合する過程」にあるエキシトンが、外場中でどう輸送・保存されるかの議論は少なく、それらに着目した応用も代表者の知る限り無い。本研究は、「エキシトン輸送・保存の物理と工学的応用」という未踏領域に挑み、エキシトンを情報担体へと進化させる点に学術的独自性がある。そしてその実現の鍵となる室温・長寿命・高移動度励起子を、独自開発材料 ZION が持つ絶妙な励起子束縛エネルギーと圧電効果を駆使し実現する点に独創性がある(3 頁にて詳述)。本研究は、光電融合時代における基盤技術に進化し得ると同時に、エキシトン研究に新たな視点を加えるものであり、その意義は大きい。

**④期待される成果と発展性：**室温・長寿命・高移動度エキシトンが実現し、これが外場中でのエキシトン輸送・保存の機構解明の場になるとともに、この物理に基づく新概念光メモリが実現すると期待される。本研究は、電子や光子を担体とする従来技術では成し得ない、高集積性と光配線との親和性を兼ね備えた光メモリの実現を可能にし、光電融合型コンピュータの発展に貢献する。また、エキシトンの輸送と保存の物理の体系化は、光デバイスや量子工学などの広範な分野に新たな知見をもたらし、関連分野の発展にも寄与すると期待される。

## 2次元層状磁石の磁性強化を目指したスピン流による層間磁気結合の定量的評価手法の開発

研究者 九州大学大学院理学研究院 助教 飯 森 陸

**①背景（内外における当該分野の動向）** 数原子の厚さを持つ2次元層状物質が次世代電子デバイスの基盤技術として注目されている。その中で最近、強磁性や超伝導を発現するものが発見された。しかしながら、2次元においては熱的・量子的な揺らぎの影響で、強磁性や超伝導といった物質中に広がる長距離秩序は生じないことが数理的に示されている。そのため、これらの発現機構について統一的な理解は得られていない（図1左）。さらに2次元層状磁石の強磁性領域は未だ室温程度にとどまっており、特性向上に向けて強磁性の発現機構の解明が求められている。そのような中で申請者は同物質に圧力を印加することで、層間距離に敏感な層間磁気結合が存在し、強磁性特性に影響することを指摘した。しかしながら、従来の電子エネルギー分光法は表面選択的な手法であり、この層間に埋もれた層間結合を観測することは困難である。そのため、同物質の特異な性質を解明するために、層間磁気結合を解明する新たな測定手法の開発が求められている。

**②目的（課題設定とねらい）** 本研究課題では、2次元層状磁石の層間領域では運動エネルギーや核電荷の影響が消失し層間磁気結合が顕在化することに着目し、申請者がこれまでに確立した圧力下におけるスピン流の制御技術を利用して、これまでになくスピン流をプローブとした層間磁気結合の評価手法の開発を目指す（図1右）。本手法は圧力印加により層間距離の選択的制御が可能であり、層間磁気結合の層間距離依存性を評価できる。さらにスピン流により層間磁気結合のスピン依存性も評価できる。これにより、2次元層状物質における強磁性の発現に関わるスピンに依存した層間磁気結合の影響を解明し、強磁性特性のさらなる安定性向上に向けた指針を確立することを目指す。

**③学術的な独自性と意義** 申請者は世界に先駆けて圧力下においてスピン流を発生・検出する技術を開発してきたが、本研究ではこの手法を応用し、層間距離の選択的制御下におけるスピン流注入という独自の手法により、層間磁気結合ポテンシャルの定量評価を実現する。本提案では、これまで未解明であった2次元層状物質における強磁性の発現機構を解明することで、同系物質の材料設計のための層間磁気結合に基づく一般則を構築する。

**④期待される成果と発展性** 本研究により、2次元磁石における層間磁気結合の役割を解明し、室温で動作可能な2次元磁性材料の実現や、スピントロニクスデバイスへの応用といった成果が期待できる。一方で、層間磁気結合は電子の多体効果である電子相関によって生じるが、現状の固体物理学では電子相関の実態は未だに明らかになっていない。本研究は、従来から物質科学における難問とされた電子相関の解明に向けた一歩となり、2次元層状磁石の特性向上にとどまらず、固体物理学の大きな目標である磁性の電気制御や2次元高温超伝導の実現に向けて具体的な設計指針を提供することが可能になる。

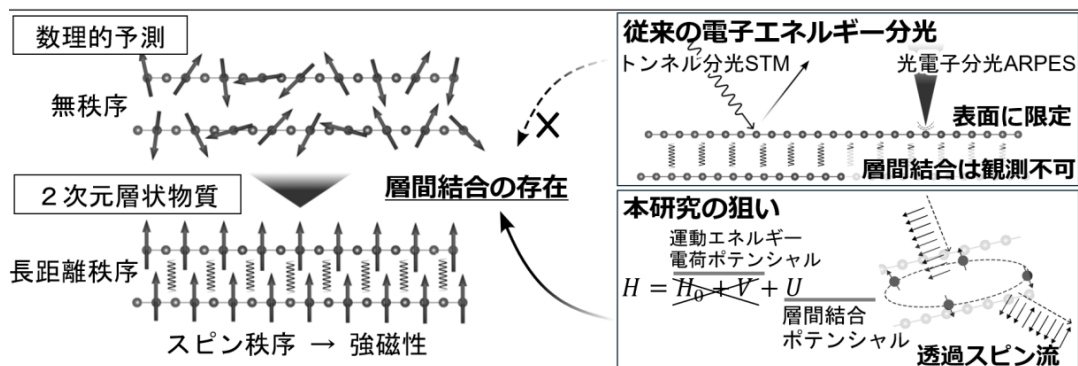


図1：本研究の概要

## ① 背景

ソフトロボットは農作物や生体などデリケートな対象物をハンドリングするロボットハンドなどに応用されている。ソフトロボットの開発にはいくつかの柔軟な機能性材料・構造が用いられており、その軽量で柔軟な特性の実現に寄与している。例えば**磁気粘性流体**は、外部磁場により高速・可逆的な粘性変化が可能であり流体駆動型ソフトロボットに用いられている。しかし、流体漏れ防止のため構造を複雑化させる。一方、**磁気粘性エラストマ**は磁気応答性のゴム状素材であり、外部磁場で弾性特性を変化させることができる。しかし、充填可能な磁性粒子の充填率の限界から、弾性変化の大きさは限定的である。

## ② 目的

本研究では、上記の**磁気粘性流体**、**磁気粘性エラストマ**をそれぞれ単体で用いた場合に生じる欠点を補うため、これらを複合することで新たな**磁気粘弾性ハイブリッド構造**を実現する。さらに、これを応用することで新たなソフトロボットの造形手法を確立する。提案手法の模式図を図1に示す。本手法では、3Dプリンター技術を用いることで三次元空間内に選択的に流体とエラストマを配置する。そのための鍵となる素

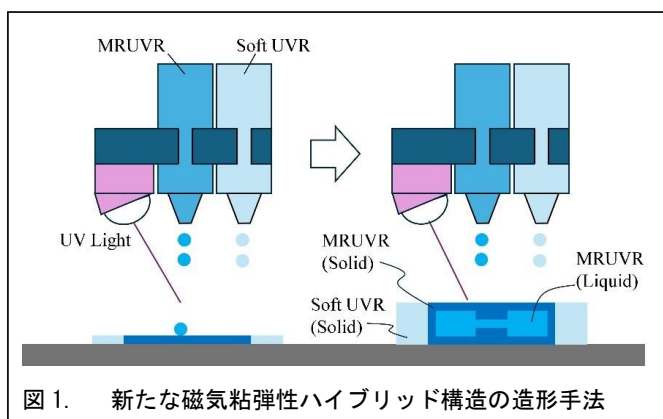


図1. 新たな磁気粘弾性ハイブリッド構造の造形手法

材が、**光硬化型 MR レジン** (magnetorheological ultraviolet resin, MRUVR, 特願 2025-037660) である。MRUVR は光硬化型ソフトレジン (soft ultraviolet-reactive resin, UVR) と磁性粒子を混合して作製する。MRUVR を空間に塗布し紫外線を照射した領域は硬化して**磁気粘性エラストマ**として機能し、照射しなかった領域は未硬化のまま残り**磁気粘性流体**として機能する。同時に、磁性粒子を混合していないUVRを用いることで**非磁性エラストマ領域**を生成することもできる。これにより、継ぎ目のない機能性ハイブリッド構造を精密に造形することができる。

## ③ 学術的な独自性と意義

**磁気粘性エラストマ**の3Dプリンティング技術を用いた研究は比較的新しく、その多くは熱硬化樹脂を用いた研究が主流であり、光硬化樹脂を用いた研究例は限定的である。**磁気粘性エラストマ**の特性は磁場印加の有無により大きく2つに分類される。エラストマの硬化過程で磁場を印加することで**異方性磁気粘性エラストマ**となり (Fischer, 2022)、磁場を印加しない場合は**等方性磁気粘性エラストマ**となる。これまでの研究 (Zhang, 2018) では、粒子の配置による特性調査、導電体フィラー添加による磁場印加時の抵抗変化などが行われている。しかしこれらの研究では、未硬化の**磁気粘性エラストマ**を**磁気粘性流体**として用いることはしていない。上述のとおり、本発明は継ぎ目のない**磁気粘性流体・エラストマハイブリッド構造**を精密に造形することで流体、エラストマをそれぞれ単体で用いた場合に生じる各種欠点を補い、全く新規な機能性構造を実現する。

## ④ 期待される成果と発展性

近年、少子高齢化のためにエッセンシャルワーカーなど生活の基盤を支える労働者の不足が社会的問題となっており、これまでロボット等で自動化が困難であった柔軟でデリケートな対象物（人を含む）を把持・操作する新たなロボットハンドの開発が求められている。本研究開発は、申請者の独自技術である**磁気粘弾性ハイブリッド構造**をソフトロボットに応用することで上記の課題を可決する。



## レーザーヘテロダイン分光による地球近傍宇宙空間のヘリウムの高波長分解能光学観測手法の開発

研究者 総合研究大学院大学先端学術院 助教 西 山 尚 典

### ① 背景（内外における当該分野の動向）と ② 目的（課題設定とねらい）

地球の高度 100 km から 500 km の「熱圏」と呼ばれる領域は、宇宙空間と地球固有の大気の特徴を持つ境界領域である（P4 図 3 参照）。様々な時間スケールの太陽活動によって変化する地球へのエネルギー流入量に非常に敏感であり、私たちの生活する周辺の大気（～高度 10 km）に比べて温度や密度・組成が大きく変動する。特に地球の南北極域の周辺では、地球大気の内層エネルギー（熱・運動）に加えて、太陽フレアなどの爆発現象によって熱圏に運ばれる粒子エネルギーによって駆動される、大気中の原子や分子、イオンの様々な発光現象が知られている（例：オーロラ、共鳴散乱光）。このような発光（強度、空間構造）の計測から、大気中のエネルギーがどのような空間分布で、どのように時間変化しているのかを推定出来る。また、発光の波長は大気中の原子や分子などの種類に固有の波長であり、大気中の物質の組成比や化学反応、輸送過程を知る手がかりとなる。

熱圏の中でも、高度 300 km - 500 km の領域は上部熱圏と呼ばれ、太陽活動の影響を著しく受けるだけでなく、近年では国際宇宙ステーションや多くの低高度衛星などのインフラが存在する領域である。本申請では、我々が近年推進してした上部熱圏の準安定ヘリウムの地上光学観測をさらに発展させるため、「レーザーヘテロダイン分光」によるリモートセンシング手法の開発に取り組む。線幅 1MHz かつ可変波長領域数 nm 程度の半導体レーザーを局部発振器に採用し、レーザー絶対周波数を安定化させる制御機構を実装、未だ測定例のない準安定ヘリウムのドップラー偏移、すなわち速度を誤差 10 m/s 程度で導出可能とするシステムを目指す。

### ③ 学術的な独自性と意義

上部熱圏は、地上からの光学観測ターゲットが限られており（P4 図 3 参照）、特に磁気嵐<sup>\*1</sup>の影響を大きく受ける極域では、定常的な観測がほとんど行われていない「観測空白領域」となっていた。そこで我々は高度 500 km 付近に存在する準安定状態のヘリウム  $\text{He}(2^3\text{S})$  に着目し（以下「準安定ヘリウム」を「ヘリウム」と記述する）、

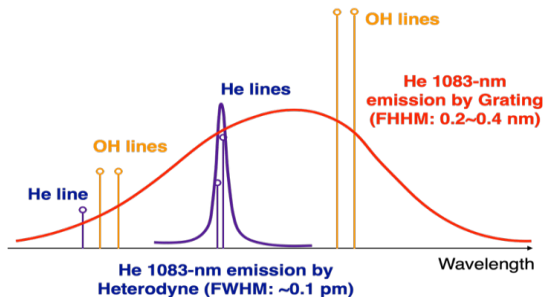


図 1：波長 1083 nm 付近のスペクトル（波長範囲：0.3 nm）の概略。従来の装置（赤線）では  $\text{He}(2^3\text{S})$  と OH が分離できないが、ヘテロダイン（紫線）は OH のライン間の  $\text{He}(2^3\text{S})$  の 2 本のラインのみを測定可能。

発光強度の高い波長 1083 nm のヘリウム共鳴散乱光の連続観測を通じて、上部熱圏がどのような時間・空間スケールで変動するのか、その特徴や基礎的な物理過程を解明する。レーザーヘテロダイン分光の最大の特徴はその圧倒的な波長分解能（ $\sim 10^7$ ）である。我々の現状の光学観測では  $\text{He}(2^3\text{S})$  に近接する OH のエミッションを分解能の限界から分離できないが（図 1 参照）、ヘテロダイン方式であれば  $\text{He}(2^3\text{S})$  単独のエミッションを検出できるだけではなく、ドップラー偏移やブロードニングの計測から温度と速度の導出が可能である。上部熱圏における温度や風速の変化を高精度で測定し、この高度におけるエネルギー収支に劇的な理解をもたらす。

\*1 磁気嵐：太陽で大規模な爆発が発生すると、大量のプラズマが放出される。そのプラズマが地球に到達したときに、地球の磁場や大気が全球的に乱れる現象。磁気嵐中には極域ではオーロラが頻繁に発生する。

### ④ 期待される成果と発展性

上部熱圏は、2022 年 2 月に Starlink 衛星 38 機が磁気嵐の影響で軌道投入に失敗しロストした事例からも明らかのように、需要の高まる低軌道衛星の運用にとって極めて重要な領域である（Hapgood et al., 2022）。上部熱圏の変動過程の理解は、「宇宙天気予報」の精度向上や予測対象領域の拡大に大きな貢献が期待されている。

また、火星や系外惑星の大気観測でもヘリウムは重要な観測ターゲットとなっており、惑星観測・探査の研究グループとも連携しながら、ヘリウムの温度や速度の安定的かつ高精度な測定技術およびデータ解析手法の高度化を目指していく。さらに、地上光学観測で培った技術を科学衛星やロケットなどの搭載機器開発にも応用することで、未だ前例のない宇宙空間からの高波長分解ヘリウム計測への道筋を開くことが期待できる。

### 1 背景：

細胞内の局所環境の化学環境をモニタリングし、化学反応を検出出来ることはバイオエレクトロニクスの究極の夢である。近年、細胞内局所環境として生物学的相分離が脚光を浴びる。この生物学的相分離とは、生物学研究の階層として分子から細胞内小器官に位置する一過的な非膜オルガネラとして考えられており、細胞分裂・酸化ストレス応答・選択的タンパク質分解など幅広い生命現象との関りが連日 *Nature Cell Science* といった国際一流紙などに報告されつつある。この生物学的相分離は主に立体構造を持たない天然変性タンパク質が pH、核酸、金属イオン、酸化還元などの僅かな細胞内の化学環境の違いから一過的に会合し、その内部で多段階反応や触媒反応の遅延・加速が起こればと考えられているが、その実態は不明である。さらに、生物学的相分離を惹起する天然変性タンパク質とは、アミロイド線維などの不可逆な会合体を形成し易いため、生物学的相分離の異常がアルツハイマー症などの神経変性疾患の発症原因とも関連する。そのため生物学的相分離の異常を抑制し、恒常性を維持するシャペロンの研究も極めて着目されている。申請者は世界に先駆けて、シャペロン・酵素の集合性に関する研究を展開(Okumura\*, et al., *Nature Chem Biol* 2019)してきており、その中で全く新しいタイプの生物学的相分離、すなわちシャペロン・酵素のひとつ P5 の相分離を発見した(Okumura\*, (最終責任者) et al., *Nature Cell Biol* 論文審査後改定中)。これはこれまで生物学的相分離の制御因子として考えられてきたシャペロン自身が相分離する画期的な独自の発見であるが、まだその内部の情報が乏しい。

### 2 目的：

申請者自ら発見した、細胞内および試験管内シャペロン相分離の内部の化学環境をモニタリングし、触媒反応を検出することで、生物学的相分離の工学・化学・生物学・医学の分野横断的な理解の深化を目指す。

### 3 学術的な意義と独自性：

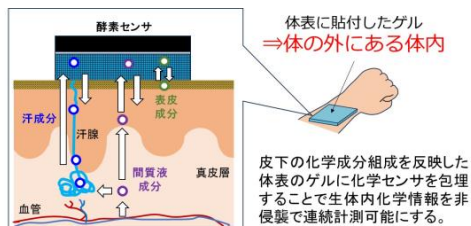
申請者が世界に先駆けて発見したシャペロン・酵素 P5 の相分離はカルシウムによって駆動される。カルシウム濃度の低下は小胞体ストレスを惹起する等、カルシウム濃度に応答した細胞内の局所濃度変動は極めて重要な生命現象であるが、生物学的相分離内のカルシウム濃度を検出する技術は未開である。さらに、申請者が発見した相分離を細胞内で強制発現すると、細胞が持つタンパク質品質管理能力が向上しインスリンなどの生産量が上昇するだけでなく、酸化ストレスを低減し、細胞生存が伸びることがわかった。そのため抗老化活性が見られるが、相分離内部での酸化ストレスを低減する酵素反応の理解が待たれる。そこで、世界に先駆けて生物学的相分離内部の酵素反応を検出出来るツールが達成されるとわが国独自の新たな評価法として国内外として着目される。現在国際一流紙に論文改訂中であることを鑑みると、わが国重要な発見に対し、さらにその機序の理解に繋がる装置開発は極めて意義深い。

### 4 期待される成果と発展性：

申請者が発見したシャペロン・酵素のひとつ P5 は酸化ストレスと関連して、アルツハイマー症の発症との関連が指摘されている。今回の発見に質し、さらにそのメカニズムを徹底的に理解することは、神経変性疾患の成因解明という、未解決かつ重要な核心的課題の達成を加速させる期待がある。病態解明の理解のふかまりが、新たな治療戦略の提示、そしてシャペロン・酵素の相分離を標的にした、日本初の独自の創薬産業に繋がる期待がある。

### ①背景

日本では人口減少による労働生産性の低下、医療費や介護費の増加等の不健康による経済損失が長く懸念されてきた。2024 年度から開始された第 5 次国民健康づくり対策である健康日本 21（第三次）では、健康を左右する因子の 1 つとして食事が注目されている。近年は健康志向食品やアプリ等による食生活サポート等が充実する反面、自分の健康状態、体内環境がその食事で質的に本当に改善されたのかを実感することは依然として難しい。食事に関わる個人のライフログの蓄積は、健康的食生活への行動変容を促すきっかけとなると期待できる。



### ②目的

食事に伴う血液成分の変化は、皮下間質液や汗の成分の変化として現れることが近年示唆されている (A.Childs et al., ACS Nano, 2024, 18, 24605.)。そこで本研究では、皮膚に貼付したゲルで間質液を含む皮下成分を非侵襲的に抽出することで皮下の化学成分組成を反映した「**体外にある体内**」を創出し、そのゲル内に化学センサを包埋することで皮下化学成分の連続測定を実現する。皮膚表面に貼付したゲルには経皮的に体内化学成分が拡散することは既知であったが、皮下からゲルへ、ゲルから皮下への**双方向の経皮的拡散**は申請者が初めて見出した現象である。ゲルと皮膚の接触界面が様々な皮下化学成分の出入口となる本センサデバイスは、**非侵襲な食生活管理デバイスのプラットフォーム技術**になり得ると考えている。

### ③学術的な独自性と意義

体に装着可能な体液化学成分センサデバイスの比較表を以下に示す。本研究のセンサデバイスは非侵襲性と連続測定の 2 点において学術的にも実用的にも独自性がある。

センサの種類	血糖値センサ	唾液センサ	涙センサ	汗センサ	ゲルタッチパッドセンサ(従来)	本研究
競合・類似品	フリースタイルリブレ	東京医科歯科大学など	京都大学など	HDROP	-	-
形状	皮膚パッチ	マウスガード	コンタクトレンズ	リストバンド	タッチパッド	皮膚パッチ
侵襲(X)/非侵襲(O)	×	× 装着の煩わしさ	×	○	○	○
連続測定	○	× 唾液量次第	× 涙液量次第	× 発汗誘導必要	×	○

市販血糖値センサ：連続測定が可能な反面、針の刺入が必須のため侵襲性が高い。

唾液・涙センサ：口腔内や眼球表面への装着の不快感が課題。また連続測定も、意識的に制御できない唾液量や涙液量に依存するため困難。

汗センサ：非侵襲的であるが、発汗を意識的に制御できないため日常使用は困難。

ゲルタッチパッドセンサ：化学センサを包埋したゲルを触ると、皮下成分がゲルに抽出されその場で検出される。申請者が世界で初めて報告した (Sci. Rep., 2019, 9, 10102. 特許第 725320 号)。以降、世界中でこの研究開発が活発化。近年ではゲルに抽出される成分が汗、表皮、間質液（血液）由来であることが他研究者により証明されている (R.T.Arwni et al., Nat. Mater., 2024, 23, 11115.)。一方、タッチ 1 回使い切りとされており、連続測定の報告例が無い。これは「**体外にあるゲルの化学組成が皮下組成と関連しながら常時変動する**」という**発想自体が無かった**ためである。

本研究：ゲルと皮膚の接触界面を皮下成分の出入口とすることで、皮下組成を反映したゲル、すなわち「**体外にある体内**」を創出し、非侵襲かつ連続的な健康状態の測定を可能にする唯一のセンサデバイスである。皮膚表皮の可逆的物質透過性を学術的に解明する研究でもある。

### ④期待される成果と発展性

本デバイスにより体内化学成分を個人で把握可能になれば、食生活習慣の見直しなど通院を伴わない予防・未病活動への意識が向上し、将来的な医療費削減に繋がる可能性がある。また、ゲルというインターフェースが作る体表の体内環境は、多様なセンサを搭載可能とするという意味でプラットフォーム技術であり、把握できる体内環境を将来拡張できる発展性がある。

## ① 背景（内外における当該分野の動向）

COVID-19 ワクチンとしての実用化に伴い、mRNA がタンパク質や DNA に代わる創薬モダリティとして注目を集めている。現在、実用化または臨床試験が行われている mRNA 医薬品のほとんどは脂質ナノ粒子（LNP）を基盤としたものだが、この普及の背景にはマイクロ流体デバイスの導入によって高精度かつ大量生産可能な製造プロセスが確立されたことがある。LNP からなる mRNA 医薬品については体内動態や安全性の面で解決すべき点も様々指摘されていることから、脂質を用いない（非脂質性）mRNA 医薬品の開発も盛んに行われているが、このような水溶性の高い材料のみからなるナノ粒子の製造はバッチ法が主流であり、再現性や均一性、スケーラビリティが低いといった課題がある。

## ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、申請者が独自に開発し mRNA 医薬品としての応用に取り組んでいる mRNA 内包タンパク質カプセル（図 1; Hori, M. et al., Nature Communications, 2024）をモデル材料として、非脂質性 mRNA 医薬品を精度よく高効率に製造可能なマイクロ流体デバイスの開発に取り組む。

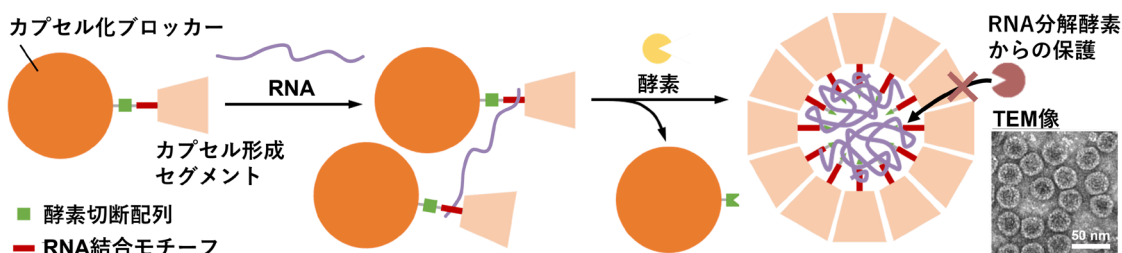


図 1. 任意の RNA を内包可能なタンパク質カプセルの概略図と透過型電子顕微鏡（TEM）像

これまで、このタンパク質カプセルは試験管内においてカプセル化タンパク質と RNA をピペッティングにより混合することで調製されていたが、その収率は約 30%と高くない。この原因としては、カプセル形成の前段階であるタンパク質の RNA 結合モチーフと RNA との結合が系内で均一に起きていないことが考えられる。このプロセスはマイクロ流体デバイスを用いて混合効率を高めることで改善できる可能性があり、結果として最終生成物である mRNA 内包タンパク質カプセルの高効率製造につながることが期待される。

## ③ 学術的な独自性と意義

これまで、マイクロ流体デバイスを用いたナノ粒子の調製は、主に脂質を原料としたものについて進められてきた。一方で、本研究のように水溶性材料のみを用いた例は極めて少なく、本研究は高い独自性を有する課題であるといえる。さらに、本研究はマイクロ流体工学の応用範囲を脂質系以外にも拡張するものであり、ナノ粒子製造技術における新たな設計指針を提示するという学術的意義を有している。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究により mRNA 内包タンパク質カプセルの高効率調製法が確立できれば、脂質ナノ粒子に代わる安全性の高い mRNA 医薬品としての応用可能性が高まる。また、マイクロ流体デバイスを用いることで混合効率を高めるという手法は、本研究で扱うタンパク質と mRNA だけでなく、その他の核酸や合成高分子、ペプチドなど様々な水溶性分子を材料としたナノマテリアルの調製にも有用であると考えられるため、波及効果は非常に高い。従来のバッチ法では得られない高い均一性を有するナノマテリアルの調製が可能となれば、品質管理上の利点に加え、新たな機能性材料としての応用展開にもつながる可能性がある。



## ソフトアクチュエータによる軟骨オルガノイドの並列培養システムの開発

研究者 東京農工大学大学院工学研究院 准教授 倉 科 佑 太

①背景 スフェロイドと呼ばれる細胞同士を互いに接着させた球状（直径数百  $\mu\text{m}$ ）の細胞組織塊は、再生医療や創薬研究において、優れた治療効果や生体機能の高い再現性などの理由から頻繁に利用されている。最近では、さらに高次の細胞組織塊として、マトリゲル基底膜マトリックスと培養するオルガノイドが注目されている。オルガノイドの形成は長時間の培養（2~3 週間）を必要とするため、今後高まると予想される再生医療や創薬研究には大量かつ急速に細胞組織塊を形成できる手法が求められている。例えば、超高齢化社会に突入した我が国では変形性膝関節症などの軟骨損傷が健康寿命の短縮の要因の一つであることから、軟骨オルガノイドの形成は一つの課題といえる。一方で、倉科らはソフトアクチュエータの蠕動運動とハイドロゲルの培養器を用いて、スフェロイドに圧縮刺激を付与するデバイスを構築してきた（図 1, Kamawae *et al.*, *MEMS Proceeding* 2024）。

②目的 倉科らの構築した本技術では、空気圧ソフトアクチュエータの蠕動運動を用いることで細胞組織を成熟させることを実現させた（図 2）。そこで本研究では、軟骨オルガノイドの成熟化を並列で大量に可能とする空気圧ソフトアクチュエータを開発することを目的とする。これによりオルガノイドを高品質で高速に形成できるシステムを開発し、再生医療や創薬研究に適した新たな細胞組織塊の生成手法の構築を目指す。具体的には、細胞組織を並列で大量に形成するアクチュエータを前半で構築し、後半では開発したアクチュエータを用いて軟骨オルガノイド組織の早期成熟化を検討する。

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

④期待される成果と発展性 上記の通り、本研究は研究者自らの過去の知見や先行研究から、細胞組織の高速化技術をオルガノイドの成熟化に応用した研究である。軟骨組織は血管が形成されていないことから、自己再生しない組織である。そのため、高齢者の変形性膝関節症（自覚症状あり：1,000 万人、潜在的な患者数：約 3,000 万人）や、スポーツでの軟骨酷使や事故を含めた外傷性軟骨欠損症（潜在的な患者数：約 1,4000 人）は、自然治癒の見込みがない。このような軟骨治療において、現在最も有効な方法として自分の健康な軟骨組織を体外で培養して患部に戻す自家培養軟骨細胞移植がある。一方で、自家培養軟骨細胞移植で生成された細胞は、体内の軟骨組織よりも幼弱であることから、より生体内の軟骨に近い軟骨オルガノイドの需要には大きく期待されている。しかしながら、軟骨オルガノイドの生成も他のオルガノイドと同様に生成には 3 週間ほどの期間が必要なため、生成に多大なコストや時間が必要であり、実現が困難である。そのため、本技術により軟骨オルガノイドの成熟が高速化することで、軟骨オルガノイドの治療への応用実現に期待することができる。

また、本システムは並列で細胞に刺激を与えられることから、大量に細胞培養成熟システムを構築することができるため、軟骨だけでなく、骨オルガノイド（Chen *et al.*, *Bioact Mater* 2022）などへの圧縮刺激の応用が可能な細胞培養成熟システムである。また、この細胞培養成熟システムは空気を抜くことで、圧縮刺激とは逆にチャンバ部分に引張刺激を付与することができる。そのため、引張刺激が有効である心筋組織（Elham *et al.*, *Stem Cell Rev Rep* 2022）や筋肉組織（Haroon *et al.*, *Biophys J* 2021）など異なる臓器のオルガノイドへの応用も可能である。

以上のように、本研究で製作する細胞組織成熟システムは従来の細胞培養容器とは一線を画す新たな装置であり、本細胞組織成熟システムの汎用性の高さと再生医療への貢献の期待から、SDGs における③すべての人に健康と福祉をというミッションを実現して人々の健康寿命を伸ばすことに貢献できると確信している。

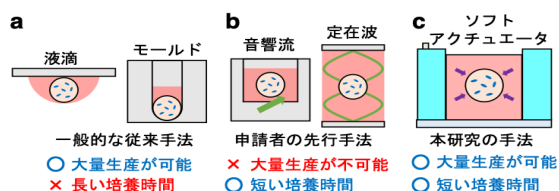


図 1 従来手法と我々の技術の細胞組織の培養法比較。

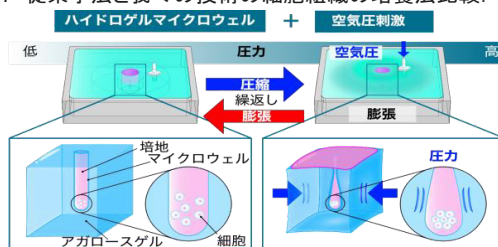


図 2 空気圧ソフトアクチュエータによる細胞組織成熟デバイスのコンセプト。

## ① 背景

日本は超高齢社会を迎え、がんの罹患率が年々上昇している。がん治療の三本柱である手術、化学療法、放射線療法は、身体への負担や副作用の点から高齢者や基礎疾患を有する患者にとって必ずしも最適とは言えない。こうした中、光感受性物質と特定波長の光照射により選択的にがん細胞を破壊する「光線力学療法 (Photodynamic Therapy: PDT)」は、低侵襲かつ低毒性な治療法として注目されている。特に第二世代の PDT 薬剤 Talaporfin Sodium (TS) と半導体レーザーを用いた治療は、局所再発食道がん等に対し保険適用され、臨床応用が進展してきた。しかし、TS は腫瘍選択性に限界があり、また 660nm という比較的短い波長のため深部組織への光到達が不十分であり、治療効果や安全性に課題が残されている。

## ② 目的

本研究の目的は、がん細胞に選択的に集積し、かつ深部組織まで光が届く特性を持つ新たな光感受性物質を開発し、第 3 世代 PDT の基盤を確立することである。我々は、がん細胞が糖を優先的に取り込む「Warburg 効果」に着目し、糖を結合させた新規バクテリオクロリン誘導体「G バクテリオ」の合成に成功した。本薬剤は従来薬と比べて優れた腫瘍集積性を示すとともに、吸光係数のピークが 700nm 以上にあることから、深部組織への光到達性にも優れる。これを用いた PDT を実現することで、高齢者や基礎疾患を持つ患者にも適用可能な、より安全かつ効果的ながん治療法を確立する。

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究は、腫瘍選択性・抗腫瘍効果・光の深達度という従来 PDT の課題すべてに対する統合的解決策を提示する、学術的にきわめて独自性の高い取り組みである。1 つ目に、700nm 以上の長波長で吸光する G バクテリオは、深部組織への照射が可能となるだけでなく、正常組織への光ダメージを軽減できる点で革新的である。2 つ目に、糖の結合により Warburg 効果を利用した腫瘍特異的取り込みが可能となり、治療の選択性が飛躍的に高まる。3 つ目に、糖鎖修飾光感受性物質の開発に長年取り組んできた我々の研究蓄積と、医師主導治験や AMED 採択を通じた実績が、本研究の推進力となっている。これらを統合した次世代 PDT の確立は、がん治療の新たなパラダイムを構築する可能性を持つ。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究により、1  $\mu$ M 以下という高い殺細胞効果を持ち、かつ深部組織にまで光が届く G バクテリオを用いた新規 PDT の有効性が明らかになれば、従来の治療が困難であった高齢者や内臓深部に腫瘍を有する患者への適応が広がる。また、動物モデルにおける腫瘍集積性や治療効果の検証を通じて、臨床応用に向けた非臨床 POC (Proof of Concept) の確立が期待される。将来的には、保険収載を目指した医師主導治験の準備や、国際展開に向けた特許出願・国際学会発表など、研究成果の社会実装を視野に入れた展開が可能である。本研究は、低侵襲がん治療の新たな標準を打ち立てる礎となるとともに、日本発の医療技術として世界に貢献する可能性を秘めている。

## 次世代口腔ヘルスエンジニアリングの基盤となる 歯槽骨のメカノセンシングと骨代謝の連関機構の基礎研究

研究者 同志社大学生命医科学部 教授 西 川 恵 三

**<背景>** 骨に加わる力学的負荷は、骨の新陳代謝を制御する上で重要な役割を果たし、骨構造の最適化および恒常性の維持に不可欠な要素である。歯を支える歯槽骨も、日常的に加わる咀嚼や咬合といった強い力学的負荷に応じて、活発な新陳代謝が生じている。この骨代謝は、骨表面に存在する「実行役」である「破骨細胞」と「骨芽細胞」により担われる。すなわち、破骨細胞が骨を吸収することで骨代謝が開始され、続いて骨芽細胞がその吸収部位を新生骨で補強することで、骨の再構築が進行する。一方、力学的負荷の感知には、「オステオサイト」が中心的役割を果たしていると考えられている。歯槽骨内には多数のオステオサイトが埋没しており、これらは多くの樹状突起を伸ばして互いに連結し、広範囲にわたる細胞ネットワークを形成している。このオステオサイトのネットワークが、いかにして力学的負荷を受容し、破骨細胞や骨芽細胞といった歯槽骨表層の実行役細胞へどのようなタイミングで情報を伝えているのか。また、咀嚼のような断続的な負荷と、咬合のような持続的な負荷という力の特性に応じて、細胞応答にどのような違いが生じるのか。これら多細胞が織りなす動態の解明は、骨に対する力の生物学的意義、すなわち力覚メカニズムの本質に迫る鍵となるが、その実体は未だ明らかにされていない(図1)。この背景には、従来の研究手法がもつ限界による。これまでの研究では、固定標本の解析や、特定の細胞を培養下で取り出して行う in vitro 解析が主流であったが、時事刻々と変化する歯槽骨内の細胞動態を捉える手段としては不十分である。これに対して近年では、生きた動物個体のまま、生体組織をありのままに観察できる多光子励起顕微鏡による生体イメージングが、最も合目的な研究手法として注目されている。しかし、動物をライブ観察するには、観察対象の組織を不動化し、安定した観察視野を保持する必要があるため、力学的負荷を加えた組織(=視野の保持が困難)を観察するには技術的な課題が残されており、新たな技術的ブレイクスルーが求められているのが現状にある。

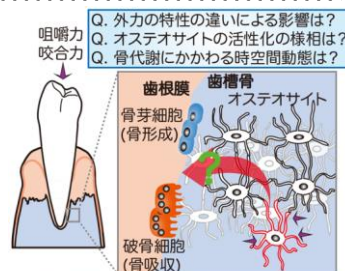


図1 外力によって引き起こされる歯槽骨の骨代謝の時空間動態は未解明

**<目的>** 本研究の目的は、歯槽骨における力覚の受容・伝搬および骨代謝誘導の過程を、生体内においてリアルタイムに解析するための最先端の多光子励起顕微鏡法を確立することにある。この手法を活用することで、力学的負荷に対する歯槽骨の真の生体応答の解明に挑む。具体的には、研究代表者が独自に確立した“多光子力覚イメージング”技術を歯槽骨観察へと応用し、咀嚼・咬合に相当する力を加えた条件下での観察法を新たに構築する。そのうえで、歯槽骨内のオステオサイトによる力の感知から、破骨細胞および骨芽細胞による骨代謝誘導に至る一連の過程を、多次元かつ多細胞スケールで統合的に明らかにすることを目指す。

**<学術的な独自性と意義>** 本研究は、これまで不可能とされてきた「力学的負荷を加えた状態での骨組織内のライブ観察」を、世界に先駆けて実現した研究成果(詳細後述[図5])をもとに、これを歯槽骨の観察に新たに応用することで、骨に対する力の生物学的意義の理解を深める、極めて独創的な取り組みである。さらに本研究では、3D プリンターを用いた観察器具の自作製、一軸リニアアクチュエーターによる力学的負荷装置の構築、第二次高調波による非染色コラーゲンの可視化、Ca<sup>2+</sup>蛍光パイオセンサーによる細胞内シグナルのイメージング、加えてレポーターマウスを用いた破骨細胞および骨芽細胞の動態解析など、複数の先端技術を統合することで、多面的なアプローチを可能とする高度なモダリティを構築している。また、「細胞-組織-機能」という階層的な視点に立脚し、それぞれのスケールで得られる知見を相互に関連づけて解析することにより、物理的因子としての力学的負荷が歯槽骨内でどのように受容・変換され、いかなる時空間パターンで組織応答を誘導するのかを統合的に明らかにする。これにより、「骨組織の力覚制御」という新たな生理学的パラダイムに資する点において、本研究は大きな学術的意義を有している。

**<期待される成果と発展性>** 歯周病、咬合異常、インプラント周囲炎などの口腔疾患においては、局所的な力学環境の破綻が病態の進行に深く関与していることが知られている。本研究により得られる知見は、これらの疾患における「力学環境に対する生体応答」の破綻メカニズムの解明にも寄与するとともに、疾患の予防・治療における力学的介入の合理的設計にも波及することが期待される。さらに、本研究で確立される力学的負荷下における生体イメージング技術および解析手法は、顎骨にとどまらず、運動器全体における力覚応答の解析、さまざまな力学的特性をもつ人工材料と生体組織との界面応答の解明、さらにはリハビリテーション支援技術の高度化にも応用可能である。このように、本研究は医歯工連携による次世代型ヘルスエンジニアリングの実装研究へと展開可能な、汎用性の高い基盤技術の創出に資するものである。

- ① 2021 年に Facebook 社が Meta 社に社名を変更するなど、メタバースへの注目が高まっている。これは Virtual Reality(VR)空間に社会を形成するような概念である(ここでは形成された社会をメタバース社会と呼称する)。メタバースの定義は種々あるが、要約すると以下である(館ら, バーチャルリアリティ学会, 2011){「I.VR 環境を持つ。II.アバターが存在する。III.複数のアバターが同一空間を共有できる。IV.空間内にオブジェクトを創造できる」}。ここでVR環境とアバターに着目する。VR 空間でアバターを自身の投射として体験するということは、(操作性により図らずも)自身とは異なる「身体性」を体験していると言い換えることができる。このようなアバター体験が日常的、長時間になり、身体・知覚の変調が生じることが近々の調査課題として問題提起されている(萩田, 日本工学アカデミー, 2022)。申請者はこの変調こそがヒトの能力拡張に応用できると着想した。
- ② この変調の調査のため図に示すようなヘッドマウントディスプレイ(HMD)内で筋電図(EMG)をインタフェースとして体験する上肢 1 関節用の一人称アバターを開発した。これにより実際の身体(リアル身体)とは異なる身体性を持つアバターを体験することができる。このアバターに適応した後、リアル身体の運動は同じでも筋活動パターンが変化し、アバター離脱後も適応効果が残存することを示した(Ando et al., Front. In BB, 2024)。しかし、この適応効果により「目に見えない」筋の活動パターンは変化した「目に見える」運動パフォーマンスが向上するかは未解明である。そこで「自身とは異なる身体性を持つアバター体験」により運動パフォーマンスが向上することを確認するのを本研究の目的とする。さらに、メタバース社会でアバターによる能力拡張効果を得る実証実験を目指し、VR 空間の SNS である VRChat でこのアバターを通して他者とインタラクションするだけで「いつのまにか」運動パフォーマンスが向上することを示すことも目的とする。
- ③ 近年、大阪大学で 2022 年に立ち上がった「ヒューマン・メタバース疾患学」(令和 4 年度 WPI 新規採択拠点, 文部科学省)に代表されるようにメタバース空間に身体性を持つ「運動器ヒューマンデジタルツイン(HDT)」を構築する試みが盛んに行われている。これは運動器 HDT を手術などのシミュレーションに利用しようとする学術的背景を持つが、本研究課題はこの運動器 HDT にシミュレーションだけでなく「体験」という価値を付加してさらに発展させるものと言え、将来的に運動器 HDT と統合する可能性がある独創的なものである。具体的には、個別化された身体性を再現したアバター体験が可能になり「あえて動きにくいアバターを体験することで、現実空間に戻ったときに一時的にパフォーマンスを向上させる」などのまったく新しい、メタバースにおけるトレーニングの概念を生み出すことにつながると考える。
- ④ 自身とは異なる身体性を持つアバター体験により、運動パフォーマンスが向上することを示す結果が期待される成果である。アバター体験をヒトの能力拡張に応用するという構想の意義は、メタバースが社会として醸成されることに期待する中で、アバター操作がそのままリハビリテーションになる点である。高額なロボット不要で、セラピスト不在時のメタバースにおける生活そのものがリハビリテーションとなり(自動化)、また遠隔でメタバース内でのセラピストによる介入も可能となる(遠隔リハ)ことを意味する。さらに EMG を用いることで、四肢等の実際の運動を必要とせず、関節を固定しておいてもかまわないため、アバター体験中の安全性も保つことができる。つまりこの成果はスポーツなどの能力拡張だけでなく、リハビリテーションにおける治療、さらには翻って動かしやすいアバターの開発にも繋がるので、e スポーツにおけるインタフェース応用に発展が見込まれる。





- ① 背景：インターネットが日常インフラとなり、生成 AI が生活にも浸透してきた現在、情報の取り扱いを倫理的側面も含め、系統的かつ生涯にわたる学習として位置付けて学ぶ必要がある。欧州評議会は、「デジタル技術の利用を通じて社会に積極的に関与し、参加する能力」である「デジタル・シティズンシップ」教育を子供たちに実施する必要性を掲げている。EU では、生成 AI を含む包括的な AI の規制である AI 規制法が 2024 年 5 月に成立し、2030 年末までに段階的に施行される。日本でも文部科学省により、2030 年度からの学習指導要領では小中高での系統的な情報教育の強化方針が 2025 年 5 月に打ち出された。一方、個々の学習者が生成 AI との「コミュニケーション」を好むことで、学習者コミュニティが弱体化し崩壊の危機を指摘する研究が出ている（別項 4 頁参照）。急激な社会変容の中で効果的な学習のあり方も変化する。現在ならびに近未来における望ましい情報倫理のあり方は学習者とともに未来志向で検討し深めていく必要がある。そのためにどのような教材・方法での学習が適切であるか、現況に応じた研究推進が不可欠である。
- ② 研究の目的：当該時点の学習者の考えを把握し、それを前提とした学習者コミュニティの形成を目指し、情報倫理を学習の対象領域とし、相互評価を軸とした他者理解と自らの考えの深化育成の可能性を研究する。対象学習者は、まず大学 1 年生を想定する。最終的には初等中等教育ならびに一般市民向けの内容を目指す。
  - a. 学習者の考えの把握：改変可能な情報倫理教材を新規開発（まずは実写動画を開発し、その映像・音声の一部を切り取った静止画・無音動画ならびに漫画化・音声教材化を行う）し、学習者の問題意識に応じた改変を当該学習者自身に行わせる（元動画にナレーション・解説を付与／映像・画像・音声の一部を入れ替える等）。その改変意図を授業課題として記述させ、改変教材と共に Moodle 上に提出させる。
  - b. 学習者間相互評価：Moodle 上で動作する多段階相互評価プラグイン（独自、既開発）を用い、a で提出した学習者の解答について、学習者間での相互評価を無記名にて、ステップを踏んで行わせる。その際、学習者が相互評価をしにくいと予期されるコメントを事前抽出し、その対応について教授者間で相談可能な教師権限者によるコメント共有検討機能を新規開発し、教授者の介入を含めたシステムを構築する。

研究課題（RQ）は次の 3 点である。RQ1：学習者による教材改変と意図提出により、学習者の考えをどの程度把握可能か、RQ2：無記名の相互評価の実施により、学習者の他者理解が促進できるか、また、当該学習項目の学習の深化がなされるか、その程度を把握する、RQ3：コミュニティ促進に寄与する教授者介入手法とその効果を明らかにする。
- ③ 学術的な独自性と意義：高品質で改変可能な教材の開発は、著作権・肖像権・個人情報等の知識に加え、豊富な教材制作経験が不可欠であり、その制作手法そのものに独自性と意義がある。また、開発教材を学習者が想定した意図で改変する作業を通し、学習者の主体的な学習推進と、学習者の考えの表出が可能である。さらにそれらの考えを学習者間での相互評価を通して、他者理解へと接続可能である。学習者が限られた情報にしかアクセスできないフィルターバブルやエコーチェンバーに関する懸念解消に向けた試みも兼ねている。また、多段階相互評価に教授者コミュニティでの事前の情報共有・対応検討機能を加えることで、教授者も含めた学習者コミュニティ形成を志向する研究内容にも、学術的独自性と意義を有する。
- ④ 期待される成果と発展性：本研究の主課題である学習者の考えの表出、情報倫理に関する意識の深化、ならびに他者理解の促進、学習者コミュニティの形成の点で成果が期待される。これに加え、本研究には改変可能な教材の開発と相互評価システムの開発内容を有しており、それを用いた広い展開可能性が想定される。教材ならびにシステムの利用により、初等中等教育への学習、一般への生涯学習への広い展開が期待できる。

## 潜在的態度の可視化によって人材開発研修の効果が向上するか？

### ：潜在連合テスト（IAT）の導入

研究者 東京科学大学大学院医歯学総合研究科 講師 伊 角 彩

#### ① 背景（内外における当該分野の動向）

コロナ禍などの社会情勢の影響で、日本においても VUCA (Volatility: 変動、Uncertainty: 不確実性、Complexity: 複雑性、Ambiguity: 曖昧性) 時代という用語が広まってきた。社会情勢や経済状況が激しく変化し、将来予測が困難な状況で、人材育成を「コスト」として捉えるのではなく、「投資」として捉える人財資本経営の重要性が増している。組織は人への投資として人材育成のための研修を行う傾向にあり、2023 年時点で大企業の約 98%、中小企業の約 70% が研修を導入している（労働政策研究・研究機構, 2025）。人材育成に関する研修の目的として、自律性、ワークエンゲージメント、心理的安全性、メンタルヘルスの向上などが重要視されている。研修は普及しているものの、人事責任者・担当者 219 名を対象とした調査では、最も多かった人材育成の悩みとして「研修がその場限りのものになっていて、実務や実践に活かされていない」（約 40%）であることが示されている（株式会社 FCE, 2024）。研修効果が限定的になってしまう要因の 1 つに、受講者が「自分ごと」として研修を受講できず、研修へのモチベーションが低くなってしまいう仕組みになっていることが挙げられる。例えば、心理的安全性を構築するためのコミュニケーションスキルに関する研修を実施したとすると、ハラスメント傾向にある社員は自身のコミュニケーションがハラスメントになりうるという認識が低いとされている（池田, 2018）。このように研修受講をして行動変容が起きてほしい人ほど、自身や職場の課題への認識が低い可能性があり、その結果、研修効果が得られにくくなる。しかし、ここで重要なことは、その原因を受講者個人のモチベーションに帰結させるのではなく、受講者が「自分ごと」として研修を受講できる仕組みを作ることである。

そのためには、近年注目を浴びている「アンコンシャス・バイアス」、つまりジェンダーや権威性などに対する自分でも気づいていない態度や気持ち（バイアス）である「潜在的態度」（Devos, 2008）の可視化が鍵となる。潜在的態度は、潜在連合テスト（Implicit Association Test: IAT; Greenwald et al., 1998）を用いて測定することが可能であり、信頼性・妥当性が確認されている（e.g., Nosek et al., 2005）。IAT を研修前に実施し、自身の潜在的態度を知る機会をつくることで、研修を「自分ごと」として捉え研修効果が向上する可能性があると考えた。実際に、Kobayasi & Tanaka (2024) は、ジェンダーハラスメント研修の効果測定として研修前後に IAT を導入しており、問題なく研修前に IAT を導入することが可能であることが確認されている。

#### ② 目的（課題設定とねらい）

人材育成に関する研修前に、IAT によって人材育成に関する要因に対する潜在的態度を可視化することで、研修効果が向上するか検証する。なお、人材育成に関連する潜在的態度として、コミュニケーション、援助希求、仕事、権威、性別に対する態度の 5 つのトピックを取り上げる。

#### ③ 学術的な独自性と意義

IAT は、差別が生まれやすいトピックとして、ジェンダー、年齢、人種、性的指向等に対する潜在的態度の測定に用いられてきた（Charlesworth et al., 2022）が、本研究では新たに人材育成に関わるトピックに特化した IAT を開発した。さらに、潜在的態度の変容を目的とするのではなく潜在的態度の可視化によって、人材育成研修の効果を上げることを目的としている点で、これまでの学術研究にはない独自性がある。心理学の基礎的知見を実社会の課題解決に応用させている点で新規性が高く、意義深い。人材不足が大きな課題である日本、特に中小企業など人材育成への投資が十分にできない組織において、研修自体の効果を上げることは生産性の向上、ひいては労働力の確保につながり、社会的インパクトは大きい。

#### ④ 期待される成果と発展性

人材育成に関する潜在的態度を可視化することで、研修を「自分ごと」として受講できている状態、それゆえ研修後の行動変容につながる状態が期待できる。本研究の成果により、これまで期待された効果が得られにくかった研修の効果を向上させることができ、組織における研修のコストパフォーマンスを向上させるといふ社会的インパクトも期待される。今後の発展として、IAT 後に実施する研修内容を、各自の IAT の結果に関連させるコンテンツにすることで、より効果の高い研修を開発できるだろう。

【背景】人の皮膚機能のように温度や圧力を計測でき、さらに機械的に柔軟な電子皮膚(e-skin)の研究が盛んに行われている。実際、圧力分布などの計測を可能とし、ロボットの皮膚機能として開発が進んでいる。しかしそのほとんどがセンサをフレキシブルフィルム上にアレイ状に形成し、アクティブマトリックスやパッシブマトリックス構造を採用している。前者はトランジスタの集積化が必要であり、プロセスが複雑化しデバイスが高価格となる。それに対して後者は比較的簡単な構造であるが、チャネル間のクロストークなどが課題であり、人の皮膚の機能と同様またはそれを凌ぐ高い分解能計測が難しい。このような課題を含め、理想的なe-skin実現には、さまざまな挑戦を乗り越える必要があり、現状研究開発レベルでは注目されているが、それが実用化された例はほとんどない。

その中、機械的柔軟性及び生体適合性という観点で、ハイドロゲルを用いたセンサに注目が集まってきている。上記e-skinでは半導体材料や金属材料で作製されており、キャリアが電子であったのに対して、ハイドロゲルの場合は、キャリアはイオンとなり、これを用いたセンサなどをイオントロンクスデバイスと呼ばれている。水を中心としたハイドロゲル内をイオンが動くことで電流量が変化するため、一般的なエレクトロニクスのような超高速動作(MHz~THz)は得意ではないが、構造を工夫することで面白い特性を発現させることができる。これまでハイドロゲルを用いた圧力、温度センサや、また異なるイオン濃度を有したハイドロゲルを接合することで発電デバイスなども報告されてきている。しかしこれらほとんどがまだ基礎研究・開発となっており、イオンの動きを把握し、それをうまく利用し解析するシステムの構築はできていない。そのため、単一のセンサや発電デバイスの開発にほとんどが制限されている。

【目的】上記課題を一気に解決し新たなe-skin実現を目指し、本研究では、エレクトロニクス分野の技術とイオントロンクス分野の技術、さらに複雑な時系列データを解析する機械学習の一つであるリザバーコンピュータの技術を融合することで、簡単なプロセス(簡単な構造)且つ高い空間分解能で圧力分布を計測する透明な伸縮型e-skinの新規コンセプトを提案し、そのプロトタイプを開発する(右図)。

【独自性】ハイドロゲルフィルム単体において圧力分布を高い空間分解能で計測を実現した例は我々が知る限りない。この高い空間分解能且つ簡単な構造で伸縮性を有した透明e-skinを実現するところに本研究の独自性を示す。特にハイドロゲルのイオンの流れを制御し、それにより生じる電位変化を計測する。そしてイオンという電子などと比較すると遅い流れの時系列変化をうまく利用することでリザバーコンピュータを用いてイオンの流れ(電流)を解析する。これによりリアルタイムで常時解析・計測を実現させる。この材料工学、電子工学、情報工学、化学といった申請者がこれまで培ってきた技術及び知見を融合することで初めて実現可能にするものであり、他者が簡単には真似のできない提案内容である。また提案する構造は検出箇所のハイドロゲル内に金属などの配線が不要であり、完全に透明なe-skinを実現できる点も特徴の一つである。

【期待される成果と発展性】本提案研究は新しいコンセプトと異分野融合により実現を目指すe-skinデバイスの実現である。これまで単一デバイスの提案及び解析に留まっていたハイドロゲルによるイオントロンクス分野に、より実用的なデバイス応用を提案・実証することで、その可能性を大きく拡大するものである。そのため、高いインパクトを有する学術論文への掲載や、学会発表、特許化などの成果が期待できる。また本実現は低価格で簡単に作製でき、さらに伸縮可能、透明、そして高い空間分解能での圧力分布計測ができ、従来のロボットに加え、ソフトロボットなどの皮膚機能として産業的にも大きな波及効果が期待できる。



①背景 放射線を光に変換可能なシンチレータ単結晶を用いた放射線検出器は、サーベイメータやガンマカメラによる環境放射線測定、陽電子断層撮像等による医療応用、宇宙物理などその応用は多岐に渡る。しかし、既存のシンチレータは、TOF-PET や陽電子寿命測定法等の次世代検出器で要求される「高発光量」「高エネルギー分解能」「高速寿命」「高密度」「高有効原子番号」「バックグラウンドに影響する内在放射線を含まない」を満たさず、新たな高特性単結晶材料の開発が期待されている。

新規高特性シンチレータ単結晶材料の開発では、世界的に塩化物・臭化物・ヨウ化物のハロゲン化物シンチレータ材料が大きな注目を集めてきた。ハロゲン化物材料は、酸化物やフッ化物に比べて小さなバンド幅を有しており、それに起因した高い発光量と優れたエネルギー分解能を示すことが知られている。しかし、ハロゲン化物材料の多くが高い吸湿性を有することから、世界的にも高品質の単結晶が作製可能な技術を有する機関に限られており、大規模な材料探索が行われてこなかった。そのような中、申請者らは独自の結晶育成法による材料探索と  $\text{Eu:SrI}_2$  単結晶を搭載したデバイス開発等を行い、世界的に存在感を示してきた。一方、世界的には  $\text{CsPbBr}_3$  単結晶の開発 (*Nature communications* 等)により、ハロゲン化物材料において半導体としての研究に注目が集まり、ハロゲン化物半導体単結晶に関する研究が大きく進み始めている。

また、横田は共晶体構造を利用した機能性材料の開発も行ってきた。共晶体構造材料とは、2~3 種類の化合物が同時に析出する共晶点において、融液から一方向凝固することで自己組織化の結果得られる構造材料である。共晶点組成の制御により、マトリックス相中にロッド状の相を有する構造を融液から直接バルク体として製造でき、さらに育成速度制御によりロッド相のサイズ制御が可能である

②目的 上記の背景を踏まえて、本研究では、高い機能性を有しているにも関わらず、高い吸湿性のためにこれまでに詳細な材料開発・物性解明が行われてこなかったハロゲン化物結晶材料を開発対象とした。当該材料系において、国際的に最先端のデータ科学・結晶科学、光物性、放射線物理の異分野を横断した研究開発を実施することによって、ナノレベル共晶構造ハロゲン化物シンチレータ(半導体)を世界で初めて実現し、バルク体中に均一に分散したハロゲン化物ナノワイヤーの物性解明を行うこれにより、現時点では海外の研究機関に大きく遅れているハロゲン化物半導体に関して、日本独自の技術によるアプローチが可能となる。

③学術的な独自性と意義 これまで2相が複雑に絡み合った高強度材料やロッド状のシンチレータ相が均一分散した光導波型シンチレータが開発されてきたが、共晶体構造を利用した半導体材料開発や共晶体構造をナノレベル化した例はなく、半導体材料のナノワイヤーが均一分散したナノ構造材料がバルク体として得られる可能性がある。

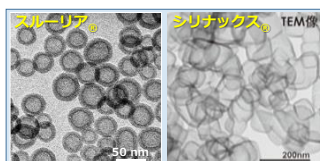
④期待される成果と発展性 ナノ構造化シンチレータ結晶は、X 線イメージング用検出器に利用されるが、特に医療用 X 線 CT や電子デバイスの非破壊検査用 X 線 CT の検出器として活用が待望されている。既存のシンチレータでは、シンチレータ内部での光の拡散が生じるために解像度は  $100\ \mu\text{m}$  程度が限界であった。本提案で開発するナノ構造化シンチレータ結晶は既存のシンチレータが直面していた光拡散の問題を根本的に解決することが可能となるため、従来  $100\ \mu\text{m}$  だった分解能を  $1\ \mu\text{m}$  以下に劇的に向上することが可能である。 $1\ \mu\text{m}$  以下の分解能が実現することで、細胞レベル ( $6\sim 25\ \mu\text{m}$ ) での X 線イメージングが可能となり、創薬・バイオ分野での活用も期待できる。



## 超音波ファインバブルによるバブルテンプレート法を用いた無機中空ナノ粒子の開発

研究者 山形大学大学院理工学研究科 教授 幕田 寿典

【①背景】中空ナノ粒子は内部が空洞構造で大きさがナノサイズの粒子を指し、低密度、高比表面積、断熱性、低誘電率、音響特性、光学特性といった優れた性質を多く持つ。これらの特性を活かし、軽量材、断熱材、防食材など工業分野や医療分野など幅広い分野で応用が検討されている。中空粒子の多くは、最初にコアを作成し、コア周囲に膜を形成した後、内部のコアを除去するという多段階操作によって中空粒子を作成するが、中空化の際のコアの除去工程に伴うプロセスの複雑化・高コスト化(1kgで数十万円)が課題であり、その課題はサイズが小さいほど困難性が増すと言われている。

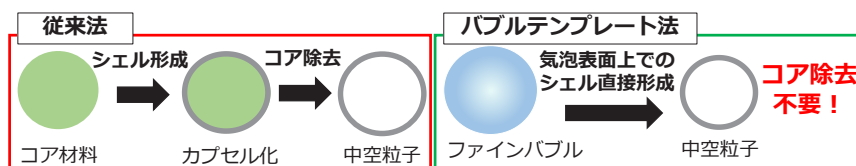


既存の中空ナノ粒子



応用先

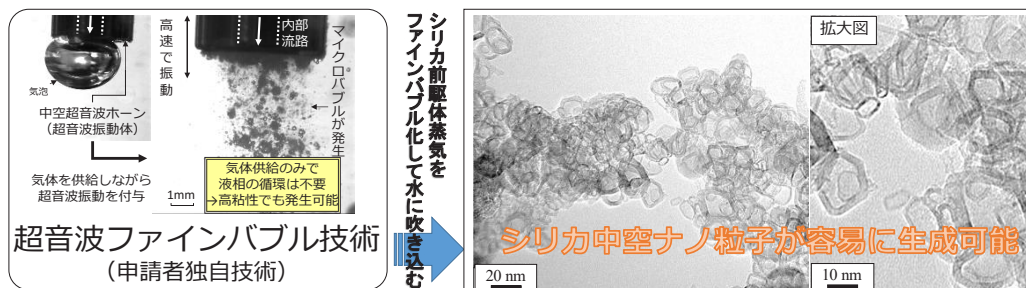
【②目的】このような背景から、コアの除去工程そのものを必要としないバブルテンプレート法が注目を集めている。この手法は、溶液中に微細気泡を多数発生させ、気泡表面に直接膜を形成することで空洞構造の粒子を作成する。したがって、コア除去工程の際に生じやすいシェルの破損が起こりにくいという利点もある。一方、申請者は“超音波ファインバブル技術”という液中の気液界面に強力な超音波を印加して気液界面を激しく乱しファインバブルを生成する独自の技術を有している。本申請では、その“超音波ファインバブル技術”と、水と接触する事でゾル-ゲル反応が開始するシリカ前駆体 (TEOS や MTMS) やチタニア前駆体 (TTIP や TBOT) を加熱して蒸気化し、ファインバブルとして水中に吹き込むという簡易的な操作によって無機中空ナノ粒子を安定的に生成する手法を確立することを目的とする。



### 【③学術的な独自性】

シリカの中空ナノ粒子についてはコア除去工程を経ること無く生成できることまでは確認できたものの、詳しいメカニズムや特性についてはわかっていない。また、チタニアについてはそもそもバブルテンプレート法を用いた中空ナノ粒子の作製例がなく、生成検証自体の独自性が極めて高い。

【④期待させる成果と発展性】これまでの研究では、シリカ前駆体蒸気をファインバブルとして酸性水溶液に吹き込むことで、50nm 以下のシリカ中空ナノ粒子が容易に生成することが分かっている。このサイズの粒子を大量に生産できるようになった場合、例えば、ガラスへの断熱効果付与、光の透過特性や散乱特性の制御、表面塗布による防食効果などの機能付与を比較的安価かつ低環境負荷で実現できる。また、チタニア中空ナノ粒子はそもそも報告事例が少なく、光触媒の効果向上など新素材として有用と見込まれる。



## ① 背景(内外における当該分野の動向)

環境熱や体温を電力へと変換するエネルギーハーベスティング技術は、ゼロエミッション社会、そして SDGs を達成するために不可欠な技術である。近年、エネルギーハーベスティング・デバイスとして、酸化還元電位の温度依存性を利用した液体熱電変換 LTE(図 1)が注目を集めている。LTE は他の熱電変換素子と比べて(i)構造が単純であり、(ii)材料が低コストであるため、産業的価値が高い。LTE の性能評価は性能指数  $ZT [ = \alpha^2 T / \rho \kappa : \alpha$  は電気化学ゼーベック

係数、 $\rho$  は溶液の抵抗率、 $\kappa$  は熱伝導率、 $T$  は温度]で決定される。これまでの研究で  $\alpha$  や  $\rho$  など

の性能パラメータは溶液の粘性率  $\eta$  に支配されることが明らかになっており、 $\eta$  の低減によって巨大  $ZT$  材料の創出が期待される。また、アセトン溶液では  $\alpha$  が巨大 ( $= 3.60 \text{ mV/K}$ ) になることを発見している。この値は、典型的な  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  水溶液の  $|\alpha| (= 1.4 \text{ mV/K})$  と比較して 2 倍以上の大きさである。さらに、出力特性を評価したところ、アセトンを含む一部の有機系 LTE では従来の水系 LTE を凌駕する  $ZT$  が得られた。

## ② 目的(課題設定とねらい)

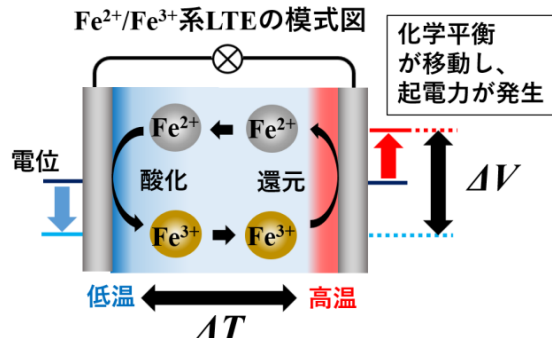
本研究の目的はより高い  $ZT$  材料系の創出を目指し、ケトン-アルコール混合溶媒を用いて熱電特性を詳細に調べることである。先行文献によって、ケトンとアルコールとの混合溶媒では粘性率が母溶媒より低減することが明らかになっている。そこでケトン-アルコール混合溶媒において熱電特性、出力特性の混合比依存性を明らかにする。さらに、X 線吸収分光(XAFS)測定から、溶液中の酸化還元対周りの局所構造(配位数・結合長等)を決定し、性能パラメータとの相関を明らかにする。

## ③ 学術的な独自性と意義

申請者は LTE に関して原著論文をこれまでに 17 件報告し、また自身を筆頭著者とする論文が、**Papers of Editors' Choice および JPS Hot Topics に選出されている。**この有機溶媒を活用した LTE は申請者のアイデアで実現されたものである。(i)低コストおよび大量生産可能である LTE は実用化・社会実装のハードルが低く、また、(ii)申請者自身が LTE に関する研究を遂行するに十分な知識と経験を有しているため、研究の独自性・意義が高いと考える。

## ④ 期待される成果と発展性

LTE の性能向上要因を微視的に明らかにするには、酸化還元対近傍の配位状態を微視的に捉える必要がある。熱力学の観点から、電気化学ゼーベック係数  $\alpha$  は酸化還元反応に伴うエントロピー変化量( $\Delta S$ )を素電荷で除したもので表される。 $\Delta S$  は酸化還元対の近傍領域において支配的であるため、 $\alpha$  は酸化還元対( $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ )近傍の局所構造に支配されている。したがって、得られた微視的描像から材料系探索の明確な指針が得られ、さらなる高効率 LTE 材料の開発が期待される。

図 1 Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>が溶解した液体熱電変換 LTE の模式図

## ① 背景（内外における当該分野の動向）

地球環境問題やエネルギー資源の制約が深刻化する中、熱エネルギーの有効利用と省エネルギー化は環境エレクトロニクス分野における重要な技術課題である。特に、熱交換器や冷却システムといった熱流体デバイスの効率向上は、次世代エネルギー利用や脱炭素社会の実現に直結する。高熱伝導率を持つ流体は熱交換効率を高める一方で、一般に粘性が高く、ポンプ動力や圧力損失の増大によって全体効率を損なう。このトレードオフを克服する手段として、外部刺激により粘性を制御する「粘度可変流体」の研究が活発化している。

国内外では、電場・磁場を利用する ER 流体や MR 流体（Ferdaus ら、*J. Intel. Sys. Struct.* **2018**, 29, 2051）に加えて、光を用いた非接触・局所制御型の粘度変調技術が注目されている（Yu ら、*Nature*, **2016**, 537, 179）。光応答性流体は、生体医療、マイクロ化学反応系、冷却デバイスなど多様な応用分野で、空間的・時間的に選択的な制御を実現できる点が特長である。しかしながら、従来の技術は光圧やマランゴニ効果に依存しており、応答速度の遅さ、制御精度の限界、光学系の複雑性など、実用展開に向けた技術的課題が残る。

## ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、申請者が開発した構造変化と高異性化効率を併せ持つアリアルゾピラゾール（AAP）誘導体を用い、光刺激によって流体の粘度を可逆的に制御可能な新規機能性流体材料を設計・開発する。さらに、この流体を閉ループ型のマイクロ熱流体実験装置に適用し、熱交換器を模擬した環境下で流動抵抗と熱輸送性能への影響を定量的に評価することで、エネルギー効率と材料機能性を両立する革新的熱流体制御技術の創出を目指す（図1）。

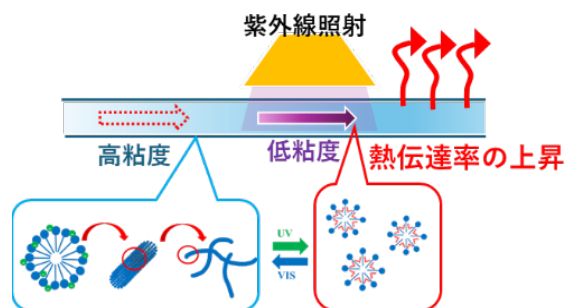


図1 光照射により粘性が可逆的に変化し、熱伝達効率が向上する光応答性スマート流体

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究の学術的独自性は、光異性化を通じて粘性、表面張力、さらには熱輸送特性までも可逆的かつ選択的に制御できる流体材料を、分子集合体系で構築する点にある。また、従来の熱流体系には見られない「**局所応答型粘度制御**」という新しい概念を提案することで、光・物質・流れの連携による革新的な熱流体設計が可能となる。特に、必要な箇所の粘性のみを一時的に低下させることで、流体輸送に要するポンプ動力を大幅に削減でき、システム全体のエネルギー効率向上に寄与する点は実用的意義が大きい。また、非接触・オンデマンド制御が可能なることから、次世代の省エネルギー型熱交換器や冷却システムへの応用展開が期待される。

## ④ 期待される成果と発展性

期待される成果として、1) ポンプ動力低減と熱伝達促進の両立による高効率熱交換器の開発、2) 光で制御可能な次世代機能性冷却材の設計指針の確立、3) 薬剤送達など生体応用を見据えた光応答性粘弾性流体の高精度化が挙げられる。将来的には、エネルギー、バイオ、マイクロ流体工学など、複数分野にまたがる応用展開が期待される。

## ① 背景

シンチレータは  $X \cdot \gamma$  線などの放射線を低エネルギーの光子へと変換する蛍光体であり、その応用先は元素分析、医療画像診断、構造物内部の可視化など幅広い分野に渡る。近年では従来の  $X \cdot \gamma$  線に加えて中性子の利用が注目されており、軽元素の識別精度向上や応用範囲の拡大が期待されている。例えば図1に示す電子機器の放射線透過画像において、 $X$  線では金属、中性子では樹脂といった異なった視点で観察でき、多面的な製品検査や品質向上が図れる。加えて大型加速器施設の発展によって高強度の中性子ビームが利用可能となり、従来の中性子源では不可能であったナノスケールの構造解析なども可能になると見込まれている。従来の中性子検出器には $^3\text{He}$ を用いたガス式検出器が用いられてきた。 $^3\text{He}$ は天然にはほぼ存在せず、人工物は核実験の副産物であるため、米国の軍縮に伴い供給量が激減している。一方で中性子検出器の需要は世界的に拡大し、 $^3\text{He}$ の価格高騰が問題となっている。そのため $^3\text{He}$ の代替材料として中性子シンチレータが注目されている。現在実用化されている中性子シンチレータは発光量が低い、 $\gamma$  線ノイズの弁別が不可能、潮解性があり長期使用が困難といった課題があり、より高性能な材料の開発が求められている。

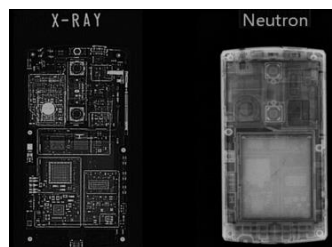


図1  $X$ 線と中性子による電子機器の透過画像（住重アテックス株式会社HP）。

## ② 目的

本研究の目的は「化学的安定性と中性子検出能を両立した新規中性子シンチレータの開発」である。特にホウ素を含有した単結晶材料に着目する。申請者はこれまでにホウ素を含有した試料において、高強度の発光を呈するものを見出しており（図2）、中性子の検出にも成功している。また当該材料は化学的に安定で、実用化に向けたポテンシャルも有する。本研究ではこの材料をベースとして賦活剤導入による発光量の向上を行う。

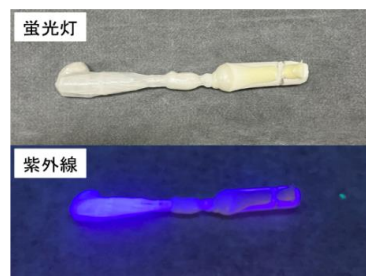


図2 ホウ素含有材料の発光の様子。

## ③ 学術的な独自性と意義

中性子を検出するためには材料中にリチウムやホウ素といった中性子捕獲反応を起こす元素を含む必要がある。これまでの報告ではリチウムを含有した材料が高い発光量を持つ傾向があり、近年の中性子シンチレータの開発はリチウムの検討に偏っている。しかしホウ素は中性子捕獲反応断面積が 3840 barns とリチウム (940 barns) の約 4 倍高く、中性子検出効率の観点から極めて有利な元素である。ホウ素を含有した高発光量の中性子シンチレータを開発することで既存材料に明確な優位性を持ち、中性子検出技術のブレイクスルーとなる可能性を秘めている。

## ④ 期待される成果と発展性

中性子源技術の進展と相まって、医療、産業、防災・防衛など多分野での応用展開が見込まれる。特に全固体電池や燃料電池などの次世代エネルギー材料やカーボン複合素材などの軽量素材の非破壊・高分解能検査が可能となり、品質向上につながる。加えて  $X$  線では困難な爆発物・核物質の識別にも威力を発揮し、安全保障や社会インフラの保全にも寄与する。



## 物理リザーバーコンピューティング応用に向けた 自己形成量子ドットの電気特性と時系列異常検知能力の評価

研究者 電気通信大学大学院情報理工学研究科 助教

OON Sim jui

① 物理リザーバーコンピューティング (PRC) は、再帰型神経回路網 (RNN) に基づく情報処理の枠組みとして近年提案された手法であり、物理的な実体 (リザーバー) を用いて入力信号を複雑な動的応答へと変換します。PRC は、**深層学習と比較して学習が高速で計算負荷が小さいという利点から、近年注目を集めています。**この概念は、脳が神経回路を通じて情報を処理する仕組みに着想を得たものであり、W. Maass による Liquid State Machine の提唱により、動的情報処理を模倣する新たな計算モデルとして発展してきました。**日本国内でも、ナノ材料や機械構造を用いた PRC の研究が活発に行われています。**しかし、最適な非線形動特性および記憶特性を備えたリザーバーマテリアルの選定は依然として課題であり、現時点で広く認められた標準的材料は存在していません。これまでの研究では、コロイド量子ドットを用いた光学的リザーバーが高精度かつ低平均二乗誤差 (MSE) を示し、非線形応答と短期記憶特性に基づく情報処理の可能性が示唆されていますが、電氣的に駆動される自己形成型量子ドットをリザーバーとして利用する研究はほとんど行われていません。量子ドットは、電荷キャリアを三次元的に閉じ込めるナノ構造であり、量子閉じ込め効果により離散的なエネルギー準位を持ちます。半導体材料から作製される量子ドットは、優れた安定性と耐久性を持ち、レーザー、太陽電池などの各種電子・光電子デバイスへの統合にも適しています。本研究は、**ナノ材料と機械学習の融合という新たな手法**を通じて、技術的課題の克服と社会的ニーズの解決の双方に貢献することを目指します。

② 本研究は、自己形成型量子ドットの時間依存的応答性が、PRC における重要要素であるとの理解に基づき、量子ドットが電圧入力によって駆動され、機械学習アルゴリズムによって訓練されることで、**各種情報処理タスクが実行可能であることを実証すること**を目的とします。最終目標は、梱包および配送工程における繰り返しの不適切な取り扱いに起因する深刻な損傷を未然に防ぐため、信号異常を事前に検出し、早期警告を可能にする**リアルタイム衝撃監視システムを構築すること**です。この技術は、荷物監視、スマート包装、配送品質管理などへの応用が期待されます。

③ 博士課程では、山口研究室にて自己形成 InAs 量子ドットの作製と解析に取り組みました。山口浩一教授の指導のもと、量子ドット密度  $0.8 \sim 10 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  という、**世界最高の面内超高密度化を達成しました。**超高密度量子ドットの作製にはリアルタイム監視を伴う高度な制御が必要であり、作製には高い技術力が求められます。長年の研究により、超高密度量子ドット間における面内トンネリングによるキャリア輸送を実証し、ミニバンド形成を確認しました。**従来は主に半導体素子用途で利用されてきた自己形成量子ドットですが、その高次元構造と電荷輸送の複雑性は、PRC のリザーバーとして有望な特性を持ちます。**本研究では、これら量子ドットを小型回路に組み込み、リザーバーとして活用します。画像認識などの一般的課題も可能ですが、本提案では物流現場での衝撃監視による異常検知という、実用性と社会的意義の高い応用に焦点を当てます。機械学習により訓練された量子ドット PRC により、輸送中の異常信号をリアルタイムに検知し、事前警告を可能にすることを目指します。

④ PRC 開発後、異常検知タスクを完了し、本システムを試作機として現実の物流や消費財などの産業分野へ実装することが可能となります。これらの分野では、輸送中の壊れやすい製品の保護が非常に重要です。量子ドット PRC で実装する本手法は、**製造および輸送工程の効率化に貢献し、廃棄物、エネルギー消費、不要な資材使用の削減にもつながります。**本研究では、毎年の研究助成申請と学会発表 (例: 応用物理学会) を継続し、助成状況に応じて国際会議への参加も視野に入れています。最終的な目標は、量子ドット PRC の学術的価値と社会的有用性を示す高品質な論文を発表し、学术界と社会双方への貢献を果たすことです。

## 1. 背景

銅酸化物高温超伝導体の発見以来、電子相関で反強磁性モット絶縁体転移した  $\text{CuO}_2$  面にキャリアをドーブした時に超伝導が発現するという実験事実を起点として、モット絶縁体近傍の研究が数多く行われてきた。モットロニクスと呼ばれるモット絶縁体を用いたデバイスは、半導体エレクトロニクスを補完する新電子技術として大きな期待が寄せられている。半導体のようにモット絶縁体にキャリアをドーブして絶縁体金属転移を引き起こすには、単位胞あたり電子 0.1 個程度のキャリア数 ( $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ) の変化が必要である。その大きな電子密度変調には巨大な電界が必要になるために、モット絶縁体を半導体のような電界効果デバイスとして応用することは困難であり、それが原因で研究が進展していないのが現状である。申請者は強相関金属である  $\text{SrVO}_3$  の電子を二次元に閉じ込めた量子井戸構造が厚さ 5 単位胞 (ユニットセル(u.c.)) 以下で二次元モット絶縁体になることを見出し、人工二次元モット絶縁体の研究を進めている。

## 2. 目的

本研究では視点を変えて、 $\text{SrVO}_3$  の二次元-三次元の次元性を外場によって変調することで絶縁体-金属転移を誘起することを着想した。図 1(a)に示したような、単一井戸ではモット絶縁体の 3u.c.厚さの  $\text{SrVO}_3$  でトンネル絶縁体層を挟んだ二重量子井戸構造において、理想的に量子井戸間のトンネル確率が 100%から 0%へ変調可能になれば、6u.c.の三次元金属状態から 3u.c.の二次元絶縁体状態の転移が可能になる。今回、二重量子井戸に電界を印加し 2つのフェルミエネルギーに差を与えることによって、トンネル確率の高い共鳴トンネル状態の金属から、トンネル確率の低い非共鳴状態の絶縁体に変調することを試みる。

## 3. 学術的な独自性と意義

本研究の手法はモット絶縁体の電界効果であるが、従来の電界効果によるキャリア密度の変調ではなく二重量子井戸全体の次元性の変調という新しい着想である。二次元モット絶縁体のトンネル効果による波動関数の重なりが二重量子井戸全体の次元性に与える影響を実験的に調べた例はない。さらに、そのトンネル確率を電場によって変調し金属-絶縁体転移を制御する試みは独自性が高く、従来の研究とは一線を画する新たなアプローチである。

## 4. 期待される成果と発展性

これまでの酸化物薄膜の結晶品質では本研究で取り組むような強相関電子の二重量子井戸構造を再現性良く合成することは不可能であった。したがって、モット絶縁体量子井戸間のトンネル効果の物理を実験的に検証した研究はほとんどなく、また、モット絶縁体の次元性を外場により制御した例もこれまでなかったように、応募者が独自に開発した酸化物薄膜成長技術により挑戦可能になった研究である。

次元性を外場で制御することで伝導性を大きく制御できることが証明できれば、電子の多体効果である電子間相互作用を用いたモット絶縁体デバイス技術に産業界から注目が集まることが予想される。

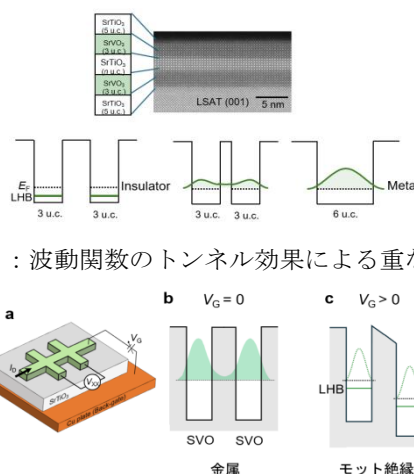


図 1：波動関数のトンネル効果による重なり。

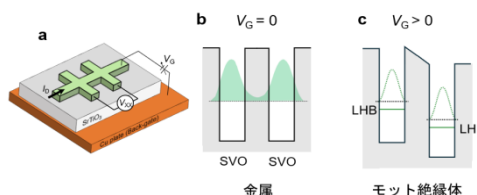


図 2：二重量子井戸の電界効果。電界ゼロではフェルミエネルギーが一致し共鳴トンネルが起こるため、電子が三次元的に広がり金属状態になる (b)。電界をかけるとトンネル確率が下がり、絶縁体化する (c)。

## ① 背景

近年、気候変動や土壌劣化、さらには農業従事者の高齢化や労働力不足といった社会的課題により、農業分野では資材の高機能化と環境負荷の低減を同時に実現するスマート農業技術の開発が急務となっている。特に、水分・栄養素・農薬の供給を外部環境に応じて高精度に制御できる材料技術の導入は、持続可能な農業の実現に向けて不可欠である。一方、光刺激に応答して物理的性状を可逆的に変化させるスマートハイドロゲルは、医療材料やドラッグデリバリー分野において広く研究されてきたものの、農業用途への応用は未だ限られているのが現状である。特に、植物の成長に必要な成分を光などの外部刺激でオンデマンドに供給する仕組みの実装は、次世代農業を支える革新的かつ応用展開性の高い技術として注目される。

## ② 目的

本研究では、申請者がこれまでに開発してきた光刺激応答型超分子ハイドロゲル技術を基盤に、光によって農薬および栄養素の放出を自動かつ選択的に制御可能な供給システムの構築を目指す。

とくに以下の2点に焦点を当てる：

1. 強結合と弱結合の可逆的な形成・開裂制御に基づくゲル構造の精密設計
2. UV照射によるゾルゲル相転移を活用した成分放出の自動化技術の実証

これにより、植物の成長段階や天候条件に依存せず安定的に動作する新たな農業資材の開発を目指す。

## ③ 学術的な独自性と意義

- ・自己組織化によって形成される光応答性超分子ゲルと、アゾベンゼンの異性化機構を基盤とした可逆的ゾルゲル相転移の融合的アプローチ
- ・分子レベルでの動的架橋設計を通じた、拡散性および放出速度の精密制御が可能な構造設計
- ・農業用途に特化した光応答型ハイドロゲルシステムとしての初の試みであり、物理化学的安定性と生体適合性を兼ね備える材料の開発に貢献

## ④ 期待される成果と発展性

- ・農薬および栄養素供給の自動化を可能にする高機能スマート材料ベースの供給システムの実現
- ・オンデマンド型の刺激応答制御による資源使用の最適化と環境負荷の低減への寄与
- ・実験室スケールでの実証を通じ、垂直農業、植物工場、精密農業など多様な農業形態への応用展開が期待される
- ・本技術の特許化および事業化を見据えた、新たな農業資材市場の創出と社会実装への展開

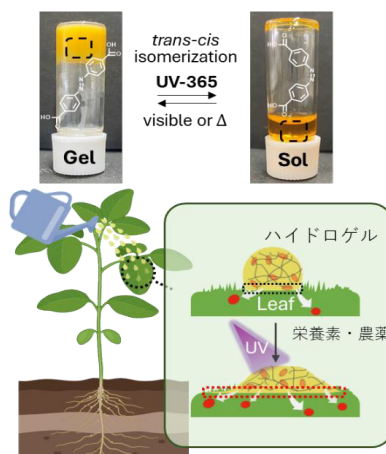


図 1. 本研究のコンセプト

## 電子線励起アシスト光学顕微鏡による ダメージレスな高空間分解能観察に向けた電子線散乱制御手法の開発

研究者 静岡大学工学部 助教 益 田 有

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

超解像顕微鏡は、従来の光学顕微鏡では達成できない光の回折限界を超える高空間分解能を実現する技術であり、世界中で様々な原理に基づく手法が開発され、生きた生物試料中のナノスケールの微細構造観察を可能にした。特に PALM/STORM、STED 顕微鏡は 2014 年にノーベル化学賞を受賞し、世界的に広く普及して科学技術の発展に貢献している。これらの顕微鏡は非常に高い空間分解能を持つが、計測原理から試料の蛍光染色が必須であり、それによるアーティファクトがしばしば議論される。特に、iPS 細胞などを用いた再生医療や創薬研究においては、観察結果が細胞本来の機能がどうかを判定する上で染色アーティファクトが大きな弊害となる。

この問題を解決すべく、申請者らは世界的に類を見ない非染色の超解像顕微鏡；EXA 顕微鏡の開発を独自のアプローチで進めている。図 1 に EXA 顕微鏡の原理を示す。本顕微鏡は、集束電子線を蛍光膜に照射して数十ナノメートルの微小光源を励起し、これにより試料を照明して透過光や散乱光をマッピングする走査型の光学顕微鏡である。蛍光膜により電子線の真空環境が試料側と隔てられるため、試料は大気圧環境下に配置でき、生きた生物試料の液中観察が可能となる。さらに、試料の屈折率分布や吸収分布の観察、電子線走査による高フレームレート観察、非染色観察が可能といった、他の超解像顕微鏡にはない優れた特徴を有する。特に非染色観察が可能である点は、染色によるアーティファクトや試料ダメージの問題を回避できることから、バイオサイエンス分野において生体本来の形態・機能を観察できる革新的な顕微鏡として高い注目を集めている。しかし、染色に関する問題は解決された一方で、蛍光膜を透過した電子線による試料ダメージが新たな課題として残る。

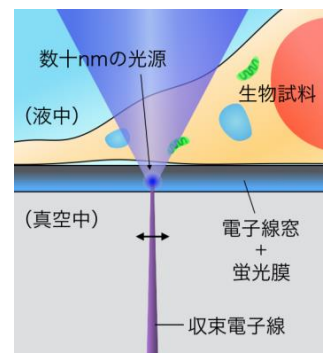


図1 EXA顕微鏡の原理

### ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、EXA 顕微鏡観察の試料への電子線ダメージを低減する手法として電子線リターディング法の応用を検討する。リターディング法は、加速電圧を操作して電子の見かけの波長を制御することで、高加速電圧の電子光学性能を維持しながら、試料には低加速電圧の電子線を照射する技術である。本研究により、EXA 顕微鏡における透過電子を制御することで試料ダメージを大幅に低減し、アーティファクトのない高空間分解能観察の実現を目指す。これにより、バイオサイエンス分野における生体観察技術の実現に寄与することを狙う。

### ③ 学術的な独自性と意義

本研究は、電子線の収束性を維持しつつ、その侵入長や散乱領域を“制御”しようとする点に独自性がある。蛍光膜による微小光源の励起や液中試料といった EXA 顕微鏡の特性も考慮しながら、電子線の侵入長や散乱状態を最適化する。本研究の意義は、電子線ダメージを大幅に抑制することで、EXA 顕微鏡による観察結果が試料本来の形態・機能をより正確に反映し、計測情報の信頼性を飛躍的に高める点にある。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究により、EXA 顕微鏡を用いた生物試料観察において電子線ダメージを大幅に低減できる技術基盤が確立される。これにより、薬剤に対する細胞の局所応答メカニズムの解明、疾病治療・再生医療分野への応用、さらには、モデル細胞膜などの弱い力で構造を保つ試料の観察、植物や藻類の微細領域における光合成エネルギー研究、高分子材料や有機物質のミクロな化学反応挙動の解析など、自然科学分野の多様な研究に EXA 顕微鏡が応用でき、新たな発見の創出や未知の現象の解明に貢献する大きなインパクトを与えるものと期待できる。



## 【研究背景】

温室効果ガス排出量の削減には、エネルギー利用の高効率化が不可欠であり、摩擦損失の低減はその鍵となる。世界のエネルギー消費の約 23% が摩擦と摩耗に起因するとされ、潤滑技術の高度化が強く求められている。この実現のため、潤滑油の極限的低粘度化による飛躍的な摩擦損失の低減が試みられている。潤滑剤の流れにより摺動面を分離する流体潤滑において、分離する動圧力の大きさは粘度に比例する。低粘度化により流体潤滑が十分機能しなくなるため、先端的な機械システムの潤滑は、流体潤滑から、摺動面に吸着した添加剤分子膜による境界潤滑への移行が進んでいる。従来の低分子添加剤に代わり、多機能性と設計自由度に優れた高分子添加剤の利用が期待されているが、その分子設計は複雑であり、体系的な設計指針は未だ確立されていない。

## 【研究目的】

添加剤分子は、溶解している潤滑油中から摺動面に吸着し、摺動面を分離する。このように、吸着した添加剤分子膜は摺動面の接触を防ぎ、摩擦や摩耗を低減する。図 1 のように高分子添加剤の分子設計には、添加剤分子の構造から潤滑性能を予測することが求められる。そのためには、(1) 添加剤分子・潤滑油・摺動面の間の分子間相互作用を明らかにし、(2) 分子間相互作用による潤滑油中および吸着膜分子状態を明らかにすることが必要である。とくに、分子状態の推定には分子の大きさ（潤滑油中の分子半径、吸着膜厚）の測定が有効である。しかし、分子間相互作用および分子半径・吸着膜厚のいずれも高分子添加剤については、分子レベルの測定のため容易ではなく、測定法が確立されていなかったため、(3) 吸着膜の状態を把握した上での境界潤滑性能の測定も確立していなかった。以上の課題から、高分子添加剤の分子設計論は確立していなかった。本研究では、分子設計論確立に必須な測定方法を提案し、設計論の基盤を構築することを目的とする。

## 【学術的な独自性と意義】

本研究は、現在の試行錯誤的な添加剤分子設計法を打破する、ボトムアップ的な添加剤分子設計論確立に向けた方法論を提案している点に特色がある。そして、図 1 の(1) 分子間相互作用、(2) 油中と吸着膜の分子状態（油中の分子半径と吸着膜厚さ）、および(3) 吸着膜の境界潤滑性能について着目し、それぞれについて新規な測定方法を確立することで、添加剤の分子構造から境界潤滑性能の予測を可能にする方法論を提案する点に独創性がある。とくに、吸着膜の境界潤滑性能については、ナノ厚さの吸着膜を対象とするため、これまでの測定方法では困難で、申請者が独自に研究を進めてきたエリブソメトリー顕微鏡を用いた測定で可能となる点で、独自性がある。

## 【期待される成果と発展性】

本研究により、分子間相互作用に基づく新たな潤滑添加剤設計論が構築されることで、論理的かつ効率的な分子設計が可能となる。これにより、機械システムにおける摩擦損失の大幅な低減を実現する革新的な添加剤の創出が期待される。さらに、本研究で得られる高分子吸着膜に関する知見は、機械工学にとどまらず、生体模倣型粘着テープにおける粘着特性の向上など、複数の分野の発展に資する汎用性の高い基盤技術として発展する可能性を有している。

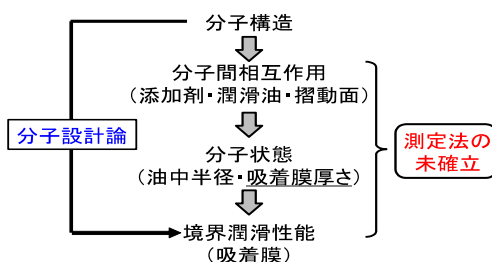


図 1 添加剤の分子設計確立の課題

研究者 名古屋工業大学大学院工学研究科 助教 松 原 翔 吾

背景：ペプチド医薬や核酸医薬を含む中分子薬は近年の医薬品のトレンドであり、薬効が高く副作用の少ないだけでなく、化学的に合成できるといった数多くのメリットも持つ。その一方で、中分子薬は化学的・熱的安定性が低いといったデメリットがある。中分子薬の開発段階において、安定性が低いことによってボツになる化合物も多く存在しており、新薬開発にとっても安定性の向上は課題である。そのため、**中分子薬を安定化させる薬物担体の開発も国内外で盛んに行われている**。そんな中、申請者はオリゴプロリンと呼ばれる棒状構造のペプチドと金属イオンを錯形成させることで、**中分子薬を安定化させることが可能なケージ状の錯体(ナノケージ)の構築に成功した**(論文投稿中、内容の詳細は第4項で記述)。一般的に薬物担体として用いられる高分子ミセルと比べ、このナノケージの粒子径は非常に小さい。そのため、ミセルでは不可能な細胞内標的へのアプローチも可能であり、中分子薬のメリットを活かしたまま安定化させることが可能である。また、生体適合性の高いペプチドから構築されるため、薬物担体として応用することのできる高いポテンシャルを持っている。

目的：ペプチドの錯形成によってナノケージを構築する方法を見出した一方で、**副生成物としてバンドル状の錯体(ナノバンドル)が形成してしまっているのが現状である**(図1)。中分子薬を安定化できるのはケージ構造のみであるためナノバンドルを排除したいが、両錯体は平衡状態であり、ナノケージのみを単離することが不可能である。現在の研究を応用・発展させ、薬物担体のような生体医療材料を開発するためには、ケージ構造を選択的に構築させることが重要である。そこで、**中分子薬を安定化させることが可能なナノケージを効率的(選択的)に構築する方法の確立を本申請研究の目的とする**。

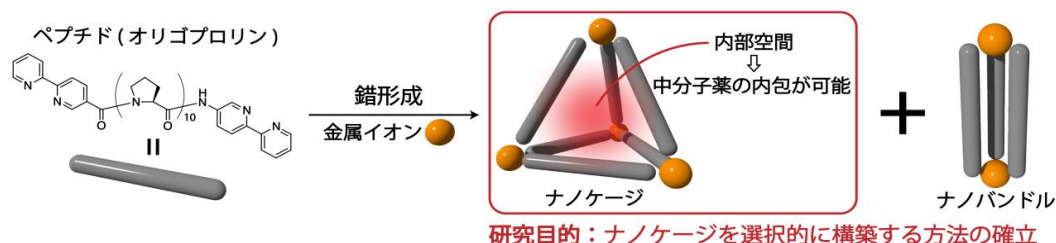


図1. 先行研究におけるペプチドの錯形成によるナノケージとナノバンドルの形成.

学術的な独自性と意義：ペプチドのような柔軟な分子を用いてケージ構造を構築することは困難とされてきたが、申請者はペプチドを用いた四面体型ナノケージに世界で初めて成功した。ナノケージを生体医療材料に応用・展開するための課題は残されているものの、**先行研究におけるノウハウを生かしてペプチドナノケージを生体医療材料にまで発展できるのは申請者のみであり、学術的独自性は高い**。また、このペプチドナノケージは従来の薬物担体と比較して多くのメリットを持っているため、申請者が独自に開発したナノケージ形成法に基づき、本申請研究を達成することは、学術的だけでなく産業的にも重要な基礎研究である。

期待される成果と発展性：ナノケージを選択的に構築する方法が確立されることによって、**ナノケージの物質(中分子薬)内包特性を定量的に評価することが可能となる**。現状では、ナノケージとナノバンドルの混合状態での内包実験しかできておらず、定性的な評価しか出来ていない。しかし、ナノケージを材料として応用するためには内包特性の定量評価(どれだけ安定化できるのか？、内包効率はどれくらいか？、など)が重要である。この**定量評価が完了することによって、より良いナノケージを開発するための指標が立てられ**、最終的には中分子薬のデメリットを完全に払拭できるような薬物担体が開発できると期待している。

## ① 背景（内外における当該分野の動向）

固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell: SOFC）は、高効率なエネルギー変換デバイスとして注目されている。これまで、電気化学活性の向上を目指した材料化学を基礎とする研究や、電極多孔質中の物質輸送の促進を目指した機械工学を基礎とする研究が行われてきた。SOFC の電極は電子伝導性の金属と酸化物イオン伝導性のセラミックスからなる混合多孔質であり、そのサブミクロンスケールの構造がSOFC の性能を左右する。電極構造最適化のための取り組みにおいては、まず集束イオンビーム走査型電子顕微鏡（FIB-SEM）などを用いて電極構造が3次元的に観察され、そこから電極構造を特徴づける様々な指標が定量化されてきた。また、得られた構造情報をもとにして、数値シミュレーションなどにより電極性能が予測される。しかし、構造観察・定量化・性能予測という一連の手法は作業負荷や計算負荷が高く、電極構造最適化に向けた取り組みにおいてボトルネックとなっていた（図1）。加えて、多孔質構造を特徴づける指標として、人間が直感的にイメージしやすい体積分率や表面積などが従来使用されてきたが、それだけでは電極構造と性能の関係を十分に説明できていなかった。

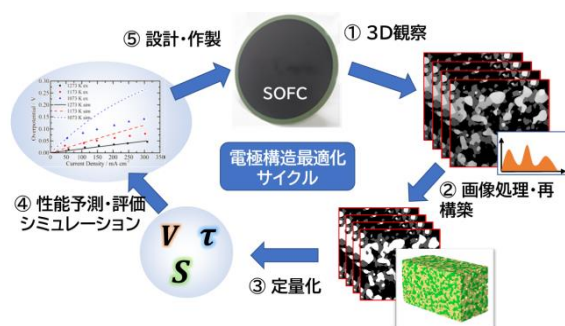


図1 従来の電極構造最適化サイクル

## ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、電極多孔質構造を迅速に評価する技術を「トポロジー解析」と「機械学習」に基づいて開発する。具体的には、複雑な3次元の電極構造から、その本質的な構造情報としてトポロジー情報を抽出する。そして、トポロジー情報に対して主成分分析に代表される次元圧縮技術を適用し、多孔質構造をより低次元の情報で表現する。さらに、得られた低次元情報を入力とするニューラルネットワークを構築し、電極構造指標の定量化や、電極の性能の予測を行う。従来のような3次元構造をそのままの形で用いる解析手法と比べ、低い計算コストで迅速に電極を評価する技術の確立を目指す。

## ③学術的な独自性と意義

SOFC 電極多孔質の構造解析に対して、機械学習技術を適用する取り組みは近年活発化している。しかし、多くは電極構造から直接構造指標や性能指標を抽出するといった、従来手法の単純な代替が目標となっている。本研究では、3次元構造の解析にトポロジー解析の考え方を導入するところに独自性がある。これにより、単なる計算負荷の低減だけでなく、これまで人間が直感的にイメージできなかった構造情報にアクセスできるようになり、電極構造の根源的な性質に迫れる可能性がある。

## ④期待される成果と発展性

SOFC 電極のトポロジー情報をもとにした構造解析技術基盤が開発されると、電極構造に対する理解が深まり、構造最適化に向けた取り組みが加速されることが期待できる。また、開発する技術は、SOFC と同様に複雑構造中で輸送現象と反応現象が連成する系、例えばリチウムイオン電池や触媒のようなエネルギーデバイスの解析・評価にも展開可能である。

### ①背景・②目的

結晶多形とは、化学組成は同一でありながら結晶内の原子・分子の配列が異なるもののことを指す（例：ダイヤモンドとグラファイトの関係）。そして、ある多形から別の多形へと変化する現象を多形転移と呼ぶ。実は、医薬品や電気光学材料などの機能材料の性能は、材料のそのものの化学組成だけでなく、結晶多形にも強く依存する。したがって、機能材料の性能を高めるためには結晶多形を精密に制御できる技術の開発が必要不可欠である。

近年申請者は、**結晶に対して短パルスレーザーを集光照射して“機械的”または“熱的”に局所破壊すること**で、**多形転移を強制的に誘起させられることを新たに見出した（図 1, 図 2, *J. Phys. Chem. Lett.* 2024, *Cryst. Growth Des.* 2024）**。また、種々レーザー条件（例：パワー、繰返し周波数）を調節すると、多形転移の速度や転移後の多形が変化することも見出している。したがって、今後様々なレーザー条件を探究していくことで、結晶多形を精密に制御できる技術になると期待される。そこで**本研究では、“化学的に”結晶を壊すことができる紫外線波長（UV,  $\lambda = 266$  nm）の短パルスレーザーに新たに着目し、多形転移を制御するためのレーザー条件（レーザーパワー、パルス時間幅など）を探究することを目的とする。**

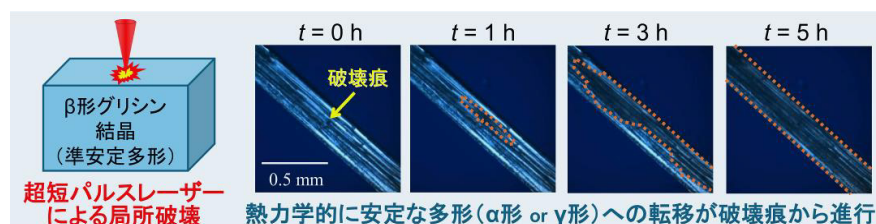


図1. レーザー破壊によるグリシン結晶の多形転移の誘起。橙色の点線は多形転移の進行した領域。



図2. 雑誌の副表紙に選出。

### ③学術的な独自性と意義

【独自性】一般的に結晶多形は温度・圧力などの環境因子を調節することで制御される。しかしながら、このような“単一”な刺激による多形制御では、所望の多形を得るのが難しいことが多い。一方**本レーザー手法では、種々レーザー条件を調節するだけで結晶に対して応力破断・融解・昇華・化学反応・圧力印加・機械的トルク（回転）といった様々な刺激を“複合的”に与えられるという独自性がある。**

【意義】これまで機能材料の性能は、材料自体の構造（例：分子構造）を化学合成によって改変することで高められてきた。一方申請者のレーザー手法では、材料自体の構造はそのままで結晶の配列構造を変えることで性能を高める。このようなアプローチは、限られた物的資源の中で持続可能な社会を築く必要がある現代社会では意義があるといえる。

### ④期待される成果と発展性

【期待される成果】いくら高い機能を有する材料を作製できたとしても、それが結晶となったときに適した多形をとれてない場合は真価を発揮できないという課題がある。本研究で開発するレーザー手法では、光がもたらす複合的な刺激によって、従来法までの単一的な刺激では得られない多形を作製できる可能性がある。したがって、本レーザー手法はこの課題を解決する革新的なアプローチになりうると期待される。

【発展性】本レーザー手法は申請者らが昨年に新規に見出したものであり、まだまだ発展途上である。そこで、本研究を含め今後様々なレーザー条件を検討していくことで、将来的に幅広い材料へ応用可能な工学技術への昇華を目指す。



## ① 背景（内外における当該分野の動向）

急速な高齢化の進展に伴い、外科的侵襲を最小限に抑える低侵襲治療技術の重要性がますます高まっている。特に内視鏡下手術では、術者の熟練度に大きく依存する場面が多く、触覚情報が得られない現状が医師の負担となっている。近年、ロボット支援手術の導入が進んでいるが、力覚や触覚の提示技術は依然として未成熟であり、術中の安全性や正確性向上のためには、直感的な触覚提示手法の確立が求められている。

## ② 目的（課題設定とねらい）

ロボットによる遠隔治療が推進される将来において、手術機器の機械化とともに、術者の感覚を正確に補完する技術の整備が求められている。本研究の対象である鉗子とは、手術中に組織を「つかむ」「剥がす」「縫い合わせる」などの目的で使用される、ピンセットに似た形状の医療器具であり、内視鏡治療における「医師の手」として中心的な役割を果たす。また近年では、鉗子にかかる力を推定するためのセンサ技術の研究が進んでいるが、デバイスの小型化や防水性確保、そして操作性の維持といった課題に加え、得られた力情報をどのように術者に提示するかという点も未解決である。本研究では、引っ張る・刺し込む等の多様な操作を可能にする鉗子操作アームロボットの開発と、髪の毛ほどの細さと高感度を有するFiber Bragg Grating (FBG) センサを鉗子先端に搭載し、術者の操作性を損なわずに触覚情報を取得することを目指す。また、取得した触覚情報を視覚的に提示するMR（複合現実）技術を組み合わせることで、術者の感覚を補完・誘導し、視界が限られる内視鏡下手術においても、安全かつ高精度な操作を可能とする。特に本研究では、単純な「把持」にとどまらず、「引っ張り」や「刺し込み」といった複雑な触覚操作への対応を視野に入れた情報提示手法の開発を目指す。

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性の第一は、術者が必要とする触覚情報を、視覚的な錯覚を用いて提示するという新たなアプローチにある。従来の触覚提示装置が、力覚の直接伝達に重点を置いていたのに対し、本研究では視覚誘導性錯触覚を活用し、視覚情報を通じて触覚感覚を補完・誘導する手法を提案する。耐水性があり電磁ノイズに強いFBGセンサによる小型・高精度な触覚計測技術は、鉗子の操作性や形状を損なわずに組み込むことが可能であり、リアルタイムな感覚支援の実現に資する。さらに本研究の独自性の第二は、従来の「把持」だけでなく「引っ張り」「刺し込み」操作が可能な鉗子操作アームロボットを開発し、操作ごとに異なる触覚情報に対応する感覚提示の適切な設計と評価も行う点である。これは、操作の種類に応じた感覚提示の適応性を検討する試みとして、触覚提示研究に新たな視点を提供するところに意義がある。さらに、直感的な“速い思考”と熟慮的な“遅い思考”の二重性を考慮した設計は、術者の誤判断防止や判断補助にもつながる。錯触覚を利用した情報提示は、直感に頼る判断を補完する認知的介入としても意義を持つ。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究により、「引っ張る」「刺し込む」等の多様な操作機構と触覚提示機能を備えた次世代型内視鏡鉗子の開発が期待され、内視鏡下手術における術者の負担軽減や手術精度の向上に寄与する。また、視覚と触覚の関係性に関する実証的な知見は、VR/ARを活用した医療訓練やリハビリテーション、さらには非医療分野（遠隔操作、教育、製造業など）への応用可能性も広がると考えられる。加えて、多様な触覚操作への対応を視野に入れた提示技術の応用展開は、今後の遠隔医療支援システムや人間拡張技術の基盤にもつながる可能性がある。



## 金ナノ三角プレート自己組織化膜と半導体ナノ粒子のハイブリッドナノ構造形成による超強結合の実現

研究者 九州大学先端物質化学研究所 助教 梶 野 祐 人

### ① 背景

半導体ナノ粒子は、その優れた光学特性からナノ光デバイス応用や、量子技術における単一光子発生源としての応用が期待されている。申請者はこれまでに、高品質な半導体ナノ粒子として注目を集めている鉛ハライドペロブスカイトナノ粒子 (LHP NC) のナノ構造設計、ナノ光物性について研究を進めてきた。中でも、粒子自己組織化によるナノ集合構造、粒子膜積層によるキャビティ構造形成を行うことで、粒子間相互作用やナノ光学効果に起因して、その光学特性が著しく向上することを明らかにしてきた [研究業績 2, 3, 7]。しかしながら、ナノ粒子からの単一光子発生効率向上や量子効果を利用した柔軟な光学特性制御を可能とし、実用化につなげるためには、高品質なナノ粒子合成のみならず、局所的な光電場増強機構と組み合わせたハイブリッドナノ構造作製による光電場との超強結合実現が必要不可欠である。

局所領域への電場増強を引き起こす方法として、金属ナノ構造を用いた局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) がある [研究業績 1, 4, 6]。特に、鋭角な頂点を持つ異方性金属ナノ粒子やナノ構造間ギャップ領域では、光回折限界を超えた非常に強い局在増強電場 (プラズモンホットスポット) を形成することが可能である。これまでの国内外の研究において、トップダウンプロセスによる金属ナノ構造形成と確率的な手法 (ランダムなナノ粒子配置) によるハイブリッドナノ構造作製が行われてきたものの、リソグラフィからの制限による金属ナノ構造先端の非鋭角化や、ナノレベルでの空間配置制御の困難さから、超強結合実現には至っていない。

### ② 目的

そこで本申請では、ナノ光物理を専門とする申請者が、化学分野の共同研究者の協力を得ることで、異方性金属ナノ構造間ギャップ領域での強い光電場形成と高効率・高精度なナノ粒子配置技術との融合を試みることで、半導体ナノ粒子と金属ナノ構造とのハイブリッドナノ構造形成による超強結合の実現を目指す。

共同研究者である北大電子研 三友は、金ナノ三角プレート (Au NT) 自己組織化膜の作製とハイドロゲル基板を利用したナノ構造制御、それを応用したプラズモンホットスポットへ検出分子を効率的に導入する革新的な方法を開発している (図 1) [1]。本研究では、基板材料をゲルではなくポリジメチルシロキサン (PDMS) に変え、検出分子ではなく LHP NC を Au NT 自己組織化膜に導入したハイブリッドナノ構造作製手法の確立と、超強結合の実証を含めた新奇ナノ光物性の探索を目的とする。

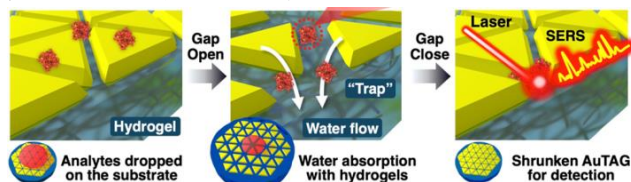


図 1. ハイブリッドナノ構造作製手法の概念図[1]

ここでは、Au NT 自己組織化膜でのタンパク質導入の場合を示し、本申請では、これを高品質な半導体ナノ粒子に置き換えた手法を確立する。

### ③ 学術的な独創性と意義

前述したように、これまでの研究では光物理分野の研究者が主導したトップダウン型のアプローチであったため、金属ナノ構造の溶液合成による高い結晶性と頂点の鋭角構造形成、ゲルの体積変化と溶媒吸収を用いた物質導入といった化学的なアプローチの利用という発想には至ってこなかった。本研究では、研究代表者である梶野がナノ光物性の知見に加えて、共同研究者である三友の化学的な手法を取り入れることで、従来の研究とは一線を画す、物理分野と化学分野の融合による独創的な挑戦を志す。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究の最終目標である励起子-プラズモン超結合状態は、発光の狭線幅化や波長制御、高強度な単一光子発生源としての利用が、これまでの理論研究から提唱されている。そのため、詳細な光物理研究に対する高い関心のみならず、レーザーや光通信といった古典的な光デバイスのさらなる微細化や、光量子通信・計算といった次世代量子技術への応用としても高い発展が望まれる。

また、上記のナノ光物理領域に対するインパクトに加えて、プラズモンホットスポットへの効率的な半導体ナノ粒子導入手法が確立されれば、半導体光物性を中心とした他分野へも広く応用可能な新規手法として発展させていくことが可能になると期待される。

引用文献：[1] ACS Nano 18, 21593 (2024). [2] ACS Omega. 7, 565 (2022).

## ① 背景

ナトリウム資源の豊富さとコストの低さから、近年、ナトリウムイオン全固体電池が次世代の蓄電技術として期待されている。その中でも、固体電解質としての酸化物系材料は、優れた安全性と高い化学的安定性を持つため、電池の長寿命化と安全性向上に寄与すると考えられている。しかしながら、酸化物系ナトリウムイオン伝導体の研究は、主に 20 世紀に発見された  $\beta$ -アルミナ型および NASICON 型材料に集中しており、これら以外の構造体系は未だ十分に開発されていない。したがって、新規の構造タイプを持つ酸化物ナトリウムイオン伝導体の探索が必要とされている。パイロクロア型構造 (図 1) は三次元的な骨格構造と多様な元素置換が可能な柔軟な結晶構造を有しており、イオン拡散経路の構築に有利な特徴を持つ。さらに、近年報告されたパイロクロア型オキシフルオライド構造のリチウムイオン伝導体の例は非常に限られているものの、その中には  $\text{Li}_{1.25}\text{La}_{0.58}\text{Nb}_2\text{O}_6\text{F}$  は室温で  $3.9 \text{ mS cm}^{-1}$  という高いリチウムイオン伝導率を示し、大気中でも安定に存在することから、優れた電解質材料として注目されている [Akihisa Aimi *et al.*, *Chem. Mater.* 2024, 36, 8, 3717–3725]。しかしながら、ナトリウムイオン伝導体におけるパイロクロア型材料は、現時点で報告例がほとんどなく、その合成および伝導特性については未解明のままである。

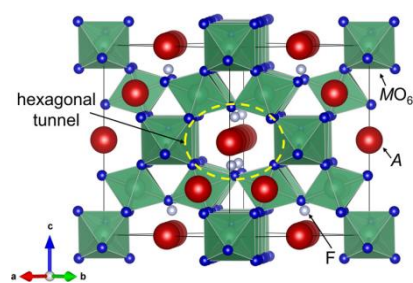


図 1. パイロクロア型オキシフルオライドナトリウム構造

## ② 目的

本研究では、リチウムイオン伝導体におけるパイロクロア型構造の成功を踏まえ、 $\text{Na}_{3-x}\text{La}_{1-x}\square_{1-2x}\text{M}_2\text{O}_6\text{F}$  ( $\square$  = Vacancy,  $M = \text{Nb, Ta}$ ) 構造を持つパイロクロア型オキシフルオライドナトリウム化合物を新たに創製し、その結晶構造・電気化学的性質・ナトリウムイオン輸送挙動を多角的に評価することで、ナトリウム固体電解質材料としての可能性を探ることを目的とする。

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究は、これまで報告のないパイロクロア型オキシフルオライド系ナトリウムイオン伝導体の創製を通じて新たなナトリウムイオン伝導体の構造領域を切り拓く試みであり、高い学術的独自性を有する。従来、ナトリウムイオン伝導体の研究は NASICON 型や  $\beta$ -アルミナ型に集中してきたが、本研究ではリチウムイオン伝導体におけるパイロクロア型の高伝導性に着目し、その構造をナトリウム系に拡張する点で新規性が高い。また、未知の構造におけるイオン伝導特性とその構造—機能相関の解明は、固体電解質材料の基礎科学を前進させるとともに、新しい材料設計指針の構築にも資するものである。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究において新たに創製されるパイロクロア型オキシフルオライドナトリウムイオン伝導体は、既存の  $\beta$ -アルミナ型や NASICON 型とは異なる構造特性を有しており、ナトリウムイオン伝導体の材料設計に新たな視点をもたらすことが期待される。未報告の構造系に基づくイオン伝導体の発見は、固体電解質研究における構造—機能相関の理解を深化させ、ナトリウムイオン伝導体における新たな研究体系の構築につながる可能性がある。さらに、得られた材料は優れたナトリウムイオン伝導性と安定性を備えることが期待され、将来的にはこれを用いた全固体ナトリウムイオン電池の開発へと発展させることで、安全性・持続可能性に優れた次世代蓄電デバイスへの応用が見込まれる。

## 研究の概要

### ①背景（内外における当該分野の動向）

機械的刺激による発光現象はトリボルミネッセンス（図 1）と呼ばれ、自発光性の刺激応答性材料として圧力センサーや摩耗センサーなどへの応用が期待されている。その発光機構には圧電性や焦電性が関連するとされており、材料には結晶全体で自発分極をもつ極性結晶（図 2）が求められる。無機系材料では応用研究が始まっている一方で、有機系トリボルミネッセンス材料の開発は圧倒的に進んでいない。その理由は、有機分子が双極子モーメントを相殺して配列しやすく、非極性結晶を形成しやすいためである。さらに、極性結晶を形成する分子のわずかな構造変更でも、極性結晶を形成しなくなってしまうケースが多い。そのため、分子設計によって発光特性が制御可能であるという有機物の利点が活かしきれていない。このように現状では、有機極性結晶の合理的設計が困難であることが有機トリボルミネッセンス材料の研究における最大の問題点である。

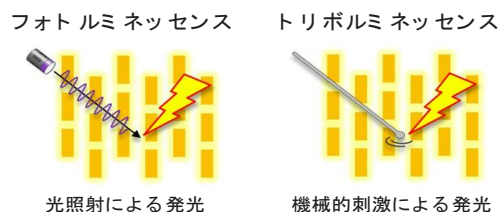


図1. 刺激の違いによる発光現象の分類。

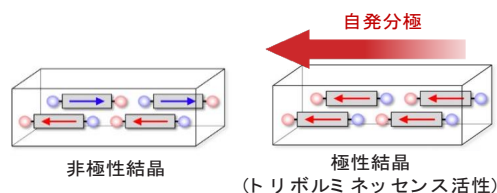


図2. トリボルミネッセンス材料に必要な極性結晶。

### ②目的（課題設定とねらい）

上記の背景のもと、本研究では高発光性有機半導体の結晶構造制御に関する独自の戦略に基づき、有機極性結晶の合理的設計指針の提案を目的とする。最終的には得られた有機極性結晶を有機トリボルミネッセンス材料へと応用し、未到の研究領域である有機トリボルミネッセンス研究の開拓を目指す。

### ③学術的な独自性と意義

従来の有機トリボルミネッセンスの研究は、発光性有機材料の開発の延長で偶然発見されたと思われる例が多い。これに対して本研究は、申請者自身がこれまでに行ってきた有機半導体の結晶構造制御と発光性有機結晶の経験と知見を結集し考案したものであり、分子間相互作用の制御による有機半導体の結晶構造制御を基盤としている。そのため、偶然の発見に頼ることなく、有機トリボルミネッセンス材料を合理的に設計・開発するものであり学術的新規性および独創性が高い。これにより、従来では活かしきれていなかった有機物の利点である、分子設計によるトリボルミネッセンス特性（発光波長・発光寿命・発光効率）の精密制御が可能となる点で意義がある。

### ④期待される成果と発展性

未到の研究領域である有機トリボルミネッセンス研究には、材料開発や機構解明に関して多くの課題が残されている。これらの課題には共通して、有機極性結晶が本質的に設計困難であるという根源的な問題がある。本研究はこの問題解決を図るものであり、本研究の遂行によって材料開発指針が提案できれば、様々な新材料の開発が実現できるようになる。さらに、結晶に加わる力の定量的評価とトリボルミネッセンス強度の相関の調査などを様々な新材料で行うことにより、機構解明に向けた新たな知見が得られることが期待され、有機トリボルミネッセンス研究を材料科学の一分野として発展できる。

## ①背景（内外における当該分野の動向）

モノのインターネット（IoT）時代に向けて自律分散型エネルギーが重要性を帯びている。その中でも光エネルギーの電力変換はクリーンな再生可能エネルギーとして注目される。屋内光は低照度であるため、従来のシリコン系太陽電池などでは十分な電圧が得られにくい。それに対して、近年の技術発展が著しい色素増感太陽電池（DSSC）はわずかな光で大きな電圧を得られる。一方、蛍光体を用いた蛍光型太陽光集光器（LSC）という集光型発電システムがある。Fig. 1 で示すように、蛍光体を含む透明な導光板に光を照射するとその内部での全反射により蛍光が端部へ集まる性質があり、これを利用して端部に設置した小型太陽電池で発電を行うものである。疑似太陽光を利用した屋外想定の評価が行われているが、屋内のような低照度環境下での利用を想定した報告例はほとんど見当たらない。わずかな例も、使用する材料は典型的な有機蛍光体やシリコン系太陽電池であり、あまり実用的ではない。

## ②目的（課題設定とねらい）

本研究では、低照度で大きな電力を得られる DSSC と、高効率な発光を示し、透明性および耐久性に優れる量子ドット（QD）蛍光体を使用した LSC を構築し、屋内環境を想定した光源により発電性能を評価する。透明な導光材に DSSC を取り付け、光取り込み部位には QD を樹脂に分散した透明な蛍光ナノコンポジット膜を接着する。作製した膜試料および導光材の光学特性や LSC の性能を評価し、将来的により適した蛍光特性を有する QD 蛍光体開発のための指針を得ることを目的とする。

## ③学術的な独自性と意義

これまで研究開発されてきている LSC は建物の壁面や窓など、屋外利用での太陽光発電を想定したものである。申請者はこれまで同じように QD 蛍光体の LSC 応用の検討に取り組んできたが、この技術は机のガラス天板や半透明パーテーションなど、屋内にある多様な透明材料を使用しても実現できると考えた。屋内環境でのエネルギーハーベスティングは社会的課題として重要である。大きな懸念点である低照度環境下での発電についても、低照度で大きな電圧が得やすい DSSC などの使用により解決が見込まれる。本研究は QD 蛍光体と DSSC を用いた LSC の屋内光発電への利用を初めて実証実験しようとするものであり、高い独自性と大きな意義を兼ね備える。なお便宜上、本申請では屋内光発電を行うものでも LSC と呼称する。

## ④期待される成果と発展性

屋内光は太陽光と比較すると照度が極めて小さいが、屋内光発電は簡単な通信、起動用電源、時計や電卓などのための電力であれば十分な供給が期待できる。また、太陽電池でそのまま光を受けるよりも LSC の技術を使用することで透明性といった意匠や機能を損なうことなく発電システムを設置できるようになる。本研究の成果をさらに発展させ、利用する導光材や太陽電池の特性にマッチした QD を開発し実用性が高まれば、近未来の IoT 対応建屋のためのデバイス設計やインテリアに新たな選択肢を増やせると考えられる。

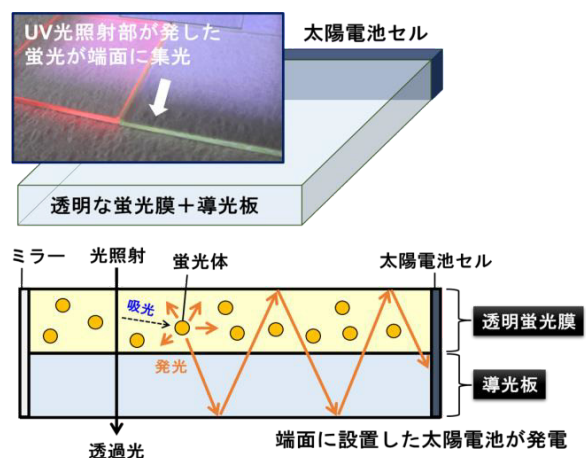


Fig. 1 蛍光が集まる様子と LSC の原理。



### ① 背景（内外における当該分野の動向）

近年、橋梁やトンネル、ダムなどの社会インフラの老朽化が進行する中で、非破壊検査や遠隔点検のニーズが急速に高まっている。特に、人が容易にアクセスできない高所・閉所・災害現場といった極限環境下における作業支援技術として、ドローンを含むモバイルロボットの活用が進展している。国内でも、インフラ維持管理や災害対応におけるドローンの導入が推進されており、視覚情報を中心とした「点検」用途には一定の成果が出始めている。しかしながら、現在主流のドローンは、対象物に接触しての作業を行うことが困難であり、力覚情報を活用した遠隔操作には対応していない。一方、手術支援ロボットなどに応用されているバイラテラル制御技術は、操作者とロボットの間で力と位置を双方向に伝送することで、繊細な操作を可能にするが、一般的にはリーダー・フォロワが同構造・同動作範囲であることを前提に設計されている。ドローンのような構造・動作特性の異なるロボットを対象とした応用例は極めて少ない。

### ② 目的（課題設定と狙い）

本研究では、異なる構造・動作範囲を有するリーダー（据え置き型ロボット）とフォロワ（飛行型ドローン）との間に、バイラテラル制御を実現し、力覚情報を介した遠隔作業を可能にする制御系の開発を目的とする。具体的には、非接触時にはリーダーの力入力に応じてドローンの運動速度を制御する「ジャイレータ型制御」、対象物への接触時には作用・反作用力を対応づけて精緻な力覚情報を伝達する「トランスフォーマ型制御」へと状態に応じて動的に切り替える制御アーキテクチャを構築する。

申請者はこれまで、異なる動作範囲のリーダー・フォロワへの提案手法の実装検証を完了している。また、ドローン機体を独自に開発・動作確認済みである。本研究では、リーダーとなる操作用ハプティックデバイスの開発と、フォロワとなるドローンに通信・力推定・制御切替機能を実装することで、力覚制御型遠隔操作ドローンとして完成させることを狙いとしている。

### ③ 学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性は、異構造・異動作範囲のリーダー・フォロワ間における力覚バイラテラル制御のモデル化と実装にある。従来のバイラテラル制御は、構造的な対称性に依存して変圧器（トランスフォーマ）モデルで記述されるのが一般的であったが、申請者はこれに対し、構造・運動性能が異なる場合には、速度と力の関係に着目したジャイレータ（速度－力双対）モデルが適用可能であることを導出し、実証している。さらに本研究では、対象との接触の有無に応じてこれら2つのモデルをリアルタイムに切り替えて運用する制御戦略を実装するという点に独創性がある。このモデル切替は、制御工学や人間拡張インタフェースにおいても前例が少なく、従来のバイラテラル制御理論の拡張としても意義深い。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究によって、力覚情報を活用した高精度かつ安全な遠隔作業ドローンの実現が期待される。これにより、インフラ点検のみならず、対象物への接触をとまなう補修作業、災害現場での応急操作、放射線環境や宇宙空間などでの人手代替作業にまで応用が広がる可能性がある。また、制御系の構造は汎用性が高く、ドローンに限らず他の移動ロボットや多自由度作業アームにも展開可能であり、遠隔作業支援ロボティクス全体に対する基盤技術としての波及効果も大きい。将来的には、複数ドローンを協調制御する群制御システムや、力覚提示技術との融合によるヒューマン・ロボット・インタラクション技術への展開も視野に入る。



**【背景】**

高齢者の社会的孤立やデジタルディバイドの問題は国内外で深刻化し、社会的つながりの維持が高齢者の心理的・身体的健康に与える影響が注目されている。近年、ICT を活用した高齢者支援が進み、メッセージアプリを用いたコミュニケーション支援システムも提案されている。しかし、キーボード入力の煩雑さや身体機能の低下による機器操作の難しさが、高齢者の自発的な言葉の発信を妨げている。この課題に対し、音声入力によるテキスト生成は有効な解決手段となりうる。実際、AI 技術を用いた音声認識と要約技術を使って、自然な発話をメッセージとして整形する技術は開発されている。しかし、特に高齢者の場合、言葉が出てこない、聞き手からの反応がないと話しづらい、文脈や意図を見失うといったことが生じる。その結果、意図と異なるメッセージが生成されると「うまくできなかった」という否定的な印象を残し、継続利用をためらう要因となりうる（図1左図）。

**【目的】**

本研究の目的は、高齢者が家族や友人とのオンライン上での社会的つながりを維持・促進できるよう、長文のメッセージ作成を対話的に支援する音声入力システムを構築することである。具体的には、音声による自由発話を複数回に分けて入力できるようにし、その内容をユーザとの対話を通じて整理、補完しながら、伝えたいメッセージとして構成できる仕組みを開発する（図1右図）。本課題では、「うまく言葉にできない」「話したいことを忘れてしまった」といった高齢者特有の発話

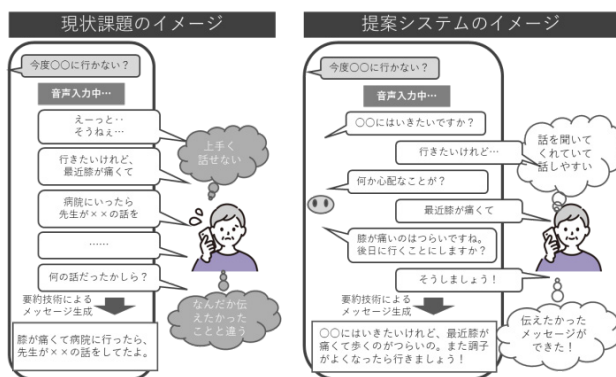


図1：現状課題と提案システムのイメージ

にまつわる課題に着目し、単なる音声文字起こしと要約にとどまらないメッセージ作成支援を目指す。これにより、高齢者が自身の想いを自然に表現できる環境を提供し、継続的なコミュニケーション支援につなげる。

**【学術的な独創性と意義】**

本研究の学術的な独創性は、高齢者が他者とのオンラインコミュニケーションにおいて自らの言葉でメッセージを発信する行為を支援する点にある。高齢者の発話を支援する従来研究は、回想法や心理的ケアを目的とした対話支援が中心であり、個人の内面に焦点を当てた発話の誘導が目的であった。一方で、日常的な他者とのつながりを築く手段としての「メッセージ作成行為」を支援する研究は、国内外を問わず十分に検討されていない。本研究では、音声対話を通じて高齢者の「伝えたい言葉」を段階的に引き出し、対話的に意図を明確化し、構成していく支援プロセスを設計する。従来の音声入力技術が前提とする単一発話のテキスト化やコマンド指向の対話とは異なり、本研究は高齢者の自発的なメッセージ作成支援を志向している点で新規性が高い。

**【期待される効果と発展性】**

本研究により、高齢者がより自然に、自らの想いや考えをメッセージとして発信できる支援インタフェースの実現が期待される。実験を通じて得られる知見は、高齢者の発話特性に基づく表現支援の設計指針となり、共創的な音声対話 UI の発展にも寄与する。開発技術は、介護現場や遠隔医療、地域コミュニティ支援など幅広い応用が可能であり、今後はパーソナライズや感情表出支援などへの展開を通じて、高齢者の社会的孤立の予防と自立支援にも貢献しうる。

## 介護予防事業を目的に開発した遠隔モニタリング式運動システムの効果検証 ー高齢男性を焦点とした取り組みー

研究者 筑波大学システム情報系 特任助教 鈴木 康 裕

---

### ① 背景

地域包括支援センター（以下センター）の役割は、高齢者が住み慣れた地域で安心して生活を継続できるように支援することであり、具体的な役割の 1 つとして介護予防の推進がある。従来の研究では、集団運動による介護予防効果が注目されており、仲間と行う集団運動を行った群は、1 人で行う運動に比べて認知機能障害に強い抑制効果が報告されている（Nagata, 2023）。そのためセンターで行われる運動教室などの取り組みでは集団運動が多く行われている。しかしながら、近年では孤立しがちな高齢者が多く、必ずしも集団運動への参加が促進されているわけではない。既報における高齢者の運動実践状況の調査では、週 2 回以上の運動を仲間と実践する者は全体比 18.7%、単独での場合 41.8%であった（Nagata, 2023）。つまり 1 人で行う運動の方が実践しやすいことは明らかである。そこで我々は在宅での運動実践のため、新たに遠隔モニタリング式運動システム（スクバラ®）を構築している。本システムは、対象者個人に割り当てた個別のレジスタンス運動動画をそれぞれに遠隔配信し、トレーニング時に本人所有のスマートフォン等で再生してもらった動画視聴方式である。各参加者は動画を視聴しながら運動を行うため、管理者は各参加者の視聴記録をトレーニング時間に置き換えることで、遠隔かつ即時的に実践状況をモニタリングすることができる。我々研究グループは、地域在住高齢者を対象に本システムによる介入を行った結果、介入前に比べ骨格筋量が 2%、膝伸展筋力が 13%有意に向上することを見出し、さらに動画視聴記録を元に換算した運動の平均実施回数は、週平均 6.2 回と極めて高頻度であることを明らかにした（Suzuki, 2024）。

### ② 目的

集団運動に参加しない対象の属性として高齢男性が挙げられる。男性は地域コミュニティへの適合が苦手であるため自宅に引きこもりがちであり、在宅での孤独死が圧倒的に多いことが報告されている（男性 83.5%、女性 16.5%）（日本少額短期保険協会、2024）。そのため、高齢男性こそ在宅で行える運動実践のニーズや必要性が高いと考えられる。本研究の目的は、地域包括支援センターによる運動教室の一環として本システムを用いた介入を高齢者男性用にアレンジし、地域在住高齢者を対象とした自宅で行える介護予防対策の実現可能性を検証することである。

### ③ 学術的な独自性と意義

近年の研究結果によって、レジスタンス運動のプログラムは低負荷であっても健康な高齢者の骨格筋量および筋力を有意に増加させることが明らかにされている（Watanabe, 2020）。我々は、低負荷レジスタンス運動をさらに大規模かつ広域に地域在住高齢者に普及させるため、既報の方法を進化させたシステムを考案した。本研究課題に関わる核心をなす学術的な問いは、「簡便かつ正確に運動の実践管理のできる本システムが、広く地域に在住する男性高齢者に対して、介護予防対策に有効かどうか」である。また今後展開が必須の遠隔地医療ツールの開発促進にもつながる。

### ④ 期待される成果と発展性

地域で行われる集団運動サークルなどで参加者を募集した場合、高齢男性が参加しにくい心情も理解できる。本研究では男性が参加しやすいように運動動画を工夫し、また在宅での自主トレーニングの実践を主旨とした催事とする。そのため本研究は高齢男性が参加しやすい条件を示した標準的事例になる可能性がある。本システムは全ての工程を自動化しており、将来的には**大規模な行動（運動）モニタリングデータ**の収集が可能である。本研究では、本モニタリングデータの基礎的資料を作成することが出来る。

## 表皮の創傷治癒過程を再現する細胞培養モデルとインピーダンスによる解析

研究者 群馬大学大学院理工学府 助教 高 田 裕 司

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

皮膚は損傷を受けるとその自己再生能力により再構築する。再構築が阻害された場合は、2-4 週間が経過しても損傷部位の形状や深さが改善されない慢性創傷や、ケロイド等の病的な癒痕に至る。これらの状態は、外見の悪化により患者に精神的苦痛を与え QOL の低下を招くだけでなく、感染リスクの増加により生命を危険に晒す<sup>[1]</sup>。さらに、この創傷治癒にかかる医療費は、高齢化に伴い年々増加しており、現在では約 2500 億円に達した。高齢化が深刻な社会課題である日本において、皮膚の創傷治癒メカニズムの解明は喫緊の課題である。

外界と接して外的刺激を直接受ける表皮は、皮膚組織の中でも創傷治癒において中心的な役割を担う。表皮は、角質層・顆粒層・有棘層・基底層の四層から構成され、それぞれに異なる分化段階の細胞が存在する。表皮の一部が創傷した場合、最も未分化な基底層の表皮幹細胞が、分裂・分化しながら外界に向かって増殖して創傷を補完する経路が主であると考えられている。一方で、分化が進んだ有棘層や顆粒層内の細胞においても創傷に応答して一時的に幹細胞様の性質を再獲得することが報告されており<sup>[2]</sup>、創傷治癒は四層が連携して進行する柔軟なプロセスである可能性が示唆されている。したがって、創傷治癒メカニズムの解明のためには、各層の細胞が創傷に対してどの様に応答し、互いにどの様に補完し合うのかを、各層ごとに精緻に評価する必要がある。しかし、現在の評価モデルは表皮全体を創傷する方法に依存しており、各層ごとの創傷治癒過程を解析できない<sup>[3]</sup>。この各層ごとの創傷治癒メカニズムが解明されれば、慢性創傷や癒痕等の治療が可能になることが期待され、学術的にも臨床的にも意義深い。

### ② 目的（課題設定とねらい）

目的は表皮の創傷治癒メカニズムを各層レベルで解明することである。本申請では、その前段階として、表皮の各層を選択的に創傷可能で、治癒過程における分化の運命決定の調整機構および各層ごとの細胞移動・増殖速度等の分子的・物理的挙動を評価可能な細胞培養モデルの構築を目指す。

### ③ 学術的な独自性と意識

各層の創傷には、独自の技術により作製した構造を有するマイクロ流路の中で、光増感剤に UV 照射することで発生した活性酸素を活用するという、新規手法を提案

する。さらに、治癒過程の物理的挙動はインピーダンス計測により評価する。インピーダンス計測は、単層の細胞培養モデルには適用された例があるが、本申請では重層構造を有する表皮へと応用展開する。インピーダンス計測を活用することで、高い時間分解能および測定精度で、非侵襲にリアルタイムかつ定量的な物理的挙動の評価が可能となる。このことを示すことで、バイオエレクトロニクスの可能性を拡張し、関連分野の発展に貢献したいと考えている。

### ④ 期待される成果と発展性

得られた成果は、重層構造を有する組織のような細胞塊における物理的挙動をインピーダンス計測により評価できることを示すものと期待される。つまり、インピーダンス計測は、表皮に限らず、膀胱等の重層構造が重要な組織全般やオルガノイド・スフェロイドのような三次元的な複雑な構造を有する組織においても、適切な電極設計により適用可能であると考えられ、幅広い応用が期待される手法となり得る。さらに、高い時間分解能・測定精度を有し、並列化も容易であるため、近年注目されているデータ駆動型の生体機能解析にも大きく貢献することが期待される。将来的には、エレクトロニクスによる自動化や信号処理・データ科学の手法を活用して分子生物学データと統合することにより、新たな研究アプローチの創出が見込まれる。

### 参考文献

- [1] A. A. Mamun et al., Micromachines Basel, 2016. [3] R. M. Sarate et al., Cell, 2024.  
[2] M. Bernabé-Rubio et al., Nat cell Biol, 2023.

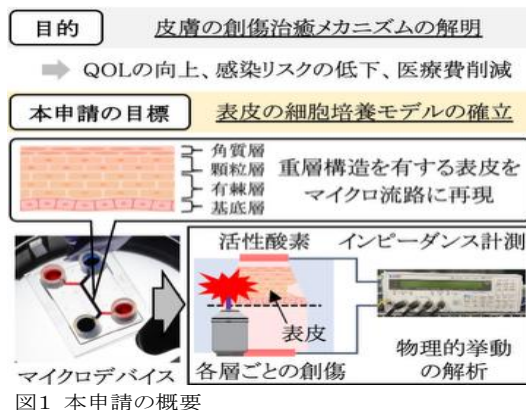


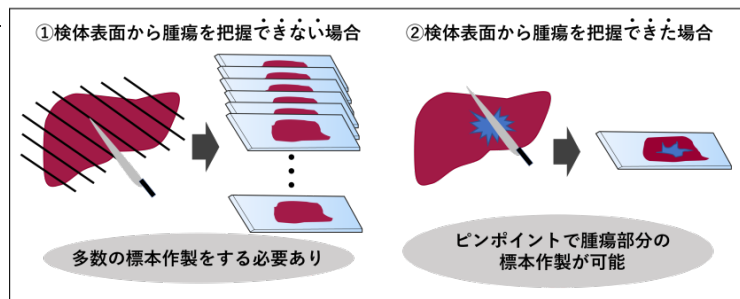
図1 本申請の概要

## 病理検体を対象としたヘッドマウントディスプレイを用いた ARナビゲーションシステムの開発

研究者 千葉大学フロンティア医工学センター 助教 長野 菜穂子

**①背景** 近年、拡張現実（AR）を活用した研究は医療分野で広がりを見せており、特に AR ナビゲーションシステムは外科手術において積極的に導入が検討され、国内外で多数の報告がある（D. Ntourakis, et al., An Initial Experience, 2016）。これは術前に得た画像情報と術中に観察される臓器や腫瘍の位置とを照合し、術者が適切な部位を切出すことを可能にする技術である。一方、病理分野においては、AR 技術を応用して腫瘍の位置を把握し、切り出し作業を支援するナビゲーションシステムはこれまで存在していなかった。

病理診断は、顕微鏡を用いてスライドガラス標本上の組織や細胞を観察し、病名や病気の進行度を正確に診断して治療方針を決定する、医療の基盤である。病理医や臨床検査技師が、患者から得た臓器（**病理マクロ検体**）をホルマリンで固定後、必要な部位を切り出してスライドガラス標本を作製する工程が必要になる。しかし、肝臓や肺、脾臓などの**充実性臓器では、腫瘍が内部に潜むため外観からの判断が困難であり、適切な切出しが難しい。この結果、腫瘍を含まない標本が多数作製され（図①）、病理医や臨床検査技師の負担が増大している。また、腫瘍が小さい場合には切出し中に見逃され、「癌」と診断できないケースも生じており、早急な対策が求められている。**



**②目的** 本研究の目的は、AR 技術を応用し、**病理マクロ検体の内部に存在する腫瘍の位置を視覚的に可視化**することで、**病理医や臨床検査技師による正確かつ効率的な切出し作業を支援するシステムを開発**する事である。事前に撮影された画像をもとに腫瘍の三次元的な位置情報を取得し、それを AR としてヘッドマウントディスプレイ（HMD）上に表示することにより、病理医が実際の検体に重ね合わせて観察できるようにする。このシステムにより病理医は目の前の検体に対して内部構造を直観的にリアルタイムに把握でき、どの位置に包丁を入れるべきかを明確に判断できるようになる。これにより、図②に示すような適切な断面の設定が可能となり、正確な病理診断が迅速に行えるようになる。

**③学術的な独自性と意義** 病理検体処理は、薄切標本の染色作業を除き、現在も多くの工程が手作業で行われており、先端技術の導入が最も遅れている医学領域の一つである。中でも切り出し作業の自動化に関する研究は行われているものの（H. Lin, et al., 2021）、いまだ実用化には至っていない。本研究の独自性は、こうした技術的に取り残された病理領域に、AR や HMD といった最新技術を導入しようとする点にある。これにより、従来の病理切出し作業にはなかった視覚支援が可能となる。また、申請者自身が工学と医学の両分野にまたがる知見を持つことから、これらの技術を実際の病理診断に応用する設計と実装が可能である点も、本研究の学術的な強みである。本研究の意義は、AR 技術による切出し支援が病理診断の精度を高めるだけでなく、手作業中心の現場における新たな技術導入の先例となり、病理分野における近代化の大きな一歩となる点にある。

**④期待される成果と発展性** AR ナビゲーションを導入することで、病理医は腫瘍位置を正確に捉え、適切な断面を直感的に設定できるようになり、診断精度の向上が期待される。また作業効率の改善や医療従事者の負担軽減にも寄与し、医療現場全体の質の向上もあげられる。更にこれらの技術が確立されれば、術中迅速診断等ホルマリン固定前の検体処理への応用も可能となる。加えて、AR ナビゲーションが既に活用されている外科手術への展開も視野に入り、病理領域にとどまらず、広範な医療分野への応用が期待される汎用性の高い研究である。



【①背景（内外における当該分野の動向）】電気化学式バイオセンサは一般に、標的分子を認識する識別素子と、それを電気信号に変換する電極からなり、応答が速くリアルタイム計測に適している。**酵素を識別素子に用いる酵素センサ**は、種々の細胞代謝物を検出でき、近年は**臓器チップでの細胞計測ツールとして注目**されている。臓器チップは、生体臓器を模した細胞培養デバイスで、疾患研究や創薬への応用が期待される。例えば、酵素センサを腫瘍モデルチップに組み込み、多項目な代謝解析が行われている（*Lab Chip*, 2022, 22, 225）。申請者はこの領域で、チップ内での**長期計測に適した酵素素子として、ナノ材料-酵素ゲルハイブリッド粒子（以降、ハイブリッド粒子）を開発**している（図 1）。磁性ナノ粒子を含み、磁場を利用して電極へ簡便に着脱できる。そして、酵素が失活した際は計測インターバル中に交換することで、週-月単位で長期間に渡って安定な計測が期待される（図 2）。本粒子は**マイクロ流路デバイスにより均一サイズで生成でき、狭い流路を用いることで微細化も可能**である。微細化が進むと、電極との接触面積増加や、生成物の拡散距離が短くなることでセンサ感度の向上も期待されている。

【②目的（課題設定とねらい）】ハイブリッド粒子の微細化は従来、マイクロ流路の狭小化に依存してきた。しかし、流路の目詰まりや流路抵抗の増加を招き、デバイスの取り扱い性やスループット面に課題が生じ、実現が困難だった。そこで本研究では、**流路の狭小化に依存せず粒子を微細化するマイクロ流体技術を開発**する。さらに、**得られた微細化粒子を酵素センサに応用して高感度化を図る**ことを目的とする。

【③学術的な独自性と意義】ハイブリッド粒子は、マイクロ流路内で前駆体液滴を生成し、液滴内部で酵素を架橋・ゲル化して形成される。液滴生成時にはレイリー・プラトー不安定性により、大きな主滴に加え、小さなサテライト滴も副生される（図 3）。申請者はこれまで、液滴の生成・サイズ分離・回収を一括で行えるデバイス（*Ji et al., Micromachines*, 2024）を開発しており、本研究ではこれを応用し、**サテライト滴のみ回収して酵素素子に活用**する。微細液滴の形成が**自然現象に基づくボトムアップ手法**で、従来の流路狭小化によって主滴を小さくするトップダウン手法と異なり、本研究の独自性を構成する。

本研究では、グルコースセンサ用の酵素素子を対象とする。グルコースセンサは細胞代謝研究や血糖値検査において、数  $\mu\text{M}$ -数十  $\text{mM}$  という広範なグルコース濃度に対応する高い感度・ダイナミックレンジが求められる。本研究で開発する材料がこの性能を実現すれば、臓器チップを用いた医学研究への展開に加え、繰り返し使用可能な検査ツールへの応用も可能になり、医療と健康社会に広く貢献すると見込まれる。

【④期待される成果と発展性】本研究により、ハイブリッド粒子を流体力学現象に基づいて簡便に微細化できる手法が創出される。さらに、得られる微細化粒子を電気化学式酵素センサに応用し、高感度化に貢献できる。これにより、**臓器チップを用いた長期安定かつ高感度な細胞代謝センシングの実現が期待**される。本研究はグルコースセンサ用の酵素素子を対象に進めるが、今後は酵素種を変えることで乳酸など多様な代謝物質の検出にも応用可能と考える。また、ハイブリッド粒子の工業応用に向けた生産性向上のため、マイクロ流路デバイス構造や生産システムの発展的研究も今後期待される。

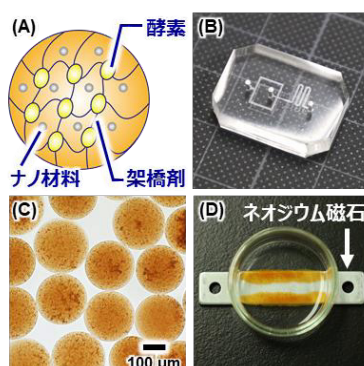


図 1 (A)ハイブリッド粒子の概略図。(B)マイクロ流路デバイスの外観写真。磁性ナノ粒子を担持したハイブリッド粒子の(C)顕微鏡写真および(D)磁場応答の様子。

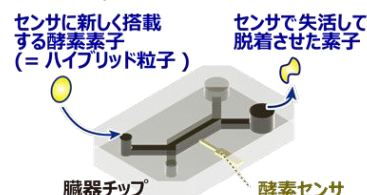


図 2 ハイブリッド粒子を用いた臓器チップ向け酵素センサの応用概念図。

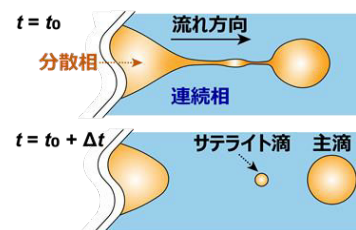


図 3 液滴生成過程の概略図。同時発生する主滴とサテライト滴のうち、本研究では後者を酵素素子に活用する。



## ① 背景

近年、光を利用した治療法は大きく注目されており、近赤外光線免疫療法（NIR-PIT）は「第5のがん治療」として日本で世界に先駆けて承認され、光治療は黎明期から発展期へと移行している。歯科領域でも光治療の応用が進み、低出力レーザーによる歯周病治療や、近赤外光を用いた齲歯の早期診断技術が登場するなど、診断・予防・治療の各段階で光技術の役割が拡大している。研究代表者は、近赤外光を用いて口腔内の細菌叢を選択的に操作し、歯周病を治療する新技術（NIR-PAT<sup>2</sup>）の開発にも成功している（査読中）。こうした流れの中で、舌がんなどの悪性腫瘍に対しても、安全で効果的な治療法の確立が求められているが、既存の照射装置では口腔内の複雑な形状への対応が困難であり、熱ダメージや技術的負担の課題がある。そこで、長時間照射が可能で熱の上昇を抑え、患者が容易に装着できる本デバイスの開発は、口腔内光治療の普及と進化に向けて極めて重要である。

## ② 目的

本研究は、口腔がんを含む口腔内疾患に対して近赤外光を用いた新たな治療法の実現を目指し、マウスピース型の近赤外光照射デバイスを開発するものである。

口腔内は舌がんなどの悪性腫瘍が発生しやすい部位であり、これらのがんに対して低侵襲かつ効果的な治療法の確立が喫緊の課題である。しかし、適切な波長（690 nm）と照射条件を備えたデバイスがなければ、光治療の治療効果を最大限に引き出すことはできない。現在の光照射装置では、口腔内の形状や光の到達範囲の制約により、病変部への十分な光エネルギーの供給が難しい。レーザー治療は高出力のため、周囲組織への熱ダメージのリスクがあり、特に口腔粘膜の薄い部位では疼痛や炎症を引き起こす可能性がある。また、高度な技術や安全教育が必要で、患者負担も大きく、簡便さに欠ける。そこで、低エネルギーで長時間照射が可能で、温度上昇を制御できるマウスピース型光照射デバイスの開発が求められる。これにより、痛みや副作用を抑えつつ、がん細胞に十分な光エネルギーを供給でき、患者が装着するだけで簡便に光照射を受けられるため、外来や自宅での継続治療が可能となる。

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究で開発する光照射マウスピース型デバイスは、がん治療および口腔内細菌叢の正常化を目的とした医療機器であり、既存の歯列矯正やホワイトニング用デバイスとは一線を画す特徴を持っている。特に、口腔内のがん治療に特化した設計により、従来の外部照射やファイバースコープによる照射では困難だった口腔内の特定部位に対して、均一かつ効率的な光照射が可能となり、治療効果の向上が期待される。また、独創的な点として、冷却材を用いた温度制御機構を内蔵し、光源による熱損傷のリスクを抑えつつ、長時間の安全な照射を実現している。さらに、携帯性を重視した設計とワイヤレス化、充電式の電源により、在宅や外来での使用が可能となり、従来の大型装置による医療機関依存から脱却し、患者の利便性や生活の質（QOL）の向上に大きく貢献することが期待される。

## ④ 期待される成果と発展性

近年、ホワイトニングや歯科矯正の分野においては、すでにマウスピース型の光照射デバイスが開発・市販されており、光を利用した歯科領域での治療が広がりつつある。しかしながら、それらのデバイスは主に青色LEDや可視光を用いたものであり、がん治療や生体組織への深部作用を考慮したものではない。

本研究ではこの技術を応用し、近赤外光（690 nm）を用いたがん治療デバイス／口腔内細菌叢正常化による口腔ケアデバイスとしての展開を目指す点が新規性の高いポイントである。NIR-PITによるがん治療に加えて、近赤外光抗微生物ターゲット療法（NIR-PAT<sup>2</sup>）を活用して抗生物質を使わずに歯周病菌や、齲歯原因菌を選択的に抑制する。これにより、口腔内細菌のバランスを整え、歯周病や虫歯の予防、さらには口臭の軽減にも寄与する。既存のマウスピース型光照射デバイスの形状や装着感に関する知見を活かしつつ、医療機器としての安全性・効果を確保し、がん治療やオーラルヘルスへの応用を進め、がん治療・細菌叢制御・オーラルケアを統合した新たな選択肢を提供する。

# 即時的な筋水分変動と筋線維伝導速度評価で紐解く運動時の筋収縮動員パターンの推定

研究者 京都大学大学院医学研究科 特定助教 廣 野 哲 也

- ① 筋収縮を繰り返すレジスタンス運動（いわゆる筋トレ）を実施すると、筋内の水分が変動し、筋が一次的に大きく膨らむ筋腫脹という現象が生じる（図1）。この現象は、筋細胞の膜を刺激し、タンパク合成シグナルを発生させ、長期的には筋肥大を引き起こすきっかけとなる。実際、筋腫脹を超音波画像の筋厚で定量化することで、数週間後の筋肥大を一部予測できることが明らかになった（Hirono et al. J Strength Cond Res. 2022）。即時的な筋水分変動を定量化する方法として、生体電気インピーダンスを局所的に計測する手法もあり（Taniguchi et al. Appl Physiol Nutr Metabol. 2020）、より簡便に定量化することが可能となっている。

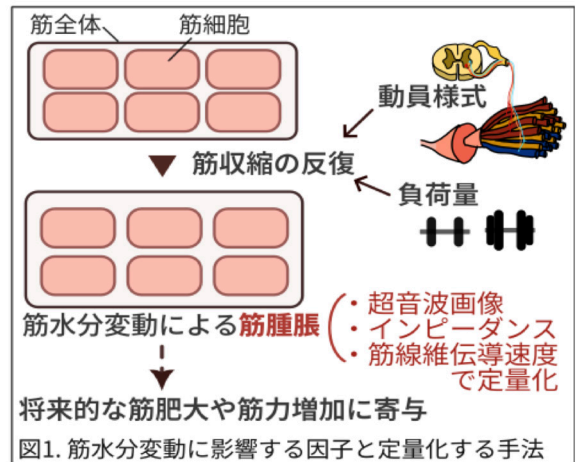


図1. 筋水分変動に影響する因子と定量化する手法

- しかしながら、長時間の座位や立位で脚が浮腫むように、運動由来でない体位や姿勢なども筋水分変動を生じさせてしまう。つまり従来の筋水分変動を評価する超音波画像や生体電気インピーダンス計測では純粋にレジスタンス運動で筋にどのような負荷が加わっているかを十分には定量化できない。別の評価方法として筋線維伝導速度（MFCV）がある。筋収縮を反復し、筋疲労が生じたときには、MFCVが変化する（Merletti et al. J Appl Physiol. 1990）。MFCVは筋水分変動の他に、筋線維タイプや筋線維径など筋組成の影響も受ける。従来、MFCVの評価は、一定の筋力を随意的に発揮している最中の表面筋電図（EMG）を多点で計測し、活動電位が伝播する速さを算出する手法が用いられている。随意収縮中のEMGは再現性が乏しいことがMFCVの限界であるが、筋電気刺激（EMS）を用いてMFCVを計測することで再現性の高い計測が可能となる（Hirono et al. J Appl Biomech. 2023）。
- ② 本研究の目的は、MFCVが線維タイプに影響を受けることに着目し、運動直後に生じる筋水分変動を生体電気インピーダンスおよび超音波画像に加えてEMSによるMFCVを用いて筋腫脹を多面的に評価し、運動時の動員パターンを定量化する。
- ③ 運動強度によらず、筋に十分な負荷が生じると筋内水分変動が生じる。つまり低強度の運動であっても反復回数を多く実施すれば大きな水分変動が生じる（Ikezoe et al. J Strength Cond Res. 2020）。しかし、低強度運動をいくら反復しても、速筋やタイプII線維などは十分動員されないことも示唆されており（Miller et al. J Strength Cond Res. 2020）、高齢者や患者で萎縮しやすい速筋線維を効果的に鍛えられるかは、水分変動評価だけでは不十分である。本研究で実施するEMSによるMFCV変化は、動員パターンを反映する可能性があり、MFCV評価を併せて評価することで、筋に生じている変化を多面的に捉えることが可能となる。
- ④ 筋水分変動は超音波画像や生体インピーダンス計で定量化することが可能であるが、運動強度の違いは反映しない。一方でMFCVは筋水分変動の影響は受けるが、運動強度の違いを反映する指標となる、という仮説を検証する。トレーニング効果は数週間や数ヶ月の期間を経て筋変化として生じるが、運動直後のMFCVや筋水分変動を定量化することで、トレーニング効果を推定できるようになる可能性がある。

## 超小型磁気センサ内蔵カテーテルとIVUS統合による 低被曝3D細血管ナビゲーションシステム

研究者 横浜市立大学大学院医学研究科 助教 大 屋 貴 志

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

血管内カテーテルナビゲーションを実現する磁気式トラッキングシステムはコイル型センサが主流で、計測誤差は1mm程度と高精度ながら長尺・大径となるため5Fr以上のカテーテルに限定され、末梢・頭頸部の細径血管では応用が困難である。臨床ではカテーテル先端を2DのX線透視で確認し造影剤を反復注入するため、留置困難例では手技時間・被曝・造影剤使用量の増大が深刻な課題となる。さらに術前CTに基づくナビゲーションは体位変化やカテーテル操作による血管変形で術中座標系がずれ、高精度誘導を妨げることが報告されている。これらを打開する鍵として0.85×0.65mmの国産TMR (Tunneling Magneto-Resistive) センサが注目される。申請者らは世界初のTMRセンサ内蔵4Fr (φ1.33mm) カテーテルと6コイル励起装置（磁場発生装置）から成る試作システムを既に自作で構築し、細径血管ナビゲーションの臨床応用を大きく前進させている。

### ② 目的（課題設定とねらい）

本研究の最終目標は「細径血管領域で安全・迅速・高精度にカテーテルを誘導できる国産磁気式ナビゲーション基盤技術の完成」である。そのために①励起コイル配置と低周波駆動、線形最小二乗法による高速周波数分解でセンサ空間分解能を1mm/1°未満に高める、②機械走査式IVUSとTMRセンサを協調させ、術中分枝間距離を用いて術前CTAモデルを動的補正し血管変形をリアルタイム補償する、③三次元校正装置と自動キャリブレーションで臨床現場10分以内の初期設定を実現する、④ブタ頸動脈モデルと進行口腔癌の逆行性超選択動注化学放射線療法（動注CCRT）で臨床前評価を行い、治験開始に必要な基礎データを取得する。このうち、本研究では特に①および②について実行することで、細径カテーテルナビゲーションシステムの改良と試作を行う。③については3次元校正装置の設計を進める。

### ③ 学術的な独自性と意義

TMRセンサはコイル型の1/10体積で同等感度を示し、折り畳み基板実装により4Frカテーテル壁内へ埋設できる唯一の磁気センサである。第一号機で校正姿勢下0.9mmの位置誤差を実証しており、本研究の多周波励起と三次元補正により姿勢変動時誤差10mm→1mm未満への飛躍的改善が見込まれる。またIVUSを用いた分枝特徴ベースのモデル更新は、血管形状が変形しても分枝間距離が保たれる頸動脈の幾何学的特性を活用した全く新しいアイデアであり、細径血管ナビゲーション研究の空白領域を切り拓く。さらにセンサ・コイル・ソフトウェアを一貫して自作で開発することで国際標準化の一端を担えるように、技術の構造をすべて理解しながら進めていくことが可能である。

### ④ 期待される成果と発展性

完成したシステムは①X線透視時間と被曝線量、②造影剤使用量を大幅削減し、③カテーテル留置成功率を向上させ、患者安全と術者負荷を同時に改善する。汎用設計のため脳動脈ステント、高難度PCI、末梢塞栓療法など他領域へ即時転用でき、遠隔操作ロボットやAR表示と統合すれば無被曝・自律型IVRの橋頭堡となる。世界中の中小病院で導入しやすいコスト構造と自動校正機構により医療経済・産業振興へ波及効果をもたらし、遠隔治療需要にも応える医療DXの核心技術となり得ると考えている。

## ① 背景

脳神経活動は、**高覚醒状態（課題遂行など集中時）では非同期、低覚醒状態（休息・睡眠時）では同期**する (Harris and Thiele, 2011, Nat Rev Neurosci)。精神神経疾患でも同様に、てんかん発作時の意識喪失は大脳皮質や海馬での強い同期発火を伴い (Jiruska et al, 2013, J Physiol)、統合失調症や自閉症スペクトラム (Günther & Hanganu-Opatz, 2022, Front Behav Neurosci)、アルツハイマー症 (Vossel et al., 2016, Ann Neurol) などでも異常な同期活動が見られる。

脳の同期活動は神経活動における興奮と抑制のバランス (**EI バランス**) に強く影響される。高覚醒時と比べて低覚醒時の神経活動は、興奮性活動がほぼ変化しないのに対し、抑制性活動が大きく低下し (Miyawaki & Diba, 2016, Nat Comm; Mizuseki & Buzsáki, 2013, Cell Rep; Alfonsa et al., 2022, Nat Neurosci)、EI バランスが興奮側に傾く。上記の疾患でも一貫して抑制性活動の低下による EI バランスの興奮性へのシフトが報告されている (Gao & Penzes, 2015, Curr Mol Med; Maestú et al, 2021, Aging Res Rev)。申請者らの計算モデルの研究でも、EI バランスが興奮に傾くことで同期活動が誘導された (これまでの研究の実施状況)。これらの報告は、**抑制性活動の機能不全**が脳の情報処理を障害する可能性を示唆する。

以上の背景から、抑制性活動は脳状態・疾患機序に不可欠だが、その制御は未解明である。有力な制御因子候補として**エネルギー代謝**がある。脳は高エネルギー消費器官であり (Attwell & Laughlin, 2001, J Cereb Blood Flow Metab)、高頻度発火する抑制性介在神経細胞は特に高いエネルギー要求性を持つ。「介在神経細胞エネルギー仮説」では代謝機能障害がまず抑制性介在神経細胞の機能不全を引き起こすとするとされ (Kann et al., 2014, J Cereb Blood Flow Metab)、中でも自閉症スペクトラムでは「ミトコンドリア型自閉症」サブタイプが提案されるほど代謝との関連が深い (Rossignol & Frye, 2012, Mol Psychiatry)。本提案ではまず細胞の主要なエネルギー通貨であるアデノシン三リン酸 (**ATP**) に着目する。

近年の技術革新により生体脳から多彩な生理データが取得可能になった。**電気生理記録技術**では高密度シリコンプローブによって、数千個の神経細胞を高い時間分解能での同時計測が可能となった (Steinmetz et al., 2021, Science)。また、蛍光プローブの開発と**ファイバーフォトメトリー法**の普及により、特定の分子動態 (ATP 含む) を生体脳内で計測可能となった (Day-Cooney et al., 2023, J Neurochem)。しかし、技術的な困難さから、複数の生理データの同時記録を行なっている研究者はまだ限られている。

## ② 目的

大規模電気生理記録とファイバーフォトメトリー法を併用し、生体脳内で神経活動と ATP 濃度を同時計測する。抑制性神経細胞の ATP 動態に伴う EI バランス変化、神経同期、課題成績を解析し、代謝シグナルと神経情報処理の関係を解明する。

## ③ 学術的な独自性と意義

複数の生理シグナルを同時計測する点が独創的である。電気生理は神経細胞の働きを知るための最も基本的で重要なシグナルだが、エネルギー代謝や神経修飾など多様な因子がその神経活動を制御する。本研究は電気生理とフォトメトリーを組み合わせ、複数種の生理シグナルの多重計測に挑戦する。

## ④ 期待される成果と発展性

抑制性活動や代謝介入による精神神経疾患治療の基礎知見を提供する。さらに、本手法は蛍光プローブを替えば乳酸やノルアドレナリンなど他の代謝・神経修飾系と神経活動を同時記録し、代謝・神経修飾系による神経活動の変調を解明することにも応用可能である。

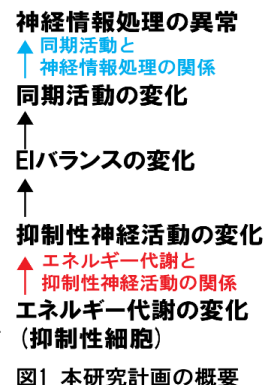


図1 本研究計画の概要



### ①背景

うつ病や不安障害は、私たちにとって大変身近な精神疾患の1つであり、近年の報告では、患者数が世界で数億人と推計されており、社会経済的損失も大きい。現在、うつ病や不安障害に対する治療には、脳内のセロトニン再取り込みを阻害する働きを持つ薬剤を主とする抗うつ薬や抗不安薬が用いられているが、これらの薬物療法の有効性は十分でない。既存の抗うつ薬や抗不安薬が効かないうつ病や不安障害の患者が多く存在しており、大きな問題となっている（J Affect Disord 2021）。したがって、うつ病や不安障害に対する新たな治療薬の開発が望まれている。

動物の情動機能の制御や、うつ病や不安障害の病態には、脳内セロトニン神経の関与が報告されている。セロトニン神経は、脳の縫線核を起始核とし、投射先のセロトニン受容体を介して情動を制御する。しかし、セロトニン神経の投射は広汎にわたり多くの脳領域に投射し、さらにセロトニン受容体には14個のサブタイプが存在しており、情動機能の制御に関わる投射経路（神経回路）や受容体について、その詳細や全体像は明らかになっていない（Cell Mol Neurobiol 2022）。

近年、光を用いた神経活動の観察・操作技術は、遺伝学的手法を組み合わせることで、特定の神経細胞を制御できる有用な技術の1つとして注目されている（Annu Rev Neurosci 2011）。特に、脳神経科学の分野では、神経回路や細胞と脳機能との関連を研究する際に大変有効で、よく用いられている。

最近私たちは、マウスを用いた予備的検討により、特定の脳領域に多く発現する神経関連分子Aを同定した。この脳領域は、うつや不安などの情動に関わることが最近分かってきた領域であるが、他の脳部位との関わりや詳細な分子メカニズムについては明らかになっていない。

### ②目的

本研究では、セロトニン神経を介したうつや不安などの情動機能の制御メカニズムについて、光を用いた神経活動の観察・操作技術を用いて解明することを目的とする。

### ③学術的な独自性と意義

私たちは、マウスを用いた予備的検討により、特定の脳領域に神経関連分子Aが多く発現していることを見出している。さらに、分子Aの活性を人為的に変化させると、マウスの情動行動に変化が起こることを明らかにしている。本研究では、私たちの予備検討結果をもとに、分子Aに着目し、光を用いた神経活動の観察・操作技術を用いて、うつや不安などの情動機能の制御メカニズムの解明に取り組むところが、学術的ポイントである。

うつや不安の制御に関わる神経回路や受容体の解明は、情動制御に関わる新たな神経メカニズムの同定につながる。動物の情動機能に関わる新たな知見を得ることができ、本研究の学術的意義は大きい。

### ④期待される成果と発展性

本研究により、セロトニン神経を介した情動制御に関わる新たな神経メカニズムを明らかにできれば、うつ病や不安障害などの精神疾患に対する有効で副作用が少ない新規治療薬の開発へと発展できると考えられる。得られる研究成果は、臨床応用につながる基礎的知見となり、将来、うつ病や不安障害などの多くの患者に役立つことが期待でき、社会への貢献が見込まれる。

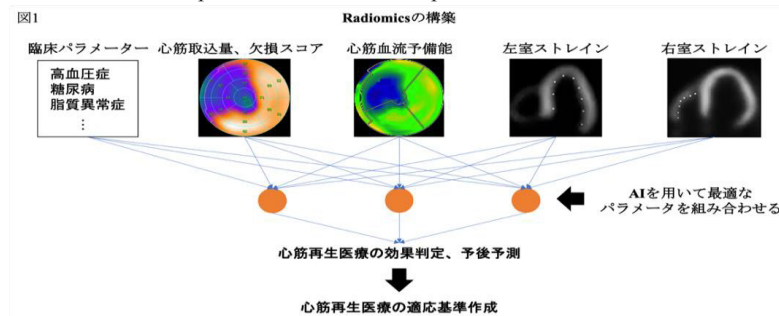


## ①背景(内外における当該分野の動向)

冠動脈疾患に対して経皮的冠動脈形成術(percutaneous coronary intervention: PCI)は年間 25 万件、冠動脈バイパスグラフト術(coronary artery bypass grafting: CABG)は 2 万件程度施行されている。しかしながら、広範な心筋梗塞では再灌流療法の効果が限定されてしまう。心機能が低下した重症虚血性心疾患(ischemic heart disease: IHD)患者は予後不良であり心移植手術が検討されるが、施行されるのは一握りの患者のみである。心移植の適応外となった患者において、心筋細胞シートや心筋球などを用いた心筋再生医療が行われているが、その効果や予後画像検査により客観的に評価した研究はまだない。

## ②目的(課題設定とねらい)、③学術的な独自性と意義

心筋 positron emission tomography (PET)で得られる心筋血流予備能(myocardial flow reserve: MFR)は虚血性、非虚血性疾患にかかわらず、様々な心疾患において重症度の層別化や予後予測に有用な定量値であることが証明されている。我々は心筋 PET に feature-tracking 技術を応用することで世界初の PET 専用心機能解析アルゴリズムを開発し、左室、右室の定量的な局所心機能の数値である心筋ストレイン比(left ventricular myocardial strain ratio: LVMSR, right ventricular MSR: RVMSR)を測定可能とした。患者の clinical parameter や心筋 PET で得られる従来の parameter である心筋 uptake、MFR 等に上記の定量的な指標を加え、AI を用いて IHD のリス



スクを層別化する Radiomics を構築することが本研究の目的である(図 1)。また、この Radiomics により IHD 患者における心筋再生医療の治療効果と予後を予測し、より再生医療の恩恵を受ける症例を選択する適応基準を作成することが循環器領域における本研究の意義と考える

本検討は最先端の治療である iPS 心筋球の効果判定や予後予測を、新たな心筋 PET の定量値を加え作成した Radiomics により評価するという点で新規性が高い研究である。iPS 心筋球による再生医療は、様々な患者背景により心臓移植の適応外となった患者に対する移植や人工心臓に替わる治療になると考えている。また、本邦では移植待機患者に対する心臓移植数は少なく、移植待機は平均 3 年以上となっており本治療は bridging therapy としても期待されている。心筋再生医療は海外においても期待されている治療法であり、世界に先駆けて心筋再生医療に関する Radiomics を構築することは市場的な価値も高いと考えている。

## ④期待される成果と発展性

心筋 PET で心疾患の評価を行う利点として再現性が高く、また心筋再生医療が検討されるような重症 IHD 患者にしばしば使用される、ペースメーカなどの植込み型デバイスによるアーチファクトの影響を受けにくいことが挙げられる。さらにアンモニアによる心筋 PET の被曝量は 2~3mSv と低被曝のため、繰り返し施行する検査として大きな長所である。一方でアンモニアは物理学的半減期が 10 分と短半減期核種のため、アンモニアを生成するサイクロトロンが併設されていることが前提となり施行可能な施設が限られている。新たな PET 核種として米国の Food and Drug Administration で承認され、本邦でも認可が検討されているフルルピリダズは半減期が 110 分であり、導入されれば全国の医療施設で検査可能となり、今後心筋虚血診断は SPECT から PET へ移行するため本研究の重要性がさらに高まることが期待される。全国の施設に心筋 PET が普及することを想定し、現在心筋 PET を施行している施設による、本邦における心筋 PET データベースを構築することを目的とした多施設共同研究が進行している。その主幹研究施設が東京女子医科大学であり、研究代表者を申請者山本が務めている。このデータベースと比較することで本研究における検討がより正確な結果になると考えている。

**① 背景（内外における当該分野の動向）**

音楽とりわけクラシック声楽においては、「豊かな表現力」が重要な芸術的価値とされてきた。そのため演奏者は、歌声に加え、表情や身体動作を通じて聴衆に感情を伝達し、作品の解釈を可視化する。「表現」は、言葉では伝えきれない非言語的な側面を多く含む行為であるにもかかわらず、教育現場では「感情をこめて」「表情豊かに」など、抽象的かつ主観的な言語表現によって指導されることが多かった。これまで歌唱に関する研究は、歌声の周波数成分や声量、音高といった聴覚的特徴に焦点を当てたものが多く、顔面表情や姿勢といった視覚的要素は、科学的な定量手法が未整備であったため、客観的な分析の対象とされにくかった。

近年では、AI 技術とコンピュータビジョンの急速な発展により、画像認識を用いて人間の表情や身体動作を高精度に抽出・解析する技術が実用化されつつある。国内外の研究においては、教育、医療、スポーツ分野での応用が進展しており、歌唱における非言語的な「表現」の定量化も、新たな研究領域として注目され始めている。特に、画像認識 AI の一つである Media Pipe に含まれる顔面認識モデル「Face Mesh」や姿勢認識モデル「Blaze Pose」などの技術は、顔面や身体の動きをリアルタイムかつ非侵襲的に数値化できるため、芸術教育への応用可能性が高い。

**② 目的（課題設定とねらい）**

本研究の目的は、画像認識 AI を用いて歌唱中の顔面表情および姿勢の動きを定量化し、表現力と身体動作の関係性を明らかにすることである。とりわけ、表情や姿勢が歌唱表現にどのような影響を及ぼすか、また訓練や指導によってどのように変化するかを明らかにすることで、声楽教育における指導内容の可視化と科学的裏付けを提供することを目指す。具体的には、プロフェッショナルな歌手と音楽大学生に、同一の歌唱課題を「表情豊か (expressive)」と「無表情 (non-expressive)」という2条件で実施してもらい、顔面および身体のランドマークデータを収集する。そして、AI によって抽出されたデータと音響的特徴との相関を分析し、歌唱表現における身体動作の役割を明らかにする。

**③ 学術的な独自性と意義**

本研究の学術的独自性は、従来感覚的・主観的に語られてきた歌唱の「表現力」を、画像認識 AI を用いて数値化し、再現可能な定量指標として構築しようとする点にある。多くの声楽指導が「顔を開いて」「視線を上げて」など、曖昧な身体的イメージに基づいている中で、それを裏付ける客観的データを提示することは、教育的にも大きな意義がある。

また、本研究は、音響学、AI 工学、音楽教育学、身体運動科学など、複数分野にまたがる学際的な試みである。顔面表情の定量化 (MediaPipe などによるランドマーク解析) と音響的特徴 (周波数特性やフォルマント構造など) との対応関係を扱う研究は、国内外においても先行例が少なく、新規性が高い。さらに、同様の手法を用いて指導前後の変化を計測することで、教育的介入の効果を視覚的かつ数値的に可視化し、声楽指導の質的向上にも貢献することが期待される。

**④ 期待される成果と発展性**

本研究により、以下のような成果が期待される

- ・表情や姿勢と音響的特徴の関係性を明らかにし、歌唱における身体的表現に対する科学的根拠の提示
- ・顔面および姿勢のデータに基づく、新たな歌唱表現の評価指標の構築
- ・指導前後の比較を通じた、教育的介入の効果の定量的評価
- ・国際的な歌唱指導や評価基準の整備に資する、基礎的知見の提供

将来的には、音楽教育への応用にとどまらず、歌唱時の身体的表現を活用した演奏支援技術や、演奏者の特徴を可視化する評価システムの開発、さらには芸術表現の質を客観的に捉える指標設計など、幅広い分野への展開も視野に入る。本研究は、表現芸術と科学的手法をつなぐ学際的な取り組みとして、今後の音楽研究や教育実践に新たな視点をもたらすことが期待される。

研究者 東京大学附属図書館ヒューマニティーズセンター 特任研究員 市川 紘子

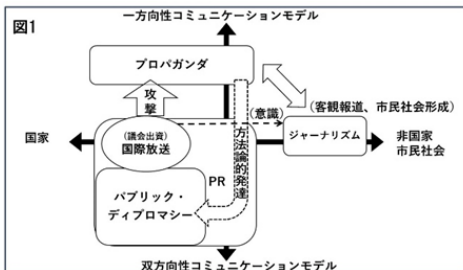
### ①背景

各国の政府は、対象国における自国の支持者を増やすことを目的とする、文化外交を実施してきた。本研究が対象とする米国政府による文化外交（パブリック・ディプロマシー）には、メディア、人材交流、刊行物、図書館、教育など、幅広い活動があり、社会学、文化人類学、国際関係論、文化政策論、歴史学、地域研究等の諸領域において、研究成果が積み重ねられてきた。申請者は、米国の対中パブリック・ディプロマシーに関心を持ち、事例研究として、冷戦末期の対中 VOA(Voice of America)のラジオ放送の実態を調査し、総まとめとして博士論文を完成させ、今後は発展的な研究を行う。

### ②目的

本研究は、冷戦末期から新冷戦の米中関係とメディアの役割を検討する。米国は世界の民主化を目指し、中国に対しては、関与政策の中で、中国の人権問題を国際問題化し、中国の政治体制が緩やかに民主主義へと移行することを期待した。冷戦末期の VOA ラジオでは、中国社会は近代化の過程にあり、人権問題の改善を目指すという青写真が描かれた。その後約 30 年間で、中国の経済力は上がり、ネイチャーインデックスでは、中国の大学が欧米の大学を追い抜き、米中関係は大国間の関係となった。情報技術や人工知能、貿易戦争、技術戦争と平行して、社会の価値観や文化の優位性を巡る競争が、米中間では続いた。パブリック・ディプロマシーを担うメディアで、人権問題がどのように描かれてきたのか。それは米国の対中外交において、どのような意義を持つのか、という問題意識を問うのが、本研究である。

### ③学術的な独自性と意義



申請者の研究では、コミュニケーション研究の PR 理論の成果を導入したギュリオンによるパブリック・ディプロマシーの定義に、ハーバーマスの公共圏概念やアメリカニズムに関する研究成果を取り入れ、以下のように定義した。「米国政府（＝自己）が想定するような公共圏を対象国（＝他者）に生み出し、「市民社会」を構築する試み」とする。プロパガンダを、政府等のエンティティによる一方方向性コミュニケーションと捉える。

パブリック・ディプロマシーは、双方方向性コミュニケーションの PR の一部となり、VOA は、プロパガンダと対抗するコミュニケーション方式として、図 1 のように位置づけられる。民間ジャーナリズムの立場は、国家との距離を重視し、市民社会形成のための言論空間を生み出すことにある。以上のような学際的アプローチによって、メディア研究だけでなく、国際関係論、アメリカ地域研究に対して貢献しうる成果を上げたい。

### ④期待される成果と発展性

近年、大国間の競争に関心が多くあり、中国側から米国側への文化事業やメディア戦略の研究も増え、ソフトパワーもしくはシャープパワーの脅威として議論され、分析が進められている。本研究は、米中間の思想戦の研究の進展に資するものである。

**① 背景（内外における当該分野の動向）**

平安時代後期の諸矛盾を背景とする **1180 年代の全国的な内乱**を経て鎌倉幕府が成立し、**1221 年**勅発の**承久の乱**では京の後鳥羽院が鎌倉幕府勢力に合戦で敗れ、隠岐国（島根県）に流された。以後、大政奉還まで続く**公家・武家並存の政治体制**は世界史的にも独特であり、それが形成された当該期は**日本史上の一大変革期**である。

**鎌倉幕府の成立**について、石母田正・石井進など **1970 年代以前**の伝統的な研究視角は、武士勢力の東国における伸長や京都への対抗を重視していた。それに対して高橋昌明・元木泰雄・野口実・川合康など **1980 年代以降**の研究では、1180 年代以前（平安時代後期）の武士の特質として京都・院政・貴族（以下これらを**公家政権**と総称する）との親近性が重視された。**2000 年代**には川合康によって、**武家政権は京都に生まれるのが自然なあり方**だったが、1180 年代の内乱という特異な状況下で偶発的に鎌倉に成立したという評価も提示されている。

こうした鎌倉幕府成立史論の到達点に対して、公武分立の最大の画期と考えられる 1221 年の承久の乱まで視点を延長したとき、先行研究の多くは平安時代と鎌倉時代で断絶しており、鎌倉時代研究は鎌倉幕府・武士に偏している。平安時代後期の武士論の成果を踏まえて、**鎌倉時代の公武双方を視野に入れた総合的研究が要請**される。

**平安・鎌倉時代の研究断絶と武士・東国偏重を乗り越える視座**を求めらるならば、当該期の首都であった**京都という環境を重視**すべきであろう。とくに**京都で活動する武士**について、かつては（鎌倉幕府に一元的に編成されるはずだという先入観から）特異な存在とみなされてきたが、1980 年代以降の研究成果に基づき、**院（上皇）が組織・動員するという平安後期からの延長上**で捉えるべきである。また**武家政権は京都に生まれるのが自然**だったとしても、1180 年代の平家や木曾義仲の興亡という事実が示す通り、むしろ**当該期の京都は武家政権が定着しえない権力構造だったと想定**される。京都の武家政権成立・定着の可能性（あるいは不可能の必然性）を解明する上で、**武士の軍事行動**は当該期の変革の根源的動因であり、ここに注目すれば解明に近付くと考えられる。

ただし、1180 年代内乱は史料（歴史学研究の材料）が多いために整理を要し、承久の乱は史料の僅少が原因で研究が低調だったことを踏まえれば、如上の課題に取り組む上で**史料の搜索や史料自体の研究の深化が必須**となる。古文書や軍記物語・系図など様々な史料の中でも、**貴族の日記**は最も信頼できる種別である。貴族が京都で目にした変革期をより詳細に理解するためにも、**貴族の情報収集・記録という行動の特質の把握**が求められよう。

**② 目的（課題設定とねらい）**

以上を踏まえて、本研究の**目的 A**は、貴族の日記を中心として、承久の乱に至る平安時代後期～鎌倉時代前期（以下、**中世前期**と称する）について記す**史料の基礎研究**であり、これらは目的 B の材料でもある。

本研究の**目的 B**は、当該期の**首都京都という環境**を重視して、そこでの**武士の軍事行動**の特質と、そうした情報を入手し、日記に記した**貴族の情報記録行動**の特質という、日本史上の一大変革期の人間行動を解明したい。

**③ 学術的な独自性と意義**

本研究の**独自性**は、史料の基礎研究にあたり、未紹介・非周知のものを含めて、日記や軍記物語等の活字にとどまらず、**原本（やその写真）を検討対象**とし、網羅的収集を経て厳密な検討を加える点にある。また、首都京都という環境を重視することで、既往の平安・鎌倉時代の研究上の断絶と武士・東国偏重を乗り越え、大政奉還まで続く**公武の並存関係の形成**についての総合的研究に取り組む点で大きな意義があろう。

**④ 期待される成果と発展性**

本研究の成果として、日本史分野の後続や文学・美術・思想・宗教など**他分野の研究者にも利用可能となる良質な史料情報を提供**することで、関連分野全体の**発展**に資する点にある。また良質・科学的な成果に基づく歴史的出来事の実像解明と、検証の根拠となる史料の提供は、俗説を見直す起点となり、行政等による**地域活性化の健全な素材**として、大きな社会的意義をも有すると考えられる。



**【背景】**

自分の意見を文章やプレゼンテーションによって表現し、他者の理解や行動変容を促す能力（以下、情報発信能力）は、現代社会における重要な資質の一つである。情報発信能力は社会で広く求められることから、学校教育における育成が強く期待されており、学習指導要領においても情報発信を支える能力の育成が強調されている。こうした社会的・教育的要請を背景に、文章産出やプレゼンテーションに関する教材や実践は多数開発されてきたが、それらの多くは効果検証がなされておらず、有効性が確認された方法であっても日本国内で広く定着しているとは言い難い。実際に、国内の大規模調査である「子どもの生活と学びに関する親子調査」（東京大学社会科学研究所・ベネッセ教育総合研究所，2024）では、自分の考えを文章にまとめたり、発表したりすることに苦手意識を抱く学習者が全体の約 50%に達することが示されている。こうした現状は、情報発信能力の育成に対する社会的要請と、それに呼応する教育的重要性の高まりに反して、効果的な指導方法が普及していないという学校教育の深刻な課題を浮き彫りにしている。

**【目的】**

情報発信活動に関する先行研究の多くは、受け手との適切な言語的相互作用（例：対話・フィードバック）が情報発信能力の向上に寄与することを示してきた。しかし、その知見を日常的な授業に応用するためには、大きく二つの障壁を乗り越える必要がある。第一に、時間的コストの問題がある。「発信（書く・話す）→受信（読む・聞く）→対話」を全学習者が達成するには相応の時間を要し、ときにはカリキュラムの修正を要するなど高い導入コストが伴う。第二に、言語的相互作用の量と質に関する問題がある。教師による個別対応には限界があるため、多くの情報発信活動ではクラスメイト間での対話が行われる。しかし、初学者同士での効果的な対話は難しい場合があり、関係性に応じた遠慮や忖度も有効性を損なう要因となる。

これらの課題を克服するため、本研究では生成 AI を擬似的受け手（simulated audience）として活用し、生成 AI との言語的相互作用が情報発信に与える影響を実証的に検討する。具体的には、高校の国語科を対象とし、生成 AI との言語的相互作用の有無を実験要因とした授業内実験を実施する。日常的な授業への導入を見据え、活動は短時間で実施可能な内容とし、反復を通じた情報発信の変容機序をパフォーマンスと心理的要因の観点から解明する。情報発信活動の内容は、国語科との親和性が高い「文章産出」と「プレゼンテーション」とし、マルチモーダルな生成 AI の活用法について、汎用的なデザイン原理を導出する。最終的に、研究成果を反映する形で、学校教育での実践可能性が高い情報発信活動と指導方法を提案する。

**【学術的な独自性と意義】**

第一に、生成 AI を単なる支援ツールではなく、情報発信の受け手および対話相手として位置づけ、言語的相互作用が学習者の情報発信に与える影響を実証的に検討する点において、本研究は明確な学術的独自性を有する。高校生の情報発信活動に着目し、マルチモーダルな生成 AI の活用法について汎用的なデザイン原理を導出する試みは国際的にも先駆的であり、貴重な知見を提供すると期待される。第二に、短時間での情報発信活動を反復的に実施するという、新しい実践の教育的効果を検証する点にも本研究の独自性がある。仮に、限られた時間でも情報発信能力の向上が認められれば、それは現行のカリキュラムに統合可能な情報発信活動の新たな展開を促すものであり、日本の教育現場に資する高い実践的意義を有する。

**【期待される成果と発展性】**

本研究では、教育現場における実践可能性と教育的効果の双方を重視した研究デザインを構築する。そのため、生成 AI を活用した情報発信活動の汎用的デザイン原理を導出し、即座に応用できる活動とその指導方法を成果として提示できる。具体的には、各種発表や説明活動、協働学習など、他教科・他活動への水平展開が期待される知見や指針を示すことが期待される。さらに、生成 AI を情報発信の受け手とした場面で、学習者の思考や発信内容がいかに変容するかを解明することは、生成 AI と学習者の言語的相互作用に関する理論的基盤の形成にも寄与すると考えられる。以上より、本研究は情報発信活動における生成 AI の教育的価値を理論的かつ実践的に検証し、日本の教育実践に資する具体的な知見を提供できると考えられる。



## 数学の基礎概念に困難を抱える生徒のためのAI学習システムの開発 ：個別最適化による根元的定着を目指して

研究者 岩手県立大学ソフトウェア情報学部 准教授 田 村 篤 史

①背景：筆者らは、2023年度から2年間、学内の競争的研究費によって、盛岡市内の私立高校と、数学の基礎概念の習得に困難を抱える生徒（以下、生徒）のためのアプリケーション開発を行った。2023年度の普通科1年生の中には、0.1と1/10が同じ値であることを理解できない生徒や58/12が約分できない生徒も存在した。また、普通科全33人の生徒が小学4年程度の「算数検定8級」の過去問に解答したところ、12人の生徒が不合格相当であった。図1は、 $f(x) = -2x^2 + 3$ に $x = a+1$ を代入せよ」という定期試験問題に対する答案である。近年、中学高校における数学の学力差は拡大していると言われている。全国学力・学習状況調査、PISAにおいても学力の二極化が指摘されている。また、生徒たちの抱える課題として、自己肯定感の低さもあげられる。一方、教育現場では教員の多忙化が指摘されており、個別指導が必要な生徒への対応は十分とは言えない。現在、生成系AI（以下、AI）の技術を活用した学習支援システムの研究開発が活発である。個別最適化学習、学習分析、誤答チューリングシステム（ITS）など多様な応用が進んでおり、大規模言語モデル（LLM）の発展で教育への応用が現実味を帯びている、数式OCR技術で手書き答案をデジタル化しAIが誤答原因を言語化することも期待される。しかし、AIを用いた上で、上記の生徒たちに特化し、基礎概念の定着と自己肯定感向上の両立を目指す研究、特にその効果を実証的に検証する研究はまだない。本研究は、このような教育現場の課題と教育研究の動向を踏まえ、喫緊の課題解決に貢献するものである。

$$\begin{aligned} f(a+1) &= -2(a+1)^2 + 3 \\ &= -2 \times a^2 + 1 + 3 \\ &= a^2 - 2 + 4 \\ &= 2a^2 \end{aligned}$$

図1 文字式の計算

②目的：本研究は、数学の基礎概念の定着に困難を抱える高校生を対象に、AIを活用した個別最適化学習支援システムを開発し、その教育的有効性を実証的に検証することを目的とする。具体的には、(1)AIが生徒の誤答パターンと理解度、潜在的誤解やその原因をリアルタイムに診断する分析機能、(2)診断結果に基づいて最適化された課題提示と段階的フィードバックを行う出題・解説機能、(3)学習履歴の可視化と動機づけ支援によって自己肯定感を高める継続支援機能を統合し、基礎概念の理解と情意面（自己肯定感）の向上を同時に達成することを目指す。課題設定とねらいとしては、①誤解を抱えたままの単調な反復演習では効果が薄く学習意欲が持続しにくい、②自己肯定感の低さが学習継続を阻害する、という2点の本システムによる解決をあげる。本研究では「分析 → 最適出題 → 段階的解説 → 継続支援」のサイクルを通じてこれらの課題を解決し、学力差の縮小と意欲向上の両立を図る。

③学術的な独自性と意義：第一に、単なる問題演習と正誤判定の繰り返しではなく、AIが生徒個々の誤答背後にある原因をリアルタイムで分析・推定し、基礎概念定着を図るために最適化されたシステム開発する点。第二に、特に上記の生徒たちに焦点を当て、その特性（基礎概念での欠如、誤答パターン、意欲の変動等）を考慮したシステムを開発する点。第三に、システムの効果を、基礎概念の定着（認知）だけでなく、自己肯定感（情意）の側面からも多角的に評価し、有効性を実証する点をあげる。なお、システムには以下の6つの機能を実装する。

【1分析】2024年度に開発したPythonによるプロトタイプ（AI非搭載）を基盤とし、生徒の理解度や誤答パターン（特に潜在的誤解とその原因・兆候）などをリアルタイムで分析するAIアルゴリズムを搭載する。【2出題】AIが単に正誤判定するだけでなく、「なぜ間違えたのか」「どの概念の理解が不十分か」を推定し、それに応じた難易度、タイミング、形式（類題、基礎概念の再確認、図解、ステップバイステップのヒント）で出題する。【3質問】AIチューターを追加し、生徒が質問できる。【4解説】ステップバイステップによる解説を自動生成し、テキスト・音声のいずれでも確認できる。

【5学習計画】生徒の学習履歴を分析し、最適な学習計画を提案する。【6継続性】ゲーミフィケーションや励ましなどを適切に導入し、学習意欲を持続させる。

④期待される成果と発展性：第一に、生徒たちの数学の基礎概念の定着と自己肯定感の向上。第二に、協力校での実証実験を通じて、定量的・定性的なエビデンスを得ること。第三に、対象教科や学年を拡大することや、他の学習プラットフォームとの連携なども視野に入れ、より広範な教育改善への発展可能性をあげる。

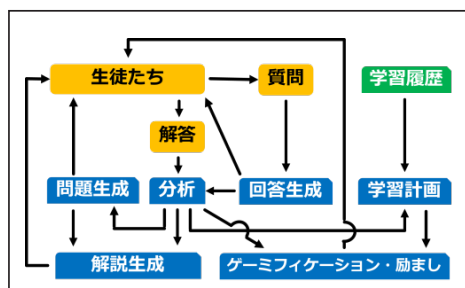


図2 システムの概要図

### ① 背景(内外における当該分野の動向)

近年、国内外における発達障害児やグレーゾーン児童の人口が増加している。これに伴い、発達心理学の知見から児童を援助する臨床心理士の需要が高まり、2017年に公認心理師という国家資格が誕生する等、心の専門家の社会的ニーズが高い。臨床心理士はAIやロボットでは代替困難であり、今後も高い需要が続くだろう。

臨床心理士のスキル向上には、発達障害児との対人訓練が有効だが、訓練に参加する子どもの確保は難しい。大学では、児童役と臨床心理士役の学生が二人一組で知能検査を行うロールプレイ訓練が主に行われている。従来研究では、ロールプレイ後の動画を用いた誤りの確認や改善に注目している。しかしながら、大学生によるロールプレイでは、発達障害児特有の予測困難な行動や発話を再現できない。そのため、実際の現場では、検査中に児童が検査外の行動をとった際に、臨床心理士が対応に困り、検査が遅延することが起こる。

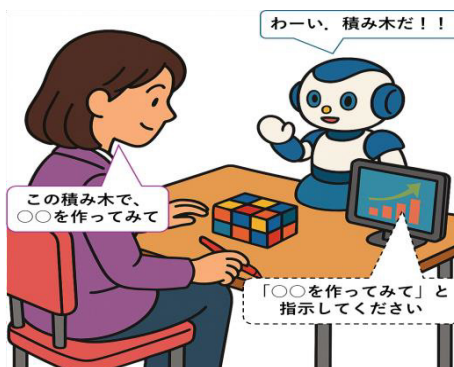


図1 開発ロボット・システムの概要

### ② 目的(課題設定とねらい)

本研究では、病院や福祉施設で使用される児童の知能検査を基に、臨床心理士が知能検査を訓練できる教育支援ロボット・システム(図1)を開発する。具体的には、知能検査を受けている発達障害児の動きや発話を再現できるロボットの行動モデルと、知能検査が正しく実施できているかを評価する学習システムを組み合わせる。そして、臨床心理士による被験者実験を通して、本ロボット・システムの有効性を検証する。

### ③ 学術的な独自性と意義

教育支援ロボットの従来研究では、小中高生を対象とした一般的な教養科目の内容を教える教師型ロボットが主流であり、臨床心理士における知能検査の訓練に着目した教育支援ロボットの研究は存在しない。本研究では臨床心理士を対象とし、知能検査を受けるという Learning by Teaching(教示による学習)を基に児童型ロボットを開発する。申請者は発達障害児に有効な Learning by Teaching を実現できる独自の行動モデル、高齢者から中学生まで幅広い年齢層を対象とした教育支援ロボットにおける学習システムを構築し、国際会議および学術雑誌にて研究成果を発表している。本研究においても、申請者の Learning by Teaching の行動モデルをベースとして、児童型ロボットの行動モデルを構築していく。これらの着眼点は申請者の独創であり、独自性・新規性を高く有する。国内及び国際的な水準に照らしても先端的研究に位置付けられ、国際会議や学術雑誌での研究成果発表に十分につながる。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究が完成することで、大学および病院で臨床心理士を育成する訓練環境の整備に貢献できる。また、ロボットは繰り返し同じ動作を実行できるため、複数の臨床心理士の訓練データを収集できる。訓練データを解析することで、臨床心理士の育成カリキュラムや発達障害児に対する知能検査の改良にも活用できる。これにより、本研究領域である「知能ロボティクス」だけでなく、臨床心理学にも大きく貢献できる。

## 大規模ゲームプレイデータの類型化に基づく 行動変容支援システムの開発とその有効性の検証

研究者 北翔大学教育文化学部 准教授 入 江 智 也

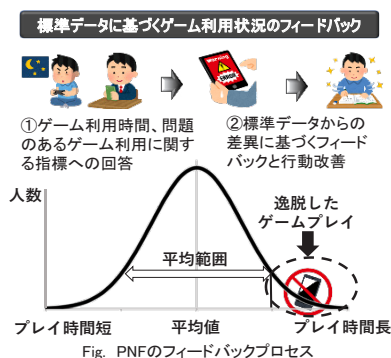
### ① 背景（内外における当該分野の動向）

ゲームはスマートフォンやインターネット環境の普及とともに、かつての「娯楽の一つ」から、現代の若年層にとって日常生活に不可欠なメディアの一部へと変化しつつある。過度なゲームは青年期において、抑うつなどの精神的問題、学業不振などの社会機能不全と関連する（Mihara & Higuchi, 2017）。また、青年期は神経基盤が未成熟なため、嗜癖行動に陥りやすい「発達上の変革期」である（Giedd, 2015）。青年期はゲーム障害に対して非常に脆弱な発達段階であることから、ゲーム障害によってより大きな損害を被る可能性の高い世代である。

申請者らはこれまで、過度なゲームが引き起こし得る問題を明らかにし（Yokomitsu et al., 2021）、わが国の中高生のゲーム利用の実態の解明（Shinkawa et al., 2021; Irie et al., 2022）、中高生約1万人を対象としたゲームの実態および問題が生じ得るゲーム使用のパターンの解析を行ってきた（Irie et al., 2025）。

### ② 目的（課題設定とねらい）

青年期の過度なゲーム使用は社会的課題であるものの、その対応はゲーム使用時間を控えるよう呼びかける、すなわち本人の自制や監督者による管理を求める対応に留まっているのが現状である。本研究は、行動嗜癖に対する効果が認められている大規模データに基づくフィードバック（Personalized Normative Feedback: PNF）のシステムを開発し、効果検証を行うものである。本研究のねらいは、社会的課題とされながらも十分な対応がなされていない青年期の過度なゲーム使用に対し、エビデンスに基づく支援方法を確立することである。



### ③ 学術的な独自性と意義

ゲーム障害は学術的にも新しい概念であり、治療的アプローチは提案されているものの（Núñez-Rodríguez et al., 2025）、予防を含む包括的な支援方法はほとんど整備されていない。また、従来青年期の依存症対策として多く用いられる方法は、教育等において集団に対面で実施される教育プログラムである（Donati et al., 2022）。本研究は、Web上で完結可能な自動化された支援システムの開発を目的としており、過度なゲーム使用に対して、従来存在しなかった体系的かつ個別化された支援手法を初めて提案するものである。本システムはWebベースで運用可能であることから、対面による専門職の関与を前提とせず、限られた人的資源下においても持続可能な介入および予防支援を実現し得る点で、極めて実用性が高い。このように、本研究は、現代社会が直面する行動嗜癖への対策に資するだけでなく、社会的資源の効率的活用という観点からも高い妥当性と公共的意義を有する。

### ④ 期待される成果と発展性

期待される成果は、①大規模データに基づく、ゲームプレイヤーの行動パターンに応じたシステムの実装、②状態像に基づく類型化の枠組みの明確化に関する知見の蓄積、③プレイヤーに応じた行動変容支援の理論的枠組みの提案、④従来の対面型心理教育が抱える「マンパワー依存」や「普及の制限」といった課題を克服する仕組みの提供、すなわち、利用者が自らアクセスするだけで個別に適したフィードバックを受け取れるという点で、専門職の数に制限されない持続可能な予防支援の提供、である。

さらに、本研究の発展性は①他の行動習慣（SNS利用、動画視聴など）にも応用可能なPNF技術への発展、②行動変容支援技術の教育・医療分野での展開の可能性、③大規模データに基づく類型化と行動変容アプローチの融合というゲーム障害における新たな治療方法の創出、である。

研究者 東海大学文理融合学部 教授 深 川 博 史

【本研究の背景】本研究は、東南アジアから東アジアへ向かう国際労働力移動の背景には、東南アジア周辺国からの移民・難民の流入があるのではないかと、いう仮説を立て、それをアジア 4 か国の実態調査により解明する。東アジアでは労働力不足を背景に、東南アジアからの単純労働力を受け入れてきた。とくに韓国は、2024 年に出生率 0.72（世界最低）を記録し、人口減少の危機感から海外労働力の受け入れを進めている。しかし、労働力の供給源となる東南アジアでは賃金水準が上昇し、韓国との賃金格差縮小から若年労働力の確保が難しくなりつつある。そのような状況下、タイから韓国への労働力送出は続いており背景事情の解明が急がれる。労働力不足に直面する日本においても、海外若年労働力の確保が困難化しており、韓国との比較研究が必要となる。

【本研究の目的】タイから韓国への労働力移動が続く背景には、周辺国ミャンマーからタイへの移民・難民の流入がある。ミャンマー人を農家の代替労働力として確保したタイ人が、韓国へ出稼ぎに来ている。本研究では、このルートを韓国からタイを経由してミャンマーへ遡り調査を行う。韓国で東南アジア労働者にインタビュー調査を行い、出身地域のタイ農村に赴き、代替労働力確保の状況を調査する。さらに代替労働力のミャンマー人の出身農村を隣国ミャンマーで調査する。これらを通じてミャンマーからタイ、タイからミャンマーへの送出余力を検討する。以上の研究から、STAIRSTEP MIGRATION（階段状の国際労働力移動）が、一時的な現象なのか、一般的な現象として今後も拡大する可能性があるのか、換言すれば、日韓には東南アジア労働力の継続的確保の可能性があるのか明らかにする。

【本研究の学術的意義】従来の移民研究は、開発途上国から、先進国への直線的移動として把握されてきた。例えば、東南アジアから、韓国や日本への労働力移動であり、その背景には、送受国間の賃金格差があった。しかし、近年のアジア諸国では、送受国間の賃金格差は縮小傾向にある。日韓では、東南アジアの若年労働力確保の困難化が伝わるが、そのようななかで、タイから韓国への労働力送出は続いており、これは、2 国間の賃金格差では説明できない。そこで、本研究では、タイの労働力送出の背景には、ミャンマー移民のタイ流入により代替労働力を確保したタイ農民が、農地を賃貸に出して、海外出稼ぎを行っているという仮説を立てこれを解明していく。

【本研究の成果】少子化に直面する東アジア諸国では、移民の確保が今後の経済成長のカギを握るが、それは階段状移民に依存する部分がある。本課題は、労働力の国際化を通じた、東アジアの経済成長を占ううえで、重要な研究となる。加えて、二国間の直線的移動中心の移民把握、国際労働力移動論の常識を覆す研究として革新性を持つといえる。





## 大規模言語モデル（LLM）活用による 薬学生の省察的実践を促す対話型学習支援システムの開発

研究者 慶應義塾大学薬学部 助教 木 崎 速 人

### ① 背景（国内外における当該分野の動向）

医療専門職教育において、経験から学び実践を改善する「**省察的実践 (Reflective Practice)**」の能力育成は重要である。Schön が提唱したこの概念は、複雑な医療現場での的確な判断の基盤となる。多くの教育機関では、学生の省察を促す振り返り記録の作成を課しているが、その省察指導は教員の負担が大きく客観性や個別最適化の点で課題があった。省察的実践は単なる振り返りではなく、経験を批判的に検討し新たな理解を導く高度な認知プロセスであり、このような高次の学習プロセスを ICT 技術で支援するためには、従来の一方向的な情報提供型システムを超えた、双方向的で個別適応型のインタラクション機能が必要である。近年、大規模言語モデル（LLM）の教育応用が期待されているが、専門職教育における「省察」という高度な認知プロセスを「対話」を通じて深化させる ICT システムの開発は未開拓である。本研究は、このギャップを埋め、LLM を活用して薬学生の省察的実践を効果的に支援する新たな対話型学習システムの開発を目指す。

### ② 目的（課題設定とねらい）（本研究全体の概要を下図に示す）

本研究の目的は、薬学部学生の振り返り記録を LLM で分析し、対話形式のフィードバックを通じて省察的実践を深化させる対話型学習支援システムの実動可能なプロトタイプを開発することである。具体的には、LLM による省察の深さ・質の特徴の客観的評価手法を確立し、それに基づき、学生の省察レベルや思考特性に応じた個別最適化された「問いかけ」や「ヒント」を生成する個別最適化ロジックを構築する。これらを統合し、学生が直感的に利用できる対話型学習支援システムのプロトタイプを設計・実装する。本研究のねらいは、開発するプロトタイプシステムを通じて、将来的に学生が自身の学びや経験をより深く内省し、自律的な学習者として成長することを促進するための基盤を構築することである。また、教員のフィードバック業務の質的向上と効率化にも貢献しうるシステムの開発を目指す。

### ③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性として、第一に「対話型」省察支援の実現が挙げられる。単なる振り返り記録の自動評価に留まらず、学生とのインタラクションを通じて能動的な省察を促す「学習パートナー」としての ICT システムを開発する点に独自性がある。従来の教育支援システムが一方向的な情報提供に偏りがちであったのに対し、本研究では学習者の応答に応じて動的に支援内容を調整する適応的対話機能の実現を目指す。第二に、薬学という専門性の高い文脈を LLM が理解し、適切な支援を行えるよう、教員評価に基づくファインチューニングやプロンプトエンジニアリングを施す点が特徴である。これにより、汎用的な LLM では対応困難な専門領域特有の省察支援が可能となる。本研究の意義は、薬学教育における省察的実践の質の向上に貢献しうる新たな教育 ICT のプロトタイプを提示する点にある。実動可能なプロトタイプ開発は、より大規模な実証研究やシステム改良に向けた具体的な基盤を構築するとともにその開発プロセスと設計思想の共有によって関連研究領域の発展を加速させる役割も期待される。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究によって、対話的なフィードバックを通じて薬学生の省察的実践を支援する対話型学習支援システムの実動可能なプロトタイプが開発される。具体的な成果物として、LLM による省察レベル評価基準の具体化、および個別最適化されたフィードバックを生成するためのプロンプト群と基本的なアルゴリズム、開発したプロトタイプシステムの詳細な仕様書、UI/UX デザインの設計資料が整備される。これらは今後のシステム改修や類似システムの開発における重要な参照情報となる。本研究の発展性として、本研究計画終了後に開発したプロトタイプのユーザビリティ評価や教育的効果の初期検証を行い将来的には大規模な教育効果検証、他機関・他学部への展開可能性の検討、最終的には医療専門職教育全体の質向上に寄与する汎用的な省察支援技術としての発展を目指す。

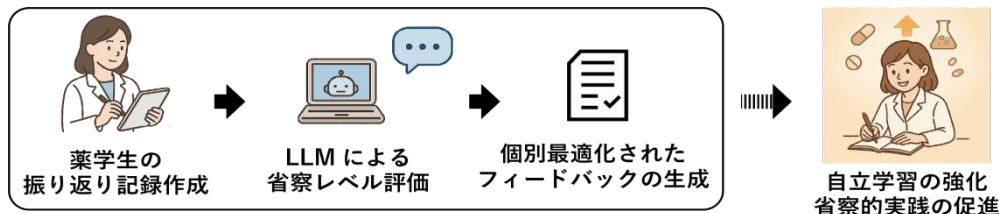


図 本研究の概要

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

人は無意識・半意識的に、話しかける相手との物理的・心理的距離に応じて声を変化させている。たとえば、近くの相手には抑えた声で、遠くの相手には大きく響く声で話すなど、実践的にはよく観察される現象である。しかし、こうした対話相手との距離によって変化する声の実態や仕組みは、アカデミックな文脈ではほとんど研究されておらず、演劇業界で俗に” 距離感 ” と呼ばれて人に伝える際に大事だということが口頭で各所で言われているのみであり、音声表現としてどのような構成要素がこの” 距離感 ” に関与しているかは、これまで体系的に議論されてこなかった。現状、行われているのは音響空間という人の声が発された後の音場の再現や、感情やパーソナリティ表現と言った、やや属人的調整を必要とする音声情報の調整に留まっている。

### ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では、この距離感音声が音響の特徴だけでなく、その源となる呼気の制御とどう関係しているかを明らかにすることを目的とする。すなわち、人が「遠くにいる相手に向かって話す」とき、呼気量や呼気タイミング、息の圧力といった肺からの空気の出制御がどのように変化しているかを実験的に調査し、距離感音声の生理的な生成メカニズムを解明することをねらいとする。本研究は、発話時の「物理的距離感」と呼吸・声の特性の関係を明らかにし、音声モダリティにおける空間的バックグラウンド情報の有効活用を目指すものである。従来、意味や感情といった言語的側面ばかりが注目されてきた中で、発話者が「どの距離の相手に向かって話しているのか」という空間的文脈に対応する音声特徴を体系的に捉えることで、音声コミュニケーションの理解と設計に新たな視点を提供する。

### ③ 学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、これまで筆者が定義し音響的に実証してきた\*\*「距離感音声」という新たな現象について、さらにその音声の源である呼気制御\*\*に踏み込むことで、距離感の生理的起源を明らかにしようとする点にある。従来の音声研究の多くは、収録された音響波形の分析にとどまっていたが、本研究では発声の起点である呼気という身体的プロセスに着目することで、音声表現の生成過程をより包括的に理解することが可能になる。これは、これまで言語学・音声学・音響工学のいずれの分野にもなかった新しいアプローチである。本研究は、音響的な「距離感」のみに注目した従来研究とは異なり、発話時の呼吸力・息の勢いという生理的背景を統合的に分析する点に学術的な新規性がある。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究は、声に含まれる距離感という非言語的情報を、制御可能な音声要素としてモデル化する基盤となる。これにより、AI 音声に「親しみ」や「緊張感」といった空間的・心理的距離のニュアンスを組み込むことが可能となり、対話の自然さ・意図の明示性を向上させる技術応用につながると期待される。また、音声表現の新たな調整パラメータとして距離感を導入することで、音声を用いてどの人に話しかけているか、どのロボットに話しかけているかという情報を取得することができ、音声を新たな入力コントローラとして利用することも可能になる。

---

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

---