

第32回(平成26年度)

# 助成研究の概要

## 研究助成金贈呈式

平成26年12月5日

公益財団法人 カシオ科学振興財団

CASIO SCIENCE PROMOTION FOUNDATION

## 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ないます。

#### <特別テーマ>

自然科学および人文科学のすべての分野が対象となります。

題目： 「次なる産業革命の中核をなす新技術研究」

世界の経済は混乱し、今こそ世界を牽引する新たな産業革命が待望されています。今後起こりうる産業革命の中核となる新技術研究を募集いたします。

#### <基本テーマ>

- A： 電気工学 電気工学・機械工学を中心とした15分類に該当する幅広いテーマがすべて対象となります。
- B： 健康維持・増進を目的とした電子工学と医学／生理学の異分野からなる学際的研究を中心とした4分類に該当するテーマが対象となります。
- C： 人間育成・人間行動を中心とした2分類に該当するテーマが対象となります。

### 2. 対象とする研究者

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

## 応募状況ならびに助成実施状況

### 1. 募集及び応募

募集期間 平成26年4月10日～6月5日  
 応募数 91大学より281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18日  
 選考会議 9月12日開催 助成候補者の選出  
 理事会 10月3日開催 助成者38名の決定

### 3. 研究分野別の状況

〔特別テーマ〕 特別テーマの主旨にあったもので、分野を問わない。

分野	分類No	分類	応募	助成
特別テーマ		次なる産業革命の中核をなす新技術研究	38	3

〔基本テーマA〕 (電気・機械工学系)

分野	分類No	分類	応募	助成
電子デバイス 材料・物性	1	半導体関連	10	1
	2	表示・光学関連	4	1
	3	入出力・記録関連	0	0
	4	通信・伝送用デバイス	6	1
	5	新素材・ナノテクノロジー関連	43	11
システム 情報・通信 ネットワーク メカトロニクス	6	ヒューマンインターフェイス	12	1
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	4	0
	8	ソフトウェア・知識処理・セキュリティ	12	1
	9	通信・放送	4	0
	10	計測・制御	16	3
	11	機構・ロボット	12	2
環境 その他	12	環境エレクトロニクス	16	1
	13	シミュレーション科学	7	0
	14	加工法・工作法・リサイクル技術	7	0
	15	信頼性・最適デザイン	0	0

〔基本テーマB〕 (医学・生理学系)

分野	分類No	分類	応募	助成
健康 ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	17	3
	17	ヒューマンエレクトロニクス	2	1
	18	ヘルスエンジニアリング	26	4
	19	バイオエレクトロニクス関連	11	0

〔基本テーマC〕 (人文科学系)

分野	分類No	分類	応募	助成
人材育成	20	人材育成に関する研究	16	3
人間行動	21	変革期における人間行動の研究	18	2

#### 4. 研究者(代表研究者)

現職		年齢	
教授	22%	20代	5%
准教授	36%	30代	45%
講師	8%	40代	35%
助教	32%	50代	12%
助手	2%	60代	2%

#### 5. 助成金額

##### 【年度別 助成金額の推移】

回数	年度	件数	金額(千円)	回数	年度	件数	金額(千円)
第1回	昭和58	24	25,900	第21回	〃 15	40	50,400
第2回	〃 59	28	34,912	第22回	〃 16	39	50,740
第3回	〃 60	33	41,460	第23回	〃 17	44	50,000
第4回	〃 61	34	43,165	第24回	〃 18	46	51,990
第5回	〃 62	30	40,905	第25回	〃 19	49	54,350
第6回	〃 63	33	42,950	第26回	〃 20	43	53,000
第7回	平成 元	34	42,900	第27回	〃 21	42	52,000
第8回	〃 2	33	43,925	第28回	〃 22	39	50,750
第9回	〃 3	33	44,900	第29回	〃 23	38	49,000
第10回	〃 4	41	51,760	第30回	〃 24	38	50,000
第11回	〃 5	36	47,980	第31回	〃 25	38	50,000
第12回	〃 6	39	51,690	第32回	〃 26	38	49,960
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				

現在までの  
 助成件数 1,205件  
 助成金総額 1,531,107千円

【設立許可】 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

---

荒木 光彦	京都大学 名誉教授 松江工業高等専門学校 名誉教授
五十嵐 哲	成蹊大学 特別研究招聘教授
伊藤 彰義	日本大学 名誉教授 日本大学 理工学部理工学研究所 上席研究員
内川 義則	東京電機大学 理工学部 教授
岡野 光夫	東京女子医科大学 特任教授
金子 元久	筑波大学 大学研究センター 教授 東京大学 名誉教授
木村 忠正	電気通信大学 名誉教授
越田 信義	東京農工大学 大学院工学府 特任教授
小山 清人	山形大学 学長
笹瀬 巖	慶應義塾大学 理工学部 教授
定本 朋子	日本女子体育大学 体育学部 教授
高橋 智	東京学芸大学 教育学部 教授 東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科 教授
直井 優	大阪大学 名誉教授
松山 泰男	早稲田大学 基幹理工学部 教授
水野 皓司	東北大学 名誉教授

平成26年度

# 研究助成

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額
1	全周から見る事ができるホログラム表示技術の実現	東京農工大学大学院工学研究院 教授 高木 康博	万円 500
2	有機円偏光発光デバイスの創出と革新的三次元表示技術への展開	九州大学稲盛フロンティア研究センター 教授 安田 琢磨	500
3	非線形スピントロニクス機能による次世代省エネルギー電子技術基盤の構築	慶應義塾大学理工学部 専任講師 安藤 和也	500
4	透光性多結晶セラミックを用いた次世代レーザー加工用光アイソレータの開発	北見工業大学工学部 助教 古瀬 裕章	100
5	一次元電子系物質を基盤とした多孔性物質の創製と分子吸脱着による物性変換	東北大学大学院理学研究科 助教 井口 弘章	100
6	フォトニック・メタ表面による機能性近赤外光学フィルターの研究	東北大学大学院工学研究科 准教授 大寺 康夫	100
7	世界最小の5軸制御磁気浮上モータを用いた小児用人工心臓の研究開発	茨城大学工学部 助教 長 真啓	100
8	透過・反射同時測定テラヘルツ時間領域分光装置開発とそれを用いたラマン不活性ソフトモードの研究	筑波大学数理物質系 助教 森 龍也	100
9	量子サイズ効果を利用して有機デバイスの電荷注入準位をチューニングする新手法の確立	千葉大学大学院融合科学研究科 助教 中山 泰生	100
10	室温無磁場において非散逸伝導を示す界面材料の開拓	東京大学大学院工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター 助教 打田 正輝	100
11	空気中で駆動可能な拮抗筋アクチュエータの創出	東京大学生産技術研究所 助教 森本 雄矢	100
12	動的自己活性化分子性電磁ナノコイルの開発	東京農工大学大学院工学研究院 講師 帯刀 陽子	100
13	今後のICT技術の成長に不可欠な、広帯域・低消費電力無線通信用デルタシグマA/D変換LSIの新設計法	山梨大学大学院医学工学総合研究部 助教 兼本 大輔	100
14	分子配向技術の導入による非線形光学ナノ光デバイスの高性能化	静岡大学大学院工学研究科 准教授 杉田 篤史	100
15	コランダム構造酸化物を用いた高移動度トランジスタ(HEMT)の開発	京都大学大学院工学研究科 助教 金子 健太郎	100
16	光反応誘起相分離法による銀ナノワイヤーを用いた透明導電性フィルムの創成	京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 助教 中西 英行	100
17	発話タイミングの齟齬を修復する音声対話システムに関する研究	大阪大学産業科学研究所 教授 駒谷 和範	100
18	共ドーピングシリコンナノ結晶を単電子島として用いた単電子素子の研究	神戸大学大学院工学研究科 助教 加納 伸也	100
19	色覚特性者の色彩感覚モデルに基づく自然な画像補正アルゴリズムの提案	香川大学工学部 助教 佐藤 敬子	100
20	フルスペクトル太陽電池用革新的透明導電膜の創製	佐賀大学大学院工学系研究科 准教授 田中 徹	100
21	ブラックホール直接撮像のための気球VLBI搭載高速データ記録装置の開発	総合研究大学院大学物理科学研究科 助教 土居 明広	100

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額
22	浮体式洋上風車の動揺抑制を実現する高性能制御	大阪府立大学大学院工学研究科 准教授 原 尚 之	万円 100
23	強誘電体ドメイン壁の特異性を利用したナノデバイスの創出	兵庫県立大学大学院工学研究科 助教 中 嶋 誠 二	100
24	インパルスプラズマ・テラヘルツ過渡吸収分光法によるグラフェンの超高速ダイナミクスの解明	立命館大学理工学部 助教 寺 本 高 啓	100
25	単孔式内視鏡下手術支援ローカル操作型フレキシブル術具マニピュレータ	大阪工業大学工学部 准教授 河 合 俊 和	100
26	歯槽骨再生誘導療法のための骨膜伸展型エミュレーションデバイスの開発	東北大学大学院歯学研究科 講師 山 内 健 介	100
27	新規心臓ペースメーカー作成を目指した心臓の生理学的解析	群馬大学先端科学研究指導者育成ユニット 助教 山 本 正 道	100
28	楕形電極の誘電泳動を利用する間葉系幹細胞スフェロイドの作製および力学的刺激に基づく分化制御	東京大学大学院総合文化研究科 准教授 吉 本 敬 太 郎	100
29	全人工膝関節置換術のリスク回避に寄与する高分解能圧力センサ内蔵インサートの開発	福井大学大学院工学研究科 准教授 長 宗 高 樹	96
30	ブレインマシンインタフェースによる肢体不自由者の運動機能再建と健康増進を支援するシステムの開発と適用	大阪大学大学院医学系研究科 助教 柳 澤 琢 史	100
31	感情的プロソディを変更する気分誘導方法を用いた認知症の行動・心理症状を緩和するシステムの研究開発	佐賀大学大学院工学系研究科 准教授 中 山 功 一	100
32	放散近赤外光を用いた高精細リアルタイム脳機能計測技術の開発	広島市立大学大学院情報科学研究科 教授 樋 脇 治	100
33	無細胞マイクロ血管モデルの開発	東洋大学理工学部 講師 佐々木 直 樹	100
34	映像のバリアフリー化を実現する社会の形成:聴覚障害者および視覚障害者の映画鑑賞実態に関する調査	秋田大学大学院工学資源学研究科 助教 中 島 佐 和 子	100
35	高度専門職学芸員養成プログラムの開発に関する研究——大学博物館の効果的な活用方法の検討	東京大学総合研究博物館 特任助教 寺 田 鮎 美	100
36	小中学校理科教育支援のための中核的教員養成・支援に関する実証的研究	福井大学教育地域科学部 教授 浅 原 雅 浩	100
37	脳内情報処理における「運動—言語連関」の理解:効果的な運動学習支援に向けて	首都大学東京大学院人間健康科学研究科 准教授 樋 口 貴 広	100
38	原発避難者支援の多様性確保に向けた仕組み構築に関する比較研究	法政大学人間環境学部 教授 西 城 戸 誠	100

# 1 全周から見ることができるホログラム表示技術の実現

東京農工大学大学院工学研究院 教授 高 木 康 博

## ①背景

ホログラフィーは、1947年にD. Gaborにより発明された理想的な立体表示技術で、レーザの発明とあいまって研究が急速に進み、1971年にGaborはノーベル賞を受賞した。その後、電子的な実現を目指して、世界各国で研究が進められてきたが、約1 $\mu\text{m}$ の画素ピッチをもつ超高精細な表示デバイスが必要なため実現の難易度が極めて高く、大きな進展はない。一方で、最近になり立体テレビが電機メーカ各社から発売されたが、メガネの装着が必要で視覚疲労があるなどの問題点があり、普及するには至らなかった。2016年に2次元ディスプレイの最終形態であるスーパーハイビジョンの試験放送が開始されることを考えると、次世代の映像情報システムの中核として電子ホログラフィーの研究を世界に先んじて推し進めることは急務である。

電子的なホログラフィー実現の難しさは、視域（立体像を観察できる範囲）の大きさが表示デバイスの画素ピッチに反比例し、画面サイズが表示デバイスの解像度（画素数）に比例することにある。そのため、最先端のスーパーハイビジョン用の表示デバイス（画素ピッチ5 $\mu\text{m}$ 、解像度7,680 $\times$ 4,320）を用いても、6°の視域角（視域の大きさを画面からの角度で表したものと）、1.7インチの画面サイズしか実現できない（波長0.5 $\mu\text{m}$ の場合）。このように、実用的な視域と画面サイズが得られないことが最大の課題である。

## ②目的

申請者は、ホログラム表示のブレイクスルー技術として、高速なMEMS空間光変調器を用いた時分割表示方式を提案している。これは、表示デバイスの高精細化には物理的限界があるという認識のもと、光学的な画素ピッチ縮小と空間走査による解像度増加を実現する。既に、視域角15°で画面サイズ5インチのカラーホログラム表示に成功している。これは、単一の表示デバイスを用いたホログラフィーでは世界最高の表示性能である。

本研究の目的は、MEMS空間光変調器による時分割表示に新たに視域走査のアイデアを導入して、視域を従来の数十倍に拡大し360°全周から観察できるホログラム表示技術を確立し、狭視域の問題を一気に解決することにある。

## ③学術的な独自性と意義

従来の研究の方向性は、画素ピッチを縮小して視域を拡大し、画素数を増して画面サイズを拡大することにあつた。しかし、画面全体で、光学的縮小により画素ピッチ1 $\mu\text{m}$ を実現することは難しい。そこで、本研究では、従来とはまったく逆のアプローチを用いる。すなわち、ピクセルピッチを拡大して画面サイズを拡大し、狭くなった視域を時分割表示で拡大する。これは、視域の幅は目の瞳孔径程度まで狭くしても実質的に問題ないことに着目して発想した。

全周立体表示は、既に光線再生型の立体ディスプレイで実現例があるが、ホログラム表示で実現することで、ボケのないシャープな立体像を表示でき、視覚疲労がなく長時間利用可能な立体表示が実現できる。また、2次元表示では、反対側から見ると画像が逆さまに見えるので、全周表示は実現できない。立体表示では、物体の反対側の面を見ることができる。このように、正しい全周表示は立体表示でしか実現できない。

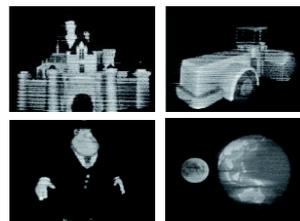
## ④期待される成果と発展性

全周立体表示の実現は、今までとはまったく異なる映像の利用環境をユーザーに提供する。例えば、①360°好きな方向からのスポーツ観戦、②信頼性の高いインターネットショッピング、③映像を取り囲んでのカンファレンス、④医療画像、シミュレーション結果、設計図などの可視化などに利用できる。また、方向によって異なる映像を表示できるので、ユーザーごとに異なる映像コンテンツを表示することも可能である。このように、従来の2次元表示では実現できなかった新たな映像表現が可能になり、豊かな国民生活の実現に寄与する。さらに、全周ホログラム表示の実現は、次世代の映像情報メディア技術に変革をもたらし、関連技術の発展を促すことが期待できる。新たな映像取得技術、圧縮技術、通信技術、記憶技術などの研究開発を促進する。また、リアルな遠隔地コミュニケーションを用いた新サービスの創出を可能にする。

本研究の方法は、MEMSプロジェクタと指向性回転スクリーンから成るシンプルな構成で実現できる点に特徴がある。MEMS空間光変調器は、PCプロジェクタ等で実用化されている低価格なデバイスであり、高性能化や複数の変調器の利用によりホログラム表示のカラー化やさらなる大画面化が可能である。また、ホログラムフィルム等を用いて薄型軽量な指向性回転スクリーンを実現することで、回転機構を簡易化できる。



全周ホログラム表示



MEMS時分割表示による  
ホログラム再生像

## 2

# 有機円偏光発光デバイスの創出と革新的三次元表示技術への展開

九州大学稲盛フロンティア研究センター 教授 安 田 琢 磨

### ① 背景 / ② 目的

円偏光発光 (CPL; circular polarized luminescence) は、3次元 (3D) ディスプレイ等の表示技術への展開の可能性から、近年大きな注目を集めている。右円偏光・左円偏光にそれぞれ、右目用・左目用の画像信号を乗せて出力することで、立体画像を表示することが可能である。しかし、現状の円偏光型 3D ディスプレイは、直線偏光を発する液晶ディスプレイに円偏光透過フィルターを組合せて右円偏光・左円偏光を作り出している (図 1 上)。従って、発光体自体は CPL 特性を有しておらず、円偏光フィルターを用いるため、光強度の大幅な減少が生じてしまう。この問題点の克服の最も有効な手法は、光源そのものを円偏光発光体とする新たな有機円偏光電界発光デバイスの創出である (図 1 下)。もし CPL 型の円偏光発光体を使用できれば、円偏光フィルターを使用することなく円偏光を自在に作り出せるため、ディスプレイ応用において、エネルギー効率の大幅改善とフィルター不使用による高輝度化・高品位化を実現することができる。しかしながら、高効率な円偏光発光 (大きな異方性因子  $g_{CPL}$ ) を示す有機固体発光材料の例はなく、分子設計の指針さえ確立されていないのが現状である。そこで本研究では、高効率円偏光発光の実現に向け、軸不斉・面不斉を活用して発光性機能団の立体配置を精密に規制し、電子遷移における明確な分子不斉空間を構築するアプローチにより、効率的な励起子キラリシティの形成手法を提案する。さらに、この革新的な有機円偏光発光材料を発光中心に用いた有機円偏光電界発光デバイスを創出し、前例の無い自発光型 3次元表示技術の基礎を確立する。

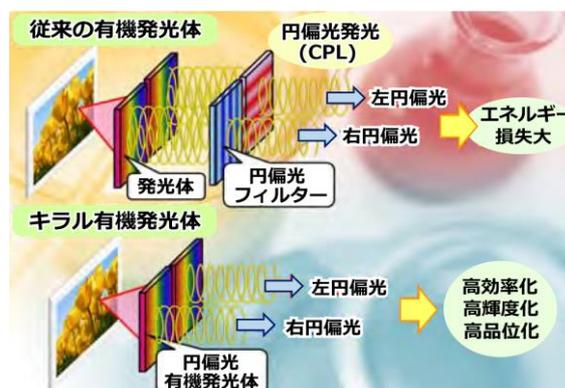


図 1 CPL 特性を有するキラル有機発光体を用いた革新的有機円偏光発光デバイスの創出

### ③ 学術的な独自性と意義 / ④ 期待される成果と発展性

自然界においては、ホタルの尻尾から放たれる発光が円偏光発光であること (*Nature* **1980**, 286, 641)、シャコ目は円偏光を識別していること (*Current Biology* **2008**, 18, 429)、コガネムシの羽は円偏光を反射している (*Science* **2009**, 325, 449) など、理由は未解明ながら円偏光特性を巧みに利用していることが明らかにされている。つまり、自然界は特別な波長板等の固体光学素子を用いずとも、自在に円偏光を創出し活用している。しかし、我々は未だに高効率な円偏光発光を発現する有機発光材料を手に入れることができていない。本研究では、①拡張した電子共役系に基づく大きな遷移双極子モーメントの誘起、②軸不斉・面不斉による電子遷移における分子不斉空間の構築と励起子キラリシティの誘起の視点から、高い発光量子収率と円偏光異方性因子を併せ持つ革新的な円偏光発光性分子の実現を目指す。単なる材料開発に留まらず、得られたキラル有機発光分子を用いた初めての高性能有機円偏光電界発光デバイスの開発に挑む極めてチャレンジングな課題である。分子不斉空間の構築に基づいて、円偏光強く発する円偏光発光性有機半導体によって赤・緑・青 (RGB) のマルチカラーを実現し、右円偏光と左円偏光を独立して発光させることができれば、ディスプレイ市場に大きな波及効果を生むものと期待される。例えば、より省エネ型有機 EL が実現でき、本技術は現在注目されている 3D ディスプレイに応用可能と考えられ、新たな産業の創出の端緒となり得る。将来的には次世代の 3D 有機 EL ディスプレイや電子ペーパーにおける立体画像表示などへの応用の途が拓けると信じている。さらに、「分子がもつ軸不斉・面不斉を蛍光に転写し、円偏光という励起子キラリシティを誘起する」という科学的な面からも極めて重要な物理現象を含んでおり、新たな光化学・光物理現象の開拓や円偏光に関する新概念の創出へと繋がる可能性も秘めている。

本研究は、絶縁体中の情報伝送・処理を担う「マグノンスピ流」の制御原理を開拓し、スピ流の増幅手法を世界に先駆けて確立することで、次世代の電荷レス超省エネルギー電子技術の基盤を構築するものである。

### ①背景

電荷の流れである電流が金属・半導体のみでしか存在できないのに対し、電子スピンの流れ「スピ流」は金属・半導体中で伝導電子により輸送される「伝導電子型スピ流」に加え、スピン系の素励起「マグノン」によって絶縁体中においても伝導することが応募者らにより明らかとなった (*Nature* 2010) (図1)。金属/絶縁体接合における界面スピ交換を用いて応募者らは上記研究をさらに展開し、伝導電子スピン-マグノン変換と絶縁体中マグノンの物理を切り拓いた (*Physical Review Letters* 2012, *Nature Materials* 2013)。この一連の研究によって絶縁体中スピ流の生成・検出原理が体系化され、伝導電子の存在しない絶縁をベースとした新時代電子技術へのルートが拓けた。

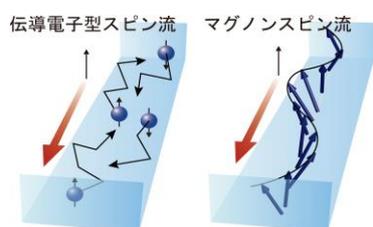


図1. 伝導電子・マグノンスピ流。

### ②目的

本研究は、絶縁体中マグノンスピ流の制御・増幅手法確立を必須到達点とする。スピ流の制御・増幅はスピントロニクスの基盤技術であり、20年以上にわたり世界中の研究者がその手法を追い求めてきた。しかし本質的に保存量でない金属・半導体中の伝導電子型スピ流の制御・増幅は困難であり、決定的手法は未だ確立されていない。このような状況に突破口を拓くのが本研究である。

### ③学術的な独自性と意義

本研究は、絶縁体中のスピ非線形効果を機軸としたこれまでにないアプローチでスピントロニクスの新領域を切り拓くものである。世界に先駆けた絶縁体中のマグノンスピ流の発見により応募者らにノウハウ・知見が集中している千載一遇の好機を逸することなくこの決定的研究を遂行し、次世代省エネルギー技術としての絶縁体スピントロニクスを先導する。

### ④期待される成果と発展性

ジュール熱による深刻なエネルギー損失の問題を抱える電流に対し、スピ流にはオームの法則に相当するエネルギー散逸機構がない。従ってスピ流を利用することによりジュール損失を極限まで抑えた情報処理が可能となり、現在の計算機アーキテクチャーを原理から変革する省エネルギー電子デバイスが実現できる。しかし金属や半導体において伝導電子が輸送するスピ流は伝送距離が極端に短く、また制御性が低いため、スピ流機能デバイス開発はこれまで困難を極めていた。一方で絶縁体中のマグノンスピ流は高い量子コヒーレンスにより本質的に伝送損失が極めて小さく、本研究によるマグノンスピ流の制御・増幅技術により、エネルギー損失を極限まで抑えた超省エネルギー絶縁体スピ流情報演算デバイス構築がはじめて可能となる。本研究遂行により、絶縁体中スピ流の制御・増幅技術を日本発の次世代電子技術体系として世界に発信し、省エネルギー社会の実現に貢献する。

### ①背景

次世代加工技術として、超短パルスレーザーによる非熱的加工が注目を浴びており、多くの応用研究が進められている。しかし現在市販されている超短パルス光源の最大出力は 100 W 程度であり、産業応用には出力が不足している状況にある。

申請者はこれまで、産業利用を目的に透光性多結晶 YAG セラミックレーザーの開発を行ってきた。そして、出力 273 W を当時世界最高の変換効率 72% で達成した [H. Furuse, et. al., Opt. Lett. (2009)]。またキロワット級のコンポジット型増幅器を発案し [特開 2010-114162]、光源の高出力化、高品位化を進めてきた [H. Furuse et. al., Opt. Exp. (2011), (2012), (2013)]。

一方、高出力超短パルスレーザー開発における重要部品の一つに、光アイソレータがある。これは、透明な磁気光学材料を磁界中に置いた時に、通過する光の磁場方向の偏光成分が磁場の強さに依存して回転するフレラー効果を利用した透過型光学素子であり、レーザー装置内の戻り光による前置増幅段の破壊防止のために欠かせない。しかし現在市販されている光アイソレータは、キロワット級の高出力超短パルスレーザーを伝搬させると、わずかな光吸収による熱問題とレーザーパルスによるダメージ問題が発生するため、対応していない。我々はこの問題によりレーザー出力の制限を受けていた。

### ②目的

本研究の目的は、新しい磁気光学材料と独自考案した冷却ディスク方式を組み合わせることで、産業用キロワット級超短パルスレーザーを対象とした小型光アイソレータを開発することである。これを実現するためには、1) 高平均出力動作に耐え得る高い熱特性を有する、2) ダメージ損傷を避けるため大口径化が可能、3) 高いヴェルデ定数  $V$  を有し、適度な磁場強度で所望の偏光回転角が得られる、等の条件を満たす磁気光学材料が必要である。現在は TGG 単結晶が主に使用されているが、最大径は  $\phi 20\text{mm}$  程度であり上記 2) を満たさない。

本研究では近年  $\phi 100\text{mm}$  以上の大口径化が可能となり、単結晶と同程度の光学特性、熱特性、磁気特性を有する TGG 多結晶セラミックを世界に先駆けて採用し、ダメージ問題を解決する。また独自考案した冷却ディスク型構造を取り入れることで熱問題を低減し、さらにデバイスの小型化を図る。

### ③学術的な独自性と意義

近年、多くの産業用高出力パルスレーザーが研究室レベルで開発されているが、光源の出力安定性維持と加工産業発展のためには対応可能な光アイソレータの開発が急務である。透光性セラミックは単結晶と比較して大型化が可能のため、特に超短パルス光の高出力化に適している。TGG 多結晶セラミックは近年ようやく製造法が確立され実用化に至ったばかりであり、本研究はその実証研究および物性値評価として重要である。申請者は既にロッド形状 (長さ 20 mm) の TGG 多結晶セラミックに 100 W のレーザー光を照射し、偏光特性と発熱の関係が TGG 単結晶と変わらないことを実証した [R. Yasuhara and H. Furuse, Opt. Lett. (2013)]。本提案では TGG セラミック試料をディスク形状に分割することで熱負荷を分散させ、かつディスクの背面冷却による熱効果の劇的な低減を試みる。これは世界初の試みである。厚みが薄く、冷却面が広い本方式は、最も材料内部の温度勾配が生じにくい方式であると考えている。

### ④期待される成果と発展性

本研究はキロワット級超短パルスレーザー開発の発展に大きく貢献できると考えており、これによる次世代レーザー加工 (高速精密マイクロマシニング、軽量複合材料のような難加工材料の切断および孔空け、ワイドギャップ半導体や透明材料の内部加工等) の実用化に役立てることができる。また多結晶セラミックは従来レーザー材料として使用されてきた単結晶よりも製作時間が短時間で比較的安価に大量生産が可能と言う特長も有している。加えて、本提案は国立研究所等で開発されている高強度物理研究用 (レーザー粒子加速、X線発生、中性子源、レーザー核融合等) の大型レーザーにも適用可能と考えており、我が国の光産業だけでなく将来の医療やエネルギー分野の発展にも役立つと考えている。

### ①【研究の背景】

分子サイズレベルの規則的な細孔を有する**多孔性配位高分子 (MOF)** は、巨大なガス吸蔵能、ガスの分離における高い分子選択性など、活性炭やゼオライト等の既存の多孔性物質には見られない高い機能を有することから、近年注目を集めている。MOF は溶液中で金属イオンと有機配位子が自己組織化して形成される結晶性物質であり、金属イオンや有機配位子に由来する物性、あるいはそれらの相互作用によって、発光性、磁性、触媒特性等の様々な物性を付与することが可能である。しかしながら、**電子伝導性の付与については未だ合理的な設計手法は確立されておらず、数例の半導体的挙動を示す MOF が偶発的に報告されているに過ぎない。**

一方、分子を用いた結晶性の伝導性物質としては、有機電荷移動錯体や擬一次元ハロゲン架橋金属錯体が以前より知られており、金属的伝導挙動、金属-絶縁体転移、巨大な三次非線形光学応答といった興味深い電子物性が報告されている。これらの物性は、電子が一次元状に束縛された特殊な電子状態に由来するものであるため、光・圧力・温度といった外場によって電子状態、ひいては電子物性を大きく変化させることが可能である。しかし、**このような変化を分子の吸脱着に伴う構造変化や化学反応によって引き起こすことは、結晶の劣化を伴うためにこれまでほとんど試みられてこなかった。**

### ②【研究の目的】

本申請者は、結晶性を維持したまま分子の吸脱着が可能な MOF と、優れた電子物性を有する一次元電子系物質を組み合わせれば、両者の長を併せ持ち、弱点を補い合った新しい高機能多孔性物質ができるのではないかと着想した。そこで本研究では、**一次元電子系物質に配位可能部位を導入して金属イオンに配位させることで、分子の吸脱着により電子物性をスイッチングできる電子伝導性 MOF を創出することを目的とする。**

### ③【学術的な独自性と意義】

本研究の独自性は、MOF の分子サイズの細孔と、一次元電子系物質の高い伝導性・多様な電子状態というそれぞれの長所を融合する点にある。**このような分子サイズの規則的細孔を有する導電性物質を開発する試みはこれまでに例がない。**この研究は、電子伝導性 MOF の合理的設計手法を世界に先駆けて示すものであり、近年発展著しい MOF 研究において電子伝導性という新しいアプローチを切り開くことは大変意義がある。また、以前より日本が得意としていた分子性伝導体の分野においても、光・圧力・温度に加えて、分子の吸脱着という新たな外部刺激を手に入れることになり、既存の一次元電子系物質には見られない新しい電子状態や電子物性を生み出し得る点は学術的にも大変意義深い。

### ④【期待される成果と発展性】

分子性伝導体の知見から、最終的には初の金属的伝導を示す MOF の開発も可能と考えられる。電子伝導性 MOF の開発は、これまでは難しかった電池の電極材料としての MOF の利用を促進すると期待される。また、吸着分子との間の酸化還元によるドーピングや、吸脱着に伴う構造変化により、金属-絶縁体転移などの劇的な物性変化が期待されるため、ガスに選択的に応答して電気抵抗が変化するセンサーの開発といった新しい利用の道が切り開かれるであろう。

## ① 背景

被測定物を複数の近赤外波長で撮影し、画像処理で2次情報を可視化する「近赤外スペクトルイメージング」は、非破壊で対象物の質的量的情報を計測できることから食品・医療・セキュリティの各分野で注目を集めている。一度の撮影で複数の波長像を取得するには、同一基板上に複数の波長フィルターを集積したイメージングフィルターが必要である。さらに物質内部の情報を取得するために偏光選択性を持つことも要求される。現在内外で研究されているフィルターは(1)多層膜干渉型と吸収型の多段方式、(2)2次元グレーティング方式、(3)プラズモン共鳴方式などであるが、「波長の自由な設定」「パスバンド幅の調整」「偏光計測機能への拡張性」を同時に満足することはできていない。

## ② 目的（課題設定とねらい）

以上を踏まえ、本研究では「スペクトルと偏光の両方を選択可能な近赤外イメージングフィルター」の開発を目標に掲げる。素子の基本構造は、基板上的高屈折膜に形成したサブ波長幾何学格子（フォトニック・メタ表面、下図1）である。反転対称性を持たない卍形等の格子（キラル格子）からなるメタ表面は、波長選択性の旋光子として機能する。これを外部偏光子と組み合わせることで、**特定の波長帯で特定の偏光のみを透過させる**光学フィルターが実現される。さらに基板上の場所毎に格子形状や寸法を変えれば、機能の異なる微小フィルターの大規模並列配置が可能となる。

## ③ 学術的な独自性と意義

キラル格子の偏光回転作用は1990年代から知られていたが、そのメカニズムは必ずしも明らかでなかった。これに対し、申請者らは最近、フォトニック結晶の知識を活用して偏波変換の機構を明らかにするとともに、波長選択機能を発現させるための素子構成も提案した。このように物理的知見に基づいて、実用的な光学機能を着想・創出する点に、本テーマの独自性と研究の意義がある。

## ④ 期待される成果と発展性

1枚の基板上に波長／偏光選択機能が集積された多機能イメージングフィルターが創出されれば、近赤外画像計測の性能（表面から一定深さにある対象物質の同定と定量）を飛躍的に向上させるであろう。加えて、膜の表面加工のみで素子を実現できるので、生産性も優れている。今回はイメージングへの応用を掲げたが、光源とこのフィルターを組み合わせれば「スペクトル・偏光の制御可能な計測用光源」の実現も可能になる。このように豊かな発展性を秘めたテーマと考えている。

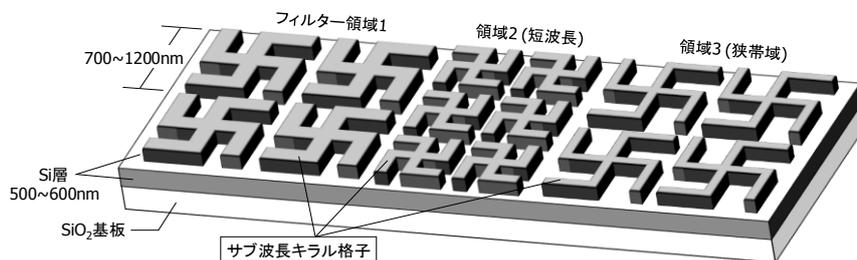


図1. フォトニック・メタ表面型パターン化近赤外光フィルターの概念図

**【背景】** 小児の重症心不全患者数は全世界で年間1万人以上、日本でも年間4500人の小児死亡者のうち約7.5%が循環器系、呼吸器系疾患を死因としている。一方、心臓移植はドナー心不足から全世界で350症例、日本では0件と多くの心疾患小児は未来が閉ざされた状態にある。心臓移植に代わる治療手段確立のために小児用人工心臓実現は世界的に急務である。米国では小児用人工心臓の開発プロジェクトが進められ、日本では成人用補助人工心臓の小児向け転用が検討されている。しかし、小児用人工心臓は、小型、高耐久かつ優れた血液適合性等、人工心臓の中でも高い要求から実用化が容易ではない。申請者は、浮上ロータ姿勢の5軸(x, y, z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ )を能動制御可能な外径28 mm、高さ41 mm、体積25 ccの磁気浮上モータを用いた小児用人工心臓試験機を製作して十分なロータ支持性能、ポンプ性能を実証した。本人工心臓試験機は成人用人工心臓と比べて小型ではあるが、乳児を含めた小児の体内に埋め込むには体積10 cc程度まで更なる小型化が必要である。超小型磁気浮上モータの研究開発が必要不可欠であるが、世界的にも例がなく新規な研究課題となる。

**【目的】** 磁気浮上モータを小型化するとモータ発生吸引力が低下する。一方、浮上ロータ質量は減少するため、姿勢制御に必要な力を小さくでき磁気浮上制御系としては有利になる。申請者は、現在の磁気浮上モータの理論解析・実験結果から、磁気浮上制御系の安定性能を損なわずに外径20 mm、高さ30 mm、体積10 cc以下までモータを小型化できると考えている。理論的磁気浮上系では浮上ロータ位置が目標値に固定されておりエアギャップが変化しないと考えるが、実際は浮上ロータ姿勢が変動し、磁気吸引力、流体力も変化する。この影響は小型化するほど大きくなるため、想定される変動磁気吸引力、流体力の条件下で磁気浮上を保証する必要がある。本研究では以下のことを行い、磁気浮上モータと人工心臓の超小型化に挑戦する。



- ① 三次元磁場解析、数値流体解析を行い、種々の人工心臓動作点、浮上ロータ磁気浮上位置での発生可能磁気力、外乱流体力、血液粘弾性を推定する。その結果をもとに浮上ロータの運動方程式導出、連成ダイナミクス解析を行い、どこまで小児用人工心臓用の5軸制御磁気浮上モータを小型化できるか明らかにする。
- ② ダイナミクス検証用磁気浮上ポンプを製作し、ポンプ送液中に計測した浮上ロータの運動と①で構築した運動方程式の解を比較することでダイナミクス解析の精度を検証する。実験結果に基づき浮上ロータ運動モデルのパラメータ同定を行い、運動モデルの精度向上を図り、超小型磁気浮上モータ設計に資する。
- ③ ポンプ揚程100 mmHgに対し、流量0.5~3L/min(仕事率:0.1~0.6 W)発生可能な血液ポンプと製作モータを組み合わせ、世界初、世界最小の小児用人工心臓を実現する。

**【学術的な独自性と意義】** 小児用人工心臓実現のための超小型、低出力な磁気浮上モータに着眼し、磁気吸引力変化、人工心臓内流体力を考慮した磁気浮上系のダイナミクス解析を行い、理論的に磁気浮上モータの小型化を追求する点が本研究の特色である。本磁気浮上モータはダブルステータ構造にベクトル制御、 $P\pm 2$ 極理論を適用することで、二つのモータステータのみで5軸制御可能であり、浮上ロータ姿勢の制御軸ごとに磁気軸受が必要な従来方式に比較し大幅な小型化ができる。本方式について特許出願を行っており、5軸制御可能なミリメートルサイズの磁気浮上モータは世界的に見ても唯一かつ独創的である。

**【期待される成果と発展性】** 5軸制御磁気浮上モータの小型化ができれば、世界初、世界最小の小児用人工心臓を実現できる。確立した小型化技術を成人用人工心臓に応用すれば、体格の小さな女性患者などの体に負担を強いることのない低侵襲な小型人工心臓も実現できる。

## 透過・反射同時測定テラヘルツ時間領域分光装置開発と それを用いたラマン不活性ソフトモードの研究

筑波大学数理物質系 助教 森 龍 也

①背景：テラヘルツ時間領域分光法（terahertz time-domain spectroscopy: THz-TDS）は、THz 電場の振幅と位相の両方の情報を検出できることにより、電場強度のみを検出する FT-IR 等の他の遠赤外分光法に比べて大きな優位性を持つ。しかし、物性研究で重要となる反射型の THz-TDS は、技術的な困難を持つために普及していない状況にある。

②目的：THz-TDS は電場の時間波形を測定するが、その位相の精度が非常に高く、光路長にして  $1\ \mu\text{m}$  程度の位相精度を持つ（1THz の波長= $300\ \mu\text{m}$ ）。そのため、反射光学系では、試料と金などのリファレンスを、 $1\ \mu\text{m}$  程度の精度で同じ場所に設置しなければならないが、実際には困難である。実験で生じる、この試料とリファレンスの設置位置の数  $\mu\text{m}$  の違いのため、通常の反射型 THz-TDS では位相情報を利用できないのが現状である。この位相の問題を実験的手法で補正をすることが求められている。

さて、実験的に得た位相の情報は、「真値+誤差」となっているが、この時の「誤差」は、位置ずれの大きさと波長の関係を考慮すると、周波数に比例することになる。それは、とある周波数において「真値」または「誤差」を見出せば、全周波数の誤差を補正できることを意味する。

一方、THz-TDS は、厚みが正確に測られている結晶の場合には、透過測定で得る複素屈折率の精度が非常に高い。さらに、その複素屈折率を用いて、その物質の複素反射率を計算することができるのだが、これは即ち、位相の情報のほぼ「真値」を得ることに相当する。つまり、反射測定の「実験値」と、透過測定から得られるほぼ「真値」によって、その差で「誤差」を決めることができるのである。

そこで本研究では、通常の透過光学系と反射光学系を組み合わせることによって、反射測定を行った際に生じる一部の透過したデータから得られる位相のほぼ「真値」を用いて、試料とリファレンスの位置のずれの情報を補完すること試みる。

③学術的な独自性と意義：本研究で開発する透過・反射同時測定 THz-TDS では、②で述べたような、反射実験で生じる位相誤差を、実験的に補正できることが特徴である。

また、本研究で行う、透過データを用いることによる位相情報の補正は、温度依存性を調べる時に大きな優位性を発揮する。なぜなら、各温度でサンプルステージの熱膨張や実験環境の変化によって試料とリファレンスの位置ずれは常に起こるのだが、その補正データが透過測定によって同時に得られるからである。

テラヘルツ帯ソフトフォノンとは、透過率が非常に低く、そのフォノン構造を透過測定のみで検出することはほぼ不可能である。また、従来のソフトフォノン研究では、電場や応力場により結晶格子を歪ませて中心対称性をなくし、測定しやすいラマン分光法を用いることが多く行われてきた。しかし、臨界温度近傍の物理的性質は、外場に極めて敏感であり、このような手法では定量的に精度の高い議論はできないため、信頼性の高い反射型 THz-TDS による成果が望まれてきた。本手法を常誘電相ソフトフォノン分光に適用し、その有効性を示したい。

④期待される成果と発展性：見込まれる成果としては、常誘電相の赤外活性かつラマン不活性なソフトモードの高精度スペクトル取得などが挙げられる。また、本光学系は、高強度テラヘルツパルスを用いた非線形テラヘルツ分光系への発展や、ラマン散乱（テラヘルツ帯）・ブリルアン散乱（ギガヘルツ帯）装置と組み合わせた複数同時測定光学系への発展に繋げる予定である。

## 量子サイズ効果を利用して有機デバイスの電荷注入準位をチューニングする新手法の確立

千葉大学大学院融合科学研究科 助教 中山 泰 生

### ① 背景（内外における当該分野の動向）

$\pi$ 共役有機分子材料を「半導体」として用いる有機エレクトロニクスは、資源・エネルギー問題に対する有力な切り札の一つとして、近年盛んに研究・開発が進められている。シリコンなど従来の半導体物質と比べ、有機半導体材料の際立った特徴の一つとして、一般にエネルギーギャップが数倍広く熱励起キャリア密度が極めて小さいという点が挙げられる。このため、有機デバイスの駆動には電極からの注入キャリアの存在が不可欠であり、有機分子と金属との接合部を最適化することはデバイス開発における最重要課題の一つである。

ここで、「接合部の最適化」の具体的内容を図1に示す。今から20年ほど前から有機-金属界面の電子構造に関する実証的な研究が進み、電極のフェルミ準位と有機分子の電荷準位とのエネルギー準位をチューニングすることが可能になったことが、有機ELなど実用デバイス開発の科学・技術的基盤を担った。一方、近年の計測技術の進展により、界面に局在する相互作用準位（ギャップ内準位）が実測され、これらが電荷注入の足がかりとして、デバイス動作に大きな役割を果たしていることが指摘されている。デバイス開発の次の段階として、こうしたギャップ内準位をも自在に操ることを可能にする科学・技術の確立が待望されている。

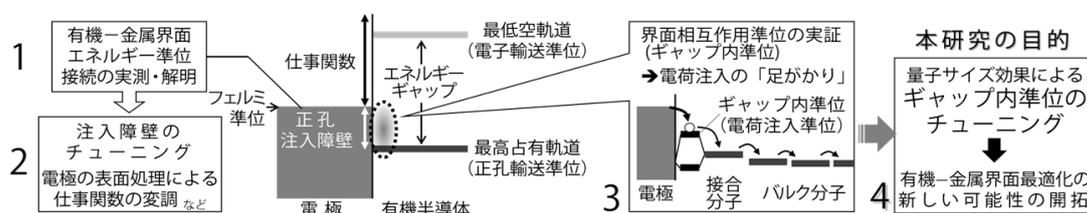


図1: 有機デバイス開発における有機-金属界面研究の進展(1~4)と、本研究の目的の模式図

### ② 目的（課題設定とねらい）

我々は、厚さ数原子層の金属超薄膜「量子井戸」と有機半導体分子との接触によって生じる界面相互作用準位が、金属の膜厚を変化させるとエネルギーシフトする現象を見出した[Lin, Nakayama, et al., Nature Commun. 4 (2013) 2925]。このことは、有機分子への電荷注入準位として機能するギャップ内準位を、量子サイズ効果を通してチューニングできる可能性を示している。本研究は、この界面ギャップ内準位を意図したエネルギー位置に調整するための条件探索と、量子効果が現実の電荷注入特性に及ぼす効果の実証を行い、電荷輸送準位のエネルギー接続のみを考慮した従来の界面設計を超えて、電荷注入準位も自在に最適化できる高次元でのデバイス開発へ向けた学術基盤を確立することを目的とする。

### ③ 学術的な独創性と意義

電子の運動を1方向に閉じ込める量子井戸としては、半導体超格子が一般にはよく知られているが、十数年前に半導体単結晶上へ原子層レベルの金属超薄膜を作製する手法が確立し、通常の金属とは異なる量子化電子構造や、表面の反応性、超伝導転移温度の金属膜厚依存性など、物理現象として興味深い低次元材料特有の物性が注目を集めている。一方で、このような低次元金属表面が有機分子のような全く別種の材料とどのように相互作用するかについては殆ど調べられていなかった。我々は、量子井戸と有機半導体分子との相互作用研究を着想し、上述のように、金属の電子状態が量子化されることによって発現する特異な界面現象を発見した。本研究は、こうした我々独自の研究成果を基盤として、将来のエレクトロニクスへの出口戦略を模索する独創研究であり、基礎・応用両面にわたる学術的意義を有する。

### ④ 期待される成果と発展性

有機-金属界面における「接触抵抗」の低減は有機デバイス開発に共通した課題であり、界面ギャップ内準位の最適化により電荷注入特性を制御する新技术を確立できれば、素子の動作効率を飛躍的に向上できることが期待される。また、半導体デバイスの微細・集積化は高機能化へ向けた普遍的な要請といえ、有機エレクトロニクスも次のステップではこうした潮流と無縁ではなくなることを予想されることを考慮すると、金属ナノ材料の量子化電子状態と有機分子軌道とが接合する界面での電子プロセスを解明する本研究は、将来の超微細有機ナノデバイスへの発展をうむ学術的な土台となる可能性を秘めている。

## ①背景（内外における当該分野の動向）

次世代の省エネルギーデバイスの開発には、エネルギーロスのない非散逸性電流の利用が欠かせない。固体材料内の主な非散逸性電流には、超伝導電流、量子ホール状態の端電流、トポロジカル量子相の表面電流の3種類があるが、その応用には動作温度・磁場の制約がつかまとう(図1参照)。近年、ワイル半金属と呼ばれる新しいトポロジカル量子相において、室温無磁場での非散逸性電流を伴う表面状態が予測され、世界的な注目を集めている。その候補材料としては、強いスピン軌道相互作用と電子相関を併せ持つパイロクロア型イリジウム酸化物が挙げられ、数多くの理論的研究が行われている。そのトポロジカルな表面伝導状態は磁気秩序構造の界面等の条件が必要であることが明らかになってきており、実際にパイロクロア型イリジウム酸化物の結晶粒界においてトポロジカル伝導を示唆する輸送特性が報告され始めている。この種類の伝導状態は磁気転移とともに現れるため、室温以上での高温動作が十分に実現可能と考えられている。

申請者らは、パイロクロア型イリジウム酸化物薄膜の作製と磁気秩序構造の制御に世界で初めて成功した(submitted to Science (2013))。この成功により、そのスピン秩序構造界面(単一磁気ドメイン壁)を利用した、トポロジカルな表面伝導特性の解明とデバイス応用が可能となった。本研究の進展により、室温無磁場で現れる新しい非散逸伝導状態を利用した省エネルギー技術の端緒が開かれると期待される。

	超伝導電流	量子ホール端電流	ワイル半金属表面電流
代表的材料	銅酸化物超伝導体	グラフェン	??
動作温度	低温 ( $T_c < 150\text{K}$ )	室温	室温
動作磁場	無磁場	高磁場 ( $H_c > 30\text{T}$ )	無磁場

図1 非散逸性電流の種類と動作温度・磁場。

## ②目的（課題設定とねらい）

申請者の研究室が発見したパイロクロア型イリジウム酸化物薄膜におけるスピン秩序構造の制御手法をもとに、そのスピン秩序構造界面(単一磁気ドメイン壁)におけるワイル半金属のトポロジカルな伝導特性を体系的に調べ上げ、この新しい非散逸伝導状態に関する基礎学理の構築と室温以上での高温動作達成を目指す。詳細な研究要素は以下の2点から成る。

- (1) スピン秩序構造界面におけるトポロジカルな伝導状態の解明
- (2) 高温動作に向けたスピン秩序界面構造の最適化

## ③学術的な独自性と意義

本研究では、ワイル半金属の物質開拓と表面伝導特性解明の舞台として、よく制御された磁気秩序構造界面を利用する。このようなコンセプトは、トポロジカル量子現象の研究分野においてこれまでほとんど適用されてこなかった。一方、電荷・スピン・軌道等の多自由度を本質的に有する強相関酸化物においては、その秩序制御を利用したトポロジカル相の研究は自然な着想であり、今後主流の手法になると考えられる。

## ④期待される成果と発展性

本研究の成功により、パイロクロア型イリジウム酸化物薄膜のトポロジカル相と表面輸送現象が体系的に基礎付けられ、ワイル半金属の物質設計指針が確立される。この新しい原理に基づいた非散逸性電流の利用研究は、今後重要な工学分野の形成へとつながる公算が非常に大きい。室温無磁場での動作を実現することで、次世代の省エネルギー技術に資する酸化物界面デバイスを世界に先駆けて応用開発することが可能になる。

## ① 背景

生体外にて構築された3次元骨格筋組織は、移植医療や創薬分野での応用が期待されているだけでなく、高い質量当たりの出力とエネルギー効率から生体模倣ロボットの駆動素子として工学分野への応用が期待されている。従来方法で作製された骨格筋は液中でのみ収縮運動が可能であり、生体同様に空気中で駆動することはできなかった。そこで申請者はコラーゲン層で単一の骨格筋を覆うことで、空気中においても骨格筋を湿潤環境に配置することに成功し、空気中での骨格筋の収縮運動を実現した。しかし、単一の骨格筋のみでは自身の張力によって骨格筋の短縮が発生し、経時的に収縮性を維持するのが困難であった(図1)。

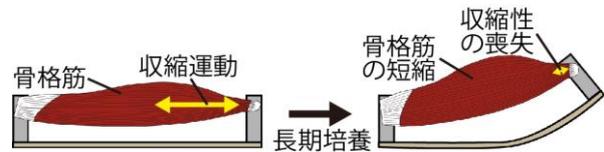


図1. 単一骨格筋の長期培養による短縮の発生

## ② 目的

本研究では、コラーゲン層で覆われた拮抗筋付き骨格筋アクチュエータを用いることで、空気中での長期的な収縮運動の実現を目指す(図2)。拮抗筋が配置して両筋肉の間で張力の釣り合いを取ることで、骨格筋の短縮が防止され、長期的に骨格筋の収縮運動が実現できる。また、拮抗筋との間における収縮力の差によって、アクチュエータの駆動が制御できると考えられる。上記の拮抗筋アクチュエータの利点を生かした状態でコラーゲン層に覆うことで、空気中においても培養液中と同様の駆動特性が得られることを示す。さらに、本拮抗筋アクチュエータの工学分野への応用可能性を実証するため、空気中での物体操作の実現を目指す。

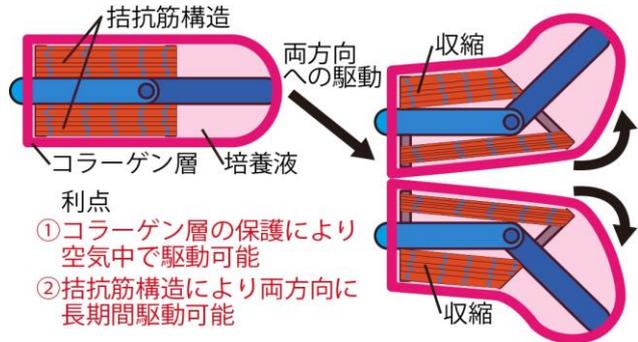


図2. 空気中で駆動可能な拮抗筋アクチュエータ

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究は、初めて空気中での骨格筋の収縮運動を実現した申請者の方法を発展させ、空気中での長期的な収縮運動の実現を目指す研究であり、その独自性は高いと考える。本研究により骨格筋アクチュエータの空気中での長期駆動が達成されることで、生体外で構築された骨格筋の工学分野への応用可能性を広げることができる。加えて、拮抗筋構造ならびにコラーゲンに覆われている構造は生体の模倣になっており、生体外における筋駆動モデルとして生体の運動解析に用いることができると期待できる。以上のように、幅広い分野に影響を与える研究成果をもたらすため、本研究の意義は高いと考えている。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究により、骨格筋アクチュエータの空気中での長期的な収縮運動と物体操作の実現が期待される。また、本アクチュエータの駆動解析から、骨格筋の収縮力・粘弾性と拮抗筋の存在下における収縮運動特性が明らかになると期待される。本研究は生体模倣ロボットの駆動部として工学分野への応用が期待される。さらに、将来的には移植医療への発展性も有している。申請者が提案した運動神経を骨格筋に接続させる方法(Biomaterials, 2013)を応用して、生体の神経と本アクチュエータの骨格筋の接続が可能となり、生体の神経刺激で駆動する義手や義足の構築が期待できる。

## ①背景

1次元構造を有するナノ材料は、分子エレクトロニクス実現のための基本的なパーツとしてその開発に大きな関心が寄せられ、デバイス応用に向けての研究が国内外で活発に行われている。その代表例として、カーボンナノチューブからなるコンピューター(Nature, 2013, 501, 495)や半導体ナノワイヤ電気回路(Nat. Mater., 2012, 11, 986)が挙げられ、現在様々なナノデバイスのプロトタイプが試作されるに至っている。

一方、伝導性の観点から、分子性導体は半導体から金属、超伝導に至る多彩な伝導物性を示すことが知られており、このような特異な物性を生かしつつ、エレクトロニクス等への応用を可能にするために、分子性導体の1次元組織体への材料化、更にはデバイス化が強く望まれている。

また、構造有機の分野において、光学活性部位を導入することで分子間相互作用内にねじれが生じ、螺旋状組織体へと組織化することは既に知られている。「光と螺旋」と「分子認識と螺旋」の相関については多くの報告例があるが、「螺旋形態の制御による電子・磁気機能の制御」については研究例が少ない。これは、精密な自己組織化制御が可能な導電性材料の分子デザインが提案されていないためと考えられる。

## ②目的

近年、ナノテクノロジー・材料分野は、最重要な研究推進分野と位置づけられている。特異な機能を発現する原子・分子操作および構造の階層化は、ナノテクノロジーにおけるボトムアップアプローチとして有用であることから、分子エレクトロニクスデバイスの開発を可能にする。

本提案では、集合状態で導電性を有する有機導体を用いた分子性電磁ナノコイルの開発を目指す。申請者がこれまでの研究で得た「高導電性分子の設計・合成法」、「1次元ナノ組織体作製法」及び「ナノ物性評価法」を進展させることで(Chem. Asian. J., 2009, 4, 1474)、動的自己活性化分子性電磁ナノコイルの創製に挑戦する。申請者の「分子設計・有機合成を基盤とした配向性を有する導電性ナノワイヤの研究」は一定の成果をあげており(J. Phys. Chem. C, 2007, 111, 18871)、電荷移動錯体からなる分子集合体を再現性良く作製することに成功している。

## ③学術的な独自性と意義

[1]これまでに報告されているナノワイヤ構造の物性は伝導特性が殆どであった。しかし、本研究ではナノワイヤとナノコイルを作製することで、電気のみならず磁気特性も有するナノ構造を作製・評価可能とする点が、意義のある研究であると言える。

[2]これまでの「1次元ナノ構造の電気物性」に関する研究の殆どはバルクで行なっており、導電性 AFM を用いてナノワイヤ・コイル1本の電気伝導度を評価している例は数少ない。また、Micro-SQUID を用いてナノコイルに発生する局所微小磁場の有無を確認している報告例も殆ど存在しないことから、本申請が達成された暁には国内外において分子エレクトロニクス分野をリードする代表的な研究と成り得ると予想する。

## ④期待される成果と発展性

申請者の有する分子設計・合成技術を用いることで、本研究で提案する直線や螺旋といった1次元分子集合体を多種作製・評価することが可能となる。そのため、「精密な分子設計と光・電場・磁場による機能の創出」や「多数の分子の協働機能によるシグナル応答の実現を目指す」という新規分子エレクトロニクス実現のための目標を達成できると考える。

**【①本研究の背景（内外における当該研究分野の動向）】**

近年、ICT技術の急激な進歩により、大容量通信が可能なモバイル機器の需要が飛躍的に高まっている。その背景に伴い、「広帯域の信号を高精度に変換出来、低消費電力で動作するA/D変換LSIの実現」が求められている。中でもデルタシグマ変調器を有したデルタシグマA/D変換LSIが、高い線形性・ダイナミックレンジを有する事から注目を集めている。そこで、高精度変換に適したデルタシグマA/D変換LSIの広帯域・低消費電力動作の両立をめざした研究が世界中で活発に進められている。申請者もデルタシグマ変調器の利点に着目し、デルタシグマA/D変換LSIの改良に関する研究を7年間実施し、数多くの研究業績を実現してきた(査読付き論文54本、受賞7件)。これらの研究の結果、今後直面する大きな課題が分かってきた。

大半のA/D変換LSIは、製造コスト等の観点から、主にCMOSプロセスを用いた実装が選択されている。今までは、「Mooreの法則と呼ばれるCMOS微細加工技術の進化（スケーリング則）」に従い、回路の特性が向上してきた。しかし、今後はCMOSに代表されるシリコンテクノロジーにおいて、微細化に限界が生じ、Mooreの法則が終焉すると予想されている。

**【②③目的および学術的な独自性と意義】**

本研究では申請者の提案する技術を基に、「CMOS微細加工技術の進化のみに頼らず、広帯域・高精度・低消費電力動作が実現出来るデルタシグマA/D変換LSIの設計技術」を解明する事を目的とする。

デルタシグマA/D変換器は、主に「オペアンプから成るループフィルタ」と「量子化器」から構成される。従来の研究対象は、「消費電力の大半を決定づけるループフィルタに関する改良」が主であった。しかし、変調器の広帯域化が求められるにつれ、ループフィルタ内に用いられるオペアンプの広帯域要求が過度に進んだ結果、変調器の帯域増加以上に消費電力が増大する問題点が浮上しており、従来の設計手法に代わる技術革新が必要になってきた。今まではCMOSプロセスの微細加工技術の進歩が、その問題の解決を下支えしてきたが、今後立ちふさがる微細化の限界により、新しい研究の方向性が必要になってきたと言える。

申請者はデルタシグマA/D変換LSIの設計において、「量子化器」に焦点を当てた特殊な設計方法を独自に提案している（電子情報通信学会 平成25年度学術奨励賞を受賞）。申請者の解析によると、その設計方法を用いた場合、従来の問題であったループフィルタの設計要求仕様を過度に上げる必要が無くなる事が理論上解明出来た。よって、本提案研究が成功した暁には、CMOS微細加工技術の限界に左右されず、更なるA/D変換LSIの広帯域・高精度変換・低消費電力動作を実現する大きな可能性を示す事が出来る。つまり本提案課題は、通信に関わる学术界や実産業界にとって大変意義があると言える。

**【④期待される成果と発展性】**

高度なICT技術に支えられた社会にとって、広帯域・高精度・低消費電力動作が期待出来るA/D変換LSIが実現出来るか否かは、今後の情報通信関連分野の成長を左右すると言っても過言では無い。つまり、本研究の成果は、A/D変換LSIの研究・開発を実施する学術・半導体産業界に新たな技術改革を起こす事はもちろん、そのLSIを利用する情報通信関連分野へも大きく貢献する事が出来る。Mooreの法則が破綻した場合に、その解決策の一例を提示し、他の回路にも応用出来るという点においても、本研究の成果はLSI設計分野に大きな発展性を示す事が出来る為、生産的でチャレンジングな研究課題である。

**背景 (内外における当該分野の動向)**

近年、ナノサイズの金属微粒子の光学応答が大きな注目を集めている。金属ナノ微粒子に光を照射すると、表面プラズモンと呼ばれる伝導電子の集団振動が励起され、微粒子表面には、ナノ空間に閉じ込められた高密度な光電場が発生する。従来の光工学では、どんなに優れた光学系を用いても、光の波長の半分程度までしか光子を凝縮できないが、表面プラズモン増強光電場を光源応用すると、この回折限界の問題を打ち破り、実効的にナノ空間において光操作することを可能にする。表面プラズモンの微小光源応用は、ナノ光工学と呼ばれ、光子の小型化、省エネルギー化を実現する次世代の光工学のための基盤技術として現在、大変に活発に研究されている。これまでにこの技術を活用した様々な新規ナノ光工学技術の提案が見られるが、非線形光学への展開は最も重要な展開の方向の一つである。非線形光学効果とは、複数の光波が物質中で同時に相互作用し、相互作用に関与した光波の和周波、差周波光を発生する現象である。非線形光学は、現代の光工学を支える基盤技術の一つであることから分かるように、ナノ光工学のための非線形光学素子の整備は急務の課題である。

**目的 (課題設定と狙い)**

申請者は、この課題の解決のために図1に示す非線形光学ナノ光素子の開発を進めている。このナノ光素子は、表面プラズモン励起のための金属ナノ微粒子と非線形光学相互作用のためのポリマー材料(以下、NLOポリマーと呼ぶ)より構成される。フェムト秒光パルスで金属ナノ微粒子に照射すると、表面プラズモンが励起される。続いて、表面プラズモン増強光電場は、NLOポリマー中で

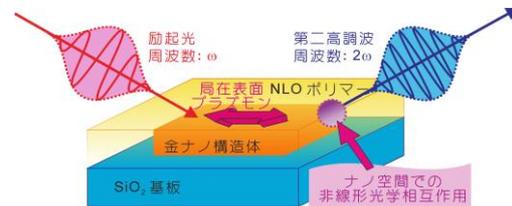


図1:本研究で高性能化を目指す非線形光学ナノ光素子の概念図とその基本動作原理。

非線形光学相互作用を誘起し、その結果、二倍の周波数に変換された光波を発生する。このシステムで周波数変換された微小光の空間広がりもまた、回折限界以下であることから、表面プラズモンのための周波数変換素子としての応用が期待される。これまでの申請者の研究では、実際に表面プラズモン増強光電場の周波数変換動作を確認したが、変換効率は必ずしも高くなかった。本研究ではNLOポリマーの分子配向性を制御し、金属ナノ微粒子表面の非線形光学感受率を増強することにより、周波数変換動作の高効率化を実現する。

**学術的な独自性と意義**

本提案の目標は、金属ナノ微粒子を製作するためのナノ加工技術、表面プラズモン励起のためのフェムト秒レーザー技術、分子配向性制御に関する分子工学という三つの融合のもとに革新的なナノ光素子の実現を目標とする。研究計画では、主として分子工学的視点を中心として研究を推進するが、これら三要素を同時に取り入れたナノ光工学技術の開発の例はこれまでになく、本提案技術の独創的視点である。

**期待される成果と発展性**

本研究では、最も基本的な非線形光学効果である第二高調波発生現象に着目してナノ光素子の高性能化を進める。非線形光学効果は、相互作用に関与する光波の波長や偏光等の組み合わせで多彩な効果を実現される。提案するナノ光素子が、本研究で着目する二次非線形光学に許容であれば、他の次数の非線形光学も許容となる。これにより、他の各種ナノ光素子への展開にも道が拓かれ、三次の非線形光学効果を利用したナノ光スイッチ、ナノ光変調素子は、その最も重要な展開である。これらの部材技術は、ナノサイズでGHzオーダーの処理速度を持つ次世代の超高速高密度光情報処理システムの構築に欠かせないものである。

## ①背景

炭化珪素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)は大きなバンドギャップ(3.3-3.4 eV)をもち、ワイドバンドギャップ半導体を用いた次世代の省電力パワーデバイス材料として注目を浴びている。しかしながら一方で、それらよりも更に大きなバンドギャップをもつ酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )がGaNやSiCを超える材料として脚光を浴びている。 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ には5つの結晶型が存在するが、その中でも申請者はコランダム構造をもつ $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ に着目している。

コランダム構造酸化物は8種類存在するが、その中でも $\alpha\text{-(Al,Ga,In)}_2\text{O}_3$ 混晶はバンドギャップ値を3.7-9.0 eVまで変調させる事が出来、これほど大きなバンドギャップ値変調が可能な半導体の混晶系は他には存在しない。この大きなバンドギャップ値は電力変換に用いられるパワーデバイス等の高耐圧素子へ応用した際に高い耐圧を示す事が期待され、電力変換効率の向上や素子の少スペース化が可能となる。現在のところ、携帯電話の基地局等にGaN混晶を用いた高移動度トランジスタ(HEMT)が用いられているが、これをよりバンドギャップ値の大きな $\alpha\text{-(Al,Ga,In)}_2\text{O}_3$ 混晶を用いることで、より高耐圧動作が可能となる素子の実現が期待される。

## ②目的

超高耐圧素子実現による大きな省電力化が期待される。さらに、耐圧の向上により基地局のみならず、より大電流かつ高速動作を必要とする数世代先の大容量通信を実現させる際のキーデバイスとなり、その実現を可能にする唯一の素子材料である。

## ③学術的な独自性と意義

申請者が示したコランダム型構造酸化物の新しい混晶系を図1に示す。典型金属酸化物で構成される三角形で覆われた系は、バンドギャップエンジニアリングを目的とした $(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)\text{-}(\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3)\text{-}(\alpha\text{-In}_2\text{O}_3)$ の混晶系であり、ここに $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-V}_2\text{O}_3$ 、 $\alpha\text{-Ti}_2\text{O}_3$ などの機能性遷移金属酸化物を混晶化させる事で「ファンクションエンジニアリング」が可能となり、新しい物理物性をもたせる事が出来る。つまり、バンドギャップ制御のみならず、強磁性等の機能を付加させる事が可能となる。この混晶系を作製する事で、高耐圧HEMTのみならず、磁性半導体を用いたスピントランジスタ等の次世代の新しいデバイスの作製が可能となる。

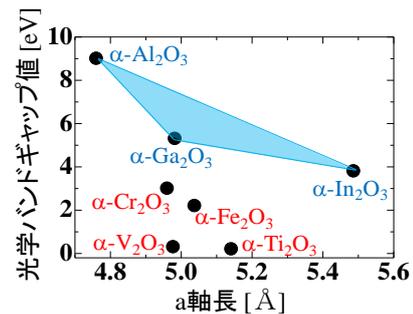


図1 コランダム型構造酸化物による新しい混晶系

## ④期待される成果と発展性

現在研究されているGaNやSiC等よりもはるかに大きな高耐圧動作が可能となる素子の実現により、機器の低消費電力化が期待される。身近な例としてエアコンのパワーコンディショナーや、電柱や発電所に設置されている変圧器の小型化、高効率化が挙げられる。さらに、高温での動作が必要とされる地底探索用のカメラ及びその周辺デバイス、強い放射線下での作業を強いられる原発内のカメラや作業用ロボットの回路、宇宙空間で用いるデバイス等への応用が期待され、これまで実現しなかった機器の実現が可能となる。

太陽電池や発光ダイオード、ディスプレイには高い光透過性と電気伝導性を兼ね合わせた透明電極が用いられている。ITO (Indium tin oxide) は最もよく知られた透明電極であり、優れた特性を有することから、多くのデバイスに用いられている。しかし、ITO の成膜には、スパッタリングや蒸着などの真空プロセスが必要であり、レアメタルの中でも極めて地殻存在量の少ないインジウムが材料に用いられている。その上、電極のパターンニングには、リソグラフィ法を利用することから、エッチングなどの工程で大部分の貴重な素材が無駄に破棄されており、資源効率や加工性に問題がある。

これまでに申請者らは、ポリマー混合溶液に光を照射し、重合・架橋反応を促進させて、フィルムの内部に規則的な二相(相分離)構造を形成させる手法について研究を行ってきた。本研究では、屈折率の近いポリマーから成る規則構造を鋳型に用い、微量の銀ナノワイヤーを相分離してできた片方の相に濃縮させることによって、透明で電気伝導性を有するポリマーフィルムの開発を行う。その上、液晶プロジェクターやレーザーを光源に用いて、任意の光強度パターン ( $I_L(x,y)$ ) を試料に照射し、ポリマーフィルムに一度で任意の回路パターンを転写することのできる手法の確立を目指す。

ポリマーフィルム内に金属ナノ材料を配列させる研究に関しては、近年、ブロックコポリマーのマイクロ相分離によって発現する規則構造(ラメラ構造など)を利用する例がある。これらの研究では、貴金属ナノ粒子の表面を多成分の有機分子で保護し、それらの被覆比率を変化させると、任意の相にナノ粒子を選択的に分散できることが報告されている。しかし、一般的にマイクロ相分離構造はブロックコポリマーの一次構造で決定されるので、構造の周期や形状を変化させるためにはその度、コポリマーを有機合成することが必要となる。また、ナノ粒子の表面を覆う有機分子は絶縁体であり、金属コア間の電子伝導を阻害するので、ほとんど電流は流れない ( $< 10^{-2}$  S/cm)。これらのことから、ナノ粒子を分散させたブロックコポリマーフィルムを電気伝導性の材料として検討した例はほとんど報告されていない。一方で、配列化には無機ナノ材料の構造設計が重要であるが、無機ナノ材料の合成研究の分野では、主に無機化学や表面化学が中心であり、高分子の研究分野とは隔たりのある。特に、本研究で用いる金属ナノワイヤーの合成に関する研究は主に 2000 年代から始まっており、歴史的にも比較的新しい。そのため、ポリマーブレンドにおける金属ナノワイヤーの配列化の方法についてはほとんど検討されておらず、本研究で提案している内容は、無機ナノ材料と高分子材料という二つの異なる材料と学術分野を横断した新しい研究として発展が期待できる。

また、ITO の代替材料の開発の一方で、半導体素子の配線材料(塗布型の電気伝導性インク)の開発が行われているが、それには  $10^4$  S/cm 程度の電気伝導率が求められている。導電性高分子の電気伝導率はおよそ  $10^2$  S/cm 程度であり、安定性や成膜性からも配線材料に利用することは容易ではない。一方、グラファイトなどを含有した導体ペイントは溶媒に再分散することから、溶媒を介して素子を集積・配線するには不向きである。また、近年では、金などのナノ粒子を導電性のインクとして用いる研究が盛んに行われているが、焼結の際の体積変化によって生じるクラックや、基板やフィルムとの非接着性が問題になっている。本研究で提案している手法を確立することができれば、透明電極フィルムの開発だけではなく、塗布型の導体インクへ応用することもできる。利点として、無機材料や低分子材料をベースにしたインクと比較して、高分子鎖を化学的に架橋することなどによって、より優れた化学的安定性、柔軟性や接着性が期待できる。また、原料が安価であり、液晶プロジェクターなどの身近な光源を使用して、任意の回路パターンを一度でフィルムに転写する試みは、本研究の最大の特徴である。これによって、フォトマスクやシャドウマスクを使用する(パターンによって毎回交換する)必要はなくなり、資源の節約、低コスト化(省エネルギー化)、環境負荷の低減が期待できる。

## 【①背景（内外における当該分野の動向）】

音声対話システムとは、音声認識技術を用いて、ユーザの発話に対して応答するシステムである。このようなシステムでは、応答内容が正しいこととともに、応答のタイミングが重要である。例えば、ユーザが話し終えた後にシステムが応答しない場合（図1上半分）、ユーザは無視されたと感じたり、再度発話してしまう。一方で、システムに素早く応答させる場合、図1の下半分のように、ユーザが話しているその最中に、システムが話し始めてしまうという現象が起こる。このような発話のタイミング制御はターンテイキング（turn taking）における課題であり、システムのユーザビリティを考えるうえで重要な要素である。

近年、スマートフォン上での「しゃべってコンシェル」や「Siri」などのアプリが、一般ユーザに利用され始めている。これらのシステムでは、応答内容の正しさに焦点を置いて開発が進められているため、いわばトランシーバーのように、質問と応答が完全に区切られた対話が行われる。これに対して、ロボットとの対話など実環境における対話システムでは、ターンテイキングを扱う技術の開発が必須である。

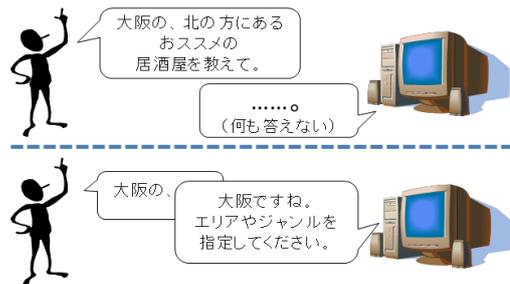


図 1 不適切なターンテイキングの例

## 【②目的（課題設定とねらい）】

本研究では、円滑なターンテイキングを行う音声対話システムの実現を目指す。具体的には、素早く応答するシステムをベースとしたうえで、図1の下半分のように、ユーザの発話中にシステムが誤って話し始めた状況を検出し、それを修復する手法を開発する。より具体的には、システムが誤って話し始めた場合、システムの内部では、ユーザの発話区間が誤って検出されている。この結果生じる以下の2つの問題を修復する。

1. 音声認識誤りに基づく誤った応答
2. 不適切な応答タイミング

## 【③学術的な独自性と意義】

発話タイミングがユーザの印象に与える影響は大きく、重要である。スマートフォン上の対話では発話の終了をボタンで明示できるのに対し、今後発展が見込まれるロボットとの対話ではそのようなボタンは使えないため、発話タイミングの制御が重要となる。これにも関わらず、対象が書き言葉ではなく音声信号であることや、実際に動作するシステムが必要であることなどから、研究例は多くない。

また本研究での問題設定では、対話レイヤでの誤りの原因を、信号レイヤの処理の誤りから考えることで修復を試みる。従来、このような誤りの分析や修復は、レイヤごとに別々に考えられることが多い。信号レベルと対話レベルという、離れたレイヤにまたがる誤り修復の取り組みは、学術的な独自性が高い。

## 【④期待される成果と発展性】

本研究により、（息継ぎなどを含めて）ユーザが自由に発話できるシステムを実現できる。現在の音声入力システムでは、ユーザが一発話を必ず一息で話すことが前提とされており、ユーザが考えながら話すことや、発話の途中で息継ぎを許容していない。今後、ロボット対話への展開を考えると、このようなユーザビリティの向上は、音声対話インタフェースの普及への重要な布石となり得る。

**[①背景]** 単一電子の静電反発に起因するクーロンブロック効果を用いて動作する単電子素子は、素子の消費電力の低減や、電流標準器の実現という点で期待されている。応募者はこれまでに、ボトムアップ手法とトップダウン手法を組み合わせた単電子素子の作製に取り組んできた。ボトムアップ手法を用いて作製した単電子トランジスタにおいて、金ナノ粒子の0次元の量子化準位に起因する共鳴トンネル効果が300 mK下で見られることを報告してきた(S. Kano *et al.*, ACS Nano 6, 9972-9977 (2012).)。しかし、**量子化準位の間隔と熱エネルギーの大きさの関係から、コア粒径6.2 nm金ナノ粒子の量子化準位は9 Kで既に観察が難しい状況であった。**一方、有機分子保護金ナノ粒子を用いているため、単電子トランジスタを構成するトンネル抵抗値が数M $\Omega$ ~G $\Omega$ のオーダーとなっていた。**単電子トランジスタの電流のオンオフ比を向上させるために、トンネル抵抗値を量子化抵抗程度の大きさまで抑えつつ、再現性良く制御することが求められる。**

ここで、半導体ナノ結晶に着目すると、軽い有効質量のため、量子化準位の間隔が金属ナノ粒子と比較して大きくなる傾向にある。すなわち同じ粒径でも、量子化準位が高温で観察できる。量子化準位を利用すると、量子ドット上の単一電子スピンの向きを読み出すといった単電子操作が可能となる。(J.M. Elzerman *et al.*, Nature, 430 431 (2004).)量子化準位のエネルギー間隔が測定環境の熱エネルギーより十分大きいという条件が必要であるため、現状では極低温下で単電子操作は行われている。そのため、**半導体ナノ結晶を用いて単電子素子を作製することにより、単電子操作を行える温度領域が広がることが期待できる。**

現在所属している研究グループでは、ホウ素とリンを同時にドーピングした、サイズ制御された共ドーピングシリコンナノ結晶を作製している。(H. Sugimoto, *et al.*, J. Phys. Chem. C 117 11850 (2013).)また、共ドーピングシリコンナノ結晶は、有機分子保護なしで水や極性溶媒中に単分散するため、有機分子保護金ナノ粒子を用いた場合と比較して、**よりトンネル抵抗値が小さい単電子デバイスが作製できることが期待される。**

**[②目的]** 以上の点を鑑み、申請者は共ドーピングシリコンナノ結晶を単電子素子に組み込むことで、再現性のある単電子デバイスが作製できるという着想に至った。トップダウン手法とボトムアップ手法を組み合わせることで、**電気特性が制御された単電子デバイスを作製する。**シリコンナノ結晶の広い量子化準位間隔を利用することで、室温でエネルギー準位が量子化し、室温量子効果の確認が期待される。ナノ結晶表面を有機分子で修飾することにより、トンネル抵抗値も高精度に制御された単電子デバイス作製を目指す。

**[③学術的な独自性と意義]** 本研究の特色は、**保護基なしで単分散した共ドーピングシリコンナノ結晶を利用して単電子素子を作製する点である。**共ドーピングシリコンナノ結晶は、有機分子保護なしで水や極性溶媒中に単分散するため、有機分子保護金ナノ粒子を用いた場合と比較して、**よりトンネル抵抗値が小さい単電子デバイスの作製が行えることが期待される。**有機分子を用いたナノ結晶の表面修飾による、ナノ結晶の選択吸着やトンネル抵抗の制御も積極的に研究していく。

**[④期待される成果と発展性]** 半導体量子ドットでは、離散化した量子化準位の間隔が、金属と比較して大きくなることが知られている。そのため、室温付近で量子化準位が離散的に観察できる可能性がある。これにより、通常低温で行われる量子ドットの量子化準位を使った単電子操作が、室温で行えるという発展が考えられる。ナノ結晶とリード電極間のトンネル抵抗値を、絶縁膜として使用する有機分子の鎖長で制御できる。これは、単電子トランジスタだけでなく、単電子メモリや単電子ポンプのような単電子素子の実用化に資する。電子素子の微細加工技術の限界が近づいていることから、本研究のようなボトムアップ的に電子素子を組み上げる技術は今後のナノエレクトロニクスの発展に重要であると考えられる。

## ①背景（内外における当該分野の動向）※()内の番号は申請4の文献番号に対応。

近年、カラーユニバーサルデザインの取り組みとして、色覚特性者が弁別しやすいように配色や画像の色を変換する（図1）手法の構築が行われている（文献2-4）。これらは、色覚特性者にとって弁別しやすいように配色やカラー画像を補正するものであり、色情報の認知（特に、色の見分けやすさ）を高める効果を想定している。しかし、色情報の認知のみに着目する従来手法では、画像が本来持つイメージや与える印象を大きく変えてしまうだけでなく、一般色覚者にとっての見えが大きく損なわれてしまう（文献2,3）。このためには、色情報が人に与える印象やイメージを考慮して再配色を行う必要があるが、これまで色彩から受ける心理的効果やイメージの保持を画像補正に取り入れている研究例はないのが現状である。

## ②目的（課題設定とねらい）

本課題では、色覚特性者と一般色覚者双方にとって、より自然な補正手法の提案を目指して、色覚特性者が、色彩のどのような特徴を頼りに色彩からの感情やイメージを形成しているのかを明らかにすることをねらいとする。具体的には、色覚特性者が持つ色彩とイメージの関係を色彩印象評価実験によって明らかにし、色感性モデルと定義する。色感性モデルの構築は、申請者が先行研究において提案した手法（研究業績2,7）を用いて行う。構築した色覚特性者の色感性モデル及び一般色覚者の感性モデルを考慮した再配色法を実際の画像に適用し、主観評価を行ってもらうことで、色覚特性者及び一般色覚者双方に対して本来持つ画像のイメージを正しく伝達することが可能かどうかを検証し、その有効性を示す。

## ③学術的な独自性と意義

先行研究により、色覚特性者が弁別しやすい配色への変換や画像の再配色に関する手法の開発は比較的なされている。しかし、一般色覚者と色覚特性者双方の色彩感覚を考慮した印象保持に関する研究は少ないため、本課題の独自性といえる。先行研究が、色の認知のみに着目したものだとなれば、本課題は、色認知より高次的な処理である「色から受ける感覚」にも着目するものであり、色覚特性者の色感性モデルを画像の再配色システムに組み込むことで、より色覚特性者の立場に立った、高次的な視点からのカラーユニバーサルデザインの実現が可能となりうる。

## ④期待される成果と発展性

色覚特性者の色感性モデルを再配色手法に導入することで、色覚特性者の色によるコミュニケーション補助ツール等のアプリケーション開発に応用可能である。また、色彩を扱うデザイナーにとっても、色覚特性者の色彩感覚を理解することは非常に重要であると考える。以上から、色覚特性者の色彩感覚メカニズムの解明及び、色彩イメージの伝達を考慮したより自然な画像の再配色手法の開発について、その社会的意義は大きい。

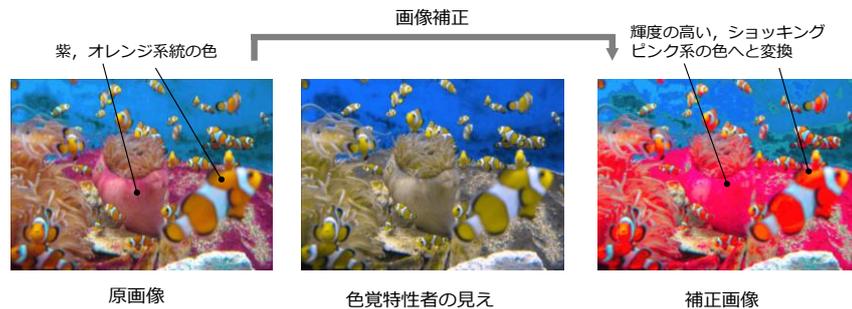


図1 画像に対する補正後の結果例（色弁別閾値を基準とした補正法）

## ①背景

太陽光発電の更なる低コスト化のためには、紫外から赤外にわたる太陽光スペクトルを効率よく電気エネルギーに変換できる超効率太陽電池の開発が必要である。バンドギャップの異なる複数の半導体 pn 接合を積層した多接合太陽電池は、広い波長範囲にわたって太陽光を無駄なく吸収できることから、既に III-V 族化合物を用いた 3 接合太陽電池において 40% を超える非常に高い変換効率が報告されている。また、Si や  $\text{CuInSe}_2$  系薄膜太陽電池と他の材料を組み合わせた多接合太陽電池も提案され、盛んに研究が行われている。

このようなフルスペクトル太陽電池の高効率化のためには、紫外から赤外までの広い波長範囲の光を透過できる透明導電膜が不可欠である。しかし、現在頻繁に使用されている  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (ITO)、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ga}$  (IGO)、 $\text{ZnO}:\text{Al}$  (AZO) は近紫外・可視領域においては高い透過率を有するが、赤外の領域では透過率が極端に低下するため、使用することができない。

このような状況の中、最近、CdO が優れた透明導電性を有することが報告された (K. M. Yu et. al. *J. Appl. Phys.* 111 (2012) 123505. 図 1 : 同論文から引用)。しかし、CdO の吸収端は約 2.7eV にあり、近紫外における透過性が悪く課題が残されている。

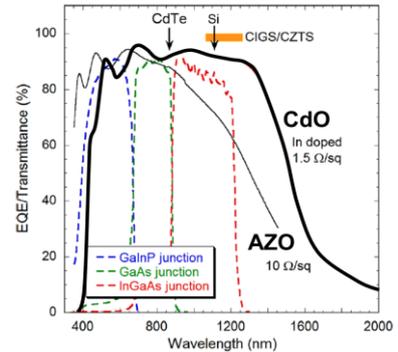


図 1 CdO の透過率

## ②目的

CdO をバンドギャップの大きい ZnO あるいは MgO と混晶化することができれば、近紫外域での透過率の向上が期待できる。本研究では、申請者の II-VI-O 半導体のラジカルソース分子線エピタキシー (MBE) の経験を生かして  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$ 、 $\text{Cd}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}$  混晶膜を成長することにより、バンドギャップの拡大と n 型ドーピングによる低抵抗化に取り組み、同混晶の電気的、光学的、結晶学的特性を明らかにすることで、フルスペクトル太陽電池に応用可能な革新的透明導電膜を開発し、超効率太陽電池実現に寄与することを目的とする。

## ③学術的な独自性と意義

CdO 系透明酸化物半導体は、ITO、IGO、AZO など他の透明導電体に比べて研究例が少なく、未開拓の領域であり、優れた特性を有する革新的な透明導電膜の開発が期待できる。なお、 $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$  は発光素子応用を目指した研究が活発になされているが、透明導電膜の観点からの研究は少なく、新たな応用例を提供できると考えられる。また、 $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{O}$  は構成する二元化合物の結晶構造が異なることから、混晶比によって大きく物性が変化する可能性があるが、非平衡状態での結晶成長が可能である MBE の活用により、CdO の結晶構造 (岩塩構造) を保持したまま、ZnO に近い組成の結晶を得ることができれば、新たな物性を見出さう可能性がある。

## ④期待される成果と発展性

新たな透明導電膜をフルスペクトル多接合型太陽電池に応用できれば、キャリア収集効率の増加や直列抵抗の低下、従来の金属グリッド電極による光損失をゼロにできることから短絡電流密度の増加が大いに期待でき、喫緊の課題である太陽電池の高効率化による発電コストの低下に貢献できると考えられる。

また、広帯域にわたって透過性が高く、高い導電性を有する透明導電膜の実現は、フルスペクトル太陽電池のみならず、CIS 太陽電池や CZTS 太陽電池にも応用可能であり、これらの太陽電池の高効率化にも寄与できる。

赤外域で高い透過性をもつことから、太陽電池のみならず、この領域で使用されるフォトダイオードなどの赤外線センサーや赤外線カメラといった分野にも応用がなされる可能性がある。

なお、本研究では、材料由来の基礎物性を正確に把握し、さらに、その物性制御の可能性を追求するため、MBE を成長方法として使用するが、適した条件を把握した後は、産業応用上有効な手法であるスパッタ法等に置き換えることが可能であると考えられる。

## ① 背景

銀河中心の超巨大ブラックホール (BH) の存在は、天文観測により多数報告されてきたが、事象の地平線スケールまで分解し直接撮像した、本当の意味での観測的実証はまだ果たされていない (計算機シミュレーションによるイメージを図 1 に示す)。BH の直接撮像には、人類が持つ全天文観測装置の中で最も高い分解能が得られる VLBI (超長基線電波干渉計) が最も有力である。しかし BH を分解できるには短波長観測が必要で、大気の揺らぎの問題で観測に適した場所は地上にはほとんど存在しない。そこで気球 (図 2) に電波望遠鏡を搭載し、世界で初めて直接撮像を行うことを目指す気球 VLBI ミッションを検討している。



図 1 :BH 周辺の理論計算イメージ (Fukue+)

## ② 目的

気球 VLBI ミッション実現のためにはいくつか技術課題があるが、そのうちの 하나가観測データのオンボードでの広帯域記録である。BH 天体は非常に微弱であるため 8Gbps の広帯域記録で感度をかせぐ必要がある。成層圏では気圧 3hPa, 気温 -50°C となり、データ記録 PC を気密容器内で運用するのがコスト最小の解である。この気密容器は搭載性からできるだけ小型であることが重要である。また電力はバッテリーや太陽電池で供給されるため消費電力に大きな制限がある。このように気球に搭載する PC には、1) 省電力性能、2) 省スペース性が求められる。本研究では、これらの性能を満たす気球搭載 PC アーキテクチャの設計を行い、実証することを目的とする。



図 2: 気球で打ち上げられる赤外線望遠鏡  
<http://blastexperiment.info/>

## ③ 学術的な独自性と意義

本研究による技術が実現する気球 VLBI 観測はこれまで世界で実現されたことはなく、成層圏の観測性能から圧倒的なサイエンスを生み出す学術的な意義がある。

また気球搭載という特殊な環境下で 8Gbps での高速データ記録できる PC アーキテクチャの研究はこれまでなく研究がなされたことがなく独自性がある。

## ④ 期待される成果と発展性

本研究により、気球でのこれまでにないビットレートでの広帯域記録を実現し、気球 VLBI という人類に新たな観測手法をもたらす。また今後実行される気球ミッションによる他の観測手法ではなしえない圧倒的な高分解能観測によるサイエンスの展開が期待できる。本研究はその重要な基盤技術となる。

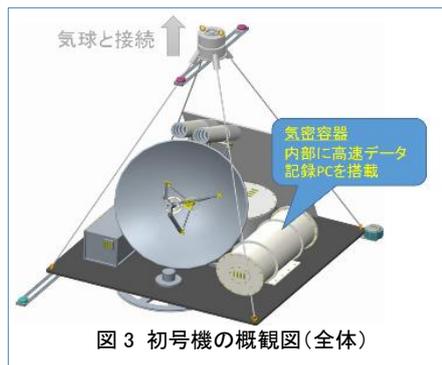


図 3 初号機の概観図(全体)

## ①背景

再生可能エネルギーを利用した発電は、環境問題対策やエネルギー自給率の向上、さらには関連産業の育成・雇用創出が期待されることとして注目を集めている。そのひとつに風力発電がある。風力発電は、発電コストが比較的安く、昼夜を問わず風が吹いていればいつでも発電可能という利点がある。近年では、陸上ではなく洋上で発電をする洋上風力発電に対する関心が高まっている。洋上では、陸上に比べ、発電に適した強く安定した風が吹く、より大型の風車を設置できる、人家がないため騒音問題が生じないなど様々な利点もっている。洋上風力発電の中でも、特に、海に浮体を浮かべ、その上に風車を設置する浮体式洋上風車（図1）は、水深が深い場所に風車を設置する際に有効な手法であり、現在、長崎県と福島県の沖合で実証事業がおこなわれている最中である。「浮体式」は、水深が浅い海域が少ない日本近海に適しており、今後の展開が特に期待されている。

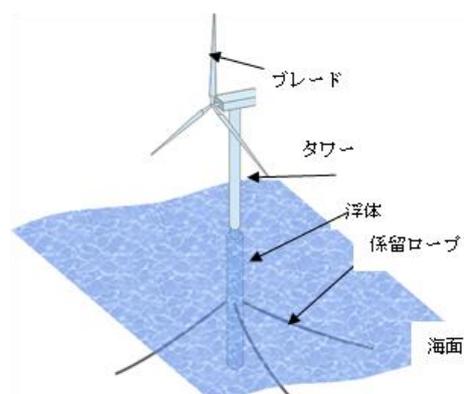


図1：浮体式洋上風車のモデル

## ②目的

本研究では、スパー型の浮体をもつ大型の洋上風車（図1）を制御対象とする。そして、風車ブレードのピッチ角制御をおこなうことにより、浮体の動揺および振動を抑制することを目的とする。このようなピッチ角制御系を、申請者が専門とするシステム制御工学分野の高度制御系設計法を利用して構成する。提案法の有用性は、空力・水力弾性を考慮可能な非線形シミュレーションツール“FAST”（米国 国立再生可能エネルギー研究所が開発）により評価する。

## ③学術的な独自性と意義

申請者は現在まで、浮体式洋上風車に対して、システム制御工学分野の制御法の一つである  $H_\infty$  制御を利用し浮体の振動抑制に関する基礎検討を報告してきた。従来、浮体式風車のブレードピッチ角制御では、設計が簡便な PI 制御が用いられることが多かった。しかしながら、単純な PI 制御では、浮体の動揺抑制かつ高い発電効率を両立するなど高度な制御が実現できない。このような目的の両立を図るためには、システム制御工学分野で開発が行われている高度制御系設計法を導入する必要がある。申請者は、システム制御工学分野で、モデル予測制御などの高度制御系設計法の研究に従事し、成果を上げてきた。申請者の得意とするシステム制御工学分野の知見を、浮体式洋上風力発電システムの制御に活用すれば、従来の PI 制御では実現できなかった高い制御性能を得ることができると期待される。

## ④期待される成果と発展性

期待される成果としては、従来より用いられてきた標準的な PI 制御器では実現できなかった高い動揺抑制性能が得られる点が挙げられる。また、本研究はスパー型の洋上風車を対象とするが、他のタイプの浮体式風車に対しても同様のアプローチで研究を展開してゆくことが可能であると考えられる。

## 研究背景

強誘電体におけるドメインとは自発分極ベクトル ( $P_s$ ) が同一方向に揃った領域のことで、ドメインとドメインの境界はドメイン壁 (Domain wall:以下 DW) と呼ばれる。また DW はいわば欠陥や転移が存在しない双晶境界であり、一般に DW を境に自発分極ベクトル ( $P_s$ ) が  $\alpha^\circ$  回転することから、このような DW は  $\alpha^\circ$  DW と呼ばれる。近年、この強誘電性 DW が光起電力効果や電気伝導性といった特異な物性を示すことが (BiFeO<sub>3</sub>:BFO) 薄膜で見出され、これらを用いたデバイス創成が注目を集めている<sup>1), 2)</sup>。BFO は室温で  $100 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  を超える大きな残留分極値が報告されており鉛を含まないことから、Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> を凌ぐ低環境負荷の強誘電体材料として極めて盛んに研究されてきた<sup>3)</sup>。申請者はこれまで高品質 BFO 薄膜形成とその物性解明に取り組んでおり、量産性に優れた RF プレーナマグネトロンスパッタを用いた BFO 薄膜形成において、ドメイン構造の制御と単結晶薄膜形成に成功しているのは申請者らのみである<sup>研究業績 1)</sup>。菱面体晶系 BFO 薄膜では  $180^\circ$ 、 $71^\circ$ 、 $109^\circ$  DW の 3 種類が存在するが、このうち図1に示すように  $180^\circ$  および  $109^\circ$  DW のみが導電性を示すことが 2009 年に Nature Materials 誌にて報告されている。<sup>1)</sup>しかし、その発現メカニズムは不明な点が多い。DW では  $P_s$  ベクトルの向きが変化することから局所電場が変化し、バンド構造が変調されるのが導電性発現の機構である可能性が第一原理計算により示唆されている。<sup>4)</sup>申請者らは、図 2 は帯電  $71^\circ$  DW の例を示しており、帯電 DW では  $P_s$  ベクトルが head-to-head もしくは tail-to-tail の配置となることから正もしくは負に帯電し固定電荷として振舞う。また、これらは電場印加に伴う分極反転によりスイッチングすることから、ナノサイズのスイッチングデバイスの創出が期待できる。また、このような DW を用いたすべてのデバイス実用化の際に問題となるのが、任意の位置に DW を形成する選択成長技術の確立であるが、実現されていない。

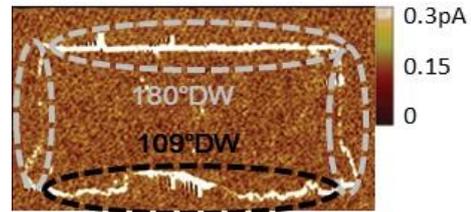


図 1 BFO 薄膜の電流マッピング。  
<sup>1)</sup> $180^\circ$  DW および  $109^\circ$  DW で電気伝導性が高いことを示している。

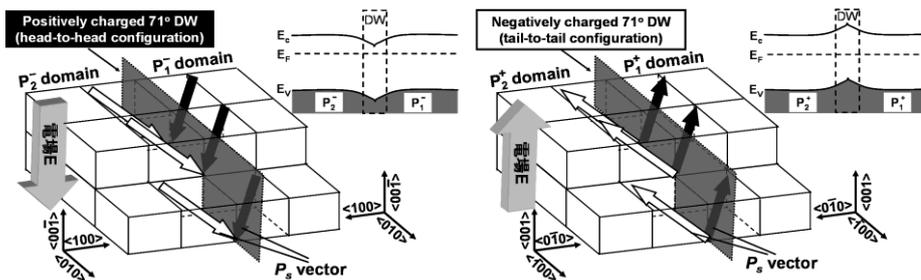


図 2 分極反転に伴う帯電  $71^\circ$  DW 近傍におけるバンド変調

## 目的

本申請研究では、これまでに申請者が既に有している BFO 薄膜のドメイン構造制御技術を発展させこれまで、誰も実現していない任意の DW を任意の位置に選択的に形成する技術を確立する。また、その電子物性を詳細に調べ、DW の電気伝導性制御を目指す。これらの取り組みによりナノサイズのスイッチングデバイス動作を実現するものである。

## 学術的な独自性と意義

また本申請研究では DW の選択形成に取り組み、選択形成された DW の電子物性の制御を試みるものである。BFO 薄膜における DW の電気伝導性は 2009 年に Nature Materials 誌で報告されて以来大変注目されており<sup>1)</sup>、本申請研究は学術的にも極めて有意義である。また、DW の選択成長技術は DW の機能性を用いたすべてのデバイスを実用化する際、必要となる要素技術であるにも関わらず、取り組まれていない。

## 期待される成果と発展性

本申請研究ではナノサイズのスイッチングデバイス創出とデバイス実用化に不可欠な要素技術である DW の選択形成技術の確立が期待できる。また、DW の特異物性は電気伝導性のみではなく、異常光起電力、巨大圧電歪など、極めて多彩である。本申請研究で取り組む DW の電子物性解明や選択形成技術は、これらの特異物性を用いたデバイスにも発展でき、波及効果は極めて大きい。

- 1) J. Seidel *et al*, *Nat. Mater.*, **8**, 229 (2009). 3) S. Fujino *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 202904 (2008).  
 2) S. Y. Yang *et al.*, *Nat. Nanotech.*, **5**, 143 (2010). 4) A. Lubk *et al.*, *Phys. Rev. B*, **80**, 104110 (2009).

#### ① 背景（内外における当該分野の動向）

2010年度ノーベル物理学賞を受賞した Andre Geim 博士らにより発見されたグラフェンは、炭素原子のみから構成され、六員環構造が平面状に並んだ1原子レベルの厚さのシートである。このように2次元平面構造を示すグラフェンは従来物質にない特異的なバンド構造やそれに伴う高速のキャリア輸送特性から物性科学研究の対象として盛んに研究されている。また産業的にもそのキャリア輸送特性や光透過特性、高い熱伝導特性、ダイヤモンド以上の機械的強度、しなやかさなど他に類を見ない特性から、次世代の高速トランジスタやディスプレイ材料など電子、光、エネルギーデバイスへの応用が期待されている。

一方で近年、光と電波領域の中間領域にあたるテラヘルツ領域（波長 100~1000 マイクロメートル）のコヒーレントな光源発生方法および検出方法の高効率化に伴い、その応用が注目を集めている。半導体に関する研究としては、テラヘルツ帯の半導体の複素屈折率から Drude モデルの妥当性の検証や高強度のテラヘルツ光により、AlGaAs/GaAs 多重量子井戸半導体における動的 Franz-Keldysh 効果の観測 (K. Shinokita *et al.*, Appl.Phys.lett, 97, 211902 (2010)) などが挙げられる。このようにテラヘルツ光は新規の物性評価手段のみならず物性制御にまで応用が期待されている。

#### ② 目的（課題設定とねらい）

本研究では時間領域テラヘルツ分光とインパルス・ラマン散乱振動分光法を組み合わせた新規手法によりグラフェンの電子状態、格子振動モードに関するフェムト秒スケールの動的挙動の解明を試みる。時間領域テラヘルツ分光ではその波長帯域に含まれる格子振動モードの吸収スペクトルが観測できる。それに対しインパルス・ラマン散乱振動分光法では格子の振動周期より遥かに短いパルス幅のフェムト秒レーザーを照射することにより励振された振動モードの振動振幅と位相が実時間でモニタすることが可能な分光法である。周波数領域の分光法ではラマン活性とテラヘルツ活性は交互禁制律により同時観測することができないが、本研究では時間領域の分光法を併用することによりどちらの活性モードも同時観測することが可能となる。本研究から測定対象のあらゆる格子振動モードおよびモード間の相関をフェムト秒の時間スケールで調べることが可能となる。グラフェンは層数に応じて電子状態ならびに格子振動周波数が敏感に変わるということが自明となっているが、これらの振る舞いをフェムト秒スケールで系統的に精査する。さらに超高速トランジスタや光スイッチとしての応用の可能性を探る。

#### ③ 学術的な独自性と意義

時間領域テラヘルツ分光法は、これまでにすでに半導体の格子振動観測に用いられている手法である。また超短パルス光源によるインパルス・ラマン散乱振動分光は申請者が行ってきたように最近10年で手法的・解釈においてノウハウが蓄積されてきた分光法である。しかしながらその2つの手法を組み合わせ、その2つに由来する信号のみを検出する手段はこれまでのところ提案されていない。また申請者がこれまで携わってきたインパルス・ラマン散乱振動分光法は、分子が正に振動している状態をフェムト秒のタイムスケールで観測できるため、その動的相関関係が手に取るようにわかる。本研究手法により、これまで未知であった複雑な分子のポテンシャル超曲面形状が判明することは光物性分野全体の発展に大きく寄与すると考えられる。

#### ④ 期待される成果と発展性

ナノ科学・技術の進展を図るためには、ナノ特有の現象の機構に関わる動力学をナノレベルのスケールで探求することが必要不可欠となる。原子・分子の空間サイズで起きるこのようなミクロな現象は、必然的にフェムト・ピコ秒の超短時間スケールで起こる。従ってフェムト秒レーザーによる分子動力学の計測はナノ科学の根幹的手法であり、それによる精査はナノ技術へのフィードバックを促す。特に半導体の超高速光応答特性は光スイッチなど産業面で応用が期待されている。本研究で提案している物性評価手法により産業応用への貢献に努める。

### ①背景

内視鏡下手術は患者にとって大きな福音となる一方で、執刀医は自由度の少ない術具を操作し、手の振戦を抑え、内視鏡や鉗子を操る助手と協調して微細手術する必要がある。近年では術具刺入点を腹部に集約した、単孔式内視鏡下手術が普及しつつある。刺入点が一点となり、術者の腕や術具同士の干渉が新たな課題である。

従来型の内視鏡下手術の課題を解決すべく、マスタスレーブ制御による手術支援ロボットが開発された。異構造マスタスレーブ、多自由度の専用術具、複数本マニピュレータ、スケーリングとローパスフィルタにより、微細作業が可能となった。また、da Vinci のような大型なマニピュレータでは困難な単孔式手術の支援を目的として、ギアを用いた差動機構を特徴とする SPRINT や双腕型蛇状コマ連続機構を特徴とする IREP など小型マニピュレータが活発に研究されている。しかし、機構の細径化や作用力などに課題が多い。

一方、これら「遠隔（リモート）操作型」の手術支援ロボットに対して、緊急時の対応は患者傍での「ローカル操作型」が安全性の面から優れている。そこで、ローカル操作型の手術ロボットやデバイスが多数研究され、多自由度機構を備える手動鉗子、手の振戦を抑制する受動ブレーキのスタビライザー、内視鏡保持ロボットが実現した。応募者らは、**臓器を把持して牽引するローカル操作型鉗子ロボット**、の研究を進めているが、**単孔式で微細作業を支援できるシステムは存在せず**、機構の小型化や作業範囲、操作手法などに課題がある。

### ②目的

本研究では、「ローカル操作型手術支援マニピュレータ」などを実現する人間共存・協調ロボット工学の基盤技術を、有機的な医工連携研究を通じて構築することを目的としている。そして、構築した基盤技術を学術的に体系化し、ヒトとの親和性の高い機構や制御に関するロボット工学設計論を確立する。単孔式手術の支援に向けて、(1) 細径かつ必要な作用力を備えるフレキシブル術具マニピュレータと、(2) 術者がストレスなくローカル操作可能なインタフェースの要素研究に分けて、「単孔式内視鏡下手術支援ローカル操作型フレキシブル術具マニピュレータ」を実現し、上記の問題の解決を図るものである。

### ③学術的な独自性と意義

ロボットを対人適用する手術などロボット技術の医療用途（メディカルロボティクス）は、日本が世界をリードして研究を進めている分野である。マスタスレーブ制御ロボットの適用が多いが、普及しつつある遠隔手術ロボット da Vinci は戦場の負傷兵を本国から治療することを目的としており、手術室のような医師と患者が同室する場所での操作は想定していない。一方、安全性に優れたローカル操作ソロサージェリーを支援するロボット技術として、体内の臓器や患部をモニタリングする内視鏡の操作を目的とした「内視鏡マニピュレータ」の開発は多いが、医師の傍らで医師の手と共存協調して臓器をハンドリングする「術具マニピュレータ」の開発は、ほとんど試みられていない。

### ④期待される成果と発展性

本研究の単孔式内視鏡下手術支援**ローカル操作型フレキシブル術具マニピュレータ**技術を確立することで、執刀医の負担が少なく安全な微細手術を支援するロボットを内外に先駆けて提供できる。

## ① 背景

高齢化社会を迎えた日本では、萎縮した顎骨を原因とした咬合不全、外傷による骨折惹起、それらに伴う摂食嚥下機能低下が問題となってきた。特に歯槽堤萎縮による義歯の不適合は咬合効率を低下させるとともに、十分に咀嚼されない食塊による内臓負担も問題の1つといえる。歯槽骨を増大、または顎堤を形成させる方法としては、以前より顎骨自体に骨切りを行い上方へと移動させる方法や他部位から骨を採取して移植する、骨移植術が一般的である。しかしながら高齢者に対して侵襲の大きな手術は困難であり、骨採取部位への侵襲も欠点といえる。近年注目されているiPS細胞をはじめとする細胞培養技術を応用した再生医療では時間的、費用的にも実現性は難しく、例え骨組織が再生できたとしても、口腔常在菌が多数存在し、さらに咬合圧という大きな応力が働く環境下での適応は困難と考えている。

## ② 目的

今回われわれは、萎縮した顎骨形態を改善させるために、従来の移植治療ではなく、生体が持っている組織再生能を誘導させる、新たな骨膜伸展装置（骨膜伸展型エミュレーションデバイス）を開発することで、生体侵襲を最小限にした歯槽骨再生誘導療法が可能であると考えている。これまでの研究では、骨膜伸展によって形成された骨膜下間隙への骨再生は認められているものの、骨膜伸展装置が骨膜からの骨形成を遮断し母骨側のみ骨形成であるため効率的な骨再生がなされていないのが課題の1つである。本研究は、その骨膜側からの骨形成能を骨膜伸展作動後も維持するために、骨形成能を有した低温アルカリ加熱処理形状記憶合金による骨膜伸展型エミュレーションデバイスの有用性を評価することを目的とする。

## ③ 学術的な独自性と意義

本法は生体が持ちうる治癒再生力と生体活性材料を組み合わせた新たな骨再生誘導療法であり、自家骨への侵襲をほとんど与えずに骨のみならず周囲軟組織も誘導する再生療法の一つと考えられる。そして本研究は、3次元のポーラス構造の骨誘導コーティングを構築できるアルカリ加熱処理を応用し、低周波振動を付与した新たなコーティング処理（難剥離性表面活性化処理法）を試み、比較的低温加熱によって剥離し難い薄膜化を採用する。これは、骨膜伸展する際の装置の変形に伴って、基材の動的変形に対する剥離を最小限に留め、骨誘導能を持続的に働かせる効果があると考えている。本法の有効性を確認できれば、再建治療のゴールドスタンダードである骨移植治療から、移植に関わる侵襲を回避しつつ骨新生を獲得できる新たな骨造成法としてパラダイムシフトしていく可能性を有している。

## ④ 期待される成果と発展性

本法は生体に対する侵襲を最小限とし、骨膜伸展型エミュレーションデバイスによる骨再生補助を活用することで、高齢者や大きな手術侵襲に耐えられない患者にも十分に応用できる方法と考えられる。顎堤萎縮症を改善できることにより、歯牙欠損後の補綴治療を向上させ、咬合咀嚼効率や摂食嚥下機能を向上させることで、QOLの向上が獲得できるものと考えられる。将来的には腫瘍切除後の高度歯槽堤萎縮症、先天奇形、外傷、頭蓋骨欠損に対する臨床応用を視野に入れ、ドナーサイトの侵襲、複数回手術の回避による患者負担軽減と、通院・手術回数の減少による医療費削減を考慮したものといえる。

心臓は全ての動物の生命活動の中核となっている臓器である。ヒトにおいて、特に先進国では心疾患は主要な死亡原因の一つである。心疾患の診断や解析は臨床では心電図・超音波検査・CT検査・MRI検査・心臓カテーテル検査など、基礎では生化学的方法・電気化学的方法などいずれも心臓全体を組織・部位として捉えた低解像度の空間を時間軸に沿って解析するに留まっている。そのため、ペースメーカーも電気的な刺激を与えるのみで、心臓全体を正常に機能させる制御機構は有していない。これは心臓を構成する各細胞レベルの機能としてエネルギー増減・カルシウム( $\text{Ca}^{2+}$ )濃度・電位変化などを高解像度かつ高速反応で検出する方法が開発されてこなかった事が大きな原因である。

近年、遺伝子組換え型蛍光  $\text{Ca}^{2+}$ プローブの開発により  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度の側面から心臓全体を1細胞毎に高解像度で解析する方法が試されている。しかし、マウスの心臓は1秒間に約5回拍動するため、既存の  $\text{Ca}^{2+}$ プローブが高速に反応する事で  $\text{Ca}^{2+}$ 濃度変化を正確に捉えられるかは不明である。

2009年に開発された細胞内エネルギー通貨であるATPの濃度を可視化するプローブ(ATeam)は細菌のATP合成酵素を構成する蛋白質の一つである $\epsilon$ サブユニット(ATP結合タンパク質)を介してGFPとKusabiraOrangeを結合させて作成されている。これはATP濃度が上昇すると $\epsilon$ サブユニット部分が構造変化してGFPを励起する488nmの光を当ててもGFPからKusabiraOrangeへの蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)が起こり、GFP由来の蛍光が減少してKusabiraOrange由来の蛍光が主に発せられるようになる。これを用いる事で高解像度にエネルギー増減を計測できる。

そこで本研究では、これまでATeamを利用してマウス生体内でのエネルギー変動を1細胞毎に測定できるシステムを構築してきた。このマウスを利用して正常、生理学的負荷や病的負荷時における心臓の生理的機能をエネルギーの側面から高解像度・高反応かつ定量的に解明し、心臓の正常な機能を制御することができる新規のペースメーカー作成を目指す。

心臓として最重要機能であるポンプ機能に直結するエネルギーの変化は、これまで生化学法を用いて評価・解析されてきたため、時間軸情報のない、低解像度(組織レベル)での解析に留まっていた。

今回ATeam法を用いたATP量検出法は蛍光を利用しているため、原理的にも空間分解能は高い。実際に培養細胞

では細胞質内の濃度勾配を正確に検出する事に成功した。またATeam発現ベクターをマウス心臓へ一過的に導入する事によりミリ秒レベルでATP量変動を検出する事ができた(Yamamoto, M. et al. *Nature* (article). 2004)。これより本方法は時間分解能も高い。更にATP濃度が2-20mMの間では約4.5%以下の誤差で濃度依存的にATeamの値は得られるため、ATP濃度の定量性も高い(表1)。

今回、私はマウス生体内で心臓が拍動する時に取り得るATP量変化を心臓丸ごと、1細胞レベルで解析する。これにより、心臓の新しい生理的機能を詳細に記述し、新規ペースメーカー作成に寄与するだけでなく、各心疾患における機能低下の原因部位を細胞レベルで明らかにする事で疾患の理解や治療薬の開発・再生医療の戦略、更には心臓シミュレータ「UT-Heart」などにも新たな方法・視点をもたらす可能性を有している。

表1

	生化学法 (従来法)	GO-ATeam法 (本研究)
機能する細胞の特定	困難	容易
特定できる細胞単位 (空間分解能)	数細胞	1細胞
時間分解能	低い	高い(ミリ秒)
ATPの濃度	正確ではない (環境による)	正確 (定量的)
検出の信頼度	低い (誤差が大きい)	高い (誤差が小さい)

# 橢形電極の誘電泳動を利用する間葉系幹細胞スフェロイドの作製 および力学的刺激に基づく分化制御

東京大学大学院総合文化研究科 准教授 吉本 敬太郎

## 1. 研究背景

**背景① 医療分野における幹細胞と間葉系幹細胞 (mesenchymal stem cell, MSC) :** 幹細胞研究を活発化させた iPS 細胞作製技術は、分化能が極めて低い線維芽細胞に複数の遺伝子を導入することで ES 細胞に匹敵する分化万能性を付与させることのできる画期的な技術であるが、外来遺伝子に誘発される腫瘍形成の問題が医療現場における iPS 細胞利用のボトルネックとなっている。一方、間葉系幹細胞 (MSC) はヒト骨髄や脂肪組織中に存在する天然の幹細胞であるが、これまで ES・iPS 細胞と比較して分化多様性が低いと考えられていた。ところが近年、外来遺伝子を導入しなくとも、低効率ながらも肝臓や神経細胞などの内胚葉や外胚葉系の細胞に胚葉間の壁を越えて分化することが明らかとなり、iPS 細胞に替わる安全な幹細胞ソースとして注目を集めている。

**背景② 発生・細胞分化と細胞力覚 (セルメカノセンサー) :** 生体内における発生過程では、組織間の摩擦や細胞・組織・体液間の張力・応力などの「力学的刺激」(図 1) が胚にかかることで特定の遺伝子群が部分的に発現し、複数の組織化が同時に起こる。従って、発生初期のような力学的刺激伝達を再現した培養系を構築し、生体外における力学的刺激に対する細胞の分化挙動を明らかとすることは、細胞力覚の理解・メカニズム解明に大きく貢献するだけでなく、遺伝子導入法に依存しない幹細胞を効率良く分化させる新手法の開発に繋がる。事実、上述した MSC の培養環境 (培養皿表面の配向、面積、密度、堅さ) を二次元レベルで制御すると MSC を特定の細胞に分化可能であるという衝撃的な研究が報告された (Engler AJ et al: Cell (2006) 126: 677-689 など)。これは、MSC の培養環境変化に伴う「力学的刺激」の変化を細胞が感知し、特定遺伝子の発現および特定細胞への分化方向付けをしている可能性が高い。

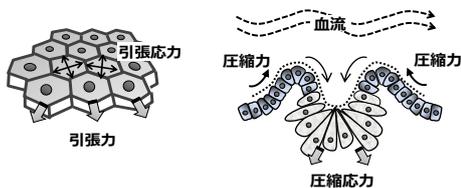


図 1 発生過程で生まれる様々な力

※様々な力 (応力・張力・摩擦など) が細胞に働くことで、各遺伝子の発現が部分的に on/off される。

## 2. 研究目的と独自性・意義

申請者らの最終目標は、細胞に様々な力学的刺激を三次元レベルで付与できる培養システムを電子工学的に構築し、MSC の分化と関連の深い細胞力覚応答を明らかにすることにある。局所空間的な電場勾配により形成される誘電泳動力、特に、細胞に反発力を与えることができる「負の誘電泳動」を利用することで、細胞に継続的および一時的な力学的刺激を三次元レベルで与えることが可能となる (後述)。誘電泳動を力学的刺激として利用する細胞の分化制御に関する研究はこれまでに報告されておらず、さらに三次元培養環境形成に伴う力学的刺激変化を利用して MSC の分化の制御を試みる点に本研究の最大の独創性がある。

## 3. 期待される成果と発展性

MSC の最大の利点は安全性、腫瘍化のリスクが極めて低い (中胚葉に分化が進んでいるため) 点にある。このようなアプローチで細胞機能制御が自在となれば、iPS 細胞作製時のように危険因子を含む外来性遺伝子を細胞に導入する必要が無い。遺伝子導入なく、誘電泳動に由来する力学的刺激で MSC の分化制御が可能となれば、MSC を細胞ソースとする高機能幹細胞作製法が確立でき、真に安全な幹細胞を医療現場に提供することが可能となる。本研究は、幹細胞科学分野における新機軸創生への挑戦である。

## ① 背景

高齢化社会が進むわが国では、年間4万件超の「全人工膝関節置換術」が行われているが、その症例数は年々増加している。国外においても欧米を中心に同様の傾向である。この手術において、膝周りの筋肉等軟部組織によるテンションが膝の内外にかかる圧力バランスに影響を与える。そこで、術者は軟部組織を適切に切除することでバランスを調整するが、現状では医師の主観に頼っている。しかし、この圧力バランスが不適切な場合、関節の接触面で応力が集中し、人工関節の一部であるインサートの磨耗が早まり、人工関節は「短寿命化」する。予期しない「短寿命化」は、再度の置換を必要とし、最悪の場合は脱転（脱臼）につながる。

## ② 目的

本研究では、上記のようなリスクを低減するために、この応力集中の有無を計測し、定量的な指標を術中の医師に提供することで、術後の安全性を高めることを目的とする。具体的にはトライアルインサートに計測装置を内蔵し、応力集中を定量的に計測するシステムを開発する。

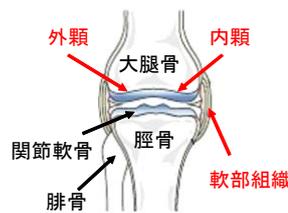


図1 膝関節

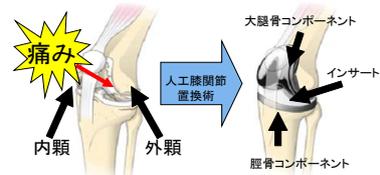


図2 全人工膝関節置換術

膝関節のうち大腿骨は内顆・外顆の二つの部分から構成され、この部分が脛骨上に接地しバランスを取る（図1）。人工膝関節置換術を行う際に（図2）、軟部組織によるテンションがこのバランスに影響を与える。術者は軟部組織の切除によって、この内外のテンションを均等に調整するが、内外のテンションが不均等の場合、術後、内外顆で応力集中が発生し、人工関節の部品であるインサートの「短寿命化」のリスクが高まる。術中では複数のサイズのトライアルインサートと呼ばれる仮のインサートを挿入し、テンションの緊張度合いから最適なサイズと軟部組織の切除を判断し、最終的なインサートを挿入する。そこで、術中にこの応力集中の度合いを術者に提供することで、リスクの低減に貢献する。

## ③ 学術的な独自性と意義

従来、当該目的の達成のアプローチとしては、臨床応用可能な機械式計測装置があった。機械式圧力計測装置は、内顆と外顆の下部を両端に受け止めるような天秤構造の装置である（図3）。この装置では、構造を簡易にする事ができ、設置の容易さ・滅菌処理への対応を可能としている。しかし、脛骨コンポーネントの応力集中を診断する事はできない。本研究では電子式圧力センサをインサート内に内蔵する事で、上記の問題点を解決する。既存の方法と本研究で提案する方法の技術内容の比較を表1に示す。



図3 機械式計測装置

表1 従来法との比較

	機能	臨床応用
機械式計測装置	左右のバランスのみ	関節固定が容易
提案方法	<u>圧力分布計測可</u>	関節固定に工夫が必要

## ④ 期待される成果と発展性

期待される成果としては、従来の医師の主観のみの判断だけではなく、術中の定量的な指標を提供することで、安全性を高めるといふ臨床的意義を持つ。また、本テーマでは膝のみを対象とするが、人工関節置換術は股関節等もあり、長寿社会の日本の高齢層の生活の質を高めることに繋がる事が期待される。

## ブレインマシンインタフェースによる肢体不自由者の運動機能再建と健康増進を支援するシステムの開発と適用

大阪大学大学院医学系研究科 助教 柳 澤 琢 史

人口の高齢化等に伴い、脳卒中や神経難病による肢体不自由者が増加し、介護負担や損失益の増加が大きな社会問題となっている。本研究は肢体不自由者でも、脳で念じるだけで制御できる神経義手を開発し、肢体不自由者の運動機能をロボット技術により再建することで、これらの問題の解消を目指している。これまでに、我々は脳卒中後の患者が皮質脳波（頭蓋内の脳表に留置した電極で計測した脳波）を介して神経義手を制御し、物を握って持ち上げる等の巧緻な操作ができる事を実証した(Yanagisawa et al., *Annals of Neurology*, 2012、文部科学省若手科学者賞受賞)。更に、この技術を重症 ALS 患者に適用する臨床研究を開始し、人工呼吸器を使用し四肢が全く動かない患者でも、皮質脳波を使って義手を制御して物体を把持したり、コンピュータに文字を入力できる事を明らかにした。同様の研究は米国の Brown 大学と Pittsburgh 大学にて行われているが、どちらも剣山状の針電極を脳の一次運動野に刺して脳信号を計測するため、信号が安定せず、手術で電極を留置後、1年程で使えなくなる問題がある。我々が用いる皮質脳波は1年の長期間でも信号が変化せず、安定して使用できるため臨床応用に優れている。

しかし先行研究より、重度麻痺がある患者では、運動想起時の脳活動の個人差が大きく、ヒトに依っては殆ど運動想起ができず、脳活動も義手を動かせる程度には十分に活性がない患者がいる事も明らかになった。そこで本研究では、非侵襲的に高精度の脳情報を計測できる脳磁計（神経細胞の電気活動に伴う微弱な磁気を計測することで、脳波より高い空間分解能で MRI より高い時間解像度を持って脳信号を計測できる）を用いて、幅広い患者に適用可能な神経義手システムを開発する。脳磁図を用いた高性能神経義手の開発は世界的にも初の試みである。特に、これらの患者が神経義手を脳信号だけで操作することに習熟することで、麻痺に伴い機能が衰えていた大脳皮質機能を再活性化する。また、失った上肢機能を再活性化する事による脳全体への影響や患者の運動機能そのものへの影響は、全く未知の医学的研究対象である。再活性化を行う事で、神経義手を使わないときも脳機能が全体として活性化され、患者の健康増進につながる事が期待される。脳磁図による肢体不自由者の健康増進を支援するシステムとする。

非侵襲的に高精度な義手制御を行うシステムはこれまでになく、様々な応用が期待される。また、肢体不自由者のリハビリテーションに用いることで、運動に関連する脳活動を増強し、肢体不自由者の健康増進につながる研究も全くない。肢体不自由患者の運動機能を回復させ、介護負担の軽減につなげ、また、患者が生き生きと活躍できる健康状態を支援することで、社会全体の活性化につながる事が期待される。

## 感情的プロソディを変更する気分誘導方法を用いた 認知症の行動・心理症状を緩和するシステムの研究開発

佐賀大学大学院工学系研究科 准教授 中山 功 一

- ① 背景: 認知症には、認知機能の低下という中核症状と、それに伴って発生する行動・心理症状 (BPSD) がある。一般的に介護者の負担となるのは、奇声や徘徊、暴力や妄想などの BPSD である。BPSD を緩和する薬物以外の療法として、心理療法が期待されている。申請者は、認知症患者の BPSD を緩和する音楽療法システムである“MusiCuddle[中山 2013a]”を開発した。これに“ヴォコーダ”というリアルタイム音声変換機能を追加し、被験者の発声を、事前に準備した音高に変換してフィードバックすることで、被験者の気分を誘導できることを示した[中山 2013b]。ここから、認知症患者の声に含まれる「感情的プロソディ (感情によって変化する韻律)」をリアルタイムに変更してフィードバックすることで、患者を適切な気分へ誘導し、BPSD が緩和できるとの着想に至った。このような着想に基づく研究は、国内外に存在しない。
- ② 目的: 認知症患者を適切な気分へ誘導するためには発話音声の感情的プロソディをどのように変更・付与することが適切かを、認知症患者および健常者を被験者として実験的に明らかにする。音声中の音高・音量認識と音高変換は、申請者らが既に利用している既発表の技術を用いる。患者の発話をリアルタイムに変更して再生する機器は、申請者らが開発した機器[中山特許]を利用する。本研究では、どのような発話に対して、どのように感情的プロソディを変更すると、気分誘導できるかを明らかにする。
- ③ 学術的な独自性と意義: 古くから「悲しいから泣く、楽しいから笑う」という「感情→生理学的変化 (行為)」であるとするキャノン＝バード説と、「泣くから悲しい、笑うから楽しい」という「生理学的変化→感情」であるとするジェームズ＝ラング説がある。これに対し、生理学的変化の原因を類推することで感情が決定されるという「原因帰属の認知→感情」であるとするシャクターの情動二要因説[Schachter 1962]がある。申請者らは、この情動二要因説を拡張し、実際には生理学的に変化していない (実際には笑っていない) が、変化している (自分が笑っている) と誤認識することで、実際に気分が誘導される (楽しくなる) という「生理学的変化の誤認識→感情」であるとする仮説を提唱する。従来、生理学的な身体変化が情動に与える影響 (バイオフィードバック) は数多く検証されている。一方、申請者らの仮説の様に、生理学的変化の誤認識のみで気分が誘導される (認知フィードバック) という研究報告はない。誤認識で気分が誘導されれば、世界的にも新しい学術的成果となる。申請者らは予備実験[中山 2013b]から、この仮説が支持されると考えている。
- ④ 期待される成果と発展性: 国内の認知症者は 2012 年時点で約 462 万人になり、認知症の前駆状態 (軽度認知機能障害) 者も約 400 万人いる。さらに、うつ病の患者が約 100 万人に増加している。これらの疾患に対する症状の緩和や悪化防止などが実現できれば、社会的意義が大きい。また、健常者に対しても、落ち込んでいるときに楽しい気分へ誘導するといった気分誘導技術は、エンターテインメントの分野にも応用が期待される。

[中山 2013a] K. Nakayama, et al.: A Music Therapy System for Patients with Dementia who Repeat Stereotypical Utterances, *Journal of Information Processing*, 21(2), pp.283–294, 2013a.

[中山 2013b] K. Nakayama, et al.: Mood induction using MusiCuddle with a vocoder: Major versus minor harmonies, *Proc. of ICHS 2013*, ISBN No. 978-4-9905392-1-4, 2013b.

[中山 特許] 中山, 大島: 音声フィードバックによる気分誘導装置 (出願番号: 2013-237109)

### ① 背景

現在、非侵襲的(生体に痛みや傷を与えない)脳機能測定技術についてはいくつかの手法が使用されている。非侵襲的脳機能測定法は、大きく2つのグループに分けることができる。一つは、脳活動に伴う脳循環や代謝変化を画像化し測定するイメージング手法であり、もうひとつは、脳の神経細胞の活動そのものを測定する電磁気生理学的手法である。イメージング手法には、①機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)、②シングルフォトン断層法(SPECT)、③ポジトロン断層法(PET)、④機能的近赤外分光法(fNIRS)などがある。電磁気生理学的手法には、⑤脳波(EEG)、⑥脳磁図(MEG)などがある。しかしながら、これらの各脳機能測定法にはどれも短所があり、空間分解能、時間分解能、携帯性、測定中の動きの自由度、安全性、コストのすべてが優れているものは存在しない。現在、脳機能を解明する脳科学や脳神経疾患の診療の場において、これらの要件すべてを満たす非侵襲的脳機能測定技術の出現が強く望まれている。

### ② 目的

従来の非侵襲的脳機能測定技術の種々の短所を克服する新しい脳機能計測技術を開発する。口蓋に近赤外光を出射するLEDを設置し、脳底部から放散照射した近赤外光を脳に透過させ、脳の電氣的活動に伴いリアルタイムで変化する透過光信号を頭皮上で計測する手法を開発する。この手法により高空間分解能と高時間分解能の両方を満たす非侵襲的脳機能計測技術を実現する。

### ③ 学術的な独自性と意義

非侵襲的脳機能計測手法として、空間分解能、時間分解能、携帯性、測定中の動きの自由度、安全性、コストのすべての条件を満たす手法が実現されれば、脳機能の解明や脳機能疾患の診療技術などを飛躍的に発展させることができると期待されているが、残念ながらそのような手法は未だ存在しない。本研究では、これらの条件すべてにおいて優れている画期的な脳機能計測技術を開発する。近赤外光を神経細胞に照射しその透過光の時間的変化を計測すれば、その信号は神経細胞の電氣的活動を反映することが知られているが、この現象は神経線維標本での観察が報告されているだけであり、脳活動の計測に応用し成功した事例は未だない。感覚・運動の情報処理や思考・学習・記憶等の高次脳機能を担っているのは、脳の最も外側にある大脳皮質である。本申請者は、近赤外光を脳底部から頭皮に向かって脳を透過させるように照射すれば大脳皮質の神経細胞の活動を計測できるとの着想に至った。脳の底部から近赤外光を大脳皮質全域に渡って放射状に透過させ頭皮上で透過光の時間変化を計測することにより大脳皮質全体の活動のリアルタイムでの計測を可能にする。この手法が確立されれば、これまで困難であった大脳皮質の神経ネットワークにおける情報処理メカニズムの高精細かつリアルタイムでの計測解析が可能になる。

### ④ 期待される成果と発展性

本研究で開発する脳活動を高精細かつリアルタイムで計測できる技術が実現されれば、脳科学を飛躍的に発展させることができ、学術的な脳機能解明に貢献するばかりでなく、医療分野や産業分野にも広く応用でき波及する技術となる。米国では、2014年より人間の脳機能を解明する官民共同プロジェクト「脳活動解明計画」が実施されており、人間の脳機能の解明を目指す研究は再び世界的潮流となりつつある。「脳活動解明計画」では、脳の詳細な活動地図の作成、アルツハイマー病やパーキンソン病の原因究明、うつ病など精神疾患の治療法の開発、膨大な情報処理のための新たな人工知能への展開などが期待されている。本研究で開発を目指す高精細かつリアルタイムでの非侵襲的脳機能計測技術はこれらの課題を克服するためのブレークスルーを与える基盤技術となり得る。

**【背景（内外における当該分野の動向）】**

近年、微細加工技術で作製したマイクロ流体デバイスを血管研究へと応用する試みが国内外で盛んに取り組まれている。マイクロメートルスケールの流路内で、血管の細胞を溶液流れ下で培養する事で、生体内に近い環境での血管実験が可能となる。中でも、血管壁の物質透過性を調べることは創薬分野において重要視されている。すなわち、腫瘍近傍の血管は正常血管に比べて構造が疎になっており、直径 100 nm 程度の薬物内包粒子（ナノ薬剤）は腫瘍血管でのみ血管外に漏れ出ることから、これを腫瘍選択的な薬物送達に応用できる事が知られている。しかし、実験動物を用いた従来の評価では、腫瘍に薬物が届く・届かないといった基準でしか評価できず、ナノ薬剤が血管壁をどのように透過するのか、そこにはどのような支配因子が存在するのか、全く分からない状況である。

申請者はマイクロ流体デバイスを用いた新たな細胞培養システムを構築すると共に (Electrophoresis, 33, 1729 (2012))、細胞を全く使わない無細胞マイクロ血管モデルを構築し、これがナノ薬剤の血管壁透過性を評価するのに応用できる事を示してきた (Proc. MicroTAS 2013, 1818-1820 (2013))。そこで、これらの研究を更に推し進めることで、現在は不明であるナノ薬剤の血管透過性を生体外で明らかにするための新たな実験系が構築できると考えた。

**【目的（課題設定とねらい）】**

本研究では、ナノ薬剤の血管壁透過性を評価する無細胞マイクロ血管モデルを開発する。血管壁に類似した構造を有するマイクロ流路を用い、血流を模擬した流れ下でナノ薬剤の透過性を評価し、ナノ薬剤の物性と透過性の関係を明らかにする。具体的には以下を検討する。

**【課題 1】多孔膜を有するデバイスでのナノ薬剤透過試験**

血管壁を模倣した多孔膜をマイクロ流路内に配し、ナノ薬剤の物性と透過性の関連を評価する。

**【課題 2】擬似血球・血清共存系でのナノ薬剤透過試験**

血球に見立てた微粒子、および血清共存下で透過試験を行い、これらが透過性に与える影響を評価する。

**【学術的な独自性と意義】**

ナノ薬剤の開発・評価において、従来の動物実験ではナノ薬剤の血管壁透過性を評価できない。また、ナノ薬剤の物性と透過性を結び付ける理論は現在不明である。一方、本研究はナノ薬剤が血管壁を透過する過程を直接評価可能である。さらに血球、血清といった要素と透過性の関係を定量的に調べることで、これまでに無い化学工学的な解析が可能となり、これが本研究の独自性と言える。本研究はナノ薬剤に留まらず、微小流れ場での物質移動に関する知見も与えることになり、学術的意義も極めて大きい。

**【期待される成果と発展性】**

本研究はナノ薬剤の血管透過性に関する基礎的かつ精密な知見を与え、化学・工学にとどまらず生命科学や医学・生理学分野の発展にも寄与するものと考えられる。癌の高度・高性能な診断・治療技術に対する要請は確実に高まっており、ナノ薬剤は今後、極めて急速にその重要性を増していくと予想される。ナノ薬剤の新規評価系として本研究が確立することで、倫理的問題を有する動物実験からマイクロ血管モデル実験へのパラダイムシフトを誘起し、さらに腫瘍や血管外組織との組み合わせを図ることで研究の飛躍的発展が期待できる。

**① 背景**

日常生活を豊かにし楽しく文化的な活動を行う上で映画やテレビ鑑賞は欠かせない。一方で、加速化する高齢者人口の増加を背景に様々な身体特性を有する人々（聴覚障害や視覚障害等）の割合が増加している。映画鑑賞のバリアフリー化への障害当事者からの期待は非常に高く、高齢者や障害のある人たちへの情報保障という観点も含めて、その実現がいち早く望まれる。しかし現状では、これらの人々が映像コンテンツを自由に鑑賞できるシステムは十分に整備されているとはいえない。映画字幕を例にとると、外国映画と異なり日本映画では字幕情報がほとんどなくアニメ作品の場合には読唇術も役に立ち難い。米国や英国らに比べて日本における字幕対応の国内映画公開数は半分程度に低いことが報告されている（MASC 調べ 2011）。こうした、邦画の字幕や副音声の未対応の問題は、聴覚や視覚に障害のある子ども達が、幼少期に聴者や晴眼者の子ども達と同様に映像作品を体験する機会を逸してしまうという側面もあり、次世代を担う子ども達に対して国内での文化的ギャップを生み出しかねないという点でも大きな問題である。

**② 目的**

本研究では、提案者がこれまでの研究過程で得た聴覚障害者の映画鑑賞に関する調査の結果をベースに、聴覚障害者および視覚障害者の映画鑑賞に関する調査を統計的に十分な規模で行うことにより実態を把握し、映画制作に関わる映画館や映画製作者や字幕及び副音声制作者へ伝えることにより、映画のバリアフリー化に必要な今後の課題とその社会的インパクトを定量的に得ることを目的とする。また、字幕や副音声制作が有する在宅就労が可能である利点を活かし、大都市だけでなく地方での映像のバリアフリー化とそれに関わる雇用を形成するため、映像の地域性についての調査を加え、映像バリアフリーの社会化モデルとその可能性を探る。

**③ 学術的な独自性と意義**

平成 25 年 6 月（昨年）成立した障害者差別解消法、及び平成 26 年の 1 月（本年）に批准した国連の障害者権利条約によって、日本社会はバリアフリー化及びユニバーサルデザイン化に向けて大きく舵を切ったと言える。これまでさまざまな社会生活とりわけ文化的な側面における、障害者の差別の実態はほとんど把握されてこなかった。今回の調査によって、映画鑑賞における聴覚及び視覚障害者が感じている不自由さや差別の実態を明らかにすることは、まさに障害者差別解消法の理念に沿うものであり、意義がありかつ差別解消につながる有効な研究であると考えられる。

**④ 期待される効果と発展性**

本調査研究を提案するにあたっては、映画や映像産業界からの強いニーズがあった。聴覚障害者や視覚障害者が健常者と同様にして映画を楽しむためには、字幕や副音声制作が欠かせないことは理解できるが、費用対効果が低いと考えられることから積極的に制作費を捻出することが難しい。しかし、当事者の映画鑑賞に対するニーズを把握することができれば、制作の見通しがクリアになるという声である。本研究で得た成果は、映画や映像製作者たちの制作の手がかりになると考えられる。これまでの研究から、聴覚障害者や視覚障害者だけでなく知的障害者や高齢者や子どもに対しても字幕や副音声が有益な情報伝達手段であることが分かってきた。映像のバリアフリー化が進めば多くの人々へ映像の可能性が開けると同時に、開発が急速に進む字幕や副音声の提示技術の実用化を推し進めることが期待できる。国際社会に先んじて少子高齢化が進む日本において、新しいメディア体験の実現に繋がると考えられる。

## ①背景

日本では戦後、博物館の施設整備は著しく進んできたものの、現在は博物館が社会教育施設として時代に対応した役割を果たすための展示や教育活動の充実というソフト面の整備が課題となっている。博物館が人々の科学的・文化的体験を充実させることのできる社会教育施設となるために、博物館活動を担う高度専門職学芸員の養成は直面する大きな課題の一つである。毎年約1万人の学生が大学で学芸員資格を取得するが、実際に博物館に就職するのは全体のわずか1%にも満たない。この理由として、学芸員職の空きポストが少ない中、多くの学芸員養成課程履修生は学部生であり、即戦力というよりも博物館の理解者の養成に留まっている点が挙げられる。2012年度には、大学における学芸員資格取得のための履修科目が改変され、養成課程の充実が図られたが、大学院レベルでの博物館学コースの設置や授業科目を開講している大学は国内では数校に限られるばかりでなく、1990年代後半から各大学で整備が進められてきた、教育研究施設と博物館の両方の性格を併せもつ大学博物館の活用も十分ではない。そこで、国際的に通用する高い即戦力スキルをもった学芸員の養成のためには、主として大学院生を対象とし、大学博物館を効果的に活用した高度専門職学芸員養成プログラムを開発していく必要があると考えられる。

## ②目的

本研究では、博物館が所蔵する学術資料の管理および利活用を担う次世代の学芸員を養成するための諸課題を考察し、大学博物館を活用した高度専門職学芸員プログラム開発の方向性を具体的に示すことにより、自然および人文学に関する人々の教育水準を向上させる博物館活動の充実に寄与することを目的とする。そのために、博物館学を世界的に牽引する英国の事例を主たる参照先とする。

## ③学術的な独自性と意義

従来の博物館学では、博物館経営論・資料論・展示論・教育論等、学芸員養成課程の科目との対応関係での専門分化が進み、各論同士の関係性が稀薄になる傾向がみられる。一方、本研究では高度専門職学芸員に求められるスキルを総合的に扱う。したがって、博物館学全体をどのように研究するか、あるいは博物館学をどのように教えるかという「博物館学教育」の専門分野の確立を推し進める点に研究の独自性を認めることができる。また、本研究が着目する大学博物館は、博物館であると同時に大学の教育研究機関であることを特徴とする。文理の様々な領域を横断的につなぎ、パイロット施設として博物館に関する先端的研究を実践的に行う大学博物館は「博物館学教育」という研究領域に最適と考えられるため、研究のフィールドとすることの意義が認められる。

## ④期待される成果と発展性

本研究により期待される成果には、大学院レベルで高度専門職学芸員を養成するために必要な環境や条件が具体的に明らかになる点が挙げられる。この際に、大学博物館の効果的な利用方法を検討することにより、博物館学教育とともに、その研究基盤となり得る、わが国の大学博物館の発展に資することが可能になると考えられる。また、申請者が所属する東京大学総合研究博物館は国内でも数少ない大学院レベルの博物館学の授業や博物館実習を担当しているため、本研究の成果は高度専門職学芸員に関する理論構築のみならず、実践の牽引役となっていく発展性も期待できる。

**①背景(内外における当該分野の動向)**

平成 21 年度より、独立行政法人科学技術振興機構（以下、JST と略記）の「理数系教員養成拠点構築事業」の公募が開始された。これは、地域の中核となる小学校および中学校理科教員（以下、コア・サイエンス・ティーチャーとし、CST と略記）の養成とその支援、更には、その活動までを視野に入れた事業であり、大学と教育委員会が連携して応募する募集形態であった。福井大学と福井県教育委員会は、初年度に採択され、以後 4 年間（平成 24 年度まで）事業を推進し、JST 支援終了後の現在も継続している。

本事業は、平成 21～24 年度まで、7 都県、5 県、2 府県、2 県の計 16 件採択があり、4 年の支援期間終了後も地域ごとに独自の事業を展開している（平成 23, 24 年度採択については、現在も支援継続中）。

本事業成果として、(1)小中学校において、県内各地域の CST を中心に教員研修や理科教育力向上の支援活動が展開、(2)地域ごとに理数教育支援拠点を構築すると、その学校が地域の理科教育支援活動の拠点として機能、(3)学部・大学院生間に本プログラムが次第に定着し、小中学校教員採用にも一定の成果、(4)教員志望学生から現職 CST までの間に、受講を通じた人的ネットワークが形成、等が挙げられる。一方で本学の場合、(1)受講プログラムの選択は個人任せのため、自身で履修計画等を管理できないと受講が停滞、(2)CST に対して教員研修等の講師依頼が増加、(3)CST 資格取得後の CST としての意識継続のための仕組みが必要、(4)CST 養成プログラム修了者間の中長期的連携の仕組みが必要、等の課題もある。

**②目的(課題設定とねらい)**

このうち、課題(1)(2)は、本県特有の案件である。一方で、課題(3)(4)については、本事業全体の課題でもあり、このような人材育成システムを構築した場合に必ず組織維持という観点から生じる共通課題と捉えることができる。そこで、この 2 点を解決することで、16 都府県で展開されてきた CST 事業が今後も有効に機能し続けるのではないかと考えた。特に、政令指定都市の有無により、CST 養成・支援事業を継続していくためのある程度の仕組み作りには差があることに最近気づき、この点を突破口にして、複数の CST 事業推進都府県を取り上げ、実施大学及び実施教育委員会から直接ヒアリング調査等を行い、CST に代表される人材育成事業の継続実施における実践コミュニティの構築に関するモデルプランを提案したい。

**③学術的な独自性と意義**

これまで、全国 16 都府県において、CST 養成と支援、そして、その活動に関する実証的研究がなされ、また、各地域独自にシステムの維持に関する取組がなされてきたが、これらを俯瞰的に全体像として捉え、組織維持の観点に特化した研究は全く展開されていない。しかしながら、このような人材育成システム維持の問題は、今後の小中高の教員の大量退職と新採用教員の増加による世代間の教員支援システムの構築の観点から、様々なタイプの提案がなされていくべき重要課題である。

**④期待される効果と発展性**

本研究成果は、現在 16 都府県で展開されている「小中学校における理科の中核教員（CST）の養成・支援、そしてその地域における活動」に対する今後の指針となり、小中学校における次代を担う理系人材の養成支援を継続していく仕組みを提案できる。特に、理科を専門としない教員が多数を占める小学校において、その同僚あるいは、地域の同僚による支援を受けやすい環境を産み出し続けることができる。更に、この CST コミュニティ維持に関する都市部と地方部の特徴的なモデルプランの実証的研究であり、これに基づく提案は、本 CST 養成・支援システムのみならず、他の多くの人材育成支援事業への応用が可能であろう。

#### ① 研究の背景

本研究では、「運動支援を効果的に行うために、言葉をどのように駆使すべきか」という問題について、認知科学領域における最新トピックスである、運動一言語連関の観点からアプローチする。運動一言語連関とは、脳内情報処理において運動実行系と言語処理系との間に、機能的なオーバーラップがあることを意味する。たとえば、手や足などで行う動作を意味する言葉を理解する時と、それぞれの動作を行っている時とでは、近似した脳活動部位が見られる。また、運動方向を暗に示す内容（例：ダンスを開ける）が含まれる文の理解は、その内容に合致する運動で反応する場合（例：「ダンスを開ける」という文に対して、手を身体へ近づける）には素早く、逆に合致しない場合（手を遠ざける）には遅延することもわかっている。こうした知見は、脳内情報処理における言語処理系と運動実行系には、共通する部分があることを示唆している。つまり、この連関関係を理解すれば、言葉によって指示された運動の内容が、身体運動に変換されていくプロセスの一端を理解でき、そこからさらに、運動を効果的に導く言語指導方法が提案できるだろうと期待されている。

#### ② 目的

一般に、運動一言語連関研究では、特定の言葉が“全対象者に対して”共通の効果をもたらすことを想定する。しかしながら、この連関関係に含まれる運動実行系の働きとして、現状の身体状況を把握する身体表象のシステムが関与していると考えれば、対象者それぞれの身体状況（たとえば怪我の有無など）に応じて、特定の言葉がもたらす波及効果は異なるはずである。本研究では、身体状況の違いによって同一の言葉が運動反応にもたらす言葉が変化するかを検証し、こうした考え方の妥当性を検証する。

#### ③ 学術的な独自性と意義。

運動一言語連関研究そのものが新規性の高い研究であるため、こうした身体状況がもたらす個人差の問題については、一切検討されていない。本研究では、身体状況がもたらす効果を検証するために、身体を拘束する状況を作り出し、言葉がもたらす運動反応の違いが生じるかについて検討する。仮に身体の拘束が影響をもたらすならば、運動一言語連関の中で、身体表象システムが重要な役割をしていることを示す。認知科学領域の最新のトピックに対して、新しい成果をもたらすことができる。

#### ④ 期待される成果と発展性

申請者は得られた成果をリハビリテーション領域に還元することを目指している。たとえば、脳卒中によって半身が麻痺している患者の運動学習をサポートする際、一般には、健常者を対象とした基礎研究の成果に基づき、運動学習の方法を考案する。しかし、本研究の主張が正しければ、麻痺患者は、たとえ認知機能に何の問題がなかったとしても、運動支援者から指示された言葉を運動に変換するプロセスが、健常者とは異なると予想される。つまり、効果的な言語指導を考えるためには、常に身体状況やそれを表象する脳内システムとの相互作用を考慮する必要がある。こうした知識に基づき、リハビリテーション対象患者にとって、真に有益な言語指導を提案することを目指している。

①背景 東日本大震災と福島第一原発事故によって、故郷を追われた避難者は、震災から3年経った現在も数多く存在している。避難者は地元への「帰還」か、避難先の「定住」に促されて、地元に戻る人や避難先で新たな生活を始める人がいるものの、多くは「帰りたいが帰れない」という「待避」という状況にある。このように多様な避難者が求める多様なニーズに対してどのような支援を行い、また支援体制を作っていくべきかが喫緊の課題となっている。これまでの原発避難者に関する社会調査は、1) 避難区域からの避難者、2) 自主避難者、3) 避難者支援、受け入れに対する研究、4) 避難自治体に関するものに大別される。申請者らは埼玉県に避難してきた人々の支援活動に関わりながら、避難者の動態、支援団体の動向、基礎自治体の対応に関する調査を行ってきた。その結果、a) 復興庁による調査と申請者らが行った調査では避難者数の実態が大きく違うこと、b) 多種多様な避難者が存在し、それは強制避難区域からの避難者と自主避難者の違い、性別・世代・職種・経済力・家族構成・社会関係の違いによってもたらされ、多様な支援策が求められていること、c) 現状では災害救助法があっても、自治体によって支援策は個別化され、多様な避難者に対して多様な支援を行う体制の構築が問われている。

②目的 本申請研究の目的は、多様な避難者に対して多様なニーズの支援を行うために、具体的な支援内容や体制の Good Practice を比較検討した上で、支援の実践に反映していくことである。具体的には申請者が支援を行いながら調査研究を行っている埼玉県への原発避難者支援を軸に、先行する他の自治体の事例（新潟、山形、北関東など）における原発避難への支援体制の比較研究を通じ、多様な環境に置かれる避難者に対して多様な支援が可能な体制（支援の複数性を確保する仕組み）を構築する条件を明らかにすることである。さらに、学術的な調査による結果報告にとどまらず、調査研究の成果を還元する実践を行い、その諸実践を再帰的に捉え直しながら、実践的な調査研究を遂行することで、震災研究に対する調査研究自体のあり方を相対化することも企図している。

③学術的な独自性と意義 原発避難者に関する調査研究の中で、避難者の動向、避難者支援、受け入れ体制と自治体の関係に関して継続的に同一地域で包括的に調査研究を行っている事例は少なく、本研究はその数少ない一つである。埼玉県には強制避難区域からの避難者、自主避難者の双方の避難者と、それぞれの支援団体が存在しており、多様な避難者に対して多様なニーズの支援のあり方を考える上では、重要な地域であり調査研究の必要性が高い。さらに、本申請研究は実践的で社会実装を伴う研究であり、従来の社会調査にありがちな、単に調査をして論文として発表するというスタイルとは異なる。

④期待される効果 学術的には、多様な避難者が求める多様なニーズに対して、現状の体制の中でどの領域をどの範囲まで実現すべきかという福祉社会学、社会福祉学の議論や、原発避難を巡るガバナンスに関して地域社会学、政治学に対する議論、さらに原発避難という行為自体に関しては、移民研究や地域移動研究などへの論点も提示可能となる。また、本研究は実践的な調査研究を志向しているが、その調査行為自体を再帰的に考察することによって、震災研究の社会調査方法論についても議論することも可能になる。一方、本研究の成果としての「福玉便り増刊号」は、避難者に対する情報提供という意味だけではなく、支援団体の活動記録としての意味と、一般市民、行政関係者などに情報を提供するという意味をもつ。本申請研究が終了する時期は、震災から5年という時期に当たる。原発避難の問題は、残念ながら、長期間に及ぶことになり、問題自体の風化が大きな課題となる。マスコミにも取り上げられ社会的注目を浴びている福玉便り増刊号の刊行は、研究上の成果のみならず、社会的な意義が大きい。

公益財団法人 カシオ科学振興財団

〒151-8543 東京都渋谷区本町一丁目6番2号

電話 (03) 5334 4747