

第36回 (平成30年度)

助成研究の概要

研究助成金贈呈式
平成30年12月7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。

〈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「地球環境を課題とする問題解決に向けた研究」

人類が直面している温暖化・資源の循環・環境汚染等の問題に対しての研究を募集いたします。

〈基本テーマ〉

- 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30年4月11日～5月31日
 応 募 数 114大学より313件

2. 選考審査

選考予備会議 7月13日開催 選考方針・選考基準の確認
 個別書類審査 7月19日～8月20日
 選 考 会 議 9月14日開催 助成候補者の選出
 理 事 会 10月12日開催 助成金受領者45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	題 目	応募件数	助成件数
特別テーマ		地球環境を課題とする問題解決に向けた研究	64	7

〔基本テーマA〕(電気・機械工学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
光・電子デバイス 材料・物性 融合技術	1	半導体関連 エレクトロニクス スピントロニクス	12	3
	2	電気・電子・磁性デバイス MEMS	9	2
	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	2
	5	新素材 ナノテクノロジー関連	37	8
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	5	0
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	2	1
	8	ソフトウェア 知識処理 AI	10	0
	9	放送 通信 IoT	5	0
	10	計測 制御 センシング	16	0
	11	機構 ロボット	8	1
環境 その他	12	環境エレクトロニクス (材料 新エネルギー 省資源 省エネルギー)	15	2
	13	シミュレーション科学	5	0
	14	加工法 工作法 リサイクル技術	4	1
	15	信頼性・最適デザイン	5	1

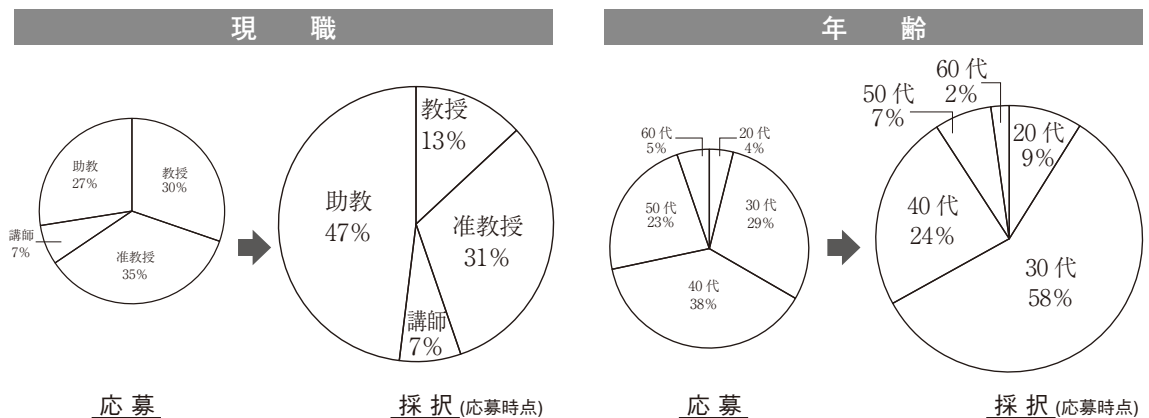
〔基本テーマB〕(医学・生理学系)

分 野	分類No	題 目	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	9	2
	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	8	0
	18	ヘルスエンジニアリング	34	6
	19	バイオエレクトロニクス関連	13	2

〔基本テーマC〕(人文科学系)

分 野	分類No	題 目	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	30	4
	21	変革期における人間行動の研究	9	2

4. 研究者 (代表研究者)



5. 助成金額

【年度別 研究助成総額の推移】

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

回数	年度	件数	総額(千円)
第21回	平成 15	40	50,400
第22回	〃 16	39	50,740
第23回	〃 17	44	50,000
第24回	〃 18	46	51,990
第25回	〃 19	49	54,350
第26回	〃 20	43	53,000
第27回	〃 21	42	52,000
第28回	〃 22	39	50,750
第29回	〃 23	38	49,000
第30回	〃 24	38	50,000
第31回	〃 25	38	50,000
第32回	〃 26	38	49,960
第33回	〃 27	40	60,000
第34回	〃 28	40	59,990
第35回	〃 29	41	64,870
第36回	〃 30	45	72,680

現在までの

助成件数 1,371件

助成金総額 1,788,647千円

【設立認可】 昭和57年12月23日

【特定公益増進法人認可】 昭和59年10月20日～平成22年11月30日

【公益財団法人設立登記】 平成22年12月1日

選考委員

阿 江 通 良	日本体育大学 教授 大学院研究科長代表・大学院体育科学研究科長 筑波大学 名誉教授
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	工学院大学 名誉教授
伊 藤 彰 義	日本大学 名誉教授 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
枝 松 圭 一	東北大学 電気通信研究所 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 特別招聘教授・名誉教授
笹 瀬 巖	慶應義塾大学 理工学部 教授
定 本 朋 子	日本女子体育大学 教授 大学院スポーツ科学研究科長
高 橋 智	東京学芸大学 総合教育科学系 教授
平 川 一 彦	東京大学 生産技術研究所 教授
広 田 照 幸	日本大学 文理学部 教授
益 子 典 文	岐阜大学 教育学部 教授 附属学習協創開発研究センター長
松 山 泰 男	早稲田大学 名誉教授 理工学術院総合研究所 名誉研究員

平成30年度

研究助成

第36回(平成30年度) 研究助成一覧

45件

助成金総額 7,268万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額
1	北西太平洋中緯度域の亜熱帯モード水の規模および物理・化学的性質の時間変化と炭素循環における役割	東北大学大学院理学研究科 助教 高 柳 栄 子	500 万円
2	ミリ波ラジオメータによる大気微量分子観測に基づく北極域オゾン層破壊メカニズムの解明	名古屋大学宇宙地球環境研究所 助教 中 島 拓	484
3	干ばつ地域の農業を可能にする気孔制御分子開発～有機反応化学からのアプローチ～	名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 特任准教授 村 上 慧	500
4	微生物の細胞表層への金属硫化物半導体自己形成能を利用する無機―生体ハイブリッド光触媒反応	奈良女子大学大学院自然科学系 助教 本 田 裕 樹	500
5	情報科学的アプローチによる抗感染症薬の基礎開発	九州大学大学院医学研究院 准教授 橋 口 隆 生	500
6	物質循環サイクル確立による林業と木質バイオマス発電活性化のための地還元型自己崩壊コンクリートの開発	高知工科大学システム工学群 教授 大 内 雅 博	500
7	ナノ構造により発現する抗菌メカニズムの解明とその抗菌原理を用いた抗菌シートの創成	関西大学システム理工学部 教授 伊 藤 健	490
8	in-situ法によるTi内部へのナノTiBウィスカの低コスト析出技術開発と複合材料特性解明	東北大学大学院工学研究科 助教 栗 田 大 樹	100
9	スピン制御面発光レーザを用いた省電力な直交振幅変調法の研究	東北大学電気通信研究所 助教 横 田 信 英	100
10	格子歪を介した単一スピンと格子振動との結合とスピン操作	筑波大学数理物質系 教授 黒 田 眞 司	100
11	情報埋込みを用いた2次元/3次元画像の互換表示技術の開発	千葉大学大学院工学研究院 准教授 今 泉 祥 子	100
12	光造形型3Dプリンタの多色造形に向けた検討	東京大学大学院工学系研究科 講師 百 瀬 健	100
13	生物機械融合と感覚置換による定位行動の基本戦略の解明	東京大学先端科学技術研究センター 特任講師 安 藤 規 泰	100
14	プラズモニックメタ原子を利用したナノピクセル光センサの創製	東京農工大学大学院工学研究院 特任准教授 久 保 若 奈	100
15	酸化物超格子の低温還元を活用した秩序合金磁性体の形成	東北大学多元物質科学研究所 講師 吉 松 公 平	100
16	非整数金属酸化数をもつ異種金属一次元鎖錯体の合成	岐阜大学工学部 准教授 植 村 一 広	100
17	金属錯体を基盤とした分子エレクトロニクス材料の開発	神戸大学大学院理学研究科 准教授 高 橋 一 志	100
18	コロイド状シリコン粒子を用いた光メタ表面デバイスの開発	神戸大学大学院工学研究科 助教 杉 本 泰	100
19	ピコ秒で完結する固体内イオンの移動が誘起する電流計測法の開発	徳島大学大学院社会産業理工学研究部 特任准教授 南 康 夫	100
20	「核置換」と「金属錯化」を用いた反芳香族ポルフィリノイド錯体の合成と電子材料への応用	九州大学大学院工学研究院 助教 小 出 太 郎	100
21	酸化ガリウム系共鳴トンネルダイオードの試作	佐賀大学理工学部 准教授 大 島 孝 仁	100
22	塗布型Si半導体を指向した「液体Si－固体Si変換機構」の研究	北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 講師 増 田 貴 史	100
23	放射光メスbauer分光測定によるFeAs系化合物の超伝導発現機構の解明	兵庫県立大学大学院物質理工学研究科 助教 池 田 修 悟	98

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額
24	プロテインコロナに着目したナノマテリアルの安全性評価法の確立	自治医科大学医学部 教授 市 原 佐 保 子	100 ^{万円}
25	インパルス電圧印加法による薬剤耐性菌とその耐性遺伝子の不活化と下水道における消毒技術としての応用	北里大学医療衛生学部 講師 古 川 隼 士	100
26	異常に大きな上部臨界磁場を有する新しい超伝導体の開発	東京理科大学理学部 助教 加 瀬 直 樹	100
27	環境電磁波によるバッテリーレス生体信号センシングに向けた生体アンテナモデルの構築	東京理科大学理工学部 助教 村 松 大 陸	100
28	バイオナノモーターがもつ軸受けの摩擦損失に関する研究	法政大学生命科学部 准教授 曾 和 義 幸	100
29	電子・イオン伝導制御を基盤とするバイオニックFETの創出	早稲田大学大学院情報生産システム研究科 准教授 三 宅 丈 雄	100
30	低強度パルス超音波刺激に対する細胞骨格タンパク質の応答	北海道大学大学院獣医学研究院 助教 佐 々 木 東	100
31	つけ爪型脈波センサの開発 ―全生活時間をモニタリング可能な無拘束計測システム―	東北大学加齢医学研究所 助教 井 上 雄 介	100
32	高精度軸索エレクトロセンシングによるヒトiPSニューロンの成熟マーカーの探索	東京大学大学院工学系研究科 助教 榛 葉 健 太	100
33	アプタマー修飾電極を用いた毒性アミロイドβの電気化学的検出システムの開発	東京農工大学大学院工学府 助教 塚 越 か お り	100
34	ヘルスケアエンジニアリングを志向した酸化物ナノアーキテクチャの展開	長岡技術科学大学技学研究院 助教 小 松 啓 志	98
35	二共振周波数を有する超音波プローブを用いた広帯域光超音波検出に関する研究	富山大学大学院理工学研究部 特命助教 長 岡 亮	100
36	超高速X線信号処理で切り開く低被ばく・多色X線CTの創出	金沢大学理工研究域 助教 有 元 誠	100
37	損傷神経細胞の体内修復利用を可能とする電気パルスでの遺伝子導入法を用いた遺伝子工学技術の開発	兵庫県立大学大学院生命理学研究科 教授 生 沼 泉	100
38	がんワクチンの飛躍的向上を目指したがん細胞への二重鎖RNA及び抗原ペプチド送達	北九州市立大学国際環境工学部 准教授 望 月 慎 一	100
39	スマートグラスを用いた頭部誘導心電図における心拍数モニターシステムの開発研究	福岡工業大学大学院工学研究科 助教 李 知 炯	100
40	持続型農業イノベーションの普及に資するコーディネータのネットワーク活動	東北大学大学院工学研究科 准教授 福 川 信 也	100
41	幼児期の自己制御が小学校高学年の学業的・社会的適応に及ぼす影響	千葉大学教育学部 准教授 中 道 圭 人	100
42	非漢字圏外国人日本語学習者のための漢字書字行動測定装置の開発と認知メカニズムの解明	名古屋大学大学院人文学研究科 教授 玉 岡 賀 津 雄	100
43	創造的対話に向けたデザイン評価の可視的コミュニケーションツールの開発・建築・都市デザインを対象として	京都大学大学院工学研究科 助教 太 田 裕 通	98
44	複合現実における情報提示に関する研究：ヒトの知覚特性を考慮した空間周波数の変調	東京電機大学情報環境学部 助教 日 根 恭 子	100
45	大学時代のレポートライティング経験は職業生活に役立つのか	京都産業大学全学共通教育センター 准教授 小 山 治	100

北西太平洋中緯度域の亜熱帯モード水の規模 および物理・化学的性質の時間変化と炭素循環における役割

研究者 東北大学大学院理学研究科 助教 高 柳 栄 子

【① 背景】

地球表層の二酸化炭素(CO_2)は、主に大気に約750 Gt、陸上生物圏に約2,000 Gt、海洋に約40,000 Gt存在するといわれている。海洋は CO_2 貯蔵量が圧倒的に多く、その量は大気の50倍以上にも及ぶ。よって、海洋は地球の最も重要な CO_2 貯蔵庫として位置付けられる。

過去約90万年間の地球の気候は、相対的に寒冷な氷期と温暖な間氷期が10万年ごとに繰り返し生じる氷期-間氷期サイクルによって支配されてきた。大気 CO_2 濃度は氷期-間氷期サイクルに伴って変動していたことが氷床コアの記録から明らかにされており、氷期の大気 CO_2 濃度は間氷期と比較して約100ppm低かったとされている。氷期は気温が低く日射量が少ない点を考慮すると、陸上生物圏の CO_2 貯蔵量は氷期にかなり低下していたと推測される。よって、氷期-間氷期サイクル時にみられる約100ppmの大気 CO_2 濃度変化は海洋が最も重要な CO_2 吸収・放出源としての役割を担っていたとする説が有望である。そこで従来の研究では、海洋に CO_2 を固定する3つのプロセス(生物ポンプ、アルカリポンプ、溶解ポンプ)と放出する1つのプロセス(炭酸塩ポンプ)がどのように相互にバランスし、約100ppmの CO_2 濃度変化を生み出したのかについて盛んに議論されてきた。しかし、氷期-間氷期における各プロセスの相互関係を検証するための古環境記録や証拠が十分に集積しておらず、約100ppmの変化を説明できるメカニズムは未だに明らかになっていない。

現海洋における北太平洋中緯度海域(琉球列島周辺を含む)は、冬期には大気 CO_2 の強い吸収源に、夏期にはわずかな放出源になることが近年の観測結果から示されており、特に北緯20°~30°海域の CO_2 蓄積量は周囲と比較して約1.5~2倍大きい。この中緯度域における豊富な CO_2 の蓄積に貢献しているのが「北太平洋亜熱帯モード水(以後、亜熱帯モード水と称する)」と「北太平洋中層水」である。亜熱帯モード水とは北西太平洋の水深約100~400 mに存在する水塊であり、大気から大量の CO_2 を取り込んだ表面海水が冬季の海面冷却により海洋内部に沈み込むことで形成される。一方、北太平洋中層水とは北太平洋亜熱帯循環域の深さ約300~800 mに存在する塩分極小の水塊であり、温かい黒潮系水と冷たい親潮系水が本州東方で混合することで形成される。近年、両中層水は、大気 CO_2 と西部北太平洋起源の栄養物質(鉄や栄養塩など)を豊富に含んだ状態で亜寒帯域から亜熱帯域に向かって流れ、貧栄養な黒潮流域の生物生産の維持に寄与している可能性が示唆されている。よって、両中層水塊の発達には亜熱帯域表層の生物ポンプの効率を上げ、大気 CO_2 濃度の低下を加速させる可能性がある。また、中層水の形成・発達を促す冬季モンスーン(季節風)は、氷期の期間、汎世界的に優勢であったとされている。よって、両半球中緯度域における中層水塊の発達が、氷期に大気 CO_2 濃度を約100ppm低下させた過程の「影の立役者」であったのかもしれない。しかし、氷期-間氷期における北太平洋中緯度域の中層水塊の規模やその物理・化学的性質(水温・塩分・pH・炭酸系化学平衡など)の時間変化に関する知見はほとんど得られていない。

【② 目的】

本研究では、沖縄周辺の中層海域(水深約100~400 m)に生息する腕足動物*Basiliola lucida*の現生個体および化石を古環境記録媒体とし、同殻の化学組成の変化から氷期-間氷期における亜熱帯モード水の規模や物理・化学的性質(水温・塩分・pH・炭酸系化学平衡など)の時間変化を明らかにすることを目的とする。そして、亜熱帯モード水によるプロセスが、他のプロセス(生物ポンプ・アルカリポンプ・溶解ポンプ・炭酸塩ポンプ)を含めた海洋の炭素循環に与える影響を評価し、新たなプロセスとしての妥当性を検討する。

【③ 学術的な独自性と意義】

本研究では、現海洋の北太平洋中緯度域にみられる強い CO_2 吸収源に着眼し、 CO_2 の吸収を促す中層水塊の発達過程や物理・化学的性質から、海洋の長期的な炭素循環に寄与する新たなプロセスを提唱する。従来考えられてきた炭素循環における各プロセスは、海洋表層(生物ポンプ・炭酸塩ポンプ)と深層(アルカリポンプ・溶解ポンプ)での化学反応のみが注目されており、中層水の役割はほとんど考慮されてこなかった。よって、そこに着目した点は独創的であり、新たな視点から従来の未解決問題に挑戦する本研究は意義がある。

【④ 期待される成果と発展性】

本研究では、沖縄周辺海域を例にして、新たに考案した北西太平洋中層水(亜熱帯モード水)の CO_2 固定プロセスがどの程度のポテンシャルを有し、氷期-間氷期における海洋の炭素循環の変化に対してどのような役割を果たしてきたのかを定量的に評価していく。現海洋では、亜熱帯モード水と類似した冬期における CO_2 吸収源が両半球の中緯度域にみられ、各海域の中層水塊が大気 CO_2 の吸収に大きく貢献している可能性が考えられる。よって、本研究の手法を他の海域(太平洋・大西洋・インド洋)に応用することで、地球表層における中層水の役割を明確にできると期待される。これらの成果は、近年の大気 CO_2 濃度の上昇に対して海洋の炭素循環がどのようなフィードバック効果を与えるのかや、地球温暖化の長期的な将来予測の精度の向上に発展していくと考えられる。さらに、海洋の炭素循環や CO_2 貯蔵庫としての役割に関する理解は、現在進められているジオエンジニアリングにも応用でき、海洋が本来もつポテンシャルを上手く利用することで、少ないエネルギーで効率よく大気 CO_2 を削減するための新たな技術の開発・発展に貢献できると期待される。

①背 景

1980年代に明らかになった南極上空でのオゾンの著しい減少(オゾンホール)だけでなく、全地球的に中層大気のオゾンが減少していることが、観測から明らかになっている(Stolarski et al. 1992)。オゾンの減少は、特に高緯度地域では市民の生活に影響する深刻な環境問題であるが、北極域では南極のような顕著な極渦が無く、はっきりとしたオゾンホールは見られないため、これまで余り注目されていなかった。しかし、例えば2012年1月にNASAのAura衛星が南極のオゾンホールと同程度という北極域のオゾンの大幅な減少を捉えた。この現象は数日間という短い期間であったが、北米、ロシア、北欧諸国の高緯度地域の人口の多い都市の上空にもかかっており、今後も発生することが予想される。この短期間のオゾン層減少と同時に、中間圏の窒素酸化物の増加が捉えられており、人為的な物質によるオゾン破壊ではなく、宇宙空間からの高エネルギー粒子の降り込みによってオゾン分子の破壊物質となる窒素酸化物や水素酸化物が極端に増加したことが原因と考えられている。しかし、このような北極域のオゾン変動メカニズムの観測データに基づく詳細な理解は、未だ充分にはなされていない。

②目 的

本研究の最終的な狙いは、「北極域オゾン層破壊メカニズムの解明」による大気環境の将来予測と環境課題の解決に向けた示唆を与えることである。この狙いを達成するための具体的な研究課題として、以下の技術的目標と科学的目標の二点を掲げる。

- －技術的目標：微量分子変動の様子を高い感度と時間分解能で観測することが必要なため、新しい検出システムを搭載したミリ波帯ラジオメータを開発する。
- －科学的目標：微量分子の密度・組成変動を描き出すことにより、人為起源・自然起源による力学的変動・化学的変動メカニズムを観測的に解明する。

③学術的な独自性と意義

オゾンを含む大気微量分子の観測には、紫外・赤外域の分光法、可視光のレーザーレーダー(ライダー)、さらにゾンデや人工衛星など種々の手法がある。今回提案する「ミリ波帯ラジオメータ」は、大気分子が回転遷移によって放射するミリ波を直接検出するため、紫外・赤外分光のように太陽を背景光として用いる(観測が昼間に限られる)ことや、ライダーのようにレーザーの微弱な散乱光を捉える(観測が夜間に限られる)ことが無く、24時間365日モニタリングが可能な唯一の手法である。特に極域における観測では、極夜や白夜によって長期間に渡って観測が制限を受けることもない。また、ゾンデは測定精度は高いがデータ取得が一時的であり、人工衛星は大局的な分布を捉えるのに適するが周回軌道の関係から時間分解能が粗いという欠点があるが、「ミリ波帯ラジオメータ」は地上からの安定的なリモートセンシングが可能で、高い時間・空間分解能のデータを得ることが出来る。

④期待される成果と発展性

本研究は、時間変化の速い大気物理現象(大気重力波の励起・輸送・破碎過程や太陽陽子・オーロラ電子の降り込み等)と、微量分子の密度・組成変動を詳細に比較研究できるため、地球大気観測における新たなディスカバリースペースを開拓し、新たなサイエンスを創出する可能性を持っている。さらに、このような、物理的・化学的な振る舞いを観測的に理解し、長期的なモニタリングを高い精度で行うことが、大気環境の将来予測や、オゾン層破壊問題に対する解決の糸口を示す重要な情報を与える。

干ばつ地域の農業を可能にする気孔制御分子開発 ～有機反応化学からのアプローチ～

研究者 名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 特任准教授 村 上 慧

【背景】

人類にとって農業は基幹産業であり、世界の発展には安定的な食糧供給が重要である。しかし砂漠地域のみならずアメリカなどの先進国においても、温暖化による干ばつが進行しており、農業における深刻な問題となっている(例：2014年カリフォルニア州における干ばつ被害額15億ドル)。乾燥エリアにおける農業の発展が、将来的な食料の安定確保の鍵を握っている。これを原理的に可能とするのが、植物気孔の運動制御技術である。

気孔とは葉の表皮に存在しており、1対の孔辺細胞に取り囲まれてできる孔のことである。気孔は開口することにより、二酸化炭素を取り込み、同時に水を蒸散する。申請者はこれまで、植物気孔を専門とする名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所の木下教授と戸田博士と研究を行っている。木下研究室では、これまで気孔開口に関わる因子(細胞膜プロトンポンプ)を明らかにし、気孔孔辺細胞への特異的な発現技術の開発により、植物の光合成活性や生産量が向上したモデル植物シロイヌナズナの遺伝子組換え植物体の作出に成功している(Wang PNAS 2014)。また気孔閉鎖作用を有する生理活性物質であるアブシシン酸(ABA)の感受性を孔辺細胞特異的に増強させることで、乾燥ストレス耐性の付与も可能であることを示している(Tsuzuki Front. Plant Sci. 2013)。このように気孔閉鎖能力を強化した遺伝子組換えの乾燥耐性植物がすでに開発されているが、遺伝子組換え技術の社会的なバリアは大きい。全く新しい乾燥耐性付与技術の開発(=分子による気孔運動のコントロール)が望まれている。

【目的】

申請者はフィールドにおける安定的な植物の育成に資する基盤技術の創生に向けて、植物気孔の分子制御を目的に研究を行う。水の蒸散を司る気孔を分子で制御することにより、植物に乾燥耐性を付与し、干ばつ地域の農業の活性化を夢とする挑戦的な研究である。有機反応化学を専門とする申請者による独自アプローチによって、植物学研究にイノベーションを起こす。

【学術的な独自性と意義】

気孔閉鎖を促す生理活性分子としては、ABAがよく知られているが、実用は難しい。不安定であることに加えて、ABAが作用するタンパク質は多岐にわたり、気孔以外への副作用を抑制できない。さらに構造が複雑であるため、極めて高価(100 mg：15,300円(Aldrich))である。農業応用を目指すためには、「価格が安い」「分子構造が安定で強い」「活性が高く、選択的である」という複合要件を同時に満たす必要がある。これを達成する分子の発見には、新たなケミカルライブラリーの存在が必須である。従来とは異なり、申請者が開発した有機反応から構築するケミカルライブラリーを研究に用いる。リード化合物を最短距離で誘導化し、作用機序の解明や農業開発を高効率化する。

【期待される成果と発展性】

分子による植物制御では、分子の構造最適化を行うことにより、その効能や影響範囲を精密に制御することが可能である。「分子で植物を制御する」技術は、これまで植物研究に伝統的に用いられてきた遺伝学的な手法を補完する重要なテクノロジーになる。本研究の独創性は、新概念の「反応生成物ライブラリー」を定義し、自ら創出することにある。有機反応開発を専門とする申請者が独自に開発した反応を用いて、ケミカルスペースの観点から、生物活性分子を指向したライブラリーであり、他の手法では合成できないユニークな分子群を提供する。自前の反応を用いているため、構造活性相関研究や鍵タンパク質同定をシームレスで行うことができる。これまでにない植物制御分子の発見に特化したライブラリーの作成は、基礎的でありながら、極めて波及効果の大きい命題である。

微生物の細胞表層への金属硫化物半導体自己形成能を利用する 無機-生体ハイブリッド光触媒反応

研究者 奈良女子大学研究院自然科学系 助教 本 田 裕 樹

【①背景：光触媒による水素生産、新規に構築した無機-生体ハイブリッド光触媒系】

水素はクリーンなエネルギーキャリアとして注目される。一方、現在の工業的な水素生産は化石燃料の使用に依存しており、自然エネルギーとくに無尽蔵の太陽光エネルギーを利用した水素生産システムの構築が期待され、これは持続可能な開発の実現や資源の枯渇といった地球環境問題における主要な課題の解決に寄与する。光触媒による水の分解反応は理想的な水素生成反応と考えられ、無機半導体や有機分子光触媒を用いた光触媒反応の研究は国内外で精力的に進められている。申請者はこれまでに無機半導体光触媒と水素生成生体触媒との反応を組み合わせた「無機-生体ハイブリッド光触媒」による水素生産について検討してきた(図1(A))。これは光エネルギーを化学エネルギーに変換する無機光触媒と、高活性な水素生成酵素([FeFe]-ヒドロゲナーゼ)遺伝子を導入した大腸菌細胞を組み合わせることで、光エネルギーによる水素生産を実現している。

【②目的：細菌の無機半導体自己形成能を利用する新規な無機-生体ハイブリッド光触媒系の開発】

外部から反応系に供給していた無機光触媒を、大腸菌細胞自体の能力を用いて細胞表層に無機半導体を形成させる(図1(B))。所定の条件で培養するだけで、光触媒能と水素生成能を同時に備えた大腸菌細胞が自動的に形成され、これをそのまま“生きた”光触媒として水素生産に利用可能であることを示す。

【③学術的な独創性と意義：無機-生体ハイブリッド反応系の有効性の追求】

酵素や微生物による生体触媒反応は一般に常温常圧の温和な条件で高選択的に進行し、この機能を巧みに活用する技術は省エネルギー型の工業プロセスの構築の基礎となる。一方、本研究で扱う水素生成反応を含め、工業的な利用価値が高い酵素反応であっても、その反応の進行にエネルギー(細胞内ではNADH等の電子伝達を担う補酵素からの還元力の供給など)を必要とする反応では、如何に安価かつ簡便に還元力を供給し続けるのかという点が実用化の課題となる。無機光触媒を用いた光駆動型の生体触媒反応は、こうした課題の解決に寄与する方法論の一つであり、生体触媒を活用する新たな反応系の開拓につながる。

【④期待される成果と発展性：“生きた”触媒＝自己修復・自己複製が可能な反応系の開発】

水素は今後ますますの需要拡大が予想され、化石燃料の消費に依存しない太陽光エネルギーを利用した水素生産技術の開発は、重要な課題である。また、本研究のように細胞を培養・回収しそのまま利用する反応系においては、“生きた”触媒を利用するという最大の特徴、すなわち反応の進行に伴って劣化した酵素を適切な培養条件下で細胞自体が再生産する＝触媒の自己修復・自己複製が可能であるという、無機触媒や有機分子触媒には達成できない優れた特徴を有する反応系の実現へと発展が期待できる。本研究で目指す水素生産の実証をモデルとして、無機-生体ハイブリッド反応を利用した種々の有用物質生産へと発展させたい。

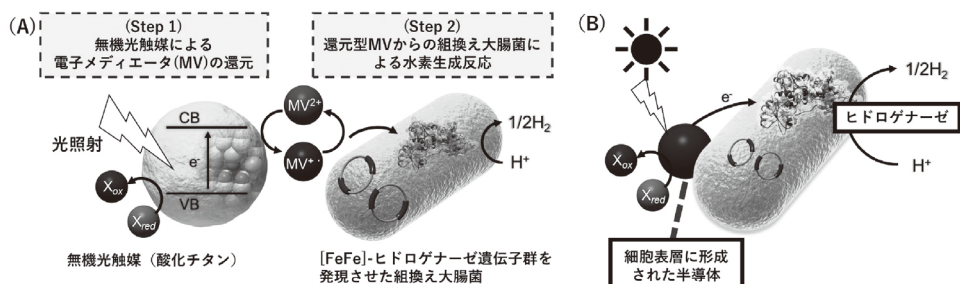


図1 (A) これまでに検討した無機-生体ハイブリッド光触媒系による水素生産の模式図、
(B) 本研究で目指す細菌の無機半導体形成能を利用した反応系の模式図

【背景】

ウイルス感染症に対する治療薬は細菌感染症に対する抗生物質とは異なり、様々なウイルスを一剤で対処することが極めて難しいため、個別のウイルスに応じた治療薬開発が求められる。従って、開発コストが膨らみやすく企業の参入障壁を上げる結果となっている。

最近、我々は半世紀前に抗ウイルス活性があるとされていた、化学修飾されたdi- or tri-ペプチド(Chemically-modified peptide: ケモペプチド)がどのような作用機序でウイルス感染を阻害するかをX線結晶構造解析により解明した(Hashiguchi et al. *PNAS*, 2018)。その結果、疎水性の高い化学修飾部分がウイルス膜融合蛋白質の疎水性のポケットに結合し、その周囲のアミノ酸残基の配置に応じて、阻害ペプチドが相互作用することで特異性が発揮されていることが明らかとなった(図1, IC₅₀=200 nM)。

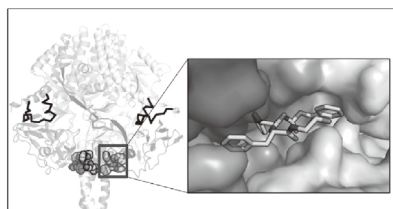


図1.膜融合蛋白質に対するケモペプチド結合部位(疎水性ポケット)の構造

【目的】

上記背景を基に、我々は、共通する化学構造に数アミノ酸からなるペプチドを付加することで高いウイルス特異性を示す一方で、様々なウイルスに応じてオーダーメイドで簡便に特異性を変更可能な阻害剤の開発・実証を行う。本研究では基盤技術の共通化により、低コストの抗ウイルス薬開発プラットフォーム構築を目指す。

エンベロープ(脂質二重膜)を持つ全てのウイルスは膜融合蛋白質を保持しており、膜融合蛋白質はその性質および構造上、必ず疎水性のポケットを持つ。従って、化学構造部分は共通とし、ペプチド中のアミノ酸の並びだけを標的蛋白質の構造情報に応じて変更することで、各ウイルスに特異的なウイルス感染阻害剤を共通プラットフォームにより理論的にコンピュータ設計出来ると考えられる。

【学術的な独自性と意義】

実際、このケモペプチドはアミノ酸配列をランダムに変更することでインフルエンザウイルスやヘルペスウイルスにも感染阻害効果があり、インフルエンザウイルスにも同じ作用機序で効果を発揮していることを示唆する予備的なデータを得ている。

本研究では、特異的治療法が存在せず、致死性の出血熱を起こす場合があるエボラ・マールブルグウイルスと致死率の高いニパウイルスを具体例として、膜融合蛋白質の構造情報を利用したケモペプチドによる感染阻害剤開発を目指す(図2)。

申請者は筆頭著者としてエボラ・マールブルグウイルスの構造決定を行った経験があり(Hashiguchi et al. *Cell*, 2015)、ニパウイルスは申請者が筆頭および責任著者として構造決定を行った麻疹ウイルス(Hashiguchi et al. *PNAS*, 2018)と同じファミリーに属するウイルスであるため、ウイルス糖蛋白質の構造を熟知している。本研究提案は情報科学と化学と医学の融合というオリジナリティーを発揮できる。

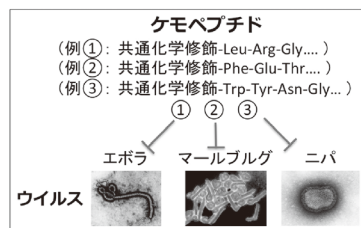


図2.共通プラットフォームによる抗ウイルス薬開発

【期待される成果と発展性】

以上の我々の成果や予備的なデータから、この化合物とペプチドの性質を併せ持つケモペプチドは低コストの抗ウイルス薬開発プラットフォームとなる高いポテンシャルを持っており、コンピュータ設計と組み合わせることで迅速かつオーダーメイドのウイルス感染阻害剤開発手法として感染症治療に活用されることが期待される。本研究により創薬基盤技術を共通化出来れば、あらゆる新興感染症に対しても迅速な対応が可能となるだけでなく、同技術ががんや免疫、慢性疾患、神経疾患など他領域に展開することが可能となる点で非常に大きな発展性がある。

物質循環サイクル確立による林業と木質バイオマス発電活性化のための 地還型自己崩壊コンクリートの開発

研究者 高知工科大学システム工学群 教授 大 内 雅 博

①研究の背景

コンクリート材料は、多種かつ大量の副産物の有効活用を図っていないながら、自身は自然エネルギーによる分解が不可能であり、物質循環サイクルの行き止まりとなっているという問題がある。人類がコンクリートを使い続ける限り、地球はいずれコンクリート廃材で覆われかねないという懸念がある。また、コンクリートを構成するセメントおよび骨材は、いずれも鉱物資源由来の材料である。このままコンクリートをつくり続けるならば、そのための材料資源が枯渇する懸念もある。

以上、廃棄物処理と資源枯渇の問題を解決するために、コンクリートを自然エネルギーによる物質循環サイクルに組み込む必要がある。

②研究の目的

本研究では、木灰を主原料とし、水と練り混ぜて化学反応により硬化する木灰コンクリートを開発する。現在のコンクリートに用いられている、セメントや骨材といった鉱物由来資源は用いないコンクリートである。そして、構造部材としての機能を終えた後は自然エネルギーにより自ら分解して地に還り樹木の肥料となる、今までにない構造材料を目指す。木灰コンクリートを「地還型自己崩壊コンクリート(Self-Degradable Sustainable Concrete: SDSC)」に発展させるため、木灰コンクリートからの水中へのイオン溶出速度を調べる。

③学術的な独自性と意義

建設材料の製造・使用・廃棄のプロセスを、自然エネルギーによる物質循環を核に据えて技術を開発する点に本研究の学術的独自性がある。バイオマス発電とバイオマスコンクリートの両立である。

④期待される成果と発展性

従来のリサイクル技術は、使用済みコンクリートに大量の化石エネルギーを投入してコンクリートの原材料に分解するものか、または、コンクリート塊を粉砕して骨材として活用する程度である。最終処分されるものも多い。一方、本研究では、自然エネルギーにより分解可能であり、土に還り新たな木材の肥料成分となる、再生するコンクリートを開発する。木灰は木質バイオマス発電から生じる副産物である。現在、木灰は肥料として農業に活用されている。セメントも骨材(砂、砂利)も使用しない地還型自己崩壊コンクリートは物質循環する可能性を有している。原材料を山林に求め、作業道による環境破壊を極小化し、やがて地に還り山の養分となる、いままでにない構造材となる発展性がある。

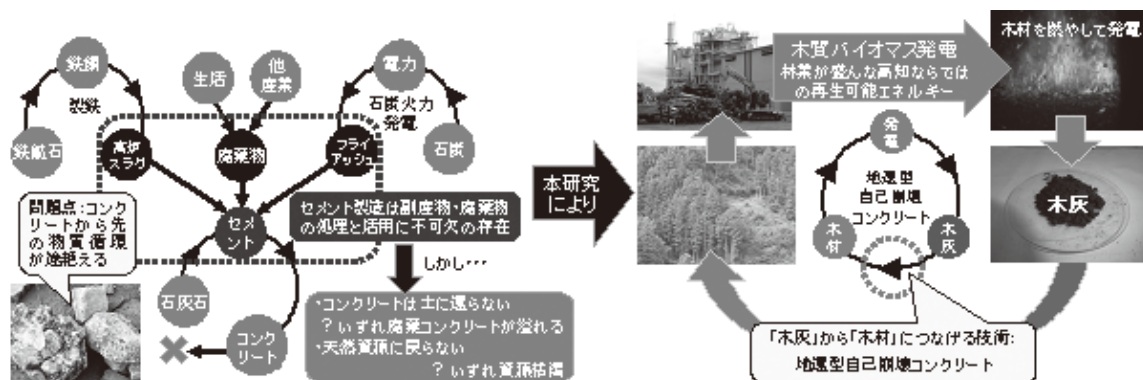


図-1 従来型コンクリートの欠点と本研究の独自性・意義

1.研究背景

セミやトンボなどの昆虫の翅には無数のナノピラー構造が存在することが知られている。このナノレベルの構造は、幅、ピッチ、高さともに数百nmであるため、ナノピラー構造と呼ぶことにする。このナノピラー構造は、光に対する反射防止や超撥水性を示すだけでなく、抗菌作用を示すことが近年明らかになった(Ivanova et al., *Small* (2012))。抗菌メカニズムは、現在のところナノ構造により細胞壁が引き延ばされ、やがて破壊するためと推測されている。しかしながら、超撥水では水への接触角が 140° 以上になることが知られており、細胞が引きずり込まれる要因が解明されたとは言えない。また、ナノ構造による抗菌作用は、持続性があり人体に影響を及ぼさない、表面をクリーニングすれば反復利用できるという観点で自然にやさしい材料である。さらに、現在国際的に問題になっている薬剤耐性のある菌への抗菌作用もあることから早急な実用化が求められる。そのため、ナノ構造による抗菌材料を産業化する上で抗菌のメカニズムの解明は非常に重要なテーマである。

2.研究の目的

セミの翅のナノ構造を人工的に模することで様々な条件を制御し、大腸菌をモデルとした抗菌メカニズムの解明(課題A)を学術的な目標とし、ナノ構造パターンを樹脂フィルムに転写して得られるフィルムの抗菌特性を評価(課題B)することで産業化への道筋を付ける。

3.学術的な独自性と意義

本研究で取り扱う分野は、生物材料や計測技術に関するノウハウを蓄積したバイオ研究の専門家と微細加工技術や材料開発に関する深い知見を持ったナノ・マイクロ加工分野の専門家が協力して行う異分野融合の一つであり、世界的に見ても珍しい取り組みである。人工的なナノピラー構造が抗菌性に与える影響を調査することでナノ構造がもたらす抗菌メカニズムを明らかにするという研究は、世界的に見ても稀であり、新しい知見をもたらす可能性がある挑戦的なテーマである。本研究の推進により、生物の抗菌メカニズムや生存戦略に関する新たな知見が得られることが期待できる。特に遺伝子組み換えが容易で、グラム陰性菌として良く知られている大腸菌を抗菌評価のモデル微生物として採用する点は、本研究の特徴であるといえる。

4.期待される成果と発展性

本研究は学術的に高い新規性を有するだけにとどまらず、公衆衛生に関する分野を代表とした幅広い社会展開が可能である。現在広く普及している抗菌剤は、金属ナノ粒子を用いるものや抗生剤、化学試薬を用いている。これらは、人体への影響が懸念され、長期保存ができない。さらに、近年ではWHOが指摘しているように抗生剤への耐久性を持った細菌(耐性菌)による死亡者が年々増加しており、2017年には約70万人が耐性菌の感染により死亡している。この結果は、従来の抗菌剤の限界を示していると考えられる。また、WHOの予測では2050年にはアジア、アフリカを中心に約1000万人が耐性菌の感染により死亡すると予測しており、早急な対策が必要である。本研究が扱うナノ構造は、対象物の破壊という物理的作用に基づく抗菌作用であり、耐性が生まれ難い点でも新規性に富む。また、構造自体が抗菌性を示す新規材料であり、抗菌効果に持続性があり安全性に優れている。これらの条件を兼ね備えた材料は医療、食品工業、さらにサニタリーなどの環境分野において非常にニーズが高い。本研究では、基礎研究に加えフィルム材料へのナノ構造の転写とその抗菌特性の評価まで行うことで、研究の社会還元も視野に入れた発展性の高い研究である。

①背景

現代社会において、石油の枯渇に対する懸念から石油エネルギーを大量に消費する航空機の燃費向上が強く求められている。機体の軽量化は航空機の燃費向上に最も有効な手段の一つであり、優れた比強度を持つTiBウィスカ強化チタン(Ti)合金基(Ti-TiB)複合材料が注目されている。しかしながら、マイクロメートルオーダーのTiBウィスカがTi-TiB複合材料の破壊の起点となり、その破壊靱性を著しく低下させるため、Ti-TiB複合材料は依然として実用化に至っていない現状にある。

②目的

本研究では、将来的なTi-TiB複合材料の破断伸び(破壊靱性)低下の抑制を目指し、in-situ法によりTi内部へナノTiBウィスカを析出する技術を開発し、Ti-TiB複合材料を作製して力学特性を解明・制御する。

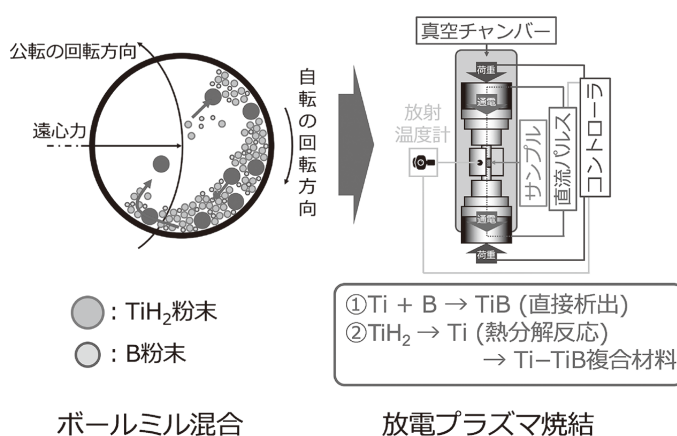
③学術的な独自性と意義

Ti-TiB複合材料に関する過去の研究では $\text{Ti} + \text{TiB}_2 \rightarrow 2\text{TiB}$ の反応を利用してTiマトリクス内にTiBをex-situ析出(TiB_2 を経由した2段階析出)しているが、出発材料である TiB_2 粉末の粒径が数 μm 以上であるため、得られるTiBウィスカはナノサイズになり得ない。本研究は、右図に示すように、純ホウ素(B)粉末と水素化チタン(TiH_2)粉末の混合により TiH_2 内へホウ素をナノレベルで分散・焼結させるin-situ法($\text{Ti} + \text{B} \rightarrow \text{TiB}$ の反応を利用した直接析出法)を用い、ナノTiBウィスカを析出させる技術を開発するもので、

簡便かつ低コストで新規性を有している。また、焼結過程において TiH_2 は熱分解反応によりTiへと変化する。純Tiと比較して脆性である(破碎性に優れる)上、安価である TiH_2 粉末の利用はボールミル混合に有利だけでなく、経済性も高く独創的である。

④期待される成果と発展性

in-situ法によるTi内部へのナノTiBウィスカ析出は、マイクロメートルオーダーのTiBウィスカが引き起こすTi-TiB複合材料の破断伸び(破壊靱性)低下を抑制し、Ti-TiB複合材料の実用化を大きく近づける。また、ナノサイズ化によるTiBウィスカのアスペクト比増加は過去の研究で報告されたTi-TiB複合材料の引張特性をさらに向上させる。したがって、本研究によって達成が期待されるTi内部へのナノTiBウィスカの析出はTi-TiB複合材料の破壊特性低下の抑制と引張特性向上を同時に達成可能な、前例のない革新的な研究になると考えられ、重要な意義を有する。



①背景

クラウドコンピューティングや高精細動画配信サービスの普及など、高度情報化社会の発展に伴い近年の情報通信トラフィックは約50%の年率で急激に増大しており、より大容量な光通信技術の開拓が求められている。その一環として、従来よりも大幅に変調の多値度を向上させることで周波数利用効率を向上させる取り組みが精力的に推進されている。無線信号の規格として既に広く普及している直交振幅変調(QAM)は周波数利用効率が理論的限界に近く有望であるが、通常の半導体レーザから直接QAM信号を出力できないため、外部変調器を用いる必要がある。しかしながら、外部変調器の高い駆動電圧や挿入損失に起因した消費電力量の増大やコスト面などの観点で課題を有している。

②目的

図1に示すように、面発光レーザ(VCSEL)に上向きスピン電子と下向きスピン電子を独立して注入可能なデバイス構造において、各注入電流をそれぞれ独立に変調することで、外部変調器を用いることなくVCSELからQAM形式の光信号を直接生成する方法を提案し、その原理検証実験を行う。また、数値解析結果との比較からVCSELの各物性パラメータが本手法に与える影響を明らかにし、デバイス作製において要求される点を明確にする。

③学術的な独自性と意義

本研究ではVCSELの活性層における電子スピン偏極(上向き or 下向き)を光学遷移選択則を通じて出力円偏光(右回り or 左回り)に対応させ、更にQAM変調成分(I or Q)に対応させることで、直交位相関係の保証された変調信号光を簡便に実現しようとしており、過去に前例のない申請者独自の発想である。外部変調器で問題となる消費電力の大きさをVCSELの直接電流変調によって大幅に低減可能である。動作原理はやや特殊であるが、コヒーレント受光器など、一般的なQAM方式と同じ受光デバイスを用いて処理することができる。また、スピン注入効率など、デバイスの性能面によって受ける影響をデジタルコヒーレント通信では前提とされる高速デジタル信号処理によって補正することで、デバイスにおいて求められる性能を緩和する試みも先進的である。

④期待される成果と発展性

光通信の大容量化と通信用デバイスの省電力化という両立が困難な課題に対して一石を投じる成果となり、本研究成果から得た指針を基にしたデバイスの早期実現が期待される。また、QAM方式の変調多値度を向上させることで、その分だけ変調レートを低減することも可能となるため、高価な高周波デバイスを用いない安価な中容量通信用光源を省電力に実現するための要素技術としての発展も期待できる。

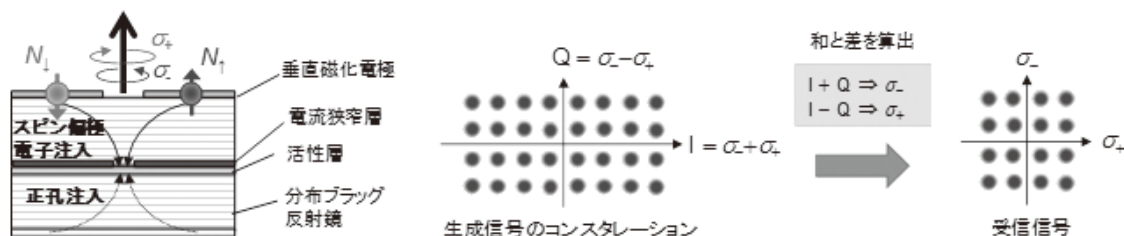


図1 スピン制御面発光レーザを用いた直交振幅変調信号の伝送

①背景

近年、固体中の単一のスピンが注目を集め、量子情報処理・演算への応用を目指した研究が盛んに行われている。単一スピンの系としては、不純物原子の核スピンやダイヤモンド中のNVセンターの研究が報告されているが、本研究では半導体量子ドット中の遷移元素の磁性スピンを対象とする。遷移元素の中ではこれまでドット中のMnスピンが研究されてきたが、本研究で対象とするCrスピンは核スピンがゼロで超微細相互作用によるスピン緩和が抑制され、有限の軌道角運動量より格子歪との結合が強いという特徴を有する。我々はこれまでの研究で、Cr原子1個を含むCdTeドット試料においてCrスピンの格子歪との間の強い結合を明らかにしてきた。本研究ではこのスピン-格子歪の強い結合を利用し、格子振動によりCrスピンを制御する手法を開拓することを目指す。

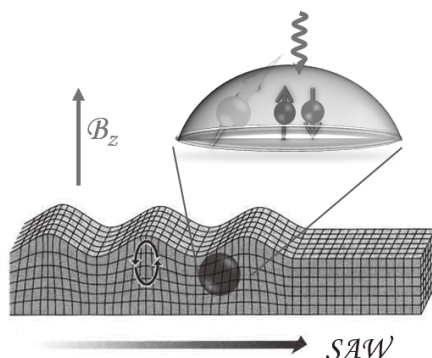


図1: 表面弾性波(SAW)によるドット中のCrスピン変調の模式図。

②目的

本研究では、CdTeドット中の単一Crスピンにおける格子歪との結合を利用して、人為的に発生させた格子歪によりCrスピン状態を制御する手法の開拓を目指す。具体的には、ドットを含む試料に表面弾性波(SAW)を発生させ、それに伴う格子振動によりCrスピン状態がどのように変化するかを明らかにする。さらに量子化されたフォノンとスピンとの結合による共鳴状態を検証することを通じて、フォノン媒介の遷移によりCrスピンを制御する手法を開拓することを目指す。これにより、Crスピンを量子ビットとして使い、量子ビット間でフォノンを媒介として量子情報を伝達する「量子バス」の機能発現に繋げる。

③学術的な独自性と意義

最近、単一の量子系と格子歪との結合に関する研究が種々報告されているが、本研究は格子歪と結合する単一の量子系としてドット中の遷移元素の磁性スピンという新しい系を提案する。遷移元素の d 電子は結晶場とスピン軌道作用とを通じて格子歪の影響を直接受けており、これまでに例のない新しいメカニズムによりスピンと格子歪とが強く結合した系である。特にCrスピンは磁気異方性により格子歪の影響を強く受け、他の単一スピンの系に比べて結合の強さが遥かに大きい(最大2桁程度)という優位性があり、スピンと格子歪の結合を利用して格子振動によるスピンの制御を実現するには適した系と言え、そのような系を対象とすることに本研究の意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究により、格子振動がCrスピン準位に齎す変化が明らかとなり、格子振動によるスピン変調が実現すれば、フォノンを媒介した準位間の遷移によりCrスピンを操作することが可能となる。ドット中の単一Crスピンは、申請者のこれまでの研究により、Crスピンの比較的長いコヒーレンスや光を通じた操作性が明らかにされ、量子ビットとしての利用可能性が実証されている。さらに本研究の成果によりフォノンの媒介によりCrスピン間で情報を伝送する「量子バス」の機能が実証されれば、量子情報処理に必要なもう一つの要素技術である量子ビット間の情報の長距離伝送も実現することになる。さらに本研究は格子振動とスピンとの相関における量子的効果を解明し量子情報処理への応用を目指す“Quantum acoustics”(量子音響学)とも呼ぶべき新たな分野の開拓にも繋げると期待される。

①背景

ステレオ画像とは、同一の被写体を異なる二つの位置から撮影して得られる画像対である。この2枚の画像間を両眼で見たとき、私たちはその視差に応じて3次元情報を知覚することができる。これまで、3次元画像に関する研究は活発に行われてきた。しかしながら、ある1枚の画像について、その画像を立体的な3次元画像で閲覧したいときと、平面的な2次元画像で閲覧したいときとでは、両者に互換性がないため、2種類の異なる画像を用意しなければならない。すなわち、2次元画像の2倍あるいは3倍の情報量が必要となり、画像保存の観点から冗長である。また、画像表示において、ディスプレイあるいはプロジェクタでは、画像を2次元あるいは3次元のいずれかでしか表示・投影できないため、一つの表示画像からユーザが2次元/3次元での閲覧を選択することはできない。

②目的

本研究では、上述の課題に対応するため、2次元画像から3次元画像を生成可能な互換表示技術について研究する。具体的には、3次元での知覚を可能とする視差情報を、2次元画像に対して見えないように埋込むことで、2次元画像を保存するだけで3次元での表示も実現する。これにより、冗長性を有する3次元情報を、2次元画像とは別に保存する必要がなくなり、全体の情報量は $1/2 \sim 1/3$ に削減される。さらに、埋め込まれた視差情報を2次元画像から抽出することで、2次元/3次元での閲覧をユーザごとに任意に選択可能となる。

③学術的な独自性と意義

本研究の独自性は、情報埋込み技術を応用し、2次元画像のみを保存することにより、必要に応じて3次元での表示も可能とすることである。これまでに、2次元画像に視差情報を重ねて表示/投影することで、3次元での視聴を実現する技術は開発されているが、情報圧縮の観点から、これらの技術が検討されることはなかった。例えば、デジタルシネマの場合、フレームレートは標準で24～48 fpsであり、すなわち、1秒間に24/48枚の画像が必要となる。2次元と3次元とでタイトルを別々に保存することを考えた場合、情報圧縮を考慮しなければ、2次元表示での情報量の3倍を保存しなければならない。2次元画像のみの保存で3次元での表示も可能となれば、革新的な情報圧縮技術の開発に繋がると期待できる。また、視差情報は、既存の画像圧縮の国際標準方式を適用可能であることが見込まれるため、視差情報が埋込まれた2次元画像の品質は、高い品質を保持できることを予想している。

④期待される成果と発展性

本研究では、主にプロジェクタやディスプレイでの表示を目的に、3次元情報を2次元画像に対して可逆に埋込む技術を研究するが、この成果はプリンタ産業にも応用可能である。例えば、近年、CMYK(シアン、マゼンタ、イエロー、ブラック)の通常4色のインクに加えて、光沢や蛍光、白色などの特色インクを用いて、特別な質感を印刷する、特色印刷の開発が活発に行われている。そこで、特色インク情報を、対象の画像情報に対して不可視に埋込むことにより、一般印刷との互換性を保持できると考えている。すでに産業界でのニーズを得ており、大型インクジェットプリンタの製造企業と共同で研究を行うことを予定している。さらに本研究での成果は、可逆画像処理への応用も期待できる。一般に、通常の画像処理手法は非可逆であり、一度処理を加えると、もとの画像に戻すことは困難である。既存の技術では、可逆性を実現するため、処理履歴を別の情報として保存している。そこで、本研究での成果を応用して、この処理履歴を画像自身に埋込むことで、一切の付加情報を必要とせず、可逆に画像処理を施すことができる。

①背景

3Dプリンタはいかなる立体構造も形成でき、中でも有機分子の光重合反応を利用した光造形型3Dプリンタは優れた解像度を有する一方で大きな外形寸法の構造体を形成できることから注目を集めている。3次元構造形成技術としては金属の切削加工や半導体のリソグラフィが知られているが、いずれも外部からイオンやドリルにより加工を行う減算手法のため、内部にコイル状空間や分岐など複雑な3次元構造を形成することは難しい。これに対し、3Dプリンタは必要な箇所に材料を配置していく加算手法のためレシピ次第で任意の3次元構造を自在に形成可能である。但し、構成材料はポリマーに限られるため応用用途は限定的であり、表面(内壁面・外壁面)に機能性薄膜をコート可能な製膜技術との組み合わせが肝要である。一連の手法は各種デバイスのデザインルールにパラダイムシフトを引き起こす可能性を秘めており、新たな3次元構造形成の基盤技術に資する。本学の小西、五神らの開発した光造形型3DプリンタRECILSは従来に比べ大幅な解像度の向上を達成しており、一方、申請者の検討している超臨界流体における化学反応を用いた薄膜堆積法SCFDは様々な材料を微細高アスペクト比の構造内部にも均一にコートすることから、上記目標に向け開発を進めている。

②目的

SCFDは主に半導体分野において検討され、複雑な3次元構造内部にまで均一に機能性薄膜をコートできるが、下地選択性があるためポリマー表面へ直接膜を堆積することは難しいことが知られている。これに対し我々は、ポリマー表面を酸素アニールし改質するという簡便かつ安価な手法により膜を堆積できることを明らかにし、特許出願を終えた。前記は1種のポリマーと1種の金属材料に関してのみ明らかになった段階であり、改質機構は元より適用できる材料の組み合わせなど未解明な点が多い。本研究では、この技術を発展させ、必要な箇所にのみ必要な膜を堆積する多色造形技術へと昇華させることを目的とする。

③学術的な独自性と意義

テラヘルツ(THz)波通信分野を始め、3Dプリンタによる微細かつ複雑な構造形成と金属コーティングを組み合わせるアイデアは以前からあったが、いずれの技術も確立されておらず、実現への目途は立っていなかった。高精度3DプリンタRECILSの開発により、高解像度のポリマー構造形成の目途が立ったことから、コーティング技術の開発段階に入った。SCFDは従来技術では成し得なかった優れた回り込み性と成長速度を両立できており、本技術を活用することが本研究の独自性である。また、光造形の元となる光化学、表面改質の元なる高分子材料学、製膜の元となる反応工学を一貫通貫に議論する融合領域を創出する意義もある。なお、学内ネットワークを活かし、3Dプリンタ開発者である小西(共同研究者)と薄膜プロセス開発を生業とする百瀬(申請者)がタッグを組むことにより、発芽段階にある両技術の融合させることも重要な視点である。

④期待される成果と発展性

3Dプリンタは自在にポリマー3次元構造を形成できる一方、SCFDはアスペクト比が100を超える深遠な孔・溝内に均一な機能性薄膜を形成できることから、一連の手法を用いればプロセスに由来する構造上の制約を一切受けることがなく、任意の構造および任意の表面機能を有する有機無機ハイブリッド構造を形成することが可能となる。多色造形も可能となれば、デバイス設計の自由度を激変させることができる。例えば、キセロゲルなどの多孔質体への金属コートにより軽量高強度材料、軽量高反発材料の形成が可能であるが、多色造形と組み合わせにより位置選択性、異方性を持たせることも期待できる。また、ポリマーマイクロ流路に耐薬品性壁面と触媒性壁面を組み合わせた3次元ラボオンアチップも現実味を帯びてくる。

①背景(内外における当該分野の動向):

自律移動ロボットには、GPSに頼ることなく、実環境の局所的な情報を頼りに目的地へ定位する能力が求められている。このために、SLAMを始めとする自己位置推定と地図構築を行う研究がロボティクス分野で進んでいる。一方、生物の生存にとって定位能力は必須であり、細菌から昆虫、そして哺乳類に至るまで、目的地に到達するためのしくみを備えている。例えば哺乳類では脳内に認知地図を持ち、定位を行うことが知られている。本研究の対象である小さな昆虫であっても、サバクアリやミツバチのように、ベクトル積算によるオドメトリと視覚ランドマーク情報を統合して定位を行う例が知られている。昆虫が脳内に認知地図を持つか否かは論争があるものの、基本的な行動の多くが局所的な情報に対する応答で説明できる点は興味深い。また、離散的な情報をたどって定位する匂い源探索では、定型的な行動応答からなる昆虫の探索モデルと、匂いの受容履歴からベイズ推定を行い情報量を最大化するように移動する情報走性モデルが、極めて類似した行動と性能を示すことが報告されている。このことから、昆虫のシンプルな行動は、様々な生物定位行動の基本戦略を見出すのに格好のモデルと言える。これまでに視覚、聴覚、嗅覚と様々な感覚情報に基づく多様な定位行動とそのしくみが研究されており、移動ロボットへの応用も期待されている。しかし、昆虫がこれら異なる時空間的特性を持つ感覚情報に対して異なる行動戦略を用意しているのか、それとも共通の戦略を用いて行動の多様性を獲得しているのかは明らかでない(図1)。行動戦略の比較は、生物の行動を調べ、行動モデルや神経回路モデルを構築し、ロボットに実装することで可能となる。しかし、現実には生物の感覚-運動システムの完全理解には至っておらず、その完全なコピーとなるモデルの獲得には至っていない。

②目的(課題設定と狙い)

本研究では、従来のようなモデルではなく、昆虫をそのままロボットのコントローラとして利用し、仮想環境で行動する生物と、実環境を行動する移動ロボットの感覚-運動システムを任意に結合する「感覚置換」を行い、共通の行動戦略の有無を明らかにする。感覚情報の時空間的なダイナミクスの違いのみで、定位行動戦略の多様性を説明できるか否かが、本研究課題の学術的な問いである(図1)。

③学術的な独自性と意義

本研究の学術的独自性は、生物学的にも工学的にも重要な定位行動の基本メカニズムを、感覚置換という異種感覚情報の「つなぎ替え」で証明することである。具体的な実験例を挙げると、コオロギの音源定位行動でロボットを操作して、匂い源や視覚ランドマークといった異なる感覚情報源に定位させ、その定位行動戦略の汎用性を評価することである。思考実験に留まっていたこの考えを、申請者の独自の技術である生物機械融合で実現する。さらに、ロボットを用いた生物学研究の推進とバイオメテイクスへの新展開を図る点で、手法自体の学術的意義も大きい。

④期待される成果と発展性

共通戦略があるとする考え方は、異なる感覚情報ごとに行動モジュールを用意することなく、入力情報の時空間的なダイナミクスによる共通戦略の調節のみで、様々な情報源への定位をロボットで実現するものである。この機能は反射・本能行動レベルの基本的なものであるが、変化する環境の中で、高速かつロバストに動作する定位メカニズムとして、高い汎用性が期待できる。

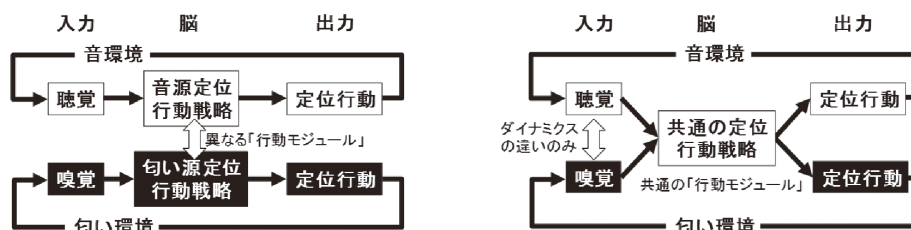


図1. 個別の行動モジュール（左）と共通の戦略（右、本研究の仮説）

光熱電変換機構に基づく、ナノピクセル光センサの実現を目指す。実現のために用いるのは金属ナノ構造体からなるプラズモニクメタ原子である。昨年、当研究室は世界で初めてプラズモニク光熱電機構を見出した。本研究が見出した新規機構に基づく光センサは、原理的には単一メタ原子だけでも光検出が行えることから、将来的にはナノピクセルイメージセンサにつながると考えている。従来は観測が難しかったナノ空間領域における光検出が可能になると期待する。

① 背景

光検出はあらゆる電子機器に利用される不可欠な素子であり、撮像素子であるCMOSイメージセンサにも組み込まれている。通常利用されるCMOSイメージセンサの画素サイズは数十 μm 程度で、東芝株式会社で開発した世界最小クラスの画素サイズでも1.4 μm である。今後、4K、8Kテレビの普及に伴い、さらなる画素サイズの縮小化が課題と言えるが、従来のCMOSはシグナルとノイズの比を確保できない事情もあり、単純な縮小化が困難と言える。

② 目的(課題設定とねらい)

本提案はプラズモニク光熱電変換機構に基づく、ナノピクセル光センサの実現を目指す。プラズモニク光熱電変換機構は本研究グループが発見した新しい機構である(特許出願済)。この機構は、光照射によって生じたプラズモン局所熱が熱電変換材料中に温度差を生み出し、熱電変換機構によって電流として検出することを可能にする。原理的に単一のプラズモニクメタ原子のみで光検出を行うことができ、可視光領域で光検出を行えるプラズモニクメタ原子はそのサイズが100 nm四方以下である。つまりナノサイズの検出窓をもつ光センサの実現が期待できる。

③ 学術的な独自性と意義

プラズモン共鳴では局所熱が発生することは既知の事実であるが、プラズモン局所熱によって熱電変換特性を誘起できるプラズモニク光熱電変換機構は、当研究室が初めて報告した新しい現象である。この機構にはプラズモン局所熱発生、局所熱の周囲への伝搬機構、および熱電変換機構が関与している。プラズモニク光熱電変換機構に基づく機能性素子を開発することはすなわち、それぞれの素過程の基礎的理解をすることに等しい。

④ 期待される成果と発展性

本研究が提案するナノピクセル光センサは、原理的には単一のプラズモニクメタ原子のみで光検出を実現できる。可視光域で応答する単一のプラズモニクメタ原子は100 nm四方以下のサイズであるため、単一のプラズモニクメタ原子による光検出が実現すれば、ナノピクセルの光検出器となる。さらにそれをアレイ化すれば、ピクセルサイズが100 nm程度のナノピクセルアレイの撮像素子として機能するため、より高精細・高解像のイメージセンサへの展開が期待できる。将来的にはナノ空間における光の検出に発展すると期待する。

①背景

ビックデータ・人工知能の活用と、近年では膨大な電子情報を利用した新たな分野の成長が著しい。多量のデータを扱うためには、それを記録する記憶素子にも大容量化が求められている。ハードディスクドライブ(HDD)などの磁気メモリでは、 $L1_0$ 型合金を利用することで、単位面積当たりの記録量を増やす提案がなされている。 $L1_0$ 型合金は面心立方格子の(100)方向に異種金属が交互積層した構造を持つ(図1左)。 $L1_0$ 型FeNi合金は有力な磁性材料であり、FeとNiが1原子層ずつ積層した秩序構造が磁性発現の鍵である。しかし、FeとNiは原子番号が近いこと、秩序配列した $L1_0$ 型は準安定構造である。そのため、高いFe/Ni秩序度を持つ $L1_0$ 型合金を形成可能な新規手法が求められている。

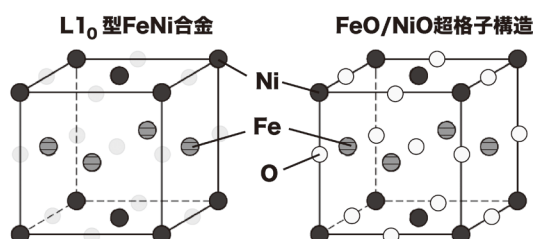


図1. $L1_0$ 型FeNi合金(左)とFeO/NiO酸化物超格子(右)の結晶構造。酸化物超格子から酸化物イオンを除くと、 $L1_0$ 型構造と一致する。

②目的

従来の $L1_0$ 型FeNi合金形成では、FeとNiの金属原料を交互蒸着することで秩序構造を形成している。しかし、基板との格子ミスマッチへの弱さ、高温合成ができないなどの制約があり、～40%程度と低い秩序度の課題がある。そこで本研究では高いFe/Ni秩序度を持つ $L1_0$ 型合金を得るため、酸化物(FeOとNiO)を原料とした新規プロセスを提案する。すなわち、高温条件下でエピタキシャル薄膜として成長可能なFeO/NiO酸化物超格子薄膜をはじめに形成し(図1右)、高いFe/Ni秩序度を得る。その後低温での化学反応を行い、結晶構造を崩さずに $L1_0$ 型合金へと還元する。

③学術的な独自性と意義

$L1_0$ 型の合金は金属を原料として、いかに高い秩序度と磁気特性を得るかの観点で精力的に研究されている。そのため、酸化物を原料とした後還元による合金形成例はない。酸化物材料はパルスレーザー堆積法の発展により、積み木細工のように自由自在に超格子を形成する技術が確立している。そのため、本研究手法で高いFe/Ni秩序度と垂直磁化をデモンストレーションすることで、金属磁性材料の研究潮流を一変できる。

④期待される成果と発展性

将来トンネル磁気抵抗(TMR)効果を用いた磁気デバイスとしてFeNi合金を使う場合には、薄膜MgOバリア層が必要となる。性質の異なるFeNi(金属)とMgO(酸化物)で急峻な界面の形成には高いハードルがある。しかし本研究のように酸化物で超格子形成する場合、全て酸化物で素子構造を形成できる。さらに、FeO、NiO、MgOは全て岩塩型構造の同一結晶系であるため、ヘテロエピタキシャル薄膜として成長可能である。すなわち最終的な素子構造を想定すると、酸化物超格子による秩序構造形成からの後還元という $L1_0$ 型合金形成手法は、従来と比較して明確な優位性がある。

①背景(内外における当該分野の動向)

金属錯体は、電子状態の多様な金属イオンと、設計性に富んだ有機配位子で構成され、2つをうまく組み合わせ、規則的に配列された集積型金属錯体は、無機物や有機物を超える物性や機能が期待されている。中でも、*z*方向へ、*d*-バンドを形成する一次元鎖錯体は、古くは部分酸化型白金一次元鎖であるKCPやマグナス塩が、近年ではハロゲン架橋のMXやMMXが対象化合物として取り扱われ、物性評価されてきた。しかし、直接の金属結合を有する一次元鎖錯体は驚くほど少なく、扱われる金属は、ロジウム(Rh)、白金(Pt)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)と、*d*8金属に限定されている。その理由は、*d*8金属のHOMOは d_{z^2} 軌道にあり、一電子酸化された*d*7種との*z*方向への重なりを利用できることと、それが部分酸化されたバンドを形成するので、導電物性の対象化合物となりうるからである。それゆえ、Rh、Pt、Ir、Pd以外の金属を一次元状に並べる為には、まわりの有機配位子を多座配位可能にしたりと、工夫と有機合成の労力が必要となる。

②目的(課題設定とねらい)

そのような中、申請者らは、白金複核錯体($\text{Pt}-\text{Pt}$)とロジウム複核錯体($\text{Rh}-\text{Rh}$)が、直接の金属結合で繰り返し並んだ、異種金属一次元鎖錯体の合成に成功した(図1右上, *Inorg. Chem.* **2014**, *Inorg. Chim. Acta* **2015**)。この一次元鎖錯体は、 $-\text{PtII}-\text{PtII}-\text{RhII}-\text{RhII}-$ の酸化状態で整列しており、2種類の金属上の d_{z^2} 軌道におけるHOMO-LUMO相互作用で一次元鎖化している。直接の金属結合で一次元伸長化しているものの、金属上の酸化数は整数であり、伝導性は期待できない。そこで、本申請課題では、部分酸化された異種金属一次元鎖錯体の合成を目的とする。具体的には、2種類の金属錯体を混合して一次元鎖錯体を合成する過程で電解酸化しながら一次元伸長化させることを狙う。

③学術的な独自性と意義

固体物性で真に興味深い現象は、金属の平均酸化数が非整数のときに現れ、導電性に限らず、スピンドYNAMICS、磁性、相転移と幅広い研究の対象化合物となりえる。物性物理の理論と物質合成は新物質相創製の両輪であり、そのためにも新しい一次元鎖錯体の合理的研究が発展する必要がある。本研究で扱う異種金属一次元鎖錯体は、2種類の金属錯体を上手に組み合わせることで、一次元構造を構築できており、各々のフロンティア軌道をあらかじめ調整することで、一次元鎖錯体のバンド構造を制御でき、大きな物質群となりえる。

④期待される成果と発展性

本研究の目的である、部分酸化された異種金属一次元鎖錯体の実現できれば、電気伝導性に限らず、金属間の電子移動、混合原子価相の発現、不対スピンの誘起と磁性、温度または圧力に依存した相転移、光によるキャリアの誘起等において新しい物性の創出が期待できる。また、超伝導や強磁性と優れた固体物性に繋がる基礎的な合成研究として、学術的に大きなインパクトを与えられと考える。

① 背景

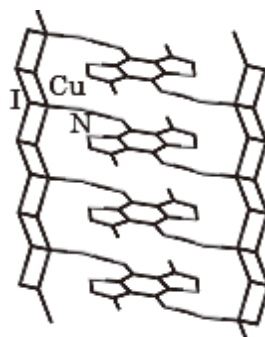
有機電界効果トランジスタ(FET)や有機太陽電池など有機分子を基盤とした分子エレクトロニクスが、近年注目を集めている。分子の設計性や多様性、軽量かつ柔軟性、低毒性、溶液プロセスによる加工性など従来の無機半導体にはない利点があり、既存のエレクトロニクス材料を代替することが可能となれば環境・エネルギー問題に対しても有効な解決手段の一つとなることが期待される。一方で、目的とするデバイスに適した分子はかなり限定されており、高品質なデバイスの開発へ向けた特定の分子を用いたプロセス開発が盛んに行われている。

②目的(課題設定とねらい)

分子エレクトロニクスの基本特性である FET 特性は、有機分子の種類や薄膜作製条件に強く依存している。これは電気伝導パスの形成が有機分子の π 軌道間の弱い分子間相互作用によるものであり、多彩な機能性有機分子を利用したデバイス作製を妨げる原因の一つと考えられる。これらを克服する物質として金属錯体分子に着目する。金属イオンと有機配位子間の配位結合は伝導パスを形成する π 軌道間相互作用より強く、分子配列制御に利用することができ、金属錯体由来のスピン・電子機能を持つ薄膜デバイスの開発につながるものと考えられる。しかし、金属錯体薄膜の作製例はこれまで多くはない。本研究では、スピンスイッチング機能としてスピントロニクスオーバー(SCO)現象を示す金属錯体薄膜と配位結合をはじめとした強い分子間相互作用に基づく分子配列制御された金属錯体薄膜の作製と FET 特性との相関より、分子間結合・相互作用の分子配列制御に基づく高機能金属錯体薄膜デバイスを開発することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

申請者は、SCO 錯体カチオンとスピン・電子機能性錯体分子ユニット間に比較的強い分子間相互作用を積極的に導入し分子配列と相転移の協同性制御により金属錯体結晶の電気伝導性や磁性の制御に成功してきた。強い分子間相互作用の導入による分子配列制御という手法は、機能性スイッチング金属錯体結晶の開発において他グループにはない独自のものである。さらに、以前に報告した高導電性ヨウ化銅(I)錯体 $[(\text{CuI})_2(1)]$ では、ヨウ化銅(I)は一次元梯子状ポリマー構造を形成しており、有機 π 電子受容性配位子1は銅(I)イオンに配位結合することで分子配列制御された π スタッキングカラム構造を形成している(図1)。生体分子なども含め分子性集合体を示す機能性は分子配列に基づくものである。分子配列の精密制御へ向けた分子間結合・相互作用の利用への基礎的な知見を得ることは分子エレクトロニクスの分野にとどまらず、広く分子集合体の科学の発展に寄与するものである。

図1. $[(\text{CuI})_2(1)]$ の構造

④期待される成果と発展性

SCO 錯体は温度・圧力・光などの外部刺激に応答する金属錯体であり、SCO 錯体薄膜による FET 素子は様々な外部刺激に応答するセンサーとなることが期待される。また、スピンの有無を制御可能であるため、スピントロニクスへの展開も期待される。配位結合をはじめとした強い分子間相互作用を用いることで分子レベルの規則的かつ精密に配列制御されたナノ層構造が形成される。電荷分離界面や電荷輸送層の分子配列を精密に制御された太陽電池や FET 素子などの分子エレクトロニクスの高性能化につながるものと考えられる。また、溶液プロセスによる大面積二次元金属錯体薄膜の作製にもつながるものと期待される。

①**背景**：メタマテリアルは、自然には存在しない特異的な電磁応答を示す人工材料である。Split-Ring共振器を集積した構造に代表されるマイクロ波制御から、光(可視～近赤外領域)の制御を目指す研究が盛んに行われている。近年では、2次元構造の光メタマテリアルである「光メタ表面(メタサーフェス)」の構築に注目が集まっている。メタサーフェス構造により、光の波長よりも十分に薄い膜厚の素子で入射光の位相や波長を変調できることが示されており、高開口数レンズ、波長変換素子(図1)などが開発されている。メタサーフェスを構成するメタ“原子”として、一般的に表面プラズモン共鳴を示す金属ナノ構造が用いられている。しかしながら、誘電率の虚数部に起因する吸収損失が大きい

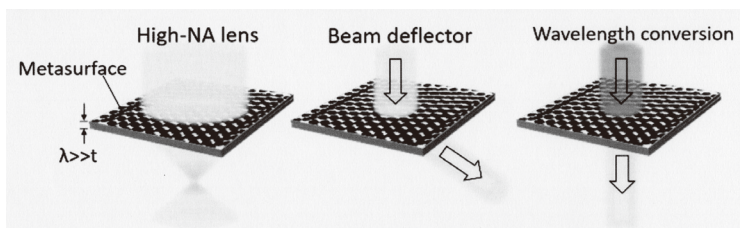


図1. メタサーフェスを利用した光学素子の例。

大きいため、金属ナノ構造を用いた素子は透過率が低いという本質的な問題がある。

上記の問題を解決するために、高屈折率誘電体の光学共鳴が注目されている。高屈折率誘電体のナノ構造はそのサイズや形状に応じて内部にMie共鳴が励起される。そのためサブ波長スケールの誘電体は電気・磁気双極子に由来するMie共鳴を示し、理想的には低損失且つ金属並みの高い光閉じ込め効果を実現できる。また、電気・磁気的な共鳴モードが特定の条件を満たすとき、誘電体ナノ構造は単一指向性を有する共鳴散乱を示す。これはホイヘンスの原理における二次波源と見なせるため、共鳴による位相遅れと指向性散乱により、任意の波面制御設計が吸収による損失無しで実現可能となる。

②**目的**：上記のように誘電体メタサーフェスの有用性が認識される一方で、多くの研究で大面積化が困難な微細加工技術を用いて構造を作製しているため、光学的効果の原理検証の域を出ない。申請者は最近、新たな誘電体メタ原子として、サブミクロンサイズの結晶シリコン(Si)粒子が溶液中に均一に分散したSiコロイドを開発した。Siは高屈折率且つ吸収係数が小さく、光の波長域で理想的なMie共鳴体としてふるまう。本研究では、Siコロイドとナノインプリントリソグラフィ技術を用いて、高度な微細加工技術を用いずにメタサーフェスデバイスを開発することを最終目的とする。本申請年度では、重要課題であるSiコロイドの精密な粒径分布制御技術の開発とナノインプリント技術・溶液材料の印刷技術を用いた配列構造形成技術の開発を行う。

③**学術的な独自性と意義**：本研究は、申請者が独自に開発したSiコロイドを開発によってはじめて可能となるものであり、誘電体粒子のコロイド溶液を用いたメタサーフェスデバイス開発は他に例が無い。メタサーフェスのみならず、高屈折率誘電体ナノ構造におけるMie共鳴とその集合体の相互作用に関する研究は、理論研究が先行しており、実験的報告が乏しい。Siコロイドの材料的な新規性に加えて、誘電体メタ原子の詳細な光学特性解明や配列構造作製技術を確立することにより、Mie共鳴に起因する新たな光機能を開拓する実験的研究に大いに貢献すると予想される。

④**期待される成果と発展性**：誘電体メタサーフェスデバイスは非常に薄い構造で高度な波面制御が実現できるため、小型カメラ等の一般民製品の光学設計の概念を一新するものである。誘電体メタサーフェスは光散乱による構造色として耐食の無い高解像度カラーピクセルへの応用や周囲の光学活性物質の光応答を著しく増強する光アンテナとしても大いにその魅力を発揮する。これらの構造を単純かつ安価に製造する材料・技術の開発はメタサーフェスの応用を促進することが期待され、その意義は極めて大きい。

① 背景

これまでに実現されてきた高強度テラヘルツ波による物質の状態変化は、主にその物質のポテンシャル内で原子の振動する様子が変わったというものや半導体中の電子が励起されたというものが大半であり、本研究の目指す、イオン・原子を移動させたというものは皆無である。

② 目的

次世代の二次電池(充電式電池)として利用の期待されている、超イオン伝導体中の可動イオンの運動をサブピコ秒で制御・計測する。

超イオン伝導体中では可動イオンがポテンシャル障壁によりトラップされているが、一定以上の電圧の印加により可動イオンはポテンシャル障壁を乗り越え、ホッピングしながら移動し電流となる。本研究では、テラヘルツ波の照射によりサブピコ秒でこの可動イオンの運動を制御し、さらにそれをマクロな電流として取り出すことを目的とする。サブピコ秒間で完了するイオンの移動から生じた電流を検出するために、電荷の蓄積などの特殊な手法を利用する(図)。室温でマクロな電流として取り出すことができれば、次世代の二次電池として期待されている超イオン伝導体のキャリアダイナミクスを調べることができ、実用化へ近付く。

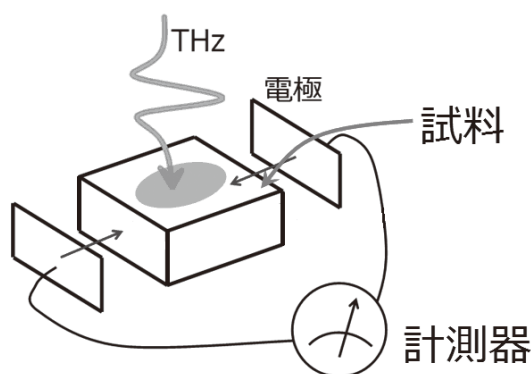


図 マクロな電流直接測定の実験配置のイメージ。

③ 学術的な独自性と意義

これまでにテラヘルツ波によって電子状態や格子振動を変化させたという研究報告がなされているが、本研究は、テラヘルツ波によってイオンを移動させ電流を流すというマクロな変化を誘起する点新しい。また、そのイオン電流のオン・オフはサブピコ秒という短い時間で完結するが、その様子を観測しようとする点も新しい。イオンがトラップされた状態(絶縁体)とホッピングして移動する状態(導体)とを変化させることができる点から、超短時間での絶縁体-導体相転移とみなすことができる。この「テラヘルツ波誘起相転移」が実現すれば、新しい光誘起相転移の一分野を拓くことができ、学術的インパクトのみならず、エレクトロニクスに有用な機能性を加えることから工学的にもインパクトがある。

④ 期待される成果と発展性

現在世界中で広く使われている二次電池ではレアメタルが利用されているが、本研究で用いる超イオン伝導体はレアメタルフリーの物質であり、そのイオンの操作が確実なものになれば、今後の二次電池開発に大きく貢献するものとなる。また、固体中のイオンの運動を利用するため、充電に要する時間が大幅に短縮されるなど、資源の節約の他に、充電時間の節約を期待できる。さらに、本研究は二次電池への応用以外では、例えば、超高速電流スイッチング素子へも応用可能である。エレクトロニクス分野において、キャリアの制御はインダクターや電気記録における基本技術であるため、センサー、メモリー、スイッチ、トランジスターへの応用が期待できる。これらのことから、本研究はテラヘルツ波によって誘起したイオン応答のデバイスへの実用化を前進させる研究となる。

「核置換」と「金属錯化」を用いた 反芳香族ポルフィリノイド錯体の合成と電子材料への応用

研究者 九州大学大学院工学研究院 助教 小 出 太 郎

①背景(内外における当該分野の動向)

「芳香族性」は「平面環状 π 共役系において $(4n+2)$ 個の π 電子が非局在化する」ことで発現する性質で、基礎科学的に非常に重要な概念であるとともに、エネルギーの安定化効果、構造的剛直性、豊富な電子に由来する反応性など、様々な特徴があり、工業材料などにも幅広く芳香族分子が利用されている。「芳香族性」と対になる「反芳香族性」は、平面環状共役分子において $4n$ π 電子系で発現することが知られているが、反応性が高く不安定な化学種であり、実際の合成例も少なく、これまでその物性・特徴は解明されずにいた。

近年、反芳香族性分子は芳香族性分子よりもはるかに高い電気伝導度を示すことや、安定な2電子酸化・還元による電池への応用、低エネルギー光の吸収などが報告され注目を集めており、電子材料への応用に大きな期待が持たれている(図1)。しかし、反芳香族性を示す分子は通常は不安定な化学種であり、その構造構築法の開発とさらなる物性の研究が重要になると考えられる。明確に強い反芳香族性を示す化合物の例は少なく、今後さらに活発な研究が展開されると予想される分野である。

軌道エネルギーレベルモデル図

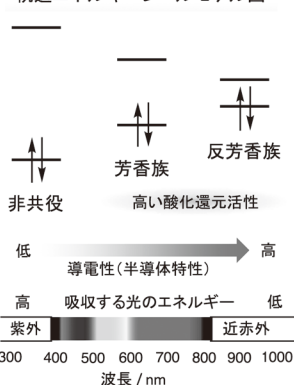


図1. 反芳香族分子の特徴

②目的(課題設定とねらい)

反芳香族性分子の特徴として、(1)環状 $4n$ π 共役系を有し、(2)平面構造を有することが挙げられる。本申請研究では、これらの課題をクリアするため、酸化還元活性な大環状共役分子をプラットフォームとし、電子状態制御のための核置換、そして平面構造固定化のための金属錯化という手法を用いることとする。

③学術的独自性と意義

申請者は分子設計にあたり「ポルフィセン」と呼ばれるポルフィリンの構造異性体に着目した。ポルフィセンは構造対称性の低下によってLUMOの縮退が解け、エネルギー準位が低下していることによって骨格そのものが電子受容性を示す珍しい化合物であり、2段階の可逆な一電子還元過程を示すことが知られているため(図1)、このような電子状態の分子を構築する良いプラットフォームになると期待できる(図2)。

本申請研究においては、ポルフィセンの2電子還元体に相当する20 π 環状共役系を作り出すために分子内のピロール環を他のヘテロ5員環に置き換える「核置換」という手法を用いる。これまでこのような手法での反芳香族性発現の成功例はなく、達成されれば反芳香族性分子の合成と物性研究の展開が望める。

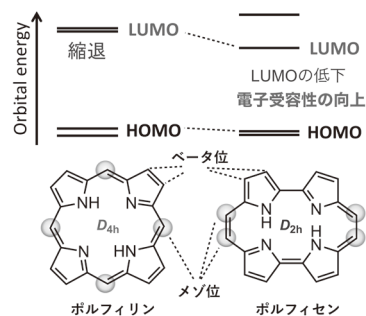


図2. ポルフィリンとポルフィセンの構造と分子軌道の比較

④期待される成果と発展性

特徴的な電子状態の分子をプラットフォームとし、ヘテロ原子置換と金属錯化によって「反芳香族性分子」の合成法を確立することが期待され、達成されれば新たな合成アプローチの方法論となるとともに、物性解明の進展も期待でき、今後の電子材料分野に大きな影響を与えている。

①背景

現在、パワー半導体酸化ガリウム(Ga_2O_3)の発展が著しい。 Ga_2O_3 は、約5 eVの極めて大きなバンドギャップを持つことから、既存パワー半導体であるGaN, SiCの次の世代を担うものとして期待され、加速度的に研究開発が行われている。既に1 kVを超える高耐圧ショットキーバリアダイオードやトランジスタが報告されており、現在最も注目されている化合物半導体である。

一方、 Ga_2O_3 系混晶エレクトロニクスの研究開発はこれから本格的になると考えられる。上記のように Ga_2O_3 の研究は盛んに行われている一方で、混晶を利用したエレクトロニクス応用を志向した研究はほとんど行われていない。これは、混晶作製のために高度なヘテロエピタキシャル技術が必要なるためだと考えられる。そのような中、研究代表者は幾つかの結晶多形で $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{O}_3$ 混晶系の提案[1,2], $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$ ヘテロ接合と二次元電子ガス生成[3], さらには $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$ 多重量子井戸の作製[4]を行った。いずれも有望な結果であり、 Ga_2O_3 系混晶エレクトロニクスの幕開けを予期させるものであった。そして、分野の発展のために次に求められるのは混晶やヘテロ接合を利用したデバイスの試作と考えた。

②目的

そこで、本研究では Ga_2O_3 系半導体の多重量子井戸を利用した共鳴トンネルダイオードの試作を行い、量子効果に起因する負性抵抗を観測する。共鳴トランジスタは、多重量子井戸内の隣り合う量子化準位(サブバンド)の重なるの程度によりトンネル確率の変化を利用したデバイスであり、特徴的な物理現象として負性抵抗が挙げられる。混晶エレクトロニクス応用の一例を示すのに効果的なデバイスであると考ええる。

③学術的な独自性と意義

Ga_2O_3 系半導体でトンネル効果を利用したデバイス作製は初めてであり、学術的独立性が高い。そもそも、 Ga_2O_3 系では単一のヘテロ接合に関する研究が行われているのみであり、多重量子井戸や超格子といった量子トンネル効果が期待される超構造の研究は国内外で行われていない。

本研究は Ga_2O_3 系混晶エレクトロニクスを加速化させる契機になるという点で意義がある。 Ga_2O_3 は、p方半導体が作製困難なことを除けば、III-V族系半導体と同じように扱うことができる化合物半導体である。しかしながら、混晶エレクトロニクスに関する研究は皆無と言ってよい状況にある。本研究のデバイス試作は、 Ga_2O_3 系混晶エレクトロニクスへの関心を一気に集めることができると考えられ、分野の発展に繋がると考えている。

④期待される成果と発展性

目的で述べた共鳴トンネルダイオードの負性抵抗は観測できると考えている。これは、自身が作製した過去の Ga_2O_3 系ヘテロ接合が、急峻なヘテロ接合界面を有しており、量子効果の発現が期待されるためである。

また、本研究はテラヘルツ応用も期待される。多重量子井戸は、サブバンド間遷移によりテラヘルツ波の生成が可能であるが、 Ga_2O_3 系はパワー半導体であることから特に高出力や温度依存性の小さなテラヘルツ波の生成が期待できるのではないかと考えている。

[1] T. Oshima et al, Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 070202 (2009).

[2] T. Oshima et al, Appl. Phys. Express **10**, 051104 (2017).

[3] T. Oshima et al, Appl. Phys. Express **10**, 035701 (2017).

[4] T. Oshima et al, Appl. Phys. Express **11**, 065501 (2018).

1. 背景

私達には将来に亘り人類社会が使用可能な元素資源を中心とした社会を創る事が求められています。例えば100年後の人類社会に残されている元素資源の筆頭には地殻存在比2位のシリコン(Si)があります。そしてSi産業が、「固体Si(ウェハ)」の獲得、「気体Si(シラン)」の活用、と歩みを進めてきた過去100年の歴史を振り返ると、この先「液体Si」と呼ぶ新材料を必要とする社会が来ると考える事もおかしくありません。故に後世に必要となる新たな学術領域として「液体Si科学」を追求する必然性が生まれます。そこで申請者は、 Si_5H_{10} の化学式を持ち脱水素化により半導体Siとなる液体物質「液体Si」を世界に先んじて創出しました。

2. 目的

本研究の目的は、「液体Si」(図1)の「液体→固体」変換時に出現する反応中間体を明らかにし、その固体化機構を解明する事です。そして歴史的に未開拓である「液体Si科学」という学術領域を切り拓きます。

「液体Si」に光を照射すると脱水素化が進行し、Siは1→2→3次元と高次構造を形成します。そして最終的に良質な半導体Siとなります。この「液体

→固体」変換時における分子の状態・構造の解明は、Siの結晶化や不純物ドーピングといったSi半導体に不可欠な物性をより高度に制御するための鍵となります。つまり本研究はSi半導体の研究でありながら、「液体」の側面からSiの未だ見ぬ科学技術の可能性を探索する、半導体Si史における初の試みです。



図1. 液体Siの化学式・外観と、固体変換後のバルクSiの写真。固体変換の手法に応じて非晶質、結晶質Siとなる。研究では反応中間体の構造と反応機構の解明を目的とする

3. 学術的な独自性と意義

本研究の特徴は「液体」という立場に軸足を置きながら、Siという極めて制御性の良い優れた材料を更に深く使い込み、それを活用するための道筋を切り拓く初めての取り組みという点です。その学術的な独自性は、中間体構造の解明を通し脱水素化における金属(半導体)材料の「液体→固体」変換という相変換の端緒を切り拓く点にあります。その学術的意義は、我々が既に報告した「液体SiC」や本研究で取り組む「液体Si」のみならず、その先にある「水素化金属液体」という新たな材料科学の潮流を生み出すための基礎基盤を提供する点にあります。

4. 期待される成果と発展性

本研究で期待される成果としては、中間体構造の解明を通してSiの対象を「硬い固体」から「柔らかい液体」へと転換させる材料の設計指針が得られる事が挙げられます。これは中間体構造を通した不純物ドーピングの(つまりp型やn型の)液体Siの設計や、液体SiX材料(SiC, SiN, SiC, SiS等)など、半導体Si産業に不可欠なSi系の新たな「液体」材料創出に繋がります。

本研究を通した「液体Si科学」の探求がもたらす発展性は、「Si工学」の概念と領域を飛躍的に拡大させ、物質科学や材料工学に新たな材料と方法論を与える点です。そして有機ケイ素科学、ソフトマテリアル、プリントエレクトロニクスといった日本が得意とする領域の応用に「半導体Si」という巨大な研究・産業領域を切り拓きます。

①背景

超伝導は、電力や通信等広範囲な分野に応用が期待されている。特に銅酸化物高温超伝導体の発見は超伝導応用研究を加速度的に進め、既に超伝導機器のプロトタイプが試作されている。ただしろい酸化物であるため、線材化等の加工に課題が残っている。このような背景の中、2008年頃にFe系超伝導体が発見された。Fe系超伝導体は金属であり、さらに超伝導転移温度 T_{sc} が最大で55Kまで上昇することから、現在国内外問わず多くの研究者から、基礎研究だけでなく工学的応用研究の両面から盛んに研究が行われている。中でもCo置換系 AFe_2As_2 (A :Sr,Ba,Eu)では4 MA/cm²を超える高い臨界電流を持つ薄膜が作成されていることから、新しい線材材料や超伝導デバイスとして期待されている。一方で T_{sc} が液体窒素温度よりも低いことから、その超伝導の発現機構の解明とより高い超伝導転移温度の実現が求められている。

Fe系超伝導体 AFe_2As_2 は、常圧においてFeサイトが反強磁性に磁気転移すると同時に、正方晶から斜方晶に構造相転移を示す。元素置換や圧力により、構造相転移及び反強磁性転移温度を抑制し、両転移温度が消失する近傍で超伝導状態が発現する。従ってより高い転移温度を持つ超伝導体を設計するためには、両者が超伝導に与える影響を調べることが重要である。

②目的

以上のような背景を踏まえ本申請課題では、 AFe_2As_2 (A :Sr,Eu)を研究対象として選択し、Feサイトの局所的な結晶構造の対称性と磁気モーメントに由来する内部磁場等の微視的情報を得ることができる⁵⁷Fe核放射光メスbauer分光法と粉末X線回折実験を行う。超伝導状態で両実験を行うことで、超伝導にとって有利なスピン状態及び構造を明らかにする。さらに圧力下と元素置換双方で超伝導を発現させて実験を行うことで、圧力によるバンド構造の変化と元素置換によるキャリアー注入が超伝導に与える影響も調べる。以上の結果から、より高い T_{sc} を持つ新物質開発への指針を得ることを目指す。

③学術的な独自性と意義

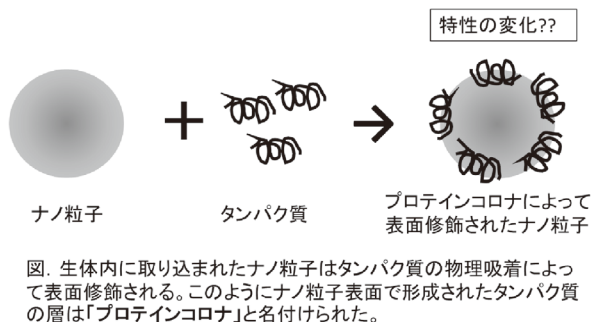
現在物性物理学の分野では、格子振動に代わる超伝導の発現機構として、絶対零度においても存在する量子的な磁性の揺らぎが注目されている。一方で安定した長距離磁気秩序は、超伝導を阻害すると考えられていた。しかしながら申請者は、圧力下 $EuFe_2As_2$ では超伝導とある特有の磁気伝搬ベクトルを持つ長距離磁気秩序が共存し、さらに降温により両秩序変数が協力的に成長することを実験的に明らかにすることができた(詳細は、申請4のこれまでの研究内容を参照)。そこで本申請課題では、 $EuFe_2As_2$ の現在まで例が無い磁性と超伝導の新しく協力的な共存状態とFeサイトの局所構造の関係、及び他の圧力下Fe系超伝導体での実現可能性、さらに置換によるキャリアー導入の影響を調べる。従って本申請課題の独自性と意義は、Fe系超伝導体の従来と全く異なる磁性と超伝導の相関を解明し、さらに局所構造等の情報から超伝導の発現機構と、より高い T_{sc} の実現可能性を解明する点である。

④期待される成果と発展性

本申請課題を推進することで圧力及び元素置換により AFe_2As_2 の磁性、構造、超伝導の相関を系統的に研究し、超伝導にとって有利なスピン状態及び構造を明らかにすることができる。得られた結果は、より高い転移温度を持つ高温超伝導体設計を行う上で役立つことが期待される。

①背景

環境による健康問題として、PM2.5（微小粒子状物質）などの環境中の粒子に加え、新規工業的素材であるナノマテリアルの健康への影響に社会的関心が高まり、生体影響に関するリスク評価や環境基準値の設定が求められている。2014年に英国王立協会がナノテクノロジーの安全性に関する報告書を発表して以来、わが国でも、対応機関である日本学術会議および内閣府が中心となり、ナノマテリアルの安全性に関する議論を行ってきた。塗料、光触媒、化粧品等に広く流通している酸化チタンナノ粒子は、これまで安全な材料と認識されていたが、最近の細胞培養実験で、炎症反応を惹起するなどの安全性を危惧する報告が示された。しかし、これまでの多くの培養細胞研究は標的細胞のみの培養系で構成され、「プロテインコロナ」（下図）の存在を無視してきたことが、問題点として挙げられる。本研究は、生体系を反映する培養細胞試験系を、貪食細胞との混合培養系を用いることで確立し、ナノテクノロジーの発展とともに生み出させる多種多様な新規ナノマテリアルの安全性評価を可能にするハイスループットな試験法の提供を目指す。



②目的

プロテインコロナの構成タンパクが、粒子の細胞への取り込みにどのように影響するかを分析し、また、それらが、上皮細胞である血管内皮細胞と貪食細胞であるマクロファージとの共培養系における炎症促進サイトカイン分泌にどのように影響するかを明らかにする。さらに、マクロファージ共培養系が生体影響をどのように反映するかを明らかにすることを目的にする。

③学術的な独自性と意義

本研究は、プロテインコロナと細胞内取り込み、生体影響との関係性を評価し、生体への影響を反映可能なマクロファージ混合培養系を確立する点に独自性と独創性がある。本研究では、これらの結果を循環器系および呼吸器系に応用し、生体の応答性を再現する上皮－貪食細胞培養系を確立する。また、粒子投与時に表面修飾されるプロテインコロナの組成を分析し、プロテインコロナによる細胞表面の受容体を介した細胞応答に与える影響を明らかにする点に学術的な意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究では、ナノ粒子の生体への応答を反映させるために、1) 上皮細胞－貪食細胞の混合培養系を用いるとともに、2) 肺サーファクタントまたは血漿由来プロテインコロナを含むナノ粒子を用いる。標準的なナノマテリアルを用いて、循環器、呼吸器系における混合培養系を有した応答と、動物実験における各臓器の応答とを比較し、相関性を明らかにする。本研究において、欧州の共同研究者が有するプロテインコロナ解析技術を活用し、その結果を動物実験と結合し、生体影響を反映するハイスループットな解析技術を確立する。本研究は、わが国が欧州とナノマテリアル安全性の基盤研究において情報共有のプラットフォームを形成し、日本がナノマテリアル安全性研究においてイニシアティブを発揮し、持続可能なナノマテリアル開発に貢献する。

インパルス電圧印加法による薬剤耐性菌と その耐性遺伝子の不活化と下水道における消毒技術としての応用

研究者 北里大学医療衛生学部 講師 古 川 隼 士

【①背景】 我が国では、各種水処理技術・施設の整備等によって、水系感染性微生物による汚染は劇的に軽減・改善されているといえる。しかしながら、各種処理施設において病原性微生物を完全に除去・不活化することは困難とされており、依然として水系感染症を引き起こす微生物が水環境から検出されている。さらに近年では、薬剤耐性菌（ARB）およびその耐性遺伝子（ARGs）が下水道や水環境においても検出されており、ARBおよびARGsは環境中へも拡散している。WHOは2017年に人の健康に影響を及ぼす12の薬剤耐性を有する細菌種あるいは細菌科のリストを発表しており、ARBおよびARGsの拡散は世界的にも関心が高まっている。申請者らは、これまでの研究において下水処理場の塩素消毒を含めたすべての処理過程からARBおよびARGsが検出され、ARGsは塩素消毒では完全に不活化できないことを明らかにし、下水処理場からは残存するARBおよびARGsが水環境中に放流されている可能性を示唆した。また、下水処理場は、微生物間のARGsの遺伝子水平伝播のホットスポットであり、新たなARBの発生源、および環境中への主要な排出源であるといわれている。一方で、視点を変えれば、下水道は都市域からARBおよびARGsを含めた病原性微生物を効果的に集約できるシステムである、それらを不活化できるプロセスを解明・導入できれば、水環境へのARBを含めた様々な病原性微生物の拡散を大幅に削減し、それに伴う感染リスクの抑制に大きく貢献できると強く認識した。

【②目的】 本研究では、電気刺激に基づいたインパルス電圧印加法を消毒技術として応用し、微生物だけでなくARGsのような細胞内の遺伝子も不活化可能な消毒技術の確立を目的とする。

【③学術的な独自性と意義】 インパルス方式による電圧印加の方法は、処理対象の溶液を非加熱で殺菌できるため、主に食品の非加熱滅菌法として応用研究が行われている。一方で、水処理分野の消毒法として本技術を応用させた研究例は見当たらない。さらに、本技術によって微生物細胞だけでなく、細胞内部のARGsのような遺伝子の不活化（破壊）を解明した研究例もない。申請者らは、インパルス電圧印加法を用いた消毒実験用装置を構築し、模擬排水の消毒実験において、電圧および処理時間を調整することで、ARBを検出下限値以下まで削減（削減率5.5 log以上）できることを明らかにしている。さらに特筆すべき点は、処理後の模擬排水からは耐性遺伝子が、ある処理条件を境に検出されなかったことである。これは、本技術が細菌細胞だけでなく遺伝子にも不活化効果があることを示唆するものである。このように細菌細胞だけでなく、従来の塩素消毒では成し得ないARGsのような遺伝子の不活化も可能とする消毒技術の確立は、非常に特色のある研究になると思われる。また、本技術による消毒は、下水処理場への導入実績が最も高い塩素系消毒剤において提起されている、消毒副生成物による生態系への影響や処理場での薬品管理の難しさ等の問題を解消できる新技術となりうる。現時点ではオゾンや紫外線による消毒技術よりも導入・ランニングコストを抑えることができると見積もっており、経済性および維持管理の容易さからも、現行の消毒技術よりも優位性のある技術として提供できるため、社会的意義も高いと考えている。

【④期待される成果と発展性】 本申請研究で得られる、インパルス電圧印加法による消毒技術の確立に関する知見および情報をもとに、実証実験に向けた足がかりとしたい。細菌細胞だけでなく、遺伝子の不活化（破壊）も可能とする消毒技術を下水処理場に導入できれば、ARGsの微生物間での遺伝子水平伝播による新たな薬剤耐性を獲得した病原性微生物の発生と拡散を削減し、それに伴う感染リスクを大幅に抑制することができる。本技術は、新たな水環境問題となりつつあるARBとARGsの蔓延にも迅速な対応ができ、真に安心・安全な環境都市域の構築に大きく寄与できるものとする。また、本申請研究では下水処理場における消毒技術としての導入を目指しているが、養殖分野等の異分野への技術展開も大いに期待できると考えている。

①背景

超伝導を特徴できる臨界点は3つあり、転移温度(T_c)、臨界磁場(H_c)、臨界電流(I_c)である。この中で、 I_c は不純物添加などで大幅に向上させることが可能だが、この方法では T_c 、 H_c の大幅な上昇は見込めない。つまり応用化に適した大きな T_c 、 H_c を有する超伝導体を作成するには真新しい超伝導体を発見することが不可欠である。

我々は、近年注目を集めている硫化ビスマス化合物 $\text{La}(\text{O}_{0.5}\text{F}_{0.5})\text{Bi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の超伝導が本質(バルク)であることを超精密比熱測定から明らかにした過程で、面内方向の上部臨界磁場が90 Tを越える可能性を示し超伝導転移温度(T_c)に対する上部臨界磁場($H_{c2}(0)$)の値 $H_{c2}(0)/T_c$ が20を越え、約40年ぶりに4倍もの上昇を示すことを明らかにした。

②目的

本研究では、 $\text{La}(\text{O}_{0.5}\text{F}_{0.5})\text{Bi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の周辺物質における物質開発を行い、さらなる $H_{c2}(0)/T_c$ のさらなる向上を目指す。さらにそれがバルク(本質)の超伝導として存在することを精密比熱測定から明らかにする。

③学術的な独自性と意義

1. 微小試料を用いた超精密比熱測定 硫化ビスマス超伝導体の微小試料を用いた比熱測定は、申請者の得意とする超精密比熱測定によって初めて可能であり、この分野の研究に対して先駆的な役割を果たすことが可能である。実際我々が開発に成功した超精密比熱測定装置により、この物質の超伝導対称性が単一のフルギャップであることが初めて明らかにした。またこの装置を用いてバルクの超伝導でもこの真新しい機構で上部臨界磁場が向上する可能性を見いだすことに成功した。

2. 異常に大きな上部臨界磁場を持つ超伝導体の発見 我々は $\text{La}(\text{O}_{0.5}\text{F}_{0.5})\text{Bi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の面内方向の $H_{c2}(0)/T_c$ が20を越す可能性を明らかにした。これは電子格子相互作用で生じる超伝導では約40年ぶりに4倍もの更新である。この値は強磁性ウラン化合物を除けば常圧下では最大の値であり、なぜ $\text{La}(\text{O}_{0.5}\text{F}_{0.5})\text{Bi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ でこのような超伝導が生じているかは既存の理論では明らかではない。

④期待される成果と発展性

1. 期待される研究成果 反転対称性の破れに起因したスピン軌道相互作用によって引き起こされる、異常に大きな上部臨界磁場が表面超伝導で実現することが知られているが、対象物質は比熱測定からバルクの超伝導で生じることが分かっているため、真新しい超伝導発現機構が期待できる。この ROBiS_2 系では多種多様な物質が存在するものの、比熱測定及び上部臨界磁場を正確に決める研究はほとんど行われておらず、 $H_{c2}(0)/T_c$ の更なる向上が十分に期待できる。

2. 科学的、技術的意義 本研究で対象としている、新しいメカニズムで生じる巨大な上部臨界磁場は、超伝導マグネットを使用した応用化(MRI、リニアモーターカー等)に向けて大きな礎となる。これまでの研究で既に明らかにした $H_{c2}(0)/T_c$ の値はウランを含まず、また高圧力も必要としないことから、研究対象としてだけでなく応用化の側面からも今後の発展が大きく期待できる。

【①背景】

情報機器の小型軽量化により、ユーザがスマートウォッチや生体信号センサなど、複数のウェアラブル機器を身につけることは一般的となった。また、これらの機器を無線で相互に接続するWireless Body Area Network (WBAN)も標準化が進んでいる。日常のヘルスケアのためには生体信号センサを常に装着し、スマートフォン等へ取得した情報を適宜送信することが重要である。このため、機器の常時動作や充電回数の低減が利便性に直結するが、機器の小型軽量化によりバッテリー容量は限られてしまうジレンマが生じる。これらの問題を解決するため、周囲環境に存在する光や熱、振動といった各種エネルギー源から電力を取り出し、省電力なセンサ類の電源として利用するエナジーハーベスティングが注目されている。近年特に注目を集めているは、環境に存在する様々な電磁波をアンテナにより回収し整流することでエネルギー源とする方式である。しかし、小型なウェアラブル機器に搭載可能な規模のアンテナでは、限られた周波数帯域において極めて微弱な電力しか回収できないことが大きな課題となっている。

【②目的】

本研究の目的は、導電性誘電体である人体そのものを電磁波を受信するアンテナ素子とみなし、環境電磁波による発電量を飛躍的に増大させることである。通常ウェアラブル機器に搭載可能なアンテナの利用周波数帯は、形状寸法の制約によりGHz帯付近である。一方で、環境電磁波の中でも電力密度が大きい（送信出力が大きい）のはAMラジオ放送（530 kHz～1.6 MHz）、FMラジオ放送（76～108 MHz）、地上波デジタル放送（470～710 MHz）、携帯電話基地局（800 MHz帯、900 MHz帯、2.1 GHz帯）等であり、これらの周波数帯の電磁波を小型アンテナで効率よく受信することは困難である。一例として身長170 cmの人体を大地グラウンドに立った1/4波長モノポールアンテナとみなした場合、人体の誘電率による波長短縮を考慮した上で、共振周波数はおよそ1.7 MHzと計算される。これは例えば、AMラジオ放送等の電磁波を効率良く受信できるアンテナと考えることができる。さらに、腕部や脚部、その他の人体部位に関しても個々の独立したアンテナ素子とみなすことで、人体は様々な周波数帯で共振するマルチバンドのアンテナと考えることができ、特に電力密度の大きなMHz帯の電磁波を効率良く受信可能になる。本研究では、人体に装着したウェアラブル生体信号センサをバッテリーレスで動作させるため、様々な周波数の環境電磁波に対する生体アンテナモデルを構築し、発電量の最大化を目指す。

【③学術的な独自性と意義】

WBANシステムは現在のところ2.4 GHz帯や920 MHz帯の無線システムの使用が多い。しかし、一般に周波数が高いほど人体に吸収される電磁波のエネルギーは大きく、これらの周波数帯で人体は障害として作用し通信を妨げる厄介な存在として扱われてきた。本研究は、従来はいかに影響を除くかが最重要視されてきた人体を積極的に活用する点に大きな意義がある。また、申請者は生体電磁環境工学を専門とし、人体周辺における電磁波伝搬メカニズムや生体の電氣的な振る舞いについて多くの知見を有しており、分野横断的に本研究に取り組むことにも高い独自性があると考ええる。

【④期待される成果と発展性】

本研究の成果は、生体信号センサのみならず、今後確実に需要が高まらるであろう各種バッテリーレスウェアラブル機器の実現に大きく貢献すると考えられる。さらに、生体アンテナモデル構築の過程で検討される人体内の誘導電流分布等は、生体電磁曝露等の人体に対する安全性の観点からも極めて有益な知見となる。

①背景

生物がもつアクチュエータである分子モーターは、(1) 大きさが10 nmほどであること、(2) 100%に近いエネルギー変換効率をもつこと、(3) 必要な部品（タンパク質）が自己集合して構築されることなど、ナノマシン設計のヒントが集約されている。本研究の対象である細菌が遊泳するために利用するべん毛モーターは、正電荷の流れ、つまり電流を回転トルクに変換する注目すべき研究対象である。このモーターは1秒間に100回転を越える安定な高速駆動が可能であり、回転方向をミリ秒以下で瞬時に切り替えるスイッチ機構を備える。また、回転機構に加えて、多型変換能を持つスクリュー、摩擦熱や摩擦のない軸受け、モーター回転軸とスクリューの異なる2軸を損失無く繋ぐ自在継ぎ手を備えており、夢のナノマシンといえる魅力的な存在である（図1）。

②目的

本研究では、細菌べん毛モーターの軸受け機構に注目して研究を進める。ナノメートルサイズのべん毛モーターの回転軸と軸受けの間には、摩擦がほとんど作用していないと予想されている(Sowa *et al.* PNAS 2014)。この結果は興味深いものの、直接的に計測して得られた結果ではなく、多くの仮定の下に考察された予想である。すなわち、モーター回転ブラウン運動の画像解析から得た回転拡散係数と、回転軸－軸受け間に全く摩擦が働かないと仮定して導き出された回転拡散係数が、大きく外れていないという精度で議論されている。そこで本研究では、光ピンセット技術によって、モーターの回転軸と軸受けの間に外力をかけて、その力学応答を直接的に計測することで、モーター軸受けの摩擦損失を定量することを目指す。

③学術的な独自性と意義

従来の分子モーター研究では、モーターの高速駆動やスイッチ機構に着目した研究が主流であった。一方、モーターの軸受けについては、一部のトライボロジーの専門家が注目し、理論的な考察がおこなわれた例はあったが、実験的なアプローチの報告例はほとんどない。本研究では、光ピンセットを用いてモーターに任意の外力を加えることで得られる力学応答を直接的に計測し、回転軸と軸受けの間に働く摩擦について議論することを目指す点に特徴がある。

④期待される成果と発展性

一般的に、高速駆動する部位は摩擦熱が発生し、特に部品が小型になると摩擦が大きな問題となる。では、多くのアクチュエータで摩擦損失が問題となる中、生物がもつナノスケールの軸受けはいかにして効率よく駆動部からスクリューへと回転を伝えるのか？滑らかな回転を実現する仕組みを分子レベルで明らかにできれば、ナノスケールのトライボロジー研究に資する基礎データを得るという学問的な見地からはもちろん、将来人工的なナノマシンを創出する際に有用な情報になると期待できる。

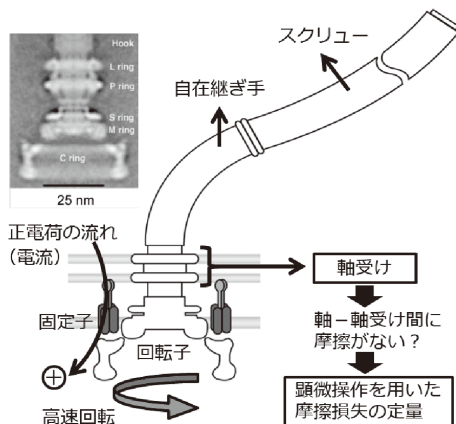


図1. べん毛モーターの電子顕微鏡像(Thomas *et al.* J. Bacteriol 2006)および模式図。直径わずか45 nmのモーターには、人工の電気モーターに対応するタンパク質でできた部品が集合して、高性能モーターとして機能する。

【①背景】

慢性筋痛（腰痛や肩こりなど）は完治が困難であり、日本人の約2割が悩まされている（平成25年度国民生活基 礎ヒトを始めとする生体は、酵素の多段階反応に伴う固体電子移動によって獲得した生化学エネルギーを巧みに利用し、体内のイオン分布を時空間的に制御することで高度な機能を維持し続けている。これら一連の現象は、固体内部の電子の振る舞いを扱うエレクトロニクスと固体内部のイオンの振る舞いを扱うイオニクスを融合させた“イオントロニクス”として理解することができ、これらイオンと電子の振る舞いを制御できる革新的なバイオデバイスを創出できれば、従来の電子デバイスでは実現し得ない高機能化が期待できる。これまでのところ、エレクトロクロミックディスプレイや電気二重層を利用した無機半導体トランジスタ等がエレクトロニクスの分野で報告され、従来型の電子デバイスでは実現不可能とされた新しい物性(固体の色彩や導電性)を見出している。本申請は、イオントロニクスという新学術をナノ・バイオ融合領域へと発展させる新たな学際研究に挑戦するものであり、その具現化としてイオン・電子制御デバイス“バイオニックFET (BioFET)”を提案し、生体と調和する次世代医療ウェアラブル機器へと発展させる。イオントロニクスデバイスをバイオ研究で利用する最大のメリットは、生体機能を誘発させるイオン種や生体分子、情報伝達物質をそのままキャリアとして利用し、さらに、これらケミカルシグナルのタイミングや量を制御できる点である。

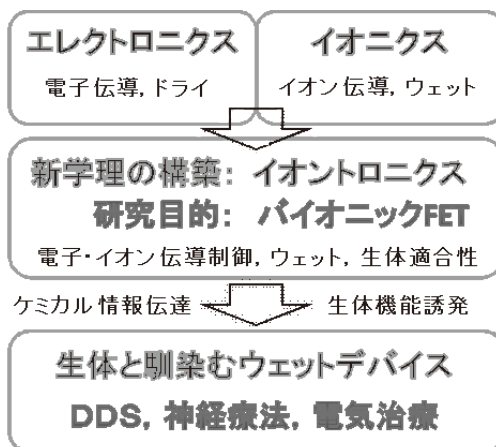


図1. 研究の全体構想

【目的】

本申請では、バイオ燃料電池の仕組みと柔らかいハイドロゲル表面への電極印刷技術とを組み合わせて新しい原理のバイオトランジスタ(イオン・電子伝導制御)を実現し、生体内で自立駆動させる革新的ウェットデバイスを創出するチャレンジを試みる。

【③学術的な独自性と意義】

申請者は世界に先駆けてハイドロゲル表面に導電性高分子を印刷する革新的技術を実現し、生体組織を培養する環境に適した柔らかい電極界面の構築に成功している(J. Am. Chem. Soc., 132, 13174, 2010)。また、フリースタANDINGな貼るタイプの酵素フィルムの開発にも成功しており(J. Am. Chem. Soc., 133, 5129, 2011)、生体環境中でも発電する酵素電池を実現させた(Energy. Environ. Sci., 4, 5008, 2011)。さらに、プロトン選択性電極“Protode”の開発に成功し、生体反応をイオンで制御可能なバイオトランジスタを実現させた(Sci. Reports(Nature), 6, 24080, 2016)。本研究課題は、これら申請者の「先駆的な研究成果」をベースに計画するものであり極めて独創性があり、また学術的意義の高いものである。

【④期待される成果と発展性】

本研究は、イオントロニクスという新しい学術をナノ・バイオ領域へと発展させる新興分野への挑戦であり、申請者が取り組む基礎研究とその結果は、本分野の礎になると期待している。本申請で提案する生体と調和するバイオニックFETは、生体と触れ合うデバイスであり、近年開発が盛んなウェアラブル機器への発展が期待される。本研究課題で示すデバイスはウェット環境でイオン制御可能であるため、生体素子とデバイス素子をイオンで繋ぐ革新的バイオイオントロニクスとしての期待が高い世界に先駆けた研究課題であると言える。

①背景

脊髄損傷後の脊髄再生には未だ根本的な治療が存在せず、リハビリテーションにより残存機能を強化するのが一般的である。脊髄再生には途絶えた神経軸索を再接続させる必要があり、そのプロセスの第一歩として、ダメージを受け退縮した神経軸索から神経突起を発芽させることが絶対的に必要である。脊髄損傷の治療法として最も期待を集める幹細胞移植においても、既存の神経軸索には神経突起発芽、また移植された幹細胞などを誘導する役割がある。この神経突起の発芽・成長には、細胞骨格タンパク質アクチンおよびチューブリンの重合・脱重合が重要な役割を果たしている。

低強度パルス超音波（以下、LIPUS; Low Intensity Pulsed Ultrasound）は生体の治療能力を高めるとされ、難治性骨折の癒合促進法として保険収載されている。過去には、LIPUSによって末梢神経の再生が促進されたとする報告があるものの、その機序や切断された神経軸索内の細胞骨格タンパク質の動きは不明である。また、LIPUSの中枢神経（脊髄）に対する作用は明らかでない。

②目的

LIPUSによる脊髄再生療法を最終目標とするが、本研究では、超音波照射に対する神経細胞、特に細胞骨格タンパク質の応答を明らかにすることを目的とする。そのために、LIPUSによる照射神経細胞チューブリンおよびアクチンの消失・出現パターンの解析し、神経突起の形態とチューブリンならびにアクチンの関連を明らかにする。

③ 学術的な独自性と意義

LIPUSによる治療はこれまでに臨床応用されるものの理学療法という位置づけにあり、その機序はあまり解明されてこなかった。また、既存の研究ではマウスの脊髄損傷モデルに低強度超音波を照射し、機能回復を評価する応用研究が主流であり、細胞レベルでの変化は検討されてこなかった。しかし、本研究では超音波の「力」に対する細胞の応答メカニズムとして、細胞骨格の変化を探索する。これは新しいアプローチであり、LIPUS治療法の研究の中では独自である。さらに、超音波照射と同時の細胞観察はこれまでに行われておらず、本研究の独創的な点である。

④ 期待される成果と発展性

本研究によって、超音波照射中および照射後の細胞骨格の形態変化が明らかになる。LIPUSに対する神経突起での細胞骨格の応答が明らかになれば、LIPUSを脊髄損傷後の脊髄再生治療法として開発する研究に明確な指針を与え、今後の研究の発展に大きく貢献する。

本研究では超音波の「力」に対する細胞の応答メカニズムであるメカノバイオロジー機構を探索する。本研究で超音波によるメカノバイオロジーの一端を明らかにすることは、超音波治療一般の機序解明にも貢献し、超音波治療は従来の理学療法から科学的な裏付けのある治療法へと進化する。さらに、本研究はメカノバイオロジーと神経を始めとする再生医療を結びつけることにも挑戦するものであり、将来的には公共の福祉に大きく寄与することができ、本研究の秘める可能性は計り知れない。

①背景

高齢化社会が進むにつれ在宅療養患者の急変にいち早く気づくことのできる遠隔モニタリングシステムの重要性が高まり続けている。患者の生体情報を取得するためのセンシングデバイスは依然として開発途上であり、心電計は胸部への電極貼り付けが必須であり装着による違和感が避けられない。本研究では装着感のないセンシングデバイスの開発とそれを応用した新たなアイデアに挑戦する。

②目的

“付け爪”を応用した皮膚に触れないウェアラブルセンサを開発し、在宅医療用遠隔モニタリングデバイスとして実用化する事で、在宅医療の向上に寄与することが本研究の目標である。付け爪を応用することで以下の特長を有するデバイスが実現できる。

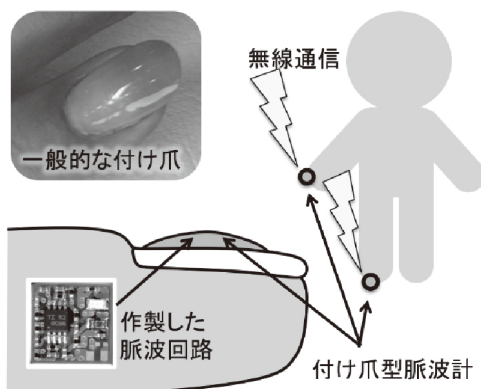
- デバイスの装着感がない …………… 爪には感覚神経および汗腺が無い
- 機器を装着することに抵抗感が低い …………… 爪に装着することに対する恐怖感が低い
- 長期間の強固な固定が可能（2～4週間） …………… 爪の組織が硬いため
- 多点同時計測が可能 …………… 爪は人体に20枚存在するため
- 圧力センサとしての機能 …………… 爪にかかる圧力によって血流量が変化

③学術的な意義と独自性

爪への固定に着目したウェアラブルセンサはこれまでに例がない。本デバイスが実現できれば装着感の無い心拍モニタリングデバイスを実現できる。高齢者はデバイスを使用・装着することに恐怖感や嫌悪感を覚える方が少なくない、一方で爪に対するアプローチは年齢を問わず敷居が低く、24時間365日装着しなければ意味をなさないモニタリングデバイスにおいて最大のメリットと捉えることができる。

④期待される成果と発展性

これまでのウェアラブルデバイスは感度や機能を優先させ、装着感やデバイスに対する嫌悪感に関しては無視されてきた。我々は多くの日本人が違和感を抱かないつけ爪に注目し、つけ爪型のデバイス開発を行う。本研究でははじめに脈波センサの開発を行いその装着感を評価する。次につけ爪型センサの発展系として圧力検知を試行する。センサ構成自体は変えず、握力によって手指先端部の血流が変化することで圧センサとして機能するかを調査する。将来的には光の波長を変更して別の生態情報を検知するセンサや、温度や変形など様々な物理量からセンシング可能なつけ爪センサへの応用も期待できる。脈波計測によって圧力がセンシングできるようになると、非侵襲に指にかかる圧力が計測できるようになり、脳梗塞や外傷などによって皮膚感覚が失われた患者のリハビリに 응용が期待される。これまででは、ノイズとして適用外とされてきた冷え性、肩こり、浮腫などの血流障害、リンパ障害なども本デバイスによる安定した常時センシングにより検知できるようになると考える。



①研究の背景

疾患モデルの開発や創薬、再生医療において、ヒトiPS細胞から分化誘導したヒトiPSニューロンが注目されている。ヒトiPSニューロンを適切に扱う上で成熟度の評価が重要である。また、アルツハイマー病やパーキンソン病といった晩期発症型の疾患のモデルを開発する上では、成熟・老化を促進させる方法論が求められる。以上から、成熟に関する研究が盛んに行われており、培養条件化 (Nicholas et al., Cell Stem Cell, 2013), および移植したマウス体内で (Espuny-Camacho et al., Neuron, 2013), ヒト細胞はマウス細胞と比較して成熟に長い時間を要することが報告された。

細胞の成熟までの長い期間にわたり、連続的に活動計測を行う手法として、微小電極アレイ (MEA) 法が用いられている。MEAは複数の電極を集積化したデバイスであり、デバイス上で細胞を培養することで、非侵襲的に活動を記録できる。1年以上にわたるヒトiPSニューロンの活動計測が報告されたように (Odawara et al., BBRC, 2016), 細胞への侵襲性が低く、長期的な成熟評価実験との相性が良い。しかし、MEA法で得られる情報は細胞の活動時刻のみであり、機能評価には情報量が少ないという課題があった。

申請者らは、これまでにマイクロトンネル構造を用いて神経細胞の軸索から活動を計測する手法を開発し、発火に伴う伝導速度の変化率が、培養日数や活動頻度に依存して変化することを発見した (業績[5-7])。また、マイクロトンネル構造により軸索を電極上に維持することで、ヒトiPSニューロンの450日までの活動評価に成功した。以上から、ヒトiPSニューロンの軸索から伝導特性を長期的に取得し、遺伝子・タンパク質発現のデータと対応付けることで、ヒトiPSニューロンの成熟度について体系的な知見が得られると考えた。

②研究の目的

本研究では、マイクロトンネル内に伸長した軸索から活動を記録することで、軸索の伝導特性を指標としてヒトiPSニューロンの機能を評価する方法の開発を目的とする。マイクロデバイスによる機能評価の結果を、従来報告されていた遺伝子・タンパク質発現の結果と合わせ、ヒトiPSニューロンの成熟過程について機能・形態・遺伝子発現の関係から理解することを目指す。

③独自性と意義

本研究の独自性は、機能評価にマイクロトンネルとMEAから構成されるマイクロデバイスを用いる点である。従来ではパッチクランプ法が用いられていたが、侵襲性から長期的な評価は困難であった。一方、本研究では、マイクロデバイスによりヒトiPSニューロンの長期的な機能評価を行う。これは、マイクロデバイスによる機能評価について多くの実績・経験を有する申請者ならではの研究計画であり、本研究の独自性となっている。

本研究は、ヒトiPSニューロンの成熟過程における遺伝子・タンパク質発現と機能発現に関する知見を統合する役割を果たす点に意義がある。分子生物学的な遺伝子発現・タンパク質発現と電気生理学的な機能評価は独立して行われていたが、両者を同時に評価し、遺伝子・タンパク質発現から機能発現までの関係を解明することで、ヒトiPSニューロンの成熟過程についての体系的な知見の獲得が期待できる。

④期待される成果

本研究の遂行により、ヒトiPSニューロンの成熟に従って変化する特徴である、機能成熟マーカーを得ることができる。それにより、機能評価実験を行うために必要となる培養期間の条件が明確になり、ヒトiPSニューロンを利用した研究の発展に貢献できる。また、遺伝子・タンパク質発現のデータと比較することで、遺伝子発現と機能発現の関係性の理解や、成熟を促進するための方法論の開発といった発展性を持つ。

①背景(内外における当該分野の動向)

認知症の主な原因疾患であるアルツハイマー病(Alzheimer's disease; AD)の発症過程では、アミロイド β (A β)の異常凝集が最初期に発生することが知られている。A β が神経変性を引き起こすメカニズムとして、A β が形成する水溶性の凝集体A β オリゴマーの細胞毒性が注目され、抗体医薬を中心に国内外の製薬会社がA β オリゴマーを標的とした医薬品の開発に取り組んでいる。

そのような新規医薬品を用いた効果的な治療のためには、投薬時期の決定や治療効果の判定時にバイオマーカーとしてA β オリゴマーを測定する技術が必須となる。しかし現行のA β オリゴマー検出方法は抗体を用いたELISAを基本としており、A β オリゴマーの毒性や構造に関わる特徴を見分けて検知することはできない。また結果を得るまでに数時間を要する。高齢者の来院を想定した上で、来たる新規医薬品の特性を鑑みれば、細胞毒性を示すA β オリゴマーを特異的かつ迅速に検出できる測定系がAD治療を加速すると考えられる。

②目的(課題設定とねらい)

毒性A β オリゴマーを迅速(具体的には髄液検査後休憩の日安とされる1時間以内)に測定可能な電気化学的検出システムの構築を、本研究の目的とする。この目的を達成するため、申請者が開発したA β オリゴマーを特異的に認識するリガンド：DNAアプタマー(Tsukakoshi *et al.*, 2012; Tsukakoshi *et al.*, 2016)と、毒性A β オリゴマーに結合する酵素融合リガンド：改変プリオン融合アルカリホスファターゼ(投稿準備中)を組み合わせた電極上サンドイッチアッセイを開発する(図1)。

③学術的な独創性と意義

アプタマーとは特定の分子を認識し結合する核酸分子である。申請者が開発したアプタマーは毒性の有無は判定できないが、A β オリゴマーの構造を認識し特異的に捕捉することができる。そこで近年申請者は毒性を呈するA β に結合するプリオン(Lauren *et al.*, 2009)に注目し、結合に重要な部分のみを抜き出した改変プリオンと電気化学的検出に有用な酵素・アルカリホスファターゼとの融合タンパク質を作製した。これによりアプタマー修飾電極(図1-i)を開発することで、毒性A β オリゴマーが存在する時に図1-ii)に示した改変プリオン融合アルカリホスファターゼの酵素活性により電流値が生じる検出系が構築できる。i)、ii)はいずれもリガンドが電極または酵素に直接修飾されているため、操作はアプタマー電極上での「検体とii)の混合」、「酵素基質との混合」の2つのみとなり、迅速なセンシングが期待される。

既存のA β オリゴマーの検出手法としてELISA法や、申請者の開発したアプタマーなどのオリゴマー特異的なリガンドを利用したセンサーが報告されているが、細胞毒性という性質を指標にセンシングした例はない。本研究ではアプタマーとアルカリホスファターゼとの融合改変プリオンを新規に組み合わせることにより、オリゴマー構造と毒性との同時認識を原理とした毒性A β オリゴマーの検出が実現すると期待される。

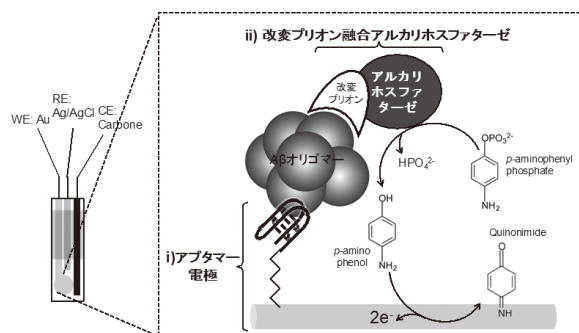


図1. 構造・毒性の認識を原理とする毒性A β オリゴマーの電気化学検出系の模式図

④期待される成果と発展性

ADの最大のリスクファクターは加齢であり、超高齢化社会と化した我が国でA β オリゴマーを治療標的・バイオマーカーとして利用するためには、「検査をどこでも受けられる」ことも重要である。電気化学を検出原理とすることで、自己血糖測定機器のような小型なデバイスへ搭載することが可能になるので、本研究の成果は、検査室のない病院やベッドサイドにおける検査の可能性を拓き、AD治療を診断から推進する発展性をもつ。

①背景

近年、ヘルスケアエンジニアリングの中で、癌や生活習慣病の予知・早期検知手段の一つとして、体内の揮発性有機化合物（Volatile Organic Compounds：VOC）などを用いた非侵襲性の人間センシング技術が注目されている¹⁾。中でも、IoTやウェアラブルデバイスの進展により、スマートフォンに搭載可能なセンシング半導体素子・デバイス設計が行われている。更なる高度化には選択的なVOCセンシング技術の開発が望まれる。

1) たとえばA. Mirzaei et al, Ceram. Inter., 42 (2016) 15119-15141.

②目的

酸化物ナノアーキテクチャーとTHz領域の電磁波を組み合わせ、選択的なVOCセンシングを試みる。大気開放型化学気相析出(CVD)法を用いて作製される、THz波透過性を有する酸化亜鉛(ZnO)ナノウイスキーと終端構造の異なるアモルファス炭素膜を積層し、選択的なVOCセンシングに挑戦する。

③学術的な独自性と意義

酸化物のマクロ/ナノ構造と得られるTHz特性の關係に着目する点が本研究のオリジナリティである。ZnOをはじめとする透明電極材料のTHz特性は測定されており、THzデバイスとしての可能性が示唆されている。本研究では、終端構造が異なるアモルファス炭素/ZnOナノウイスキー構造体によるVOCガスセンシングを試みる。炭素材料は材料表面の終端構造によりVOCガス吸着挙動が異なること²⁾、またアモルファス炭素膜のタンパク質吸着能は、膜の終端構造により変化することに着目した³⁾。

THz領域の周波数(100GHz～10THz)は、電波と光波の境界に位置し、その発生や検出など技術的に取扱いが難しいことから、未開拓のままだった。しかし、近年の研究開発の進展よりTHzセンサーネットワーク、THz波制御量子ビット、THz波創薬等への応用に向けた研究が昨今盛んで材料目線の研究も期待されつつある。THz波は、プラスチック、紙、ゴム、木材、セラミックなど物質への透過性があり、分光法として分子間や分子内に働く弱い水素結合やVan der Waals力などが関係する分子固有の振動情報が得られることで注目されている。申請者は、透明導電材料かつTHz応用が試みられているZnO^{4,5)}に着目した。

2) X. Zhang, Journal of Hazardous 338 (2017) 102-123. 3)H. Akasaka et al, Diamond&Related Materials 19 (2010) 1235-1239.

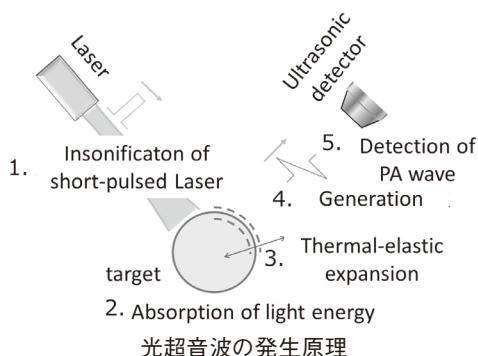
4) J. Shan et al, Appl. Phys. 92, 59 (2004). 5)N.Kinsey et al, Optica, 2 (2015) 616-622.

④期待される成果と発展性

生体情報を用いたセルフ健康管理、次世代のセルフメディケーション技術の発展に貢献できると考えられる。THz領域の周波数(100GHz～10THz)は、電波と光波の境界に位置し、その発生や検出など技術的に取扱いが難しいことから、未開拓のままだった。しかし、近年の研究開発の進展よりTHzセンサーネットワーク、THz波制御量子ビット、THz波創薬等への応用に向けた研究が昨今盛んで材料目線の研究も期待されつつある。たとえば、外見からは見えない衣服の下に隠されている物体をテラヘルツ波を利用して映像化するパッシブ方式ボディアスキャンシステム（ボディアスキャナ）は、空港の入出国検査場等、重要施設において隠匿物を非接触で検査できことから導入が既にされている。

①背景(内外における当該分野の動向)

光超音波イメージングは光と超音波の特性を兼ね備えた新しいイメージング手法である。生体組織の光減衰効果の影響のために、光学イメージングのみでは観察不可能だった生体深部を非侵襲的に観察することが可能である。さらに、適切な波長の光を使用することで、組織を選択的に可視化することが可能である。右の図は、光超音波の発生原理を示した概要図である。生体組織に10 ns 程度の短パルスの光(例えば、緑色: 532 nm)を照射すると、補色の関係にある赤い組織が特異的に光を吸収することになり、この吸収された光エネルギーの一部が熱膨張を生じさせる。この発生した熱膨張により光超音波が発生し、これを超音波センサにより受信することで組織の可視化を行う。緑の光を用いた場合には、赤い対象である血液や血管などを選択的に可視化することが可能であり、光の波長を的確に変更することで、血管に生じた脂の塊であるプラークや悪性新生物(がん)などだけを検出することが可能になると期待されている。



②目的(課題設定)

発生する光超音波は、熱膨張に起因するため非常に広帯域な周波数特性(~ 1 GHz)を有することが知られている。しかしながら、その高帯域な周波数特性に対して受波に使用する超音波センサの帯域が限られているという問題が存在する。そこで、私たちのグループで開発した共振周波数が2つ存在するより広い周波数帯域の超音波プローブを光超音波イメージングに適用することで、この問題の解決を目指す。また、共振周波数をより高周波数に設定することで、高空間分解能化も同時に目指す。

さらに、光超音波は発生源の幾何学的形状に依存するという特性を有する。具体的には、発生源が球(赤血球やがん細胞)である場合には、短パルス光の時間波形の1次時間微分、発生源が管構造(血管やリンパ管)の場合には、短パルス光の時間波形の1/2次時間微分にそれぞれ比例することが知られている。つまり、微小細胞からは高い周波数、管構造からはより低い周波数が発生するために、それぞれの周波数を共振周波数に対応させることで組織構造の分類も可能となる。

③学術的な独自性と意義

上述したように、本研究の学術的独自性は2つの共振周波数を有する超音波プローブを光音響計測に応用することである。これにより、超音波センサの周波数帯域が限られている問題を解決することが可能であり、さらに、発生した光超音波の周波数特性の差から生体組織の構造を分類することが可能となる。

④期待される成果と発展性

本研究の成果により、日本の死因の第1位である悪性新生物や第2位である心血管疾患の要因であるプラークをより鮮明に可視化することが可能となり、これらを早期発見可能な新たなイメージングモダリティとなり得る。さらに、本手法の計測対象は生体組織だけに留まらず、原子炉やインフラストラクチャーの非破壊検査への応用可能であるとともに、海洋中の微生物・プランクトンの自動分類などのグリーン・イノベーションにも大きく寄与することが期待される。

[背景]

人体の体内を高精度にイメージングする技術は、診断から治療に至るまで幅広く用いられており、現代医療を支える上で欠かす事はできない。そして放射線によるイメージングでは、体内の病変を精度よく位置同定を行える技術としては、X線CTが3次元かつ高解像度を実現でき、幅広く用いられている。一方で、一回のCT撮影で、その被ばく量が ~ 10 mSv と大変高い。これは年間に浴びる自然放射線量の数10倍に相当し、健康被害へ影響が大きく懸念される。そのため、高頻度でのX線CTを用いた診断・治療は限られており、特に被ばくリスクの高い小児や妊婦に対してX線CTの実施は困難である。この高線量の理由として、X線CTシステムの基礎となるセンサーにフォトダイオードが用いられていることが挙げられる。フォトダイオードはセンサー固有のノイズが高いことに加え信号の内部増幅機構を有しておらず、有意なX線信号を検出するために大量のX線照射が必要となる。加えて、X線によって生じた信号を電流値として取得しているため、X線個々のエネルギー情報が失われており、不鮮明な画像になってしまう問題があった。

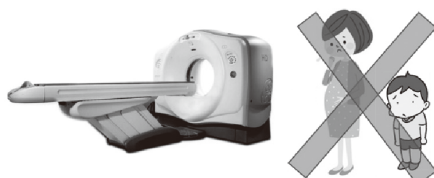


図1: X線CT (左)は、被ばく量が高く、妊婦や小児は受けられない。

[目的]

そのような事情を鑑み、本研究では、従来のフォトダイオードに代わり、高い内部増幅機能を持つ次世代半導体素子マルチピクセルフォトンカウンター(MPPC)を採用することで、高いS/N比での個々のX線を検出し、劇的な低被ばく化と多色化を両立した次世代X線CTの基盤技術を確立する。特に我々が新たに開発したMPPCアレー式CT装置を用いて、①人体ファントムによる「多色」と「低被ばく」の実証試験を行う。さらに、②マウスを用いた小動物イメージングを目指し、大面積のX線CTシステムを実現することを目的とする。

[独自性と意義]

X線CTは、妊婦や小児への適用が限られることに加え、経過観察など複数回に渡ってX線CTを受ける患者が多く存在する。その場合、被ばく量は必然と増えてしまい、患者の健康被害が大きな課題となっている。もし低被ばく化を達成できれば、年齢性別を問わずどのような患者であっても、健康被害を気にすることなくX線CTを受診することが可能となる。また従来のX線CTでは、エネルギー情報を取得できないため、本来存在しないアーチファクト(図2)が生じてしまっていた。本研究では、これまで不可能だったエネルギー(多色)情報を取得して、このようなアーチファクトを抑え、精細な画像取得ができる。

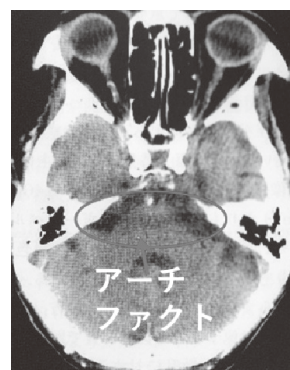


図2: 頭蓋骨のCT。骨の間にビームハードニングアーチファクトが見られる

[期待される成果と発展性]

本研究で新たに提案するシステムにより、低被ばく化と多色による画像の鮮鋭化の双方を同時に実現することが可能となる。従来型のCTでは低被ばくのためには、X線照射量を減らすために画像劣化は不可避であったが、本研究で初めてこれらの課題を克服することができる。また医療用途以外でも、被写体にX線を照射し、その後方散乱X線をイメージングすることで、トンネルの内壁の滑落防止や橋梁のヒビ割れを検知するような応用も予定している。このように医療に加え、安心して暮らせるインフラ構築という面でも本研究は意義深い。

損傷神経細胞の体内修復利用を可能とする 電気パルスでの遺伝子導入法を用いた遺伝子工学技術の開発

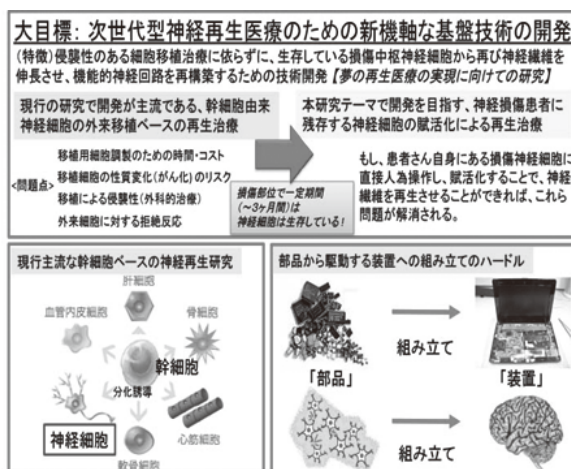
研究者 兵庫県立大学大学院生命理学研究科 教授 生 沼 泉

①**背景**：われわれの思考や運動機能の中枢を担う脳内の神経細胞は分化後で増殖能がなく、事故や怪れによる外傷や神経変成疾患によりひとたび神経損傷を受けると、もはや再生することができない（と、長年信じられ、教科書レベルでそう記述されている）。そこで、近年、損傷した脳組織にiPS細胞やES細胞などの幹細胞から作出した神経細胞を移植するというアプローチからの再生医療研究が国家戦略での重点研究として精力的に進められている。そのような現行主流の幹細胞ベースでの神経再生研究は、試験管内で幹細胞を分化誘導することにより神経細胞という「部品」を作出し、それを物理的に体内に植える手法の開発に過ぎない。他方、駆動する装置としてのコンピュータがそれを構成する1つ1つの「部品」が正しく組み立てられ、配線され構成され初めて実現するのと同様に、神経細胞が脳神経組織において機能を持つには、神経細胞から伸長する神経繊維の的確な配線による神経回路構築が必要である。しかしながら、損傷部位で誘導される多種類の伸長阻害分子の生理活性が存在する環境下では、神経繊維の伸長が妨げられ、作出した神経細胞を物理的に移植し数を増やすだけでは、機能的神経「回路」の再生には非効率的かつ不十分である。さらに、外来移植ベースでの再生治療には移植手術の侵襲性に加え、がん化や拒絶反応といった、将来性の予測が困難な副作用が懸念される。しかしながら、「中枢神経自らは再生しない」という長年の科学的常識を根拠に、損傷中枢神経細胞の体内での修復利用を可能とする創薬基盤技術開発は遅れている。

②**目的**：申請者の大目標は、神経損傷患者の体内にある損傷を受けた中枢神経細胞そのものから再び神経繊維伸長させ、患者の体内で機能的神経回路を再構築することである。最近の知見で、神経損傷時に一部の神経細胞は一定期間（～3ヶ月間）生存維持され、その後緩やかに死滅することが明らかになっている。従って、移植に依らずとも、神経細胞に備わっている内在性の神経伸長能力を、損傷神経生存期間中に賦活化させることで、損傷神経細胞が新たな神経回路を構築することができ、機能回復につながる可能性があると考え、損傷神経細胞に対する直接的遺伝子操作による再生を目指した挑戦的な研究に挑む。その目的の達成のために、本研究課題実施期間中に、電気パルス法を用いた脳および眼球組織内の神経細胞への直接的遺伝子導入法の電気条件の最適化を行うとともに、およびその導入法を用い損傷神経細胞を直接ターゲットとした遺伝子治療を行うことで、組織化学的・機能的な神経再生が得られるかを評価する。

③**学術的独自性と意義**：近年、iPS細胞やES細胞といった幹細胞由来の神経細胞の外来移植法に基づいた再生医療の可能性が脚光を浴びているが、中枢神経細胞が高次脳機能を発現させるためには、神経細胞が存在するだけでは不十分で、神経細胞が神経回路を構築する必要がある。しかしながら、中枢神経の神経繊維の再生や神経回路の再生までを可能とするシステム開発の研究は進んでいない。そこで、我々は、細胞内に内在にある神経伸長因子をゲノム編集法により人為的に活性化操作させる技法を確立することを目指している。これまで増殖細胞でのゲノム編集例は多数報告があるが、生後の分化後の成熟培養神経細胞に対しての直接的なゲノム改変による遺伝子のノックインの成功報告は皆無であり、技術的インパクトも非常に大きい。

④**期待される成果と発展性**：もし、申請者の成熟後神経細胞への操作により中枢神経回路の可塑性ともいえる再生現象が引き起こされれば、「中枢神経自らは再生しない」という科学的常識を覆し、生物学の教科書にある「常識」を書き換えるほどのインパクトを与えるとともに、幹細胞移植に依らない非侵襲的再生治療法の実現のための基盤研究として、iPS細胞開発以来の大きく、新たな視点が与えられる。



研究の背景と目的：損傷神経細胞の賦活化による再生治療技術の開発

【背景】

がんワクチンは生体が自ら持つ免疫機能を活性化してがん細胞を攻撃する治療法である。1991年にがん抗原遺伝子が同定され、免疫系による抗原たんぱく質認識の分子レベルでのメカニズムが明らかになったことで、がんワクチンを用いた臨床研究が始まった。しかし、当初の期待とは違い有意な腫瘍縮小に繋がる臨床効果は証明できていない。この大きな要因の一つはがん細胞の免疫回避機構のためと考えられる。がん細胞はワクチン投与により誘導された細胞傷害性T細胞(CTL)に認識され攻撃を受けるが、がん細胞は攻撃の目印となる抗原ペプチドを提示させるタンパク質である「MHC class I分子」の発現を自主的に抑制してしまい結果としてCTLは目印を失い攻撃できなくなってしまう。近年、オプジーボを始めとする分子標的薬が注目を集めているが、がん細胞の抗原性の回復に対しても解決しないと本当の意味でのがんワクチンの実現は難しい。

【目的】

細胞内には様々な核酸を認識するタンパク質(核酸センサー)が存在することが知られている。中でも二重鎖RNAを認識するToll様受容体3(TLR3)はインターフェロン応答を誘導し、細胞はその刺激によりMHC class I分子の発現が増大することが知られている。そこで、がん細胞特異的に二重鎖RNAを送達させることが出来ればがん細胞の抗原提示を回復させることが可能であると期待される。さらには、提示させる抗原をより抗原性の強い外来抗原に置き換えることで強力なワクチン効果が期待できる。そこで、がん細胞への特異的キャリアとしてヒアルロン酸(HA)に着目した。申請者はこれまでHAを利用したバイオコンジュゲート体を多数報告してきている。がん細胞表面には代表的なHA受容体であるCD44が過剰に発現しているため、HAに二重鎖RNA(dsRNA)及び抗原ペプチドを結合させることで、これらがHA受容体を介してがん細胞に送達されると考えられる。本申請ではHA-dsRNA及びHA-ペプチドコンジュゲート体(HA-pep)を作製し、様々な光学系機器を用いた精密なキャラクタリゼーションを行うと同時に、がん細胞への抗原提示を誘導させることで、CTLのがん細胞感受性の向上を目指す(図1)。

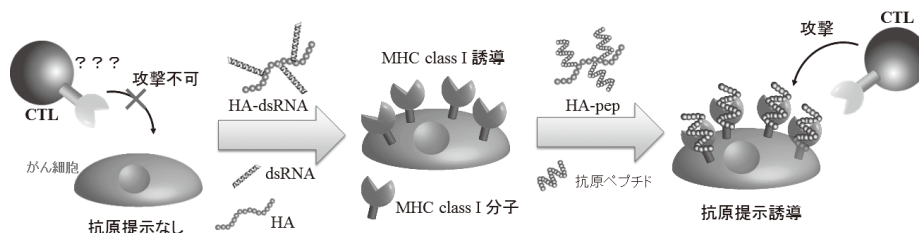


図1. がん細胞へのdsRNA送達によるMHC class I分子の発現及び抗原ペプチド送達によりCTLが攻撃可能

【学術的な独自性と意義】

これまで、強力なCTL誘導のために抗原提示細胞に着目した抗原やアジュバントの送達に関する報告例は多数あるが、がん細胞の免疫回避機構に着目し、がん細胞の抗原提示を回復させることでCTLの感受性向上を目指したワクチン開発の報告はない。また、医薬品開発で重要な項目として有効性、安全性の他にChemistry(化学)・Manufacturing(製造)・Control(品質管理)、いわゆるCMCが挙げられる。これまで薬理効果を有した化合物の創製に注目が集まりがちであるが、新規の化合物を高品質な製品として保証することも医薬開発では非常に重要なことである。本申請では、複雑なDDS粒子(高分子材料)の物性を正確に測定する技術と、物性を決定している化学的な要因を明らかにするとともに、その物性と細胞・動物に対する薬理効果との関係性を示す等、合成・物性解析・細胞(動物)評価の三位一体の研究を行う。

【期待される成果と発展性】

これまでのがんワクチンでは個々のがん細胞特有の抗原ペプチドを探索する必要があったが、申請者の提案する新規ワクチンは抗原性の高いペプチドであればどんながん細胞にも応用可能であり(例：インフルエンザワクチンによるがん治療が可能になる)、このシステムの有用性が証明されれば今後のがん治療(がんワクチン治療)の新たなブレークスルーになると大いに期待される。

研究者 福岡工業大学大学院工学研究科 助教 李 知 炯

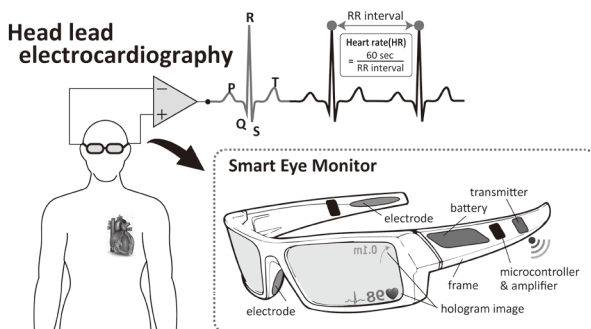
①背景（内外における当該分野の動向）

心拍数のモニターは、健康診断や患者の現在状況の把握を目的とした臨床医療現場だけではなく、最近、日常生活でも多く行われている。特に、健康への関心が高まるにつれ、自分自身の心拍数を常時モニターし、生活習慣の見直しに活用したり、スポーツ分野において運動パフォーマンス向上に役立てたいという人々のニーズが、シャツやスマートウォッチなどを用いたより簡易的に心拍数モニターできる新たなウェアラブルシステムの技術開発を加速化させている。

心拍数は、1分間あたりの心室収縮回数であり、通常、心臓を基準として電位差を胸部の体表面から計測した心電図を用いて算出する。最近、国内・外では、一般的な12誘導（四肢誘導と胸部誘導）法に基づいて、着るだけで心電図計測が可能なシャツなどのウェアラブルシステムが注目されている（国内；HexoskinやHitoeなど、国外；Polo techやD-shirtsなど）。しかし、シャツ等のウェアラブルシステムは、洗濯（耐久性減少やバッテリーの分離など）、配線、電極の伸縮や体表面からのずれ、計測結果を表す方法などの解決すべき問題点が残されており、広く普及されていない。そこで、申請者は、洗濯などが必要ではなく、かつ計測した情報をリアルタイムで表示できるスマートグラスを用いた、新たなウェアラブルデバイスである「スマートアイモニター」システムを提案する。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、スマートグラスのみ用いて、頭部における心電図から得た心拍数をグラスレンズに内装されているプログラム可能なホログラムを介してリアルタイムに表示できるシステムである「スマートアイモニター」システムの開発を目的とする。図1は、開発システムの最終目標イメージである。



▲図1.「スマートアイモニター」システムの最終目標イメージ

③学術的な独自性と意義

本研究は、胸部誘導心電図から心拍数を算出する従来の方法と違って、頭部における心電図を計測し心拍数を算出することが学術的に独創的な点である。さらに、グラスレンズのホログラムを介してリアルタイムで心拍数を表示させる試みは新規で独創的な点である。

④期待される成果と発展性

主に国内で生産されているスマートグラスと融合させ、世界的にメガネを用いた頭部誘導心電図計測分野のオリジナル技術が確保できると期待される。また、スマートグラスは物流管理などの産業現場で利用頻度が増えている状況となっており、本システムの具現によって、現場労働者の体調管理にも利用できると考えられる。さらに、スポーツ選手の運動効果管理や体調管理にも有用であると考えられる。

背景

「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」に見られるように、政府は自然循環機能の改善に資する栽培技術の普及を目指している。化学的・生物的・耕種的・物理的防除法を組み合わせる病害虫被害を制御する、総合的病害虫管理(Integrated Pest Management: IPM)は、新しい農政を代表する持続型農業イノベーションの一つである。IPMでは病害虫による経済的被害許容水準を導出し、それを超える被害が出たタイミングで防除を行う。そのため、化学農薬による慣行的防除と比較して、予防→判断→防除の段階を経るほど高次の学習が求められる。また、病害虫対策は集落単位で導入するという意味で地域内の相互学習、それを可能にする人間関係(相互信頼)が重要である。したがって、IPMの普及においては、経済的インセンティブ(病害虫被害抑制による経済主体の利益増大)のみならず、学習促進的な人的ネットワークが重要な役割を果たすと考えられる。先行研究は、経済的要因か社会的要因(個人・組織が埋め込まれたネットワークの特性)のいずれかに着目してイノベーションの普及プロセスを分析してきた。しかし、IPMのように高度な学習を伴う栽培法の導入において、両者は不可分で、その分析には人的ネットワークから生じる経済的利益を表す社会資本のコンセプトが有用である。

目的

本研究は、IPM導入の経済効果が高いと考えられる施設栽培野菜の生産集積に焦点を当て、学習促進的ネットワークの形成メカニズムとそこから生じる社会資本が持続型農業イノベーションの普及に与えるインパクトを定性・定量的に分析する。具体的には、地域農業イノベーションシステムのコーディネータとしての「普及指導員」のネットワーキング活動に着目し、彼らがどのように進取的な農家とコンタクトをとり、当該農家と他のイノベーションシステム構成主体を結びつけ、IPM導入に貢献しているか、さらにこうしたコーディネーションを可能にする人的資質とは何かを定性・定量的に分析する。

独自性と意義

本研究は、農家、需要家(外食産業など)、研究機関(都道府県農業試験場)、普及指導員(地域単位農協や自治体に所属)、サプライヤ(種苗、肥料、農薬、農機を開発する企業)営業員間の相互作用に基づく知識波及の仕組みを「地域農業イノベーションシステム」と位置付ける。その上で、本研究は先行研究で独立に採用されてきた社会学・経済学アプローチを新結合し、「社会資本の条件付け理論(異なる環境下では異なるタイプの社会資本が異なる経済効果を持つ)」を取り入れた技術普及モデルを提起し、このモデルを定量的に検証する。具体的には、地域農業イノベーションシステムにおける人的ネットワークから生じる社会資本を二つのタイプに区分し、異なる環境下で各々がIPM導入に与える影響(特に普及指導員のコーディネーションによって可能となる社会資本のインパクト)を検証する。

期待される成果と発展性

本研究からは、コーディネータの資質やネットワーキング活動を強化することで、不確実性を伴う持続的農業イノベーションを地域で普及させることができる、という政策的含意(技術普及プログラムのあり方、普及人材の育成システム)を引き出すことができると予見される。具体的には、農家と普及指導員とのコミュニケーションが密な地域では、リスクをとって新しい栽培法に挑戦するような篤農家を普及指導員が容易に特定でき、彼らに実証試験を依頼できるだけの相互信頼関係が醸成されていると考えられる。また、需要家の動向を適切に把握し、地域農業の商業的先行きについて明確なビジョンを発信できるコーディネータは地域農家に信頼される傾向にあると考えられる。したがって、こうした地域ではIPM導入・実施に付随する不確実性が緩和され、イノベーションの普及が進む、と考えられる。

①背景(内外における当該分野の動向)

近年、国外の発達心理学や教育学の分野では、幼児期の自己制御(自らの認知や情動を状況に合わせてコントロールする能力)は、幼稚園・保育所はもちろん、その後の小学校での適応のためのスクール・レディネスの中核的要素の1つとして、その重要性が再認識されている(Blair, 2002; Blair & Raver, 2015)。たとえば、欧米の多くの研究が、幼児期の自己制御が児童期の学業などの知的側面や社会的な行動の発達に大きく影響することを示している(e.g. Devine & Hughes, 2014; Diamond, 2013; Hoffman et al., 2012)。

この自己制御の発達には、文化差があることが示されている(e.g. Lewis et al., 2009; Olson & Kasiwagi, 2000)。そのため、国内でも日本人幼児を対象とした研究が徐々に実施され始めてきた。このような状況で、これまで申請者は、幼児期の自己制御が「幼稚園での仲間関係に及ぼす影響」(Nakamichi, 2017)、「小学校1-2年次の学業達成や仲間関係に及ぼす影響」(Nakazawa, Nakamichi, & Nakamichi, 2016)などを明らかにしてきた。

しかし、国内での実証的研究はまだ途についたばかりであり、「日本において、幼児期の自己制御が小学校高学年以降の適応にどのように影響するのか」はいまだ不明確な課題として残されている(Figure 1)。

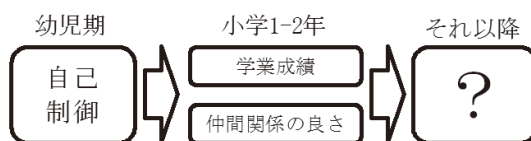


Figure 1 これまでの研究成果と残された課題

②目的(課題設定とねらい)

本研究では「幼児期の自己制御が小学校高学年時点での学業的・社会的適応に及ぼす影響を解明する」ことを目的とする。この目的のために、申請者が過去に行った「幼児期の自己制御と仲間関係の適応に関する研究」に参加していた小学生を対象に、自己制御能力や学業的・社会的適応に関する調査を実施する。

③学術的な独自性と意義

幼児期の自己制御が小学校高学年での適応(学業達成、仲間関係、等)に及ぼす影響を、アンケートではなく子ども自身への直接的な課題実施を通して、同一の子どもを対象に縦断的に明らかにする点に特色がある。国内では、小学生・中学生自身やその親へのアンケートや、回想(小学生自身やその親に幼児期の自己制御を振り返ってもらう)といった手法を用いた研究が多い。しかし、アンケート法や回想法は、子ども達の能力や状態を正確に把握するには不十分な手法である。直接的な課題実施といったより正確な手法を用いて、幼児期の自己制御が児童期以降の適応に及ぼす影響を検討した研究は国内では未だ見られない。よって本研究は、実証的研究として大きな成果が期待できる。また、発達心理学分野では学業成績や仲間関係をそれぞれ異なる領域(認知発達、社会的発達)で検討してきた。自己制御の長期的な影響を検討する本研究の結果は、それらの2つの領域の発達を統合的に説明する理論的基盤を構築できる可能性を持つ。

④期待される成果と発展性

欧米では、ノーベル経済学賞を受賞したジェームズ・ヘックマンが「幼児期の教育への投資の必要性」を主張して以降(Heckman et al, 2010)、幼児期の自己制御は成人期にまで及ぶ長期的かつ肯定的影響を持つこと、それが犯罪率の低下や社会保障受給率の低下等に繋がり、公共の福祉に貢献することが指摘されている。また国内では、女性就労率の上昇等により1-2歳児の保育所の利用率が4割を越え、今後さらに高まることが予想されるとともに、「幼児教育の無償化」により保育・幼児教育の質がより厳正に問われる時代となった。したがって、本研究の結果は、これからの「保育・幼児教育において、何を育むべきか」に関する政策立案に対する貴重なエビデンスの1つを提供することになる。

① 背景

日本企業、特に中小企業では国内の人手不足が大きな問題となっている。そのため、海外に人材を求める企業が増えている。これまで外国人労働者といえば、単純労働に従事する人々と考えがちであった。しかし、これからの日本企業が求めているのは、海外の優秀な人材である。法務省は、これを「高度人材」と呼び、高度学術研究活動、高度専門・技術活動、高度経営・管理活動の業務に従事し、日本で10年以上の長期的な貢献を期待している。しかし、高度人材の長期滞在（あるいは永住権取得）を考えると、ベトナム、フィリピン、ブラジル、マレーシアなどの非漢字圏の国々から来日する外国人には、日本語を習得することが必須となる。その際、特に漢字の学習が最大の問題となる。日本の専門技能試験はもちろんのこと、自動車の運転免許証を取得するだけでも、日本語の漢字知識がなくては合格するのは難しい。しかし、漢字の読み書きに学習時間を割いては、専門（技能）の学習がなかなか進まない。そこで、非漢字圏の高度人材の育成に、漢字が効率よく教授・学習できるカリキュラムと教材が必要である。

② 目的

日本で高度なレベルでの就労や長期滞在を希望して非漢字圏の国々から来日する外国人は、専門（技能）の勉強や資格取得などにおいて、漢字が分からず困っているという現状がある。とりわけ、漢字の書き取りは極めて難しいと言われている。本研究では、漢字の書字行動が測定できるオンラインソフトを開発して、非漢字圏の日本語学習者の漢字の書字の流れを時間的に記録する。そして、日本語学習者が、コンピュータのスクリーンで、漢字を書く流れをスローな時間で視覚的に確認することができるようにする。さらに、オンラインでの書字行動の実測実験を実施して、非漢字圏日本語学習者の漢字処理のメカニズムを解明する。

③ 学術的な独自性と意義

日本語の一般的な国語辞典の見出し語の70%が、漢字で書かれた語彙である。漢字表記語（以下、漢字語）は、音韻的特性（音訓読み、音韻構造など）、書字的特性（左右の対称性、部首などの構成要素など）、意味的特性（語の抽象性、母語での同根語の有無など）、統語的特性（品詞、動詞化、形容詞化など）という4つの側面がある。漢字語の学習は、これらの語彙特性の密な結合関係を脳内にあると仮定されるメンタルレキシコンに構築することであると言われている。これまでの研究は、主に漢字の読みを中心としてきた。そこで、音声提示された漢字語を書き始めてから書き終わるまでの過程を実測するプログラムの開発と実験により、非漢字圏日本語学習者の漢字の想起と書字のメカニズムを解明し、学習者の漢字の書字における困難点を明らかにして、漢字習得のためのカリキュラムや教材開発のための基本情報を提供する。

④ 期待される成果と発展性

非漢字圏日本語学習者は、日本語母語話者と異なる漢字の認知処理をしているとする研究（小口, 2017）が発表された。しかし、小口は非漢字圏日本語学習者の書字行動をオンラインで実測したわけではなく、時間的な流れのなかで、書字行動を観察してはいない。そこで、学習者の音声から漢字の想起と書き取りをオンラインで実測することで、漢字の書字行動の流れを追い、漢字語の音声認識から、漢字を想起し、書字運動に転換する過程を観察する。これにより、非漢字圏日本語学習者の漢字認知のメカニズムを解明する。オンライン書字行動測定プログラムを開発すれば、多様な書字行動の流れを観察でき、多様な書字行動研究を展開できる。さらに、非漢字圏日本語学習者のための漢字学習カリキュラムと教材開発に貢献できる。

創造的対話に向けたデザイン評価の可視的コミュニケーションツールの開発 ー建築・都市デザインを対象として

研究者 京都大学大学院工学研究科 助教 太 田 裕 通

①研究の背景ーデザインにおける思考・評価の共有困難さとその可視化ー

デザインは、絶対的な指標があるわけではなく複雑な条件・要素から総合的に判断する意思決定プロセスであるとも言える。つまり他者との共有が容易ではなくデザイン過程においては対話が重要視されるが、コンペの審査といったデザイン評価においては不透明な部分も多く見られる。特に建築・都市デザインは建物の自体の強さ・機能性・美しさだけでなく、地域性や人々の暮らし・活動・環境までデザイン対象が及びその複雑性からその傾向は顕著である。近年益々「デザイン」が身近な用語として氾濫し、社会問題解決や将来への意思決定に不可欠な包含的な概念として注目される中で、本研究は改めてその暗黙的なプロセスを可視化し、デザインリテラシー教育及び創造的な対話のあり方を探求するという人材育成としての目標を掲げている。

②研究の目的ーデザインに関わる創造的対話に向けた可視的コミュニケーションツールの開発ー

上記の背景から、申請者らはこれまで複雑な個人のデザイン評価を階層的意思決定法（以下AHP）によって定量化する手法を開発し、実際の設計教育現場の講評会等での実験を通してその有用性を検討してきた（申請4参照）。本研究では既に開発されているプロトタイプを基にして、プログラミングによるより扱い易いインターフェースの構築と実験を通した評価モデルの向上を試み、デザイン評価の可視化だけでなく広くデザインにおける思考・評価の創造的対話において有用な可視的コミュニケーションツールを開発することが目的である。従って研究課題は以下の4つである。（1）AHPによるデザイン評価法のプログラミング、（2）個人毎に多様なAHPモデル（評価木及び評価項目の重み付け）の構築方法確立、（3）建築・都市デザイン評価の場におけるツール試用実験と有用性検証、（4）建築・都市デザイン案検討時の対話におけるツールの応用性検証。

③独自性と意義ーデザイン行為へのフィードバックと創造的対話への活用ー

人間の思考は複雑で不確定要素が多い為、しばしば定量化する事で単純化されて本質的な部分を取り逃がす可能性もある。しかし対話において言語も含め外在化されたものしか共有出来ず、特にデザインにおいては可能な限り頭の外部で共に思考することが重要と思われる。本研究はある種無謀にもデザインの評価という定量化が困難な対象に注目し、個人の直感的な判断すらも可視化するアプローチを通して、より創造的な対話の構築を目指す。これは発想法やデザイン方法論といった作る過程における方法的研究とは異なり、作られたモノへの総合的な評価からデザイン行為等へフィードバックする点、ツールを通してこれまで生まれなかったコミュニケーションを発生させ創造的な対話へと結び付けようとする点に独自性がある。これはデザイナーだけでなく、例えば一般ユーザーやまちづくりにおける市民にとっても有用なツールとも思われる。

④期待される成果と発展性ー汎用性の高いデザイン評価ツールの開発と知のアーカイブー

汎用性の高いデザイン評価の可視的コミュニケーションツールが開発されると以下のような成果が期待される。まず、コンペやプロポーザル審査の場に採用された場合より透明な審査過程と結果がリアルタイムで共有出来る。同様にデザイン教育を行う研究・教育機関等の人材教育現場においても有用であると思われる。次にデザイン過程における対話の仕方自体が変わる可能性が推察される。これまではスケッチやモデリング等の外在化が主流であったがそれに加えて、提案内容の要素毎の数値比較や案の良し悪しを視覚的に検討出来るかもしれない。さらにアプリとして一般に普及させ、デザインリテラシー教育に資することも考えられる。

その後の発展について直ぐに実現可能性は低いだが、アプリを通してデザイン評価に関するデータが集計された場合、昨今のAI技術と合わせて人間らしい評価から生まれる新しいデザインの可能性も研究出来ると思われる。

①背景

近年、仮想現実（VR）や拡張現実（AR）など複合現実（MR）技術が社会へ浸透し始め、内閣府による「科学技術イノベーション総合戦略2017」では、わが国の目標としてVRやARの実用化の促進が示されており、人間をとりまく情報との関わりは変革期であるといえ、これまでとは異なる視点の人間行動の研究が必要となっている。そのため、MR技術による人間行動への影響を、科学的、実践的に明らかにすることは、MR技術の効果的で適切な使用方法を示すためには不可欠であると思われる。

②目的

本研究の目的は、近年めざましい発展を遂げているMR技術による情報の提示において、個々のユーザの知覚特性に応じた情報を提示することで、これまでにない、ヒトのココロと情報をつなぐ情報提示方法を提案することである。

申請者らの研究において、ヒトの知覚様式には部分に着目しやすい部分傾向と、全体に着目しやすい全体傾向があり、同じ情報が提示されても、部分傾向を持つヒトと全体傾向を持つヒトでは、無意識の記憶である潜在記憶に残りやすい情報が異なることが分かってきている[1]。また他の研究では、部分に着目しているときは、情報の空間周波数の高周波成分が、全体に着目しているときには低周波成分が認知的に処理されていることが分かってきている[2]。これらのことより、同じ視覚情報を提示する場合でも、ユーザの特性に応じた、すなわち、部分傾向のユーザにはその情報の高周波成分を提示し、全体傾向のユーザには低周波成分を提示することにより、個々のユーザ特性にあわせた記憶に残りやすい情報提示が可能となり、これまでにない、ヒトのココロと情報をつなぐ情報通信技術の構築が可能となることが期待できる。

③学術的な独創性と意義

本研究では、人間が環境から取得する情報の特性と記憶の関係について検討を行う。そのため、環境に存在するかを科学的、実践的に明らかにする点において、学術的に大変意義があると思われる。

④期待される成果と発展性

本研究を遂行することで、ユーザの知覚特性に応じたココロと情報がつながる情報提示技術の提案が可能。ユーザの知覚特性に応じて、商品画像の空間周波数成分を変え、記憶に残りやすくすることにより、



図1 個人の知覚特性を考慮した広告提示の例

ユーザの購買行動を促進させることが期待できる。(図1)。また、VR・AR技術については、その使用方法についてガイドライン（NPO法人 映像産業振興機構）が作成されているが、本研究により、ユーザの特性を考慮した情報提示技術の指針を検討することができ、誰でも安全・安心にMR技術を使用するための、より決め細やかなガイドライン作りに貢献できると考えられ、社会的に大変有用な研究であるといえる。

[1] Hine, K., & Tsushima, Y. (2018). Not explicit but implicit memory is influenced by individual perception style. *PLoS ONE*, 13(1);e0191654.

[2] 永山ルツ子・吉田弘司・利島保 (1995). 顔の表情と既知性の相互関連性. *心理学研究*, 66(5), 327-335.

1 目的

本研究の目的は、大卒就業者に対するインターネットモニター調査によって、大学時代のレポートライティング経験(卒業論文を含む)は職業生活に役立つのかという問いを明らかにすることである。

レポートライティング経験に着目するのは、学生は書くという行為を通じて知識を自分のものとして理解するのであり、ここにこそ「大学での学び」の本質があるからである(井下千以子『大学における書く力考える力』東信堂)。申請者の研究によれば、レポートライティング経験は、単なる文章技術の習得ではなく、社会で主体的・自律的に生きるために必要な知的能力が凝縮された体験であり、企業等が求める「コミュニケーション能力」等と相似形をなしている。つまり、レポートライティング経験は職業生活と決して無関係ではない。

本研究の狙いは、レポートライティング経験と職業生活との関連性という切り口から、主に人文・社会科学分野の大学教育に対して向けられた大学教育無用論を批判的・実証的に検討することによって、社会全体の人材育成の効率化を図ることにある。

2 背景

2015年に発せられた文部科学省の文系学部廃止・転換通知以降、特に人文・社会科学分野の大学教育の存在意義が社会から厳しく問われている。こうした状況に対して、日本学術会議は、「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準」を25分野にわたって作成し、大学と(職業)社会との関連性を世に問うている。しかし、大学教育無用・有用論のいずれの議論もデータに基づいた冷静なものとはいえず、大学教育のどの部分に焦点化しているのかすらわからない印象論に留まっている。こうした非生産的な印象論を克服するために、本研究では、人文・社会科学分野の大学教育におけるレポートライティング経験に着目する。

3 学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性と意義は、次の2点である。

第1に、レポートライティング経験の職業的有効性(レリバンス)を正面から扱う最初の大規模な実証研究であるという点である。人文・社会科学分野では、レポートライティング経験の重要性や仕事経験との親和性が指摘されながら、当該経験と職業生活との関連性はほとんど実証されていない。第2に、レポート課題を類型化し、そこでの学習行動を詳細に測定するという点である。人文・社会科学分野のレポート課題には、論証型、書評型、感想文型等の多様な類型がありうる。一方、レポート執筆過程は、情報収集・整理、問題設定、主張の提示、根拠・証拠の提示、結論の提示等の多様な学習行動に細分化できる。本研究では、レポート課題の類型ごとに学習行動を詳細に測定することによって、どのようなレポート課題におけるどのような学習行動にどのような職業的な効果(年収、仕事満足度の上昇等)があるのかという点を解明する。

4 期待される成果と発展性

本研究に期待される成果は、①大学のカリキュラム改善(レポートライティング経験を重視した教育)、②企業等の人材育成コストの削減(大学の学術的な教育が結果として職業人養成に寄与)である。これらを通じて本研究は、職業観の育成に偏重したキャリア教育でも、資格取得支援のような近視眼的な職業教育でもない「第三の教育」を提示し、大学界と産業界の人材育成に関する生産的な関係構築に貢献する。

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

再生紙を使用しております。