

第31回 (平成25年度)
助成研究の概要

研究助成金贈呈式
平成25年12月6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〉

特別 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・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 25 年 4 月 15 日～6 月 14 日

応募数 89 大学より 263 件

2. 選考審査

選考予備会議 7 月 19 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 19 日

選考会議 9 月 13 日開催 助成候補者の選出

理事会 10 月 4 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

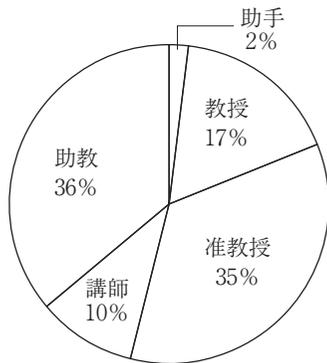
分野	分類	題目	応募件数	助成件数
特別テーマ	特別	次なる産業革命の中核をなす新技術研究	32	3

基本テーマ

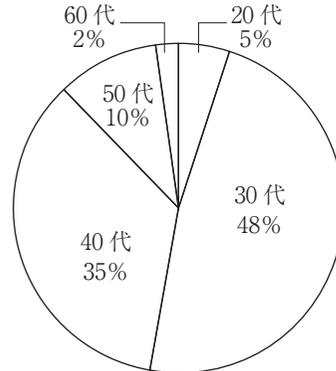
分野	分類No	題目	応募件数	助成件数	
基本 A	電子デバイス 材料・物性	1	半導体関連	15	2
		2	表示・光学関連	4	0
		3	入出力・記録関連	0	0
		4	通信・伝送用デバイス	5	2
		5	新素材・ナノテクノロジー関連	43	8
	システム 情報・通信 ネットワーク メカトロニクス	6	ヒューマンインターフェイス	6	1
		7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	6	0
		8	ソフトウェア・知識処理・セキュリティ	12	0
		9	通信・放送	5	0
		10	計測・制御	4	1
		11	機構・ロボット	13	1
	環境 その他	12	環境エレクトロニクス	16	1
		13	シミュレーション科学	6	3
		14	加工法・工作法・リサイクル技術	3	0
		15	信頼性・最適デザイン	4	2
基本 B	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	3	0
		18	ヘルスエンジニアリング	28	3
		19	バイオエレクトロニクス関連	8	3
基本 C	人材育成 人間行動	20	人材育成に関する研究	23	3
		21	変革期における人間行動の研究	10	2

4. 研究者 (代表研究者)

現 職



年 齢



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	〃 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31回までの
 助成件数 1,167件
 助成金総額 1,481,147千円

【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

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 工学部 教授
伊藤 彰義 日本大学 理工学部 教授
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 副学長、先端生命医科学研究所 所長・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 理事・副学長
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
真壁 利明 慶應義塾大学 常任理事・理工学部 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
宮下 充正 東京大学 名誉教授

平成25年度

研究助成

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額 万円
1	多機能性エンベロープ型ナノ構造体(MEND)が拓く未来医療	北海道大学大学院薬学研究院 教授 原 島 秀 吉	500
2	熱-スピン相互変換機能の開拓と熱電応用	東北大学金属材料研究所 助教 内 田 健 一	500
3	生体二光子分子イメージング手法の確立による生活習慣病の病態解明	自治医科大学分子病態治療研究センター 教授 西 村 智	500
4	次世代通信・イメージング装置を拓く、光ファイバー-極細有機非線形光学結晶一体型THz光変換素子の開発	東北大学未来科学技術共同研究センター 准教授 鎌 田 圭	100
5	超音波マイクロバブルで作る金属ナノ粒子	山形大学大学院理工学研究科 助教 幕 田 寿 典	100
6	高速動作スピンドバイス実現に向けた新奇トポロジカル絶縁体スピン偏極材料の開発	筑波大学数理物質系 助教 秋 山 了 太	100
7	電気および磁気異方性をもつ微粒子によるデジタルサイネージ用電子ペーパー表示剤の研究	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 鳥 居 徹	100
8	単一分子トランジスタの作製とその次世代エレクトロニクスへの応用に関する基礎研究	東京大学生産技術研究所 教授 平 川 一 彦	100
9	高精度な渋滞シミュレーションのための確率セルオートマトンによる交通流特性の推定	東京工業大学大学院総合理工学研究科 助教 山 崎 啓 介	100
10	中性子小角散乱法による磁束状態の観測を通じたs波超伝導体におけるパウリ極限状態の検証とその特性研究	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 教授 古 川 は づ き	100
11	金属表面プラズモンによる超集束効果を用いたサブテラヘルツ波検出器の開発	福井大学遠赤外領域開発研究センター 准教授 山 本 晃 司	100
12	感温塗料を用いた沸騰伝熱面での熱輸送現象の解明	名古屋大学大学院工学研究科 助教 松 田 佑	100
13	神経電位計測プローブ・アナログフロントエンド融合に向けたアレイ化技術の研究	豊橋技術科学大学工学部 助教 秋 田 一 平	100
14	超小型イオンスラストを用いたイオンビーム中和機構の解明	京都大学大学院工学研究科 助教 鷹 尾 祥 典	100
15	次世代フィルムコンピュータに向けた部分的再構成可能回路の最適設計・応用設計技術	奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教 原 祐 子	100
16	真空中でのビーム工学に技術革新をもたらすplasma windowの基盤技術開発	広島大学大学院工学研究科 教授 難 波 慎 一	100
17	遅延蛍光型エキサイプレックスにおける励起子拡散に関する研究	九州大学大学院工学研究院 助教 合 志 憲 一	100
18	表面効果を考慮した光学デバイスのレベルセット形状表現に基づくトポロジー最適化法の開発	信州大学工学部 助教 藤 井 雅 留 太	100
19	持ちやすさの向上を目的とした製品形状の最適設計法	首都大学東京システムデザイン学部 助教 茅 原 崇 徳	100
20	超高速光電子デバイス応用に向けた半導体エピタキシャル構造の非平衡キャリア輸送に関する研究	兵庫県立大学大学院物質理学研究科 助教 長 谷 川 尊 之	100

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額 万円
21	運動論的アプローチによるアクティブ粒子の集団挙動に対するシミュレーションモデルの開発	兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 准教授 安田修悟	100
22	不整地環境での探査を目的とした弾性球形車輪を用いた全方向移動体に関する研究	千葉工業大学工学部 准教授 青木岳史	100
23	生体内一分子ロックオントラッキングシステム開発	慶應義塾大学理工学部 専任講師 広井賀子	100
24	階層構造文章とズーム操作によるデジタル教科書プラットフォームの研究	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 教授 稲見昌彦	100
25	非侵襲的脂肪プロファイリングイメージの構築とNASHの早期診断への展開	千葉大学大学院医学研究院 講師 丸山紀史	100
26	医用画像を用いた精密膝関節モデルの作成および歩行時の膝関節負荷の解析	東京大学大学院工学系研究科 准教授 山下淳	100
27	脳が障害を受けたあとの効率良いリハビリテーションを探るモデル研究—成人脳の可塑性を呼び起こせ—	高知大学教育研究部医療学系 助教 富田江一	100
28	導電性高分子を用いたストレスバイオマーカー分析技術の開発	九州大学大学院システム情報科学研究院 助教 田原祐助	100
29	身体不活動による海馬神経機能の低下を予防するための萌芽的研究	首都大学東京大学院人間健康科学研究科 助教 西島壮	100
30	フェムト秒レーザ励起散乱場の制御による細胞接着性表面ナノ構造の作製	慶應義塾大学理工学部 専任講師 寺川光洋	100
31	搭乗者の脳活動解析を用い歩行支援機器Tread-Walkの安心設計に関する研究	早稲田大学創造理工学部 助手 中島康貴	100
32	光技術を応用した生理的セロトニンニューロン活動による扁桃体調節作用の解析	金沢医科大学医学部 助教 山本亮	100
33	神経情報処理の入力と出力に関わる神経活動の可視化による定量化	甲南大学理工学部 准教授 久原篤	100
34	我が国の法科大学院における法曹以外の人材育成機能および就職支援の在り方に関する研究	弘前大学21世紀教育センター 准教授 田中正弘	100
35	人間の質感認知に関わる基軸画像情報—心理応答に着目して—	山形大学大学院理工学研究科 准教授 永井岳大	100
36	公共空間におけるインタラクティブディスプレイの要因が人間の認知・行動・感情に及ぼす影響の実験的検証	電気通信大学大学院情報システム学研究科 助教 市野順子	100
37	情報科学系大学院生を対象にした社会人基礎力向上教育とその効果計測の方法に関する研究	名古屋大学大学院情報科学研究科 特任助教 松原豊	100
38	相対的年齢効果の実態とメカニズムに関する実証研究	日本女子大学人間社会学部 専任講師 山下綯	100

背景(内外における当該分野の動向)

創薬の領域では、低分子医薬から高分子医薬へと大きなパラダイムシフトが起こっており、抗体医薬は年率37%で市場を拡大し(英調査会社データモニター)、核酸医薬には次世代医薬として大きな期待が寄せられている。人工遺伝子送達システムの開発は、核酸医薬を支える基盤技術として世界中で激しい競争が行われており、ウイルスの効率に近づくと細胞内動態を制御する研究がこの領域を牽引してきた(業績6)。

目的(課題設定とねらい)

従来の低分子医薬による対症療法から、核酸医薬による根本治療へと治療コンセプトを変えることを最終目的とし、その実現に不可欠のBreakthrough Technologyとして我々が開発に成功した多機能性エンベロープ型ナノ構造体(MEND)を基盤技術として革新的医薬品を創出する道を拓き、未来医療へ貢献することを目的とする。標的となる細胞内オルガネラとして、1) siRNAは小胞体、2) pDNAは核、3) オリゴ核酸はミトコンドリアを設定し、それぞれに最適化した細胞内動態制御システムを創製する。

- 1) siRNAを小胞体へ送達するシステム 2006年にノーベル賞受賞の対象となったRNA干渉(RNAi)は、核酸医薬の路を拓く突破口となった。本研究では、癌免疫の中心を担う樹状細胞(DC)の機能をsiRNAで活性化し、世界初のRNAワクチンを創製する。本研究では、ER指向性を有する次世代型siRNA送達システムを開発し、がんの環境下では樹状細胞において働いている免疫抑制分子をsiRNAにより選択的かつ効率的に抑制し、腫瘍内微小環境の免疫抑制解除によるがん治療法を確立する。
- 2) pDNAを核へ送達するシステム DNAワクチンは、これまでのワクチンと異なり、抗体産生のみならず効率的に細胞性免疫を惹起できる革新的医薬品として期待されていた。しかしながら、DCへ効率的に遺伝子導入可能な人工の遺伝子送達システムの開発がボトルネックとなっていた。本研究では、我々が開発に成功したpH感受性ペプチド修飾した人工遺伝子送達システム(KALA-MEND)を基盤技術として、ウイルスベクターに匹敵する効率で遺伝子導入可能なシステムを開発し、激しく変異するウイルスにも迅速に対応できるDNAワクチンを創製する。
- 3) オリゴ核酸のミトコンドリアへの送達 ミトコンドリア(Mt)のゲノムに生じた遺伝的変異による疾病が多数解明されているが、有効な治療法は存在しない。我々は、世界に先駆けてMtへオリゴ核酸を送達し、転写過程を制御可能なMITO-Porterの開発に成功した。本研究では、MITO-Porterを基盤技術として、アンチセンスオリゴ核酸(ASO)をMtへ送達し、標的Mt-mRNAのノックダウンおよびMt機能を制御可能なシステムを開発する。さらに、肝臓Mtを標的とした核酸送達システムへと拡張し、Mtの遺伝子治療への道を拓く。



学術的な独自性と意義

- 1) siRNAをERへ siRNAデリバリーにおける作用部位は細胞質であったが、本研究では最新の研究成果に基づいてER膜上に存在するRISC複合体を標的とする独創的な戦略であり、siRNA医薬の突破口を拓くbreakthroughとなることを期待できる。
- 2) pDNAを核へ 近年開発に成功したKALA-MENDは、膜融合機構に基づいてpDNAをDCへ効率的に遺伝子導入すると同時に、免疫活性化も誘起できることを見出した。このような「細胞との対話性」を兼ね備えた未来型の遺伝子送達システムであり、ナノマシンとも言うべき高機能・高付加価値のBreakthrough Technologyであることを特色とする。
- 3) ASOをMtへ MITO-Porterは、膜融合を介して細胞膜とMt膜を突破する独自のエンベロープを有している。その結果、標的細胞への送達、送達分子の種類・サイズによらないMt送達が可能となる。MITO-Porterにより、Mtを標的とした医療用ナノデバイスとして革新的医療に貢献したい。

期待される成果と発展性

- 1) siRNAをERへ 我々が開発しているMENDの性能は、現時点において世界最高水準にあり、本研究のsiRNA送達促進戦略(ER指向性送達システム)が成功すれば、核酸医薬の道を拓く画期的なBreakthrough Technologyとなり、本領域を先導する。
- 2) pDNAを核へ KALA-MENDがウイルスベクターに匹敵する遺伝子導入効率を示すメカニズムは、switch機能、すなわち標的細胞の機能を制御しながら遺伝子導入を行う高度な機能に基づいており、ナノマシンとも言うべき水準に到達している。世界初の人工遺伝子デリバリーシステムによるDNAワクチンの実用化と普及に貢献する。
- 3) ASOをMtへ 肝臓Mtを標的とした核酸送達システムが創製されれば、世界初・日本発のミトコンドリアの遺伝子送達に基づいた革新的治療法が可能となる。

以上、本研究で開発するBreakthrough Technologyに基づいて、核酸医薬による革新的治療法の確立へ貢献すると同時に、ナノ医療と言われる新しい融合領域の発展に貢献すると確信している。

2

熱-スピン相互変換機能の開拓と熱電応用

研究者 東北大学金属材料研究所 助教 内田 健一

①背景

近年、電子が有する電荷の自由度に加えてスピン角運動量の自由度も積極的に利用する「スピントロニクス」が次世代電子技術の有力候補として注目を集めている。従来のエレクトロニクスが電流の制御に基づいて体系化されたように、スピントロニクス技術の発展にはスピン角運動量の流れ「スピン流」の生成・検出・制御技術の拡充が必須であり、世界的規模で盛んに新しいスピン流物性の開拓が行われている。

このような状況の中、2008年に応募者らは熱流によるスピン流生成現象「スピンゼーベック効果」の観測に世界で初めて成功した(Nature (2008))。伝導電子によって駆動される通常ゼーベック効果は導電体でのみ生じる現象であるため、同様にスピンゼーベック効果も金属や半導体でのみ生じる現象であると信じられてきたが、我々はスピンゼーベック効果が絶縁体においても発現することを明らかにした(図1, Nature Materials (2010, 2011, 2012))。応募者らはこれら一連の研究によってスピンゼーベック効果の物理原理を解明し、熱-スピン流相関効果を取り込んだ新しい電子技術:スピнкаロリトロニクスへの扉を開いた。

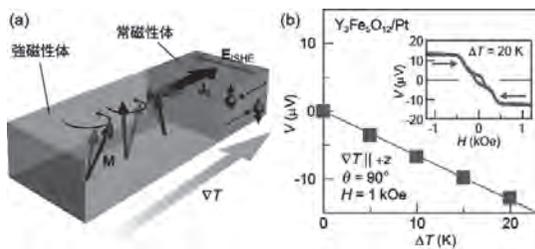


図1 スピンゼーベック効果の模式図と測定結果。

②目的

本研究は、応募者らが発見したスピンゼーベック効果に関する技術・ノウハウを利用することで、その逆効果である「スピンパルチェ効果」の原理を開拓し、熱-スピン相互変換に基づく新しい熱電技術の基盤を構築するものである。スピンパルチェ効果は磁性体にスピン流を注入することで発現する吸熱・発熱効果であり、従来の熱電技術では不可能だった“絶縁体の温度変調”を可能にする。本研究の遂行により、世界に先駆けてスピンゼーベック効果とスピンパルチェ効果を利用した新しい熱制御・熱電発電技術の先鞭を付ける。

③学術的な独自性と意義

応募者らによるスピンゼーベック効果の発見以降、スピントロニクス分野において基礎物理面・工学応用面の双方からスピン流と熱流の交差相関物性に大きな注目が集まっている。スピンゼーベック効果の逆効果であるスピンパルチェ効果は多くのスピントロニクス研究者が探し求めている新しい熱スピン効果であり、既存の熱電現象とは異なり絶縁体を含むあらゆる磁性体においてスピン流注入による温度変調を可能にする。スピンパルチェ効果とスピンゼーベック効果には相反性が成り立つことが期待され、本研究ではこの未開拓の現象を系統的に調べることで、スピン流熱物理体系の確立を目指す。本研究は未発見現象の観測を目指す野心的な試みであるが、応募者に現在蓄積されているスピン流生成・検出技術及び試料作製技術をもってすれば、この決定的研究を世界に先駆けて実現可能である。

④期待される成果と発展性

本提案が最終的に目指すアプリケーションは、未利用熱エネルギーによる分散型発電、及びスピン流を用いた電子冷却である。環境負荷の少ない熱エネルギー変換技術への需要は高く、本研究の遂行により、スピン流を媒介として絶縁体を含むあらゆる材料を利用した高効率な熱電相互変換手法・原理が確立されれば、電子機器産業、エネルギー産業、自動車産業等への大きな波及効果が期待できる。更に、本研究で開発する磁性体/金属二層構造デバイスを用いれば、複雑な半導体集積構造に基づく従来技術では困難だったフレキシブル・大面積エネルギー変換装置の実現が格段に容易になることから、電子機器の筐体表面、自動車の車体表面、家屋やビルの壁面への素子の直接実装やウェアラブル化が可能になり、様々な設置場所や利用形態に応用できる可能性がある。

<背景> 三大疾病（生活習慣病・悪性腫瘍）の病態理解には、慢性炎症を基盤とする細胞動態・ネットワークの異常と、組織の再構築が重要である。生体内の組織では複数の細胞種が常に相互作用しており、その破綻が疾患と考えられる。申請者は独自に生体内で細胞・分子動態を可視化する生体イメージング手法を開発しており、生体内の多様な情報ネットワークを可視化手法で検討可能になっている。本研究では、本手法を用いて、慢性炎症を背景とした各種疾患（肥満、糖尿病、動脈硬化）において、生活習慣上のストレスがいかに細胞ネットワーク・情報伝達の破綻と臓器機能異常、炎症病態を来すかを可視化し、その本態を明らかにする。本研究は、生活習慣病の本質的な病態理解をもたらすだけでなく、従来の遺伝子をターゲットとする還元論的研究に対して、生体からアプローチして遺伝子に繋がる新たな研究のフレームワークを呈示する。さらに、本手法をヒト臨床における新たな診断手法として応用するための基礎知見を得る。

<目的> 現在、マウスからヒトにいたるまで全遺伝子が同定されたにもかかわらず、生体機能、特に免疫を含む生体保護システムについては依然として不明である。その原因として、多くの研究者が、試験管内で生ずる事象と、生体の間には、大きな乖離があることを感じている。本研究計画では、生体イメージング手法を確立し、生体内での生理学的・病理学的状態を一分子レベルで可視化・理解し、従来の分子生物学的知見との整合性を検討する。すでに、申請者の手法では、複数の細胞が相互作用の元で形態的・遺伝学的に分化し、機能異常を起こすさまが生体内で高時間・空間解像度でとらえられている。本計画ではこれらの手法を代謝・免疫臓器に適応し、恒常性維持と破綻のメカニズムを明らかにする。生体システムへの新規アプローチを行い、生活習慣病への初期化治療の可能性を探る。

<研究の独自性> 従来の生体イメージング手法はモダリティとしてMRI・CT・PETもしくは体表発光イメージングを用いるものが大半であったが、空間・時間解像度の低さが大きなネックになっている。しかし、申請者が立ち上げてきた蛍光を用いた生体分子イメージング手法では、現状で生体内の細胞をサブミクロンレベル、かつ、リアルタイムで見ることが可能であり、圧倒的に得られる情報が多い。本手法は申請者らが独自に開発したもので、世界最高水準の解像度、マルチカラーで生体内の多様な現象を可視化可能であり、きわめて独自性が高く、世界にさきがける報告を多数している

<成果と発展性> 生体のモデル化と最小限の介入・初期化治療の開発

現在、分子生物学をつかった基礎研究の論文発表は多いが、同定された遺伝子が疾患治療に結びついた例は少ない。遺伝子多型による疾患予測でも、実際の発症危険率はそれほど高くない。本計画により、生体内のリアルな遺伝子・細胞が可視化され、観察結果は、その不確定性・不均一性を含めて、客観的・科学的に定量を行われる。そして、統計学的な解析から仮説を誘導するだけでなく、組織のリモデリングと破綻過程など、偶発的・確率的にすすむ事象のシミュレーションをこころみて、最終的にin silicoで、生体の恒常性を説明するシステムを構築できると思われる。その結果、複雑系であるヒトの疾患理解をできるだけでなく、病態を初期化する因子を同定することにより、疾患への最小介入による低侵襲・初期化・テーラード治療の可能性を探る。

実際に、臨床現場で、患者の危険因子を判定し、初期治療方針をたてることは、QOL(生活の質)の向上のみならず、医療費の抑制など社会経済的にも有用性が高い。なぜなら、一度発症した疾患の治療は困難であるだけでなく、多様な経済的な損失を生むからである。

次世代通信・イメージング装置を拓く、光ファイバー - 極細有機非線形光学結晶一体型 THz 光変換素子の開発

研究者 東北大学未来科学技術共同研究センター 准教授 鎌田 圭

【①背景】テラヘルツ(THz)波工学は、近年の光・ナノ技術の発展により技術革新がもたらされ、新しい分野を開拓するものとして注目を集めている。THz波は、電波天文や分析科学の分野において、広く研究・利用されてきたが、その対象は限定的なものであった。そのTHz波技術に、今、新しいセンシング機能が付加され、工業・医療・バイオ・農業・セキュリティなどさまざまな分野における応用が期待されている。しかしながら、現状、これら多種多様なTHz波応用に柔軟に対応できる、実用的な光源や検出器などの要素技術は、未だ十分に開発されていないのが現状である。それゆえに、THz波領域には、未解明の物理現象、いわゆる、学術界の「宝物」や、人類が持てる新しい道具としての実用的な新技術などが、数多く埋蔵されている可能性がある。

近い将来、THz波の標準ともなるべく要素技術の開発においては、特に光源の性能として、高効率発生・高安定・室温動作などが必要とされる。これには、光ファイバー技術がもたらしてきた情報化社会の発展にみられるような技術が、THz波領域においても必要である。特に、光波をTHz波に、またはTHz波を光波に変換できる非線形光学現象に基づく技術は、これまで東北大学や理研において原理的検証がなされており、光ファイバーと直接接続技術として期待されている。

【②目的】本研究開発課題では、THz波領域使用の上で課題となっている上述の要素技術課題を解決すべく、光ファイバー技術とリンクして光波から直接THz波に変換し、サブTHzから数十THzの超広帯域にわたって連続的に動作周波数を同調できる画期的な光波-THz波変換非線形光学素子の開発を行う。本提案では、従来のLiNbO₃等の無機材料を大きく上回る非線形性を有する、有機非線形結晶BNA(N-benzyl-2-methyl-4-nitroaniline)をTHz波変換素子として用いる。さらに、マイクロ引き下げ法(μ -PD法)による、安価かつワンプロセスのTHz波の発生に好適な<010>軸に配向した100 μ m ϕ 程度のBNA単結晶ファイバー作製技術を確立し、BNAファイバーと光ファイバーとを直接接続することで、これまでは不可能であった光波-THz波変換システムを実現する。本システムにより、THz波発生効率の最大化と伝播損失の最小化を同時に実現できる。また、複数のファイバー素子を束ねることで、無線通信の容量を用意を増加することができ、さらに高分解能2次元THz波イメージングの実現も可能となる。また、ファイバー状のシステムとすることで、空冷あるいは水冷の冷却システムとの接合も容易となり、高効率発生・高安定なTHz波発生システムの実現も可能となる。

【③学術的な独自性と意義】本研究において用いる μ -PD法はシンチレータ結晶のみにとどまらずファイバーレーザー用YAG単結晶、医療応用サファイア単結晶、酸化物透明伝導体 β -Ga₂O₃単結晶、光アイソレータ用Tb₃Sc₂Al₃O₁₂単結晶等を始めとする、多様な新規光学結晶材料の開発に実績がある。さらに μ -PD法はファイバー状、板状など、さまざまな形状の単結晶をシングルプロセスで作製する技術であり、東北大学のグループが開発した独自の結晶作製技術である。加えて本作製法は、従来法の約100倍高速(BZ法などの方法では短くても一週間程度だが、 μ -PD法では1サンプル/数時間)での単結晶作製が可能で且つ、組成制御、方位制御も可能な上に、形状制御も可能である融液成長法を駆使することで、世界初となる有機非線形BNA単結晶のシングルプロセスでのサブミクロンファイバー単結晶作製技術を確立することが可能となる。本方式では、使用する原料を100%結晶化でき、加工ロスも発生しない為、BZ法や溶液成長法に比べて、大幅なコスト削減が可能である。さらに、共同研究者である理研が独自に開発したBNA単結晶と単色二波長ファイバーレーザーによるDFG機構とBNAファイバーとを組合せて、実際の応用に近い状態で性能を迅速に評価できる。このように材料開発から装置のプロトタイプ開発を異分野グループによる垂直統合型の研究を行えるグループは、世界でも申請者らのみであり、得られる研究成果は学術的にも将来の産業的にも意義が大きい。

【④期待される成果と発展性】THz波が見据えている具体的な成果・発展性として、まず一つ目に情報通信分野が挙げられる。現在普及している無線通信の多くは、THz波に比べて周波数が2~3桁程度低い、GHzオーダー(1 GHz = 10⁹ Hz)の電波を使用している。このことは、電波の代わりにTHz波を利用することができれば、100倍から1000倍程度高速な無線通信が実現できることを意味している。例えば、映画などの大容量データは、数秒足らずで送受信することが可能となり、電子電気デバイス的大幅な省エネルギー化が期待できる。また、大気中における減衰が大きいというTHz波の特性を積極的に活用すれば、THz波が届く距離を目の届く近距離に限定させることができる。つまり、外部からの通信傍受を防ぐことができるため、無線通信の安全性を飛躍的に向上させることが可能である。

二つ目の成果・発展性として、非破壊検査技術に基づくセキュリティ分野が挙げられる。THz波の有する適度な物質透過特性によって、試料を安全に透視することが可能であり、これまでも郵便物内の違法薬物検査など、様々な実証実験が行われてきた。このようなテラヘルツ波を用いたセキュリティシステムの普及のためにも、基盤技術となる要素技術開発が強く要求されており、本研究開発が果たす意義は大きい。

【①背景(内外における当該分野の動向)】

触媒や粉末冶金などに用いられているナノ粒子のこれまでの製法としては、大きな構造体から機械的な手法などを用いて細かくしていく「ブレイクダウン法」と、原子から成長させる「ビルドアップ法」が考案されている。しかしながら、ブレイクダウン法は形状不均一で比較的大きな粒子ができやすく、ビルドアップ法はプロセス制御が複雑で高価となり大量生産することが難しいという課題が残されている。一方、申請者らは、中空超音波ホーンを用いてマイクロバブルを発生させる独自の技術(図1)を有しており[T. Makuta, et al., Ultrason. Sonochem., 20(2013), 997-1001.], 水以外の液体にも適用することが可能である。そこで、この技術を溶融状態の金属に適用し、図2のように容器中の水と溶融金属の液-液二相の界面近傍でマイクロバブルを発生させたところ、溶融金属が水相に飛び出して微細な溶融金属液滴が形成し、更にその微小液滴を冷却することで**直径1 μm 以下の金属ナノ粒子が生成**することを見出した[T. Makuta, et al., Mater. Lett., 77(2012), 110-112.]。

【②目的(課題設定とねらい)】

この方法による金属粒子は、超音波によるマイクロバブル発生部を溶融金属中に差し込むだけの簡易な操作によって、従来法では難しい**1 μm 以下の金属ナノ粒子を容易に得ることが可能**である。一方、本手法の金属ナノ粒子に関して昨年開催された“イノベーション・ジャパン2013”へ出展し、様々な企業と情報交換を行なった結果、より実用的な材料とするためには収量の増加および粒子の均一化が課題であることが判明した。したがって、本申請の研究においては、金属ナノ粒子生成メカニズムの解明を進めながら、最適な装置構成・実験条件抽出を図ることで、収量および均一化の課題解決を図ることを目的として研究を行なう。

【③学術的な独自性と意義】

超音波でマイクロバブルを溶融金属中に発生させるとナノオーダーの液滴が生成する現象は、**申請者らが発見した独自の現象**であり、その**生成メカニズムの詳細について未だ良く分かっていない**。超音波振動体(超音波ホーン)の先端を溶融体に浸し振動させるだけでナノ粒子を生成できる本技術は、金属だけでなくポリマーや食品の微粒化など幅広い応用が期待できる技術であり、そのメカニズムや特性を解明する意義は極めて高いと思われる。

【④期待される成果と発展性】

本技術の独創的な点は、スプレーノズルなどを用いた微粒化(溶融金属では目詰まりを起こしやすい)ではなく、内部に気体流路を有する超音波振動体(中空超音波ホーン)の先端を溶融体に浸し振動させるだけでナノ粒子が生成する点である。また、溶融液滴状態での強い表面張力の影響により、真球度の高い金属ナノ粒子を得ることも期待できる。更に現在までの研究の結果、融点と溶融体の温度差を大きくすることで、粒子の収量増加が見込れており、本申請研究の結果、数百nmオーダーのナノ粒子を容易に生成することが可能となれば、**ナノ粒子単体・コンポジット材料もしくはナノ粒子生成装置としての応用展開が期待できる**。

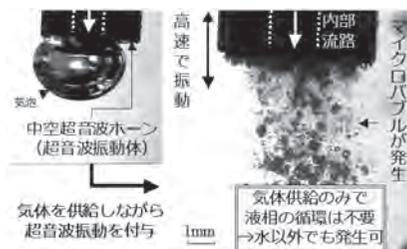


図1 超音波によるマイクロバブル発生

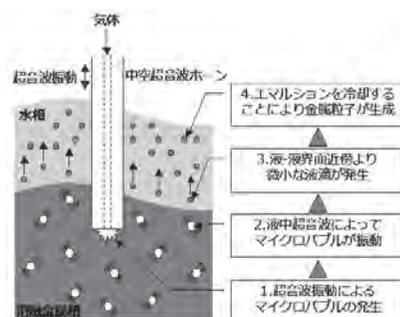


図2 金属ナノ粒子生成手法の概要

研究背景

本研究では、近年世界的に理論実験両面でとても盛んに研究が進められているトポロジカル絶縁体(TI)を扱う。TIとは、バルクが絶縁体でありながら表面では理論上100%スピン偏極した有効質量が0のキャリアが移動できる物質(図1)であり、まだ存在が実証されていないマヨラナ粒子性がTI上で発現が予言されているなど非常に多岐にわたる発展性を有している。また有効質量が0のスピン流が流れているという性質を利用すれば、将来的にグラフェンを凌駕する移動度を持ち、将来量子コンピューターに使われることが予想される「超高速スピンドバイス(メモリやトランジスタ)」のための有力な物質系であることが予想されている。

TIには大きく分けてトポロジカル性が時間反転対称性に起因するタイプと空間反転対称性に起因するタイプ(トポロジカル結晶絶縁体:TCI)とに分類される。時間反転対称性に起因するタイプはここ数年精力的に研究がなされているが、TCIは2011年に理論予測され、2012年にバルク結晶で実験的に候補物質が発表されたばかりであり、現時点ではスピン分解光電子分光(ARPES)表面バンド構造の観測が唯一で、主たる性質の電気伝導の性質は未だ発表されていない。時間反転対称性によるTIが磁性の添加によってトポロジカル性が壊れてしまうのに対して、TCIは強磁性とトポロジカル性が共存できると期待される。このため分子線エピタキシー法(MBE)によって高度に結晶構造を制御することで、高移動度TCIのスピンドバイス化が期待できる。

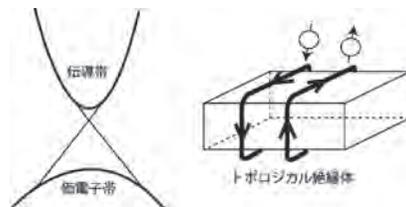


図1 左:トポロジカル絶縁体のバンド構造
右:トポロジカル絶縁体の表面を流れる純スピン流

目的

本研究では、高品質なSnTe系TCIの結晶成長を行い、Mnなどの磁性元素の添加によってトポロジカル性を保ったまま強磁性を発現させディラックフェルミオン伝導を実現し、2次元デバイス化することでランダウ単位の観測、及び超高速スピンドバイスの試作を行うことを目的とする。

学術的な独自性と意義

本研究で一番重視するのは、TCIのトポロジカル性が空間反転対称性に由来していることである。従来、トポロジカル性が時間反転対称性を起源とするBi₂Se₃系などで、磁性元素をドーピングすることで磁性を持たせながらトポロジカル性を発現させようとする試みはあったが、時間反転対称性は磁性の発現で破られることから強磁性TIは実現が難しかった。本研究では1)TCIであるSnTeの良質な薄膜結晶を作成し、バルク寄与伝導を減らす2)作成した薄膜の2次元伝導をシュブニコフ・ド・ハース振動の観測などを通して世界で初めて確認する3)薄膜にMnなどの磁性元素を添加し、強磁性の発現とトポロジカル性(ディラックフェルミオン伝導)を両立させ、超高速スピンドバイスの実現に向けた試作を行う、の順に実施し、空間反転対称性を起源とするTCIを用いることで強磁性をもつTIを作製することを目指している。これは世界でも未だ試みられていない実験であり、基礎・応用の両面から非常に意義深い。申請者はこれまでに高度に成長条件を制御し、半導体に磁性元素をドーピングすることで強磁性半導体を作製し、その評価を多角的・系統的に行なってきている。そこで培った結晶成長・評価のノウハウは本研究で活かされると考えられ、また中性子やミュオンなどの量子ビームを援用した物性評価も得意としているが、それらも必要に応じ積極的に用いる予定であり、本研究の独自性といえる。

期待される成果と発展性

作成したSnTe薄膜結晶において予想通りに2次元表面状態をキャリアが流れれば、磁場下電気伝導測定において抵抗が特徴的に振動するシュブニコフ・ド・ハース振動の観測が期待できる。その振動周期の解析などからTCIであるSnTeの伝導帯構造に関する貴重な情報が初めて得られ、それはSnTeに留まらず未だに電子構造の不明なTCIの物性解明へと大きな一歩を踏み出せると思われる。また、磁性元素をドーピングすることで、「強磁性TI」を世界で初めて作製できると期待される。これが可能になると、TIの不純物散乱にロバスタな性質を利用し、磁性半導体では困難なディラックフェルミオンをキャリアとする「超高速スピンドバイス」への道を拓ける。

電気および磁気異方性をもつ微粒子による デジタルサイネージ用電子ペーパー表示剤の研究

研究者 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 鳥居 徹

- ①申請者らはマイクロチャンネルの分岐構造を利用した微小液滴の生成手法を考案し、その応用展開を図ってきた。とくに機能性微粒子として、半球が白、半球が黒でそれぞれ電荷が逆の性質をもつツイストボールの生成を行い（図2）、これを電子ペーパーの表示剤に用いるための量産化法も開発した。当該電子ペーパーを用いたデバイスは一部で商品化されている（図3）。電気的なツイストボール以外には、磁気ナノ粒子を混入した磁気微粒子に関して海外においていくつか研究が行われているが、ディスプレイ用の研究例は1例だけである。そのため、電気異方性と磁気異方性をもつ微粒子の研究はまだ行われていない。両方の異方性を兼ね備えれば、現状の電子ペーパーの機能に、後から追記が出来る新しい電子ペーパーを提案できると考えている（図4）。
- ②そこで本研究では、微小流路における液滴生成法を利用して、電気異方性および磁気異方性の両方を兼ね備えた電子ペーパーの開発を行うことである。本デバイスにより、電極のみに依らない表示用粒子の回転制御を実現し、新たな機能、付加価値を持った電子ペーパーを作製することを旨とする。具体的なデバイスですとして、電極によって電子情報を表示できるとともに、磁気による手書きが可能な電子ペーパーなどが実現できると考えられる。
- ③これまで、電気異方性および磁気異方性をもつツイストボールの研究は行われていない。当該研究で重要となるのは、材料の調整法である。電子ペーパーの材料となる、カーボンブラックおよび酸化チタンを基本にした材料に、磁気微粒子の分散を行うことが難しいため、当該分散調整法ならびにディスプレイ応用は学術的に重要な成果となると考えている。
- ④既に記載したが、電気的な表示に加えて、磁気による表示を追加するため、図4に示すような追記が可能な電子ペーパーデバイスを提案できると考えている。

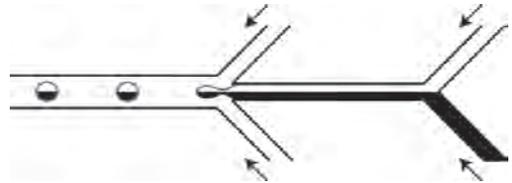


図1 機能性微粒子生成概念図(2色液滴)

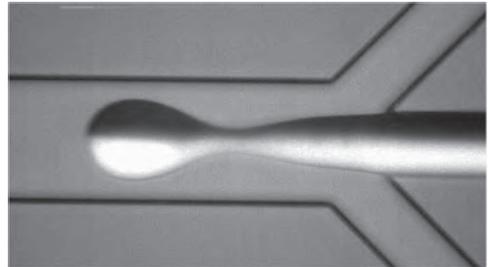


図2 微小流路における生成



図3 デバイス例(ネットより引用)



図4 追記が可能な電子ペーパー

【背景】VLSIはスケーリング則に従い微細化の一途をたどり、現在ではチャンネル長が数十nmのシリコントランジスタが実現されている。このままの割合でスケーリングが続けば、2030年頃にはチャンネル長は1 nmを切り、分子レベルの寸法に達してしまう。一方、活性層がナノメートル領域に入ると、その電子状態は量子力学的によく記述された離散的なものになり、従来のバルクにない様々な性質が顕著になる。従って、ナノ電極と単一分子という2つの要素を組み合わせ、分子系の状態を金属電極により電気的に制御・読み出すことができれば、演算や記憶を司る情報処理デバイスに、全く新しい展開をもたらすことができるであろう。さらに、金属電極は、それ自体、超伝導性や磁性を持ったユニークな系であり、単一分子系に金属の持つ新しい機能を付加することにより、今までにない機能を発現させることができると期待される。

本研究では、単一分子に着目し、ナノスケール金属電極と単一分子の接合を作製し、電極からの電子注入により分子系が発現する新規物理現象の解明とその応用について研究を行うことを目的とする。しかし、単一分子は非常に小さく（典型的には $< 1 \text{ nm}$ ）、かつ位置がランダムであるため、金属電極により単一分子にアクセスすることは非常に困難である。このような状況をふまえ、本研究では、以下の2点を目標に研究を遂行する。

【目的】

1) 再現性に優れた原子スケールナノギャップ金属電極／単一分子接合作製技術の確立：高い歩留まりと再現性で単一分子トランジスタが作製できるよう、通電断線法による金属ナノギャップ電極の作製と分子トランジスタ作製プロトコルの最適化を行う。

2) 金属電極／単一分子系の電子状態と伝導ダイナミクスの解明：金属／単一分子接合のマイクロな電子状態と伝導特性の関係を明らかにする。特に、回折限界を大きく超えて、波長 $100 \mu\text{m}$ 程度のテラヘルツ電磁波を用いて分子内の電子状態や伝導ダイナミクスを明らかにするとともに、分子や金属電極の種類、分子／電極界面の制御により引き出される機能の学理を構築する。

【学術的な独自性と意義】 本研究では、以下の点で独創性、先進性がある。

1) 通電断線プロセスの深い理解と分子デバイス作製プロセスの最適化：原子レベルのギャップを有する金属電極を作製するときに用いられる通電断線プロセスにおいて、我々は原子移動の素過程を世界で初めて明らかにした。さらに通電断線時の発熱制御が分子デバイス作製では極めて重要であることも見いだした。これらの知見は世界の他のグループに先駆けたものであり、単一分子デバイスの作製の精度では世界でトップを走っている。

2) 分子デバイスのテラヘルツダイナミクスの解明：波長約 $100 \mu\text{m}$ のテラヘルツ電磁波をナノギャップ電極により集光し、単一分子のテラヘルツ分光を行うことにより、分子伝導のダイナミクスを明らかにする。この測定は回折限界を大きく超えて、長波長の電磁波で単一分子の情報を探ろうというもので、未だ誰もなしていない実験である。我々は、既に直径数十nmの単一自己組織化量子ドットに対してテラヘルツ分光を行うことに成功しており、単一分子への展開はスムーズと考えている。

【期待される成果と発展性】 CMOSに代表されるシリコンテクノロジーは、その微細化が限界に近づきつつあり、構造的にも原子レベルの界面制御が必要であることが認識されるとともに、CMOSを越える新しい原理の素子（いわゆるbeyond CMOS素子）を探索することが急務となっている。物質が機能を発現する最小単位である単一の分子は、化学的に定義された精密な構造を持つとともに、その構造により多彩な機能を発現させることができるため、bottom-up的なアプローチの代表として大いに注目を集めている。このような化学とエレクトロニクスの融合の試みは始まったばかりである。

単一分子デバイスの素子作製技術や物理の解明と応用の探索を通して、将来の原子スケールエレクトロニクスの基礎を築くのが本研究の第一の意義である。さらに、単一分子のテラヘルツ分光技術は、今後重要になるDNA、タンパク質、薬剤などバイオ関連の研究にも極めて重要な実験技術を提供し、分子スケールのバイオ研究に新しい局面を拓くのは間違いない。

①背景

国土交通省によると交通渋滞もたらす経済損失は年間12兆円におよび、その緩和や解消を目指し多くの研究が行われている。近年では分岐や合流、信号のない道路においても減速・加速などの個々の車の挙動が原因で渋滞が発生することが明らかになった。こうした自発的な渋滞現象を説明するため、特に日本とヨーロッパを中心として多くの理論的・実験的な研究が行われており、様々な数理モデルが提案された。

その中のひとつにセルオートマトンによるモデル化がある。セルオートマトンとは単純な振る舞いをするセルを並べ、全体で複雑な計算を行う計算モデルのひとつである。交通流のシミュレーションでは、セルを一列にならべ道路とみなし、車の有無をセルの状態として表現する。各セルは自分と近傍のセルの状態を参照し次時刻の状態を決定する共通の規則を持つ。規則を適切に設定することにより道路上の車の流れを再現できることが確認されている。特に規則を確率的に変化させる確率セルオートマトンは高速道路などで実際に観測される交通流の特徴を再現できることが知られており、渋滞発生メカニズムや流れのダイナミクスを知るうえで基本的な数理モデルである。

②目的

交通流を的確に再現するためにはセルの計算規則を決定する必要がある。しかしながら従来の研究では経験的な設計に依存しており、何故その規則が観測データを再現できるかの説明がされていない。またシミュレーションの再現性も定性的・主観的である。そこで本研究では交通流データから統計的な手法を用いてセルの規則を推定することで、個々の車の運転特性を客観的に抽出し、高精度・高信頼シミュレーションの実現を目的とする。

③学術的な独自性と意義

従来の研究は規則の決定からシミュレーションでの交通流データの再現という順問題を解くアプローチだった。これに対し本研究ではデータから規則を決定する逆問題のアプローチをとるところに独自性がある。逆問題としての定式化は申請者が数年前から提唱しており、国内の研究会(交通流のシミュレーションシンポジウムなど)で認知されつつある。規則の決定は統計的推測によって行われるため、その精度に客観的な指標を用いることができる。また統計理論を適用することで、その精度の理論値やシミュレーション結果がどの程度正確であるかが算出可能である。さらに確率セルオートマトンはデータの採取が走行中のダイナミクスに依存するなど、従来の統計モデルにはない性質を備えている。これは本課題が統計学としても新たな問題設定であることを意味し、数理解析や実験によって得られる知見は今後の統計理論の発展にとって重要なものである。

④期待される成果と発展性

成果として、ある高速道路の交通流データからそこを走る車がどのような運転特性(車間距離と減速・加速の関係など)に従うかを推定することができるようになる。これにより、異なる条件下での渋滞予測や道路ネットワークの変化に対する交通量の応答など、これまでのデータにないような状況のシミュレーションへ精度の保証を与えることが可能となる。本研究の技術を発展させることで、災害時の渋滞の緩和や不要な道路の建設回避など都市計画への応用が考えられ、災害復興支援や環境問題解決への一助となることが期待できる。

中性子小角散乱法による磁束状態の観測を通じた s波超伝導体におけるパウリ極限状態の検証とその特性研究

研究者 お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 教授 古川 はづき

①背景(内外における当該分野の動向)

物質の電気抵抗が“ゼロ”になる超伝導技術は、低損失大電力送電線や電力貯蔵、デバイスなど、エネルギー環境問題と経済社会に大きな波及効果をもたらすことからグリーン・イノベーション(環境・資源・エネルギー)分野で発展が期待される革新技術の一つです。しかし、本格的な実用化には『より高温で超伝導を示す新材料』や『より高い性能を持った新物質』の開発が必須です。また、他方で、その基礎研究面においては『超伝導発現機構』や『超伝導特性原理』の解明が重要です。2008年に日本で発見された鉄系超伝導体については、超伝導転移温度が高いことから注目され、超伝導機構に関する研究が爆発的になされてきました。その結果、超伝導発現機構として「磁気揺らぎ」の寄与が重要視され、電子対の対称性としては拡張sあるいは s_{\pm} が強く主張されています。しかしその一方で、実験法によっては異方的なd波を主張するものも存在し、全統一的な解釈に至っていません。そのため、さらなる系統的な研究の実施が求められています。

②目的(課題設定とねらい)

Fe系超伝導の1つである KFe_2As_2 については、外部磁場をab面内にかけた場合に上部臨界磁場(H_{c2})が同じ条件下の超伝導転移温度(T_c)の2倍以上となり、系がパウリ極限状態ある可能性を示唆する事が指摘されています。パウリ極限状態下の超伝導の磁束相では、(d波超伝導体のCeCoIn5で観測されたような)超伝導体内の磁場の空間分布の異常、FFLO状態や磁気秩序の出現が期待されます。これらを踏まえ、本研究で、我々は、中性子小角散乱法によりこれらの可能性を検証することを目的とした実験研究を行う事にしました。

③学術的な独自性と意義

我々は、これまでに KFe_2As_2 、および、 $BaFe_2(As,P)_2$ 単結晶の育成に成功、中性子小角散乱法により、磁束格子の長距離秩序の観測に成功しています。これら2つの研究は世界初と世界2例目の成果であり、現在まで、我々のグループ以外で、鉄系超伝導体の磁束状態からの磁気ブラッグ散乱の観測に成功した例はありません。この点で我々は世界をリードしています。また、中性子散乱法により、磁化測定等マクロ測定では確定が不可能な磁気構造の決定が可能となるなど、選択している測定手段の特異性・有効性についても独自性を有していると考えます。さらに、 KFe_2As_2 については、これまでに電子対が s_{\pm} 対称性を持つことが最も強く主張されています。一方、パウリ極限状態下の電子状態について先攻研究が行われているCeCoIn5はd波超伝導体です。したがって、本研究により、 s_{\pm} 超伝導体の磁束状態においても、同じパウリ極限下で、d派超伝導体と同様の磁場の空間分布の異常やFFLO状態、磁気秩序の出現が実現されるのか否かを明らかにできます。この点で、本研究の実施に大きな意義があると言えます。

④期待される成果と発展性

中性子散乱法は、磁気構造の詳細な決定が行える唯一の実験手段です。また、磁束状態での磁場の空間分布は中性子小角散乱が得意とする領域です。本研究で s_{\pm} 超伝導体のパウリ極限状態を検証することで、その特性の理解が格段に進みます。本研究の成功により、超伝導分野に対し重要な新パラダイムを与えることが期待され、発展性が大きいと考えます。

①背景(内外における当該分野の動向)

テラヘルツ波は、電波と光波の間、すなわちミリ波と赤外線の間領域に位置し、電波と光波の両方の性質を兼ね備えている光/電磁波であり、テラヘルツ波技術はさまざまな産業分野に展開される基盤技術である。その研究の位置づけは高く、波及効果が広範囲にわたることが知られている。

特に、透過性の高いサブテラヘルツ波(ミリ波～サブミリ波)を利用した産業への応用が期待されている。しかし、低い検出感度や回折限界による低分解能(特に、サブテラヘルツ領域では顕著)であること、および、測定システムが高価であることが、テラヘルツ波応用の普及の妨げとなっている。従って、高感度化、低価格、高分解能、小型のテラヘルツ波検出器が開発できれば、テラヘルツ波技術が上記の分野へ飛躍的に波及すると考えられる。

②目的(課題設定とねらい)

本研究課題では、金属の表面プラズモンをによる、回折限界を超えてテラヘルツ波を微小領域に集光させる「超集束効果」を利用したテラヘルツ波の検出器を開発することで、感度を10倍に向上させる(高感度化)とともに、小型で低価格化かつ高分解能な検出器の開発に取り組む。テラヘルツ波の超集束効果を得るために、ホーンアンテナ導波路と平行平板導波路を組み合わせた金属導波路(図1)を用いて、テラヘルツ波検出器の研究開発を行う。この金属導波路に対して、次の3つの課題に取り組む【研究目的(1)～(3)】。

- (1)金属導波路と光伝導スイッチとのカップリングの達成と最適化
- (2)金属導波路構造のパラメータ最適化(ホーンアンテナの長さ、金属平行平板の長さ、ギャップ間隔)
- (3)金属導波路の材質依存性の検討(アルミ、ステンレス)

これらの課題を達成することにより、高感度化、低価格、小型のテラヘルツ波検出器の開発を行う。

次に、得られた金属導波路に対する応用展開【研究目的(4)】として、

- (4)テラヘルツ波によるイメージングの超分解能化を図る。金属平行平板導波路の先端部にアンテナ構造を作り、金属平行平板導波路と空間カップリングする領域を小さくすることで、回折限界を超えたサブテラヘルツ波イメージングの超分解能化を実証する(分解能： $\lambda/10@0.1$ THz)。

③学術的な独自性と意義

本研究課題で中核となるテラヘルツ波の発生・検出システム(図2)では、サブピコ秒のパルス幅を持つテラヘルツ波を発生させ、これを空間伝播させた後に検出する。従来のテラヘルツ波の検出素子では、高抵抗シリコン基板レンズを光伝導スイッチに密着させることで、全反射による検出効率の軽減を図っている(図2)。しかし、回折限界によりテラヘルツ波を十分に絞ることが不可能なことや、シリコン基板レンズの形状および光伝導スイッチとの相対配置に大きく依存すること、形状精度を上げることによるコスト高など、シリコン基板レンズによって光伝導スイッチと結合する方法には問題点が多い。本申請課題では、ホーンアンテナ導波路と平行平板導波路を組み合わせた金属導波路を開発し、シリコン基板レンズと置き換えることによって、高感度化、低価格、高分解能、小型のテラヘルツ波検出器の開発を行うことに独自性があるとともに、金属ホーンアンテナ表面における金属表面プラズモンを利用する点に学術的にも特徴がある。

④期待される成果と発展性

本申請課題はこれまでの申請者の研究を基に、高感度化、低価格、高分解能、小型のテラヘルツ波検出器の開発を行うものである。本研究で開発する技術成果は、以下のような分野への応用が期待される重要な要素技術である。

- 診断・検査技術⇒①建物(建材)・断熱材・②医薬品・皮膚癌・セラミックス・美術品・LSI不良解析
- 安全・安心技術⇒②禁止薬物・危険物(爆薬・有害ガスなど)・②セキュリティ・指紋・②食品検査
- 情報通信⇒サブテラヘルツ無線(ビル間通信・遠隔医療・ハイビジョンTV・災害時の高速伝送など)
- 基礎科学研究機器⇒宇宙天文・分子/電荷ダイナミクス観測など

例えば、①診断・検査技術⇒建物(建材)の非破壊検査診断[国家事業]に関して、政府の震災復興の平成24年度アクションプランの1つとして「電磁波(高周波)センシングによる建造物の非破壊健全性検査技術の研究開発」が提示されている。また、②安全安心技術・分析技術⇒禁止薬物[通信事業]・医薬品[医薬品事業]に関して、封筒の中味の検査や税関の荷物の非開封検査、食品中への混入物の検査、損傷や劣化などを調べるデバイスの品質検査など、モノの内部を“可視化”する用途に幅広く応用できることが期待されている。

本申請課題の成果により、テラヘルツ波技術に関する技術的敷居が低くなり、その結果、産業界においても応用研究が飛躍的に進展するものと期待される。

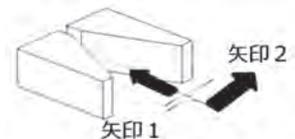


図1. ホーンアンテナ導波路と平行平板導波路からなる金属導波路構造。矢印1はテラヘルツ波の入射方向。矢印2は、電場の偏光方向。

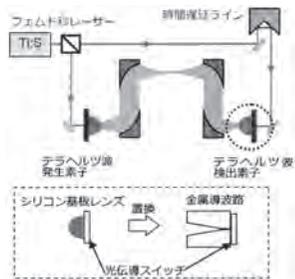


図2. テラヘルツ時間領域分光装置の模式図。

①背景(内外における当該分野の動向)

近年、地球環境保護、持続的発展可能な社会の創出の観点から、消費エネルギーの削減が科学技術の重要な課題となっている。特に、事業者、一般家庭における消費エネルギーの3割(1)を占める空調機、冷却機器の効率化による消費エネルギー削減効果は非常に大きく、かつ即効性がある。空調機や冷却機器では、冷媒の相変化を用いその機能を発現させるため、沸騰現象及びそれに伴う熱輸送現象に関する知識がその効率化には極めて重要である。特に固気液三相界面位置(コンタクトライン)の時間的・空間的变化は伝熱面温度分布に対して支配的因子と考えられており、これらの間の関係を明らかにすることが強く求められている。従来、流体の沸騰研究では、赤外線(IR)カメラを用いた温度分布の計測が行われているが、IRカメラでの精密な計測には伝熱面上に不透明の赤外線感受性層が必要となるため、コンタクトライン位置が特定できず、最も重要と考えられているコンタクトライン近傍での熱輸送計測という観点からは不十分な実験しか行われていないのが現状である。

そこで本研究では、感温塗料(TSP)による温度分布計測法に着目した。TSPでは、ポルフィリンなどの機能性分子(色素分子)に光を照射する際に発せられるルミネッセンス(蛍光あるいはりん光)が熱消光される原理を利用する。すなわち、色素分子が放射するルミネッセンスの強度が温度によって変化するため、ルミネッセンス強度を測ることによって温度分布を計測することができる。また、TSPは一般に光学的透明性が高く、従来のIRカメラでは不可能であったコンタクトラインと温度分布の同時計測が可能であるという優れた利点があり、コンタクトライン上での熱輸送の研究に極めて適している。

②目的(課題設定とねらい)

TSPを用い、従来は不可能であったコンタクトラインと温度分布の同時計測を行い、両者を直接対比することにより、沸騰現象に伴う熱輸送現象に関し、本質的な理解を得ることを目的とする。特に強制対流下において、沸騰の結果生じる気泡の移動すなわちコンタクトラインの移動に伴う熱輸送現象の調査を行う。強制対流沸騰下では、コンタクトラインが大きく移動するため、系全体での熱伝達においてコンタクトライン上での熱輸送現象が本質的役割を演じる。本研究ではこの点に注目して研究調査を行い、コンタクトラインの挙動とその近傍での熱輸送との関連性を明らかとすることを旨とする。

③学術的な独自性と意義

コンタクトライン近傍での熱輸送に関する研究は近現代から盛んに行われており、各種物理モデルの提案がなされているが、いずれも経験則を立式化したに過ぎず、適用範囲が限られ、学術上・産業応用上十分に満足できるものではない。コンタクトライン近傍での熱輸送現象に対する理解を深めるためには、コンタクトライン近傍での温度変化を計測し、精緻な実験データを積み重ねることが重要であるが、先述のように実験手法が十分に発達していないのが現状である。本研究は、光学的透明性の高いTSPを用いることにより、コンタクトライン位置及びその近傍での温度分布計測を通じ、コンタクトラインと熱輸送を直接比較し、コンタクトラインの形状や相対速度が熱輸送現象に与える影響を理解する極めて重要性の高い研究である。

一方、TSPという計測法という視点からは以下の点が特色として挙げられる。TSPは従来、気体流の温度分布計測に用いられ、既に航空機開発等の産業応用等がなされている確立された計測手法であり、信頼性も十分に高い。しかし、これまでTSPを液体流や混相流へ適用した例はなく、TSP計測法の研究という観点からも、本研究提案でのTSP利用の試みは新たな応用分野を提案する当該学術分野においても有益な研究である。

④期待される成果と発展性

本研究ではTSPにより沸騰伝熱面での温度分布計測を通じ、コンタクトラインの挙動とその近傍での熱輸送の関係を明らかにする。先述のように、コンタクトライン位置と温度分布の同時計測はこれまでに実施されたことのない世界初の成果となる。これは本研究提案の光学的透明性の高いTSPを用いることによるのみ達成される成果である。さらに従来気体流のみへの適用に限定されていたTSPを気液二相流へ適用可能にし、その応用分野を拡大する。また、沸騰現象を利用する産業機器は極めて多いことを考慮すれば、長期的にこれらの基礎研究は、学術的のみならず産業的にも極めて重要で発展性が高いと言える。

(1) 資源エネルギー庁、エネルギー白書2012

【背景と目的】

Brain-Machine-Interfaceへの応用として、本学では世界最小の神経電位計測電極アレイ(豊橋プローブ)の研究開発が進められている。そのようなセンサデバイスは微小化・アレイ化が進むほど、それに対応したチャンネル数を有した超高密度信号処理回路(アナログフロントエンド:AFE)を必要とする。

本研究は、そのような応用に向けたAFEアレイの実現に向けた回路技術の創出を目的としており、特に低電力化・小型化に焦点を当てている(図1)。従来のAFE回路は、製造ばらつきに起因する誤差を除去するための補助回路が必要であった。本研究では、AFE回路中のオペアンプの入力段を複数に分割し、最適な組み合わせを探索するキャリブレーション技術を用いることで、誤差を効果的に低減する手法を提案する。現状の進捗は、本手法の原理検証として設計した計装アンプの成果が既に半導体のオリンピックと呼ばれる世界最大の国際学会ISSCC'13にて採択・発表されており、アレイ化の展望が見えている状況である。

【独自性と意義、期待される成果・発展性】

豊橋プローブのように100umピッチ以下で実現されるような高密度センサに最適なAFEアレイは現在存在しないため、本研究を通じて開発された超小型AFEがもたらす価値、展開としては、「脳神経の高空間分解能計測」、「完全インプラントによる長期計測」などニューロサイエンス分野への貢献が挙げられるが、産業的な視点から見た場合、これだけに留まらない。つまり、小面積に高性能な回路を実現できるということは、シリコンウェハ単位面積当たりの生産量が上がるため、産業的なコスト競争力の向上が期待できる。以上のことから分かるように、超小型AFE回路技術の創出は重要な研究課題と言える。

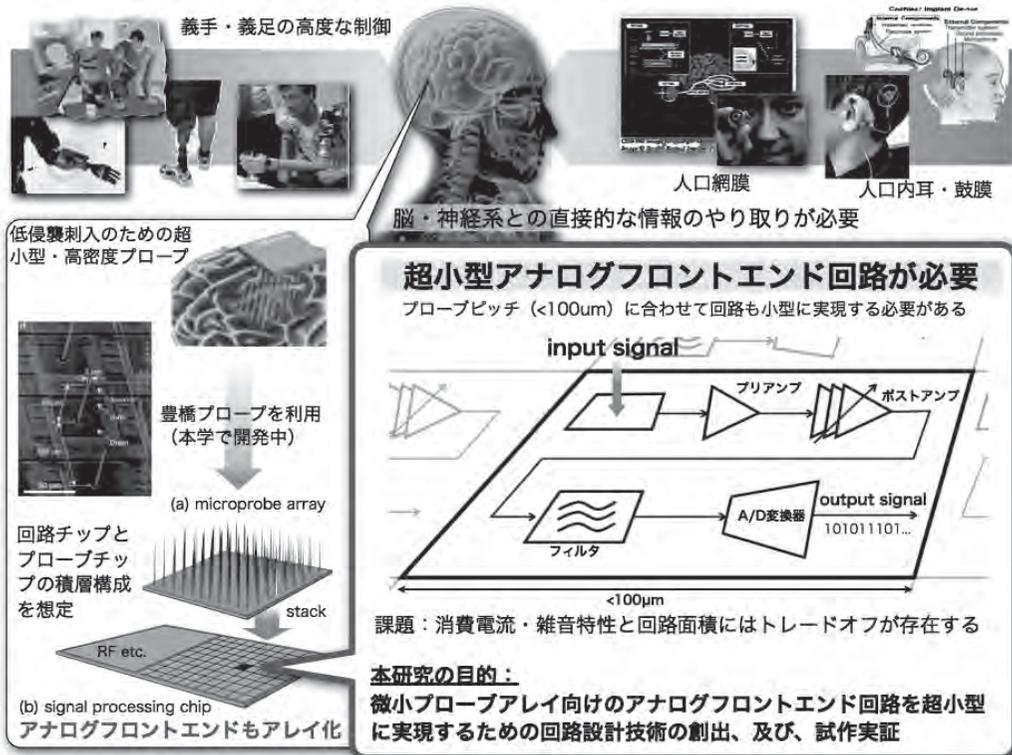


図1 アレイ型センサに向けたアナログフロントエンドの小型化の必要性

①背景

近年、超小型人工衛星(<50kg)の軌道・姿勢制御や重力波観測衛星(<500kg)の大気抵抗・太陽輻射圧補正を用途とした超小型推進機(マイクロスラスタ)が求められており、イオンスラスタが有力候補の一つとなっている。一般に、イオンスラスタは推進力を生み出すイオンビームとそのイオン源(プラズマ源)、および、イオンビームを電子ビームにより電氣的に中和する中和器(電子源)から構成され、国内外問わず、イオン源、電子源それぞれの研究は精力的に行われている。

しかし、超小型に限らず従来からのイオンスラスタを含めて、イオンビームが電子によって中和される機構については未だによく分かっておらず、中和器の最適な配置等は試行錯誤によって決まっている。実験的に詳細な解析を行うことは難しく、これまでも数値計算を用いた解析は試みられているものの計算規模が大きくなり過ぎるため、イオン源、イオンビーム、または、電子ビーム、各過程を単独で扱っているものばかりであり、イオンビームと電子ビームを同時に扱う統合的な数値解析はなされていない。

②目的

本研究は、これまでに研究代表者が超小型イオンスラスタを対象に開発してきた粒子計算モデルを利用し、荷電粒子であるイオンと電子の挙動を詳細に解析することで、実験で得ることが難しい中和機構の解明を目的とする。また、得られる結果から、超小型イオンスラスタだけでなく一般のイオンスラスタへ適用可能なモデルの構築(スケールリング即等)を目指す。

③学術的な独自性と意義

研究代表者が開発した粒子計算モデルは、対象とする系が小さいこと(代表長1cm)を逆手に取り、これまでは計算規模が大き過ぎて実現不可能であったイオン源の生成からイオンビーム引き出しまでを統一的に解析できるようにしたものである。このモデルはイオン源のプラズマ密度測定およびイオンビーム電流測定との比較を行うことで検証し、対象とする運用条件の範囲において実験結果をうまく再現できることを確認している。本研究ではこれを更に拡張して電子ビームも含めた統合解析を行うものであり、過去に例のない取り組みとなる。なお、本研究が対象とするイオンスラスタは超小型のものであるが、得られる結果は一般のイオンスラスタにも適用できると考えられ、その意義は大きい。

④期待される成果と発展性

本研究で行う解析により、これまで経験的に行われていた中和器の配置を、明確な科学的根拠に基づくものに置き換えることが期待できる。この達成により性能改善、作動範囲拡大、効率的な新規設計が可能となると考えられる。

なお、本研究で得られる結果はイオンスラスタだけでなく、半導体集積回路プロセスのイオン注入にも貢献できるものと考えられる。これは、微細化とともにイオン注入のイオンエネルギーが低下することで生じる空間電荷効果によるビームの発散を抑えるために、空間電荷を中和する電子源が必要とされているからである。

①背景

従来の製造時に1000℃超の温度を必要とするシリコンプロセスに代わり、300℃程度で製造可能な酸化亜鉛(IGZO)等の新素材による電子回路実現技術が急速に進んでいる。この技術は、既に、液晶パネルが製品化されるレベルに達している。インクジェット方式等製造時エネルギーをさらに低減できる新しい回路製造技術も模索されており、今後、一般的な論理回路製造技術として急速に発展を遂げると考えられている。ただし、酸化亜鉛の場合、原理的にP型トランジスタを作ることができないなどの物質的な制約があり、インクジェット方式によって製造する際の回路動作不良の発生率は、シリコンに比べて数桁高いと考えられる。つまり、回路規模が大きくなるほど不安定になり、従来のトランジスタやアーキテクチャレベルにおける物理的な冗長化手法による高信頼化技術は、却って信頼性を損ねる恐れがある。

②目的

今後、酸化亜鉛の特長を生かして低エネルギー消費社会の実現を推進するためには、物理的な冗長性ではなく、機能的な冗長性を活用した高信頼化手法が必要である。本研究では、回路の一部に再構成可能な回路を組み込み、故障箇所と等価な論理を実現するように再構成することで、少ない面積オーバーヘッドで様々な故障に対応することを目指す。従来の再構成可能デバイス(FPGAなど)による高信頼化より細かい粒度で回路構成を決定することができ、製造ばらつきによる歩留まり低下や経年劣化による故障を柔軟に吸収することができると考えられる。

③学術的な独自性と意義

上記の問題を解決するための本研究提案の独自性は、以下の3点である。

【1】 DMRやTMRなどの物理的な冗長化ではなく、部分的に書き換え可能な組み合わせ回路を基にした機能的な冗長化を小面積で実現することによって、回路の高信頼化を図る点。

【2】 面積と機能冗長性をトレードオフする、最適な【1】の回路構成を探索する点。

【3】 上記の技術【1】および【2】をプロセッサアーキテクチャへ応用する点。

本研究の意義は、対象とするハードウェアモジュール(演算器や専用ハードウェア全体)、さらには、実行するソフトウェアアプリケーションの特徴を活用することで、効率的に回路面積を削減するとともに、高信頼化を図る点にある。

④期待される成果と発展性

環境・エネルギー問題の観点から、現在、酸化亜鉛回路などの低電力デバイスの必要性が高まっている。しかし、上述の通り、酸化亜鉛回路では、現状では安定して一定期間使用可能なシステムを構築することができず、シリコンプロセスを取って代わるにはまだ時間がかかる。本研究は、従来手法に比べ、少ない面積オーバーヘッドで効率的に高信頼化を実現できるため、酸化亜鉛回路の実現を加速できると考えられる。また、本研究は、酸化亜鉛回路だけでなく、今後も微細化・低電力化が進むシリコンデバイスなど使用するデバイスの種類に依らず適用可能である。さらには、本研究で取り組む最適化・応用技術のアプローチは、CGRAやマルチコアプロセッサの最適構成の探索などにも応用できると考えられ、産業界への貢献は大きい。

①背景

イオン注入・エッチングによる新材料開発や電子ビームによる材料加工等の荷電粒子が関わるプロセスは真空中で行われる。大気中に荷電粒子を引き出すとすぐに粒子は減衰するためである。一方、真空を作るには金属やガラスからなる真空容器を用意する必要があるが、ここから電子やイオンを直接容器外に取り出すことはできない。では、大気と真空を遮蔽する一方で、荷電粒子は通過できる魔法のような物質は存在しないのであろうか？これを解決するのが高圧力アーク放電を用いたプラズマウィンドウ(Plasma window)である。このバーチャルな壁は高温ガスと熱プラズマの高い粘性により実現され、その中で大気の流れは完全に凍結する。1995年、Hershcovitchはこのプラズマウィンドウを用いることで大気圧下での電子ビーム溶接に成功した。

Hershcovitchの研究は原理実証と言う意味では重要であるが、肝心のアーク放電部はEindhoven工科大学で開発されたものがそのまま用いられ、その後大きな改良は加えられていない。また、電極の水冷効率を上げるためとして高価な無酸素銅(99.9999%)を用いており、高コストの装置となっている。一方、プラズマウィンドウが実用的な真空隔壁として十分機能するには大気圧から 10^3 Torrまでの大きな圧力勾配を発生させることがひとつの指標とされるが、これまでの技術で実現可能な真空側の圧力は0.1 Torr(圧力比にして $\sim 10^4$)が限界である。

我々はプラズマウィンドウを視野に入れた高気圧アークプラズマ源の開発を行っており、適用可能圧力に応じて2つの装置を製作した。一つは圧縮膨張ノズルを有する超音速アークジェットであり、高温でのガス粘性を高めることで大気と真空の遮蔽を行う。現在、大気圧から数Torrまでの圧力勾配を1 cm以下という距離で達成している。もう一つは核融合科学研究所にて開発したTPD型放電(Test Plasma by Direct current discharge)であり、プラズマの粘性効果により高圧力部(数Torr)と真空部(10^3 Torr以下)の間で 10^4 以上の圧力勾配を作り出すことに成功しているが、大気圧のような高い圧力では放電が開始できないという問題を抱えている。

②目的

本研究の目的は、超高温ガスと高密度プラズマの持つ高い粘性(プラズマラギング効果)を最大限に活用することにより、大気圧から 10^3 Torrという 10^5 を超える圧力比を僅か80 mmで達成する装置を開発することにある。設計上のベースとなるのはTPD型放電であるが、放電スタータを新たに追加することで大気圧でも安定して放電が開始できるよう電気回路を改良する。また、実用化する上では長時間運転が不可欠であるため、電極材の損耗・摩耗が問題となる。そのため陰極材には数100時間でも十分な稼働実績があるLaB₆材を用いる。なお、陰極以外の電極材はすべてステンレスとすることでHershcovitchらの装置と比較して製作コストを1/10に削減しつつ、圧力勾配を一桁高めたより高性能なプラズマウィンドウを開発する。

③学術的な独自性と意義

電子ビーム溶接は高アスペクト比(深さ方向と幅の比)、高エネルギー効率等の利点があるが、溶接は真空中で行われるため生産性が低く、溶接物サイズは真空容器の大きさに決まってしまう。同様に、基板へのイオン注入やドライエッチングも真空中で行われる。もしこれらの加工を大気中でできたらその有効性・利便性は計り知れない。このような観点から注目されたのがプラズマウィンドウである。この斬新な技術は18年前にブルックヘブン国立研究所のHershcovitchにより研究がはじめられた。しかしながら、最も重要な高圧力アーク放電部の改良はほとんど行われておらず、その後の研究は技術の実際の運用のみに置かれた。

本研究は、核融合科学研究所にて我々が開発を行ってきたTPD型放電がHershcovitchらのプラズマウィンドウ装置と類似した構造であることに着想を得た。このTPD型放電は40年以上に渡り改良が加えられた独自の電極構造・プラズマ発生方法により、世界最高性能の高温高密度アークプラズマを発生させることができる。したがって、Hershcovitchらのプラズマよりも高いガス温度とプラズマ自身の粘性が期待でき、バーチャル壁としての大気・真空インターフェース機能が格段に向上すると考えられる。なお、プラズマウィンドウへの応用という観点から高圧アーク放電そのものを研究した例はその困難さから世界的に見てもほとんどなく、我々がこれまで培ってきた放電・プラズマ発生技術の知識と経験が十分に発揮できる。

④期待される成果と発展性

本研究によりプラズマウィンドウ技術の実用化を示すことができれば、電子ビーム加工やイオンが関与する低圧プロセスへの適用はもとより、放射光施設での軟X線照射実験でもその威力を発揮する。例えば、X線による物質の構造解析や微細構造観察は通常真空中で行われるが、プラズマウィンドウを用いれば、大気下で標的に照射することが出来る。この技術によりこれまで真空中のため観測ができなかった“生きたままの細胞”をナノ空間スケールで調べることが可能となり、X線顕微鏡の実現など生命医学分野への応用も期待できる。

背景

有機エレクトロルミネッセンス(EL)素子の発光効率は、励起三重項状態からの燐光を高効率で示すことが可能なイリジウム錯体を利用することによって、~100%を実現することができた。しかしながら、この錯体はレアメタルを含むために材料費が通常の発光材料に比べ高価になる。そこで、通常の有機化合物を用いて、電流励起により大量に生成される発光効率が著しく低い励起三重項状態を熱活性化により発光効率の高い励起一重項状態へ変換させる熱活性化型発光機構が提案された。この発光機構を用いる場合、励起三重項状態から励起一重項状態への変換効率を向上させるかが重要である。本申請者は、適切な電子構造を有するドナー性分子とアクセプター性分子の2分子間で形成される励起状態であるエキサイプレックスが高い励起三重項状態から励起一重項状態への変換効率を有していることを明らかにした。[Nature Photonics, Vol. 6, pp. 253-258, 2012]

目的

生成された励起状態は同等の分子間で移動することができる。これはエキサイプレックス状態においても同様に起こると考えられる。本申請課題において、励起三重項状態から励起一重項状態への変換が可能なエキサイプレックス励起三重項状態の励起子拡散距離の定量化、及びその拡散距離のドナー性分子とアクセプター性分子の濃度比依存性を検討する。一般に、非晶状態の有機半導体薄膜における励起三重項状態は、発光寿命が長く遷移確率が著しく低いために、二分子間の電子雲の重なりを通じた電子交換相互作用(デクスター移動機構)によって移動する。エキサイプレックスの場合、励起状態を構成する電子とホールはアクセプター性分子とドナー性分子にそれぞれ束縛される。その結果、エキサイプレックス励起三重項状態が伝搬するためにはドナー性分子とアクセプター性分子のペアが隣り合っている必要がある。従って、ドナー性分子とアクセプター性分子の濃度比に対してエキサイプレックスの励起子拡散距離は強く依存すると考えられる。

学術的な独自性と意義

エキサイプレックスの励起三重項状態に着目した報告は少なく、エキサイプレックスの三重項状態に関する励起子拡散がドナー性分子とアクセプター性分子の濃度比に対して依存することを報告した例は無い。また、有機半導体薄膜における励起三重項状態の拡散現象を理解することは有機光エレクトロニクスの多様な応用研究において励起三重項状態を効率良く利用するためには重要である。

期待される成果と発展性

高い逆項間交差過程を有するエキサイプレックスは励起三重項状態を効率良く発光に寄与させることが可能になるが、その蛍光放射確率は~30%程度に留まっている。そこで、遅延蛍光エキサイプレックスで三重項準位から逆系間交差によって一重項準位へと移動した一重項励起子を、放射確率の高い蛍光色素へエネルギー移動させることが可能になれば、高効率有機EL素子の実現を可能にする予想される。そのためには、エキサイプレックスから蛍光色素へのデクスターエネルギー移動は発光効率を低下させるため、抑制する必要がある。従って、本研究によって、エキサイプレックスの三重項状態に関する励起子拡散距離を制御することが可能になれば、エキサイプレックスからのエネルギー移動型の高効率有機EL素子の実現が期待される。

表面効果を考慮した光学デバイスのレベルセット形状表現に基づく トポロジー最適化法の開発

研究者 信州大学工学部 助教 藤 井 雅留太

【研究背景】

近年、金属や誘電体の表面近傍での光学現象に強い注目が集まっている。表面プラズモンポラリトン(金属表面での自由電子の疎密波と電磁場が結合してエネルギーをやりとりする現象)や、図1に示されるウィスパリングギャラリモード(円形や正多角形の誘電体表面で光が全反射をくり返すことで生じるモード)などの光学現象が代表的であり、それらの表面近傍での特徴的な光の挙動を利用したデバイス開発が行われ、プラズモニック結晶やウィスパリングギャラリモードレーザーなど、従来のデバイスから大きく性能を向上させた光学デバイスが提案されている。

一方で、それらの光学デバイスの性能はデバイスの構造に強く依存するため、デバイスの構造の適切な設計が性能の向上には不可欠である。最適設計手法は数学的根拠に基づき、所望の性能を実現することが可能な構造物の形状や形態を決定する設計手法であり、デバイス設計において非常に強力な手法となり得る。その中でもトポロジー最適化は構造内に新しい孔の出現を許容するなど、形状最適化や寸法最適化などの従来の最適化手法と比較して、最も自由度の高い最適化手法であり、より高性能なデバイスを設計することが可能となり得る。しかし、トポロジー最適化法は不適切問題であるため、最適化構造を得るためには設計空間の緩和を必要とし、従来のトポロジー最適化法で得られた最適化構造には図2に示されるような物体と空洞の中間状態であるグレースケールが含まれる。物体と空洞の中間状態であるグレースケールを含む構造は実際に作製することが極めて困難であり、工学的有用性が低いため、グレースケールを取り除く必要がある。このグレースケールの問題を解決し、構造内にグレースケールを含まない構造を得るためには、①フィルタリングによるグレースケールの除去、②レベルセット関数による形状表現を用いる、といった2つの方法がこれまでに提案されている。しかし、光学デバイスの設計においては①の手法はフィルタリングの際にデバイスの性能が大幅に劣化するため、フィルタリングによるグレースケールの除去は理想的な解決策ではない。

一方で②の手法は物体内で正、物体外(空洞内)で負、境界上で0となるレベルセット関数により構造を表現し、レベルセット関数は設計領域内の格子点上に定義される。レベルセット関数による形状表現は、構造内にグレースケールを含まない最適化構造を得ることに成功しているものの、図3に示すように構造の境界近傍では未だグレースケールを含んだ構造となっている(境界近傍とは格子点上で異符号+,-のレベルセット関数が定義される格子内)。このような不明瞭な境界を有する構造の最適設計においては、その誘電体境界近傍で生じる表面効果を考慮した最適化を行うことは不可能であり、明瞭な境界表現をともなったトポロジー最適化手法の開発が望まれる。

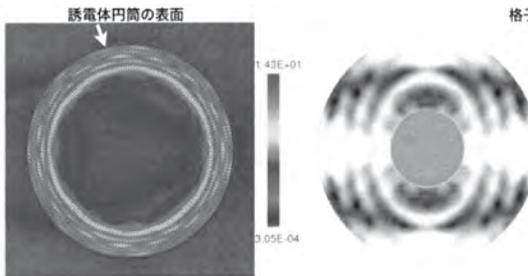


図1. 誘電体円筒の表面で生じるウィスパリングギャラリモード



図2. グレースケールを含む最適化構造

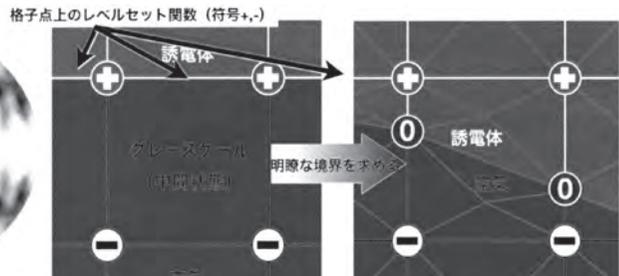


図3. 従来手法で生じる誘電体境界近傍のグレースケール

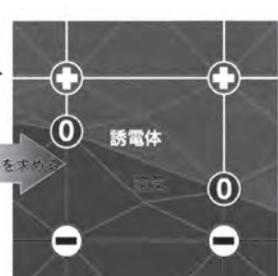


図4. 本手法で求める明瞭な誘電体境界と有限要素

【研究目的】

本研究では、レベルセット形状表現における構造境界近傍のグレースケールを取り除き、従来では不可能であった表面効果を考慮した上で最適化構造を得ることを可能とし得る、明瞭な境界表現をともなった新しいトポロジー最適化手法の開発を行う。図4に示されるように、格子点上で定義されるレベルセット関数を格子内で線形に補間し、レベルセット関数が0となる点を求め、そのレベルセット関数の0点を結ぶ直線を誘電体境界とすることで、明瞭な誘電体の境界をともなったトポロジー最適化を開発する。トポロジー最適化、レベルセット形状表現、明瞭な境界を有するモデル化、の3つを組み合わせることで、グレースケールの問題を抜本的に解決し、かつ自由度の高い最適設計法を提案する。

【①背景】

工業製品の基本的な品質や性能は今や飽和している。そのため、日本のものづくりメーカーが国際市場で競争力を高めるには、より独自性があり且つ人間に寄り添う使いやすい製品が求められている。製品の使いやすさを決定する要因の中でも、“持ちやすさ”は特に重要である。持ちやすさは製品を使用する者の感覚に依存し、それは製品の形状と大いに関連しているが、持ちやすい製品形状の設計法に関する研究は皆無である。したがって、実際の製品設計への応用を志向した、持ちやすい製品形状の設計法の確立が急務である。

【②目的】

本研究の目的は、使用者が持ちやすいと感じる製品形状の設計法を開発することである。本研究を実行する上で課題となる点は、1)少数の形状パラメータでより自由度の高い形状表現を実現することと、2)個人差を加味して最適な形状を求めることである。これらの課題に対し、工業製品の形状最適設計で使用されているベシスベクトル法、および多目的最適化の考え方を適用して解決を試みる。本研究を遂行し、設計者の経験や勘に依存している製品形状の設計を効率的に行う手法の開発を目指す。

【③学術的な独創性と意義】

これまで、製品形状の設計では、膨大な製品サンプルを用意して相対比較を行うのみであり、効率的に最適形状を求めることはできなかった。本研究では、少数の基本形状の線形和で複雑な形状を表現する手法であるベシスベクトル法を用いて実験用モックアップを作成し、実験結果から持ちやすさの評価関数を近似して最適形状を求める。つまり、少数の実験回数で効率的に最適形状を求めることが可能な有用性の高い手法である。また、人体寸法を用いて個人差を定量化し、多目的最適化問題として定式化することで、個人差を加味した最適形状の導出を実現する。人間工学の研究分野において、製品形状が使いやすさに与える影響を検討した研究はほとんど報告されていない。したがって、製品形状と持ちやすさの関係を定量化しようとする試みは全く新しい発想であり、当該分野を開拓する上で意義の高い研究である。



従来手法と提案手法の比較

【④期待される成果と発展性】

本研究で提案する手法を応用することで、ハンドツールやデジタルカメラ、携帯電話などのように、持ちやすさが重要な要因となる製品の形状を効率的に設計することが可能になる。その結果、多くの消費者を魅了する製品開発に寄与することが大いに期待できる。

近年3Dプリンタの低価格化が進んでおり、将来的には一般家庭でも購入可能な装置になると予想される。したがって、例えばハンドツールのグリップ部分のCADデータをメーカーのサイトからダウンロードし、自宅の3Dプリンタで出力してベースとなる製品に取り付け、各消費者にとって最も持ちやすい製品を得ることが可能になると考えられる。オーダーメイドに近い製品の提供が実現した際には、どのようにして各消費者にとって最適な形状を提供すればよいかが問題となる。本研究の提案手法を応用し、人間の身体的特徴を考慮して持ちやすい形状のデータベースを作成することで、消費者に対して効率良く最適な形状を提供することが可能になる。このように、本研究は今後のものづくりの変革を視野に入れた独創的な研究である。

超高速光電子デバイス応用に向けた半導体エピタキシャル構造の非平衡キャリア輸送に関する研究

研究者 兵庫県立大学大学院物質理学研究科 助教 長谷川 尊 之

【背景】 光通信技術の発展に向けた超高速光応答材料の開発が精力的に行われている。半導体を用いる場合には、光励起状態(光キャリア)によって反射率や透過率などの光学的性質が一時的に変化する現象を利用する。高速光通信において重要となる過渡回復時間は、光励起状態の緩和時間で決まる。従来の研究では、緩和時間を短縮するために、半導体ナノ構造を用いた光学遷移の制御が行われてきた。ただし一方で、この方針では、高度な素子作製技術を必要とし、かつ、入射光波長や素子温度に制限があった。そこで我々は、構造および動作機構がシンプルな超高速光応答材料の開発を目指して、アンドープGaAs/n型GaAs(*i*-GaAs/n-GaAs)エピタキシャル構造の光応答特性に着目してきた。*i*-GaAs/n-GaAs構造では、*i*-GaAs層内に内蔵電場が形成され、*i*-GaAs層に光励起されたキャリアは、*n*-GaAs層へ高速に排出される。このキャリア輸送過程に伴って、*i*-GaAs層の光応答時間が短縮される。つまり、シンプルな*i*-GaAs/n-GaAs構造が、超高速光応答材料として機能することが期待される。さらに、入射光のエネルギーを光学遷移に共鳴させる必要がないため、動作条件の制限が大幅に緩和される。以上の着想に基づいて研究を進めた結果、光キャリアの非平衡輸送に起因した超高速光応答が室温で現れることを見出した。一方、超高速光応答をもたらす非平衡キャリア輸送過程には未解明な点が多く残されており、応用を実現するためには、さらなる研究が必要であった。

【目的】 本研究では、*i*-GaAs/n-GaAs構造を超高速光応答材料として応用するために、超高速光応答をもたらす光キャリアの非平衡輸送過程を、超高速分光技術を駆使して包括的に解明することを目的とする。具体的には、既存の分光システムの一部を改良し、GaAsのキャリア輸送において重要な散乱過程(フォノン散乱および谷間散乱)が、超高速光応答に及ぼす影響を定量的に評価する。本研究で得られた知見を集約して、超高速光応答特性の制御に関する物理学的指針を確立することを最終目標とする。

【学術的な独自性と意義】 本研究テーマは、「キャリア輸送を利用した光応答時間の制御」という申請者独自のアイデアに基づいており、超高速光応答材料に関する開発研究の新しい方向性を提示するものである。さらに本研究活動は、非平衡キャリア輸送と超高速光応答の分野を融合した新領域の開拓につながるものであり、その学術的意義は極めて大きいと考えられる。すでに、非平衡キャリア輸送がもたらす吸収飽和の高速回復過程や、光学フォノン散乱よりも高速なパルス応答といった新規現象を見出している。

【期待される成果と発展性】 申請者が提案している光応答時間の制御方法は、従来のアプローチとは全く異なるものであり、上述した優位性を見出せることから、超高速光応答材料に関する研究開発の飛躍的な進展につながる可能性がある。さらに、アイデアを実現するための素子構造は、近年成熟したエピタキシャル成長技術を用いており、普及性が高いことから、当該研究分野のすそ野の拡大が期待される。これらに加えて、キャリア輸送および超高速光応答の研究対象スケールは、それぞれサブミクロン領域およびサブピコ秒領域に位置していることから、得られる知見は、次世代の超高速光電子デバイス開発に関する研究全体に重要な指針を与えるものである。

①背景

自己推進粒子や分子モータ、或いは細胞や微生物は一様で等方的な環境においても対称性を破った持続的な運動や変形を起こす。このような自ら持続的な運動や変形を駆動させる個体をアクティブ粒子と呼ぶ。アクティブ粒子の集団挙動では、集団を構成する個体による内部からの駆動力によって複雑な構造形成や大規模な協調運動が生じる。例えば、バクテリアのバイオフィーム形成や集団遊泳など。これらの複雑現象は、近年、応用数学や物理学の分野において新しい研究対象として高い関心が寄せられている。アクティブ粒子の運動は、通常分子とは異なり、単純な物理法則で記述することは難しく、実験による研究に比べて理論やシミュレーションによる研究はまだ十分に進められておらず今後の重要な課題となっている。

②目的

本研究ではアクティブ粒子の集団挙動を具体的に精確に再現できる新しいシミュレーションモデルを開発する。アクティブ粒子の集団挙動のシミュレーションとしては、個々の粒子の運動に適当なルールを決めて多数の粒子の運動を追跡するマルチ・エージェントモデルや粒子集団の振舞いを連続変数として記述する連続体モデルなどが考えられる。前者はマイクロモデルに対応し、後者はマクロモデルに対応する。一般に、個々のアクティブ粒子の運動規則をモデル化することは困難であり、この点においてマイクロモデルに対しては課題が残る。一方、アクティブ粒子の集団挙動においては集団を構成する個体による内部からの駆動力によってマクロな状態が変化するためマクロモデルにおいても粒子の個性を如何にしてモデルに反映させるのが課題となる。そこで本研究では両者の中間にあたるメゾスケールに着目して、運動論(ボルツマン方程式)を基礎としたシミュレーションモデルの開発を行う。実際にアクティブ粒子の集団挙動の特徴を表現できる運動論的な数理モデルが形式的に導出されている。本研究ではそれらの数理モデルをベースに現象を具体的に再現できるシミュレーションモデルを開発する。具体的な対象としてはバクテリアのバイオフィーム形成や集団遊泳におけるパターン形成を取り上げ、それらに対して多数報告されている実験結果との比較を通してモデルの妥当性を検証しながら開発を進める。

③学術的な独自性と意義

アクティブ粒子集団に対する運動論的アプローチはヨーロッパを中心に応用数学者らによって近年、盛んに取組まれている。しかし具体的に現象を再現できるシミュレーション手法はまだ確立されておらず、例えば実験との整合性などについて十分な議論が行われていない。本研究の学術的価値は、アクティブ粒子集団の複雑な挙動を具体的に再現できるシミュレーション技術を開発し、実験との比較などを通してその有効性を実証することにある。

④期待される成果と発展性

本研究による直接の成果としては、バクテリアのバイオフィーム形成や集団遊泳を精確に再現できる新しいシミュレーションモデルの開発が期待される。これによってバイオフィーム形成やバクテリアの集団遊泳の詳細なメカニズムの解明につながり、さらに発展としては医療や食品分野における全く新しい技術の開発につながる可能性を持つ。また本研究で開発するシミュレーションではバクテリアに限らず様々なアクティブ粒子に対して共通な特徴をうまく再現できる。したがって本研究の成果が、動物や人間の群集行動のシミュレーションや細胞の代謝や移動による生体組織形成のシミュレーションなど幅広い分野へ波及することも期待できる。

①背景

近年、災害現場など人が立ち入ることのできない場所での探査や観測を目的とした、小型で軽量の移動体が開発されている。小型移動体は狭隘な環境内での探索作業に適しており、複数台の移動体を用いた探索作業が可能であれば、一度に広範囲の探索作業が可能となる(図1)。また軽量であるために瓦礫の崩落などの二次災害を起こす危険性が少ない。近年は非常に堅牢な小型移動体も開発されており、作業者が直接搬入する事が不可能な環境においても投擲などによって小型移動体を投入する事ができる。

しかし開発されている小型移動体のほとんどが単純な機構で構成する車輪もしくはクローラによる移動体であり、耐衝撃性を確保するために移動性能を犠牲にしている。本研究ではこの分野に着目し、優れた移動性能と、どんな環境においても対応できる堅牢さを併せ持つ小型移動体の開発を目的としている。

②目的

本研究では不整地環境で全方向移動を実現し、かつ小型・軽量・安価で製作可能な小型全方向移動体 [Eggbeater(図2)]の開発を目的とする。不整地環境で全方向移動が可能であると、踏破する障害物へのアプローチ方法の選択肢が増えるため移動性能向上への効果が高いと考える。しかし従来研究されてきた全方向移動機構は複雑な構成であるために小型移動体へ適応させることが難しく、また移動時に衝撃吸収を必要とする不整地環境での使用は困難であった。そこで本件研究では新たに弾性球形車輪を提案し、弾性球形車輪搭載した脚機構で構成するEggbeaterの開発を行ってきた。本申請では実環境下の走行に必要な(a)安定した不整地走行と障害物へのアプローチ方法の構築、(b)障害物踏破のための動作の確立、(c)耐衝撃性能と移動性能を両立し実環境で使用できる機体の試作を目的とする。

③学術的な独自性と意義

不整地環境における小型移動体による全方向移動は、従来研究されてきた移動機構による実現が難しく、また小型全方向移動体による障害物踏破動作の実現はこれまでに報告されていない。本研究では全方向移動性能、小型軽量、耐衝撃性を実現した弾性球形車輪を用いて、不整地環境での走行が可能で小型全方向移動体を実現した。しかし車輪の接地点の判別が困難な不整地環境では従来の移動体の制御方法だけでは動作が困難であるため、周辺環境の中での自己の状態を判別するシステムを新たに構築し、障害物踏破に必要な動作を実現する制御方法の構築が必要となる。小型全方向移動体に必要な制御システムの構築が本研究の独自性と意義である。

④期待される成果と発展性

本申請で期待される成果は不整地環境で使用可能な小型全方向移動体の実現である。これが実現できるとこれまで不可能であった探索作業が可能となり、災害現場などでのロボットの役割がより重要となる。またシンプルな機構によって不整地環境での全方向移動を実現しているため、環境によって機能を適応させた最適な機体形状への拡張が可能となり、さまざまな応用分野への波及が期待できる。

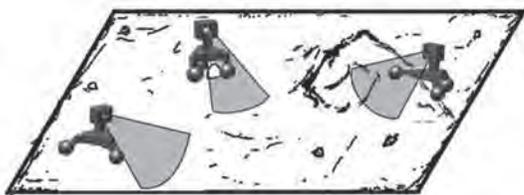


図1 複数の小型移動体による探索作業

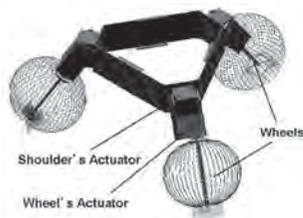


図2 小型全方向移動体:Eggbeater

①背景: 全ての生物は、細胞分裂というイベントを正常に繰り返すことにより、種の維持、発生、また健康状態を維持することが出来る。真核生物の場合、この細胞分裂の過程で二つの大きな作業が行われる。一つは染色体、すなわち遺伝情報の分割、もう一つは細胞質、すなわち代謝・シグナル伝達系の分割である。二大イベントで共に中心的な役割を果たす存在が細胞骨格である。細胞骨格タンパク質は、最も太いものを微小管、最も細いものをマイクロフィラメントと呼び、それぞれチューブリン、アクチンと呼ばれるタンパク質のポリマーから形成され、他中間系フィラメントと呼ばれるものも存在する。これらの内、微小管は染色体の分離においてダイナミックに運動しながらその役割を果たす。微小管上には多くのタンパク質複合体が存在し、そのいくつかは、微小管の伸長に必要なチューブリン分子のリクルートやガイダンスの役目を果たしている。チューブリン結合タンパク質EB1の含まれた複合体もその一つだ。この複合体はplusTipと呼ばれ、微小管の伸長する先端(プラス端)に結合している。この複合体を蛍光などでラベルすると、微小管の伸長・縮退する様が観察可能となり、二次元では具体的な伸長速度等が計算出来るようになった[1]。しかしながら、微小管が最もダイナミックな動きを見せる分裂期の細胞では、細胞に厚みがあるため、z軸方向への動きを考慮せずに複合体の動きを正確に追うことは難しい。染色体分配の不正確さに依存して発生する癌などの疾病の背後にあるメカニズムを突き止め、コントロールするためには、分裂期の細胞における細胞骨格を初めとした細胞分裂マシンのダイナミクス解析は避けることが出来ない重要なテーマである。

②目的: 本研究の目的は、立体的にダイナミックな動きをすることが予想される分裂期の微小管の動きを中心に、分子の動きを細胞内/生体内であるままに捉え、正確にその軌跡を追跡することが可能なイメージングシステムと、解析用のソフトウェアを開発することである。

③学術的な独自性と意義: これまで、厚みのある観察対象において、微小管成長端のような速い動きをする分子の軌跡を正確に3次元で追う技術は確立されたことがない。この技術を構築するにあたり、提案者は顕微鏡に電氣的に高速・精細な焦点制御が可能なリキッドレンズを組み込むことで、まず高精細な解析用画像を取得することを計画している。リキッドレンズの動作精度は、現在3次元でのトラッキングが難しいとされている速度で細胞内を移動する分子の動きを追いかけるという目的にマッチしており、ステージのリニアガイドとステッピングモーターを利用して微生物の動きをトラックするシステムより10~100倍のサイズのスケールダウン、速度的なスケールアップを実現可能と考えられる。これまで試みられた例はなく、成功すれば世界発の例となる。次に、2つのアプローチで取得した画像の解析を行うためのソフトウェアの開発を計画している。一つ目は、2次元の系でチューブリン結合タンパクのトラッキングに用いられてきたカルマンフィルターを用いて分子の動きを予測しながらトラッキングを行うシステムを、3次元用に拡張するというもの、二つ目は、より汎用的な用途で利用できるよう、微小管結合タンパク質とは全く異なるパターンで動く分子の動きも予測出来るようにするため、ベイズ推定の手法を組み込んだ3次元1分子トラッキング用ソフトウェアの開発である。

④期待される成果と発展性: 最終目標となる、ベイズ推定法を組み込んだ3次元1分子トラッキングシステム(=ロックオントラッキングシステム)では、将来計算の高速処理技術等とあわせて利用出来るように開発を進めることにより、画像を取得しながらリアルタイムで視野内の標的分子を追いつけることが出来る、汎用的かつ画期的なシステムとなることが予想される。また、細胞内に限らず、開発したアルゴリズムを利用することにより、人体など個体の内部で移動する分子の追跡の実現へ向けた第一歩となりうる。

参考文献 [1] Applegate KT, etc. plusTipTracker: Quantitative image analysis software for the measurement of microtubule dynamics. J Struct Biol. 2011; 176(2): pp162-184.

①背景

平成23年に文部科学省が打ち出した「教育の情報化ビジョン」に基づき、現在2020年度を目標としたデジタル教科書の環境整備や研究、実証実験などが盛んに行われている。このビジョンの中で、デジタル教科書は「子どもたち一人一人の能力や特性に応じた学び、子どもたち同士が教え合い学び合う協働的な学びを創造していくために、子どもたち一人一人の学習ニーズに柔軟に対応でき、学習履歴の把握・共有等を可能とする」ようなものとして、役割を期待されている。

これに伴い、学習者の理解度に合わせた学びについての研究や、学習履歴を用いた学習補助の研究が徐々に増加している。これらの多くの研究は練習問題に焦点を当てており、練習問題の正答率から理解度を推測したり、練習問題の難易度を変化させたりすることで、実現を図っている。しかし、練習問題ではなく、教科書にフォーカスした研究は殆ど行われていない。

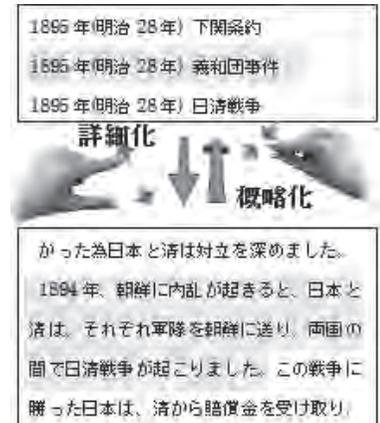


図1: ズームの概念

②目的

本研究の目的は、一人ひとりの学習状況に応じた情報提示の出来るデジタル教科書プラットフォームの研究開発である。具体的には、各児童に配布される予定であるタブレット端末を活用し、ピンチズーム操作を行うことによって教科書の意味内容を拡大/縮小(即ち詳細化/概略化)することが可能なシステムを構築する(図1)。このシステムにより、学習者は同一の文脈を自身の理解度に応じた形で読むことが出来る。

例えば歴史の教科書では、ズームインすればするほど対象の事柄が小学校→中学校→高校レベルと詳しくなり、逆にズームアウトすれば年表レベルまで概略化することが出来る。その為、意欲の高い学習者はどんどん詳細な内容へとズームインし、逆にその部分が苦手な学習者はズームアウトし簡単な流れを掴んでから挑戦する、といったことが可能となる。

③学術的な独自性と意義

本研究の特徴は、学習内容の個々のトピックよりも、文脈の理解に焦点を当て、ズームイン・インターフェースを取り入れたところである。従来のデジタル教科書では、気になるところをプルダウンやハイパーリンクで補足したり、より詳しい情報に導くことは可能だったが、逆に一步引いた俯瞰的な概要を提示するという研究はされてこなかった。本研究では、意味内容のズームという軸を教科書に追加し、秩序だったデータの階層化を行うことで、学習者の立ち位置を簡単に表現し把握可能にすることが出来る。

④期待される効果と発展性

個人の理解度に合った教科書を、学習者自らが選択しながら読み進めていくことで、現在の自分の学習内容の難易度や、学習内容の前後の流れを把握し易くすることが出来、学習効率の向上に繋がると期待出来る。特に、歴史のように、メインとなる大きな流れ(ストーリー)が存在しつつ、その中で学習するレベルが複数存在している教科に関しては、非常に高い効果を期待出来る。また、同じ事象に対しマクロとミクロで意味の変化する経済や物理、地理などの教科にも利用しやすい。それだけでなく、数学や科学のようにあまりストーリー性が感じられない教科も、本システムによって数学史や科学史という切り口でアプローチすることが可能となるため、ストーリーをベースとした新たな学習スタイルの創出に挑戦したい。

①背景：近年、メタボリックシンドロームが増加の傾向を示し、その一表現型としての脂肪肝が注目されている。脂肪肝の約 10% は非アルコール性脂肪肝炎 (NASH) と呼ばれ、肝硬変へと進展し肝癌の発症リスクも有することから、臨床的に極めて重要な病状である。NASH は生活習慣に関わる肝疾患で、肥満との関係が強い。白人以外の人種が NASH 発症の危険因子であるとの報告もあり、肥満のアジア人種は NASH 発症のリスクが高いとも考えられる。また食生活の欧米化が進む中、NASH が主要な肝臓病として社会的に重要視される時代が到来すると考えられる。さらに最近になって、NASH は肝線維化程度が軽い段階、すなわち肝硬変に至っていない状態でも、発症が多いとされ (F1-2、男性の 30%)、ウイルス性肝疾患とは異なった病像を有することが指摘されている。すなわち、線維化が進展した段階での診断を目標とするのでは既に遅く、より早期の段階での診断が必要である。線維化程度の診断に着目した従来の手法はこれらのニーズを満たしておらず、新たな視点での診断学の導入が急務の課題である。

現在、肝生検による侵襲的な組織診断が NASH 確定への唯一の診断法である。しかし、侵襲性のある手技であることや、不均一な病変分布による生検組織の信頼性も疑問視されている。同時に、本疾患が比較的高頻度であることや増加傾向である点を考慮すると、簡便なスクリーニング検査の導入が社会的にも強く要求されている。

ここで NASH では単純性脂肪肝と比べて、n-6、n-3 の多価不飽和脂肪酸が有意に少ないことが指摘されている [J Hepatol 2008]、また NASH では、アラキドン酸の減少、n-6 系と n-3 系脂肪酸比の増加も報告されている [Hepatology 2007]。すなわち NASH の肝臓では脂肪含量が増えるだけでなく、その組成も変化していることになる。そこで、本プロジェクトを立ち上げた。すなわち肝における脂肪含有率・組成を非侵襲的に超音波によって診断することで、NASH の診断に役立てる。本研究で使用する超音波検査は、簡便かつ非侵襲的な画像診断であり、肝疾患の日常診療で最も頻回に使用されている。すなわち肝疾患患者の臨床で、極めて効率のよい有用な診断法であり、NASH の診断に対する貢献も極めて大きい。

②目的：超音波による脂肪プロファイリングイメージ、すなわち肝脂肪含有率ならびに脂肪組成の診断法を開発し、NASH の早期診断システム構築へと展開する。

③本研究は、超音波という非侵襲的な画像診断による NASH 診断システムの確立を目指す。近年、臓器硬度・脂肪を計測する装置が市場に導入されてきたが関心領域における平均的かつ相対値を求めるもので、組織固有の値を得るものではない。また線維と脂肪の両者が混在しうる NASH の病態において、それぞれを定量的に評価する問題点は十分に解決されていない。本プロジェクトでは、組織固有の音響学的性質を取得することによって、脂肪含有率だけでなく肝脂肪組成の診断法を開発するという、新たな視点に注目した。これは従来にはない独創的な研究である。

④本研究で達成される脂肪プロファイリングイメージは、従来の診断法である「組織検査」に変わるものであり、今後予想される本疾患の著しい増加に対して、医療界のみならず社会全体に貢献するものである。これを実現することで、NASH 患者の早期診断が可能となり、病期の進展前に危険群を拾い上げ、診療を開始することが可能となる。これは、臨床プロセスの効率化につながり、医療費の削減に貢献することとなる。また NASH は、国際的にも注目されている疾患であり、この研究は当該分野において世界をリードする画期的な成果となる。

本研究では、医用画像を用いて膝関節の精密モデルを作成し、歩行が膝関節に及ぼす負荷・影響を定量的に評価することを目的とする。

①背景：変形性膝関節症(osteoarthritis; OA, 膝OA)は関節軟骨の変性を主体とする疾患であり、歩行障害などを引き起こし、患者のQuality of Life低下を招いている。日本での有病者数は2,530万人と推定されるなど、その疾患対策への社会的ニーズが高まっている。一旦変性した関節軟骨の変化は不可逆であると考えられている。さらに、疾患を発症した患者に対する有効な治療がなく、手術等の処置を行う必要性が発生する。したがって、膝OAの早期診断を行うことは重要な課題である。膝OA発症・悪化の危険因子として挙げられるのは年齢、性別、肥満、外傷などであり、加齢に慢性的な機械的刺激が加わって発症すると予想されているが、発症・悪化のメカニズムは明らかになっていない。動物モデルでは膝の不安定性や機械的刺激が膝OAを悪化させることが検証されており、人体においても膝関節内の機械的刺激を明らかにすることが重要である。

現在の膝OAの診断において、有用な診断サポートツールが存在せず、判定が曖昧な医師の経験で評価が行われており、早期診断には至っていない。これは医師の診断が経験の主観に基づいており、定量的に判断できないからである。この問題を解決し早期診断を達成するためには定量的な評価法を確立する必要がある。発症・悪化の危険因子が多因子によると予想される膝OAに対する動態データを解析するためには医用画像を利用した個体差を踏まえたモデルが必要である。

②目的：医用画像から精密膝関節モデルを作成し、歩行が膝関節に及ぼす影響を定量的に算出することを目的とする。医用画像は具体的にはX線連続写真を利用する。これにより、歩行中の膝関節内の骨の運動を正確に計測することが可能となる。力学モデルに動的な条件を組み込むことによって、その個体の膝関節にかかる負荷を正確に算出することができる。以前までは定量的に明らかでなかった個体ごとの動的要因を明らかにすることで、膝OAがどのように発症するかを明らかにする足がかりとする(図1)。

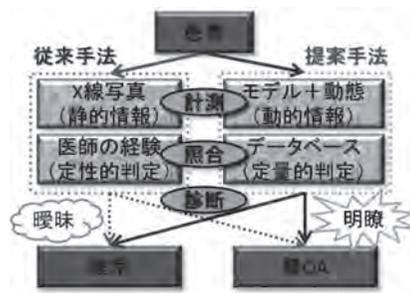


図1 提案手法の位置づけ

③学術的な独自性と意義：本研究の学術的な独自性は個体別モデリングでオーダーメイドモデルを構築し、動的に解析することにより、古典的な疫学にてブラックボックスとなっていた膝OAの疾患発症・悪化のメカニズムが検討可能となる点にある。今までは静的な指標を主観的に診断してきたが、本研究の診断システムは動的な指標を客観的に診断し、危険因子を明確にすることができる。さらに、動的な危険因子を明らかにした研究は過去に例がないため、全く新しい診断方法を確立することになる。先行研究として、被験者を大規模に集め、X線写真から膝OAの患者数や静的な危険因子を推定した研究とシミュレーションにより力学的影響を調査した研究が挙げられる。個体差を考慮して計測データで動的な解析を行うことにより、先行研究で明らかにできなかった動的な危険因子を抽出できる。

④期待される成果と発展性：医師の主観に頼らない疾患診断システムの構築が可能になれば、統一基準で明確に診断を行うことが可能となる。さらにデータベースの拡充を図り、疾患の危険因子を特定し、予防策を講じることで疾患を未然に防ぐことが可能となることが期待される。

①背景

脳卒中などの脳疾患は、日本人の死亡原因あるいは寝たきりの原因としてハイリスクな疾患であり、かつ発症率の高い病気であるため、これらの治療・リハビリテーションは非常に重要である。以前は、破壊された神経細胞は再生しないため四肢麻痺・外眼筋麻痺による複視・視野欠損といった脳疾患による障害は回復しないと考えられてきたが、近年の脳研究の発展により、大脳には脳疾患によって脳の一部が破壊されても損傷を免れた他の部位が損傷された部位の役割を代替する能力「可塑性」があり、こういった障害からのある程度の回復は可能との考えが主流になりつつある。可塑性の発現は使用頻度に左右されるため、麻痺した四肢や外眼筋を動かすことや、欠損した視野の近傍点を見るようなりハビリテーションを回復して行うことが推奨されている。ただし、こういったリハビリテーションは末梢部位へ働きかけ大脳の可塑性を誘引するものである。

②目的

本研究では、末梢部位を頻回に使うリハビリテーションを行う際に、同時に大脳の可塑性を高レベルに発現させる作用を直接大脳に施すと、障害からの回復がよりスピーディになるのではないかと考え、それを証明するモデル研究を行う(図1)。現在まで、大脳へ直接働きかけてその可塑性をより強く出現させることを意図した研究例はほとんど無く、得られる成果より脳疾患後の効果的リハビリテーションを編み出せると大いに期待している。

可塑性研究で非常に有名な大脳皮質第一次視覚野上の眼優位カラムをモデルとして、成人期に眼優位カラムの可塑性を高レベルに出現させるような作用を探る。視覚系の発達した哺乳類では、同側・反対側眼からの視覚情報は、別々に第一次視覚野上の「同側・反対側眼優位カラム」に伝達される(図2)。眼優位カラムは、遠近感の認知(両眼視)に必須である。眼優位カラムは、開眼前の発生期に制御因子によって大まかに同側・反対側眼優位カラムに分けられた後、発達期になって視覚刺激に促され完全に分離した同側・反対側眼優位カラムへと可塑的に成熟するというプロセスで形成される。発達期の眼優位カラムは高い可塑性を示し、例えば片眼を遮断すると遮断側の眼から入力を受ける眼優位カラムは縮小し、逆に非遮断側の眼から入力を受ける眼優位カラムは拡大する。ただし、眼優位カラム形成が終了した成人期においては、大脳の構築が容易に変容するのは不利であるため、完全に分離した同側・反対側眼優位カラムが外部からの影響で可塑的に変化しにくいようその構築を保つ分子機構が存在する。本研究では、成人期に大脳の可塑性を効率よく再出現させる方策を見つけ出すことを主目的とし、最終的にその方策を障害を受けた大脳に適応して、リハビリテーションの効果をより高めることが出来るか検討する。

③学術的な独自性と意義

大脳には、脳疾患である領域が障害を受けた際に損傷を免れた領域が損傷された部位の役割を代替する能力「可塑性」がある。通常、四肢・外眼筋が麻痺した場合は麻痺した筋肉を繰り返し動かす努力をさせ麻痺からの回復を促したり、視野欠損の場合は欠損視野の近傍部を見させる訓練を繰り返し行い欠損視野を減少させるといった末梢部位への作用を通して間接的に大脳の可塑性を呼び起こすリハビリテーションを進める。ただし、大脳の可塑性は発達期に最大となり、発達期を過ぎ成人期へと進むとかなり失われるため、上述したリハビリテーションでは脳疾患後の損傷からのスピーディかつ目を見張るような回復はそれほど多くは期待できない。

本研究では、成人期の大脳に直接働きかけて、大脳の可塑性を発達期のレベル近くまで強く発現させる方策を施した上で、リハビリテーションを行い、障害からのスピーディかつ目覚ましい回復を期待できるようなモデル研究を試行する。従来のリハビリテーションと違って、本研究は大脳への直接的な働きかけを意図しており、これが本研究の大きな特色かつ独創的な点である。

④期待される成果と発展性

本研究が提案するモデル研究を実施することで、最終的に脳の障害からの飛躍的な回復を促すような方策の基礎を提示できると大いに期待でき、この方策を臨床応用することで将来的には脳疾患による障害からの効果的回復を促すような新しいリハビリテーションを生み出せると考えられる。

この研究成果は、この他認知症などの疾患の進行予防としても役立つものと大いに期待できる。

背景

厚生労働省の報告によると、我が国における年間自殺者は1998年に3万人を突破し、現在もその水準で推移している。現代社会はストレス社会であり、長期的なストレスや疲労の蓄積により、うつ病、慢性疲労症候群、心的外傷後ストレス障害 (PTSD)などを発症するといった深刻な社会問題を抱えている。こうした社会問題は、日本だけにとどまらず、世界中で問題視されており、医療、福祉の領域において解決すべき重大課題となっている。また、2011年3月の東日本大震災及び福島第一原発事故により、心的外傷後ストレス障害 (PTSD)をはじめとした被災者の急性・慢性ストレス障害は、今後中長期的に問題化する事に疑念の余地は無い。ストレスは、精神的、身体的、物理的、化学的、生物学的ストレスに分類されるが、これらのストレスが複雑に絡み合って生体に影響を与えていること、はっきりとした各精神疾患特有の症状が少なく診断が困難であることがストレス疾患増加の主な要因といえる。また、臨床医療分野のみならず脳科学、遺伝学といった研究分野においても、精神疾患の分子メカニズムが解明されつつあり、将来的な治療法等の開発が期待される。

②目的

本研究は、ストレスバイオマーカーとして注目されている唾液コルチゾールと唾液アミラーゼ活性値を短時間で簡便に測定可能な導電性高分子を用いた新規計測技術の開発を目的とする。センサ感度として、コルチゾール分析では、測定範囲0.1 - 30 ng/ml, 検出感度1 ng/mlを、また、アミラーゼ活性値分析では、測定範囲10 - 200kU/l, 検出感度0.5 kU/lを目指す。本申請では、導電性高分子のモルロジーと電気化学性能を検討するとともに、電極上への抗体修飾の高度化、酵素反応及び抗原抗体反応を電気化学的に計測する分析システムを構築する。

③学術的な独自性と意義

ストレス計測には、脳波、脳血流量、心電図といった物理計測や、生体がストレスに対応して発せられる生体物質 (バイオマーカー) を定量する化学計測が挙げられる。現在、唾液バイオマーカーとストレス性疾患との関連性が医学系・疫学系研究者を中心として報告されており、特にステロイドホルモンであるコルチゾールがストレス性疾患の指標として注目されている。唾液は、含有量は異なるものの血液中と同様な生体物質から構成されている。また、血液採取や物理計測とは異なりヒトに苦痛を与えずに採取可能 (非侵襲) な生体液であり、血液採取のような医療行為に該当しない。早急な対策が求められる現状において抜本的な改善方法を挙げるとすれば、ストレスを個人が把握し、未然にストレス関連疾患の発症を防ぐことである。そのためには、ストレスやヒトの生体情報を把握、定量することが求められる。すなわち、科学的エビデンスに基づいたストレス分析技術の確立は、QOLの向上のための重要なツールとなり得る。

④期待される成果と発展性

本研究を達成することで、慢性疲労症候群、心的外傷後ストレス障害をはじめとするストレス疾患の診断、治療、予防を可能とする唾液分析用プラットフォームが確立できる。2011年3月の東日本大震災及び福島第一原発事故により、被災者の急性・慢性ストレス障害は、今後中長期的に問題化する事に疑念の余地は無い。短時間で簡便な測定系を確立する事で、医療機関、研究機関での使用のみならず、会社、学校、家庭で、ストレス状態を把握する事が可能となり、疾患の予防による医療費の削減にとどまらず、ひいては人間の尊厳を築き上げ、社会負担低減の一翼を担うと確信する。

1. 背景

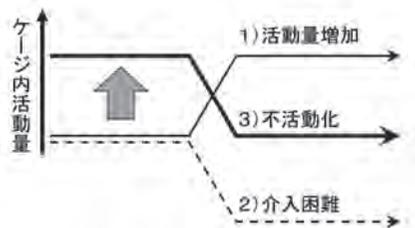
機械化に伴い、我々の身体活動量は著しく低下した。それに反比例するかのように「こころの健康」を損なう人々は激増している。ついに厚生労働省は2012年7月、これまでの4大疾病(がん、脳卒中、心筋梗塞、糖尿病)に精神疾患を加えて5大疾病とする方針を示しており、精神疾患の予防は喫緊の社会的課題となっている。精神疾患への罹患リスクが、海馬(記憶・学習を担う脳部位)の機能低下によって高まることが知られている。一方で、申請者は今年、マウスの身体活動量を減少させると、海馬における神経新生が低下することを報告した(Nishijima et al., Behav Brain Res, 2013)。この結果は、身体活動量の低下(身体不活動)が精神疾患への罹患リスクを高める一要因であることを強く示唆しており、これは身体活動量が著しく低下した現代人に「こころの健康」を損なう人々が多いという現状とよく一致している。では、いかなる対策をとれば、身体活動量の低下による海馬の神経機能の低下を予防することができるだろうか？

2. 目的

本研究では、身体不活動によって引き起こされる海馬神経機能の低下を予防するために有効な介入法を明らかにすることを目的とする。本年はその萌芽的取り組みとして、運動(特に実施頻度)に着目して実験的検討を進める。これにより、精神疾患への罹患リスクの軽減に寄与することを目指す。

3. 学術的な独自性と意義

現代社会では、受験勉強や就職といったライフステージの変化が契機となり、身体活動量が低下してしまうことは数多い。しかしながら、身体不活動が脳機能に及ぼす影響は驚くべきことにはほとんど研究されておらず、不活動化によって脳内にどのような適応的变化(退化)が生じるかはほとんど明らかにされていない。これは、一般的な実験動物の飼育環境が極めて狭く、活動量を増加させることは容易でも(図1)、低下させることが困難であつたためである(図2)。これに対して申請者は、独自のマウス



不活動モデルを用いて研究を進めている。このモデルでは、離乳直後から高い身体活動量を確保できる環境(自発運動ケージ)でマウスを飼育し、成熟後に通常の飼育環境に移すことにより、相対的に身体活動量を低下させる(図3)。身体拘束を必要としないことが特徴であり、実験動物を用いて身体不活動が脳機能に及ぼす影響を検討できる実験モデルは、我々の「マウス不活動モデル」だけである。

4. 期待される成果と発展性

東日本大震災の後など、震災時には「生活不活発病」が増加することが指摘されている。これは、特に避難所生活を送る高齢者において多くみられ廃用性症候群であり、「動きにくい」から始まり、「動かない」、そして「動けない」へと徐々に身体活動量が低下することによって引き起こされる。注目すべきは、その症状に「うつ状態や知的活動の低下」が含まれることである。本研究によって、このように否応なしに身体不活動に陥ってしまう状況下において、「どの程度の運動を行えば、身体不活動による脳機能低下を予防することができるか」といった疑問に答えるための科学的エビデンスを提示できると期待される。

①背景

大きな損傷を受けた生体組織と臓器の治療を目的として、生分解性ポリマーから成る生体埋込型構造物を利用した再生医療の研究が精力的に進められている。生体中の細胞は単独ではその機能を十分に発現しないため、足場材となる構造は多数の細胞が接着することに加えて、細胞増殖を促すこと、組織形成まで支持体として存在することが期待される。さらに、組織が十分に発達した後、生体内において分解し吸収される材料が好ましい。この足場材として、ポリ乳酸等の合成生分解性ポリマーの使用が検討されているが、合成生分解性ポリマーの表面は疎水性が高く細胞の接着性が低い。また、従来その形状としては糸状、シート状、スポンジ状等の簡単なものに限られ、精密な形状は検討されていなかった。

しかし、近年、ナノスケールの表面構造が細胞接着と細胞機能に影響を与えることが明らかになるにつれ、自由度の高い表面微細構造が作製できれば、従来を上回る機能の足場材、毛細血管再生用の中空管状の足場、骨格の構成材料が実現できると期待されるようになった。これらの次世代再生医療用の表面微細構造作製技術には、(1)ナノスケールの微細構造、(2)単位時間当たりの加工可能面積が大きいこと(高スループット)、(3)概形形成後に必要箇所のみ加工できること(後加工が可能)が必要不可欠である。化学的方法は多彩な構造を作製することができるが、上記(2)および(3)は容易ではない。

②目的

本研究の目的は、フェムト秒レーザーにより、生分解性ポリマーの高細胞接着性表面微細加工技術を創出することである。具体的には、フェムト秒レーザーにより発生させたミー散乱遠方場光および近接場光を制御し、生分解性ポリマー表面に微細周期構造を作製。予備的成果として、既に透明誘電体材料(LiNbO₃)を対象に微細周期構造作製を達成している。この構造を生分解性ポリマー表面に作製できることを実証し、さらに、構造の周期、深さ、方向を制御して高細胞接着性表面構造作製を達成する。

③学術的な独自性と意義

レーザー加工は①で述べた必要不可欠な3点を兼備し、これまでに、ポリマーを対象とした紫外光による切断、熱効果による樹脂材料の溶着、二光子光重合といった研究が進められてきた。しかし、その大部分は線形吸収、熱効果、多光子吸収といった広く知られた物理に基づくものであり、非平衡物理過程の理解や散乱遠方場光および近接場光の制御を十分に活用してレーザー加工の持つ潜在力を最大限に引き出すことができれば、これまでにない表面機能を持つ足場材が実現できる。

本研究は、散乱遠方場と近接場光の制御による加工における申請者の先駆的成果(業績欄(1))をコアテクノロジーとして、生分解性ポリマー表面にナノ構造を作製することで高細胞接着性足場材の創出に挑戦するものである。フェムト秒レーザー特有の非熱的過程を再生医療に新規に応用展開する。

④期待される成果と発展性

本研究が成功すれば、細胞の足場材、毛細血管再生用の中空管状の足場、骨格の構成材料を飛躍的に高度化させることができる。すなわち、ナノスケールの微細構造、高スループット、後加工を全て兼備した高機能生体用表面構造の作製技術が確立し、次世代再生医療に貢献する。また、レーザー加工の高い自由度により、例えば、体内に埋設して細胞機能を制御すると同時に薬物を放出する薬物送達デバイス等、これまで着想されていないマイクロ装置の創出への連鎖的な発展および展開が期待される。

① 背景

超高齢社会を迎えた我が国では、被介護者の自立による円滑な社会の循環を目指し、移動支援機器による高齢者の支援が望まれている。例えば、立ち乗り二輪車「Winglet:トヨタ」やバランス制御による移動支援機器「Unicab:ホンダ」などが開発されている。欧米でも電動立ち乗り二輪車「Segway:Segway Inc.」が開発されている。これらの移動支援機器の使用は高齢者の移動能力を拡大する一方で、高齢者が自分の足で歩かないために筋力の低下を招く。筋力の低下した高齢者は室内などの家事が困難となるため、結果として高齢者による自立した生活は遠のくという問題点がある。機器の使用による筋力の低下を解決するためには、移動能力の拡大だけでなく、高齢者自身の運動による筋力の維持・向上を実現させる機器の開発が望まれる。

本研究では、高齢者が歩行動作を行うことで移動能力が拡大できる機器の開発を目指し、移動支援機器 Tread-Walk を開発した。Tread-Walk は、搭乗者のベルト上の蹴り力をタコメータの電流値の変化から検出し、搭乗者の歩く速度を推定することでタイヤの回転速度を増幅する移動支援機器である。従来の移動支援機器とは異なり、搭乗者の歩行運動を促すことで自立した元気な老後生活の支援が期待される。

② 目的

Tread-Walk の普及には、高齢者が搭乗しても安全・安心な操作を実現する必要がある。特に、Tread-Walk で旋回する際に遠心力による横方向の力によって機器から搭乗者が振り落とされる危険性があるため、搭乗者にとって安心・安全な旋回を実現できるような左右の両輪の速度差を導出する必要がある。しかし、搭乗者の心理的な安心感を定量化する手法は未確立であるため、搭乗者の心理的な安全性・安心感を重視した設計を施せないという技術的な問題点がある。

搭乗者の心理的な安心感や危機感や脳内の神経細胞間によるネットワークによって生成されることに着目し、搭乗者の脳活動情報を計測・解析することで、搭乗者の脳内における安心感をモデル化し、最も安心・安全な設計手法を導出することが本研究の目的である(Fig.1)。ケーススタディとして、安全・安心な旋回が実現可能な速度差を導出する。

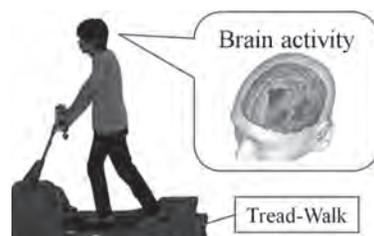


Fig.1 Ease Design of Tread-Walk using brain activity measurement

③ 学術的な独自性と意義

従来の安全設計は、機械の故障や性能の劣化、運動力学モデルによる加速度や遠心力の導出などを用いて搭乗者の安全性を考慮しているが、高齢者の使用を促すような安心な設計はできない。本研究では搭乗者心理的な面に着目し、搭乗者の使用を促すような安心な設計を理論的・実践的に目指す点に学術的な独自性と意義がある。理論的には搭乗者の脳内における機器に対する安心感を、前頭前野を計測することで定量化し、モデル化する。実践的には、移動支援機器 Tread-Walk を基に、モデル化した脳内における安心感を用いて最も安全・安心な最適化設計を施し、工学的・心理的に安全・安心な機器の開発を実現させる。

④ 期待される成果と発展性

本研究が完成すれば、搭乗者の安全性の保障だけでなく、安心な移動支援機器の操作が可能となる。本提案手法は Tread-Walk に限らず自動車などの全てのモビリティに広く適用可能であるため波及効果は高い。さらに、ロボットが人間の活動空間に入る際に問題となる人間との接触における安全性・安心感を解決する可能性があり、研究段階である医療福祉機器やサービス分野でのロボット支援を社会に実現可能である。

①背景

扁桃体は情動学習記憶の中枢であり、外側核(LA)・外側基底核(BLA)における可塑的变化が学習記憶の基盤とされている。縫線核からのセロトニン作動性投射はこのLA/BLAの活動を調節しており、情動学習・情動反応が適切に行なわれるために必須である。我々はこれまでに、詳細なスライス電気生理薬理実験を行い、セロトニンが扁桃体外側核(LA)のセロトニン2C受容体を介して、強い刺激選択的に扁桃体興奮性を増強することを明らかにしている(Yamamoto et al. 2012)。またこのセロトニン2C型受容体による扁桃体興奮性調節機構にはGIRKチャンネルとTRPCチャンネルが関与していることを見出した。しかし、セロトニン作動性終末はセロトニンだけではなくグルタミン酸、場合によってはGABAも放出する。つまり、セロトニン作動性ニューロンによる生理的条件下での扁桃体興奮性調節のメカニズムを知るためには、扁桃体に存在するセロトニン作動性終末を選択的に刺激し、その作用を調べる事が望ましい。セロトニン作動性線維のみを選択的に刺激する事は長らく困難であったが、近年、セロトニン作動性ニューロン選択的にチャンネルロドプシン2を発現させた遺伝子改変マウスが開発され、光刺激を用いることでセロトニン作動性ニューロンを選択的に刺激することが可能となった。

②目的

本研究の目的は、セロトニン作動性終末による生理的な扁桃体興奮性調節システムを明らかにする事である。そこで、上述した遺伝子改変マウスを実験に用い、光刺激を用いてチャンネルロドプシン2が発現しているセロトニン作動性終末を選択的に刺激し、LA/BLA神経活動への生理的条件下での調節作用を電気生理学的に解明する。

③学術的な独自性と意義

今回、セロトニン作動性ニューロンに選択的にチャンネルロドプシン2を発現させた遺伝子改変マウス(TPH2-ChR2-EYFP マウス;Guoping Feng教授作成)を実験に用いる。このマウスは、セロトニンの合成に必須であるトリプトファン水酸化酵素の下流に人為的にチャンネルロドプシン2を組み込むことで、セロトニン作動性ニューロン選択的なチャンネルロドプシン2の発現を達成している。チャンネルロドプシン2は哺乳類脳内には本来は存在しないチャンネルであり、約470nm波長の光刺激によって開口し細胞を脱分極させる。つまり、この遺伝子改変マウスを用いれば、光刺激によってセロトニン作動性線維を選択的に刺激することが可能となる。この方法を用いることで、これまで薬理的にしか調べられなかった、セロトニン作動性投射による生理的条件下での扁桃体興奮性調節機構が初めて明らかにできる。

④期待される成果と発展性

期待される成果としては、これまで未知であったグルタミン酸とセロトニンの複合的な作用や、従来より想定されてきたセロトニン受容体とGABA受容体の相互作用を電気生理学的に解明することが期待される。これらが明らかにすることは、扁桃体が司る情動行動・情動学習を縫線核セロトニン作動性ニューロンがどのような機構を用いて調節しているのかが明らかになり、情動制御機構の解明やPTSDなどの不安・恐怖関連疾患への新たな治療法開発の端緒になると考えられる。

①背景

認識や記憶学習の脳神経メカニズムを理解することは、神経疾患等の医療面において重要な課題である。しかし、人間の脳は約1000億個の神経細胞をもつため、それらが組合わさってできる神経ネットワークは天文学的なものとなる。そこで、本研究では、シンプルな神経系をもつ線虫をつかい、そのなかでも、10個以下の神経細胞で構成される「温度記憶行動」を制御する神経回路を実験モデルにもちいる (Kuhara et al., *Science*, 2008; Kuhara et al., *Nature commun.*, 2011)。この回路において、神経細胞活動の可視化技術と筋肉運動の自動測定技術を導入し、行動の制御にかかわる筋肉運動と神経回路の情報処理の基盤解析系の創出を目指す。神経細胞の生理的・物理的性質は、人間から線虫まで広く保存されているため、本研究で得られる解析技術の基盤は、将来的に人間の脳情報処理の計測に応用されることが期待される。

②目的

人間を含む動物の行動は、脳神経回路によって制御されている。さらに、行動は細かな筋肉運動の連続的な制御により成り立っている。本研究では、過去に6年間で6人のノーベル賞受賞者を輩出した、線虫C. エレガンスを実験系としてつかい、線虫の利点である少数の神経細胞と体が透明であることを最大限に生かし、最新の光技術とコンピューター技術を駆使した、神経機能と筋肉運動の自動的な数値化のための基盤技術の確立をめざす。

脳神経活動と筋肉運動の定量化は、人間の脳神経疾患による運動機能障害などの補助的医療器具などの開発につながる基礎的な知見となる。しかし、人間の脳は1000億個の神経細胞から構成されており、そのネットワークの仕組みは、近未来に解明されるレベルではない。そこで、人間と類似した神経細胞をもち、302個しか神経細胞が存在しない、線虫を利用することで、神経系と筋肉運動の詳細な定量化技術の基盤を形成する。

③学術的な独自性と意義

本研究の特色は、全生物を通じて、唯一、配線図の全貌がわかっている線虫の神経回路をつかい、人間を含めた学習行動の神経回路の作動原理を解析する技術を創出する点である。温度記憶行動の神経回路を構成するニューロンの中では、多くの遺伝子が機能している。そして、シナプス結合で連絡するニューロンとニューロンの間では、別の次元の遺伝子の働きがある。さらに、神経回路を構成するネットワークとして、遺伝子やニューロンは、適切に行動するために、適切に機能している。このように、異なる次元の階層すべてを網羅した解析が必要であると同時に、異なる階層レベルでの網羅的解析が可能な神経系システムは、かつて、存在しなかった。従って、本システムをつかい、脳・神経系機能の解析技術を開発することで、神経回路システムの作動原理の本質を提示できる研究結果を導くことができると考えられる。本研究は以上のように、独創性と新規性の高い研究であり、類似研究は、ほとんど存在していないと把握している。

④期待される成果と発展性

線虫C. エレガンスの神経系は、わずか302個の神経細胞(ニューロン)から形成されているシンプルな神経システムである。本研究では、温度学習行動に関してコアをなす、極めて重要な神経回路に着目し、これをモデル系として、その作動原理を明らかにするための解析技術基盤を創出することが目標である。本研究で開発された技術基盤は、人間の脳機能の解析にも応用することができ、神経疾患の表現型の定量化や、それにもとづくブレインマシーン インターフェイスの開発といった、画期的な実験技術の開発や新規技術の創世などの技術革新が、必然的に起こると考えられる。

我が国の法科大学院における法曹以外の人材育成機能 および就職支援の在り方に関する研究

研究者 弘前大学 21 世紀教育センター 准教授 田 中 正 弘

①背景(内外における当該分野の動向)

本研究では、法科大学院における法曹(弁護士、裁判官、検察官など)以外の人材育成機能に着目する。法科大学院は、学校教育法で規定される「専門職大学院であって、法曹に必要な学識及び能力を培うことを目的とする」(「法科大学院の教育と司法試験等との連携等に関する法律」平成14年法律第139号)。よって、法科大学院は法曹養成に特化した教育機関であることが法的に求められている。しかしながら、司法試験の合格率は近年25%程度に低迷しており、法科大学院修了生の過半数は法曹になれない状況となっている。

法曹の資格取得の道を閉ざされた法科大学院の修了生は、その後どのような進路を選択したのだろうか。仮に彼らが路頭に迷っているのであれば、それは我が国にとって、数多くの優秀な人材の損失を意味する。ところが、彼らの動向を把握する調査・研究は、管見の限り見当たらない。言い換えると、彼らは社会的に忘れられた存在として扱われてしまっている。本研究は、忘れられた彼らの存在に光を当てるものである。なお、この問題を中央教育審議会大学分科会法科大学院特別委員会も重視し、自らの提言「法科大学院教育の更なる充実に向けた改善方策について」(平成24年7月19日公布)において、「法科大学院修了者が高度の法的素養を備えた人材として、広く社会で活躍できるよう支援するため、その進路状況のより正確な把握、就職支援の充実方策の検討・実施」を、改善方策として示している。それから、金子元久(2011:12)は、日本の大学全体の課題として、既卒者の就職支援を怠ってきたことに非を唱えている。

②目的(課題設定とねらい)

本研究の目的は、法科大学院における法曹以外の人材養成機能の在り方を議論し、その意義を示すことにある。具体的に、日本の法科大学院には、法曹をあきらめた(あきらめざるを得なかった)修了生への就職支援を適切に遂行する義務があるとの信念から、以下の四点を明らかにしたい。

- ・法科大学院の法曹以外の進路状況を定量的に把握する。
- ・法科大学院の法曹以外の就職支援体制を調査し、優れた取組を発見する。
- ・法曹以外の就職における成功事例を分析し、モデル化する。
- ・法科大学院が法曹以外の人材を養成する効果や経済的効率性、および制度運営上の問題点を明示する。

③学術的な独自性と意義

法科大学院に関連する研究には、専門職大学院の発足過程に関する包括的な研究(天野 2004, 橋本 2009, 吉田 2010)や、法科大学院の教育内容に関する事例研究(宮澤 2003, 川端 2007, 滝沢 2007)、司法試験の合格率に関する統計的な研究(椎名ほか 2010)などが積み重ねられてきた。とはいえ、先述したように、法科大学院修了生の進路状況に関する情報の公開が進んでいないために、特に法曹以外の道に進んだ修了生の動向を調査した研究成果は見当たらない。その上、法科大学院の就職支援は制度化が遅れているために、高度な法的素養を備えた多くの就職浪人を生み出してしまっている。従って、本研究の独自性は、法曹以外の道を選択した修了生の動向調査という誰も試みていない領域に挑戦することであり、その研究の意義は、高学歴の就職浪人を減らす一助となることである。

④期待される成果と発展性

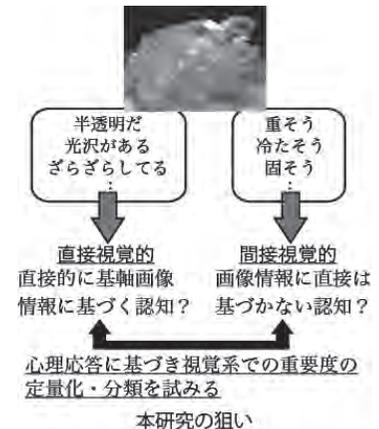
本研究に期待される成果は、法科大学院に求められている修了生の進路状況の把握と、修了生の過半数を占める法曹以外への就職支援への具体的な実践方策を提案することにある。そしてこの試みは、日本の大学全体の課題となっている、卒業生・修了生への就職支援体制の整備に貢献する発展性を有している。

1. 背景

我々ヒトは、「ざらざらだ」「暖かそう」など物体表面の特徴(以下、これらを表面特徴と呼ぶ)を見た瞬間に判断可能である。このヒト視覚系の優れた表面特徴認知能力は注目を集め、例えば光沢感などを認知する脳機能や手がかりとなる画像情報に関する研究が増えている。ところで、表面特徴を表す形容詞(温かい、透明な、など)が無数に存在することから分かるように、表面特徴と呼べるものは多岐に渡る。しかし、脳の処理資源は有限であり、脳が全表面特徴それぞれに特化した処理機構を有するとは考えにくく、表面特徴認知は限定次元数の画像情報(基軸画像情報と呼ぶ)に支えられている可能性がある。つまり、多様な色感覚が赤、緑、青という3次元情報に基づくのと同じ考え方である。基軸画像情報を特定できれば、画像からの表面特徴推定システムや高リアルティCGアルゴリズムなどの強固な基礎となるため、応用面からもその特定は視覚科学の重要な課題となる。しかし、現状の表面特徴認知の研究はまだ光沢感・透明感といった個別の表面特徴に着目しており、様々な表面特徴を横断的に研究対象とした報告は極めて少なく、それゆえ表面特徴認知に関わる基軸画像情報の検討も行われていない。

2. 目的

基軸情報の特定に際し、上述した色に関しては、光の波長が色覚の情報源であることが既知であったため、問題が捉えやすかった。その一方で、表面特徴に関しては、その情報源となる画像情報のごく一部ののみが分かってきた段階であり、基軸画像情報特定の準備すらできていないのが現状である。そこでまず、基軸画像情報の特定に適した表面特徴の枠組みが必要と考えられる。ここで、多様な質感特徴は、画像情報と密に関わる視覚にとって重要な質感特徴(例：光沢感)と、直接的には画像情報に依存しない(例えば物体記憶等に依存する)視覚にとって重要でない質感特徴(例：重さ感)に直感的に分類できることに着目する。本研究では、物体表面特徴(光沢感、つるつる感など)を多数取り上げ、視覚情報処理における各表面特徴の重要度を被験者の心理応答に基づき定量化・分類する実験手法の考案を目的とする。具体的には、心理物理実験を通して、1. 表面特徴の処理速度等に基づいた重要度指標の提案、2. 質感特徴重要性の直感的事前予測と提案重要度指標との対応関係の検討、3. 各表面特徴の重要度の定量化、を目指す。



3. 学術的な独自性と意義

近年の表面特徴認知の研究から、個別の表面特徴認知に関わる画像統計量の存在などが明らかになってきた。しかし、研究対象となりうる表面特徴は無数に存在し、また、異なる表面特徴であっても、その認知特性を調べると結局同じ画像特徴が関与していた場合も多い(例：光沢感とざらざら感)。今後表面特徴認知の研究を包括的に進める上で、研究対象とすべき表面特徴、また表面特徴認知に関わる画像情報の集約が必須となることは明白である。他の研究が各表面特徴認知に特化しているのに対し、本研究は様々な表面特徴間の関係性に着目するという点において非常に独自性が高く、当該研究分野の進展に大きく寄与できると考えられる。

4. 期待される成果と発展性

本研究で提案する表面特徴重要度の定量化は、研究対象とすべき表面特徴の絞り込みへとつながる。これは、表面特徴認知に必要な基軸画像情報の特定という大きな目的に対し、絞り込んだ表面特徴の認知に共通して関与する画像表現を見いだすことで、個々の事象に関わる画像表現を検討している現状よりも、はるかに効率的なアプローチを実現するものである。このように、本研究の成果は、細分化された表面特徴認知研究の分野を整理、統合する上で大きな役割を果たすことが期待される。

公共空間におけるインタラクティブディスプレイの要因が 人間の認知・行動・感情に及ぼす影響の実験的検証

研究者 電気通信大学大学院情報システム学研究所 助教 市野 順子

① 背景

美術館、駅、商業施設など公共の空間に大型のインタラクティブディスプレイを設置することへの関心が高まっている。最近では、平面に留まらず円形や立体的なものなど多様なスタイルのディスプレイの開発が進んでいる。自己表現や他者との交流の場が都市空間からデジタル空間に移行しつつある現代において、メディアとしてのディスプレイは、対話的・社会的な体験の場を都市空間に再び呼び戻す手段として有望である。

しかしながら、ディスプレイの諸要因が人間の知覚や思考にどう影響するかを理解することに対して注意が払われていない。その結果、異なる認知的・社会的アフォーダンス(環境が動物に与える「意味」のこと。物体の属性が動物に対してその物体の取り扱い方についてメッセージを発しているとする考えに基づく。アメリカの知覚心理学者ジェームズ・J・ギブソンによる造語。)を提供する様々なディスプレイデバイスに対して、デザイン原則が一様に適用されている。インタラクティブディスプレイのある空間が今後さらに増加すると予想される中、そのような空間を人々はどのように見るのか、どう利用するのかを定義する必要がある。

② 目的

本研究の目的は、公共の展示空間に設置された大型のインタラクティブディスプレイというコンテキストにおいて、(1)ディスプレイの設置角度(垂直・水平・斜め)、及び(2)ディスプレイの形状(四角形・円形)という2つのディスプレイ要因が、シングル/マルチユーザーに与える影響を認知・行動・感情の3つの側面から総括的かつ定量的に検証することである。

③ 学術的な独自性と意義

ディスプレイに関連する要因としては、サイズ、形状、設置角度、数、ユーザー数、ユーザー配置等があり、これら個々の要因についてその影響を解明することが必要である。中でも、設置角度に関しては垂直だけでなく水平や斜めも、形状に関しては四角だけでなく円形も一般的になってきた。角度や形状がユーザーに与える影響を調査した研究は僅かに存在するが、いずれも部分的かつ定性的な調査に留まっている。

大型のインタラクティブディスプレイの角度と形状という2つの要因が、シングルユーザー及びマルチユーザーに与える影響を、認知・行動・感情という3つの側面から総括的かつ定量的に検証した研究は存在しない。

④ 期待される成果と発展性

本研究が実施する量的評価実験から定量的な知見が得られれば、美術館・博物館、駅、店舗等の公共の空間に設置されたメディアとしての大型のインタラクティブディスプレイの展示デザインを行う際のガイドラインとなりうる。また公共空間に留まらず、教育機関を含めインタラクティブなマルチメディアコンテンツを展示する空間への応用も可能である。

情報科学系大学院生を対象にした社会人基礎力向上教育と その効果計測の方法に関する研究

研究者 名古屋大学大学院情報科学研究科 特任助教 松原 豊

①背景(内外における当該分野の動向)

専攻分野を問わ、大学院教育のあり方を見直すことは緊喫の課題となっている。なぜなら、従来、学生の専門知識を習得することに重点を置いてきた大学院教育は、社会あるいは産業界が求める即戦力を備えた人材の育成に対応しきれていないからである。例えば、本研究の対象であるIT分野の企業の多くが、新入社員の技術面におけるメタスキルや、コミュニケーション能力など、社会人基礎力と呼ばれる能力が不足していると感じている。すなわち、大学院教育には専門的知識力を高めることだけではなく、修了後のキャリアを見据え、前述の能力養成も包含したカリキュラム開発が社会から要請されているのである。このような現況を受け、国の試みとして、文部科学省は情報科学系大学の主に修士課程院生を対象に、平成19年度より「先導的ITスペシャリスト育成推進プログラム」を展開した。本事業では全国8拠点の大学において、近年世界の大学で活用されつつある課題解決型学習(PBL: Problem Based Learning)を用い、成果物を完成させるといった人材育成プログラムを試行した。次いで、平成24年度からの文部科学省「情報技術人材育成のための実践教育ネットワーク形成事業」(以下、enPiTと略す)では、先導的ITと同様にPBLを中心とした短期集中合宿、分散PBLを柱にした教育プログラムを構築する。

情報科学系大学院生を対象としたPBLに関する先行研究として、戸沢(2007)、南波(2008)、中鉢ら(2013)がある。とりわけ南波は、「自ら獲得した知識やスキルを実際に活かして成果や効果をもたらす能力」であるコンピテンシーを高める教育方法としてPBLを位置づけ、学生一人ひとりに対する評価は難しく、週報や議事録などの分析により、行間を読むような綿密な作業が必要であると指摘している。しかし、先行研究は一大学での試行を考察したものであり、PBLが日本の情報科学教育学で利活用できるか否かの検討はされていない。

②目的(課題設定とねらい)

本研究では、情報科学系大学院生(企業への就職を希望している修士課程の院生を中心に)の人材育成を、教育方法の一つであるPBLを通して行うことで、その有効性について検討を行う。具体的には、(1)産業界で即戦力となる若手人材養成を目的としたPBLの効果を検証し、そのうえでPBLの評価方法のモデルについて提案すること、(2)研究結果については、文科省enPiT事業参画大学への水平展開を実施すること、である。

③学術的な独自性と意義

現在、PBLは指導教員が各自の主観に基づいて学生評価を行っている。本研究の独自性と意義は、PBLという手法において、特に社会人基礎力についての評価方法を確立することにある。つまり、enPiT参画学生に対し共通の指標を用い評価し、「産業界の第一線で活躍できる人材の育成」という教育目的に対し、より有効性を備えた方法をフィードバックできると考える。

④期待される成果と発展性

本研究は、問題の一側面に留まらず、情報科学、高等教育学、プロジェクトマネジメント、キャリアデザイン的観点から包括的に検討を行う。このようなアプローチは、情報科学系における若手人材育成問題を解決するための新しい方法論を提唱することにもなり、若手人材育成における議論蓄積に大きく貢献するものと考えられる。

①背景(内外における当該分野の動向):相対的年齢効果への関心の高まりとメカニズム解明研究の不足

近年、早生まれ(1-3月生まれ)の児童がそれ以外の生まれ月の児童と比較して、学力においてポイントが低いことが国内外で実証され、理論的には「相対的年齢効果」として論考されてきた。同効果が着目されるのは、本人の努力以外の生得条件である生まれ月によって学力の違いが説明されるという点である。ただし、同効果の継続性(学年が上がるにつれて差が小さくなっていくか)については、明確な結論には至っていない。また、研究者の自国における同効果の実態把握はなされているが、国際比較はほとんどなされていない。なぜ同効果が確認されるのか、そのメカニズムについての仮説として、習熟度(能力)別授業の導入の影響が考えられている一方で、日本ではこれらの政策の積極的な導入を検討中であり、同効果を増大させる可能性がある。その一方、海外では同効果を配慮した教育制度が実施されているが、日本ではそのような政策はみられず、生まれ月を起因とする学力差を拡大する方向で政策が展開されている可能性がある。この動向は教育機会の平等の観点からみても、就学期における人材育成の方法に改善点があるといえる。

②目的(課題設定とねらい)

そこで本研究では、国際比較の視点から相対的年齢効果の実態と背景を定量的に解明するとともに、同効果を縮小するための制度設計を検討し、就学期における人材育成の方法を論考するものである。分析の焦点は、(1)各国における相対的年齢効果の測定、及びその程度の差異の検討と、(2)同効果の程度の違いに影響を与えるものとして教育制度に着目し、その特質の検討である。以上の相対的年齢効果の実態把握と教育制度の特質、及びその相関を検証することにより、生まれ月が学力に及ぼす影響を可能な限り縮小するための教育制度設計を提示する。

③学術的な独自性と意義

本研究は、先行研究では十分な論考がなされてこなかった国際比較の視点から相対的年齢効果の実態の把握を行い、さらに、なぜそのような実態になっているのかといったメカニズムの解明までを分析の射程として設定している。相対的年齢効果のメカニズムの解明に取り組むとともに、国際比較の視点から検討する研究は、海外の研究を含めても十分ではなく、萌芽研究としての性格を有している。また、海外の相対的年齢効果を縮小するための教育制度のケーススタディを通じて、日本における今後の具体的な制度設計に向けた示唆を提示する、政策的意義がある。

④期待される成果と発展性

成果の第1は、相対的年齢効果の実態を把握するとともに、国際比較によってその程度を具体的に議論可能な形にする点である。第2に、相対的年齢効果に教育制度が影響を及ぼしていると仮定し、その教育制度の特質を明らかにする。第3に、これらの検討を通じて、相対的年齢効果を増幅させないための制度設計の必要性の示唆と、日本における制度運用のための具体的な制度設計を提示する。本研究は、データ分析、インタビュー調査、制度のケーススタディを取り入れた本格的な実証研究であり、未開拓分野の研究蓄積に貢献する。特に、教育の分野は定量的な検証が必ずしも十分ではないと指摘されてきたが、本研究は大規模データに基づく定量分析を実施することで、定量的な教育政策研究の蓄積に資するものである。

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
事務局 電話 (03) 5334-4747

再生紙を使用しております。