

第33回 (平成27年度)
助成研究の概要

研究助成金贈呈式
平成27年12月4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「産業の活性化を促す新技術研究」

日本の産業には新しい価値を産み出す技術・発想が待望されています。
将来、産業界で必要とされ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27年4月15日～5月29日

応募数 94大学より302件

2. 選考審査

選考予備会議 7月17日開催 選考方針・選考基準の確認

個別書類審査 7月22日～8月17日

選考会議 9月11日開催 助成候補者の選出

理事会 10月2日開催 助成者40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		産業の活性化を促す新技術研究	49	5

〔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
電子デバイス 材料・物性	1	半導体関連	10	6
	2	表示・光学関連	8	4
	3	入出力・記録関連	1	0
	4	通信・伝送用デバイス	8	0
	5	新素材・ナノテクノロジー関連	59	5
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	9	1
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	5	0
	8	ソフトウェア・知識処理・セキュリティ	8	1
	9	通信・放送	4	0
	10	計測・制御	18	2
環境 その他	11	機構・ロボット	9	1
	12	環境エレクトロニクス	24	2
	13	シミュレーション科学	4	1
	14	加工法・工作法・リサイクル技術	4	0
	15	信頼性・最適デザイン	2	0

〔基本テーマB〕(医学・生理学系)

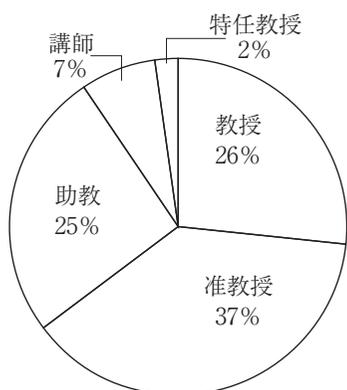
分野	分類No	題目	応募件数	助成件数
健康 ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	12	2
	17	ヒューマンエレクトロニクス	3	1
	18	ヘルスエンジニアリング	24	3
	19	バイオエレクトロニクス関連	17	2

〔基本テーマC〕(人文科学系)

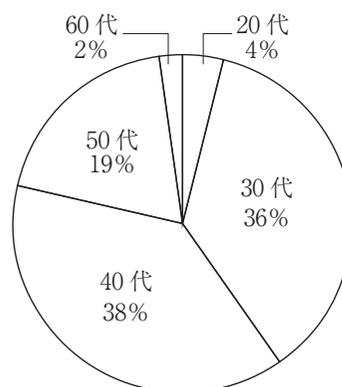
分野	分類No	題目	応募件数	助成件数
人材育成 人間行動	20	人材育成に関する研究	18	3
	21	変革期における人間行動の研究	6	1

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32回	〃 26	38	49,960
第33回	〃 27	40	60,000

第33回までの

助成件数 1,245件

助成金総額 1,591,107千円

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

平成27年度

研究助成

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額 万円
1	新規蛍光偏光測定原理に基づくハイスループットタンパク質間相互作用解析システムの開発	北海道大学大学院工学研究院 教授 渡 慶 次 学	500
2	微細加工シリコン基板に基づく水溶液中動作型脂質二分子膜デバイスの創成	東北大学大学院医学工学研究科 准教授 平 野 愛 弓	500
3	生体ナノ材料の構造・機能に着目した加齢性疾患治療法開発	京都大学物質・細胞統合システム拠点 准教授 村 上 達 也	500
4	超薄膜アナログフロントエンド回路を用いた微小生体電位計測技術の開発	大阪大学産業科学研究所 教授 関 谷 毅	500
5	スーパー・キスによる魚類の春機発動早期化技術の開発	九州大学大学院農学研究院 教授 松 山 倫 也	500
6	ヘリコンプラズマによる小型高速TSV エッチャーの開発	東北大学大学院工学研究科 准教授 高 橋 和 貴	100
7	有機半導体レーザーへ向けた両極性有機電気二重層トランジスタの開発	東北大学大学院理学研究科 准教授 下 谷 秀 和	100
8	電気化学ヘテロ接合界面を用いた1電極フルカラーエレクトロクロミックデバイス	山形大学理学部 准教授 松 井 淳	100
9	P2P インフラを利用した超高耐久性・簡易型著作権保護支援システムの提案とCGM産業への応用	筑波大学システム情報系 准教授 延 原 肇	100
10	光周波数コム干渉による超高速3次元イメージング技術の研究	埼玉大学大学院理工学研究科 准教授 塩 田 達 俊	100
11	触覚と痛覚を備えた柔軟な人工指先デバイスの開発	千葉大学大学院工学研究科 准教授 酒 井 正 俊	100
12	低温共晶融液による低環境負荷型高安全性電解液の設計ガイドラインの構築	千葉大学大学院融合科学研究科 准教授 城 田 秀 明	100
13	光パターニング可能な導電性材料の創製	横浜国立大学大学院工学研究院 准教授 生 方 俊	100
14	半導体ZnOを用いたスピン注入素子の研究開発	名古屋大学未来材料・システム研究所 助教 大 島 大 輝	100
15	魚の視覚システムを模倣した球形レンズによる水中カメラデバイスの提案	三重大学大学院生物資源学研究科 准教授 宮 崎 多 恵 子	100
16	カスプ磁場中のECR放電を利用した強電離プラズマ生成に関する研究	京都大学大学院工学研究科 講師 四 竈 泰 一	100
17	新規高性能半導体接合技術の検討	京都大学大学院工学研究科 准教授 田 辺 克 明	100
18	原子配列制御によるTiNi系形状記憶合金の高強度化と低侵襲デバイス開発	大阪大学接合科学研究所 助教 梅 田 純 子	100
19	大画面ディスプレイ用高解像度ホログラムパターンの高速生成アルゴリズム開発に関する研究	香川大学工学部 助教 森 裕	100
20	受動機構による階段昇段可能な大腿義足用膝継手の開発:平地歩行機能と昇段機能の統合	香川大学工学部 助教 井 上 恒	100

No	研究テーマ	代表研究者	助成金額 万円
21	偏光サニャック干渉計を用いた光渦ビームのモードスペクトル測定とモード分離	高知工科大学システム工学群 准教授 小林 弘 和	100
22	界面スピン軌道相互作用によるスピン蓄積-電流変換とその制御手法に関する研究	慶應義塾大学理工学部 特任助教 中山 裕 康	100
23	マイクログラビア印刷技術を用いた高分子超薄膜の大量創製とその高機能化	東海大学工学部 助教 砂 見 雄 太	100
24	Sb系半導体材料を用いた中赤外線発光素子に関する研究	東京理科大学基礎工学部 助教 藤 川 紗 千 恵	100
25	視線情報を用いた機械操作の熟達メカニズムの分析	早稲田大学理工学術院総合研究所 研究院講師 亀 崎 允 啓	100
26	π 電子系を利用した水素・炭素・窒素・酸素原子のみから成る二次電池電極材料の開発	愛知工業大学工学部 准教授 糸 井 弘 行	100
27	横波型薄膜共振子を利用した流路一体型質量センサの開発と抗原抗体反応の高感度検出	同志社大学研究開発推進機構 特定任用助教 高 柳 真 司	100
28	無線部とCPU部のワンチップ化を容易にする2.4GHz、6 mW動作CMOS RF受信機	大阪工業大学工学部 特任講師 木 原 崇 雄	100
29	表面増強ラマン散乱による生体高分子の高感度検出を目指した柔軟に構造制御可能な金ナノ構造体の創製	北海道大学電子科学研究所 助教 三 友 秀 之	100
30	新規ヘモグロビンA1cセンサーの開発	東北大学大学院薬学研究科 助教 佐 藤 勝 彦	100
31	環境と運動速度の異なるヒト起立動作における全身の筋協調構造の解明	東京大学大学院工学系研究科 特任助教 安 琪	100
32	pH応答性電界効果トランジスタと核酸増幅反応による核酸がんマーカーのラベルフリー電気的計測	東京医科歯科大学生体材料工学研究所 助教 合 田 達 郎	100
33	脳と体から心を読み解くブレイン・ボディ マシンインターフェイス (BBMI)	北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 准教授 田 中 宏 和	100
34	神経回路選択的な遺伝子操作技術による皮質線条体ニューロンの解析:行動選択の神経回路メカニズムとは?	福島県立医科大学医学部 助教 吉 岡 望	100
35	経頭蓋磁気刺激の高精度刺激座標推定技術と機能的磁気共鳴画像の融合による運動野活動ダイナミクスの解明	高知工科大学総合研究所 助教 木 村 岳 裕	100
36	三次元層流マイクロ流体デバイスによる同軸多層ゲルファイバーを足場とした成熟血管組織作製システムの創成	早稲田大学理工学術院先進理工学部 准教授 武 田 直 也	100
37	製品開発エンジニア行動の日中韓比較-ウェアラブルセンサから得られたビッグデータ分析	一橋大学経済研究所 教授 都 留 康	100
38	「教育活動としての部活動」を実現する指導者を育成するための部活動指導法に関する実証的研究	京都工芸繊維大学基盤科学系 准教授 来 田 宣 幸	100
39	共同研究型インターンシップの学習過程の定性分析-高度IT人材の育成の普及に向けて	北九州市立大学国際環境工学部 講師 山 崎 進	100
40	電子黒板・デジタル教科書・グラフ電卓を連携させた数学科指導の研究	東京理科大学理学部 教授 清 水 克 彦	100

①背景（内外における当該分野の動向）

蛍光偏光法は、タンパク質-タンパク質やタンパク質-DNAの相互作用を、面倒な固定化や分離操作をせずに、溶液中で直接測定することができるため、免疫分析や臨床診断における血中薬物濃度測定などに利用されている。一方、大規模なタンパク質間の相互作用解析技術は、創薬のターゲット探索や診断マーカーの探索、疾患メカニズムの解明などにおけるキーテクノロジーとなっており、面倒・煩雑かつ高価な前処理操作を必要としない蛍光偏光法は、それらに利用されている。しかし、蛍光偏光法は原理的に多サンプルの同時測定ができないため、多サンプルの大規模解析には光学系全体を走査する大型・高価なシステムが必要になる。また、その他にも様々なハイスループットタンパク質間相互作用解析法が開発されているが、いずれも面倒・煩雑・高価な前処理操作が必要、あるいは大型・高価なシステムが必要である。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、多サンプル同時測定が可能な新たな測定原理に基づく蛍光偏光測定システムとハイスループットスクリーニングが可能なマイクロ流体デバイスを組み合わせて、簡便かつ安価なタンパク質間相互作用解析のためのハイスループット解析システムの開発を目的とする。

③学術的な独自性と意義

申請者は、液晶素子とイメージセンサーを組み合わせた多サンプル同時測定可能な蛍光偏光測定システムの開発に取り組んでいる。これまでに原理検証のための測定システムを構築し、世界で初めて蛍光偏光免疫分析の多サンプル同時測定に成功した（論文投稿中。特許出願済み。JST外国特許出願支援制度に採択され、PCT出願済み）。多サンプルの同時蛍光偏光測定の例はこれまでになく、このシステムは極めて新規性・独創性が高い。このシステムは、液晶素子を用いるだけで複雑な光学系は必要なく、多サンプルの同時蛍光偏光測定が可能な極めて有用なシステムで、小型化・低コスト化も容易である。これをハイスループット解析が可能なマイクロ流体デバイスと組み合わせることで、これまでになかった簡便かつ安価なハイスループットタンパク質間相互作用解析法システムが実現できる。

④期待される成果と発展性

タンパク質間相互作用解析から得られる情報は、創薬や診断・医療などの産業応用だけでなく、生物の生命現象や生体機能の解明などの基礎科学的にも極めて重要である。しかし、大規模・網羅的な相互作用解析は、生体由来サンプルが大量に必要なことと、解析システムが高価であることから、豊富な資金力を持つ大手製薬企業や研究費の潤沢な研究者でなければ、簡単に行うことはできない。本研究で開発する「新規蛍光偏光測定システムとマイクロ流体デバイスを組み合わせたハイスループットタンパク質間相互作用解析システム」は、簡便な操作、サンプル量の大幅低減（1サンプル当たり数ナノリットル： 10^{-9} L）、解析システム全体の小型化・低価格化により、相互作用解析の大幅な低コスト化が実現できる。生体由来サンプルを用いた解析において、サンプル量の低減はコストのみならず、入手が困難な貴重サンプルを扱う上でも極めて大きなメリットとなる。これにより多くの研究者・技術者が容易にタンパク質間相互作用解析に取り組むことができ、開発した解析システムが、創薬や診断・医療、食品などの産業応用分野や生命科学研究分野に与えるインパクトは極めて大きい。また、本研究で開発する技術は、血中薬物濃度測定などの臨床診断に適応可能であり、小規模の診療所・クリニックにも設置可能な小型・安価な測定装置の実現にも大きく貢献すると期待される。

①細胞膜は自然界のナノ薄膜であり、様々な刺激に敏感な高感度なバイオセンサでもある。その構造は、リン脂質分子が二層向い合って整列した**脂質二分子膜**を基本とし、その中に**イオンチャネル**等の種々の膜タンパク質が埋め込まれて構成されている(図1)。基本構造となる脂質二分子膜の特徴は、**極めて高い膜抵抗 (>100 GΩ)**と**流動性を兼ね備えたナノ薄膜であること**である。この構造を模して形成した人工脂質二分子膜は、これまで、主に細胞膜モデルや膜タンパク質の膜環境として用いられてきたが、その脆弱性が大きな課題となっていた。最近、申請者は、**半導体微細加工と脂質二分子膜形成との融合により機械的強度の高い脂質二分子膜の形成に成功し**(Langmuir, 2010, 26, 1949-1952.)、脂質二分子膜を、**バイオ分野のみならず様々な分野に展開できる可能性を切り拓いた**。

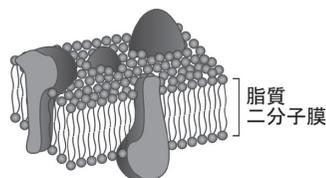


図1 細胞膜の模式図

②本研究では、申請者が提案してきた安定化脂質二分子膜に基づき、その膜中にイオンチャネルタンパク質を包埋することにより、**新しい高機能バイオセンシングデバイスの創成**を行う。具体的には、近年、薬物による副作用性不整脈の観点から注目を集めている心筋のKチャネル(**hERGチャネル**)を膜中に包埋することにより、**hERGチャネルに対する副作用を高効率に評価できる薬物副作用評価系の構築を行う**(図2)。また、これまでになく新しい試みとして、**脂質二分子膜中に**



図2 本研究の目的

チャネル形成材料として金属ナノ粒子を包埋して電子ナノチャネルを創成し、これに基づく水溶液中動作型電子デバイスの構築についても検討する。これにより、従来の固体エレクトロニクスとは全く異なるnanofluidic bioelectronicsという新しい分野の創成を目指す。

③申請者らの脂質二分子膜は、生体チャネルへの適合性と膜強度とを兼ね備えており、実際に、上述のhERGチャネルを膜中に包埋し、薬物副作用をシリコンチップ中で再現することに成功している(Anal. Chem., 85, 4363-4369 (2013).)本研究ではこれを発展させ、細胞に依存しない副作用評価系へと展開する。一方、脂質二分子膜へのナノ粒子の包埋に基づく水液中動作型電子チャネルの創成は、これまでになく概念である。脂質二分子膜の流動性により、**環境に合わせて構造を最適化できる全く新しい電子デバイスの創成が可能になると期待される。**

④生体チャネルデバイスの展望としては、申請者らのhERGチャネルセンサに基づく高効率副作用評価チップが構築されれば、**細胞フリーの副作用評価系の構築**につながるため、従来のパッチクランプ法に替わる高効率評価法として創薬分野への貢献が期待される。一方、水中の脂質二分子膜内に電子チャネル場の創成を試みる本研究は、近年盛んなマイクロ流体チップとも異なり、水溶液中動作型のナノ電子素子を創製しようとする今までになく新しい試みとなる。**水溶液中のエレクトロニクス**はこれからの領域であり、本研究により技術革新につながる新しい基礎学が集積されると期待される。微細化による半導体集積回路の限界を迎えつつある今、これまでのバイオエレクトロニクスの範囲を超えて、**ナノデバイス創成やナノプロセスの観点からもエレクトロニクス分野へも貢献できるような基盤技術**につながると期待される。

3

生体ナノ材料の構造・機能に着目した加齢性疾患治療法開発

研究者 京都大学物質・細胞統合システム拠点 准教授 村上達也

①背景

加齢黄斑変性症(age-related macular degeneration,AMD)は、失明の第一の原因です。その病態の特徴は、後眼部における脂質蓄積と異常な血管新生です。現在、非常に高価な抗体医薬を定期的に医師が患者の硝子体内(眼球内)に無菌室で投与しています(図1)。点眼AMD治療が望まれますが、点眼では薬物はほとんど後眼部へ移行しません。

HDLは脂質膜と脂質結合蛋白質apoA-Iからなる生体材料です。

HDLはその疎水性の脂質膜に体内の過剰な脂質を取り込み、その代謝を促進します。HDLは薬物を含む様々な疎水性分子を内包できます。いわばHDLは天然の薬物輸送担体でもあります。HDLのサイズは10nmであり、薬物輸送担体としてはかなり小さいのが特徴です。

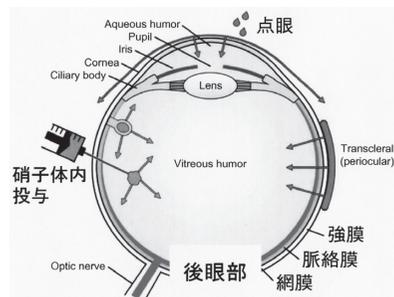


図1 眼球の構造と薬物投与経路点眼された薬物の後眼部への移行は、角膜表面からの吸収性と強膜内の拡散性に大きく左右される。

②目的

細胞膜親和性ペプチドを有する変異型HDLを用いて、AMD点眼治療法を開発することに挑戦します。この変異型HDLにAMDの低分子治療薬を内包して点眼し、後眼部に十分な量の薬物を輸送します。

③学術的な独自性と意義

申請者は、変異型HDLの薬物輸送担体としての有用性を、がん細胞・がんモデルマウスを用いて世界で初めて実証しました。本申請課題では、この変異型HDLの細胞膜親和性とサイズの小ささが、眼表面から後眼部までに存在する主要な生体障壁(図1)を乗り越えるのに適していることに着目しました。

④期待される成果と発展性

本申請課題が実現されれば、高齢者の生活の質が大幅に向上し、高齢化社会の到来に伴う社会コストも下げることができます。AMD患者数は現在日本で70万人ですが、今後急速に増えることが予想されています。現時点での市場規模は3000億円とされています。大学病院眼科医の負担の軽減という意味でも、AMD点眼治療法の開発は極めて重要な研究課題です。本申請課題について、申請者は京都大学眼科学と共同研究を進めており、前臨床試験で有望な結果を既に得ています(特許出願済み(未公開))。今後学内のベンチャー支援制度を利用することも考慮し、臨床応用に向けて本格的に研究を進めます。

変異型HDLは、眼内局所の脂質代謝経路に介入し、AMD発症メカニズム解明に寄与する可能性があります。AMDに見られる脂質蓄積は、血中コレステロール濃度と相関せず、眼内局所の脂質代謝経路の障害によるとされています。眼内HDLは眼内のコレステロールや視物質代謝物の輸送に関与することがわかっています。これと関連して、申請者は変異型HDL単独でもAMDモデルマウスの新生血管量が減少することを観察しています。

以上のことから、変異型HDLは薬物輸送担体としてだけでなく、眼内代謝物受容体として、AMD治療に寄与することが期待できます。

①研究背景

ウェアラブルエレクトロニクスの多くは、体温、心拍、加速度などを統合的に計測することで、活動強度や体調などを継続的に把握することができ、健康管理や医療に用いられはじめている。さらに最近では、筋電や心電の計測が可能なパッチ式ウェアラブルセンサが開発され、活動時の計測が始まっている。しかしながら、生体活動に伴う生体電位変化は、あらゆる情報を含むため、とりわけ活動中の筋電に覆い隠され、正確に計測することが容易ではない。そもそもヒトを正確に計測するためには、よりヒトに近い位置にセンサを取り付けることが求められるが、硬いセンサを柔らかい体表に付けると、硬さの違いから違和感が生じるため、柔らかいセンサが好ましい。さらに、微弱な生体信号をノイズに埋もれることなく取り出すためには、アンプ機能を含むアナログフロントエンド回路を生体信号源の直近に配置する必要がある。すなわち高感度のアナログフロントエンドを装着感なく、違和感なく生体へ貼り付けられる柔軟な集積回路技術が必要になる。エレクトロニクスを柔らかいプラスチックフィルムなど機械的特性に優れた基材に作製する研究開発は、国内外で精力的に進められており、フレキシブルエレクトロニクスと総称されている。

②本研究の目的

本研究では、申請者が世界に先駆けて開発した「世界で最も薄膜で、最も柔軟性のあるフレキシブルエレクトロニクス技術」[1,2,3]を応用し、超薄膜フレキシブル生体信号計測用アナログフロントエンド回路[増幅マトリックスとアナログ・デジタル信号変換器]を搭載した多点に生体電位計測センサノードを配置した1 μ m厚みのマルチチャンネルセンサシートを開発する。

本研究では特に脳波および心電計測に注力し、超薄膜ヒトの活動時に、「違和感なく、自然な生体情報（特に細胞活動電位：脳波、筋電位、心電位、眼電位）を計測するシステムの開発」を行い、次世代医療、福祉に貢献する。

[1] Tsuyoshi Sekitani(申請者), et al., Science, 326, 1516 (2009). (申請者の筆頭著書論文)

[2] Tsuyoshi Sekitani(申請者), et al., Nature Materials 9, 1015 (2010). (申請者の筆頭著書論文)

[3] Martin Kaltenbrunner, Tsuyoshi Sekitani(申請者), et al., Nature 499, 458 (2013).(申請者の共著論文)

③学術的な独創性と意義

フレキシブル有機エレクトロニクスを信頼性高く動作させるためには、有機トランジスタのゲート絶縁膜の信頼性と有機半導体の分子配向制御が重要である。申請者は、軌道放射光を用いて独自に開発してきた自己組織化単分子膜をゲート絶縁膜に用いることで、室温に近いプロセスながらSiO₂に近い絶縁性を示す“高密度有機超分子技術”を有している[Nature Comm. 3, 723 (2013)]。さらに、この上に有機半導体分子を配向させる技術を有している。このように薄い高分子フィルム上に高度な集積回路を作製できる数少ない研究拠点であり、このような極めて柔らかくヒトの動作に追従できる高度集積回路を用いて生体計測することは、ヒューマンサイエンスの観点からも極めて新しく独創的な点である。

④期待される成果と発展性

“点”ではなく、大面積な“面”センサにより生体計測することで、空間分解能を持つ計測、かつ時間発展計測が可能である。さらに現在のウェアラブルエレクトロニクスは、ヒトの持つ個体差の問題により正確な生体計測が出来ないという本質的な課題がある。本研究では、多点の生体センサアレイをヒトの表面に広く展開することで、状態を“マッピング(差分読み出し)”することで、この本質的な課題をクリアする。この研究活動を通して、測定精度の高さのみならず、「違和感なく装着できる次世代ウェアラブルエレクトロニクス」「雑音の多い生体計測の高精度化を実現」することで、生活に密着したエレクトロニクスの新しいあり方を社会に提案する。

さらに、生体に密着した状態で多点による計測精度を高めることで、睡眠の定量的管理、鬱病や小児発達障害の定量的解析、アルツハイマー病やパーキンソン病など脳活動に由来する起源を明らかにできる可能性がある。

背景：

世界における水産物を巡る競争は加速する状況にあるが、不足する漁業生産を補うかたちで、世界の養殖生産量は急速に増加しており、限界に達しているといわれている海洋からの漁獲量に迫る勢いとなってきた。今後、計画的生産が可能で、安心・安全な製品を提供できる養殖業の重要性は益々高くなると考えられる。現在の魚類養殖では、捕獲した天然の幼魚を蓄養し、育成した成魚を出荷する形態が主流であるが、天然資源に負荷をかけず、かつ育種への展開が期待できる「完全養殖」がこれからの魚類養殖産業における趨勢となることが予想される。完全養殖とは、誕生から次世代への継続というサイクルをすべて飼育下で実施・管理する養殖形態である。今後、魚類の完全養殖産業が強化され飛躍的發展を遂げるためには、成熟の低年齢化を促進する技術開発が、解決すべき最優先課題と位置づけられる。

目的：

申請者は、魚類における革新的な春機発動早期化技術の開発を最終目標としている。本研究では、養殖対象種としても期待されているマサバを材料として、新規脳内ペプチドであるキスペプチン (Kiss) を用いた春機発動早期化技術を開発する。なお、春機発動 (puberty) とは、その種が生活史において初めて性成熟に達すること、初回の成熟を意味する。

学術的な独自性と意義：

動物の性成熟は、脳-脳下垂体-生殖腺を結ぶ生殖内分泌軸 (BPG-axis) が活性化することにより促進される。キスペプチン (Kiss) は哺乳類の脳で最初に発見された新規神経ペプチドで、BPG-axis の最上流で性成熟を制御していると考えられている。哺乳類の Kiss は Kiss1 の 1 種類のみであるが、申請者はこれまでに、マサバは 2 種の Kiss (Kiss1、Kiss2) および 2 種の Kiss 受容体 (KissR1、KissR2) をもつこと、Kiss1-15 (C 末端からの 15 個のアミノ酸残基で構成) および Kiss2-12 がそれぞれの受容体と高い結合親和性を示す機能ペプチドであること、Kiss1 は BPG-axis の下流に位置する生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) 産生細胞を直接制御するのに対し、Kiss2 はパラクリンによる間接制御をしていること等を明らかにした。さらに、合成した Kiss1-15 を生体投与したマサバ未成魚において、高い春機発動誘導効果のあることを見出した。これらの成果は、モデル小型魚 (メダカ、ゼブラフィッシュ等) を含めた魚類の Kiss 機能研究の最先端に位置づけられるとともに、水産有用魚類における Kiss を用いた春機発動誘導の最初の実証例となっている。本研究では、マサバの Kiss1 のアミノ酸を一部置換した、飛躍的に高い生物活性を示す super Kiss (スーパー・キス) の創出を目指す。

期待される成果と発展性：

飼育下のマサバは通常満 1 歳で春機発動し、産卵可能となる。本研究で意図するスーパー・キスが開発できれば、マサバが生後 6～8 か月で春機発動することが期待される。一方、クロマグロの完全養殖は我が国 (近畿大学) が世界に先駆けて達成した先端技術であるが、クロマグロの産卵年齢は平均 5 歳以上であり、体重も 100kg 以上に達するため、産卵用親魚の育成にかかる莫大な労力、費用が大きな課題として挙げられている。さらに、現在、水産庁を中心として完全養殖によるゲノム編集技術を利用したクロマグロ育種のプロジェクトがスタートしたが、魚類でゲノム編集を実施する場合、受精直後の受精卵の計画的入手が必要とされる。すなわち、今後、我が国におけるクロマグロ育種を加速、成功させるためには、より小規模の施設で、低年齢で産卵させる技術開発が必須となる。クロマグロとマサバは同じサバ科魚に属するため、両種における Kiss の機能は大きく保全されていると考えられ、マサバのスーパー・キスがクロマグロの春機発動の早期化 (3 歳を目標) に利用できる可能性は高い。また、クロマグロのみならず、水産育種を通じた日本の産業強化を視野にいったとき、本研究で開発が期待されるスーパー・キスを用いた春機発動早期化に関する基盤技術の意義とその波及効果は極めて大きいものと考えられる。

①背景

半導体ICの低コスト製造技術は、大口径ウエハと構造微細化によって進められており、現在も450mmウエハへの対応が国際的に進められている [メガファブ化]。一方で近年のIoT (Internet of Things)またはIoE (Internet of Everything)化では、これまでネットワークに接続されてこなかったデバイスがインターネットに接続され、各種センサで収集した情報をネットワークで共有するサービスが今後普及していくと期待されている。またこれらの技術はスマートグリッドの構築、災害時の救助支援にも有用であると期待されている。ここでは多岐に渡る用途に応じた少量・多品種のIC・センサの製造技術を確認する必要がある。その手段として小型のファブシステムの構築が現在進められている [ミニファブ化]。またデバイスの小型化・低電力化を実現するためには、センサ部、メモリ部、情報処理部等をパッケージした多機能型3D-ICの製造を、需要に応じて柔軟に仕様変更して製造する [フレキシブルファブ化] ことが必須課題となる。現在国内では、ミニマルファブ構想と呼ばれる小型半導体ファブシステムの構築が急速に進められており、微細加工用プラズマエッチング装置、フォトリソグラフィ装置、スパッタリング装置等の各種装置群の開発が進められトランジスタ製造までは実現されているが、ミニマルファブにおけるMEMSセンサや3D-IC製造技術は今後の課題となっており、フレキシブルファブ化を進めるために早急な技術開発が求められている。

②目的

上述のような小型ファブにおいて3D-ICやMEMSセンサの製造を低コストで進めるためには、小型ウエハを高速 (10 $\mu\text{m}/\text{min}$ のエッチングレート) で処理するプロセス技術群の確立が必要である。特に高アスペクト比のシリコン加工を実現できる高速深堀シリコンプラズマエッチング装置の開発がキーテクノロジーであり、本研究では申請者らが実績を有するプラズマ生成・制御技術を最大限に駆使した高性能高速深堀エッチング装置の開発を行い、3D-ICおよびMEMS技術のミニファブへの導入を推進する。

③学術的な独自性と意義

高速・高アスペクト比の深堀シリコンエッチングを実現するためには、マスクとの選択比 (シリコンエッチングレート/マスク材料エッチングレート) を大きくし、かつシリコンエッチングレートを最大限に高める必要がある。上記の高速・高アスペクト比エッチングを実現するためには、シリコンウエハ近傍で高ラジカル密度かつ低イオン密度の状態を生成・維持することが有効であると考えられる一方で、一般的にはラジカル密度は電子密度 (=イオン密度) に比例するため、高ラジカル密度・低イオン密度の状態は共存しない系であると考えられている。この課題に対して、高密度プラズマ発生方式に磁気フィルタを重畳し、ラジカルを高効率・大量に発生しつつシリコンウエハ近傍でのイオン密度を制御可能な方式を確立することで実現可能であるとの着想に至っている。また、小型のプラズマ源では壁面へのプラズマ損失により高密度化が困難であるとされているが、本研究では、有磁場方式であるヘリコンプラズマ源の小型化を推進することでこの問題点を解決する。ヘリコンプラズマ源は外部磁場形成や高周波マッチャーが必要であり小型化が難しいとされているが、本研究ではこれまでの申請者らの研究開発の知見を活用した永久磁石ヘリコンプラズマ源やマッチャーレス高周波プラズマ源の技術を駆使して開発を進める。以上より、本研究はプラズマ理工学の科学的・工学的な独自性を結集した革新的なプロセス技術の開発への挑戦でもあり、その意義は非常に大きいと考えられる。

④期待される成果と発展性

今後のIoT&IoE化へ向けた多機能性デバイスの開発には、小型装置における高速エッチング技術の確立が必須であると考えられる。本研究はこの次世代情報エレクトロニクス産業の発展の基盤技術であるともいえ、我が国の産業発展に大きく寄与すると期待される。特にMEMSセンサを搭載した3D-ICの多品種生産等に対して必要な技術であり、次世代のものづくりの基盤プロセス構築に大きく貢献可能である。また、エッチングに留まらず材料表面処理装置、スパッタリング装置を代表とし多岐に渡ってプラズマ技術の産業応用が展開されているが、小型プラズマ源の開発に伴い従来のプラズマ利用装置の小型化・低コスト化が大きく進展するため、その産業的な付加価値は高いと期待される。

1. 背景

有機半導体レーザーは発振波長設計の自由度が高いことや希少元素を用いないことから実現が期待されているが、今のところ実現されているのは光励起によるレーザー発振のみで、電流励起によるレーザー素子は実現されていない。無機半導体ではドーピングを用いたp-n接合形成により発光ダイオードが作られているが、有機発光ダイオード（有機EL）は真性半導体を用いるため抵抗率が高く、薄膜化による低抵抗化により mA/cm^2 オーダーの電流密度を得て発光が可能となった。しかし、その先の有機半導体レーザーを実現しようとすると、光励起レーザー発振の実験から $10 \text{ kA}/\text{cm}^2$ 程度の電流密度が必要になると推測される。これは、現在の有機発光ダイオードの延長線上では実現が困難である。

2. 目的

本研究は静電的キャリアドーピングにより有機半導体中にp-n接合を作り、大電流を流すことによってレーザー発振を起こすことを目的とする。

3. 学術的な独自性と意義

レーザー発振のためには有機半導体中に大電流を注入し、高い励起子濃度を保つ必要がある。代表的な有機発光素子である有機発光ダイオード（有機EL）は抵抗率が高いため有機半導体を薄膜化して用いられるが、それでも電流密度は不十分な上、電極による吸収が不利に働く。そこで、静電的キャリアドーピングにより有機半導体の低抵抗率化が可能な有機発光トランジスタを用いて電流励起レーザー発振を目指す研究が申請者らも含め、国内外で行われている。しかし、これまでのところ、レーザー発振に必要な高い電流密度の達成は成功していない。通常有機電界効果トランジスタに用いられる SiO_2 絶縁層では $5 \text{ MV}/\text{cm}$ 以上の電場の印可により絶縁破壊が起こるため、キャリアの面密度は 10^{13} cm^{-2} 程度が限界である。一方、申請者がこれまで開発を行ってきた電気二重層トランジスタでは、固体絶縁層の代わりに電解液を用いることにより、半導体と電解液の界面に生じる電気二重層をキャパシターとして用いる。これにより、 10^{14} cm^{-2} 以上のキャリア面密度が実現でき、高電流密度の達成が可能である。有機半導体を用いた電気二重層トランジスタは申請者らを初めとしていくつかの報告例があるが、これを用いた有機発光素子はいまだ成功例が無い。本研究では、これまで申請者が培った知見を基に有機発光トランジスタに電気二重層トランジスタの原理を取り入れることにより、電流励起レーザー発振を目指す。

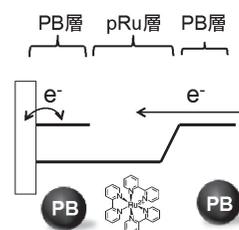
4. 期待される成果と発展性

本研究の成果として、世界初の電流励起の有機半導体レーザーの実現が予想される。前述の通り、有機材料は設計自由度の高さから、様々な発光波長をもつ材料が容易に得られる。これを利用して色素を光励起することにより紫外から近赤外までの様々な波長のレーザー光を放出する色素レーザーが用いられている。しかし、色素レーザーは別に励起用のレーザーを必要とし、また色素溶液を循環させ続けなければならないという短所がある。一方、レーザーポインター等に用いられている半導体レーザーは小型で安価であるという長所を持つ。有機半導体レーザーはこれら2つのレーザーの長所を併せ持つ小型で安価かつ多彩な発光波長を実現できると期待される。

①背景

エレクトロクロミズムは電気化学反応により着色する現象であり、駆動電圧が低いこと、メモリー機能があること、材料選択により様々な色に着色することから省資源・省エネルギータイプのカラー電子ペーパーへの応用が検討されている。これまで様々なエレクトロクロミック材料(エレクトロクロム)が合成されているが、一つの材料でフルカラーを達成するものは報告されていない。そのため、フルカラー化には3原色(Cyan, Magenta, Yellow)に着色するエレクトロクロムを、それぞれのピクセルに塗り分け、独立に制御することで任意に足し合わせることでフルカラー化を達成している。1つの電極で、このような任意の足し合わせが達成できれば、より簡便にフルカラーが着色可能である。しかしながら、当然1つの電極では1つの電位しか規定することはできず、足し合わせは不可能と考えられていた。

このような背景のもと申請者はエレクトロクロムとレドックスポリマーをナノスケールで積層することで形成される電気化学的ヘテロ接合界面を用いることで1つの電極で、色の足し合わせが可能であることを実証した。(J. Am. Chem. Soc. 136, 842-845 (2014))。具体的には、第1層と第3層に典型的なエレクトロクロムであるプルシアンブルー(PB)ナノ薄膜を用い、第2層がルテニウム錯体レドックスポリマー(pRu)ナノ薄膜からなる(図1)。PBとpRuの界面では両者の酸化還元電位の違いにより、電気化学的ヘテロ接合界面が形成される。その結果、電気化学反応に整流性を付与することが出来る。これに対し第1層は電極とオーミック接合を形成する。その結果、第1層と第3層のPBのエレクトロクロミズム反応を独立に制御でき、その結果、お互いの混合色に着色できる。



電気学的
オーミック接合

接合界面による
電気化学的整流特性

図1 電気化学的ヘテロ接合を用いた多色エレクトロクロミズム

②目的

本研究では、以上の原理を応用し、3原色それぞれに着色するエレクトロクロムとレドックスポリマーからなるマルチヘテロ接合体を用い、1電極でフルカラー着色可能なエレクトロクロミックデバイスを作製する。これまで我々が成功しているプルシアンブルーナノ粒子と金属錯体レドックスポリマーからなるダブルヘテロ構造を基盤とし、3原色の残り一色であるMagentaに着色するコバルト錯体、レドックスポリマーとしてより早い電子伝達を行う有機ラジカルポリマーを、各々の酸化還元電位に基づいて5層に積層したマルチヘテロ接合体を構築する。電極電位の印加順序を制御することで1電極フルカラー着色を実証する。

③学術的な独自性と意義及び④期待される成果と発展性

エレクトロクロミズムという電気化学分野とヘテロ接合という半導体デバイス分野を融合することで、誰もなしえなかったフルカラーエレクトロクロミズムを達成することに独自性がある。ウェットプロセスで作製できシンプルなデバイス構造であるため、高分子などのフレキシブル基板への作製も容易であり、低コストでフレキシブルなフルカラー電子ペーパーを構築することが可能となる。またヘテロ接合界面での電気化学反応を巧みに利用した新たな電気化学デバイス構造の潮流を生み出すことができる。

P2Pインフラを利用した超高耐性・簡易型著作権保護支援システムの提案とCGM産業への応用

研究者 筑波大学システム情報系 准教授 延原 肇

①背景（内外における当該分野の動向）

インターネットや高性能端末等のインフラの整備により、デジタルコンテンツが爆発的に流通するようになっている。これに伴い、Youtubeのような、利用ユーザー自身もクリエイターとしてコンテンツを提供するCGM（Consumer Generated Media）サービスも急速に広がってきている。一方で、CGMに提供されるコンテンツ（例えば動画など）は著作権などによる法的な保護がなされておらず、またデジタルデータであるためコピーなどが容易であるため、改ざんのターゲットになりやすい。現行の著作権保護の制度では、このような改ざんの問題に対応しきれていない。この本質的な問題は、以下の3点に集約される。1. 文化庁という中央機関に管理が依存しているため、監視の目のゆきとどかないエリアが多く改ざんの検出が難しい点、2. 著作権の申請手続きに膨大な時間（約3ヶ月）がかかってしまうため、そもそもCGMユーザが利用しにくい点、3. 同様に申請手数料が割高（1コンテンツあたり約数千円）であり、気軽にCGMユーザが利用しにくい点。このように、現行の著作権制度は、手続きに時間とコストがかかる上、実質的に犯罪抑制が機能していない。これらの点を早急に改善しなければ、CGM産業自体が犯罪の温床となり、産業自体が破綻してしまう危機に直面している。

②目的（課題設定とねらい）

本研究では、現行の著作権制度がもつ問題点を本質的に解決しつつ、さらに今後も爆発的に発展しつづけるであろうCGMのサービスに対応することができる、スケーラビリティの高い現実的なソリューションとして、P2Pのインフラを活用した超高耐性・簡易型著作権保護支援システムの提供を目的とする。

③学術的な独自性と意義

本研究で提案する著作権保護支援システムは、暗号通貨の一種であるビットコインのP2Pネットワークのインフラを利用する。このインフラは、オープンソースであるため世界中の誰でも自由に利用することができる。ビットコインでは、ユーザ同士のコインの取引がすべてブロックチェーンと呼ばれる公共の履歴台帳に記録され、それを誰でもオープンに閲覧できることが特徴である。提案システムでは、このブロックチェーンをコインの取引ではなく、著作権を主張するためのいわゆる公共掲示板として利用する。つまり、任意のユーザから著作権が主張された時点で、それがブロックチェーンに書き込まれ、すべてのユーザーに周知されることになる。これによって、当該著作権は、何百万人というユーザーの監視下に実質的に入ることになり、現行の文化庁の管理体制を抜本的に改善できる。この著作権の主張の手続きは、ビットコインのブロックチェーンの取引データに関して互換性のある特別な疑似取引データを生成し、取引以外のデータを記録できるように独自の手法を使って実現する。この記録には、著作権表示変更時、著作権表示データを含め、投稿コンテンツ関連情報をエンコードした疑似取引データを記録できる。この手続きに必要なコストは、疑似取引を発生させるための最小通貨単位（約1円未満）で十分であり、またユーザすべてのブロックチェーン（公共台帳）に書き込む作業（P2Pの用語でブロードキャスト）は数十分以内に完了することができる。

④期待される成果と発展性

本研究で提案する支援システムは、動画（Youtube、ニコニコ動画）やイラスト（Pixiv）など、あらゆるデジタルコンテンツの共有サイトに利用することができる。これらを現行の文化庁で運用している著作権制度で保護することは実質不可能であるが、本研究で提案するシステムでは可能である。Youtubeの動画広告市場規模は2017年に1000億円に成長すると見込まれ、さらに関連するサービスも同様に規模が劇的に拡大することが予想されており、それらの市場を犯罪から保護するため、本研究の遂行は必須である。

①背景 (内外における当該分野の動向)

金属加工、プラスチック加工、ガラス製造、塗装などの製造業において、製品の信頼性向上は死活問題である。しかし、キズ・ホコリを生産前に取り除けないので、製品を検査して排除するか抜き取り検査でわかる不良確率を付して販売する不完全な方法が用いられている。「非破壊の全数検査」が飛躍的な信頼性と国際競争力向上に望まれている。

一方で非破壊全数検査の実現を阻む問題点は、遅い検査スピードであって、広範囲を高分解にサンプリングできる計測法が存在しないことである。つまり高速な体積サンプリング速度と空間分解能を両立する技術開発が解決へ道筋をつける鍵である。製造ラインでは、幅10cmから1m程度の製品が毎秒数10cmの速度で流れている。一方、計測分解能は10μm程度が必要とされるので図1に示す様に計測器に求められる体積サンプリング速度は毎秒1×10¹²点となる。そこで本研究では、体積イメージングとして1秒間に1×10¹²サンプリングできる高分解/高速体積サンプリング計測技術を目標に設定して開発する。またxyzの計測範囲を100mmとする。なお、既存の非接触計測法は表1の様に要求を満たさない。

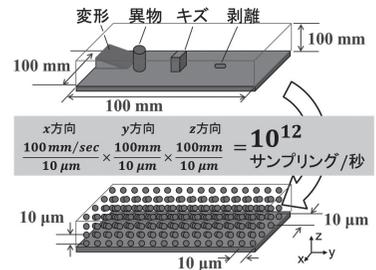


図1. 求められる体積サンプリング速度
図1に示す様に計測器に求められる体積サンプリング速度は毎秒1×10¹²点となる。そこで本研究では、体積イメージングとして1秒間に1×10¹²サンプリングできる高分解/高速体積サンプリング計測技術を目標に設定して開発する。またxyzの計測範囲を100mmとする。

表1. 光学式非接触3次元計測法の比較

分類	原理	分解能	深さ方向範囲	速度[sample/s]
低コヒーレンス干渉	干渉計の機械的走査	○ ~1 [μm]	× ~10 [mm]	× 10 ⁵
モアレ干渉	2つのレーザー干渉縞	× ~1000 [μm]	○ ~1000 [mm]	× 10 ⁷
周波数領域干渉	波長走査し演算処理	○ ~1 [μm]	× ~10 [mm]	× 10 ⁵
共焦点顕微鏡	共焦点系で深さを分解	○ ~10 [nm]	× ~1 [mm]	× 10 ⁶
レーザー式変位計	三角測距方式	○ ~1 [μm]	× ~1 [mm]	× 10 ³
提案手法	SPM+2Dコム干渉計	○ ~10 [μm]	○ > 100 [mm]	○ 10 ¹²

②目的 (課題設定とねらい)

自動車、鉄鋼、ガラスなど製造業の生産ラインでは、品質と信頼性を維持するためには全ての個体で表面や塗装面の欠陥検出が必須であるが、どの業界でも全個体の検査を実現できていない。既存の計測器では検査スピードが遅く広範囲の高分解サンプリング計測が不可能なためである。本課題では研究代表者塩田が開発した光周波数コムシングルショット断層イメージング技術を応用して、世界最高性能の3次元イメージング計測器を開発する。その特徴は次の通りである。

- [1] 10¹²サンプリング速度を実現 ⇒ 世界最高速度の大容量体積サンプリング速度
- [2] 分解能10μm、計測範囲10⁶mm³/s ⇒ 高分解計測と広範囲計測の両立
- [3] 200GHz光周波数コム光源の開発 ⇒ 新規光源を開発して高感度化
- [4] 1倍~5倍深さ画像の倍率可変機構 ⇒ 光学倍率調整機能を有す断層イメージング
- [5] 断層スペクトル分光法の開発 ⇒ 断層構造毎の材料解析

③学術的な独自性と意義

これまでに申請者は、2次元断層画像をシングルショット計測できるイメージング技術を提案し、以下の応用上重要な新規機能を提案してきた。

- ① 《シングルショット断層イメージング》 (図2)
- ② 《光コム干渉による深さ方向の広範囲化》
- ③ 《光学倍率調整機能の付加》 (図3)

④期待される応用と発展性

上記の工業製品検査以外にも、医療用途や、橋梁やビルなどを対象とした社会インフラのヘルスマonitoring、空港での手荷物検査や、封筒や貨物などの郵便物などの危険物検査、食品への異物混入検査への応用など広い分野での展開が考えられる。関連市場は極めて大きいと想定される。

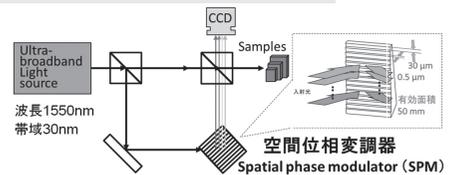


図2. シングルショットイメージングシステム

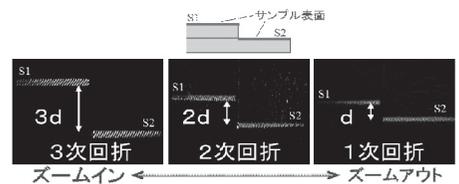


図3. SPMの調整による撮像倍率の選択

①背景(内外における当該分野の動向)

近年、有機半導体および酸化半導体などを用いたフレキシブルデバイスの研究が盛んに行われ、数 μ m程度の曲率半径での曲げにも耐えるフレキシブルデバイスが作製されている。一方で、ヘルスケア・医療用途での期待が大きい「曲面デバイス」作製はまだあまり行われていない。フレキシブルデバイスを曲面に貼り付けることによって曲面デバイスを標榜する研究は存在するが、平面と曲面は幾何学的に別物であり、フレキシブルシートデバイスを曲面に貼り付けたデバイスは、疑似曲面デバイスでしかない。地図を球面に貼り付けても地球儀にならないのと同じである。これに対し本研究では、錠剤のプリスターパックなどに用いられているプラスチックシートの曲面加工技術を応用して、真の曲面上トランジスタアレイを形成することを目指す。

②目的(課題設定とねらい)

本研究では、これまで申請者が培ってきた有機エレクトロニクス技術とプラスチック加工技術を組み合わせることによって、曲面状に成形されたプラスチックシート表面における有機半導体デバイスの作製技術を開発することを目的とする。この技術によって、例えば、感覚器官が集積した人間の指先を模した「人工指先」や、球面状に視覚細胞が集積した網膜を模した「人工網膜」などへの展開が期待される。本研究では、人工指先を可能とする曲面デバイスアレイにねらいを絞って研究を行う。

③学術的な独自性と意義

これまで、プラスチック基板のフレキシブル性を活用する「フレキシブルエレクトロニクス」が世間では盛んに研究されてきたが、球面・曲面上へのデバイスアレイの作製は、従来の半導体技術(プレーナー技術)の適用が困難であったため、あまり試みられなかった。本研究では、有機半導体の溶融温度とプラスチックの成形加工温度が近いことを利用して、「基板の曲面成形と同時に、半導体に歪を残すことなくデバイスアレイを作製する」ことを可能とするものである。この点が、熱処理に高温が必要な酸化半導体でなく、プラスチックの加工温度程度の融点を有する有機半導体の熱特性が活かせる点である。また、従来の半導体デバイス物理においては、外力が加えられることは前提とされていなかったが、ソフトマテリアルの物理においては、曲げた場合の特性変化や曲げ耐性が前提的に期待されている。しかも、曲面構造の場合には、平面と比較して、外力を受けたときの内部応力分布が非常に複雑になり、それに起因するキャリアトラップ分布などに差が生じることが予想される。これらの点は将来のデバイス物理学において重要項目の一つになると考えられる。

④期待される成果と発展性

柔軟なプラスチック材料によって曲面上へのデバイスアレイを作製することが可能になると、触覚、痛覚、その他(温度など)、人間と同じ感覚を備えた人工指先が実現できる。人工指先を患者支援用ロボットの指先に適用すれば、柔軟な曲面であるため患者を支える際に苦痛を与えることなく、また、硬いものと柔らかいものを触って区別することができるような人工指先を実現することができる。人工指先には、痛覚・触覚以外にも、温度、音、血流、生体電位などの複合的なセンサを備えることによって、ロボットドクターによる一次的な触診が実現する可能性も考えられる。

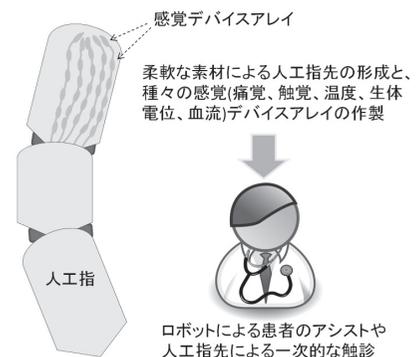


図1. 柔軟で感覚を備えた人工指先デバイスによるヘルスケア

①背景(内外における当該分野の動向)

近年の環境・エネルギーに対する意識の高まりにより、環境への負荷が少なく、省エネルギー化を目指した材料の開発が国内外で盛んに行われている。特に太陽電池やリチウムイオン電池の開発・高効率化に関する研究は非常に競争が激しい。また、近年しばしば報道されているリチウムバッテリーの発火事故からも分かるように、安全性の高い二次電池(特にリチウムイオン電池)の実現も重要なテーマである。このような背景から安全性の高い電解液として、イオン液体が注目を浴びている。イオン液体は完全に塩でありながら液体状態の物質で、イオンで構成されているため高導電性があり、またクーロン力という強い分子間相互作用が働くため不揮発性である(そのため有機物でも難燃性)。しかしながらイオン液体には精製や価格の点において課題がある。加えてイオン液体は毒性のあるものが多く、私達の生活に直接関わる環境での利用には問題がある。

②目的(課題設定とねらい)

本研究課題では、次世代の液体材料として注目されつつある低温共晶融液(Deep Eutectic Solvent: DES)をターゲットとする。DESには次の三つの大きな特徴がある。第一に構成分子には人体や環境に対して無害の物質を選択できること、第二に固体を混ぜ合わせるだけで液体になること、そして第三に通常の有機溶媒に比べ格段に不燃性が高い点である(図1)。完全に有機物から成るDESは2003年にAbbottらにより報告されたことが示すようにDESの歴史は浅く、まだ分からないことが多い。しかしながら、最近の注目されているイオン液体と比べて優れている点も多い。例えば、環境と人体に対する安全性、合成(調整)の容易さ、価格、などである。そのため、DESは次世代の溶媒としてグリーンケミストリーの旗手となる可能性を持った物質である。

③学術的な独自性と意義

先に述べたように、DESの歴史は浅く、まだ不明な点が多い。例えば、塩化コリンと尿素は沸点がそれぞれ305℃と134℃というように非常に高いが、室温では液体(融点は約10℃)である。このような大きな凝固点降下は、従来の溶液化学の枠組みでは説明ができない。この新しいタイプの溶媒をターゲットにすることにより、従来の溶液化学では説明できない事象について適応可能な論理的枠組みを作ることを目指す点は、基礎科学の大きなチャレンジである。

④期待される成果と発展性

DESの応用には、触媒能を持つ溶媒、有機合成用溶媒、電池の電解液、医薬品、ナノ材料の構造制御溶媒などが期待されている。応用が多岐にわたるため、DESの物性を効率良くコントロールする、また新しい物性や機能を付与するためには、DES合成のためのガイドラインが必要である。本研究課題では、DESの電解液としての評価(電導度)のみならず、様々な物性値(粘度、密度、表面張力、融点など)も測定する。そのDESの構成分子の構造を系統的に調べることにより、構成分子の構造と物性の関係を明らかにでき、オンデマンドでDESを効率良く合成するためのガイドラインの構築が期待できる。

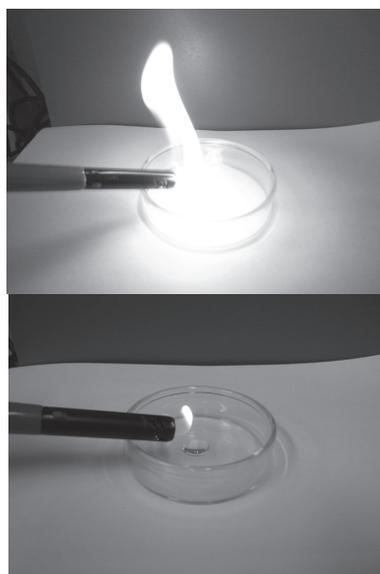


図1. エタノールは簡単に引火するが(上図)、塩化コリンと尿素のDESは有機化合物から構成されているにも関わらず難燃性である(下図)。

①背景

パターニングは現代の科学技術において最も重要な技術の一つであり、その応用範囲は、集積回路の製造、情報記録デバイス、ディスプレイユニット、回折格子デバイス、小型センサー、分化に応じた細胞培養基板など多岐に渡っている。これまで、このパターニング技術は溶解性を制御してウェットプロセスを経てパターニングを行うリソグラフィ技術やモールドへの接触により形状を転写するナノインプリント技術に頼ってきているが、これらの技術においては形成されたパターニング形状は固定されているため、パターニング構造を静的にしか利用することができなかった。それに対して、アゾベンゼン基含有高分子薄膜にアゾベンゼン基の光異性化を有する波長のレーザーの干渉露光を施すことで、干渉周期と一致したナノメートルからマイクロメートルオーダーの規則的な凹凸構造（表面レリーフ構造）が、高分子自身が光に反応して移動することで形成されることがはじめて報告された。以来、その現象の機構解明といった基礎科学的見地、および光に反応して機能する光学素子の創製といった応用に向けて、膨大なデータが蓄積されてきた。

②目的

このような背景の中、申請者らは、世界に先駆けて、アゾベンゼン基を含まない様々な有機薄膜における光誘起による物質移動を伴う凹凸構造形成に着目し、フォトクロミック低分子材料や光に応じて分子量が変化する材料において、物質移動に伴う可逆的な光表面レリーフ形成が可能であることを見いだしてきた。本申請提案は、リソグラフィ技術やナノインプリント技術とは全く異なる、光反応により薄膜構成物質自身が移動することによって微細な凹凸構造を形成する光表面レリーフ形成技術を究極的に進化させ、動的に構造を変化させる新規なパターニングデバイスとしての実用化を目指すものである。特に、導電性材料への展開を図り、光パターニングだけにより任意なパターンの電子回路の創生が可能な光表面レリーフ形成材料の開発を目指す。

③学術的な独自性と意義

これまで、物質移動による光パターニング構造形成の報告例は、申請者らの報告を除くと、アゾベンゼン基含有有機薄膜でしか見あたらない。申請者が独自に進めている種々の光応答性材料による物質移動現象が明らかになることで、光誘起物質移動現象の包括的メカニズム解明が可能となると考えられる。

④期待される効果と発展性

本研究が推進されることにより、光パターニングだけにより任意なパターンの電子回路の創生だけでなく、光に対して高速に反応し、かつ、形成したパターニング構造が安定であり、消去・再形成が可能な光パターニングが達成され、イメージや周期を自由自在に制御可能なホログラムや回折格子デバイスなどの光学素子の創成が期待できる。光に対して高速に反応し、かつ、形成したパターニング構造が安定であり、消去・再形成が可能な光パターニングが、本申請課題通り達成されれば、イメージや周期を自由自在に制御可能なホログラムや回折格子デバイスなどの光学素子が創成できる。しかもこの光パターニングは軽量かつフレキシブルな有機材料により形成されており、動的光学デバイスの実現は工学的意義が非常に大きく、ユビキタス情報社会の構築に多大に貢献すると期待され、社会的に大きな意味を持つと思われる。

現在市販されている半導体デバイスでは、主に電子の持つ電荷の情報が利用されている。一方で、電子はスピンという内部自由度も持っているが、現状ではそのスピン情報は全くと言っていいほど利用されていない。そうした状況から、近年、電子スピンを利用したスピンFETなどの半導体デバイスが提案されている。図1にスピンFETの例を示す。スピンFETはFETのソースとドレイン電極を強磁性体としたもので、図の例では、半導体中を伝導するスピンの方向をゲート電極により制御しており、上向きだったスピンが下向きへと回転している。ドレインに到達した電子のスピンの向きとドレインの磁化の向きが同じであれば、電子はドレインに吸収され、そうでなければ吸収されないため、電流量をゲート電圧で制御できる。一方、外部磁界でどちらかの強磁性体の磁化の向きが反転すれば、ゲート電圧印加時の動作が逆転する。したがって、外部磁界でFETの動作を逆転させることができる。これは、再構成可能な論理素子を作ることが可能であることを示唆しており、今までよりも少ない数のトランジスタで論理素子を組み上げることが可能になる。また、ソースやドレインの磁化は電源を切っても保持されるので、メモリとしての機能も期待される。本研究の最終目標は、そのような新たな機能を持った半導体デバイスを作製することである。

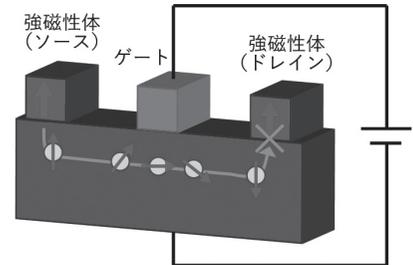


図1 スピンFETの概略図

半導体スピンデバイスを作る上でネックとなるのが、半導体内部へスピン偏極した電子を入れる、「スピン注入」の過程である。通常、強磁性体にはFeなどの金属が使用されるが、金属と半導体では抵抗が違いすぎることから、界面で電子の散乱が起き、スピン情報が失われやすい。これを解決する一つの方法は、強磁性金属ではなく、強磁性体半導体を利用することである。強磁性半導体とは、半導体にFeやCoなどの遷移金属をドーピングしたものであり、キャリアの数を適度に減らし、なおかつスピン偏極した電子を生成できる。そこで、本申請課題では、一部の報告において室温で強磁性が確認されているZnO:Coの磁性半導体を利用したスピン注入素子の開発を行う。ZnOにCoを数%添加した磁性半導体の研究はいくつか報告されているが、これを実際の素子に使用したという報告例はまだない。その理由は、良質な磁性半導体が形成されていないためであると考えている。この点を踏まえ、本申請課題では、ZnOの上に強磁性金属であるCo系の材料を堆積させ、熱処理（急速熱処理）により、その間の数nm程度のみでCoを拡散させる（図2）ことで、強磁性半導体を形成したい。広範囲にわたっての磁性半導体の形成が難しいのであれば、界面付近のみに形成を試みようという考えである。これによりスピン情報を保ったまま電子が伝導する距離（スピン拡散長）を、少なくともソース/ドレイン間、数十nmを伝搬させられる程度まで長くする。

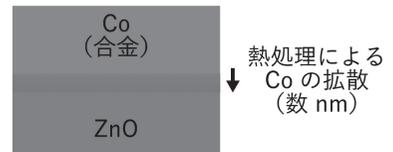


図2 ZnOへのCoの拡散

本申請課題において、高効率なZnOへのスピン注入が達成されれば、ZnOを用いた磁性半導体デバイスへの道が拓ける。半導体デバイスの動作速度の限界が近いいま、新たな機能を持ったデバイスの開発が必須であり、スピンを利用した半導体デバイスの実現が待たれる。本申請課題で得られる成果は、将来の半導体デバイスの開発に必ず役に立つものであると考えられる。

①背景

デジカメやスマートフォンなどのカメラデバイスが普及し、誰でも手軽に映像を撮影し記録できるようになった。これは半導体の発達により、カメラの小型化と薄型化、メモリの大容量化が実現したことの影響が大きい。そして現在は、さらなる高画質化のために、多画素化と高解像度化の研究が行われている。とりわけ低照度下で動く被写体を高画質で撮影するためには、イメージセンサの高感度化だけでなく、レンズシステムの革新的変更が必要である。しかしカメラデバイスの中で、結像という重要な機能を担うパーツであるレンズについては、素材や成形の変更による屈折率や色収差の改良が行われているものの、システムは基本のままである。

②目的

魚の眼の焦点調節システムを模倣することで、水中で動く被写体を高精度に撮影できる新たなカメラデバイスの提案を目指す。魚の眼のレンズは球形で人のように厚みは変わらない。レンズは眼球内空間に複数の鞅帯によって保持され、水晶体筋がレンズを移動させることによりピント調節が行われる(図1)。魚が視認する物体の大きさや動きは種によって違い、種はそれらを網膜上に結像するのに最も適したレンズ径、鞅帯の数と付属位置、そして水晶体筋の形状を進化の過程で獲得している。本課題では魚の視覚システムの多様性と適応性に注目し、焦点調節システムに関わるパラメータを解剖学的に取得し、動力学解析による眼球内部構造の評価から、魚の眼における結像システムを水中カメラデバイスに応用可能かを検証する。

③学術的な独自性と意義

従来、魚の眼のレンズは上方に付属する1本の鞅帯で懸垂され、下方に付属する三角形をした水晶体筋がレンズを後方に数ミリ移動させることで焦点調節を行う仕組みであるとされてきた(図2A)。しかし先行研究によりレンズ鞅帯は十数本あり、付属位置や本数は種特異的であることが報告された(文献1, 図1)。一方、申請者はこれまでに報告がない形状の水晶体筋を数種の魚で確認した(図2B, C, 文献2)。これら特異的な形状の水晶体筋がどのようなシステムと効率を有するかが理解できれば、新たなカメラデバイスの開発に貢献しうる。

④期待される成果と発展性

水中では水域や水深によって波長や照度が大きく変化するため、1台のカメラがマルチに機能することは難しい。むしろ撮影しようとする水域の光環境、被写体の大きさ、動きに機能性を特化させたカメラデバイスを開発し使い分ける方が良い。本課題ではその使い分け方を魚の種特異的な視覚システムに学ぶ。水中では光の減衰が大きいため、あまり遠くを撮影する必要はなく、ズーム機能よりも球形レンズを移動させる方が敏速な結像を実現すると期待する。魚の眼は小さくレンズ径も小さい。球形レンズは径が小さい方がものを大きくするため、水中での撮影に適していると考えられる。また球形レンズはズームレンズのように撮影アングルをさほど変えずとも広角撮影を可能にすると期待する。一度の焦点調節で複数箇所に結像する機能も考え得る。

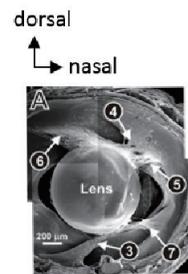


図1 レンズを保持する鞅帯の例 (③は水晶体筋：文献1より引用)

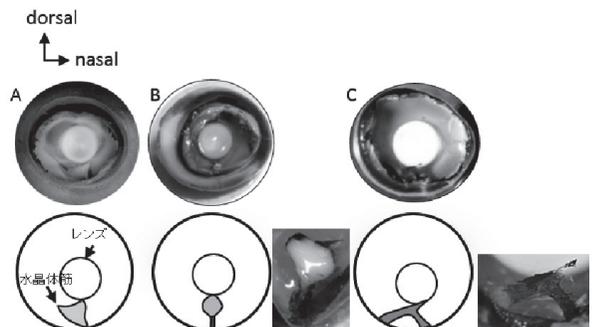


図2 魚類の眼球内における水晶体筋写真(上)とその模式図(下) (Aは一般的な形状。BとCは新たに確認された形状。BとCの模式図ヨコはそれぞれの水晶体筋を拡大したもの)

①背景

中性粒子密度に対する電子、イオン密度の割合が数十%に達する強電離プラズマを用いた次世代成膜プロセスが注目を集めている。中性粒子が有意な割合を占める従来の弱電離プラズマと比較して、強電離プラズマ中では、磁場や電場を印加することによりイオンの軌道や入射エネルギーを制御することが可能となるため、複雑な形状のワークへの均一な成膜や、薄膜の化学組成及び組織配向の制御が実現できることが明らかになっている (*Surf. Coat. Tech.* **122**, 290 (1999))。このような状況の中で、我々はマイクロ波を用いた電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance: ECR) 加熱放電による強電離プラズマ生成に関する研究を行っている。ECR放電は、 10^{17} m^{-3} に達する密度及び10%を超える電離度を有する大容積のプラズマを定常に生成することができ、成膜プロセス用プラズマ源としても実用化されている。しかし、従来のECR放電では、発散磁場中の上流部でプラズマを生成し、下流部にワークを配置する形式が採用されており、プラズマの拡散を抑制する機構が存在しないことから、到達可能な密度、電離度に限界が存在する。そこで、我々は、カスプ磁場を用いてプラズマの拡散を抑制することにより、ECRプラズマの高密度、高電離度化を目指している。

②目的

カスプ磁場は、同軸上に置いた一対のコイルに逆極性の電流を流すことで作られる。周辺へ向かって磁場が増加する極小磁場構造を持つため、プラズマの交換型不安定性による密度低下を抑制できる点に大きな特徴がある。また、等磁場面 (ECR面) を閉曲面にすることが可能なため、ECR面を横切る電子は加熱により磁場に垂直な速度が増加し、装置中心部に向かって反射される割合が増加する。この結果、ECR面内から外部に向かう電子の損失が低減され、同時にイオンの損失も低減される。これらの効果により、発散磁場中のECR放電と比較して、高い密度、電離度を有するプラズマを得ることが可能である。

我々はこの放電方法を用いた電離度向上の原理検証実験を進めており、現在までに、装置周辺部で測定したガス圧力とECR面内で測定した電子密度から、10%以上の電離度を示す予備データを得ている (*Phys. Plasmas* **21**, 073510 (2014))。ECR面内では、原子密度が減少することで更に電離度が増加している可能性があるため、本研究では、局所的な原子及び電子密度の分布を計測し、電離度の詳細な空間分布を明らかにすることを目的とする。

③学術的な独自性と意義

成膜プロセスに必要な一定以上の体積及びデューティ比を有する強電離プラズマの生成方法は確立されておらず、その開発が喫緊の課題となっている。カスプ磁場中のECR放電は、磁場閉じ込め核融合プラズマ中の電位形成や宇宙推進用のイオン加速を目的として研究されてきたが、発散磁場と比較した場合の電離度の向上効果や電離度の空間分布は明らかになっていない。また、電離度を正確に算出するためには、基底状態の原子密度を計測可能な手法が不可欠だが、我々は可視分光と励起発光モデルを用いた計測法を確立している。

④期待される成果と発展性

ECRプラズマの電離度を向上させることができれば、定常かつ大容積の強電離プラズマを容易に得ることが可能となるため、イオンを主体とする次世代成膜プロセス実用化のための布石となる。特に、ダイヤモンド状炭素やアルミナに代表される高機能性薄膜の性能向上が実現できれば、関連する工学分野の研究開発が大きく発展すると期待される。

1. 背景

異種材料の接合技術は、幅広い工学分野において要求され、高密度集積化、複合材料等の重要性が叫ばれる今日、更にその需要を増す様相である。特に、光電子半導体素子の分野においては、低消費電力かつ高速・大容量の通信および演算を実現する光集積回路の高性能光源として、シリコン上への化合物半導体レーザの集積が必要とされている。また、低コストかつ高効率な太陽光発電の実現のために、格子不整合およびシリコン基板上の多接合型太陽電池の作製が必要とされている。しかしながら、従来の作製法であるヘテロエピタキシャル成長法では、格子不整合により高密度な結晶欠陥が生じ、これまでに素子の性能において成功を見ていない。これに対し、近年、半導体材料を結晶欠陥密度の極めて低い単結晶ウェハの状態のまま接合するという手法が、高性能なハイブリッド型素子の実現に有望視されている。

2. 目的

革新的異種材料接合技術の開発を行う。機械的強度、導電性、熱的安定性・伝導性といった光電子素子に要求される特性において、これまでにない高性能な接合界面を創出することを目的とする。

3. 学術的な独自性と意義

新しい接合の形成法として、ウェハ両端面に電極を装着することにより接合界面に電圧を印加する方法を検討している。従来の機械的圧力に加えて電気的引力をも利用すると同時に、接合界面に存在する酸化物等の不純物中に意図的に欠陥を伝搬させることで電流経路を形成し、高い導電性を持つ接合を得ることができる。なお、この手法は全く新しいものであり、報告例は存在しない。

また、新しい接合材料として、例えば、グラフェンがガラス上に非常に強い結合力で接着されるといいう近年の報告 (S. P. Koenig et al, Nat. Nanotechnol. 6, 543, 2011) を踏まえ、単層炭素という低環境負荷かつ安価な接合材による超高安定性接合技術の検討を行う。さらに、グラフェンはその特異なバンド構造から金属的なキャリア伝導性を示すため、高い導電性および熱伝導性を備えると同時に、単層炭素であるために高い光透過性が期待され、幅広い用途に通ずる高機能な異種材料接合およびそれにより生み出される新規高性能光電子デバイスの実現につながる。なお、上記の報告はグラフェンの物性を調査する研究であり、グラフェンを接合に用いるという発想は応募者のみによるものである。

4. 期待される成果と発展性

従来のを凌駕する高機械的強度、電気・熱伝導性、および、光透過性を兼ね備えた異種材料接合技術を創生する。この新規高性能接合技術により、低消費電力光通信・演算のためのオンチップ集積化発光・受光素子や、高発電効率を有する積層型ハイブリッド太陽電池等の実現につながる。

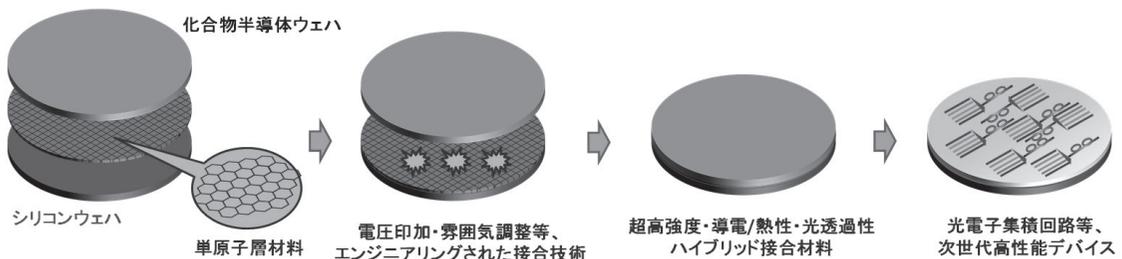


図. 新規半導体ウェハ接合技術を用いた高性能ハイブリッド光電子素子の作製プロセスの概念図

①背景

閉塞性動脈硬化症や狭心症などを伴う血管内治療に対して、患者への肉体的負担軽減の観点から従前の開腹式手術に代わり、カテーテル治療（非開腹術）の適用が近年、国内外で急速に普及している。このような高度医療技術を支援する医療デバイスの一つである「血管内自己拡張型ステント」に用いる**超弾性TiNi系形状記憶合金**に対しては、①血管を内部から拡張するための**高強度**と、②デバイス内に格納した状態から血管内径に沿って正確かつ均一にステントが拡張するための**高い形状回復率**の2つの特性が求められる。現在のTiNi合金は、溶解鑄造法により作製しており、血管拡張力を決定する合金のプラトー応力は300~350MPaであり、デリバリーシステム内に格納した際のステント直径は2.1mm程度が限界である。それゆえ、図1に示すように現在のカテーテル手術では、大腿動脈からデリバリーシステムを挿入して（経大腿動脈形成術：TFI）心臓や脳などの疾病治療を行う。しかし、患者のQOL(Quality of Life)を重視した更なる低侵襲医療の実現には、手首部の橈骨動脈からのデバイス挿入（経橈骨動脈形成術：TRI）が強く望まれており、高強度・高形状回復率の実現は不可欠である。

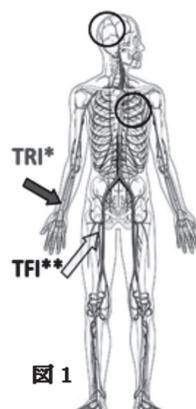


図1

②目的

本研究では、TRI手術を可能とする直径1.5mm以下のステント開発を目標に、高強度化と高形状回復率を同時に飛躍的に向上すべく、非溶解製法である粉末冶金プロセスに基づく原子配列・ナノ構造組織制御といった新たな材料設計原理の構築を目指す。具体的には、5~10ナノメートルの超微細なTi3Ni4針状化合物を均一分散することで溶解製法による既存のTiNi合金に対して3倍以上の高強度特性（プラトー応力値で1100MPa以上）と100%に近い形状回復率を実現し、従来のステントシステムに比べて40%以上の細径化を達成する。その結果、**世界初となるTRI手術を可能とする細径血管対応型超低侵襲医療デバイスを開発**する。

③学術的な独自性と意義

現行のTiNi合金に対して強度（プラトー応力）を約3.5倍、形状回復率を1.4倍にそれぞれ飛躍的に改善すべく、従前の溶解・鑄造プロセスでは決して実現し得ない「原子レベル・ナノスケールでの超微細組織」を固相焼結法により実現する。なかでも、著しい高強度化に向けて、生体親和性に優れた遷移系金属元素のコバルト原子のNiサイトへの完全な置換固溶とその検証と共に、数十nmオーダーの超微細Ti3Ni4針状化合物の均質析出を実現する革新的熱処理プロセスの確立といった未踏領域の研究課題に挑戦する。他方、固溶強化理論に着目し、安定相であるTiNi結晶構造へのCo原子の置換によりマルテンサイト変態温度の低減を促すことで超弾性特性の発現といった新規な材料設計原理の構築に繋がる。さらに、この原理解明と普遍性の検証を通じて、他の金属、例えば、 α - β 相変態を有する汎用チタン合金における微量添加元素による置換固溶現象の発現とそれに起因する力学特性の飛躍的向上を実現し得る可能性を有する。

④期待される成果と発展性

現行のTFI手術後は3~4日の安静入院が必要となり、高齢者はその期間に歩行できないことで筋肉の低下といった2次の病状が生じ、更なる入院日数の長期化に繋がる。これに対して本開発素材を利用した極細径ステントによるTRI手術が実現すれば、手術直後から歩行が可能であるために脚筋の低下を伴わない。その結果、患者の肉体的かつ経済的な負担を軽減でき、併せて国の医療費負担削減にも直結する究極の低侵襲医療を可能とする。さらに、本研究を通じて現行TiNi合金の3~4倍の高強度化が達成できれば、細径化ニーズが強い類似の医療器具（コロナリーステント、ニューロステント、ステントグラフトなど）への展開も十分に可能となり、日本発の革新的低侵襲医療支援デバイスの市場創出に寄与できると考える。

① 背景

3次元ホログラフィックディスプレイ用のホログラム生成方法に計算機合成ホログラム (CGH) がある。CGHは離散的な奥行き情報やグラフィックデータから作製することができ、一般的に物体からの回折波の干渉パターンを計算することによってホログラムを作製する。代表的なCGHの作製アルゴリズムに点光源法がある。この方法では再生物体を点光源の集合と考え、それらからの発散球面波の複素振幅分布を積算することによってホログラムを作製する。すなわち、単純に点光源数が増加（高解像度化）すると、それに比例して計算時間も増加する。これを解決するために世の中では多くの高速化アルゴリズムが提案されてきたが、それらはすべて各々の球面波情報を作製する計算を如何に簡略化するかによって高速化するものであった。しかし、それによる高速化も限界に近く、また演算簡略化法は各々を組み合わせるができず、それらの相乗効果も期待できない。そのため、上述の演算簡略化法とも組み合わせることが可能な、これまでと全く異なるアプローチの改善方法を開発することにより、飛躍的な向上を目指すことが重要であると考える。

② 目的

本研究では、大型液晶ディスプレイ用の高速ホログラム生成アルゴリズムの開発を目指す。そのアルゴリズムとして適応的了点広がり選択法を提案する。提案手法はこれまでの演算簡略化とは異なり、点光源数を削減することによって高速化を実現する。単純に点数を削減すると解像度の低い映像が得られるだけであるが、JPEG (Joint Photograph Experts Group) やPNG (Portable Network Graphic) などの画像圧縮技術をホログラフィに応用し、情報量の大小で選択的に再生する点光源の微細さを変化させることによって人間の目視ではほとんど変化の感じることのできないほどに画質低下を抑えることが可能であると考える。

本研究では、(1) 本手法における再生データの情報量と必要な点広がり同定アルゴリズムの開発・その最適化をおこなうとともに、(2) 本手法に適した点光源型ホログラム生成アルゴリズムの開発をおこなう。最終的には大画面液晶ディスプレイ用ホログラムとして、(3) 8K8K (おおよそ8000×8000画素) ホログラムの作製を目指し、それに必要な計算時間を調査、これにより本手法のホログラム生成能力を明らかにする。

③ 学術的な独自性と意義

提案する適応的了点広がり選択法は、他の研究にはみられない、点像数削減に着目したホログラムパターン高速生成アルゴリズムであり、CGH分野発展に関する計算時間のボトルネックを解決するブレイクスルーとなりえる効果的な手法である。本手法は、点像数の削減に画像圧縮技術を応用することによって低解像度像であるにもかかわらず、視認上高解像度のような立体映像が観察可能であり、計算の高速化とディスプレイ用途としての映像画質に関して非常に無駄の少ない理にかなった方法であると考える。

④ 期待される成果と発展性

提案手法は、予備研究ではすべて微細な点光源で構成する従来手法よりも3から5倍以上の高速化が見込めることがわかっており、さらに各種パラメータを最適化することにより、従来の10倍の高速化を目指す。さらに、提案手法は「①背景」で述べた球面波情報作製を簡略化するアルゴリズムや、並列演算処理を得意とするGPGPU (General-Purpose Computing on Graphics Processing Units)を用いたホログラムパターン生成の高速化と組み合わせることが可能である。これらとの組み合わせにより、飛躍的な計算の高速化が実現可能となり、リアルタイム動画像再生の実現にも近づく。このことはディスプレイ用途のみならず広く当該分野の発展に繋がる。

受動機構による階段昇段可能な大腿義足用膝継手の開発： 平地歩行機能と昇段機能の統合

研究者 香川大学工学部 助教 井 上 恒

①背景

下肢切断者のQOL（生活の質）を高く維持する上で、義足は重要な役割を担う。特に大腿部で切断した場合、思い通りに動かせる膝を失っており、運動能力の低下は著しい。大腿切断者が使用する義足を大腿義足（図1）といい、膝関節（膝継手）の機能が運動能力の再獲得に重要である。

膝継手は大きく3種類に分類できる。アクチュエータを搭載した能動的なもの、電子制御で関節抵抗を調整する準能動的なもの、電子部品を一切用いない受動的な機械式のものである。現在、能動、準能動膝継手の研究が世界的に進められている。これらの膝継手は、さまざまな動作を実現できる高機能な反面、市販品は非常に高額で、充電等のメンテナンスや防水性などの使用環境に問題がある。他方、前述の問題が少ない機械式膝継手では、材質を樹脂にして発展途上国で製造可能にするなど、低コスト化が図られている。しかし、機能に関しては、限定的（単純）な状態に留まったままである。

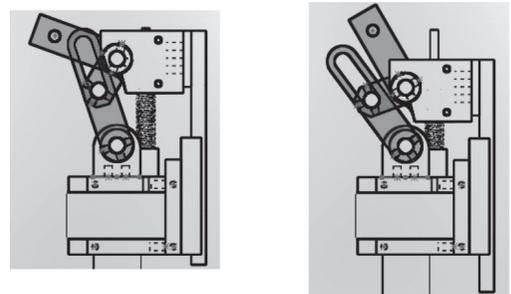
既存の受動的膝継手では平地歩行は可能であるが、日常生活で頻繁に遭遇する階段や段差を健常者と同様に昇ることは困難であった。

これに対し申請者らは、義足への荷重を利用して屈曲状態の膝継手を伸展させる機構を考案し、昇段機能をもった機械式膝継手を開発してきた（図2）。



<http://www.kimura-gishi.co.jp/daitaigisok.htm>

図1 大腿義足



膝屈曲（階段） → 膝伸展
図2 申請者が開発した膝継手
（昇段機能）

②目的

前述の昇段可能な機械式膝継手を用いた切断者による評価実験では昇段に成功した。しかし、この膝継手は昇段動作に特化しており、義足にとって第一義的な平地歩行機能が図られていない。そこで本申請では、申請者らが開発してきた昇段機能と、既存の膝継手で実現されている平地歩行機能を、一つの機構に統合することを目的とする。これにより、高機能で汎用的な機械式膝継手の開発を行う。

③学術的な独自性と意義

多機能・高機能な受動機構を適切に機能させるには、身体運動の力学的な解析を行い、身体運動の特性と機械（機構）との適合を図る必要がある。本研究では、身体運動の特性と義足機構を数理モデル化することにより、平地歩行・昇段が確実（安全）に実行可能な状態の最適設計を検討する。これまで、高機能な受動機構と身体運動の数理モデル化によって、機構・機能の設計および最適調整がなされた研究はない。

④期待される成果と発展性

平地歩行機能と昇段機能はそれぞれ別の機構で実現されているが、本研究によって、異なる路面形状に対応可能な汎用性の高い高機能な機械式膝継手の提案が行われる。また、その設計の際に行われる身体運動と機構の数理モデル化は、人間機械系設計として、義足だけでなく他の福祉機器やリハビリテーションの研究・開発に大きく貢献することが期待される。

①背景（内外における当該分野の動向）

リング型の強度分布と螺旋状の等位相面を持つ光渦ビーム（図1参照）は、位相のねじれ具合（一重らせん、二重らせん…）に対応して多数の空間モード（モード番号 $l = \pm 1, \pm 2, \dots$ ）を持つ。これを l 次の光渦と呼ぶ。光渦ビームは微粒子の回転操作や螺旋形状のレーザー加工技術、光のドップラー効果を利用した回転速度計測など様々な分野での応用が期待されているが、特に将来必要とされる超大容量通信技術への応用が注目を集めている。これは空間モード l の異なる光渦ビームに異なるデータを載せることで、同一の周波数帯域を用いて通信多重化を可能とする技術で、「空間モード多重化通信」と呼ばれる。また、量子光学の分野において、光の偏光状態は水平・垂直偏光を基本とする二状態系であるため自由度が少ないが、光渦のモードは原理的には無限次元であるため、高次元の量子状態を用いた量子計測や量子計算への応用も盛んに研究されている。

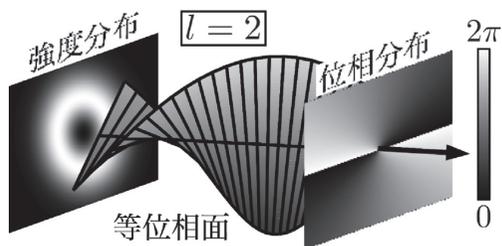


図1. 光渦ビームの強度分布と位相分布

②目的（課題設定とねらい）

本研究では図2に示すように、同軸に合波された異なる複数のモードの光渦ビームに対して、(a)モード毎の強度分布（モードスペクトル）の測定と(b)モードの分離を行なうシステムを、光学損失がなく高効率で長時間安定して動作する光学系で実装することを目的とする。これらの技術は光渦ビームを計測や通信に応用する際の基盤技術となる。

③学術的な独自性と意義

本研究で提案するモードスペクトル測定とモード分離手法はどちらも後述するサニャック型の干渉計を共通に用いており、干渉計内のセットアップを変更せずに二つの機能を実現することができる点に特徴がある。サニャック干渉計内では入射点で分離された二つの光波が対向して同じ光路を伝搬するため、余分な位相が付加されず、干渉強度が安定化される。さらに光の偏光を利用したサニャック干渉計とすることで光強度や位相の調整が容易なシステムを実現する。多重化通信などに使用するためには長時間にわたって動作することが不可欠であるため、測定系の安定性とメンテナンスのしやすさは非常に重要である。また、原理的に干渉計内および光強度測定の際に入射したすべてのパワーを検出できるため、光学的な損失がなく、非常に高効率に測定することが可能である。したがって、提案するシステムは1光子レベルであっても動作するため、量子光学分野への応用も期待される。

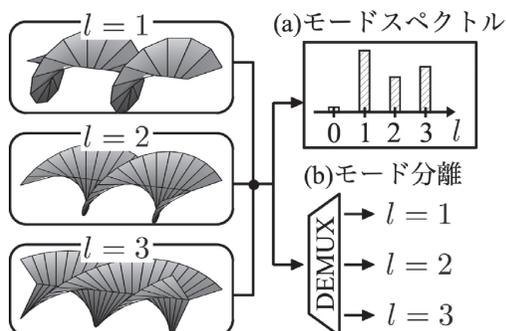


図2. 光渦ビームの(a)モードスペクトル測定と(b)モード分離

④期待される成果と発展性

モードスペクトル測定においては、単体の偏光サニャック干渉計を用いて入射する光ビームに含まれる光渦の各モードの強度分布を測定できる。モード分離においては偏光サニャック干渉計を多段に用いることでモード毎の分離を実現できる。提案するシステムは特定のモードを取り除くモードフィルタや、偏光に応じて光渦のモードを操作するゲートとして用いることもできるため、光渦ビームの応用に欠かせないツールとなることが期待できる。

申請者はこれまで正・逆スピントロニクス効果を介したスピントロニクス－電流相互変換に関する研究を行ってきた。その中で、「スピントロニクス磁気抵抗効果」と呼ばれるスピントロニクス－磁化相互作用と正・逆スピントロニクス効果によるスピントロニクス－電流相互変換を介した新しいタイプの磁気抵抗効果を発見している。本研究テーマでは、界面スピントロニクス相互作用に起因する正・逆ラシュバ・エーデルシュタイン効果に関する系統的な研究と、その電界制御の実現を目指す。

電子の有するスピントロニクス角運動量の積極的な利用を目指す「スピントロニクス」と呼ばれる研究分野が注目されている。スピントロニクス角運動量の流れである「スピントロニクス流」は原理的にジュール熱を伴わないため、次世代の低損失な情報輸送技術として期待され、これまでスピントロニクスの基盤技術となるスピントロニクス流の生成・検出に関する研究が進められてきた。そのような流れの中で、電氣的、光学的、熱的、力学的なスピントロニクス流生成・検出手法が確立されてきた。その中でも、スピントロニクスポンピングと呼ばれる動的スピントロニクス流生成手法や正・逆スピントロニクス効果を介したスピントロニクス－電流相互変換現象はスピントロニクス流の定量的な研究を実現する上で重要な役割を果たしてきた。スピントロニクスポンピングは、磁化ダイナミクスによって強磁性/常磁性界面にスピントロニクス流が誘起される現象である。また、正(逆)スピントロニクス効果は常磁性体中に電流(スピントロニクス流)を印加した際に、電流(スピントロニクス流)と直交する方向にスピントロニクス流(電流)が誘起される現象であり、スピントロニクス流の電氣的生成(電氣的検出)手法として用いられている。

近年、スピントロニクスから派生した「スピントロニクスオービトロニクス」と呼ばれる研究領域が出現し、スピントロニクス軌道相互作用に由来するスピントロニクスオービットトルクを利用した次世代の磁化制御技術として期待されている。この研究領域では、金属超薄膜の複合膜が舞台の一つとなっており、界面スピントロニクス軌道相互作用が本質的な役割を果たす。界面スピントロニクス軌道相互作用を介した電流からスピントロニクス蓄積が誘起される現象は「(正)ラシュバ・エーデルシュタイン効果」と呼ばれ、常磁性体バルクにおける電流－スピントロニクス流変換現象であるスピントロニクスホール効果とは異なる物理原理に基づくものである。ラシュバ・エーデルシュタイン効果の逆過程は「逆ラシュバ・エーデルシュタイン効果」と呼ばれ、やはり界面スピントロニクス軌道相互作用を介してスピントロニクス蓄積から電流が誘起される。ここで、界面スピントロニクス軌道相互作用は外部電場を印加することにより制御可能であることから、ラシュバ・エーデルシュタイン効果はスピントロニクスホール効果とは異なり、外部電場によって大きく制御ができるものと考えられる。本研究の目的は、界面スピントロニクス軌道相互作用によるスピントロニクス流－電流変換現象の網羅的な研究と、正・逆ラシュバ・エーデルシュタイン効果の電界制御の実現およびその学理の構築である。

本研究テーマの遂行により、ラシュバ・エーデルシュタイン効果の電界制御が実現すれば、電界によるスピントロニクス流－電流変換の制御が実現し、より省エネルギーでの磁化反転(磁気書き込み)技術確立といった応用への発展が期待されるほか、ラシュバ・エーデルシュタインを介した電界誘起磁化反転という磁化反転手法の確立も期待できる。以上のように、本研究目的が達成された場合、スピントロニクスにおいて注目されている界面現象に対して、界面スピントロニクス軌道相互作用を介したスピントロニクス－電荷相互変換の観点からより深い洞察を与えるとともに、近年急速な進展を見せているスピントロニクスオービトロニクスに対して新たな展開をもたらすことは明らかであり、省エネルギーデバイス研究開発に対して新たな指針を供することが期待される。

①背景（内外における当該分野の動向）

近年ナノテクノロジー分野においてサイズアスペクト比（サイズ-膜厚）が 10^6 を超えるナノシート（超薄膜）が注目されている。従来これらは、蒸着法、スピコート法、電解重合法、気液界面上に分子を二次元配向させて多層膜を得るLangmuir-Blodgett(LB)法や高分子電解質の静電的相互作用を利用した交互積層（LbL）法などで創製される。これらのナノシート上に酵素や抗体を固定化させて、バイオセンサーや発光素子などの分子デバイスとして提案されているが、基板からのボトムアップ方式で作製されており、ナノシート自体を基板から剥離して利用する発想はない。これに対して、申請者らは簡便な方法で基板を持たない生体適合性に優れた超薄膜の創製技術を確立している[1]。本研究における最終目標は、**高分子超薄膜**(膜厚が100ナノメートル以下)の医療への応用に着目し、**機能性超薄膜の大量創製**とこれを**次世代医療技術へ応用**することである。

[1] Okamura, Y. et al. Adv. Mater., 21, 4388-4392 (2009).

②目的（課題設定とねらい）

本研究課題で扱う超薄膜は、ナノ厚特有の高接着性が発現するなどの新規性を有し、かつ柔軟な構造ゆえに貼りたい界面の凹凸に追従して面接触吸着でき、接着剤なしで濡れた皮膚や臓器表面に対しても貼付できるユニークな特性を持つ。また、切開部位に超薄膜を1枚貼ることで縫合術の代替となる。さらに、瘢痕・癒着などを引き起こすことなく、欠損した組織を修復する外科手術用創傷被覆材としての高いポテンシャルを有している。このように超薄膜の特性は、バイオマテリアルとして表面改質材として応用できる可能性を秘めている。しかしながら、超薄膜を医用応用することを考えた場合には、その大量創製技術の確立が必要となる。この課題に対して本研究では、**マイクログラビア印刷技術（ウェブハンドリング技術（ロール・ツー・ロール技術とも言う）とコーティング技術の融合技術）を用いた高分子超薄膜の大量創製技術の確立と表面パターンニングにより高強度・高機能性を有する革新的機能性超薄膜を創製すること**を目的とする。

③学術的な独自性と意義

ウェブハンドリング技術を用いて**超薄膜を連続して創製する技術は未だ確立されておらず**、また表面パターンニングにより超薄膜の更なる高機能化を図るといった点において極めて高い新規性及び独創性を有する。さらにウェブハンドリング技術は我が国のものづくり産業分野を支える重要基盤技術であり、近年ウェブハンドリング技術とコーティング技術を融合させたロール・ツー・ロール・プリンティッドエレクトロニクス技術（R2RPE技術）の構築が期待されている。本研究は、未だ確立されていないR2RPE技術に直結した内容となっており、研究テーマ自体に際立った新規性があると共に産業界からみても極めて重要な技術として位置づけられる。

④期待される成果と発展性

本研究で創製した超薄膜を医用技術に応用することで、縫合術の代替となり、また圧電材と組み合わせることでヘルスマニタリングへも応用できる。さらに、図1に示すようにR2RPE技術を用いることで医療・福祉・ヘルスケア産業だけでなく、電子デバイス、リチウムイオン二次電池用コンデンサ、燃料電池車用セルスタックなどのエネルギー産業、織物などのテキスタイル産業へも幅広く応用展開することが可能である。

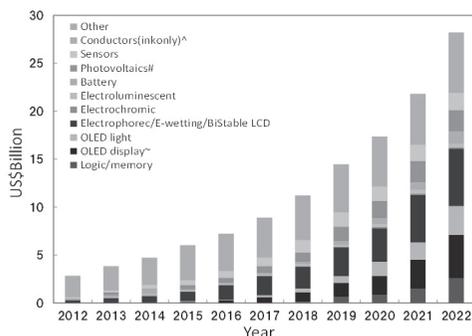


図1 薄膜を基盤とした高機能製品の今後の需要予測 (出典:ID TechEX)

波長3-15 μm の中赤外線から遠赤外線波長領域のLEDは、安全で省エネルギー・安価・長寿命・高効率・小型であることから、医療（腫瘍や癌の早期発見・治療等）、環境汚染物質除去、化学産業、自動車産業、災害時の人命救出、栽培等、様々な分野での応用が大変期待される。

現在市販されている遠赤外線光源としては、ハロゲンランプ・セラミック光源しか存在しない。そのため、波長選択制はできなく、低寿命で一つの物質を特化して検出するためには大変不便である。国外での研究報告はわずかであり、結晶成長の問題等から未だ市販には至っていない。このような中で、Sb系量子井戸を用いた遠赤外線光源を開発することは室温高温動作・波長選択制・小型化につながり、今後重要性が高いと考えられ、国内では是非進めていくべき研究課題であると考えられる。

そこで、本研究ではⅢ-V族半導体結晶の中で一番エネルギーバンドギャップが小さいInSbに新たに窒素を導入したInSbN結晶を発光層に用いることで、更なる低エネルギー化を行いInSb発光層では発光不可能な5-15 μm の発光素子を開発することを目的とする。さらに、InSbN結晶のバンド構造等の報告例はなく、結晶構造が明らかになっていない。本研究では、構造設計を考える上においても希薄窒化物半導体InSbN結晶のバンド構造等の解明を第一原理計算により解析を行い、実験との相関性を明らかにすることも目的とする。

Kondow et. al.によるGaInNAsのバンドラインナップの計算によると、窒素を添加することで、格子定数を小さくし、バンドギャップを小さくするとともに、伝導体、価電子帯のエネルギーレベルがともに下がり、ヘテロ接合における伝導体のバンド不連続が極めて大きくなると見積もられるという報告がされている。そこでInSbNでも同じような挙動が予想できるが、実際にはどのような挙動を示すのか、バンド構造の詳細はどうなるかなどを解明する必要がある。

本研究の最大の独創性は、発光層にInSb結晶を用いることでは実現できない遠赤外線領域において新たに希薄窒化物半導体InSbN結晶を用いることにより、波長3-15 μm 帯遠赤外域発光素子の初めての実現を目指す点である。結晶成長の制御が難しいとされている窒素導入したInSbN結晶の成長技術を開拓し、これまで行ってきた窒化物半導体深紫外LEDの成長技術をInSb系に応用し、遠赤外線LEDの実現を目指す。

さらにInSbN結晶は未だ物性やバンド構造等詳細は明らかになっていない結晶であり、その物性解明を行い結晶構造の解明と共に実験においても作製し物性解明することは、大変意義のある研究である。これらの解明は、結晶工学、光物性の分野においても学術的に重要である。

また、量子井戸発光層を用いた遠赤外線発光素子が現在報告されていないため、本研究でInSbN/AlInSb量子井戸発光層を用いた遠赤外線発光素子が実現すれば、高効率で選択波長が可能、コンパクトで安価・高効率・長寿命な光源となる。これにより遠赤外線域の利用範囲は飛躍的に増進し、上記の様々な分野への応用が開け、新規産業発展という観点からも大変意義のある研究であると考えられる。

(1)背景 (内外における当該分野の動向)

2011年の大震災を機に、災害時の救助作業や復旧作業をより効率的かつ効果的に遂行できる仕組みの整備・強化が社会的にも国家的にも求められている^(*)1)。復旧作業には大きな力を発揮できる重機が用いられるのだが、二次災害の危険が伴うため安全な遠隔地から無線技術を利用して重機操作を行う「**遠隔操作**」が導入されている(図1)。遠隔操作は、現場に設置されたカメラ映像を見ながら操縦をすることになるため(図1右)、通常の搭乗操作に熟練したオペレータでも、遠隔操作の訓練を新たに積む必要があるほど操縦が難しい。「**視覚情報**」は、操縦のすべてを決定付ける極めて重要な情報であり、遠隔操作における生命線となる^(*)2)ことから、申請者はこれまでに、遠隔操作における視覚提示内容の強化を図るべく、環境に設置されたカメラの画角と向きを作業状況に応じて自動的に調整し、複数のカメラ映像の中からオペレータに提供すべき映像を自動的に選択する環境カメラの適応的自動制御システムを開発している。これは当該分野においてなかった新しい視覚情報強化システムであり、作業の効率を大きく向上できることが分かった^(*)3)。6つのカメラ映像を状況に応じて提供できるため映像の多彩性・広範性の強化が見込める一方で、「**映像をどのように見るかは、オペレータに委ねられている**」のが現状であるため、このシステムを使いこなせるかどうかは、オペレータの視覚探索能力と認知情報処理能力に大きく依存してしまっている。

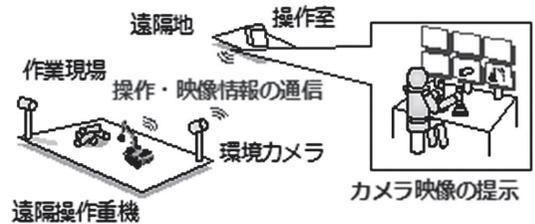


図1 遠隔操作システム

(2)目的 (課題設定とねらい)

これまでの研究から、「オペレータの操縦がうまくなっていくこと」と「適切なタイミングで適切な映像を見られるようになっていくこと」とは、(定性的ではあるものの)正の相関があるという知見が、実験結果より得られている。そこで本研究課題では、視線計測装置を用いて作業中の視線情報を計測し、そのときの作業効率や安全性(環境への過負荷など)との対応関係を多元的に分析することで、**視線情報と機械操作の熟達のメカニズムを科学的(客観的・定量的)に明らかにする**。オペレータの技能評価のためのモデル構築と技能向上のための操作者支援手法の構築が本課題のねらいである。

(3)学術的な独自性と意義

機械操作における熟達の研究はこれまでもある^(*)4)が、視覚情報強化を前提とした遠隔操作における視線情報と作業結果に関する検討は皆無である(オペレータが主体的に映像を選択する必要がある点で大きく異なる)。本課題を遂行することで、**環境要因**(作業環境・作業内容)と**オペレータ要因**(機械操縦・視覚探索・認知情報処理)に応じて視線情報と作業パフォーマンスがどのように変化するのが明らかになることから、**人間機械系の設計・評価・改善の各フェーズの発展に大きく寄与する知見**が得られると考えている。

(4)期待される成果と発展性

この分析結果を用いることで、遠隔操作訓練時の熟練度の評価や、熟達を早めるための情報支援を提供できるようになると考えている。多くの試行データが集まれば、遠隔操作技術そのものの改良も図られ、オペレータ・視覚提示システムともに洗練されていく好循環が期待される。質の高いオペレータの確保は、災害復旧・復興の早期化と密接に関連することから、社会的意義の高い研究となることが予想される。また、自動車の運転支援や手術ロボット、宇宙ロボットなどの人間機械系の分野への応用も期待される。

(*)1) 産業構想力懇談会 2013年度推進テーマ: 災害対応ロボットセンター設立構想

(*)2) 亀崎他: 無人化施工における環境カメラのための半自動制御システムの基礎研究, 建設機械施工, 67 (2), 92-100, 2015年

(*)3) Crundall: Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, Ergonomics, 41 (4), 448-458, 1998.

(*)4) 鈴木: 熟達階層の概念とユーザ意図の推定, 日本認知科学会論文集, ws3, 2011.

① 研究背景

現在、一般的に用いられている電気エネルギー貯蔵デバイスにはリチウムイオン二次電池が挙げられるが、我々の生活に浸透したスマートフォンをはじめとする電子デバイスの機能が急速に向上する一方で、電池の容量不足が大きな課題となっている。電気エネルギー貯蔵デバイスの開発は毎年、学術的には新規性が高くエネルギー密度の向上を実現している研究が数多く報告されているものの、構造がより複雑化し寿命特性に乏しいために実用化が困難であるものがほとんどである。そこで学術的な独自性と実用化への発展が期待できるシンプルな構造と高いエネルギー密度、そして優れた寿命特性をもつ新たな二次電池の開発が必要とされている。

② 研究目的

本研究の目的は、 π 電子系を有する有機化合物の酸化還元反応を利用した水素・炭素・窒素・酸素原子のみから成るメタルフリーの二次電池電極材料を開発することである。図1に示すように、 π 電子系を有する有機化合物には可逆的に酸化還元反応を示すものが多数存在する。これらの化合物を電極材料として利用する場合、二次電池として最低限必要な電気エネルギー量を維持するためには電極表面に高密度で安定に固定化しなければならない、二次電池への応用には未だ至っていない。しかし金属を持たないこれらの化合物が電極材料として利用できれば、メタルフリーで安全性が高く環境負荷の小さい二次電池を安価に作製することができる。しかもこれらの有機化合物には酸化還元電位が高電位から低電位に至るまでさまざまなものが存在するため、従来の二次電池に匹敵する電気エネルギーを蓄えることが期待できる。

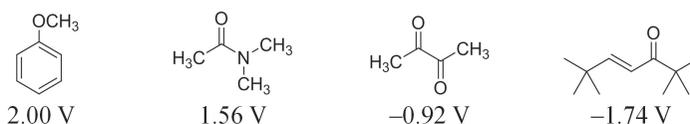


図1 有機化合物の酸化還元電位(電位はすべて標準水素電極基準)

③ 学術的な独自性と意義

本研究では活性炭のミクロ孔の有する強い吸着作用のみを利用するため、煩雑な合成操作や有機溶媒を一切用いることなく高いエネルギー密度を有する電極材料を作製することができる。しかも、金属を含まない有機化合物と活性炭から電極材料を調製するため、メタルフリーで環境負荷が極めて小さい。本研究の特に新規性が高い点は、リチウムイオン電池などの二次電池と比較して安定で極めて早い酸化還元反応特性を有する有機化合物を活性炭のミクロ孔に吸着させて電極を調製するため、充放電の際にミクロ孔の表面と有機化合物との間で酸化還元反応が起こるだけでイオンの拡散が伴わない。したがってイオンの拡散抵抗が実質ゼロとなり、従来の二次電池では不可能な素早い充放電特性、つまり急速充放電が期待できる。

④ 期待される成果と発展性

本研究では活性炭に吸着した有機化合物の極めてシンプルで素早い酸化還元反応を利用するため、単位時間あたりに充電あるいは放電する電気エネルギー量(パワー密度)は二次電池よりも高く電気二重層キャパシタに近い。一方で蓄えられる電気エネルギー量(エネルギー密度)は、正極と負極で異なる酸化還元電位を有する化合物を吸着させて組み合わせることで起電力を3 V以上に維持できるため、二次電池に匹敵する。したがって従来の二次電池や電気二重層キャパシタでは不可能であった高いエネルギー密度とパワー密度を両立した電池となる。しかもメタルフリーで安全性が高く環境負荷の極めて小さい二次電池であるため、本研究を達成することで安価でメタルフリーの有機化合物の電極材料への応用分野を開拓できるものと期待している。

①背景

圧電共振子に分子が付着すると、その質量負荷により共振周波数が低下する。逆に、この低下分を質量に換算することで付着質量を絶対計測できる。これまで、このような質量センサでは、共振子の圧電材料に水晶が広く用いられてきた。これらは水晶共振子微小天秤 (QCM) と呼ばれ、共振子への数ngオーダーの分子付着を検出することができる。一方、質量センサの感度は共振子の質量と付着分子の質量の比で決まり、共振子自体の質量を減らすことで高感度に計測できる。そこで、共振子の圧電材料に薄膜を用いることで高感度化を目指した薄膜共振子が提案されている。このような質量センサを液体中の分子間相互作用の検出に利用することで、リスクマーカーの抗原抗体反応を高感度に検出することが可能である。

②目的

本研究は、在宅での予防医療システムを目指し、リスクマーカーの抗原抗体反応を検出できる薄膜共振子MEMSセンサ開発を目的とする。まず、薄膜共振子と微小流路が一体となったMEMSセンサデバイスを作製する。そして、共振子の共振周波数変動から抗原抗体反応による質量負荷を検出する高感度な計測システムを構築する。

③学術的な独自性と意義

質量センサに使用される圧電共振子には、主に縦波型と横波型の振動を利用したものがある。縦波型共振子を液中で使用すると、液中に縦波の振動エネルギーが漏洩してしまうため、信号が非常に小さくなる。一方、横波は液中へのエネルギー漏洩が少なく、液中で動作可能な質量センサを実現するには横波型共振子が必須である。従来のQCMでも液体中での分子間相互作用を検出対象にした場合、横波型のものが利用されている。一方、薄膜を用いて横波を励振するためには、ZnOなど圧電材料の結晶c軸が基板面に対して平行に配向する必要がある。これまでに、我々はRFマグネトロンスパッタ法を用いて、このc軸平行配向ZnO膜を石英ガラス上に形成することに成功した。通常、c軸が基板面に対して垂直に配向した膜が得やすく、c軸平行配向膜形成技術は他の研究機関にはないため、横波型薄膜共振子に関する研究は国際的に見ても極めて珍しい。このc軸平行配向ZnO膜を横波型薄膜共振子に用いることで、液中で動作可能な高感度質量センサが期待される。

④期待される成果と発展性

薄膜共振子の研究では、これまでc軸平行配向膜形成技術がなかったことから、縦波型共振子が広く用いられてきた。これらを液中で動作させた場合、上述のように信号強度が小さくなり、S/N比が非常に悪いのが現状であった。本研究の横波型共振子により飛躍的にS/N比が向上すれば、世界的にトップレベルの感度を持つ液中用質量センサが実現できる。また、本質量センサはタンパク質などの弱い分子間相互作用をリアルタイムに計測できる上、免疫蛍光法などと比較して標準抗体が不要であるため、分野を牽引するセンサとなる可能性がある。さらに、液中で動作可能であることを利用すれば、ヘルスモニタリングやバイオセンシングの分野だけでなく、電気化学センサや環境計測への応用展開も期待できる。

1. 背景

2020年までに、500億個の電子機器が無線でインターネットに接続すると予想されており(IoT: Internet of Things)、Bluetooth Low Energy (BLE) 等の無線通信機能を有する制御IC(MCU: Micro Controller Unit)の需要はこれまで以上に高まっている。MCUに無線機能を付与する一般的な方法は、無線部(RF: Radio Frequency)とCPU部(メモリを含む)をそれぞれ別々のチップで作製し、それらを1つのパッケージにまとめる、SiP(System in a Package)である(図1)。しかし、SiPのMCUは、パッケージサイズが大きい、チップ間データ通信の消費電力が大きいといった欠点があり、IoT関連機器の小型化と電池の長寿命化の妨げになっている。これらの問題は、1つのチップ上に無線部とCPU部を集積するSoC(System-on-Chip)の構成を採ることで解決できるが、CPU部のクロック信号が無線部に漏れ込み、その特性を劣化させる。現在の受信機は多数のアナログ回路で構成されており、この劣化解析と改善に多大な時間と人員が費やされている。

2. 目的

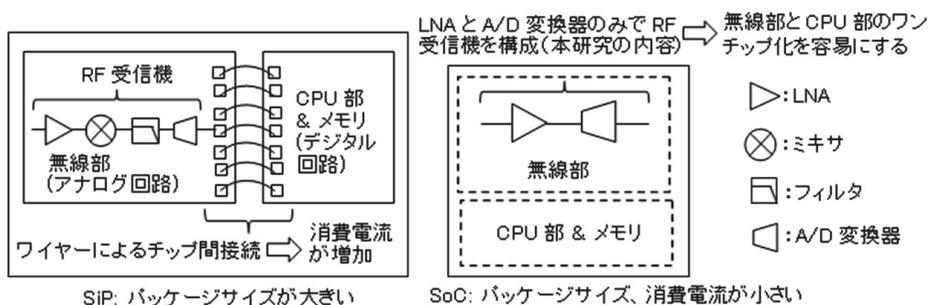
本研究では、最小限のアナログ回路、低雑音増幅器(LNA: Low-Noise Amplifier)とA/D変換器のみでRF受信機を構成し、さらにこれらをクロック信号等の影響を受けにくい回路構成とすることで、無線部とCPU部のワンチップの容易化を目指す。そして、65 nm薄型BOX-SOI(SOTB: Silicon-on-Thin-Buried Oxide)CMOSを用いて、提案するRF受信機を試作し、これまでのBLE対応2.4 GHz受信機と同等の消費電力(約6 mW)で-80 dBmの受信感度(2.4 GHz信号、2 MHz帯域、14 dBの出力SN比)を得る。

3. 独自性と意義

バンドパス型デルタシグマ変調器(BP-DSM: Band-Pass Delta-Sigma Modulator)を用いてRFアナログ信号をデジタル信号に直接変換する。同一チップ上で2.4 GHz LNAとBP-DSMを作製し、RF受信機を構成した報告はない。また本研究では、BP-DSMの構成ブロック数と出力振幅を低減させ、さらにトランジスタのしきい値電圧を制御することで、GHz動作DSMの消費電力(従来は20 mW以上)を6 mW以下にする。

3. 期待される成果と発展性

本受信機はGHz動作DSMを用いながら、従来の受信機と同等の低消費電力で動作する。さらに、MCUとのワンチップ化を容易にするだけでなく、製造プロセスや無線通信規格の変更にも柔軟に対応できる。受信機の実現後は、企業と共同でSoC構成のMCUを作製し、SoCにより受信機の特徴が劣化しないことを示す。



表面増強ラマン散乱による生体高分子の高感度検出を目指した柔軟に構造制御可能な金ナノ構造体の創製

研究者 北海道大学電子科学研究所 助教 三友 秀之

【背景】 「健康」は生命にとって根源的なものであり細心の注意が払われているが、未だに集団食中毒や院内感染などが頻発している。少子高齢化が進む社会においては、体の弱い子供や高齢者を守ることが最も重要な課題の一つとされている。そのため、食品等に付着した食中毒毒素、ウイルス、細菌などの危険物質をごく少量でかつ簡便に検出できるシステムが求められている。

現在このような検出には、分子認識の特異性が高い抗体を利用したバイオセンサーやELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) 診断などが利用されている。しかしながら、抗体は安定性が低い、生産が難しく価格が高い、標的物質ごとに認識する抗体を準備しておかなければならない、などの問題がある。一方、抗体を使わずに生体分子を識別する手法としてラマン散乱分光法がある。ラマン散乱は分子の振動準位や回転準位、もしくは電子準位のエネルギーに対応しており、分子はその構造に応じた特有の振動エネルギーを有しているため、得られるスペクトルの形状から直接物質を同定することが可能である。しかしながら、ラマン散乱は微弱であるため、シグナルを高強度化する必要があった。そのため、吸着分子のラマン散乱を $\sim 10^{14}$ 倍まで増強でき、一分子レベルの観察も可能とされる表面増強ラマン散乱(SERS)が注目を集めている。

【目的】 SERSのシグナルは、金属ナノ構造体のエッジ部分や微細な間隙において誘起される表面増強電場のホットスポットで特に大きく増強されることが知られている(図1)。特にプラズモンの増強場がギャップの距離に敏感であるため、狭いナノギャップを多数有する均一な金属ナノ構造体が理想的なSERS基板とされ、ナノテクノロジーを駆使して様々なSERS測定用基材が開発されてきた。しかしながら、狭いギャップは高い増強効果を生じさせるものの、ギャップを狭めすぎると標的分子がギャップに入りにくくなり、逆にラマン散乱が弱くなってしまいうというジレンマが存在する(図2、3)。この狭いギャップへの標的物質の導入に関する問題は立体障害に由来するため、タンパク質やウイルスなど標的物質が大きくなるほど深刻になると考えられる。そのため、効率よくSERSによる検出を行うには、標的物質の大きさに応じて最適な間隙を有する基板を選択・用意する必要がある。

申請者は、ギャップの距離を自在に変えることができる金ナノ構造体を作製すれば、広いギャップにより効率よく標的物質を導入し、ギャップを狭めて高いラマン散乱シグナルの増強効果を得ることができ、SERS測定用基板が抱えるギャップ距離の問題を解決できると考えている(図3)。そこで、本研究では外部環境変化(pH・塩濃度など)により大きな体積変化できるハイドロゲルに着目し、ゲルの上に金属ナノ構造体を形成することにより動的にギャップ制御が可能なSERS測定用基板を創製し、タンパク質やウイルスなどの大きな物質においても高感度に検出可能なシステムの構築を目指している。

【学術的な独自性と意義】 本研究で作製する『動的にギャップ距離を制御できる金ナノ粒子集積化薄膜』は、これまで培われてきたナノテクノロジーの技術を高分子材料と融合することにより、有効に機能するナノ材料に発展させるものであり、ナノメートルスケールの微細構造を動的に制御する画期的な手法としてSERS測定が抱える課題の解決に有効であるのみでなく、tunable plasmonic deviceとしてプラズモン関連研究への寄与、光アンテナなど様々な用途への応用も期待できる。

【期待される成果と発展性】 本研究により有効なSERS測定用基板が得られれば、市販されているハンディ型ラマン散乱測定装置を用いて様々な物質の同定が可能になると期待される。ゲルの表面を利用するため、血液の滴下や食品表面へ付着させて検出するなど取り扱いが容易であり、一般社会への応用展開・普及においても利点があると考えられる(図4)。

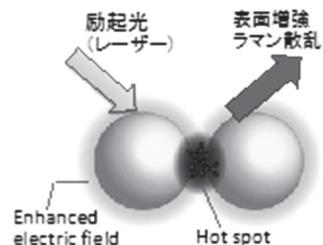


図1 金属ナノ粒子間のナノギャップへの吸着によるラマン散乱の増強

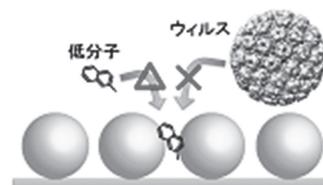


図2 SERSのジレンマ 狭いギャップには大きな物質は入らない

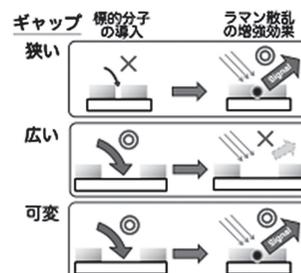


図3 SERS検出におけるギャップサイズの影響

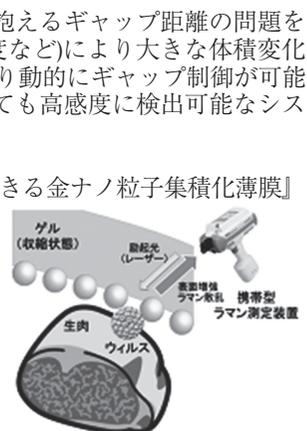


図4 食品表面のバイオハザード検出への応用のイメージ

① 背景

本邦の糖尿病患者および予備軍は1000万人を大きく上回ると推定されており、国民医療における大きな問題となっている。血糖値の測定は糖尿病診断の要であり、現在では高性能のグルコースセンサーが医療現場で汎用されている。また、市販センサーを用いて患者自身が測定することも可能である。しかし、血糖値は1日の中でも著しく変動するにも拘らず、グルコースセンサーによる測定では、採血の時点における血糖値しか測定することができない。したがって高血糖症状を見逃す危険が少なくない。そのため、臨床検査では血中のヘモグロビンA1c（以下HbA1cと記載する、糖が結合したヘモグロビン）の値も測定することが推奨されている。HbA1c値は短時間で変動することはなく、過去1～2か月程度の間の血糖値の平均値を反映するので、高血糖症状を発見する優れた方法として確立されている。これまでに国内外でHbA1cセンサーの研究が実施されているが、試料溶液に試薬を添加して測定する方式や前処理（酵素分解）の必要なセンサーで実際の血液の測定に適さない。実用的な優れたセンサーはいまだ実現していない。現状では、HbA1c値は大型機器により測定されており、測定のコストも高い。簡便なHbA1cセンサーが開発されれば、患者のQOLの向上および医療費の低減など大きな貢献が期待される。

② 目的

本研究の目的は、小型電極（太さ0.5 cm、長さ5 cm程度で、細い鉛筆のような形状）の先端を有機物で化学修飾することにより、血液中のHbA1c含量%を簡便に測定することのできる電極型HbA1cセンサーを開発することである。このセンサーは酵素や抗体などのタンパク質を一切用いないので、安価で高耐久性のセンサーとなるのが利点である。

③ 学術的な独自性と意義

従来のバイオセンサーとは異なり、本研究で開発するHbA1cセンサーはタンパク質を用いることなく、完全に合成素子のみにより作製するという独自性を有している。合成素子として、HbA1c認識部位と電気的信号の発生部位を有する化合物（フェロセン修飾フェニルボロン酸。本研究で新たに合成する）を用いる。従来のバイオセンサーはタンパク質を用いることが多いので、センサー間の性能のバラツキが大きく、耐久性（安定性）に乏しく、殺菌が困難で、かつ高価であるという課題があった。これに対して、本研究では合成素子を用いるので、これらの欠点を解決することができる。そもそも、HbA1cセンサー自体が未だ実現されていないので、それを開発することが学術的な独自性であることは明らかである。現在、健康診断の項目として血液中のHbA1c値の測定が設定されており、簡便なHbA1cセンサーが実用化されれば意義は大きい。

④ 期待される成果と発展性

本研究の期待される成果は、血液中のHbA1c値を簡便に測定することのできる電極型センサーを開発することである。開発するHbA1cセンサーは性能が均一で、高耐久性、かつ安価に製造できるものと期待される。現在、グルコースセンサーは安価な製品が市販されているが、本研究でHbA1cセンサーが開発されれば、小型HbA1cセンサーとして製品化することができると思われる。これにより、採血時点の血糖値（従来のグルコースセンサー）と過去1～2か月間の平均血糖値（本研究によるHbA1cセンサー）がともに測定できるようになり、糖尿病予防・診断・治療に大きな役割を果たすものと期待される。

① 背景(内外における当該分野の動向)

高齢者の身体機能の向上のためには、日常生活動作の起点となる起立動作の改善が重要であり、特に異なる環境や運動目的に対して適応的に起立動作を生成するメカニズムを理解する必要がある。従来研究では、座面高や足位置、運動速度を変更した際の身体軌道や床反力、個別の筋活動の計測と解析を行っている。しかし、ヒトが環境に適応した動作を生成する際に、関節の自由度以上の冗長な筋をいかに制御しているかは分かっていない。これに対して、Bernsteinが提唱した筋シナジー仮説では、ヒトは「筋シナジー」と呼ばれる少数のモジュール(複数筋の協同発揮)を持ち、それらの組み合わせによって適応的に行動を生成しているとした。

筋シナジーモデルでは、図1に示すように、筋シナジーを複数筋の相対的な活動度(空間パターン)と重みの時間変化(時間パターン)で表現し、時空間パターンの線形和から筋活動を生成する。申請者の先行研究から異なる座面高・運動速度の起立動作で3つの筋シナジーが存在し、その空間パターンは共通で、時間パターンのパラメータを変化させるだけで適応的に動作を達成していることを世界で初めて明らかにした。同時に3リンクの筋骨格モデルを構築し、順動力学シミュレーションでこれらの3つの筋シナジーで起立動作が十分に達成されることを示した。

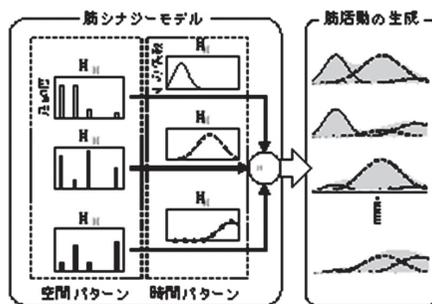


図1. 筋シナジーモデル

しかし、転倒せず起立を達成するためには、基底面である足裏に重心を乗せる必要があるが、この先行研究では足位置は固定されており、足裏に重心を移動する際にどの筋シナジーを主に活用しているかわかっていない。また重心を足裏に乗せるためには、起立開始時に十分に上体を前屈させて運動量を生成しなければならないが、先行研究では上体の伸展・屈曲に寄与する筋が考慮されていない。そして申請者の研究を含む起立動作に関する解析では、実際に動作が成功した試行から共通する要素(必要条件)を抽出しており、実際に動作の成功と失敗を分ける要素(充分条件)が完全には理解されない。

② 目的(課題設定とねらい)

本研究では、ヒトが異なる環境や運動の目的に対しても、全身の筋を協調して制御することで、適応的に起立動作を生成できることに着目し、転倒せずに動作を達成させるための筋活動の生成メカニズムを解明する。

③ 学術的な独自性と意義

従来の起立動作に関する研究の多くが足・膝・股関節の運動しか注目していなかったが、本研究では上体の運動も考慮することで、起立動作を達成するために必要な全身の筋協調(筋シナジー)を明らかにする。特に従来研究では、運動のばらつきを説明する仮説の形成を対象にしていたのに対して、本研究では世界で唯一の4リンクの神経筋骨格モデルの構築と順動力学シミュレーションを行うことで、ヒトが異なる環境においても転倒せずに起立できる条件の同定を行い、起立動作の理解に対して大きく寄与することができる点に意義がある。

④ 期待される成果と発展性

多様な環境で適応的に動作を行うために必要な筋協調を抽出することで、高齢者や運動機能に疾患がある患者における単一の筋力などだけでなく、多様な環境にも適応するための能力を診断・評価することができる。また起立動作を達成する条件の同定が行えるため、臨床現場でのリハビリテーションやトレーニングシステムにおいて、運動を改善するための方向性・指針を与えることができる。

pH応答性電界効果トランジスタと核酸増幅反応による 核酸がんマーカーのラベルフリー電気的計測

研究者 東京医科歯科大学生体材料工学研究所 助教 合 田 達 郎

① 背景

ヒトゲノム計画終了後、米国では3500億ドルかかった費用を1000ドルまで下げることを目標とした「1000ドルゲノムプロジェクト」が始まり、より安価で高速にゲノム配列を解読する次世代ゲノムシーケンサーの開発が進められた。2013年末には1000ドル・24時間での解読が実現し、今後、100ドル・数時間に向かって開発が進行中である。こうした遺伝子解析技術の進歩は、ゲノム情報を基に個性に合わせてテーラーメイドな医療を施すことが可能になる。また、特定のがんや病気の発症と因果関係をもつ核酸バイオマーカーを低侵襲かつ正確に同定することは病気の早期発見・早期診断につながる重要な技術である。現行の臨床検査や生命科学における核酸検査では、一般に蛍光標識による光学的検出法が用いられているが、高価な試薬や測定機器、煩雑な操作といった課題がある。一方、近年、集積化デバイスを用いた電気化学的核酸検出法も研究されており、測定の簡便化・高感度化・デバイスの小型化・高スループット化が期待されている。特に、核酸の伸長反応を簡便な電気的バイオセンサーで検出できれば、蛍光や酸化還元物質を用いずに一塩基多型や核酸塩基配列解析が可能となり、測定プロセスの省略化および低コスト化が期待できる。

② 目的

本研究では、電界効果トランジスタ (FET) を用いて、ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) やローリングサークル増幅 (RCA) などの核酸増幅反応の進行を溶液のpH変化として非標識・電気的に計測する方法を開発する。PCRは①熱変性、②アニーリング、③プライマー伸長反応、の3つのステップからなり、1サイクルごとに増産物であるオリゴ核酸のモル数が2倍になる。RCAは酵素による一本鎖解離とそれに連続して起こる連鎖的伸長反応からなる恒温増幅法である。申請者は半導体デバイスやpH電極などの微小電極を延長ゲートとして使い、③のプライマー伸長反応時に生成される水素イオンを、ネルンストの原理に基づく電位計測法によって検出する小型・簡易デバイスを作製する。さらに、本技法を用いて血中遊離マイクロRNAといった核酸がんマーカーの高感度電気計測をおこなう。

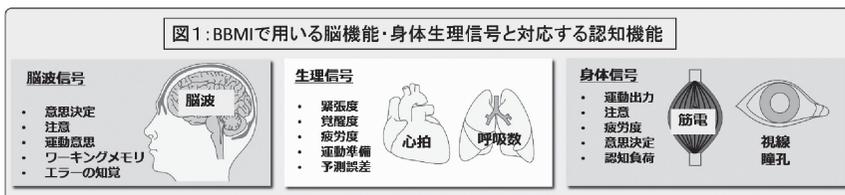
③ 学術的な独自性と意義

PCR、RT-PCRなどの核酸増幅は生命科学や臨床現場等での標準技術であり、細胞の遺伝子発現を調べる、微量な核酸バイオマーカーを増幅検出するなど、広く使われている。申請者らの研究グループでは、半導体デバイスであるFETを用いて一塩基伸長反応によって生成される負電荷・水素イオン・ピロリン酸等を直接検出するという画期的なラベルフリーセンシング技術を世界に先駆けて報告した。(Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, 2225) 従来の蛍光や発光法による検出と比べて、電気計測は装置の小型化・高集積化・低コスト化といったメリットがある。さらに、本研究では、温度に対する電気信号の乱れが大きい半導体デバイス特性を考慮し、pH応答性金属電極を延長ゲート方式で用いることによって核酸伸張反応を安定に計測する小型簡易検出デバイスを開発する。

④ 期待される成果と発展性

マイクロRNAはがんの超早期発見を可能にする新規バイオマーカーとして注目されており、血中に遊離した種類と量を簡便かつ高感度・高スループットに検出する新しい医技術開発が求められている。電気計測は光学系が不要であり、装置の小型化・高集積化・低コスト化が容易であるという利点を持つ。半導体デバイスを用いた電気的計測技術を用いて、一塩基伸長反応によって生成される水素イオンを検出するという方式を用いた次世代型DNAシーケンサーが2011年に販売され、世界中で用いられている。さらに、小型かつ安価な核酸シーケンシング技術はパーソナルケアおよびポイントオブケア検査への応用が期待される。医療インフラが十分に整備されていない過疎化地域や、新興国での感染症のその場診断において威力を発揮する。また、IT技術などの情報インフラ・情報ネットワークと融合させることによって遠隔医療などを促進する。

- ① 背景：日常生活において、自身の意思や感情をうまく伝えたい、そして他人の意思や感情をうまく読み取りたいと思う機会が多い。脳機能信号からヒトの内的状態を推定することはブレイン マシン インターフェイス(Brain Machine Interface, BMIもしくはBrain Computer Interface, BCI)やデコーディング(Decoding)と呼ばれ、近年急速に発展した神経科学の一分野である。文部科学省「脳科学研究戦略推進プログラム」では平成20-24年度の5年間に40.8億円といった巨額の予算が組まれ、視覚野・運動野活動からの視覚入力画像・手指運動軌道の再構成といった特筆すべき成果を挙げている。これらの研究で用いられている機能的磁気共鳴画像法(fMRI)や脳磁計(MEG)といった脳機能測定装置は、数億円オーダーの機材であり、運用にも技術員を必要とするなど、費用的にも技術的にも研究機関に限定される。加えて、外部にセンサが固定されている計測法であるfMRIやMEGは身体運動(特に頭部運動)のアーティファクトには極めて敏感なため、実験室環境下で身体運動を拘束する必要がある。また、脳信号は個人間のばらつきが大きく、30%もの被験者でBMIが作動しないという”BCI illiteracy”という問題も指摘されている。上記の理由により、近い将来これらの成果が実生活に直接応用される見通しは立っていない。
- ② 目的：本研究では、安価な民生品機材を用い、実環境でも頑健に意思・感情推定ができる、低価格普及型ブレイン・ボディ マシン インターフェイス(BBMI)を構築する(図1)。そのためには、運動中にも安定して計測できる脳信号・身体生理信号の同時測定システムを構築することが必要である。本研究で用いる脳波信号は安価で広くBMI研究に用いられているが、fMRIと比較して空間解像度が低いためデコーディング性能は一般的に低い。また脳波はセンサを頭皮上に固定するため運動中に取得可能な脳機能計測法であるが、体動に伴うアーティファクトの問題がある。そこで、運動中にも安定的に測定可能な生理信号(心拍・筋電・呼吸・皮膚抵抗)や身体信号(身体運動・視線・瞬目・瞳孔)を同時取得することで、上記で述べた脳波BMIの問題点を解決する。身体生理信号には意思決定や課題の難易度といった認知的要因と相関があることが知られており、脳機能信号を補完することでデコーディング性能の向上が望める。また、身体信号を回帰変数とすることで脳波の体動アーティファクトを取り除くことも期待できる。本研究で提案する脳・身体生理信号同時測定に基づくBBMIにより、運動を伴う実環境下での頑健かつ高性能なインターフェイスを低価格の予算で実現することを目的とする。
- ③ 学術的な独自性と意義：従来のBMIが脳機能信号に限定されているのに対し、本研究では複数モダリティ信号(脳機能・身体生理信号)を融合させるBBMIを提案する。また、身体生理信号には、意思決定(瞳孔径・皮膚抵抗)・認知負荷(瞳孔径・呼吸数)・注意(視線・瞬目)・予測からの誤差(心拍)・嘘(心拍)といった感情と関連深い、いわゆる「ウェット」な認知機能と相関があることが知られている。脳に重点を置く従来のBMIが視覚入力や運動意思といった「ドライ」な認知機能を対象としてきたが、本研究で提案するように身体生理信号を統合することで「心を読み解くBBMI」が可能になる。もう一点の特色として、低価格化がある。10年前であれば数百万程度した計測機器の低価格化が近年急速に進んでいる。たとえば、Emotiv社の脳波計は10万円以下、Microsoft社のモーションキャプチャ(Kinect)は3万円を切るほどである。この低価格化により、一昔前は大規模な研究グループでのみ可能であったBMI研究が研究者個人でも可能になりつつある。複数モダリティ信号を組み合わせることで実環境においても頑健で信頼性が高い低価格普及型BBMIの実現を目指す。
- ④ 予想される結果と発展性：本研究により、以下の三点が期待できる。
- (1) 低価格：安価に入手可能な民生品を用いることで、普及可能な予算のBBMIを構築する。
 - (2) 実環境下での頑健性：身体生理信号を用いて脳波の身体運動アーティファクトを除き、実環境下で頑健な性能を実現する。
 - (3) デコーディング性能の向上：複数モダリティの信号を用いることで特徴空間の次元を高くし、心の状態を推定するデコーディング性能を向上させる。



神経回路選択的な遺伝子操作技術による皮質線条体ニューロンの解析： 行動選択の神経回路メカニズムとは？

研究者 福島県立医科大学医学部 助教 吉 岡 望

① 背景

ヒトは、学習を重ねることで、状況に合った適切な行動を選択・実行できる。例えば、車を運転しているヒトは、信号が青であれば進み、赤であれば止まる。これは信号の色の違いを識別した上で、アクセルを踏むかブレーキを踏むかを選択する視覚弁別の一例である。近年、脳内イメージング技術の発展により、大脳基底核が行動選択に関わることが明らかとなった。大脳基底核は、線条体、淡蒼球、視床下核、中脳・黒質といった互いに密接な神経連絡をもつ神経核の総称であり、大脳皮質全体からの入力を受けて、再び大脳皮質に出力を戻す、“大脳皮質-基底核ループ回路”を構成する。“**皮質線条体ニューロン**”は、大脳皮質から大脳基底核への情報入力を司る神経細胞であり、線条体の神経細胞を興奮させることで、大脳基底核全体に影響を及ぼす(図1)。**皮質線条体ニューロンは、行動選択に関わると想定されているが、実験的には証明されていない。何故ならば、大脳皮質には、多種多様な神経細胞が混在するために、皮質線条体ニューロンのみを選択的に操作することが困難なためである。**

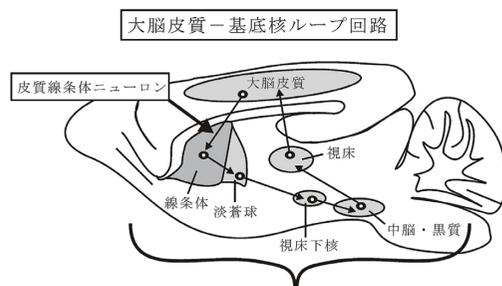


図1: 行動選択を司る大脳基底核を中心とする神経回路網

申請者の研究室では、目的の神経回路のみを選択的に破壊する新技術として、“**イムノトキシン細胞標的法**”と“**逆行性ウイルスベクター**”を開発した。イムノトキシン細胞標的法は、モノクローナル抗体と緑膿菌毒素の融合蛋白質であるイムノトキシンによって、抗原分子を発現する標的細胞のみに細胞死を誘導する方法ある。我々は、ヒト-インターロイキン-2受容体(IL2R)を特定の神経細胞のみで発現する遺伝子改変動物を作製し、IL2Rを認識するイムノトキシンによって特定の神経細胞のみを破壊することに成功している。さらに、神経回路選択的に遺伝子操作できるツールとして逆行性ウイルスベクターを開発して、軸索末端から神経細胞にIL2Rを遺伝子導入することにも成功した。**この二つの新技術を組み合わせることで、複雑に入り組んだ神経回路から、皮質線条体ニューロンのみを選択的に破壊することが可能となった。**

② ③ 研究目的、および、学際的な独自性と意義

本研究では、皮質線条体ニューロンが行動選択に関わることを実験的に証明する。近年、大脳基底核内部の神経細胞が行動選択に関与することが明らかにされたが、大脳基底核への神経入力の意義は殆ど分かっていない。本研究によって、行動選択の神経回路メカニズムについて、大脳皮質-基底核ループ回路の関与を初めて明らかにできる。

④ 期待される効果と発展性

本研究により行動選択を司る神経回路メカニズムが解明されれば、大脳基底核が障害されるパーキンソン病やハンチントン病の患者に見られる認知障害の病態メカニズムの解明に貢献できる。パーキンソン病は、中脳・黒質のドーパミンニューロンが変性脱落することで発症するが、その病態メカニズムの解明には、ドーパミンニューロンのみを選択的に破壊する神経毒が大いに貢献した。皮質線条体ニューロンの機能障害は、ハンチントン病や強迫性障害に見られるが、今まで皮質線条体ニューロンのみを選択的に破壊する手段がなかったため、その病態メカニズムは殆ど分かっていない。今回、皮質線条体ニューロンを選択的に破壊する方法を確立できれば、新しい神経疾患モデルの創出に繋がる。

経頭蓋磁気刺激の高精度刺激座標推定技術と機能的磁気共鳴画像の融合による運動野活動ダイナミクスの解明

研究者 高知工科大学総合研究所 助教 木村 岳 裕

①背景

我々が身体運動を行うとき、一次運動野から最終的な運動指令が出力される。その脳活動調査には、非侵襲的な電磁気刺激である経頭蓋磁気刺激(TMS)や、脳血流の酸素濃度変化を検出する機能的磁気共鳴画像(fMRI)がある。運動野へのTMSは神経支配領域に対応した筋肉を収縮させ、この筋収縮量を筋電図で計測することで運動野から筋肉までの経路の皮質脊髄路の興奮性を評価できる(運動誘発電位)。さらに運動課題とTMSのタイミングを調節すると時間的変化や脳活動の興奮性/抑制性変化を評価できる。しかし、TMSは頭皮上から大脳皮質を刺激するため、実際の刺激部位を特定することは難しい。fMRIは課題中に計測することで、その課題に関わる脳活動領域の特定ができる。しかし、fMRIは興奮性/抑制性の脳活動変化やミリ秒単位の活動変化は評価できない。さらにTMSの刺激部位をMRI構造画像上に反映させる既存システムは、数mmからcm単位の誤差があるためTMSとfMRIを高精度にマッチングさせることができなかった。

②目的

この問題を解決するために、我々は高精度TMS刺激座標推定システムを開発した(次ページ図1)。このシステムは3Dスキャナを用いて被験者の顔とTMSコイルを同時に撮影し、数万点で記録された顔表面のポリゴンデータとMRI構造画像の顔表面を重ね合わせる。そして、コイルのポリゴンデータを設計図ベースのTMSコイルモデルで補完し、補完後のコイルの位置から脳刺激座標を誤差1mm以下の精度で推定する(次ページ図2)。本研究の目的は、本システムを用いて計測された運動課題中の一次運動野のTMSマッピングデータとfMRIデータをMRI構造画像上でマージさせ(TMS-fMRI高精度マージ法)、従来手法では不可能であった運動制御時の一次運動野内の活動動態を“いつ?どこで?どのように?”と、包括的に解明することである。

③学術的な独自性と意義

TMS-fMRI高精度マージ法は、TMSとfMRI単独では調査できない時間的変化、詳細な活動領域、興奮性/抑制性脳活動の区別を包括的に明らかにできる。我々の身体運動の多くが、複数の身体部位を様々なタイミングで複雑に動かすことによって成り立っていることからすると、これらの身体部位を支配する神経小集団間の活動が精緻な制御下にあると考えられる。しかし、動物を用いた実験でさえ、一次運動野内の神経小集団間にどのような相互作用が存在し、どのような調整を受けているか、さらには、新たな運動を学習する際に、この相互作用の変化などの本質的で重要な問いにアプローチする確たる手法は存在しなかったため、独自技術を用いた新たな挑戦をする本研究は学術的な独自性や意義、重要性は高い。

④期待される成果と発展性

一次運動野は手先や腕などの身体部位ごとに制御する神経小集団が分かれ、運動野のホムクルスと呼ばれている。神経小集団の機能特性や連携特性が明らかになれば、運動制御や運動学習のモデル提唱、脳波などから記録した脳活動を用いて人工義手などの機器を操作するブレインマシンインターフェース技術の飛躍的発展に貢献できる。さらに、TMS-fMRI高精度マージ法は、一次運動野以外に視覚、体性感覚のような低次の脳機能から、情動や記憶などの高次脳機能の調査へ適用できる可能性があり、さらに脳卒中患者の機能低下領域への正確なTMSとリハビリテーションを併用することでリハビリ効果の向上が期待されるなど、基礎科学、工学、医学と広範な分野や領域の発展に寄与できる。本研究で得られるデータは、従来法では得られないデータであるとともに、その方法自体に新奇性が高く非侵襲的な脳科学研究のブレイクスルーとなる。

三次元層流マイクロ流体デバイスによる 同軸多層ゲルファイバーを足場とした成熟血管組織作製システムの創成

研究者 早稲田大学理工学術院先進理工学部 准教授 武田直也

《①学術的背景》 工学技術を用いて細胞を培養・集積化させて立体的な生体組織を作製する研究は、biofabricationと名付けられた学術領域として勃興しつつあり、基礎研究の更なる蓄積と再生医療などへの活用が強く期待されている。細胞シートの臨床応用などこれまでの重要な成果を踏まえて、次代の基礎・開発研究のターゲットは、作製する組織の大型化や三次元化さらには組織の複合化による高機能の実現である。これらに共通する極めて重要な課題が、厚く大きな組織内部の細胞を維持するために継続的に酸素・栄養を供給する血管組織の構築である。

《②研究目的・目標》 申請者は、 μm 径でかつ cm ～数十 cm 長のファイバー状同軸二層型のゲルの中心部に血管内皮細胞を包埋培養して管腔化を誘導する手法が、長い血管組織を作製する有効なアプローチと位置付け、ゲルファイバー作製に必須であるPDMS(シリコンゴム)製の三次元層流マイクロ流体デバイスを開発して血管組織構築に取り組んできた(図1)。本研究では、これまでの成果を踏まえ、

- [I] 新型の高性能な同軸多層型の三次元層流PDMSマイクロ流体デバイスを開発する(研究計画欄・図3)。
- [II] タンパク質またはペプチドを組み込み細胞接着性を増大させたゲルファイバー材料を開発する。これを用いて、(1)ゲル包埋三次元培養により血管内皮細胞の管腔化を誘導するのみならず、(2)コアのゲル層を犠牲層として分解することで生じる空隙を管腔に利用する新しい手法を検討する。
- [III] 生体の血管成熟機構を模倣して、ゲルファイバー内の血管内皮細胞周囲に周皮細胞(または同等の細胞種)を配しての共培養システムを構築する。
- [IV] 血流のメカノストレス負荷を模した、血管組織の管腔化を促進する灌流培養系を構築する。

の各項目を連関させたシステムの確立を行い、再生生体組織へ適用し得る cm ～数十 cm の長大な管腔化した成熟血管組織の効率的な作製し、多くの人々の健康維持・増進に寄与することを目標とする(図2)。

《③学術的な独自性と意義》 本研究は、マイクロデバイス工学、材料工学、細胞工学、生体組織工学の異分野を融合した学際的研究である。同軸二層および同軸多層型の三次元層流を生成できるPDMSマイクロ流体デバイスは、MEMS技術として設計、機構、機能のいずれの面も極めて独自性が高い。また、生体内での血管の管腔化や周皮細胞の裏打ち形成には、VEGFやPDGFなどの増殖因子も関与している。生物学的研究で通常用いられるこれら強力な生物学的分化誘導因子ではなく、ゲル材料やメカノストレス刺激など工学技術による管腔化血管作製の制御を目指す点も学術的意義は高い。さらに、周皮細胞で裏打ちした成熟血管組織の工学的作製を実現した前例はなく、この点でも学術的に高い新規性と独自性がある。

《④期待される成果と発展性》 ほとんどの生体組織の維持に必須である成熟血管組織を工学的に作製する技術の確立は、実用的な大きさの多様な再生生体組織の作製を可能とし、多くの人々の健康維持・増進に寄与する再生医療を劇的に進展させる可能性がある。また、本ゲルファイバーシステムは、二層だけではなく多重層化も可能であり、神経束組織や胆管など管状組織のみならず重層化組織の再生組織作製にも応用が可能であり、再生医工学分野における波及効果は非常に高い。しかも、材料物性やずり応力など工学的パラメーターの定量的評価は、成熟血管作製システム設計の重要な基礎知見となり、数値に基づいた生体組織作製システムの更なる改善と発展を可能にする。さらに、PDMSマイクロ流体デバイスは、同質のレプリカを安価にかつ大量に製造できるため、再生生体組織の工業生産への応用も将来的に期待できる。

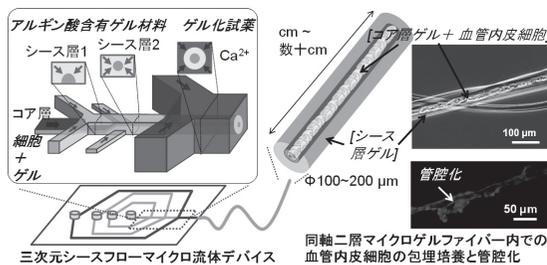


図1 血管組織構築のためのマイクロ流体デバイスによる同軸二層ゲルファイバーの作製とコア層への血管内皮細胞の包埋培養と管腔化。

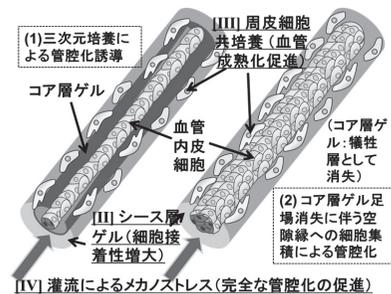


図2 長大な血管組織作製の戦略目標[II]～[IV]と2つ管腔化構造誘導方法(1)(2)。

①研究の背景（内外における当該研究の動向）

21世紀に入り、アジアは製品開発拠点としての重要度を高めている。とりわけ代表的な知識集約産業である情報通信技術関連産業において重要度の高まりが顕著である。事実、東アジア企業は強い国際競争力を有し、世界をリードする存在へと成長しつつある。こうした状況にもかかわらず、日本を含む東アジア企業の製品開発を国際比較した研究は少ない。また、開発過程における知識創造や知識移転を担うエンジニアのマネジメントやエンジニア個人行動の影響を国際比較した定量的な分析はまったくないと言っても過言ではない。

②目的

この研究の目的は、アジアのみならず、世界市場で熾烈に競争し合う日本・中国・韓国の情報通信技術関連企業の製品開発プロセスに焦点を絞り、競争優位の源泉である「組織能力」の内実とその開発成果への影響を、企業内における開発組織レベルでの実態調査に基づき明らかにすることにある。本研究では、組織能力のミクロ的基礎を解明するため、社員の側であるエンジニアを対象に聞き取り調査を行い、それを基礎にエンジニア個人行動調査を行う。こうした分析を行うのは、韓国・中国企業の攻勢に接し、なぜ日本企業は現在のような苦境に立たされているのかの真因は謎として残されていると考えるゆえである。本研究では、製品開発組織レベルでの、リーダーやエンジニア行動の事例を聞き取り調査で深く把握した上で、エンジニアに装着してもらうウェアラブルセンサから得られた行動データ（ビッグ・データ）を用いて、組織内でコミュニケーション・パターンや時間配分（タイムユース）を国際比較するという方法によって、その謎を解き明かすことにしたい。

③学術的な独自性と意義。

リーダーやエンジニアの行動を分析するためには、従来は、アンケート調査やタイムユース・サーベイのような方法が採られていたが、近年、無線や赤外線を用いたウェアラブルセンサ端末が開発され、これを被調査者が装着するだけで、誰と誰がどの程度の頻度で何分間会ったのか、またその際の身振りや手振りの活発さはどのようであったのかを自動的に記録することが可能になった。この研究では、こうした新技術を用いて、「行動」を具体的かつ客観的に把握した上で、そうした行動を促す組織能力を確定するという方法を採用する。

こうした新技術を用いた研究は、森脇紀彦ほか(2013)「人間行動ビッグデータを活用した店舗業績向上要因の発見」や矢野和男(2014)『データの見えざる手』など、漸次現れつつあるが、まだ予備的分析の段階にあるといつてよい。国際比較、とりわけ知識集約型企業の比較は皆無である。

④期待される成果と発展性

製品開発のスピードと、開発過程で発生する様々な問題の解決は、製品と企業の競争優位にとって、きわめて重要である。しかし、従来の研究では、開発過程はブラックボックスになっており、その解明は、せいぜい聞き取り調査などを用いた定性的分析にとどまっていた。この研究では、聞き取り調査により、製品開発

をめぐる組織的・制度的要因を十分に考慮にいたした上で、エンジニア行動をウェアラブルセンサ端末により収集できるビッグデータを用いて客観的に把握するところに特徴がある。今後、こうした手法を用いた研究は、学術的重要性のみならず、開発過程管理という実務的重要性もますます高まると予見できる。

「教育活動としての部活動」を実現する 指導者を育成するための部活動指導法に関する実証的研究

研究者 京都工芸繊維大学基盤科学系 准教授 来田 宣 幸

①背景（内外における当該分野の動向）

学校教育の中でおこなわれている「部活動」には、人間としての豊かな能力の涵養が期待されているが、現在の部活動には、顧問による人権を無視した体罰や暴力、勝利至上主義や非科学的根性主義など長時間練習による傷害の多発など多くの問題が存在し、近年、特に表面化してきた。この背景には、部活動は学校教育の一環として長く存在してきたにもかかわらず、制度的基準や教育的意義の規定がなく、現場の裁量に委ねられてきた点がある。2008年の学習指導要領改訂にて、部活動の意義が初めて記載され、教育課程との関連が図られるよう留意すべきとされたが、部活動の教育目標・内容の記載はなく、教育活動として位置づけられているとは言い難い。

そこで、我々は部活動を教育活動として位置づけるために、（1）部活動の教育目標（部活動を通して身につけたい能力や資質）の構成概念を整理して部活動の学習目標到達度評価尺度を作成し、（2）部活動内でのいじめや孤立をスクリーニングするために部活動への不適応感を定量的に評価する尺度を開発した（来田・吉田2012）。

しかし、教員になるためには教育職員免許法に定められた規定の科目を履修しなければならないが、部活動指導の場合、これに該当する免許や科目がない。また、現職教員においても、伝統的に見よう見まねによる経験を通して漸次的に指導法を養成するスタイルが主流であった。さらに、指導者研修などの講座も存在するが、競技力・専門性の向上を目的とした内容が中心であるため、教育活動としての部活動を実現するための指導システムの開発が必要であり、また、部活動の指導スキルを養成するカリキュラムを構築する必要性も高い。

②目的（課題設定とねらい）

教育活動としての部活動を実現する指導システムを構築するためには、生徒にどのような方法で何を教えるかを明確にした「部活動指導案」に基づいた指導が必要であり、また、部活動指導によって生徒がどの程度成長したかを評価する「部活動成績表システム」が必要となる。そこで、本研究では、（1）学習指導（到達度評価尺度）と生徒指導（いごこち尺度）の観点から生徒を評価する「部活動成績表システム」を開発し、（2）現職教員を対象として、部活動の学習指導案を作成する指導者育成研修を実施し、（3）学習指導案に基づいた指導による生徒の変化を部活動成績表システムで評価し、教員および生徒の変化を定量的に調査し、部活動指導システムの効果を実証的に明らかにすることで部活動指導者の人材育成に貢献することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

従来、部活動での教育目標や教育内容は不明確で曖昧であったが、部活動の教育目標を具体化・体系化した上で、生徒の成績評価システムを構築することを目指している点で学術的に独自性が高い研究実践であり、一般的適応を考える上で有用である。また、現在、部活動の指導案や成績表は存在しないが、本研究によって指導案や成績表の開発が進むことによって、教員養成課程や現職教員に対する指導者育成法の提案に繋げられる。このことによって部活動指導者の人材育成に貢献することができる。

④期待される成果と発展性

従来の部活動指導における指導者の評価は、競技力をいかに向上させるかばかりに目が向けられてきたが、生徒に対する定量的な評価基準を用いた指導がおこなわれることで、人間的な成長をいかに促すことができたか、などの新しい視点で部活動指導者を多角的に評価できるようになり、競技成績至上主義からの脱却が可能となる。このことは、チームに対して関わる指導者の役割を明確化し、部活動の運営上の役割分担を可能にする。また、部活動の質保証の取り組みとして社会的な責任を果たす仕組みの構築が可能になる。

共同研究型インターンシップの学習過程の定性分析 —高度IT人材の育成の普及に向けて

研究者 北九州市立大学国際環境工学部 講師 山 崎 進

①背景

本研究代表者は平成24年頃から徐々に多能工プログラマと企業家マインドを持つITエンジニアを育成する実践的な教育研究に取り組んできた。多能工プログラマとは、要求定義から保守運用まで開発工程一通りに熟知し、かつクラウドから組み込みシステムまで広範囲の開発経験を積んだエンジニアを指す。一方、企業家マインドを持つITエンジニアとは、ITのビジネス価値や可能性に熟知し、ビジネスモデリング／マーケティング／デザイン思考等を駆使して起業を含むビジネスチャレンジに取り組むエンジニアを指す。いずれも本研究代表者が長年研究・実践してきたソフトウェア工学／経営学上の強みを最大限生かす実践者育成の方向性であり、このような高度IT人材育成に対する社会的ニーズも高いと判断して始めた独自の取り組みである。

この取り組みで重視しているのは「自ら学ぶ力を持たせる」「個性に合わせて長所を伸ばす」「現実社会の問題解決の経験を積ませる」の3点である。中心的な活動は次のような共同研究型インターンシップである。

- ・この取り組みに賛同する近隣の企業や他研究室から依頼されたソフトウェア受託開発を行う。
- ・その過程で研究代表者や複数のエンジニアの実践指導を受ける。
- ・直面した課題のいくつかをソフトウェア工学／経営学等の知識体系に基づいて研究する。

平成27年春にこの教育を3年半受けてきた最初の修了生4名と、1年半受けた卒業生2名を輩出した。今後も毎年2～5人程度の人材を輩出し続ける。現在の大きな研究課題は、学習研究の研究メソッドに基づいてこの取り組みをふりかえることである。これを起点としてこの取り組みの今後のさらなる改善と普及に結びつけたい。

②目的

本研究の主目的は、共同研究型インターンシップの関係者にインタビュー等を実施し、学生たちがどのような学習・思考のプロセスを経て知識／スキル／態度を獲得したのかを明らかにすることである。この結果に基づいて共同研究型インターンシップの効果的だった点と改善すべき点の両面を明確にして、今後の改善や普及に結びつく新たな知見を得たい。

③学術的な独自性と意義

共同研究型インターンシップは徒弟制の一種である。IT分野の人材育成では、90年代半ば頃から徒弟制の良さが見直されている状況である。一方、教育工学、とりわけインストラクショナル・デザインの分野では、問題解決能力のような高度な知的技能や認知的方略を教授するアプローチを模索し続けており、そのうちのひとつとして認知的徒弟制が注目されている。本研究は両分野のフロンティアを開拓する取り組みである。

④期待される成果と発展性

共同研究型インターンシップや関連する他の人材育成方法論を広く普及させることで、高度IT人材が決定的に不足している現況を大きく変えることにつながる。単に既存企業に人材を供給するだけでなく、起業を促進する作用も期待できる。

①研究背景

グラフ電卓は数学教育に導入されて30年以上を過ぎ、その機能はすでに数学教育用のPDAと言っても良い機能を備えるようになってきている。そのなかでカシオのClassPadシリーズはヨーロッパ特にスカンジナビア諸国で恒常的に数学教育のなかで利用されている。さらに米国・オーストラリア・アジア圏ではClassPadに加えて、TIのインスパイアシリーズが高校・大学初年級の数学教育に使用されている。欧米ならびにアジア圏等で、グラフ電卓の数学教育における有効な利用方法の研究が非常に多く行われている。それに比べて日本においては、ClassPadは開発元の国でありながら残念ながら販売されておらず、TI-nspireのみが輸入代行業者によって頒布され、いくつかの高等学校で使用され、数学教育での有効な利用の研究は高専と高校において若干の研究が行われているに過ぎない。

また一方、教育の情報化が進められ、内外の教室で電子黒板が広く導入され、教育工学の分野では盛んにその有効利用に関する研究が行われるようになってきている。しかし、そのなかで数学教育における利用の研究は端緒に就いたにしか過ぎないと言える状態である。さらに、教科書開発会社を中心となって、数学科のデジタル教科書が研究開発されるようになってきている。啓林館・数研出版・東京書籍などがすでに学校ならびに生徒に販売を開始している、しかし、紙媒体の教科書を超えて、どのような機能を付加すべきかについては暗中模索の状態が続いている。

そこで本研究では、数学教育において研究実績のあるグラフ電卓を新しい電子機器・電子媒体とどのように結びつけることで効果的な数学科の授業を展開することが可能かを研究することを目的とした。

②目的（課題設定とねらい）

上記のような研究背景から本研究の目的を 電子黒板・デジタル教科書・グラフ電卓を連携させた数学科指導の研究とした。具体的には、生徒一人ひとりが使用するグラフ電卓、授業では主に電子黒板に投影して、その機能を利用しながら授業が進められるデジタル教科書、電子黒板用のソフトウェアがインストールされたラップトップ・パソコン、さらにそのパソコンにグラフ電卓のエミュレータソフト(ClassPad, TI-nspireともにすでに開発されている)を利用してグラフ電卓を電子黒板に投影させることが可能となる。これらの機能を連携させることで、これらを活用した数学科の効果的な指導方法を研究開発することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

数学教育においては、グラフ電卓の効果的な利用については、これまで外国を中心に数多くなされてきているが、電子黒板上への投影、デジタル教科書との連携をテーマにした研究はほとんどない。さらに数学教育においては電子黒板の効果的な活用に関する研究は、端緒に就いたばかりである。これらの2点に本研究の独創性がある。また、将来の数学教育における新しい授業方法を示すという点で、大きな意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究の成果として、これまで使用されてきたグラフ電卓のKnow-Howを生かして、グラフ電卓と電子黒板とデジタル教科書を連携させた数学科の授業モデルならびに教材の開発を挙げることができる。これらは、高等学校学習指導要領解説数学科編で挙げられている「各科目の指導に当たっては、必要に応じて、コンピュータや情報通信ネットワークなどを適切に活用し、学習の効果を高めるようにすること。」に定めることとなる。また、その発展としてはグラフ電卓の機能、電子黒板の機能、デジタル教科書の機能を見直すことを促すと思われる。

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

電話 (03) 5334-4747
