

千葉工業大学

プロジェクト研究年報

2023年

千葉工業大学
プロジェクト研究年報
2023年度

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅰ）〕

パワー半導体デバイスの実動作状態でのナノスケール観測に基づく故障解析への展開	佐藤 宣夫	1
--	-------	---

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅱ）〕

水輸送ゲル層を備えた放射冷却ソーラー放熱層の創製	亀谷 雄樹	3
新奇な電磁分離現象を利用した革新的凝固プロセスによるアルミニウム合金の精製と創製	田村 洋介	5
ホットスポットを活用した革新的磁気プラズモニック物質：新原理センサ材料への展開	安川 雪子	7
走化性運動による細胞集合を制御する低分子化合物の作用機構の解明	成田 隆明	9
ユーザの感情表出を利用する仮想世界と現実世界の無意識的融合	有本 泰子	11

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅲ）〕

期待寿命と性能を考慮したパワー半導体デバイスのゲート電圧設計に関する研究	林 真一郎	13
製造業研究開発における戦略思考から在り方思考への組織変革	新谷 幸弘	15
複雑構造を有するアミノアルコールのヨウ素触媒的合成法の開発	原口 亮介	17
電子状態に基づく金属空気電池の高活性酸化物正極触媒の創成	高橋伊久磨	19
ランダムスパース方程式求解を高速化するためのGPUを搭載するヘテロジニアスマルチコアを用いた新たな高速求解アルゴリズムの開発	富永 浩文	21

〔科研費採択者助成金〕

周波数シフトテラヘルツ波による建築物非破壊診断の応用展開	水津 光司	23
ポストコロナ新時代のワークライフバランス実現のためのストレスコーピングデザイン	滝 聖子	25
統合失調症の早期診断に向けた大域的な神経ネットワークダイナミクスの障害の解明	信川 創	27
知覚衣服によるヘルスケア基盤技術の構築	小山 勇也	29
凝集誘起発光において非断熱遷移ダイナミクスが巧みに制御されるメカニズムを捉える	山本 典史	31
異種材料間接合の低抵抗化とそのデバイス応用	内田 史朗	33
水槽に用いられるポリマーセメント塗膜防水層のふくれメカニズムの解明とその評価方法	石原 沙織	35
ジュニア選手の謙虚さを向上させる介入方策の確立：挫折経験によるQOL、競技力向上	遠藤伸太郎	37
手指動作の識別と定量を目的としたミリ波レーダ信号の解析	三木 大輔	39

産後の日常生活活動を高めるオンライン身体活動促進プログラムの開発と検証 野村 由実…………… 41

〔科学研究費助成事業一覧〕…………… 43

〔科学研究費助成事業〕

時空間永続証明システムのためのブロックチェーン基盤技術の開発と偽情報対策 藤原 明広…………… 45
への応用

管理農業の普及に向けた情報活用手法に関する研究 森 信一郎…………… 47

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅰ）〕



研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (I)

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : パワー半導体デバイスの実動作状態でのナノスケール観測に基づく故障解析への展開

研究課題名 (英文) : Analysis and evaluation based on nanoscale observation of power semiconductor device under the operating state

研究者 : ○佐藤 宣夫 千葉工業大学
SATOH Nobuo 工学部 機械電子創成工学科 教授

小田 昭紀 千葉工業大学
ODA Akinori 工学部 電気電子工学科 教授

清水 邦康 千葉工業大学
SHIMIZU Kuniyasu 工学部 情報通信システム工学科 教授

1. はじめに

パワー半導体デバイスは、その名の通り「パワー (電力)」制御を担う素子のことであり、電動機の制御として、鉄道車両のほか、自動車、船舶、航空機への応用が図られている。このことは民生品や産業応用品を問わず、デバイスの高耐圧化および大電流容量 (低オン抵抗) 化による性能向上により実現されていることになる。ただし、「耐圧性能」と「低オン抵抗」の両立は、トレードオフの関係[1]にある為、シリコン (Si) よりも良性能が期待されるシリコン・カーバイド (SiC)、ガリウム・ナイトライド (GaN)、酸化ガリウム (Ga₂O₃) 等のワイドバンドギャップ半導体材料を採用したデバイス開発が続けられている[2]。

このようなパワー半導体デバイスは、すなわち電源回路にて使用されている。ただ一方で、電源回路における故障事例の約1/3は、パワー半導体デバイスが要因となる[3]。その中でパワー半導体デバイスの脆弱性が課題であると認識されつつも、故障解析はマクロおよび静的な評価に留まる。その理由は、半導体デバイスの内部構造が微細かつ複雑であり、さらに故障のタイミングと場所、それらの特定が困難であることに他ならない。そのため、スイッチング動作時に発生するサージ電圧に伴う絶縁破壊 (過電圧) や熱暴走 (過電流) について、それらが発生するタイミングと箇所を特定できる観測手法が必要不可欠である。

故障状態に陥ることを避けるべく、パワー半導体デバイスは開発・設計・製造されていることは議論をする必要はない。しかしながら電源回路内では、設計者が意図していない寄生インピーダンス (配線絡交や配線長のインダクタンス、配線数に応じたキャパシタンス) が存在し、それらに起因した共振現象が発現する。このような共振現象によるサージ電圧の発生により、絶縁破壊電界を超える箇所が存在する場合、デバイス故障に至るのである。そのため、電圧印加によるデバイス実動作状態におけるナノスケール観測に基づいて、パワー半導体デバイス内部の電界集中が起こっている箇所を、実

空間において明らかにすることが可能となる走査型プローブ顕微鏡によるナノスケール観測に期待が寄せられている[4]。

本研究の目的は、健全状態および故障 (あるいは劣化) 状態にあるパワー半導体デバイスについて、電圧印加による動作状態下でナノスケール観測できる装置を構築し、デバイス解析・評価技術を確立することである。さらに加えて、それらの観測結果に基づくシミュレーション解析により、パワー半導体デバイスの動作理論限界を見極める手法を提案していくことである。

2. 研究の内容

パワー半導体デバイスにおける絶縁破壊という事象、その物理現象について、それが瞬時的なのか、それとも漸次的なのか、さらにそのことは何らかの連鎖に基づく現象なのか、あるいは予兆も無く突発的であり不連続現象なのか、それらを明らかにしていく必要がある。このようなことは、半導体デバイスの故障という産業的な課題解決に留まることなく、学術的かつ根源的な課題、つまり破壊メカニズムの物理的な解明に繋がる取り組みである。

SiC製の市販ディスクリート型のパワー半導体デバイスのナノスケール領域における表面形状/表面電位/微分容量を

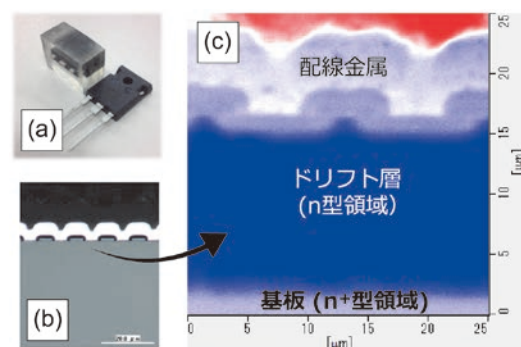


図1. パワー半導体デバイス (a) 外観, (b) 光学顕微鏡像【断面】, (c) ナノスケール観測結果

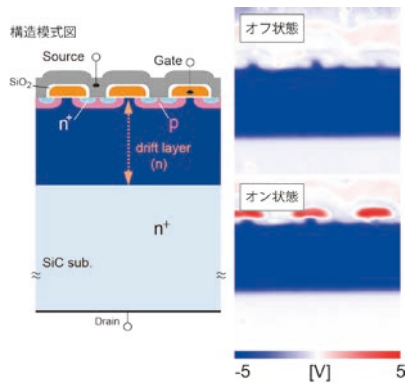


図2. デバイス内部ナノスケール観測

同時・同一領域でマッピングできるナノスケール観測装置の開発は、応募申請時に完了した。具体的な研究成果として、既存装置による MOSFET 素子の観測結果例を図1に示す。光学顕微鏡では捉えられない内部構造が明瞭に観測できていることがわかる。

図2は、パワーMOSFET（電界効果トランジスタ）内部の断面ナノスケール観察例である。ここで構造模式図のほか、デバイスの OFF/ON 時の内部状態を画像化したものを示している。これらの結果からは、パワーMOSFET に対してバイアス電圧を印加、すなわちデバイス動作（OFF/ON）状態下におけるナノスケール観測に成功したことがわかる。そして、このような観測結果に基づいたデバイス故障原因の物理モデルを考案していくのが本研究の取り組みの骨子であり、その手法確立に至っている。

以上のことについて、それは具体的には図3に示すように、健全動作しているパワー半導体デバイスのナノスケール観測結果とデバイスシミュレーション、それらの両解析手法の確立に繋がるものである。ここで、ゲート(Gate)端子、ドレイン(Drain)端子、ソース(Source)端子のそれぞれの電極端子に対して電圧印加し、すなわち、(1) MOSFET のオン状態の明瞭な観測結果から、(2) 計算領域や条件を設定した上で、(3) 健全動作デバイスの動作シミュレーションに成功している様子を示している。

最終的には、健全動作に限らず、劣化・故障状態にあるパワー半導体デバイスを観測対象とする必要があると考えている。そのため、図4に示すような熱加速劣化試験 ($V_{gs}=45\text{ V}$ 印加, $150\text{ }^\circ\text{C}$ 環境下) を施した SiC 製パワーMOSFET への評価・

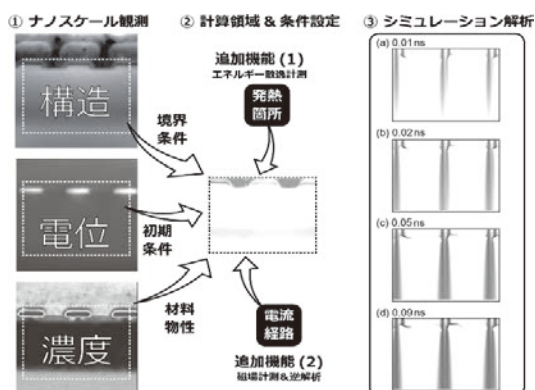


図3. デバイス内部観測とシミュレーション解析の相関

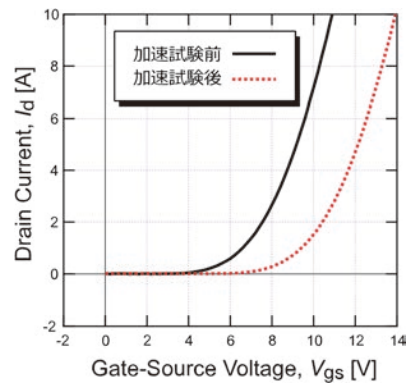


図4. デバイス特性評価（加速試験前後）

解析については、本研究による取り組みによって、目処が立つに至っている。

3. まとめと今後の課題

電化製品に必要な不可欠な電源回路、その内部で用いられるパワー半導体デバイスの通電状態におけるナノスケール評価装置の開発とその手法の確立に向けた取り組みについて述べた。具体的には、観測対象とする半導体デバイスは、SiC 製パワーMOSFET であり、走査型プローブ顕微鏡にて、ナノスケール観測に基づく評価解析について報告した。

今後、このような高電圧・大電流を制御する高密度エネルギー電源回路において用いられるパワー半導体デバイスのナノスケール動作解析を通じて、そのデバイスの理論的境界、さらには不良箇所の特定や解析に関する技術を確立していく。

本研究に関する主な発表論文

- (1) M. Sumi, T. Tsuruoka, T. Tamura, N. Satoh, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 143, pp. 236-241 (2023).
- (2) K. Kato, H. Yamamoto, N. Satoh, *IEEE Transactions on Sensors and Micromachines*, Vol. 142, pp. 316-324 (2022).
- (3) K. Nakayama, T. Tamura, X. Wei, N. Satoh, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 142, pp. 177-186 (2022).
- (4) A. Doi, N. Satoh and H. Yamamoto, *IEEE Transactions on Sensors and Micromachines*, Vol. 141, pp. 349-355 (2021).

参考文献

- [1] 松波弘之, 木本恒暢, 中村孝, 大谷昇, 「半導体 SiC 技術と応用」, 日刊工業新聞社 (2011).
- [2] B. J. Baliga, “Fundamentals of Power Semiconductor Devices”, Springer (2008).
- [3] S. Yang, et al., “An Industry-Based Survey of Reliability in Power Electronic Converters,” *IEEE Trans. on Ind. App.*, Vol. 47, pp. 1441-1451 (2011).
- [4] 長康雄, 応用物理, Vol. 85, pp. 560-567 (2016).

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅱ）〕



研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (II)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : 水輸送ゲル層を備えた放射冷却ソーラー放熱層の創製

研究課題名 (英文) : Radiative-cooling solar heat dissipation assisted with water-transport gel layer

研究者 : 亀谷 雄樹
KAMEYA Yuki

千葉工業大学
工学部 機械工学科 准教授

1. はじめに

近年の地球規模のエネルギー問題から要請されている化石燃料の使用量削減と再生可能エネルギー導入拡大を目指し、海水淡水化や各種蒸留プロセスに太陽エネルギーを導入することが期待されている^(1,2)。太陽熱で駆動される蒸留システムは、太陽熱で水を蒸発させる蒸発器と、蒸気を凝縮させるコンデンサにて構成される。

コンデンサの凝縮面は、凝縮水が連続的に生成し、同時に蒸気の凝縮熱で加熱されるため、背面 (放熱面) から周囲環境への放熱を要する (図 1)。放熱面の工夫を試みた実験報告⁽³⁾では、十分な性能向上には未だ至っていないため、放熱面と凝縮面とを併せて検討することにより、コンデンサ性能を決定する因子の包括的な解明を行い、周囲環境条件に応じて性能を引き出すコンデンサ設計手法の体系的な確立ができると考えられる。

本研究では、太陽熱で駆動される蒸留システム内のコンデンサ放熱に関して、熱・物質輸送の促進による性能向上を図るため、以下の二つの機能を有する水輸送ゲル層を備えた放射冷却ソーラー放熱層を提案する。

(1) 主に可視光と近赤外光からなる太陽光を反射し、かつ大気窓の波長域を中心とした赤外光を高効率で放射する放射冷却機能を有する。

(2) 水の蒸発潜熱による冷却効果を利用して冷却性能を高めるため、水輸送ゲル層を備えており、ゲル層内の自発的な水輸送作用により冷却面への持続的な水供給を実現する。

本報では提案する放射冷却ソーラー放熱層の実現性についての初期検討を報告する。

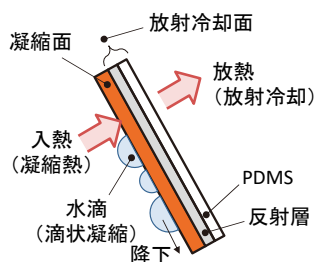


図 1. コンデンサ凝縮面および放熱面の概要

2. 研究内容

2.1 水輸送ゲル層の試作

目標とする放射冷却コンデンサ放熱面では、基板上に水輸送特性を有するゲル層を形成し、さらに放射冷却層を付与することにより、所望の機能性を有する放熱層を構築することを目指している。放射冷却層については、すでに検討を進めているため、ここでは水輸送ゲル層についての検討を進めた。

まずゲルの調製を実施した。プロセスの概要を図 2 に示す。市販の PVA 粉末を準備し、所定量の純水へ投入した後、マグネチックスタラーで攪拌を行い、水中へ溶解させた。このとき、十分な溶解のためには昇温と継続的な攪拌が必要であった。このため、ヒーターで加熱を行うこととした。温度上昇に伴い水の蒸発が促進されるため、濃度変化を避けるべくビーカー上部をラップで覆う処置を行った。温度計測を実施しながら十分な溶解が達成されるまで加熱と攪拌を続けた。その後、PVA 水溶液を型に流し込み冷却することによりゲルを得た。詳細な調製条件は、基礎特性評価の結果を考慮し、最適化を図っていく計画である。

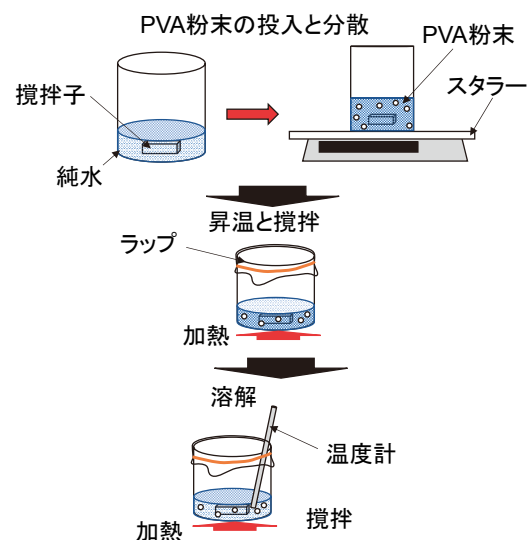


図 2. ゲル調製プロセス

2.2 試作ゲルの構造評価

調製条件に依存する水捕集ゲル層の吸水特性を明らかにするため、ゲル内部の微細構造を調べることにした。真空凍結乾燥によりゲルの構造を保持しつつ、電子顕微鏡による観察を行った。真空凍結乾燥には、フリーズドライヤ (DC41B, ヤマト科学) を用いた。実験装置を図3に示す。サンプルを予備凍結させた後、フリーズドライヤ本体へサンプルを入れた凍結乾燥用フラスコを設置し、真空ポンプで減圧した。この操作で良好な凍結乾燥ゲルを得るため、サンプル厚さの調整を行った。

乾燥が完了したサンプルを走査型電子顕微鏡 (S-4700, 日立) により観察した。電子顕微鏡による観察を容易にするため、サンプルへ導電性コーティングを施した。観察例を図4に示す。ゲル内の保水に寄与するとみられる空隙が試料全体で確認された。断面を形成して観察した場合には、ゲルの表面付近と内部での形態の差異もみられた。さらに、ゲルの調製条件 (温度, PVA 濃度, 添加物の種類・濃度) によっても構造のスケールや形態が異なっていた。ゲルの含水率などとの相関を明らかにすることが今後の課題である。

調製されたゲルは放射冷却機能を担う高分子素材と組合せ、水輸送性能に加えて分光光学特性などの評価を行う必要がある。分光光学計測は、太陽光のエネルギーが主に存在する可視～近赤外域に加え、熱放射が関わる赤外域も重要であるため、これらの波長域で実施する。特に大気窓と呼ばれる赤外線の一部の領域を中心とした波長域で十分に高い放射性能が得られることが重要である。また、今回調製したゲルは可視光を散乱する構造であるため、積分球を用いた反射測定を要する。

上記の一連の評価結果に基づき試料の調製条件を見直し、本研究の目的に適合する性能を目指して改良を継続することが求められる。ここで報告した放射冷却に関わる素材については、その開発が活発に進められている状況であり、今後のさらなる進展が期待される⁽⁴⁾。



図3. フリーズドライサンプル作製のための実験装置

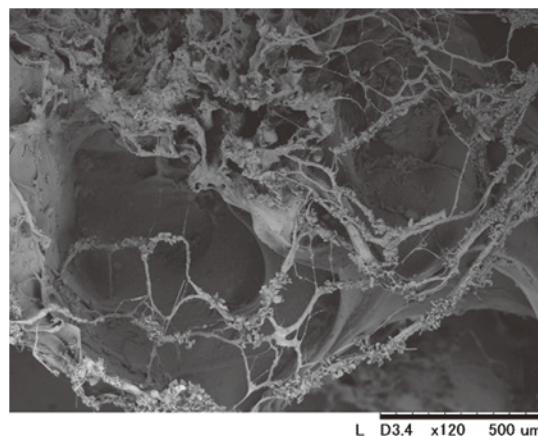


図4. ゲル試料SEM像の一例

3. まとめ

本報では、太陽熱で駆動される蒸留システムを高度化するため、従来にないメカニズムで放熱を行う技術として水輸送ゲル層を備えた放射冷却ソーラー放熱層を提案し、その実現性を検討するための試料作製プロセスを構築した上で試料のミクロな構造を評価した。構築した手法を用いて、ゲル構造と水輸送性能などに関する評価を実施していくことで、ゲル特性のさらなる改良を重ねていく必要がある。ここでの知見をもとに、化石燃料の消費量削減と再生可能エネルギーの導入拡大を目指し、太陽熱を最大限に利用するソーラー蒸留システムの実現に向けて取り組んでいくことが望ましい。

参考文献

- (1) Sacco, et al., *J Clean Prod* 175 (2018) 38.
- (2) Pang, et al., *ACS Energy Lett* 5 (2020) 437.
- (3) Zhou, et al., *PNAS* 118 (2021) e2019292118.
- (4) Zhu, et al., *Comm Eng* 2 (2023) 35.

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金(Ⅱ)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名(和文) : 新奇な電磁分離現象を利用した革新的凝固プロセスによるアルミニウム合金の精製と創製

研究課題名(英文) : Refining and Producing of Novel Aluminum Alloys through an Innovative Solidification Process Utilizing Novel Electromagnetic Separation Phenomena

研究者 : 田村 洋介 千葉工業大学
TAMURA Yosuke 工学部 先端材料工学科 教授

1. はじめに

CO₂ 排出量削減の観点から、自動車等へのアルミニウム合金の使用量は増加傾向にある。同時に回収されるスクラップ量も増え、その種類も多様化している。そのため溶湯品質の向上は重要な課題となっている。著者は、Al-10Fe 合金溶湯に直流電流と静磁場を印加し、その状態で凝固させると、初晶 Al₁₃Fe₄ が铸塊表層に分離する現象を発見した(以下、新奇な電磁分離現象と記す)。当該現象を利用することで、品質の低下したアルミニウム合金を精製でき、さらに表層に分布した固相粒子の積極的利用を考えると、新たな複合材料および傾斜機能材料の開発にも繋がる。

溶融金属と固相粒子の電気伝導率に差がある場合、理論的には電磁力によって固相粒子を分離可能である。電磁力を用いた液相からの固相分離プロセスは、大がかりな装置を使用することなく微細な粒子を比較的短時間に分離可能と考えられている。しかし実用金属を用いてその効果を実証した例は少なく、技術導入に際して参照できるデータも乏しい。新奇な電磁分離現象は凝固過程で発現すると考えられるが、現状、その条件に関しては不明な点が多い。当該現象を明らかにするには、電磁力の印加条件、合金種および凝固条件に着目する必要がある。本研究では、申請者の発見した新奇な電磁分離現象に係る知見を蓄積し、その理解を深めることを目的とした。

2. 実験方法

新奇な電磁分離現象において、既存の電磁分離理論から予想される一方向への固相粒子の偏析は認められない。そのため当該現象の再現性及び一般性を確認する必要がある。そこで Al-25Si 合金を研究に用いることとした。Al-Si 系を選んだ理由は、幅広い組成域で実用合金が規格化されており、結果によっては新たな技術開発に繋がるためである。

Al-25Si 合金に関し、「合金種」、「印加電磁力の大きさ」及び「電磁力を印加するタイミング」が凝固組織にどのような影響を及ぼすかを調べた。電磁力は、溶湯に直流電流を流すと共に永久磁石(Nd-Fe-B)の磁極間にそれを静置することで印加した。なお磁場の大きさは一定(約 0.54 T)とした。「電磁力を印加するタイミング」は、電磁力を印加する温度に着目した。

溶湯を所定の温度(以下、試験温度と記す)に昇温後、炉外に

取り出し、直ちに以下の条件で自然凝固させた。

- ① 「そのまま」冷却
- ② 「電流 100 A」と「磁場」を印加
- ③ 「電流 130 A」と「磁場」を印加

試験温度は、650°C、750°C、850°C、950°Cとした。図 1 に Al-Si 合金の平衡状態図と試験温度の関係を示す。試験温度において、合金は完全に液相、あるいは固液二相状態である。固液二相状態とは、初晶 Si が未溶解のまま液相(L)中に遊離した状態を意味する。実験後、ムライト管から試料を取り出し、マクロ組織観察、光学顕微鏡組織観察に供した。本稿では、Al-25Si 合金を「S」とし、それに試験温度と実験条件を付した記号で各試料を表すこととする。例えば試験温度 950°C、試験条件①により得られた試料は、「S_{950-①}」のように表記する。

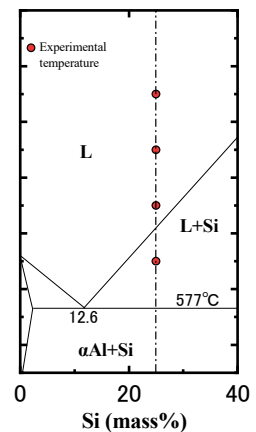


図 1 Al-Si の平衡状態図と試験温度の関係

3. 結果及び考察

図 2 に S_{950-①}、S_{950-②}、S_{950-③}の長手方向断面および任意の横断面におけるマクロ組織を示す。初晶 Si は、S_{950-①}の各断面で不規則に分散しているが、S_{950-②}および S_{950-③}では明らかに断面の縁に偏析していた。図 3 に初晶 Si の分布と試験温度の関係を示す。写真は S_{650-②}、S_{750-②}および S_{850-②}の長手方向断面と任意の横断面マクロ組織である。S_{650-②}は固液二相共存状態から、それ以外は液相状態からの電磁力印加となる。それぞれの組織を比較すると、結果的に初晶 Si の偏析は S_{650-②}以外、すなわち液相状態から電磁力を印加した場合のみ観察されることが明らかとなった。しかし以上に述べた結果から、初晶 Al₁₃Fe₄ の場合と同様、電磁力は遊離している初晶 Si には作用せず、初晶 Si の核生成および結晶成長過程において何らかの影響を及ぼすと推測される。

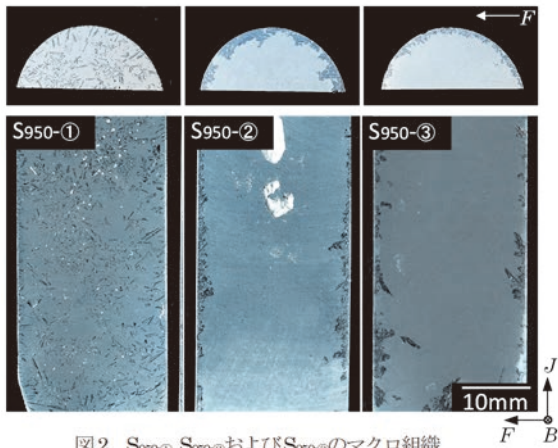


図2 S₉₅₀₋₁, S₉₅₀₋₂およびS₉₅₀₋₃のマクロ組織

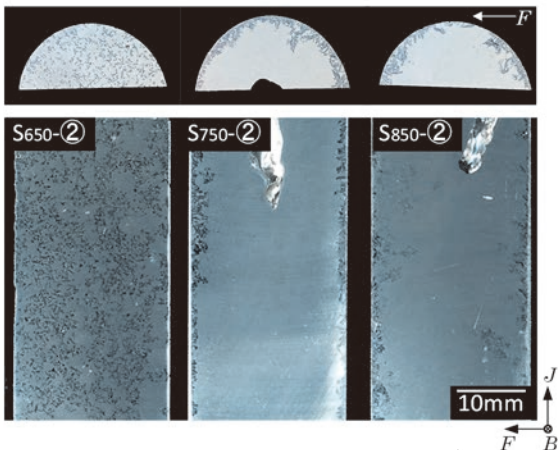


図3 S₆₅₀₋₂, S₇₅₀₋₂およびS₈₅₀₋₂のマクロ組織

図4はS₉₅₀₋₁, S₉₅₀₋₂およびS₉₅₀₋₃の光学顕微鏡組織である。図4右上の挿図に示すように、観察領域は試料の長さ方向中央部断面の表層部A、中間部Bおよび中心部Cとした。

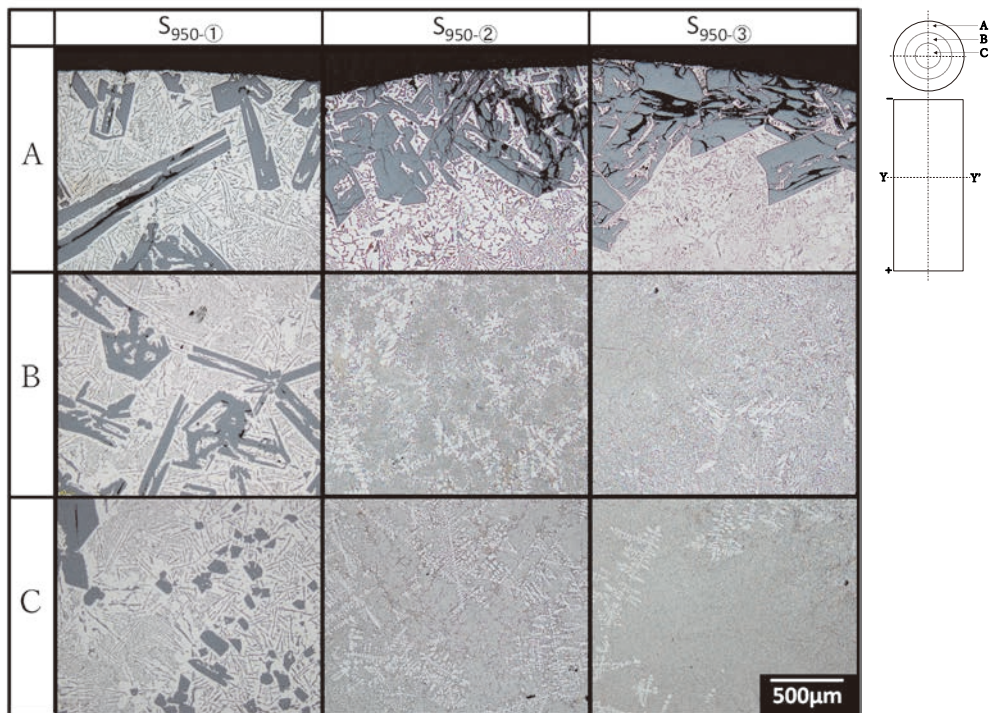


図4 S₉₅₀₋₁, S₉₅₀₋₂およびS₉₅₀₋₃の光学顕微鏡組織

S₉₅₀₋₁において、初晶 Si は、A、B、C の全領域で観察された。一方、S₉₅₀₋₂と S₉₅₀₋₃で初晶 Si が観察されたのは、微視的にも A のみであった。また試料表面には、初晶 Si が緻密に分布していた。S₉₅₀₋₂および S₉₅₀₋₃の表層以外には、微細な共晶が全体に亘って観察された。中心に近い領域の共晶は特に微細であり、その中には初晶 αAl と考えられる樹枝状晶も確認された。S₉₅₀₋₁が初晶 Si と共晶から成る典型的な過共晶組織であるのに対し、S₉₅₀₋₂および S₉₅₀₋₃では、広範な領域で共晶あるいは亜共晶組織となっていた。これらは急速凝固あるいはストロンチウム(Sr)添加により改良された組織とよく似ていた。S₉₅₀₋₂および S₉₅₀₋₃で観察された広範に亘る共晶および亜共晶組織は、カップルド・ゾーンを経た凝固組織(以下、過冷凝固組織と記す)と考えられる。過共晶 Al-Si 合金では、初晶 Si が共晶先行相となる。したがって溶湯中に初晶 Si が分散していれば、凝固時に核生成に必要な過冷を伴わず、共晶 Si は初晶 Si から成長する。一方、溶湯中に初晶 Si が存在しない領域が形成されていれば、その領域内の共晶凝固には過冷が必要となる。S₉₅₀₋₂および S₉₅₀₋₃において、初晶 Si は領域 A に偏析しており、領域 B と C に初晶 Si は観察されなかった。したがって領域 B と C は、過冷凝固組織になったと考えられる。

4. 結言

電磁力は、初晶 Si の試料表層への偏析と共晶組織の微細化を生じる。その効果はいずれも顕著であり、今後の応用が期待される。

参考文献

- (1) 田村 洋介, 早田 博, Alexander McLean, 水野 健太郎, 高橋 謙三, 軽金属, 第 72 巻, 第 4 号, 2022, 115-121.

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (II)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : ホットスポットを活用した革新的磁気プラズモニック物質: 新原理センサ材料への展開

研究課題名 (英文) : Innovative magneto-plasmonic materials using the efficiencies of hotspots: for a development of sensors based on novel methods

研究者 : 安川 雪子 千葉工業大学
YASUKAWA Yukiko 工学部・電気電子工学科・教授

1. はじめに

本研究では磁性薄膜の磁気光学効果を利用した高感度センサ材料の開発を目指している。そのために (1) 高エネルギー加速器研究機構において、放射光を用いた磁性薄膜の測定および (2) 磁気光学効果測定装置の構築を行ったので報告する。

2. 放射光を用いた磁性薄膜の測定

X線磁気円二色性とは、磁化した試料において右回りの円偏光および左回りの円偏光 X線に対する X線吸収強度や吸収スペクトルに差が生じる現象を利用した測定法である。X線磁気円二色性は X線領域における磁気光学効果の一種とも捉えられており、元素吸収端で観測するのが一般的である。これを利用し、本研究では磁性薄膜を構成する各元素のスピンの磁気モーメントと軌道磁気モーメントの定性/定量測定を行った。

本実験は高エネルギー加速器研究機構の高性能ビームライン BL-16A を用いて実験をした。測定は試料に対して垂直方向から外部磁場を 2T 印加した状態で、X線を垂直入射した。また試料を傾け、試料に対して $\sim 5^\circ$ で X線が傾斜入射する場合についても測定を行った。

定性測定/解析の結果、磁性薄膜を構成する 3d 遷移金属元素と 4f 元素の磁気モーメントを分離することができた。また定量解析からは両元素では磁気モーメントの寄与が異なることが明らかとなった。すなわち 3d 遷移金属元素ではスピン磁気モーメントが支配的であり、4f 元素では軌道磁気モーメントが支配的であった。今後はホットスポット励起時/未励起時での X線磁気円二色性の測定を実施する予定である。

3. 磁気光学効果測定装置の構築

当研究室には、既に磁気光学 (横 Kerr 効果) 測定装置を構築し、現有している。この既存装置は受光器に光電子倍增管を使用しており、測定時は角度を目測し、手動で入射光の角度を動かす必要がある。可変角度は 1° が最小である。従ってこの装置では個人誤差の発生や、分解能が課題となってきた。

この問題を解決するため、受光器に CCD カメラを用いることで、入射光の位置を固定したまま一定の角度範囲を測定できる、新たな横 Kerr 効果測定装置の構築に取り組んだ。図 1 にこの装置の構成図を示す。

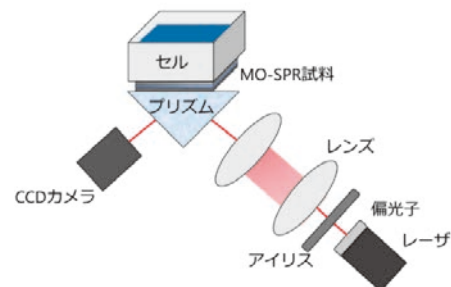


図 1 新規に構築した横 Kerr 効果測定装置の構成
また図 2 が、実際に新たに構築した横 Kerr 効果測定装置である。

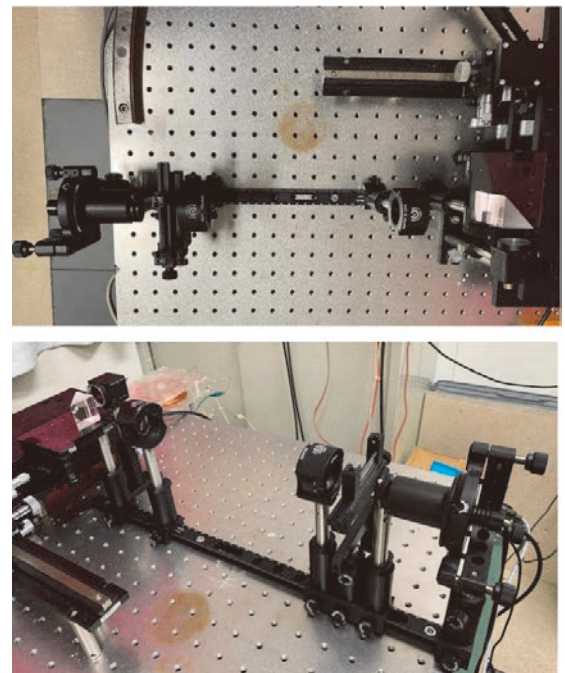


図 2 新規に構築した CCD カメラを擁する横 Kerr 効果測定装置

図2の装置を用いて、表面プラズモン共鳴現象と結合した磁性薄膜からの反射光を検出した結果が図3である。

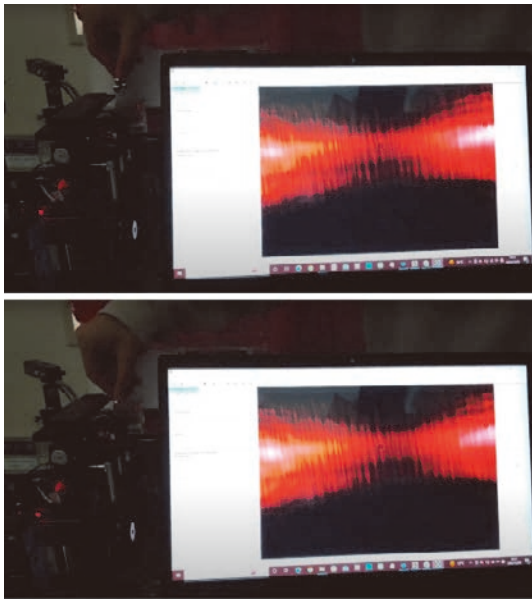


図3 表面プラズモン共鳴現象と結合した磁性薄膜に磁場を印加した場合（上）としない場合（下）の反射光の変化

図3の上の結果に対して CCD カメラを用いた結果が図4である。図4の光強度が低い部分が、表面プラズモン共鳴が励起した「共鳴角」をあらわす。共鳴角は検出対象物質の屈折率によってシフトするため、共鳴角を測定することにより、対象物質をセンシングすることが可能となる。

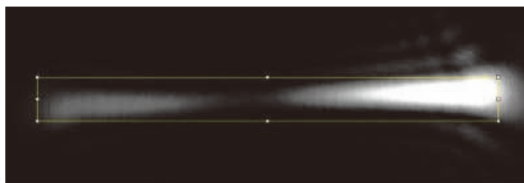


図4 表面プラズモン共鳴現象と結合した磁性薄膜に磁場を印加した場合における、CCD カメラで検出した反射光

図3と図4の結果を比較すると、両者には矛盾がなく、CCD カメラを用いても結果を得られることが明らかとなった。

図5は図4で検出した光の強度分布を数値化した結果である。図に示す通り光の強度分布を数値化することができた。その一方で、数値と光の強度の対応については今後の課題である。同様に図5における X 軸と入射光の角度の対応をとることも今後の課題に挙げられる。

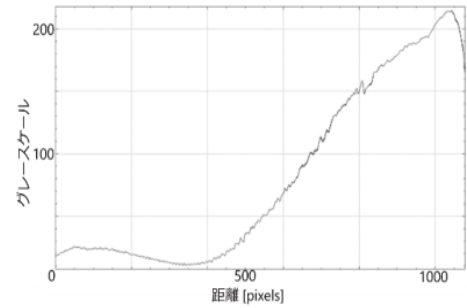


図5 CCD カメラを用いて検出したレーザー光の強度分布

結論として、横 Kerr 効果測定装置はほぼ完成段階まで構築することができた。使用した各種の部品は、何れも汎用品で最終的に装置に組み込めるようなものを利用した。装置構築をとおして CCD カメラでの測定が可能であることに加え、光学系部品の配置の適切化をはかることにより、コンパクトで僅か数十 cm 四方の装置を完成することができた。一方で、画像解析については課題が残った。この課題については、今後は最適な画像解析ソフトを用いることにより、光の強度分布と数値対応、図5のピクセルと入射光の角度の対応をとることで克服する予定である。

当研究室で作製した表面プラズモン共鳴現象と結合した磁性薄膜の磁気光学効果を評価するためには、この試料に適した最適な横 Kerr 効果測定装置を構築する必要があり、今回の研究は今後の試料作製とその評価に役立つものと考えている。

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (II)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : 走化性運動による細胞集合を制御する低分子化合物の作用機構の解明

研究課題名 (英文) : Elucidation of the mode of action of a low molecular compound that regulates chemotactic cell aggregation

研究者 : 成田 隆明

NARITA Takaaki

千葉工業大学

先進工学部 生命科学科 助教

1. はじめに

細胞性粘菌は発生・分化のモデル生物として利用されている土壌微生物であり、饑餓状態に陥ると、単細胞アメーバが集合して多細胞体を形成する。この際、走化性物質に対する厳密な走化性運動によって細胞集合が行われることから、細胞性粘菌は走化性研究の唯一のモデル生物としても世界中で利用されている^{1,2}。走化性運動は、ヒトを含む多くの生物にとって重要な細胞機能であり、がんの転移や白血球の遊走性なども走化性運動が関与している。そのため、走化性運動の詳細な分子メカニズムの理解は極めて重要となる。

細胞性粘菌 *Dictyostelium discoideum* が産生する二次代謝産物 MPBD は、SteelyA 酵素により合成され、細胞集合と孢子成熟を制御している。しかし、*D. discoideum* における MPBD の機能は「細胞集合の開始のタイミング」の制御のみであり、走化性運動を直接制御しているわけではない³。一方、*D. discoideum* と進化的に異なる細胞性粘菌種 *Polysphondylium violaceum* における解析では、SteelyA 遺伝子破壊株 (*Pv-stIA* 株) は、グロリンと呼ばれる物質を走化性物質として利用する細胞集合に欠損が生じ、ほとんど細胞が集合できなくなることが明らかとなっている⁴。これは、*P. violaceum* における SteelyA 産物がグロリンに対する走化性運動を完全に制御していることを意味している。しかし、*P. violaceum* における SteelyA 産物も MPBD であるのか、それとも別の化合物であるのかは不明である。そこで本研究では、*Pv-stIA* 株を解析することで、*P. violaceum* の走化性運動を「完全に」制御している低分子化合物を同定し、その詳細な作用機構を解明することを目指している。

2. 研究の内容

(1) MPBD および dictyoquinone が *Pv-stIA* 株に与える影響の検証

P. violaceum における SteelyA 産物を同定する第一歩として、*D. discoideum* の SteelyA 産物である MPBD およびその推定代謝産物である dictyoquinone (図 1) が *Pv-stIA* 株に与える影響を検証した。*Pv-stIA* 株は、SteelyA 遺伝子 (= SteelyA 産物) を欠損しているために細胞集合を行なうことができない。しかし、MPBD および dictyoquinone

存在下で *Pv-stIA* 株を発生させたところ、いずれの場合でも、*Pv-stIA* 株は細胞集合を行えるようになることが分かった (図 2)。この結果から、*P. violaceum* においても SteelyA は MPBD を合成していることが強く示唆された。さらに、MPBD が *P. violaceum* の細胞集合を直接制御しているのではなく、MPBD は dictyoquinone に代謝されて作用していることも強く示唆された。

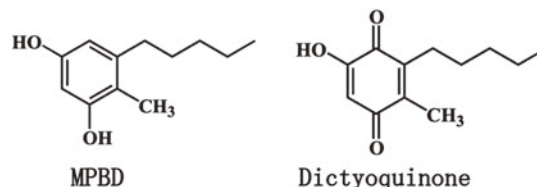


図 1. MPBD および dictyoquinone の化学構造

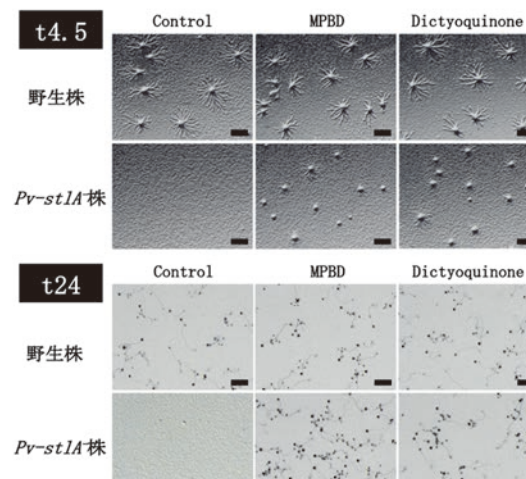


図 2. MPBD および dictyoquinone が *Pv-stIA* 株の細胞集合に与える影響

野生株および *Pv-stIA* 株を 200 nM MPBD または 200 nM dictyoquinone を含む寒天上に 1×10^5 cells/cm² で発生させ、発生開始 4.5 時間後 (t4.5) と 24 時間後 (t24) に顕微鏡により観察した。スケールバー: 400 μ m

(2) 野生株および *Pv-stIA* 株が細胞外に分泌する疎水性物質の回収と化学分析

P. violaceum における SteelyA 産物を同定するため、野生株および *Pv-stIA* 株を大量培養し、各細胞が細胞外に分泌する疎水性物質を Amberlite XAD-2 樹脂に吸着させた。

そのうち、野生株約 1.25×10^{10} cells 分のサンプルから抽出した疎水性物質について HPLC 分析を行ない、MPBD が検出されるかを検証した。その結果、野生株のサンプルでは MPBD と同様の保持時間にピークを検出できたことから、*P. violaceum* も MPBD を合成していることが強く示唆された (図 3)。しかし、HPLC 分析のみでは、検出されたピークが本当に MPBD のものであるかは断定できない。そこで、MPBD が含まれていると思われるフラクションを回収して MS 分析も試みたが、今回の分析ではこのピークに含まれる物質が MPBD であると特定することはできなかった。本実験に関しては、今後も継続して進めてゆく予定であり、まずは「*P. violaceum* 野生株のサンプルに MPBD が含まれていること」を確認したのち、*Pv-stIA* 株のサンプルについても分析を進め、*P. violaceum* における SteelyA 産物を同定する予定である。

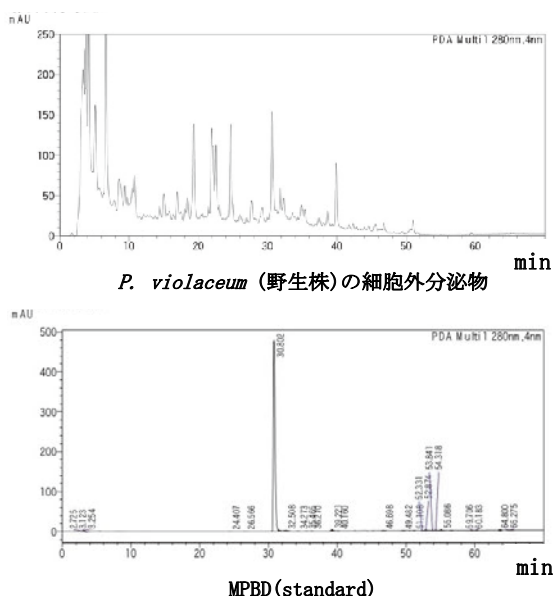


図 3. *P. violaceum* 野生株分泌物の HPLC 分析結果

野生株 (約 1.25×10^{10} cells) が分泌した疎水性物質を 90%メタノールに溶解させ、HPLC により分析した。

(3) 8-Bromo-cAMP が *Pv-stIA* 株に与える影響の検証

D. discoideum においては、細胞集合 (走化性運動) には cAMP 依存性プロテインキナーゼ A (PKA) の活性化が不可欠であり、細胞集合不全を示す多くの株は、PKA の活性化によって集合欠損が回復することが知られている。そこで、*P. violaceum* における SteelyA 産物の作用機構を明らかにするため、細胞膜透過性 cAMP アナログである 8-Bromo-cAMP で人為的に PKA を活性化し、*Pv-stIA* 株の細胞集合欠損が回復するかを検証した。その結果、*Pv-stIA* 株の細胞集合欠損は、8-Bromo-cAMP による PKA の活性化では相補されないことが明らかとなった (図 4)。8-Bromo-cAMP の濃度は 2.5 mM, 5 mM, 10 mM, 20 mM で検証したが、いずれの濃度においても *Pv-stIA* 株の細胞集合の欠損は相補されなかった。したがって、*P. violaceum* における SteelyA 産物は PKA 非依存的に作用しており、cAMP/PKA シグナル経路とは別の経路に作用していると考えられる。

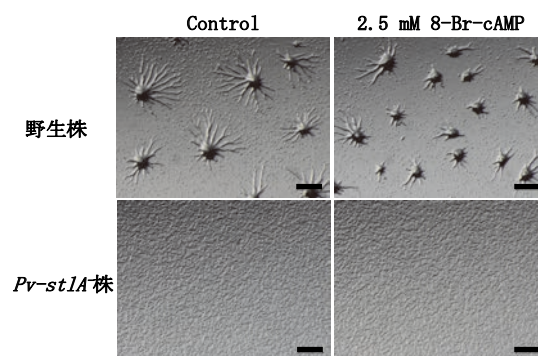


図 4. 8-Bromo-cAMP が *Pv-stIA* 株に与える影響

野生株および *Pv-stIA* 株を 2.5 mM 8-Bromo-cAMP を含む寒天上に 1×10^5 cells/cm² で発生させ、発生開始 5 時間後に顕微鏡により観察した。なお、5 mM, 10 mM または 20 mM 8-Bromo cAMP の場合も同様の結果が得られた。スケールバー: 400 μ m

3. まとめ

本研究では、*P. violaceum* における SteelyA 産物の作用機構を解明するため、*Pv-stIA* 株を用いて解析を行なった。*Pv-stIA* 株の (グロリン走化性による) 細胞集合欠損は、MPBD ならびに dictyquinone によって相補されたことから、*P. violaceum* においても SteelyA は MPBD を合成していることが強く示唆された。実際、今回行なった HPLC 分析の結果では、*P. violaceum* 野生株の細胞外分泌物には MPBD と思われるピークが含まれていたことから、*P. violaceum* の SteelyA 産物は MPBD である可能性が極めて高いと考えているが、引き続き HPLC 分析や MS 分析を進めて検証を得る必要がある。さらに、*P. violaceum* の SteelyA 産物は PKA 非依存的に作用していると考えられるため、*P. violaceum* の SteelyA 産物は一般的に知られる走化性運動制御機構とは異なる作用機構でグロリン走化性を制御していると考えられる。今後は、*P. violaceum* の SteelyA 産物は具体的にどのシグナル経路に作用しているのか、その詳細な作用機構を明らかにすることで、グロリン走化性運動の詳細な分子メカニズム解明に繋げてゆきたい。

参考文献

- (1) Kessin RH., *Dictyostelium*: Evolution, Cell Biology, and the Development of Multicellularity, Cambridge University Press, 2001.
- (2) Nichol et al., Chemotaxis of a model organism: progress with *Dictyostelium*, *Curr Opin Cell Biol* 2015;36:7-12
- (3) Narita et al., The hybrid type polyketide synthase SteelyA is required for cAMP signalling in early *Dictyostelium* development, *PLoS one* 2014;9:e106634.
- (4) Yamasaki et al., The polyketide synthase StIA is involved in inducing aggregation in *Polysphondylium violaceum*, *Biosci Biotechnol Biochem* 2022;86:1590-1598.

研究項目：先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅱ）

研究期間：2022/5/28～2022/9/30

研究課題名（和文）：ユーザの感情表出を利用する仮想世界と現実世界の無意識的融合

研究課題名（英文）：Unconscious integration of real world and in virtual world by reacting user's affect burst

研究者：有本 泰子

ARIMOTO Yoshiko

千葉工業大学

情報科学部 情報工学科 准教授

1. はじめに

仮想世界に関連する技術開発が進み、メタバースなどの仮想世界が日常生活にも浸透しつつある。しかし、仮想世界と現実世界の間では、現実世界と同じようなインタラクションはまだ実現されていない。現実世界の人間は、他人の意図的な行為（話しかける、触るなど）への応答ができるほか、笑ったり叫んだりなどの他人の不意な行動にも、驚いたり振り向いたりなど自然かつ自動的に反応する。一方で、仮想世界はキーボードやゲームコントローラーなどの入力デバイスを用いた現実世界におけるユーザの意図的で物理的な入力に対しては応答できるが、現実の人間の不意な行動に反応することはない。現実世界と同様に、仮想世界が現実世界の行動に反応することができれば、よりインタラクティブな仮想世界の体験を実現できる。

本研究では、無意識な行為を入力とする新しいインタラクションシステムの実現に向け、現実世界に存在するゲームプレイヤーが無意識に表出した感情に対し、仮想世界が自動的に反応することが、プレイヤーの仮想世界への没入感に影響を与えるかを検証する。本研究ではプレイヤーの無意識な感情表現のうち笑い声を対象とする。プレイヤーの笑い声が表出された際にゲームイベントを呈示する条件と、笑い声のない場面でイベントを呈示する条件で実験を実施した。ゲームプレイ後の主観評価実験の結果とイベント呈示後のプレイヤーの生理反応を分析し、現実世界で笑った時に仮想世界が反応することが、笑っていない時に反応する時とは異なる効果をもたらすかを検証した。本報告は人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会で発表した内容(3)を再構成したものである。

2. システム構成

図1にインタラクションシステムの構成図を示す。実験では笑い声を誘発するゲームとしてMinecraft (Microsoft, WA, USA)を使用した。システムは、プレイヤーの笑い声を検出する笑い声検出部、生成するイベントを選択するイベント選択部、ゲーム内にイベントを出力するイベント出力部の3つのモジュールで構成されている。本実験では笑い声の検出エラーによる実験結果への影響を防ぐために、笑い声検出部の代わりに実験者がプレイヤーの笑い声を判別した。イベントの実装にはMinecraftの機能を拡張するmodifications (MODs)を利用した。開発言語にはJavaを使用し、統合開発環境であるEclipse2020を開発用プラットフォームとして利用した。本実

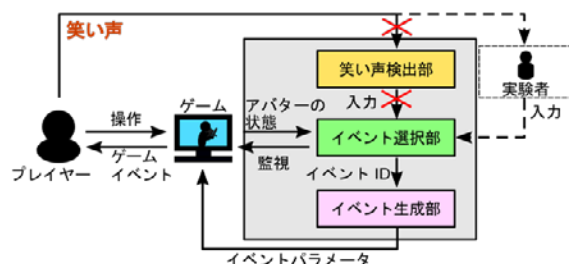


図1 実験用システムの構成図

験ではプレイヤーに有益な効果をもたらす有利なイベントを4種類、プレイヤーがリスクを負う不利なイベントを4種類用意した。各イベントには操作しているアバターの状況に応じた生成条件が設定されており、イベント選択部はその条件に従って生成すべきイベントを選択する。

3. 実験内容

笑い声に対するゲームイベントの呈示がプレイヤーの仮想体験に与える影響を検証する実験を行った。実験の参加者は成人の男性38人、女性20人である（平均20.84歳±3.87）。笑い声を表出しやすい環境を設定するため、実験は友人関係の2人1組で実施した。笑い声に対するゲームイベントの呈示がプレイヤーへ及ぼす影響を検証するため、実験では笑っている時（笑い）に対して有利なイベントを呈示する条件と笑っていない時（非笑い）に有利なイベントを呈示する条件の二つの条件を行うグループと、笑っている時に不利なイベントを呈示する条件と笑っていない時に不利なイベントを呈示する二つの条件を実施するグループに、参加者を振り分けた。客観評価を得るため、ゲームプレイ中の参加者の心電図、皮膚電気活動、表情筋（皺眉筋・大頬骨筋）を記録した。生理反応はBIOPAC MP150 (BIOPAC Systems, Inc., CA, USA)を使用して計測した。また、プレイヤーの主観的なゲーム体験を評価するため、Immersive Experience Questionnaire (IEQ) [1]を用いて、仮想世界への没入感を評価させた。

4. 結果と考察

IEQの5つの因子得点に対し、実験条件ごとに得点の差はないことを帰無仮説とし、呈示条件（笑い/非笑い）とイベントの種類（有利/不利）を要因とする二元配置分散分析を実施した。その結果、不幸な他者への同情的程度を示すempathic concern得点の高群では、積極的な関与と注意を測定するcognitive involvementの得点で、イベントの呈示条件の主効果が見られた（図2左）。笑い条件は、非笑い条件よりも得点が低かった

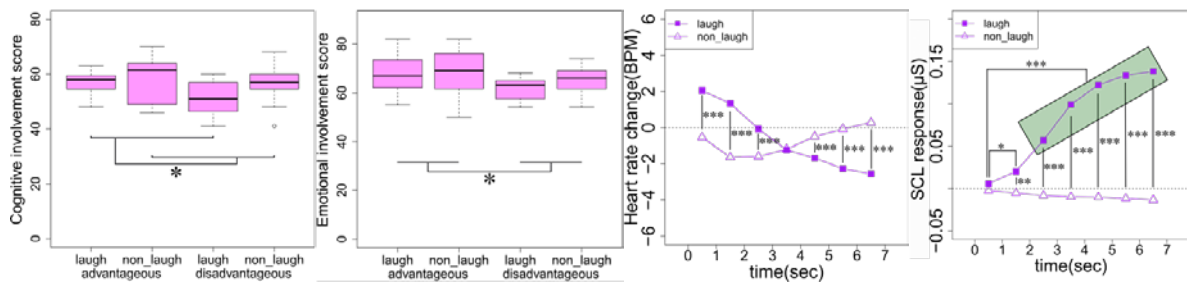


図 2 IEQ による主観評価の分析結果 (左側 2 パネル) と生理反応計測による分析結果 (右側 2 パネル)

($F(1, 29) = 6.05, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.17$)。また、感情と不安を測定する emotional involvement の得点でも、イベントの呈示条件の主効果が見られた (図 2 左から二つめ)。Cognitive involvement と同様に、笑い条件は非笑い条件よりも得点が低かった ($F(1, 29) = 4.89, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.14$)。笑い声に対するイベント呈示が、共感性の高いプレイヤーの意識を現実世界へ向けさせ、感情を操作することが分かった。

各要因の水準間での生理反応スコアの平均値は等しいという帰無仮説を立て、呈示条件、イベントの種類、時間間隔 (心拍、発汗: 7 区間、表情筋: 35 区間) を要因とする三元配置分散分析 (球面性の仮定に反する場合は Greenhouse-Geisser 補正を実施) を実施した。また、下位検定として多重比較を行った。その結果、心拍では呈示条件と時間間隔に交互作用が見られ ($F(6, 7464) = 7.89, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.006$)、多重比較の結果から 3-4 秒を除く 6 つの区間で呈示条件間に有意差が見られた ($p < 0.001$, 図 2 右から二つめ)。0-3 秒間の最初の 3 つの区間では非笑い条件の方が心拍数が低い、5-7 秒間の後ろ 3 つの区間では笑い条件の方が低い。笑っていない時よりも、笑っている時にイベントを呈示した方が心拍数が遅れて減少している。何かに注意が向いた時に心拍数は減少する[2]ことから、笑っているプレイヤーの心拍数の減少の遅延は、プレイヤーの意識を笑いの原因から仮想世界のイベントへと向けさせることで生じた可能性がある。

発汗でも呈示条件と時間間隔に交互作用が見られた ($F(6, 7596) = 107.80, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.078$)。多重比較では、各区間の SCL 平均値が笑い条件の方が非笑い条件よりも有意に高いと示された ($p < 0.01$, 図 2 右)。発汗は感情の覚醒度が高まると上昇する[3] ので、笑い声へのイベント呈示が、プレイヤーを笑って油断した状態から緊張状態へ引き込んだことが示唆される。

表情筋の分析では、大頬骨筋で呈示条件と時間間隔の交互作用に有意差が見られた ($F(34, 43044) = 34.43, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.026$)。笑い条件では大頬骨筋の活動が抑制される一方で、非笑い条件でイベントを呈示したときは促進されている。大頬骨筋は快感情が誘発され笑顔になる時に活発になる[4] ことから、笑い声に対してイベントを呈示すると笑わなくなり、笑い声以外の場面でイベントを呈示すると笑うようになることが分かる。皺眉筋でも呈示条件と時間間隔に交互作用が見られた ($F(34, 42738) = 3.01, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.0024$)。ベースラインからの変化が見られない笑い条件よりも、非笑い条件でイベントを呈示した時に活発化していた。

笑い声に対してイベントを呈示しても、不快な感情を誘発できていないことが分かる。

5. おわりに

本研究では、無意識な感情表出のうち笑い声が出された際にゲームイベントを呈示することが、プレイヤーの仮想体験に与える影響を主観的・客観的な指標を用いて検証した。その結果、笑い声に対してゲームイベントを呈示することで、現実世界への注意や、感情の覚醒度の上昇や快感情の抑制など、単にゲームイベントを呈示する時とは異なる効果をプレイヤーに与え、プレイヤーの認知や感情を操作できる可能性が示唆された。本研究の結果は、現実世界の無意識な行為に対する仮想世界のインタラクションによってプレイヤーの仮想体験を操作できる可能性を示唆した。

本研究に関する主な発表論文

- (1) M. Fukuda and Y. Arimoto, "Physiological Study on the Effect of Game Events in Response to Player's Laughter," in Proc. of APSIPA ASC 2022, pp. 1961-1969, 2022.
- (2) 福田樹人, 有本泰子. 笑うプレイヤーを仮想世界に惹きつけるゲームイベントの検討-生理反応を用いた客観評価-. 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD), pp. 65-70, 2022.
- (3) 福田樹人, 有本泰子, "笑い/非笑い条件下で生成される仮想世界のリアクションがゲームプレイヤーに与える効果の検証," 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会 (SIG-SLUD), SIG-SLUD-097, pp.92-97, 2023.

参考文献

- [1] C. Jennett, A. L. Cox, P. Cairns, S. Dhoparee, E. Andrew, T. Tijs, and A. Walton, "Measuring and defining the experience of immersion in games," International Journal of Human Computer Studies, Vol. 66, No. 9, pp. 641-661, 2008.
- [2] 道広和美, 宮田洋. 定位反応研究について: われわれの 25 年の知見を中心として. 人文論究, Vol. 34, No. 4, pp. 51-73, 1985.
- [3] P. J. Lang, M. K. Greenwald, M. M. Bradley, and A. O. Hamm, "Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions," Psychophysiology, Vol. 30, No. 3, pp. 261-273, 1993.
- [4] U. Dimberg, "For distinguished early career contribution to psychophysiology: Award address, 1988," Psychophysiology, Vol. 27, No. 5, pp. 481-494, 1990.

〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅲ）〕



研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : 期待寿命と性能を考慮したパワー半導体デバイスのゲート電圧設計に関する研究

研究課題名 (英文) : Gate voltage design of power devices considering expected lifetime and performance

研究者 : 林 真一郎

HAYASHI Shin-Ichiro

千葉工業大学

工学部 電気電子工学科 助教

1. はじめに

日本政府は「2050年カーボンニュートラル」を達成するために、グリーン成長戦略を示している⁽¹⁾。その戦略において、電気エネルギーを効率よく使用可能な“パワーエレクトロニクス機器” (以下、パワエレ機器) の導入拡大が図られている。パワエレ機器は、“パワー半導体デバイス”を用いて電力変換 (交流・直流の変換や振幅, 周波数および位相を自在に変換すること) を行う機器である。これまで主にパワエレ機器が用いられてきた産業分野や鉄道分野においては、機器の期待寿命が長く、20年程度となることもある。特に、パワエレ機器を構成するキーパーツであるパワー半導体デバイスは、メーカーにおいて種々の長期信頼性試験が実施されている。そして、長期的な信頼性を担保するため電気的特性に“最大定格”を定めることで性能を制限している。

一方、今後パワエレ機器が様々な分野に導入されることで、要求される期待寿命への柔軟な対応が必要となる。図1は、各分野において要求される期待寿命と性能の概要を示している。前述の通り、鉄道車両に搭載されているパワエレ機器の期待寿命は20年程度であるが、電気自動車 (家用車) は、使用者の乗り替え周期を考えると10年程度を期待寿命とするのが妥当である。さらに、電動化の波は航空宇宙用途にも広がっており、本学の付属研究機関である惑星探査研究センター (PERC) では、ロケットの燃料ポンプを電動化する研究開発を実施している⁽²⁾。ロケットの燃料ポンプの稼働時間は、長くても数分程度である。しかしながら、ロケットに搭載できるバッテリーの容量に制限があることから、非常に高い変換効率が求められる。このよ



図1. 各アプリケーションにおいて要求される期待寿命と性能の概要図

うに、期待寿命と性能が多様化する中で、パワー半導体デバイスの電気的特性の最大定格を従来通り定めては、過剰品質になり兼ねない。かつて日本の電機メーカーが世界シェアを席巻したLSI用の半導体は、過剰品質によるコスト高で競争力を失った過去があるため、同じ轍を踏むことは避けるべきである⁽³⁾。

こうした背景から、要求される期待寿命と性能に応じてパワー半導体デバイスを使いこなす技術が求められることは自明である。本研究では、パワエレ機器内に実装されたパワー半導体デバイスの寿命評価手法を検討すると共に、期待寿命に応じて性能を可能な限り引き出す最大定格の設定手法の確立を目指す。本報告書では、最大定格電圧をあえて超えた回路設計にすることで、パワー半導体デバイスの性能を引き出す (発生損失を約37%低減) ことに成功した点について報告する。

2. 研究の内容

(1) ゲート電圧の最大定格と経時絶縁破壊特性

パワー半導体デバイスには、電力変換する電圧 (主回路電圧ともいう) と、パワー半導体デバイスの動作を制御する“ゲート電圧”の2種類の電圧が印加される。パワー半導体デバイスにおいて主回路電圧に相当する電圧の最大定格は、数100V~数1,000Vにもなるが、ゲート電圧の最大定格は20V~30V程度である。つまり、数100V~数1,000Vの電圧を20V~30V程度で制御できるということであり、これはパワー半導体デバイスの特長である。

ゲート電圧の最大定格は、パワー半導体デバイスの寿命を考慮して定められている。パワー半導体デバイスは、ゲート電圧に対して経時絶縁破壊特性を有している。経時絶縁破壊特性とは、あるゲート電圧に対して瞬時に絶縁破壊、すなわち故障しないが、そのゲート電圧を長時間印加し続けることで絶縁破壊が発生するという特性のことである。

図2は、本研究において被試験デバイス (DUT) としたSiCパワー半導体デバイス (C2M0080120D, Cree) におけるゲート電圧とゲート漏れ電流の関係の実測結果を示している。DUTにおいて、ゲート電圧の最大定格は25Vである。しかしながら、図2より瞬時に絶縁破壊を起こした電圧は、約50Vと最大定格の2倍であった。したがって、経時絶縁破壊特性を考慮しなくてよい短時間の期待寿命

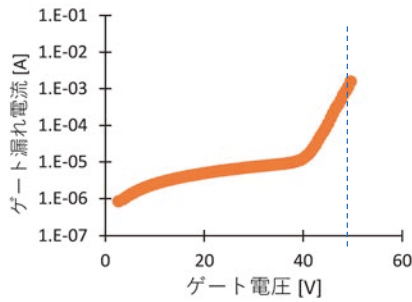


図2. DUTにおけるゲート電圧とその際のゲート漏れ電流の関係

であるパワーエレクトロニクス機器に対しては、最大定格以上のゲート電圧を印加することも可能であることを明らかにした。

(2) ゲート電圧と性能の理論的検討

パワー半導体デバイスにて発生する損失は、電力変換効率の低下やパワーエレクトロニクス機器の大型化を招くため、低減できることは望ましい。損失の主要な要素である導通損失は、パワー半導体デバイスの持つ抵抗成分で発生する。DUTと同じMOSFETにおいて、線形領域で動作しているときのチャネル抵抗 R_{CH} は、以下の式で表せる。

$$R_{CH} = \frac{L_{CH}}{Z\mu_{ni}C_{ox}(V_g - V_{TH})} \quad (1)$$

ここで、 L_{CH} はチャネル長、 Z はチャネル幅、 μ_{ni} はチャネル領域における電子の移動度、 C_{ox} は酸化膜容量、 V_g はゲート電圧、 V_{TH} はゲートしきい値電圧である⁽⁴⁾。式(1)より、ゲート電圧 V_g が高いほどチャネル抵抗 R_{CH} は小さくなる事が分かる。

すなわち、理論的にはゲート電圧を高く設定することによりパワー半導体デバイスにて発生する損失を低減することが可能である。

(3) ゲート電圧と性能の実験検証

ゲート電圧を高く設定することで、パワー半導体デバイスにて発生する損失が低減することを実験により検証する。1,250 Wの電力を変換するパワーエレクトロニクス機器において、ゲート電圧を従来通り20 V(メーカー推奨値)に設定した場合と、2倍の40 Vに設定した場合でパワー半導体デバイスの損失による温度上昇を測定した。図3は、実験回路を示している。図3に示す実験回路は電力回生が可能であり省電力で実験を実施できる。図4は、実験結果を示している。実験の結果、ゲート電圧を40 Vに設定することで温度上昇、すなわち発生損失を従来比37%低減できることが明らかとなった。また、実験時間(20分間)中にDUTは故障することなく動作を継続できていることを確認した。

3. まとめ

パワー半導体デバイスの寿命と性能を最大限活用することを目的に、ゲート電圧と性能(発生損失)の関係を理論および実験の両面から検討した。実験の結果、ゲート電圧をメーカー推奨値の2倍とすることで発生損失を37%低減できることが明らかとなった。今後は、ゲート電圧と寿命の関係を明らかにし、アプリケーションごとに最適なパワ

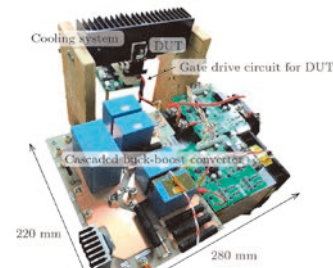


図3. 実験回路

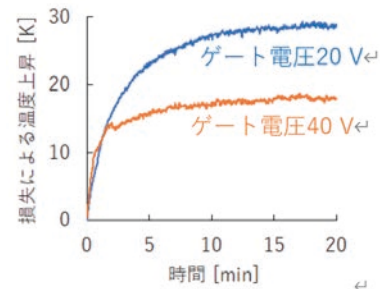


図4. 実験結果

一半導体デバイスの使い方ができるゲート電圧設計手法の確立を目指す。

謝辞

本助成金(575千円)により得られた成果を予備実験の結果とすることで、科研費および私学事業団助成金の採択を受けることができたことに感謝いたします。

本研究に関する主な業績

- (1) 林 真一郎・和田 圭二:「ハイブリッドロケットへの適用を考慮したパワーデバイスの高性能駆動手法」, 2022年電気学会産業応用部門大会, 1-41, 2022.
【優秀論文発表賞受賞】
- (2) S.-I. Hayashi, K. Wada, “High-Performance Driving of SiC MOSFETs to Implement Short-Time Operation for Inverter Circuits,” in *Proc. IEEE ICPE2023 (ECCE-Asia)*, Jeju, Korea, May 2023.

参考文献

- (1) 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」, 内閣官房, 成長戦略会議(第6回)配付資料, 2020年12月.
- (2) 「世界初の電動ターボポンプを用いたハイブリッドロケット燃焼試験に成功」, 千葉工業大学 HP, <https://www.it-chiba.ac.jp/topics/pr20230320/> (最終閲覧日2023年6月28日).
- (3) 泉谷 渉:「日の丸半導体は死なずー黄金の80年代の復活か?」, 光文社, 2007.
- (4) B. J. Baliga, *Fundamentals of Power Semiconductor Devices*, 2nd Edition. Berlin: Springer, 2019.

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)
 研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30
 研究課題名 (和文) : 製造業研究開発における戦略思考から在り方思考への組織変革

研究課題名 (英文) : Organizational transformation from a strategic to a being-oriented approach to research and development in the manufacturing industry.

研究者 : 新谷 幸弘 千葉工業大学
 SHINTANI Yukihiko 社会システム科学部 経営情報科学科 教授

1. はじめに

2019年、米ビジネスラウンドテーブル (BR)^[1]が株主至上主義からステークホルダー資本主義への転換を骨子とする企業目的声明を発表した。2019BR 声明では、1970年にMilton Friedmanが“企業の社会的責任は利益を上げることである”と宣言して以来定着していた企業経営の原則を根本から覆すものであった。企業の役割は利潤の追求だけでなくステークホルダー(株主、顧客、従業員、社会、サプライヤー)との公正な関係を維持し、長期的な関係を維持することであることを強調した。このステークホルダー資本主義への転換は、組織における在り方思考型経営(パーパス経営ともいう)の重要性を再確認させるものである。ジョンソンアンドジョンソン、ネスレ、ユニリーバといったパーパス経営の先駆的企業では、存在意義を組織全体で共有し、ステークホルダーに対する責任を明確にしており、パーパスによりイノベーションを促進して市場での競争力を維持している。

本研究ではパーパス経営の観点から製造業の研究開発(Research and Development; 以下、R&D)を再定義することで、イノベーションマネジメントに新たな視点を提供するものである。

2. 在り方思考の分類

パーパス(在り方)は多様な観点で議論がなされているが、パーパス自体の定義は曖昧なままであり、その概念も一義的なものではない。本研究ではパーパスを“パーパスの三視点”として再定義する。第一の視点はミッション・ビジョン・バリュー(以下、M.V.V)を整えるためのパーパスであり、第二の視点は社会貢献のためのパーパスであり、第三の視点はステークホルダーと対峙するためのパーパスである。パーパスの三視点はパーパス経営の多面性を示しており、企業はパーパスを通じて内部統制を強化し、社会貢献を実現し、ステークホルダーとの信頼関係を構築することができる。したがって、

パーパスの明確化はVUCA時代の企業経営において不可欠な戦略である。パーパスの三視点の特徴を下記に記す。パーパスの第一の視点は、M.V.Vを統合する概念である。組織統制におけるパーパスとM.V.Vの役割を図1に、パーパスとM.V.Vの相互関係を表1に示す。M.V.Vはそれぞれ、何を(What)、いつ・どこで(When/Where)、どのように(How)達成するかを示しているが、それらを整合する概念が欠けている。この空白を埋め、なぜ(Why)という上位概念を提供するのがパーパスである。パーパスを定義することで、M.V.Vのベクトルを合わせ、企業の向かう方向性を一致させることが可能になる。

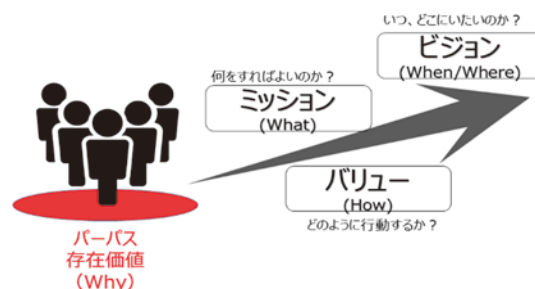


図1 組織統制におけるパーパスとM.V.Vの役割

表1 パーパスとM.V.Vの相互関係

パーパス why	第三者の社会観： (1)企業の存在理由 (2)企業の社会的存在価値
ミッション What	企業の視点(一人称)： (1)目標達成のための定義 (2)会社が何をやるのかの定義
ビジョン When/Where	社会のあり方と組織のあり方： (1)目的や使命を達成する過程で達成すべき状態の定義 (2)将来達成すべき状態の定義
バリュー How	(1)企業・ブランドとして大切にすべき価値観 (2)重視すべき行動基準

パーパスの第二の視点は企業の社会貢献を促進するというものであり、SDGs (Sustainable Development Goals) 経営はその一例である。SDGsは企業の義務では

ないが、積極的に取り組むことで新たなビジネスチャンスが広がる。パーパスはSDGsが求める環境保全の視点と企業行動の根拠をつなぐ軸として機能する。

パーパスの第三の視点は、企業とステークホルダーとの関係を定義するものである。パーパスを明示することで、(a)顧客への価値提供、(b)従業員への投資、(c)サプライヤーとの公正な取引、(d)持続可能な価値への投資、および(e)地域社会支援や環境保護へのコミットメントを示すことができ、企業はステークホルダーからの信頼を得ることができる。

3. パーパス視点でのイノベーションマネジメントの考察

製造業 R&D のイノベーションマネジメントをパーパスの三視点から考察する。

第一の視点は存在価値を明確した R&D である。Philip^[2]は R&D の変遷を第一世代 Discover-driven R&D (発見型の R&D)、第二世代 Project-based R&D (プロジェクト型 R&D)、第三世代 Strategy-based R&D (戦略型 R&D) に分類した。著者は VUCA 時代における在り方主義での R&D を第四世代 Purpose-driven R&D (在り方主義の R&D) と位置づけることを提唱している。製品開発は通常、社内の技術リソースに依存するが、その自己完結的な性格から市場動向が軽視されがちである。その解決策として、第四世代在り方主義の R&D では企業の存在価値を明確にすることでコアコンピタンス(自社で保持すべき差別化技術)と外部から導入可能な他の技術群との違いを明確にする。パーパス志向 R&D によりコアコンピタンス戦略とオープンイノベーション戦略の両方が自動車の両輪のように連携して機能することが期待できる。

第二の視点は社会貢献の価値を明確した目的論的 R&D である。R&D の初期段階では不確定要素が多く、財務指標や市場性を中心とした定量的評価が難しい。社会貢献の視点を取り入れることで R&D フェーズの違いに応じた評価手法を導入することができる。このことは R&D 初期段階の活性化に効果が期待でき、イノベーションの創出を促すと考えられる。

第三の視点は主要なステークホルダーと協奏する R&D である。R&D テーマの選定では顧客価値創造型が求められており、顧客が真に求める潜在的価値を想起し、それを実現するための方策を提示する必要がある。パーパスをコアとしてステークホルダーと協奏することで人と技術が連携する R&D 基盤の構築が可能になる。

以上より、パーパスの三視点は R&D の新たな道筋を示

しており、企業価値創造と社会貢献の新たな方向性を示唆するものである。

4. おわりに

本研究では、VUCA 時代における R&D の特徴をパーパスの三視点から論じた。第四世代 R&D では環境変化を先取りする必要がある、予測不可能な未来に対処することが求められる。パーパスの三視点による R&D は、社内外で企業価値を明確化し、組織全体が高い頻度で市場と対話することを可能にする。このことにより、コアコンピタンスを中心としたエコシステムの実現に貢献することを示唆している。

本研究に関する主な論文

1. Y. Shintani, Redefining the Organization of Research and Development for Technology-Based Companies in the Age of Stakeholder Capitalism -A Purpose-Driven Management Approach-, SBIT2023 in 14th IIAI-AAI, 645-650, 2023 (査読付国際学会プロシーディング)
2. 新谷幸弘, パーパス経営の視点からみたイノベーションマネジメント, 研究開発リーダー 19(12) 23-27, 2023

本研究に関する主な学会発表

1. 新谷幸弘, アジャイルの非ソフトウェア開発分野への適用性に関する一考察, プロジェクトマネジメント学会 2023 春季研究発表大会
2. 新谷幸弘, 研究開発における従来型管理法とアジャイルの融合に関する一考察, プロジェクトマネジメント学会 2022 年度秋季研究発表大会
3. 新谷幸弘, パーパス経営の視点からみたイノベーションマネジメント, PM シンポジウム 2022

参考文献

1. Business Roundtable, Business Roundtable Redefines the Purpose of a Corporation to Promote ‘An Economy That Serves All Americans’, 2019
2. Philip A. Roussel et. al, “Third Generation R & D: Managing the Link to Corporate Strategy “, Harvard Business School Press (1991), ISBN 978-0875842523

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)
研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30
研究課題名 (和文) : 複雑構造を有するアミノアルコールのヨウ素触媒的合成法の開発

研究課題名 (英文) : Synthesis of Functionalized Aminoalcohol by Iodine Catalysis

研究者 : 原口 亮介 千葉工業大学
HARAGUCHI Ryosuke 工学部 応用化学科 准教授

1. はじめに

アミノアルコールは、相互作用点として利用可能なアミノ基(NH₂)とヒドロキシ基(OH)を有しているため、抗腫瘍薬やHIVプロテアーゼ阻害薬など多彩な生物活性を示す。^[1] このため、アミノアルコールは医薬品化学における重要な化合物群であり、その効率的な合成法の開発が現在でも盛んに行われている。しかし、多彩な官能基を有するアミノアルコールは、現代有機合成化学の技術をもってしても未だに合成困難である。このようなアミノアルコールは、医薬品のリード化合物となる可能性が高いため、合成化学・医薬品化学の両面から注目される研究ターゲット分子である。

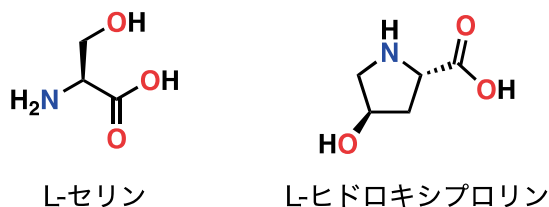
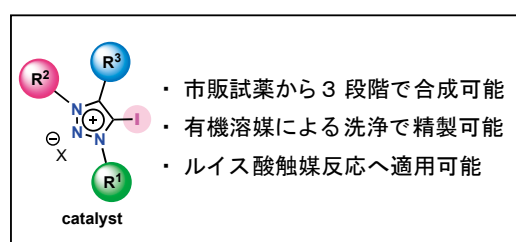


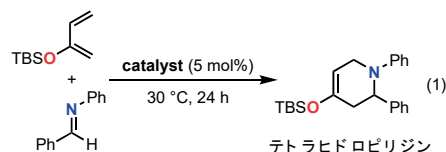
図1 アミノアルコール

ヨウ素は、分極率が大きいいため、強力な電子求引性基が置換している場合、金属のようなルイス酸性を示すことが知られている。また、ヨウ素の産出量は約30%が日本であり、資源的にも重要な元素である。このため、機能性ヨウ素化合物の開発が国内で盛んに行われている。このような背景のもと申請者は、トリアゾリウム環にヨウ素を結合させたヨウ素触媒の開発を進めてきた。このヨウ素触媒は、市販試薬であるアニリン誘導体からわずか3段階で合成でき、また各ステップでの精製操作も有機溶媒による洗浄だけであり、実用性の観点で優れている。これまでに、医薬品合成でよく用いられるアザ・ディールズアルダー反応に対して高活性であることを見いだしている。^[2] また、カルボニル化合物のシリルシアン化や二酸化炭素とエポキシドとの反応に対しても高活性であることを報告している(図2)。^[3] しかし、このヨウ素触媒は活性面で改善の余地を残していた。

(1) ヨードトリアゾリウム塩の特徴

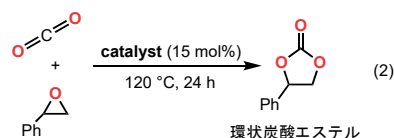


(2) アザディールズアルダー反応



Haraguchi, R. *et al. Chem. Commun.* **2018**, 54, 10320.

(3) 二酸化炭素の分子変換



Haraguchi, R. *et al. Chem. Commun.* **2020**, 56, 9715.

図2 ヨードトリアゾリウム塩触媒による反応

そこで今回我々は、高活性な新規ヨウ素触媒の開発とこれを用いたアミノアルコールの新規合成法の創出を目的とし、高度にフッ素化されたヨードトリアゾリウム塩を新たに設計した(図3)。この触媒では、フッ素置換基とカチオン性ヘテロ環の強力な電子求引性効果が合わさることにより、高いルイス酸性がヨウ素部位に発現することが期待できる。これにより、ケトンのような比較的反応性の低いカルボニル化合物に対しても、求核付加反応を促進可能となり、図4で示す新規アミノアルコールの合成法に適用できないかと考えた。

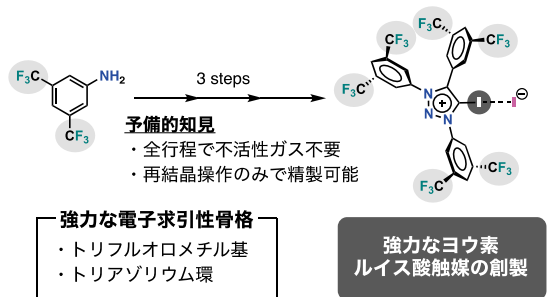


図3 新規ヨウ素触媒の分子設計

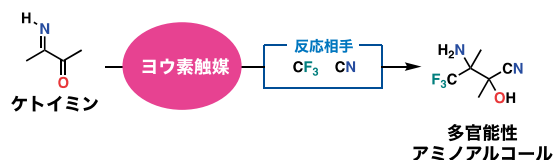


図4 多官能性アミノアルコールの合成

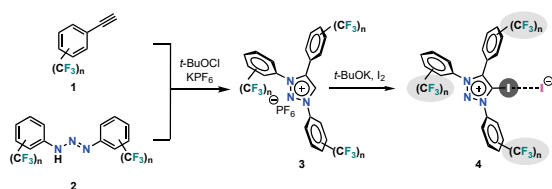


図5 新規ヨウ素触媒の合成法

2. 研究の内容

高度にフッ素化されたヨードトリアゾリウム塩の合成法を図5に示す。まず、トリフルオロメチル基を有するアルキン**1**とトリフルオロメチル基を有するトリアゼン**2**を次亜塩素酸*t*-ブチルとヘキサフルオロリン酸カリウム存在下で反応させることで、トリアゾリウム塩**3**を合成した。次に、*t*-BuOKによってトリアゾリウム塩**3**を脱プロトン化して、分子性ヨウ素と反応させることで高度にフッ素化されたヨードトリアゾリウム塩**4**を合成した。この合成法では、不活性ガスを必要とせず空気下で行えることに加えて、有機溶媒による洗浄のみで生成物を単離精製することが可能である。この方法によって、トリフルオロメチル基の数や位置が異なる様々なヨードトリアゾリウム塩の合成に成功した。

次にアルデヒドのシリルシアノ化をモデル反応として、合成したヨードトリアゾリウム塩の触媒活性評価を行った。反応条件としては、アルデヒド**5**に対して1.5当量のトリメチルシリルシアニドを、触媒存在下、アセトニトリル溶媒中、30度、30分の条件で反応させた。触媒**4a**を用いたときには、シアノ化生成物**6**はほとんど得られなかったのに対して、トリフルオロメチル基を2つ有するヨウ素触媒**4b**を用いると、生成物の収率は50%まで向上した。また、トリフルオロメチル基の数を6つまで増やした触媒**4c**を用いると、収率75%で目的生成物が得られた。この結果を受けて、図7に示すケトイミン**7**のシリルシアノ化反応を予備的ではあるが行ったとこ

ろ、目的生成物は得られなかった。今後は、反応条件や触媒構造の最適化をすることで、ケトイミンの選択的シアノ化を検討していく。

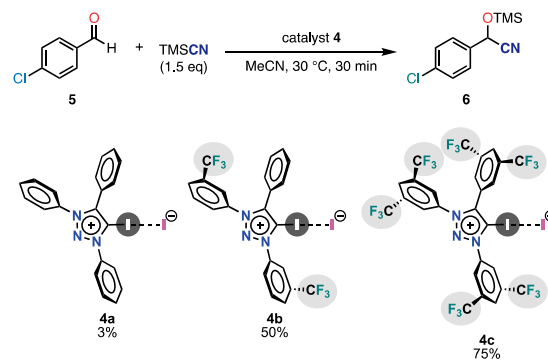


図6 新規ヨウ素触媒の¹H NMR スペクトル

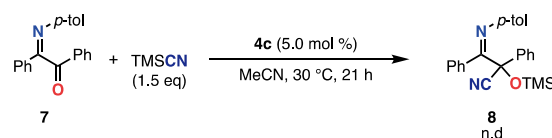


図7 ケトイミンのシアノ化反応

3. まとめ

本研究では、多数のトリフルオロメチル基を有するヨードトリアゾリウム塩触媒を新たに設計し、その合成法を開発した。また、アルデヒドのシリルシアノ化反応に対して、フッ素置換基が触媒活性に大きく影響を及ぼすことを見いだした。

参考文献

- (1) P. Gupta, N. Mahajan, Biocatalytic approaches towards the stereoselective synthesis of vicinal amino alcohols *New J. Chem.* **2018**, *42*, 12296.
- (2) R. Haraguchi, S. Hoshino, M. Sakai, S.-g. Tanazawa, Y. Morita, T. Komatsu, S.-i. Fukuzawa, Bulky iodotriazolium tetrafluoroborates as highly active halogen-bonding-donor catalysts. *Chem. Commun.* **2018**, *54*, 10320.
- (3) K. Torita, R. Haraguchi, Y. Morita, S. Kemmochi, T. Komatsu, S.-I. Fukuzawa, Lewis acid–base synergistic catalysis of cationic halogen-bonding-donors with nucleophilic counter anions. *Chem. Commun.* **2020**, *56*, 9715.

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)
研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30
研究課題名 (和文) : 電子状態に基づく金属空気電池の高活性酸化物正極触媒の創成

研究課題名 (英文) : Construction of Highly Active Catalyst for Metal-Air Battery Based on Electronic State

研究者 : ○ 高橋 伊久磨 千葉工業大学
TAKAHASHI Ikuma 工学部 先端材料工学科 准教授
鈴木 清竜 千葉工業大学 大学院
SUZUKI Seiryu 工学研究科 先端材料工学専攻 修士2年

(はじめに)

リチウムイオン電池を上回るエネルギー密度を持ち、低コスト、高い安全性を示す亜鉛空気二次電池は、二酸化炭素排出量削減を目的とした電気自動車の電源として期待されている。この亜鉛空気二次電池は、電解質にはアルカリ水溶液、負極には亜鉛金属、正極となる空気極には酸化物触媒が用いられる。空気極の電極反応は、充電時に酸素発生反応 (OER: Oxygen Evolution Reaction)、放電時に酸素還元反応 (ORR: Oxygen Reduction Reaction) が起こる。そのため、空気極の酸化物触媒には、OER、ORR の両反応に活性を示す材料が必要となる。スピネル型酸化物はこれら両反応に活性を示すことが報告されており¹⁾、空気極触媒としての利用が検討されている。しかしながら、現状のスピネル型酸化物触媒は両反応に十分ではないため亜鉛空気二次電池の実現には至っておらず、様々な視点から高活性化に向けた材料研究が行われている。

(スピネル型酸化物)

一般的なスピネル型酸化物は、 $(A^{2+})(B^{3+})_2O_4$ で表され、図1に示す結晶構造を持つ。 A^{2+} のイオンは、酸素で囲まれた四面体サイトに位置し、 B^{3+} は酸素で囲まれた八面体サイトに位置する構造を持つ。空気極触媒においては、一般的にA、Bの元素は主に3d遷移金属が用いられ、多様な組み合わせが可能となる。そのため、OER、ORRなどの電気化学反応の活性を決めるパラメータの一つであるフェルミ準位近傍の電子状態も制御でき、触媒設計の多様性は広がる。また、熱処理温度が他の酸化物、例えばペロブスカイト型酸化物等と比較して低温で

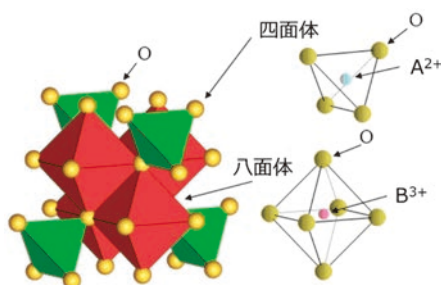


図1 スピネル型酸化物の結晶構造

あるため微粒子化や粒子形態の制御がしやすく、高活性触媒に必要な条件である高比表面積化も期待できる。このような利点から、我々はスピネル型酸化物の空気極触媒の開発を進めている。

(目的)

本研究では、電気化学反応の本質パラメータとなる電子状態を制御した触媒設計を目指している。その準備検討として、スピネル型酸化物 Co_3O_4 に対し、形態変化に伴った異なる電子状態を取る空気極触媒を作製し、形態と OER、ORR 活性の関係について明らかにすることを目的とした。

(実験)

スピネル型酸化物 Co_3O_4 触媒は、水熱合成により作製した。酢酸コバルト四水和物をイオン交換水に入れ、アンモニアを用いて溶液の pH が 8 と 11 になるように調製した。この溶液を室温にて 48 時間スターラーで攪拌し、テフロン加工されたオートクレーブに移し、180°C、10 時間オイルバスで加熱した。その後、水とエタノールですすぎ目的とする触媒粉末を得た。溶液 pH 8 から得られた触媒粉末を Co_3O_4-8 、溶液 pH 11 から得られた触媒粉末を Co_3O_4-11 と表記する。作製した触媒粉末は、物性分析として走査型電子顕微鏡 (SEM) による形態観察、X 線回折 (XRD) を用いた結晶構造解析、および X 線光電子分光 (XPS) による表面酸素の化学状態分析を行った。電気化学特性は、3 極式セルによる回転ディスク電極測定装置により評価した。作製した触媒粉末に導電助剤のカーボンブラックと Nafion アイオノマーを混合して作用極に塗布し、参照極には Hg/HgO 電極、対極には Pt 電極を用いた。電解液は、OER 評価には 1.0 M KOH 電解液、ORR 評価には 0.1 M KOH 電解液を用いて評価した。

(実験結果・考察)

図2に作製した触媒粉末の XRD パターンを示す。図中の▼はスピネル構造に対応するピークであり、作製した触媒粉末はいずれもスピネル型酸化物であることが確認できた。また、 Co_3O_4-8 と Co_3O_4-11 にパターンを比

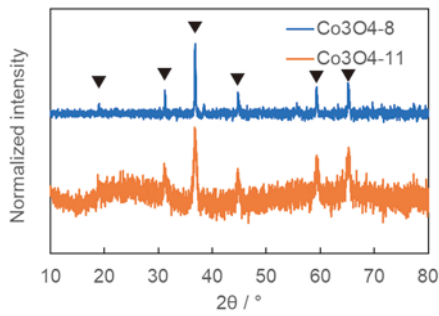


図2 作製した触媒粉末のXRDパターン

較すると、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ のバックグラウンドが高いこと、半値幅の大きいことから、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ の結晶子サイズは小さいことが予想される。

次にSEMイメージを図3に示す。 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ は粒径20 nm程度の立方体状の形態、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ は粒径10 nm程度の球状の形態となり、作製時の溶液のpHにより結晶の粒径および形態が変化することがわかった。XRDの結果と合わせると、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ は $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ と比較して微粒子であり、高比表面積となる。

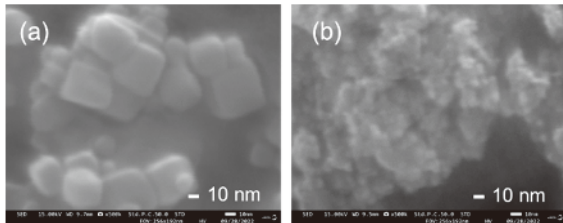


図3 (a) $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$, (b) $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ のSEMイメージ

図4に作製した触媒粉末のXPSのO 1sのスペクトルを示す。530 eV付近のピークは酸化物中の格子酸素に対応し、532.5 eV付近のピークは表面の水酸化物に対応することから、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ は $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ と比較して表面の水酸化物、吸着水が多くなっており、言い換えると、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ の表面は水酸化物、水分子が吸着しやすい電子状態と言える。これは、

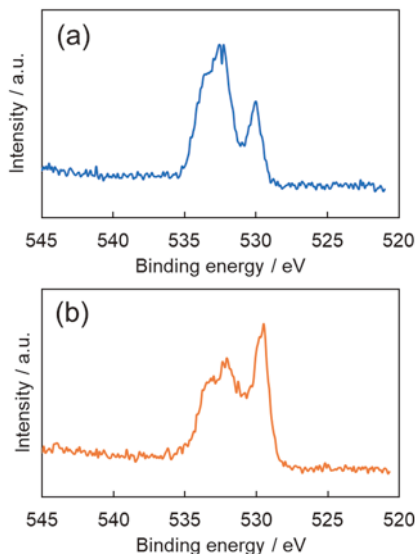


図4 (a) $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$, (b) $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ におけるO 1sのXPSスペクトル

$\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ は立方体の形態となっていることから特定の結晶面が露出した状態であり、このことが水酸化物、水分子の吸着しやすい電子状態になっていることが予想される。

最後に、 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ と $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ におけるOER, ORR 活性評価した結果を図5に示す。OER 活性に関しては電流値が上側にシフト、ORR 活性に関しては電流値が下側にシフトするほど高活性な触媒性能を示す。この結果から、OER では $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ が高活性、ORR では $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ が高活性となった。ORR については $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ の比表面積増大による活性向上と考えられるが、OER については比表面積の差では説明できない。先行研究において、OER の律速過程は水酸化物イオン、水分子の吸着過程との報告がある^[2]。 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ は $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ と比較して水酸化物、水分子の吸着しやすい電子状態となっていることから、OER の律速過程である吸着反応がより進行しやすく OER 活性が向上したと考えている。

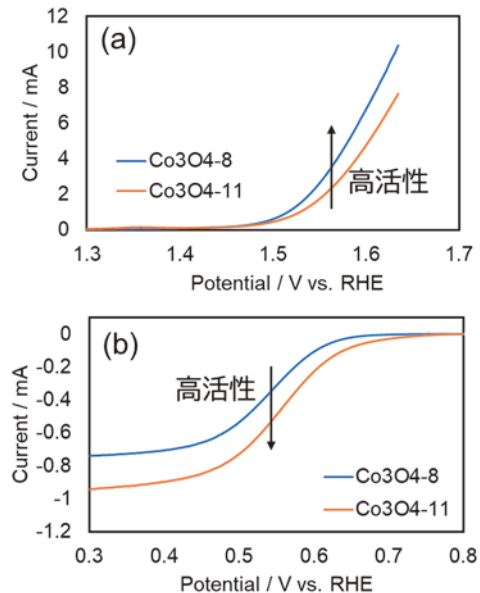


図5 $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-8}$ と $\text{Co}_3\text{O}_4\text{-11}$ における (a) OER, (b) ORR 活性評価結果

(まとめ)

本検討では、表面の電子状態の異なる立方体状と球状のスピネル型酸化物 Co_3O_4 を水熱合成により作製し、これらの OER, ORR 活性を評価した。OER は立方体状 Co_3O_4 , ORR は球状 Co_3O_4 の活性が高い結果となり、形態により活性の変化することがわかった。この要因として、表面の電子状態が OER, ORR の反応素過程に影響を与えるメカニズムを考えている。今後は、他の分光分析を加えて電子状態と活性の関係を明らかにし、高活性となるスピネル型酸化物の空気極触媒の開発を進める。

(参考文献)

- [1] Qing Zhao et al., Chem. Rev. 2017, 117, 10121–10211
- [2] Nian-Tzu Suen et al., Chem. Soc. Rev., 2017, 46, 337–365

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)

研究期間 : 2022/5/28 ~ 2022/9/30

研究課題名 (和文) : ランダムスパース方程式求解を高速化するための GPU を搭載するヘテロジニアスマルチコアを用いた新たな高速求解アルゴリズムの開発

研究課題名 (英文) : Development of New Fast Calculation Algorithms for Accelerating Random Sparse Equations Using the CPU-GPU Heterogeneous MultiCore Environment.

研究者 : 富永 浩文

TOMINAGA Hirobumi

千葉大学

情報戦略機構 特任研究員

1. はじめに

SPICE3 (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis 3)は、回路の特性解析を行うために広く利用されている電子回路シミュレータである[1]。SPICE3 の解析時間の多くは過渡解析であることが知られており、特に、回路方程式を線形化したランダムスパース方程式の計算は、過渡解析の NR ループと時間発展ループの中で繰り返し求解が必要になるため、解析時間全体の約9割を占めることが知られている[2]。

昨年度の研究では、CUDA (Compute Unified Device Architecture) 上で LU 分解法に基づいたランダムスパース方程式求解を並列実行する手法である cuEMA を提案し、その有効性を明らかにした[3]。一方で cuEMA は、CUDA カーネルの起動回数が多く、カーネルの起動がオーバーヘッドとなる可能性が浮上した[4]。そこで本稿では、カーネル起動のオーバーヘッドの小さいハードウェアである Jetson AGX Xavier を用いてランダムスパース方程式の求解時間を測定することで、cuEMA に対するカーネルの起動オーバーヘッドの影響を確認する。

2. Jetson AGX Xavier

Jetson AGX Xavier は、CPU と GPU をワンチップに搭載したヘテロジニアスマルチコアである。Jetson AGX Xavier のアーキテクチャを図1に示す。本アーキテクチャは、図1に示すように CPU と GPU が共有のメモリを利用するため、CPU-GPU 間のデータ転送が不要となり、カーネル起動コストを小さく抑えられる。

3. cuEMA

cuEMA は、並列実行可能な演算を CUDA カーネルで並列に計算する手法である。図2に cuEMA で演算を実行する例を示す。図のように cuEMA は、同時に実行可能な演算を実行レベルで管理する。本例では、LEVEL1 で 32 スレッド、LEVEL2 では 256 スレッド、LEVEL3 で 9 スレッドの CUDA カーネルを起動する。cuEMA は、LEVEL3 のようにスレッドが少ない CUDA カーネルの実行効率を高めるために3種類の方式が提案されている。

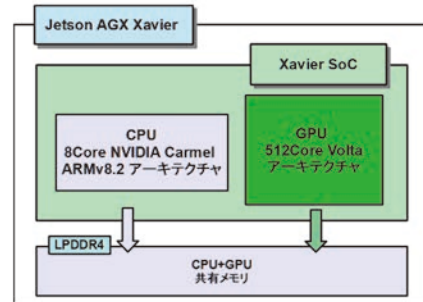


図1. Jetson AGX Xavier アーキテクチャ



図2. cuEMA で実行する演算例

3-1. padding 手法

パディング手法は、図2のレベル3のように演算数が32の倍数ではないレベルにダミーの演算を追加する手法である。ダミーの演算を追加した分だけ演算数が増えるが、条件分岐によるワーブダイバージェンスの発生を抑制できる。

3-2. CPU 併用手法

CPU 併用手法は、演算数の少ないレベルの演算を CPU で実行する手法である。図2の例では、LEVEL1 と LEVEL2 は GPU で、LEVEL3 は GPU で実行する。CPU と GPU が参照するデータは、Unified Memory 利用して共有する。

3-3. DP 手法

DP 手法は、CPU-GPU 間のデータ転送回数を削減するために、DP (Dynamic Parallelism) を用いる手法である。DP は、親となる CUDA カーネルから新たな子カーネルを起動する機能であり、CPU を介さずに GPU 上で CUDA カーネルを起動できる。DP 手法では、図2の演算を計算するカーネルをすべて子カーネルとして起動する。

4 評価

cuEMVA に対する CUDA カーネルの起動オーバーヘッドの影響を確認するために、Jetson AGX Xavier シリーズの一つである Jetson Xavier NX を用いてランダムスパース方程式の求解時間を測定する。本評価で求解するランダムスパース方程式は、Florida Sparse Matrix Collection のベンチマーク問題[6]の中から回路方程式に基づいて作成された問題とし、fill-in の発生を抑えるために前処理として AMD (Approximate Minimum Degree) [7]を適用した行列を係数とする。ブロックサイズは NVIDIA Occupancy Calculator[5]より算出した 256 とする。表 1 にベンチマーク問題を示し、表 2, 3 に各実装方式の実行時間と高速化率を示す。ただし、高速化率は式(1)より算出する。

$$\text{高速化率} = \frac{\text{cuEMVA の処理時間}}{\text{各実装方式の処理時間}} \cdots (1)$$

表 3 より、Bcircuit 以外の問題では CPU 併用手法が最も高速であることが分かる。CPU 併用手法は、GPU でも演算を実行するため他手法に比べて CPU-GPU 間でデータの整合性をとる回数の多い手法であるが、Jetson AGX Xavier のようにデータ共有のコストを小さく抑えることができれば高い高速化率が得られることが確認できた。

一方、Bcircuit は、cuEMVA の高速化率が最も高い。本問題は、文献[4]においても cuEMVA が高速な問題である。このため、Bcircuit に対する cuEMVA の実行時間は、アーキテクチャよりも行列の特性に由来する要因が大きく影響していると推察できる。

また、文献[4]の測定条件下で安定して高速な DP 手法は、本測定環境下だと cuEMVA よりも実行時間が長くなる問題が確認された。特に add32 の求解では、DP 手法の高速化率が約 0.26 倍であり、表 3 の中で最も低い。このように、文献[4]で高速化率の高低の要因が CPU-GPU 間のデータ転送であると推測した問題は、本測定条件下で特性が大きく変化した。このため、CUDA カーネルの起動コストが cuEMVA に与える影響は大きく、アーキテクチャに応じて実行効率の特性が大きく変化することが確認できた。

5 おわりに

本稿では、cuEMVA に対する CUDA カーネルの起動オーバーヘッドの影響を確認するために、ヘテロジニアスマルチコアを用いてランダムスパース方程式の求解時間を測定した。評価の結果、cuEMVA の実行時間に対する CUDA カーネルの起動オーバーヘッドの影響は大きく、cuEMVA は実行環境の GPU に応じて効果的な実装方法が異なることが確認できた。また、データ転送のオーバーヘッドを削減できるヘテロジニアスマルチコア環境を用いることで GPU で効率的に実行できないレベルの計算において CPU を併用することによるオーバーヘッドの削

表 1.ベンチマーク問題

問題名	サイズ	非零要素数	演算数	レベル数
add32	4,960	23,942	53,034	386
memplus	17,758	126,152	870,806	1,025
mult_dcop_01	25,187	387,381	2,166,327	23,637
circuit4	80,209	438,628	3,221,062	14,371
bcircuit	68,902	964,338	6,809,556	2,179
rajat23	110,355	787,465	2,782,891	4,569

表 2 実行時間 [ms]

問題名	cuEMVA	padding	DP	CPU併用
add32	18.89	30.55	73.41	12.07
memplus	105.07	120.50	87.31	30.76
mult_dcop_01	1669.13	1412.38	953.55	112.52
Circuit4	952.71	942.71	586.26	135.50
Bcircuit	139.01	169.35	159.29	173.49
Rajat23	183.84	317.73	251.68	123.13

表 3 高速化率 [倍]

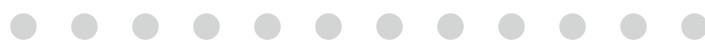
問題名	padding	DP	CPU併用
Add32	0.62	0.26	1.56
Memplus	0.87	1.20	3.42
Mult_dcop_01	1.19	1.75	14.83
Circuit4	1.01	1.63	7.03
Bcircuit	0.82	0.87	0.80
Rajat23	0.58	0.73	1.49

減効果が確認でき、本測定では最大約 14.8 倍の高速化が得られた。

参考文献

- [1] Quarles, T.L.: The SPICE3 implementation guide, Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California, (1989).
- [2] 三浦道子, 名野隆夫, 盛健次: 回路シミュレーション技術と MOSFET モデリング, リアライズ理工センター, (2003).
- [3] H. Tominaga, and Y. Maekawa, "The speed-up method solving randomsparse equations using instruction-level parallelism by the cuda", Information Processing Society of Japan. Transactions on programming, Vol. 7, No.1, pp.10-17, (2014).
- [4] Hirobumi Tominaga, Asuka Nakamura, Shouichi Kitagawa and Yoshitaka Maekawa, "Evaluation of CUDA Kernel Implementation Method for Solving Circuit Equations by Extended Vectorized LU Decomposition Method", Papers of Technical Meeting on Electronic circuits, ECT-022-057, IEE Japan, (2022).
- [5] Cheng, J., Grossman, M. and McKercher, T.: Professional CUDA C Programming, Wiley, (2014).
- [6] Timothy A. Davis and Yifan Hu., "The university of Florida sparse matrix collection", ACM Trans. Math. Softw., Vol. 38, No.1, pp.1-25, (2011).
- [7] P. R. Amestoy, T. A. Davis, and I. S. Duff, "Algorithm 837: Amd, an approximate minimum degree ordering algorithm," ACM Trans. Math. Softw., Vol. 30, no. 3, p. 381-388, (2004).

[科研費採択者助成金]



研究項目	： 科研費採択者助成金（基盤研究（A））
研究期間	： 2022/5/30 ~ 2023/2/28
研究課題名（和文）	： 周波数シフトテラヘルツ波による建築物非破壊診断の応用展開
研究課題名（英文）	： Applications development for non-destructive inspection of buildings by frequency shifted terahertz wave
研究者	：
○水津 光司	千葉工業大学
SUIZU Koji	工学部 情報通信システム工学科 教授
長 敬三	千葉工業大学
CHO Keizo	工学部 情報通信システム工学科 教授
陶 良	千葉工業大学
TOH Ryo	工学部 電気電子工学科 教授
中林 寛暁	千葉工業大学
NAKABAYASHI Hiroaki	工学部 情報通信システム工学科 教授
枚田 明彦	千葉工業大学
HIRATA Akihiko	工学部 情報通信システム工学科 教授
内海 秀幸	千葉工業大学
UTSUMI Hideyuki	創造工学部 都市環境工学科 教授
佐藤 宜夫	千葉工業大学
SATOH Nobuo	工学部 機械電子創成工学科 教授
石原 沙織	千葉工業大学
ISHIHARA Saori	工学部 建築学科 教授

1. 研究の目的

テラヘルツ波とは、電波と光波の中間に位置し、電波の透過性と光波の高分解能性を併せ持つ電磁波である。この性質を利用することで、壁面内の欠陥検査等が可能である。2018年～2020年度の期間に科学研究費補助金基盤研究（A）にて、周波数シフト帰還型レーザー（Frequency Shifted Feedback laser : FSF レーザー）を励起光源として、全く新しい挙動をする周波数シフトテラヘルツ波（Frequency Shifted Terahertz-wave : FS テラヘルツ波）光源の開発を行った。当該研究によりFS テラヘルツ波での遠隔非破壊計測の有効性が確認された。かつ、実際の応用における課題抽出や、解決策に関する多数の知見を得ることができた。これらの結果を受け、新たに建築ディベロッパーとの連携研究の体制を取り、現場での測定を念頭に置いた測定方法の開拓、ユーザー側からのニーズに合った測定対象の選定などを行い、FS テラヘルツ波による非破壊検査の応用展開を企画し、科学研究費補助金 基盤研究（A）にて研究を実施している。研究課題として、(A) 光源・検出系の改良、(B) 信号解析、(C) 材料解析、(D) 非破壊検査応用展開の4項目に関して取り組み、各研究課題における具体的な項目は下記の通りである。(A-1) パルス光注入型FSF レーザーの開発による距離計測 SN 比の向上、(A-2) FS テラヘルツ波光源の周波数可変域を主に低周波側へと拡張し、建材に対する非破壊検査性能の向上、(B-1) 合成開口レーザに対する圧縮センシング・時間反転処理の適用

などによるイメージング解析の高精度化、(B-2) FDTD 法とレイトレーシング法を融合させたシミュレーションでの解析による、POLARSAR 法での欠陥形状精密推定、(B-3) 定在波を利用した近接場散乱の検知能向上、(C-1) コンクリートなどの建材に対するテラヘルツ領域での複素誘電率測定、(C-2) 超精密プローブ制御技術によるコンクリート水分検知、(C-3) テラヘルツ波による防水膜の非破壊診断。研究期間前半は主に (A) から (C) に対して取り組み、これらの知見を総合して研究期間後半に (D) へと展開する計画である。各研究項目および項目間の相関を図1に示す。

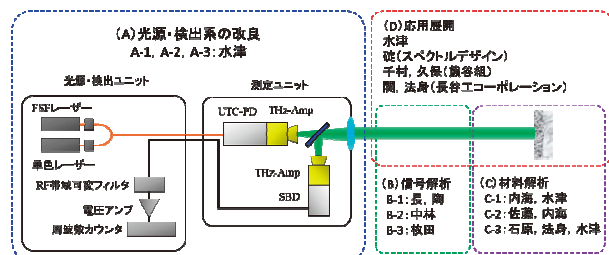


図1. FS テラヘルツ波非破壊検査システムおよび関連する研究体制の模式図。

2. 研究の進捗状況

初年度の各研究項目における進捗状況を述べる。

(A-1) FSF レーザーを構築し、パルス種光注入の有無および共振器内に帯域透過フィルタを挿入の影響を調査した (図 2)。パルス種光注入、種光波長や帯域透過フィルタの設定により、ビート周波数 SN 比向上が実証された。最大で 33dB の SN 比が得られ、従来型 FSF レーザーでの

17dB を大きく上回る SN 比が達成された (図3)。

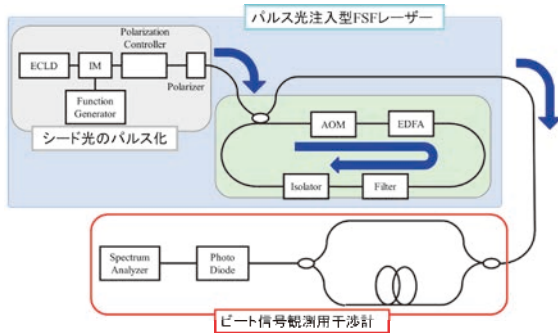


図2 . パルス光注入型 FSF レーザー構成図。

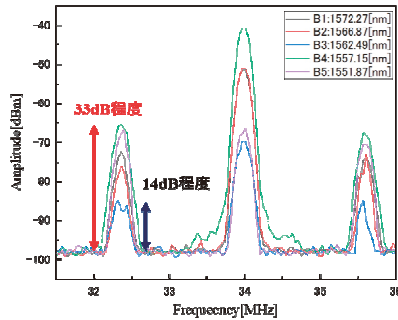


図3 . 帯域透過フィルタ中心波長によるビート信号 SN 比の依存性

(A-2) 線幅が約 100GHz である FSF レーザー光に対し帯域可変光フィルタによって線幅を狭窄化し, CW レーザー光と合波したのち, UTC-PD によって FS ミリ波の発生を試みた。帯域可変フィルタの線幅に対する FS ミリ波の出力の影響を調査し, FSF レーザー線幅 50GHz 程度まで出力低下を起さずに線幅の狭窄化が可能であることが判明した。

(B-1) 圧縮センシングを処理の正則化項に振幅情報を保持する FISTA を適用することで, MUSIC と同等以上の推定精度で振幅も推定できることを確認した。圧縮センシング検討に加え, THz-TDS 信号の広帯域性を利用した 3 周波数による MUSIC 推定で, アレー素子数を削減しながら推定精度を約 25% 改善できることを示した。

また, 相関合成法における適切な相関回数と間隔を選定において, 分散の有効性を見出した。時間反転併用型感度補正信号の位相項を考慮し, 測位精度向上の有効性を確認した。映像最大値や一次ノルムより, 映像分散と映像品質の顕著な相関が得られた。位相考慮により, 受信エネルギーの 0.4dB 増加, 測定精度 3% 以上の改善が見られた。

(B-2) FDTD 法とレイトレーシング法を融合させたシミュレーションや実測により, POLSAR 法の推定法確立を検討した。層構造や不規則形状において高精度な推定を可能とする手法の確立に向け, 補正法に関する検討を行った。二層構造の各層での不規則欠陥を精密推定することを目的とし, POLSAR 法の補正法の拡張を行った。二層構造においても推定が可能であることを確認した。

(B-3) 紙で覆われたコンクリート表面のサブミリ幅の亀裂の検知に向けて, 60-90GHz のスペクトル信号を使用

したミリ波像取得において, コントラストを最大化するアンテナ高, 周波数を同定した。60-90GHz のスペクトル信号を使用した非破壊ミリ波像取得において, アンテナ高 0.6mm, 周波数 73.275GHz の設定で, 23dB 以上のミリ波画像コントラストが得られた。

(C-1) コンクリートからの反射テラヘルツ波に対し, 偏光の影響, 入射角の影響を検証した。加圧状態における反射テラヘルツ波の状態変化を実測した。コンクリートからの反射テラヘルツ波は, s, p 偏光において波形が変化すること, ブリュースター角付近では両者の差が顕著な事が分かった。加圧による反射波状態変化が確認された。

(C-2) コンクリート含水量と位置特定のために, 試験片にテラヘルツ光を照射できるヘッド機構を設計・開発した。テラヘルツ光照射可能な走査型プローブ顕微鏡用ヘッド機構を設計・製作し, 焦電体への光照射によるエネルギー散逸量の基礎データを収集した。

(C-3) ウレタンゴム系塗膜防水層の接着不良部を再現した試験体において, 密着工法と通気緩衝工法共に, テラヘルツ波により接着不良部を検出できることを確認した。かつ, 膜厚不均一性の問題に対し POLSAR 法を用いた欠陥検出の有効性に関する検討を実施した。密着工法と通気工法による防水材料に対し, 偏波状態の変化を観測することで, 防水材料剥離などの欠陥を検出できる可能性を見出した。

3. 今後の展望

いずれの項目においても, 概ね順調に進展している。かつ, 適切な課題抽出が行えている。例えば, FSF レーザー光源の長時間安定性などの課題が発生しているが, 外部温度の変動による動作状態変化が主な原因であることが判明しており, 共振器部の温度調整を行う事により改善可能である。

本研究に関する主な発表論文

- 1) 五十部正拓, 陶良, “超音波水中距離測定における時間反転併用の位相考慮型 SC-AFM 信号の効果について,” 海洋音響学会誌, Vol. 49, pp. 87-95, (2022).
- 2) 加藤 圭一郎, 山本 秀和, 佐藤 宣夫, “窒化ガリウム高電子移動度トランジスタの内部構造評価,” 電気学会論文誌E, Vol. 142, pp. 316-324, (2022).
- 3) 角 真輝, 鶴岡 智彦, 田村 知孝, 佐藤 宣夫, “ダウンコンバージョン法を用いた高周波磁場の計測と電流経路可視化,” 電気学会論文誌D, Vol. 143, pp. 236-241, (2023).
- 4) 小林慶祐, 長敬三, 中林寛暁, 水津光司, “合成開口アレーを用いた THz-TDS 測定における仮想アレー位置の影響と複数周波数利用によるアレー素子数削減,” 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J106-B, No. 3, pp. 167-177, (2023).

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (B))
研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : ポストコロナ新時代のワークライフバランス実現のためのストレスコーピングデザイン

研究課題名 (英文) : Stress coping design for work-life balance in the new post-COVID era

研究者 : 滝 聖子 千葉工業大学
TAKI Seiko 社会システム科学部 経営情報科学科 教授

1. はじめに

近年、多くの女性が社会進出を果たし、様々な業界で活躍している。また男女雇用均等法が施行されたことで、女性が自由に仕事できる環境になってきている。厚生労働省によると、令和元年の女性の労働力人口は 3,058 万人と前年と比べて 44 万人増と年々増加している[1]。しかし、女性が働く上では出産・育児との両立や賃金での男性との格差、働く女性のキャリアアップなどの様々な問題がある。

また、新型コロナウイルス感染拡大を受けて、在宅・リモートワークが増加し、働き方の選択肢が増える一方で、仕事と家庭内作業の区別が難しく、並行して作業を行う等、ワーク・ライフのバランスが困難な状況も生じていた。他方、コロナ禍でも在宅・リモートワークが不可能な仕事も存在した。これらの状況から、多様な働き方・家族状況等を調査し、ワークライフバランスの問題点を明らかにした上で、多様な支援を提示可能なモデルを提案し、身体的・精神的に低負荷な労働 (ワーク) と家庭生活 (ライフ) を実現するストレスコーピング手法 (ストレス対処法) をデザインすることが必要であると考えた。

ポストコロナ時代のワークライフバランスを実現するためには、最初にコロナ禍前後の職業や家庭生活におけるストレス要因とストレス反応の関連や影響について明らかにした上で、具体的な支援策を提案する必要がある。

本稿では、コロナ禍前の働く女性の職業におけるストレス反応に影響するストレス要因を明らかにするために、コロナ禍前に実施した働く女性の職業ストレス調査データを用いて共分散構造分析を行い、分析した結果について示す。

2. 調査および分析方法

本研究では、コロナ禍前の働く女性の職業性ストレスのストレス傾向を明らかにするために、OSI 職業ストレス検査を用いて調査した結果について、統計的分析を行った。

2.1 OSI 職業ストレス検査とは

OSI 職業ストレス検査とは、米国のカウンセリング心理学者 S.H.Osipow らによって作成された職業ストレス検査である[2]。本研究では原版ではなく、日本の職業人向けに開発された日本版 OSI 職業ストレス検査を使用した。質問は 140 問であり、職業ストレス源 (ストレス要因) を調べるた

めの「検査 A: 職業役割検査 (60 問)」およびストレス反応を調べるための「検査 B: ストレス反応検査 (40 問)」、個人のストレス対処のタイプや程度を調べるための「検査 C: ストレス対処検査 (40 問)」で各検査は 10 問 1 尺度とした評価尺度から構成されている (表 1)。回答方法は、リッカート尺度 (5 段階) を用いており、検査の所要時間は 20~30 分程度である。各尺度は、1 問 5 点満点であり、尺度によって高得点の示す意味が異なる。「検査 A」では、得点が高い場合、職務や職場環境に強いストレス源があると解釈される。「検査 B」の得点が高い場合、「強いストレスを感じたり、ストレス状態におかれている」と解釈される。「検査 C」では、得点の解釈が逆であり、得点が高い場合、「ストレスへの対処法が不十分、あるいはうまくない」と解釈される。

2.2 分析対象

本研究では、コロナ禍前 (2015 年~2019 年) に実施した、子どものいる女性 55 名 (正社員 17 名、非正社員 9 名、パートタイマー (週 15 時間以上) 21 名、パートタイマー (週 15 時間未満) 8 名) と、子どものいない女性 58 名 (正社員 36 名、非正社員 10 名、パートタイマー (週 15 時間以上) 11 名、パートタイマー (週 15 時間未満) 1 名) の OSI 職業ストレス検査データを分析対象とした。

2.3 分析方法

本研究では、OSI 職業ストレス検査データのうち、各尺度の得点を標準得点に換算した値を分析に使用した。標準得点は OSI 職業ストレス検査手引き[2]の標準得点換算表

表 1 OSI 職業ストレス検査の評価尺度

	評価尺度	質問数	満点
検査 A	A-1 役割過重感尺度	10	50
	A-2 役割に対する不十分感尺度	10	50
	A-3 役割の曖昧感尺度	10	50
	A-4 役割区分の不明瞭感尺度	10	50
	A-5 責任感尺度	10	50
	A-6 物理的環境尺度	10	50
検査 B	B-1 職業ストレス反応尺度	10	50
	B-2 心理的ストレス反応尺度	10	50
	B-3 対人的ストレス反応尺度	10	50
	B-4 身体的ストレス反応尺度	10	50
検査 C	C-1 レクリエーション尺度	10	50
	C-2 健康管理尺度	10	50
	C-3 ソーシャルサポート尺度	10	50
	C-4 論理的対処尺度	10	50
	合計	140	700

[女性]を用いて求めた。さらに、本研究では、全尺度の得点の値が大きいほど「ストレスを感じている、ストレス反応が強い、ストレス対処が不十分」となるように数値を変換して分析に使用した。

また本研究では、OSI 職業ストレス検査結果に基づく働く女性の職業性ストレス要因の関係構造モデルを仮定した。その際、「ストレス対処」は「ストレス要因」の各尺度の影響を受け、さらに、「ストレス反応」は、「ストレス要因」および「ストレス対処」の各尺度の影響を受け、「ストレス反応」の各尺度に影響を及ぼすと仮定した。関連構造モデルの適合度指数にはGFI (Goodness of Fit Index)とRMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)を用いた。なお、本研究では、共分散構造分析ソフトウェア IBM SPSS Amos 25 を使用した。

3. 結果および考察

3.1 対象者全体のストレス反応

分析対象者 113 名全てのデータを用いて共分散構造分析を行った結果を図1に示す。図1より、「ストレス要因 (検査A)」では、「A-1: 役割過重感尺度」が強い影響を与えている傾向が見られた。個人の能力を超えるような仕事の要請を受けていると感じていることが考えられる。また、「ストレス対処 (検査C)」では、「C-1: レクリエーション尺度」が強い影響を与えている傾向が見られた。自由時間をうまく活用できず、余暇活動のため十分な時間がないと考えられる。「ストレス反応 (検査B)」では、「B-1: 職業的ストレス反応尺度」が強い影響を与えている傾向が見られた。仕事に対して質や成果に関して問題を抱え、職務の遂行がうまくいっていないと感じていることが考えられる。また、「B-4: 身体的ストレス反応尺度」も同様に強い影響を与えている傾向が見られた。風邪や不眠、脱力感などの身体的症状や不健康な生活習慣である状態に当てはまる女性が多いことが考えられる。さらに、「ストレス反応」に対しては、やや「ストレス対処」の影響もあるものの、「ストレス要因」の影響が非常に強いことが示された。このモデルは、GFI=0.824 であり、GFI による適合度はやや良好であると判断される。

3.2 子どもの有無別および雇用形態別のストレス反応

子どもの有無別および雇用形態別に共分散構造分析を行った結果として、各群で影響の強い尺度をまとめて表2に示す。ただし、パートタイマー (15時間未満) はデータ数が少ないため、分析を行うことができなかった。また、各モデルも適合度が良好とはいえない結果であったことから、データ数を増やして再度分析を行う必要があると考える。

3.3 考察

本研究で得られた結果より、今回の分析対象者 (働く女性) 全体で見ると職務の遂行がうまくいっておらず、仕事の負担が不適切な環境にあり、自己の自由な時間がとれていないことにストレスを抱える女性が多いことが判明した。

これからも働く女性は増え続けていくと考えられるため、仕事を自己の能力と比例しているのかを見つめ直すことがストレス軽減に繋がると考える。

また、子どもの有無別の分析結果より、子どものいる女性は仕事面にストレスを抱える人が多く、子どもいない女性は仕事面に加えて対人関係にストレスを抱える人が多いことが示唆された。子どものいない女性の対人的ストレスは、家族や友人などと過ごす時間や、問題について解決する時間などをつくるなどにより軽減されると考える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、コロナ禍前に実施した働く女性の職業ストレス調査データを用いて共分散構造分析を行い、働く女性の職業におけるストレス反応に影響するストレス要因を明らかにすることを試みた。

今後の課題は、コロナ禍以降の調査結果を分析し、本研究結果と比較した上で、労働者のワークライフバランス実現のための具体的な支援策を提案したいと考えている。

最後に、本研究の実施にあたり、調査にご協力いただいた皆様に感謝する。

本研究に関する主な発表論文

- 1) Yating Yu, Seiko Taki, Shuyu Liang, Modoka Takahashi, Analysis of Occupational Stress Factors for Female Workers Using Structural Equation Model, Conference Proceedings of 2023 International Symposium on Engineering and Applied Science (ISEAS2023), pp.164-169, 2023.

参考文献

- [1] 厚生労働省:「総務省 労働力調査 (令和元年版)」, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/koyoukintou/josei-jitsujou/dl/19-01.pdf> (2023/1/15 閲覧)
- [2] 田中宏二, 渡辺三枝子:「OSI 職業ストレス検査手引」, 一般社団法人雇用問題研究会, 2014.

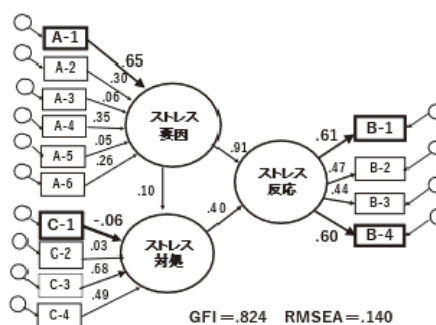


図1 対象者 113 名分の共分散構造分析結果

表2 各群における影響の強い尺度

群	影響の強い尺度	GFI	RMSEA
子ども有	A-2, B-1, C-2	0.775	0.081
子ども無	A-1, B-3, C-1	0.818	0.140
正社員	A-3, B-2, C-1	0.753	0.140
非正社員	A-6, B-1, C-1	0.688	0.159
パートタイマー (週15時間以上)	A-4, B-1, C-3	0.689	0.122

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (C))

研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 統合失調症の早期診断に向けた大域的な神経ネットワークダイナミクスの障害の解明

研究課題名 (英文) : Detecting Method for Alternations of Global Network Dynamics in Schizophrenia by Electroencephalography

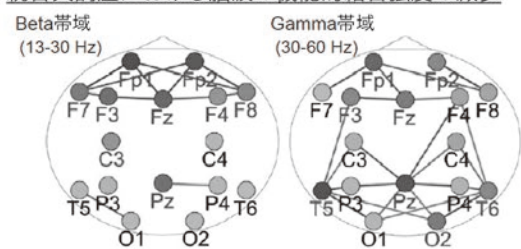
研究者 : 信川 創 千葉工業大学
NOBUKAWA Sou 情報科学部 情報工学科 教授

研究背景

統合失調症は、知覚・思考機能に異常をきたす難治性の精神疾患であり、その病態は慢性な経過をたどる場合が多い。また、早期の診断と介入が予後を大きく左右することから、従来の問診を主体とする診断に加え、早期診断を実現する生体情報に基づく客観的で定量的なバイオマーカーを利用した診断法の考案が望まれている。その候補として、血液から統合失調症に関するタンパク質の発現変化を捉える手法 (A. Yoshimi et al., Transl. Psychiatry, 2019) が提案されている。しかし脳神経系の分子病態への関連など不明な点も多く、また実用化には診断精度の向上が必要である。その候補として、脳内の神経ネットワークを構成する灰白質の減少を検出する画像診断法が知られている (A.I.L. Saارينen et al., Schizophr. Res., 2020)、脳機能への関連など不明な点も多く、また実用化には診断精度の向上が必要である。他の有力な候補として、脳神経系の活動をダイレクトに捉えることができ、且つ臨床的に高い汎用性を持つ脳波を利用する方法がある。

これまでの統合失調症に対する脳波研究において、脳全体の大域的な神経ネットワークの障害が報告されている (Y. Hirano, et al., JAMA Psychiatry, 2015; J.M. McNally, & R.W. McCarley, Curr. Opin. Psychiatry, 2016)。我々は、脳部位間の同期の程度によって定量化した機能的結合のネットワーク構造に着目し、統合失調症の beta・gamma 帯域の神経ネットワーク異常を明らかにしてきた (T. Takahashi et al., Clin. Neurophysiol., 2018) (図1を参照)。

統合失調症における脳波の機能的結合強度の減少



* 丸印は脳波の電極であり、電極間のエッジは減少した機能的結合を表す。丸印/エッジの色が濃いほど減少の程度が大きい。

(T. Takahashi, et al., Clin. Neurophysiol., 2018)

図1 統合失調症における脳波解析の取り組み。

更に近年の報告では、長時間平均により推定された機能的結合の静的なネットワーク構造と比較して、

機能的結合のダイナミクスが精神疾患の病理メカニズムにおいて、より重要な要因となることが指摘されている (D. S. Bassett & O. Sporns, Nat. Neurosci., 2017)。

この中で我々は、脳部位間における脳波の動的位相差 (DPS: Dynamical Phase Synchronization) パターンの複雑性に着目し、このダイナミクスを捉える手法を考案した (Nobukawa et al., NeuroImage, 2019)。

そして、加齢に伴う前頭野を中心としたネットワーク変質を捉えることに成功しており (Nobukawa et al., NeuroImage, 2019)、そしてこの DPS の優れた神経ネットワークダイナミクスの同定能力は、統合失調症をはじめとする精神疾患の早期診断と治療効果判定を可能にすると期待されていた。

我々の提案した DPS は複数の脳部位間の神経活動から生成される複雑な相互作用を、2 部位間の相互作用に分解して捉えている。

しかし、統合失調症は、多様な神経基盤を持つ異種性の強い疾患であり、神経ネットワーク障害は広い脳領域に亘る (J.M. McNally, & R.W. McCarley, Curr. Opin. Psychiatry, 2016)。更に、統合失調症において異常をきたす知覚・思考機能は、様々な脳部位により統制された全脳的な神経活動から生まれる創発現象である (O. Sporns & R.F. Betzel, Annu. Rev. Psychol., 2016)。この神経活動の特性を真に捉えるには、大域的な神経ネットワークの相互作用を個々の要素に分解せずに直接的に捉え、ネットワークダイナミクスを推定するアプローチ (大域的動的位相差 (GDPS: Global DPS)) の考案が必要であると考えた。

研究成果

全脳的な位相ダイナミクスに基づく GDPS の導入: 金沢大学附属病院において計測された健常者 (31 名) の脳波データに対して、ヒルベルト変換により周波数帯域毎の瞬時位相の推定を行った。そしてその空間的分布から、瞬間瞬間の全脳ネットワークの活動状態に対応した GDPS のクラスを分類した (図2を参照)。その結果、部位依存性を持った位相先行の状態が間欠的に状態間を遷移する特性が観測された。一般に脳の活動状態の遷移特性は脳機能や病態を反映することから引き続き、金沢大学附属病院において計測された統合失調症患者 (21 名) の脳波データに対して、GDPS のダイナミクスプロファイルとして、状態間の遷移確率

を解析した。その結果, Beta・Gamma 帯域において,

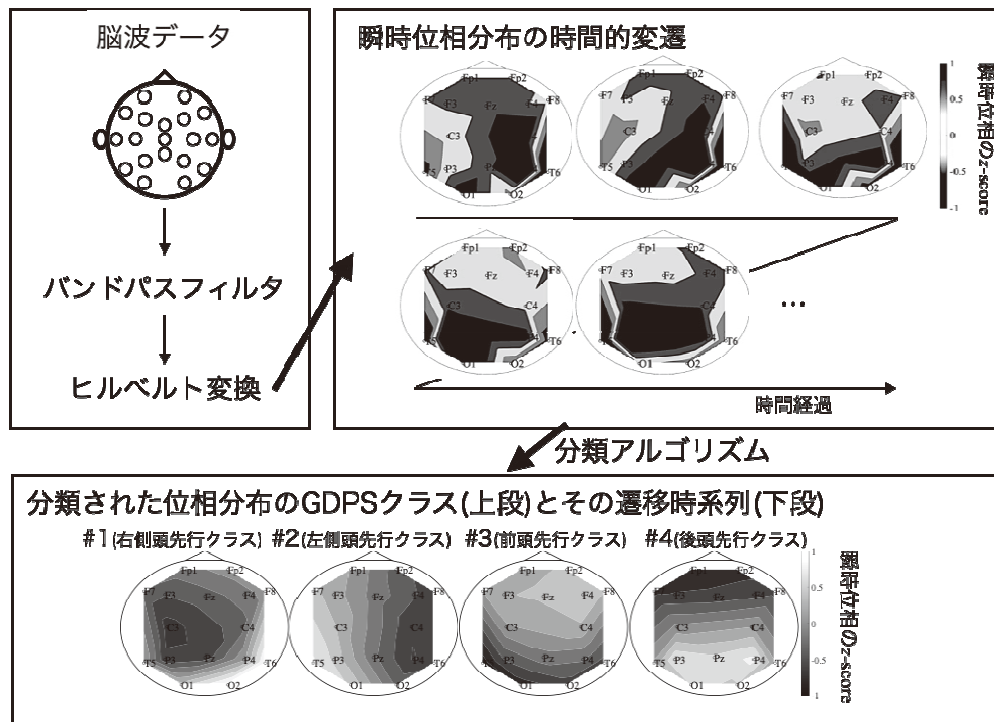


図 2 大域的動的位相差(GDPS)による神経ネットワーク状態の分類。

疾患特異的なダイナミクス特性が明らかとなった(研究業績[1])。

さらにこのような神経ネットワークの状態遷移特性はカオス的なダイナミクス特性と密接に関わるため, 数理モデルを利用したスパイクングニューラルニューラルネットワークを構築し, そのダイナミクス生成に, 興奮性シナプス結合のロングテール性や興奮性/抑制性バランスが重要な役割を担うことが示唆された(研究成果[2, 3])。

結論と今後の研究課題

これまでの機能的結合のダイナミクスに関する研究では, 血中酸素濃度(BOLD)シグナルの各部位における同期の時間的推移が用いられてきた(D. S. Bassett & O. Sporns, Nature Neurosci. 2017)。しかし, この場合, 時間分解能は数秒程度となるため, 発火活動に由来するより高い周波数帯域における機能的結合のダイナミクスを捉えることは困難であった。

それに対して本研究は, 脳機能を直接的に反映した高い時間分解能を持つ脳波に着目し, 更に単純な位相同期の概念を拡張した, 広い脳領域に亘る神経活動の相互作用によって生成されるGDPSを利用し統合失調症での大域的な神経ネットワーク障害の特徴を, 直接的に抽出しようとしたものである。今後, GDPSのさらに詳しいダイナミクス特性と神経ネットワーク変質の関連性を調べていく予定である。そして今後, GDPSの優位性の検証は確認できれば, それを活用した早期診断や診断精度の向上, 更には治療効果の判定に繋げていきたいと考えている。

研究成果

- [1] Ebina, D., Nobukawa, S., Ikeda, T., Kikuchi, M., & Takahashi, T. (2023, April). Dynamic Characteristics of Micro-state Transition Defined by Instantaneous Frequency in the Electroencephalography of Schizophrenia Patients. In Neural Information Processing: 29th International Conference, ICONIP 2022, Virtual Event, November 22-26, 2022, Proceedings, Part II (pp. 25-36). Cham: Springer International Publishing.
- [2] Matsumoto, I., Nobukawa, S., Wagatsuma, N., & Kurikawa, T. (2023). Functionality of neural dynamics induced by long-tailed synaptic distribution in reservoir computing. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 14(2), 342-355.
- [3] Matsumoto, I., Nobukawa, S., Kurikawa, T., Wagatsuma, N., Sakemi, Y., Kanamaru, T., Sviridova, N., Aihara, K. (to be published) Optimal Excitatory and Inhibitory Balance for High Learning Performance in Spiking Neural Networks with Long-Tailed Synaptic Weight Distributions. In Proceedings of 2023 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究(C))

研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 知覚衣服によるヘルスケア基盤技術の構築

研究課題名 (英文) : Establishment of Healthcare Infrastructure Technology with Perceptual Clothing

研究者 : 小山 勇也

千葉工業大学

KOYAMA Yuya

工学部 電気電子工学科 助教

1. はじめに

呼吸や心拍、血圧といった生体情報は健康状態を診断するための指標である。これらの生体情報の日々の変化を把握することは疾病を予防するために有効である。また、日常生活において生体情報をモニタリングする際は被験者を拘束せず、かつ違和感を与えずに低侵襲に計測が行われる事が望ましいと考えられる。

従来、血圧計測において最も多く使用されている血圧計は、カフ圧による計測原理のものが多い¹⁾。カフ圧方式の計測は使用者の腕をカフにより圧迫して血流を止め、減圧による圧脈波の変化により血圧を推定するため、使用者を身体的に拘束する計測方法と言える。これに対し、装着するタイプのウェアラブル測定器²⁾は身体的な拘束は軽減されているものの、装着によって快適性が損なわれる。身体に取り付けても違和感のない計測を実現するためには、センサ自体が柔軟であることが望ましい。

一方、光ファイバセンサは柔軟・軽量という特長を持つため、人体に直接取り付けても侵襲性が低く、違和感を与えにくいと考えられる。これまで我々はヘテロコア光ファイバセンサを応用し、脈拍や呼吸といったバイタルサインの研究を行ってきた³⁾⁶⁾。本研究では、ヘテロコア光ファイバセンサを用いた低侵襲な血圧計測のために、複数点の脈動の同時検出による脈波伝搬時間の比較を試みた。

2. 研究の内容

図1にヘテロコア光ファイバセンサの構造を示す。図1より、ヘテロコア光ファイバセンサはコア径9 μm の伝送路にコア径5 μm の光ファイバ小切片を挿入した構造を持つ、このヘテロコア部では伝搬光が一部漏洩しているが、更に曲率を与えることで漏洩量が増加するため、曲率変化を光損失によって検出可能である。ヘテロコア光ファイバセンサは高感度であるため、皮膚に接触させることにより心拍や脈拍の脈動の僅かな変化をも捉えることも可能である。本センサを医療用テープにより皮膚上に固定することにより、脈動によって押し上げられる皮膚表面をセンサ部に対する曲率変化として検知可能である。

身体の異なる二点の脈圧波形の時間差から求められる脈波伝搬時間(PIT)は、低侵襲な血圧推定法として知られている⁷⁾。脈波伝搬時間は脈圧波形が動脈樹の長さを伝播するのにかかる時間を意味しており、最高血圧と負の相関性を有する。従って、本ヘテロコア光ファイバ

を使用して二点間の脈波を同時に取得し、二つの脈波の時間差から伝搬時間を求めることにより、血圧を推定することが可能であると考えられる。本研究では、計測時間内にある脈波伝搬時間を平均し、平均脈波伝搬時間(APTT)を算出した。

図2に計測構成を示す。図2より、光源に波長1310nmのLED、受光部にフォトダイオードを用いて光ファイバの出力光強度を電圧値として検出した。電圧値はADコンバータによりサンプリングレート20kHzでデジタル変換され、記録された。また、計測値には20回の平均化、及びバンドパスフィルタを施した。尚、参照用血圧計(HEM-1021, OMRON)を右腕に装着して参照最高血圧を取得した。センサは首の頸動脈部、および足首の後脛骨動脈部、手首、肘の4か所の皮膚表面に、動脈に対して垂直方向にそれぞれ配置し、仰臥位の姿勢で計測した。1回の計測時間は参照用血圧計の計測時間に合わせ、約20~25秒間とし、合計50回の計測を実施した。また、被験者には食後から1時間以上経過し、仰臥位の

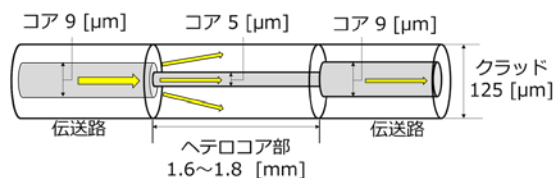


図1 ヘテロコア光ファイバセンサ

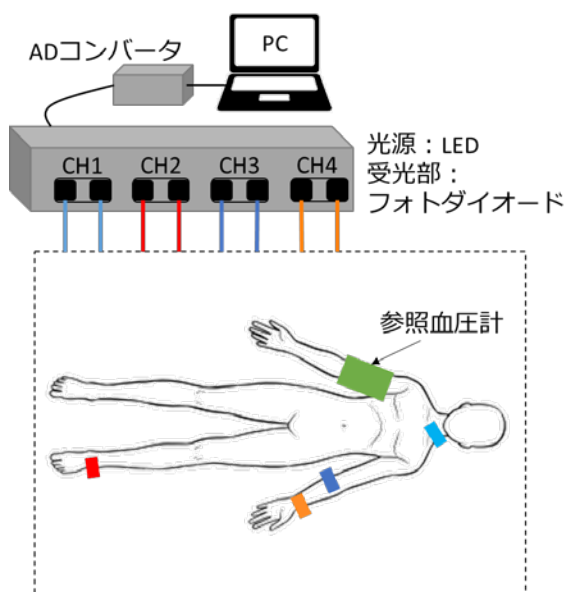


図2 計測構成

姿勢で 10 分間安静にした後、計測した。尚、被験者は 22 歳の健康人男性とした。

3. 実験結果

今回の実験では頸動脈と足首、肘と手首のそれぞれをペアとし、脈波形を比較した。図 3(a)と(b)に取得した脈波形を示す。また、2 つの脈波形はいずれも時間差を有することを確認し、この波形間の時間差により脈波伝搬時間を得た。

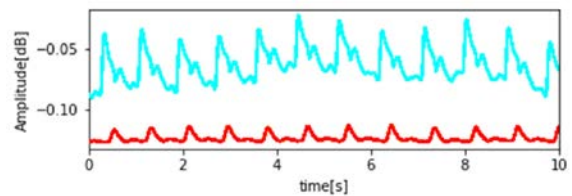
脈波伝搬時間と参照最高血圧の相関性を評価し、計測値の妥当性を確認した。一回の計測における脈波伝搬時間(APTT)の平均値と参照最高血圧値の分布について、最小二乗法を用いて単回帰分析を行った。結果を図 4 に示す。図 4(a)より、首-足首間の脈波伝搬時間は参照最高血圧と負の相関を示し、妥当であることを確認した。一方、図 4(b)より、肘-手首間の脈波伝搬時間は参照最高血圧と正の相関を示すことを確認した。これらの違いの要因については現在調査中である。

4. まとめ

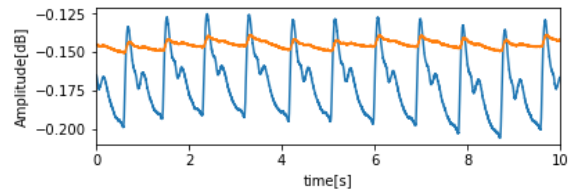
本研究ではヘテロコア光ファイバセンサを用いた低侵襲な血圧計測方法の検討のために、首の頸動脈部、足首の後脛骨動脈部、手首、足首の 4 箇所脈波形を同時に計測した。更に、脈波計の時間差から脈波伝搬時間を算出し、参照最高血圧との単回帰分析を行った。結果、首-足首間において参照最高血圧と平均脈波伝搬時間は負の相関を持ち、肘-手首間の脈波伝搬時間は参照最高血圧と正の相関を示すことを確認した。

参考文献

- (1) 高血圧治療ガイドライン 2014 電子版, 日本高血圧学会, https://www.jpnsh.jp/download_gl.html
- (2) E.S. Winkers, D.D. He and C.G. Sodini: "A wearable vital signs monitor at the ear for continuous heart rate and Pulse Transit Time measurements", 2012 Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2724/2727 (2012).
- (3) Michiko Nishiyama, Masako Sonobe, and Kazuhiro Watanabe, "Unconstrained pulse pressure monitoring for health management using hetero-core fiber optic sensor," Biomed. Opt. Express 7, 3675-3685 (2016).
- (4) Y. Koyama, M. Nishiyama and K. Watanabe, "Smart Textile Using Hetero-Core Optical Fiber for Heartbeat and Respiration Monitoring," in IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 15, pp. 6175-6180, 1 Aug. 1, 2018.
- (5) H. Kamada, Y. Koyama, M. Nishiyama and K. Watanabe, "Accuracy of Pulse Rate Estimation Using Hetero-Core Fiber Optics," 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 2021, pp. 1-2
- (6) 鎌田 広輝, 小山 勇也, 西山 道子, 渡辺 一弘「ヘテロコア光ファイバセンサによる血圧計測方法の検討」第 39 回「センサ・マイクロマシンと応用

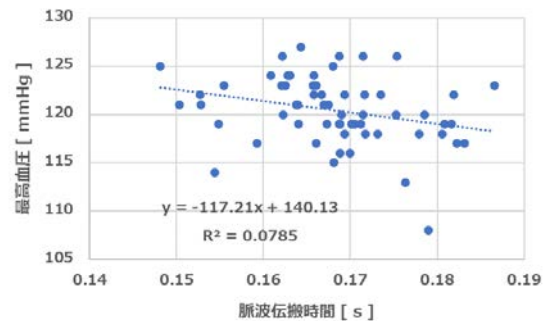


(a) 首-足首

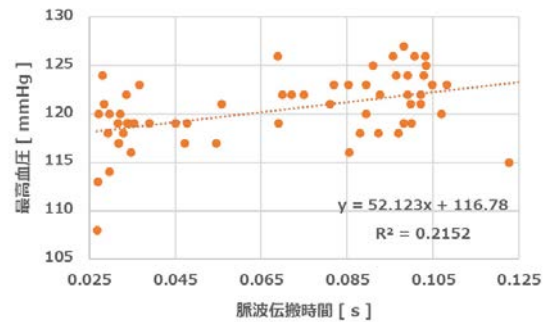


(b) 肘-手首

図 3 二点間における脈波形



(a) 首-足首



(b) 肘-手首

図 4 脈波伝搬時間と最高血圧の比較

システム」シンポジウム講演論文集, 10P3-SSP-33, 2021 年 11 月.

- (7) 土肥 徹次, 脇 浩平, "カフレス血圧計測法を用いたウェアラブル血圧計測デバイス", 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 136, No. 9, pp. 370-376.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (C))
研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 凝集誘起発光において非断熱遷移ダイナミクスが巧みに制御されるメカニズムを捉える

研究課題名 (英文) : Understanding the Control of Non-adiabatic Dynamics in Aggregation-Induced Emission

研究者 : 〇山本 典史 千葉工業大学
YAMOMOTO Norifumi 工学部 応用化学科 教授

1. 序

テトラフェニルエチレン (TPE) は、凝集誘起発光 (AIE) を示す代表的な蛍光色素であり、希薄溶液中に分散した状態の蛍光量子収率 (Φ_f) 値は 0.0024 程度と小さいが、凝集すると Φ_f 値は 0.49 まで増大する。¹⁾ TPE が示す AIE の詳細なメカニズムは不明であったが、近年、TPE と同様に AIE を示すシアノスチルベン誘導体において、ethylenic C=C 結合の分子内回転運動が AIE 過程で重要な役割を果たすことが理論的研究によって明らかになっている。²⁻⁴⁾ 本研究では、TPE の AIE 過程に関して、自由エネルギープロファイル解析に取り組み、その分子機構を明らかにした。

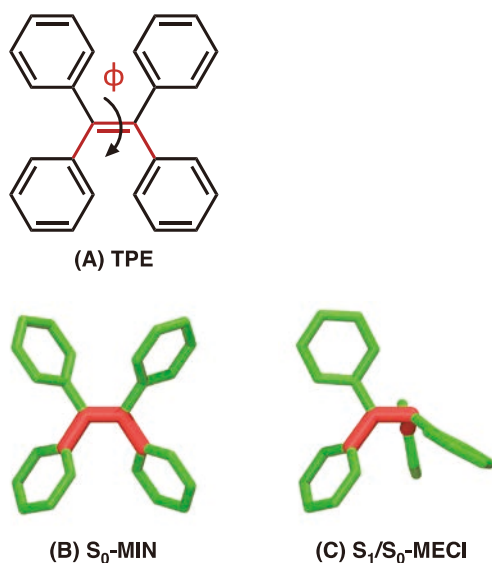


Figure 1. (A) Chemical structure of TPE, (B) local minimum structure optimized at the electronic ground (S_0) state (S_0 -MIN), and (C) structure at the minimum energy conical intersection between the S_0 and first excited (S_1) states (S_1/S_0 -MECI).

2. 方法

TPE の電子状態は、スピン対称性を考慮したスピン反転時間依存密度汎関数 (SA-SF-TD-DFT) 法を用いて解析した。DFT 法の汎関数には BHHLYP、基底関数には 6-31G(d) を用いた。プログラムには Q-Chem (version 5.4) を使用した。 S_1/S_0 円錐交差構造 (S_1/S_0 -MECI) は、

branching-plane 法を用いて探索した。基底状態の最適化構造 (S_0 -MIN) と S_1/S_0 -MECI を繋ぐ最小エネルギー経路 (MEP) は、string 法を用いて決定した。THF 溶液および凝集構造中における MEP に沿った自由エネルギー変化は、QM/MM 自由エネルギー摂動法を用いて解析した。

3. 結果・考察

Figure 2 では、THF 溶液中の TPE の自由エネルギープロファイル (FEP) を示している。この FEP は、TPE が光励起後の最小エネルギー経路に沿った自由エネルギー変化を表すものである。この図から読み取れるように、TPE は光励起後、Franck-Condon (FC) 点から 0.5 eV 安定な S_0/S_1 円錐交差 (Conical Intersection; CI) 点に緩和することが明らかになった。ここで FC 点とは、光励起直後の構造状態であり、CI 点は励起状態と基底状態のエネルギーが交差する点を表している。以上のことから、THF 溶液中で TPE が光らない理由は、 S_0 -MIN 構造 (Figure 1B) から S_1/S_0 -MECI 構造 (Figure 1C) への変化が迅速に生じ、その結果、 S_0/S_1 CI 点を經由して無輻射緩和が生じるためであることが明らかになった。言い換えると、非輻射遷移が迅速に生じるためと解釈できる。

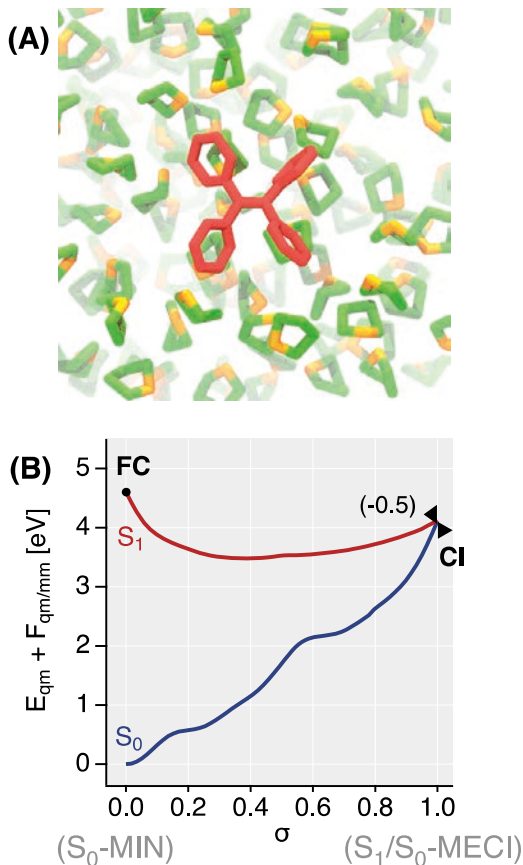


Figure 2. (A) Snapshot picture and (B) free-energy profile of TPE in THF solution

Figure 3 に、凝集構造における TPE の自由エネルギープロフィールを示している。これを見ると、光励起後、FC 点から CI 点へと辿り着くためには 0.2 eV 以上のエネルギーが必要となることが分かる。このことから、光励起状態から基底状態に戻る際に、分子の立体構造が変化して S_0/S_1 交差点に至る無輻射経路（エネルギーを光として放出しないでその電子状態が変化する経路）が、エネルギー的に不利となることを意味している。このことが、TPE が凝集体中で強い発光を示す原因となっていることが明らかになった。つまり、光励起後、エネルギー的に不利となる無輻射経路に向かうのではなく、エネルギーを光として放出し、発光するメカニズムが優位となることが明らかになった。

以上のことから、今後、本研究をさらに遂行することで、AIE を発現する分子を合理的に設計・最適化するための基礎を確立できることが期待される。

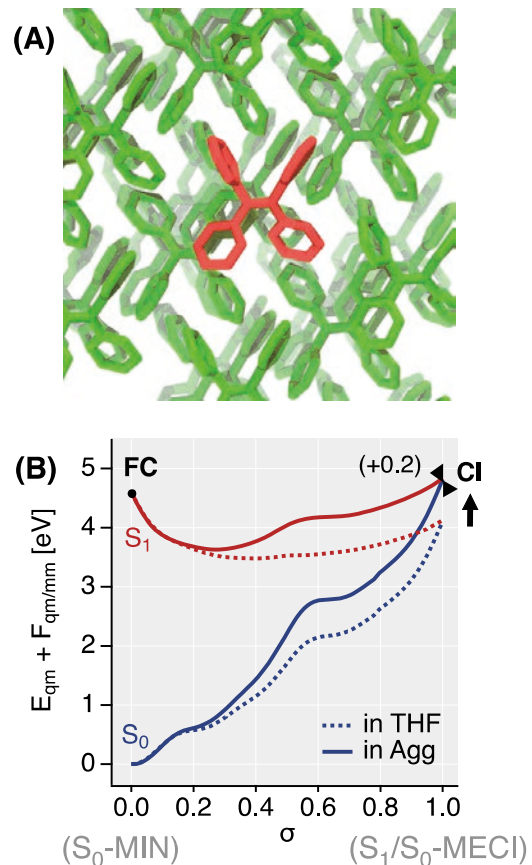


Figure 3. (A) Snapshot picture and (B) free-energy profile of TPE in aggregated state

参考文献

- [1] Zhao, Z., et al, Tetraphenylethene: a versatile AIE building block for the construction of efficient luminescent materials for organic light-emitting diodes, *J. Mater. Chem.*, Vol. **22**, p. 23726 (2012).
- [2] Ueda, M., Kokubun, M., Yanagi, N., Yamamoto, N., and Mazaki, Y., Janus-Type AIE Fluorophores: Synthesis and Properties of π -Extended Coumarin-Bearing Triskelions, *Molecules*, Vol. **27**, p. 7450 (2022).
- [3] Yamamoto, N., Free energy profile analysis to identify factors activating the aggregation-induced emission of a cyanostilbene derivative, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Vol. **23**, p. 1317 (2021).
- [4] Yamamoto, N., Free energy profile analysis for the aggregation-induced emission of diphenyldibenzofulvene, *J. Phys. Chem. A*, Vol. **124**, p. 4939 (2020)

研究項目	： 科研費採択者助成金（基盤研究（C））		
研究期間	： 2022/5/30 ~ 2023/2/28		
研究課題名（和文）	： 異種材料間接合の低抵抗化とそのデバイス応用		
研究課題名（英文）	： Reduction of Bonding Resistance Between Different Materials and Its Device Application		
研究者	○内田 史朗	千葉工業大学	
	UCHIDA Shiro	工学部 先端材料工学科 教授	
	西館 優太	千葉工業大学	
	NISHIDATE Yuta	工学研究科 先端材料工学専攻 修士課程2年	
	久恒 圭人	千葉工業大学	
	HISATSUNE Keito	工学研究科 先端材料工学専攻 修士課程2年	

1. はじめに

近年、新しい機能デバイスの可能性を広げる技術として、異種基板の接合が注目されている。この異種基板接合は各基板の有する特有の機能を統合することができるが、これまでは高温で融着する熱融着が多く検討されてきたが、熱膨張係数の異なる基板同士ではその接合が難しかった。そこで、熱融着ではなく表面をプラズマで活性化し、格子定数の異なる材料を常温で接合する常温接合法が注目されている。この常温接合技術は太陽電池の多接合化に応用され高い光電変換効率が既に実証されている[1, 2]。本研究ではこの常温接合の応用技術をさらに多くの分野へ展開するためにIII-V族化合物半導体基板の接合について、アルゴンの高速原子ビーム (FAB: Fast Atom Beam) 照射時の条件を詳細に検討し、接合されたサンプルの電気特性を評価した。

2. 実験方法

本実験では、常温接合機の到達真空度を 7.5×10^{-6} Pa、FAB の照射角度を 45° で固定し、FAB 照射の条件の印加電圧、印加電流、照射時間などをパラメータとして接合実験を行った。接合には基板として $7 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ の半導体基板を用い、p-GaAs ($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)、p-InP ($1 \sim 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n-InP ($2.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) を準備し、接合の組合せとして p-GaAs/p-GaAs、p-GaAs/p-InP、p-GaAs/n-InP (//は接合界面を示す) の3種類を行った。

また、事前に接合面の裏面にオーミック電極として電子ビーム蒸着機で p-GaAs と n-InP については Ti/Pt/Au を、p-InP には抵抗加熱式蒸着機で AuZn を成膜し、接合後に電流電圧特性を測定した。

3. 結果

(実験1)

p-GaAs/p-GaAs 接合サンプルの J-V 特性を図1に示す。FAB の印加電圧を 0.6kV から 1.0kV へと大きくすることで、ショットキー接触から徐々に

オーミック接触に近づくのが観察された。

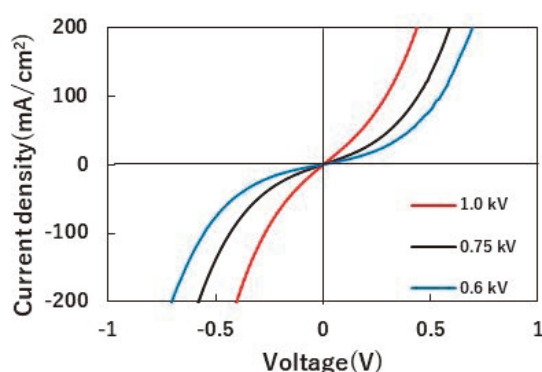


図1 p-GaAs/p-GaAs接合のJ-V特性

(実験2)

p-GaAs/p-InP 接合サンプルの J-V 特性を図2に示す。バンドギャップの異なる材料の組合せの為、非対称的な J-V 特性が得られた。逆バイアス側では 0.3V 付近で、順バイアス側では、3V 付近で電流が増加した。

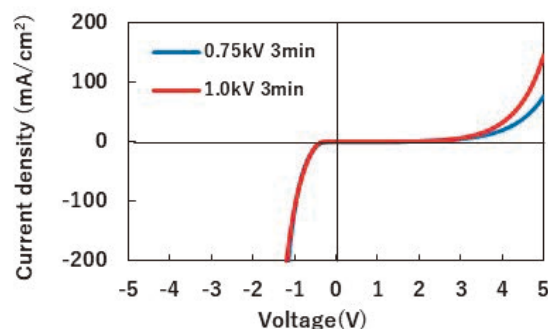


図2 p-GaAs/p-InP接合の電気特性

(実験3)

p-GaAs/n-InP 接合サンプルの J-V 特性を図3に示す。FAB の印加電圧を 0.75kV から 1.5kV へと大きくするにつれオーミック特性が得られ、印加電圧

の最も大きい 1.5kV の接合サンプルにおいて、接合抵抗は $3.8 \times 10^{-1} \Omega \text{cm}^2$ が得られた。

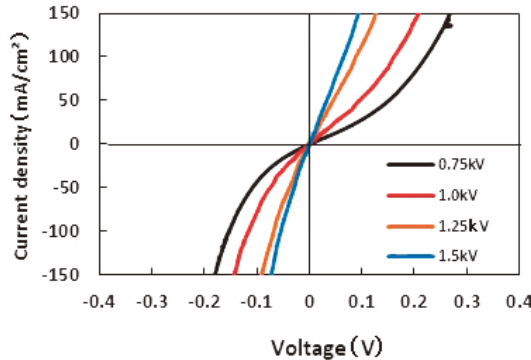


図3 p-GaAs/n-InP接合のJ-V特性

4. 考察

図1に示されたJ-Vカーブから接線を引き、電圧軸との交点をポテンシャル障壁(eV)として定義し、FABの印加電圧依存性を図4にプロットした。FABの印加電圧を上げると、ポテンシャル障壁が低下した。これは、界面に形成されたアモルファス層の界面準位密度がFABの印加電圧を上げることによって増加し、界面準位を経由して流れるトンネル電流が増え実効的なポテンシャル障壁が減少したと推定している。

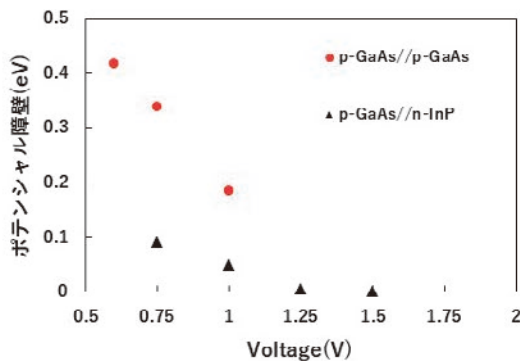


図4 ポテンシャル障壁とFAB印加電圧

図2の非対称性を有するJ-V特性は界面準位を有するバンドキャップの異なる材料のヘテロ接合界面では、エネルギー障壁の幅が非対称になることが知られている[3]。しかしながら、順バイアス側で3V付近まで電流が流れなかった現象は、接合が完全ではなく、接合界面の面内で不純物やダスト等による空隙が原因となっている可能性が高いと考えている。

最後に図3のp-GaAs/n-InP接合のJ-V特性に対しても同様にポテンシャル障壁を見積り、図4にFABの印加電圧依存性をプロットした。異極性異種材料では、界面(欠陥)準位を経由してトンネル接合のように電流が流れることが知られており[4]、

接合条件の最適化で更なる低抵抗化が期待できる。

5. まとめ

III-V族化合物半導体基板の常温接合による低抵抗化検討として、p-GaAs/p-GaAs, p-GaAs/p-InP, p-GaAs/n-InPの接合実験を行い、p-GaAs/n-InPの接合において接合抵抗値 $3.8 \times 10^{-1} \Omega \text{cm}^2$ を得た。今後、接合条件の最適化を進めることで更なる低抵抗化が期待される。

本研究に関する主な発表論文

- (1) 西館優太 他、「常温接合を用いた異極性基板接合の検討」、第83回応用物理学会秋季学術講演会、22a-A307-4、2022年9月
- (2) 久恒 圭人 他、「常温接合を用いた異極性基板接合の検討」、第83回応用物理学会秋季学術講演会、22a-A307-5、2022年9月

参考文献

- [1] F. Dimroth et al., "Four-Junction Wafer-Bonded Concentrator Solar Cells" IEEE journal of photovoltaics, vol. 6, No. 1, January 2016
- [2] P. Dai et al., "Room-temperature wafer bonded InGaP/GaAs/InGaAsP/InGaAs four-junction solar cell grown by all-solid state molecular beam epitaxy" Applied Physics Express 9, 016501 (2016)
- [3] 高橋清, 半導体工学 第2版, p143, 森北出版
- [4] S. Uchida et al., "Room-temperature GaAs/InP wafer bonding with extremely low resistance" Applied Physics Express 7, 112301 (2014)

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (C))
 研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 水槽に用いられるポリマーセメント塗膜防水層のふくれメカニズムの解明とその評価方法

研究課題名 (英文) : Elucidation of the Blistering Mechanism of Polymer-modified Cement Waterproofing Used for Water Tanks and Its Evaluation Method

研究者 : ○石原 沙織 千葉工業大学
 ISHIHARA Saori 創造工学部 建築学科 教授

1. はじめに

ポリマーセメント系塗膜防水材は、地下や水槽への施工が増加している一方で、ふくれが発生する場合がある事が報告されている。既往の研究¹⁾²⁾より、ふくれの発生要因として、防水材自体の吸水及び浸透圧の影響が挙げられているが、防水材自体の浸透圧測定は実施できていなかった。また、既往の研究で行われた防水材の吸水試験は、防水材を浸漬して行われていたが、実際に地下や水槽で使用される場合は片面のみが水に曝されるため、試験方法と実際の使用状況に乖離があった。そこで初年度は、片面を水に曝した状態を再現した防水材の吸水試験を行うと共に、浸透圧測定装置を試作し測定を試みることを目的とした。

2. 研究の内容

(1) 防水材の吸水試験

試験方法

図1に示す吸水試験装置を作製し、ポリマーの種類やポリマーセメント比 (P/C) の異なる表1に示す各種ポリマーセメント系塗膜防水材の片面からの吸水試験を行った。装置に試験体を挟み固定した後、試験体の表面から高さ150mmまで給水した。これを23±5°C50%RH環境下に静置し、適宜装置から試験体を外し、試験体表面の水分をウェスで拭き重量を測定した。試験体数は各2体とした。

試験結果及び考察

図2に重量増加率の推移を示す。ポリマーの種類がEVA系の場合、試験開始から1週間程吸水し続け、その後の変化は小さくなる傾向が見られた。既往の研究¹⁾²⁾でふくれが発生しなかった試験体4は、ふくれが発生したその他の試験体と比べると、重量増加率が小さくなっており、吸水量がふくれ発生に影響を及ぼしていると推察される。アクリル系はEVA系に比べ全体的に重量増加率が小さいが、既往の研究¹⁾²⁾でふくれが発生した試験体8は、重量増加率が徐々に増加しており、試験を継続させた場合、他の試験体の重量増加率を上回ることが予測される。以

表1 試験体の種類

試験体番号	ポリマーの種類	ポリマーエマルジョンの種類	P/C (%)	目標膜厚 (mm)	ふくれ有無
1 *	EVA	①	75	1.1	○
2 *		①	100		○
3 *		②			○
4		①	300		×
5		②			○
6	アクリル	①	75		×
7 *		①	100		×
8 *		③			○
9		①	300		×

*: 浸透圧測定でも使用した試験体
 既往の研究¹⁾²⁾でのふくれの有無 ○:あり ×:なし

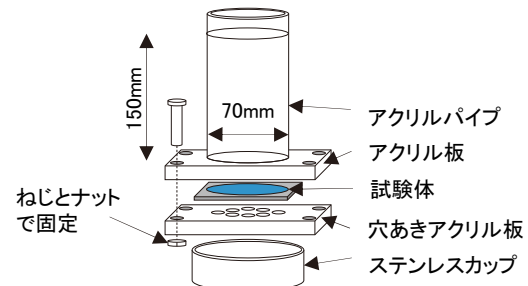


図1 吸水試験装置

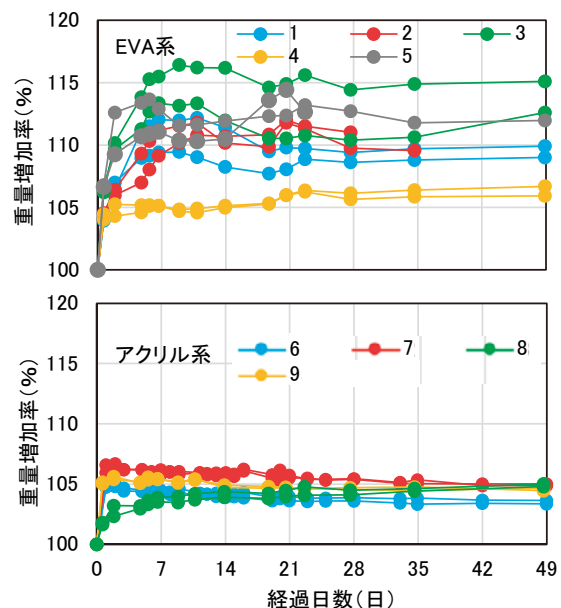


図2 防水材の重量増加率の推移

上よりアクリル系においても吸水量がふくれ発生に影響を及ぼしている」と推察された。

(2) 浸透圧測定

浸透圧測定装置の試作

図3に試作した浸透圧測定装置を示す。直径70mmの2本のアクリルパイプに設けた各々の吸水口より任意の溶液を入れ、その接合部に厚さ8mmの2枚のアクリル板を用いて試験体を挟み込む構成である。片側のアクリルパイプに圧力計を取り付け、各パーツの接合部をパテで封じた。

浸透圧の測定方法

表1に示す防水材のうち、*印がついている5種類を試験体で浸透圧の測定を行った。片方のアクリルパイプに、塩化カルシウムを蒸留水に溶解させたカルシウムイオン水を入れ、もう一方のアクリルパイプに蒸留水を入れた。尚カルシウムイオン濃度は、ふくれが発生した試験体のふくれ内部に存在している溶液の分析結果を踏まえ10000ppmで行い、更に一部の試験体では2200ppmでも測定を行った。これを23±5°C50%RH環境下に静置し、蒸留水側の水圧を圧力計で測定した。

測定結果及び考察

図4に浸透圧測定結果を示す。試験体の中で、唯一既往の研究¹²⁾でふくれが発生しなかった試験体7では、カルシウムイオン濃度が10000ppmであっても、浸透圧も1100Pa程度と一番低かった。それ以外の試験体は全て既往の研究¹²⁾でふくれが発生した試験体だが、最大の浸透圧は1700Pa～9300Paであった。また既往の研究¹²⁾では、EVA系はアクリル系に比べふくれが発生しやすかったが、本測定において最も大きな浸透圧が測定された試験体番号2はEVA系であった。

以上よりふくれの発生メカニズムを整理すると、防水材が水槽の水を吸水し、下地となるコンクリートの表面の空隙に水が到達しコンクリート中の可溶成分が溶出する。その時水槽の水との濃度差により、水槽側から下地側に分子が移動するが下地側はコンクリートで押えられているため浸透圧が発生する。それに耐えられなくなると防水材にふくれが発生すると考えられる。そのため吸水しやすい防水材、既往の研究¹²⁾で膜厚の薄い防水材でふくれが発生しやすかったと言える。

このメカニズムを踏まえると、下地となる躯体コンクリート表面の含水率が高い場合や結露等により水分が存在しやすい場合、更にコンクリート表面に空隙が多い場合は、ふくれが発生しやすくなると言える。

3. まとめ

1) ポリマーセメント系塗膜防水材の浸透圧測定装

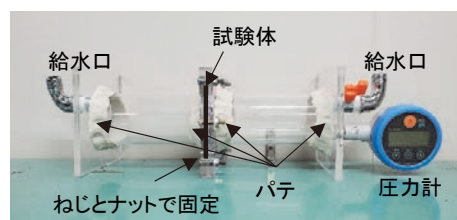


図3 試作した浸透圧測定装置

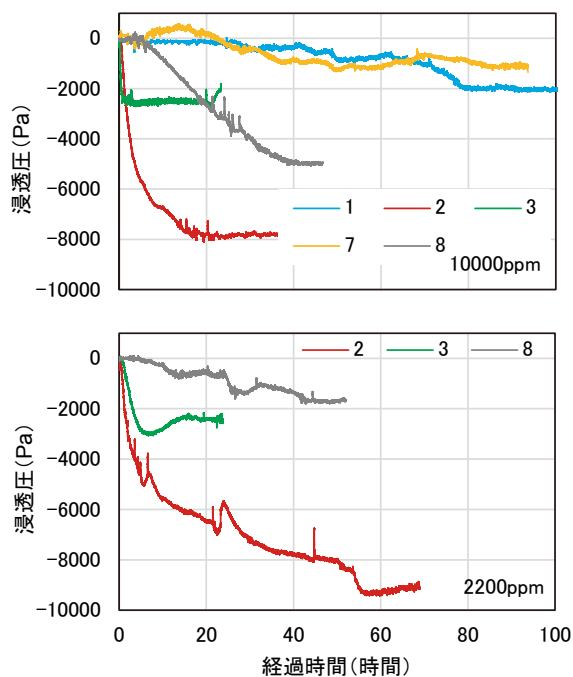


図4 浸透圧測定結果

置を試作し、ふくれの発生には浸透圧が大きな影響を及ぼしていることを示した。

- ふくれ発生メカニズムを整理し、吸水しやすい防水材や膜厚が薄い防水材でふくれが発生しやすくなる理由を明らかにし、下地となる躯体コンクリートにおいてふくれが発生しやすくなる条件を挙げた。

本研究に関する主な発表論文

- 坂本海, 石原沙織: ポリマーセメント系塗膜防水材のふくれ発生要因; 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023.9 発表予定

参考文献

- 石原 他5名: 水槽・地下仕様のポリマーセメント系塗膜防水層のふくれ評価試験方法の検討 その1 仕様と浸漬温度がふくれに及ぼす影響; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.969-970, 2019.9
- 石原 他5名: 水槽・地下仕様のポリマーセメント系塗膜防水層のふくれ評価試験方法の検討 その2 ふくれと付着強さ; 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.971-972, 2019.9

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究(C))

研究期間 : 2022/4/1 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : ジュニア選手の謙虚さを向上させる介入方策の確立: 挫折経験によるQOL、競技力向上

研究課題名 (英文) : Establishment of intervention strategies to improve *Kenkyo* in junior athletes: improvement of quality of life and athletic performance through *Zasetsu* experiences

研究者 : ○遠藤 伸太郎 千葉工業大学 先進工学部 教育センター 助教
ENDO Shintaro
大石 和男 立教大学 名誉教授
OISHI Kazuo
矢野 康介 独立行政法人国立青少年教育振興機構 青少年教育研究センター 研究員
YANO Kosuke

1. はじめに

オリンピック・パラリンピックなどの世界大会における日本選手の活躍は、中高生のジュニア選手に対して競技へ邁進するための強い動機づけとなる。しかし、ジュニア選手は多種で深刻な挫折経験が多いことが知られている。先行研究では、全国レベル以上の競技大会に出場した成人選手を対象に質的調査を実施した結果、彼ら自身が謙虚さに注目しそれに沿った行動をとることで、挫折からの立ち直りや人としての成長が促されてQOLが向上し、結果的に競技力向上にも繋がることを見いだされた(遠藤他, 2013; 和他, 2010)。以上のように、挫折からの立ち直りやQOL、競技力向上に対して謙虚さは重要な役割を果たすと考えられる。しかしながら、ジュニア選手における謙虚さの知見はほとんどなく、どのように生まれ、挫折からの立ち直りなどに繋がるのかは不明であるため、適切な介入方策がほとんど検討されていない。また、海外では謙虚さに相当する概念として、Humilityが存在し、Humilityを測定する尺度も作成されているが、日本語に翻訳されたものは存在しない。つまり、両者の概念的な違い(文化差)は明らかにされていない。今後、どのように謙虚さを高めるかという点において、特に文化差は重要な課題であるといえる。そこで、本研究は、部活動に所属している中高生を対象に、謙虚さに相当する概念として、Humilityが妥当であるのか検討することを目的とした。

2. 研究内容

(1) 方法

調査は、Web調査会社(株式会社クロス・マーケティング)に調査の実施を委託し、部活動に所属している中高生400名(中学生:男子100名,女子100名,高校生:男子100名,女子100名)に回答を依頼した。対象者のうち、指定された選択肢を回答させるDQS(Directed Questions Scal)に違反した者を除き、

中高生241名(中学生:男子58名,女子62名,高校生:男子58名,女子63名)を分析対象とした。調査の内容は、以下に示すとおりのものであった。なお、本調査は所属機関の倫理委員会による承認を得て実施された。

・Relational Humility Scale (RHS): Humilityの程度を測定するため、多くの研究で使用されているDavis et al. (2011)により作成された尺度を利用した。この尺度は、Global Humility, Superiority, Accurate View of Selfの3因子で構成されている。なお、尺度は原著者より翻訳許可を得たうえ、原著者がBack translationしたものに問題がないことを確認した。

・WHO-Five Well-Being Index (WHO-5): well-being(生活満足度)の程度を測定

・Kessler 10 (K-10): メンタルヘルス(抑うつ, 不安)の程度を測定

(2) 結果

中高生の回答データを用いて、3因子を想定した確率的因子分析を実施した。分析の結果、 $\chi^2(101, n=241) = 259.91, p < .001, CFI = .87, SRMR = .08, RMSEA = .08$ であり、許容できない適合度であった。また、Superiorityの2項目は因子負荷量が低かった(表1)。信頼性係数であるCronbach's α 係数と ω 係数を算出した結果、Global Humilityが $\alpha = .88, \omega = .88$, Superiorityが $\alpha = .72, \omega = .72$, Accurate View of Selfが $\alpha = .69, \omega = .70$ であり、許容できる数値であった。分析の結果、Superiorityにおいて因子負荷量が低い項目がみられたが、Endo et al. (投稿準備中)と厳密に比較するため、これらの項目もその後の分析に用いた。

次に、Humilityを構成する3因子とWHO-5, K-10との関連性について、Pearsonの積率相関係数を算出

した結果、表 2 に示した結果が得られた。Global Humility と WHO-5 の間に有意な負の相関関係がみられた。また、Superiority と K-10, Accurate View of Self と WHO-5 の間に有意な正の相関関係がみられた。

表 1. Relational Humility Scale の確認的因子分析の結果

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Q1 (GH)	.839		
Q2 (GH)	.837		
Q3 (GH)	.814		
Q4 (GH)	.740		
Q5 (GH)	.610		
Q6 (S)		.791	
Q7 (S)		.569	
Q8 (S)		.830	
Q9 (S)		.439	
Q10 (S)		.266	
Q11 (S)		.414	
Q12 (S)		.238	
Q13 (AVS)			.637
Q14 (AVS)			.703
Q15 (AVS)			.415
Q16 (AVS)			.635

Note. GH: Global Humility, S: Superiority, AVS: Accurate View of Self

表 2. Relational Humility Scale と他の指標の相関係数

	Global Humility	Superiority	Accurate View of Self
WHO-5	-.23**	-.11	.31**
K-10	.09	.41**	.04

Note. ** $p < .01$

(3) 考察

確認的因子分析の結果から、3 因子構造ではあるものの適合度が低かった。したがって、部活動に所属してい

る中高生において、3 因子により Humility の概念が成立するとはいいきれないことが示唆された。また、WHO-5 や K-10 との相関係数を算出したが、Endo et al. (投稿準備中) の結果を踏まえると、Humility の捉え方が、日本と海外で異なることが示唆された。この理由として、文化差の影響が考えられる。日本を含めた東アジア文化では自己が他者と重なりあつて認識されている(相互協調的自己観)のに対して、西欧文化では自己と他者が独立した存在として認識されている(相互独立的自己観)。相互協調的自己観を持つ文化では、控えめな態度のなかに、自分の本心を我慢することや自分に自信をもたないようにする自己卑下的な要素が含まれる可能性がある。一方、相互独立的自己観を持つ文化では、控えめな態度の根底にも自己高揚的な要素が含まれる可能性がある。以上のことから、日本人の控えめな態度には我慢や自己卑下の要素が含まれるため、海外とは異なる結果が得られたと考えられる。

また相関分析の結果、いくつかの相関係数において異なる結果はあるものの、大学生サンプルを対象とした調査(Endo et al., 投稿準備中)の結果と大きな違いはみられなかった。したがって、部活動に所属している中高生においても Humility を構成する 3 因子の機能は、大学生と同様であると考えられる。

3. まとめ

分析の結果、部活動に所属している中高生の謙虚さの指標として Humility をとりあげたが、文化差が存在し、Humility を謙虚さの指標とすることは難しいことが明らかとなった。今後は、自己卑下の要素に注目しつつ、Humility と謙虚さの違いを明確にし、あらためて、中高生競技者の謙虚さを測定する尺度を開発する必要がある。

参考文献

- (1) Davis, D. E., Hook, J. N., Worthington, E. L., Jr, Van Tongeren, D. R., Gartner, A. L., Jennings, D. J., 2nd, & Emmons, R. A. (2011). Relational humility: conceptualizing and measuring humility as a personality judgment. *Journal of Personality Assessment*, 93(3), 225-234.
- (2) 遠藤 伸太郎・和 秀俊・大石 和男 (2013). Sense of Coherence (SOC) の高い大学生運動部員のスポーツ活動に伴う困難への対処—SOC の低い運動部員との比較に注目して— 体育学研究, 58 (1), 19-33.
- (3) 和 秀俊・遠藤 伸太郎・大石 和男 (2011). スポーツ選手の挫折とそこからの立ち直りの過程—男性中高生競技者の質的研究の観点から— 体育学研究, 56 (1), 89-103.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (若手研究)

研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 手指動作の識別と定量を目的としたミリ波レーダ信号の解析

研究課題名 (英文) : Analysis of millimeter-wave radar signals for identification and quantification of hand gestures

研究者 : 〇三木 大輔
MIKI Daisuke

千葉工業大学
情報科学部 情報工学科 助教

1. はじめに

感染症拡大防止への対応を契機に、タッチパネルやキーボードに触れることなく、情報端末へ入力を行うための非接触入力デバイスに対する期待が高まっている。現在市場で入手可能な主要な非接触入力デバイスは、タップやスワイプ、またはそれらの組み合わせで表される複雑なジェスチャを詳細に識別可能であるが、検出部に撮像素子を有するため、プライバシーへの配慮の観点から用途が限られる。一方で、高い分解能をもつミリ波センサは、映像を取得せずに物体の動作を詳細に検出可能であることから、非接触入力デバイスとして適度な性質をもつ。ミリ波センサにより取得される物体の動作に関する情報はミリ波帯における変調波のドップラー信号強度について、さまざまな周波数、方位角、仰角および距離に関する時系列データとして取得されるが、このような高次元時系列データにおいては、どのような情報が人物の動作を決定付ける特徴となるか現状では明らかになっていない。一方でこれまでに高次元時系列データに潜在する人物の動作を決定づける上で重要な特徴を含む箇所を明らかにする研究に取り組み、人物の不審な動作のような定義が曖昧な動作を検知する深層ニューラルネットワーク (Deep Neural Network, DNN) の学習を可能とした [1]。このような注目すべき特徴が未知である高次元時系列データの解析技術はミリ波センサから得られる信号の解析に適用可能と考えられる。そこで本研究ではこれまでに確立した DNN モデルおよびその学習手法を応用し、人物動作の検出を目的としたミリ波センサデータの解析手法を確立する。本研究の目的はタッチパネルやキーボードに触れることなく、情報端末へ入力を行うための非接触入力をミリ波センサを用いて実現するための要素技術を開発することである。高次元時系列データに潜在する特徴を抽出するための DNN モデルの学習手法については既に検討が行われているが、非接触入力デバイスの実現においては単に動作を検知できれば良いわけではなく、その動作の大きさを定量することが求められる。このような動作の検知および定量を実現するための識別モデルを multiple-instance learning (MIL) [2]により学習する。また、識別モデルの学習が動作の大きさを目的に MIL のみならず learning to rank (LTR) [3]に基づき学習が行われる。これまでに、ミリ波レーダ信号解析のための

DNN およびそのハイパパラメータの検討を行い、手指ジェスチャ識別の実現可能性が見出されたため、本稿ではその途中経過について述べる。

2. 研究の内容

(1)手法

本研究では、ミリ波レーダ信号からレンジドップラ画像を得るために、まず IF 信号の高速時間領域において、各チャープ信号に対して距離 FFT を行うことにより IF 信号の周波数スペクトルを取得した。IF 信号から求められる対象物までの距離 R は

$$R = f_{IF} \frac{cT}{2B}$$

となる。ここで、 f_{IF} は IF 信号の周波数、 c は光速、 T は信号の周期、 B は信号の帯域幅を表す。距離 FFT によって推定された周波数スペクトルに対し、さらに速度 FFT を適用することで物体の移動速度 v は

$$v = \frac{\lambda \Delta \phi}{4\pi T}$$

となる。ここで、 λ は IF 信号の波長、 $\Delta \phi$ は各チャープ信号間の位相差を表す。以上の処理を行うことで対象物の距離情報および速度情報を有するレンジドップラ画像が得られ、生成される画像を解析することで手指ジェスチャ認識が行われる。そこで、レンジドップラ画像を解析するための DNN を検討した。本研究では識別精度の向上を目的としたニューラルネットワークの多層化を残差ブロック [4] の導入により実現した。また、ネットワーク後段には時系列データを扱ううえで有利な LSTM [5] を導入した。さらに、距離 FFT と速度 FFT の最適なサンプリング点数をベイズ最適化により決定したうえで、最適な値を適用した場合と適用しない場合のデータセットを作成し手指ジェスチャ認識を行うことで識別精度に与える影響の評価を行った。

(2)実験方法

本研究では、ミリ波レーダとして 79 GHz MIMO レーダモジュール評価キット (T18_01010101_3D, エスタカヤ電子工業 (株)) を用いて手指ジェスチャをレンジドップラ画

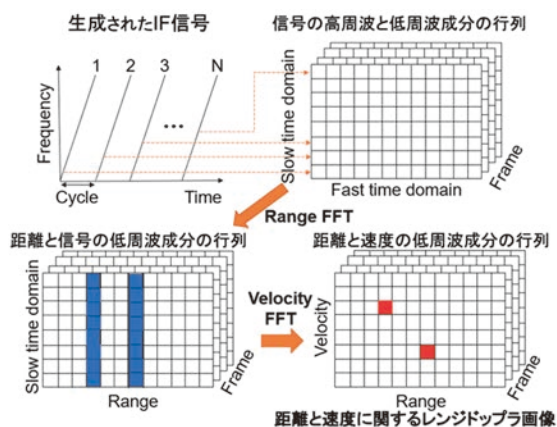


図1 レンジドップラ画像の生成手順

像として記録し、データセットを作成した。本データセットには4種類の手指ジェスチャに関するレンジドップラ画像の時系列データが含まれており、各ジェスチャを100回ずつ行い収集した400のデータで構成される。本実験では、280のデータを学習データ、120のデータをテストデータとして実験に用いた。実験で使用されるデータは、先頭から数えて40フレーム目の部分で切り取り、長さの均一なデータとした。実験では、入力データのチャンネル数は4であり、畳み込み層と残差ブロックのチャンネル数はそれぞれ128, 256, 512, 1024とし、全結合層とLSTM層のチャンネル数をそれぞれ512, 256とした。また、最後の全結合層数を4とした。本ニューラルネットワークでは畳み込み層、残差ブロック、全結合層、LSTM層で用いた活性化関数はReLUであり、最後の全結合層の活性化関数にはSigmoidを適用した。損失関数はMSE、最適化アルゴリズムはAdamとし、150回のパラメータ更新を行った。

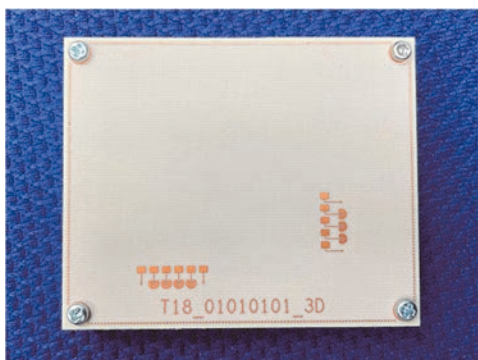


図2 実験に使用したミリ波レーダ

(3)結果および考察

データセットに含まれるレンジドップラ画像を提案するニューラルネットワークを用いて解析したところ、87.7%の識別精度が得られた(図3)。現在、識別可能なジェスチャを増やし、その発生タイミングおよび動作の大きさの推定をできるように改良を進めている。

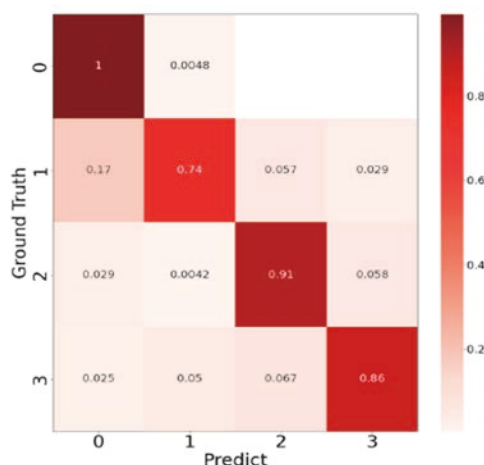


図3 手指ジェスチャ認識に関する混同行列

3. まとめ

これまでにミリ波レーダ信号解析のための深層ニューラルネットワークおよびそのハイパパラメータの検討を行い、手指ジェスチャ識別の実現可能性が見出された。今後はその発生タイミングおよび動作の大きさの推定をできるように改良を進めていく。

本研究に関する主な発表論文

- (1) Daisuke Miki, Kento Kamitsuma, Taiga Matsunaga, Spike representation of depth image sequences and its application to hand gesture recognition with spiking neural network. Signal, Image and Video Processing, 2023, published online.

参考文献

- (1) Daisuke Miki, Shi Chen, and Kazuyuki Demachi, Unnatural Human Motion Detection Using Weakly Supervised Deep Neural Network, 2020 Third International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I), pp. 10–13, 2020
- (2) Thomas G. Dietterich, Richard H. Lathrop, and Tomás Lozano-Pérez. Solving the multiple instance problem with axis-parallel rectangles. Artificial Intelligence, Vol. 89, No. 1-2, pp. 31–71, 1997
- (3) Christopher Burges, Tal Shaked, Erin Renshaw, Ari Lazier, Matt Deeds, Nicole Hamilton, and Gregory N Hullender. Learning to rank using gradient descent. In Proceedings of the 22nd International Conference on Machine learning, pp. 89–96, 2005.
- (4) Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren and Jian Sun. Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 770–778, 2016.
- (5) Hochreiter, Sepp and Schmidhuber, Jürgen. Long short-term memory. In Neural computation, Vol.9, No.8, pp.1735–1780, 1997.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (若手研究)

研究期間 : 2022/5/30 ~ 2023/2/28

研究課題名 (和文) : 産後の日常生活活動を高めるオンライン身体活動促進プログラムの開発と検証

研究課題名 (英文) : Development and effects of an online intervention to promote postpartum physical activity

研究者 : 野村 由実

NOMURA Yumi

千葉工業大学

創造工学部教育センター 助教

1. 研究目的

世界保健機関は身体活動・座位行動ガイドライン¹の中で、妊娠・産後の女性においては「少なくとも週150分の中強度の身体活動を行うこと」を推奨している。母親の高い身体活動レベルは、メンタルヘルスの向上・体重増加抑制・体力の回復等の心身の健康増進に貢献することが示されている²。しかし、乳児を育てる母親が体を動かす機会をもつことは容易ではなく、日本では9割の産後女性が身体活動不足という現状がある³。さらに、新型コロナウイルス感染症流行にともなう生活様式の変化により、身体活動不足と健康への影響が懸念されている。わが国の初産年齢が30歳を超える中で、産後の身体活動は、その後の生活習慣病や更年期症状との関係も指摘されており、身体活動不足は喫緊の課題である。このように、産後における身体活動の重要性や活動量の減少が表面化しているにもかかわらず、その促進のための報告は少ない。産後は、運動・スポーツによる活動よりも生活活動が占める割合が多く、育児期特有の活動に焦点化した促進のための方策の開発と評価が必要である。

身体活動には運動・スポーツによる活動と家事・育児・移動・就業等の日常生活活動がある。これまで、身体活動の介入は、欧米における産後の身体活動指針にもとづき、有酸素運動・骨盤底筋運動・ストレッチ・筋力トレーニング等の「運動」に主眼を置いたプログラムが報告されてきた⁴。産後の身体活動不足の要因として、高年齢、妊娠前・妊娠中の低い活動レベルが指摘されている。このような体力や活動レベルが低い女性の身体活動を促進するためには、運動よりも、「日常生活活動」を高めることが有用であることが予測される。過去の介入研究の知見は有用だが、対面型の介入であり、地域格差や感染症を考慮した遠隔で実施可能な方法に見直しを図る。近年普及しつつある遠隔型プログラムは、容易に外出しづらい産後の母親においても、自宅から参加できるという利点がある。本研究では、「日常生活活動による身体活動を促進するプログラムは産後女性の活動量を高めるか」という問いに対して、プログラムの開発および効果検証を行う。

2. 研究方法

初年度の2022年度は、身体活動促進プログラムの開発のため、身体活動の関連要因に関するアンケート調査、プログラムの構成要素の抽出を実施した。

2-1. 身体活動の関連要因に関するアンケート調査

【方法】NPO法人主催の産後ケア講座に申込みをした産後1年未満の女性を対象に募集を行い、787名より研究同意・アンケートの回答を得た。調査項目は、基本属性(年齢、身長、体重、居住都市、産後経過日数、子どもの数、教育年数、同居家族、就業状況、運動経験等)、コロナ禍における生活の変化(育児・家事分担、行動制限、身近に頼れる存在)、身体活動量(国際標準化身体活動質問紙短縮版:IPAQ-SF)、健康関連QOL(SF-12v2)とした。①IPAQ-SFの3つの活動レベルを再定義し、Moderate levelとHigh levelを活動群(Active group)に統合し、Low levelを低活動群(Inactive group)として健康関連QOLとの比較を行った。②1週間あたりの総身体活動量を目的変数とし、心理・社会的要因について重回帰分析を行った。

【結果および考察】

787人の回答のうち、最終的に590人を分析対象とした。1週間あたりの総身体活動量の平均は19.3メッツ・時/週であった。研究参加者の活動レベルは活動群が54.1%、低活動群が45.9%に該当した(表1)。①活動群は低活動群に比べ、SF-12v2の下位尺度である身体機能、体の痛み、全体的健康感、日常役割機能(身体)、日常役割機能(精神)、社会生活機能、活力のスコアが有意に高かった(表2)。②高い身体活動レベルに影響を与える因子として、若年、産後経過日数の長さ、不安症状がないこと、相談相手の存在が認められた(表3)。年齢、出産からの期間といった心身の回復に関わる要因や相談相手という支えが、産後の身体活動を促進することが明らかとなった。本調査の結果は、身体活動と健康関連QOLは正の関連を有するという先行研究の結果を支持し、一定以上の身体活動の実施は産後の心身の健康に好ましい影響をもたらす可能性が示唆された。

表1 身体活動量および身体活動レベル

	Median (IQ)	Mean (SD)	n (%)
Physical activity (MET h/wk)			
Vigorous	0.0 (0.0-0.0)	1.0 (4.5)	
Moderate	0.0 (0.0-13.2)	4.9 (12.4)	
Walking	9.9 (5.0-19.8)	13.2 (13.1)	
Total	13.2 (6.6-23.2)	19.3 (21.8)	
Physical activity level			
Active (more and minimally)			319 (54.1)
More			31 (5.3)
Minimally			288 (48.8)
Inactive			271 (45.9)

MET h/week, metabolic equivalents hours per week

IQ, interquartile range

表2 身体活動量の関連要因

Variables	b	B	t	P	VIF	ΔR ²	
Total explanatory power							
Age, year	-13.582	-0.040	-0.794	0.428	1.238	0.047	
BMI, kg/m ²	-12.307	-0.022	-0.481	0.631	1.065		
Days from the date of birth	1.952	0.107	2.327	0.020	1.052		
Parity (ref: primipara)	278.203	0.101	2.056	0.040	1.208		
Education level (ref: <13 years)	-61.279	-0.011	-0.232	0.817	1.074		
Working status (ref: non-worker)	-426.317	-0.070	-1.525	0.128	1.049		
Psychosocial perceptions during the pandemic							
Number of members who have been involved in childcare on a daily basis	99.158	0.050	1.073	0.284	1.058		
Having someone to talk about childcare and partner	507.229	0.093	2.035	0.042	1.042		
Negative change of economic status	164.419	0.040	0.862	0.389	1.045		
Increased role of housework and childcare	-11.531	0.003	-0.076	0.939	1.043		
Behavioral restrictions related to the pandemic	-30.383	0.004	-0.084	0.933	1.029		
Screening for depressive and anxiety symptoms							
Depression	36.610	0.013	0.256	0.798	1.248		
Anxiety	-408.144	-0.115	-2.316	0.021	1.232		

b, nonstandardized coefficient; B, standardized coefficient; t, t-value; VIF, variance inflation factor; ΔR², coefficient of determination

表3 身体活動レベルと健康関連 QOL

	Inactive group	Active group	P value
SF-12v2 component summaries			
Physical component summary	47.3 (10.4)	50.5 (8.4)	<0.001
Mental component summary	54.5 (7.3)	55.8 (7.5)	0.041
SF-12v2 sub-scales			
Physical function	49.7 (9.7)	52.4 (7.1)	<0.001
Role (physical)	37.3 (10.9)	41.7 (10.5)	<0.001
Bodily pain	43.3 (11.0)	46.3 (10.3)	0.001
Social functioning	44.4 (11.4)	46.0 (11.9)	0.107
General health perceptions	50.2 (8.0)	52.6 (7.9)	<0.001
Vitality	52.4 (7.3)	55.3 (7.5)	<0.001
Role (emotional)	41.7 (10.8)	44.1 (10.2)	0.005
Mental health	49.7 (7.8)	51.2 (7.8)	0.024

Values are means (SD).

2-2. ナッジ理論に基づくプログラム方針の立案

ナッジ理論のフレームワークを活用し、身体活動の行動変容を促すこととした。ナッジは、規制や経済的インセンティブを行使するのではなく、行動経済学の理論に基づき、本人にとって望ましい選択を自発的に進めるよう後押しするアプローチである。比較的安価で多数に働きかけることができるため、費用対効果やより多くの人の健康維持・改善を求められる公衆衛生分野において注目されている。

【方法】

米国 BIT(The Behavioral Insights Team)が開発した行動インサイトのフレームワーク EAST(Easy, Attractive, Social, Timely)に基づき、妊産婦の支援に精通する研究協力者3名(助産師、理学療法士、健康運動指導士)の助言を受け、プログラムの設計を試みた。

【結果および考察】

図1にEASTを活用したプログラム方針の立案を示した。乳児を育てる母親は家事に育児に忙しく、自分のために時間をとることは容易ではない。「家事・育児の合間のできる活動にする」、「児の様子に合わせて好きな時に実施できる

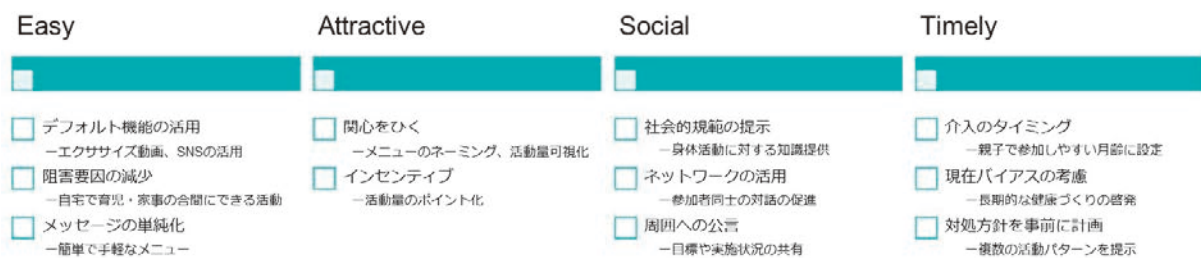


図1 EASTを活用したプログラム方針の立案

ようエクササイズ動画を作成する」等で身体活動に対するハードルを下げる。「メニューのネーミング」、「活動量のポイント化」は産後女性の興味・関心を駆り立て、行動変容を起こすために必須である。また、身体活動の継続には一緒に取り組み仲間の存在が後押しとなることから、「オンライン講座における参加者同士の対話の促進」、「活動目標や実施状況の共有」を実施する。また、コミュニケーションツールとして参加者が使い慣れている「SNSの活用」を検討する。導入介入時期については、「親子で一緒に参加しやすい児の月齢」を考慮し、母体の回復期間である産褥期(産後6-8週まで)を終えた産後3-5ヶ月とする。理由は児の首が座り、かつ、はいはいで動き出す前であるため、母親が運動することに比較的集中しやすいためである。

3. まとめ

産後女性の身体活動に対する行動変容を促すためには、身体的要因に加えて、不安症状や相談相手といった心理・社会的要因についても考慮する必要性が示唆された。

4. 本研究に関する主な発表論文

- Yumi Nomura and Tomoko Araki. Factors influencing physical activity in postpartum women during the COVID-19 pandemic: a cross-sectional survey in Japan. BMC Women's Health: 22, 371, 2022.

5. 参考文献

- WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour . <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128> (access: 2023. 6. 30)
- Carter T, Bastounis A, Guo B, et al. : The effectiveness of exercise-based interventions for preventing or treating postpartum depression: a systematic review and meta-analysis. Arch Womens Ment Health. 22 : 37-53, 2019.
- Yamada Y, Ebara T, Matsuki T, Kano H, Tamada H, Kato S, Sato H, Sugiura-Ogasawara M, Saitoh S, Kamiyama M. Relationship between physical activity and physical and mental health status in pregnant women: a prospective cohort study of the Japan Environment and Children's Study. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(21):11373.
- Evenson KR, Michelle FM, Owe KM, et al. : Summary of International Guidelines for Physical Activity Following Pregnancy. Obstet Gynecol Surv. 69 : 407-414, 2014

〔科学研究費助成事業一覽〕



科学研究費助成事業一覧

No.	種目	氏名	研究課題名
1	基盤研究(A)	水津 光司	周波数シフトテラヘルツ波による建築物非破壊診断の応用展開
2	基盤研究(B)	滝 聖子	ポストコロナ新時代のワークライフバランス実現のためのストレスコーピングデザイン
3	基盤研究(B)	枚田 明彦	異種誘電体層の電磁結合によるテラヘルツ波透過性制御とシートLAN通信への応用
4	基盤研究(B)	原 祥太郎	高靱性な固体酸化物形燃料電池の電極製造に向けた新しい設計基盤の構築
5	基盤研究(B)	小澤 俊平	二元系合金液体の表面張力に及ぼす組成および酸素吸着の影響解明
6	基盤研究(C)	砂井 紫里	現代ハラル産業における制度化・サービス・消費の人類学的研究
7	基盤研究(C)	杉山 和成	概均質ゼータ関数と保型形式の関連
8	基盤研究(C)	東山 幸司	重い原子核構造の精密計算による二重ベータ崩壊半減期の理論予測
9	基盤研究(C)	松井 伸介	パワーデバイス用難研磨材料のためのAFMスクラッチ等による研磨加工現象の究明
10	基盤研究(C)	鎌倉 浩嗣	物理層セキュリティを用いたイメージセンサ型可視光通信システム
11	基盤研究(C)	中静 真	低精度数値表現による画像処理ネットワークの構築
12	基盤研究(C)	熱海 武憲	機構・制御系統統合設計の高度化と次世代HDDへの応用
13	基盤研究(C)	内田 史郎	異種材料間接合の低抵抗化とそのデバイス応用
14	基盤研究(C)	石原 沙織	水槽に用いられるポリマーセメント塗膜防水層のふくれメカニズムの解明とその評価方法
15	基盤研究(C)	秋葉 知昭	相似形を考慮した多次元多状態多目的ネットワークの高効率な統一的最適設計方法の研究
16	基盤研究(C)	菅木 禎史	緊急情報サービスを住民が継続利用する情報伝達方法の検討
17	基盤研究(C)	山本 典史	凝集誘起発光において非断熱遷移ダイナミクスが巧みに制御されるメカニズムを捉える
18	基盤研究(C)	遠藤伸太郎	ジュニア選手の謙虚さを向上させる介入方策の確立：挫折経験によるQOL、競技力向上
19	基盤研究(C)	信川 創	統合失調症の早期診断に向けた大域的な神経ネットワークダイナミクス障害の解明
20	基盤研究(C)	三浦 元喜	高次の言語化活動を促すプログラミング学習環境
21	基盤研究(C)	小山 勇也	知覚衣服によるヘルスケア基盤技術の構築
22	基盤研究(C)	工藤 翔慈	オゾン処理と過飽和操作の工夫の組み合わせは結晶特性の制御と作り分けに有効か？
23	基盤研究(C)	木村 博子	省略構文の考察に基づく、焦点に関する言語間差異の解明と焦点理論の再構築
24	基盤研究(C)	仲林 清	理論と経験に基づく批判的思考力育成のためのビデオと自他レポート吟味による授業設計
25	基盤研究(C)	高橋 暁子	高等教育における授業の課題発見を促進する事例データベースの構築：類推力に着目して
26	基盤研究(C)	市川 洋子	原因スキーマを手がかりとした教員志望学生の省察深化の解明と支援プログラムの開発
27	基盤研究(C)	高木 彩	情報分野の萌芽技術に対する認知と受容過程
28	基盤研究(C)	青木 岳史	長期間の調査・監視を目的としたクモヒトゲ型水底移動体の開発
29	基盤研究(C)	魏 秀欽	負荷非依存モードを活用した一送電多受電高周波ワイヤレス給電システムの開発
30	基盤研究(C)	佐波 孝彦	IQ結合ファクターグラフを導入した疎符号多元接続とその応用
31	基盤研究(C)	和田 豊	亜酸化窒素の連鎖的自己発熱分解反応開始メカニズムの解明による事故防止技術の提案
32	基盤研究(C)	引原 有輝	児童の社会情動的スキルの形成をねらいとした発育・発達支援方略の提案
33	基盤研究(C)	森 信一郎	管理農業の普及に向けた情報活用手法に関する研究
34	基盤研究(C)	菅原 真司	P2P 端末による動的 Fog を用いた仮想的三層構造コンテンツ共有システムの開発
35	基盤研究(C)	松島 大	山脈に挟まれた谷でダストストームが頻発する条件の推定
36	基盤研究(C)	小林 学	橋梁・機械技術を中心とした技術の内的・外的要因の分析に関する研究
37	基盤研究(C)	安武 伸俊	現実的な相互作用を反映した色分子動力学によるクォーク=ハドロン相転移の解明
38	基盤研究(C)	手嶋 吉法	3D ジグソーパズルの設計理論の構築及び製作法
39	基盤研究(C)	上田 隆一	自律ロボットが情報の不確かさを克服して危険を回避しタスク達成するための行動決定法
40	基盤研究(C)	鈴木 進	大気汚染物質による窒素準安定励起分子の失活レート係数測定
41	基盤研究(C)	安藤 毅	酸化スズ薄膜結晶の酸素欠損補償によって実現される 1ppb 感度の呼気ガスセンサ
42	基盤研究(C)	佐藤 徹治	人口減少・災害リスク・新たな移動手段の普及を踏まえた都市施策の評価手法の開発
43	基盤研究(C)	望月 悦子	調光・調色制御による動的 LED 照明空間の最適化
44	基盤研究(C)	藤木 竜也	地方所在の中央官庁高官官舎にみる「和洋館並列型住宅」の特質と展開に関する研究
45	基盤研究(C)	喜多村正仁	提携影響力を考慮した複合的コンフリクト分析方法の開発
46	基盤研究(C)	井上 泰志	反応性プラズマ環境下の斜入射堆積法によるナノ構造化薄膜堆積技術の確立
47	基盤研究(C)	柴田 裕史	光応答性ヤヌス粒子を用いたピッキングエマルションの調製および内包物放出制御
48	基盤研究(C)	田村 洋介	アルミニウム合金で観察された新奇な電磁分離現象の発現条件とその理解
49	基盤研究(C)	菅 洋志	ナノ材料を用いたナノギャップ NMES 素子の動作機構解明と記憶素子応用技術の開発
50	基盤研究(C)	亀谷 雄樹	太陽熱蒸留システムにおける界面現象の制御
51	基盤研究(C)	坂本 泰一	繊維芽細胞増殖因子 FGF5 と受容体の相互作用およびアプタマーの阻害機序の解明
52	基盤研究(C)	藤原 明広	時空間永続証明システムのためのブロックチェーン基盤技術の開発と偽情報対策への応用
53	基盤研究(C)	大川 茂樹	音響計測・音響制御におけるロボティクス技術の利用に関する基礎的研究
54	基盤研究(C)	米田 完	ロボットから人間の2足歩行に応用する安定化ペースメーカーの研究
55	基盤研究(C)	熊本 忠彦	ツイート投稿者の感情を推測するための統合的な基盤技術に関する研究

56	基盤研究(C)	山崎 治	複数テキストからの学習に対する図の活用による支援の基礎的研究
57	基盤研究(C)	竹本 浩典	オペラ歌唱における音道と横隔膜の制御に関する研究
58	基盤研究(C)	松田 泰明	超広域温度帯で作動する新規プロトン固体電解質の創成と結晶構造の解明
59	挑戦的研究(萌芽)	有本 泰子	Speech-laugh の発生機序の解明
60	挑戦的研究(開拓)	安藤 昌也	人間中心設計と人類学の対話によるシステム設計思想：HCD を多元化する挑戦的試み
61	若手研究	三木 大輔	手指動作の識別と定量を目的としたミリ波レーダ信号の解析
62	若手研究	野村 由実	産後の日常生活活動を高めるオンライン身体活動促進プログラムの開発と検証
63	若手研究	木下 雅之	ローリングシャッタ型可視光通信における通信可能領域拡大に関する研究
64	若手研究	藤井 浩光	土木・建設現場の無人化のための複数建機の協調による遠隔作業システム
65	若手研究	木島 愛	凝結表現の日仏データベース構築
66	若手研究	福嶋 尚子	学校財務経営の法社会的分析
67	若手研究	原口 亮介	カルベン配位子を基盤とする異種二核金属錯体触媒の開発
68	研究活動スタート支援	高松 佑介	19世紀の緩徐楽章における「変奏反復」
69	研究活動スタート支援	中村 達	カリブ文学における雑種性の根源としての「遭遇」の偶然性の観点からの分析
70	ひらめき☆ときめきサイエンス～ようこそ大学の研究室へ～ KAKENHI	山本 典史	かたちで決まるタンパク質のはたらき:タンパク質が活躍するマイクロな世界を見てみよう

*各センターを除く

*プロジェクト研究年報への掲載は任意である

〔科学研究費助成事業〕



研究項目 : 科学研究費助成事業 (基盤研究 (C))

研究期間 : 2020/4/1 ~ 2023/3/31

研究課題名 (和文) : 時空間永続証明システムのためのブロックチェーン基盤技術の開発と偽情報対策への応用

研究課題名 (英文) : Studies on fundamental blockchain technology for spatio-temporal permanent certification system and its application to countering disinformation

研究者 : 藤原 明広

FUJIHARA Akihiro

千葉工業大学

工学部 情報通信システム工学科 教授

1. はじめに

ブロックチェーン (以降 BC と省略) は 1990 年台に Haber と Stornetta によって発表された電子書類の分散タイムスタンプ・サービスの理論研究[1, 2]に起源がある。当時はインターネットが現在ほど発達していなかったが、2008 年にビットコインが登場する頃には環境が整っていたため、翌 2009 年から実験的な稼働が始まった。それ以来、今日まで 10 年以上の期間、稼働が継続している。一方、ビットコインの White Paper には Electronic Cash System を実現しているように書かれているが、現状のビットコインをはじめとする BC システムでは普段から使える現金 (Cash) を実現できていない。この理由としては、BC システムでは匿名性と実時間性が実現できていないことが挙げられる。匿名性は利用者のプライバシーを保護する観点から重要である。また実時間性を実現するためには取引処理速度の性能を向上させる必要がある。

本研究を開始した当初は、匿名性を実現する技術の研究も行う予定であった。しかし、その後の調査によってビットコインは意図的に匿名性を排除した設計になっていることを理解した。現状の暗号資産の一部は、悪事で稼いだお金の資金洗浄やテロ資金供与に利用されていることが知られている[3]。匿名性を実現しようとする、これらの悪事をはたらくことが容易になるという問題が生じる。BC は誰でも閲覧可能であるため、悪事を働いたお金の取引は自然と注目され、追跡される。この特徴を利用して、悪事をはたらく動機を排除しようとする設計になっている。上記の理由により、匿名性の研究は暗号資産の悪用に関する調査に留め、主に取引処理性能の向上に焦点を絞って研究を進めることとした。

BC 技術を偽情報対策に応用することについても検討した。最近、Stable Diffusion や ChatGPT などの生成 AI 技術が注目を集めている。一方、AlexNet 等の開発を通じて今日のディープラーニングのブームを作った Hinton 教授が、生成 AI 技術の悪用についての懸念を表明している。その中で、生成 AI は「皆が何が本当か分からないようなフェイクニュースを大量に生成してしまうリスクがある」と指摘している[4]。このように生成 AI 技術が急速に身近なものになってきている昨今、偽情報対策は喫緊の課題である。フェイクニュースに対抗するためには、人間側の情報リテラシーを向上させることが有効であることが指摘されている[5]。一方、日本では海外と比べてファクトチェック活動を行っている団体が少ないなど、活動があまり活発でないことも知られている[6]。真偽検証を

行うファクトチェッカーの人材の不足、ファクトチェック活動に対する報酬を得る仕組みが未発達であること、文化的要因の違いなど、様々な原因が考えられる。

2. 主な研究内容

(1) チェーンレス型 BC 相互運用性

ビットコインが登場して以来、さまざまな BC プロジェクトが提案されてきた。異なる BC 間で仮想通貨を自由に交換する需要の増加に伴い、複数の BC 間で相互にオンチェーン情報を読み書き可能な特性としてのクロスチェーン相互運用性を実現することが重要になってきている。一方、パブリック BC には取引処理能力が非常に遅いというスケーラビリティの問題がある。クロスチェーン相互運用性を高めることがスケーラビリティ問題に与えるインパクトについて検討した。Polkadot や Cosmos といった既存の相互運用型 BC プロジェクトに比べて、より非中央集権性が高い特性を持つチェーンレス多層コンセンサスを提案した。実装したノードプログラムを用いていくつかの実験を行い、コンセンサスを得るために必要な遅延時間を評価した。100 以上のパラチェーンで構築した大規模ネットワークを用いた実験の結果、並列に取引処理を行った時の遅延時間が、パラチェーン数の増加と共に超線形で増加する傾向を確認した。この結果により、実用的な取引処理能力を実現しつつ、チェーンレス型の相互運用モデルを安全に実行するために必要な BC の設定を確認することができた (主な研究論文(1)と(2)を参照)。

(2) ブロックサイズの増加が取引処理性能に与える影響

Bitcoin SV スケーリング・テスト・ネットワーク (STN) は、オンチェーン技術を駆使した Bitcoin の取引処理能力を性能評価するための実験的なネットワークである。大量のトランザクションが、常にピア・ツー・ピアネットワークに送信され、1GB を超える巨大なブロックが頻繁に生成されている。

本研究では、STN ノードを実行することにより、取引処理の待ち行列の稼働率と BC の分岐確率を推定した。その結果、推定稼働率は約 1.04 と 1 を超えていることが分かった。また推定 BC 分岐確率は 8.5% となり、既存のビットコインの分岐確率と比べて、とても大きくなっていることが分かった。

また IoT ノードが得たデータを BC に記録する応用を想定して、OP_RETURN スクリプトを含む取引を 1 分に 1 回の頻度で、1 週間に渡って送信し続ける実験を行い、取引が承認される確率を実験的に評価した。その結果、取引の承認確率は 98% にな

った。また取引が承認されるまでにかかる待ち時間の分布の裾野が冪分布に従うことも確認した。これらの結果から、STNは優先権付き待ち行列モデルにしたがって分析可能であることが分かった（主な研究論文(3)を参照）。

(3) ファクトチェック DAO の提案

近年の急速なインターネットの普及により、誰もが自由に意見を発信できる反面、フェイクニュースなどの疑義言説の影響が社会問題となっている。この対処法として、疑義言説を真偽検証するファクトチェック活動が注目を集めている。しかし、その活動の大半は無償で行われている。また、一般の人達がファクトチェッカーを応援する仕組みやファクトチェックに参加する仕組みも未成熟である。

本研究では、これらの問題を解決するためにファクトチェック DAO を提案した。DAO とは、日本語では分散型自律組織と呼ばれる、暗号資産を利用した民主的な投票等を活用した運営を行うコミュニティのことである。実際に Web3 アプリを試作し、ファクトチェックコンテストを開催することで、アプリが参加者に与える影響について評価した。コンテスト前後でアンケート調査を行うことにより、ファクトチェックに対する感情の変化やアプリを用いたファクトチェック活動の持続可能性について考察した。その結果、コンテスト後にファクトチェックに対する関心が若干向上したことで、ファクトチェック活動を持続可能にする報酬の推定を行うことができた（主な研究論文(4)を参照）。

3. まとめ

本研究課題を遂行することにより、BC の相互運用性を向上させることで取引処理性能と安全性が同時に改善可能であることが分かった。またブロックサイズを増加させることで取引処理性能を改善するには限界があることも分かった。また BC を用いた偽情報対策法として、ファクトチェック DAO を提案した。偽情報対策のための情報リテラシー教育の重要性と、ファクトチェックに自分事として参加し、学習できる場を提供することの重要性を確認した。

本研究に関する主な発表論文

- (1) T. Yanagihara & A. Fujihara, “Considering Chainless Interoperability across Many Parachains” IEEE ICBC 2023, Crosschain Workshop, to appear (2023).
- (2) T. Yanagihara & A. Fujihara, “Cross-Referencing Method for Scalable Public Blockchain” Internet of Things, Vol. 15, 100419, Elsevier (2021).
- (3) A. Fujihara & T. Yanagihara, “Performance Evaluation Experiments of Bitcoin SV Scaling Test Network” Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems, Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 527, Springer (2022).

- (4) 中沢遼輔, 藤原明広, ファクトチェック DAO の提案, 信学技報, vol. 122, no. 407, IN2022-115, pp. 293-298 (2023).

参考文献

- [1] S. Haber and W. S. Stornetta, “Secure Names for Bit-Strings,” CCS’ 97: Proceedings of the 4th ACM conference on Computer and communications security, pp. 28-35 (1997).
- [2] CoinGeek, “Stuart Haber & Scott Stornetta: How our timestamping mechanism was used in Bitcoin | CGConversations” <https://www.youtube.com/watch?v=WWVoPBkPd6g> (2023 年 6 月 8 日閲覧確認)
- [3] CFLW, “RAND used Dark Web Monitor for strategic insight Zcash use” <https://cflw.com/2020/05/06/rand-used-dark-web-monitor-for-strategic-insight-zcash-use/> (2023 年 6 月 8 日閲覧確認)
- [4] PBS NewsHour, ‘Godfather of AI’ discusses dangers the developing technologies pose to society <https://www.youtube.com/watch?v=yAgQWnD3InE> (2023 年 6 月 8 日閲覧確認)
- [5] lifehacker, フィンランドのメディアリテラシー教育に学ぶ、フェイクニュースの見分け方 (2019) <https://www.lifehacker.jp/article/195010-how-to-learn-media-literacy-to-take-measures-to-fake-news/> (2023 年 6 月 8 日閲覧確認)
- [6] 楊井人文, 日本のファクトチェック活動は活性化したか (2022) <https://www.fij.info/archives/10713> (2023 年 6 月 8 日閲覧確認)

研究項目 : 科学研究費助成事業 (基盤研究 (C))
 研究期間 : 2022/4/1 ~ 2023/3/31
 研究課題名 (和文) : 管理農業の普及に向けた情報活用手法に関する研究
 研究課題名 (英文) : Research on information utilization methods for dissemination of managed agriculture.
 研究者 : ○森 信一郎 千葉工業大学
 MORI Shinichiro 先進工学部 知能メディア工学科 教授
 松田 樹希 千葉工業大学
 MATSUDA Tatsuki 先進工学部 知能メディア工学科

1. はじめに

近年、消費者の食に対する関心が高まりつつある。それに伴い食品製造、食品加工の安全管理の義務化が進んでいる。しかしながら日本の農作は安全管理が義務化されておらずそれを証明する認証制度も活用されていない。現在日本国内においては生産者の安全に対する義務感を信じる消費者と生産者の信頼関係が認証制度の必要性を阻害してきたが、外国のスポーツ選手が食する農作物から日本製が除外されるなど、農作物の安全性に対する証明が諸外国から求められるようになった。

農作物の安全性を証明する認証の一つに農林水産省が推進する GAP (Good Agricultural Practice : 農業生産工程管理) がある。GAP とは農業において食品安全、環境保全と労働安全等の持続可能性を確保するための生産工程管理の取り組みのことである。GAP では生産物の安全性を証明するために1日の作業記録や農薬、機械、労働者についてのリスク評価など農作物の生産における情報の記録を農業従事者に求めている。記録を持続的に行うには多大な工数が必要となるが認証項目の削減やペーパーレス化など作業の効率化を目的とした ICT システムも開発されている。しかしながら、それに関わらず GAP を行うことを断念する農家が後を絶たない。背景に GAP の取得が収益改善に直結しないことが挙げられる。GAP は農作に関する情報を管理する枠組みの1つであり、GAP を取得したことで販売量が増加することは望めない。この情報を持続的に管理する行動が将来的に収益の改善に寄与するのである。このことから「なぜ GAP を行うのか」という GAP の本質を理解すること、つまり営農指針を立案することが GAP の取得に繋がると考えられる。しかし農家毎に農業経営に対する意識改革を指導する営農指導員を確保することは困難である。そこで本研究では GAP 普及を目的とした営農指導員の効率化を支援する技術について検討する。

2. 研究の内容

効率的な営農に関する情報管理を指導しやすい農家を選別して営農指導員のリソースを集中させることで営農指導の効率化を実現する。指導する対象者を選別することで限られた営農指導員で対処することが可能となる。農家を選別するにはそれぞれの農家が農業を続ける理由や営農指針における特徴変数からクラスター分類を行い、そのクラスターの特徴から指導の対象となる

農家群を抽出できるのではないかと考えた。そこで UX デザイン手法を参考に農家の営農に関する事象を抽出し、上位下位分析を用いて農家の営農に関する行動変数を明らかにする。行動変数から農家の特徴変数を想定してアンケートを作成してその結果を多変量解析することで農家の営農におけるクラスターを見つけることにした。

(1) ヒアリングによる農業事象の収集・行動変数の抽出

農家の営農に関する事象を抽出するために、農家に対してヒアリングを行った。農家を考え方や営農指針で分類するためには農家全体を特徴づける要素の抽出を行う必要がある。そこで農業活動における事象を抽出して上位下位分析を行い、農家の行動変数に基づいた要素を農家の特徴と捉えることで分類を試みた。

事象の収集はヒアリングを通して抽出した。標本データと母集団との隔たりを少なくするためにヒアリング対象者は SEPIA 法を用いて選別した。図1に SEPIA 法に基づいたヒアリング対象者の4象限マトリクスを示す。



図1 SEPIA 法に基づくヒアリング対象農家

本研究では JA 横浜に所属する営農指導員が担当している施設農家をヒアリング対象とした。ヒアリング項目には農業に関する取り組みを全体的に抽出するために GAP の認証審査で特に指摘が多い要件を中心に準備した。ヒアリングによって収集された事象を使用して上位下位関係分析から 11 種類の行動変数を階層的に抽出した。

(2) 行動変数をもとにしたアンケートによる分類

行動変数から農家を営農指針によって分類するためのアンケートを作成した。このアンケートは評定尺度法に基づいて 24 の設問を用意した。質問例を図2に示す。設問については振れ幅が大きく出るように工夫を行っ

た。

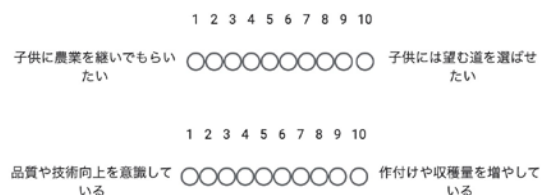


図 2 設問の例

(3) 実験・結果

JA 横浜に所属する施設農家 51 軒に対しアンケートを実施し、その結果を多変量解析にかけてクラスター分析を行った。分析結果を図 3 に示す。クラスターは 4 つ出現し赤色をグループ 1、青色をグループ 2、黄色をグループ 3、緑色をグループ 4 とした。

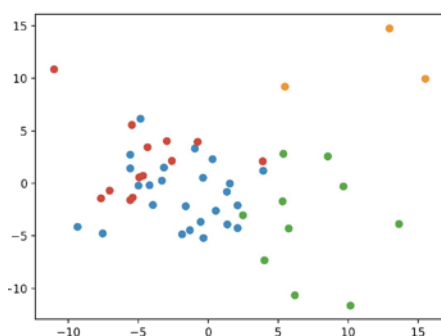


図 3 横浜市の施設農家のクラスター分析

グループ 1 に所属する農家は 13 件でありグループ 2 に所属する農家は 25 件であった。また、グループ 3 に所属する農家は 3 件でグループ 4 に所属する農家は 10 件であることがわかった。

(4) 考察

各グループの特徴をアンケートの要件毎の分布から推定したところグループ 1 は「新規農法に積極的で、量販店への販売をめざす経営意欲の高い」グループであると考えられる。経営向上意欲が高く新規農法に積極的である点から管理農業の推進に積極的であり、GAP 早期取得に期待できると思われる。グループ 2 は「固定客や直売所を意識した経営で向上意欲は高いが、手法や販路拡大に対して曖昧な」グループであると推定される。工夫して経営の向上を目指す姿勢が高く、必要であれば管理農業に取り組む可能性が高いグループと思われる。しかしながら現状は新規農法や販路拡大の具体策が見いだせていない状態と考えられる。グループ 1、2 に対してグループ 3 は「親から伝授されたやり方で、直売所から売上を出したい」グループであり、グループ 4 は「手間なく効率的な方法で直売所から現状維持の農業を行いたい」グループであると思われる。どちらも新しい農業経営手法より従来の営農手法を望んでおり新規農法に対しても消極的であり経営向上意欲も見られない。その

為新しい管理農業の導入は難しいと考えられる。

本研究の目的は、GAP 普及に向けた営農指導員の効率的な活動である。そこで分類された農家の特徴に沿って営農指導員を配置する。グループ 1 については高度な管理農業に向けた指導を行う。その後、グループ 1 を GAP 習得のモデルグループとして機能させる。グループ 2 は管理農業に向けた新農法の推進と販路の多様化について指導を行う。グループ 3、4 についてはこれまでと同様な対応を進める。今回のグループ分けにおいては特にグループ 2 を集中的に支援する。グループ 2 は対応農家数も多く管理農業習得に期待できグループ 1 へ遷移する可能性が高いグループであると考えた。

3. まとめ

本稿は管理農業を活用する GAP 普及の必要性を示し、その普及率を改善するために農家をクラスターに分類できることを明らかにして、クラスターに沿った営農指導を行うことを提案した。クラスター分類に必要な特徴変数は農家からのヒアリングから抽出した事象に対して上位下位分析から得た行動変数から求めた。その行動変数に沿ったアンケートを作成し、JA 横浜に所属する施設農家を対象にアンケートを行い、得られた結果を多変量解析で分析し施設農家を 4 つのクラスターに分類した。さらに分類されたクラスターの特徴を詳しく分析したところ

- ・経営向上意欲が高く新規農法に積極的なグループ 1
- ・管理農業に取り組む可能性が高いグループ 2
- ・従来の農法で進めたいグループ 3
- ・手間なく効率的な農法で現状維持がよいグループ 4

の特徴をもつことが分かった。これらの特徴と各クラスターに所属する農家数から営農指導員をグループ 2 に優先的に割り当てることで GAP 普及に向けた農家の増加が期待できることを示した。

今後は施設農家だけでなく、路地農家など他の都市型農業への適用も可能か検証する予定である。

・本研究に関する主な発表論文

(1) 裏巽 晴菜, 森 信一郎: “機械学習による農業生産管理普及の検討”, 情報処理学会研究報告 CDS Vol35, No. 31. 2022

(2) 木藤風花, 鶴月俊介, 森信一郎: “現代中堅農家における海外進出を支援するシステムの開発”, 情報処理学会研究報告 CDS Vol26, No. 16. 2019

・参考文献

(1) 能美誠: “地域農業計画の意義と手法の課題” 農村計画学会誌 Vol17, No. 2. 1998

(2) 一般社団法人 日本生産 GAP 協会” 日本と欧州の GAP 比較と GAP の意味”

<https://www.fagap.or.jp/publication/content/fagap-con-4.html>

千葉工業大学 プロジェクト研究年報 2023年

Vol.20

令和5年12月発行

編集発行：千葉工業大学 附属研究所



千葉工業大学

CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

〒275-0016 千葉県習志野市津田沼2-17-1

2-17-1, Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan

Tel:047-478-0325

Fax:047-478-0434