

**千葉工業大学**

**プロジェクト研究年報**

**2022年**



千葉工業大学  
プロジェクト研究年報  
2022年度



## 〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅱ）〕

光励起状態の自在制御に基づいた発光性金属錯体の創出と超高感度分子認識材料への展開	菅谷 知明 …………… 1
異なる高圧酸素曝露条件における運動学習過程への影響	佐藤 和 …………… 3
ニューノーマル時代におけるワーク・ライフのコラボレーションデザイン	滝 聖子 …………… 5

## 〔先端研究推進プロジェクト助成金（Ⅲ）〕

高容量化を目指した電気化学キャパシタ電極材料の開発	高橋伊久磨 …………… 7
知覚衣服によるヘルスケア基盤技術の構築	小山 勇也 …………… 9
環境調和型ヨウ素触媒の創製と二酸化炭素固定	原口 亮介 …………… 11
第一原理 QCD 計算による有限温度・有限密度系における中間子質量生成の研究	若山 将征 …………… 13
日本の機械製造企業の設備投資モデルに関する一考察	東 壯一郎 …………… 15
GPU を搭載するヘテロジニアスマルチコアによる新たなランダムスパース方程式求解アルゴリズムの開発	富永 浩文 …………… 17

## 〔科研費採択者助成金〕

亜酸化窒素の連鎖的自家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	和田 豊 …………… 19
異種誘電体層を使用した非接触通信とシート LAN 通信への応用	枚田 明彦 …………… 21
モンゴル国湖沼谷及び周辺地域における強風と総観場との関係	松島 大 …………… 23
集団遊びの行為分析に基づく価値の共有化	引原 有輝 …………… 25
長期間の調査・監視を目的としたクモヒトデ型水底移動体の開発	青木 岳史 …………… 27
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	藤井 浩光 …………… 29
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	仲林 清 …………… 31
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	高橋 暁子 …………… 33

## 〔科学研究費助成事業一覧〕 …………… 35



# 〔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 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30

研究課題名 (和文) : 光励起状態の自在制御に基づいた発光性金属錯体の創出と超高感度分子認識材料への展開

研究課題名 (英文) : Creation of Luminescent Metal Complexes with Controllable Photo-Excited States and Their Application to Ultra-Sensitive Molecular Recognition Materials

研究者 : O菅谷 知明

SUGAYA Tomoaki

千葉工業大学

工学部 教育センター 准教授

## 1. はじめに

発光性物質は、一般的な吸光度法に比べて、高いセンシング性を有することから、多様な環境下での物理的なパラメーターや、化学分析におけるプローブとしての研究が展開されている。その中でも二重発光性分子が近年注目されている。<sup>[1]</sup> 上記の分子は、2つの発光帯を有することから、発光強度の自己校正が可能となり、より正確な分析対象物質の定量が期待される。さらに、分子間相互作用を有する部位を分子内に意図的に配置することで、特定の分子種に対しての高選択的センシング材料としても期待される。しかし、このような二重発光挙動の発光メカニズムの詳細についての研究はほとんどなされておらず、今後の高選択的なセンシング材料へと展開する上で、二重発光性金属錯体の系統的な創出方法探索は必要不可欠な課題である。

本研究の対象とする錯体は、フェニルピリジル部位を有するシクロメタレート型イリジウム錯体などである。(図1) このタイプの錯体の発光基幹部位は中心金属からシクロメタレート型配位子間の三重項金属-配位子間電荷移動遷移に由来しており、そこにX<sup>⋅</sup>Xで表した分子間相互作用を変化させる配位子に由来する遷移を重ねることができれば、二重発光性分子の構築が可能となり、任意のX<sup>⋅</sup>X配位子によって様々な用途に応じた機能性錯体群の構築が期待できる。

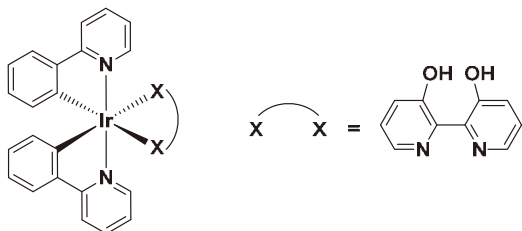


図1. 目的とするイリジウム(III)錯体と配位子

## 2. 研究内容

本研究では、上記錯体の発光メカニズムを検討する上で、中心金属の影響を考察するために、イリジウムと同族元素である9族元素のロジウムを中心金属とした錯体を合成し、その発光特性を調べた。

## 2.1. 発光メカニズムの検討

目的のRh<sup>III</sup>錯体は、既報のIr<sup>III</sup>錯体<sup>[2]</sup>の合成法を適用することによって得た。前駆体である[Rh<sup>III</sup>(ppy)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]と配位子(bpydL: 2,2'-bipyridine-3,3'-diol)の混合し、加熱還流によって得た。

得られた錯体は、元素分析・各種NMRスペクトル・質量分析によって同定した。また、単結晶X線構造解析により錯体の構造を明らかにした。その結果、八面体型配位構造であり、bpydL配位子の2つの窒素原子が中心金属にキレート配位し、水酸基は外側へ向いていることがわかる。

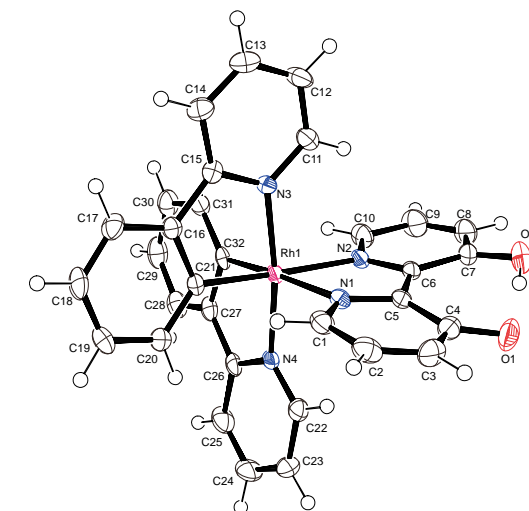


図2. Rh<sup>III</sup>錯体の結晶構造

これら2つの水酸基はプロトンを一つ放出し、分子内水素結合を形成していた。また、bpydL配位子がねじれた構造を形成していた。bpydL配位子のねじれ角は、14.70(8)°であった。このねじれ構造は、分子内水素結合の形成によってbpydL配位子の平面構造を保つことが困難になったためであると考えられ、先行研究で報告したIr<sup>III</sup>錯体と一致する。

Rh<sup>III</sup>錯体は、375 nm付近にモル吸光係数12000程度の吸収が確認され、これはbpydLが関与した一重項遷移に由来する。また、450 nm付近に極大波長をもつ青色発光を示した。(図3) その発光量子収率は1%程度であり、その発光寿命は1.32 nsであった。先行研究であるIr<sup>III</sup>錯体とはその特性が大きく異なることが分かった。(Ir<sup>III</sup>錯体: 発光量子

収率4%, 26.0 μs) 一般的に、発光性 Rh<sup>III</sup> 錯体では、りん光が観測され、その発光性励起状態と MC 励起状態とエネルギー差が近いことが知られている。<sup>[3]</sup> MC 励起状態は効率的な熱失活過程であるため、発光 Rh 錯体の発光寿命は短い、または室温条件下では全くされない。そのため、本研究で合成した Rh<sup>III</sup> 錯体も同様に寿命の短いりん光が観測されたと考えられる。



図3. UV ランプ照射下での Rh<sup>III</sup> 錯体の発光の様子

## 2.2. アルミニウムイオンとの反応

既報の Ir<sup>III</sup> 錯体は、Al<sup>3+</sup>イオンと高選択的に反応することを見出している。そこで、合成した Rh<sup>III</sup> 錯体と Al<sup>3+</sup>イオンとの反応性を吸収スペクトル、発光スペクトルの面から評価した。

吸収スペクトルにおいては、Al<sup>3+</sup>イオン溶液の添加にもない、370 nm 付近の吸光度が減少し、350 nm 付近の吸光度が上昇した。この吸収帯は、bpydL の軌道が関与する励起状態への電子遷移に由来するものであるため、bpydL と Al<sup>3+</sup>イオンが結合 (bpy(O)<sub>2</sub>-Al) を形成したことが分かる。

錯体の UV-Vis 吸収スペクトルがアルミニウムイオン添加によって十分に变化したことから、pH 3 における錯体と Al<sup>3+</sup>イオンの反応における生成定数  $K$  ( $= [M-Al][H^+]/[M][Al^{3+}]$ , M: the metal complexes) を算出した。その結果、Ir<sup>III</sup> 錯体よりも大きな値をとることが分かった。

(Rh<sup>III</sup> 錯体:  $24.6 \pm 3.0$ , Ir<sup>III</sup> 錯体:  $18.7 \pm 1.0$ ) これは、錯体の水酸化物イオンの pK<sub>a</sub> の大きさと対応しており、錯体のピピリジンジオール部位の塩基性度が高い Rh<sup>III</sup> 錯体の方が、

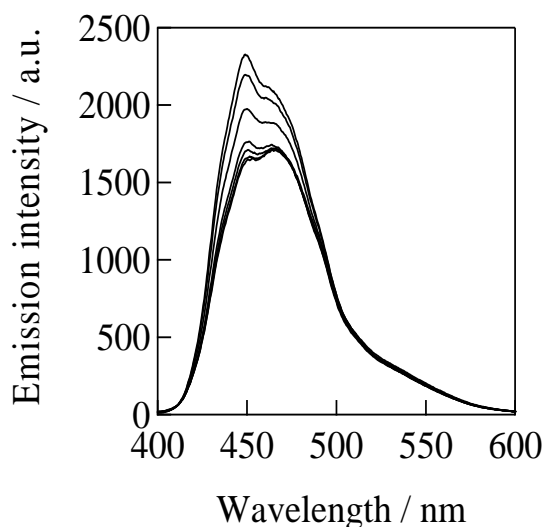


図4. Al<sup>3+</sup>イオンの添加に伴う、Rh<sup>III</sup>錯体の発光スペクトル変化

Al<sup>3+</sup>イオンに対して強い配位結合を形成するため、生成定数が上昇したと考えられる。

Al<sup>3+</sup>イオンの添加による Rh<sup>III</sup> 錯体の発光スペクトル変化を図4に示す。Al<sup>3+</sup>イオンの添加に伴って、発光バンドの強度は減少した。特に極大発光波長である 450 nm における発光強度の減少が著しく、一方で、500 nm 付近の強度はほぼ変化しなかった。このことから Rh<sup>III</sup> 錯体は Al<sup>3+</sup>イオンを Ratiometrical にセンシングできることが示された。

さらに Al<sup>3+</sup>イオンと反応した Rh<sup>III</sup> 錯体の発光寿命は二成分観測された。これは、2つの励起状態が輻射過程と無輻射過程に対して比較的遅い平衡として存在し、これら2つの励起からの発光励起状態から別々の発光が観測されていることがわかる。現在 DFT 計算を用いて、発光励起状態の構造最適化やエネルギー計算を通して、二重発光性について調べている。

## 3. まとめ

bpydL を配位子としたシクロメタレート型 Rh<sup>III</sup> 錯体を合成し、その分光学的特性について検討した。その結果、既報の Ir<sup>III</sup> 錯体とは異なる発光挙動を示すことが分かった。Al<sup>3+</sup>イオンとの反応によって、二重発光性を有することを見出した。

今後は、2.2で述べた研究を展開し、二重発光性のメカニズムを検討し、二重発光性をプローブとした金属錯体群の系統的構築を目指していきたい。

## 4. 参考文献

- [1] K. Y. Zhang, H.-W. Liu, M.-C. Tang, A. W.-T. Choi, N. Zhu, X.-C. Wei, K.-C. Lau, K. K.-W. Lo, *Inorg. Chem.*, **2015**, *54*, 6582–6593.
- [2] Y. Suzuki, I. Mizuno, Y. Tabei, Y. Fujioka, K. Shinozaki, T. Sugaya, K. Ishihara, *Inorg. Chem.*, **2019**, *58*, 9663–9671.
- [3] (a) M. Maestri, D. Sandrini, V. Balzani, U. Maeder, A. von Zelewsky, *Inorg. Chem.*, **1987**, *26*, 1323–1327. (b) A. Z. U. Maeder, A. von Zelewski, H. U. Güdel, *J. Am. Chem. Soc.*, **1989**, *111*, 3855–3859. (c) K. P. Balashev, M. V. Puzyk, E. V. Ivanova, *Russ. J. Gen. Chem.*, **2011**, *81*, 1547–1554.

---

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (II)  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
研究課題名 (和文) : 異なる高圧酸素曝露条件における運動学習過程への影響  
研究課題名 (英文) : Effects of various hyperbaric oxygen exposures on motor learning.

研究者 : ○佐藤 和 千葉工業大学  
SATO Yamato 創造工学部 教育センター 教授

---

## 1. はじめに

近年、疲労回復などのコンディショニング等で注目されている高圧酸素曝露は、脳梗塞や外傷性脳損傷、アルツハイマーなどの脳にダメージを負った状態に対して脳神経細胞レベルでポジティブな影響を与え、機能および症状を改善することが報告されている。現在までの高圧酸素曝露の有効性は、ダメージを受けた脳のように健康状態以下からの回復に対する報告が多数であった。しかしながら、報告者は、正常野生型マウスつまり健康状態の実験動物を対象にして、小脳依存型の運動学習獲得過程における高圧酸素曝露の有効性を明らかにした。このことは、健康成人の運動スキル改善や健康高齢者の更なる運動機能向上への可能性を秘めており、人生100年時代への高圧酸素曝露の発展性を期待させる。

一方で、脳神経系への有効性には曝露条件が重要であることが、先行研究や申請者の実験データから垣間見えてきた。有効性を報告している多くは2.0絶対気圧以上の曝露条件であるが、これは医療行為となり一般的な普及へ難点を持つ。このことから、2.0絶対気圧未満条件における運動学習への効果を検証することは、研究成果の応用範囲を広げる点からも重要であると考えられる。そこで本研究では、1.3、1.5、1.7、1.9絶対気圧4条件の高気圧酸素曝露による運動学習獲得過程への影響について検討することを目的とする。

本助成金では、上述した高気圧酸素曝露による運動学習獲得過程への影響を調べる前段階として、高濃度な酸素環境曝露による身体への安全性を確認する内容を申請している。それゆえ、本報告書では1.3、1.5、1.7、1.9絶対気圧条件下の高気圧酸素曝露による生体への酸化ストレスについて報告する。

## 2. 方法

### (1) 対象者

対象者は、喫煙習慣がなく、抗酸化サプリメントなどを習慣的に摂取していない健康青年男性6名とした。また、対象者は実験期間中の過度な飲酒および実験日より2日前からの飲酒は行わなかった。

### (2) 設定気圧

本研究で使用した耐圧装置は、ワールドネットインターナショナル社製の酸素ドームを使用した。設定した気圧は、1.3、1.5、1.7、1.9絶対気圧の4条件であった。各気圧環境における酸素濃度計が示した数値は、1.3気圧27.0%、1.5気圧31.3%、1.7気圧35.3%、1.9気圧40.2%であった。

### (3) 滞在時間

耐圧装置内での滞在時間は、加圧時間+設定気圧時間+減圧時間で構成された。設定気圧は60分とし、加圧時間1.3気圧7分、1.5気圧12分、1.7気圧20分、1.9気圧26分、減圧時間1.3気圧7分、1.5気圧11分、1.7気圧15分、1.9気圧17分であった。

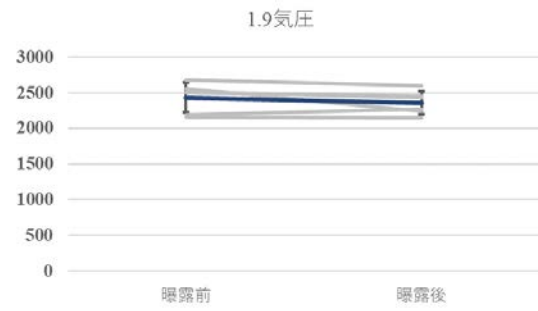
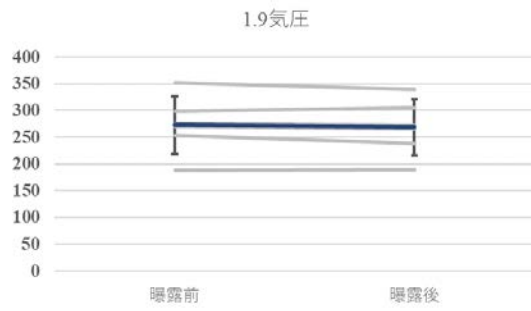
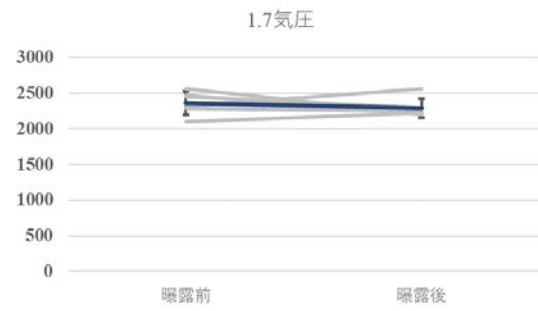
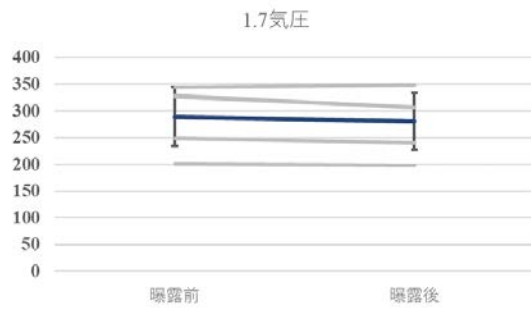
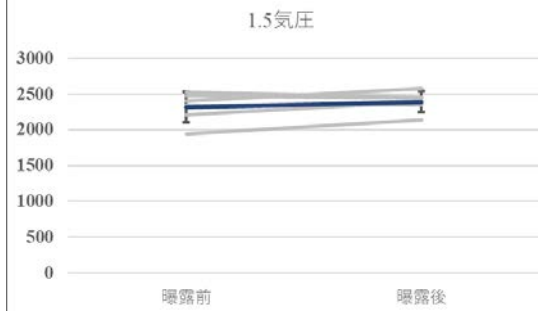
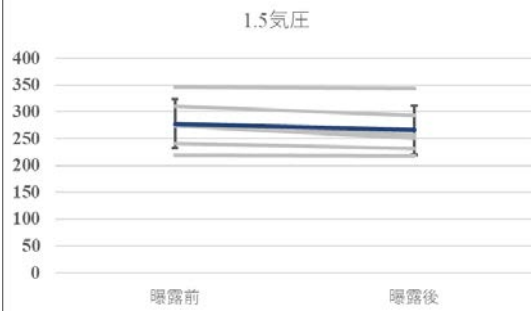
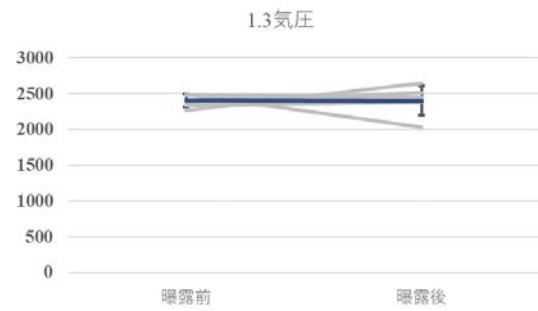
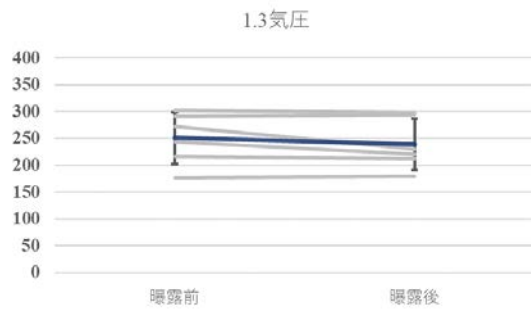
### (4) 測定項目

本研究で測定した項目は、酸化ストレスマーカーとしてd-ROMsテスト、抗酸化マーカーとしてBAPテストとした。

## 3. 結果

### (1) 酸化ストレス

高気圧酸素曝露前後によるd-ROMsテストの結果を示す。



1.3 気圧条件において、曝露前  $250.7 \pm 48.1$ 、曝露後  $239.2 \pm 47.6$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.18$ )。1.5 気圧条件において、曝露前  $277.8 \pm 46.8$ 、曝露後  $266.0 \pm 45.8$  で曝露後に有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。1.7 気圧条件において、曝露前  $289.7 \pm 55.5$ 、曝露後  $280.5 \pm 53.5$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.08$ )。1.9 気圧条件において、曝露前  $273.0 \pm 53.8$ 、曝露後  $268.7 \pm 52.3$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.25$ )。

これらの結果から、気圧4条件において高気圧酸素曝露による酸化ストレス評価の悪化は認められなかった。

## (2) 抗酸化力

高気圧酸素曝露前後によるBAPテストの結果を下に示す。

1.3 気圧条件において、曝露前  $2411.9 \pm 91.4$ 、曝露後  $2407.6 \pm 205.1$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.97$ )。1.5 気圧条件において、曝露前  $2319.5 \pm 215.1$ 、曝露後  $2392.4 \pm 148.1$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.20$ )。1.7 気圧条件において、曝露前  $2366.0 \pm 163.9$ 、曝露後  $2293.4 \pm 133.7$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.47$ )。1.9 気圧条件において、曝露前  $2431.5 \pm 211.6$ 、曝露後  $2356.6 \pm 164.2$  で有意差は認められなかった ( $p = 0.23$ )。

これらの結果より、気圧4条件において高気圧酸素曝露による抗酸化力の変化は認められなかった。

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (II)  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
研究課題名 (和文) : ニューノーマル時代におけるワーク・ライフのコラボレーションデザイン  
研究課題名 (英文) : Collaboration design for work and life in the new normal

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

厚生労働省の調査によると、仕事や職業生活に関して強い不安やストレスになっていると感じる事柄がある労働者の割合は54.2%で、強い不安やストレスを感じる事柄は「仕事の量 (42.5%)」が最多となっている[1][2].

また、新しい働き方が求められるニューノーマル時代においては、働き方の選択肢が増える一方で、在宅・リモートワークも増加し、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る。逆に、在宅・リモートワークでは対応できない業務もある。

そこで、ニューノーマル時代の多様な働き方・家族状況を調査し、ワークライフバランスの問題点を明らかにした上で、労働生活の質 (QWL) の向上と家庭での生活 (家事・育児等) における作業の効率化と生活の質 (QOL) の向上のために、身体的・精神的に低負荷な労働 (ワーク) と家庭生活 (ライフ) のコラボレーション手法を提案することを考えた。

本稿では、作業における精神的ストレスに着目し、2種類の作業性格適性検査を行った場合の作業の種類 (計算、非計算) と順序 (連続、非連続) の違いや作業結果が精神的ストレスに及ぼす影響を明らかにするために、作業の種類と順序の異なる組み合わせにおいて精神的ストレスを計測し、分析した結果について示す。

## 2. 実験および分析方法

### 2.1 実験条件および研究協力者

本研究では、作業の種類と順序の異なる組み合わせの4条件 (表1) で実験を行った。4条件とは、2つの作業を連続で行うAグループ (計算・非計算) とBグループ (非計算・計算、非連続で別日に作業を行うC1グループ (計算・非計算) とC2グループ (非計算・計算) の4グループとした。実験協力者は4条件で合計48名 (平均年齢20.8歳) とし、各条件では12名 (男性40名、女性8名) とした。

### 2.2 作業内容

実験協力者には、作業性格適性検査の一種である「KN式クレペリン作業性格検査」を2種類の方法で行ってもらった。計算作業として隣あった桁の数字同士の加算を繰り返す「加算法」、非計算作業として印刷された数字を○で囲んでから×を重ねて書く「マルバツ法」とした。作業時間は、各作業ともに30分間 (前半15分、休憩3分)、後半

15分) とした。

### 2.3 計測・分析項目

作業による精神的ストレスを計測するために、作業中の心拍数と心拍変動からストレス値 (LF/HF 値) を計測することのできる生体センサ (TDK 製 Silmee Bar type Lite)、唾液に含まれるアミラーゼの活性値を測定することのできる唾液アミラーゼモニター (ニプロ製) と作業者自身の主観的な精神状態を測定することができるアンケート型メンタルチェック「Profile of Mood States2 (以降、POMS2)」の短縮版 (35項目、5段階評価) を使用した。

本研究では、実験条件や作業の種類 (加算法、マルバツ法) による精神的ストレスの変化を調べるために、唾液アミラーゼ濃度計測とアンケート型メンタルチェック POMS2 を連続作業グループ (A, B) は各3回 (作業開始前、作業間、作業終了後)、非連続作業グループ (C1, C2) は、各日2回 (作業開始前、作業終了後) を実施し、分析した。心拍数とストレス値 (LF/HF 値) は実験前から実験終了後までを連続して計測し、分析した。また、加算法の作業結果 (作業安定度[3]) を用いて層別し、分析した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 作業の種類と順序が精神的ストレスに及ぼす影響

作業の種類と順序の異なる組み合わせの4条件で比較した結果として、各条件グループの平均心拍数を求め、図1に示す。図1より、連続作業グループ (A, B) では、1回目の作業中に最も心拍数が大きく、2回目の作業中に値が小さくなった。各条件のグループ間の比較を行ったが、統計的な有意差は見られず、作業の種類 (計算、非計算) や順序 (連続、非連続) の違いで精神的ストレスに一定の傾向は見られなかった。また、他の計測項目 (心拍変動を用いたストレス値 (LF/HF 値)、唾液アミラーゼ活性値、アンケート型メンタルチェック POMS2) の結果においても、作業の種類や順序による精神的ストレスの特徴や傾向は見られなかった。よって、これら結果より、作業の種類や順序の影響が表れにくい作業層がいてと考えられる。

### 3.2 作業安定度別の精神的ストレス

作業結果 (作業安定度) と精神的ストレスの関係について調べるために、加算法の作業安定度を用いて作業者を3群 (安定、標準、不安定) に分類し、人数内訳を表2に示す。なお、本節では、紙面の制約上、精神的ストレスとして傾向の示された「唾液アミラーゼ活性値」および「アン

ケート型メンタルストレスチェック POMS2」の結果のみを示す。

(1) 唾液アミラーゼ活性値の比較

図 2 に、作業安定度の群別の作業前後のストレス値（唾液アミラーゼ活性値 (KU/L)）の平均を示す。作業安定度別の 3 群に分けて、計算作業前後の唾液アミラーゼ活性値に対して、t 検定（有意水準 5%）を行った結果、「標準」群の計算作業前後で統計的な有意差が認められたことから、「標準」群は計算作業前に比べて作業後にストレス値が低下した、つまり、緊張状態から変化して落ち着いたと考えられる。他方、「安定」群と「不安定」群では作業前後のストレス値に有意差は認められなかった。

(2) アンケート型メンタルチェック POMS2 結果の比較

作業前後のアンケート型メンタルチェック POMS2 の作業安定度の群別の平均値を比較したところ、「安定」群では 3 項目 (AH, TA, TMD) について作業前後で統計的な有意差が認められた。「安定」群では作業前に比べて作業後に AH (怒り・敵意), TA (緊張・不安), TMD (総合的気分状態) が有意に低下しており、「安定」群の実験協力者の主観では作業後にストレスが低下することが示された。「安定」群では、作業前の緊張や不安が強く、作業後の達成感により精神的ストレスが解放されてストレス値が低下している可能性が考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、作業性格適性検査を用いて作業の種類や順序の違いや作業の安定度が精神的ストレスに及ぼす影響を明らかにすることを試みた。精神的ストレスの計測結果を用いて、作業の種類や順序の異なる組み合わせの 4 条件 (各 12 名) を比較したが、作業の種類や順序の違いにより精神的ストレスの特徴や傾向は見られなかった。しかし、作業中の作業安定度別で作業前後の精神的ストレスを比較した結果、「標準」群では唾液アミラーゼ活性が作業後に統計的に有意に低下し、「安定」群ではアンケート型メンタルチェック POMS2 で作業後に主観的ストレスが統計的に有意に低下していることが示された。

今後の課題は、他の年齢層や多様な業務を行う労働者や家庭で介護や育児を行う人を対象に、他の作業や条件でも実験を行った上で、作業の安定度や作業性格といった作業者の特性により、同じ業務・作業でもストレスを感じる度合いが異なることを明らかにし、作業における精神的ストレスを軽減する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、ご協力いただいた実験協力者の皆様に感謝する。

本研究に関する主な発表論文

- (1) 大戸-藤田 恵理, 滝 聖子, 谷 健斗, 酒井 優: 作業性格適性検査における作業の安定度と精神的ストレスに関する研究, 日本設備管理学会誌, Vol. 34, No. 1, pp. 1-7, 2022.

参考文献

- [1] 厚生労働省, 令和 2 年 労働安全衛生調査 (実態調査) の概況, [https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/r02-46-50\\_gaikyo.pdf](https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/r02-46-50_gaikyo.pdf) (2022/4/30 閲覧).
- [2] 厚生労働省: 令和 3 年版 過労死等防止対策白書, <https://www.mhlw.go.jp/content/11200000/000845857.pdf> (2022/4/30 閲覧).
- [3] 一般社団法人 雇用問題研究会: KN 式クレペリン作業性格検査 (進路指導用) 手引き, 一般社団法人 雇用問題研究会, 2014.

表 1 実験条件

	Aグループ (連続)	Bグループ (連続)	C1グループ (別日)	C2グループ (別日)
作業1	計算	非計算	計算	非計算
作業2	非計算	計算	非計算	計算

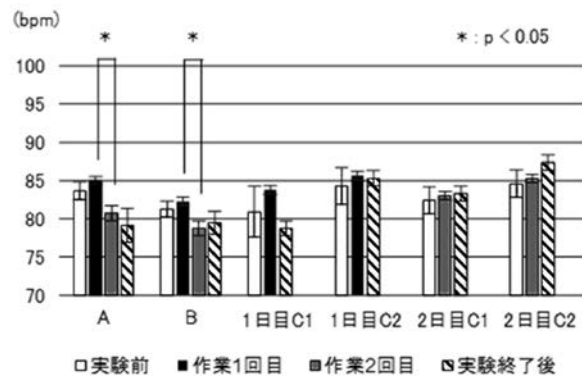


図 1 各条件での平均心拍数

表 2 作業安定度別の人数内訳 (単位: 人)

	グループ	グループ				計
		A	B	C1	C2	
作業安定度	安定	5	4	5	7	21
	標準	5	3	6	2	16
	不安定	2	5	1	3	11
計		12	12	12	12	48

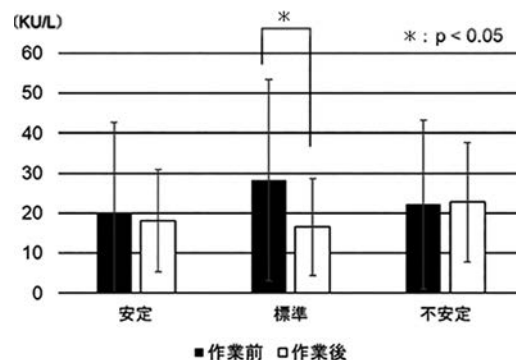


図 2 作業安定度別の唾液アミラーゼ活性値の平均

〔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 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
研究課題名 (和文) : 高容量化を目指した電気化学キャパシタ電極材料の開発  
研究課題名 (英文) : Development of Electrochemical Capacitor Electrode Materials for High Capacity

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  
  
栗原 康輔 千葉工業大学  
KURIHARA Kosuke 工学部 先端材料工学科 4年

## 1.はじめに

地球温暖化の要因と考えられている自動車からの二酸化炭素の排出量削減を目的に、近年、各国で、内燃機関の自動車販売を規制し、積極的な電気自動車(EV)の普及に向けた政策を掲げられてきている。そのEV普及に向けた課題の一つに、充電時間の短縮がある。現在のEV用電源として搭載しているリチウムイオン電池(LIB)は、急速充電においても約30分必要とし、ガソリン給油と同程度の約5分の急速充電の実現が求められている。この急速充電を可能にする蓄電デバイスの候補に、電気化学キャパシタが挙げられる。特に水系電解質を用いた電気化学キャパシタは、数秒での超急速充電が可能である[1]。しかしながら、原理上作動電圧がLIBの正極材料と比較して1/2から1/3程度と低電圧であるため、EVの航続距離に対応するエネルギー密度が低くなることが課題である[2]。そこで、超急速充電特性を維持しながら、従来のLIB正極材料の2-3倍の容量となる高容量電気化学キャパシタ電極材料を開発することで、充電時間1分のEVが実現できると考える。

## 2.研究の内容

### (1)電気化学キャパシタ

電気化学キャパシタは、電気化学反応や現象を利用したキャパシタのことであり、電気二重層キャパシタとレドックスキャパシタがある。電気二重層キャパシタは、不活性な電極と電解液を用いたセルに電圧を加えることで、電極の電荷とは異符号の電解質中のイオンが電極上に物理吸着し、電気二重層を形成することで電荷を蓄える物理現象を利用したキャパシタである。電極材料には、比表面積の大きい活性炭などが用いられる。電気化学反応を伴わない非ファラデー電流を用いており、充放電は高速ではあるが容量は電極の比表面積で決まるため高容量化に向けては制限がある。一方のレドックスキャパシタは、電極と電解液中のイオンとの酸化還元反応を利用する。酸化還元反応の反応速度の速い系を選択することで、ファラデー電流を伴うにもかかわらずキャパシタに似た電氣的応答を示す。電極材料には、

酸化物、水酸化物、導電性ポリマーなどが用いられる。電気化学反応を利用することで、電気二重層キャパシタと比較して充放電特性はやや劣るが、高容量化が可能となる。

### (2)レドックスキャパシタ電極材料としての層状複水酸化物

層状複水酸化物(LDH:Layered Double Hydroxides)は、水酸化物の一種である。LDHの化学式は、 $[M^{2+}_x M^{3+}_y(OH)_z]^{n+} [A^{m-}]_{n/m} \cdot yH_2O$ と表すことができる。ここで、Mは金属イオン、Aはアニオンに対応する。正八面体の中心に金属イオン、頂点に水酸化物イオンが位置し、この正八面体が並んだ二次元の層がスタックした構造を取り、金属イオンの酸化還元により層間に様々なアニオンや分子をインターカレーションさせることができる。LDHの基本構造とインターカレーション反応のイメージを図1に示す。

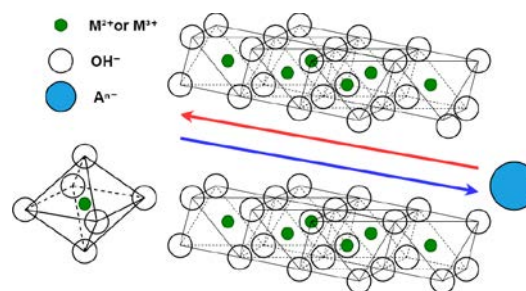


図1 LDHの基本構造とインターカレーション反応

### (3)目的

上記LDHの特性を活かし、電解液にアルカリ水溶液を用いて水酸化物イオンのインターカレーション反応を伴う高容量レドックスキャパシタ電極材料の開発を目的とした。本検討では、LDHの中でも高容量を示すことが報告されているNi-CoLDHを対象とし[3]、NiとCoの組成比の違いが電気化学特性である容量と充電特性に与える影響について調べた。

### (4)実験

水熱合成法により、仕込み組成がNi:Co=2:1,1:1,1:2となる3種類のLDHを作製した。それぞれNC21, NC11,NC12と表記する。作製したLDHに対し、物性

分析として走査型電子顕微鏡 (SEM) による形態観察, エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX) による Ni, Co の組成分析, および X 線回折 (XRD) を用いた構造解析を行った. 電気化学特性評価として, サイクリックボルタンメトリーから得たサイクリックボルタモグラムによりキャパシタ容量を算出して比較した.

### (5) 結果と考察

各サンプルの SEM イメージを図 2 に示す. 粒子径に大きな差はなく, 全てのサンプルにおいて花びらに似た形状, いわゆるフラワーライクな形状となっている. また, EDX から求めた各サンプルの Ni:Co (%) は, NC21=66:34, NC11=48:52, NC12=29:71 であった. NC12 は仕込み組成に対してやや Co 比が高くなっているが, その他は概ね仕込み通りの組成であり, 組成比の違いに着目した比較が可能である.

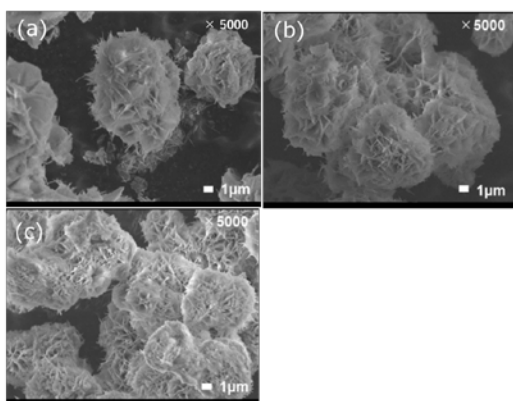


図 2 (a)NC21, (b)NC11, および (c)NC12 における SEM イメージ

次に, 作製したサンプルの XRD パターンを図 3 に示す. すべてにおいて, LDH 構造をとっていることが分かった. また,  $9^\circ$  付近の 003 に対応するピークを比較すると, Ni 比の低下に伴い低角にシフトした. これは, 図 1 における二次元の構造の層間, つまりアニオンのインターカレーションする層間が広がっていることを意味する.

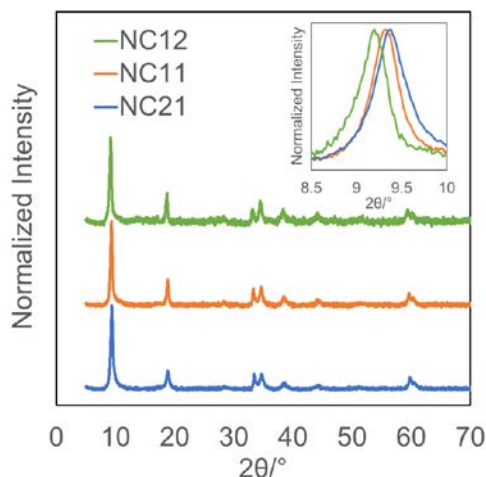


図 3 各サンプルの XRD パターン

最後に, これらのサンプルに対し, 5–100 mV/s の異なるスキャン速度で得たサイクリックボルタモグラムより容量を算出して比較した. NC21, NC11, NC12 の 5 mV/s で測定した容量は, 273, 237, 252 mAh/g となり, 今回の条件においては組成比と容量の相関性は見られなかった. 現状組成比と容量の関係は明らかではないが, 高容量化に向けてはキーポイントと考えており, この関係解明が今後の課題である. ただし, 本検討で作製した Ni-Co LDH は, LIB の汎用的な正極材料である  $\text{LiCoO}_2$  の容量約 150 mAh/g と比較して高容量であり, 特に NC21 は約 1.8 倍の容量を示し有望な材料であることが確認された.

続いて, 5 mV/s の容量を 100% とした容量維持率とスキャン速度の関係を図 4 に示す. このスキャン速度は充電特性に対応する. NC12 は速いスキャン速度においても容量維持率が高く, 最も高い充電特性を示した. NC21 と NC11 は, 同等の容量維持率となり, NC12 と比較すると低い充電特性となった. これらの充電特性は, 概算ではあるが, 約 7 秒で  $\text{LiCoO}_2$  と同等の 150 mAh/g の容量が充電できる結果であり, 超急速充電特性を示している. ここで, 充電特性と LDH の層間距離には, 層間が広がると充電特性が向上する相関が見られた. このことから, 広い層間は水酸化物イオンのインターカレーション反応を促し, 超急速充電特性を示すと推察する.

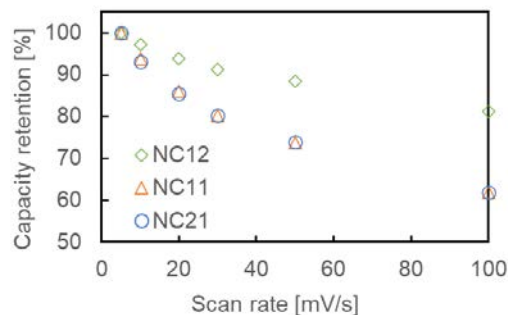


図 4 スキャン速度と容量の関係

### 3. まとめ

Ni:Co=2:1, 1:1, 1:2 となる 3 種類の Ni-Co LDH を作製し, 物性と容量と充電特性の関係について調べた. いずれの Ni-Co LDH も,  $\text{LiCoO}_2$  と比較して 1.6 倍以上の高容量を示した. また, Co 比を高くすることで LDH 構造の層間が広がり, 充電特性の向上が見られた. 引き続き, 組成比, 物性, および電気化学特性の関係を明らかにし, 超急速充電特性を維持した高容量電気化学キャパシタ電極材料の開発を進める.

### 参考文献

- [1] P. Forouzandeh et al., *Catalysts* 2020, 10, 969
- [2] H. Schranget et al., *Curr Opin Electrochem* 2020, 21, 167–174
- [3] Y. Chen et al., *Nano Lett.* 2017, 17, 429–436

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
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) : Building Healthcare Infrastructure Technology with Sensor 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。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<sup>2)</sup>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ったため, 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<sup>3,4)</sup>。本研究では, ヘテロコア光ファイバセンサを医療用テープにより皮膚に直接貼り付け, 低侵襲な血圧計測を試みた。

## 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 $9\mu\text{m}$ の伝送路にコア径 $5\mu\text{m}$ 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れしているが, 更に曲率を与えることで漏れ量が増加するため, 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。

図2に皮膚へのセンサの設置構造を示す。図2より, 棒状に加工された医療用テープを, センサ部に曲率を付与するための支柱として配置し, 全体を医療用テープで皮膚上に固定した。この構造により, 皮膚表面の脈動によって押し上げられる中央部の支柱が, センサ部に対して曲率変化を与えるため, 脈動を鋭敏に検出可能である。身体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<sup>5)</sup>。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以下の式で平均し, 平均脈波伝搬時間(APTT)を算出した。図3に計測構成を示す。図3より, 光源に波長 $1310\text{nm}$ 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 $20\text{kHz}$ 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の2カ所の皮膚表面に, 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。

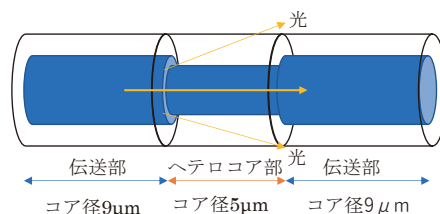


図1 ヘテロコア光ファイバセンサ<sup>B)</sup>

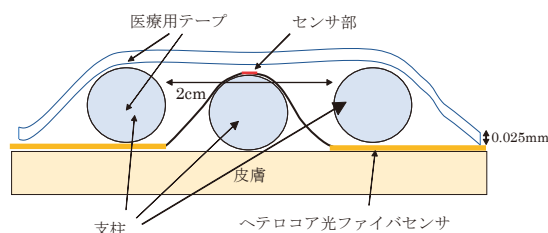


図2 センサ構造<sup>B)</sup>

### 3. 実験結果

図4に取得した脈波形を示す。図4より頸動脈と後脛骨動脈における脈波形を同時に取得可能であることを確認した。また、2つの脈波形は時間差を有し、この波形間の時間差により、脈波伝搬時間を求める。脈波伝搬時間は最高血圧と負の相関を持つことが知られているため、取得した値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、脈波伝搬時間は参照最高血圧と負の相関を示し、本手法によって妥当な脈波伝搬時間を取得可能であることが示唆された。尚、相関係数は0.42となった。回帰分析によって得られた回帰直線の関数を血圧推定式として使用したところ、推定した血圧の絶対誤差は1.85-10.68 mmHgの範囲での偏差を有し、絶対誤差の平均値は5.71 mmHgであると確認した。家庭用血圧計における精度は5 mmHg以内であることが望ましい<sup>9)</sup>とされているが、提案する計測手法はこの基準に近い精度を有すると考えられる。

### 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を提案した。センサを医療用テープで直接皮膚に貼り、首の頸動脈部、及び足首の後脛骨動脈部の二箇所を同時に計測した。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、参照最高血圧と平均脈波伝搬時間は負の相関を持ち、相関係数は0.42であった。回帰直線を基にした血圧推定式を用い、最高血圧を推定し

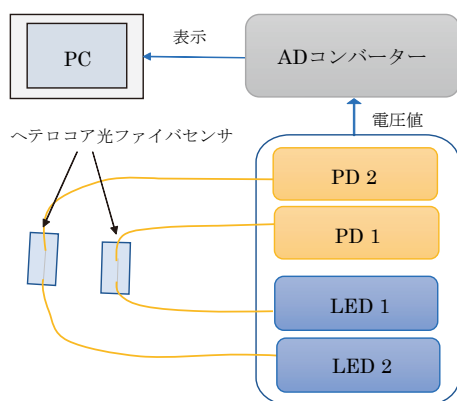


図3 計測構成<sup>10)</sup>

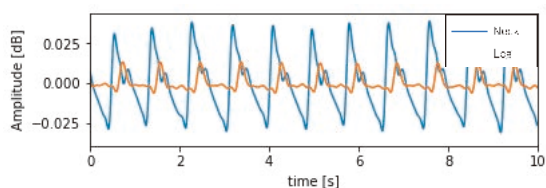


図4 二点間における脈波形<sup>10)</sup>

たところ絶対誤差の平均値は5.71 mmHgであることを確認した。本結果は家庭用血圧計における標準精度である5 mmHgに近い精度を示した。

本研究に関する成果

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

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](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) 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.
- (6) 日本高血圧学会: 家庭血圧測定の指針, 7/25, ライフサイエンス出版 (2011).

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)  
 研究期間 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
 研究課題名 (和文) : 環境調和型ヨウ素触媒の創製と二酸化炭素固定  
 研究課題名 (英文) : Development of Triazolium-Based Halogen-Bonding-Donors and Application to Carbon Dioxide Fixation

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

### 1. はじめに

持続可能な社会の実現に向け、環境にやさしい反応プロセスの開発が強く求められている。特に、温室効果ガスである二酸化炭素を機能性分子に変換する手法は、「産業上重要な化合物の生産」と「二酸化炭素削減」を同時に行えるため、温暖化対策の有効な解決策として期待されている (図1)。しかし、二酸化炭素は最も反応性の低い化学種の一つであるため、有機分子との反応を効率的に促進させるためには触媒が必要であり、その触媒活性部位としては主に金属元素が用いられてきた。これまでに、二酸化炭素を変換する様々な高活性触媒が開発されてきているが、それらの中には資源枯渇が懸念される金属元素を用いている例も少なくない。また、用いた金属触媒と合成した有機物を完全に分離することは困難なことが多く、この残留金属はごく微量 (ppm レベル) でも生成物の光・電気特性や生物活性に大きく影響を与えてしまうことが知られている。このため、有機分子触媒 (金属を一切含まない触媒) を用いた二酸化炭素の有用物質変換法の開発が、環境調和性や持続可能な観点から強く望まれている。このような背景のもと我々は、新たな低環境負荷型触媒としてヨウ素化合物に注目している。

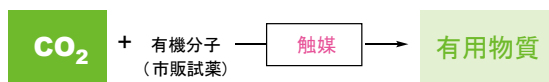


図1 二酸化炭素の有用物質への変換

ヨウ素は、分極率が大きい元素であり電子が偏りやすく、金属のようなルイス酸性を示すことが知られている。加えて、世界の産出量の約 30% が日本であることから重要な資源とされており、ヨウ素の特性を生かした機能性分子の開発が盛んに行われている。このような背景のもと我々のグループは、トリアゾリウム環を基盤とした独自の分子設計に基づく新規ヨウ素触媒の開発を進めてきた。このヨウ素触媒は、市販試薬から三段階で迅速に合成できることに加え、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。また、私たちの研究グループは最近、本触媒が二酸化炭素とエポキシドとの反応にも有効であることを報告した。この報告は世界で初めてヨウ素触媒を用いた二酸化炭素の変換反応であり、この反応によってリチウムイオン電池の電解質として用いられている環状炭酸エステルを得ることができる。しかし、金属触媒を用いる方法と比較すると、高温条件が必要であることや触媒量が多いといった課題が残されている。

### Dual Activation Mechanism

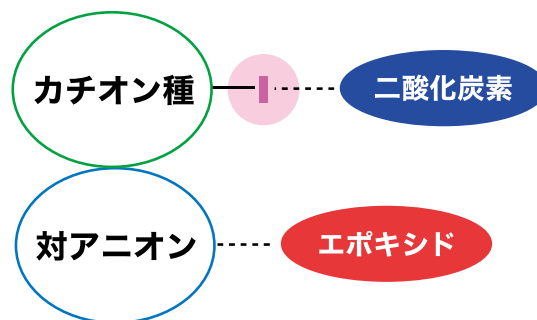


図2 触媒設計

そこで今回我々は、優れた触媒活性を有する新規ヨウ素触媒の開発を目的とし、ベタイン型ヨウ素触媒を新たに設計した (図2)。ベタインとは、分子内に正電荷と負電荷を両方有する化合物の総称で、これによってより効率的に二酸化炭素とエポキシドを活性化できないかと考えた。このコンセプトを立証すべく本研究では、新規ヨードトリアゾリウム塩の合成法 (図3) を確立し、二酸化炭素固定化反応への適用を研究目的とした。

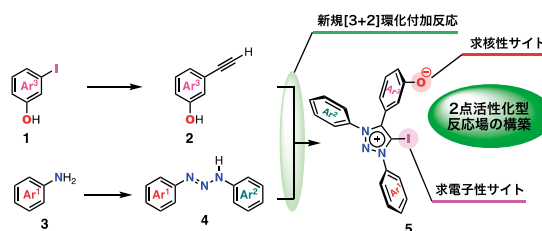


図3 新規ヨウ素触媒の合成法

## 2. 研究の内容

### ヨウ素触媒の合成法

新規ヨウ素触媒の合成法を検討した。様々な反応を検討した結果、図3に示す方法でヨウ素触媒が合成可能であることを見いだした。

まず、ヒドロキシ基を有するヨウ化アリール **1** を触媒量の酢酸パラジウムとヨウ化銅存在下、トリエチルアミン溶液中、30 °C、24 h の条件でトリメチルシリルアセチレンと反応させたところ、収率75%で対応するアルキンが得られた。その後、得られたアルキンをメタノール・THFの混合溶液中、水酸化カリウム水溶液存在下で室温、2 h 反応させたところ、脱保護されたアルキン **2** が59%収率で得られた。また、アニリン **3** をジエチルエーテル溶液中、亜硝酸イソアミル存在下で72 h 攪拌させたところ、50%収率で対応するトリアゼン **4** が得られた。続いて、アルキン **2** とトリアゼン **4** をジクロロメタン溶液中、ヘキサフルオロリン酸カリウムと次亜塩素酸 *t*-ブチル存在下-78 °Cで反応させたところ、80%収率で対応するトリアゾリウム塩が得られた。続いて、メタノール溶液中、炭酸カリウム存在下、室温で1 h 反応させることでベタイン型トリアゾリウム塩を75%で得た。最後に、得られたトリアゾリウム塩に対して、*t*-BuOK で脱プロトン化し、ヨウ素と反応させることで、目的のベタイン型ヨードトリアゾリウム塩 **5** を63%収率で得た。なお、ヨードトリアゾリウム塩 **5** の生成は <sup>1</sup>H NMR (図4) および <sup>13</sup>C NMR (図5) により確認した。今後は二酸化炭素とエポキシドとの反応に合成したヨウ素触媒 **5** を適用し、その触媒活性を評価していく。また、DFT 計算により反応機構解析を行い、より高活性なヨウ素触媒を合理的に開発していく。

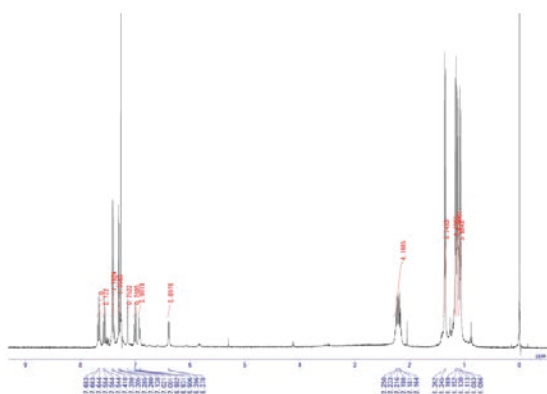


図4 新規ヨウ素触媒の<sup>1</sup>H NMR スペクトル

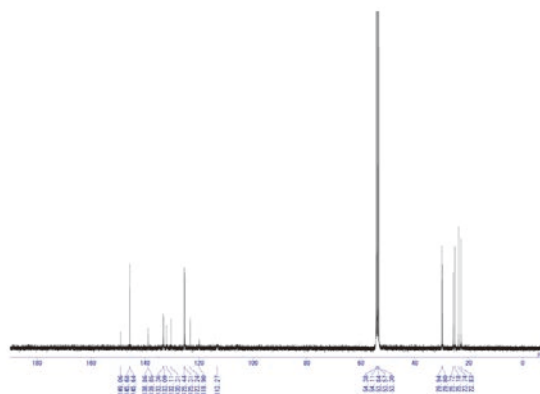


図5 新規ヨウ素触媒の<sup>13</sup>C NMR スペクトル

### 3. まとめ

本研究では、ベタイン型のヨウ素触媒を新たに設計し、その合成法を開発した。本合成法によって、フェノキシド部位を有する様々なヨードトリアゾリウム塩が合成可能になった。

### 参考文献

- (1) Selected reviews on synthesis of cyclic carbonates from epoxides and carbon dioxide, see: (a) C. Martín, G. Fiorani and A. W. Kleij, *ACS Catal.* **2015**, *5*, 1353; (b) J. W. Comerford, I. D. V. Ingram, M. North and X. Wu, *Green Chem.* **2015**, *17*, 1966.
- (2) 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 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30

研究課題名 (和文) : 第一原理QCD計算による有限温度・有限密度系における中間子質量生成の研究

研究課題名 (英文) : First-principles QCD calculations on the meson mass production in finite temperature and finite density

研究者 : 若山 将征

WAKAYAMA Masayuki

千葉工業大学

情報科学部 教育センター 助教

## 1. はじめに

物質の質量の大部分はその物質を構成する核子(陽子・中性子)の質量に由来する。核子の質量は約939MeV ( $\approx 10^{-27}$ kg)であり、核子は3つのカレントクォークからなる。しかし、それらクォークの質量の和は約10MeVであり、核子の質量の1%程度にしかならない。核子の質量の残り99%がどこから来るのかを解明するには、クォークの相互作用を記述する量子色力学(QCD)による理解が必要である。QCDの有効理論によると、核子は強い相互作用のカイラル対称性の自発的破れにより残り99%の質量を獲得すると考えられているが、その原理は未だ不明な点が多い。また、カイラル対称性の自発的破れにより核子が質量を獲得すると同時に、クォーク・反クォークから構成される $\pi$ 中間子と $\sigma$ 中間子、 $\rho$ 中間子と $a_1$ 中間子(これらの中間子はカイラル・パートナーと呼ばれる)も質量を獲得する。

図1のQCD相図にあるように、カイラル対称性の自発的破れは有限温度・有限密度系では部分的に回復すると考えられている。そのため、有限温度・有限密度系では、カイラル対称性の回復に伴う中間子の質量変化を明らかにできると期待される。しかし、カイラル対称性が自発的に破れている相(ハドロン相)では、QCDの結合定数が大きいために、非摂動的なアプローチが必要となる。格子QCDはQCDを第一原理から非摂動的に計算できる強力な手法である。

我々の最終的な目標は、カイラル対称性が部分的に回復する有限温度・有限密度系において、中間子の質量生成のメカニズムを格子QCDにより解き明かすことである。

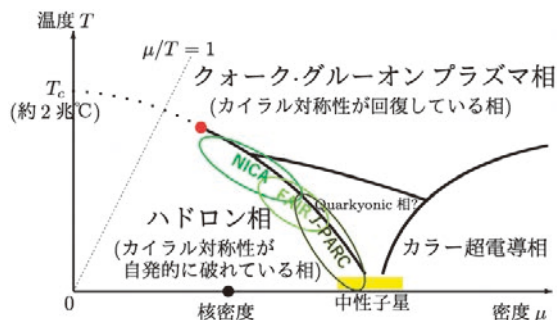


図1 QCD相図(予想図)

## 2. 研究の内容

### (1) 研究の背景

これまでの $\sigma$ 中間子の研究は、クォークの質量が現実のものよりも大きい領域での数値計算、かつ、カイラル対称性とその自発的破れが正しく取り入れられていないウィルソン・フェルミオン(WF)作用による計算であった(参考文献(1))。今後、クォークの質量が小さい領域で $\sigma$ 中間子を計算するためには、カイラル対称性を正しく取り扱えるカイラルフェルミオンによる探索が必要である。カイラルフェルミオンには複数のモデルがあり、そのひとつとして、近似的にカイラル対称性を実現するトランケイテッド・オーバーラップフェルミオン(TOF)作用がある(参考文献(2))。TOF作用では、格子上的クォークにカイラル対称性を持たせるために、時空間に5次元方向の自由度 $N_5$ を持たせている。TOF作用は、 $N_5$ が無限大の極限で、格子上に拡張されたカイラル対称性である格子カイラル対称性を厳密に再現させることができる。しかし、TOF作用はWF作用と比べて、およそ $N_5$ の2乗倍の多大な計算資源を要する。そこで、本研究では、TOF作用における格子カイラル対称性を実現するために導入した時空間の5次元方向の自由度 $N_5$ が中間子質量にどのような影響があるか検討を行なった。

### (2) 研究のセットアップ

TOF作用を用いた研究は、非常に計算時間がかかるため、段階を踏んで進める必要がある。まず、本研究では、クォークの質量が現実のものよりも大きい領域を想定したクエンチ近似による中間子質量の計算を行なった。TOF作用を用いたクエンチ近似の格子QCDのコードは2020年度までに完成させており、大阪大学サイバーメディアセンター(CMC)およびNECの協力の下で高速化されたコードを使用した。

### (3) 結果

本研究では、各種中間子に対して質量の計算を行なったが、本稿では、最も軽い中間子である $\pi$ 中間子の質量に対する $N_5$ 依存性についてのみ報告する(発表論文(1)、研究会発表(2)、(4))。図2では、 $\pi$ 中間子の質量の2乗の $1/N_5$ 依存性を示した。クォークの質量は $m_q=0.080, 0.060, 0.040$ の3通りを用意した。また、5次元方向の

自由度は  $N_5=3, 8, 16, 24, 32, 48$  と変化させた。TOF 作用は  $N_5$  が無限大の極限で、格子以上に拡張されたカイラル対称性である格子カイラル対称性を厳密に再現させることができるので、 $1/N_5=0$  での中間子質量の値が本来ほしい結果である。しかし、数値計算の特性上、 $N_5$  が無限大での計算は不可能である。これまで、 $\pi$  中間子の質量と  $N_5$  の依存性は明らかではなかったが、本研究では、図2より、 $\pi$  中間子の質量の2乗が  $1/N_5$  の関数として直線で外挿できることを示した。ここで、 $N_5=3$  の結果は直線フィットには使用していない。これにより、今後、ある程度大きな  $N_5$  の領域から結果を外挿することで、計算資源を節約しつつ、 $N_5$  が無限大での結果を得られるようになった。

また、 $N_5=32$  で十分に質量の調査が可能であることがわかった。これにより、2019年に計算した  $a_1$  中間子の励起状態に関する  $N_5=32$  での結果(参考論文(3))の妥当性を示した。

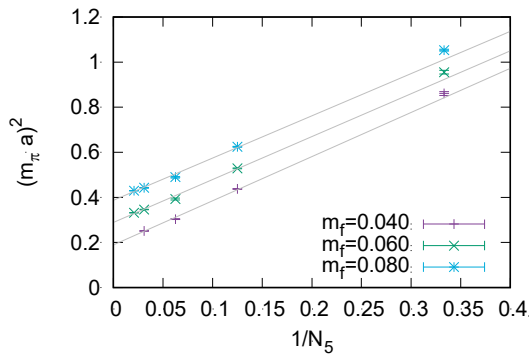


図2  $\pi$  中間子の質量の2乗の  $1/N_5$  依存性

### 3. まとめ

本研究では、TOF 作用を用いたクエンチ近似での中間子質量の計算を行い、質量の時空間の5次元方向の自由度  $N_5$  に対する依存性を調査した。TOF 作用は  $N_5$  が無限大の極限で、格子カイラル対称性を厳密に再現させることができるが、計算コストの問題で、無限大に近い  $N_5$  での計算は不可能である。今回の結果では、 $\pi$  中間子の質量の2乗が  $1/N_5$  の関数として直線で外挿でき、ある程度大きい  $N_5$  の領域から  $N_5$  が無限大の極限での質量の値が得られることを示した。また、 $N_5=32$  で十分に質量の調査が可能であることがわかった。

今後は、クォークの質量が小さい領域を想定した、クエンチ近似を行わないダイナミカルなTOF 作用を用いた格子QCD 計算を行う。

また、カイラル対称性の自発的破れが部分的に回復すると考えられている有限温度・有限密度系における解析も同時に進めている(学会発表(3), (5))。今後、有限温度・有限密度系において、カイラル対称性の回復に伴う中間子の質量変化についての格子QCD 計算を行う。

本研究に関する主な発表論文および学会発表、講演

- (1) Y. Murakami, M. Sekiguchi, H. Wada and M. Wakayama, “Properties of the five dimensions for the truncated overlap fermions,” Journal of Physics Communications 5, August 17, 2021, 085009-1~7.
- (2) 関口宗男, 若山将征, 伊達進, 中村純, 和田浩明, 村上祐子, 「格子 QCD によるスカラー中間子の質量生成機構の研究」, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 13 回シンポジウム, オンライン, 2021 年 7 月.
- (3) 若山将征, 保坂享, 中村純, 伊達進, Seung-il Nam, 「GPU コードならびに多倍長精度アルゴリズムを用いた高密度 QCD 物質の研究」, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第 13 回シンポジウム, オンライン, 2021 年 7 月.
- (4) 若山将征, “トランケイテッド・オーバーラップフェルミオンの極限評価”, 千葉工業大学「核物理×物性セミナー」, オンライン, 2021 年 10 月.
- (5) 若山将征, “Search of dense matter from the canonical approach in effective models”, Reimei Workshop “Hadrons in dense matter at J-PARC”, 東海村&オンライン, 2022 年 2 月.

### 参考文献

- (1) T. Kunihiro, S. Muroya, A. Nakamura, C. Nonaka, M. Sekiguchi and H. Wada, Physical Review D70, 034504 (2004).
- (2) A. Borici, Nuclear Physics Proceedings Supplements 83, 771 (2000).
- (3) M. Wakayama, Y. Murakami, S. Muroya, A. Nakamura, C. Nonaka, M. Sekiguchi and H. Wada, JPS Conference Proceedings 26, 031007 (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 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30  
 研究課題名 (和文) : 日本の機械製造企業の設備投資モデルに関する一考察  
 研究課題名 (英文) : A Study on Capital Investment Models of Japanese Machinery Manufacturing Companies

研究者 : 東 壯一郎 千葉工業大学  
 HIGASHI Soichiro 社会システム科学部 経営情報科学科 准教授

## 1. はじめに

企業における設備投資は、企業の成長と安定にとって不可欠であり、その意思決定には、企業の戦略が深く関与している。筆者は、半導体企業および半導体製造装置企業の設備投資モデルの構築により、半導体産業の状況を明らかにし、半導体製造装置企業の設備投資意思決定の有用な方法について提示した[4]。今後は半導体産業だけではなく、対象とする産業の範囲を拡張して、設備投資モデルの構築を試みたいと考えている。本稿では、新たに半導体製造装置企業と同じ「受注産業」のひとつであると考えられる機械製造業における設備投資モデルの構築にあたり、先に構築した半導体製造企業および半導体製造装置企業の設備投資モデルの独立変数のひとつとして採用した BB レシオ (Book-to-Bill Ratio) と機械製造業の設備投資額との相関関係について考察する。そのうえで、機械製造業における設備投資モデルの構築を試みる。

## 2. 研究の内容

### (1) 設備投資の意思決定の現況と研究課題

企業の設備投資は、金額的に大きな設備に対する初期投資を行い、設備の稼働に伴い収益を獲得して、投資額や期待する利益の回収を図るというものである。このため投資計画の立案段階でその採算に関わる諸要素の予測を合理的に行えるよう、管理会計分野で今まで研究されてきた設備投資の意思決定は、設備投資毎にプロジェクトの収益性を分析するために、「経済性評価技法」が用いられ、その技法の精緻化や手続に関するものが多い[2][3]。計算合理性を高めることで不確実性を除去し、その意思決定はより有効になるものと推察される。「経済性評価技法」の問題点としては、前提条件として投資に対する将来キャッシュインフローを常に見積ることができ、選択できる代替案も常に存在していることが挙げられる。

筆者の勤務先 (前職) でも技術革新を伴う設備投資については、将来キャッシュインフローを見積ること自体が難しく、仮に見積りができたとしても、その精度は極めて低いものであった。また前職では、技術革新を持続して実現するために、企業の戦略は戦略的投資決定と密接に関連しており、「経済性評価技法」による意思決定

では、企業戦略とは異なる投資案件を選択してしまうことが散見された。また、設備投資に係る代替案は必ず2つ以上あるとは限らず、代替案がなければ「経済性評価技法」を用いるまでもなく、意思決定される。計算合理性を追求し精緻化された「経済性評価技法」が活用されるのは、投資決定プロセスの部分的な局面にすぎないと考えられることから、「経済性評価技法」を補完する、企業の実務に即した新たな投資決定プロセスおよび設備投資モデルの構築が必要と考えた。

筆者は、表1の半導体産業の設備投資モデルの構築により、半導体産業の状況を明らかにし、半導体製造装置企業の設備投資意思決定の有用な方法について提示した。その効果的利用法として、構築した半導体産業の設備投資モデルと、伝統的な管理会計思考における設備投資の「経済性評価技法」との相補的利用法を提示している[4]。

<b>半導体企業の設備投資モデル</b>
$I_{it} = b_0 + b_1 OCF_{it} + b_2 DR_{it-1} + b_3 BB_{t-1} \quad R^2_{adj} = 0.655$
<b>半導体製造装置企業の設備投資モデル</b>
$I_{it} = b_0 + b_1 OCF_{it-2} + b_2 DR_{it-2} + b_3 BB_{t-2} \quad R^2_{adj} = 0.668$
$I_{it}$ : 企業 <i>i</i> の <i>t</i> 期の設備投資額
$OCF_{it}$ : 企業 <i>i</i> の <i>t</i> 期のキャッシュフロー (連結営業キャッシュフロー)
$DR_{it}$ : 企業 <i>i</i> の <i>t</i> 期の負債比率 (負債÷自己資本)
$BB_{it}$ : <i>t</i> 期のBBレシオ (機械受注統計: 受注高÷売上高)
$b_0$ : 定数項、 $b_1, b_2, b_3$ : パラメータ

表1 半導体産業の設備投資モデル

### (2) BB レシオ (Book-to-Bill Ratio) の概要

半導体市場における需給の先行指標として BB レシオ (Book-to-Bill Ratio) がある。これは出荷額 (Billing) に対する受注額 (Booking) の割合であり、受注額は需要量、出荷額 (売上額) は供給量に相当するため、需給バランスを表し、先行き、景況感や市況を示す指標である。BB レシオが 1.0 を上回っていれば、需要が旺盛で先行きの出荷額が増えることを意味しており、業界の景況感や市況が好調であることを示している。逆に 1.0 を下回っていれば、供給過多で先行きの出荷額 (売上額) が減ることを意味しており、業界の景況感や市況が不調であることを示している。月々の受注と出荷 (売上) は、半導体企業による思惑買いなどによる不規則変動を補正するため、直近3ヶ月間の数値を平均した BB レシオが使われる。受注額と出荷額 (売上額) が釣り合えば 1.0 となり、需給均衡を示している。数値の目安としては、順調な需要拡大期の BB レシオは 1.2~1.3、安定

的な需要拡大期は、1.05~1.10程度といわれている。

### (3) 先行研究

BB レシオの先行研究としては、以下のものがあげられる。BB レシオを公表している半導体企業の22%が、有意水準10%において株価との反応において有意に関係している[1]。またSEAJ(日本半導体製造装置協会)のBB レシオ(日本市場)の原型列に季節調整を施した後に移動平均を施すと、電子部品・デバイス工業の生産指数との相関関係が高まり、先行性は増す[5]。

### (4) 機械製造業におけるBB レシオの有用性

半導体製造装置企業と同じ「受注産業」のひとつであると考えられる機械製造業において、設備投資額とBB レシオの相関係数を検証するにあたり、次の仮説を設定した。

H1 : BB レシオは算定(1.0以上)できる。

H2 : BB レシオと設備投資額の相関係数は、正の相関がある。

日経NEEDSの一般事業会社財務データのうち、日経業種中分類の「機械」を対象とし、あわせて小分類についても分析する。

- ・分析期間は、連結財務諸表の開示が義務化された2000年3月期~2020年3月期の21年間。

- ・分析対象企業は、売上高・受注高・設備投資額の全項目が21年間連続している企業を対象とする。該当する分析対象会社は、表2のとおり74社となった。

日経業種小分類	分析対象企業数			
	総数	期間(21年)	BBratio算定可	対象
工作機械	49	16	13	8
プレス機械	7	1	1	1
繊維機械	10	7	7	6
運搬機・建設機械・内燃機	40	18	15	14
農業機械	8			
化工機械	44	22	21	14
ミシン・編機	4			
軸受	17	9	9	4
事務機	8	1	1	1
その他機械	139	51	42	26
<b>日経業種中分類:「機械」</b>	<b>326</b>	<b>125</b>	<b>109</b>	<b>74</b>

表2 日経業種中分類の「機械」の小分類と分析対象企業数

相関分析の結果、表3のとおり、小分類(10分類)のうち、農業機械およびミシン・編機については、BB レシオ(1.0以上)を算定できなかった。他の8分類(工作機械、プレス機械、繊維機械、運搬機・建設機械・内燃機、化工機械、軸受、事務機、その他機械)については、BB レシオ(1.0以上)を算定できたため、H1と整合する結果である。

また、同じ「受注産業」である半導体製造装置企業の設備投資モデルと同様に、表3のとおり、1年または2年のラグを設定し、設備投資額とBB レシオの相関係数を求めた。この結果、小分類(10分類のうち、分析対象企業数の多い工作機械、運搬機・建設機械・内燃機、化工機械、その他機械、および中分類「機械」において、強い正の相関があるため、H2と整合する結果である。

日経業種小分類	BB ratio	分析対象企業:74社		
	ラグ	-	Δ1	Δ2
工作機械		-0.11	0.41	0.53
プレス機械		-0.06	0.17	0.09
繊維機械		-0.38	0.28	0.37
運搬機・建設機械・内燃機		0.20	0.52	0.51
農業機械				
化工機械		0.04	0.55	0.68
ミシン・編機				
軸受		-0.31	0.38	0.43
事務機		-0.03	0.02	-0.23
その他機械		0.27	0.53	0.75
<b>日経業種中分類:「機械」</b>		<b>0.09</b>	<b>0.50</b>	<b>0.51</b>

表3 設備投資額とBB レシオの相関係数

### 3. まとめ

本稿では、「受注産業」のうち機械製造業に限定して、半導体製造装置企業と同様にBB レシオの算定を試み、BB レシオ(1.0以上)を算定できることを明らかにした。また、ラグを設定することで、設備投資額とBB レシオの相関係数を求めたところ、強い正の相関があることを明らかにした。

中分類「機械」において、ラグを設定すると強い正の相関があるものの、半導体産業の設備投資モデルとは異なり、ラグ(1年)とラグ(2年)の相関係数に殆ど差はなかった。今後は日経業種中分類の「機械」の小分類毎に産業分析を実施したうえで、改めて設備投資額とBB レシオの相関係数を検証する必要がある。機械製造業の設備投資モデルの構築にあたり、BB レシオを独立変数のひとつとして、新たな設備投資モデルの構築に取り組んでいきたい。

### 本研究に関する主な発表論文

- ① 東壯一郎:「機械製造業におけるBB レシオに関する一考察」, 生産管理, 28(2), pp75-80 (2021).

### 参考文献

- [1] Fargher, Neil L. Gorman, Larry R. and Wilkins, Michael S.: “Timely industry information as an assurance service—evidence on the information content of the book-to-bill ratio,” University of Waterloo Symposium on Auditing Research, 17, pp. 109-123 (1998).
- [2] 篠田朝也:「資本予算実務の課題—管理会計の拡張と資本予算実務—」, 管理会計学, 26(2), pp. 63-75 (2018).
- [3] 清水信匡・加登豊・梶原武久・坂口順也:「資本予算」『管理会計研究のフロンティア』中央経済社(2010).
- [4] 東壯一郎:「半導体製造装置企業における設備投資意思決定プロセスの考察」, 管理会計学, 27(1), pp3-18 (2019).
- [5] 三輪篤生:「BB レシオのパフォーマンス」, ESP economy, society, policy, 488, pp. 60-65 (2006).

研究項目 : 先端研究推進プロジェクト助成金 (Ⅲ)

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2021/9/30

研究課題名 (和文) : GPU を搭載するヘテロジニアスマルチコアによる新たなランダムスパース方程式求解アルゴリズムの開発

研究課題名 (英文) : Development of a new random sparse equations solving algorithm using CPU/GPU heterogeneous multi-core

研究者 : 富永 浩文

千葉工業大学

TOMINAGA Hirobumi

附属研究所 共同研究員

## 1. はじめに

本研究の目的は、電子回路シミュレータ SPICE[1]で求解が必要となるランダムスパース方程式の求解に着目し、本方程式の求解を高速化するためのアルゴリズムを開発することである。SPICEは、回路情報から修正節点解析法を用いて生成した回路方程式を、数値積分法による差分法やNewton-Raphson法を用いて線形化し、連立一次方程式を生成する。回路方程式から生成された連立一次方程式はスパース性が高いため、求解には直接法が利用されている。筆者は、連立一次方程式を高速に求解するために、命令の並列性を抽出した上で、並列度の高い命令をGPUで実行する手法を提案し、その有効性をNVIDIA社のヘテロジニアスマルチコア環境であるJetson AGX Xavierを用いて実行時間を確認した[2]。本評価では、閾値を大きくしていくことで実行時間を短縮できることも確認できたが、閾値を大きくするだけでは、十分な高速化が得られないことも新たに確認でき、閾値の設定が実行時間に与える影響が大きいことが分かった。そこで、本稿では、閾値が実行時間に与える影響を調査し、その原因を明らかにする。

## 2. Jetson AGX Xavier

Jetson AGX Xavierは、CPUとGPUをワンチップに統合したヘテロジニアスマルチコアを搭載するNVIDIA AGX Systemファミリーの組み込み向けシステムである。図1に、Jetson AGX Xavierの構成を示す。本システムは、CPUに8コアのNVIDIA Carmel ARMv8.2、GPUに512コアのNVIDIA Voltaアーキテクチャ、メインメモリに32GB LPDDR4xを搭載するヘテロジニアスマルチコア型のシステムオンチップ(SoC)である。本システムのCPUとGPUはメインメモリを共有するため、同じメモリ領域を参照可能である。これは、データ転送なしにCPUとGPUがデータを共有できることを意味しており、この特徴を活用することで、GPUカーネルの起動コストも小さく抑えることが可能である。

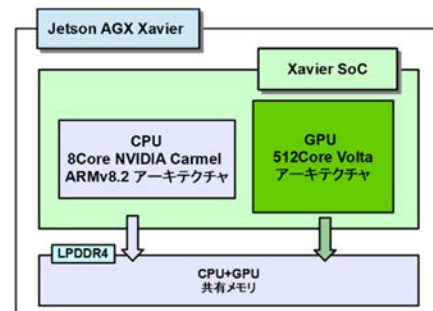


図 1. Jetson AGX Xavier アーキテクチャ

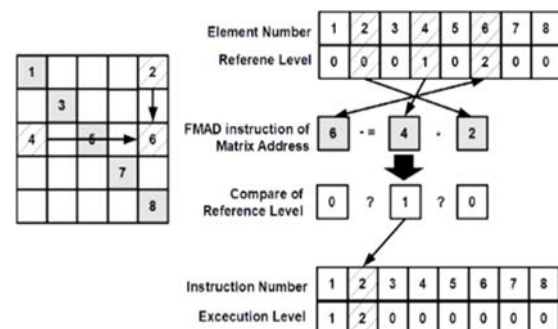


図 2. 積差演算の実行レベルの決定

## 3. 連立一次方程式の並列性の抽出

本研究では、拡張ベクトル化LU分解法に基づいて連立一次方程式の並列性を抽出する[3]。拡張ベクトル化LU分解法は、回路解析の開始時にあらかじめLU分解法の演算を列挙したコードを生成し、それを並列に実行することで連立一次方程式を求解する手法である。図2に、拡張ベクトル化LU分解法によるコード生成の例を示す。図中の行列表は、網掛けの要素が非零要素であり、各要素に参照レベルが設定される。演算レベルは、各命令が実行可能となる最短のステップ数であり、参照レベルから算出する。例えば、図中の要素2, 4は参照レベルが0, 1であるため、要素6, 2, 4を用いた積差演算は演算レベルが2と設定される。拡張ベクトル化LU分解法によって生成したコードは、レベルの小さい順に実行することで同じレベルが設定された演算を並列実行できる。このため、本研究でも、同じ

レベルが設定されたコードを一つのベクトル命令として扱うことで CUDA 上で並列実行する。一方で、並列度の低い命令を GPU で実行すると、実行効率が低下し求解時間が長くなる。このため、本研究では、閾値を設定し、同レベルの演算の個数が閾値未満の場合は CPU で演算を実行し、そうでない場合は GPU で演算を実行するように CUDA カーネルの生成を行う。

#### 4. 閾値の変更による実行時間の評価

拡張ベクトル化 LU 分解法に基づくランダムスパース方程式の並列求解手法に対する閾値の影響を確認するために、回路方程式の離散化によって生成された方程式を求解し、その実行時間を評価する。求解する方程式は、Florida Sparse Matrix Collection[4] より回路問題である memplus および mult\_dcop\_01 の2問とする。また、GPU で実行する際のスレッドブロックのサイズは、CUDA Occupancy calculator から算出した 256 とする。図 3, 4 に各問題の閾値ごとの実行時間を示す。図の縦軸は実行時間、横軸は閾値を表す。図 3 より memplus では閾値 16384, mult\_dcop\_01 では閾値 8192 が最も高速である。閾値 32 に対する高速化率の最大値は、それぞれ約 9 倍および約 70 倍であり、閾値の適切な設定によって実行時間が大きく短縮できることが確認できる。一方、memplus は、閾値 16384 以上で、実行時間が一定である。これは、生成したコードに 16384 以上の演算を行うレベルが存在せず、閾値 16384 以上の測定では、すべての演算が CPU のみで実行されることが原因である。

図 4 の閾値 16384 以上で実行時間が長くなるのは、閾値を極端に大きくすると並列実行する演算数が減少するためである。一方で、これは 4096 子以上の演算を CPU で逐次的に実行した方が高速となることを意味するため、並列アプリケーションとしてはあまり一般的と言えない。この理由を確認するために、CUDA の性能解析ツールである nvprof を用いて調査したところ、閾値 4096 から 8192 のときデータのメモリアクセスの効率が低いことが分かった。表 1 に nvprof の測定結果を示す。表内の項目名は、nvprof の測定名であり、Threshold は閾値、Global Memory Load Efficiency はグローバルメモリ (CPU と GPU の共有メモリ) へアクセスする際のデータロードの効率、L2 Hit Ratio は GPU の L2 キャッシュのヒット率、memory throttle はデータのリード/ライトを行うためのバスが混雑による処理待ちが発生した割合を表す。GPU は、データアクセス効率の低下が演算実行速度に顕著に表れやすいたことが知られている。表 1 及び図 4 より、mult\_dcop\_01 では、演算の個数が 4096~16384 のベクトル命令にデータのアクセス効率の悪いベクトル命令が多く、閾値 4096 が実行時間に影響を受けたことが確認できる。これは、並列に実行できる演算数が多いベクトル命令の中にも GPU よりも CPU で逐次実行した方が高速に処理可能な命令があることを意味する。上記より、最適な閾値の決定には、演算の個数だけでなく、データのアクセス効率も重要であることが分かった。

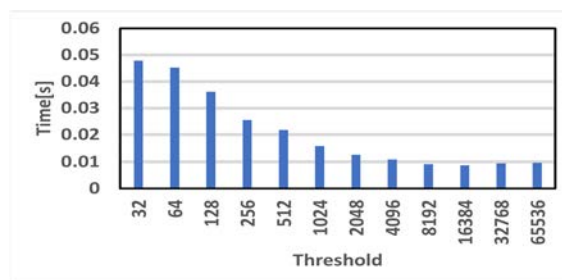


図 3. memplus の閾値ごとの実行時間

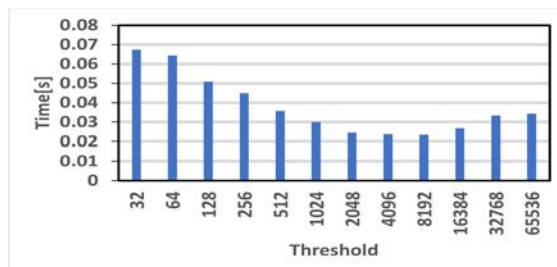


図 4. mult\_dcop\_01 の閾値ごとの実行時間

表 1. メモリアクセスの効率化に関するデータ

Threshold	Global Memory Load Efficiency[%]	L2 Hit Ratio of GPU[%]	memory throttle stall Ratio[%]
4096	61.2	4.1	2.8
8192	62.4	4.5	2.7
16384	56.6	3.9	3.9

#### 5. 総括

本稿では、拡張ベクトル化 LU 分解法によって並列性を抽出した連立一次方程式求解の並列化を GPU 上で高速に行うために、閾値が実行時間に与える影響を評価した。評価の結果、本測定では閾値を適切に設定することで、そうでない場合に比べて最大約 70 倍の高速化を確認した。また、閾値を最適に設定するためには、データのアクセス効率を考慮する必要があることが明らかになった。

#### 参考文献

- [1] NAGEL, L. W.: SPICE2 : A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits, *Ph. D. dissertation, University of California at Berkeley*, 1975.
- [2] H. Tominaga, A. Nakamura, and Y. Maekawa, "Evaluation of emva using the instruction-level parallelism on tegra x1," in *2018 Sixth International Symposium on Computing and Networking Workshops (CANDARW)*, pp. 239-242, 2018.
- [3] Yamamoto, F. and Takahashi, S.: Vectorized LU Decomposition Algorithms for Large-Scale Circuit Simulation, *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 4, No. 3, pp. 232-239, 1985.
- [4] T. A. Davis, and Y. Hu, "The university of florida sparse matrix collection," *ACM Trans. Math. Softw.*, vol. 38, no. 1, pp. 1-25, 2011.

[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 (C))  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28  
研究課題名 (和文) : 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  
研究課題名 (英文) : Proposal of Accident Prevention Technology by Elucidating the Initiation Mechanism of Self-Exothermic Decomposition Reaction of Nitrous Oxide

研究者 : 和田 豊 千葉工業大学  
WADA Yutaka 工学部 機械電子創成工学科 教授

### 1. はじめに

本研究では、ハイブリッドロケットの酸化剤としてよく利用されている亜酸化窒素の自己発熱分解挙動を解明及び事故防止技術の提案を最終目標とし、ここではまず、シール材に塗布されることが多い有機物およびシリコン系の不純物を加えた場合における亜酸化窒素の分解開始メカニズムについて追求する。

### 2. 研究の目的

亜酸化窒素の突発的な自己発熱分解挙動を起因とする爆発事故が世界で多々報告されている [1, 2] が、分解を引き起こす因子は諸説あり、開始メカニズムが依然として解明されていない。さらに、先行研究から液相亜酸化窒素での分解挙動は見られなかったのに対し、気相亜酸化窒素では分解挙動がみられる [1] ことが分かっており、ガス化された場合での分解挙動を解明する必要がある。

加えて亜酸化窒素の常温での蒸気圧である 5 MPa 前後における分解挙動については先行研究が少ないが、ハイブリッドロケットは常温下で運用されるため高压での分解挙動の解明が急務である。この解明を目指して新型分解器を開発しているが、高压に耐え得るコネクタや接着剤の選定が必要不可欠である。しかし、それらの材質と亜酸化窒素との反応性についての先行研究が存在せず、このままでは亜酸化窒素雰囲気下での使用で爆発事故が発生する可能性があった。

そこで、本研究では亜酸化窒素との反応性が未知である物質を亜酸化窒素雰囲気下に投入し、熱エネルギーを印加することにより亜酸化窒素との反応性を調べ、実験で取得した温度・圧力変化等から不純物が混入した場合における自己発熱分解挙動の開始メカニズムを解明することを目的とする。

### 3. 実験装置・方法

本研究では図1に示す実験装置を用いて実験を実施した。装置や計測系の詳細について以下に述べる。

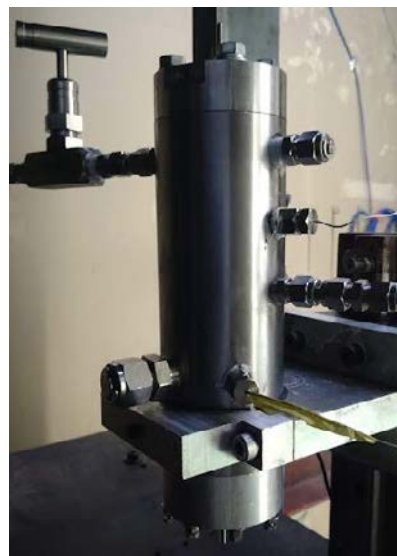


図1 亜酸化窒素自己発熱分解装置

本分解器には、亜酸化窒素を導入、排気させるためのポートが2カ所、内部のガス濃度を調査するため検知管が挿入できるポートが1カ所、加熱用グローブプラグの差し込み部が1カ所、グローブプラグによる昇温率、雰囲気温度を測定するポートが2カ所設置されている。分解器はステンレス製で高い圧力と温度に耐えることが可能であり、内部に封入した亜酸化窒素が分解し、高温高压力になった場合でも十分耐える構造となっている。

今回の実験ではガス亜酸化窒素に対して熱エネルギーを投入した。亜酸化窒素雰囲気下に熱エネルギーを投入する方法として図2に示すディーゼルエンジン等に使用されるグローブプラグ (日本特殊陶業製 Y-104) を使用した。



図2 グローブプラグ (日本特殊陶業製 Y-104)  
なお、このグローブプラグの定格電圧は 10.5 V であり、

今回は 12 V のカーバッテリーにグロープラグを直接接続し、実験を実施した。

今回の実験では図3のように試料を載せた銅ワッシャーをグロープラグに挿入し、180秒間カーバッテリーに接続することにより試料および分解器内の昇温を実施した。なお、実験開始前に亜酸化窒素で十分置換を実施した上で、分解器の両側に取り付けたバルブを閉め、完全に密閉させた状態で実施した。

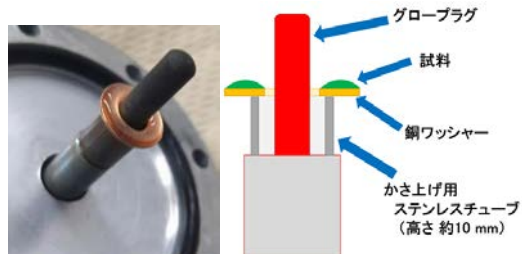


図3 試料を載せた銅ワッシャーとグロープラグ

本実験の実験条件を表1に示す。本実験では亜酸化窒素雰囲気下だけでなく、分解されることで生成される酸素雰囲気下でも実施した。併せて、試料自体が熱によって自己分解が生じる可能性を考慮して不活性ガスである窒素雰囲気下でも同様に実施した。なお、いずれも分解器内部圧力が0.5 MPa程度になるように調整の上、実験を実施した。実験試料としては良く燃焼器内に用いている有機物及びシリコン系グリス類から選定した。

表1 実験条件 (表内は資料量: 単位 g)

試料	N <sub>2</sub> O (1回目)	N <sub>2</sub> O (2回目)	N <sub>2</sub> O (3回目)	酸素	窒素
EH-455NF	0.06	0.06		0.07	0.06
MOSS 硬化剤	0.04	0.05		0.05	0.04
HIVAC-G	0.05	0.03	0.04	0.05	0.04
シリコン シーラント	0.04	0.07	0.02	0.06	0.09
GFRP	1.08	1.11	1.01	1.20	1.23
インパラ	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02

#### 4. 実験結果及びまとめ

本実験の結果から、すべての試料において亜酸化窒素との反応が見られた。特に、HIVAC-G はこれまでグリスとしてシール材に塗布していたものであるが、600℃まで昇温後、150秒後に急激な温度上昇が観察され、同時に圧力も上昇したことが確認された。図4に温度履歴のグラフを示す。その他の試料もほぼ同様の温度履歴を示すことを確認した。GFRPなどは分解器内部に多量のすすが観察され、他の試料片と比較して残存酸素量が6~8%程度となるなど、内部で発熱分解と共に発生した酸素と燃焼反応を起こした形跡なども認められた。

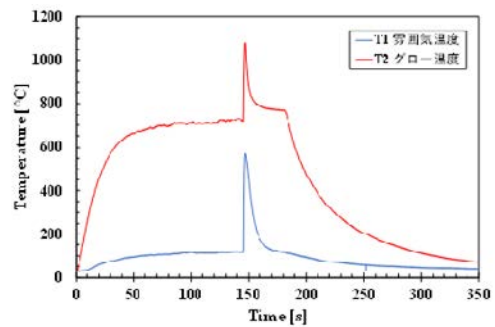


図4 HIVAC-G の温度履歴

また、反応前後の各試料を入れた分解器内の圧力比を比較すると亜酸化窒素単体を除く亜酸化窒素雰囲気では7.5以上の値になっているのに対し、酸素雰囲気では全て2未満の値であった。すなわち、酸素では亜酸化窒素にみられた急激な圧力上昇がみられないことが分かった。また、全ての試料において反応前温度は亜酸化窒素雰囲気下に比べ酸素雰囲気下の方が低くなっていることも分かった。このことから、亜酸化窒素はグロープラグからの熱エネルギーによって分解し、酸素が生成され、その酸素と熱分解物質との燃焼反応がトリガーとなり、分解器内部の未分解ガス亜酸化窒素の連鎖的な分解反応が生じたと考えられる。本研究によって得られた結果を以下にまとめる。

- 0.5 MPa 条件下において亜酸化窒素単体に熱エネルギーを投入すると分解は確認できたが、連鎖的・爆発的な反応には遷移しないことが分かった。
- 今回実施した全ての試料において、亜酸化窒素雰囲気下に比べ純酸素雰囲気下の方が爆発的な反応の開始温度が低く、亜酸化窒素の分解によって、微量に生じた酸素と各試料が反応し、連鎖的・爆発的な反応が発生した可能性が高い。
- シリコン系グリスを酸素や亜酸化窒素の流路や装置に使用することは危険であることが分かった。

本研究に関する主な発表論文

- (1) 石井雅人, 和田豊, “事故防止に向けた亜酸化窒素との反応性調査”, 29, 火薬学会 2022 年度春季研究発表会, 2022
- (2) 石井雅人, 和田豊, “亜酸化窒素を酸化剤とするハイブリッドロケットの宇宙空間での利用について”, 0S-12-3, 安全工学シンポジウム, 2022

参考文献

- (1) Anatoly. Alexander. Borisov , Kirill. Yakovlevich. Troshin and Yu.S. Biryulin , “ Critical Conditions for Nitrous Oxide Ignition ”, Russian Journal of Physical Chemistry B, Vol. 3, No. 4, pp. 610-614, 2009.
- (2) 五十嵐裕貴, 高野敦, 喜多村竜太, 船見祐揮, “亜酸化窒素によるハイブリッドロケットエンジンの破裂事例と対策”, 10th UNISEC Space Takumi Conference, 2020.



研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (B))

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28

研究課題名 (和文) : 異種誘電体層を使用した非接触通信とシート LAN 通信への応用

研究課題名 (英文) : Contactless communication using heterogeneous dielectric layers and its application to sheet LAN communication

研究者 : 枚田 明彦

HIRATA Akihiko

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

近年、携帯端末の爆発的な普及により、無線 LAN においてアクセス集中による通信速度低下やアクセスポイント間での相互干渉等の課題が顕在化している。電波が内部を伝送する誘電体シート上に端末を置くだけで LAN 接続を可能にする LAN シート通信は、シートごとにアクセスポイントを設定し、通信エリアを限定できるため、無線 LAN の課題を解決する手段として注目されているが、現状では 5 GHz 帯電波を使用した 300 Mbps 程度のシート LAN しか実現されていない。

本研究の目的は、誘電体シート上に異なる微小金属パタンを周期的に配置した 2 つのメタサーフェスの近接によるテラヘルツ波の透過性制御を可能とすることにより、電波の伝わるシート上に置くだけで安定なネットワーク接続を可能にする超高速テラヘルツ LAN シート通信を実現することである。我々は、すでに異なる微小金属パタンを周期的に配置した 2 つの機能性誘電体層を近接させると、メタサーフェス単体と比較してテラヘルツ信号の透過性を 33 dB 以上向上できること、および誘電体シートを媒体として 120 GHz 帯信号を伝送し、10 Gbps データ伝送が可能であることを実証した [1, 2]。本研究では、120 GHz 帯無線信号を表面にメタサーフェスを形成した誘電体シートに閉じ込めて伝送し、誘電体シート上に、誘電体シート上のメタサーフェスとは異なるメタサーフェスを実装した受信アンテナを置くことにより、10 Gbps を超える LAN 接続を可能にするシート LAN の要素技術について検討を実施した。

## 2. 接触による透過性可変メタサーフェス集積アンテナ

はじめに、4×4 平面スロットアレーアンテナにメタサーフェスを集積することにより、送受信のアンテナ間の多重反射を抑えつつ、アンテナ間の透過特性の特性を向上できないかを検討した。図 1 に検討したメタサーフェスの模式図を示す。4×4 平面スロットアレーアンテナ上に、厚さ 0.2 mm の石英基板上に金配線パタンで形成した split ring resonator (SRR) を集積した。この金で作成した SRR は、単体の場合、特定の周波数で共振が発生してバンドストップフィルタとして機能し、同じ SRR を近接させると、共振が消え、その結果、その周波数での透過特性が向上する。今回検討した SRR は、石英基板の表面、裏面の同じ位置に SRR が設けてある。4×4

平面スロットアレーアンテナのスロット上にない SRR は抵抗体である TaN で形成しており、特定の周波数で電波吸収体として機能する。この構造のメタマテリアル集積平面スロットアレーアンテナの  $S_{21}$  は、124.9 GHz に鋭い共振による吸収が見られ、124.9 GHz での  $S_{21}$  の値は -34.5 dB であった。

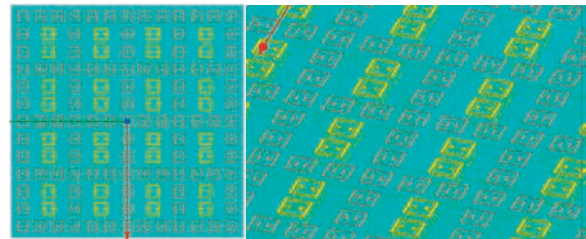


図 1 設計した SRR メタサーフェスの模式図

次に、異なるメタサーフェスを近接させることにより、アンテナ間の透過特性を制御することが可能か、検討を実施した。メタサーフェスを集積したアンテナと、厚さ 0.2 mm の石英基板上に形成した格子パタン [1] を集積したアンテナを近接させた場合の透過特性を評価した。図 2 に結果を示す。アンテナ間距離が 0.1 mm の場合は、130 GHz と 137.6 GHz に共振が発生し、125 GHz で透過率は -10.7 dB となり、いずれの距離でも 125 GHz での透過率はアンテナ単体の場合の  $S_{21}$  の値 (-34.5 dB) から大幅に向上した。これらの結果より、平面スロットアンテナにメタサーフェスを集積し、そのメタサーフェスに異なるメタサーフェスを近接させた場合、アンテナ間の透過率を 20 dB 以上向上させることに成功した。

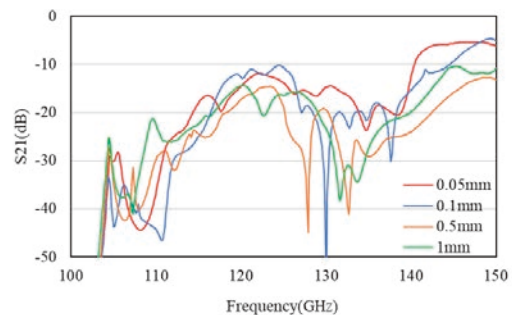


図 2 メタサーフェス集積アンテナ近接時の透過特性

### 3. テラヘルツ信号伝送用誘電体シート

誘電体シート内のテラヘルツ信号伝搬の低損失化について検討を実施した。誘電体シートには、誘電体損が小さい厚さ 0.787 mm の Rogers RT/duroid 5880 を選択した。誘電体シート端面でのテラヘルツ信号の反射を低減するため、誘電体シートの先端をテーパ状に加工している。誘電体シートの直線部の長さは 100 mm とし、誘電体シート—導波管変換部の材質はアルミニウムとした。図3 に 120 GHz での電界分布のシミュレーション結果を示す。誘電体シートの幅が 6 mm の場合は、シート内の電界が一樣とならず、マルチモードでの伝送となり、誘電体シート幅が 4 mm の場合は、シングルモードでの伝送になることが判明した。

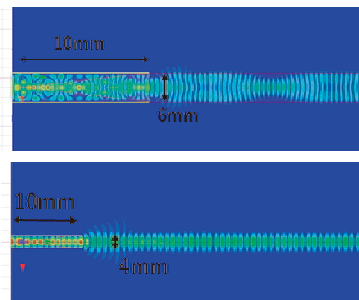


図3 誘電体シート内を伝搬する 120 GHz 帯信号の電界分布のシミュレーション結果

これらの結果をもとに、誘電体シートを試作し、その透過特性をベクトルネットワークアナライザ (VNA) により評価した。シート幅 4mm, 長さ 10 mm の誘電体シートの 125 GHz での  $S_{21}$  は -9.5 dB となった。

シート状 LAN の実現には、テラヘルツ信号を伝送する誘電体シートに別の誘電体を接触し、その誘電体にテラヘルツ信号を導波する必要がある。120 GHz 帯 RF 信号を伝送する誘電体シートに別の誘電体シートを接触することにより、接触した誘電体シートに 120 GHz 帯 RF 信号を導波可能か検討した。第 2 の誘電体シートを接触させた場合の第 2 の誘電体シートに導波される信号の割合を VNA により評価した。VNA 周波数エクステンダの高さを変え、接触角度を変えて測定を実施した。結果を図4 に示す。

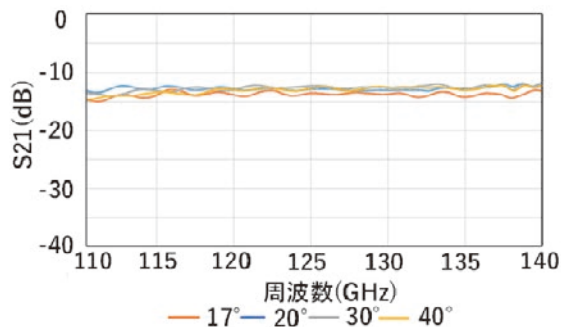


図4 2つの誘電体シートを接触させた透過特性の実験結果

VNA 周波数エクステンダの高さを変えて、接触角度を変えても第 2 の誘電体シートに導波される信号の割合はほとんど変化せず、125 GHz で約 -13 dB と一定になった。このように、2つの誘電体シートを接触させることにより、約 1/20 の 120 GHz 帯 RF 信号を接触した誘電体シートに導波することが可能であることを確認した。

### 4. まとめ

異なるメタサーフェスを近接させることにより、アンテナ間の透過特性を制御することが可能か、検討を実施した。メタサーフェスとして split ring resonator (SRR) を集積した平面スロットアレーアンテナと石英基板上に形成した格子パターンを集積したアンテナを近接させるモデルについて電磁界シミュレーションを実施した。SRR を集積したアンテナ単体の場合の  $S_{21}$  は -34.5 dB であったが、対向距離 0.1mm の場合は、130GHz と 137.6GHz に共振が発生し、125GHz での  $S_{21}$  は -10.7dB となり、SRR 集積スロットアレーアンテナ単体の場合の  $S_{21}$  から大幅に向上した。

次に、誘電体シートによる 120 GHz 帯 RF 信号伝搬の低損失化、および、接触した別の誘電体への RF 信号の導波が可能か、検討を実施した。誘電体シート幅が 4 mm の場合は、誘電体シート内の伝搬がシングルモードでの伝搬になり、長さ 100 mm での誘電体シートの通過損失は 125 GHz で約 -9.5 dB となった。また、2つの誘電体シートを接触させることにより、約 1/20 の 120 GHz 帯 RF 信号を接触した誘電体シートに導波することが可能であることを確認した。

### 本研究に関する主な発表論文

- (1) 枚田明彦, 牛尾政貴, 渡邊一世, 関根徳彦, 笠松章史, “誘電体シートの接触による 120GHz 帯 RF 信号伝送の検討,” 電子情報通信学会 MWPHz 研究会, ISSN 0913-5685, 2022 年 7 月

### 参考文献

- (1) K. Itakura, A. Hirata, M. Sonoda, T. Higashimoto, T. Nagatsuma, T. Tomura, J. Hirokawa, N. Sekine, I. Watanabe, and A. Kasamatsu “Control of 120-GHz-band Split Ring Resonator Filter by Coupling Lattice Pattern Substrate,” IEICE Trans. on Electron., E104-C(3), pp. 102-111 2021.
- (2) M. Ushio, F. Tokoro, A. Hirata, T. Higashimoto, Yuta Uemura, T. Nagatsuma, N. Sekine, I. Watanabe, and A. Kasamatsu, “10-Gbit/s Data Transmission over Dielectric Sheet for 120-GHz-band Sheet LAN,” 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2020), 3G3-8, January 2021.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究(C))

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28

研究課題名 (和文) : モンゴル国湖沼谷及び周辺地域における強風と総観場との関係

研究課題名 (英文) : Relations between strong winds and synoptic-scale characteristics over the lake valley and surroundings in Mongolia

研究者 : 松島 大

MATSUSHIMA Dai

千葉工業大学

創造工学部 都市環境工学科 教授

## 1. はじめに

モンゴル国は国土全体が半乾燥地域と乾燥地域に属し、干ばつによる自然災害が5~10年に1度生じている。このため、植生が乏しい地域を中心に砂塵嵐がたびたび発生していて、住民や家畜に健康被害を及ぼすことがある。一方、日本に飛来する黄砂が以前の中国よりモンゴル国由来である頻度が高まっているとの指摘がある<sup>(1)</sup>、砂塵嵐が発生する条件として、乾燥した土壌、少ない植生、強風が主に挙げられる<sup>(2)</sup>。近年、モンゴル国内での地表面状態に着目した砂塵嵐の発生条件に関する研究が多く<sup>(3)</sup>、強風と砂塵嵐発生との相関に注目した研究が見られるが<sup>(4)</sup>、強風の発生機構に注目した研究は必ずしも多くない。そこで、本研究ではモンゴル国内で砂塵嵐の発生頻度が高いと目されている同国中部の湖沼谷及びその周辺地域を対象として、実際に強風が吹いた場合、地上風と上空の総観場の間にどのような関係があるかを把握することを目的とし、これを既存のデータを用いて明らかにする。

## 2. 方法

### (1) データおよび解析対象

風などの気象データとして気象庁全球客観解析データ(GSM)、及び米国海洋大気局(NOAA)が収集している地上気象観測データ(SYNOP)を用いた。GSMは地球全体を緯度・経度とも0.5°間隔、鉛直方向は地表面と指定気圧面に分割された格子点ごとに、各種気象データが格納されたものであり、時間間隔は6時間である。SYNOPは世界気象機関に登録された気象観測点において観測され、規定の方法で通報されたデータであり、後述する本研究の対象地点について時間間隔は3時間である。本研究では、地上風観測値であるSYNOPについて湖沼谷の西側、中央、東側にそれぞれ位置するアルタイ(北緯46.40°、東経96.25°、標高2180m)、バヤンウンドゥル(北緯44.80°、東経98.63°、標高2103m)、ツォグトオボー(北緯44.42°、東経105.32°、標高1299m)のデータ、GSMについては3地点の最寄りの格子点における風速の東西成分と南北成分、気温、指定気圧面高度(850hPa(ツォグトオボーのみ)と700hPa)を用いた。ただし、指定気圧面高度から地衡風の風向と風速を計算するために、東西・南北方向ともに当初の格子点間の中央に新たに格子点を設定し、それを最寄りの格子点とした。

解析対象期間は2008~2018年のそれぞれ3~5月とした。

これは砂塵嵐の発生頻度が高い期間に注目するためである。

また、強風が吹く場合に注目するために、SYNOPによる風速が10 m/s以上の場合を対象とした。GSMは地上風が最も強くなりやすい14時(地方時)のデータを用いた。

### (2) 計算方法

地衡風と温度移流について式(1)~(3)を用いて計算した。

$$u_{g(i,j)} = -\frac{g}{fD_y} \left[ \frac{(h_{i,j+1} - h_{i,j}) + (h_{i+1,j+1} - h_{i+1,j})}{2} \right] \quad (1)$$

$$v_{g(i,j)} = \frac{g}{fD_x} \left[ \frac{(h_{i+1,j+1} - h_{i,j+1}) + (h_{i+1,j} - h_{i,j})}{2} \right] \quad (2)$$

$$A_{i,j} = -u_{i,j} \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j-1}}{2D_x} - v_{i,j} \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2D_x} \quad (3)$$

ただし、 $u_g$ 、 $v_g$ は地衡風速の東西・南北成分、 $u$ 、 $v$ はGSMにおける地上風速の東西・南北成分、 $A$ は温度移流である。 $h$ は指定気圧面高度、 $g$ は重力加速度、 $f$ はコリオリパラメータ、 $D_x$ 、 $D_y$ は東西・南北方向の格子点間隔である。また、添字 $i$ 、 $j$ は南北、東西方向の格子点座標である。

## 3. 結果

### (1) 地衡風と地上風(観測値)の関係

図1にツォグトオボーにおける指定気圧面の地衡風速と地上風速(観測値)の関係を示す。概ね地上風速が地衡風速と同程度から3分の2程度の大きさであるが、地衡風速より大きい場合もあった。この傾向は他の2地点でも同様だった。

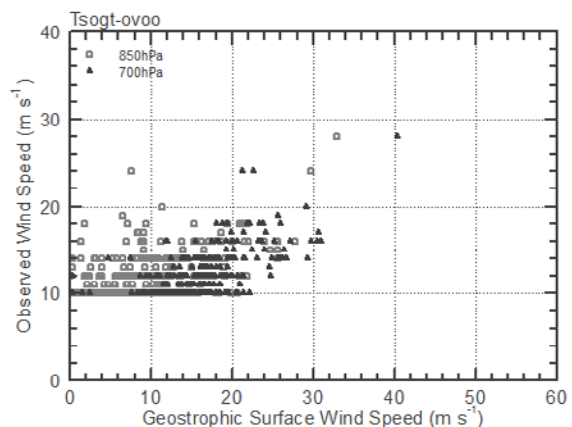


図1 地衡風速と地上風速の関係(ツォグトオボー)。

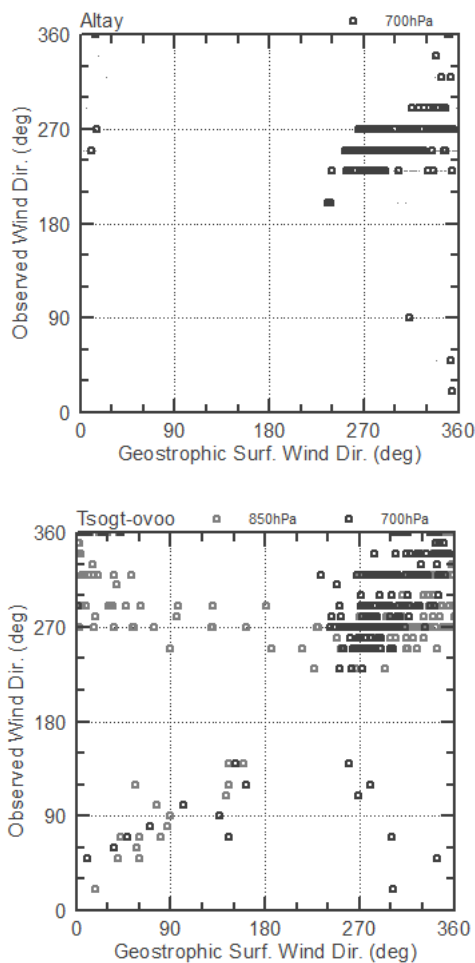


図2 地衡風向と地上風向の関係。上図はアルタイ，下図はツォグトオボー。

一方、風向については、ツォグトオボーで地衡風向と地上風向が一致している場合が多く、風向がある程度分散しているのに対し、アルタイでは地衡風向が西から北の場合にはほぼ限られ、地上風向はほとんど西寄りだった(図2)。バヤンウンドゥルではアルタイと同様の傾向だったが、地上風向はアルタイの場合よりも分散していた。

#### (2) 温度移流と地上風(観測値)の関係

図3にバヤンウンドゥルにおける地上風速(観測値)と温度移流の関係を示す。温度移流が負の値になっている場合が多く、これは強風が吹いたときに寒気移流を伴っていることが多いことを示している。これについて、他の2地点でも同様の傾向があることが確認された。

一方、地上風向(観測値)と温度移流の関係は、図4のように風向が西から北寄りの場合に寒気移流となっていることが示され、この傾向は他の2地点でも同様だった。

#### 4. まとめ

モンゴル国・湖沼谷とその周辺において、砂塵嵐が発生しやすい春季に強風が吹く場合を対象に、地上で観測された風向・風速と総観場の地衡風や温度移流の関係をGSMとSYNOPの両データを用いて解析した。その結果、対象とした3

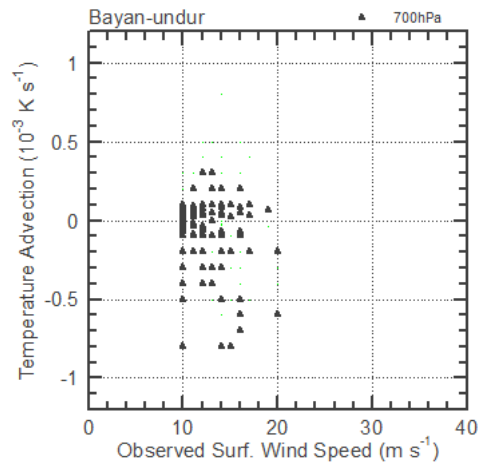


図3 地上風速と温度移流の関係(バヤンウンドゥル)。

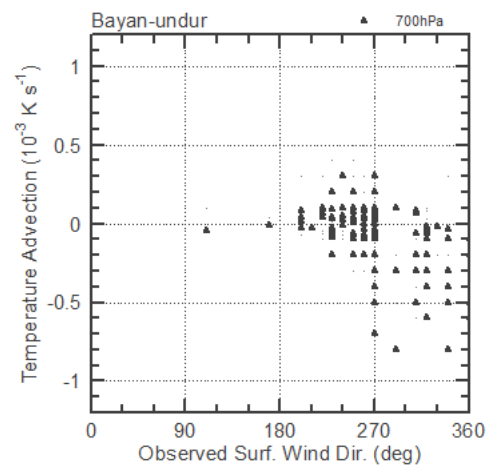


図4 地上風向と温度移流の関係(バヤンウンドゥル)。

地点について、細かい相違はあるものの強風が吹いた場合に地衡風向が西から北寄りである頻度が高く、寒気の移流を伴っていることが確認された。

#### 参考文献

- (1) Igarashi, Y., Inomata, Y., Aoyama, M., Hirose, K., Takahashi, H., Shinoda, Y., Sugimoto, N., Shimizu, A., and Chiba M.: Possible change in Asian dust source suggested by atmospheric anthropogenic radionuclides during the 2000s. *Atmos. Environ.*, 43, 2971-2980, 2009.
- (2) Shao, Y.: *Physics and modeling of wind erosion*. Springer Press, Berlin, pp. 459, 2008.
- (3) Jugder, D., Gantsetseg, B., Davaanyam, E., Shinoda, M.: Developing a soil erodibility map across Mongolia. *Natural Hazards*, doi:10.1007/s11069-018-3409-6, 2018.
- (4) Amgalan, G., Liu, G. R., Lin, T. H., and Kuo, T. H.: Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 28(1), 23-32, 2017.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究(C))

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28

研究課題名 (和文) : 集団遊びの行為分析に基づく価値の共有化

研究課題名 (英文) : Communalization of the value of group play based on analysis for play actions

研究者 : 引原 有輝 千葉工業大学  
HIKIHARA Yuki 創造工学部教育センター 教授

## 1. 研究目的

急激なデジタル社会の進展や新型コロナウイルス感染拡大の影響が相まって、対人関係に課題を抱えていたり、不安や無気力の傾向にある子どもの数が急増している。この原因の1つには、子どもを取り巻く社会環境の変化に伴い、本来、育まれるべき非認知スキルが形成されていないことが考えられている。この非認知スキルの定義は多様であるが、OECD (2015) が社会情動的スキル (Social and Emotional Skills: SES) として、主に「目標達成」「他者との協働」「情動の制御」に関わるスキルの重要性を示している<sup>1</sup>。子どものSESを育むための環境として、家庭、学校、地域の3つがあるが、ここ数年は新型コロナウイルスに対する予防対策により、学校や地域における子どもの主体的な活動の機会、例えば、運動会や修学旅行などの行事の中止や、地域の児童館の制限や閉鎖などが相次いでいる。そのような社会状況下の中で、子どもの健全育成やSESの発達を考えると子どもの自主的活動である「遊び」は守られるべきものであると考えられる。

子どもの遊びの実態は様々であるが、特に「外遊び」「集団遊び」と呼ばれる他者との関わり合いの多い遊びには、対人関係能力、自己効力感、レジリエンスなどの非認知能力の発達が期待されている<sup>2</sup>。これまで子どもの遊びに関する研究は数多く見られ、集団と個人 (あるいは人数)、屋外と屋内 (あるいは遊び場所)、動的と静的 (ダイナミック運動が伴うか否か) など、遊びの意義や重要性について相対的な視点に基づいて比較検討がなされてきた。仮に、遊びが子どもの健全育成あるいはSESの発達において重要とするのであれば、遊びの形態や条件に基づいた比較によって遊びの意義や重要性を捉えるだけでなく、ある遊びそのものに内在する価値に言及する視点も必要である。そうすることで、社会 (養育者や教育福祉関係者) から見る子どもの遊びに対する評価軸が生まれ、遊びの意義や重要性を共有しやすくなる。

そこで本研究では、集団遊びの構成要素である「行為」に着目した。「行為」とは、明らかな目的観念または動機を有し、思慮・選択・決心を経て意識的に行われる意志的行動を意味し、それらがSESに含まれるどのようなスキル要素に深く関与するかについて専門家と討議し、遊びの価値を共有することを試みた。

## 2. 研究方法

### 2-1. 遊びの価値の共有化ワークショップ

ワークショップ参加者は、児童館もしくは放課後児童クラブに15年以上の勤務経験を有する児童厚生員3名 (男性2名、女性1名)、放課後児童クラブ出身でかつ放課後児童クラブでの勤務経験のある者女性1名、および遊び研究を専門とする研究者男性2名 (うち1名は勤務歴あり) の計6名である。集団遊びにある行為を抽出し、それらが寄与するSESの構成要素を選定するワークショップを計6回実施した。ターゲットとなる行為がSESに寄与するか否かを判断する際、参加者には、経験に基づいてその行為の出現前後の子どもの心理状態を想像することが要求された。なお、本研究での遊びの価値の共有化とは、ワークショップに参加した6人全員が、SESの構成要素に対して、ターゲットとなる行為が「寄与する」と判定 (採用) した場合である。

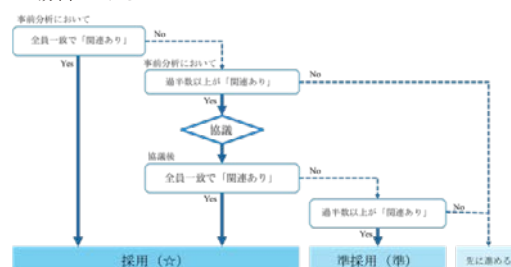


図1: ワorkshopでの判定 (採用) のプロセス

### 2-2. 社会情動的スキル (SES) の構成概念と要素

OECD (2015)<sup>1</sup>は、SESを性格スキル (Big5) と類似したスキルと捉えており、自分の能力・感情を理解し、制御する程度を表している「情緒安定性」、個人の好奇心、創造性、多様性の程度を表している「開放性」、コミュニケーションに関する分野に関して社交性、活動性、積極性を表している「外向性」、他人に対して、思いやりがあり協力的である傾向を表している「協調性」、注意深く、責任感があり勤勉で真面目な傾向を表している「誠実性」の5つの構成概念から成るとしている。

そこでSESの各概念への理解を深めるために、OECD (2015)<sup>1</sup>がSESを3つの観点で捉え直した「目標達成」「他者との協働」「情動の制御」、ならびにCASEL (2017)<sup>3</sup>がSESのコアコンピテンシーとする「自己認識」「自己管理」「社会に対する認識」「関係構築

「責任ある意思決定」と関連のありそうな用語を9編の文献を参照しながら収集した結果、90の非認知能力を指す用語を収集できた。収集した用語は、その文献内での定義や意味を参照しながら類型化を行い、30の要素に整理した。この30の要素として抽出された非認知能力を「誠実性」を除いたSESの4つの構成概念（情緒安定性9要素、開放性3要素、外向性6要素、協調性12要素）に振り分けた（誠実性は他の4つの概念のいずれにも関わる基礎的な概念であるとされたため振り分けなかった）。

### 2-3. 集団遊びの選定と行為の抽出

集団遊びの選定条件として、対象となる遊びについてワークショップメンバー全員が熟知していること、子どもが実施している様子を観察したり、共に実践した経験があることとした。そのことを踏まえ、子どもの代表的な伝承遊びである「鬼ごっこ」をベースとした集団遊び（通称：王様陣取り）を選定し、それに含まれる17の行為を抽出した。行為を抽出するにあたり、小学生20名程度がその遊びで遊ぶ様子を直接的な目視とビデオ撮影により繰り返し観察を行った。

### 3. 結果

ワークショップメンバーにて共有化された1つの行為に含まれるSESの構成要素を累積することにより、行為がSESに寄与する可能性を定量化した。図2には「先頭に立って相手陣地に攻める」という行為（17行為中の1つ）の分析結果をレーダーチャートにより示した。その結果、この行為は特に外向性と開放性を育む可能性のあることが共有化された。

次に、計17の行為に含まれる構成要素のすべてを累積することで「王様陣取り」の遊びの価値（SESの構成概念）を可視化した。図3に示すとおり、王様陣取りは、開放性と外向性を育む遊びであるという価値の共有化がなされた。



図2：「先頭に立って相手陣地に攻める」の構成概念の定量化

### 4. 考察

本研究では、遊びの中に出現する目的を持った動きである「行為」と「目標達成」「他者との協働」「情動の制御」のためのスキルとされるSESとの関連について専門家6人で討議し、遊びの価値を共有することを試みた。その結果、「王様陣取り」という遊びは、開放性や外向性を育む可能性が高いことが共有され、遊びの価値を可視化することができた。

野本ら(2015)<sup>4</sup>は、小学5、6年生の児童を対象に、

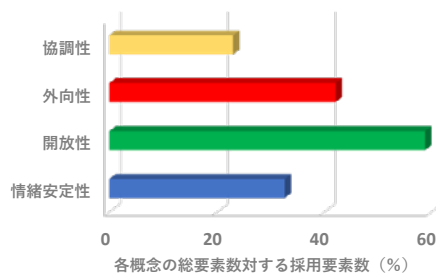


図3：17の行為の分析結果を累積した「王様陣取り」の価値の可視化  
質問紙による遊びの能力と社会的スキルとの関係性について調査したところ、「遊びと社会的スキルには、密接な正の相関がある」ことを明らかにしている。しかし、その研究で扱われている遊びの能力評価尺度の内面性、社会性、認識・操作性、創造性が遊びを通じて育まれたかどうかは定かではなく、また多様性のある遊びの中で、遊びの何が社会的スキルに寄与しているのかという本質的な点は明らかにしていない。

一方、上野(2017)<sup>5</sup>は、集団遊びの中にある子どもの援助行動にのみ着目し、子どもの自己効力感との関連を検討している。その結果、鬼遊びの中にある援助行動は、自己効力感に好影響をもたらすこと、またその際、援助行動をしたことへの自己認識が重要であることを明らかにしている。本研究は援助行動に限らず、遊びを構成する子どもの行為に着目し、それらとSESとを関連づけることで遊びの価値の共有化を図ろうと試みた研究であるが、上野ら(2017)<sup>5</sup>の結果からも窺い知れるように、SESの発達において遊びに含まれる行動（本研究では行為）に着目する意義は大きいと考えられる。

### 5. まとめ

集団遊びに含まれる行為に着目しながらSESとの関連について客観視することは、遊びの価値を共有する上で有用である可能性が高い。

### 6. 参考文献

1. OECD. Skill for Social Progress: the Power of Social and Emotional Skills. OECD Skills Studies, OECD Publishing, 2015.
2. Tremblay MS, Gray C, Babcock S et al. Position statement on active outdoor play. Int J Environ Res Public Health 12: 6475-6505, 2015.
3. CASEL. Core SEL competencies. <https://casel.org/fundamentals-of-sel/what-is-the-casel-framework/> (access:2022. 6. 20)
4. 野本浩太郎, 石野陽子. 小学校高学年児童における遊び能力と社会的スキルの心理学的研究. 島根教育臨床総合研究, 14: 75-88, 2015.
5. 上野耕平. 運動遊びにおける援助経験が児童の援助自己効力感に及ぼす影響. 香川大学教育学部研究報告第I部, 148: 57-65, 2017.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (C))

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28

研究課題名 (和文) : 長期間の調査・監視を目的としたクモヒトデ型水底移動体の開発

研究課題名 (英文) : Development of brittle star-type underwater mobile robot for long-term research and monitoring

研究者 : ○青木 岳史  
AOKI Takeshi

千葉工業大学  
先進工学部 未来ロボティクス学科 教授

内田 史朗  
UCHIDA Shiro

千葉工業大学  
工学部 先端材料工学科 教授

## 1. はじめに

水中での探査や調査を行うロボットとしては、水中を航行して情報収集を行う AUV や ROV の研究は盛んに行われているが、水底を移動するロボットの研究はほとんど行われていない。海底や川底などは起伏のある地形であり、かつ砂などの軟弱地盤も混在するため、陸上での移動機構をそのまま適応するのは難しい。しかし、水流のある環境下で長時間の定在が必要となる監視業務や、海底での掘削による資源回収作業では、水底を拘束条件として使用できる点は非常に有効であり、水底を移動できるロボットの研究は必要であると考えられる。

そこで本研究では海底に生息するクモヒトデに着目し、図1に示すような水底での長時間の定在が可能であり、かつ不整地である水底での移動性能に優れた水底移動ロボットの実現と、長時間の動作を実現するための水中無線給電システムの構築を目的とする。本年度はクモヒトデの歩容の省自由度化と、脚機構の開発に必要な柔軟素材の構造解析について行った。

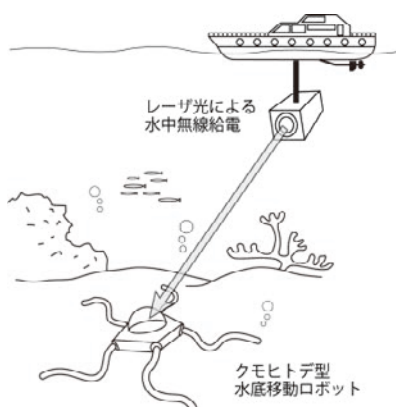


図1 水底調査・監視ロボット

## 2. クモヒトデ型ロボットの省自由度化

クモヒトデは5放射相称 (5角形) の胴体 (盤) から放射状に延びる5本の長い腕を持つ棘皮動物の1種である。同じ棘皮動物であるヒトデ類とは構造が異なり、ヒトデは細かな骨片で外殻を構成する構造に対し、クモヒトデは骨片が癒合してできた腕骨を腕部の中央に持つ

構造となっている。腕骨全体は関節が連なった構造となっているため、腕骨と周りを囲む筋繊維によって腕部は柔軟な動作が可能であり、クモヒトデはこの5本の腕部によって海底において全方向移動を実現している。クモヒトデを脚型ロボットとして展開すると、腕 (脚) を離散的に接地させることができるため、起伏の大きな地形の移動に有利であると考えられる。また陸上を移動する脚型ロボットは自重を支え続けるために多くのエネルギーを消費してしまうが、水中では浮力によって自重を減らすことができるため、水底の移動において脚型ロボットは有用であると考えられる。さらにクモヒトデは腕部を大きく展開すると接地する範囲を大きく取ることができるため、海流などの外乱による転倒モーメントに対して高い安定性を確保することができ、海底での資源掘削作業などへの展開も可能となる。

脚機構を省自由度化するために、本研究では図2に示す螺旋捻転運動を採用する。図2に示すように複数の自在継手を直列に連結して螺旋形状を形成し、さらに自在継手の表面へ螺旋状に配置した複数本の伸縮可能なアクチュエータによって駆動すると、体幹を捻じることなく螺旋形状を回転させることができ、これを螺旋捻転運動と呼ぶ。螺旋捻転運動では地面との接地点を順に伝播することができるため、摩擦の影響を受けることなく全体を移動させることができ、かつ圧力が分散するので軟弱地盤上でも動作可能となる。この運動をクモヒトデ型ロボットへ適用させ、運動の1周期目で移動に必要な変形を加えて胴体を移動し、その後は変形を脚先まで伝播して移動を完結する。

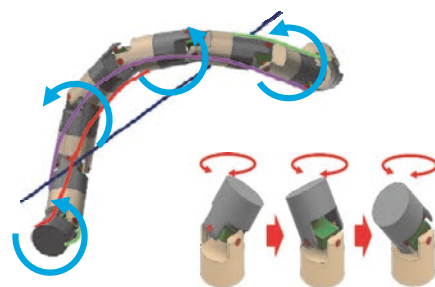


図2 螺旋捻転運動

### 3. 脚機構の開発

先行研究では使用する材料や造形後の特性に応じて光造形機と FDM 方式の 3D プリンタを併用してきた。また FDM 方式では薄肉の造形により変形量を拡大させるために、層間の耐剥離強さの高い方向での造形が可能となる 4 軸 3D プリンタの開発を進めてきた。図 3 に試作した脚機構である連続体脚を示す。腕骨の関節に相当するジョイントは楕円ボールジョイントを採用し、2 方向の屈曲と捻じり方向の拘束を両立した。

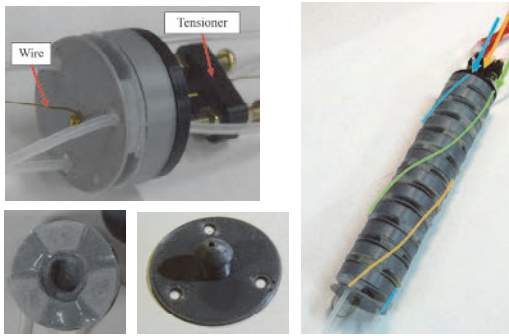


図3 試作した螺旋捻転運動を行う脚機構

先行研究で開発した連続体脚は全て一定の捻じれ角度と屈曲角度で製作されているため、螺旋の形状は常螺旋であった。しかし図 4 左図に示すように常螺旋形状は常に螺旋の中心からオフセットが存在するため、脚機構の根本部を常に一点で固定することが困難であった。そこで図 4 右図に示すように 1 点から開始する円錐螺旋を常螺旋へ収束させる螺旋式を導出し、その螺旋式を再現可能な連続体脚のパラメータを導出した。これによりクモヒトデ型ロボットの胴体に固定可能な螺旋捻転運動により歩容を生成する連続体脚を実現可能であることを示した。

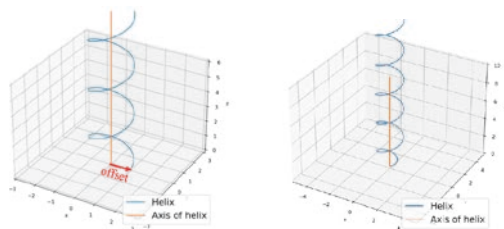


図4 連続体脚で実現可能な螺旋形状の導出

### 3. 弾性体シミュレーション環境の構築

連続体脚を開発するために、TPU で造形した構造体を膨張する天然ゴムの気室で変形させて屈曲する外骨格アクチュエータを開発した。しかし、構造体の設計には大変形に対応する構造解析を行う必要があるため、本研究では構造設計に使用する弾性体シミュレーション環境の構築を行った。本研究では弾性体のシミュレーションに SOFA (Simulation Open Framework Architecture) を採用した。SOFA は計算医療シミュレーションを目的と

したオープンソースの C++ライブラリであり、リアルタイムで柔軟な形状のシミュレーションが可能となる。このシミュレーション環境を用いて図 5 に示すダイヤモンド形状の試験片を作成し、シミュレーションモデルと実モデルの比較実験を行った。特定の形状によって線形、非線形の特徴が得られ、過大な力が加わるとシミュレーションと実モデルの誤差が大きくなることを確認した。これらの原因としては、屈曲時の座屈や、3D プリントによる材料特性の変化が考えられるが、屈曲動作のシミュレーションに有用であることを確認した。

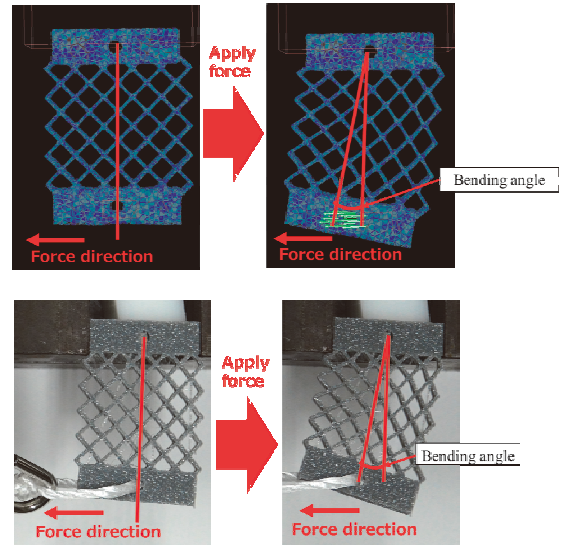


図5 シミュレーションモデルと実モデルの比較実験

### 3. まとめ

本研究では水底に長時間定在して調査・監視を行う水底移動体としてクモヒトデを規範としたロボットの開発を目的として、本年度は歩容の省自由度化の検討と、柔軟素材の構造解析を行うシミュレーション環境の構築について行った。今後は大きな屈曲角を確保する脚機構の開発と、実際の移動に必要な動作の構築を進める予定である。さらに水中での移動実験を実施するために、耐圧性を持ち、かつ大変形に追従可能な防水カバーの開発も進める。

### 本研究に関する主な発表論文

- [1] 小林 暁, 青木 岳史: “クモヒトデを規範とした連続体脚ロボットの開発 -連続体脚の省自由度化に有効な螺旋の検討-”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021, 2P3-H16, 2021
- [2] Takuya Hada, Kenta Iguchi and Takeshi Aoki: “Development of Flexible Deformation Mobile Robot Composed of Multiple Units and Pneumatic Self-Excited Valve,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.2, pp.478-485, 2022



研究項目 : 科研費採択者助成金 (若手研究)

研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28

研究課題名 (和文) : 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

研究課題名 (英文) : Unmanned Construction System with Collaborative Machineries  
for Automation of Civil Engineering/Construction Sites

研究者 : 藤井 浩光  
FUJII Hiromitsu

千葉工業大学  
先進工学部 未来ロボティクス学科 准教授

## 1. はじめに

現在, ICT を活用した建設技術の研究開発が推進されている。現在の日本では, 新たな社会インフラを整備すると同時に, 老朽化が進むインフラの維持点検の必要性が高まっており, 土木・建設現場における作業の高効率化が喫緊の課題となっている。建設機械の知能化は, それらの課題を解決するための有力な手段であり, 従来は人手で行われていた作業の自動化や, 危険な場所における作業の遠隔操作化が求められている。本課題では, 施工現場を無人化し高効率化するためのシステム構築を目指し, 特に施工現場での作業において必要不可欠となる「複数建機の協調作業」に焦点を絞る。具体的には, 1) 複数建機の移動のための位置姿勢推定, 2) 掘削作業における周囲状況の俯瞰のための広域センシング, 3) 複数建機による協調作業 (積み込み) のためのモニタリング・可視化の機能を有する統合的なシステムの構築を目指している。本課題で対象とする複数建機による協調作業の具体的な例としては, 実現場で自動化の需要の高い土砂積み込み作業を対象と定める。土砂積み込み作業は, 油圧ショベルとダンプトラックの連携により達成され, 現場で実施される作業の大半を占める重要な作業である。土砂積み込み作業の概要を図1に示す。

本助成金による研究項目としては, 特に作業状況の可視化に重点的に取り組み, 3) における「ダンプ荷台内の積載土砂量推定と可視化, および土砂積み込み時の移動土砂量のモニタリング」を検討した。まず, ダンプトラックへの積載を効率化するためにダンプトラック荷台内の土砂形状を測定する手法を提案した。ここで, 油圧ショベルからの計測においては, 荷台のあおりや土砂自体による遮蔽の回避

は困難である。これらセンシングにおける欠損部に関して, 時系列の作業データや土砂の性質から形状を補完し計測精度を向上させる手法を提案した。この成果は, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) で発表し, 日本ロボット学会誌の学術論文としてまとめ掲載された (研究成果 [1][2])。次に, ダンプトラックへの積み込み時に正確な状況判断を行うために, 掘削後のバックホウのバケット内の土砂量を作業中に計測する手法を提案した。この成果は, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21 講演論文集 (ROBOMECH2021) や, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) で発表を行った (研究成果 [3][4])。これらについて, 以下で概要を説明する。

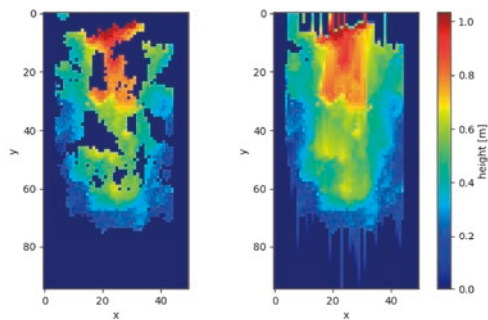
## 2. 成果概要

### 2.1. ダンプ荷台内の積載土砂量推定と可視化

本研究では, 環境に大掛かりな計測装置を設置することなく, バックホウに搭載したセンサのみからダンプトラックの荷台内を計測する手法を提案した。本手法では, LiDAR とカメラの計測データを重畳し車両認識と形状マッチングを用いてダンプトラックの位置姿勢を推定することで, ダンプトラックの荷台を検出する。その上で, 積み込みの度に計測した時系列点群データを用いて荷台内部の土砂の形状を補完することで積載土砂体積を推定する。実機を用いた実験を行い, 積載土砂体積の推定における本研究の有効性を検証した。ダンプトラックの荷台内の土砂の状態を計測し, 可視化した結果の例を図2に示す。バックホウのキャビンからの距離情報を, ダンプトラックの上部から見た数値標高モデルに変換しヒートマップで示している。図



図1 : 造成現場における複数建機の協調作業



(a) 提案手法なし (b) 提案手法あり

図2：ダンプトラック荷台内の可視化

2(a)は提案手法を用いずに計測した結果であり、図2(b)は提案手法による結果である。荷台のあおりや土砂自体による遮蔽の補完を実現し、積み込み終了後の体積計測の真値との誤差もいずれも3%以内であることを確認した。

## 2.2 土砂積み込み時の移動土砂量のモニタリング

本研究では、ノイズや死角に頑健な掘削土砂の体積推定法および土砂の可視化法を提案した。本手法では、図3のようにバックホウのアームのみに搭載した深度センサを用いて、作業装置の稼働中にバケット内の土砂を動的にスキャンし統合することでデータの補正および補完を行う。実機による検証結果を図4に示す。実際の計測対象を図4(a)に示し、計測データの3次元可視化結果を図4(b)に示している。建機のバケット上に掘削した土砂が正確に復元されていることが確認できる。提案システムによる土砂体積の推定結果は、国交省の計測要領に基づく写真測量法と比較して3%以内の誤差で計測可能であることを確認した。

## 3. おわりに

本研究助成では、「ダンプ荷台内の積載土砂量推定と可視化および土砂積み込み時の移動土砂量のモニタリング」に取り組み、実機による検証実験で有効性を確認した。

さらに本研究課題で取り組む、1) 複数建機の移動のための位置姿勢推定、2) 掘削作業における周囲状況の俯瞰のための広域センシングに関しても、例えば1)の複数建機による協調作業を実現するためには、建機同士で互いの位置姿勢を正確に認識している必要がある。しかし、山間部や都市部などにおける施工現場ではGNSSなどによる測位が困難な場合がある。そこで、本課題では森林環境を題材に大域点群地図を参照したスキャンマッチングベースの自己位置推定手法を検討し、その成果の一部を発表済みである(研究成果[5][6])。また、2)の建機周囲の広域センシングに関しては、上述のバケット内土砂の計測法を発展させ、作業時に移動する作業装置に搭載したセンサを用いることで、作業と同時に広域をセンシングする方法論を検討し、実機による検証までを完了している。この成果に関しては、第40回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2022)で発表予定である。

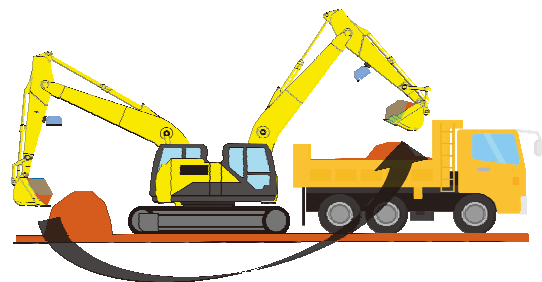


図3：土砂量の動的計測



(a) 計測対象

(b) 3次元復元結果

図4：バケット内土砂量の3次元復元と可視化

## 【研究成果一覧】本研究に関する主な発表論文

- [1] 畠山 佑太, 堂前 雅仁, 守本 崇昭, 泉川 岳哉, 藤井 浩光: “土砂積み込み作業自動化のための遮蔽領域を考慮した土砂形状推定による積載土量計測”, 第39回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2021), 3G1-01, 2021.
- [2] 畠山 佑太, 藤井 浩光, 堂前 雅仁, 守本 崇昭, 泉川 岳哉: “土砂積み込み作業自動化のための遮蔽領域を考慮した土砂形状推定による積載土量計測”, 日本ロボット学会誌, Vol. 40, No. 5, pp. 449-452, 2022. [doi:10.7210/jrsj.40.449]
- [3] 堂前雅仁, 畠山 佑太, 守本 崇昭, 泉川 岳哉, 藤井 浩光: “バックホウ作業装置の動的姿勢計測による多視点からのバケット内掘削土砂体積の推定”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'21講演論文集(ROBOMECH2021), 2P2-A15, 2021.
- [4] 堂前 雅仁, 畠山 佑太, 守本 崇昭, 泉川 岳哉, 藤井 浩光: “バックホウの掘削作業におけるバケット内点群の動的統合による掘削土砂体積推定”, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2021), 2H2-02, 2021.
- [5] 富田 健斗, 畠山 佑太, 藤井 浩光: “林業における自動走行のための大域点群とLiDARデータのスキャンマッチングによる自己位置推定”, 第39回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2021), 1G2-03, 2021.
- [6] 富田 健斗, 畠山 佑太, 藤井 浩光, 斉藤 泰久, 新貝 文昭, 櫻井 恭介: “林業における自動走行のための反射強度を用いたスキャンマッチングによる自己位置推定”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'22講演論文集(ROBOMECH2022), 1A1-L01, 2022.

研究項目 : 科研費採択者助成金 (基盤研究 (C))  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28  
研究課題名 (和文) : 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  
研究課題名 (英文) : Course Design to Promote Critical Thinking Skills by Documentary Video Viewing and Mutual Essay Review

研究者 : ○仲林 清 千葉工業大学  
NAKABAYASHI Kiyoshi 情報科学部 情報ネットワーク学科 教授  
池田 満 北陸先端科学技術大学院大学  
IKEDA Mitsuru 知識科学研究科 教授  
田中 孝治 金沢工業大学  
TANAKA Kouji 情報フロンティア学部 講師

### 1. はじめに

批判的思考力は、21世紀型スキル[1]の中に位置づけられるなど、多くの論考や教育実践が存在し、その重要性は論をまたない[2]-[4]。本稿では、講義型の多人数授業で、批判的思考を促進するための授業設計を提案する。学習者の経験が想定される問題領域に関して、知識体系の説明、具体事例のビデオ視聴、分析レポートの作成と自他レポートの比較・吟味を行う。この過程を通じて事例ビデオの内容を「知識体系に従って論理的に」、「真正な文脈での目標志向的思考」で分析し、「自他の思考過程を吟味・内省」する、という批判的思考を促す。

### 2. 批判的思考と教育方法

批判的思考は「規準に従う論理的・合理的思考」、「推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」、「文脈に応じて実行される目標志向的思考」という3つの観点で定義される[5]。また、批判的思考の教育方法は大きく、「一般原則を教えるジェネラルアプローチ」、「特定科目の中で批判的思考を明示的に教えるインフュージョンアプローチ」、「特定科目の中で批判的思考を誘発させるイマージョンアプローチ」に分類される[2], [4]。いずれの場合でも、学習者の相互作用促進のためグループワークなどを取り入れる形態が多いため[4]、多人数授業への拡張が難しいという問題がある。また、学習者の協力が必ずしも効果を産まないというメタ分析も存在する[3]。これに対し、本研究はグループワークなどを伴わない講義型の多人数授業で批判的思考を効果的に促すための授業設計の確立を目指す。

### 3. 提案する授業設計

本授業設計は、前述の批判的思考の3つの観点を包含し、「特定科目の中で批判的思考を明示的に教えるインフュージョンアプローチ」に近い形態を採る。授業設計の枠組みを図1に示す。学習者が経験・既有知識を有すると想定される問題領域の理論・知識体系を説明し、知識体系の観点に基づいて具体事例のビデオを視聴させ、分析レポートを提出させる。次回授業で全員のレポートを配布し、教員が適宜紹介して、自他の考えを比較・吟味させる。必要に応じてこれを繰り返す。この過程において、上記の3つの観点を明示的に伝えることで、以下のように批判的思考を促進する。

- 観点1: 規準に従う論理的・合理的思考  
対象問題領域として、「組織における問題解決」[6]、「企業のビジネスモデル」[7]など、われわれが授業実践でこれまで扱ってきたものを取り上げる。これらの領域では、明確な正解はないが、経験から導かれた体系的な理論や知識が存在する。これらの理論・知識を現実の場面に適用したレポートを作成させることで、状況の論理的な分析が可能となり、合理的な解決策の見通しが得られる、という思考を促進する。

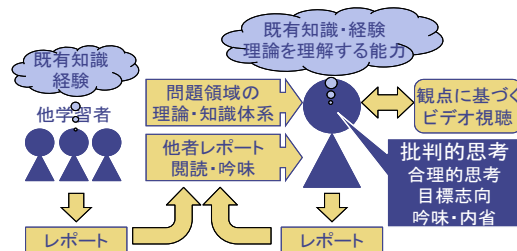


図1 授業設計の枠組み

● 観点 2：推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考

批判的思考において、自身の思考をメタ認知的にモニタリング・コントロールすることは非常に重要である[5]。本研究では、これを促進させるため、他者レポートの閲読を活用する。同じビデオを視聴してこれを体系的知識を適用して様々に解釈していると考えられる他者のレポートを閲読させ、自身の解釈・分析と比較させることで、自身の思考プロセスを内省的に振り返らせる。

● 観点 3：文脈に応じて実行される目標志向的思考

批判的思考は、現実の目標に照らして適切な状況で発揮することが重要である[5]。ビデオでは、現実の真正な文脈における登場人物の問題解決行動が描かれる。彼らの問題解決の目標・文脈に鑑みて、脱文脈化された体系的知識をその状況に適用することが適切か否かを検討させることで、文脈に応じた目標志向的思考を促進する。

#### 4. 具体的な授業例と期待される効果

図 1 に示した授業設計の枠組みは著者らの先行研究[6], [7]と同様のものである。先行研究では、問題解決やビジネスモデルに関する体系的知識の習得自体が目的であったが、これらの実践の授業評価では、観点に基づくビデオ視聴や自他レポート吟味で理解が深まった、という明確な結果が得られており、授業を通じて批判的思考を暗黙的に行っている蓋然性が高い。また、自身の経験をレポートに表出した学習者の授業評価が高くなる、というデータも得られており、自身の経験を知識体系から論理的に内省していることも期待される。

しかし、これまでの実践の主眼は学習主題の理解であり、学習者の思考過程への介入やその評価検証は行っていなかった。本研究では、授業設計の枠組みは保ちつつ、批判的思考を促進させるための思考過程への介入を組み込み、学習者に批判的思考やその基盤となる経験・既有知識と知識体系の統合を陽に意識させることを狙いとしている。

例えば、「組織における問題解決」[6] で用いた「仕事の流儀」のビデオで、旅館従業員の業務改善打合せが感情的発言によって混乱する場面がある。この場面は、問題解決の知識体系の視点からは、「事実共有」、「ファシリテーション」、「組織ビジョン」など複数の重要な要素の欠如と解釈でき、学習者のレポートはこれらの複数の視点を含んだ多様なものとなることが想定される。しかし、先行研究では、他者レポートの閲読は行っていたが、自らのレポートとの比較吟味までは指示していなかった。本研究では、上記の「観点 2：推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」に鑑みて、レポート紹介で複数のレポートに含まれる異

なる視点を強調し、次のレポートで自他レポートの比較記述を指示して、自らの思考過程を意識的に吟味・内省させる。

また、先行研究では、学習者の経験や既有知識との結びつきを重視した設計を行った。例えば、「組織における問題解決」では、大学生のサークルやアルバイトでの経験が問題解決の体系的知識と結びついて理解が促進されることを確認している。本研究では、さらに、自身の経験を「観点 1：規準に従う論理的・合理的」、「観点 3：文脈に応じた目標志向的思考」から振り返らせることで、自身の経験を体系的知識で裏付けることが課題領域における批判的思考に活用できるというメタ認知の促進を図る。

2021 年度は上記の観点に基づいて、これまで実践で扱ってきた「企業のビジネスモデル」に関する複数授業について、批判的思考の組み込み、評価方法などの検討を進め、オンデマンド講義の準備を行った。2022 年度は、この授業を実施し、結果の分析、以降の授業改善を進める。

#### 本研究に関する主な発表論文

- (1) 仲林 清, 田中考治, 池田 満: ビデオ視聴と自他レポート吟味による批判的思考力育成のための授業設計, 教育システム情報学会 第 46 回全国大会, 159-160 (2021)

#### 参考文献

- [1] P. グリフィン, 他 (編), 三宅なほみ, 他 (監訳): 21 世紀型スキル: 学びと評価の新たなかたち, 北大路書房 (2014)
- [2] Ennis, R.H.: Critical Thinking and Subject Specificity: Clarification and Needed Research, Educational Researcher, 18, 4-10 (1989)
- [3] Abrami, P.C.: Instructional Interventions Affecting Critical Thinking Skills and Dispositions: A Stage 1 Meta-Analysis, Review of Educational Research, 78, 1102-1134 (2008)
- [4] 道田泰司: 批判的思考教育の展望, 教育心理学年報 52, 128-139 (2013)
- [5] 楠見 孝: 批判的思考力を育む一学士力と社会人基礎力の基盤形成一, 有斐閣 (2011)
- [6] 仲林 清: 組織における問題解決を主題とするビデオとオンラインレポートを活用した授業実践, 教育システム情報学会誌, 32(2), 171-185 (2015)
- [7] 仲林 清: ビジネスモデルにおける IT の活用を主題とするビデオとオンラインレポートを活用した授業実践 —コンビニエンスストアの事例を題材に—, 教育システム情報学会誌, 34(2), 131-143 (2017)

---

研究項目 : 科研費採択者助成金  
研究期間 : 2021/5/28 ~ 2022/2/28  
研究課題名 (和文) : 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  
研究課題名 (英文) : Development of a case database that promotes problem finding in lessons in higher education:  
Focusing on analogical force

研究者 : ○高橋 暁子 千葉工業大学  
TAKAHASHI Akiko 情報科学部情報ネットワーク学科 教授

竹岡 篤永 新潟大学  
TAKEOKA Atsue 教育・学生支援機構 特任准教授

根本 淳子 明治学院大学  
NEMOTO Junko 心理学部 准教授

---

## 1. はじめに

本研究の目的は、統合型問題解決学習環境の基盤となる授業事例DBの構築である。本DBで扱う授業事例とは、現実の実践を可能な限り文章化したケース教材を意味する。本年度は、授業事例DBの設計を検討するために、高等教育を題材としたケース教材の先行研究調査と、1件の授業実践を対象にしたケース教材の試作を行った。

## 2. 背景

2008年のFDの義務化に伴い、高等教育においてもインストラクショナルデザイン(ID)の重要性が浸透しつつあるが、教員による自分自身の授業改善を超えて、他者の授業改善を支援する人材を育成する取り組みは多くはない。たとえば、日本教育工学会のFD研修会(松田ほか2017)では、2018年より添削者研修が始まり、他者の授業分析レポートに対してアドバイスやコメントを行う人材を育成している。しかし、「授業分析レポート」は授業実施者が研修で学んだ観点に基づいて省察・整理した内容であるため、比較的授業の問題点が見出しやすいと思われる。実務への接続を考えると、他者との対話や授業観察などから様々な情報収集を行い、問題点を発見する力こそ重要だと考えられる。

そこで、添削者研修修了相当の対象者に対して、あいまいで複雑な事例から問題点を見出す過程の疑似体験を積むことで、問題発見スキルの育成を支援できないかと考え、ケーススタディ教育に着目した。ケーススタディ教育(ケースメソッド教育とも呼ぶ)は、ビジネススクールでの教育手法として始まり、他の領域に広まった。ケーススタディ教育にはいくつかのバリエーションがあるが、いずれも中心となるのはケース教材である。本研究ではケーススタディ教育設計の第一歩として、試行的に大学授業のケース教材を開発し、今後の教材設計

方針を検討することとした。

## 3. 高等教育を題材としたケース開発の先行研究

米国におけるインストラクショナルデザイナー養成課程で使用するテキストの一つに“The ID Casebook”(Erhmer et. al 2019)がある。ビジネススクールモデルに基づいたケーススタディへのアプローチを使用した本書(5版)は、初等中等教育(6編)、高等教育(12編)、企業内教育(8編)の3つのセクションで構成され、合計26編のケースが収録されている。たとえば、「HIV/AIDSの対面ワークショップのオンライン化」というプロジェクトが示され、担当者間の設計方針の違いやセンシティブな内容の扱い方の問題などが重なって、複雑で現実的なストーリーが展開されている。しかし、これらの事例は米国の文脈で書かれており、翻訳しても日本では使いにくいと思われる。

日本においては、初等中等教育を題材にしたケーススタディ教材はいくつかあるものの(岡田・竹鼻2011、川野2012、牛渡2012)、高等教育を題材としたものは見られなかった。

## 4. ケース開発の試行

### STEP 1: 情報収集

ケース教材は実際の出来事をベースにすることが原則であるため、多くの場合は当事者へのインタビューから始める。本研究でも大学教員1名に協力してもらい、授業実践に関する半構造化インタビューを行うこととした。事前に用意しておく質問は、次のステップでIDの観点で整理するため、先行研究で開発した“8つの質問ツール”(竹岡ほか2019)を参考にした。また、さらなる情報収集のため、当該授業の見学も行い、配布資料

等をいただいた。

## STEP 2 : インタビュー内容の構造化

インタビューは録音データをすべてテキスト化し、再度、8つの質問に分類して整理した。

## STEP 3 : ケース原案の執筆

第一著者がインタビューデータに基づいて執筆した(図1)。執筆にあたっては、ケース開発の書籍 (Vega 2017, Module 3) を参考に、過去形で書くこと、主人公視点で書くこと、冒頭で読者を惹きつけることなどに配慮した。ケースの分量は読みやすさを重視し、A4 版 2P 程度とした。

また、このケース原案を協力教員に見せ、事実認識を確認した。

## STEP 4 : 練習ケースと問いの開発

ケース原案を、学習目標に合わせて教材化していく。本教材の目標は大きく分けて2つあり、(1) 十分な情報収集ができること、(2) 事実に基づいて問題点を発見できることである。

そこで (1) の練習をするために、ケース原案から8つの質問のいずれかに該当する部分を抜き、あえて情報を隠した練習版のケースを用意することとした(図2)。たとえば、図1の下線部(科目の狙いや授業方法)が図2では省略されている。さらに、学習者への問いとして、ケースの登場人物に問いかけるべき言葉をいくつか選択肢として用意した。

また、(2) の練習のために、先行研究(根本ほか 2017)に基づき、「目標」「評価」「方法」のどれに問題があるかを尋ねる問いを選択肢として用意した。また、その根拠を問うこととした。

## 5. おわりに

本研究ではケーススタディ教育設計の第一歩として、試行的に大学授業のケース教材を開発した。本研究で用いるケース教材は、8つの質問に関する情報をすべて含んだケース原案を用意し、必要情報を抜いている点に特徴がある。

今後、試行版ケース教材の形成的評価をし、ケースの情報量や教材の効果を確かめたうえで、ケースの追加を行い、本開発をしていきたい。また、ID 専門家等による専門家レビューも行い、熟達者が過去の経験から当該授業の問題点を類推する過程を明らかにして教材に反映していきたい。

## 注記

本稿は高橋ほか(2021)の発表原稿に基づいたものである。

「大学教育と自身の学びを再考する」は選択科目で、履修者のほとんどは学部1年生(40名程度)である。例年、この授業の履修登録の時点では、履修者が所属する学部にはあまり偏りが無い。しかし、だいたい初回授業の後で医学部の学生は履修をあきらめていった。この科目は学生の主体的な学びを狙いとしていて、毎回の授業は、教員が用意するテーマに沿ったグループディスカッションがメインだった。ディスカッションを有益にするため予習や復習も課している。よって、必然的に学習時間が長くなり、国家試験を目指したカリキュラム編成で必修科目が多い医学部の学生からは「面倒な科目」という認識を持たれ、懸念されているようだった。

図1 ケース原案

「大学教育と自身の学びを再考する」は選択科目で、履修者のほとんどは学部1年生(40名程度)である。例年、この授業の履修登録の時点では、履修者が所属する学部にはあまり偏りが無い。しかし、だいたい初回授業の後で医学部の学生は履修をあきらめていった。国家試験を目指したカリキュラム編成で必修科目が多い医学部の学生からは「面倒な科目」という認識を持たれ、懸念されているようだった。

図2 練習版(情報不足ケース)

## 参考文献

- 川野司(2012) 教師のためのケースメソッドで学ぶ実践力, 昭和堂, 京都
- 松田岳士, 根本淳子, 鈴木克明(編著)(2017) 大学授業改善とインストラクショナルデザイン, ミネルヴァ書房, 京都
- 岡田加奈子, 竹鼻ゆかり(2011) 教師のためのケースメソッド教育, 少年写真新聞社, 東京
- 根本淳子, 高橋暁子, 岩崎千晶, 鈴木克明(2017) FDワークショップ最終レポートの添削コメント分析. 日本教育工学会 第33回全国大会(島根大学) 発表論文集, 483-484
- 高橋暁子, 根本淳子, 竹岡篤永(2021) 大学の授業を題材とした問題発見を促す練習ケース開発の試行. 日本教育工学会(オンライン) 2021年秋季大会発表論文集, 109-110
- 竹岡篤永, 高橋暁子, 市川尚, 根本淳子, 鈴木克明(2019) 大学版上級ID専門家養成講座: 授業改善支援のための質問の開発. 日本教育メディア学会第26回年次大会(徳島文理大学) 発表集録, 57-58
- 牛渡淳(2012) 「校長の専門職基準」準拠ケースメソッド事例集, <https://motokane-lab.com/~motokane/index.php?id=216> (2021年7月3日閲覧)
- Vega, G. (2017) The Case Writhing Wordbook (2ed.). Routledge, New York

# 〔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(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
2	基盤研究(B)	小澤 俊平	二元系合金融体の表面張力に及ぼす組成および酸素吸着の影響解明
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)	渡邊 宇外	ミトコンドリアゲノムから探る樹木の形成層活動と二次木部形成
5	基盤研究(B)	谷本 茂明	マルチペリメータラインに基づく多層防御セキュリティシステムの研究開発
6	基盤研究(B)	國宗 永佳	教育実践研究と教授・学習支援システム研究とのマッチングプラットフォームの開発
7	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
8	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
9	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
10	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
11	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
12	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
13	基盤研究(C)	佐藤 徹治	人口減少・災害リスク・新たな移手段の普及を踏まえた都市施策の評価手法の開発
14	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
15	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
16	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
17	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
18	基盤研究(C)	柴田 裕史	光応答性ヤマス粒子を用いたピッカリングエマルジョンの調製および内包物放出制御
19	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
20	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
21	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
22	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
23	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
24	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
25	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
26	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
27	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
28	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
29	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
30	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
31	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
32	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
33	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
34	基盤研究(C)	魏 秀欣	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
35	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
36	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
37	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
38	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
39	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
40	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
41	基盤研究(C)	浜野 志保	近代ドイツにおけるダウジングの流行
42	基盤研究(C)	徐 春暉	投資時間の不確実性を取り入れたポートフォリオ選択問題に関する研究
43	基盤研究(C)	三浦 元喜	プログラミング教育における細粒度活動履歴に基づくラーニングアナリティクス
44	基盤研究(C)	松井 伸介	AFM 触針スクラッチ加工による加工現象の研究
45	基盤研究(C)	宮田 高道	確率的非分解型テンソル復元とその画像・信号処理への応用
46	基盤研究(C)	鎌倉 浩嗣	イメージセンサ型可視光通信のための通信範囲拡大技術
47	基盤研究(C)	中静 真	結合畳み込み型辞書学習によるクロスモーダル信号確定と非接触センシングへの応用
48	基盤研究(C)	安川 雪子	ホットスポットと量子効果の増強を起源とする新原理磁気物質:センサ材料の新開発
49	基盤研究(C)	鴻巣 努	タイおよびベトナムにおける現地採用人材のワークモチベーションに関する研究
50	基盤研究(C)	齊藤 史哲	コネクションリストモデルを用いた消費者語彙における感性情報の抽出と共感構築
51	基盤研究(C)	秋葉 知昭	多次元多状態に拡張した多目的ネットワークの統一的最適設計方法の研究
52	基盤研究(C)	滝 聖子	ワークライフバランス支援のための技術・技能・健康のコミュニケーションデザイン
53	基盤研究(C)	世木 秀明	音声知覚特性を考慮した聞き取りやすく情報伝達に優れた放送方式に関する研究
54	基盤研究(C)	金田 晃一	ヒトは水中環境で自身の身体動作をどの程度再現できるのか?単関節動作による検討
55	基盤研究(C)	秋田 剛	デジタル画像相関法を用いた有限要素解析モデルのデータ同化に関する研究
56	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
57	基盤研究(C)	飯田 一博	音の高精度バーチャルリアリティを実現するための個人化頭部伝達関数の生成
58	基盤研究(C)	熱海 武憲	可視化されたロバスト機構・制御系統統合化設計法の確立と次世代 HDD への応用
59	基盤研究(C)	王 志東	生物の群逃避行動を模倣する群ロボットの反射的振る舞いの高速伝播メカニズムの実現
60	基盤研究(C)	金田 一広	二次設計に対応できる直接基礎の支持力算定式の構築と設計法への展開

61	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
62	挑戦的研究(萌芽)	國宗 永佳	プログラム動作の理解を表出する課題における誤答原因推定手法の開発
63	若手研究	木島 愛	凝結表現の日仏データベース構築
64	若手研究	福嶋 尚子	学校財務経営の法社会学的分析
65	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
66	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
67	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
68	若手研究	小山 勇也	ウェアラブルセンサとVRによる無拘束な介護動作の教示学習システムの開発
69	若手研究	蛭子 彰仁	超幾何級数の値
70	国際共同研究強化(A)	安川 雪子	局在表面プラズモン共鳴から励起されるホットスポット電界による磁気物性の操作
71	新学術領域研究 (研究領域提案型)	安武 伸俊	重力波の理論計算へ向けたクォーク＝ハドロン相転移の色分子動力学による導出
72	研究活動スタート支援	大野 遼	シリカ鉱物を用いた隕石の熱史の定量的な制約手法の開発
73	ひらめき☆ときめき サイエンス～ようこそ 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

---

---

千葉工業大学 プロジェクト研究年報 2022年

Vol.19

令和4年11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