

宇宙構造物工学×デザイン思考

香川大学創造工学部造形・メディアデザイン領域 准教授 勝又 暢久
連絡先：katsumata.nobuhisa@kagawa-u.ac.jp



研究背景

宇宙太陽光発電衛星（Space Solar Power Satellite: SSPS）は、50年以上も前にそのコンセプトが提唱されているものの、実現が難しい超大型宇宙構造物の一つです。その理由の一つがサイズです。現存する最大の宇宙構造物は国際宇宙ステーションですが、その大きさ（面積）はサッカーコート一面分（縦×横の長さが約 100×70 m）です。しかし、図1に示す発電機一体型の SSPS に求められる大きさは、辺の長さが約 2.5×2.5 km とキロメートルオーダーです。さらに、宇宙への輸送が必須であることから、どんなに大きな構造物もロケットフェアリング内（H-IIIB で約 4m×10m）に収まる体積しか運ぶことができません。よって、大面積の構造物も必ず折りたたむなど、コンパクトに収納して輸送する必要があります。（ただし、宇宙での建造を考えない場合です。宇宙建築・建造が可能な場合には、材料のみの輸送となり、構造概念・設計コンセプトから別の考え方になります。）また体積だけでなく重量も輸送時の制約となり、キロメートルオーダーの SSPS を達成するためには、軽量かつ大面積へ展開可能な構造物を用いて、できる限り少ない打ち上げ回数と宇宙での組立により、大型構造物を構築する必要があります。

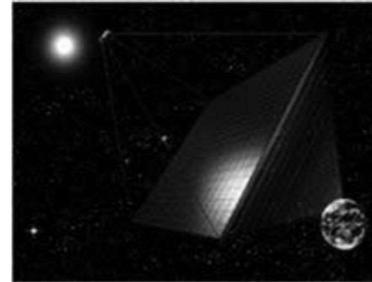


図1 発電機一体型 宇宙太陽光発電システム ©Japan Space Systems

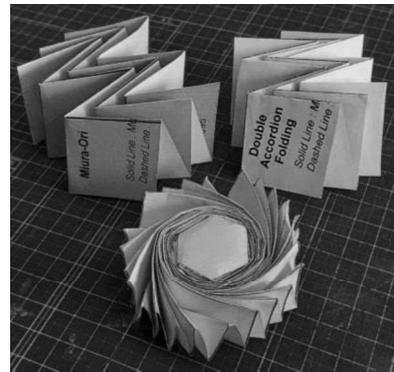


図2 紙の厚みを考慮した折り紙：ミウラ折り（左上）、ダブルアコーディオン折り（右上）と、らせん折り（中央下）

折り紙工学の応用

折り紙やその応用である折り紙工学に着目し、コンパクトな収納と宇宙での安定した展開が実現可能な展開構造物に興味を持って研究しています。図2は、紙の厚さによる収納効率の劣化が起こらないように考案された折り紙です。たとえ紙のように薄いものでも、構造物が大型化すればその厚みの影響は無視できません。そのため、図2のような折り方でコンパクトに収納することは、宇宙展開構造においてとても重要です。

また、SSPS に代表される発電機一体型アンテナのパネルや、段ボール、パッケージに用いる厚紙、一般的な製品の包装など、我々の身の回りのモノは必ず厚みがあります。折り紙工学では厚みをゼロとした理想平面においての折りたたみを考えることが多いですが、エンジニアリングに応用できる折り方の開発を進めてきました。その一例が図3に示す板構造のミウラ折りです。この折り方を使えば、例えばブロックのような厚みがあるものでも、図3下図のような状態で隙間なく収納することが可能です。この折れる板構造は、2021.3～2022.4 で運用された超小型人工衛星「ひろがり」に搭載され、宇宙空間での展開実証に成功しています。

ポスター発表では、デザイン思考×宇宙構造物工学として、このような折り紙工学を応用した製品設計についてご紹介します。

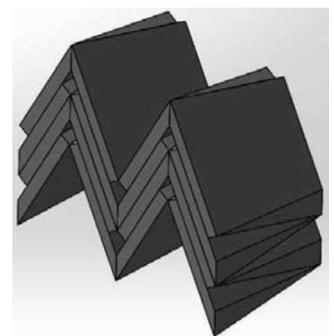
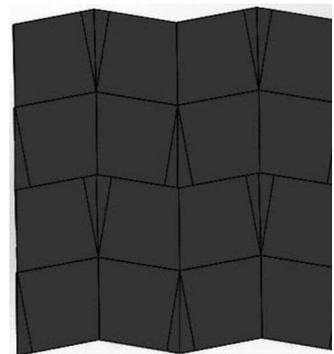


図3 板構造のミウラ折り

立場を超えて想いを共有できる場のデザイン考 —大学病院における手紙イベントアプローチ事例—

香川大学創造工学部造形・メディアデザインコース 准教授 北村 尊義

連絡先 kitamura.takayoshi@kagawa-u.ac.jp



1. 背景と目的

2020年初冬から2023年本稿執筆現在に至るまで、新型コロナウイルス感染症の拡大防止のために、外来患者の付き添いや入院患者の面会を禁止にするなど病院利用に制限を設ける医療機関が急増し、患者の心身に悪影響を与えている。また、医療従事者も業務の負担増加による疲労や常に緊迫した医療環境で働くことによる精神的ストレスも大きいとされている。そのため、病院利用者だけでなく病院空間全体に良い影響を与える方策の導入が求められている。このような状況を打開するには、急激に減少・低下したコミュニケーションの量と質の向上をはかる必要があると考えられる。筆者らは、2021年12月に香川大学医学部附属病院で病院スタッフ(医師・看護師・事務スタッフなど病院内で何らかの業務に従事する全ての人)を対象に、入院者や来院者が立ち入れる共同利用スペースの利用実態を調査した^[1]。その結果、殆どの病院スタッフが患者らの立ち入れるスペースを休息などの私用で利用していないことがわかった。また、その理由として「患者さんのためのスペースは利用すべきではない」とする方々が一定数存在し、病院スタッフというドラマツルギー的意識が強く機能している可能性が考えられた。そこで、次に挙げる要件を掲げ、場のデザインの探究を研究の目的とした。

- ・ 病院スタッフが休憩時間に共同利用スペースを私用で滞在できる理由を提供する
- ・ 入院者や来院者と病院スタッフの交流を実現する

2. アプローチ

筆者らのグループは、上述の要件を満たすためにポスタルアートを提案した。ポスタルアートとは、病院中庭を利用する患者・病院スタッフなどを含めた病院利用者が手紙を書いたり手紙の内容を閲覧したりするための構造物を設置するアートのことであり、「郵便ポスト」と「ホスピタルアート」を掛け合わせて作成した造語である。この手紙の投函や閲覧を通して間接的な交流と新たなコミュニケーションの形を病院内で生み出し、相互理解や寛容性をもたらすことが期待できると考えた。

3. 空色ポスト2022

筆者らのグループは2022年10月31日、11月1日・3日に香川大学医学部附属病院の中庭にてポスタルアートイベント「空色ポスト2022」を開催している。図1はイベント時の様子である。このポスタルアートではヘリウムを注入した紐付きの風船を利用しており、風船の結び目に近い箇所を手紙を取り付けることができるようになっている。利用者が手紙を読んだり取り付けたりするには、風船の紐を手繰り寄せる必要があるが、この行為には、病院内の環境や病状に対するネガティブな思考を軽減するような「希望や未来を手繰り寄せる」行為を重ねている。また、風船から手を離して飛ばす行為は、「願いや想いを未来の自分を含む誰かに託す」行為と重ねている。イベントの内容および成果については特設サイト(図2)を作成したので是非ご覧いただきたい。



図1 イベント時の様子



図2 イベント特設サイト

[1] 北村尊義, 吉田美佳, 橋高佐和子, 桑村風花, 星泉穂, 山本真椰, 大場晴夫: 病院スタッフによる患者の立ち入りできるスペースへの印象調査とそれをうけたホスピタルアートの提案, 第190回ヒューマンインタフェース学会研究会「コミュニケーション支援および一般(SIG-CE-25)」, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.24 No.3, pp.193-198 (2022/05).

材料パラメータ同定問題における最適化手法の適用

香川大学創造工学部造形・メディアデザインコース 講師 竹内 謙善
連絡先 takeuchi.kenzen.u8@kagawa-u.ac.jp



研究の背景と目的

高性能、高機能な製品を作り出すためには、製品形状や製品を構成する材料に工夫を凝らす必要があるが、そのためには一定の試行錯誤の過程を必要とする。従来は膨大な試作や実験を繰り返すことで製品設計を行ってきたが、近年ではコンピュータの高速、大容量化とソフトウェアの進化に伴って、試作や実験をコンピュータシミュレーションに置き換える動きが加速している。

試作や実験をコンピュータシミュレーションに置き換える上で、頻繁に生じる問題は材料パラメータの同定である。有限要素法に代表されるシミュレーション技術を適用するためには、材料パラメータの入力が欠かせないが、材料パラメータは必ずしも自明なものではなく、適切に設定しなければ信頼性の高いシミュレーション結果を得ることができない。そこで、単純な材料試験を行って、その試験結果を再現できるように材料パラメータを同定する、という作業が行われている。この作業を効率良く行うことが製品設計の現場において重要となる。

この材料パラメータ同定問題は、典型的な最適化問題と考えることができ、様々な最適化手法が適用できる。様々な最適化手法を適用することで効率の良い材料パラメータの同定を行う手法を確立することが本研究の目的である。

近年の研究

ランニングシューズのアップパー部に使用されるニット素材の材料パラメータの同定を行った。ニット素材のひずみと応力の関係式（構成則）は、全部で28個のパラメータがあり、これらの値を適切に設定することで、シミュレーション結果と実験結果を一致させる必要があるが、これを手作業で行うことは現実的ではない。そこで、いくつかの最適化手法を適用した結果、ガウス・ニュートン法に基づく手法を用いることで効率良くパラメータ同定できることが分かった。

産業用モーター、変圧器に使用される積層電磁鋼板の材料パラメータ同定にも同様な手法を適用した。ここでは、材料の異方性を表す9つのパラメータを設定する必要があるが、従来は技術者の経験と勘と試行錯誤によって設定していたが、最適化手法を適用することで作業効率を大幅に向上させることができた。

今後の展望

最適化手法を適用することで材料パラメータの同定が容易に行えるようになると、従来は困難だった分野にもコンピュータシミュレーション技術が利用できるようになる。今後は、より効率の良い最適化手法を模索すると共に、より利用しやすいソフトウェアの構築を行っていく。

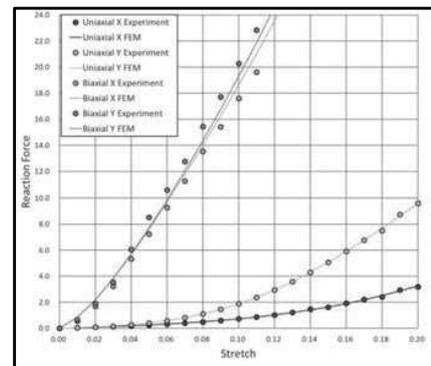


図 1：ニット素材のシミュレーション結果と実験結果の比較

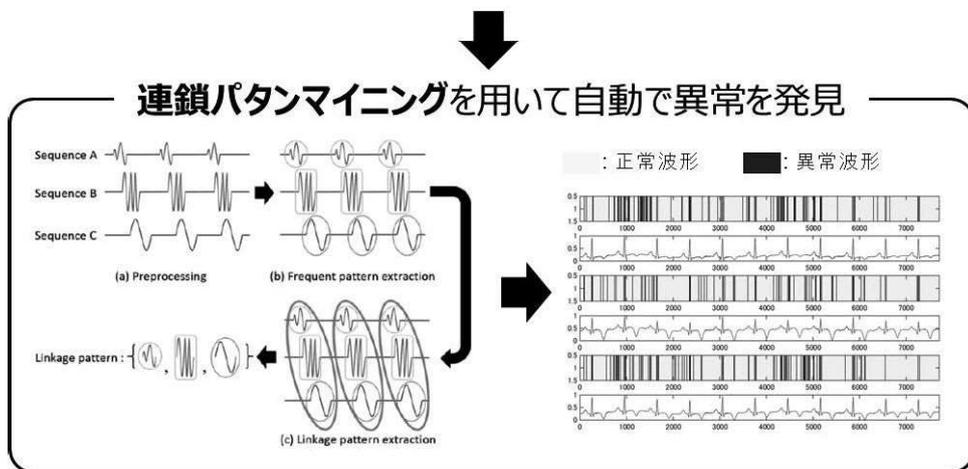
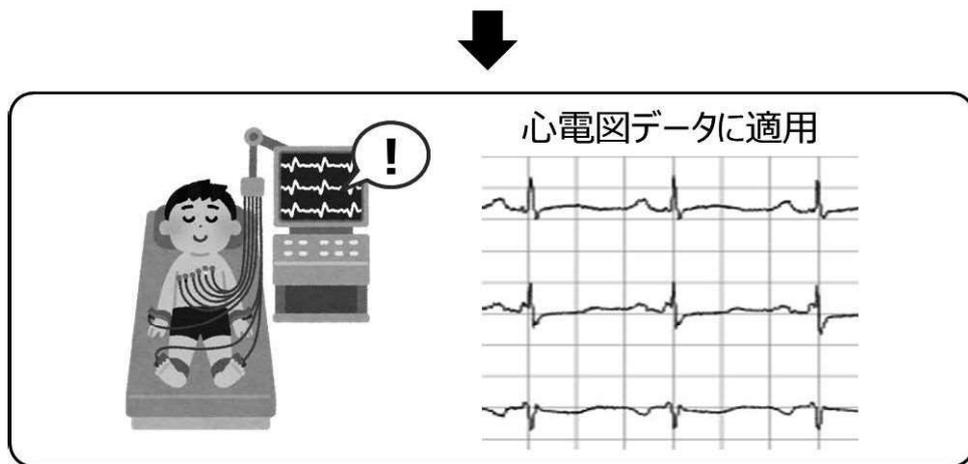
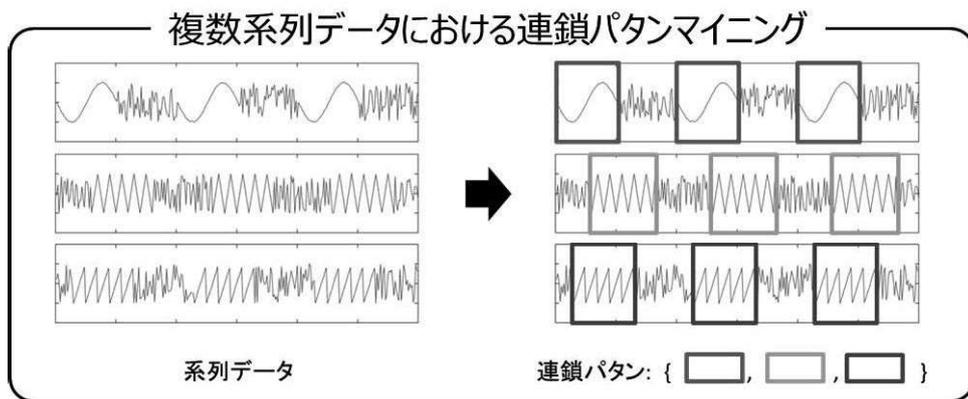
連鎖パターンマイニングを用いた心電図データの特徴抽出

香川大学創造工学部造形・メディアデザインコース 助教 李 セロン

連絡先 lee.saerom@kagawa-u.ac.jp



連鎖パターンマイニングは、複数の系列データにまたがって繰り返す頻出パタンの集合（連鎖パターン）を発見する手法です。この手法では、異なる系列データで出現する頻出パターン間で類似性や相関性を示さなくとも、それらが同時刻帯に連鎖的に出現するならば連鎖パターンとして抽出されます。そのため、バイタルデータや音声データの解析を行う際の有効なツールになると期待されます。本研究では、連鎖パターンマイニングを用いて心電図に適用し、異常波形を抽出することを目的としております。



地方都市郊外における小型乗合交通手段の成立可能性に関する研究

香川大学大学院創発科学研究科 修士1年 石川 凌大

連絡先 s22g252@kagawa-u.ac.jp



1. 研究の背景

近年, 地方都市では少子高齢化や人口減少が進行しており, 公共交通の必要性は高まる一方で輸送人員の低下による路線維持が課題となっている. この問題に対し, 高松市ではバタクスと呼ばれる距離に応じた変動運賃と相乗りを併用したバスとタクシーの中間となる新たな交通モードを提案している. バタクスは乗用タクシー車両を用い, 独自の運賃制度やエリアを限定したドアツードア型デマンド交通という特徴を有している. また, 予約がない際は通常のタクシーとして営業する. このバタクスを現在赤字であるバス路線と置き換えることで運行経費の削減, 補助金の削減, 利便性の向上を目指しているが十分な検証はされていない. 本研究ではバタクスを需要, 収支, 補助額の観点から分析し事業成立可能性について検討する.

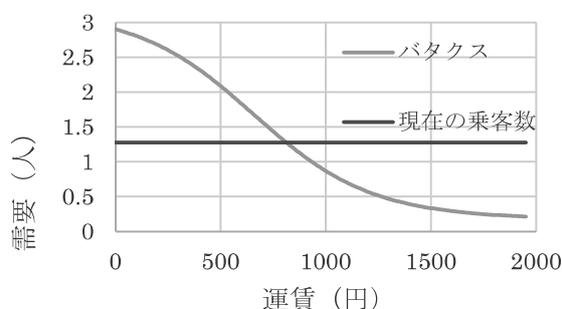


図1 バタクスの運賃と30分当たりの期待需要の関係

2. 分析手法と結果

本研究ではバタクスにおける需要, 収支, 補助額についてそれぞれモデルを作成して評価を行う. 本研究の需要モデルについて, 高松市で行われた導入実証で得られたアンケート結果を基にロジットモデルの各パラメータを推計し, バタクスの運行条件となるように変数を設定してバタクスの需要を推計しモデルを作成する. 対象エリアは導入実証が行われたことでんバスの仏生山川島線付近である. この作成した需要モデルを基に収支と補助額を算定する. モデルの一例を図1, 2, 3に示す.

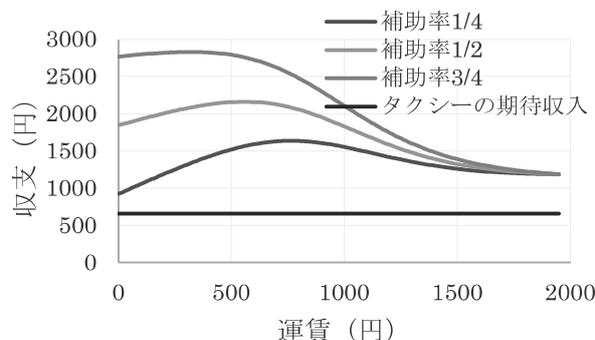


図2 運賃と1時間当たりの収入の関係

3. 考察

本研究の結果より, 運賃や天候などの諸条件が需要, 収支, 補助額に大きな影響を与えることが分かった. また, 今回想定した基では条件の設定次第でバタクスは成立すると考えられる. 今後は分析精度の向上や他地域でも成立するかの検討を行う.

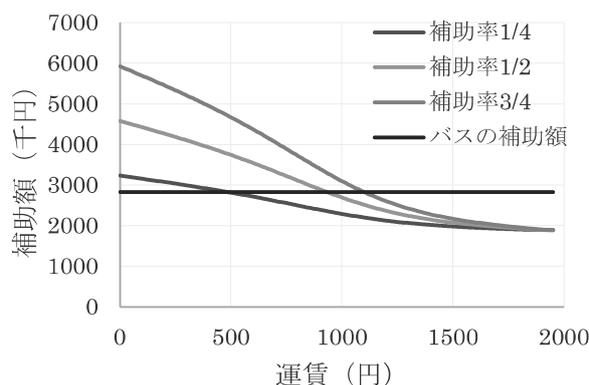
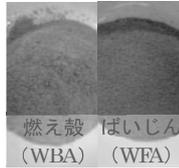


図3 運賃と年間当たりの補助額の関係

SDGs ならびにカーボンニュートラルの達成を目的とした廃棄物の再資源化と コンクリートへの混和の検討

香川大学大学院工学研究科安全システム建設工学専攻 博士後期課程 谷中 彩寧
連絡先 s21d403@kagawa-u.ac.jp

研究背景・目的	対象廃棄物
<p>■ 経済発展にともなう廃棄物量の増加 処分における課題 ✓ 高コスト ✓ 最終処分場のひっ迫</p> <p>➢ 建設資材の代表格: コンクリート</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃棄物を大幅削減する上で有用な材料 → SDGs 目標 12 の達成に貢献 セメント製造過程において大量の CO₂ 排出 → セメント量削減の必要性 (カーボンニュートラルの達成に貢献) 	 <p>➢ 木質灰</p> <ul style="list-style-type: none"> バイオマス発電時に大量排出 焼却の過程や利用する樹木の種類によって、含まれる成分が異なる  <p>➢ FbP</p> <ul style="list-style-type: none"> 漁港等で大量廃棄される魚骨を焼成・粉碎 植物の三大栄養素のうちの一つであるリンを含有

廃棄物のコンクリート（セメント代替）材料への再資源化の検討

試験条件・試験内容

➢ 木質灰混和コンクリート

表 1 各種コンクリートにおける配合表 (kg/m³)

	W	Binder (B)			S	G	CA (%)
		C	WBA	WFA			
B55-WBA0	175	318	0	0	734	992	B×1.0%
WBA-10c	175	286	32	0	731	988	B×1.8%
B55-WFA0	175	318	0	0	734	985	B×1.0%
WFA-10c	175	286	0	32	733	983	B×1.5%

*W/C = 55%, s/a = 43%, CA: 化学混和剤 (AE減水剤)

• 圧縮強度試験 • 溶出試験 (環境庁告示 46号準拠)

➢ FbP 混和ポーラスコンクリート

表 2 ポーラスコンクリートにおける配合表 (kg/m³)

	W	Binder (B)		G	CA (%)
		C	FbP		
B25-FbP0	84	337	0	1547	B×1.0%
FbP-1c	84	333.63	3.37	1547	B×1.0%

*W/C = 25%, 目標空隙率 = 26%, CA: 化学混和剤 (AE減水剤)

- 空隙率試験 (目標値: 21~30%)
- 圧縮強度試験 (目標値: 10N/mm² 以上)
- 植生試験 (葉長測定)

試験結果

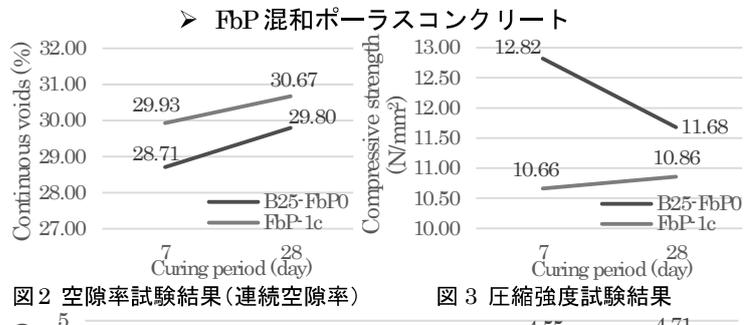
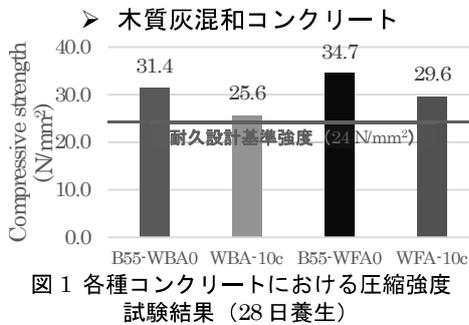
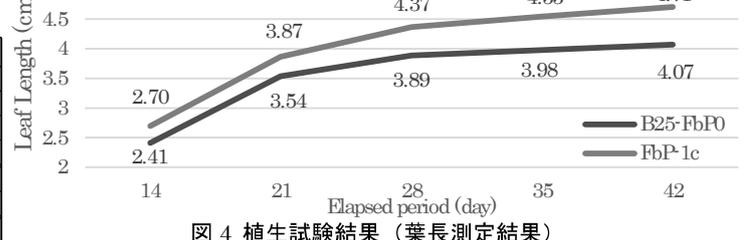


表 3 溶出試験結果 (mg/L)

	Cr ⁶⁺	As	Se	F
B55-WBA0	0.07	0.24	-	< 0.4
WBA-10c	0.05	0.23	-	< 0.4
B55-WFA0	0.09	0.39	0.34	-
WFA-10c	0.08	0.38	0.34	-
燃え殻(WBA)	0.41	0.17	0.007	1.47
ばいじん(WFA)	0.044	0.15	0.11	< 0.4
環境基準値	0.02以下	0.01以下	0.01以下	0.8以下



まとめ

- 木質灰混和コンクリートの強度は普通コンクリートより低下するが、いずれも設計基準強度を上回った。
- 溶出した Cr⁶⁺, As, Se の濃度は環境基準値を超える結果となった。したがって、コンクリートを解体後に再利用する場合は、重金属の溶出量を低減させるための処理が必要である。
- 養生日数の経過にともない、普通ポーラスコンクリートの強度は低下したが、FbP 混和ポーラスコンクリートの強度は 10 N/mm² を維持した。
- FbP 混和ポーラスコンクリートにおける葉長は、普通ポーラスコンクリートよりも長く、伸び率も高い。

機械学習による COVID-19 感染者予測に関する研究

香川大学大学院創発科学研究科 修士課程 土手 大輔

連絡先 22g305@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

2020 年以降、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の拡大防止のために、緊急事態宣言やまん延防止等重点措置の発出等を通じ、人々の行動制限や自粛が行われてきている。特に、人流の抑制や活動の制約は感染症対策の基本であり、時点毎の二次感染を評価する指標である実効再生産数の減少に繋がる可能性が高いことが様々な研究によって示されている^{例え¹⁾}。しかし、感染拡大防止のための自粛と経済活動や精神的なストレスの間にはトレードオフの関係があり、対策の効果をより精緻に把握し、適度な移動・活動制限レベルを探る必要がある。これまでも感染モデルの研究は多く実施されているが、日々蓄積されていく様々なデータ、直面している危機の大きさに比して、分析やクロスチェックが圧倒的に不足している状況にある。本研究では、既往研究のフォローアップを行いつつ、感染者数予測モデルについて基本的な適用事例をもとに考察を行った結果を報告する。

2. 研究概要

本研究では、実効再生産数と人流データである Google コミュニティモビリティレポート²⁾の 2 つのデータを変数として用いる。実効再生産数の算出方法は多数存在するが、今回は Cori et al.による方法³⁾をもとにした R 言語によるパッケージを用いた。算出に必要なパラメータは、一日あたりの感染者数の時系列データと、発症間隔 (1 次感染者が発症してから 2 次感染者が発症するまでの時間) の確率分布が必要となる。前者には、都道府県ごとに公開されているデータを用いた。後者には、Nishiura et al.⁴⁾で報告されている対数正規分布を用いた。その他の詳細は紙面の都合上割愛するが、人流データを説明変数 X 、実効再生産数を被説明変数 y として、サポートベクター回帰 (SVR) によって回帰分析を行った。

3. 分析結果と考察

例として、大阪府の COVID-19 第 3 波 (2020 年

10 月 23 日～2021 年 1 月 4 日) におけるデータを用いた場合を示す。人流データを X 、算出した実効再生産数を y とし、訓練データ 70%、テストデータ 30%に分割して学習と回帰分析を行った。データの写像に用いるカーネル関数として三種類比較したところ、ガウシアンカーネルで最も良好な結果が得られた (図 1)。

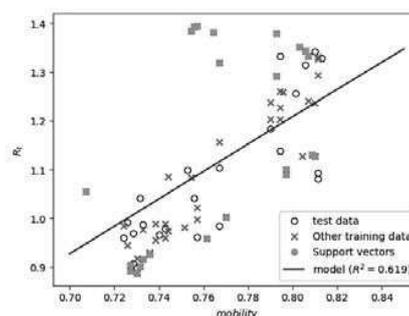


図 1 回帰分析の結果

本結果は単純な線形回帰よりは適合度が高く、ある程度の予測精度を得ることができたものの、変異株に対する発症間隔の変化やアクティビティの種類や地域間移動などの影響を及ぼす様々な条件を無視している。より高度な統計モデルや機械学習の手法との比較も今後の課題となるが、このように少しずつデータ解析を積み重ねていくことが現象の理解や政策の支援に繋がると考えている。

4. 参考文献

- 1) Kajitani, Y. and Hatayama, M.: Explaining the effective reproduction number of COVID-19 through mobility and enterprise statistics: Evidence from the first wave in Japan, *PLoS ONE* 16(3), 2021
- 2) Google: COVID-19 Community Mobility Reports, (<https://www.google.com/covid19/mobility/>)
- 3) Cori, A. et al.: A New Framework and Software to Estimate Time-Varying Reproduction Numbers During Epidemics, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 178, No. 9, pp.1155-1156, 2013
- 4) Nishiura, H. et al.: Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections, *International Journal of Infectious Diseases*, Vol. 93, pp.284-286, 2020

複合現実を活用した災害調査支援システムの開発

香川大学大学院 創発科学研究科創発科学専攻 松田 知樹

連絡先 s22g307@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

災害発生後には、施設などの被災状況、浸水被害など一般被害の状況、災害に伴う社会的な影響などについて事実関係を調査する災害調査が実施される。その中でも、被災した住民などに当時の災害状況をヒアリングする際には、調査員と被災者でコミュニケーションをとりながら、被災当時の災害状況を具体化していく。ただし、証言の中には、「これまでに経験のない雨だった」、「あたり一面が浸水した」などの主観的形容詞や感性語なども含まれ、調査員と被災者間で共通の災害イメージを構築することが難しい。そこで、本研究では、現実空間に3Dのオブジェクトを重ね合わせて表示させる技術である複合現実(Mixed Reality: MR)を活用し、災害状況を再現する災害調査支援システムの開発する。

2. 提案システムの概要

提案システムは、MRデバイスとしてMicrosoft HoloLens2を用いる。提案システムの概要を図1に示す。図1右下は災害当時の写真を示している。提案システムは、MRを用いて図1中心に示すような災害状況を再現する。提案システムは、MRで災害状況を再現する機能として、スライダーによる雨の強さや浸水の高さの調整する機能、橋梁や流木などの3Dオブジェクトを表示/非表示を切り替える機能、それら3Dオブジェクトを空間中に配置する機能を有する。さらに、HoloLens2の空間共有機能を用いて、2台のHoloLens2間で3Dオブジェクト位置の同期を行う。これにより、調査員と証言者がコミュニケーションをとり、お互いの被災イメージを共有することで、MR空間上に被災当時の状況を再現する。

3. 提案システムの評価実験

(1) 実験概要

本実験では、2台のHoloLens2による空間共有機能を用いて、証言者の証言から災害状況を具現化し、再現することができるかを検証した。対象地域は、2004年10月20日に発生した台風23号の被災箇所4か所である。被験者は当時の災害を経験された香川県さぬき市大川町南川地区の住民の7名である。

実験では、被験者からの証言を被験者とコミュニケーションをとりながら当時災害状況の再現する。そして、調査員(今回は筆者)が3Dオブジェクトの配置や雨の強さや浸水の高さの調整しながら当時の災害状況を再現する。実験後、被験者にシステムの機能性の評価とMR技術を活用した災害調査の有用性に関してヒアリングした。

(2) 結果と考察

提案システムの適用前と適用後の結果を図2に示す。MR技術を活用した災害のイメージを共有する、



図1 提案システムの概要



図2 被災箇所における再現の様子
(左: システム適用前 右: システム適用後)

雨、浸水の項目における災害を再現するという点に関しては高評価な意見が得られた。しかし、全体的に3Dオブジェクトの完成度、システムの操作性などの機能性が改善点として多くあげられた。この意見から当時の現場にいるような再現はできているがその3Dオブジェクトの再現度などはまだ不十分であるという結果が得られた。

4. おわりに

本研究では、災害調査支援システムを開発し、現地での適用実験を実施した。今後は実験結果を踏まえて、提案システムの改良を実施する予定である。

クロスモーダル知覚の技術転用を目指した検討

香川大学 創発科学研究科 創発科学専攻 1年 天野 駿吾
連絡先 s22g351@kagawa-u.ac.jp



私達はヒューマンインタフェース分野の研究に取り組んでおり、ユーザインタフェース (UI) の研究や VR 技術を使ったトレーニングシステムを開発しています。これらの研究においては、視覚刺激の提示に伴う人の反応や心の変化も重要であるため、私たちは人の知覚を明らかにすることもテーマとしております。現在は、視覚刺激と身体の関係性や視覚刺激による情動や知覚の変化に着目しております。

今回ご紹介するのは視覚刺激による知覚の変化に関する研究で、クロスモーダル知覚と呼ばれる現象にまつわる研究です。クロスモーダル知覚とは、異なる知覚が互いの感覚に影響を及ぼしあう現象として知られております。このクロスモーダル知覚を応用した触力覚提示技術が注目されています。クロスモーダル知覚の一つである Pseudo-Haptics は、視覚情報を変えるだけで触感が提示可能です。そのため、従来必須であったメカニカルな機構を諸略することが可能です。しかし、Pseudo-Haptics の触感提示によって人が感じる触感の強度や種類については不明瞭な点も残っております。そこで本研究では、Pseudo-Haptics の工学的利用を目的とし、Pseudo-Haptics を心理的側面から分析することに取り組んでおります。

研究キーワード：触力覚提示技術，クロスモーダル知覚，Pseudo-Haptics

(1) Pseudo-Haptics

Pseudo-Haptics とは、視覚情報の変化から生じる擬似的な触覚または触感を感じる現象です。図1のように、マウスカーソルを操作しているときに、データ処理の負荷等によって画面上のカーソルの動きが突然遅くなることがあります。このとき、マウスカーソルに対して抵抗を感じ、これを「重い」という触感として認知されるのが Pseudo-Haptics です。しかし、一種の錯覚現象であるため、触感の種類や強度は受け取る人に依存しており、不明瞭な点がある状況です。

私達は Watanabe の研究を参考に Pseudo-Haptics を生起させる実験を行いました。図2が本研究の結果であり、画面上の物体の速度変化によって、実験参加者は「重さ感」を認知していました。図3は Watanabe の研究結果ですが、彼らの実験の視覚刺激は、本実験の視覚刺激と同じですが、測定した感覚は「衝突感」でした。この2つの研究結果は異なる感覚について尋ねているにも関わらず、強度の変化は似た傾向を示しました。このことから、同じ視覚刺激を提示しても、想起される感覚の種類は異なる可能性が示されました。この感覚の種類を統制するためには、感覚の種類や視覚刺激等の関係性や、情報の受け取り手の属性等について調査することが今後の課題です。

この他にも、Pseudo-Haptics の効果の強度に影響を与える要因として、情報を受け取る人の心理的側面の観点から

「Pseudo-Haptics 生起タスクに没頭していたか」といった実験参加者の動機が、視覚情報の受け取りに差を生じさせ、感覚の強度に影響を与える可能性について、検証の実験を予定しております。

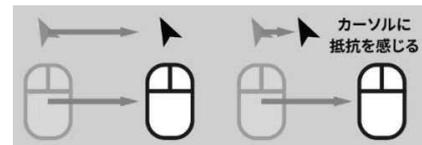


図1 Pseudo-Haptics の例

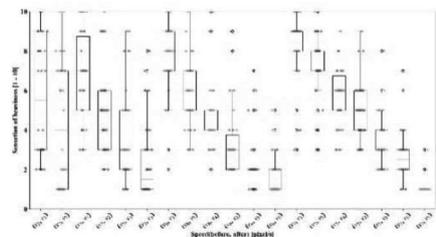


図2 本研究

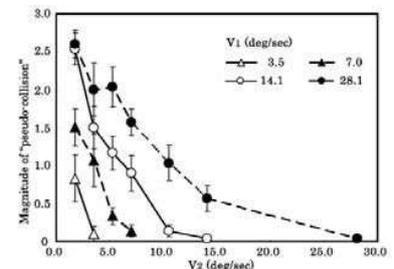


図3 Watanabe らの結果
(Watanabe, 2019)

GPS 及び QZSS のスプーフィング信号生成

香川大学大学院創発科学研究科創発科学専攻 学生 河崎 雄太
 連絡先 s22g405@kagawa-u.ac.jp



GPS (Global Positioning System) とは、米国で運用されている衛星測位システムのことを指す。現在では GPS 以外にも、中国では Beidou, 日本では QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) といったように各国で衛星測位システムが運用されており、これら衛星測位システムは総称して GNSS (Global Navigation Satellite System) と呼ばれている。GNSS のそれぞれの測位衛星から信号を受信することで、より高精度な測位が可能となっており、自動車の自動運転技術やスマート農業の活用等、様々な場面で活躍している。一方で、様々なシステムで利用できるようにするため、GNSS の信号の構造は広く公開されており、誰でも同じ信号を作り出すことが可能である。また、USRP や HackRF などのソフトウェア無線機技術の発展に伴い、誰でも容易に無線信号を作成可能である。これらの背景の下、偽 GNSS 信号を生成し、意図的に位置座標を改竄するスプーフィングの脅威が高まっている。そのためスプーフィング対策は必要不可欠であるが、GPS 以外の信号も生成できるような GNSS シミュレータは非常に高額であり、研究の敷居を高くしている。

本研究では、GNSS スプーフィング検知などの研究促進を目的に、海老沼氏が開発した GPS-SDR-SIM を基に、GPS と QZSS 信号が混在する GNSS シミュレータを開発した。また、開発した GNSS シミュレータと USRP を用いて作成した GNSS 信号を、GNSS モジュールを用いて受信し、実際の衛星から受信した結果と比較評価を示す。

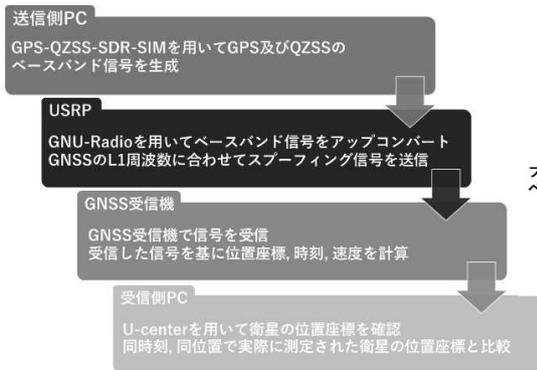


図 実験の流れ

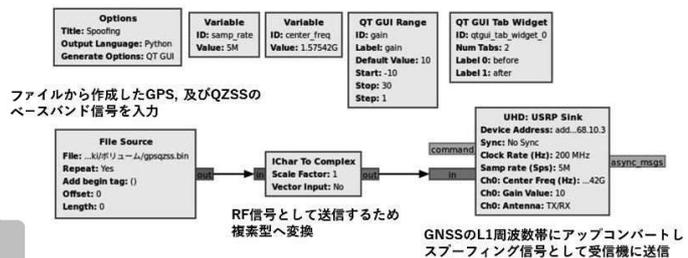


図 GNU Radio

```
D:\GPS_WORKSPACE>gps-qzss-sdr-sim -e brdc2060.22n -q brdc2060.22a
-I 34.29288,134.06397,10 -t 2022/07/25,02:47:00
Using static location mode.
Start time = 2022/07/25,02:47:00 (2220:96420)
Duration = 300.0 [sec]
01 82.9 5.5 25274049.2 4.5 一行目でGPS, 及びQZSSの航法データの読み込み
02 285.4 10.1 24900143.3 4.1 二行目で位置座標, 時刻を入力している
03 43.5 22.3 23400103.6 3.1
06 314.1 49.8 21411155.6 1.9 左から衛星番号, 方位角, 仰角
09 124.0 39.6 22047235.2 2.2 受信機との疑似距離, 伝搬遅延を表している
12 317.1 12.4 24265048.8 3.8
17 123.8 73.7 20598356.0 1.5 二桁の数字がPRN番号の衛星を表している
19 336.6 76.9 20071551.9 1.5
20 235.7 15.3 24273799.2 3.6
J2 187.9 24.6 37078293.9 3.0 J+一桁の数字がPRN192+O番の衛星を表している
J3 58.9 85.1 38593369.2 1.5
J4 174.5 64.9 37253075.4 1.6
J7 192.4 49.4 37103041.9 1.9
Time into run = 300.0
Done!
Process time = 88.1 [sec]
```

図 ベースバンド信号生成画面



図 実際の衛星位置 (左)
 スプーフィングの衛星位置 (右)

2次元空間エンコード化と波長走査を組み合わせた3次元速度分布計測方法の検証

香川大学創発科学研究科 丸研究室 M1 山地 陽翔

連絡先 s22g412@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

光を用いた非侵襲的な速度分布計測は流体を扱う研究や産業に必須の技術となっている。特に流体の空間的な挙動を正確に把握するためには、3次元空間における速度分布を計測する必要がある。レーザドップラー速度計(LDV)は、カメラや複雑な画像処理を用いずに高空間分解能かつ高精度に速度を計測できる方法として広く用いられている。本研究では、バイアス周波数割り当てによる2次元空間エンコード化および非メカニカル測定点走査を組み合わせた3次元速度分布計測用LDVについて提案している。

2. 速度分布計測方法

図1に提案する3次元速度分布計測用のLDV構成について示す。本構成では、まず波長可変レーザからの光を偏波保持スプリッタによって、複数のビームに分割する。分割した各ビームはLiNbO₃位相シフタレイを用いてゼロダイン変調し、それぞれ周波数シフトを行う。これらのビームを二つのビームアレイA,Bに分け、測定面で2次的に交差させることで、各ビーム数の積の個数となる測定点を形成する。周波数シフトにより、各測定点に異なるバイアス周波数を割り当てられるので、信号識別が可能となる。さらに波長を変化させ回折格子からの光の回折角を変えることで、もう1次元方向に非メカニカル走査し、3次元速度分布計測を行う。

3. 実験による原理実証

提案手法による速度分布計測の有効性を検証するために、4×4チャンネルの光学系を構築し実験を行った。波長可変レーザから出力する波長は1537-1553 nm (4 nm 間隔)とし、それぞれ各測定点のビート信号スペクトルを測定した。測定対象はアルミの回転ターゲットとし、回転速度は $0, \pm 2.0 \text{ s}^{-1}$ とした。ビート信号スペクトル測定結果からビート信号は、回転速度に応じてバイアス周波数からドップラー周波数シフトしていることが確認できた。また、測定したビート信号の周波数シフト量から速度成分の算出を行った。その結果を各波長での速度成分理論値と比較したグラフを図2に示す。測定した速度成分は少しばらつきがあるものの理論値とよく一致していることが確認できた。各回転速度で測定した速度成分の平均値における二乗平均平方根は4.95-10.49 mm/sとなった。これは、理論値から2.5-4.8%の誤差に相当する。

4. おわりに

空間エンコード化による複数点同時計測と波長変化による非メカニカル測定点走査の組み合わせは、高精度な3次元での速度分布計測を実現するうえで有効な方法であると分かった。現在は波長合分波器を用いた波長エンコード化を組み合わせた3次元空間同時計測について検討を行っている。

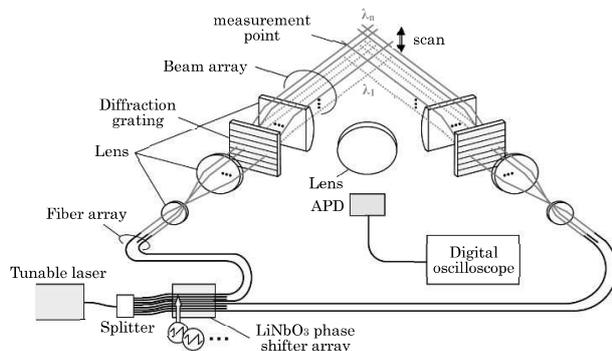


図1 3次元速度分布計測用のLDV構成

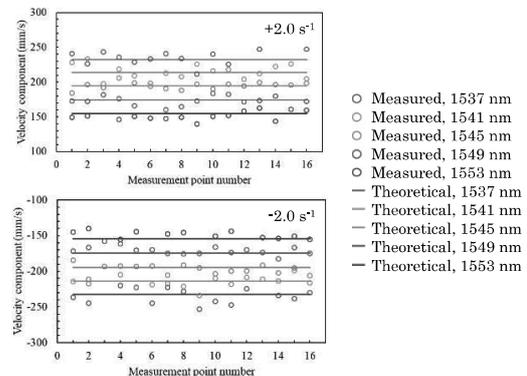


図2 各測定点での速度成分測定結果

ヒトの運転理解に向けたデータとシミュレーション技術応用

香川大学創造工学部機械システム工学領域 講師 堤 成可
連絡先 tsutsumi.shigeyoshi@kagawa-u.ac.jp



研究概要

事故のない安全で快適な移動のため、シミュレータでの走行データや、実路でのドライブレコーダの記録情報を用いた、歩行者や自転車など交通参加者や、運転者の行動分析を行っています。ここではその中でも、運転者の好みにあわせた違和感の少ない快適な運転を再現することを目指し、ドライバの運転時の習熟の過程や特徴の変化から、本人が目指す良い運転を推察し再現するための特徴抽出方法について報告します。

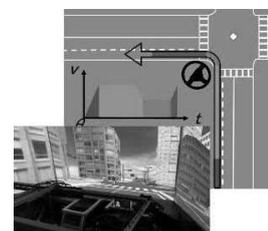
ドライバの交差点左折の運転行動把握と特徴抽出

本研究では、ドライバの好み特定に向けた特徴抽出を、ドライバの運転時の操作とそのばらつきから検討する。同環境での習熟が進み運転が変化していき、ふらつきや急動作が少なくなる運転操作行動や車両挙動が、その人が目標とし目指している運転である考え、それらの“ばらつき”が少なくなる行動や挙動を重要視している特徴として抽出する。交差点左折時の行動や挙動を、交差点進入に向けた目標軌跡の決定、加減速と速度調整、操舵のタイミング、量、修正、その行動の結果としての車両横加速度、旋回中の位置、終了後の修正量に着目し、それぞれについて評価を行う。



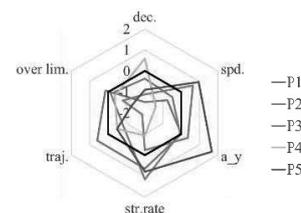
ドライビングシミュレータによる実験と評価

本実験では、交差点旋回で重要なドライバから見た車両の横方向の景色再現のため、実車両の大きさを構成した定置型三面式ドライビングシミュレータを用いる。片側 2 車線の直線路が交差する交差点コースを自車のみで、交差点約 150m 手前から発進、40km/h まで加速、左折に向けて減速、交差点を左折、第一走行車線を再加速する走行を 1 試行とする。これらの行動やタイミングについては実験参加者の判断に委ねる。手順として、まずは DS の操作感に慣れてもらう走行の後、最低 20 回、最大 40 回の中で“同じような運転を繰り返すことができ、これよりも良い走行はできない、前より上手くはできない”もしくは“疲労などを感じ、操作への集中が難しい”と感じるまで走行を行ってもらい。全走行終了後、ドライバ自身の感覚で 5 回刻みの回数で“最も上手く運転できていた”ところを回答してもらい。分析する際には、評価対象のパラメータを、回答された走行回数付近の 5 回と、それより前の 5 回分の走行のデータを比較する。



特徴の抽出結果と今後の展望

実験参加者ごとに各パラメータについて分析を行い、5 回ずつの平均値と分散を比較した。一例として右下図は各ドライバのパラメータの分散の上昇量を対数を用いて示した。ドライバ毎に分散が減る部分が異なることがわかる。また、平均も分散も変化しないものもあり、その人固有の運転の特徴と考えることもできる。これらの変化や変化しないところを抽出することで、目標や、固有の特徴を明らかにし、それらを運転の支援や自動化に役立てることを進める。



本内容の一部は、学生が 2022 機械学会交通物流部門大会で報告済み。

中赤外パッシブ分光イメージングによる遠隔での非侵襲血糖値モニタリング

香川大学大学院工学研究科知能機械システム工学専攻 博士後期課程3年 北崎 友哉

連絡先 s20d501@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

我々は、中赤外パッシブ分光イメージングによる非侵襲血糖値センサーの実現を目指している¹。中赤外分光法を用いた非侵襲的な血糖値センシングの実現が期待されているが、実用的なデバイスはまだ開発されていない。本手法は人体からの放射光を遠隔で分光イメージングでき、睡眠中の低血糖発作の検出や集団での高血糖の検出など、糖尿病患者のリアルタイムモニタリングへの応用が期待される。さらに、提案手法はさまざまな物質の遠隔測定を可能にする技術革新につながる可能性がある。

2. 中赤外パッシブ分光イメージングによる手首からのグルコース起因の放射光検出

図1に実験構成及び計測結果を示す。図中左上に示すように、前腕を計測部位として、600mm離れた距離から結像型2次元フーリエ分光装置によって計測した。図中右上にグルコースの特徴的な放射ピークである9.65 μm の放射強度を疑似カラーで表示した放射強度マップを示す。太い血管の存在する手首の中心部において放射強度が高くなっていることを確認した。また、図中左下に、提案手法で取得した分光放射スペクトルとフーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) で計測したグルコース水溶液の吸収スペクトルを示している。放射と吸収は所謂ネガとポジの関係にあることが知られており、同一波長にピークを示す。グラフと確認すると、9.25、9.65 μm において特徴的なピークを確認でき、グルコース起因の放射光の検出に成功した。10分毎の経時モニタリングの結果を右下に示す。実線が提案手法による放射強度の推移であり、破線が侵襲型血糖値センサーで計測した血糖値の推移である。放射強度と血糖値推移に高い相関があることを確認し、本手法における非侵襲血糖値センサーの実現可能性を実証した。

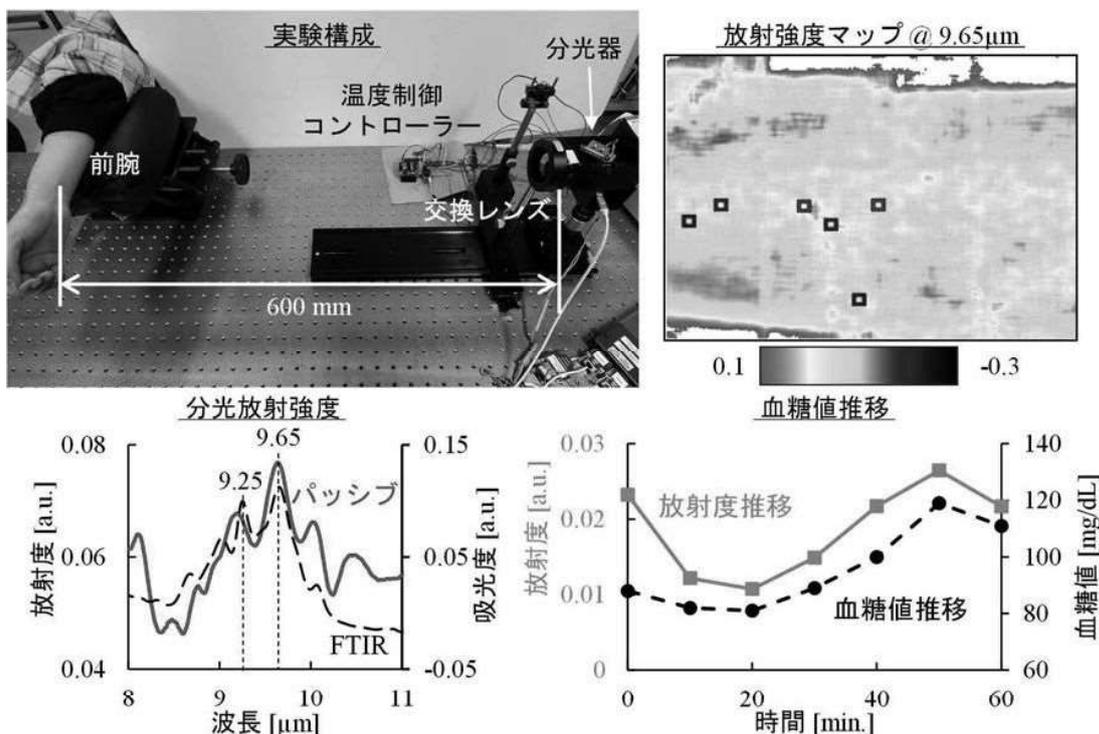


図1 中赤外パッシブ分光イメージングによるグルコースモニタリング実験

参考文献

1. Kitazaki T, Morimoto Y, Yamashita S, et al. Glucose emission spectra through mid-infrared passive spectroscopic imaging of the wrist for non-invasive glucose sensing. *Sci Rep.* 2022;12(1):20558. doi:10.1038/s41598-022-25161-x

A Study on Analysis Methodologies for Designing Driving Behavior-Based Warning Systems

香川大学創造工学部機械システム工学領域 Kifle Hailu Gebretsadik
 連絡先 s22g462@kagawa-u.ac.jp

1. Research background and objectives

Previous studies have suggested that warnings of risky driving behavior are adequate in maintaining risky behavior and thereby reducing motorcycle crashes in simulators. However, how the behaviors were chosen and their link to accidents have not been statistically investigated. In addition to the explicit link between driving behaviors and safety, it is also critical to determine the threshold of the influential variables. Thresholds are boundary values of riding behaviors defining what is dangerous and safe. Hence, this study demonstrates what methods should be used to identify dangerous driving behaviors and how can the thresholds for influential driving behaviors be determined.

2. Experiment and data collection

In this study, we used data collected by our research team members using riding simulator-based experiments. In the experiment, 23 participants took part in a 20-km course with straight and curved roads. They drove under the influence of high and low arousal and positive and negative valence emotional stimuli independently. While driving on priority roads, participants encountered risks from crossing vehicles at an uncontrolled intersection.



Figure 1: a) Riding simulator b) Experimental scenario

3. Analysis and results

we adopted three analysis methods. First, structural equation modeling (SEM) was constructed to select the influential riding behaviors. The latent factors F1, F2, and F3 in figure 2 represent the speed variation, lateral instability, and riding performance respectively.

The SEM results met the performance index criteria and lateral instability parameters: average lateral deviation from the center of the lane (DCavg) and rolling entropy (RE) were found as influential behaviors.

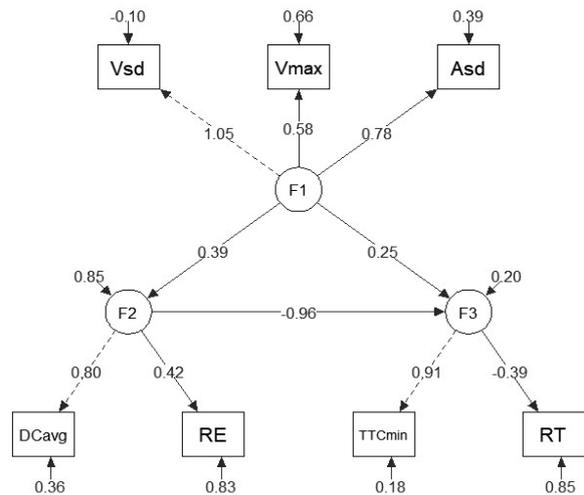


Figure 2: Plot of SEM result

Since thresholds of the behaviors could not be set using SEM, with both parameters as inputs, a decision tree and neural network models were then constructed and compared. The results confirmed that a decision tree model predicts collision with superior accuracy of 80.6% to the neural network model's accuracy of 76.5%. The decision tree method was also able to determine significant thresholds for DCavg and RE as 0.302 and 0.019, respectively.

4. Conclusions

The algorithm's satisfactory results reflect its ability to predict collisions. Besides prediction accuracy, model interpretability is also an essential consideration. Thus, regarding SEM as the primary modeling tool, decision trees are the preferred method for determining threshold values. Finally, the study highlighted how these algorithms can be used in the design of motorcycle warning systems. Researchers interested in analyzing motorcycle riding behavior and designers of advanced rider assistance systems may find this work useful.

旋回 - 絞り構造の最適化と NH₃/Air 専焼の実現

香川大学大学院 知能機械システム工学専攻 星加 浩輔
連絡先 s21g520@kagawa-u.ac.jp



1. はじめに

CO₂ 排出量実質ゼロを実現するためカーボンフリーな燃料としてアンモニア (NH₃) が注目されている。NH₃ バーナー開発における課題は、(1) 燃焼速度が 0.07m/s 以下と遅い故に低燃焼性を示すこと、(2) 従来燃料である炭化水素燃料 (プロパン、天然ガスなど) と比較すると発熱量が低いことに加えて、(3) 窒素酸化物 (NO_x: 有害物質) が大量に発生することである。一般的に、低燃焼性を解決する方法として、反応性の良い燃料 (例えば H₂) との混焼が考えられる。しかし、NH₃ と H₂ の混焼で発生する排気ガス中の NO_x 濃度は、燃料中の H₂ 割合が高いほど増加することが明らかとなっており、H₂ の添加割合は抑えることが望ましい。本研究では、上記の課題を解決するために旋回 - 絞り構造バーナーを開発し、NH₃ のみの燃焼 (専焼) により低 NO_x 化の実現を目指した。加えて、炭化水素燃料に代わる燃料として NH₃ を利用するならば、炭化水素燃料と同等の熱量を投入できることが要求される。そこで、NH₃ を高負荷 (高速投入) 燃焼することで単位時間当たりにおける発熱量の向上を目指した。

2. 旋回 - 絞り構造バーナーの概要

旋回 - 絞り構造バーナーの概略図を図 1 に示す。本燃焼器では、側面に取り付けた 2 本のノズルから接線方向に噴出した予混合気 (NH₃/Air) を燃焼することによって安定した火炎が形成できる。予混合気に低燃焼性燃料を用いても燃焼可能となる理由は、燃焼室が断熱材で覆われているため火炎の高温維持ができること、また、旋回流火炎が相互に熱エネルギーや乱流エネルギー、活性化学種を供給し合うことなどが挙げられる。さらに、旋回流火炎をパイロット火炎とし、燃焼器底部のノズルから主噴流 (NH₃/Air) を噴出させることで、高負荷専焼の火炎を形成することが出来る。これによって単位時間当たりにおける発熱量の向上が可能となる。

3. 結果と考察

実験より、石油・炭化水素系燃料の補助がない条件で NH₃/Air 専焼が実現化できた。これより、本燃焼器を使用すれば、同軸バーナーでは着火できない NH₃/Air 火炎を幅広い当量比で維持できることが明らかになった。また、旋回流 / 主噴流ノズル内径及び流速を変化させることで、当量比 $\phi_T=1.0$ の場合、約 100L/min の高負荷燃焼が可能であった。当研究室が保有する同軸バーナーを使用し、従来燃料である CH₄/Air 火炎の燃焼限界を調査した結果と比較すると、旋回 - 絞り構造バーナーを使用した NH₃/Air 火炎の方が、安定領域がはるかに拡大できた。

旋回流流速 (V_s) を増加させる数値解析を行い、旋回流流速が及ぼす火炎構造への影響について調査した結果を図 2 に示す。 $\phi_T=1.0$ において主噴流流速 (V_M) を 3m/s に固定し、旋回流流速 (V_s) を増加させた際の温度と乱流エネルギー (k) の分布を示す (k は乱れの強さを表す指標である)。 V_s の増加に伴って、主噴流火炎の内炎長が減少する。これは、燃焼室内の乱れ強さが増加し、燃焼速度が速くなることを示す。また、 V_s の増加により OH 濃度が高い領域が増加することも確認しており、旋回流火炎は火炎全体の燃焼維持と燃焼強化に強く影響を及ぼす。

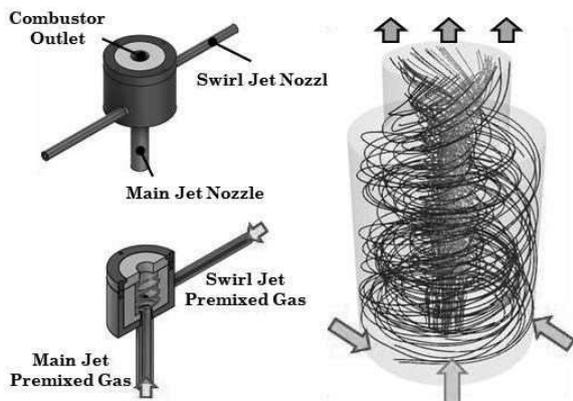


図 1 旋回 - 絞り構造バーナーの概略図

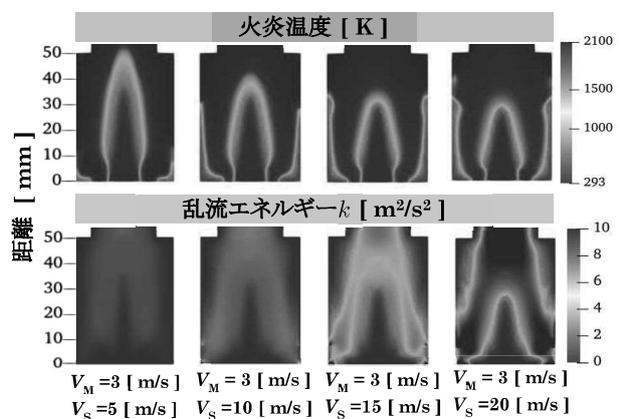


図 2 V_s を増加させた際の温度分布と乱流エネルギー分布

4. 参考文献

- 1) Kobayashi, H. et al.; Proc. Combust. Inst., 37(1), 109-133 (2019)

Mesocrystalline Effect in $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ and $\text{MnTiO}_3/\text{TiO}_2$ Nanocomposite for Enhanced Capacity of Lithium-ion Battery Anode

香川大学大学院工学研究科材料創造工学専攻 王興、馮旗
連絡先 feng.qi@kagawa-u.ac.jp

Transition metal compounds are a promising substitute for graphite as lithium-ion battery (LIB) anode. In this study, mesocrystalline $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ and $\text{MnTiO}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposites were synthesized using a layered titanate acid $\text{H}_{1.07}\text{Ti}_{1.73}\text{O}_4$ (HTO) precursor. The β - MnOOH layer is intercalated into the interlayer of HTO by Mn^{2+} -exchange treatment of a H_2O_2 -intercalated HTO, which includes ion-exchange of Mn^{2+} with H^+ in the interlayer and oxidation of Mn^{2+} to β - MnOOH layer by H_2O_2 in the interlayer space. Mesocrystalline $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ and $\text{MnTiO}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposites with platelike morphology were obtained by heat treatment of the sandwich layered HTO/ β - MnOOH in air and H_2/Ar atmospheres, respectively. The electrochemical results suggest that the mesocrystalline $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ and $\text{MnTiO}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposites show a synergistic effect for the enhanced cycling stability, a mesocrystalline effect for enhanced discharge-charge specific capacity by improving Li^+ mobility and enhancing pseudocapacitance in mesocrystalline nanocomposites as LIB anode materials. The discharge-charge specific capacity of mesocrystalline $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposite is twice as high as that of polycrystalline one caused by the mesocrystalline effect. Furthermore, the synergistic and mesocrystalline effects cause a stable large discharge-charge specific capacity of 710 mAh/g for the mesocrystalline $\text{Mn}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposite. This work proposes a new concept to enhance performance of anode material for LIBs using the mesocrystalline materials

半導体 GaAs 内埋め込み磁性薄膜ラインパターンの作製と評価

香川大学創発科学研究科 学生 竹村 知晃

連絡先 s22g506@kagawa-u.ac.jp



電気伝導や光学特性の磁気による制御を目的とし、半導体上に磁性薄膜を形成したヘテロ構造によるスピントロニクスデバイスの研究が今日盛んである。半導体 GaAs 結晶上に金属 Fe 薄膜を成膜させた系では、格子定数の不整合が 1.4% (GaAs : 2.85 Å, Fe : 2.86 Å) と比較的小さいことから、Fe 膜厚が数 nm と薄い場合において GaAs 結晶上に Fe がエピタキシャル成長することが知られている。Fe は一軸異方性の強磁性を示すことから、スピントランジスタやスピン LED などへの応用が期待できる。GaAs 中への Fe パターン埋込構造ならばスピンと半導体キャリアを用いた 3 次元回路の実現や、電流によるスピン偏極の制御などの応用が狙える。本研究の目的は、半導体 GaAs 内に強磁性 Fe の薄膜パターン構造を埋め込んだハイブリッド構造の作製を行い、磁化特性および結晶構造、格子整合性について評価することである。

EB フォトリソグラフィ法を用いて GaAs(001) 基板の上に Line&Space の有機マスクのパターン描画を行った。次に MBE (分子線エピタキシー) チャンバー内にて試料に Ar イオンエッチングを施工することで基板表面の酸化膜を除去しつつ、Fe 埋込のための溝を形成した。さらに EB ガンによって基板表面に Fe 膜を数 nm 蒸着し、MBE チャンバーから取り出した後、マスクのリフトオフを行った。その後試料をヒーター加熱し再度酸化を除去後、表層上に GaAs(約 1 μm) を成膜することで Fe が GaAs に埋め込まれたハイブリッド構造を作製した(図 1)。成長した試料について、磁化測定に加え XRD(X 線回折)、SEM(走査型電子顕微鏡)、EDS(エネルギー分散型 X 線分光法)および TEM(透過電子顕微鏡)の観察による構造評価を行い、試料作製条件の最適化を行った。

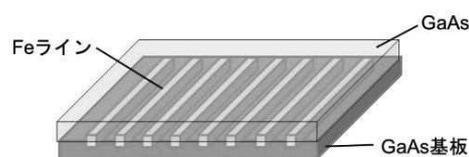


図 1 GaAs 内 Fe ラインパターン埋込構造

作製試料では Bcc 構造の Fe ピークが XRD で確認でき、数 nm 以上の厚みの Fe 蒸着がなされたものと考えられた。GaAs 成長において基板加熱をした Fe 膜の埋込構造試料の表面の SEM 観察像では試料表面に凹凸が多数みられ、Fe が埋め込まれた部分からナノワイヤの発現が確認された(図 2)。基板加熱をしない試料ではナノワイヤ構造は見られなかった。ナノワイヤ発生の原因を突き止めるために行った EDS マッピングでも、埋め込んだ Fe が基板表面に浮上していることが確認され、ラインパターンに沿って Fe が点在していることが分かった。ナノワイヤの先端に Fe が存在していると思われる。基板加熱により GaAs と Fe が活性化されたことが原因となりナノワイヤが発生したのだと考えられる。TEM 観察の結果からは、基板を 530°C まで加熱させた試料では、GaAs 基板と GaAs 成長の界面はきれいに整合していることを確認できたが、その界面で Fe は確認できなかった。Fe が界面に存在しなかったのは、蒸着させた Fe がナノワイヤとなり界面から移動したと考えられる。磁化測定では、高温基板成長した試料は保磁力が大きくなる傾向があった。この原因として、非磁性の FeAs の存在が Fe の磁化反転のしやすさを阻害するためだと考えられる。Fe の膜厚に対する FeAs の形成量の依存性について詳しく調べる必要がある。

今後、Fe、GaAs の成長条件に関して及びドットパターン埋込試料の作製と磁気特性評価を行う予定である。

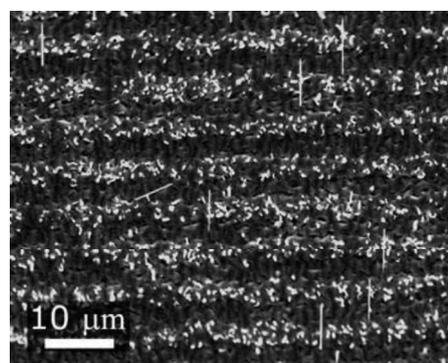


図 2 Fe 埋込み GaAs 試料の SEM 像 (Line&Space 3 μm&3 μm)

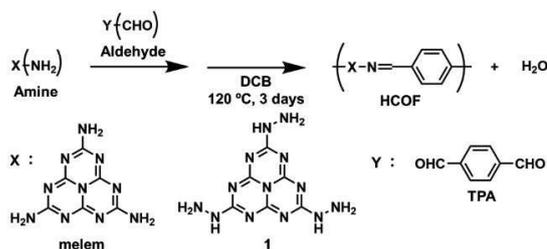
ヘプタジン含有 COF 構築を目指したヒドラジノヘプタジンの イミンカップリング反応

香川大学工学研究科材料創造工学専攻 修士2年 河野 貴士

連絡先 s21g557@kagawa-u.ac.jp



[緒言] 有機分子を用いた新たな多孔性材料として共有結合性有機構造体 (Covalent Organic Framework: COF) が注目を集めている. COF は細孔サイズなどの構造や機能を設計可能であり, 空孔を利用したガス貯蔵や電気化学デバイスなどへの応用が期待されている^[1]. 本研究では, COF の骨格としてヘプタジン部位を導入, 可視光応答性光触媒として知られる窒化炭素の構造を模倣した COF を, 平衡反応を利用して構築することを目指した. 近年, ヘプタジン含有 COF は可視光照射下にて水分解を促す光触媒の機能が報告されているものの^[2], 空孔など構造制御が問題となっている.



Scheme 1. Chemical reaction in this research.

[実験] COF のビルディングブロックとしてヘプタジン誘導体の melem 及び 2,5,8-trihydrazino -s-heptazine (1)^[3] を用いた. これらは難溶性の白色の粉体であり, 1 は酸性溶液 (pH<2) に可溶である. ヘプタジン誘導体とテレフタルアルデヒドを各種条件で反応させた (Scheme 1, Table 1). 反応停止後, 化合物をろ過により回収, 洗浄後, 減圧乾燥した. また, 水溶液中触媒存在下で得られた HC-W.P をさらにジクロロベンゼン中 120 °C, 3 日間反応させることで結晶性向上を目指した (HCOF)^[4].

Table 1 Reaction conditions and the crude yields

	Amine (mmol)	Solvent (mL)	Temp. (°C)	Catalyst	Yield (%)	State
a	Melem (2.25)	DMSO (30.0)	150	-	-	-
b	Melem (2.25)	Water (30.0)	60	-	-	-
HC-D	1 (2.25)	DMSO (30.0)	150	-	37.2	Yellow powder
HC-WA	1 (2.25)	Water (30.0)	90	AcOH	33.4	Light yellow powder
HC-W.P	1 (1.863)	Water (30)	90	PTSA	32.3	Yellow powder
LC-W.P	1 (0.225)	Water (200)	90	PTSA	39.6	Yellow powder
LC-Di.P	1 (0.225)	1,4-Dioxane (200)	110	PTSA	26.4	Light yellow powder

[結果と考察] melem を用いた反応では, 水溶液中 (Table 1 b) で白色の不溶物質が得られ, FT-IR スペクトルから, 反応が進行しなかったと推測された.

1 を用いた反応も, ジオキサン中での反応及び酢酸を触媒として添加した水溶液中での反応では, FT-IR スペクトルでの生成物の確認はできなかった. しかしながら, DMSO 中, または触媒として *p*-トルエンスルホン酸 (PTSA) を加えた水溶液中での反応では, 生成物は不溶性の黄色粉体であった. これらの FT-IR スペクトルでは, 2870-2758 cm^{-1} 付近の原料のアルデヒド基のピークが消失, 1600 cm^{-1} 付近の NH_2 変角振動がわずかに高波数側にシフトが確認され, イミンカップリングによる $\text{C}=\text{N}$ 結合の形成が示唆された. このことから比較的良好溶媒である DMSO, 水などで反応が進行していることが示唆された.

いずれの生成物においても, XRD (Fig. 1) では 27.7° 付近のヘプタジン環層間のピークがわずかに確認できたものの, COF の空孔に該当するピークは確認されなかった.

また, 2 段階反応した HCOF では, 27.7° 付近のピーク強度が増大しており, ヘプタジン環の積層化が進行したことが推測された.

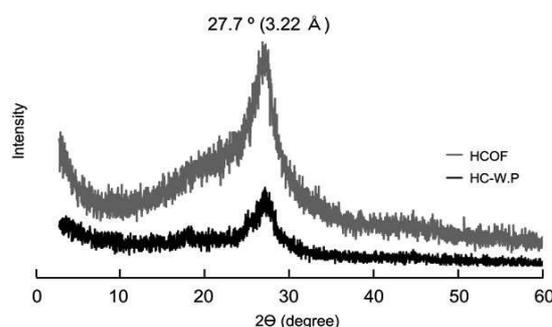


Fig. 1. XRD of HCOF and HC-W.P.

[参考文献]

- [1] P. Pradip et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 1423-1427 (2018). [2] L. Hu et al., *Nanoscale*, **13**, 9315-9321 (2021). [3] T. Sapliova et al., *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **635**, 2480-2487 (2009). [4] W. Kong et al., *Chem. Commun.*, **55**, 75-78 (2019).

樹脂用高熱伝導フィラーを目指した多面体窒化ホウ素粒子の合成

香川大学大学院創発科学研究科 修士1年 後藤 京佑

連絡先 s22g504@kagawa-u.ac.jp



1. 緒言

近年、電子機器の小型化、高速化が進み、機器内部における発熱量が増加している。LED や CPU 基板には、高熱伝導性・電気絶縁性が必要である。

一般的に、基盤には安価で成型が容易なエポキシ樹脂などの有機樹脂が実用化されている。しかし、エポキシ樹脂の熱伝導は $0.2\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度であり、近年の発熱問題に対応することができないと予想される。そこで、電気絶縁性と高熱伝導性を有する粒子をフィラーとしてエポキシ樹脂に添加することで、基盤の放熱性を改善し、放熱基板として利用することが可能となる。六方晶窒化ホウ素(h-BN)は電気絶縁性であり、 a 軸方向に $400\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度の高い熱伝導性を有するため、熱伝導フィラーとしての応用が期待されている。しかし、B-N 六角網面が積層した c 軸方向は弱いファンデルワールス結合で結合しているため $2\text{W/m}\cdot\text{K}$ 程度の低熱伝導であり、熱伝導に異方性を持つ。また、BN 粒子は結晶異方性により、 a 軸方向に成長した板状粒子となる。このため、一般に市販されている BN は板状粒子であり、複合材料の作製時に配向し、作製した複合材料に熱伝導異方性が生じるという問題があった。本研究では、希土類酸化物とアルカリ土類酸化物を組み合わせた助剤を h-BN 粉末に添加し、熱処理することにより、等軸状多面体 h-BN 粒子の合成を検討した。この多面体 h-BN をフィラーとしてエポキシ樹脂に複合化し、熱伝導異方性の小さな高熱伝導エポキシ/BN 複合材料を作製することが目的である。

2. 実験方法

BNの粒成長を促進させるために、 Y_2O_3 とCaOを助剤とし、モル比で $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{CaO}=1:1, 1:2, 1:4, 1:6$ に混合した。これらの混合助剤を市販のBN粒子に5~30vol.%の割合で添加した。作製した粉末を窒素雰囲気中 1900°C で10時間の焼結を行った。焼結後の粉末を塩酸水溶液で酸洗浄し、助剤成分を除去した。粉末の特性評価は、粒子形状をSEMで観察し、比表面積・粒度分布を測定した。また、酸洗浄前の粉末

について、XRD解析によって結晶相を同定し、EDSによる元素マッピングを行った。さらに、粉末70vol.%とエポキシ樹脂30vol.%で混合し、一軸加圧でホットプレスを行いBN/エポキシ複合材料を作製した。得られた複合材料についてプレス平行・垂直方向の熱伝導率をレーザーフラッシュ法で測定した。

3. 結果と考察

助剤添加量に伴い、BNの粒径は増大した。これは助剤量が増加したことで、BNの液相成長が促進され、大きなBN成長が生成したと考えられる。また、 Y_2O_3 単相助剤より、CaOとの複合助剤の方が、BNの粒成長することが確認できた。また、SEM画像から、多面体等軸BNが形成されていることも確認されたが、CaO成分が多くなると板状BNも確認された。

図1に合成したBN/エポキシ複合材料のプレス垂直・平行方向の熱伝導率を示した。市販の板状BN粒子を用いて複合材料を作製した場合、プレス垂直・平行方向に熱伝導異方性が生じた。しかし、本研究で合成した等軸状多面体BNフィラーを用いた場合、フィラーの形状異方性が解消され、BNの配向度が減少し、プレス平行方向の熱伝導率が大きく向上し、熱伝導異方性の改善に成功した。

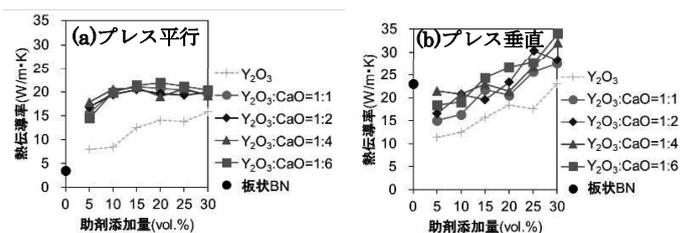


図 1. BN/エポキシ複合材料の熱伝導率

(a) プレス平行方向 (b) プレス垂直方向

4. 結論

$\text{Y}_2\text{O}_3:\text{CaO}$ 系の助剤を用いた場合、 Y_2O_3 単相系と同様に等軸状多面体 BN が合成されることが確認された。また、市販の板状 BN を用いた場合と比べ、本研究で開発した等軸状 BN/エポキシフィラーはプレス方向の熱伝導率が大きく向上し、熱伝導異方性も改善された。

パルス放電を用いた金属・プラスチック複合材料の再資源化への挑戦

香川高等専門学校 機械電子工学科 助教 山下 智彦

連絡先 yamashita-t@t.kagawa-nct.ac.jp

研究背景・目的

- 金属・プラスチック複合材料は、自動車等の部品や光ディスク、スマートフォンや太陽電池など様々な製品に使用されている。
- 金属・プラスチック複合材料は、金属の含有量が少ない場合が多く、従来のリサイクル技術では採算性が低いため、リサイクルが進んでいない。
- そこで、エネルギーを蓄積して極短時間に放出することによって極めて大きな電力を得ることができるパルスパワー技術(図1参照)を用いて、金属とプラスチックを分離して回収する技術を開発する。蓄積するエネルギーには再生可能エネルギー等も利用できるので、採算性は高い。
- 本研究では、光ディスクと透明導電性基板を対象に、パルス放電・衝撃波を利用して金属とプラスチックを分離する技術の開発に挑戦している。

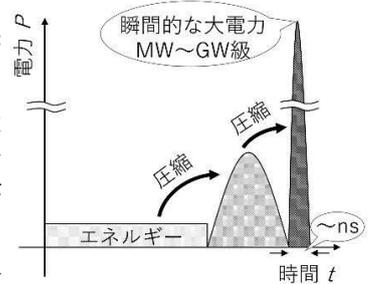
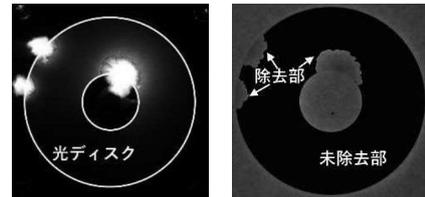


図 1. パルスパワーの概念

光ディスクの分離処理

CD-R/ROM や DVD-R などの光ディスクは、金属層が樹脂層によって挟まれた構造となっている。金属層には銀や銀合金、アルミニウム、樹脂層にはポリカーボネート等が使用されている。光ディスクの内側及び外側に円状電極を配置してパルス高電圧を印加し、放電および衝撃波を発生させ樹脂層からの金属の除去を試みた。主な結果は以下のとおりである。

- 放電は表面の保護層を貫通するように発生し金属層に扇状に広がる。放電が発生した箇所付近の保護層を含む金属層は樹脂層から除去される(図2参照)。
- 原形を留めたポリカーボネート基板および破片・微粒子となった銀やアルミニウムの回収が可能である。
- 全てのディスクで約 25 回のパルス高電圧の印加(処理時間約 0.6 秒)によってほとんどの金属が除去される(図3参照)。ただし、DVD-R は前処理が必要である。



(a) 放電の様子 (b) 表面の様子
図 2. 光ディスクの分離処理

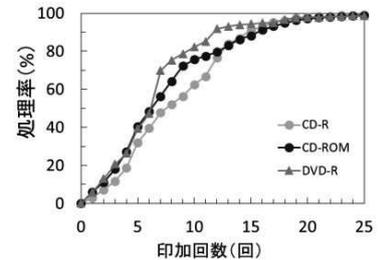
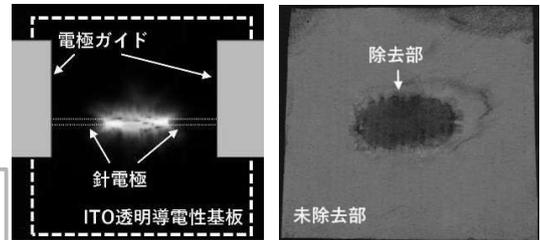


図 3. 処理率の印加回数依存性

透明導電性基板の分離処理

携帯端末のディスプレイや太陽電池の電極等に使用される透明導電性基板は、PET 基板にインジウム等の金属が成膜された複合材料である。針-針電極を透明導電性基板に接するように設置し、パルス高電圧を印加することで金属の除去を試みた。主な結果は以下のとおりである。

- 放電は透明導電性基板を經由して電極間で発生し、放電が発生した箇所付近の金属は除去される(図4参照)。
- 原形を留めた PET 基板および微粒子となったインジウムの回収が可能である。



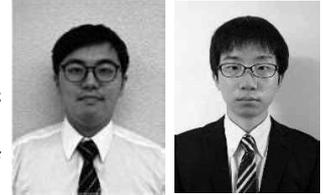
(a) 放電の様子 (b) 表面の様子
図 4. 透明導電性基板の分離処理

期待される連携・応用

- 光学薄膜・電子基板の金属・プラスチック/ガラスの分離・再資源化
- 飲料品・食品包装材のアルミ・プラスチックの分離および再資源化 など

高齢者見守り技術・駐車場監視システム

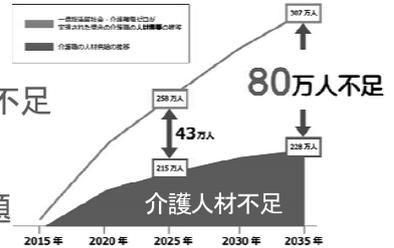
香川高等専門学校 専攻科 2年 柏原 悠人、山田 斉
 電子システム工学科 教授 三崎 幸典
 連絡先 misaki@es.kagawa-nct.ac.jp



研究背景

高齢者施設では見守りが重要 ▶ 多くの課題

- ・生存,健康状態の確認
- ・ケガ(転倒)の防止
- ・死亡時の発見
- ・少子化&高齢者増加により人材不足
- ・異常時や死亡の発見の遅延
- ・過度な見守りはプライバシー問題



高感度呼吸センサー (特許)

呼吸時PVDF圧電フィルムにかかる張力が変化 ▶ 出力:大 側面図

伸縮無 伸縮無 ↔ 伸縮あり 伸縮無

ベルト PVDF 圧電フィルム ゴム (弾性体) ベルト

- ・伸縮性があり衣服の上から装着可能
- ・呼吸の停止を確実に検出可能

呼吸センサー

測定ユニット 腹巻型センサー

呼吸+心拍 心拍のみ ※生データ (体動なし) 出力 (基準電圧)

呼吸停止

呼吸センサー

ゴム PVDF圧電フィルム ゴム

スマホ

IIRフィルター

呼吸+心拍+体動 生データ

0.5~0.45Hz 呼吸

- 学習データ
 - ・呼吸波形データ(1次元)
 - ・睡眠時312時間
- ラベル
 - ・呼吸回数

呼吸数カウント

AI見守りカメラ

カメラで撮影した画像から骨格データのみを使用することでプライバシーに配慮

画像 → 位置 → 状態 (立つ)

骨格検出の精度向上 2台のカメラを使用

物体検出 YOLOv5
骨格検出 wmcnally/evopose2d

上 下

CSIカメラ Jetson Xavier NX

1m

お問い合わせ先 教授 三崎 幸典 電話 0875-83-8560 メール misaki@es.kagawa-nct.ac.jp
 講師 岩本 直也 電話 0875-83-8555 メール iwamoto@es.kagawa-nct.ac.jp

香川高等専門学校 詫間キャンパス 電子システム工学科

DEPARTMENT OF ELECTRONIC SYSTEMS ENGINEERING 電子システム工学科

