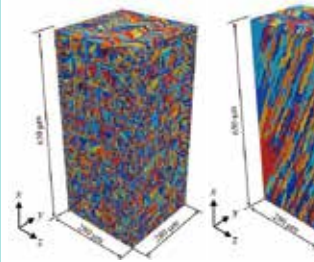
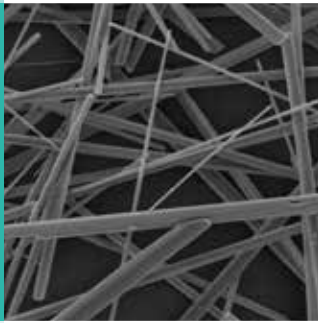


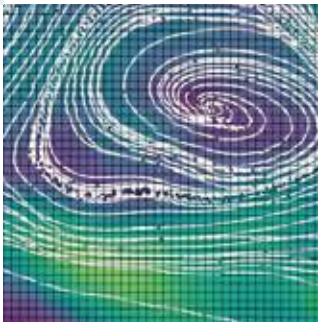
05_

Development of smart gear



06_

Development of scan strategy optimized
system for 3D printer stacking manufacturing



07_

Development of
high-accuracy real-time
simulation technology for
flying car



01_

Micro LED display with
perovskite materials



02_

CO₂ reduction by
microbial artificial photosynthesis
using semiconductors



08_

Development of
in-situ grinding wheel surface diagnosis system by
laser speckle method

04_

Wired and Wireless Converged
Low-Latency WLAN

Kyoto
Institute
of
Technology



03_

Building a Digital Twin
through wireless semantic
communications

Kyoto Lab for a Greener Future

京都工芸繊維大学
京都グリーンラボ
活動報告書 2024

'24

京都グリーンラボとは

「エネルギーの高効率利用」に関する成果を発展させ、京都地域で推進されている「京都次世代エネルギーシステム創造戦略」に参画し、本学にグリーンイノベーション分野の研究拠点を確立することを目指し、2015年にグリーンイノベーションセンターが発足し、2018年10月の研究力及び産学連携機能強化の一環としてグリーンイノベーションラボに改組されました。グリーンイノベーションラボでは、複数の外部資金をもとに、研究者の集積を図り、パワーエレクトロニクスと高度通信機能を融合した新しい電力制御システムなどを提案し、プロトタイプ製作を進めるなど、本学の機能強化事業のグリーンイノベーション分野の研究開発を進める中心となりました。2022年に、さらなる研究力強化を目的として、ものづくり教育研究センター（現オープンファシリティセンターものづくりユニット）の研究分野を統合し、「京都グリーンラボ」が発足しました。京都グリーンラボでは、これまで近くて遠かった電子システム・情報・機械の研究の融合を図るため、2023年度に「近領域研究」を立ち上げました。本報告書はその近領域研究の報告書も兼ねております。

2025年度より、京都グリーンラボのミッションが大きく変わります。ラボ長の小林がプロジェクトマネージャを務めているムーンショット(MS)目標6の研究課題「スケーラブルな高集積量子誤り訂正システムの開発」の研究推進を主なミッションとして、量子コンピュータにフォーカスすることとなりました。MS目標6の詳細は次ページをご覧ください。近領域研究のうち、山川先生を中心としたシミュレーション関係で新たに「高性能シミュレーション研究センター」が立ち上がります。近い領域での学際研究を目指した京都グリーンラボの活動は2024年度で終了となりますが、2025年度からの新しい京都グリーンラボ、高性能シミュレーション研究センターをよろしくお願いいたします。

【 京都グリーンラボの新体制 】

ラボ長

小林 和淑
電気電子工学系 教授



副ラボ長(予定)

高井 伸和
電気電子工学系 教授



運営委員(予定)

山川 勝史
機械工学系 教授



運営委員(予定)

新谷 道広
電気電子工学系 准教授



運営委員(予定)

高山 創
電気電子工学系 助教、
2025年4月1日着任予定



特任専門職

神崎 壽夫
ムーンショットコーディネーター

廣田 良浩
京都グリーンラボ
プログラムコーディネート専門職

山本 茂
LSI設計専門職

事務補佐員

嶋倉 有美子
ムーンショットプロジェクト
推進事務専門職

寺本 みわ
事務補佐員

ムーンショット型
研究開発事業
目標6(MS6)

スケーラブルな
高集積量子誤り訂正システムの開発

ムーンショット型研究開発制度とは、少子高齢化や地球温暖化、大規模災害などの様々な課題解決に向け、日本発の破壊的イノベーションを創出し、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発を推進するために創設されたプログラムです。目標6は「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」と題して、量子的な誤りを直しながら正確な計算を実行する誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現のため、ハードウェア、ソフトウェア、ネットワークおよび関連する研究開発を推進します。

ラボ長の小林がプロジェクトマネージャ(PM)を務める研究テーマ「スケーラブルな高集積量子誤り訂正システムの開発」は、様々な量子ビットの制御を行う量子ビット(Qubit)制御装置、Qubitのエラー訂正を行うエラー訂正システムを主な研究開発項目として、2023年度に開始いたしました。MS6そのものは2020年度途中から開始されており、PMの2次公募での採択です。5つの研究開発項目を設けて、総勢15名の課題推進者(PI)、150名以上の研究協力者によりプロジェクトを進めています。各研究項目の概要とPIは右のとおりです。



Cryo CMOSトランジスタのモデル開発に用いている極低温ブローバーと測定器



理化学研究所で開催した小林プロジェクト全体会議での集合写真(背景はスーパーコンピュータ富岳)

MS6の第1期は2025年度で一旦終了し、2025年度に新たに公募を行い2026年度から2030年度までのPMが決定する予定です。小林プロジェクトは公募を見据えて、PIの新規追加や、他のPMと連携してPIの組み換えなどの戦略を練っている段階です。

項目1 エラー訂正バックエンド

概要 : Qubit数に対してスケーラブルなエラー訂正バックエンドシステムの研究開発を行う
課題推進者 : 佐野 健太郎 (理化学研究所)
門本 淳一郎 (東京大学)
長名 保範 (熊本大学)

項目2 量子ビット制御フロントエンドの先鋭化

概要 : デジタル信号処理の活用とシステムのSoC化により既存のフロントエンドの性能向上と小型化を図る
課題推進者 : 三好 健文 (キューエル)

項目3 光/Cryo CMOS集積回路による
スケーラブルな古典-量子インターフェース

概要 : 極低温領域で動作する光/CMOS集積回路でスケーラブルな古典-量子インターフェースを実現する
課題推進者 : 塩見 準 (大阪大学)
新谷 道広 (京都工芸繊維大学)
佐藤 高史 (京都大学)
松尾 亮祐 (東京大学)

項目4 フロントエンド・バックエンドのCryo CMOS化

概要 : ASIC/SoC化によりフロントエンド・バックエンドを低電力、省面積化し、装置の小型化を図る
課題推進者 : 小林 和淑 (京都工芸繊維大学)
土谷 亮 (滋賀県立大学)
高井 伸和 (京都工芸繊維大学)
宮原 正也 (高エネルギー加速器研究機構)
今川 隆司 (明治大学、2025年4月より福井大学)
岸田 亮 (富山県立大学)

項目5 常温で動作する
フロントエンドアナログRF部のLSI化

概要 : フロントエンドアナログRF部の主要な機能ブロックを微細CMOSデバイスで設計し、TEGを試作、評価、課題抽出を行い、実現性を踏まえた統合化の設計指針を確立する
課題推進者 : 五十嵐 正利 (ソシオネクスト)

研究実績

ペロブスカイト系材料によるマイクロLEDディスプレイ

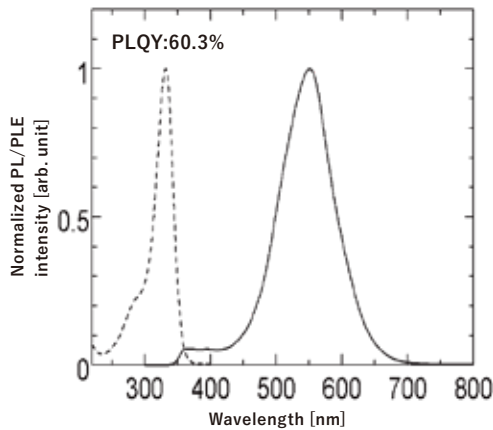
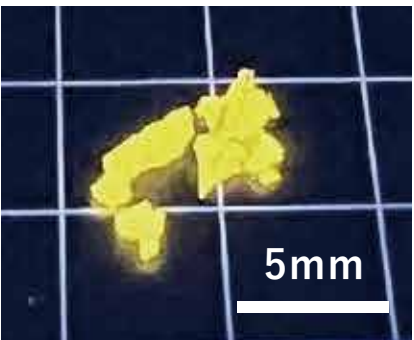
研究代表者 西中 浩之 准教授
電気電子工学系



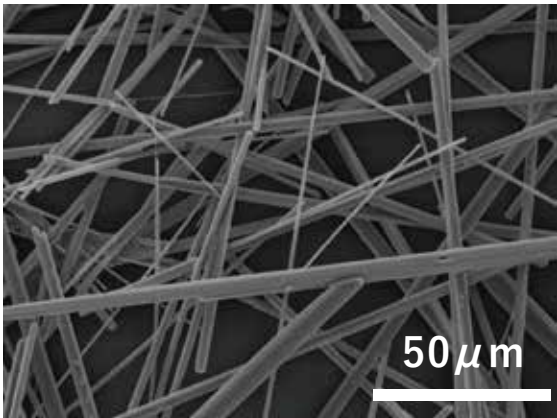
研究協力者 山下 兼一 教授
電気電子工学系

研究内容 本研究は、次世代ディスプレイ技術としてのマイクロLEDの開発に焦点を当てており、特にペロブスカイト系材料を用いた高効率な発光デバイスの実現を目指している。現在のディスプレイ技術である液晶や有機ELに代わる選択肢として、マイクロLEDは低消費電力という利点を持ち、特にモバイル用途での期待が高まっている。

研究では、高効率な発光特性を持ち、溶液からの容易な合成が可能で、低コストでの製造が可能なペロブスカイト系材料を採用している。具体的な研究内容として、貧溶媒法や逆温度結晶化法による単結晶マイクロロッドの合成と、電気泳動技術を用いた電極間へのマイクロロッドの配列制御を行う。なお、この技術はディスプレイだけでなく、センサーやレーザーなどへの応用も期待できる。



(TSM)₃Cu₂I₅の単結晶(黄色発光)とマイクロロッドの発光特性



(TSM)₃Cu₂I₅マイクロロッド

研究成果

本研究では、ペロブスカイト系マイクロロッドを利用したマイクロLEDの形成技術の確立に向けた検討を進めている。その検討として、(1)マイクロロッド単結晶の成長及びその制御、(2)形成したマイクロロッドを電極間に並べる技術の開発を行っている。最終的にこの(1)(2)を組み合わせることで電流注入によるLED動作を行うことを目標とする。

(1)マイクロロッド単結晶の成長及びその制御

マイクロロッドの形成法である貧溶媒法や逆温度結晶化法を用いて、CsCu₂I₃やCs₃Cu₂I₅といったマイクロロッドの形成に成功した。また、黄色発光する新しい(TSM)₃Cu₂I₅のマイクロロッドの形成に初めて成功した。この材料のマイクロロッドの形成は初であり、現在論文投稿に向けて準備を進めている。

(2)形成したマイクロロッドを電極間に

並べる技術の開発

マイクロロッドを並べる電極の設計を行い、電極の形成を行った。その電極を用いて形成したマイクロロッドを電気泳動手法によって並べる検討を進めている。現状ではマイクロロッドが液中でうまく浮遊せずに、電気泳動によって動かすことに成功していない。結晶に十分な電荷層が形成されていないことが原因と考えており、誘電率の高い分散剤や電気泳動効率が向上する添加材(グリセリン)などの利用の検討を進めている。

特筆すべき実績

- ▶ JJAP、材料誌の2本の論文誌に採択、掲載、ProceedingsとしてIMFEDK2024に採択、掲載された。書籍「ペロブスカイト太陽電池の開発動向と特性改善」を分担執筆した。
- ▶ 学生が第43回電子材料シンポジウム EMS学生奨励賞を受賞した。
- ▶ 国際会議MRS Fall meeting、IMFEDK2024、7つの国内会議で研究成果発表を行った。
- ▶ 応用物理学会の注目の講演に選定され、大学のNewsで発表した。

研究実績

半導体を利用した微生物人工光合成によるCO₂還元

研究代表者 西中 浩之 准教授
電気電子工学系



研究協力者 Werner Carl Frederik 助教
電気電子工学系

井口 博之 准教授
京都先端科学大学 バイオ環境学部 食農学科

研究内容

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、本研究では半導体と微生物を組み合わせた革新的なCO₂還元システムの開発を目指している。この研究は、微生物(細胞外電子伝達菌)と光半導体それぞれの長所を活用する。微生物はCO₂還元に優れ、半導体は光エネルギー変換に長けているため、両者を組み合わせることで効率的なCO₂固定化が期待できる。

研究の中核は、光半導体表面での微生物の定着を可能にする技術開発である。通常、微生物は滑らかな半導体表面には定着しにくいいため、ナノワイヤーを用いて表面に凹凸構造を形成する。このナノワイヤー構造に微生物を定着させ、太陽光照射によって生成された電子を微生物に供給することでCO₂還元を実現する。この技術により、効率的な人工光合成システムの構築が可能となる。

研究成果

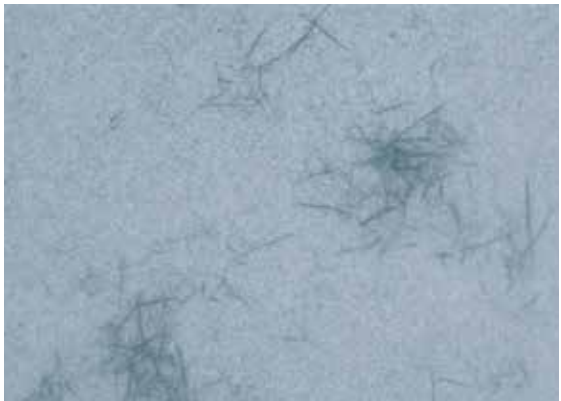
本研究では、光半導体と細胞外電子伝達菌を組み合わせた人工光合成システムの構築を目標に検討を進めている。その検討として、(1)太陽光に反応する光半導体の形成技術の開発、(2)電子を細胞外で授受して、CO₂を還元しメタンを生成する微生物による電気化学反応系の開発、(3)これらを組み合わせた人工光合成システムの構築を行う。

多くの光触媒材料(光半導体)は、紫外光に反応するものが多く、太陽光の幅広い利用には可視光を吸収する材料が必要である。また、可視光を吸収する光触媒に適した光半導体として、CdSなどの硫化物が存在するが、これらは光触媒反応によって自己酸化するという課題がある。そこで本研究では、In₂O₃にBiを添加することで中間準位が形成されることを利用した可視光応答型の光半導体の形成、またFe₂O₃にGa₂O₃を混晶化させた可視光応答型の光半導体の形成に成功した。

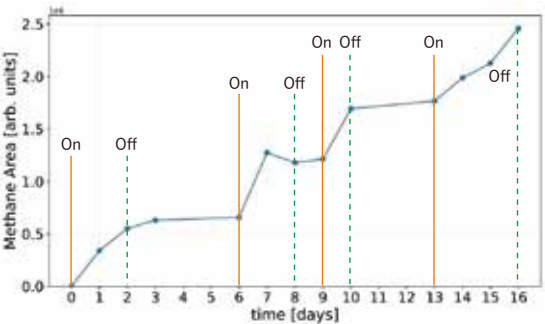
ナノワイヤーのITOを電極とし、そこに微生物を付着させた電気化学反応系を構築した。この電気化学反応系に電流のOn/OFFを行うことで、メタンの

生成が電流によって制御できることを検証した。このようにナノワイヤーのITO電極を用いることで微生物の細胞外電子伝達によるメタン発生に成功した。

現在はこのナノワイヤーに光半導体であるIBOを形成し、太陽光と光半導体によって得られた電流でメタン発生ができるか検証を進めている。



ナノワイヤー基板に棲み付いた微生物(針状)



微生物電気化学反応系での電流オンオフによるメタン発生

特筆すべき実績

- ▶ アグリバイオ誌に本テーマの研究紹介が掲載された。
- ▶ 国際論文誌Phys. Status Solidi (B)に採択、掲載された。
- ▶ 国際会議IWGO2024、第85回応用物理学会秋季学術講演会にて研究成果発表を行った。
- ▶ 学生が材料学会半導体エレクトロニクス部門委員会学生優秀講演賞を受賞した。

ワイヤレスセマンティックコミュニケーションによるデジタルツインの構築

研究
代表者梅原 大祐 教授
情報工学・人間科学系高井 伸和 教授
電気電子工学系研究
内容

本研究グループでは、セマンティックコミュニケーションを用いることで、高い忠実度を有するデジタルツインの構築を目指す。セマンティックコミュニケーションは、現実世界の情報のうち必要な特徴量のみを検知して伝送することで高い伝送効率、電力効率、忠実度を実現する無線通信物理層技術である。また、実世界の情報は膨大であるため、セマンティックコミュニケーションの適用に加えて、実世界における情報源のデータ量の削減についても検討する。本年度は、セマンティックコミュニケーションについては、(1) 画像伝送における非線形増幅器の影響評価、(2) 音声伝送における異言語音声データセットの影響評価、情報源データ量の削減については、(3) 点群データにおける非可逆圧縮法の提案、(4) パノラマ画像による3Dモデル生成のコスト削減の研究を推進した。

研究
成果

本報告書では、主に4つの研究テーマに関する研究成果を紹介する。

(1) 画像伝送における非線形増幅器の影響評価

コンステレーション(信号点配置)フリーな無線画像伝送を対象にして、非線形増幅器のバックオフと客観的な画像品質指標との関係を解析した。今後は、最大電力に制約を付加した学習によるコンステレーションフリー信号を生成することで、非線形増幅器からの影響にロバストな学習手法を検討する予定である。

(2) 音声伝送における異言語音声データセットの影響評価

学習データセットとテストデータセットが異なる言語、例えば、日本語学習データセットと英語テストデータセット、の場合における汎化能力が得られるかどうかについて検証した。異言語音声データセットにおいても極端な音声品質劣化は生じないことを確認した。

(3) 点群データにおける非可逆圧縮法の提案

図1がオリジナルの3Dデータで、図2が提案する非可逆圧縮法を適用した3Dデータである。ポリゴンが欠けるものの、圧縮率0.75を達成している。現在、圧



図1 オリジナル3Dデータ



図2 圧縮3Dデータ

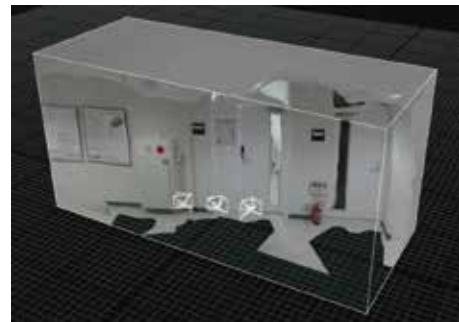


図3 パノラマ画像により生成された屋内3Dデータ

縮パラメータのチューニングを検討している。

(4) パノラマ画像による3Dモデル生成のコスト削減

図3は3枚のパノラマ画像により生成した大学の屋内の3Dデータである。同様の3D画像は10枚程度の平面画像により生成されるため、3Dデータ生成における画像データ数の大幅な削減が可能である。

特筆すべき実績

- ▶ Q. Zhang, D. Umehara, and N. Takai, "Characterization of Semantic Communication Systems Considering Nonlinear Amplifiers," Proc. AVIC 2024, Malaysia, 6 pages, Oct. 2024.
- ▶ 岩永 風杜, 梅原 大祐, "音声セマンティック通信のための学習データセットの改良," 信学技報, vol. 124, no. 100, pp. 84-89, Jul. 2024.
- ▶ 陰山 裕貴, 梅原 大祐, "点群データにおける非可逆圧縮の提案と評価," 信学技報掲載予定, Mar. 2025.
- ▶ 細尾 悠馬, 梅原 大祐, "全天球パノラマ画像による3Dモデル生成のコスト削減," 信学技報掲載予定, Mar. 2025.

有無線融合低レイテンシ無線LAN

研究
代表者山本 高至 教授
情報工学・人間科学系研究
協力者梶田 秀夫 教授
情報工学・人間科学系 / 情報科学センター研究
内容

遠隔医療や自動運転などのアプリケーションの実現を視野に、第5世代移动通信(5G)は4G(LTE)と比べて、低レイテンシ(遅延)を実現している。無線LANにおいても低レイテンシの要求が高まっている。そのためのリソース確保には複数の無線LANアクセスポイント(AP)の統合制御が望ましいが、分散制御の無線LANでは実現に課題が多い。この解決策として、同一周波数チャネルを用いるAPの送信タイミングが独立になるよう、APの上流の有線スイッチにOpenFlowなどのフレーム制御の機構を活用する。無線通信を専門とする山本、有線通信を専門とする梶田がそれぞれ取り組んできた技術、両名ともが持つ通信機器を用いた実験からの知見、本学ネットワークの運営管理経験に裏打ちされた梶田の経験を融合させ、有線通信・無線通信のそれぞれの枠組みだけでは達成できない有無線融合技術の創出に挑戦する。

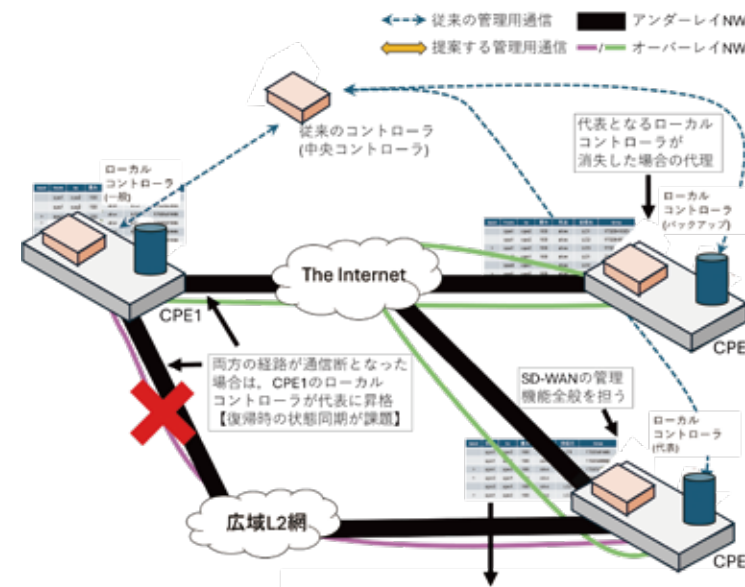


図3 分散協調型アーキテクチャによるSD-WANの構成

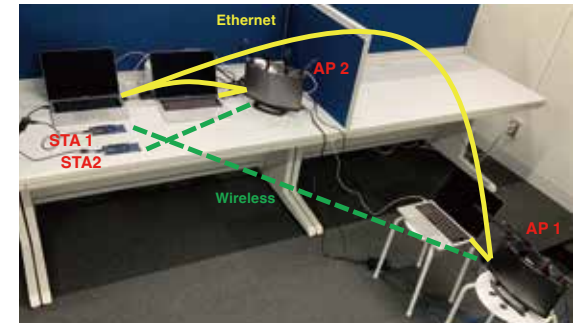


図1 複数AP環境での測定実験

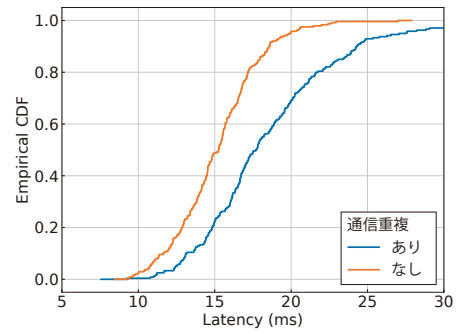


図2 通信サービス期間の重複が遅延に与える影響

研究
成果

無線通信では、IEEE 802.11ax無線LAN規格で導入されたターゲットウェイクタイム(TWT)が、低遅延を実現するメカニズムとして注目を集めている。複数のアクセスポイント(AP)を用いた測定実験を通じて、現在IEEE 802.11bnとして標準化が検討されている低遅延WLAN向けのTWTベースのマルチAP協調スケジューリングの実現可能性を検証した。TWTは各ステーション(STA)の通信サービス期間をスケジューリングする仕組みであるため、マルチSTA環境におけるTWTスケジューリングが遅延やスループットに与える影響を実験により測定した(図1)。その結果、単一APまたは複数APのいずれの場合でも、TWTによる通信サービス期間の重複回避が低遅延WLANの実現に有効であることが明らかになった(図2)。

有線通信では、制御プレーンとデータプレーンがOpenFlowネイティブである環境だけでなく、分散配置されたOpenFlow対応スイッチ(CPE, Customer Premises Equipment)に対して中央コントローラから複数のCPEを制御する方式の検討が行われており、主に拠点間を繋ぐことを念頭に置いたSD-WANとして研究が進んでいる。この発想を、無線APをCPEと見立てて制御する仕組みと捉え直し、有無線融合低レイテンシ無線LAN構成を検討した(図3)。分散協調型アーキテクチャの採用により、通常の集中コントローラと比較して無線AP制御の効率化が期待される。

特筆すべき実績

- ▶ 国際会議IEEE CCNC 2025で成果発表
- ▶ 電子情報通信学会RISING 2024で成果発表
- ▶ 情報処理学会IOTシンポジウム2024で成果発表

スマートギヤの開発

研究
代表者

射場 大輔 教授
機械工学系



研究
協力者

島崎 仁司 准教授
電気電子工学系

本宮 潤一 講師
鳥取大学 工学部 機械物理系学科

研究内容

歯車は、性能・精度・生産コスト面での優位性から、現在でも各種機械の動力伝達機構で用いられる代表的な機械要素である。こうした歯車が損傷すると機械は動力を損失することになり、その機能を失う。特に自動車や航空機といった輸送機器における動力の損失は重大な事故につながることから、歯車の健全性をモニタリングすることは大きな課題である。そこで我々の研究グループでは、自身の完全性を自覚できる機械装置の具現化を目指し、樹脂歯車に導電性インクを直接印刷することによりセンサとアンテナ機能を与え、高速回転中に歯車の状態がモニタリングできる「スマートギヤ」を開発している。スマートギヤに印刷した歯元き裂検知センサが断線するとスマートギヤのアンテナ特性が変化し、スマートギヤと磁界結合させて観測アンテナの周波数特性に影響が現れ、歯車の運転中にき裂の有無を非接触で検知することが可能である。

ネットワークアナライザに接続した観測アンテナをセンサとアンテナ機能を有する歯車に隣接して配置することにより、歯車に印刷したセンサの状態を、観測アンテナの周波数特性を介して非接触で把握することが可能である。システムを樹脂歯車に適用した場合、歯車にき裂が発生する以前から観測アンテナの周波数特性に変化が生じていたが、歯車材料である樹脂が、かみ合いによって発生する外力の作用によって自己の機能を維持する能力を徐々に失い、そうした微小な変化が観測アンテナ特性に現れていると仮定し、新たな研究計画を立てた。スマートギヤ上の電気回路は、運転中の摩擦熱による温度上昇、力学的作用による樹脂材料内部の分子構造変化の影響を受けていると考えられる。昨年度の熱の影響調査に続き、今年度は、歯車材料であるナイロン6の内部構造に対して運転試験が与える影響を調べた。まず初めに用意した樹脂歯車の全歯の歯元近傍の分子構造をFT-IRによって分析し(図1)、また、同時にインピーダンスアナライザで全歯の誘電率を測定した(図2)。また、[図3](#)

→ 運転試験後に同様の測定を実施し、試験前後の各種変化について分析を行った。その結果、運転試験後に誘電率が低下していること、またナイロンのアミド結合において主鎖に関連したアミドIIが側鎖に関連するアミドIよりも減少していることが確認できた(図3)。これらの結果をまとめると、アミド基が切断されることによって材料内部において単位体積当たりの双極子の数が減少したことにより誘電率が低下したと考えられ、損傷の予兆検知に向けた重要な知見が得られた。

特筆すべき実績

- ▶ 科学研究費助成事業 基盤研究(B)に採択「レジリエンス低下の兆候を検出できるスマートギヤの開発」研究課題/領域番号24K00790(2024-2026)
- ▶ 2024年9月に日本機械学会で1件の研究発表
- ▶ 2025年4月にThe 10th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT)で2件の研究発表予定

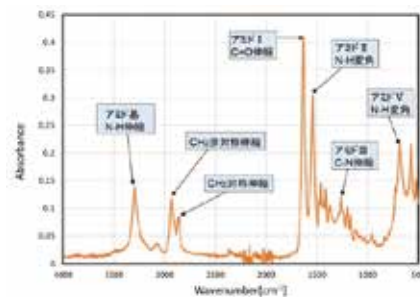


図1 FT-IRによるナイロン6の内部構造分析

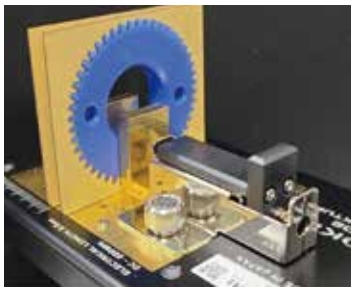


図2 インピーダンスアナライザによる誘電率の計測

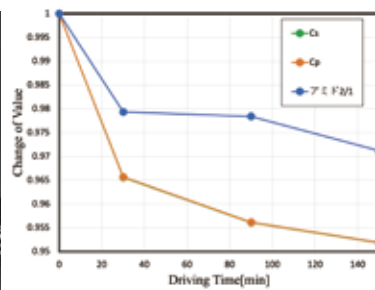


図3 運転時間の増加に対する誘電率とアミドIに対するアミドIIのピーク強度比の変化

研究実績

3Dプリンタ積層造形の スキャンストラテジー 最適化システムの開発

研究者
代表者

高木 知弘 教授
機械工学系



研究
協力者

森田 辰郎 教授
機械工学系

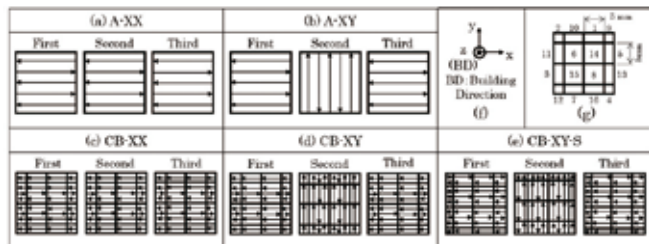
武末 翔吾 助教
機械工学系

坂根 慎治 助教
機械工学系

研究内容

実験と計算の両面からの研究を進めた。実験においては、(1)粉末床レーザ溶融法により作製した積層造形材を対象とする組織制御と残留応力低減のためのストラテジー開発、(2)ストラテジーと積層造形材組織との関係究明のための3次元EBSD分析結果の取得方法の確立、(3)電子ビーム積層造形法により作製したチタン合金積層造形材の極短時間熱処理による摩擦摩耗特性および各種強度の改善、(4)高速、高精度で優れた特性を有する造形材を創成するための3Dプリンタシステムの開発に取り組んだ。計算においては、(1)フェーズフィールド格子ボルツマン法を用いた溶融池内液相流動がセル/デンドライト組織形態に及ぼす影響評価、(2)ストラテジーによる多結晶構造を予測可能な数値計算法の開発、(3)溶融池ダイナミクスの高精度熱流動シミュレータ開発、(4)残留応力評価の有限要素法開発に取り組んだ。

実験(1)のストラテジー開発については、大幅に残留応力を低減可能なレーザ走査パターンと適切な後処理条件が見出された(図1)。実験(2)の3次元EBSD分析結果の取得方法の確立については、造形される組織に係る3次元データの取得技術が開発された。実験(3)の電子ビーム積層造形法により作製したチタン合金積層造形材の各種強度の向上については、関係特許1件が取得された。実験(4)は、カリフォルニア大学デービス校との国際共同研究として取り組み、ステンレス鋼SUS316を対象として、圧延など他の製造法や他の3Dプリンタで作製されたものと同程度の機械的性質を有する造形材



【図1】 研究テーマ「実験(1)」の研究成果。ストラテジー(左図)と残留応力(右図)

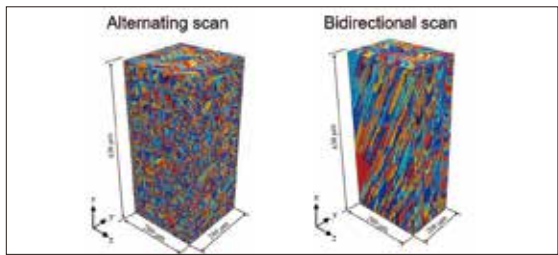


図2 研究テーマ「計算(2)」の研究成果。2種類のストラテジーによる組織予測計算

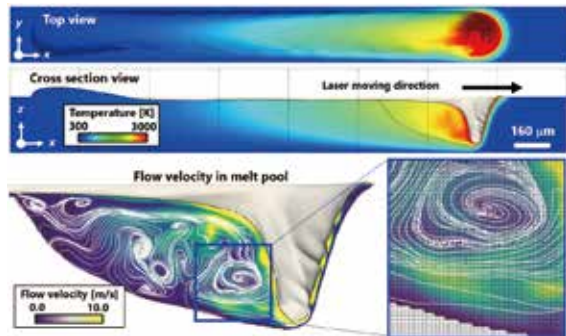


図3 研究テーマ「計算(3)」の研究成果。レーザ走査による溶融池のダイナミクス

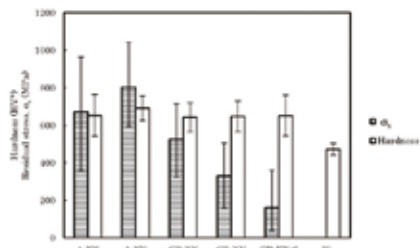
→ を高速、高精度に創成できるシステムを提案した。

計算(1)では、デンドライト組織が観察される温度条件において、凝固方向と平行方向の流速が速いほど、成長方向が上流側に傾き一次枝間隔が増加することを明らかにした。計算(2)では、マルチフェーズフィールド法により計算領域を溶融池に限定する効率的な大規模計算法を開発した(図2)。計算(3)では、格子ボルツマン法とマルチフェーズフィールド法を連成し、世界最高精度の溶融池ダイナミクスを達成した(図3)。計算(4)では、弾塑性構成式に凝固溶融とそれとともなうヤング率と降伏応力の温度依存性を導入し、GPUで計算を高速化する有限要素法開発を進めた。

以上の研究において、科研費3件採択、学術論文4編、国際会議発表10件、招待講演2件、特許1件の成果を得た。

特筆すべき実績

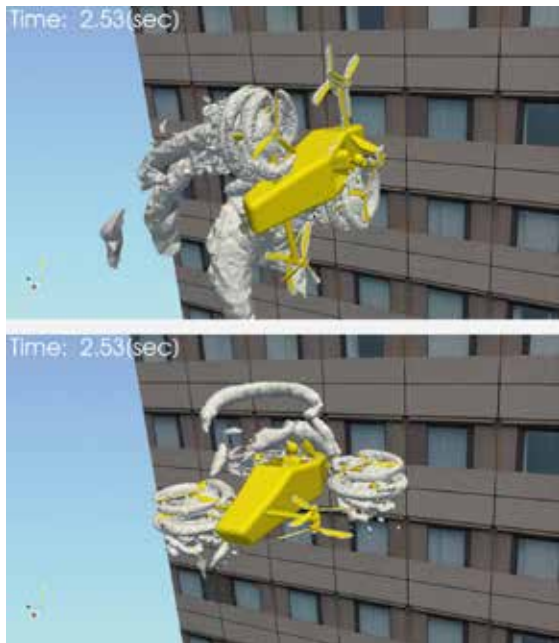
- ▶ 森田 辰郎、科学研究費助成事業 基盤研究(C)、発展型急速高温処理に基づくチタン合金積層造形材の総合的性能向上、2024～2026年度、合計4,986千円。
- ▶ 武末 翔吾、科学研究費助成事業 若手研究、金属積層造形材の疲労強度最大化のための造形条件最適化および造形後処理の開発、2024～2026年度、合計4,810千円。
- ▶ 坂根 慎治、科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)(公募研究)、金属3Dプリンタのデンドライト/セル組織予測の高性能3次元計算法開発、2024～2025年度、合計8,320千円。



研究実績

空飛ぶクルマ
高精度リアルタイムシミュレーション
技術構築研究
代表者山川 勝史 教授
機械工学系研究
協力者小林 祐生 助教
機械工学系森本 高広
スカイリンクテクノロジーズ(株)西岡 琢治
東レ(株)研究
内容

本研究は、間もなく実用化される空飛ぶクルマについて、高精度な飛行シミュレーションをリアルタイム予測可能な速度にまで高速化する試みである。2022年度末にそのプロトタイプが完成した「デジタルフライングカー」を基盤に、流体計算と機体挙動予測にAIを導入し、既存スパコンを用いても困難な100万倍の性能向上を目指す。具体的には、ニューラルネットワークやPointNetなどを用いて機体挙動を学習し、PINNsなどの物理モデルを組み込んだ機械学習手法により流体計算の一部を代替する。GPU計算を得意とする本学小林助教がメンバーに加わり、昨年プロトタイプ飛行に成功したスカイリンクテクノロジーズ株式会社の実機データや、Joby Aviationと連携する東レ株式会社の多彩な知見を活用し、高精度なシミュレーションを可能にするものである。



墜落シミュレーション

研究
成果

2024年度は本研究開発の5年計画における2年目にあたり、「デジタルフライングカー」の深化とAI技術の高度な融合によって最終目標達成を目指している。本年度はその両軸を着実に前進させた。「デジタルフライングカー」は、ローターの回転による推力と機体に作用する空力を連成計算することで、機体姿勢を高精度に解析できるシミュレーションプラットフォームである。将来的には、通常的设计開発に加え、墜落など実機実験が困難な状況も安全に再現することを可能にする。本年度はまず、NEDO先導研究プログラムの支援を得て並列型WSを6台導入し、大幅な計算能力の強化を図った。一方、連名機関である東レ株式会社では自社内に風洞装置を設置するなど、実機試験環境の整備を進めている。また、従来のマルチコプター（オクトローター型）に加え、ドデカローター型やリフトアンドクルーズ型、ベクタードスラスト型の計算機内での試験飛行も開始し、さまざまな機体形態への適用を検証中である。さらに計算高速化の要となるAI技術として、昨年度から開始したPINNsの利用に加え、GNN（グラフニューラルネットワーク）を含む新たな手法を検討し、より高速かつ高精度な解析を目指している。研究は着実に進展しており、数年後の完成を楽しみにしていただきたい。

特筆すべき実績

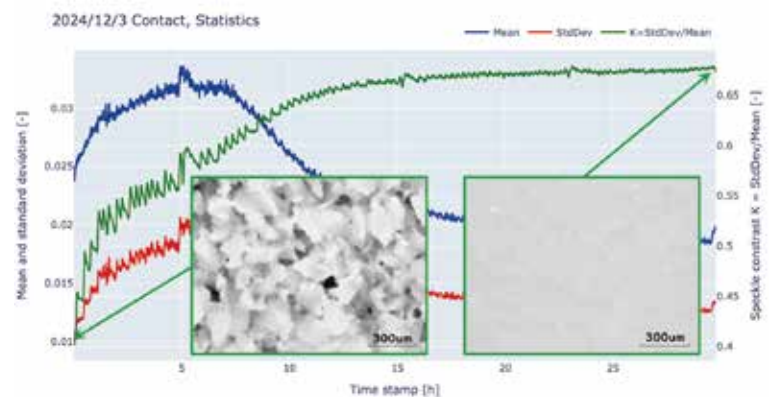
- ▶ 2024年度NEDO先導研究プログラム「デジタルフライングカーによる緊急時機体評価システムの構築」採択(2億円/3年)
- ▶ ICCS2024にて「Effects of wind on forward and turning flight of flying cars using computational fluid dynamics」がBest Main Track Paper Awardを受賞
- ▶ Journal of Computational Scienceに空飛ぶクルマのシミュレーションに関する学術論文が2本採択

研究実績

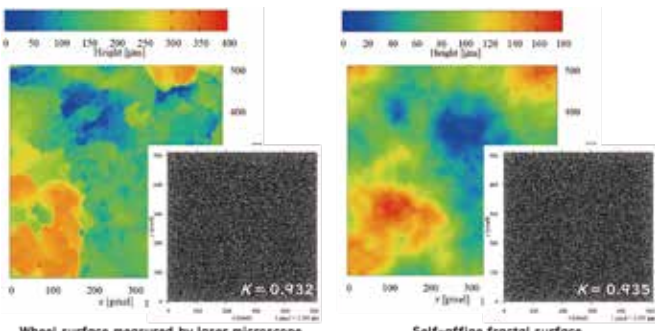
レーザースペckル法を
用いたインライン
砥石作業面診断システムの開発研究
代表者山口 桂司 准教授
機械工学系研究
協力者田中洋介 准教授
機械工学系研究
内容

研削加工において、加工の品質を左右する大きな因子の一つに砥石作業面性状がある。砥石に目づまりや目つぶれが生じると加工不良を引き起こすため、ドレッシングを実施することで砥石作業面をコントロールする。しかしながら、一般的にドレッシング作業は加工を中断して実施するため生産性を犠牲にする。生産性をできるだけ維持するためには、ドレッシングを実施するタイミング（ドレスイントーバル）を的確に知る必要がある。

そこで我々の研究グループでは、「レーザースペckル法を用いたインライン砥石作業面診断システム」を開発している。これは、レーザー照射によって得られるspeckleと呼ばれる明暗の斑点模様（以下、speckleパターン）を用いて、インラインで砥石作業面上の凹凸を検出し、その状態変化を可視化することができるシステムである。



レーザースペckル法による砥石作業面診断結果



自己アフィンフラクタルによる砥石作業面の数値生成結果

研究
成果

本年度は、(1)レーザースペckル法による砥石作業面診断システムの可能性の評価、(2)speckleと砥石作業面との関係照合のための基礎研究を行った。以下にその内容をまとめる。

(1)レーザースペckル法による砥石作業面診断
システムの可能性評価

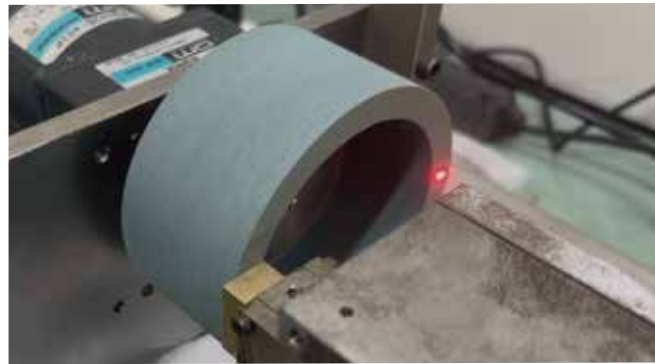
本手法の有用性を検討するため、簡易的な砥石作業面診断システムを構築した。この装置は、レーザースペckル観測用の光学機器と、砥石の目づまりを引き起こすための研削システムとを並列配置することで、工作物の研削とレーザースペckルの観測を同時に行うことができる。本研究では、入手性と作業性を考慮してGC#120のカップ型砥石を用いた。また工作物には、効率的に目づまりを発生させるため、比較的軟質な黄銅を用いた。この装置を使用した実験の結果、砥石作業面の変化に伴って、とくにspeckleコントラスト(K値)が上昇することが明らかになり、本手法の可能性を示した。

(2)speckleと砥石作業面との関係照合のための
基礎研究

最終目標であるドレスイントーバル自動検出システムを構築するためには、speckleと砥石作業面トポグラフィとの関係付けが重要である。実験的にあらゆる条件における砥石作業面状態とspeckleパターンとを関係付けるには長大な時間を要する。そこで、自己アフィンフラクタルによる砥石作業面の数値生成を試みた。レーザー顕微鏡によって計測した砥石作業面と数値生成された砥石作業面を比較したところ、非常に高い一致を示しており、その有用性を示した。

特筆すべき実績

- ▶ Yohsuke Tanaka, Ryoka Hara, Dai Nakai, Keishi Yamaguchi: Generation of Speckle Pattern on a Grindstone Surface Using a Self-Affine Fractal Model, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IMAGING, SENSING, AND OPTICAL MEMORY 2024.



砥石作業面診断の様子