

iPERC2021

—令和三年度活動報告—

国立大学法人 電気通信大学
i-パワードエネルギー・システム研究センター



目次

| | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | ご挨拶 | 1 |
| 2 | 主要研究成果 | 3 |
| 2.1 | 再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォームの研究 (市川 晴久特任教授) | 3 |
| 2.2 | インフラシステムにおけるモデル活用型攻撃検知と縮退制御 (澤田 賢治准教授) | 11 |
| 2.3 | AIを用いた先進エネルギーデバイスの逆設計とエネルギーシステムの最適化 (曾我部 東馬准教授) | 21 |
| 2.4 | ハロゲン化ペロブスカイト太陽電池及び円筒形太陽電池に関する研究 (早瀬 修二特任教授) | 27 |
| 2.5 | 分散型エネルギーシステムを主軸に据えたシステムレジリエンス、電池寿命予測、 信頼性・安全性の理論と応用に関する研究 (横川 慎二教授) | 33 |
| 2.6 | 研究の連携・統合化等による本学の機能強化に係る取組等の活動 (横川 慎二教授) | 42 |
| 3 | 活動一覧 | 49 |
| 3.1 | 外部発表 | |
| 3.2 | 知的財産 | |
| 3.3 | 産学官連携実績 | |
| 3.4 | 競争的資金 | |
| 3.5 | 主な共同研究・受託研究・科研テーマ一覧 | |
| 3.6 | 主な教育 | |
| 3.7 | 表彰 | |
| 4 | 外部発表一覧 | 54 |
| 4.1 | 一般論文 | |
| 4.2 | 国際会議プロシーディングス等 | |
| 4.3 | 国内会議・学会口頭発表等 | |
| 4.4 | 著書 | |
| 4.5 | 解説記事 | |
| 4.6 | 招待講演 | |

1. ご挨拶

センター長 横川 慎二

現在、カーボンニュートラルの実現に向けて、大きな潜在力を有する要素技術の確立が視野に入ってきています。一方、カーボンニュートラルを実現する道筋としての新たな社会像は未だ不確かです。そこには、既存のエネルギーインフラのパラダイムに拘束されない、抜本的な模索が必要でしょう。

i-パワードエネルギー・システム研究センター（Info-Powered Energy System Research Center, 通称 i-PERC）は、人類の持続的発展にとって危機的重要課題であるエネルギー・環境問題の解決と、我が国の産業競争力向上に貢献する課題を抽出し、課題解決のためのソリューション研究を行う研究機関として、2015年1月に設立されました。

2021年度より、市川晴久教授（2015年1月～2017年3月）、新誠一教授（2017年4月～2018年3月）、大川富雄教授（2018年4月～2021年3月）の後を受けて、センター長を拝命いたしました。皆様のご支援をいただき、初年度の活動を完遂し、その報告をさせていただけることに心から感謝しております。

我が国が示した2050年カーボンニュートラルという高い目標を達成するには、様々な課題を解決する必要があります。ここでの課題は、目標と現実の埋めるべきギャップであり、目標をどのように設定するかによって、解くべき課題は変わってまいります。今まさに我々は、カーボンニュートラルが達成された社会像を議論・予測し、現状を把握し、想定した社会像の実現に向けて叡智を集結することが必要となる、未来創造の岐路に立っているのかもしれない。

当センターが、その議論とソリューション研究の拠点となるべく、今後とも努めて参りたいと考えております。本報告ならびに日頃の活動に関しまして、引き続きご指導、ご鞭撻いただければ幸いです。

i-パワードエネルギー・システム研究センター

センター長 横川 慎二



2021 年度

【iPERC 運営委員】

| | | |
|----------|--------|-----------------------------|
| センター長・教授 | 横川 慎二 | 情報学専攻兼務（専任） |
| 理事 | 小花 貞夫 | |
| 理事 | 阿部 浩二 | |
| 理事 | 植村 隆 | |
| 特任教授 | 桐本 哲郎 | 産学官連携センター副センター長・機械知能システム学専攻 |
| 教授 | 石橋 孝一郎 | 情報・ネットワーク工学専攻 |
| 教授 | 崎山 一男 | 情報学専攻 |
| 教授 | 金子 修 | 機械知能システム学専攻 |
| 教授 | 山口 浩一 | 基盤理工学専攻 |
| 准教授（専任） | 澤田 賢治 | 機械知能システム学専攻兼務 |
| 准教授（専任） | 曾我部 東馬 | 基盤理工学専攻兼務 |
| 特任教授（専任） | 市川 晴久 | |
| 特任教授（専任） | 早瀬 修二 | |
| | 森倉 晋 | URA |

【協力教員】

| | | |
|-----|--------|---------------|
| 教授 | 大川 富雄 | 機械知能システム学専攻 |
| 教授 | 沈 青 | 基盤理工学専攻 |
| 准教授 | 木寺 正平 | 情報・ネットワーク工学専攻 |
| 准教授 | 小木曾 公尚 | 機械知能システム学専攻 |
| 助教 | 坂本 克好 | 基盤理工学専攻 |

【客員教員】

| | |
|-------------|-------------|
| Abdul Waris | バンドン工科大学 教授 |
| 谷口 彬雄 | 信州大学 名誉教授 |
| 川喜田 佑介 | 神奈川工科大学 准教授 |
| 松崎 和賢 | 中央大学 准教授 |

【特任研究員】

| | |
|--------------------------|------------------------|
| Muhammad Akmal Kamarudin | i-パワードエネルギー・システム研究センター |
| Baranwal Ajay Kumarand | i-パワードエネルギー・システム研究センター |
| Shamir Shahrir Razey | i-パワードエネルギー・システム研究センター |
| Kapil Gaurav | i-パワードエネルギー・システム研究センター |
| 實平 義孝 | i-パワードエネルギー・システム研究センター |
| 王 亮 | i-パワードエネルギー・システム研究センター |

2.主要研究成果

2.1 再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォームの研究

市川晴久 特任教授

I. 概要

本研究では、昨年に引き続き複数の産学官共同研究を推進し、再生可能エネルギー・ソリューションプラットフォーム確立を目指す研究を進めた。2020年10月の政府の「2050年カーボンニュートラル宣言」以降の再生可能エネルギー電力活用への期待の高まりを背景に、地元自治体である調布市との連携を強化し、以下の課題に取り組んだ。

(1) ユーザ主導インターネット型マイクログリッドに関する研究

- ・バーチャルグリッドネットワーク構成法
- ・バーチャルグリッドネットワーク制御法
- ・USB PD インタフェースを用いる DIY 型太陽光発電システム

(2) ローカルコミュニティによるカーボンニュートラル実現に関する研究

(1)における、ネットワーク構成法については、ネットワークトポロジー構成問題の定式化とグラフ理論的検討、ネットワーク容量計算法を提案した。ネットワーク制御法については、電源、負荷の脱着、変動に対して電力フローを最適制御する自律分散制御アルゴリズムを提案し評価した。DIY 型太陽光発電システムでは、発電変動する太陽電池をバーチャルグリッドに収容するためのシステムの仕様書を作成した。(2)では、東工大と調布市が主催する地域エネルギーまちづくり検討会に参加し、地域の再生可能エネルギー導入拡大とまちづくりを支える草の根電力インフラ構想を提案した。この構想では、バーチャルグリッドをファシリテيشェアリングプラットフォームに組み込み、ポータブル蓄電池を移動サービスなどのアプリケーションと一体管理することによって、市民による、まち全体の機能向上と再エネ拡大を両立させる事業構想を提案した。

II. 研究実施状況

(1) ユーザ主導インターネット型マイクログリッドに関する研究

1.1 バーチャルグリッド

マイクログリッドは、再エネ電力の地産地消による効率的な利用、再エネ発電変動の電力グリッドへの影響緩和、電力グリッド被災時の電力供給を実現する仕組みとして、再エネ大量導入に向けて普及の期待が大きい。また、マイクログリッド送配電網の DC 化への期待が大きい。再エネ電力のほとんどは直流で発電され、ほとんどの負荷が直流であるため、直流による送配電が効率的である。エアコンなどのモータを用いる負荷も内部では交流を直流に変換し、インバータを用いてモータを制御している。マイクログリッド用の標準直流電圧は、1500V 以下の LVDC (Low Voltage Direct Current)、中でも 48V と 380V が有力視されている。一方、USB 標準を決めている USB-IF は、2021 年に 48V240W を扱う新規格 USB-C PD EPR (Extended Power Range) を発表した。このため、我々は、USB-C PD インタフェースが LVDC マイクログリッドのインタフェースとして受け入れられる可能性が高まっていると考えている。

上記の動向理解に基づき、iPERC では、下記の構造を有するマイクログリッドをバーチャルグリッドと命名し、研究開発中である。

- USB PD を負荷、電源（蓄電池、太陽電池）の接続、及びグリッド網構築のインタフェースとする。
- VG-Hub とよぶユニットをグリッド構成要素とし、VG-Hub のネットワークによりローカルな電力分配網を構成する。VG-Hub の制御により、電力フロー、電力分配ゾーンを制御する。
- 既存電力グリッドとは、AC コンセントを通じて多点で接続し、既存グリッド電力を分散蓄電池に蓄電して利用する。
- VG-Hub を通じて負荷、電源の状態情報を収集、推定し、移動する負荷及び電源に対しても、直接接続しない VG-Hub ネットワーク群として、電力受給支援を行う。
- VG-Hub ネットワークはユーザ自身が安全、簡易に構築、分解できる。

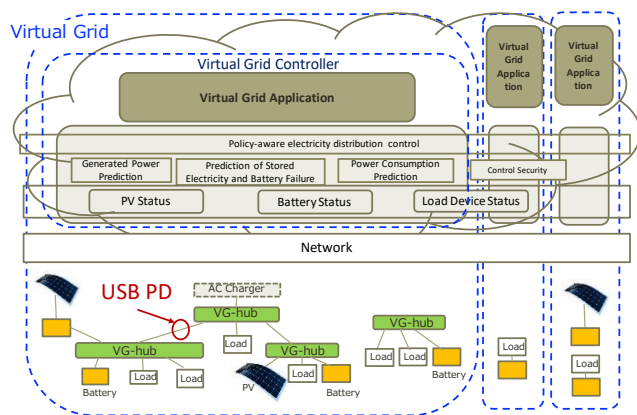
これにより、下記の実現を目指している。

- 初期導入コストを抑え、小さな単位でスケラブルに規模を拡大できる。
- アプリケーションに適合するポータブルな蓄電池を蓄電デバイスとして利用でき、平時の利便性を実現する。
- 多数の蓄電デバイスを一体制御して、デマンドレスポンスに対応できる。
- 非常時は、使える VG-Hub、蓄電池、負荷を集めて独立電源システムをユーザ自身が DIY で構築できる。

Virtual Grid: ユーザ自身が容易に分解・組立可能, スケラブルなミニチュア・マイクログリッド

Virtual Grid Hub (VG-Hub)

- 小型電源出力を合成して負荷に分配
- 電源能力推定, 負荷電力消費推定の基づき電力受給を制御
- VG-Hubのネットワークによりハブ機能を大型化



Virtual Grid System

USB PD (Power Delivery)規格

- 100WDC (240WDCが進行中)
- 電力フローの向きをスイッチ制御可能
- 安全なデバイス接続のための認証機能
- EUは、電子機器充電法をUSB-Cに義務付ける法案を提出



VG-Hubプロトタイプ

図 1 バーチャルグリッドシステム

1.2 VG-Hub ネットワーク構成法

VG-Hub は、固定数の USB Type-C PD ポートを持つハブである。開発済みのプロトタイプのポート数は7である。バッテリーなどの複数の電源出力を合成し、負荷に分配できるが、単一の VG-Hub では、接続できるデバイス数が制約される。USB-C ケーブルで複数の VG-Hub を接続したネットワークを用いて、ポート数以上のデバイスの間の電力融通を実現できる。すなわち、VG-Hub ネットワークは、ポート数の大きな VG-Hub として機能する。VG-Hub ネットワークの構成問題として、少数の VG-Hub で大きな電力を合成分配できるネットワークの構成問題を検討した。

VG-Hub 群の VG-Hub ネットワーク構成に用いるポートを決めると、接続可能な電力・負荷デバイス数が決まり、電力デバイスの出力合計＝負荷デバイスの条件から、VG-Hub ネットワークトポロジーに独立な最大電力要求フローが決まる。VG-Hub ネットワークのトポロジーを決めると、電力デバイス、負荷デバイスの VG-Hub ネットワークポートへの接続パターン集合が決まる。集合の要素となる接続パターンのうち、実現可能なものはトポロジーに依存して限定されるため、実現可能な最大電力フロー、最小電力フローが決まる。これらの拘束関係から VG-Hub ネットワークトポロジー設計問題を定式化し、全 VG-Hub のネットワークングに用いるポート数を同一にする場合、すなわち VG-Hub ネットワークトポロジーを正則グラフとする場合について、グラフの性能を調べた。ノード数 (VG-Hub 数) が 10 までの範囲の、次数 2, 3 の全正則グラフについて調査し、次数 3 の正則グラフの性能が良いことを明らかにした (論文投稿中)。また、任意のグラフ構造を扱うため、最大フローを効率よく計算する手法を考案、評価した ([2][7])。

1.3 VG-Hub ネットワーク制御法

VG-Hub ネットワークは、VG-Hub のポート数制限を超える大きなハブを構成する手段とするだけでなく、DC 配線網にも適用する。DC 配線網の場合は特に、VG-Hub ネットワークの規模が大きくなると予想される。このため、大規模な VG-Hub ネットワークにおいて、電源や負荷の脱着が頻繁に行われることを想定した自律分散ネットワーク制御法を検討した。ここでの課題は、電源、負荷の脱着に対する電力フロー変更に伴う電力伝送損失と VG-Hub の設定変更の影響を限定することである。負荷が一定ホップ数内にある電源を用いるローカルな最適化を行う分散アルゴリズムを考案、評価した。結果を情報処理学会全国大会に発表し、学生奨励賞を受賞した ([6])。

1.4 USB PD インタフェースを用いる DIY 型太陽光発電システム

太陽光発電システムを構築できる土地、屋根が限定されており、国内では建設余地が少なくなっているため、大規模な土地や屋根以外の壁面、農地、河川敷など多様な沿面の活用が求められている。また、ペロブスカイト太陽電池は、高発電効率、軽量、フレキシブル、安価な太陽電池になり、多様な沿面への適用性も高く、実用化に向けて激しい開発競争が進められている。しかし、現状の太陽光発電システムでは、太陽電池以外の付帯コスト比率が極めて高いため、今後、太陽光発電を大きく伸ばすためには、安価な設置工事法や発電システムのグリッドへの接続アーキテクチャの見直しが必要と考えられる。

太陽電池を USB PD で VG-Hub に収容できれば、上述のマイクログリッドの発電装置として活用でき、安価な太陽光発電システム構築法となる可能性がある。USB PD インタフェースでは、電源は安定した電力をコミットすることが前提であり、太陽電池のように日照で出力が変動する電源は不適切である。この問題を解決するため、急激な発電変動を吸収する USB PD インタフェース装置と緩やかな発電

変動を吸収する VG-Hub 制御法を検討し、実装可能な仕様をまとめた。

(2) ローカルコミュニティによるカーボンニュートラル実現に関する研究

調布市が主催する地域エネルギーまちづくり検討会に対して下記の検討成果を提案した。

2.1 草の根分散電力インフラで作る、公園を核とするまちづくり

調布市地域エネルギーまちづくり検討会では、まちづくり事業とエネルギー事業を一体的に進めるための基本戦略として、「調布グランプラス構想」と呼ぶ「駅前からひろがるまちづくり」の検討を進めてきた。京王線調布駅地下化によって生まれた広大な駅前広場と、グリーンホールの建て替えを契機とする独自のまちづくりを目指している。市内に広がる公園、観光施設、スポーツ施設などのオープンスペースを、職住近接、地域医療、地域防災に役立つように連携させることを狙っている。そこでは、パブリックスペースをコミュニティの中心として創り上げ、まちの居心地を良くし、賑わい・活気を創出して、まちの価値を上げるための、市民中心のまちづくり手法である、プレイスメイキング手法の適用が想定されている。

AI, IoT, EV, ロボティクスなどの最新テクノロジーの活用が可能になりつつあり、カーボンニュートラル実現を目指してエネルギー及び電力インフラ整備を進めようとする今こそ、誰もが、まち全体を使って、自由に、働く、遊ぶ、くつろぐことができるようなまちづくりを進める機会が生まれている。調布駅周辺においては、駅前パブリックスペースのプレイスメイキングの原動力のひとつとして、地域マイクログリッド+高効率 BOS(Black Out Start)対応 CGS を核とし、BCP と省エネルギーを両立する分散エネルギーシステムの設計が進んでいる。駅前パブリックスペースと連携させて、市内各所に存在する公園、スポーツ施設、寺社、観光施設、教育施設などのパブリックスペースの集合にもプレイスメイキング手法を適用することとし、その基盤として草の根分散電力インフラを検討した。草の根分散電力インフラでは、ミニ直流マイクログリッドを DIY で構築し、多数のポータブル蓄電池を収容し、太陽光発電電力の拡大に貢献しつつ、蓄電池をまち全体でシェアしてプレイスメイキングの手段とすることを目指す。

2.2 バーチャルグリッドを内蔵するファシリティシェアリングプラットフォーム

各種蓄電池駆動負荷デバイスの利便性向上のためには、いつでもどこでも負荷デバイスを充電可能、充電済み蓄電池と交換可能、さらには、負荷デバイスを所有しなくともいつでもどこでも利用可能にすることが望まれる。電動アシスト自転車などのモノ、駐車場などの空間、人のスキルなどをシェアするシェアリングサービスが普及拡大中である。このような動きと連携させることにより、上述の利便性向上実現に大きく近づくことができると考えられる。

図 2 は、シェアードモビリティサービスを核とするポータブル電源インフラ PPP のビジネスモデル例である。電動モビリティ分野でのサービス展開が活発である。国内の電動アシスト自転車シェア市場では、東京や大阪など全国様々な場所でサービスを展開する NTT ドコモ・バイクシェアは、2021 年 9 月、黒字化達成を報告し、地域事業者やマンション事業者が自転車シェアリングを運営するためのプラットフォームサービス、さらに、自転車以外のモビリティデバイスのシェアリングも取り込むサービスの提供も開始している[1]。このようなプラットフォームと連携し、市民が公園や周囲の建物・施設に自由に出かけ、まち全体を一体利用して、働き、遊び、くつろぎ、非常時には避難するために必要なリソースを共有するサービスを市民参加型で事業化する。

- 多種モビリティの提供
- その他、鍵をかけて共有するサービスの提供
- 多種バッテリー・モビリティの提供
- バッテリー及び充電ステーションの共有・共同運営

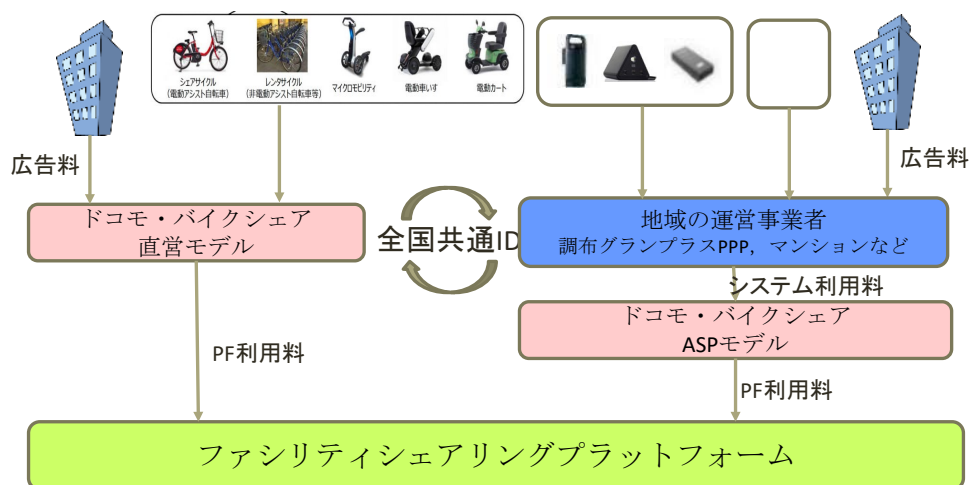


図 2 シェアードモビリティサービスを核とするポータブル電源インフラ PPP のビジネスモデル例

2.3 様々な市民生活シーンにおける草の根電力インフラの具体像

様々な生活シーンでの市民の課題を解決し、生活を豊かにするまちづくりの一環として機能する電力インフラとして、草の根電力インフラの具体像を検討した。市民の生活シーンは、市民の属性、活動状況によって規定されると考えられる。市民属性には、市内在住、市外在住、年齢、健康度などがある。活動状況は、平日、休日、イベント時、非常時、被災時などの環境条件と、通勤、勤務、家庭生活などの個人の活動目的との組み合わせに応じて多様化する。草の根電力インフラを含む、ファシリティシェアリングプラットフォームは、様々な生活シーンにおいて、市民が必要とする道具、サービスを提供する(図 3 参照)。

図 4 は、ポータブル蓄電池を使う独立電源による屋内・屋外一体利用の具体例である。左上の図は、スペースシェアリングへの適用例である。空き不動産を使って、電源工事などを行わず、少ない設備投資でシェアオフィスを実現する。レストランでの客席の電源サービスも工事なしに提供できる。右上は、学校などで、タブレット、PC の充電保管庫機能を高めるために、ポータブル蓄電池を用いる状況を示して

いる。これらの例で用いられる蓄電池を地域の共有リソースとして管理し、シェアバイクなどの移動手段にも用いることで蓄電池の利用効率と利便性を高める。さらに、オフィスなどの椅子、什器などもシェアリングプラットフォームで管理し共有することにより、公園などを市民がリビングに変えてくつろぐために利用する（図 4 左下）。被災時には、必要なスペース、備品をプラットフォームがアレンジし、独立電源を構築して、外部とも通信接続する高機能な避難所を構築する（図 4 右下）。

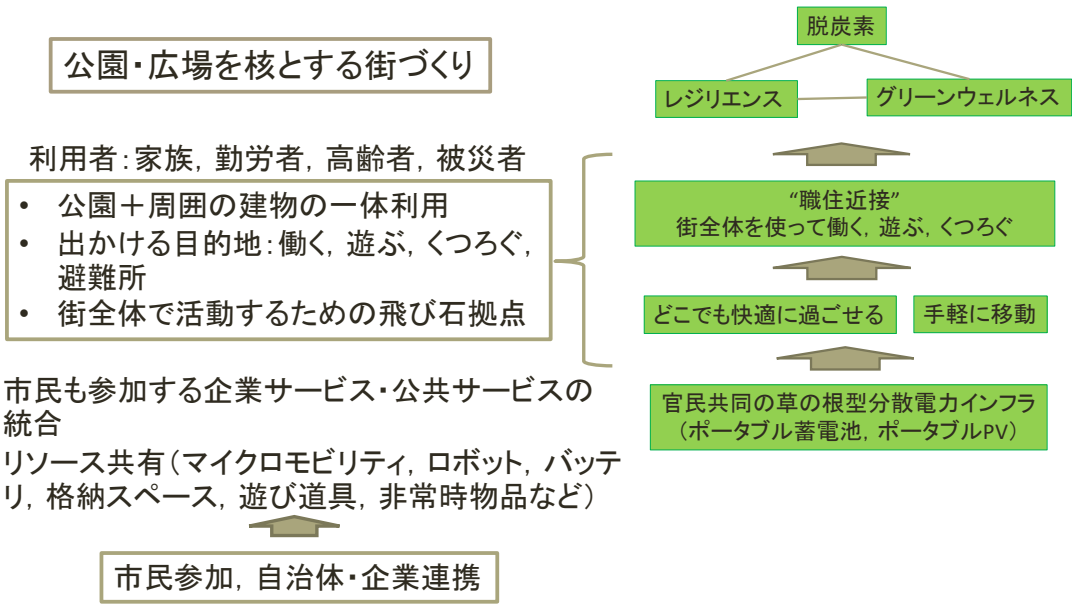


図 3 草の根電力インフラで作る、公園を核とするまちづくり

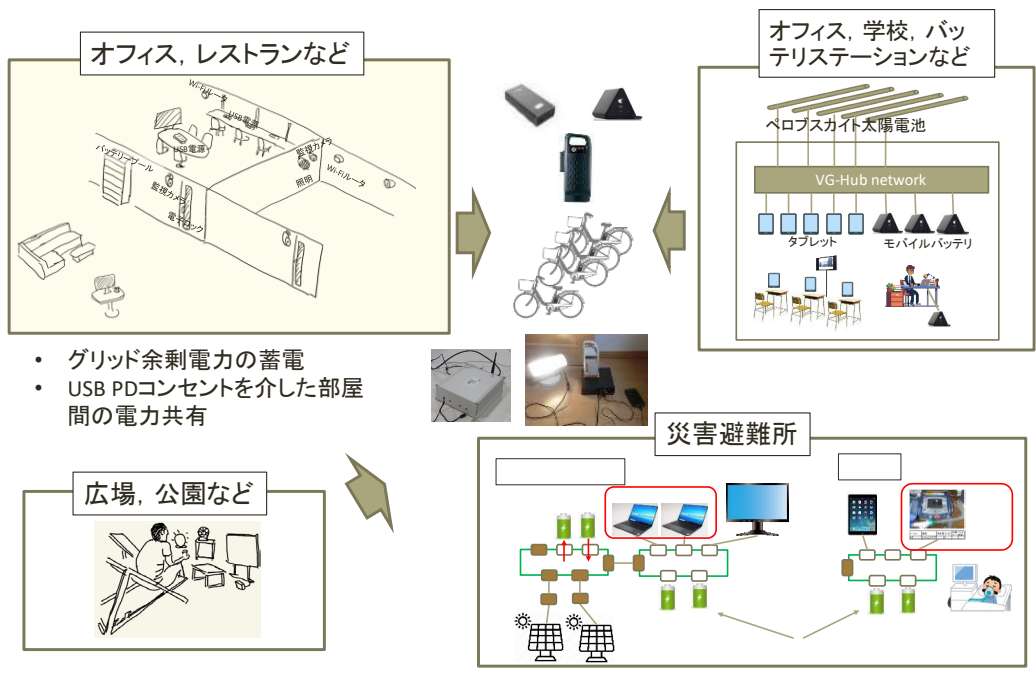


図 4 ポータブル蓄電池を使う独立電源による屋内・屋外一体利用

参考文献

- [1] <https://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/interview/1350942.html>

成果一覧

査読付き学術論文 (2021/4/1-2022/3/31)

- [1] Yuki Takazawa, Toma Kamata, Haruhisa Ichikawa, Hiroshi Tanaka, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita, “Faster channel allocation by relaxing the threshold of the terminal judgement of DCRO control and reducing the number of initial calibrations in backscatter synchronous streaming protocols,” IEICE Communications Express, 2022.
- [2] Takumi Wada, Haruhisa Ichikawa, Shinji Yokogawa, Yoshito Tobe, Yuusuke Kawakita, “A method for generating graphs to derive maximum flow and its evaluation,” IEICE Communications Express, Vol 1, 1-6, 2022.

国際会議 (2021/4/1-2022/3/31)

- [3] Ryo Nakazato, Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa, Tomohito Ushirokawa, Takashi Takeda, “Compact model for estimating ara-level photovoltaic power generation on façade surface using 3D city model and solar radiation simulation,” IEEE PES ISGT-Asia Conference, December 2021.
- [4] Takumi Wada, Yoshito Tobe, Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita, “A maximum flow evaluation method of microgrids comprising ultra-small microgrid components,” 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021).
- [5] Yuki Takazawa, Toma Kamata, Haruhisa Ichikawa, Hiroshi Tanaka, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita, “Faster channel allocation control by relaxing DCRO control in synchronous streaming protocols,” 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021).

国内会議 (2021/4/1-2022/3/31)

- [6] 田村光汰, 川喜田祐介, 戸辺義人, 横川慎二, 市川晴久, “局所性を考慮したインターネット型直流電量流通システム,” 計測自動制御学会 スマートセンシング部会研究発表会(2021.9).
- [7] 和田拓海, 戸田義人, 横川慎二, 市川晴久, 川喜田祐介, “最大実行可能フロー導出のためのVG-Hubネットワーク作成,” 2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-60, (2021.9).
- [8] 大條海渡, 川喜田祐介, 田谷昭仁, 戸辺義人, 横川慎二, 市川晴久, “VG-Hub制御・管理のクラウド化に関する検討,” 情報処理学会 第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2021) (2021.10).
- [9] 三次仁, 徳増理, 市川晴久, “マルチキャリアバックスキュッタ通信システムの開発 システムアーキテクチャとサービス,” 電子情報通信学会短距離無線通信研究会(2022.1).
- [10] 中里諒, 横川慎二, 市川晴久, 後川知仁, 武田隆, “建物沿面を考慮した都市エリアレベルの太陽光発電量推定モデル,” 電子情報通信学会 電子通信エネルギー技術研究会(2022.1).

特許

出願

[1] 中里諒、横川慎二、市川晴久、武田隆、後川知仁：発電量推定装置、特願 2022-056979、2022/3/30
登録

[2] 市川晴久、横川慎二、川喜田祐介：給電制御システム、特許第 7038402 号（2022/3/10）

その他

- ・一般社団法人 電気通信協会 企画委員会 委員長
- ・一般社団法人 電気通信協会 コンテンツ・アプリケーション調査会委員長
- ・多摩ブルー・グリーン賞 副選考委員長

2.主要研究成果

2.2 インフラシステムにおけるモデル活用型攻撃検知と縮退制御

澤田 賢治 准教授

情報理工学領域 II 類/知能機械工学科/機械知能システム学専攻 計測・制御システムプログラム兼務

あらまし：標準規格化や IoT などのネットワーク化によって、ICS はサイバー攻撃の脅威に晒されておりセキュリティ対策技術の研究開発が急務となっている。セキュリティ対策のひとつとしてコントローラに対するホワイトリスト式異常検知技術がある。ホワイトリストによる異常検知では、ICS のモデル化精度が検知性能に直結する。本報告書では、モデル化の難しいフィールド機器に対して、統計的データ処理を用いたモデル化手法とそれを用いた異常検知手法を紹介する。また、ICS の精巧な制御モデルが作成できることは異常検知以外のセキュリティ的利点がある。その例として、異常発生後の ICS の制御切り替え、異常発生箇所の特定を紹介する。

1. 概要

2010 年の Stuxnet 以降、制御システムへのサイバー攻撃は注目されるようになった¹⁾。そもそも、汎用 OS や標準プロトコルの導入が進んだ 2000 年前後においても制御システムに対するサイバーインシデント自体は存在していたが、サイバー攻撃が情報漏洩や改竄以上に社会の安全・安心を左右する事故になり得るという事実を突きつけた事は歴史的転換点と言える。それ以降、ウクライナの大規模停電の例²⁾があるように制御システムを狙った攻撃が観測されるようになり、WannaCry に代表されるランサムウェアの拡大、さらには制御システムを狙ったマルウェアの報告も上がるようになった。2021 年 5 月にはアメリカ最大の石油パイプライン「コロニアル・パイプライン」がサイバー攻撃によって 5 日間の操業停止に追い込まれた。この攻撃は、DarkSide と呼ばれる組織の犯行とされており、今後もこのような組織的かつ計画的な犯行が増加していくと考えられる。

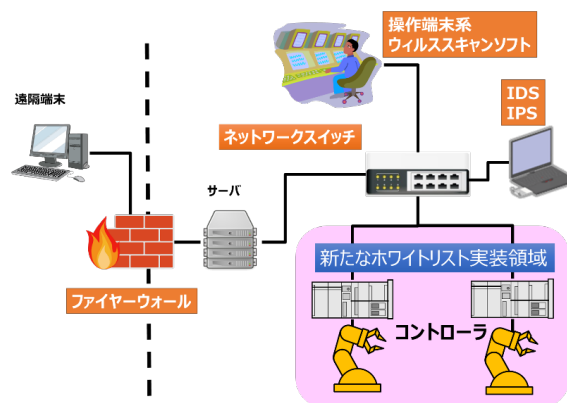


図1 ホワイトリスト実装領域

その 1 つに制御システムの異常検知の手法として、正常な動作をあらかじめリストとして登録しておく、未登録の動作を異常として判定するホワイトリスト式異常検知技術がある。制御システムのセキュリティ対策の多くが、ファイヤーウォール、ウイルススキャンソフト、IDS、IPS などの既存の情報セキュリティ技術の転用が多かったのに対して、本検知技術は制御システムのコントローラに直接実装可

能な機能となっている（図 1）。この異常検知技術の要点は、監視対象の正しい振る舞い（ホワイトリスト）を如何に正確に作成するかである。ネットワークなら通信の送受信先の組み合わせやポート番号、パソコンなら EXE ファイルなどになるが、コントローラの場合にはフィールド機器（アクチュエータやセンサ）の振る舞いまで含める必要がある。これに対して著者らは離散事象システムの手法を利用して、コントローラのホワイトリストを自動生成する方法を提案し、PoC 検証などを実証している。これまで制御システムの表現方法として離散事象システムが研究されてきたように、ICS (Industrial Control System) の動作の多くは離散事象モデルとして捉えることができる。先行研究の中には離散事象モデルからシステムの動作の全状態と遷移を列挙し、ホワイトリストを作成しているものもある。

ICS のモデル化ではコントローラ動作とフィールド機器動作が重要となる。コントローラ動作は制御プログラムの構造解析によって知ることができる。一方で、ほとんどのプラント情報は制御プログラムだけで把握するのは困難であり、操業データも含めて把握する必要がある。これに対して我々は操業データからホワイトリストのためのモデル情報を獲得する研究を行っている。本報告書では、プラント情報が制御プログラムに含まれない場合の対処としてマルコフ決定過程を用いたモデル化と異常検知手法を解説する。

全てのサイバー攻撃を未然に防ぐことが現実ではないことから、インシデントハンドリングが今後益々重要となる。2020 年 1 月から 7 月に起きたイスラエルの水処理施設に対するサイバー攻撃事例では、水道に塩素などの化学物質を混ぜることを目的にバルブ制御用の PLC (Programmable Logic Controller) のロジック改竄などが行われた。その際、オペレータが異常を検知しシステムを止めた事や操作盤から制御状態を回復した事により被害の拡大が抑えられている。一方で、オペレータがシステム異常を制御するための安全装置（フェールセーフ機能自体）もサイバー攻撃対象になった事も報告されている。サイバー攻撃下でオペレータが冷静に制御システムを操業するためには、サイバー攻撃下におけるフィールド機器側の可用性（継続的運用性能）を保証できる新たなセキュリティ機能がこれからの ICS には求められる。そこで、本稿では ICS のプラント情報を含んだモデルによって可能となる異常検知後の事後処理（縮退運転、異常特定）についても報告する。

2. ホワイトリスト

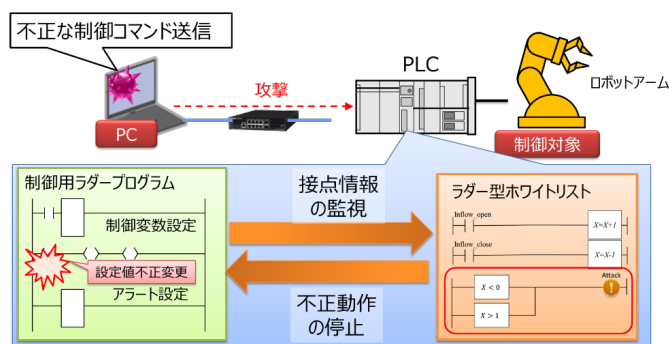


図 2 コントローラホワイトリスト

これまで我々は既設の PLC のハードウェアやファームウェアを大幅に変える事無く、実装可能なコントローラ用のホワイトリストを開発している（図 2）。本報告書で扱うコントローラホワイトリストの検証環境は、コントローラを実機に、制御対象を 3D シミュレータにしたものである。2020 年からのコロナ禍により、大学組織においても実機環境でのセキュリティ検証が難しくなった。セキュリティは実機検証を前提とするものだが、ICS は諸規模の模擬プラントであっても、リモートワークで構築できるサイ

ズになるとか限らない。そこで、当研究室では我々のグループはフィールド機器側の 3D シミュレータに置き換えている。この検証環境は自動車分野の HILS (Hardware In the Loop Simulation) に対応する。本稿では Factory I/O を利用した例を紹介する。

3. 問題設定

ホワイトリストによる異常検知のためには、ICS の動作モデル (離散事象モデル) が必要になる。ICS の制御器である PLC のプログラムはリレー回路を元とした言語であり、その代表が Ladder Diagram (LD) である。LD のプログラムのモデル化手法において、ステップ k における状態 $\mathbf{X}[k] \in \{0,1\}^n$ と入力 $\mathbf{U}[k] \in \{0,1\}^m$ の状態方程式は

$$\mathbf{X}[k+1] = f(\mathbf{X}[k], \mathbf{U}[k]), \quad (1)$$

$$\mathbf{U}[k+1] = g(\mathbf{X}[k+1], \mathbf{U}[k]) \quad (2)$$

によって与えられる。ここで n , m はそれぞれ状態ベクトルと入力ベクトルの次元であり、ICS におけるアクチュエータ数とセンサ数に対応する。このとき、異常検知は (1), (2) 式に対して現在の状態 $\mathbf{X}[k]$, 過去の状態 $\mathbf{X}[k-1]$ と入力 $\mathbf{U}[k-1]$, $\mathbf{U}[k-2]$ を適用した

$$\mathbf{X}[k] - f(\mathbf{X}[k-1], \mathbf{U}[k-1]) = 0, \quad (3)$$

$$\mathbf{U}[k-1] - g(\mathbf{X}[k-1], \mathbf{U}[k-2]) = 0 \quad (4)$$

を利用する。(3), (4) 式を満すときを正常、そうではないときを異常と判定する。

上記の方法では、関数 f は制御プログラムなどから取得し、関数 g は設計者が与える必要がある。関数 f , g はそれぞれアクチュエータ、センサの動作条件であり、特にプラントのダイナミクスを与える関数 g は ICS が大規模になるほど与えることが困難となる。関数 g が設計困難となると、 $\mathbf{X}[k]$ において発生可能な $\mathbf{U}[k]$ の候補を決定できず、異常な入力による動作を含んだモデルを生成する可能性がある。つまり、(3), (4) 式による異常検知では、検知漏れが発生してしまう。そこで、実機データを用いて関数 g をマルコフ決定過程に基づき表現した ICS の離散事象モデルを作成する。以降では、初期状態 $\mathbf{X}[0]$, 初期入力 $\mathbf{U}[0]$ と関数 f が既知であるとする。

4. マルコフ決定過程による ICS のモデ

離散事象モデルとして、本稿ではマルコフ決定過程¹⁶⁾を用いる。マルコフ決定過程は 4 項組 (S, A, T, R) で表現される。その各項は

$$\text{状態集合 } S = \{s_1, s_2, \dots\},$$

$$\text{行動集合 } A = \{a_1, a_2, \dots\},$$

$$\text{遷移関数 } T : S \times A \times S \rightarrow [0, 1],$$

$$\text{報酬関数 } R : S \times A \times S \rightarrow \mathbb{R}$$

である。マルコフ決定過程では、ある状態 s_{src} で実行した行動 a によって、次の状態 s_{dst} に遷移する確率が定まる。この遷移の確率は、遷移関数 T によって表わされており、

$$\forall s_{src} \in S, \forall a \in A, \sum_{s_{dst} \in S} T(s_{src}, a, s_{dst}) = 1 \quad (5)$$

を満す。報酬関数 R は S , A , T によって定まる確率離散事象に対して最適な政策 π を求めるための評価関数の作成に利用される。政策 π は状態 s_{src} において行動 a が発生する条件付き確率であり

$$\forall s_{src} \in S, \sum_{a \in A} \pi(s_{src}, a) = 1 \quad (6)$$

を満す。一般的なマルコフ決定過程の問題は S , A , T , R に対して報酬を最大とする最適政策 π^* を求める問題である。

ICS の動作をマルコフ決定過程に対応させるために、各項 S , A , T の導出を行なう。報酬関数 R を導出

しない理由は後述する。まず、初期状態 $\mathbf{X}[0]$ と関数 f によって状態 \mathbf{X} が取り得る全ての値の集合 $S_{\mathbf{X}}$ を求めることができる。この $S_{\mathbf{X}}$ により、 $\mathbf{X}_i \in S_{\mathbf{X}}$ において発生する入力 \mathbf{U} が取り得る全ての値の集合 $S_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i)$ は

$$S_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i) = \{\mathbf{U} | \mathbf{X}_i \neq f(\mathbf{X}_i, \mathbf{U})\} \quad (7)$$

となる。つまり、マルコフ決定過程における状態集合 S と行動集合 A は

$$S = S_{\mathbf{X}}, \quad (8)$$

$$A = \bigcup_{\mathbf{X}_i \in S_{\mathbf{X}}} S_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i) \quad (9)$$

となる。また、(1)式から ICS において $\mathbf{X}[k+1]$ は $\mathbf{X}[k]$ 、 $\mathbf{U}[k]$ によって一意に定まるため、遷移関数 T は

$$T(s_{src}, a, s_{dst}) = \begin{cases} 1, & \text{if } s_{dst} = f(s_{src}, a) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

と定めることができる。(10)式は異常判定の(3)式に対応し、値が1のとき正常、0のとき異常を表わす。

(3)、(4)式を用いた異常検知のためには、あとは(4)式に対応する異常判定式の導出が必要である。(4)式は、状態 $\mathbf{X}[k-1]$ において発生する入力 $\mathbf{U}[k-1]$ を定める式である。マルコフ決定過程における状態と集合が(8)、(9)式であることから、(4)式を導出することは政策 π を求めることに当たる。マルコフ決定過程の政策の導出は、一般的に報酬関数 R を用いて評価関数を作成し、最適化問題を解く。ICS において、報酬関数 R をアクチュエータ動作によるセンサ反応の制御仕様達成度として捉えると、報酬関数 R はプラントのダイナミクスを表現した関数 g に相当する。

ICS の状態 $\mathbf{X}[k]$ と入力 $\mathbf{U}[k]$ を m ステップ分取得したデータをそれぞれ $D_{\mathbf{X}}$ 、 $D_{\mathbf{U}}$ とする。これらのデータを用いて政策 π を表現する頻度分布を作成する。(6)式より、政策 π を頻度分布で表現するためには、状態数と等しい $|S_{\mathbf{X}}|$ 個の分布が必要になる。各分布を求めるために必要となるのは、状態 $\mathbf{X}_i \in S_{\mathbf{X}}$ において発生する入力データの集合である。それは

$$D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i) = \{\mathbf{U}[k] \in D_{\mathbf{U}} | \mathbf{X}[k] \in D_{\mathbf{X}}, \mathbf{X}[k] = \mathbf{X}_i\} \quad (11)$$

として求めることができる。(10)式によって得られた集合に対して、入力 $\mathbf{U}_j \in D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i)$ が発生した回数は

$$c_i(\mathbf{U}_j) = |\{\mathbf{U} \in D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i) | \mathbf{U} = \mathbf{U}_j\}| \quad (12)$$

として得られる。

$S_{\mathbf{X}}$ は関数 f によって導出された集合であるため、関数 g に沿わない入力によって遷移した状態を含む可能性がある。そのような入力は、サイバー攻撃や故障が発生しないかぎりデータとして取得できない。そのため、(12)式によって得られる発生回数が0回となり、ゼロ頻度問題を発生させる。この問題を解決するために、ラプラス平滑化を用いて分布の平滑化を行なう。ラプラス平滑化は頻度分布に対して一様分布を加算する処理であり、パラメータ変数 α 、 d を用いて

$$\theta_{ij} = \frac{c_i(\mathbf{U}_j) + \alpha}{|D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i)| + \alpha d} \quad (13)$$

と頻度を求める。ここで、 α は平滑化の重みを表わすパラメータである。 d は一様分布の状態数を表わすパラメータであり、本稿では $d = |D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i)|$ を用いる。以上より、状態 \mathbf{X}_i において入力 \mathbf{U}_j 発生する確率を表わす政策 π は(13)式を用いて

$$\pi(\mathbf{X}_i, \mathbf{U}_j) = \frac{c_i(\mathbf{U}_j) + \alpha}{(1 + \alpha)|D_{\mathbf{U}}(\mathbf{X}_i)|} \quad (14)$$

となる。この(14)式に対して正常判定の閾値 λ を定めることにより、

$$\pi(\mathbf{X}_i, \mathbf{U}_j) \geq \lambda \quad (15)$$

を(4)式の代用として異常を検知することができる。

5. シミュレーションと異常検知結果

マルコフ決定過程から作成したモデルを用いて異常検知のシミュレーションを行なう。作成したプラントの外観を図3に示す。このプラントはロボットアームによって荷物の仕分け作業を行なう。ロボットアームには3つのアクチュエータが搭載されており、それぞれレーン移動 x_1 、上下移動 x_2 、把持 x_3 の動作を行なう。また、センサとして流入センサ u_1 、流出センサ u_2 、レーン移動センサ u_3 、上下移動センサ u_4 、把持センサ u_5 の5つが配置されている。アクチュエータとセンサの取り得る値は0, 1のどちらかである。

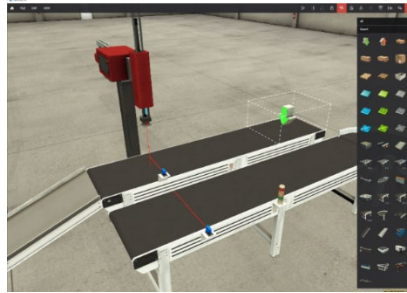


図3 Factory I/O によって作成したシミュレーションプラント

このプラントにおいて状態 \mathbf{X} と入力 \mathbf{U} はそれぞれ

$$\mathbf{X} = \{x_1, x_2, x_3\}, \quad (16)$$

$$\mathbf{U} = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\} \quad (17)$$

のベクトルによって表現される。またアクチュエータの動作を表わす関数 f は、状態 \mathbf{X} の各要素 x_i に対して

$$x_1[k+1] = x_3[k] \wedge \overline{x_2[k]} \wedge \overline{u_4[k]} \vee x_1[k] \wedge (x_3[k] \vee x_2[k] \vee u_4[k]), \quad (18)$$

$$x_2[k+1] = \overline{u_3[k]} \wedge (\overline{x_1[k]} \wedge u_1[k] \wedge \overline{x_3[k]} \vee x_1[k] \wedge x_3[k]) \vee x_2[k] \wedge (u_3[k] \vee x_1[k] \wedge x_3[k] \vee \overline{x_1[k]} \wedge \overline{x_3[k]}), \quad (19)$$

$$x_3[k+1] = \overline{u_3[k]} \wedge \overline{x_1[k]} \wedge u_5[k] \vee x_3[k] \wedge (u_3[k] \vee \overline{x_1[k]} \vee \overline{u_4[k]}) \quad (20)$$

である。このシミュレーションプラントに対して、取得したデータを状態 $\mathbf{X} = \mathbf{X}_8 = \{1,1,1\}$ の場合について表1に示す。表1において入力 \mathbf{U} はベクトルではなく

$$2^0 u_1 + 2^1 u_2 + 2^2 u_3 + 2^3 u_4 + 2^4 u_5 \quad (21)$$

によって整数値に変換した値で表記している。これは表記の簡略化のためである。

表1 状態 \mathbf{X}_8 における入力 \mathbf{U}_j の発生回数

| \mathbf{U}_j | 16 | 17 | 18 | 19 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $c_i(\mathbf{U}_j)$ | 0 | 0 | 88 | 55 | 0 | 0 | 43 | 24 |

表1の各入力に対して(14)式によりラプラス平滑化を行なった結果が表2である。計算に用いたパラメータは $\alpha = 1$ 、 $d = |D_U(\mathbf{X}_8)| = 8$ を用いた。

表2 状態 \mathbf{X}_8 における政策 π の発生確率

| \mathbf{U}_j | 16 | 17 | 18 | 19 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| $\pi(\mathbf{X}_8, \mathbf{U}_j)$ | 0.0045 | 0.0045 | 0.408 | 0.256 | 0.0045 | 0.0045 | 0.201 | 0.114 |

1%未満の確率で発生する事象を異常と定め、 $\lambda = 0.01$ として(15)式による正常判定を行なう。また、実行した模擬サイバー攻撃はセンサ値の改竄である。具体的な攻撃内容は、プラントの状態 $\mathbf{X} = \{1,1,1\}$ において、流出センサ u_2 の値を常に0に変更する攻撃である。

模擬サイバー攻撃の結果、状態 $\mathbf{X} = \{1,1,1\}$ において入力 $\mathbf{U}_j = 16$ が観測された。この状況において異常判定の(15)式を適用すると

$$\pi(\mathbf{X}, \mathbf{U}_j) = 0.0045 < 0.01 \quad (22)$$

となる。(22)式は閾値を下回るため、模擬サイバー攻撃による異常の検知が達成される。この手法は、モデル化に用いるデータに異常な状態遷移のデータが含まれていても、閾値 λ を調整することによって異常検知することができる。

6. 関連研究の紹介

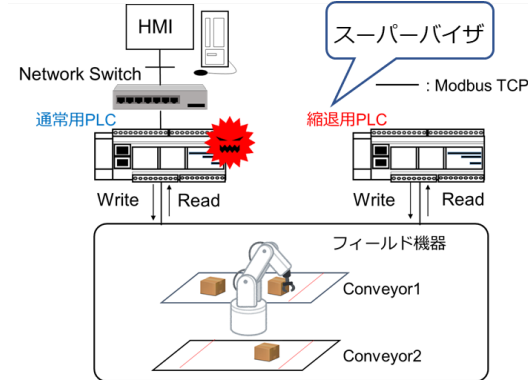


図4 第三者監視システム

サイバー攻撃中に制御システムを操業する際には、限定的ながら能動的にシステムを動かし続ける縮退運転機能が必要となる。同時に、攻撃中に確実に縮退運転に移行できるか、速やかに縮退運転から通常運転に復帰できるかが重要となる。この問題を解決するために、我々は制御用PLCと縮退用PLCから構成される第三者監視システムの研究を行っている(図4)。様々な攻撃に対して縮退制御が可能かを事前検証するための方法を形式検証の考え方である双模倣性の観点から、サイバー攻撃下での複数機器が連携した運転状態の切り替え方法を離散事象システムのスーパーバイザ理論の観点からそれぞれ研究している。

制御ネットワークにおけるランサムウェアの拡大はある種の多段階もしくは複数攻撃として捉えることも出来る。制御システム内の複数のアクチュエータが段階的もしくは同時に攻撃され誤作動が発生する状況に対処するために、我々は2章のホワイトリスト手法を異常検知から異常特定に拡張する研究を行っている。制御システムの複数の機器の動作ログが対比可能な新たなホワイトリストモデルを構築する事がキーポイントであると同時にホワイトリストモデルのサイズの圧縮もキーポイントとなる。動作ログの対比が可能なホワイトリストモデルはモデルサイズが巨大となり、異常箇所特定のための時間が掛かる傾向にある。この問題解決に2分探索木を利用したモデル圧縮方法を提案している。

成果一覧

論文(2021年度掲載分)

1. Shotaro Shibahara, Takuma Wakasa, Kenji Sawada: Network Weight and Time-varying Potential Function for Obstacle Avoidance of Swarm Robots in Column Formation, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.15, No.1, 24/35 (2022.2)
2. Yukari Mochizuki, Kenji Sawada: An analysis of expansion and reduction speeds of traffic jams on graph exploration, Journal Artificial Life and Robotics, Vol.?, No.?, ?/? (2022)
3. 藤田淳也, 小倉貴志, 大河内一弥, 松本典剛, 澤田賢治, 金子修: Diamond model と攻撃状態に基

- づくサイバー攻撃シナリオ構造化表現モデル, 電気学会論文誌 C, Vol.142, No.3, 328/338 (2022.3)
4. 若狭拓馬, 澤田賢治: 車群位置推定のための補間型分散協調オブザーバとオンライン更新, 電気学会論文誌 C, Vol.142, No.3, 239/250 (2022.3)
 5. Noritaka Matsumoto, Junya Fujita, Hiromichi Endoh, Tsutomu Yamada, Kenji Sawada, Osamu Kaneko: Asset Management Method of Industrial IoT Systems for Cyber-security Countermeasure, Information Systems, Information 2021, 12(11) 460. <https://doi.org/10.3390/info12110460>
 6. Takuma Wakasa and Kenji Sawada: Multi-Rate Switched Pinning Control for Velocity Control of Vehicle Platoons, The IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E104-A, No.11, 1461/1469 (2021.11)
 7. 望月優加理, 澤田賢治: ヘテロジニアスなエージェント群のグラフ探索における役割交換と探索効率の関係, システム制御情報学会論文集, Vol.34, No.10, 269/278 (2021.10)
 8. 藤田真太郎, 澤田賢治, 新誠一, 細川嵩: PLC の動作順序を監視するホワイトリストの自動生成手法, 計測自動制御学会論文集, Vol.57, No.8, (2021.8)
 9. 山藤勝彦, 橋本真, 山本建, 澤田賢治: H^∞ 制御を用いた摩擦伝達装置のジャダー抑制, 計測自動制御学会論文集, Vol.57, No.7, 324/333 (2021.7)
 10. Katsuhiko SANDO, Takeshi YAMAMOTO, Kenji SAWADA, Tomoyuki TANIGUCHI, Nobuyuki SOWA, Haruki MORI and Takahiro KONDO: Analysis and stabilizing design of self-excited oscillation in a loading cam using a wedge effect, Mechanical Engineering Journal, Volume 8, Issue 2, Pages 20-00497 (2021.4)

国際会議

1. Shintaro Fujita, Kenji Sawada: Examination of Allowlist Using Markov Decision Process for Industrial Control Systems, AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
2. Haruka Matsushita, Kenji Sawada: Adaptive Cruise Control to reflect driver individuality via Human-In-the-loop-system, AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
3. Shotaro Shibahara, Kenji Sawada: Polygon-Wall based Obstacle Avoidance for Swarm Robots in Column Formation, AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
4. Kousei Sakata, Shintaro Fujita, Kenji Sawada: Synthesis and Implementation of Resilient Fallback Control Logic Under Cyberattacks, AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
5. Yoshiki Ikeda, Kenji Sawada: Anomaly Detection and Anomaly Location Model for Multiple Attacks Using Finite Automata, ICCE2022, 7-9, Jan. 2022. (Virtual conference, Full Paper Review)
6. Kousei Sakata, Shintaro Fujita, Kenji Sawada: Model Verification of Resilient Third-Party Monitoring System Against Cyberattacks, ICCE2022, 7-9, Jan. 2022. (Virtual conference, Full Paper Review)
7. Shotaro Shibahara, Takuma Wakasa, Kenji Sawada: Network Weight Function for Obstacle Avoidance of Swarm Robots in Column Formation, SICE Annual Conference, 259/262, 2021 (Virtual conference, 2021.9.8-9.10) (Position paper review)
8. Yuzuna Horiuchi, Katsuhiko Sando, Kenji Sawada: On MPC-based Driver Assistance System for Driver Preview Action, SICE Annual Conference, 449/452, 2021 (Virtual conference, 2021.9.8-9.10)

(Position paper review)

9. Takuma Wakasa, Kenji Sawada: A Sparse Pinning Control for Vehicle Platoon via Sequential l1 Optimization, ISIE 2021, TS-23.8 (2021.6.20-23) (Virtual conference, Full paper review)

国内会議

1. 藤田真太郎, 澤田賢治: シーケンス制御システムのホワイトリスト式異常検知のためのモデル化の検討, 2D1-6, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
2. 池田佳輝, 阪田恒晟, 澤田賢治: サイバー攻撃下での制御システムにおける復帰動作順序の導出方法, 2D1-5, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
3. 谷山晴紀 (明治大学), 市原裕之 (明治大学), 澤田賢治 (電気通信大学): 切替を伴うマルチエージェントシステムの分散型 Receding Horizon Total Control, PS3-11, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
4. 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治: スーパーバイザ制御に基づく脆弱性の表現とその防御方法の検討, PS3-1, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
5. 佐藤海斗, 澤田賢治: 離散化主双対勾配アルゴリズムによる Receding-Horizon Estimation の提案, PS3-2, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
6. 堀内柚那, 澤田賢治: ドライバの予見動作に応じた切替型 Shared Control に関する研究, PS2-4, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
7. 藤本拓磨, 澤田賢治, 山藤勝彦: 予測ガバナによる前方車両の一時停止を考慮した ACC の設計, PS2-3, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
8. 望月優加理, 澤田賢治: 自動運転車両の利他的な車線変更に起因する渋滞とその解消速度の評価, 1D2-4, MSCS2022 (2022.3.7-10) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
9. 藤田真太郎, 澤田賢治: シーケンス制御システムに対するホワイトリスト式異常検知のための正常状態遷移のモデル化, SCIS2022 (2022.1.19-22) 新型コロナウイルスによりハイブリッド開催, 現地参加
10. 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治: 制御システムに対する脆弱性を考慮したスーパーバイザの設計, SCIS2022 (2022.1.19-22) 新型コロナウイルスによりハイブリッド開催, 現地参加
11. 池田佳輝 (電気通信大学), 阪田恒晟 (電気通信大学), 澤田賢治 (電気通信大学), 藤田淳也 (日立製作所), 松本典剛 (日立製作所): 制御システムにおけるインシデント発生後の状態復帰動作の導出方法, SCIS2022 (2022.1.19-22) 新型コロナウイルスによりハイブリッド開催, 現地参加
12. 阪田恒晟 (電気通信大学), 藤田真太郎 (電気通信大学), 澤田賢治 (電気通信大学), 遠藤 浩通 (日立製作所), 松本 典剛 (日立製作所), サイバー攻撃に対するレジリエントな縮退運転システムの設計と実装, SCIS2022 (2022.1.19-22) 新型コロナウイルスによりハイブリッド開催, 現地参加
13. 浅中莉子, 本間俊貴, 井上正樹, 澤田 賢治: 混雑緩和のための行動モデリングと制御, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催 (優秀発表賞)
14. 藤田真太郎: 産業用制御システムのためのマルコフ決定過程を用いたホワイトリスト生成の検討, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
15. 阪田恒晟, 藤田真太郎, 澤田賢治: サイバー攻撃に対するレジリエントなスーパーバイザの設計, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催 (優秀発表)

賞)

16. 松下遥香, 澤田賢治: Human-In-The-Loop System によるドライバ個性を反映した Adaptive Cruise Control, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
17. 藤田真太郎, 澤田賢治: 二重化制御システムにおける異常発生時の制御器引き継ぎ方法, 2021 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 583/585 (2021.9.15-17) 新型コロナウイルスによりオンライン開催 (2021 年電気学会優秀論文発表賞 A)
18. 堀内柚那, 澤田賢治, 山藤勝彦: ドライバの予見動作を支援する MPC 型自動運転システムに関する研究, 2021 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 940/943 (2021.9.15-17) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
19. 池田佳輝, 澤田賢治: 複数攻撃に対する有限オートマトンを用いた異常検知と異常箇所判定モデル, 2021 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 944/949 (2021.9.15-17) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
20. 柴原将太郎, 澤田賢治: 複数列縦隊移動するロボット大群の障害物回避のためのネットワーク重み関数, 2021 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 1019/1024 (2021.9.15-17) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
21. 澤田賢治, 長谷川亮太: 予測誤差フィードバックを有するガウス過程回帰による制御システムの異常検知, SCI'21, TS09-01-4 (2021.5.26-18) 新型コロナウイルスによりオンライン開催

学生受賞 (2021 年度)

1. 若狭拓馬: 計測自動制御学会 2022 年制御部門奨励賞 (技術分野), 発表題目: 車群速度制御のためのスパースピニング制御, 第 8 回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム
2. 阪田恒晟: 第 64 回自動制御連合講演会優秀発表賞, 発表題目: サイバー攻撃に対するレジリエントなスーパーバイザの設計, 第 64 回自動制御連合講演会 (2021 年 11 月 13~14 日, オンライン開催)

招待講演

1. FA システムにおけるサイバーセキュリティ技術: 縮退制御と回復制御, システム制御情報学会 CyFA 研究分科会第 5 回例会「ネットワーク化電子制御機械システムにおけるセキュリティ確保の最前線」, 2022/03/22
2. FA システムにおけるサイバー攻撃検知~機器連携とログ活用, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 一般公開セッション「IoT ロボティクス時代を支えるネットワーク技術」, 2021/09/16
3. 制御システムのモデルベースセキュリティ, 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス (SeMI) 研究専門委員会, 「横断型研究会: スマートシティ時代の情報セキュリティ」, 2021/07/28
4. 制御工学からアプローチしたサイバーセキュリティ~何が難しく何が簡単なのか~, システム制御情報学会・計測自動制御学会 チュートリアル講座 2021 「制御システムセキュリティとプライバシー」, 2021/07/21
5. 電力インフラのエッジデバイスに適用可能なセキュリティ機能開発, i-PERC シンポジウム 2021 ~カーボンニュートラルに向けた電力エネルギーと情報通信~, 2021/06/30
6. IoT 社会におけるインフラシステムのサイバーセキュリティ, 電気通信大学第 123 回研究開発セミ

ナー, 2021/06/11

解説記事

1. 藤田真太郎, 澤田賢治, 制御システム向けセキュリティ対策技術, 電気学会誌, Vol. 142, No. 4, 212/214, 2022
2. 藤田真太郎, 澤田賢治, 制御分野におけるモデル活用型攻撃検知と縮退制御, 化学工業, Vol. 73, No. 3, 174/181, 2022
3. 澤田 賢治, 編集後記, 計測と制御, 2021, 60 巻, 5 号, p. 395, 公開日 2021/05/21
4. 蛭原義雄, 奥宏史, 片山仁志, 坂本登, 津村幸治, 平田光男, 西村悠樹, 澤田賢治, 次世代システム制御理論とは何か: 本論, 計測と制御, 2021, 60 巻, 5 号, p. 385-394, 公開日 2021/05/21
5. 西村悠樹, 佐藤訓志, 澤田賢治, 大木健太郎, 星野健太, 佐藤康之, 定本知徳, 次世代システム制御理論とは何か: 序論, 計測と制御, 2021, 60 巻, 5 号, p. 381-384, 公開日 2021/05/21

講演企画

1. 2022: International Symposium on Artificial Life and Robotics, Organizer of organized session "Control System Security and Encrypted Control", Virtual conference due to COVID-19
2. 2021: 第 64 回自動制御連合講演会セッション (制御システムのセキュリティとプライバシー) の共同提案 (電気通信大学 小木曾公尚先生)
3. 2021: SICE Annual Conference 2021, Organizer of organized session " Discussion of true dynamics for next control theory and application" with Dr. Yuki Nishimura (Kagoshima University) and Satoshi Sato (Osaka University) Virtual conference due to COVID-19

2.主要研究成果

2.3 AI を用いた先進エネルギーデバイスの逆設計とエネルギーシステムの最適化

曾我部 東馬 准教授

情報理工学域 III 類/基盤理工学専攻

I. 2021 年度計画概要

曾我部研究室では、AI・量子ドット/ペロブスカイト太陽電池・量子を主軸として「AI を用いた先進エネルギーデバイスの逆設計とエネルギーシステムの最適化」に関する研究を行っている。

2021 年度は、主に以下の点について研究を推進した。

- ① AI 予測最適化手法を用いた PbS 量子ドット/ペロブスカイト太陽電池の光閉じ込め構造の逆設計
- ② 深層強化学習を用いた量子制御
- ③ 強化学習を用いた量子ドットの構造逆設計

本年度の開発内容と成果の概要は以下となる。

(1) AI 予測最適化手法を用いた PbS 量子ドット/ペロブスカイト太陽電池の光閉じ込め構造の逆設計

シースルー太陽電池における近赤外波長域の吸収効率の向上のため、3次元 IBSC デバイスモデルと AI を用いた近赤外波長域における光閉じ込め構造の逆設計を行った。逆設計で得られた最大の光閉じ込め係数は 3.23 倍であった。これから目標の 6%に向かって、報酬関数やアルゴリズムを見直し、逆設計の性能向上を目指す。

(2) 深層強化学習を用いた量子制御

量子通信や量子力学的現象の検証のためにはシュレディンガーの猫状態の実現が重要である。また、量子猫状態は非線形な系の基底状態として知られているため一般的な制御理論が使えない。このような系で量子猫状態への制御を行うことは量子通信や量子力学的現象の検証のためにも重要であるため、強化学習を用いた特定の状態から量子猫状態への量子制御を行なった。

(3) 強化学習を用いた量子ドットの構造逆設計

シースルー太陽電池を実現するために、最適な電子物性を持つ量子ドットの設計をしなければならない。そのために、効率的な量子ドット構造探索が必要である。この問題に対して、第一原理計算と AI 手法を用いて量子ドットの構造逆設計を行った。

II. 研究実施状況

(1) AI 予測最適化手法を用いた PbS 量子ドット/ペロブスカイト太陽電池の光閉じ込め構造の逆設計

本研究では前年度に開発した3次元ドット/ペロブスカイト太陽電池シミュレーターと、予測と最適化機能を備える深層強化学習アルゴリズムを用いて、中間バンド形成に関わる光吸収層での光閉じ込め構造の逆設計を行なった。遂行した課題は、裏面金属からの反射によって増加する、長波長域の光電流密度の増加割合の最大化、すなわち近赤外波長域の光閉じ込め係数を最大化することである。今回は、短絡電流密度 J_{sc} のうち、中間バンドを介して生じた分の電流密度 J_{sc} において、裏面金属がない場合の値に対する、裏面金属がある場合の値との割合を光閉じ込め係数と定義し、この割合が6倍となることを目標とした。また逆設計では、中間バンドを形成する光吸収層だけでなく、透明導電膜や電子輸送層、正孔輸送層を含めた全ての層の幅をチューニングするパラメータとした。強化学習の報酬はシミュレーターによって計算された光閉じ込め係数と目標値との差とした。図1(a)と(b)は探索した最適なデバイス構造とバンドダイアグラムを表している。図1(c)は強化学習を用いて行なった逆設計中の光閉じ込め係数の平均値を示している。デバイスパラメータの探索により光閉じ込め係数が増加していることが確認できるが、途中から急激に減少している。図1(d)は、逆設計中に得られたデバイス構造の中で最も光閉じ込め係数が高かった結果を示しており、裏面金属の有無それぞれの場合における短絡電流密度 J_{sc} の内訳を示している。グラフより、今回の逆設計において得られた最大の光閉じ込め係数は3.23倍であることがわかった。今後は目標値の性能を示す逆設計に向けて、報酬関数の設定の見直しや、強化学習アルゴリズムの変更などを検討し、改善を行う。

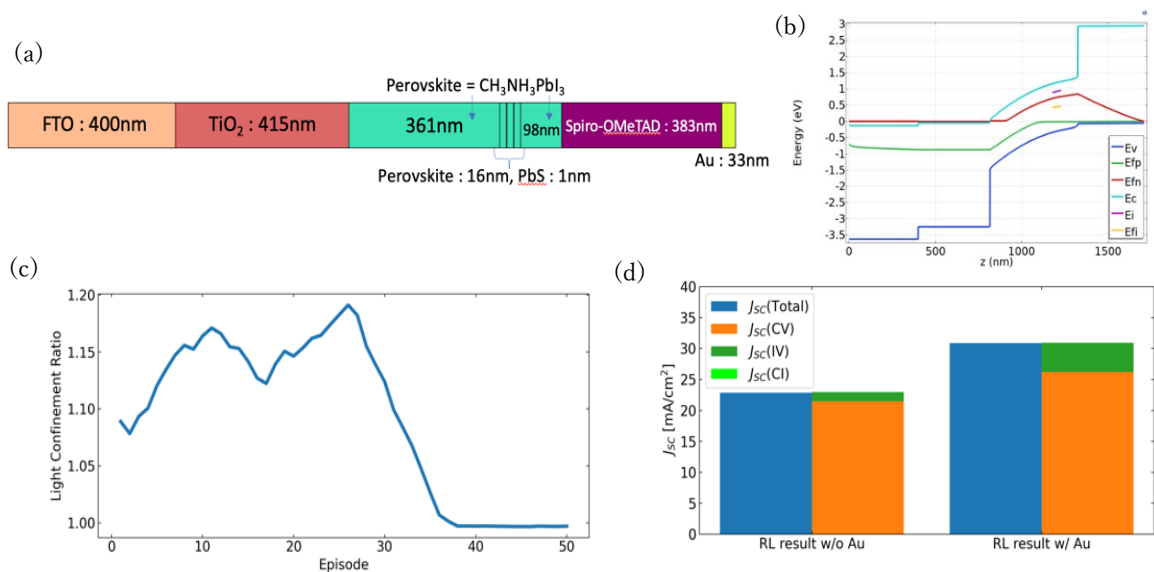


図1 (a) 逆設計により得られたデバイス構造; (b) 逆設計により得られたデバイスのバンドダイアグラム
(c) 逆設計中の光閉じ込め係数; (d) バルクと中間バンドそれぞれにおける光電流密度;

(2) 深層強化学習を用いた量子フィードバックによる量子制御と量子状態生成

量子力学的重ね合わせ状態であるシュレディンガーの量子猫状態は量子通信や量子コンピューティングの分野で非常に重要である。そこで、本研究では強化学習を用いた特定の状態から猫状態への量子制御を行なった。具体的には、システムのハミルトニアンにスクイーズドハミルトニアンを加えることによって量子状態の制御を行なった。ここで、スクイーズの強度をAIに学習させることによって猫状態への制御を行えるようにした。また、環境では量子システムの時間発展を考慮する必要があるため、本研究では量子確率マスター方程式を用いて記述した。システムのハミルトニアンは図2(a)に示す。コヒーレント状態から学習を始め、強化学習の報酬は基底状態の位置で最も期待値が大きくなるように設定をした。図2(b)は強化学習の報酬関数である。強化学習のアルゴリズムは正しく動いているが、学習自体は進んでいないことがわかった。また、学習の結果得られたウィグナー関数を図2(c)に、Fock状態の分布図を図2(d)に示す。報酬関数が期待した地点まで上がっていないためウィグナー関数も猫状態を生成できていないことを示している。また、Fock状態の分布図も猫状態を示すようなパリティの状態になっていない。以上の結果を踏まえて考えると、シミュレーションのために用意したヒルベルト空間が小さすぎたことが学習が進まなかったことの要因の一つではないかと考える。今後は、ヒルベルト空間を大きくとった中で、量子フィードバック制御を行なっていく必要がある。しかし、これに伴い計算量が莫大に増加することから、計算時間への対処も検討する必要があると考えている。

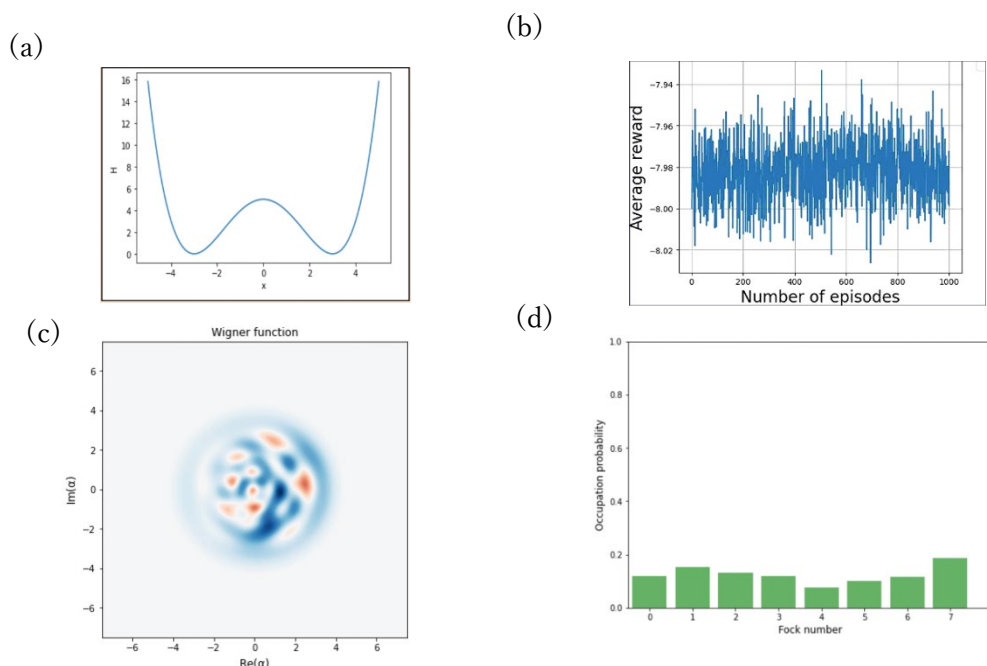


図 2 . (a)システムのハミルトニアン (b)強化学習エージェントの報酬関数
(c)学習後のウィグナー関数 (d)学習後の Fock 状態の分布図

(3) 強化学習を用いた量子ドットの構造逆設計

前年度の研究において機械学習予測モデルを用いて量子ドットの構造から光吸収スペクトル及び発光スペクトルの予測することを達成したので、今年度は学習済みの予測モデルを用いて強化学習を適用した量子ドットの逆設計を行った。遂行した課題は、あらかじめ設定した目標の光吸収スペクトルになるよ

うな量子ドットの構造を探索することである。図3に示すように、検証のために構造が既知である量子ドットの光吸収スペクトル(図3(a))をTDDFTで計算してターゲット構造と目標スペクトルとした。強化学習の報酬は、探索した構造をもとに学習済みの予測モデルから予測した光吸収スペクトルのピーク波長と目標のスペクトルのピーク波長の平均絶対誤差-MAEとした。図3(b)は探索後の最適構造とそれに対応した光吸収スペクトルを示している。図3(c)は強化学習を遂行する際にトラッキングした報酬曲線を表しており、学習の進行に伴い報酬-MAEが増加していることから、探索したスペクトルが目標に近づいていることがわかる。図3(a)と図3(b)を比較すると、探索したスペクトルのピーク波長「図3(b)」は最大のピークの裾に小さなピークが存在しているが、目標スペクトル(a)と概ね一致しており、逆設計は成功したことを示唆している。今後は、効率的な探索空間の制限などを取り入れ、探索可能な原子数の

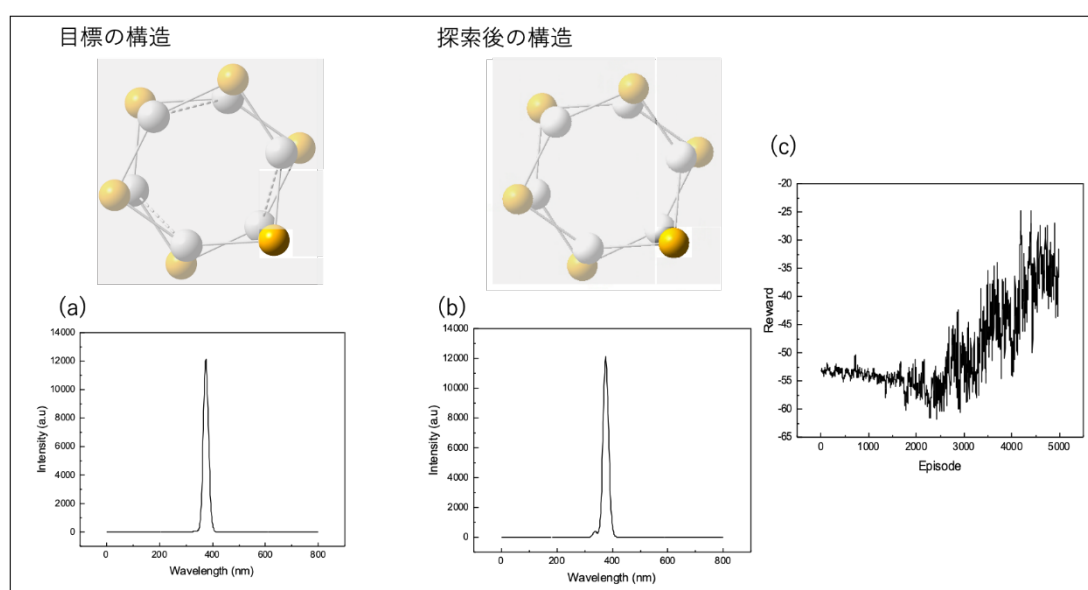


図3 . (a)目標の構造とそれに対応した TDDFT で計算した目標のスペクトル；(b)探索後の構造とそれに対応した光吸収スペクトル；(c)強化学習の報酬曲線。

増加を目指す。

III. 業績・成果一覧

査読付き学術論文

- 1) Tomoaki Kimura, Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "Variational Quantum Circuit-Based Reinforcement Learning for POMDP and Experimental Implementation" *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2021 Article ID 3511029(2021), DOI: 10.1155/2021/3511029.
- 2) Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "Quantum-Inspired Classification Algorithm from DBSCAN–Deutsch–Jozsa Support Vectors and Ising Prediction Model", *MDPI Applied Sciences*, Vol.11(23) 11386(2021), DOI: 10.3390/app112311386.
- 3) Motoyuki Tanaka, Keichiro Banda, Tomah. Sogabe, Koichi Yamaguchi, "InAs/GaAsSb In-Plane Ultrahigh-Density Quantum Dot Lasers", *Applied Physics Express*, Vol.14(12) 124002 (2021),

DOI:10.35848/1882-0786/ac3542.

- 4) Chih-Chieh Chen, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "On the Expressibility and Overfitting of Quantum Circuit Learning", ACM Transactions on Quantum Computing, Vol.2 (2) pp.1-24(2021), DOI:10.1145/3466797.
- 5) Masaya Watabe, Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "Quantum Circuit Learning with Error Backpropagation Algorithm and Experimental Implementation", Quantum Reports, Vol.3 (2) pp.333-349(2021), DOI: 10.3390/quantum3020021.

学会発表論文

国内発表[6]

- 1) 斯波 廣大、坂本 克好、山口 浩一、沈 青、岡田 至崇、曾我部 東馬, "AI を用いたペロブスカイト/PbS 量子ドット中間バンド太陽電池の光マネジメント構造設計",第 82 回応用物理学会秋季学術講演会,(2021/9/10-13),オンライン.
- 2) 熊倉 健太、坂本 克好、曾我部 東馬, "第一原理非平衡グリーン関数輸送解析を用いたマルチ量子ビットの物理モデルの設計とゲート制御",第 82 回応用物理学会秋季学術講演会,(2021/9/10-13),オンライン.
- 3) 吉田 響、坂本 克好、山口 浩一、曾我部 東馬, "コアシェル量子ドットにおける第一原理非平衡輸送解析と構造逆設計",第 82 回応用物理学会秋季学術講演会,(2021/9/10-13),オンライン.
- 4) 福田 渉、坂本 克好、山口 浩一、曾我部 東馬, "PbS 量子ドットにおける第一原理非平衡グリーン関数解析およびリガンド効果",第 82 回応用物理学会秋季学術講演会,(2021/9/10-13),オンライン.
- 5) 小栗 直己、丁 超、早瀬 修二、曾我部 東馬、豊田 太郎、沈 青, "PbS/CdS 量子ドット薄膜の光励起キャリアダイナミクス",第 82 回応用物理学会秋季学術講演会,(2021/9/10-13),オンライン.
- 6) Chen Chih-Chieh, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "A study on the expressibility and learnability of quantum circuit learning",情報処理学会第 3 回量子ソフトウェア研究発表会,(2021/7/1-2),オンライン.

国際発表[2]

- 1) Chih-Chieh Chen, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, "Learnability and expressibility of variational quantum circuit learning: VC theory and PAC-Bayes theory", CANDAR2021, (2021/11/23-26), Online.
- 2) Risa Takayanagi, Keita Takahashi, Masaya Watabe, Kazunori Ohkawara, Tomah Sogabe, "Decision Making in American Football under State Uncertainty by Stochastic Inverse Reinforcement Learning", CANDAR2021, (2021/11/23-26), Online.

その他(招待講演、著書、セミナー等) :

招待講演発表

- 1) 曾我部東馬, "AI 技術の最新動向とシステム制御と最適化に関する応用事例",第 52 回計装制御技術会議, (2022/1/19-21),オンライン.
- 2) 曾我部東馬, "AI リテラシー入門",就職・転職支援のための大学リカレント教育推進事業における AI

リテラシー入門", (2021/11/20), オンライン.

- 3) 曾我部東馬, “量子コンピュータが作る未来「量子過学習ってなあに？」”, データサイエンティスト協会, (2021/9/30), オンライン
- 4) 曾我部東馬, “量子× AI が創る新しい社会「量子[回路・機械]学習って、学習できる保証があるの？」”, 電気通信大学, (2021/8/17), オンライン.
- 5) 曾我部東馬, “不確定性を考慮したエネルギーミックス問題の最適化—数理手法、AI 手法そして量子アルゴリズムまで—”, i-PERC シンポジウム 2021, (2021/6/30), オンライン.
- 6) 曾我部東馬, 「製造業DX (デジタルトランスフォーメーション) における異常検知技術の活用～DX・AI の基礎から AI による異常検知技術の適用展開まで～」 (株)情報機構主催, (2022/3/25).
- 7) 曾我部 東馬, 「Python による異常検知」 (株)トリケップス主催, (2021/5/17).

著書

- 1) Chih-Chieh Chen, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, “Hybrid quantum-classical dynamic programming algorithm”, Advances in Intelligent Systems and Computing, pp.192-199 (2021), DOI:10.1007/978-3-030-73113-7_18.
- 2) Reed.Sogabe, Dinesh Bahadur Malla, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe, “Impact of Domain Knowledge’s Quality on Inverse Reinforcement Learning ”, Advances in Intelligent Systems and Computing: pp.97-108 (2021), DOI: 10.1007/978-3-030-73113-7_9.

【知的財産権・特許】

該当なし

2.主要研究成果

2.4 錫系ペロブスカイトの高効率化指針提案に関する研究

早瀬 修二 特任教授

概要：錫系ペロブスカイトの高効率化指針提案に関する研究を推進した。表面パッシベーションによる界面欠陥を補償することにより錫ペロブスカイト太陽電池の効率 13.6%を達成した。錫ペロブスカイトをアロイ化することにより 23.3%を達成し、アロイ化が高効率に有効であることを提案できた。円筒形太陽電池の実証実験設備が完成し運用を始めた。

1. ハロゲン化ペロブスカイト太陽電池に関する研究

ハロゲン化ペロブスカイト太陽電池は 100°C程度の低温塗布で作製できるにもかかわらず9N の純度を有するシリコン単結晶太陽電池に迫る効率が報告されており、世界的に活発な研究開発が行われている。しかし従来のハロゲン化ペロブスカイト太陽電池には鉛イオンが含まれており実用化の懸念材料となっている。早瀬研では鉛ペロブスカイト太陽電池に代わる次世代太陽電池として、鉛イオンを含まない錫

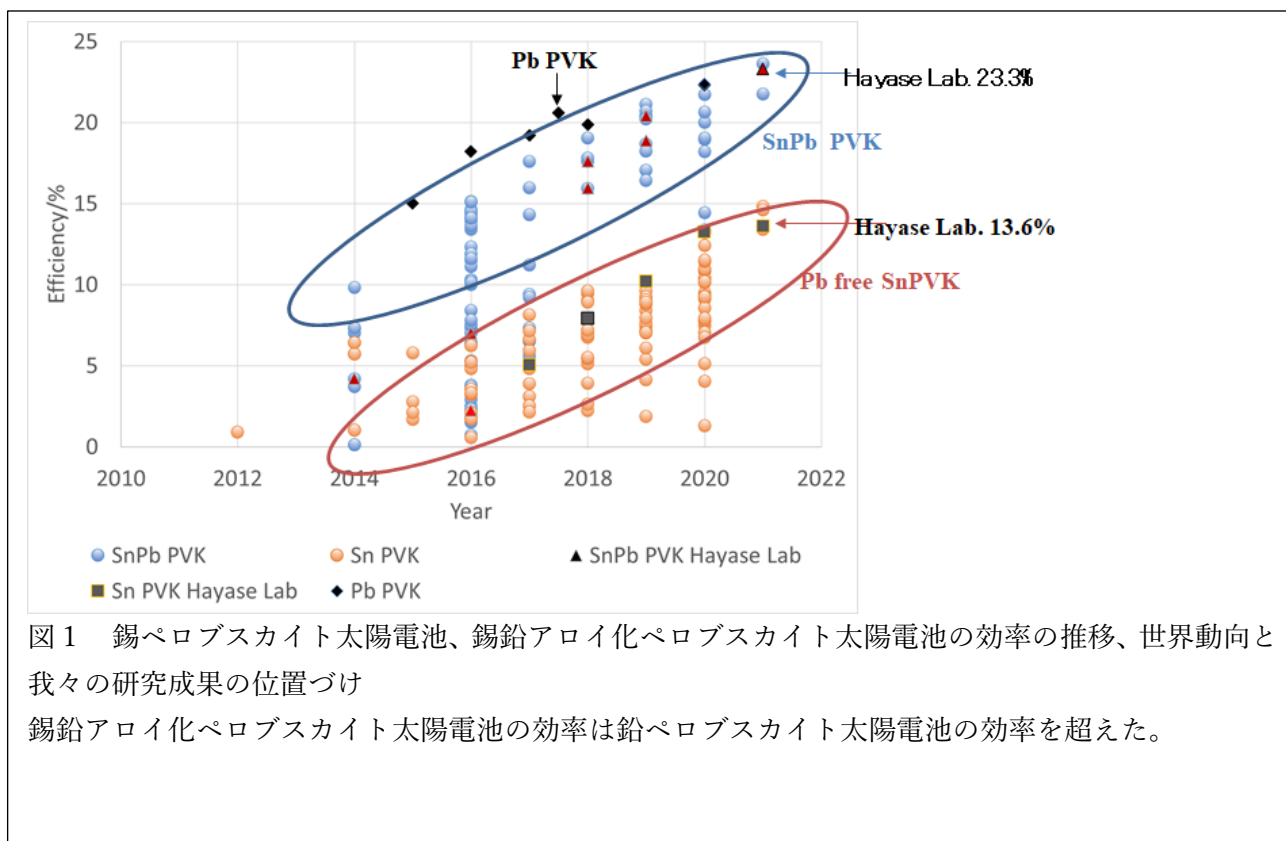


図1 錫ペロブスカイト太陽電池、錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率の推移、世界動向と我々の研究成果の位置づけ

錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率は鉛ペロブスカイト太陽電池の効率を超えた。

ペロブスカイト太陽電池、鉛イオンの濃度を低下した錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池を世界に先駆けて研究開発してきた。錫ペロブスカイト太陽電池は上記した環境問題の観点から、錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池は光吸収がシリコン太陽電池と同様に赤外領域まで光を吸収することができ、理論的には鉛ペロブスカイト太陽電池を超える高効率が期待できる点が研究開発のモチベーションとなっている。2021年度は錫系ペロブスカイト太陽電池の高効率化に注力し、結晶欠陥、特に粒界の結晶欠陥を修復する方法（粒界パッシベーション）を見出し、鉛フリー錫ペロブスカイト太陽電池で変換効率

13.6%, 錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池で変換効率 23.3%を達成した。図 1 に鉛フリー錫ペロブスカイト太陽電池、錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率の推移を世界動向と比較し記述する。錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率は従来の同じ構造の鉛ペロブスカイト太陽電池の効率を超えた。これまで錫が含まれるペロブスカイト太陽電池は欠陥が多く、高効率化が期待できないという雰囲気が学会内にあったが、アロイ化することによって鉛ペロブスカイト太陽電池の効率を凌駕することが可能であることを実証できた。これにより錫アロイ化ペロブスカイト太陽電池を用いた高効率化指針が提案できた。今後、スーパーコンピューター富岳を利用した科学計算グループなどと共同研究を行うことによって、さらに結晶欠陥の密度を下げる方法を提案し、効率 25%を目指した研究開発を進める。

2. 円筒形太陽電池の実証実験

株式会社フジコー、CKD 株式会社、ウシオ電機株式会社の協力により、株式会社フジコー敷地内に植物工場を建設し円筒形太陽電池を設置した。このシステムを用いて、野菜の育



写真 1 野菜工場に設置した円筒形太陽電池モジュール

長さ 120 cm の円筒形太陽電池モジュールを野菜苗床上に設置した。写真では野菜が植得られたばかりで成長していない。太陽電池設置個所と未設置個所で野菜の育成状況を比較する。

成と発電を両立するソーラーシェアリングの実証実験を開始した。写真 1 にその実証実験の様子を示す。

成果一覽

論文發表

- 1) Shuzi Hayase, Sn based and Pb free perovskite solar cells, Chapter 10 in Perovskite photovoltaics and optoelectronics, 2021.
- 2) Akmal Kamarudin, Shuzi Hayase, Passivation of hybrid/inorganic perovskite solar cells. Chapter 3 in Hybrid Perovskite Solar Cells: Characteristics and Operation, Wiley-VCH, by Hiroyuki Fujiwara. 2021
- 3) Yaohong Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Qiao Li, Chao Ding, Yong Zhou, Yingfang Yao, Zhigang Zou, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino, Shuzi Hayase, Qing Shen, Influence of charge transport layer on the crystallinity and charge extraction of pure tin-based halide perovskite film, J. Energ. Chem. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2022.02.003>. IF:9.67.
- 4) Zheng Zhang, Ajay Kumar Baranwal, Shahrir Razey Sahamir, Gaurav Kapil, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, Kohei Nishimura, Chao Ding, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Muhammad Akmal Kamarudin, Qing Shen, a, Teresa S. Ripolles, Juan Bisquert, Shuzi Hayase, Large grain growth and energy alignment optimization by diethylammonium iodide substitution at A site in lead free tin halide perovskite solar cells, Solar RRL 5(11) DOI:10.1002/solr.202100633, 2021. IF. 7.62.
- 5) Kapil, Gaurav; Bessho, Takeru; Sanehira, Yoshitaka; Sahamir, Shahrir Razey; Chen, Mengmeng; Baranwal, Ajay; Liu, Dong; Sono, Yuya; Hirotsu, Daisuke; Nomura, Daishiro; Nishimura, Kohei; Kamarudin, Muhammad Akmal; Shen, Qing; Segawa, Hiroshi; Hayase, Shuzi, Tin-lead perovskite solar cells fabricated on hole selective monolayers, ACS Energy Lett. 2022, 7, 3, 966–974. IF. 23.1.
- 6) Taro Toyoda, Qing Shen, Naoki Nakazawa, Yasuha Yoshihara, Keita Kamiyama, Shuzi Hayase, Exponential optical absorption edge in PbS quantum dot-ligand systems on single crystal rutile-TiO₂ revealed by photoacoustic and absorbance spectroscopies, Material Research Express, 2022, 9, 025005.
- 7) SAINI, Shrikant; Matsumoto, Izuki; Kishishita, Sakura; Baranwal, Ajay; Yabuki, Tomohide; Hayase, Shuzi; Miyazaki, Koji, Use of anti-solvent to enhance thermoelectric response of hybrid-halide perovskite thin films, J.J.A.P, Special Issue: Flexible and Printed Electronics (ICFPE2021) <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ac4adb>.
- 8) Akmal Kamarudin, Shuzi Hayase, Passivation of hybrid/inorganic perovskite solar cells. Chapter 3 in Hybrid Perovskite Solar Cells: Characteristics and Operation, Wiley-VCH, by Hiroyuki Fujiwara. 2021.
- 9) Mengmeng Chen, Gaurav Kapil, Yusheng Li, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay K. Baranwal, Kohei Nishimura, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Hua Li, Chao Ding, Zheng Zhang, Qing Shen, Shuzi Hayase, Large synergy effects of doping, a site substitution, and surface passivation in wide bandgap Pb-free ASnI₂Br perovskite solar cells on efficiency and stability enhancement, J. Power Sources, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsom.2021.230848>, 2021. IF. 9.16.
- 10) Abduheber Mirzehmet, Tomoki Ohtsuka, Syed A. Abd. Rahman, Takumi Aihara, Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Shuzi Hayase, Tomoki Yuyama, Peter Kruger, Hiroyuki Yoshida, Surface structure of quasi-2D perovskite PEA₂mMA_n-2mPb_nI₃_n (n > m), Applied Physics Express, 14(3) 031006-031006, 2021.
- 11) Gaurav Kapil, Takeru Bessho, Takatoshi Maekawa, Ajay Kumar Baranwal, Yaohong Zhang,

Muhammad Akmal Kamarudin, Daisuke Hirotsu, Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase, Tin-lead perovskite fabricated via ethylenediamine interlayer guides to the solar cell efficiency of 21.74%, *Advanced Energy Materials*, <https://doi.org/10.1002/aenm.202101069>, 2021.

- 12) Mengmeng Chen, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, Teresa S. Ripolles, Kohei Nishimura, Daisuke Hirotsu, Shahrir Razey Sahamir, Zheng Zhang, Chao Ding, Yoshitaka Sanehira, Juan Bisquert, Qing Shen, Shuzi Hayase, High efficiency Lead-free wide bandgap perovskite solar cells via Guanidinium Bromide incorporation, *ACS Appl. Energy Mater.*, 4, 6, 5615-5624, 2021.
- 13) Feng Liu, Junke Jiang, Taro Toyoda Muhammad Akmal Kamarudin, Shuzi Hayase, Ruixiang Wang, Shuxia Tao, and Qing Shen, Ultra-halide-rich synthesis of stable pure Tin-based halide perovskite quantum dots: Implications for Photovoltaics, *CS Appl. Nano Mater.*, <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c00324>, 2021.
- 14) Abduheber Mirzehmet, Tomoki Ohtsuka, Syed A. Abd. Rahman, Takumi Aihara, Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Shuzi Hayase, Tomoki Yuyama, Peter Kruger, Hiroyuki Yoshida, Surface structure of quasi-2D perovskite PEA₂mMAn-mPbnI₃n (n>>m), *Appl. Phys. Express*, 14, 031006, 2021.
- 15) Hirotsu Daisuke, Nishimura Kohei, Hamada Kengo, Kamarudin Muhammad, Iikubo Satoshi, Shen Qing, Toyoda Taro, Hayase Shuzi, Relationship between perovskite solar cell efficiency and lattice disordering, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 60 035001, 2021.

特許提案

- 1) 発明の名称: ペロブスカイト層の結晶状態検査装置、出願番号: 特願 2021-170557 (2021/10/18)
早瀬 修二, 野村 大志郎, 廣谷 太佑, 久我 敬之, 可兒 聡, 笹原 新平, 中村 雅規, 平見 朋之, 野田 尚彦, 野村 隆利, 林 雅博、出願人(敬称略): 国立大学法人電気通信大学, 株式会社フジコー, 株式会社オリジン, ウシオ電機株式会社, CKD 株式会社
- 2) 発明の名称: 錫系ペロブスカイト層の製造方法、出願番号: 特願 2021-170558 (2021/10/18)
発明者(敬称略): 早瀬 修二, 野村 大志郎, 廣谷 太佑, 久我 敬之, 可兒 聡, 笹原 新平, 中村 雅規, 平見 朋之, 野田 尚彦, 野村 隆利, 林 雅博、出願人(敬称略): 国立大学法人電気通信大学, 株式会社フジコー, 株式会社オリジン, ウシオ電機株式会社, CKD 株式会社
- 3) 発明の名称: 錫系ペロブスカイト層の製造装置、出願番号: 特願 2021-170559 (2021/10/18)
早瀬 修二, 野村 大志郎, 廣谷 太佑, 久我 敬之, 可兒 聡, 笹原 新平, 中村 雅規, 平見 朋之, 野田 尚彦, 野村 隆利, 林 雅博 出願人(敬称略): 国立大学法人電気通信大学, 株式会社フジコー, 株式会社オリジン, ウシオ電機株式会社, CKD 株式会社
- 4) 発明の名称: フレキシブル太陽電池の製造方法、提案特願 2 0 2 1 - 0 2 8 1 8 9 PT0293/20-033 出願日: 2021/2/25 出願番号: 特願 2021-028189 号 大学整理番号 : 19-022 届出の名称 : 空気中に安定でペロブスカイト A(Cs, MA, FA)Sn_xPb_{1-x}X(Cl, Br, I)₃ 量子ドットの合成手法 発明者(敬称略): 劉 鋒, 沈 青, 張 耀紅, 丁 超, 早瀬 修二、出願人(敬称略): 国立大学法人電気通信大

- 5) 空気中に安定でペロブスカイト $A(\text{Cs, MA, FA})\text{Sn}_x\text{Pb}_{1-x}\text{X}(\text{Cl, Br, I})_3$ 量子ドットの合成手法 出願番号:特願 2021-028189 号、発明者(敬称略): 劉 鋒, 沈 青, 張 耀紅, 丁 超, 早瀬修二、出願人(敬称略): 国立大学法人電気通信大学

招待講演

- 1) Invited: Shuzi Hayase, Pb free Sn perovskite solar cell research in Hayase Lab, International Conference on "Materials for Humanity, MH21, 2021/6/7. (WEB).
- 2) Keynote. Shuzi Hayase, Perovskite solar cells consisting of Tin, International Solar Power Technologies, SPTech conference, 2021/6/8.
- 3) 招待講演 早瀬修二 ペロブスカイト太陽電池の基礎と効率向上指針、高分子学会・高分子エレクトロニクス研究会 2021/5/20 (WEB). NEDO
- 4) 招待講演 早瀬修二 Sn系ペロブスカイト太陽電池研究の現状、日本太陽光発電学会ペロブスカイト太陽電池分科会(共催:有機系太陽電池技術研究組合) 2021/2/12, (WEB).
- 5) 招待講演、早瀬修二、スズ系ペロブスカイト太陽電池の高電圧、高効率化、講演会名 ペロブスカイト太陽電池開発技術の最新動向と将来展望、光機能材料研究会、WEB, 9/9/, 2021.
- 6) Invited. Shuzi Hayase, Efficiency enhancement of perovskite solar cells consisting of Tin as light harvesting layer, 2021 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics, IL07, (WEB), 8/30, 2021.
- 7) 招待講演 早瀬修二 塗布で作製できる高効率フレキシブル太陽電池と円筒形太陽電池への応用 電気通信大学 ICT ワークショップ、SDGsにおける未来エネルギー、2021/10/15 WEB.
- 8) Keynote. Shuzi Hayase, Halogenated perovskite solar cells consisting of tin as light harvesting layer, MRM, 12.14.2021. Yokohama. NEDO
- 9) Invited. Tin perovskite solar cells -What comes after Lead perovskite solar cells?- India-Japan Workshop on Biomolecular, Electronics and Organic Nanotechnology for Environment Preservation (IJWBME 2020), 12.09.2021, Nagoya University.
- 10) 招待講演 早瀬修二 色素増感太陽電池からハロゲン化ペロブスカイト太陽電池へー最近の研究動向と今後の展望一、日本写真学会光機能性材料研究会(WEB)、12/01/2021.
- 11) Invited. Shuzi Hayase, Next generation solar cells-Printable halide perovskite solar cell Including cylindrical solar cell research-, International Conference on Energy, Manufacture, Advance Material, and Mechatronics (IC-EMAMM) 2021, Universitas Hasanuddin. Indonesia (WEB), 11.23.2021.
- 12) Invited, Shuzi Hayase, Perovskite solar cells consisting of Tin Including cylindrical solar cell research, International Webinar on "New Energy Materials"(WEB), XAUAT 2021, 12.3.2021.
- 13) 依頼セミナー 早瀬修二、ペロブスカイト太陽電池・光電変換材料の最新動向と今後の展望、サイエンス&テクノロジーセミナー、2022/3/30, WEB.
- 14) Invited. Shuzi Hayase, Solution Processed Perovskite solar cells: Current and Future Research Trends Chung-Ang University Smart City Relay Talks, Feb. 3, 2022 (WEB) (14:00-15:00)
- 15) 招待講演 早瀬修二 錫系ペロブスカイト太陽電池の研究開発の現状ー鉛系ペロブスカイト太陽電池との違いー、富岳」成果創出加速プログラム 「富岳」エネルギー変換材料課題 第1回公開シンポジウム,3/17/2022.

- 16) 招待講演 早瀬修二 錫系ペロブスカイト太陽電池の研究開発動向と我々のアプローチ、フィルム太陽電池研究コンソーシアム研究会, 3/14/2022.
- 17) 依頼セミナー 早瀬修二 鉛フリーペロブスカイト太陽電池、鉛フリーペロブスカイト太陽電池の最新研究開発事例・高性能化・将来展望と課題解決へのアプローチ (AndTech), 1/18/2022.

2.主要研究成果

2.5 分散型エネルギーシステムを主軸に据えたシステムレジリエンス、電池寿命予測、信頼性・安全性の理論と応用に関する研究

横川 慎二教授

情報理工学域 I 類/総合情報学科/情報学専攻 経営・社会情報学プログラム 兼務

分散型エネルギーシステムを主軸に据えたシステムレジリエンス、電池寿命予測、信頼性・安全性の理論と応用に関する研究を行なっている。2021 年度には、以下の点について研究を推進した。

- ① 都市 3D モデルを用いた地域および建物単位の沿面における太陽光発電ポテンシャルの研究
- ② 小規模電力グリッドにおける接続機器の蓄電・充電の診断に関する研究
- ③ 環境センシングに基づく空気品質と換気設計に関する研究

以上の概略を以下に示す。

① 都市 3D モデルを用いた地域および建物単位の沿面における太陽光発電ポテンシャルの研究

2050 年カーボンニュートラルの実現のために再生可能エネルギーの主力電源化が喫緊の課題とされる中で、地域に依存せず活用できる太陽光発電は最有力の候補である。現在の太陽光発電は、屋根や開けた土地などの天面を利用し太陽光パネル（PV パネル：Photovoltaic panel）を設置する方法が主流である。一方、高層の建物に十分な電力を供給するには、天面の利用だけでは不十分な場合があり、天面以外の利用による太陽光発電の潜在能力、すなわち太陽光発電ポテンシャルとして、壁面発電の可能性が示されている（Oh and Park, *Energies*, 2019. および Chatzipoulka, *et al.*, *Solar Energy*, 2016. など）。一方で、地域及び建物に対する汎用的な評価法はなく、太陽光発電量の拡大に向けて壁面発電が有効な場面や、有効であるならばそれは地域単位、もしくは建物単位の、いずれのシステムが適しているかなどを評価する方法が必要となる。

本研究では、地域単位、建物単位での建物沿面を活用した太陽光発電によるエネルギー地産地消の評価手法の提案と評価を目的とする。建物壁面の日射量を正確に推定する方法を構築し、都市の特徴からエリア単位の太陽光発電ポテンシャルを推測する方法を示す。また、建物単位で、周辺状況などの特徴から十分な供給量の太陽光沿面発電が可能かを検討する方法を提案し、それらの有効性を検証する。

研究の流れを図 1 に示す。航空 Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR) データ、国土地理院の基盤地図情報を使用して、都市 3D モデルを作成する。次に、Esri 社製 ArcGIS を組み込んだ Python によるスクリプトを作成し、時間や季節による太陽軌道、気象庁の雲量データ、および日射量の変化を考慮して、都市 3D モデル上の任意の場所の日射量を推定するシミュレーションシステムを構築する。これを用いて、都市タイプ毎の太陽光発電ポテンシャルを評価する。

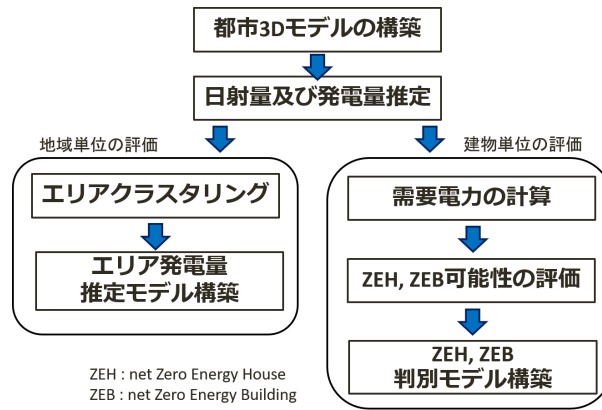


図 1. 研究のフロー.

開発したシミュレーションシステムを用いて、住宅街である調布・葛飾区・北区・足立区，都心部である大手町・霞ヶ関・虎ノ門，臨海地区であるお台場・国際展示場・豊洲の合計 10 エリアについて日射量，および発電量の推定を行った。結果を図 2 に示す。

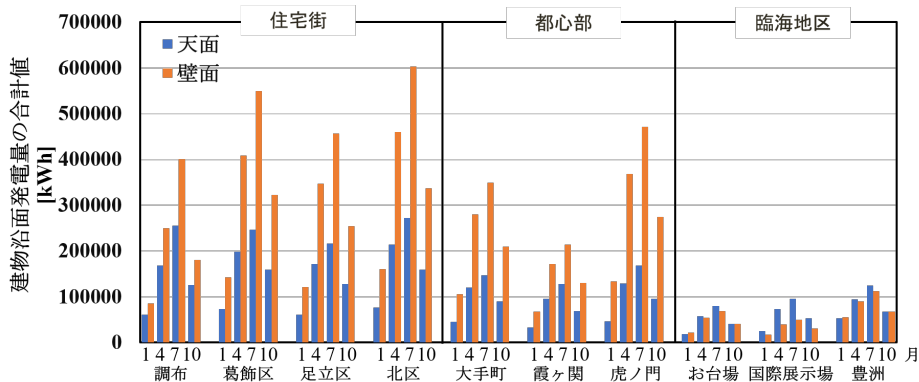


図 2. 各エリアにおける天面，壁面の発電量の比較.

住宅街は，他の都市形態に比べて天面，壁面発電量ともに高いことがわかる。これは，建物が密集し，PV パネルの設置面積が多くなるためと考えられる。したがって，エリア単位で効率よく発電を行う際は，各建物に発電設備を設置し，それらを統合して利用する方法が有効となる。

都心部のエリアについては，天面発電量に比べて壁面発電量が高いことがわかる。これは，高層建物が多く，壁面の PV パネル設置面積が多くなるためと考えられる。しかし，壁面発電が有効な場所とあまり有効ではない場所が見られるため，エリア単位で発電を行う際には，天面，または壁面発電が有効であるユニットに絞って発電設備を設置し，それを分配する方法が効率よいと考えられる。

臨海地区の各エリアは天面発電量に比べ壁面発電量が小さい。これは，臨海地区では建物規模が大きく，あまり高層ではないため，PV パネルの天面設置量が多くなることが理由と考えられる。そこで，大規模な建物に発電設備を設置し，小規模な建物にはそこから分配することが効率のよい発電方法であると考えられる。

上記のエリア発電量の推定には，開発したシミュレーションシステムと，建物数に応じた計算リソースが必要となる（1 エリアあたり平均 30 日）ため，より容易な推定方法が必要となる。そこで，都市形状の特徴量に基づいてエリアの太陽光発電ポテンシャルを推定する線形回帰モデルを構築した。エリアク

ラスタリングに用いる都市形状を示す変数を使用し、パラメータ推定に Lasso 回帰を用いた。選択された説明変数は、敷地面積総和 S_{area} 、敷地面積平均 S_{bld} 、敷地面積標準偏差 σ_{bld} 、月平均南中高度 h_{sun} となった。予測結果は、図3に示す総発電量の予測値と総発電量のシミュレーション値のプロットに示される。すなわち、都市形状を示す変数からエリア発電量を精度高く推定することが可能であることがわかる。

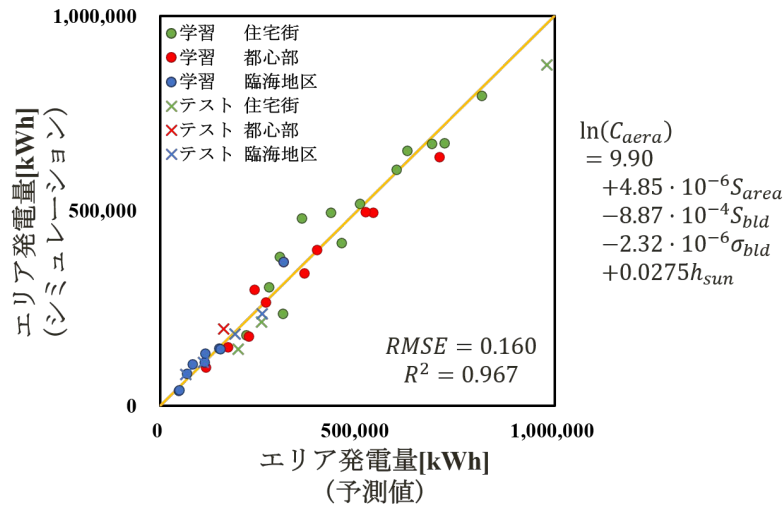


図3. エリア発電量推定モデル.

建物単位で太陽光発電ポテンシャルの評価を行うため、時間を要するシミュレーションを用いずに、需要電力量以上の太陽光発電が可能か否かを判定するモデルを作成する。初めに、建物単位で需要電力量を概算し、建物沿面発電量と需要電力量を比較することで、①天面発電のみで地産地消が可能、②天面・壁面発電併用時に地産地消が可能、③地産地消不可能という3クラスに分類した。次に、分類問題を解くことが容易なニューラルネットワークを活用し、3クラス分類モデルを作成した。入力には、分類対象である建物の敷地面積、高さに加え、周辺状況を示す周辺建物数、周辺建物高さの平均値、標準偏差、対象建物を中心に周囲を8方位に分割した際のそれぞれのエリアでの建物数、建物高さの平均値、標準偏差という29変数を用いた。中間層は2層とし、それぞれのノード数は5とする。学習済みのモデルに対して、テストデータの推定結果を混同行列(表1)に示す。

表1. 建物単位の太陽光発電ポテンシャルの評価モデルのテストデータによる混同行列.

| | | 予測 | | | 合計 |
|----|---|-------------|------------|-----------|------|
| | | ① | ② | ③ | |
| 実測 | ① | 1440(97.0%) | 38(2.6%) | 6(0.4%) | 100% |
| | ② | 100(23.7%) | 301(71.3%) | 21(5.0%) | 100% |
| | ③ | 7(8.7%) | 15(18.5%) | 59(72.8%) | 100% |

表1より、すべてのクラスにおいて、70%以上の精度で建物が所属するクラスを分類することが可能であることがわかる。また、建物沿面発電により地産地消が可能である場合、すなわちクラス①とクラス②を同一クラスとみなし、判定する場合は90%以上の精度で判定可能であることがわかる。したがって、このモデルを用いることで、建物沿面発電によりZEH, ZEBが可能な場合を大まかに判定することが可能である。

これらの推定モデルを用いることで、時間を要する 3D 都市モデルによるシミュレーションを使用せずに、簡易的な方法で太陽光発電ポテンシャルを評価することが可能である。今後の課題としては、地方都市など他の都市形状のエリアのシミュレーションを行い、エリア発電量推定モデルの拡張を行うこと、建物単位の太陽光発電ポテンシャル評価モデルの精度向上が挙げられる。

なお、本研究の成果は研究成果一覧の[5][7]にて発表済みである。

② 小規模電力グリッドにおける接続機器の蓄電・充電の診断に関する研究

脱炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギーの利活用が推進されている。一方、電力供給の安定化の課題があることから、相互共助による効率的運用が可能な自律分散型電力グリッドが注目されている。このグリッドでは、電力供給可能量などのデバイス情報に基づく協調給電を行うため、その情報の取得方法が課題となる。その際には、セキュリティ等の観点から、間接的な情報取得が望まれる。これまでに製品種等を推定する手法が提案をしてきた。一方、機器の充電状態、電源の信頼性等の情報を如何に取得するかが課題である。

研究では、自律分散型電力グリッドの接続方式の一つである、i-PERC が開発してきた Virtual Grid HUB (以下、VG-Hub) を用いたモバイル端末向け電力グリッドに関し、充電実験や加速劣化試験、利用調査アンケート分析により、充電状態、電源の信頼性などのデバイス情報を間接的に取得する方法を検討し、接続機器診断手法を提案する。

モバイル端末向け電力グリッドの構築のためには、接続機器の充電レベル、電源の信頼性を間接的に評価することが必要であることから、図 1 に示す流れで研究を行う。それぞれの接続機器の充電状態、電池の劣化状態の推定モデルの作成のための実験を行い、推定モデルを構築する。最後に、提案モデルを VG-Hub に実装し、有効性の検証を行う。

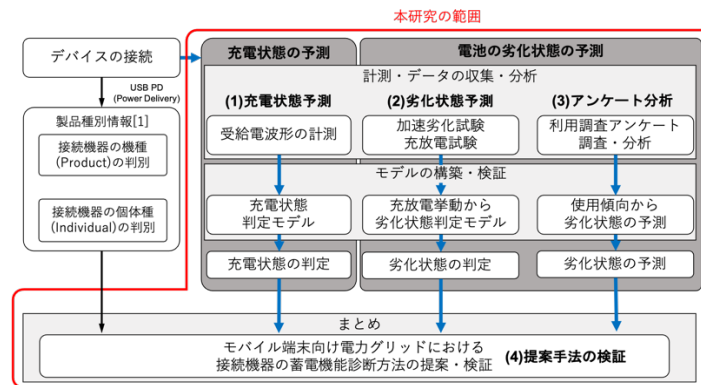


図 1. 本研究の流れ。

(1) 充電状態の予測では、デバイスの充電状態の把握のため、AC タイマーと USB PD 測定器を用いて機器の電流電圧値の測定を行う。計測結果から得られた特徴を用いて、機械学習手法による充電レベル推定モデルを作成する。(2) 内蔵された蓄電池の劣化状態による機器の挙動変化を比較するため、加速劣化試験を行う。恒温槽と AC タイマー、熱電対を用いて、スマートフォンの加速劣化試験を行い、劣化による充放電等の接続機器挙動の変化を分析する。(3) 実使用環境における、デバイスの利用傾向や内部蓄電池の劣化を分析するため、スマートフォン利用ユーザー 1800 名に対する利用調査アンケート調査とその分析を行う。収集したデータを元に統計分析を行い、間接的な劣化の診断モデルの作成を行う。

(1) 充電レベル計測実験の実験結果について

複数種類のモバイル端末に対して15分毎に充電、休止した電流電圧値を計測した結果、充電レベルが高くなるにつれて、電力を絞って充電される傾向が確認された(図 2a)。これは、蓄電可能量を超えないための内部回路による制御と推察される。この電力挙動を利用した接続機器の充電レベルの推定可能性を検討する。LiBの充電レベルを推定可能なLSTMモデルを用いて、推定モデルを作成した。推定の結果、平均86%の正答率を有する性能を示した(図 2b)。

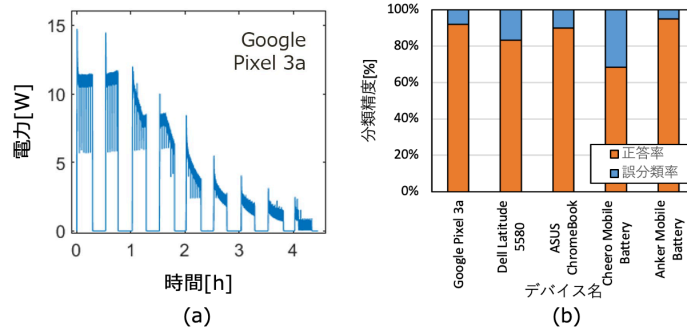


図 2. 充電レベル計測実験.

(a)Google Pixel 3aの充電波形. (b)充電レベル推定モデルの分類精度.

(2) 加速劣化試験の実験結果について

2021年7月2日から約7ヶ月間、恒温槽にて加速劣化試験を行い、充放電挙動の調査を行った。その結果、劣化状態の差異により、充電波形の差異が生じていることがわかった(図 3a)。その際に、電力波形の差異と劣化量に相関があり(図 3b)、簡単な線形モデルによりRMSE=3.97[%]の精度で劣化量を予測可能であることを示した。また、1時間の充電波形の計測で、おおよその劣化状態を推定が可能である。

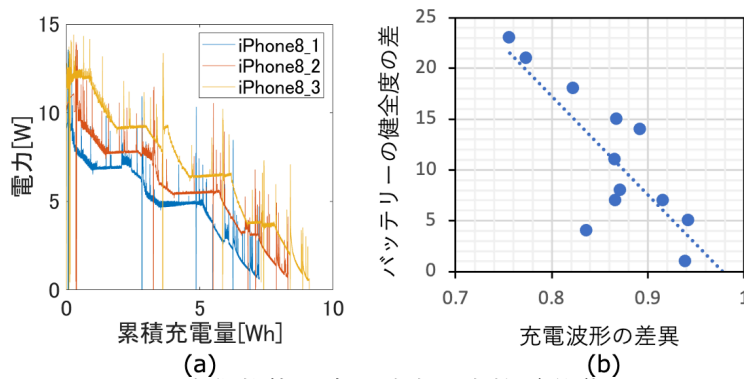


図 3. 劣化状態の違う端末の充放電挙動.

(a)充電波形の比較. (b)充電波形の差異と健全度の差.

(3) 利用調査アンケート分析の結果について

実施したアンケート結果に対し、Lasso回帰分析、Catboost分析、劣化グループの利用傾向比較分析を行い、劣化に寄与する使用方法を抽出した(図 4)。特に、使用日数以外の使い方で劣化に影響する項目を抽出した。この結果に基づき、要点と項目を絞った使われ方のモニタリングにより、実際の使われ方に対する劣化を推定するアルゴリズムとレコメンド機能を設計した。今後、モバイル機器向けの診断アプリに実装される予定である。

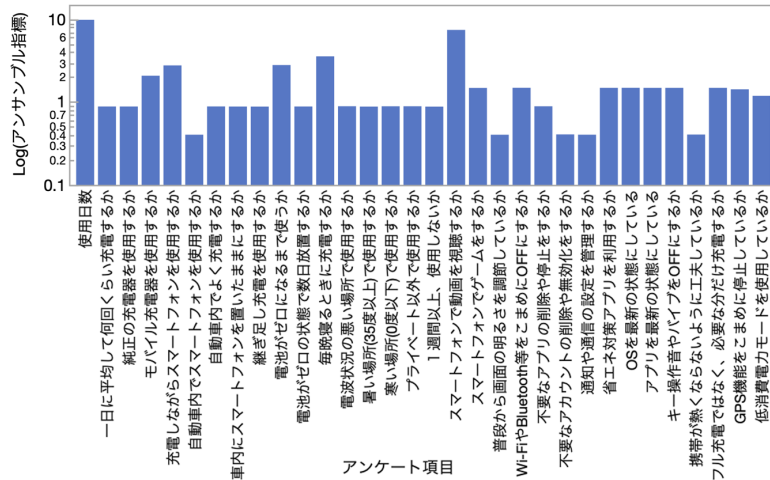


図 4. 複数の分析を統合した指標と質問項目の対応.

(4) 提案手法の検証

VG-Hub に、本提案モデルを実装し、自律分散型電力グリッドにおける接続機器診断の実証検証を行った。その結果、充電状態の大まかな分類について、約 30 秒の計測により、71%の精度で推定できた。劣化状態の推定では、約 1 時間の計測により、実測値に対して、RMSE=9.32[%]の精度であり、実用可能性を示した。また、シミュレーションにより、接続機器診断を行った場合には配分損失や電力枯渇の可能性が低く、電力ロスを改善できることを示した(表 1)。

表 1. 接続機器診断シミュレーションの結果(100,000 回)。

| 接続機器診断 | なし | あり |
|--------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 配分損失回数 | $\frac{112646 \text{ 回}}{199821 \text{ 回}}$ | $\frac{0 \text{ 回}}{199821 \text{ 回}}$ |
| 配分損失量 | $\frac{18.7\text{W}}{100\text{W}}$ | $\frac{0\text{W}}{100\text{W}}$ |
| 電力枯渇回数 | $\frac{99445 \text{ 回}}{199821 \text{ 回}}$ | $\frac{74316 \text{ 回}}{199821 \text{ 回}}$ |
| 電力枯渇量 | $\frac{13.4\text{W}}{100\text{W}}$ | $\frac{11.6\text{W}}{100\text{W}}$ |

本研究では、USB PD に接続する機器の充電実験や加速劣化試験、モバイルデバイスの利用調査アンケート分析により、間接的にデバイス情報を取得する方法を検討した。まず、充電波形の特徴から接続機器の充電レベルの自動分類の手法を提案した。また、劣化状態によって充電挙動が変化し、相対的な劣化量の予測手法を示した。さらに、VG-Hub を用いた検証を行い、本提案モデルの有効性を示した。加えて、利用調査アンケート分析より、利用傾向に対する機器の内部状態診断、将来の劣化量の予測方法を確立した。すなわち、デバイス情報の間接的な取得により、再生可能エネルギーを用いた自律分散型電力グリッドの効率的な受給電が見込め、脱炭素社会実現への一助となることが期待される。

今後は、更に多くの接続機器のデータを収集し、モデルの推定精度の向上が期待される。また、提案した利用傾向診断手法の実装実験が課題である。

なお、本研究の成果は研究成果一覧の[1][3][12][13]にて発表した。

③ 環境センシングに基づく空気品質と換気設計に関する研究

リスク事象の未然防止と空調によるエネルギー消費のトレードオフに関する研究の一環として、新型コロナウイルスのエアロゾル感染対策に関する、地域の病院、高齢者施設、学校（中学校、高等専門学校、高校、大学）、高齢者施設、透析ステーション、工場、事業所、飲食店、音楽会場、保育施設の立ち入り調査研究を行った。その結果、従来から指摘されてきた「換気の悪い密閉空間」に加えて、「送風機による攪拌」や「エアロゾルの漏洩」もクラスターの発生要因となる可能性があることを発見した。研究成果をプレプリントで公開し、東京都や京都府を初め多くの自治体のガイドライン改定に寄与した。

さらにウィズコロナ時代を見据えて、適切な換気対策を行っている店舗をアピールしつつ、換気状態の良い場所へ利用者を誘導するための地域連携プロジェクト「換気良好マップ」を発足した。これは換気の状態をリアルタイムに測定し、換気が良好である店舗等を地図アプリで表示するシステムであり、本学が産学連携により開発した IoT 方式の二酸化炭素（CO₂）測定器を各店舗に設置しリアルタイムに店舗の換気状態をモニタリングし、換気が良好である基準とされる CO₂濃度（1,000ppm）を下回っている店舗をクラウド側で自動的に抽出する。その上で、「換気良好マップ」にプロットして可視化するとともに、「特定非営利活動法人調布市地域情報化コンソーシアム」が運営する「ちょうふどっとこむ」と連携し、詳細な店舗情報を確認できる。まずは本学の地元・調布市の商店街や市庁舎で試験運用を行い、併せて参加を広く呼び掛けている。なお、このシステム開発は、東京都と大学との共同事業「地域参加による換気の可視化～向上プロジェクト～」の一環として、東京大学と共同で行った。

成果一覧

査読付き論文

- [1] Minoru Asano, Shinji Yokogawa, and Haruhisa Ichikawa; "Indirect Diagnosis Methods of Energy Storage Capability for Mobile Devices with USB Power Delivery," IEICE Communications Express, accepted. doi:
- [2] Takumi Wada, Haruhisa Ichikawa, Shinji Yokogawa, Yoshito Tobe, Yuusuke Kawakita; "A method for generating graphs to derive maximum flow and its evaluation," IEICE Communications Express, accepted. doi: <https://doi.org/10.1587/comex.2022TCL0007>
- [3] 浅野実, 横川慎二, 石垣陽, 富永潤一, 粟津浜一; "ユーザーの利用調査データに基づくモバイル端末のバッテリー劣化量分析," モバイル学会誌, Vol.11, No.1/2, pp.1-8 (2021).
- [4] Shun Endo and Shinji Yokogawa; "Analysis of the trends between indoor carbon dioxide concentration and plug-level electricity usage through topological data analysis," IEEE Sensors Journal, Vol.22, pp.1424-1434 (2022). doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3130570>

国際会議

- [5] R. Nakazato, S. Yokogawa, H. Ichikawa, T. Ushirokawa, and T. Takeda; "Compact model for estimating area-level photovoltaic power generation on facade surface using 3D city model and solar radiation simulation," 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Asia.
- [6] Takumi Wada, Yoshihito Tobe, Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa, and Yuushuke Kawakita; "A maximum flow evaluation method of microgrid comprised of ultra-small microgrid components," International Conference on Emerging Technologies for Communications, D3-2 (2021).

国内会議

- [7] 中里諒, 横川慎二, 市川晴久, 後川知仁, 武田隆, “建物沿面を考慮した都市エリアレベルの太陽光発電量推定モデル,” 電子情報通信学会, 電子通信エネルギー技術研究会, EE2021-38 (2022).
- [8] 横川慎二; "故障物理に基づくデバイスの信頼性モデリング," "日本 OR 学会 4 部会・グループ合同研究会 ～確率モデルの新展開～ (2021). 招待講演
- [9] 大條海渡, 川喜田佑介, 田谷昭仁, 戸辺義人, 横川慎二, 市川晴久; "VG-Hub 制御・管理のクラウド化に関する検討," 第 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 237-239 (2021).
- [10] 斎藤彰, 石垣陽, 横川慎二, 川内雄登, 田中晴美, 浅野美穂, 小川美紀, 鎌田麻衣, 石川正吾, 斎藤泰紀; "CO2 センサーを活用した循環器検診車内の換気可視化の検討," 第 62 回日本人間ドック学会学術大会予稿集, E-3-09 (2021).
- [11] 横川慎二; "Society 5.0 の基盤としてのデータ収集・分析・利活用," 第 28 回 IoT 特別研究会 (RC-88) , 招待講演 (2021).
- [12] 浅野実, 横川慎二, 石垣陽, 富永潤一, 粟津浜一; "利用調査データに基づくユーザーペルソナの抽出とバッテリー劣化量との相関分析," "ユーザーの利用調査データに基づくモバイル端末のバッテリー劣化量分析," モバイル'21, 1-11 (2021).
- [13] 浅野実, 横川慎二, 石垣陽, 富永潤一, 粟津浜一; "利用調査データに基づくユーザーペルソナの抽出とバッテリー劣化量との相関分析," 第 50 回信頼性・保全性・安全性シンポジウム, 1-2 (2021).
- [14] 川内雄登, 石垣陽, 横川慎二; "パブリックスペースにおける CO2 濃度センシングを用いたリスク解析," 第 50 回信頼性・保全性・安全性シンポジウム, 6-1 (2021).
- [15] 川内雄登, 浅野実, 中里諒, 黒良直生, 中嶋洋貴, 平出大誠, 遠藤幸一, 石垣陽, 横川慎二; "CO2 センサーネットワークによるホールの換気量の評価とリアルタイム可視化," 第 29 回環境化学討論会, WO-074 (2021).

解説記事

- [16] 石垣陽・横川慎二：【特集】換気の可視化による新型コロナ感染予防，ビルと環境（environment and building services），2022.6.1 (in press)
- [17] 横川慎二・石垣陽：【特集】CO2 センサーを用いた空気品質管理の要点，ビルと環境（environment and building services），2022.6.1 (in press)

依頼講演

- [18] 横川慎二：カーボンニュートラルを実現するエネルギーインフラパラダイムとシステムレジリエンス，第 8 回電気通信大学ホームカミングデー学術講演会，2021.12.12. <https://youtu.be/jPldY4xkY48>

2.主要研究成果

2.6 研究の連携・統合化等による本学の機能強化に係る取組等の活動

横川 慎二教授・i-パワーエネルギー・システム研究センター長

情報理工学域 I 類/総合情報学科/情報学専攻 経営・社会情報学プログラム 兼務

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた研究基盤を構築する活動を推進している。2020 年度に続いて AIX, AWCC との連携事業として「学内のエネルギー創出・消費と環境センシングの可視化と対話を実現する Campus Ambient & Energy Dashboard (CAED) の開発」を実施した。

2020 年 10 月 26 日, 第 203 回臨時国会の首相所信表明演説において、『2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする』ことが宣言された。そこでは, 脱炭素化への挑戦と, コスト抑制に加えて日本の産業競争力の強化につながるという目標が示されている。期せずして, i-PERC の創設目的に沿った方針といえる。さらに, この方向性の主たるかつ具体的な道筋として, 再生可能エネルギーの主力電源化 (2030 年度導入水準 46% *2013 年度比) を目指すことも宣言された。

ところが, 我が国の人口動態から予測される 2050 年の人口内訳と, ほぼ同じ人口となる 1970 年と比較すると, 少子高齢化の影響が大きいことが容易に想像できる。図 1 に示すように, 生産年齢人口, 特に新築や分譲を主体とする住宅一次取得世代の比率が高かった 1970 年と比較して, 2050 年はリフォーム中心の住宅二次取得世代の比率が支配的な社会になる。すなわち, 再生可能エネルギーに指向した高度なエネルギーシステムが研究・開発されたとしても, 新築の建物でなければ効果を発揮しないようなものであれば, 普及は難しいことが予想される。いいかえれば, リフォームや改修工事レベルで設置可能な技術が望まれる。

i-PERC では, 「小規模自立分散システムの自立分散統合」としてのインターネット型電力システムの適用場面として, 改修やリフォームでのシステム構築を考慮し, 学内建屋の改修工事などにコミットして検討を進めている。

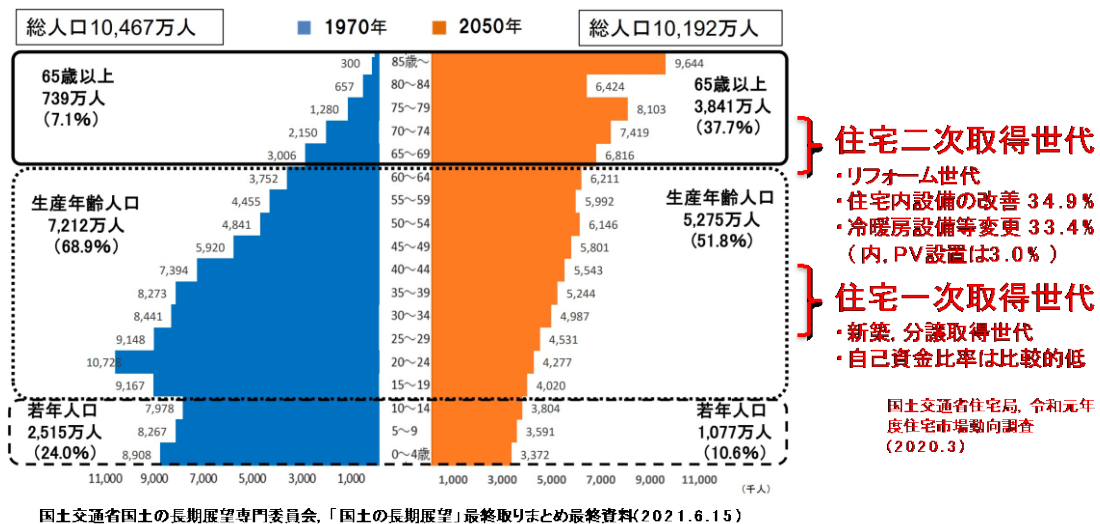


図 1. 1970 年と 2050 年の人口内訳の比較。

本事業では, ①改修型 ZEB・ZEH 技術の研究と実証, ②創・消・蓄・活エネの可視化, ③省エネを促す参加型 SNS, ④異分野連携による設計・検証のための対話スペース, の実現を目標として, 2021 年度

に実施された東 36 号館の改築工事と、内部什器の開発・設置に参画した。

構築した東 36 号館 Observatory は、共創進化スマート進化の実現拠点として、2019 年度までに附属図書館 Agora で進めたデータ統合の研究成果などを活用し、2020 年度に構築した AI センサ情報収集 PF をデータ収集基盤として、2021 年度に実施した二つの東京都事業（BPSD 予測，換気改善）の可視化を行うような、リアルとデータの境界で“データ共鳴”を創発する施設として設計した（図 2）。



図 2. Observatory の主旨概念図.

研究可視化設備として、本学地元の多摩産材（多摩産ヒノキ節有杉芯突板合板）を用いた木製ダッシュボードによるマルチディスプレイ空間を設計，設置した。林野庁の標準に基づく算出では、一台あたり 354.3kg/台，Observatory 全体では約 1,700kg の CO₂ 固定量となる。多摩産材の使用(地産地消)により，輸送に伴う CO₂ 放出削減にも寄与するものであり，今後カーボンニュートラル教育の教材として活用することも想定している。

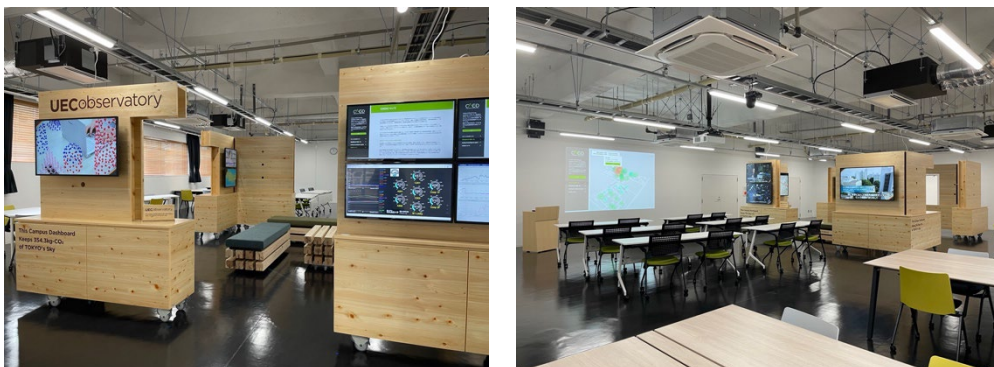


図 3. Observatory 完成図. 左) 可視化 Dashboard (4 台), 右) セミナースペース.

デジタル空間のモデルとしては、図 4，5 に示したデジタルダッシュボード CAED を作成し，Observatory にて公開した。キャンパスの各建屋の消費電力や総 CO₂ 排出量換算値を延べ床面積で規格化した結果で色分けしてリアルタイムで表示できるものである。大学のキャンパスは，様々な役割を持つ建物が集中した小さな町の様相をしている。単に消費電力が大きいことを示すだけでなく，役割に応じて必要なエネルギー消費と価値創造を実現することが必要である。そのため，今後はそれらの balan



図4. Campus Ambient & Energy Dashboard (CAED)の本学電力消費 3D マップ。

スを考慮したリアルタイム情報提示や、省エネの前年度比などに基づく表示などを作り込んでゆく。



図5. Campus Ambient & Energy Dashboard (CAED)の出力例。

Observatory は、研究成果の実証実験と展示の場としての役割を有する。現在、早瀬特任教授の円筒形太陽光発電デバイスのデモンストレーションが設置されており、2022年4月25日には小池百合子東京都知事に視察いただいた（本学 HP お知らせ【報告】小池都知事が本学を視察，https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2022/20220502_4442.html）。

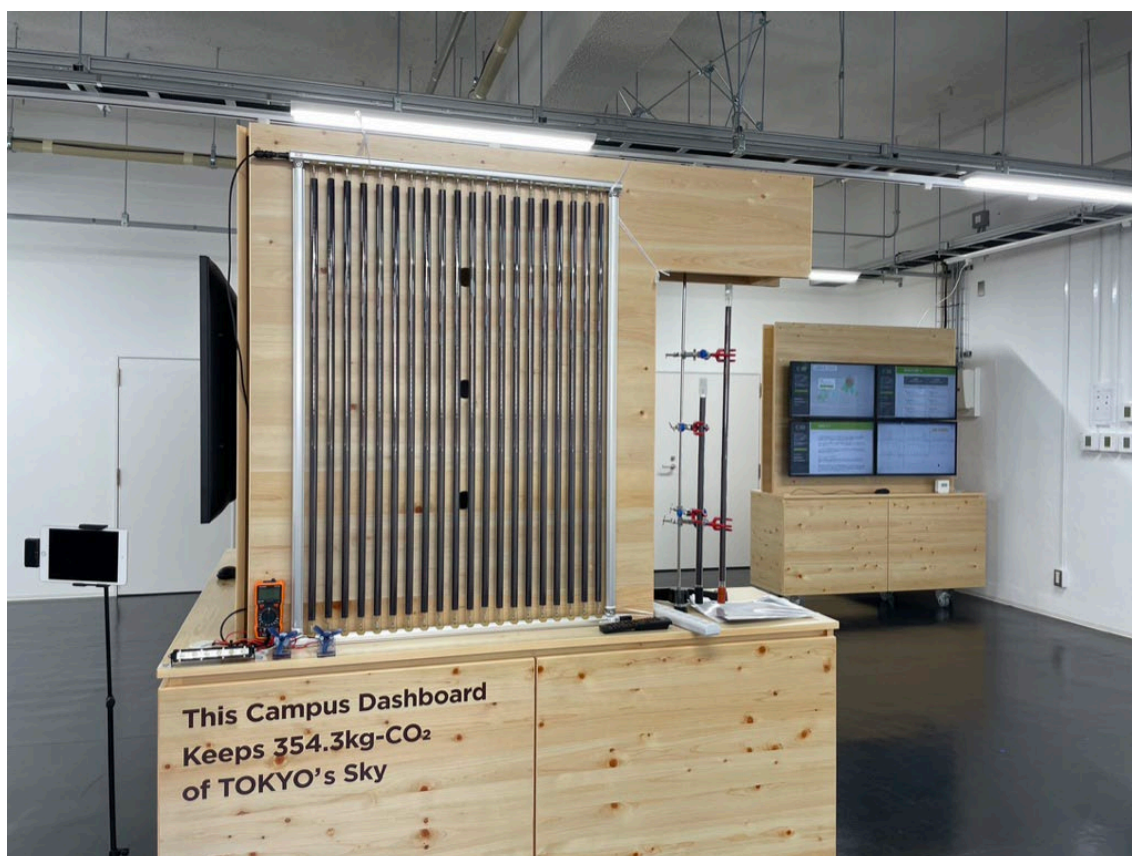


図6. Observatory内に設置した円筒形太陽光発電デバイス外観。

今後は、他の研究センターや他大学と共同研究を通じて、以下のような各種研究成果の実装を進めてゆく予定である。

- ✓ 環境データに基づく照明・空調の最適制御とその可視化（i-PERC/J/産業医科大）
- ✓ DC給電に関するデモ実装（i-PERC/青山学院大学/神奈川工科大学）
- ✓ 省電力無線による照明制御実験（AWCC/i-PERC）
- ✓ WiFiの信号検知による人流の可視化（AIX/AWCC）
- ✓ プロジェクションマッピング（AIX/J）
- ✓ 環境センシング結果の言語化（AIX）

News Release

2021年度のi-PERCから本学HPを通じて発信したニュースリリースは以下の通り。

- 1) 【TV 放送予定】横川慎二教授 (i-パワードエネルギー・システム研究センター) らの研究内容を4月9日(金)午後3時45分～フジテレビ「Live News イット!」で放送予定(2021.4.9)。
- 2) 【ニュースリリース】地下ライブハウスでのマイクロ飛沫に配慮した新たな音楽イベント～CO₂濃度上昇を抑制する「サイレント換気タイム」を仮面女子と実証～(2021.4.12)
- 3) 【TV 放送予定】横川慎二教授 (i-パワードエネルギー・システム研究センター) らの研究内容を4月13日(火)午前8時00分～日本テレビ「スッキリ」で放送予定(2021.4.12)
- 4) 【ニュースリリース】新型コロナワクチン接種会場における3密状態の見える化の共同実証実験～CO₂濃度の可視化による良好な換気状態の構築と維持～(2021.4.22)
- 5) 【ニュースリリース】電通大と東大の研究チームが東京都との共同事業を開始～IoT/SNSと建築学の融合による「換気向上プロジェクト」～(2021.4.30)
- 6) 【TV 出演予定】横川慎二教授 (i-パワードエネルギー・システム研究センター) が5月21日(金)15:49～HBC北海道放送「今日ドキッ!」に出演予定(2021.5.18)
- 7) 【ニュースリリース】アクリルパネルやビニールシートがマイクロ飛沫感染の一因に～クラスター発生地点での換気実験と熱流体シミュレーションから分析～(2021.5.31)
- 8) 【TV 放送予定】横川慎二教授、石垣陽特任准教授らの研究内容が5月31日(月)15:45～フジテレビ「ライブニュースイット」で紹介予定(2021.5.31)
- 9) 【ニュースリリース】曾我部研究室 量子の不確実性と、人口知能の異次元の融合～量子回路設計の新たなプロジェクト始動～(2021.6.1)
- 10) 【TV 放送予定】横川慎二教授、石垣陽特任准教授らの研究内容が6月1日(火)午後3時50分～日本テレビ「news every.」で紹介予定(2021.6.1)
- 11) 【ニュースリリース】市庁舎におけるCO₂濃度の「見える化」共同実証実験について～8台のIoT型センサーで市庁舎のCO₂濃度を可視化～(2021.6.1)
- 12) 【TV 放送予定】横川慎二教授、石垣陽特任准教授らの研究内容が6月3日(木)、4日(金)の各局ニュースで放送予定(2021.6.2)
- 13) 【ニュースリリース】地下ライブハウスでのマイクロ飛沫に配慮した音楽イベント(第二弾)～電通大がヴィジュアル系バンド「えんそく」と実証～(2021.6.4)
- 14) 【ニュースリリース】キャンパスや公共空間へAIカメラを導入～プライバシーに配慮しながら三密回避、セキュリティ、省エネへの活用を実証(2021.6.9)
- 15) 【ニュースリリース】20 第のIoT型CO₂センサーにより三鷹市民の安全安心を確保～コミュニティ・センター、芸術文化センター、市庁舎などに設置～(2021.6.28)
- 16) 【ニュースリリース】石垣陽特任准教授、横川慎二教授らの研究内容が7月5日(月)17時からJ:COMチャンネル「ジモト応援!東京つながるNews」で紹介予定(2021.7.2)
- 17) 【ニュースリリース】スマホバッテリー劣化研究プロジェクト 炎天下での”スマホ熱中症”調査 30分で社内ダッシュボード、20分で屋外は”60℃超え”の恐れ 急速冷却のコツは”電源オフ&スマホを冷却”(2021.8.10)

- 18) 【ニュースリリース】安価で粗悪な CO₂ センサの見分け方 ～5千円以下の機種、大半が消毒用アルコールに強く反応～ (2021.8.10)
- 19) 【TV 放送予定】横川慎二教授 (i-パワーエネルギー・システム研究センター) らの研究内容が 8 月 16 日(月)17時から J:COM チャンネル「ジモト応援！東京つながる News」で紹介予定(2021.8.13)
- 20) 【ニュースリリース】JAPIA (一般社団法人日本自動車部品工業会) 寄附講座「自動車の大変革 (CASE) に必要な技術」2021 年 10 月開講 (2021.9.16)
- 21) 【ニュースリリース】新型コロナ患者移送用タクシーでマイクロ飛沫の広がりを可視化 ～電通大と境交通が改造型ジャバンタクシーで実証実験～ (2021.10.11)
- 22) 【ニュースリリース】コロナ渦における新たな学園祭のスタイル ～公演中の CO₂ 濃度をリアルタイムで可視化～ (2021.11.18)
- 23) 【ニュースリリース】感染症のリスク低減に向けて CO₂ 濃度上昇のシナリオを可視化 – 多次元時系列データの解析に成功 – (2022.1.6)
- 24) 【ニュースリリース】オミクロン株に備え、換気対策ガイドブック 2 万部を無償配布 ～沖縄県や渋谷区・東松山市の飲食店・音楽会場へ～ (2022.1.17)
- 25) 【ニュースリリース】換気の気流がエアロゾル感染の一因に ～クラスター発生時点での実地検証とシミュレーションから分析 (2022.2.17)
- 26) 【ニュースリリース】換気良好店を地図上に可視化してアピール ～調布駅前商店街と市役所も参加～ (2022.3.22)

3. 活動一覧

3.1. 外部発表

iPERC 教員が関連する 2021 年度の外部発表（論文、国際会議、学会口頭発表、著書、解説、招待講演等）の件数は下記の通りである。発表一覧は 4 節に掲載。

| 論文 | 国際会議 | 学会口頭発表 | 著書 | 解説記事 | 招待講演 |
|----|------|--------|----|------|------|
| 91 | 24 | 134 | 2 | 7 | 30 |

3.2. 知的財産

iPERC コアメンバー（横川、曾我部、澤田、市川、早瀬）が関連する知的財産権、特許の件数は下記の通りである。

特許出願件数 6件

- ・中里諒、横川慎二、市川晴久、武田隆、後川知仁：発電量推定装置、特願 2022-056979、2022/3/30
- ・早瀬、野村、廣谷、久我、可兒、笹原、中村、平見、野田、野村、林：国立大学法人電気通信大学，株式会社フジコー，株式会社オリジン，ウシオ電機株式会社，CKD 株式会社：“ペロブスカイト層の結晶状態検査装置”，特願 2021-170557，2021/10/18
- ・早瀬、野村、廣谷、久我、可兒、笹原、中村、平見、野田、野村、林：国立大学法人電気通信大学，株式会社フジコー，株式会社オリジン，ウシオ電機株式会社，CKD 株式会社：“錫系ペロブスカイト層の製造方法”，特願 2021-170558，2021/10/18
- ・早瀬、野村、廣谷、久我、可兒、笹原、中村、平見、野田、野村、林：国立大学法人電気通信大学，株式会社フジコー，株式会社オリジン，ウシオ電機株式会社，CKD 株式会社：“錫系ペロブスカイト層の製造装置”，特願 2021-170559，2021/10/18
- ・劉，沈，張，丁，早瀬：“フレキシブル太陽電池の製造方法”，特願 2021-028189，2021/2/25
- ・劉，沈，張，丁，早瀬：“空気中に安定でペロブスカイト A(Cs, MA, FA)SnxPb1-xX(Cl, Br, I)3 量子ドットの合成手法”，特願 2021-028189，2021/10/18

特許登録件数 3件

- ・市川晴久、横川慎二、川喜田祐介：給電制御システム、特許第 7038402 号（2022/3/10）
- ・三次，五十嵐，市川，川喜田，江川：無線通信システム，特許第 6726131(2020/6/30)
- ・三次，宮澤，市川，川喜田，江川：測角装置，特許第 6718342(2020/6/16)

3.3. 産学官連携実績

iPERC コアメンバー教員（横川、曾我部、澤田、市川、早瀬）が関連する産学官連携研究(新規および継続分)の件数は下記の通りである。研究テーマの一覧は 3.5. に掲載。

2021 年度分のみ

| | 共同研究 | 受託研究 | 学術相談 | 寄附金 | 合計 |
|------|------|------|------|-----|------|
| 実施件数 | 15 件 | 11 件 | 4 件 | 5 件 | 35 件 |

3.4. 競争的資金

iPERC コアメンバー教員（横川、曾我部、澤田、市川、早瀬）が関連する競争的資金の件数は下記の通りである。科研費と 3.3 の産学連携実績、学内競争的資金の合計の件数は 38 件、金額は 18,914 万円である。研究テーマの一覧は 3.5 に掲載。

2021 年度分のみ

| | 科研費研究 | 産学官連携 | 学内競争的資金 | 合計 |
|------|-------|-------|---------|------|
| 実施件数 | 6 件 | 35 件 | 1 件 | 42 件 |

3.5 主な共同研究・受託研究・科研テーマ一覧

《創エネルギー》

「エネルギー・環境分野における数理モデルと人工知能の融合」曾我部東馬

「太陽光発電主力電源化推進技術開発/ 太陽光発電の新市場創造技術開発/ 壁面設置太陽光システム技術開発（ビル壁面開口部向けシースルー太陽電池の開発）」曾我部東馬

「JST Sn からなる Pb フリーペロブスカイト太陽電池の開発」早瀬修二

「JST ペロブスカイト充填細孔構造生成と構造のモデル化」早瀬修二

「Pb 含量が少ない環境にやさしい Sn 系混合金属ペロブスカイトの研究開発（2019 年度二国間交流事業韓国との共同研究《NRF》）」早瀬修二

「太陽光発電主力電源化推進技術開発/ 太陽光発電の新市場創造技術開発/ フィルム型超軽量モジュール太陽電池の開発（重量制約のある屋根向け）（超軽量ペロブスカイト計太陽電池の研究開発）/ ボトムセル用ナローギャップペロブスカイト材料」早瀬修二

「次世代太陽光発電向け円筒型太陽電池システムの研究開発」早瀬修二

「大面積化を可能にする鉛フリー高効率立体ペロブスカイト太陽電池製造技術の開発」早瀬修二

「無鉛型高次元ハライドペロブスカイト材料による太陽電池の高効率・高耐久化」早瀬修二
「鉛を含まない Sn-ペロブスカイト太陽電池の高効率化指針提案」早瀬修二
「ヘテロ接合型量子ドット太陽電池のナノ界面の構築と多重励起子の電荷分離効率の向上」早瀬修二

《蓄エネルギー》

「石巻市エネルギー構造高度化・転換理解促進事業費における最適な電源システムの構築・提案」
横川慎二

「スマートフォン劣化データおよび動作ログの収集と相関に関する分析」横川慎二

「酸化膜の寿命試験用テストストラクチャと解析手法の研究開発」横川慎二

「半導体メモリの高性能化およびテスト手法に関する研究」横川慎二

《活エネルギー》

「調布駅周辺地区地域エネルギーまちづくり検討調査業務のうち、ポータブル蓄電池を活用したネットワークシステムの検討」横川慎二, 市川晴久

「構築,変更容易なマイクログリッドの研究」横川慎二, 市川晴久

「沿面発電による電気エネルギーの地産地消効果のマイクロ分析と課題抽出」横川慎二, 市川晴久

「エネルギー・環境分野における数理モデルと人工知能の融合」曾我部東馬

「BPSD 予測・予防により介護負担を軽減する認知症対応型/ AI・IoT サービスの開発と実装」
横川慎二, J 専攻 内海彰との共同研究

「空間のセンシングとリスクの可視化・言語化による感染拡大抑制に向けた環境・行動制御の研究」
曾我部東馬, 横川慎二, 澤田賢治, 人工知能センター (AIX), 先進アルゴリズム研究ステーション, 次世代品質信頼性情報システム融合研究ステーション, 研究設備センター先端研究設備部門との共同研究

「地域参加による換気の可視化～向上プロジェクト」横川慎二, 産学官連携センター 石垣陽, 東京大学野城智也との共同研究

「学内のエネルギー創出・消費と環境センシングの可視化と対話を実現する Campus Ambient & Energy Dashboard(CAED)の開発」人工知能センター (AIX), 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター (AWCC), 次世代品質信頼性情報システム融合研究ステーションとの共同研究

《制御系セキュリティ》

「セキュリティ検証基盤の構築に係る研究 (三菱総研)」澤田賢治

「セキュアな制御系デジタルツインの構築手法の研究」澤田賢治

「水道施設における制御装置の信頼性向上に関する調査研究」澤田賢治

「協調多層型防御技術のための事象駆動型制御理論の構築」澤田賢治

「有限時間可到達集合に基づく不連続システムの解析と設計に関する研究」澤田賢治

「スペースセンシングの制御系設計への展開」澤田賢治

3.6 主な教育

i-PERC 関連のシンポジウム・セミナー等は以下の通りである。

2022.6.30 iPERC シンポジウム 2021

「カーボンニュートラルに向けた電力エネルギーと情報通信」

主催：i-パワードエネルギー・システム研究センター

後援：先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター，人口知能先端研究センター，環境調和型ライフサイクル研究ステーション，先進エネルギーデバイスと AI 融合技術研究ステーション，次世代品質信頼性情報システム融合研究センター

「カーボンニュートラルに向けた電力エネルギーと情報通信」と題し、iPERC の研究成果を報告すると共に、温室効果ガスの排出が 8 割以上を占めるエネルギー分野において、どのような形で取り組むのか、グリーン成長戦略に情報通信がどのような形で講演できるのかについて議論した。基調講演は東京大学先端科学技術センター研究顧問の小林光氏「脱炭素実現の鍵は協力への投資」。招待講演は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)技術戦略研究センターサステナブルエネルギーユニット長の仁木栄氏「カーボンニュートラル実現に向けたエネルギーイノベーション」。研究発表は横川慎二「カーボンニュートラルに向けた iPERC の活動について」、曾我部東馬「不確定性を考慮したエネルギーミックス問題の最適化」、澤田賢治「電力インフラのエッジデバイスに適用可能なセキュリティ機能開発」、早瀬修二「高効率フレキシブル太陽電池の開発と円筒形太陽電池への応用」、市川晴久「ユーザ主導インターネット型電力システム」。本シンポジウムを通して様々な角度から上記の課題、エネルギー政策及びエネルギー需給の絵姿を議論し、深めて頂く好機となった。又、後に本学が強化して取り組むカーボンニュートラル推進本部への骨子作成・提言に繋がる。

第 8 回電気通信大学ホームカミングデー学術講演会，2021.12.12. <https://youtu.be/jPldY4xkY48>

横川慎二：カーボンニュートラルを実現するエネルギーインフラパラダイムとシステムレジリエンス，

2022.3.8 UEC Agora ミニシンポジウム

「AI・ビッグデータ×図書館 ～デジタル革新による共創の場の再生～」

主催：附属図書館 Ambient Intelligence Agora 運営委員会

共催：人工知能先端研究センター、i-パワードエネルギー・システム研究センター
大学教育センター

3.7 表彰

1. 崎山一男教授, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ, 功労賞, (2021/9/15) .
2. 金子修教授, 計測・制御・システム工学部会 研究賞,(2021/3/16).
3. 金子修教授, 電気学会 令和3年度電気学術振興賞著作賞,(2021/5/28).
4. 木寺正平准教授,電子情報通信学会 通信ソサイエティ活動功労賞,(2021/9).

4. 外部発表一覧(2021.4~2022.3)

4.1. 【一般論文】

1. Yuki Takazawa, Toma Kamata, **Haruhisa Ichikawa**, Hiroshi Tanaka, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita; “Faster channel allocation by relaxing the threshold of the terminal judgement of DCRO control and reducing the number of initial calibrations in backscatter synchronous streaming protocols,” IEICE Communications Express, (2022).
2. Takumi Wada, **Haruhisa Ichikawa**, **Shinji Yokogawa**, Yoshito Tobe, Yuusuke Kawakita; “A method for generating graphs to derive maximum flow and its evaluation,” IEICE Communications Express, Vol 1, 1-6, (2022).
3. Shotaro Shibahara, Takuma Wakasa, **Kenji Sawada**; “Network Weight and Time-varying Potential Function for Obstacle Avoidance of Swarm Robots in Column Formation”, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.15, No.1, 24/35 (2022.2).
4. Yukari Mochizuki, **Kenji Sawada**; “An analysis of expansion and reduction speeds of traffic jams on graph exploration”, Journal Artificial Life and Robotics, (2022).
5. 藤田淳也, 小倉貴志, 大河内一弥, 松本典剛, **澤田賢治**, 金子修; “Diamond model と攻撃状態に基づくサイバー攻撃シナリオ構造化表現モデル”, 電気学会論文誌 C, Vol.142, No.3, 328/338 (2022.3)
6. 若狭拓馬, **澤田賢治**; “車群位置推定のための補間型分散協調オブザーバとオンライン更新”, 電気学会論文誌 C, Vol.142, No.3, 239/250 (2022.3).
7. Noritaka Matsumoto, Junya Fujita, Hiromichi Endoh, Tsutomu Yamada, **Kenji Sawada**, Osamu Kaneko; “Asset Management Method of Industrial IoT Systems for Cyber-security Countermeasure”, Information Systems, Information 2021, 12(11) 460. <https://doi.org/10.3390/info12110460>.
8. Takuma Wakasa and **Kenji Sawada**; “Multi-Rate Switched Pinning Control for Velocity Control of Vehicle Platoons”, The IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E104-A, No.11, 1461/1469 (2021.11).
9. 望月優加理, **澤田賢治**; “ヘテロジニアスなエージェント群のグラフ探索における役割交換と探索効率の関係”, システム制御情報学会論文集, Vol.34, No.10, 269/278 (2021.10).
10. 藤田真太郎, **澤田賢治**, 新誠一, 細川嵩; “PLC の動作順序を監視するホワイトリストの自動生成手法”, 計測自動制御学会論文集, Vol.57, No.8, (2021.8).
11. 山藤勝彦, 橋本真, 山本建, **澤田賢治**; “ H_∞ 制御を用いた摩擦伝達装置のジャダー抑制”, 計測自動制御学会論文集, Vol.57, No.7, 324/333 (2021.7).
12. Katsuhiko SANDO, Takeshi YAMAMOTO, **Kenji SAWADA**, Tomoyuki TANIGUCHI, Nobuyuki SOWA, Haruki MORI and Takahiro KONDO; “Analysis and stabilizing design of self-excited oscillation in a loading cam using a wedge effect”, Mechanical Engineering Journal, Volume 8, Issue 2, Pages 20-00497 (2021.4).
13. Tomoaki Kimura, Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**; “Variational Quantum Circuit-Based Reinforcement Learning for POMDP and Experimental Implementation” Mathematical Problems in Engineering, Vol.2021 Article ID 3511029(2021).

14. Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**; “Quantum-Inspired Classification Algorithm from DBSCAN–Deutsch–Jozsa Support Vectors and Ising Prediction Model”, *MDPI Applied Sciences*, Vol.11(23) 11386(2021),.
15. Motoyuki Tanaka, Keichiro Banda, **Tomah Sogabe**; Koichi Yamaguchi, “InAs/GaAsSb In-Plane Ultrahigh-Density Quantum Dot Lasers”, *Applied Physics Express*, Vol.14(12) 124002 (2021).
16. Chih-Chieh Chen, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**; “On the Expressibility and Overfitting of Quantum Circuit Learning”, *ACM Transactions on Quantum Computing*, Vol.2 (2) pp.1-24(2021).
17. Masaya Watabe, Kodai Shiba, Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**; “Quantum Circuit Learning with Error Backpropagation Algorithm and Experimental Implementation”, *Quantum Reports*, Vol.3 (2) pp.333-349(2021).
18. **Shuzi Hayase**; “Sn based and Pb free perovskite solar cells, Chapter 10 in Perovskite photovoltaics and optoelectronics”, (2021).
19. Akmal Kamarudin, **Shuzi Hayase**; “Passivation of hybrid/inorganic perovskite solar cells. Chapter 3 in Hybrid Perovskite Solar Cells: Characteristics and Operation”, Wiley-VCH, by Hiroyuki Fujiwara.2021.
20. Yaohong Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Qiao Li, Chao Ding, Yong Zhou, Yingfang Yao, Zhigang Zou, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino, **Shuzi Hayase, Qing Shen**; “Influence of charge transport layer on the crystallinity and charge extraction of pure tin-based halide perovskite film”, *J. Energ. Chem.*, (2022).
21. Zheng Zhang, Ajay Kumar Baranwal, Shahrir Razey Sahamir, Gaurav Kapil, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, Kohei Nishimura, Chao Ding, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen**, a, Teresa S. Ripolles, Juan Bisquert, **Shuzi Hayase**; “Large grain growth and energy alignment optimization by diethylammonium iodide substitution at A site in lead free tin halide perovskite solar cells”, *Solar RRL* 5(11), (2022).
22. Kapil, Gaurav; Bessho, Takeru; Sanehira, Yoshitaka; Sahamir, Shahrir Razey; Chen, Mengmeng; Baranwal, Ajay; Liu, Dong; Sono, Yuya; Hirotsu, Daisuke; Nomura, Daishiro; Nishimura, Kohei; Kamarudin, Muhammad Akmal; **Shen, Qing**; Segawa, Hiroshi; **Hayase, Shuzi**; “Tin-lead perovskite solar cells fabricated on hole selective monolayers”, *ACS Energy Lett.*, 966–974. IF. 23.1. (2022/7/ 3).
23. Taro Toyoda, **Qing Shen**, Naoki Nakazawa, Yasuha Yoshihara, Keita Kamiyama, **Shuzi Hayase**; “Exponential optical absorption edge in PbS quantum dot-ligand systems on single crystal rutile-TiO₂ revealed by photoacoustic and absorbance spectroscopies”, *Material Research Express*, 025005, (2022/ 9).
24. SAINI, Shrikant; Matsumoto, Izuki; Kishishita, Sakura; Baranwal, Ajay; Yabuki, Tomohide; **Hayase, Shuzi**; Miyazaki, Koji; “Use of anti-solvent to enhance thermoelectric response of hybrid-halide perovskite thin films”, *J.J.A.P, Special Issue: Flexible and Printed Electronics, ICFPE*, (2021).
25. Akmal Kamarudin, **Shuzi Hayase**; “Passivation of hybrid/inorganic perovskite solar cells. Chapter 3 in Hybrid Perovskite Solar Cells: Characteristics and Operation”, Wiley-VCH, by Hiroyuki Fujiwara. 2021.
26. Mengmeng Chen, Gaurav Kapil, Yusheng Li, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay K. Baranwal, Kohei Nishimura, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Hua Li, Chao Ding, Zheng Zhang, **Qing Shen**,

- Shuzi Hayase**; “Large synergy effects of doping, a site substitution, and surface passivation in wide bandgap Pb-free ASnI_2Br perovskite solar cells on efficiency and stability enhancement”, *J. Power Sources*, (2021).
27. Abduheber Mirzehmet, Tomoki Ohtsuka, Syed A. Abd. Rahman, Takumi Aihara, Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, **Shuzi Hayase**, Tomoki Yuyama, Peter Kruger, Hiroyuki Yoshida; “Surface structure of quasi-2D perovskite $\text{PEA}_2\text{mMAN-2mPbnI}_3\text{n}$ ($n \gg m$)”, *Applied Physics Express*, 14(3) 031006-031006, (2021).
 28. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, Takatoshi Maekawa, Ajay Kumar Baranwal, Yaohong Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Daisuke Hirotani, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**; “Tin-lead perovskite fabricated via ethylenediamine interlayer guides to the solar cell efficiency of 21.74%, *Advanced Energy Materials*”,(2021).
 29. Mengmeng Chen, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, Teresa S. Ripolles, Kohei Nishimura, Daisuke Hirotani, Shahrir Razey Sahamir, Zheng Zhang, Chao Ding, Yoshitaka Sanehira, Juan Bisquert, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “High efficiency Lead-free wide bandgap perovskite solar cells via Guanidinium Bromide incorporation”, *ACS Appl. Energy Mater.*, 4, 6, 5615-5624, (2021).
 30. Feng Liu, Junke Jiang, Taro Toyoda Muhammad Akmal Kamarudin, **Shuzi Hayase**, Ruixiang Wang, Shuxia Tao, and **Qing Shen**; “Ultra-halide-rich synthesis of stable pure Tin-based halide perovskite quantum”, *Implications for Photovoltaics*, *CS Appl. Nano Mater*, (2021).
 31. Abduheber Mirzehmet, Tomoki Ohtsuka, Syed A. Abd. Rahman, Takumi Aihara, Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, **Shuzi Hayase**, Tomoki Yuyama, Peter Kruger, Hiroyuki Yoshida; “Surface structure of quasi-2D perovskite $\text{PEA}_2\text{mMAN-mPbnI}_3\text{n}$ ($n \gg m$)”, *Appl. Phys. Express*, 14, 031006, (2021).
 32. Hirotani Daisuke, Nishimura Kohei, Hamada Kengo, Kamarudin Muhammad, Iikubo Satoshi, Shen Qing, Toyoda Taro, **Hayase Shuzi**; “Relationship between perovskite solar cell efficiency and lattice disordering”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 60 035001, (2021).
 33. Minoru Asano, **Shinji Yokogawa**, and **Haruhisa Ichikawa**; “Indirect Diagnosis Methods of Energy Storage Capability for Mobile Devices with USB Power Delivery,” *IEICE Communications Express*, accepted, (2021).
 34. 浅野実, 横川慎二, 石垣陽, 富永潤一, 栗津浜一; “ユーザーの利用調査データに基づくモバイル端末のバッテリー劣化量分析,” *モバイル学会誌*, Vol.11, No.1/2, pp.1-8 (2021).
 35. Shun Endo and **Shinji Yokogawa**; “Analysis of the trends between indoor carbon dioxide concentration and plug-level electricity usage through topological data analysis,” *IEEE Sensors Journal*, Vol.22, pp.1424-1434 (2022).
 36. Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ckristian Duran, Ronaldo Serrano, Trong-Thuc Hoang, **Koichiro Ishibashi**, Cong-Kha Pham; “Systems on a Chip with 8bits and 32bits Processors in $0.18 \mu\text{m}$ Technology for IoT Applications”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, (2022/3).
 37. Thanh Han Trong, Yen Pham Huong, Lam Nguyen Dang Son, Yuki Iwata, Tuan Do Trong, **Koichiro Ishibashi** and Guanghao Sun; “Machine Learning based Classification Model for Screening of Infected

- Patients Using Vital Signs", *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 24 100592, (2021).
38. Nguyen Dinh Chinh, Luu Manh Ha, Guanghao Sun, Le Quoc Anh, Pham Viet Huong, Tran Anh Vu, Tran Trong Hieu, Tran Duc Tan, Nguyen Vu Trung, **Koichiro Ishibashi**, Nguyen Linh Trung, "Short time cardio-vascular pulses estimation for dengue fever screening via continuous-wave Doppler radar using empirical mode decomposition and continuous wavelet transform", *Elsevier*, Vol.65, (2021).
 39. Thanh Han Trong, Yen Pham Huong, Lam Nguyen Dang Son, Yuki Iwata, Tuan Do Trong, **Koichiro Ishibashi** and Guanghao Sun; "Machine Learning based Classification Model for Screening of Infected Patients Using Vital Signs", *Informatics in Medicine Unlocked Journal*, 24, (2021).
 40. Duc-Tho Mai and **Koichiro Ishibashi**; "Small-Scale Depthwise Separable Convolutional Neural Networks for Bacteria Classification", *MDPI Journal of Electronics* 2021, 10(23)3005, (2021/12).
 41. Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ckristian Duran, Trong-Thuc Hoang, Ronaldo Serrano, Van-Phuc Hoang, Xuan-Tu Tran, **Koichiro Ishibashi**, Cong-Kha Pham; "A Sub- μ W Reversed-Body-Bias 8-bit Processor on 65-nm Silicon-on-Thin-Box (SOTB) for IoT Applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, vol. 68, 3182-3186, (2021/9).
 42. Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ckristian Duran, Trong-Thuc Hoang, Ronaldo Serrano, Van-Phuc Hoang, Xuan-Tu Tran, **Koichiro Ishibashi**, Cong-Kha Pham; "A Sub- μ W Reversed-Body-Bias 8-bit Processor on 65-nm Silicon-on-Thin-Box (SOTB) for IoT Applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, 68/ 9, 3182-3186, (2021/9/9).
 43. Duc-Tho Mai and **Koichiro Ishibashi**; "Bacteria Shape Recognition with the Kotobuki's model", *生体医工学会*, 59, 859, (2021/6/17).
 44. Yuki Iwata, Han Trong Thanh, Guanghao Sun and **Koichiro Ishibashi**; "High Accuracy Heartbeat Detection from CW-Doppler Radar Using Singular Value Decomposition and Matched Filter", *MDPI Journal of Sensors* 2021, 21, (2021/5/1).
 45. Luong Duy Manh, Phan Thi Bich, Nguyen Thuy Linh, Nguyen Huy Hoang, Tran Xuan Nam and **Koichiro Ishibashi**; "A Concurrent Triple-band RF Energy Harvesting Circuit for IoT Sensor Networks", *IEIE Transactions on Smart Processing and Computing*, vol.10/ no. 2, (2021/4/1).
 46. Go Takami, Takeshi Sugawara, **Kazuo Sakiyama**, and Yang L; "Mixture-Based 5-Round Physical Attack against AES: Attack Proposal and Noise Evaluation", *IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci*, E105-A/ 3, 289-299, (2022/3/1).
 47. 羽田野凌太, 平田 遼, 松田航平, 三浦典之, 李陽, **崎山一男**; "LFI 検知回路に対するサイドチャンネル攻撃耐性評価", *電子情報通信学会論文誌(A)*, J104-A/ 5, 118-126, (2021/5/1).
 48. **T. Sogabe**, C. Hung, R. Tamaki, S. Tomic, **K. Yamaguchi**, N. Ekins-Daukes and Y. Okada; "Experimental Demonstration of Energy-Transfer Ratchet Intermediate-Band Solar Cell", *Communications Physics*, 4,(2021), 1-10, (2021/3/1).
 49. 池崎太一, **金子修**; "VIMT を用いた I-PD 制御系に対するリアルタイム制御器更新", *計測自動制御学会論文集*, 57/ 3, 179-185, (2022/3).
 50. 佐藤太亮, 三宅真立, **金子修**; "知的 PID 制御系の比例微分先行型への拡張と FRIT の適用", *電気学会論文誌 C*, 142/ 3, 299-306, (2022/3).
 51. 池崎太一, **金子修**; "データ駆動予測を用いた一回の実験による Iterative Feedback Tuning", *計測自動*

- 制御学会論文集, 57/ 2, 112-118, (2022/2).
52. 鈴木元哉, **金子修**; “オンラインデータ駆動調整によるリアルタイム型参照信号整形”, システム制御情報学会論文誌, 34/ 12, 322-324, (2021/12).
53. Motoya Suzuki and **Osamu Kaneko**; “Data-driven Controller Tuning for Unmeasurable Outputs to Achieve Desired Tracking Properties”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 16/ 10, 1361-1367, (2021/10).
54. Motoya Suzuki, Taichi Ikezaki and **Osamu Kaneko**; “Data-driven Tuning Using only One-shot Control Signal and Initial Controller Parameters”, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 16/ 10, 1414-1419, (2021/10).
55. 樋口奎, **金子修**; “入力と出力にむだ時間をもつ多入出力系のスミス補償器の一構成法と FRIT”, 計測自動制御学会論文集, 56/ 9, 409-417, (2021/9).
56. 定本知徳, 井上正樹, **金子修**; “グレーボックスモデルを用いた参照信号整形による電力レジリエンス強化”, 電気学会論文誌 C, 141/ 5, 694-703, (2021/5).
57. 定本知徳, **金子修**; “拘束条件下でのデータ駆動制御”, 計測自動制御学会論文集, 57/ 4, 219-226, (2021/4).
58. **Tomio Okawa**, Katsuyuki Kawai, Kohei Kubo, Sota Kitabayashi; "Fundamental characteristics of secondary drops produced by early splash during single-drop impingement onto a thick liquid film", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 131, 110533, (2022/2/1).
59. **Tomio Okawa**; "On the mechanism of onset of significant void in subcooled flow boiling", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 181, 121835, (2021/12/1).
60. Menglei Wang, **Tomio Okawa**; "Effect of nanoparticle layer coating on heat transfer performance of heat pipe", *Heat Transfer Engineering*, 42/ 19-20, 1748-1754, (2021/11/13).
61. Yi Zhan, Guofu Sun, **Tomio Okawa**, Mitsuhiro Aoyagi, Takashi Takata; "Droplet generation during spray impact onto a downward-facing solid surface", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 126, 110402, (2021/8/1).
62. Sahamir S. R., Kamarudin M. A., Ripolles T. S., Baranwal A. K., Kapil G., **Shen Q.**, Segawa H., Bisquert J. & Hayase S; "Enhancing the Electronic Properties and Stability of High-Efficiency Tin-Lead Mixed Halide Perovskite Solar Cells via Doping Engineering", *J. Phys. Chem. Lett.*, 13, 3130-3137, (2022).
63. Zheng Zhang, Liang Wang, Ajay Kumar Baranwal, Shahrir Razey Sahamir, Gaurav Kapil, Yoshitaka Sanehira, Muhammad Akmal Kamarudin, Kohei Nishimura, Chao Ding, Dong Liu, Yusheng Li, Hua Li, Mengmeng Chen, **Qing Shen**, Teresa S. Ripolles, Juan Bisquert, Shuzi Hayase; "Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation", *Journal of Energy Chemistry*, 443, (2022/3/26).
64. Huan Bi, Yao Guo, Mengna Guo, Chao Ding, Shuzi Hayase, Tao Mou, **Qing Shen**, Gaoyi Han, Wenjing Hou; "Highly efficient and low hysteresis methylammonium-free perovskite solar cells based on multifunctional oteracil potassium interface modification", *Chemical Engineering Journal*, 439/ 125671, (2022/3/9).
65. de A., Iikubo S., Yamamoto K., **Shen Q.**, Yoshino K., Minemoto T. & Hayase S; "Structural stability and optical properties of tin-based iodide perovskite", *Japanese Journal of Applied Physics*, 61/ 3,

(2022/3/3).

66. Mengmeng Chen, Gaurav Kapil, Liang Wang, Shahrir Razey Sahamir, Ajay K. Baranwal, Kohei Nishimura, Yoshitaka Sanehira, Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen**, Shuzi Hayase; "High performance wide bandgap Lead-free perovskite solar cells by monolayer engineering", *Chemical Engineering Journal*, 436/ 135196, (2022/2/11).
67. Tianyang Qiu, Lu Wang, Boye Zhou, Yanjun Zhu, Chen Zhuang, Qi Liu*, **Qing Shen**, Yujie Xiong, Yong Zhou*, and Zhigang Zou; "Molybdenum Sulfide Quantum Dots Decorated on TiO₂ for Photocatalytic Hydrogen Evolution", *ACS Appl. Nano Mater.*, 5/ 1, 702-709, (2021/12/28).
68. Wang L., Wang R., Qiu T., Yang L., Han Q., **Shen Q.**, Zhou X., Zhou Y. & Zou Z; "Bismuth Vacancy-Induced Efficient CO₂ Photoreduction in BiOCl Directly from Natural Air: A Progressive Step toward Photosynthesis in Nature", *Nano Lett.*, 21/ 24, 10260-10266, (2021/11/12).
69. Qiutong Han, Xiaowan Bai, Jingming Chen, Shengnan Feng, Wa Gao, Wenguang Tu, Xiaoyong Wang, Jinlan Wang, Bi Jia, **Qing Shen**, Yong Zhou, Zhigang Zou; "Hollow InVO₄ Nanocuboid Assemblies toward Promoting Photocatalytic N₂ Conversion Performance", *Advanced Materials*, 33/ 2006780, 1-9, (2021/8/15).
70. Chao Ding, Lixiu Zhang, **Qing Shen**, and Liming Ding; "Colloidal quantum-dot bulk-heterojunction solar cells", Chao Ding, Lixiu Zhang, Qing Shen, and Liming Ding, *Journal of Semiconductors*, 42/ 11, 110203-110206, (2021/8/9).
71. Gao W., Li S., He H., Li X., Cheng Z., Yang Y., Wang J., **Shen Q.**, Wang X., Xiong Y., Zhou Y. & Zou Z; "vacancy-defect modulated pathway of photoreduction of co₂ on single atomically thin aginp₂s₆ sheets into olefiant gas.", *Nat Commun*, 12/ 4747, (2021/8/6).
72. Li, F., Liu, Y., Shi, G., Chen, W., Guo, R., Liu, D., Zhang, Y., Wang, Y., Meng, X., Zhang, X., Lv, Y., Deng, W., Zhang, Q., Shi, Y., Chen, Y., Wang, K., **Shen, Q.**, Liu, Z., Müller-Buschbaum, P., Ma, W; "Matrix Manipulation of Directly-Synthesized PbS Quantum Dot Inks Enabled by Coordination Engineering", *Adv. Funct. Mater.*, 31, 2104457, (2021/8/6).
73. Wa Gao, Shi Li, Huichao He, Xiaoning Li, Zhenxiang Cheng, Yong Yang, Jinlan Wang, **Qing Shen**, Xiaoyong Wang, Yujie Xiong, Yong Zhou & Zhigang Zou; "Vacancy-defect modulated pathway of photoreduction of CO₂ on single atomically thin AgInP₂S₆ sheets into olefiant gas", *Nature Communications*, 12/ 4747, 1-8, (2021/8/6).
74. Fei Li, Yang Liu, Guozheng Shi, Wei Chen, Renjun Guo, Dong Liu, Yaohong Zhang, Yongjie Wang, Xing Meng, Xuliang Zhang, You Lv, Wei Deng, Qing Zhang, Yao Shi, Yifan Chen, Kai Wang, **Qing Shen**, Zeke Liu, Peter Müller-Buschbaum, Wanli Ma; "Matrix Manipulation of Directly-Synthesized PbS Quantum Dot Inks Enabled by Coordination Engineering", *Advanced Functional Materials*, 2021/ 2104457, 1-9, (2021/8/6).
75. Guozheng Shi, Chen Cheng, Tianshu Zhai, Botong Chen, Xinnan Mao, Yang Liu, Xuliang Zhang, Xufeng Ling, Yannan Zhang, Xing Meng, Yifan Chen, Steffen Duhm, Liang Zhang, Lu Wang, Shiyun Xiong, Zeke Liu & Wanli Ma; "The effect of water on colloidal quantum dot solar cells", *Nature Communications*, 12/ 4381, 1-12, (2021/7/19).
76. Zihan Chen, Yaohong Zhang, Zhi Li Teh, Jianfeng Yang, Lin Yuan, Gavin J. Conibeer, Robert J.

- Patterson, **Qing Shen**, Shujuan Huang*, and Zhilong Zhang; "Passivating Quantum Dot Carrier Transport Layer with Metal Salts", ACS Applied Materials & Interfaces, (2021/6/8).
77. Takeru Ando and **Shouhei Kidera**; "Accurate Micro-Doppler Analysis by Doppler and k-space Decomposition for Millimeter Wave Radar", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 15/1, (2021).
 78. Umita Hirose, Peixian Zhu, and **Shouhei Kidera**; "Deep Learning Enhanced Contrast Source Inversion for Microwave Breast Cancer Imaging Modality", IEEE Journal of Electromagnetics, RF, and Microwaves in Medicine and Biology, 1-1, (2021).
 79. Yuraro Suzuki and **Shouhei Kidera**; "Resolution Enhanced Distorted Born Iterative Method Using ROI Limiting Scheme for Microwave Breast Imaging", IEEE Journal of Electromagnetics, RF, and Microwaves in Medicine and Biology, 2285 - 2289, (2021).
 80. Takumi Hayashi, Takeru Ando, and **Shouhei Kidera**; "Three-dimensional Doppler Associated Radar Imaging Method Based on Bi-directional Data Processing", IET Radar, Sonar & Navigation, (2021).
 81. Hayatomomaru Morimoto, Yoshihiro Yamauchi and **Shouhei Kidera**; "Contrast Source Inversion Based Multi-layered Object Analysis for Terahertz Wave Imaging", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, (2021).
 82. Hayatomomaru Morimoto and **Shouhei Kidera**; "Super-Resolution Multi-layer Structure Analysis via Depth Adaptive Compressed Sensing for Terahertz Subsurface Imaging", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, (2021).
 83. Tomoki Ohmori and **Shouhei Kidera**; "Doppler Velocity Enhanced Range Migration Algorithm for High Resolution and Noise-Robust Three-dimensional Radar Imaging", IEEE Sensors Journal, 2/ 18, 20616-20628, (2021/9).
 84. Tomoki Ohmori, Shuto Takahashi, and **Shouhei Kidera**; "Gaussian Mixture Model Parameter Optimization in Range Points Migration Based Three-dimensional Radar Imaging", IEEE Sensors Journal, 21/ 12, 13594-13602, (2021/5).
 85. Kanto Kito, Takamaru Matsui, and **Shouhei Kidera**; "Depth Adaptive Object Identification Using Terahertz Time Domain Spectroscopic Data", IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 11/ 5, 598-604, (2021/5).
 86. Jianghaomiao He, Shota Terashima, Hideyuki Yamada, and **Shouhei Kidera**; "Diffraction Signal Based Human Recognition in Non-line-of-sight (NLOS) Situation for Millimeter wave Radar", 14, 4370-4380, (2021/4).
 87. Takaya Shin, Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**; "Cyber-secure pneumatic actuator system equipped with encrypted controller and attack detectors", Advanced Robotics, 36/2, (2022/2/11).
 88. Takaya Shin, **Kiminao Kogiso**; "Sensorless angle and stiffness control of antagonistic PAM actuator using reference set", Advanced Robotics, 36/2, (2022/2/11).
 89. Kaede Iinuma, **Kiminao Kogiso**; "Emotion-involved human decision-making model", Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems, 27/ 1, 543-561, (2021/10/22).
 90. Takaya Shin, Takumi Ibayashi, **Kiminao Kogiso**; "IEEE/ASME Transactions on Mechatronics", (2021/6/3).

91. Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**; "ElGamal-type encryption for optimal dynamic quantizer in encrypted control systems", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 14/ 1, 59-66, (2021/4/22).

4.2. 【国際会議プロシーディングス等】

1. Ryo Nakazato, **Shinji Yokogawa**, **Haruhisa Ichikawa**, Tomohito Ushirokawa, Takashi Takeda, "Compact model for estimating ara-level photovoltaic power generation on façade surface using 3D city model and solar radiation simulation," IEEE PES ISGT-Asia Conference, December 2021.
2. Takumi Wada, Yoshito Tobe, **Shinji Yokogawa**, **Haruhisa Ichikawa**, Yuusuke Kawakita, "A maximum flow evaluation method of microgrids comprising ultra-small microgrid components," 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021).
3. Yuki Takazawa, Toma Kamata, **Haruhisa Ichikawa**, Hiroshi Tanaka, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita, "Faster channel allocation control by relaxing DCRO control in synchronous streaming protocols," 2021 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2021).
4. Shintaro Fujita, **Kenji Sawada**: "Examination of Allowlist Using Markov Decision Process for Industrial Control Systems", AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review).
5. Haruka Matsushita, **Kenji Sawada**: "Adaptive Cruise Control to reflect driver individuality via Human-In-the-loop-system", AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
6. Shotaro Shibahara, **Kenji Sawada**: "Polygon-Wall based Obstacle Avoidance for Swarm Robots in Column Formation", AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
7. Kousei Sakata, Shintaro Fujita, **Kenji Sawada**: "Synthesis and Implementation of Resilient Fallback Control Logic Under Cyberattacks", AROB 27th 2022, 25-27. Jan. 2022. (Virtual conference, Oral, Abstract Review)
8. Yoshiki Ikeda, **Kenji Sawada**: "Anomaly Detection and Anomaly Location Model for Multiple Attacks Using Finite Automata", ICCE2022, 7-9, Jan. 2022. (Virtual conference, Full Paper Review)
9. Kousei Sakata, Shintaro Fujita, **Kenji Sawada**: "Model Verification of Resilient Third-Party Monitoring System Against Cyberattacks", ICCE2022, 7-9, Jan. 2022. (Virtual conference, Full Paper Review)
10. Shotaro Shibahara, Takuma Wakasa, **Kenji Sawada**: "Network Weight Function for Obstacle Avoidance of Swarm Robots in Column Formation", SICE Annual Conference, 259/262, 2021 (Virtual conference, 2021.9.8-9.10) (Position paper review)
11. Yuzuna Horiuchi, Katsuhiko Sando, **Kenji Sawada**: "On MPC-based Driver Assistance System for Driver Preview Action, SICE Annual Conference", 449/452, 2021 (Virtual conference, 2021.9.8-9.10) (Position paper review)
12. Takuma Wakasa, **Kenji Sawada**: "A Sparse Pinning Control for Vehicle Platoon via Sequential l1 Optimization", ISIE 2021, TS-23.8 (2021.6.20-23) (Virtual conference, Full paper review).
13. Chih-Chieh Chen, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**, "Learnability and expressibility of variational quantum circuit learning: VC theory and PAC-Bayes

- theory", CANDAR2021, (2021/11/23-26), Online.
14. Risa Takayanagi, Keita Takahashi, Masaya Watabe, Kazunori Ohkawara, **Tomah Sogabe**, "Decision Making in American Football under State Uncertainty by Stochastic Inverse Reinforcement Learning", CANDAR2021, (2021/11/23-26), Online.
 15. **Shuzi Hayase**; "Pb free Sn perovskite solar cell research in Hayase Lab", International Conference on "Materials for Humanity, MH21, WEB, (2021/6/7).
 16. **Shuzi Hayase**: "Perovskite solar cells consisting of Tin, International Solar Power Technologies", SPTech conference, (2021/6/8).
 17. **Shuzi Hayase**: "Efficiency enhancement of perovskite solar cells consisting of Tin as light harvesting layer", 2021 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics, IL07, (WEB), (2021/8/30).
 18. **Shuzi Hayase**: "Halogenated perovskite solar cells consisting of tin as light harvesting layer", MRM, Yokohama. NEDO, (2021/12/14).
 19. **Shuzi Hayase**: "Tin perovskite solar cells -What comes after Lead perovskite solar cells", - India-Japan Workshop on Biomolecular, Electronics and Organic Nanotechnology for Environment Preservation (IJWBME 2020), Nagoya University, (2021/12/9).
 20. **Shuzi Hayase**: "Next generation solar cells-Printable halide perovskite solar cell Including cylindrical solar cell research-", International Conference on Energy, Manufacture, Advance Material, and Mechatronics (IC-EMAMM) 2021, Universitas Hasanuddin. Indonesia (WEB), (2021/11/23).
 21. **Shuzi Hayase**: "Perovskite solar cells consisting of Tin Including cylindrical solar cell research", International Webinar on "New Energy Materials" (WEB), XAUAT 2021, (2021/12/3).
 22. **Shuzi Hayase**: "Solution Processed Perovskite solar cells", Current and Future Research Trends Chung-Ang University Smart City Relay Talks, (WEB), (2022/2/3).
 23. **Koichiro Ishibashi**; "NICS 2021 (NAFOSTED Conference on Information and Computer Science)(2021/12/21).
 24. **Koichiro Ishibashi**; "FDSE 2021 International Conference on Future Data and Security Engineering", Program Committee, (2019/11/27).

4.3. 【国内会議、学会口頭発表等】

1. 田村光汰, 川喜田祐介, 戸辺義人, **横川慎二**, **市川晴久**; "局所性を考慮したインターネット型直流電量流通システム," 計測自動制御学会 スマートセンシング部会研究発表会(2021.9).
2. 和田拓海, 戸田義人, **横川慎二**, **市川晴久**, 川喜田祐介; "最大実行可能フロー導出のための VG-Hub ネットワーク作成," 2021 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-60, (2021.9).
3. 大條海渡, 川喜田祐介, 田谷昭仁, 戸辺義人, **横川慎二**, **市川晴久**; "VG-Hub 制御・管理のクラウド化に関する検討," 情報処理学会 第 29 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2021) (2021.10).
4. 三次仁, 徳増理, **市川晴久**; "マルチキャリアバックスキュッタ通信システムの開発 システムアーキ

- テクチャとサービス,” 電子情報通信学会短距離無線通信研究会(2022.1).
5. 中里諒, 横川慎二, 市川晴久, 後川知仁, 武田隆; “建物沿面を考慮した都市エリアレベルの太陽光発電量推定モデル,” 電子情報通信学会 電子通信エネルギー技術研究会(2022.1).
 6. 藤田真太郎, 澤田賢治; “シーケンス制御システムのホワイトリスト式異常検知のためのモデル化の検討”, 2D1-6, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 7. 池田佳輝, 阪田恒晟, 澤田賢治; “サイバー攻撃下での制御システムにおける復帰動作順序の導出方法”, 2D1-5, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 8. 谷山晴紀 (明治大学), 市原裕之 (明治大学), 澤田賢治 (電気通信大学); “切替を伴うマルチエージェントシステムの分散型 Receding Horizon Total Control”, PS3-11, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 9. 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治; “スーパーバイザ制御に基づく脆弱性の表現とその防御方法の検討”, PS3-1, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 10. 佐藤海斗, 澤田賢治; “離散化主双対勾配アルゴリズムによる Receding-Horizon Estimation の提案”, PS3-2, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 11. 堀内柚那, 澤田賢治; “ドライバの予見動作に応じた切替型 Shared Control に関する研究”, PS2-4, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 12. 藤本拓磨, 澤田賢治, 山藤勝彦; “予測ガバナによる前方車両の一時停止を考慮した ACC の設計”, PS2-3, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 13. 望月優加理, 澤田賢治; “自動運転車両の利他的な車線変更起因する渋滞とその解消速度の評価”, 1D2-4, MSCS2022 (2022.3.7-10), オンライン開催.
 14. 藤田真太郎, 澤田賢治; “シーケンス制御システムに対するホワイトリスト式異常検知のための正常状態遷移のモデル化”, SCIS2022 (2022.1.19-22), ハイブリッド開催, 現地参加.
 15. 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治; “制御システムに対する脆弱性を考慮したスーパーバイザの設計”, SCIS2022 (2022.1.19-22), ハイブリッド開催, 現地参加.
 16. 池田佳輝(電気通信大学), 阪田恒晟(電気通信大学), 澤田賢治(電気通信大学), 藤田淳也(日立製作所), 松本典剛(日立製作所); “制御システムにおけるインシデント発生後の状態復帰動作の導出方法”, SCIS2022 (2022.1.19-22), ハイブリッド開催, 現地参加.
 17. 阪田恒晟(電気通信大学), 藤田真太郎(電気通信大学), 澤田賢治(電気通信大学), 遠藤 浩通(日立製作所), 松本 典剛(日立製作所); “サイバー攻撃に対するレジリエントな縮退運転システムの設計と実装”, SCIS2022 (2022.1.19-22), ハイブリッド開催, 現地参加.
 18. 浅中莉子, 本間俊貴, 井上正樹, 澤田 賢治; “混雑緩和のための行動モデリングと制御”, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14), オンライン開催 (優秀発表賞) .
 19. 藤田真太郎; “産業用制御システムのためのマルコフ決定過程を用いたホワイトリスト生成の検討”, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催
 20. 阪田恒晟, 藤田真太郎, 澤田賢治; “サイバー攻撃に対するレジリエントなスーパーバイザの設計”, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14) 新型コロナウイルスによりオンライン開催(優秀発表賞)
 21. 松下遥香, 澤田賢治; “Human-In-The-Loop System によるドライバ個性を反映した Adaptive Cruise Control”, 第 64 回自動制御連合講演会, (2021.11.13-14), オンライン開催.
 22. 藤田真太郎, 澤田賢治; “二重化制御システムにおける異常発生時の制御器引き継ぎ方法”, 2021 年電

- 気学会電子・情報・システム部門大会, 583/585 (2021.9.15-17), オンライン開催 (2021年電気学会優秀論文発表賞A)。
23. 堀内柚那, 澤田賢治, 山藤勝彦; “ドライバの予見動作を支援する MPC 型自動運転システムに関する研究”, 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会, 940/943 (2021.9.15-17), オンライン開催.
 24. 池田佳輝, 澤田賢治; “複数攻撃に対する有限オートマトンを用いた異常検知と異常箇所判定モデル”, 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会, 944/949 (2021.9.15-17), オンライン開催.
 25. 柴原将太郎, 澤田賢治; “複数列縦隊移動するロボット大群の障害物回避のためのネットワーク重み関数”, 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会, 1019/1024 (2021.9.15-17), オンライン開催.
 26. 澤田賢治, 長谷川亮太; “予測誤差フィードバックを有するガウス過程回帰による制御システムの異常検知”, SCI'21, TS09-01-4 (2021.5.26-18), オンライン開催.
 27. 斯波廣大, 坂本克好, 山口浩, 沈青, 岡田至崇, 曾我部東馬; “AI を用いたペロブスカイト/PbS 量子ドット中間バンド太陽電池の光マネジメント構造設計”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (2021/9/10-13), オンライン.
 28. 熊倉健, 坂本克好, 曾我部東馬; “第一原理非平衡グリーン関数輸送解析を用いたマルチ量子ビットの物理モデルの設計とゲート制御”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (2021/9/10-13), オンライン.
 29. 吉田響, 坂本克好, 山口浩一, 曾我部東馬; “コアシェル量子ドットにおける第一原理非平衡輸送解析と構造逆設計”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (2021/9/10-13), オンライン.
 30. 福田渉, 坂本克好, 山口浩一, 曾我部東馬; “PbS 量子ドットにおける第一原理非平衡グリーン関数解析およびリガンド効果”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (2021/9/10-13), オンライン.
 31. 小栗直己, 丁超, 早瀬修二, 曾我部東馬, 豊田太郎, 沈青; “PbS/CdS 量子ドット薄膜の光励起キャリアダイナミクス”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, (2021/9/10-13), オンライン.
 32. Chen Chih-Chieh, Masaya Watabe, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**, “A study on the expressibility and learnability of quantum circuit learning”, 情報処理学会第 3 回量子ソフトウェア研究発表会, (2021/7/1-2), オンライン.
 33. Ajay Kumar Baranwal, Shrikant Saini, Tomohide Yabuki, **Qing Shen**, Koji Miyazaki, **Shuzi Hayase**; “Revealing the low efficiency of tin perovskite solar cells with metal oxide /tin perovskite interface”, web, The 69th JSAP spring meeting 2022, 25p-E206-5, (2022/3/22-26).
 34. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen**, and **Shuzi Hayase**; “High Efficiency SnPb Mixed Halides Perovskite Solar Cells via Additive Engineering with Enhanced Electronic Properties and Thermal Stability”, The 69th JSAP Spring Meeting 2022, Aoyama Gakuin University, Sagamihara Campus, E 24P-E206-6, (2022/3/24).
 35. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation”, WEB, 2021 年応用物理学会春季講演会 24P-E206-4, (2022/ 3/ 24).
 36. Liang Wang, Tingli Ma, **Shuzi Hayase**; “Carrier Transport Layer-Free Perovskite Solar Cells”, WEB, The 69h JSAP Spring Meeting 2022, 24a-E206-9, (Oral presentation), (2022/3/24).
 37. Mengmeng Chen, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “Large synergy effects of doping, A site substitution, and surface passivation in wide bandgap Pb-free ASnI₂Br perovskite solar cells on efficiency and stability enhancement.”, Web, JSAP, 24p-E206-3, (2022/03/24).

38. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation”, WEB, 電気化学会 電気化学会第 89 回大会, S2-1A10, (2022/ 3/15).
39. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Bandgap Perovskite Solar Cells via A site, Doping, and Surface passivation Engineering,” Web, ECSJ, 1B07, (2022/03/15).
40. Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Daisuke Hirotsu, Kohei Nishimura, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Shen Qing, Shuzi Hayase**; “Synergistic effect of A-site engineering and surface treatment in tin halide perovskite solar cells, The 68th JSAP Spring Meeting”, Online Virtual Meeting, (2021/03/18).
41. Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, Daisuke Hirotsu, Kengo Hamada, **Qing Shen, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino and Shuzi Hayase**; “Tin-halide perovskite solar cells beyond 13% efficiency”, Pacificchem 2021, No.3449369, (2021/12/17).
42. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Teresa S. Ripolles, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Shen Qing, Juan Bisquert, Shuzi Hayase**; “Suppressing hysteresis effect in lead-free tin halide perovskite solar cells through incorporation of large A-site cation”, Materials Research Meeting 2021 (MRM2021), (2021/12/13-17).
43. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Teresa Ripolles Sanchis, Juan Bisquert, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “Impedance Spectroscopy Studies on Transparent Conducting Oxide Free - Flexible Perovskite Solar Cells”, MRM 2021, D1-03-05, Yokohama, (2021/12/14).
44. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, Kenji Yoshino, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, **Qing Shen, Shuzi Hayase**, “Diethylammonium iodide promoting grain growth in Lead-free Tin Halide perovskite”, WEB, MRM 2021, D1-PV21-06, (2021/12/14).
45. **Shuzi Hayase**; “Efficiency enhancement of tin and alloyed tin/lead perovskite solar cells by surface passivation with ethylenediamine”, PVSEC31 (WEB), (2021/12/14).
46. Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, Daisuke Hirotsu, Kengo Hamada, **Qing Shen, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino and Shuzi Hayase**; “Over 13% Efficiency for Pb-free Tin Perovskite Solar Cells”, MRM2021 Materials Research Meeting, No.C001056, Virtual, (2021/12/13).
47. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Bandgap Perovskite Solar Cells via A site, Doping, and Surface passivation Engineering”, Web, MRM2021, 12.14, D1-PV21-03, 2021.
48. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, Kenji Yoshino, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “Diethylammonium iodide promoting grain growth in Lead-free Tin Halide perovskite”, WEB, MRM 2021, D1-PV21-06, (2021/12/14)
49. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Qing Shen, Shuzi Hayase**, “Synergistic effect of A-site engineering and surface treatment in tin halide perovskite solar cells”, Materials Research Meeting 2021, Pacifico Yokohama, (2021/12/14).
50. Ajay Kumar Baranwal, Shrikant Saini, Tomohide Yabuki, **Qing Shen, Koji Miyazaki, Shuzi Hayase**,

- “Study of thermoelectric performance of CsSnI₃ nanocomposite in various scaffold structures”, on site, MRM 2021, E4-O7-08, Yokohama, Japan, (2021/12/13-16).
51. Ajay Kumar Baranwal, Daisuke Hirotoni, Shrikant Saini, Tomohide Yabuki, **Qing Shen**, Koji Miyazaki, **Shuzi Hayase**, “Unveiling the low efficiency of tin perovskite solar cells with metal oxide/ tin perovskite interface and usefulness in thermoelectric applications”, web, The 82nd JSAP autumn meeting, 10p-N406-18, (2021/9/10-13).
 52. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Teresa Ripolles, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Qing Shen**, Juan Bisquert, **Shuzi Hayase**; “Suppressing hysteresis effect in lead-free tin halide perovskite solar cells through incorporation of large A-site cation”, The 82nd JSAP Autumn Meeting, Online Virtual Meeting, (2021/09/11).
 53. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**; “New hole selective contacts to achieve efficiency more than 23% in tin-lead perovskite solar cells”, WEB, JSAP Autumn meeting, 11P-N322-11, (2021/9/11).
 54. Mengmeng Chen, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Band Gap Perovskite Solar Cells via Guanidinium Bromide Incorporation”, WEB, JASP, E 11p-N322-12, (2021/9/11).
 55. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, Kenji Yoshino, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “Diethylammonium iodide promoting grain growth in Lead-free Tin Halide perovskite”, WEB, JSAP, 11p-N322-10, (2021.9.11).
 56. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “Tin flexible perovskite solar cells with efficiency approaching 10%”, JSAP Autumn Meeting 2021, 11p-N322-9, WEB, (2021/9/11).
 57. 西村滉平, Muhammad Akmal Kamarudin, 沈青, 飯久保智, 峯元高志, 吉野賢二, 早瀬修二; “マルチアニオンによるスズ-ペロブスカイト太陽電池の効率改善”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, No.11p-N322-14, (2021/9/11), オンライン開催
 58. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, Kenji Yoshino, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; “Diethylammonium iodide promoting grain growth in Lead-free Tin Halide perovskite”, WEB, JKF-ICOMEPE, PD2-08, (2021/9/9).
 59. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**; “PEDOT: PSS free tin-lead perovskite solar cells with efficiency more than 23%”, WEB, EU PVSEC, 3CO.5.1, (2021/9/8).
 60. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Teresa Ripolles, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Shen Qing**, Juan Bisquert, **Shuzi Hayase**; “Suppressing hysteresis effect in lead-free tin halide perovskite solar cells through incorporation of large A-site cation”, ECSJ Fall Meeting, 2021, Online Virtual Meeting, (2021/9/8).
 61. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Teresa Ripolles, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Shen Qing**, Juan Bisquert, **Shuzi Hayase**; “Suppressing hysteresis effect in lead-free tin halide perovskite solar cells through incorporation of large A-site cation”, ECSJ, 電気化学会冬季大, WEB, 1B09, (2021/9/8).
 62. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**; “Tin-lead perovskite solar cell with efficiency more than 23%”, WEB, Electrochemical Society of Japan Fall Meeting, 1B08, (2021.9.8).

63. 西村滉平, Muhammad Akmal Kamarudin, 沈青, 飯久保智, 峯元高志, 吉野賢二, 早瀬修二; “Br を用いたスズ-ペロブスカイト太陽電池の変換効率改善”2021 年電気化学秋季大会, No.1B10, (2021/9/8), オンライン開催.
64. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Band Gap Perovskite Solar Cells via Guanidinium Bromide Incorporation, WEB, ECSJ, 9.8, 1B09, 2021.
65. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Yaohong Zhang, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “Incorporation of p-type interlayer self-assembled monolayer in high efficiency flexible tin-lead perovskite solar”, ECSJ Fall Meeting 2021, 1B06, WEB, (2021/9/8).
66. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Band Gap Perovskite Solar Cells via Guanidinium Bromide Incorporation”, WEB, KJF-ICOMEF, PC1-05, (2021/8/29).
67. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Mengmeng Chen, Kenji Yoshino, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “Diethylammonium iodide promoting grain growth in Lead-free Tin Halide perovskite”, WEB, KJF-ICOMEF, PD2-08, (2021/8/29).
68. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; “High-Efficiency Lead-Free Wide Band Gap Perovskite Solar Cells via Guanidinium Bromide Incorporation”, WEB, KJF-ICOMEF, PC1-05, (2021/8/29).
69. Gaurav Kapil, Muhammad Akmal Kamarudin, Kohei Nishimura, Daisuke Hirofumi, **Qing Shen, Satoshi Iikubo, Mengmeng Chen, Zhang Zheng, Shuzi Hayase**; “Band engineering of Sn and SnPb perovskite solar cells for efficiency enhancement”, SIPE SYMPOSIUM: SPIE Optics + Photonics 2021, Organic, Hybrid, and Perovskite Photovoltaics XXII, Paper No. 11809-18, WEB, (2021/8/1).
70. **Shuzi Hayase**; “Band engineering of Sn and SnPb perovskite solar cells for efficiency enhancement”, SPIE Optics + Photonics 2021.
71. **横川慎二**; “故障物理に基づくデバイスの信頼性モデリング,”日本 OR 学会 4 部会・グループ合同研究会 ～確率モデルの新展開～ (2021). 招待講演
72. 斎藤彰, 石垣陽, **横川慎二**, 川内雄登, 田中晴美, 浅野美穂, 小川美紀, 鎌田麻衣, 石川正吾, 齋藤泰紀; “CO₂ センサーを活用した循環器検診車内の換気可視化の検討,” 第 62 回日本人間ドック学会学術大会予稿集, E-3-09 (2021).
73. **横川慎二**; “Society 5.0 の基盤としてのデータ収集・分析・利活用,” 第 28 回 IoT 特別研究会 (RC-88), 招待講演 (2021).
74. 浅野実, **横川慎二**, 石垣陽, 富永潤一, 栗津浜一; “利用調査データに基づくユーザーペルソナの抽出とバッテリー劣化量との相関分析,” “ユーザーの利用調査データに基づくモバイル端末のバッテリー劣化量分析,” モバイル'21, 1-11 (2021).
75. 浅野実, **横川慎二**, 石垣陽, 富永潤一, 栗津浜一; “利用調査データに基づくユーザーペルソナの抽出とバッテリー劣化量との相関分析,” 第 50 回信頼性・保全性・安全性シンポジウム, 1-2 (2021).
76. 川内雄登, 石垣陽, **横川慎二**; “パブリックスペースにおける CO₂ 濃度センシングを用いたリスク解析,” 第 50 回信頼性・保全性・安全性シンポジウム, 6-1 (2021).
77. 川内雄登, 浅野実, 中里諒, 黒良直生, 中嶋洋貴, 平出大誠, 遠藤幸一, 石垣陽, **横川慎二**; “CO₂ センサーネットワークによるホールの換気量の評価とリアルタイム可視化,” 第 29 回環境化学討論会, WO-074 (2021).
78. 吉川祐太, **石橋孝一郎**; “低電力 LoRa モジュールの各低電力モードによる間欠動作の低電力化”, 電子

情報通信学会総合大会, (2022/03).

79. Hung-NGUYEN TRONG, Van-TRUNG NGUYEN and **Koichiro ISHIBASHI**; "A Sub uW and 14bit Resolution Temperature Sensor for IoT Using Thermistor-Defined TDC", 電子情報通信学会総合大会通信学会 研究会 デザインガイア 2021 -VLSI 設計の新しい大地, (2021/12).
80. Duc-Tho Mai and **Koichiro Ishibashi**; "Bacteria Shape Classification using Small-Scale Depth-wise Separable CNNs", 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (2021/11/1).
81. Koki Kumagai, Duc-Tho Mai, Guanghao Sun, and **Koichiro Ishibashi**; "Infectious Disease Screening system using Medical Radar and Data Quality Assessment by Efficient Neural Network Hardware", TECHNICAL PROGRAM IN DETAIL Symposium on Computer Science and Engineering, Section 1, (2021/10/23).
82. **Koichiro Ishibashi**; "MCU Process Vital Sign Acquisition using Contactless Doppler Radar", TECHNICAL PROGRAM IN DETAIL Symposium on Computer Science and Engineering, KEYNOTE 2, (2021/10/22).
83. **Koichiro Ishibashi** and Hideyuki Tsujimoto; "MCU Process Vital Sign Acquisition using Contactless Doppler Radar", SCSE 2021, (2021/10/22).
84. Koki Kumagai, Duc-Tho Mai and **Koichiro Ishibashi**; "Infectious Disease Screening system using Medical Radar and Data Quality Assessment by Efficient Neural Network Hardware", SCSE 2021, (2021/10/22).
85. Ronaldo Serrano, Marco Sarmiento, Ckristian Duran, Khai - Duy Nguyen, Trong - Thuc Hoang, **Koichiro Ishibashi**, and Cong - Kha Pham; "A Low - Power Low - Area SoC based in RISC - V Processor for IoT Applications", International SoC Design Conference 2021, (2021/10/8).
86. 石橋孝一郎; "高精度、長時間動作、長距離通信を実現する Beat Sensor 技術", JEITA スマートセンシング・デバイス融合技術分科会, (2021/9/11).
87. Shuntaro Saku, and **Koichiro Ishibashi**; "PV and RF Hybrid Energy Harvesting Power Supply", NICT ASEAN IVO Workshop, (2021/8/6).
88. Shuntaro Saku, and **Koichiro Ishibashi**; "T Beat Sensors for monitoring CO2 to detect lack of ventilation in Covid-19 environment", ICT Virtual Organization of ASEAN Institutes and NICT ASEAN IVO, (2021/8/6).
89. Shuntaro Saku, and **Koichiro Ishibashi**; "PV and RF Hybrid Energy Harvesting Power Supply", ICT Virtual Organization of ASEAN Institutes and NICT ASEAN IVO, (2021/8/6).
90. Duc-Tho Mai and **Koichiro Ishibashi**; "Bacteria Shape Recognition with the Kotobuki's model", 第 60 回日本生体医工学会, (2021/6/17).
91. 平田遼, 宮原大輝, 李陽, 三浦典之, 崎山一男; "パイプライン化された AES S-box へのフォールト攻撃に対する安全性評価", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 1C1-4, (2021).
92. 北原知明, 日良僚太, 原祐子, 宮原大輝, 李陽, 崎山一男; "NIST 軽量暗号最終候補におけるソフトウェア実装性能の評価", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 4E1-4, (2021).
93. 寫野雅久, 宮原大輝, 崎山一男; "ハイパースペクトルカメラによるカードベース暗号の安全性評価に向けた基礎的検討", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 2F5-4, (2021).

94. 塚原麻輝, 平田遼, 宮原大輝, 李陽, **崎山一男**; "M&M により対策された AES 暗号ハードウェアの乱数依存性について", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 2C2-2, (2021).
95. 植村友紀, 渡邊洋平, 李陽, 三浦典之, 岩本貢, **崎山一男**, 太田和夫; "プロービング攻撃による漏洩情報を用いた AES 鍵復元アルゴリズムの改良", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 1F2-2, (2021).
96. 渡辺陸, 楊明宇, 原祐子, **崎山一男**, 李陽; "RISC-V と SubRISC+における LED 暗号の Bitslice 実装の評価", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 1C4-1, (2021).
97. 加藤光, 菅原健, **崎山一男**, 李陽; "確率モデルと実験による増分故障解析の安全性評価", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 2B1-3, (2021).
98. 松川侑生, 杉本悠馬, 菅原健, **崎山一男**, 李陽; "電磁波サイドチャネルとスクリーミングチャネルの同時収集攻撃の検証", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 1C4-3, (2021).
99. 楊明宇, 卯木あゆ美, 李陽, **崎山一男**, 原祐子; "少命令セット組込みプロセッサにおける ARX 型暗号アルゴリズムの実装と評価", 2022 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2022), 1F2-4, (2021).
100. 工藤黎, 菅原健, **崎山一男**, 原祐子, 李陽; "サイドチャネル攻撃の並列実装におけるシステムノイズの評価", ハードウェアセキュリティフォーラム 2021, (2021/12).
101. 嶋野裕一郎, 星野翔, **崎山一男**; "ローリングシャッター方式のカメラを用いた音声情報の復元実験", IEICE2021 年ソサイエティ大会,(2021/9).
102. 北原知明, 日良僚太, 原祐子, 李陽, **崎山一男**; "NIST 軽量暗号最終候補における AD 長と平文長に対するレイテンシの測定", IEICE2021 年ソサイエティ大会,(2021/9).
103. 塚原麻輝, 平田遼, 李陽, **崎山一男**; "M&M により対策された AES 暗号ハードウェアに対する t 検定", IEICE2021 年ソサイエティ大会,(2021/9).
104. 古野亨紀, 平田遼, 李陽, **崎山一男**; "M&M により対策された AES 暗号ハードウェアへの故障利用解析に向けた基礎実験", IEICE2021 年ソサイエティ大会,(2021/9).
105. 高見豪, 菅原健, **崎山一男**, 李陽; "ミクスチャ差分を用いた暗号解析の LED64 への適用", IEICE2021 年ソサイエティ大会,(2021/9).
106. 林優斗, **金子修**, "時変系に対する二自由度制御系におけるフィードフォワード制御器の FRIT", 2021 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, (2021/9/15).
107. 鈴木元哉, **金子修**, "逐次最小二乗法によるリアルタイムデータ駆動型参照信号整形", 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会, (2021/5/26).
108. Raka Firman, Junpei Tabuchi, **Tomio Okawa**, Yuki Narushima, Hajime Furuichi, Kenichi Katono, "Experimental Study on Onset Condition of Boiling Entrainment from Falling Liquid Film with Gas Sheared Flow", 日本原子力学会「2020 年春の年会」, 2E01, (2022/3/17).
109. 梅原裕太郎, **大川富雄**, "現象論的クエンチモデルの開発及び適用性の検討", 日本原子力学会「2020 年春の年会」, 2E16, (2022/3/17).
110. 任寧, 中濃昂輝, 梅原裕太郎, **大川富雄**, 小泉安郎, "ナノ流体のプール沸騰熱伝達率及び限界熱流束へ及ぼす効果について", 熱工学コンファレンス, B223, (2021/10/10).
111. 中濃昂輝, 梅原裕太郎, 任寧, **大川富雄**, 小泉安郎, "ナノ流体プール沸騰熱伝達限界熱流束へ及ぼす伝熱面材質の影響の評価", 熱工学コンファレンス, B222, (2021/10/10).

112. 王萌蕾, **大川富雄**, "ナノ粒子層をウィックとするヒートパイプの伝熱性能に関する研究", 熱工学コンファレンス, D131, (2021/10/9).
113. 梅原裕太郎, **大川富雄**, "流下液膜冷却におけるクエンチ現象のメカニズム解明", 熱工学コンファレンス, C122, (2021/10/9).
114. 田淵純平, Firman Raka, **大川富雄**, 上遠野健一, 古市肇, 成島勇氣, "核沸騰による流下液膜からの液滴飛散開始条件に及ぼす各種パラメータの影響", 熱工学コンファレンス, B135, (2021/10/9).
115. 辻村玲摩, **大川富雄**, 遠藤祐哉, "強制対流サブクール沸騰における発泡核間干渉による気泡生成頻度の変化", 熱工学コンファレンス, B112, (2021/10/9).
116. **大川富雄**, 遠藤祐哉, 辻村玲摩, "強制対流サブクール沸騰中での CHF 状態移行時における壁面温度分布と気泡挙動の同期観察", 熱工学コンファレンス, B111, (2021/10/9).
117. 李洪吉, 大堀浩輝, 遠藤祐哉, **大川富雄**, "核沸騰による流下液膜からの液滴飛散開始条件に関する実験的検討", 日本原子力学会「2021 年秋の年会」, 3J02, (2021/9/10).
118. 南里圭祐, 梅原裕太郎, **大川富雄**, "対向高温面の流下液膜冷却における飛散液滴の影響", 日本原子力学会「2021 年秋の年会」, 3J03, (2021/9/10).
119. Firman Raka, **大川富雄**, 田淵純平, 成島勇氣, 古市肇, 上遠野健一, "長円形ノズルから流出する液噴流の流動様式と分裂挙動に関する研究", 「2021 年秋の年会」, E0158, (2021/9/10).
120. **大川富雄**, "強制対流サブクール沸騰における OSV 条件のモデル化に関する一考察", 日本機械学会 2021 年度年次大会, S081-02, (2021/9/6).
121. Firman Raka, **大川富雄**, 田淵純平, 成島勇氣, 古市肇, 上遠野健一, "空気噴射による液膜からの液滴エントレインメントの数値シミュレーション", 混相流シンポジウム 2021, E0158, (2021/8/24).
122. LIU YIFAN, 梅原裕太郎, **大川富雄**, 清水大輔, "ポーラスミニチャンネル沸騰熱伝達による高熱流束除熱", 混相流シンポジウム 2021, E0129, (2021/8/23).
123. **大川富雄**, 李洪吉, 大堀浩輝, 坂本新太郎, 榎木光治, "液滴・液膜衝突における二次液滴発生条件に関する検討", 混相流シンポジウム 2021, E0145, (2021/8/22).
124. 任寧, 中濃昂輝, 梅原裕太郎, 小泉安郎, **大川富雄**, "ナノ粒子付着層のナノ流体プール沸騰熱伝達特性への影響", 第 58 回日本伝熱シンポジウム, A233, (2021/5/26).
125. 梅原裕太郎, **大川富雄**, "流下液膜によるクエンチ点近傍の熱伝達率分布計測", 第 58 回日本伝熱シンポジウム, A221, (2021/5/26).
126. 王萌蕾, **大川富雄**, "ナノ粒子層をウィックとするヒートパイプの伝熱性能に関する研究", 第 58 回日本伝熱シンポジウム, E131, (2021/5/26).
127. 高梨晴己, 寺西郁, 水矢, 阿部, **小木曾公尚**; "安全な遠隔操作の実現に向けたロボットアームの暗号化制御", 第 64 回自動制御連合講演会, (2021/11/13).
128. 川瀬廣明, 桜間一徳, **小木曾公尚**; "暗号化分散制御器による合意制御の数値的検討", 第 64 回自動制御連合講演会, (2021/11/13).
129. 寺西郁, **小木曾公尚**; "BFV 暗号を用いた制御器の委託計算", 第 64 回自動制御連合講演会, (2021/11/13).
130. 正野, 宮壽, 寺西郁, 菅野, 川瀬, 曾我部, **小木曾公尚**, 川嶋, "空気圧シリンダ位置制御系の暗号化実装および検証", 第 39 回日本ロボット学会学術講演会, (2021/9/9).
131. 新昂也, **小木曾公尚**; "多項式近似による空気圧人工筋駆動系の関節角度-剛性の暗号化同時制御",

第 39 回日本ロボット学会学術講演会, (2021/9/9).

132. 新昂也, 小木曾公尚; "空気圧人工筋モデルに基づく実現可能な関節角度と剛性の目標値集合", 第 39 回日本ロボット学会学術講演会, (2021/9/9).
133. 喜田由伎於, 寺西都, 小木曾公尚; "ネットワーク化制御系に対する中間者攻撃の模擬環境の構築", 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会, (2021/5/26).
134. 宮本将希, 小木曾公尚; "暗号文だけで飛ばすドローン初号機の開発", 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会, (2021/5/26).

4.4. 【著書】

1. Chih-Chieh Chen, Kodai Shiba, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**: "Hybrid quantum-classical dynamic programming algorithm", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp.192-199(2021).
2. Reed.Sogabe, Dinesh Bahadur Malla, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**: "Impact of Domain Knowledge's Quality on Inverse Reinforcement Learning ", *Advances in Intelligent Systems and Computing*: pp.97-108 (2021).

4.5. 【解説記事】

1. 石垣陽・横川慎二; 【特集】換気の可視化による新型コロナ感染予防, *ビルと環境 (environment and building services)*, 2022.6.1 (in press).
2. 横川慎二・石垣陽; 【特集】CO₂ センサーを用いた空気品質管理の要点, *ビルと環境 (environment and building services)*, 2022.6.1 (in press)
3. 藤田真太郎, 澤田賢治; 制御システム向けセキュリティ対策技術, *電気学会誌*, Vol. 142, No. 4, 212/214, 2022.
4. 藤田真太郎, 澤田賢治; 制御分野におけるモデル活用型攻撃検知と縮退制御, *化学工業*, Vol. 73, No. 3, 174/181, 2022.
5. 澤田 賢治; 編集後記, *計測と制御*, 2021, 60 巻, 5 号, p. 395, 公開日 2021/05/21.
6. 蛭原義雄, 奥宏史, 片山仁志, 坂本登, 津村幸治, 平田光男, 西村悠樹, 澤田賢治; 次世代システム制御理論とは何か: 本論, *計測と制御*, 2021, 60 巻, 5 号, p. 385-394, 公開日 2021/05/21.
7. 西村悠樹, 佐藤訓志, 澤田賢治; 大木健太郎, 星野健太, 佐藤康之, 定本知徳, 次世代システム制御理論とは何か: 序論, *計測と制御*, 2021, 60 巻, 5 号, p. 381-384, 公開日 2021/05/21.

4.6. 【招待講演】

1. 横川慎二: "カーボンニュートラルを実現するエネルギーインフラパラダイムとシステムレジリエン

- ス”, 第8回電気通信大学ホームカミングデー学術講演会, 2021.12.12. <https://youtu.be/jPldY4xkY48>
2. 曾我部東馬: “AI 技術の最新動向とシステム制御と最適化に関する応用事例”, 第 52 回計装制御技術会議, (2022/1/19-21), オンライン.
 3. 曾我部東馬: “AIリテラシー入門”, 就職・転職支援のための大学リカレント教育推進事業におけるAIリテラシー入門”, (2021/11/20), オンライン.
 4. 曾我部東馬: “量子コンピュータが作る未来「量子過学習ってなあに？」”, データサイエンティスト協会, (2021/9/30), オンライン
 5. 曾我部東馬: “量子× AI が創る新しい社会「量子[回路・機械]学習って、学習できる保証があるの？」”, 電気通信大学, (2021/8/17), オンライン.
 6. 曾我部東馬: 「製造業DX (デジタルトランスフォーメーション) における異常検知技術の活用～DX・AIの基礎からAIによる異常検知技術の適用展開まで～」 (株)情報機構主催, (2022/3/25).
 7. 曾我部 東馬: 「Python による異常検知」 (株)トリケップス主催, (2021/5/17).
 8. Shuzi Hayase; “Pb free Sn perovskite solar cell research in Hayase Lab”, International Conference on "Materials for Humanity, MH21, WEB, (2021/6/7).
 9. Shuzi Hayase: “Perovskite solar cells consisting of Tin, International Solar Power Technologies”, SPTEch conference, (2021/6/8).
 10. 早瀬修二: 「ペロブスカイト太陽電池の基礎と効率向上指針、高分子学会・高分子エレクトロニクス研究会」 NEDO, WEB, (2021/5/20).
 11. 早瀬修二: 「Sn 系ペロブスカイト太陽電池研究の現状」, 日本太陽光発電学会ペロブスカイト太陽電池分科会 (共催: 有機系太陽電池技術研究組合), WEB, (2021/2/12).
 12. 早瀬修二: 「スズ系ペロブスカイト太陽電池の高電圧、高効率化、講演会名 ペロブスカイト太陽電池開発技術の最新動向と将来展望」, 光機能材料研究, WEB, (2021/9/9).
 13. Shuzi Hayase: “Efficiency enhancement of perovskite solar cells consisting of Tin as light harvesting layer”, 2021 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics, IL07, (WEB), (2021/8/30).
 14. 早瀬修二: 「塗布で作製できる高効率フレキシブル太陽電池と円筒形太陽電池への応用」 電気通信大学 ICT ワークショップ, S D G s における未来エネルギー, WEB, (2021/10/15).
 15. Shuzi Hayase: “Halogenated perovskite solar cells consisting of tin as light harvesting layer”, MRM, Yokohama. NEDO, (2021/12/14).
 16. Shuzi Hayase: “Tin perovskite solar cells -What comes after Lead perovskite solar cells”, - India-Japan Workshop on Biomolecular, Electronics and Organic Nanotechnology for Environment Preservation (IJWBME 2020), Nagoya University, (2021/12/9).
 17. 早瀬修二: 「色素増感太陽電池からハロゲン化ペロブスカイト太陽電池へ —最近の研究動向と今後の展望—」, 日本写真学会光機能性材料研究会(WEB), (2021/12/1).
 18. Shuzi Hayase: “Next generation solar cells-Printable halide perovskite solar cell Including cylindrical solar cell research-”, International Conference on Energy, Manufacture, Advance Material, and Mechatronics (IC-EMAMM) 2021, Universitas Hasanuddin. Indonesia (WEB), (2021/11/23).
 19. Shuzi Hayase: “Perovskite solar cells consisting of Tin Including cylindrical solar cell research”, International Webinar on “New Energy Materials” (WEB), XAUAT 2021, (2021/12/3).

20. 早瀬修二: 「ペロブスカイト太陽電池・光電変換材料の最新動向と今後の展望」, サイエンス&テクノロジーセミナー, WEB, (2022/3/30).
21. Shuzi Hayase: “Solution Processed Perovskite solar cells”, Current and Future Research Trends Chung-Ang University Smart City Relay Talks, (WEB), (2022/2/3).
22. 早瀬修二: 「錫系ペロブスカイト太陽電池の研究開発の現状－鉛系ペロブスカイト太陽電池との違い－」富岳成果創出加速プログラム 「富岳」エネルギー変換材料課題 第1回公開シンポジウム,(2022/3/17).
23. 早瀬修二: 「錫系ペロブスカイト太陽電池の研究開発動向と我々のアプローチ」, フィルム太陽電池研究コンソーシアム研究会,(2022/3/14).
24. 早瀬修二: 「鉛フリーペロブスカイト太陽電池、鉛フリーペロブスカイト太陽電池の最新研究開発事例・高性能化・将来展望と課題解決へのアプローチ」, (AndTech), (2022/1/18).
25. 澤田賢治: FA システムにおけるサイバーセキュリティ技術: 縮退制御と回復制御, システム制御情報学会 CyFA 研究分科会第5回例会「ネットワーク化電子制御機械システムにおけるセキュリティ確保の最前線」, (2022/03/22).
26. 澤田賢治: FA システムにおけるサイバー攻撃検知～機器連携とログ活用, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 一般公開セッション「IoT ロボティクス時代を支えるネットワーク技術」, (2021/09/16).
27. 澤田賢治: 制御システムのモデルベースセキュリティ, 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス (SeMI) 研究専門委員会, 「横断型研究会: スマートシティ時代の情報セキュリティ」, (2021/07/28).
28. 澤田賢治: 制御工学からアプローチしたサイバーセキュリティ～何が難しく何が簡単なのか～, システム制御情報学会・計測自動制御学会 チュートリアル講座 2021「制御システムセキュリティとプライバシー」, (2021/07/21).
29. 澤田賢治: 電力インフラのエッジデバイスに適用可能なセキュリティ機能開発, i-PERC シンポジウム 2021 ～カーボンニュートラルに向けた電力エネルギーと情報通信～, (2021/06/30).
30. 澤田賢治: IoT 社会におけるインフラシステムのサイバーセキュリティ, 電気通信大学第123回研究開発セミナー, (2021/06/11).