

iPERC2022

—令和四年度活動報告—

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	ユーザ主導インターネット型電力サービスインフラに関する研究 (市川 晴久特任教授)	3
2.2	自律分散型制御システムのセキュリティ機能 (澤田 賢治准教授)	9
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)	16
2.4	錫系ペロブスカイト太陽電池の効率向上に関する研究 (早瀬 修二特任教授)	22
2.5	数理最適化技術の開発と応用に関する研究 (中山 舜民助教)	30
2.6	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)	34
2.7	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)	43
3	活動一覧	47
3.1	外部発表	
3.2	産学官連携実績	
3.3	競争的資金	
3.4	主な共同研究・受託研究・科研テーマ一覧	
3.5	主な教育	
3.6	表彰	
4	外部発表一覧	50
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

2050年カーボンニュートラルという高い目標を受け、再生可能エネルギーを主力電源化するための研究開発が産官学により強力に進められています。そこには、創り出すエネルギーの種類、量、時間的な変動特性など様々に異なるエネルギーをいかに統合し、社会の駆動力として効果的に活用するかという大きな課題があります。それを解決するための研究開発が、現在強く求められています。

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期間として、2015年1月に設立されました。

2022年度には、新たなメンバーとして数理計画、オペレーションズリサーチを専門とする中山舜民助教をお迎えしました。さまざまな再生可能エネルギーを統合して主力電源化するには、従来の方法論にとらわれない、新しいエネルギーミックスの考え方が必要です。その先駆的な分野を、中山先生をはじめとする i-PERC メンバーで切り拓いてゆくべく、さらに研究を推進して参ります。

また、2022年度には東京都の「大学研究者による事業提案制度」（R5-7年度）、調布市による東京都の「子供・長寿・居場所区市町村包括補助事業」（R4-6年度）に、事業提案が採択となり、自治体連携の研究の実証事業を開始いたしました。i-PERC の研究成果を、具体的な形でご覧いただくことができる機会であり、良い形に結実するよう努めて参ります。詳細は来年度以降の年度報告書にてご報告いたします。ご期待ください。

当センターは、学内外に対する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



2022 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	大家 万明	
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
助教（専任）	中山 舜民	情報・ネットワーク工学専攻兼務
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】

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
Liu Jiaqi	i-パワードエネルギー・システム研究センター
Zaman Molla	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 ユーザ主導インターネット型電力サービスインフラに研究

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、ユーザ主導インターネット型電力サービスインフラに関する研究として、以下の課題に取り組んだ。

(1) バーチャルグリッドによる DC 電力サービスインフラ実現法

ナノグリッド、ピコグリッド、バッテリー共有による電力提供

(2) バーチャルグリッドハブネットワーク構成法

(3) バーチャルグリッドハブネットワークデモシステムの開発とネットワーク制御法の検討

ほとんどの家電や端末は DC 駆動であり、バッテリーを用いたモバイル応用も拡大、多様化が加速している。これに対し、現在の AC 電力網では、AC チャージャ利用やモバイルバッテリー持ち歩きなどの負担が大きくなってきている。また、EV 普及拡大に伴うバッテリーコスト低減に対し、定置型蓄電システムなどのコストは高止まりしている。その原因は、パワーコンディショナや工事費などの、バッテリー以外の付帯コストが支配的なためであり、DC 化とバッテリー活用のシステムアーキテクチャ革新により大幅に蓄電コストを低減できる可能性がある。本研究では、昨年度に引き続き、バーチャルグリッドネットワークを用いて、付帯コストを大幅に削減し、コンシューマ市場での競争価格で調達されるバッテリーを活用し、かつユーザ利便性を向上するための DC 電力サービスインフラの研究を推進した。(1) では、AC コンセントの外側に作る DC 網（ピコグリッド）、建物内電力配線網（ナノグリッド）へのバーチャルグリッドネットワーク適用案を考案した。(2) では、ポート数一定のバーチャルグリッドハブ（VG-Hub）を用いて、ポート数、受け入れ可能な電力フローに関してスケーラブルなネットワークについてグラフ理論的な構成法を提案した。また、(3) において、VG-Hub プロトタイプを用いて VG-Hub ネットワーク制御デモシステムの実装を通じて、制御上の課題を抽出し、制御方式の検討を進めた。

II. 研究実施状況

1.1 バーチャルグリッドによる DC 電力サービスインフラ実現法

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、マイクログリッドによるグリッドの DC 化への期待されている。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。しかし、マイクログリッドの導入実績は限定的である。世界のマイクログリッドの総出力成長は年平均 21%にとどまり、このままでは 2050 年までに 1.33TWA にしかならない。全世界の総発電電力は 2019 年時点で 9.7TW であり、省エネ化で削減される要素と EV などで増大する要素を考慮すると、2050 年までに、大規模な再エネ分散発電消費を実現するためには、マイクログリッド以外のアプローチを検討す

必要がある。その大きな原因は、マイクグリッド構築は、地域にとっては大規模な資金調達と許認可を必要とする小規模な電力会社の立ち上げに相当するためである。マイクログリッド導入成功例の多くは、企業や大学などの単一組織のためのマイクログリッドである。

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 5 月に 48V240W を扱う新規格 USB-C PD EPR (Extended Power Range)を公表した。2022 年 10 月、EU は、すべての中小型電子機器の電力端子を USB-C に義務化することを決定した。このため、USB-C PD インタフェースが端末側標準として確立し、USB-C ポートによる AC コンセントの代替が世界的に普及すると考えられる。また、USB-C PD EPR の普及により技術的に使いやすくなる 48VDC が屋内配線に浸透すると考えられる。

携帯型電子機器や小型電動モビリティ、ロボットなどの多様化により、多様な小容量バッテリーが普及しつつある。電子機器用には 100Wh 未満、小型電動モビリティやロボットには 1kWh 以下のバッテリーが使われ、USB-C PD が充電インタフェースとして採用されると予想される。インタフェースの統一により、アプリケーション間でのバッテリー共用が容易になる。多種類多数のバッテリーを仮想的な一つの大容量バッテリーとして活用すべく、一体管理することにより、再エネ発電消費変動の吸収に兼用できる可能性も高まる。

本研究では、USB-C ポートを電力供給だけでなく、電力入力ポートとしても活用する DC 電力サービスの実現を目指し、下記の検討を進めた。

(1) VG-Hub ネットワークによるピコグリッド、ナノグリッドの実現

(2) ファシリテيشェアリングプラットフォームとの統合による小型バッテリー管理

ピコグリッド、ナノグリッドの概念はまだ揺籃期にあり、厳密な定義はないものの以下のコンセンサスは存在する。PC のようにバッテリーを内蔵する端末は、AC 電力網から電力を受電し、さらに端末自身が電源となって他の DC デバイスに電力を供給することが一般化している。このように AC コンセントの外側に作られる DC 電力供給網をピコグリッドと呼んでいる。また、建物内の配線網を DC 化したものをナノグリッドと呼んでいる。文献で紹介されるナノグリッド例では、DC バスを配線し DC デバイスに電力を供給する。マイクログリッドと類似しているが、電圧は 48V を使い、分散電源を想定しないものが多い。バス方式では、バス及びバスに接続するデバイスインタフェースの障害が全体に波及するリスクがある。特にバスに接続する分散電源としてのバッテリーを取り外して使うには、バスの電力収支バランスが崩れ全体が異常状態に陥る場合への対処が必要である。我々は、DC バスの代わりに VG-Hub ネットワークを用いて、ピコグリッドとナノグリッドを同一アーキテクチャで実現し、下記の特徴の実現を目指すこととした。

- ポート数、電力容量に関してスケーラブル：外部接続ポート数が大きく、ポート間の電力フローがネットワークから受ける制約が小さい。
- VG-Hub ネットワークは、既存電力グリッドと AC コンセントを通じて多点で接続し、既存グリッドからの電力を直接、あるいは分散蓄電池に蓄電して利用する。
- 安定的に電力供給すべきゾーンをハブ単位に設定可能
- ユーザがスキルフリーでネットワークを構築・分解・分離・移動が可能：電源のモビリティとレジリエンスの実現が容易
- 一般コンシューマ市場で流通するバッテリーを使用可能：低価格化を期待する。

- ▶ 負荷・電源デバイスの静的動的情報を収集し、ユーザ間で共有して制御に活用しユーザ利便性を高める。さらに、この情報収集・制御プラットフォームを、バイクシェアなどを実現するファシリテータリングプラットフォームと統合し、小型バッテリーをユーザニーズに合わせて提供することにより、グリッドの面的展開にケーブル接続を必須としない DC 電力インフラサービスを実現する。

VG-Hub ネットワークによるナノグリッド構成例、ピコグリッド構成例を図 1, 2 に示す。

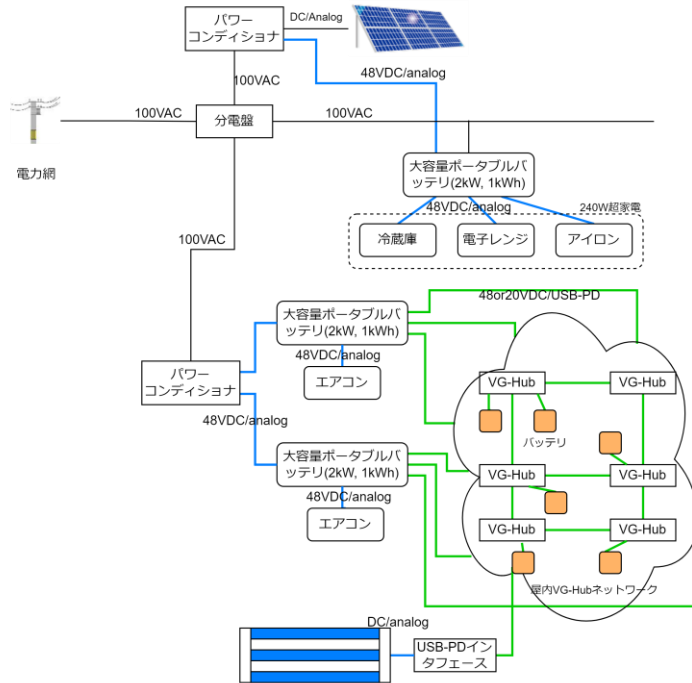


図 1 VG-Hub ネットワークによるナノグリッド構成例

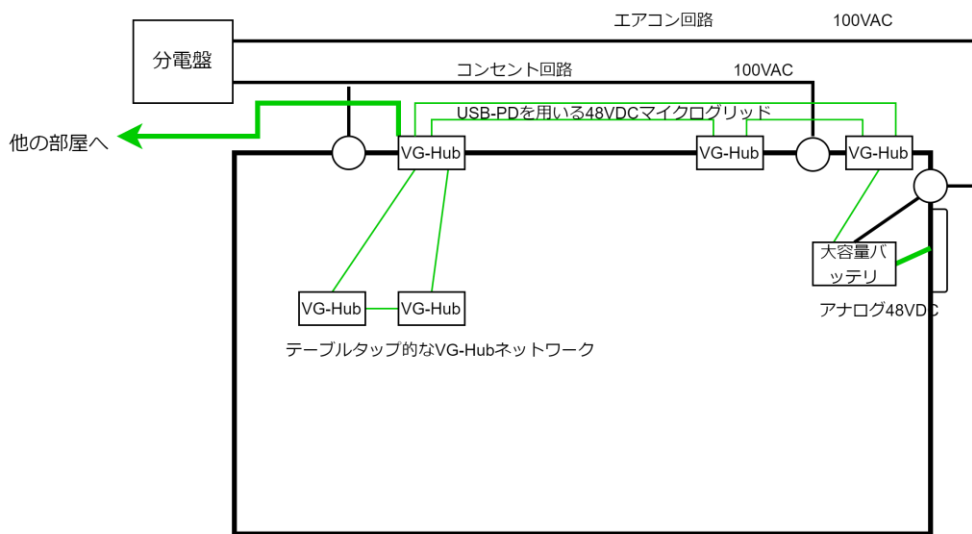


図 2 VG-Hub ネットワークによるピコグリッド構成例

1.2 バーチャルグリッドハブ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、単一 VG-Hub ポート数以上のデバイス間の電力融通を実現できる。すなわち、VG-Hub ネットワークを、ポート数の大きな VG-Hub として機能させる。ネットワークを構成するために用いる VG-Hub ポート数を増やすことにより、ネットワーク規模を大きくし、ネットワーク通過電力を大きくできるが、デバイス接続ポート数が減少する。できるだけ少数の VG-Hub で大きな電力を合成分配できる VG-Hub 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[1]。

1.3 バーチャルグリッドハブネットワークデモシステムの開発とネットワーク

制御法の検討

VG-Hub は固定数のポートに複数の電源デバイスを接続し、内部電力バス経由で電力合成して、残りのポートに接続する負荷デバイスに電力を供給する。VG-Hub の内部構造は小さなマイクログリッドに類似している。違いは、内部電力バスにおける電圧低下を無視できること、各 VG-Hub ポートと電源デバイス、負荷デバイスとが、USB PD プロトコルに従い、電力授受に先立ち、VG-Hub ポートとデバイス間で電力授受能力について合意する点にある。VG-Hub ポートがソースポートの場合、負荷デバイスから合意した以上の電力が引き出されることはない。また、ポートの役割をソースとするか、シンクとするかを制御できる。広範囲のグリッドは、USB-C ケーブルで VG-Hub を接続することで実現する。このような特徴を持つ VG-Hub 群を制御して大きなハブとして動作させる制御には、集中制御方式と完全分散制御方式が考えられる。集中制御方式では、VG-Hub 内の VG-Hub コントローラから制御に必要な情報をサーバが収集し、サーバが制御命令を VG-Hub 群に送付して制御する。サーバをクラウド上に実現することにより、広い地域に広がる、複数の VG-Hub ネットワークを協調制御することも容易になる。完全分散制御方式では、サーバの役割を VG-Hub 群が実現する。VG-Hub ネットワーク制御によるグリッド動作をデモンストレーションするとともに、制御方式の実装上の課題を抽出することを目的に、集中制御方式についてデモシステムを開発した。

図3は実装したデモシステム一式である。システムは、3台のVG-Hubと1台のサーバ、電源デバイス群、負荷群からなる。サーバは、VG-Hubコントローラを経由して各VG-Hubポートの静的状態(USB PDのPower Role, Power Capability)を制御し、動的状態情報(電圧, 電流), 接続するデバイスの静的情報(IDなど)を収集する。

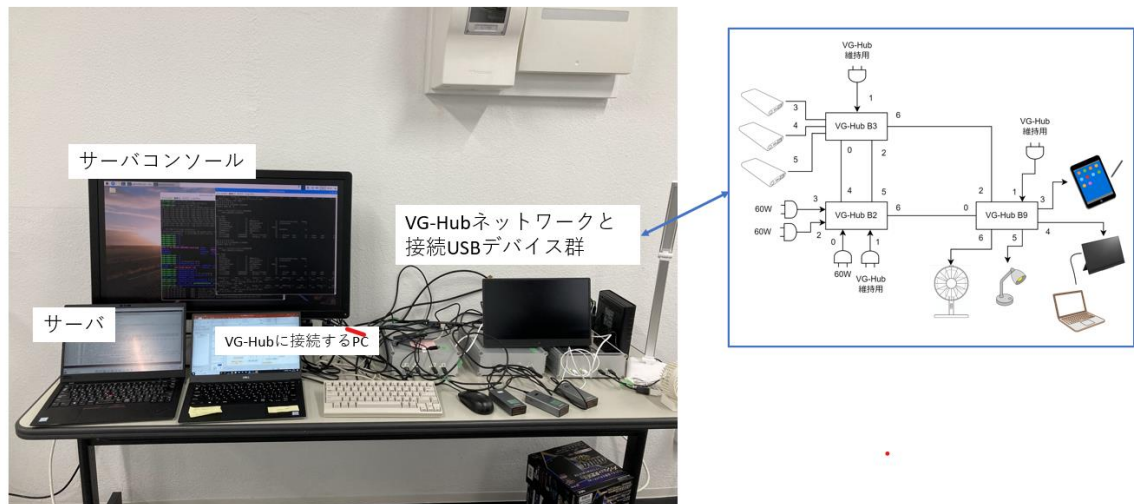


図3 バーチャルグリッドデモシステム一式

VG-Hubは、それぞれが小さな電力グリッドであり、電力の収支バランスを維持することが求められる。VG-Hubネットワークでは、各VG-Hubは他のVG-Hubから電力供給を受け、自身に接続する負荷や他のVG-Hubに電力を供給する。VG-Hubネットワーク制御は、VG-Hubネットワークに接続するデバイス群の状態を、初期状態からユーザが希望する状態へ遷移させる制御であり、目的状態に到達するまでに、各VG-Hubの電力収支バランスを維持しつつ、各VG-Hubを状態遷移させる必要がある。また、ユーザが、電源デバイス、負荷デバイス、VG-Hubを着脱する可能性があり、電力収支バランスが崩れる異常状態は避けられず、回復制御が必要である。このため、多数のVG-Hubポートの制御は、並行して実行できる場合と順序付けて実行しなければならない場合を考慮する必要がある。また、制御の高速化が課題であることが明らかにした。なお、VG-Hubネットワークの目的状態は、目的指標に照らした最適化などの結果として決定する。VG-Hubネットワークの最適電力フローを求めるアルゴリズムに関しても研究を推進した[2][5]。

成果一覧

国際会議

- [1] H. Ichikawa, S. Yokogawa, Y. Kawakita, Y. Tobe, “USB PD based microgrid for accelerating the power grid transition to a low carbon future,” IEEE 8th World Forum on Internet of Things, (Oct. 26, 2022).
- [2] K. Oeda, Y. Kawakita, A. Taya, Y. Tobe, S. Yokogawa, H. Ichikawa, “Controlling power supply paths in VG Hub networks using a hybrid type control algorithm,” Ambient Intelligence and Smart Environments, 205-212, (Jun 14, 2022).
- [3] J. Mitsugi, O. Tokumasu, H. Ichikawa, T. Ochiai and Y. Kawakita, "Experimental Evaluation of Wireless Transport Package Test with Battery-free Backscatter Sensors," 2022 IEEE International Conference on RFID (RFID), pp. 58-63, doi: 10.1109/RFID54732.2022.9795984, (2022 May 20).
- [4] Y.Takazawa, O.Tokumasu, H.Ichikawa, H.Tanaka, J.Mitsugi,Y.Kawakita, "Transmit-To-Receive Leakage Reduction Device and Its Automatic Control with Naive Step Track in Backscatter Synchronous Streaming", 11th international conference on green and human information technology (ICGHIT 2023), accepted for publication, (2023).
- [5] Yusuke Kawakita, Kota Tamura, Yoshito Tobe, Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa, “Distributed Power-Delivery Decision for a USB-PD-based Network,” 2022 18th International Conference on Intelligent Environments (IE), pp.1-6, doi:10.1109/IE54923.2022.9826768, (2022).

国内会議

- [1] 三次仁、徳増理、市川晴久,"電池なし無線加速度センサによる輸送包装試験", 日本包装学会第31回年次大会, (2022/7/21).
- [2] 佐藤光汰, 高澤祐, 鎌田冬, 市川晴久, 田中, 三次仁, 川喜田佑, "後方散乱同期ストリーミングにおける加速度センシング評価装置の試作," IEICEソサイエティ大会、p.285, (2022/9/6).
- [3] 鎌田冬馬, 高澤祐樹, 市川晴久, 田中博, 三次仁, 川喜田佑介, “後方散乱同期ストリーミングシステムのチャンネル割り当て高速化のためのRFセンサDCRO変動の推定,”電子情報通信学会技術研究報告 (SeMI) , vol. 122, no. 278, SeMI2022-53, p. 19, (2022/11/24).
- [4] 高澤祐樹, 鎌田冬馬, 徳増理, 市川晴久, 田中博, 三次仁, 川喜田佑介, “後方散乱同期ストリーミングシステムにおける送信漏れ込み低減制御の自動化,” 電子情報通信学会技術研究報告 (SRW) , vol. 122, no. 277, SRW2022-25, p. 37, (2022/11/25).

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 自立分散型制御システムのセキュリティ機能

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

2022 年度はスマートビルシステムの照明制御や空調制御の自律分散制御とそのセキュリティ強化について研究を進めた。

1. 自律分散型照明制御システムのセキュア化

産業用制御システムでは、ネットワーク化が急速に進み利便性が向上する一方、サイバー攻撃を受けるリスクも向上している。照明システムもその例外ではなく、2012 年にはマサチューセッツ工科大学の学生が学内ビルの照明をネットワーク経由でハッキングする実験を行い、その危険性を示している。照明システムをはじめとするスマートビルディングの制御システムは人々の生活に密接に関わっていることから、サービスの可用性を保護するためのセキュリティ対策が必要である。制御システムのセキュリティ対策の一つとして、アクセス制御により不特定多数からの機器接続を排し、攻撃が混入しないようにして機器の安全性を確保するセキュリティゾーニングがとられている。一方、日々高度化するサイバー攻撃に対して攻撃の侵入自体を防ぐ堅牢なセキュリティシステムの構築は困難である。

本研究では、サイバー攻撃下でも正常な運転を継続する照明制御システムの構築を目指す。ケーススタディとして、コントローラ、スイッチ、照明 1 台ずつによって構成される照明制御システムが 2 セットある状況を考える。攻撃者によって一方の照明の正常制御が不可能となった状況でも、照明制御システムのサービスが継続出来るシステム構成を提案する。正常時には 2 台のコントローラ (PLC: Programmable Logic Controller) による分散型制御を、攻撃を受けた時にもう一方のコントローラによる自律型制御へと切り替えることで目的を実現する。よって提案システムは多数のサブシステムが自律かつ協調的に行動する自律分散制御システムとなる。以上のシステムを実現するにあたり課題が 2 つ存在する、1 つ目の課題は攻撃の検知である。正常運転の継続を実現するには、異常検知システムが異常な状態を誤って正常とみなすことが決して無いフォールスポジティブである必要がある。1 つ目の課題に対してコントローラ内のセンサ・アクチュエータの値と実際のセンサ・アクチュエータの値に着目し、正常時の値からの逸脱による異常検知手法を提案する。対象とするコントローラやセンサ、アクチュエータがとりうる値の組み合わせを全て列挙し、通常制御上の組み合わせのみを正常と定める。以上より、提案する列挙型異常検知は異常検知と同時に攻撃箇所と攻撃前の値を特定することができる。

2 つ目の課題は攻撃下の正常制御の継続である。第 1 段階として攻撃による改ざん値を照明へ反映しないようにするために、攻撃のある通信と照明を切り離さなければならない。切断を切り離すだけでは切断前に入力された改ざん値から変化しないため、第 2 段階として改ざん前の値を照明へ送信する必要がある。よって制御継続手法として、攻撃対象となっている照明の制御権を正常なコントローラへ移行するシステムと、正常なコントローラが照明へ改ざん前の値を送信するシステムが必要となる。本論文では同時多発的な攻撃が発生しないことを想定する。

上記 2 つの課題解決手法を PLC 用のラダープログラムへ変換し両 PLC に実装する。3D シミュレータ

を用いて構築した実験用照明制御システムに対し提案システムを実装し、提案システムが異常検知・正常制御の継続面において有効であることを検証した。

本研究では Fig. 1 のように 2 台のコントローラがスイッチ・照明それぞれ 1 台ずつ制御対象とする分散型の照明制御システムを対象システムとする。

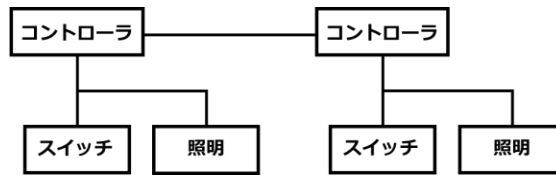


Fig. 1 本研究の対象システム

分散型システムは 1 つのサブシステムが運転不可となった時にその他のサブシステムまで影響が及ばないことから、リスクの分散が出来るという点において実用的である。本研究では、Fig. 1 のシステムを実現するために実験用照明制御システムを構築する。まず、使用する機材について説明する。対象システムを実現するにあたり必要となるコントローラとして、IDEC 社製 FC6A 型マイクロスマートという実機の PLC (Programmable Logic Controller) を 2 台使用した。Fig. 2 に実際に用いた PLC の様子を示す。



Fig. 2 実験用照明システムに使用した PLC

PLC とは、産業用機械に一般的に使用されるデジタルコントローラのことである。PLC はエンジニアリング PC から USB ケーブル経由で書き込まれたプログラムに従い演算を行う。また、エンジニアリング PC 上で PLC 内のデータをモニタリングすることが可能である。以降、2 台の PLC を区別するためにそれぞれ PLC1, PLC2 と呼称する。

また、制御対象として、realgames 社製の 3D スマートハウスシミュレーション Home IO[7]内の仮想スイッチ 2 台・仮想照明 2 台・仮想警報器 1 台を使用した。Home IO 内の制御対象の様子を Fig. 3 に示す。



Fig. 3 実験用照明システムに使用した Home io 内機器

Home IO ではスイッチ・照明は 0 あるいは 1 のデジタル値によって制御される仕様となっている。Home IO のスイッチはボタンを押すと 1 を出力し続け、ボタンを押していない間は 0 が出力され続けるモーメンタリ動作方式[8]が採用されている。また照明は 0 が入力された際には消灯し、1 が入力された際には点灯する。PLC1 の制御対象となるスイッチ・照明をそれぞれスイッチ 1、照明 1、PLC2 の制御対象となるスイッチ・照明をそれぞれスイッチ 2、照明 2 と呼称する。なお警報器は本研究の対象システムに含まれていないが、異常検知の有無を Home IO 上で視覚的に表示させるために使用する。次に、機材の接続状況を説明する。Fig. 4 に実験用照明システムのネットワーク構成図を示す。

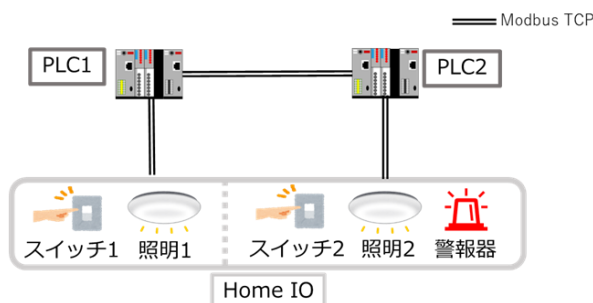


Fig. 4 実験用照明システムのネットワーク構成図

2 台の PLC と Home IO はお互いにイーサネットケーブルによって接続しており、通信方法として modbus TCP 通信[9]を採用している。Home IO と PLC 間に関しては PLC に modbus TCP クライアント、Home IO には modbus TCP サーバーをたてている。この設定によって PLC が Home IO からスイッチ情報を読み取り、PLC で演算した結果を Home IO へ書き込むことで照明制御を可能としている。2 台の PLC 間についても同様にして PLC2 に modbus TCP クライアント、PLC1 に modbus TCP サーバーをたてることで PLC 同士のデータのやりとりを可能としている。

本研究では攻撃者が照明 1 の正常運転を阻害することを目的として、対象システム中の PLC と Home IO 間の通信に対して中間者攻撃を実行した状況を想定する。中間者攻撃とは攻撃者が通信の中継地点となり送信値を書き換える攻撃方法である[10]。本研究では、プラントから観測される情報を改竄するセンサアタックと PLC からの制御指令を改竄するアクチュエータアタックの 2 種類の検知・防御を対象とする。PLC へセンサアタック・アクチュエータアタックが発生したときの様子を Fig. 5 に示す。

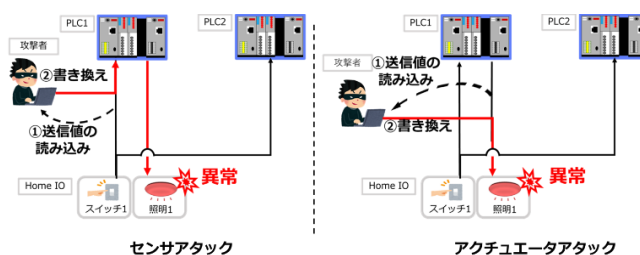


Fig. 5 センサアタック・アクチュエータアタックが起きたときの対象システムの様子

提案するシステムのふるまいを正常時、異常時ごとに Fig. 6 に示す。正常時には PLC1 は照明 1 の制御を、PLC2 は照明 2 の制御を個別に行う分散制御である。異常時には安全なもう一方の PLC が、攻撃対象となった PLC が制御を行うはずの照明へ正しい値を送信する自律制御の形をとる。そのため、提案システムは自律分散型のシステムである。以上のふるまいを実現するにあたり 2 つの課題が存在する。1

つ目の課題は、中間者攻撃による異常をどのように検知するかである。2つ目の課題は、異常を検知したのちにどのようにして正常な PLC による自律制御への切り替えを行うかである。2022年度はこの2つの課題を解決するための基礎手法を与えた。

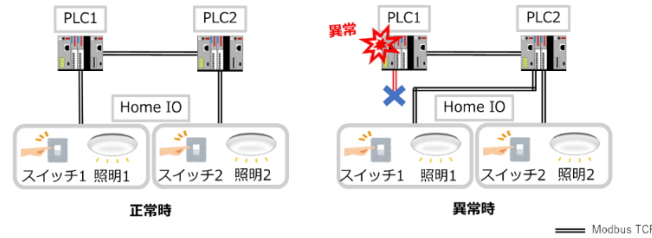
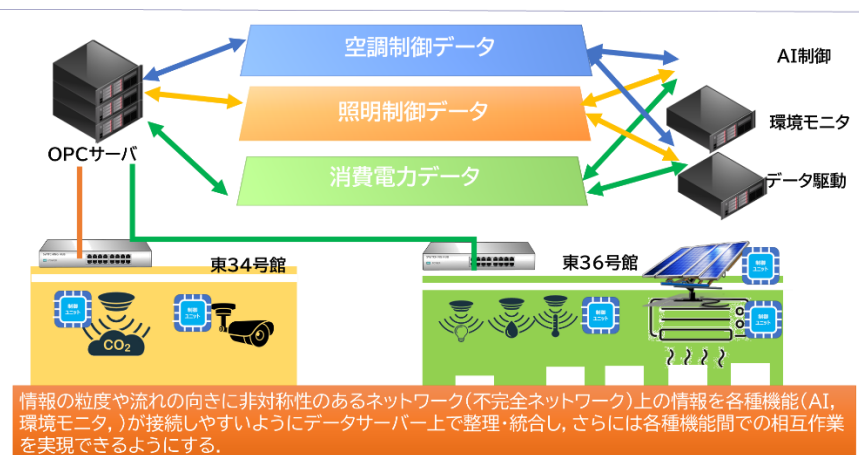


Fig. 6 提案システムが目標とするふるまい

2. 自律分散型照明制御システムのためのセキュアな不完全ネットワーク構成

感染症拡大や世界情勢の急激な変化に伴うエネルギーリソース獲得の困難化は、カーボンニュートラル時代における地産地消型のエネルギーシステムの必要性を加速し、様々な形態の創エネ・蓄エネ・活エネ技術の発展を促す。それらを活用するためには、ロバスト性、柔軟性、レジリエンスを兼ね備えたエネルギープラットフォームが必要となる。本取組では、環境モニタリング機能、環境制御機能、発電・蓄電制御機能など様々な周波数・解像度のデータを支えるネットワークシステムを東34・36号館に構築し、その雑多なデータ群からでも適切に各機能が稼働するプラットフォームの設計を目指す。完全なネットワークを目指すのではなく敢えて不完全さを許容することで、これから発展する創エネ・蓄エネ・活エネ技術との接続性を担保し、さらには研究者が自由にプラットフォーム上で新技術をテストできるようにする (Fig.7)。

本取組におけるネットワークは、現段階での「完全」を目指すのではなく、これからの社会的反転や技術的発展に追従するための「不完全」に注目している。「共創進化機能」を有した未来社会、つまり、共創スマート社会におけるエネルギープラットフォームとは常にその時点では不完全なもの（常に発展・拡大するもの）であること解釈可能である。ネットワークの仕様を1つに絞るのではなく多様性を考慮し、「システムの簡潔性」という意味では不完全ながらも、様々な研究者が自由にシステムに接続し、新たな技術を試せるようにすることで、異分野連携を支援し、カーボンニュートラルやSDGs等の社会的課題の解決につながる研究成果の社会的活用を促進することを目指す。



情報の粒度や流れの向きに非対称性のあるネットワーク(不完全ネットワーク)上の情報を各種機能(AI, 環境モニタ,)が接続しやすいようにデータサーバー上で整理・統合し、さらには各種機能間での相互作業を実現できるようにする。

Fig. 7 不完全ネットワーク構成

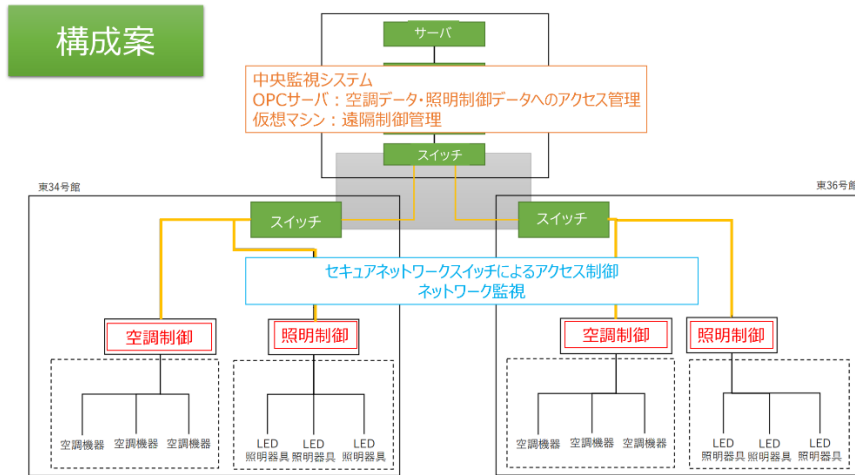
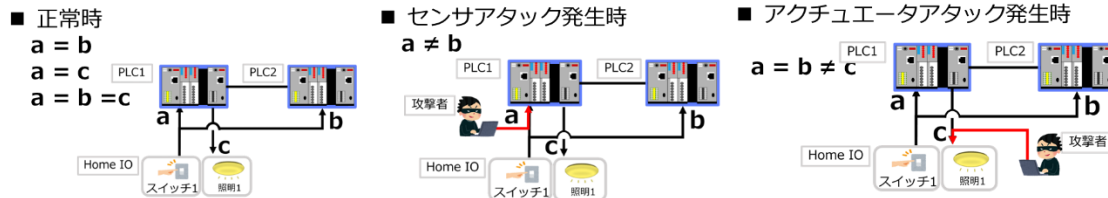


Fig. 8 実装構成案

東 34 号館と東 36 号館における構成案は Fig.8 である。2022 年度は照明制御を優先して不完全ネットワーク構成の実現を行った。実装結果を下記に示す。

- 照明制御コントローラの遠隔制御可能なネットワークを構築した。
- 遠隔制御時に不正アクセスなどを抑止するためのセキュアスイッチを実装した。
- 監視システムを設置した。
- 接続テストやセキュリティテストを東 36 号館の照明システムで実施した。
- 外部ネットワークからのセキュリティテスト・監視が可能なことを確認した。

制御システムの状態を列挙することで異常検知後の補正を実現



自律的な通信制御の切替

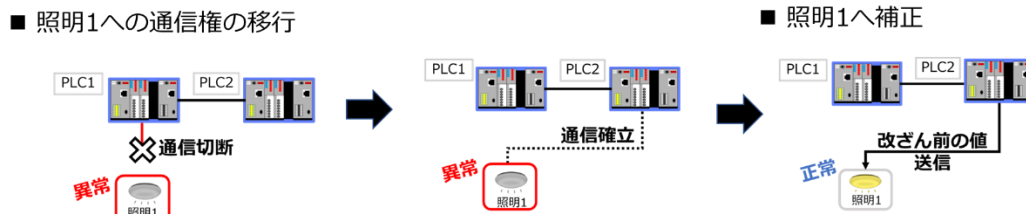


Fig. 9 不完全ネットワークにおけるセキュア化

不完全ネットワークのセキュア化は前節の「自律分散型照明制御システムのセキュア化」の 2 つの課題の解決方法である「列挙型異常検知」と「自律型通信切り替え」によって実現することを検討した。

成果一覧

査読付き学術論文

- [1] Kousei Sakata, Shintaro Fujita, Kenji Sawada, Hiroshi Iwasawa, Hiromichi Endoh, Noritaka Matsumoto: Model Verification of Fallback Control System Under Cyberattacks Via UPPAAL, *Advanced Robotics*, Volume 37, Issue 3, 156/168 (2022)
- [2] 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)
- [3] Yukari Mochizuki, Kenji Sawada: An analysis of expansion and reduction speeds of traffic jams on graph exploration, *Journal Artificial Life and Robotics*, Vol.27, 487/494 (2022)

国際会議論文

- [4] Kumi Aizawa, Kenji Sawada, Shintaro Fujita, Yoshiki Ikeda, Kanta Ogawa, Autonomous decentralized lighting control system with enumerative anomaly detection, *GS31-5*, 836/841, *AROB 28th 2023*, 25-27. Jan. 2023.
- [5] Yuzuna Horiuchi, Kenji Sawada, On switched objective function focused on driver's condition for shared control, *GS11-5*, 288/293, *AROB 28th 2023*, 25-27. Jan. 2023.
- [6] Kanta Ogawa, Kenji Sawada, Kosei Sakata: Vulnerability Modeling and Protection Strategies via Supervisory Control Theory, *GCCE*, 512/513, 18-20, Oct. 2022
- [7] Kaito Sato, Kenji Sawada: Human-In-The-Loop System for Rear-Wheel Steering Control Via Primal-Dual Dynamics, *SICE Annual Conference*, 584/587, 6-9, Sep. 2022.
- [8] Takuma Fujimoto, Kenji Sawada: On the Prediction Governor Application to Adaptive Cruise Control, *SICE Annual Conference*, 1096/1099, 6-9, Sep. 2022.
- [9] Yukari Mochizuki, Kenji Sawada: Demand for-graph evaluation of traffic congestion due to Altruistic Lane Changes of CAVs, *IEEE CCTA*, 334/340, 23-25, Aug. 2022.
- [10] Kaito Sato, Kenji Sawada: Continuous-Time Receding-Horizon Estimation via Primal-Dual Dynamics, *ROCOND*, 77/80, 30. Aug. - 2. Sep. 2022.

国内会議論文

- [11] 柴原将太郎, 澤田賢治: 流体的衝突回避を実現する群ロボットの分散計算と通信量の関係, *MSCS2023*, 3M6-4 (2023.3.8-11)
- [12] 佐藤海斗, 澤田賢治: Human in the loop system によるドライバ操作と支援操作の協調性評価, *MSCS2023*, 3M5-2 (2023.3.8-11)
- [13] 藤本拓磨, 澤田賢治: Connected ACC に対する前前方車情報を用いたフィルタリング機能の検討, *MSCS2023*, 2A5-5 (2023.3.8-11)
- [14] 池田佳輝, 澤田賢治, 松本典剛, 小倉貴志, 阪田恒晟: サイバー攻撃発生時の安全復旧を目的とした空間分割に基づくスーパーバイザ設計, *MSCS2023*, 2A4-2 (2023.3.8-11)
- [15] 小川寛太, 澤田賢治, 松本典剛, 小倉貴志, 阪田恒晟: 制御システムでの強化学習によるブロックリ

- ストの生成, MSCS2023, 2A4-3 (2023.3.8-11)
- [16] 藤本拓磨, 澤田賢治, 山藤勝彦: センサ攻撃を受ける協調型車間距離制御装置に対するフィルタリング機能の検討, SCIS2023, 3E3-4 (2023.1.24-27)
- [17] 小川寛太, 澤田賢治, 小倉貴志, 阪田恒晟: 強化学習を用いた制御システムのブロックリストの設計, SCIS2023, 2D4-4 (2023.1.24-27)
- [18] 池田佳輝, 澤田賢治, 小倉貴志, 阪田恒晟: 制御系のサイバー攻撃からの安全復旧のための空間分割に基づく回復スーパーバイザ, SCIS2023, 2D4-1 (2023.1.24-27)
- [19] 西内達哉, 藤田真太郎, 渡邊洋平, 岩本貢, 澤田賢治: Modbus TCP 通信のパケット解析と相対エントロピーによる攻撃検知に関する検討, 2SCIS2023, 2D3-2 (2023.1.24-27)
- [20] 関根悠司, 安部芳紀, 藤田真太郎, 渡邊洋平, 澤田賢治, 岩本貢: 認証信号付きカルマンフィルタに対するレギュレーション性能と攻撃検知率の実験的評価, SCIS2023, 2D3-1 (2023.1.24-27)
- [21] 藤本拓磨, 澤田賢治: CACC システムに対する予測ガバナの適用, 第 65 回自動制御連合講演会, 2H3-4 (2022.11.12-13)
- [22] 谷山晴紀, 市原裕之, 澤田賢治: 通信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, 第 65 回自動制御連合講演会, 2K3-2 (2022.11.12-13)
- [23] 池田佳輝, 澤田賢治: サイバー攻撃下での制御系回復のためのスーパーバイザ設計, 第 65 回自動制御連合講演会, 1G2-4 (2022.11.12-13) (優秀発表賞)
- [24] 小川寛太, 澤田賢治: 強化学習に基づく制御システムの脆弱性評価, 第 65 回自動制御連合講演会, 1G2-3 (2022.11.12-13)
- [25] 堀内柚那, 澤田賢治: 自動運転機能と異なる判断基準を持つドライバを想定した切替型 Shared Control, 2022 年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS8-7 (2023.8.31-9.3)
- [26] 兵藤剛士, 藤本拓磨, 國岡風我, 澤田賢治: 通信遅延を考慮した経路計画に基づく自動運転に関する研究, 2022 年電気学会電子・情報・システム部門大会, PS3-7 (2022.8.31-9.3) (兵藤剛士: 2022 年電気学会優秀ポスター賞)
- [27] 阪田恒晟, 藤田真太郎, 澤田賢治, 藤田淳也, 遠藤浩通, 松本典剛: サイバー攻撃にレジリエントな PLC 向け縮退ロジックの実装, SCI'22, 133-3 (2022.5.18-20)
- [28] 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治: スーパーバイザの設計による脆弱性の表現とその防御方策, SCI'22, 133-2 (2022.5.18-20)
- [29] 堀内柚那, 山藤勝彦, 松下遥香, 澤田賢治: 切替型 Shared Control におけるドライバ支援方法の検討, SCI'22, 133-3 (2022.5.18-20)
- [30] 藤本拓磨, 松下遥香, 澤田賢治, 山藤勝彦: 予測ガバナによる自車両のセンサ誤差を考慮した ACC の設計, SCI'22, 342-4 (2022.5.18-20)

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. 2022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。

2022年度は、主に以下の点について研究を推進した。

- ① コアシェル量子ドットデバイスにおける第一原理非平衡輸送解析
- ② リスク回避型強化学習を用いたエネルギーシステムの最適化
- ③ グラフ畳み込みニューラルネットワーク(GCNN)を用いた AI 型分枝限定法による発電機起動停止計画問題の高速化

本年度の開発内容と成果の概要は以下となる。

(1) コアシェル量子ドットデバイスにおける第一原理平衡輸送解析

近年、非常に優れた電子特性を持つ量子ドット(QD)及びペロブスカイトが注目されている。QDの中でも特に、コアシェルQDは、コアとシェルのバンドアライアンスを調整することで、波動関数の調整が可能である。このような特徴から、効率的な電荷移動などが期待されている。優れた電子特性を持つ半導体量子QDとペロブスカイトを融合したデバイスの性能向上するための設計指針を得るためには、理論計算を用いたデバイスの解析が必要である。

本研究では、コアシェル量子ドットとペロブスカイトを組み合わせたデバイスの性能向上のため、第一原理計算と非平衡グリーン関数法を用いてデバイスの電荷輸送特性の解析を目的とした。

(2) リスク回避型強化学習を用いたエネルギーシステムの最適化

近年カーボンニュートラルな社会の実現のため、再生可能エネルギーを活用したグリッドシステムの活用が期待されている。しかし、再生可能エネルギーは天候等の不確実性のあるパラメータの影響を大きく受けるため、発電量の正確な予測が不可能である。更に需要や電力市場価格の予測においても金融市場と同様に予測が難しく、最適マネジメントシステムの構築が課題となっている。

本研究では、天候や電力市場価格といった不確実な要素を含むエネルギーシステム問題において、不確実性によるリスクを回避できるリスク回避型強化学習アルゴリズムを用いて、エネルギーシステムの最適化を行う。

(3) グラフ畳み込みニューラルネットワーク(GCNN)を用いた AI 型分枝限定法による発電機起動停止計画問題の高速化

発電機起動停止計画問題(Unit Commitment Problem UCP)は現代社会において非常に重要な問題で組合せ最適化問題という数理最適化の問題として定式化される。UCP は重要性に比して複雑な制約や多くの状態数を考慮する必要があるため膨大な計算量が必要になる。そのため、膨大な計算量を要する UCP

を解くために、この問題を混合整数線形最適化問題として定式化し、グラフ畳み込みニューラルネットワークを用いた AI 型分枝限定法の高速化手法の適用を行った。

II. 研究実施状況

(1) コアシェル量子ドットデバイスにおける第一原理非平衡輸送解析

コアシェル量子ドットデバイスを作成するために、まず $\text{Pb}_{68}\text{S}_{68}\text{QD}$ を作成し、 $\text{Pb}_{68}\text{S}_{68}\text{QD}$ の表面の Pb 原子を Cd 原子に置換し、Gaussian16 の密度汎関数法(DFT)計算を用いて $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD 単体の最適化をおこなった。次に、 $\text{FA}(\text{CH}(\text{NH}_2)_2)\text{PbI}_3$ に最適化を行った $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD を埋め込み、QuantumATK の DFT 計算を用いて QD 複合体の最適化を行った(図 1)。さらに、作成した構造を z 軸方向に FAPbI_3 の周期構造を延長し、QuantumATK の Devices 作成ツールを用いて、コアシェル QD 埋め込み型ペロブスカイト薄膜を作成した。ここでは、2 種類の充填率(42%と 18%)の薄膜を用意し、QuantumATK の DFT を用いて作成した薄膜の構造最適化を行った。

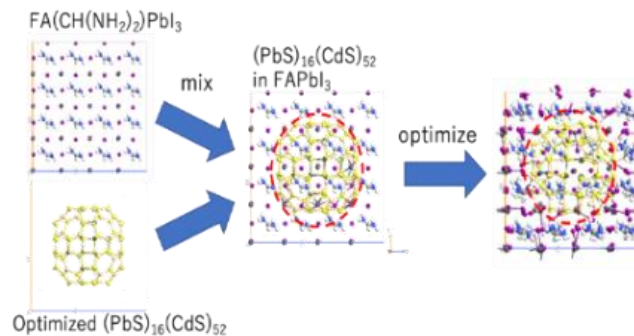


図 1 $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD 埋め込み型 FAPbI_3 の作成概要

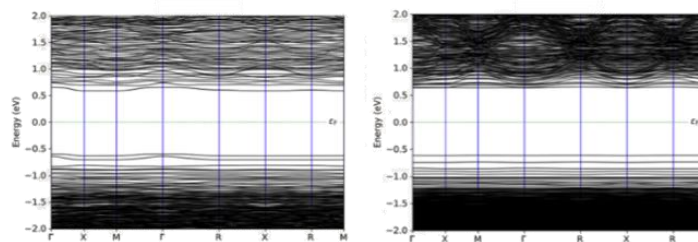


図 2 バンド図 (a) 充填率 42%, (b) 充填率 18%

その結果、両充填率の $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD 埋め込み型 FAPbI_3 のそれぞれのバンドギャップは $E_g = 1.19, 1.25$ eV となった。

また、図 2(a) の価電子帯端では分散が確認できたが、図 2(b) では分散が確認できなかったことから、バンドの分散からも量子閉じ込め範囲の減少を確認できた。

なお、 $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD 埋め込み型 FAPbI_3 薄膜に $-2\text{V} \sim 2\text{V}$ のバイアスかけた結果、 -2V 及び 2V バイアス下では、充填率 42% に比べて充填率 18% の電流が数十倍程度流れていることがわかった。さらに、充填率 42% の $(\text{PbS})_{16}(\text{CdS})_{52}$ コアシェル QD 埋め込み型 FAPbI_3 薄膜における電流増加が妨げられている原因として、電子状態及び電子の輸送パスを解析した結果中間バンドによる影響が確認された。

本実験の結果により、量子ドットとペロブスカイトからなるデバイスのシミュレーションとして密度汎関数法及び非平衡グリーン関数法を用いることで解析が可能であることがわかった。また、1つのコアシェル量子ドット層の薄膜では、中間バンドを形成によりキャリアの輸送を妨げる可能性が示唆された。また、中間バンドを用いた2段階吸収による電荷輸送には、非常に長いライフタイムを持つ材料の検討が必要である。

(2) リスク回避型強化学習を用いたエネルギーシステムの最適化

本研究では、リスク回避型強化学習を用いて、電力システム環境における実験を行った。リスクを考慮する上で、リスクを定量的な指標で評価する必要がある。本論文で用いたアルゴリズムでは、VaR(予想最大損失額)及び、CVaR(ある確率水準以内で平均損失額)といったファイナンス分野でよく使われるリスク尺度を用いた。CVaRDQNはリスク回避型強化学習アルゴリズムの一つであり、VaRとCVaRについてニューラルネットワークを用いて関数近似をする。ネットワークはそれぞれ各アクションの各分位点におけるVaR, CVaRの値を出力する。すなわち出力サイズは $|\mathcal{A}| \times Atoms$ となる。ここで $|\mathcal{A}|$ は行動の次元数、 $Atoms$ は近似する分位点の数である。行動は次の方策に従って決定される。

$$a = \underset{a}{\operatorname{argmax}} \operatorname{CVaR}(s_t, a_t, \alpha) \quad (1)$$

図3は実験で用いたグリッドシステム環境である。環境はPV、バッテリー、住宅、Gridの4つの要素からなり、エージェントの目的は次式の最大化である。

$$r_t = C_{\text{sell}}(t)P_{\text{sell}}(t) - C_{\text{buy}}(t)P_{\text{buy}}(t) \quad (2)$$

$C_{\text{buy}}(t), C_{\text{sell}}(t)$ は時間 t におけるGridが持つ電力市場の電力販売価格と売却価格である。 $P_{\text{buy}}(t), P_{\text{sell}}(t)$ は時間 t における購入する電力と、売却する電力である。エージェントはPVが発電した電力を、Gridに売却して利益を得るのか、住宅需要を満たすために使うのかをマネジメントし、(2)式の最大化を行った。また環境に不確実な要素を加えるため、今回住宅需要のシナリオとして、1つは通常時、2つ目は異常時を想定して需要が急激に上がるシナリオを準備した。図4は上記の環境でCVaRDQNを学習させた後に、実験した結果である。

学習後、強化学習エージェントは複数の方策を学習することができ、リスクレベルの値を変えることで、リスクを回避した行動を取る方策が得られることを確認した。しかしながらリスクとリターンはト

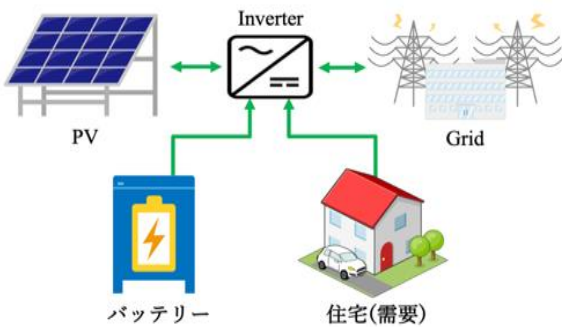


図3 実験で用いたグリッドシステム環境

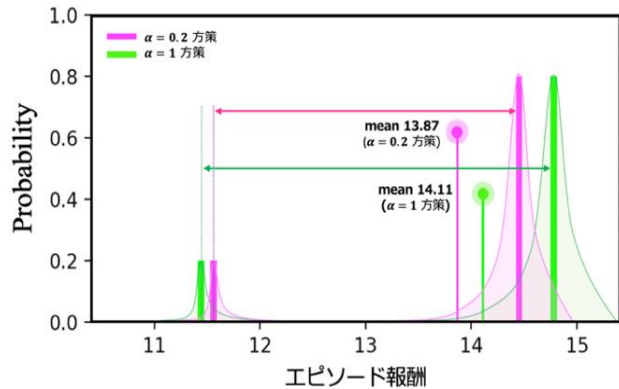


図4 テストにおける方策のリスクレベル α が0.2,1の時にエピソード報酬。

レードオフの環境にあるため、必ずしもリスクが低い方策を採用するのではなく、場合によってはリスクを取ってリターンを大きくするというような方策を取ることも視野に入れ、意思決定していくこと

が重要であると考えた。

今後は、リスクレベル α の値が、どの程度リスクを回避できるかが実際にテストをしてみないとわからないこと、実験環境を更に現実環境に近づけて実験を行うことが課題である。

(3) グラフ畳み込みニューラルネットワーク (GCNN) を用いた AI 型分枝限定法による発電機起動停止計画 (UCP) 問題の高速化

本研究では膨大な計算量を要する UCP を解くために、この問題を混合整数線形最適化問題 (Mixed Integer Linear Program MILP) として定式化し、グラフ畳み込みニューラルネットワークを用いた AI 型分枝限定法の高速化手法の適用を行った。具体的には MILP を分枝限定法で解く際に、分枝操作のヒューリスティックを予め学習した AI policy に置き換えることによって行う。この時、MILP を二部グラフの形にエンコードし、グラフ畳み込みネットワークを用いることで予測精度を上げている。

UCP を火力発電機の台数によって Easy (10 台)、Medium (20 台)、Hard (30 台) によって分類し、最もサイズが小さい Easy 問題から作ったデータセットを用いて GCNN の学習を行い、Easy, Medium, Hard について GCNN と従来手法である RPB (Reliability Pseudocost Branching) との比較を行った。

その結果 Easy, Medium では限定的な場合であるが、GCNN が RPB に対して優位になっており、高速化の効果が確かめられたが、Hard については高速化できたと結論できる余地はなかった。(図 5 (a), (b), (c))

今後の展望としては、汎化性能を上げるためにデータセットを増やす、ドロップアウトを追加することなどによる機械学習モデルの改善を行う予定である。また、本研究では分枝操作のヒューリスティックの改善によって高速化を行ったが、primal bound を改善する手法であるプライマルヒューリスティック dd の改善や切除平面法 (カット) の改善を行い、さらに高速化を行いたいと考えている。

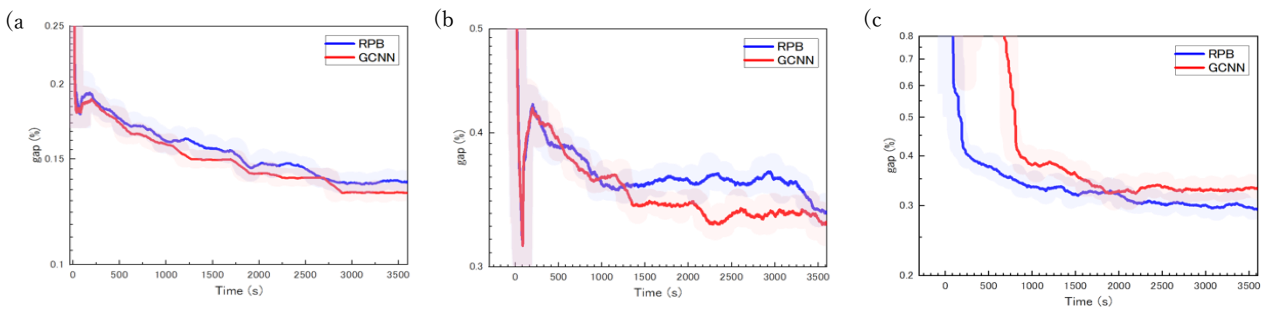


図 5 primal-dual Gap の時間変化の平均 実線は 100 回の移動平均 太い線は 30 回の移動平均 (a)Easy: 発電機 10 台 (b)Medium: 発電機 20 台 (c)Hard: 発電機 30 台

III. 業績・成果一覧

査読付き学術論文

- 1) Yusuke Oteki, Naoya Miyashita, Maxime Giteau, Kento Kitahara, Kodai Shiba, Tomah Sogabe, Yoshitaka Okada: "Enhanced current generation in quantum-dot intermediate band solar cells through optimizing the position of quantum dot layers", Optical Materials: X (2022/10).
- 2) Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Kodai Shiba, Katsuyoshi Sakamoto, Tomah Sogabe: "General

- Vapnik–Chervonenkis dimension bounds for quantum circuit learning", *Journal of Physics: Complexity*, Vol.3, No.4, (2022).
- 3) Hibiki Yoshida, Katsuyoshi Sakamoto, Naoya Miyashita, Koichi Yamaguchi, Qing Shen, Yoshitaka Okada, Tomah Sogabe: "Ultrafast inverse design of quantum dot optical spectra via a joint TD-DFT learning scheme and deep reinforcement learning", *AIP Advances*, Vol.12, 115316, (2022).
 - 4) Risa Takayanagi, Keita Takahashi, Tomah Sogabe: "AI-Assisted Decision Making and Risk Evaluation in Uncertain Environment Using Stochastic Inverse Reinforcement Learning": American Football as A Case Study, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2022, Article ID 4451427, (2022).
 - 5) Tomah Sogabe, Tomoaki Kimura, Chih-Chieh Chen, Kodai Shiba, Nobuhiro Kasahara, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto: "Model-Free Deep Recurrent Q-Network Reinforcement Learning for Quantum Circuit Architectures Design", *Quantum Reports*, Vol.4(4) 380-389 (2022).
 - 6) Tatsugi Sho, Miyashita Naoya, Sogabe Tomah, Yamaguchi Koichi: "Demonstration of in-plane miniband formation in InAs/InAsSb ultrahigh-density quantum dots by analysis of temperature dependence of photoluminescence", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.61(10) 102009 (2022).
 - 7) T. Sogabe, D. Malla, C-C. Chen, K. Sakamoto: "Attention and masking embedded ensemble reinforcement learning for smart energy optimization and risk evaluation under uncertainties", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol.14, 045501 (2022).
 - 8) C. Ding, D. Wang, D. Liu, H. Li, Y. Li, S. Hayase, T. Sogabe, T. Masuda, Y. Zhou, Y. Yao, Z. Zou, R. Wang, Q. Shen: "Over 15% Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells by Synergistic Effects of Three Interface Engineering: Reducing Nonradiative Recombination and Balancing Charge Carrier Extraction", *Advanced Energy Materials*, (2022).
 - 9) T. Kimura, K. Shiba, C-C. Chen, M. Sogabe, K. Sakamoto, T. Sogabe: "Quantum circuit architectures via quantum observable Markov decision process planning", *Journal of Physics Communications* (2022).
 - 10) T. Sogabe, K. Shiba and K. Sakamoto: "Hydrodynamic and Energy Transport Model Based Hot Carrier Effect in GaAs pin Solar Cell", *Electronic Materials*, Vol.3(2) 185-200 (2022).
 - 11) K. Shiba, R. Sugiyama, K. Yamaguchi and T. Sogabe: "Quantum Dot Phase Transition Simulation with Hybrid Quantum Annealing via Metropolis-Adjusted Stochastic Gradient Langevin Dynamics", *Advances in Condensed Matter Physics*, Vol.2022 (2022).

学会発表論文

国内発表[6]

- 1) 斯波 廣大, 山口 浩一, 沈 青, 早瀬 修二, 岡田至崇, 曾我部 東馬: 光干渉効果を考慮したシースルー型ペロブスカイト/PbS量子ドット中間バンド太陽電池の逆設計と作製, 第83回 応用物理学会秋季学術講演会 (2022/9/20–23).
- 2) 熊倉 健太, 坂本 克好, 曾我部 東馬: ペロブスカイト配位子で不動態化されたPbS量子ドットの電子のおよび光学的特性と移動度シミュレーションの分析, 第83回 応用物理学会秋季学術講演会 (2022/9/20–23).
- 3) 吉田 響, 坂本 克好, 山口 浩一, 沈 青, 岡田 至崇, 曾我部 東馬: 量子ドットの光物性における強

化学習逆設計手法の応用, 第83回 応用物理学会秋季学術講演会 (2022/9/20-23).

- 4) T. Kimura, K. Shiba, C-C. Chen, M. Sogabe, K. Sakamoto, T. Sogabe: Quantum circuit architectures via quantum observable Markov decision process planning, 第6回量子ソフトウェア研究発表会, (2022.7.7-8).

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: 「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」(株) 情報機構主催(2023.3.3).
- 2) 曾我部東馬: 第2回 電気通信大学のカーボンニュートラル戦略, : 「再生可能エネルギーシステムにおけるリスクヘッジ型 AI 最適化手法の開発と展望」電気通信大学産学官連携センター主催 (2023.1.19).
- 3) 曾我部東馬: "The 9th UEC Seminar in ASEAN fiscal 2022, "Research examples in i-PERC" UEC ASEAN 教育研究支援センター主催(2022.12.10).
- 4) 曾我部東馬: 量子コンピューティング技術シンポジウム 2022, : 「量子コンピューティング教育～教育現場の現状と海外の動向～」IPA 情報処理推進機構主催(2022.12.10)
- 5) 曾我部東馬: 環境科学会 2022 年会シンポジウム 9, : 「AI 予測最適化手法を用いた窓用透明太陽電池の設計と開発」(公社)環境科学会主催(2022.9.9).
- 6) 曾我部東馬: 2022 年度 SSDS/JMAC 技術講演会, : 「AI を用いた透明型太陽電池の開発と水素生成デバイスの設計」日本モーダル解析協議会(JMAC)主催(2022.9.8).

著書

- 1) 曾我部東馬: 量子技術の実用化と研究開発業務への導入方法 (技術情報協会, 2023) ISBN : 978-4-86104-915-6.
- 2) 曾我部東馬: 機械学習・ディープラーニングによる“異常検知”技術と活用事例集～工場・プラント、インフラ設備、外観検査、医療、電気機器、車載機器～, 第6章第4節「表面・外観検査におけるディープラーニングの手法の応用と欠陥・寿命予測解析」(技術情報協会, 2022) ISBN : 978-4-86104-913-2.

【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太陽電池の効率向上に関する研究

早瀬 修二 特任教授

概略

錫系ペロブスカイト太陽電池は、従来の鉛系ペロブスカイト太陽電池が持っていない物性を有しており、近年特に注目を集めてきた。現在、我々が達成した鉛を含まない錫ペロブスカイト太陽電池の効率は14.3% (世界最高効率報告 14.8%)、錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率は23.3% (世界最高効率報告 23.6%)である。また標準耐久性試験である85℃連続加熱試験1000時間で10%以内の耐久性を実証できた。ペロブスカイトタンデム太陽電池で26.8%を達成した。

はじめに

太陽電池は幅広い波長の光を吸収できるほうが有利である。鉛系ペロブスカイトは可視光から800nm程度まで光電変換できるが錫系ペロブスカイト太陽電池は可視光から1200nmまで光電変換が可能である。我々は2015年から世界に先駆けて錫系ペロブスカイト太陽電池の研究を推進しており、有害な鉛を含まない錫ペロブスカイト太陽電池の高効率化、有害な鉛を半分にした錫鉛系アロイ化ペロブスカイト太陽電池の高効率化、タンデム化を行ってきた。

研究の全体像

図1にペロブスカイト太陽電池の位置づけを示す。ベンチマークは市販太陽電池である単結晶シリコン(26.8%)である。現状の鉛ペロブスカイト太陽電池の最高効率は25.7%でシリコン単結晶シリコン太陽電池の効率に肉薄している。鉛を使用しない錫ペロブスカイト太陽電池は14.8%、1000nmまで光を吸収できる錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率は23.6%であり、鉛ペロブスカイト太陽電池を追っている。

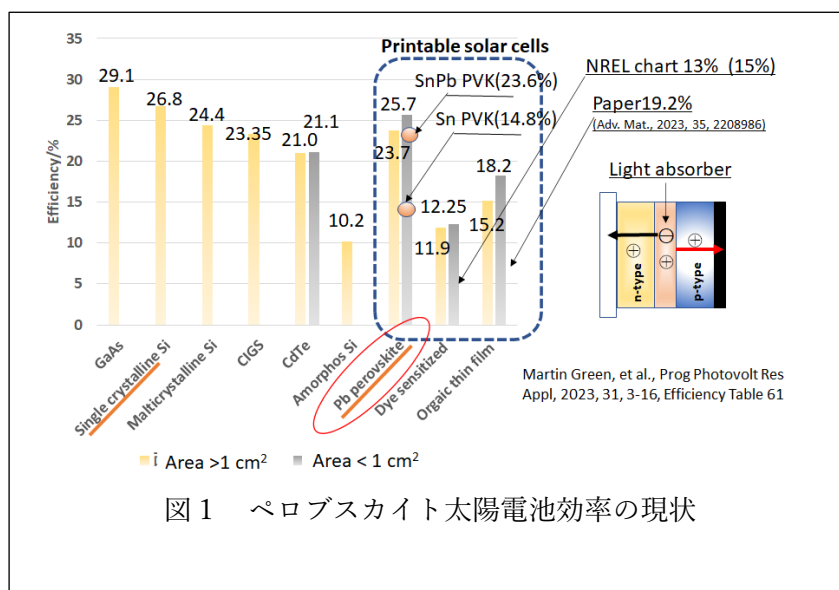


図1 ペロブスカイト太陽電池効率の現状

我々の研究の推移

図2に我々の研究の効率推移を示す。青の枠は錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池の効率推移である。2022年度には効率23.3%を達成し、世界最高効率の23.6%に肉薄している。オレンジの枠は鉛を含まない錫ペロブスカイト太陽電池の効率推移を示しており、2022年度には新しい無機ホール輸送層を用いることにより14.3%を達成した（世界最高記録は14.8%）。一方2022年度から新しく鉛ペロブスカイト太陽電池と錫鉛アロイ化ペロブスカイト太陽電池を積層した二端子タンデム太陽電池の研究を開始したが、新しいホール輸送層を用いたことにより26.8%を達成した。ちなみに世界最高記録は28.0%であり研究開始一年でベンチマークの効率が視野に入ってきた。

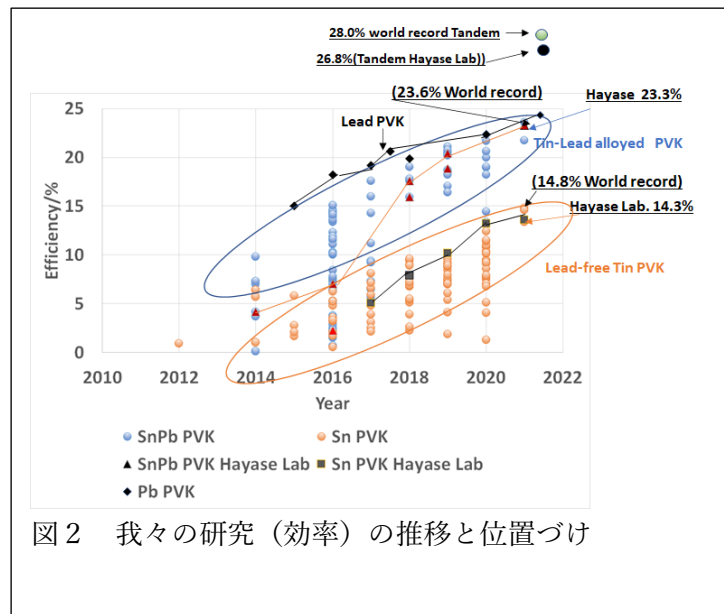


図2 我々の研究（効率）の推移と位置づけ

研究の詳細について

錫ペロブスカイト太陽電池は一般的に以下の構造を有する。

ITO ガラス/PEDOT-PSS（ホール輸送層）/錫ペロブスカイト層/C60/BCP/Ag

酸性度が高い PEDOT-PSS が直接錫ペロブスカイト層に接触すると耐久性が低下する。無機物のホール輸送層として NiO が良く知られているが NiO が錫ペロブスカイト層に接触するとペロブスカイト太陽電池の性能が低下する。ヘテロ界面で Sn^{4+} が生成し電荷再結合点になるためと考えられる。我々は SnO_x ($x=1.7-1.8$) が錫ペロブスカイト太陽電池のホール収集層として働くことを見出した。一般に酸化錫は n 型酸化物として、色素増感太陽電池、鉛ペロブスカイト太陽電池、有機薄膜太陽電池に用いられている。酸化錫が錫ペロブスカイト太陽電池のホール輸送層に用いられた報告はない。ITO ガラス/ SnO_x /錫ペロブスカイト層/C60/Au の構造で太陽電池を作製したところ、図3に示す通り、14.1%の効率を得ることができた。最適化により14.3%の効率を達成している。一般に SnO_x の x が 1.7-1.8 程度に最適化するためには atomic layer deposition (ALD) 法が良く用いられる。しかし ALD 層は 1 原子層ずつ step by step に層を作製するため、10nm の作製に 3 時間程度かかる。我々は錫金属を蒸着し酸素プラズマで酸化する新しい方法を見出した。作製時間が 10-30 分程度に短縮できた。プラズマ酸化で得られた酸化錫には Sn^{4+} に加えて Sn^{2+} 成分が存在し、それから計算した x は 1.7-1.8 であった。つまり、プラズマ酸化

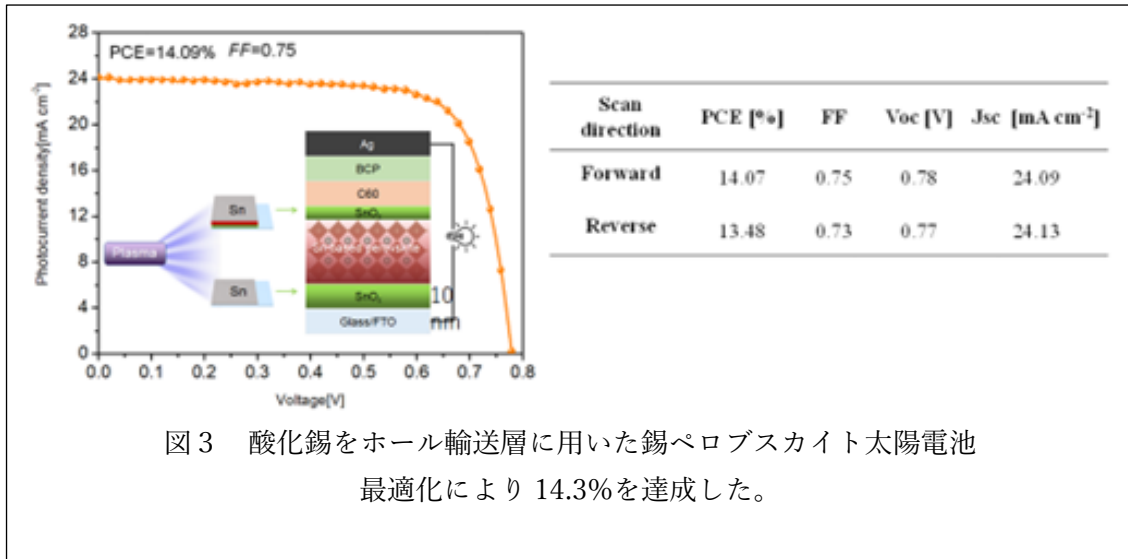


図3 酸化錫をホール輸送層に用いた錫ペロブスカイト太陽電池最適化により 14.3%を達成した。

して得られた酸化錫は SnO₂ と SnO が混在していると考えられた。移動度を FET 素子を作製して測定した。ホール、電子とも移動するバイポーラーであったが、ホールの移動度が高かった。プラズマ照射時間が長くなれば、酸化が進行し x が大きく 2 に近くなった。プラズマ酸化膜は電子、ホールとも移動するが、5 分プラズマ照射の時(x=1.77)にホールの移動度が最も大きくなった。光励起発光 (PL) の減衰を FTO/HTL/Sn ペロブスカイト層の素子構造で測定したところ、ペロブスカイト層の PL 減衰は HTL が PEDOT-PSS>SnO₂ ナノ粒子層>プラズマ酸化 SnO_x の順に早くなった。その順でホール捕捉能力が大きくなるという結果であり、プラズマ酸化膜を用いた太陽電池の効率が高い結果と一致した。通常はペロブスカイトが光で励起されるとペロブスカイトの伝導帯電子はより深い伝導帯準位を有する SnO₂, SnO_x 層に移動されるはずである。しかし、プラズマ酸化 SnO_x のフェルミレベルはペロブスカイトよりも深く、界面で図 4 に示すバンドの曲がりが生じ、プラズマ酸化 SnO_x への電子注入がブロックされるものと考えられる。一方、SnO_x 膜にはミッドギャップレベルがバンド間に生じており、これを介してホールが収集されると考えられる。最近になって ALD で作製した SnO_x 膜をホール収集層に用いた SnPb アロイ化ペロブスカイトが報告されてた。SnO_x は SnO₂ と SnO の混合物であると考えると、SnO (p 型) に

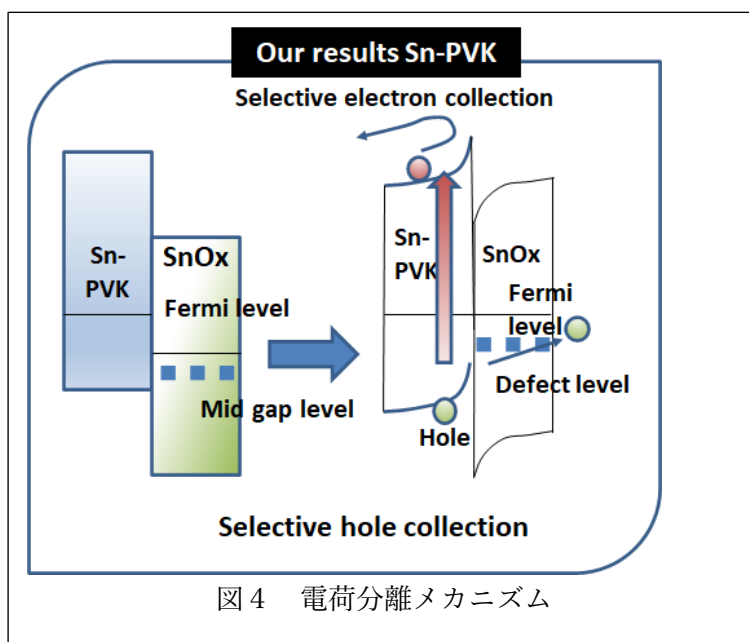


図4 電荷分離メカニズム

基づく価電子帯がミッドギャップ準位になっていると推定できる。

タンデム太陽電池に関する報告

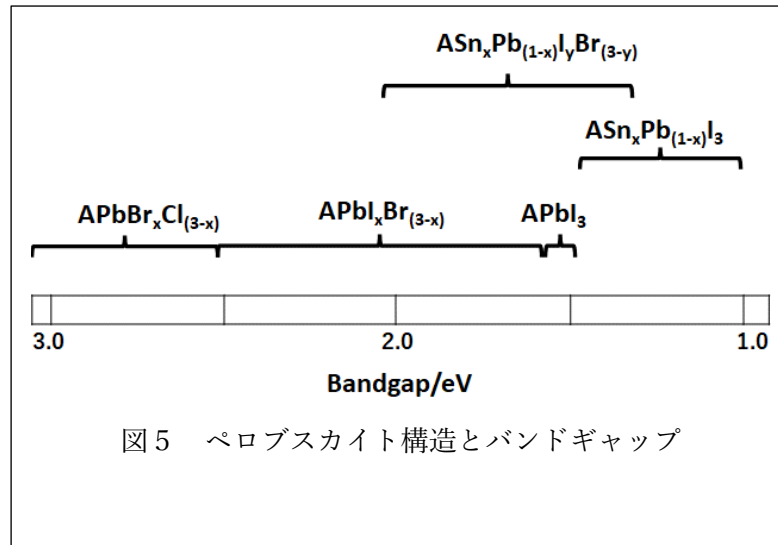
タンデム太陽電池は単層理論効率である 33%を超える太陽電池であり、注目を集めている。タンデム太陽電池は近赤外を吸収するバンドギャップが 1.1-1.2 eV のボトム層と可視光を吸収するバンドギャップが 1.6-1.8 eV のトップ層からなる (表 1)。無機太陽電池/無機太陽電池のタンデム太陽電池はすでに報告されており宇宙用に実用化されているが高コストであるという欠点がある。そこで塗布で作製できるペロブスカイトタンデム太陽電池に注目が集まっている。低コストで 35% を達成できれば車載用太陽

Tandem	Efficiency %	Area cm ²
Pb PVK(top)/Si(Bottom)	32.5→33.2	
Pb PVK(top)/Si(Bottom)	31.3	1.17
Pb-PVK/CIGS	24.2	1.045
Pb-PVK/SnPb-PVK	26.4	1.04
Pb-PVK/SnPb-PVK	28.0	0.0495
Si(single) PV	26.8	79
Pb PVK PV	25.7	0.096

**Hayase Lab. Perovskite/perovskite tandem solar cells:
26.8% (2023/4)**

表 1 ペロブスカイトタンデム太陽電池の効率と我々の位置

電池としての用途が視野に入る。ボトム層は赤外域の光を光電変換しなくてはならないため、シリコン、CIGS、SnPb アロイ化ペロブスカイト光電変換素子が用いられる。一方、トップ層は電圧が高い鉛系ペロブスカイト光電変換素子が用いられる。ペロブスカイトタンデム太陽電池の最高効率は鉛ペロブスカイト太陽電池 (トップ層) /シリコン太陽電池 (ボトム層) からなり 33.2% に達している。一方、鉛ペロブスカイト (トップ) /錫鉛アロイ化ペロブスカイト (ボトム) からなる全ペロブスカイト太陽電池はフレキシブル化に最も近いペロブスカイトタンデム太陽電池である。理論効率は鉛ペロブスカイト/シリコン太陽電池には及ばないが、30% を超えるフレキシブル全ペロブスカイトタンデム太陽電池を目指して研究開発が進んでいる。我々は新しいホール輸送層を用いて 26.8% の効率を達成した。図 5 に示す通り、ペロブスカイトの一般式 ABX₃ の A, B, X のイオンを選択し、最適化することによりバンドギャップを 1.0-3.0 eV まで変化させることができる。タンデム化にはバンドギャップの最適化とそのバンドギャップでの高効率化、およびトップとボトムを連結する電荷再結合層の開発が必要であり、これらの項目の研究を進めていく。



成果一覧

論文発表

- 1) Y.J. Low, J.Y.C. Liew a, b, M.A. Kamarudin, H.N. Lim, F.D. Muhammad, K.P. Lim, M.H.M. Zaid, T.F. Choo, H.K. Lee, Y.W. Fen, S. Hayase, Z.A. Talib; "Synthesis of cesium silver bismuth bromide double perovskite nanoparticles via a microwave-assisted solvothermal method", *Materials Today Chemistry*, 29/ 101477, (2023).
- 2) Huan Bi, Mengna Guo, Chao Ding, Shuzi Hayase, Qing Shen, Gaoyi Han, Wenjing Hou; "A multifunctional additive strategy to stabilize the precursor solution and passivate film defects for MA-free perovskite solar cells with an efficiency of 22.75%, *Materials Today Energy*", 33/ 101269, (2023).
- 3) Huan Bi, Mengmeng Chen, Liang Wang, Zheng Zhang, Chao Ding, Gaurav Kapil, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Ajay Kumar Baranwal, Takeshi Kitamura, Guozheng Shi, Qing Shen, Shuzi Hayase; "Pb-free perovskite solar cells composed of Sn/Ge(1:1) alloyed perovskite layer prepared by spin-coating, *Applied Physics Express*", *Appl. Phys. Express*, 16/ 036501,(2023).
- 4) Ajay Kumar Baranwal and Shuzi Hayase; "Recent Advancements in Tin Halide Perovskite-Based Solar Cells and Thermoelectric Devices", *Nanomaterials*, 12(22)/ 4055, (2022).
- 5) Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, Liang Wang, Qing Shen, Shuzi Hayase; "Sequential Passivation for Lead-Free Tin Perovskite Solar Cells with High Efficiency", *Angewandte Chemie*, (2022).
- 6) Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Liang Wang, Gaurav Kapil, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, Qing Shen, and Shuzi Hayase; "Indent free vapor assisted surface passivation strategy towards tin halide perovskite solar cells", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(31)/ 36200-36208, (2022).
- 7) Zheng Zhang, Liang Wang, Ajay Kumar Baranwal, Shahrir Razey Sahamira, 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*, 71/ 604-611, (2022).
- 8) Gaurav Kapil, Takeru Bessho, Yoshitaka Sanehira, Shahrir R. Sahamir, Mengmeng Chen, Ajay Kumar Baranwal, Dong Liu, Yuya Sono, Daisuke Hirotsu, Daishiro Nomura, Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase; "Tin-lead perovskite solar cells fabricated on hole selective monolayers", *ACS Energy Letters*, 7/966-974, (2022).
 - 9) Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Taro Toyoda, Koji Miyazaki, Shuzi Hayase, Chao Ding, and Qing Shen; "Simultaneous Characterization of Optical, Electronic, and Thermal Properties of Perovskite Single Crystals Using a Photoacoustic Technique", *ACS Photonics*, (2022).
 - 10) Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamira, Teresa S. Ripolles, Kohei Nishimura, Shen Qing, Shuzi Hayase; "Energy level alignment studies in tin perovskite solar cells through incorporation of inorganic cation and charge transport layer selection", *Organic Electronics*, (2022).
 - 11) Azwar Hayat, Ajay Kumar Baranwal, Masaki Nakamura, Fujisawa Shigeki, Shyam S. Pandey, Shuzi Hayase; "Cylindrical transparent conductive oxides-free conventional dye-sensitized solar cells with treated flat titanium sheet," *J. Photon. Energy*, 045502, (2022).
 - 12) Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, Qing Shen, and Shuzi Hayase; "Suppression of Defect and Trap Density through Dimethylammonium-Substituted Tin Perovskite Solar Cells", *ACS Materials Lett.*, 4/ 9/ 1855–1862, (2022).
 - 13) Yusheng Li, DanDan Wang, Shuzi Hayase, Yongge Yang, Chao Ding, Qing Shen; "Efficient Exciton Dislocation and Ultrafast Charge Extraction in CsPbI₃ Perovskite Quantum Dots by Using Fullerene Derivative as Semiconductor Ligand", *Nanomaterials (Basel)*, 12(18)/3101, (2022).
 - 14) Wang Liang, Chen Mengmeng, Yang Shuzhang, Uezono Namiki, Miao Qingqing, Kapil Gaurav, Baranwal Ajay, Sanehira Yoshitaka, Wang Dandan, Liu Dong, Ma Tingli, Ozawa Kenichi, Sakurai Takeaki, Zhang Zheng, Shen Qing, Hayase Shuzi; "SnO_x as Bottom Hole Extraction Layer and Top In-situ Protection Layer Yields over 14% Efficiency in Sn-based Perovskite Solar Cells", *ACS Energy Lett.*, 7/ 10/ 3703-3708, (2022).
 - 15) Baranwal Ajay, Saini Shrikant, Sanehira Yoshitaka, Kapil Gaurav, Kamarudin Muhammad Akmal, Ding Chao, Sahamir Shahrir Razey, Yabuki Tomohide, Iikubo Satoshi, Shen Qing, Miyazaki Koji, Hayase Shuzi; "Unveiling the role of metal oxide/Sn perovskite interface leading to low efficiency of Sn-perovskite solar cells but providing high thermoelectric properties", *ACS Appl. Energy Mater.*, 5/ 8/ 9750-9758, (2022).
 - 16) Chao Ding, Dandan Wang, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Shuzi Hayase, Tomah Sogabe, Taizo Masuda, Yong Zhou, Yingfang Yao, Zhigang Zou, Ruixiang Wang, and Qing Shen; "Over 15% Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells by Synergistic Effects of Three Interface Engineering: Reducing Nonradiative Recombination and Balancing Charge Carrier Extraction", *Adv. Energy Mater.*, 2201676, (2022).

- 17) Padmini Pandey, Sung Won Cho, Shuzi Hayase, Jung Sang Cho, Dong-Won Kang, New Strategies to Develop High-Efficiency Lead-Free Wide Bandgap Perovskite Solar Cells, *Chemical Engineering Journal*, 137622, (2022).
- 18) Yuyao Wei, Mako Nakamura, Chao Ding, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Yongge Yang, Dandan Wang, Ruixiang Wang, Shuzi Hayase, Taizo Masuda, and Qing Shen; "Unraveling the Organic and Inorganic Passivation Mechanism of ZnO Nanowires for Construction of Efficient Bulk Heterojunction Quantum Dot Solar Cells", *ACS. Appl. Interfaces*, 14/ 31/ 36268–36276, (2022).
- 19) 早瀬修二; "錫系ハロゲン化ペロブスカイト太陽電池の開発動向", *クリーンエネルギー*, 31/ 15-21, (2022).
- 20) Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Teresa R. Ripolles, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, Qing Shen, Hiroshi Segawa, Juan Bisquert, and Shuzi Hayase; "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).
- 21) Ajay Kumar Baranwal, Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, Gaurav Kapil, Shrikant Saini, Tomohide Yabuki, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino, Koji Miyazaki, Qing Shen, Shuzi Hayase; "Relationship between carrier density and precursor solution stirring for lead-free tin halide perovskite solar cell performance", *ACS Appl. Energy Mater.*, 5/ 4/ 4002–4007, (2022).
- 22) 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", *Journal of Power Sources*, 520/ 230848, (2022).
- 23) Masayuki Morimoto, Shoya Kawano, Shotaro Miyamoto, Koji Miyazaki, Shuzi Hayase & Satoshi Iikubo; "Electronic structure and thermal conductance of the MASnI₃ /Bi₂Te₃ interface: a first-principles study", *Scientific Reports*, 12, 17, (2022).
- 24) Atsuko Ide, Satoshi Iikubo, Kumiko Yamamoto, Qing Shen, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto and Shuzi Hayase; "Structure Stability and Optical Properties of Tin-based Iodide Perovskite", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 61/ 031003, (2022).

招待講演

- 1) Invited, Shuzi Hayase, Progress of printable solar cells, international symposium on novel and sustainable Technology, 2022ISNST (Oct.27-28, 2022)
- 2) Invited, Shuzi Hayase, Progress on Tin based perovskite solar cells, 23rd International conference on photochemical conversion and storage energy, (2022/8/3).
- 3) Invited, Tutorial, Perovskite solar cells, -Fundamentals and Applications-, PVSEC 33, (2022/11/13).
- 4) Invited. Shuzi Hayase, 2nd workshop: Australia-Japan collaborative development of next generation solar cells, Melbourne, (2022/10/24).
- 5) Key Note, Shuzi Hayase, Sn perovskite solar cells following Pb perovskite solar cells, 7th International

Conference on Advances in Functional Materials (AFM-2022), Fukuoka, (2023/1/12).

- 6) Invited. Shuzi Hayase, Approaches to Enhancing Efficiency of Tin Based Perovskite Solar Cells, MRS meeting Session Title: EL02.10: Device Fabrication II, San Francisco, (2023/4/13).
- 7) 招待講演：早瀬修二、鉛フリーペロブスカイト太陽電池から全ペロブスカイトタンデム太陽電池まで、電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会（OME）愛知県, (2023/1/18).
- 8) 依頼講演：早瀬修二、錫系ペロブスカイト太陽電池の現状と将来展望、日本化学会春季大会、東京理科大学, (2023/3/23).
- 9) Invited, SHuzi Hayase, Perovskite solar cells consisting of Tin, Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics, IPEROP 23, (2023/1/24).

特許提案 なし。

以上

2.主要研究成果

2.5 数理最適化技術の開発と応用に関する研究

中山 舜民 助教

情報理工学域 I 類/情報・ネットワーク工学専攻 情報数理工学プログラム 兼務

研究概要

最適化問題は多種多様な分野で発生する基本的な問題であり、実験データの当てはめ問題、最適設計、逆問題、ため最適制御問題、金融工学におけるポートフォリオ選択問題などとして定式化される。最近では、大量のデータから本質的な情報を探し出すデータマイニングの分野や機械学習の分野でも従来の統計的手法とは別のアプローチとして数理最適化を利用した研究が活発になされている。エネルギー分野においても、電力の発電計画や需要の予測、制御など様々な領域で数理最適化は重要な役割を担っている。数理最適化は数理モデル化、最適化問題を解くの数値解法、計算機への実装などを扱う研究分野である。応用範囲が非常に広いということから、最適化問題を効率よく解くための数値解法の研究は活発に行われており、変数の数や制約条件の数が非常に多い大規模な最適化問題を解く必要性もますます増えてきた。本年度の報告では以下の3テーマ

- ① スパース最適化問題
- ② リーマン多様体上の最適化問題
- ③ 上下制限約付き最適化問題

を解くための数値計算アルゴリズムの研究を報告する。今回の報告するアルゴリズムはいずれも反復法である。復法とは初期暫定解を与えて、暫定解を繰り返し更新しながら反復計算を行い、最適解を求める手法の総称である。数理最適化のアルゴリズムを評価するために、反復法が任意の初期暫定解から計算を繰り返し、最適解が求まる保証を大域的収束性と呼び、これを数学的に示すことが重要である。さらに、アルゴリズムの計算速度(反復の回数)を表す局所的収束性もアルゴリズムの評価に重要である。今回は上記の3テーマに関する新しいアルゴリズムの提案と数学的な理論評価を行った結果を報告する。

① スパース最適化問題に対するニュートン型近接勾配法の開発

スパース最適化問題は統計的な文脈ではスパース推定(スパースモデリング)とも呼ばれており、未知のデータに対する予測精度が良いことが知られている。スパース最適化は応用の適用範囲も広く、ビッグデータから重要な情報の抽出・分析や、少量の情報でモデル全体を表現することを目指し、機械学習にも活用されている。本研究では

$$\min g(x) + h(x)$$

で表現される最適化問題を解くための数値計算アルゴリズムの研究を行った。ここで、 $g(x)$ は滑らかな関数であり、 $h(x)$ は微分不可能な点を含む関数とする。この問題は機械学習や統計で扱われるLASSOなどを含んでおり、応用上重要なクラスの問題であることに注意する。関数 $h(x)$ に関する近接写像の計算が容易な場合に、近接勾配法と呼ばれる反復法を用いてこの問題を解くことができる。反近接勾配法は微分可能な関数 $g(x)$ の1回微分の情報しか使用しない最急降下法に基づいた方法であるため、解を得るために多くの反復回数を要する。本研究では、2回微分の情報を使用したニュートン型近接勾配法に注目して、新しいアルゴリズムを開発した(査読付き学術論文1, 国内会議 口頭発表1,3)。

ニュートン型近接勾配法の利点は、1回微分の情報のみを使用した近接勾配法よりも少ない反復回数で解を得られることである。ニュートン型近接勾配法は、近接写像の計算に2回微分の情報を含んだ重み行列が入ることにより、1反復あたりの計算コストが膨大になってしまうという欠点を持つ。そのため、問題を解くために、既存の1回微分のみを使用した近接勾配法よりも多くの計算時間を必要とすることが多々ある。本研究ではこの欠点を克服した2種類のアルゴリズムを提案した。

査読付き学術論文1の研究では、近似行列として正定値性を保持するようなメモリーレス対称ランクワン公式を作成し、近接写像が容易に計算できるようになった。この公式を用いたニュートン型近接勾配法を提案した。提案手法の大域的収束性を数学的に示し、局所的な収束性のタイトな評価を行った。さらに、数値実験を通じて既存のニュートン型近接勾配法や1回微分の情報のみを使用した近接勾配法よりも有効であることを示した。

国内会議 口頭発表 1,3 では対角行列を重みとした近接写像が閉形式で計算ができることに注目して、ヘッセ行列の対角成分だけを取り入れた近接対角ニュートン法を開発した。近接対角ニュートン法の大域的収束性と、特定の目的関数に対して2次収束という局所的収束性を数学的に示した。さらに、狭義凸2次関数を目的関数を持つ問題に対して、近接対角ニュートン法の収束率を理論的に評価し、既存手法と比べて理論的に速く収束すること数学を示した。また、数値実験を通じて、提案手法の有効性を検証し、理論評価の裏付けを行った。

② リーマン多様体上の最適化問題に対する新しい準ニュートン法の開発

リーマン多様体上の最適化問題とは、変数が多様体上に乗っているという制約を持った最適化問題のことである。この問題の特徴は、ユークリッド空間上（いわゆる平面上）の制約付き最適化問題を、制約を曲がった空間で表現することにより、その空間上では無制約最適化問題（制約がない最適問題）として扱うことができる。実際に、主成分分析や固有値問題など多くの実用的な問題をリーマン多様体上の最適化問題として定式化することができる。本研究では、この問題に対する新しい準ニュートン法を提案した（査読付き学術論文2）。

リーマン多様体上の無制約最適化問題に対するアルゴリズムの多くは、古くからあるユークリッド空間上の最急降下法や非線形共役勾配法、ニュートン法、準ニュートン法を多様体上のアルゴリズムに拡張したものである。特に、大規模なリーマン多様体上の問題に対する数値解法として、非線形共役勾配法や準ニュートン法は活発に研究されている。本研究では、ユークリッド空間上のメモリーレス準ニュートン法をリーマン多様体上のアルゴリズムに拡張することに成功した（査読付き学術論文2）。ユークリッド空間上の最適化問題に対するメモリーレス準ニュートン法は、非線形共役勾配法や通常の準ニュートン法と比較して非常に有効な方法であることが知られている。数値実験を通じて、この方法をリーマン多様体上に拡張した場合も同様に有効であることを報告した。また、理論的な裏付けとして、アルゴリズムの大域的収束性を数学的に証明した。

③ 上下制限付き最適化問題に対する新しい有効制約法の開発

変数に上限下限の制約を持つ最適化問題を解くための新しいアルゴリズムを開発した（国内会議 口頭発表2）。例えば、電力の活用には上下限を表す箱型制約がよく扱われる。また、システム制御で、モデル予測制御などでは箱型制約が多く含まれ、逐次的に多くの最適化問題を解くことから、より効率よく問題を解くアルゴリズムが必要である。特に、この場合の問題は

$$\min \sum_{i=1}^m x_{[i]}^T Q_i x_{[i]} + x_{[i]}^T q_i + P(x) \quad \text{s.t.} \quad l \leq x \leq u$$

という変数の属性ごとに独立した性質を持つ上下限制約付き最適化問題を扱うことが多い。ここで、 $x = [x_{[1]}^T, \dots, x_{[m]}^T]^T$ とし、 l と u は x の下限と上限を表すベクトル、 Q_i は m_i 次の正定値対称行列、 q_i と $x_{[i]}$ は m_i 次ベクトルとする。また、 $P(x)$ は x に関する滑らかな凸関数とする。

本研究では上下限制約付き最適化問題を解くための手法として有効制約法に注目した。有効制約法は効いている制約のみを考え、次元を縮約し、その次元での無制約最適化のアルゴリズムを適用する反復法である。ニュートン法に基づいた有効制約法が一般的ではあるが、縮約してもなお規模が大きい問題に対しては実用的ではない。そこで、そのような問題に対して、Barzilai-Borwein (BB)法に基づいた有効制約法が提案されている。BB法とは最急降下法の探索方向にある種のスケールリングを施した方法ではある。今回、対象としている問題のように、各要素に対応する問題の性質が異なる問題に対して、全ての要素に対して同じスケールリングを施すBB法は得策であるかどうかはわからない。実際に、応用上の最適化問題を解いた際に、要素ごとに値の差が非常に大きくなり、数値的不安定な状態が発生し、問題を解くことができないことが多々あった。そこで、要素をブロック分割し、属性ごとに異なるスケールリングを施す有効制約ブロック Barzilai-Borwein 法を検討した。簡単にテスト問題に対して、既存の有効制約 Barzilai-Borwein 法では数値的不安定性で解けなかった問題が解けるようになった。また、提案手法の大域的収束性を数学的に示した。今後は、提案手法の局所的収束性の理論的な評価や、電力システム等のモデル予測制御などに適用した応用を検討している。

成果一覧

査読付き学術論文

1. Yasushi Narushima, **Shummin Nakayama**, Masashi Takemura, Hiroshi Yabe; "Memoryless Quasi-Newton Methods Based on the Spectral-Scaling Broyden Family for Riemannian Optimization", *Journal of Optimization Theory and Applications*, 197, 639-664, (2023). DOI: 10.1007/s10957-023-02183-7
2. Yasushi Narushima, **Shummin Nakayama**; "Proximal quasi-Newton type method based on memoryless modified symmetric rank-one formula", *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19, 4095-4111, (2023). DOI: 10.3934/jimo.2022123

国内会議 口頭発表

1. 柳下翔太郎, **中山舜民**; "悪条件の問題に対する近接対角ニュートン法の提案とその優位性について", 日本応用数理学会 第19回 研究部会連合発表会 (2023.3)
2. **中山舜民**; "上下限制約付き最適化問題に対する有効制約ブロック Barzilai-Borwein 法", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年春季研究発表会 (2023.3)
3. 柳下翔太郎, **中山舜民**; "ヘッセ行列の対角成分を用いた近接勾配法", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年春季研究発表会 (2023.3)

その他

- 日本オペレーションズ・リサーチ学会 庶務幹事
- 日本オペレーションズ・リサーチ学会 論文誌 JORSJ・TORSJ 編集幹事
- 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年 春季研究発表会 実行委員

2.主要研究成果

2.6 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

以上より、2022 年度については①、③に関する概略を以下に示す。

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。

2022 年度は、前年度までの研究成果に引き続き、緯度の異なる地域における傾向の比較を実施した。図 1 に比較した地域の都市 3D モデルを示す。

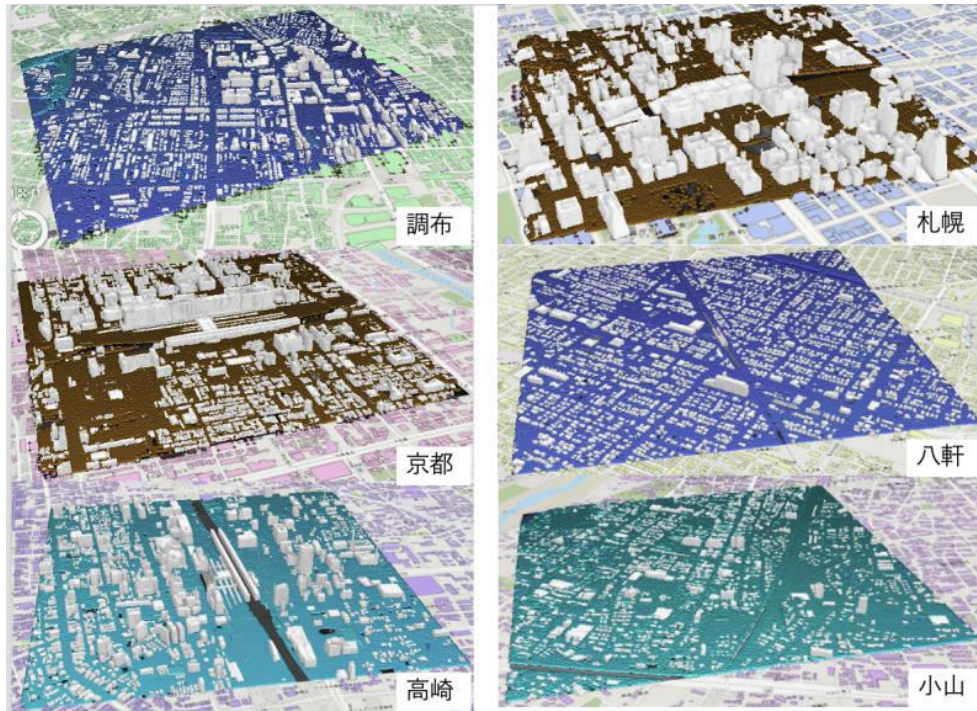


図1. 緯度の異なる地域の壁面太陽光発電ポテンシャル比較に使用した都市3Dモデル。

各エリアの総発電量のシミュレーション結果を図2に示す。発電量が最も大きいエリアは京都である。その他は順に高崎、調布、八軒、小山、札幌となり、井戸が高い地域ほど不利となることが示唆される。すべてのエリアにおいて壁面の発電量は天面より2倍以上大きくなる。

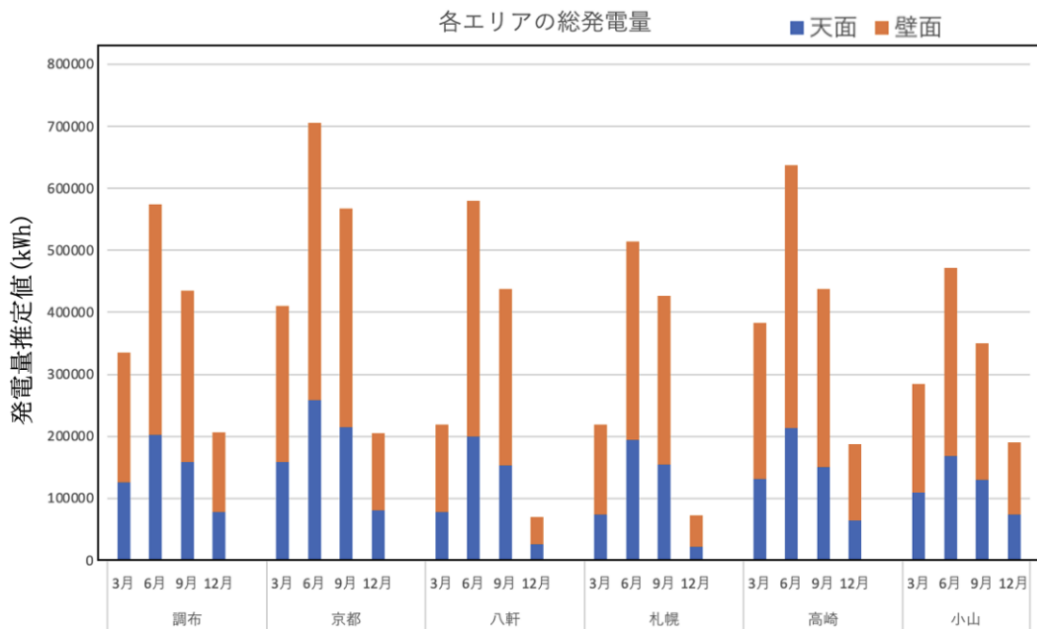


図2. 天面および壁面発電量のシミュレーション結果 (1km²累積)。

これらのシミュレーション結果を、都市モデル(住宅街, 都心部, 臨海地区)毎に分析した結果、都心部や臨海地区に比べて、住宅街の太陽光発電は緯度の影響を受けやすいものと思われる結果が得られた。また、総発電量に対する壁面発電量の比率について、季節に着目した比較を行った結果、住宅街では6

月の発電量が最も高く、12月が最も低い割合を示す一方で、都心部では12月が最も高く、6月が低くなる結果が得られた。これは、壁面面積が天面面積に比べて大きい都心部では、太陽高度が低い時期ほど壁面発電の割合が高くなるためと考えられる。

なお、本研究の成果の一部は研究成果一覧の[6]にて発表済みである。

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

感染症などの健康上のリスク回避は、室内環境保持のためのエネルギー消費とトレードオフになることが多い。特に、最新の技術を導入することができていない既存の古い建物における最適な運用を実現することは、省エネルギーの現実的な実現のためには必要不可欠となる。本分野については、環境センサーデータによる空気品質管理の手法の開発と、フィールド調査による現場のリスク低減の二つについて研究を進めている。それぞれについて、2022年度の研究成果を示す。

1) 環境センサーデータに基づく空気品質管理手法の開発

COVID-19の世界的な拡大に対して、我々の身の回りでも日常的にさまざまな感染対策がとられている。主たる感染経路の1つはエアロゾル感染であり、その対策には、換気が有効となる。

多くの人々が入り出る屋内空間の換気状況の把握には、二酸化炭素(CO₂)濃度の測定が有効である。実際に感染症対策としてCO₂濃度計を設置する施設は多い。換気とCO₂濃度の関係性はSeidelの式に従い、ドライアイスなどを用いた実験的手法によりCO₂濃度の変動データから実効的な換気回数を求めることができる。しかし、この方法では対象となる個々の部屋毎にトレーサーガス法による実験を行う必要があり、現状を把握して改善に繋げるための、日常的な診断は容易ではない。

本研究では、CO₂濃度の時系列変化データから室内感染リスクのリスクを診断する方法について、実際のクラスタ発生施設などでの現地調査の結果も利用して明らかにする。それにより、センサーによって測定されるCO₂濃度データのみから、エアロゾル感染リスクを特殊な実験を行うことなく判定する手法を提案した。

リスク判定方法の提案に向けた検討の主な構成は、①換気量・実行換気回数調査、②CO₂濃度時系列クラスタリング、③CO₂濃度日内変動モニタリングの3つである。

①では、さまざまな業態の感染症クラスタ発生施設における換気能力、及びクラスタ発生要因に関する現地調査を行う。また、施設の換気に関わる要因に対して、施設の構造特性に関する分析を行う。

②では、国内50箇所の施設においてCO₂センサを設置して取得したCO₂濃度の時系列データを用いた多次元時系列クラスタ解析を行う。設置箇所は、ライブハウス・大学・市役所・ホール・地域センター・病院・老人ホーム・センサーネットワークを設置したフリーアドレススペース(電気通信大学附属図書館 Ambient Intelligence Agora; AIA)である。クラスタリングの際、元データをそのままクラスタリングする方法と、最小-最大の観測値を0/1正規化してクラスタリングする方法の2種類を実施し、比較する。多次元時系列クラスタ解析としては、1週間単位のデータを用いて、動的時間伸縮法(Dynamic Timing Warping; DTW)による各データセット間の類似度(DTW距離)を求め、k-means++法によるクラスタリングを実施する。その際、類似度からクラスタリングを行う際のクラスタ数を、シルエット分析及びエルボー法を用いて決定する。得られたクラスタの妥当性考察のため、CO₂濃度以外の環境センサーデータを用いたロジスティック回帰分析を実施し、換気状態に寄与して感染リスクを高める要因について検

討を行う。さらに、クラスタリング結果に基づくナイーブベイズ分類器を用いた判別器を作成し、新たな観測結果に対する判定を行う方法を示す。この際、①の分析データを利用して、クラスタリング結果に対するロジスティック回帰を行い、クラスタリングの有用性について示す。

③では、日内の CO₂ 濃度データを用いて短時間に飽和濃度を推定し、換気量を求めるアルゴリズムを検討する。推定した換気量からリスク診断を行う。

以上の結果を踏まえ、空気感染リスクの算出に用いられる非定常 Wells-Riley の式を用いたリスク診断の方法を提案した。

感染症クラスタが発生した場所の換気量・実効換気回数について、10 業種にわたる施設において調査を行った。その調査を通じて、それらの場所には様々な運用上の要因や、換気経路状態に関する要因などがあることがわかった。判明した事項について主成分分析を行った結果、「クローズドスペース」、「呼気が溜まりやすい空間」、「空気の澱みの発生しやすさ」の 3 つの主成分が得られた。

次に、観測された時系列データの時系列クラスタ分析を行った結果、シルエット分析とエルボー図による判定から、クラスタは 4 つに分類された。図 3 にクラスタ毎の CO₂ 濃度の変化を示す。最大到達濃度の高い順にクラスタ 1>2>3>4 となることがわかる。また、場所ごとのクラスタ分類の結果を図 4 に示す。クラスタ 1 は機密性の高いライブハウスのみで観測されており、その他の場所はクラスタ 2, 3, 4 に分類される。特に、コロナ禍以前である 2019 年の AIA では、クラスタ 2~4 の判定が混在しており、状況によって環境が大きく変わっているものと考えられる。この要因分析のために、同時期の環境センサーデータを用いたロジスティック回帰分析を実施した。その結果、場所と月の違いがクラスタの違いに大きく寄与することがわかった。

以上のクラスタリング結果を、ナイーブベイズ分類器に学習させ、学習に用いたデータの前週、もしくは翌週の CO₂ センサーデータからクラスタを推定した結果、約 8 割の精度で判別可能と考えられる結果が得られた。すなわち、1 週間分の CO₂ センサーデータをナイーブ判別可能と考えられる結果が得られた。すなわち、1 週間分の CO₂ センサーデータをナイーブベイズ分類器に適用することにより、観測した場所が分類されるクラスタを推測することが、おおよそ可能と考えられる。

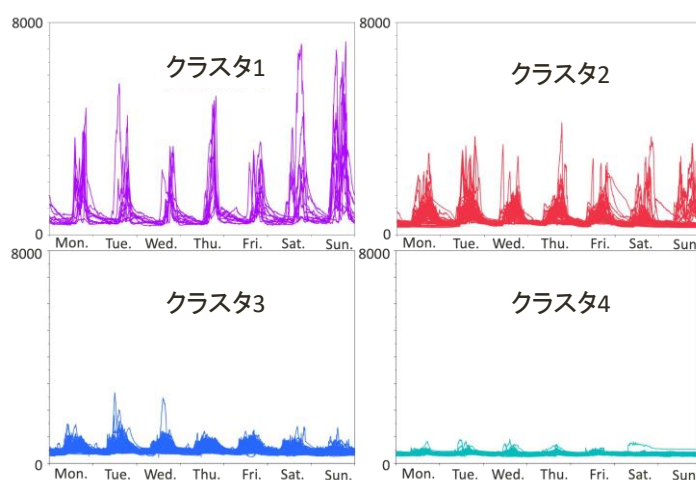


図 3. クラスタ毎の CO₂ 濃度の変化。

最後に、③CO₂ 濃度日内変動モニタリングについて、10 分毎の観測データから、大きな変動が観測された後の濃度上昇のデータを抽出し、在室人数を仮定して換気量を推定した。定常状態に至る変動を、変動直後の数点の観測データから、おおよそ推測できる。この方法を用いることにより、短時間での換気量

推定をおこなうことが可能と考えられる。

求められたクラスタ分類結果と、換気量の推定値より、エアロゾル感染リスクを推測することができる。結核の感染確率に関する研究を通じて確立され、エアロゾル感染リスク推定に用いられている非定常 Wells-Riley の式を用いて、クラスタ毎に複数箇所の感染確率の時間変化を求めた結果、室内の滞在時間変化に伴う感染確率の増加度合いがクラスタ毎に異なり、おおよその範囲として推測ができる。

以上のように示した、CO₂ センサーデータを用いたクラスタの判定方法と換気量の推定結果より、実験に依らない感染リスクの推測や、換気量の日常管理などを実施することが可能である。

以上の結果は、国際会議[9]や、国内会議[10, 12]などで報告している。

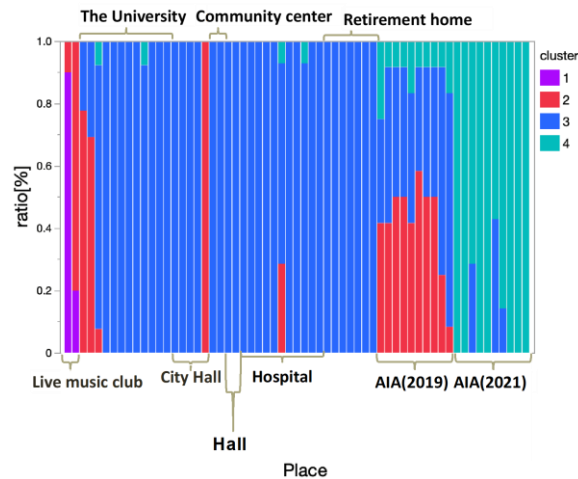


図 4. 場所毎のクラスタリング結果. 1 週間単位の観測に基づく判定より、判定された比率を縦軸に示した。

2) フィールド調査による現場のリスク低減の検討

COVID-19 をはじめとする感染症の拡大を抑制することは、事業者にとって重要かつ緊急の責務である。2020 年頭より現在まで継続している COVID-19 の拡大抑制の方策として、リモートワークや遠隔授業への移行が様々な事業分野で実施された。しかし、それらの方策は全ての業務に適しているとは言い難く、製造業や建設業の現場、高齢者介護施設、医療施設、運輸業、一部のサービス業等においては採用が難しいものである。これらの職場におけるリスクを適切に評価し、安全・安心を確保することが、事業継続の要素として重要性を増している。

これまで我々は、COVID-19 の感染予防のための換気改善に関する研究、事業を進めてきた。その中で、令和 4 年 4 月にクラスターが発生した保育園を調査した際、換気設備、窓、布団の位置に依存して昼寝時に発生したと考えられる局所クラスターの事例(図 5)に遭遇した。保育園、幼稚園などでは、年齢によっては園児がマスクをすることが出来ないという事情がある。特に、午睡の際には事故防止の観点からマスク着用は厳禁である。さらに、社会福祉施設は施工から長年経過した建物を使用していることも多く、一般の飲食店や事務所と同じ対策が適用し難いことも判明した。現在、我が国には 29,474 件の保育園と、9,121 校の幼稚園、6,655 校の幼保連携型認定こども園が運営されており、それらの施設の多くが同様の課題に直面していると考えられる。ところが保育園は厚生労働省の所管、幼稚園と幼保連携型認定こども園は文部科学省の所管となっており、統一的な対処がとられにくい環境にある。

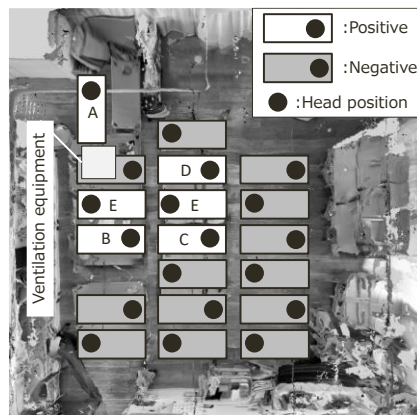


図5. Example of a nap cluster in a nursery school (bird's eye view).

また、このような施設においては、COVID-19により職員の業務負担が大幅に増加しており、対策効率を上げる支援策の必要性が非常に高い場所ともいえる。一方で制約の多い場所・場面では、ファシリテートの対処だけでは改善が難しく、マネジメントから現場に至るまでの業務オペレーションの自律サイクルの体制構築が必要であることが、製造業の品質管理や、労働安全衛生管理などの知見から予想される。さらに、全国の約4万5千施設にノウハウを展開するには、改善に向けた計画を支援するフィードバック機能を持ったオンライン診断システムの開発と社会実装が必要と考えられる。

働く人口が減少してゆく今後の社会では、業務を通じた現任訓練によって知識やスキルを職場で育成、伝承することは非効率となりつつある。そこで、異分野で発展してきた枠組みを整理して一般化し、リスク情報学や教育工学を応用してシステム化、体系化する取り組みは、テレワークやクラウドワーキングによって組織や個人の創造・生産活動に至るまで自律分散化が進む未来の社会における教育とリスク管理の体系、すなわちリスク管理工学として新たな分野を切り拓くものと考えられる。

一般的なリスク工学では、ハザードを確定し、その大きさ、起こる可能性（頻度）、起きた時の影響度などからリスクが見積もられる。しかし、働く人の行動を対象とする場合、リスクを低減させる緩衝要因も考慮する必要がある。これらの点を、社会的に重要な感染症対策から取り残されつつある保育園・幼稚園を主体とした調査分析と、研究成果の大規模社会実装によって実証することにより、自律サイクルを持つ社会システムにおけるリスク管理研究の、先鋭となることが期待される。その成果は、今後進んでゆくであろう自律分散社会において、IoTやAIの恩恵から取り残されがちな組織を、ただ一つも取り残さないための社会基盤の要素の一つになるとも考えられる。

これまで我々は、集団感染（クラスター）の発生した保育園・幼稚園への立ち入り調査を行い、いずれも施設管理または安全組織運営に何らかの問題を抱えていたことがわかった。インタビューを実施した保育園を含む14の施設において、施設及び換気設備に関する調査を実施した。同時に5つの項目に関して、職場のリーダー格の方々に、自分の所属する施設のレベルを問うアンケートを実施した。

- 1) 建築時の換気計算結果や設備の設置場所
- 2) 換気設備のメンテナンス方法と管理状況
- 3) 日常の換気装置の操作方法と管理状況
- 4) CO₂センサーの使用方法
- 5) 空気清浄機の使用法

その結果、換気設備の運用に関する課題、換気設備の清掃に関する課題、空気清浄機の活用に関する課題、消毒液や使い捨てハンドタオルの運用に関する課題、の4点についてがあることがわかった。

また、9つの保育園において、感染症対策に関する施設、及び職員の業務連携に関するアンケート調査を実施した。以下の5つの項目に関して、職場のリーダー格の方々に、自分の所属する職場のレベルを問うアンケートを実施した。



図6. Example of Infection Prevention Workshop. (a) An example of error. (b) Explanation at the site.

- 1) 職場のチームワークと情報共有
- 2) 職場の会合等の実施状況
- 3) 他の同業施設、関連組織等との連携
- 4) 知識・環境を向上させる取り組み
- 5) 職場の5S（「整理」「整頓」「清掃」「清潔」「しつけ」とルール遵守について

その結果より、適切な感染予防策の情報共有と、ノウハウに関する他の施設との連携が、適切な業務遂行において有効と考えられる結果となった。

以上の結果に基づく、有効な感染症対策の啓蒙のためには、現場の職員に向けた正確な情報発信と効果の高い教育が必要と考えられる。そこで、「間違い探し」形式のワークショップを設計し、実際の保育園の保育室を用いて実施した（図6）。このような実際の職場での体験型ワークショップは、正確な情報の伝達とその定着について、有効であるものと考えられる。さらに、同僚と一緒に参加することによって、その後の議論や情報共有の促進の効果も期待されると考えられる。今後は、社会的リスク低減の自律サイクルモデルを検討、提示し、その効果を検証する活動が必要になると考える。

これらの結果は国内会議[11]などで公開すると同時に、啓蒙のためのガイドブックなどを発行して配布している。

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] 齋藤彰, 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).
- [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

2.7 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-パワードエネルギー・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。これまでに当センターで議論、検討してきたインターネット型電力プラットフォームという新しい社会システムの実現には、理工学的な検討のみでなく、社会科学、倫理学、政治哲学などの分野との融合による社会システムの設計が不可欠と考えられる。2022年度には、東京外国語大学、東京農工大学との連系体制を通じた学術のビジョンに関する議論を行い、当センターが中心となってまとめたものを、日本学術会議「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」の公募に応募した。概要は、以下に示すものである。

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。これまでに当センターで議論、検討してきたインターネット型電力プラットフォームという新しい社会システムの実現には、理工学的な検討のみでなく、社会科学、倫理学、政治哲学などの分野との融合による社会システムの設計が不可欠と考えられる。2022年度には、東京外国語大学、東京農工大学との連系体制を通じた学術のビジョンに関する議論を行い、当センターが中心となってまとめたものを、日本学術会議「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」の公募に応募した。概要は、以下に示すものである。

ビジョンの内容

2050年カーボンニュートラルという高い目標を受け、再生可能エネルギーを主力電源化するための研究開発が産官学により強力に進められている。そこには、創り出すエネルギーの種類、量、時間的な変動特性など様々に異なるエネルギーをいかに統合し、社会の駆動力として効果的に活用するかという大きな課題がある。

その課題の解決のために、事業組織が大小発電や需要を集中コントロールする従来のスマートグリッド構想から、個人や地域の地産地消を単位とするインターネット型エネルギー社会構造への転換が進んでゆくものとする（図1）。ユーザ自らの手で形成された小規模自立分散グリッドのネットワークとリソースシェアにより、既存の基幹システムに代わるインフラを形成するという分散アプローチである。自ら構築した小規模自立分散グリッドをネットワークに接続することにより、ユーザが必要とするエネルギーを共助により入手可能で、末端のシステムやデバイスがユーザの手で構築、再構築されることによってシステム全体が新陳代謝してゆくことが可能になる。

エネルギーシステムという社会基盤を新しい形に転換してゆくには、個人や地域の自主的な参加と貢献を可能とする仕組み、プロトコルが必要となる。かつて通信事業の主役であった電信電話事業がインターネット情報通信網にその座を譲ったのは、通信事業者に限らず、端末事業者、サービス事業者、加えてユーザ本人が主体的に通信網の構築に参入できたことが大きく寄与している。情報の創出や発信を可

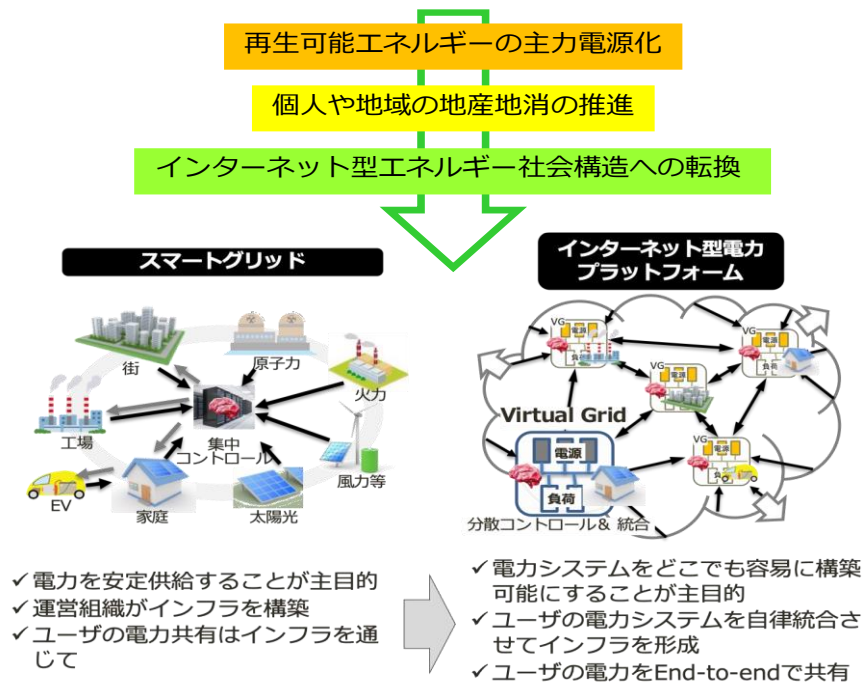


図1 再生可能エネルギーの主力電源化に伴うインターネット型エネルギープラットフォームへの社会変容

能とするオープンなプロトコルが整備されることにより、インターネットは情報通信の枠を超えて、様々なイノベーションの基盤となり得た。同様な変革が小規模自立分散グリッドのネットワークング、すなわちインターネット型エネルギー社会の実現に必須であろう。

一方で、この変革を支えるレギュレーションには、個人と社会の功利を調整し、社会的な合意を得る仕組みを実装しなければならない。個人情報や知的財産と同様に、エネルギーには個人の生産物としての個人資産の局面と社会功利の動力源としての局面の二面性がある。どちらが重んじられるかは、個人および社会の置かれる状況によって大きく異なるため、倫理性の高いレギュレーションが必要不可欠である。

このようなインターネット型エネルギー社会構造は、インフラが未整備なグローバルサウスが急速な発展の主たる舞台の一つとなるであろう。2050年カーボンニュートラルを目指す我が国は、自らも変革の実現に努めると共にそれらの国々との共創を推し進めることによって、我が国の産業競争力を確保することができる。生活習慣や倫理体系の異なる国々との発展を実現するには、文理が目的を共有し、グローバル展開の可能なレギュレーションプロトコルを技術開発と並行して確立してゆくことが必要である。

学術研究構想の概要

自立分散型エネルギー社会への急速な転換に先駆け、エネルギー技術の実装と検証を、倫理・法・社会的課題（ELSI）の点から研究することが必要となる。その手段として、異分野の研究者による議論を通じて、2050年カーボンニュートラルへの過程で生じる課題抽出とソリューション研究、その成果に基づく政策提言までを行うことが求められる（図2）。

個人や地域間のエネルギーシェアリングは、エネルギーの安定供給と社会システムのレジリエンス確保に必須の機能である。この機能が様々な環境下で有効に作用するには、災害による突発的な環境変化や、世界経済の変動を前提とした設計が必要となる。同時に、最適なレギュレーションプロトコルを設

個人や地域間のエネルギーシェアリング



エネルギーの安定供給と社会システムのレジリエンス確保



- ✓ インターネット型エネルギー社会構造には、平時だけでなく、災害による突発的な環境変化や、世界経済の変動を前提とした設計が必要。
- ✓ エネルギーを個人資産として取り扱うか、社会功利の動力源として扱うかなど、局面に応じた指針と合意形成が肝要。
- ✓ 最適なレギュレーションプロトコルを設計し、システムに実装することが社会のレジリエンスの基盤構築に繋がる。
- ✓ 実装するレギュレーションのポリシーを政策提言として示すことが、文理融合した新たな学術の使命の一つ。

図2 自立分散型エネルギーマネジメントにおける ELSI 実践研究の必要性と課題

計、実装することが社会レジリエンスの基盤構築に繋がる。そのポリシーを政策提言として示すことが文理融合した新たな学術の使命の一つである。

学術的な意義

2050年カーボンニュートラルを目指す研究開発として、創電分野、蓄電分野などの科学技術に、予め ELSI の概念実装とグローバルサウス共創を指向した研究土壌を準備することにより、インターネット型エネルギー社会構造の学術分野を開拓し、国際的な影響力と新たな研究の再生産性を高めることができる。

個人間や地域間のエネルギーシェアリングによってエネルギーの安定供給と社会システムのレジリエンス確保を実現するには、文理融合した新たな学術体系と教育が必要不可欠な機能の一つとなる。ELSI の概念を導入し、最適なレギュレーション・プロトコルの設計、実装には、環境・エネルギー学、電力工学、情報学、システム工学、数理最適化などと、倫理学、政治哲学などとの文理融合が必要になる。また、災害による突発的な環境変化や、世界経済の変動を前提とした設計・運用には、リスク・防災工学、経済学、社会学などの貢献が必要となる。本提案が想定する社会構造への変化は、様々な分野の学術の発展を加速させる分野横断的な学術的方向性を示すものである。

国内外の研究動向と当該構想の位置付け

エネルギーのインターネット化に関する研究は、いずれも既存の基幹系統を物理的基盤として、再生可能エネルギー導入によって生じる電力供給の不安定性を情報通信技術を用いて解決する階層的運用の研究である。本提案の研究では、人文・社会科学との分野融合を通じて、それらが実現し得ていないユーザ参加のインターネット型エネルギー社会構造を実現することを目指す。

社会的価値

本ビジョンは、脱炭素という高い目標に対する我が国のプレゼンスをグローバルサウスとの共創で示すとともに、それらの国々の成長力を活用して、産業の国際競争力を育成することを両立させる取り組みである。文理の強みを融合した「研究」活動と、これらの研究成果を活かした「社会実装」活動にまで連

携を拡大・充実させる。それらを通じて、イノベーションを生み出すことができる学際的、越境的な実務人材を各地域のリーダーとして育成することを目指す。

News Release

2022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) 【ニュースリリース】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）、石垣陽特任准教授らを中心とした研究チームは、4月17日（日）に新型コロナ患者用タクシーで初の安全試験～サーキットを貸し切り走行中のエアロゾルを可視化～（2022.04.05）
- 2) 【メディア掲載】“調布で飲食店のCO2濃度をネット配信する実証実験 参加店募集”横川慎二教授、石垣陽特任准教授らの研究チームが、飲食インに設置した測定器で計測したCO2濃度をリアルタイムでネット配信する実証実験を開始（調布経済新聞、Yahoo!ニュース）（2022.06.06）
- 3) 【報告】4月25日（月）に、小池都知事が本学の東36号館の研究交流施設「UECオブザーバトリ（Observatory）」を視察し、iPERCの横川慎二教授（同センター長）と早瀬修二特任教授から、実用化を進めている円筒形太陽光発電デバイスの仕組みについて紹介しました。（2022.05.02）
- 4) 【メディア掲載】横川慎二教授および石垣陽特任准教授を中心とする研究チームが行った走行時のタクシー車内の換気調査の実証実験結果について掲載。（交通毎日新聞）（2022.06.09）
- 5) 【メディア掲載】横川慎二教授のリチウムイオン電池を含んだ製品のトラブルや安全利用についての研究内容を放送（中国放送（RCC）「イマナマ！」内のニュース）（2022.07.27）
- 6) 【ニュースリリース】曾我部東馬准教授らの研究グループが、エネルギー最適化に向けたリスク評価型強化学習手法の開発に成功～不確実な電力需要や天候のもとでも効果的に運用可能～（2022.07.28）
- 7) 【メディア掲載】横川慎二教授の研究内容“スマホ熱中症”について放送（NHK総合「ニュースウォッチ9」）（2022.07.29）
- 8) 【メディア掲載】横川慎二教授のインタビュー記事“進化する世界の中でも「在り」つづけるファニチャー”と題しインタビュー記事を掲載（CARBON STOCK FURNITURE（東京ガスコミュニケーションズ株式会社）（2022.07.29）
- 9) 【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グループが、宮城県結核予防会、産業医科大学産業医実務研修センターおよび東京工業大学の研究グループと連携して、COVID-19の集団感染（クラスター）が発生した医療福祉機関・事業所において立ち入り調査を実施。調査結果から不適切な換気によるエアロゾル感染拡大に警笛を鳴らし、エアロゾル感染のリスクを低減の具体的な方法を提言（2023.02.06）
- 10) 【報告】電通大(提案代表者：横川慎二教授，学内共同提案者：早瀬修二特任教授，曾我部東馬准教授，澤田賢治准教授，市川晴久特任教授)と東大の提案が東京都の大学研究者による事業提案制度に採択～都市型太陽電池による創電・蓄電の強化推進事業～（2023.02.08）
- 11) 【メディア掲載】”壊れても取り換え容易 ペロブスカイト太陽電池”i-パワードエネルギー・システム研究センターが産学連携で取り組む研究が掲載（日刊工業新聞）（2023.01.23）
- 12) 【メディア掲載】石垣陽特任准教授、横川慎二教授が行った「保育園におけるエアロゾル感染対策」の実証実験が照会（保育ナビ 2023年3月号）（2023.02.01）

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
90	31	92	3	3	32

3.2. 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 3.4 に掲載。

2022 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	16 件	11 件	4 件	7 件	38 件

3.3. 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と金額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 48 件である。研究テーマの一覧は 3.5 に掲載。

2022 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	7 件	38 件	3 件	48 件

3.4 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ソー太陽電池の開発) 曾我部東馬
「単層型非鉛ペロブスカイト太陽電池技術に関する共同研究」早瀬修二
「ペロブスカイト/ シリコンタンデム太陽電池向けペロブスカイト太陽電池の研究」早瀬修二
「次世代太陽電池の解析」早瀬修二
「農地発電用途に適した 3D 型太陽電池システムの技術開発」早瀬修二
「JST 鉛フリー錫 (Sn) 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
「CsPbI₂Br を有する全無機ペロブスカイト太陽電池の研究開発 (2021 年度二国間交流事業 韓国との共同研究《NRF》)」早瀬修二
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発/革新的新構造太陽電池の研究開発/ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発 (新素材と新構造による高性能化技術の開発) /高電流材料技術」早瀬修二
「クリーンエネルギー分野における革新的技術の国際共同研究開発事業/Co2 大幅削減に資する革新的部材開発/鉛フリー・アロイ化錫ペロブスカイト・タンデム太陽電池の国際共同研究開発」早瀬修二
「自己組織化膜を使った電荷注入比の最適化による錫系ペロブスカイト太陽電池の高効率化」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
「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》

「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

《活エネルギー》

「令和 4 年度円筒形太陽電池を用いた可搬式創蓄電設備の実証に関する業務委託」横川慎二, 早瀬修二
「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
「レジリエントなエネルギープラットフォーム用不完全ネットワークシステムの構築」澤田賢治
「エネルギーミックスのための数理最適化技術の開発と実装」中山舜民
「大規模非線形最適化法のアルゴリズムに関する研究とその実装」中山舜民
「機械学習上の非線形最適化の発展と深化」中山舜民

《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
- 「情報量に基づくセキュリティシステムの安全性評価に関する研究」澤田賢治
- 「制御システムのサイバーレジリエンス自動化技術の研究」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
- 「個性判別のための学習制御理論の検討」澤田賢治, 曾我部東馬
- 「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
- 「自動運転システムに対する敵対的入力への理解と対策技術の開発」澤田賢治
- 「スパースセンシングの制御系設計への展開」澤田賢治

3.5 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。

2022.6.29 第 18 回産学連携 DAY (新技術紹介フェア 2022 初夏) ～大型研究設備の活用やイノベーションに関する研究テーマをご紹介～

主催：電気通信大学

後援：一般社団法人目黒会（電気通信大学同窓会），電気通信大学産学連携センター事業協力会，株式会社キャンパスクリエイティブ（電気通信大学 TLO），多摩信用金庫，一般社団法人首都圏産業活性化協会（TAMA 協会）

「塗布型ペロブスカイト太陽電池の高効率化と都会型円筒形太陽電池への展開」早瀬修二

2022.9.9 環境科学会 2022 年会 シンポジウム-9 にて講演

主催：公益社団法人 環境科学会

「カーボンニュートラルに向けたエネルギーインフラパラダイム」横川慎二

「AI 予測最適化手法を用いた窓用透明型太陽電池の設計と開発」曾我部東馬

2023.2.28 「産学官連携センター新技術紹介フェア 冬～カーボンニュートラル特集」

主催：電気通信大学産学官連携センター

共催：電気通信大学産学連携センター事業協力会，一般社団法人目黒会（電気通信大学同窓会），一般社団法人首都圏産業活性化協会（TAMA 協会）

「i パワードエネルギー・システム研究センターの紹介」横川慎二

「スマート BA システムを支える安全安心なセキュア制御ネットワーク」澤田賢治

「エネルギーハーベスティング Beat Sensor とこれを用いた省エネ照明システム」石橋孝一郎

2022.3.23 第 5 回 UEC Ambient Intelligence Agora ミニシンポジウム

「Agora のこれからと教育 DX への参画」

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、
e-ランニングセンター、大学教育センター

3.6 表彰

1. Koichiro Ishibashi, Best Student Paper Award on ATC 2022.
2. 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, Vol.56, No.4, pp.219-226 (2021) に対する論文賞を受賞, (2022/9).
3. 木寺正平准教授, ISAP 2022 Student Paper Competition ISAP 2022 Student Paper Competition, Finalist (Top 10)を受賞 (2022/11).
5. 木寺正平准教授, 公益財団法人 KDDI 財団, "マイクロ波・ミリ波帯電磁波による超高精度・多元的イメージングの研究"にて KDDI Foundation Award 貢献賞を受賞 (2022/9)
6. 小木曾公尚准教授, 計測自動制御学会において学会賞 (論文賞) を受賞, Kaoru Teranishi; Kiminao Kogiso, (2022/9).

4. 外部発表一覧(2022.4~2023.3)

4.1. 【一般論文】

1. Kousei Sakata, Shintaro Fujita, **Kenji Sawada**, Hiroshi Iwasawa, Hiromichi Endoh, Noritaka Matsumoto: Model Verification of Fallback Control System Under Cyberattacks Via UPPAAL, Advanced Robotics, Volume 37, Issue 3, 156/168 (2022).
2. 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).
3. Yukari Mochizuki, **Kenji Sawada**: An analysis of expansion and reduction speeds of traffic jams on graph exploration, Journal Artificial Life and Robotics, Vol.27, 487/494 (2022).
4. Yusuke Oteki, Naoya Miyashita, Maxime Giteau, Kento Kitahara, Kodai Shiba, **Tomah Sogabe**, Yoshitaka Okada: "Enhanced current generation in quantum-dot intermediate band solar cells through optimizing the position of quantum dot layers", Optical Materials: X (2022/10).
5. Chih-Chieh Chen, Masaru Sogabe, Kodai Shiba, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe**: "General Vapnik-Chervonenkis dimension bounds for quantum circuit learning", Journal of Physics: Complexity, Vol.3, No.4, (2022).
6. Hibiki Yoshida, Katsuyoshi Sakamoto, Naoya Miyashita, **Koichi Yamaguchi**, **Qing Shen**, Yoshitaka

- Okada, **Tomah Sogabe**: "Ultrafast inverse design of quantum dot optical spectra via a joint TD-DFT learning scheme and deep reinforcement learning", *AIP Advances*, Vol.12, 115316, (2022).
7. Risa Takayanagi, Keita Takahashi, **Tomah Sogabe**: "AI-Assisted Decision Making and Risk Evaluation in Uncertain Environment Using Stochastic Inverse Reinforcement Learning": American Football as A Case Study, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2022, Article ID 4451427, (2022).
 8. **Tomah Sogabe**, Tomoaki Kimura, Chih-Chieh Chen, Kodai Shiba, Nobuhiro Kasahara, Masaru Sogabe, Katsuyoshi Sakamoto: "Model-Free Deep Recurrent Q-Network Reinforcement Learning for Quantum Circuit Architectures Design", *Quantum Reports*, Vol.4(4) 380-389 (2022).
 9. Tatsugi Sho, Miyashita Naoya, **Sogabe Tomah**, Yamaguchi Koichi: "Demonstration of in-plane miniband formation in InAs/InAsSb ultrahigh-density quantum dots by analysis of temperature dependence of photoluminescence", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.61(10) 102009 (2022).
 10. **T. Sogabe**, D. Malla, C-C. Chen, K. Sakamoto: "Attention and masking embedded ensemble reinforcement learning for smart energy optimization and risk evaluation under uncertainties", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol.14, 045501 (2022).
 11. C. Ding, D. Wang, D. Liu, H. Li, Y. Li, S. Hayase, **T. Sogabe**, T. Masuda, Y. Zhou, Y. Yao, Z. Zou, R. Wang, Q. Shen: "Over 15% Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells by Synergistic Effects of Three Interface Engineering: Reducing Nonradiative Recombination and Balancing Charge Carrier Extraction", *Advanced Energy Materials*, (2022).
 12. T. Kimura, K. Shiba, C-C. Chen, M. Sogabe, K. Sakamoto, **T. Sogabe**: "Quantum circuit architectures via quantum observable Markov decision process planning", *Journal of Physics Communications* (2022).
 13. **T. Sogabe**, K. Shiba and K. Sakamoto: "Hydrodynamic and Energy Transport Model Based Hot Carrier Effect in GaAs pin Solar Cell", *Electronic Materials*, Vol.3(2) 185-200 (2022).
 14. K. Shiba, R. Sugiyama, **K. Yamaguchi**, **T. Sogabe**: "Quantum Dot Phase Transition Simulation with Hybrid Quantum Annealing via Metropolis-Adjusted Stochastic Gradient Langevin Dynamics", *Advances in Condensed Matter Physics*, Vol.2022 (2022).
 15. Y.J. Low, J.Y.C. Liew a, b, M.A. Kamarudin, H.N. Lim, F.D. Muhammad, K.P. Lim, M.H.M. Zaid, T.F. Choo, H.K. Lee, Y.W. Fen, **S. Hayase**, Z.A. Talib; "Synthesis of cesium silver bismuth bromide double perovskite nanoparticles via a microwave-assisted solvothermal method", *Materials Today Chemistry*, 29/ 101477, (2023).
 16. Huan Bi, Mengna Guo, Chao Ding, **Shuzi Hayase**, **Qing Shen**, Gaoyi Han, Wenjing Hou; "A multifunctional additive strategy to stabilize the precursor solution and passivate film defects for MA-free perovskite solar cells with an efficiency of 22.75%, *Materials Today Energy*", 33/ 101269, (2023).
 17. Huan Bi, Mengmeng Chen, Liang Wang, Zheng Zhang, Chao Ding, Gaurav Kapil, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Ajay Kumar Baranwal, Takeshi Kitamura, Guozheng Shi, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; "Pb-free perovskite solar cells composed of Sn/Ge(1:1) alloyed perovskite layer prepared by spin-coating, *Applied Physics Express*", *Appl. Phys. Express*, 16/ 036501,(2023).
 18. Ajay Kumar Baranwal and **Shuzi Hayase**; "Recent Advancements in Tin Halide Perovskite-Based Solar Cells and Thermoelectric Devices", *Nanomaterials*, 12(22)/ 4055, (2022).
 19. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, Shahrir Razey

- Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "Sequential Passivation for Lead-Free Tin Perovskite Solar Cells with High Efficiency", *Angewandte Chemie*, (2022).
20. Zheng Zhang, Muhammad Akmal Kamarudin, Ajay Kumar Baranwal, Liang Wang, Gaurav Kapil, Shahrir Razey Sahamir, Yoshitaka Sanehira, Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "Indent free vapor assisted surface passivation strategy towards tin halide perovskite solar cells", *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(31)/ 36200-36208, (2022).
 21. Zheng Zhang, Liang Wang, Ajay Kumar Baranwal, Shahrir Razey Sahamira, 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*, 71/ 604-611, (2022).
 22. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, Yoshitaka Sanehira, Shahrir R. Sahamir, Mengmeng Chen, Ajay Kumar Baranwal, Dong Liu, Yuya Sono, Daisuke Hirotsu, Daishiro Nomura, Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**; "Tin-lead perovskite solar cells fabricated on hole selective monolayers", *ACS Energy Letters*, 7/966-974, (2022).
 23. Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Taro Toyoda, Koji Miyazaki, **Shuzi Hayase**, Chao Ding, and **Qing Shen**; "Simultaneous Characterization of Optical, Electronic, and Thermal, Properties of Perovskite Single Crystals Using a Photoacoustic Technique", *ACS Photonics*, (2022).
 24. Muhammad Akmal Kamarudina, Shahrir Razey Sahamira, Teresa S. Ripolles, Kohei Nishimura, **Shen Qing, Shuzi Hayase**; "Energy level alignment studies in tin perovskite solar cells through incorporation of inorganic cation and charge transport layer selection", *Organic Electronics*, (2022).
 25. Azwar Hayat, Ajay Kumar Baranwal, Masaki Nakamura, Fujisawa Shigeki, Shyam S. Pandey, **Shuzi Hayase**; "Cylindrical transparent conductive oxides-free conventional dye-sensitized solar cells with treated flat titanium sheet," *J. Photon. Energy*, 045502, (2022).
 26. Muhammad Akmal Kamarudin, Shahrir Razey Sahamir, Kohei Nishimura, Satoshi Iikubo, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "Suppression of Defect and Trap Density through Dimethylammonium-Substituted Tin Perovskite Solar Cells", *ACS Materials Lett.*, 4/ 9/ 1855–1862, (2022).
 27. Yusheng Li, DanDan Wang, **Shuzi Hayase**, Yongge Yang, Chao Ding, **Qing Shen**; "Efficient Exciton Dislocation and Ultrafast Charge Extraction in CsPbI₃ Perovskite Quantum Dots by Using Fullerene Derivative as Semiconductor Ligand", *Nanomaterials (Basel)*, 12(18)/3101, (2022).
 28. Wang Liang, Chen Mengmeng, Yang Shuzhang, Uezono Namiki, Miao Qingqing, Kapil Gaurav, Baranwal Ajay, Sanehira Yoshitaka, Wang Dandan, Liu Dong, Ma Tingli, Ozawa Kenichi, Sakurai Takeaki, Zhang Zheng, **Shen Qing, Hayase Shuzi**; "SnO_x as Bottom Hole Extraction Layer and Top In-situ Protection Layer Yields over 14% Efficiency in Sn-based Perovskite Solar Cells", *ACS Energy Lett.*, 7/ 10/ 3703-3708, (2022).
 29. Baranwal Ajay, Saini Shrikant, Sanehira Yoshitaka, Kapil Gaurav, Kamarudin Muhammad Akmal, Ding Chao, Sahamir Shahrir Razey, Yabuki Tomohide, Iikubo Satoshi, **Shen Qing**, Miyazaki Koji, **Hayase**

- Shuzi**; "Unveiling the role of metal oxide/Sn perovskite interface leading to low efficiency of Sn-perovskite solar cells but providing high thermoelectric properties", *ACS Appl. Energy Mater.*, 5/ 8/ 9750-9758, (2022).
30. Chao Ding, Dandan Wang, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, **Shuzi Hayase**, **Tomah Sogabe**, Taizo Masuda, Yong Zhou, Yingfang Yao, Zhigang Zou, Ruixiang Wang, and **Qing Shen**; "Over 15% Efficiency PbS Quantum-Dot Solar Cells by Synergistic Effects of Three Interface Engineering: Reducing Nonradiative Recombination and Balancing Charge Carrier Extraction", *Adv. Energy Mater.*, 2201676, (2022).
 31. Padmini Pandey, Sung Won Cho, **Shuzi Hayase**, Jung Sang Cho, Dong-Won Kang, New Strategies to Develop High-Efficiency Lead-Free Wide Bandgap Perovskite Solar Cells, *Chemical Engineering Journal*, 137622, (2022).
 32. Yuyao Wei, Mako Nakamura, Chao Ding, Dong Liu, Hua Li, Yusheng Li, Yongge Yang, Dandan Wang, Ruixiang Wang, **Shuzi Hayase**, Taizo Masuda, **Qing Shen**; "Unraveling the Organic and Inorganic Passivation Mechanism of ZnO Nanowires for Construction of Efficient Bulk Heterojunction Quantum Dot Solar Cells", *ACS. Appl. Interfaces*, 14/ 31/ 36268–36276, (2022).
 33. 早瀬修二; "錫系ハロゲン化ペロブスカイト太陽電池の開発動向", *クリーンエネルギー*, 31/ 15-21, (2022).
 34. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Teresa R. Ripolles, Ajay Kumar Baranwal, Gaurav Kapil, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, Juan Bisquert, **Shuzi Hayase**; "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).
 35. Ajay Kumar Baranwal, Kohei Nishimura, Muhammad Akmal Kamarudin, Gaurav Kapil, Shrikant Saini, Tomohide Yabuki, Satoshi Iikubo, Takashi Minemoto, Kenji Yoshino, Koji Miyazaki, **Qing Shen**, **Shuzi Hayase**; "Relationship between carrier density and precursor solution stirring for lead-free tin halide perovskite solar cell performance", *ACS Appl. Energy Mater.*, 5/ 4/ 4002–4007, (2022).
 36. 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", *Journal of Power Sources*, 520/ 230848, (2022).
 37. Masayuki Morimoto, Shoya Kawano, Shotaro Miyamoto, Koji Miyazaki, **Shuzi Hayase** & Satoshi Iikubo; "Electronic structure and thermal conductance of the MASnI₃ /Bi₂Te₃ interface: a first-principles study", *Scientific Reports*, 12/ 17, (2022).
 38. Atsuko Ide, Satoshi Iikubo, Kumiko Yamamoto, **Qing Shen**, Kenji Yoshino, Takashi Minemoto and **Shuzi Hayase**; "Structure Stability and Optical Properties of Tin-based Iodide Perovskite", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 61/ 031003, (2022).
 39. Yasushi Narushima, **Shummin Nakayama**, Masashi Takemura, Hiroshi Yabe; "Memoryless Quasi-Newton Methods Based on the Spectral-Scaling Broyden Family for Riemannian Optimization", *Journal of Optimization Theory and Applications*, 197, 639-664, (2023).

40. Yasushi Narushima, **Shummin Nakayama**; "Proximal quasi-Newton type method based on memoryless modified symmetric rank-one formula", *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19, 4095-4111, (2023).
41. **Shinji Yokogawa**; "Statistical modeling of Vth distribution in ovonic threshold switches based on physical switching models," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.62, SH1001 (2023).
42. 齋藤彰, 石垣陽, **横川慎二**, 川内雄登, 田中晴美, 浅野美穂, 小川美紀, 石川正悟, 高橋里美, 齋藤泰紀; "CO₂ センサを活用した循環器健診車内の換気可視化の検討," *日本人間ドック学会誌*, Vol.37, No.4, pp.699-707 (2022).
43. Yo Ishigaki, **Shinji Yokogawa**, Yuki Minamoto, Akira Saito, Hiroko Kitamura, and Yuto Kawauchi; "Pilot Evaluation of Possible Airborne Transmission in a Geriatric Care Facility Using Carbon Dioxide Tracer Gas: Case Study," *JMIR Form. Res.*, Vol.6, e37587 (2022).
44. Hiroko Kitamura, Yo Ishigaki, Hideaki Ohashi, and **Shinji Yokogawa**; "Ventilation improvement and evaluation of its effectiveness in a Japanese manufacturing factory," *scientific reports*, Vol.12, 17642 (2022).
45. Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ckristian Duran, Ronaldo Serrano, Trong-Thuc Hoang, **Koichiro Ishibashi**, Cong-Kha Pham; "Systems on a Chip With 8 and 32 Bits Processors in 0.18- μ m Technology for IoT Applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, Vol. 69, Issue, (2022/5/5).
46. Tomoaki Kitahara, Ryota Hira, Yuko Hara-Azumi, Daiki Miyahara, Yang Li, **Kazuo Sakiyama**; "Optimized Software Implementations of Ascon, Grain-128AEAD, and TinyJambu on ARM Cortex-M", *International Symposium on Computing and Networking, CANDAR Workshops (CANDARW'22)*, IEEE, E105-A/ 3,316, 322, (2022/11).
47. Saya Inagaki, Mingyu Yang, Yang Li, **Kazuo Sakiyama**, Yuko Hara-Azumi; "Examining Vulnerability of HLS-designed Chaskey-12 Circuits to Power Side-Channel Attacks", *International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED'22)*, 1/ 1, (2022).
48. Ryota Hira, Tomoaki Kitahara, Daiki Miyahara, Yuko Hara-Azumi, Yang Li 0001, **Kazuo Sakiyama**; "Software Evaluation for Second Round Candidates in NIST Lightweight Cryptography.", *IACR Cryptology ePrint Archive*, 591, (2022).
49. Yang Li, Momoka Kasuya, **Kazuo Sakiyama**; "Comprehensive Evaluation on an ID-Based Side-Channel Authentication with FPGA-Based AES.", *Appl. Sci.*, 8/ 10, (2022).
50. Go Takato, Takeshi Sugawara, **Kazuo Sakiyama**, Yuko Hara-Azumi, Yang Li; "The Limits of Timing Analysis and SEMA on Distinguishing Similar Activation Functions of Embedded Deep Neural Networks", *Appl. Sci.*, 12/ 4135/ 1/ 20, (2022).
51. 鈴木元哉, **金子修**; "FRIT とデータ駆動予測を用いた FIR 型制御器逆システムに対する LASSO 回帰に基づくデータ駆動制御", *電気学会論文誌 C*, 143/ 3, (2023/3).
52. Motoya Suzuki, **Osamu Kaneko**; "Closed-Loop Response Estimation Based on Data-Driven Control and Its Application to Vehicle Yaw-Rate Control for Autonomous Driving", *SICE Annual Conference 2022*, FrB03-3, (2022/9).
53. 鈴木元哉, **金子修**; "Virtual internal model tuning の構造を利用したデータ駆動予測", *計測自動制御*

- 学会論文集, 57, 9, 403, 411, (2022/9).
54. 井堀 礼晶, **金子 修**, 池崎 太一, 宅島 勉; “VIMT を用いた精密加工用ならい制御装置におけるテーブル型ゲインのデータ駆動型更新”, 日本機械学会論文集, 88, 909, (2022/5).
 55. K. Uno, N. Iijima, N. Miyashita, **K. Yamaguchi**; "Self-Formation of InAs/InGaAsSb type-II Superlattice Structures on InP Substrates by MBE and Their Application to Mid-Infrared LEDs" AIP Advances, 12/085301-1/085301-6, (2022).
 56. Hiroyuki Umabayashi, Yutaro Umehara, **Tomio Okawa**; "Validation of a Phenomenological Quenching Velocity Model in Extended Experimental Conditions", 12th Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, N12E1098, (2022/11/2).
 57. Muhammad Ilham, **Tomio Okawa**; "Improving Freeze Plug Performance in Molten Salt Reactors by Changing the Tube Inclination", 12th Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, N12E1082, (2021/11/2).
 58. Nguyen Thanh Binh, Ryoma Tsujimura, **Tomio Okawa**; "Critical Heat Flux and Large Bubble Formation in Subcooled Flow Boiling", 2th Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, N12E1113, (2021/11/1).
 59. **Tomio Okawa**, J. Tabuchi, R. Firman, Y. Narushima, H. Furuichi, and K. Katono; "Experiment on boiling entrainment from a falling liquid film", 1st European-American-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, 126, 110402, (2022/10/25).
 60. Muhammad Ilham, **Tomio Okawa**; "EXPERIMENT STUDY ON THE EFFECT OF NOZZLE SHAPE ON LIQUID JET BREAKUP", Proceedings of 29th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE29-93074, V07BT07A032, (2022/8/8).
 61. Muhammad Ilham, **Tomio Okawa**; "NUMERICAL ANALYSIS OF SIMPLE HEAT EQUATION TO PREDICT THE OPENING TIME OF THE FREEZE PLUG IN MOLTEN SALT REACTORS", Proceedings of 29th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE29-92284, V004T04A026, (2022/8/8).
 62. B. P. Raka Firman, Junpei Tabuchi, **Tomio Okawa**; Yuki Narushima, Hajime Furuichi, Kenichi Katono; "Experimental Study on Measurement of Boiling Entrainment Rate From Falling Liquid Film With Gas Sheared Flow", Proceedings of 29th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE29-90420, V015T16A022, (2022/8/8).
 63. **Tomio Okawa**, Nguyen Thanh Binh; "POSSIBLE ROLE OF BUBBLE COALESCENCE IN CAUSING OSV AND DNB IN SUBCOOLED FLOW BOILING", Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics, Keynote Lecture, (2022/5/11).
 64. **Tomio Okawa**; "Developing a semi-mechanistic correlation for the onset of significant void in subcooled flow boiling", International Communications in Heat and Mass Transfer, 134, 106047, (2022/5).
 65. Yutaro Umehara, Keisuke Yamagata, **Tomio Okawa**; "Spatial distribution of heat transfer coefficient in the vicinity of wetting front during falling liquid film cooling of a vertical hot wall", International Journal of Heat and Mass Transfer, 185, 122422, (2022/4/1).
 66. Chao Ding, **Qing Shen**; "How to get high-efficiency lead chalcogenide quantum dot solar cells?", Science China Physics, Mechanics & Astronomy volume, 66/ 217303, (2022/9).

67. Yuan Cao, Linfeng Gao, Bing Wang, Yingfang Yao, Congping Wu, **Qing Shen**, Jianyong Feng, Yong Zhou Zhaosheng Li, Zhigang Zou; "Polar Bear Hair Inspired Supra-Photothermal Promoted Water Splitting", *ACS Materials Lett.*, 4/ 10/ 1912/ 1920, (2022/9).
68. Huan Bi, Gaoyi Han, Mengna Guo, Chao Ding, Shuzi Hayase, Hanjun Zou, **Qing Shen**, Yao Guo, Wenjing Hou; "Top-Contacts-Interface Engineering for High-Performance Perovskite Solar Cell With Reducing Lead Leakage", *Sol. RRL*, 6/ 2200352-1, 2021/6/1, (2022).
69. 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", Chao Ding, Lixiu Zhang, Qing Shen, and Liming Ding, *Materials Research Express*, IOP Publishing, 9/ 2/ 1/ 13, (2022/4/20).
70. Yoshiki Sekigawa, **Shouhei Kidera**; "Doppler Velocity Decomposed Radar Imaging Method for 79 GHz Band Millimeter Wave Radar", 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2022), (2022/11).
71. Katsuyoshi Suzuki, **Shouhei Kidera**; "Radar Enhanced Contrast Source Inversion Method for Microwave Nondestructive Evaluation", 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2022), (2022/11).
72. Yoshihiro Yamauchi, **Shouhei Kidera**; "Inverse Scattering Enhanced Synthetic Aperture Imaging for Multi-Layered Ground Media", 2022 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2022), (2022/11).
73. G. Umezu, Y. Yamauchi, **S. Kidera**; "Contrast Source Inversion Enhanced Confocal Imaging for Highly Heterogeneous Breast Media in Microwave Mammography", 44th IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2022 (IEEE EMBC), (2022/7).
74. P. Zhu, **S. Kidera**; "Wavenumber Based Convolutional Auto-Encoder for Three-Dimensional Microwave Breast Imaging", 44th IEEE International Engineering in Medicine and Biology Conference 2022 (IEEE EMBC 2022), (2022/7).
75. **木寺 正平**; "マイクロ波簡易乳がんスクリーニングのための深層学習と逆散乱解析法の統合", 電子情報通信学会会誌 小特集「マイクロ波・ミリ波を用いた生体計測の最新動向」, 105/ 6/ 1/ 5, (2022/6).
76. **Shouhei Kidera**, Umita Hirose, Peixian Zhu; "Deep Learning Based Inverse Scattering Analysis for Microwave Breast Cancer Imaging", 2022 IEEE MTT-S International Microwave Biomedical Conference (IMBioC), 2/ 18, 20616-20628, (2022/5).
77. Jun Okada, **Shouhei Kidera**; "Multi-frequency Contrast Source Inversion Based Permittivity Estimation for Terahertz Multi-layer Analysis", *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, (2022).
78. Umezu Gaku, Yoshihiro Yamauchi, **Shouhei Kidera**; "Contrast Source Inversion Enhanced Confocal Imaging for Highly Heterogeneous Breast Media in Microwave Mammography", *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, (2022/12).
79. Takeru Ando, **Shouhei Kidera**; "k- and Doppler Velocity Decomposition Based Range Points Migration for Three-dimensional Localization with Millimeter Wave Radar", *IEEE Sensors Journal*, (2022/10).
80. Yuta Takeda, **Kiminao Kogiso**; "Experimental Regularization Parameter Search for Polynomial Approximation of Nonlinear PAM Controller", 2023 IEEE/SICE International Symposium on System

Integration (SII),963/ 968, (2023/1/17).

81. Naoto Shono, Tetsuro Miyazaki, Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**, Kenji Kawashima; "A False Data Injection Attack Model Targeting Passivity of Encrypted Wave Variable Based Bilateral Control System", 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII),992/ 997, (2023/1/17).
82. **Kiminao Kogiso**, Masaki Miyamoto; "Development and Examination of Secure Quadcopter Control System with Partially Homomorphic Encryption", 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 27/ 1, 998/ 1003, (2023/1/17).
83. Haruki Takanashi, Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**; "Experimental Validation of Reaction Force Estimation for Secure Robot Teleoperation", 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 1004/ 1007(2023/1/17).
84. Takahiro Ishikawa, Michiya Masuda, Shunsuke Uda, Koichiro Yokoyama, Kenniti Hamamoto, **Kiminao Kogiso**; "Constrained remote control of construction machine with time-varying delay and packet loss", *Advanced Robotics*, 37/ 1-2, 46, 60, (2022/9/23).
85. Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**; "Towards Provably Secure Encrypted Control Using Homomorphic Encryption", 2022 IEEE 61st Conference on Decision and Control (CDC), 7740/ 7745, (2022/12/6).
86. Takahiro Ishikawa, Michiya Masuda, Shunsuke Uda, Koichiro Yokoyama, Kenniti Hamamoto, **Kiminao Kogiso**; "Constrained remote control of construction machine with time-varying delay and packet loss", *Advanced Robotics*, 37/ 1-2, 46, 60, (2022/9/23).
87. Jiayi Zhou, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, **Kiminao Kogiso**; Tomohiro Ishikawa, Kento Kobayashi, Yusuke Watanabe, Takumi Fujibayashi, Miyu Yamada, Momoko Matsuyama, Hiroyuki Tsukihara, Ryosuke Tsumura, Kiyoshi Yoshinaka, Naoki Matsumoto, Masahiro Ogawa, Hideyo Miyazaki, Kazushi Numata, Hidetoshi Nagaoka, Toshiyuki Iwai, Hideyuki Iijima; "A VS ultrasound diagnostic system with kidney image evaluation functions", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*,18/ 2/ 227/ 246, (2022/10/5).
88. Shane Kosieradzki, Yingxin Qiu, **Kiminao Kogiso**, Jun Ueda; "Rewrite Rules for Automated Depth Reduction of Encrypted Control Expressions with Somewhat Homomorphic Encryption", 2022 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 804/ 889, (2022/7/11).
89. Hiroaki Kawase, Kaoru Teranishi, **Kiminao Kogiso**; "Dynamic Quantizer Synthesis for Encrypted State-Feedback Control Systems with Partially Homomorphic Encryption", 2022 American Control Conference (ACC), 75/ 81, (2022/6/8).
90. Takaya Shin, Takumi Ibayashi, **Kiminao Kogiso**; "Detailed Dynamic Model of Antagonistic PAM System and Its Experimental Validation: Sensorless Angle and Torque Control With UKF", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 27/ 3/ 1715/ 1726, (2022/6/1).

4.2. 【国際会議プロシーディングス等】

1. **H. Ichikawa, S. Yokogawa,** Y. Kawakita, Y. Tobe, "USB PD based microgrid for accelerating the power grid transition to a low carbon future," IEEE 8th World Forum on Internet of Things, (2022/10/26).
2. K. Oeda, Y. Kawakita, A. Taya, Y. Tobe, **S. Yokogawa, H. Ichikawa,** "Controlling power supply paths in VG Hub networks using a hybrid type control algorithm," Ambient Intelligence and Smart Environments, 205-212, (2022/6/14).
3. J. Mitsugi, O. Tokumasu, **H. Ichikawa,** T. Ochiai and Y. Kawakita, "Experimental Evaluation of Wireless Transport Package Test with Battery-free Backscatter Sensors," 2022 IEEE International Conference on RFID (RFID), pp. 58-63, doi: 10.1109/RFID54732.2022.9795984, (2022/5/20).
4. Y.Takazawa, O.Tokumasu, **H.Ichikawa,** H.Tanaka, J.Mitsugi,Y.Kawakita, "Transmit-To-Receive Leakage Reduction Device and Its Automatic Control with Naive Step Track in Backscatter Synchronous Streaming", 11th international conference on green and human information technology (ICGHIT 2023), accepted for publication, (2023).
5. Yusuke Kawakita, Kota Tamura, Yoshito Tobe, **Shinji Yokogawa, Haruhisa Ichikawa,** "Distributed Power-Delivery Decision for a USB-PD-based Network," 2022 18th International Conference on Intelligent Environments (IE), 2022, pp.1-6, doi:10.1109/IE54923.2022.9826768.
6. Kumi Aizawa, **Kenji Sawada,** Shintaro Fujita, Yoshiki Ikeda, Kanta Ogawa, "Autonomous decentralized lighting control system with enumerative anomaly detection", GS31-5, 836/841, AROB 28th 2023, 25-27. Jan. 2023.
7. Yuzuna Horiuchi, **Kenji Sawada,** "On switched objective function focused on driver's condition for shared control", GS11-5, 288/293, AROB 28th 2023, 25-27. Jan. 2023
8. Kanta Ogawa, **Kenji Sawada,** Kosei Sakata: "Vulnerability Modeling and Protection Strategies via Supervisory Control Theory", GCCE, 512/513, 18-20, Oct. 2022
9. Kaito Sato, **Kenji Sawada:** "Human-In-The-Loop System for Rear-Wheel Steering Control Via Primal-Dual Dynamics, SICE Annual Conference", 584/587, 6-9, Sep. 2022.
10. Takuma Fujimoto, **Kenji Sawada:** "On the Prediction Governor Application to Adaptive Cruise Control, SICE Annual Conference", 1096/1099, 6-9, Sep. 2022
11. Yukari Mochizuki, **Kenji Sawada:** "Demand for-graph evaluation of traffic congestion due to Altruistic Lane Changes of CAVs", IEEE CCTA, 334/340, 23-25, Aug. 2022
12. Kaito Sato, **Kenji Sawada:** "Continuous-Time Receding-Horizon Estimation via Primal-Dual Dynamics", ROCOND, 77/80, 30. Aug. - 2. Sep. 2022.
13. Masaya Watabe, Dinesh Malla, Katsuyoshi Sakamoto, **Tomah Sogabe:** "リスク回避型強化学習を用いたエネルギーシステムの最適化", CANDAR 2022, (2022.11).
14. Kodai Shiba, Koichi Yamaguchi, **Qing Shen, Shuzi Hayase,** Yoshitaka Okada, **Tomah Sogabe:** "Inverse design of perovskite/PbS quantum dot intermediate band solar cells", PVSEC-33 (2022.11).
15. Kenta Kumakura, Katsuyoshi Sakamoto, **Qing Shen,** Naoya Miyashita, **Tomah Sogabe:** "Analysis of electronic and optical properties and mobility simulation of perovskite ligand passivated PbS quantum dot", PVSEC-33 (2022.11).
16. Huan Bi, **Qing Shen, Shuzi Hayase,** "Highly efficient MA-free perovskite solar cells based on multifunctional interface modification." ON-SITE, Asia-Pacific International Conference on

- Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics, Japan, (2023/1/23-24).
17. Shahrir Razey Sahamir, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "Doping and interlayer engineering to synergistically improve the thermal stability in tin-lead perovskite solar cells", IPEROP-23, Kobe, (2023/1/23-24).
 18. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Gaurav Kapil, **Qing Shen, Shuzi Hayase**, "Enhanced electronic properties and stability in tin-lead mixed halides perovskite solar cells via additive engineering", 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion WCPEC-8, Italy, (2022/9/26-30).
 19. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen**, Hiroshi Segawa, **Shuzi Hayase**, "Improvement in Stability and Efficiency of Tin-Lead Perovskite Solar Cells Using Combination of monolayers", WCPEC, Italy, (2022/9/26-30).
 20. L. Guanglei and **S. Yokogawa**, "Simulation of area-level photovoltaic power generation on city facade for a power generation in smart grids," Grand Renewable Energy 2022 Conference, 100155 (2022).
 21. **S. Yokogawa**; "Statistical Modeling of Vth Distribution in Ovonic Threshold Switches," Proc. of Advanced Metallization Conference 2022: 31th Asian Session 2022 ADMETA plus, S3-3 (2022).
 22. Y. Kawauchi, Y. Ishigaki, and **S. Yokogawa**; "Time Series Clustering of CO₂ Concentration Sensor Data for Risk Classification," Indoor air 2022, PO ONLINE: 57 (2022).
 23. Yuki Ogawa, **Koichiro Ishibashi**, "Energy Saving LED Lighting System using Illumination Beat Sensors, 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2023), Las Vegas, (2023/1/6).
 24. Marco Sarmiento, Khai-Duy Nguyen, Ronaldo Serrano, Trong-Thuc Hoang, **Koichiro Ishibashi**, Cong-Kha Pham, "A 440nW RISC-V-Based System-on-Chip on Silicon-On-Thin-BOX (SOTB) for IoT Applications", ASP-DAC 2023, Tokyo, (2023/1/16).
 25. Tuan-Anh Tran, **Koichiro Ishibashi**, "High-Accuracy and Long-Range Energy Harvesting Beat Sensor with LoRa," IEEE Sensors 2022, Dallas, TX.
 26. Amano Masaki, Mai Duc Tho, **Ishibashi Koichiro**, Sun Guanghao, Nguyen Vu Trung, Le Thi Hoi, Nguyen Thi Hoa, "Deep Learning Approach for classifying Bacteria Types Using morphology of Bacterial Colony", EMBC 2022, (2022/7/13).
 27. Hoang Thi Yen, Van-Phuc Hoang, Nguyen Huu Son, Quang Kien Trinh, Xuan Nam Tran, **Koichiro Ishibashi**, Guanghao Sun, "Real-Time Medical Radar-based Vital Sign Monitoring System Implemented with Signal Quality Classification Algorithm," International Conference on Advanced Technologies for Communications, (ATC 2022), Nha Trang, Vietnam.
 28. Nguyen Huu Son, Hoang Thi Yen, Guanghao Sun, **Koichiro Ishibashi**, "Real-Time Medical Radar-based Vital Sign Monitoring System Implemented with Signal Quality Classification Algorithm," International Conference on Advanced Technologies for Communications, (ATC 2022), Nha Trang, Vietnam.
 29. Haruka Hirata; Svetla Nikova; Li Yang; **Kazuo Sakiyama**; "Entropy-Based Fault Analysis on M&M AES Block Cipher", Smart Card Research and Advanced Application Conference (CARDIS2022), (2022).
 30. **Qing Shen**; Yusheng Li; Hua Li; Chao Ding, "Optical property, photoexcited carrier dynamics and application to solar cells of perovskite nanocrystals " Proceedings of International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics (HOPV22), (2022/4/20).

31. **Kiminao Kogiso**, Kaoru Teranishi, Junsoo Kim, "Homomorphic Encryption and Its Application to Feedback Control", Asian Control Conference, (2022/5/4).

4.3. 【国内会議、学会口頭発表等】

1. 三次仁, 徳増理, **市川晴久**, "電池なし無線加速度センサによる輸送包装試験", 日本包装学会第 31 回年次大会, (2022/7).
2. 佐藤光汰, 高澤祐樹, 鎌田冬馬, **市川晴久**, 田中博, 三次仁, 川喜田佑介, "後方散乱同期ストリーミングにおける加速度センシング評価装置の試作," IEICEソサイエティ大会, p.285、(2022/9).
3. 鎌田冬馬, 高澤祐樹, **市川晴久**, 田中博, 三次仁, 川喜田佑介, "後方散乱同期ストリーミングシステムのチャンネル割り当て高速化のためのRFセンサDCRO変動の推定," 電子情報通信学会技術研究報告 (SeMI) , vol. 122, no. 278, SeMI2022-53, p. 19, (2022/11).
4. 高澤祐樹, 鎌田冬馬, 徳増理, **市川晴久**, 田中博, 三次仁, 川喜田佑介, "後方散乱同期ストリーミングシステムにおける送信漏れ込み低減制御の自動化," 電子情報通信学会技術研究報告 (SRW), vol. 122, no. 277, SRW2022-25, p. 37, (2022/11).
5. 柴原将太郎, **澤田賢治**: 流体的衝突回避を実現する群ロボットの分散計算と通信量の関係, MSCS2023, 3M6-4 (2023.3.8-11)
6. 佐藤海斗, **澤田賢治**: Human in the loop system によるドライバ操作と支援操作の協調性評価, MSCS2023, 3M5-2 (2023.3.8-11)
7. 藤本拓磨, **澤田賢治**: Connected ACC に対する前前方車情報を用いたフィルタリング機能の検討, MSCS2023, 2A5-5 (2023.3.8-11)
8. 池田佳輝, **澤田賢治**, 松本典剛, 小倉貴志, 阪田恒晟: サイバー攻撃発生時の安全復旧を目的とした空間分割に基づくスーパーバイザ設計, MSCS2023, 2A4-2 (2023.3.8-11)
9. 小川寛太, **澤田賢治**, 松本典剛, 小倉貴志, 阪田恒晟: 制御システムでの強化学習によるブロックリストの生成, MSCS2023, 2A4-3 (2023.3.8-11)
10. 藤本拓磨, **澤田賢治**, 山藤勝彦: センサ攻撃を受ける協調型車間距離制御装置に対するフィルタリング機能の検討, SCIS2023, 3E3-4 (2023.1.24-27)
11. 小川寛太, **澤田賢治**, 小倉貴志, 阪田恒晟: 強化学習を用いた制御システムのブロックリストの設計, SCIS2023, 2D4-4 (2023.1.24-27)
12. 池田佳輝, **澤田賢治**, 小倉貴志, 阪田恒晟: 制御系のサイバー攻撃からの安全復旧のための空間分割に基づく回復スーパーバイザ, SCIS2023, 2D4-1 (2023.1.24-27)
13. 西内達哉, 藤田真太郎, 渡邊洋平, 岩本貢, **澤田賢治**: Modbus TCP 通信のパケット解析と相対エントローピーによる攻撃検知に関する検討, 2SCIS2023, 2D3-2 (2023.1.24-27)
14. 関根悠司, 安部芳紀, 藤田真太郎, 渡邊洋平, **澤田賢治**, 岩本貢: 認証信号付きカルマンフィルタに対するレギュレーション性能と攻撃検知率の実験的評価, SCIS2023, 2D3-1 (2023.1.24-27)
15. 藤本拓磨, **澤田賢治**: CACC システムに対する予測ガバナの適用, 第 65 回自動制御連合講演会, 2H3-4 (2022.11.12-13)
16. 谷山晴紀, 市原裕之, **澤田賢治**: 通信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, 第 65 回自動制御連合講演会, 2K3-2 (2022.11.12-13)
17. 池田佳輝, 澤田賢治: サイバー攻撃下での制御系回復のためのスーパーバイザ設計, 第 65 回自動制御連合講演会, 1G2-4 (2022.11.12-13) (優秀発表賞)
 18. 小川寛太, 澤田賢治: 強化学習に基づく制御システムの脆弱性評価, 第 65 回自動制御連合講演会, 1G2-3 (2022.11.12-13) .
 19. 堀内柚那, 澤田賢治: 自動運転機能と異なる判断基準を持つドライバを想定した切替型 Shared Control, 2022 年電気学会電子・情報・システム部門大会, GS8-7 (2023.8.31-9.3)
 20. 兵藤剛士, 藤本拓磨, 國岡風我, 澤田賢治: 通信遅延を考慮した経路計画に基づく自動運転に関する研究, 2022 年電気学会電子・情報・システム部門大会, PS3-7 (2022.8.31-9.3) (兵藤剛士: 2022 年電気学会優秀ポスター賞)
 21. 阪田恒晟, 藤田真太郎, 澤田賢治, 藤田淳也, 遠藤浩通, 松本典剛: サイバー攻撃にレジリエントな PLC 向け縮退ロジックの実装, SCI'22, 133-3 (2022.5.18-20)
 22. 小川寛太, 阪田恒晟, 澤田賢治: スーパーバイザの設計による脆弱性の表現とその防御方策, SCI'22, 133-2 (2022.5.18-20)
 23. 堀内柚那, 山藤勝彦, 松下遥香, 澤田賢治: 切替型 Shared Control におけるドライバ支援方法の検討, SCI'22, 133-3 (2022.5.18-20)
 24. 藤本拓磨, 松下遥香, 澤田賢治, 山藤勝彦: 予測ガバナによる自車両のセンサ誤差を考慮した ACC の設計, SCI'22, 342-4 (2022.5.18-20)
 25. 斯波廣大, 山口浩一, 沈青, 早瀬修二, 岡田至崇, 曾我部東馬: “光干渉効果を考慮したシースルー型ペロブスカイト/PbS量子ドット中間バンド太陽電池の逆設計と作製”, 第83回 応用物理学会秋季学術講演会, (2022/9/20-23).
 26. 熊倉健太, 坂本克好, 曾我部東馬: “ペロブスカイト配位子で不動態化されたPbS量子ドットの電子的および光学的特性と移動度シミュレーションの分析”, 第83回 応用物理学会秋季学術講演会 (2022/9/20-23).
 27. 吉田響, 坂本克好, 山口浩一, 沈青, 岡田至崇, 曾我部東馬: “量子ドットの光物性における強化学習逆設計手法の応用”, 第 83 回 応用物理学会秋季学術講演会, (2022/9/20-23).
 28. T. Kimura, K. Shiba, C-C. Chen, M. Sogabe, K. Sakamoto, T. Sogabe: “Quantum circuit architectures via quantum observable Markov decision process planning”, 第6回量子ソフトウェア研究発表会, (2022.7.7-8).
 29. Wang Liang, Shuzi Hayase: "Lead free tin halide perovskite solar cells with SnOx hole collection layer", The 90th ECSJ Annual Meeting, SITE, (2023/3/27-29).
 30. Zheng Zhang, Muhammad Kamarudin, Ajay Baranwal, Mengmeng Chen, Qing Shen, Shuzi Hayase: "Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation", 69th-JSAP-Spring-Meeting, (2022/3/22-26).
 31. Huan Bi, Qing Shen, Shuzi Hayase: "Multifunctional additive strategy to stabilize precursor solution and passivate film defects for MA-free perovskite solar cells with an efficiency of 22.75%", ON-SITE, JSAP Spring meeting, Japan, (2022/3/15-18).
 32. Zheng Zhang, Qing Shen, Shuzi Hayase: "Sequential Passivation for Lead-Free Tin Perovskite Solar Cells with High Efficiency". JSAP Spring meeting, Japan, (2023/3/15-18).

33. Shahrir Razey Sahamir, Gaurav Kapil, Takeru Bessho, Hiroshi Segawa, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Dopant and interfacial engineering giving tin-lead (SnPb) perovskite solar cells with high efficiency and thermal stability", JSAP Spring Meeting 2023, Tokyo, (2022/3/15-18).
34. Zheng Zhang, Muhammad Kamarudin, Ajay Baranwal, Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation", 電気化学会 電気化学会第 89 回大会, (2022/3/15-17).
35. Takeshi Kitamura, Wang Liang, **Shen Qing, Shuzi Hayase:** "Tin Perovskite Solar Cells using Printable Tin Oxide layer as Hole Transport Layer", WEB, JSAP Spring meeting, Japan, (2023/3/15-18).
36. Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "The reduction of Sn 4+ of Sn-based perovskite for high efficient Photovoltaic devices", JSAP Spring meeting, SITE, (2023/3/15-18).
37. Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Multi-strategies for high efficient Sn-based Perovskite Solar Cells", ペロブスカイト太陽電池分科会 2022 年度第 1 回研究会, SITE, (2023/2/9).
38. Huan Bi, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Highly efficient MA-free perovskite solar cells based on multifunctional interface modification". ON-SITE, Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics, Japan, (2023/1/23-24).
39. Shahrir Razey Sahamir, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Doping and interlayer engineering to synergistically improve the thermal stability in tin-lead perovskite solar cells", IPEROP-23, Kobe, (2023/1/23-24).
40. Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Sn-Based Perovskite Solar Cells with Inorganic Hole Transport Layer", WEB, MRS Fall Meeting, (2022/12/6-8).
41. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase:** "Factors affecting the stability and efficiency of tin-lead perovskite solar cells", PVSEC-33, Nagoya, Japan, (2022/11/13-17).
42. Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Sn-Based Perovskite Solar Cells with Inorganic Contact Layer", WEB, PVSEC-33, WEB, Japan, (2022/11/13-17).
43. Zheng Zhang, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Enhanced efficiency and stability in Sn-based perovskite solar cells by trimethylsilyl halide surface passivation", PVSEC-33, Japan, (2022/11/13- 17).
44. Shahrir Razey Sahamir, **Qing Shen, Shuzi Hayase:** "Thermal stability improvement in tin-lead perovskite solar cells realized via doping engineering", PVSEC-33, Nagoya, (2022/11/13-17).
45. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase:** "Improvement in Stability and Efficiency of Tin-Lead Perovskite Solar Cells Using Combination of monolayers", WCPEC, Italy, (2022/9/26-30).
46. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, Gaurav Kapil, **Qing Shen, and Shuzi Hayase:** "Enhanced electronic properties and stability in tin-lead mixed halides perovskite solar cells via additive engineering", 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion WCPEC-8, Italy, (2022/9/26-30).
47. Ajay Kumar Baranwal, Tomohide Yabuki, **Qing Shen, Koji Miyazaki, Shuzi Hayase:** "Elucidating the low efficiency of tin perovskite solar cells with metal oxide /tin perovskiteinterface", web, The 83rd JSAP autumn meeting 2022, Kawauchi-kita campus, Tohoku University (Proposed), (2022/9/20-23).
48. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase:** "Reduction of voltage loss and halide segregation in wide-bandgap perovskite is key to improve the performance of all perovskite

- tandem solar cells", Onsite, JSAP Autumn meeting, Japan, (2022/9/20-23).
49. Shahrir Razey Sahamir, **Qing Shen, Shuzi Hayase**: "Thermally stable SnPb perovskite solar cells via additive engineering", JSAP Autumn Meeting 2022, Tohoku, (2022/9/20-23).
 50. Liang Wang, **Qing Shen, Shuzi Hayase**: "Inorganic hole extraction layer enables highly efficient Sn-based Perovskite Solar Cells", WEB, JSAP Autumn meeting, Japan, (2022/9/20-23).
 51. Zheng Zhang, **Qing Shen, Shuzi Hayase**: "Indent free vapor assisted surface passivation strategy towards tin halide perovskite solar cells", The 83rd JSAP Autumn Meeting, (2022/9/20-23).
 52. Ajay Kumar Baranwal, Tomohide Yabuki, **Qing Shen, Koji Miyazaki, Shuzi Hayase**: "Understanding the low efficiency of tin perovskite solar cells with metal oxide /tinperovskite interface", web, ECSJ Fall Meeting, (2022/9/8-9).
 53. Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "High performance wide bandgap Lead-free perovskite solar cells by monolayer engineering", Web, J-PVS, PC-4, (2022/6/29).
 54. Zheng Zhang, Liang Wang, Mengmeng Chen, **Qing Shen, Shuzi Hayase**; "Enhanced Efficiency and Stability in Sn-based Perovskite Solar Cells by Trimethylsilyl Halide Surface Passivation", 第19回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム, (2022/6/28-29).
 55. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase**; "Tin lead perovskite solar cells fabricated on monolayers", WEB, The 8th Korea-Japan Joint seminar on PV, Korea, (2022/5/27-28).
 56. Shahrir Razey Sahamir, Muhammad Akmal Kamarudin, **Qing Shen, and Shuzi Hayase**: "High Efficiency Tin-Lead Mixed Halides Perovskite Solar Cells via Additive Engineering with Enhanced Electronic Properties and Stability", The 2022 MRS Spring Meeting, Virtual, (2022/5/23-25).
 57. Gaurav Kapil, Takeru Bessho, **Qing Shen, Hiroshi Segawa, Shuzi Hayase**: "Hole selective monolayers directing to efficiency more than 23% in tin-lead mixed perovskite solar cells", WEB, MRS Spring meeting, Hawaii-USA, (2022/5/23-25).
 58. 柳下翔太郎, **中山舜民**; "悪条件の問題に対する近接対角ニュートン法の提案とその優位性について", 日本応用数学会 第19回 研究部会連合発表会 (2023.3)
 59. **中山舜民**; "上下制限約付き最適化問題に対する有効制約ブロック Barzilai-Borwein 法", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年春季研究発表会 (2023.3)
 60. 柳下翔太郎, **中山舜民**; "ヘッセ行列の対角成分を用いた近接勾配法", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2023 年春季研究発表会 (2023.3)
 61. 川内雄登, 石垣陽, **横川慎二**, "CO₂ センサーデータの時系列クラスタリングによるマイクロ飛沫感染リスクの診断方法," 第13回横幹連合コンファレンス, PS-02 (2022).
 62. **横川慎二**, 石垣陽, 喜多村紘子, 齋藤彰, "保育園・幼稚園・高齢者施設の感染症抑制に向けた課題と現状分析," 第13回横幹連合コンファレンス, B-3-2 (2022).
 63. 平出大誠, 川内雄登, 石垣陽, **横川慎二**, 齋藤彰, 喜多村紘子; "熱流体シミュレーションと応答曲面法を用いた X 線検診車の換気とリスクの分析," 第30回春季信頼性シンポジウム, S2-3 (2022).
 64. 武士俣勇斗, **石橋孝一郎**; "非対称コイルを用いた人体センサ向け無線電力伝送の検討", 電子情報通信学会総合大会, (2023/3/7).
 65. 大原晟弥, **石橋孝一郎**; "RF タグ向けエネルギーハーベスティング電源の検討", 電子情報通信学会, 集積回路研究会, 学生・若手研究会, 宮古島, (2022/12/2).

66. 天野 雅貴, DucTho Mai, GuanghaoSun, NguyenVu Trung, Le Thi Hoi, NguyenThi Ho, 石橋孝一郎; “敵対的生成ネットワークを用いた機械学習によるバクテリアコロニーの分類精度向上”, 電子情報通信学会, MI 研究会, 慶応大 (Hybrid), (2022/9/15).
67. 米崎晴貴, 井田次郎, 森貴之, 石橋孝一郎; “極低電圧動作を狙った Steep SS “Dual-Gate 型 PN-Body Tied SOI-FET”, 電子情報通信学会, 信学技報 IEICE Technical Report SDM2022-38, ICD2022-6(2022-08).
68. Tuan-Anh Tran, Koichiro Ishibashi, “Low Power Beat Sensor with LoRa and Power Supplied by RF Energy Harvesting,” システムと LSI のワークショップ 2022, 東京, (2022/5).
69. 池崎太一, 金子修; “Virtual Internal Model Tuning における観測雑音の影響と対策”, 2021 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, (2022/9/2).
70. 池澤美紅, 金子修; “むだ時間を持つカスケード制御系に対する入力制限を考慮した目標値応答更新を伴う FRIT”, 第 66 回システム制御情報学会研究発表講演会,(2022/5/20).
71. 木室 佑理, 金子 修; “Max-Plus 線形システムに対する内部モデル制御の IMC フィルタについて”, 第 66 回システム制御情報学会研究発表講演会,(2022/5/18).
72. 池崎太一, 金子修; “むだ時間を持つカスケード制御系に対する入力制限を考慮した目標値応答更新を伴う FRIT”, 第 66 回システム制御情報学会研究発表講演会,(2022/5/18).
73. 山口浩一, 田中元幸; “面内超高密度 InAs 量子ドットの成長技術とその半導体レーザ応用”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会・シンポジウム「将来の光デバイスに向けた成長及びプロセス要素技術の最新動向」, 電子情報通信学会, (2022/9).
74. 王萌蕾, 大川富雄; “ナノ流体によるヒートパイプの伝熱性能の改善”, 熱工学コンファレンス, (2022/10/8).
75. 辻村玲摩, 大川富雄, ゲエン・ビン; “強制対流サブクール沸騰における発泡核間の干渉が気泡の発泡頻度に与える影響”, 熱工学コンファレンス, (2022/10/8).
76. Binh Thanh Nguyen, Tomio Okawa, Ryoma Tsujimura; “Measurement of Bubbly Layer Void Fraction at the Point of Onset of Significant Void in Subcooled Flow Boiling”, 日本原子力学会「2022 年秋の大会」, (2022/9/8).
77. 孫国富, 詹翼, 大川富雄, 青柳光裕, 内堀昭寛, 岡野靖, “長円形ノズルから流出する液噴流の分裂挙動に関する研究”, 日本原子力学会「2023 年秋の大会」, (2022/9/8).
78. 大川富雄, 中濃昂輝, 小泉安郎, 柳田大智, Feng Yan, “プール沸騰 CHF に及ぼす伝熱面材質の影響”, 第 26 回動力・エネルギー技術シンポジウム, (2022/7/14).
79. 劉依凡, Wang Menglei, 梅原裕太郎, 大川富雄, 清水大輔; “シリカゾルにおけるヒートパイプへの応用及び伝熱性能の影響”, エネルギー技術シンポジウム, (2022/7/14).
80. 王萌蕾, 大川富雄, “ナノ流体によるナノ粒子層をウィックとするヒートパイプの伝熱性能の改善”, 第 59 回日本伝熱シンポジウム, (2022/5/20).
81. Thanh Binh Nguyen, Tomio Okawa; “A New Mechanistic Model for Prediction of the Departure from Nucleate Boiling Heat Flux”, 第 59 回日本伝熱シンポジウム, (2022/5/18).
82. 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, (2022/7/14).
83. 何 姜浩淼, 木寺正平, “ミリ波帯レーダによる見通し外人体識別”, アンテナ伝搬波研究会、電子情報

通信学会技報, (2022/10).

84. 山内啓宏, **木寺正平**, "地中レーダによる多層構造異物解析のための CSI 法を用いた高精度レーダ画像化法", アンテナ伝搬波研究会、電子情報通信学会技報, (2022/7).
85. 宮本将希, 江村恵太, **小木曾公尚**, "準同型性を利用したサイバー攻撃に堅牢な暗号化制御系の構築および数値的評価", 第 65 回自動制御連合講演会, (2022/11/12).
86. 武田裕太, **小木曾公尚**, "非線形空気圧人工筋コントローラの多項式近似のための正則化パラメータ探索", IoT フォーラム「ローカル 5 G と IoT の動向と KISTEC での取組み」, (2022/11/12).
87. 小木曾公尚, "IoT のセキュリティと暗号化制御", 第 64 回自動制御連合講演会, (2022/10/28).
88. 宮本将希, 江村恵太, **小木曾公尚**, "鍵付き準同型暗号の応用による制御システムの秘匿化", コンピュータセキュリティシンポジウム, (2022/10/24).
89. **小木曾公尚**, "つながる機械のサイバーセキュリティ対策:暗号化制御", 日本機械学会 2022 年度会年次大会, (2022/9/12).
90. 小杉あかね, 小木曾公尚, "ネットワーク化制御系に対する中間者攻撃環境の構築と検証", 第 66 回システム制御情報学会研究発表講演会, (2022/5/18).
91. 白石清恵, 新昂也, 小木曾公尚, "ネットワーク化制御系に対する中間者攻撃環境の構築と検証", 第 66 回システム制御情報学会研究発表講演会, (2022/5/18).
92. Kiminao Kogiso, Kaoru Teranishi, Junsoo Kim, "Homomorphic Encryption and Its Application to Feedback Control", Asian Control Conference, (2022/5/4).

4.4. 【著書】

1. **曾我部東馬**: 量子技術の実用化と研究開発業務への導入方法 (技術情報協会, 2023) ISBN : 978-4-86104-915-6.
2. **曾我部東馬**: 機械学習・ディープラーニングによる“異常検知”技術と活用事例集～工場・プラント、インフラ設備、外観検査、医療、電気機器、車載機器～, 第 6 章第 4 節「表面・外観検査におけるディープラーニングの手法の応用と欠陥・寿命予測解析」 (技術情報協会, 2022) ISBN : 978-4-86104-913-2.
3. Yaohong Zhang; Yu Chen; Guohua Wu; Haizheng Zhong; **Qing Shen**: "Perovskite Materials and Devices", Chapter 9 Halide Perovskite Nanocrystals and Applications to Solar Cells, Wiley - VCH GmbH, (2022/6).

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ウイルス感染予防, 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. 石橋孝一郎：「電波発電を用いた IoT センサの動作検証」電気設備学会誌 2022/8.

4.6. 【招待講演】

1. 横川慎二：カーボンニュートラルに向けたエネルギーインフラパラダイム，目黒会北陸支部総会特別講演, 2022.11.19.
2. 横川慎二：カーボンニュートラルに向けたエネルギーインフラパラダイム，電気通信大学研究開発セミナー, 2022.10.6.
3. 横川慎二：保育施設における感染症予防のための空気質管理方法と換気ガイドライン策定に関する研究，公益信託エスベック地球環境研究・技術基金授与式・記念式典, 2022.9.5.
4. 横川慎二：情報通信技術が切り拓く我が国のカーボンニュートラル，会津大学学際研究フォーラム, 2022.8.22.
5. 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」（株）情報機構主催(2023.3.3)
6. 曾我部東馬：The 9th UEC Seminar in ASEAN fiscal 2022, “Research examples in i-PERC” UEC ASEAN 教育研究支援センター主催(2022.12.10)
7. 曾我部東馬：量子コンピューティング技術シンポジウム 2022，：「量子コンピューティング教育～教育現場の現状と海外の動向～」IPA 情報処理推進機構主催(2022.12.10)
8. 曾我部東馬：2022 年度 SSDS/JMAC 技術講演会，：「AI を用いた透明型太陽電池の開発と水素生成デバイスの設計」日本モーター解析協議会(JMAC)主催(2022.9.8)
9. Shuzi Hayase; “Progress of printable solar cells, international symposium on novel and sustainable Technology”, 2022ISNST (2022/10/27-28).
10. Shuzi Hayase: “Progress on Tin based perovskite solar cells”, 23rd International conference on photochemical conversion and storage energy, (2022/8/3).
11. Shuzi Hayase: “Perovskite solar cells, -Fundamentals and Applications”, PVSEC 33, (2022/11/13).
12. Shuzi Hayase: “Australia-Japan collaborative development of next generation solar cells”, Melbourne, (2022/10/24).
13. Shuzi Hayase: “Sn perovskite solar cells following Pb perovskite solar cells”, 7th International Conference on Advances in Functional Materials (AFM-2022). Fukuoka, (2023/1/12).
14. 早瀬修二：「鉛フリーペロブスカイト太陽電池から全ペロブスカイトタンデム太陽電池まで」，日本電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会（OME），愛知県, (2023/1/18).
15. 早瀬修二：「錫系ペロブスカイト太陽電池の現状と将来展望」，日本化学会春季大会，東京理科大学 (2023/3/23).
16. Shuzi Hayase: “Perovskite solar cells consisting of Tin, Asia-Pacific International Conference on Perovskite”, Organic Photovoltaics and Optoelectronics (IPEROP 23), (2023/1/24).
17. Koichiro Ishibashi: “Beat Sensor with LoRa powered by Energy Harvesting,” Vietnam National University Information Technology Institute Seminar, (2022/12/25).

18. **Koichiro Ishibashi:** "RF Energy Harvesting Technology and IoT Applications," International Conference on Computing and Communication Technologies, (RIVF 2022), Ho Chi Minh City, (2022/12/20).
19. **Koichiro Ishibashi:** "Bacteria Classification by Small-Scale Deep Learning," NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS 2022), Ho Chi Minh City, (2022/10/31).
20. **Koichiro Ishibashi:** "Low power Wake up Receiver for IoT", International Conference on IC Design and Technology (ICICDT 2022), Hanoi, (2002/9/21).
21. **Koichiro Ishibashi:** "Signal Processing of I and Q Output From Doppler Radar to Acquire Vital Signs," Workshop on Intelligent Signal Processing for Communications, Hanoi, (2022/6/16).
22. **Koichiro Ishibashi:** "RF EH Technologies and Its Potential Applications," ISI Symposium, Hanoi, (On line), (2022/10/24).
23. **石橋孝一郎,** 井田次, 柳谷隆彦, 平山裕司, 伊東建治, 牧野茂, 石川亮, 範公可, 石橋功至, "RF エネルギーハーベスティング技術と IOT 応用の新展開", 応用物理学会, (2022/9/20).
24. 工藤紗織, 鳥野雅久, **崎山一男,** 宮原大輝: "ハイパースペクトルカメラを用いた指紋の付着時期推定" IEICE2022 年ソサイエティ大会, 招待講演, (2022/9).
25. 佐藤泰雅, 古野亨紀, 平田遼, 宮原大輝, **崎山一男:** "TI 技術を用いた AES S-box の故障感度の評価" IEICE2022 年ソサイエティ大会, 招待講演, (2022/9).
26. 荻原実那, 李陽, 宮原大輝, **崎山一男:** "AES 暗号に対する非プロファイリング深層学習攻撃の再現実験" IEICE2022 年ソサイエティ大会, 招待講演, (2022/9).
27. 吉田深月, 宮原大輝, **崎山一男:** "サイドチャネル攻撃と偽コイン問題の関連性" IEICE2022 年ソサイエティ大会, 招待講演, (2022/9).
28. **金子修:** "データ駆動制御・予測 -基礎からサイバーフィジカルシステム時代に向けた新しい展開まで-", 計測自動制御学会中部支部, (2 計測自動制御学会中部支部シンポジウム特別講演, (2022/9/20).
29. **山口浩一:** 田中元幸; "将来の光デバイスに向けた成長及びプロセス要素技術の最新動向", 電子情報通信学会, 招待講演,(2022/9).
30. **Tomio Okawa,** J. Tabuchi, R. Firman, Y. Narushima, H. Furuichi, and K. Katono: "Experiment on boiling entrainment from a falling liquid film", 1st European-American-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, (2022/10/25).
31. Thanh Binh NGUYEN, **Tomio Okawa:** "A New Mechanistic Model for Prediction of the Departure from Nucleate Boiling Heat Flux", 第 59 回日本伝熱シンポジウム, (2022/5/20).
32. **Qing Shen,** Yusheng Li, Hua Li, Chao Ding: "Optical property, photoexcited carrier dynamics and application to solar cells of perovskite nanocrystals " Proceedings of International Conference on Hybrid and Organic Photovoltaics (HOPV22), invited, (2022/4/20).