



国立大学法人
電気通信大学
The University of Electro-Communications



info-Powered Energy system Reserch Center



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
(i-PERC)

センター長

横川 慎二



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

近年明確化された 2050 年カーボンニュートラル (温室効果ガス排出量実質ゼロ) 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学官により進められています。そこには、創り出すエネルギーの種類、量、時間変動特性などが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を、現在 i-PERC は強力に推進しています。

その課題が解決された社会像として、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むと我々は考えています。ユーザー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、既存の基幹系統に匹敵するインフラを形成するという分散アプローチです。自ら構築した小規模自立分散グリッドをネットワーク接続することにより、必要とするエネルギーが共助により入手可能となり、末端のシステムやデバイスがユーザーの手で構築、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いくでしょう。

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いくには、個人や地域の自主的な参加と貢献を可能にする仕組みや、プロトコルが重要な位置づけとなります。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、加えてユーザー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ます。情報の創出や発信を可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ました。同様の変革が、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にも訪れると確信しています。

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りません。個人情報や知的財産と同様に、小規模の再生可能エネルギーには、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ります。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す。

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と予想されます。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でしょう。

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、今後とも考究に努めてまいりたいと考えております。何卒、皆様のご指導、ご鞭撻をいただければ幸いです。

センター主要プロジェクト 概要紹介

Project Overview Introduction

カーボンニュートラル社会を実現する円筒形太陽電池を用いた 都市型壁面発電システムの開発と実証

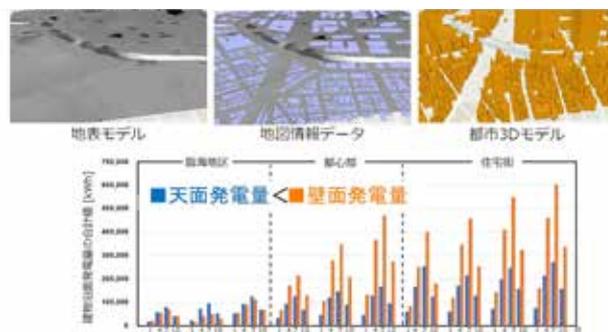
電気通信大学 i - パワードエネルギー・システム研究センターは令和5年4月、「都市型太陽電池による創電・蓄電の強化推進事業」について、東京都と基本協定を締結しました。明るい未来の東京を切り拓く「『未来の東京』戦略」を推進するプロジェクトの一環で、令和5年度から令和7年度末まで、両者は円筒形太陽電池による都市型壁面発電の有効性を実証し、円筒形太陽電池を用いた再生可能エネルギーシステムでイノベーションの創出を目指します。

本事業の狙いは、壁面にも設置可能な円筒形太陽電池を活用することで、主に屋根に設置する従来型の太陽電池のみによる発電方法に追加して、都市部の建物に導入された太陽光発電の総発電量を2倍以上に増やすことです。さらに、エネルギーと情報を一体化させてネットワーク化し、「減らす・創る・蓄める (HTT)」の状況を可視化して管理しながら、都市のレジリエンス (回復力、復元力、弾力) の向上につなげることを試みます。

平地が少ない島国である我が国の国土面積当たりの太陽光発電システムの導入容量は、主要国の中で最大という見積もりが示されています (https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/070_01_00.pdf)。平地面積当たりで比較してもその導入容量はトップであり、しかも2位のドイツの2倍を超えています。一方で、都市部においては、従来型の太陽光発電システムを大規模に設置できるような土地が不足していることから、建物の屋根や屋上だけでは、十分な発電を行いながら、再生可能エネルギーを「地産地消」することが難しくなっています。

こうした課題を解決するため、都市部では建物の壁や床などにも太陽電池を設置する沿面発電が注目されています。当研究センターで地表モデルと地図情報データを組み合わせた都市3Dモデルを用いて、屋根などの天面のみに太陽光発電パネルを設置した場合と、壁面にも設置した場合で

天面・壁面発電の有効性検証
都市3Dモデルを用いた天面・壁面発電量の予測・評価



総発電量を求める日照量シミュレーションを行ったところ、壁面の発電を加えることによって総発電量が2倍以上になることが期待される結果が得られました (1km²当たりの総発電量による見積もり)。その実現に向けては、従来型の太陽電池による天面発電と壁面発電とを組み合わせ、小規模な再生可能エネルギーを統合・分配しながら効率的に活用することが求められます。

この都市型壁面発電の鍵を握る技術の一つが、本学で研究・開発を進めている円筒形の太陽電池です。円筒形太陽電池は、細長い透明管に太陽電池の発電シートを丸めて挿入、封止したもので、蛍光灯のような円筒形が特徴です。これを複数並べてすだれ状の太陽電池モジュールにするこ

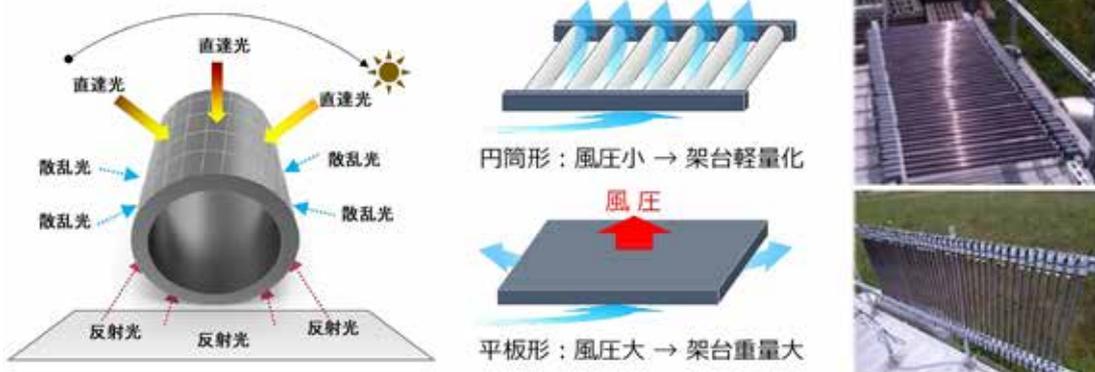
円筒形太陽電池 - 設置のイノベーション -
軽量で設置しやすく様々な日照条件に適した「形状」の太陽電池



建物外壁、耕作地、ガレージなどの屋外を中心に自由度高く設置
農業用IoTデバイスの給電にも有効



円筒形太陽電池の利点



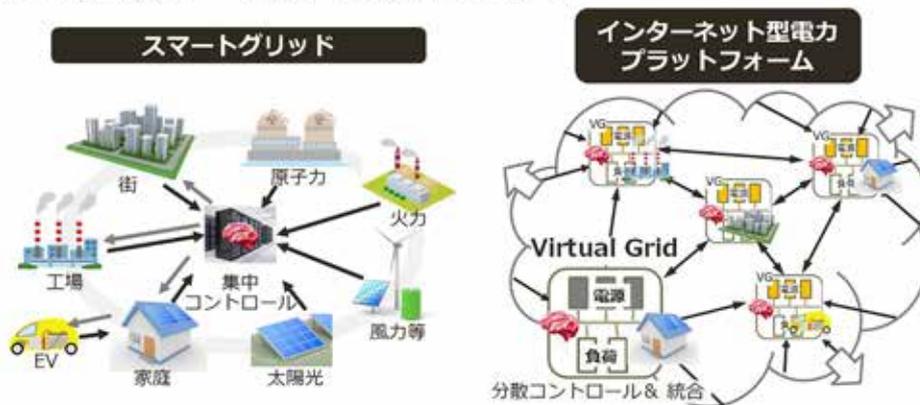
- ✓ 直達・散乱・反射光活用により1日の発電量が平板形の2倍（投影面積比）
- ✓ 風圧を受けにくいので、架台の軽量化を実現可能
- ✓ 並行設置、垂直設置のいずれも可能

とで、風圧を受けにくく、日よけにもなるという特性を持っています。既存の平板型太陽電池とは異なり、さまざまな角度からの受光が可能のため、日の出から日没までの発電量の変動が小さく、設置方向にもよりますが総発電量を約1.5～2倍にできる大きな利点があります。風圧を受けにくいことから架台を軽量化でき、さらに設置の自由度が高く、壁面にも取り付けられるほか、1本単位での修理も可能になります。

しかしながら、円筒形太陽電池の設置には多くのハードルがあります。本事業では、当研究センターの専任教員と東京大学の建築を専門とする研究者を中心に、協力企業のメンバーによる太陽電池チーム、建築意匠チーム、エネルギーマネジメントチームの3グループに分かれ、壁面発電に関するそれぞれの課題を解決しながら実証実験を進めています。

インターネット型電力プラットフォーム

2050年の社会像 - 真の自律分散型社会へ -



- ✓ 電力を安定供給することが主目的
- ✓ 運営組織がインフラを構築
- ✓ ユーザの電力供給はインフラを通じて

- ✓ 電力システムをどこでも容易に構築可能にすることが主目的
- ✓ ユーザの電力システムを自律統合させてインフラを形成
- ✓ ユーザの電力を End-to-end で共有

まず、本学のキャンパスにある複数の建物の壁面などに円筒形太陽電池ユニットを大規模に設置し、壁面発電の有効性を実証します。また、太陽の軌道や近隣建物の日陰になるエリアなどを考慮したエネルギー・マネジメントを検討します。台風やゲリラ雷雨、ひょうなどの悪天候時、および季節変動など長期間にわたるシステムの耐性やメンテナンス性も検証する予定です。

新築の建物ではなく、既存の建物の壁面に太陽電池を設置する場合には、対荷重補強とメンテナンスのための足場の設置を同時に行うことが不可欠であり、コストが高くなる傾向にあります。そのため、既設の設備を利用したり、改築によって導入可能な後付けの壁面設置技術などを検討したりすることも重要だと考えています。

さらに進んで、円筒形太陽電池などのさまざまな小規模創電と、容量や仕様の異なる蓄電池や創蓄電モニタなどを組み合わせた「インターネット型電力プラットフォーム」としての原理も実証していきます。人工知能（AI）や数理最適化のアプローチを取り入れた創電・蓄電・給電のエネルギーマネジメントシステムを構築し、強固なセキュリティを持たせながら、信頼性のあるシステムを作り上げることを目指しています。

さまざまな用途や形態の建物が密集する“小さな街”のような大学のキャンパスへ最も適した形で実装し、円筒形太陽電池による壁面発電の有効性を実証できれば、小規模な分散電力の統合と分配、さらに最適な運用方法の研究を通じて、都内のあらゆる場所で発電できる可能性を示すことができるでしょう。数千億円を超える巨額の投資と保守費用が必須となる長距離送電網を必要とせず、ユーザー自らが投資とメンテナンスをする電力システムを自律統合することで形成されるインターネット型電力プラットフォームは、2050年のカーボンニュートラル（温室効果ガス排出量実質ゼロ）を実現する真の自律分散型社会を築くための基盤技術になると考えています。

創エネルギー分野

曾我部 東馬 (准教授)

TOMAH SOGABE

専門分野・人工知能、エネルギーデバイス、量子技術
基盤理工学専攻、電子工学プログラム兼務

研究室・西8号館 717号室

TEL : 042-443-5964 Email : sogabe@uec.ac.jp
<http://cluster-iperc.matrix.jp>



創エネルギー分野

早瀬 修二 (特任教授)

SHUZI HAYASE

専門分野・材料・デバイス(光電変換)
情報基盤理工学専攻、光工学プログラム兼務

研究室・西8号館 419号室

TEL : 042-443-5885 Email : hayase@uec.ac.jp



活/省エネルギー分野

中山 舜民 (助教)

SHUMMIN NAKAYAMA

専門分野・数理最適化、オペレーションズ・リサーチ、数理最適化
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

研究室・西3号館 220号室

TEL : 042-443-5825 Email : snakayama@uec.ac.jp



制御系セキュリティ分野

澤田 賢治 (准教授)

KENJI SAWADA

専門分野・制御系セキュリティ、機械力学・制御、制御工学
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

研究室・西5号館 203号室

TEL : 042-443-5253 Email : knj.sawada@uec.ac.jp
<http://www.sawada.iperc.uec.ac.jp>



蓄エネルギー分野

横川 慎二 (教授)

SHINJI YOKOGAWA

専門分野・システムレジリエンス、信頼性工学、品質管理
情報学専攻、経営・社会情報学プログラム兼務

研究室・西3号館 202号室

TEL : 042-443-5974 Email : yokogawa@uec.ac.jp
<http://www.yokogawa.iperc.uec.ac.jp/>



量子物理とAIの融合による材料探索やエネルギーシステムの最適化と最先端量子技術の開発

- ・再生可能エネルギーシステムへのAI最適化技術の応用
- ・目標から手段を導くAI駆動型材料探索やデバイス設計
- ・量子×AIによる最先端量子技術の研究

材料科学の分野では、「第4次革命」として、ビッグデータを人工知能(AI)で解析して化学構造や組成を設計するマテリアルズ・インフォマティクス(MI)が注目されています。このMIの領域において、通常とは逆向きに材料探索を行う「逆設計」に取り組んでいます。順設計がある物質の材料特性を予測する手法であるのに対し、逆設計は所望の物性を持つ材料組成に「最適化」する、いわば目標から手段を導く手法です。現実で求められるのも逆設計の問題が大半であるといえます。

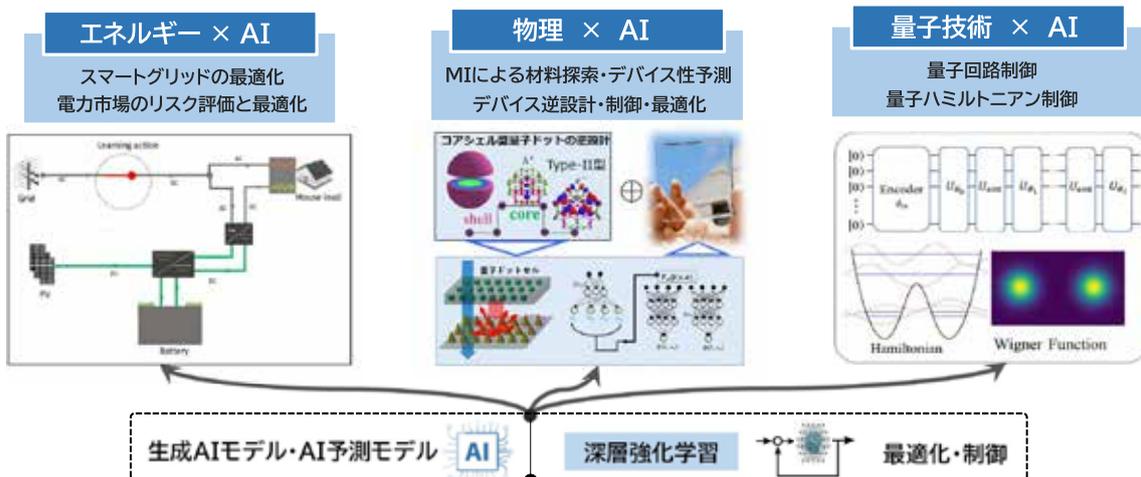
生成AIや深層強化学習とAI予測モデルを融合した逆設計は、材料探索だけでなく、デバイスの設計にも活用できます。例えば、エネルギー変換効率の高い壁面・窓用の透明型太陽電池や、ペロブスカイト量子ドット太陽電池などを逆設計によって開発しています(図の中央)。世界全体で毎年約18億6000万m²以上の窓が設置されており、そのうち10%の窓を透明型太陽電池に置き換えると、最終的に世界の二酸化炭素(CO₂)排出量の10%程度を減らせるといわれています。

一方、エネルギーシステムにおいては、不確実性や変動性のある電力需要の下でも効果的に運用できるエネルギー最適化の手法などを研究しています。太陽光発電や風力発電、地熱発電など再生可能エネルギーの普及に伴い、分散した電力を利用状況に応じて最適化しながら効率的に配電するスマー

トグリッド(次世代電力網)の導入が進んでいます(図の左)。しかし、天候は変動するために電力需要の予測が難しく、強化学習を用いる従来のエネルギーシステムの最適化手法には再生可能エネルギーの導入が難しいという現状にあります。

そこで、リスク評価技術と複数のネットワークの出力値から総合的に判断するAIの一つであるアンサンブル学習を組み合わせた「アンサンブル深層強化学習」を導入し、分散型エネルギーシステムの最適化に成功しました。これによって、変わりやすい天候や未知の需要データに対しても、より柔軟に経済的な売電、買電の計画が行えるようになって考えています。カーボンニュートラル(温室効果ガス排出量実質ゼロ)社会に向けたスマートグリッドによるエネルギーの有効活用が期待できます。

加えて第3の研究軸として、AIを融合した量子コンピュータ向けの量子技術の研究にも精力的に取り組んでいます。現在、「量子×AI」の研究の多くが、重ね合わせやエンタングルメントのような量子現象を利用して古典的な機械学習の問題を解決する、いわゆる量子機械学習における量子ソフトウェアとAIの融合に特化していますが、ここでは量子コンピューティングの機能を担う中核技術である量子ハードウェア、特に量子回路設計を最適化する研究を行っています(図の右)。このような最適化・制御技術は、量子誤り訂正や量子優位性の実証など、量子コンピュータの実用化に欠かせないコア技術になっています。



鉛フリー円筒形ペロブスカイト太陽電池の
開発と産学連携による実証研究

- ・次世代プリンタブル太陽電池としての円筒形太陽電池の提案
- ・スズペロブスカイト光電変換セルの研究
- ・低コストで高効率の円筒形太陽電池の市場開拓

従来のシリコン系太陽電池は平板型のため、大規模発電向けなどに広く使われていますが、無機半導体で作製されているため、形を自由に変えることができません。これに対して、100℃の低温で印刷により製造できるプリンタブル太陽電池はプラスチック基板上にも作れるため、自在に変形させることができます。低コストで軽いフレキシブルなプリンタブル太陽電池は、平板型にはない新たな市場を開拓できると期待されています。

一方で、既存のプリンタブル太陽電池は効率が低く、耐久性も不十分という課題がありました。これを解決するのが、円筒形の太陽電池です。円筒形太陽電池は、プリンタブル太陽電池の光電変換セル部分を蛍光灯のような細長い円筒形のガラス内に挿入して完全封止したものです。30cm から 120cm まで4種類の長さがあり、それぞれを数十本程度並べて幅 1m ほどの太陽電池モジュールに作り込みます。

基礎研究では、特にペロブスカイト結晶構造を持つ塗布型のペロブスカイト光電変換セルの開発に力を入れています。市販のプリンタブル太陽電池の光電変換セルでも円筒形太陽電池は作れますが、塗るだけで作製可能な高効率のペロブスカイト光電変換セルが開発できれば、低コストと高効率を両立する円筒形太陽電池が実現できます。

現在のペロブスカイト光電変換セルは、RoHS 指令でも使用が禁止されている有害物質の鉛を含むことから、鉛をスズに置き換えた鉛フリーのスズペロブスカイト光電変換セルを提案しています。一般に、鉛の方が効率高く、スズを使った結晶は不純物によって欠陥が多くなるという欠点がありますが、スズに微量のゲルマニウムを混ぜるなど工夫し、スズペロブスカイト光電変換セルとしては世界最高水準である 14% の変換効率を達成しています。

将来、スズペロブスカイト光電変換セルを用いた鉛フリーの円筒形ペロブスカイト太陽電池を実現し、いずれ鉛を使った既存の太陽電池と同等の 20% 台の効率にまで高め、環境

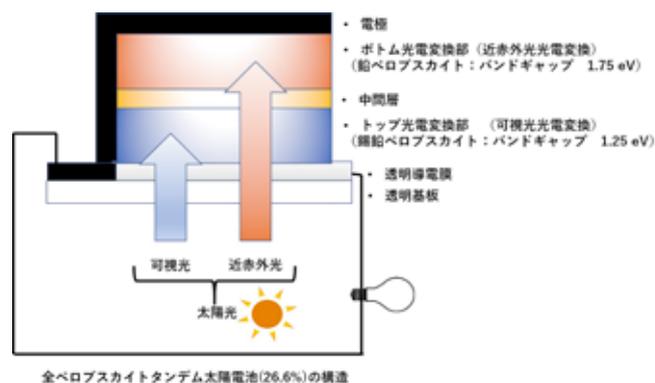
に優しく低コストな次世代太陽電池として実用化することを目指しています。

また、応用研究としては、市販のプリンタブル太陽電池を使って円筒形太陽電池モジュールを試作し、産学連携で実証実験を進めています。円筒形太陽電池は一方向のみに曲げられるセミフレキシブル性を持つため、ビルなどの壁面や工場の屋根などの曲面に導入できます。農地に設置すれば、発電と農業を両立するソーラーシェアリング（農電併産）にも活用できます。



円筒形太陽電池の作製方法

そのほか2種類の異なる太陽電池を重ね合わせるタンデム型太陽電池の研究も進めており、ペロブスカイト太陽電池のみを用いた最新のタンデム型太陽電池の効率は 26.7% に達しています。二つのセルで発電することで、単層太陽電池の理論限界を超える 35% 以上の高効率化が可能になるといわれています。このタンデム型太陽電池にフレキシブルで軽量、高効率のペロブスカイト太陽電池を採用すれば、太陽電池の産業利用が一気に進むと考えられます。



全ペロブスカイトタンデム太陽電池(26.6%)の構造

数理最適化を社会実装し エネルギーの効率化を目指す

- ・オペレーションズ・リサーチ (OR) における数理最適化の基礎・応用研究の推進
- ・エネルギー分野に適用し、最適化のモデルやアルゴリズムを開発
- ・スパース性やロバスト性を考慮した最適化技術の活用

オペレーションズ・リサーチ (OR) は、社会のさまざまな問題を数式に落とし込んでモデル化し、最適化手法を使って実験や分析をすることで、計画が最も効率的になるように決定する科学的技法です。製品の生産計画やトラックの配送計画、施設の配置計画、経路検索など、OR における最適化手法は幅広い分野に応用されています。この OR について、特に数理最適化のモデリングとアルゴリズムを研究しています。

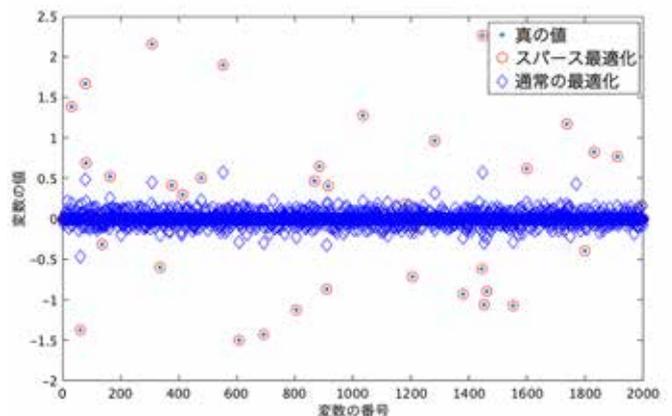
「最適」とはある指標を「最大」、または「最小」にする解(行動)のことです。数理モデルを最適化する数理最適化では、ある制約の下で指標となる目的関数を最大、または最小にする解を求めます。この数理最適化を実際のエネルギー分野の問題に適用する研究を進めています。分かりやすい例では、石油、石炭、天然ガスそれぞれの燃料を用いる発電機を1基ずつ、計3基保有している場合に、需要を満たしつつ、コストを最小にするような各発電機の出力を求める「発電計画問題」などが挙げられます。また、太陽光発電システムなどの再生可能エネルギーでも、それをいかに効率良く活用するかを考えたときに最適化の手法は有効です。OR の観点で言えば、現状のシステムにはまだ改善の余地があります。

最新の研究では、有効制約法と呼ばれる、変数に上限と下限が設けられている最適化問題を解くためのアルゴリズムを検討しました。既存の方法では、ある種のスケールングによって一つのパラメータを決定します。しかし、現実問題においては、例えば時系列のデータは各時刻によって問題の性質が異なり、理論上は最適化が可能でも、一つのパラメータだけでは数値的不安定性から計算機でエラーが起こることがあります。これに対し、変数を区間ごとに分割してそれぞれにある種のパラメータを付与することによって、計算機の数値的不安定性を解消することに成功しました。時系列データの場合は、時刻で分割した区間ごとに最適化する異なる変数を与え、各時刻の変数を独立に扱うイメージです。実際に、電力システム

の電力の潮流の制御などに応用し、計算機シミュレーションによってこの提案手法の有用性を示しました。

一方、統計学やデータサイエンス、金融工学などで活躍する予測手法に「スパース最適化」と呼ばれる数理最適化の枠組みがあり、これは発電システムの発電量や電力の需要量の予測などに応用できます。例えば、天候や気温、湿度、発電時間、場所などの太陽光発電におけるさまざまな要因を説明変数とし、スパース最適化を用いて説明変数を絞ることによって重要な要因のみを抽出し、過学習を避けた発電量の予測モデルが作れます。ここで、スパースとは疎という意味であり、重要な要因以外は捨てています。下図は、解がスパースな問題に対して、それぞれ真の解、スパース最適化を利用した解、通常の最適化を利用した解のプロットです。2000個の変数(横軸が変数のラベル)とその値(縦軸)を表しています。通常の最適化では、過学習によって真の解からずれてしましますが、スパース最適化を用いることで真の解が得られています。

スパース最適化に関しては、目的関数に微分できない箇所を含む最適化問題に対するアルゴリズムの開発や、スパース学習するためのモデルの開発、さらに理論的な研究も行っています。そのほか、需要の予測など不確実な情報を含んだ場合に対応できる、不確実性下での最適化(ロバスト最適化)の研究も手がけています。エネルギー分野に数理最適化を適用し、このように基礎と応用を行き来しながら、システム的意思決定をサポートすることなどによってエネルギーの効率化に寄与することを目指しています。



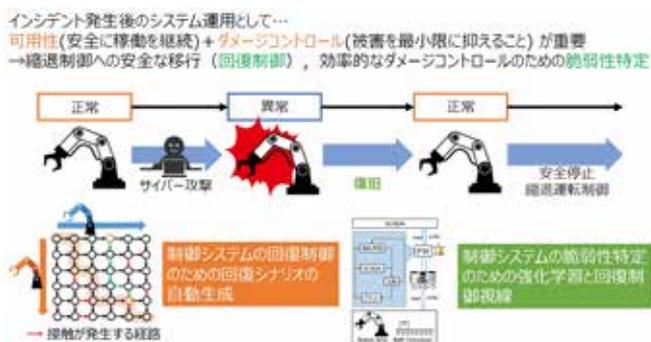
スパース復元

エネルギー領域などの インフラ向けセキュリティ技術の開発

- ・サイバー攻撃に強いIoT時代のセキュリティ対策
- ・攻撃を前提にしたゼロトラストモデルで制御系システムを防御
- ・レジリエンスの高いエネルギーシステムの構築

昨今、電気やガス、水道など重要インフラ（社会基盤）を狙ったサイバー攻撃が多発しており、国家や企業にとってセキュリティ対策は喫緊の課題になっています。IoT（モノのインターネット）時代はあらゆる機器がネットワークにつながり、そのリスクは高まる一方です。しかしながら、情報システムとは異なり、制御システムは一般に運転期間が20年以上と長く、攻撃を受けても簡単には止められないといった難しさがあります。

制御系システムのセキュリティにおいては、従来の「境界防御モデル」では万全なセキュリティ対策が施せないことから、近年では、ネットワークに接続されたものは信頼せず、攻撃されることを前提にした「ゼロトラストモデル」が注目されています。こうした背景にあって、攻撃を受けても安定して運転を続けられる防御技術などを研究しています。

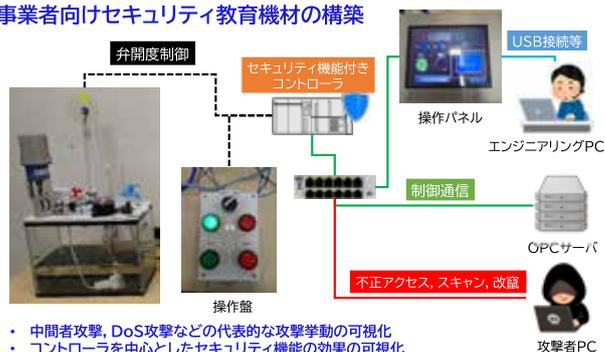


例えば、アクチュエータやセンサを搭載した産業用機器の制御システムを動かすコントローラに、セキュリティ機能を持たせるアルゴリズムを開発しました。コントローラのふるまいを常時監視し、正常な動作から逸脱した場合にリアルタイムに警告を出す仕組みです。これによって、サイバー攻撃による異常を迅速に検知するだけでなく、攻撃を受けても、別のコントローラに切り替えることで運転を継続できるようにしています。

活用している技術としては、業界初の産業用コントローラ

向けセキュリティ技術であるホワイトリストや、通信情報を使わないサイバー攻撃検知とその事後対応制御である縮退運転制御、システム更新を前提とした制御ソフトウェアの安全検証であるモデル検証などが挙げられます。実際にファクトリーオートメーション (FA) 機器やプロセスオートメーション (PA) 機器、水道事業者の制御システムなどへの実装に向けた、その機能を検証しています。

事業者向けセキュリティ教育機材の構築



- ・ 中間者攻撃, DoS攻撃などの代表的な攻撃挙動の可視化
- ・ コントローラを中心としたセキュリティ機能の効果の可視化

インフラの中でもとりわけ発電システムや送電システムなどのエネルギー分野では、地震や洪水など災害時のシステムの早期復旧を目指した、いわゆるレジリエンス（復元力）の高いエネルギーシステムの研究を手がけています。ここでは特に、ネットワークにつながった制御システムを分散的に自律処理する自律分散制御の手法を使って、電力システムの最適な制御方法などを模索しています。

セキュリティ対策はあらゆる業界で不可欠であり、最近では自動運転車の制御のセキュリティ研究にも従事しています。セキュリティ以外にも、ドライバーの特性やスキルに応じた「個性化制御」を目指し、ネットワークを通じて蓄積されたドライバーの情報と自動運転をうまく協調させる取り組みを進めています。一般に個性化すると燃費が悪くなる傾向にあるため、燃費の良さと運転の楽しさを両立しつつ、エネルギーを効率的に利用する方策を見つけることを目標にしています。そこでは、人間参加型の人工知能(AI)であるヒューマン・イン・ザ・ループを導入し、人の意思決定を制御系に取り込む新たな試みも行っています。

社会基盤システムのレジリエンスと キーデバイスの高信頼化

- ・ 自立分散型電力グリッドの信頼性・安全性の予測
- ・ キーデバイスの省電力化と高信頼化
- ・ システムレジリエンスの評価・設計と創発性メカニズムの解明

エネルギーシステムの信頼性や安全性、品質保証をテーマとし、レジリエントな（回復力、復元力、弾力のある）デバイスやシステム、サービスの実現に向けた研究に取り組んでいます。自立分散化が進んだ電力システムには、リチウムイオン二次電池に代表される蓄電池や、キャパシタ、新規パワーデバイスなど、数多くのエナジーデバイスが用いられています。これらは多様な使われ方のもとに運用されているため、それに応じて特性劣化の状況も異なります。このようなシステムの状態変化を、時系列解析や機械学習、深層学習を使って精度よく予測・評価し、保全方策を決定する方法などを研究しています。

例えば、太陽光発電などの再生可能エネルギーが普及するにつれて、そのような電力を集めた小規模な自立電力グリッドが身の回りに数多く形成されるようになります。身の回りの多様な小規模電力グリッドを束ねてシステムとして運用していくためには、システムの信頼性向上が欠かせません。そこでシステムの高信頼化に向けて、どのようなデバイスが機器に接続されているのかを自動で判別したり、それらのデバイスの信頼性・安全性を瞬時に判定するような研究も進めています。

将来は、スマートフォンやタブレット端末、蓄電池など

のデバイスをグリッドに接続した瞬間に、バッテリー残量やバッテリーの健全性などを推測できるようにしたいと考えています。それによってシステム全体の電力をマネジメントできれば、常に健全な状態でシステムを継続的に使い続けられる可用性（アベイラビリティ）を担保することができます。これに関連した研究として、スマホのバッテリーの劣化状況をユーザーの使い方に関するアンケート情報から予測する研究も進めました。

そのほか、データセンターの省電力化の鍵となる半導体メモリやEV、プラグインハイブリッド車（PHEV）の駆動力を支えるパワーデバイスの信頼性を高める研究も行っています。一例として、製造時に生じる微細な欠陥が市場におけるデバイスの信頼性に与える影響を予測する統計的なモデルの研究を進めています。その研究を通じて、デバイスの信頼性品質の向上に貢献したいと考えています。

以上のように、個々のデバイスやシステムの信頼性を高めつつ、システム全体のレジリエンスの評価・設計を行うことを目標としています。とりわけ昨今、数多くの電子部品が使われるようになった自動車などにおいて、各パーツの動作に問題はないものの、複数のパーツが組み合わせられることによって生じる「創発性（部分からの全体の予測不可能性）」によって、不具合が発生する事象が増えています。この創発性の発現メカニズムを理解することができれば、複雑なシステムの設計時にあらかじめ不具合を予測し、これを効果的に抑える制御方法などを検討することが可能になります。

『蓄エネ』の信頼性・安全性

▶ バッテリーマネジメントの重要性

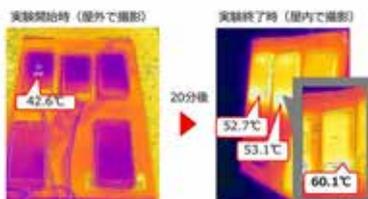
▶ 教育ICT(GIGAスクール構想)における課題

学校のエネルギー問題、安全・安心への貢献

学校の充電課題は、

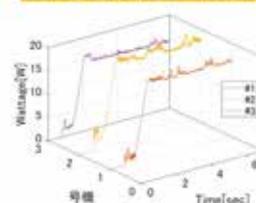
- 大量のICT機器の導入
- 限られた電力供給インフラ
- (一応)配備されているPV
- 充電トラブルの懸念

など、小さいが「今そこにある」課題



電力 PF の信頼性を確保する要素技術

深層学習によるデバイス同定

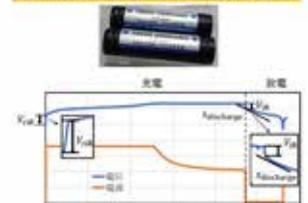


グリッドに接続された機器の同定
消費予測とセキュリティ確保

USB-PDネゴシエーション波形

↓
深層学習・機械学習

ベイズ推論を用いたLiB劣化評価



バッテリーの劣化診断
蓄電量と系の信頼性・安全性評価

充放電時のIV特性

↓
階層ベイズモデル

Faculty list

横川 慎二	センター長・教授 (専任)	情報学専攻 (兼務)
澤田 賢治	准教授 (専任)	機械知能システム学専攻 (兼務)
曾我部東馬	准教授 (専任)	基盤理工学専攻 (兼務)
中山 舜民	助 教 (専任)	情報・ネットワーク工学専攻 (兼務)
早瀬 修二	特任教授 (専任)	i-パワードエネルギー・システム研究センター
金子 修	教 授	機械知能システム学専攻
崎山 一男	教 授	情報学専攻
山口 浩一	教 授	基盤理工学専攻

協力教員

大川 富雄	教 授	機械知能システム学専攻
沈 青	教 授	基盤理工学専攻
木寺 正平	教 授	情報・ネットワーク工学専攻
小木曾公尚	教 授	機械知能システム学専攻
坂本 克好	助 教	基盤理工学専攻

客員教員

市川 晴久	客員教授	電気通信大学 名誉教授
石橋孝一郎	客員教授	電気通信大学 名誉教授
内野 善之	客員教授	IPEG 推進コンソーシアム 事務局長
柏木 孝夫	客員教授	東京工業大学 名誉教授 東京農工大学 名誉教授
谷口 彬雄	客員教授	信州大学 名誉教授
曄道 悟朗	客員教授	株式会社モデュレックス 代表取締役
川喜田佑介	客員准教授	神奈川工科大学 准教授
松崎 和賢	客員准教授	中央大学 准教授

特任研究員

Kapil Gaurav	i-パワードエネルギー・システム研究センター
Baranwal Ajay Kumar	i-パワードエネルギー・システム研究センター
Sahamir Shahrir Razey	i-パワードエネルギー・システム研究センター
Wang Liang	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



電気通信大学 i-PERC事務室

西3号館 105号室

Email : iperc-info@uec.ac.jp TEL : 042-443-5935

www.iperc.uec.ac.jp