

太陽光発電＋蓄電池システムの運用を AI で最適化する手法を開発

太陽光発電は天候に左右されやすく、計画通りの発電ができない場合、電力市場では「インバランス料金」と呼ばれる罰則的費用が発生します。本研究では、人工知能（AI）を用いて太陽光発電と蓄電池の運用を最適化する手法を開発し、従来に比べ最大 47% のインバランス料金の削減を実現しました。

再生可能エネルギーの普及に伴い、太陽光発電と蓄電池を組み合わせた電力供給システムの活用が重要性を増しています。電力市場では、発電事業者は翌日に供給する電力量を「計画発電量」として提出し、これに基づいて取引を行います。しかし、太陽光による発電量は天候に左右されやすく、計画と実際の供給量にずれが生じると市場全体の需給バランスが崩れ、「インバランス料金」と呼ばれる罰則的な費用が発生します。これを制御するための計算方法が提案されてきましたが、現実の急な天候変化や市場の複雑な動きといった不確実性を十分に反映できないという課題がありました。

本研究では、不確実性を含む問題に対応可能な深層強化学習 AI を用いて、太陽光と蓄電池の運用を市場ルールに適合させつつ最適化する新たな手法を開発しました。実際の市場データを用いたシミュレーションの結果、本手法は、従来の制御手法に比べてインバランス料金を約 47% 削減し、他の深層強化学習モデルと比べても約 26% 削減できることが確認されました。また、四季を通じて安定した利益を維持できることも示されました。

本研究成果は、収益性を追求するだけでなく、インバランス料金を回避し、安定的に再生可能エネルギーを市場に供給できる仕組みの構築につながるものです。さらに、蓄電池や電気自動車などの家庭用電源の集合を新たな電力源とする仕組みの基盤になり、電気料金の安定化や停電リスク低減といった社会的便益をもたらすと期待されます。

研究代表者

筑波大学 システム情報系

小平 大輔 助教

大曾根 佑紀（理工情報生命学術院システム情報工学研究群 修士課程 2 年）

研究の背景

再生可能エネルギーの導入は世界的に加速していますが、最大の課題は発電量の予測が難しいことです。とりわけ太陽光発電は天候（日照の有無）の影響が大きく、事前に高い精度で発電量を見積もるのは容易ではありません。

日本の電力市場では、発電事業者はあらかじめ翌日の時間帯ごとの計画発電量（30分×48コマ）を一般送配電事業者（系統運用者）に提出し、実需給の1時間前に計画が確定します。計画と実績の差は「インバランス料金（各コマの計画と実績の差分（kWh）にその時間・エリアに応じて設定されたインバランス単価（円/kWh）を掛けたもの）」として、系統運用者と発電事業者の間で30分ごとに精算されます。超過の場合（発電の実績値が計画値よりも多い場合）は、安い単価で系統運用者が買い取ります。一方で、不足が出た場合は、ペナルティとして高いインバランス単価に基づいて発電事業者が系統運用者に支払います。インバランス料金の計算方法や単価は、主として各時間帯・エリアの電力需給の状況を反映して見直され、需要に対して供給が不足すると単価は急上昇します。現在の需給ひっ迫時の上限単価は200円/kWhですが、制度改定により2026年4月からは300円/kWhへ引き上げられる予定で、精度の高い発電量制御がより求められます。

例えば、10時～10時30分に1,000kWhの計画に対して実績が500kWhしか出なければ500kWhの不足となり、需給が逼迫してインバランス単価が150円/kWhまで上昇している局面では、この30分だけで7万5,000円の支払いが発生します。こうしたずれが午前中の4コマ連続で起きれば30万円、昼過ぎまでの8コマに広がれば60万円に達するなど、発電事業者の負担は短時間で一気に増大します（図1）。

このルールは再生可能エネルギーに限らずすべての電源に適用されますが、天候で出力が変動しやすい太陽光や風力による発電は相対的にリスクが高く、経済的な影響が大きくなりがちです。予測とのずれが大きいほど系統運用者は急な調整を強いられるため、需給バランスの維持が難しくなり、結果として電力供給の安定性にも影響を及ぼします。

研究内容と成果

本研究では、こうした課題に対して、太陽光発電と蓄電池を組み合わせたシステムの運用を深層強化学習という人工知能（AI）によって最適化する仕組みを開発しました。このAIは過去の天候や市場価格のデータを学習し、「どのようにバッテリーを充放電すれば、利益を確保しつつインバランス料金を減らせるか」を自ら理解していきます。その際、これまで対応が難しかった不確実性に対処するため、インバランス料金を直接考慮した独自の報酬設計を新たに取り入れました。このようにして、天候や市場価格の予測データを取得しながら、その日の最適な充放電スケジュールを作成します。さらに、運用中に予測と現実がずれた場合には、それを補正するための短期的な調整を随時加えることで、より現実を反映した仕組みを実現しました。

本手法により、実際の市場データを用いてシミュレーションしたところ、従来の精緻な数式モデルや前提条件に依存するルールベース型制御と比べて、インバランス料金を約47%削減できました。また、他の一般的な深層強化学習モデルと比べても、約26%の削減を達成しました（図2）。さらに本手法では、季節を通じて収益性と安定性が保たれることも確認されました。

今後の展開

本研究成果は、市場ルールを守りながら利益を確保し、不確実性によるリスクを大幅に低減できることから、再生可能エネルギーを市場に安定的かつ経済的に供給するための基盤技術となります。今後は、実際の設備を用いた実証実験を通じて、現場での有効性を検証します。長期的には、住宅一軒分の太陽光発

電と蓄電池システムの制御を基盤として、複数の家庭用蓄電池や蓄電池としての電気自動車を統合的に管理する仕組みへと拡張し、電力の需給調整や系統管理と密接に連携した仮想発電所^{注1)}の構築を目指します。これらの取り組みは、安定的な再生可能エネルギー供給をもたらし、電気料金の安定化や停電リスクの低減など、持続可能なエネルギー社会につながると期待されます。

参考図

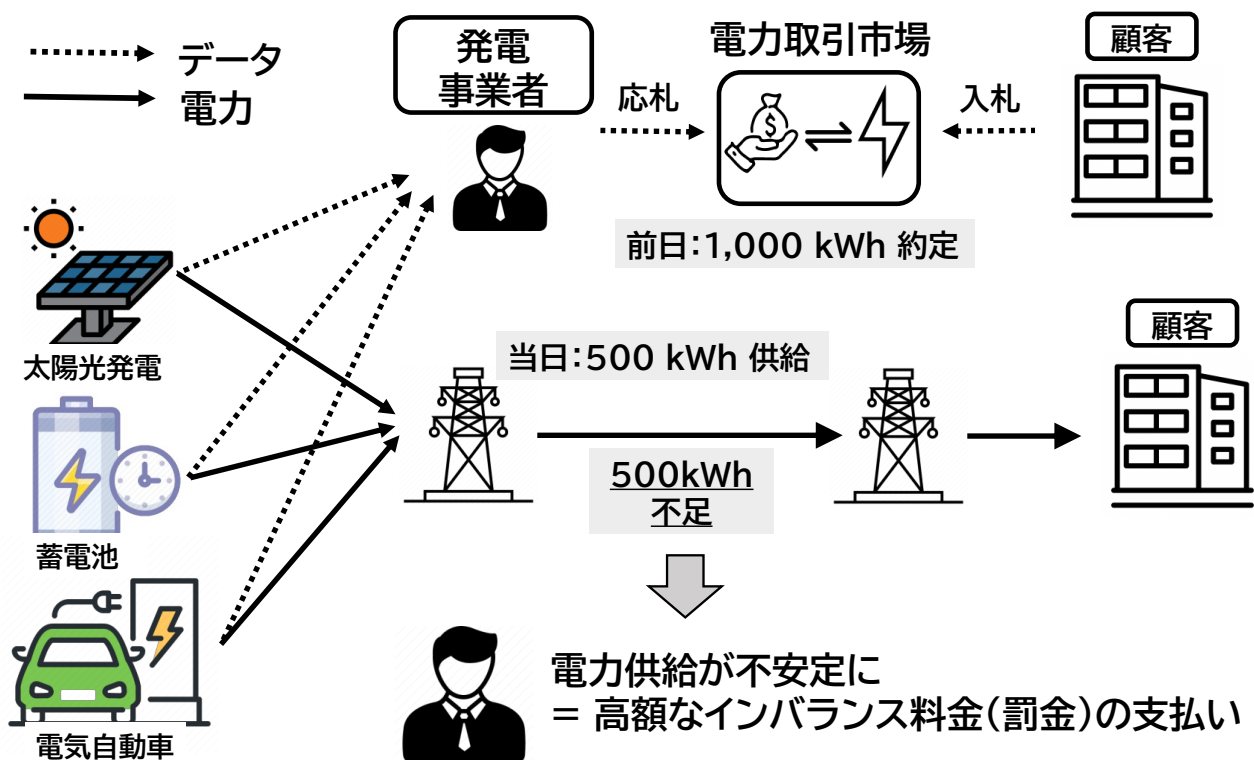


図1 インバランス料金（ペナルティ）の発生イメージ

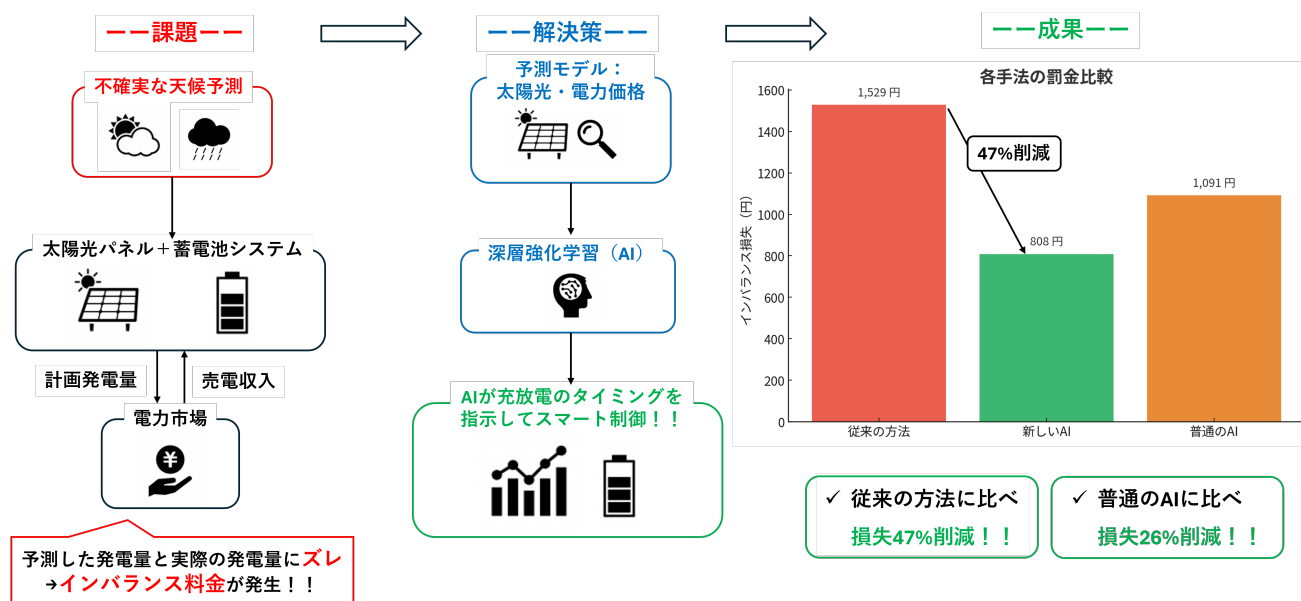


図2 本研究の概要

用語解説

注1) 仮想発電所 (Virtual Power Plant)

複数の太陽光発電や蓄電池、電気自動車などの小規模な電源をネットワークでつなぎ、一つの大きな発電所のようにまとめて制御する仕組み。電力の安定供給や効率的な市場取引を可能にする。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (23K13306) および令和 6 年度 電力データ活用支援等事業 (一般社団法人低炭素投資促進機構) の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Imbalance-Aware Scheduling for PV Battery Storage Systems Using Deep Reinforcement Learning.

(深層強化学習を用いた太陽光発電-蓄電池システムのインバランス考慮型スケジューリング手法の開発)

【著者名】 Y.Osone and D. Kodaira

【掲載誌】 *IEEE ACCESS*

【掲載日】 2025 年 9 月 30 日 (オンライン先行公開)

【DOI】 10.1109/ACCESS.2025.3615960

問い合わせ先

【研究に関すること】

小平 大輔 (こだいら だいすけ)

筑波大学 システム情報系 助教

URL: <https://smartgrid.kz.tsukuba.ac.jp>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp