未来社会創造事業（探索加速型）
「次世代情報社会の実現」領域
終了報告書（探索研究）

令和4年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:伊原 学]

[東京科学大学 物質理工学院・教授]
(～令和6年9月30日 東京工業大学)

[研究開発課題名:エネルギービッグデータをコアとするカーボンニュートラルデジタルツイン]

実施期間：令和4年10月1日～令和7年3月31日

§1. 研究実施体制

(1)「伊原・Manzhos」グループ(東京科学大学)

①研究開発代表者:伊原 学 (東京科学大学物質理工学院応用化学系、教授)

②研究項目

- ・研究統括
- ・エネスワローデジタルツイン構造の開発
- ・各種シミュレーション開発

(2)「小野」グループ(東京科学大学)

①主たる共同研究者:小野 功 (東京科学大学情報理工学院、教授)

②研究項目

- ・シミュレーションベース多目的最適化アルゴリズムの開発
- ・エネスワローデジタルツインへの実装

(3)「石崎」グループ(東京科学大学)

①主たる共同研究者:石崎 孝幸 (東京科学大学工学院、准教授)

②研究項目

- ・スマートインバーター設計開発に関する数理解析
- ・エネスワローデジタルツインへの実装と数値解析

§2. 研究開発成果の概要

東工大岡山キャンパスに2011年に、研究代表者(伊原)がエネルギーシステム設計及びプロジェクトリーダーとして建設した ScienceTokyo 環境エネルギーイノベーション棟 (EEI 棟)では、インテリジェントエネルギーシステム”**Ene-Swallow®**”が実装され、クラウド上に構築されたサーバを経由して1秒、もしくは、1分ごとに EEI 棟で8000ポイント、ScienceTokyo 大岡山キャンパス全体では、14000ポイント以上のエネルギービッグデータを収集している。本研究では、さらに取得データを拡張することで、太陽電池、燃料電池、水電解セル、蓄電池の運用データ、建物の空調や機器の制御に関するデータ、人流データ、水素燃料電池車、電気自動車などの運転データなどを収集している。エネルギーデータの数、種類、取得間隔、規模において、世界トップレベルのリアルタイムエネルギーデータ収集システムとして、開発と実装を繰り返して進化を続けている。

取得した良質な高次元エネルギービッグデータを強みとして技術開発を行い、分散型システムの最適化設計・制御、高精度な予測技術に基づく電力市場取引などによって、システムの安定化と統合コストの低減を実現し、安価となった変動型再生可能エネルギー電源導入を最大化する”系統協調/分散型リアルタイムエネルギーシステム”の開発を行っている。また、収集したエネルギービッグデータを活用して、カーボンニュートラルに向けた要素技術開発および、シナリオ研究を、集約したデータや手法を共通化し、連動することで研究を加速させる、情報プラットフォームとしての機能も開発している。これらを「カーボンニュートラルデジタルツイン(エネスワローデジタルツイン)」として構築し、蓄積したエネルギービッグデータを活用して新たな価値、サービスを創出し、それによってエネルギーの利用に際して、**コストやCO₂排出の制約のない Human-centric なエネルギー社会”Ambient Energy Society”の実現**を目指している。

これまでに、各エネルギー機器、自動車などが接続される実空間と、クラウド上のデータベース/アプリレイヤーのバーチャル空間との間に、データ取得/デバイス制御レイヤーを有する“エネスワローデジタルツイン”の基本構造を構築し、エネルギービッグデータを活用した各種予測手法とその評価手法、エンコーディング手法、システム最適化手法、モジュール連携手法、スマートインバーターの開発など、設定した7つの研究開発課題を推進した。特に、BEMSを有するビルで一般的に取得できるカテゴリカルデータを用いた独自のエンコード手法の開発により、低コストで実現できる世界トップレベルのビル電力需要予測精度を達成した。また、将来のビジネスモデル、実装シナリオについても検討、提案した。

【代表的な原著論文情報】

1. Hyojae Lee, Keisuke Kameda, Sergei Manzhos and Manabu Ihara, A novel encoding method for high-dimensional categorical data for electricity demand forecasting in distributed energy systems, submitted, under revision (2025)

2. S. Manzhos and M. Ihara, Rectangularization of Gaussian process regression for optimization of hyperparameters, *Machine Learning with Applications*, 13 (2023) 100487
3. S. Manzhos, and M. Ihara, Orders-of-coupling representation with a single neural network with optimal neuron activation functions and without nonlinear parameter optimization, *Artificial Intelligence Chemistry*. 1, 100013 (2023),
4. Taku Nishino and Takayuki Ishizaki, Estimation of Domain of Attraction Based on Equilibrium-Independent Passivity of Power Systems, *Proc. of The 22nd IFAC World Congress (IFAC WC 2023)*, pp.2539-2544, 2023