

持続可能な次世代グローバルエネルギーグリッドの研究 (e-Asia)

研究代表者 中西 要祐

(理工学術院 環境・エネルギー研究科 特任教授)

1. 研究課題

本研究では、実用化レベルにある再生可能エネルギー発電と、エネルギー貯蔵システムを活用するための、次世代グローバルグリッドの設備計画、実運用可能性、有効性検証を行うことを目的とする。国連が掲げる持続可能な開発目標 (SDG : Sustainable Development Goal) である“エネルギーをみんなに、そしてクリーンに”、“産業と技術革新の基礎を作ろう”、“気候変動に具体的な対策を”、“パートナーシップで目標を達成しよう”、などに資する。

我が国では、2011 年に発生した東日本大地震により、脆くも火力発電所が損壊し大規模な電力不足を経験したことから、地産地消につながる太陽光や風力発電などの再生可能エネルギーを導入することが重要となっている。また、海外に目を向けると e-Asia プロジェクト参加国である、東南アジア諸国では、全国レベルのグリッド整備は多大なコストが発生するため、日本と同様に地産地消が可能な再生可能エネルギー導入が期待されている。本研究では、再生可能エネルギー導入の本質的な課題となる、①建設コストや電力損失の最小化など経済性を考慮した送電ネットワークポロジ構造、②不確実性を持つ再生可能エネルギーのフローを求める確率潮流の導入、③不確実性の下でエネルギー安定供給計画を立案する確率型運用計画に係る課題、の解決を目指す。調査研究では、国内だけでなく、現在、研究連携を進めている e-Asia 参加国とも協力し海外の各種再生可能エネルギーの特性と、設計手法、制御方法、運用方式の数理モデルとシミュレーション手法の現状と開発課題を明らかにする。

2. 主な研究成果

2.1 これまでの JST/e-Asia プロジェクトの継続拡大

JST/e-Asia プロジェクトで構築したメンバー間の連携プラットフォームであるクラウド型情報共有システム (G G O D) の継続構築を実施した。不確実性を持つ再生可能エネルギーのフローを求める確率潮流計算ツールの一つとして、任意カオス方式 (APC 法) に基づく研究用電力潮流計算プラットフォームをスクリプト言語である Python を用いて構築した。これによって従来の計算精度、計算速度をおおよそ維持したままデータ入力から結果出力までを一気通貫して行い、複雑な関数や機能を簡便に制御・追加できる。以下の表 1 にプラットフォームに搭載した機能群と期待する効果について示す。

表 1 本プラットフォームに追加した機能群と期待する効果

追加した機能(一例)	期待する効果
コマンドラインプログラミング	計算プロセス制御の簡便化
ソフトバスのプログラミング	計算プロセス制御の簡便化
ガベージコレクション	メモリ使用量の低減化
Random Sampling法とその前処理	シミュレーション法の多様化
LODF係数算出	想定事故解析

コマンドライン、ソフトバスプログラミングによって直接コードを編集せず計算プロセスを制御可能にしている。さらに、膨大な計算量やデータに対して、ガベージコレクションやデータ処理の高速化や省メモリが期待できる Numpy 配列を適切に用いてメモリ使用量を抑えた。変動する入力で確率分布の扱いについて、Random Sampling 法 (RS 法) を可能として、Sequential Sampling 法 (SS 法) では考慮できなかった複数変動注入時の時系列的相関の排除を行う事を可能としている。この機能は、確率的電力系統解析において確率変動するパラメータの時系列データが与えられることが少ないという背景から、確率分布のみが与えられた場合を想定し特別な前処理を行ったうえで解析を行えるように設計した。これによって時系列データがなく、複数の確率変動を考慮する場合の確率的電力潮流解析が可能になった。

参考文献 4.1①文献参照、4.4 第一項

2.2 新規プロジェクトに向けた活動

新規プロジェクトに向けて、東南アジアメンバーと「クリーンなモビリティ向けの実験検証済み GIS ベースの統合バイオリファイナリ」について体制づくりを行い、これまでの研究成果を整理し、各国との共同研究の相乗効果を検討とした。

これにより、回収されたエネルギーは、廃棄物収集を含むバイオリファイナリーの運営をサポートする自給自足のエネルギー循環システムの構築を目指すものであり、本研究で獲得する知識、スキル、および開発ツールと技術を使用して、既存のバイオリファイナリーを最適化し、各国の異なる経済的および技術的実行可能性を向上させる事ができる。このための体制として、下図に示す各国の WP 体制を検討した。下図の左に、これまでの研究実績 (Past Studies) を示し、下図の右に、共同研究提案 (Proposed Project) として、5つの WP について、各 WP 間の連携内容を示す。

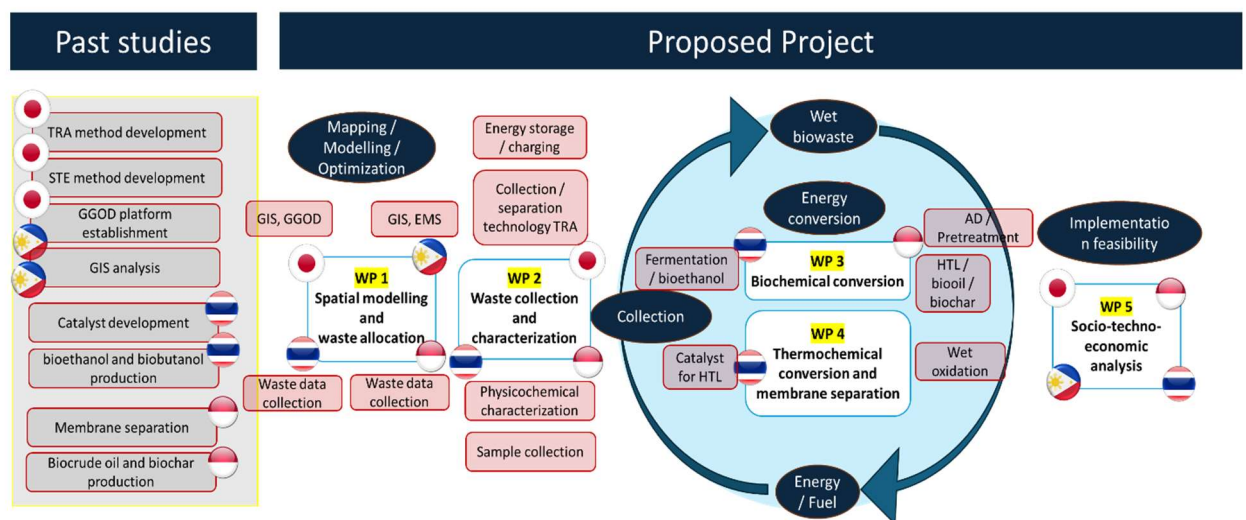


図1 地域の将来目標を達成するためのこの共同研究イニシアチブの相乗効果

また、目標とする地理情報システム（GIS）ベースのバイオリファイナリーモデル（GIS-GGOD モデル）により、東南アジア全域の 市町村固形廃棄物（OFMSW）と農産物残渣をバイオ燃料に有効活用する社会技術経済（STE）の実現可能性を評価する。

このモデルにより政策立案者は気候変動対策に有意義な提案と実現に必要な規制上の変更の規模について合理的な(informed)意思決定についての情報を提供する事を目標とする事が議論された。開発されるモデルは、

- ・ 湿潤バイオマス廃棄物の価値化技術に競争力のある市場を提供
- ・ 東南アジア地域での炭素ベースのクレジットシステムの基盤を確立するための炭素価格を計算
- ・ GIS-GGOD モデルのプロセス入力とパラメータの変更により、他のユーザーが本モデルを他の地理的地域や原料に適用可能

などの特徴を有している。

さらには、経済分析としては、正味現在価値（NPV）、便益原価率（BCR）、回収期間、関税料金、土地利用の変化による炭素クレジットの恩恵や栄養損失の回避などの要因からの社会経済的最適化なども分析可能とする事が合意された。

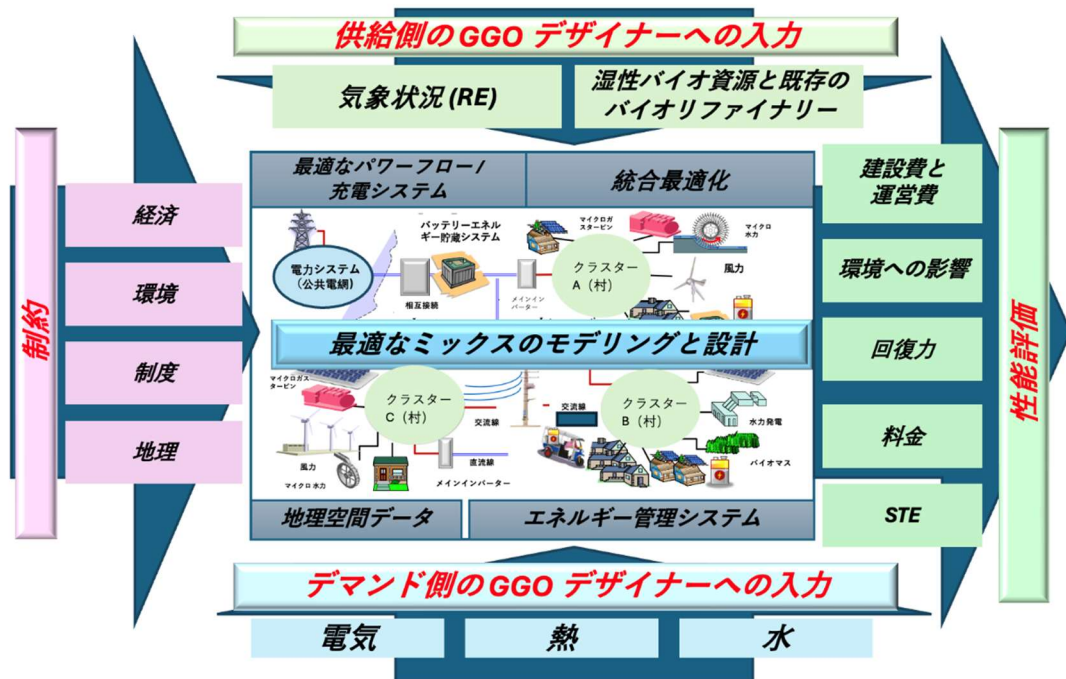


図2 GIS-GGOD モデル

3. 共同研究者

小野田弘士（理工学術院 環境・エネルギー研究科 教授）

野津 喬（理工学術院 環境・エネルギー研究科 教授）

4. 研究業績（2023 年度分）

4.1 学術論文

- ① Tsubasa Kanazaki, Kazuaki Iwamura, Yosuke Nakanishi, “Simulation Platform for Probabilistic Power Flow based on Arbitrary Polynomial Chaos”, ICEE2023 Hong Kong(2023)

- ② Motoshi Maekawa, Kazuaki Iwamura, Yosuke Nakanishi, Noboru Hattori, Junichi Fukushima, Mamoru Kasuga, “Deterministic and Probabilistic Analysis in the Case of Generation Outage Considering Renewable Energy”, ICEE2023 Hong Kong(2023)
- ③ Peijun Zheng, Jiang Liu, EnZe Zhang, Yosuke Nakanishi, “Short-term building-level energy consumption forecasting under multiple subsequences for the next day”, ICEE2023 Hong Kong (2023)
- ④ Peijun Zheng, Heng Zhou, Jiang Liu, Yosuke Nakanishi, “Interpretable building energy consumption forecasting using spectral clustering algorithm and temporal fusion transformers architecture”. Applied Energy 349 (2023)
- ⑤ Peijun Zheng, Jiang Liu, Peng Liu, Yosuke Nakanishi, “An optimal operational scheduling model for energy-efficient building with dynamic heat loss prediction, Energy and Buildings 280 (2023)
- ⑥ Peijun Zheng, Jiang Liu, Yosuke Nakanishi, “Accurate Multi-step Forecasting of Short-term PV Generation in Building using Interpretable Model”, ICAE2023 Matsue (2023)
- ⑦ Aoxue Yang, Min Wu, Chengda Lu, Wanke Yu, Jie Hu, Yosuke Nakanishi, “Decision Fusion Scheme Based on Mode Decomposition and Evidence Theory for Fault Diagnosis of Drilling Process”, IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol.20, 2, pp.2017-2028 (2024)
- ⑧ JT. Qi;T. Tsuji, Y. Nakanishi, Y.Ueda, “A Stability Analysis of Hybrid Control System Based on Microgrid Considering Asymmetric Synthetic Inertia with Time Delay, IEEE Power Tech Belgrade(2023)
- ⑨ C Shan, AH Pandeyaswargo, H Onoda, “Environmental Impact of Plastic Recycling in Terms of Energy Consumption: A Comparison of Japan’s Mechanical and Chemical Recycling Technologies”, Energies 16 (5), 2199(2023)
- ⑩ Andante Hadi Pandeyaswargo, Meilinda Fitriani Nur Maghfiroh, Hiroshi Onoda, “Global distribution and readiness status of artificial intelligence application on mobility projects”, Energy Reports 9 , 720-727(2023)
- ⑪ 野津喬「営農型太陽光発電への消費者の認知及び評価に関する分析」, エネルギー・資源学会論文誌(2024)
- ⑫ 野津喬「スマート農業技術の実証目標に関する探索的検討ースマート農業実証プロジェクトデータによる分析ー」, 農業経営研究(2024)
- ⑬ 野津喬「農林水産分野のオープン・イノベーションプラットフォームに関する分析ー「知」の集積と活用場の活動報告データを用いてー」, 農業経済研究(2023)

4.2 講演・学外講義

- 中国地質大学自動化学院にてリモート講義 (2023 年 6 月 14 日(水), 16 日(金)、中西要祐 ; 講義題目 : “Power system Control and planning Considering renewable energy”
- 電気学会東京支部寄付講義、中西要祐 ; 総合講義 A (オムニバス形式 : 電力潮流計算) 2023 年 4 月 8 日(土) 講義題目 : 電力潮流計算 於 : 明治大学、
- 電気学会東京支部講習会 2023 年 5 月 24 日(水) 大山力, 中西要祐, 辻隆男, 安田陽, 尾上令時, 野呂康宏 ; 講習題目「風力発電大量導入時の電力システム技術」於 : 全国左官タイル塗装業国民健康保険組合
- ソーラーシェアリングの消費者の認知及び評価 野津喬 ソーラーシェアリングフェスティバル第 1 回全国大会 2024 年 2 月 17 日 招待有り
- 地域の脱炭素化における政策課題ーコーディネーターの役割の観点からー 野津喬 2023 年度 UNITT アニュアルカンファレンス 2023 年 9 月 21 日 招待有り
- 再エネと農地をめぐる議論は なぜ「かみ合わない」のかー土地利用の観点からー 野津喬 自然エネルギー財団 研究会 2023 年 9 月 4 日 招待有り
- 営農型太陽光発電についてー土地利用の観点からー 野津喬「営農型太陽光の農業政策で

の位置づけを考える」戦略会議 2023 年 6 月 16 日 招待有り

4.3 合宿ゼミ・見学会（研究代表者の活動）

2023年9月20-21日 夏合宿 東京電力柏崎刈羽原子力発電所見学

2024年2月2日 東京電力 電気の史料館見学

2024年2月22日 東京電力 中央給電指令所見学

4.4 学会発表および学会活動

- 令和 6 年電気学会全国大会（徳島大学） 3 件発表
坂本大空,金崎翼,岩村一昭,中西要祐,服部昇,春日衛,「再エネの出力変動性を考慮できる確率的 LODF 解析手法を用いた送電線事故時の系統状態解析」令和 6 年電気学会全国大会, 2023/3/14-16, 6-049
水口 祥,前川元志,岩村一昭,中西要祐,服部昇,春日衛,「再エネ変動を考慮した調整電源の位置検討及び発電配分の検討」令和 6 年電気学会全国大会, 2023/3/14-16, 6-050
川島大輝,有江洋太,中西要祐,鈴木亮平,藤本久,「配電系統電圧上昇問題における PCS 無効電力制御パラメータの検討」令和 6 年電気学会全国大会, 2023/3/14-16, 6-132
- 再生可能エネルギー利用の面的拡大のためのソーシャル・イノベーション 鷺津明由, 野津喬, 上野裕士, 本田恭子, 森本英嗣, 渡辺貴史 第 40 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 2024 年 1 月 31 日
- FIT・FIP 制度後を見据えた営農型太陽光発電事業の継続と電力の自家消費に関する意向調査 杉村桂伍, 森本英嗣, 野津喬 第 80 回農業農村工学会京都支部研究発表会 2023 年 11 月 28 日
- 農業の脱炭素化と農業電化への期待 野津喬 東北農業電化協会 2023 年度農電研修会 2023 年 11 月 27 日 招待有り
- 農業のサステナビリティ デザイン: スマート農業の方向性についての考察 鷺津 明由, 野津 喬, 丸木 英明, 景浦 智也 環境経済・政策学会 2023 年大会 2023 年 9 月 30 日
- 観光農園における営農型太陽光発電に対する消費者評価 野津喬 令和 5 年度日本農業経営学会研究大会 2023 年 9 月 10 日
- スマート農業へのサステナビリティ・トランジションの現状: 都道府県別農業計画のサーベイに基づいて 鷺津 明由, 野津 喬 環境科学会 2023 年会 2023 年 9 月 7 日
- 農業のサステナビリティ・トランジション 鷺津明由, 野津喬, 丸木英明, 景浦智也 第 42 回エネルギー・資源学会研究発表会 2023 年 8 月 2 日
- 営農型太陽光発電への消費者の認知及び評価に関する分析 野津喬 第 42 回エネルギー・資源学会研究発表会 2023 年 8 月 1 日
- 農林水産分野のオープン・イノベーションプラットフォームに関する分析ー「知」の集積と活用の中」の活動報告データを用いてー 野津喬第 11 回アジア農業経済学会国際会議 2023 年 3 月 18 日

4.5 学会および社会的活動（研究代表者の活動を掲載）

- 電気学会電力エネルギー部門電力技術委員会
- 電気学会「洋上風力発電の現状とその普及の鍵となる電力技術調査専門委員会」委員（中西要祐）2023/6/30終了

- 電気学会「島嶼／スマートコミュニティ等における再生可能エネルギーが大量導入された系統の電力供給・需要の特徴調査協同研究委員会」委員（中西要祐）2023/6/30終了
- CIGRE/C1, C6 国際エキスパート（中西要祐）

4.6 講演会開催・設備視察（研究代表者の活動を掲載）

電力技術懇談会講演会 （2023 年 6 月 27 日）
電力技術懇談会主催設備視察（2023 年 5 月 30 日）
電力技術懇談会主催日韓シンポジウム（2023 年 9 月 14 日）
電力技術懇談会主催設備視察（2023 年 10 月 25・26 日）
電力技術懇談会講演会 （2024 年 2 月 1 日）
電力技術懇談会講演会 （2024 年 3 月 6 日）

5. 研究活動の課題と展望

2023 年度末で理工研プロジェクト 2 期目 3 年終了となり、3 期目の継続申請が認められた。これまで構築してきた海外研究機関、大学との共同プロジェクト提案を提出し、採択待ちである。具体的には、次の 3 つの主要な要素を開発し統合する：(1) 市町村固形廃棄物（OFMSW）と農産物残渣のソース分布の空間モデル；(2) 廃棄物の収集と分離、高温消化、触媒熱水処理、膜分離、湿潤酸化の性能の実験データの取得；(3) GIS ベースのバイオリファイナリーの STE および環境分析。この 3 つの主要要素に対して、4 か国が協力して 5 つの共同作業パッケージを遂行する予定である。