

「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の
創出と融合展開」

平成24年度採択研究代表者

H27 年度
実績報告書

内田健康

早稲田大学理工学術院
教授

エネルギー需給システム構築のための経済モデルと物理モデルの融合に基づく
設計理論及び実証・実装・提言

§ 1. 研究実施体制

(1)「依田」グループ

- ① 主たる共同研究者: 依田 高典 (京都大学大学院経済学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・スマートグリッドの社会実装化を見据えたエネルギー消費のデマンドレスポンスの行動経済学的研究

(2)「内田」グループ

- ① 研究代表者: 内田 健康 (早稲田大学理工学術院、教授)
- ② 研究項目
 - ・3 タイムスケールエネルギー経済モデルの構築と分析
 - ・動的統合メカニズム理論の構築と評価
 - ・再生可能エネルギーに対するリスク管理型統合メカニズム

(3)「大塚」グループ

- ① 主たる共同研究者: 大塚 敏之 (京都大学大学院情報学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・モデルの拡張
 - ・高速最適化アルゴリズムの改良
 - ・不確かさの考慮

(4)「滑川」グループ

① 主たる共同研究者:滑川 徹 (慶應義塾大学理工学部、教授)

② 研究項目

- ・分散最適化アルゴリズムの開発
- ・ネットワーク構造と分散制御に関する研究
- ・最適経済負荷配分と分散的電力価格決定アルゴリズムの開発

(5)「藤崎」グループ

① 主たる共同研究者:藤崎 泰正 (大阪大学大学院情報科学研究科、教授)

② 研究項目

- ・合意形成・協調・高信頼性のためのシステム原理
- ・経済性・プライバシー・公平性を実現するシステム最適化

§ 2. 研究実施の概要

研究全体を四つの研究項目に分類して本年度の研究実施の概要を記す。

(1) **人間行動を考慮したエネルギー消費モデルの構築と、そのモデルに基づくエネルギー需給バランスの分析と最適化、並びにADR(Automated Demand Response) 促進策:** 依田グループは、内田グループと連携して、社会実証データ収集・社会実装化促進を担った。特に初年度にあたる2015年度では、2014年に引き続き、HEMS(Home Energy Management System) 社会実装化社会実験(家庭の省エネプロジェクト 2015)を、以下の3項目に留意しながら、多摩田園都市で実施した。1. 東急グループが多摩田園都市で実施する省エネプロジェクトを活用し、住民の省エネ意識の向上、省エネ行動の変容を促した。2. 家庭エコ診断制度を活用し、家庭の省エネ行動を支援した。3. 大規模HEMS情報基盤整備事業を活用し、家庭のHEMS活用策を提案した。

(2) **消費者行動、エネルギー市場、並びに長期エネルギー政策のエネルギー経済モデルの構築と分析:** 内田グループの経済グループは、消費者行動に関しては、「見える化」の節電効果分析、依田グループと連携しながら経済実験による非価格的要因の分析、またダイナミックプライシングに対する消費者選好分析を行った。市場モデルに関しては、自由化がピークタイムおよびオフピークタイムの電力小売価格に与える影響について定性的な検証を行った。長期モデルに関しては、モデル構築のための予備的検討を開始した。

(3) **需要者と供給者の利己的な意思決定・制御を束ねて公共の利益を確保する動的統合メカニズムの設計理論、経済効率性の評価、並びに分散型アルゴリズム/高速アルゴリズム/信頼性向上とエネルギーサービス:** 内田グループの物理グループでは、動的統合メカニズム理論の構築に向けて、物理的制約を考慮したエネルギー需要・供給の動的モデルを対象として、公益最適プライシング方式の設計、需給最悪ケース公益最適プライシング方式の設計、並びに公益のためのインセンティブ設計を検討した。大塚グループでは、デマンドレスポンス、負荷周波数制御など経済と物理を統合した最適な電力ネットワークの運用を目指して、非線形モデル予測制御による高速リアルタイムプライシングを提案した。火力発電の出力変化率制約、送電制約、需要・供給の遅れを考慮して拡張したモデルを構築し、西日本60Hz系統を想定したシミュレーションによって提案法の有効性を示した。また、非線形モデル予測制御の解法を容易にするためにモデルや制約条件の変換について新しい知見を得た。滑川グループでは、分散最適化アルゴリズムの開発、ネットワーク構造と分散制御に関する研究、並びに最適経済負荷配分と分散的電力価格決定アルゴリズムの開発の3項目に焦点を絞って研究を行った。特に分散的価格決定に関しては、市場参加者の利益を保証する分散型電力価格決定メカニズムを考案した。藤崎グループでは、需要者と供給者を束ねた統合メカニズム設計に資するシステム構築論を創出することを目指し、エネルギーサービスの品質を保証するためのシステム原理とシステム最適化の研究を開始した。合意形成、協調、高信頼性のためのシステム原理について、ゴシップアルゴリズムによる合意形成とクラスタリング、雑音の存在のもとでの合意アルゴリズムを解析し、経済性、プライバシーを確保しつつ公平な意思決定を可能とする分散最適化アルゴリズムの高機能化をはかった。

(4) **再生可能エネルギーに対する経済及び物理の融合視点からの統合メカニズム及び制御方策:** 内田グループでは、再生可能エネルギーの大量導入に向けて、再生可能エネルギーの不確実下における電力システムの安定運用を実現する新たな市場約定方式を提案した。大塚グループは、再生可能エネルギーの導入時における電力ネットワークの最適な運用を目指して、非線形

モデル予測制御による高速リアルタイムプライシングを提案した。藤崎グループは、分散最適化アルゴリズムの高機能化をはかりながら再生可能エネルギーの不確かさを考慮する EMS 構築手法の研究に取り組んだ。

代表的な原著論文を 3 報:

- [1] K. Murakami, T. Ida, M. Tanaka and L. Friedman, Consumers' willingness to Pay for Renewable and Nuclear Energy: A comparative Analysis between the US and Japan, *Energy Economics*, Vol. 50, pp.178-189, 2015.
- [2] T. Murao, K. Hirata and K. Uchida, Optimal Bidding and Worst Case Pricing under Dynamic Integration Mechanism for LQG Power Networks, *Proceedings of the European Control Conference 2015*, pp.3315-3320, 2015.
- [3] T. Namerikawa, N. Okubo, R. Sato, Y. Okawa and M. Ono, Real-Time Pricing Mechanism for Electricity Market with Built-in Incentive for Participation, *IEEE Transaction on Smart Grid*, Vol. 6, No. 6, pp. 2714-2724, 2015.