

「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」

H24 年度 実績報告

平成 24 年度採択研究代表者

大森 浩充

慶應義塾大学工学部・教授

電力需要の約 75% を自然エネルギーによって賄うことを可能とする
分散ロバスト最適制御

§1. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

① 研究代表者: 大森 浩充 (慶應義塾大学工学部、教授)

② 研究項目

(A) 確率モデルに基づいた制約条件つき最適制御アルゴリズムの開発

(A-1) 不確定性の最小化, (A-2) リスク抑制最適制御, (A-3) 耐故障適応制御

(B) 大規模分散最適制御アルゴリズムの開発

(B-1) 各主体の分散最適化, (B-2) 市場全体の分散最適化

(C) 実システムを用いた実証実験環境の整備

§2. 研究実施内容

(A) 確率モデルに基づいた制約条件つき最適制御アルゴリズムの開発

太陽光・風力発電が大規模に導入された電力網において、発電量の不確定性に対処し、電力不均衡に陥るリスクを定量的に抑制しつつ、効率の高い制御を行うための制御アルゴリズムの開発を行った。

(A-1) 不確定性の最小化

(1) 確率モデルに基づいた制約条件つき最適制御アルゴリズムの開発のために、まず必要な不確定性そのものを最小化するため、自然エネルギー発電予測アルゴリズムの開発をおこなった。すなわち、自然エネルギー(太陽光/風力)発電システムの翌日の発電量予測を行うため、予測問題に関してのデータ解析に対する初期値問題と発電予測モデルに対する未知相関係数推定問題に定式化した。発電データに関して天候により異なる発電特性を持つため、発電特性を考慮した予測手法が必要である。予測に際して、天気予報は気象庁ホームページより得られる予報を用いた。過去の発電データを特性毎に分類し、発電データの集合に分類した後、天気予報により、予測に用いる過去の発電データ集合を選定した。さらに、発電の周期性を、回帰的な数理モデルによって表現した。周期性を利用した数理モデルの構築では、数理モデルを、未知相関係数と既知の過去の実績値を用いて表現した。その後、過去の発電データから、動的システムの状態推定をするために、フィルタリング理論を用いた未知相関係数推定法を提案した。この時の過去データはデータ解析によって得られた発電データ集合を用い、フィルタリング理論は太陽光発電特性に従った予測理論を構築した。提案法により出力制約を満たしつつ推定するアルゴリズムを確立し、定理によりその有効性を示した。最後に、以上の提案手法のそれぞれに対する有効性を、実機を用いた予測実験により確認・検証した。

(2) 不確定性の最小化の研究課題として、需給の不確定性を最小化するための最適設備投資計画問題の構築とともに、最適解を求めるためのアルゴリズムの開発に向けて、研究に取り組んだ。太陽光発電システムの導入を考える際に、日射量によってもたらされる不確実性が太陽光発電量の予測、ひいては収益計算にしばしば大きな影響を与え、最適設備投資計画の立案を難しくさせてしまう。その不確実性を最小にすべく、予測性能の高い「太陽光発電量の予測方法の開発」に取り組んだ。

(A-2) リスク抑制最適制御

(1) 複数の発電事業者がネットワーク上に存在するモデルにおいて、不確定な環境下で需給不均衡のリスクを定量的かつ分散的に抑制することを可能とする、市場ベースの電力取引メカニズムの開発である。本研究は2013年の国際学会 **European Control Conference** に採択され、口頭発表および **Proceeding** への掲載が決定した。また、2013年の制御部門大会においても口頭発表を行った。この研究はアプローチ(B-2)の成果の一部でもある。

(2) リスク抑制型最適制御を用いた、電力潮流(送電網上を流れる電力)の制御手法の開発を

開発した。既存研究に過去に開発した **risk allocation approach** を組み合わせることで、取るリスクの量において妥協することなく、より効率のよい電力網の運用が可能となることがわかった。この結果は、2012 年の国内学会である制御理論シンポジウムにて発表された。

(3) リスク抑制最適制御の研究課題として、最小化された不確定さをもつモデルの制約条件が破られるリスクを定量的に抑制するための最適制御アルゴリズムの開発を行い、検討を重ねた。不確実な最適化問題を扱うための手法として知られる「ロバスト最適化法」の観点からの研究を進めた。

(A-3) 耐故障適応制御

(1) 電力系統に故障が発生した際に電力供給不足および余剰電力発生を抑制を考慮した、太陽光発電 (PV: Photovoltaics)・エネルギー貯蔵システム (ESS: Energy Storage System) の最適配置問題をについて検討した。供給されない電力量の期待値を表す EENS (Expected Energy Not Supplied) , 発生した余剰電力量の期待値を表す EENU (Expected Energy Not Used) を制約条件で考慮し, IEEE Reliability Test System の電力系統を事例として, 設定したパラメータにおいて耐故障性を維持しつつ, 全体の発電可能量に対して 3.8 %の PV を導入し, ESS を最小限に配置可能なことを確認した。

(2) 適応制御の基本的なアルゴリズム開発として, 補償法として産業界で多く用いられている PID 制御パラメータを, 環境変動に対して自律的に変化させる適応制御方策の基本的な研究を行った。

(B) 大規模分散最適制御アルゴリズム

出力制御可能な電源に対しては, 全体コストを最適にする電力配分が可能だが, 分散電源の大量導入により, 電力ネットワークが複雑化すると, 制約条件やコスト情報を集中管理することが不可能であり, 最適化のための情報収集や計算を分散的に行わなければならない。

(B-1) 各主体の分散最適化

(1) 連続時間マルチエージェントシステムに基づいた分散協調アルゴリズムを開発した。そのアルゴリズムを実装したエージェントは近傍情報のみしか入手できないという環境下で, 自分の地域の電力配分を大域的に最適化することができる。

(B-2) 市場全体の分散最適化

(1) ゲーム理論を用いた電力のリアルタイム・プライシングを導入することで, より大規模かつ確実な周波数制御を可能できる。これは, これまで個々に行われていた研究が本研究母体の連携によりはじめて可能となった成果である。