

原 辰次

東京大学大学院情報理工学系研究科・教授

地域統合エネルギーシステム設計に向けたシステム制御理論の構築：
グローバル制御の視点

§ 1. 研究実施体制

(1) 東京大学グループ

① 研究代表者: 原 辰次 (東京大学大学院情報理工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・3つの異なるエネルギーシステムに対する階層化モデリング
- ・「時空間移動要素」という新しい概念の提案
- ・「階層化分散制御アルゴリズム」の原理についての検討と主双対最適化手法をベースとするアルゴリズムの提案

(2) 「東大+東京ガス」グループ

① 主たる共同研究者: 藤原 純 (東京ガス株式会社 基盤技術部 ICT・メーター開発グループ、マネージャー)

② 研究項目

- ・シミュレーションによる、GE による PV 出力変動抑制システムの制御モデル検討
- ・GE 実機を用いたシミュレーションの妥当性確認

(3) アズビルグループ

③ 主たる共同研究者: 総田 長生 (アズビル株式会社、課長)

④ 研究項目

- ・ビル群エネルギーシステムの具体事例の特定
- ・基本モデル構造の構築・定式化
- ・熱融通・蓄熱・未利用エネルギー活用のケーススタディ着手

(4) 富士通グループ

① 主たる共同研究者: 屋並 仁史 (富士通(株)TCソリューション事業本部、シニアリサーチャー)

② 研究項目

- エネルギー蓄積要素を含む電力ネットワークシステムのモデル化と問題設定
- 階層化方法と制御アルゴリズムの考案
- シミュレーションによる実験と検証

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、自然環境の変動や様々なレベルでの需要変動に対して安定的に稼動し、かつ総エネルギーという視点で効率的な制御システム「地域統合エネルギー制御システム」(図1)を設計する系統的手法を与えるためのシステム制御理論の構築を目的としている。

対象システムの特性は、「大規模階層化ネットワーク動的システム」と「時空間的に様々な分解能・スケールを有し、質的・量的に異なった多くの要素から構成」の2つにある。この認識のもと、3つの共同研究グループを構成し、エネルギーシステムに特化したシステム制御理論の枠組みを設定し、そのもとで目的を達成する解析・設計手法を開発することにより、系統的システム設計手法の開発に向けたシステム制御理論の確立を目指している。

本年度の主たる研究成果は、以下の2つである。

- ① 3つの異なるエネルギーシステム(エネルギー需給ネットワーク、エネルギー需要ネットワーク、電力需要ネットワーク)を「地域エネルギーシステム」として捉える視点でそれぞれモデル化に関し、それぞれのシステムに対する検討を行うとともに、それら3つのモデルの共通項として「時空間移動要素」という新しい概念を提案した。これは、蓄電池・蓄熱層・熱融通・ガスエンジンなどを統一的に扱うための枠組みで、その数理モデルとして「1次遅れ+飽和要素」が適切であるという結論にいたった。
- ② 「時空間移動要素」からなる階層化ネットワークシステムを対象とした「階層化分散制御アルゴリズム」の原理について検討し、主双対最適化手法をベースとするアルゴリズムを提案した以下、各研究グループの具体的研究成果と今後の展開を示す。

A: 東大+東京ガスグループ

本研究のねらいは、既存のGEを用いたPV出力変動抑制システムの制御・設計方法の構築である。昨年度の検討に基づき、今年度の研究では、単一のGEによる単一のPV出力変動抑制システムの制御モデルとして、フィードバックモデル、フィードフォワードモデル、2自由度系モデルを想定し、その制御性能をシミュレーションで比較した。このシミュレーションでは、実際のPV発電出力値を用い、3種類の制御モデルを用いてGEによるPV発電出力抑制運転を模擬した。その結果、外乱がある状態でも、目標とする周波数帯 $[10^{-2} \sim 10^{-1}[\text{rad/s}]]$ において、二自由度系モデルが制御性能において優れていることを示した。

次に、GE実機を用い、シミュレーションの結果の妥当性を確認した。妥当性確認に当たっては、変動抑制対象となるPV発電出力値が同じであれば同じGE発電出力値が求まるフィードフォワードモデルでGEによるPV発電出力変動抑制運転を実施したと想定し、シミュレーション結果と実機の運転結果の周波数特性を比較した。結果を右の図に示す。シミュレーション結果と、実機の運転結果は似通っており、当グループで実施してきたシミュレーションに妥当性があることが示された。

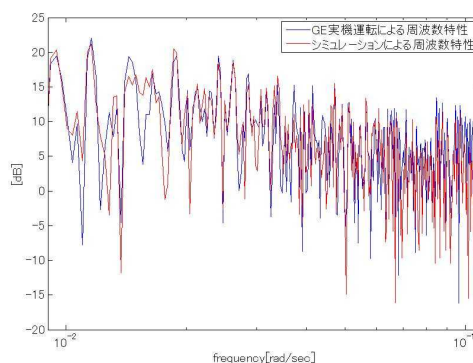


図:シミュレーションと実機運転の比較

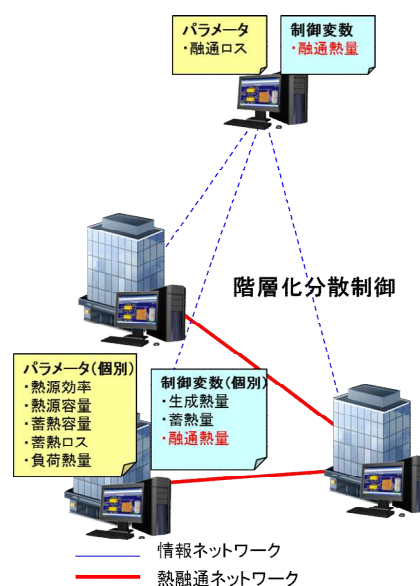
B: 東大+アズビルグループ

本グループでは、商用ビルおよびビル群統合管理におけるエネルギー需要ネットワークを中心とした統合エネルギー制御システムの設計を目的として研究活動を実施している。

H24 年度は、熱源・蓄熱・熱融通配管・その他未利用エネルギー（井水など）を考慮した、ビル群のエネルギー需要ネットワークのモデル化を実施した。

H25 年度は構築したモデルをベースに、様々なケーススタディを想定し、グローバル制御が有効に適用できる条件を検討した。ビル群のエネルギー需要ネットワークにおける「動的蓄積要素」とは、建物間熱融通（空間軸エネルギー移動）と蓄熱槽（時間軸エネルギー移動）の機能に相当し、相互に機能を補完できることが明らかになった。更に、実システムでの制御では、建物間での分散型最適化を導入することが情報独立性や自律性を高める点でメリットを持つと考え、具体的な分散型システムの構成や建物間の公平性を担保するインセンティブのルールなどを検討した。

また、階層化分散制御則を系統的に求めるための主双対最適化アルゴリズムを提案し、その有用性をシミュレーションで確認した。



C: 東大+富士通グループ

研究チームが目指す「多分解能階層化分散制御」の実現のために、本グループでは、各種再生可能エネルギーや各種エネルギー蓄積要素を含む統合電力ネットワークシステムでの、適切な階層化と階層ごとの効率的な制御アルゴリズムの開発を研究目標としている。

エネルギー蓄積要素の中でも蓄電池に着目し、特にノートパソコンのバッテリーを小さな蓄電池と捉え、ノートパソコンが多数ある大規模オフィスで、従来の集中制御ではなく、階層構造を導入し、グローバル制御の視点から、階層ごとに適切に制御するにはどうすればよいかを昨年度に引き続き検討した。観測状態に依存するノートパソコンバッテリーの仮想的 3 階層構造の構成法と階層化に基づく制御アルゴリズムを考案した。また、計算機シミュレーションにより、消費電力平準化による電力ピーク削減を実現できることを示した^(C-1)。この制御アルゴリズムは上層ではピーク電力削減というグローバルな目的を長い時間区間で最適化し、中層と下層では個々のバッテリーの駆動モード決定というローカルな目的を短い時間区間で最適化しており、グローバル制御を実現している。

また電力ネットワークが複雑化した場合、すなわち大きさや特性の異なる蓄電池を有し、かつ蓄電池同士が物理ネットワークの中で階層化しているシステムを扱うために、蓄電池の統一数理モデルを作成し、計算機実験するため、統一モデルを組み込んだシミュレーション環境を構築した。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

なし

(3-2) 知財出願

- ①特許出願件数(国内 1 件)
- ②CREST 研究機関累積件数(国内 1 件)