

馬場 旬平

東京大学大学院新領域創成科学研究科・准教授

エネルギー貯蔵デバイスの新しい応用方法および負荷側機器の制御手法に必要な
基礎的な理論・モデルの構築

§1. 研究実施体制

(1)「馬場」グループ

① 研究代表者:馬場 旬平 (東京大学大学院新領域創成科学研究科、准教授)

② 研究項目

・エネルギー貯蔵デバイスの新しい応用方法および負荷側機器の制御手法に必要な基礎的な理論・モデルの構築を行う。

§2. 研究実施内容

【需要家利便性を考慮した HP 熱機器の制御及びモデル化】

1. ヒートポンプ給湯機(Heat Pump Water Heater:HPWH)の基礎特性の把握

本年度の研究では、需要家の利便性を損なわずに家庭用ヒートポンプ給湯機の消費電力制御を行う際に必要となる、定常状態と過渡状態における消費電力特性や熱生成特性を測定した。

1-1. 様々な条件下における HPWH の COP 変化の把握

一定消費電力運転での消費電力と生成熱量を長期間に渡って測定することで、定常特性に対して圧縮機動作周波数と外気温、水温、生成湯温といった熱的要因の与える影響を確認した。定常状態における消費電力には圧縮機動作周波数、生成湯温の 2 つの要素が、COP には外気温が大きく影響することが判明した。これらのデータから消費電力制御運転との比較対象となる、現在の利用法でヒートポンプ給湯機を運転した際の特性を得ることができた。

1-2. HPWH の消費電力変化特性の把握

正弦波状に消費電力制御を行いながら運転した際の、消費電力と生成熱量を測定した。その

結果から消費電力応答特性と消費電力制御が COP に与える影響を確認した。消費電力応答特性は簡単に一次遅れ系として近似したが、近似モデルと実機の消費電力応答を比較することで、ある程度正確なモデリングが行えたことを確認した。COP に関して、消費電力制御を行った場合、消費電力制御を行わない場合と比較して COP の低下は 10%程度にとどまり、消費電力制御が熱生成効率に与える影響は小さいことが確認できた。

2. 熱的快適性を考慮した HP 空調機器の制御実験

2-1. HP 空調機器制御による短周期電力変動補償実験

商用ビルなどで用いられている熱出力 300kW 級の空調用ヒートポンプの消費電力を負荷及び再生可能エネルギー電源の電力変動に合わせて制御し、電力変動補償を行う実証試験を実施した。実証試験は約 300~400kW の実負荷とガスエンジン・ニッケル水素電池・空調用ヒートポンプ・太陽光発電設備で構成されているマイクログリッド実証試験設備において行った。この実証試験の結果、ガスエンジン出力を一定とした場合において、マイクログリッド内の負荷及び太陽光発電設備で発生する電力変動を補償するために必要となる蓄電池のエネルギー容量を空調用ヒートポンプの消費電力を制御することで大幅に削減できることを確認した。今回行った実験のケースにおいては、空調用ヒートポンプを制御した場合と制御しなかった場合で同等の電力変動抑制能力を維持しつつ、蓄電池の必要エネルギー容量を 50%以上削減することに成功し、空調用ヒートポンプを可制御負荷として用いることの有用性を確認できた。さらに、ガスエンジンについても変動補償制御に組み込み、ガスエンジン・蓄電池・空調用ヒートポンプの3種類の機器で制御を行った場合は、長周期の電力変動についても補償することができ、マイクログリッド連系点の潮流を一定に制御できることを確認した。また、空調用ヒートポンプの消費電力を制御した結果生じるヒートポンプの利用者への影響を評価するために、実証試験時に測定したヒートポンプの熱出力を室温計算モデルに入力し、制御時に発生する室温変動をシミュレーションによって確認した。シミュレーションの結果、空調用ヒートポンプの消費電力を制御した場合でも室温変動は在室者の熱的快適性に影響を与えない程度であることが確認できた。

【電気自動車(Electric Vehicle : EV)のスマート充電・充放電制御手法の確立と実装】

1. 自律分散/統合型制御手法の検討

EV の急速充電口経由での充放電制御が可能な EV・充電システムを構成し、その応答性や制御・通信インターフェースの特徴を踏まえた自律分散型の制御手法を設計した。EV 蓄電池の充電状態を EV から定期的に受信するとともに、電力システムの需給状態を表す周波数をプラグイン端子電圧から検知することにより、自動車ユーザの利便性を確保しつつ、電力システムの数秒から数分周期での需給変動に対応する周波数制御へ貢献できることを、実験により確認した。電力システムへの放電を含む V2G 制御が可能なパイロットシステムとして、応答、精度、効率などの知見を得ることができた。

2. EV/充電インフラ/シミュレータによる試験環境の構築

多数台 EV を想定した集中型周波数制御分担や EV 間での柔軟な充電状態管理を可能とするアグリゲータ機能の準備として、多数台 EV の制御手法の検討や、制御手法の実現性、多様な EV・充電システムの相互運用性を考慮した通信プロトコルの検討を行った。

【系統側エネルギー貯蔵装置及び負荷機器の革新的運用手法の検討】

1. 不確実性を考慮した、需要家機器を含む電力系統の最適需給計画の作成手法

シミュレーション中に電力需要・PV 出力変動や発電機故障などが発生した場合において、その後の時間断面で N-1 基準を満たす等の明確な基準を考慮したシミュレーションの実施と、供給支障発生の様子の見える化を推進するための検討を行った。その基礎的検討として、週間発電計画を 1 日ごとに作成しなおすシミュレーション手法及びそれに必要な最適化手法について提案・検討を行った。最適化計算アルゴリズムを先行研究と比較してシンプルな物へと変更する事によって計算時間の簡略化を実現し、新たな週間シミュレーション手法を確立した。また、これまで困難であった発電機故障を考慮した最適発電計画作成手法を提案し、その有用性を示した。これらを踏まえた上で、PV の出力変動に対して運転予備力を考慮したシミュレーション手法を確立し、検討を行った。時間断面毎の最適な予備力の確保量を探索的に求める手法についても検討を行ったが、計算時間が非常にかかるため基礎的な検討のみ留まっている。しかしながら、予備力確保量の最適化を行った場合の結果は、PV 出力の応じた予備力を確保した場合と大差が無く、PV 大量導入時における供給信頼度確保のためには PV 出力に応じた予備力を確保すれば良いという知見が得られた。

【系統側エネルギー貯蔵装置による緊急時制御手法の確立】

1. シミュレーションにおける負荷供給系統のモデリングと解析ツール構築

PV が系統安定度に与える影響を解析するための準備として、負荷や PV の動的モデルを扱うことのできる負荷供給系統の安定度解析ツールの開発を進めた。負荷は、誘導機負荷と定インピーダンス負荷の並列モデルとした。ここで、誘導機は機械的な過渡現象に加えて電氣的な過渡現象を扱うことのできる詳細モデルで模擬した。PV は、インバータの動特性(電力制御系、電流制御系)や、瞬低時の脱落特性、出力復帰特性を模擬可能なモデルとした。開発した解析ツールを用いて、当該年度は PV のモデル化の違いが過渡電圧安定度に与える影響について検証した。その結果、PV の動特性を無視した静的モデルを適用した場合には、事故除去後の電圧復帰特性を正確に模擬できず、悲観サイドの結果となることが明らかとなった。また、静的モデルの解析誤差は、PV の変換器定格に対する出力の割合に影響を受け、その割合が小さい条件(変換器余裕が大きい条件、曇天時等)では、特に解析誤差が大きくなることも分かった。今後は、開発した解析ツールを用いて、PV が系統安定度に与える影響について更なる解析を行い、系統用二次電池による系統安定化手法を検討する予定である。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

A-1. Shunsuke Kawachi, Jumpei Baba, Kei Furukawa, and Eisuke Shimoda, "Experimental Verification of Tie Line Power Flow Control of Microgrid by Use of Heat Pump Air Conditioning System and Energy Storage System" Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol.3, No.1, pp.25-31, 2013 (10.5370/JICEE.2013.3.1.025)

A-2. 河内駿介, 馬場旬平, 古川慧, 下田英介「業務用空調機消費電力制御による短周期電力変動補償のマイクログリッドにおける実証試験」, 電気学会論文誌 B, Vol.133, No.4, pp.358-365, 2013. (10.1541/ieejpes.133.358)