

## 審査の結果の要旨

氏名 河内 駿介

本論文は、「空調機器を可制御負荷として用いた短周期電力変動補償システムの設計手法及び実証検討」と題し、負荷制御の中でも熱負荷機器、特にヒートポンプ空調システム(HPACS)の制御に注目し、マイクログリッド内部で HPACS 消費電力制御を行うシステムについて、機器の特性取得、制御系設計手法の提案、実証試験設備を用いた実証試験、系統周波数制御への貢献能力の評価を行い、有用性及び実現可能性を示している。

第1章「序論」では、再生可能エネルギー電源大量導入に伴って電力系統で生じることが懸念されている問題点や、その解決に向けた負荷制御以外の研究例等の背景を論じ、本研究の位置づけ及び目的を述べている。

第2章「可制御負荷の概念と HPACS の適用可能性」では、需要家機器制御の考え方とその近年の研究例について論じた後、ヒートポンプシステムの概要について述べている。また HPACS について負荷に占める割合などから可制御負荷としての適用可能性について論じた後に本研究で用いる HPACS の仕様について述べている。

第3章「制御系設計に向けた HPACS の基礎特性の取得」では、実機試験によって得られた空調用ヒートポンプの基礎特性について述べている。基礎特性取得試験では HPACS の COP の部分負荷特性、消費電力指令値追従特性及び消費電力変化時の生成熱量変化の動特性を測定した。COP 部分負荷特性測定では、HPACS の COP を消費電力及び冷温水入口温度と外気温の温度差との関数として表現する近似式を算出した。また、正弦波消費電力指令値応答試験の結果より COP は、同条件で定常運転を行った場合の COP とほぼ同じであることを確認した。消費電力指令値追従特性測定では正弦波消費電力指令値応答試験の結果より HPACS 消費電力の Bode 線図を作成し、HPACS の消費電力指令値追従特性測定が一次遅れ系で近似できることを示した。生成熱量の動特性についても Bode 線図を作成し特性を一次遅れ系で近似し、HPACS の利用者の利便性について検討を行う際に有用なデータとなるものである。

第4章「可制御負荷を含むマイクログリッドの制御パラメータの設計手法の提案」では、空調用ヒートポンプを可制御負荷として用いた電力変動補償システムの制御設計手法について論じている。ここでは HPACS と蓄電池を含むマイクログリッドにおいて電力変動補償を行う制御系を考え、HPACS の蓄エネ

ギー量制御と蓄電池の SOC 制御の制御パラメータ決定手法を示した。提案手法では補償すべき電力変動からマイクログリッドの連系点潮流・HPACS の蓄エネルギー量変動・蓄電池 SOC 変動といった変動量までの伝達関数をそれぞれ計算し、電力変動の周波数スペクトルを掛け合わせることでこれらの変動量の周波数スペクトルを算出している。本手法で求めたパラメータを用いて HPACS 消費電力制御を含むマイクログリッド電力変動補償のシミュレーションを行い、変動量の傾向が設計方針通りであることを確認した。

第 5 章「可制御負荷を含むマイクログリッドの電力変動補償実証試験」では、GE・HPACS・NiMH 電池の 3 つの機器からなるマイクログリッド実証試験設備において電力変動補償システムを構築して実際の負荷変動に対して電力変動補償制御を行い、マイクログリッドの変動補償率、NiMH 電池の SOC 変動量、HPACS の熱出力変動などを測定・解析した結果を述べている。実証試験は複数パターンで実施し、一部の組み合わせについては制御パラメータを複数通りに変化させて実施した。試験結果より、HPACS と NiMH 電池を組み合わせで制御することで、単に NiMH 電池のみで制御するよりも大幅に NiMH 電池の SOC 変動幅を削減できることが確認された。一方で、HPACS の熱出力の変動による利用者利便性への影響について室温モデルを構築して検証した結果、HPACS 消費電力制御の結果として生じる室温変動は 1℃未満であり、在室者の熱的快適性はほとんど損なわれないことが確認できた。

第 6 章「マイクログリッドによる電力変動補償の系統周波数制御への貢献能力評価」では、マイクログリッドにおける電力変動補償による系統周波数制御への貢献能力の評価について論じている。検討では負荷・ベース電源・火力発電機・水力発電機・系統設置蓄電池及びマイクログリッドで構成されている系統についてマイクログリッドの制御パラメータを変化させて変動抑制率が変化した結果として系統側発電機の LFC に相当する出力変動がどのように変化するかを確認した。

第 7 章「結論」では、本論文の成果をまとめ、今後の課題を示している。

以上、これを要するに、本論文は、ヒートポンプ空調機器の可制御負荷としての数理モデルを開発し、制御系構築に必要な特性の取得方法及び、パラメータ設計方法を提案し、更に実証試験により提案手法の有用性を確認したものであり、電気工学、特に電力系統工学への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。