

## 論文内容の要旨 Abstract of Dissertation

氏名 Name 阿久津 慧

地球温暖化や資源枯渇などの環境エネルギー問題を背景に、再生可能エネルギー源を利用した分散型の発電設備や蓄電設備を電力系統に導入する必要性が高まっている。なかでも大規模太陽光発電システムは、固定価格買取制度などの政策により導入量が増加してきた。一方で、太陽光発電システムからの電力出力量は、自然条件に依存し大きく変化することもある。このような出力変動などに起因し、系統連系点において電圧が変動するという問題が発生している。さらに一部の電力会社管轄下においては、大規模太陽光発電システムの設備認定量が電力会社の接続可能量算定値を超過した。これに起因して、快晴時における供給過剰を避けることを目的に、出力抑制指令に対応可能な機器を使用することが法律で義務付けられた。ただし、単純な出力抑制は利用可能なエネルギーの廃棄を意味する。そこで蓄電池の導入も検討されてきている。また、発電設備の出力電力調整、蓄電設備の充放電電力調整に加え、消費者による使用電力調整（デマンドレスポンス）の活用も検討されている。このような発電、蓄電、消費の3種類の機器を統合的に運用するため、仮想発電所（Virtual Power Plant: VPP）やアグリゲーターの導入も提案されている。しかしながら、分散型の発電設備や蓄電設備が大量導入された次世代電力系統においては、多種多様な電力機器が混在することになり、集中管理は困難となる。

本研究では電圧変動問題に関して、複数台の Power Conditioning System (PCS) で構成される大規模太陽光発電システムを対象に、実時間価格提示方策を利用した分散型の制御方策を提案した。提案方策では、運営管理者は各 PCS の運転状態を把握することなく、連系点の電圧変動を観測するのみで、価格更新・提示が可能であることを示した。各 PCS は提示された価格、自身の運転状態および効用を考慮した分散最適化問題を解くことにより目標値を決定、自身の動特性に従い出力する。提案方策の有効性を、数値実験と実機 PCS を用いた実験により検証した。機器容量が異なる PCS が混在する場合、発熱などにより電力出力を減少させる PCS がある場合や接続・離脱のタイミングが異なる PCS が存在する場合など、様々な条件で検証し、提案方策の有効性を確認した。また制御方策の実装のために、最適化問題の特徴を活かした簡易な求解アルゴリズムを考案した。この求解アルゴリズムは、四則演算と条件分岐文のみでコーディング可能であり、現行の PCS にも容易に実装可能である。

出力抑制指令への対応問題について、複数台の PCS により構成される大規模太陽光発電システムおよび蓄電池併設型太陽光発電システムを対象に分散制御方策を検討した。提案方策では、運営管理者は、各 PCS の運転状態や蓄電池の充電状態を把握することなく、連系点の電力出力を観測するのみで、価格更新・提示が可能であることを示した。各 PCS は提示された価格、自身の運転状態および効用を考慮した分散最適化問題を解くことにより、目標値を決定、自身の動特性に従い出力する。出力抑制指令への対応問題についても、機器の容量が異なる PCS が混在する場合、接続・離脱のタイミングが異なる PCS が存

在する場合、蓄電池の充電状態により運転状態を変える PCS が存在する場合など、様々な条件にて数値実験および実機実験により検証し、有効性を確認した。

また、複数の発電機器、蓄電機器、消費機器により構成された仮想発電所を対象とし、電力需要・供給バランスを維持するための階層型分散制御方策について検討した。提案方策では、電力機器を機器の種類ごとにグループ分けし、VPP 管理者とグループ管理者により構成される第 (i) 層で VPP 全体の需給バランスの維持が可能なグループの運用目標値を決定する (グローバル運用)。そして、グループ管理者と電力機器により構成される第 (ii) 層で、グローバル運用にて決定したグループの運用目標値を満たすように、各電力機器は出力目標値を決定、自身の動特性に従い出力する (グループ運用)。VPP 管理者による価格提示は、グループの詳細な運用情報を集約することなく、各グループの電力出力値と内点解かどうかのフラグのみを受信することにより可能である。同様に、グループ管理者による価格提示も、各電力機器の出力電力値のみを受信することにより可能である。またグループ管理者による運用目標値の決定、各電力機器による出力目標値の決定は、提示された価格を含む分散最適化問題を解くことにより行う。提案した階層型分散制御方策による運用を数値実験で検証し、発電量が低下した場合、消費機器の急な故障が発生した場合、蓄電池の充電残量により充放電量が低下した場合などの条件において、有効性を確認した。

本研究で提案した制御方策では、管理者は合計出力のみを観測または各電力機器の出力電力値を受信するのみで価格の更新・提示が可能である。各電力機器は、提示された価格と自身の運転状態のみを考慮した最適化問題を分散的に解き目標値を決定、自身の動特性にしたがい出力する。さらに、汎用のソルバを使用しないアルゴリズムによる最適化問題の求解も実現しており、現行の PCS にも容易に実装ができる。このように本研究の提案方策は、高速に演算可能な計算機は必要なく、機器の運転状態を考慮した目標値決定や plug-and-play 型の運用も可能で、かつ拡張性にも優れており、今後のシステムの大規模化にも対応できるため、次世代電力システムの安定運用に寄与できる。