

【学位論文審査の要旨】

電力システムの運用上の制約を満足しつつ、経済性などの性能指標を最適化する潮流状態、すなわち **Optimal Power Flow**（以下、**OPF**）を決定する問題は電力システムにおける潮流最適化問題と呼ばれ、大規模な有制約非線形混合整数計画問題として定式化される。**OPF** は電力システムの計画・運用・解析・制御における重要な基盤技術として位置付けられ、最適化手法・モデリング手法の発展とコンピュータパワーの増大を背景として数多くの研究が行われ、電力システムの計画・運用・解析・制御に適用されてきた。

近年、電力自由化の進展による多様な電気事業者の参入に伴う「意思決定における分散性」と、地球規模での環境問題の顕在化などを背景とした再生可能エネルギーの大量導入に伴う「発電電力における不確実性」が拡大しており、**OPF** においては「意思決定における分散性」と「発電電力における不確実性」の適切な考慮が重要な課題となっている。

本論文では、電力システムにおける上述の「分散性」や「不確実性」を考慮する **OPF** は意思決定が入れ子構造となる 2 レベル最適化問題となること、および非線形のシステム方程式で記述される電力システムの特長（電力潮流方程式）を考慮する場合には既存の最適化手法では解くことが困難であることを指摘している。さらに、「分散性」または「不確実性」を考慮可能な新たな **OPF** のモデル化・定式化、およびこれを解くための新たな階層型最適化手法を提案・構築し、モデルシステムを用いた数値実験により、提案手法の有用性を検証している。

本論文の新規性と有用性は、以下のように要約できる。

- (1) 今後の電力システムにおいて顕在化し得る「意思決定における分散性」と「発電電力における不確実性」を考慮した **OPF** が、入れ子構造となる 2 レベル最適化問題として定式化できることを示し、新たな潮流最適化問題の設定と定式化を与えた。
- (2) 「意思決定における分散性」を考慮した離散変数を有する **Multi-Area OPF** を新たにモデル化・定式化した。離散変数を連続変数に緩和して得られる近似問題に対し、資源配分型分割を適用してその資源配分変数の連続解を効率よく求めることにより、計算効率を大幅に向上させることができる手法を提案し、実規模モデルシステムを用いた数値実験により、有用性を検証した。
- (3) 「発電電力における不確実性」を考慮した **OPF** を、不確実下での交流法 (**AC**) に基づく **Robust AC OPF** として新たにモデル化・定式化した。具体的には、**OPF** における目的関数に関しては **min-max** 基準を、不等式制約条件に対してはロバスト性基準を適用した定式化を行い、システムの状態をシナリオとして想定し、不等式制約条件の制約逸脱量が最大となるシナリオを逐次生成することで、不確実最適化問題の解を求める新たな制約緩和法を提案した。現実のマイクログリッドを想定したモデルシステムを用いた数値実験により、有用性を検証した。

以上、本論文の成果は、①**OPF** における「分散性」または「不確実性」を考慮可能な新たな **OPF** のモデル化・定式化を提案したこと、②「分散性」を考慮した離散変数を有する **Multi-Area OPF** を新たに定式化した上で、離散変数を連続変数に緩和しつつ資源配分型分

割を適用する新たな手法を構築し、モデル系統を用いて有用性を検証したこと、③「不確実性」を考慮した OPF を Robust AC OPF として定式化した上で、新たな制約緩和法を構築し、モデル系統を用いて有用性を検証したことにあり、工学的意義が大きい。また、本学位論文の大部分は、既に国内会議および国際会議において発表されており、関連学会の学術雑誌に論文として掲載され、高い評価を得ている。

以上のことから、本論文は博士(工学)の学位を授与するに十分に値するものと判定した。

(最終試験又は試験の結果)

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上(オンライン)で論文発表を行い、学内外からの出席者を得て多角的な討論を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に考慮し、慎重に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。