

A Study on the Application of Fuzzy Theory to Power System Planning and Operation Problems

（電力系統の運用計画問題へのファジィ理論の適用に関する研究）

学位論文内容の要旨

電力系統における運用計画は、電力の安定供給と供給コストの低減を目的として、想定需要に対応する効率的な電力設備の開発・運用を計画立案するものであり、電気事業における最も基本的かつ重要な業務の一つである。一般に、系統の運用計画は、1～2年程度の至近年を対象とし、水力・火力・原子力の各供給力の運用指針を得る短期計画と、5～10年程度を対象とし、将来の設備計画を策定するための基本となる長期計画とに大別できる。前者は、対象期間の電源が決定しているので、想定需要に対して、その与えられた電源設備の中で最経済的となるよう各供給力の組み合わせ、補修実施時期、貯水運用等を決定すると共に、電力各社間の電力融通を織り込み、対象期間内の需給バランスを明確にする計画である。後者は、想定需要に対し所定の供給信頼度を確保した上で、長期的な総合経費が最小となるよう需給バランスの見通しを明らかにするもので、長期電源開発計画の基本となるものである。

ところで、こうした問題においては、必然的に「未来の情報」をデータとして用いなければならず、問題自体にあいまいさや不確実性が内在することになる。特に、年単位の計画の場合、データの値は「おおよそ～程度」と言った言語的表現でしか与えられない程、不完全なものとなり、そのデータの捉え方には、系統計画者の認識、判断、思考が大きく関与してくるものと考えられる。しかしながら、現状では、未来データの予測値を確定値とみなして計算を行っているため、設定データに対応した確定的な計画しか得られず、柔軟性の面で、現実の系統運用計画と適合しないという問題が生じる。すなわち、問題を確定的に記述したことにより、実行可能解が全く得られなかったり、仮に得られたとしても予測のずれに伴って、当初の計画とはかなり異なった過酷な運用計画を強いられる場合が考えられる。従って、未来情報が不確定ないわゆるファジィ環境下での運用計画では、データのあいまい性を陽に考慮し、人間の主観を適切に反映できるように問題を定式化することが必要である。このとき、得られる計画案は、いかなる状況の変化にも対応できるような柔軟さを備えていることが必要であると同時に、多少の状況変化に対しても、当初計画を大きく変えることなく、期間全体にわたる最適性を維持し続けるようなタフなものであることが望ましい。以上のような背景から、本論文では、ファジィ理論を用いて、あいまい環境下における電力系統の運用計画のあり方を総合的に検討することを目的としている。具体的には、まず、火力発電機群の「定期補修計画問題」を取り上げ、柔軟な運用計画を立案するためのファジィ計画手法に関して基礎的な検討を行う。更に、多段階意思決定問題として定式化され、従来から動的計画法（DP法）によって解を求めている、「貯水池運用問題」、「電源開発計画問題」を取り上げ、ファジィ環境下における新しい動的計画法（ファジィDP法）を開発する。この手法は、「本来不確実な環境下での最適計画

とは、確定的に唯一なものではなく、不確実性に依存して当然起こり得るであろうある幅を持った計画となるはずである」との観点に立ったものであり、従来のDP法やファジィ協調に基づくDP法とは全く異なる新しい枠組みに基づく手法である。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第1章は序章であり、電力系統の運用計画における不確実性、あいまい性に関して、その特徴を述べると共に、本論文の目的、構成について記述している。

第2章では、ファジィネスの概要について一般に述べると共に、このあいまい性に対して人間の主観を反映させるためのメンバーシップ関数の考え方について説明している。また、ファジィ環境下での意思決定を行うため、メンバーシップ関数の優越性を評価する2つの指標を提案している。更に、本論文のベースとしている分枝限定法及び動的計画法について、その概要を記述すると共に、これらをファジィ理論を用いて拡張することによって期待される効果、物理的意味等についても論じている。

第3章では、火力発電機群の定期補修計画問題に対し、将来の負荷需要及び予備力制約がファジィネスを持つものとし、ファジィ理論に基づいたより柔軟な計画手法を提案している。具体的には、まず予備率均等化のための従来の目的関数に、負荷のメンバーシップ関数を導入することで、「平均的な予備力の均等化」を表す新しい目的関数を設定している。また、将来の予備力制約も、制約満足度を表すメンバーシップ関数によって定義している。これにより、問題の制約条件は、負荷のあいまい性をも同時に考慮すると、「予備力制約の平均的な満足度」に関する条件式で与えられ、従来の確定的なアプローチに比べ制約条件が緩和されることになる。なお、この問題においても各発電機の補修時期を固定していくに従い、目的関数の値は単調に増加するという特徴があるため、最適化計算は、従来の深さ優先探索に基づく分枝限定法を同様に適用できることを述べている。モデルシステムを用いたシミュレーションの結果、提案手法は、制約条件を緩和していることにより、確定的手法では解が得られない場合にも比較的柔軟に解を得ることができるという結論が得られている。

第4章では、電力系統の貯水池運用計画を対象とし、従来のDP法をあいまい要因をも考慮し得るよう拡張することを目的としている。具体的には、本問題における「あいまい要因」として、負荷需要及び貯水池への自然流入量を想定し、最適化問題をできる限り現実に即した形で詳細に定式化している。また、この問題に対して、DP法の適用可能性を検討し、あいまい環境下で最経済な運用解を得るための計算プロセスを理論的に構築している。このとき、意思決定の指標として前述の「支配度」及び「好感度」なる2つの指標を用いており、何れの場合においても、最適解がバンド状に得られ、しかもメンバーシップ関数の幅が大きくなるに従い、バンドの幅も広がるという結果が得られている。また、このバンド解の平均値は、自然流入量をその平均値で確定的に表した場合の解とは異なっており、確定論的に扱う従来の運用解では、柔軟性の面において十分ではないことを示している。また、前進型及び後退型DP法の両方を用いることにより、運用上の望ましい目標点を見い出す手法についても述べている。

第5章では、長期運用計画問題として、電源開発計画問題を取り上げ、前章で開発したファジィDP法の適用について検討している。すなわち、将来の電源コスト（可変費、固定費）があいまいであるとして、ファジィDP法を適用すると同時に、この計算を考え得るいくつかの負荷シナリオに対して実行する手法である。これにより、どのような負荷変化シナリオに対しても最適であるロバストなベストミックスが求められると同時に、ピーク用電源については、負荷シナリオがある程度確定した段階で、柔軟にその導入容量等を決定できるような計画案が得られる。一般にピーク用電源は、他の大型電源に比べ建設期間が短いことから、この考え方は現実に即した妥当なものであると言える。

第6章は、本論文の結論であり、各章で得られた新知見をとりまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	長谷川	淳
副 査	教 授	大 西	利 只
副 査	教 授	本 間	利 久
副 査	教 授	宮 腰	政 明
副 査	助教授	北	裕 幸

学 位 論 文 題 名

A Study on the Application of Fuzzy Theory to Power System Planning and Operation Problems

(電力系統の運用計画問題へのファジィ理論の適用に関する研究)

電力系統における運用計画は、電力の安定供給と供給コストの低減を目的として、想定需要に対応する効率的な電力設備の開発・運用を計画立案するものであり、電気事業における最も基本的かつ重要な業務の一つである。一般に、こうした問題では、未来情報をデータとして用いねばならないことから、問題自体にあいまいさや不確実性が内在する。このため、得られる計画案としては、いかなる状況の変化にも対応できるような柔軟さを備えていることが必要であると同時に、多少の状況変化に対しても、当初計画を大きく変えることなく、期間全体にわたる最適性を維持し続けるようなタフなものであることが望ましい。本論文では、このような問題意識のもと、ファジィ理論を用いて、あいまい環境下における電力系統の運用計画のあり方を総合的に検討することを目的としており、幾つかの重要な知見が得られている。

まず、火力発電機群の定期補修計画問題に対し、将来の負荷需要及び予備力制約がファジィネスを持つものとし、ファジィ理論に基づいたより柔軟な計画手法を提案している。すなわち、予備率均等化のための従来の目的関数に、負荷のメンバーシップ関数を導入することで、「平均的な予備力の均等化」を表す新しい目的関数を設定している。また、将来の予備力制約も、制約満足度を表すメンバーシップ関数によって定義している。これにより、従来の確定的なアプローチに比べ制約条件が緩和されることになり、確定的には解が得られない場合にも比較的柔軟に解を得ることができる。

更に、多段階意思決定問題として定式化され、従来から動的計画法(DP法)によって解を求めている、「貯水池運用問題」、「電源開発計画問題」を取り上げ、ファジィ環境下における新しい動的計画法(ファジィDP法)を開発している。この手法は、「本来不確実な環境下での最適計画とは、確定的に唯一なものではなく、不確実性に依存して当然起こり得るであろうある幅を持った計画となるはずである」との観点に立ったものであり、従来のDP法やファジィ協調に基づくDP法とは全く異なる、新しい枠組みに基づく独創的な手法である。計画案が優劣のつけられない集合として与えられれば、実際の運用は常にそのバンド内の適当な点で行われさえすればよく、系統運用に幅が生じることになる。また、こうした計画を種々の状況変化を想定して求め、その共通部分を解とすることで、

状況の変化に対しても強い計画を得ることができることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、不確定性要因を考慮した電力系統の運用・計画に関して新知見を得たものであり、電力系統工学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。