

## 学位論文題名

## 電力系統運用支援におけるエキスパートシステム実用化に関する研究

## 学位論文内容の要旨

電力系統を運用する為にコンピュータの活用が1960年代に始まり、現在では高品質の電力を安定に供給する為に必要不可欠な存在になっている。この歴史の中で、電力系統の状態を監視し、制御し、記録するなど、定型的な業務活動を人間による作業からコンピュータによる処理に移行させることによって、大規模な省力化を実現してきた。この手法による自動化をほぼ達成した今、従来から非定型的とされていて、ベテラン運用者の経験と勘に多くを依存する高度な業務を自動化することが次の課題とされている。この課題に対して人工知能(AI)技術、その中でエキスパートシステム技術が、その解決の可能性を持ち、至近時での実用化が期待される有力な手段として注目されている。

さて、電力系統の運用の目的は、需要家に対して不断に良質の電力を供給することであり、その為に電力系統を構成する発電所、変電所及び送電線などの設備を計画的に運用することがコンピュータシステムに課された要件となる。そしてこの要件を実現する為に、将来の状態を予測して予め手順を用意しておく計画業務と、電力系統の状態を監視し、電力系統を時々刻々と制御する監視・制御業務がある。

計画業務は、電力需要、河川流量等の予測をする業務と、それらの予測値をもとにして、発電設備や送変電設備の運用や補修、停止などの計画を立案する業務から構成されている。

監視・制御業務は計画業務によって立案された計画を基準として、当日の電力需要や河川流量の状況、発電設備や送変電設備の状態などを監視し、計画を修正しながら電力系統全体の制御を行う業務から構成されている。

これらの業務において、従来から非定型的とされていて、ベテラン運用者の経験と勘に多くを依存する部分の代表例には次の様なものがある。

- ・法令により定性的に課せられた制約、あるいは各電力会社が独自に定量的な条件を定めた制約を状況に応じて解釈し、関係部署と調整を行い、膨大な数の設備について補修計画と停止計画を立案する。
- ・電力系統の事故に際して、電力系統から得られる多数のデータの中から重要なものを認識し、不正データを見抜き、正確で迅速な状況判断を行う。
- ・事故によって使用不可能となった設備を除外し、系統から解列した発電機を並列し、停電需要家を復旧させるための操作手順を立案するとともに、復旧過程の系統の信頼性や復旧操作の所要時間などを正確かつ迅速に判断する。

この様な非定型な業務の中から、現状の技術でエキスパートシステムとして実現できる範囲を見極め、これを実用システムとして実現する研究を行った成果を本論文で報告する。

各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論であり、電力系統の運用の中で監視業務、制御業務、計画業務の位置づけを述べ、それぞれのコンピュータ応用の現状と問題点を整理し、その問題点解決の為

のエキスパートシステム適用のアプローチ、その中でエキスパート適用の意義と実用システム構築の考え方を明確にしている。

第2章では、監視業務へのエキスパートシステム適用について述べている。そこでは電力システムの事故に際して電力システムから得られる多数のデータを使って事故の判定を行い、事故に直接関係するデータと他を区別し、不正データがあればそれを指摘するエキスパートシステムの構成を提案し、その評価結果を報告している。またベテラン運用者から獲得した知識が、利用される状況によっては誤った知識となることもあるため、その対策として入力したデータを運用者の理解できる形で直接ヒューマンインタフェースに表示することによって、事故判定の結果と比較できる方法を併せて報告している。

第3章では、制御業務へのエキスパートシステム適用について述べている。そこでは事故によって使用不可能となった設備を除外し、システムから解列した発電機を並列し、停電地域を復旧させるための操作手順を立案するエキスパートシステムについて論じている。特に事故復旧について公的、またはベテラン運用者の私的な知識がドキュメント等で明示的に示されている部分と、曖昧な部分を明確にする方法論を述べ、知識の明確となっていない領域で行われる行為（知識ベース行為と呼ばれている）が必要な状態となった場合に、運用者を支援するヒューマンインタフェースの構成を提案している。

第4章では、計画業務へのエキスパートシステム適用について述べている。停止計画は、法令、あるいは各電力会社が独自に定めた制約、たとえば、電力の予備率、定期検査の周期などを基に立案される。これらの制約は運用者の判断で調整、緩和が可能なものが多く、立案をする運用者の状況判断にまかされている範囲が大きい。この状況判断、制約の緩和、計画の調整等の関係はたいへん曖昧であるため、現状では計画業務の自動化は非常に困難である。一方、立案作業を行う運用者の状況判断を適切に支援するヒューマンインタフェースが求められており、本論文では停止計画の業務分析から、コンピュータにより改善しうる事項とその解決策としてファジィ理論を応用したユーザインタフェースを提案した。

第5章では、電力システム監視制御システムにエキスパートシステムを搭載する為に必要な、ソフトウェア、ハードウェア環境を明かとし、これを実現したことを報告している。エキスパートシステムが、プロトタイプシステムの開発・機能評価の段階から実用システムの製作へ進むに従い、ハードウェアとソフトウェアを総合的に考慮した実用化システム構築のためのAI環境が必要になっている。大部分のプロトタイプシステムがスタンドアロン上に閉じた世界で構築され、機能検証を主目的とするのに対し、実用システムにおいては、スピード性能に関する要件、他のシステムとの協調などの諸条件を満たすことが重要になる。この観点で、ハードウェアとソフトウェアを統合したAI環境を実用化した研究の成果を述べている。

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	大内	東
副査	教授	宮本	衛市
副査	教授	嘉数	侑昇
副査	教授	長谷川	淳
副査	助教授	栗原	正仁

## 学位論文題名

### 電力系統運用支援におけるエキスパートシステム実用化に関する研究

エキスパートシステムは、人間の経験と勘に基づいて解が求められている問題を対象とし、明示的に表現された知識をヒューマンエキスパートから得てコンピュータに搭載することによって、人間と同等の解を確実、高速に得ることを目的としたシステムである。その主な応用領域には、診断、計画、制御などがあり、実用化のための研究が数多くされている。しかし、データや知識に不正が含まれる問題、知識が曖昧な範囲に関してのエキスパートシステム構築の問題、リアルタイムエキスパートシステム構築のための環境の問題などがあり、研究の多くがプロトタイプに留まっている。

本論文は電力系統運用支援システムにおけるこれらの問題点を解決し、実用的エキスパートシステムを開発するために行った研究成果をまとめたものであり、主要な成果は次の点に要約される。

- ①システムの構造的特徴を効果的に利用し、入力データや知識に不正があることを前提とした事故判定システムを実現している。
- ②ヒューマンパフォーマンスモデルに基づいて、運用者とコンピュータとが一体となって復旧手順を作成する事故復旧システムを実現している。
- ③実用システムに必要な高速化と既存システムの有効利用を実現するために、必要な基本機能を並列処理する専用プロセッサを開発している。

本論文は6章から構成されている。

第1章は序論であり、電力系統の運用の中で監視業務、制御業務、計画業務の位置づけを述べ、それぞれのコンピュータ応用の現状と問題点を整理し、その問題点解決の為にエキスパートシステム適用のアプローチ、その中でエキスパート適用の意義と実用システム構築の考え方を明確にしている。

第2章では、監視業務へのエキスパートシステム適用について述べている。ここでは電力系統の事故に際して電力系統から得られる多数のデータを使って事故の判定を行い、事故に直接関係するデータと他を区別し、不正データがあればそれを指摘するエキスパートシステムの構成を提案し、その評価結果を報告している。またベテラン運用者から獲得した知識が、利用される状況によっては誤った知識となることもあるため、その対策として入力したデータを運用者の理解できる形で直接ヒューマンインタフェースに表示することによって、事故判定の結果と比較できる方

法を併せて報告している。

第3章では、制御業務へのエキスパートシステム適用について述べている。そこでは事故によって使用不可能となった設備を除外し、系統から解列した発電機を並列し、停電地域を復旧させるための操作手順を立案するエキスパートシステムについて論じている。特に事故復旧について公的、またはベテラン運用者の私的な知識がドキュメント等で明示的に示されている部分と、曖昧な部分を明確にする方法論を述べ、知識の明確となっていない領域で行われる行為（知識ベース行為と呼ばれている）が必要な状態となった場合に、運用者を支援するヒューマンインタフェースの構成を提案している。

第4章では、計画業務へのエキスパートシステム適用について述べている。停止計画は、法令、あるいは各電力会社が独自に定めた制約、たとえば、電力の予備率、定期検査の周期などを基に立案される。これらの制約は運用者の判断で調整、緩和が可能なものが多く、立案をする運用者の状況判断にまかされている範囲が大きい。この状況判断、制約の緩和、計画の調整等の関係はたいへん曖昧であるため、現状では計画業務の自動化は非常に困難である。一方、立案作業を行う運用者の状況判断を適切に支援するヒューマンインタフェースが求められており、本論文では停止計画の業務分析から、コンピュータにより改善しうる事項とその解決策としてフェジ理論を応用したユーザインタフェースを提案している。

第5章では、電力系統監視制御システムにエキスパートシステムを搭載する為に必要な、ソフトウェア、ハードウェア環境を明かとし、特にスピード性能に関する要件、他のシステムとの協調などの諸条件を満たすハードウェアとソフトウェアを統合したAI環境を実用化した研究の成果を述べている。

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。

これを要するに、筆者は電力系統運用支援におけるエキスパートシステムの実用化を通して、大規模複雑系に対する実用的エキスパートシステムの構築に関する新知見を得たものであり、システム情報工学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって筆者は、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。