

学位論文題名

電線着雪対策決定支援エキスパートシステムの開発に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文では、電力系統診断・保守業務への知識工学の応用研究の一つとして、電線着雪による電力設備への被害を防ぐため着雪防止対策を講じる系統運用者を支援するためのエキスパートシステムが開発され、提案されている。

架空送電線路は、風、着雪、着氷などの自然現象の影響で事故を起こすことがある。この中で雪による事故としては、電線への着雪が発達した場合に、その着雪の脱落時に起こるスリートジャンプや着雪断面が非対称（翼状）の時に起こるギャロッピングなどによる線間短絡などの電気事故、または過大な着雪荷重による電線の断線および支持物の倒壊などの重大な設備被害に至ることがある。このような場合には設備被害も深刻なものとなる場合が多く、復旧には多くの時間がかかり、長期間の停電をもたらす恐れがある。最近の高度情報化社会において長期間の停電が社会へ与える影響ははかり知れないものとなっており、安定的な電力供給のため、着雪事故を未然に防止する技術の確立が望まれている。

着雪事故を防ぐために、線路に大電流を流して電線に着いた氷雪を溶かし、重度の着雪に発展するのを予防するという着雪防止対策が考えられる。しかしこれらの着雪防止対策は、着雪が発達した後では効果がないため着雪がまだ少ない内に実施しなければならないことから、その実施タイミングが大切であり、また着雪防止対策を実施することによって電力系統の安定的な運用や経済性に悪影響をもたらす可能性がある。このため、着雪防止対策の決定には、電線着雪による被害発生の可能性と電力系統の高信頼度運用との兼ね合いを考慮した高度な判断と決断が必要とされており、熟練した系統運用者に頼っているのが現状である。

このように問題解決の過程をアルゴリズム化することが容易ではなく、専門家の特殊な知識に頼らざるをえないような場合に対して有効な手法としては、近年、知識工学が注目されている。知識工学は、人間が持つ問題解決のための経験的な知識を積極的に利用することを前提とした応用人工知能に関する研究分野であり、電力技術分野においても、電力系統の大容量化・複雑化に伴い、電力系統の運転員を取りまく厳しい環境に対処する一方策として、電力系統の運用や診断・保守などへの応用研究が活発に行われている。

本論文では、電線着雪対策の決定過程における専門家の知識を、知識工学の手法によってシステム化することで電線着雪状況を推論すると共に、適切な着雪防止対策を提示して系統運用者を支援するために開発されたエキスパートシステムについて述べられている。本システムによって、着雪対策立案に関する経験をあまり積んでいない系統運用者でも、簡単な操作で着雪対策を決定することができ電線着雪による電力設備の重大事故を未然に防止することが可能となると期待される。

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章は序論であり、知識工学とエキスパートシステムについて概観するとともに、電力技術分野への応用動向が述べられている。また本論文の背景、目的、および具体的な構成を示している。

第2章では、電線着雪の特徴と発生機構、着雪予測手法、およびその防止対策を明らかにし、電線着雪による被害を防止するためのエキスパートシステムの導入を提案するとともに、その概要が述べられている。

第3章では、電線着雪対策決定支援エキスパートシステムの構造および推論の進め方について詳述している。提案しているシステムは、電線着雪と気象条件との因果関係および専門家の経験的知識をルールで表現したプロダクションシステムであり、システムの記述言語としては知識システム用言語 OPS83を使用し、前向き推論方式を採用することで、オンライン入力データを処理できるような推論速度を実現している。その推論過程は、まずアメダスデータおよび低気圧通過パターンなどの気象データから推論された電線着雪に対する注意度を基本として、これに電力系統状況データから得られた情報を参考として、現在の着雪状況と今後の着雪発達可能性を推論し、その結果から着雪防止対策の必要性を判断するとともに、必要な線路に対しては実行可能で有効な着雪防止対策を提示するという内容になっている。

第4章では、電線着雪に関する推論の精度を向上させるために、ファジィ推論方式の採用を提案している。電線着雪に関する推論は低気圧通過パターン、気温、風速、および降雪量などの気象要因のようによろしくない情報に頼るところが多く、その推論結果も不確実性を含んでいることから、あいまいな情報をファジィ集合で表現することでルールをファジィ化し、ファジィ・プロダクションルールによるファジィ推論方式を提案している。そのため、着雪事象例のシミュレーションに基づいたファジィ・プロダクションルールにおけるメンバーシップ関数の同定手法およびファジィ集合として出される推論結果の解析手法を開発している。

第5章では、着雪事象が予想される線路に対して、その時点において最も適切な着雪防止対策を提示してシステム運用者への支援機能を強化する手法を提案している。この問題は、いくつかの実行可能である着雪対策を代替案とし、電線着雪による被害または着雪対策を実施することによって生じる諸損失を属性とするような多属性意思決定問題として定式化できる。ここで、電線着雪による被害などは予測が困難であり、明確な形で定量化は不可能であることから、ファジィ理論に基づいて着雪対策案間の相対的な評価を行うべく、ファジィ多属性意思決定アルゴリズムを開発・提案している。提案アルゴリズムにおいては、言語表現で与えられた評価データから、代替案の評価関数をファジィ集合として同定し、それらと比較することによって最適代替案を決定する。また、入力データがファジィ集合であることに起因する評価結果のあいまいさを表現するため、他の代替案に対する相対的優越度を自然言語で示す。以上の計算を効率的に行うため、近似に頼らなくても効率的な計算が可能であるようなファジィ数の演算手法が開発されている。提案するファジィ数の演算手法は、演算の結果がメンバーシップ関数の逆関数として与えられるという短点はあるが、近似に頼らないで厳密解を簡単に求めることが可能であることから、一般的な応用も期待できる。

第6章では、多数の電線着雪事象例に対するシミュレーション結果について述べており、本システムの知識ベースおよび提案したファジィ推論方式の有効性を検証している。過去10年間にかけて北海道南部地方で実際に発生したと報告された電線着雪事象例に対しシミュレーションを行った結果では、全ての事象例に対して、実際の電線着雪状況と符合するような推論結果が得られている。

第7章は本論文の結論であって、提案したエキスパートシステムを導入することによる着雪対策の決定過程においてシステム運用者を支援して、電線着雪による被害を未然に防止できることを述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	長谷川	淳
副査	教授	田中	讓
副査	教授	伊達	惇
副査	教授	宮本	衛市
副査	教授	大内	東

学位論文題名

電線着雪対策決定支援エキスパートシステムの開発に関する研究

本論文は、電力系統の診断・保守業務への知識工学の応用の一つとして、電力系統運用者が電線着雪による電力設備への被害の発生を防止する対策を立案する際に、電力系統運用者を支援するためのエキスパートシステムについて研究したものである。

架空送電線路に着雪が発達した場合、その着雪の脱落時に起こるスリットジャンプや着雪断面が翼状の時に起こるギャロッピングなどに起因して、線間短絡などの電気事故ばかりでなく、過大な着雪荷重による電線の断線や支持物の倒壊などの重大な設備被害に至ることがある。このような場合、設備被害が深刻であるだけでなく、停電が長時間におよぶ恐れがある。そのため、こうした着雪事故を未然に防止する技術の確立が強く望まれている。

着雪防止対策は、その実施タイミングが重要であり、また着雪による被害発生の可能性と高信頼度系統運用との兼ね合いを考慮した高度な判断および決断を必要としている。現状ではこの判断を熟練した系統運用者に頼っているが、今後は熟練者の不足が予想されており、未熟練の系統運用者でも熟練者と同等程度の判断ができるようなシステムを構築することが緊急の課題となっている。

そこで、電線着雪対策の決定過程における熟練者や専門家の知識をシステム化するとともに、これをもとに電線着雪状況を推論し、適切な着雪防止対策を提示して、系統運用者の意志決定を支援するエキスパートシステムの開発が大いに期待されている。本論文は、このようなシステム開発の先駆けとなるものである。

本論文で述べられている研究成果は以下のように要約できる。

第一に、電線着雪と気象条件との因果関係および専門家や熟練者の経験的知識をルールで表現し、前向き推論方式を採用した、電線着雪対策決定支援エキスパートシステムを提案し、その基礎を確立している。推論過程は、アメダスデータ、低気圧通過パターンなどの気象データから推論された電線着雪に対する注意度を基本として、電力系統状況データから得られた情報をも加味し、現在の着雪状況と今後の発達可能性を推論し、その結果から着雪防止対策の必要性を判断するとともに、必要な線路に対しては実行可能で有効な着雪防止対策を提示するという内容になっている。

第二に、推論精度を向上させるためにはファジィ推論方式を採用することが有効であることを明らかにしている。電線着雪に関する推論は、低気圧通過パターン、気温、風速、降雪量などの気象要因のように不確実な情報に頼るところが多く、その推論結果も不確実性を含んでいる。そこで、あいまいな情報をファジィ集合で表してルールをファジィ化するとともに、着雪事件事例シミュレーションに基づくメンバーシップ関数の同定手法およびファジィ集合として出される推論結果の解析手法を開発している。

第三に、着雪事故が予想される線路に対して最も適切な着雪防止対策を提示して系統運用者への支援機能を強化するため、着雪対策案間の相対的な評価を行うファジィ多属性意思決定アルゴリズムを開発している。このアルゴリズムでは、言語表現で与えられた評価データから代替案の評価関数をファジィ集合として同定し、それらを比較することにより最適代替案を決定している。また入力データがファジィ集合であることによる評価結果のあいまいさを表現するため、他の代替案に対する相対的優越度を自然言語で表現している。さらに近似に頼らずに効率的な計算が可能なファジィ数の演算手法を新しく開発している。

第四に、多数の電線着雪事件事例に対するシミュレーションを行って、本システムの知識ベースおよび提案したファジィ推論方式の有効性を明らかにしている。

これを要するに、著者は、従来専門家の特殊な知識や経験に頼ってきた電線着雪対策決定という複雑な意志決定問題に対して、はじめてエキスパートシステムの開発を行い、電力系統への知識工学の応用に関する多数の新知見を得ており、電力工学、電力系統工学、および知識工学応用の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。