電力分野におけるエキスパートシステム

正員 小池 睦悦 九州電力(株)工務部

特集 解説

1. まえがき

電力システムの拡大に伴い、その技術が複雑化・高度化する中で、単に従来の計算機利用による技術では人間の経験的蓄積を計算機にのせることが難しいなどの問題があり、これを埋める新しい技術の開発が求められている。

特に電力システムの運用技術者は、多岐にわたる技術知識と事故経験の積み重ねなどによる知識をもとにして業務を遂行してきている。

近年、「知識工学」が計算機利用技術の弱点を埋める新しい技術として注目を集めはじめた。九州電力でも電力システムの運用技術への適用の可能性について検討するため昭和59年7月知識工学の研究に着手した。

本稿では、電力分野における応用研究の現状と九州電力にて実証試験中のシステム事故判定復旧エキスパートシステムについて述べる。

2. 電力分野におけるエキスパートシステムの必要性

これまで電力需要の増大に対処するため、電力システムを構成する発電・送電・変電・配電設備は、大容量化多様化、複雑化し、その運用も複雑高度化してきた。

良質の電力、すなわち高信頼度で電圧、周波数の安定した電力を供給し、かつ効率化、省力化を図る必要性から、自動給電、集中制御などに計算機システムを積極的に利用してきた。

しかしながら、電力の技術者を取り巻く環境は、

(1) 年令構成面からみると、これまで運用の中核を担っていた熟練技術者は定年退職し、中間年令層が少ないため、一気に若年層がこれまでの業務を継承し

図1 制御システムにおける運用者処理能力ギャップ
ていかざるを得ない状況にある。

(2) 電力システムの強化、設備の整備などにより事故遭遇機会が減少し、十分な経験を積むことは難しい状況にある。

(3) システムの大規模化・高度化に伴い、新しい技術が採用され運用技術者が必要とする知識は質・量ともにますます増大している。

(4) 電力の供給信頼度に対する要求はますます厳しくなっており、運用技術者の責任は格段に重くなっている。

(5) 電力規模の拡大が進む一方で、図1に示すとおり設備運用業務の集中化により運用技術者1人あたりに要求される処理能力は急激に高くなってきているにもかかわらず、現実の運用技術者の処理能力には限界がある。

など、今後これまでの供給信頼度を維持し、更に向上させていくためには極めて厳しい状況にある。

このような背景に対処するための一つの解決方法としてエキスパートシステムを適用し、熟練技術者の知識に基づく判断のメカニズムをシステム化し、知識の共有化を図り、すべての運用技術者を支援できるシステムを完成させることが必要と考えられる。

3. 電力分野への応用

3.1 電力分野における応用業務

電力分野における知識工学の応用研究は、まだ途に

"Expert System for Electric Power Utilities". By Nobuyoshi Koike, Member (Engineering Dept., Kyushu Electric Power Co., Inc.)

表 1 電力分野における適用可能業務

業務名	概要	開発状況
系統運用計画	毎日の電力需要を予測し、電源構成・予備力・系統状況などを総合勘案し、発電計画を作成する。	—
停電作業計画	設備の停電作業スケジュールを調整し、計画表を作成する。	—
機器レイアウト設計	変電所などの新・増設にあたり、種々の制約条件を考慮し、最適な機器配置を決めるための設計支援を行う。 原子力プラントなどの配管経路の設計支援を行う。	研究中
資源探査	ウラン資源の調査探鉱、技術者の支援システムとして、鉱床タイプ数量評価をシステム化する。	実用化検証中
平常時系統操作手順作成	作業などによる設備の停止操作や系統切替操作の手順を自動作成する。	研究中
事故時系統操作手順作成	系統事故時に保護装置の動作や電流・電圧の変化状況から事故区間、事故機相を解析し、復旧方法を決定し、復旧操作手順を作成する。	実用化検証中
インテリジェントアラーム	運用者に必要かつ十分なアラーム情報を分析し、統合整理し提供する。	実用化検証中
水系運用立案	毎日の出水量を予測し、むだな溢水を生じないよう最適発電計画を作成する。	研究中
機器故障コンサルティング	これまでの運転情報を分析整理し、類似の故障が発生したときに、適切な対応策を提供する。	研究中
機器故障予測・診断	GIS・変圧器などの設備の予防保全のため、故障の予測、故障原因の診断を行う。また、ダムゲートなど寿命を予測し、取替時期の判定を行う。	研究中
教育訓練用シミュレータ	事故時復旧など上記エキスパートシステムを取り込んだ CAI システム	—

ついたばかりであり、実用システムとして利用されているものはまだ見あたらないが、電力供給の信頼度向上、省力化、効率化の観点から極めて有効なシステムとして評価できる。

現在、原子力分野、電力系統運用分野、機器の故障予測診断など保守分野において電力各社ならびに研究機関および大手メーカーで研究が進められており、近い将来、熟練技術者の判断を計算機に代行させるシステムが普及し、エキスパートシステムが電力システムの中で不可欠なものになると予想される。

現在適用研究中の業務および、今後適用が可能と考えられる業務は表 1 のとおりである。

3.2 電力系統監視制御分野におけるエキスパートシステム

電力系統監視制御分野におけるエキスパートシステムは、オンラインデータを基に推論する点に特徴があり、図 2 に示すように次の点から構成される。

(1) 知識ベース 電力系統の運用技術者をもつ事故の状況判断や復旧に関する専門的・経験的知識を蓄える。

(2) 推論機構 電力系統から入ってきたオンラ

図 2 電力系統監視制御におけるエキスパートシステム

インのデータを基に知識ベースを利用して推論を行う。

(3) データベース 設備データおよびオンラインデータを蓄えるものであり、監視制御システムの設備データを共有する。

4. 九州電力における系統事故判定・復旧への応用研究

4.1 開発のねらい

知識工学応用による、エキスパートシステムの対象業務として種々検討を行った結果、

(1) 電力系統事故時に供給支障時間・支障範囲を最小限に止めるという最大の使命を支援できる

(2) システムの検証にあたり、現象の解析が容易でアウトプットの評価が比較的正確にできる

(3) 電力系統の運転員には事故時に最高度の判断が瞬時に要求される。この場合に事故状況の把握、処理方法に関するガイドが示されれば、運転員は冷静に的確な判断ができる

などの理由により、まず最初の知識工学の応用システムとして「系統事故判定・復旧」業務に適用することで、武雄変電所 110 kV 以下の系統を対象に選び、開発を進め、61 年 5 月から武雄制御所にシステムを設置し、検証試験を開始した。

4.2 システムの概要

今回紹介する系統事故判定、復旧支援システムは、オンラインの事故情報と計算機に蓄積したベテラン運転員の知識を使って、事故状況を判定するとともに復旧手順を作成し、事故復旧における運転員の判断を支援するものである。

オンラインの事故情報とは、遮断器、保護装置などの動作状況と、テレメータ値として得られる電圧、電流値である。また、ベテラン運転員の知識としては、系統設備、系統運用、保護装置、事故機相などに関す

図 5 事故状況判定部の処理概要

図 6 判定用知識ベースの構造

事故様相は地絡である」という一つの知識となる。

(2) 推論機構 階層化された知識をうまく活用できるように二つの推論機構をもっている。

●推論機構 1 制御知識を使って適用する判定知識 (例えばリレー動作原理の知識) と判定知識への入出力データを管理する (例 入力: 保護装置, 出力: 事故区間, 事故様相)。

●推論機構 2 推論機構 1 で適用された判定知識に含まれる知識を使って具体的に事故設備, 事故様相を推論する。

4.5 復旧手順作成部の概要

復旧手順作成部は, 図 4 に示すとおり復旧用知識ベースと推論機構から構成されており, 復旧に関する知識が, IF-THEN 形式で表現しやすいため Prolog で記述されたプロダクションシステムで作成している。システム起動時の入力データは, 事故状況判定部の推論結果, 動作遮断器および動作した保護装置であり, この初期データをベースに時間の経緯とともに変化する系統状態を把握しながら推論し, 復旧手順を作成していく。

(1) 知識ベース 知識ベースは, 推論の効率性を考慮して復旧に関する個々の知識を復旧種別と処理手順に基づきグループ化した復旧知識と, ある条件下で採用可能な復旧知識群を定義し, グループ化した復旧知識を制御するメタ知識から構成され, その数は合わせて 200 程度である。知識ベースの構造と復旧知識の適用フローを図 7 に示す。

(2) 推論機構 メタ知識と復旧知識は, それぞれ独立した推論機構をもつが, 動作原理は同じである。

メタ知識推論機構では, 知識採用時に条件と知識を照合し, マッチングした知識すべてを採用し実行する。これに対して, 復旧知識推論機構ではマッチ・グした知識の中から優先度の高いものを一つ採用し実行

図7 復旧用知識ベースの構造

する。復旧知識群に採用する知識がなくなると、再度メタ知識推論機構が起動され、新たな条件を満足する復旧知識群を採用する。復旧が終了するまでこれを繰返す。

4.6 実行例

実事故をモデルにシミュレーションした推論結果を表2に示す。この事故判定は、武雄・伊万里線における断線事故の例である。断線事故は稀に発生するものであり、遮断器・保護装置の動作も通常と異なっており、種々の状況が仮定され、熟練運転員でも判定に苦慮するものである。

なお、推論された事故判定には確率が表示されている。

表2 実事故をモデルにしたシミュレーション結果

	対象系統	推論結果
事故状況判定		<p>この事故で動作したリレーは、以下のリレーです。 武雄 SS 6-80 50G, 伊万里 SS 6-10 50G</p> <p>この事故で遮断した CB は以下の CB です。 武雄 SS 6-80, 伊万里 SS 6-10</p> <p>事故判定の結果は次のようになりました。</p> <p>(1) (確率=98.50%) 66 kV 武雄伊万里線 #1L における断線地絡事故</p> <p>(2) (確率=1.50%) 66 kV 武雄伊万里線 #2L における 1LG 地絡事故であり、リレー伊万里 SS 6-10 50G の誤動作</p> <p>以上で事故判定を終了します。</p>
復旧手順作成		<ul style="list-style-type: none"> ○ 66 kV 伊万里土谷線 #1L と 66 kV 伊万里土谷線 #2L を #1L, #2L の順に手動で再送電してください。 ○ 66 kV 伊万里土谷線 #1L の再送電は成功しました。 ○ 66 kV 伊万里土谷線 #2L の再送電は失敗しました。 ○ 九波の受電端 CB 九波 6-20 を切ってください。 ○ 九波 6-20 は切れましたか？ ○ 九波の非常監視指令を出してください。 ○ 九波は復旧対象です。 ○ 九波 66 kV 母線の事故ですか？ ○ 66 kV 伊万里土谷線 #2L の線路側 LS を切ってください。 ○ 九波の復旧電源の候補は 66 kV 伊万里土谷線 #1L です。 ○ 66 kV 伊万里土谷線 #1L に過負荷は生じませんので九波の復旧電源とします。 ○ 九波を 66 kV 伊万里土谷線 #1L から受電してください。 ○ 九波 6-10 の投入は成功しましたか？ ○ 66 kV 伊万里土谷線 #2L に連なる復旧すべき配変・特高需要家 66 kV 伊万里土谷線 #1L への受電切替を終了しました。 ○ 事故復旧のすべての操作を終了しました。 ○ 関係各所に連絡してください。 ○ 以上で事故復旧システムを終了します。

るが、これは、地絡事故、短絡事故、多重事故などの発生確率を基に計算した事故ケースごとの確率を示したものである。

また、表2の復旧手順は、伊万里変電所の二次系統の事故時の例であり、運転員とシステムとが対話形式で処理できるようになっている。

本例での判定結果からも、運転員の支援システムとして十分評価できると思われる。

4.7 今後の計画

現在、第1ステップとして110 kV以下の放射状片端電源系統を対象に検証を進めており、これまでに模擬事故によるシミュレーションを50ケース程度実施するとともに実際の電力系統での事故も数件経験した。

この結果、①事故状況判定については、単純な事故で数秒、複雑な事故（母線事故など）で20秒程度で判定し、実際の事故状況と最も高い確率で示された判定結果とは一致しており、満足できる結果が得られている。

但し、幾つかのケース（事故継続分離装置などが動作した場合など）については非常に多くの推論結果が出力されるため、知識を追加して事故状況を絞り込む必要がある。

② 復旧手順作成については、知識が不十分なため

広範囲の停電を伴う事故をシミュレーションした場合など、現段階ではまだ十分な結果が得られていない。

今後、操作性・応答性・既存の制御用計算機システムとの結合などについてフィールドで検証するとともに、過去の事故をモデルとしたシミュレーションによりシステムの処理機能の検証を十分に行い、実用システムとして完成させることとしている。

更にこれまでの経験を生かし、適用範囲の拡大を図るとともに、当社主幹系統を対象とする運用支援システムについても検討を進めている。

5. おわりに

冒頭にも述べたように、知識工学は従来の計算機の弱点を埋める新しい技術として脚光を浴び、今後を着実に「AI」の世界は広がると予想され、電力分野へもその波は押し寄せるものと思われる。

しかしながら、システム上の問題とは別に、どの程度の信頼度が確保できれば実用上支障がないか、コスト面をどう評価するか、など解決すべき課題が残されている。

我々電力に携わる者としては、必ずや訪れるであろうエキスパートシステムの時代に備え、「人が何をすべきで、計算機に何をさせるべきか」を明確にしておく必要がある。（昭和61年9月17日受付）