

■ 展望・解説 ■

電力系統における A I 応用

Application of AI Systems to Power Systems

松 浦 敏 之*
Toshiyuki Matsuura



1. 電力系統とAI

1.1 電力系統におけるコンピュータ利用

着実な経済成長やライフスタイルの多様化を反映して近年の電力需要はかなりのスピードで拡大してきた。このような状況に対応し、電力の安定供給を確保するため、電気事業は広大な地域的広がりのおかげに、巨大な電力系統網を構築し、運用しているがその規模は年々増大している。

これらの電力系統、およびそこで取り扱う技術には、①広い分野の技術を統合している。②電力系統は巨大な生き物である。③高い信頼性が要求されている。④電力の低コスト化が求められているなどの特徴がある。一方、これらの特徴を持つ電力系統に係わる業務としては、発電・送電・変電・配電、系統運用の各分野

において計画、工事、運用、制御、保守など様々な業務があり、非常に多種多様な内容を含んでいるが、これらの量は電力網の巨大化とともに増え続けている。

この対応策として電気事業ではおおむね統合化と自動化を繰り返し、電力エネルギーの質やコストの維持向上を果たしてきた。

ここで電力系統運用業務を例に取り、当社における自動化、コンピュータ利用の歴史を示すと図-1のとおりである。

この図からも判るように電気事業では比較的早くから電力系統や構成設備の大容量化、多様化、社会環境の変遷などに対応して各々必要なタイミングで自動化やコンピュータ利用を進めてきている。

この結果、オンライン業務としては自動周波数制御や需要供給監視、無効電力制御、記録類の集計、また、

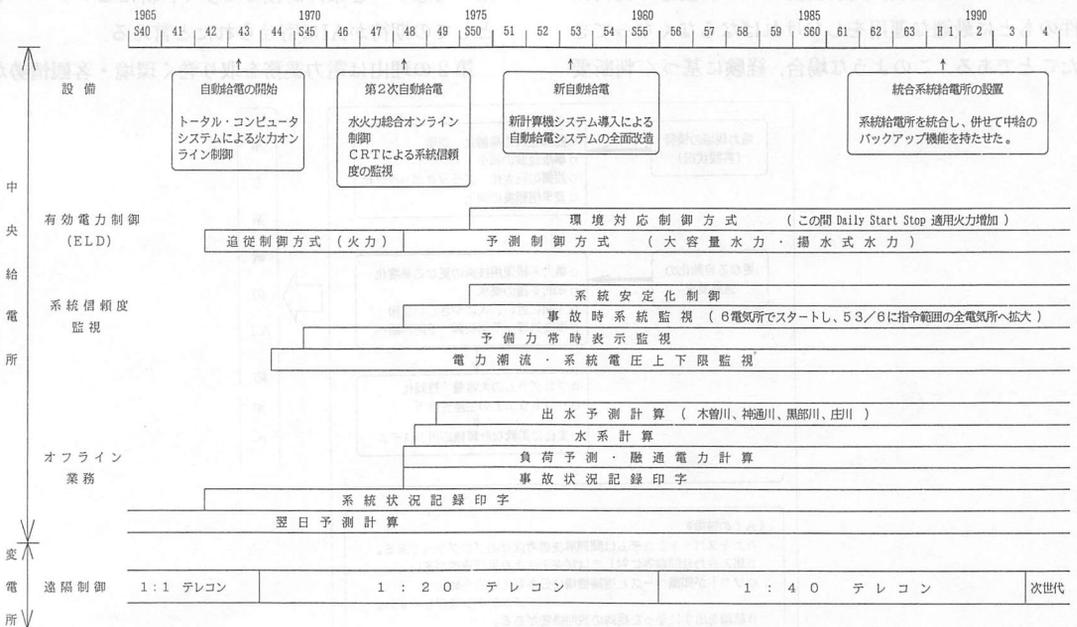


図-1 関西電力における系統運用業務の自動化の発展推移

*関西電力㈱研究開発部 副調査役
〒530 大阪市北区中之島3-3-22

オフライン業務としては予想潮流計算、水系運用計算など日々定常的な監視制御業務のほとんどが早くからコンピュータ化され、その後更にレベルアップが続けられている。

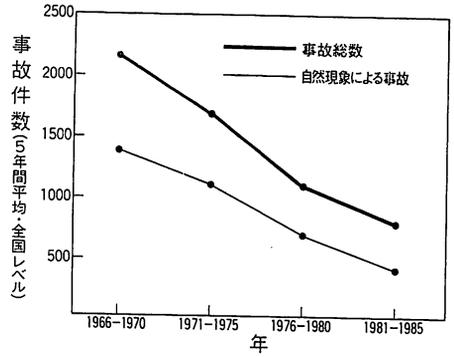
しかし、巨大化する電力系統をいかにコントロールしていくか、また次々に発生する課題を解決するためには、単なる過去の延長ではなく新しい視野からの検討が求められている。

1.2 AI 技術活用の必要性

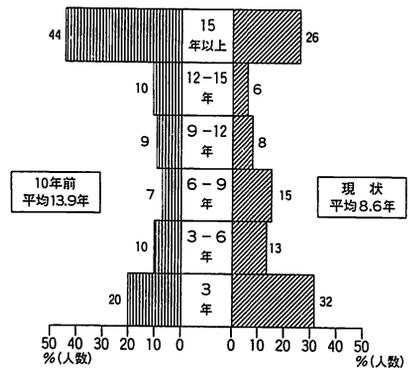
AI（ここでの対象範囲はエキスパートシステムを主体とする）の提唱は古いですが、電力業界がこの技術に注目して具体的な取り組みを始めたのは、1979年のスリーマイル原子力発電所事故によるヒューマンファクター認識の高まりや、1982年の第5世代コンピュータプロジェクトがスタートした頃である。

AIは言わば電力にとって外生のシーズ技術であるが、前述のように自動化が進んできた電力の状況が折しも次の2つの理由からこの新技術の活用を必要としたのである。

その第1の理由は系統等の拡充は電気回路的に複雑になっただけでなく、社会的にも瞬時の停電や電圧・周波数変動等の影響が格段に重視されるようになり、系統の運用者にとっては単に電気回路の切り替え操作を正確かつ迅速に行うに留まらず、供給地域の社会的特性をはじめ法規制、気象状況といった複雑な制約条件のもとに最適な運用をしなければならなくなってきたことである。このような場合、経験に基づく判断要



a. 電力系統事故の減少状況



b. 電力系統オペレータの経験年数 (1事業所の例)

図-2 電力系統における事故件数・オペレータ経験年数の推移

素や考慮すべき条件が極めて多く、新たなアプローチとしての期待がAIに寄せられたと言える。

第2の理由は電力業務を取り巻く環境・客観情勢が

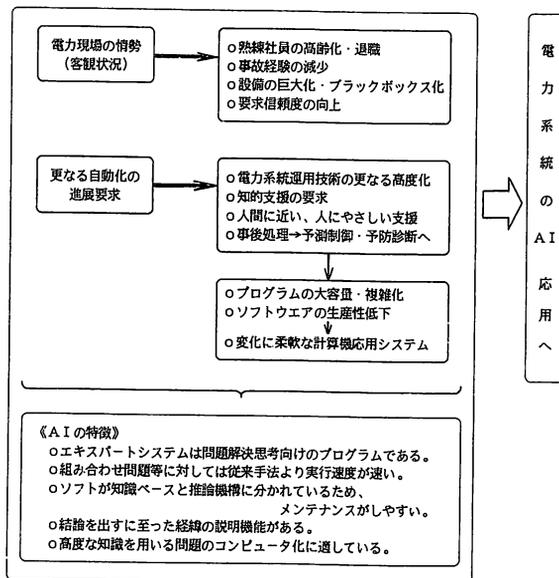


図-3 電力系統におけるAI応用の必要性

AIを必要としていることがあげられる。この代表的な例としては図-2に実態を示すように熟練社員の高齢化、設備信頼度の向上に伴う事故経験の減少、設備のブラックボックス化などに伴うヒューマンエラーの回避などがあり、このため運転員に対する事故時の判断・操作支援および教育・訓練が望まれていることがある。これらの関係をまとめて図-3に示す。

2. AIの開発の現状

2.1 開発内容

以上のような理由から電力分野におけるAIの研究開発は活発に行われており、現場レベルまで含め多様な努力が払われている。数年前のAIブームで取り組み数が飛躍的に増え、それが去った現在は落ちつきを取り戻し、返って足が地に着いた開発が行われている。世界的に見てもこの分野の応用開発は我が国とフランスが先導的な役割を果たしており、特に我が国は取り組みシステム数・規模において群を抜いている。

このような状況を反映して、下記に示すような電力分野に限定した全国レベルの研究会や情報交換の場がいくつか設けられている。

- ・電気協同研究会：電力技術AI応用専門委員会
(1989年7月～1991年12月)
- ・電気学会：電力システムのエキスパートシステム調査専門委員会
(1987年6月～1990年6月)
- ・電力中央研究所：電気事業AI研究会
(1988年7月～1990年9月)

図-4は上記電気協同研究会が調査し、1991年4月に開催された「エキスパートシステムの電力への応用国際シンポジウム」の中で日本におけるエキスパートシステム開発の現状として紹介されたデータである。これは主として変電および電力システム運用を対象として日本の電力会社とメーカーに対し、エキスパートシステム開発の現状をアンケート調査した結果である。

①これによると開発段階から見ると、同研究会が1987年に実施した調査では全体の1割にも満たなかった実運用およびフィールドテスト中のものが、今回は約4割に増加しており、着実な進展が見られる。

②対象業務で見ると、給電所などの系統運用面では系統事故後の制御、復旧操作業務が主体となっており、一部翌日予想や水系一貫運用など運用計画業務にも適用している。

③変電所など電力設備分野では、やはり事故時の判断、対応操作支援が63%を占めているが、事故の未然防止用など新しい試みも出てきた。

具体的な実用レベルのシステムとしては、給電所や制御所における電力システムの事故診断や系統復旧システム、変電所における電力機器の監視や異常診断、事故時の復旧ガイダンスシステム、および火力発電所における最適燃焼制御などのプラントの運転支援システム

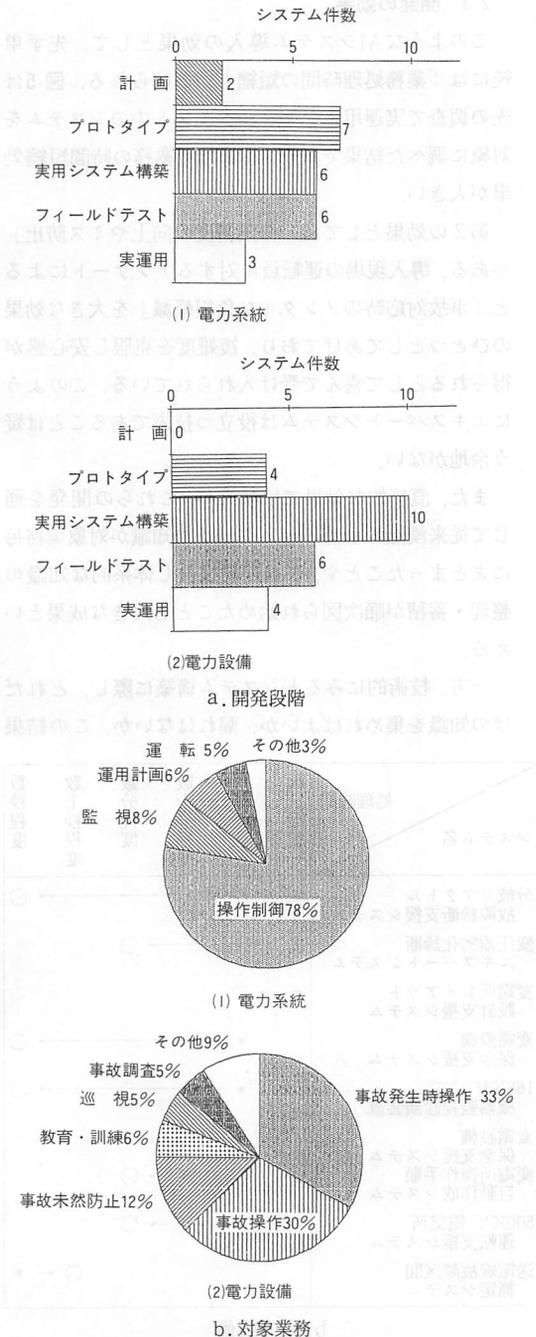


図-4 電力におけるエキスパートシステムの開発状況

などが従来のコンピュータ監視制御装置に機能的に組み込まれ稼働またはフィールドテストされている。

また、オフライン的なものとしては、作業停電計画などのスケジューリングシステム、需要予測計算システム、変圧器の絶縁油中ガス分析および教育訓練システムなどが実用段階にある。

取り組みの歴史や数の割に実用システムが少ないのは電力供給という社会責務の性格上、信頼性を充分確認してからという傾向があり、どうしても実用化に慎重になるためである。

2.2 開発体制

上記研究会では、これらの開発体制についても同時に調査しているが、その結果の典型的なものは電力会社の開発元1～2人、協力部署1～2人、メーカー3～8人といったところである。

電力では自動監視制御システムとの関係や電力機器・系統がよく判っているということから電力機器メーカーと協同してエキスパートシステムを開発するケースが大部分を占めている。

実際のエキスパートシステムの開発には相当のマンパワーを要し、技術的にもかなり苦勞しているのが現状である。従ってシステム開発に際しては一般的な機械化と同様に、人・時間・金を要するものと覚悟し、プロジェクトチームをつくるなどして対応しないと、真に使いやすいシステムづくりはむずかしいようである。

具体的な開発手順の中では、知識獲得や知識整理に

最も時間を要している。しかも開発ステップが試作機から実用機に移るに連れ、システムの検証・評価や使用者とのインターフェイスづくりにも多くの労力を費やしている。これは近年構築手法や評価手法の研究も進み、構築支援ツールもかなり豊富になり種々のものが入手しやすくなったが、これらの問題はまだまだむずかしいことを物語っている。

2.3 開発の効果

このようなAIシステム導入の効果として、先ず単純には「業務処理時間の短縮」があげられる。図-5は先の調査で実運用・フィールドテスト中のシステムを対象に調べた結果であり、特に診断業務の時間短縮効果が大きい。

第2の効果としては「作業精度の向上やミス防止」がある。導入現場の運転員に対するアンケートによると「事故対応時のメンタルな負担軽減」を大きな効果のひとつとしてあげており、複雑度を克服し安心感が得られるとして喜んで受け入れられている。このようにエキスパートシステムは役立つ技術であることは疑う余地がない。

また、直接的な効果ではないが、これらの開発を通じて従来漠然としていたノウハウや知識が対象業務毎にまとまったことや、これが習慣化し体系的な知識の整理・蓄積が順次図られ始めたことも大きな成果といえる。

一方、技術的にみるとシステム構築に際し、どれだけの知識を集めればよいか、漏れはないか、この結果

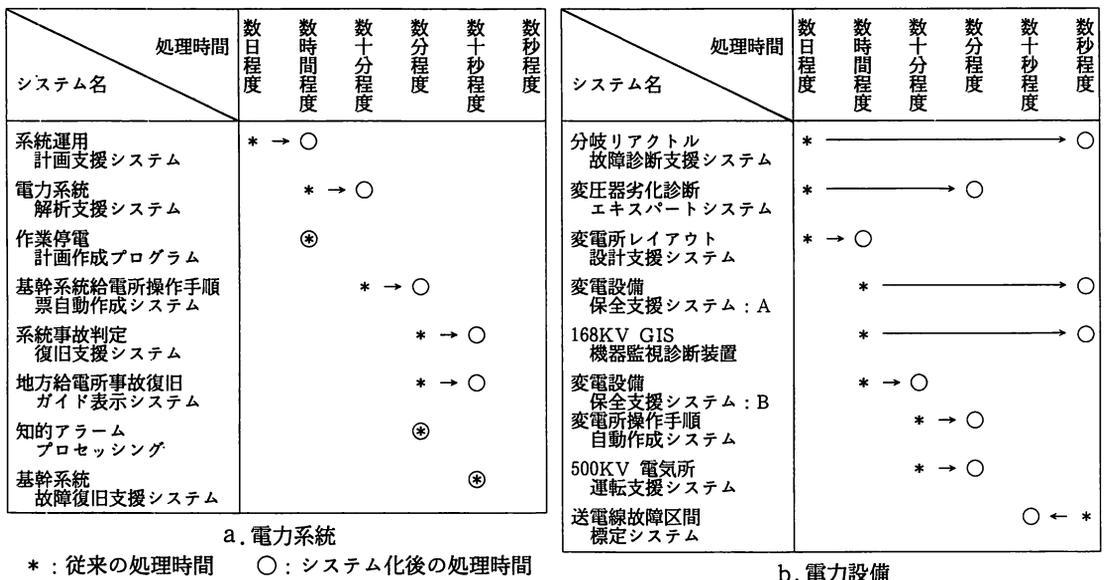


図-5 エキスパートシステム導入による処理時間の変化

どれだけの能力が確保され、信頼性はどうかなどは、どのシステム開発においても苦労する点で、実用機が広く普及するためには是非とも解決を要する問題であり、体系的に地道な解決努力が必要である。

3. 今後のAI利用の展望

3.1 期待される利用分野

将来、21世紀初頭において高度な技術を駆使した電力供給システムを高い信頼度で稼働させるためには、運用技術の高度化が欠かせない。

今後電力としてエキスパートシステムの適用の期待が高い業務内容を前述の研究会調査から多少夢も含めてあげると次のようなものがある。

(1) 複雑な現象に対し、迅速・的確に分析・判断を要する異常時の対応業務

→系統、設備、保護システムの構成、機能、運用等に関するデータ、知識をもとに、系統の遮断状況や各種監視情報から事故の状況分析、復旧操作等の業務を支援する。

- 例：。インテリジェントアラームシステム
 。事故原因推定システム
 。事故復旧支援システム

(2) 多くの複雑な制約条件を総合勘案し、最適な計画を立案する業務

→系統、設備の状況、特性等に関する知識をもとに、各種制約条件を満足させながら、どのようにすれば信頼度を維持しつつ効率的運用が出来るかを総合判断し、最適計画を立案する業務を支援する。

- 例：。操作票の自動作成（更に自動操作へ）
 。火力・揚水機の運転計画作成システム
 （年間、週間、翌日）
 。系統停止計画作成支援システム
 。巡視点検作業支援システム

(3) 後追いではなく、先のことを予測し想定判断する業務

→系統や設備の状況、特性、過去の経緯等のデータや知識をもとに、先行的な監視、診断、予測を行うことを支援する。

- 例：。安定度評価・系統変更計画作成システム
 。機器故障予防診断システム

(4) 効果的な教育訓練へのコンピュータ利用

→各個人の習得レベルや不得意箇所等に応じて柔軟に対応し、教育効果を上げるインターフェースも優れた教育支援。

例：。パーソナル教育システム

3.2 将来の適用イメージ

システム形態として、既に開発されたものの多くはスタンドアロン型であるが、全体的な自動制御システムの一部としてエキスパートシステム機能を組み入れたものもいくつかある。

将来AIを応用したシステムの形態は、更に自由度を増すとともに、従来システムと相互補完しながら発展していくことになるだろう。

すなわち大量データの事務処理や技術計算、プロセス情報の入出力処理などは従来システムで行い、それらを総合的に活用するための状況認識や判断、および計画、意思決定などをAI技術が受け持つという図式で、各々の特徴を生かしたシステムづくりが進むものと思われる。

このような時点では従来システムとAI応用システムが自由に情報交換でき、従来システム側に蓄積した膨大な情報や各種データベースが有効に利用される。

このためには事業所や発電所の構内LANと地域ネットワーク、広域ネットワーク、またはOAネットワークと給電ネットワークなどが結合した情報伝送網の整備・発展も必要である。

以上は系統監視制御システムの内部または相互インターフェース的なイメージの話であるが、このようなネットワークの整備が進むと発電所の現場巡視業務ではハンディターミナルによる巡視項目のチェックやガイダンス表示が可能になる。更に巡視点検データはハンディターミナルを通じて事業所にある設備管理システムに入力され、設備の異常診断や余寿命診断も現場で即時に行えるようになるう。

4. 実現に向けてのアプローチ

4.1 取り組み課題

前述のように今後ますます巨大化、複雑化が進むであろう電力系統にあってAIシステムへの期待は非常に大きいものがある。しかしAIはまだまだ発展途上の技術であり、これらの期待に応えるためには解決すべき課題が残されている。今までの開発経験等から以下にそのいくつかを列挙する。

(1) 実用研究開発上の課題

①システム化の問題

インテリジェント化を目指す電力系統監視制御システムとAIの結合、組み入れ方法等の研究

例：。オープンシステムやネットワーク化および

分散統合方法

- システムのフレキシブル化
- ソフトウェア構成の標準化

② 開発手法、開発の効率化の問題

電力用AI開発における知識収集からシステム機能検証までの効率的開発手法の研究

- 例：◦ 知識のパッケージ化、モジュール化などによる集積した知識の再利用
- 電力系統が容易に扱える開発支援ツール
 - 電力系統問題が扱いやすい機能検証ツール

(2) 機能の高度化→応用分野の拡大

- ① ニューロ・ファジイ技術とエキスパートシステムの結合・活用によるAI機能の高度化、より人間の判断に近づくための研究開発

(3) エキスパートシステムそのものの高度化

- ① 推論機能の高度化・強化
 ② 取り扱える問題規模の拡大、強化
 ③ 学習機能の付加 等

(2)(3)項については必ずしも電力特有の課題ではないがAIシステムの実力を向上させ、使いやすくより広く活用できるために是非とも必要な内容である。

これらの課題に対して、今後これらの分野に携わる関係者が力を合わせ研究開発を推進していく必要がある。

4.2 取り組み姿勢

現時点におけるAIの捉え方や技術的評価については様々な見方があるのは事実であるが、今後、電力系統においてコンピュータによる統合的なシステム化が進んで行くことは間違いなく、我々はAI技術がこうしたシステムにおける中心的役割を果たして行くものと期待している。

このための取るべき姿勢として、現状では未完の技術であっても将来を見据えて育てて行こうとすることが大切と思われる。この姿勢で開発や適用を試みて行

けば、それらを通じて電力におけるAIシステムの生かせ方、必要な要素技術や機能、得意・不得意とする分野、システム化の方法などが自ずと明らかになってくるであろう。

また、これらを考えるベースとして「AIが人間にとって代わるか」という議論があるが、現状ではあくまで「人間に対する業務の支援」と考えている。将来一部簡単な操作などはAI機能を使って自動実行することが可能と思われる。しかしこの場合も人間がルール化したものしか実行できない。如何にAIといえども人間を越えることは困難であろう。

最後に2.1で述べた国際シンポジウムのパネルディスカッションにおいて NASA JPL の Ms. D. E. Niebur が発言した内容がこの辺の気持ちをよく表していると思われるので、これを紹介して開発姿勢に対する当面の結論としたい。

「AIシステム開発に際して、我々技術者は専門家の心理やタブーについてまで気配りすべきであり、運転員にとって代わるような怪物をつくらないということだ。これこそがAIシステムについて多くの議論があり、現在の技術環境の中で賛否入り交じりながらも受け入れられている理由のひとつであることに気づくべきである。」

参 考 文 献

1. 関根他“電気協同研究電力技術AI応用専門委員会報告書”，電気協同研究会，印刷中
2. 田中他“電気事業AI研究会報告書”，電気事業AI研究会（電力中央研究所），1990.9
3. 松浦“国際会議報告：エキスパートシステムの電力系統への応用”，電気評論，1991.8
4. 田村，松浦他“小特集：人工知能の電力分野への応用”，電気学会誌，1989.8
5. 松本，坂口他“特集：人工知能の理論と実際”，人工知能学会誌，1991.11