

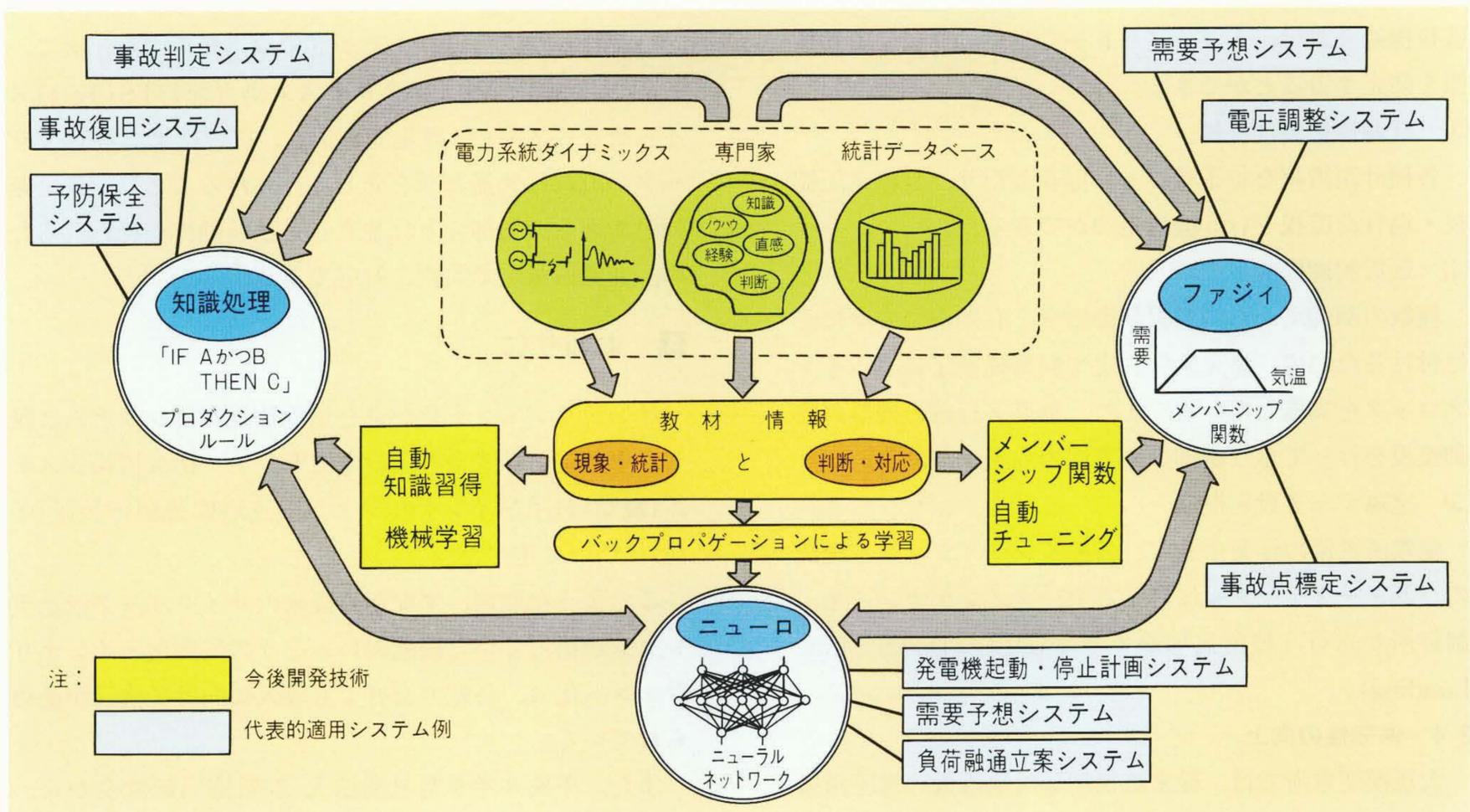
電力系統制御システムへのニューロ・ファジィ技術の適用

Application of Neural-Nets and Fuzzy Control to Power System

藤川歳幸* Toshiyuki Fujikawa

井上 汎* Hiroshi Inoue

福井千尋** Chihiro Fukui



AI技術における知識獲得と電力分野への応用 知識処理、ファジィ、ニューロの電力系統への適用形態と代表的な適用システムを示す。教材情報から自動的に学習するシステムの開発を目指している。

電力系統を監視・制御するシステムでは、系統の状態を表す情報をリアルタイムで収集し、それに基づいて制御信号が系統に送出される。この場合、自動制御は有効電力制御などに用いられるが、制御の判断の大部分は、人間が介在する制御系が中心となっている。近年の電力系統の拡大と複雑化によって運用者の負担は増加してきており、従来マンマシン系で人間が分担してきた役割を機械系に移し、運用者の負担を軽減するシステムの開発のニーズが高まってきている。これを解決するため、運用者の知識をプログラム論理に分解せず、そのままの知識の形で計算機に記憶させ、活用を図るエキスパートシステムが登場した。しかし、知識は1か0かで表現されているため、人間の感覚にそぐわない点があり、

これを解決するためファジィ処理が登場した。一方、知識の獲得に時間と労力がかかる点を改善するため、結果の現象と入力条件の関係を機械的に学習させようというアプローチが試みられ、ニューロ技術が生まれてきた。知識処理、ファジィ処理およびニューロ技術は、従来ベテランの運用者の頭脳に隠されていた勘と経験に基づくノウハウを、テクノロジーに広く応用する道具として活用することである。

日立製作所では、これらの技術を電力系統制御システムに適用し、人間の処理活動に近づいたいくつもの成果を確認している。従来の監視・制御システムに加えて、新しい支援機能を備えた高機能でより運転しやすいシステム開発を目指している。

* 日立製作所 大みか工場 ** 日立製作所 日立研究所

1 はじめに

電力情報制御技術の高度化を実現するには、熟練者が行っていることを計算機にさせていく必要がある。

人間の情報処理の仕組みは、対象を観察する場合に、右脳で知識の中から直感的に必要な情報を抽出した後、これを左脳で論理的に分析し知識として蓄えるメカニズムとなっている。これらがバランスよく作用することによって、高度な判断を迅速に処理することを可能にしている。

図1に示すフローチャートによって、対象を工学的に実現するための手法を選定することができる。ニューロ、ファジィは、従来の手法では扱えなかった人間の右脳機能を表現することができる。

ここで、ニューロとファジィについて簡単に説明する。

ニューロ(正確にはニューラルネットワーク)とは、「脳の神経系統」をまねた理論である。すなわち、脳の動作原理に似せてニューロン(神経細胞)を数学的モデル(形式ニューロン)化し、脳と同じような計算処理を実行させるものである。これにより、従来の計算手法では困難であったパターン認識を実行させることや、これまで天文学的な計算量を必要としていた組み合わせ最適化問題の近似解を求めさせたりすることができる。

ファジィとは、人間の持つ主観的あいまいさを数学的に取り扱う理論である。人間の主観的あいまいさは、必

ずしも2値論理的に決定できるものではなく、このあいまいな概念を取り扱うために考えられたのがファジィ集合である。ファジィ集合では、任意の要素がある集合に属する度合いを1, 0ではなく0~1の連続的な関数(メンバーシップ関数)で定義する。これにより、人間の定性的感覚を定量的に表現することができ、より人間の感覚に近い推論が可能になった。

各手法による知識表現の分類を図2に示す。ニューロ、ファジィ技術は対象モデルが不明確であり、人間によって感覚的に処理されているものが対象分野としては適している。

2 応用事例紹介

2.1 ファジィ推論を応用した週間電力需要予想

2.1.1 開発のねらい

中央給電指令所では、週間需給運用計画を立案するために2週間先までの毎日の最大・最小電力需要を予想する必要がある。

熟練運用者は、天候・気温実績と需要実績の相関を統計的に処理し、その結果に経験と勘による判断を加えて需要を予想している。

このシステムは統計処理と知識処理、およびファジィ推論により、この熟練者のヒューリスティックな方法に沿った需要予想を実現している。なお、この方式は東北電力株式会社と共同で開発したものである。

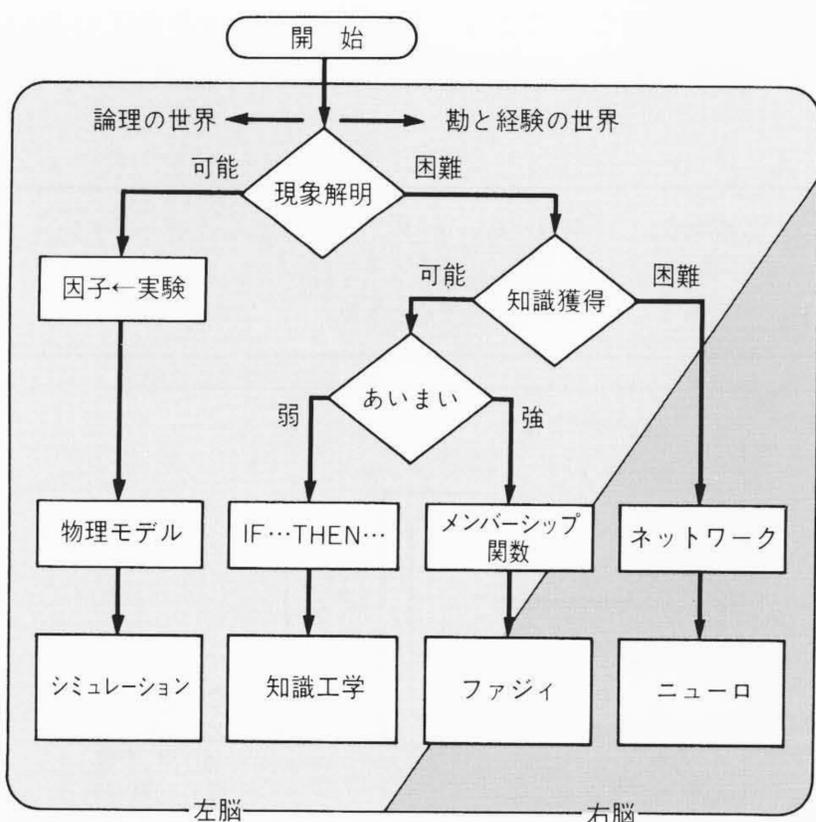


図1 左脳機能と右脳機能の工学的実現 このフロー図を使って、対象が左脳的か右脳的かを分類することができる。

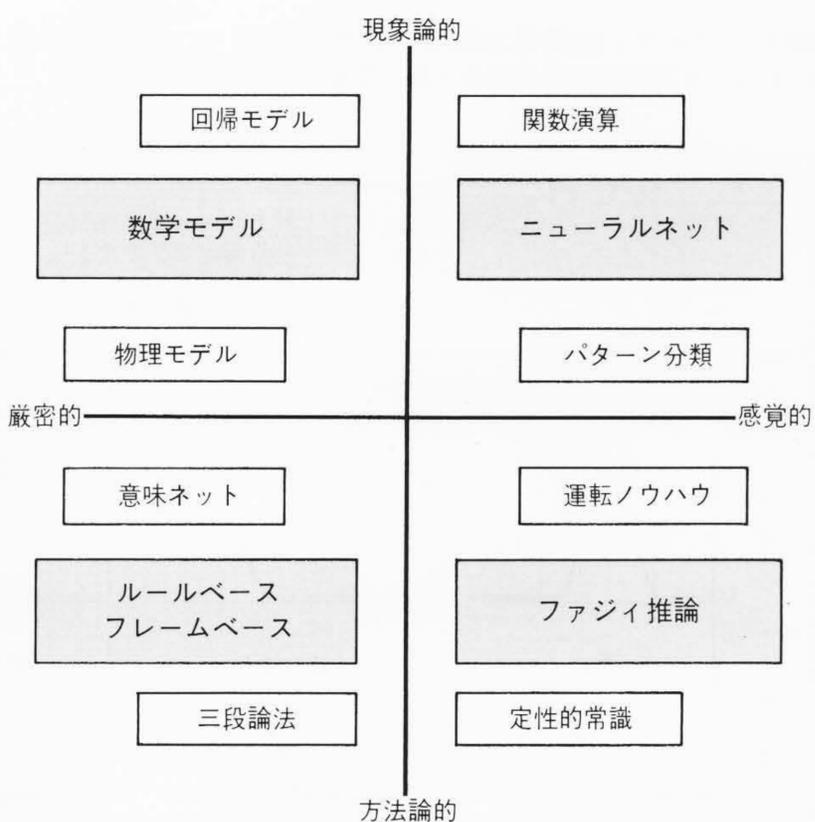


図2 知識表現法の分類 知識表現を、厳密的～感覚的と、現象論的～方法論的の二次元で分類した。

2.1.2 機能の概要

このシステムの機能概要を図3に示す。

予想の第一ステップでは、過去の統計データをベースとして、2週間までの予想気温や予想天候などの入力データから、統計的手法と知識処理によって、平均的な需要を予想する。

予想の第二ステップでは、熟練運用者のノウハウを予想に加味する。例えば、当日の予想気温と前日、前々日の予想気温偏差の間には「気温がやや高く、前日、前々日とも偏差が正で大きければ、需要予想値は大きくなるので負の大きめの補正が必要」といったルールを適用してファジィ推論することにより、需要の補正値を求め

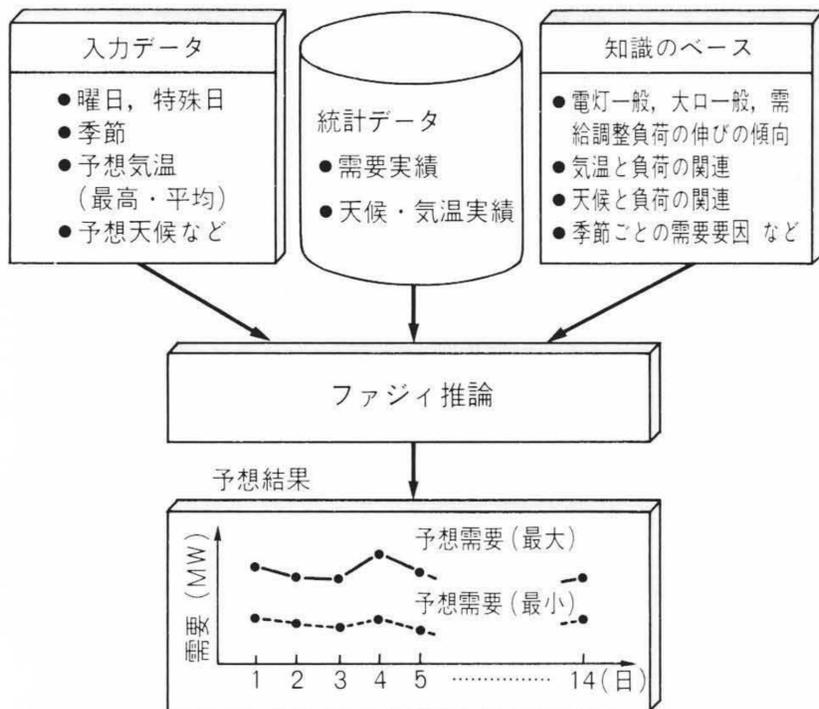


図3 ファジィ応用電力需要予想機能概要 ファジィ推論により、2週間先の最大需要・最小需要を予想する。

る。先に求めた平均的な需要予想値をこの補正値で修正することにより、予想精度を向上させる仕組みとなっている。

ファジィルールおよびファジィ推論の例を図4に示す。

2.2 ニューラルネットを用いた翌日電力需要予測

2.2.1 開発のねらい

電力系統の需給計画および運用で、電気の安定かつ効率的な供給を確保するために、翌日および当日の需要を的確に予測することは非常に重要である。

電力需要量と影響要因の関係が非線形特性であることに着目し、これをニューラルネットによって学習させることにより、翌日24時点の需要を予想する方法を開発した。

2.2.2 機能概要

このシステムのニューラルネット構成を図5に示す。ここに示すように、用いるニューラルネットは3層ランメルハート形である。入力層のニューロン数は2個で、それぞれ1日の最高気温、1日の最低気温を示す。中間層のニューロン数は3個、出力層のニューロン数は電力需要量の1個である。

このシステムの主な特徴を次に述べる。

- (1) 1日の各時点ごとにニューラルネットを使用し、1日の需要の変化を予想可能としている(図6)。
- (2) 1年前の実績データと年負荷成長率から成る疑似データを付加し、学習のための教師サンプル数を増加させている(図7)。
- (3) データ検定、ベース分除去、内挿用ネット・外挿用ネットの分割などにより、予測精度を向上させている。
- (4) 従来の重回帰分析手法の予測精度(予測誤差の平均、

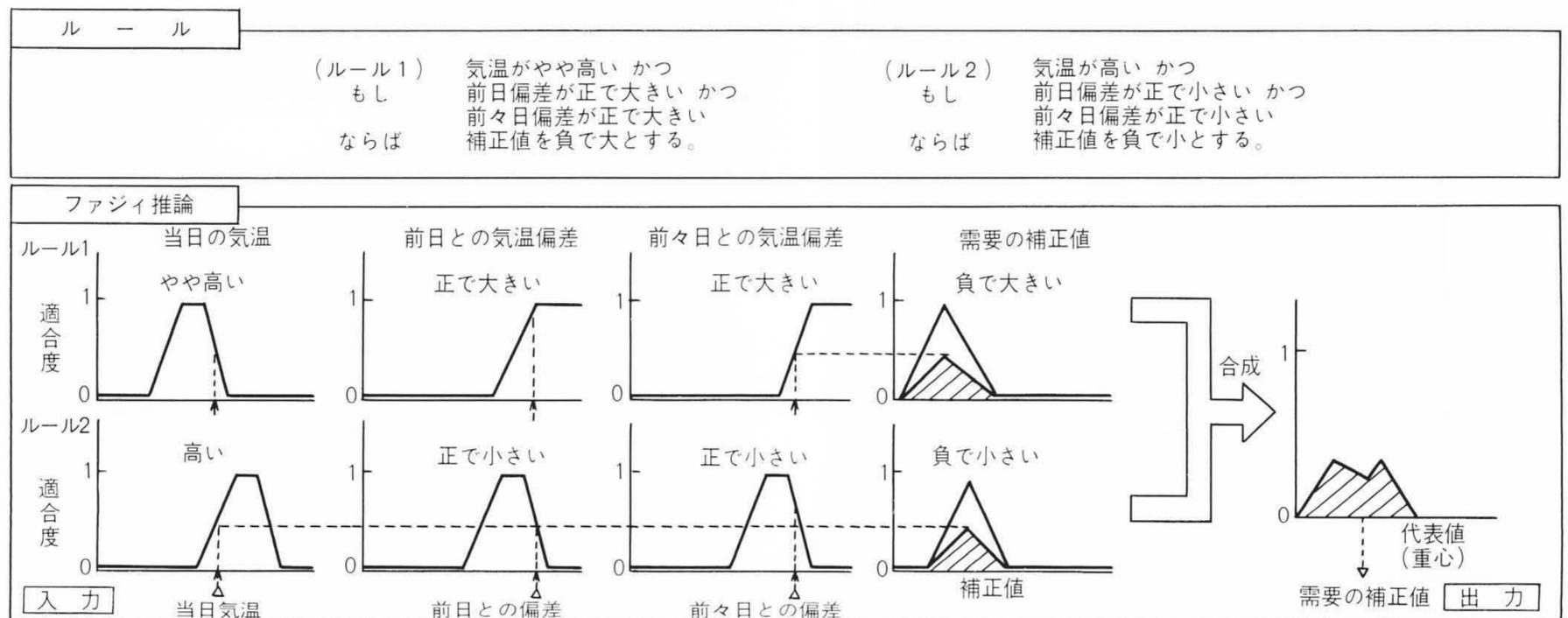


図4 ファジィルールおよびファジィ推論の例 ルール1による補正値とルール2による補正値を合成することにより、需要予想の補正値を求める。

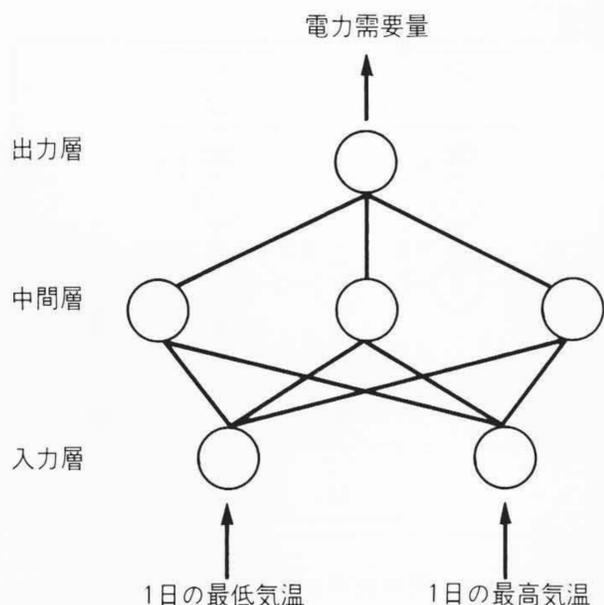


図5 ニューラルネットの構成 3層ランメルハート形の構成としている。

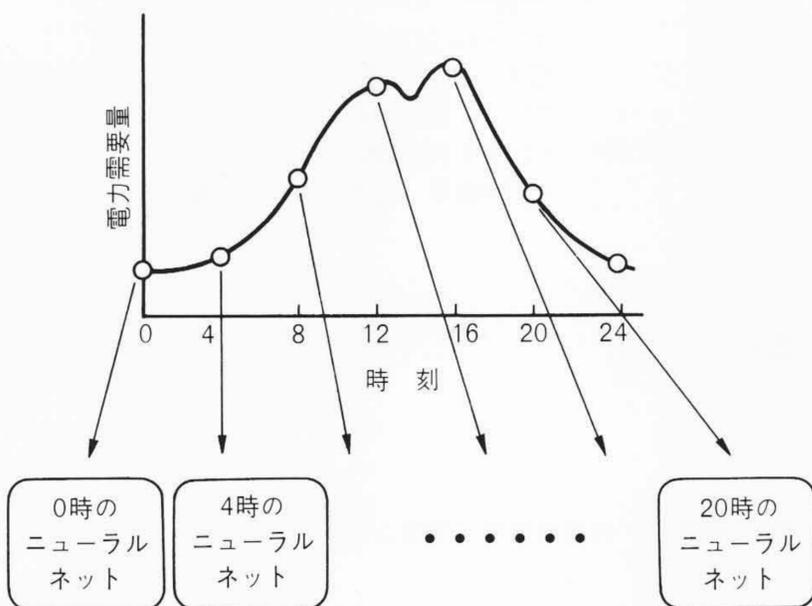


図6 24時点の需要予測方法 24個のニューラルネットを使用して、24時点の予想をしている。

学習データは、平日の晴天だけが4～5%程度に対して、提案法では2%程度に精度向上が可能となった。

2.2.3 需要予想の評価

需要予想に、ファジィ推論とニューラルネットの2種類のアプローチを適用した。安定期では熟練者に近い精度が得られるが、季節の変動期などでは、まだ熟練者の勘に軍配が上がることもある。需要予想は、天候や気温に大きく依存するために、天候や気温の精度向上がキーである。衛星からの情報やスーパーコンピュータによる気象解析によって気象予想技術が向上しており、いっそうの精度向上が期待できる。さらに経済成長、電力消費形態の量的・質的变化など、従来の統計で処理しにくいファクターも加えた、統合的なシステム開発を目指すとともに、ユーザーフレンドリーなインターフェースも開発し、ベテラン運用者が参考として簡単に予測結果を参照

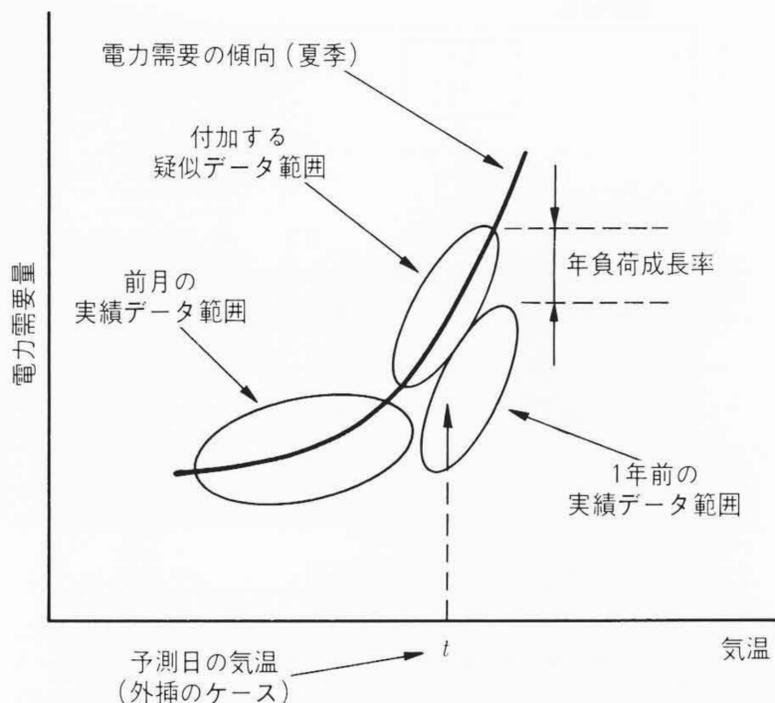


図7 年負荷成長率と補正データの関係 年負荷成長率を考慮した1年前の実績データを補正データとして使い、学習のサンプル数を増やしている。

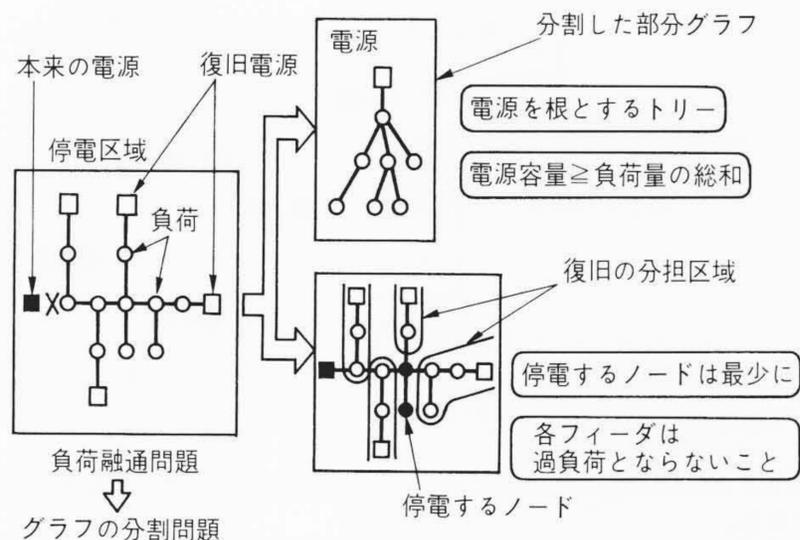


図8 負荷融通問題の制約条件と目的関数 負荷融通問題は、各制約条件下のグラフ分割問題に帰着する。

できるようなシステム構成を目指していきたい。

2.3 ニューラルネットを用いた配電システムの負荷融通計算システム

2.3.1 開発のねらい

配電システムは、需要家に電気を供給する末端の系統で放射状に張り巡らされている。本来の配電ルートが事故または工事などで使用不可能となった場合、通常開かれている隣接ルートとの間の関係用開閉器を閉じて、他ルートから電力供給を行う。このときに、停電したどの負荷を、どの電源ルートを用いて復旧するかを決定するのが負荷融通問題である。この問題には、知識処理による発見的解法を適用するのは限界があることを経験していたが、ニューラルネットでは整数問題の近似解法が可能な

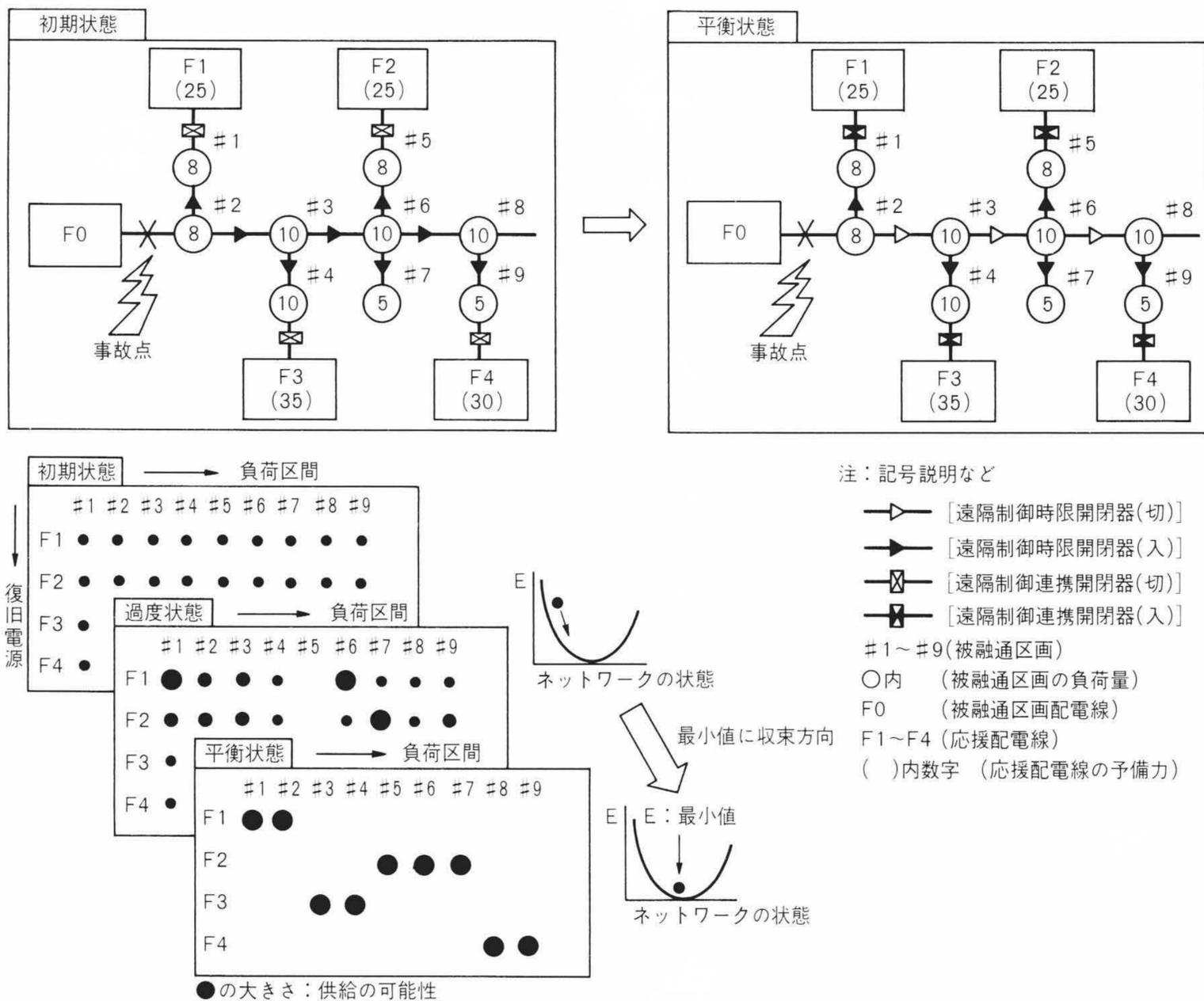


図9 負荷融通計算例 各ニューロンの値が初期状態から平衡状態に遷移し、各負荷の復旧電源が求まる。

表1 給電分野におけるニューラルネット応用例 給電分野でのニューラルネット技術は、監視・制御・予測・計画など幅広く応用可能である。

No.	応用例	R形*	H形**	内容
監視	事故判定	○		リレー、CB情報などを分析して、事故内容および事故点を報知
制御	経済負荷配分		○	等増分燃料費に基づく経済負荷配分計算を行い、各発電機に出力指令を出す。
予測	負荷予測	○	○	気象条件、曜日、社会事象などから、翌日以降の負荷カーブを予測する。
計画	発電機運転計画		○	負荷予想に応じて、発電効率と運転・停止コストなどの制約条件を考慮して、各発電機の運転計画を立案する。

注：略語説明など CB(遮断器)

* R形：ランメルハート形ニューラルネット

階層構成を特徴とし、入出力の組み合わせをバックプロパゲーション法により学習し、想起する手法

** H形：ホップフィールド形ニューラルネット

ニューロンを相互に結合し、エネルギー関数を最小化することにより、最適値を求める手法

ので、この問題に適用し高速解法を開発した。

2.3.2 機能の概要

負荷融通問題は、グラフの分割問題に帰着する。図8に示すように、配電系統は電源と負荷がノードに相当し、開閉器がブランチに相当するグラフ表現ができる。このグラフを電源ノードに着目して分割していく。

これにはホップフィールド形ニューラルネットを適用

することができる。図9のマトリックス対応表は、電源から負荷への供給状態をニューロンの活性状態で表現したものである。目的のニューラルネットを形成するために、各ニューロン間の結合度を制約条件から導出する。例えば、配電系統は放射状系統であることから、一つの負荷には1か所の電源からだけ供給される。これは、縦のニューロンの一つが活性化した場合、同列の他のニュー

表2 電力分野におけるファジィ応用例 電力分野でのファジィ技術は支援、診断を中心に各種応用が可能である。

No.	応用例	内容
1	事故時復旧方針	復旧ルートが複数ある場合、復旧後の負荷率と操作に必要な手順数をもとに、復旧方針の優先順位をつける。
2	ダムゲート制御	ダム水位と不感帯の状況によるダムゲートの制御量をメンバーシップ関数で与え、目標ダム放流量の計算をする。
3	事故点標定	送電塔架空地線の電流センサから得た事故時の誘導電流分布に、事故点付近で落差ができる現象をファジィ推論によって判定
4	火力発電所運転支援	起動スケジュール(点火、通気、併入時期)の最適化に活用 動特性モデルの熱応力マージン評価にメンバーシップ値を使用
5	制御パラメータ	PID制御系の応答結果のモデルマッチングにより、初期パラメータの設定、オンラインチューニングなどを行う。

注：略語説明 PID(比例・積分・微分)

ーロンを不活性化させるようにニューロン間を結合することに相当する。

負荷融通問題に対して、エネルギー関数を定義し、適当な初期値を各ニューロンに与えることにより、エネルギーが減少する方向に各ニューロンの状態は変化し、エネルギーの極小値に対応する点に収束する。この状態遷移のようすを先の図9に示す。この結果は、負荷融通上の制約条件を満足させながら復旧電源を決定している。

3 電力分野への応用

1章で述べたように、ニューロ、ファジィ技術は、従来人間にしかできなかった感覚的な判断処理を可能としており、計画、診断、予想、制御など幅広く応用可能とみられている。

給電分野でのニューラルネット応用例を表1に、電力分野でのファジィ応用例を表2に示す。

4 おわりに

電力分野での最新のニューロ、ファジィ適用例を中心に説明した。どの例も、従来人間によって勘と経験をもとに決めていた結果を計算機によって実現しており、電

力系統制御システムの運用者への強力な支援を可能にしている。

AI技術の各要素技術は、先の図2に示したように、対象を表現する上で得手・不得手の特徴があるので、今後の電力分野でのシステムには、これらをうまく協調させることが大切である。業務の自動化を、より人間の処理活動に近く実現する期待が高まっている。

ただ、実際にこれらの技術を適用するには、どのように経験などの知識獲得をするかという点が難しい。日立製作所では、自動知識獲得の最新技術として「ニューロ応用によるファジィのメンバーシップ化の手法」を発表しており、システム構築技術の開発とともに、AI技術の適用しやすい環境をも整備しつつある。

また、近年においては、将来の高度電力情報制御システム構成として、計算機システムのダウンサイズ化と分散化の方向が示唆されている。ニューロ、ファジィを適用した各種支援機能は、専用の計算サーバを使って、システムの拡張性、保守性、処理性および信頼性に優れた構成としながら、従来の監視制御システムとうまく協調をとったシステム構成として今後ますます発展していくと考える。

参考文献

- 1) 福井, 外: 電力系統の融通問題におけるホップフィールド形ニューラルネットワークの適用, 電気学会論文誌D, 111巻, 1号, 10~19(平成3-1)
- 2) 石田, 外: ニューラルネットを用いた翌日電力需要予想, 電気学会電力技術研究会, PE-91-13(平成3-9)
- 3) 岩本: ニューラルネットワーク理論とその電力・エネルギー分野への応用, 電気学会論文誌D, 111巻, 7号, 698~705(平成3-7)