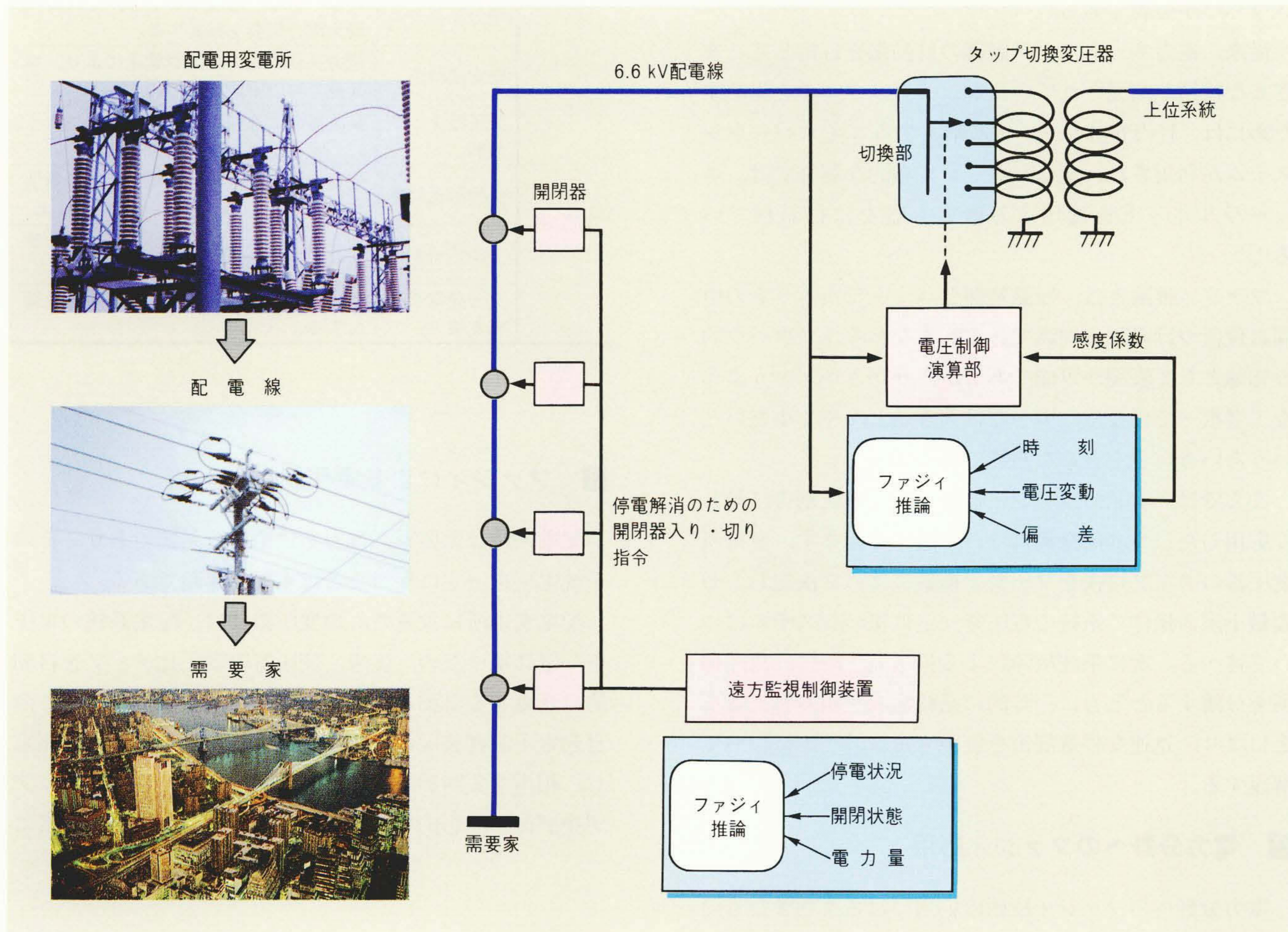


ファジィ技術の電力系統への応用

Fuzzy Technology and Its Application to Power Systems

福井千尋* *Chihiro Fukui*
 城戸三安* *Mitsuyasu Kido*
 松井義明** *Yoshiaki Matsui*
 井上 汎*** *Hiroshi Inoue*



ファジィ推論による電力系統制御 ファジィ推論を用いることにより、配電変電所変圧器のタップを自動的に切り換えたり、事故時の停電解消のため開閉器を制御することができる。

電力系統は種々の機器から構成され、広域に分散しているため、それぞれの機器を制御するにはさまざまなノウハウが必要である。今までは人間が介入する制御系を構築していることが多かったが、さらに高品質、高信頼度の電力供給を目指すため、熟練操作員のノウハウを生かすことができるファジィ推

論の導入が必要となってきた。

日立製作所では、ファジィ応用による高信頼度な電力情報制御手法の確立を目指して研究を行ってきた結果、系統電圧を一定に保つ変圧器自動タップ切換制御システム、および事故発生時の迅速な停電解消を実現する配電系統負荷融通システムを開発した。

* 日立製作所 日立研究所 ** 日立製作所 国分工場 *** 日立製作所 大みか工場

1 はじめに

電力系統の最終的な目標は高品質、高信頼度の電力を顧客へ供給することにある。電力の送電ネットワークは、種々の機器で構成し、広域に分散しているため、それぞれの機器を上記の目的のために制御するにはさまざまなノウハウが必要である。

従来、電力ネットワーク制御の自動化を目指してさまざまな技術が開発されているが、一方ノウハウを生かすためには、If-Thenルールを基本とするエキスパートシステムが利用され、またパターン認識的な制御では、ニューラルネットを適用する研究も盛んに行われている。

ファジィ推論とは、知識処理とニューラルネットの中間に位置づけられる知識である。すなわち、ノウハウ的な知識として表現が可能であるが、0か1かというような二者択一ではなく、少しだけ大きいとかやや小さいというあいまいさを含んだ知識である。

ここでは、上記のファジィ推論を電力系統制御に対して応用した二つの開発例について述べる。まず、変電所変圧器のタップ切換をファジィ推論によって決定し、必要最小限の操作で系統の電圧を一定に保つシステムについて述べる。次に系統故障による停電発生時に、故障箇所を分離するとともに一時的に系統構成を組み替えることにより、迅速な停電解消を実現するシステムについて解説する。

2 電力分野へのファジィ応用

電力分野へのファジィ技術の応用にはさまざまなものが考えられる。過去の研究例や今後適用が考えられる応用例を表1に示す。

次に主な応用例について述べる。

(1) 予測・診断

与えられた情報から評価を行うものである。送電線の標定などを行う事故診断や、各日の天候や気温や湿度などから、当日の最大電力需要を予測する需要予測が代表例である。

(2) 制御

制御を行う際の意思決定にファジィを用いるものである。手順作成などの系統操作で、複数の手順候補の名から選択する際の評価量に利用したり、制御パラメータの決定などに利用できる。ここでは、この制御の分野から二つの例をあげて解説する。

表1 電力分野におけるファジィ応用例 電力分野の予測診断、制御などさまざまな要素にファジィが応用されている。

分野	応用例	内容
予測・診断	事故診断	保護リレーや遮断器の動作状況から事故点を判別する。
	事故点標定	送電線鉄塔架空地線の電流センサから得た情報をもとに、事故点を推定する。
	電力需要予測	天候・気温・湿度などから、その日の最大電力需要を推定する。
	安定度診断	電力系統の電力潮流や電圧により、事故発生時の安定度を予測する。
制御	変圧器タップ制御	変圧器の二次側電圧を一定に保つように、変圧器タップを制御する。
	負荷融通問題	配電系統の事故時の停電を早期に解消するため、系統構成を一時的に変更する。
	ダムゲート制御	ダム水位の状況によるダムゲートの制御量を計算する。
	火力発電所運転支援	火力発電機の起動スケジュールを最適にする。

3 ファジィによる電圧制御

配電系統は需要家へ電力を供給する系統であり、その系統電圧を一定に保つことは重要な課題である。

配電変電所に設置された変圧器には、配電系統の電圧を一定に保つため、従来、変圧器の変圧比タップを自動的に変更する自動電圧制御装置が設置されている。この自動電圧制御装置は、指定した電圧値からの偏差を測定し、相当する制御系を経てタップの切換を行う。タップ切換制御の理想的な制御は、一定時間の平均電圧が常に

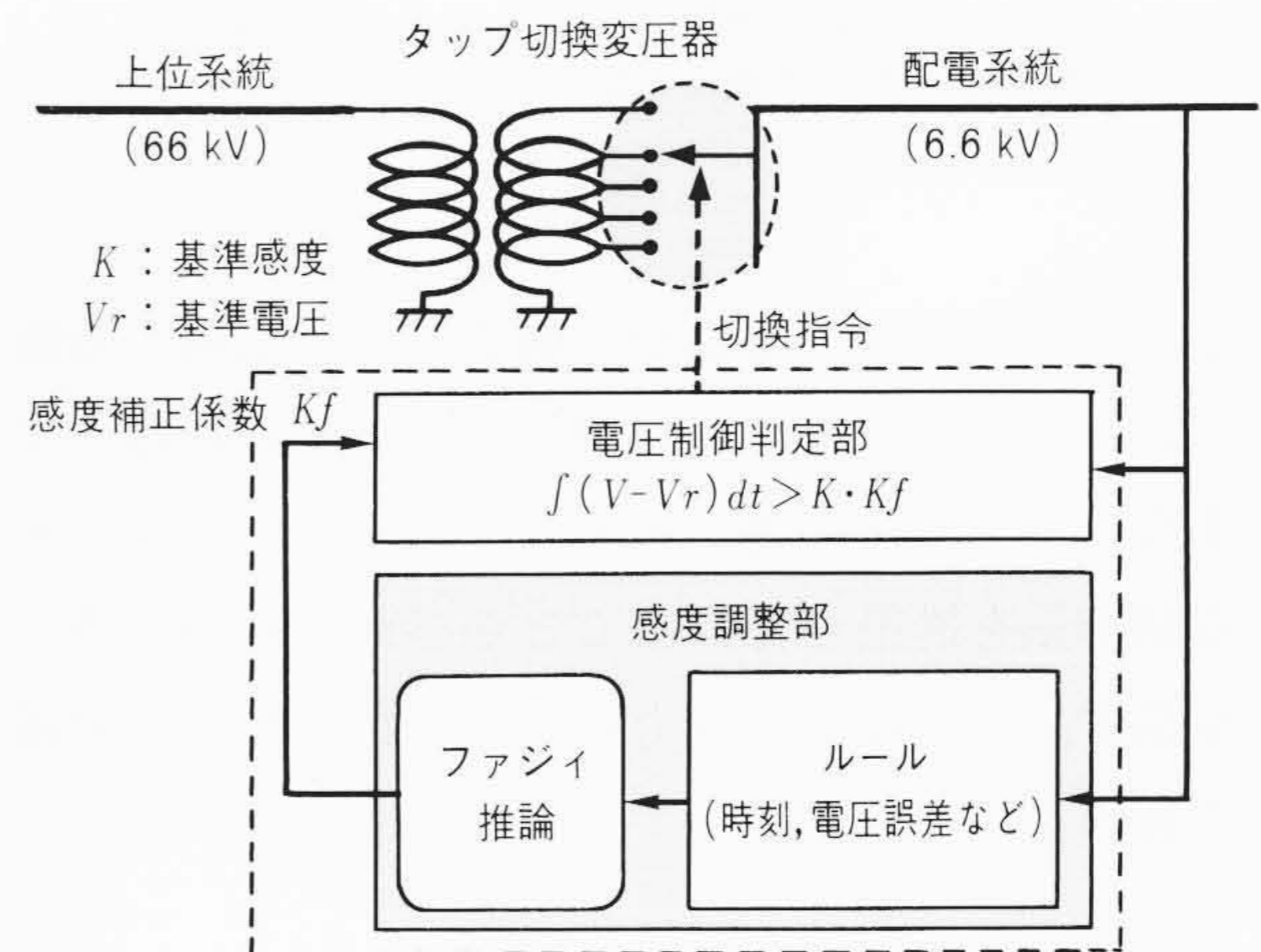


図1 電圧制御システムの構成 需要家の電力消費状態に合わせて、ファジィ推論によって変圧器タップを自動的に切り換える。

目標電圧の管理幅(±2%)以内にあり、タップ切換頻度が規定値(50回/日)以内にあることである。

一般に電圧変動の管理幅を小さくすれば、タップ切換回数が増加し、タップ切換回数を抑えようとする、電圧変動が大きくなる。この二つの条件はトレードオフの関係であり、両者の条件を達成するには困難があった。また従来手法では、系統電圧の動的な変動に関係なく、設定された指定値をもとに制御が行われていたため、急激な電圧変動や目標電圧の変化に対しての動作が遅れるという問題があった。

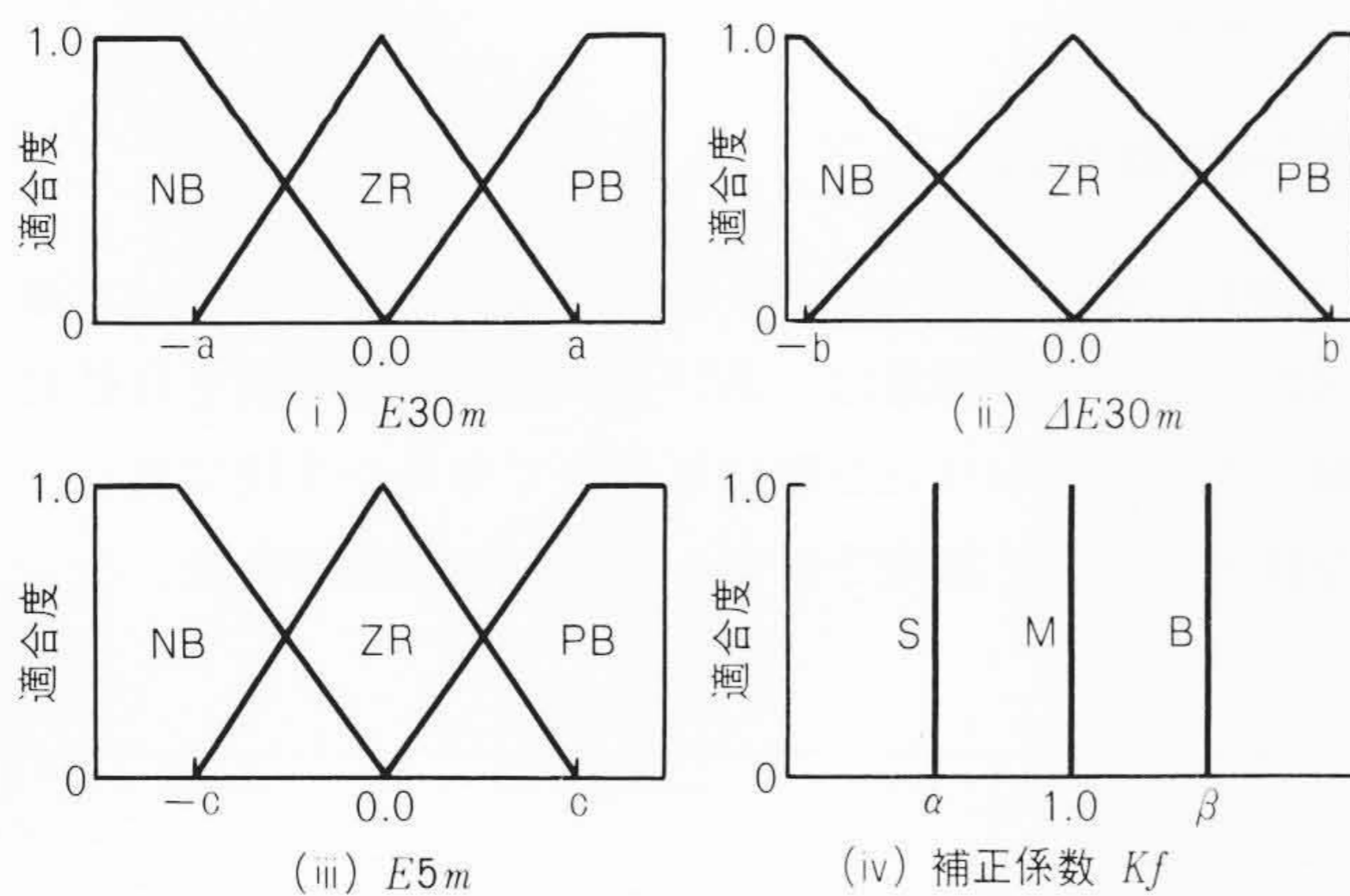
今回開発した自動電圧制御装置は、電圧変動に対して人間が持つノウハウを取り入れ、電圧の動的な変化にも対応できる制御を実現するため、ファジィ推論を導入したものである。

このシステムのブロック図を図1に示す。ファジィルールの基本的な構造は次のようになる。

If: 30分平均電圧誤差が正側に大。
Then: 電圧補正係数は小さくする。

周期	入力変数	特徴
短	偏差の大きさ	ΔV
	偏差積分値の大きさ	V_h
	偏差積分値の変動方向	ΔV_h
	5分平均電圧の誤差の大きさ	E_{5m}
	5分平均電圧の誤差の変動方向	ΔE_{5m}
	30分平均電圧の誤差の大きさ	E_{30m}
比較的長い周期の 負荷変動の把握	30分平均電圧の誤差の変動方向	ΔE_{30m}
	目標電圧の変更時刻	T_n
負荷変動の予測	昨日のタップ切換回数	N
	昨日の誤差(E_{30m})の最大値	E_{max}
長		昨日の運転実績の 反映

(a) 入力変数



(b) メンバシップ関数

図2 電圧制御の入力変数とメンバシップ関数 電圧制御のため、配電系統電圧のさまざまな要因が考慮される。

ルールの条件部に用いられる入力変数とメンバシップ関数を図2に示す。これらは急激な負荷変動、比較的長い周期の負荷変動、負荷変動の予測値および昨日の運転実績が利用される。

この手法を実地に適用した効果を図3に示す。同図で示すように、電圧誤差が1%を超えた時間は、従来手法では5時間15分であったのに対し、この手法では1時間9分に短縮できた。また、切換回数も大幅に改善している。

4 ファジィによる負荷融通

配電系統に地絡や短絡などの故障が発生した場合、保護システムにより、故障区間は速やかに他の健全系統から切り離される。しかし、故障区間を経由して受電していた区域は停電したままであり、これを放置しておくわけにはいかない。この場合、一時的に配電系統の構成を組み替えることにより、他の地区から電力を融通してもらって迅速な停電解消を図る。この応急措置を負荷融通と呼ぶ。

従来、この作業は熟練操作員が立案していたが、停電解消の高速化を図るため、自動化が強く望まれていた。そこで、エキスパートシステムを含むさまざまな手法での自動化が試みられてきたが、人間の柔軟な処理に及ばない点も多く、いっそうの改善が望まれていた。今回開発した負荷融通システムは、ファジィのあいまい性表現能力を用いてこの問題を解決した。

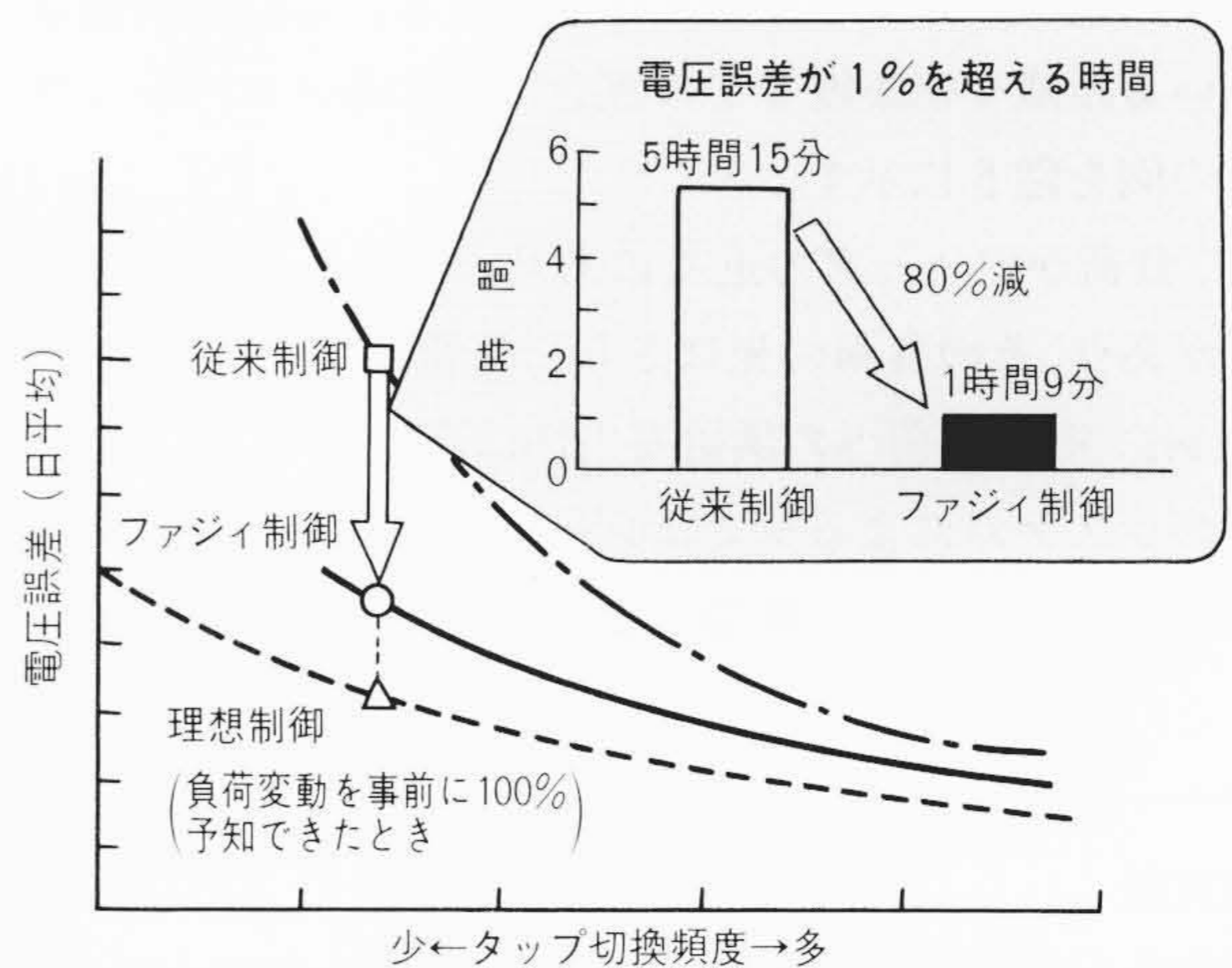


図3 タップ切換回数と電圧誤差の比較 ファジィ推論によるタップ制御により、従来手法に比べタップ切換回数を減少させ、かつ電圧誤差を減らせることができる。

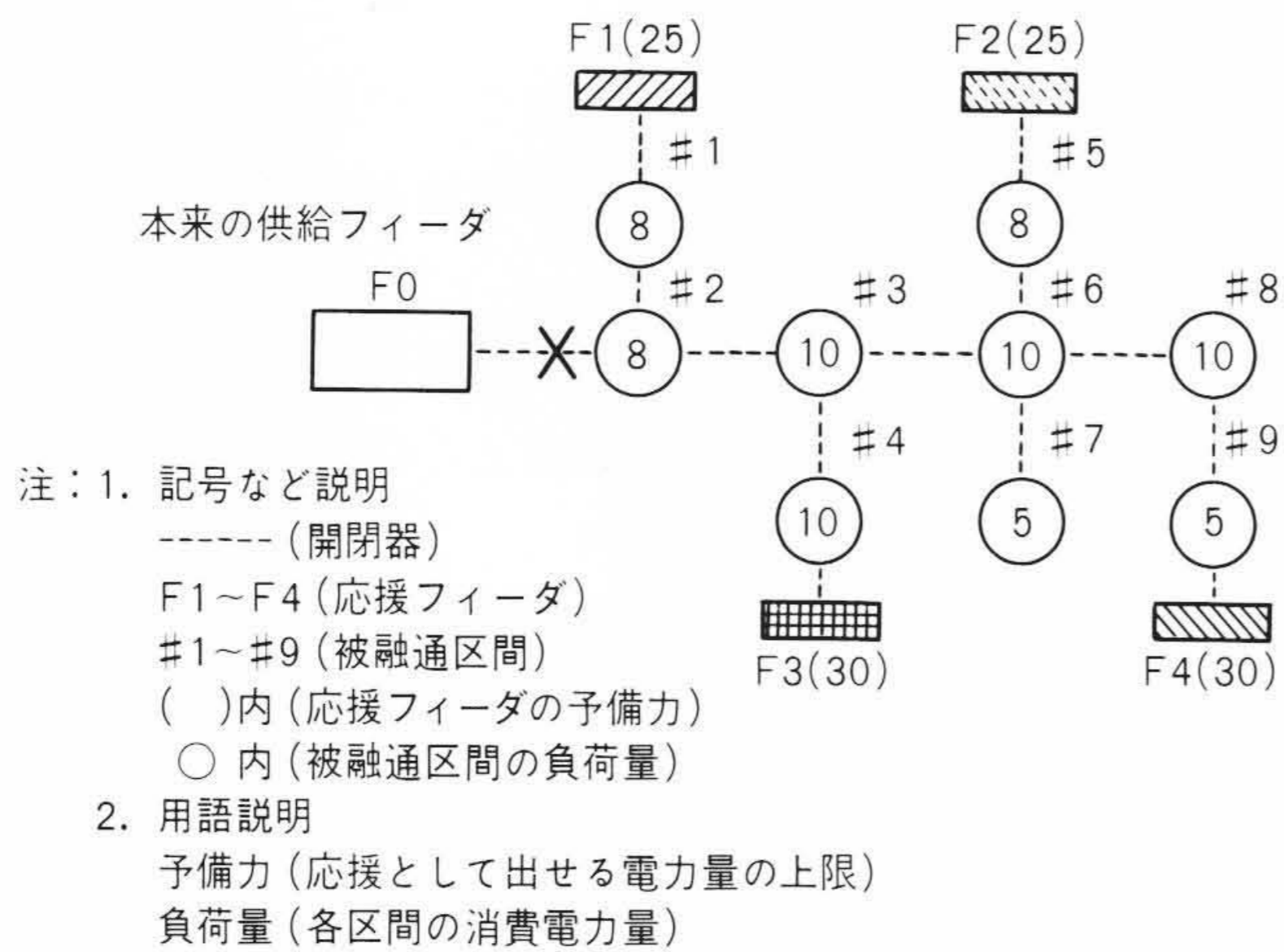


図4 負荷融通問題の例 本来の供給フィーダが利用不可能となった停電した区間に、隣接のフィーダから電力を融通することにより、停電を解消する。

負荷融通問題の概念を図4に示す。同図中に示した負荷(需要家)は、本来は供給フィーダF0から受電していたが、F0が故障などで利用不可能となれば、他のフィーダF1, F2, F3, F4から停電解消のため受電する必要がある。この問題は、配電システムを分割しフィーダに割り付けるグラフの分割問題に帰着されるが、その際、さまざまな制約条件と目的関数を考慮する必要がある。代表的な制約条件と目的関数を次に示す。

制約条件：分割した各区間への供給電源は一つ。各フィーダからの供給電力量は上限を超過しない。

目的関数：停電量を最小にする。

どの負荷がどのフィーダから受電すべきかの評価指標として、供給妥当性という概念から導入する。この指標の算出に次のファジィルールを適用する。ここで利用されている距離や密集度などの概念に関するメンバシップ関数の例を図5に示す。

If：負荷がフィーダの近くにあり、フィーダの容量に余裕があり、その負荷の先にさらに負荷が集中している。

Then：その負荷への供給妥当性は高い。

このシステムによるシミュレーション計算結果の例を図6に示す。ファジィ推論により、各フィーダの容量を

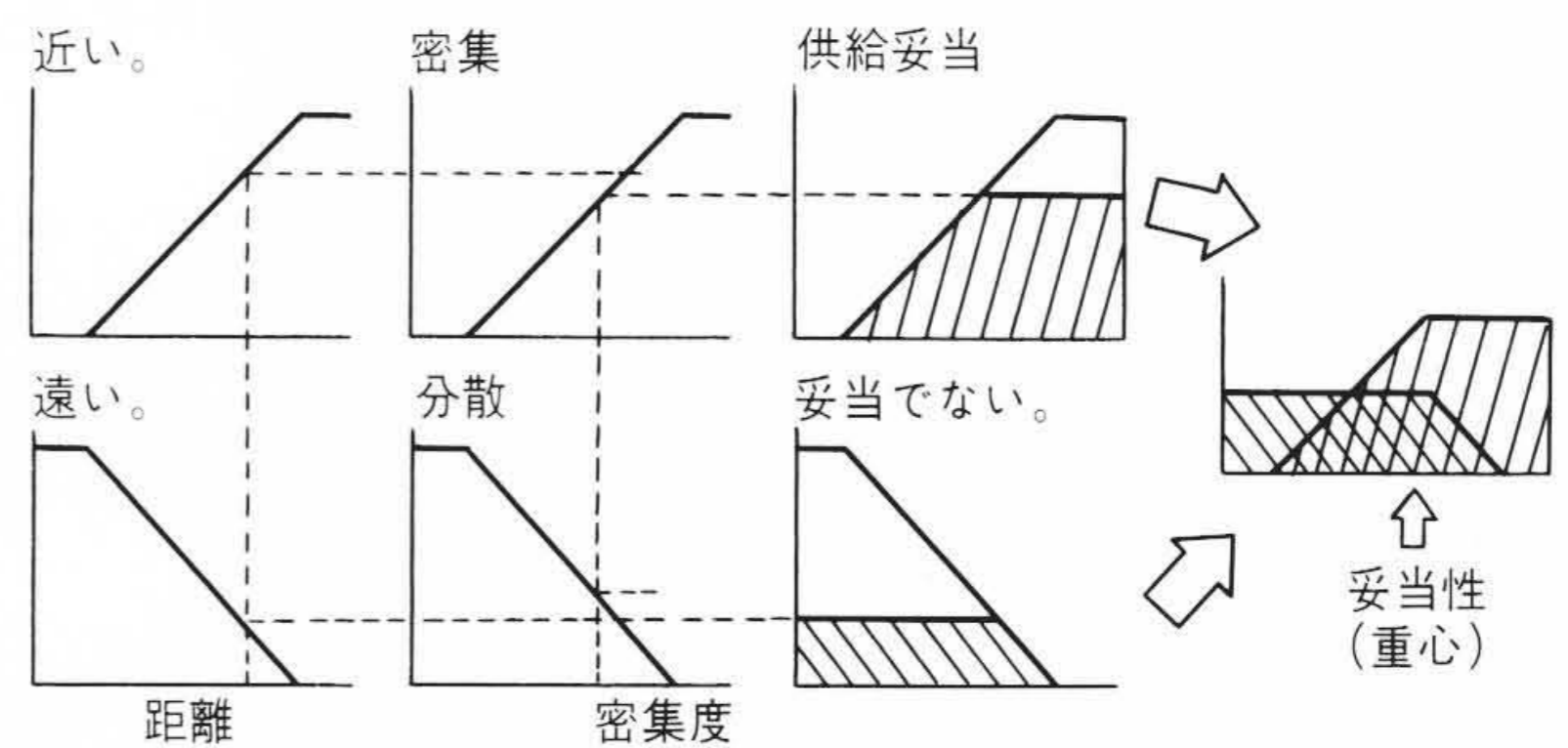


図5 ファジィ推論によるフィーダの供給妥当性評価 どのフィーダからどの負荷へ電力を供給すべきかを判定する供給妥当性を、さまざまな要因で評価する。

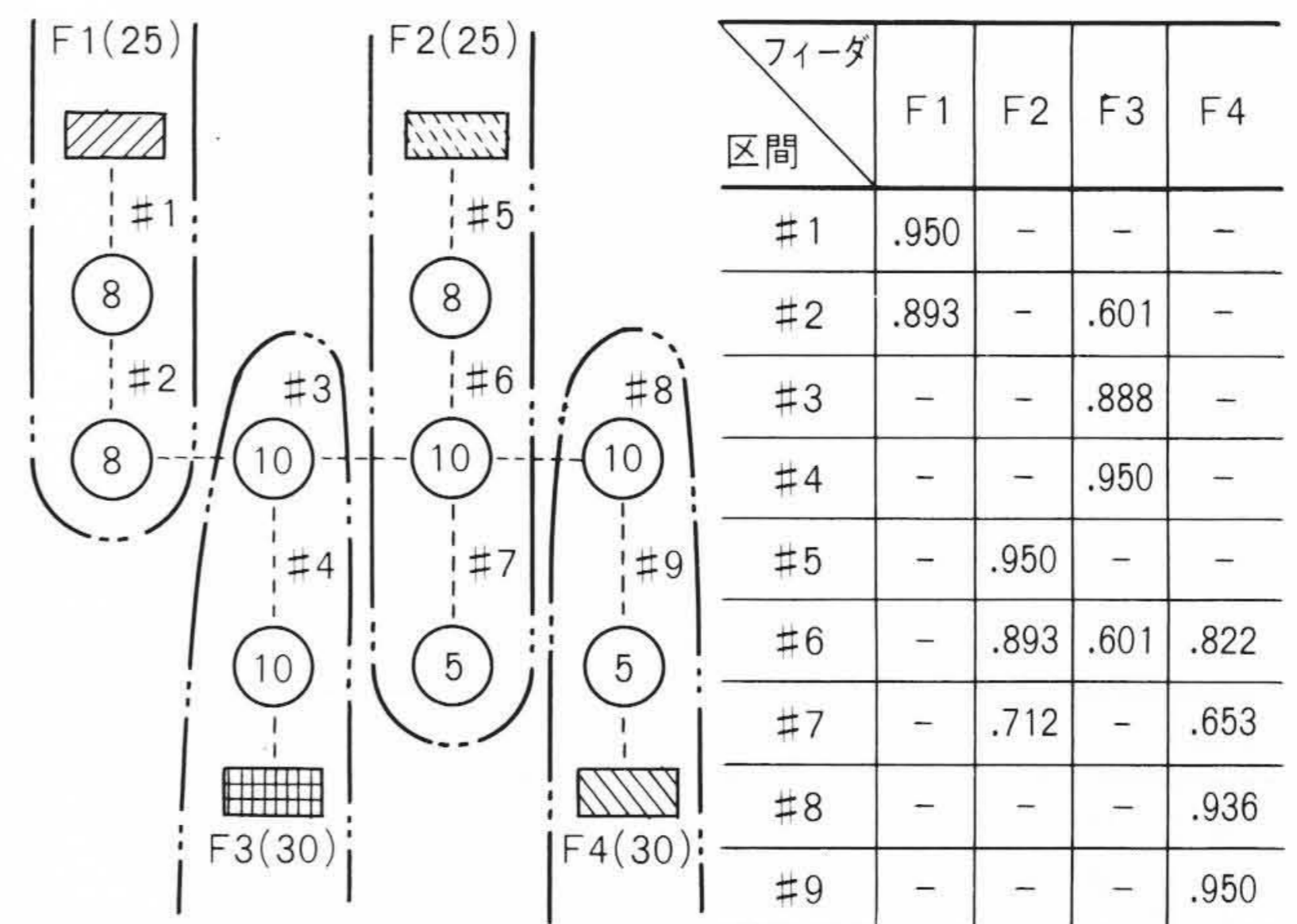


図6 負荷融通計算結果例 ファジィ推論によって各要因を考慮しながら、どのフィーダがどの負荷を供給するかを決定することができる。

超過することなく、停電した負荷の割り振りが行われていることがわかる。このようにファジィを用いると、さまざまな条件を考慮した総合的な判断が可能となる利点がある。

5 おわりに

以上、電力分野へのファジィ推論の応用例について述べた。ファジィ推論は、あいまいな人間的判断を自動制御システムに取り込む際にきわめて有効な手段であり、今後とも、広く利用されていくものと期待できる。

参考文献

1) 藤川, 外: 電力システム制御システムへのニューロ・ファジィ技術の適用, 日立評論, 74, 2, 158~163(平成4-2)
 2) 高橋, 外: ファジィ推論を適用した電圧制御装置の検討,

電気学会論文誌B, 113巻, 1号(平成5-1)
 3) 今村, 外: 配電負荷融通計算へのファジィ推論適用, 電気学会電力技術研究会資料, PE-91-6(平成3-9)