

# 油中ガス分析診断エキスパートシステム

## Expert Systems for Dissolved Gas Analysis for Power Apparatus Insulating Oil

変圧器など油入電気機器の保守管理法として、油中ガス分析診断法が広く用いられている。この手法は、特定の専門家によってだけ行われている。更に診断精度の向上を行い専門家以外での利用を図るため、実用化を目指した油中ガス分析診断エキスパートシステムを開発した。エキスパートシステム構築ツールにES/KERNELを用い、専門家の知識をもとにした経験モデルと、蓄積されたデータの解析によって得られた数学モデルで構成し、従来の専門家並みの処理に加えて、専門家では行い得なかった異常の確率の定量化と異常の予測を行うようにした。本システムの導入で、油中ガス分析診断が客観的及びより効率的な保守管理法として展開できる。

松浦敏之\* Toshiyuki Matsuura  
河内二三夫\*\* Fumio Kawachi

### 1 緒言

変圧器などの油入電気機器の保守管理法としての「油中ガス分析診断法」は、昭和38年に関西電力株式会社で研究を開始し、昭和41年に実用化して以来、変圧器などの事故の未然防止に大きな成果を挙げてきた<sup>1)~4)</sup>。

この方法は、高度な技術と経験を持つ専門家(以下、エキスパートと言う。)によって行われている。同方法の診断精度のいっそうの向上と、エキスパートレベルでの技術利用を図るため、エキスパートの知識、経験をもとに油中ガス分析診断エキスパートシステムを開発を行ってきた<sup>5)</sup>。

関西電力株式会社と株式会社関西テックは、油中ガス分析診断エキスパートシステムを試作した段階で、エキスパートシステムの油中ガス分析診断法への適用の可能性について検討した結果、エキスパートと同等以上の診断を行う実用化システムへの展開が可能と判断した。しかし、実用化を目指したシステムでは、診断の客観性が現在以上に要求される。従来のようにエキスパートの知識だけに頼るのでは不十分である。このため、現在まで蓄積したデータの統計解析を行い、全く新しい診断手法を開発し、これを数学モデルとして知識ベース化し、エキスパートの知識に加えた油中ガス分析診断エキスパートシステムを開発した。以下にこのシステムについて紹介する。

### 2 油中ガス分析診断

変圧器など油入電気機器の内部に異常が生じた場合、油中ガス分析診断法では初期の非常に微小な状態をも検出することが可能である。油中ガス分析診断法は検出精度の高さから、変圧器など油入電気機器の保守管理方法として極めて信頼性

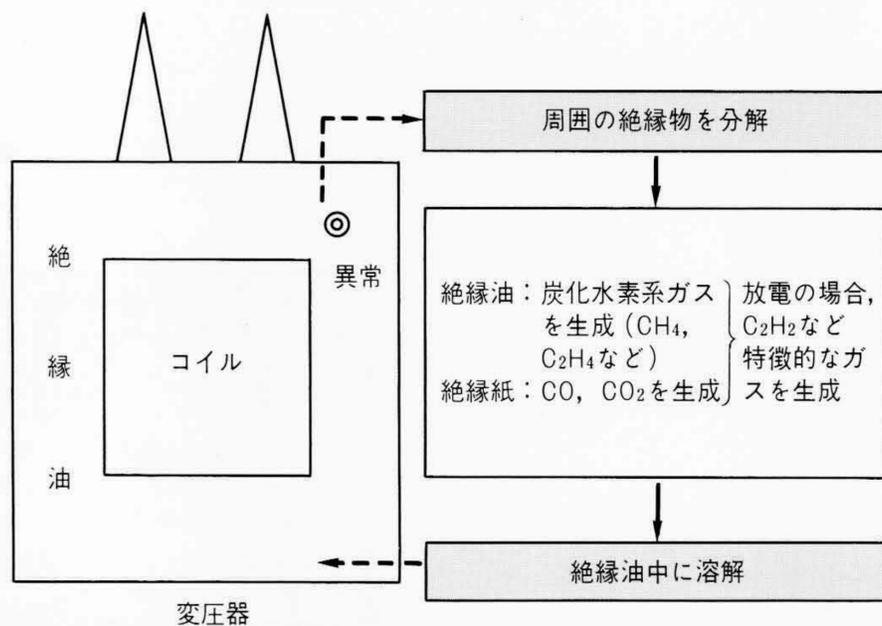


図1 油中ガス分析診断の原理と考え方 異常の周囲の絶縁物が分解すると、絶縁物の種類に応じて特有のガスが生成し、絶縁油中に溶解する。

が高い(図1)。

変圧器など油入電気機器内部での異常は、放電や過熱などのために周囲の絶縁物を分解、異常の状態や絶縁物に特有のガスを生成し、機器内部の絶縁油中に溶解する。

したがって、溶解しているガスを抽出し、絶縁物の分解に起因するガスを分析し、その種類や量、組合せの特徴などを判断することで内部の異常を診断することができる。油中ガス分析診断法は、外部からは見えない状態を検出して診断する方法であり、知識に裏づけられた経験が重要である。

\* 関西電力株式会社研究開発部 \*\* 株式会社関西テック化学研究部

### 3 油中ガス分析診断エキスパートシステムの開発

#### 3.1 開発体制

エキスパートシステムの開発に当たっては、エキスパートとKE(Knowledge Engineer)の存在が問われる。

本システムでは、油中ガス分析診断に携わるエキスパートが知識の整理、知識ベースの構築など、すべての役割を担った。

#### 3.2 システム構成とエキスパートシステムの範囲

本システムは、日立ワークステーション2050とエキスパートシステム構築ツールにES/KERNEL (Expert System/KERNEL)を用いた。

本システムは、油中ガス分析のデータを管理する油中ガス分析データ処理システムからフロッピーディスクにデータを受け取り、推論を行うという方法をとっている(図2)。

### 4 油中ガス分析診断エキスパートシステム

#### 4.1 エキスパートシステムの限界と新たな手法の開発

油中ガス分析診断では異常の有無や異常の種類、箇所の推定に可燃性ガスパターン<sup>4)</sup>、二成分法<sup>6)</sup>などが用いられる。

油中ガス分析診断は、これらの診断法やエキスパートの知識、経験がもともになるため、これらをもとにルール数を多くして詳細に記述しても、システムの診断結果に対する確かさの向上は大幅には期待できない。

実用化を目指したシステムでは、診断精度の向上と診断結果の客観性が現在以上に要求され、エキスパートの知識、経験だけに頼るだけではこれらは実現できず、新たな知識の見だしと新診断手法の開発が必要であった。

関西電力株式会社と株式会社関西テックは、油中ガス分析の結果、内部に異常が推定され、内部点検を実施した変圧器

の異常内容、箇所と、このときの油中ガス分析の結果の関係について多変量解析を行い、新しい異常診断法を開発した。

正準判別分析を応用した異常診断法で、従来の診断法が経験に基づいて行われるのに対し、異常の内容、確率、異常の方向が図示でき、異常の方向の予測及び確率に基づいて客観的な診断が行えるものである。この診断法を数学モデルとして知識ベース化を行った。

#### 4.2 エキスパートシステムの構造

エキスパートシステムは、エキスパートの知識、経験をもとにした経験モデルと、多変量解析結果から得た数学モデルで構成している(図3)。

経験モデルと数学モデルは、与えられたデータをもとに別々に推論し、経験モデルでは検出した成分からどの種類の異常が生じているかを、異常が生じているときはその内容、箇所を推論する。数学モデルでは正準判別分析結果から異常の内容、箇所と、異常が生じている確率を求める。また分析データの経時変化から今後のデータの推移を予測し、異常の方向を予測する。

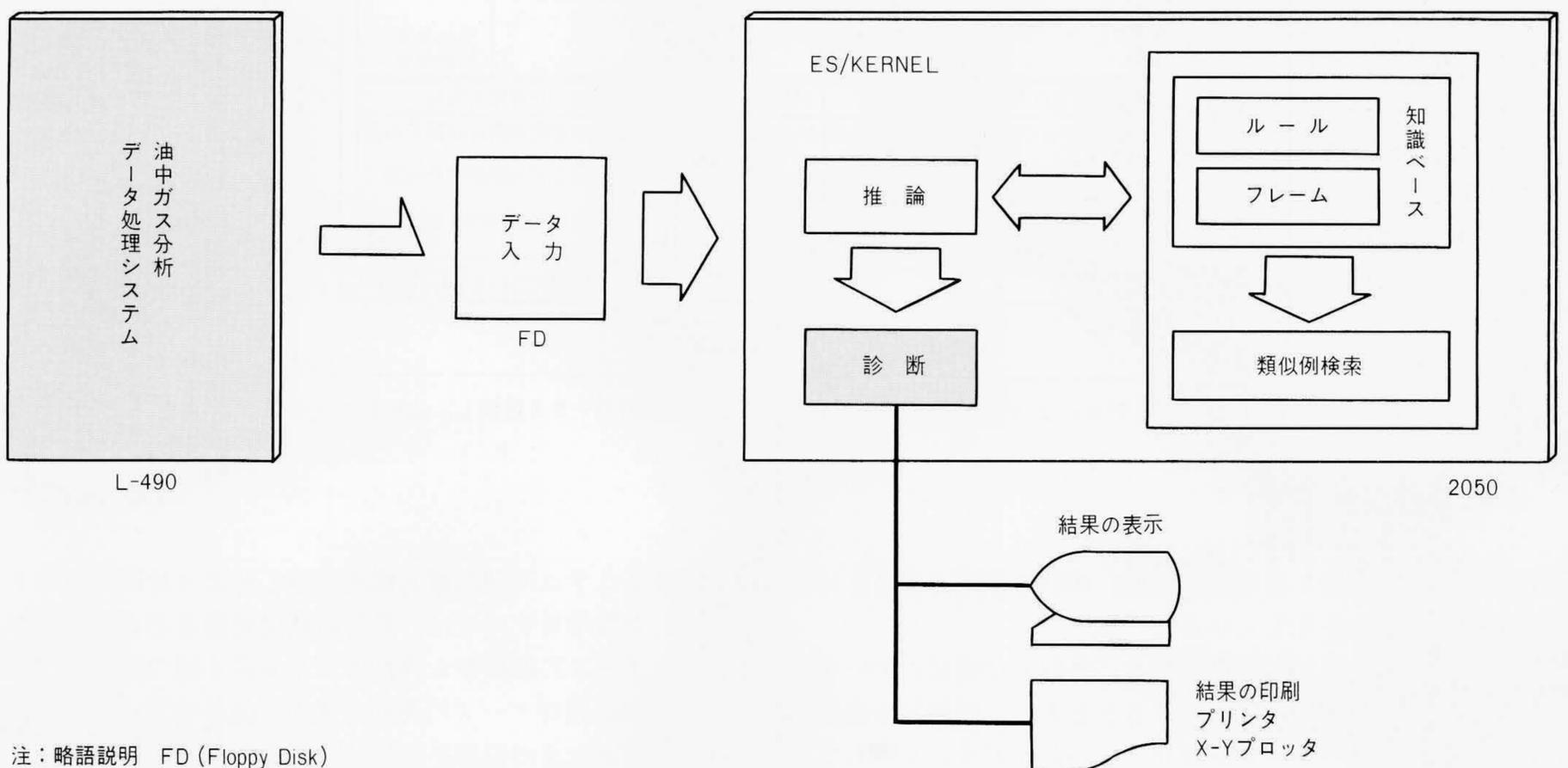
これらの経験モデルと数学モデルの推論結果から更に推論を行い、対策を決定する。エキスパートシステムは推論の結果、可能性のある異常と類似した過去の内部点検例を検索し、表示する機能を持っている。

推論方法はフレームを用いた前向き及び後向き推論とし、ディスプレイ上の表示などはC言語で記述している。

#### 4.3 実行例

実際にデータを与えて、経験モデルと数学モデルで推論した結果の一部を紹介する。

経験モデルでの推論結果をまとめたのが図4である。異常なグループ、特徴的な成分、これらの成分がどうして発生したか、前回に比べて増加した成分は何か、ということを示し、



注：略語説明 FD (Floppy Disk)

図2 システムの構成 油中ガス分析データ処理からフロッピーディスクでデータを受け取り入力する。

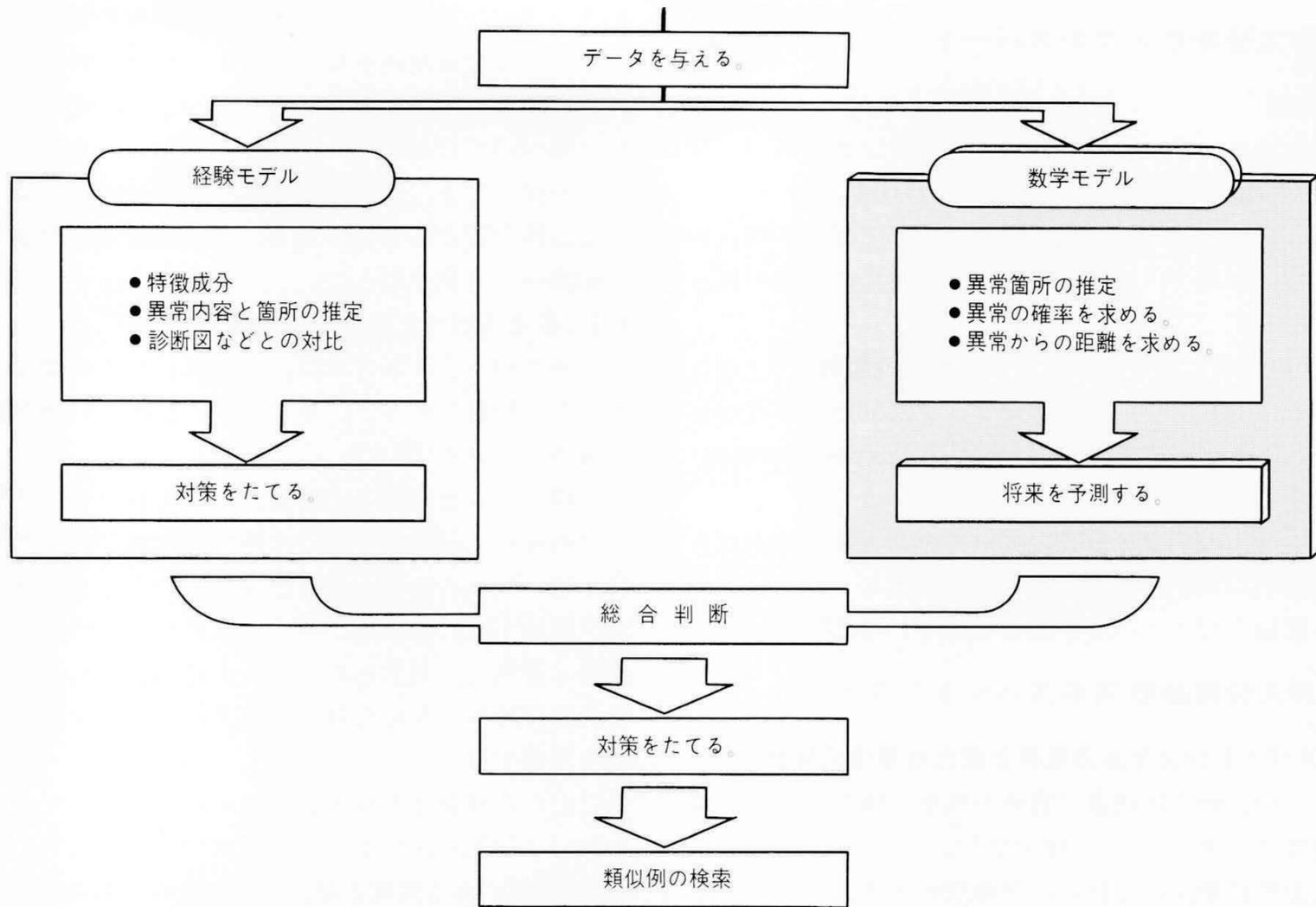


図3 エキスパートシステムの構造 経験モデルと数学モデルで推論し、その結果をもとに更に推論する。

異常診断図 推論結果の表示

異常のグループ	特徴となる成分	特徴となる成分が発生した理由	増加した成分
油過熱	CO <sub>2</sub>	絶縁紙などの固体絶縁物の劣化	CO <sub>2</sub>
	アセチレン 水素 メタン エチレン プロピレン エタン	金属部分など周囲が絶縁油の部分での過熱	水素 メタン エチレン エタン
	炭化水素 可燃性ガス	アセチレンを検出しているが、放電による発生ではなく、過熱に伴う発生と推定する	炭化水素 可燃性ガス
推定される異常の箇所		異常部の温度	前回推定した異常の箇所
①コイルなど絶縁紙介在部での過熱 ②リード部などの絶縁物介在部での過熱 ③鉄心などの絶縁物介在部での過熱		およそ [600°C ~ 800°C]	①コイルなど絶縁紙介在部での過熱 ②リード部などの絶縁物介在部での過熱 ③鉄心などの絶縁物介在部での過熱

an

図4 経験モデルによる推論結果 最新データと1回前のデータを推論し、比較している。

今回推定される異常と異常部の温度、前回のデータをもとに推論した異常箇所を示している。

従来から用いられている診断法と、今回及び前回のデータに基づく診断結果を図5で表示するとともに、同図は今回と前回の間で異常なパターンが変化しているかどうかを示している。

今回本システムで関西電力株式会社と株式会社関西テックが導入した数学モデルでは、異常診断図が図6のように表示される。データの解析から得たモデル異常6種の位置と、診断対象機器の経時データの異常な関係を図示する。プロットされた経時データの位置の変化は、異常の方向の変化を表している。この変化の方向から対象機器の異常がどの方向に進

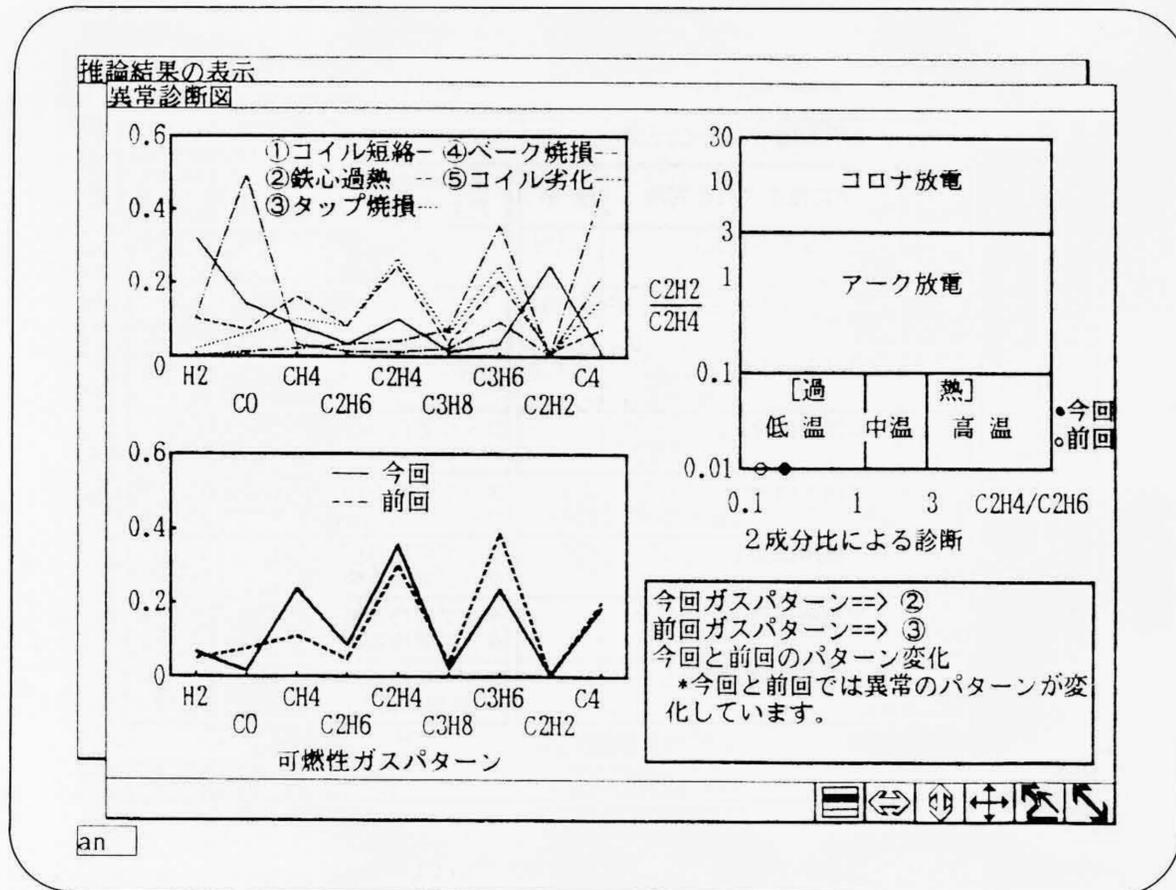


図5 経験モデルによる異常診断図 エキスパートが診断に用いている。可燃性ガスパターンは、モデル異常のパターンと比較して判断する。

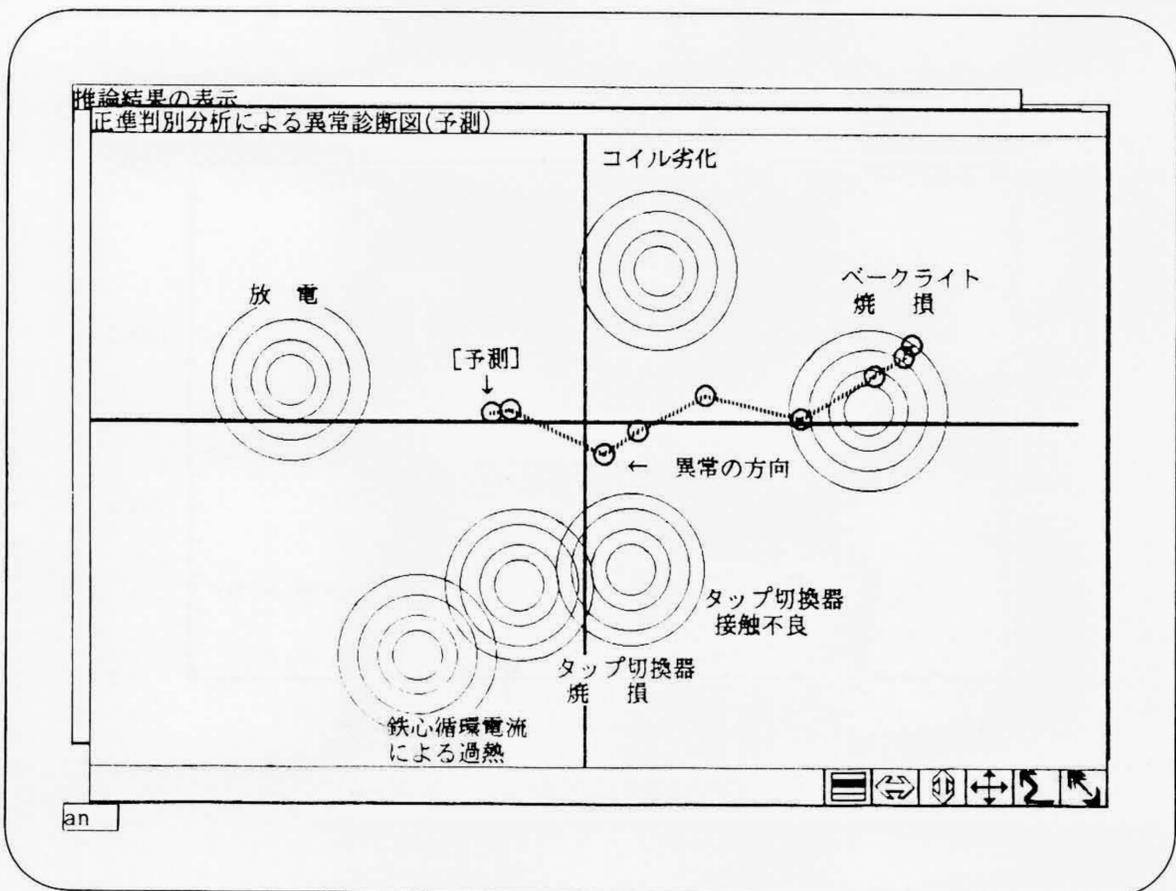


図6 数学モデルによる異常診断図 経時データをプロットし、その変化の方向が対象機器の異常とその変化を示す。位置関係から異常の確率が求められる。

んでいるかが判断でき、それに伴い対策がより合理的に決定できる。

対象機器の最も近い異常とその確率を求めたのが図7である。異常が存在するとき、それが確定できない場合でも異常との位置関係から、推定される異常とその確率を表している。

対象機器の経時データから、今後の増加を予測したのが図8である。このデータをもとに経験モデル、数学モデルで推論

することで今後起こり得る異常を推定する。経験モデルと数学モデルでの推論結果を更に推論し、異常の変化の方向と確率から対策を表示するとともに、類似例の検索を行う。

### 5 結 言

油中ガス分析診断では、エキスパートの知識だけでは実用的なシステムの構築は限界があると考えた。このため、本シ

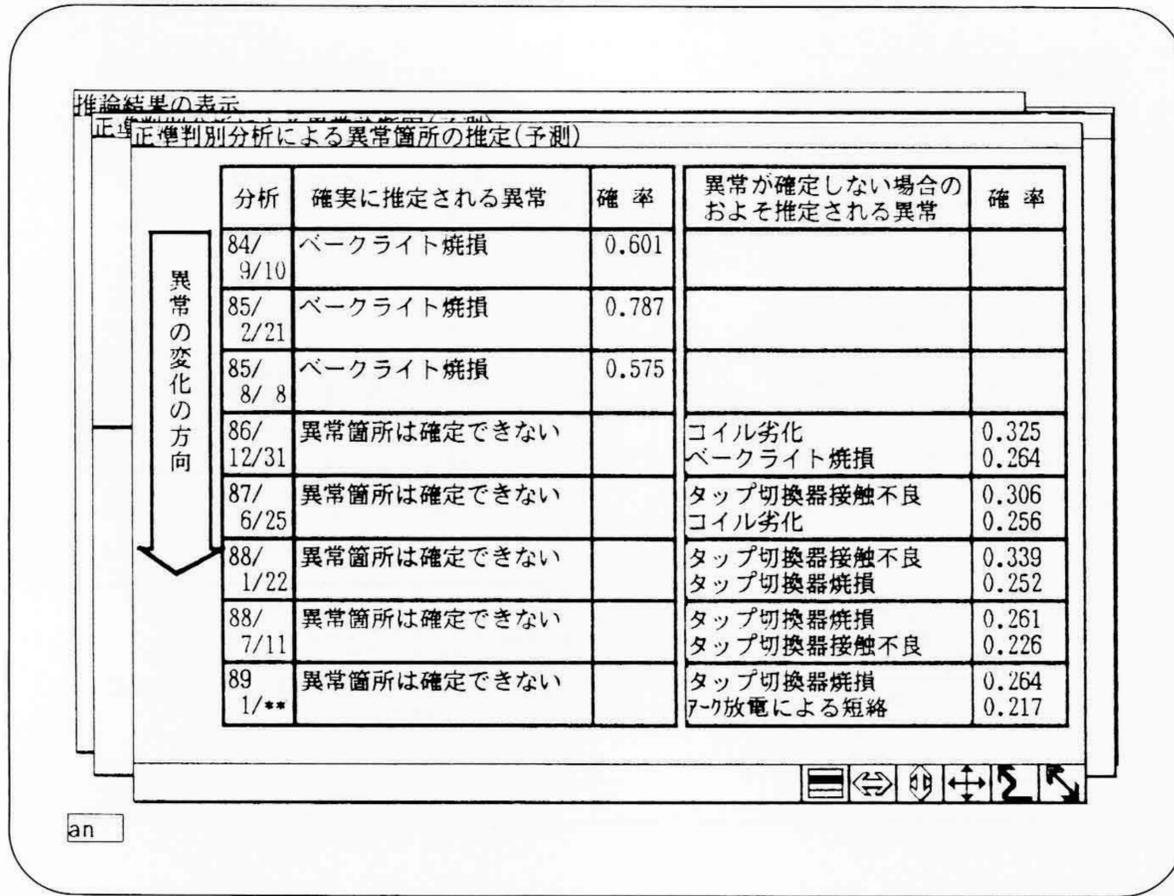


図7 数学モデルによる異常の確率 推定される異常とその確率を示す。

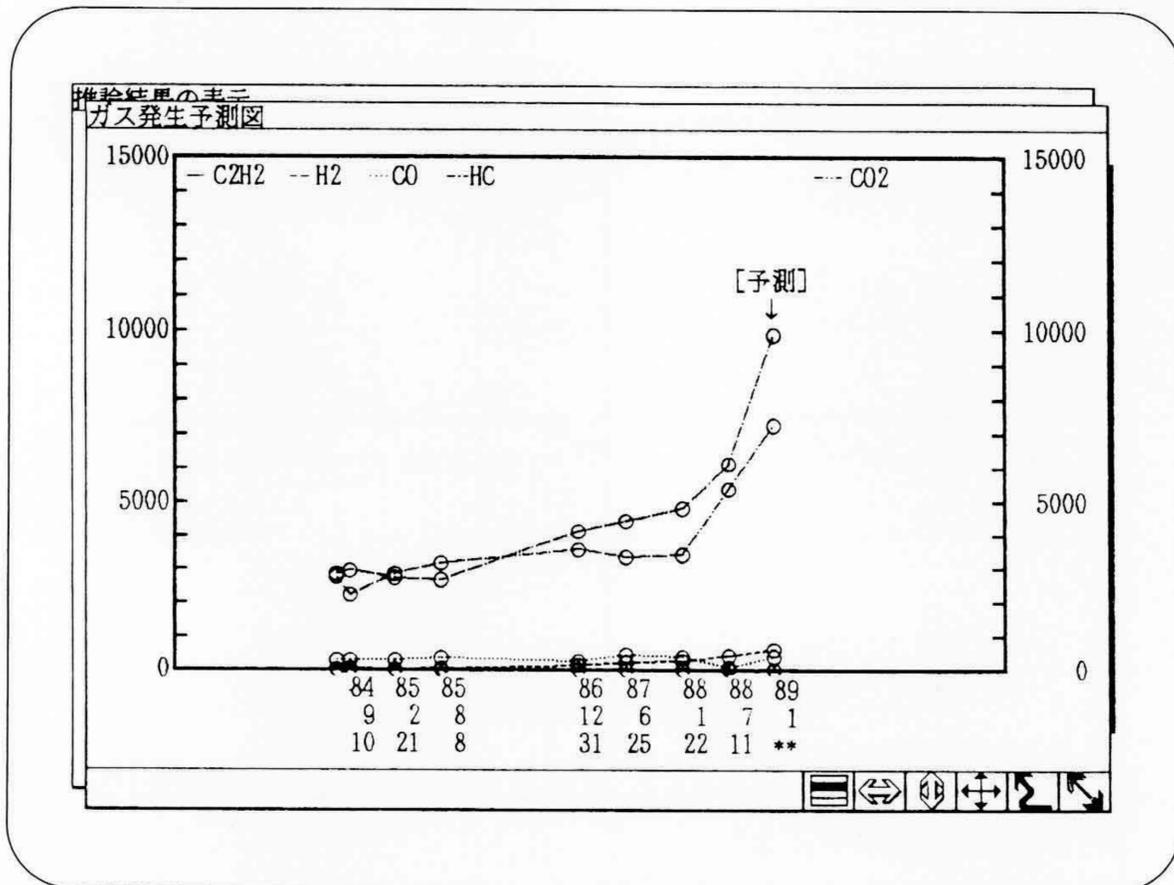


図8 発生ガスの増加の予測 経時変化から、最終データの6箇月後のガス発生を予測した例である。このデータの推論を行えば、起り得る異常が予測できる。

システムの開発に当たっては、新たな知識の見いだしと、新診断手法の開発を行った上で数学モデルとして知識ベース化し、経験モデルとの推論を組み合わせる診断を行う方法をとった。

本稿中では述べなかったが、本システムは異常診断だけでなく、正常運転機器の将来予測という劣化診断をも考えたシステムとしている。

本システムの導入で、油中ガス分析診断法がエキスパート以外の人でも利用でき、更に効率的な保守管理手法として展

開できるものと確信する。

参考文献

- 1) 木下, 外: 電気学会論文誌, 94-B10, 65(昭和49-2)
- 2) 木下, 外: 電気学会論文誌, 94-B10, 73(昭和49-2)
- 3) 宮崎: 産業と電気(昭和44-11)
- 4) 稲垣: 電気雑誌「OHM」(昭和57年11月号)
- 5) 匂坂, 外: 電気学会電力技術研究会, PE-87-8
- 6) 電気協同研究, 36巻, 1号(昭和55年7月)