

発電プラント分野におけるAI

Artificial Intelligence in Power Plant

種 本 能 彬*・木 暮 洋 一 郎**

Yoshiakira Akimoto

Youichirou Kogure

1. はじめに

AI技術を発電プラントへ応用する場合、音声認識装置を導入した音声理解システム、従来は人間が実施せざるを得なかった作業への知能ロボットの適用、ボイラの燃焼状態を画像理解すること等を考えることができる。しかしながら、発電プラント分野においてはこのような新しい応用技術だけでなく、現状、一番その成果が期待されているのは、むしろ各種の診断・計画・運転・保守などの分野における各種エキスパートシステム(ES)である。^{1,2,3,4)}

本論では、発電プラント分野におけるAIのうち、とくにエキスパートシステムについて、その開発ニーズ・開発における技術的課題・開発事例、成果などについて紹介する。

2. エキスパートシステム開発のニーズ

2.1 動向

電力技術という観点から、エキスパートシステムの動向を考えると、電源の大容量化、高電圧化、高信頼化が高度情報化社会の進展とともに進み、これら設備の診断技術、予防保全技術などの重要性が増して来ている。又、電力システムが巨大化、複雑化していく中で、大規模なシステムをどの様にコントロールして行くか、という面からの検討の重要性も増して来ている。又、熟練した運転員や保守員の減少、即ち高齢化による熟練員のノウハウが徐々に失われてゆくことが懸念されており、これらの技術を継承することが電力分野においても急務である。

このような電力分野に外来技術としてのエキスパートシステムを導入するに当たっては在来技術との組合せ、

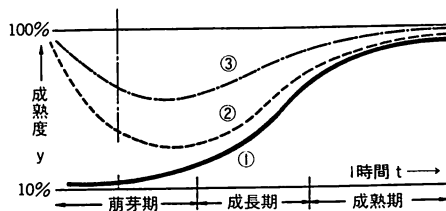
融合という点で十分な配慮が必要である。

2.2 現状認識⁵⁾

エキスパートシステムの開発の進展状況を概念図として表したのが図-1である。現状では、エキスパートシステム、又、その開発ツールについても、その実現性についての一般的認識はPRラインと考えられ、実評価ラインとしては、まだまだのレベルにある。

しかし、実評価ラインのdy/dtが常にゼロより大であり、少しずつではあるが進展しているという状況にある。

対象分野からみたエキスパートシステムの取組み状況



(注) ①: 実評価ライン
②: 期待または認識ライン
③: PR(マスコミ)ライン

図-1 エキスパートシステムとその開発ツールの進展(概念図)⁵⁾

表-1 業務分野から見たエキスパートシステムの取組み状況⁵⁾

業務分野	件数	比率(%)	
電力系統	基幹系統	9	10
	ローカル系統	8	9
	配電系統	3	3
	その他	3	3
	23	26	
電力設備	原子力	13	15
	火力	8	9
	水力	3	3
	発電共通	4	5
	その他	1	1
	29	33	
設備	変電設備	8	9
	送電設備	6	7
	その他	1	1
	44	50	
情報制御	4	5	
事務部門	3	3	
その他	14	16	
合計	88	100	

* 東京電力(株)技術開発本部システム研究所AI研究室室長
主席研究員

〒100 東京都千代田区内幸町1丁目1-3

** ㈱東芝府中工場発電計算機システム部部長

況を表1に示す。電力設備部分50%、電力系統25%などが多く取り組まれている。又、それらの主な事例としては次の様なものがある。

- ・電力系統の事故区間判定システム
- ・排煙脱硫装置運転支援システム
- ・油中ガス分析による変圧器自動診断システム
- ・ダムゲート寿命予測エキスパートシステム
- ・変電所レイアウト設計支援システム
- ・機器保守教育支援システム
- ・知識獲得、整理支援システム（診断型エキスパートシステム用）
- ・500kV変電所の運転支援システム
- ・復旧ガイダンス作成システム（ローカル系統対象、制御用）

2.3 適用可能性⁵⁾

エキスパートシステムの適用の可能性を考える時、従来、ソフトウェアの構築において発生した種々の問題への対応、又、コンピュータ化が難しいとされて来た分野への対応等が考えられる。

現状、電力におけるコンピュータの応用形態は、図-2に示すように電力供給のために働く人を手助けするシステムという形で構成されている。

このようなコンピュータ応用システムの大規模なソフトウェアの開発、或るいは社会情勢、ニーズの変化

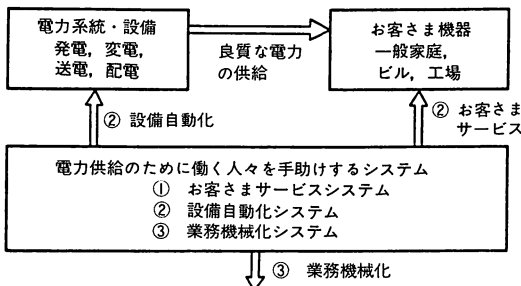
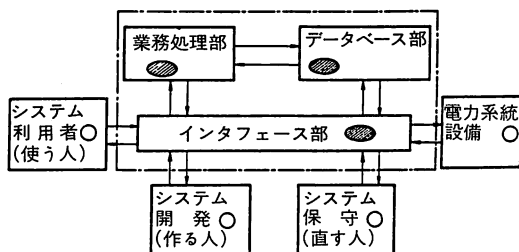


図-2 電力におけるコンピュータ利用⁵⁾



●：A | 処理により向上が期待される部分
○：A | 処理として組み込みが期待される部分

図-3 ソフトウェアの基本構造⁵⁾

に従い、既存のシステムとの保守等、更には従来難しかった種々の状況の変化に対応し、予測して設備を安全に運用して行く様なシステム等、現在は主に経験豊富なエキスパートによっているもののシステム化が考えられる。

このようなシステムは、図-3のような基本構造で組み込むことも出来ると考えられる。

2.4 発電のニーズ

発電プラントは数多くの機器・系統・装置・センサ等から構成され、このような巨大なシステムを安全かつ経済的に高信頼に運用するためには、設備の運転、保守、管理といった面から総合的に対応することが重要である。

運転技術の高度化の観点からは、運転に要する知識の質および量の両面での拡充、充実が大切であり、プラントを構成する機器、動特性等に関する専門的知識、過去の故障事例等を知識ベースとして蓄積した運転支援システムは、運転員に随時重要な情報を提供することが出来、有効であると思われる。

又、これらは熟練した運転員の運転技術をすぐれた経験的知識として表現することにより、技術を継承して行くということも可能にすると思われる。

3. エキスパートシステム開発における技術的課題

本節では、発電プラント分野向けのエキスパートシステム開発にあたり、現状解決すべき技術的課題についてその開発に関する方法論（或いは設計論）・知識表現・知識獲得・知識編集・リアルタイム性確保の観点から検討する。

3.1 エキスパートシステム構築方法論^{4,6)}

エキスパートシステムを構築してゆく上で、現状における最大の問題点は、何と云っても確立された設計方法論が存在しないということである。特に実用性を目指した開発の場合、システムが大規模で問題領域が複雑でその知識自体が確立されていないような悪構造 (ill-structured) を持っている、それが本来ESを開発すべき領域であるにもかかわらず、系統的な構築方法の確立・適用が困難である。良構造を持った小規模なプロトタイプの開発に止まっている例が沢山あり、真の実用化への期待を裏切っているケースも少なくない。とくに実用化を考えた場合、マンマシンシステムのあり方、リアルタイム性の確保などを考慮すると、既存のいわゆる第2世代のエキスパートシステムシェ

ルを形式的に適用しただけでは、ユーザに受け入れられるシステムの構築には至らない。エキスパートシステムへの適用領域（例えば「発電」、「変電」とか）と、適用目的（例えば「制御」、「診断」とか）とを考慮して、そのエキスパートシステムによる問題解決に適切に利用可能な「知識表現」を持った狭義のエキスパートシステム・シェルを個別に準備すべきではないか。その問題領域に詳しく、かつ情報処理技術にも秀でた高級エンジニアを知識の獲得の為に準備しないと、システム構築が不可能だったり、あまりに構造の悪いソフトウェアシステムであったりすると、ユーザの問題解決をはかる方法論として生き残ってゆけないと思われる。その意味で、より解決すべき問題の性質に根ざした「問題向きES」の実現の為に、ユーザ・ニーズを適切に把握し、ユーザの問題領域の本質を分析・理解するという、より基本的なレベルから再検討が必要とされる所以である。

3.2 エキスパートシステムの知識表現

次に、エキスパートシステムの知識表現とそれをESのユーザへどう表示するかという問題を検討する。現実の応用問題は、不確実性を伴うなど問題解決に当たって多様な知識を扱う必要がある。知識表現の問題は、ES開発にあたり最大の本質的課題であり、ある意味で前節の「問題向きES」ごとに最適の知識表現が存在することになる。例えば、火力プラントにおけるユニット起動/停止に係わる運転知識の表現としては、プロダクションシステムの一つであるプラントテーブルという表現形式がある。⁷⁾ これは、運転に係わる各種の条件をTANS（タイミング条件）、PANS（前条件）、CANS（完了条件）という3種類の条件に区分して、多条件入力と単出力の条件として表現するという観点からみると、プロダクションシステムの一つと考えられるが、PMS表（運転タイミング表）、MCS表（管理表）、OB表（操作表）、MSD表（多重条件表）などの知識ユニットを「トリガー」というイベント駆動の情報でつなぎあわせたり、デジジョンテーブル的な知識の表現に適した上記のプラントテーブルと、制御に関する手続的な知識表現に適したWCDと呼ばれる制御プログラムとの分担などは、オブジェクト指向的な処理が導入されていると解釈できる。このように「問題向きES」ごとに、ルール、フレーム、オブジェクト的な概念とか、より一般的な論理的な概念をも統合した知識表現の研究が期待される所以である。

ES知識をユーザにどう表現するかという問題を検

討する。これは、ESの内部で知識ベース内に実現された情報をESのユーザに対しどう提供するかというマンマシンインターフェイス問題に関することで、AI応用システムを計画する場合、特にESユーザとの間で十分議論をつくさねばならない。そのESが意思決定を支援するシステムであるか、教育用システムであるか、診断システムであるか等により、マンマシンインターフェイスの考え方は大幅に相違する。

例えば、「説明機能」について考えた場合、ESが下した結論への過程を知識ベースが動作した順にそのまま図形的表現で出力すべきか、それともすべて細かい論理をトレースするのではなく、マクロなポイントのみユーザに提供すべきかは、ESの目的によって相違するはずである。ESの知識ベースは、本来は知識の整理のためにもマクロな知識とミクロな知識というような階層構造になるように、体系的に構築されていくことが望ましく、これによりESの説明機能は、ユーザの目的に従い、知識固有の階層構造からマクロ的に又はミクロ的に、ユーザに適切な情報を提供することができる。つまり、「おしきせの説明機能ありき」というものではなく、ES開発の目的との関連で検討すべきことである。

3.3 エキスパートシステムの知識獲得

ESの知識獲得は、人間のエキスパートがある特定の領域の問題解決にあたって使用する知識を収集し、分析し、それに解釈を加えるプロセスのことで、得られた知識を適切なマシン上の表現に変換することまで含んだ概念である。従って、ESの開発にあたっては、通常一番難しいとされるプロセスであり、その獲得の効率は前述の知識表現とも密接に関連している。

最近では、この問題を解決するため、知識獲得のプロセスを支援するシステムとか、特定の領域で自分で知識を学習することにより、獲得することのできるESなども発表されている。しかしながら、現状では、知識獲得の確立された方法論は存在せず、下記の様なポイントに留意して開発を進めるべきである。

- (1) ESのユーザサイドの要求仕様とか、ESの開発目的を十分分析し、基本計画の形で明確にしておくこと。
- (2) ES開発の体制、コスト、開発期間、知識を獲得すべきソース（ユーザ、メーカ、ドキュメントなど）、マンマシンインターフェイスのあり方、知識検証方法等を初期の段階で明確にしておくこと。又、エキスパートシステムとその使用者

(例えば運転員)との間のマンマシンインターフェイスの仕様は, "User Friendly"であることが大切で, 初期段階でプロトタイプシステムなどを使って検証しておく必要がある。

- (3) 人間のエキスパートから収集された知識は, その領域内の「常識」をベースに再解釈され, 知識レベルの表現として整理されること。
- (4) 例えば, 意思決定支援システムとして作成されたエキスパートシステムを教育用システムとして運用することも不可能ではないが, 現状のES技術では, 問題の分野は開発の初期の段階で明確に区分しておくこと。
- (5) 知識獲得にあたっては, 構築すべき知識ベース全体に対し, マクロなレベルでのトップダウン的な知識獲得と, それらをさらに分解するミクロなレベルの知識獲得と, それらを統合して知識全体を関連づけて獲得できる様な知識体系が, 効果的知識獲得手法には必要であること。(例えば, 前記プラントテーブルでは, マクロな知識獲得結果をMCS表として表現し, ミクロな知識獲得結果をMSD表などで表現している。)
- (6) 従来からある, 又は既存システムと, このESとのインターフェイス, 機能分担も十分検討されなくてはならない。
- (7) 通常は, 「…なら, …せよ」という形式の知識を獲得しがちであるが, より信頼性の高い知識ベースを構築するため, 「…なら, …してはならぬ」という禁止形式的な知識の獲得も大切である。特に制御・操作ESを構築するとき, このような知識は, 機器保護インタロックに相当するもので, 重要な役割を果たす。

3.4 エキスパートシステムの知識編集

ESの知識編集は, 知識獲得の途中とか, 一応システムが完成し性能確認の為のシミュレーションテストを実施した結果, 必要となった知識ベースの修正において必要とされる機能である。いわゆる知識ベースと推論エンジンの分離により, ソフトウェアシステムとしての保守性は, 一般に向上はしているが, 前述の知識表現の問題と密接にからんでおり, 真の意味での「ユーザ解放」というレベルからみた場合, まだまだ解決すべき技術的課題を含んでいる。

段階的に, 知識は通常追加・修正する必要があり, 知識編集を容易にすることは複雑で, 大規模なES構

築に際して, 必須の道具だてとなる。それとあわせて, 追加・修正した知識を的確に確認検証する知識ベースの検証機能も編集用ツールの一部として準備する必要がある。ESのレスポンス時間等のリアルタイム性を確保しつつ, どこまで汎用の豊富な知識編集機能を導入すべきか, 十分に検討すべきであろう。又, このように知識検証機能は知識の妥当性を検証し, 知識の品質を高める重要なツールであるため, 数年後に実現されると予想される, いわゆる第3世代のエキスパートシステムシエルの特長の1つでもある。

以上, 発電プラントにおけるAIの応用として, エキスパートシステムの構築にあたり, どのような点に留意してシステム設計を進めてゆくべきかについて, 特に技術的課題という観点から, 検討すべきポイントについてまとめてみた。次節以下では, これらのことを配慮しつつ, 現在開発を進めている事例についてまとめてみる。

4. 火力プラントにおける開発事例ーアラームジョブシートES⁸⁾

4.1 目的

発電プラントの運転員には, プラントを安全かつ安定に運転するため, 又, プラント異常を的確にとらえ適切に対処するために, 高度かつ高範囲なプラント知識・運転技術が要求されている。

アラームジョブシートESは, 警報が発生した場合の運転員の判断機能を支援し, 運転操作の信頼度向上と運転員の心理的負担を軽減することを目的としている。プラントにおいて警報が発生した場合, 運転員に対して何をすべきかというガイダンスを出力し, 併せて警報発生の原因推論を行う運転支援システムである。

4.2 知識領域

対象とする警報項目としては, タービン系まわりのプラントの出力に影響する警報としている。具体的には, 下記の項目を中心として現在開発中である。

- | | |
|------------|-------------|
| ①高圧ヒータレベル高 | ②排気室温度高 |
| ③真空低 | ④グラウンド蒸気圧低 |
| ⑤海水漏洩 | ⑥伸び差大 |
| ⑦軸受油圧大 | ⑧メタクラ停電時の対応 |
| ⑨所内全停時の対応 | |

4.3 知識表現 (システム構成・機能)

(1) 知識表現

アラームジョブシートESは, S62年度までにステップIとしてSmalltalkでプロトタイプシ

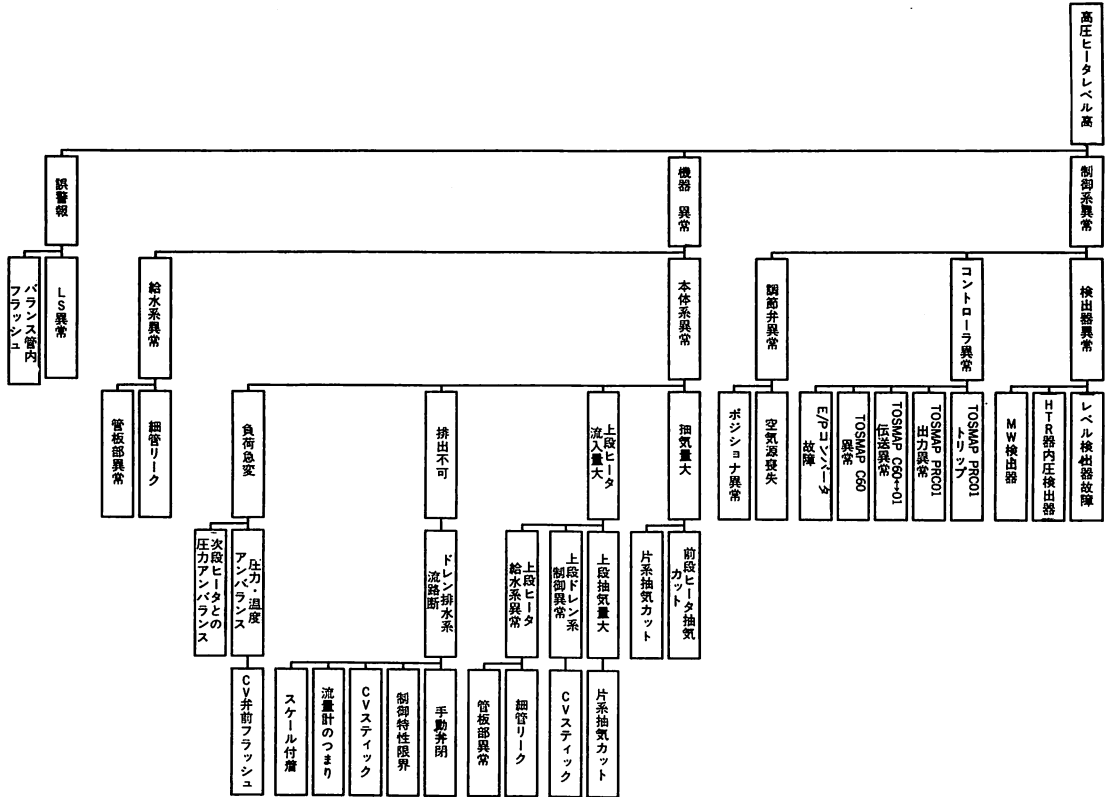


図-4 高圧ヒータレベル高

システムを開発した。知識は専門家が作成したFTA (Fault Tree Analysis) を基に、プロダクションルールにて表現し、後向き推論にて原因の同定を行っている (図-4参照)。知識ベースは、警報項目毎にグループ化し、発生した警報に対する知識だけを使用して推論を実行することができる。

ステップIIではEWS (エンジニアリングワークステーション) 上で、いわゆる第二世代のエキスパートシステム開発シェルを用いて開発を進めている。知識表現はフレーム型知識表現とプロダクションルールを組合せ、一部オブジェクト指向的な表現を取り入れている。

(2) システム構成

アラームジョブシートESでは、制御用計算機と接続して全体としての機能を果たす。制御用計算機は、従来からのプラントの監視・制御機能を実行し、アラームジョブシートESは、制御用計算機から伝送されるプラントのプロセスタータを基に警報発生時における運転支援を

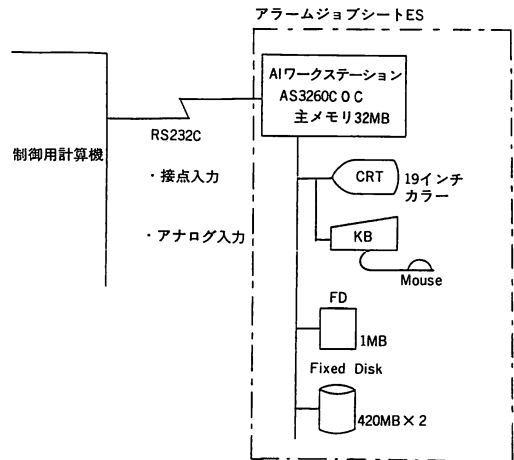


図-5 システム構成図

実行する。

図-5のシステム構成図は、ステップIIにおける構成である。ハードウェアであるAS3260Cは、大容量の磁気ディスク装置 (420MB×2)、フルグラフィックCRTを装備しているEWSである。

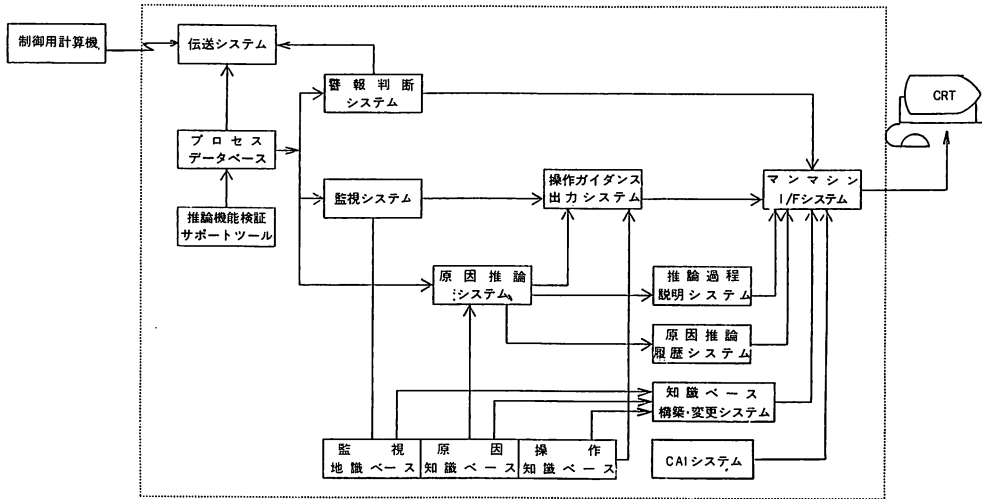


図-6 アラームジョブシートエキスパートシステム・ソフトウェア構成図

(3) 機能

アラームジョブシートESは、図-6ソフトウェア構成図に示す様にいくつかの機能・知識ベース・データベースを有する。主な機能として監視・ガイダンス出力・原因推論があり、KE向け機能として、知識ベース編集・知識検証機能がある。

① 監視システム

監視システムは、発生した警報について関連するプロセスデータのトレンド、設定値との比較、傾向表示を行う。

② 原因推論システム

制御用計算機から取り込んだプロセスデータを用いて、発生した警報の原因を推論する。ルールによっては、プロセスデータだけでは推論できないものもあり、その場合は運転員に対して質問をし、答えを取り込み、推論を進める。

③ 操作ガイダンス出力システム

監視システムで判断されたプラント状態と原因推論システムで推論された原因とから、運転員に対する適切な操作ガイダンスを選択する。

操作ガイダンスには操作の内容により簡略レベル、詳細レベルがある。これは、まず簡略レベルのガイダンスを出力し、運転員が要求した場合、詳細レベル（マニュアルレベル）のガイダンスを出力する。

又、一般の運転員だけでなく、立場の異なる

運転管理者に対してのガイダンス出力も行う。

4.4 マンマシンインターフェイス

アラームジョブシートESは、目的に応じた各種のウィンドウを用意し、必要に応じてウィンドウをOpenし、情報を見ることが出来るマルチウィンドウシステムを採用している。図-7、図-8にウィンドウの表示例を示す。

① アラームウィンドウ

警報を発生しているか否かを運転員に知らせるとともに、運転員が見たい警報を選択するウィンドウである。警報判断システムが表示する。

② ステータスウィンドウ、プラント状態メッセージウィンドウ

警報発生時のプラント状態を監視するためのウィンドウである。制御用計算機から取り込んだプロセスデータを使用し、監視システムが表示する。

③ 原因推論ウィンドウ

発生した警報についての原因の推論を行うウィンドウである。運転員とのQ&Aを実施したり、結果を表示する。原因推論システムが表示する。

④ 操作メッセージウィンドウ

操作ガイダンス出力システムより出力されるガイダンスを表示する。操作ガイダンスはプラント状態から判断されるもの、原因より判断されるもの、双方から判断されるものが

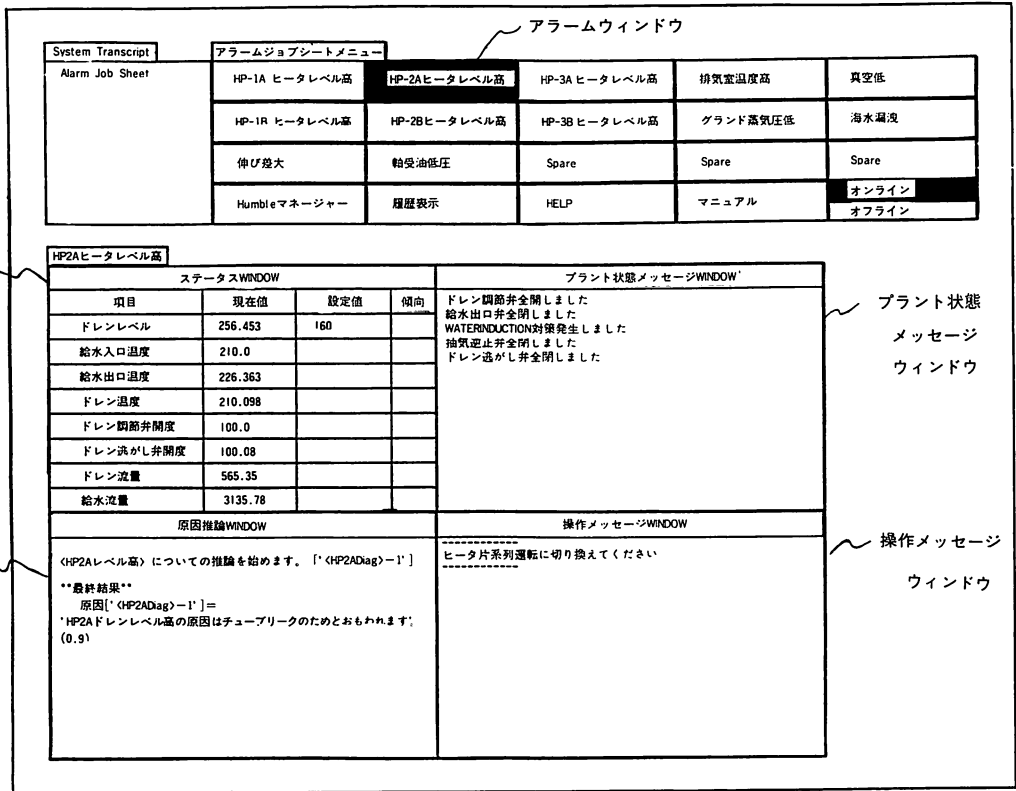


図-7 ウィンドウ表示例1

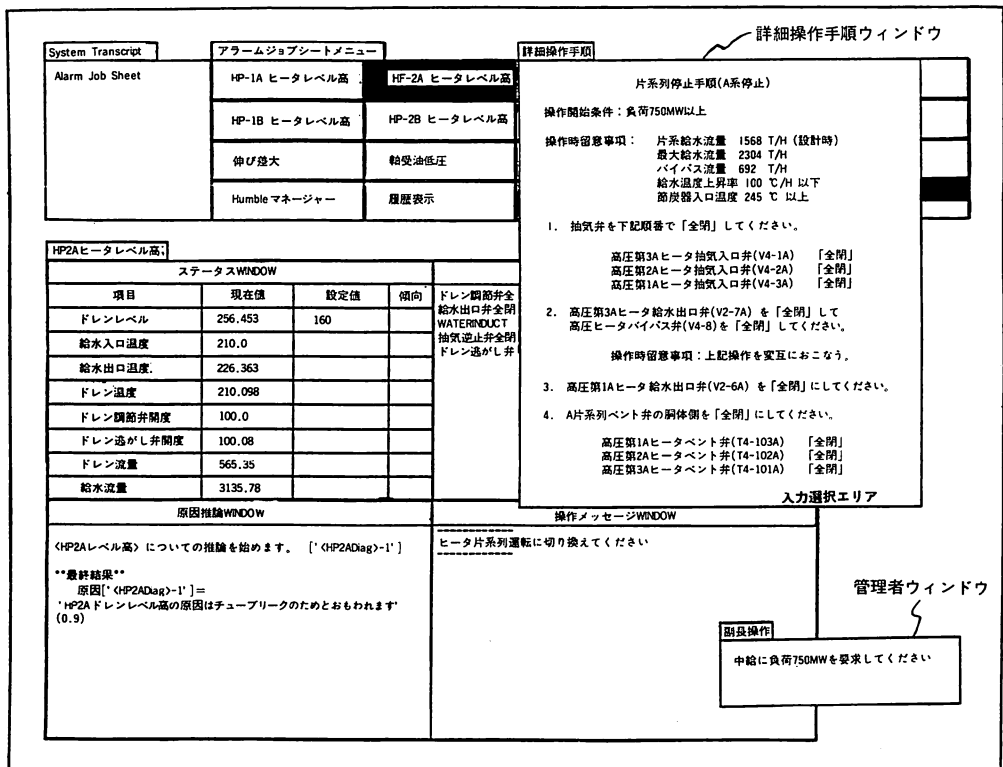


図-8 ウィンドウ表示例2

ある。簡略レベルである。

⑤ 詳細操作手順ウィンドウ

④で表示された操作ガイダンス（簡略レベル）についての詳細レベルのガイダンス（マニュアル）を表示するウィンドウである。

⑥ 管理者ウィンドウ

④で表示されたガイダンスは、一般の運転員に対しての支援であるが、運転管理者に対するガイダンスを表示するウィンドウである。

4.5 システム評価

現在、ステップIで開発したプロトタイプシステムは火力発電所に設置されており、知識ベースの構築にあたっては、運転員の方々とディスカッションを行い、警報発生時の操作知識獲得を継続中である。又、知識ベースの正当性については、現地実証前に充分検証することが必要である。現地実証においてプラントに警報が発生しないと検証できないのでは、知識ベースの検証に非常に長い時間が必要になってしまう。アラームジョブシートESでは、プラントからのデータを使用せずに運転員が任意にデータを設定して、知識ベースの検証を行う機能を持っているが、現状はこの機能で知識ベースの評価を行っている。又、オンラインのエキスパートシステムとして重要なリアルタイム性確保のため、Q&Aを極力減らす工夫を実施している。

現在、ステップIIとして開発を進めているが、ステップIIではリアルタイムエキスパートシステムとして適切な知識表現を検討している。又、説明機能の充実、教育的機能の充実等、システムの付加価値を高める工

夫も実施している。

5. 原子カプラントにおける開発事例

—給水系診断エキスパートシステム—⁹⁾

5.1 目的

給水系診断エキスパートシステムは、原子カプラント給水系の故障時の原因究明作業を支援することを目的としている。

このシステムの診断対象は原子力発電所の給水系であり、図-9に示すようにタービン・モータ駆動のポンプ、給水加熱器、配管、弁、盤、制御装置および計装品の各機器から構成され、きわめて大規模で最先端技術に支えられた高度なシステムである。

給水系とは原子炉の保有水を維持するための系統で、原子炉給水ポンプにより昇圧し、高圧給水加熱器を経て加熱した給水を原子炉に供給する重要な系統である。

このシステムの診断対象とする事象は次のとおりである。

- (1) 原子炉水位 低々、高々、低による原子炉スクラム（緊急停止）、主タービントリップ、プラント出力減少（ヴァージョン1）
- (2) 単一警報（ヴァージョン2）
- (3) 軽微故障（警報発生に至らない故障）

5.2 知識表現

S61年度に開発したヴァージョン1では、原子炉スクラム、主タービントリップ、プラント出力減少等のプラントレベルの診断事象を対象としており、事象の原因の同定は機去レベルまでとしている。診断に使用する知識は、設計者およびプラント試験員が設計図、設計仕様

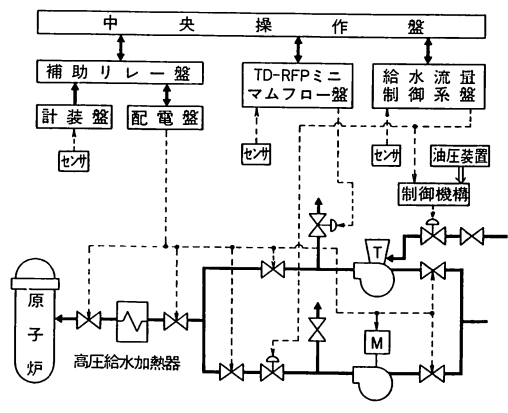


図-9 診断対象 診断対象である給水系のポンプ、給水加熱機、配管、弁、制御装置および計装品を示す。

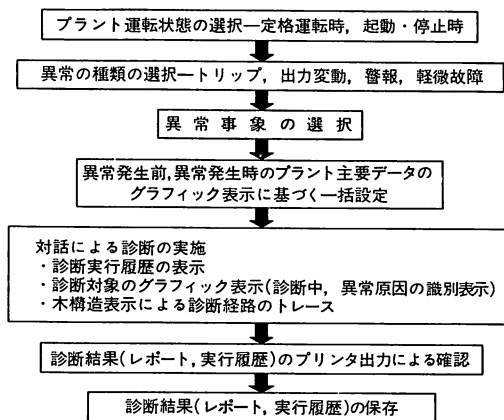


図-10 診断フロー図 診断情報のタイムリーなグラフィック表示により診断の過程、経路、結果の容易な理解を図っている。

書、運転手順書、故障モード解析、不具合事例集などから抽出した設計上の知識および経験的知識である。

知識表現はプロダクションルールとし、前向き推論により診断を行う。

ルールの例を次に示す。

{ (給水流量低による原子炉水位低々スクラム発生) かつ (スクラム前およびスクラム時の主給水ポンプ運転台数2台) かつ (スクラム時の主給水ポンプ回転数低下) } ならば (給水流量制御系または主給水ポンプ給水タービンの異常) である。

図-10に診断フロー図を示す。診断の実行順序は技術者が実際に行う順序に極力一致させて、中央操作室、下部中央操作室、電気品室、現場の順に採取データを入力するようにし、又、中央操作室の主要データは診断の最初に一括入力するようにした。

バージョン1に引続き、S63年度に開発したバージョン2では単一発生警報を対象としており、事象の原因の同定は発生場所の同定までとしている。診断に使用する知識は、プロセス状態量の正常時の値とアラーム時の値の関係をベースとしており、これに設計上の知識、経験的知識を合わせて使用する。

知識表現は、フレーム型表現とプロダクション・ルールとを組合せたもので、ルールの例としては、

「(弁の上流で漏洩)ならば(弁出口圧は下降)」等である。

5.3 システム構成

(1) ハードウェアシステム構成

バージョン1では、実プラントのオンライン計算機システムとの結合を念頭に置き、プロセス計算機に知識シェルおよび知識ベースを含

め、内蔵する形でシステム開発を行った。

ハードウェアは、スーパーミニコンピュータ「TOSBAC」G8050を中核とし、マンマシンインターフェイス用の2台のフルグラフィックCRTと診断結果出力用の漢字プリンタ、大容量磁気ディスク装置、保守用コンソールCRTから構成される。

2台のフルグラフィックCRTは1台を診断対話用として、もう1台を診断に必要な情報、例えば診断経路の木構造図やシステムの系統図などを表示する診断情報用として使用する。操作はマウスによる表示データの選択とキーボード上のファンクションキーの選択で行えるため、計算機操作について未経験な人でも容易に使用できる。

一方、バージョン2ではエンジニアリングワークステーション (EWS) 上でシステムを開発し、プロセス計算機と接続する形をとった。システム規模やハードウェア構成に応じて内蔵・外付けと柔軟に対応可能である。

(2) ソフトウェアシステム構成

ソフトウェア構成を図-11に示す。ソフトウェアは、事象の原因を究明していく推論機構および知識ベースなどからなる知識情報処理系と、診断対話機能、診断情報管理機能および各種のデータを格納したデータベースなどからなるシステム利用者マンマシン系と、この両系を結びインターフェイス系とから構成される。

5.4 機能

(1) 推論機能

バージョン1では、プラント主要データの

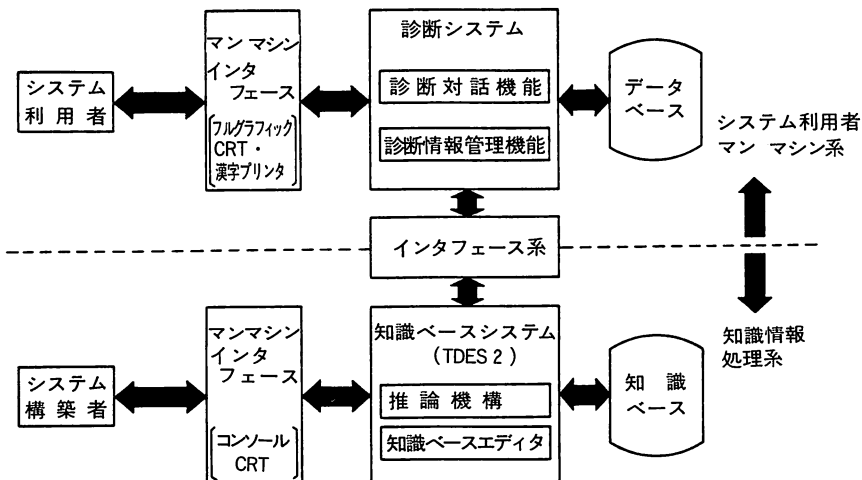


図-11 ソフトウェアシステム構成 知識情報処理系、システム利用マンマシン系、インターフェイス系から構成される。

原子カプラント給水系保守支援システム

入力ガイド表示エリア

*高圧制御油圧は正常*でしたか。

進行ガイド表示エリア

*RFP-T A 機械系故障によるトリップの診断*を開始します。

実行履歴表示エリア

原因	*T/D RFP A/B ミニヤムフロー制御盤の出力接点の誤動作*が原因*と思われます。
原因	*T/D RFP A 吸込圧力低信号によりトリップ*した*もの*と思われます。
質問	*RFP 吸込ヘッド圧力は低下*していましたか。
入力	いいえ
質問	*タービン系補助継電器盤入力端子電圧は0V*でしたか。
入力	はい
質問	*外部ケーブルをリフトした時の圧カスイッチ端子抵抗は0オーム*でしたか。
入力	はい
原因	*RFP 吸込ヘッド圧低圧カスイッチの誤動作*が原因*と思われます。
質問	*タービン系補助継電器盤原子炉水位高信号入力端子電圧は0V*でしたか。
入力	はい
原因	*復水ポンプ台数アンバランス条件の補助リレーの誤動作*が原因*と思われます。
原因	*タービン系補助継電器盤 RFP-T トリップ用最終段補助リレーの誤動作*が原因*と思われます。
原因	*RFP-T A 機械系故障によるトリップ*が原因*と思われます。

診断画面表示エリア

診断項目： 原子炉水位低 (L-3) スクラム
 発生日時： 88年05時26日12時15分

診断項目表示エリア

入力選択エリア

図-12 診断過程画面 診断対話画面は質問、回答選択、実行履歴、進行ガイド、診断対象グラフィックを同時に各エリアに表示する。

一括入力により推論を開始し、途中でデータが不明または不足する場合、システム利用者へ問い合せながら推論を進める。尚、対象が広範囲にわたるため、又、すべてのプラント機器情報が容易に入手可能とは限らないために、原因を一つに絞り込むことが難しいものは、原因の可能性のあるものはすべて捜すような推論を行っている。

一方バージョン2では、すべての部分について原因の可能性、「あり」「なし」「判定不可」の色分けを行うような推論を行っている。

(2) 対話機能

診断時の対話方式を図-12の診断過程画面を使用して説明する。入力がガイド表示エリアにはシステム利用者への質問が表示され、同時に入力選択エリアに質問に対する回答の選択枝が表示される。システム利用者がその中から該当するものをマウスで選択することにより推論が進む。

実行履歴エリアには、必要に応じて診断過程を見ることができるよう、質問、回答および診断中に分かった原因の履歴を色分けして表示していく。又、このシステムは対象範囲が非常に広いため、「対象システム中のどこを診断しているのか」という情報はシステム利用者にとって非常に有効である。

これを進行中ガイド表示エリアにメッセージで表示し、さらにグラフィック表示エリアの画面上の診断対象に診断中、あるいは原因を示すシンボルを表示することにより、診断の進行状況を視覚的にも認識しながら診断を進めることができる。

診断が終了すると、原因がグラフィック表示エリアにまとめて表示されるとともに、診断結果が漢字プリンタへ自動的に出力される。

5.5 システム評価

このシステムの開発により、次のような成果が得られた。

- (1) 給水系故障の原因究明の計算機による支援の実用化の見通しを得た。
- (2) 原子力発電所におけるシステム利用者を意識したマンマシンシステムを、エキスパートシステム構築ツールに付加した故障診断専用マンマシンシステムを実現した。
- (3) 多部門の技術者の保有する専門知識や経験を計算機内の知識ベースとして体系化、機械化、可視化することができた。
- (4) 多部門の技術者の保有する知識に基づく大規模知識ベースの構築の基本技術を得た。
- (5) 原子炉スクラム等プラントレベルに関する診断に続き、単一発生警報に関する診断システムを開発し、給水系故障のトータル化、階層化へ向け、さらに一步前進した。

6. あとがき

ここでは発電プラント分野におけるAIというテーマで、特にエキスパートシステムの開発に焦点をあわせて、ES開発のニーズ・ES開発における技術的課題・具体的開発事例などについてまとめてみた。

現在最も必要なのは、知識獲得を始めとするES構築のための方法論・設計論の確立である。¹⁰⁾

アラームジョブシート・エキスパートシステムは、運転支援システムの一つであり、マンマシンインターフェイスの充実とともに、ユーザ（運転員）とESとの役割分担を明確にし、ヒューマンオペレータが特に弱い情報処理部分を補充する位置づけのシステムとして開発を行う。又、給水系診断エキスパートシステムは、診断システムの一つであり、故障診断を適切に検定する診断アルゴリズムを確立すると共に、システムの診断範囲を拡大してトータル化・階層化してゆく必要があるだろう。

LISPチップなどもどんどん導入され、各種のドメ

インシェルも商品化されつつある昨今、「リアルタイム性」の実現とともに、知識の獲得・編集における「ユーザ解放性」の向上については、上記トレンドとも関連して特に大きな課題として今後の理論面および応用面での展開が期待されるところである。

参 考 文 献

- (1) 青柳和治；火力発電プラントにおけるエキスパートシステムの開発動向, OHM, 12号 (1986), 29-36.
- (2) 徳平真；火力発電における運転支援技術について, 火力原子力発電協会関東支部, 火力原子力発電機器の運転と運転支援システムに関する講習会, (1988), 63-72.
- (3) 桃枝克郎, 青木滋夫, ほか1名；火力発電設備の診断システム—エキスパートシステムの効用による高度化—, 東芝レビュー, 43巻, 9号 (1988), 710-714.
- (4) 高岡博史, 河井研介, 桃枝克郎；発電分野におけるエキスパートシステムの応用(1)火力発電, 電気評論, 12号 (1988).
- (5) 関根泰次, 穂本能彬, ほか8名；電力技術へのAI応用, 電気協同研究, 44巻, 1号 (1988), 1-71.
- (6) Sakaguchi T., Tanaka H. et al; Prospects of expert systems in power system operation, Electrical Power & Energy Systems. Vol. 10., No.2, April (1988), 71-82.
- (7) Tanaka S., Kogure Y. et al; New Concept Software System for Power Generation Plant Control. "COP-OS", PICA conference, New Orleans. June 2-4 (1975).
- (8) Aoki S., Kawai K., et al; AI-Aided Operation Guidance System in Thermal Power Station, EPRI Conference on Expert Systems Applications in Power Plants, Boston, May 27-29 (1987).
- (9) 横田豊, 柴田幸司, ほか1名；原子力発電所給水系診断エキスパートシステム, 東芝レビュー, 42巻, 5号(1987), 279-382.
- (10) Akimoto Y., Tanaka H.; Towards Development of the Smart Systems for Power Systems Planning and Operation, Symposium on Expert System Application to Power Systems, Stockholm-Helsinki, August 22-26 (1988).