

## 深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発 (1)

7G-2

機能構成

酒井正美\* 小島昌一\* 山本久志\*\* 持地 繁\*\* 水戸紀之\*\* 河野 毅\*  
 (株)東芝 システム・ソフトウェア技術研究所\*, 府中工場\*\*

## 1 はじめに

エキスパートシステムは、診断問題を中心にして発展し、現在は計画問題、設計問題等に応用が広がりつつあり、一部には実用化されているシステムも出はじめています。一方、制御問題は、診断問題を内包しており、操作シーケンスの生成等のような計画/設計問題にまでおよぶ総合問題と、とらえることが出来る。その上、性能的にも、リアルタイム性、安全性、安定性が求められるという非常に難しい問題である。

本研究は、論理型言語でのAI技術を制御分野に適用し、その可能性を検証することを目的とする。そのため、対象領域を火力発電プラント制御とし、より高度な制御を行なう為に必要なプラントの構造、動特性の記述に適した知識表現法の研究開発、及び対象プラントのモデルをコンピュータ内に構築し、そのモデルを利用した推論により対象プラントの制御操作を生成する方法の研究開発を行っている。

本稿では、まず現状のプラント制御システムの問題点を抽出し、プラント制御における深い知識に基づく推論の有効性を述べる。さらにシステムの機能構成についても述べる。

## 2 プラント制御用システムの現状と問題点

火力発電所では昼夜の負荷格差増大の対策として、昼間に運転をし、夜間に停止するDSS(Daily Start-up and Shut-down)運用が多く行なわれている。

また、高効率運転を目指した機器の高温高圧、大容量化が進む中で、DSS運用を行うためには、運転操作の複雑化は避けられず、火力発電所の自動化は不可欠であり、その信頼性も非常に重要となっている。大規模な自動化システムを構築する最近の火力発電所制御システムは、高信頼化を図った制御用計算機を主体とした階層型機能分散制御システム構成(上位レベルから順に発電所レベル、ユニットレベル、グループレベル、ローカルレベル)となっている。<sup>[1]</sup> その構成のうち、特にユニットレベルではユニット全体の運転状況を判断し、下位のレベルに対して操作指令を出すもので、発電所制御にとっては最も中心的なものとなる。このレベルの制御装置(ユニット計算機)は、入力点は数千点、また制御出力は数百点にもおよぶ大規模なシステムとなっており、また、ユニット運転員の指示に従いユニット全体を制御するため、人間系との関わりも多い。

ここで、このような大規模なユニットレベル制御に注目し、問題点をまとめると次の様になる。

- 制御知識が固定であるため、不測事故の発生に対して柔軟な対応に欠けている。
- 故障が発生した後の対応は、基本的には熟練オペレータにゆだねている。

そこでこれらの問題を解決するために、プラント状態をより深く理解し、適切な制御操作を生成するエキスパートシステムの開発を目指し、その機能構成について検討を行なった。その過程で、プラント制御における深い知識の利用にポイントをおいた。以下に深い知識の定義とプラント制御におけるその有効性について述べる。

## 3 プラント制御における知識の検討

## 3.1 プラント制御における深い知識と浅い知識

現在、浅い知識と深い知識に関する明確な定義は存在していないが、タスクを直接処理する知識を「浅い知識」、浅い知識を生成したり浅い知識の正当性を示し得るような、より基本的な知識を「深い知識」と呼ぶことに現在統一されつつある。一般に制御のタスクは、制御対象を監視し、あらかじめ予定されたとおりに対象の状態が遷移するように操作を加えることである。したがって上記の定義に従うと、「現在の状態から目標の状態へ遷移させるために行うべき操作」に達する知識が、浅い知識と言える。対象となる火力発電プラントが正常に動作している限りは、現在の状態から目標の状態への遷移のために行うべき操作の手順(制御シーケンス)が決まっており、プラントが所定の状態になれば、制御シーケンスに記述された次の操作(制御アクション)を行えばよい。したがって正常時の制御における浅い知識としては、

- ・操作手順に関する知識である「制御シーケンス」
- ・プラントに対する操作とその操作の起動条件からなる「制御アクション」の2つの知識が考えられる。

これらの浅い知識を生成する能力のある深い知識として

- ・プラントの機能(操作端の機能)  
対象となるプラントのどの操作端をどう操作すれば、プラントのどのパラメータがどう変化するかという知識
- ・プラント内で生じる物理現象の因果関係  
プラントに対してある操作を行った結果、プラントの状態がどう変わるかを推論するための知識
- ・その状態における各操作の安全性・安定性を評価するための知識か、あるいはプラント状態の安全性・安定性の評価関数  
その時点で、安全性・安定性を悪化させる操作は行わないための知識、または操作後のプラント状態の安全性および安定性を評価するための知識。これらの知識はプラントに関する運転原則の一部とみなせる。

などがある。しかし、深い知識に関しては、獲得容易性などの面からさらに検討する必要がある。

## 3.2 プラント制御における深い知識の有効性

従来、エキスパートシステムは、専門家の持つ「経験的知識」に基づいて構築されてきた。経験的知識は、タスクの処理に直結した効率的で強力な知識であるため、これまで多数のエキスパートシステムが構築され、ある程度の成果を上げている。しかし、これらのシステムに対しては、同時に以下のような問題点が指摘されている。

- ・経験的知識が蓄積されていない分野には適用できない。
- ・前もって予期しなかった問題(未知の問題)に対して無力である。プラントの制御においても同様の問題が存在し、
- ・プラントに不測の異常が発生した場合
- ・プラントは正常だが、制御システム内の知識が不完全な場合  
には、経験的知識だけでは対応できない。このように、状態の処理に必

Control Expert System Based on Deep Knowledge (1) - Functional Structure -

Masami SAKAI\*, Shoichi KOJIMA\*, Hisashi YAMAMOTO\*\*, Shigeru MOCHIZIJI\*\*, Noriyuki MITO\*\*, Takeshi KOHNO\*  
 TOSHIBA corporation Systems & Software Engineering Lab\* Fuchu Works\*\*

要な知識が制御システムに欠如している場合には、従来は安全性を重視し基本的にはプラントを停止させていた。しかし、人間の専門家は、経験的知識では処理できない未知の状態に直面した場合でも、その分野における一般原理などの基本的な知識を総動員することにより、何らかの解を得ることができる。制御システムでも、深い知識を利用することにより、上記のような状態の制御において、人間のようなより知的な処理が可能になると考えられる。

ところで、故障診断の分野で「深い知識」の1つとして対象モデルを利用した診断ルール生成の例が報告されている<sup>[2]</sup>。同様に、対象モデルを深い知識の1つとしてとらえ、プラントに対する制御操作の生成を行なう。<sup>[3]</sup>

#### 4 基本機能構成

本研究における制御用エキスパートシステムの実験プロトタイプシステムの基本機能について以下に述べる。又、機能構成を図1に示す。

##### 4.1 状態監視機能

本機能では、プラントからのプロセス・データを取り込み、プロセスデータに変化があったかどうかの認識を行なう。この時、プラント状態の異常が検出されたかどうかを判断し、異常ならそれが単純であるか不測異常であるかを区別する。その結果プラントが正常または単純異常状態にある場合は、そのまま制御アクションをキックする。この時将来的に発生する異常を前もって予測する場合は、予測シミュレータをキックする。また不測異常状態にある場合は、対策立案機能をキックする。

さらに、プロセスデータに基づいて、制御アクションにて行なった操作の完了条件をチェックする。

##### 4.2 制御アクション機能

制御知識の中から、現在のプラント状態において意味のある(適切な解を生成する可能性のある)知識をフォーカシングする。これは無駄な知識の探索の枝刈りに有効である。フォーカシングされた制御知識の中から、制御目標の達成に有効な制御知識を選択し、制御操作を決定する。ここでは主として前述の制御知識のうち浅い知識が利用される。選択された知識が存在しない時、制御知識の不足から発生する不測事態の対応処置として、対策立案機能を起動し、制御操作を生成する。

##### 4.3 予測シミュレータ機能

本機能は、初期状態セット機能、シミュレーション条件セット機能、出力仕様セット機能、シミュレーション実行機能より成り立っている。

本機能が使われるケースは正常時と異常時がある。正常時制御では将来の状態の確認、異常状態の予防に利用され、異常時制御では異常状態の波及の防止や異常状態からの復旧に使われる。

##### 4.4 対策立案機能

不測異常からの復旧に必要な制御目標を生成し、故障箇所と種類、制御目標、および対象モデル等の深い知識から不測異常対策用の制御操作を生成する<sup>[3]</sup>。生成された制御操作は、安全性と安定性が確認され、その結果が制御操作生成のためにフィードバックされる。尚、許容時間内で推論が終了しなかった時には、フェイルセーフ機能が働き、プラントの安全を確保するためにデフォルトで用意されている処理を実行する。

##### 4.5 知識管理機能

本機能は、知識ベースを入力、編集することを目的としている。知識ベースには、表示用知識ベースと実行用知識ベースがある。表示用

知識ベースは、可読性に優れた編集向きの知識表現であり、この表示用知識ベースをコンパイルし、実際に制御時に用いる実行用知識ベースに変換する。実行用知識ベースに変換することによって推論の高速化を図ることができる。

##### 4.6 マンマシンインタフェース機能

本機能によりプラントの運転目標、運転の進行状態、プラント制御のロジックおよび制御の進行状況などの情報を常に監視できる。

##### 4.7 プラントシミュレータ機能

本機能は、実際の火力発電所の代わりをなすもので、プラント動特性の模擬、プラント制御装置の模擬等の機能を装備する。

#### 5 おわりに

本機能構成に基づき、プロトタイプの一部を、ESPを用いてPSI-II上に試作した。プラントシミュレータは制御用計算機G8050上に実現した。限られたプラントデータを使用して、オンラインでタービン起動の制御動作確認を行なった。今後、対策立案機能の充実をはかるとともに、推論の高速化を目標としていく。

#### <謝辞>

本研究はICOTからの再委託テーマである「制御用エキスパートシステム」の研究の一部として行なわれたものであり、研究の機会を与えて頂いたICOT第5研究室藤井室長はじめ関係者方々に、感謝申し上げます。

#### —参考文献—

- [1] 曾根、他：「新小野田発電所階層機能分散型デジタル制御システム」、火力原子発電、Vol.37.No.2(1985)
- [2] 山口、他：「深い推論に基づく知識コンパイラの基本設計」、人工知能学会誌、Vol.2.No.3(1987)
- [3] 田岡、他：「深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発—制御操作の生成—」、情報処理学会第38回全国大会(1989)

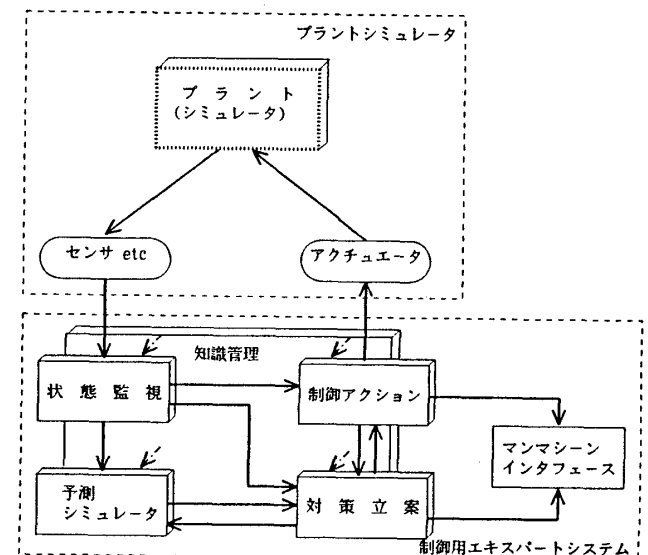


図1 機能構成