

深い知識を利用した上下水道プラント向エキスパートシステム

前田和男, 井上省三, 広辻淳二, 野々山めぐみ, 綾信吾

神戸市兵庫区和田崎町1-1-2

三菱電機 制御製作所

概 要

本システムは、上下水道分野の従来の自動化技術では手に負えない複雑なプロセス運用問題に対し、近年各方面で脚光を浴びているエキスパートシステムを適用したものである。プラント運用にかかわる人間の発見的な経験則——通常時の制御の設定値の決定、プロセスの状況の把握、適切な対応策の選定、異常時の対応則——を、従来システムに数多く見られる推論ルールからなる表層的知識ベースだけでなく推論根拠の説明や詳細な解説などをビジュアルなイメージデータとして深層的知識ベースに整理し、両者を適宜組み合わせることでより高度な自動化の要求への対応をはかっている。我々は既に数年前よりオンライン型の送水系統運用計画・配水管理支援システムを開発し、引続いてオフライン型の排水機場設備診断システム、融合型の水処理プロセス運用支援並びに汚水・雨水ポンプ制御・電力制御システムの実用化に成功し、現在順調に現場で稼働している。ここでは中心となるシステム機能、システム構成、最近の適用例として、配水管理支援、水処理プロセス運用支援、ポンプ設備診断の例をあげて紹介する。

キ ャ ウ ー ド

エキスパートシステム, 推論, ルールベース, 深層的知識, 水処理プロセス運用支援, ポンプ制御, 電力制御, 設備診断

1. まえがき

従来から、上下水道システムの運用管理では自動化が進んだものの、現場における熟練オペレータに依存するところが多かった。

これに対し、近年コンピュータのハードウェア並び

にソフトウェアが急速に進展し、単なる数値計算の道具から記号処理の道具へと大きく変ぼうをとげ、エキスパートシステムのプラント制御への応用も可能となった。すなわち、専門家が深い知識や判断を自分自身の言葉で表現し、最も自然な形でコンピュータに移植できることになり、新しくエキスパートシステムによる自動化の道が開かれたといえる。本稿では、エキスパートシステムの設計思想、システム構成、具体的例をあげて紹介する。

2. 上下水道エキスパートシステムの特長とシステム構成

2.1 ねらい

上下水道分野におけるプラント各種機器の運転状況の把握や計画、制御、故障診断に関する高度な知識や豊富な経験だけでなく、その背景となる深い知識や詳細な解説を、必要なときにだれもが利用し、かつ更新できるシステムの実現をねらったものである。

2.2 システム基本機能

このシステムの基本機能は、①ユーザーインタフェース、②知識エディタ、③推論、④解説、⑤数値解析である。図1にその構成を示す。

2.3 システムの特長

- (1) ユーザーフレンドリーなマンマシン・インタフェース
高解像度のカラーディスプレイ、マウス、画像処理技術により、見やすく操作しやすいマンマシン・インタフェースを提供できる。
- (2) 高速な推論
32ビット・マイクロプロセッサならびに大容量メモリにより高速な推論が可能である。
- (3) 汎用外部インタフェース
RS232Cをはじめ、イーサネット、TCP/IPの外部インタフェースを持つことができる。

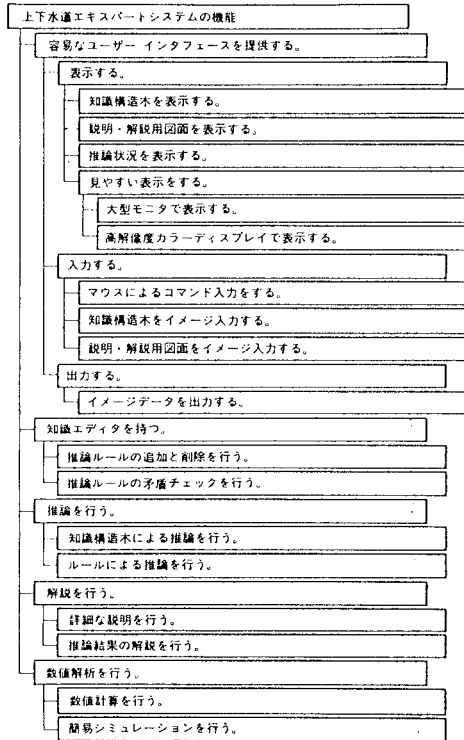


図1. システム基本機能

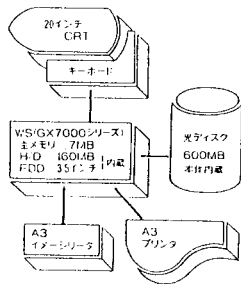


図2. ハードウェアシステム構成

- (4) ファイリング機能とのリンケージ
 推論過程，推論結果，用語などの説明用に、図面資料などを光ディスクにファイリングしておき、これらを用いて説明機能を充実することができる。
- (5) 知識エディタ
 ルール，表，ツリーの形で、簡単に知識の変更・追加ができる。
 ハードウェアのシステム構成を図2に示す。
- 2.4 適用分野
 適用分野は、送配水から水・泥処理，ポンプ制御に至るまで幅広く適用されている。まとめて表1に示す。

表1. 適用分野

上 水	浄水	薬品注入 ろ過池運用	薬品注入率の最適化 ろ過池の効率的運用
	送配水	送水系統運用計画 配水制御	ポンプ運転の最適化 ポンプやバルブの操作の最適化
下 水	処理	水処理 汚泥処理	プロセス診断と復旧支援 トータル管理支援
	排水	雨水排水ポンプ運用	流入量予測とポンプ運転号機の決定の支援
共 通	故障診断		アラーム処理に始まる設備の診断支援
	研修・教育		個別機器・プラント設備の運用・保守のための研修・教育支援

3. 最近の適用例

最近の適用例の中から、配水管理エキスパートシステム，下水処理管理技術支援システム，ポンプ設備診断エキスパートシステムについて紹介する。

3.1 配水管理支援システム

近年の上水道配水ネットワークの巨大化・複雑化ともなっており、適正水圧の確保は、熟練オペレータにとっても負担の大きい仕事となりつつある。従来数値的制御手法として、大規模な管網シミュレータを用いる方法が提案されているもののモデルパラメータや需要量の推定が困難ということで実プロセスの運用例は少ない。最近ヒューリスティックな手法としてファジー理論やエキスパートシステムに着目した例が注目を集めつつある。

ここではエキスパートシステムを応用した配水管理支援システムを提案する。

3.1.1 システム機能

(1) プロセス監視機能

圧力・流量・弁開度水位などオンラインデータに関する過去の履歴，ならびに現在の監視を行う。

(2) 配水流量調整支援機能

配水池からの流量を配水需要量に応じて調整する。

(3) 配水制御支援機能

末端圧の適正化の為、バルブ開度やポンプ流量を制御する。

(4) 緊急対応支援機能

補修時や事故時についての緊急対応の支援を行う。

(5) 技術解説機能

計算機から出力される上記対策や手順に対し、より詳細な説明や解説ならびに関連管網図面等が必要な時に、画像イメージデータを読み出す。

(6) 数値シミュレーション機能

制御側の検証に管網や配水池シミュレーションが出来る。

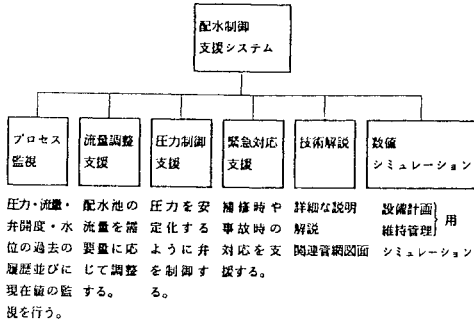


図3. 配水制御支援システム機能

図3にシステム機能をまとめて示す。

3.1.2 圧力制御支援例

一制御区画の配水弁調整支援の対話例を図4に示す。

推論に必要なデータの入力があるれば、同図に示すように結果出力ウィンドウに圧力低下の原因と対策がでてくる。ここで更に詳細な技術的説明を得ることもできる。

3.2 下水処理管理技術支援システム

これまでの下水処理プロセスの運転管理では、熟練オペレータや水質管理の専門職員によって、流入水、処理水の水質や汚泥の色相やにおいなど、いわゆるプロセスの顔色を見ながらの高度な運転管理が行われてきた。近年、大規模処理場での職員の高齢化並びに中小規模処理場での人員不足などにより、熟練オペレータの確保の問題が大きくなりつつある。これに対し、水処理プラントの運転知識を知識工学的な枠組で再整理した運転支援システムを構築した。

3.2.1 システム機能

(1) プロセス監視機能

オンライン並びに手分析値に関する過去の履歴（30日、1週間）並びに現在値の監視を行う。

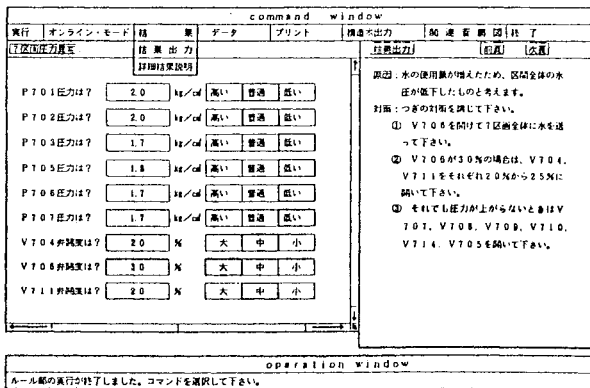


図4. 圧力制御支援の画面例

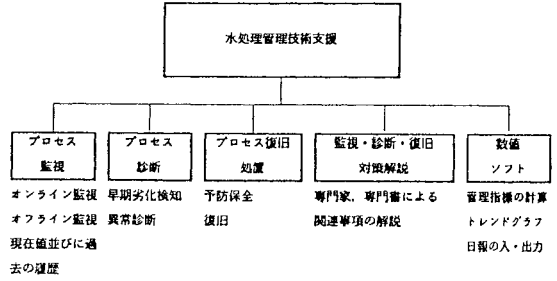


図5. 水処理管理技術支援システムのシステム構成

(2) プロセス診断復旧支援機能

ルール形式の場合、専門家の知識をif-then型のルール形式に蓄え、必要に応じて適宜引き出すことができる。一方、ディシジョンツリーによる場合は、ツリーを画像データベースに蓄え、必要に応じて適宜引き出すことができる。

(3) プロセス監視・診断・復旧対策の解説機能

計算機から出力される上記対策手順に対し、より詳細な説明並びに解説が必要なときに、画像イメージデータベースから呼び出される。また、この機能を単独に教科書代わりに用いることもできる。プロセス診断・復旧対策のディシジョンツリーも検索可能である。

(4) 数値ソフト機能

簡単な管理指標の計算、トレンドグラフ、日報の入出力のソフトが完備している。また、数値シミュレーションも可能である。

3.2.2 具体的な対話例

硝酸性窒素異常の場合の具体的な対話画面を図6に示す。同図に示すようにMLSS、DO、流入CODの値の高低により診断が行われる。最後にマウスで結果出力をキックすると、同画面右上に原因と対策が出力される。また、同画面右下にはトレースが用意され、この原因の判定に至る推論の跡がたどれるようになっている。

3.3 ポンプ設備診断システム

ポンプ設備（揚水、排水、下水）の故障表示の際、故障の原因の推定や修理に要する時間は、熟練した運転員といえども相当の時間を必要とする。この現状を改善するため、このシステムが開発された。

3.3.1 特長

- 故障診断に必要な知識を故障系統木に整理し、これをイメージデータとして計算機に蓄え、必要なときに即座に取り出せる。
- 知識の変更・拡充は、(1)のイメージデータ入力方式のため簡単に行なえる。
- メニュー形式による質問にマウス操作で簡単に応答できる。
- 故障診断や復旧操作の手順の指示文とともに、文

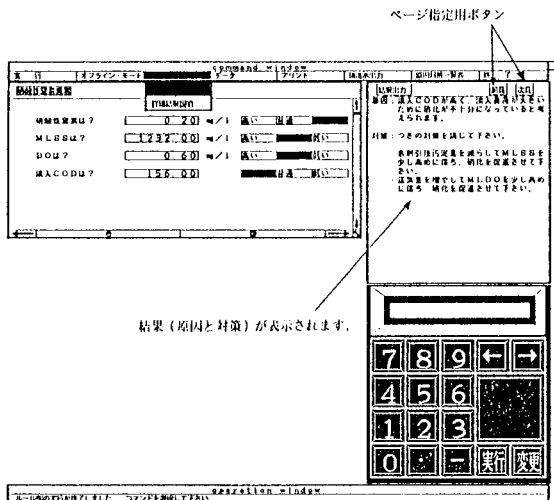


図6 硝酸性窒素異常の診断画面例

中の単語の意味、機器の位置、操作方法についての画像による詳細な説明ができる。

3.3.2 システム構成

このシステムの基本構成は、図2に示したものと同一であるが、ビデオマニュアル用にビデオディスクプレーヤー、モニターTVなどが付加されている。

3.3.3 設備診断例

ポンプの始動渋滞の例を次に示す。故障系統木の各ボックス部をマウスでたどりながら推論を進めることができる。ボックス部における指示文中に出てくる用語について、①場所、②意味、③方法、について詳細な説明ができる。図7は場所の説明で故障箇所的位置を示す例である。このとき、音声による説明も可能となっている。

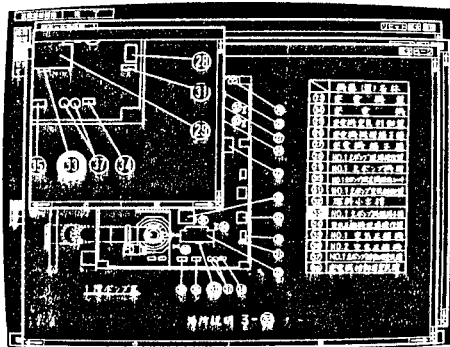


図7 場所の説明例

4. 今後の展望

エキスパートシステムのみならず、今話題のニューラルネット、ファジー制御を含めてAI(Artificial Intelligence)は、高度情報社会の中で人間に近いことをコンピュータにさせる技術として一層進化していくと考えられる。特に、エキスパートシステムは、実用から活用の時代になると言われている。上下水道の分野でも、現在のところ、プロセス診断、制御ガイドランスが中心であるが、計画、事務管理、情報管理まで、その可能性を広げようとしている。その中でも、人間とプラント間を橋渡しする“メディア”としてのエキスパートシステムすなわちプラントの動作内容を説明したり、次の動きを予測したり、運転状況の解説を行ったり、初心者教育・訓練をつかさどったりする知的アシスタント型のエキスパートシステム—当社では既に一部実用化—の発展は大いに期待できる。

5. むすび

上下水道エキスパートシステムについて、中心となる設計思想、システム構成、具体的な適用例について紹介した。上下水道の監視制御システムは、エキスパートシステムのみならずニューラルネットなど最新のAIや人間の心の解明を目的とする認知科学の成果をとり入れ、大きく変ぼうしようとしている。エキスパートシステムもプラントと人間との橋渡しをする“知的メディア”としての役割を一層鮮明にし適用分野を確実に拡大していくと考えられる。今後ともこれらの実績例をもとに、上下水道の総合管理システムの早期実現化を目指す所存である。

参考文献

- (1) 小沢・築山：知識ベースによる送水系統運用計画の支援法，電気学会論文誌D，Vol. 109-D，No. 5，1989
- (2) 齊藤・築山：総合的運用支援による操作者負担軽減を重視した配水管網解析支援システム，電気学会論文誌C，106，No.12(1986)
- (3) 前田：水処理プラント運転支援システム，化学工学，51，No.10(1987)
- (4) 前田ほか：水処理業務支援システム，第24回下水道研究発表会講演集(1988)
- (5) 油谷ほか：産業用エキスパートツールとその応用，JAACE'88-5，第32回システムと制御研究発表講演会(1988)