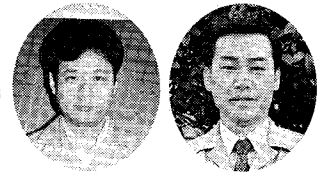


ABC運転支援エキスパートシステムの開発

The Development of the Expert System for ABC Operation



技術開発本部
橋 岡 啓 司
Keiji Hashioka
(環)技術室
高 村 義 郎
Yoshio Takamura

It seems that the recent AI boom has gone. But to tell the truth, AI technology has been spreading more widely and higher level expert systems has been developed. Expert system, fuzzy theory and neural-network especially attract attention in AI technology. Expert system is a kind of programming paradigm and suitable for solving problems which are difficult to solve by conventional programming paradigm, for example, diagnosis, control, planning, design etc.

We have developed the expert system for ABC operation by utilizing expert system technology. (ABC (Anaerobic BIO-Contact System) is a high strength organic waste water treatment system which we have provided.)

まえがき

近年のAIブームもようやく鎮静化した感があるが、衆知のように実際にはより着実に浸透し、さらに高度なシステムが開発され続けている。AI技術の内エキスパート・システム(以下、ESと略す)、ファジィ理論、ニューラル・ネットワークなどが特に注目を集めているが、中でもESは診断、制御、計画、設計といった従来のプログラミング技術では対応しにくかった問題に対し、知識を処理するという新しいプログラミング・パラダイムとして大きな成果をあげている。

当社はESの技術を利用して、当社の嫌気性廃水処理設備であるABCシステムの処理状況の診断システムを開発した。

1. エキスパート・システム

1.1 エキスパート・システムとは

従来形の計算機システムのプログラムはアルゴリズムとデータからなるが、このような記述のしかたでは専門家が問題を解決する方法に適合しないことから、ESの問題解決の方法が用いられるようになった。ESでは専門家の持つ、対象とする問題領域の知識を知識ベースとして蓄積し、どのような問題にも共通に使用できる推論機構を用いて、知識ベースを処理することで問題を解決する。つまり、専門家が知性を用いて問題を解決する手法を計算機システムに実行させようとするものである。

1.2 エキスパートシステムの特長¹⁾

ESの一般的な特長について述べる。

1) 悪構造・悪定義問題を対象とする。

ESは一般に、数理的、アルゴリズム的な問題解決が困難であったり、問題解決の範囲を事前に明確にすることが困難な問題を対象とする。

2) プロトタイプ的の接近を必要とする。

悪構造・悪定義問題の解決方法を事前に明確にすることは困難である。そこで、プロトタイプ・システムを作るこ

とで要求仕様を明確化したり、問題解決の手がかりを見いだしたりする。これを繰り返してしだいに実用システムに近づける。

3) 人工知能・知識工学を基盤技術とする。

ESにおける問題解決の理論的基礎は人工知能に、またESを構築する方法論的基礎は知識工学に求められる。ただし、これらを補完するシステム工学的技術も重要である。

4) 知識処理を中心的なタスクとする。

ESでは、知識の表現、推論の制御、知識の獲得と管理などの知識処理技術が、問題解決の主要な役割を行う。

5) システムの透明性が要請される。

プロトタイプ的方法でESを段階的に開発するには、システムがブラックボックスであってはならない。

6) ユーザとの対話性の向上が必要

ユーザにとってもブラックボックスにならないよう、ユーザに推論の筋道とその根拠を明確に示すことが求められる。

7) 保守・拡張の容易さが必要

一般に知識は常に更新されていくので、ESが完成の域に達することはまれである。したがって、ユーザが容易に保守・拡張を行えることが望まれる。

1.3 エキスパート・システム開発ルーツの概要

ESは一般に第1図のような構成になっており、次のようなものである。

(1) ある表現形式で表わされた知識の集まりである知識ベース

(2) この知識ベースを検索し、入力された事象から結論を導き出す推論機構(これは対象問題に依存しない)

(3) 推論の中間結果を格納する作業記憶

(4) 開発者が知識を入力、追加、修正するための開発者インターフェイス

(5) ESを利用するエンド・ユーザのための利用者イン

ターフェイス

(6) 従来型システムとのやり取りを行うシステム・インターフェイス

ESの開発には通常ES開発ツールが用いられるが、これは第1図の知識ベースを除く部分から成り、対象問題ごとの知識だけを入力していけばESを作成できるというものである。ES開発ツールにはメイン・フレーム用、エンジニアリング・ワーク・ステーション(EWS)用、LISPマシン用、あるいはパソコン用などがあるが、メイン・フレーム用を除外すると、機能的にはEWS用、LISPマシン用のものが優れている。しかし近年、パソコンにLISPチップを搭載したボードを付加してLISPマシン並の性能を出せるものもあり、このようなシステムではLISPマシンやEWSでしか走らなかったソフトを利用できる。パソコン用のツールでもC言語ベースのものは通常用途には充分実用的な処理速度を有しており、実用システムを組むことも可能である。また、メイン・フレーム、EWS、パソコンに共通の知識ベースを利用できるツールもあり、より環境の整ったEWSで開発し、安価なパソコンでデリバリするという方法も採ることができる。

開発ツールを選定する主なポイントとして、

- (1) 知識表現が豊富か。
- (2) デバッガなどの開発環境が整っているか。
- (3) 他言語やデータベースとの親和性
- (4) 必要なハードウェアは
- (5) マン・マシン・インターフェイスが充実しているか。

といったことがあげられるが、対象とする問題の性格、価格、従来型システム利用の有無、使用目的、利用者なども考慮して選定する必要がある。

2. 診断型知識システム²⁾

診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである²⁾。また、診断問題はつぎのような特長を持つ。

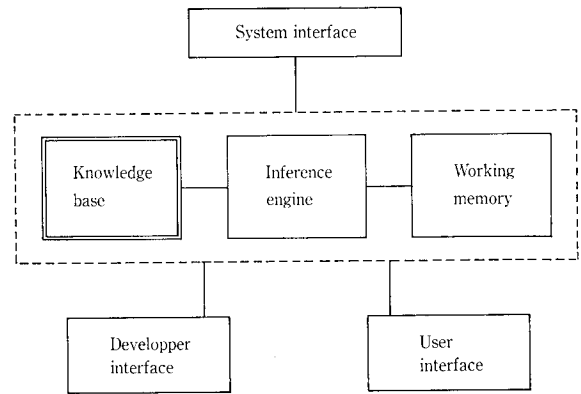
- (1) 設計レベルの知識を利用
- (2) 経験的知識を利用
- (3) 経験的知識が不確実性をもつ。
- (4) 操業データを利用
- (5) 計測のための時間とコストの考慮
- (6) 知識の抽象化の必要性
- (7) 対話的診断の推論制御が必要

本システムでは、知識としては(2)が中心であるので、

(1)、(6)を除く特長を持つ。

また、診断問題は一般につぎのような基本タスクからなる。

- (1) 異常事象の分類階層的表現
- (2) システム構造の階層的表現
- (3) 解釈問題のタスクを内包
- (4) 計測点の選択的決定
- (5) 異常原因の同定
- (6) 浅いモデルによる効率性の向上
- (7) 深いモデルによる完全性の達成



第1図 エキスパート・システム開発ツールの構成
Fig.1 Construction of expert system development tool

本システムは、(2)、(7)を除くタスクから成っている。診断型ESの問題解決機能として、次のような機能が挙げられる。

- (1) 事象駆動型推論
- (2) 目標駆動型推論
- (3) 不確実性推論
- (4) 仮設推論
- (5) 協調型推論
- (6) 効率性と完全性の調和
- (7) 費用/効果分析

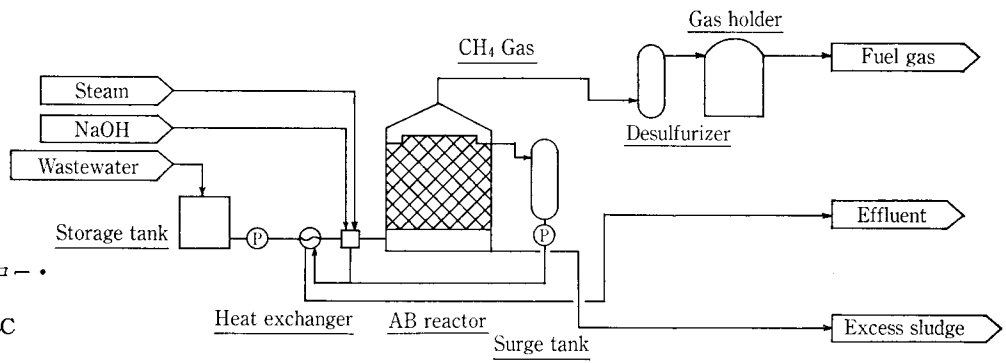
本システムでは、(1)、(3)、(7)などの機能を実現している。

3. ABCシステムの概要

ABCシステムは当社で販売しユーザー各位よりご好評を得ている嫌気性処理装置で、高濃度有機廃水を嫌気的に処理すると同時に、エネルギー(メタンガス)を生産する生物処理装置である。高濃度有機廃水を好気性生物処理方式で処理するには、大量の空気を吹き込み、混合攪拌しなければならず、多量のエネルギーを消費し、また多くの汚泥を発生する。ABCシステムでは、嫌気性菌が有機物をメタンと炭酸ガスに分解する極めて省エネルギーの処理システムである。

第2図にABCシステムのフローシートの例を示す。ABリアクタはメディア充填床を持ち菌体を高濃度に保持している。処理水の一部はリサイクルされ、原水濃度を希釈均質化し、pHを緩衝し菌体の活性を高める。処理水の熱は回収され、原水温度を高め加温エネルギーを節減する。ABリアクタで発生したメタンガスをボイラーやガス発電に有効利用することができ、発生する汚泥の量も好気性処理の場合の約1/4になり、処分費が大幅に節約できる。また、運転に要する電力も30%以下にすることができる。

ABCシステムは食品、化学、石油精製、薬品、紙パルプなどの廃水や畜産廃水など、濃度の高い有機廃水処理に最適であり、既に多くのユーザーの皆様にご使用いただき、ご好評を得ている。



第2図 ABCシステムのフロー・
ダイアグラム
Fig. 2 Flow diagram of ABC
system

4. システムの目的と機能

4.1 目的

ABCシステムを常に安定に運転するには、温度管理、pH管理、空隙率管理程度でよく、それほどむずかしいものではない。しかし、あくまでも生物処理であることを考慮して、より安定した効率的な処理を実現し、よりよい処理水を得るには、適切な管理を行い大きなトラブルに発展しないように心掛けるべきである。そのためには日常の処理状況を把握し、正常であるかどうかを判断して、対処していかなければならない。本システムは正常な処理を維持するために、オペレータの支援を行ったり、ベテラン・オペレータ不在時の対応を支援したりすることを目的としている。

4.2 機能

本システムには次のような機能が要求される。

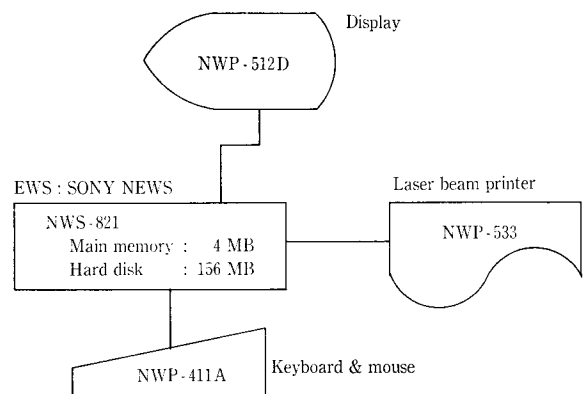
- (1) 現在の処理状況を判断するためのチェックリスト的機能
- (2) 現在の処理状況が正常であるかどうかの判断
- (3) 異常と判断した場合の原因の提示
- (4) 原因に対する対応措置の提示
- (5) 結論を得るに至った推論の経過の提示

本システムはユーザに対し対話的に必要な質問を出し、答えてもらうことで診断を進め、結論を確信度、推論経過とともに表示、プリントアウトする。結果は確信度の順に並べ替えられて表示される。

5. システムの構成と実現環境

ハードウェア構成を第3図に示す。モトローラの68020(16.67 MHz)をCPUに持つEWS(ソニー製NEWS)、高解像度ビットマップ・ディスプレイ、レーザー・ビーム・プリンタで構成されている。EWSは4MBのメイン・メモリと156MBのハード・ディスクを備えている。

OSはUNIX 4.2BSD(+X Window System)、ES開発ツールには藤東洋情報システムのSUPER BRAINS/C(以下、SBCと略す)を使用した。SBCはC言語ベースのツールで、高速な処理を期待できる。知識表現として、プロダクション・ルールとフレームの2種類が使用できるハイブリッド形のツールである。SBCはLISP版のSUPER BRAINSを起源としており、さらにSUPER BRAINSはBRAINSを起源としている。BRAINSは1970年代後半に米ラトガース大学で開発されたEXSYSというツールを移植したものである。



第3図 ハードウェア構成
Fig. 3 Construction of hardware

6. システム開発の手順

6.1 問題の設定

ABCシステムはハードウェアの点ではシンプルなので、診断が困難であることはあまりない。それよりも生物処理であるため、処理状況の正確な把握が困難なことが診断をむずかしいものになっている。したがって、的確な判断を下すためには、測定や分析により管理指標を正確に把握しておくことが要求される。本システムはそれらの管理指標が把握できていることを前提としているが、データ不足の場合でも確信度の低い結論を得ることはできるように考慮した。

プロセスの診断は数値処理を要する部分もあるが、基本的には記号処理であり、数値で表わされたデータは記号処理によって評価される。

6.2 知識源の同定

本システムの構築のために次の知識源を利用した。

- (1) 当社の嫌気処理の専門家1名
- (2) 「ABCシステム設計基準書」
- (3) 「ABCシステム運転マニュアル」
- (4) 嫌気処理に関する書籍

生物処理を診断する場合、専門家の経験に基づく浅い知識の利用が主になるので、領域専門家は1名に絞った方が、円滑にまとめやすいと考えた。

6.3 専門家モデルの同定

まず、KE(Knowledge Engineer)が専門家からのインタビューを行えるレベルになるために、専門家に嫌気処

理に関する教科書的な書籍を選定してもらい、用語集なども利用しながら問題領域の知識の修得に努めた。また、「ABCシステム設計基準書」、「ABCシステム運転マニュアル」からABCシステムに関する一般的な知識を修得した。

つぎに専門家の協力を得て、インタビューを行いながら異常の原因とその症状について、整理・体系化を行った。また、原因に対する対策についての知識をドキュメントと専門家より抽出した。

6.4 ユーザモデルの同定

ユーザとしては、嫌気処理の初心者から専門家まで様々なレベルの人が使うことを想定している。初心者は嫌気処理の基本的知識と、機器操作の方法を修得していることを想定している。

ユーザ・インターフェイスは、システムが診断に必要な質問を逐次出し、その答えによって必要な入力を要求してくるようになっており、これが繰り返される。最後に診断結果と対策、および結論を下した理由が出力される。

6.5 知識表現および推論機構の選定

知識表現には診断知識との親和性のよいプロダクション・ルールを使用した。

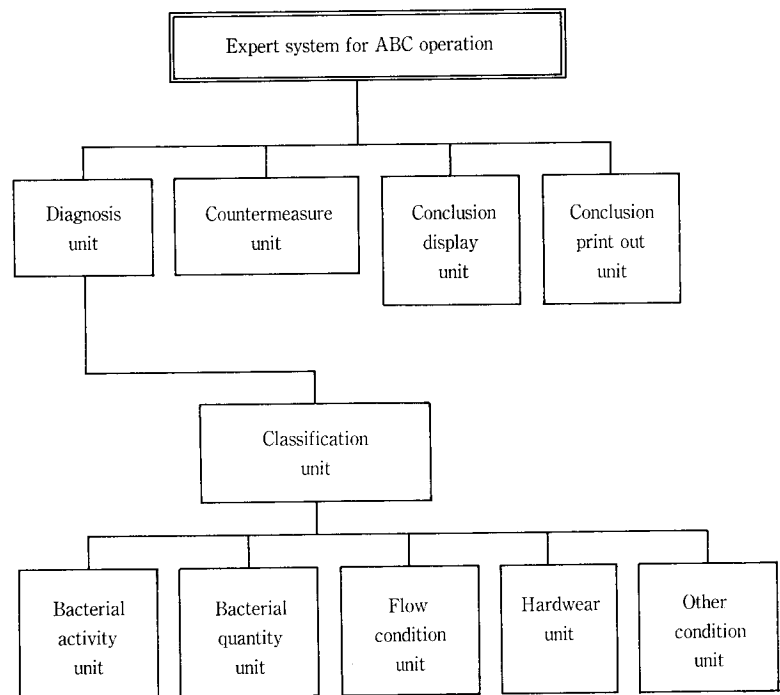
またSBCを使用する上で、マンマシン・インターフェイスの実現のために、フレームを使って処理した方が組み易い部分があったので、フレームを使用したところもあるが、診断の知識には使用していない。

推論は前向き推論を使用している。

6.6 知識の移植

SBCを利用して書籍、ドキュメント、専門家から獲得した知識を、知識ベースとして作成した。

開発ツール一般の問題点として、本来の知識ベースとマンマシン・インターフェイスの完全な分離が困難であることがあげられる。SBCの場合、対象の問題によっては事象の入力、推論、結果の出力と分離することもできるが、



第4図 知識ベースの構成
Fig. 4 Construction of knowledge base

診断問題の場合は困難である。理由は、診断問題では全ての事象を入力すると膨大な数になってしまうため、ある事象の値によって推論を行い、その結果によって必要な事象のみの入力を要求するように組まなければならないからである。

第4図に知識ベースの構成を示す。ABCシステムの異常現象は大きく分けると、菌体の活性の低下、菌体量の低下、リアクタ内の流動状態の悪化、ハードウェアの異常に分類できる。診断分類ユニットは、これらの大分類のどれに当てはまるかを分類するルールから成る。対策ユニットは、得られた異常原因から対応措置を得るルールから成る。その他、結果の表示、プリント出力などのユニットから構成されている。

第5図に仮説、対応措置、ルールの例を示す。

<p>(結論の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 原水流入量増加により負荷が増大していると思われます。 • S化合物により発酵が阻害されていると思われます。 • リサイクル量が少なすぎるため、菌体との接触時間が短くなっていると思われます。 <p>(対応措置の例)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 槽内を希釈するか、一時通水を停止してください。 • 原水を希釈して毒性レベルを下げてください。 • 逆洗を実施してください。 <p>(ルールの例)</p> <ul style="list-style-type: none"> • IF CO₂ ガスの構成比が増大している。 THEN 菌体の活性が低下している可能性がある。 • IF H₂S ガスの発生量が多い。 THEN S化合物が混入している可能性が高い。
--

第5図 結論、対応措置、ルールの例
Fig. 5 Samples of conclusions, countermeasures and rules

<p><<推論結果>></p> <p>〔結論〕</p> <p>確信度=0.50 原水流入量増加による負荷の増大が原因と思われます。</p> <p><<対策>></p> <p>流量を調整して、負荷を軽減するか、一時通水を停止して下さい。</p> <p><<理由>></p> <p>ガス発生量が低下し、TOC除去率が低下しているため、菌体の活性が低下していると思われます。CO₂ガスの構成比が増大しているため、菌体の活性が低下している可能性があります。VFAの量が不明ですが、蓄積していることも考えられます。流入量が多いので、流入量増加により負荷が増大している可能性があります。</p>
--

第6図 推論の例
Fig. 6 Sample of inference

6.7 システムの評価

KEおよび領域専門家は知識ベースの内容を把握しているので、主に考えているとおりの動きをしてくれるかどうかという点と、確信度の値が妥当であるかどうかといった点を評価した。

そのあと、他の複数の領域専門家にシステムを試用してもらい、問題点の指摘を受け修正を行った。

その結果、数値で表現される事象の中で表現の困難なものがあり、必ずしも適切でないことを指摘された。つまり、各設備によって処理廃水が異なるため、適切な基準値も設備によって異なる。したがって、一般的な基準値で診断するのは、設備によっては必ずしも適切ではないとの指摘を受けた。処理廃水の種類は無数にあるため、対象を特定すれば表現を適切にし易いが、汎用的な表現は困難である。この点は今後改めていく必要がある。

第6図に診断例を示しておく。

7. 今後の方向

このところパソコンの性能がアップし、MS-DOS環境で使用できる実用的な開発ツールも増えてきている。したがって、これをデリバリ環境として利用すればかなりのコストダウンが可能になり、お求めいただきやすくなるだろう。

また、電話回線を利用した診断を行うことも考えられる。登録していただいたユーザの皆様には端末を設置していただき、必要なときに電話回線を介して当社のESにアクセスしてサービスを受けていただくという形である。

本システムはオンラインでデータをサンプリングしているわけではないが、センサーで測定できるものは可能であるとしても、分析を要するものについては、実現するには

かなりのコストが必要である。これらが実現できれば、オンラインでの監視、さらに進めて制御、あるいは電話回線と組合わせた自動巡回サービスといったものが実現できる。

また、当社のプロセス運転監視システム構築用パッケージ・ソフトである「プロセスモニタ PMX-98」とのインターフェイスを可能にして、組合わけて使用することも考えられる。

将来的には、このような利用方法を実現したいと考えている。

む す び

当社ではABCシステムの多くの運転実績、あるいは長年の嫌気性処理における研究を通して、各専門家が多くの知識やノウハウを持ちながら、それらを十分に活用できていない面も否定できなかった。今回運転技術について整理・体系化してシステム化したのが、今後もこのシステムを成長させていくことにより、より技術レベルをアップしていき、技術を共有化する道具にできるものと考えている。それにより、より高度な技術サービス、エンジニアリングを実現していきたいと考えている。現在、このシステムを実用レベルにすべく、バージョンアップを行っている。いずれ、なんらかの形でユーザ各位にご利用いただけるようにしたい。

〔参考文献〕

- 1) ICOT-JIPDEC AI センター：知的情報処理システムに関する調査研究報告書—5分冊, 1989
- 2) ICOT-JIPDEC AI センター：知的情報処理システムに関する調査研究報告書—知識システム開発方法論, 1987