

ブラックボード概念に基づく廃水処理向け知的制御システム

大月 孝之、川添鉄也、増井孝明

栗田工業株式会社 装置開発第二グループ
神奈川県厚木市森の里若宮7-1

概要

知識工学におけるブラックボード概念に基づき廃水処理向け知的制御システムを構築した。汎用性のあるデータベースであるブラックボードを中心に、ファジィ化エキスパートシステム、生物処理の理論モデル、各種センサ出力の評価モジュール、ユーザーインターフェイスが協調的に動作し、総合的な観点から制御情報を提供することができる。システムが利用可能なデータ、データベースの特徴、協調動作の方法、ネットワーク機能の概要と、し尿処理プロセスの曝気制御・メタノール添加量制御への適用事例を紹介する。

キーワード

ブラックボード概念、知的制御システム、ネットワーク化、オブジェクト指向

1. はじめに

廃水処理、特に、例として生物処理を制御の観点から観ると、原水の水質水量変化や生物相の馴致に起因する本質的な非定常性、バルキングや発泡等の現象に代表される理論的な理解の不完全さ、運転状況に依存する制御目的の多様性、運転手法が汚泥性状の観察結果などの定性的な情報に依存していることなど、定量的なモデル化が困難であることは明らかであり、現代的な制御システム構築の障害となっている。しかしながら、このような特徴をもつシステムが、運転員の経験にもとづく定性的な制御規則によって現実に適切に運転されていることも事実であり、従来以上に自動制御化を推進するためには、これらの定性的な制御規則や経験的な知識を積極的に活用する工夫が必要である。近年多くの分野で検討されている“知的制御システム”は、このような立場から、利用できる知識の範囲を可能な限り広げようとする試みであり、その枠組みは排水処理にも有効に適用できる。本報告では、排水処理制御を目的として構築した知的制御システムの概要と、その実現方法として知識工学におけるブラックボード概念を利用した事例について紹介する。

2. 知的制御システムとブラックボード概念

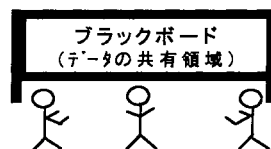
今回開発したシステムが利用できるデータ、データに関して実行できる操作、および知識の種類と表現方法を表-1~3に示す。このように広い範囲のデータおよび知識表現を扱えることが知的制御システムの特徴であるが、本報告で紹介するシステムでは、これらの多様な機能をシステム化する枠組みとして、知識工学で広く用いられているブラックボード概念を適用した。ブラックボードの概念は、複数の専門家が黒板にデータを書き込むことで情報を共有し一つの問題を協調して解決する様子(図-1)の類比に由来して提案されたシステム構成の一種であるが、この考え方に従い、開発したシステムでは全ての再利用可能なデータはブラックボード(=黒板、以下BBと記す)と呼ばれる抽象化されたデータベースに記録される。様々な制御に關

表-1. 開発した知的制御システムの利用できるデータ

利用できるデータ	データの例
実数	装置容量、装置負荷、分析値
整数	一日のバッチ数
トレンド	溶存酸素値のトレンド
ファジ数	過去のデータに基づく現在の分析値の予測値
ファジメンバシップ	発泡状況
事象判断 (肯定・否定のメンバー)	曝気量が適切であるという判断
文字列	状況判断を行った理由の文章

表-2. データに関して実行できる4操作

- ・データ名と型の追加
- ・データ (データ名+時間+値) の追加
- ・データの検索 (データ名+時間)
- ・データの検索 (データ名+期間)



エキスパートモジュール群 (個々の分野の専門知識)
図-1. ブラックボードシステムのイメージ図

表-3. 制御システムが利用できる知識表現

利用できる知識表現	知識の例	表現方法
経験的なルール知識	アンモニアが残留しているときには、曝気が足りない	ファジプロダクションシステム
計算式および比較演算式により表現できる知識	窒素負荷 = 投入水量 × 投入水のアンモニア濃度	C++による数式表現
オブジェクト間の継承・所有関係	生物反応槽は水理的には貯留槽の性質を継承する	C++によるクラス表現
理論的な速度式およびマスバランスにより表現できる知識	微生物の増殖速度 = 基質に対する親和性 × 最大増殖速度 × 菌体濃度	微分方程式およびマスバランス式の宣言、 と、数値積分パッケージによる数量化
経験的なカテゴリ分類	現在のD.O.の変化パターンは、通常のパターンと異なる	ニューラルネットワーク
状況判断に基づく制御値の決定	曝気過剰時の曝気量の設定	ファジ制御

する知識は、知識の領域毎にモジュール化されて適切な表現手法により記述される。我々は、このような知識を表現したモジュールを総称してエキスパートモジュール (以下EMと記す) と呼んでいるが、個々のEMは必要なデータをBBから入手し、それぞれの知識によりデータの変換や判断を行って情報化し、再利用可能な情報を、データとしてBBに記録する。このようなシステム形態の利点を挙げると、

- ・データと知識との分離 データと知識表現手法を明確に分離し、システム構成の中心をデータに置いている。制御目的により適宜変更・修正する必要のある知識 (データの処理方法) と比較して、データは永続性が高いため、システムの汎用性・拡張性を高め、システム寿命を長くするために有効である。
- ・データに対する操作の限定 各EMのデータへのインターフェイスを限定し、単純化し、明確に定義することで、知識表現の変化に伴うEMの置き換えを容易にする。また、データの一貫性も維持し易い。
- ・モジュール間の弱い結びつき EM間の結びつきをデータを介したものに限定することにより、EM間の相互依存性が弱くなっている。この特徴は漸進的なシステムの拡張を容易にし、個々のモジュールの不具合がシステム全般に波及しないという点でシステムの頑強さを保証するためにも有用である。

このような設計は、ソフトウェアの再利用性や修正の容易性を最大の動機として発展してきたオブジェクト指向の考え方に沿ったものでもある。本システムをベースにした、自動制御システムは例えば図-2のような構成を取る。ユーザーインターフェイスやオンラインのデータ収集を行うモジュールも一種のEMであると考えることにより、システム構成が単純化されている。

3. システムの特徴

開発したシステムは上記以外に以下のような特徴を持つ。

- ・データの量子化 得られたデータに知識を適用し、情報へと変換するためには、データを特定の時間で区切る作業が必ず必要である。例えば比較的時定数が長い生物処理では1日を区切りとする場合が多いと思われるが、開発したシステムでは、この作業をデータ記録の際の基本的な機能として備えている。BBは固有の時

間隔を持ち、この時間間隔で時間は区切られ、区切られた時間にはインデックスが付与される。個々のデータは、生の時間情報ではなく、この時間へのインデックスとその数値表現とを対にして記録される。オンラインデータなどの連続して得られるトレンドデータも一旦この時間間隔で分割され量子化され記録される。このようにして大量のデータから特定の時間に属するデータの検索を高速に行うことが可能である。また、時系列に依存した知識の記述も、インデックスの相対値によるデータ参照を行うことにより容易になる。

・**複数のBBの利用** 複数のBBを同時に利用可能とすることで、量子化の間隔が長期および短期のデータを分離したり、図-3に例示したような制御用および遠隔監視用のBBを分離する等の使い方が可能になる。EMは必要に応じ複数のBBに接続可能であるため、図-3の例に限らず様々なネットワークポロジをもつシステムを基本機能を一切変更することなく実現することできる。

・**ネットワーク透過性** BBとEMとは、典型的なクライアント・サーバーの関係を構成する。両者の間のデータ送受信を、標準的なネットワーク化技術を利用して実装することにより、図-3で例示しているようなLANおよびWANが混在したシステムを構築できる。本システムでは、ネットワーク機能を持つOSとしてWindows-NT、標準的な通信プロトコルとしてTCP/IP上のソケット通信を利用している。

・**メッセージ送信による同期制御** 複数のEMの間で、BBを経由して任意のデータ(メッセージ)を送信することが可能である。この機能は先にも触れたように弱い結合による協調動作を基本とするシステムでは、必ずしも必要ではないが、特に一方のEMが他のEMの結果に強く依存するときに、メッセージの送信を他のEMの動作起動のヒントとして利用することにより、効率的な動作が可能となる。

4. し尿処理の運転支援・自動制御システムへの適用事例

本システムを利用して構築したし尿処理プロセスにおける曝気量およびメタノール添加量の運転支援・自動制御システムの事例を図-2~7に示す。対象のプロセスは無希釈高負荷処理を行っているし尿処理システムの生物反応槽で、除渣後のし尿を間欠的に投入し曝気処理を行い嫌気工程を経て、一槽で98%以上の窒素除去率を得ている。生物処理液に対してはUF膜による固液分離を行い、処理水へSSがリークすることなく最高2万ppmの高濃度汚泥を維持できる。本装置では循環ラインに設けられたイジェクタの開閉によって曝

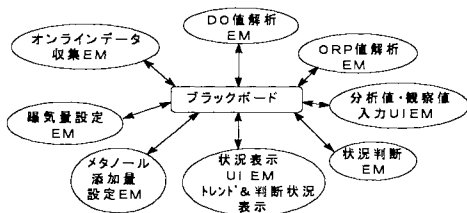


図-2. し尿処理向けエアレーション・メタノール添加量自動制御システムのモジュール構成

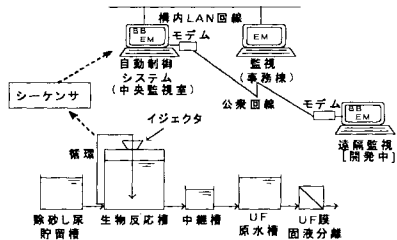


図-3. し尿処理向けエアレーション・メタノール添加量自動制御システムのシステム構成

表-4. システムを構成するEMの各機能

EM名	役割(実現方法)
オンラインデータ収集	原水投入量、DO、ORP値等のオンラインデータ収集記録(C++コード)
DO解析	DO値の特徴値の抽出、異常判定(C++コード、ニューラルネット利用を検討中)
ORP解析	ORP値の特徴値の抽出、異常判定(C++コード、ニューラルネット利用を検討中)
分析値・観察値入力UI	各オフライン情報の入力(C++による標準GUI)
状況判断	曝気量、メタノール添加量に関する状況判断(ファジィエキスパートルール)
状況表示UI	通常のトレンド、判断状況の表示(C++による標準GUI)
エアレーション量設定	曝気量の状況判断に基づく曝気強度の設定(ファジィ制御)
メタノール添加量設定	メタノール添加量の状況判断に基づくメタノール添加量の設定(ファジィ制御)

実施名	分析項目	データ	単位	説明
an.ph	原水PH	7.6	-	前処理し尿のPH測定値
an.ss	原水SS	4500	mg/l	前処理し尿のSS濃度
an.co	原水COD	2670	mg-O ₂ /l	前処理し尿のCOD測定値
an.nh	原水NH ₃	1500	mg-N/l	前処理し尿のアモニア濃度
an.ph	反応槽PH	7.1	-	反応槽汚泥のPH測定値
an.co	反応槽COD	272	mg-O ₂ /l	反応槽汚泥のCOD測定値
an.nh	反応槽NH ₃	14.5	mg-N/l	反応槽汚泥のアモニア濃度
an.no	反応槽亜硝酸	0.2	mg-N/l	反応槽汚泥の亜硝酸濃度
an.no	反応槽硝酸	23.8	mg-N/l	反応槽汚泥の硝酸濃度
an.po	反応槽リン酸	-	mg-PA	反応槽汚泥のリン酸濃度
an.col	反応槽色度	-	-	反応槽汚泥の色度
an.ph	UF原水PH	-	-	UF原水のPH測定値
an.co	UF原水COD	-	mg-O ₂ /l	UF原水のCOD測定値

図-4. 分析値の入力画面

1995年04月15日の観測記録を入力(修正)して下さい。

曝気状況 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止	曝気量(循環量) <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止	UF原水のPH <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止	アミノ酸のPH <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止	曝気量設定 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止 <input type="radio"/> 停止
--	--	---	---	---

自由観測記録
DO・ORPの修正を要する

図-5. 観測情報の入力画面

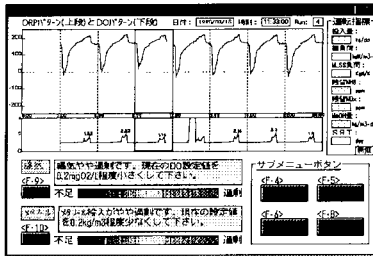


図-6. 支援情報の提供画面例

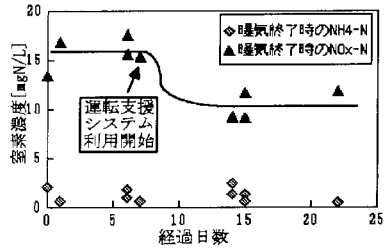


図-7. 曝気制御による曝気工程終了時の硝酸濃度抑制効果

気・攪はんの制御が行われており、曝気強度は循環ポンプ流量により調整する。コントローラーにはオンライン指標として溶存酸素濃度、温度、pH、ORP等がトレンド情報として記録されており、さらに1バッチ毎の投入量や曝気強度(循環ポンプ流量)が記録されている。本プロセスのように高濃度の汚泥を維持するプロセスでは、曝気強度を適切に制御すれば好気工程に於いても脱窒素反応が進行することが経験的に知られており、結果として嫌気工程に必要なメタノール添加量を抑制することができる。これらの制御を行うための定性的な指標としてORP値を利用することなどが提案されているが、さらに本プロセスでは膜分離プロセスが後段に存在し、膜フラックスが生物反応槽の管理状態に依存するため、運転員はこれらの経験知識を総合して曝気量制御を行っている。開発したシステムでは、自動制御用パーソナルコンピュータ上に置かれているバッチ単位で量子化を行うBBを中心に、図-2および表-4に示すようなEM群により運転員の経験的な知識を可能な限り反映させるシステムを構築した。また、公衆回線を通じた現場の運転状況の確認が、現場の事務所管理と全く同じソフトウェアで可能である。これまでに、2つの制御値設定EMからの出力を支援情報として利用して、手動制御により曝気量およびメタノール添加量を調整する試験を行ったが、図-7に示すように、処理水アンモニア濃度が上昇することなく曝気終了時点での硝酸残留濃度を削減し結果としてメタノール添加量を継続して低下することが可能であった。現在自動制御による長期の効果確認および制御対象の拡充を検討中である。

5. まとめ

- ・ 廃水処理分野を対象とした知的制御システムの枠組みを、ブラックボード概念を用いて構築した。
- ・ データと知識とを明確に分離することで、システムの汎用性および拡張性を維持することが容易になった。
- ・ し尿処理のエアレーション量制御およびメタノール添加量制御に本システムを適用し、良好な結果を得た。

6. 参考文献

・ Blackboard Systems, Robert Englemore and Tony Morgan, Addison-Wesley Publishing Co., 1988