

# AI手法を利用した下水処理場における ポンプ運転制御方法

栗野俊正<sup>\*</sup>、紙谷広幸<sup>\*</sup>、木村 孝<sup>\*</sup>、野田純生<sup>\*\*</sup>、丸山 久<sup>\*\*</sup>

\*株式会社 明電舎 技術総本部 技術本部  
東京都 品川区 大崎 5-5-5

\*\*株式会社 明電舎 コンピュータ装置工場  
静岡県 沼津市 東間門字上中溝 515

## 概 要

近年多くの都市で採用されている合流式下水道では、都市部雨水不浸透域の増加にともない雨水が短時間に集中して処理場に流入する。この流入量は、非降雨時の数倍にもなり処理場における汚水、雨水ポンプ運転操作の誤りが市街地や処理場の溢水につながるため制御方法が難しくなっている。

従来のポンプ自動運転はポンプ井水位にのみ着目して行われ、処理場全体の状況を考慮していない場合が多い。その点、ベテラン操作員は経験則と知識から雨水流入にあたっては水位や水位変動、ポンプ運転状態、処理場の水の運用状況から総合的に判断をし柔軟なポンプの運転、停止を行なっているのが現状であり自動化できない大きな理由となっている。

本発表では水位やポンプ運転状況、処理場の水の運用状況を判断するために必要な情報をオンラインで取り込み、ベテラン操作員の持っている経験則や知識をAI手法を使って知識ベースとしてルール化しポンプの運転、停止及び水の処理系統（簡易処理放流、雨水放流等）を判断しガイダンス出力するポンプ運転支援システムを提案する。

## キーワード

合流式下水道 雨水流入 汚水、雨水ポンプ 経験則 知識 AI手法 知識ベース ルール  
ポンプ運転支援

### 1. 流入雨水の処理形態

合流式下水の雨水流入に対する処理場での対応は高級処理放流、簡易処理放流、雨水放流の3つの処理形態に分けられ、雨水流入の増減やポンプ運転状況、処理水量により順次移行されていく。高級処理放流は汚水を一連の水処理プロセスを経て放流する処理を示し、その規定水量は処理場の時間当りの計画水量により決定される。簡易処理放流は雨水流入量が高級処理規定水量を越えた場合に開始されここでは滅菌処理のみを行い放流される。簡易処理放流中であつさらに雨水流入量が増加した場合は雨水ポンプにより直接河川に放流される。Fig-1に概略の系統図を示す。

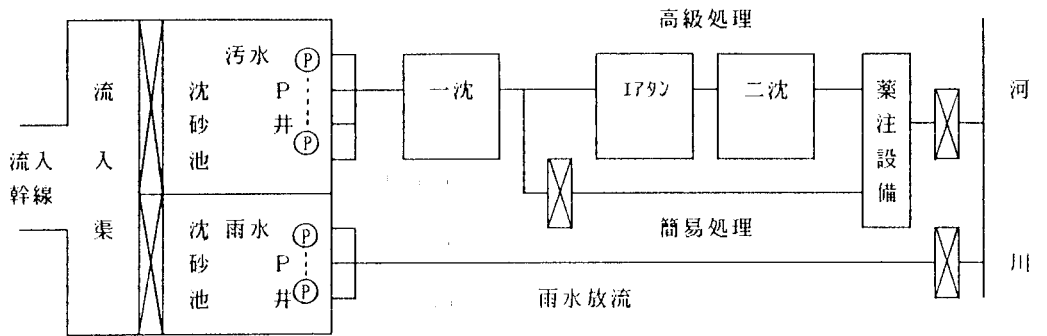
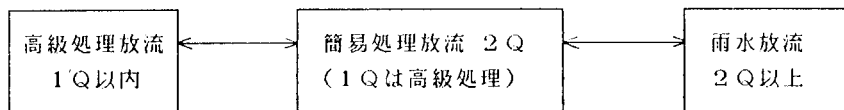


Fig-1 系統図

雨水流入時における各処理移行の目安となる水量は高級処理規定水量を1Qとすると次の通りである。



操作員はこの水量を基に流入渠やポンプ井の水位、その変動状況、ポンプ運転状態、処理水量等から総合的に判断をしポンプ操作を行い円滑な運営をしている。

## 2. 知識の構成

### 2.1 システム構築ツール

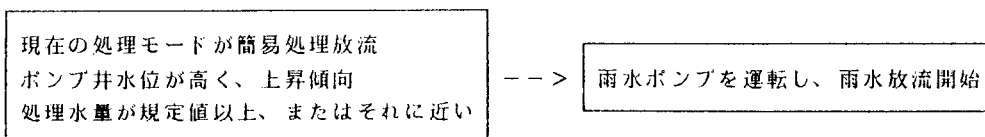
本システムは推論に必要なオンラインのプロセス情報を一定周期毎にマンマシンプロセスを介して入力し推論を行うというリアルタイム処理を必要とするため、システム構築用ツールとして当社で開発したエキスパートシステム構築支援ツール r t K D L を使用した。r t K D L はリアルタイム処理用として、従来のツールでは対応できなかった問題を解決しており次の特徴がある。

- (1) プロセス間通信（メールボックス、イベントフラグ）がルールで扱える。
- (2) 時間変数、事象変数を表現できる。
- (3) L I S P 環境のツールで問題であったを独自のメモリ管理により G C を回避できる。
- (4) 外部データの入出力機構を提供
- (5) R E T E アルゴリズムの採用による推論の高速化

知識表現としてはフレーム型知識表現と I F ~ T H E N 形式のルール型知識表現を統合し、問題に適した知識表現が出来るという特徴があり、推論エンジンは前向き推論方式を採用している。

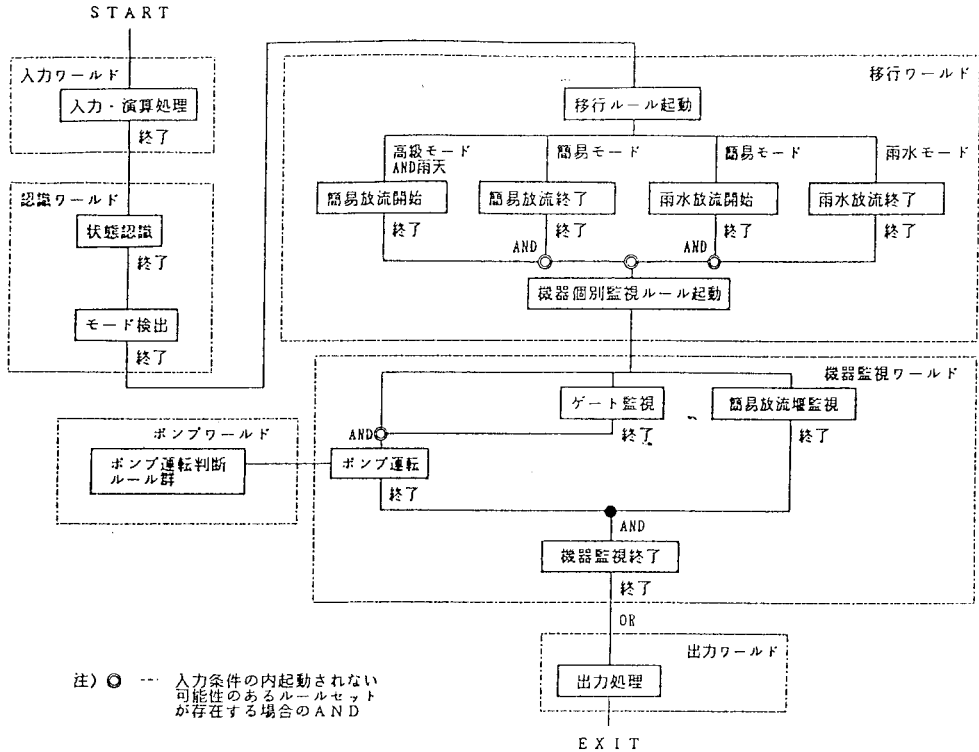
### 2.2 ルールの構成

ポンプ運転支援ではポンプの特性や運転状態、各放流量の規定値、ポンプ井データ等は階層構造として整理されたフレームの-slot に記述し、操作員の経験則はルールとして記述する。推論エンジンはルールに記述されたフレームの-slot やワーキングメモリの内容を照合して推論を進めていく。次に雨水ポンプを運転するルールの一例を示す。



前記のルールを機能毎に集め一つのルールセットを構成する。このルールセットを推論の目的別に

集めワールドを生成し、メタルールにより管理する。メタルールは推論状況により必要に応じたルールセットを起動するよう記述する。Fig-2にポンプ運転支援システムのルール関連図を示す。



注) ● --- 入力条件の内起動されない可能性のあるルールセットが存在する場合のAND

Fig-2 ポンプ運転支援ルール関連図

今回のシステムでは6つのワールドから構成し、それらをシーケンシャルに起動して操作ガイダンスを出力するものとした。それぞれの機能は次の通りである。

(1)入力ワールド

オンラインのプロセス情報をフレームにセットする等、システムのインシャライズを行うルール群

(2)認識ワールド

現在の処理場の状態（ポンプ運転状況、処理水の放流状況など）を認識するためのルール群

(3)移行ワールド

処理水の放流モード（簡易処理放流、雨水放流）変更の有無を監視するルール群

(4)機器監視ワールド

ポンプ操作に関連する設備の監視をするルール群

(5)ポンプワールド

運転、停止を行うポンプを選定するルール群

(6)出力ワールド

各ワールドからの推論結果から最終出力結果を編集するルール群

2.3フレームの構成

ポンプ特性や運転状態、水位情報等の知識データ表現する手法としてフレームを使用した。r t K D Lでは、フレームはクラスとインスタンスとに区別される。汚水ポンプ、雨水ポンプ等はポンプという抽象的な表現をすることができるため、ポンプをクラスとして表現しそのクラスに属する具体的な知識である汚水ポンプ、雨水ポンプなどはインスタンスに表現をする。このようにして大量の知識

データを階層構造にしてルールからの参照が効率よく行えるようにした。Fig-3にその例を示す。ここでCはクラス、Iはインスタンス、Sはそのスロットを示す。

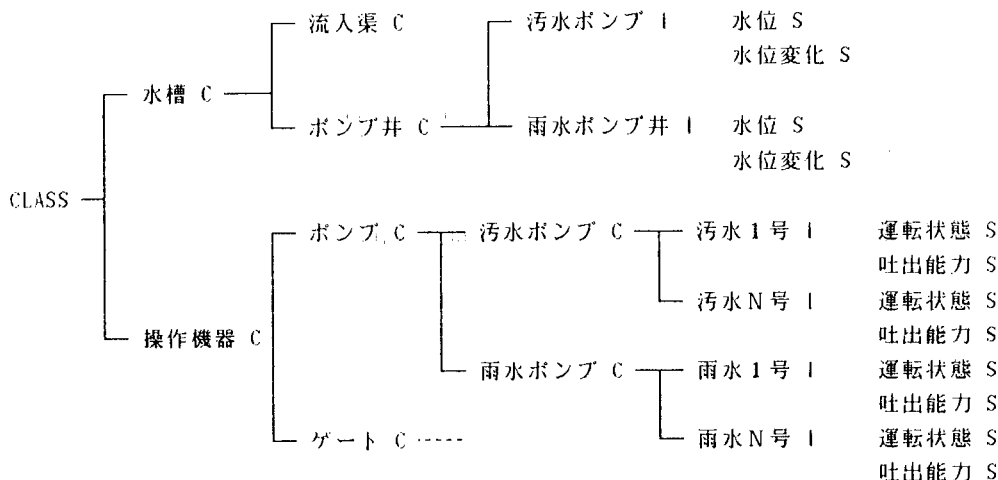


Fig-3 フレーム構成例

### 3. シミュレーションによる知識の検証

本システムは水位や処理水量等の計測値及びポンプ運転状態等のオンラインデータを基に推論を行い、ポンプの運転、停止等の操作ガイダンスを出力するものであるが実際に降雨による雨水流入が無いと知識の検証が出来ない。そこで処理場をモデル化し推論に必要な情報が得られるシミュレーション機能を用意して知識の検証を行えるようにした。

#### 3.1シミュレーション機能

シミュレーション機能では、過去の実績流入量データまたは任意に設定した流入量パターンに基づきプロセス状態を模擬的に生成する。この模擬的に生成された流入渠水位、ポンプ井水位やポンプ揚水量等によりポンプ運転支援の推論を実行し、その推論結果（ポンプ運転、停止等）をシミュレーションに制御指令としてフィードバックする事により推論周期毎の模擬のプロセス状態を順次生成していく。これを一定時間繰り返し実行して知識の確認を行うことになる。Fig-4 に概略の処理の流れを示す。またシミュレーション機能ではポンプは揚程曲線と管路抵抗曲線から吐出量を求めるモデルを用意し、ゲートについては自由流出と潜り流出の双方、堰については越流堰の公式からそれぞれの流量を求めている。

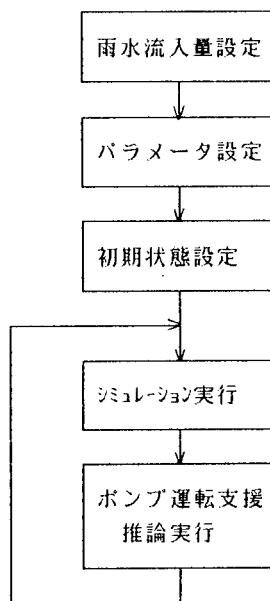


Fig-4 シミュレーション処理フロー

今回のモデルではポンプはすべて固定速であり流入渠、ポンプ井水位を実用範囲内に納めることが目的となると考える。本シミュレーションにより当初の目的は達成したと考える。

### 4. 今後の課題

本システムはポンプ運転支援の第一ステップとして考えている。今後ファジー推論機能の追加や関連設備の支援充実等AI手法の特徴を生かし、システムの充実を図って行きたい。