

ファジィ応用による下水処理場オンラインエキスパートシステム  
On-line expert system for sewage pump control with fuzzy inference

本田和広\*、山田富美夫\*、小林主一郎\*、奥満男\*\*、国見正樹\*\*

\* 株式会社 東芝 重電技術研究所  
東京都府中市東芝町1

\*\* 株式会社 東芝 公共システム技術第2部  
東京都港区芝浦1-1-1

概要

下水処理場におけるポンプ制御の目的の1つは、流入してくる下水を水処理設備への負荷変動を大きくすること無く、均等化して揚水することである。しかし、自然現象である降雨により運用が変化する処理場特有の問題があり、これを解決するため、本システムでは、大きく晴天時と雨天時とに分けてポンプ制御系を構築した。両者の判定には、降雨の状況及びオペレータの主観が関与するため、そのあいまいな量を評価するファジィ推論を適用した。晴天時においては、流入変動に対する水処理負荷変動平滑化制御を行い、雨天時においては、ポンプ井水位を重視した水位制御を行う。

水処理負荷変動平滑化制御では、流入流量を統計処理して得た先1日分の流入パターンから揚水量変動を最小にする最適揚水計画を作成し、その揚水計画を、if...then...ルールによるエキスパートシステム及びファジィ制御システムによりオンライン補正する計画制御システムとして定式化した。

キーワード

負荷変動平滑、エキスパートシステム、ファジィ制御、数理計画、戦略、操作モデル

1. まえがき

下水処理場における主ポンプ制御は、浸水が起きないように水位を重視した運転をするだけでなく、晴天時においては処理水質も考慮した運転でなければならない。即ち、晴天時においては、流入負荷変動を水処理系に伝えないために、できるだけ揚水量を一定にするのが望ましい。しかし、近年の都市化にともない、ポンプ井容量を十分に取れないことから、流入負荷変動をできる範囲で緩和するために揚水量制御をする必要がある。この際、一般的に晴天時の流入下水は統計的に把握できるため、揚水量制御を計画問題として扱うことができる。しかし、下水道プロセスにはモデル化に不透明な要素が多く<sup>1)</sup>、数理計画による計画値もあいまいさは拭えずオンラインで補正する必要がある。また、雨天への移行時には、晴天時の揚水計画からタイミング良く移行しなければならない。従って、本システムでは、晴天時に対しては、揚水計画を参照するオペレータの操作モデルを知識ベース化し、揚水計画の補正戦略をエキスパートシステム<sup>2)</sup>によって、制御規則をファジィ制御システムによって表現し、雨天時に対しては水位を重視した制御系で表わした。さらに、晴天/雨天の判定をファジィ推論により行う構成とした。

## 2. 対象プロセス及び制御目的

図 2.1 に本システムの対象プロセスを示す。流入下水は埋設管渠を通り、下水処理場内に到達後、沈砂池、ポンプ井を経由し、主ポンプにて最初沈殿池（初沈）に揚水され、エアレーションタンク（エアタン）のある水処理設備へ流れる。

対象プロセス図に示したように、晴天時の流入下水（ $Q_{in}$ ）は昼／夜で比較すると大きく変動する。これをそのまま揚水することは、水処理設備への負荷変動として伝わることになり、処理水質上好ましくない。また、雨天時の流入下水は再現性がなく、予測が困難なこと、特に豪雨時には流入増加が早いことから、ポンプ井水位を重視しなければならない。従って、晴天時においては、同図にみるように、埋設管渠、沈砂池及びポンプ井をバッファとして用い、ポンプの入り切りが頻繁に起こらずに負荷変動（ $Q_{out}$ ）を平滑化し、雨天時には、ポンプ井水位を重視した水位制御を行い、さらに晴天／雨天を自動判定することを目的とする。

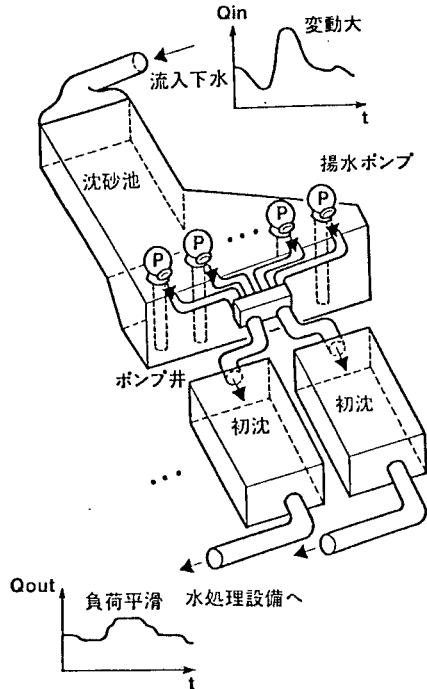


Fig. 2.1 対象プロセス

## 3. 下水処理場エキスパートシステム

### 3.1 システム構成

図 3.1 に本制御システムのシステム構成を示す。中央計算機では、晴天／雨天モードの判定、揚水計画の作成、制御目標値の設定（総揚水量目標値）を行う。マイクロコントローラは中央計算機からのモード判定信号に従って、晴天時は、中央計算機で設定された制御目標値に基づいた揚水量制御を行う。雨天時は、マイクロコントローラにより水位制御を行う。なお、晴天時の制御目標値は数理計画による揚水計画を参照して、エキスパートシステム及びファジィ制御システムから設定される。

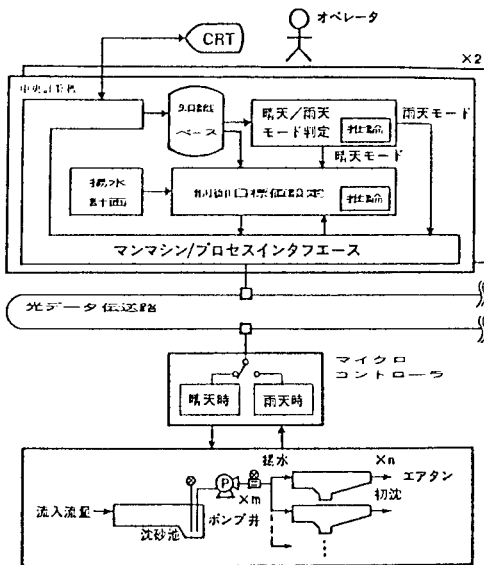


Fig. 3.1 システム構成

### 3.2 主ポンプ制御機能概要

雨天時においては、ファーストフラッシュを揚水後は、流入下水をある程度希釈されたものとして処理場の能力以上は簡易処理して放流するのが一般的である。また、雨水混入による流入流量は再現性がなく、特に、集中豪雨時には分流式、合流式を問わず流入増加は非常に早い。従って、雨天時はポンプ井水位を制御することに重点をおいた水位制御を行う。一方、晴天時の主ポンプ運転方式は、処理水質を考慮したオペレータの主ポンプ操作モデルから構築されている。ここで、操作モデルとは、オペレータの運転手法に関する考えをモデル化したもので、単なるノウハウの羅列ではなく、体系づけられたものである。すなわち、常識のカテゴリーから逸脱することのない種々の概念をモジュールとして知識が構造化されている。本システムでは、オペレータの1日のシナリオとして、揚水計画を参照しつつ、制御目標値を推論して出力する。

### 3.3 晴天／雨天モード判定

晴天／雨天モードの自動判定をファジィ推論により行う。これは、下水道施設は一般に段階建設され、それに対処すべく柔軟な構造であること、自然現象である雨水を対象とするため判定基準があいまいであることから、多入力であるファジィ推論を適用した。図 3.2 にモード判定の概念図を示す。本システムでは、晴天時の揚水量制御を流入パターンから作成した揚水計画を参照する計画制御とし、流入パターンから流入がずれた場合を“雨天”と定義している。このため、入力は流入予測により得られた一日分の流入パターンと実績との偏差及び偏差の変化率とである。図中、時刻  $t_m$  において、雨水混入により、モードが雨天にかわったことを示している。また、図 3.3 に入出力空間のファジィ分割の例を示す。ただし、この例は晴天から雨天モードを判定する分割で、雨天から晴天モードを判定する分割を別に持つ。このファジィ分割が晴天／雨天モードの判定規則となり、次のように、if... then... の形式で表現されている。

if 流入パターンと実績との偏差が PS で、  
偏差の変化率が PM である。

then モードは晴天から雨天に変わりつつある。

ここで、PS等はファジィ集合を示し、例えば、次のような言語表現で分類される。

PS (Positive Small) : ゼロを基準にして変数の  
最大値と比較すれば、少しプラスである。

この様に、オペレータの感性に近い判定規則が構築できるのが特徴である。

### 3.4 エキスパートシステム及びファジィ制御システムによる晴天時水処理負荷変動平滑化制御

オペレータの晴天時における主ポンプ操作モデルは次の概念を表層として構築されている。

- (概念1) 晴天時の流入下水量はあるパターンを持っている。
- (概念2) 1日の揚水計画を経験から大まかに見当づけられる。
- (概念3) 現在ポンプ井水位と流入流量とから将来のポンプ井水位を予想しながら揚水量を調整する。

ここで、(概念1)は統計モデルとして表わした。(概念2)は計画問題であるが、数理的な解はオペレータの考えと合わない場合があり、本システムでは、数理計画による解の近傍を解集合として表わした。(概念3)はオンライン制御に関し、エキスパートシステムによる揚水計画補正戦略及びファジィ制御システムによる揚水量制御とから表わした。揚水計画補正戦略はファジィ制御の方向を計画に合わせる役目をする。どの様に合わせるかが戦略として知識ベースに書かれている。ファジィ制御システムはダイレクトに揚水量を制御する。ここで、ポンプ揚水量制御はポンプ台数制御に従属する形になるが、本論文では、総揚水量目標値の推論に関し述べる。

ポンプ井をバッファとし、水位をある程度上下させて、揚水量を一定にさせた場合、水位は制約となり、揚水量が目標値となる。ここに、ファジィ推論を適用した場合、ファジィ関係において、ファジィ制約とファジィ目標とは表現上区別されないの、制約と目標とのトレードオフをオペレータの感性に合わせて構築できる。ポンプ稼働台数に対して水位を考えた場合、台数が少なければ、水位は「比較的」低い所に維持したく、台数が多ければ、水位は「比較的」高い所に維持したいのが、オペレータの操作モデルである。図 3.4 にその概念図を示す。図の右側にメンバシップ関数の例もポンプ井水位に対応させて表わし

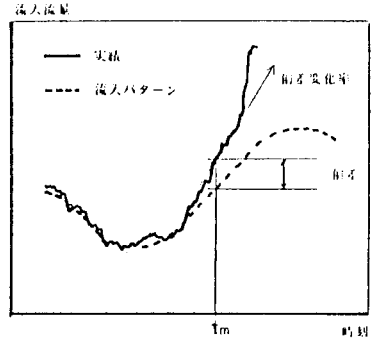


Fig. 3.2 モード判定概念図

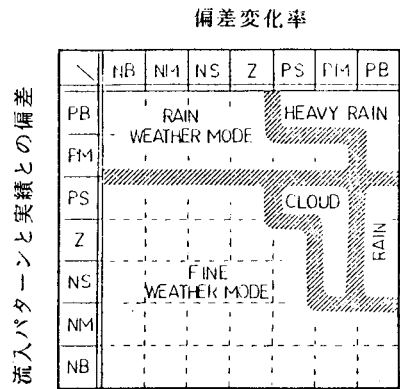


Fig. 3.3 モード判定における入出力空間のファジィ分割例 (晴天→雨天)

た。メンバシップ関数において、濃淡が表記されている部分が、オペレータが水位安定であるとする領域である。図 3.5 に入出力空間のファジィ分割例を示す。入力には現在水位と30分先の予測水位とであり、両者のファジィ関係により補正量を推論する。

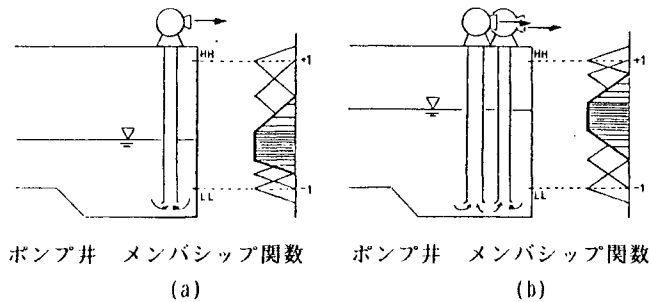


Fig. 3.4 (a) ポンプ1台稼働時の水位安定領域例、  
(b) ポンプ2台稼働時の水位安定領域例  
MH：水位上限値、LL：水位下限値

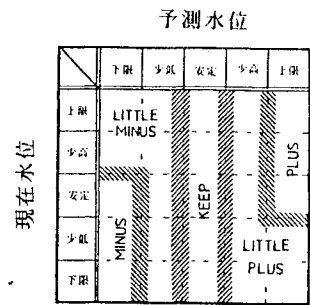


Fig. 3.5 補正量における入出力空間のファジィ分割例

#### 4. シミュレーション結果

表 4.1 に示す条件でシミュレーションした結果を図 4.1 に示す。午後には雨を仮定して入れてある(図 4.1 (a)で破線が降雨がなかった場合の流入流量)。モードの自動判定において、流入パターンとの偏差がしだいに広がり、偏差の変化率が大きくなった時点で雨天モードに切り替わり、雨水混入がなくなったのを確認して晴天モードに復帰している。また、水位は約 27.0m ~ 約 29.0m の間に入るようにメンバシップ関数を定めている。図 4.1 (c)にみるように、晴天時は揚水量を平滑化し、雨天時は水位一定に制御していることがわかる。

Table 4.1 シミュレーション条件

晴天時流入流量	103,000 m <sup>3</sup> /day	ポンプ	可変速	定格 20m <sup>3</sup> /min 1台
ポンプ井容量	2,000 m <sup>3</sup>			定格 40m <sup>3</sup> /min 1台
ポンプ井水位	上限 30.0m		固定速	定格 40m <sup>3</sup> /min 2台
	下限 26.0m			

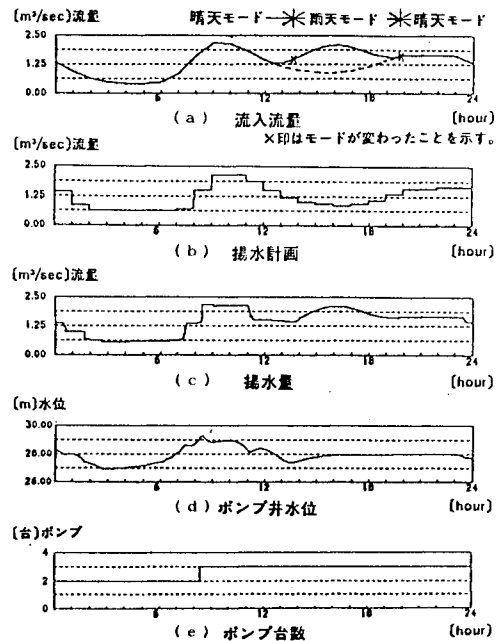


Fig. 4.1 シミュレーション結果

#### 5. あとがき

従来の計画制御の視点を変え、計画を参照するオペレータの操作モデルをエキスパートシステム及びファジィ制御システムで構築した。今後は検証を重ね、よりオペレータの考えに合う操作モデルを構築していきたい。

#### 6. 参考文献

- (1) 加藤隆夫 (1987). 下水道事業が期待するエキスパートシステム. 電気学会産業応用部門全国大会論文集. pp. s. 9-12.
- (2) 小林重信 (1988). 知識システム技術の現状と将来. システムと制御. Vol. 27, No. 10, pp. 859-874.