

## 相模原浄水場の前塩素フuzzy制御システム

\*            \*\*            \*\*\*  
伊藤 修        、田中 義郎        、 稲垣裕二

* 富士電機㈱	第一システム開発部	東京都日野市富士町1
** 富士電機㈱	水処理技術第一部	東京都千代田区有楽町1-12-1
*** 富士電機㈱	第一システム部	東京都日野市富士町1

### 概要

計装の高度化、自動化範囲拡大の要求が強まる中で、知的情報処理への関心が高まっている。その一つに、熟練者の操作方法をIF～THEN～の制御規則で表現して、計算機による制御の自動化を図るフuzzy制御がある。神奈川県内広域水道企業団相模原浄水場では、前塩素注入制御に季節、天候、原水取水量から判断した一日の注入パターンによる制御方法を取ってきた。この選択には多くの熟練を必要とした。そこで、このパターン選択を含めた前塩素注入目標値の設定方法を125個の制御規則で表したフuzzy制御システムを開発した。

その結果、次の効果が得られた。

- (1) 従来の制御ではろ過池出口残留塩素濃度が0.6 mg/lから1.6 mg/lと変動していたが、フuzzy制御では0.4 mg/lから1.0 mg/lの変動に抑えられ、処理の安定化が図れた。
- (2) オペレータの負荷が軽減し、初心者でも熟練者と同等の制御が可能になった。

### キーワード

フuzzy制御、制御規則、知的情報処理、浄水場、前塩素注入制御、自動化、計算機制御

#### 1. はじめに

浄水場では運転の無人化、省力化、更には安定供給や省エネルギーの必要性から計算機の導入が進み、その技術水準は高くなっている。しかし、浄水プロセスの特徴である、遅れ時間が長く、水質の制御が必要などの要因により、完全自動化に至らず、熟練オペレータの操作に委ねられている制御プロセスも残されている。神奈川県内広域水道企業団相模原浄水場においても、浄水プロセスの一つである前塩素注入目標値の設定は熟練オペレータの高度な判断を必要としていた。そのため、この熟練オペレータと同等の操作判断を計算機で実現できるフuzzy制御を採用することにより、制御の自動化を図ったのでその結果を述べる。

#### 2. 前塩素注入制御の概要

浄水場に於ける標準的な処理プロセスを図1に示す。取水した原水に塩素や凝集剤などの薬品を注入し、沈殿池やろ過池で濁質の除去などの処理を行う。これらの処理の中で前塩素は

- ① 原水の殺菌処理により、安全性を高め、沈殿池やろ過池内部を衛生的に保持する。
- ② 鉄、マンガンなどの重金属と反応させ不溶性の酸化物として除去する。
- ③ アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、フェノール、その他有機物などを酸化分解する。

などを目的に注入される。

前塩素の注入量は原水に含まれる種々の塩素消費物質の量により変動する。水中の塩素は直射日光を受けると分解が進むので、季節、天候、昼夜によって消費量が異なる。又、処理量により滞留時間が変化し、大気との接触時間が増えるため塩素消費の変動要因となる。このように、浄水場の前塩素注入制御は外乱要因が多く、かつ無駄時間が長い。そのため、フィードバック制御ができず、6時間から8時間先の状態を予測した制御が必要である。そのため、自動化が難しく、熟練オペレータの技術に頼っているのが現状である。

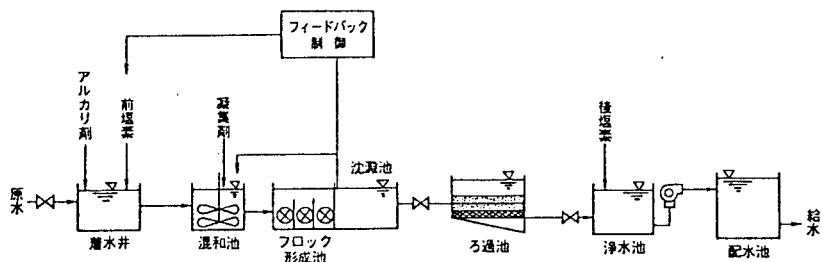


図1 浄水場の処理プロセス

### 3. 従来の前塩素注入制御

相模原浄水場では図1に示すように、沈殿池入口の残留塩素濃度を計測し、その値が目標値になるように塩素注入量をフィードバック制御する方法を採用していた。この目標値を状況により変更しているが、その判断要因としては

- 季節・・・原水あるいは日照の強さの季節的変動を包括的に考慮する
- 天候・・・塩素の消費と日照との関連を考慮する（晴、曇など）

原水取水量・・・水の移動時間の変化による塩素消費の変動を考慮する

時刻・・・夜、午前、午後では塩素の消費と日照との関係は異なるがある。そこで、過去の運転結果より1日の注入パターン（ランクと呼ぶ）を8個抽出し、それを計算機に登録して前塩素の注入操作を行ってきた。オペレータはその日の深夜3時に季節・天候・原水取水量を考慮して、注入ランクを選択する。選択したランクを計算機に入力すると、計算機はその設定パターン（図5の破線がその例である）に基づいて時刻毎に前塩素注入目標値を計算し、その値を設定値としたフィードバック制御による注入量制御を行う。図2（a）にそのフローを示す。この方法はランクを選べば、あとは計算機が管理する。しかし、ランクは一日単位で選択するため、突然の天候や取水量の変動には対応が遅れる。また、この注入ランクの選択には熟練を要し、個人差もあるため自動化が必要になっていた。

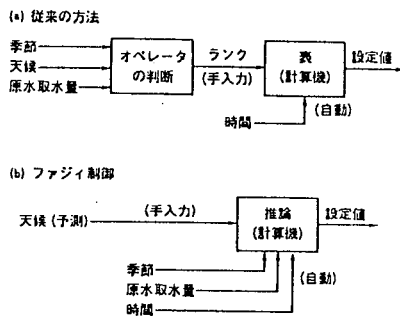


図2 前塩素目標値の演算方法

### 4. ファジィ制御による前塩素注入制御

#### 4.1 制御規則の設計

熟練オペレータの判断方法を整理し、表にまとめた。その結果、

- ① もし、春で晴れており、原水取水量が多いならばランクは4にする。
- ② もし、春で曇っており、原水取水量が多いならばランクは5にする。

などと整理できた。その内容をそのまま制御規則として表すと約300となり、システムに取り込めないばかりか、複雑で理解がしにくくなることが分った。そこで、図3のように、原水取水量と時刻より基準目標値を求めるグループと塩素消費量の外乱要因となる季節・天候・原水取水量・時刻から基準目標値の補正量を求めるグループに分けた。そして両者の推論値の和を目標値とする演算構成とした。このように、2つに分けることで制御の判断構造が理解し

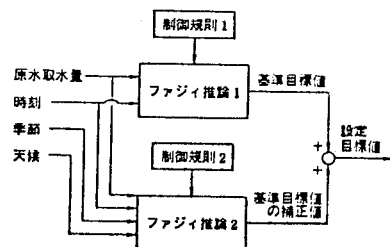


図3 ファジィ制御の基本構造

やすくなり制御規則の  
 拡充が容易となった。又、  
 制御規則も全部で47個  
 と集約でき、大幅な制御  
 規則の削減が可能となっ  
 た。図4に使用した季節  
 に対するメンバーシップ  
 関数の例を示す。

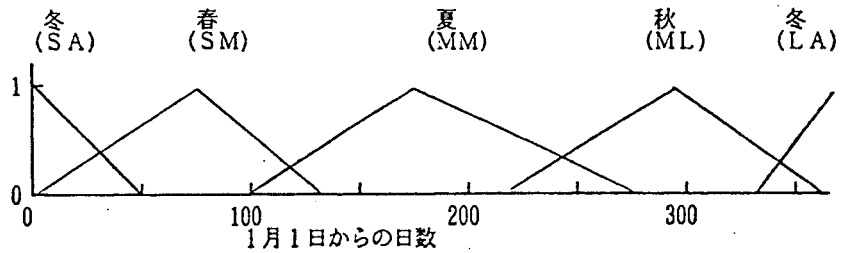


図4 季節に対するメンバーシップ関数の例

4. 2 シミュレーションによる制御規則の拡充

前項で作成した基本的な制御規則を1年分の日報から得られた1881個のデータを用いて、シミュレーションにより拡充を行った。その結果、従来の設定方法による値とファジィ推論による値の差の標準偏差が0.139mg/lとなり、充分使用に耐えられることを確認した。更に、1年間の代表的な処理状況を想定して、シミュレーションを行い、細部の拡充を行った。その調整、拡充に用いた1日のシミュレーションの例を図5に示す。

4. 3 前塩素注入用ファジィコントローラ

前塩素注入用ファジィ制御には制御用計算機で動作するファジィコントローラを使用している。このファジィコントローラは図6に示すように、制御規則をIF～THEN～形式で表し、容易にその追加、変更ができる。また、ファジィ変数の内容を表すメンバーシップ関数も三角形を基準とし、CRT画面より容易に設定可能である。

ファジィ制御を導入することにより、従来熟練オペレータの判断が重要な役割を果たしていたが、その日の天候を入力するだけでよくなった。すなわち、原水取水量はその日の計画値を、天候はオペレータによる入力値を、季節・時刻は計算機が自動的に計算した値を入力量としたファジィ推論を行い、沈殿値入口残塩目標値とする。この演算は15分間隔毎に行っており、天候や原水取水量が変っても、すみやかに制御を追従させることが可能である。

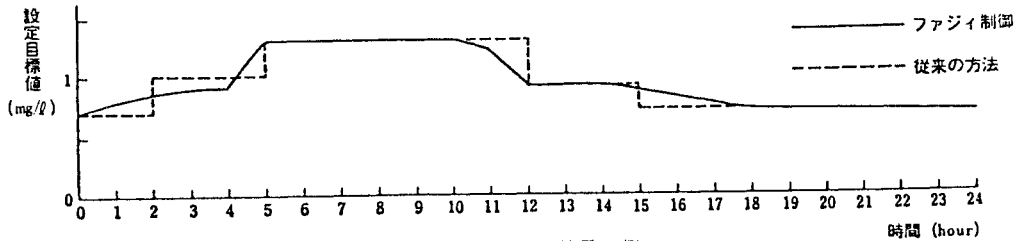


図5 シミュレーション結果の例

制御規則リスト

NO.	前件部命題	後件部命題
1	IF QIN =SA HOUR=SA	THEN SVCL=SS
2	IF QIN =SA HOUR=SM	THEN SVCL=SM
3	IF QIN =SA HOUR=MM	THEN SVCL=ML
4	IF QIN =SA HOUR=ML	THEN SVCL=SA
5	IF QIN =SA HOUR=LA	THEN SVCL=SS
6	IF QIN =MM HOUR=SA	THEN SVCL=SS
7	IF QIN =MM HOUR=SM	THEN SVCL=SA
8	IF QIN =MM HOUR=MM	THEN SVCL=MM
9	IF QIN =MM HOUR=ML	THEN SVCL=SA
10	IF QIN =MM HOUR=LA	THEN SVCL=SS
11	IF QIN =LA HOUR=SA	THEN SVCL=SS
12	IF QIN =LA HOUR=SM	THEN SVCL=SA

設定 確認 送信 実行 並び

図6 制御規則の表示・変更画面例

### 5. ファジィ制御導入の効果

相模原浄水場の前塩素注入用ファジィコントローラは1987年4月に稼働し、その後制御規則の拡充を進めた。その間のファジィ制御試験の結果の一部を図7、図8に示す。図7は従来のランク表による制御結果であり、図8はファジィ制御による結果である。図7より、制御結果であるろ過池出口残塩値は0.6 mg/lから1.6 mg/lまで変動している。しかし、図8のファジィ制御ではその変動は0.4 mg/lから1.0 mg/lの間にあり、処理の安定化の行われていることが分る。このファジィ制御の効果は表1のろ過池出口残塩値の平均とその標準偏差からも確認できる。この処理の安定化は使用薬品量の削減を可能とする。これらの効果の得られた理由としては、次のことが上げられる。

- ① 従来は1日に4～5回の設定値の大幅な変更があったが、急激な変化がなく、きめの細かい制御が実現した。
- ② 季節や処理量が画一的な判断でなく、なめらかな判断が可能になった。例えば、従来9月は秋として判断していたが、ファジィ制御では夏から秋の移行期であり、夏ではないが完全に秋でもない状態であるとし、両者の状況を考慮した操作が行える。
- ③ 目標値の増加、減少の時刻を処理量に応じて、変更できる制御が実現された。

更に、次ような運用上の効果も得られた。

- ① 天候の入力だけでよく、オペレータの負担が軽減された。
- ② 熟練オペレータの操作判断をベースに制御規則を作成している。そのため、従来3年程度の熟練を要した操作判断が初心者であっても熟練オペレータと同等にできるようになった。
- ③ 制御規則を基準目標値とその補正値を求める2つのグループに機能分割したことにより制御構造が理解しやすくなった。更に、制御規則の拡充も容易になった。

制御モード	ろ過池出口残塩平均値	ろ過池出口残塩標準偏差
従来	0.922	0.243
ファジィ	0.739	0.135

表1 従来制御とファジィ制御の試験結果

### 6. あとがき

浄水場における前塩素注入制御は塩素の消費量が取水した原水の水質変動あるいは着水井から沈殿池に至るまでの外乱変動により、大きく影響を受ける。そのため、従来の制御方法の適用が難しい。しかし、そこで働く熟練者の操作方法を制御規則で表すことにより、計算機による自動化の可能なことを示し、その効果について述べた。その結果、ファジィ制御の有効なことが示された。

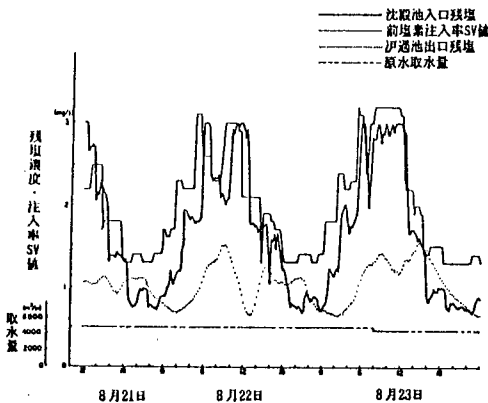


図7 従来制御による制御例

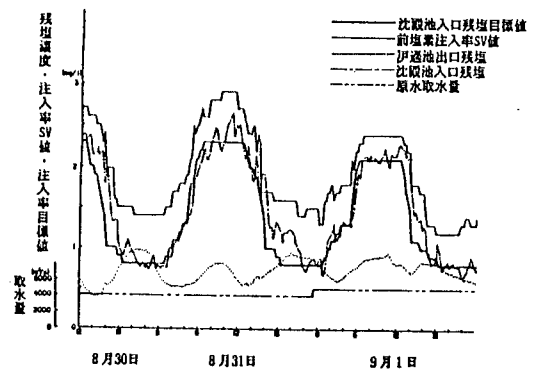


図8 ファジィ制御による制御例

### 参考文献

- (1) 柳下修ほか(1984). ファジィ理論の浄水場薬品注入制御への応用、システムと制御、Vol. 28, No. 10, pp. 597-604
- (2) 伊藤修 (1987). ファジィコントローラ、数理学、No. 284, pp. 55-62
- (3) 菅野道夫ほか(1985). 汎用ファジィコントロールシステム、富士時報、Vol. 58, No. 4, pp. 307-314
- (4) 伊藤修ほか(1988). 汎用ファジィコントロールシステムFRUITAX、富士時報、Vol. 61, No. 4, pp. 261-263