

プラント運転計画参照型ファジィ制御を 適用した浄水場送水制御システム

A New Control System for Clear-Wells of Water Purification Plants,
With Fuzzy Control Referring to Plant Operation Plan

黒川 太^{1*}、小林主一郎²、難波 栄作³、高橋 郁雄⁴

^{1,3} (株)東芝府中工場/〒183-0043 東京都府中市東芝町1番地

^{2,4} 正会員 (株)東芝/〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1

FUTOSHI KUROKAWA^{1*}, SHUICHIRO KOBAYASHI²,
EISAKU NANBA³ and IKUO TAKAHASHI⁴

^{1,3} Toshiba Corporation Fuchu Works/1, Toshiba-cho, Fuchu, Tokyo 183-0043, Japan

^{2,4} Member of EICA, Toshiba Corporation/1-1-1, Shibaura, Minato-ku, Tokyo 105-8001, Japan

Abstract

Water purification plants are always required to produce and supply enough quantity of sanitary water on demand and in a stable manner. To accomplish this purpose, we have developed a new control system which applies fuzzy control referring to plant operation plans for clear-wells.

The control system newly developed, as a whole, supports operators to run clear-wells properly and consists of three sub-systems: 1) a system to predict water demand, 2) a system to draw plant operation plans and 3) a fuzzy control system to modify plant operation plans while referring to the plans.

In this paper, among others, the fuzzy control system is discussed. The system is based on knowledge that plant operators have, and proved to be very effective for clear-wells control.

Key words : water purification plant, fuzzy control, plant operation plan

1. まえがき

上水道プラント建設による整備が全国規模で推進され、現在、上水道はほぼ普及している。したがって、近年では、プラント運転管理の合理化を推進し、浄水の安定供給を確保した上での経済的な運転が要求されている。特に、上水道プラントの主要施設である浄水場では、送水管路へ過度な負荷変動を与えることなく生産した浄水を配水池まで送水し、配水池の保有水量を適切に保つ送水制御システムが必要となっている。

この浄水場送水制御の合理化を推進するためには、まず、不確定要素としての水需要を的確に予測し、水需要

に応じた浄水を安定、かつ、経済的に供給するために、プラントの設備容量に見合った浄水場送水プラントの運転計画が必要となる。即ち、需要が少なく、電力料金が安価な夜間時間帯に浄水を生産して配水池へ貯留し、配水池容量を有効に利用して、プラント運転の変動が少なく、需要変動に応じて安心して飲める飲料水を必要量、常時安定に供給する必要がある。さらに、経済的なプラント運転が要求される場合（例えば、昼間における消費電力量の削減等）、設備稼働台数（ここでは、送水ポンプ運転台数）を削減し、電力量を削減する必要がある。

このように、水需要予測に基づいて一日毎に計画された浄水場送水プラント運転計画に基づいてオンライン制御を実行する必要があるが、水需要予測は統計的な予測誤差を持つため、プラント運転方案やプラント容量に依

*連絡先

じて、予測誤差に起因する計画偏差をオンライン制御で吸収することが要求される。

ここで議論するシステムは浄水池から配水池までの送水系を制御するシステムであり、プラント運転計画を参照し、本来の意図に沿った計画的運転を可能とするために、配水池水位を適正な範囲に収めながら送水系の負荷変動を考慮してプラント運転計画を補正するオンライン制御方式に関するものである。

このような運転計画を参照した制御問題の解決には、運転員の介入を規範とした、人間のあいまいな感覚を取り入れる方法が考えられる。あいまいな要素を内包する上下水道プロセスの経験的運転制御に関する知的な制御問題に対して、例えば、文献1)～14)などが研究されている。これらの研究はプロセス制御の性能向上やあいまいさを取り入れた運転支援が目的であるが、ここでは運転計画を参照して計画的な制御を実行するために必要な制御問題の解決が必要である。

即ち、予測誤差に起因する計画と実績との乖離を実時間で評価し、安定供給やプラント制約条件を満たしながら、水質管理、エネルギーの有効平準化利用、ポンプの起動停止が少ない安定した運転を継続するための制御問題の解決が必要である。ここでは、熟練者の手動介入が実施されている浄水場プラント送水系を例にとり、実際

の運転判断を規範とし、プラントの運転制約を守りながら、需要変動に応じて安定な制御を行うための、プラント運転計画を参照したファジィ制御を応用した制御方式を提案する¹⁵⁾。

2. 対象システム

2.1 対象プロセス

Fig. 1に対象プロセスとシステム構成の例を示す。浄水場では河川より原水を取水し、沈殿・ろ過処理を行った後、浄水場内の浄水池に生産した浄水を貯水する。

この系では、浄水場（浄水池）から配水池へ浄水を送水する送水系と浄水を直接配水する配水系があり、貯水した浄水は、送水ポンプにより距離的に離れた配水池へ送水され、その後、複数の需要家へ配水される。送水ポンプは全部で7台あるが、この内、5台を送水ポンプとして使用する。

上水道系の場合、浄水場からの送水変動は少ないことが望ましい。しかし、水需要は時間変動する。このような系では、送水の平滑化を目的として、運転員は配水池の有効利用を考慮しながらプラント全体を運転する。

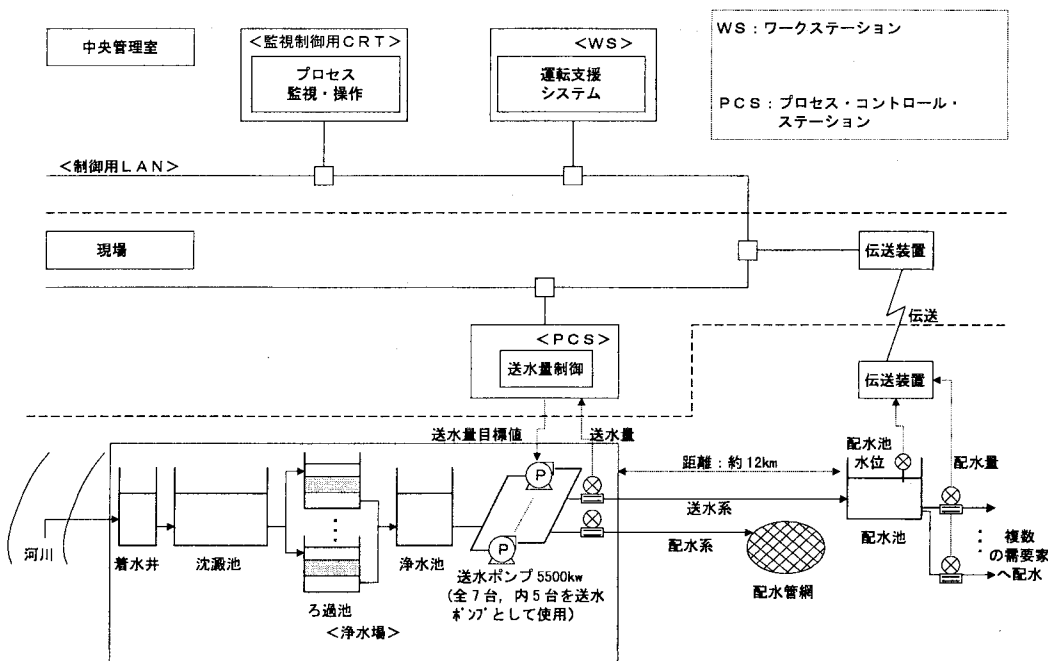


Fig. 1 A system configuration for water purification plant

2.2 システム構成

中央の運転管理室には監視制御用のCRT、および、浄水場送水制御を支援するシステムが組み込まれるワークステーション（以下、WS）が設置される（Fig. 1参照）。

監視制御用CRTでは、プロセス全体の監視を行っており、必要に応じて機器の操作を行うことが可能である。また、場外の配水池水位、配水池からの配水量等のオンライン情報は伝送装置で取り込まれている。

現場には、プロセス・コントロール・ステーション（以下、PCS）が設置され、ポンプの制御を実行する。

3. 浄水場送水制御システム

Fig. 2に浄水場送水制御システムの機能を示す。WSには配水池からの配水量を予測する配水量予測機能と、予測した配水量をもとに、送水量変動の少ないプラント運転のために送水ポンプの起動・停止抑制を考慮した浄水送水計画を演算する送水計画機能、および、予測した配水量と実配水量との誤差から生じる配水池水位と配水池計画水位との誤差に基づいて送水量計画値をオンラインで補正するファジィ推論機能が組み込まれている。このファジィ推論機能には、配水池水位が配水池の運用上下限水位近傍にある時、上下限水位を逸脱することがないように送水量計画値を補正し、配水池水位が中位にある時、送水系に過度な負荷変動を与えないように送水量計画通り送水ポンプを運転する非線形的な運転方案がファジィルールで記述されている。PCSには、送水ポンプを制御する機能が組み込まれている。

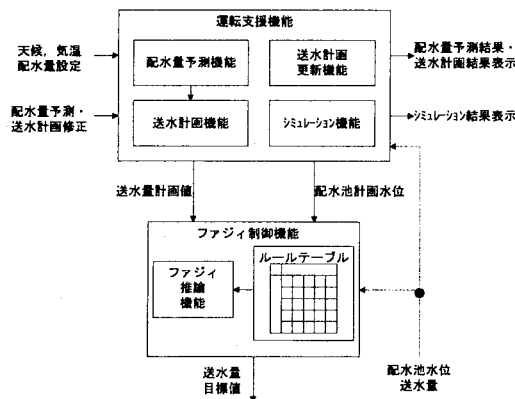


Fig. 2 A water supply control system for water purification plant

3.1 送水計画機能

配水量予測機能では、ニューラルネットワークで構築した配水量予測モデルに当日の天候、気温を入力し、1日の配水量を予測する^{(16), (17)}。この予測値を基に、朝10時前に当日10時から翌日9時30分までの1日30分単位の送水計画を演算する。ここで、演算される送水計画は、送水量計画、配水池計画水位およびポンプ運転台数である。

送水ポンプの起動・停止を制御する送水計画を作成するために、以下に示すように問題を定式化している。

(目的関数)

$$J = w_1 \cdot \sum_{k=1}^L |P(k) - P(k-1)| + w_2 \cdot \sum_{k=3}^{L4} P(k) + w_3 \cdot e(k) \quad (k = k_1, k_2) \dots (1)$$

$J \rightarrow$ 最小化

(制約条件)

$$0 < P(k) \leq n$$

$$0 \leq |P(k) - P(k-1)| \leq 1$$

$$Q \min(P(k)) \leq Q^*(k) \leq Q \max(P(k))$$

$$h \min \leq H(k) \leq h \max$$

ただし、

$$P(k) = \sum_{i=1}^n X_i(k)$$

$$X_i(k) = 0, \text{ or } 1$$

$$Q^*(k) = f(P(k))$$

$$H(k) - H(k-1) = \{Q^*(k) - \hat{Q}(k)\} \cdot \Delta t / A$$

$$e(k) = |H(k) - Hsv(k)| \quad (k = k_1, k_2)$$

$$Hsv(k_1) = \begin{cases} Hmu & (H(k_1) > Hmu) \\ Hml & (H(k_1) < Hml) \\ H(k_1) & (Hml \leq H(k_1) \leq Hmu) \end{cases}$$

$$Hsv(k_2) = \begin{cases} Hnu & (H(k_2) > Hnu) \\ Hnl & (H(k_2) < Hnl) \\ H(k_2) & (Hnl \leq H(k_2) \leq Hnu) \end{cases}$$

ここで、

$k = 1, 2, \dots, L$: 離散時刻

$L = 48$: 当日10時から翌日9時30分の24時間30分単位

J : 評価関数

$P(k)$: 離散時刻におけるポンプ運転台数 [台]

n : ポンプ最大運転台数 [台]

w_1, w_2, w_3 : 重み係数

$k_1 = 26$: 夜間の指定離散時刻 (22時30分)

$k_2 = 41$: 朝方の指定離散時刻 (6時)

$k_3 = 7$: 電力ピークカット開始離散時刻 (13時)

$k_4 = 12$: 電力ピークカット終了離散時刻 (15時30分)

$e(k)$: 朝方および夜間の指定離散時刻における配水池

水位と配水池計画水位との偏差 [m]

(指定離散時刻以外の時の値は0)

$H_{sv}(k1)$: 夜間の指定離散時刻における目標水位 [m]

H_{mu} : 朝方指定離散時刻における指定水位上限 [m] (7m)

H_{ml} : 朝方指定離散時刻における指定水位下限 [m] (6.5m)

H_{nu} : 夜間指定離散時刻における指定水位上限 [m] (3m)

H_{nl} : 夜間指定離散時刻における指定水位下限 [m] (2.5m)

$Q_{min}(P(k))$: ポンプ運転台数 $P(k)$ 台における最小吐出流量 [m³/h]

$Q_{max}(P(k))$: ポンプ運転台数 $P(k)$ 台における最大吐出流量 [m³/h]

$Q^*(k)$: 離散時刻 k における送水流量計画値 [m³/h]

h_{min} : 配水池下限水位 [m]

h_{max} : 配水池上限水位 [m]

$f(P(k))$: 離散時刻 k におけるポンプ運転台数 $P(k)$ に対応する吐出流量 [m³/h]

$H(k)$: 離散時刻 k における配水池水位 [m]

$\hat{Q}(k)$: 離散時刻 k における需要予測値 [m³/h]

A : 配水池断面積 [m²]

Δt : 計画周期 (0.5時間=30分)

である。

評価関数は、送水ポンプの起動・停止に対する評価と、経済的な送水ポンプの運転を行うために昼間の電力ピークカットを考慮した評価と、朝方および夜間の指定時刻に配水池水位が指定した配水池運用範囲内にあるか否かの評価の和で表される。電力ピークカットを行わない場合は、重み係数である w_2 を 0 としている。また、制約条件に示した最初の制約条件式はポンプの最大運転台数に対する制約、2番目の式は1離散時刻でのポンプ運転台数変更に対する制約、3番目の式はポンプ運転台数に対応したポンプ吐出流量に対する制約、そして、4番目の式は配水池水位が配水池の適正な運用範囲内であるための制約である。

上記定式化した問題は0-1変数を含んでいるため、0-1整数計画問題として取り扱い、分枝限定法を用いて評価関数を最小化することで¹⁸⁾、送水ポンプの起動・停止を制御する送水計画を演算している。

3.2 プラント運転計画参照型ファジィ制御機能

送水計画機能で演算した送水計画値は、配水量予測値を基に計画したものである。このため、配水量予測値と実際の配水量とが偏差を持つ場合、配水池水位と送水計画機能で演算した配水池計画水位とに偏差を生じる。したがって、配水池水位が配水池の上下限水位を越えないように、配水池の現水位に応じて送水量計画値をオンラインで補正し、補正の結果得られる送水量目標値に基づいて送水ポンプを流量制御する。また、送水量計画値の補正の結果得られる送水量目標値が現在運転しているポンプ運転台数の吐出流量制御範囲を逸脱する場合には、運転支援用のWSを介してオペレータに運転台数変更の表示を行い、オペレータが手動でポンプの台数制御を行う。

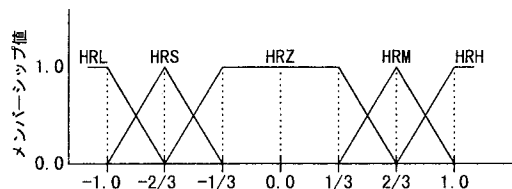
ファジィ推論機能では以下に示すような送水ポンプの運転方案をファジィルールベースに記述し、このルールベースに基づいて送水量計画値をオンラインで補正する機能を有する。

- 1) 配水池水位が安全領域 (上下限水位の中位近傍) にあるときは、計画水位と実績水位との偏差がある場合でも送水量計画値の補正はかけない。
- 2) 配水池水位が上下限値 (危険領域) に近づいているときは、計画水位と実績水位との偏差がある場合に送水量計画値を補正する。

上述したルールは、送水計画機能で演算した送水量計画値を極力、急激に変動すること無く、配水池水位に応

Table 1 Fuzzy rule table

		配水池水位偏差[m]				
		NB	NS	Z	PS	PB
配水池水位 [m]	HRL	QPB	QPM	QZ	QZ	QZ
	HRS	QPM	QPS	QZ	QZ	QZ
	HRZ	QPS	QZ	QZ	QZ	QNS
	HRM	QZ	QZ	QZ	QNS	QNM
	HRH	QZ	QZ	QZ	QNM	QNB



(a) Membership function of water head

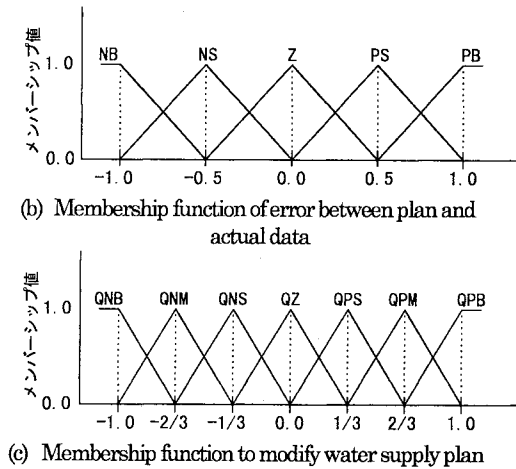


Fig. 3 Membership function

じて非線形的に補正し、配水池水位が配水池の上下限水位を逸脱することがないように考慮したプラント運転方案を記述している。上述したルールに基づいたファジィルールを Table 1 に、メンバーシップ関数を Fig. 3 に示す。

Table 1 および Fig. 3 において、

- HRL：配水池下限領域である
- IRS：配水池下限領域に近い
- HRZ：配水池安定領域である
- HRM：配水池上限領域に近い
- IRH：配水池上限領域である
- NB：計画水位よりかなり低い
- NS：計画水位より少し低い
- Z：計画水位ぐらい
- PS：計画水位より少し高い
- PB：計画水位よりかなり高い
- QPB：補正量は正で大
- QPM：補正量は正で中
- QPS：補正量は正で小
- QZ：補正量はゼロ
- QNS：補正量は負で小
- QNM：補正量は負で中
- QNB：補正量は負で大

を表わしている。

4 シミュレーション結果と考察

4.1 シミュレーション条件

1カ月の平日のデータを用いて、ファジィ制御機能を

評価した。評価の際、以下の3つの制御方式を比較した。

- (1) 計画制御：計画値通りに送水量を制御する方式
- (2) ファジィ制御：水位、水位偏差により送水量計画値を補正する制御方式
- (3) P I 制御：配水池計画水位を目標値として水位制御を比例積分制御で行う方式

シミュレーション条件を Table 2 にまとめた。また、ファジィ制御におけるメンバーシップ関数のゲイン、即ち、Fig. 3 に示したメンバーシップ関数の横軸における -1.0 および 1.0 に対応する値は、Table 3 および Table 4 を用いた。送水量計画補正のゲインは送水ポンプの運転台数によって流量制御範囲が非線形に変わるため、Table 4 のようにゲインを切り替えている。

Table 2 Simulation condition

設定項目	シミュレーションにおける設定値		
	計画制御	ファジィ制御	P I 制御
配水池断面積	30000m ²		
配水池上限水位	7.0m		
配水池下限水位	2.0m		
メンバーシップ関数ゲイン	—	Table 3 に示す	—

Table 3 Gain of membership functions

配水池水位	配水池水位偏差	送水量計画補正
2.5m~7m	-0.5m~0.5m	ポンプ運転台数によって変更 (Table 4)

Table 4 Gain of output membership function

ポンプ運転台数 [台]	ポンプ運転範囲 [m ³ /h]	送水量計画補正ゲイン [m ³ /h]
1	15000~22000	-7000~7000
2	30000~42000	-12000~12000
3	45000~60000	-15000~15000

4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を以下に示す。Table 5 は 1 日のポンプ運転台数の計画値から得られる 1 日のポンプ運転台数変更回数計画値と、夜間、朝方における配水池計画水位と計画制御、ファジィ制御および P I 制御での配水池水位の比較を示している。Table 5 において * 印は配水池運用範囲 (2~7m) を逸脱した場合を示している。

Fig. 4は送水量計画値に対してファジィ制御による補正量の頻度を、Fig. 5は送水量計画値に対してP I制御による補正量の頻度を表している。補正量の頻度は送水計画が30分毎に計画されることから、30分毎の補正量とした。

4.3 考察

Table 5においてファジィ制御、P I制御ともに1日のポンプの運転台数変更回数がポンプ運転台数変更回数計画値と同じであり、ポンプ運転台数を変更することなく計画値どおりに制御を行った。

まず第一に朝方および夜間の水位は、Table 5から計画制御の場合、朝方で1度、夜間で5度配水池運用範囲を逸脱していることが分かる。したがって、計画値通りの制御では、配水量予測の誤差を吸収できないことが分かる。一方、ファジィ制御およびP I制御の場合は、10月31日の夜間水位を除いて、配水池水位が配水池運用範囲を逸脱することなく制御できていることが分かる。10月31日の場合は、配水量予測の誤差を送水量計画値の補正で吸収できない場合であり、送水量計画値を再計画する必要がある場合である。

第二に配水池の朝方および夜間の貯水量を評価する。評価は、シミュレーションの結果得られた朝方および夜間の配水池の平均水位で行った。今回対象とした系では、配水池の朝方水位は6~7 [m]、夜間水位は2~3 [m]の

範囲で管理される。Table 5に示すように、計画制御の場合、朝方の平均水位が管理範囲に対して下方方向に逸脱しており、朝方に十分な貯水量を得ることができないことが分かる。一方、ファジィ制御およびP I制御の場合は、朝方および夜間水位の平均値は管理範囲内である。したがって、双方の制御において問題無く、朝方および夜間の貯水量を確保できている。

第三に、送水量計画値の補正量について評価する。Fig. 4に示すようにファジィ制御の場合、89[%]が送水量計画値に対して ± 2500 [m³/h] (送水ポンプ1台の定格吐出量22000 [m³/h]の約10[%])の範囲の補正量で制御されている。

一方、Fig. 5に示すようにP I制御の場合、送水量計画値に対して ± 2500 [m³/h] (送水ポンプ1台の定格吐出量22000 [m³/h]の約10[%])の範囲の補正量で制御できる場合は31[%]である。これは、送水量計画値に対して非常に大きな補正が頻繁にかかり、送水量の急激な変動が行われることを意味する。浄水場からの送水量変動は少ないことが望ましいことから、P I制御と比較してファジィ制御の方が、望ましい制御を得ることができていることが分かる。

第四に、シミュレーション結果の一例を示す。Fig. 6~Fig. 9は、シミュレーションを行った1カ月間のデータのうち、11月5日のシミュレーション結果の例である。この日は、Fig. 6のAに示すように、12時から21時の間、

Table 5 Simulation result

月日	ポンプ運転 台数変更回数	朝方水位[m]				夜間水位[m]			
		計画値	計画制御	ファジィ制御	P I制御	計画値	計画制御	ファジィ制御	P I制御
10月1日	3	6.43	5.08	5.82	6.45	2.69	*1.62	2.10	2.73
10月2日	3	6.69	5.16	6.08	6.73	2.62	*1.69	2.46	2.59
10月3日	3	6.53	6.13	6.44	6.59	2.60	2.46	2.81	2.73
10月7日	2	6.04	6.79	5.99	5.73	2.57	3.31	2.63	2.55
10月8日	2	6.04	5.32	6.03	6.37	2.57	*1.65	2.48	2.68
10月9日	3	6.48	6.02	6.32	6.67	2.55	2.43	2.67	2.54
10月14日	3	6.42	5.56	5.83	6.43	2.57	2.06	2.03	2.14
10月16日	2	6.15	6.62	6.22	6.24	2.63	3.00	2.81	2.77
10月17日	2	6.29	*7.45	6.53	6.51	2.54	3.75	2.96	2.58
10月21日	2	6.13	5.80	6.05	6.03	2.64	2.16	2.51	2.76
10月22日	2	6.02	5.71	5.98	5.95	2.52	2.07	2.45	2.60
10月23日	3	6.23	6.07	5.96	6.03	2.57	2.68	2.66	2.62
10月24日	3	6.38	6.51	6.41	6.67	2.59	2.72	2.54	2.55
10月30日	2	6.06	6.21	5.93	6.08	2.54	2.99	2.75	2.53
10月31日	3	6.43	5.31	5.89	6.47	2.53	*1.55	*1.80	*1.97
11月5日	2	6.10	5.23	5.84	5.93	2.65	*1.58	2.07	2.73
平均	-	6.28	5.47	6.08	6.31	2.59	1.85	2.37	2.45

配水量実績値が配水量予測値に対して多い。このため、計画制御では Fig. 9 の D に示すように配水池水位が下限水位を逸脱している。

PI 制御では Fig. 9 に示すように配水池水位が計画水位に追従している。これは Fig. 7 の B に示すように、計画水位に追従するように頻繁に送水量計画値を補正しているためである。しかし、送水量計画値が頻繁に補正されるため、送水量が変動し、送水系に対しては望ましい制御ではない。

一方、ファジィ制御では、この時間帯の送水量計画値の補正は行っていない。これは Fig. 9 から分かるように 19 時までは配水池水位が 5 [m] を越えており、安定領域にあるためである。ファジィ制御では、Fig. 8 の C に示すように 19 時以降から徐々に送水量計画値を補正しており、これによって Fig. 9 の D に示すように配水池水位が下限水位を逸脱することなく運用できている。送水量の変動も少なく、送水系に対して望ましい制御が行えることが分かる。

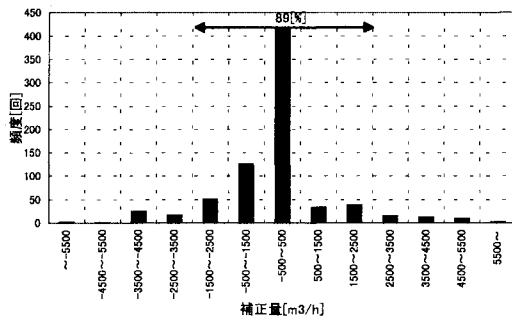


Fig. 4 Frequency of modified value for plant operation plan (fuzzy control)

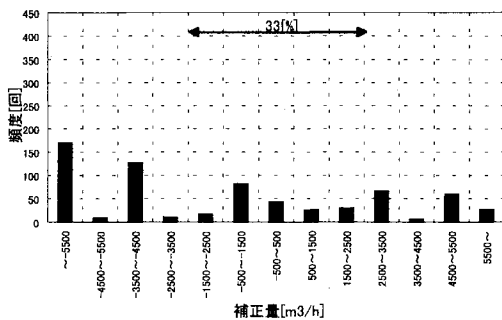


Fig. 5 Frequency of modified value for plant operation plan (PI-control)

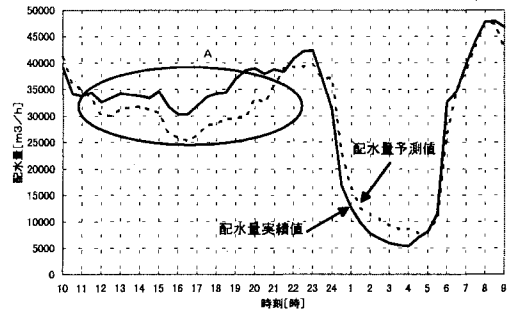


Fig. 6 Water demand (November fifth)

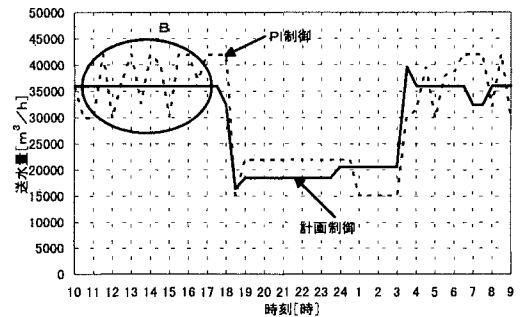


Fig. 7 Water supply (PI-control)

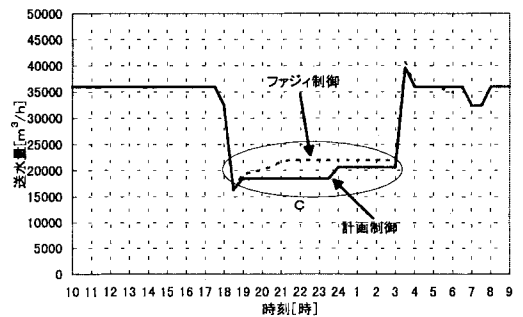


Fig. 8 Water supply (Fuzzy control)

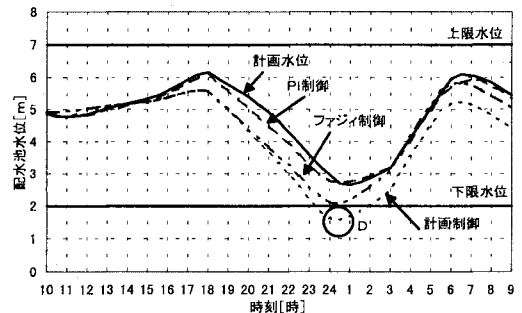


Fig. 9 Water head of clear-wells (November fifth)

5. あとがき

上水道プラントの主要設備である浄水場を対象とし、浄水場と需要家の間に配水池を有する送水系に対して、計画参照型ファジィ制御を適用した浄水場送水制御システムを開発し、シミュレーションによる検証を行った。

この結果、(1)配水量予測の誤差を吸収し、配水池運用範囲を逸脱すること無く制御できる、(2)朝夕および夜間の配水池貯水量を運用管理範囲内に確保できる、(3)送水量計画値に対して徐々に補正を行い、送水量の急激な変動を行うことなく制御できる、ことがわかった。

以上から、プラントに存在する運転方案を考慮したファジィ制御の枠組みが、運転員の感覚を模擬できるという点で有効であることを検証することができた。

6. 参考文献

- 1) 岩堀恵祐、藤田正憲、他：活性汚泥法制御へのファジィ推論の活用に関する研究、第31回下水道研究発表会講演集、310-312(1994)
- 2) 岩堀恵祐、藤田正憲、他：活性汚泥法におけるファジィ制御法と従来制御法の比較検討、第32回下水道研究発表会講演集、367-369(1995)
- 3) 岩堀恵祐、藤田正憲、他：活性汚泥法ファジィ制御システムの開発に関する研究、第32回下水道研究発表会講演集、52-54(1995)
- 4) 岩堀恵祐、安井幹人、藤田正憲、他：リモートデータリンクによる活性汚泥法ファジィ制御の運転支援、第33回下水道研究発表会講演集、40-42(1996)
- 5) 岩堀恵祐、安井幹人、横井三知貴、藤田正憲：小規模汚水処理施設における活性汚泥法ファジィ制御システムの検証実験、第33回下水道研究発表会講演集、489-491(1996)
- 6) 尾形真也、浜本洋一、田畑信一：ファジィ制御を利用した回分式活性汚泥法による窒素・リンの同時高度除分、第33回下水道研究発表会講演集、63-65(1996)
- 7) 小西隆裕、市川雅英、久住美代子、豊岡和宏：硝化反応についてのパラメータ推定とファジィ制御、第31回下水道研究発表会講演集、55-57(1994)
- 8) 沖本広幸、樋口正光、日比野至：ファジィ制御による遠心脱水機の運転状況について、第32回下水道研究発表会講演集、733-735(1995)
- 9) 田崎光雄、野々上智規、野島智之：流動床焼却炉におけるNOX低減化とファジィ制御、第31回下水道研究発表会講演集、652-654(1994)
- 10) 佐々木聡、小松卓、飯嶋和明、加藤薫：ファジィ制御を用いた汚泥焼却炉燃焼制御運転調整結果、第33回下水道研究発表会講演集、883-885(1996)
- 11) 鮎川正雄、開発啓全、鈴木一如、入山守生、臼井高史、片山岳史：下水汚泥溶融炉ファジィ制御システム、第33回下水道研究発表会講演集、1012-1014(1996)
- 12) 下川康也：月陽ポンプ場のファジィ制御と監視制御設備について、第31回下水道研究発表会講演集、267-269(1994)
- 13) 竹内賢治、小林主一郎、名里敦司、野口和彦、今井紀夫：ファジィ応用雨水ポンプ制御規範抽出支援システム、SICE'96、573-574(1996)
- 14) 竹内賢治、新山雅永、黒川太、芦木達雄、小林主一郎：ファジィ応用配水末端圧力制御システムの開発、'96環境システム計測制御学会、Vol. 1-No. 1、66-69(1996)
- 15) 黒川太、難波栄作、高橋郁雄、小林主一郎：ニューロ・ファジィ応用浄水場送水運用制御、電気学会産業計測制御研究会資料、IIC-97-6、31-36(1997)
- 16) 黒川太、小林主一郎：ニューラルネットワーク応用需要予測、平成4年電気学会全国大会、Vol.13、13-16(1992)
- 17) 黒川太、小林主一郎、金山道王：ニューロ応用時間配水量パターン予測、平成5年電気学会全国大会、Vol.13、13-35(1993)
- 18) 小林主一郎、坂本義行、長岩明弘、中丸正：蓄熱式熱源プラントの運転支援システム、平成8年電気学会全国大会、Vol. 3、3-67-68(1996)

(受付 1998. 2. 4)

(受理 1998. 3. 2)