

生物高速ろ過装置 (BRF) の開発

Development of Biological Roughing Filtration



(環)製品開発室
玉井 秀 恭
Hideyuki Tamai
(環)技術部第2技術室
水澤 秀 樹
Hideki Mizusawa
(環)製品開発室
知 福 博 行
Hiroyuki Chifuku

本研究は、凝集沈澱処理における残留アルミニウム濃度を低減するために、生物ろ過の除濁機能を向上させることにより生物処理機能と固液分離機能を併せ持った凝集沈澱代替システムを開発、実証するものである。

パイロットプラントを阪神水道企業団猪名川事業所内に設置し、淀川表流水を原水として実験を行った。ろ層構成は多孔質ポリプロピレンと多孔質セラミックを使用し、凝集沈澱処理と同等以上の処理水質を得ることを目的とする。

The aim of this developing is to decrease the concentration of remaining Aluminium in tap water. We develop and prove the new system substitute for Coagulation/Sedimentation process by improving the biological filtration's function of separating solid and liquid. So that new system have two functions, biological treatment and separating solid and liquid together.

The pilot plant uses the surface water of Yodo river, and settled in the Water Treatment Center of Hanshin Water Supply Authority. The biological filtration layer is composed with porous polypropylene media and porous ceramic media. The achievement goal is to get a processing water quality equal to or more than Coagulation/Sedimentation process.

Key Words :

生 物 処 理
ろ 過
凝 集 沈 澱
濁 度

Biological treatment
Filtration
Coagulation/Sedimentation
Turbidity

ま え が き

今日、浄水処理技術では、固液分離操作として凝集沈澱/急速ろ過方式が広く採用されている。凝集沈澱は、原水中の濁質を凝集剤を用いてフロック化し、沈降分離することで、後段の急速ろ過の負荷を軽減することを目的としている。そのため、凝集沈澱処理では凝集剤の適正な注入管理が必要となる。

近年、凝集沈澱処理において原水中の藻類の増加などの影響により、原水濁度に対するアルミニウム系凝集剤の注入率が増加する傾向がある。その結果、発生汚泥量増加、発生汚泥の脱水性悪化、薬品コスト増といった問題や、浄水中の残留アルミニウム濃度の増加への懸念が生じている。

これらの状況から、凝集沈澱に代わる固液分離操

作が必要となっているが、凝集沈澱／砂ろ過装置の代替として注目されている膜処理装置では、大規模浄水場に適用することはスケールメリットに乏しい。また、浮上分離装置は湖沼水等藻類を多量に含む原水処理には効果的であるが、高濁度時の対応が難しい。

阪神水道企業団は、この方策として生物ろ過の濁度除去性に注目し、充填材と運転条件の最適化により、凝集沈澱代替プロセスになり得ると考え、生物高速ろ過装置（BRF）の開発を、当社、(株)クボタ、日本鋼管(株)のプラントメーカー3社に提案した。

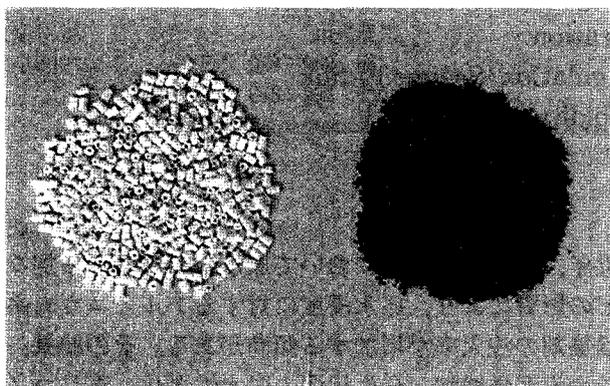
この提案を受けた3社と阪神水道企業団は、BRFのパイロットプラントを淀川表流水を原水とする阪神水道企業団猪名川浄水場内に設置し、4者共同による実験を開始した。

また、本実験は1999年3月より、(財)水道技術研究センターらによる高効率浄水技術開発の「河川系原水」を対象とした研究グループに持ち込み研究として参画している。

1. 本研究における BRF の基本原理

一般的な生物ろ過プロセスは、活性炭、アンモニアサイト、砂利、セラミック、合成樹脂製品などのろ材を用い、そこに棲息する硝化菌等の有用細菌の働きにより、アンモニア性窒素や異臭味物質などの除去を行うことを目的とし、通常は凝集沈澱処理の前段に設置されている。そして、生物ろ過プロセスは、ある程度の濁度除去性を有することが知られている。

本研究における BRF は、生物ろ過の有する除濁機能を比較的高い流速のもとで増強したもので、



第1図 BRFろ材（左：中空ポリプロピレン 右：球状セラミック）

Fig. 1 Filtration media of BRF (Left:Hollow polypropylene Right:Sphere ceramic)

それにより凝集沈澱池と同程度の処理水質を得る事を目的としている。

濁度除去性を向上させるためにカラム予備実験などにより選定されたろ材は第1図に示す多孔質球状セラミックろ材と多孔質中空ポリプロピレンろ材である。これらを上層に中空ポリプロピレンろ材、下層に球状セラミックろ材の二層構成とすることで、生物処理機能に加えて濁度除去機能を併せ持ったBRF塔となる。そして、第2図に示すようにその前段に凝集剤注入および急速混和槽を設けたものが本研究における基本システムとなる。

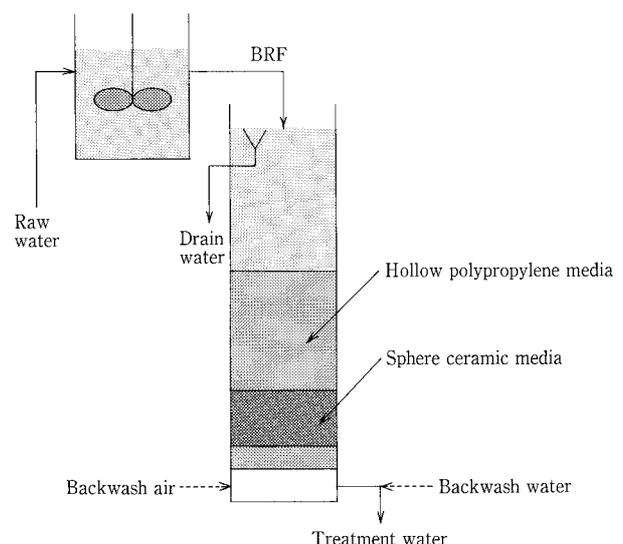
この BRF 塔における濁度除去機構は、

- (1) 急速混和槽において原水中濁質と凝集剤とが攪拌されることによりマイクロフロックが生成する。
- (2) マイクロフロックは中空ろ材層を通過する際に成長すると共に、上層中空ろ材に捕捉される。
- (3) 中空ろ材層で捕捉されなかった濁質はセラミックろ材層にて抑止される。

である。中空ポリプロピレンろ材層は大きな濁質捕捉量を持ち、捕捉されなかった小さなフロックは下層の粒径の小さい球状セラミックろ材層で抑止することができ、濁度除去性の高い層構成となっている。

2. BRF 二段プロセスによる実験¹⁾

最初に、BRF塔を二段直列に配置して通水するシステムによる実験をおこなった。当初、二段直列としたのは高濁度時においても濁度除去性を確保するためである。



第2図 BRF基本システム

Fig. 2 Basic system of BRF

2.1 実験プラント

パイロットプラントの概略フローを第3図、BRF塔の諸元を第1表に示す。

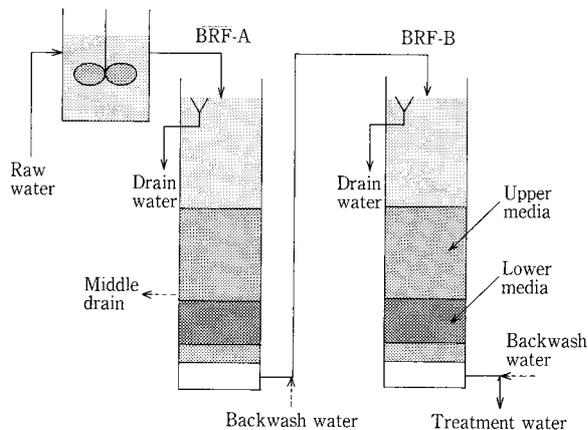
このシステムは2層構成のBRF塔を2段直列に配置したもので、それぞれのろ層の洗浄は空気+水の併用洗浄方式とし、A塔損失水頭1000 mmAq、B塔損失水頭1800 mmAqで自動的に洗浄を行った。なお、A塔については、高濁度時にA塔処理水濁度が100度を越えた時点で、空気単独洗浄を行いながら上下ろ材界面の上部から中間排水を行う逆洗水を使用しない簡易洗浄も行うこととした。

凝集剤注入率は各期間毎に第2表のように設定した。ここで、RUN②の濁度制御注入とは原水濁度に応じて注入率を自動制御し、原水濁度10度以下の場合は無薬注で、それ以上の場合には原水濁度のほぼ1/2乗に比例するように設定したものである。なお、同じ原水を用いている猪名川浄水場高度浄水処理実証プラント凝集剤注入率は平均40 mg/Lであった。

2.2 実験結果

(1) 濁度除去性

全期間中の濁度除去性を第4図に示す。RUN①では、原水濁度が10度程度であれば無薬注でも処理水濁度2度以下が得られた。RUN②では原水最高濁度290度、原水濁度30度以上の期間が1.7日継続する状態を経験したが、この間にA塔の簡易洗浄を1回、B塔の通常洗浄を1回行うことで処理水B濁度5度以下が得られた。なお、この間の硫酸バンド最大注入率がBRFで22 mg/L、実証プラント凝集沈澱池で140 mg/Lであった。RUN③~⑤では凝集剤の注入率を増加させることにより濁度の除去性は高くなった。



第3図 BRF 2段プロセス概略
Fig. 3 Rough sketch of Two Step BRF process

(2) 主要水質項目

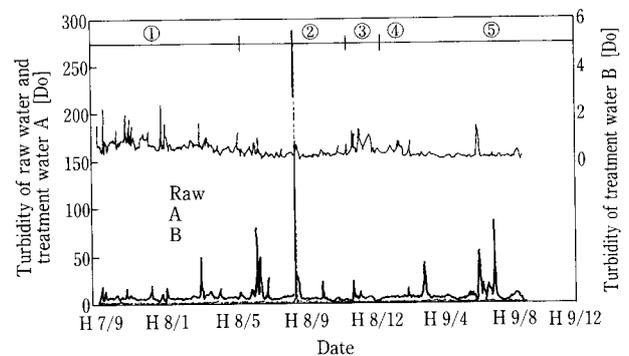
濁度以外の水質項目については、無薬注では凝集沈澱と比較して除去率が低いため、凝集剤注入率を15 mg/Lと一定として連続運転を行った。無薬注時と15 mg/L注入時の平均除去率の凝集沈澱との比較を第5図に示す。無薬注時には凝集沈澱と比べて除去率の悪かった過マンガン酸カリウム消費量、色度、UV260、THMFP、総生物が硫酸バンド15 mg/Lの一定注入運転とすることでほぼ凝集沈

第1表 BRF 2段プロセス諸元
Table 1 Data of Two Step BRF process

		BRF-A	BRF-B
Treatment quantity		120 m ³ /d	
LV		240 m/d	
Upper filter	Material	Porous polypropylene	
	Shape	Hollow cylinder	
	Size	4 mmφ×5 mmL	
	Hight	2.0 m	1.5 m
Lower filter	Material	Porous ceramic	
	Shape	Sphere	
	Size	E.S. 1.26 mmφ	E.S. 0.69 mmφ
	Hight	0.5 m	

第2表 凝集剤注入率
Table 2 Injection rate of coagulant

Run	Period	Injection rate of coagulant
①	H 7. 9.18~H 8. 6.13	No Injection
②	H 8. 6.14~H 8.12. 4	Proportional to turbidity
③	H 8.12. 5~H 9. 1.28	5 mg/L
④	H 9. 1.29~H 9. 3. 4	10 mg/L
⑤	H 9. 3. 5~H10. 8	15 mg/L



第4図 濁度推移
Fig. 4 Change of turbidity

澱池と同等の処理性を示していることがわかる。またこのとき、凝集沈澱では除去されないアンモニア性窒素は、無薬注時で平均86.9%，硫酸バンド15 mg/L 注入時でも平均85.0%の除去率を示した。

本浄水システムの構成において、濁度については凝集沈澱と同程度の除去性が得られたが、濁度以外の水質項目については凝集沈澱と同程度の除去性を達成できていなかった。しかし、凝集剤を一定注入することにより、濁度以外の水質項目においても、凝集沈澱と同程度の処理性が得られることがわかった。また、凝集剤を15 mg/L 一定注入しても、使用する凝集剤の量は50%以上の低減が可能であり、残留アルミニウムについても通年の運転実績から50%以下に抑制することができることを確認した。

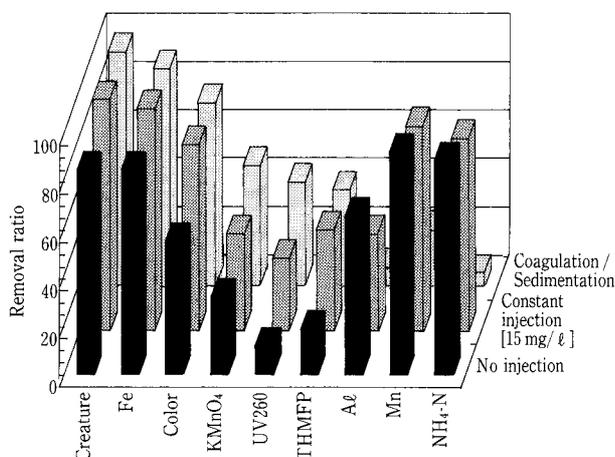
(3) 発生汚泥の性状

A塔洗浄排水汚泥（無薬注時、硫酸バンド15 mg/L）と実証プラントの凝集沈澱池汚泥（硫酸バンド40 mg/L）について汚泥性状を分析し、固形物中の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比を比較するとそれぞれ、3.3, 1.7, 0.97であった。固形物中の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比は脱水処理時のろ過速度と正の相関があり、BRFから発生する汚泥は凝集沈澱池汚泥と比べてかなり脱水性が良好であることが示唆されるので、脱水機の規模縮小などが期待できる。

3. BRF 一段プロセスに関する基礎実験²⁾

3.1 目的

BRF二段プロセスによる調査では凝集剤の低減、アンモニア性窒素の除去、残留アルミニウムの抑制等の効果が確認された。しかしながら、二段の生物ろ過から構成されるため、運転管理や敷地面積等の面では凝集沈澱に対してメリットを得難く、実用化



第5図 主要水質項目の比較
Fig. 5 Comparison of main water quality

に際してはよりシンプル且つ高効率のプロセスが望まれた。

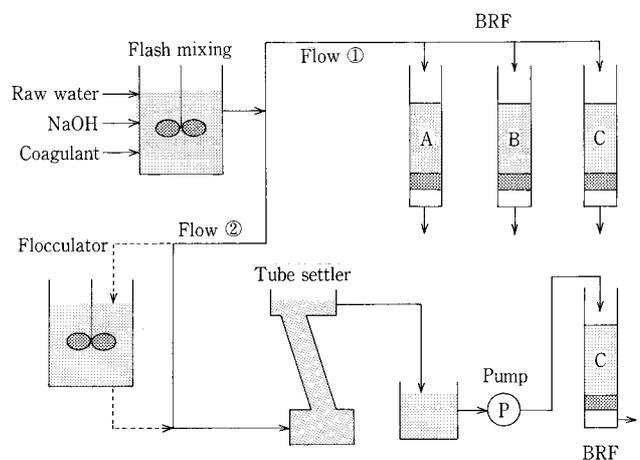
そこで、BRFプロセスを「二段プロセス」から「一段プロセス」へと改良することを目的とし、ミニプラントを用いて1段ろ過に適したろ層構成、並びに、高濁度原水流入時の対応として傾斜管を用いた簡易除濁装置とBRFとを連結したプロセスについて検討を行った。

3.2 BRF 一段プロセスに関する考え方

50度以下の比較的低濁度で安定した原水（湖沼水、ダム湖下流の表流水等）に対しては、一段プロセスの適用を検討することとした。一方、年に数日の割合で250~500度程度の高濁度となる原水（一般河川表流水等）に対しては、BRFの前段に濁度を50~100度まで除去するための簡易除濁装置を付加したプロセスの適用を検討することとした。また、両プロセスにおける濁度除去の目標性能は、後段プロセスとなる急速ろ過の高速化を想定し、処理水濁度1度以下を24時間以上維持できることとした。

3.3 実験装置および実験方法

第6図にミニプラントの概略フローを示す。実験用原水は急速攪拌槽内に流入する淀川表流水に、猪名川浄水場の高度浄水処理実証プラント受水池底泥、苛性ソーダおよび硫酸バンドを添加した人工原水を用い、これを塩ビ製カラムA~Cに固定床・下向流方式で通水した（実験フロー①）。高濁度原水流入時の簡易除濁装置には、塩ビ製傾斜管（0.05 m×0.16 m×1.3 m）を備えた沈澱池を用い、これとカラムCとを連結したプロセスに、実験用原水を通水した（実験フロー②）。第3表にミニプラントおよびろ材の概略仕様を示す。



第6図 ミニプラント概略フロー
Fig. 6 Flow of mini plant

第3表 ミニプラント諸元
Table 3 Data of mini plant

BRF		Tube settler	
Size Layer height Direction LV	0.1 m ϕ × 4 mL 1.75~2.5 m Down stream 240~300 m	Size Mean stream velocity Direction	0.05 m × 0.16 m × 1.3 m 417 mm/min Upper stream
Upper layer media		Lower layer media	
Shape Size Specific gravity	Hollow cylinder 4 mm ϕ × 5 mmL 1.1	Shape Size Specific gravity	Sphere 0.69~1.26 mm 1.7

第4表 下層ろ材の比較
Table 4 Comparison of lower media

	E.S. of lower media De (mm)		
	0.69	0.83	1.26
U.C. L/De	1.5 725	1.7 602	1.5 397
Continued time (Hr)	9.5	24.5	17.6
Loss water head at last (cm)	79	65	27

また、緩速攪拌による効果を見るため、急速攪拌槽と傾斜管式沈澱池との間に緩速攪拌槽を設けた実験についても行った。

3.4 実験結果

(1) 下層ろ材粒径 (実験フロー①)

第4表は上層厚および下層厚を、それぞれ1.75 m および0.5 mとした時に、下層のろ材粒径を変化させた場合のろ過継続時間および到達損失水頭を示したものである。これにより、有効径が大きい程到達損失水頭は低い値を示したが、ろ過継続時間は有効径0.83 mm のろ材を用いた場合に24 hr 強と最も高い値を示したため、下層に充填するセラミック製ろ材には有効径0.83 mm のものを選定した。

(2) 簡易除濁装置の検討 (実験フロー②)

下層に①で選定した有効径0.83 mm のセラミック製ろ材を0.5 m、上層には4 mm ϕ × 5 mmL のポリプロピレン製ろ材を1.75~2.0 m 充填し、簡易除濁装置と連結した際の濁度除去性能を調査した。

簡易除濁装置として用いた傾斜管式沈澱池は、平均上昇流速417 mm/min と一般的な沈澱池上昇流速(10~100 mm/min 程度)と比較して非常に高い上昇流速での通水を行ったが、第5表に見られるように攪拌条件の違いに関わらず、250度以上の高濁度原水を100度未満まで除去することが可能であった。

BRF については、急速攪拌のみによりフロック

第5表 攪拌条件の比較
Table 5 Comparison of mixing

Mixing chamber	Flash mixing	Flash+Flocculation	
Mean of raw water turbidity (DO)	256	245	284
Mean of sedimentation water turbidity (DO)	84	56	78
Upper layer height (m)	1.75	1.75	2.0
Lower layer height (m)	0.5	0.5	0.5
Continued time (Hr)	9.5	19.8	24.8
Loss water head at last (cm)	17	23	32

形成を行った場合のろ過継続時間が9.5 hr であったのに対し、緩速攪拌を加えてフロック形成を行った場合のろ過継続時間は、19.8 hr と約2倍の値を示しており、本プロセスでの濁質除去に対してフロック形成が重要な役割を果たしているものと考えられた。さらに、緩速攪拌を加えたフローにおいて上層厚を1.75 m から2.0 m へと0.25 m 積み増ししたところ、ろ過継続時間は約25%増加しており、長いろ過継続時間を保持するためには上層厚をできるだけ大きくすることが有効であると考えられた。

4. BRF一段プロセスのパイロットプラント実験

これまでの基礎実験などを踏まえて、実施設へ適用可能なシステムとしてのBRF一段プロセスのプラント実験を開始し、1999年3月にACT 21第2研究グループの持ち込み研究として承認され、現在連続運転中である。

4.1 実験プラント

実験プラントのフローを第7図に、装置の仕様を第6表に示す。BRF-B塔は、基礎実験の結果から最適と考えられた粒径の下層ろ材を使用した。BRFの通水LVは240 m/dとし、逆洗はA塔、B塔ともろ過抵抗の最大値1800 mmAqに達すると

水+空気併用による自動逆洗を行った。

4.2 性能目標

このBRF一段プロセスにおける性能目標としては、

- (1) 原水濁度50度以下の場合は前処理なしで処理水濁度1.0度以下とする。
- (2) 原水濁度50~500度の場合は前処理装置を併用することで処理水濁度1.0度以下とする。
- (3) ろ過継続時間24時間以上。
- (4) 他の水質項目はBRFを適用した浄水システム全体で従来の浄水システムと同程度が得られること。

とした。

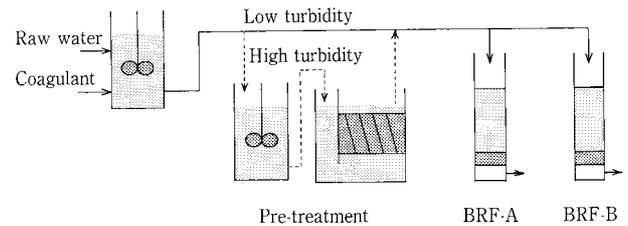
4.3 実験経過

(1) 凝集剤注入率

凝集剤注入率は15 mg/L一定の運転としたが、原水濁度が低かった1998年12月28日~1999年1月21日の間のみ7.5 mg/Lに減らした。

(2) 濁度除去性

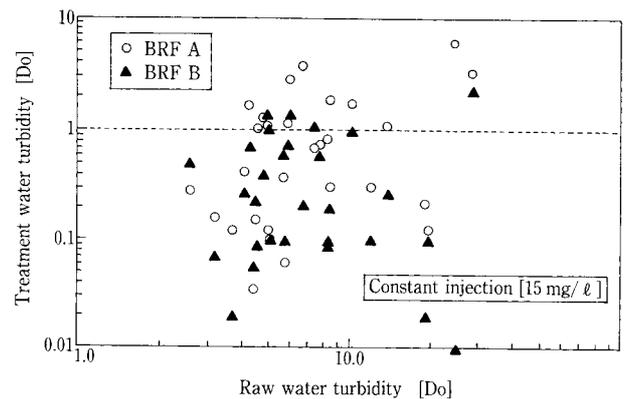
処理水濁度、除去率、濁質捕捉量、ろ過継続時間を第7表に、原水濁度と処理水濁度の関係を第8図に示す。ここで、ろ過継続時間とは、逆洗してからろ過抵抗が1800 mmAqに達し、再び逆洗するまでの時間を表し、濁質捕捉量とは、原水濁度と処理水濁度の差にろ過継続時間の通水量を乗じ、それをろ過面積で除したものである。これによると、この期間においては、硫酸バンドを15 mg/L注入すること



第7図 パイロットプラントフロー
Fig. 7 Flow of pilot plant

第6表 パイロットプラント諸元
Table 6 Deta of pilot plant

		BRF-A	BRF-B
Treatment quantity		120 m ³ /d	
LV		240 m/d	
Upper media	Material	Porous polypropylene	
	Shape	Hollow cylinder	
	Size	4 mmφ×5 mmL	
	Hight	1.8 m	
Lower media	Material	Porous ceramic	
	Shape	Sphere	
	Size	E.S. 1.26 mmφ	E.S. 0.83 mmφ
	Hight	0.5 m	



第8図 原水濁度と処理水濁度の関係
Fig. 8 Relation between raw water turbidity and treatment water turbidity

第7表 濁度除去性

Table 7 Removal of turbidity

		Turbidity			Removal rate		Supplementary quantity of SS		Continued time	
		Raw water	Treatment water A	Treatment water B	Treatment water A	Treatment water B	BRF-A	BRF-B	BRF-A	BRF-B
		(NTU)	(NTU)	(NTU)	(%)	(%)	(NTU·m ³ /m ³)	(NTU·m ³ /m ³)	(Hr)	(Hr)
Period I H10.11.26 ~H10.12.28	Max.	151.0	28.6	20.0	100.0	100.0	9 749	4 097	173	115
	Min.	0.7	0.0	0.0	0.1	59.4	3 744	711	49	20
	Ave.	11.3	2.2	0.6	78.1	95.2	6 126	1 267	130	28
Period II H10.12.28 ~H11. 2.8	Max.	24.2	12.7	4.8	100.0	97.8	7 129	5 846	170	77
	Min.	1.0	0.0	0.1	0.0	4.6	2 688	1 722	115	22
	Ave.	5.0	1.5	0.5	69.4	90.2	4 459	2 917	127	59

とにより、ろ過塔 B についてはろ過継続時間がほぼ24時間以上、処理水平均濁度はおおむね1.0 NTU 以下の結果が得られた。ろ過塔 A については下層のろ材径が大きく、ろ過抵抗の上昇が緩やかなためろ過継続時間は100時間を超えることが多かったが、濁質の抑止性が不十分で処理水濁度1.0 NTU を越えることが多かった。

目標処理水質を考慮した場合、この原水に対してはろ過塔 B のろ層構成（下層ろ材有効径0.83 mmφ）が望ましいと考えられるが、原水濁度が30度以上となる場合や、30度以下であってもときおり処理水濁度が1.0度を越えることがあり、凝集剤注入率など凝集条件を今後さらに検討する必要がある。

(3) 洗浄の状況

この運転条件におけるろ過塔 B の初期損失水頭は最大32 cm、最小15cmであり、実験期間中において初期損失水頭が大幅に上昇するといった傾向はみられず、これまでのところ、ろ層は良好に洗浄されていると思われる。

(4) 主要水質項目

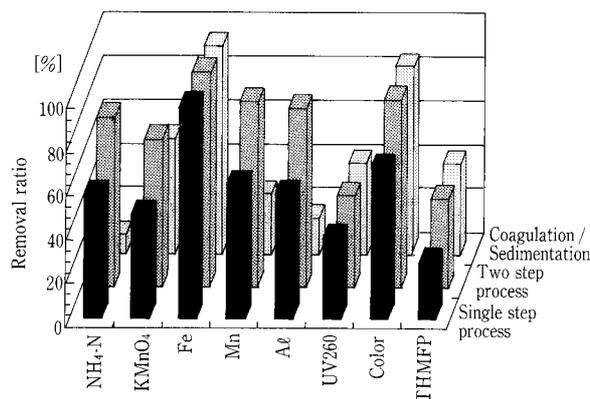
この期間中の原水のアンモニア性窒素、過マンガン酸カリウム消費量、総鉄、総マンガン、総アルミニウムおよびUV260の平均値を第8表に、これに対する各処理水の平均除去率を第9図に示す。この期間においてアンモニア性窒素および総マンガン、総アルミニウムの除去率は凝集沈澱を大きく上回り、過マンガン酸カリウム消費量、UV260の除去率は凝集沈澱とほぼ同程度、色度、THMFPは若干劣るという結果であった。これらの主要水質項目については凝集剤の注入率と密接な関係があると考えられ、今後とも濁度除去性だけでなくこれらの水質項目も含めた最適な凝集剤注入条件を検討していく必要がある。

むすび

今後は、連続運転を通じて、凝集剤注入率などの適正運転条件を把握すると共に、台風や梅雨時における高濁度時のシステムの検証や、冬期におけるア

第8表 原水水質
Table 8 Raw water quality

Water quality	Mean of raw water
N-NH ₄	0.16 mg/L
Potassium permanganate	5.2 mg/L
Total Fe	0.298 mg/L
Total Mn	0.029 mg/L
Total Al	0.22 mg/L
UV260	0.219
Color	20
THMFP	40.5 µg/L
TOC	2.0 mg/L



第9図 平均除去率
Fig. 9 Mean removal ratio

ンモニア性窒素の除去性の評価を行う。さらに、後段の砂ろ過や排水処理を含めた浄水システム全体での評価も行い、実施への適用条件を整理していく予定である。

【参考文献】

- 1) 表義雄, 長塩大司, 花元隆司, 布光昭, 水澤秀樹, 周藤孝雄; 凝集沈澱代替プロセスとしての生物高速ろ過に関する研究, 第49回全国水道研究発表会講演集, (1998), p.154
- 2) 辻猛志, 水澤秀樹, 花元隆司; 凝集沈澱代替プロセスとしての生物高速ろ過に関する研究(II), 第50回全国水道研究発表会講演集, (1999), p.150

連絡先

玉井 秀 恭 環境装置事業部
製品開発室
TEL 078-992-6532
FAX 078-992-6503
E-mail h.tamai@pantec.co.jp

水澤 秀 樹 環境装置事業部
技術部
第2技術室
TEL 078-232-8102
FAX 078-232-8056
E-mail h.mizusawa@pantec.co.jp

知福 博 行 環境装置事業部
製品開発室
担当次長
TEL 078-992-6532
FAX 078-992-6503
E-mail h.chifuku@pantec.co.jp