

2) アルミニウム、鉄の挙動

前項で報告した凝集沈澱処理の各条件における、アルミニウムと鉄の水質試験結果を表-3.6, 7に示す。

鉄系凝集剤を使用する場合には、凝集沈澱処理水中の鉄濃度が PAC と比較して高くなったが、ろ過処理水では検出下限値未満であった。ろ過水処理水中のアルミニウム濃度は鉄系凝集剤を使用した場合の方が低く抑えられた。

表-3.6 アルミニウム濃度の比較

	凝集条件	原水	沈澱処理水	ろ過処理水 (単層)
(高水温期)				
1	塩鉄 [30]	1.85	0.04	<0.027
	PAC [30]		0.15	0.03
2	塩鉄 [30] + 弱アニオン [0.05]	0.98	0.03	<0.027
	PAC [30]		0.19	0.04
3	塩鉄 [30] + ノニオン [0.05]	0.92	0.03	<0.027
	PAC [30]		0.21	0.04
4	硫酸ばんど [30] + 弱アニオン [0.05]	0.45	0.57	<0.027
	PAC [25]		0.32	0.035
(低水温期)				
5	PAC [20] + 弱アニオン [0.05]	0.36	0.36	0.033
	PAC [25]		0.33	0.030
6	PAC [25] + 弱アニオン [0.05]	0.22	0.40	0.029
	PAC [25]		0.39	0.033
7	PAC [20] + ノニオン [0.05]	0.24	0.34	<0.027
	PAC [25]		0.32	<0.027
8	塩鉄 [25] + 弱アニオン [0.05]	0.17	<0.027	<0.027
	PAC [25]		0.41	<0.027
9	塩鉄 [30] + 弱アニオン [0.05]	0.14	<0.027	<0.027
	PAC [25]		0.31	<0.027
10	塩鉄 [30] + ノニオン [0.05]	0.20	<0.027	<0.027
	PAC [30]		0.42	<0.027

単位：mg/L

表-3.7 鉄濃度の比較

	凝集条件	原水	沈澱処理水	ろ過処理水 (単層)
(高水温期)				
1	塩鉄 [30]	1.27	0.25	<0.0055
	PAC [30]		0.02	<0.0055
2	塩鉄 [30] + 弱アニオン [0.05]	0.79	0.36	<0.0055
	PAC [30]		0.04	<0.0055
3	塩鉄 [30] + アニオン [0.05]	0.77	0.33	<0.0055
	PAC [30]		0.02	<0.0055
4	硫酸ばんど [30] + 弱アニオン [0.05]	0.33	0.05	0.007
	PAC [25]		0.02	<0.0055
(低水温期)				
5	PAC [20] + 弱アニオン [0.05]	0.26	0.03	<0.0055
	PAC [25]		0.02	<0.0055
6	PAC [25] + 弱アニオン [0.05]	0.21	0.03	<0.0055
	PAC [25]		0.03	<0.0055
7	PAC [20] + アニオン [0.05]	0.23	0.03	<0.0055
	PAC [25]		0.02	<0.0055
8	塩鉄 [25] + 弱アニオン [0.05]	0.15	0.57	<0.0055
	PAC [25]		0.02	<0.0055
9	塩鉄 [30] + 弱アニオン [0.05]	0.14	0.57	<0.0055
	PAC [25]		0.02	<0.0055
10	塩鉄 [30] + アニオン [0.05]	0.19	0.55	<0.0055
	PAC [30]		0.03	<0.0055

単位：mg/L

### 3) 高分子凝集剤注入率の検討

高水温期の凝集剤比較実験では、PAC と高分子凝集剤の併用によるトレーサー粒子処理性の改善効果は特に認められず、その要因の一つとして、併用時の PAC 注入率を単独時の 80 %としたことをあげた。そこで、同じ高水温期において、併用時の PAC 注入率を 100 %とした時の高分子凝集剤併用効果の確認を行った。併せて、高分子凝集剤の注入率を変化させ、処理性の比較を行った。

図-3.7 に各凝集剤条件におけるトレーサー除去率 ( $\log_{10}$ ) の平均値を示す。

この実験からは、PAC 単独処理に対する高分子凝集剤の併用効果は認められず、逆に注入率 0.5 mg/L というような高分子凝集剤の過剰注入は、処理性の悪化を招くことが明らかとなった。

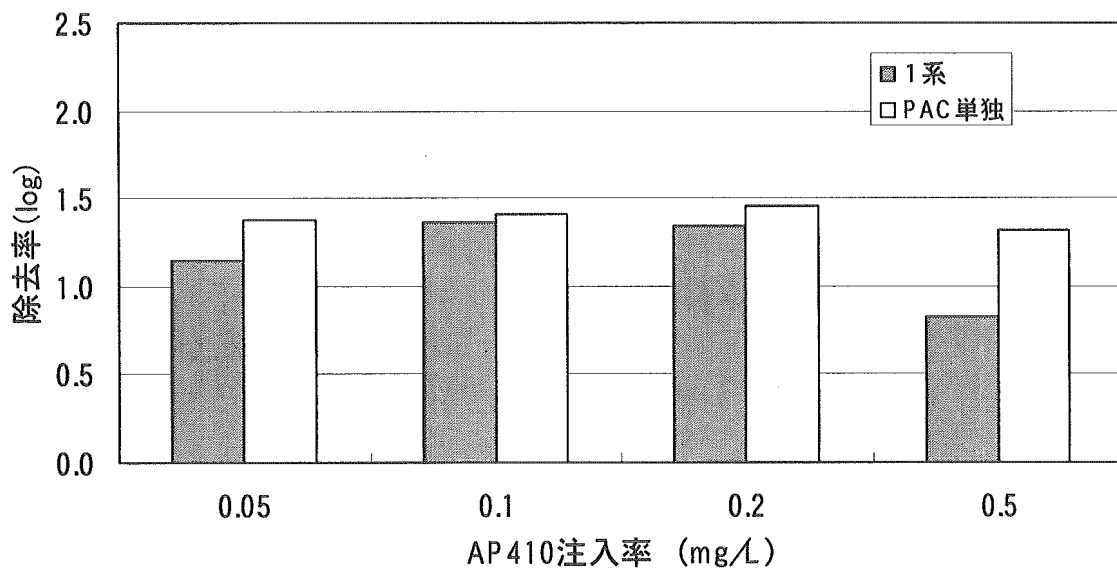


図-3.7 高分子凝集剤注入率とトレーサー除去率の関係 (凝集沈澱処理)

### 3. 2 凝集操作条件の比較検討実験

#### (1) 実験条件

##### 1) 検討凝集剤と検討項目

実験に使用する凝集剤は、国内で最も広く使用されている PAC とした。また、実験における比較検討項目および評価手段は下表の通りである。

表-3.8 使用凝集剤と検討項目

検討凝集剤	検討項目 (因子)	評価手段
・ PAC	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入率</li> <li>・ 凝集 pH</li> <li>・ 攪拌強度</li> </ul>	《連続監視》 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 濁度</li> <li>・ 粒子数</li> </ul> 《随時監視》 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ トリサ-除去率</li> <li>・ ろ過塔損失水頭</li> </ul>

##### 2) 凝集沈澱処理条件

実験は、高水温期（平成 15 年 9～10 月）と低水温期（平成 16 年 2～3 月）の 2 期間に分けて行い、水温変化による処理特性の比較も併せて行った。

高水温期及び低水温期の実験条件を下表にまとめる。凝集操作条件として①凝集剤注入率（注入比）、②凝集 pH、③急速混和池の攪拌強度を変化させて、データを収集した。

表-3.9 (1) 実験条件(1)

【高水温期】

	原水 濁度	1 系			2 系		
		注入比 (-)	pH (-)	急攪 G 値 (s <sup>-1</sup> )	注入比 (-)	pH (-)	急攪 G 値 (s <sup>-1</sup> )
Run H-1	14.0	1.0	7.3	100	1.0	7.3	300
Run H-2	18.6	1.0	7.3	300	1.0	7.3	500
Run H-3	18.1	1.0	7.3	200	1.0	無調整	200
Run H-4	16.2	1.0	6.3	200	1.0	6.8	200
Run H-5	12.0	1.2	7.3	200	1.5	7.3	200
Run H-6	11.8	2.0	7.3	200			

- 凝集剤注入比は、西谷浄水場の実注入率（高水温期：26～30 mg-PAC/L）に対する倍率。
- 緩速攪拌条件は変化させない。

表-3.9 (2) 実験条件(2)

【低水温期】

	原水濁度	1系			2系		
		注入比(-)	pH(-)	急攪G値(s <sup>-1</sup> )	注入比(-)	pH(-)	急攪G値(s <sup>-1</sup> )
Run L-1	7.6	1.0	7.3	100	1.0	7.3	300
Run L-2	7.3	1.0	7.3	300	1.0	7.3	500
Run L-3	7.8	1.0	7.3	200	1.0	無調整	200
Run L-4	6.6	1.0	6.3	200	1.0	6.8	200
Run L-5	6.4	1.2	7.3	200	1.5	7.3	200

- 凝集剤注入比は、西谷浄水場の実注入率（低水温期 22~24 mg-PAC/L）に対する倍率。
- 緩速攪拌条件は変化させない。

### 3) 急速ろ過処理条件

- 単層（けい砂×600 mm）
- ろ過速度 LV = 150 m/d

## (2) 実験結果

### 1) 凝集剤注入率と沈澱処理性の関係

沈澱処理水の濁度、粒子数（3~10 μm）、トレーサーを指標として凝集剤注入率と処理性の関係を検証した。〔図-3.9~3.11〕

高水温期の実験では凝集剤注入率を西谷浄水場における実注入率（以下、通常注入率と称す）を基準として1.0~2.0倍に変化させた。この結果、濁度、粒子数（3~10 μm）、トレーサー数のいずれについても、注入率の増加による効果が認められた。トレーサー除去率で見ると、1.2倍の凝集剤注入率で通常注入率に比して0.3 log<sub>10</sub>程度、2倍では0.7 log<sub>10</sub>程度、除去性が向上した。

低水温期の実験では凝集剤注入率を西谷浄水場における実注入率を基準として1.0~1.5倍に変化させた。この結果、高水温期と同様にトレーサー除去率で見ると、1.5倍の凝集剤注入率では通常注入率に比して0.2 log<sub>10</sub>程度の除去性向上が認められた。

ただし、低水温期と高水温期では通常注入率においてトレーサー除去率に0.5 log<sub>10</sub>程度の差異があり、注入率増加に伴う除去率の向上効果も低水温期では低調であった。

低水温期は濁度が低いため懸濁質に対して凝集剤の注入率が相対的に高くなり、生成したフロクの密度が小さくなること、水の粘性が大きくなること等によりフロクの沈降速度が小さくなるため、除去率は低下する。従って、低水温期においては、凝集剤注入率を増加させて沈澱処理水質を向上させる方策だけではなく、後段の急速ろ過工程における処理性も加えて評価を行い、最終の浄水処理水質を管理する上で適切な運転管理計画を検討する必要があると考えられる。

一方、凝集剤注入率を増加させると、沈澱池からキャリーオーバーする微フロクが

増加し、後段の急速ろ過池への負荷が増大することが懸念されたが今回の実験では、凝集剤注入率が急速ろ過池の損失水頭に与える影響は、特に認められなかった。〔図-3.8〕

## 2) 凝集 pH と沈澱処理性の関係 〔図-3.12~3.14〕

高水温期、低水温期共に、pH = 6.8~7.3 の中性付近で処理性が最も高くなることが確認された、PAC は最適な凝集 pH の範囲が中性域で比較的広いことが知られているが、その中であっても、最適な凝集 pH 条件を探索することはクリプトスポリジウムに対する安全性を高める上で有用であることが示唆された。

## 3) 急速攪拌強度と沈澱処理性の関係 〔図-3.15~3.17〕

今回の実験では、G 値 =  $200 \text{ s}^{-1}$  で処理性が最も高くなった。

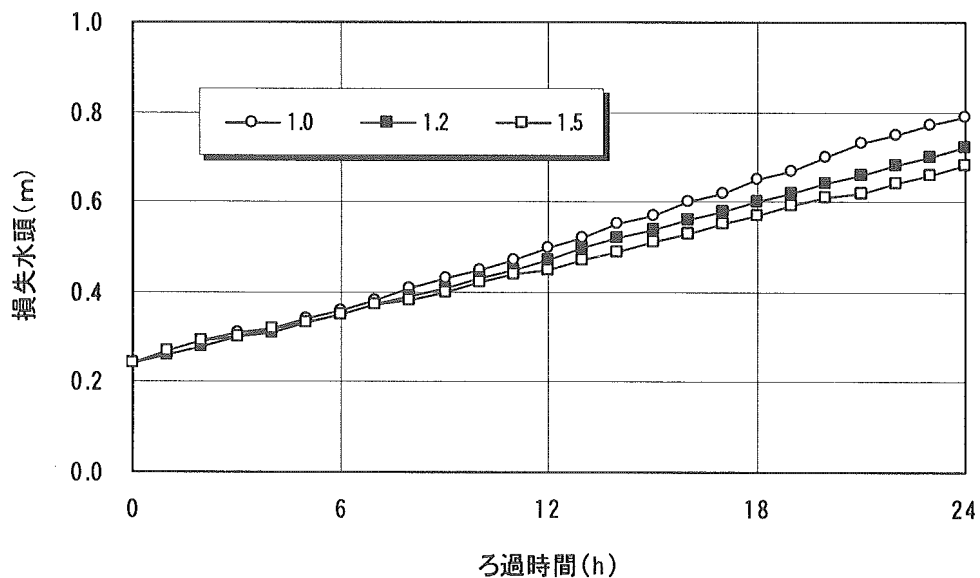


図-3.8 急速ろ過損失水頭と PAC 注入比の関係

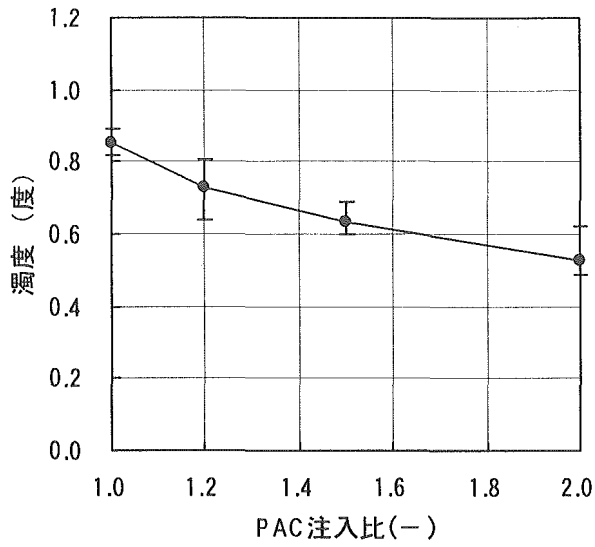


図-3.9H 沈澱水濁度と PAC 注入比(高水温)

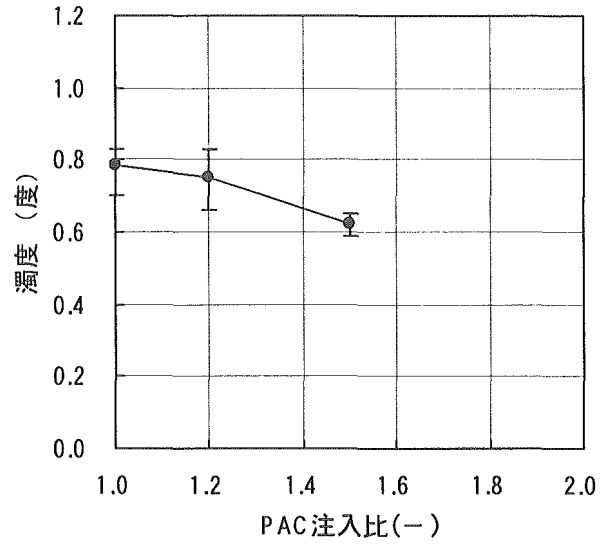


図-3.9L 沈澱水濁度と PAC 注入比(低水温)

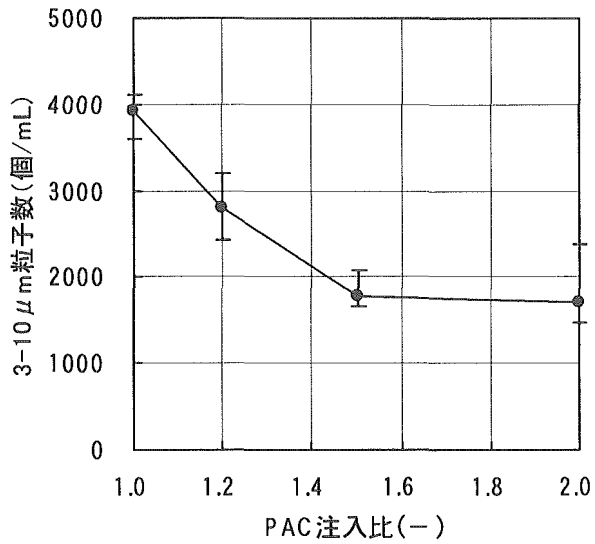


図-3.10H 沈澱水粒子数と PAC 注入比(高水温)

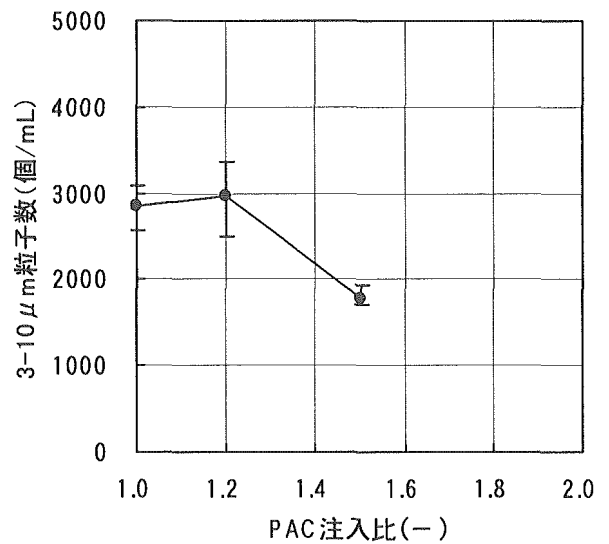


図-3.10L 沈澱水粒子数と PAC 注入比(低水温)

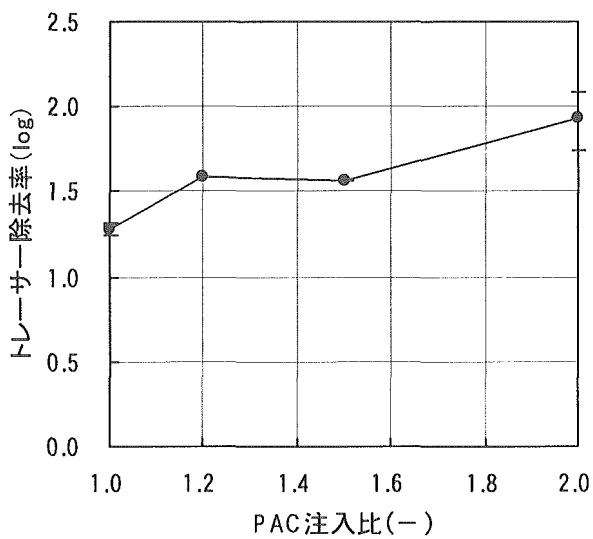


図-3.11H トレーサー除去率と PAC 注入比(高水温)

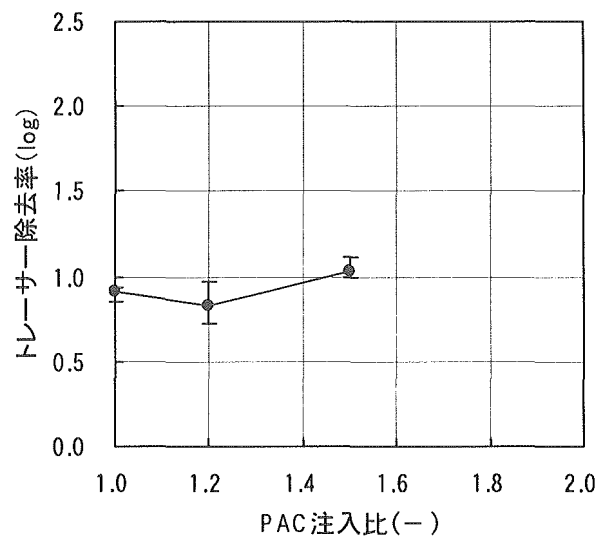


図-3.11L トレーサー除去率と PAC 注入比(低水温)

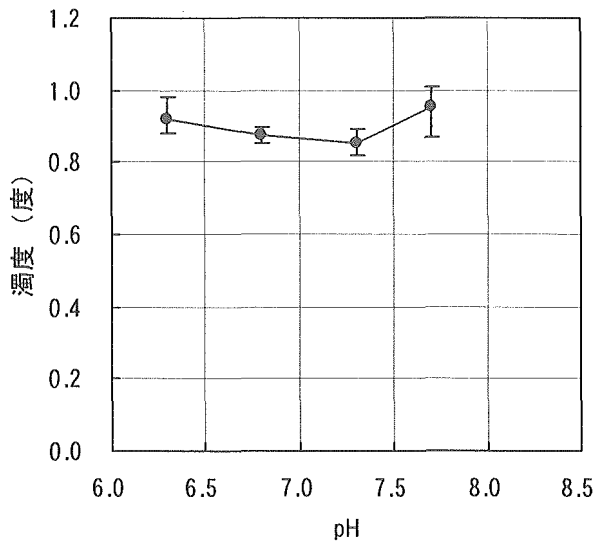


図-3.12H 沈澱水濁度と凝集 pH(高水)

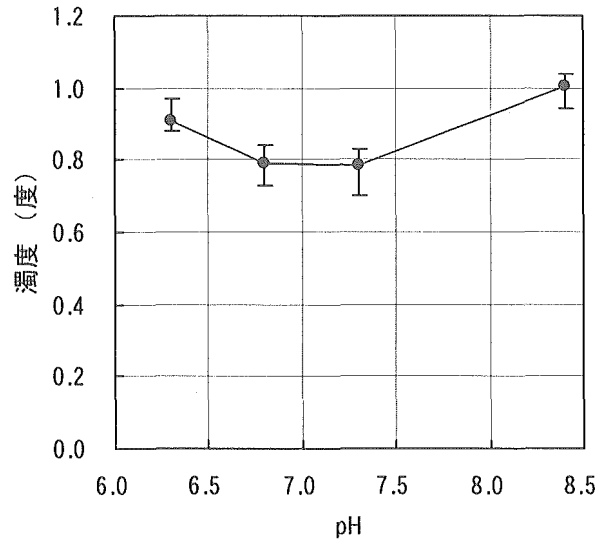


図-3.12L 沈澱水濁度と凝集 pH(低水)

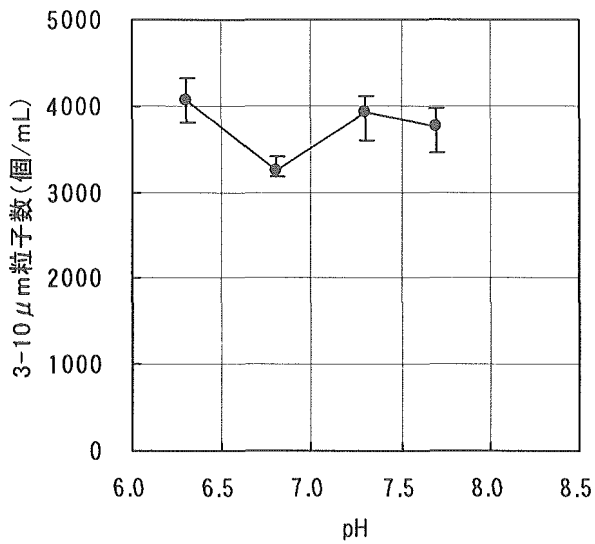


図-3.13L 沈澱水粒子数と凝集 pH(低水)

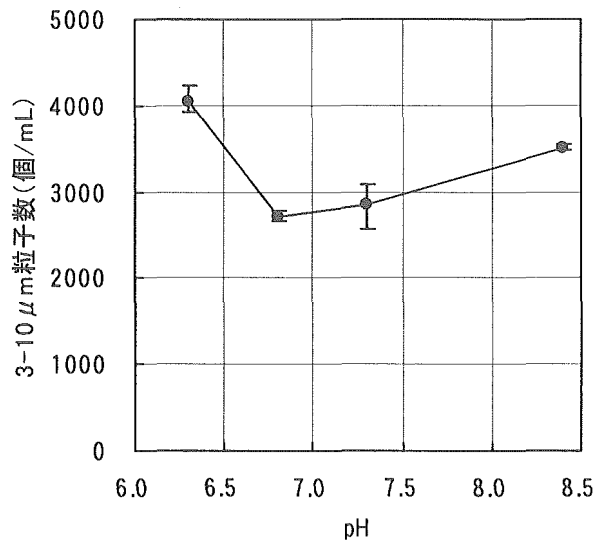


図-3.13H 沈澱水粒子数と凝集 pH(高水)

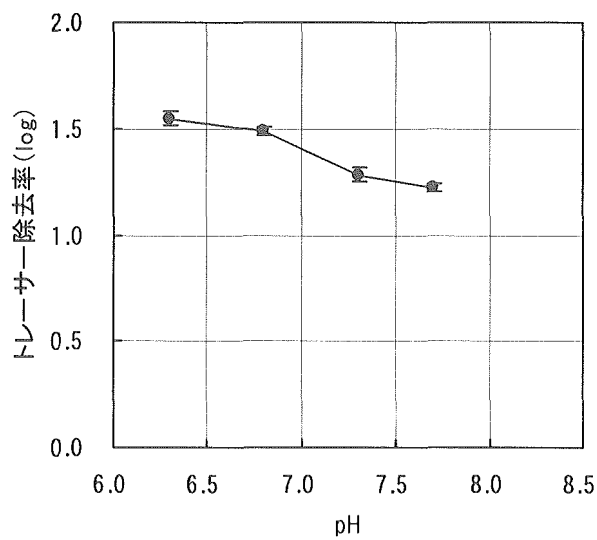


図-3.14H トリマー除去率と凝集 pH(高水)

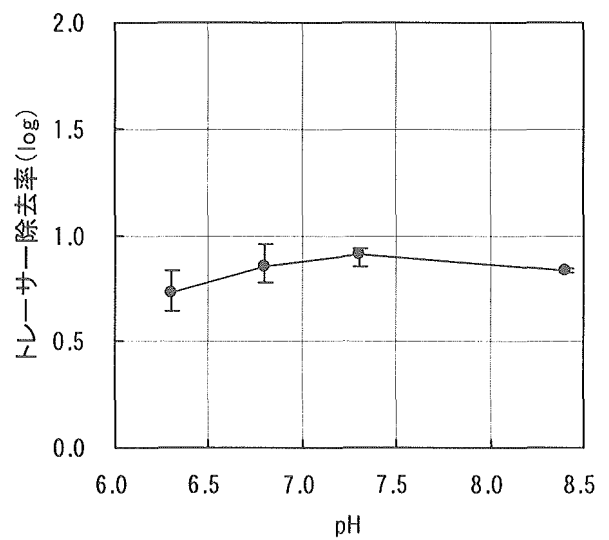


図-3.14L トリマー除去率と凝集 pH(低水)



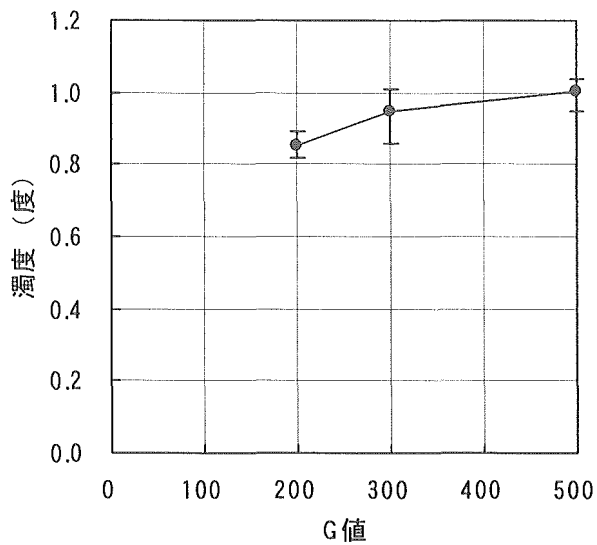


図-3.15H 沈澱水濁度と急攪G値(高水温)

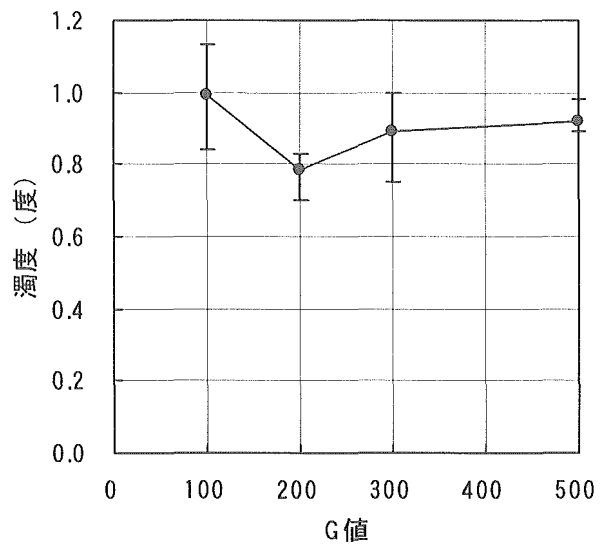


図-3.15L 沈澱水濁度と急攪G値(低水温)

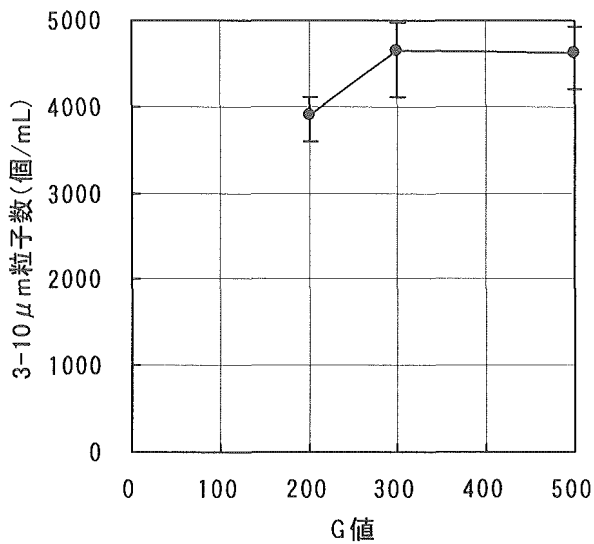


図-3.16H 沈澱水粒子数と急攪G値(高水温)

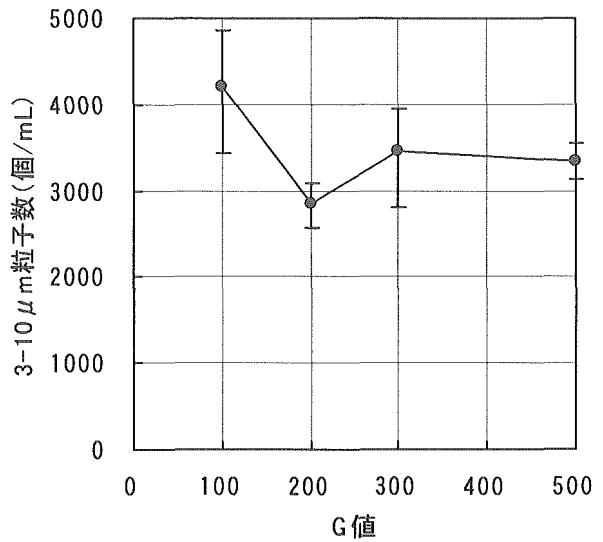


図-3.16L 沈澱水粒子数と急攪G値(低水温)

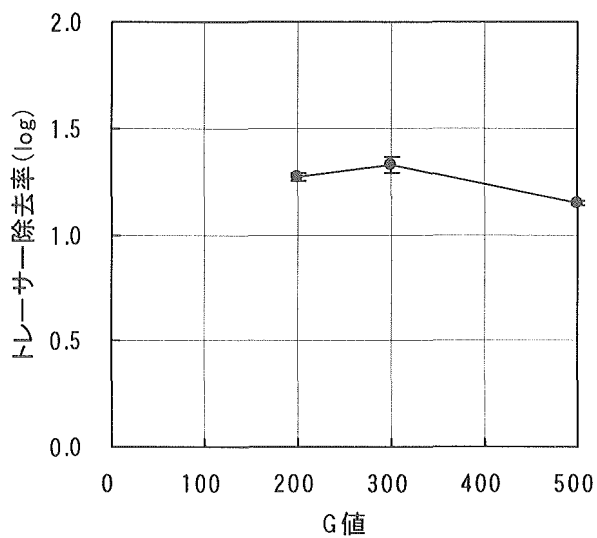


図-3.17H トレーサ除去率と急攪G値(高水温)

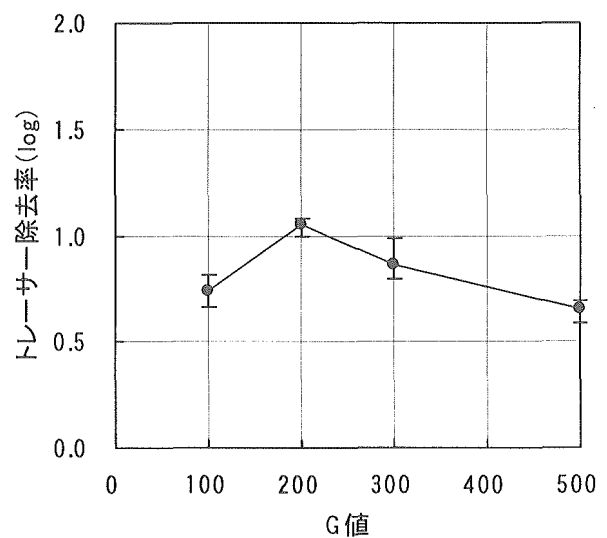


図-3.17L トレーサ除去率と急攪G値(低水温)

#### 4. 急速ろ過プロセスにおける運転管理技術の開発

##### 4. 1 ろ層条件の比較検討

###### (1) 実験条件

###### 1) 検討項目

単層、2層、3層のろ層条件について、処理性の比較検討を行った。前段の凝集沈澱処理では、PACの他に、低水温期に処理性が良好であった塩化第二鉄、塩化第二鉄+ノニオン系高分子凝集剤を用いた。実験における比較検討項目および評価手段は下表の通りである。

表-4.1 検討項目と評価手段

検討ろ層	凝集剤の種類	評価手段
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 単層ろ過 (けい砂)</li> <li>・ 2層ろ過 (アンスラサイト+けい砂)</li> <li>・ 3層ろ過 (アンスラサイト+けい砂+ガ-ネット)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ PAC</li> <li>・ 塩化第二鉄</li> <li>・ 塩化第二鉄+高分子凝集剤 (ノニオン)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 濁度</li> <li>・ 粒子数</li> <li>・ トレーサー数</li> </ul>

###### 2) 凝集沈澱処理条件

凝集沈澱処理の凝集剤注入条件は下表の通りとした。

表-4.2 凝集沈澱処理条件

No.	1系	2系
1	塩鉄 [30]	PAC [30]
2	塩鉄 [30]+ノニオン [0.05]	PAC [30]

[ ]内注入率 単位 mg/L

###### 3) 急速ろ過処理条件

1, 2系共、ろ層構成およびろ過速度を以下の通りとした。

表-4.3 砂ろ過カラムの実験条件

No.	ろ層構成 [層厚 (有効径)]			LV (m/d)
	(上層)アンスラサイト	(中層)けい砂	(下層)ガ-ネット	
1	—	600 mm (0.6 mm)	—	150
2	300 mm (1.4 mm)	500 mm (0.6 mm)	—	300
3	420 mm (1.4 mm)	230 mm (0.6 mm)	110 mm (90%通過径:0.6 mm)	300

## (2) 実験結果

低水温期に処理性が良好であった塩化第二鉄、塩化第二鉄＋ノニオン系高分子凝集剤を用いた時の各ろ層条件におけるろ過処理性について、PAC 処理との比較検討を行った。この結果を図-4.1, 2 に示す。

この実験により、以下のような結果が得られた。

- ・ PAC、塩化第二鉄、塩化第二鉄＋高分子凝集剤の何れにおいても、単層、LV=150 m/d の条件では、初期漏出を除いて、50 時間のろ過時間中にトレーサー粒子の流出は見られなかった。
- ・ LV=300 m/d の高速ろ過では、ろ層を多層とした場合においても、ろ過後半のトレーサー粒子および濁度の流出が認められた。
- ・ 高速ろ過の場合、PAC に比較して鉄系凝集剤の方が、粒子が漏出し始めるまでのろ過時間が長くなった。また、漏出開始後の濁度、粒子数も低く抑えられていた。ただし、粒子漏出時における値を比較すると、3~10  $\mu\text{m}$  の粒子数は鉄系の場合 PAC に比して 1/4 ~ 1/10 に低減されていたのに対し、トレーサー粒子数では 1/2 程度の低減に留まっていた。これは、3~10  $\mu\text{m}$  の粒子の中でも特に 6  $\mu\text{m}$  以上の粗大粒子の除去改善効果が相対的に高くなっていたためと考えられる。
- ・ 2 層ろ過と 3 層ろ過の比較では、PAC 処理条件において、2 層よりも 3 層の方がトレーサー粒子等が流出し始めるまでのろ過時間を長くできることが明らかとなった。
- ・ トレーサー数、粒子数、濁度とも漏出開始までのろ過時間、その後の変化のパターンはほぼ同様であった。

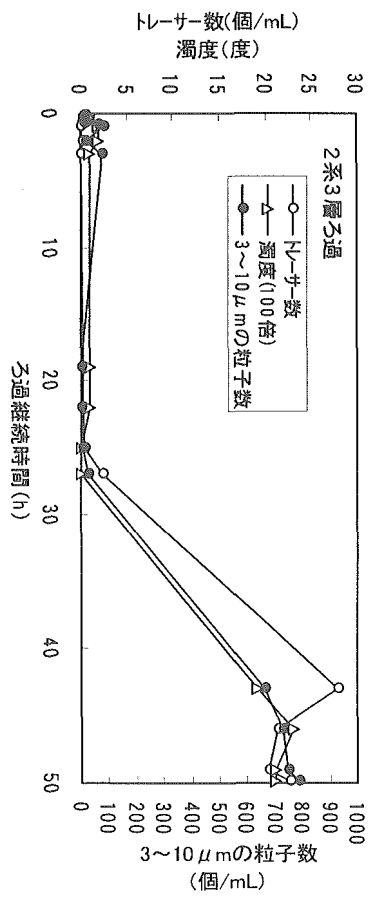
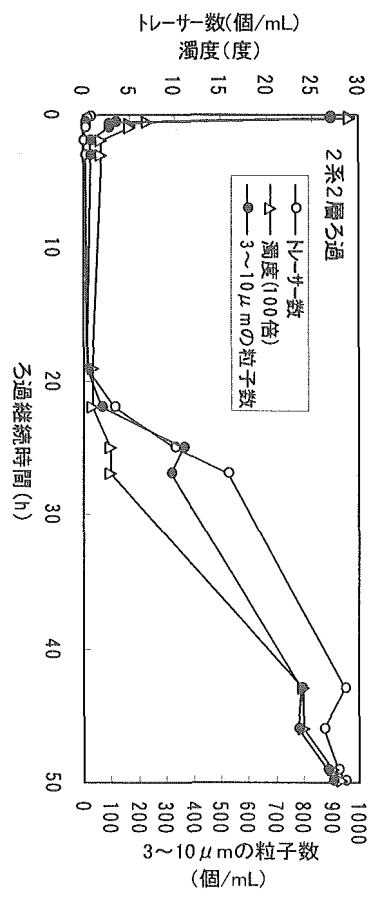
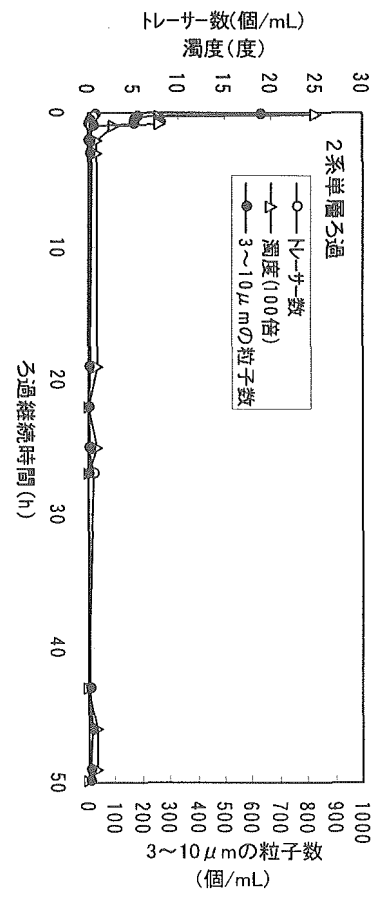
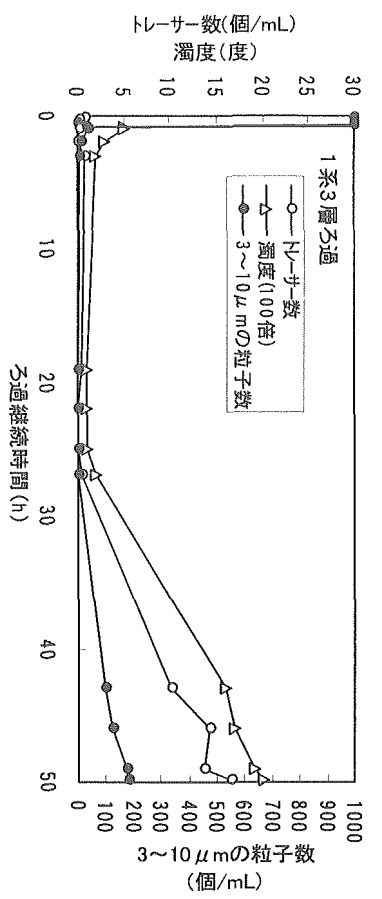
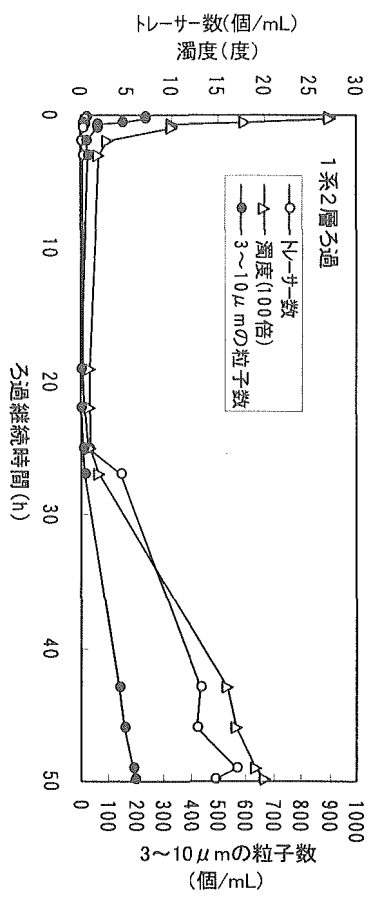
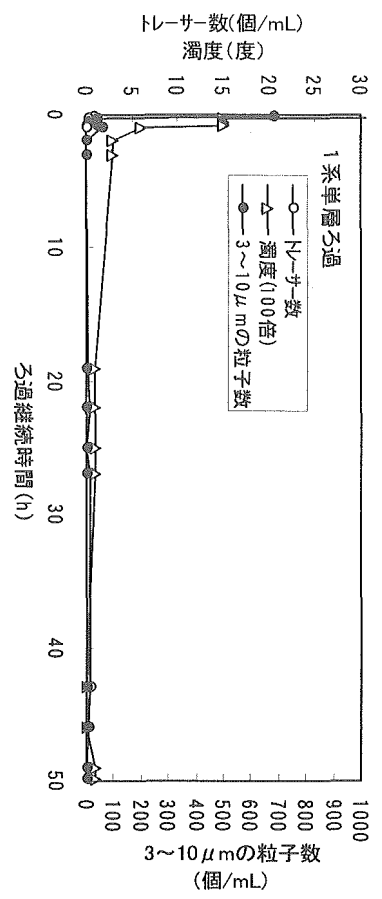


図-4.1 ろ過処理水の経時変化 (1系: 塩鉄 30 mg/L 2系: PAC 30 mg/L)

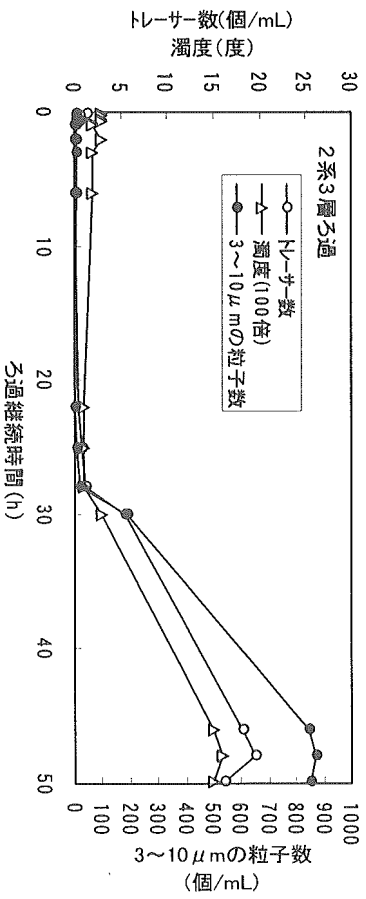
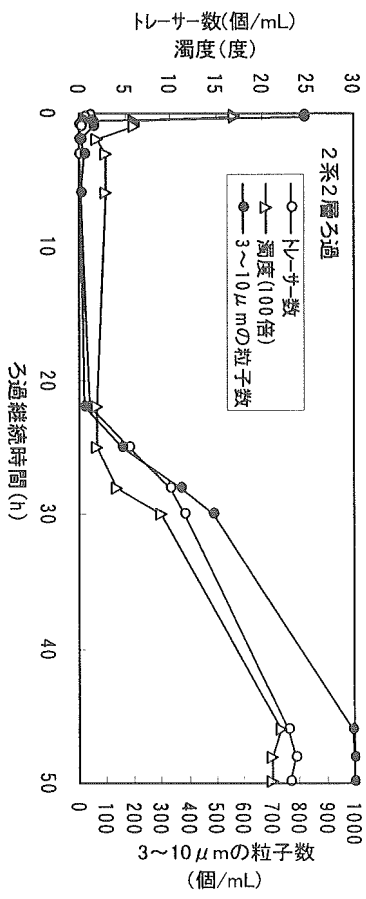
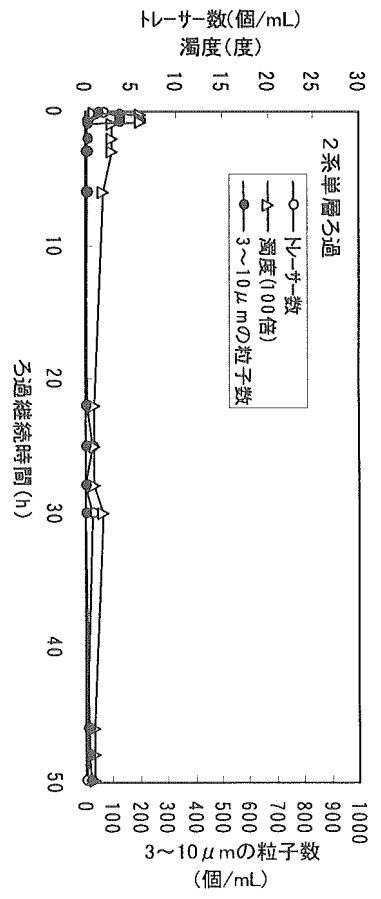
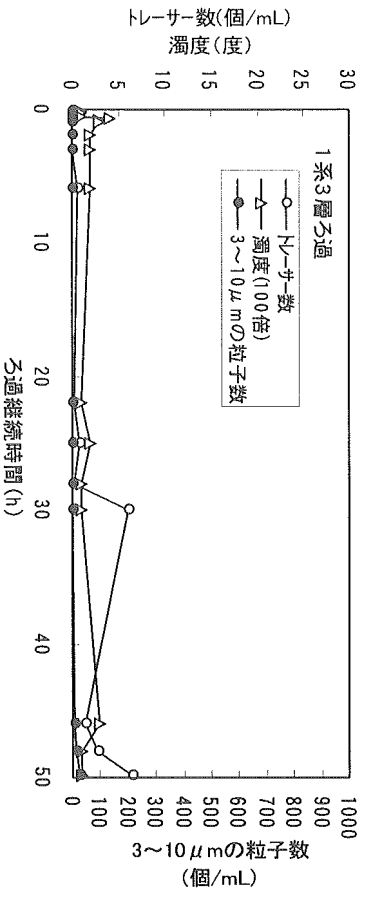
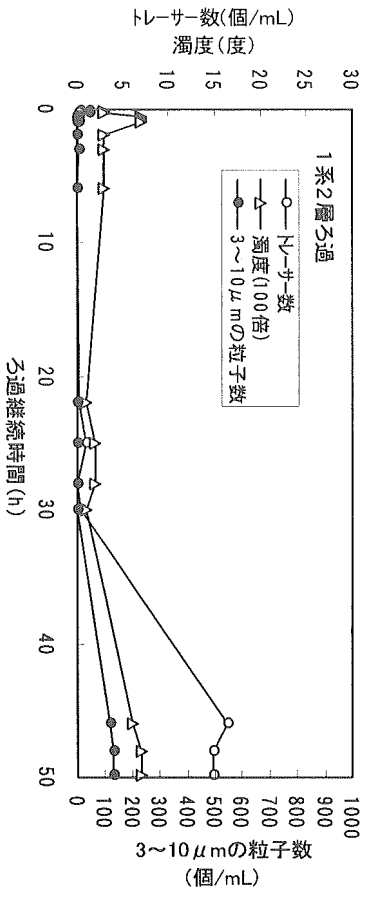
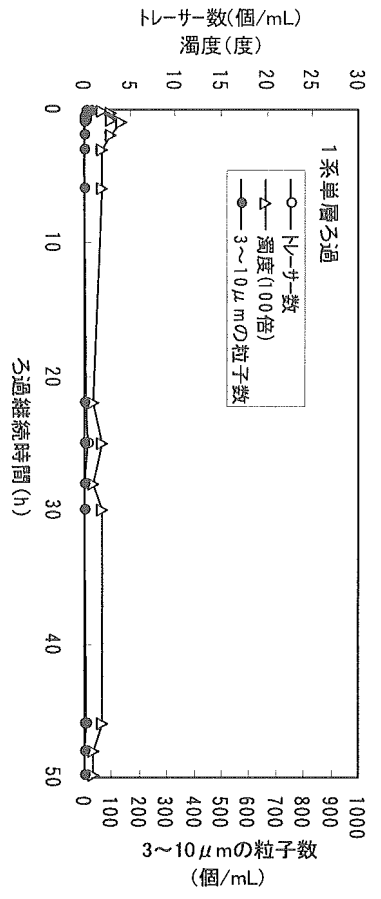


図-4.2 ろ過処理水の経時変化 (1系: 塩鉄 30 mg/L + ノニオン 0.05 mg/L 2系: PAC 30 mg/L)

## 4. 2 ろ材の凝集剤被覆に関する検討

### (1) 実験方法

#### 1) 検討操作と検討項目

ろ材を凝集剤で被覆する方法として、図-4.3 に示す 2 種類の方法で実験を行った。

#### a) 未ろ水への凝集剤添加

未ろ水（凝集沈澱処理水）に少量の凝集剤を添加した後、急速ろ過処理を行う、いわゆる再凝集操作が急速ろ過処理水の水質に及ぼす効果を検討した。実験における比較検討項目および評価手段は下表の通りである。

##### ① 沈澱処理

PAC 通常処理の沈澱処理水を使用した。

##### ② ろ過処理

表-4.4 検討項目と評価手段

検討池（ろ過）	検討項目（因子）	評価手段
高水温期 ・単層ろ過（けい砂） ・複層ろ過（けい砂+アンスラサイト）  低水温期 ・単層ろ過（けい砂）	・再凝集剤注入率 ・再凝集攪拌強度	《随時監視》 ・濁度 ・粒子数 ・損失水頭 ・ろ過継続時間 ・トリサ-除去率

#### b) 逆洗水への凝集剤添加

凝集剤を添加した逆洗用水を用いてろ材の逆洗を行うことで、ろ過工程の前に予めろ材を凝集剤で覆い、微粒子の初期漏出を低減化する効果を検討した。実験における比較検討項目および評価手段は下表の通りである。

##### ① 沈澱処理

PAC 通常処理の沈澱処理水を使用した。

##### ② ろ過処理

表-4.5 検討項目と評価手段

検討池（ろ過）	検討項目（因子）	評価手段
高水温期 ・単層ろ過（けい砂） ・複層ろ過（けい砂+アンスラサイト）  低水温期 ・単層ろ過（けい砂）	高水温期 ・凝集剤添加の有無  低水温期 ・凝集剤注入率 ・凝集剤注入時間	《随時監視》 ・濁度 ・粒子数 ・損失水頭 ・トリサ-除去率 ・アルミニウム

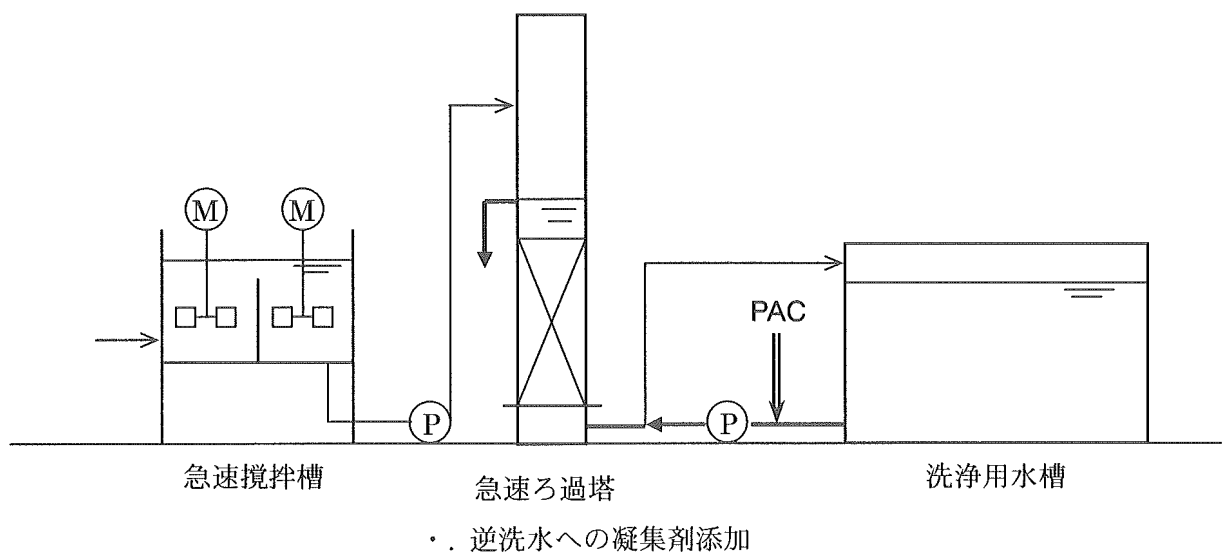
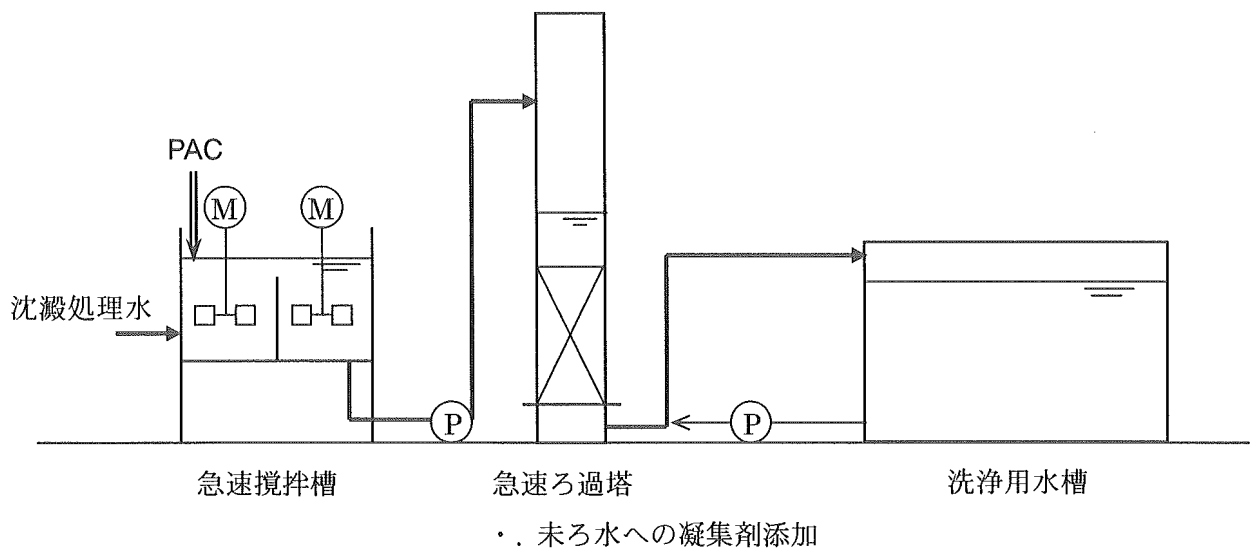


図-4.3 凝集剤添加実験フロー

1) 実験条件

a) 未ろ水への凝集剤添加 (再凝集)

実験は、高水温期 (平成 15 年 10 月) と低水温期 (平成 16 年 3 月) の 2 期間に分けて行った。

高水温期及び低水温期の実験条件を表-4.6 にまとめる。再凝集条件として①再凝集剤注入率、②再凝集混和池の攪拌強度を変化させて、データを収集した。

表-4.6 実験条件（未ろ水への凝集剤添加）

【高水温期】

	ろ層	1系		2系	
		注入率 (mg/L)	急攪G値 (s <sup>-1</sup> )	注入率 (mg/L)	急攪G値 (s <sup>-1</sup> )
Run H-1	複層	なし	300	0.1	300
Run H-2		1.0	300	3.0	300
Run H-3		3.0	100	3.0	500
Run H-4	単層	なし	300	0.1	300
Run H-5		1.0	300	3.0	300

【低水温期】

	ろ層	1系		2系	
		注入率 (mg/L)	急攪G値 (s <sup>-1</sup> )	注入率 (mg/L)	急攪G値 (s <sup>-1</sup> )
Run L-1	単層	なし	300	0.1	300
Run L-2		1.0	300	3.0	300
Run L-3		3.0	100	3.0	500

- 再凝集剤は PAC を用いる。
- 再凝集 pH は無調整とする。
- ろ過速度は、単層：120 m/d、 複層：240 m/d

b) 逆洗水への凝集剤添加

実験は、高水温期（平成 15 年 10 月）と低水温期（平成 16 年 3 月及び平成 17 年 2～3 月）の 3 期間に分けて行った。

高水温期及び低水温期の実験条件を表-4.7 にまとめる。高水温期には逆洗への凝集剤添加の有無のみを比較したが、低水温期にはこの結果を踏まえ、①凝集剤注入率、②注入時間を変化させて、データを収集した。



表-4.7 実験条件（逆洗水への凝集剤添加）

【高水温期】

	ろ層	1系		2系	
		注入率 (mg/L)	注入時間	注入率 (mg/L)	注入時間
Run H-1	単層	なし	—	10.0	10分
Run H-2	複層	なし	—	10.0	10分

【低水温期 1；平成 16 年 3 月】

	ろ層	1系		2系	
		注入率 (mg/L)	注入時間	注入率 (mg/L)	注入時間
Run L-1	単層	なし	—	10.0	10分
Run L-2		5.0	10分	なし	—
Run L-3		5.0	後半 5分	5.0	前半 5分
Run L-4		5.0	後半 5分	5.0	終了前 2分

【低水温期 2；平成 17 年 2～3 月】

	ろ層	1系		2系	
		注入率 (mg/L)	注入時間	注入率 (mg/L)	注入時間
Run L-5	単層	なし	—	10.0	10分
Run L-6		5.0	10分	なし	—
Run L-7		なし	—	3.0	10分
Run L-8		2.0	10分	なし	—
Run L-9		なし	—	1.0	10分
Run L-10		2.0	後半 5分	なし	—
Run L-11		なし	—	2.0	終了前 2分
Run L-12		2.0	終了前 1分	なし	—

- 凝集剤被覆の方法は、逆洗水に凝集剤を添加することによる、上向流被覆方式とする。
- 注入時間は、水逆洗時間 10 分の中で設定した。
- 凝集剤は PAC を用いる。
- ろ過速度は、単層：120 m/d、 複層：240 m/d

## (2) 実験結果と考察

### 1) 未ろ水への凝集剤添加

#### a) 再凝集剤注入率とろ過処理性の関係 [図-4.2~11, 4.17~21]

高水温期の実験では、単層、複層とも、濁度および粒子数については、再凝集剤注入率 1 mg/L 以上の条件でろ過処理性の改善効果が認められた。その効果は凝集剤注入率が高いほど大きく、24 時間後のろ過水濁度では再凝集を行わない場合と比較して、80 %以上の低減効果が認められた。

一方、トレーサー数については単層の場合では顕著な低減効果は認められなかったが、複層では、濁度、粒子数と同様の低減効果が認められた。

また、損失水頭を見ると、再凝集剤注入率 3 mg/L の場合、24 時間後には単層で 1600 mm に達していたのに対し、複層ではろ速が大きいにもかかわらず 1000 mm 程度にとどまっており、再凝集処理を行う場合には、複層ろ層がろ過池の効率的な運用面で有利であることが示された。

低水温期においては、単層でもトレーサー数の低減効果が認められた。

初期漏出が認められる時間を除いた、ろ過開始後 3 時間以降の平均除去率(log)は以下の通りであった。

表-4.8 再凝集剤注入率とトレーサー除去率の関係

ろ過条件	再凝集剤注入率	なし	0.1 mg/L	1.0 mg/L	3.0 mg/L
	単層 (高水温期)		1.86	1.72	1.59
複層 (高水温期)		1.63	1.55	1.70	2.61
単層 (低水温期)		1.49	1.27	2.31	2.16

#### b) 再凝集槽の攪拌強度とろ過処理性の関係 [図-4.12~16, 4.22~26]

再凝集槽における攪拌強度は、ろ過処理性に明確な差を与えなかった。

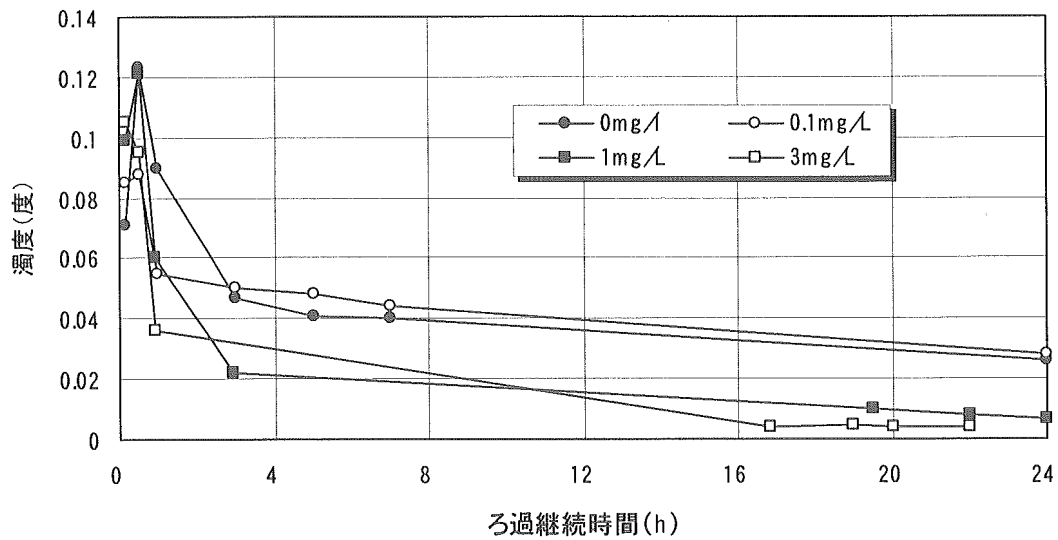


図-4.2 ろ過水濁度と再凝集剤注入率(高水温、単層)

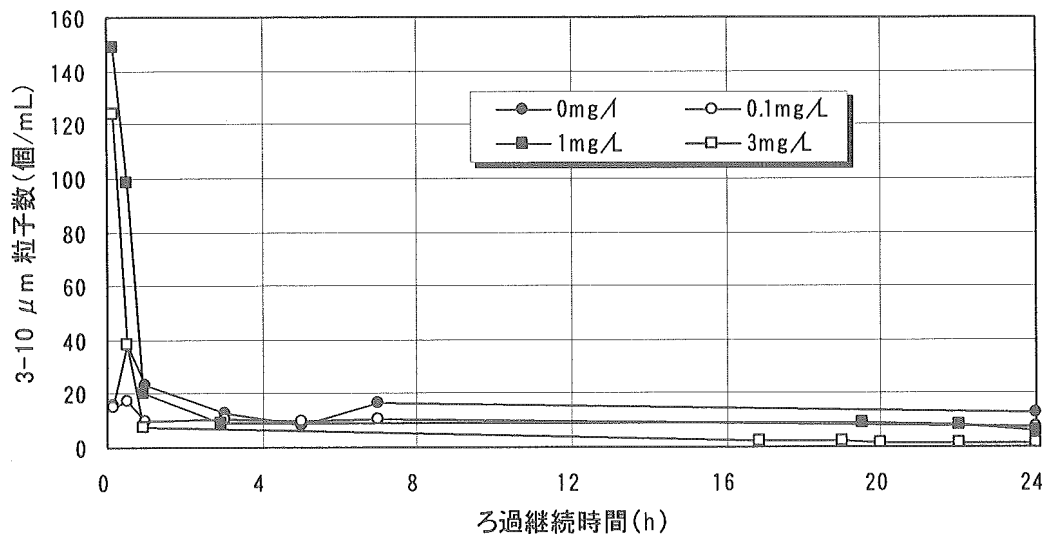


図-4.3 ろ過水粒子数と再凝集剤注入率(高水温、単層)

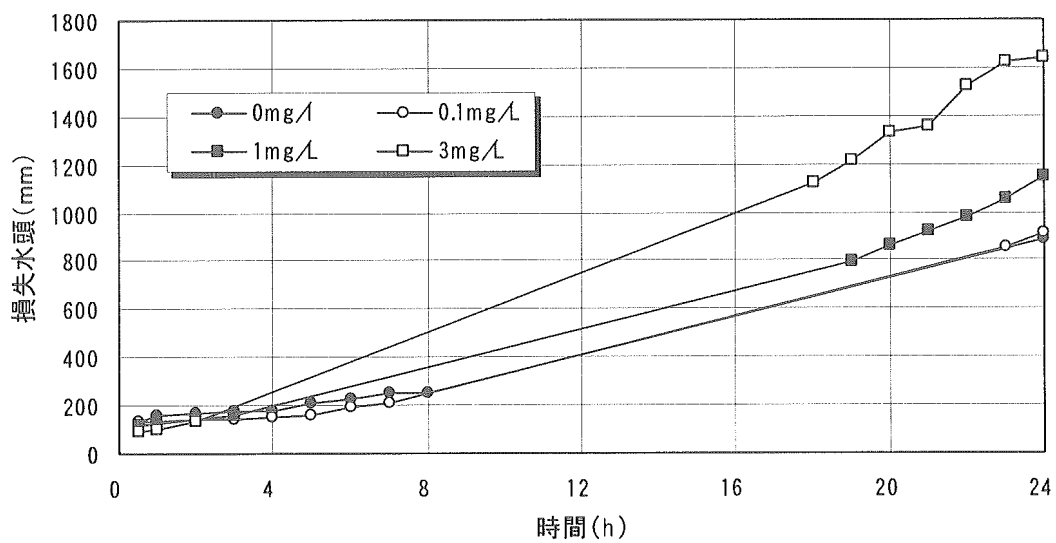


図-4.4 損失水頭と再凝集剤注入率(高水温、単層)

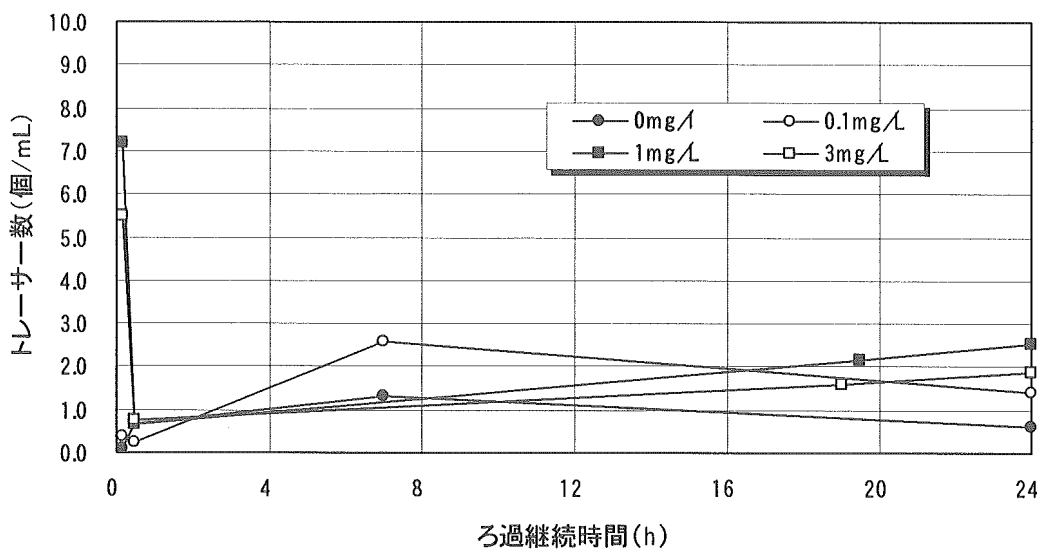


図-4.5 ろ過水トレーサー数と再凝集剤注入率(高水温、単層)

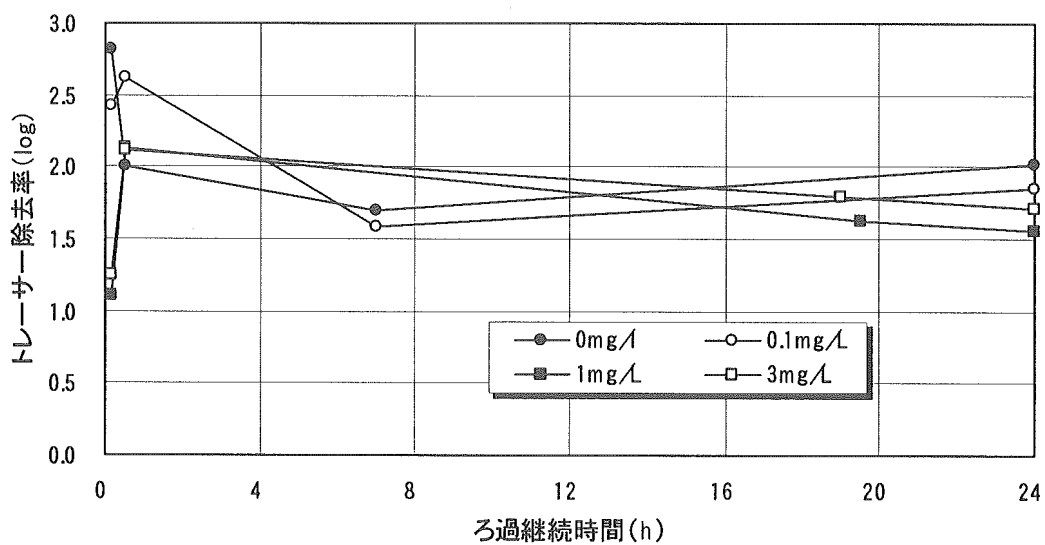


図-4.6 トレーサー除去率と再凝集剤注入率(高水温、単層)