

参考資料

本研究に御尽力・御協力を頂いた関係者名簿

氏名	所属
堤 行彦	株式会社クボタ 上水エンジニアリング 技術部 部長
杉本 隆仁	株式会社クボタ 上水エンジニアリング 部 大阪技術課 担当課長
巨勢 朗	日本光研工業株式会社 技術顧問
木村 繁夫	日本上下水道設計株式会社 水道事業本部 事業本部次長

厚生労働科学研究費補助金

健康科学総合研究事業

『健全な水循環を考慮した感染性微生物対策に関する研究』

平成16年度

分担研究報告書

平成17年3月

財団法人 水道技術研究センター

序にかえて

平成8年に埼玉県越生町にて発生したクリプトスポリジウムの大規模集団感染以来、厚生労働省をはじめ大学、水道事業体等により、クリプトスポリジウムに関する研究が活発に行われております。当センターにおいても平成8年度に厚生省科学研究費補助金により、クリプトスポリジウム等原虫類の全国規模での存在調査を行い、クリプトスポリジウム、ジアルジアなどの原虫類が日本の水道水源にも広く存在していることが明らかになりました。

水道水を介した感染症の発生はその後ありませんが、毎年のように水道原水・浄水からの原虫類の検出事例が報告されており、これらの対策は依然として大きな課題となっております。

対策に関しては、「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を遵守し、浄水処理を適切に行うことにつぎるわけですが、凝集沈澱・急速ろ過工程におけるクリプトスポリジウムの除去に関する知見は十分でなく、除去性能の確認が必要であります。また、紫外線については、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下の低い照射量でクリプトスポリジウムの不活化に有効であることが近年明らかになり、飲料水の安全性を守る技術として注目を集めておりますが、本格的な普及のため、引き続き更なる知見の収集が必要です。

このような状況の中、当センターでは、厚生科学研究費補助金を受けて「健全な水循環を考慮した感染性微生物対策に関する研究」の分担研究として、立命館大学の金子光美教授を委員長とする研究委員会の御指導のもと、「凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発」を平成14年度から3ヵ年計画にて実施しました。本研究は原虫類の浄水過程での除去についてトレーサー粒子を用いた除去実験を行い、凝集操作条件や再凝集の効果等について調査しました。また、紫外線消毒による原虫類の不活化に関する文献調査及び要約を行いました。本報告書はこれらの研究成果を取りまとめたものです。

最後になりましたが、横浜市水道局には実験にご協力頂き、装置運転等につきましては株式会社クボタに御協力を頂きました。日本上下水道設計株式会社には、「紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査」にご協力をいただきました。さらに、日本光研工業株式会社にはクリプト代替粒子の提供にご協力をいただきました。これら関係の皆様にご心より感謝申し上げます。

平成17年3月

(財) 水道技術研究センター
理事長 藤原 正弘

目 次

1. はじめに	i
2. 委員会	ii
3. 研究計画	ii
(1) 研究計画	ii
4. 研究の概要	ii
(1) 凝集沈殿・急速ろ過の運転管理技術の開発	ii
(2) 紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査	iii
第1編 凝集沈殿・急速ろ過の運転管理技術の開発	
研究要旨	
1. 研究目的	1
2. 研究方法	2
2. 1 実験原水	2
2. 2 実験プラント	2
2. 3 急速ろ過塔のろ層条件	4
3. 凝集沈殿プロセスにおける運転管理技術の開発	5
3. 1 塩化第二鉄および有機高分子凝集剤の評価	5
3. 2 凝集操作条件の比較検討実験	14
4. 急速ろ過プロセスにおける運転管理技術の開発	20
4. 1 ろ層条件の比較検討	20
4. 2 ろ材の凝集剤被覆に関する検討	24
5. まとめ	49
5. 1 凝集沈殿工程における運転管理技術について	49
5. 2 急速ろ過工程における運転管理技術について	49
第2編 紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査	
1. はじめに	50
2. 文献リスト	51
3. 文献のジャンル別分類	56
4. 文献抄録	70
参考資料	
本研究に御尽力・御協力頂いた関係者名簿	

1. はじめに

平成 8 年の埼玉県におけるクリプトスポリジウム感染事故以来、水道水を介した感染症発生事例は報告されていないが、厚生労働省による平成 16 年 3 月末現在の調査結果では水道原水のクリプトスポリジウムによる汚染の恐れがある施設は 4,811 施設に上り、そのうち予防対策を実施済みの施設は 2,751 施設と 57%にとどまっている。平成 16 年度においても、水道原水からのクリプトスポリジウム検出による取水停止や浄水からのジアルジア検出などの事例が報告されており、これらの病原性微生物の監視・対策は依然として大きな課題となっている。

平成 8 年に策定された「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」では、予防対策として、浄水処理工程でのクリプトスポリジウムの除去が挙げられており、平成 15 年 4 月に取りまとめられた水質基準の見直しに関する厚生科学審議会答申においては、耐塩素性病原性微生物対策として、「水道法第 22 条に基づく措置として、消毒に加え、原水がクリプトスポリジウム等により汚染され、または汚染されている恐れがある場合には、適切なる過操作を行うべきこと、を加えることが必要であると考え。」とされた。

しかし、浄水処理工程におけるこれら原虫類の挙動についてはほとんど明らかになっていない。沈澱やろ過工程でどの程度原虫類が除去されるのか、ろ過池の逆流洗浄の効果はどの程度あるのか等の知見は、浄水場を適切に運営・維持管理する上で重要である。

また、原虫類に対する予防対策としては、除去の他に消毒剤による不活化が考えられる。クリプトスポリジウムに関しては、現在、日本の全ての浄水場において使用されている塩素では、その注入率と接触時間では十分に不活化されない。一方、ジアルジアに関しては、クリプトスポリジウムに比べ塩素耐性が低く、現行の注入率と接触時間でも不活化させることが可能であるといわれている。前述の暫定対策指針の中に記載されている予防対策を遵守していれば、原虫由来の下痢症の集団感染は充分防げるものと考えられるが、紫外線等有効な代替消毒技術の確立を図ることは、水道水の更なる安全を確保する上で極めて重要であるといえる。

本研究はこれらの状況を踏まえ、感染性微生物対策研究委員会および厚生労働省の指導のもとクリプトスポリジウムの代替品としてのトレーサーを利用した浄水処理工程での除去実験を行い、考察を加えると共に、原虫類の紫外線による不活化に関する海外情報を収集した。

本報告書は、第 1 編「凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発」、第 2 編「紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査」からなり、それぞれ原虫類の除去技術と不活化技術の確立を目指している。

2. 委員会

適切な研究の実施、および研究結果の評価のため委員会を設置した。同委員会の構成は以下の通りである。

感染性微生物対策研究委員会		
委員長	金子 光美	立命館大学理工学部 客員教授
委員	遠藤 卓郎	国立感染症研究所寄生動物部 部長
委員	国包 章一	国立保健医療科学院水道工学部長
委員	黒木 俊郎	神奈川県衛生研究所細菌病理部臨床血清科主任研究員
委員	平田 強	麻布大学環境保健学部健康環境科学科教授
委員	眞柄 泰基	北海道大学創成科学共同研究機構特任教授
委員	篠 武夫	横浜市水道局水道技術管理者担当部長

(平成17年3月現在)

3. 研究計画

(1) 研究計画

平成16年度は、凝集沈澱・急速ろ過における除去効果の確認と運転管理技術の確立、クリプトスポリジウム及びジアルジア等の不活化技術の開発を目的として、以下の2つのテーマについて研究を行った。

1) 凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発

横浜市西谷浄水場の原水に粒径、比重、ゼータ電位をクリプトスポリジウムと類似させた PMMA(ポリメチルメタアクリレート)製の代替粒子を 1000 個/mL 程度添加し、2 段の急速攪拌、3 段の緩速攪拌を含む凝集沈澱・急速ろ過処理を行い、その成果について委員会の評価を受けた。

2) 紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査

海外における紫外線による原虫類研究成果に関して情報収集を行った。

4. 研究の概要

(1) 凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発

凝集沈澱及び急速ろ過処理によるクリプトスポリジウムの除去性を評価することを目的として、凝集沈澱工程における塩化第二鉄および有機高分子凝集剤による除去性能確認実験を行った。その結果、主に以下の知見を得ることができた。

凝集沈澱工程における運転管理技術について

1) 塩化第二鉄、高分子凝集剤の効果

- ・本実験により、今後利用が進むであろう高分子凝集剤と塩化第二鉄の併用が、凝集沈澱、ろ過処理性の改善に有効であることが確認された。特にその効果は、一般的に処理性が低下する低水温期において明確であった。また、本実験原水では、PACと比較して塩化第二鉄の方が、トレーサー粒子に対する凝集沈澱、ろ過処理性が高くなることが分かった。

2) 凝集操作条件の影響

- ・凝集沈澱処理工程において、凝集剤注入率を増加させることで濁度、粒子数(3~10 μm)、トレーサー数の処理性は向上する。トレーサー除去率で見ると、通常注入率の1.2倍の凝集剤注入率で0.3 log₁₀程度、2倍では0.7 log₁₀程度、除去性が向上した。
- ・低水温期においては、高水温期と比較して凝集剤注入率の増加による効果は相対的に小さい。従って、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。
- ・凝集剤注入率の増加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。

急速ろ過工程における運転管理技術について

1) ろ層構成の比較

高速ろ過時、2層ろ過に対する3層ろ過の粒子漏出抑制効果が示唆された。

2) ろ剤の凝集剤被覆の効果

- ・未ろ水に凝集剤を1 mg/L以上添加することで、濁度および粒子数の処理性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。
- ・この時の損失水頭を見ると、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。
- ・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。
- ・逆洗水に添加した凝集剤によるろ材被覆により、単層、複層とも、粒子数及びトレーサー数について初期流出の抑制効果が顕著に認められた。
- ・逆洗水への凝集剤添加量については、逆洗水への添加量を10 mg/Lから5 mg/Lに減少させても、流出抑制効果を維持させることができた。また、添加時間については、逆洗時間の前半だけの添加は効果がないが、後半への添加では、添加率5 mg/Lで逆洗終了直前2分間の添加で、十分な効果が認められた。
- ・凝集剤を添加することにより、ろ過開始直後のろ過水へのアルミニウムの漏出が懸念されたが、ろ過水中のアルミニウム濃度は凝集剤添加の有無で差は認められなかった。

(2) 紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査

原虫類の紫外線による不活化に関して、低圧・中圧ランプによる原虫類の不活化、光回復・暗回復、紫外線照射装置の性能予測モデル等に関して計 24 編の海外文献の要約を行い知見を得た。

第1編

凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発

凝集沈澱・急速ろ過の運転管理技術の開発に関する研究

研究要旨

本研究は、水道原水を汚染する可能性のあるクリプトスポリジウム等感染性原虫類に対する除去技術の開発を行うものである。実験の結果、凝集沈澱処理においては、原水水質に応じて凝集剤の種類、凝集剤注入率、凝集 pH、急速混和池を適切に設定することで、クリプトスポリジウム代替粒子の処理性をより向上できることが確認された。また、急速ろ過処理においては、凝集剤によるろ材被覆が、ろ過処理水質の改善や捨水時間の短縮手段として大いに期待できることが示唆された。

1. 研究目的

Cryptosporidium parvum に代表される原虫類による汚染のおそれがある水道水源から取水している水道事業者においては、浄水処理により原虫類を物理的にかつ効果的に除去することが現在最も必要な対策とされている。適切に管理された急速ろ過システムによる *C. parvum* オーシストの除去率は、一般的に 2~3 log₁₀ 程度であることが知られている。しかしながら、万が一の汚染を考えた場合、*C. parvum* オーシストの除去率をより高めることができる運転管理技術を保有し実践できることが、国民が安心して利用できる安全な水道を確保する上では重要である。

本研究では急速ろ過システムにおける *C. parvum* オーシスト等の粒子の安定的な除去を目的として、凝集沈澱処理における使用凝集剤の検討、急速ろ過処理における運転操作上の工夫等により、微粒子の除去性を向上させるための運転管理技術の開発を行う。

(1) 凝集沈澱プロセスにおける運転管理技術の開発

1) 鉄系および有機高分子凝集剤を含む各種凝集剤の処理性評価

凝集沈澱工程における *C. parvum* オーシスト除去能力の向上を目的として、従来のアルミ系凝集剤以外の凝集剤（塩化第二鉄、有機高分子凝集剤等）を含む各種凝集剤の処理性を評価する。

2) PAC 処理における凝集操作条件の比較検討

国内で一般的に広く使用されている PAC による凝集沈澱処理を対象に、薬品注入条件（凝集剤注入率、pH）、急速攪拌条件（攪拌強度）が *C. parvum* オーシストの除去性に与える影響について比較検討を行う。

(2) 急速ろ過プロセスにおける運転管理技術の開発

1) ろ層構成の比較検討

従来一般的に用いられている単層ろ層の他に、2 層、3 層構成のろ層について、パイロットプラント実験により *C. parvum* オーシスト除去能力の比較検討を行う。

2) ろ剤の凝集剤被覆に関する検討

ろ過池流入水（凝集沈澱処理水）に凝集剤を添加することによる再凝集の効果や凝集剤を添加した水により逆洗を行うことによるろ材の凝集剤被覆効果について、それらの効果の検証を行う。

2. 研究方法

2. 1 実験原水

横浜市水道局西谷浄水場の原水(相模湖系表流水)に、粒径、比重、ゼータ電位を *C. parvum* オーシストに類似させた代替トレーサー粒子を 1000 個/mL となるように添加し、実験原水とした。

C. parvum オーシスト代替トレーサーの性状を表-2.1 に示す。

表-2.1 クリプト代替トレーサー粒子の仕様

材質	PMMA (ポリメチルメタアクリレート)
粒子径	5.0±0.5 μm
真密度	1.19 g/cm ³
かさ密度	0.3~0.4 g/cm ³ (粉体時)
ゼータ電位	-29 mV (pH 6.6)
色	青 (UV 励起蛍光下)

2. 2 実験プラント

実験プラントは 2 段の急速攪拌、3 段の緩速攪拌を含む凝集沈澱池、再凝集混和槽および急速ろ過塔から構成される。各設備の主要な仕様は以下の通りである。

- ・ 原水槽 : 有効容量 0.44 m³
数 量 1 槽
滞留時間 3.8 min (Q = 84 m³/日 × 2 系列分の時)
- ・ 急速攪拌槽 : 形 式 縦型タービン翼式攪拌槽
数 量 2 段 × 2 系列
有効容量 0.14 m³ × 2 段
滞留時間 2.4 min × 2 段 (Q = 84 m³/日の時)
G 値 215 s⁻¹
G T 値 61,920
- ・ 緩速攪拌槽 : 形 式 横型パドル翼式攪拌槽
数 量 3 段 × 2 系列
有効容量 0.96 m³ × 3 段
滞留時間 16.5 min × 3 段 (Q = 84 m³/日の時)
G 値 55 s⁻¹ (1 段目)
11 s⁻¹ (2 段目)
2 s⁻¹ (3 段目)
G T 値 67,320
- ・ 傾斜板沈澱槽 : 形 式 横流式傾斜板沈澱槽
数 量 1 槽 × 2 系列
有効容量 8.05 m³
滞留時間 138 min (Q = 84 m³/日の時)

- ・再凝集攪拌槽 : 形 式 縦型タービン翼式攪拌槽
 数 量 2 槽
 有効容量 $0.032 \text{ m}^3 \times 2 \text{ 段}$
 滞留時間 $2.5 \text{ min} \times 2 \text{ 段}$ ($Q = 18.5 \text{ m}^3/\text{日}$ の時)
- ・急速ろ過塔 : 形 式 重力式円筒形ろ過塔
 数 量 8 塔
 形状寸法 $\phi 0.3 \text{ m} \times 4.0 \text{ mH}$

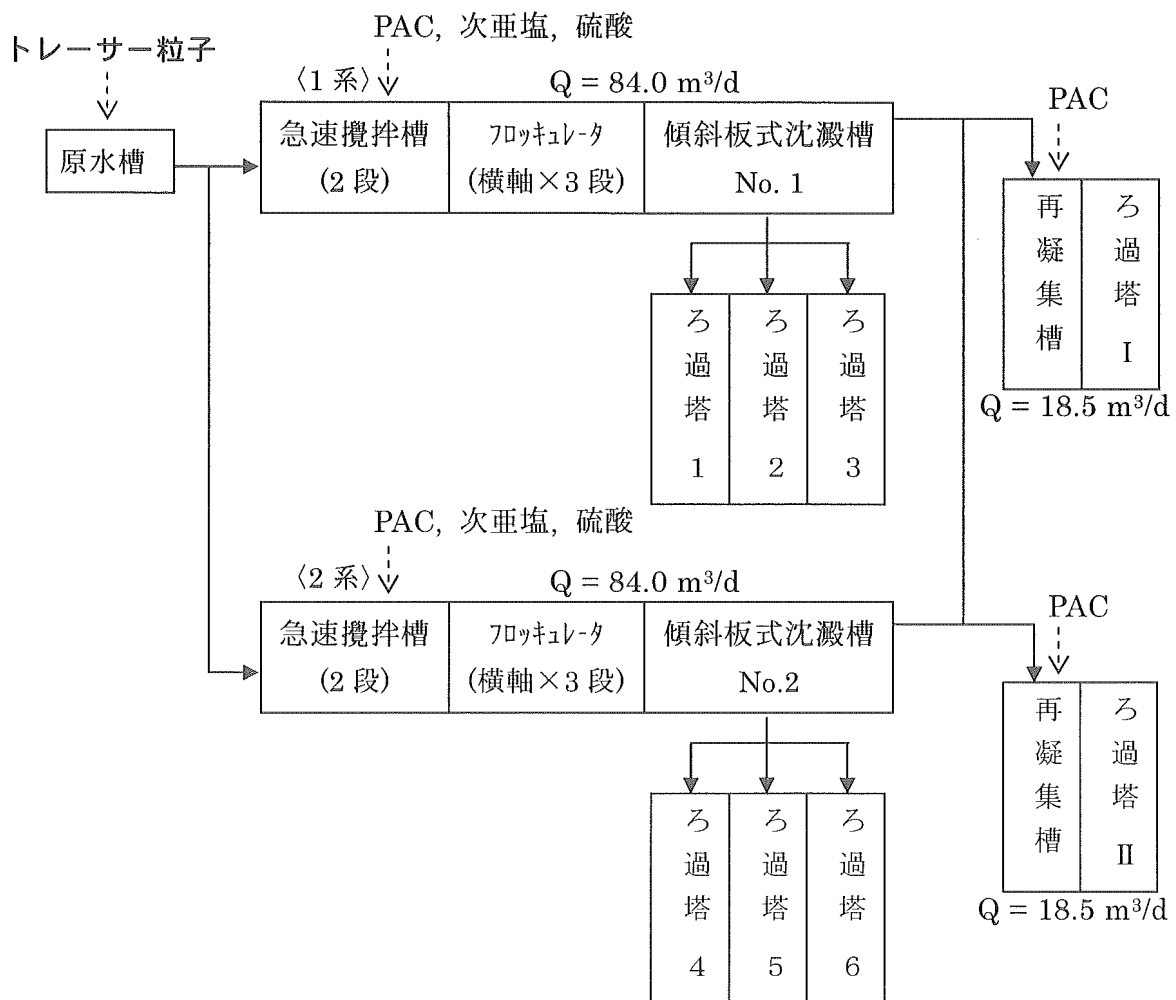


図-2.1 実験プラントの概略フロー

2.3 急速ろ過塔のろ層条件

1, 2系共、急速ろ過塔のろ層構成は下表の通りとした。

表-2.2 急速ろ過塔のろ層構成

	単層	2層	3層
	[けい砂] 層厚=600 mm 有効径=0.6 mm	[上層:アンサイト] 層厚=300 mm 有効径=1.4 mm	[上層:アンサイト] 層厚=420 mm 有効径=1.4 mm
		[下層:けい砂] 層厚=500 mm 有効径=0.6 mm	[中層:けい砂] 層厚=230 mm 有効径=0.6 mm
			[下層:カ'-ネット] 層厚=110 mm 90%通過径=1.6 mm
ろ過塔 No.			
1, 4	○		
2, 5		○	
3, 6			○
I, II	○(実験条件による)	○(実験条件による)	

3. 凝集沈澱プロセスにおける運転管理技術の開発

3. 1 塩化第二鉄および有機高分子凝集剤の評価

(1) 実験条件

1) 使用凝集剤

- ・ PAC：市販品 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 10\%$)
- ・ 硫酸ばんど：市販品 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 10\%$)
- ・ 塩化第二鉄：市販品 ($\text{FeCl}_3 = 38\%$)
- ・ ポリシリカ鉄 (PSI)：メーカーサンプル
- ・ 有機高分子凝集剤 (ポリアクリルアミド系)：メーカーサンプル

表-3.1 有機高分子凝集剤の仕様

種類 (イオン性)	銘柄	分子量	粘度 (0.1%)	残留モノマー濃度
ノニオン	NP800PWS	1,300万	105 mPa·s	<50 ppm
弱アニオン	AP410PWS	1,500万	320 mPa·s	<50 ppm

メーカー：ダイヤニトリックス (株)

2) 沈澱池薬注条件

以下の3テーマの実験について、それぞれ薬注条件を設定した。

a) 凝集剤の比較検討

1系：比較系

実験期間を区切って凝集剤の種類と注入率を変化させた。実験は水温が概ね 15℃ 以上の高水温期と 15℃ 以下となる低水温期の2期間で実施した。各期間の凝集剤注入条件を表-3.1, 3.2 に示す。

PAC に高分子凝集剤を併用する場合は、PAC 注入率の低減効果をねらいとして、PAC 注入率を2系の80%とした。

2系：PAC 単独処理

西谷浄水場における PAC の実注入率に合わせ、対照系とした。

表-3.1 凝集沈澱処理条件 (高水温期)

No.	1系	2系	実験期間
1	PAC [28] + 弱アニオン [0.05]	PAC [35]	8/5~8/21
2	塩鉄 [30]	PAC [30]	8/21~8/25
3	塩鉄 [30] + 弱アニオン [0.05]	PAC [30]	8/27~9/1
4	塩鉄 [30] + ノニオン [0.05]	PAC [30]	9/3~9/8
5	PSI [172]	PAC [30]	9/18~9/29
6	硫酸ばんど [30~35] + 弱アニオン [0.05~0.01]	PAC [25]	11/6~11/15
7	硫酸ばんど [35]	PAC [25]	11/15~11/18

[]内：注入率、単位 mg/L

表-3.2 凝集沈澱処理条件（低水温期）

No.	1系		2系	実験期間
1	PAC [20]	+弱アニオン [0.05]	PAC [25]	11/22~11/29
2	PAC [20]	+アニオン [0.05]	PAC [25]	12/3~12/11
3	PAC [25]	+アニオン [0.05]	PAC [25]	12/12~12/13
4	PAC [25]	+アニオン [0.1]	PAC [25]	12/16~12/17
5	塩鉄 [30]	+弱アニオン [0.05]	PAC [25]	1/9~1/10
6	塩鉄 [25]	+弱アニオン [0.05]	PAC [25]	1/14~1/24
7	PAC [25]	+弱アニオン [0.05]	PAC [25]	1/28~1/30
8	塩鉄 [30]		PAC [30]	2/10~2/17
9	塩鉄 [30]	+アニオン [0.05]	PAC [30]	2/18~3/4
10	塩鉄 [35]	+アニオン [0.05]	PAC [35]	3/4~3/7

[]内：注入率、単位 mg/L

b) 高分子凝集剤注入率の検討

1系：比較系

高分子凝集剤の注入率を表-3.3の通り、順次変化させた。

PAC注入率は2系と同量とした。

2系：PAC単独処理

a)と同じ。

表-3.3 凝集沈澱処理条件

No.	1系		2系
1	PAC [30]	+弱アニオン [0.05]	PAC [30]
2	PAC [30]	+弱アニオン [0.1]	PAC [30]
3	PAC [30]	+弱アニオン [0.2]	PAC [30]
4	PAC [30]	+弱アニオン [0.5]	PAC [30]

[]内：注入率、単位 mg/L

(2) 実験結果

1) 凝集剤の比較検討

図-3.1~3.6に、各凝集剤条件におけるトレーサー除去率 (\log_{10}) の平均値を凝集沈澱処理、急速ろ過処理、凝集沈澱+急速ろ過処理トータルの各工程に分けて示す。なお、急速ろ過工程における除去率の評価には、ろ過時間中終始安定した除去（ろ過終期の漏出が見られない）が行われる単層ろ過（LV=150 m/d）のデータのみを用いた。

また、各条件の平均値算出にあたり、必ずしもサンプル数が十分でない場合があるため、比較系と対照系の間で除去率に有意な差が生じているかどうかについて統計的手法により検定を行った。この結果を、表-3.4, 3.5に示す。検定はt検定により、有意水準を95%とした。

これらの結果をまとめると以下ようになる。

・高水温期においては、硫酸ばんど以外、何れの凝集剤を用いても、凝集沈澱処理で $1.5 \log_{10}$

程度、単層ろ過処理で 1.5~2.5 log₁₀ 程度のトレーサー除去が期待できることが分かった。この時、PAC と PAC 以外の無機凝集剤、あるいは無機凝集剤と高分子凝集剤併用の有無等の間で、処理性について有意な差は認められなかった。高水温は、一般的に凝集沈澱、ろ過処理にとって好条件であり、PAC 単独処理によっても十分な処理性能が発揮されたため、他凝集剤との明確な差が現れなかったものと考えられる。また、高分子凝集剤を併用する時の PAC 注入率を PAC 単独処理時の 80 %としたことも、要因の一つと考えられる。

- ・低水温期においては、PAC を用いた凝集沈澱処理で約 1~1.5 log₁₀、単層ろ過処理で 2~3 log₁₀ 程度のトレーサー粒子除去が期待できることが分かった。また、高分子凝集剤併用の有無で処理性に有意な差が認められた。特に、PAC 単独処理に比べ塩化第二鉄と高分子凝集剤を併用した場合、凝集沈澱と単層ろ過の一連の処理の合計で 1 log₁₀ 程度、トレーサー粒子の処理性を向上させることができた。この要因として、①鉄系凝集剤によるフロック比重の増大、②高分子凝集剤の架橋作用によるフロックサイズおよび強度の増大、③原水中の被凝集粒子の表面電位やサイズと無機凝集剤水和物の荷電やサイズとの関係等が考えられるが、今回の実験では、これらの要因を特定したり、原水水質との相互関係を明らかにするには至らなかった。

表-3.4 除去率平均値の差の検定結果 (高水温期)

比較系凝集剤条件	<i>t</i>	<i>t</i> (<i>m</i> , 0.05)	有意差の有無
[凝集沈澱処理]			
PAC+弱アニオン	-0.698	2.447	なし
塩鉄	0.576	2.365	なし
塩鉄+弱アニオン	0.254	2.306	なし
塩鉄+ノニオン	-1.279	2.179	なし
PSI	1.063	2.160	なし
硫酸ばんど+弱アニオン	-5.390	2.447	あり
[単層ろ過処理]			
PAC+弱アニオン	-1.134	2.447	なし
塩鉄	-0.354	2.228	なし
塩鉄+弱アニオン	1.549	2.262	なし
塩鉄+ノニオン	-0.751	2.179	なし
PSI	0.293	2.160	なし
硫酸ばんど+弱アニオン	-2.905	2.228	あり
[凝集沈澱+単層ろ過処理]			
PAC+弱アニオン	-1.252	2.571	なし
塩鉄	-0.187	2.228	なし
塩鉄+弱アニオン	1.316	2.228	なし
塩鉄+ノニオン	-1.025	2.179	なし
PSI	0.714	2.160	なし
硫酸ばんど+弱アニオン	-3.997	2.300	あり

表-3.5 除去率平均値の差の検定結果（低水温期）

比較系凝集剤条件	t	$t(m, 0.05)$	有意差の有無
[凝集沈澱処理]			
PAC20+弱アニオン 0.05	-1.436	2.365	なし
PAC25+弱アニオン 0.05	-19.051	12.706	あり
PAC20+アニオン 0.05	-4.236	2.228	あり
PAC25+アニオン 0.05	-0.866	12.706	なし
PAC25+アニオン 0.1	-0.322	4.303	なし
塩鉄 30	4.456	2.306	あり
塩鉄 25+弱アニオン 0.05	4.526	2.160	あり
塩鉄 30+弱アニオン 0.05	6.182	12.706	なし
塩鉄 30+アニオン 0.05	6.318	2.028	あり
塩鉄 35+アニオン 0.05	2.624	2.160	あり
[単層ろ過処理]			
PAC20+弱アニオン 0.05	-0.480	2.306	なし
PAC25+弱アニオン 0.05	0.249	4.303	なし
PAC20+アニオン 0.05	-2.222	2.179	あり
PAC25+アニオン 0.05	-2.123	12.706	なし
PAC25+アニオン 0.1	-2.455	12.706	なし
塩鉄 30	-1.972	2.447	なし
塩鉄 25+弱アニオン 0.05	-0.734	2.228	なし
塩鉄 30+弱アニオン 0.05	0.452	4.303	なし
塩鉄 30+アニオン 0.05	3.678	2.052	あり
塩鉄 35+アニオン 0.05	1.315	2.201	なし
[凝集沈澱+単層ろ過処理]			
PAC20+弱アニオン 0.05	-0.655	2.306	なし
PAC25+弱アニオン 0.05	-0.033	4.303	なし
PAC20+アニオン 0.05	-3.060	2.179	あり
PAC25+アニオン 0.05	-2.441	4.303	なし
PAC25+アニオン 0.1	-2.664	12.706	なし
塩鉄 30	-0.356	2.447	なし
塩鉄 25+弱アニオン 0.05	0.591	2.160	なし
塩鉄 30+弱アニオン 0.05	1.051	4.303	なし
塩鉄 30+アニオン 0.05	5.030	2.045	あり
塩鉄 35+アニオン 0.05	2.006	2.160	なし

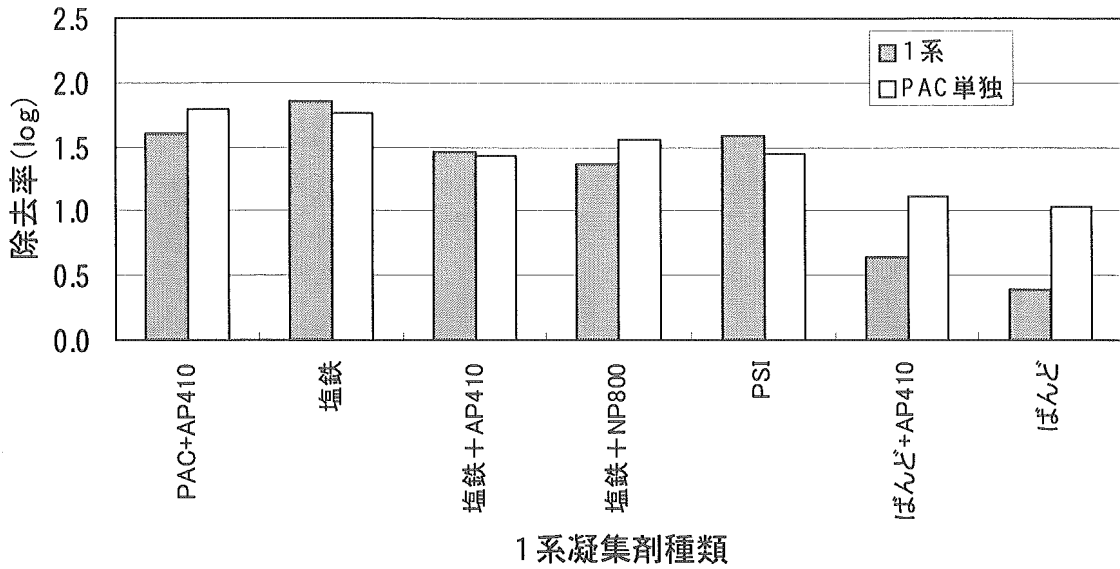


図-3.1 沈澱池におけるトレーサー除去率（高水温期）

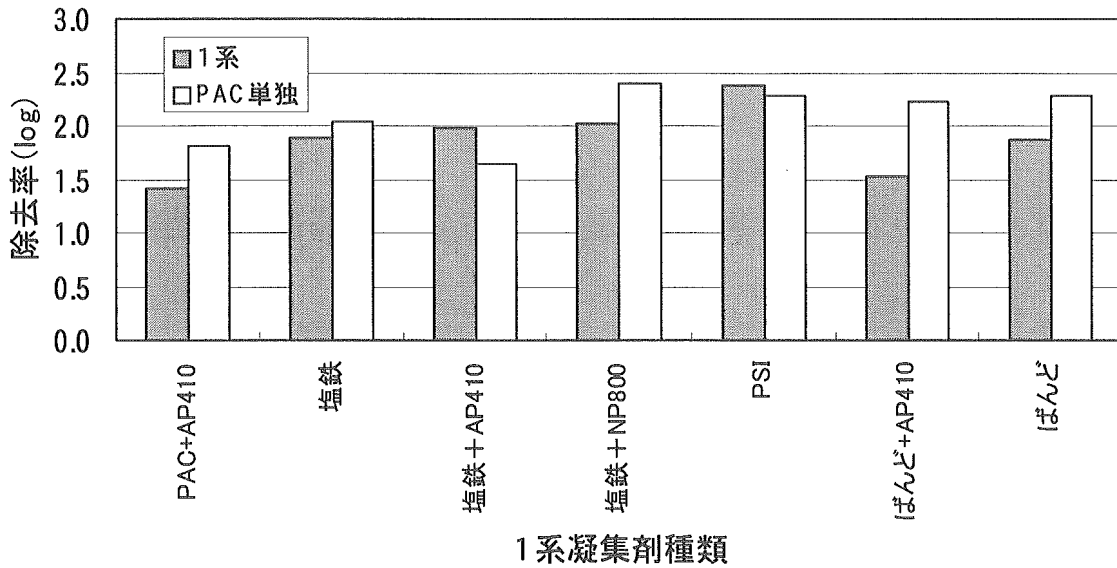


図-3.2 単層ろ過塔におけるトレーサー除去率（高水温期）

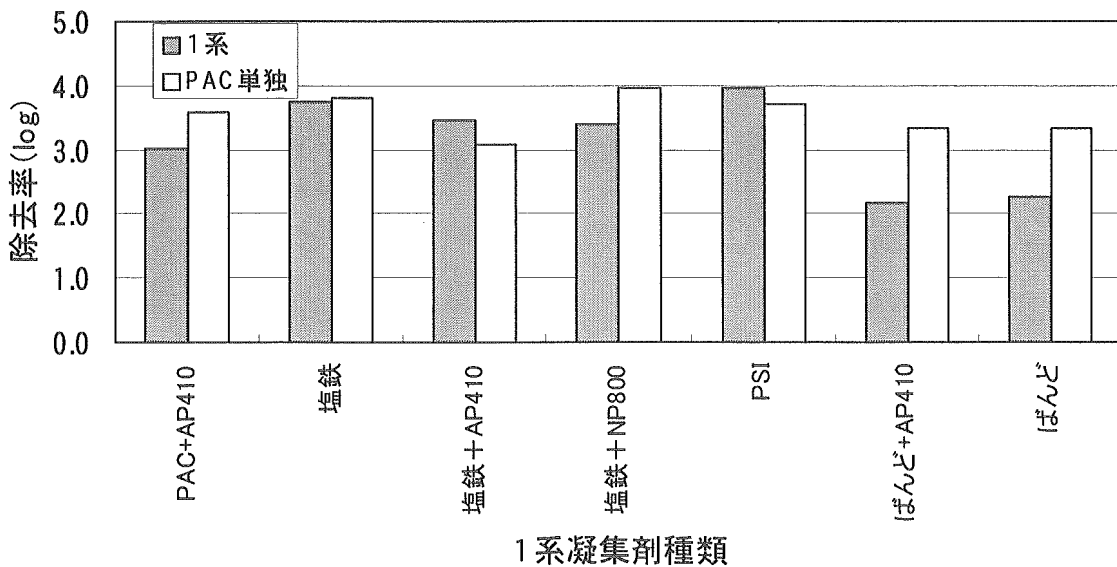


図-3.3 沈澱+ろ過におけるトレーサー除去率（高水温期）

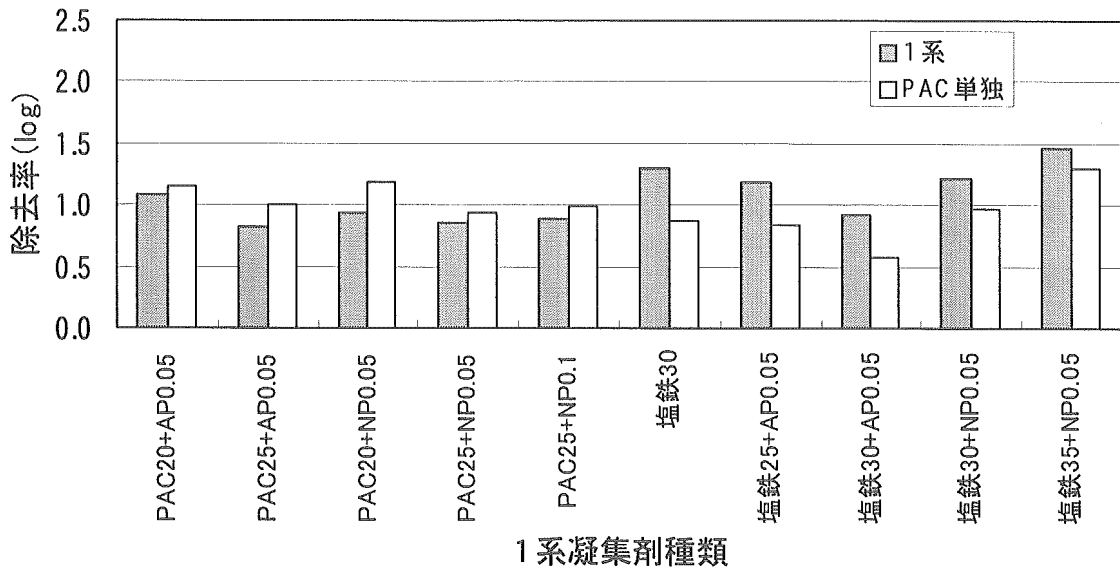


図-3.4 沈澱池におけるトレーサー除去率（低水温期）

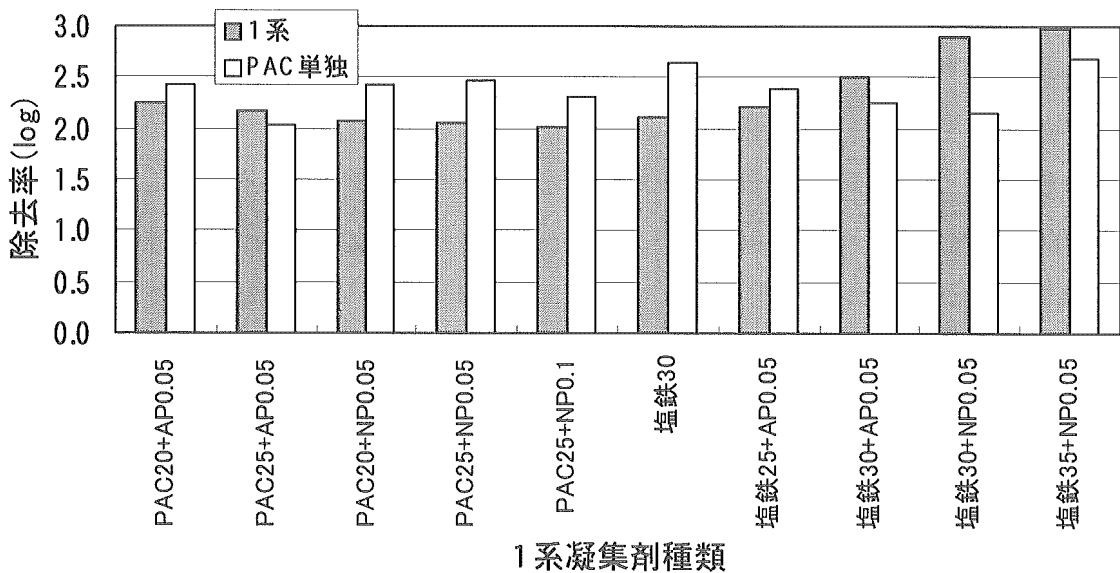


図-3.5 単層ろ過塔におけるトレーサー除去率（低水温期）

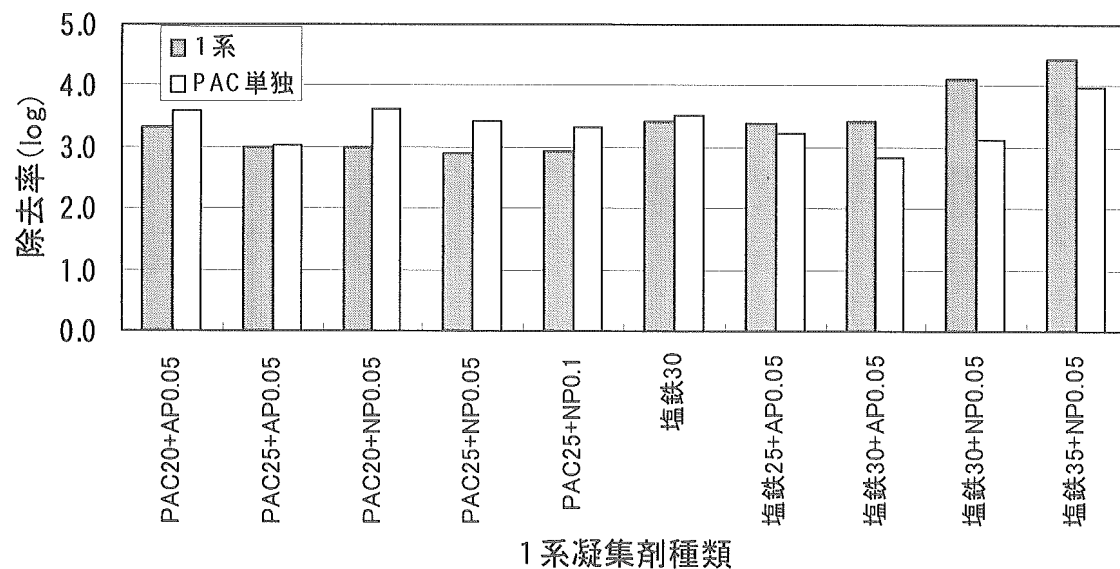


図-3.6 沈澱+ろ過におけるトレーサー除去率（低水温期）

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