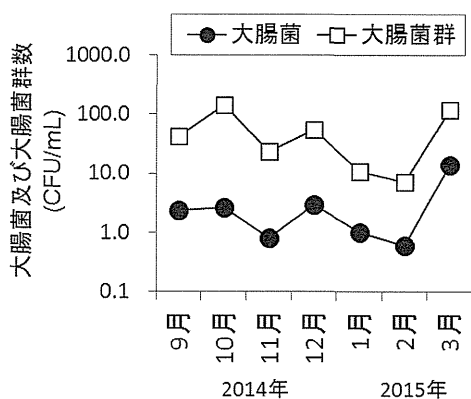


[浄水場 A]



[浄水場 B]

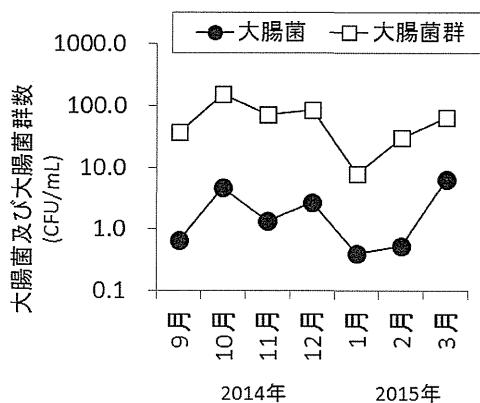


図7 浄水場 A、B 原水の中の大腸菌及び大腸菌群数

鉄及びマンガンについて、いずれの浄水場でも台風直後に採水した10月の原水試料で紫外線適用において好ましいとされる推奨値(鉄0.1mg/L、マンガン0.05mg/L)を超過したものの、凝集沈澱水、浄水の全試料で推奨値を下回り、定量下限値(鉄0.03mg/L、マンガン0.02mg/L)と同等又はそれ以下で安定的に推移した。

硬度は、浄水場 A の原水試料で最大値63mg/L、浄水場 B の原水試料で最大値86mg/Lであり、台風や降雨の後でもほぼ一定の値を示した。また、浄水処理工程を経ても原水とほぼ同じ値を示し、紫外線適用における推奨値140 mg/Lを常に下回った。

2.3 原水条件及び処理効果の検証

公称孔径5 $\mu$ mのメンブランフィルターろ過による水質変化の一例を表11に示す。

表11 ろ過による水質変化

	ろ過前	ろ過後	除去率(%)
大腸菌濃度 (CFU/100mL)	100	20	80.0
大腸菌群濃度 (CFU/100mL)	9400	3200	66.0
濁度(NTU)	7.3	1.2	83.6
紫外線透過率 (%)	85.5	91.8	-

この結果から分かるとおり、公称孔径5 $\mu$ mのメンブランフィルターでろ過を行うことにより、大腸菌、大腸菌群、濁度のそれぞれが66~84%除去された。

不活化実験を行った結果を図8、9に示す。ここで測定した水における大腸菌及び大腸菌群という細菌指標の不活化は、肩を持たない不活化直線で表されることが分かった。また、実験を行った範囲ではテーリングは観察されなかった。

また、図8でろ過前後の大腸菌、大腸菌群の結果を比較すると、大腸菌と大腸菌群のどちらもろ過後の傾きが大きくなっており、濁度成分の除去によって紫外線照射槽内の平均紫外線量が大きくなっていることと符合する結果である。

図9における、log 生残率の結果は、大腸菌及び大腸菌群のどちらも、平均紫外線量が同じであれば同様の生残率になってい

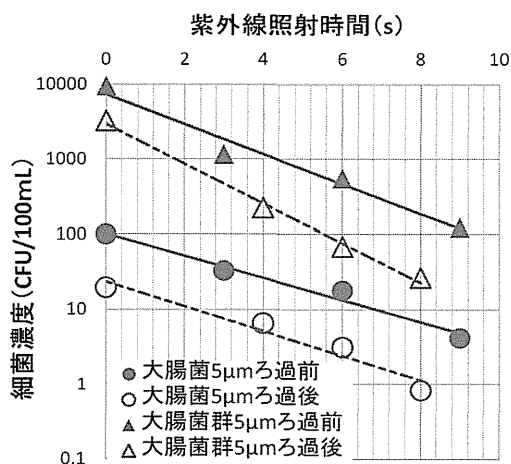


図8 ろ過前後の大腸菌及び大腸菌群における紫外線照射時間と細菌濃度の関係

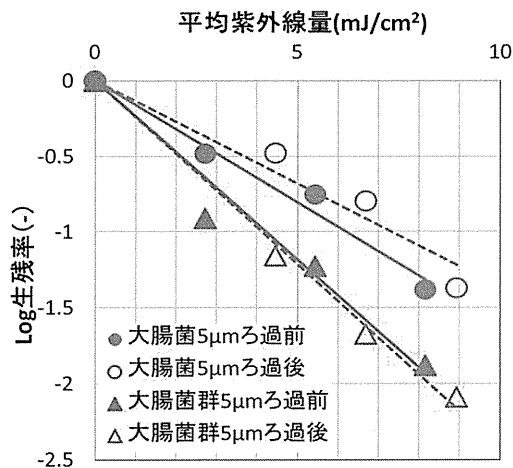


図9 ろ過前後の大腸菌及び大腸菌群における平均紫外線量と log 生残率の関係

ることが分かる。また、今回の実験においては大腸菌の紫外線耐性は大腸菌群よりも大きく、不活化されにくい傾向が見られた。

すなわち、試料の吸光度を測定し、平均紫外線量を用いることで、大腸菌及び大腸菌群の log 生残率を概ね予測できることが示された。

### 3. 濁度変動に対応する紫外線照射線量の検討

図10に各試料の濁度を測定し、その濁度比(=積分球式濁度値/透過光式濁度値)を求めて示した。濁度比はカオリンが最も高い値(=1)となり、活性炭が最も低い値となっていた。散乱光が大きいほど、積分球式濁度値が高く濁度比が高くなると考えられるため、カオリンの散乱特性が非常に高い物質であることが分かった。また活性炭は最も低い濁度比となったことから、散乱特性が非常に低い物質であることが分かった。このことから、高散乱の標準物質としてカオリンを、低散乱の標準物質として活性炭を用いることとした。ベントナイト懸濁液及び、各浄水場原水の濁度比は、いずれもカオリンと活性炭の間の値となっていた。従って、ベントナイト及び浄水場原水は、いずれも標準物質としたカオリンと活性炭の混合液と想定することができた。

図11は各試料をカオリンと活性炭の混合液と想定した場合の混合比を示したものである。想定混合比は図10に示されるカオリンと活性炭の濁度比、及び各試料の濁度比から式(3)及び(4)を用いて求めたものである。ベントナイトは濁度比が活性炭に近いことから、活性炭の想定混合比率が高い結果となり、また浄水場原水については、様々な想定混合比率となっていることが分かった。

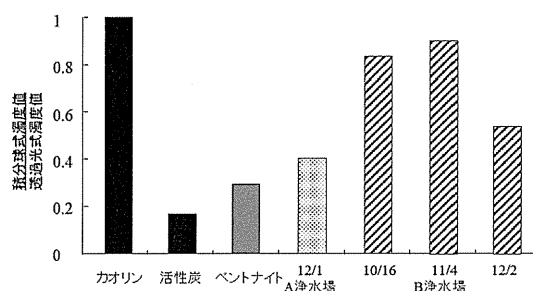


図10 各試料の濁度比(=積分球式濁度値/透過光式濁度値)

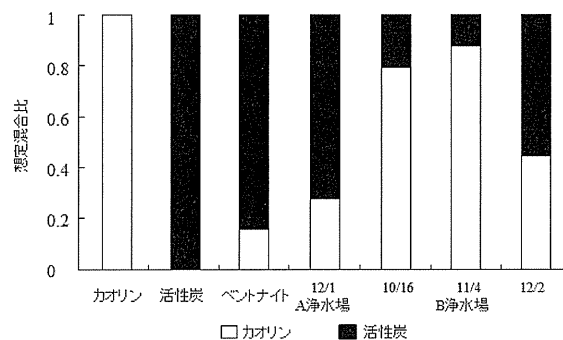


図11 各試料をカオリン及び活性炭の混合液と想定した場合の想定混合比率

## D. 考察

### 1. 濁度管理等における課題の抽出

今年度は、結果的に事業体の規模が比較的大きいところの浄水場及び施設を中心に調査を行った。また、四国、近畿地方の事業体の調査は、諸般の事情から、計画変更を余儀なくされ、実施できなかった。したがって、平成27年度は近畿、四国、及び関東地方の中・小規模事業体を主な調査先として作業を継続する予定である。

## 2. 原水条件及び処理効果の検証

### 2.1 模擬高濁度原水に対するクリプトスポリジウム除去性並びに紫外線処理導入による感染リスク低減効果の推定

凝集沈澱及び砂ろ過のみの場合では許容感染確率  $10^{-4}$  を超過したケースが大半に上り、適切な浄水処理が行われない運転条件下での感染確率の上昇が確認された。一方で、PAC の適正注入により最適な凝集沈澱処理の実施することで、感染リスクを適切に低減できることが示された。さらに、砂ろ過水に対して紫外線処理を適用することで、感染確率  $10^{-4}$  を超過するケースは大幅に減少した。このことから、高濁度原水に対して凝集沈澱・砂ろ過処理が不十分となるような事態に対して、感染リスク低減の面から紫外線処理の追加が有用であることが示された。

### 2.2 地表水における紫外線処理の適用可能性のための水質分析

総じて、原水水質は変動が大きく、特に台風や降雨の後に特異的な水質が観察されることが多かった。一方、凝集沈澱水、浄水と処理が進むに従い水質変動の幅が小さくなり、台風や降雨の直後を含めて安定して良好な水質を維持した。現行の指針が示した紫外線処理適用の水質要件（濁度2度以下、色度5度以下、紫外線透過率75%以上）と比較すると、凝集沈澱水では色度5.5度を示した1試料を除く13試料が水質要件を満たし（適合率約93%）、浄水では台風直後を含む14試料すべてが水質要件を満たした（適合率100%）。

紫外線透過率とその他水質項目（濁度、色度、DOC、鉄、マンガン）との関連について、ピアソンの積率相関係数  $r$  を算出した（表12）。いずれの浄水場でも、また、原水、凝集沈澱水とも、紫外線透過率と相関が最も高いのは色度であった。一方、濁度は、原水試料では紫外線透過率と高い相関を示したものの、凝集沈澱水では相関は低かった。また、浄水試料では特定の水質項目間に強い相関は見られなかったが、これはいずれの項目も浄水処理に伴い値が低下し、水質が均質化したためと推察された。

表12 紫外線透過率との相関係数

(試料ごとのデータ数  $n=7$ )

	浄水場A			浄水場B		
	原水	凝沈水	浄水	原水	凝沈水	浄水
濁度	0.96	0.48	n.a.	0.96	-0.58	0.27
色度	0.99	0.78	0.18	0.98	0.68	0.50
鉄	0.95	0.64	n.a.	0.69	-0.02	0.16
マンガ	-0.25	0.15	0.01	0.77	0.44	0.14
DOC	0.57	0.32	0.25	0.64	0.41	0.23

n.a.: 算出不可能 (全測定値が0のため)

紫外線透過率とDOCの相関は必ずしも高くなかったが、既述の通り、DOCは同等でも有機物組成の異なる場合があった。浄水場原水中に卓越していたフルボ酸様物質、トリプトファン関連物質、フミン酸様物質のうち、特にフミン質は紫外線吸収率が高いことが知られており、溶存有機物の質（組成）と紫外線透過率の関係について詳細な検討が望まれる。

粒径と紫外線処理性の関係について、粒径の小さいほうが紫外線処理を阻害したとする研究、大きいほうが阻害したとする研究、紫外線照射量によって粒径の影響が異なるとする研究が混在する。本研究では、台風や降雨の後に粒径の大きい粒子が増加する傾向を確認したことを踏まえ、降雨等に伴う粒径の変化が紫外線処理性に及ぼす影響について検討する余地がある。

### 2.3 地表水の水質特性が紫外線処理の効果に及ぼす影響評価

$5\mu\text{m}$  のろ過膜によるろ過の前後で濁度が減少し、同時に大腸菌及び大腸菌群も減少している。ここで減少した理由は菌が濁質に吸着したからであると推察できる。その場合、濁質に吸着している大腸菌及び大腸菌群は濁質の陰になりやすいと考えられ、ろ過で除去された菌の紫外線耐性が透過したもの比べて大きいことが推察された。そこで、下記の式(9)を仮定する。

$$S_{5\mu} = S_{A0} \cdot \exp\left(-\frac{It}{D_A}\right) - S_{B0} \cdot \exp\left(-\frac{It}{D_B}\right) \quad \text{式(9)}$$

ここで、 $S$  は細菌濃度、 $D$  は不活化速度

定数、 $It$  は紫外線量を表し、下付きの文字は、A がろ過前、B がろ過後、 $5\mu$  は公称孔径  $5\mu\text{m}$  で捕捉された成分、0 は紫外線照射前の初期値であることを表す。

つまり、ろ過で捕捉された成分における紫外線量  $It$  照射後の細菌濃度  $S_{5\mu}$  は、ろ過前の試料に紫外線量  $It$  照射後の細菌濃度からろ過後の試料に紫外線量  $It$  照射後の細菌濃度を差し引いたものになると仮定する。実験においてろ過前後の  $D$  を実測できるので、これを用いて捕捉された成分における生残濃度を算定することができる。この計算の結果を、平均紫外線量に対して大腸菌及び大腸菌群の実測値のプロットと同時に図 12、13 に示した。

これらの結果より、ろ過で除去された大腸菌及び大腸菌群における紫外線耐性はほぼ変わらず、濁度成分による防護効果は本実験系においては顕著でないと考えられ、予想と異なる結果となった。

しかし、この結果は照射時間の長い回分式の系という照射装置上の理由で差が出なかったのか、高照射強度で照射時間が短い流水式の系においても差が出ないのかどうかについては、今後の課題である。

### 3. 濁度変動に対応する紫外線照射線量の検討

濁度比を積分球式濁度値/透過光式濁度値とした場合、散乱光が高い懸濁質では積分球式濁度値が高くなる傾向があり、濁度比は高い値を示すと考えられ、可視光の

散乱特性を示す指標となると考えられた。図 10 に示したようにカオリンの濁度比が 1 と最高値であり、活性炭が約 0.2 と最低値だった。濁度比が最高値となったカオリンを高散乱の標準物質とし、濁度比が最低値となった活性炭を低散乱の標準物質とすることにした。

図 14 はベントナイト及び浄水場原水試料水の紫外光吸光度を積分球式で測定し、その吸光度から紫外線処理における消毒効果の減衰率推定値を求めた値と、濁度比からカオリンと活性炭の想定混合比を求め、その値から紫外線処理における消毒効果の減衰率を算定し、それらの相関を示したものである。

図 14 に示した点線は、算定値と測定値が同じ値になることを示し、2 方式の濁度値による濁度比によって、紫外線処理の減衰率が把握できることを示している。図示されたように、ベントナイト懸濁液については、算定値と測定値が非常に近い値となっていることから、2 方式の濁度値による濁度比から、紫外線処理の影響をより正確に推定することができたと考えられる。

浄水場原水においては、4 採水試料のうち 3 採水試料は算定値と測定値がほぼ同じであり、同様に、2 方式の濁度測定によって紫外線処理の影響を推定することができた。しかし 10/16 採水試料 (B 浄水場) においては、算定値が実測値に比べて高い値となっており、紫外線処理の低減効果を過剰に評価したこととなった。

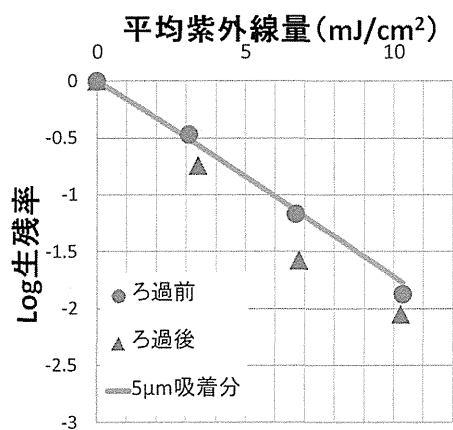


図 12 ろ過で除去された大腸菌における平均紫外線量と log 生残率の関係

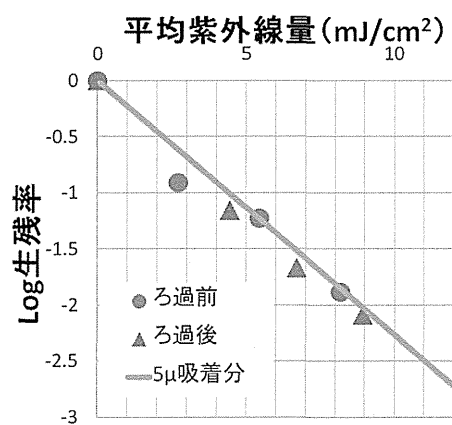


図 13 ろ過で除去された大腸菌群における平均紫外線量と log 生残率の関係

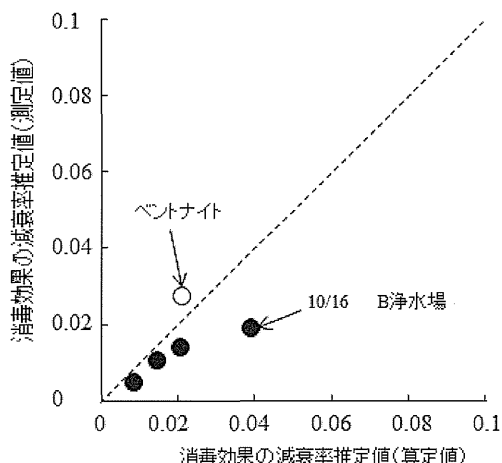


図 14 紫外線処理の減衰率推定値の算定値(横軸)と吸光度測定による測定値(縦軸)の関係

算定値に比べて測定値が低いということは、可視光の散乱特性よりも紫外光の散乱特性の方が高いことを示しており、可視光よりも紫外光が散乱するために、紫外線処理における減衰効果が算定値よりも低くなったと考えられる。このようなケースでは、濁度比を用いて紫外光の散乱を想定して、低減効果を低めに見積もった以上に、低減効果がなかったということであるが、一般的な方法である紫外吸光のみによる低減効果は、かなり過大評価であることを示すともいえる。見方を変えれば、このようなケースでは、紫外吸光のみによる紫外線処理の評価は、かなり安全側の評価となっていることになる。

この採水日(10/16)は台風による豪雨の直後であり、積分球式の濁度値が通常時(1.8~4.7度)よりも、18度と比較的高く、かつ濁質成分が通常と異なっていたケースであると考えられる。

今後はこのようなケースの濁質の由来や、その他の分析値(例えば粒径分布や組成)との関連性を検討し、適切な評価方法をケースバイケースにて選択できるようにする必要があると考えられる。

## E. 結論

当初計画どおりに各種の調査・実験等を行い、研究を進めた。

## 1. 濁度管理等における課題の抽出

今年度は、調査先の事業体の規模が中規模~大規模が多くなった結果、浄水場も中~大規模が多くなった。平成27年度は、可能な限り全国を網羅するように地域を見直すとともに、中・小規模施設を主要な調査対象として作業を継続し、ろ過池の濁度管理及び紫外線処理施設の維持管理の実態把握を行う予定である。

## 2. 原水条件及び処理効果の検証

### 2.1 模擬高濁度原水に対するクリプトスポリジウム除去性及びに紫外線処理導入による感染リスク低減効果の推定

小型浄水処理実験装置を用いて行ったクリプトレーザー除去率の実験結果等を基に行ったリスクの試算結果から、凝集沈澱及び砂ろ過処理においてクリプトスポリジウムの除去が不十分となる場合でも、紫外線処理の追加によりほとんどの場合で感染リスクは $10^{-4}$ 未満となることが示され、紫外線処理導入の有用性が示された。

### 2.2 地表水における紫外線処理の適用可能性のための水質分析

地表水を原水とする浄水場二か所において、原水、凝集沈澱水(砂ろ過前)、浄水を採水し、水質を分析した結果、以下の結論を得た。

- 1) 原水試料の濁度、色度、紫外線透過率はいずれも変動が大きく、特に台風や降雨直後の試料で水質変動幅が大きかった。
- 2) 凝集沈澱水、浄水では台風直後を含むすべての試料で水質が安定し、変動幅は凝集沈澱水、浄水の順に次第に小さくなった。
- 3) 現行指針の示す地表水以外に対する紫外線処理適用の水質要件と比較すると、凝集沈澱水では色度5.5度を示した1試料を除く13試料が水質要件を満たし、適合率は約93%であった。また、浄水では台風直後を含む14試料すべてが水質要件を満たした。

以上より、地表水を原水とする浄水場において、紫外線設備を凝集沈澱ろ過後に設置すれば、突発的な水質変動を考慮しても紫外線処理が有効である可能性が示唆された。

### 2.3 原水条件及び処理効果の検証

表流水を原水とする浄水場の原水を用い、ろ過による濁度除去、紫外線透過率の上昇、大腸菌と大腸菌群という測定方法の差がどのように不活化効果に影響するの  
か、低圧水銀ランプを用いた回分式紫外線照射槽を用いて調べた。その結果、大腸菌及び大腸菌群の不活化プロセスは肩及びテーリングを持たない一次反応的な曲線で表され、平均紫外線量で整理すると、濁度成分の不活化速度への影響は見られなかった。

また、5 $\mu$ m ろ過で捕捉された大腸菌及び大腸菌群の不活化速度はろ過前後とほぼ同じであった。濁質による細菌の防護効果は、比較的照射時間の長い回分式においては観察されにくい可能性が示された。

### 3. 濁度変動に対応する紫外線照射線量の検討

濁質の可視光散乱特性を、二つの方式による濁度の比（積分球式濁度値／透過光式濁度値）を指標とすることで把握することができた。この濁度比を元に、紫外光の散乱特性を推定し、紫外線処理への影響をより正確に推定する可能性を見出した。

## F. 健康危険情報

特になし。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

該当なし

### 2. 学会発表

- ・ Mika Koshio, Kumiko Oguma and Satoshi Takizawa, “*Effects of turbid and dissolved matters in surface water on UV treatment*”, The 11th International Symposium on Southeast Asian Water Environment. November 26-28, 2014. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- ・ 石田晃啓、神子直之、小川敬士、「濁質を含む水に対する紫外線消毒の適用性」、

第 49 回日本水環境学会年会講演集、  
p.476、2015 年 3 月

## H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

### 1. 特許取得

該当なし

### 2. 実用新案登録

該当なし

### 3. その他

該当なし



## II. 分担研究報告

## 模擬高濁度原水に対する二段凝集処理によるクリプトスポリジウム除去性 ならびに紫外線処理導入による感染リスク低減効果の推定

研究分担者	国立保健医療科学院	島崎 大
研究協力者	国立保健医療科学院	伊藤 雅喜
	千葉県水道局	田中 美奈子
	沖縄県企業局	石新 一憲
	沖縄県企業局	知念 光
	大阪市水道局	鐘井 豊
	神戸市水道局	白坂 威出矢
	長野市上下水道局	飯島 卓

### 研究要旨

クリプトレーサーを添加した模擬高濁度原水に対する二段凝集処理の処理効果および水質特性について小型浄水処理実験プラントを用いた実験的検討を行った。また、当該のろ過水に紫外線処理を適用した場合の感染リスク低減効果を推定した。二段凝集処理により、沈でん不良時、凝集不良時とも砂ろ過水の濁度は低減し、その効果は前者のほうが顕著であった。超高塩基度 PAC は従来型 PAC と同等以上の濁度除去能力を有していたが、クリプトスポリジウム模擬粒子の除去性は従来型よりも低い傾向が見られた。凝集沈殿および砂ろ過処理が不十分となる条件下では、各ろ過水の年間クリプトスポリジウム感染リスクは $10^{-4}$ を超過する場合が大半になると試算された。紫外線処理の追加によりほとんどの場合において感染リスクは $10^{-4}$ 未満となることから、紫外線処理導入の有用性が示された。

### A. 研究目的

現行の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、レベル4施設に対しても「浄水処理の安全性を一層高めるために、ろ過池等の出口の濁度を 0.1 度以下に維持することが可能なろ過設備と紫外線処理設備を併用することとしてもよい」とされており、適切な濁度管理の下に地表水の紫外線処理を行うことが可能である。むしろ多段階バリアの観点からすれば、耐塩素性病原微生物などによる汚染の恐れが高い原水に対しては、積極的にろ過処理と紫外線処理を併用することが望ましいものである。しかしながら、現在までに国内で地表水に紫外線処理を導入した事例は見受けられない。

また、これまでの調査研究により、濁度の急激な上昇時において遅延無く凝集剤注入率を増加することで安定した凝集沈殿処理が継続できること、また、高濁度原水の取水により凝集不良または沈殿不良となった場合、二段凝集処理により砂ろ過水濁度の低減が可能



であることが示されている。

本研究は、地表水を対象とした紫外線処理の導入を推進する上での一助とするべく、小型浄水処理実験プラントを用いた模擬高濁度原水に対する二段凝集処理の処理効果と水質特性評価を行うと共に、クリプトスポリジウム模擬粒子の除去性に基づいた紫外線処理の導入による感染リスクの低減効果を明らかにする。

## B. 実験方法

### 1) 模擬高濁度原水の調整

模擬原水の濁質として粘土鉱物であるカオリンおよびベントナイトを 1:1 の割合で混合し、有機物としてフミン酸ナトリウム試薬 (Aldrich 社製) を添加した。国立保健医療科学院水道水を活性炭フィルターに通水して残留塩素除去を行ったのち、原水調製に用いた。濁度設定については、集中豪雨時の河川での急激な濁度変化を想定し、通常時の濁度 (5 度) から急激な変化を持たせピーク時の高濁度状況 (1000 度) を経て、濁度が徐々に漸減していく推移とした。各濁度の設定は 2008~2010 年度の水道統計に基づいた。有機物についても水道統計を基に TOC 換算濃度として 2~8mg/L の範囲で設定した。クリプトスポリジウム模擬粒子として、水道技術研究センタークリプトレーザー 1 号を使用し、原水中に  $10^5 \sim 10^6$  オースト/L の最終濃度になるよう調整した。

### 2) 凝集剤の種類および注入箇所

凝集剤には多くの浄水場で使用されている従来型 PAC (塩基度 50%) を基本とし、近年、高濁度時の凝集沈殿処理に適するとされる超高塩基度 PAC (塩基度 70%) も選定した。注入箇所として、砂ろ過筒に流入する直前の沈でん水に対して後 PAC を注入する二段凝集処理を検討した。

### 3) 浄水処理実験装置の概要および測定項目

凝集沈殿実験には国立保健医療科学院が所有する小型浄水処理実験装置 (図 1) を用いた。当装置は、薬品混和、凝集沈でん (傾斜板脱着可)、砂ろ過、膜ろ過を備えており、最大濁度 1,000 度程度までの処理を可能としており、最大処理能力は  $4\text{m}^3/\text{日}$  である。図 2 に示す原水、沈澱水、ろ過水の 3 箇所から採水を行い、濁度、微粒子数、pH、アルカリ度、アルミニウム (溶存態、懸濁態)、TOC、E260 およびクリプトレーザー粒子数を測定した。

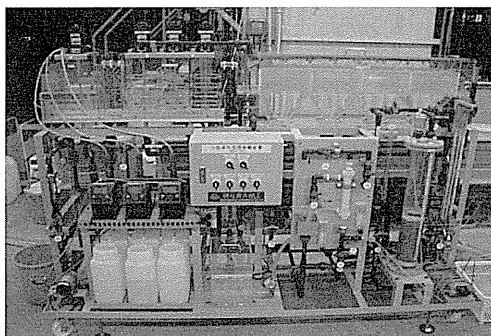


図 1 小型浄水処理実験装置の概観

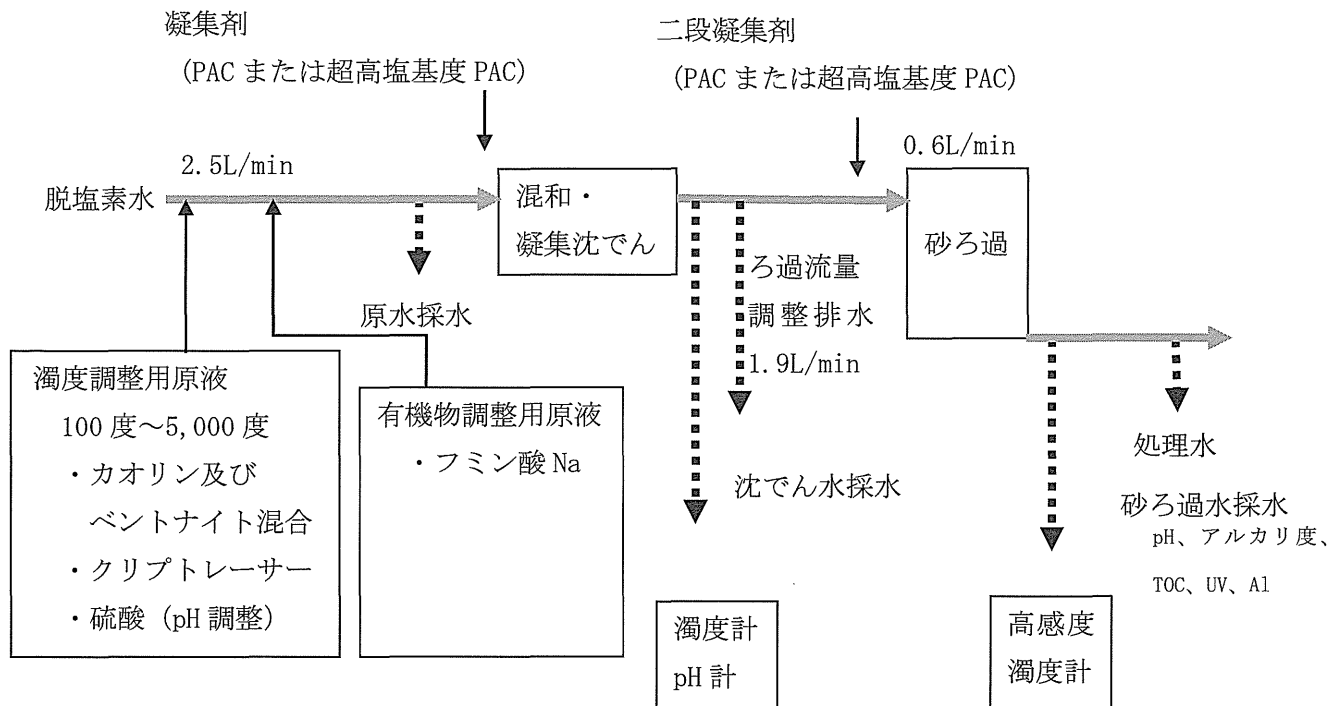


図2 浄水処理実験フロー及び採水箇所

#### 4) 運転条件

原水濁度および凝集沈殿処理の条件として、以下に示す7シナリオを設定した。

- ・RUN1：原水濁度(濁質のみ)を 5~1000 度に変動させ、各濁度に対応する凝集剤適正注入率にて処理
- ・RUN2：RUN1 の原水に有機物(フミン酸)を添加し、上記の凝集剤適正注入率にて処理。
- ・RUN3：沈でん不良を再現するため、実験装置の沈殿槽の傾斜板を全て撤去し、後 PAC(通常 PAC)を注入
- ・RUN4：凝集不良を再現する目的で PAC の注入量を不足させたうえで後 PAC(通常 PAC)を注入
- ・RUN5：RUN4 の条件で、凝集剤及び二段凝集処理に用いる凝集剤として超高塩基度 PAC を使用
- ・RUN6：後 PAC の処理効率を明確にするため、前処理を実施せず後 PAC 注入(原水は濁質のみ)
- ・RUN7：後 PAC の処理効率を明確にするため、前処理を実施せず後 PAC 注入(原水は濁質及び有機物)

表 1 各浄水処理実験における原水水質および運転条件

	原水濁度	有機物	凝集剤	二段凝集	備 考
RUN 1	5～1000 度	なし	適正注入率	なし	5 度 (～01:30) →1000 度 (～02:30) →500 度 (～04:00) →200 度 (～05:30) →50 度 (～08:00)
RUN 2	5～1000 度	2～8mg/L	適正注入率	なし	同上
RUN 3	50 度 (目標沈で ん水濁度 5 度)	2.5mg/L	適正注入率 (70mg/L)	0～4 mg/L	沈でん不良 (傾斜板除去により)
RUN 4	50 度 (目標沈で ん水濁度 5 度)	2.5mg/L	注入不足 (27mg/L)	0～4 mg/L	凝集不良 (凝集剤注入不足)
RUN 5	50 度 (目標沈で ん水濁度 5 度)	2.5mg/L	注入不足 (27mg/L)	0～4 mg/L	凝集剤、後凝集剤を超高塩基度 PAC に 変更
RUN 6	5 度 (目標沈でん 水濁度 5 度)	なし	なし	0～6 mg/L	後 PAC のみ
RUN 7	5 度 (目標沈でん 水濁度 5 度)	2 mg/L	なし	0～25 mg/L	凝集沈でんせず後 PAC のみ

5) クリプトスポリジウム感染リスク評価

砂ろ過水を直接飲用する場合、ならびに、紫外線消毒後に飲用する場合を対象としたクリプトスポリジウム感染リスク評価を行った。後者については実測したクリプトレーサー除去率と砂ろ過水の紫外線吸光度の値により、ろ過水に対して紫外線消毒を行う場合の条件を仮定した。

・紫外線消毒によるクリプト不活化率の推定

表 2 および図 3 より、ろ過水の紫外線吸光度におけるクリプトスポリジウム不活化率を表 3 と仮定しリスク評価に用いた。

紫外線吸光度 abs./10mm	紫外線透過率 %
0.022	95
0.071	85
0.125	75

表 2 紫外線吸光度と透過率の関係<sup>1)</sup>

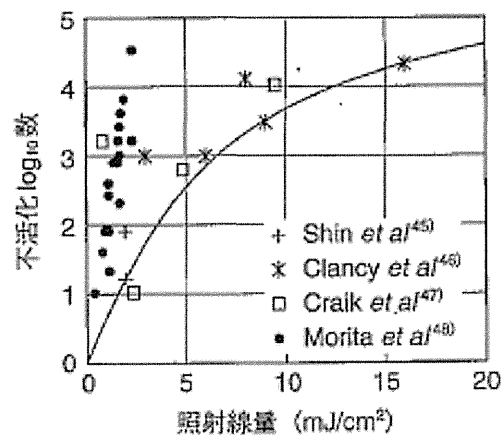


図 3 紫外線照射によるクリプト不活化率<sup>1)</sup>

表 3 各紫外線吸光度に対する不活化率

紫外線吸光度 abs./10mm	紫外線不活化率 log
~ 0.022	3.6
0.023 ~ 0.071	3.4
0.070 ~ 0.125	3.2
0.126 ~	3.0

・クリプトスポリジウム感染確率

以下の Hass 式<sup>2)</sup>より一年間の感染確率を推定した。

$$P(N) = 1 - e^{-N/k} \quad \text{式(1)}$$

ここで、P(N) : 摂取数 N の時の感染確率

N : 摂取数

k : 定数(クリプトスポリジウム: 238.601)

・原水中のクリプトスポリジウム

高濁度の水道原水に含まれるクリプトスポリジウムのオーシスト数として「100 個/L」と設定した。

・非加熱飲用水量

わが国における非加熱飲用水量について最近のアンケートや推定では 0.321L/日<sup>3)</sup>および 0.327 L/日<sup>4)</sup>との報告がある。ここではさらに安全側として「1.0L/日」と設定した。

### C. 実験結果

#### 1) 各運転条件におけるクリプトレーサー除去特性

各 RUN における濁度除去率とクリプトレーサー除去率の算出結果を表 4、図 4、5 に示す。

表 4 各 RUN における濁度除去率及びクリプトレーサー除去率

	原水 濁度 [度]	沈でん 水濁度 [度]	砂ろ過水 濁度[度]	凝沈 濁度 Log 除去率	砂ろ過 濁度 Log 除去率	凝沈 クリプト Log 除去 率	砂ろ過 クリプト Log 除去 率	Total クリプト Log 除去 率
RUN1 有機物なし、高濁	3	0.53	0.0017	0.7	2.5	0.7	2.2	2.9
	752	1.70	0.0027	2.6	2.8	2.3	3.0	5.2
	412	1.78	0.0022	2.4	2.9	2.4	>4.1	>6.5
	154	1.50	0.0023	2.0	2.8	2.2	2.5	4.8
	49	1.94	0.0018	1.4	3.0	1.7	3.4	5.1
RUN2 有機物あり、高濁	4	0.40	0.0013	1.0	2.5	1.0	3.9	4.9
	774	1.23	0.0023	2.8	2.7	2.6	5.8	8.4
	455	1.16	0.0021	2.6	2.7	2.4	4.9	7.3
	210	1.02	0.0012	2.3	2.9	2.4	5.5	7.8
	49	1.06	0.0006	1.7	3.2	2.2	5.3	7.5
RUN3 有機物あり、沈で ん不良、後 PAC	63	4.25	0.0015	1.2	3.5	1.0	3.6	4.6
	66	4.71	0.0005	1.1	4.0	0.9	>4.6	>5.5
	45	7.19	0.0003	0.8	4.4	2.0	>4.5	>6.5
	47	6.56	0.0004	0.9	4.2	1.1	3.9	5.1
	51	7.94	0.0006	0.8	4.1	0.9	>4.6	>5.5
RUN4 有機物あり、凝集 不良、後 PAC	42	5.70	0.0598	0.9	2.0	1.2	2.8	4.0
	42	5.40	0.0275	0.9	2.3	1.0	4.1	5.0
	47	7.01	0.0291	0.8	2.4	1.1	3.7	4.8
	48	6.76	0.0177	0.9	2.6	1.0	3.8	4.9
	39	6.65	0.0145	0.8	2.7	1.0	4.7	5.7
RUN5 有機物あり、凝集 不良、超高塩基度 PAC、後 PAC	37	7.49	0.0472	0.7	2.2	0.7	1.7	2.4
	38	6.42	0.0259	0.8	2.4	1.2	3.4	4.6
	52	7.02	0.0165	0.9	2.6	1.1	3.5	4.6
	44	6.19	0.0054	0.9	3.1	1.6	3.2	4.8
	42	6.98	0.0042	0.8	3.2	0.7	4.0	4.7
RUN6 有機物なし、凝沈 なし、後 PAC	-	5.33	4.60	-	0.1	-	0.1	0.1
	-	5.59	0.16	-	1.5	-	2.9	2.9
	-	5.40	0.12	-	1.6	-	3.4	3.4
	-	5.29	0.08	-	1.8	-	3.9	3.9
	-	5.18	0.16	-	1.5	-	2.7	2.7
RUN7 有機物あり、凝沈 なし、後 PAC	-	5.53	5.50	-	0.0	-	0.1	0.1
	-	5.55	5.50	-	0.0	-	0.1	0.1
	-	5.48	5.48	-	0.0	-	0.1	0.1
	-	5.43	0.58	-	1.0	-	2.1	2.1
	-	6.52	0.03	-	2.3	-	4.9	4.9
-	5.28	4.38	-	0.1	-	0.3	0.3	



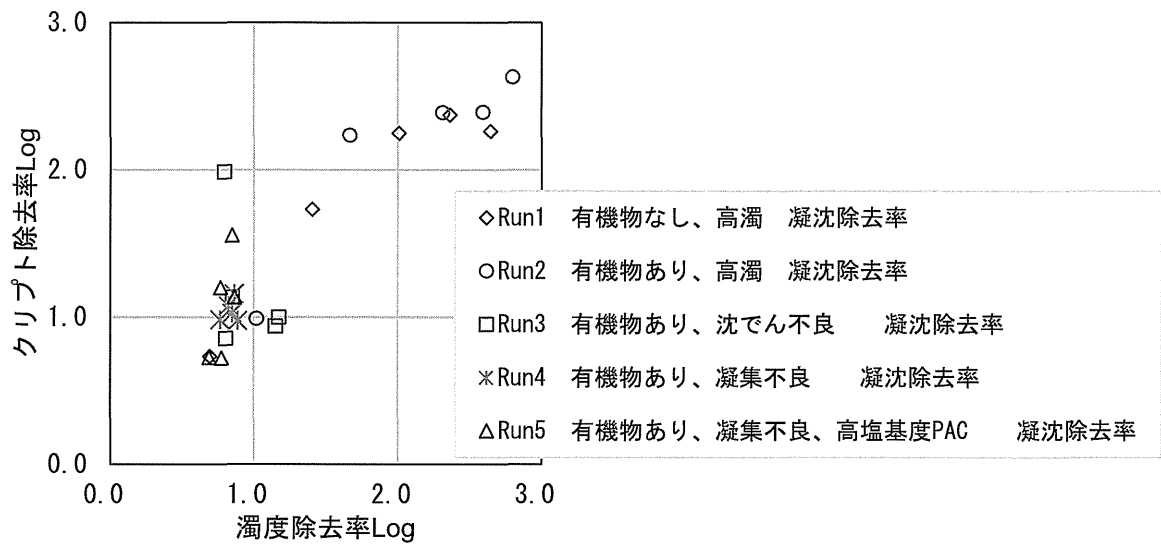


図4 各RUNにおける濁度除去率とクリプトレーサー除去率（凝集沈殿）

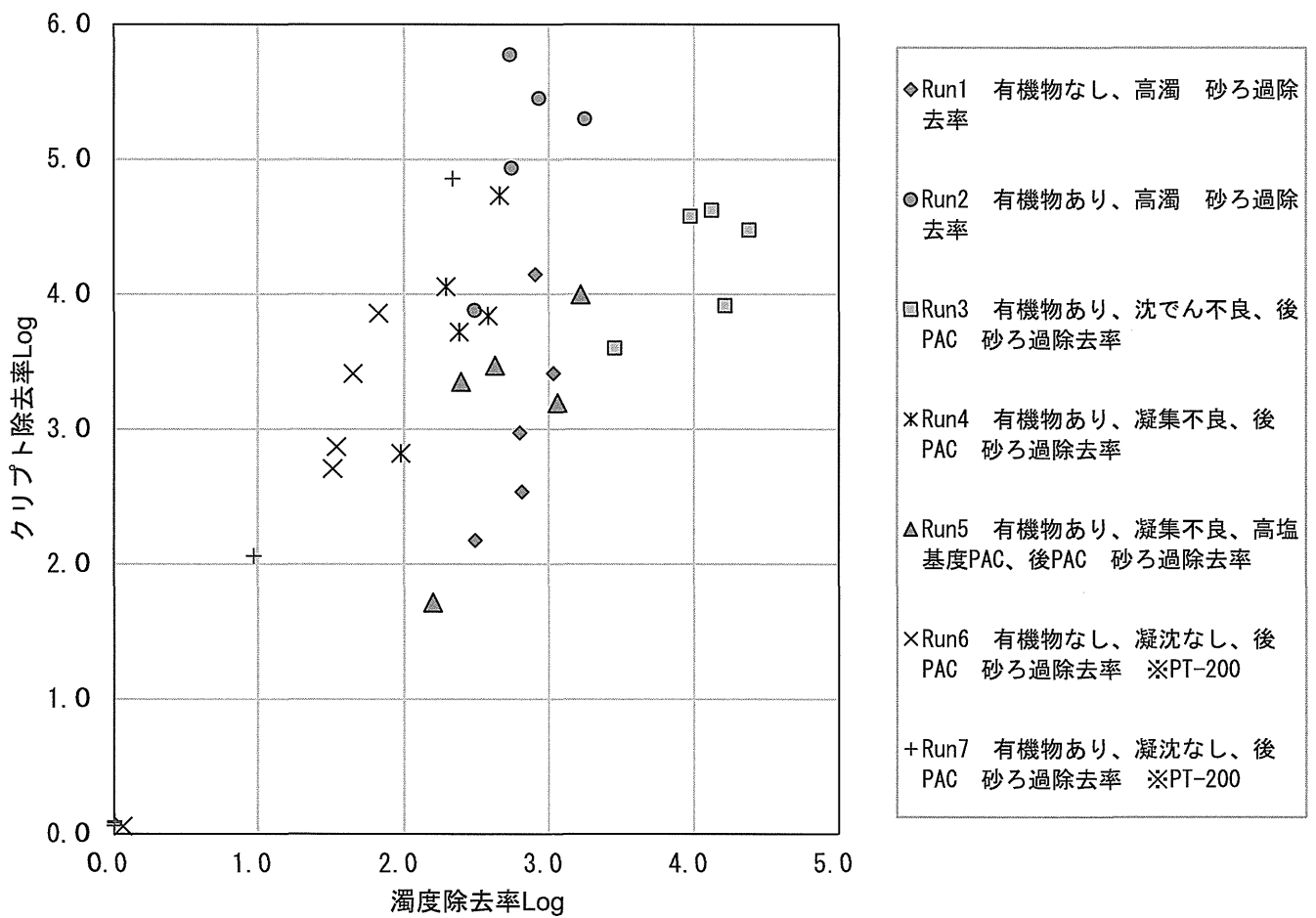


図5 各RUNにおける濁度除去率とクリプトレーサー除去率（砂ろ過）

(2) 超高塩基度 PAC によるクリプトレーサー除去性の評価

RUN4 及び RUN5 について、濁度除去率とクリプトレーサー除去率を比較した結果を図 6 に示す。砂ろ過除去率については、超高塩基度 PAC の方が従来 PAC より低かった。特に、凝集不良の条件下で後 PAC なしで砂ろ過を行った場合の除去率が、超高塩基度 PAC では、従来 PAC より低かった。粒度分布でも同様の傾向を示しており、超高塩基度 PAC は従来 PAC に比べて、3~7 $\mu\text{m}$  および 7 $\mu\text{m}$  以上での流出が多かった。特に、後 PAC の注入率が低いときにこの傾向が強かった。超高塩基度 PAC を後 PAC に用いた場合は、添加量が不十分だと、見かけは濁度除去できていても、従来 PAC より砂ろ過での除去率が低くなる可能性がある。

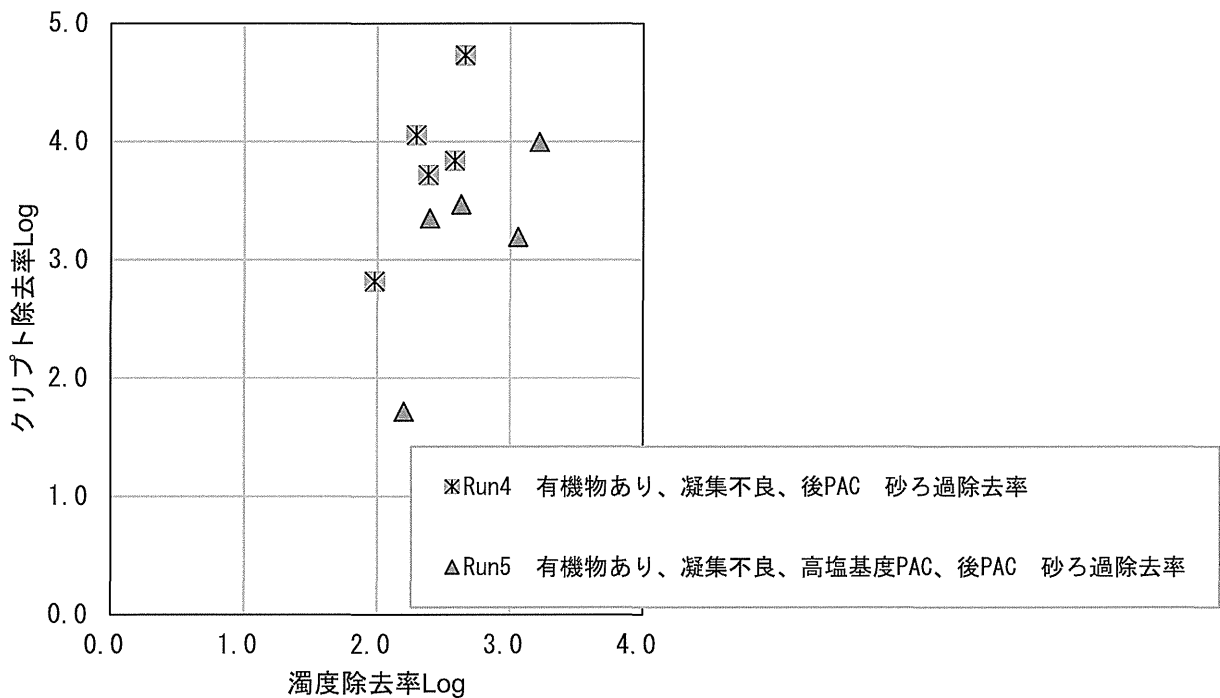


図 6 RUN4 および RUN5 の濁度除去率とクリプトレーサー除去率の比較 (砂ろ過)

(3) 後 PAC 注入によるクリプトレーサー除去性の評価

RUN3、RUN4、RUN6、RUN7 について、濁度除去率あたりのクリプトレーサー除去率を比較した結果を図 7 に示す。凝集沈澱を行わず後 PAC のみで処理を行った RUN6 と RUN7 は、有機物の有無にかかわらず、いずれも濁度除去率の上昇にともない砂ろ過除去率が上昇する傾向を示した。また、除去率は他の RUN より高かった。RUN4 (凝集不良、後 PAC) も同様の傾向を示した。RUN3 (沈でん不良、後 PAC) については、RUN4、RUN6、RUN7 とは異なる挙動を示した。ただし、RUN4 の一部の砂ろ過水中のクリプトレーサー粒子数が 0 個/L だったため、実際の除去率はより高いと考えられる。

これらのことから、凝集不良時の後 PAC による濁度除去は、クリプトスポリジウム除去にも高い効果を示すと判断できる。一方、沈でん不良時の後 PAC によるクリプトスポリジウム除去効果は限定的であると推測される。

ただし、粒径分布については、RUN4 及び RUN6（凝集不良もしくは直接ろ過で後 PAC）の砂ろ過水は、RUN3（沈でん不良、後 PAC）の砂ろ過水に比べて 3~7 $\mu$ m の粒子の割合が高かった。これは、凝集不良もしくは直接ろ過では、沈でん不良に比べて、濁度漏えいが起きた際のクリプトスポリジウム漏えいのリスクが高いことを示唆している。

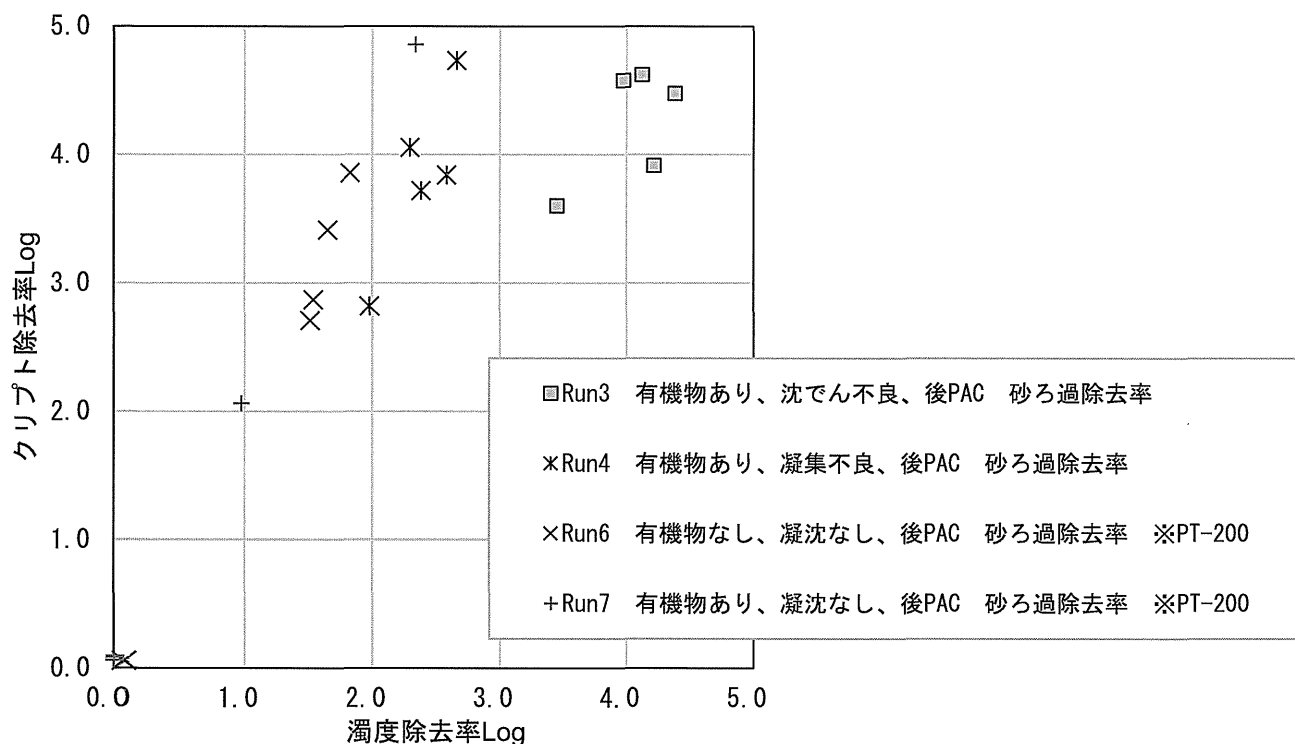


図7 RUN3、RUN4、RUN6、RUN7 の濁度除去率とクリプトレーサー除去率の比較（砂ろ過）

#### (4) クリプトスポリジウム感染リスク評価

各 RUN における感染確率を試算したところ、PAC の適正注入を実施した RUN2 を除いて、凝集沈でん及び砂ろ過のみの場合では米国 EPA が提唱する許容感染確率  $10^{-4}$  を超過したケースが大半であった（表 5）。また、砂ろ過水に対して紫外線処理を適用することで、感染確率  $10^{-4}$  を超過するケースは大幅に減少した（表 6）。

表5 凝集沈でん・砂ろ過処理水のクリプトスポリジウム感染確率

	原水中の クリプト濃度 個/L	飲用水量 L/日	除去率 log	摂取量 個/日	感染確率 人/年
RUN1	100	1	2.9	0.126	0.193
			5.2	0.000631	0.000965
			6.5	0.0000316	0.0000483
			4.8	0.00158	0.00242
			5.1	0.000794	0.00121
RUN2	100	1	4.9	0.00126	0.00193
			8.4	0.00000398	0.00000609
			7.3	0.00000501	0.00000766
			7.8	0.00000158	0.00000242
			7.5	0.00000316	0.00000483
RUN3	100	1	4.6	0.00251	0.00384
			5.5	0.000316	0.000483
			6.5	0.0000316	0.0000483
			5.1	0.000794	0.00121
			5.5	0.000316	0.000483
RUN4	100	1	4.0	0.01	0.0153
			5.0	0.001	0.00153
			4.8	0.00158	0.00242
			4.9	0.00126	0.00193
			5.7	0.0002	0.000306
RUN5	100	1	2.4	0.398	0.608
			4.6	0.00251	0.00384
			4.6	0.00251	0.00384
			4.8	0.00158	0.00242
			4.7	0.002	0.00306
RUN6	100	1	0.1	79.4	103
			2.9	0.126	0.193
			3.4	0.0398	0.0609
			3.9	0.0126	0.0193
			2.7	0.2	0.306
RUN7	100	1	0.1	79.4	103
			0.1	79.4	103
			0.1	79.4	103
			2.1	0.794	1.21
			4.9	0.00126	0.00193
			0.3	50.1	69.1
米国EPA基準 (10 <sup>-4</sup> ) 超過				83%	30
				最大	103
				最小	0.000000609

表6 凝集沈でん・砂ろ過・紫外線照射水のクリプトスポリジウム感染確率

	原水中の クリプト濃度 個/L	飲用水量 L/日	除去率 log	砂ろ過水 吸光度 abs./10mm	紫外線 不活化率 log	摂取量 個/日	感染確率 人/年
RUN1	100	1	2.9	0.001	3.6	0.0000316	0.0000483
			5.2	0.008	3.6	0.00000158	0.00000242
			6.5	0.011	3.6	7.94E-09	1.21E-08
			4.8	0.009	3.6	0.00000398	0.00000609
			5.1	0.007	3.6	0.0000002	0.00000306
RUN2	100	1	4.9	0.012	3.6	0.00000316	0.00000483
			8.4	0.007	3.6	1E-10	1.53E-10
			7.3	0.011	3.6	1.26E-09	1.93E-09
			7.8	0.009	3.6	3.98E-10	6.09E-10
			7.5	0.012	3.6	7.94E-10	1.21E-09
RUN3	100	1	4.6	0.014	3.6	0.00000631	0.00000965
			5.5	0.011	3.6	7.94E-08	0.00000121
			6.5	0.013	3.6	7.94E-09	1.21E-08
			5.1	0.013	3.6	0.0000002	0.00000306
			5.5	0.012	3.6	7.94E-08	0.00000121
RUN4	100	1	4.0	0.028	3.4	0.00000398	0.00000609
			5.0	0.021	3.6	0.00000251	0.00000384
			4.8	0.017	3.6	0.00000398	0.00000609
			4.9	0.017	3.6	0.00000316	0.00000483
			5.7	0.017	3.6	5.01E-08	7.66E-08
RUN5	100	1	2.4	0.020	3.6	0.0001	<i>0.000153</i>
			4.6	0.018	3.6	0.00000631	0.00000965
			4.6	0.019	3.6	0.00000631	0.00000965
			4.8	0.017	3.6	0.00000398	0.00000609
			4.7	0.017	3.6	0.00000501	0.00000766
RUN6	100	1	0.1	0.012	3.6	0.02	<i>0.0306</i>
			2.9	0.011	3.6	0.0000316	0.0000483
			3.4	0.009	3.6	0.00001	0.0000153
			3.9	0.010	3.6	0.00000316	0.00000483
			2.7	0.015	3.6	0.0000501	0.0000766
RUN7	100	1	0.1	0.147	3.0	0.0794	<i>0.121</i>
			0.1	0.174	3.0	0.0794	<i>0.121</i>
			0.1	0.171	3.0	0.0794	<i>0.121</i>
			2.1	0.069	3.4	0.000316	<i>0.000483</i>
			4.9	0.019	3.6	0.00000316	0.00000483
			0.3	0.183	3.0	0.0501	<i>0.0766</i>
米国EPA基準 (10 <sup>-4</sup> ) 超過						19%	7
						最大	0.121
						最小	1.53E-10



## D. 考察

### 1) フロック形成状況が異なる場合の二段凝集処理による効果

沈でん不良時あるいは凝集不良時に後 PAC を注入することで、いずれの場合にも砂ろ過水の濁度低減に効果があり、その効果は沈でん不良時のほうが顕著であった。また、凝集不良時よりも沈でん不良時の方が砂ろ過水濁度は低く、清澄化に要する時間も速やかであった。また、濁度除去率に対するクリプトスポリジウム除去率は、凝集不良時の方が沈でん不良時よりも高かった。

### 2) 従来型 PAC と超高塩基度 PAC の濁度およびクリプトスポリジウム除去能力の比較

超高塩基度 PAC は、従来型 PAC と同等以上の濁度除去能力を示し、特に PAC 注入率が高い条件において、従来型 PAC よりも除去能力に優れた。また、砂ろ過における損失水頭の上昇速度は、従来型 PAC よりも緩やかなであった。一方、クリプトスポリジウムの除去性については、超高塩基度 PAC は従来型よりも低い傾向が見られた。このことは、砂ろ過水中の粒径分布測定において、超高塩基度 PAC を使用した場合は、従来型 PAC に比べて粒径  $3\mu\text{m}$  以上の粒子が多く流出する傾向があることから確認できた。

### 3) 紫外線処理の導入によるクリプトスポリジウム感染リスク評価

凝集沈殿及び砂ろ過のみの場合では許容感染確率  $10^{-4}$  を超過したケースが大半に上り、適切な浄水処理が行われない運転条件下での感染確率の上昇が確認された。一方で、PAC の適正注入により最適な凝集沈殿処理の実施することで、感染リスクを適切に低減できることが示された。さらに、砂ろ過水に対して紫外線処理を適用することで、感染確率  $10^{-4}$  を超過するケースは大幅に減少した。このことから、高濁度原水に対して凝集沈殿・砂ろ過処理が不十分となるような事態に対して、感染リスク低減の面から紫外線処理の追加が有用であることが示された。

## E. 結論

高濁度原水の発生より凝集沈殿および砂ろ過処理が不十分となる場合に、二段凝集処理によって砂ろ過水の濁度を有効に低減できた。超高塩基度 PAC は従来型 PAC と同等以上の濁度除去能力を有していたが、クリプトスポリジウム模擬粒子の除去性は従来型よりも低い傾向が見られた。凝集沈殿および砂ろ過処理においてクリプトスポリジウムの除去が不十分となる場合でも、紫外線処理の追加によりほとんどの場合で感染リスクは  $10^{-4}$  未満となることから、紫外線処理導入の有用性が示された。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1 論文発表

なし  
2学会発表  
なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：紫外線処理設備について（平成19年3月30日事務連絡）
- 2) Haas, C. N., Crockett, C. S., Rose, J. B., Gerba, C. P. and Fazil, A. M. (1996)  
Assessing the risk posed by oocysts in drinking water. *Journal of American Water Works Association* 88(9), 131-136
- 3) 大瀧雅寛：非加熱水量アンケート調査結果報告 生活工学研究 第4巻 第2号 2002
- 4) 小松良光, 近藤才寛, 田川克弘：インターネットアンケートに基づく蛇口からの非加熱飲水量の調査およびデータ解析, 水道協会雑誌, 82 (3), 16-25, 2013