

「小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究」

**上向流式緩速ろ過における濁度及び大腸菌除去特性に関する研究**

研究代表者	浅見 真理	国立保健医療科学院
研究分担者	島崎 大	国立保健医療科学院
研究協力者	安達 吉夫	国立保健医療科学院

**研究要旨：**

近年の人口減少や高齢化、過疎化等の影響により、小規模水道の需要量は減少傾向にあり、施設の更新が進まず、維持管理に苦慮している。このような現状から、経済的で維持管理が容易な小規模で簡易な浄水処理施設の開発、導入が望まれている。

ここでは一部で導入されている上向流式緩速ろ過の濁度及び大腸菌の除去特性の検証を行った。小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向やろ過速度、原水濁度を変更して、ろ過水濁度及び微粒子の除去率を測定した。

上向流式緩速ろ過方式において、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度0.1度以下を維持するためには、原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下となった。

一方、ろ過水の微粒子数の結果から、ろ過水濁度の平均値が0.1度となった原水濁度50度、ろ過速度5m/日でクリプトスポリジウム、ジアルジアの大きさ(4~6 $\mu$ m)(長径8~12 $\mu$ m)である3~7 $\mu$ m、7~12 $\mu$ mの微粒子の除去率はそれぞれ4.7log、4.9logとなった。これは、Ottawaパイロットプラントでの最適な運転条件下におけるクリプトスポリジウムの除去率が4.9~5.8logである<sup>1)</sup>ことを考えると、同程度の除去効果を有していることとなる。よって、上向流式緩速ろ過システムを原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて運用した場合、ろ過水濁度が0.1度以下、クリプトスポリジウム等の除去効果が5log程度を期待できる。

なお、なお、砂層の濁質調査から下向流緩速ろ過は濁質が圧倒的に表層に多いのに対し、上向流緩速ろ過は底層から中層にかけて捕捉していた。

上記の結果から小規模水道の懸濁物質の除去施設として上向流緩速ろ過装置は十分適用可能であると言える。

上述の実験は毎回洗浄した結果であるが、実際は洗浄無しで連続的にろ過を行なわれる。そこで毎回洗浄有りとし洗浄無しと比較を行った。その結果、洗浄無しの場合は、洗浄有りに比べてろ過水濁度は低く安定していた。ちなみに、ろ過水濁度0.1度以下を維持するためには、原水濁度50度以下、ろ過速度10m/日以下となった。

その後、小型緩速ろ過実験装置を用いて、原水濁度2度でろ過槽の成熟(延べ20日間未洗浄でろ過したろ過層)、未成熟(毎回洗浄したろ過層)度別に、ろ過速度を変更させ、ろ過水濁度、大腸菌を測定した。

成熟・未成熟ろ過層ともろ過水の濁度は常に0.1度以下で、安定したろ過ができた。流速を20m/日まで段階的に上げても、濁度の大きな上昇は見られなかった。

大腸菌の大きさは2~4 $\mu$ mであるため、3~7 $\mu$ mにおける微粒子に注目した。成熟砂層で

の3~7 $\mu$ mの微粒子除去率は2.7log~3.2logで、成熟砂層での大腸菌の除去率(2.7log~2.9log)とほぼ一致した。

一方で、未成熟砂層の3~7 $\mu$ mの微粒子除去率は2.4log~2.5logで、未成熟砂層での大腸菌の除去率(1.2log~1.5log)とは一致しなかった。

このことから、ろ過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

クリプトスポリジウム等対策指針のろ過水濁度0.1度以下を満たすには、原水濁度やろ過速度、ろ過層の成熟度の制約を受けるが、例えば、上向流式緩速ろ過の後段に下向流式緩速ろ過を設けることで、原水濁度やろ過速度の制約を大きく緩和することができ、緩速ろ過の適用範囲を拡大できるのではないかと考える。

## A. 研究目的

高齢化及び人口減少等により、全国数千の地域において水道管路等で構成される水道及び飲料水供給施設等（以下、水供給システム）を維持することが困難となりつつある。水供給システムにおいて浄水処理施設は不可欠である。この場合の浄水処理施設は下記の要件が望ましい。

建設コストが安く、薬品等を使用しない方式であること。

維持管理が容易であること。

この2点に該当するものとして従来から下向流式緩速ろ過方式が使用されている。しかし、下向流式ろ過は原理上（懸濁物質は砂表面に堆積しやすい）定期的に砂のかきとり作業が必要である。そこで近年砂のかきとり作業の不必要な上向流式緩速ろ過方式が小規模水道を中心に導入が進んでいる。上向流式緩速ろ過はろ過槽下部の沈殿部から流入させるため、ある程度の沈殿効果も期待できること、また大きい径のろ過砂からろ過されるので懸濁物質は内部に侵入しやすく全層ろ過が期待される。しかし、下向流式緩速ろ過に比べて研究報告が少なく、その特性について明らかになっているとは言い難い。本研究の目的は小型実験装置を用いて、処理速度と原水濁度を変更させ、ろ過水濁度、微粒子数、大腸菌を測定することにより、上向流式緩速ろ過の特性を検証することにある。

## B: 研究方法

### 平成31年度: 上向流式緩速ろ過の濁度除去特性に関する研究

#### (1) 上向流式ろ過装置

上向流式緩速ろ過装置は直径30cm, 支持材として穴開け塩ビパネルにPVAスポンジを2枚重ね、その上に層厚30cmの緩速ろ過砂（有効径0.45mm）を充填したものである（図1）。

なお、ここでの下向流式緩速ろ過実験は上向流式緩速ろ過実験装置を用いて、流入水を上から注ぎ、ろ過方向を下方向にしたものである。

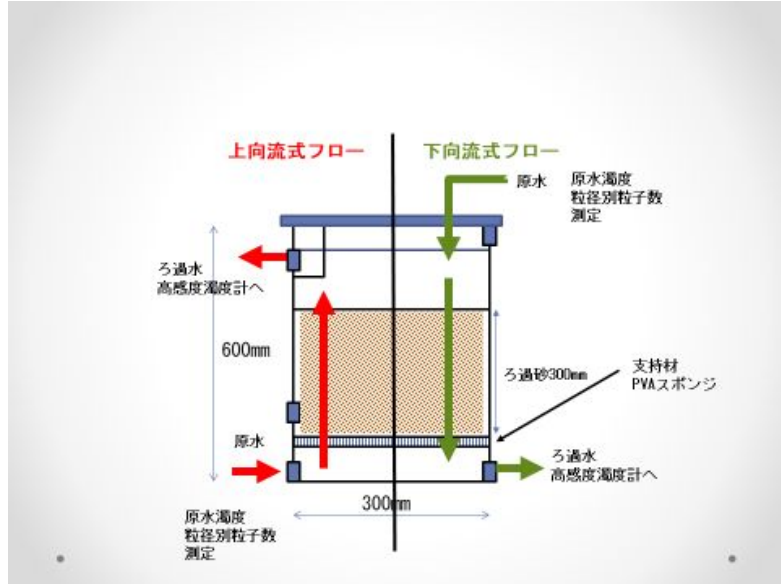


図1 上(下)向流式緩速ろ過装置

(2) 濁度及び微粒子数

実験は濁質成分としてカオリン(富士フィルム・和光純薬製)を用い、地下水で溶解して高濃度の原液を作成し、地下水で希釈し所定の濃度(10,30,50度)に調整した後、上向流式緩速ろ過装置下部から流入させ16時間通水した。

ろ過速度は5,10,15,20m/日である。

別に比較のために上向流式緩速ろ過装置を用いて下向流式緩速ろ過及び急速ろ過による濁度の除去実験も行った。

濁度及び微粒子数の測定は高感度濁度計で行った。

令和元年:上向流式緩速ろ過における濁度及び大腸菌に関する研究

(1) 実験設備について

1) 実験装置概要

本実験で使用した実験装置の略図を図2に示す。

ここでの下向流式緩速ろ過装置は上向流式緩速ろ過装置の後段に設置した。

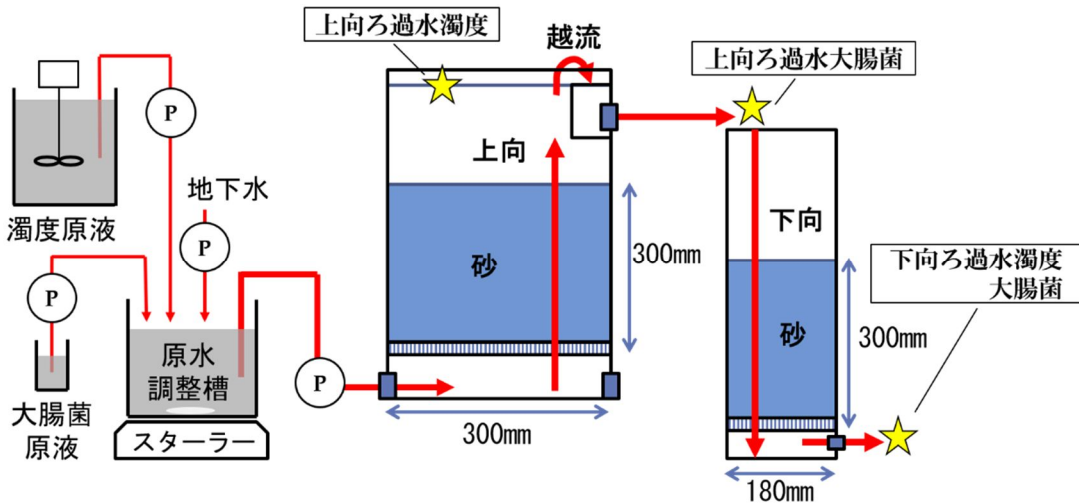


図2 上下向流式緩速ろ過装置概略図

## 2)大腸菌原液の調整

大腸菌 Escherichia coli K12 株を LB 培地 40mL に接種して 37℃, 24 時間振盪培養する。培養液を 2000rpm で 10 分間遠心分離を行う。上澄水を除去し、リン酸緩衝生理食塩水を 40mL 注入し、懸濁させたものを大腸菌原液とする。

## 3) 原水の調整

濁質はカオリンを用い地下水ポンプ及び濁度原液ポンプを調整し、2度となるように設定した。

大腸菌は地下水 + 濁度原液の水量に対して 1000 分の 1 となるように流量を調整した。これにより、原水の大腸菌数を  $1 \times 10^4$  cfu/mL 程度となることを期待した。

大腸菌数は実験中に一度サンプリングし、当日培養し、翌日計測した。

## 3)原水濁度及びろ過速度の設定

原水濁度は 2 度とし、ろ過速度は、5m/日、10m/日、15m/日、20m/日と設定した。小規模な水道では、短期的に水需要が倍以上に跳ね上がることが考えられる（例えば盆、正月など）ため、ろ過速度を変化させたときの濁度及び大腸菌の除去性能を調査しようと考えた。

## 4)ろ過層条件の設定

平成 30 年度の結果からろ過層の状態により結果が若干異なることも予想されたので令和元年度では 2 種類の状態のろ過層で実験を行った。

成熟ろ過層（未洗浄で延べ 20 日間（2019/7/16～10/9）ろ過したろ過層）と未成熟ろ過層（洗浄ろ過層）における濁度及び大腸菌の除去性能を明らかにすることと。

流速を変化させたときの濁度及び大腸菌の除去性能を確かめることにある。

このため、以下の 3 つの条件において実験を行った。表 1 に示す。

表 1 実験条件

	ろ層の状態	ろ過速度とろ過継続時間
実験フェーズ 1	成熟	5m/日で 5 時間通水
実験フェーズ 2	成熟	10m/日で 90 分 15m/日で 60 分 20m/日で 60 分間通水
実験フェーズ 3	未成熟 (洗浄)	10m/日で 90 分 15m/日で 60 分 20m/日で 60 分間通水

なお、下流系緩速ろ過層は未成熟ろ過層であり、連続ろ過を行った。

### (倫理面への配慮)

本研究は病原性を有しない大腸菌の純菌株を培養して使用しており、実験作業における作業員への危険はない。国立保健医療科学院微生物等に関するバイオセーフティー取扱要領に基づき、バイオセーフティー小委員会の審査ならびに承認を得て実施した。

## C:研究結果及びD.考察

### 1.上向流式緩速ろ過の濁度除去特性に関する研究

#### (1) 原水濁度およびろ過速度による比較

##### 1)ろ過水濁度の比較

上向流式ろ過において、原水濁度及びろ過速度の違いによるろ過水濁度の変化を比較した。ろ過速度が20m/日の時の原水濁度の違いによるろ過水濁度の推移を図3に、原水濁度が50度の時のろ過速度の違いによるろ過水濁度の推移を図4に示す。

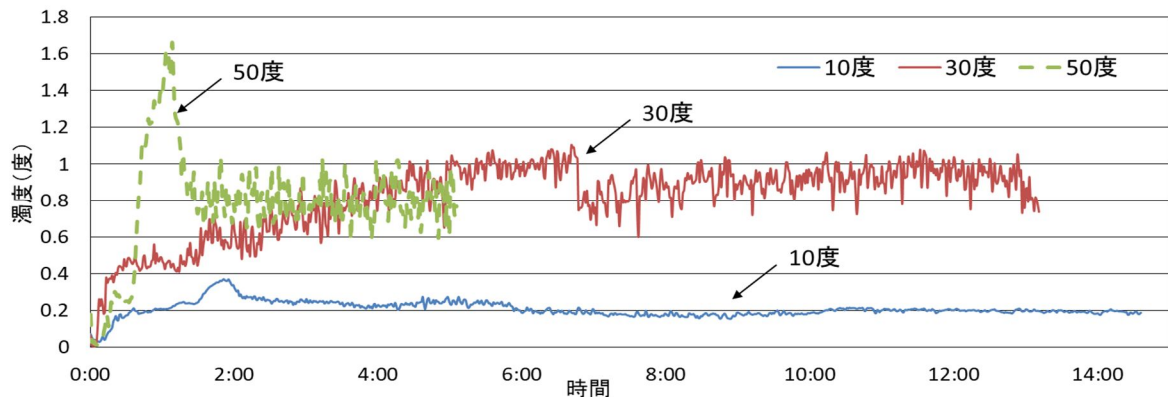


図3 原水濁度別ろ過水濁度の推移（ろ過速度：20m/日）

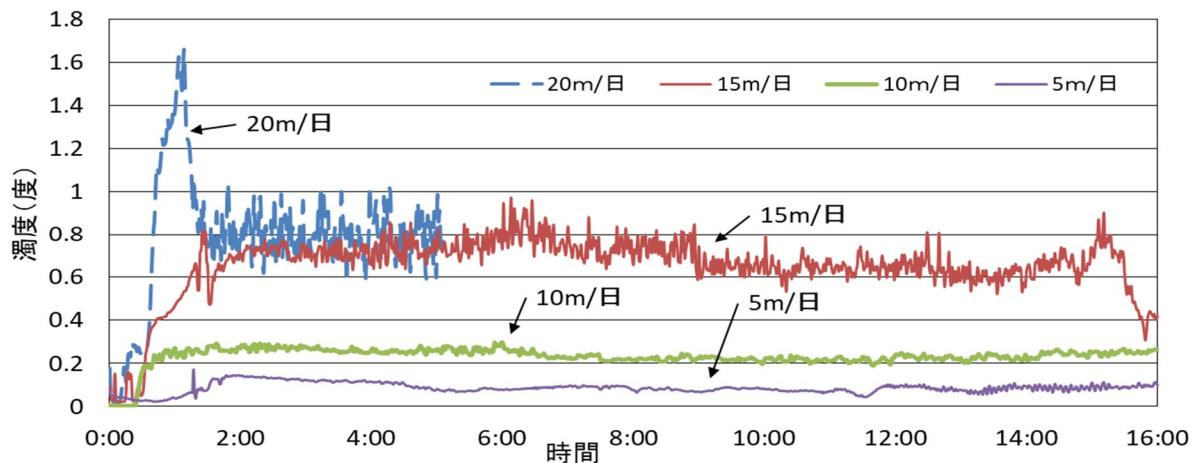


図4 ろ過速度別ろ過水濁度の推移（原水濁度：50度）

図3、図4ともろ過開始2時間まではろ過水濁度が安定していないのは、洗浄からろ過開始まで静置時間の不足等が考えられる。よって、ろ過開始2時間以降のデータを用いて比較することとした。原水濁度及びろ過速度別のろ過水濁度の平均値を表2に示す。

表2 原水濁度及びろ過速度別のろ過水濁度平均値

ろ過水濁度（度）		ろ過速度（m/日）			
		20	15	10	5
濁度 （度）	50	0.80	0.69	0.24	0.10
	30	0.88			
	10	0.20			

表2より、原水濁度の変化については、原水濁度50度と30度において、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、原水濁度10度においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。また、ろ過速度

の変化については、ろ過速度 20m/日と 15m/日において、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、ろ過速度 10m/日と 5m/日においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。

以上の結果から、上向流式ろ過方式により、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度 0.1 度以下を維持するためには、原水濁度 50 度以下、ろ過速度 5m/日以下であることが望ましいと考えられた。一般的な緩速ろ過方式の最大許容濁度が 10 度、ろ過速度が 4～5m/日であることを考えると、十分な値と言える。

## 2) 原水およびろ過水中の微粒子数の比較

原水濁度及びろ過速度の違いによる微粒子数の変化を比較した。ろ過水中の微粒子数は上述と同様にろ過開始 2 時間以降のデータの平均値とした。原水中の粒径毎微粒子数の分布を図 5 に、その含有率を図 6 に示す。

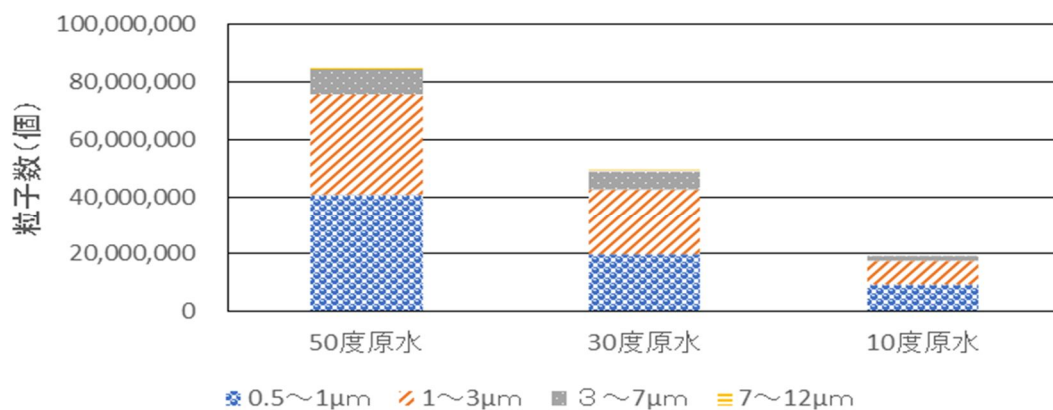


図 5 原水中の粒径毎微粒子数の分布

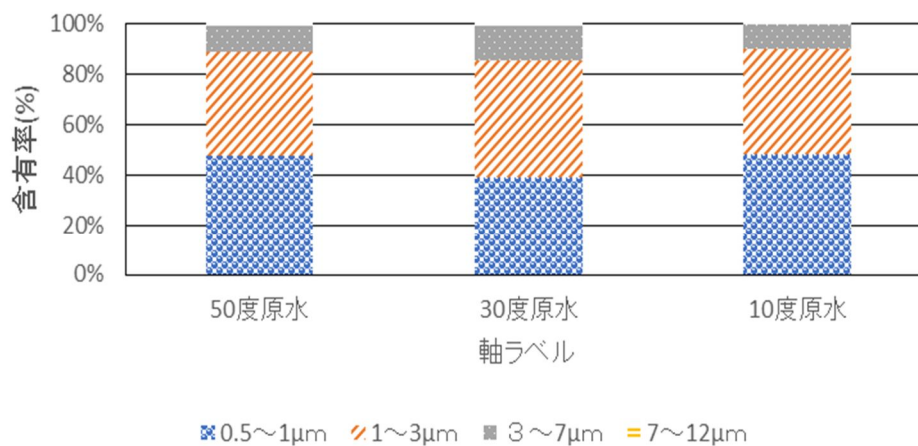


図 6 原水中の粒径毎微粒子の含有率

図 5、図 6 より原水中の微粒子数は濁度により大きく異なるものの、粒径毎の微粒子の含有率は同程度であった。

次に、原水濁度及びろ過速度を変化させた時のろ過水中の粒径毎微粒子数の分布を図 7、図 8 に示す。

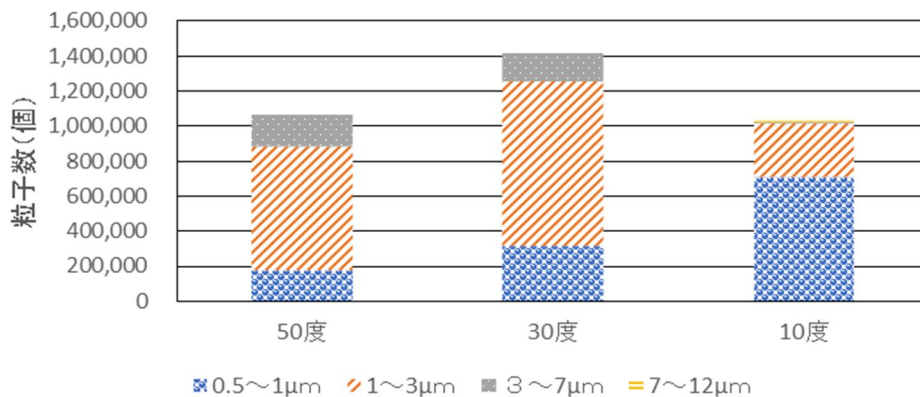


図7 原水濁度別ろ過水中の粒径毎微粒子数の分布 (ろ過速度: 20m/日)

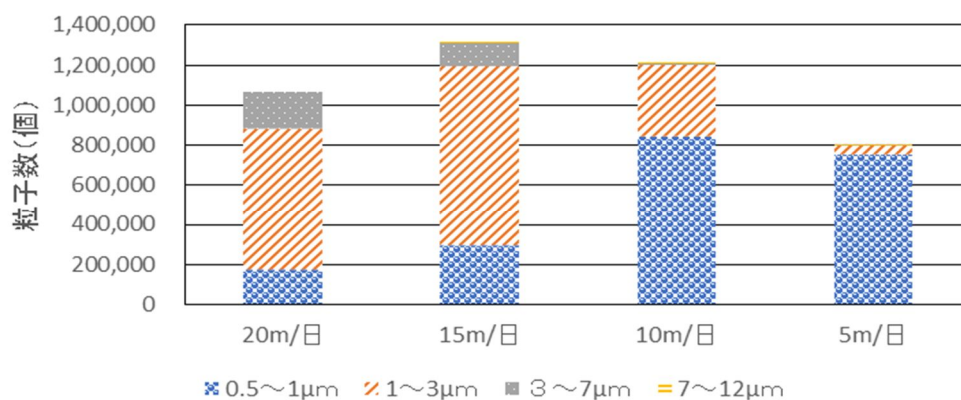


図8 ろ過速度別ろ過水中の粒径毎微粒子数の分布 (原水濁度: 50度)

図7より、原水濁度を变化させた場合のろ過水中の微粒子数は、原水濁度50度と10度において約100万個と同程度である。しかし、ろ過水濁度としては0.8度と0.2度で大きく異なっている。これは、高感度濁度計の粒子から濁度の換算は、粒子の表面積に換算して行われているためである。

### 3) 微粒子および濁度除去率の比較

原水濁度及びろ過速度の違いによる微粒子及びろ過水濁度の除去率を比較した。原水濁度及びろ過速度を变化させた時の除去率をそれぞれ図9、図10に示す。ろ過開始2時間以降のデータの平均値から算出した除去率を棒グラフで示し、最大値と最小値の幅を誤差範囲としてバーで示す。



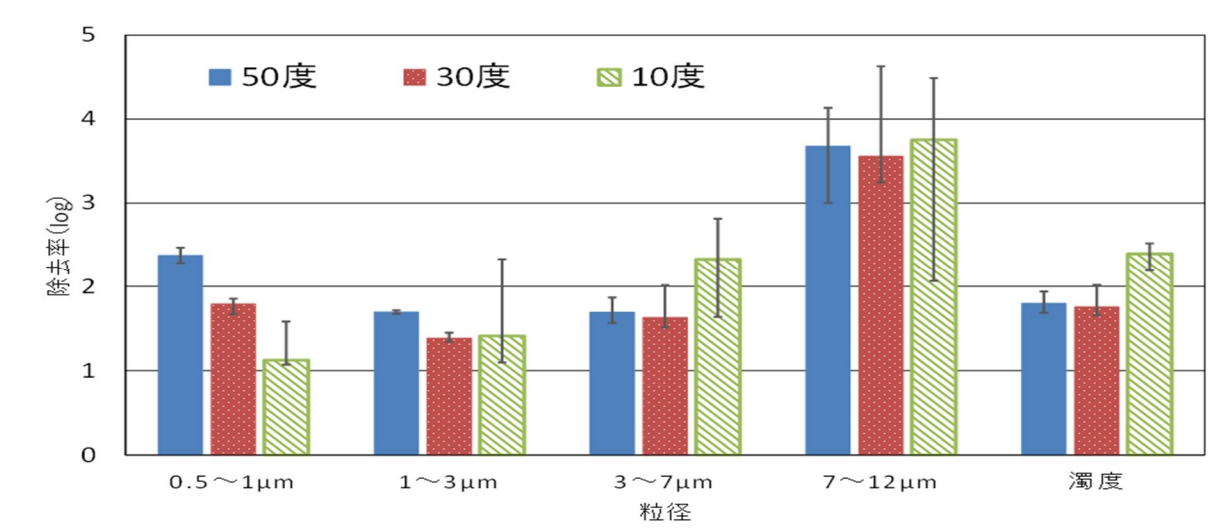


図9 原水濁度別除去率（ろ過速度：20m/日）

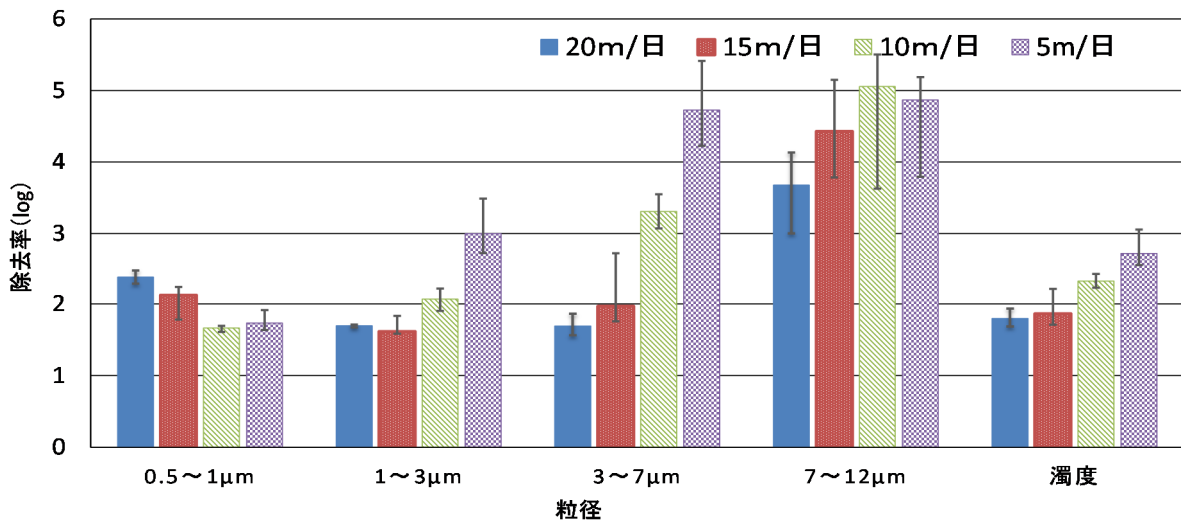


図10 ろ過速度別除去率（原水濁度：50度）

図9,10から濁度の数値に大きな影響を与える $1\mu\text{m}$ 以上の微粒子の除去率については原水濁度またはろ過速度の低減によつてろ過水濁度の除去率が上昇すると微粒子の除去率についても向上していることが分かる。

クリプトスポリジウムの大きさは $4\sim 6\mu\text{m}$ 、ジアルジアの大きさは長径 $8\sim 12\mu\text{m}$ 、短径 $5\sim 8\mu\text{m}$ であるため、次に、 $3\mu\text{m}$ 以上の微粒子について着目した。

クリプトスポリジウム等対策指針ではろ過水濁度が $0.1$ 度以下と規定されている。

図10からろ過水濁度の平均値が $0.1$ 度となった原水濁度50度、ろ過速度5m/日での $3\sim 7\mu\text{m}$ 、 $7\sim 12\mu\text{m}$ の除去率はそれぞれ $4.7\text{log}$ 、 $4.9\text{log}$ と高い除去率となった。これは、Ottawaパイロットプラントでの最適な運転条件下におけるクリプトスポリジウムの除去率が $4.9\sim 5.8\text{log}$ である<sup>1)</sup>ことを考えると、同程度の除去効果を有していることとなる。これは上向流式ろ過システムを原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて運用した場合、ろ過水濁度が $0.1$ 度以下、クリプトス



ポリジウム等の除去効果が5log程度を期待できるため、緩速ろ過システムとして十分適用可能であると言える。

## (2) ろ過方式の違いによる比較

### 1) ろ過水濁度の比較

上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過および急速ろ過の濁度の推移を図11に示す。どのろ過方式も、原水濁度は50度である。緩速ろ過のろ過速度は15m/日、急速ろ過のろ過速度は120m/日である。

図11から濁度除去性能は、良い順番に急速ろ過、下向流式緩速ろ過、上向流式緩速ろ過である。どのろ過方式も水質基準をクリアしているが、クリプトスポリジウム等対策指針である濁度0.1度をクリアしているろ過方式は急速ろ過のみである。急速ろ過は、凝集沈殿およびろ過という2つのプロセスを経ての結果であるため、処理性の観点からは極めて有力である。しかしながら、ろ過閉塞やろ過池の洗浄の観点から考えると維持管理に多くの作業が必要であると考えられる。

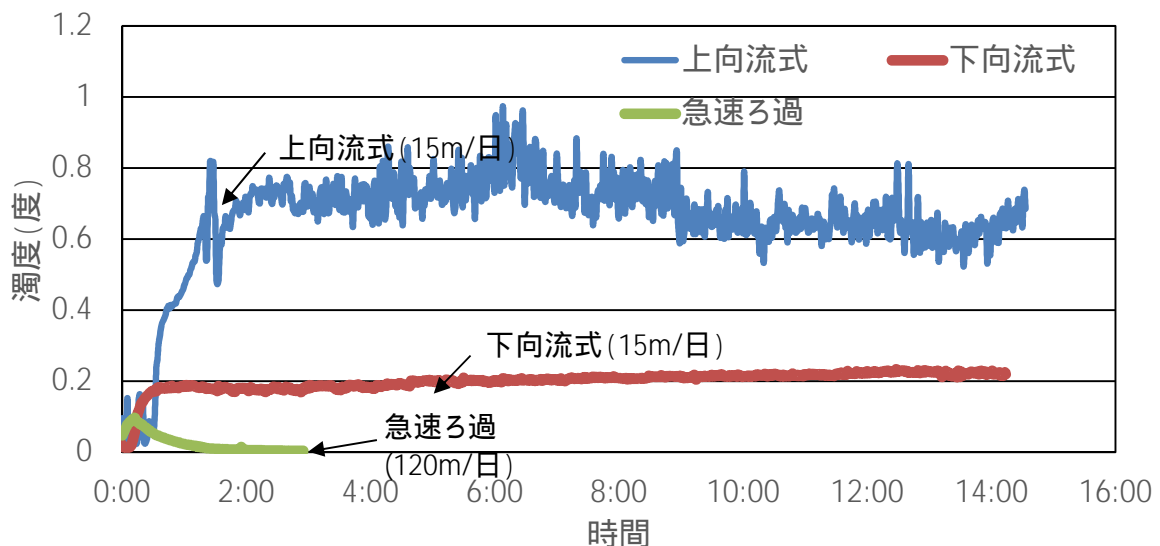


図11 ろ過方式別濁度の推移 (原水濁度50度)

### 2) ろ過水中の微粒子数の比較

ろ過水の粒径毎微粒子数の分布を図12に示す。この値も、ろ過が落ち着く2時間後のデータを平均したものである。

急速ろ過は図11で示した結果を裏付ける様に粒子数が緩速ろ過に比べてろ過水中の微粒子は少ない。

上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過では、粒子数の絶対数に差がないが、上向流式緩速ろ過は1)で考察した濁度に影響すると思われる1~3 $\mu$ m、3~7 $\mu$ mの大きな粒子数の絶対量も多く、比率が大きくなっている。

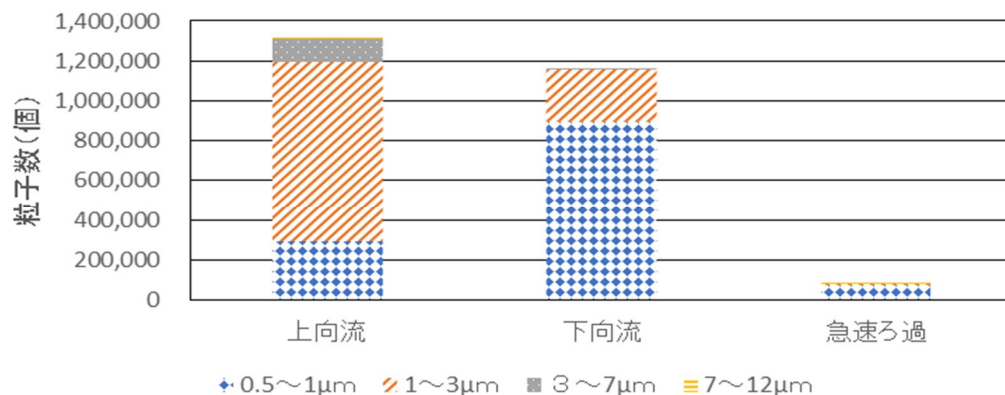


図 12 ろ過水の粒径毎微粒子数の分布

### 3) 微粒子および濁度除去率の比較

ろ過方式別の微粒子および濁度除去率を図 13 に示す。この図もろ過が安定した 2 時間後の平均を取った値であり、最大値と最小値の幅を誤差範囲としてバーで示している。どのろ過方式も 7 μm 以上の懸濁物質除去率は 4log を超えており、比較的大きな微粒子の除去率に大きな差がないことが確認できる。1~3 μm、3~7 μm の濁度に起因すると推測される粒子除去率は、図 11 に示したろ過水濁度の順番通りの除去率性能を示している。

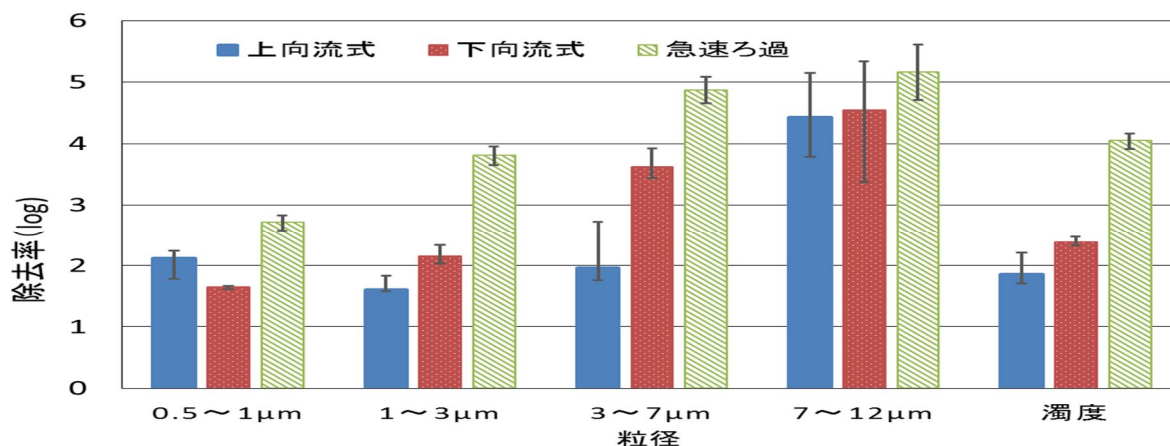


図 13 微粒子及び濁度除去率

### (3) 上向流式と下向流式ろ過の深度別の砂の濁質補足量調査

濁度 50 度原水、ろ過速度 15m/日における上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過において、除去作用の違いを見るためにろ過砂を 5 cm 毎に採取し、砂層 1 g あたりの濁質捕捉量を比較した。そのグラフを図 14 に示す。上向流式緩速ろ過では、下層から上層に向かって濁質捕捉量は落ちていくが、ほぼ全層にわたって捕捉している。一方、下向流式緩速ろ過では、上層部でかなりの量の濁質を捕捉している。これは、図 14 に示すとおり、ろ過砂表面にカオリンが表面に堆積していることが主因である。この堆積したカオリンとろ過砂による篩い分け作用によって濁質物質を捕捉しており、典型的な表層ろ過であることが分かった。

また、図 14 に示すとおり、砂ろ過表面が閉塞し損失水頭が増加したため、ろ過前原水の水位が上昇していることが確認された。

ところで、図 14 では、上向流と下向流以外の条件が同一に関わらず、濁質物質の捕捉量合計が大きく異なることがわかる。下向流式緩速ろ過ではろ過表面で濁質物質を捕捉していたのは、上記で述べたとおりであるが、上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過の濁度除去率（図 11）を考えると、上向流式緩速ろ過での捕捉量が少なく、除去濁質物質の量が異なる。これは上向流式緩速ろ過では、沈殿部において、濁質物質の沈殿を認められたので、大きな粒子の一部は沈澱して除かれたものと推察する。

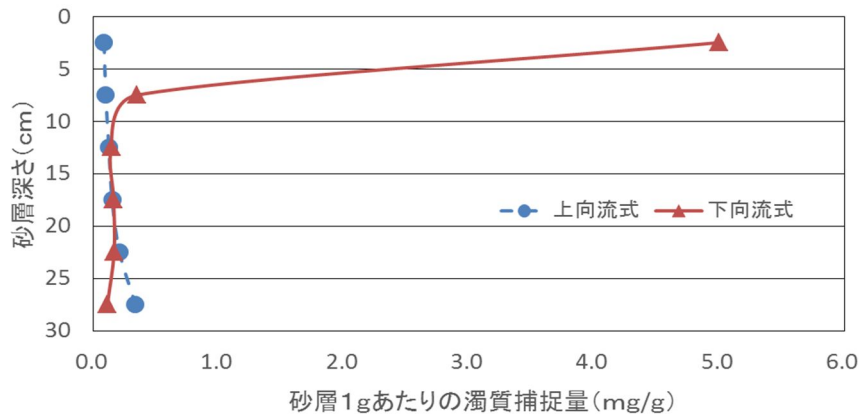


図 14 砂層 1g あたりの濁質捕捉量

#### (4) 上向流式緩速ろ過連続ろ過実験

図 15 は実際に小規模施設でみられる原水濁度 2 度、ろ過速度 5m/日 で洗浄なしで連続的に上向流緩速ろ過を行い、その結果を示したものである。実験期間は 2018 年 12 月 18 日～2019 年 2 月 27 日である。実験は調整により一時的に中断している。

結果は変動しながらも 0.1 度以下で推移している。

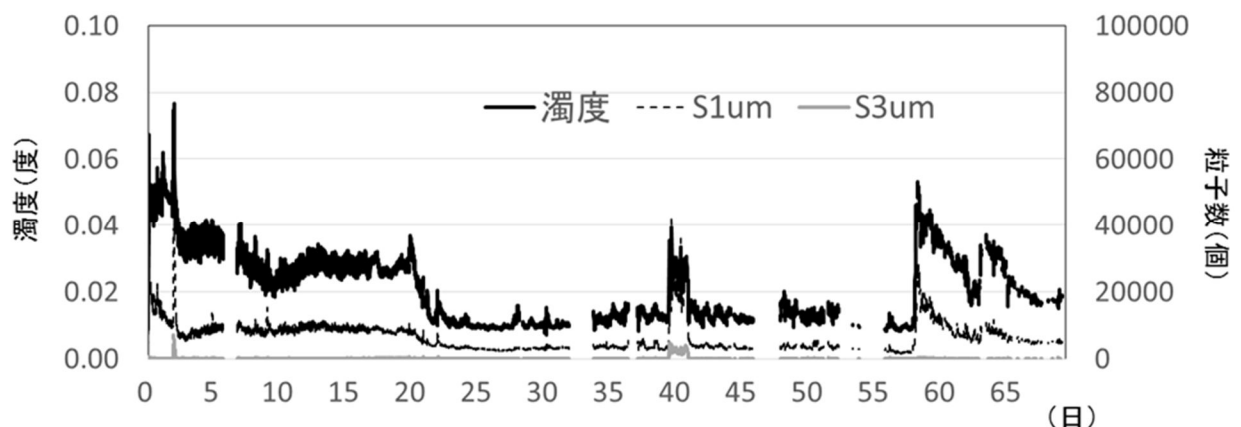


図 15 上向流式緩速ろ過によるろ過水濁度の推移（原水濁度 2 度、ろ過速度 5m/日）

#### (5) 上向流式緩速ろ過の毎回洗浄有り（未成熟）と無し（成熟）のろ過水濁度の比較

上向流式緩速ろ過層の砂層は洗浄後も多少膨張していると考えられる。実際には連続して使用されるので、ここでは毎回洗浄無し（初回のみ洗浄ろ過層）でろ過を行い、上述 C.1 の毎回洗浄有りの結果と比較した。以後、原水濁度 2 度で連続通水したろ過層を成熟ろ過層（延べ 20 日間未洗浄

でろ過したろ過層、または洗浄無し)と未成熟(毎回洗浄したろ過層、洗浄有り)について変化を観察した。

図 16 は毎回洗浄有りと洗浄無しについて原水濁度 50 度、ろ過速度 5m/日のろ過水濁度の推移を一例として示した。毎回洗浄無しは安定したろ過水濁度を示している。

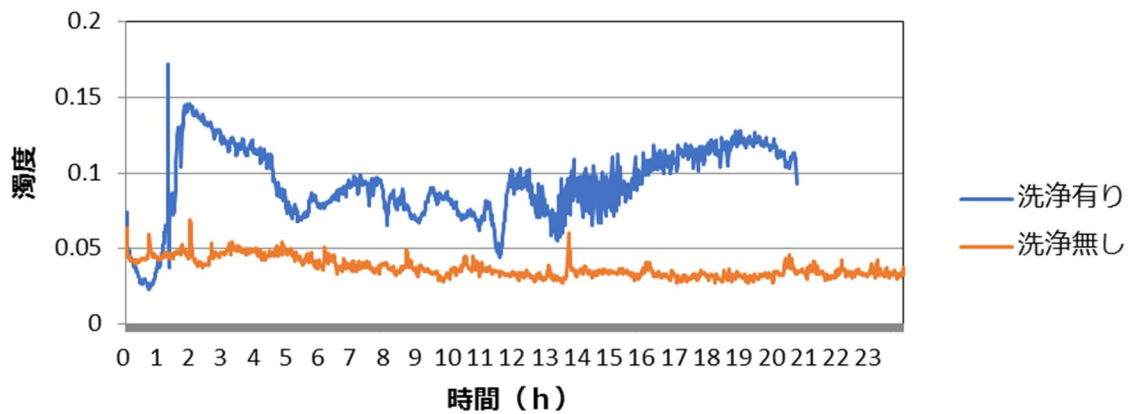


図 16 毎回洗浄有りと無しについて原水濁度 50 度、ろ過速度 5m/日のろ過水濁度の推移

図 17 は毎回洗浄有りと無しについてのろ過水濁度をろ過速度別に比較した一例である(原水濁度 50 度)。

図 17 から毎回洗浄有りは無しに比べて常に高く、ろ過速度 20m/日では約 3 倍高いこと示している。

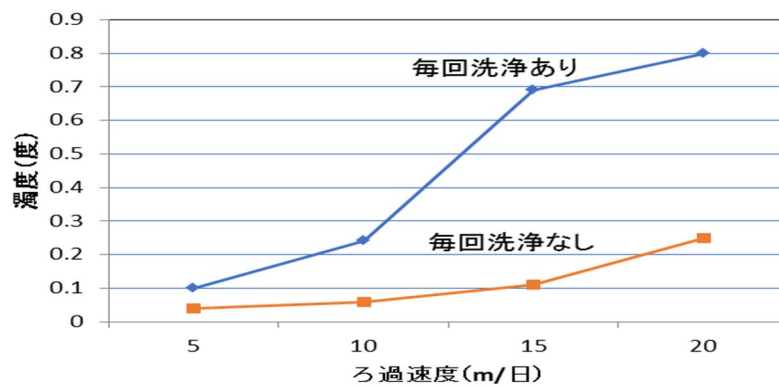


図 17 毎回洗浄有りと無しについてのろ過水濁度の比較(原水濁度 50 度、平均値)

表 3 は毎回洗浄有りと無しについての全体のろ過水濁度を平均値で比較したものである。

図 18 は毎回洗浄無し(初回のみ洗浄)の原水濁度、ろ過速度別にろ過水濁度を示したものである。

表3 毎回洗浄有り無しにおける原水濁度、ろ過速度別ろ過水濁度の比較（平均値）

原水濁度 (度)	ろ過速度 (m/日)			
	20	15	10	5
50	0.8(0.25)⑮	0.69(0.11)⑰	0.24(0.06)⑯	0.10(0.04)⑮
30	0.82(0.21)⑲	(0.08)⑭	(0.05)⑬	(0.05)⑫
10	0.20(0.06)⑳	(0.07)⑨	(0.08)⑥	(0.05)③
5	(0.04)⑪	(0.06)⑧	(0.06)⑤	(0.06)②
2	(0.04)⑩	(0.06)⑦	(0.06)④	(0.04)①

無印は毎回洗浄有り ( ) は毎回洗浄無し 〇 は毎回洗浄無しの実験順序

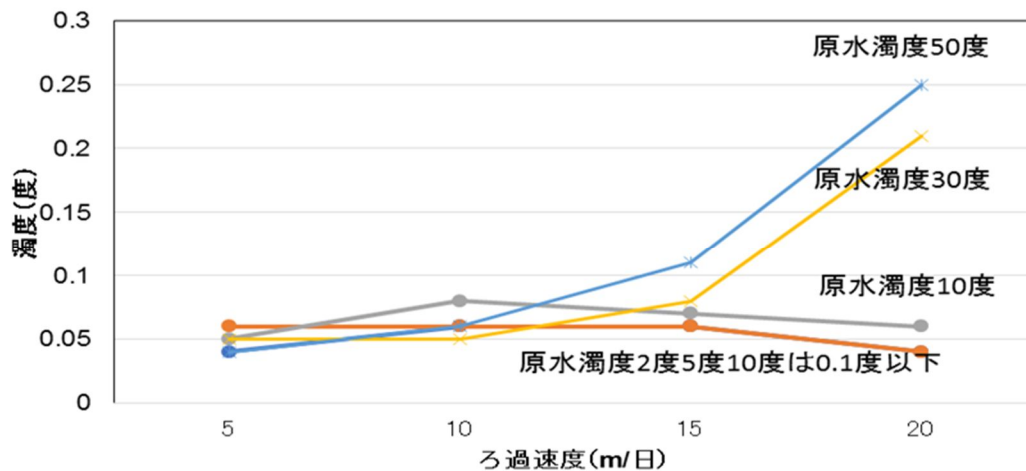


図18 毎回洗浄無しにおけるろ過速度、原水濁度とろ過水濁度の関係（平均値）

毎回洗浄無しについて、C.1 の条件と同様にろ過速度 5,10,15,20m/日、原水濁度 2,5,10,30,50 度で 24 時間ろ過を行った。ろ過水濁度(24 時間平均値)を示すと(表 3,図 18) 原水濁度 2,5,10 度までは濁度 0.1 度未満であり、原水濁度 30 度、50 度ではろ過速度 15m/日で若干上昇し、20m/ 日で急激に上昇した。

毎回洗浄無しの場合、ろ過水濁度 0.1 度以下を維持するためには、原水濁度 50 度以下、ろ過速度 10m/日以下であることが望ましい。これは洗浄有りの場合ろ過速度 5m/日以下と比較すると若干向上している。

## 2 上向流式緩速ろ過における濁度及び大腸菌除去に関する研究

### (1)濁度の除去性能について

ろ過水濁度については、実験フェーズ1,2,3とも安定し、0.1度未満であった。

### (2)大腸菌の除去性能について

各実験フェーズにおける大腸菌数の結果を表3及び表4に示す。すべての検体で大腸菌を検出したため、除去率の計算ができた。また、原水の大腸菌数はほぼ想定どおりのオーダーとなった(表4)。

表4 原水及びろ過水の大腸菌数 (cfu/mL)

砂層の状態	ろ速	原水	上向ろ過水	上向+下向
成熟	5m/日	8000	9	1
成熟	10m/日	13000	16	6
成熟	15m/日	13000	26	12
成熟	20m/日	13000	20	14
未成熟	10m/日	21000	600	80
未成熟	15m/日	21000	690	150
未成熟	20m/日	21000	1300	1200

次に、成熟ろ過層における大腸菌除去率を図19に示す。

上向流式緩速ろ過での大腸菌の除去率は2.7log~2.9logとなった。一方、下向流緩速ろ過での大腸菌除去率は0.15log~0.95logと、上向流式緩速ろ過に比べて低かった。また、上向流緩速ろ過ではろ過速度を上げて大腸菌の除去率は大きく変化しなかったが、下向流式緩速ろ過ではろ過速度を上げるに従って除去率が低下した。全体の除去率をろ過速度毎に比較すると、ろ過速度を上げるほど除去率は低下した。

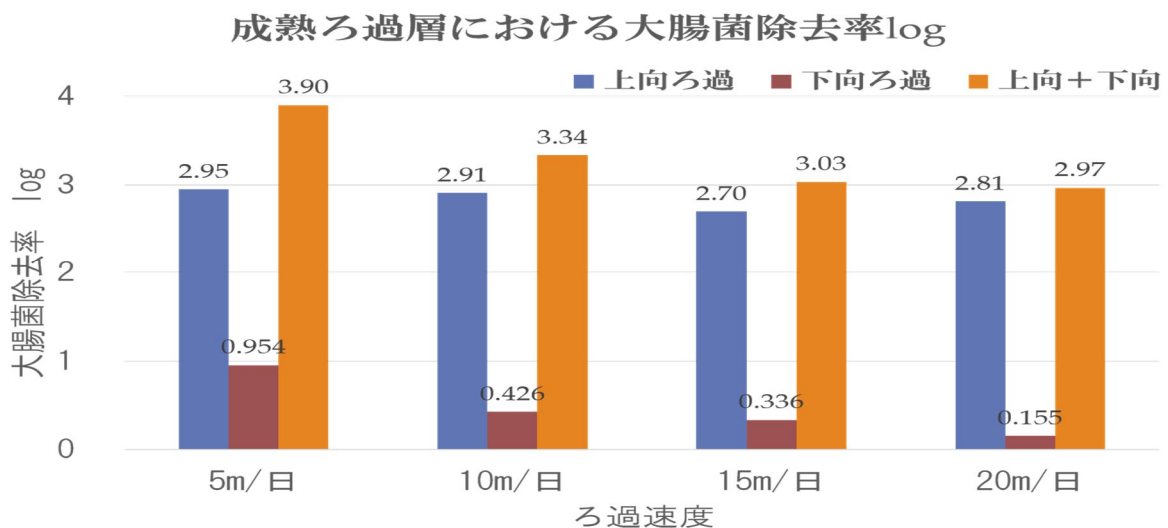


図19 成熟ろ過層における大腸菌除去率



成熟ろ過層と未成熟ろ過層における工程毎の大腸菌除去の様子を図 20 に示す。更に、上向流式緩速ろ過におけるろ過速度毎の除去率を図 21 に示す。

成熟ろ過層では上向流式緩速ろ過で 2.7log~2.9log の大腸菌が除去できている。また、ろ過速度を変化させても除去率にそれほど変化はなかった。それに対して未成熟ろ過層では上向流式緩速ろ過では除去率が 1.2log~1.5log と低くなり、更に、ろ過速度を上げるほど除去率は悪くなった。これは、濁度に関して未成熟ろ過層では通水するに従って安定し、速度を上げて濁度上昇が見られなかったこととは対照的である。

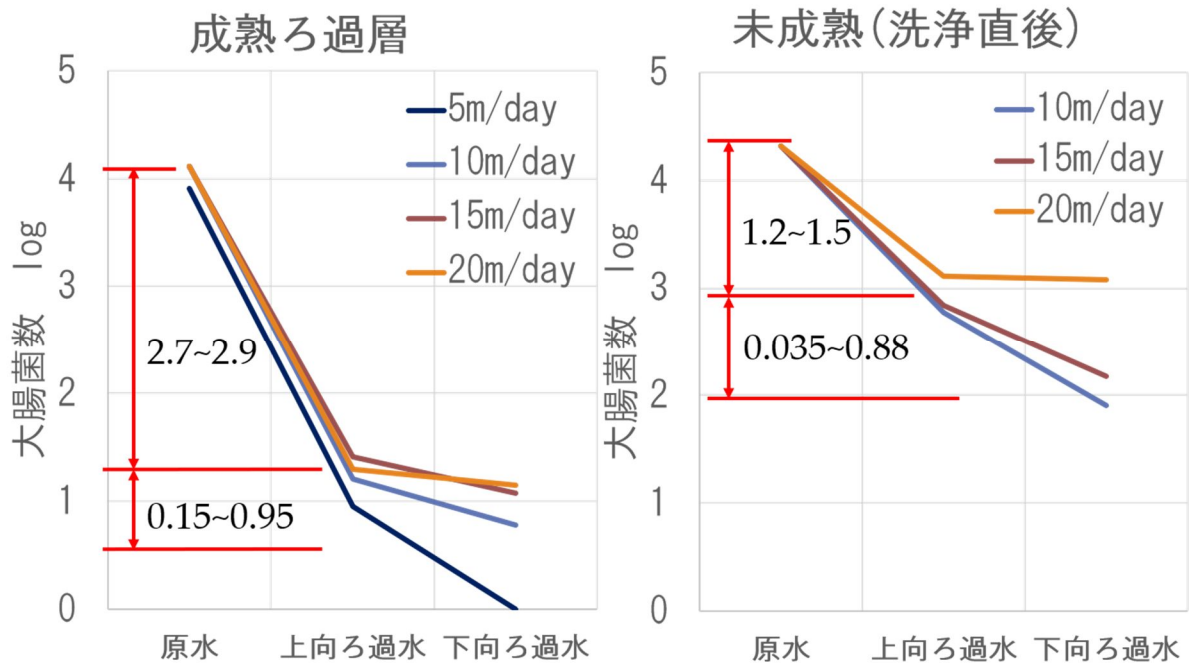


図 20 ろ過工程毎の大腸菌数

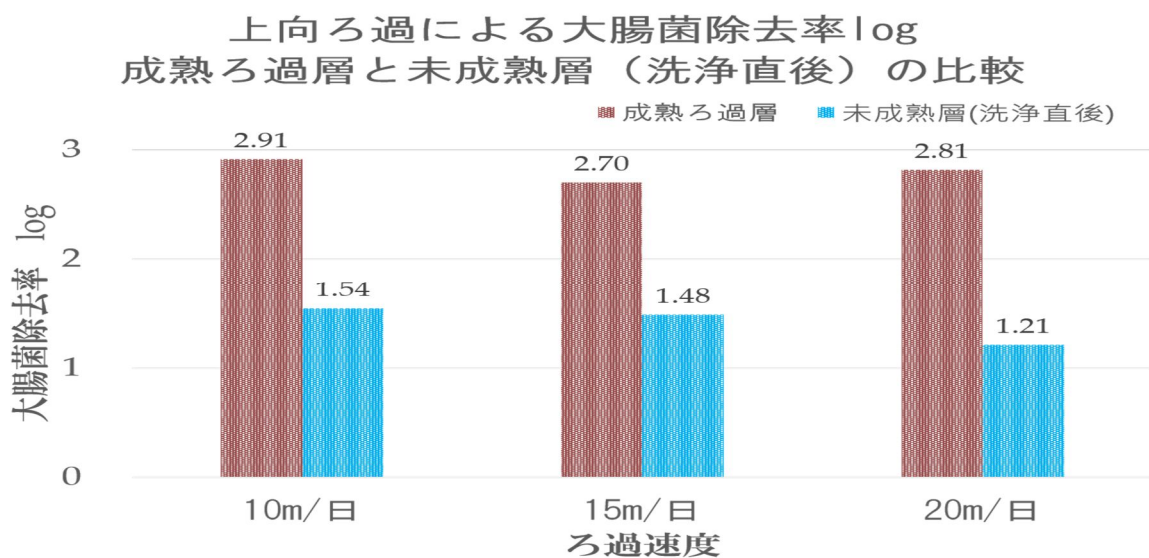


図 21 上向ろ過による大腸菌除去率

ここで、粒径別の微粒子除去率を成熟砂層と未成熟砂層で比較する(図 22)。大腸菌の大きさは 2~4 μm であるため、3~7 μm における除去率に注目した。

成熟砂層での3~7 $\mu\text{m}$ の微粒子除去率は2.7log~3.2logで、成熟砂層での大腸菌の除去率(2.7log~2.9log)とほぼ一致した。一方で、未成熟砂層の3~7 $\mu\text{m}$ の微粒子除去率は2.4log~2.5logで、未成熟砂層での大腸菌の除去率(1.2log~1.5log)とは一致しなかった。

このことから、ろ過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

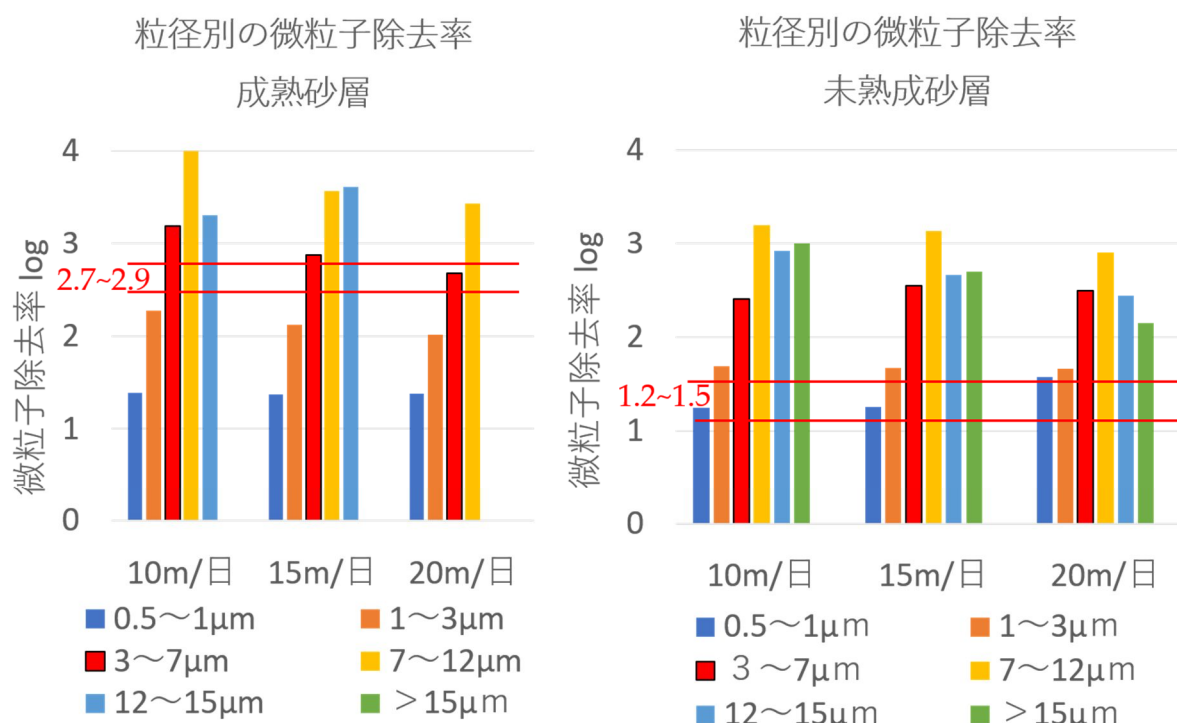


図 22 粒径別の微粒子除去率

## E. 結論

小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向やろ過速度、原水濁度を変更して、ろ過水濁度及び微粒子の除去率を測定し、上向流式緩速ろ過の濁度除去特性の検証を行った。

上向流式緩速ろ過方式において、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度0.1度以下を維持するためには、原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下となった。

一方、ろ過水の微粒子数の結果から、ろ過水濁度の平均値が0.1度となった原水濁度50度、ろ過速度5m/日でのクリプトスポリジウムの大きさである3~7 $\mu\text{m}$ 、7~12 $\mu\text{m}$ の微粒子の除去率はそれぞれ4.7log、4.9logとなった。これは、Ottawaパイロットプラントでの最適な運転条件下におけるクリプトスポリジウムの除去率が4.9~5.8logである<sup>1)</sup>ことを考えると、同程度の除去効果を有していることとなる。よって、上向流式緩速ろ過システムを原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて運用した場合、ろ過水濁度が0.1度以下、クリプトスポリジウム等の除去効果が5log程度を期待できる。なお、砂層の濁質調査から下向流緩速ろ過は濁質が圧倒的に表層に多いのに対し、上向流緩速ろ過は底層から中層にかけて捕捉していた。これらの結果から小規模水道の懸濁物質の除去施設として上向流緩速ろ過装置は十分適用可能であると言える。

上向流式ろ過層の砂層は洗浄後も多少膨張していると考えられる。実際には連続して使用され

るので、ここでは毎回洗浄なし（初回のみ洗浄ろ過層）と有りのろ過層で比較した。毎回洗浄有りのろ過層は毎回洗浄無しに比べて常に濁度が高く、ろ過速度 20m/日では約 3 倍高いこと示した。

その後、小型緩速ろ過実験装置を用いて、原水濁度 2 度でろ過槽の成熟（長期間ろ過したろ過層）、未成熟（毎回洗浄したろ過層）度別に、ろ過速度を変更させ、ろ過水濁度、大腸菌を測定した。

成熟・未成熟ろ過層ともろ過水の濁度は常に 0.1 度以下で、安定したろ過ができた。流速を 20m/日まで段階的に上げていっても、濁度の大きな上昇は見られなかった。

成熟砂層での 3~7 μm の微粒子除去率は 2.7log~3.2log で、成熟砂層での大腸菌の除去率（2.7log~2.9log）とほぼ一致した。一方で、未成熟砂層の 3~7 μm の微粒子除去率は 2.4log~2.5log で、未成熟砂層での大腸菌の除去率（1.2log~1.5log）とは一致しなかった。

このことから、ろ過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

本研究の一部は水道工学研修中に実施された。大阪広域水道企業団 中谷英嗣氏、奈良広域水質検査センター組合梶木慶太氏、吹田市水道部 井上史臣氏、北海道環境生活部 萩原健太氏、神奈川県企業庁企業局 上島功裕氏、長野市上下水道局 峯村篤氏、盛岡市上下水道局 澤田知之氏に謝意を表す。

#### (参考文献)

- 1) 国立保健医療科学院 生活環境研究部 水管理研究領域：平成30 年度第1回水道における微生物問題検討会 資料2，平成30年6月18日，p.2

#### F．研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

中谷英嗣，萩原 健太，梶木慶太，井上史臣，安達吉夫，浅見真理．上向流式緩速ろ過の濁度除去特性に関する研究．令和元年度 水道研究発表会講演要旨集．2019.11

#### G．知的所有権の取得状況

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3.その他

なし