

循環型ろ過処理システムにおける逆洗浄プロセスの新しい試み

金子 聡 (三重大学 大学院工学研究科, kaneco@chem.mie-u.ac.jp)

本田 俊亮 (三重大学 工学部, gunjintol@gmail.com)

勝又 英之 (三重大学 大学院工学研究科, hidek@chem.mie-u.ac.jp)

鈴木 透 (三重大学 環境保全センター, suzuki@chem.mie-u.ac.jp)

水谷 修 (明和工業株式会社, m-osamu@meiwakousan.com)

New attempt for water filtration and circulation systems

Satoshi Kaneco (Graduate School of Engineering, Mie University, Japan)

Shunsuke Honda (Faculty of Engineering, Mie University, Japan)

Hideyuki Katsumata (Graduate School of Engineering, Mie University, Japan)

Tohru Suzuki (Environmental Preservation Center, Mie University, Japan)

Osamu Mizutani (Meiwakousan Co., Ltd., Japan)

要約

本研究では、比重の小さい有機成分と無機成分からなるハイブリッドろ過材を用いた循環型ろ過システムにおいて、効率的な逆洗浄プロセスを検討した。従来の逆洗浄水を流して水質汚濁物質を剥離・流出させるだけでなく、エアバブリングシステムを追加し、逆洗浄水を流す前に、エアバブリングによりろ過材が水中に分散して懸濁状態となり、効果的に汚濁物質が剥離した。続いて、逆洗浄水を流して、汚濁物質をろ過塔外へ排出した。エアバブリングを組み込んだ逆洗浄プロセスが非常に有効であることが分かった。

キーワード

循環型ろ過処理システム, ハイブリッドろ過材, 逆洗浄, エアバブリング, 節水

1. はじめに

近年、大型の入浴施設では、浴槽水を毎日交換せずに、循環型ろ過システムで浴槽水を使い続けている場合が増えてきている。また、プールでは、循環型ろ過システムにより水質をよりよくしている場合がほとんどである。このように、循環型ろ過システムは、浴槽やプールにおいて幅広く用いられてきている(村田, 1992; 野知他, 2008; 福井・岡田, 2012; 佐野他, 2013)。

循環型ろ過システムでは、浴槽水やプールの水を循環ポンプにより循環させ、ろ過装置で浄化処理するシステムが一般的なものとなっているが、外部に設置されている種類のもの、その大多数が砂ろ過方式であり、この砂ろ過方式のろ過システムには逆洗浄プロセスが必要不可欠である。逆洗浄プロセスを行わないと、砂ろ過材に水質汚濁物質が蓄積し続けるため、最終的には、ろ過能力の著しい低下や循環ポンプの必要圧力の増加などを引き起こす。したがって、少なくとも1日1回の逆洗浄プロセスが必要である。通常、逆洗浄プロセスの時間は、おおよそ5～7分間ぐらいであり、それに用いられる逆洗浄水は、通常循環させている水を用いている。逆洗浄水は、一般的に全量排水廃棄しており、逆洗浄プロセスの時間が長いと、廃棄する水の量が増加するため、効率的な逆洗浄プロセスが求められている(村田, 1992; 野知他, 2008; 福井・岡田, 2012; 佐野他, 2013)。

これまで、循環型ろ過システムにおけるろ過材として砂が用いられてきたが、近年、砂以外にセラミックスがろ過材として用いられてきている。さらに、比重の小さい有機成分と

無機成分からなるハイブリッドろ過材も開発されてきている。しかしながら、比重が小さく、新規なろ過材(ハイブリッドろ過材)における効率的な逆洗浄プロセスは、ほとんど検討されていない。

従って、本研究では比重の小さい有機成分と無機成分からなるハイブリッドろ過材を用いた循環型ろ過システムにおいて、効率的な逆洗浄プロセスを検討した。従来の逆洗浄水を流して水質汚濁物質を剥離・流出するだけでなく、エアバブリングシステムを追加し、逆洗浄水を流す時間の短縮を試みた。

2. 方法

本発明の実施の形態における污水处理システムを図1と図2に示す。縦75 cm、横65 cm、高さ60 cmの水槽に汚濁水200 Lを入れた。直径21 cm、高さ110 cmのろ過塔を2段に仕切り、比重が比較的小さく、有機成分と無機成分からなるハイブリッドろ過材を充填し、循環ポンプにより水を循環することによりろ過を行う循環式ろ過システムを設置した。ハイブリッドろ過材は、1段に9.4 kg充填してあり、2段を合わせると合計18.8 kg充填した。図1は、循環式ろ過システムによる通常のろ過処理を示している。図2は、逆洗浄工程のプロセスを示している。まず、エアバブリングを実施して、ろ過材が水中に分散して懸濁状態となり、効果的に汚濁物質が剥離した。続いて、逆洗浄水を流して、汚濁物質をろ過塔外へ排出した。

比較のために砂ろ過による污水处理システムを用いた。上記と同じ水槽に汚濁水200 Lを入れた。直径21 cm、高さ120 cmのろ過塔に砂ろ過材を充填し、循環ポンプにより水を循環することによりろ過を行う循環式ろ過システムを設置した。砂ろ過材は、径0.6 mm以下: 28 kg、1～2 mm: 4.7

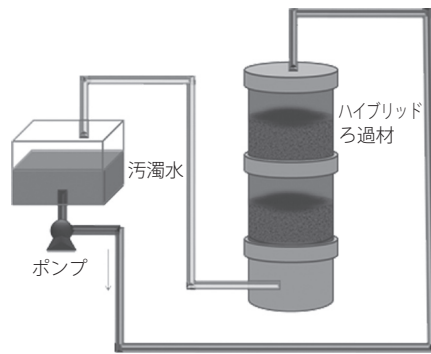


図1：ハイブリッドろ過材を用いる循環式ろ過システムによるろ過処理

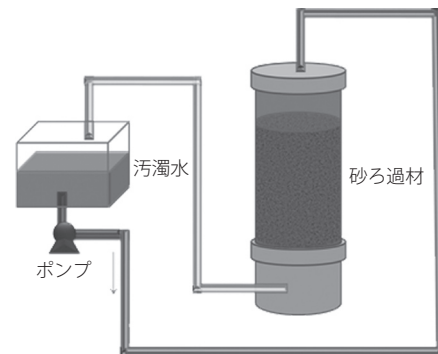


図3：砂ろ過材を用いる循環式ろ過システムによるろ過処理

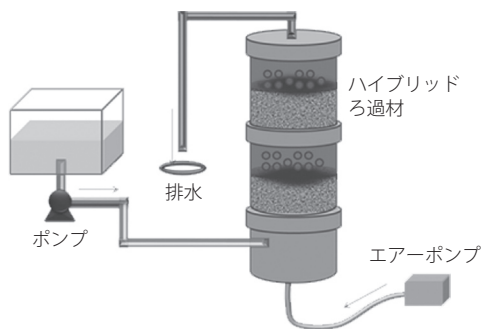


図2：ハイブリッドろ過材を用いた、エアバブリングを伴う逆洗浄工程

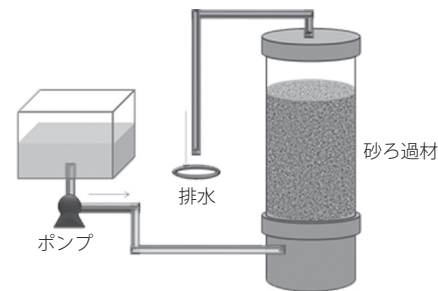


図4：砂ろ過材を用いた、逆洗浄水のみによる逆洗浄工程

kg、4～8 mm：4.7 kg、8～12 mm：4.7 kg 充填しており、合計42.1 kgを使用した。図3が、循環式ろ過システムによる通常のろ過処理を示している。図4は、逆洗浄工程のプロセスを示している。砂ろ過材の場合には、逆洗浄水を流すことでのみ、汚濁物質をろ過塔外へ排出した。

循環式ろ過システムにおけるろ過材の量は、有機成分と無機成分からなるハイブリッドろ過材を用いた場合と砂ろ過材を用いた場合で、ろ過性能がほぼ同程度になるように設定した。水質の評価は濁度計（セントラル科学社製ST-100）を用いた。

まず、日本工業規格JIS試験用粉体I-16種（粒子密度2.7 g/cm³、中位径の範囲3.6～4.6マイクロメートル）を用いて、濁度10.0 NTUの模擬汚濁水200 Lを調製した。1.0 m³/時間の流量で循環式ろ過システムにより模擬汚濁水200 Lを浄化した。2時間循環させることにより、水槽の模擬汚濁水200 Lの濁度は、ハイブリッドろ過材及び砂ろ過材を用いた場合、共に、10.0 NTUから2.0 NTUに減少した。したがって、ろ過塔内で捕捉されて残存している汚濁物質量は、ハイブリッドろ過材のろ過塔、及び砂ろ過材のろ過塔共に同量であると考えられた。続いて、循環式ろ過を止めて、逆洗浄水を流して逆洗浄プロセスを実施した。

実試料は、ゴルフ場の公衆浴場の汚濁水を用いた。具体的には、濁度10.0 NTUに調整した実汚濁水200 Lを水槽に入れた。1.0 m³/時間の流量で循環式ろ過システムにより実汚濁水200 Lを浄化した。2時間循環させることにより、水槽の実汚濁水

200 Lの濁度は、ハイブリッドろ過材及び砂ろ過材を用いた場合、10.0 NTUから2.0 NTUに減少した。したがって、実汚濁水の場合も、ろ過塔内で捕捉されて残存している汚濁物質量は、ハイブリッドろ過材のろ過塔、及び砂ろ過材のろ過塔共に同量であると考えられた。続いて、循環式ろ過を止めて、逆洗浄水を流して逆洗浄プロセスを実施した。

3. 結果

3.1 模擬汚濁水の場合

ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔の場合、逆洗浄プロセスの前にバブリングを実施せず逆洗浄水を流すパターンと、0.10 m³/分の流量で3分間エアバブリングを行ってから、逆洗浄水を流すパターンの2種類を行った。砂ろ過材を用いる場合では、逆洗浄水を流すパターンのみを行った。

したがって、以下の3種類の逆洗浄水を流す実験を行った。①ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔において、0.10 m³/分の流量で3分間エアバブリング行ってから1.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した。②ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔において、エアバブリングを行わず、1.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した。③砂ろ過材を用いるろ過塔において、エアバブリングを行わず、1.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した。

まず、模擬汚濁水で実験を行った。その結果を図5に示す。縦軸は、ろ過塔から流出してくる洗浄水の濁度、横軸は逆洗浄水を流す時間である。逆洗浄水を流した直後にグラフが上にあるほど、ろ過塔から流出してくる逆洗浄水中に汚濁物質（この場合、粉体粒子）が含まれていることになり、効果的に

汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることになる。図5の結果より、エアバブリングを実施するパターンが、3種類の実験の中で、最も効果的に汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。

次に、逆洗浄水を流す流量が1.5 m³/時間である以外は、図5と全く同じ実験内容を行った。その結果を図6に示す。逆洗浄水の流量が1.0 m³/時間の時と同様に、流量が1.5 m³/時間の場合でもエアバブリングを実施するパターンが3種類の実験の中で、最も効果的に汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。

続いて、逆洗浄水を流す流量が2.0 m³/時間である以外は、図5と全く同じ実験内容を行った。その結果を図7に示す。逆洗浄水の流量が1.0 m³/時間の時と同様に、流量が2.0 m³/時間の場合でもエアバブリングを実施するパターンが3種

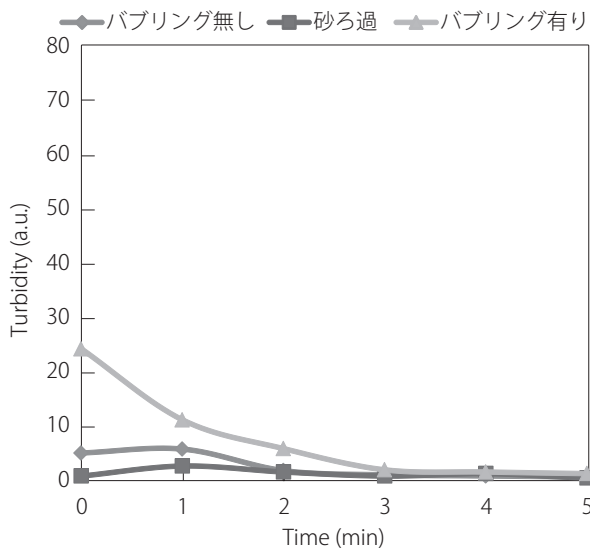


図5：1.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(模擬排水)

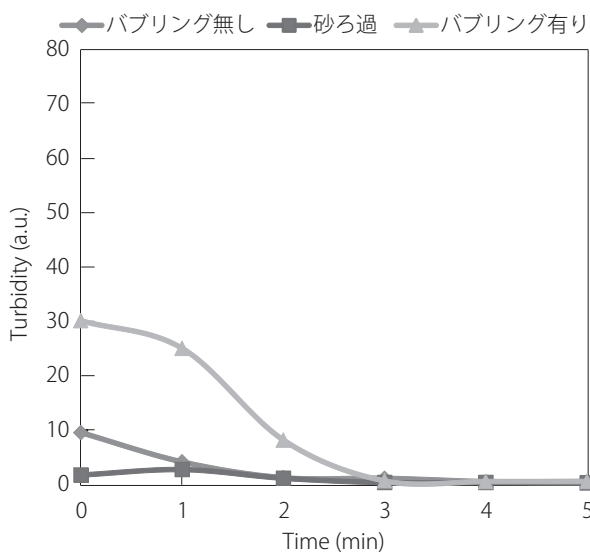


図6：1.5 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(模擬排水)

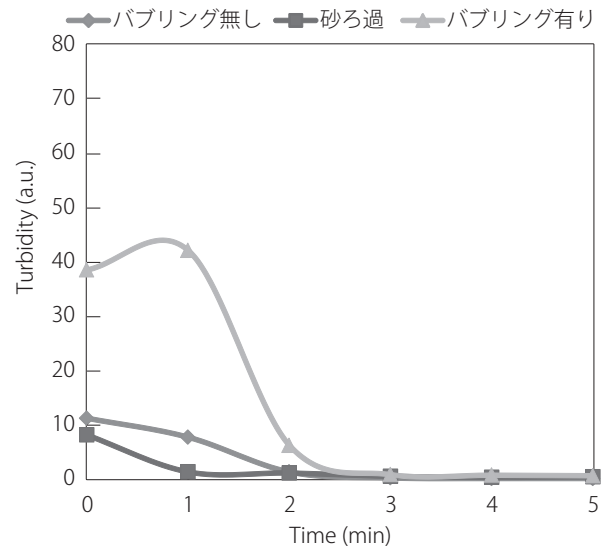


図7：2.0 m³/時間時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(模擬排水)

類の実験の中で、最も効果的に汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。また、エアバブリングを実施する場合と比較すると、逆洗浄水の流量が1.0から2.0 m³/時間に増加するにつれて、エアバブリングによりろ過材が水中に分散して懸濁状態となった後、効果的に汚濁物質を剥離でき、その汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。

3.2 ゴルフ場の公衆浴場の汚濁水の場合

実験条件は、模擬汚濁水の場合と同じであった。逆洗浄水を流す流量が1.0, 1.5, 2.0 m³/時間の3パターンで実験を行った。その結果を図8～図10に示す。汚濁水においても、全ての流量において、エアバブリングを実施するパターンが3種類の実験の中で、最も効果的に汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。

続いて、ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔において、0.10 m³/分の流量で3分間エアバブリングを行ってから、逆洗浄水を流すパターンのみを実験を行った。0.10 m³/分の流量で3分間エアバブリング行ってから、1.0～2.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した。その結果を図11に示す。縦軸は、ろ過塔から流出してくる洗浄水の濁度、横軸は逆洗浄水を流す時間である。逆洗浄水を流した直後にグラフが上にあるほど、ろ過塔から流出してくる逆洗浄水中に汚濁物質（この場合、浴場の汚濁物質）が含まれていることになり、効果的に汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることになる。逆洗浄水の流量が1.0から2.0 m³/時間に増加するにつれて、実排水においても、エアバブリングによりろ過材が水中に分散して懸濁状態となった後、効果的に汚濁物質を剥離でき、その汚濁物質をろ過塔外へ排出していることが分かった。

ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔において、エアバブリングの効果が有効であることが分かったので、エアバブリングの時間の影響を検討した。0.10 m³/分の流量で1、3、10分間エアバブリング行ってから、2.0 m³/時間の流量で

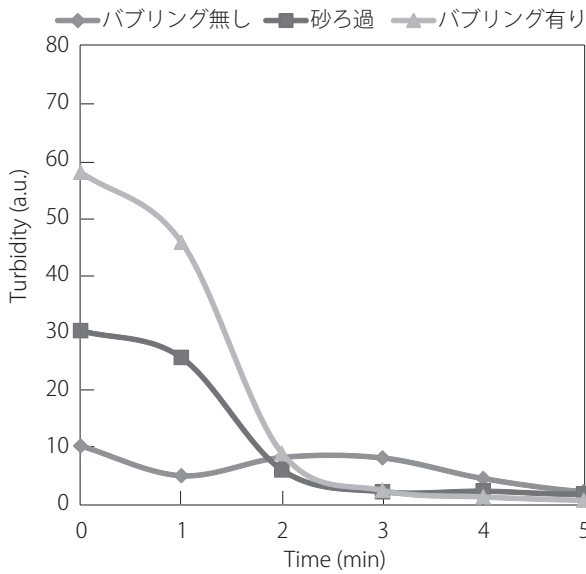


図8：1.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(実排水)

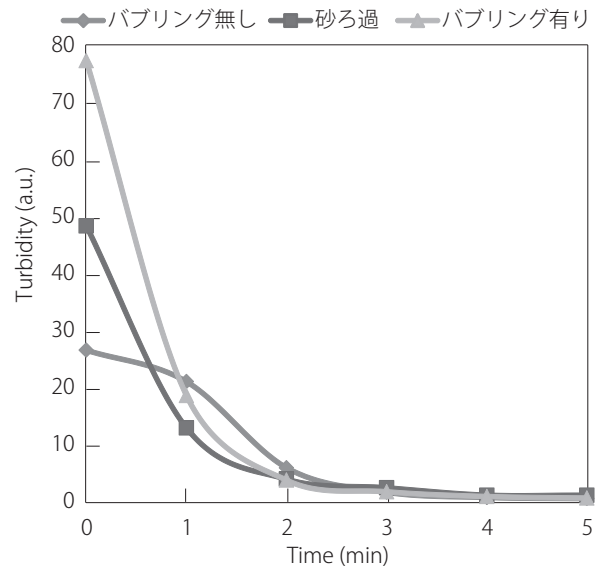


図10：2.0 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(実排水)

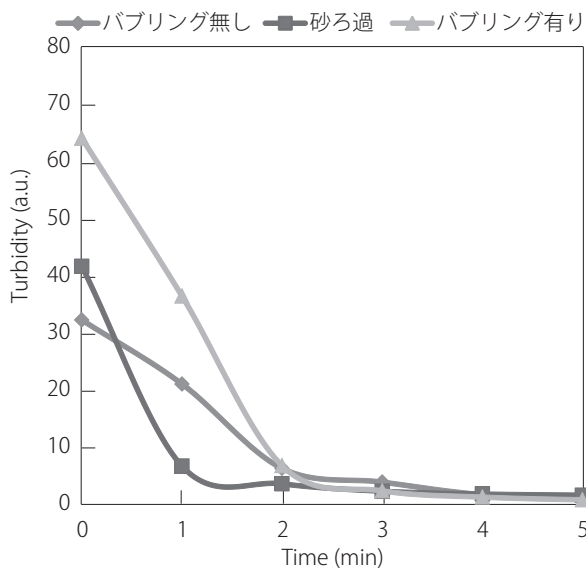


図9：1.5 m³/時間の流量で逆洗浄水を流した場合の逆洗浄結果(実排水)

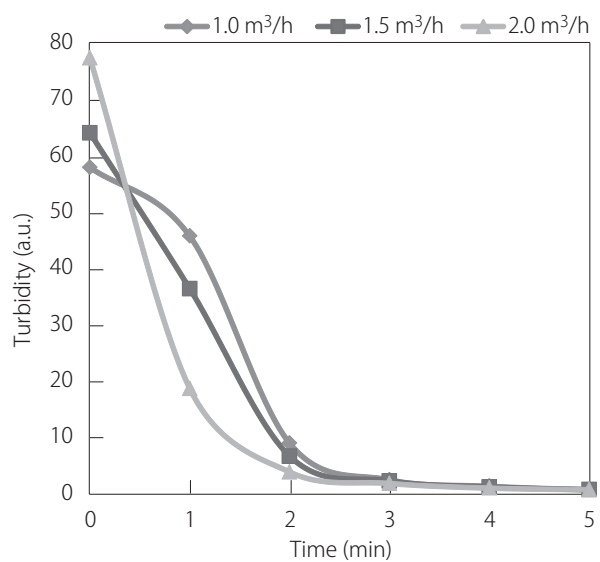


図11：実排水処理の逆洗浄工程における逆洗浄水流量の影響

逆洗浄水を流した。その結果を図12に示す。縦軸は、ろ過塔から流出してくる洗浄水の濁度、横軸は逆洗浄水を流す時間である。逆洗浄水を流した直後にグラフが上にあるほど、ろ過塔から流出してくる逆洗浄水中に汚染物質（この場合、浴場の汚濁物質）が含まれていることになり、効果的に汚染物質をろ過塔外へ排出できていることになる。エアバブリングは、除去した汚染物質の効率的な剥離・排出を助ける効果がある。図12に示されるように、0.10 m³/分の流量で1分間から3分間にエアバブリング時間を増加させると、エアバブリングが有効に作用し、ろ過材が水中に分散して懸濁状態となり、効果的に汚染物質が剥離できている。しかしながら、エアバブリング時間を3分間から10分間に増加させて

も、劇的な変化は見られず、0.10 m³/分の流量におけるエアバブリング時間は3分間で十分であると思われる。

3.3 エアバブリングプロセスの検討

エアバブリングと逆洗浄水を流すプロセスを交互に実施し、エアバブリングの時間を検討した。ハイブリッドろ過材を用いるろ過塔において、0.10 m³/分の流量で1分間エアバブリングを行ってから、2.0 m³/時間の流量で逆洗浄水1分間流すパターンを繰り返した。1分間エアバブリングを行った直後に、少量の逆洗浄水を流し、濁度を計測した。続いて、2.0 m³/時間で逆洗浄水1分間流し、その逆洗浄水の濁度を計測した。これを9回繰り返した。模擬汚濁水とゴルフ場の公衆浴場の汚濁水の両方で、検討した。その結果を図13に示す。

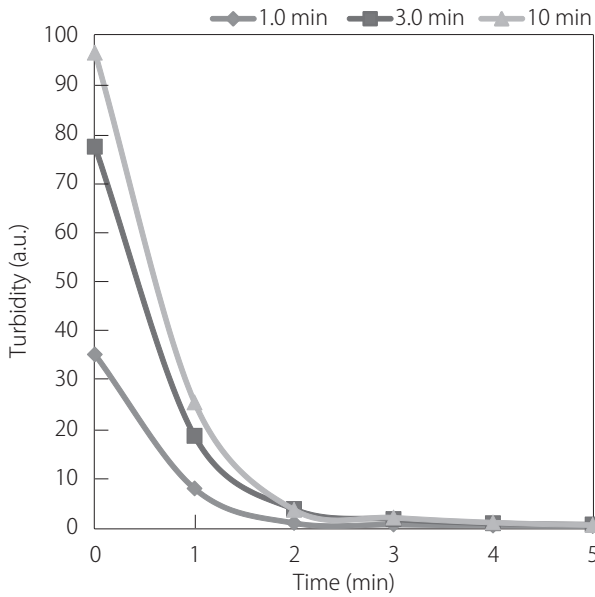
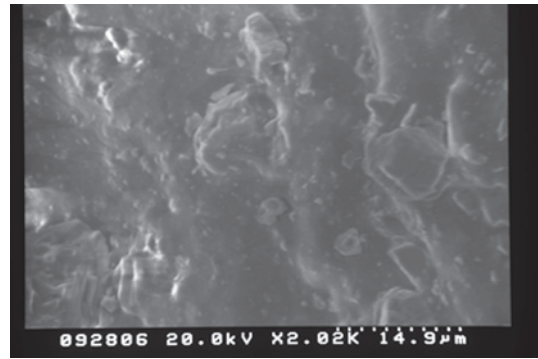


図12：実排水処理の逆洗浄工程におけるエアバブリング時間の影響

この結果は、エアバブリングの時間が図5～10と異なるため、これらと単純に比較することはできない。1分間エアバブリングを行ってから、2.0 m³/時間で逆洗浄水1分間流すパターンを3回繰り返すことにより、ほとんどの汚濁物質をろ過塔外へ排出できていることが分かった。

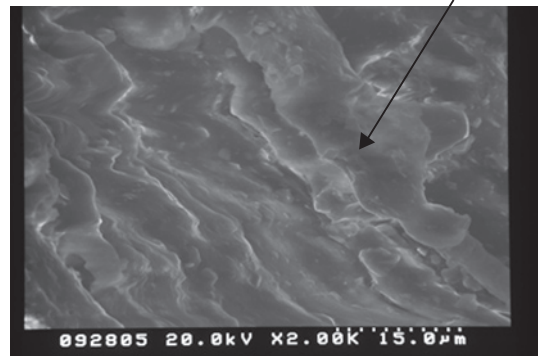
3.4 吸着メカニズムの検討

吸着メカニズムを検討するために、実排水（ゴルフ場の公衆浴場の汚濁水）100 mLに、10 gのハイブリッドろ過材を浸漬し、24時間静置し、汚濁物質をハイブリッドろ過材の表面に吸着させた。汚濁物質を吸着させた前後において、ハイ



(a)汚濁物質吸着前

汚濁物質が、電子顕微鏡観察時に乾燥し、ろ過材の表面に層を形成していると思われる。



(b)汚濁物質吸着後

図14：ハイブリッドろ過材表面の走査型電子顕微鏡写真

ブリッドろ過材の表面を走査型電気顕微鏡で観察した。その結果を図14に示す。汚濁物質を吸着させた前後において、走査型電子顕微鏡の写真に違いが生じたため、汚濁物質がハイブリッドろ過材の表面に層状に吸着していると考えられた。

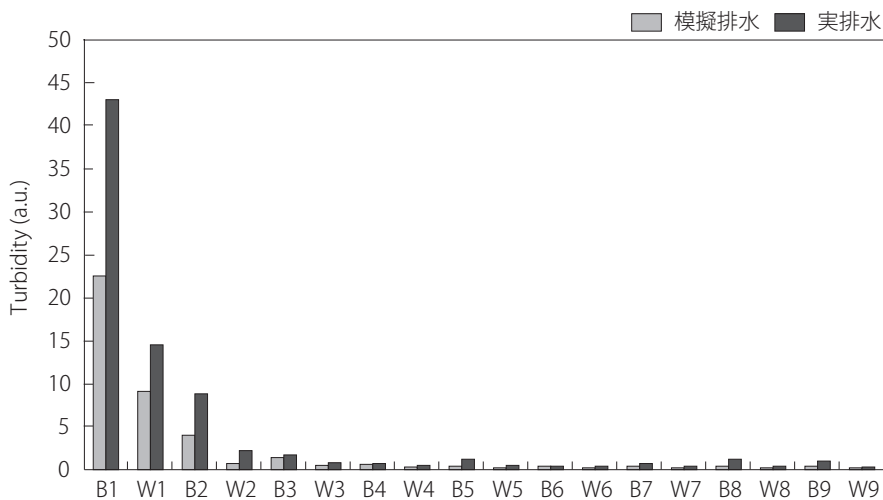


図13：逆洗浄工程における汚濁物質排出の推移

B1：0.10 m³/分の流量で1分間エアバブリングを行った直後に、少量の逆洗浄水を流し、濁度を計測。
 W1：2.0 m³/時間で逆洗浄水1分間流し、その逆洗浄水の濁度を計測。
 B2：0.10 m³/分の流量で1分間エアバブリングを行った直後に、少量の逆洗浄水を流し、濁度を計測。
 W2：2.0 m³/時間で逆洗浄水1分間流し、その逆洗浄水の濁度を計測。
 B3とW3以降、全て同じ。

さらに、汚濁物質が吸着したハイブリッドろ過材を、純水中でマグネチックスターラーを用いてかく拌したところ、図14 (a) のように、汚濁物質を吸着させる前の走査型電子顕微鏡写真とほぼ同じ表面状態になった。ハイブリッドろ過材の表面は多孔質でないため、細孔中に汚濁物質を捕捉しているメカニズムは考えられない。したがって、汚濁物質は、ハイブリッドろ過材の表面に静電的に弱く結合して物理的に吸着しており、エアバブリング等のかく拌により、汚濁物質が表面から剥離していくと考えられた。

4. まとめ

本研究では、比重の小さい有機成分と無機成分からなるハイブリッドろ過材を用いた循環型ろ過システムにおいて、効率的な逆洗浄プロセスを検討した。ハイブリッドろ過材は摩耗劣化度が極めて低く、安定性にも優れており、またろ過表面も多孔質ではないため、汚濁物質を効率的に剥離・排出することができる。さらに、汚濁物質がろ過材の表面に強固に吸着することが無いため、汚濁物質がろ過塔内に堆積することが無く、極めて長期間ろ過材を入れ替えせずに、使用することができる。

謝辞

本研究は、三重大学と明和工産株式会社との共同研究で実施された。また、全てのデータは、三重大学大学院工学研究科と三重大学社会連携研究センター（新産業創成研究拠点）で取得された。

引用文献

- 福井啓太・岡田誠之（2012）. 浴槽水のおいに関する研究. 空気調和・衛生工学会論文集, No. 183, 1-7.
- 村田誠（1992）. 工場操作シリーズろ過一. 別冊化学工業, Vol. 35, No. 5, 236-242.
- 野知啓子・大塚雅之・瀬下哲也・津田宏之・赤井仁志・紀谷文樹・小川正晃・市川憲良（2008）. 循環式浴槽システムにおける浴槽水中有機汚濁物質の除去特性. 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 741-744.
- 佐野達也・前田信治・岡田誠之（2013）. 浴場施設における浴槽内の水理学的基礎研究—流入・流出・循環の位置および障害物の影響—. 空気調和・衛生工学会論文集, No. 198, 19-26.

(受稿：2013年9月2日 受理：2013年10月7日)