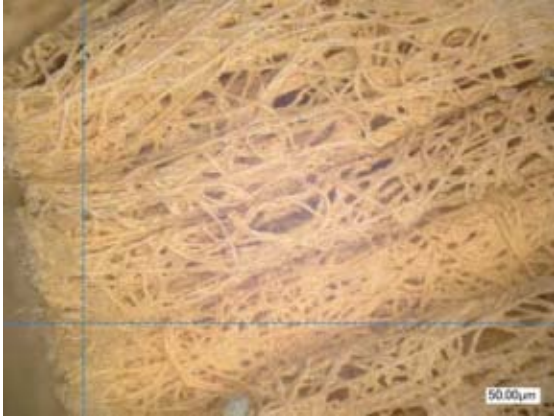


浄水処理に用いる新規繊維ろ材「こまり®」の開発

Development of New Fiber Filter Media KOMARI for Water Purification Treatment



| | | |
|---------|-----------------|---|
| 玉 木 由 佳 | Yuka Tamaki | ① |
| 井 手 幹 夫 | Mikio Ide | ② |
| 本 庄 信 | Shin Honjyo | ③ |
| 竹 中 美佳子 | Mikako Takenaka | ④ |

あらまし

当社では、浄水処理施設向けに生物接触ろ過用の新規繊維ろ材（以下、新ろ材とする）を開発し、地下水を処理するろ材として2015年にこれを納入した。新ろ材の特徴は、当社従来品の生物接触ろ過用繊維ろ材よりも25%低いろ材層高で従来品と同等の処理性能が得られる点である。また、従来品は3週間を要していたアンモニア態窒素除去性能の立ち上がり、新ろ材では2週間となり、安定運転に移行するまでの期間を短縮できた。新ろ材では原料繊維として熱融着性繊維を使用し、乾式法による生産を採用したことにより、除鉄・除マンガンろ材として十分な強度を付与することができた。本稿では、この新ろ材について開発概要を報告する。

Abstract

Hitachi Zosen developed a new filter media made of fiber for biological contact filtration of water purification plants and delivered it for the treatment of groundwater in 2015. The major feature of the new filter media is the filter layer height, which is 25% lower than that of our conventional product with equivalent performance. In addition, the rise of ammonia nitrogen removal, which took three weeks in the conventional product, was reduced to two weeks in the new filter media, shortening the time to shift to stable operation. In the new fiber material, heat-fusible fibers are used to impart sufficient strength as filter media for iron and manganese. This paper reports on the development process of this new filter media.

1. 緒 言

近年、水道水の安全性を維持するために、浄水場への高度浄水処理導入の重要性が高まっている。高度浄水処理の処理対象となる物質としては、カビ臭等の異臭味や色度の原因となる有機物、アンモニアや鉄、マンガンなどの無機物がある。高度浄水処理では、凝集沈殿処理と砂ろ過を組み合わせた通常の浄水処理方式に活性炭処理、オゾン処理、生物処理等の単位処理プロセスを組み合わせ、対象物質の除去を行う。

当社が開発した繊維ろ材は、浄水の生物処理プロセスの一つである生物接触ろ過装置において使用される。この生物接触ろ過装置では、繊維ろ材表面に集積した水道原水中の微生物が、アンモニアを硝化し、溶解している鉄、マンガンを生物酸化作用によって不溶化し、不溶化した汚泥をろ層に捕捉することにより浄化された処理水を得る。生物を利用することで、浄水処理に使用する酸化剤や凝集剤などの薬品量を削減できる¹⁾ことから、生物接触ろ過方式は環境にやさしい浄水処理方法と言える。

本稿では、生物接触ろ過装置の新ろ材開発の概略と、それを用いた実証試験について報告する。

2. 繊維ろ材

当社は、耐久性の高い化学繊維を原料とし、水処理

① 環境事業本部 開発センター 技術士(上下水道)

② 環境事業本部 開発センター

③ 環境事業本部 水処理ビジネスユニット 水処理ソリューション部

④ 環境事業本部 水処理ビジネスユニット 水処理技術部

用途に応じた、各種繊維ろ材を開発している。繊維ろ材は、水中の懸濁物質（以下、濁質とする）をろ層で捕捉し、水から濁質を除去する。このような水処理用ろ材の基本機能に、生物処理機能を付加したものが生物接触ろ過ろ材である。

当社従来品の生物接触ろ過ろ材（以下、従来品とする）は、直径5～7mmの小球状ポリエステル製繊維ろ材である。概要を表1に示す。

表1 従来品の概要

| ろ過速度 | 原料繊維 | ろ材サイズ、形状 | ろ材層高 |
|--------|-----------------------|-----------|------|
| 240m/日 | PET 短繊維 (5.5dtex*) | 5～7mm 小球状 | 2m |

従来品ろ材外観を図1、ろ材表面の拡大写真を図2に示す。従来品は、ろ層を構成する繊維間の空隙率が90%と高いため、生物汚泥の保持量が大きく、原水とろ材の接触時間が12分程度の短時間であっても良好な鉄、マンガ、アンモニア除去機能を得ることができる²⁾。しかしながら、ろ材層高として2mの積層が必要であったことから、層高の低減と装置のコンパクト化が望まれていた。



図1 従来品外観



図2 従来品の表面

3. 新ろ材の開発

3.1 開発目標 従来品では2m必要であったろ材層高を、1.5mまで低減することを目標として新ろ材の開発を行った。目標とする新ろ材の生物接触ろ過装置を図3に示す。

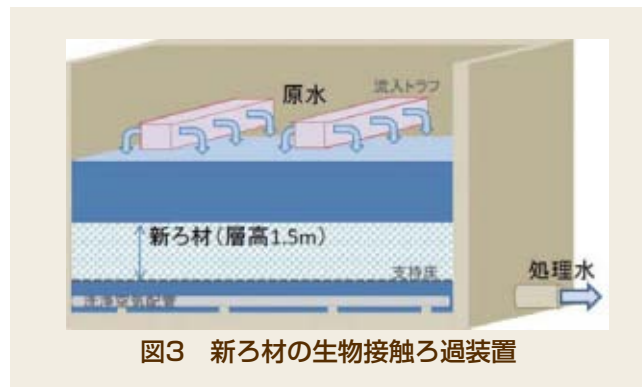


図3 新ろ材の生物接触ろ過装置

3.2 新ろ材の製造 従来品の製造は、原料のポリエステル繊維を製造機に投入し、水中で繊維を絡め合わせて成形する方法（湿式法）で行っていた。

* 1 : dtex: 繊維の単位。モノフィラメント10,000mの重さ(g)

この製造方法には人手と時間がかかっており、生産性の向上が求められていた。そこで、新ろ材の製造では乾式法を採用した。乾式法では連続でろ材を製造できるため、1日あたりの生産量は約2倍に向上した。乾式法で試作したろ材のうち、試作段階の基礎検討を合格したろ材について表2に概要を示す。

試作1、2は組成と太さの異なる3種類の短繊維から製造し、試作3は不織布から製造した。

表2 試作ろ材の原料繊維と形状

| | 原料繊維 | サイズ、概略形状 |
|--------------|------------------------------|-----------------|
| 試作1 | PET/PE 短繊維 (4.4, 7.8dtex) | 5mmφ × 5mmL 円柱状 |
| 試作2 | PET 短繊維 (6.6dtex) | 3mmφ × 5mmL 円柱状 |
| 試作3 (新ろ材) | PET/PE 不織布 (3.3dtex) | 5mmφ × 5mmL 円柱状 |

3.3 新ろ材の耐久性 浄水場でのろ過処理継続に伴い、ろ層には土砂や鉄・マンガに由来する濁質が蓄積する。濁質の蓄積によりろ過抵抗が上昇し、運転水位も上昇すると、洗浄工程に移行する。洗浄工程では、ろ材を空気と水流によって流動させ、濁質を剥離するため、洗浄に対する耐久性はろ材の重要な特性である。上記の試作ろ材と従来品について、耐久試験を行った結果、試作ろ材はいずれも従来品より耐久性が向上していた。なかでも試作3は、原料繊維が不織布であり、短繊維を原料としている試作1、2よりもさらに繊維同士の融着が強固であった。



図4 新ろ材外観



図5 新ろ材の表面

3.4 新ろ材の汚泥保持量 生物接触ろ過装置では、ろ過処理継続に伴い、有用な微生物がろ材表面に捕捉され、ろ材を構成する繊維の表面で増加することにより所望の処理性能が得られる。実施設では生物処理の早期立ち上がりが要求されるため、ろ材の汚泥保持量は重要な特性である。試作ろ材と従来品について、汚泥保持量を測定した結果、試作ろ材では従来品よりも汚泥保持量を多くできた。また、試作品の中では試作3で最も大きく、従来品の約2倍量を保持していた。

図5に示したように、試作3は3.3dtexの細い繊維で構成された不織布を原料としており、従来品および試作1、2よりもろ材を構成する繊維の表面積が大きいこと汚泥保持量も大きくなったと考えられた。

これまでの検討結果等から試作3を新ろ材として選定し、地下水を処理対象とした実証試験を行うこととした。

4. パイロットスケール実証試験

4.1 試験方法 繊維ろ材の性能向上を目指して改良を続けてきた結果、従来品ろ材と同等以上の処理性能を持つ可能性があり、かつ耐久性の高い新ろ材（試作3）を試作できた。新ろ材実用化に当たり、以下の事項を評価するため、地下水を処理対象としたパイロットスケール実証試験をY市K浄水場にて行った。

- ・ろ材層高の低減
- ・ろ材強度の向上
- ・洗浄効果の改善
- ・立上げ期間の短縮

4.1.1 試験設備 実証試験では、新ろ材を充填した生物接触ろ過塔と従来品を充填した生物接触ろ過塔を並列運転し、性能比較を行った。基礎試験結果から、新ろ材は従来品よりも汚泥保持量が多いと予想されたため、新ろ材の層高は1.5m、1.2mの2条件について検討した（以下、1系とする）。従来品（以下、2系とする）ろ材層高は標準設計条件の2mとした。試験設備のフローを図6、外観を図7、設備仕様を表3に示す。

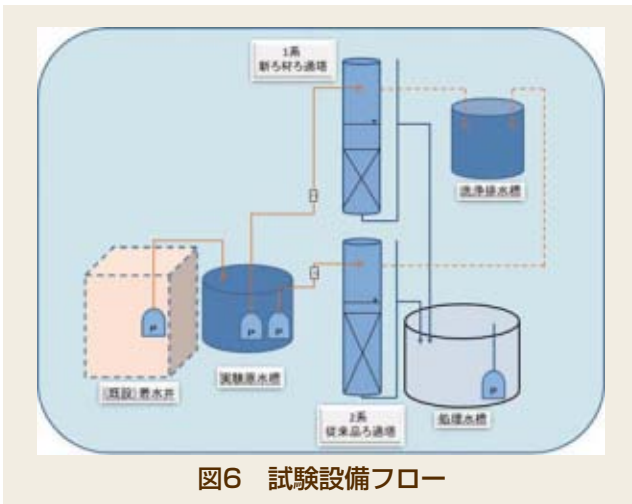


図6 試験設備フロー

原水はK浄水場着水井から実験原水槽に受け入れ、生物接触ろ過塔に連続通水した。生物処理機能を早期に立ち上げるため、K浄水場の生物接触ろ過施設の洗浄工程排水をろ過塔に投入し、ろ材とともにばっ気混合した後に排水し、240m/日のろ過速度条件で通水を開始した。



図7 試験装置の外観

表3 設備仕様

| 機器名称 | 形式 | 仕様・動力 |
|---------|-----------|-------------------------------|
| 原水移送ポンプ | 水中渦巻ポンプ | 0.1m ³ /min 0.15kW |
| 原水槽 | 円筒型タンク | PE製 0.5m ³ |
| 原水ポンプ | 水中渦巻ポンプ | 0.05m ³ /min 0.4kW |
| 生物接触ろ過塔 | 重力式高速繊維ろ過 | φ0.3m×H4.5m |
| 処理水槽 | 円筒型タンク | PE製 5m ³ |
| 洗浄排水槽 | 円筒型タンク | SS/PVC製 2m ³ |

4.1.2 試験工程 試験工程を表4に示す。RUN1では新ろ材層高1.5m、従来品層高2mとした生物接触ろ過装置において、処理が立ち上がる経過を検討した。RUN2では新ろ材と従来品ろ材の処理性能を確認し、洗浄工程の検討も行った。RUN3では新ろ材層高をさらに低減し、層高1.2mによる処理を試みた。RUN4では馴致ろ材を利用して生物処理を早期に安定させる方法を検討した。

表4 試験工程の概要

| 試験 No. | 内容 |
|--------|---|
| RUN1 | 立上げ運転：LV=240m/日（標準運転条件） |
| RUN2 | 運転データ収集 |
| RUN2-1 | 1系：新ろ材層高 1.5m 2系：従来品ろ材層高 2.0m LV=240m/日（標準運転条件） |
| RUN2-2 | LV=360m/日（高負荷運転条件） |
| RUN2-3 | 洗浄工程の検討 |
| RUN3 | 1系：新ろ材層高 1.2m 2系：従来品ろ材層高 2.0m |
| RUN3-1 | LV=240m/日（標準運転条件） |
| RUN3-2 | LV=360m/日（高負荷運転条件） |
| RUN4 | 低温期立上げ運転（標準運転条件：LV=240m/日） 1系：新ろ材層高 1.5m（馴致済 40%と新品 60%混合） |

4.2 試験結果

4.2.1 ろ材層高1.5mの結果 (RUN1,2) 連続通水試験を行った結果、新ろ材の層高1.5mの場合、ろ材層高2mの従来品と同等の処理水質が得られた。以下に試験結果を示す。

(1) 水温 水温の結果を図8に示す。RUN1～2において、平均原水温は21℃であった。

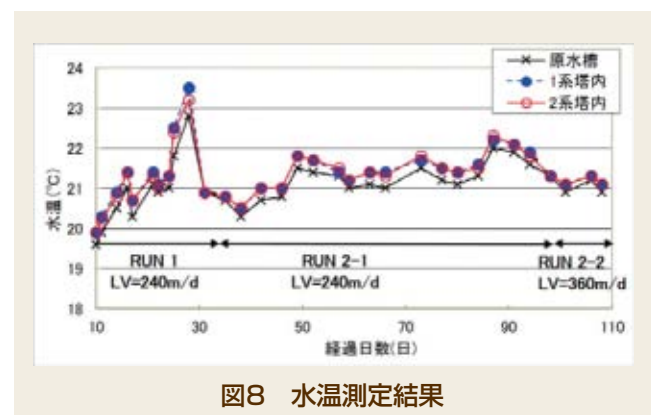


図8 水温測定結果

(2) 溶存酸素濃度 原水槽とろ過処理水DO濃度の経過を図9に示す。DOはろ層において硝化や鉄、マンガンの酸化に使われ、原水槽よりもろ過処理水で低くなる傾向がみられたが、処理水中に3mg/L以上残存しており、十分に維持されていた。

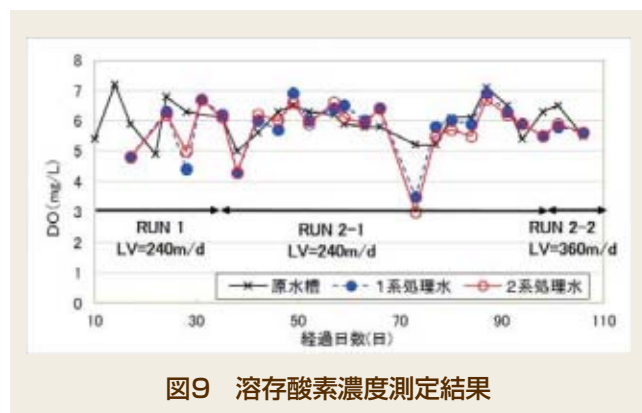


図9 溶存酸素濃度測定結果

(3) 濁度除去 濁度の結果を図10に示す。原水濁度の変動は大きく、最大で137度となったが、通水開始から10日目以降のろ過処理水では従来品、新ろ材ともに2度(水道水質基準値)以下であった。

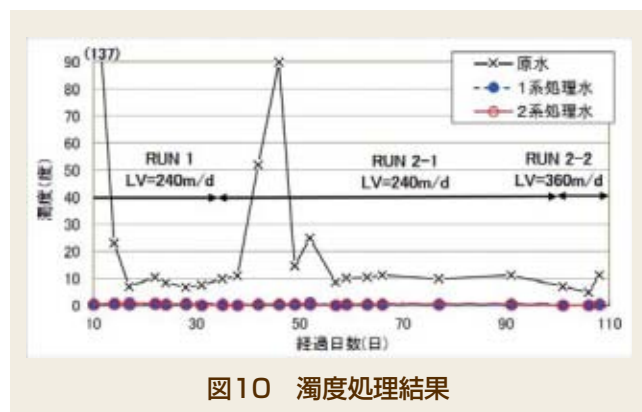


図10 濁度処理結果

(4) アンモニアの除去 アンモニア態窒素の測定結果を図11に示す。1系(新ろ材)では通水から2週間、2系(従来品)でも3週間で目標値(0.05mg/L未満)となった。77日目、91日目はアンモニア測定装置の故障により測定できていない。99日目に発生した通水停止の影響で処理水質は一時的に悪化したが、106日目以降は回復し、ろ過速度360m/日の条件においても従来品、新ろ材ともに処理水質は良好であった。

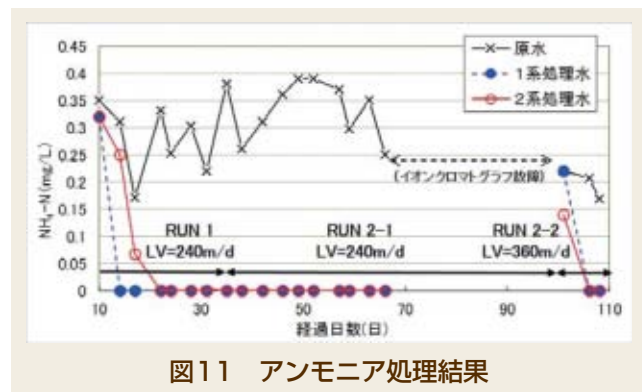


図11 アンモニア処理結果

(5) 鉄の除去 全鉄の測定結果を図12に示す。原水の濃度変動は大きかったが、1系、2系とも十分にろ層で捕捉された。期間を通して、従来品、新ろ材ともに水道水質基準値0.3mg/L以下を維持した。

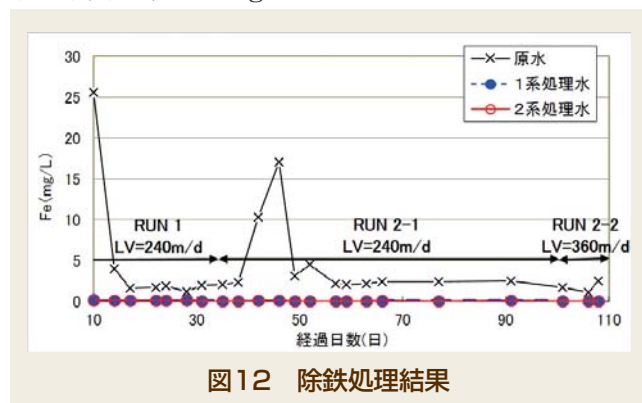


図12 除鉄処理結果

(6) マンガンの除去 全マンガンの測定結果を図13に示す。2系では通水から28日目以後、1系でも35日目以後は処理水マンガン濃度が水道水質基準値0.05mg/L以下となり、マンガン処理能力が立ち上がったことを確認した。

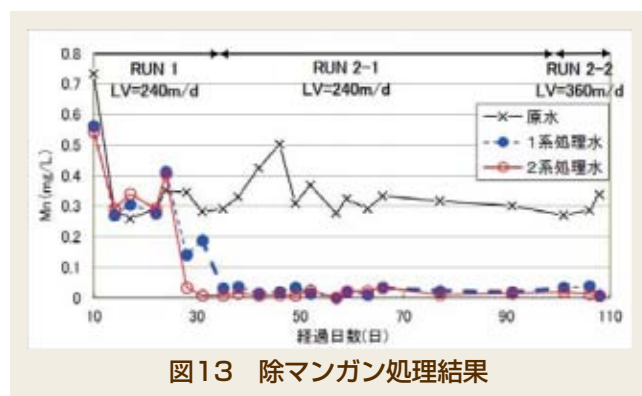


図13 除マンガン処理結果

(7) 洗浄工程の検討結果 (RUN2-3) 生物接触ろ過装置では、流入する濁質と装置内で発生する生物汚泥の両方をろ層で捕捉する。(以下、濁質と生物汚泥を合わせて「汚泥」とする。) 良好な生物処理を維持するためには、ろ材上の生物に十分な酸素を供給する必要があり、ろ層に捕捉した汚泥が酸素供給を妨げることがないように系外へ排出しなくてはならない。

新ろ材は耐久性が改善されており、水中で強く攪拌されても損耗しにくいという特徴がある。そこで、洗浄に使用する付帯機器の変更なしで洗浄効果を向上することを目的として、表5に示す新規洗浄法(以下新法とする)を検討した。新法では、空気と水によって洗浄しながら上部より排水を行う工程を追加した。洗浄排水の排出時間は新旧いずれの工程も15分間で、排水量は同じである。

表5 洗浄工程

| 種類 | シーケンス (太字は洗浄排水の出る工程) |
|-----|--|
| 従来法 | 水位低下(水位制御) - 空気水洗浄(水位制御) - 空気水洗浄(5分) - 水洗浄(10分) - 捨水(5分) |
| 新法 | 水位低下(水位制御) - 空気水洗浄(5分) - 水洗浄(5分) - 捨水(5分) |

洗浄排水に含まれる汚泥量の調査は、ろ過継続日数3日間の場合と、4日間の場合について実施した。

洗浄工程で排出された汚泥量の累計を図14に示す。新法で排出された汚泥量は、ろ過継続日数3日の場合には従来法排出汚泥量の122%、ろ過継続日数4日の場合には120%であった。新法は、洗浄工程における中盤5分間の水洗浄時に汚泥排出量が従来法よりも多くなり、洗浄効果が高かった。

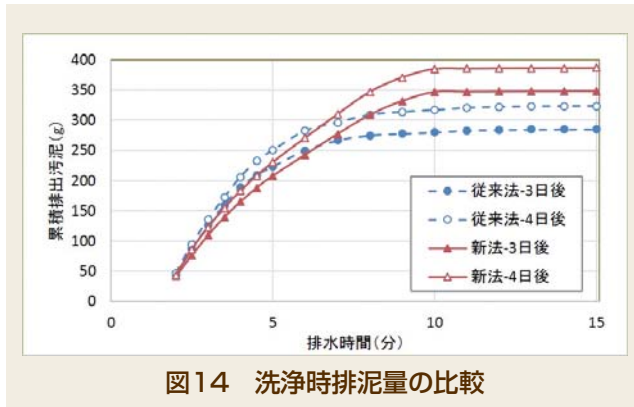


図14 洗浄時排泥量の比較

4.2.2 ろ材層高1.2mの結果 (RUN3)

RUN3では、2系従来品層高は2mのままで、1系ろ過塔からろ材を一部取出し、新ろ材層高を1.2mとして処理を試みた。除去率の結果を表6にまとめて示す。

ろ過速度を生物接触ろ過装置の標準条件(LV=240m/日)としたRUN3-1では、色度、濁度、鉄の除去率が新ろ材と従来品で同等であった。一方、アンモニア態窒素とマンガンについては従来品の除去率が高かった。ろ過速度を高負荷運転条件(LV=360m/日)としたRUN3-2では、色度除去率も従来品の方が高くなった。

新ろ材層高1.2mの場合、濁質のろ過には十分であったが、生物処理に対してはろ材量が不足するため、汚泥保持量をさらに高くできるろ材開発が必要と考えられた。

表6 除去率の結果

| 除去率 (%) | | RUN3-1 | RUN3-2 |
|--------------------|----|--------|--------|
| 色度 | 1系 | 89 | 87 |
| | 2系 | 89 | 90 |
| 濁度 | 1系 | 97 | 98 |
| | 2系 | 96 | 98 |
| NH ₄ -N | 1系 | 95 | 100 |
| | 2系 | 100 | 100 |
| Fe | 1系 | 97 | 95 |
| | 2系 | 97 | 97 |
| Mn | 1系 | 88 | 81 |
| | 2系 | 96 | 93 |

4.2.3 低温期立上げ運転の結果 (RUN4)

RUN4は2月6日から27日までの低温期に実施した。実証試験の原水は地下水であり、冬季水温低下が小さく、RUN4の平均原水温度は18.3℃であった。

立上げる層の調整は、1系ろ過塔からろ材を引き抜いて層高を0.6mとし、新品ろ材を追加して全体層高を1.5mとしてろ層の60%が新品となるようにした。塔内を攪拌混

合した後、連続通水を再開して処理水質を調査した。結果を図15～18に示す。

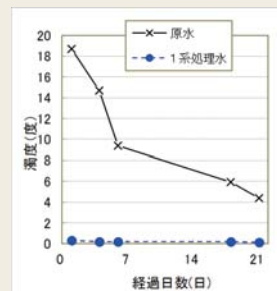


図15 濁度処理結果

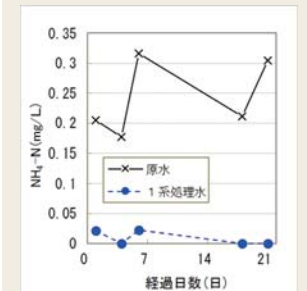


図16 アンモニア処理結果

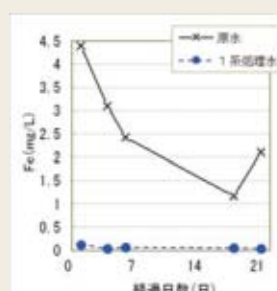


図17 除鉄処理結果

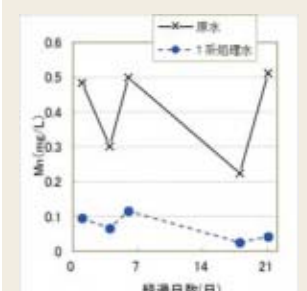


図18 除マンガン処理結果

濁度、アンモニア態窒素、鉄については通水翌日から十分に除去できた。マンガンは18日目から0.05mg/L以下となった。RUN1においてマンガンの立ち上げに要した日数(35日)よりも早く水道水質基準値に達しており、低温期であっても一部馴致ろ材を使用することで、立上げ期間短縮可能と確認した。

4.2.4 ろ材損耗率の結果

ろ材の損耗は、洗浄工程においてろ材が流動することで発生するため、逆洗排水出口のスクリーンと逆洗排水槽において、流出する繊維をネットで回収し、計量した。7ヶ月間の回収物重量比は、従来品で0.13%、新ろ材では0.007%であった。新ろ材の損耗は従来品の1/18に抑えられており、ろ材強度が改善されたことを確認できた。

5. 結言

本稿では、新ろ材開発の経緯と、新ろ材を用いて2013年度に実施した実証試験の概略について報告した。新ろ材の特徴について以下に総括する。

(1) ろ材層高を低減

新ろ材では、ろ材層高1.5mの場合に層高2mの従来品と同等の処理水質が得られ、必要な層高は従来品に対して25%低減できる。

(2) ろ材強度の向上

新ろ材の損耗率は従来品の1/18程度であり、ろ材強度が向上している。

(3) 洗浄効果の改善

新ろ材は強度が向上したため、洗浄方法を強化し、空気・水洗浄時に排水も行う方法が適用可能となった。新規洗浄法では汚泥排出量が20%増加し、洗浄効果

が向上する。

(4) 立上げ期間の短縮

馴致済み新ろ材40%と新品ろ材60%を混合して生物処理を立ち上げる方法では、マンガン処理立上げに要する日数が18日程度となり、新品のみで立ち上げた場合の約半分に短縮される。

新ろ材は従来品に比して優れた特徴が多く、既に従来品を利用いただいている装置についてもリプレイスは十分可能と評価できた。

従来の浄水処理方式では塩素を添加し、化学的酸化処理を行ってきたが、生物接触ろ過方式では無薬注で鉄、マンガン、アンモニアを処理できる。塩素による副生成物がなく、環境にやさしい浄水処理方法であり、より多くの浄水プラントにおいて検討いただけるよう、今後もユーザー様からの声に応じていく所存である。

参考文献

- 1) Hoson,T. and Takeda,Y. : The environmentally-friendly effects of biotreatments in Osaka Water Supply Authority,PROGRESS IN SLOW SAND AND ALTERNATIVE BIOFILTRATION PROCESSES, **2014**, 473-480.
- 2) 黒木省三, 的場浩, 杉澤滋: 地下水の鉄・マンガン除去及び硝化を目的とした生物接触濾過処理実験, 第48回全国水道研究発表会講演集,**1997**, 166-167.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 環境事業本部
開発センター WSプロジェクトグループ
玉木由佳
Tel : 0774-71-8745 Fax : 0774-71-8746
e-mail : yuka_ta@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Environment Business Headquarters
Business & Product Development Division
Yuka Tamaki
Tel : +81-774-71-8745 Fax : +81-774-71-8746
e-mail : yuka_ta@hitachizosen.co.jp



玉木 由佳



井手 幹夫



本庄 信



竹中 美佳子