

# 重力式高速自然ろ過装置の処理特性

## The Processing Characteristic of a Gravity Type Accelerated Velocity Biocontact Filter



熊野 晋\*  
Susumu Kumano



石丸 豊\*\*  
Yutaka Ishimaru  
技術士（総合技術監理  
部門，上下水道部門）



藤本瑞生\*\*  
Mizuki Fujimoto

比較的清澄な地下水を対象として馴養済ろ材と新品ろ材を用いた重力式自然ろ過装置による処理特性をマンガン，鉄，アンモニア態窒素で確認し，馴養済ろ材は通水1週間で処理可能であったが，新品ろ材でも2週間程度の短期間で処理が安定していることを確認した。また，ろ過速度を500 m/d (20.8 m/h) まで上昇させても処理特性は安定していることを確認した。さらに，生物に必要な酸素の供給は，ろ過装置への原水投入の落差のみでDOを確保でき，処理も安定していた。

Verify manganese, iron, ammonia nitrogen properties processing apparatus according to a gravity type biocontact filter using a filter material and new filtration media already acclimatized as for groundwater clear comparatively, there can be processed in a week water passing through the filter media pre-acclimatized, but it was sure that the process is stable in a short period of about two weeks in the new filter material. It also makes sure that the process is stable may be increased 500 m/d (20.8 m/h) linear velocity. In addition, the DO can be ensured only to drop the raw input filtration device, the supply of oxygen required for the biological process was stable.

### Key Words :

|        |                      |
|--------|----------------------|
| 地 下 水  | Groundwater          |
| マンガン除去 | Manganese removal    |
| 重力ろ過   | Gravity type filter  |
| 高速化    | Accelerating         |
| 低LCC   | Low LCC              |
| 鉄バクテリア | Iron bacteria        |
| 生物処理   | Biological treatment |

### まえがき

地下水は一般的に水温も安定し，清澄で良質な水質のため，水道水源として好適である。しかし，水源によっては，濁度・鉄・マンガン・アンモニア態窒素など浄水処理を必要とする成分を含有する。某浄水場では，気曝，凝集沈澱，接触酸化ろ過といった組合わせたプロセスで行われている。

施設更新が検討されており，処理方式の簡略化，薬品や動力等のユーティリティ低減など維持管理性を考慮した設備が望まれている。

当社はこのニーズに応え，鉄バクテリアなどの微生物を利用した生物接触ろ過設備（以下，自然ろ過設備と称する）の適用を考えた。本方式は1993年に上水道として初の京都府城陽市に自然ろ過設備（浄

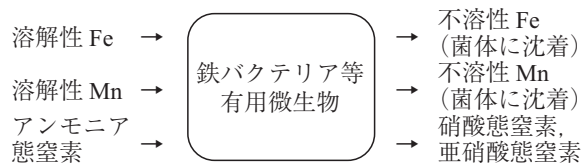
水量11 100 m<sup>3</sup>/d)として納入された。その他多くの実績を有するが、開発当初は70 m/dであったものを数年前に急速ろ過レベル(120 m/d)とし、水質によってはろ過速度を500 m/dまで高速化可能であった。

ろ過速度が高速になれば設備がコンパクトとなり、設置面積の縮小が可能となり、Life Cycle Cost(以下、LCC)低減にも繋がる。そこで、本研究では、地下水を水源とした浄水場に着眼し、鉄バクテリア等の微生物を利用した重力式生物接触ろ過装置の高速化による処理特性を確認することを主たる目的として、実証実験を行った。

## 1. 鉄バクテリアによる自然ろ過法の概要

### 1.1 鉄バクテリアろ過池による処理

鉄バクテリアろ過池(自然ろ過池)は、ろ過池内に生物を付着するためのろ材を充填し、そのろ材に浄化能力を有する生物を増殖させ通水することで水中から対象とする物質を除去する方式である。一般に、原水中には存在する物質を処理する生物が自然に存在しているため、ろ過池内に原水を通水する



と、生物が付着し、時間とともに増加し浄化能力が高くなり、除去対象物質が低減するようになる。

### 1.2 特徴

鉄バクテリアろ過(自然ろ過)では、酸化剤(次亜塩素酸ナトリウム)や凝集剤(PAC)を使用することなく、鉄・マンガンが水中から低減除去される。消毒剤(次亜塩素酸ナトリウム)を除き薬品を添加しないため、より安全で地下水本来のおいしい水が得られるという長所がある。生物による処理であるため、一般的には水温や水質の変化に比較的影響を受けやすいが、地下水は水温や水質が年間を通してほぼ一定であることから適用例が多い。

## 2. 実証実験の概要

### 2.1 原水の水質および処理対象物質

今回実証実験を行った浄水場における2009年度の原水中の水質を水道基準値と併せて表1に示す。なお、通年通じてほとんど検出下限値未満の項目は除外している。表1に示したように、比較的澄やかな水質であり、マンガンおよびその化合物のみ水質基準を超えていた。そこで、鉄バクテリアろ過法単独での処理が適用できると考えた。ここで処理対象物質としてはマンガンおよびその化合物のみと判断できるが、実験においてはろ過および生物処理に関わる濁度、マンガンおよびその化合物、鉄およびその化合物、アンモニア態窒素の4項目を中心に調査した。

表2に実験期間中の原水中の濁度、マンガンおよ

表1 原水水質(2009年度年報)

| 項目             | 単位   | 最大        | 最小        | 平均        | 基準値      |
|----------------|------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 硝酸態窒素および亜硝酸態窒素 | mg/L | 1.08      | 0.22      | 0.63      | <10      |
| アルミニウムおよびその化合物 | mg/L | 0.02      | <0.02     | <0.02     | <0.2     |
| 鉄およびその化合物      | mg/L | 0.05      | 0.02      | 0.04      | <0.3     |
| マンガンおよびその化合物   | mg/L | 0.86      | 0.42      | 0.6       | <0.05    |
| 塩化物イオン         | mg/L | 7.7       | 6.7       | 7.3       | <200     |
| ジェオスミン         | mg/L | <0.000001 | <0.000001 | <0.000001 | <0.00001 |
| 2-メチルイソボルネオール  | mg/L | <0.000001 | <0.000001 | <0.000001 | <0.00001 |
| TOC            | mg/L | 0.9       | 0.4       | 0.6       | <3       |
| 色度             | 度    | 2         | <1        | <1        | <5       |
| 濁度             | 度    | 0.4       | <0.1      | <0.1      | <2       |

表2 実証実験中の原水水質

| 項目           | 単位   | 最大   | 最小    | 平均    | 基準値   |
|--------------|------|------|-------|-------|-------|
| 鉄およびその化合物    | mg/L | 0.19 | <0.01 | 0.025 | <0.3  |
| マンガンおよびその化合物 | mg/L | 0.64 | 0.23  | 0.31  | <0.05 |
| アンモニア態窒素     | mg/L | 0.08 | <0.02 | 0.04  | —     |
| TOC          | mg/L | 0.6  | 0.5   | 0.5   | <3    |
| 色度           | 度    | 2    | <1    | <1    | <5    |
| 濁度           | 度    | 0.2  | <0.1  | <0.1  | <2    |

びその化合物、鉄およびその化合物、アンモニア態窒素の水質を示す。

## 2.2 実験装置フローおよび諸元

実験装置のフローを図1、装置諸元を表3に示す。また、実験装置の外観を写真1に示す。

某浄水場内に設置し、対象原水は地下水（浅井戸）である。また、実験は2011年6月8日から2012年6月25日まで行った。

原水は既設原水配管から分岐し、実験装置内の原水調整槽へ圧送される。その後、原水調整槽の原水をポンプアップし、ろ過塔へ流入する。流入された原水は下向流でろ材内を通過し、生物酸化処理と物理ろ過により処理水が得られる。

## 3. 検討項目

本実験は下記を主眼として検討を行った。

### ① 馴養期間の確認

生物処理の場合は馴養が必要である。そのた

め、馴養期間について、馴養済と新品の2種類のろ材を用い、処理性能の比較により評価した。

### ② ろ過速度の高速化

ろ過速度を高速化した処理性能について評価した。

### ③ 生物処理に必要な酸素量の確認

生物処理には酸素が必要である。酸素を確保するために、落差による酸素曝気のみでの処理可能性について評価した。

## 4. 実験結果

### 4.1 馴養期間の確認

ろ材としてアンスラサイトを用い、I系に新品ろ材、II系に馴養済ろ材を充填して馴養期間の短縮性の評価を行った。評価指標としては、生物処理によって処理されるマンガン、鉄、アンモニア態窒素の3項目とした。

馴養期間の短縮性調査における実験条件を表4に示す。

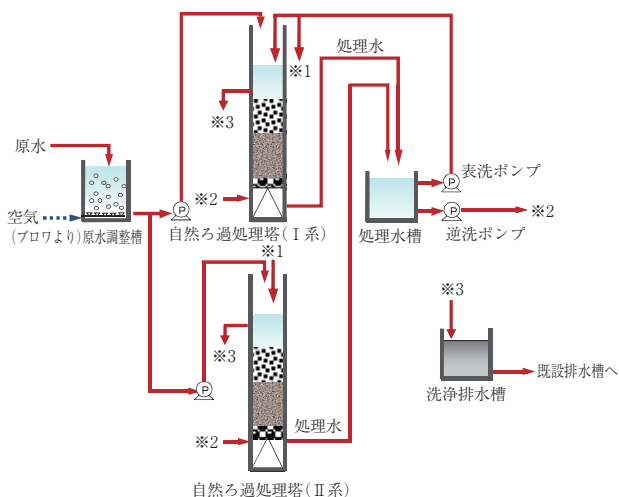


図1 実験装置フロー

表3 実験装置諸元

| 自然ろ過塔    |                          |
|----------|--------------------------|
| ろ過塔      | 型式 PVC製円筒型               |
|          | 塔数 2塔                    |
|          | 寸法 200mmφ×3500mmH        |
| 通水方式     | 下向流式                     |
| ろ過速度(LV) | 240~500m/d               |
| ろ材       | アンスラサイト(有効径1.5mm) 300mmH |
|          | ろ過砂(有効径0.6mm) 400mmH     |
|          | 支持砂利 200mmH              |
| 集水装置     | 有孔ブロック                   |



写真1 実験装置外観

表4 実験条件

|      | I系          | II系          |
|------|-------------|--------------|
| ろ材   | アンスラサイト(新品) | アンスラサイト(馴養済) |
|      | ろ過砂(新品)     | ろ過砂(新品)      |
| ろ過速度 | 70m/d       |              |

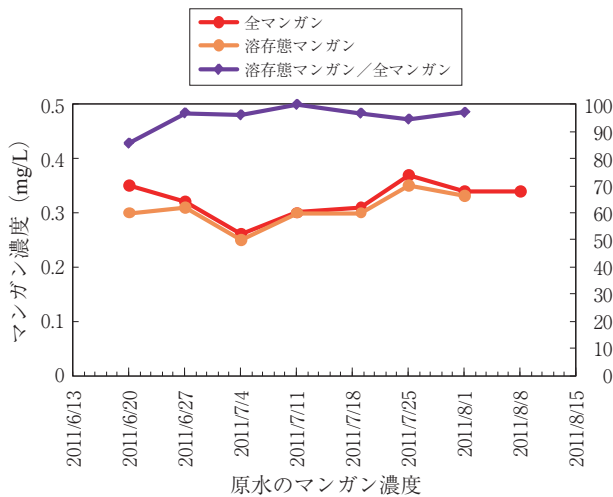


図2 全マンガン中の溶存態マンガンの比率

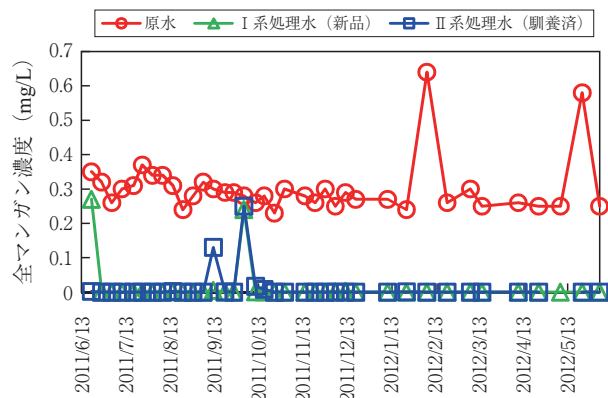


図3 マンガンの処理性

#### 4.1.1 マンガンの処理性

図2に全マンガン濃度中の溶存態マンガンの割合を示す。原水的全マンガンと溶存態マンガンの濃度、および全マンガンに占める溶存態マンガンの割合は95%以上が溶存態であった(6月20日~8月1日の平均)。そのため、評価は全マンガンにより行った(以降、マンガンを記す)。

図3にマンガンの処理性を示す。原水のマンガンの濃度は0.26~0.37 mg/L(平均0.32 mg/L)で、これに対し馴養済ろ材(II系)では、通水後1週間で分析下限値(0.001 mg/L)未満となり、処理は安定していることを確認した。また、I系においても、原水中の有用微生物の存在により、通水開始から2週間で分析下限値(0.001 mg/L)未満となり、処理は安定していた。以上より、馴養済ろ材の使用によるマンガンの除去に関する馴養期間の短縮効果を確認し、また新品ろ材でも原水中の有用微生物の存在により、2週間程度の短期間で処理が安定していることを確認した。

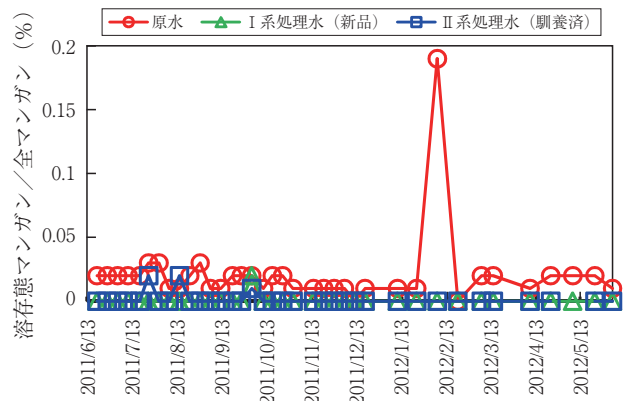


図4 全鉄の処理性

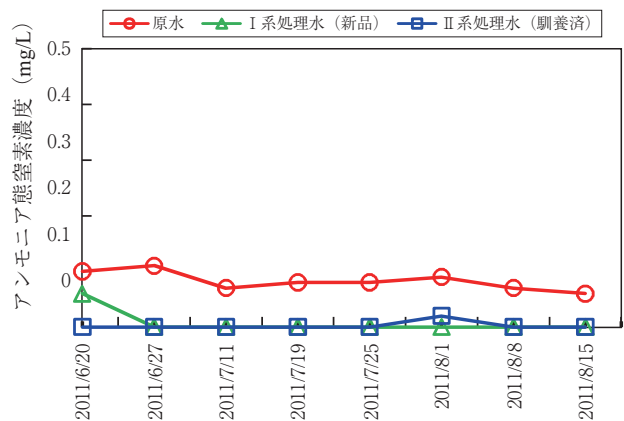


図5 アンモニア態窒素の処理性

#### 4.1.2 鉄の処理性

図4に全鉄の処理性を示す。原水的全鉄濃度は0.01~0.03 mg/Lと低く、処理水的全鉄濃度はI系、II系とも通水後1週間で分析下限値(0.01 mg/L)未満であることを確認し、いずれのろ材でも短期間で処理は安定していた。

#### 4.1.3 アンモニア態窒素の処理性

図5にアンモニア態窒素の処理性を示す。原水のアンモニア態窒素濃度は0.06~0.11 mg/L(平均0.07 mg/L)で、I系において、通水後1週間では処理水中に残留が見られたが、通水開始から2週間後までに分析下限値(0.02 mg/L)未満となった。II系では、通水後1週間で分析下限値(0.02 mg/L)未満を得た。以上より、馴養済ろ材の使用によるアンモニア態窒素の除去に関する馴養期間の短縮効果を確認し、また新品ろ材でも原水中の有用微生物の存在により、2週間程度の短期間で処理が安定していることを確認した。

#### 4.1.4 ろ材中の生物菌数調査

ろ材中の生物菌数はポリメラーゼ連鎖反応(polymerase chain reaction; PCR)を利用したDNA分子

の特定の領域を増幅させる方法で測定した。図6にろ材中の生物菌数の測定結果を示す。

I系とII系を比較すると、通水開始から17日後の2011年6月27日の結果では、I系の全菌数はろ材1gあたり1E+08~9個存在しているのに対し、II系はワンオーダー高く1.00E+09~10個であった。ここで、I系とII系で全菌数、アンモニア酸化細菌であるAOA、亜硝酸酸化細菌である*Nitrospira*、鉄・マンガン酸化細菌である*Crenothrix polyspora*、*Pedomicrobium & hyphomicrobium*、*Galionella*はII系の方がいずれも菌数が多い。しかし、I系の処理水質は全鉄、マンガン、アンモニア態窒素においてそれぞれ分析下限値未満であることを確認した。このことから本原水の有用微生物の存在により、新品ろ材でも短期間で生物が繁殖して、安定した処理が行われていたことが生物菌数調査でも確認された。

#### 4.2 ろ過速度の高速化による処理性能の確認

原水中には不溶解物質がほとんどなく、溶解性であればろ過速度を上昇させた運転が可能と考えられる。そこでろ過速度を上昇させて処理性能の確認を行った。なお、II系は途中で新品ろ材に変更し、I系

の処理性能を確認しながらろ過速度を上昇させた。また、ろ過速度は240 m/dから500 m/dまで順次上昇させ、対象項目は、濁度、マンガン、全鉄、アンモニア態窒素とした。

##### 4.2.1 濁度の処理性能

図7に濁度の処理性能を示す。原水濁度は0.1度未満から0.2度の範囲(平均0.1度未満)にあった。これに対し、I系、II系ともすべてのろ過速度で処理水濁度は0.1度未満であり、濁度の処理は安定していた。

##### 4.2.2 マンガンの処理性能

図8にマンガンの処理性能を示す。原水のマンガン濃度は2点0.6 mg/L程度が検出されたが、概ね0.2~0.3 mg/Lの範囲を推移していた。これに対し、処理水はろ過速度を上昇させても概ね検出下限値(0.001 mg/L)未満であり、マンガンの処理は安定していた。なお、マンガンについてはろ過速度を580 m/dで3日間連続通水して処理性能を確認し、処理水は検出下限値未満と処理は安定していた。

##### 4.2.3 全鉄の処理性能

図9に全鉄の処理性能を示す。原水は1点0.19 mg/L

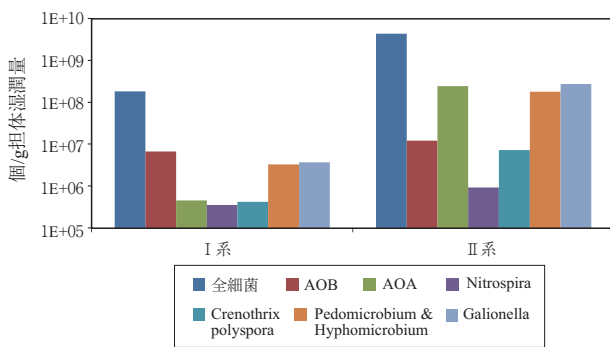


図6 ろ材中の生物菌数の測定

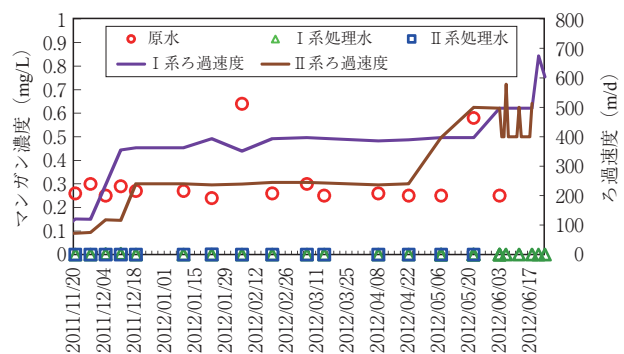


図8 マンガンの処理性能

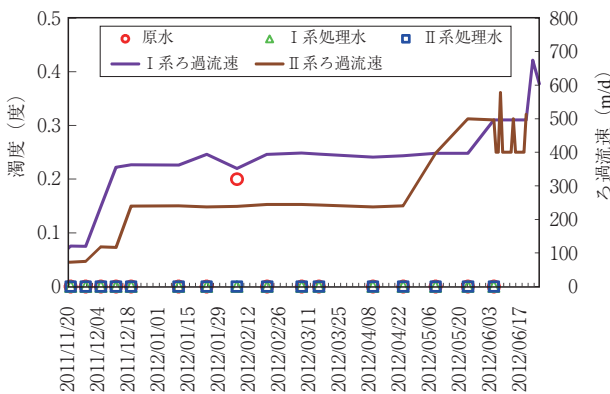


図7 濁度の処理性能

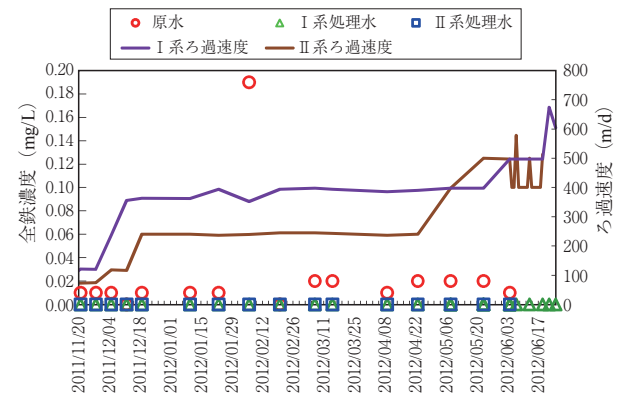


図9 全鉄の処理性能

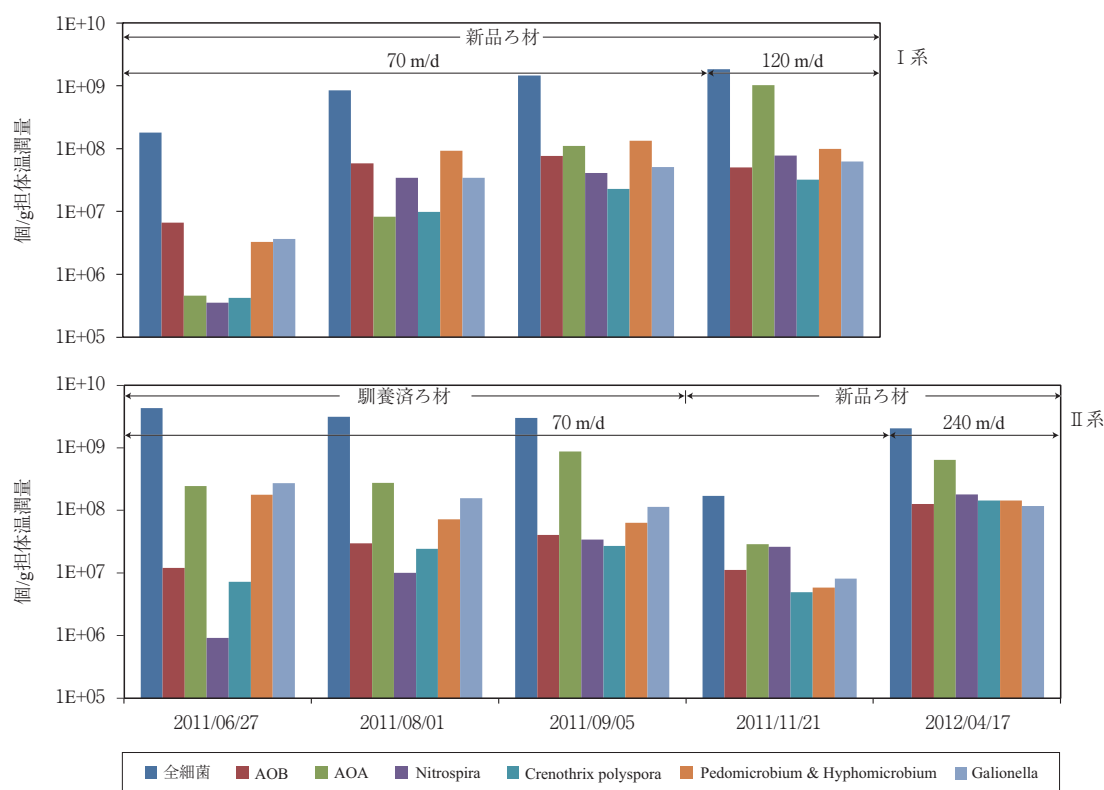


図11 ろ材中の生物菌数測定結果

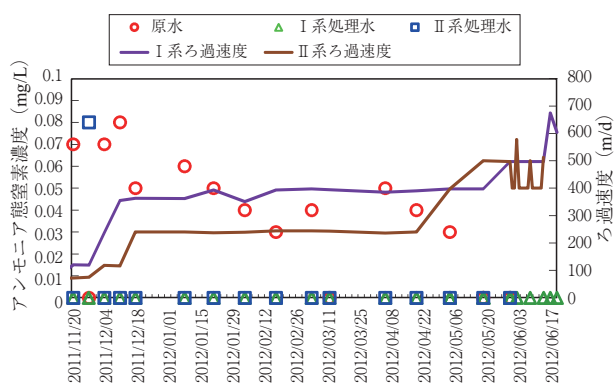


図10 アンモニア態窒素の処理性

Lを検出したが、概ね0.01~0.02 mg/Lの範囲を推移していた。これに対し、処理水はろ過速度を上昇させても概ね検出下限値(0.01 mg/L)未満であり、全鉄の処理は安定していた。

#### 4.2.4 アンモニア態窒素の処理性

図10にアンモニア態窒素の処理性を示す。原水は0.03~0.08 mg/Lの範囲を推移していた。これに対し、処理水はろ過速度を上昇させても検出下限値(0.02 mg/L)未満であり、アンモニア態窒素の処理は安定していた。

#### 4.2.5 ろ材中の生物菌数の調査

図11にろ材中の生物菌数の測定結果を示す。ろ過速度の高速化による評価を行うために、I系とII系を同じろ材条件とするため、II系の馴養済ろ材を新品ろ材に2011年9月7日に交換した。そのため、11月の測定値は9月の測定値よりも低くなっている。しかし、原水中の有用微生物の存在により生物が繁殖していることを再確認できた。また、その後I系、II系でろ過速度を上昇させても生物数には大差がなく、ろ過速度の生物数への依存は見られなかった処理性も良好なことより、ろ過速度変動に対応可能であると考えられる。また、生物酸化は必要な接触時間は短時間で可能と考えられた。

#### 4.3 生物処理に必要な酸素量の確認

生物に必要なDOを確保するために、多くの浄水場では曝気ブロウを設置している。本方式の場合は、下向流で原水を投入するため、落差によるDOを確保できる可能性がある。そこで、曝気ブロウを運転、停止による処理性を調査した。

##### 4.3.1 調査方法

曝気ブロウの運転を通水開始時から2011年11月7日まで行い、その後は曝気ブロウを停止した。そして、マンガンの処理性で評価を行った。

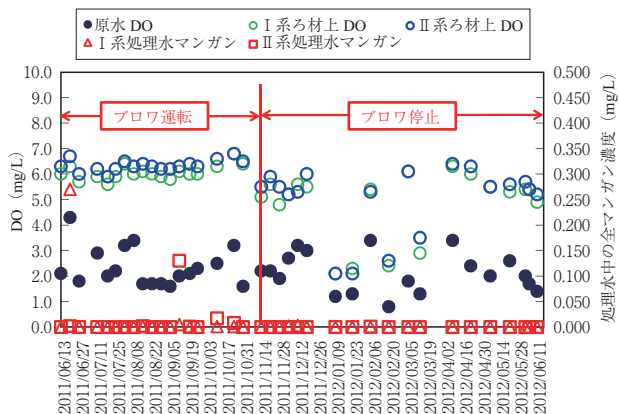


図12 DOの推移とマンガン濃度

#### 4.3.2 実験結果

図12に原水、I系およびII系のろ材上のDOの推移、I系およびII系の処理水中のマンガン濃度を示す。

原水DOは、曝気ブロウ運転の有無にかかわらず1～4 mg/L程度を推移していた。

ここで、曝気ブロウ運転時はろ材上のDOは原水より高く、I系およびII系とも常時6 mg/L程度を維持しており、新品ろ材に交換後1週間程度では処理水中にマンガンは残存しているが、マンガン処理は安定していた。また、曝気ブロウ停止後も運転時よりもろ材上のDOは低いが、原水よりも高く、2～6 mg/L程度のDOが確保された。このときのマンガン処理も安定しており、ろ過塔上部からの落差のみで、DOを確保できることがわかり、低LCCの実現が大いに期待された。

#### むすび

不溶性物質がなく比較的清澄な地下水を対象

に、重力式自然ろ過装置による処理を行い、以下の結果が得られた。

##### 1) 馴養期間

新品ろ材と馴養ろ材を用い、馴養期間を確認したところ、馴養ろ材では1週間程度で処理は安定していた。しかし、新品ろ材でも原水中の有用微生物の存在により、2週間程度の短期間で処理が安定していることを確認した。これにより従来1カ月以上と想定されていた馴養期間が水質によっては短期間となることがわかった。

##### 2) ろ過速度の高速化による処理性

ろ過速度を500 m/dまで上昇させた結果、濁度、マンガン、全鉄、アンモニア態窒素の各処理性は安定していた。本原水のように溶解性マンガン鉄が主たる除去対象の場合は高速化が可能であると言える。

##### 3) 生物に必要な酸素量

生物処理に必要なDO確保のため、曝気ブロウを運転、停止させて調査した結果、原水のろ過塔からの落差によって処理に必要なDOを確保でき、マンガン、アンモニア態窒素の処理も安定していた。これにより、低LCCの実現がおおいに期待された。

以上より、短期間の馴養期間で更新が容易となり、ろ過速度の高速化による装置の小型化、さらには曝気ブロウも不要と考えられることで、低LCCを実現できる。今後、維持管理の容易な地球環境にやさしい提案を行い、ユーザーのニーズに応えていきたい。

末筆になりましたが、本実証を行うに際し、多大なご協力とご理解を賜りました関係事業者の方々に感謝の意を表します。

\*商品市場・技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 \*\*水処理事業部 上下水技術部