

## XI 研 究

当課では、水質に係る調査、研究を実施しております。令和6年度は、全国会議（水道研究発表会）、日本水道協会関西地方支部第68回研究発表会において発表しました。

### 1 令和6年度の研究発表

#### ○全国会議（水道研究発表会）

生物接触ろ過のかび臭物質等の処理性能  
ー琵琶湖水に対する下向流式セラミック生物接触ろ過の効果ー

#### ○関西地方支部研究発表会

水道水はどのような容器に保存すべきか  
ー災害用備蓄水の保存方法の検討ー



# 生物接触ろ過のかび臭物質等の処理性能

—琵琶湖水に対する下向流式セラミック生物接触ろ過の効果—

○竹内 洋祐 (大津市企業局)  
荒木 真 (大津市企業局)

橋詰 和典 (大津市企業局)

## 1. はじめに

大津市の水源である琵琶湖では、異臭味障害が継続的に発生している。その対策として、膳所浄水場において1992年から、柳が崎浄水場において1998年から、生物接触ろ過を導入し、粉末活性炭処理と組み合わせて臭気物質の除去を行っている(図1)。生物接触ろ過は、各種の分解菌の働きにより、かび臭物質等を分解除去できるとされており、2-MIBを脱水・酸化分解する菌が単離されている<sup>1-2)</sup>。また、導入時のパイロットプラント実験や稼働後の実績から、かび臭・生ぐさ臭、アンモニア態窒素、色度・濁度、鉄等の低減が確認されてきた<sup>3-6)</sup>。このような低減効果は、薬品使用量の削減<sup>3-4)</sup>につながり、後段の浄水処理の負荷が軽減されている。一方で、導入時は100ng/Lを超えるかび臭が珍しくなかったが、2006年以降は10ng/L以下での発生期間が長くなる傾向にあるなど、水源水質の変化がみられる。そこで、かび臭物質、色度、濁度の低減率及びそれに影響する条件について、近年の水質試験データを基に生物接触ろ過の効果を検証した。

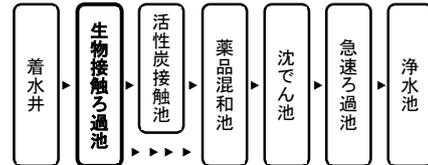


図1. 柳が崎及び膳所浄水場の処理フロー

表1. 柳が崎浄水場生物接触ろ過施設概要

ろ過面積	32.3 m <sup>2</sup> /池
方式	重力式下向流
ろ材	セラミック系多孔質 粒径約4mm
層厚	1.5m (砂り層0.4m)
池数	6池
ろ過速度	168m/日
接触時間	13分

表2. 使用データの情報

対象	柳が崎浄水場 原水・生物接触ろ過水	
項目	かび臭物質	色度・濁度
対象期間	2003年度～ 2023年度 ※2018年度除く	2016年度～ 2023年度
N数	①Geosmin 417 ②2-MIB 248 ※原水5ng/L以上	1927
評価項目	かび臭物質濃度 水温 pH値 色度 濁度	水温 pH値 色度 濁度

## 2. 方法

使用したデータは表2に示すとおり、柳が崎浄水場の毎日試験(1日1回:平日9時半ごろ採水)データ及びかび臭物質試験データであるかび臭物質の低減率を算出し、原水の水質等(かび臭物質濃度・水温・pH値・色度・濁度)の各条件における低減率の分布についてt(Welch)検定で有意差を評価した。色度及び濁度の低減率についても原水の水温・pH値・色度・濁度を条件として同様の検証を行った。

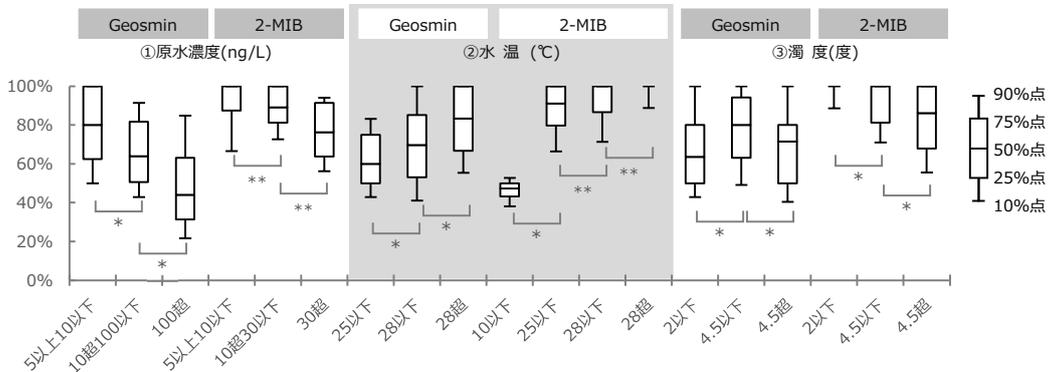


図2. Geosmin及び2-MIBの条件(①原水濃度②水温③濁度)別低減率の分布. \*...p<0.01, \*\*...p<0.05

# 生物接触ろ過のかび臭物質等の処理性能

## —琵琶湖水に対する下向流式セラミック生物接触ろ過の効果—

### 3. 結果と考察

かび臭物質の各条件における低減率の分布を図2に示す。原水濃度が10ng/L以下においては、低減率の平均はGeosminで77%、2-MIBで92%、10ng/L超~100ng/L以下の範囲では、Geosminで66%、2-MIBで85%だった。導入時のパイロットプラント実験では、低減率が70~80%程度であり、近年の実運用でも同等以上にかび臭物質を除去できていることを確認できた。Geosminより2-MIBの低減率が高い傾向にあったが、調査期間中、2-MIBについては原因生物である藍藻類がほとんど観察されておらず、一方、Geosminについては、原因生物である*Anabaena*属が比較的良好に観察されていた。生物接触ろ過では、溶存態の低減率が高く、藻体内のかび臭物質は低減率が低いことがわかっており<sup>6)</sup>、溶存態と藻体内の比率が影響していたと考えられる。次に、かび臭物質の原水濃度が高くなるにつれて、低減率が低下しているが、藻体内かび臭物質の割合の増加、あるいは、生物接触ろ過の分解能力を超過したことが要因として考えられる。また、水温の影響も過去の実験<sup>7)</sup>と同様に確認され、水温が高いほど低減率が高くなった。特に、10℃以下においては2-MIBの低減率が通常平均91%であるのに対して、46%まで低下した。他に、濁度上昇に伴う2-MIBの低減率の低下が確認された。pH値及び色度では明確な傾向はなかった。

色度及び濁度の各条件における低減率の分布を図3に示す。平均低減率は色度で17%、濁度では42%だった。水温では、20℃以上で低減率の若干の上昇がみられた。濁度においては、4.5度以上になると低減率が低下しており、濁質による生物分解の妨害が示唆された。色度及び濁度の低減率に最も影響を与えたのは色度であり、その上昇に伴い低減率が顕著に上昇していた。色度は溶存有機物とおおむね比例関係にある。したがって、分解菌が利用できる有機物が豊富なため、生物分解が促進され低減率が上昇した可能性がある。

### 4. おわりに

近年、特に2-MIBについては低濃度での発生頻度が多い傾向にあったが、かび臭物質が10ng/L以下においては生物接触ろ過のみで2~3ng/L程度までの低減が可能であり、低濃度での処理効果が安定して持続していることを確認できた。また、色度及び濁度の低減においては、これまでに確認されていなかった原水色度の影響がみられた。今後も浄水処理施設の処理状況に関する情報収集に努め、適切な浄水処理につなげていく。

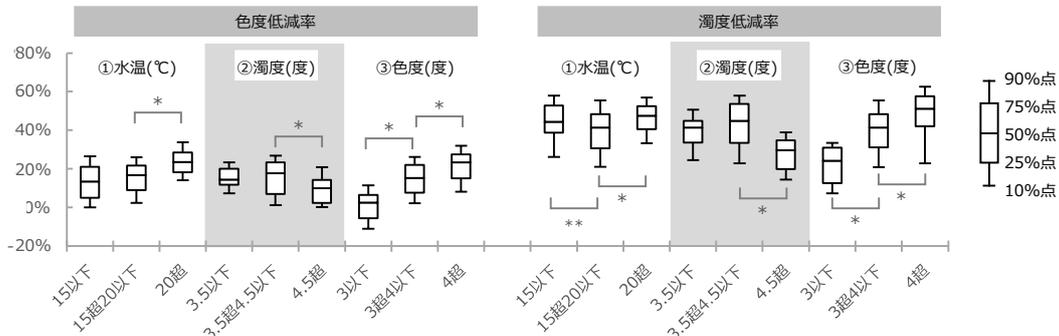


図3. 色度及び濁度の条件別低減率の分布。①濁度3~5度及び色度3~4度における水温別分布②水温15~20℃及び色度3~4度における濁度別分布③水温15~20℃及び濁度3~5度における色度別分布。\*... $p < 0.01$ , \*\*... $p < 0.05$

#### 【参考文献】

- 1) 伊藤ら, 水環境学会誌, Vol.24, No.8, p.520 (2001)
- 2) 齊藤ら, 水処理生物学会誌, Vol.37, No.4, p.183 (2001)
- 3) 寺内ら, 平成3年度全国会議(水道研究発表会)講演集, p.121 (1991)
- 4) 寺内ら, 平成5年度全国会議(水道研究発表会)講演集, p.375 (1993)
- 5) 寺内ら, 平成7年度全国会議(水道研究発表会)講演集, p.114 (1995)
- 6) 山中ら, 用水と廃水, Vol.48, No.4, p.60 (2006)

# 水道水はどのような容器に保存すべきか

## -災害用備蓄水の保存方法の検討-

大津市企業局 ○ 畑 浩介 上原 充広  
竹内 洋祐 塚本 達郎  
橋詰 和典 上田 里實  
荒木 真

### 1. はじめに

農林水産省が公表している「家庭備蓄ポータル」によると、飲料用と調理用で一人当たり1日3Lの水が必要とされており、3日分に相当する9Lの備蓄が推奨されている。

水道水の保存性について検討した事例<sup>\*1-4</sup>はあるが、これらはいずれも家庭での備蓄を想定したものではなく、個人で水道水を備蓄する際の容器や保存性に関する知見は限られている。そこで本調査では、災害に備え、家庭における適した水道水の備蓄方法に関する知見を得ることを目的に、保存容器の種類と保存性の違いについて検討した。

### 2. 方法

家庭での水道水備蓄を想定し、一般的に入手しやすい4種の2.0Lペットボトル（初期内容物：ミネラルウォーター、緑茶、スポーツ飲料、コーヒー飲料）を災害用備蓄水の保存容器の候補とし、各容器に充填した水道水の水質状況の経時変化を追跡した。検査項目は遊離残留塩素濃度、TOC、総トリハロメタン等、計11項目を対象とした。能登半島地震ではおよそ48～72時間程度で応急給水が開始された点や3日分の備蓄を推奨されていることから保存性については、3日後の水質について評価した。なお、今後より大規模な地震の発生を想定し、それ以降の水質の経時変化の把握のため調査期間は1週間とした。調査は①7月29日から8月5日まで②8月19日から8月26日まで③9月2日から9月9日までの3回繰り返し実施した（表1）。各容器の洗浄方法は、水道栓を開栓後5分間流水し、容器容量に対して10%容量の水道水で2回洗浄した。その後、満水になるまで水道水を充填し、20℃暗所で保管した。測定時には適宜開栓して必要量を使用した。水質の測定は、充填時、1日後、2日後、3日後、4日後、及び7日後とした（表1）。

表1. 調査期間、測定日および測定項目

	①	②	③
調査期間	7月29日～8月5日	8月19日～8月26日	9月2日～9月9日
測定日	充填時、1日後、2日後、3日後、4日後、7日後		
測定項目	一般細菌、大腸菌、TOC、総トリハロメタン、塩化物イオン(Cl <sup>-</sup> )、濁度、色度、pH、EC、遊離残留塩素、全残留塩素		

### 3. 測定結果

TOC、総トリハロメタンおよびトリハロメタン構成 4 物質、遊離残留塩素および全残留塩素の測定期間中の推移を図 1 から図 5 に示した。また、一般細菌・大腸菌については全期間全試料で検出されず、その他の測定項目に関しても、測定結果は水質基準を満たしており、時間経過に伴う大きな変化は認められなかった(表 2)。

#### 3.1.TOC

TOC について、実施した 3 期間及び全ての容器で水質基準値以下であった。スポーツ飲料容器では、充填時は 0.58 mg/L であったものが、7 日後には 1.2 mg/L と 2 倍以上となっており、その他の容器と異なる挙動が見られた(図 1)。

#### 3.2.総トリハロメタン

総トリハロメタンについて、実施した 3 期間及び全ての容器で水質基準値以下であった。最も濃度が上昇した緑茶容器は、7 日後の総トリハロメタンが充填時の約 3.0 倍となった。一方で、最も濃度が上昇しなかったスポーツ飲料容器では、7 日後は充填時の約 1.6 倍となった。緑茶容器、ミネラルウォーター容器およびコーヒー飲料容器に関して、充填時から一貫して上昇していた一方で、スポーツ飲料容器に関しては、3 日後に最大値を迎え、その後は減少傾向となった(図 2)。

#### 3.3.遊離残留塩素および全残留塩素

遊離残留塩素はいずれの容器も時間経過とともに減少した。3 日後時点の遊離残留塩素濃度はミネラルウォーター>コーヒー飲料>緑茶>スポーツ飲料の順になっており、7 日後も同様であった。最も減少したスポーツ飲料容器においては、2 日後には 0.10 mg/L を下回り、3 日後には 0.01 mg/L 以下となった。その他の容器に関しては、4 日後までは 0.10 mg/L 以上であったが、7 日後においては緑茶容器の遊離残留塩素が 0.10 mg/L を下回った(図 4)。

全残留塩素は、遊離残留塩素と同様の挙動が認められ、減少が最も早かったスポーツ飲料容器で、2 日後時点で 0.10 mg/L を下回り、その後は横ばいとなった(図 5)。

表 2. 測定結果 (塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)、濁度、色度、pH、EC)

	天然水					緑茶					スポーツ飲料					コーヒー				
	Cl <sup>-</sup>	濁度	色度	pH	EC	Cl <sup>-</sup>	濁度	色度	pH	EC	Cl <sup>-</sup>	濁度	色度	pH	EC	Cl <sup>-</sup>	濁度	色度	pH	EC
充填時	14.8	0.02	0.12	7.3	133	14.8	0.02	0.12	7.3	133	14.8	0.02	0.12	7.3	133	14.8	0.02	0.12	7.3	133
1日後	14.9	0.02	0.07	7.5	132	15.0	0.01	0.13	7.4	133	15.0	0.02	0.09	7.4	133	15.0	0.02	0.18	7.3	133
2日後	14.9	0.02	0.10	7.5	132	15.1	0.02	0.15	7.4	133	15.0	0.01	0.09	7.5	133	15.0	0.01	0.15	7.3	133
3日後	14.9	0.02	0.06	7.5	133	15.0	0.02	0.06	7.4	133	14.9	0.01	0.07	7.5	133	15.0	0.01	0.13	7.4	133
4日後	14.9	0.01	0.07	7.5	133	15.0	0.02	0.10	7.5	133	15.0	0.02	0.10	7.5	133	15.0	0.02	0.14	7.4	133
7日後	15.0	0.01	0.07	7.6	133	15.1	0.02	0.08	7.5	133	15.1	0.02	0.10	7.6	133	15.1	0.02	0.15	7.5	133

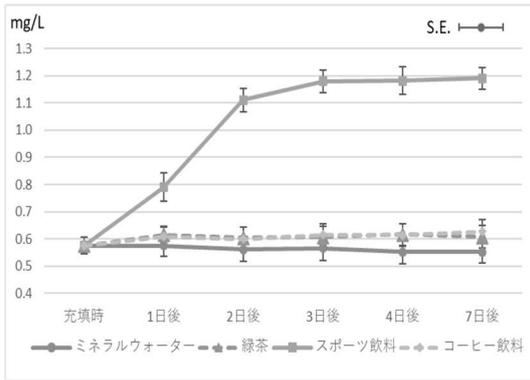


図 1.TOC 濃度の経時変化

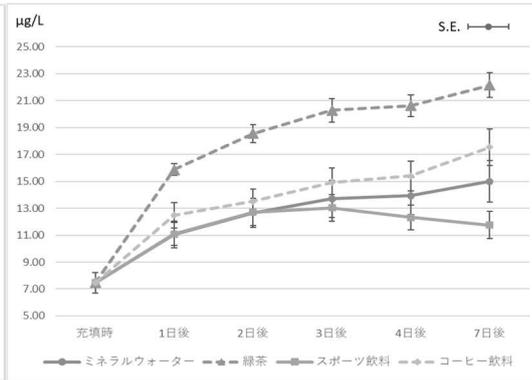


図 2.総トリハロメタン濃度の経時変化

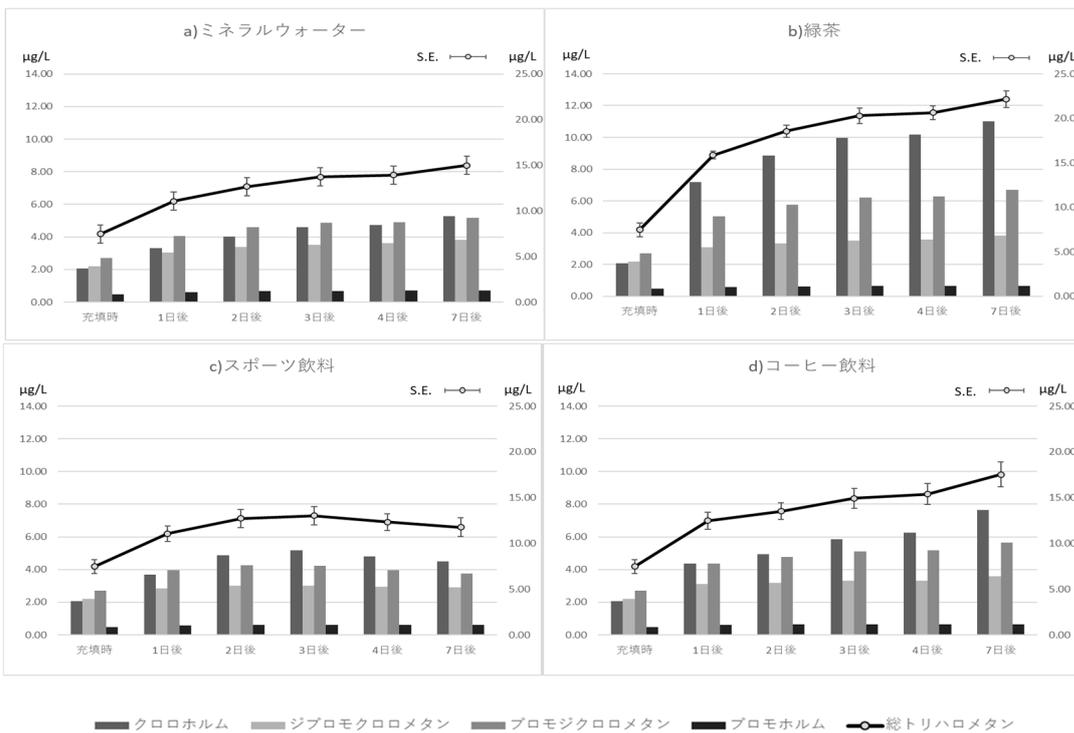


図 3. a) ミネラルウォーター容器、b) 緑茶容器、c) スポーツ飲料容器、及び d) コーヒー容器における総トリハロメタンおよびトリハロメタン構成 4 物質の経時変化 (第 1 軸：トリハロメタン構成 4 物質濃度 第 2 軸：総トリハロメタン濃度)

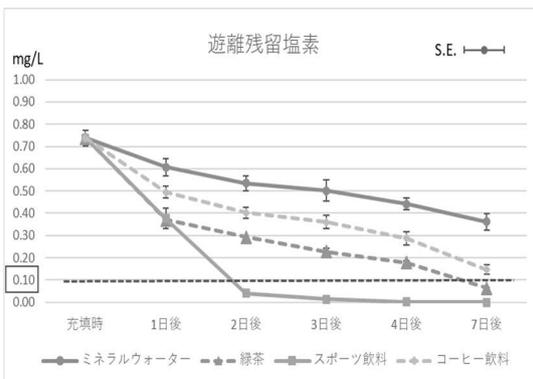


図 4.遊離残留塩素濃度の経時変化

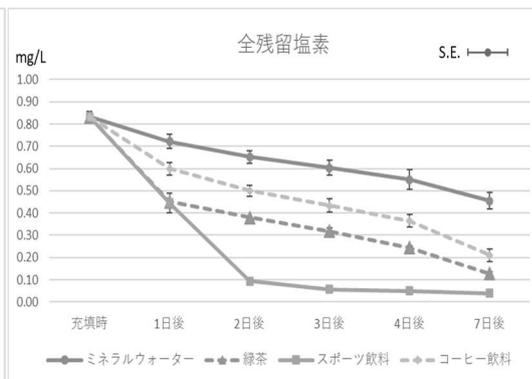


図 5. 全残留塩素濃度の経時変化

## 4. 考察

### 4.1. TOC の上昇

スポーツ飲料容器においてのみ TOC の上昇が見られた。これは容器内壁に残っていた有機物が、時間経過とともに水道水中に溶出したためであると考えられる。また、コーヒー飲料容器・緑茶容器について顕著な増加はないが、ミネラルウォーター容器よりは若干濃度が高く、有機物が残留している可能性がある。これらの容器では経時変化はほとんど認められなかった。

### 4.2. 総トリハロメタンの推移

緑茶容器において、最も総トリハロメタン濃度が上昇していた。TOC が同程度であったコーヒー飲料容器と差が見られたが、これは容器内壁に残留していた有機物がフミン質のようなトリハロメタンになりやすい有機物であったことが考えられる。一方で、TOC 濃度の上昇が最も大きかったスポーツ飲料容器では3日後以降に濃度が低下し、7日後では最も濃度が低かった。これは残留有機物の中でトリハロメタンになりにくいものが多く、トリハロメタン類の生成より前に残留塩素が消費されたため、他の試料よりも低濃度となったと考えられる。また、3日後以降はトリハロメタンの分解が生成を上回り、時間経過とともに減少したのではないかと推定する。

### 4.3. 遊離残留塩素の減少

スポーツ飲料容器において、著しく残留塩素が減少していたが、これは前述のように容器内壁に残留していた有機物が塩素と反応し消費されたためであると考えられる。また、次いで多く減少していた緑茶容器に関して、容器内壁の残留有機物との反応によるトリハロメタン生成によって塩素が優先的に消費されたため、ミネラルウォーター容器やコーヒー飲料容器と比べて遊離残留塩素の減少が早くなったことが考えられる。

## 5. まとめ

今回の調査では3日後時点において、ミネラルウォーター、緑茶およびコーヒー飲料の容器が測定した全ての項目で水質基準を満たしていたことから飲用可能であり、災害用備蓄水の保存用途として利用可能であることがわかった。また、スポーツ飲料容器についても、遊離残留塩素以外は水質基準を満たしていたことから、生活用水には使用可能であると考えられる。7日後時点においても、ミネラルウォーターおよびコーヒー飲料の容器では測定した全ての項目で水質基準を満たしていた。一方、容器内壁の残留物が TOC、総トリハロメタンおよび遊離残留塩素に影響を与えたと考えられることから、容器を十分洗浄できない場合もあり得ることを考慮すると、保存容器としては有機物等の含有量が少ない飲料の容器の方が望ましいといえる。また今回、容器容量 2.0 L に対して 200 mL 水道水で2回洗浄を行ったが、3日後時点でスポーツ飲料容器以外では水質基準を満たしており、家庭での3日間の備蓄には十分な洗浄であったと考えられる。

### 【引用文献】

1. 神戸市水道局“水質試験年報”：第 29 集,1994 年度版,pp.237-243,1995.
2. 神戸市水道局“水質試験年報”：第 30 集,1995 年度版,pp.192-194,1996.
3. 片岡裕美ら：食品衛生学雑誌,54 巻 4 号,pp.326-330,2013.
4. 中井良人ら：第 62 回全国水道研究発表会概要集,pp.632-633,2011.