

2. 浄水処理における粒状活性炭性能の経時変化（Ⅱ）

今村 康夫
板倉 愛実
春田 知昭
今中 壮一

1. はじめに

本市では、かび臭原因物質やトリハロメタン前駆物質のような微量有機物の除去を目的とした高度浄水処理を段階的に導入し、平成 12 年 3 月市内全域に高度浄水処理水を通水した。高度浄水処理の導入により、浄水のかび臭は完全に除去され、総トリハロメタンは中間塩素処理と比較して約 80%低減されるなど、安全で良質な水道水を確保している。

本市の浄水処理システムにおいて、粒状活性炭(以下、GAC)処理は後段に位置しており、その水処理性が浄水水質に大きな影響を与えることから、GAC 吸着池の維持管理や品質管理が極めて重要となる。これまでに GAC 品質や GAC 吸着性能の経時変化等について調査し、通水により金属吸着量が顕著に増加するために、高度浄水処理設備導入時と比較するとヨウ素吸着性能の低下割合が大きくなる事象¹⁾や GAC 処理水中の蛍光強度、色度が通水倍率に比例して増加する²⁾ことを明らかにしている。

今回、使用年数の異なる GAC 吸着池の処理水中に含まれる微量有機物や、経年使用により懸念される GAC 吸着池の潜在リスクについて調査を行った。

2. 調査方法等

2. 1 浄水処理フロー

本市の浄水処理フローは、図-1 に示すように急速砂ろ過池の前後でオゾン処理を行っている。GAC吸着池の前段にある後オゾン接触池では、溶存オゾンが一定濃度検出されるような制御を行っており、GAC吸着池表面でオゾンが確保されている。

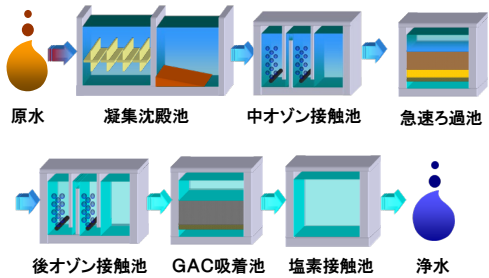


図-1 大阪市における浄水処理フロー

2. 2 GAC 吸着池の運用

2. 2. 1 洗浄方法

本市の浄水処理システムにおける GAC 吸着池の洗浄方法を表-1 に示す。GAC 吸着池内での後生生物の繁殖を抑制するために、通常 72 時間周期で浄水による洗浄を実施しているが、GAC 処理水中の線虫・ワムシの検出数の合計が 20 匹/L を超過する場合には、洗浄周期を短縮する運用を行っている。

なお、GAC 吸着池の洗浄フローは、水位を低下させてから空気・水併行洗浄を 5 分間行い、10 分間の逆流洗浄を 2 回繰り返した後に捨水する工程となっている。

表-1 GAC 吸着池の洗浄方法

洗浄方法	空気水洗浄→水逆洗
空気洗浄強度	0.8m ³ /m ² /分
水洗浄強度(空気水洗浄)	0.2m ³ /m ² /分
水洗浄強度(水逆洗)	膨張率が30～40%になるように水温により調整
洗浄水	浄水
洗浄周期	72時間(管理指標:線虫、ワムシの合算 20匹/L以下)
管理基準濁度	0.05度

2. 2. 2 更新方法

本市における GAC 吸着池の更新方法を図-2 に示す。平成 19 年度までの更新では、水処理性能をはじめ、物理的性状、経済性、環境影響といった各側面から種々の検討を加えた結果、更新期間を 5～6 年とし各系統の GAC を一斉に更新する一括更新を行っていた。しかし、平成 20 年度以降については、有機フッ素化合物の除去性確保と更新費用の平準化の観点から各系統の GAC 吸着池が 5 年で全て更新されるよう、

毎年数池ずつ更新する分散更新を行っており、各系統で運用中の GAC 吸着池については、使用年数が 1～5 年目のものが混在している。なお、GAC 吸着池における集合水の処理水質は、分散更新では単池換算で 3 年使用相当になることを確認している。

2. 3 GAC 処理水中の微量有機物の測定

本市柴島浄水場下系における使用開始後 1～5 年目の GAC 吸着池の処理水を採水し、GAC 処理水に含まれる微量有機物の測定を高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を用いて行った³⁾。なお、本報では、微量有機物の調査対象を農薬類としてデータ解析を行った。

また、令和 2 年に PF0A や PF0S が水質管理目標設定項目に、令和 3 年に PFHxS が要検討項目に設定されていることから、鶴田らの方法⁴⁾を用いて有機フッ素化合物 21 成分の測定も行った。

2. 4 GAC 洗浄捨水中の微粉量調査

経年使用により GAC が微粉化されることで、GAC 処理水中に漏洩する可能性が懸念されるため、柴島浄水場下系における使用 1～5 年目の GAC 吸着池を対象とし、GAC 洗浄捨水に含まれる微粉量を調べた。

洗浄捨水開始から終了の間、洗浄捨水に含まれる微粉量を見積もるため、微粒子カウンター(日本電色工業株式会社製 NP-500T)を用いて、洗浄捨水に含まれる微粒子数を 1 分毎に計測した。また、細菌試験及び理化学試験用の試料を一定時間毎に採水し、一般細菌の検出状況及び水質変化を調べた。

2. 5 使用年数と一般細菌の検出数の相関調査

GAC 吸着池の使用年数が微生物学的な安全性に与える影響を評価するため、使用年数と GAC 処理水中に含まれる一般細菌数との相関を調べた。使用年数が異なる柴島浄水場下系 GAC 吸着池を選定し、ろ過継続時間が 0～60 時間の試料を採水し、孔径 0.45 μ m の疎水性格子フィルターで 500mL ろ過した。ろ過後の疎水性格子フィルターを標準寒天培地上に静置させた後に 37℃の恒温槽内で 24 時間培養し、一般細菌を計測した。

3. 結果と考察

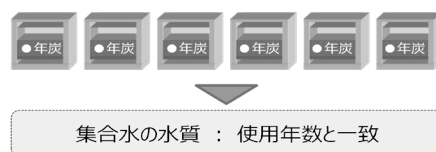
3. 1 有機物測定結果

1) ブロモブチド

農薬類のうち、GAC 吸着池の使用年数の違いにより処理性の違いが最も顕著に現れたブロモブチドについてその挙動を整理した。GAC 吸着池の使用年数とブロモブチド面積値の関係を図-3 に示す。なお、図-3 に示すデータは、令和 3 年 6 月に行った採水日毎の測定結果であり、流入水は後オゾン処理水の結果を示している。

1 年目ではブロモブチドは全量除去できていたが、2 年目以降から徐々に面積値が増大し GAC 吸着池から流出する傾向が認められた。流出量の増加割合は 2～3 年目にかけて大きくなっているが、3 年目以降については緩やかな増加傾向を示した。また、6 月 9 日及び 16 日の測定結果については、処理水の面積値は流入水の面積値を上回ることにはなかったが、処理水中の濃度は目標値の 100 分の 1 以下ではあるものの、6 月 23 日については蛍光強度と同様²⁾に 3 年目の処理水の方が流入水よりも面積値が高くなっていることから、被処理水に含まれる有機物の質や量の違いにより有機物の吸着及び脱着の挙動が異なると推測された。

一括更新



分散更新



図-2 GAC 吸着池の更新方法

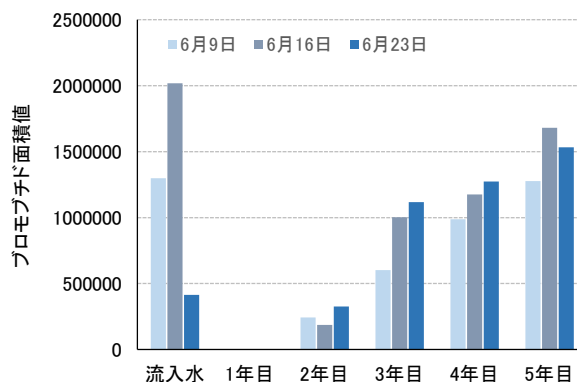


図-3 使用年数とブロモブチド面積値の関係

2) 有機フッ素化合物

令和3年11月及び12月に測定した有機フッ素化合物21物質のうち、後オゾン処理水中から検出された5成分の測定結果を図-4に示す。各成分の定量下限値はPFPeA(C5)は1ng/L、PFBA(C4)、PFHxA(C6)、PFHpA(C7)、PFOA(C8)は2ng/Lであり、定量下限値未満の結果については図-4に示さなかった。なお、図中には使用1～5年目のGAC吸着池を、GAC1～5と表記して結果を示している。

PFOA(C8)は、1年目は一定の除去性能を有していたが、2年目以降については処理水中の濃度が流入水濃度とほぼ同じになっていた。他の4成分については、11月15日に測定した1年目の吸着池では一定除去されているものの、12月14日の測定結果では、1年目であってもPFOAほどの吸着性能は示さなかったことから、有機フッ素化合物についてもブロモブチドと同様に被処理水の水質により吸脱着挙動が異なると推測された。また、いずれの測定日においても2年目以降ではGAC吸着池での除去は認められなかった。

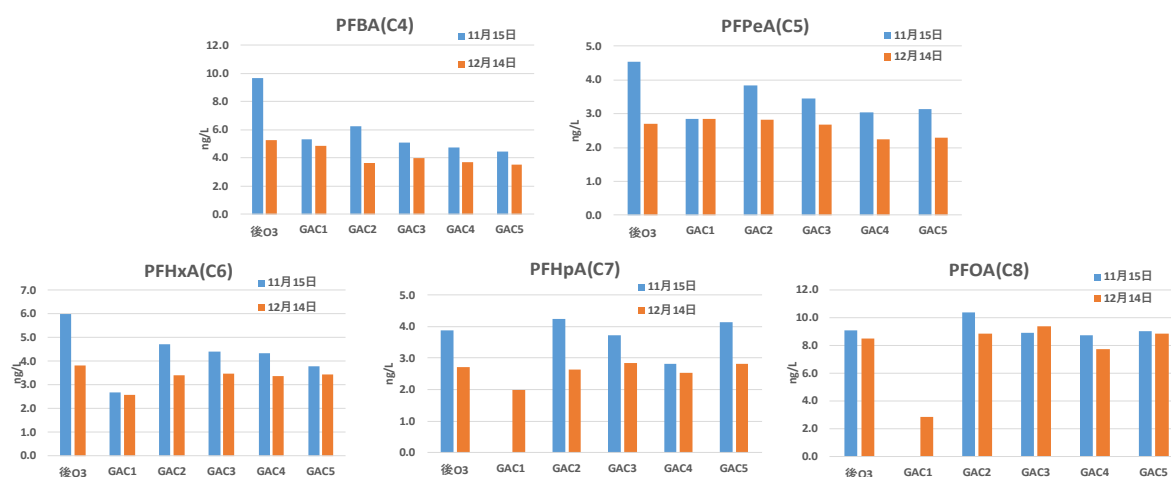


図-4 流入水から検出された有機フッ素化合物

3.2 GAC 洗浄捨水の水質調査

GAC 洗浄後の捨水工程中の微粒子数(粒径 0.5 μ m)の推移を図-5に、濁度の推移を図-6に示す。なお、微粒子数については0.5 μ m, 1 μ m, 3 μ m, 7 μ m, 12 μ m, 15 μ mの測定を行ったが、微粒子数が最も多く、最も鋭敏に捨水経過とともに粒子数が推移していたことから、粒径0.5 μ mの結果を示している。

GAC 洗浄後の捨水工程中の微粒子数と濁度は概ね同じ推移を示しており、最高濁度は1～3年目ではほぼ同じであったが、使用年数が4年を越えると、濁度が高くなり微粉化の懸念が大きくなっていることがわかった。

GAC 洗浄後の捨水工程中の水質については、捨水開始後10分間は浄水水質とほぼ同じ水質を示し、洗浄に使用した浄水が捨水されていたが、10分以降はGAC処理水の水質を示した。また、洗浄捨水工程を通して、一般細菌、大腸菌の検出はなかったが、10分以降は大腸菌群が検出され、10分頃までは浄水による消毒効果が持続していると推測された。

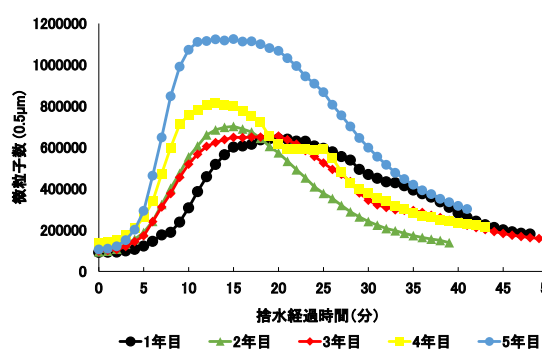


図-5 洗浄捨水後の微粒子数(粒径 0.5 μ m)の推

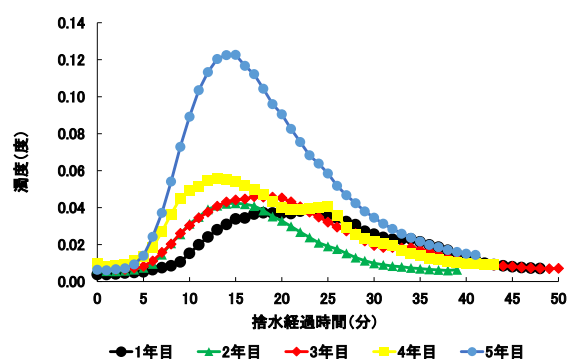


図-6 洗浄捨水後の濁度の推移

3.3 使用年数と一般細菌の検出数

GAC 吸着池の使用年数とろ過継続時間毎の一般細菌の検出数を表-3 に示す。なお、表-3 には水温約 10℃時の低水温期、水温約 25℃の高水温期に実施した調査結果を示している。

いずれの水温期においても、GAC 吸着池の処理継続時間が長くなるほど、また GAC の使用年数が長くなるほど、GAC 処理水中の一般細菌数が多くなる傾向が認められた。このため、使用中の吸着池から採取した GAC 試料を培養したところ一般細菌が検出されたことから、GAC 吸着池から微粉炭が漏出することが GAC 処理水から一般細菌が検出される一因になると推測された。GAC 吸着池以降の塩素処理において一般細菌は不活化されるものの、ろ過継続時間 60 時間後における一般細菌数は 4 年目以降に多くなっていることから、4 年目以降の GAC 吸着池については、GAC 洗浄後の濁度監視や GAC 処理水の水質管理に細心の注意を払う必要があると考えられた。また、水処理性能を指標として GAC の更新基準を推定している⁵⁾が、単池の使用年数に換算するとほぼ 3 年使用相当となり、GAC の微粉化が顕著になる年数と概ね一致していることがわかった。

表-3 一般細菌の検出数

(cfu/500mL)

		ろ過継続時間(hr)			
試料名		0	20	50	60
低水温期	5年炭	3	0	41	76
	4年炭	0	0	39	>100
	3年炭	1	1	24	2
	1年炭	4	6	10	23
高水温期	5年炭	9	22	46	68
	4年炭	5	10	36	56
	3年炭	21	30	20	29
	1年炭	2	10	22	32

4. まとめ

本調査により、次に示す知見を得ることができた。

- GAC 処理水中のプロモブチドの存在量の関係を調べたところ、2 年目以降から徐々に除去性能が低下し、流出量の増加割合は 2～3 年目にかけて大きくなり、3 年目以降については緩やかな増加傾向を示した。
- GAC 吸着池におけるプロモブチド、有機フッ素化合物の除去性調査結果より、被処理水の水質により有機物の吸脱着挙動が変化すると推測された。
- 後オゾン処理水中に含まれる有機フッ素化合物 21 成分を測定したところ、PFBA(C4)、PFPeA(C5)、PFHxA(C6)、PFHpA(C7)、PFOA(C8)の 5 成分が検出された。これらの GAC 処理性を調べたところ、2 年目以降の GAC 吸着池では有機フッ素化合物の除去は期待できないことがわかった。
- GAC 吸着池の洗浄捨水中に含まれる微粒子数は、1～3 年目の吸着池で大きな差はなかったが、4 年目以降は使用年数に比例して多くなっており、微粉化の懸念が高くなることがわかった。
- 捨水開始から 10 分までは大腸菌群は検出されなかったが、以降は検出されたことから、捨水開始から 10 分頃までは浄水による消毒効果が持続していると推測された。
- GAC の使用年数が長くなるほど、GAC 処理水中に微粉炭が漏出するために、一般細菌数が多くなり、4 年目以降にその傾向が顕著になった。水処理性能を指標として GAC の更新基準を推定している⁵⁾が、単池の使用年数に換算するとほぼ 3 年使用相当となり、GAC の微粉化が顕著になる年数と概ね一致していることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 今村康夫ら：経年使用による粒状活性炭の性能変化について、第 61 回研究発表会概要集（平成 29 年度 橿原市 日本水道協会 関西地方支部）、pp. 64-67
- 2) 今村康夫ら：浄水処理における粒状活性炭性能の経時変化、平成 30 年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp. 284-285
- 3) 中野耕太ら：高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を活用した淀川水系における農薬類の実態調査、第 65 回研究発表会概要集（令和 3 年度近江八幡市 日本水道協会 関西地方支部）、pp. 17-20
- 4) 鶴田朋子ら：直接注入ー液体クロマトグラフ質量分析法による有機フッ素化合物の測定における前処理方法の検討第 65 回研究発表会概要集（令和 3 年度近江八幡市 日本水道協会 関西地方支部）、pp. 9-12
- 5) 今中壮一ら：水処理性能から推定される粒状活性炭の更新基準、令和 2 年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp. 598-599