

(8-17) 色度 150 度の地下水を水源とする専用水道水の凝集処理に関する検討

—色度と有機物の低減・除去—

○吉川 循江（横浜市衛生研究所） 堀切 佳代（横浜市衛生研究所）

1. はじめに

横浜市内で市域の地下水を原水として利用する（自己水源型）専用水道施設では Fe, Mn, アンモニア態窒素（NH₄-N）の処理を優先した浄水設備が設置¹⁾されてきた。今回調査を行った施設では有機物濃度が高いことから浄水処理過程で副生成物が生成し、ハロ酢酸やクロロホルムなどの低減化に苦慮していた。自己水源型専用水道の申請時にはポリ塩化アルミ（PAC）注入装置を使用することになっていたが、2021年10月の現地調査時には高分子凝集剤（カチオン系ホモポリマー）が使用されていた。さらに凝集剤の注入に際し必要とされるジャーテストが行われておらず、注入率の決定根拠が不明であった。2022年4月に施設側で凝集剤をPACに変更したが、ジャーテストの結果ではフロック状態が不良とされていた。そこで、限外ろ過膜の前段で色度成分（フミン質）や有機物をフロック化して砂ろ過で除去することを目指してPAC注入率や凝集pHの検討を50mL量の試料で試験できるマグネチックスターラーを用いたジャーテストを試みたので報告する。

2. 施設概要

施設で使用する全ての水を自己水源型専用水道設備（図1）で浄化した処理水を利用している。水の供給を受ける者の数1500人あまり。平均給水量約200m³/日。

(1) 浄水処理工程概要

地下水のみを原水とし、揚水量は約150L/分（=9m³/時間）。2022年4月に高分子凝集剤からPACに変更し、返送管②は停止、限外ろ過後に全量を逆浸透膜に通過させる工程に変更。PACの注入率は48mL/分とされていたが、実測したところ16mL/分であった。注入量はAl₂O₃として約10.7mg/Lと算出された。

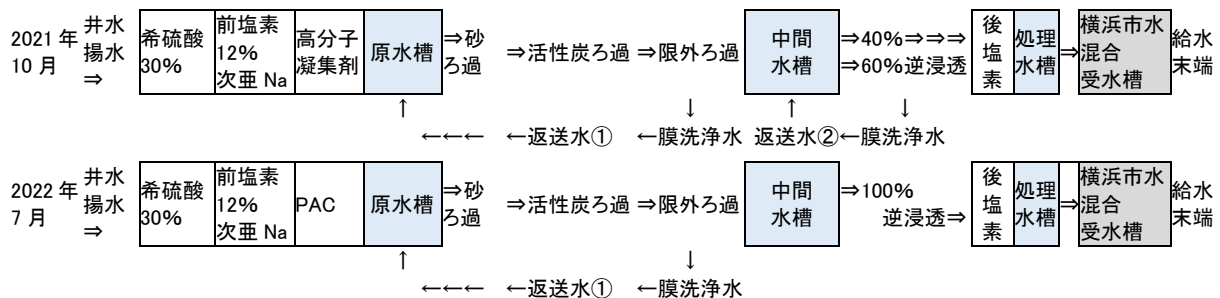


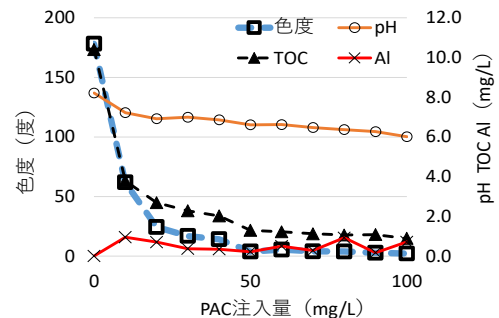
図1 浄水処理工程概要

(2) 水質検査結果

2021年10月、2022年7月に現地調査を行い浄水処理工程ごとに採水し、主な項目の水質検査をしたところ（表1）、2022年7月の末端水では検査した項目に水質基準を超過している項目はなかった。2回の検査における地下水原水の濁度については0.1未満であるが色度140-150度、TOC 8.5-9.3mg/L、アンモニア態窒素1.7-1.8mg/Lであった。水道統計²⁾の上水道の原水の水質と比較したところ、原水の平均値が色度100度以上は1施設もなく、TOC 8mg/L以上は表流水の1施設であり、全国でも類をみない原水水質であった。2022年7月の原水槽-砂ろ過-活性炭の各工程ではAl濃度は7.8-1.6mg/Lと高く、色度は81-25度に、TOCは6.6-2.1mg/Lに減少し、逆ろ過水の濁度は0.69-2.1度で高くなっていた。原水槽のpH値は6.9であった。UF膜-中間水槽-RO膜-処理水槽の各工程ではAlは0.17-0.01mg/L未満に、TOCは0.90-0.3mg/L未満に減少していた。PAC注入後に攪拌装置がなく、原水槽でフロックを形成、凝集させていることによると考えられた。原水槽に返送される水量が一定しない状況でのフロック形成、膜のみに頼ったイオン類の除去工程では膜の交換時期の見極めが難しく、水質管理計器（濁度計、pH計、アルカリ度計）がインラインで接続されていない状況での薬品の自動注入制御（無人運転）には不安が残った。

3. ジャーテストの方法

当所はジャーテストを持ち合わせておらず、デジチューブ50mLに原水50mLを採り、段階的にPACと硫酸の注入量を変えて加えマグネチックスターラーで行った。回転子の回転数を設定できないので薬品が混和するように上部に渦ができるくらい（急速攪拌に相当）1分間、次いで回転数を落とし回転子が60回転/分（緩速攪拌に相当）で10分間攪拌した。60分静置後、上澄水約30mLを駒込ピペットで静かに採取し、色度、TOC、pH値、Al、Feを測定した。PACは当該施設から採取し1w/v%溶液に希釈して使用した。硫酸は10mol/L（=64%）イオンクロマト用を使用した。図2 PAC注入量と色度・pH・TOC・Alの関係



4. 結果・考察

PAC 注入量と色度・pH・TOC・Al との関係を図 2 に示した。PAC 注入量が 50-100mg/L の時、pH 値は 6.0-6.6 であった。色度は 2.0-5.5 度に、TOC は 0.89-1.3mg/L に低下し、Al は 1mg/L 以下であった。次に、PAC 注入量を 50mg/L 前後、100mg/L 前後で硫酸注入量を 38.4-76.8mg/L、0-25.6-51.2mg/L で変化させ pH を調整した場合の TOC・色度・Al の関係を図 3 に示した。PAC 注入量をできるだけ少なくという点では 50mg/L 程度の注入量の方が良く、いずれも TOC 1.5mg/L 未満、色度 5 度未満が達成できると思われた。pH 値 5.5-6.0 付近であれば、返送水に含まれる PAC によって原水槽内の PAC が増加してしまう場合でも 100mg/L 程度までならば pH6.5 以下にすることにより、Al 濃度の低減化が図れると考えられた。当該浄化設備においては PAC 注入量を 55mg/L 程度まで増量し、原水槽の pH 値 5.5-6.0 を目指して管理することで、現状の原水槽-砂ろ過-活性炭の色度、TOC、Al 濃度よりも良好なフロック形成になると考えられた。また、後段でフロックを分離除去する UF 膜の負荷を低減する効果も得られると考えられた。これまでの結果から原水槽の pH 管理が有効であり、自動制御装置の導入が必要と考える。また、アンモニア態窒素と Mn を酸化する目的で前塩素（次亜 Na を注入）しているため、原水がアルカリ性に動き、塩素酸が 1.3mg/L まで高くなっている。前塩素をやめ pH を 6.0 付近にして PAC で TOC や色度を低減させたのち、中間水槽で中塩素という方法も有効と考えられた。

5. まとめ

浄水処理工程において PAC 注入量、凝集 pH の決定のためマグネチックスターラーによるジャーテストを活用できる可能性が示唆された。

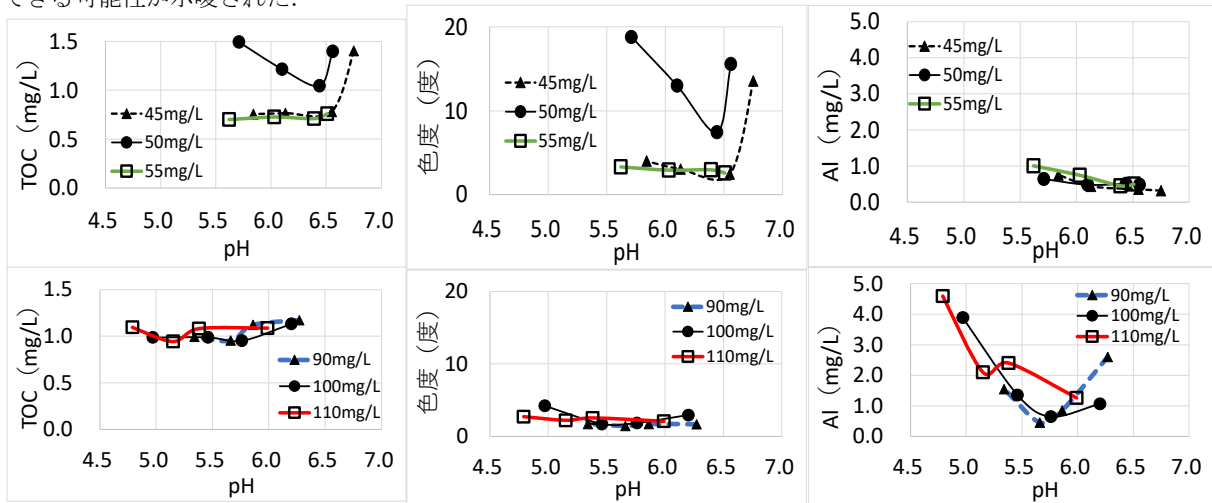


図 3 PAC 注入量の違いによる pH と TOC・色度・Al の関係

表 1 給水工程水の水質検査結果 一部抜粋

検査項目 (mg/L)	2021	2022							RO 膜	処理水槽	市水混合受水槽	末端	横浜市水
	原水	原水	原水槽	返送水①	砂ろ過	活性炭	UF 膜	中間水槽					
ヒ素及びその化合物	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
亜硝酸態窒素	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
硝酸及び亜硝酸態窒素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.73	0.67	1.1
フッ素及びその化合物	0.38	0.30	0.22	0.21	0.23	0.23	0.21	0.21	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
ホウ素及びその化合物	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.18	0.17	0.065	0.072	<0.05
塩素酸	<0.06	<0.06	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	<0.06	0.078	<0.06	<0.06	<0.06
アルミニウム及びその化合物	<0.01	<0.01	7.8	1.1	3.6	1.6	0.023	0.17	<0.01	<0.01	0.026	0.023	0.042
鉄及びその化合物	0.13	0.14	0.13	0.023	0.071	0.034	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
マンガン及びその化合物	0.029	0.030	0.028	0.0080	0.016	0.0095	0.0051	0.0055	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.005
カルシウム、マグネシウム等(硬度)	22	22	23	23	20	22	22	23	<1.0	<1.0	43	38	66
TOC	9.3	8.5	6.6	1.6	4.7	2.1	0.79	0.90	<0.3	<0.3	0.36	0.35	0.48
pH 値	8.2	8.2	6.9	6.8	6.8	6.6	6.6	6.7	5.8	6.1	7.0	7.1	7.3
色度(度)	150	140	81	18	49	25	3.0	4.4	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
濁度(度)	<0.1	<0.1	2.1	0.84	0.69	1.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
過マンガン酸カリウム消費量	—	58	41	8.1	25	10	3.3	3.8	0.73	<0.5	0.98	0.79	1.2
アンモニア態窒素	1.8	1.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
遊離残留塩素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3	0.58	0.69	0.37
結合残留塩素	<0.1	<0.1	0.21	<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

【参考文献】 1) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の無機態窒素調査 - 浄水処理方式の違いによるアンモニア態窒素等を指標とした処理効果の確認, 環境技術, 38, 656-663, 2009. 2) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の金属元素調査 - 浄水処理方式の違いによるマンガン, 鉄, ヒ素の処理性 -, 環境技術, 42, 41-48, 2013. 3) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の揮発性有機化合物調査 - 地下水汚染状況と地質的背景 -, 環境技術, 42, 625-633, 2013. 4) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の茶褐色異物発生事例を踏まえた課題: 水道協会雑誌, 82, (11), 9-18, 2013. 5) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の硫化亜鉛検出事例: 水道協会雑誌, 83(8), 2-12, 2014. 6) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の浄水処理の相違とその水質: 環境技術, 43, 9, 539-545, 2014. 7) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の浄水処理工程の相違とその水質 - クリプトスポリジウム等対策と膜ろ過の設置 - 平成 26 年度全国会議(水道研究発表会)講演集 2014 年 10 月 pp614-615. 8) 令和元(2019)年度 水道統計 水質分布表(原水)平均値 <http://www.jwva.or.jp/mizu/pdf/2019-b-01gen-02avg.pdf>