

## 「事例報告」

## 地下水を水源とする専用水道の茶褐色異物発生事例を踏まえた課題

吉 川 循 江 前 沢 仁  
 横浜市衛生研究所 横浜市衛生研究所  
 検査研究課水質担当

荒 井 桂 子 白 川 冬  
 横浜市衛生研究所 横浜市保健所

岩 切 隆 浩 小 山 治 久  
 横浜市保健所 横浜市保健所

浅 見 真 理  
 国立保健医療科学院  
 生活環境研究部水管理研究分野

**要旨：**圧力寸胴鍋に水道水（地下水を原水とする専用水道）を入れ加熱すると褐色の浮遊物が生じたことから、その浮遊物、原水、処理水を検査したところ水酸化鉄が生じていたと推定した。このことから原水中の除鉄が不十分であることに起因するものと推論し、浄水処理工程を見直し、「前塩素一急速汙過」の前に凝集剤を注入する改修をしたところ改善が確認された。一連の原因究明、浄水処理工程の改修に至る過程、また、このような事例を未然に防ぐための対策・課題を考察した。

**キーワード：**地下水、専用水道、鉄、浄水処理

**分類項目：**水質管理一般（120101）

## 1. はじめに

近年、水道水が給水されている地域にもかかわらずコスト削減を主な理由として、地下水を水源とした専用水道<sup>1)</sup>(自己水源型専用水道)を設置しようとする動きが目立ってきた<sup>2)</sup>。横浜地域においてもそれは例外ではなく、平成24年4月現在、50以上の自己水源型専用水道施設がある。これまでに鈴木らによる自己水源型専用水道についての水質実態調査<sup>3~5)</sup>の報告がある。著者らは原水のみならず処理水においてもアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)や亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)を測定して消毒効果を確認することが必要であると提案している<sup>6)</sup>。横浜市の自己水源型専用水道では浄水処理をせずに水質基準に適合する施設は限られており、利用するためには水質基準に適合するよう何らかの処理をする必要がある。しかし、その水

質は基準に近い値で給水開始される施設が散見され、給水開始後に水質基準超過や異物発生事例などが発生している。

今回の事例は、横浜市保健所が探知してから6ヶ月、事例が発生してから原因究明、設備の構造変更を終えて給水を再開するまで1年4ヶ月を要した。一連の原因究明、浄水処理工程の改修に至る過程、また、このような事例を未然に防ぐための対策を考察したので報告する。

## 2. 事例概要

### 2.1 事例発生日

平成21年12月

### 2.2 施設

横浜市に平成17年に建築されたRC造、地下3階、延床面積約7500m<sup>2</sup>(標高69.6m)の福祉施設で、水の供給を受ける者の数は計242人である。

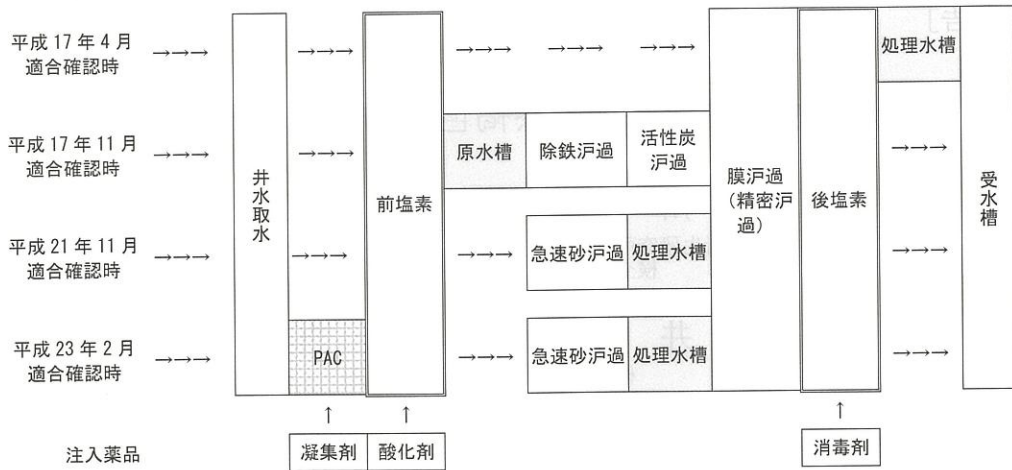


図-1 水道設備の構造変更の変遷概略図

2.3 水道設備の概要

水道設備の構造変更の変遷概略を図-1に示した。平成17年4月に給水が開始され、平成17年11月及び平成21年11月に主要な浄水設備を変更したため、その都度、布設工事確認申請、適合確認を行っている。

水道設備は自己水源型専用水道に該当し、1日最大給水量52.92m<sup>3</sup>、1日平均給水量39.4m<sup>3</sup>の設備である。

(1) 取水設備

井水を水源とし、自然水位 (GL-18.9)、スクリーンは-55m、-78m、-106mの3箇所水中ポンプにて揚水、取水していた。取水量は52.52m<sup>3</sup>/日である。

なお、河川水を水源とする横浜市水を引き込み受水槽に補給する。取水量は0.4m<sup>3</sup>/日である。

(2) 貯水設備

貯水設備 (原水槽、処理水槽) の材質はFRP、有効容量は2.25m<sup>3</sup>である。

(3) 浄水設備

事例発生日 (平成21年12月) における浄水処理工程は井水を取水し、酸化剤として次亜塩素酸ナトリウム (12%) を注入後、急速砂ろ過装置 (カラーカッターG:日本原料株式会社) を通過させ、処理水槽に貯水し、精密膜ろ過装置 (ポリサルホン膜) を経て、消毒剤として次亜塩素酸ナトリウム (12%) を注入した後、受水槽に配水される。

(4) 配水設備

配水設備 (受水槽) の材質はFRP、有効容量は32m<sup>3</sup>で、屋外に設置された床式である。受水槽にて横浜市水と混合、配水している。

2.4 相談内容

平成21年12月頃から圧力寸胴鍋に水を入れ加熱すると、加熱中に褐色の浮遊物が生じることに調理を担当する従業員が気づき、同様の現象が何回か起こったため、平成21年12月に水道法第20条の登録検査機関Aに調査を依頼した。検査結果では褐色浮遊物は「鉄を含む種々の金属水酸化物」とのことで、多量の鉄の他にマンガン、亜鉛、銅、ニッケル、クロムが検出されたことから、「圧力寸胴鍋のステンレス成分の溶出」が疑われていた。また、「配管やタンク等の腐食によるもの」と推定されるとのコメントとその解決方法として配管や装置の洗浄、除鉄・除マンガン装置などに繁殖している鉄バクテリア付着物の除去が指示された。平成22年4月に検査機関Bに依頼した顕微鏡観察による調査結果においても「褐色浮遊物はズーグレア状細菌類<sup>7)</sup>が繁殖している」とされた。

両検査機関の検査結果を受け配管や装置の洗浄を実施したが現象の改善が認められないことから、平成22年6月から給水を停止して、当該施設の経営者は横浜市保健所に相談に訪れた。

2.5 行政対応

平成22年7月、保健所が採水して衛生研究所で当該施設の処理水の水質検査を実施した結果、水

質基準を超過した項目は確認されなかった。

しかし、その後も現象が改善しないことから、同年9月、再度水質検査の実施にあわせて、褐色浮遊物を生じる現象の再現実験を実施し、原因を究明することとした。

### 3. 調査方法

#### 3.1 施設調査

保健所は水道設備の概要調査、現地調査、書類調査を行った。

##### (1) 水道設備の概要調査

保健所で管理している自己水源型専用水道布設工事確認申請書類から、該当する水道設備の概要を調査した。

##### (2) 現地調査

現地にて簡易水質検査及び詳細な状況を把握するための設備調査を行った。保健所が採水して行った簡易水質検査は以下のとおり。

##### a. 簡易水質検査項目

簡易水質検査の項目は外観（濁り、色、浮遊物、泡立ち等の状態）、遊離残留塩素である。

##### b. 方法

遊離残留塩素はDPD試薬を用いた比色法で行った。

##### (3) 書類調査

当該施設が以前に行った水質検査結果書、処理水槽及び受水槽点検時の書類の調査を行った。

##### a. 水質検査結果書の調査

当該施設について、登録検査機関A及び横浜市衛生研究所が平成16年9月～平成24年1月までに行った水質検査結果書を調査した。

##### b. 処理水槽及び受水槽点検時の書類の調査

当該施設について、管理委託会社が行った処理水槽、受水槽点検時の書類を調査した。

#### 3.2 横浜市衛生研究所における水質検査

横浜市衛生研究所にて行った水質検査は以下のとおり。

##### (1) 試料及び検査項目

##### a. 試料

##### (a) 水試料

平成22年7月、9月、平成23年2月の計3回当該施設の井水（原水）及び浄水設備を経た受水槽に入る前の処理水を保健所が採水し、試料とした。

なお、7月に対照として当該施設の横浜市水を採水し、試料とした。

##### (b) 異物試料

平成22年9月、異物を生じる現象を再現するため、ステンレス製の圧力寸胴鍋（施設から借用）に処理水を15L採水して、94～98℃で4時間加熱した。

##### b. 検査項目

##### (a) 水質検査

原水及び処理水の検査項目は水質基準のある「水質10項目検査」として一般細菌、大腸菌、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、塩化物イオン、有機物（全有機炭素（TOC）の量）、pH値、味、臭気、色度、濁度、「金属類検査」としてカドミウム、セレン、鉛、ヒ素、六価クロム、フッ素、ホウ素、亜鉛、アルミニウム、鉄、銅、ナトリウム、マンガンの硬度（カルシウム、マグネシウム等）である。水質管理目標設定項目としてニッケル、亜硝酸態窒素、その他水質基準のないアンモニア態窒素の計27項目とした。

横浜市水の水質検査項目は「水質10項目検査」とした。

##### (b) 異物検査

異物検査の検査項目は外観（形状、色、大きさ）、触感、水溶解性、燃焼時の臭い、燃焼後の沈澱物、電子線マイクロアナライザー付走査型電子顕微鏡（日立製）による元素分析である。

##### (2) 方法

##### a. 水質検査

当研究所で行う水質検査は水質基準に関する省令（平成15年厚生労働省令第101号）の規定に基づき、厚生労働大臣が定める方法、厚生労働省告示第261号に準じて行った。一般細菌は標準寒天培地法、大腸菌は特定酵素基質培地法、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、塩化物イオン、フッ素はイオンクロマトグラフ（陰イオン）による一斉分析法、TOCは全有機炭素計測定法、pH値はガラス電極法、味は官能法、臭気は官能法、色度は比色法、濁度は比濁法、カドミウム、セレン、鉛、ヒ素、六価クロム、ホウ素、亜鉛、アルミニウム、鉄、銅、マンガンは誘導結合プラズマ質量分析装置による一斉分析法、ナトリウム、カルシウム、マグネシウム等（硬度）、アンモニア態窒素はイオン

クロマト(陽イオン)による一斉分析法にて行った。

#### b. 異物検査

異物検査は上水試験方法の異物分析方法や文献<sup>8~12)</sup>を参考に行った。

### 4. 結果

#### 4.1 施設調査

##### (1) 浄水設備の変遷概要調査とこれまでの指導状況

水道設備の構造変更の変遷概略図(図-1)によると、平成16年9月の原水の水質検査結果をもって専用水道布設工事確認申請が受付され、平成17年4月に給水開始された。程なく、給水を停止し、除鉄ろ過設備を設置するなど浄水設備を変更し、平成17年11月に給水を再開している。平成17年6月に行っている原水の水質検査結果では鉄は0.49mg/Lであり、平成16年9月の鉄濃度0.14mg/Lと異なっていた(表-1)。この時期の設置業者はaであった。

平成19年夏、設置者から連絡があり「給水栓において鉄およびマンガンの水質基準超過が認められたため、自主的に井水浄水設備を停止して、横浜市水100%に切り替えた。」とのことであった。

その後、設置業者bが急速砂ろ過設備を設置するなどの工事を行い、平成21年11月に井水浄化による給水を再開した。設備変更工事に当たって保健所では平成21年11月、設置者に対して次の2事項について指導を行ったが、専用水道の設備上の基準にないことから受け入れられなかった。

a. クリプトスポリジウム対策として膜ろ過後にインライン濁度計を設置して濁度の変化に注意を払うこと。

b. 前塩素から急速砂ろ過装置までの配管が短いので反応槽を設けてはどうか。

平成21年11月に再度給水を再開してから1ヶ月経過した12月に今回の相談事例が発生し、原因究明と設備変更のため平成22年6月~平成23年2月まで給水を停止した。

##### (2) 現地調査

###### a. 給水停止中(平成22年7月)

給水停止中の平成22年7月に保健所が行った現地調査では、処理水槽、受水槽内部に異物の浮遊や臭気などの異変はなかった。また、水槽底部に

異物がたまっている形跡はなく、内壁面にも汚れや異常は認められなかった。同時に処理水を採水して遊離残留塩素の検査を行った結果、1.0mg/L検出され外観の異常は認められなかった。

なお、処理水採水にあたっては浄水設備を1日間稼働させて受水槽に入る前の処理水を排出したうえで採水した。

###### b. 給水停止中(平成22年9月)

再度、給水停止中の平成22年9月保健所が現地調査を実施したが、処理水槽、受水槽内部に異変はなく、水槽底部に異物がたまっている形跡はなく、内壁面にも汚れや異常は認められなかった。処理水(建物内の配管を通過していない)を採水して遊離残留塩素の水質検査を行った結果、1.0mg/L検出され、外観の異常は認められなかった。

なお、処理水採水にあたっては7月と同様に浄水設備を1日間稼働させた。

###### c. 給水停止中(平成22年10月)

さらに、平成22年10月浄水設備を調査するため膜ろ過装置を開けフィルタを確認したところ、茶褐色に変色していることが確認された。また、前塩素から急速砂ろ過装置までの配管が短く、反応槽が設置されていないことから反応時間が短く、急速砂ろ過装置で鉄が除去できていないと推定された。

##### (3) これまでの報告書など書類調査

###### a. 水質検査結果書の調査結果

###### (a) 井水(原水)の変化

登録検査機関Aが平成16年9月から平成24年1月までに行った当該施設における原水の水質検査結果書の調査結果を表-1に示した。

原水の水質を比較すると、鉄は平成16年9月の時点では0.14mg/Lであったが、平成17年6月に0.49mg/Lに、平成19年5月になると1.04mg/Lに上昇した。平成20年11月以降においても1.38~1.94まで2倍程度の変動が認められた。色度は2.9度から31.2度、マンガンは0.026mg/Lから0.080mg/Lまで上昇した。

平成16年9月の時点で一般細菌は720cfu/mLであったが、平成19年5月になると検出されなくなった。硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素やヒ素も

表-1 登録検査機関 A、横浜市衛生研究所における当該施設の水質検査結果書の調査結果

検査項目	平成16年	平成17年	平成17年	平成19年	平成20年	平成23年	平成24年	平成17年	平成17年
	9月	3月	6月	5月	11月	1月	1月	12月	12月
	原水	原水	原水	原水	原水	原水	原水	原水	処理水
一般細菌数 (cfu/mL)	720	—	—	0	0	0	0	1	0
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 (mg/L)	0.30	—	—	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.1未満	0.4
塩化物イオン (mg/L)	5.0	—	—	3.3	3.6	3.1	3.3	4.1	4.4
有機物(全有機炭素(TOC)の量) (mg/L)	0.5未満	—	—	0.5未満	0.5未満	0.3未満	0.4	—	—
pH 値	7.2	—	—	7.5	7.5	7.5	7.4	—	—
色度 (度)	2.9	—	—	12.6	17.8	31.2	14.1	—	—
濁度 (度)	0.5	—	—	1.6	0.2	3.0	0.1	—	—
ヒ素及びその化合物 (mg/L)	0.002	—	—	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
亜鉛及びその化合物 (mg/L)	0.768	—	—	0.016	0.063	0.049	0.006	0.015	0.005未満
鉄及びその化合物 (mg/L)	0.14	—	0.49	1.04	1.38	1.94	1.18	1.1	0.17
ナトリウム及びその化合物 (mg/L)	9.5	—	—	5.9	6.0	6.9	5.7	7.4	6.3
マンガン及びその化合物 (mg/L)	0.026	—	0.045	0.080	0.069	0.069	0.080	0.080	0.005未満
カルシウム、マグネシウム等(硬度) (mg/L)	125	—	—	65	59	58	57	55	48
アンモニア態窒素 (mg/L)	—	0.05未満	—	0.10	0.12	0.10	0.13	0.1未満	0.1未満
検査機関	登録検査機関 A							横浜市衛生研究所	

0.30mg/L、0.002mg/Lであったが、定量下限値未満に変化した。

#### (b) 月次の水質検査報告書

毎月、登録検査機関が実施している給水栓の水質検査の報告書では、平成18年4月～19年6月、21年11月～22年2月まで鉄濃度は0.03mg/L未満を示しており、変動はしていなかった。

#### (c) 横浜市衛生研究所が行った水質検査報告書の調査

平成17年12月に横浜市衛生研究所が行った水質検査報告書の調査結果を表-1に示した。当該施設に対して原水と処理水の検査を同時に行っており比較することができる。原水の鉄は1.1mg/L、マンガンは0.080mg/Lであり、半年前の平成17年6月よりも、平成19年5月の濃度に近い値であった。

また、処理水の鉄濃度は0.17mg/L、マンガンは0.005mg/L未満であり、平成17年11月の適合確認時には水質基準値以下まで低減されていたことが確認された。

#### b. 処理水槽及び受水槽点検時の書類調査

管理委託会社が実施した、平成21年12月、平成22年3月の処理水槽及び受水槽設備点検報告書に

は処理水槽、受水槽内部の水質について外観上異常がある旨の記載はなかった。

#### 4.2 横浜市衛生研究所における検査結果及び助言

##### (1) 水質検査結果

当該施設の原水、処理水及び横浜市水の水質検査結果を表-2に示した。

##### a. 原水の水質検査結果の概要

平成22年7月、9月及び平成23年2月の原水の結果を比較すると、色度が12度から7.9度、4.7度に減少していた。地質に由来する鉄、マンガン、TOC、アンモニア態窒素、硬度、イオン類などの項目に大きな変化がないことから、その変動原因は不明である。

##### b. 処理水と横浜市水の水質検査結果（平成22年7月）

平成22年7月の当該施設の処理水の外観に異常（異物があるなど）は認められず、水質検査結果を原水と処理水で比較すると、色度、鉄、マンガンの各成分は浄水処理を経て、各々の水質基準（5度以下、0.3mg/L以下、0.05mg/L以下）に適合するまで減少していた。しかし、処理水の色度、鉄、マンガンの濃度は2.4度、0.25mg/L、0.009mg/L

表-2 横浜市衛生研究所における当該施設の原水、処理水及び横浜市水の水質検査結果

検査項目	平成22年7月			平成22年9月		平成23年2月		水道水質基準
	原水	処理水	横浜市水	原水	処理水	原水	処理水	
一般細菌数 (cfu/mL)	4	0	6	10	0	0	0	1 mLの検水で形成される集落数が100以下であること
大腸菌 (/100mL)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	検出されないこと
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素 (mg/L)	0.1未満	0.1未満	0.9	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	10mg/L以下であること
塩化物イオン (mg/L)	3.1	4.7	8.3	3.2	4.7	3.0	5.8	200mg/L以下であること
有機物 (全有機炭素 (TOC) の量) (mg/L)	0.3未満	0.3未満	0.6	0.3未満	0.3未満	0.3未満	0.3未満	3mg/L以下であること
pH 値	7.2	7.3	7.5	7.2	7.3	7.2	7.3	5.8以上8.6以下であること
味	—	異常なし	異常なし	—	判定不能	—	異常なし	異常でないこと
臭気	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常でないこと
色度 (度)	12	2.4	0.5未満	7.9	2.6	4.7	1.0	5度以下であること
濁度 (度)	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	2度以下であること
カドミウム及びその化合物 (mg/L)	0.0003未満	0.0003未満	—	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	カドミウムの量に関して0.003mg/L以下であること
セレン及びその化合物 (mg/L)	0.001未満	0.001未満	—	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	セレンの量に関して0.01mg/L以下であること
鉛及びその化合物 (mg/L)	0.001未満	0.001未満	—	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	鉛の量に関して0.01mg/L以下であること
ヒ素及びその化合物 (mg/L)	0.001未満	0.001未満	—	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	ヒ素の量に関して0.01mg/L以下であること
六価クロム化合物 (mg/L)	0.005未満	0.005未満	—	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	六価クロムの量に関して0.05mg/L以下であること
フッ素及びその化合物 (mg/L)	0.09	0.08	—	0.08	0.08	0.08未満	0.08未満	フッ素の量に関して0.8mg/L以下であること
ホウ素及びその化合物 (mg/L)	0.05未満	0.05未満	—	0.05未満	0.05未満	0.05未満	0.05未満	ホウ素の量に関して1.0mg/L以下であること
亜鉛及びその化合物 (mg/L)	0.0068	0.0099	—	0.005未満	0.0057	0.0054	0.005未満	亜鉛の量に関して1.0mg/L以下であること
アルミニウム及びその化合物 (mg/L)	0.02未満	0.02未満	—	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.052	アルミニウムの量に関して0.2mg/L以下であること
鉄及びその化合物 (mg/L)	1.2	0.25	—	1.3	0.32	1.2	0.033	鉄の量に関して0.3mg/L以下であること
銅及びその化合物 (mg/L)	0.01未満	0.01未満	—	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	銅の量に関して1.0mg/L以下であること
ナトリウム及びその化合物 (mg/L)	6.7	8.1	—	6.6	7.9	6.5	7.5	ナトリウムの量に関して200mg/L以下であること
マンガン及びその化合物 (mg/L)	0.081	0.009	—	0.083	0.014	0.082	0.005未満	マンガンの量に関して0.05mg/L以下であること
カルシウム、マグネシウム等 (硬度) (mg/L)	59	59	—	60	58	58	57	300mg/L以下であること
ニッケル及びその化合物 (mg/L)	0.001未満	0.001未満	—	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	目標値としてニッケルの量に関して0.01mg/L (暫定)
亜硝酸態窒素 (mg/L)	0.01未満	0.01未満	—	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	目標値として0.05mg/L以下
アンモニア態窒素 (mg/L)	0.1未満	0.1未満	—	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	水質基準なし
遊離残留塩素 (mg/L) ※現場測定	0.0	1.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.7	0.1mg/L以上であること (水道法施行規則第17条)

— : 検査対象外

であり、特に鉄は水質基準値に近い値であった。検査を行った27項目の水質検査結果から異常は認められなかった。

また、処理水と横浜市水の水質検査結果を比較すると、横浜市水では地表水を水源としているため硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素が $0.9\text{mg/L}$ 、塩化物イオンが $8.3\text{mg/L}$ 、TOCの量が $0.6\text{mg/L}$ 検出され、処理水の濃度より高かった。一方、横浜市水の色度は0.5度未満で処理水(2.4度)より低かった。

#### c. 処理水の水質検査結果(平成22年9月)

9月になっても褐色浮遊物が生じる現象が改善しないことから、再度水質検査を実施することとした。9月の水質検査結果では、処理水の鉄が $0.32\text{mg/L}$ を示し水質基準を超過していた。残る26項目は水質基準に適合していた。

#### d. 処理水の水質検査結果(平成23年2月)

平成23年2月浄水設備の構造変更後(図-1)、2月の水質検査結果では、処理水の鉄が $0.033\text{mg/L}$ を示し水質基準の1/10程度まで減少していて、検査を行った27項目すべてが水質基準に適合していた。

### (2) 異物検査結果

#### a. 異物検査結果の概要

平成22年9月、褐色浮遊物を生じる現象が再現するか否かを検討するため処理水(15L)を加熱したところ、加熱中に褐色の浮遊物を生じることが確認された(写真-1)。このことから、相談者の指摘どおり処理水を加熱することで茶褐色の沈



写真-1 ステンレス製の圧力寸胴鍋の中に生じた褐色浮遊物

物が生じることが明らかになった。

加熱を止め室温で2時間冷却した後、褐色浮遊物を沈澱させ採取した。この時の処理水の減少量は約0.5Lであった。次に、褐色沈澱物の性状や成分などを検査した。外観(形状、色、大きさ)は、茶色のふわふわ、もやもやした形状の不均一な多数の茶褐色の沈澱物であった。触感はぬるつとした感触があり。固形物を触った感触はなく、水に不溶であった。

分取した沈澱物を遠心分離(2000rpm×7分)した後、ガスバーナーで加熱して燃焼したところ、ゴムを加熱したような臭いはしなかった。燃焼後に沈澱物は粒子状に変化し、その後、黒変した。(写真-2)。

沈澱物を乾燥して、電子線マイクロアナライザー付走査型電子顕微鏡を用いて検査をしたところ、倍率350倍で約 $0.2\times 0.1\text{mm}$ の薄膜状の固体が観察された。この主な元素は鉄と酸素であり、その他に、マグネシウム、ケイ素、カルシウムなどの元素を認めた。

#### b. 褐色浮遊物を生じる現象の推定

電子線マイクロアナライザー付走査型電子顕微鏡を用いた元素分析検査の結果、褐色浮遊物は有機物ではなく、無機物であり水酸化鉄と推定された。このことは、処理水中の主成分である鉄やカルシウムなどが水酸化物となって褐色の浮遊状態を示していると推定された。

当初、ステンレス鍋のステンレス成分の溶出が疑われていたため、対照としてホウロウ鍋を用い

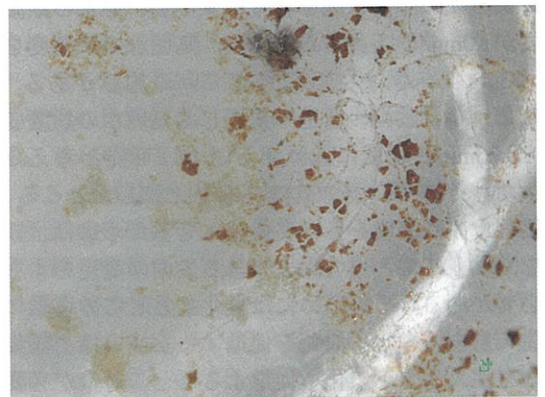


写真-2 加熱燃焼後に酸化鉄に変化したと推定された沈澱物(デジタルカメラ写真)

と同様に加熱したところ褐色浮遊物が生じることを確認した。また、配管やタンク等の腐食を疑われていたことから、処理水は建物内の配管を通過していないところから採水した。これらのことから、鍋や配管が原因で褐色浮遊物が生じることは否定された。

そこで、当所において褐色浮遊物が生じる原因を探るため浄水処理工程の検討をした。この施設の原水はアンモニア態窒素濃度が0.1mg/L未滿と低いが、鉄濃度は約1.3mg/Lと高い。浄水処理の急速砂汙過や膜汙過を通過した処理水中には鉄が約0.3mg/L溶存していた。この処理水中に溶存していた約0.3mg/Lの鉄は加熱することで酸化(水酸化物化)が促進され<sup>13)</sup>水酸化鉄が生じて沈澱したと推定された。前塩素工程で鉄が十分に凝集されない理由については酸化剤の注入不足などが推定された。

改めて平成23年2月に採水して、4℃で保管しておいた処理水の試料瓶を平成24年3月確認したところ、同様な褐色沈澱が生じていた。このことから、加熱によって酸化が促進されなくても、数ヶ月の期間が経過することで酸化が進み沈澱が生じてくることが分かった。

水酸化鉄の凝集、沈澱には溶解度、酸化還元電位、電荷、塩化物イオンやアンモニア態窒素の量、有機物の性質などが関係する可能性があるが詳細は不明である。

### (3) 浄水処理工程に関する助言

横浜市内の他の自己水源型専用水道の浄水設備による鉄の除去状況を参考にすると、原水の鉄濃度が1.0mg/L以上であっても、処理水の鉄濃度を0.03mg/L未滿まで低減させている施設がある<sup>14)</sup>ことから、設備の構造を変更して処理水の鉄濃度を0.03mg/L程度に低減することは可能と考えられた。そこで、両施設の設備を比較したところ、処理水の鉄濃度をさらに低減させるためには、鉄を酸化させて汙過で除去できる設備の変更をする必要がある。そのためには酸化剤としての塩素の注入量を増やし不溶化を促進する。或いは、凝集剤を注入して不溶化を促進するなどの対策が必要であるとの助言を衛生研究所は保健所に対して行った。

## 4.3 保健所における指導

平成22年9月までの衛生研究所での検査結果や助言、10月の現場調査の結果を受け、原水の鉄が急速砂汙過装置で除去できずに膜汙過装置に達し、ここでも除去できずに処理水に溶解しているため異物が生じたと結論し、同日、保健所では設置者に対して指導を行った。

### (1) 指導事項

保健所では平成22年10月、設置者に対して処理水中の鉄濃度を水質基準の1/10程度まで下げるために、浄水設備の次の4項目について確認するように指示した。また、鉄の不溶化を促進するためには酸化剤との反応時間を長くする必要があり、そのためには構造変更を伴うが反応槽の設置、あるいは凝集剤の注入などを提案した。

- a. 酸化剤注入量の再確認
- b. 急速砂汙過装置の作動状況の確認
- c. 急速砂汙過装置通過後の遊離残留塩素濃度の確認
- d. 膜汙過装置の機能確認

### (2) 保健所による改善措置状況の確認

平成23年1月、改めて布設工事確認申請が提出された。設備変更は、前塩素後にポリ塩化アルミニウムを加えて急速汙過を行うものであった。なお、10%ポリ塩化アルミニウムは0.48mL/分(平均処理水量に対し、2.2mg/L相当)で注入した。

工事完了の報告を受けた平成23年2月中旬、保健所は現地調査を実施し、図面と設備が合致していることを確認し、適合通知書を交付した。

平成23年2月末、給水を再開した当該施設の現地調査では異常は認められなかったため採水を行い、衛生研究所で水質検査を行い、水質改善措置状況の確認を行った。

その後、平成24年3月現在まで異物を生じる現象は発生していない。

## 5. 考察

### 5.1 施設調査における井水(原水)変化からの考察

当該施設におけるこれまでの原水の水質検査結果から、原水の水質は布設工事確認申請時の平成16年9月の時点と平成19年5月では変わっていると考えられた。平成16年9月には一般細菌が



720cfu/mL 検出されていること、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素が $0.30\text{mg/L}$ 、ヒ素が $0.002\text{mg/L}$  検出されて、鉄 $0.14\text{mg/L}$ とマンガン $0.026\text{mg/L}$ と低いことから還元性の水質<sup>15)</sup>ではなく、自由地下水を水源としていることが推察された。しかし、平成19年5月になると鉄は $1.04\text{mg/L}$ 、色度12.6となり、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素が $0.05\text{mg/L}$ 未満となったことから水質が変化したことが伺えた。

原水水質が変化した一因として、井水水源の3箇所のスクリーンからの取水量が変更されたこと、水脈が変わったことなどが考えられた。水源が同じ井水であるにも係らず原水の水質が変化したことを年に一度提出される原水水質検査報告書から把握することが必要と考えられた。

## 5.2 原水水質と浄水設備の対応

自己水源型専用水道布設工事確認申請受付、審査基準に基づく確認、工事、施設側が行う施設検査と水質検査を添付した届出、給水開始といった一連の手続き<sup>16-18)</sup>の過程において、浄水設備が原水の水質に対応しているか詳細に検討する必要があると考えられる。

各施設の原水水質が変動した場合に備え、今回のような事例を未然に防ぐためには、酸化剤注入量の変更、凝集剤の注入設備の増設などにも対応できる浄水設備を設けることが重要と考えられた。

また、原水の水質が変動した場合には速やかに浄水設備が原水の水質に対応しているか見直しをする必要があると考えられる。

当該施設のみならず、いずれの施設においても、今回のような異物発生事例を未然に防ぐためには、処理水の鉄濃度を水質基準値の10%以下にまで処理する浄水設備を設ける必要があると考えられた。

## 5.3 給水栓の水質検査

自己水源型専用水道では水質検査を原則として給水栓で行うことが定められている<sup>19)</sup>。当該施設において平成18年4月～19年6月、21年11月～22年2月までに検査機関が行った鉄の水質検査では $0.03\text{mg/L}$ 未満であったにも係らず、平成22年に7月に衛生研究所で行った処理水の水質検査結果は $0.25\text{mg/L}$ であり隔たりがある。その一因とし

て受水槽において井水（処理水）の約10倍量の横浜市水が混合されたのち給水栓で採水している可能性が考えられた。

井水と市水の混合比率が日々変更されている可能性や布設工事確認申請時点から変更されている可能性があり、給水栓水の水質検査結果に差が認められる場合には改めて確認することが必要と考えられた。

## 5.4 処理水の水質把握

給水栓において水質検査を行うだけでは浄水設備の稼働状況は把握できないことから、横浜市では自己水源型専用水道の審査基準の中で処理水を採水する採水栓を設置させている。次のような施設は処理水についても水質検査を実施する必要がある。

- (1) 浄水処理設備がある施設
- (2) 浄水方法が変更された施設、異物が発生するなど浄水設備の稼働状況が不安定な施設
- (3) 取水地点が変更されるなど原水の水質が変化した施設
- (4) 市水と井水を混合している施設、水の使用量の変動が大きいため市水と井水の比率が日々変化するような施設

また、水質検査の結果、処理水の水質に変動があった場合などには、検査の回数を増やし、浄水設備の点検を促し、浄水処理が適切に行われているか確認することも利用者を保護する観点から必要と考えられる。

保健所に報告されている定期的な水質検査結果から処理水の経年変化を知ることが、浄水処理能力の劣化の把握につながると考えられた。

こうした取り組みが事故を未然に防ぎ、かつ水質変化の早期発見につながり、設備改修を助言することも可能となる。

## 5.5 登録検査機関における原因究明

登録検査機関には、水質検査のみならず浄水処理工程の管理や水道水質危機管理に関する助言や相談などの業務も行うことが求められている<sup>20)</sup>。事例概要でも述べたように検査機関からは「鍋のステンレス成分の溶出の疑い」、「配管やタンク等の腐食によるもの」、「褐色浮遊物はズーグレア状細菌類が繁殖している」と報告されていたが。こ

のときは原水の水質検査を行っておらず、原水の水質を把握できなかったことから、このような報告がされたと考えられた。このことから、浄水設備の不具合が疑われる場合には浄水設備の構造の検討と合わせて、原水と処理水の両方の水質を把握することが、解決への糸口と考えられた。

## 5.6 事例発生時の対応

こうした事例発生の早期発見、早期解明には、保健所として次の2項目を今後の対策としてあげることが出来る。

### (1) 現地調査の重要性

今回の施設では膜汚過装置のフィルタは平成22年4月に交換されていて、このときに交換前のフィルタの色調変化は水道技術管理者から報告されていない。膜汚過装置のフィルタの確認は保健所が通常の現地調査で確認するところではないが、浄水設備の不具合が疑われるときには、処理水槽や受水槽内部だけでなく膜汚過装置を開けフィルタを確認することが浄水設備の不具合を早く探知する手段として重要と考えられた。

### (2) 原水水質の変化の迅速な把握の重要性

水道技術管理者らが原水の経年変化を比較していたならば、原水の水質が平成17年6月の時点と平成17年12月で変わっていることが確認できた可能性があり、この時点で原水の水質に対応できる浄水設備への変更手続きが始められたと考えられた。

## 6. おわりに

自己水源型専用水道施設に対して保健所及び衛生研究所がどのように関わっていくか、「定常的に施設に立ち入り水質検査を実施し浄水処理が適切に実施されているか確認をしている」と報告している都市<sup>21)</sup>がある一方、自主管理という前提で水道水質危機管理時においても水道技術管理者にまかせている都市もある。

行政として原因究明に当たった事例報告が異物原因の早期解明、浄水処理工程の改善、布設工事確認申請につづく適合確認の一助になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 厚生労働省。健水発第0327001号；水道法の施行について。平成14年3月27日。
- 2) 社団法人 日本水道協会；地下水利用専用水道の拡大に関する

報告書、2005。

- 3) 鈴木俊也、他；地下水を原水とする専用水道における新水道水質基準項目の調査：東京健安研七七年報、55、269-273、2003。
- 4) 鈴木俊也、他；地下水を原水とする専用水道における要検討項目の調査：東京健安研七七年報、57、345-348、2006。
- 5) 鈴木俊也、他；地下水を原水とする専用水道における管理目標設定項目の調査：東京健安研七七年報、56、299-303、2005。
- 6) 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。
- 7) 社団法人 日本水道協会；日本の水道生物—写真と解説—、169-179、平成5年10月
- 8) 渡辺太郎、他；横浜市水道局における異物判定システムの構築：平成22年度 日本水道協会関東地方支部水道研究発表会講演集、64-66、平成22年11月
- 9) 測上知弘、他；大阪市におけるお客様からの水道水質に係る問い合わせとその対応：第60回全国水道研究発表会講演集、490-491、平成21年5月
- 10) 北條幹、他；プラスチック製ポンプに由来する異物および異臭：第60回全国水道研究発表会講演集、494-495、平成21年5月
- 11) 藤原俊一郎、他；FT-IR による水道水中の異物分析：第60回全国水道研究発表会講演集、496-497、平成21年5月
- 12) 山田信吾、他；お客様からの水道水質に関する相談事例の傾向とその対応：第62回全国水道研究発表会講演集、634-635、平成23年5月
- 13) 木村正己・荒記俊一郎、他訳；環境汚染物質の生態への影響<sup>⑫</sup> 銅・鉄：株式会社東京同人化学、133-136、1981
- 14) 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。
- 15) 半谷高久・小倉紀雄；水質調査法 第3版、丸善株式会社：25-26
- 16) 横浜市水道法施行細則、平成19年3月31日規則第56号。
- 17) 横浜市専用水道及び簡易専用水道に関する事務取扱要綱、改正平成21年3月31日健生活第1553号。
- 18) 審査基準、改正平成19年3月30日健生活第1513号。
- 19) 水道法施行規則第15条第1項第2号。
- 20) 厚生労働省：水質検査の信頼性確保に関する取り組みについて：[http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/ken-toukai/dl/houkoku\\_101108\\_01.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/ken-toukai/dl/houkoku_101108_01.pdf)、平成22年11月
- 21) 辻本雄次、他；専用水道浄化処理における塩素酸濃度：大阪市立環科研報告 平成20年度、71、41-47、2009。

(平成24年12月26日受付)