

# 第69回研究発表会概要集

令和7年度 豊中市

公益社団法人 日本水道協会 関西地方支部



## 日本水道協会関西地方支部 第69回研究発表会日程

- 1 開催日 令和8年2月3日(火)
- 2 開催場所 千里ライフサイエンスセンター 5階  
第1会場「山村雄一記念ライフホール」・第2会場「サイエンスホール」  
〒560-0082 大阪府豊中市新千里東町1-4-2
- 3 開 会 9時30分 会場：第1会場「山村雄一記念ライフホール」
  - (1) 挨拶  
開催地代表挨拶  
地方支部長挨拶
  - (2) 座長・コメンテータ 紹介
- 4 研究発表 9時50分～17時20分
  - 第1会場「山村雄一記念ライフホール」  
水質・浄水処理 (19題)
  - 第2会場「サイエンスホール」  
配水施設・災害対策・一般事務・経営・IT・その他 (18題)

## 日本水道協会関西地方支部第69回研究発表会プログラム

令和8年2月3日(火)

- 1 開会 9時30分
- 2 挨拶  
(1)開催地代表挨拶  
(2)地方支部長挨拶
- 3 座長・コメンテーター紹介
- 4 研究発表 9時50分～17時20分

山村健一記念ライブホール(5階) 水質・浄水処理(計19題)

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
1	9:50～10:10	豊中市上下水道局	柳 和裕	砂川 裕子, 大里 友香子, 田中 一平	不明水調査における分析手法の事例報告	水質	1
2	10:10～10:30	池田市上下水道部	森 数樹	砂川 裕子, 大里 友香子, 遠山 佳幸, 加減 和史, 中岡 拓也	豊中市と池田市による水質検査機器の共同使用	水質	5
3	10:30～10:50	阪神水道企業団	瀧野 博之	小林 正継	臭素酸対策としての前塩素注入強化による効果と消毒副生成物への影響	浄水処理	8
4	10:50～11:10	大阪市水道局	仲山 誉	中野 耕太, 益崎 大輔, 吉田 春香, 巽 千絵里, 吉村 誠司	前塩素処理の効果検証	浄水処理	11
5	11:10～11:30	大阪市水道局	鳥居 梨緒	中野 耕太, 笠井 登, 益崎 大輔	高分子凝集剤(水道用ポリアクリルアミド)の適用性評価	浄水処理	15
6	11:30～11:50	大阪市水道局	荒川 博之	畑中 正史, 益崎 大輔	急速ろ過池ろ層整備時の砂層鋤取りの効果検証	浄水処理	19
7	11:50～12:10	大阪市水道局	大井 偉資	中野 耕太, 益崎 大輔	粒状活性炭の品質等に関する調査	浄水処理	23
休 憩 (50分)							
8	13:00～13:20	大阪市水道局	中野 耕太	大井 偉資, 益崎 大輔, 柳瀬 剛士, 吉村 誠司	高機能粉末活性炭の有機フッ素化合物(PFAS)除去性に関する調査	浄水処理	27
9	13:20～13:40	大阪市水道局	山田 圭一	吉村 誠司	大阪市水道局におけるTOP Assay法による総PFAS実態把握に向けた取り組み	水質	31
10	13:40～14:00	大阪市水道局	吉田 春香	柳瀬 剛士, 吉村 誠司	要検討PFASの存在実態と浄水処理性の調査	水質	35
11	14:00～14:20	京都市上下水道局	佐久間 宙	澤野井 敦, 東野 亮司, 片岡 稔之, 中村 暁彦, 藤原 俊一郎	琵琶湖南湖を原水とした場合の粉末活性炭によるPFAS除去の検討	水質	39
12	14:20～14:40	大阪市水道局	巽 千絵里	山田 圭一, 吉村 誠司	淀川水系におけるミクロシステンの存在実態調査	水質	43
休 憩 (10分)							
13	14:50～15:10	大阪市水道局	柳瀬 剛士	山田 圭一, 吉村 誠司	未規制農薬フェンキトリアンの実態調査 -LC-HRMSを用いたポストキャリブレーション分析の試み-	水質	47
14	15:10～15:30	大阪市水道局	巽 有紀子	吉田 春香, 吉村 誠司	水道原水における農薬類検出の傾向とその解析	水質	51
15	15:30～15:50	大阪広域水道企業団	河野 彩香	熊澤 正朗, 河原 一樹, 奥田 雄斗, 玉川 拓海	毒物等の浄水処理性に関するマニュアルの整備(その2)	水質	55
16	15:50～16:10	阪神水道企業団	中村 瑞穂		瀬田川の鱗片を有する黄金藻の実態調査	水質	59
休 憩 (10分)							
17	16:20～16:40	京都市上下水道局	比毛 黎児	大西 一範, 小畑 隆夫, 榎 良隆	事業所排水に由来する高濃度アンモニア態窒素・琵琶湖南湖疏水取水口付近の湾内還流の実態について	水質	63
18	16:40～17:00	京都市上下水道局	金子 明日香	東野 亮司, 高寺 正光, 横井 貴大, 藤原 俊一郎, 岩谷 健斗	ラフィド藻類の消毒副生成物生成能に関する調査	水質	67
19	17:00～17:20	神戸市水道局	稲葉 ひかる	酒井 隆彬, 吉住 昌将, 小田 琢也	PCRを用いたかび臭産生Dolichospermumの早期判別	水質	71





# 不明水調査における分析手法の事例報告

豊中市上下水道局 ○柳 和裕  
砂川 裕子  
大里 友香子  
田中 一平

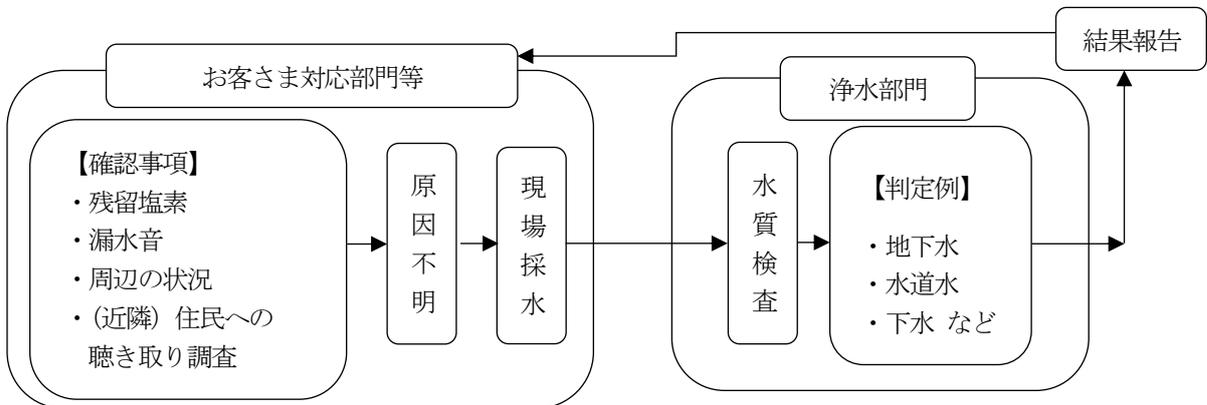
## 1. はじめに

豊中市上下水道局では、水道法に基づく水質検査のほか、漏水の確認手段の一つとして、市内各所で発生した湧出水（以下「不明水」と表記）の水質検査も行っている。なお、局が関与するメーター上流側、水道使用者が管理するメーター下流側いずれの水質検査にも対応している。

本研究では、本市における不明水の分析手法の紹介と、令和4年度から令和6年度までの3年間に、メーター下流側で発生した不明水の水質調査について、追跡調査を行ったので報告する。

## 2. 不明水調査における分析手法

不明水が発生した場合、お客様対応部門等の職員が現地に赴き、漏水音や残留塩素などの現地調査を行うが、それでも原因が特定できない場合、浄水部門に水質検査の依頼がある（図1）。



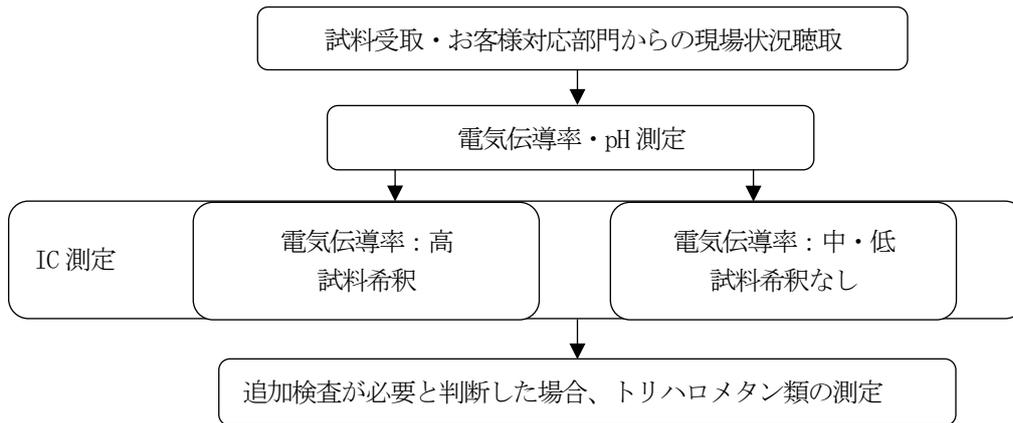
【図1：不明水調査の流れ】

不明水は水道由来（水道水・工業用水）の他、下水、地下水等多岐にわたっており、判定精度を高めるため、理化学試験を複数組み合わせ水質検査を行っている。

不明水の水質検査項目を表1、水質検査フローを図2、不明水判定の目安を表2に示す。

【表1：不明水の水質検査項目】

水質検査項目	
①	電気伝導率、pH
②	イオン類
	Na、K、Mg、Ca、Li、NH4 F、Cl、SO4、HN03、Cl03、Br、PO4、HN02
③	トリハロメタン類
	クロロホルム、ジブロモクロロメタン、プロモジクロロメタン、プロモホルム



【図2：不明水の水質検査フロー】

【表2：不明水判定の目安】

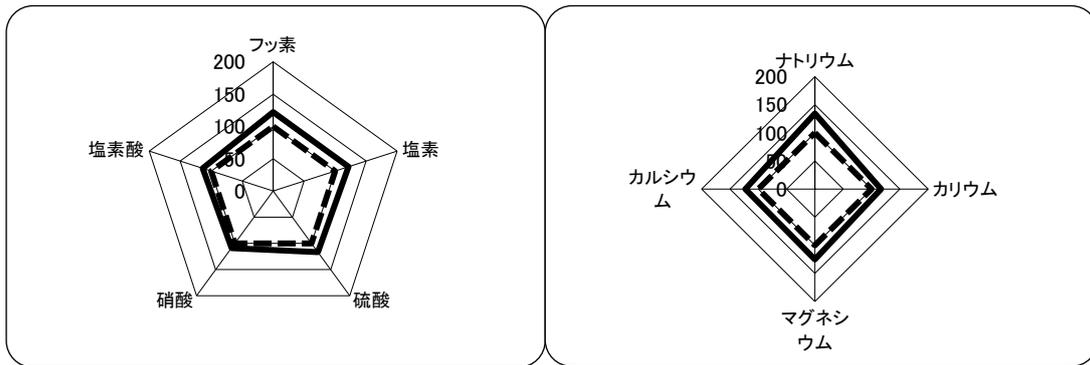
水質検査項目等	条件	判定
塩素酸(ClO3)、トリハロメタン類	検出	水道水、下水
アンモニア態窒素 (NH4)、亜硝酸態窒素 (HN02)	検出	下水
硝酸態窒素 (HN03)、ナトリウム (Na)、塩化物 (Cl)	高濃度	下水
各種イオン類組成の水道水 (自己水・受水) との比較	—	類似：水道水 相違：下水、その他

夾雑物の多い試料による水質検査機器の汚染を防止するため、まず電気伝導率を測定し、試料希釈の必要性を判断する。次に、不明水の多くは湧出量が少ないため、微量でも迅速に多くの情報が得られる各種イオン類を測定する。さらに必要に応じてトリハロメタン類の検査も実施する。

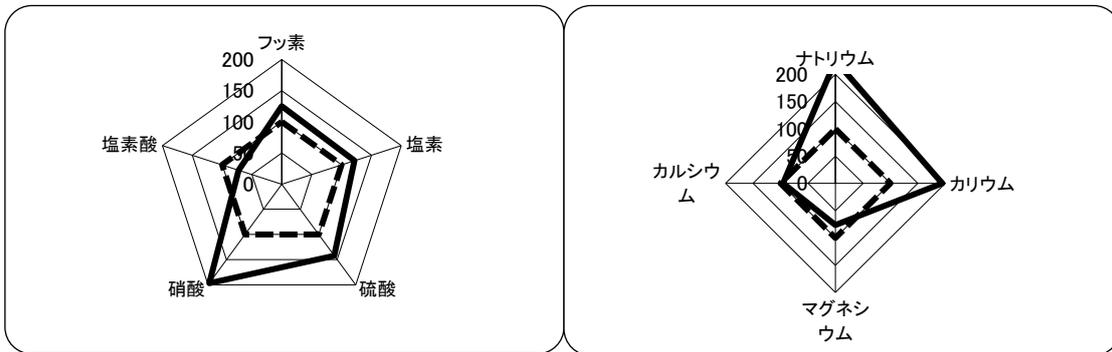
また、レーダーチャートを作成し、各種イオン類のバランスも確認している (図3、4、5)。レーダーチャートは、浄水部門が実施した水道水の水質検査結果を100% (図中の破線) とした場合の試料中の同イオン (図中の実線) の割合を表している。試料の全てのイオン類が100%に近い場合、水道水と類似していることが水質専門外の職員にも視覚的に把握しやすいため、お客さま対応部門等への説明資料として活用している。

なお、本市は猪名川を水源とする自己水と、淀川を水源とする大阪広域水道企業団の受水の2系統で配水しており、不明水のデータと比較する水道水の水質は、不明水採水地点から最も近い水質モニターもしくは配水池の直近のデータを採用し、配水系統も加味した判定を行っている。

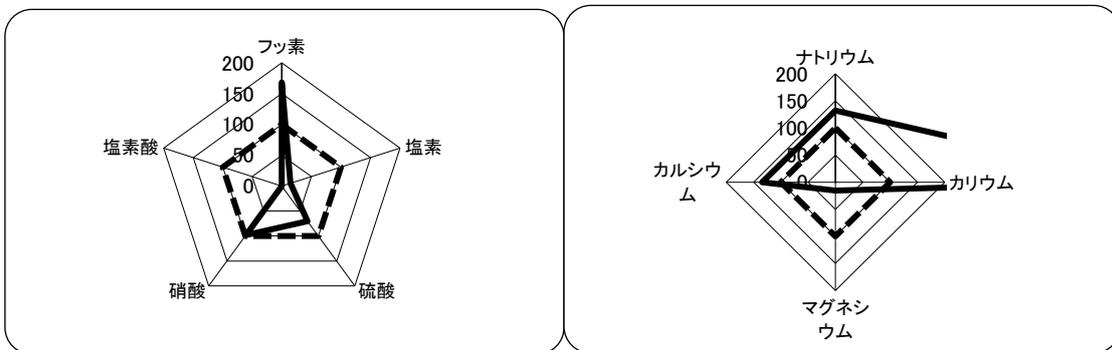
レーダーチャートの例 (注) 比較用水道水：破線、試料水：実線



【図3：水道水（塩素酸検出、イオン比率類似）】



【図4：水道水又は下水の事例（塩素酸検出、イオン比率相違）】



【図5：その他の事例（塩素酸不検出、イオン比率相違）】

### 3. 令和4年度～令和6年度の不明水水質調査の追跡調査

令和4年度から令和6年度の3年間に浄水部門が実施した不明水水質調査の判定結果と、追跡調査の結果を表3に示す。3年間の水質検査件数は83件で、そのうち浄水課が水道水と回答した試料が26件あり、全試料数の約30%を占めた。

令和4年度に水道水と判定した9件のうち、3件は追跡調査の結果、採水地点での散水が原因と推定された。漏水ではなかったものの、浄水部門が判定は、現場の状況と一致していた。なお、令和6年度に水道水と判定した10件のうち3件は原因が特定できず、経過観察とされた。

また、浄水課が水道水又は下水と判定した5件は、追跡調査の結果、すべて下水と判明した。これら5件は判定に苦慮した事例であり、例えば、下水では水道水の痕跡が見られる一方、アンモニア態窒素の検出やイオン比率の相違など、水道水とは異なる結果も併せて確認される場合がある（図4）。なお、今回の5件に関しては、水道水の特徴が見られたものの、そうではない可能性も含めてお客さま対応部門等に伝えることで、現場調査の際の有用な情報を提供できたと考えている。

なお、その他（地下水など）については、本来の漏水確認調査の趣旨から外れるため、追跡調査の対象としていない（図5）。

【表3：不明水判定結果と追跡調査の結果】

令和年度		4		5		6		3年間合計	
追跡調査の結果		件数	漏水	件数	漏水	件数	漏水	件数	漏水
浄水課の判定									
内 訳	水道水	*9	6	7	7	10	7	*26	20
	水道水又は下水	1	0	2	0	2	0	5	0
	その他（地下水など）	25		16		11		52	
合計		35	6	25	7	23	7	83	20

\*散水3件を含む

#### 追跡調査との照合に基づく確認事項

- ①水道水と判定した結果は、追跡調査結果が不明となった3件を除き、全て漏水だった。
- ②水道水と判定した中には、漏水ではなく散水が原因と推定されるケースがあった。水質検査結果のみでは判定が困難であり、現場での聞き取り調査と併せて判断する必要がある。
- ③検査の目的はあくまで漏水の早期発見にあるが、下水の可能性を参考情報としてお客様担当部門へ伝えることで、排水設備等の改善につながったケースもあり、精度を高めることでお客さまへのサービス向上が期待できる。

#### 4. おわりに

浄水部門が行っている不明水の水質検査が、実際の現場の結果と一致しているか、令和4年度から令和6年度の3年間について、追跡調査を行った。その結果、浄水部門の不明水判定は概ね現場の結果と一致しており、各種理化学試験を駆使して、総合的に精度の高い判定を行っていることが確認できた。なお、今回の調査から、水質検査のみならず、現場の詳細な状況把握が不可欠であること、また、追跡調査を継続し、下水の水質データを蓄積することで、水道水のみならず、下水の判定精度の向上も期待できること、さらには、水質検査項目を増やすことで、より漏水の判定精度を高めることができないか、検討する余地のあることが確認できた。今後も漏水の早期発見の一助となるよう、不明水の判定精度の向上に努めていきたい。

# 豊中市と池田市による水質検査機器の共同使用

～技術レベル向上、検査機器の更新及び維持管理費用の削減に向けた取り組み～

豊中市 砂川 裕子・大里友香子・遠山 佳幸  
池田市 ○森 数樹・加減 和史・中岡 拓也

## 1. はじめに

豊中市と池田市は、大阪府北西部に位置しており（図1）、両市とも大阪・兵庫の両府県境を流れる一級河川である猪名川を水源としている。両市の水道事業及び水質検査体制の概要を表1に示す。

近年、水質検査機器の高度化・高価格化が進み、有機フッ素化合物のような新規規制物質への対応が必要となる一方で、単独事業体での検査機器の更新・維持がより困難になっていくと予想される。豊中市と池田市は、令和5年度より水質担当職員の人事交流を行っており、本課題を含めた情報交換を進めていく中で、「水質検査機器の共同使用」（以下、共同使用という）が双方において様々なメリットが見込めることが判明し、令和7年度からの実施に向けて協議を行った。



図1. 両市の位置図

表1. 両市の水道事業及び水質検査体制の概要（令和6年度末時点）

	人口 (人)	浄水場	配水量等 (m <sup>3</sup> /年)				水質検査体制		
			総配水量	自己水量	受水量等	自己水比率	検査職員	検査地点	基準項目自己検査
豊中市	397,521	柴原浄水場	42,171,760	5,434,380	36,737,380	12.9%	6人	13地点	51項目
池田市	102,569	古江浄水場	11,076,335	10,498,325	578,010	94.8%	5人	15地点	48項目

## 2. 水質検査機器の共同使用について

両市が水源とする猪名川は、流域に多くの町や工場が立地する典型的な都市河川である。そのため、水質管理業務のうち、水源監視や浄水処理工程の水質管理、水質事故対応等の緊急対応が必要な項目の水質検査については、直営堅持が必須である。

一方、緊急対応の可能性が低い項目の水質検査については、共同使用の検討余地があると判断し、実現に向け協議を進めた。

### (1) 共同使用の協定締結までの経過

両市は令和5年度より水質担当職員の人事交流を行っており、水質検査体制における課題等の情報共有を図ってきた。その中で、共同使用により様々なメリットが見込めることが分かり、早期の実施に向けて協議を行うこととなった。

令和5年度は、共同使用の実現性の検討と内部調整、及び次年度以降に協議を継続して行う「覚書」を締結した。令和6年度は、協定書の内容検討、機器使用料の設定、費用の算出及び予算申請、実運用のシミュレーション等を実施し、年度末に「協定書」を締結した。またそれに合わせ、令和7年3月18日に「水質検査機器の共同使用に関する協定締結式」（写真1）を、豊中市柴原浄水場で実施した。

## (2) 協定の概要

本協定は、より安全で安心な水道水の供給、緊急時の検査体制の強化、分析技術力の向上を図ることを目的としている。具体的な運用としては、池田市職員が豊中市保有の機器の一部を使用して検査を実施することになっており、また緊急時には両市保有の機器を相互に利用できることを規定している。



写真 1. 共同使用に関する協定締結式

## (3) 対象機器及び検査対象項目

共同使用の対象機器及び検査対象項目は以下のとおりである。

### ・高速液体クロマトグラフ質量分析計

対象項目：ハロ酢酸類（3項目）、陰イオン界面活性剤

### ・全自動固相抽出装置（※検体の前処理）

対象項目：陰イオン界面活性剤、非イオン界面活性剤

### ・吸光光度計

対象項目：非イオン界面活性剤

池田市において、「陰イオン界面活性剤」と「非イオン界面活性剤」は外部検査機関に依頼していた項目であり、また「ハロ酢酸類」はガスクロマトグラフ質量分析計で自己検査を行っていたが、豊中市保有の高速液体クロマトグラフ質量分析計を使用することで検査の省力化や費用面のメリットが見込めること及び過去に水質管理業務として緊急対応が発生していない項目であることから、今回の対象項目とした。

## (4) 共同使用前後の検査イメージ

図2に示すとおり、池田市の検査実施日に、池田市職員が検査試料を豊中市へ持参し、豊中市の機器を用いて検査を行う。池田市の検査は、事前に日程調整した上で豊中市が対象機器を使用しない日に行い、薬品・器具類等についても豊中市保有のものを使用する。

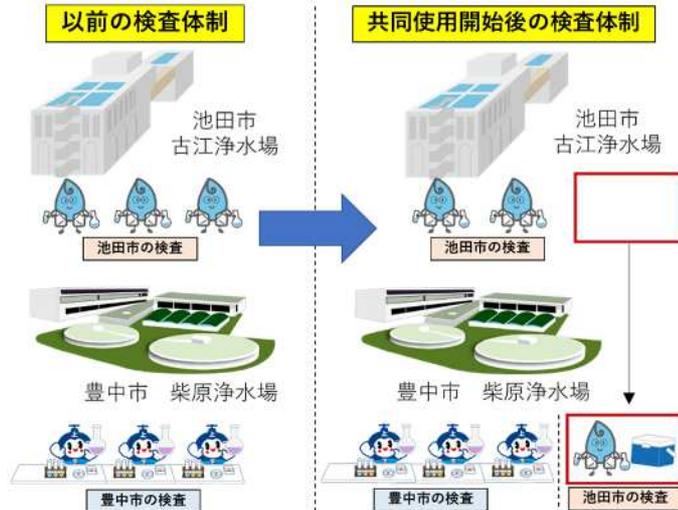


図 2. 共同使用前後の検査イメージ

## 3. 共同使用の効果

### (1) 池田市のメリット

共同使用の年間予定検体数の内訳を表2に示す。「陰イオン界面活性剤」と「非イオン界面活性剤」の2項目を自己検査化したことで依頼検査料の削減が図れ、自己検査項目が48から50項目に拡充される。また、「ハロ酢酸類」の検査を豊中市保有の高速液体クロマトグラフ質量分析計を用いて実施することで、検査にかかる試薬代やガス代、分析機器の保守点検費等の削減により、トータルで年間約120万円の効果額が見込まれ、さらに2台保有していたガスクロマトグラフ質量分析計のうち1台の更新を見送ることができる。合わせて、

池田市職員自ら豊中市に出向いて検査を行うことから、水質検査における技術力の維持向上を図ることができる。

表 2. 共同使用の年間予定検体数

	ハロ酢酸類 (3項目)	陰イオン 界面活性剤	非イオン 界面活性剤
年間予定検体数	48	20	20

## (2) 豊中市のメリット

検査対象項目は、通常3ヶ月に1回の検査のため、対象機器の使用頻度が限られている。共同使用により、対象機器の未使用期間の有効活用を図り、年間約70万円の使用料収入を池田市側から継続的に受け取ることができる。使用料収入の一部は、機器の維持管理に充てられることから、豊中市が単独で維持管理する場合に比べ費用負担が軽減されることになる。

## (3) 両市のメリット

本協定では職員の人事交流が発端となったが、検討にあたり豊中市と池田市がそれぞれで行ってきた水質検査とは別の視点が導入されたことで、両市の水質検査体制の見直しにも繋がっている。また、今回の共同使用により双方の職員が行き来することで、担当者間の関係強化に繋がり、情報共有や協力体制の深化が図られている。

## 4. 今後の展開について

本協定の運用開始後、他の自治体より問い合わせを頂くこともあり、全国的にも注目されている取り組みであると考えている。将来的にはさらなる拡充を見込み、両市で協議を継続しているところである。

特に令和8年度からは、有機フッ素化合物（PFOS及びPFOA）の水質基準への格上げが予定されており、豊中市では高速液体クロマトグラフ質量分析計の更新を行い自己検査体制の確立を図る予定である。池田市としても人員を含めた検査体制の調整が必要ではあるが、将来的に共同使用としてPFOS及びPFOAの自己検査化を実施できないか検討を進めている。

豊中市と池田市は、共に猪名川を自己水源としており、安全・安心な水道水を供給するため自己検査体制の維持・拡充は必須であると考えている。今後も共同使用を選択肢の一つとして、広域的な連携を進め、将来的な水質検査体制を検討していきたい。

## 5. おわりに

令和7年度より「豊中市と池田市による水質検査機器の共同使用」を開始し、池田市では自己検査項目の拡充や維持管理費用の削減、豊中市では機器の未使用期間の有効活用及び使用料収入の確保を図ることができた。また両市の担当者間の関係強化に繋がり、情報共有や協力体制の深化に繋がった。

水道事業体では、全国的に職員数の減少、料金収入の減少、施設等老朽化による事業費の増加など「ヒト・モノ・カネ」の問題が顕在化している。それらの課題を解決するため、広域的な事業連携の重要性は増しており、今回の共同使用は両市にとっても一つの転換点になると考えている。

## 1.はじめに

オゾンと粒状活性炭を組み合わせた浄水処理は、溶存有機物や臭気物質の除去に有効である一方、オゾン処理により発がん性物質である臭素酸が生成することが課題となっている。臭素酸の水質基準値は 10 µg/L であり、その生成抑制は重要な課題である。抑制策として pH 低下、塩素注入、オゾン注入率の制御などが提案されている<sup>1)</sup>。なかでも前塩素注入の強化は国内の水道事業体で検討されているが<sup>2)</sup>、トリハロメタンなど他のハロゲン化副生成物の生成を誘発するおそれがある。そこで本研究では、実浄水場を対象に、前塩素注入強化および pH 制御が臭素酸およびハロゲン化副生成物の生成挙動に及ぼす影響を調査した。

## 2.方法

調査は阪神水道企業団の猪名川浄水場Ⅲ系施設を対象に実施した。本施設の浄水処理フローを図 1 に示す。塩素注入は着水井、再凝集池、急速ろ過後に行っており、再凝集池での中間塩素処理を主体とする。着水井での前塩素注入は、沈澱池における藻類対策を目的として実施されており、沈澱処理水に結合塩素が 0.2 mg/L 程度残るよう、注入率は約 0.5 mg/L で固定されている。



図 1 浄水処理フロー

オゾン処理は、処理水の溶存オゾン濃度が 0.25 mg/L となるようにオゾン注入率を自動制御している。高水温期に臭素酸濃度が上昇傾向を示すと段階的な対策が実施され、まず硫酸注入によって沈澱処理水の pH を 6.8 に維持し、さらに必要に応じて溶存オゾン濃度の設定値を低減する。

調査は、臭素酸が問題となる高水温期の 7 月 15 日～17 日、7 月 28 日～30 日、8 月 19 日～21 日の 3 期間に実施した。各期間において、次の 3 条件で試験を行った。条件 A (平常運転) : 硫酸注入なし・前塩素注入率 0.5 mg/L、条件 B (pH 制御) : 硫酸注入あり・前塩素注入率 0.5 mg/L、条件 C (前塩素強化) : 硫酸注入なし・前塩素注入率 1.0 mg/L とし、各条件の設定後、約 24 時間連続運転を行い、系内の水が十分に入れ替わった後に採水を実施した。

採水は、原水、沈澱処理水、オゾン処理水、活性炭処理水、浄水を対象に行った。分析項目は、臭素酸、トリハロメタン類、ハロ酢酸類、臭化物イオンに加え、濁度、色度、全有機炭素 (TOC) などの一般水質項目とした。調査期間中の天候はおおむね晴天で、原水水質は表 1 に示すとおり、期間中に大きな変動は認められなかった。

表 1 調査期間中の原水水質

	水温 (°C)	濁度 (度)	色度 (度)	TOC (mg/L)	pH (-)	アルカリ度 (mg/L)	電気伝導率 (µS/cm)	臭化物イオン (µg/L)	トリハロメタン生成能 (µg/L)
条件A (平常運転)	30±1.1	2.2±0.3	12±1.5	1.9±0.0	7.2±0.0	34±1.0	156±7.8	38±3.3	45.7
条件B (pH制御)	30±0.8	2.7±0.3	14±1.2	1.9±0.1	7.1±0.0	34±0.6	152±6.1	38±1.6	44.9
条件C (前塩素強化)	30±1.1	2.5±0.5	13±0.6	1.9±0.1	7.2±0.1	34±1.2	152±3.6	37±1.7	44.2

※数値は平均値±標準偏差(n=3)、トリハロメタン生成能は7月15日～17日の各1回データのみ

### 3.結果と考察

各条件および各工程水における臭素酸濃度の変化を図2に示す。沈澱処理水では臭素酸の生成は認められず、塩素添加による影響は確認されなかった。臭素酸は主にオゾン処理で生成し、その後の活性炭処理でわずかに低下した。一方、浄水では若干の上昇がみられた。最終的な浄水中の臭素酸濃度は、条件A(平常運転):2.1 µg/L、条件B(pH制御):1.8 µg/L、条件C(前塩素強化):1.4 µg/Lであった。すなわち、前塩素強化条件で臭素酸生成が最も抑制され、pH制御条件がこれに次いだ。前塩素強化による抑制は、次亜塩素酸と臭化物イオンの反応による次亜臭素酸生成の影響によるものと推察される<sup>2)</sup>。

図3にオゾン注入率の1時間毎のトレンドデータを示す。条件Cではやや低い傾向が見られたが、各条件間で明確な差異は認められなかった。既往研究<sup>3)</sup>では、前塩素強化により有機前駆物質の一部が酸化・除去され、オゾンの消費量が低減することが報告されている。しかし本調査では、顕著な低減効果は認められなかったことから、原水中のオゾン消費物質の多くは塩素酸化の影響を受けにくい、あるいは前塩素を0.5 mg/Lから1.0 mg/Lに強化しても反応性がほとんど変化しない成分であると考えられる。

表2にオゾン流入水である沈澱処理水の各水質項目とオゾン処理水・浄水中の臭素酸濃度との相関係数および有意確率を示す。オゾン処理水では臭化物イオンやpHとの間にやや相関が認められたものの、有意確率はいずれも $p > 0.05$ であった。一方、浄水では臭化物イオンとの相関係数が $r = 0.84$ ( $p < 0.01$ )となり、有意な正の相関が確認された。したがって、沈澱処理水中の臭化物イオン濃度が最終的な浄水中の臭素酸濃度を支配する主要因であることが明らかとなった。

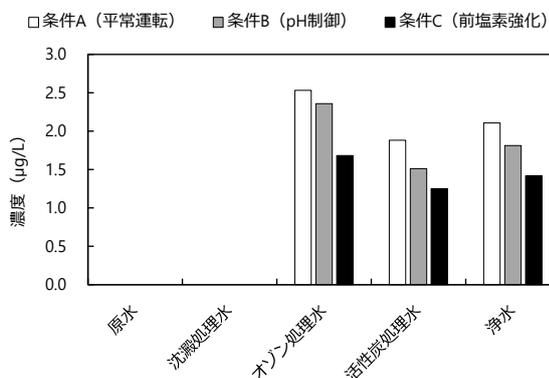


図2 各条件及び各処理工程水における臭素酸濃度

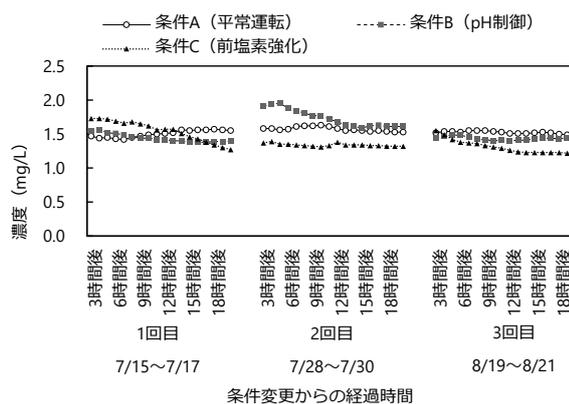


図3 オゾン注入率トレンドデータ

表2 沈澱処理水の各水質項目と臭素酸濃度との相関

	オゾン処理水		浄水	
	相関係数 r	有意確率 p	相関係数 r	有意確率 p
臭化物イオン	0.50	0.10	0.84	<b>&lt;0.01</b>
pH	-0.28	0.38	-0.05	0.87
TOC	0.08	0.82	0.10	0.75
アルカリ度	0.02	0.95	0.37	0.24
電気伝導率	0.34	0.28	0.24	0.46

図4にトリハロメタン類の濃度変化を示す。沈澱処理水では前塩素強化の条件Cで顕著な上昇がみられた。活性炭処理によってやや低下したが、中間塩素処理の影響で浄水ではいずれの条件も大幅に増加した。最終的な浄水中の総トリハロメタン濃度は条件A:21.0 µg/L、条件B:20.9 µg/L、条件C:22.8 µg/Lとなり、前塩素強化の条件Cでは、他の2条件に対して約9%増加した。

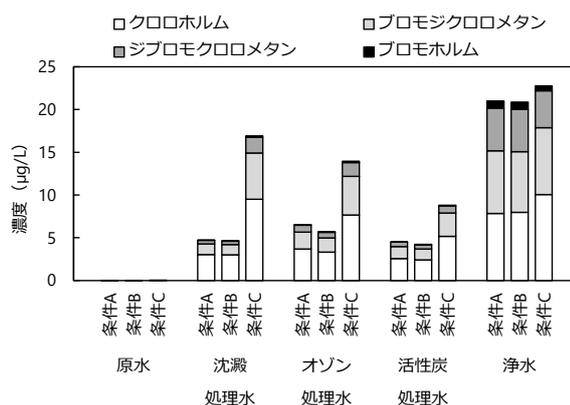


図4 各条件及び各処理工程水におけるトリハロメタン類濃度

図5にハロ酢酸類の濃度変化を示す。沈澱処理水では条件Cで最も高い濃度を示した。いずれの条件でも活性炭処理で定量下限未満まで低下したが、中間塩素処理で再生成が進行し、最終的な浄水中濃度は平常運転時の条件Aが最も低く、pH制御や塩素強化を行うことで増加が認められた。

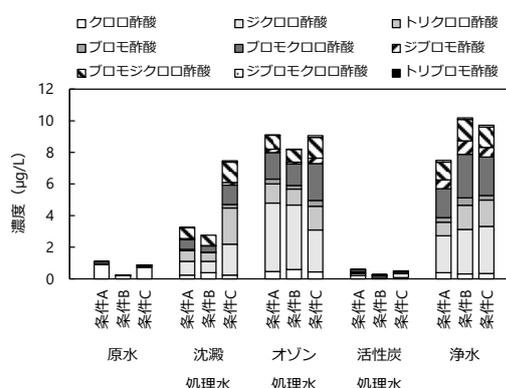


図5 各条件及び各処理工程水におけるハロ酢酸類濃度

pH低下はハロ酢酸生成を促進し、トリハロメタン生成を抑制すると報告されているが4)、本調査ではトリハロメタン生成への影響は認められず、さらなるデータ蓄積が必要である。

浄水プロセス全体の薬品平均注入率は、塩素が条件Cで19.8 mg/Lと、AおよびB(約15.8 mg/L)より約25%高かった。硫酸は条件Bのみ1.3 mg/Lを注入し、水酸化ナトリウムはCで10.4 mg/Lと最も低かった。硫酸アルミニウムはいずれも32 mg/Lで同等であった。これらから算出した薬品コスト比は、条件Aを1.00とするとBで1.03、Cで1.07となり、pH制御や前塩素強化によるコスト増加は3~7%にとどまった。

以上の結果から、臭素酸が問題とならない平常時には、pH制御や前塩素強化などの過剰な対策はかえって副生成物の増加につながる可能性がある。阪神水道企業団の水安全計画では、臭素酸の管理目標値を3 µg/Lとしており、対策が必要な場合は、pH制御を基本とし、臭素酸の急上昇やpH調整が困難な際には、前塩素注入の一時的強化が有効と考えられる。

#### 4.まとめ

本研究では、実浄水場を対象に、前塩素注入およびpH制御が臭素酸およびハロゲン化副生成物の生成に与える影響を評価した。いずれの対策も臭素酸生成を抑制し、特に前塩素強化で最も高い効果を示した。一方、トリハロメタン類など他の副生成物は増加傾向を示し、過度な対策は総合的なリスク上昇につながる可能性が示唆された。したがって、臭素酸対策を要する場面では、リスクとコストの両面でバランスの良いpH制御を基本とし、必要に応じて前塩素強化を補助的に併用することが有効であると考えられる。今後は、臭素酸を含む副生成物全体のリスクバランスに基づいた浄水処理が重要となる。

#### 【参考文献】

- 1) Morrison, C. M. et al. *Environ. Sci. Technol.*, 2023, 57(47), 17236–17255.
- 2) 山腰ら. 第57回全国水道研究発表会講演集, 2006, 588-589.
- 3) Morrison, C. M. et al. *Environ. Sci. Technol.*, 2023, 57(47), 17236–17255.
- 4) Liang, L.; Singer, P. C. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, 37(13).

## 前塩素処理の効果検証

大阪市水道局 ○仲山 誉 中野 耕太  
益崎 大輔 吉田 春香  
巽 千絵里 吉村 誠司

### 1. はじめに

大阪市水道局（以下、当局）では、平成12年にオゾン・粒状活性炭（以下、GAC）による高度浄水処理を導入して以降、従来処理で実施していた前塩素処理を、高水温期に原水中のろ過障害生物等が増殖した場合にのみ限定し、従来処理の際に添加していた濃度と比較して、比較的低濃度で実施している。一般的に、原水に添加される塩素は、処理水中の有機物の分解、マンガンの不溶化等を主な目的としているものの、これらの効果と並行してトリハロメタンに代表される消毒副生成物が生成されることから、高度浄水処理ではその役割をオゾン処理で代替することで塩素による消毒副生成物の生成を抑制し、より安全な水道水の製造を目指している。

しかしながら、昨今、臭素酸に代表されるオゾン系消毒副生成物の水質基準項目化や前塩素処理を停止して以降、処理後段まで残存するアンモニア態窒素と塩素との反応で生成するトリクロロミンによる浄水臭気への影響<sup>1)</sup>等、求められる水質レベルが多様化・高度化するなか、高度浄水処理と合わせ、適切な濃度で前塩素処理を実施することで、塩素系消毒副生成物の増加を最小限に抑えつつ、臭素酸の生成抑制、浄水中のトリクロロミン濃度の減少等、今日的な視点で前塩素処理の効果を評価する報告が多く見られている<sup>2,3)</sup>。

そこで当局においても、原水に対して適切な濃度で前塩素処理を実施する効果を、最適先端処理技術実験施設（以下、実験施設）において検証し、そのメリット・デメリットをまとめたので報告する。

### 2. 調査方法

#### 2.1 実験施設

実験施設は、実際池の処理フローを再現したもので、詳細な仕様は図1のとおりである。実験施設は、日量 25m<sup>3</sup>/d の処理能力を有しており、実際池の制御と同じ方式で、硫酸アルミニウム及びオゾンの注入制御、ろ材（砂・粒状活性炭）の洗浄を実施している。なお、本実験においては、前塩素添加に伴う臭素酸の生成量等の差異を明確にするため、急速ろ過処理以降の処理水量を処理能力に対して 1/3 程度とし、十分なオゾン接触時間を確保した。

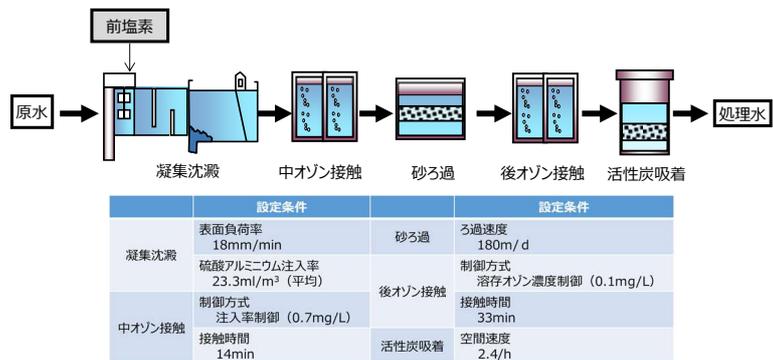


図1 実験施設の設定条件

急速ろ過処理以降の処理水量を処理能力に対して 1/3 程度とし、十分なオゾン接触時間を確保した。

添加する前塩素については、実際池で使用している有効塩素濃度 12%の次亜塩素酸ナトリウムを水道水で100倍希釈し、原水に対して0.3、0.6、0.9mg/L添加するよう連続注入し、それぞれの条件設定後、12時間以上経過した後、各工程の処理水を採水した。また、比較対象として、前塩素を添加していない条件でも採水した。なお、本調査は、令和7年8月4日～7日（平均水温：31.6℃）に行い、原水水質は、安定的に推移していた。

## 2.2 水質試験

採水した試料について、表 1 に示す項目の水質試験を行い、前塩素処理添加に伴う効果を評価した。

なお、測定対象物質について、トリハロメタン（以下、THMs）はクロロホルム、ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン及びブロモホルムとし、ハロ酢酸（以下、HAAs）はモノクロロ酢酸、ジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸とした。また、測定方法について、塩素、臭化物イオン並びにトリハロメタン生成能（以下、THMs-FP）及びハロ酢酸生成能（以下、HAAs-FP）の前処理は、上水試験方法 2020 年版により、臭素酸、THMs 及び HAAs は水質基準に関する省令の規定に基づき、環境大臣が定める方法（告示法）により測定した。

表 1 水質試験項目

	遊離塩素 全塩素	臭化物イオン 臭素酸 トリハロメタン ハロ酢酸	トリハロメタン 生成能 ハロ酢酸 生成能
原水		○	
凝集沈澱処理水	○	○	
砂ろ過処理水		○	
後オゾン処理水		○	
GAC処理水		○	○

## 3. 調査結果

### 3.1 前塩素の添加状況の評価

図 2 には、凝集沈澱処理水中の目標塩素添加濃度に対する遊離塩素及び全塩素の検出状況を示した。前塩素添加濃度の増加に伴い、全塩素濃度は増加傾向を示し、遊離塩素濃度は 0.6mg/L 添加までは検出下限値以下であったものの、0.9mg/L 添加した場合に凝集沈澱処理水において、0.1mg/L 程度検出した。

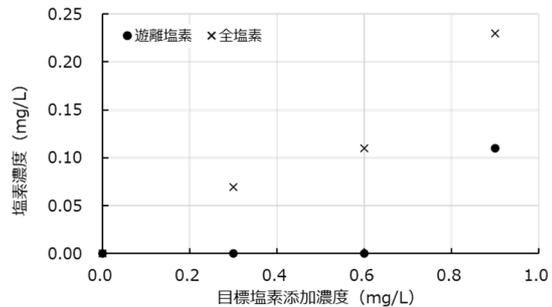


図 2 塩素の検出状況

### 3.2 臭化物イオン及び臭素酸

図 3 には、目標塩素添加濃度別に各処理工程での臭化物イオン濃度を示した。一般的に、前塩素の添加により、臭化物イオン ( $\text{Br}^-$ ) は次亜臭化物イオン ( $\text{BrO}^-$ ) に酸化されるため、臭化物イオン濃度は減少する。本調査でも、各工程で検出された臭化物イオン濃度は、添加した塩素濃度に応じて、臭化物イオンが減少していることが確認され、前塩素 0.9mg/L 添加で、凝集沈澱処理水で検出される臭化物イオン濃度は、原水 (40 $\mu\text{g/L}$ ) と比較して 65%減少 (15 $\mu\text{g/L}$ ) していた。一方で、中オゾン-急速砂ろ過処理後には、前塩素 0.9mg/L 添加で、臭化物イオン濃度は、原水 (40 $\mu\text{g/L}$ ) より 35%濃度減少 (27 $\mu\text{g/L}$ ) していたものの、凝集沈澱処理水 (15 $\mu\text{g/L}$ ) より 30%増加していた。この原因として、急速ろ過処理において次亜臭化物イオンが臭化物イオンに還元されていることが考えられる。また、後オゾン処理により生成した臭素酸量も臭化物イオンの減少に従い、減少傾向を示し (図 4)、前塩素 0.0mg/L 添加で 7.8mg/L 発生していた臭素酸は、0.9mg/L 添加で 4.3mg/L 発生と 45%減少していた。

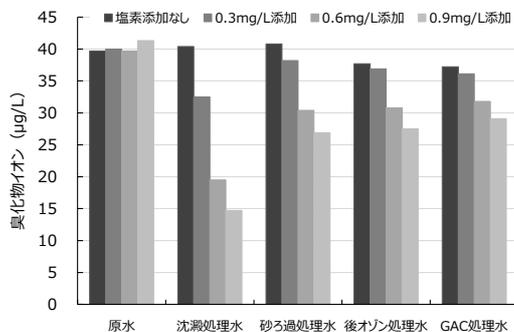


図 3 臭化物イオン濃度の推移

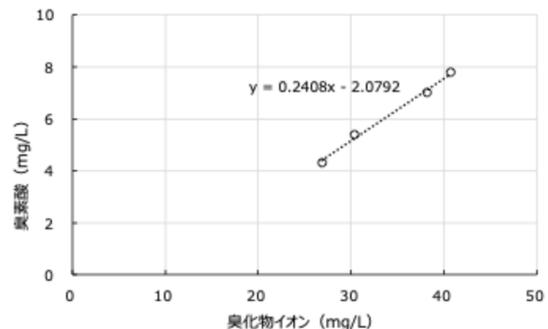


図 4 臭化物イオンと臭素酸の関係

なお、前塩素添加による臭化物イオン及び臭素酸の減少という視点では、目標塩素添加濃度に比例した減少傾向が認められたことから、ブレイクポイントに近い濃度での前塩素の添加が効果的と考えられた。

### 3.3 消毒副生成物

#### ① THMs

図5には、目標塩素添加濃度別に各処理工程での総THMs濃度を示した。一般的に、前塩素の添加により、THMsを含む消毒副生成物の生成が促進される。本調査でも、凝集沈澱処理水で、添加する塩素濃度に比例した総THMs濃度の増加傾向が認められ、前塩素を添加しなかった場合には0.2µg/L程度であったが、0.9mg/Lでは15.2µg/L検出されていた。一方、浄水処理工程において、急速ろ過処理及びGAC処理で総THMs濃度は減少しており、前塩素0.9mg/L添加した場合、凝集沈澱処理で15.2µg/L検出されていた総THMsが、急速ろ過処理水で12.2µg/L、GAC処理水で6.8µg/Lとなっており、特にGAC処理での減少率が大きかった。

本調査で使用したGACは、使用開始5年以上が経過しており、物理吸着能が低下していること、また、急速ろ過処理でも一定の除去性が確認されていることから、ろ材に生息する生物作用により濃度が減少したと考えられる。ただし、本調査では、急速ろ過処理以降の処理水量を処理能力に対して1/3程度としていることから、GACでの接触時間が実際池よりも長く、実際池で想定されるGACでの処理性よりも高いことには注意が必要である。

次に、前塩素を添加した際のリスク評価を行うため、目標塩素添加濃度別にGAC処理水中のTHMs-FPと臭素酸濃度の比較を行った(図6)。それぞれの項目について、総THMsは100µg/L、臭素酸は10µg/Lの水質基準値が設定されていることから、前塩素を0.9mg/L添加した場合、総THMsは水質基準値をベースに4.0%リスクが増加していた一方、臭素酸は35%リスクが減少しており、特に臭素酸

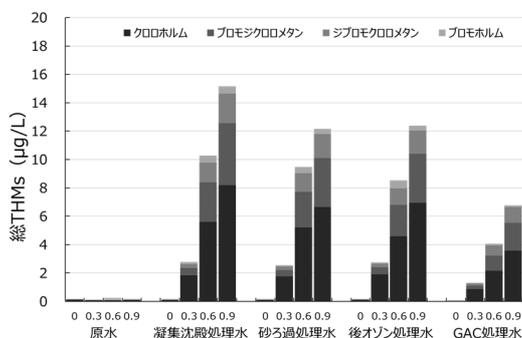


図5 総THMs濃度の推移

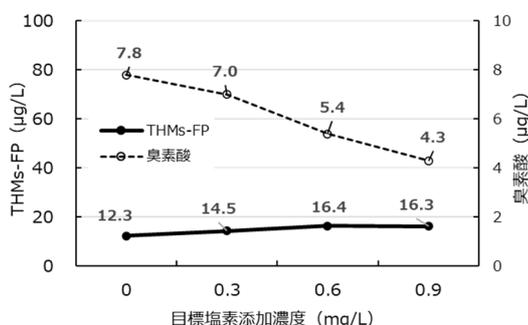


図6 THMs-FPと臭素酸濃度の比較

の生成が促進される高水温期に、より大きな効果が得られることが考えられた。

#### ② HAAs

図7には、目標塩素添加濃度別に各処理工程での総HAAs濃度を示した。THMsと同様に、前塩素の添加により、HAAsの生成が促進され、凝集沈澱処理水で添加する塩素濃度に比例した総HAAs濃度の増加傾向が認められ、前塩素を添加しなかった場合には検出されなかったものの、0.9mg/Lでは9µg/L検出されていた。一方、浄水処理工程において、THMsとは異なり、急速ろ過処理で総HAAs濃度は大幅に減少しており、前塩素0.9mg/L添加した場合、凝集沈澱処理で9µg/L検出されていた総HAAsが、急速ろ過処理水で0.5µg/Lとなっていた。これは、砂層中に生息する生物作用により濃度減少したと考えられ、急速ろ過池のろ過速度を180m/dとしており、実際池のろ過速度よりも速く、ろ材との接触時間も短くなっていることから、HAAsは、THMsよりも生物作用による分解除去が行われやすいことが示唆された。

次に、HAA5 についても、前塩素を添加した際のリスク評価を行うため、目標塩素添加濃度別に GAC 処理水中の HAA5-FP と臭素酸濃度の比較を行った (図 8)。それぞれの項目について、総 HAA5 (モノクロロ酢酸、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸の合算) は 80 $\mu\text{g/L}$ 、臭素酸は 10 $\mu\text{g/L}$  の水質基準値が設定されていることから、前塩素を 0.9 $\text{mg/L}$  添加した場合、総 HAA5 は水質基準値をベースに 6.5% リスクが増加していた一方、臭素酸は 35% リスクが減少しており、HAA5 についても、臭素酸の生成が

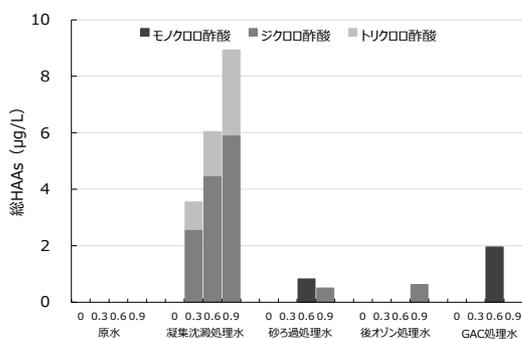


図 7 総 HAA5 濃度の推移

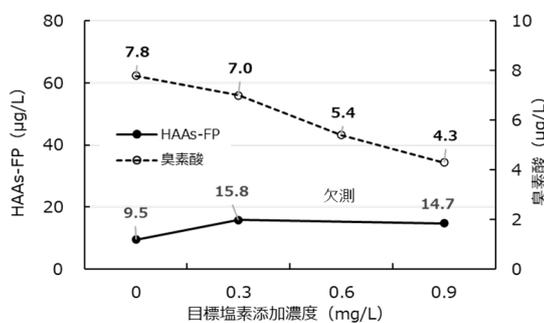


図 8 HAA5-FP と臭素酸濃度の比較

促進される高水温期に、より大きな効果が得られることが考えられた。

#### 4. まとめ

本調査では、当局の高度浄水処理に前塩素処理を適用した場合の効果の検証を行ったところ、前塩素の添加濃度に応じて、臭化物イオン及び臭素酸濃度の減少、THMs 及び HAA5 濃度の増加が認められた。これらの事象について、0.9 $\text{mg/L}$  の塩素を添加した際に例にリスク評価を行ったところ、GAC 処理水中の THMs-FP または HAA5-FP の増加量は水質基準値をベースとすると、3.9%及び 6.5%程度リスクが増加していた一方、臭素酸の減少は水質基準値に対して 35%であり、臭素酸が生成しやすい高水温期に前塩素処理を行う効果が高いことが考えられた。また、前塩素の添加濃度について、0.3 $\text{mg/L}$  程度の添加量では臭素酸濃度の低減効果は低く、ブレイクポイントに近い濃度での前塩素の添加が効果的と考えられた。

前塩素処理は、本報告で検討した項目以外にも、オゾン要求量や GAC 処理水中の塩素要求量の減少が見込めるだけでなく、水道水中のトリクロロアミン生成を抑制し臭気改善に繋がることも報告されている一方、藻体内にかび臭原因物質を含む生物が多く発生した際には、藻体外への放出を促進させてしまうため、原水水質に合わせて添加を停止するなどの措置も必要となる。今後は、これらの効果等についても包括的に取りまとめ、前塩素の注入、停止条件等も精査した上で、必要に応じて実際池での処理に展開していきたい。

#### 参考文献

- 1) 小坂ら、トリクロロアミン生成能におよぼす 2 段階塩素処理条件の影響、土木学会論文集 (環境)、vol. 70、No. 7、p. 9-16 (2014)
- 2) 谷林ら、前塩素注入による消毒副生成物への影響、日本水道協会関西地方支部第 68 回研究発表会概要集、p. 64-67 (2025)
- 3) 上野ら、前塩素注入に伴う処理水質への影響、令和 6 年度全国会議 (水道研究発表会)、p. 276-277 (2024)

# 高分子凝集剤（水道用ポリアクリルアミド）の適用性評価

大阪市水道局 ○鳥居 梨緒 中野 耕太  
笠井 登 益崎 大輔

## 1. はじめに

浄水処理における凝集沈澱は、原水中の濁質を効率的に除去するための基本的な処理工程であり、凝集剤の添加によって形成されるフロックを重力作用により沈降させることで、処理水の清澄化を図るものである。当局では、硫酸アルミニウムを凝集剤として使用しているが、原水の濁度が高い場合や水温が低下する冬季に、フロック形成又は沈澱効率が不十分となり、沈澱処理水の濁度が上昇する場合がある。

一方、令和元年に凝集補助剤として、水道用ポリアクリルアミド（以下、PAA）の規格（JWWA K163）が制定され<sup>1)</sup>、PAA 添加に伴うフロックの肥大化による凝集沈澱処理性の向上及び沈澱池面積の縮小化への寄与が期待されている。大阪市水道局（以下、当局）でも、ジャーテスト<sup>2)</sup>や最適先端処理技術実験施設（以下、実験施設）を活用した実験<sup>3)</sup>により、PAA 添加に伴う効果検証を行った結果、凝集沈澱水の濁度低減効果が認められることや添加位置によってその効果が異なることに加え、フロックの粘着性に起因すると考えられる槽壁面や水質計器内部へのフロックの付着といった維持管理面での課題があることを報告してきた。

本報告では、実験施設において継続して効果検証を行ってきた結果から、PAA の添加位置毎に、水処理性・維持管理性・砂ろ過処理のろ過継続時間の観点から、その結果を取りまとめるとともに、実際に得られた凝集沈澱水の濁度低減効果から想定される沈澱池面積の縮小への寄与についても考察を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

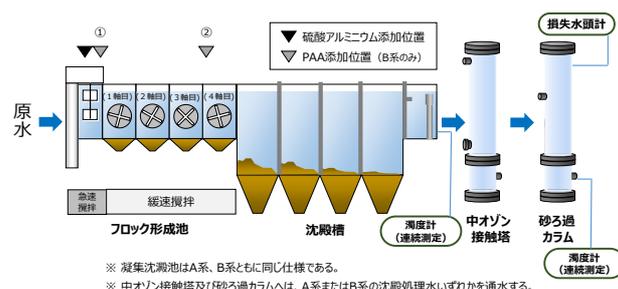
### 2.1 PAA

実験に使用した PAA は、ハイモロック SS（ハイモ（株）製：顆粒状粉末）であり、添加前に水道水で濃度が 500mg/L となるよう溶解し、処理水に対して 0.1mg/L となるよう添加した。

### 2.1 実験概要

実験施設の処理フローのうち、実際池の処理フローを再現した A 系及び B 系を用いて実験を行った。A 系及び B 系の詳細な仕様は図 1 のとおりである。両系統とも実際池の制御と同じ方式で硫酸アルミニウムを添加し、凝集沈澱処理を行うが、PAA の添加は B 系に添加（PAA の注入箇所は急速攪拌池（注入点①）又は緩速攪拌池 4 軸目の入口（注入点②））し、A 系には添加なしとして比較を行った。

なお、凝集沈澱処理水濁度及び急速ろ過水濁度は、濁度計（横河電機株製 TB700G、FLXA402T）で連



※ 凝集沈澱池はA系、B系ともに同じ仕様である。  
※ 中オゾン接触塔及び砂ろ過カラムへは、A系またはB系の沈澱処理水いずれかを通水する。

処理工程	条件等
凝集沈澱池	沈澱方式 横流式 処理流量 4.05m <sup>3</sup> /h（表面負荷率：18mm/min） 凝集剤 硫酸アルミニウム（平均注入率：25.7ml/m <sup>3</sup> ）
急速ろ過池	ろ層構成 アンズラサイト：20cm（有効径：1.15mm以上 1.25mm未満） 砂：50cm（有効径：0.55mm） ろ過速度 180m/日 洗浄条件 損失水頭 2 mまたはろ過継続時間72時間

図 1 実験施設概要（A 系、B 系共通）

続測定しており、急速ろ過池は、既定の条件（損失水頭が 2m 又はろ過継続時間が 72 時間）で自動洗浄している。本報告では、令和 7 年 4 月から 7 月までの間で取得したデータを使用した。

## 2.2 水質測定

PAA 添加による水処理性を評価するため、原水及び沈澱処理水を対象に、以下の項目について、水質測定を行った。ただし、PAA を添加した B 系については、沈澱槽における槽別の濁度変化を評価するため、「1 槽目から 4 槽目（出口）」までの処理水についても、濁度を測定した。

（測定項目）

- ・ 濁度・色度（日本電色工業(株)WA7700）
- ・ 紫外線吸光度（測定波長 260nm）（以下、E260）（株島津製作所製 UV-1900i）
- ・ 蛍光強度（励起波長 330nm/測定波長 430nm）（日本分光(株)FP-8300）

## 3. 実験結果

### 3.1 沈澱処理水質への影響

PAA 添加による水質の変化を評価するため、沈澱処理水の水質測定結果を図 2 に示した。なお、PAA 添加の有無又は添加位置による効果を確認するため、図 2 では、A 系、B 系（注入点①）、B 系（注入点②）での結果を比較している。

図 2 から、濁度については PAA 添加により、沈澱処理水濁度が低下しており、注入点①よりも注入点②で添加したほうが濁度の低減効果は大きかった。これは、凝集剤により、ある程度フロック形成が進んだ状態で PAA を添加したほうがフロックの肥大化が進行し、濁度低減効果が大きいことを意味している。この点を明らかにするため、実験施設において短期間で注入点を変更し、沈澱処理水濁度を測定したところ（図 3）、図 2 で示した結果同様、注入点①では、注入点②よりも、処理水濁度は上昇していた。なお、色度についても濁度と同様の結果を示していた。

一方、有機物指標である E260 や蛍光強度については、PAA 添加に関わらず、沈澱処理水でほぼ同等であったため、PAA の添加は有機物除去を促進させる効果はないと考えられた。

### 3.2 沈澱池面積縮小への寄与

PAA 添加による濁度低減効果は前述のとおりであるが、注入点を①又は②とした場合の沈澱槽 1 槽目から 4 槽目までの濁度の推移を図 4 に示した。当局によるこれまでの実験で、PAA 添加により肥大

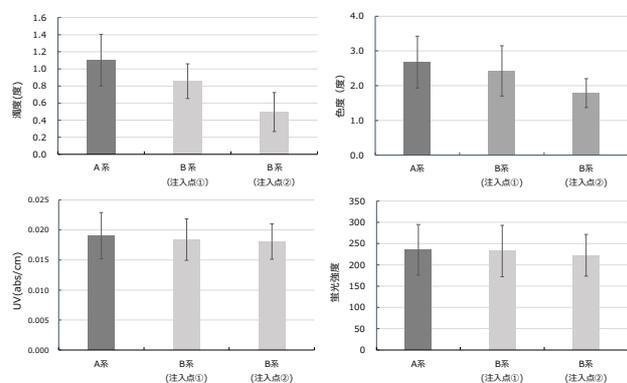


図 2 沈澱処理水の水質測定結果

(N=A系:59, B系(注入点①):34, B系(注入点②):26)

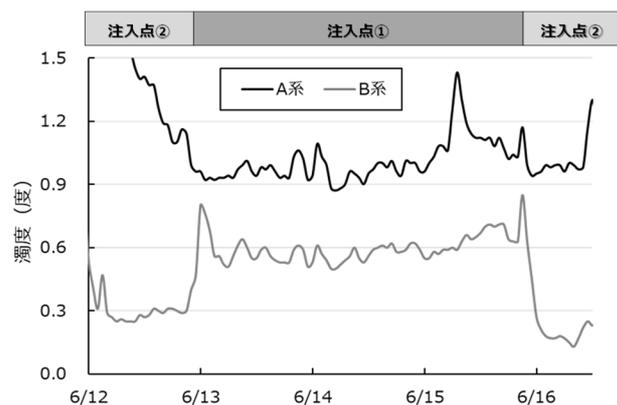


図 3 沈澱処理水濁度

化したフロックは、PAA 添加なしの場合と比較して、沈澱槽の前段で沈降することを報告しており<sup>3)</sup>、本実験でも PAA を添加した B 系では 2 槽目から 3 槽目までで、PAA を添加していない A 系とほぼ同じ濁度水準を達成できていた。

すなわち、PAA 添加により、現行と同水準の除濁機能を求める場合、理論上、現行の沈澱池面積の半分程度で達成されることとなり、浄水施設の縮小化に大きく寄与する可能性が示唆された。

### 3.3 後段のろ過処理（ろ過継続時間）への影響

PAA 添加による急速ろ過処理におけるろ過継続時間への影響を調査するため、令和 7 年 5 月に実験施設における急速ろ過池への流入水を A 系、B 系（注入点①）、B 系（注入点②）で凝集沈澱した処理水とし、それぞれ 1 週間程度、運転させ（ろ過速度は 180m/d）、ろ過継続時間の変化を比較した（図 5）。各ケースにおいて、全ての RUN でろ過水濁度が上昇する傾向は確認されなかったものの、ろ過継続時間の平均値は、A 系、B 系（注入点①）、B 系（注入点②）の順に短くなり、それぞれ 69 時間、53 時間、50 時間程度であった。一般的に急速ろ過池における損失水頭は、流入水濁度が高いほど、損失水頭が増加しやすくろ過継続時間が短くなる

傾向にあるが、PAA を添加した B 系が PAA を添加していない A 系よりもろ過継続時間が短くなった事実は、一般的な傾向と矛盾する結果となった。この原因について、PAA は水に溶解させた場合の粘度が高く、処理水の粘性が大きくなっている、又は形成するフロックもその影響を受け、粘着性が高まっているものと想定され、ろ材表面上に付着したフロックが濁質をより吸着させ、単位流入水濁度あたりの損失水頭上昇幅を増加させた可能性が考えられた。

当局では、急速ろ過池の洗浄条件を損失水頭 2m 又はろ過継続時間 72 時間としているが、他の事業体では、洗浄条件としてろ過継続時間を 50 時間程度に設定している場合が多い。本実験で、PAA 添加によりろ過継続時間の短縮傾向が確認されたものの、ろ過速度 180m/d で 50 時間程度のろ過継続時間が確保できていること、ろ材内での濁質の吸着性向上の可能性も示唆されていることから、必ずしも急速ろ過処理に対して悪影響があるものと断定はできない。今後、低水温期も含め、継続的にデータ収集を行っていく。

### 3.4 水質計器への影響

PAA 添加による水質計器への影響（フロックの付着）を調査するため、濁度計の測定及び維持管理条件を表 1 のとおりとし、濁度計内部の光源部の状態を経時的に撮影した（図 6）。PAA を注入点①で添加した場合には、1 週間後でも濁度計内部にフロックの付着は認められず、安定した測定が行えていたものの、注入点②で添加した場合には、濁度計の自動洗浄機能の有無に関わらず、濁度計内部に明らかなフロックの付着が認められ、安定した測定が行えていなかった。これは 3.3 で考察したよう

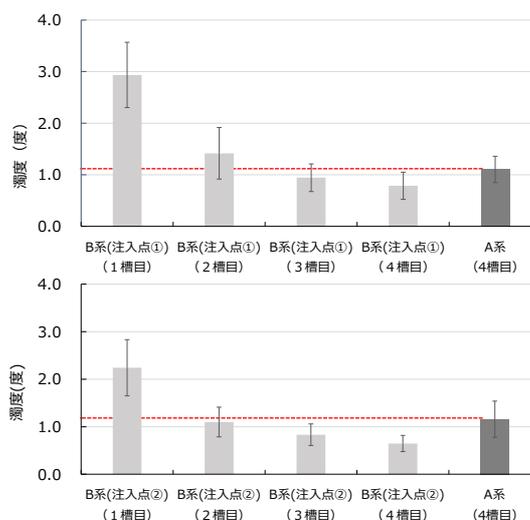


図 4 沈澱槽における濁度推移

(N=B系(注入点①) : 33, B系(注入点②) : 26, A系 : 59)

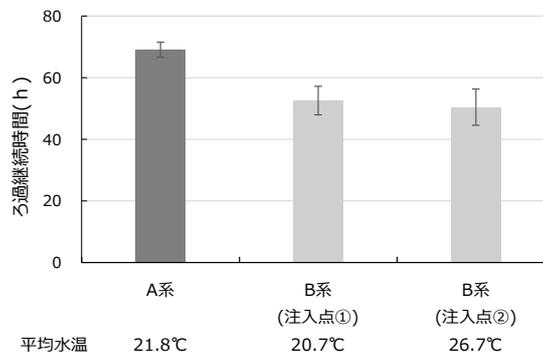


図 5 ろ過継続時間の変化の比較 (N=3)

に、形成するフロックの粘着性に関連するものと考えられ、PAA 添加を注入点①とする場合より、注入点②とした場合の方が、粘着性の高いフロックが形成されていると考えられた。

このように、PAA の添加位置によっては、大きな濁度低減効果が得られる一方で、形成したフロックの水質計器等への付着に伴って、水質計器の清掃頻度を増加させることが必要になるなど、維持管理面での負担が生じる可能性が考えられた。

表 1 濁度計の設定条件

濁度計パラメータ条件	条件① (自動洗浄あり)	条件② (自動洗浄なし)
試料水流量(L/min)	0.3	2
光源部洗浄	あり	なし
洗浄周期(h)	0.5	-
洗浄回数(回)	3	
洗浄時間(sec)	60	
排水時間(sec)	20	

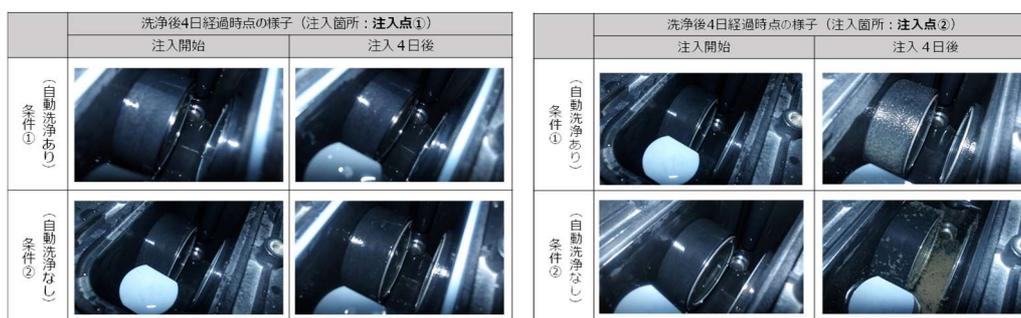


図 6 濁度計内部の光源部の状態

#### 4. まとめ

本実験では、高分子凝集剤である PAA を凝集補助剤として活用した場合の効果について、より実際の環境に近い実験施設で検証したところ、以下の知見を得た。

- ・PAA 添加により、PAA を添加していない場合と比較して、沈澱処理水濁度は低下し、その効果は PAA を緩速攪拌工程（注入点②）とした場合の方が効果は大きかった。
- ・PAA 添加により肥大化したフロックは沈澱槽の前段で沈降しやすいことから、現在と同じ除濁機能を求める場合、沈澱池面積を縮小できる可能性が示唆された。
- ・PAA 添加と PAA を添加しない場合と比較して、ろ過継続時間は短くなったものの、ろ過速度 180m/d で 50 時間程度のろ過継続が可能であった。
- ・PAA 添加により、特に注入点を緩速攪拌工程（注入点②）とした場合には、水質計器内へのフロックの付着が顕著となり、安定した測定を行うため、水質計器の清掃頻度増加といった維持管理の負担が生じる可能性が考えられた。

これらの知見から、PAA 添加により期待していたフロックの肥大化、除濁効率の向上が期待できる一方で、ろ過継続時間の短縮や水質計器へのフロックの付着といった維持管理上の課題も明らかとなった。しかしながら、PAA の添加は単に濁度低減を目的とするのではなく、沈澱の効率化や維持管理上の負担軽減も含めた水処理全体の最適化を視野に入れ、注入位置や添加量のバランスを慎重に検討する必要があると考えられた。

#### 参考文献

- 1) JWVA K 163:2019 水道用ポリアクリルアミド
- 2) 森本ら、淀川原水の凝集沈澱処理における凝集補助剤としてのポリアクリルアミドの検討、令和 5 年度全国会議（水道研究発表会）
- 3) 西田ら、凝集補助剤としてのポリアクリルアミドの適用性評価、令和 6 年度日本水道協会関西地方支部 第 68 回研究発表会

# 急速ろ過池ろ層整備時の砂層鋤取りの効果検証

大阪市水道局 ○荒川 博之  
畑中 正史  
益崎 大輔

## 1. はじめに

急速ろ過処理は、凝集沈澱処理で除去しきれなかった濁質を、ろ材への付着やろ層でのふるい分けにより除去する方法である。しかしながら、ろ過の進行に伴い、濁質分がろ材に蓄積され、ろ過閉塞を引き起こすことで適切なる過処理が行えなくなることから、大阪市水道局（以下、当局）では、損失水頭が 2m 又はろ過継続時間が 72 時間に達した時に、表面洗浄及び逆流洗浄により、ろ材の洗浄を行うこととしている。一方、特に、逆流洗浄を繰り返すことで、細粒のろ材が上層に集積する傾向があり、これに伴う損失水頭の増加は洗浄頻度の増加にも繋がり、効率的なる過が困難になることが一般的に知られている。

これらへの対策として、ろ材の上層部を「鋤取る」方法が知られており<sup>1)</sup>、当局でも急速ろ過池において、全層更新時や補砂時に、この鋤取り作業を実施することとしている。当局における急速ろ過池の維持管理の規定の中で、定期的実施する層厚調査の結果、層厚が規定より 5cm 以上減少した場合に補砂を実施することとしており、全層更新は稀であるが、補砂については年間 2~3 池程度実施している。一方、補砂及びそれに伴う鋤取り作業は、現在でも直営作業で実施していることから、職員への負担も大きく、今後の継続が課題となっている。

本報告では、当局柴島浄水場の急速ろ過池において、損失水頭の上昇が速い急速ろ過池のろ材上層を試験的に鋤取りし、鋤取り前後の運用状況を比較して費用対効果の算定を実施し、今後の鋤取り作業のあり方を検討したので報告する。

## 2. 調査方法

### 2. 1 急速ろ過池の鋤取り（試験池）

本検討にあたり、試験的に鋤取りを行なったろ層は以下のとおりである。なお、試験池とした柴島浄水場 4 系急速ろ過池は、砂単層で規定層厚は 60cm である。

- ① 柴島浄水場 4 系急速ろ過池 8 号（鋤取り範囲 上層 5cm）
- ② 柴島浄水場 4 系急速ろ過池 9 号（鋤取り範囲 上層 3cm）
- ③ 柴島浄水場 4 系急速ろ過池 14 号（鋤取り範囲 上層 3cm）

### 2. 2 鋤取り効果の検証

鋤取り効果の検証方法として、まず鋤取り前後で、砂層上層部のろ材を 1cm 刻みで採砂し、粒径分布の変化を評価するため、微小粒子（0.425mm 未満）の質量割合、有効径、60%径、均等係数、最大径及び最小径を測定した。

次に、鋤取り前後 1 年間の急速ろ過池の運用データを解析し、年間の損失水頭の変化及び洗浄回数を比較することとした。なお、損失水頭は、流入濁度、水温及びろ過速度の影響を受けるため、ろ過継続時間あたりの損失水頭（実際のデータ）ではなく、累積濁度負荷<sup>2)</sup>あたりの損失水頭の補正值（水温 20°C、ろ過速度 150m/日）で比較することとした。

なお、累積濁度負荷の算出は（1 式）により、損失水頭の補正は（2 式）により行った。

$$(1 \text{ 式}) \text{ 累積濁度負荷} = \int_0^{L_t} T_s dL \quad \left[ \begin{array}{l} L: \text{ろ過長}, L_t: \text{経過時間 } t \text{ における} \\ \text{ろ過長}, T_s: \text{沈澱水濁度} \end{array} \right]$$

$$(2 \text{ 式}) \quad \frac{Q}{A} = \frac{k\Delta h}{L} \quad \left[ \begin{array}{l} Q: \text{流量}, A: \text{層断面積}, L: \text{層高} \\ \Delta h: \text{層水頭差圧} \end{array} \right]$$

### 3. 鋤取りの効果検証

#### 3. 1 砂層上層部の粒径の変化

鋤取り前後での砂層上層部での粒径分布を比較するため、表層から1cm刻みでろ材を採砂し、微小粒子(0.425mm未満)の質量割合、有効径、60%径、均等係数、最大径及び最小径を測定した結果を図1に示した。

これらの結果から、鋤取りを実施することで、表層~1cm及び1cm~2cmの範囲で、微小粒子(0.425mm未満)の質量割合が低下していること、有効径、60%径、最大径及び最小径が全てのろ過池で増加していることが確認され、鋤取りにより、細かな砂が表層から取り除かれていることが確認できた。

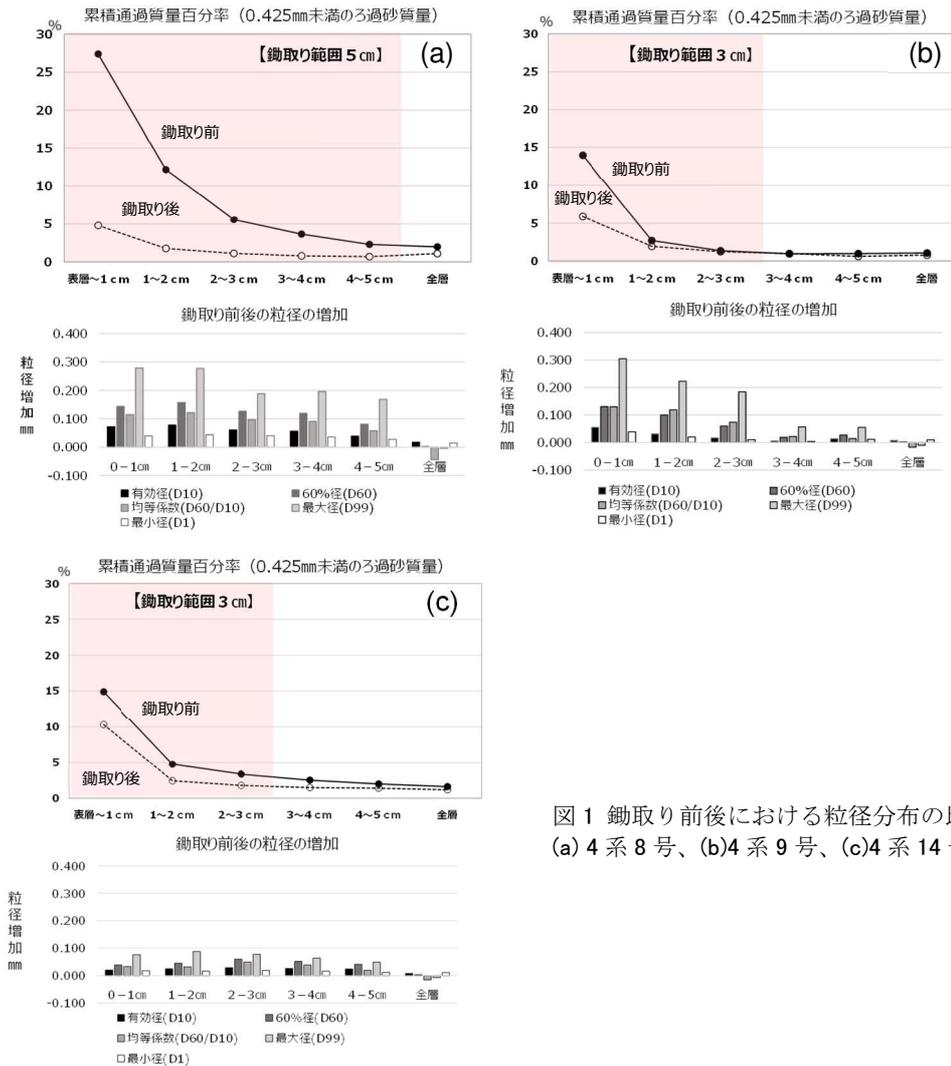


図1 鋤取り前後における粒径分布の比較  
(a) 4系8号、(b)4系9号、(c)4系14号

#### 3. 2 累積濁度負荷あたりの損失水頭 (補正值)

鋤取りを実施した試験ろ過池で、鋤取り前後1年間の累積濁度負荷あたりの損失水頭(20℃、150m/日で補正した換算値)を図2に示した。定性的に、鋤取り前(●)よりも鋤取り後(×)の方が、累積濁度負荷あたりの損失水頭増加量が小さくなっており、実際に1年間全てのRUNについて、累積濁度負荷あたりの損失水頭(傾き)の平均値を算出すると(図3)、8号池で53%、9号池で40%、14号池で9%傾きが減少し、ろ過効率が向上していた。特に8号池で最も傾きの改善が見られ、図1の結果とあわせても、上層で微小粒子の割合が高い池ほど効果が高くなると考えられた。また、鋤取り後は、各池で累積濁度負荷あたりの損失水頭(傾き)は同程度となっており、これは鋤取りにより層別の微小粒子の割合がほぼ同じになったことによると考えられた。

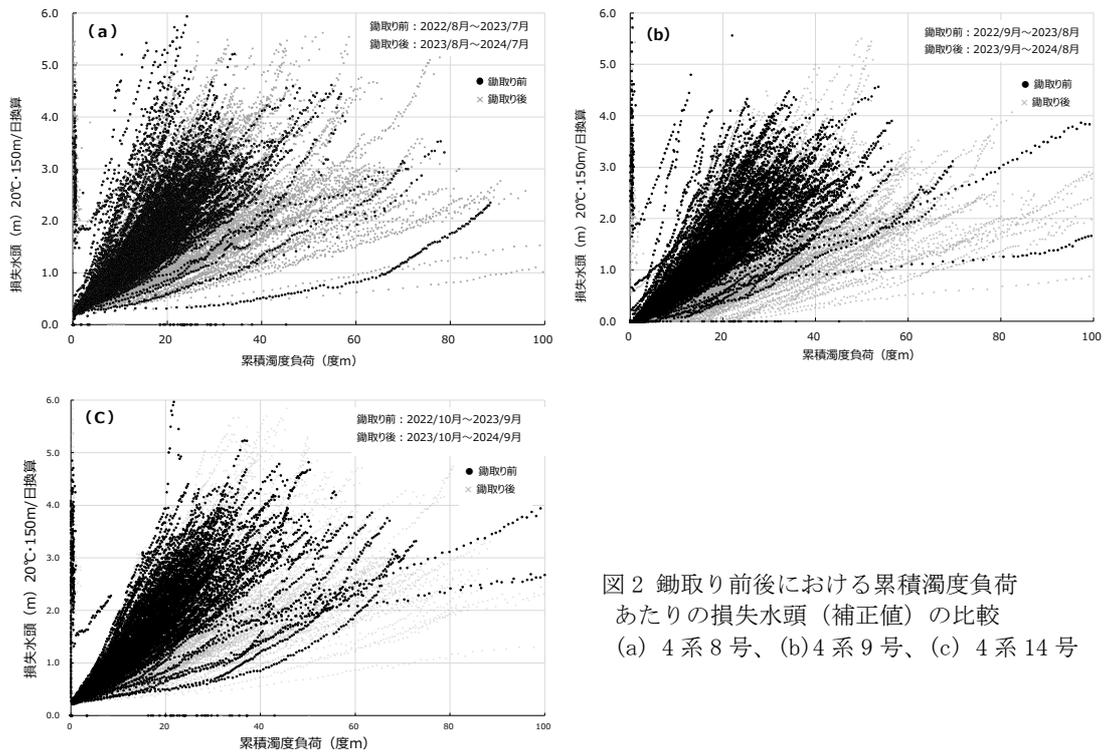


図2 鋤取り前後における累積濁度負荷あたりの損失水頭（補正值）の比較  
(a) 4系8号、(b)4系9号、(c) 4系14号

### 3.3 洗浄頻度

鋤取りの実施により、累積濁度負荷あたりの損失水頭（補正值）の傾きが減少したことから、ろ過池の実運用でもより効率的な運転が実施できていた。その事実を定量的に示すため、鋤取り前後1年間で、各池における洗浄回数を比較したところ、鋤取りの実施により、7~20回減少していた（図4）。

また、柴島浄水場4系急速ろ過池で洗浄に要する単価（3,002円/回）を加味すると、鋤取りを実施することで年間2~6万円程度の費用削減になっていた（図5）。

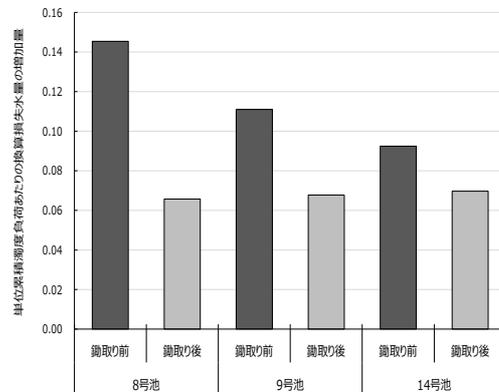


図3 鋤取り前後における累積濁度負荷あたりの損失水頭（補正值）の傾き

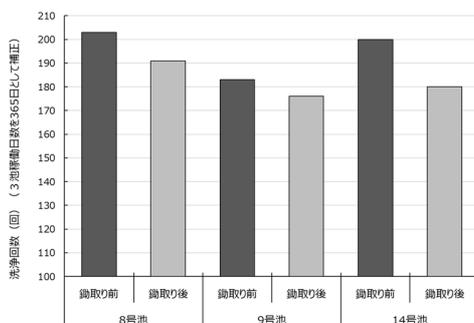


図4 鋤取り前後の洗浄回数

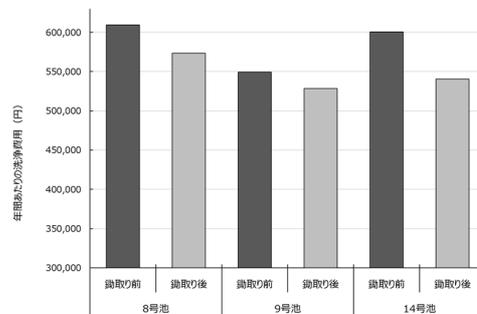


図5 鋤取り前後の洗浄費用

## 5. 今後の急速ろ過池のろ材の維持管理

当局では、これまで、急速ろ過池の維持管理において、「全層更新時」、「補砂時」いずれも鋤取り作業を実施することとしていた。

本検討で、上層に微小粒子が多く蓄積している場合は、鋤取り作業を行うことで累積濁度負荷あたりの損失水頭（傾き）が改善し、ろ過効率が向上することが明らかとなったものの、年間の洗浄費用に換算すると数万円程度であり、鋤取り作業に要する労力を考慮すると、補砂時の鋤取り作業は、必ずしも費用対効果の高い作業とは言えないことが分かった。そのため、ろ材の維持管理の考え方を図6のとおり定め、定期的な層厚及びろ層調査を実施のうえ、当局制定の浄水場施設管理マニュアルに基づき、「層厚が5cm以上減少していること」及び「有効径が0.50mm未満」となっていることを補砂時の鋤取り作業を行う条件とし、この条件に該当しない場合は、「全層更新時」や「補砂時」であっても鋤取り作業を省略することで、維持管理の省力化を図ることとした。

これらの取組みにより、安全な水道水を製造することを前提としつつ、より合理的な範囲で維持管理の省力化に寄与できたと考えている。

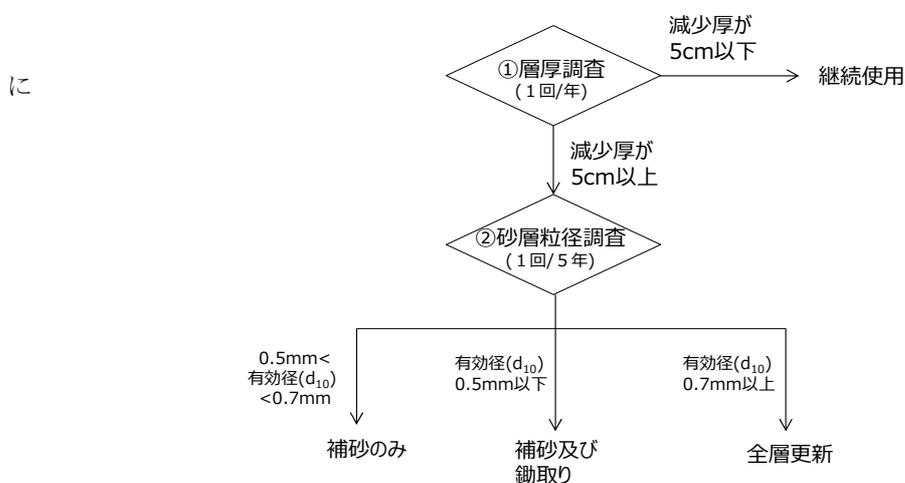


図6 急速ろ過池のろ材の維持管理の考え方

### 参考文献

- 1) 日本水道協会 水道維持管理方針 (2016)
- 2) 中野ら、急速ろ過池におけるブレイクスルー発生 の定量評価、令和7年度全国会議（水道研究発表会）講演集、4-5、2025

# 粒状活性炭の品質等に関する調査

大阪市水道局 ○大井 偉資 中野 耕太  
益崎 大輔

## 1. はじめに

大阪市水道局（以下、当局）では、異臭味物質やトリハロメタンといった消毒副生成物の低減化等を目的として、平成12年より市内全域にオゾン処理と粒状活性炭（以下、GAC）処理を組み合わせた高度浄水処理水を導入することで、大幅な水質改善を達成してきた。

GACは、経年的にその性能が劣化していくため、定期的な更新が必要となり、当局では、概ね5年を目安にGACの更新を行ってきている。しかしながら、これまでの調査において、近年納入されるGACは、高度浄水処理導入時に納入されていたGACよりも、ヨウ素吸着性能の減少速度が速くなるなど、吸着性能に変化が認められている<sup>1)</sup>。また、当局が取水する淀川は都市河川であり、様々な化学物質の汚染が想定されることに加え、水源水質事故のリスクも高く、GAC処理は水処理上、これらへの対応を行うための重要な工程と位置付けられており、このような吸着性能の変化は、水源水質事故等への対応力の低下に繋がり得る懸念がある。現在まで、GACの吸着性能の変化について、いくつかの調査事例<sup>2)</sup>において、ヨウ素吸着性能の低下が速いGACは、カルシウムやマグネシウムの吸着量が多いこと等の報告がなされているものの、そのメカニズムは明らかになっていない。

本報告では、GACの吸着性能の変化要因を調査することを目的とし、最適先端処理技術実験施設（以下、実験施設）を用いて、様々なGACの通水試験を行い、水処理性や物性の変化を継続的に測定し、ヨウ素吸着性能の減少速度に差が認められたGACの特性を調査したので報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1 GAC

調査に用いたGACは、表1に示すとおりで、メーカーの異なる各種市販品を対象とした。

なお、浄水場に納入されるGACは、表1に示す物性等を、仕様書に定められた範囲となるよう調整しているため、調査で使用したGACと実際に納入されるGACは厳密には異なっている。

表1 調査に使用したGACの物性（新炭）

	単位	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
ヨウ素吸着性能	mg/g	1137	994	964	988	977	1003
pH値 (1%懸濁液の浸出液)	-	9.2	7.6	7.1	7.1	7.0	7.6
強熱残分	%	7.5	7.4	3.9	7.5	8.7	8.4
硬さ	%	93.7	95.2	97.7	92.1	96.5	96.4
充てん密度	g/ml	0.493	0.498	0.502	0.490	0.498	0.419

### 2.2 実験施設カラム通水試験

本試験は、実験施設に設置しているカラム設備（6本のカラム）において、6種類のGACを充填し、流入水を実験池と同じ後オゾン処理水とし、定期的な洗浄を行いながら、継続的な通水試験を実施した（図1）。本報告では、令和4年10月から令和6年9月までの約2年間で取得したデータを活用しており、通水速度は、実験池の2倍（通水倍率では、調査期間（2年）で4年相当）に設定している。

### 2.3 水処理性、物性評価

GACの水処理性の変化を評価するため、週に1回程度、流入水（後オゾン処理水）及び処理水（GAC処理水）を採水し、蛍光強度（330nm/430nm）（日本分光㈱FP-

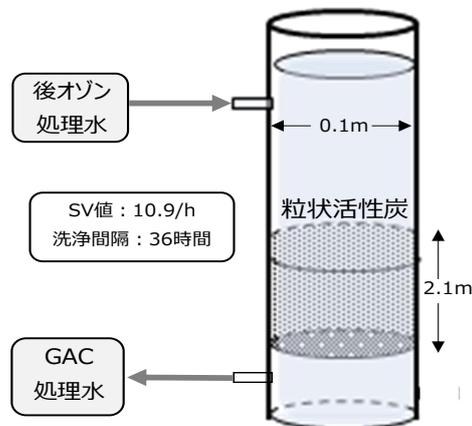


図1 カラム設備

8300) を測定した。

また、GAC の物性の変化を評価するため、令和 6 年 9 月に通水倍率で 4 年相当炭をそれぞれ採炭し、表 1 に記載した物性項目に加え、金属含有量<sup>3)</sup>及び GAC 表面の酸性官能基量<sup>4)</sup>を測定した。

なお、pH 値については、JWWA 規格に定められた 1%懸濁液の浸出液に加えて、差が顕著となるよう精製水についても実施した。

### 3. 調査結果

#### 3. 1 水処理性試験 (有機物除去)

図 2 には、通水試験を実施した各 GAC 処理水の蛍光強度除去率の推移を示した。いずれの活性炭においても、通水初期には蛍光強度がほぼ完全に除去されており、その後、通水倍率の増加に伴い除去率は徐々に低下していったものの、いずれの GAC でも通水倍率が 130,000 程度 (3 年相当) までは概ね同じ処理性を示した。一方、No. 3 の GAC は 150,000 程度、No. 4 の GAC は 170,000 の通水倍率を超えると、高水温期に除去率が 0%を下回る現象が確認された。経年化した GAC では、高水温期に処理水中の有機物が流入水よりも高くなる「有機物の吐き出し」現象が生じることが報告されており<sup>1)</sup>、本試験でもこの現象が観測されたものと考えられる。裏を返せば、No. 1、No. 2、No. 5 及び No. 6 の GAC は、No. 3 及び No. 4 の GAC よりも、有機物の吸着性能が長く続くと考えられ、この差異を調査するため、通水倍率が 172,000 (4 年相当炭) となった時点で、各 GAC を採炭し、物性の変化を比較することとした。

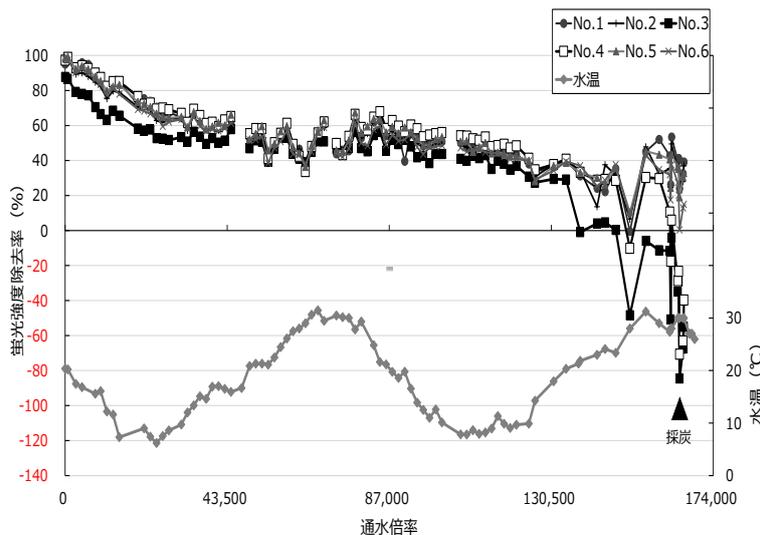


図 2 通水倍率と蛍光強度の除去率

(※実際池における 1 年の通水倍率は 43,500 程度)

中の有機物が流入水よりも高くなる「有機物の吐き出し」現象が生じることが報告されており<sup>1)</sup>、本試験でもこの現象が観測されたものと考えられる。裏を返せば、No. 1、No. 2、No. 5 及び No. 6 の GAC は、No. 3 及び No. 4 の GAC よりも、有機物の吸着性能が長く続くと考えられ、この差異を調査するため、通水倍率が 172,000 (4 年相当炭) となった時点で、各 GAC を採炭し、物性の変化を比較することとした。

#### 3. 2 物性試験

物性試験を行った結果、「No. 1、No. 2、No. 5 及び No. 6」並びに「No. 3 及び No. 4」の GAC について、新炭 (カラム充填時) と 4 年相当炭に明らかな物性変化が認められた項目を以下に記載する。

##### ① ヨウ素吸着性能

図 3 には、各 GAC の新炭、4 年相当炭のヨウ素吸着性能を示した。いずれの GAC も新炭時点でのヨウ素吸着性能は 1,000mg/g 程度であったが、有機物除去指標の低下が顕著であった No. 3 では 400mg/g、No. 4 では 500mg/g 程度と、ヨウ素吸着性能が他の GAC よりも顕著に低下する現象が確認された。

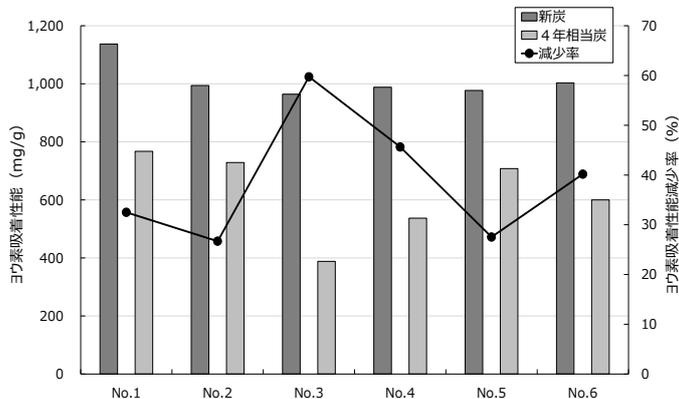


図 3 ヨウ素吸着性能の経年変化

## ② 強熱残分

図4には、各GACの新炭、4年相当炭の強熱残分を示した。有機物除去指標の低下が顕著であったNo.3及びNo.4では、他のGACよりも強熱残分の増加率が顕著に増加する現象が確認された。また、No.3では他と比較して、新炭時点での強熱残分が他のGACよりも顕著に低かった。

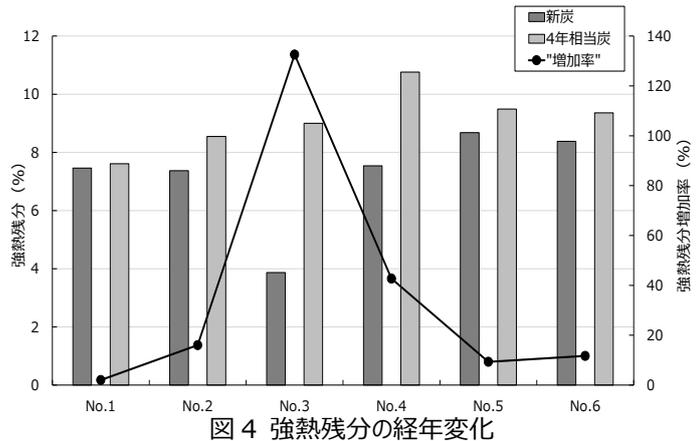


図4 強熱残分の経年変化

## ③ 金属含有量

図5には、各GACの新炭、4年相当炭の金属含有量を示した。有機物除去指標の低下が顕著であったNo.3及びNo.4では、他のGACよりも処理水中の硬度成分と考えられるカルシウムおよびマグネシウムの含量が顕著に増加していた。

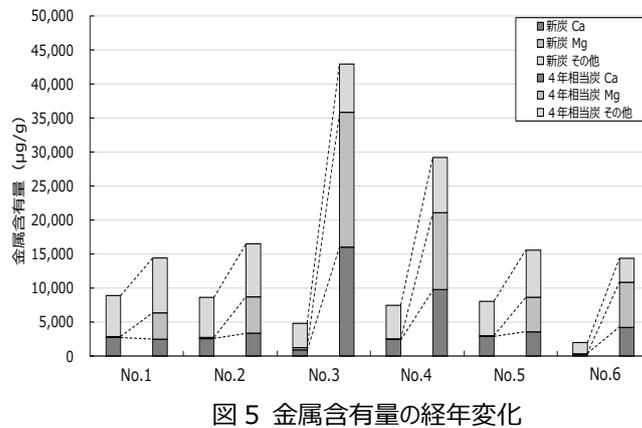


図5 金属含有量の経年変化

以上、①から③で記載したNo.3及びNo.4のGACの物性変化は、実際池でヨウ素吸着性能の低下が速いGACの物性変化と酷似しており、

「No.1、No.2、No.5及びNo.6」並びに「No.3及びNo.4」のGACの違いを見極めることが、GACの品質確保につながるものと考えた。なお、以下には、これまでに報告されていない物性変化について記載する。

## ④ pH値

図6には、各GACの新炭のpH値を示した。浸出液を精製水とした場合、有機物除去指標の低下が最も顕著であったNo.3では、他のGACよりもpH値が低く、これは浸出液を1%懸濁液とした場合には検知できない差であった。また、No.3の次に有機物除去指標の低下が顕著であったNo.4について、No.5とほぼ同程度ではあるものの、他と比較して、pH値は低い傾向であった。

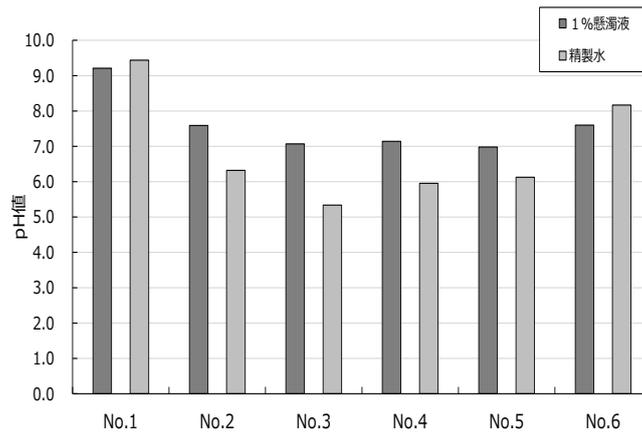


図6 新炭の浸出液pH値

## ⑤ 酸性官能基量

図7には、各GACの新炭表面上の酸性官能基量を示した。これらの結果は、pH値の結果と概ね逆の相関が認められ、有機物除去指標の低下が最も顕著であったNo.3では、他のGACよりも表面上の酸性官能基量が多かった。また、No.3の次に有機物除去指標の低下が顕著であったNo.4について、No.5とほぼ同程度ではあるものの、他と比較して、表面上の酸性官能基量は高い傾向であった。

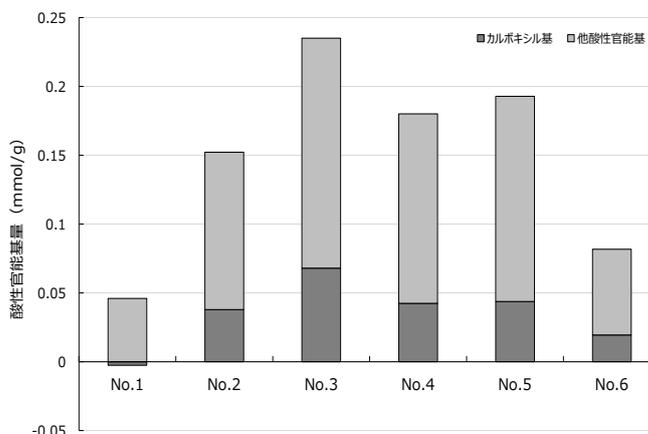


図7 新炭の酸性官能基量

以上、④、⑤で記載したNo.3及びNo.4のGACの物性変化は、定性的ではあるものの有機物除去指標の低下速度と関連があること、また新炭状態の物性を用いて評価が可能であることが分かった。

今後、通水試験を継続するとともに、本調査で明らかとした物性変化も含め、有機物除去指標の低下速度との関連性について、原因調査を実施していく。

## 4. まとめ

本調査では、各種市販のGACを対象に、実験施設で通水試験を通じ、水処理性や物性の変化を継続的に測定し、GACの品質劣化に起因する特性を調査した。その結果、各種市販品GACにおいて、有機物除去性能の変化に差異が認められ、特にNo.3及びNo.4のGACでは、通水倍率が150,000程度を超過すると、除去率が急激に低下し、有機物の吐き出し現象が確認された。そこで、「No.1、No.2、No.5及びNo.6のGAC」並びに「No.3及びNo.4のGAC」について、4年相当炭の物性を比較したところ、No.3及びNo.4のGACは、ヨウ素吸着性能の低下、強熱残分の増加、カルシウム・マグネシウムなどの金属含有量の増加が顕著であった一方、新炭での物性に着目すると、No.3及びNo.4のGACは、pH値が低く、表面の酸性官能基量が多い傾向が見受けられた。

本調査では、様々なGACを対象に通水試験を行った結果、実際池と同様、品質劣化の速いGACとそうでないGACの分離に成功しており、今後も通水試験を継続しつつ、本調査で明らかとなった物性変化を踏まえ、品質劣化要因の解明を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 今村ら、大阪市の高度浄水処理システムにおける粒状活性炭処理の特徴～、水道協会雑誌第93巻第7号(第1078号)、pp.2-10、2024
- 2) 今村ら、浄水処理における粒状活性炭性能の経時変化～平成30年度水質試験所年報
- 3) 原ら、粒状活性炭に含有される重金属の溶出とその対策～水道協会雑誌第82巻第1号(940号) pp.11-20、2013
- 4) Boehm H.P.: Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment. Carbon, Volume 40, Issue 2, pp.145-149, 2002

# 高機能粉末活性炭の有機フッ素化合物(PFAS)除去性に関する調査

大阪市水道局 ○中野 耕太 大井 偉資  
益崎 大輔 柳瀬 剛士  
吉村 誠司

## 1 はじめに

粉末活性炭は一般に、通常の浄水処理では除去できない、又は除去しきれない化学物質が原水に含まれる場合に使用される。当局においても、全ての浄水場において、粉末活性炭の自動注入設備を導入しており、JWWA K 113 に準拠した標準的な粉末活性炭（以下、標準炭）を貯蔵し、「油類、かび臭原因物質、放射性物質、その他有害化学物質」を処理対象物質として、必要に応じて使用している。

また、本市が水源とする淀川では上流域に都市部を抱えているため水源水質事故リスクが高いこと、水源水質状況の変化として、近年、気候変動に伴うかび臭原因物質の濃度増加や有機フッ素化合物（以下、PFAS）の社会的関心の高まっていることから、粉末活性炭の重要性は、今後ますます高まるものと考えられる。

このような中、活性炭メーカーから標準炭よりも優れた処理性を示すとされる高機能(高性能)粉末活性炭(以下、高機能炭)が市販されており、いくつかの調査研究事例が報告されている<sup>1,2)</sup>。粉末活性炭処理は、基本的に注入量で処理性が決まるため、単位注入量あたりの処理能力が向上する粉末活性炭は、水源水質事故リスクに対して有効な対応策として考えられ、安全な水道水の製造・供給のために検討すべきテーマである。

筆者らはこれまでに、かび臭原因物質を対象として高機能炭の処理性評価を行ってきたが<sup>3)</sup>、本報では、令和8年度より水道水質基準項目への見直しが決定している PFOA 及び PFOS に加え、要検討項目化される PFAS7 種を含む 8 種の PFAS についても対象とし、標準炭及び高機能炭を含むいくつかの粉末活性炭での処理性調査を行い、処理特性等について調査したので報告する。

## 2 調査方法

### 2.1 粉末活性炭

調査に使用した粉末活性炭及びその物性は表-1 に示すとおりで、同一メーカーの標準炭 1 種及び高機能炭 3 種である。高機能炭について、高機能炭 A 及び B は材質が木質、高機能炭 C はヤシ殻であり、高機能炭 A 及び B は、材質は同じであるものの、粒径が異なり、高機能炭 B の方が細かな粉末活性炭である。

表-1 調査に使用した粉末活性炭

	標準炭	高機能炭A	高機能炭B	高機能炭C	(参考) JWWA規格
原料	木質	木質	木質	ヤシ殻	-
ヨウ素吸着能 (mg/g)	900以上	1000以上	1000以上	1300以上	900以上
メチレンブルー脱色力 (mL/g)	150以上	150以上	150以上	150以上	150以上
フェノール価	-	25以下	20以下	20以下	25以下
ABS値	-	50以下	40以下	40以下	50以下
pH	-	4~11	4~11	4~11	4~11
電気伝導率 (µS/cm)	900以下	900以下	900以下	900以下	900以下
ふるい残分 (目開き75µm) (%)	10以下	10以下	目開き45µmで10以下	10以下	10以下
塩化物イオン (%)	0.5以下	0.5以下	0.5以下	0.5以下	0.5以下
Z-MIB価	-	3~5	3以下	3以下	-

### 2.2 ふるい残分試験

当該試験は、JWWA K 113（水道用粉末活性炭）に従い実施した。ただし、本規格で使用する目開き 75 µm のふるいに加え、メーカー仕様を参考に目開き 45 µm のふるいでも同様の試験を実施した。

### 2.3 PFAS 除去率試験

調査対象とした PFAS (表-2) を淀川原水に 100 ng/L となるよう添加し、共栓付三角フラスコに 100 mL 分取した。ここに粉末活性炭試料をそれぞれ 0, 5, 10, 15, 20 mg/L となるようそれぞれ添加し、200 min<sup>-1</sup> で 15 分間振とう後、メンブレンフィルター (DISMIC 25CS (孔径 0.20μm、アドバンテック東洋株式会社製)) でろ過したものを試料とし、液体クロマトグラフ質量分析計 (LC-MS) で測定した<sup>4)</sup>。なお、実験は高水温期 (水温 31.1℃) 及び低水温期 (6.4℃) に実施した。

表-2 調査対象の PFAS

化合物名	略号	炭素数	化合物名	略号	炭素数
ペルフルオロアルキルスルホン酸	PFBS	4	ペルフルオロアルキルカルボン酸	PFBA	4
	PFHxS	6		PFPeA	5
	PFHpS	7		PFHxA	6
	PFOS	8		PFHpA	7
				PFOA	8
				PFNA	9

### 3 調査結果

#### 3.1 ふるい残分試験

粉末活性炭試料のふるい残分試験の結果を図-1 に示した。なお、目開き 75 μm のふるいによる残分を G75、目開き 45 μm のふるいによる残分を G45 と表記する。まず、G75 について、すべての粉末活性炭で 1% 以下となり、ほぼ差が認められなかった。一方、G45 について、標準炭では 11.4% と 10% を超過していたものの、すべての高機能炭で 10% 以下となり、また高機能炭 A (6.7%)、高機能炭 B (1.9%)、高機能炭 C (3.2%) で

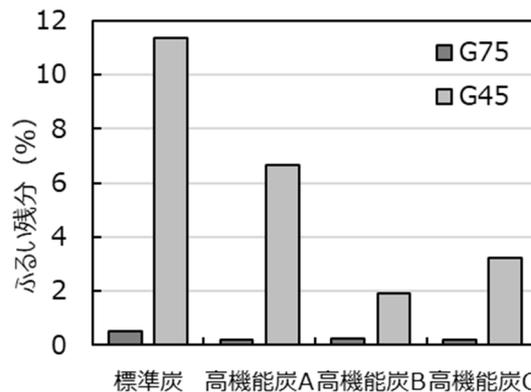


図-1 ふるい残分

結果に差が認められ、特に高機能炭 B 及び C がより粒径の細かい炭であることがわかった。これらのことから、品質規格値としてではなく、物性 (粒径) を評価する視点では、ふるい残分試験のふるい目を細かくすることで、粒径の差を定量的に評価できることが考えられた。

#### 3.2 PFAS 除去試験

粉末活性炭添加濃度による各 PFAS の平均除去率を表-3 に示した。いずれも粉末活性炭の添加濃度に応じて除去率が高くなる傾向がみられた。活性炭ごとの除去率については、高機

表-3 PFAS の平均除去率

	粉末活性炭添加濃度	粉末活性炭添加濃度							
		10 mg/L				20 mg/L			
		標準炭	高機能炭A	高機能炭B	高機能炭C	標準炭	高機能炭A	高機能炭B	高機能炭C
高水温期	PFBS	11.8	13.1	9.2	13.4	22.1	24.4	17.6	25.0
	PFHxS	23.6	24.9	33.1	30.4	41.6	43.7	55.2	51.5
	PFHpS	29.5	31.4	45.9	39.8	50.3	53.0	70.8	63.8
	PFOS	27.0	37.6	58.0	46.1	46.7	61.0	82.3	70.9
	PFBA	16.5	18.8	18.5	21.7	30.2	34.0	33.6	38.6
	PFPeA	11.6	12.5	9.2	11.7	21.8	23.4	17.5	22.0
	PFHxA	32.4	33.2	34.2	41.1	54.3	55.3	56.7	65.3
	PFHpA	18.5	19.5	21.3	24.0	33.5	35.2	38.0	42.2
	PFOA	24.5	24.3	32.9	29.0	43.0	42.7	55.0	49.5
PFNA	25.8	28.0	44.3	36.0	45.0	48.2	69.0	59.1	
低水温期	PFBS	11.5	13.2	12.8	14.9	21.7	24.7	24.0	27.5
	PFHxS	26.9	30.0	36.4	33.1	46.5	51.0	59.6	55.2
	PFHpS	29.9	38.7	48.0	41.5	50.8	62.4	73.0	65.8
	PFOS	38.4	45.2	56.3	47.1	62.0	70.0	80.9	72.0
	PFBA	1.9	3.5	3.4	4.8	3.7	6.9	6.8	9.3
	PFPeA	4.9	7.2	5.9	7.3	9.5	13.9	11.5	14.1
	PFHxA	10.1	12.9	11.9	14.1	19.1	24.1	22.4	26.2
	PFHpA	14.8	18.3	20.4	20.2	27.4	33.2	36.6	36.4
	PFOA	23.2	23.4	28.7	25.3	41.0	41.3	49.1	44.2
PFNA	28.8	35.7	42.4	34.9	49.2	58.6	66.8	57.6	

能炭 B 及び C で標準炭よりも高かった。一方で、高機能炭 A の除去率は標準炭とほぼ変わらなかった。これは、かび臭原因物質を対象に行った実験<sup>3)</sup>とほぼ同じ結果であり、高機能炭と標榜されている粉末活性炭が必ずしも標準炭より PFAS の除去率が優れるわけではないことが考えられた。

次に、図-2 に標準炭 20 mg/L 添加時における PFAS の炭素鎖長と除去率の関係を示した。スルホン酸系、カルボン酸系 PFAS とともに鎖長が 1 個長くなると除去率が約 10% 高くなり、また同じ鎖長ではスルホン酸系 PFAS はカルボン酸系 PFAS よりも約 20% 除去率が高かった。これは、有機物の疎水性が高いほど、粉末活性炭へ吸着されやすいとされており、炭素鎖が長いほど疎水性が高いことが原因であると考えた。また、同じ鎖長ではカルボン酸系 PFAS よりもスルホン酸系 PFAS の方がペルフルオロメチレン基 (-CF<sub>2</sub>-) を 1 個多く持つために疎水性が高くなるのが原因の一つとして考えられた。

図-3 には同一の添加条件における高水温期、低水温期の各 PFAS の除去率の関係を示した。比較的炭素鎖長が短く水溶性が高い PFBA 及び PFHxA を除き、ほとんどの物質が水温によらず同等の除去率を示した。かび臭原因物質を対象に行った実験<sup>3)</sup>では、水温で除去率に差が認められており、低水温期に高水温期よりも高い除去率を示していたが、PFAS では、このような結果が見られず、年間を通じてほぼ同じ除去率が期待されると考えられた。

また、PFAS 除去試験を行った中で、除去率が高かった高機能炭 B、C 間の PFAS の構造と除去率を比較したグラフを図-4 に示した。高機能炭 C では炭素鎖が短い物質の除去率が比較的高く、高機能炭 B では炭素鎖が長い物質の除去率が高い傾向がみられ、スルホン酸系 PFAS では C5、カルボン酸系 PFAS では C6~C7 を境に除去率が逆転した。これは、ヤシ殻原料の炭は木質原料の活性炭と比較すると小さい細孔が多く<sup>5)</sup>、比較

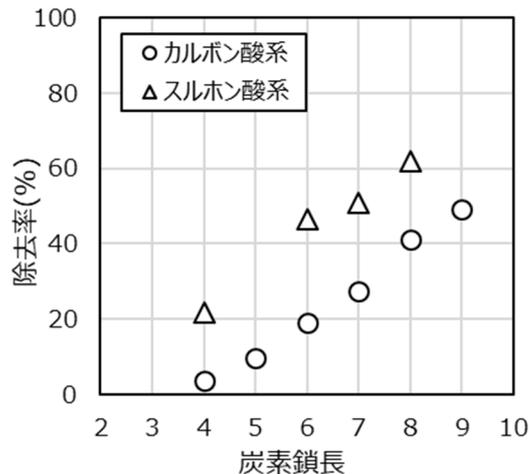


図-2 PFAS 構造と除去率の関係 (標準炭)

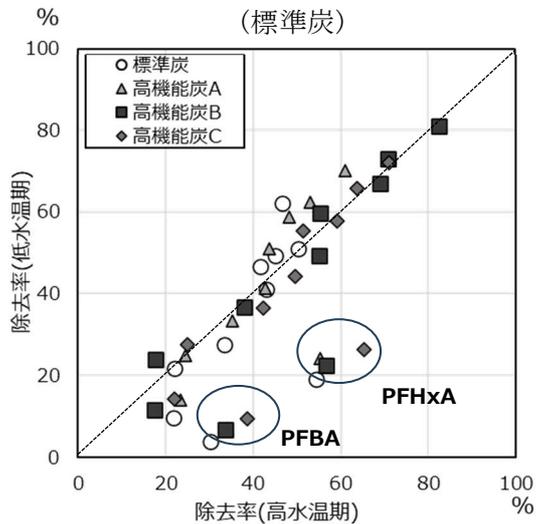


図-3 水温と PFAS 除去率の関係

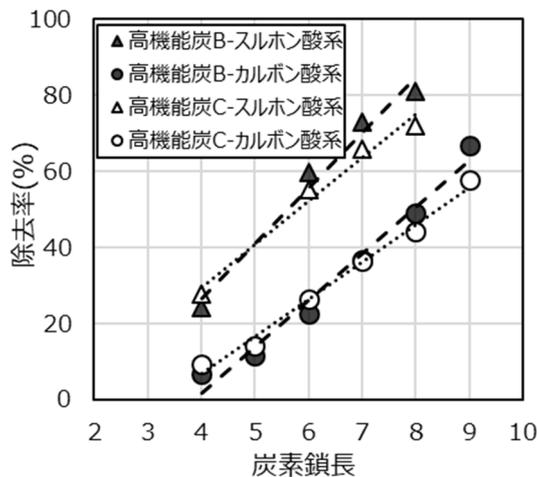


図-4 PFAS 構造と除去率の関係 (高機能炭 B、C)

的低分子量の物質が吸着されやすいためであると考えられた。このように、活性炭原料によっても PFAS の吸着特性に差がみられることがわかった。

### 3.3 ふるい残分と PFAS 除去率の関係

佐藤らの調査<sup>1)</sup>によると粉末活性炭の粒径はかび臭原因物質の除去性能に寄与する可能性が高いということから、PFAS でも同様の傾向がみられるか確認するため、各 PFAS の除去率とふるい残分 (G75, G45) との関係进行调查した。図-5 に PFOA, PFOS および PFHxS の結果を代表して示した。G75 はいずれの活性炭も大きな差がなかったため除去率との関係は明瞭にならなかったが、G45 では強い負の相関が確認された。これは調査対象とした他の PFAS でも同様の傾向がみられた。このことから、より粒径が細かい粉末活性炭の割合が多いほど PFAS の除去率が高いことが定量的に示されたことから、粉末活性炭の処理性を G45 として置き換え、PFAS 除去率が推算できることが分かった。

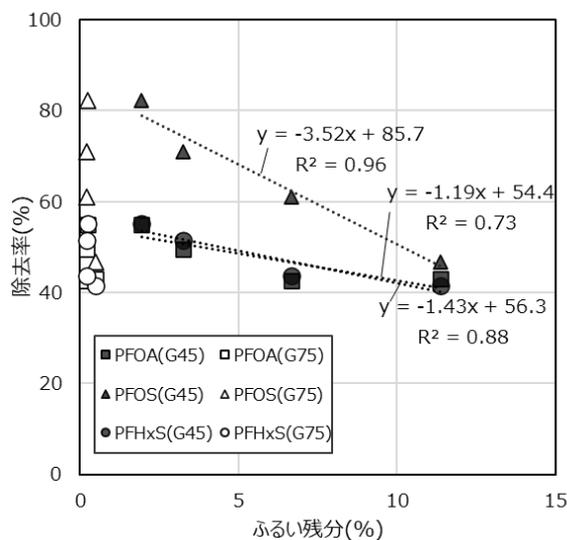


図-5 ふるい残分と PFAS 除去率の関係

## 4 まとめ

本調査により以下のことがわかった。

- ・粉末活性炭での PFAS 処理性を調査したところ、粉末活性炭の種類によって除去率に差が認められ、高機能炭 B 及び C で標準炭よりも除去率が高かった一方、高機能炭 A の除去率は標準炭とほぼ変わらなかったことから、高機能炭と標榜される粉末活性炭の有機物処理性が必ずしも優れているわけではないことが考えられた。
- ・粉末活性炭による PFAS の処理特性として、炭素鎖長が長くなるほど除去率が高く、スルホン酸系 PFAS はカルボン酸系 PFAS よりも除去率が高くなる傾向があった。また、水温による除去性の顕著な変化はみられず、ヤシ殻原料の粉末活性炭は、木質原料の活性炭と比較すると低分子量の PFAS が吸着されやすかった。
- ・G45 と PFAS 除去率には負の相関があり、粒径が細かいほど PFAS の除去率が高い傾向が確認された。このことから、高機能炭の処理性を G45 として置き換え、PFAS 除去率が推算できることが分かった。

今後も引き続き粉末活性炭の粒径等の指標から PFAS 処理性をはじめとした機能を定量的に評価することで、粉末活性炭の性能評価手法の検討を行っていく。

### 【参考文献】

- 1) 佐藤ら、高機能粉末活性炭の導入効果および今後の課題、令和 3 年度全国会議、p. 212-213
- 2) 菅波ら、高機能粉末活性炭の導入及び独自規格による評価、令和 2 年度全国会議、p. 218-219
- 3) 大井ら、高機能粉末活性炭によるかび臭原因物質の処理性評価、令和 7 年度全国会議
- 4) 鶴田ら、直接注入-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、令和 3 年度水質試験所年報 (第 73 集) (大阪市水道局)
- 5) 山下博史、活性炭の一般特性と用途について、資源処理技術、37 巻、2 号、1990、p. 82-86

# 大阪市水道局における TOP Assay 法による総 PFAS 実態把握に向けた取り組み

大阪市水道局 ○山田 圭一

吉村 誠司

## 1. はじめに

令和7年度より PFBS、PFBA、PFHxS、PFPeA、PFHxA、PFHpA、PFNA、HFPO-DA の8物質が要検討 PFAS として新たに要検討項目に追加され、令和8年度より PFOS 及び PFOA が水質基準項目に格上げされる予定である。一方で、PFAS には多種多様な物質が存在するため、PFAS の個別濃度のみならず総量として PFAS を評価する議論<sup>1)</sup>がなされている。海外においては PFAS の総量として、WHO では 500 ng/L (30 種 PFAS)、カナダでは 30 ng/L (25 種 PFAS)、欧州では 100 ng/L (20 種 PFAS) 及び 500ng/L (PFAS Total) が目標値等として提案<sup>2)</sup>されている。

当局では、検出された PFAS 種の総数(“総数 PFAS”)と各 PFAS 種の濃度の合算(“総量 PFAS”)に着目した水質監視を目指しており、令和5年度より高分解能質量分析計(LC-HRMS)を用いた PFAS の網羅的探索による原水及び浄水中に存在する“総数 PFAS”の実態把握に取り組んできた<sup>3)</sup>。本調査では酸化的な浄水処理における PFAS の生成リスクの把握、及び無数に存在する PFAS の“総量 PFAS”把握に向けて、全酸化可能前駆体分析法(TOP Assay)<sup>4)</sup>に着目し、本市の浄水処理過程の各工程水における酸化可能前駆体 PFAS の存在実態を調査した。

## 2. 全酸化可能前駆体分析法 (Total Oxidizable Precursor Assay, TOP Assay)<sup>4)</sup>

TOP Assay とは、試料中のペルフルオロアルキル酸 (PFAA) 前駆物質の酸化分解により生成する PFAA を PFAA 前駆物質として定量する手法であり、酸化分解した生成物を定量するという点では総リンや消毒副生成物生成能による評価と手法に類似している。TOP Assay 法における前駆物質例と本調査における分析対象 PFAA を図-1 に示す。PFAA 前駆物質は化学的に安定なペルフルオロアルキル鎖と酸化分解を受けやすい非フッ素化官能基を有しており、酸化分解により非フッ素化部位が酸化され、残存するペルフルオロアルキル鎖由来の PFAA を定量することで、PFAA 前駆物質の標準物質の入手や分析法の確立を要さず PFAA 前駆物質を含む PFAA の総量を定量することが可能である。また、酸化分解の前後の PFAA 濃度を比較することで PFAA 前駆物質の総量の把握も可能である。なお、本調査では図-1 に示す 19 種の PFAA を分析対象とした。

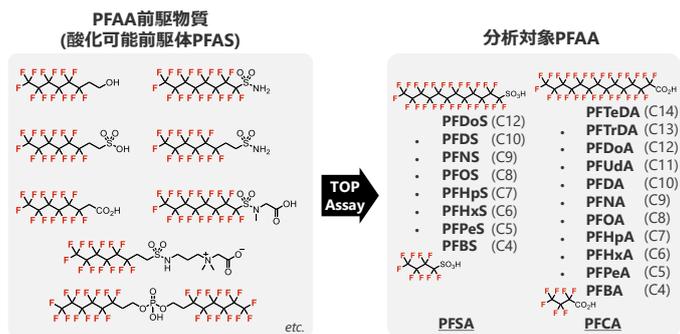


図-1 PFAA 前駆物質の例と測定対象 PFAA

## 3. 方法

### (1) 試薬

PFAS 標準品は Wellington Laboratories 製の PFAS 混合標準液 (PFAC-MXC)、サロゲート混合標準液 (MPFAC-ES)、前駆物質のポジティブコントロールの標準物質として Perfluorooctane sulfonamide (PFOSA) ならびに 6:2-Fluorotelomersulfonic acid (6:2 FTS) を使用した。精製水は Milli-Q 超純水製造装置 (Milli-Q Integral、メルク製) で精製したもの、前処理試薬のペルオキシ二硫酸カリウムは関東化学製、水酸化ナトリウム (特級) は富士フィルム和光純薬製を使用した。

### (2) 調査対象試料

降雨等の影響を受けず安定的な水質を示した令和7年8月26日の本市柴島浄水場の原水、凝集沈殿水、中オゾン処理水、急速砂ろ過水、後オゾン処理水、粒状活性炭(GAC)処理水、浄水の7検体とした。また、ポジティブコントロールとして、PFOSA 及び 6:2 FTS 標準液も未知試料と同時に一連の前処理をした。なお、浄水は3回分析し、濃度の平均値により評価した。

### (3) 試料の前処理法

TOP Assay 処理は既報<sup>5),6)</sup>を参考にし、**図-2**に示す手順で実施した。

50 mL ポリ容器で採水した試料(50 mL)に対してペルオキシ二硫酸カリウム(1.7 g)、10N 水酸化ナトリウム水溶液を添加し 85°Cで6時間加熱した。室温に戻した後、12N 塩酸(0.75 mL)、100 µg/L サロゲート標準液(5 µL)を添加した。その後、試料の全量を固相 Oasis Wax Plus(Waters 製)に通水し、固相を精製水で洗浄及び通気乾燥させた。アンモニア/メタノール(5 mL)を通水し溶出させ、1 mL まで濃縮(50 倍濃縮)、2000rpm で20分間遠心分離したものを分析試料とした。なお、ペルオキシ二硫酸カリウム及び水酸化ナトリウム水溶液を添加していない試料を「TOP Assay 前試料」、添加した試料を「TOP Assay 後試料」とし、前後の分析対象 PFAA 濃度を比較することにより PFAA 前駆物質(全酸化可能前駆体 PFAS)を調査した。

### (4) 分析条件

既報<sup>7)</sup>の分析条件に従い、液体クロマトグラフトリプル四重極型質量分析計(LC-MS/MS、島津製作所製)を使用し、検量線は50倍濃縮換算濃度で各1~30 ng/Lの範囲、サロゲート濃度は50倍濃縮換算濃度で各10 ng/Lとした。

### (5) ポジティブコントロールの TOP Assay 処理

TOP Assay 処理のポジティブコントロールとして、分解率が既知<sup>5)</sup>の前駆物質の PFAS である PFOSA 及び 6:2 FTS を対象に、精製水系でそれぞれ調製した 100 ng/L 標準液 50 mL により TOP Assay 処理の進行を確認した。なお、分析対象の各 PFAA の回収率及び前駆物質の残存率は物質質量(mol)で算出した。

## 4. 結果・考察

### (2) 前処理法の妥当性検証

#### ① 固相抽出操作

本調査で採用した固相抽出操作における作業環境から試料への PFAA の汚染濃度を評価するため、TOP Assay 前処理試料として同一の浄水試料の前処理操作を3回繰り返して分析した際の、サロゲート物質の変動係数を**表-1**、分析対象 PFAA の濃度の平均値及び標準偏差を**表-2**に示す。

いずれのサロゲート物質についても面積値の変動係数は小さいため、固相抽出操作における PFAA の損失の変動及び LC-MS/MS 分析における検出感度の変動は小さいと考えられた。その一方で分析対象 PFAA については、PFBA 及び PFHxA の濃度の標準偏差が大きいため、前処理操作において 5 ng/L 以上の PFAA の汚染が疑われた。したがって、本調査における以降の検討では、標準偏差が1以下であった17種 PFAA については、各1~30 ng/Lの範囲で評価し、PFBA 及び PFHxA については、各10~30 ng/Lの範囲で有効数字1桁として評価した。

なお、PFBA 及び PFHxA については、国内に水道水中の指標値等はなく、米国イリノイ州 EPA が定めている飲料水中指標値ではそれぞれ PFBA: 3800ng/L<sup>8)</sup>、PFHxA: 1900 ng/L<sup>9)</sup>であるため、十分に評価が可能で

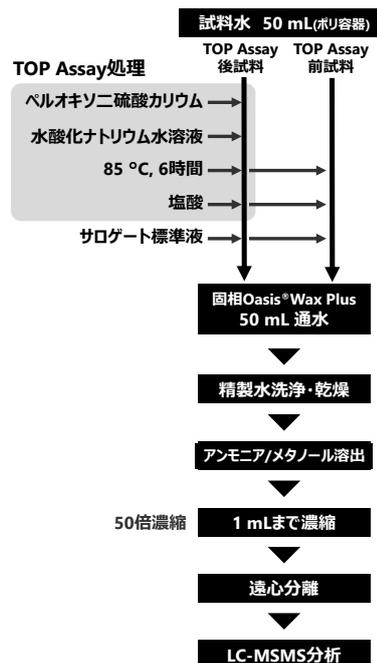


図-2 前処理のフロー図

表-1 浄水中サロゲート物質の変動係数

サロゲート物質 (10 ng/L相当)	面積値 (n=3) 変動係数(%)
<sup>13</sup> C3-PFBS	2
<sup>13</sup> C3-PFHxS	2
<sup>13</sup> C8-PFOS	2
<sup>13</sup> C4-PFBA	1
<sup>13</sup> C5-PFPeA	1
<sup>13</sup> C5-PFHxA	1
<sup>13</sup> C4-PFHpA	0
<sup>13</sup> C8-PFOA	0
<sup>13</sup> C9-PFNA	0
<sup>13</sup> C6-PFDA	1
<sup>13</sup> C7-PFUdA	4
<sup>13</sup> C2-PFDoA	2
<sup>13</sup> C2-PFTeDA	7

表-2 浄水中測定対象 PFAA の平均値及び標準偏差

測定対象 PFAA	濃度 (n=3) (ng/L)	
	平均値	標準偏差
PFBS	1	0
PFPeS	<1	-
PFHxS	<1	-
PFHpS	<1	-
PFOS	1	1
PFNS	<1	-
PFDS	<1	-
PFDoS	<1	-
<b>PFBA</b>	<b>17</b>	<b>3</b>
PFPeA	5	0
<b>PFHxA</b>	<b>12</b>	<b>4</b>
PFHpA	3	1
PFOA	7	0
PFNA	1	0
PFDA	<1	-
PFUdA	<1	-
PFDoA	<1	-
PFTeDA	<1	-

あると考えられた。

## ② ポジティブコントロールの TOP Assay 処理

PFOSA 及び 6:2 FTS を TOP Assay 処理した結果の各 PFAA の回収率を図-3 に示す。

PFOSA の系においては、本実験では PFOA が 93%回収率、PFOSA が 3%残存率であった。既報では PFOA が 97%回収率であったため PFOSA の分解が本実験系で進行していることが確認できた。また、6:2 FTS の系においては、本実験では PFHpA、PFHxA、PFPeA、PFBA が各 6、30、29、75%の回収率、6:2 FTS が 1%未満の残存率であった。既報では各 2、22、27、22%の回収率であり、PFHpA 及び PFPeA の結果より 6:2 FTS の酸化分解が進行していることは確認された。なお、PFBA 及び PFHxA の回収率が高い結果については、先述の固相抽出操作における PFBA と PFHxA の汚染の影響によるものと考えられた。

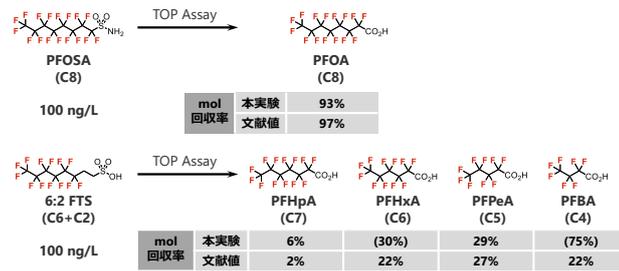


図-3 ポジティブコントロールにおける各 PFAS の回収率

これらから、本調査における TOP Assay 処理は既報のとおり進行したと考えられた。

## (3) 浄水処理過程の各工程水の TOP Assay 処理

浄水処理過程の各工程水について、TOP Assay 処理前試料及び TOP Assay 後試料の PFBA 及び PFHxA を除く 17 種の PFAA の分析結果を図-4、PFBA 及び PFHxA の分析結果を図-5 に示す。

PFAA および PFAA 前駆物質の和 (TOP Assay 後試料) については、17 種 PFAA のうち、PFBS、PFHxS、PFOS、PFPeS、PFHpA、PFOA、PFNA の 7 物質が原水～後オゾン処理水の各試料から 1 ng/L 以上検出されたが、本市の GAC 処理によって概ね 30～40%程度が除去された。

PFAA 前駆物質 (各工程の TOP Assay 前後試料の差) については、本調査で検出された 7 種の PFAA の増加幅が約 10ng/L 未満であった。PFPeA は原水～後オゾン処理水まで TOP Assay 前後で 1～2 ng/L 程度の増加が見られたが、GAC 処理水以降では濃度差が消失した。このことから、PFPeA 前駆物質は本市の後オゾンまたは GAC 処理によって除去されていることが示唆された。PFPeA を除く 6 種の PFAA については、原水～浄水のいずれの試料においても TOP Assay 前後試料で PFAA 濃度の増加幅 (PFAA 前駆物質) は 1 ng/L 未満であった。

以上より、本市の浄水においては PFBA 及び PFHxA を除く 17 種 PFAA の前駆物質は 1 ng/L 未満であると考えられた。

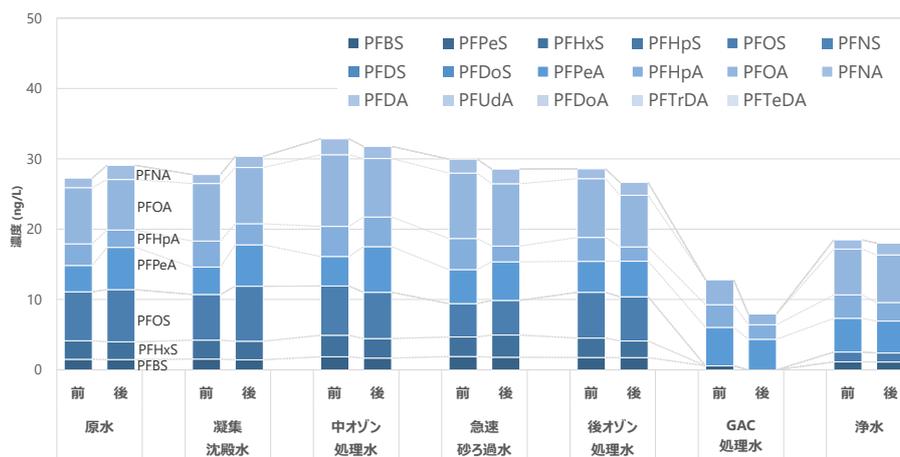


図-4 TOP Assay 前後の 17 種 PFAA の分析結果

また、PFBA 及び PFHxA については、原水～浄水まで TOP Assay 前後において PFAA 濃度の増加幅は 10 ng/L 未満であった。このことから、本市処理過程水の PFBA 及び PFHxA 前駆物質は 10 ng/L 未満であると考えられた。

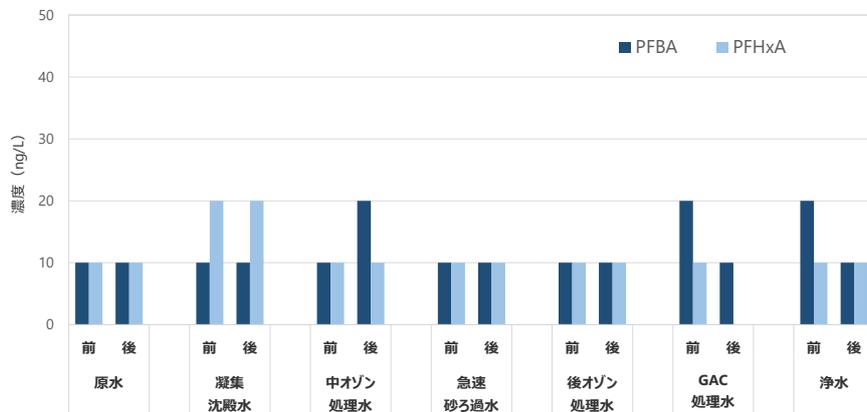


図-4 TOP Assay 前後の PFBA 及び PFHxA の分析結果

## 5. まとめ

- (1) PFOSA 及び 6:2 FTS の TOP Assay 処理の妥当性検証では、PFBA と PFHxA の回収率を除き、既報と概ね一致する結果が得られた。
- (2) 浄水処理過程においては、PFPeA が TOP Assay 前後で 1~2 ng/L の差が確認されたが、本市の後オゾンまたは GAC 処理によって PFPeA 前駆物質は除去されていた。また、本市の浄水からは PFAA 前駆物質は検出されなかった。

今後はこれまでの LC-HRMS を用いた PFAS の網羅的分析による“総数 PFAS”の評価技術と TOP Assay による前駆体 PFAS を含む“総量 PFAS”の評価技術を基軸として、新たな PFAS の存在実態把握に向け、PFAS 監視体制のさらなる強化に取り組んでいく。

## 参考文献

- 1) 環境省：令和 4 年度 第 2 回水質基準逐次改正検討会
- 2) 環境省：令和 6 年度 第 2 回水質基準逐次改正検討会
- 3) 山田圭一、柳瀬剛士、吉村誠司：大阪市水道局における新興 PFAS 実態把握への取り組み (I) - 高分解能質量分析計による探索 -、令和 7 年度水道研究発表会、日本水道協会、806-807 (2025)。
- 4) 三宅祐一：ペル及びポリフルオロアルキル化合物 (PFAS) の包括管理に向けて、ぶんせき、12、532-533、(2023)。
- 5) Sedlak, D.L., Houtz, E.F.: Oxidative Conversion as a Means of Detecting Precursors to Perfluoroalkyl Acids in Urban Runoff, Environ. Sci. Technol. 46(17), 9342-9349 (2012) .
- 6) 柿並正剛、市原真紀子、浅川大地、東條俊樹、山下信義、谷保佐知：第 4 回 環境化学物質合同大会、日本環境化学会、741-742 (2025)。
- 7) 鶴田朋子、今中壮一：直接注入-液体クロマトグラフ-質量分析法による PFASs の分析法の検討、水道協会雑誌、94(4)、18-29 (2025)。
- 8) Illinois EPA: HEALTH ADVISORY UPDATE FOR PERFLUOROBUTANOIC ACID (PFBA) CHEMICAL ABSTRACT SERVICES REGISTRY NUMBER (CASRN) 375-22-4. (2025, April 11)
- 9) Illinois EPA: HEALTH ADVISORY UPDATE FOR PERFLUOROHXANOIC ACID (PFHxA) CHEMICAL ABSTRACT SERVICES REGISTRY NUMBER (CASRN) 307-24-4. (2025, April 11)

# 要検討 PFAS の存在実態と浄水処理性の調査

大阪市水道局 ○吉田 春香  
柳瀬 剛士  
吉村 誠司

## 1. はじめに

水道水質管理における PFAS について、令和 7 年 6 月より PFBS、PFBA、PFHxS、PFPeA、PFHxA、PFHpA、PFNA、HFPO-DA の 8 物質が要検討 PFAS として要検討項目に追加された<sup>1)</sup>。これらの物質は現時点で毒性評価が定まっていないか存在量が不明であるため、広く情報・知見の収集を行うことが求められている。

当局ではすでに要検討 PFAS を構成する物質について、淀川水系における実態調査を進めている。そこで平成 19 年度から現在まで当局が実施してきた要検討 PFAS を含めた水道水源における存在実態と浄水処理過程における浄水処理性の調査結果について報告する。

## 2. 調査方法

### (1) 調査対象物質及び分析方法

実態調査では、表 1 に示す 8 種の要検討 PFAS を調査対象とした。PFBS、PFBA、PFHxS、PFPeA、PFHxA、PFHpA、PFNA の 7 物質については平成 19 年度、HFPO-DA は令和 7 年度より調査を開始した。

除去性調査では、前述の要検討 PFAS のうち実態調査において 5 ng/L 以上検出された PFBA、PFHxA と、比較対象のためにカルボン酸系の代表物質である PFOA を加えた 3 種を調査対象とした。

また、分析方法は既報の通りである<sup>2~5)</sup>。

### (2) 実態調査

#### ①水道水源

調査地点を図 1 に示す。淀川本川 8 地点（瀬田川大橋、木津川御幸橋、宇治川御幸橋、桂川宮前橋、枚方大橋左岸及び右岸、鳥飼大橋左岸及び右岸）・支川 5 地点（穂谷川、黒田川、天野川、安居川、芥川の淀川合流付近）で採水し、要検討 PFAS 濃度を測定した。

#### ②浄水処理過程

当局柴島浄水場の処理フローを図 2 に示す。柴島浄水場下系の原水及び浄水を採水し、要検討 PFAS 濃度を測定した。

### (3) 処理性調査

PFAS の除去は活性炭が有する物理吸着能に由来するため、GAC 吸着池を対象として要検討 PFAS の除去性を調査した。採水場所は図 2 における柴島浄水場下系 GAC 吸着池の流入部および流出部とした。除去率は、各 PFAS の流入水濃度と流出水濃度から算出した。当局では経済性と PFAS の処理性を両立させるため、5 年ですべての GAC 吸着池が更新されるように毎年数池ずつ更新する分散更新を採用している。そこで交換後 0 年目～4 年目までの各 GAC 吸着池において月 1 回の頻度で 1 年間継続して調査し、0～60 ヶ月までの粒状活性炭の使用月数に対する除去率の変化を評価した。

## 3. 調査結果

### (1) 令和 7 年度の淀川水系における要検討 PFAS の検出状況

図 3 に令和 7 年度の淀川本川における要検討 PFAS の調査結果を示す。淀川本川において、スルホン酸系

表 1. 調査対象 PFAS

	調査対象物質
スルホン酸系	PFBS
	PFHxS
カルボン酸系	PFBA
	PFPeA
	PFHxA
	PFHpA
	PFNA
	HFPO-DA



図 1. 水道水源の調査地点

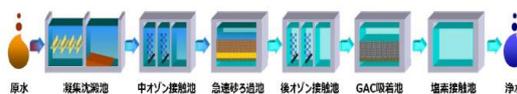


図 2. 当局高度浄水処理フロー

と比べカルボン酸系 PFAS の濃度が高い傾向であった。中でも比較的炭素鎖が短いカルボン酸系である PFHxA、PFBA が、8 地点中 6 地点で他のカルボン酸系に比べ高濃度で検出された。また PFBS に関して、枚方大橋左岸、鳥飼大橋左岸で 1ng/L 程度検出された一方、対岸の枚方大橋右岸、鳥飼大橋右岸では検出されないという特徴がみられた。これは淀川へ合流する三川のうち唯一 PFBS が含まれていた左岸側の木津川が影響していることを示唆している。PFHxS は、左岸側の木津川と右岸側の桂川に共に含まれていたため、下流でも左岸、右岸ともに検出されていた。また HFPO-DA は桂川以外の全ての地点で 2～5 ng/L 程度検出された。

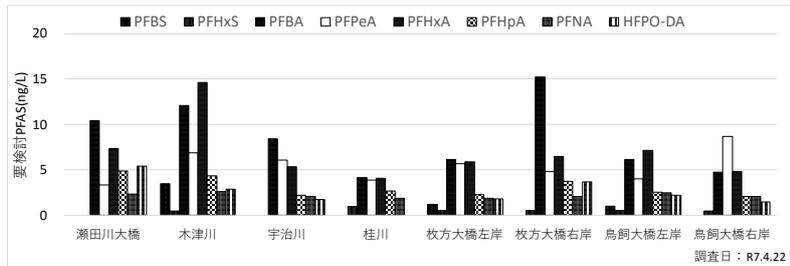


図 3. 令和 7 年度淀川本川における要検討 PFAS

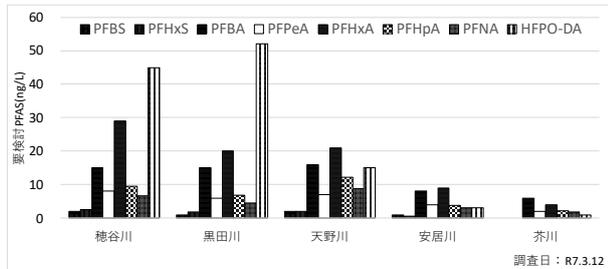


図 4. 令和 7 年度淀川支川における要検討 PFAS

図 4 に令和 7 年度の淀川支川における結果を示す。スルホン酸系 PFAS の PFBS、PFHxS は淀川支川においてはどの地点においても 3 ng/L 程度であり、要検討 PFAS の中で占める割合は小さかった。カルボン酸系 PFAS である HFPO-DA は穂谷川、黒田川では 50ng/L 程度、天野川では 15ng/L が検出され、他の地点と比べて濃度が高い傾向にあった。また、HFPO-DA を除いた要検討 PFAS の組成は、5 地点で類似していた。なお、これらの濃度については、淀川流量に占める各支川の流量の割合が 1/1000～1/100 程度であることを考慮すると、淀川本川に大きな影響を与える濃度レベルではないと考えられた。

## (2) 淀川水系における要検討 PFAS 検出推移

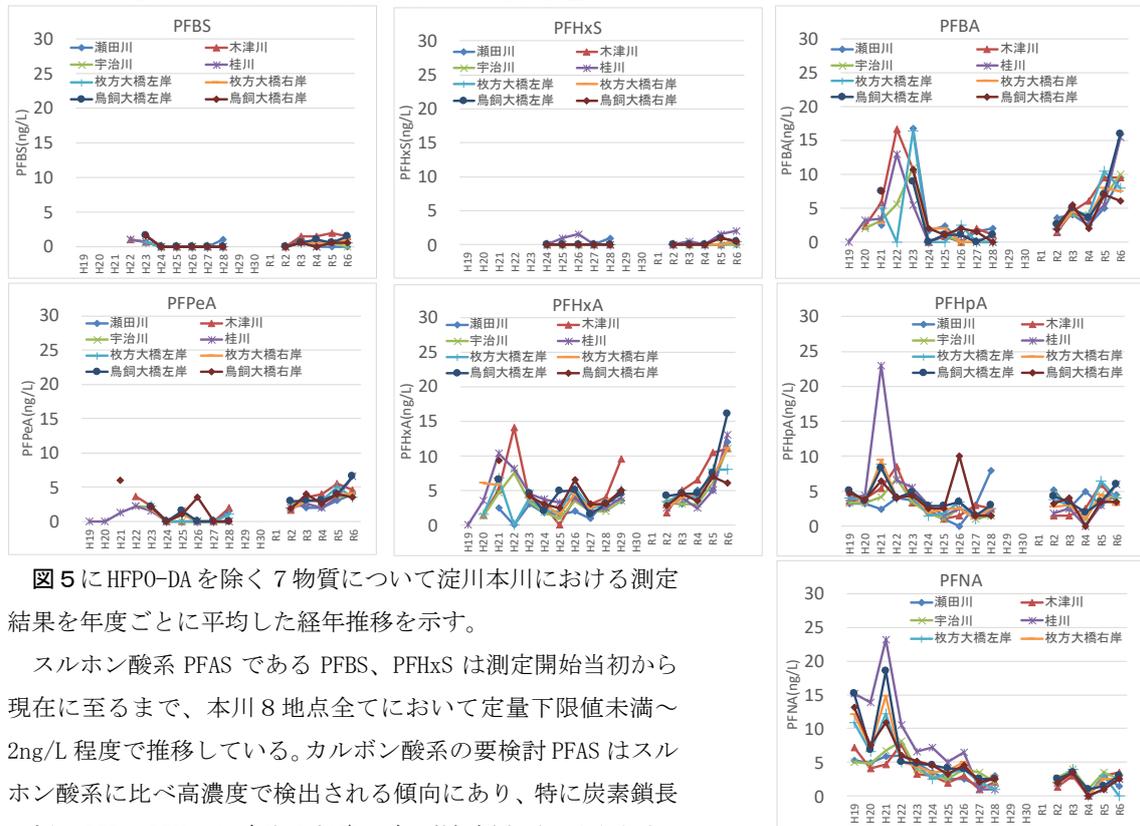


図 5 に HFPO-DA を除く 7 物質について淀川本川における測定結果を年度ごとに平均した経年推移を示す。

スルホン酸系 PFAS である PFBS、PFHxS は測定開始当初から現在に至るまで、本川 8 地点全てにおいて定量下限値未満～2ng/L 程度で推移している。カルボン酸系の要検討 PFAS はスルホン酸系に比べ高濃度で検出される傾向にあり、特に炭素鎖長の短い PFBA、PFHxA は令和 2 年度以降、増加傾向が認められた。

図 5. 淀川本川の要検討 PFAS 平均推移

同じく短鎖の PFPeA も増加傾向はみられるが、PFBA、PFHxA と比較しその増加幅は小さい。PFHpA は 5 ng/L 程度を横ばいで推移している。炭素鎖の長い PFNA は減少傾向にあり近年は 3 ng/L 程度で推移している。

### (3) 令和 7 年度の柴島浄水場における要検討 PFAS の検出状況

図 6 に令和 7 年度の柴島浄水場における要検討 PFAS の調査結果を示す。柴島浄水場の原水では PFHxA が 5～20ng/L 程度検出され、どの調査月においても要検討 PFAS の中で最も多い割合を占めていた。またスルホン酸系 PFAS の PFBS、PFHxS は 2 月 3 月では定量下限値未満であったのに対し、8 月に 1～3 ng/L 程度検出されている。さらに PFHxA は 15ng/L 程度変動している。これらの結果から、

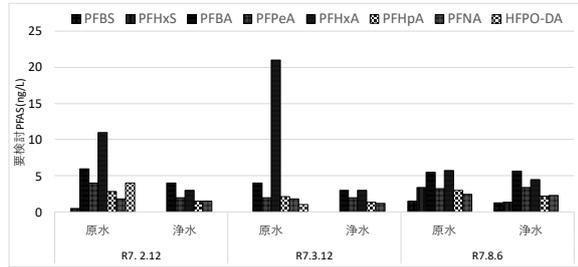


図 6. 柴島浄水場における原水浄水の要検討

一部の要検討 PFAS は通年で一定ではなく、日間あるいは月間等で変動が起きている可能性が示唆された。

また当局施設における活性炭の更新が令和 6 年 11 月、令和 7 年 1 月、2 月に行われており、更新直後の 2 月 3 月は活性炭の PFAS 処理能力が高く浄水への流出が抑えられていたが、半年後の 8 月には処理能力が低下し浄水への流出が増加したと考えられる。

### (4) 柴島浄水場における要検討 PFAS の検出推移

図 7 に柴島浄水場原水および浄水における測定結果を年度ごとに平均した経年推移を示す。

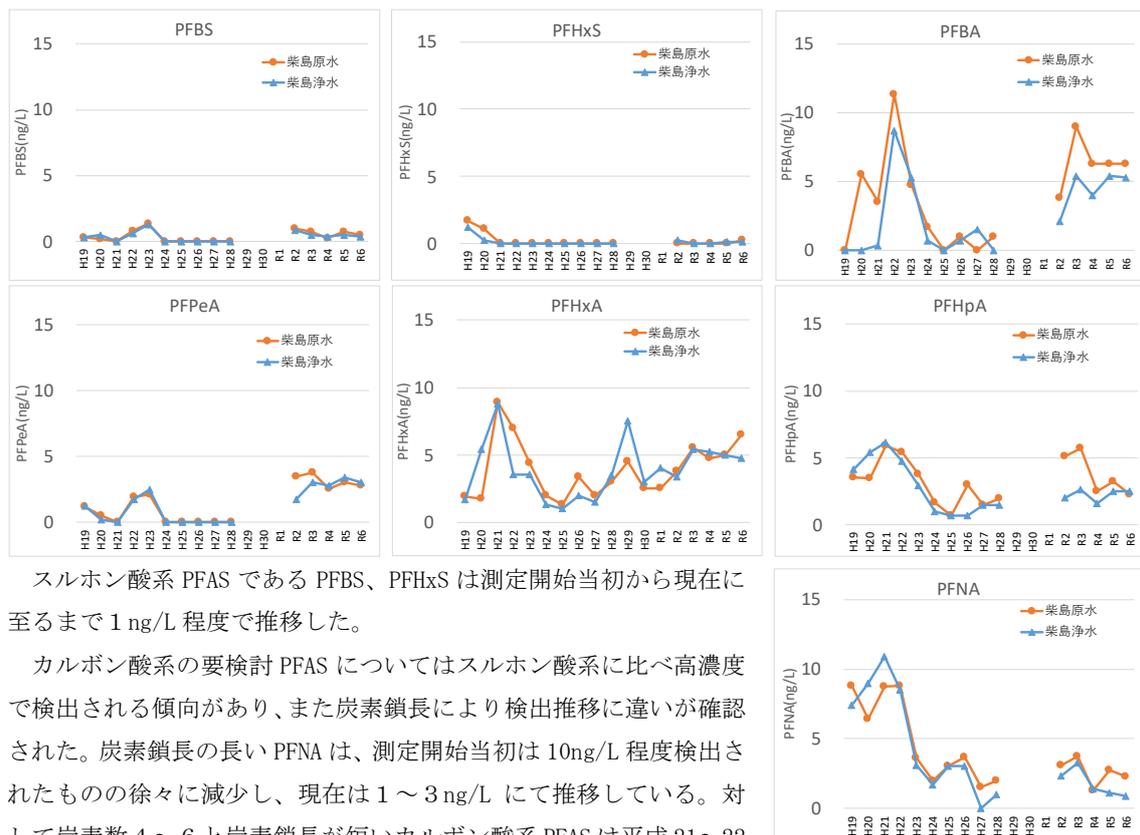


図 7. 柴島浄水場下系における要検討 PFAS 平均濃度推移

スルホン酸系 PFAS である PFBS、PFHxS は測定開始当初から現在に至るまで 1 ng/L 程度で推移した。

カルボン酸系の要検討 PFAS についてはスルホン酸系に比べ高濃度で検出される傾向があり、また炭素鎖長により検出推移に違いが確認された。炭素鎖長の長い PFNA は、測定開始当初は 10ng/L 程度検出されたものの徐々に減少し、現在は 1～3 ng/L にて推移している。対して炭素数 4～6 と炭素鎖長が短いカルボン酸系 PFAS は平成 21～22 年にピークを迎えた後に低下していたが、令和 2 年度以降に再び増加傾向にある。炭素数 7 の PFHpA は平成 24 年よりは微増傾向にあるものの、顕著な増加は認められなかった。炭素鎖長の短いカルボン酸系の PFAS が規制対象の PFOS・PFOA の代替物質として増加してきている可能性があると考えられる。これらの物質はいずれも日本での目標値は設定されていないが、世界的には、米国にて PFHxS、PFNA、HFPO-DA の水質基準がそれぞれ 10ng/L と定められており<sup>6)</sup>、当局浄水においてもこれを超過していないことが確認された。しかしながら、原水で検出

された PFAS の浄水処理性はあまり期待できないことから、今後も継続して検出状況を監視していく必要があると考えられた。

### (5) 要検討 PFAS の粒状活性炭処理性調査

各物質の粒状活性炭使用月数に対する除去率の変化を図 8 に示す。PFOA の除去率は 10 ヶ月までは 100% に近い除去率を示している。しかし、それ以降は除去率が低下し-60%~20%を推移し、除去性能が徐々に失われたことが示唆された。PFHxA は 6 ヶ月までは除去率 100%を示したものの、10 ヶ月以降は除去性能が低下した。また、PFBA は使用開始時より-20~20%を推移し、殆ど除去性能を示していないことがわかった。以上の結果より、一部の要検討 PFAS については粒状活性炭による吸着除去が難しいことが示唆された。

今回の調査において炭素数 8 の PFOA、6 の PFHxA、4 の PFBA と炭素鎖長が短くなるにつれて GAC 吸着池における除去性能が期待できる期間が短くなる傾向が確認された。炭素鎖長が短くなるにつれて各 PFAS の水溶解度が大きくなり、活性炭による物理吸着能が期待できなくなると推察された。

このことから、今後の PFAS の規制動向によっては、要検討 PFAS の除去を目的とした浄水処理技術の検討が必要となる可能性が考えられる。

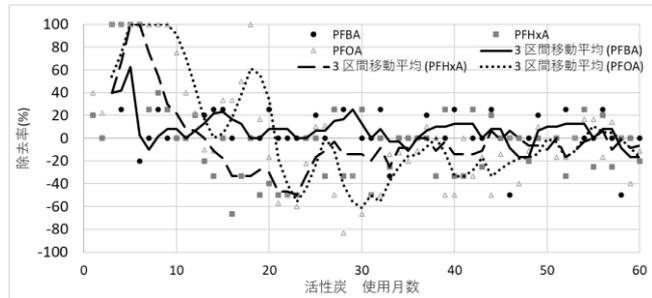


図 8. 活性炭使用月数に対する要検討 PFAS 除去率の推移

## 4. まとめ

- 1) 令和 7 年度に淀川本川・支川における要検討 PFAS の実態調査を行ったところ、カルボン酸系 PFAS の濃度がスルホン酸系 PFAS に比べて高い傾向にあった。また本川については木津川由来の左岸と桂川由来の右岸で要検討 PFAS の組成が類似していた。また支川において HEPO-DA が検出される特徴がみられ、HEPO-DA を除く要検討 PFAS の組成が 5 地点とも類似していた。
- 2) 平成 19 年から令和 6 年にかけて要検討 PFAS の物質ごとの濃度推移を調査したところ、その経年推移は淀川本川と柴島下系で同傾向であった。
- 3) 粒状活性炭の処理性は、PFOA、PFHxA、PFBA と炭素鎖長が短くなるほど短期間で低下することが示唆された。

なお、PFOS 及び PFOA を除く PFAS は現時点で日本国内において毒性評価が定まっておらず水質基準等の設定に至っていないが、諸外国における飲料水の指標値等を定める動きもあることから、これらの社会的要請にも注視しつつ、水道水の安全性確保に努める。

## 参考文献

- 1) 環境省：水質基準に関する省令の一部改正及び水道法施行規則の一部改正等について（施行通知）、環水大管発第 2506302 号（2025）
- 2) 吉村ら：淀川水系を取り巻く有機フッ素化合物（PFCs）の変遷と大阪市の取り組み、日本水道協会関西地方支部第 59 回研究発表会概要集、107-110（2016）
- 3) 板倉ら：淀川水系における有機フッ素化合物（PFCs）の実態調査、日本水道協会全国会議講演集、674-675（2021）
- 4) 鶴田ら：直接注入-液体クロマトグラフ-質量分析法による PFASs の分析法の検討、水道協会雑誌、94（4）、18-29（2025）
- 5) 柳瀬ら：大阪市水道局における新興 PFAS 実態把握への取り組み（II）-浄水処理過程の各種 PFAS 実態調査-、日本水道協会全国会議講演集（掲載予定）（2025）
- 6) US EPA: Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Final PFAS National Primary Drinking Water Regulation (2024 年 4 月 10 日制定)

# 琵琶湖南湖を原水とした場合の粉末活性炭による PFAS 除去の検討

京都市上下水道局 ○佐久間 宙 澤野井 敦  
東野 亮司 片岡 稔之  
中村 暁彦 藤原 俊一郎

## 1. はじめに

有機フッ素化合物である PFAS のうち、PFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）及び PFOA（ペルフルオロオクタン酸）は、令和 8 年度から水道水質基準項目に設定される。また、PFHxS（ペルフルオロヘキサンスルホン酸）に加えて、PFBS（ペルフルオロブタンスルホン酸）等の 7 種の PFAS は、令和 7 年 6 月に要検討項目に設定された（要検討 PFAS）。

これらの PFAS の浄水処理における除去方法については、本市で用いている粉末活性炭（以下、粉炭）は効果が認められている<sup>1)</sup>ものの、原水水質によって効果に差が生じると考えられる。既報<sup>2)3)</sup>では、水道水源とする琵琶湖南湖を原水として、粉炭注入率、水温及び pH の変化や妨害物質の有無に着目して、粉炭によって PFOS 及び PFOA がどの程度除去可能であるか検討した。本稿では同様に琵琶湖南湖を原水として、PFOS、PFOA 及び複数の要検討 PFAS に対する粉炭による除去性能について、粉炭の二段注入の有効性も含めて検討した結果を報告する。

## 2. 調査方法

### (1) 試料水

以下の 3 種類の試料に対し、各 25ng/L 相当の PFOS、PFOA 及び複数の要検討 PFAS を含む標準液（Wellington 社製「PFAC-MXB」）を添加したものを試験に供し、比較検討を行った。

#### ① 原水

蹴上浄水場の原水。元々含有する PFOS、PFOA 及び複数の要検討 PFAS は、全ての調査日においてそれぞれ 4ng/L 以下であった。

#### ② 急速かくはん池水

原水に粉炭（8mg/L）、pH 調整用炭酸ガス及び PACl（塩基度 70%、注入濃度 27ppm）が添加され、急速かくはん処理がなされたもの

#### ③ ちんでん水

急速かくはん池水に凝集ちんでん処理がなされたもの

### (2) 粉炭

蹴上浄水場で使用している朝日汙過材(株)製ゼオコール PWC-A（高機能木質系 dry 炭、ヨウ素吸着性能：1010mg/g）を使用した。

### (3) 対象物質及び試薬等

対象物質は、標準液に含まれるペルフルオロアルキルスルホン酸の 3 物質（炭素数 4、6 及び 8）及びペルフルオロアルキルカルボン酸の 6 物質（炭素数 4～9）とした（表 1、測定対象 PFAS）。

表 1 測定対象物質

化合物名	ペルフルオロアルキルスルホン酸			ペルフルオロアルキルカルボン酸					
	略号	炭素数	炭素数	炭素数	炭素数	炭素数	炭素数	炭素数	炭素数
PFBS	PFHxS	PFOS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	
	4	6	8	4	5	6	7	8	9

(4) 試験条件

原水、急速かくはん池水及びちんでん水を試料とした比較検討（表 2）を行うこととし、それぞれの条件でジャーテストにより粉炭と接触させた試料を固相抽出し、LC/MS/MS で測定した（表 3）。固相抽出における固相カラムは Waters 社製の Oasis HLB Plus を用い、濃縮倍率は 500 倍である。各試料は採水後速やかにジャーテストを行っており、同条件の試験を異なる調査日において 1 回ずつ、合計 2 回行った平均値を記載している。

表 2 原水、急速かくはん池水及びちんでん水を試料とした比較検討試験条件

測定対象PFAS添加量	25ng/L	
粉炭添加量	0、5、10、15、20mg/L (wet炭換算：0、10、20、30、40mg/L)	
水温	25°C	
pH	原水：8.8 急速かくはん池水：7.6 ちんでん水：7.7	
UV260	原水：0.036 急速かくはん池水：0.032 ちんでん水：0.012	
ジャーテスト	かくはん速度	60rpm
	かくはん時間	60分

表 3 LC/MS/MS 測定条件

項目	設定値
HPLC	Exion LC AC(島津製作所)
MS	QTRAP4500(SCIEX)
移動相種類	A:2.5mmol/L酢酸アンモニウム水溶液 B:アセトニトリル(PFOS・PFOA用)
移動相条件	A:95%(0min)→2%(16.5-18min) →95%(18.1-24.6min)
カラム流量	0.35mL/min
オープン温度	40°C
注入量	5μL
イオン源温度	400
イオン化電圧	-4500
イオン化方法	ESI法ネガティブモード
カーテンガス圧力	25psi
ガス1圧力	40psi
ガス2圧力	70psi

3. 調査結果

(1) 原水、急速かくはん池水及びちんでん水を試料とした比較検討

測定対象 PFAS の除去率の結果を図 1~3 に示す。除去率は、定量下限値 (2ng/L) 未満の値は 0ng/L として計算しており、PFBA 及び PFPeA の結果のうち、除去率が負の値となったものの値は 0%としている。測定対象とした全ての PFAS において、原水での除去率が最も低くなり、ちんでん水より急速かくはん池水の除去率のほうが高い傾向がみられた。これは、原水中には妨害物質が存在することと、急速かくはん池水には前段の粉炭接触池で添加された粉炭 (8mg/L (dry 炭)) が含まれており、添加濃度以上の吸着能があったことが主な原因と考えられる。また、この結果から、粉炭の二段注入を行う場合の二段目の注入箇所として、ちんでん池 (後粉炭) だけでなく急速かくはん池 (中粉炭) も PFAS 除去には有効であることが示唆された。

PFAS の官能基に着目すると、カルボン酸とスルホン酸の化合物に分類できる。同一の官能基の化合物で比較すると、炭素鎖が長いほど、また同一の炭素鎖の化合物では、カルボン酸よりスルホン酸の化合物のほう

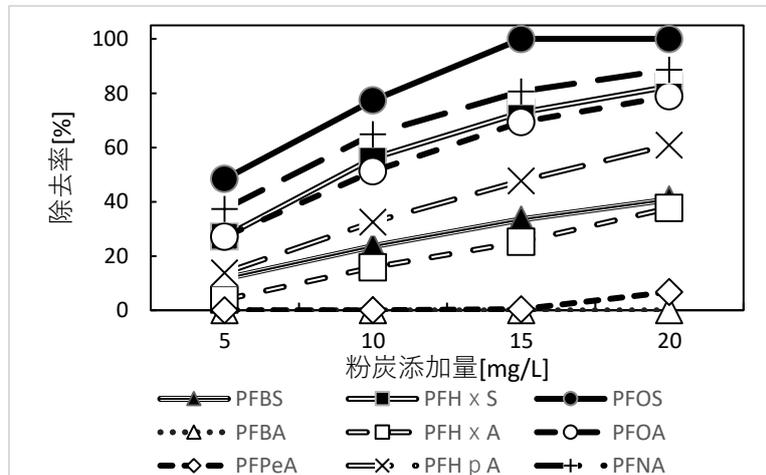


図 1 原水での除去率

が、除去率がより高くなり、一定の除去率の達成に必要な粉炭添加量も少なくなる傾向がみられた。特に PFBA については、今回の粉炭濃度範囲での除去率は著しく低かった。

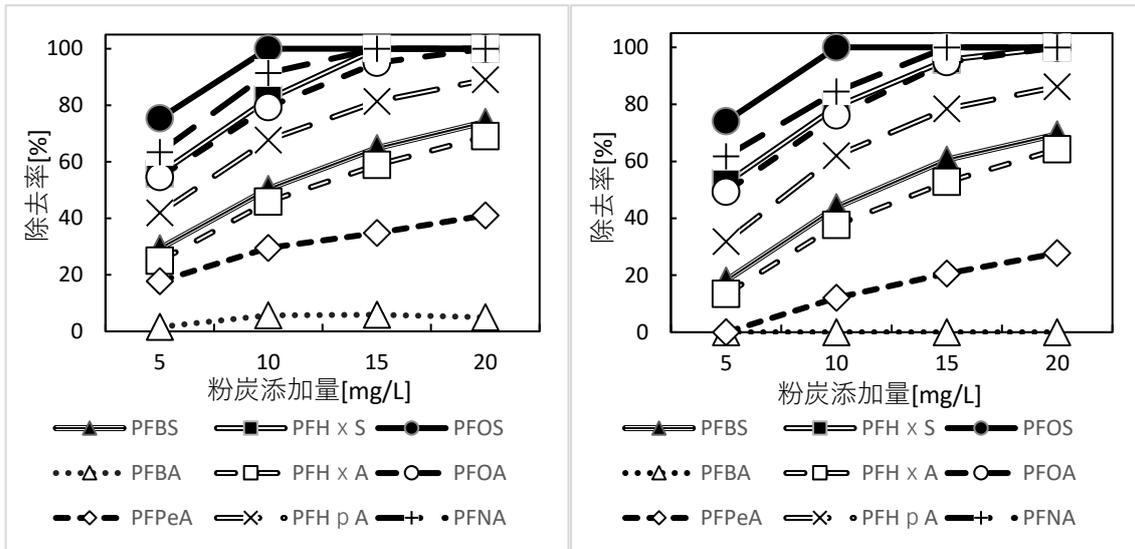


図2 急速かくはん池水での除去率

図3 ちんでん水での除去率

## (2) 実施設における実際の除去率との比較

実施設における原水及びちんでん水を、工程ごとの滞留時間を考慮して採水し、測定対象 PFAS の測定を行った。原水において定量下限値以上が検出されたのは PFBA、PFHxA 及び PFOA のみであったため、それらの原水とちんでん水の濃度から除去率を計算し、実施設における粉炭注入濃度 (dry 炭濃度) 及び除去率を図1の原水のグラフに追加したものを図4に示す (大きい点、n=2~4)。この試験は令和7年7~9月のうち、粉炭注入濃度が異なる4日を選んで行い、原水及びちんでん水中の測定対象 PFAS 濃度は全ての調査日においてそれぞれ 5ng/L 以下である。

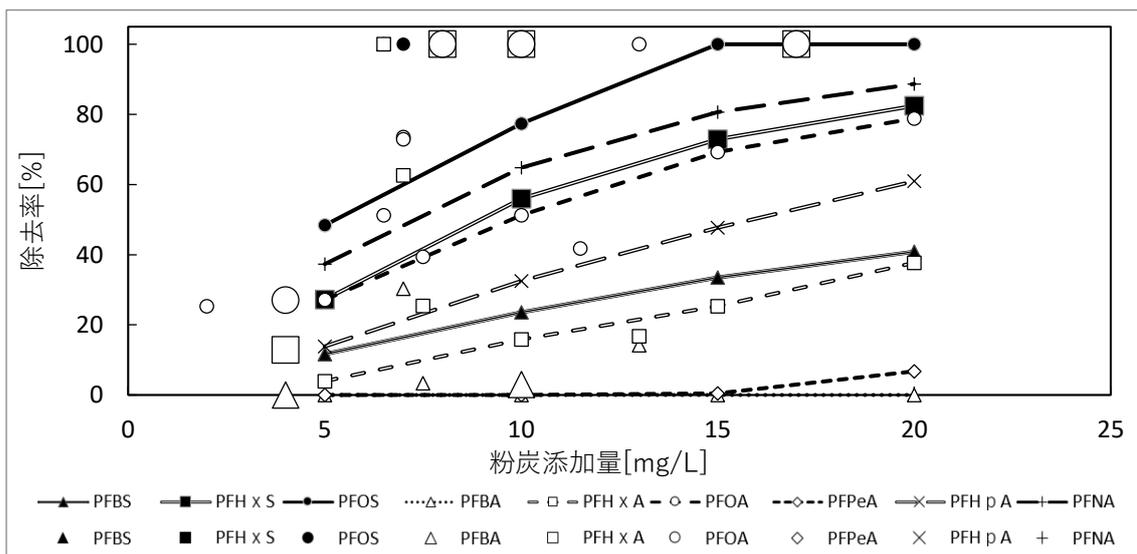


図4 図1に実施設での除去率を追加でプロットしたもの

さらに、原水と給水の採水日が同一である令和2~4年度及び採水月が同一である令和5年度以降の、原水及び蹴上浄水場における給水の測定対象 PFAS の濃度から、原水において

定量下限値以上が一度も検出されていない PFBS、PFHxS 及び PFNA を除く測定対象 PFAS について除去率を計算し、その給水採水日の前日の粉炭注入濃度及び除去率も図 4 に追加している（折れ線グラフ以外の小さい点、n=1~7）。原水中の測定対象 PFAS 濃度は、全ての調査日においてそれぞれ 13ng/L 以下であり、給水採水日前日に実施設にて粉炭を注入していなかった場合の結果は除外してある。

実施設におけるちんでん水の原水に対する PFBA、PFHxA 及び PFOA についての除去率は、原水のジャーテストでの除去率よりも良好な結果となった。また、給水の原水に対する除去率は、滞留時間を考慮していない採水を行った原水及び給水における PFAS 濃度の変動や、ちんでん水以降の工程での挙動を考慮する必要があるものの、おおむね原水のジャーテストでの除去率よりも良好な結果となった。実施設がジャーテストよりも良好な結果となった主な原因は、ジャーテストでは PAC1 を添加していないため、実施設に比べて妨害物質の除去が不十分であったからだと考えられる。

なお、粉炭注入濃度が比較的高い日の結果における、給水の原水に対する除去率の一部は、実施設よりもジャーテストが良好な結果となった。これが原水及び給水における濃度の変動の影響であるかどうかは、さらにデータ数を増やして検討する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

- (1) 粉炭の 2 段注入を行う場合、ちんでん池（後粉炭）だけでなく急速かくはん池（中粉炭）での注入についても PFAS 除去には有効であることが示唆された。
- (2) 測定対象 PFAS の除去率は、カルボン酸よりスルホン酸の化合物のほうが高く、炭素鎖が長い化合物ほど高いという結果となった。
- (3) 測定対象 PFAS の粉炭濃度に基づく除去率は、ジャーテストよりも実施設のほうが良好であることが示唆された。

#### 5. 今後の展望

- ・実施設の急速かくはん池で粉炭を添加する場合、測定対象 PFAS がどの程度除去されるのか調査する。
- ・粉炭注入濃度が比較的高い日の実施設における除去率を調査する。
- ・季節による原水水質の変化と測定対象 PFAS の除去率の変化の関連を検証する。
- ・PFBA や PFPeA 等、除去率が悪かった PFAS について、除去できる条件を検討する。

#### 6. 参考文献

- 1) 大井、増崎、中野、吉村「高機能粉末活性炭の浄水処理性評価」、日本水道協会関西地方支部第 68 回研究発表会概要集、2025。
- 2) 森、東野、松井、生野、岩谷、井澤「琵琶湖南湖を原水とした場合の PFOS 及び PFOA の粉炭による除去検討」、令和 6 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、2024。
- 3) 東野、森、松井、片岡、井澤、中村「琵琶湖南湖を原水とした場合の PFOS 及び PFOA の粉炭による除去検討（その 3）」、令和 7 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、2025。

# 淀川水系におけるミクロシスチンの存在実態調査

大阪市水道局 ○巽 千絵里

山田 圭一

吉村 誠司

## 1. はじめに

ミクロシスチンとは、*Microcystis* 属の藍藻類が産生する有害な天然毒素(シアノトキシン)の一種であり、藍藻類の細胞膜が損傷を受けることによって水中に放出される。ミクロシスチンを含む水を摂取すると、肝障害、嘔吐、下痢、発熱等を引き起こし、少量でも致命的な健康影響を与える可能性があるため、日本では2004年よりミクロシスチンLR (MC-LR) が水道水質管理上の要検討項目に追加され、暫定目標値として0.8 $\mu$ g/L が設定されている。WHO 飲料水

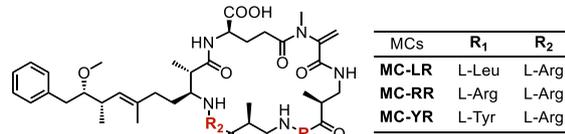


図-1 ミクロシスチンの構造式

水質ガイドラインでは1999年にMC-LRの暫定ガイドライン値0.001mg/Lが定められたが、2022年のガイドライン改訂により、ミクロシスチンの総量に対する新たなガイドライン値0.001mg/Lが定められ、MC-LRのみならず多様なミクロシスチン類を含む総量による評価に移行しつつある。

当局では、平成7年に高速液体クロマトグラフ質量分析計を用いた分析法を確立し<sup>1)</sup>、淀川および琵琶湖におけるミクロシスチンの存在実態を調査しているが、近年、気候変動による水源環境の変化が懸念されており、ミクロシスチンの存在量も大きく変化している可能性がある。

そこで、図-1に示す代表的なミクロシスチンであるMC-LR、MC-RR、MC-YRの3種について測定し、夏季の琵琶湖や淀川本川、当局の水道原水及び浄水中のミクロシスチンの存在実態を調査した。

## 2. 方法

### (1) 試薬

標準試薬であるMC-LR標準溶液、MC-YR標準溶液、MC-RR標準溶液は関東化学製を用いた。精製水は超純水製造装置(Milli-Q Integral、メルク製)で精製したもの、メタノール(LCMS用)は関東化学製、酢酸アンモニウム水溶液は富士フィルム和光純薬製、酢酸(精密分析用)は関東化学製を使用した。

### (2) 調査対象試料

琵琶湖の表層水(5地点)、淀川本川の河川水(8地点)、本市柴島浄水場原水および浄水を調査対象試料とした。調査期間は2025年7~9月とした。

### (3) 試料の前処理

既報<sup>2)</sup>を参考に次に示す手順により、試料の前処理をした。50mLのポリプロピレン製容器で試料水を満水に採水し、GF/Bろ紙を用いて自然ろ過したものを「溶存態試料」、ろ過していないものを溶存態物質と藻体内物質の和の「総量試料」とした。各試料2.0mLを2mLのポリプロピレン製スクリュウキャップチューブに分注し、酢酸を0.1mL添加した後、-28 $^{\circ}$ Cで分析まで凍結保存した。分析前に常温で融解させ、メタノールを0.2mL添加し、10000rpmで5分間遠心分離し、上澄みを1mLとり試験溶液とした。なお、浄水試料については、採水直後にアスコルビン酸ナトリウム5~10mgを添加し残留塩素を除去した。

### (4) 分析および解析条件

液体クロマトグラフ高分解能質量分析計(LC-HRMS、Thermo Fisher Scientific製)を用い、表-1に示す分析条件でエレクトロスプレーイオン化法(ESI法)のフルスキャン分析モードにより $m/z$  400~560の範囲の精密質量を取得した。また、スキャン分析によって得られたデータから表-1に示す各モニターイオンを抽出し、質量誤差 $\pm 5$ ppmの範囲で各面積値を算出した。なお、後述する妥当性評価の結果より、MC-LRおよびMC-RRはモノアイソトピックイオンを定量イオン、第一同位体イオンを確認イオンとし、MC-YRは第一同位体イオンを定量イオン、モノアイソトピックイオンを確認イオンとした。

標準試料は精製水:メタノール比を10:1とし、精製水に対して各標準物質濃度が0.05~1 $\mu$ g/Lとなるよう検量線を作成した。未知試料は試料水に対して酢酸を添加するため、定量値に1.05の係数を掛けて濃

度を算出した。また、総量試料の濃度から溶存態試料の濃度を差し引いたものを「藻体内濃度」、溶存態試料の濃度を「溶存態濃度」とした。

### 3. 結果および考察

#### (1) モニターイオン

マイクロシスチンはペプチド構造を有していることから、ESI 法では多価イオンが生成<sup>3)</sup>しやすいため、10 $\mu$ g/L のマイクロシスチン混合標準液を  $m/z$  100-1100 の範囲でスキャン分析し、本分析条件において最も検出感度の高いイオンを探索した。一例として MC-YR から得られたマスペクトルを図-2 に示す。ポジティブモードにおいて1価プロトン付加イオン  $[M+H]^+$  および2価のプロトン付加イオン  $[M+2H]^{2+}$  の両者から、モノアイソトピックイオンと複数の同位体イオンがそれぞれ検出されたが、2価のモノアイソトピックイオンが最も強度が高く、2価の第一同位体イオンが次いで強度が高い結果が得られた。

3物質の1価および2価のそれぞれプロトン付加イオン ( $[M+H]^+$ ,  $[M+2H]^{2+}$ ) およびプロトン脱離イオン ( $[M-H]^-$ ,  $[M-2H]^{2-}$ ) として検出された各モノアイソトピックイオンピークの面積値を図-3 に示す。MC-LR、MC-YR、MC-RR のいずれにおいても各多価イオンのうち、 $[M+2H]^{2+}$  のモノアイソトピックイオンが最も高い面積値で検出された。

以上の結果より  $[M+2H]^{2+}$  のモノアイソトピックイオンおよび第一同位体イオンを本調査におけるモニターイオンとした。

表-1 LC-HRMS の分析条件

LC 条件		
装置	Vanquish Flex UHPLC (Thermo Fisher Scientific)	
分析カラム	SunShell RP-AQUA (ChromaNik Technologies) (2.1 mm $\times$ 100 mm, 2.6 $\mu$ m)	
移動相	メタノール/精製水/酢酸アンモニウム水溶液	
流速	0.3 mL/min	
注入量	50 $\mu$ L	
MS 条件		
装置	Q Exactive Focus (Thermo Fisher Scientific)	
イオン化法	ESI /positive	
フルスキャン	分解能	70000
	取り込み範囲	$m/z$ 400-560
モニターイオン		
物質名	定量イオン	確認イオン
MC-LR	498.2817*	498.7833
MC-YR	523.7730	523.2713*
MC-RR	519.7902*	520.2919

(表中の※はモノアイソトピックイオンを示す)

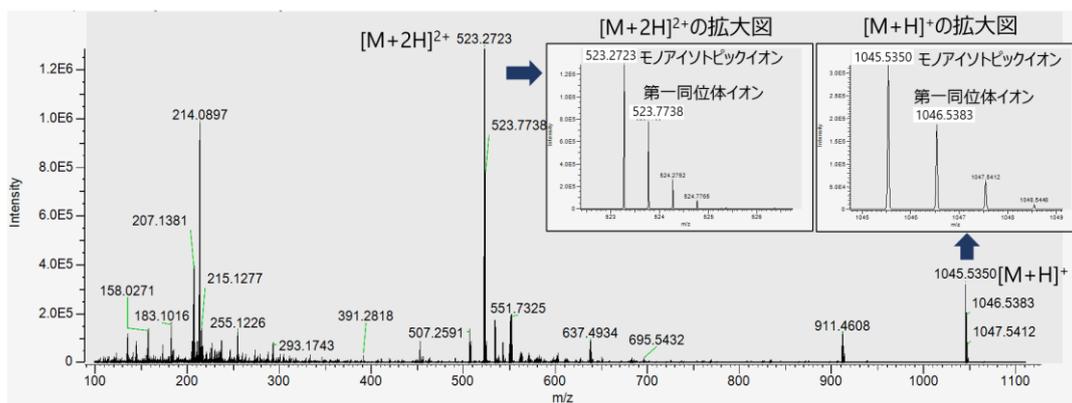


図-2 MC-YR のポジティブモードのスキャン分析によるマスペクトル

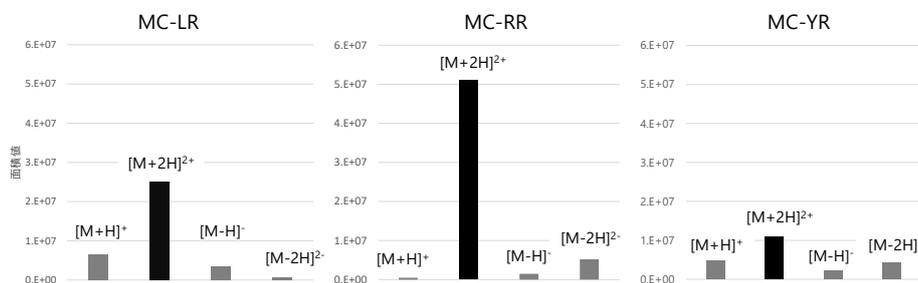


図-3 各標準物質から検出された各多価イオンのモノアイソトピックイオンピークの面積値

#### (2) 分析法の妥当性評価

表-1 の分析条件に従い、妥当性評価ガイドラインに定められた妥当性評価を実施した結果を表-2 に示す。各物質の各検量点について検量線の評価 (5 併行) を行った結果、真度 87.8~109.6%、併行精度 0.94~10.6%であり妥当性評価ガイドラインが示す目標値の真度 80~120%、併行精度 20%以下を満たしたことから、各物質の定量下限濃度を 0.05 $\mu$ g/L とした。

表-2 妥当性評価結果

	検量線の評価 (n=5)			添加試料の評価 (n=5)			
	真度(%)	併行精度(%)	相関係数	添加後ろ過あり		添加後ろ過なし	
				真度(%)	併行精度(%)	真度(%)	併行精度(%)
MC-LR	94.8~101.6	0.94~8.74	0.9999	91.5	7.7	98.4	6.2
MC-YR	87.8~109.6	3.59~10.6	0.9990	102.0	5.3	110.9	10.8
MC-RR	97.0~104.4	1.47~8.21	0.9998	99.3	4.4	98.6	2.6
目標値	80~120	≤20	-	70~130	≤20	70~130	≤20

次に、各物質の濃度が定量下限濃度となるよう原水に添加した試料を用いて、ろ過した場合とろ過していない場合でそれぞれ添加試料の評価（5 併行）を行った。添加試料の評価の結果、各物質において真度 91.5~110.9%、併行精度 2.6~10.8%であり、妥当性評価ガイドラインが示す目標値の真度 70~130%、併行精度 20%以下を満たした。

なお、MC-YR のモノアイソトピックイオン

( $[C_{52}H_{74}N_{10}O_{13}]^{2+} ([M+2H]^{2+})$ ,  $m/z$  523.2713) では原水試料中の夾雑物の影響によりバックグラウンドノイズが検出された一方で、第一同位体イオン ( $[^{12}C_{51}^{13}CH_7N_{10}O_{13}]^{2+} ([M+2H]^{2+})$ ,  $m/z$  523.7730) ではバックグラウンドノイズが検出されなかった (図-4)。

このことから、MC-YR のみ第一同位体イオンを定量イオン、モノアイソトピックイオンを確認イオンとした。

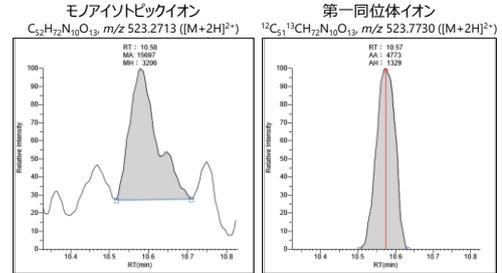


図-4 MC-YR のクロマトグラム

### (3) 変動係数 (CV 値) による検出限界濃度の評価

本調査では各物質の CV 値 20%以下 (5 併行) となる標準物質濃度を検出限界濃度 (LOD) とし、評価した結果を図-5 に示す。その結果、各物質の LOD は MC-LR が 0.02  $\mu\text{g/L}$ 、MC-YR が 0.05  $\mu\text{g/L}$ 、MC-RR が 0.005  $\mu\text{g/L}$  であり、MC-LR および MC-RR は定量下限濃度よりも低濃度域でも検出が可能であると考えられた。

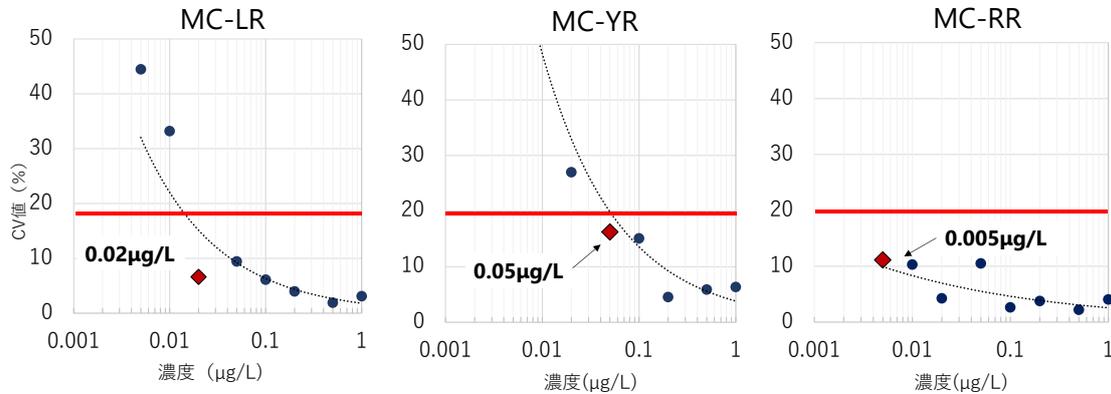


図-5 各物質の繰り返し測定における CV 曲線

### (4) 琵琶湖試料、本川試料および柴島浄水場原水・浄水試料の測定結果

調査対象試料を測定した結果を表-3 に示す。琵琶湖試料については、8 月の唐崎沖試料で MC-RR の藻体内濃度が 0.08  $\mu\text{g/L}$  であり、溶存態濃度は定量下限値未満であった。また、その他の試料では、8 月および 9 月の藻体内試料のみから MC-RR および MC-LR が LOD 以上検出され、MC-RR の方が LOD 以上で観測される頻度が高かった。なお、MC-YR はいずれの試料からも LOD 未満であった。

本川試料及び柴島浄水場原水については、8 月および 9 月の藻体内試料または溶存態試料から MC-RR が LOD 以上で検出された。なお、柴島浄水場浄水については、いずれの物質も LOD 未満であった。

本調査によって、今年度の淀川水系においても非常に微量のミクロシスチンが存在していることは確認できたが、平成 7 年の調査時と比較して現段階では淀川水系におけるミクロシスチンの濃度の増加傾向は見られなかった。また、得られたデータから琵琶湖試料と本川試料の検出状況の関係については明確な関係性が認められなかったことから、今後も調査を継続し、データを蓄積していく必要があると考えられる。

表-3 調査対象試料の測定結果 (µg/L)

○ 琵琶湖試料																
調査地点		1.三井寺沖中央			2.唐崎沖			3.三井寺沖			4.山田港沖			5.瀬田川大橋		
採水日		7/3	8/21	9/4	7/3	8/21	9/4	7/3	8/21	9/4	7/3	8/21	9/4	7/3	8/21	9/4
MC-LR (LOD:0.02)	総量	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-YR (LOD:0.05)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-RR (LOD:0.005)	総量	-	-	-	-	0.08	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-
	藻体内	-	-	-	-	0.08	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-
	溶存態	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

○ 淀川本川試料													
調査地点		1.瀬田川			2.木津川			3.宇治川			4.桂川		
採水日		7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17
MC-LR (LOD:0.02)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-YR (LOD:0.05)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-RR (LOD:0.005)	総量	-	-	○	-	○	○	-	-	-	-	○	○
	藻体内	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	○

調査地点		5.淀川 (枚方大橋左岸)			6.淀川 (枚方大橋右岸)			7.淀川 (唐崎大橋左岸)			8.淀川 (唐崎大橋右岸)		
採水日		7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17	7/9	8/20	9/17
MC-LR (LOD:0.02)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-YR (LOD:0.05)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-RR (LOD:0.005)	総量	-	-	○	-	-	○	○	○	-	-	-	○
	藻体内	-	-	○	-	-	○	○	○	-	-	-	○
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

○ 柴島浄水場原水試料													
採水日		7/3	7/8	7/17	7/25	7/31	8/6	8/15	8/21	8/28	9/2	9/17	9/19
MC-LR (LOD:0.02)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-YR (LOD:0.05)	総量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	溶存態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC-RR (LOD:0.005)	総量	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○
	藻体内	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○
	溶存態	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○

「-」はLOD未満、「○」はLOD以上定量下限値未満を表す

## 5. まとめ

- (1) MC-LR、MC-YR、MC-RR の3物質について LC-HRMS を用いて分析した結果、いずれも2価のプロトン付加イオンとして検出され、妥当性評価の結果から各物質の定量下限濃度は0.05µg/Lと評価された。
- (2) 琵琶湖における一部の地点(唐崎沖)では定量下限値以上のMC-RRが検出されたが、平成7年の調査時と比較して淀川水系におけるマイクロシスチンの濃度の増加傾向は認められなかった。
- (3) 原水の検出状況については、要検討項目の暫定目標値及びWHOのガイドライン値の1/10未満であり、浄水については不検出であった。
- (4) 今後は、本調査の網羅的なスクリーン分析によって得られたデータに対して、MC-LR、RR、YR以外のマイクロシスチン類を対象としたデータベース検索を行い、総マイクロシスチンとして実態把握に取り組んでいく。

## 謝辞

本調査を進めるにあたり採水にご協力いただいた、大阪広域水道企業団、阪神水道企業団の皆様へ深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 梅谷友康、森實圭二：高速液体クロマトグラフ-質量分析計を用いたマイクロシスチン定量方法の開発、水道協会雑誌、65(7)、26-34(1996)。
- 2) Matsuki, M., Shimizu, N., Tobiishi, K., Tanaka, Y., Yamaguchi, H., Sano, T.: An Analytical Method for Simultaneous Measurement of Various Cyanotoxins Using Stable Isotope-Labeled Surrogates and a Microbial Flora Analysis to Assign Each Cyanotoxin to its Source. J. Water Environ. Technol., 20(6), 261-272 (2022)。
- 3) 平岡賢三：ESIはFABに比べなぜ多価イオンが出やすいのか？、J. Mass Spectrom. Soc. Jpn, 47(3)、140-148(1999)。

# 未規制農薬フェンキノトリオンの実態調査 -LC-HRMS を用いたポストキャリブレーション分析の試み-

大阪市水道局 ○柳瀬 剛士  
山田 圭一  
吉村 誠司

## 1. はじめに

フェンキノトリオン（図-1）は、平成 30 年度に新規登録された水稲用除草剤であり、平成 31 年度から全国的に出荷量が増加し、特に北日本、東日本で出荷量が急増している。水道事業体の水道水源・河川の調査においても複数の事業者から検出事例が報告されており、全国的な検出実態から将来的に対象農薬リストへの格上げの可能性が考えられる<sup>1)</sup>。一方、関西地方におけるフェンキノトリオンに関する報告事例は少ないが、淀川水系においても出荷量が確認されることから、水道水源における検出推移およびその浄水処理性を把握しておくことは重要である。

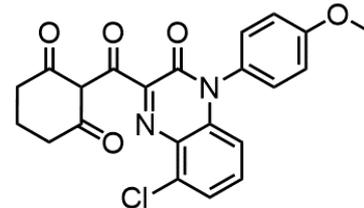


図-1. フェンキノトリオン

本報告では、液体クロマトグラフ高分解能質量分析計（以下、LC-HRMS）によって対象物質の推定（定性）を行い、その後に標準試薬を入手し、定量を行うポストキャリブレーション分析により、実態調査を行ったので報告する。

## 2. ポストキャリブレーション分析

ポストキャリブレーション分析とは LC-HRMS などの高分解能質量分析計から得られる数多くの情報の中から対象の物質を探索したのちに、標準試薬を用いて詳細な情報（定量値）を得る手法である（図-2）<sup>2)</sup>。特に、本手法は事故原因物質の特定など、直ちに調査を実施する必要があるが対象物質の標準試薬を入手できない場合においても迅速に調査に着手できるメリットがある。また、予め対象物質の存在を定性分析により明らかとした後に定量分析のステップに移行するため、不検出物質の不要な試薬を調達する必要がなく経済的な手法でもある。農薬など使用時期に季節性がある物質について実態調査を行う場合においても、実務上、標準試薬を入手し、最適な分析手法を検討している間に調査の機会を損失してしまう可能性があるため、速やかに着手できる本手法は有用である。また、LC-HRMS によって網羅的に情報（Scan データ）を得ていることから、新たなターゲット物質についても、再測定をすることなく、既存の取得データを用いて過去の検出実態を推定することが可能となる

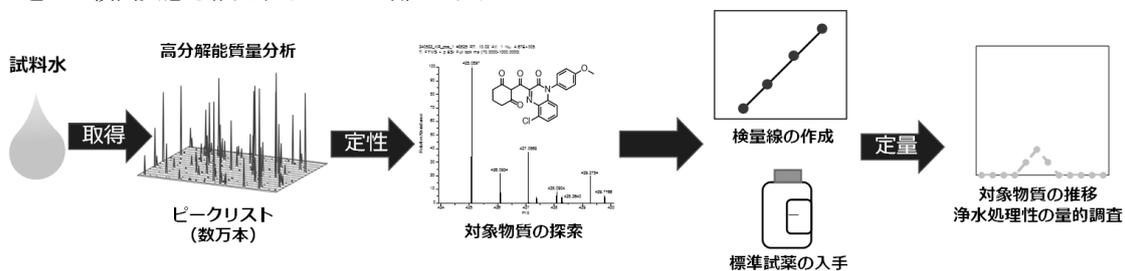


図-2. ポストキャリブレーション分析フロー

## 3. 調査方法

### (1) 分析装置および分析方法

定性分析に使用した液体クロマトグラフは、Vanquish Flex UHPLC (Thermo Fisher Scientific 製)、高分解能質量分析計 (HRMS) は、Q Exactive Focus (Thermo Fisher Scientific 製) であり、分析条件は（表

-1) の通りである。フェンキノトリオンの調査には、LC-HRMS で取得した Full Scan データを使用した。定量分析に使用した液体クロマトグラフは、Nexera X2 (島津製作所製)、トリプル四重極型質量分析計 (以下、LC-MS/MS) は、LCMS8060 (島津製作所製) であり、分析条件は表-2 の通りである。定量下限値は、本市水道水を用いた浄水添加回収試験にて真度 70~130%を確認した濃度 0.025µg/L とした。

## (2) 試薬

精製水は超純水製造装置 (Milli-Q Integral 10, Merck 製) で精製したものをを使用した。LCMS 用メタノール (関東化学製) 及び酢酸アンモニウム (シグマアルドリッチ製)、ギ酸 (東京化成製) は LC/MS 用を使用し、チオ硫酸ナトリウム (関東化学製) は特級を使用した。フェンキノトリオン (関東化学製) を使用した。

表-1. LC-HRMS 条件

表-2. LC-MS/MS 条件

機器	項目	設定値	機器	項目	設定値
LC	装置	Vanquish Flex UHPLC (サーモフィッシャーサイエンティフィック)	LC	装置	Nexera X2 (島津製作所)
	LCカラム	SunShell RP-AQUA 2.1 mm × 100 mm, 2.6 µm, (ChromaNik Technologies)		LCカラム	ACQUITY UPLC UPLC HSS T3 C18 (2.1×100mm,1.8µm,日本ウオータース)
	移動相	200mM酢酸アンモニウム / メタノール / 精製水		移動相	0.5mM酢酸アンモニウム + 0.05%ギ酸 / 0.5mM酢酸アンモニウム メタノール
	移動相流量	0.3mL/min		移動相流量	0.45mL/min
	カラム温度	40℃		カラム温度	40℃
	注入量	50µL		注入量	5-50µL
MS	装置	Q Exactive Focus (サーモフィッシャーサイエンティフィック)	MS	装置	LCMS-8060 (島津製作所)
	検出	Scan(m/z 70-1000) / プロダクトイオンScan(m/z 425>Full Scan)		検出	MRM(m/z 425>251)
	イオン化法	ESIポジティブモード		イオン化法	ESIポジティブモード

## (3) 試料の採取及び前処理

定性分析用の試料は 15mL ポリプロピレン容器に採水し、濁質分を含む場合は遠心分離 (3000rpm, 10min) を行い、上澄みを用いた。定量用分析試料は 15mL ポリプロピレン容器に採水し、10%量のメタノールを加えて混合し、濁質分のある試料については定性分析と同様の処理を行い、上澄みを用いた。なお、残留塩素を含む試料については、定性分析時の試料と同様に 1w/v%チオ硫酸ナトリウム水溶液を添加したものをを用いた。

## (4) 調査地点および調査時期

当局の柴島浄水場の浄水処理過程を図-3 に示す。令和 6 年度については当局の柴島浄水場の原水、浄水を対象に令和 6 年 4 月から 8 月にかけて週 1 回のペースで採水し、フェンキノトリオンの調査を行った。令和 7 年度からは柴島浄水場の原水、浄水を対象に令和 7 年 4 月から 8 月にかけて週 1 回のペースで採水し、5 月下旬から 6 月初旬についてはより詳細な検出実態を調査するため週 2~4 回採水を行った。また、浄水処理過程の実態調査については、フェンキノトリオンが原水で検出されている令和 7 年 5 月 29 日に採水し、浄水処理過程における濃度を測定した。

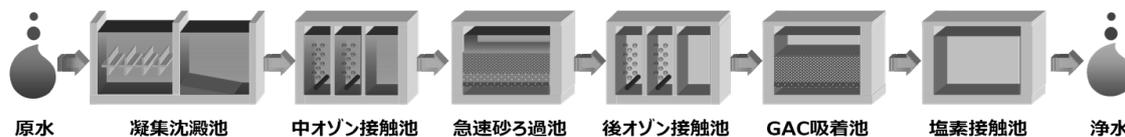


図-3. 柴島浄水場の浄水フロー

## 3. 結果と考察

### (1) Full Scan データからのフェンキノトリオン候補物質の検出

本調査では、予め対象物質をフェンキノトリオンと定めているため、その組成式に相当する  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  を LC-HRMS で取得した原水試料の Full Scan データから水素アダクトイオン ( $[M+H]^+$ ) である  $m/z$  425.0899 の測定精密質量 ( $\pm 5$  ppm の質量範囲) についてクロマトグラフを表示させた (図-4)。その結果、保持時間 10 分付近に組成式  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  の物質のピークが確認された。さらに、得られたピークの組成式を確定させるため、図-4 に相当するピークのマススペクトルおよびフェンキノトリオンの計算精密質量 ( $[M+H]^+$ )

の同位体パターンを表示させた (図-5)。その結果、原水試料から得られた  $[M+H]^+$  の各同位体の測定精密質量が、組成式  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  のアダクトイオン ( $[M+H]^+$ ) の理論同位体の計算精密質量と誤差  $\pm 5\text{ppm}$  の範囲で一致した。

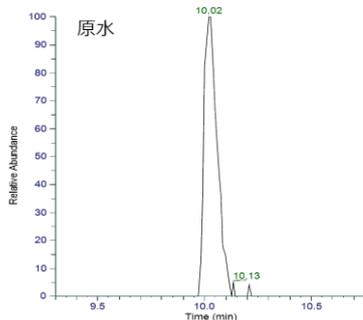


図-4. 原水試料における組成式  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  のクロマトグラフ

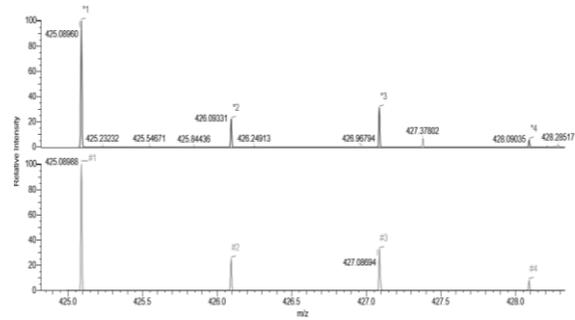


図-5. 組成式  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  のマススペクトル (上: 測定値、下: 理論計算値)

## (2) フェンキノトリオンの推定

フェンキノトリオンの LC-MS/MS による分析法として、ESI(positive) でプリカーサーイオン  $m/z$  425.0、プロダクトイオン  $m/z$  285.1 のMRM法によるものが報告されている<sup>3)</sup>。本検討では原水試料のプロダクトイオンスキャンにより対象物質のMSMSのプロダクトイオンを取得し、精密質量より定性(推定)を行った。プ

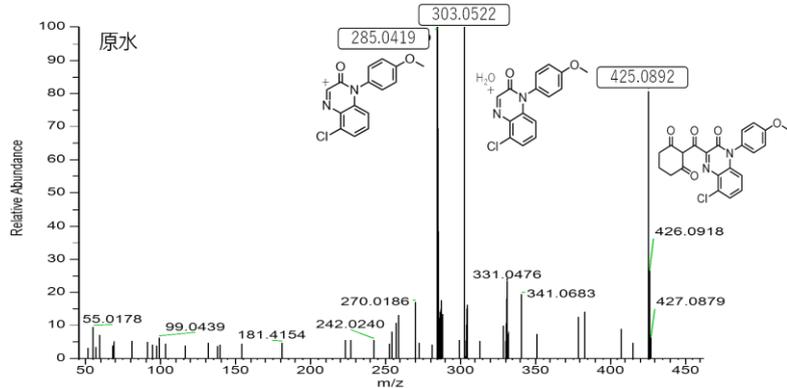


図-6. 組成式  $C_{22}H_{17}ClN_2O_5$  のプロダクトイオンのマススペクトル

リカーサーイオンとして  $m/z$  ( $[M+H]^+$ ) 425 をコリジョンしたときのプロダクトイオンのマススペクトルおよびプロダクトイオンの推定構造を図-6に示す。フェンキノトリオンのプロダクトイオンと考えられる測定精密質量  $m/z$  285.0419、303.0522 が確認され、プロダクトイオンの推定構造からもフェンキノトリオンを定性(推定)できた。

## (3) フェンキノトリオンの検出推移と濃度の見積

LC-HRMS で取得した原水試料の Full Scan データから、精密質量 ( $m/z$  ( $[M+H]^+$ ) 425.0899) ( $\pm 5\text{ppm}$  の質量範囲) の面積値を4~8月にプロットしたところ5月中旬から6月にかけて検出されることがわかった(図-7)。フェンキノトリオンは稲作用除草剤として、主に田植え後から使用されることが想定される。関西地方の田植え時期は5月以降から始まるため今回のフェンキノトリオンの推移は農薬使用の時期とも一致していた。

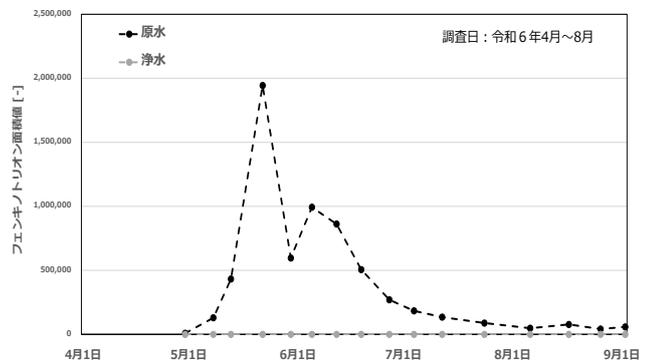


図-7. フェンキノトリオンの検出推移

以上の結果から、ポストキャリブレーション分析を行うために、後日標準試薬を入手し、検量線を作成し、濃度を見積もった。面積値最大時の点について濃度を見積もったところ5月下旬に  $0.12\mu\text{g/L}$  程度で検出され

ていたことがわかった。対象物質の定性を行った後に標準試薬を入手し、定量を行うポストキャリブレーション分析を行うことで調査のタイミングを逃すことなく迅速かつ効率的に実態調査を行うことができた。

#### (4) LC-MS/MS を用いたフェンキノトリオンの実態調査

令和7年度は標準試薬を用い、当局の農薬一斉分析に使用している LC-MS/MS により妥当性評価を行った分析条件で実態調査を行った（図-8）。結果、フェンキノトリオンは5月中旬から6月にかけて最大値 0.131 $\mu\text{g/L}$  検出された。令和6年度に濃度を見積もった結果とほぼ同程度で検出されていた。一方、浄水については定量下限値未満であった。

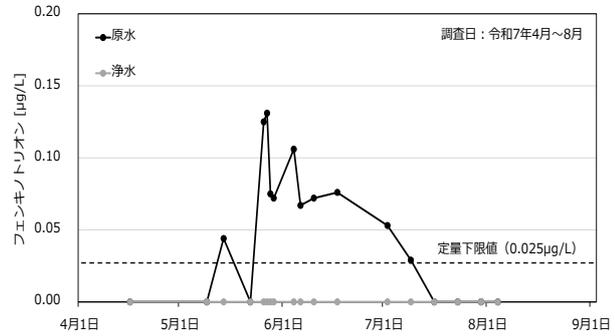


図-8. 柴島浄水場原水浄水の検出状況

#### (5) フェンキノトリオンの浄水処理過程の実態調査

原水中で検出された令和7年5月29日における浄水処理過程のフェンキノトリオンの推移を LC-MS/MS で定量した（図-9）。結果、フェンキノトリオンは中オゾン処理以降で定量下限値未満であったと考えられる。フェンキノトリオンについて5月中旬から6月にかけて原水で検出されていたが、浄水では検出下限未満であったことから当局の浄水処理過程で処理されている可能性が高い。

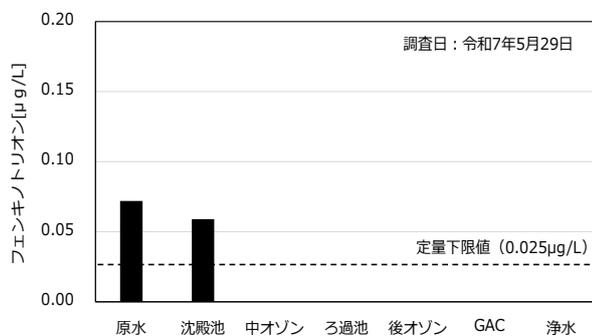


図-9. フェンキノトリオンの浄水処理過程での推移

### 4. まとめ

- 1) 令和6年度において、LC-HRMS を用いたポストキャリブレーション分析によりフェンキノトリオンを評価したところ、5～6月にかけて原水で最大 0.12 $\mu\text{g/L}$  程度検出されていたと見積もることができた。
- 2) 令和7年度において、LC-MS/MS で原水浄水におけるフェンキノトリオンを定量したところ5～6月にかけて原水において最大 0.131 $\mu\text{g/L}$  検出されており、浄水では定量下限値未満であった。
- 3) 5月下旬に浄水処理過程におけるフェンキノトリオンの推移を実態調査したところ、オゾン処理により定量下限値未満まで処理されていることがわかった。
- 4) LC-HRMS の網羅的な情報から対象成分の定性を行った後、標準試薬を入手し、定量するポストキャリブレーション分析を採用することで、対象物質の調査タイミングを逃すことなく迅速かつ効率的に実態調査を行うことができた。

### 参考文献

- 1) 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）水道水及び原水における化学物質等の実態を踏まえた水質管理の向上に資する研究 令和5年度 分担研究報告書
- 2) 高梨ら：ポストキャリブレーション型網羅分析結果の解析支援システムの構築と化学物質流出事故発生時の模擬河川水試料からの流出物質推定、水環境学会誌、Vol. 46、No. 4、pp. 85-91（2023）。
- 3) 厚生労働省：フェンキノトリオン分析法（農産物）

# 水道原水における農薬類検出の傾向とその解析

大阪市水道局 ○巽 有紀子  
吉田 春香  
吉村 誠司

## 1. はじめに

平成 25 年 3 月、水質管理目標設定項目に含まれる農薬類について分類の見直しが行われ、農薬リストが大幅に改訂された<sup>1)</sup>。淀川水系における当時の農薬検出状況や浄水処理性については既に報告済みであるが<sup>2,3)</sup>、調査の実施から約 10 年が経過している。また、近年は本市における調査対象農薬が増加してきており、膨大なデータを一つずつ解析していくには多大な時間と労力を要する。

そこで本研究では、平成 16 年度以降の本市浄水場原水におけるこれまでの検出指標値の整理、および近年の検出状況データを対象に多変量解析を用いて、農薬の検出傾向の可視化による季節ごとに特徴的な農薬類の抽出を試みたので、その結果について報告する。

## 2. 調査方法

### (1) 調査対象農薬類

調査対象農薬類は、水質管理目標設定項目の対象農薬リスト掲載農薬類 115 物質（以下、リスト農薬）、及び要検討農薬類 10 物質、その他農薬類 56 物質、除外農薬類 12 物質、未規制農薬類 5 物質（上記 4 つの農薬類をまとめて、以下、リスト外農薬）とした。表-1 に調査対象としたリスト外農薬をまとめた。なお、これらの物質の測定方法については既報に従った<sup>4-6)</sup>。

### (2) 調査対象試料

調査対象試料は、本市柴島浄水場原水（以下、柴島原水）、庭窪浄水場原水（以下、庭窪原水）、豊野浄水場原水（以下、豊野原水）とした。

### (3) 調査期間及び使用データ

- ①検出指標値の推移：平成 16 年～令和 7 年の各年の 5～9 月の測定データ
- ②テフリトリオンの検出状況：平成 30 年～令和 2 年の 5～9 月、令和 3～7 年の 4～9 月の測定データ
- ③多変量解析：令和 4～7 年の 4～9 月の測定データ

なお、令和 6 年 7 月のリスト外農薬のデータについては、欠測となっている。

### (4) 多変量解析

SIMCA 15.0(Sartorius Stedim Data Analytics AB)を用い、各測定濃度の標準化（平均 0、標準偏差 1）によるデータの前処理をした後、主成分分析(PCA)および直交部分最小二乗-判別分析 (OPLS-DA) によりデータを解析した<sup>7)</sup>。

表-1 調査対象としたリスト外農薬  
(要検討農薬、その他農薬、除外農薬、未規制農薬)

農薬名	目標値 (mg/L)	農薬名	目標値 (mg/L)
アセタミプリド	0.2	トリネキサバックエチル	0.01
イミダクロプリド	0.1	トリフルミゾール	0.04
イプロジオン	0.3	トルフェンピラド	0.01
エチプロール	0.01	チプロアニリド	0.02
テブコナゾール	0.07	ニテンピラム	1.3
ピラクロホス	-	バクロフトラゾール	0.05
フルスルファミド	-	ピメトロジン	0.03
プロマシール	0.05	ピラゾスルフロンエチル	0.03
ホサロン	0.005	ピリミノバックメチル	0.05
メトラクロール	0.2	ピリミホスメチル	0.06
アシベンゾラル-S-メチル	0.2	フェノキサニル	0.02
アメトリン	0.2	フラメトビル	0.02
イナベンゾイド	0.3	フルアジホップ	0.01
ウニコナゾールP	0.05	プロバニル(DCPA)	0.04
エトキシスルフロン	0.1	プロバホス	0.001
エトベンザニド	0.1	プロボキシル(PHC)	0.2
オキサジアルギル	0.02	プロメトリン	0.08
オキサミル	0.05	ベルメトリン	0.1
キザロホップエチル	0.02	ベンダイオカルブ	0.009
クロチアニジン	0.2	ホキシム	0.003
クロマフェノジド	0.7	ボスカリド	0.1
クロルピリホスメチル	0.03	メタミドホス	0.001
ジクロフェンチオン(ECP)	0.006	モノクロトホス	0.002
ジクロメジン	0.05	リニューロン	0.02
ジクロルプロップ	0.09	アゾキシストロピン	0.5
ジフルベンズロン	0.2	カルプロバミド	0.04
ジノテフラン	0.6	シデュロン	0.3
ジフェノコナゾール	0.02	テニクロール	0.2
ジフルベンズロン	0.05	トルクロホスメチル	0.2
シプロコナゾール	0.02	ハロスルフロンメチル	0.3
シプロジニル	0.07	ピリプロキシフェン	0.3
シベルメトリン	0.06	フラザスルフロン	0.03
シメコナゾール	0.02	フルトラニル	0.2
ジメチルピルホス	0.01	ベンスリド(SAP)	0.1
シラフルオフェン	0.3	ベンスルフロンメチル	0.4
シメチリン	0.1	メチルダイムロン	0.03
チアクロプリド	0.03	クロラントリニプロール	-
チアトキサム	0.05	ヘキサジノン	-
チフルザミド	0.04	メタゾスルフロン	-
テトラクロルピルホス(CVMP)	0.01	プロモピチデプロモ	-
テトラコナゾール	0.01	フェンキノトリオン	-
テブフェノジド	0.04		

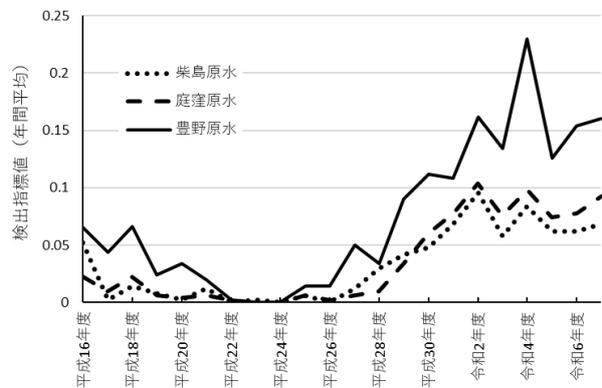


図-1 各浄水場原水の検出指標値の推移

### 3. 調査結果

#### (1) 各浄水場原水の検出指標値の推移

総農薬方式による農薬類の評価が導入された平成16年度以降における各年度5～9月の検出指標値の平均値を図-1に示した。平成16～21年度にかけては減少傾向となり、平成22年度から24年度にかけては農薬類は検出されなくなったが、平成25年度にリスト農薬の内容が大幅に見直された後(対象農薬総数が102物質から120物質に増加)徐々に増加傾向となり、特にリスト農薬にテフリトリオンが追加された平成29年度以降は急激に増加しており、令和元年以降はほぼ横ばいの状態となっていることがわかった。

#### (2) テフリトリオンの検出状況について

テフリトリオンについては、リスト農薬の対象となった平成29年度当初より、調査時期には常に検出されていた。平成30年度以降の検出指標値に占めるテフリトリオンの割合の平均値を図-2に示した。検出指標値に占めるテフリトリオンの割合は70～80%程度で大きな増減は認められなかった。

テフリトリオンの目標値に対する検出値の比の推移を図-3に示した。テフリトリオンは水稻を対象とした除草剤であるため、使用頻度の高くなる5～7月に高値で検出された。木津川の影響を受けやすい淀川上流の樟葉より取水している豊野原水では、淀川中流域の庭窪原水、下流域の柴島原水に比べて指標値が2倍程度高くなっていた。

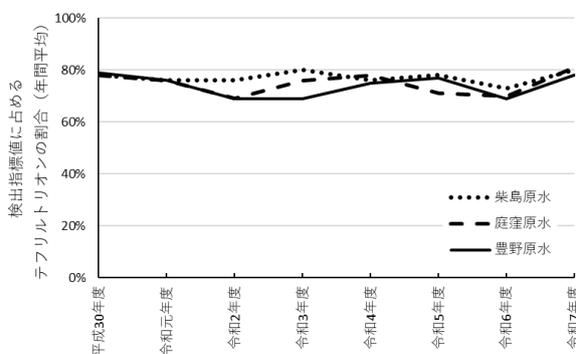


図-2 検出指標値に占めるテフリトリオンの割合 (年間平均)

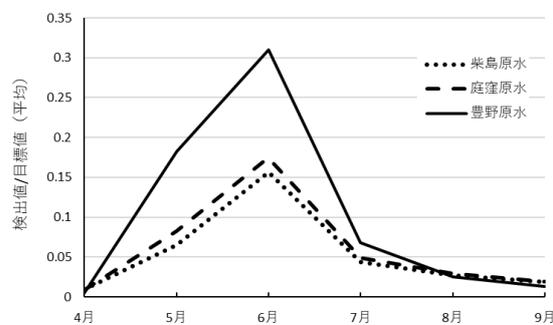


図-3 テフリトリオンの目標値に対する検出値の比の推移

#### (3) 多変量解析による農薬類の検出状況の解析

##### ① リスト農薬

調査対象試料における各リスト農薬の検出状況を二次元で可視化し、各試料間の特徴を認識しやすくするため、リスト農薬の測定データについてPCAを行った結果のスコアプロットを図-4に示す。スコアプロットの各点は各測定月における各調査対象試料であり、点間の距離が離れているほど試料間の類似性が低いことを示している。スコアプロットの第1象限に5月、第3象限に8月、第4象限に6月の点が他点より分離されたことから、リスト農薬については月ごとに検出傾向が異なる可能性が考えられた。

各採水地点の各月における特徴的な農薬類を抽出するために、各月を同一群としたOPLS-DAを行った結果を図-5に示した。スコアプロットとローディングプロットの位置関係により、4月から5月にかけてはグループA、5月から6月にかけてはグループB、6月についてはグループC、7月から8月にかけてはグループDの農薬類が検出される傾向が読み取れた。この結果は、図-3で示したとおり、テフリトリオンが

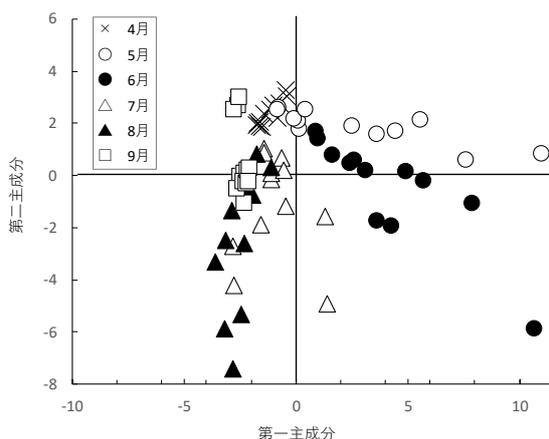


図-4 各試料におけるリスト農薬検出状況のPCA結果 (スコアプロット)

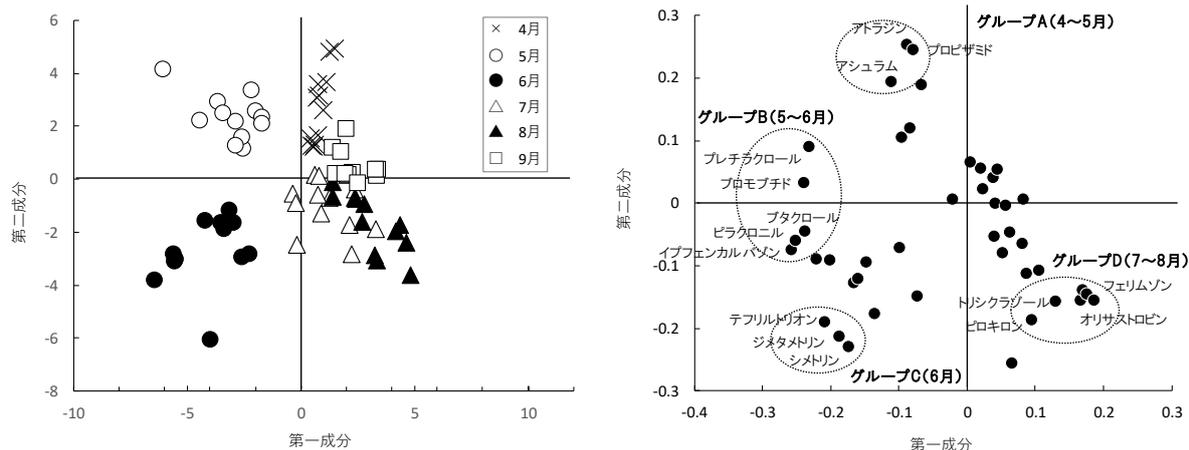


図-5 リスト農薬検出状況の月別による OPLS-DA 結果 (左: スコアプロット、右: ローディングプロット)

6月に最も検出される濃度が高くなる結果と合致した。また、グループAは春先に作物の発芽前・定植前に使用する除草剤、グループBは水稻の移植前から移植直後まで使用する除草剤、グループCは水稻の移植後に使用する除草剤、グループDは主に水稻のいもち病の防除などに使用される殺菌剤であり、使用時期に応じて検出された農薬類を抽出することができた。

## ②リスト外農薬

リスト農薬と同様に、各採水地点の各月における特徴的な農薬類を抽出するために、各月を同一群とした OPLS-DA を行った結果を図-6に示した。図-6のスコアプロットで4、6、7及び8月の各点は大きく分離されなかったが、9月と5月の一部のデータにおいては、特定の傾向が観察された。スコアプロットとローディングプロットの位置関係より、5月にはグループEの農薬類が検出される傾向が示唆され、また R6.5 豊野原水の外れ値についても、これらの農薬類が例年より高く検出された影響によるものと考えられた。また、9月についてはグループFの農薬類が検出される傾向が確認された。グループEの農薬は、土壌処理除草剤、水稻用除草剤、殺菌剤と、リスト農薬と比較して明確な傾向は示されなかった。そのため、R6.5 豊野原水の特異的なデータが、ローディングプロットに強く影響を及ぼしている可能性が高いことが推察された。また、グループFの農薬類は農業用殺虫剤・殺菌剤であるため、収穫前に散布されることから9月に検出されたと考えられた。

グループE及びFの農薬類の豊野原水での検出状況を図-7に示した。図-6のスコアプロットにおいて外れ値として示された R6.5 については、ピリミノバックメチルの濃度が例年より高く検出されており、外れ値となった一因と考えられた。これらの農薬類について、目標値に対する検出値の割合をみると、いずれも 1/100 を大きく下回っており、淀川原水への影響は極めて低いと推察された。

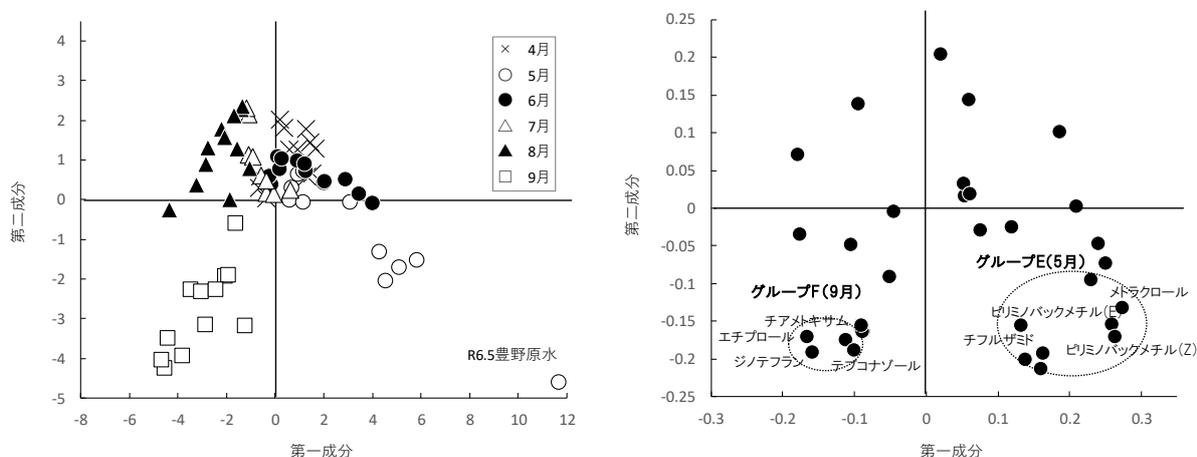


図-6 リスト外農薬検出状況の月別による OPLS-DA 結果 (左: スコアプロット、右: ローディングプロット)

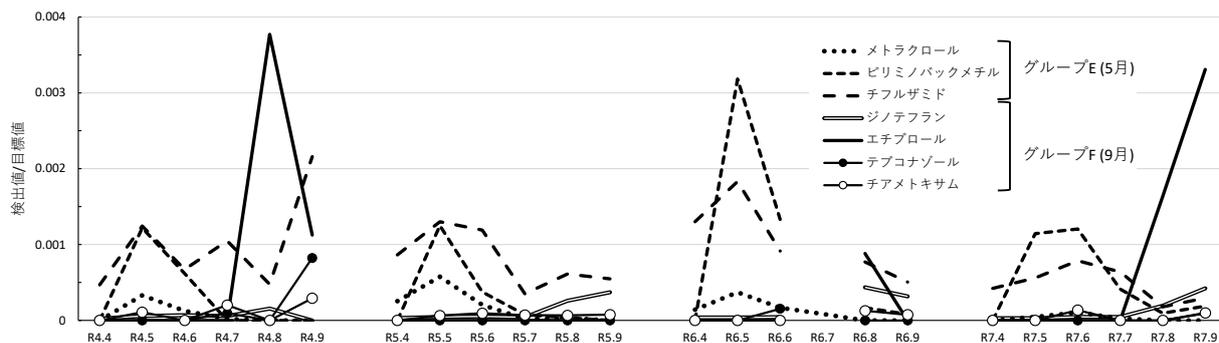


図-7 豊野原水での検出状況（グループE及びF）

#### 4. まとめ

- ・平成16年度以降の各年度における検出指標値の推移について、リスト農薬の内容が大幅に見直された平成25年度以降、徐々に増加傾向を示した。特にリスト農薬にテフリトリオンが追加された平成29年度以降は急激に増加し、令和元年以降はほぼ横ばいで推移していることが明らかとなった。
- ・平成30年度以降の検出指標値に占めるテフリトリオンの割合は、常に70～80%であった。テフリトリオンは水稲用除草剤であるため、使用頻度の高くなる5～7月に高値で検出され、淀川上流より取水している豊野原水では、中流域の庭窪原水、下流域の柴島原水に比べて指標値が2倍程度高くなっていた。
- ・リスト農薬の測定データについてOPLS-DAを行った結果、4月から5月（グループA）、5月から6月（グループB）、6月（グループC）、7月から8月（グループD）の4つのグループの検出傾向が読み取ることができ、それぞれの農薬類の使用時期に応じて検出された農薬類を抽出することができた。
- ・リスト外農薬の測定データについてOPLS-DAを行った結果、9月（グループF）と5月の一部（グループE）のデータにおいて特定の傾向が観察された。グループEの農薬は、リスト農薬と比較して明確な傾向は示されなかったため、R6.5豊野原水の特異的なデータが、ローディングプロットに強く影響を及ぼしている可能性が高いことが推察された。また、グループFの農薬類は農業用殺虫剤・殺菌剤であるため、収穫前に散布されることから9月に検出されたと考えられた。また、これらグループE及びFの農薬類の豊野原水における検出状況をみると、目標値に対する検出値の割合は、いずれも1/100を大きく下回っており、淀川原水への影響は極めて低いと推察された。

#### 5. 参考文献

- 1) 厚生労働省：農薬類の分類の見直しについて、平成25年3月28日付 厚生労働省健康局水道課長通知（2013）
- 2) 吉村誠司、藪内宣博、平林達也、北本靖子：淀川水系における対象農薬リスト掲載農薬類の存在実態と水道原水への影響評価、水道協会雑誌、第87巻、第5号、2-13（2018）
- 3) 藪内宣博、外山義隆、吉村誠司、平林達也、北本靖子：要検討及びその他農薬類の淀川水系における存在実態とその浄水処理性、水道協会雑誌、第88巻、第3号、2-15（2019）
- 4) 吉村誠司、藪内宣博、北本靖子、田中航也、平林達也：直接注入LC-MS/MS法を活用した対象農薬リスト掲載農薬類の効率的な分析手法、水道協会雑誌、第85巻、第6号、1-12（2016）
- 5) 吉村誠司、今中壮一、藪内宣博、田中航也、平林達也：陰イオン交換カラムを用いた直接注入LC-MS/MSによるグルホシネート及びグリホサートの一斉分析法、水道協会雑誌、第83巻、第10号、10-15（2014）
- 6) 森口泰男、平林達也：ヘキサソーアセトン混合溶媒を用いた固相抽出-GC/MS法による農薬類の一斉分析、水道協会雑誌、第90巻、第2号、3-12（2021）
- 7) 山田圭一、吉村誠司：大阪市水道局における高分解能質量分析計とデータマイニングによる水質異常対応への取り組み、用水と廃水、第67巻、第7号、37-42（2025）

## 毒物等の浄水処理性に関するマニュアルの整備（その2）

大阪広域水道企業団 ○河野 彩香  
 玉川 拓海  
 奥田 雄斗  
 河原 一樹  
 熊澤 正朗

### 1. はじめに

大阪広域水道企業団（以下「企業団」という。）では、水質事故時の連絡体制やアクションレベル、アクションレベルを超過した場合の対応等を記載した「水質事故対策手引書」を定めている。それには、水道水質基準項目等の検知手段、毒性及び処理方法等について記載されているが、実際に浄水場に毒物等が流入した場合の浄水処理工程ごとの除去性は詳細には示されていない。

そこで、毒物等による水質事故時に即座に対応できるよう、浄水場における毒物等の処理方法に加え、排出源及び過去の事故事例を整理した「毒物等マニュアル」の整備を進めている。これまでに、六価クロム、シアン、ヒ素、鉛、水銀、ホルムアルデヒド、浄水処理対応困難物質のマニュアルを作成し、必要に応じて実験によりその内容の充実を図っている。

令和7年全国会議ではシアンに関する毒物等マニュアルの充実化について発表した<sup>1</sup>が、本稿ではヒ素に関する毒物等マニュアルの充実化について紹介する。

### 2. 毒物等マニュアルの概要と作成方法

毒物等マニュアルは処理性、毒物等の排出源及び毒物等による事故事例の3部から構成されている。その概要及び作成方法については令和7年度全国会議にて発表した論文<sup>1</sup>)を参照されたい。ここでは、ヒ素に関する処理性の情報をどのように整理したのかを示す。

ヒ素について、文献資料により一般的な処理の原理や処理方法を調べ、企業団における過去の実験結果がある場合には浄水処理工程ごとの除去率に関する情報を整理し、表1のようにマニュアルに反映している。

凝集沈澱処理で除去されたヒ素は沈澱汚泥として排出され、その後、排水処理過程を経て浄水発生土に含まれることになる。企業団では、この浄水発生土を園芸用土の材料等として再利用しているため、浄水処理における留意点として肥料取締法に基づくヒ素の許容含有量や廃棄物処理法に基づく産業廃棄物中のヒ素の基準値なども記載している。

表1 毒物等マニュアルの一部抜粋（ヒ素の処理性）

形態	無機ヒ素		有機ヒ素*2 (MMAA, DMAA, AB)
	懸濁態(五価)	溶存態(三価)	溶存態
除去性			(除去の可能性あり)
粉末活性炭	—	—	—
前塩素	—	○ステップ① (三価から五価に酸化)	—
苛性ソーダ	—	—	—
生物処理	—	—	—
凝集沈澱	◎*1	◎ステップ② (五価に酸化して凝集で除去)	—
オゾン	—	ステップ① ↓ (除去の可能性あり <sup>2</sup> )	—
GAC	—	ステップ②	—
後塩素	—	三価から五価に酸化	—

(除去性の判定) ◎: 8割以上 ○: 5割~8割未満 △: 3割~5割未満 ×: 3割未満  
 —: 不明

### 3. 毒物等マニュアルの充実化

#### (1) 既存の毒物等マニュアルの課題

上述のとおり、既存のマニュアルで毒物等の処理性を整理しているが、文献資料や過去の実験で示されている処理条件が実際の浄水処理の条件と合わない場合がある。そのため、事故時の対応の参考にはなるが、即座に対応するためのマニュアルにするにはさらに詳しい情報が必要である。

#### (2) 毒物等の浄水処理性に関する実験

上述の課題を解決するため、実際の浄水処理の条件で実験を行い、浄水処理工程ごとの除去率の情報をマニュアルに追加することとした。そうすることで、事故発生時にどのように浄水処理を強化すればよいか即座に判断することができる。

そこで、ヒ素の浄水処理に関する情報を追加するため、浄水処理工程ごと（塩素処理、凝集沈澱処理、砂ろ過処理）のヒ素の除去率についての実験を行った。また、凝集沈澱処理により除去されたヒ素が時間の経過に伴い沈澱物から再溶出または脱離する可能性についても確認した。

##### ① 浄水処理によるヒ素の除去性

企業団村野浄水場原水 1L（塩素要求量 1.2mg/L）にヒ素（Ⅲ）が 0.1mg/L となるよう亜硫酸を添加し、次に次亜塩素酸ナトリウム（以下「塩素」という。）（注入率 0, 0.5, 1, 2, 3mg/L）及び PAC（注入率 0~35mL/m<sup>3</sup>）を添加し、ジャーテストを行った。その上澄みに含まれるヒ素を ICP-MS で測定した。

結果は図 1 のとおり、塩素を添加していない場合は PAC を添加してもヒ素を除去することはできず、塩素を添加した場合でも PAC を添加しなければヒ素を除去することはできなかった。なお、塩素注入率が 1~3mg/L の場合もヒ素の残存率はほぼ同じ結果であった。

以上により、塩素注入率 0.5mg/L でヒ素（Ⅲ）（溶存態）は十分にヒ素（Ⅴ）（懸濁態）に酸化され、PAC により凝集沈澱されたと考えられる。

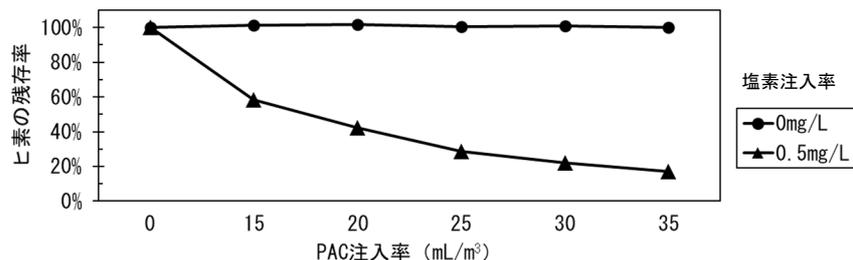


図 1 凝集沈澱によるヒ素の残存率

次に、村野浄水場原水 1L（塩素要求量 1.0mg/L）にヒ素（Ⅲ）が 0.1mg/L となるよう亜硫酸を添加し、次に塩素（注入率 0.5mg/L）及び PAC（注入率 0~50mL/m<sup>3</sup>）を添加し、ジャーテストを行った。その上澄みをろ紙（保持粒子径 1μm の GF/B）でろ過し、ろ液に含まれるヒ素を ICP-MS で測定した。

結果は図 2 のとおり、ろ過することで凝集沈澱よりもさらにヒ素を除去することができた。なお、PAC を添加していない場合、塩素+凝集沈澱+ろ過でヒ素を除去することはでき

なかった。これにより、ヒ素（V）の懸濁態は1 $\mu\text{m}$ 以下のコロイド状で存在していると考えられる。

また、ヒ素はPAC注入率が高いほど除去することができたが、濁度はPAC注入率が20 $\text{mL}/\text{m}^3$ のときに最も低くなった。これは、ヒ素（V）がコロイド状で存在しており、単位体積当たりの表面積が濁質よりも大きいことにより、その表面に帯びている負電荷を電氣的に中和するには濁質よりも多くのPACが必要になるためと考えられる。

以上の結果により、実際に浄水場に0.1 $\text{mg}/\text{L}$ のヒ素が流入した場合、塩素+凝集沈澱+ろ過により90%以上を除去できることが分かった。ただし、実際の砂ろ過施設では異なる挙動を示す可能性があり、留意が必要である。

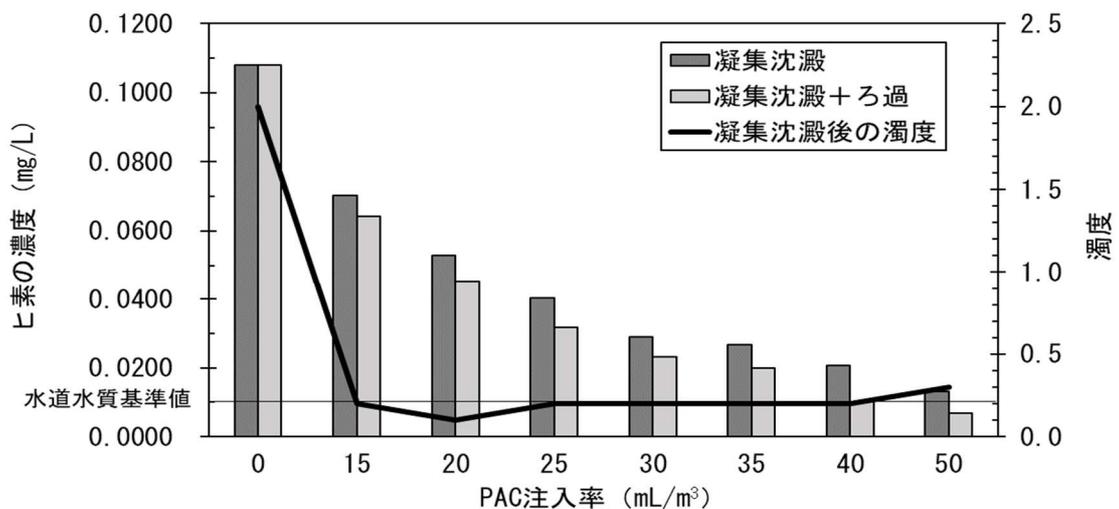


図2 塩素+凝集沈澱+ろ過によるヒ素の除去性（塩素注入率0.5 $\text{mg}/\text{L}$ ）

## ②ヒ素が沈澱物から再溶出または脱離する可能性

村野浄水場原水 1L（塩素要求量 1.1 $\text{mg}/\text{L}$ ）にヒ素（III）が0.1 $\text{mg}/\text{L}$ となるよう亜ヒ酸を添加し、次に塩素（注入率2 $\text{mg}/\text{L}$ ）及びPAC（注入率20, 50 $\text{mL}/\text{m}^3$ ）を添加し、ジャーテストを行った。4, 20, 30 $^{\circ}\text{C}$ で1週間静置させ、その上澄みに含まれるヒ素をICP-MSで測定した。

結果は図3のとおり、水温が高いと上澄みに含まれるヒ素の濃度が時間の経過に伴い上昇することが分かった。

これは、ヒ素（V）がヒ素（III）に還元されて再溶出したか、または沈澱物からヒ素（V）が脱離したためと考えられるが、いずれによるものかはまでは確認していない。

塩素+凝集沈澱で除去されたヒ素の一部は、時間の経過に伴い処理水中で再度検出され

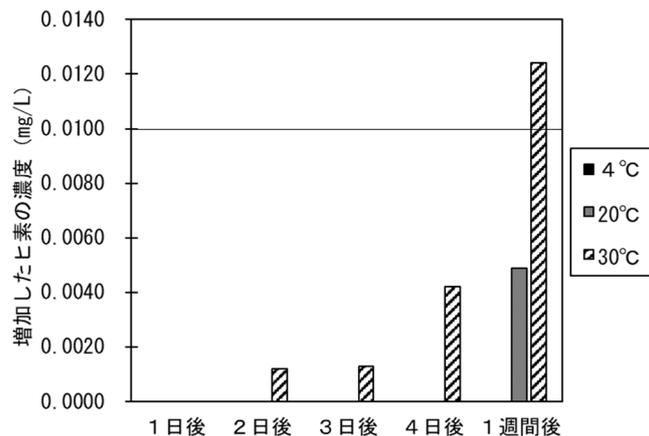


図3 時間の経過に伴うヒ素の再溶出または脱離（PAC注入率20 $\text{mL}/\text{m}^3$ ）

る可能性はあるが、速やかに沈澱汚泥を排出することでその濃度上昇を抑えることができると考えられる。また、実機において沈澱汚泥の排水処理を行う過程でヒ素が汚泥から再溶出または脱離したとしても、村野浄水場では返送水に含まれるヒ素の濃度は着水井に戻るまでに 4000 倍程度に希釈されるため、原水に負荷されるヒ素の濃度は浄水処理に影響がない程度にまで低減することができる。しかし、浄水発生土には高濃度のヒ素が含まれる可能性があるため、廃棄する際には注意が必要である。

### (3) 毒物等マニュアルへの反映

以上の結果により、マニュアルの内容を表 2 のとおり、より充実した内容にすることができた。

表 2 ヒ素の浄水処理性に関する実験調査結果（マニュアル類との比較）

	水質事故対策手引書	毒物等マニュアル	実験調査結果
塩素	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・残留塩素 1mg/L 以上でヒ素 (Ⅲ) がヒ素 (Ⅴ) にほぼ 100% 酸化される</li> <li>・ 8 割以上除去可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 塩素注入率 0.5mg/L 以上でヒ素 (Ⅲ) がヒ素 (Ⅴ) に酸化される</li> <li>・ 塩素を添加し、PAC 注入率 50 mL/m<sup>3</sup> で 85% 程度除去することができる</li> </ul>
凝集沈澱	○（溶解性のものは除去性が悪い）		
砂ろ過	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 凝集沈澱処理で除去しきれなかったものをある程度除去することができる</li> </ul>
排水処理の留意点	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 浄水発生土中のヒ素濃度に注意が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同左</li> <li>・ 時間の経過に伴いヒ素が再溶出または脱離する可能性がある</li> </ul>

※表中の「○」は「除去可能」、「—」は「記載なし」という意味

## 4. まとめ

本稿では、ヒ素の毒物等マニュアルの充実化について報告した。ヒ素については、塩素＋凝集沈澱で 85% 程度除去できることが分かった。また、排水処理中に沈澱汚泥からヒ素が再溶出または脱離する可能性があるという留意点も新たに分かり、より充実した毒物等マニュアルにすることができた。今後も、ヒ素以外の毒物等についてより実践的なマニュアルの整備に努める。

## 参考文献

- 1) 玉川ら：毒物等の浄水処理性に関するマニュアルの整備、令和 7 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp. 936-937 (2025)

# 瀬田川の鱗片を有する黄金藻の実態調査

○中村瑞穂(阪神水道企業団)

## 1. はじめに

阪神水道企業団では、琵琶湖・淀川における異臭味やろ過障害の原因となる生物を中心に原水の監視を行っている。その中で、黄金藻は生ぐさ臭を発臭する原因生物として知られており、琵琶湖では *Uroglena* が増殖することで発生する生ぐさ臭により、オゾン及び活性炭処理が使用できない場合に、その臭いが浄水に残留する問題が起こる場合がある。生ぐさ臭の問題を引き起こしうる黄金藻は *Uroglena* だけでなく *Synura* や *Mallomonas* も知られており<sup>1)</sup>、その種構成に関する情報は、水源水質の把握や生物障害の対策を考案する上で有益な情報となる。

*Synura* や *Mallomonas* の細胞は珪酸質の鱗片からなる被殻で被われており、鱗片の構造は種を分類・同定する上で重要である。しかし、鱗片の構造は微細であることから種の同定を正確に行うためには、電子顕微鏡による観察が必要である。本報告では、2024年4月から2025年3月までの毎月1回、瀬田川1地点から採取した12試料の調査で得られた知見を報告する。

## 2. 材料と方法

2024年4月から2025年3月までの毎月1回、瀬田川の1地点で、広口ポリ瓶500mLに表層水を採取した(図.1)。試料水50mLに対して0.5%になるように、グルタルアルデヒド固定液(グルタルアルデヒド25%)を添加し、自然沈澱法で数mLに濃縮した。また、生試料50mLをろ過濃縮法で数mLに濃縮し、いずれの試料も光学顕微鏡で観察した。さらに、試料水30mLをポリカーボネート製ヌクレポアフィルター(直径25mm、孔径1 $\mu$ m)でろ過し、オーブンで乾燥後、白金を蒸着し、走査電子顕微鏡を用いて観察した。



図.1 瀬田川の採水地点

## 3. 結果及び考察

瀬田川の1地点から5属25種2変種の鱗片を有する黄金藻を見出した(表1)。その内、1種1変種は瀬田川では初めて確認した。これまで琵琶湖及び瀬田川からは、5属50種1亜種1変種1品種が報告されており<sup>2), 3)</sup>、今回新たに見出した1種1変種を加えると、琵琶湖及び瀬田川産の鱗片を有する黄金藻は5属51種1亜種2変種1品種となる。以下では上記の25種2変種のうち、本調査で多く見られた種及び瀬田川で初めて確認した種について報告する。

表 1. 瀬田川で採集された鱗片を有する黄金藻(2024年4月~2025年3月)

季節 採取年・月 種名	春		夏					秋			冬			春	
	2024												2025		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
<i>Mallomonas acaroides</i>	●	●	○	●		○							●	○	
<i>M. acaroides</i> var. <i>obtusa</i>		○													
<i>M. akrokomos</i>	●									●	●				
<i>M. alpina</i>	○	●	○				○	●							
<i>M. areolata</i>															
<i>M. caudata</i>	○	○	○			○		●	●	○	●		○		
<i>M. corymbosa</i>				●				●	○						
<i>M. crassisquama</i>	●	○	○	●		○		●	●	●	●		●		
<i>M. elongata</i>	●	○	○	●				●	●	○	●		○		
<i>M. flora</i>	○														
<i>M. heterospina</i>	●	○													
<i>M. insignis</i>										○					
<i>M. portae-ferreae</i>	○	○		○		○		●	○	○	○		○		
<i>M. pseudocoronata</i>	○	○	○	○	○			○	○	○			○		
<i>M. pumilio</i>														●	
<i>M. punctifera</i>	○		●											○	
<i>M. striata</i> var. <i>serrata</i>															
<i>M. tonsurata</i>	●	●		●	●	○		●		○					
<i>Synura glabra</i>	○	○													
<i>S. petersenii</i>													○		
<i>Spiniferomonas bilacunosa</i>			●					●							
<i>S. bourrellyi</i>		●	●	●	●			●					●		
<i>S. cornuta</i>		●											●	○	
<i>S. takahashii</i>								●							
<i>S. trioralis</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
<i>Chrysophaerella coronacircumspina</i>				○				○							
<i>Paraphysomonas vestita</i>	●	●	●	●		●	○	●		○	●		●		
種数	15	15	11	11	4	10	3	15	7	13	11		11		

● : 細胞  
○ : 鱗片

### 3.1 *Mallomonas* 属

*Mallomonas* 属は 17 種 1 変種見出された。このうち、*M. insignis*、*M. striata* var. *serrata* は瀬田川では初めて確認した。これまで琵琶湖及び瀬田川の *Mallomonas* 属は 22 種 1 変種報告されており<sup>3)</sup>、本調査で見いだした 1 種 1 変種を加えると、23 種 2 変種となる。

#### ・ *Mallomonas crassisquama*

細胞は卵円形、 $26-35 \times 18-20 \mu\text{m}$ 、細胞全体に剛刺をもつ(図. 2A)。剛刺は  $17-25 \mu\text{m}$  長、鈎剛刺(図. 2B)か鋸歯状剛刺をもつ。鱗片は広卵形、 $5.2-5.7 \times 3.3-4.4 \mu\text{m}$ 、盾板には網状構造が発達し、後縁部には放射条線構造がある(図. 2C)。細胞後端部の尾部鱗片は三角形、 $4.5 \times 2.8 \mu\text{m}$ 、先端に刺をもつ(図. 2D)。過去の調査では、瀬田川では春季に細胞が見出され、他の季節には鱗片が見出されていたが<sup>3)</sup>、今回の調査では四季を通して細胞が見出された。

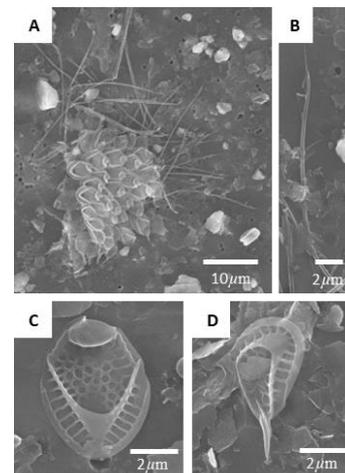


図. 2 *Mallomonas crassisquama*  
A: 細胞, B: 鈎剛刺, C: 鱗片, D: 尾部鱗片

・ *Mallomonas elongata*

細胞は卵形、楕円形、 $32-42 \times 12-17 \mu\text{m}$  (図. 3A、3B)。ドーム鱗片は卵形、 $6.8-7.7 \times 4.0-4.7 \mu\text{m}$ 、突出したドームをもち、盾版には横方向に並んだ孔があいている (図. 3C)。ドームなし鱗片は  $4.1-4.5 \times 3.0-3.3 \mu\text{m}$ 、ドーム鱗片と同じ構造をしている。剛刺は  $16-25 \mu\text{m}$  長、鋸歯状である (図. 3D)。本種は細胞と剛刺の形態等から光学顕微鏡でも同定可能である。過去の調査同様<sup>3)</sup>、四季を通して細胞が見出された。

・ *Mallomonas insignis*

体鱗片は卵形、 $7.2-7.8 \times 4.6-4.7 \mu\text{m}$ 、盾板の表面には乳頭突起があり、幅の広い折れ曲がり縁をもつ (図. 4)。琵琶湖及び瀬田川で初めて見出された。

・ *Mallomonas striata* var. *serrata*

細胞は楕円形、 $19 \times 9.4 \mu\text{m}$  (図. 5A)。鱗片は楕円形、 $3.0-3.7 \times 2.5-2.7 \mu\text{m}$ 、ドーム、前縁部及び盾版には縦か斜め方向に条線構造がある (図. 5C)。剛刺は  $15 \mu\text{m}$  長、鋸歯状である (図. 5B)。琵琶湖及び瀬田川で初めて見出された。これまで琵琶湖及び瀬田川で見出されている基本種の剛刺は滑らかであるのに対し、今回初めての報告である本変種の剛刺は鋸歯状であることが異なる。

### 3.2 *Synura* 属

本属は球形ないし長楕円形の群体を形成する。鱗片は角をもつ卵形のもの (ペテルセニー節) と円～楕円板で先端に棒状突起をもつもの (スピノーサ節) に大別される<sup>4)</sup>。本調査では、ペテルセニー節の *S. glabra* 及び *S. petersenii* の球形の群体や鱗片が見出された。

・ *Synura glabra*

鱗片は広卵形、 $2.8-4.0 \times 1.6-1.7 \mu\text{m}$ 、中央に先端が角突起となった小室とその左右に肋骨構造が発達する (図. 6)。

### 3.3 *Spiniferomonas* 属

これまで琵琶湖と瀬田川から 6 種報告されており<sup>3)</sup>、今回の調査では 5 種の *Spiniferomonas* が見出された。そのうち *S. trioralis* は通年出現した。本種は過去の調査では

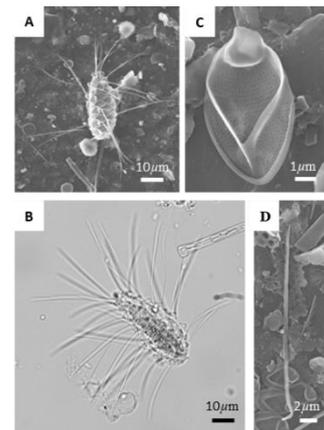


図. 3 *Mallomonas elongata*  
A: 細胞, B: 細胞, C: 鱗片, D: 剛刺

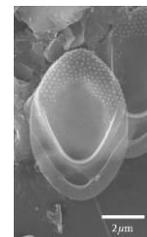


図. 4 *Mallomonas insignis* 体鱗片

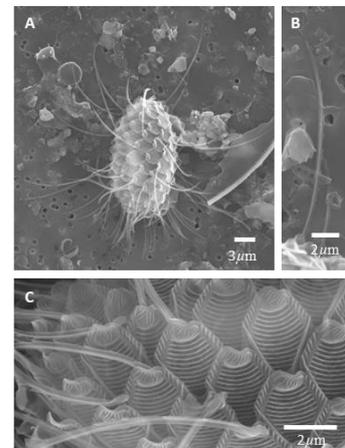


図. 5 *Mallomonas striata* var. *serrata*  
A: 細胞, B: 剛刺, C: 鱗片

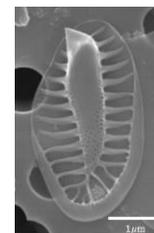


図. 6 *Synura glabra* 鱗片

50 試料中 37 試料から見出されており<sup>3)</sup>、琵琶湖及び瀬田川で最もよく出現する鱗片を有する黄金藻である。

・ *Spiniferomonas trioralis*

細胞は球形であり、刺鱗片と平板鱗片で被われる (図. 7A)。刺鱗片は長さ 5.4–21  $\mu\text{m}$ 、小円盤の基部を持ち、三角軸で先端がとがる (図. 7B)。平板鱗片は楕円形で 1.7–2.0  $\times$  1.4–1.9  $\mu\text{m}$ 、中央に楕円形の窪みがある。

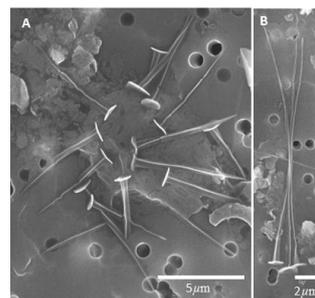


図. 7 *Spiniferomonas trioralis*  
A: 細胞, B: 鱗片

### 3.4 *Chrysophaerella* 属

本属には群体性と単独性の種があり、今回の調査では単独性の *Chrysophaerella coronacircumspina* が見出された。

・ *Chrysophaerella coronacircumspina*

細胞は球形で直径約 6  $\mu\text{m}$ 、刺鱗片と平板鱗片に被われる。刺鱗片は長さ 6.0–7.9  $\mu\text{m}$ 、2 枚の板からなる糸巻状の基板を持ち、刺は先細りで先端は 2 歯で終わる (図. 8)。平板鱗片は楕円形、1.6–1.8  $\times$  1.1–1.2  $\mu\text{m}$ 、中央に縁が波打っている楕円形の窪みがある。

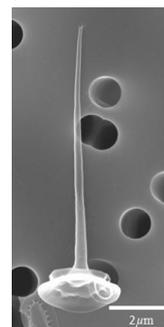


図. 8 *Chrysophaerella coronacircumspina* 刺鱗片

### 3.5 *Paraphysomonas* 属

1 種のみ見出され、*Paraphysomonas vestita* は過去の調査同様多くの試料で見出されている<sup>3)</sup>。

・ *Paraphysomonas vestita*

細胞は球形、卵形で直径 12–13  $\mu\text{m}$  (図. 9A)、画鋸状の鱗片で被われる。鱗片は折曲がり縁のある円板の中心から、管状で先端が尖る刺が直立し、円板径は 1.7–2.8  $\mu\text{m}$ 、刺長は 5.0–10  $\mu\text{m}$  であった (図. 9B)。細胞が四季を通じて見出された。

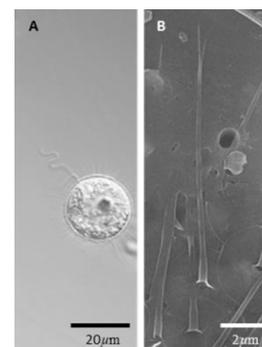


図. 9 *Paraphysomonas vestita*  
A: 細胞, B: 鱗片

## 4. まとめ

2024 年 4 月から 2025 年 3 月にかけて、瀬田川の 1 地点から毎月 1 回採取した試料について、光学顕微鏡並びに走査電子顕微鏡を用いて調査し、5 属 25 種 2 変種の鱗片を有する黄金藻を見出した。その中で *Mallomonas insignis* 及び *M. striata* var. *serrata* の 2 種類は瀬田川から初めて確認した。

琵琶湖の水環境の変化に伴い、栄養塩のバランスやプランクトンの種組成に変化が生じている<sup>5)</sup>。鱗片を有する黄金藻の増殖も他のプランクトン同様、水温、pH 値や栄養塩濃度等に影響を受けることが報告されている<sup>6)</sup>。そのため将来、*Uroglena* 同様、*Synura* や *Mallomonas* を含む鱗片を有する黄金藻が増殖して琵琶湖で生ぐさ臭を発臭し、水道事業者の浄水処理に影響を及ぼすことも考えられるため、そのフローラと動態について引き続き注視していきたい。

#### 引用文献

1) 日本水道協会：生物障害を起こさないための浄水処理の手引き，日本水道協会，48–49 東京 (2006) 2) 伊藤裕之：琵琶湖南湖及び瀬田川における鱗片を有する黄金藻，日本水処理生物学会誌，59 (1)，9–16 (2023) 3) 伊藤裕之，中村瑞穂：琵琶湖南湖及び瀬田川における鱗片を有する黄金藻のフローラ，日本水処理生物学会誌，61 (2)，47–54 (2025) 4) 高橋永治：黄色鞭毛虫目，p. 430–458，水野寿彦・高橋永治 [編]，日本淡水動物プランクトン検索図説，東海大学出版会，東京 (1991) 5) 滋賀県琵琶湖環境部環境政策課：滋賀の環境 2024 (令和 6 年版環境白書)，<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5514270.pdf> 6) Siver, P. A.: The Biology of *Mallomonas*: Morphology, Taxonomy and Ecology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1991)

# 事業所排水に由来する高濃度アンモニア態窒素・琵琶湖南湖疏水取水口付近の湾内還流の実態について

京都市上下水道局 ○比毛 黎児 大西 一範  
小畑 隆夫 榎 良隆

## 1. はじめに

本市の市街地浄水場は、琵琶湖（南湖）から取水を行い、琵琶湖疏水を経由して水道原水としている。平常時の原水中アンモニア態窒素（以下「アンモニア」とする。）濃度（図-1）は0.01mg/Lから0.04mg/L程度であるが、令和7年1月から2月にかけて、原水中アンモニア濃度が最大値0.2mg/Lを超える原水が流入したため、浄水処理において残留塩素濃度管理に大きな影響を受けた。そのため取水口付近の調査を行った結果、気象条件等によって、取水口下流域の事業所排水由来と推察されるアンモニア濃度の高い湖水が、取水に影響を及ぼすことを確認したため報告する。

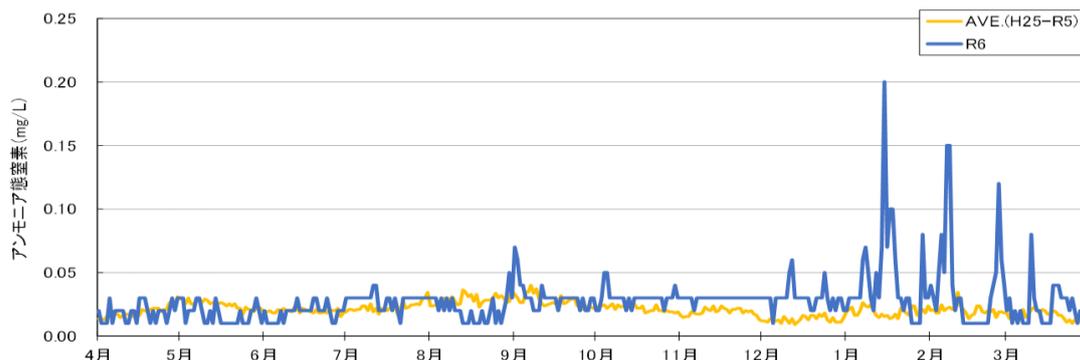


図-1 原水アンモニア濃度の推移

## 2. 調査地点

調査地点を表-1、調査地点位置を図-2に示す。調査地点の選定については、過去より取水口下流に位置する「⑨水路」から、アンモニア濃度が高い事業所排水が琵琶湖に流入していることを把握していたため、取水口から水路付近までの湖岸を選定した。

なお、表-1及び図-2に示す「① 第1 疏水取水口」については、本調査時は冬季の計画停水期間であったため調査は行っていない。

表-1 調査地点

番号	調査地点	第2 疏水取水口からの距離 (km)
①	第1 疏水取水口	
②	第2 疏水取水口	
③	大津港	0.6
④	琵琶湖ホテル東側 棧橋 手前	1.5
⑤	琵琶湖ホテル東側 棧橋 中央	
⑥	琵琶湖ホテル東側 棧橋 先端	
⑦	びわ湖ホール東側	2.4
⑧	水路放流口から10m西	
⑨	水路	2.9
⑩	水路放流口から10m東	



図-2 調査地点位置図

### 3. 調査日及び調査方法

調査日は、令和7年1月14日、1月22日の2日で行った。

調査方法は、調査地点湖岸からロープ付きバケツを投入して湖水（表層水）を採水し、採水容器にて持ち帰り、分光光度計、電気伝導率計及びイオンクロマトグラフ測定装置を用いて水質分析を行った。

### 4. 調査結果と考察

#### (1) アンモニア濃度及び電気伝導率について

調査結果を図-3に示す。調査した両日ともに第2疏水取水口（以下、「取水口」とする。）下流域にある水路から、事業所排水由来と推察される高濃度のアンモニアが琵琶湖に流入しており、それが北上して取水口に流入したと推測された。また、アンモニア濃度と電気伝導率との相関性が非常に高いことがわかった。

1月14日の調査では、取水口付近のアンモニア濃度が0.1mg/L以上となっており電気伝導率も高い値を示した。

1月22日の調査では、水路付近のアンモニア濃度は14日と同様に高いものの、水路よりも上流のアンモニア濃度は低くなっており、一方下流のアンモニア濃度は高くなっていることから、水路からの事業所排水を含む放流水が上流よりも下流方向に流れたと推測された。

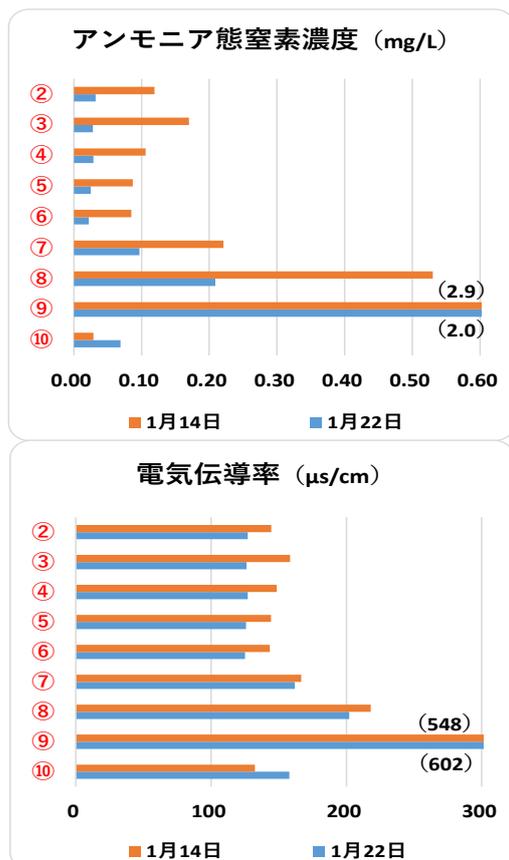


図-3 アンモニア濃度及び電気伝導率の測定結果

水路から琵琶湖へと流出しているアンモニア濃度は大きく変化しないにも関わらず、日によって流れる方向（水流・水量）が変化し取水口に到達するアンモニア濃度が変動することが推察されたため、その要因について当日の気象状況等を調査することとした。

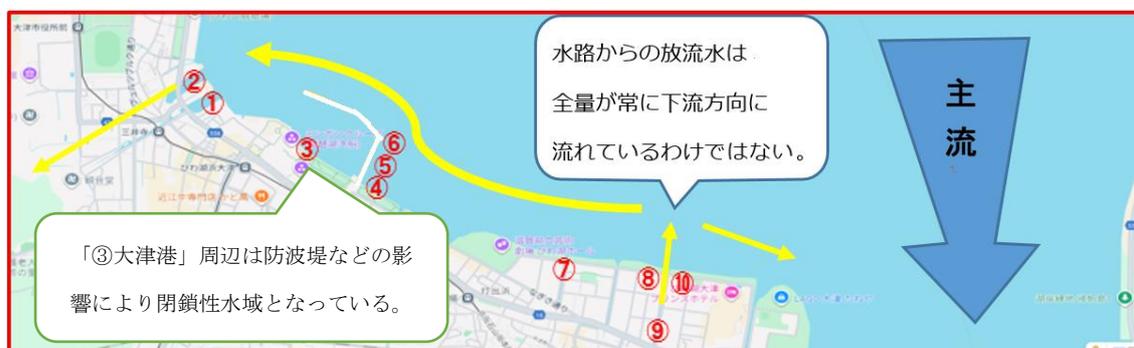


図-4 水路水の動き（イメージ）

## (2) 取水口のアンモニア濃度変動の要因

### ① 恒流及び還流

琵琶湖南湖では、南郷洗堰による水位（放流量）調整による、北から南への主流と、本市琵琶湖疏水取水による湖水の流れによる恒流がある。しかし、南郷洗堰の放流量が少なく、南よりの風が2m/s以上の時には水路付近から取水口に向かっての還流が発生する事が報告されている<sup>1)</sup>。

### ② 風向及び風速

令和7年1月の風向、風速、アンモニア濃度及び電気伝導率を図-5に示す。1月の最大風速は1月8日の6.8m/sであった。月初めは南西寄りの強い風が多発しアンモニア濃度も上昇した。中旬は3月並みの暖かい風の穏やかな日が続きアンモニア濃度も低下した。月末は再び南西寄りの風が吹き、風速も上昇しアンモニア濃度が上昇したことがわかった。

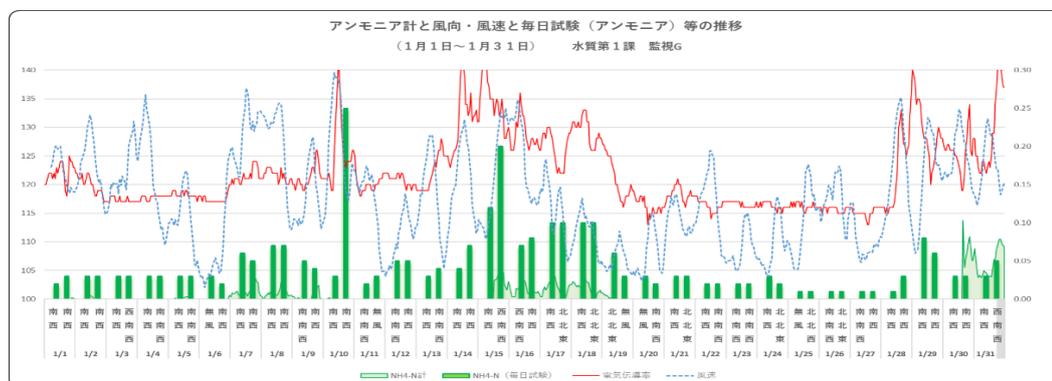


図-5 風向・風速及び電気伝導とアンモニア濃度等の推移

### ③ 水温及び滞留時間

1月22日の水路水を12日間、保冷（4℃）及び保温（30℃）した時のアンモニア濃度及び硝酸・亜硝酸態窒素濃度の増減（硝化反応）を図-6に示す。保温時では硝化が進むが、保冷時には進まないことを確認した。

なお、令和6年度の取水口の最低水温は3.8℃、最高水温は33.5℃であった。

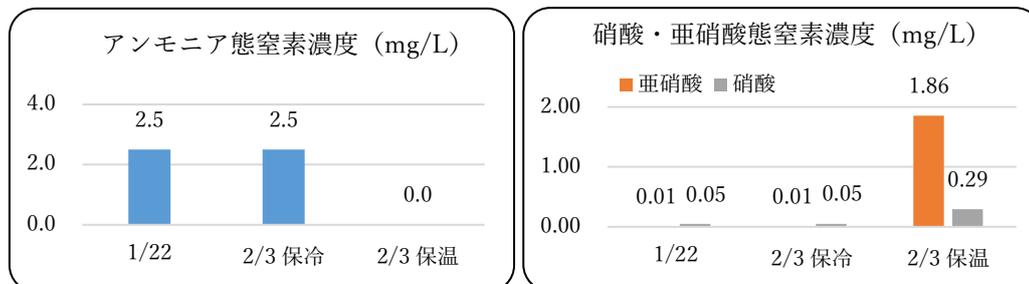


図-6 水路水保冷及び保温時のアンモニア濃度等の推移

### ④ 第1疏水の計画停水

本市では、例年冬季に第1疏水を浚渫等の作業のために計画停水している。第1疏水取水口は第2疏水取水口の直近下流であるため、冬季に下流から高濃度アンモニアが流れてきた場合は、第1疏水に流入することなく、第2疏水に流入することになる。

## 5. まとめ

- (1) 令和7年1月から2月にかけて発生した、取水口への高濃度アンモニアの流入は、下流にある事業所排水由来の可能性があった。
- (2) 南郷洗堰の放流量が少ない場合、浜大津港周辺に時計回りの還流が発生して、水路からの放流水が西向き（上流）に流れていくと推測された。
- (3) 還流を加速させる要因の一つとして南西の強い風が考えられた。
- (4) 冬季のアンモニアは、低水温のために硝酸態窒素に硝化が進まず、影響は大きいと推測された。
- (5) 例年、冬季に琵琶湖第1疏水が計画停水しているため、流入が分散されずに第2疏水への影響が大きかったと推測された。
- (6) この時の電気伝導率は強い相関関係を有し、アンモニア計・電気伝導率計を併用することにより原水水質監視の指標となりうると考えられた。

## 引用文献

- 1) 岩佐 芳郎、井上 和也、足立 敏行、琵琶湖南湖の湖流と拡散に関する数値シミュレーション京都大学防災研究所年報. B. 1978, 21(B-2):293-305. 1978-04-01.

# ラフィド藻類の消毒副生成物生成能に関する調査

京都市上下水道局 ○金子 明日香 東野 亮司 高寺 正光  
横井 貴大 藤原 俊一郎 岩谷 健斗

## 1. はじめに

京都市の主要な 3 浄水場が水源とする琵琶湖南湖では、様々な植物プランクトンが生息しており、中には臭気物質を産生する種や、ろ過閉塞など浄水処理工程に悪影響を与える種も確認されている。本市浄水場では、凝集沈澱・急速ろ過方式による浄水処理を行っており、原水水質に応じて粉末活性炭などの薬品注入率を操作し、良好な水質を維持できるように管理している。

近年、琵琶湖では従来観察されなかったプランクトンが新たに観察されており、その一例としてラフィド藻類が挙げられる（図 1）。ラフィド藻類は葉緑体を多数有し、2本の鞭毛を持つ単細胞性の遊泳性藻類である。平成 25 年 10 月に蹴上浄水場原水（以下「原水」）で初めて観察され、同年の最大数は 11 月 7 日の 250 細胞/mL であった<sup>1)</sup>。

また、同時期に給水のトリクロロ酢酸などの濃度が上昇した。トリクロロ酢酸は塩素との反応で発生する消毒副生成物であり、水質基準項目（基準値 0.03mg/L）に設定されている。通常水温が下がる時期ではトリクロロ酢酸濃度は低下する傾向であるが、平成 25 年 11 月 12 日に過去最大値の 0.019mg/L が検出された。平成 25 年 10 月から 12 月にかけて浄水場では粉末活性炭の注入はなく、前塩素処理が行われていた。ラフィド藻類発生時の原水でハロ酢酸生成能を調査したところ、原水中のラフィド藻類が消毒副生成物の前駆体である可能性が示唆された<sup>2)</sup>。

今回は平成 25 年度の発生以降の経緯紹介とともに、令和 6 年度秋季におけるラフィド藻類の発生状況と消毒副生成物に関する調査を行ったのであわせて報告する。



図 1 ラフィド藻類

## 2. ラフィド藻類の発生状況と課題

### (1) 令和 6 年度における原水での発生状況

令和 6 年 11 月から、本市原水においてラフィド藻類が観察され始め、11 月 27 日に 380 細胞/mL となり、平成 25 年度を超えて過去最大の発生数となった（図 2）。その後、減少

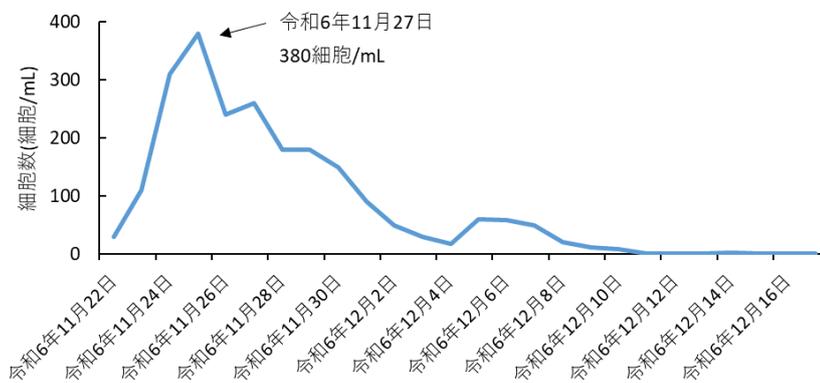


図 2 令和 6 年秋季における蹴上浄水場原水でのラフィド藻類の発生推移

が続いたが、12月下旬までラフィド藻類は観察された。

## (2) 瀬田川におけるラフィド藻類の変動

琵琶湖南湖から流れ出る瀬田川（唐橋流心）でもラフィド藻類の発生が報告されている<sup>3)</sup>。ラフィド藻類の一種である *Merotrichia capitata* について、平成25年9月から観察され始め、同年11月に460細胞/mLまで増加し、以降も秋季を中心に観察されていた（図3）。

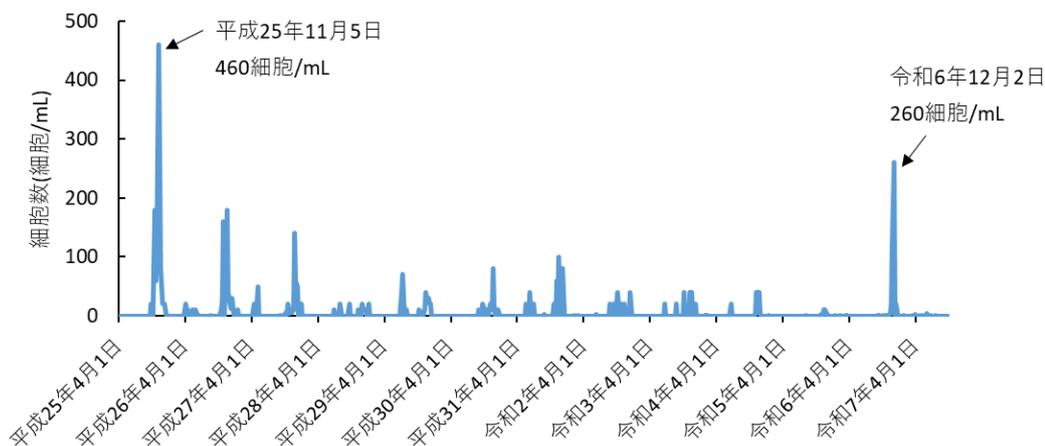


図3 瀬田川でのラフィド藻類の発生推移

（平成25～令和6年度、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターHPより引用）

近年は減少傾向であったが、令和6年度は11月から増加し、12月2日には260細胞/mLと平成25年度に次ぐ細胞数となった。また、琵琶湖南湖及び北湖でも同時期にラフィド藻類が観察されたとの報告がある<sup>4,5)</sup>。

## (3) これまでの調査と課題

本市では平成25年のラフィド藻類観察以降、継続的な観察や調査を行っている。ラフィド藻類の単藻株（使用株 *Gonyostomum semen* NIES-1380）を用いて、塩素反応時のラフィド藻類の各消毒副生成物生成能を調査したところ、クロロホルム、ジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸が生成されることが示唆され、細胞数とトリクロロ酢酸の間に高い相関関係が認められた。また、細胞1つ当たりのトリクロロ酢酸生成能は0.4ngであることが示唆された<sup>1)</sup>。

さらに、植物プランクトンである緑藻類 *Micrasterias hardyi* 及びユーグレナ藻類 *Euglena gracilis* の消毒副生成物生成能を調査したところ、*Gonyostomum semen* のトリクロロ酢酸生成能の方が約30倍高いことが示唆され、ラフィド藻類の発生時に水質監視の強化が必要であると考えられた<sup>2)</sup>。

こうした調査結果から、現在本市では原水中でラフィド藻類の増殖が懸念される場合は前塩素停止などの浄水処理対策を講じ、消毒副生成物の適切な管理を行っている。一方、原水中のラフィド藻類が増殖した際に前塩素停止の可否を判断するための基準値を設定できていなかった。また、給水の消毒副生成物濃度をどの程度に制御するか運用上の整理がされていなかった。

そこで、令和6年度秋季に大量発生したラフィド藻類の消毒副生成物生成能を把握し、今後の運用の参考とするため、原水中の消毒副生成物濃度及び同時期に発生したラフィド藻類の細胞当たりの消毒副生成物生成能について調査を行った。

### 3. 調査方法

原水のジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸生成能及び給水のジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸について、上水試験法に従い LC-MS/MS で測定した。原水は11月27日、12月4日に採水し、給水は11月27日、28日及び12月5日に蹴上浄水場内給水栓から採水した。また、11月27日、12月4日に採水した原水中のラフィド藻類を1mL計数板と光学顕微鏡で観察し計数を行った。なお、採水期間中は粉末活性炭及び前塩素の注入を停止していた。

### 4. 結果と考察

原水中のラフィド藻類の細胞数とハロ酢酸生成能は表1のとおりであった。また、今回ラフィド藻類が増加傾向を示した期間では、臭気物質を産生する種への対策として前塩素を停止していたため、給水中のトリクロロ酢酸濃度は11月27日、28日が0.004mg/L、12月5日が0.002mg/Lと低い値であった。

今回測定した値とは別に、ラフィド藻類が発生していなかった平成24年同時期の原水中のハロ酢酸生成能と、ラフィド藻類が発生していた平成26年に調査した際の細胞数と原水中のハロ酢酸生成能を合わせて表1に示し、ここからラフィド藻類のみの想定生成能を求めた。また、ラフィド藻類の大きな増殖が観察されなかった過去5年の給水最大値はジクロロ酢酸が0.010mg/L、トリクロロ酢酸が0.006mg/Lであり、これをラフィド藻類のみの想定生成能に加えた値を給水における想定最大濃度とした。

表1 原水中のラフィド藻類細胞数とハロ酢酸二種の生成能

採水日		平成24年		平成26年		令和6年	
		12月5日	11月4日	10月27日	12月4日	11月27日	
原水	ラフィド藻類(細胞/mL)	0	6	34	150	380	
	水温(°C)	9.9	16.8	19.7	12.5	13.7	
	色度(度)	9	8	9	12	16	
原水中の生成能 <sup>※1</sup>	ジクロロ酢酸(mg/L)	0.012	0.014	0.019	0.017	0.029	
	トリクロロ酢酸(mg/L)	0.014	0.025	0.033	0.054	0.094	
ラフィド藻類のみの想定生成能	ジクロロ酢酸(mg/L)	—	0.002	0.007	0.005	0.017	
	トリクロロ酢酸(mg/L)	—	0.011	0.019	0.040	0.080	
給水における想定最大濃度 <sup>※2</sup>	ジクロロ酢酸(mg/L)	—	0.012	0.017	0.015	0.027	
	トリクロロ酢酸(mg/L)	—	0.017	0.025	0.046	0.086	
薬品注入量	粉末活性炭(50%wet,ppm)	3	3	3	0	0	
	前塩素(ppm)	0	0	0	0	0	

※1 原水中の生成能について、各測定回数は1回

※2 給水における想定最大濃度は、ラフィド藻類のみの想定生成能に平成31年度～令和5年度における最大値(ジクロロ酢酸0.01mg/L、トリクロロ酢酸0.006mg/L)を加えた値を示している

給水におけるジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸の想定最大濃度の関係を図4に示す。トリクロロ酢酸において、 $y=0.00018x+0.01768$ 、決定係数  $R^2=0.9979$  の回帰直線が得られた。また、これらの結果から細胞あたりの生成能は  $0.18 \text{ ng}$  であった。平成25年度

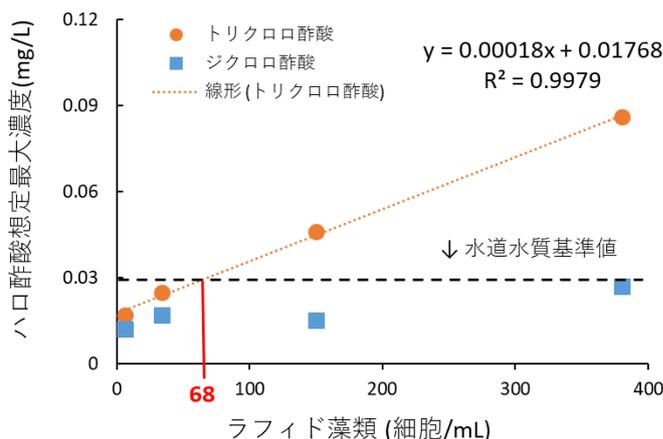


図4 ラフィド藻類と給水におけるハロ酢酸想定最大濃度の関係

の調査では  $0.16 \text{ ng/細胞}$  であり、概ね同様の結果となった。前塩素処理を行っている場合、原水中のラフィド藻類が  $60 \text{ 細胞/mL}$  程度となると、給水のトリクロロ酢酸が水道水質基準値 ( $0.03 \text{ mg/L}$ ) を超過するおそれがあることが示唆された。そのため本市では、この半値である  $30 \text{ 細胞/mL}$  を前塩素停止の判断基準とすることとした。

## 5. まとめ

本市が水道水源とする琵琶湖南湖において、令和6年11月にラフィド藻類が増加し、原水では11月27日に過去最大値となる  $380 \text{ 細胞/mL}$  観察された。琵琶湖南湖におけるラフィド藻類の大きな増加は、平成25年10月以来初めてであった。

ラフィド藻類のハロ酢酸生成能を調査した結果、細胞あたりのトリクロロ酢酸生成能は  $0.18 \text{ ng}$  であった。また、前塩素処理を行っている場合、原水中のラフィド藻類が  $60 \text{ 細胞/mL}$  程度となると、給水のトリクロロ酢酸が水道水質基準値 ( $0.03 \text{ mg/L}$ ) を超過するおそれがあることが示唆された。このことから本市では、前塩素停止の判断基準の一つとして、「原水中のラフィド藻類が  $30 \text{ 細胞/mL}$  以上」と設定することとした。

本市では今後もラフィド藻類の発生動向を注視し、適切な浄水処理を進めていく。

## 6. 参考文献

- 1) 横井, 萩野, 細田, 船岡, 小倉 「ラフィド藻類の塩素処理による給水トリクロロ酢酸濃度の上昇及びその原因調査」, 水道協会雑誌 第90巻第1号 (第1036号) 13-20(2021)
- 2) 横井, 萩野, 船岡, 小倉, 「ラフィド藻類がハロ酢酸濃度に与える影響評価 (続報)」, 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 804-805(2019).
- 3) 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 「瀬田川プランクトン調査結果」 (2013-2025)
- 4) 平成26年度滋賀県環境審議会水・土壌・大気部会 資料3 「平成25年度琵琶湖水質変動の特徴 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター環境監視部門)」
- 5) 令和6年度第2回滋賀県環境審議会水・土壌・大気部会 資料5 「令和6年度琵琶湖水質変動の特徴 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター環境監視部門)」

# PCR を用いたかび臭発生 *Dolichospermum* の早期判別

神戸市水道局水質試験所 ○稲葉 ひかる  
酒井 隆彬  
吉住 昌将  
小田 琢也

## 1 はじめに

神戸市最大の自己水源である千苺貯水池は神戸市北区に位置する有効貯水量 11,244 千 m<sup>3</sup> のダムである。千苺貯水池では毎年 6 月から 10 月にかけて藍藻類が増加し、特にジェオスミンによるカビ臭が問題視されている。これに対し神戸市では、取水口の変更や、硫酸銅の散布などの対策を講じており、最適な方法で対応するためにカビ臭発生生物を早期に確認することが重要である。これまで、カビ臭発生生物の確認は主に検鏡のみで行われていた。千苺貯水池内で発生頻度の高いカビ臭発生生物は *Dolichospermum* 属であり、この種の判別は細胞の直径、アキネートの形、螺旋の直径、螺旋どうしの幅のような形態的特徴で判定を行う。しかしジェオスミンを産生する種と産生しない種とで形態に大きな差が無いことが多く、形態による種の判定を行うことは困難である。加えて、気候変動の影響も大きく、環境の変化に伴う生物種の移り変わりが予想されるため、生物種の判定や、カビ臭発生生物の判断はより困難を極める。さらに、近年、千苺貯水池でも今までは見られなかった藻類の増加が観測されており、検鏡のみでは対応が困難な状況になっている。そこで、神戸市では検鏡に加えて PCR を利用し、貯水池内のジェオスミン関連遺伝子 *geoA* を測定することで形態に頼らずにカビ臭発生種の有無を確認している<sup>1)</sup>。

しかし、PCR で種を判定する場合、現在の方法では最初に藻類を発見してから PCR にかけることが出来る量に増殖するまで最短で 2 週間から 3 週間かかる。そのため、千苺貯水池内で新しく藻類が確認された場合、PCR で確認する前に藻類が増殖し、カビ臭濃度が増加する恐れがある。今回の実験では PCR 検査が出来るようになるまでの期間を短縮するために、藻類が少量の場合でも検査が行えるような実験系を検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 単離方法

ガラス製パスツールピペットをガスバーナーで炙ると同時に引き伸ばし、先端の細いピペットを作成した。作成したパスツールピペットの表面張力を利用し、目的のプランクトンを吸引した。その際、蒸留水を入れたウェルスライドガラスのウェル間を繰り返し移動させていくことで、プランクトンの周りに付着した細菌などを除去した後、単離用のマイクロチューブに入れた。

### 2.2 培養方法

プランクトンの培養は CT 培地を用いた。培養は 48well plate を使用し、プランクトンが増殖し、8 割コンフルエントとなった際に培養フラスコに全量を移した。

### 2.3 DNA抽出とPCRの条件

今回はカビ臭産生種である *Dolichospermum crassum* (以下、*D. crassum* と記載) を用いて実験系を検討した。DNA抽出ではカネカ簡易DNA抽出キット Version2 を使用した。キットA液を *D. crassum* 単離前にマイクロチューブに 50  $\mu$ L 添加しておき、マイクロチューブに *D. crassum* を単離後、98°Cに保温したブロックヒーターで10分間加温した。その後ボルテックスを 5s  $\times$  3 回行い、細胞を破碎した。マイクロチューブの温度が下がってからキット内B液を 7  $\mu$ L 添加し、DNA抽出液を安定させた。PCRではマイクロチューブ内で以下試薬を混合し、その後DNAを 1.6  $\mu$ L 加え、PCRサーマルサイクラーにかけた。

初期変性 95°C15s、その後 (95°C4s、60°C10s)  $\times$  45 サイクル

	$\mu$ L/サンプル
25mM MgCl <sub>2</sub>	1.3
10 $\mu$ M Primer(F)	1.5
10 $\mu$ M Primer(R)	1.5
5 $\mu$ M Probe	0.8
1.25U/ $\mu$ L KAPA3G	1.3
2 $\times$ Buffer	8

## 3 結果

### 3.1 *D. crassum* の増殖速度について

パスツールピペットを用いて単離した *D. crassum* の増殖速度を確認した結果、単離時の巻き数が1巻きの場合、2日後には平均1.5巻き、4日後には平均2巻き、7日後には平均19巻きに増殖した。単離時2巻きだったものは2日後には平均3.3巻き、4日後には平均5巻き、7日後には平均32.7巻きに増殖した。単離時3巻きだったものは2日後には平均4.7巻き、4日後には平均6.5巻き、7日後には平均26.8巻きに増殖した。(表1参照)

表1 *D. crassum* の増殖速度

単離時の巻き数	サンプル番号	2日後	4日後	7日後
1巻	1	1.5	2.5	26
	2	1	1.5	15
	3	2	2	16
	平均	1.5	2.0	19.0
2巻	1	3	5.5	35
	2	3.5	4.5	30
	3	3.5	5	33
	平均	3.3	5.0	32.7
3巻	1	5.5	8	25
	2	4.5	5	18
	3	4	6.5	37.5
	平均	4.7	6.5	26.8

### 3.2 単離 PCR の結果

1~5、6、8、10、15、20 巻き相当の *D. crassum* を単離し、PCR にかけた。5 巻き以上の藻体は自然条件下では存在しづらいことを考慮し、それ以下の巻き数の藻体を組み合わせて指定の巻き数とした。それぞれ 3 サンプル用意した。1~10 巻きを分離した *D. crassum* は 2 サンプル以上で PCR の結果が陽性になったものはなかった。15 巻きと 20 巻きでは 10 巻き以下のサンプルと比較し、高い確率、早い CT 値のタイミングで陽性となった。CT 値を平均すると 15 巻きで 37.3、20 巻きで 36.3 となった。(表 2 参照)

表 2 分離した *D. crassum* の PCR 結果

巻き数	No.	Ct値	平均	巻き数	No.	Ct値	平均
1	1	—	38.1	6	1	—	—
	2	—					
	3	38.1					
2	1	—	36.3	8	1	—	—
	2	36.3					
	3	—					
3	1	—	—	10	1	—	—
	2	—					
	3	—					
4	1	—	40.2	15	1	35.2	37.3
	2	40.2					
	3	—					
5	1	—	—	20	1	37.4	36.3
	2	—					
	3	—					

## 4 考察

表 2 の結果から、PCR では 10 巻き以下のもので、2 つ以上のサンプルで陽性となったものは無かった。このことから、直接 PCR にかけるためには少なくとも 15 巻き以上が必要である。しかし、自然環境下の試料では 15 巻き以上を維持している藻体は少ないため、培養をする必要があることが分かった。なお、1、2、4 巻きではそれぞれ 1 つのサンプルで陽性の結果が出たが、他 2 サンプルは陰性であり、陽性になった要因は現時点では不明である。

次に、表 1 の結果から、*D. crassum* の増殖速度を確認すると、1 巻き以上の *D. crassum* を単離し、培養を開始すれば、7 日間で検査に必要な 15 巻き以上の巻き数が得られることが分かった。さらに、確実に 15 巻き以上の巻き数を得るためには 2 巻き以上の藻体を単離する方が望ましいことも確認された。

## 5 まとめ及び今後の展開

今回の結果から、藻類を単離し培養期間を経ずに PCR 検査を行うことは不可能であったが、1 週間ほど培養し 15 巻き以上になれば PCR 検査を行うことが可能となり、早期の *geoA* 遺伝子検出法を確立することが出来た。また、約 1 週間の培養期間中に顕微鏡観察を行い、形態を記録しておくことで、その後、同藻類が増殖した際に *geoA* 遺伝子保有の有無を判断することが容易となる。

今後は、千苺貯水池内で新規の *Dolichospermum* 属が確認された際に、本実験で確立した手法を用いて迅速に判別を行うとともに、*Dolichospermum* 属以外の藻類での実験も検討していきたい。

### 【参考文献】

- 1) 酒井隆彬ら(2024 年) 千苺貯水池におけるジェオスミン合成酵素遺伝子簡易検出法構築及び活用. 令和 6 年度全国会議 (水道研究発表会)

## 不断水工法による基幹管路の更新

豊中市上下水道局 ○村瀬 元  
池永 正文  
馬場 浩二  
竹本 里桂

### 1. はじめに

本市の水道事業は、昭和3年（1928年）の創設以来、4度にわたる拡張事業と配水管の整備事業などを重ねながら現在に至り、平成29年度（2017年度）に「豊中市水道施設整備計画」を策定するとともに、水道施設の老朽化対策や耐震化、配水小ブロック化、重要給水施設への配水ルートの耐震化事業を推進している。また、水資源の有効利用や漏水による道路陥没などの二次被害を未然に防止するため、積極的に漏水防止対策に取り組み、継続的な維持管理を行っている。

本稿では、断水を行わずに既設管の分岐工事を行う不断水工法により基幹管路を更新した施工事例について、その取り組み概要と実施結果を報告する。

### 2. 豊中市の現状

豊中市は大阪市の北側に位置し、令和6年度末時点において、給水人口397,514人、一日最大給水量124,509m<sup>3</sup>/日、管路総延長818,704m（内基幹管路は74,637m）である。本市の地形は、北部の標高が高く、南部にむかうにつれ緩やかに低くなっており、地形を生かした自然流下による配水を行うため、市内6か所に配水池を配置している。図1に示す通り、6つの大ブロックに区分し配水しており、各配水系統は緊急時に系統幹線間でのバックアップ機能を有している。また、管路耐震適合率は38.9%、基幹管路に限っては73.5%に達している。本稿では寺内配水場から本市南部へ配水している系統幹線（寺内系統幹線）の管路更新を行った事例について紹介する。寺内系統幹線は、令和6年度の年間給水量42,171,760m<sup>3</sup>の約3割にあたる12,543,053m<sup>3</sup>を配水する重要な系統である。

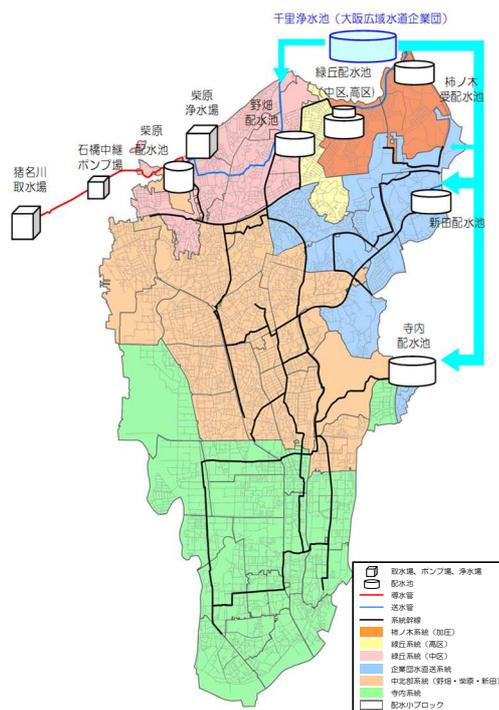


図1 豊中市配水系統図

### 3. 本施工の概要

#### (1) 施工に至る要因

図2は寺内系統幹線の一部を示したものである。更新対象となった管路は昭和43年（1968年）に、服部緑地公園内に敷設されたφ900mmの管路であり、管種は区間①がK形ダクタイル鋳鉄管、区間②が鋼管である。更新の要因は、区間②で4年おきに3度の漏水が発生したことである（図3）。初回は平成20年（2008年）に地上漏水により発見した。2度目は平成24年（2012年）に前回漏水

が発生した場所の北側で、再び地上漏水が発生した。今後、漏水が発生した場合、早期に発見するために点検孔を設置し、漏水監視を行った。3度目は平成28年(2016年)に年2回実施している多点相関式漏水探知機を利用した漏水調査により発見した。修繕は都度、損傷部を木栓で止水し、当板溶接にて行った。原因は外面塗覆装が損傷し剥離した結果による孔食の発生であったが、いずれの漏水発生箇所も管下部であり、同一の要因だと考え、管下部に地下水が湧いていたこと、管周りが腐食性に近い土壌であることから、漏水に至ったと結論付け、敷設替えが必要であると判断した。



図2 寺内系統幹線(一部抜粋)



図3 漏水発生位置と寺内系統幹線の管種

## (2) 設計諸元

図4に更新対象の既設管と本施工で敷設した新設管の位置関係を示す。敷設替えにあたり、令和4年(2022年)3月16日から同年12月27日にかけて、NS形(S種管粉体)ダクトイル鋳鉄管φ800mmを483m敷設した(以下新設管①と略す)。令和4年(2022年)6月23日から令和5年(2023年)3月17日にかけては、ウォーターランド(屋外プール)北側から服部緑地公園内までの195mを同種同口径で敷設した(以下新設管②と略す)。既設管より減径した背景には、水需要の減少がある。本更新の検討時に出た懸念事項として、既設管φ900mmの断水を伴う接続を採用した場合、南部地域全体に影響を与えるため、他の系統からのバックアップが必要となるが、既設管内の排水や接続後の洗管に要する時間を考慮すると、バックアップでは対応できないことが挙げられた。また、既設管の切り取り部の切り屑を管内に混入させないことなど、水質に影響を与えないことが挙げられた。断水せずに新設管といかにして接続するか工法の検討をするなかで、不断水T字管φ900×φ800とインサートバタフライ弁φ900を既設管に設置する候補も挙げられたが、経済性や公園内の通路が狭く、施工範囲が限られており、図5の上段に示す切替弁φ900×φ800を不断水工法で既設管に設置することに決定した。これは、弁体回転時、一時的に既設管への通水はできないが、事前の懸念事項が払拭されるため採用に至った。図5の下段には、切替弁の操作時における弁体位置と通水状況を示す。設置時は既設

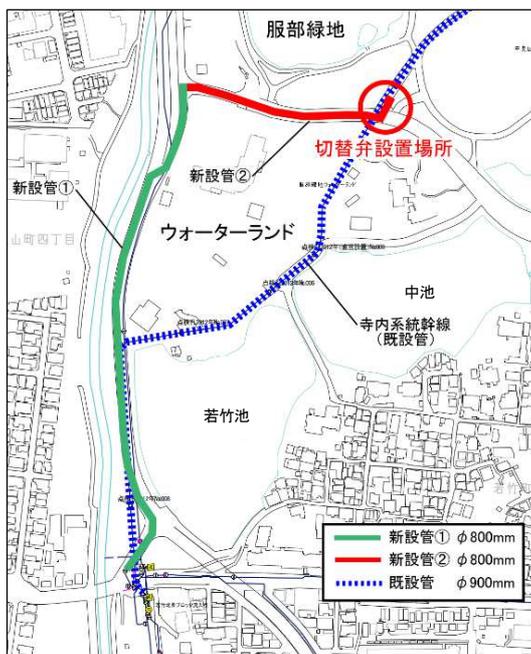


図4 新設管と既設管の敷設位置及び接続位置

管のみを通水しているが、弁体を時計回りに180度回転させると、既設管と新設管(以下新旧管と略す)の両方に通水する。さらに、反時計回りに90度回転させると、新設管のみが流れるようになる。切替弁設置場所(図4)で新旧管を接続した経緯としては、既設管は老朽化しているが、耐震適合管であり最小限のみの更新を行うことにした。また、不断水工法を行う場合に、必要不可欠な大型機材の搬入がしやすい場所であり、かつ作業場所の広さも確保できるという点から園内の通路(図4)に決定した。

工事着手前に公園管理者と協議をした結果、公園内の既設管路を撤去することは、

現時点で困難であり、更新区間内の弁栓のみを撤去することになった。ただし、道路陥没や不陸などの事故を防止するため、既設管内に流動化処理土を充填した。

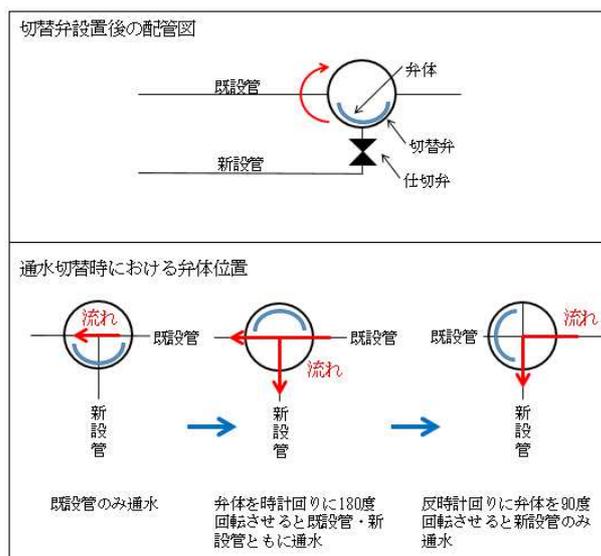


図5 切替弁の概要とその仕組みならびに水の流れ

#### 4. 切替作業の概要

##### (1) 切り替え前の準備

まず、排水量算定に必要な配水量実績による既設管のピーク時、昼夜間の流量と流速の関係を表1に示す。ピーク時における時間最大流量を上回ると濁る可能性があり、ピーク時と夜間流量の差分である1,800m<sup>3</sup>/hを目標に、新設管の夜間洗管作業を行うことにした。この結果を踏まえ、切替作業の手順計画書を作成した。

表1 ピーク時、昼間、夜間の流量と流速の関係

	ピーク時	昼間	夜間
流量 (m <sup>3</sup> /h)	2470	1346	596
流速 (m/s)	1.078	0.587	0.261

新設管①は敷設後に洗管作業並びに水質及び水圧試験を実施した。しかし、新設管②の敷設後から時間が経過し、水が滞留していたため、水質の確保を兼ねた排水作業を行った。その後、新設管②の洗管作業を日中に3日間行い、水質及び水圧試験を実施した結果、遊離残留塩素0.53mg/L、濁度0.1度未満、色度0.5度未満で水道法に基づく水質基準を満たしたため、安全な水を供給できると判断し、切り替え作業に望んだ。作業は水の使用量が少ない時間帯を考慮し、午前1時から午前5時と設定した。前日には、新設管の排水作業を行い、再び水質の確認をした。また、作業計画書をもとに参加する職員で最終の現場確認など、作業前準備を行った。当日は、現場の作業班と本市上下水道局の監視制御システムを活用し、流量監視を行う班に分かれ、突発的な状況に対応できる体制を整えた。

##### (2) 切り替えの手順

切替弁及び各仕切弁並びに消火栓の開閉状況を踏まえた切り替え作業の概略手順を図6に示す。作業は大きく分けて、新旧管の接続部の洗管作業、新設管の洗管作業、新設管への運用の切り替えの3つである。図6において、作業に伴い操作を必要とする弁栓の名称の凡例を示す(B1~B4・バタフライ弁、双消A・B・双口消火栓、双空A・双口空気弁、消A・消火栓、D1・D2・ダクタイ

ル铸铁式仕切弁を指す)。また、実線は新設管を、破線は既設管を示す。初めに、水が滞留していた新旧管の接続部(図6①)を洗管するために、D1を全開にしてからB3を全開とし、塩素中和剤を注入しながら、川に排水する一方、双消Bで水質確認を行った。次に、新設管の洗管作業(図6②)を行うために、切替弁を原状から時計回りに180度回転させB3を全閉とし、D1を全開にして川に排水し、双消Bで水質確認を行った。そして、新設管に運用を切り替える(図6③)ため、D1を全閉にし、B3を全開にしてから、切替弁を反時計回りに90度回転させB4を全開とし、双空Aで既設管(切替弁~B4)の断水確認を行った。万が一に備え、各手順において消火栓ならびに空気弁にて濁り水の発生の有無を確認した。その結果、作業計画書に基づき、各手順において職員間で進捗状況を共有した甲斐もあり、濁り水などの発生もせず、滞りなく進めることができ、時間内に切り替え作業を終えられた。

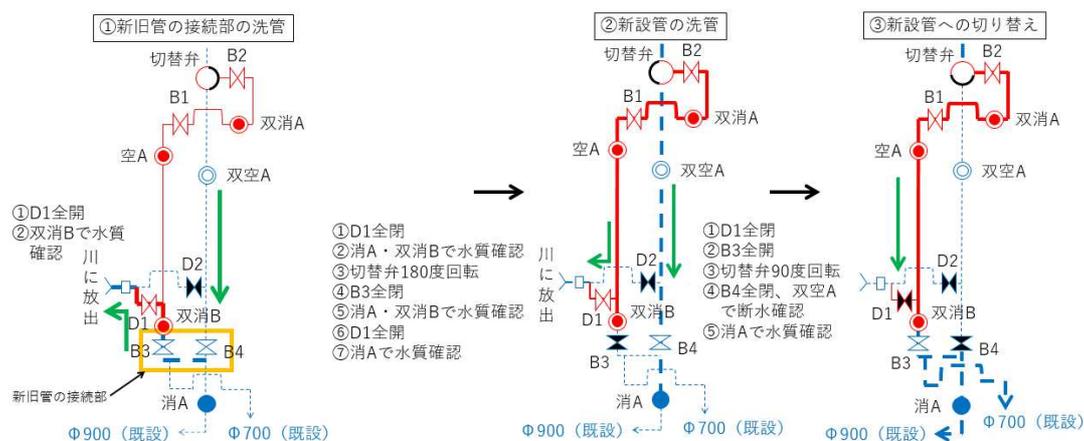


図6 切り替えにおける作業手順の概要

## 5. おわりに

本市では、令和6年(2024年)1月に発生した能登半島地震の影響を受け、令和7年(2025年)1月に同年4月からの5か年計画で、水道施設における送水管の耐震化や重要施設への配水管の耐震性の確保を行うために「豊中市上下水道耐震化計画」を策定した。災害時等、基幹管路で被害が発生すると、広範囲かつ長期的な影響を及ぼし、重要給水施設まで水を供給できないことや復旧までに時間を要することから影響が大きくなるため、基幹管路の耐震化を早急に実施する必要がある。しかし、幹線の切り替え作業は前例が少なく、今回の作業においても、過去に経験をしたことがある職員は少なかった。経験豊富な職員の減少による技術継承や緊急時等に基幹管路の仕切弁の操作ができる職員の育成といった課題に対応するためにも、記録や資料を残し、次の切り替え作業に携わる職員に引き継ぐ重要性を再認識できた。また、基幹管路の敷設替え工事を進めるにあたり、本切り替え作業では、広い作業場所を確保し、最善の機械を用いて施工できたことに加え、十分な量を排水できる設備が整備されていたことなど、条件が揃っており円滑に行えた。しかし、場合によっては、今回のように条件が揃わず、切り替え作業が行えない状況も考えられるため、切り替え場所の適切な選定や最新の技術を駆使することが今後の検討課題である。

# 漏水調査における技術継承の取組みと成果

豊中市上下水道局 ○ 矢野章吾  
滝井真一郎  
新本誉志  
児玉渉

## 1. はじめに

日本水道協会の水道統計によると令和4年度の水道事業に携わる職員は4.2万人とピークの昭和55年と比較し45%減少し、その年齢構成は50歳以上の割合が39%、技能職員・その他に至っては68%以上と高齢化が進む。

一方、京都市国道1号線での配水管漏水による冠水等、老朽管の破損にともなう影響が社会的な問題となっている。

増加傾向にある老朽管路の漏水や道路陥没事故等の二次災害の防止、無収水量削減による水道事業の安定経営のためには漏水防止対策が必要であるが、漏水調査は技術や経験を要するため、その調査に携わる職員の減少や高齢化が進んでいることから、技術継承が課題となっている。

そこで、本報告では本市が実施している技術継承への取組みと、その成果の一例を紹介する。

## 2. 豊中市の概要と漏水防止対策

本市は大阪市の北側に隣接しており、令和6年度末時点において、給水人口39万8千人に対し6箇所の配水池から、6系統幹線をはじめとする総延長818,704mの管路（うち基幹管路74,637m）により配水を行っている。また、その6系統幹線から44に細分化した地域に1点流入（流量計常設）する形で配水小ブロックの整備を進めており、令和6年度末時点において41ブロックが完成している（**図1参照**）。

本市では地域水道ビジョンである「第2次とよなか水未来構想」や「漏水防止基本計画」に基づき、漏水防止対策を推進しており、有効率はここ数年目標値である98%以上を維持している。本市の漏水防止対策は、配水小ブロックの活用と直営職員による機動的で臨機応変な漏水調査修繕が特徴といえる。

配水小ブロックの活用については、毎朝、直営職員が各ブロックの夜間最小流量や積算流量の確認を行っており、その値が継続的に増加したブロックは漏水の疑いがあるため、漏水調査を行っている。

本市は現在25名の技能職員による直営修繕を行っており、平日は勿論のこと、休日、夜間24時間365日、漏水等に対応できる体制を整えている。この25名のうち3名が漏水調査班であり、別途委託発注業務等を行う技術職員がいるが、基本的にこの3名が流量監視から漏水調査計画、調査手法の検討、現地漏水調査、さらに発見した漏水の修繕、漏水調査結果の評価までを一連で行っている。

ここ3年は、技能職の新規採用職員が水道の維持部門へ配属されているものの、全国の他

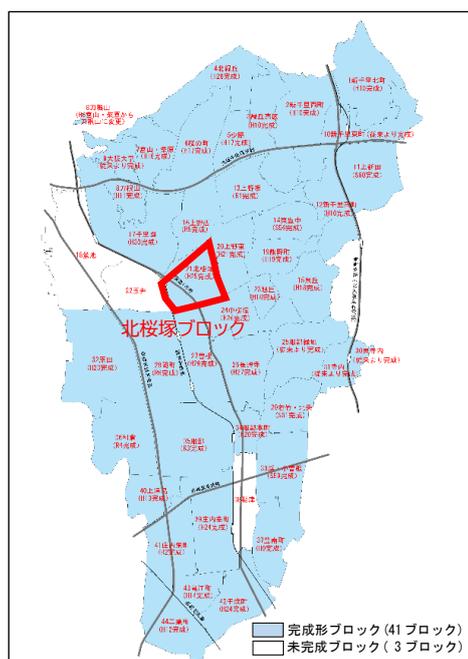


図1 配水小ブロック分布図

事業者と同様に職員数減少と、25人中14人（56%）が50歳以上と高齢化が進むため、技術継承が課題となっている。今後も漏水防止対策の推進を図るため、この3名に加え他部署からの異動者等にも技術継承を進めることが重要となる。

### 3. 技術継承の取り組み

「漏水防止基本計画」のなかで、職員数の減少や高齢化、熟練職員の退職等の課題解決のため、漏水防止対策に関する様々な知識・技術の向上・継承のための仕組みづくりや直営漏水調査班のあり方を謳い、人材育成や技術継承に取り組んでいる。

#### (1) ナレッジデータベースの活用

現地漏水調査は漏水調査機器の使用や音聴棒等音聴による調査が基本となる。調査機器の使用はマニュアルだけで理解することは困難であり、また、音聴調査では漏水音と疑似音を判断するために経験が必要となる。そこで、基本的な漏水調査内容を録音した漏水音とともに映像化し共有ネットワークに掲載したものをナレッジデータベースとして、誰もが閲覧できるようにした。

漏水音は、鉛管、塩化ビニル管、鋳鉄管等の距離による漏水音の違い、さらに漏水と間違いやすい疑似音（水道の使用音、自動販売機、電柱トランス、下水管を流れる音等）を聴くことができ、現地漏水調査をイメージできるような映像となっている。特に、新規採用職員や異動者については、最初に必ずこの動画を視聴してもらうこととしている。

#### (2) OJT

本市の漏水調査班が実施している主な業務内容を表1に示すが、多岐にわたる業務を進めながら、熟練職員が若手職員や異動者へ技術や知識を教えている。

監視型漏水調査では、配水小ブロックにおける夜間最小流量等を毎朝確認しているが、その増加度合や地域特性等により漏水調査方法が異なる。急激に増加していれば、貯水槽のボールタップの不具合である可能性が高く、徐々に増加するのであれば給水管や配水管での漏水の可能性が高い。夜間最小流量等の増加の原因を想定しその漏水を発見するため、学校施設に導入しているスマートメーターの値を確認するのか、先行して貯水槽を回るのか、最初から多点相関調査機器を使うのか等、効率的な漏水調査を行うためその手法を検討する必要がある。（図2参照）

また、本市は戸建ての住宅地域、集合住宅が立ち並ぶ地域、商業地域、工場地域等もありその地域特性に合った調査を行う必要がある。水道管については、管理図面と異なることもあり、現場の弁栓やメーター位置から配管状況をイメージできる技術も重要である。

現地での音聴調査では、聴こえた音が漏水かどうかの判別から始まり、その音の大小や高

表1 漏水調査班の主な業務

監視型漏水調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配水小ブロックの流量監視</li> <li>・夜間最小流量 積算流量 水圧確認</li> <li>・管路音圧監視システムの運用</li> <li>・学校施設のスマートメーターの検針結果確認</li> </ul>
漏水調査計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査ブロックの選定</li> <li>・調査手法の検討</li> <li>・管路、弁栓、メーター、地形確認</li> </ul>
現地漏水調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・貯水槽の調査</li> <li>・音聴棒による弁栓音聴調査</li> <li>・多点相関式漏水調査機器による調査</li> <li>・音聴棒による戸別音聴調査</li> <li>・漏水探知器による路面音聴調査</li> <li>・試薬による残留塩素確認調査</li> <li>・側溝、下水等の現地踏査</li> </ul>
漏水修繕	<ul style="list-style-type: none"> <li>・修繕方法の検討</li> <li>・漏水位置、管種、破損状況、漏水量の確認</li> </ul>
調査結果の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実施調査手法の評価</li> <li>・調査時の漏水位置、推定漏水量との差異確認</li> </ul>

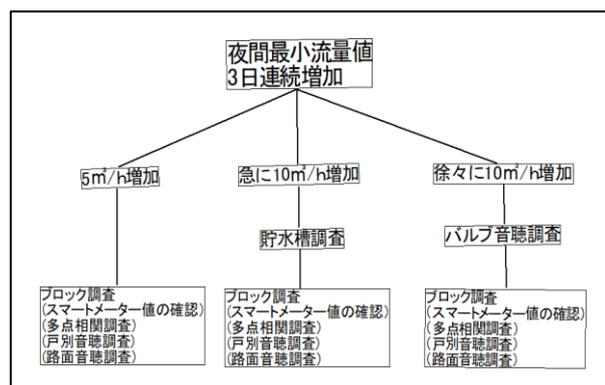


図2 調査フローチャート

低、管種による響き方の違いによって、漏水位置や漏水部位が直部なのか接合部なのか、漏水量はどの程度かを想定していく必要がある。場合によって時間をおいて再調査を行う等の判断も必要となる。

さらに、現地調査では、音聴だけでなく道路上の変化も注視する必要がある。流水音や水たまりの存在、側溝の流れや下水人孔への流れ込む水の量や色、調査前の天候や水まきの跡、地下水や湧水等、様々な状況を考慮し漏水の有無を判断する技術が必要である。

また、自ら発見した漏水管路の修繕を行うことで、音聴により想定していた漏水位置や漏水管種、漏水量、破損状況等を実際の現場で比較し、その比較を何度も行うことでその差異を徐々に縮めることが重要となる。

最後に、実施した漏水調査が効率的であったか評価を行うとともに、次の漏水調査への課題を整理する。これを、若手職員等は熟練者に学びながら一連で行うことで、知識や技術を習得しつつ経験を積む。

あわせて、業務を進めるなかでコミュニケーションを大切にするとともに、積極的に若手職員等の意見を取り入れることも大切にしている。漏水を見つけた際には適切に評価する等、職場への所属意識の向上や達成意欲、および組織が常に自分を良い方向へ育成してくれていると思えるようなインセンティブを与えつつOJTに取り組んでいる。

### (3) OFF-JT

研修会や研究発表に参加することで、知識や技術を享受するとともに他事業体と交流を図り、得られた情報を今後の漏水防止対策に活用する。また、局内において職員を講師として漏水調査機器等の実技研修や、監視制御システムを活用した配水小ブロックの流量監視等の研修を行うことで知識・技術の継承に努めている。

また、流量監視ができない配水小ブロック未整備の地域については、民間業者に委託を行っているが、確認調査を行う際など、民間業者と共に視察、意見交換を行うことで技術の向上に努めている。

### (4) 訓練フィールドの整備

鉛管の取替や給水管材料の変更、老朽管の更新等により本市は漏水件数減少傾向にあり、現場で漏水音を聴く機会が少なくなっている。そこで、令和7年度に本市の野畑配水池場内に修繕作業や漏水調査の研修が行える施設を整備した(図3参照)。本格運用はこれからであるが、漏水調査エリアでは擬似漏水管を埋設し、漏水調査技術習得の場として活用していきたいと考えている。

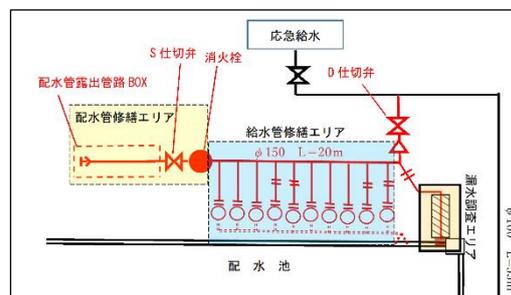


図3 技術訓練フィールドイメージ図

## 4. 技術継承成果の一例

令和7年度の漏水調査班は、50歳代の2名と新規採用3年目で今年度より漏水調査班に配属された20歳代の若手職員で構成されている。この若手職員が、ナレッジ視聴やOJT、OFF-JT等を経て30m<sup>3</sup>/hの地下漏水を発見した事例を紹介する。

### (1) 流量監視結果および調査計画・現地漏水調査

北桜塚ブロック(図1参照)の夜間最小流量が、令和7年7月より増加し始め7月21日に約30m<sup>3</sup>/hと急上昇したため、翌日より漏水調査を開始した。

夜間最小流量が急激に増加したことから貯水槽の調査を先行して行うものとし、7月22日にブロック内の貯水槽89基の現地調査を実施したが、不具合は確認できなかった。次に約30m<sup>3</sup>/hという増加量から、弁栓音聴で確認できる漏水であると判断し7月23日にブロック内の弁栓音聴調査を行った。何箇所か、僅かに音が鳴っている仕切弁もあったが、使用水の可能性もあったため漏水発見と断定できるものはなかった。併せて、7月23日からブ

ック内の多点相関式漏水探知機器を使用した相関調査と戸別音聴調査も開始した。

## (2) 漏水発見

前回の弁検調査で若手職員から僅かに音が鳴っている仕切弁があったと報告を受けていたことから、時間を置き7月25日に、再度この付近の調査を行うものとした。現場は駅前で国道に面した銀行付近の仕切弁であった。国道の交通量が多いため非常に聴き取り難いが、僅かに遠くで音が鳴っていることを確認した。漏水音とは判断できなかったが、銀行のメーターボックスを開けたところボックス内に水が流れ込んでいるのを発見し、簡易検査によって残留塩素を確認できたことから漏水であると判定した。ただし、メーターを音聴しても漏水音は確認できなかったため、配水管分岐部の青銅ソフトシール弁で音聴したところ、明確な漏水音が確認でき、この付近から路面音聴調査を実施し漏水箇所を特定した(図4参照)。

改めて周辺の状況を調査すると、道路上の雨水桝に漏水が流れ込んでいることも確認できた。

## (3) 漏水修繕と漏水量

8月1日に修繕を実施し、口径50mmの塩化ビニル管で、給水管継手部が破損したことによる漏水であることを確認した(写真1参照)。また、修繕後、夜間最小流量値が通常の数値に戻っていることから、漏水量は30 m<sup>3</sup>/hであることを確認した(図5参照)。

今回は、漏水調査開始から短期間で漏水を発見し修繕することができた。また、若手職員は、自らの音聴調査で漏水を発見できたことは、自信になり、成長していると実感できたのではないかと考える。

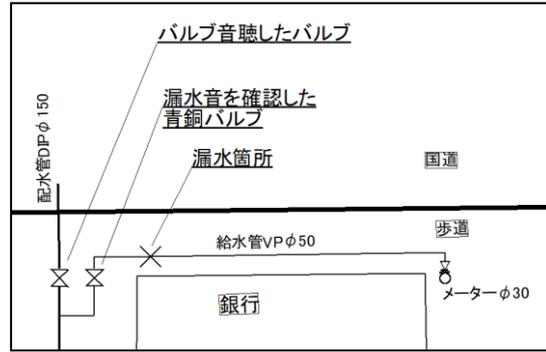


図4 漏水現場のイメージ図



写真1 漏水給水管の破損状況

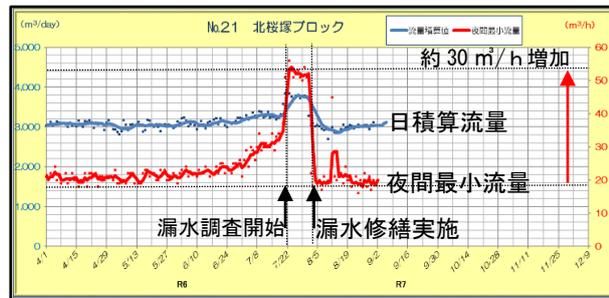


図5 流量監視結果

## 5. まとめ

漏水を効率的に発見するには、漏水量や聴こえる音、現場状況等から、漏水調査手法を決める技術と経験が必要である。また、聴力は加齢とともに低下するため、若手職員を育てることは漏水発見率が上がり漏水防止効果も大きい。今後組織としてOJTやOFF-JTさらにナレッジや技術訓練フィールドを活用し後進達への技術継承を進めていきたい。

また、技術継承を進めるとともに、人材確保のため水道事業はライフラインを守る魅力ある仕事であることを広くアピールしていきたい。その一環として、自治労公営企業評議会から依頼を受け協力した本市の維持部門のドキュメンタリー動画「ありったけの現場力」のQRコードを示すので参考にされたい。



## 高槻市における初期ダクタイル鋳鉄管の埋設年度調査について

高槻市水道部 ○ 平尾 智廣  
阪本 敦志  
山口 洋幸

### 1. はじめに

ダクタイル鋳鉄管は、従来的高级鋳鉄管に代わる水道管材として昭和40年代から広く採用され、耐震性・耐久性の向上、内面ライニング技術の進展など、技術革新が進められてきた。しかし、本市で採用初期に布設されたダクタイル鋳鉄管（以下、「初期ダクタイル鋳鉄管」という。）において、近年、耐震性や耐食性の問題が顕在化してきた。このため、初期ダクタイル鋳鉄管の適切な更新を検討することが必要となっている。

本稿は、本市に埋設されている初期ダクタイル鋳鉄管について、布設年度による材質、防食状態を調査したものである。

### 2. 初期ダクタイル鋳鉄管の特徴と課題

初期ダクタイル鋳鉄管の特徴として、異形管の内面防食が歴性質系の塗装のため、腐食しやすく、赤水発生の原因となること、また、ダクタイル鋳鉄と比べて引張強度が低く、延性に劣る高級鋳鉄で製造された異形管が混在していることが、全国の水道事業体においても広く認知されている。

### 3. 調査の背景と目的

本市では、現在、漏水履歴や埋設環境を考慮した更新基準年数を定め、水道管の老朽化対策を進めている。また、初期ダクタイル鋳鉄管については、昭和55年頃から異形管の内面腐食による通水断面の低下や赤水の発生が問題となり、これを受けて、昭和63年度から平成9年度にかけて、異形管の取り替え工事を段階的に実施し、水質の改善に取り組んできた。しかし、その後も更新基準年数を超過していない既設水道管から濁水の発生が確認され、市民生活に影響を与える事例が見られた（写真1）。

また、平成30年の大阪府北部地震において、昭和47年布設のダクタイル鋳鉄管A形管路の異形管受口に割れが生じ漏水が発生した（写真2）。当時は、ダクタイル鋳鉄管路において破損が生じることを想定しておらず、その原因を究明する必要があった。

これらの背景を踏まえ、更新対象管の選定や更新優先度の判断に活用できる基準及び考え方を整理することを目的として、初期ダクタイル鋳鉄管の埋設年度による材質、防食状態の実態と変遷について調査を実施した。

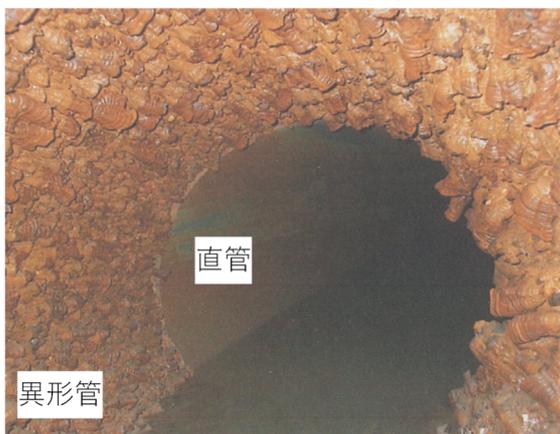


写真1 S50 布設 DIP(K) φ800  
直管・異形管内面腐食状況



写真2 S47 布設 DIP(A) φ300  
異形管からの漏水

#### 4. ダクタイル鑄鉄異形管規格の変遷と本市での採用

水道用ダクタイル鑄鉄管は、直管・異形管ともに昭和34年に日本鑄鉄管協会（現日本ダクタイル鉄管協会）が初めて規格化し、その後、昭和36年に日本水道協会規格（JWSA G 105・106）として標準化された。当初は呼び径200～1500mmが対象であったが、昭和40年の改正で呼び径75～150mmを追加している。その後、昭和46年には接合形式にK形が追加され、呼び径75～500mmはA形、呼び径400～1500mmはK形として規格化された。昭和49年にはJIS規格（JIS G 5526・5527）として制定され、以降、改正を重ねて現在に至っている。

一方で、高級鑄鉄異形管については、昭和29年にJIS G 5524として制定され、当初は印籠継手およびフランジ継手が用いられていた。昭和34年には日本水道協会規格（JWSA G 103）としてメカニカル継手が追加され、昭和44年には既存の規格を統合するカタチでJWWA G 109として整理された。これにより、高級鑄鉄異形管の継手はメカニカル形およびフランジ形に統一され、同規格は昭和57年に廃止された。

本市では、昭和40年から口径300mm以上の管路にダクタイル鑄鉄管を採用し、昭和48年以降は口径75mm以上の管にも拡大して採用している。このことから、上述3の昭和47年に布設された口径300mmのダクタイル鑄鉄A形管路については、異形管もダクタイル鑄鉄製として扱われていた。しかし、平成30年の大阪府北部地震において、当該異形管が破損したことから、高級鑄鉄製であった可能性が考えられた。

#### 5. 異形管内面防食規格の変遷と本市での採用

水道用ダクタイル鑄鉄管の内面防食仕様は、直管に関しては、昭和31年頃から内面モルタルライニングが開発され広く採用されたが、異形管の内面防食については当初、歴性質系の塗装が主に用いられていた。この歴性質系塗装は防食性能が限定的であり、腐食や赤水の発生を招くことが課題であった。

異形管の内面防食において、エポキシ樹脂粉体塗装が初めて採用されたのは昭和48年頃であり、関西地方の都市で徐々に導入が始まった。日本鑄鉄管協会（現日本ダクタイル鑄鉄管協会）は昭和52年にこの塗装を規格化し（JDP A Z 2006）、その後昭和55年には日本水道協会規格（JWWA G 112）として、さらに昭和59年には日本工業規格（JIS G 5528）としてそれぞれ制定された。これらの規格は改正を重ねて現在に至っている。

本市においては、昭和52年頃から口径75～250mmの異形管でエポキシ樹脂粉体塗装、口径300mm以上ではターナルエポキシ樹脂塗装の採用が始まり、昭和57年以降は、これらの内面防食を正式に採用している。

こうした変遷を踏まえると、異形管の内面防食は昭和52年から57年の間にエポキシ樹脂粉体塗装に切り替わったと考えられるが、具体的な時期は明確ではない（表1）。

◎規格の変遷		1955 (S30)	1965 (S40)	1975 (S50)	1985 (S60)	...	2025 (R7)
ダクタイル鑄鉄管	日本工業規格類						
	JIS G 5527 ダクタイル鑄鉄異形管			S49			現行
	(公社)日本水道協会規格類						
	JWSA G 106 水道用ダクタイル鑄鉄異形管		S36	S49			
高級鑄鉄管	(一社)日本ダクタイル鉄管協会規格			S46			
	メカニカル型水道用ダクタイル鑄鉄異形管		S34 S36				
	日本工業規格類						
	JIS G 5524 水道用鑄鉄異形管	S29			H1		
エポキシ樹脂粉体塗装	(公社)日本水道協会規格類						
	水道用高級鑄鉄管規格	S29					
	日本工業規格類						
	JIS G 5528 ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				S59		現行
◎高槻市採用	(公社)日本水道協会規格類						
	JWWA G 112 水道用ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				S55		現行
	(一社)日本ダクタイル鉄管協会規格						
JDP A Z 2006 ダクタイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装			S52 S55				
ダクタイル鑄鉄管		S40 φ300mm以上 A形採用	S48 φ75～250mm A形採用	S50 φ400mm以上 K形採用			
鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装				S52 S57正式採用			現行

表1 ダクタイル鑄鉄管・鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装等の規格変遷と本市の採用

## 6. 初期ダクティル鑄鉄管の埋設年度調査

ダクティル鑄鉄管やエポキシ樹脂粉体塗装の採用時期と、実際に材質や内面防食が切り替わった時期に相違がないか確認するため、令和6、7年度に施工する水道工事において既設水道管を収集し、材質及び内面防食状況の実態を調査することとした。

### (1) 材質調査

本市では、口径300mm以上の管については昭和40年から、口径75～250mmの管については昭和48年からダクティル鑄鉄管を採用している。これを踏まえ、材質調査の対象はそれぞれ採用開始年から概ね10年間に布設された管とし、令和6、7年度の水道工事において対象年代の管を抽出した。その結果、口径300mm以上、口径75～250mm共に4箇所を収集することができた。調査方法としては、異形管部分から供試体を採取し、後日、顕微鏡法により材質の判定を行った。

判定の結果、口径300mm以上の管においては、昭和47年以前に布設した異形管が高級鑄鉄製であることが確認され、口径75～250mmについては、昭和54年以前に布設された異形管が高級鑄鉄製であることが確認された。これらの結果から、ダクティル鑄鉄管を採用してからも、6～8年程度は異形管に高級鑄鉄製が使用されていたと考えられる(表2、写真3)。

#### ◎口径300mm以上

調査箇所	対象管	結果
1	S48 φ300 (A)	ダクティル鑄鉄
2	S47 φ300 (A)	高級鑄鉄
3	S47 φ300 (A)	
4	S44 φ400 (A)	

#### ◎口径75～250mm

調査箇所	対象管	結果
5	S57 φ150 (A)	ダクティル鑄鉄
6	S55 φ75 (A)	高級鑄鉄
7	S54 φ75 (A)	
8	S49 φ150 (A)	

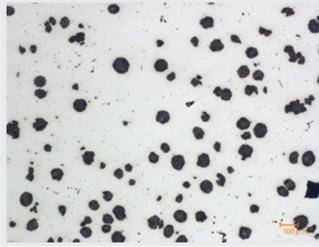
	調査箇所1 S48布設 DIP(A) φ300	調査箇所2 S47布設 DIP(A) φ300
外観		
組織		
材質	ダクティル鑄鉄	高級鑄鉄

表2 材質調査結果一覧

写真3 材質調査結果写真(抜粋)

### (2) 内面防食調査

本市では、異形管の内面防食仕様について、前述したとおり昭和52年頃からエポキシ樹脂粉体塗装が使用され始めたことが分かっているが、具体的な切り替わり時期が明確でなかったため、内面防食調査の対象は昭和51年から昭和60年に布設された管路とし、令和6、7年度の水道工事において調査対象となる14箇所の異形管の内面を確認し、内面防食の実態を調査した。

調査の結果、昭和55年以降に布設した異形管は、エポキシ樹脂粉体塗装であることが確認されたが、同時期の仕切弁はエポキシ樹脂粉体塗装ではないことが確認された。

これにより、異形管の内面防食の状況は、昭和55年頃からエポキシ樹脂粉体塗装に移行しているが、仕切弁については数年程度移行が遅れていたことが確認できた(表3、写真4)。

調査箇所	対象管	結果
1	S60 φ300 (A)	エポキシ樹脂粉体塗装
2	S60 φ200 (A)	
3	S60 φ150 (A)	
4	S58 φ250 (A)	
5	S58 φ200 (A)	
6	S57 φ150 (A)	
7	S57 φ150 (A)	
8	S55 φ75 (A)	
9	S55 φ150 (A)	
9(仕切弁)	S55 φ75 (A)	防食無し
10	S54 φ150 (A)	エポキシ樹脂粉体塗装
10(仕切弁)	S54 φ150 (A)	防食無し
11	S54 φ75 (A)	
11(仕切弁)	S54 φ75 (A)	
12(仕切弁)	S53 φ75 (A)	
13	S51 φ400 (K)	
14	S51 φ150 (A)	

表3 異形管内面防食調査結果一覧

	調査箇所10 S54布設 DIP(A)φ150 F付T字管	調査箇所10 S54布設 DIP(A)φ150 仕切弁	調査箇所11 S54布設 DIP(A)φ75 22 1/2° 曲管
外観			
内面			
	エポキシ樹脂粉体塗装	防食無し（錆こぶ有）	防食無し（錆こぶ有）

写真4 内面防食調査結果写真（抜粋）

## 7. 考察

今回実施した材質調査の結果から、ダクタイル鋳鉄管が正式に採用された後もしばらくの間、高級鋳鉄異形管が使用されていたことが確認された。

鋳鉄管メーカーへの聞き取りによれば、ダクタイル鋳鉄異形管は当時すでに規格化されていたものの、供給体制の整備状況等の理由により、高級鋳鉄異形管が使用されていた可能性があるとのことであった。また、ダクタイル鋳鉄異形管のA形・K形継手と、高級鋳鉄異形管のメカニカル継手は、外面塗装仕様や継手構造、外径が類似しており、接合が可能であったことも、混在の一因と考えられる。

このため、本調査に併せて既設ダクタイル管路において異形管の刻印を確認したところ、高級鋳鉄異形管が混在していた（写真5）。これはダクタイル鋳鉄管への移行期において、当時のダクタイル鋳鉄異形管の供給状況の他にも、在庫を残さないためやむを得ず使用していたことなどが考えられるが、その確かな理由は不明である。

一方、内面防食調査の結果、本市における異形管については昭和55年以降にエポキシ樹脂粉体塗装に切り替わっていたが、仕切弁については昭和55年以降もエポキシ樹脂粉体塗装が使用されていないことが確認できた。



写真5 混在した高級鋳鉄異形管

## 8. おわりに

本市では、これまで独自に設定した更新基準年数を根拠として老朽管の更新を進めてきたが、本調査を踏まえ、単に更新基準年度に基づくだけでなく、異形管の材質や内面防食仕様の状況を考慮し、更新の優先順位を見直していくことが重要である。

今後も、より効果的・効率的に老朽管を更新するため、これらの実態を詳細に把握する必要があることから、撤去既設管の調査を継続的に実施していく。

## 9. 謝辞

本稿の作成にあたり、調査にご協力いただきました（株）栗本鐵工所の方々に感謝の意を表します。

# 水道事業のDX化

## —東大阪市における漏水調査の実績—

○発表者 東大阪市上下水道局 大川原 一真  
共同執筆者 東大阪市上下水道局 三田村 陽太  
東大阪市上下水道局 山口 朋紀

### 1. はじめに

東大阪市は面積 61.78k m<sup>2</sup>、給水人口 477,411 人、年間配水量 53,945,100 m<sup>3</sup>、導配水管総延長約 1,044 km、局職員数 136 人の中核市で、地域特性は市域の大半が平坦、東部には生駒山系を有する。

平成 8 年度から市域を 7 分割し 3 年一巡で情勢（予算、漏水リスク等）に適した漏水調査を実施、平成 26 年度から調査機器を導入し人的調査の効率化、平成 28 年度からは市域を 7 分割のまま 2 年一巡の調査とした。

本市の有収率は令和 5 年度 94.39%で、過去 5 年間の平均有収率は約 94.50%となるが、令和 3 年度以降は情勢（予算、職員数等）の問題から調査手法を効率化することで更なる有収率向上のため漏水調査の DX 化を検討するにいたった。

本発表は令和 5 年度から検討を開始した人工衛星画像解析を活用した漏水探知について、令和 6 年度の実績とともに DX 化した漏水調査について報告するものである。

### 2. 人工衛星を活用した漏水探知の導入経緯

#### (1) Lバンド帯(1.3Ghz)マイクロ波を搭載した人工衛星の採用

本市では前述の通り漏水調査に高額な財源の確保、携わる市職員数の減少、人的調査の少子高齢化による人員不足、また人的調査に多大な時間を要するなど多くの課題が散見される状態であった。

令和 3 年度以降、これらの課題に対策を講じた結果、令和 5 年度に 28 年間継続してきた市域 7 区域制を再検し、3 区域制とした。これは定量的な調査を一定の財源で円滑に調査することを目的としたもので、漏水調査の発注効率を考慮した対策となった。

しかしながら、財源に関しては高額なものとならざるを得ない状況の中、令和 5 年 3 月に厚生労働省から水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドラインの改訂、愛知県豊田市、福岡県北九州市の発表内容を検証し、新技術となる人工衛星画像を解析した漏水探知の採用検討に本市も着手した。

人工衛星画像を活用する業務を選定するにあたり、本市で採用となったイスラエルの衛星画像を活用する企業アストラ社、宇宙ビッグデータを活用する天地人と従来手法を比較した結果、Lバンド帯マイクロ

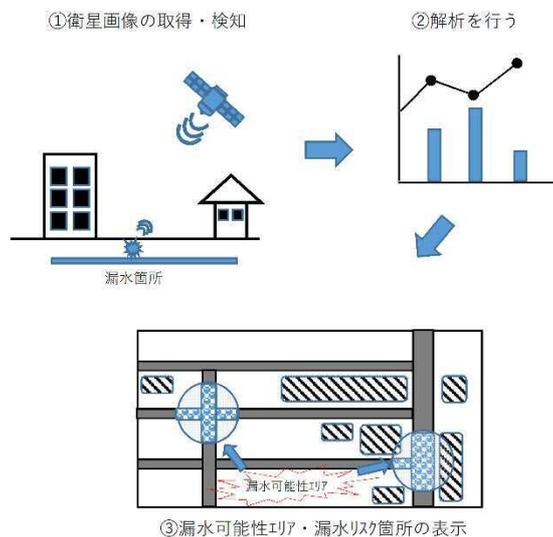


図-1 人工衛星画像解析のイメージ

波の反射特性を利用することで地中に滞在する水道水を検知するものかつ課題となっていた財源の縮小に最も効果があると予想されるアステラ社に着目した。

## (2) 広域一括調査を目的とした地域間連携

人工衛星画像解析は人工衛星が取得する地表面画像と Lバンド帯マイクロ波の障害物に対する透過特性を利用し、反射波から地中に滞在する水の比誘電率 80 を観測する。その後、企業独自のアルゴリズムで解析することで水道水による滞在水の可能性のあるエリア(POI: Point of interest)を半径 100m の円で示すものとなっている。取得する画像は使用する人工衛星によって異なり、だいち 2 号は南北 60 km、東西 40 km SAOCOM は南北 80 km、東西 20 km の範囲が撮影される。人工衛星は回帰の周期にも違いがあり、だいち 2 号は 14 日(97.5 分/周)に 1 度、SAOCOM は 16 日(97.2 分/周)に 1 度回帰する。本市で使用した人工衛星は、SAOCOM となり、図-2 で示す通り広範囲の撮影ができた。

また、広範囲の撮影が可能であることから画像を有効活用するため本市に隣接する八尾市水道局(現大阪広域水道企業団八尾水道センター)、及び大東市上下水道局とともに共同業者選定に取り組む協定を締結した。本協定は 3 市を中心とした人工衛星データを取得することで単独では高額となる取り組みを経済的に有効利用し、新技術を広域で活用することを目的としたものである。

共同業者選定は契約締結まで最も迅速に対応できる八尾市水道局が発注者となり、他 2 市は決定業者と随意契約を締結した。共同業者選定の結果、予定していた業務価格の約半分の費用で業務を実施することになった。

画像取得衛星 : SAOCOM (Lバンド帯レーダー搭載)  
衛星画像取得日 : 8月2日



図-2 SAOCOMによる撮影画像

## 3. 令和 6 年度実施の人工衛星を活用した漏水探知の総評

### (1) 人工衛星を活用した漏水探知と現地漏水調査の結果

令和 6 年 7 月 22 日に契約締結された本業務は同年 8 月 2 日に人工衛星(SAOCOM)の画像を取得、同年 9 月に受注者より解析結果が提出された。本市の解析結果は、297POI 確認され、POI 内に埋設されている管路距離は約 200 km、給水戸数は約 44,000 戸となりハイライトされた管路は市内全体の 19.2%であると示された。この結果は過年度に実施した漏水調査の約半分の調査距離となり事業財源の有効活用ができた。

これらをもとに令和 6 年 10 月から令和 7 年 1 月まで現地漏水調査を実施、前述した 297POI に対して 111POI で漏水が検知され発見率は 37.37%となった。これは調査管路 10.0 km に対して約 7 箇所漏水を発見したことになり、本市における漏水調査の過去 5 年間平均 4.8 箇所を上回る結果となった。

続いて、令和 6 年度の本市有収率は前年度比で 0.16%上昇し 94.55%という良好な結果が得られた。

また、漏水調査に要した業務委託費は市内全域をくまなく調査した場合、約 1.00 億円の費用がかかると予想していたが、人工衛星画像解析を用いることで 1/3 程度に低減することができた。

仮に令和 5 年度と令和 6 年度を比較した場合、給水収益約 87 億円のうち上昇した有収率 0.16% がすべて漏水調査による効果と仮定した場合、有収率向上による金額が約 0.14 億円となり、収益が支出に劣ってはいるが、単年度で市内全域を調査したうえで支出を低減できていると想定することができる。

本件の有用性を実証するべく令和 7 年度以降も同様の調査を継続していく計画である。



令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	過去 5 年平均	令和 6 年度
4.94件	4.94件	3.44件	4.63件	3.44件	4.28件	7.10件

表-1 調査距離に対する漏水発見件数 (10km当たり)

令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	過去 5 年平均	令和 6 年度
94.63%	94.04%	95.02%	94.38%	94.39%	94.49%	94.55%

表-2 東大阪市における有収率の推移

平成 2 8 年度	平成 2 9 年度	平成 3 0 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 6 年度
¥44,400,000	¥45,900,000	¥47,500,000	¥46,200,000	¥48,000,000	¥49,400,000	¥32,711,800
¥90,300,000		¥93,700,000		¥97,400,000		¥32,711,800

表-3 調査委託費 (市内一円を調査した場合)

## (2) DX化した漏水調査の考察

今回採用した人工衛星画像解析を活用した漏水探知は過去に実施していた全域をくまなく調査するものとは違い、広範囲の調査であっても POI で絞り込めた範囲のみを漏水調査することができた。結果、市内一円を複数年に亘って調査していたが 1 年で実施可能となり、調査に従事する受注者も漏水の検知に今まで以上に集中的に実施することができた。これらの要因から前述にも示した漏水発見率の向上に繋がったと考えられる。

難航していた財源の問題についても人工衛星画像解析に費用はかかるものの近隣団体と協力することでコスト面の対策が可能であり、市内全域を漏水調査した場合の試算額の 1/3 程度で調査でき、漏水調査全体にかかる費用は低減され有効活用できた。

また、地下漏水に対して人工衛星を活用した漏水可能性エリアの絞り込み、現地漏水調査による破損個所の特定から修繕工事まで単年度で実施することができた。

本市が考える衛星調査の課題と今後の検証内容は下記の 4 点と考えている。

- ①漏水が検知されなかった POI や修繕が完了している POI については継続して調査を行い、漏水の早期発見および管路の劣化状況の指標にできるのかの検証を行う。

- ②POI 以外での漏水箇所及び衛星で検知できない箇所の整理を行い、当該箇所に監視型機器を設置するなどして漏水発見率のさらなる向上に努める。
  - ③令和 7 年度の本取り組みは堺市上下水道局を含む近隣 7 団体で共同業者選定を実施しているが、今後も継続発注するには財源確保の観点から業者選定に共同で取り組める団体の調査を進めることが大きな課題のひとつとなっている。
  - ④人工衛星画像解析で漏水可能性エリアを絞り込むが、画像取得後から現地漏水調査に着手するまでの期間で地上漏水となり人工衛星画像を活用できない漏水がないかの確認が必要である。
- 上記事項を検証するべく、令和 8 年度まで継続して実施する予定である。

#### 4. おわりに

近年、水道管路の老朽化が日々進行していく中、水道管路破損が発生してしまう事例が多く、漏水調査は水道管路事故の予防保全に大きく影響する業務となる。しかし、実態は財源の確保、携わる人材の減少等の諸問題が山積している状況である。そんな中、水道管路の維持管理は近年 DX 化に向けた様々な取り組みが発表されていることもあり、本市としても注視して採用の検討に取り組むこととしている。

ただし、DX 技術の導入は内容の理解と目的に応じた活用方法を検討をする必要があり、地域ごとの特性に応じた最適なものを選択する必要があると考える。

広域連携についても必要となる財源の低減、関連団体同士の意見交換に積極的に参加する予定であり今後も開発されるであろう DX 技術に期待している。

# 管路更生工法における分岐処理方法の開発および施工事例

○岡畑 圭祐 (パルテム技術協会) 石関 宏真 (芦森工業)  
貴志 浩平 (芦森工業) 黒岩 正道 (ヨネ)

## 1. はじめに

水道管路施設は新設の時代から更新の時代となり、既設管路の維持管理が大きな課題となっている。その中で、非開削で既設管路を更新・長寿命化させる管路更生工法が実用化されているが、既設管に空気弁等の分岐管が設置されている場合、分岐管部は管路更生の範囲外となるため、分岐管部からの漏水リスクが残される。そのため、管路更生を行う場合は分岐管部を事前に撤去し、施工後に新設を行う方法<sup>1)</sup>が用いられている。しかし、埋設管や水管橋、橋梁添架管の場合は分岐管部の撤去が非常に困難であり、管路維持管理の大きな妨げとなっている。この問題を解決するため、分岐管部の撤去を伴わない分岐処理方法が開発されている。本処理方法について紹介するとともに、ホースライニング工法の施工管に実施した施工事例を報告する。

## 2. 分岐処理方法の概要および手順

本処理方法の施工手順を図-1に示す。分岐管を撤去せずに管路更生工法を施工後、分岐部から更生管を穿孔し、スリーブとゴム輪を穿孔部へ挿入する。更生管内に突き出たスリーブとゴム輪を専用工具で折り返し(拡張)、圧縮ナットでゴム輪を締込むことによって更生管の穿孔部分を完全に止水する。

仕上げの工程として、既設分岐管フランジに再設置される弁体に干渉しないよう、余剰分のスリーブを切断し、Oリングを含んだ止水部材を間に挟み、弁体を設置する。この工程によって、弁体の継手部分が止水されるほか、スリーブは更生管穿孔部と止水部材の上下で強固に固定され、更生管および既設管と一体化する。

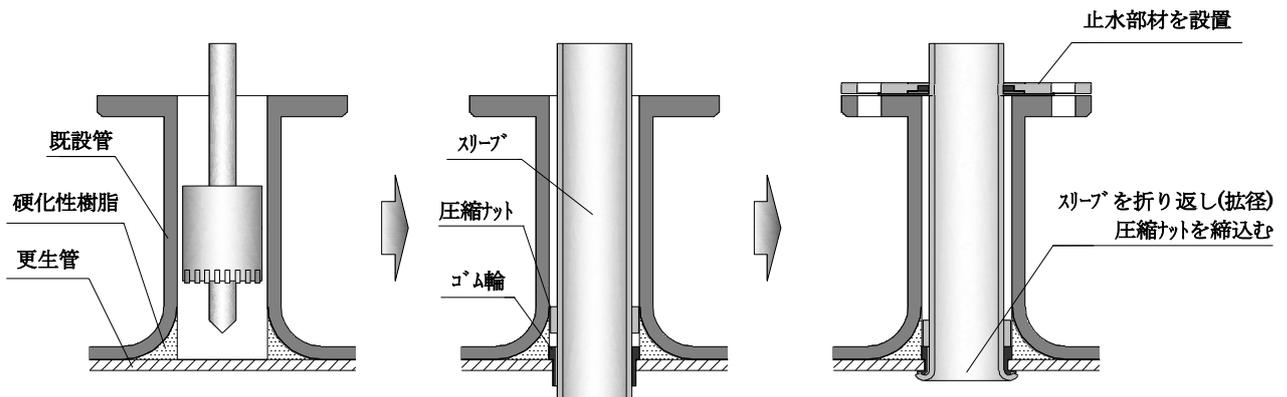


図-1 分岐復旧手順

## 3. 分岐処理方法の特徴

### (1) 止水構造

分岐部分の止水性能は図-2に示すように、ゴム輪の圧縮変形によって発現する。圧縮ナットを締込むことにより更生管の穿孔断面だけでなく、内面と外面から挟むようにゴム輪を変形させることによって、高い止水性能を確保している。

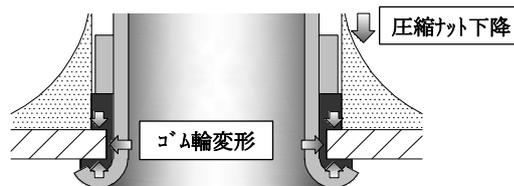


図-2 止水構造

# 管路更生工法における分岐処理方法の開発および施工事例

## (2) 小スペース化

本処理方法に用いる使用機材および作業スペースを以下の図-3 に示す、橋梁添架管や弁室等に設置されている空気弁・消火栓は、狭小場所に設置されていることが多く、スペースがどうしても制限される場合が多い。本処理方法は開発に当たり、高荷重・高トルクを必要とする作業とせず、加えて既設分岐管フランジ部を使用機材固定部として利用する等で、使用機材の小型化・軽量化を実現した。結果、図-3 に示す通り、高さ 1.0m、長さ 1.0m、奥行 1.0m の範囲内で全作業を完了可能となった。また、機材の小型化によって作業人員についても省略化しており、作業状況の記録担当を除けば、最低 1 名でも十分作業が可能である。

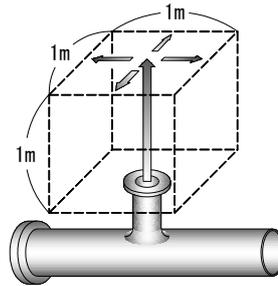


図-3 必要作業スペース

## (3) 更生管への負担軽減

開発初期段階にて、図-4(左)のように、スリーブ挿入時にゴム輪が圧縮ナットに干渉してしまい、ゴム輪の変形が抵抗となり更生管に負荷がかかるという懸念が生じた。そこで、図-4(右)に示すようにゴム輪を短尺化することで、スリーブ挿入時に圧縮ナットとゴム輪が接触しない構造に改良し、更生管への負担を大幅に軽減した。

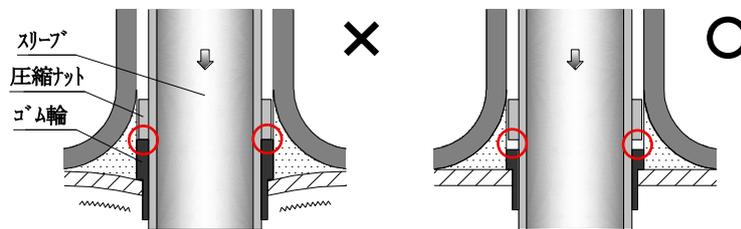


図-4 更生管への負担軽減

## 4. 性能評価

分岐部分の止水性能を確認するため、短期・長期水圧試験を実施し問題ないことを確認した。短期試験の条件は厚生労働省の「給水装置の構造および材質の基準に関する省令」、長期試験の条件は 100 年間の使用を想定し「JIS K 7013 繊維強化プラスチック管 9.9 長期間繰返し水圧試験」を参考にした。試験結果を表-1 に示す。

表-1 水圧試験結果（一部抜粋）

呼び径		短期水圧試験		長期水圧試験	
本管	分岐管	試験圧力	保持時間	繰返し圧力	繰返し回数
200mm	75mm	2.0MPa	10 分	0⇔1.3MPa	1,000,000 回
350mm	80mm				
350mm	100mm				
結果		漏水無し			

# 管路更生工法における分岐処理方法の開発および施工事例

## 5. 施工事例（大阪府内埋設管）

### (1) 現場状況

本工事は老朽管の更新のため、ホースライニング工法を採用した工事となる。本管径φ600mm、延長約40m、4箇所45°曲管を有する伏越し管であり、伏越し前後の2か所の空気弁室に、分岐管φ80mmが設置されていた。府道下の埋設管路であったため、分岐管を弁室ごと撤去するような開削は困難な状況であった。施工の対象となった管路および空気弁室の概略図(縦断面図)を図-5と図-6に、弁室内の作業状況、弁室内における分岐管およびフランジの状況をそれぞれ写真-1、写真-2、写真-3に示す。

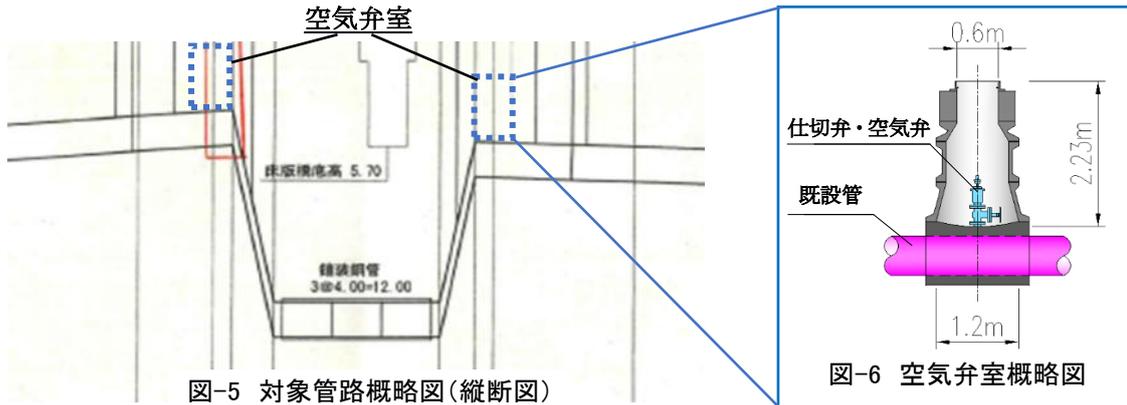


写真-1 弁室内作業状況



写真-2 分岐管状況



写真-3 フランジ状況

### (2) 施工状況

#### ① 事前準備・穿孔工程

分岐管内には経年劣化に伴う錆こぶが確認されたが、本方法に使用する穿孔機はさらえ機として併用することも可能であり、管路更生前に分岐管内の錆をさらい(除去し)、押さえ治具を設置した。管路更生後、治具の効果により穿孔面は平滑に仕上がりに、穿孔時には芯出しフランジを用いて穿孔機を分岐管フランジ面に固定したことで、想定した位置に穿孔することができた。なお、穿孔時に発生する切粉は、分岐管側から吸引機を用いて回収した。押さえ治具設置時の状況を写真-4に、押さえ治具撤去後の穿孔面の様子と、穿孔工程後の分岐管の状況を写真-5に示す。



写真-4 押さえ治具設置状況



写真-5 押さえ治具撤去・穿孔工程状況

# 管路更生工法における分岐処理方法の開発および施工事例

## ② 挿入・拡張・圧縮工程、仕切弁設置

本現場の更生材料は同工法の最大口径かつ最大管厚の約 10mm であることから、施工難易度の高い現場条件であったが、本方法は分岐管外側からの寸法測定によって施工管理が可能のため、挿入・拡張工程で重要となるスリーブの挿入量や先端の折り返し量は、規定の施工管理値通りとなっているか都度確認しながら作業を進めることができた。その後、圧縮工程において、規定のトルクまで圧縮ナットを下降させ、ゴム輪の圧縮状態を確認し、分岐処理工は完了となった。挿入から圧縮工程まで完了した状況を写真-6 に示す。

その後、既設分岐管フランジに設置される弁体に干渉しない位置まで、分岐管から余ったスリーブを切断した。なお、この時、生じる切粉が本管内へと落下しないように専用の治具を用いて切断している。切断後は止水部材および指定された仕切弁を設置し、管路更生工を含めたすべての工程が完了となった。仕切弁設置までの状況を写真-7 に示す。



写真-6 分岐処理工 完了状況



写真-7 余剰スリーブ切断・仕切弁設置状況

## (3) まとめ

本現場における分岐管は弁室底部からフランジ面までの高さが 60mm しかなく、弁室内における実質作業スペースは直径 0.8m 程度と狭小空間であったが、本方法は全作業工程がフランジ上のみで完了するうえ、必要な設備はいずれも小型であり、1名で作業が可能のため、問題なく施工できた。また、近隣施設の都合で占有時間が短く占有範囲にも厳しい制約があったが、本方法の施工性の高さを発揮し、2 箇所/日の施工を実施できた。分岐処理後の内面状況を写真-8 に、分岐処理工の所要作業時間を表-2 に示す。管路更生工を含めた全体の実施工日数は 10 日となり、短期間施工となった。



写真-8 分岐処理後の内面状況

表-2 分岐処理工の所要作業時間(準備・片付け含む)

作業工程	1 箇所目	2 箇所目
穿孔	20	10
挿入	40	40
拡張	30	35
圧縮	10	10
総所要時間(分)	100	95

## 6. おわりに

本処理方法の導入によりこれまで課題であった分岐管部が含まれる管路に対しても、効率的な施工が可能となった。分岐管部の撤去を必要としないため、工期の短縮・工事費の削減が期待できる。また、弁室内や水管橋等の作業スペースが限られる空間においても、柔軟に対応が可能である。管路更生工法の適用範囲拡大により、老朽管路の更新・耐震化・長寿命化の促進に繋がれば幸いである。

【参考文献】 1) パルテム技術協会 ホースライニング工法 技術資料 (2025 年度版)

# 漏水補修金具の応用使用例の報告

大成機工株式会社 森 大也

## 1. はじめに

近年、塗装の剥離等による内外面からの腐食や老朽化による単独水管橋や添架された水道管からの漏水が度々発生している。これら漏水に対し、令和4年度の日本水道協会関西支部第66回研究発表会では水管橋等での漏水を容易に補修できる漏水補修金具を開発したことを報告した。

本稿では漏水補修金具の応用使用例について報告する。

## 2. 漏水補修金具の概要

### (1) 構造

漏水補修金具の構造を図-1に示す。主に「本体」「止水ゴム」「ボルト」の3つの部品で構成。本体（ステンレス製）と止水ゴム（EPDM製）を接着一体化したものとなっている。

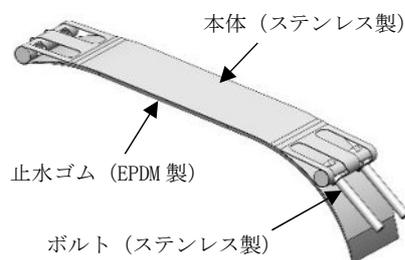


図-1 漏水補修金具の構造

### (2) 特徴

- ①ピンホール程度の小規模の漏水補修が可能。
- ②鋼管 250mm～700mm の 8 サイズを 3 種類の金具本体を組み合わせ、漏水補修する（写真-1）。サイズ兼用できるため、備蓄管理がしやすい。
- ③最大口径の 700mm の場合においても人力のみで持ち運び可能な 15kg 以下と軽量である。
- ④コンパクトで、狭小の現場でも取付がしやすい。

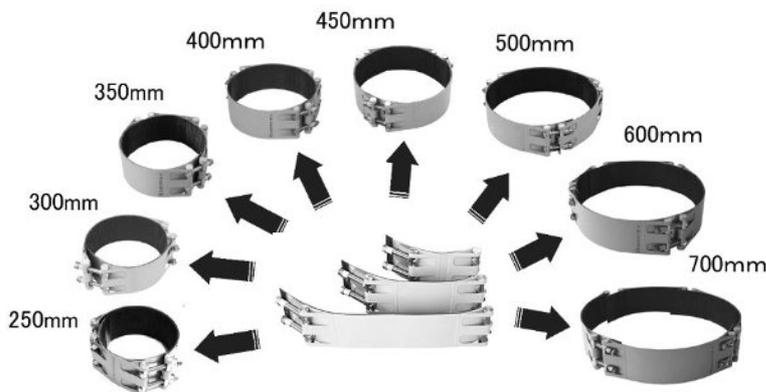


写真-1 金具本体の組合せ



写真-2 完成品

### 3. 漏水補修金具の管軸方向の傷への使用について

#### (1) 構造

前記、漏水補修金具（以下、「標準型」という）は漏水補修箇所がピンホール等小規模の漏水に適したものであるが、補修幅が管軸方向に広い傷の場合、補修することができない（図-2）。

新たに管軸方向の傷に対応した幅広タイプの金具本体を開発すると金具本体の種類が増えてしまうという課題がある。

これら課題に対し、標準型を流用し、管軸方向の傷を補修出来るように連結金具を開発した。

連結金具を金具本体の内側に差し込み、標準型どうしを連結させる構造（以下、「連結型」という）とした（図-3）。

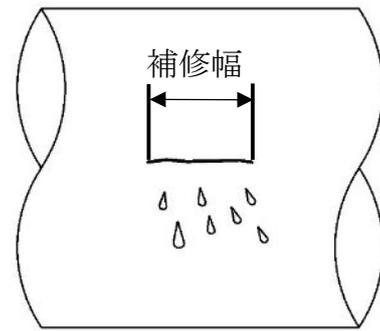


図-2 管軸方向の傷

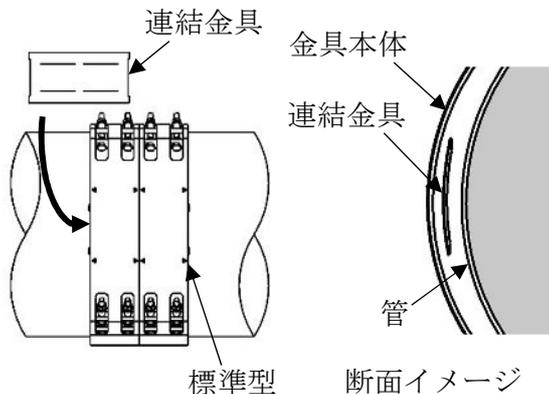


図-3 連結型構造

表-1 補修可能幅

連結金具	補修幅 (mm)
標準型 (連結金具無し)	110 以下
連結金具 (2 連結用)	260 以下
連結金具 (3 連結用)	410 以下

#### (2) 特徴

- ①管軸方向に発生した幅広の傷の漏水補修を行う。
- ②連結金具を漏水部に被せ、その上に標準型を取付けて止水する。新たに必要なものは連結金具と施工治具のみであるため、備蓄管理がしやすい。
- ③連結金具を使用することで金具どうし（標準型）の連結部を確実に止水できる。
- ④連結金具と施工治具も各口径で兼用できる。
- ⑤金具本体は標準型をそのまま使用できるため、軽量である。

#### (3) 性能

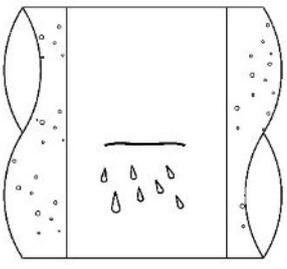
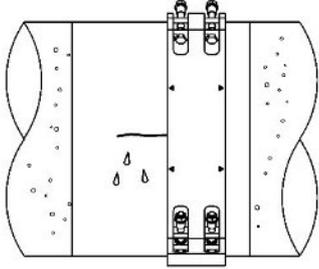
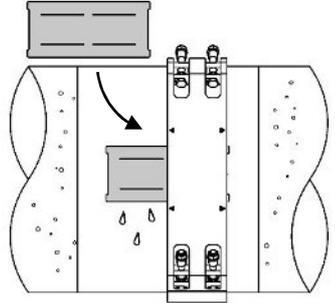
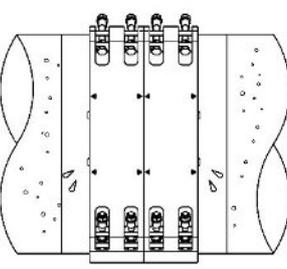
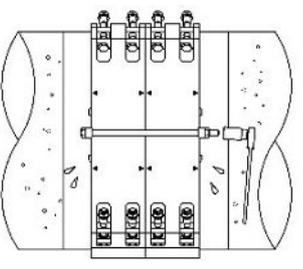
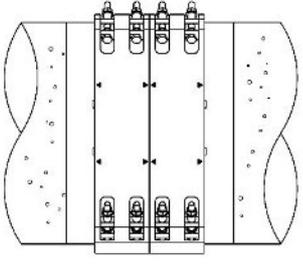
供試管に管軸方向に 150mm の傷を加工し、開けた部分に連結型を取付けし、止水状況を確認した。連結型においても標準型、各口径と共通した止水性能が得られた（表-2）。

表-2 止水性能（連結型）

試験項目	試験内容	試験結果	
		SP250	SP700
止水試験	水圧をかけない状態で金具設置 その後に加圧を開始（1.0MPa5分保持）	○	○
漏水下止水試験	水圧をかけて漏水が発生している 状態で金具設置（0.75MPa15分保持）	○	○

#### （４）施工手順

以下に施工手順を示す。

		
①施工前	②1連目の標準型を緩く仮組みする。	③連結金具を挿入する。
		
④2連目の標準型を緩く仮組みする。	⑤施工治具を連結金具の上に取り付け、ボルトを締付ける。	⑥施工治具を取外して完成。

2連結以外に3連結も可能である。

#### 4. おわりに

本使用例は備品管理をしやすいという、標準型の特徴を引き継ぎつつ、漏水補修箇所の幅が広がった場合にも対応可能な応用使用例である。今回紹介した連結型が標準型ともに水道施設の維持管理における一助としてお役に立てれば幸いである。

#### 【参考文献】

- (1) 寺口仁, 水道管漏水補修金具について,  
日本水道協会関西地方支部 第66回研究発表会, 概要集, pp. 124-126

# 配水管末端におけるタイマー式電磁弁の設置と試行

○大平 竜之介（神戸市水道局） 坂本 隆司（神戸市水道局）  
塩路 良太（神戸市水道局） 中井 優治（神戸市水道局）

## 1. 背景

神戸市西区神出町は、三木市、加古郡稲美町に隣接する神戸市の西端部の郊外に位置し、緑豊かで田畑、神戸牛の放牧場、馬小屋、乗馬場など、のどかな風景が漂う近代都市神戸とは相反する魅力が広がる地域である。当地には適切な配水池が近傍に存在せず、遠方の配水池から給水しているため、配水管路は長距離に及んでいる。また、周辺の住戸数が少なく使用水量が低いため、管内で水が滞留しやすい状況にある。さらに、近年の高温化により管内水温が上昇し、特に夏季において残留塩素の維持が困難となっている。

## 2. 現在の維持管理と今回の目的

水道法施行規則では、給水栓において残留塩素を 0.1 mg/L 以上確保することが定められているが、神戸市では配水管内で 0.2 mg/L を確保することを目標としている。

神戸市では残留塩素を確保するための取り組みとして、配水管末端部等でドレンによる継続放水を実施しており、令和 6 年度の実績では西区管内で年間約 14 万 m<sup>3</sup>を放水している。特に夏季は水温上昇に伴い残留塩素の消費速度が増すため、放水量を増加させて対応している。

神出町では、効率的かつ効果的な残留塩素確保を目的として、令和 5 年度にタイマー式電磁弁（φ50 mm）を図 1 の地点 A に 1 台設置し、定期的な自動定量放水を開始している。これにより、残留塩素の確保に加え、現地作業の省力化を実現した。また、定期的に流速を上げて放水することで、有事（火災や突発的な漏水）に伴う赤水発生の被害緩和効果も確認され、管路水質管理の効率化に寄与している。

しかし、夏季（6月～9月）は残留塩素が大きく低下し、従来通り継続放水量を増加せざるを得ない課題が残った。そこで、夏季においてドレンによる継続放水を行わずとも十分な残留塩素を確保できるよう、末端部にタイマー式電磁弁を新たに 2 台増設し、より効率的な水運用を目指すこととした。



図 1 令和 5 年度設置のタイマー式電磁弁運用状況

# 配水管末端におけるタイマー式電磁弁の設置と試行

## 3. タイマー式電磁弁を使用した試行

### (1) タイマー式電磁弁

タイマー式電磁弁とは、時間設定・曜日設定を行うことにより自動で弁の全開・全閉を行うことができる機器である。今回は、深夜の使用量が低下するタイミングで自動放水を行う設定とした。



図2 タイマー式電磁弁

※口径 25mm のものを使用し、電池容量は 9V アルカリ乾電池で約 1 年間の運転が可能であり、弁開時間は約 1~2 秒、弁閉時間は約 5~30 秒となっている。

参考: 令和 5 年度設置の  $\phi 50\text{mm}$  タイマー式電磁弁は、現在 3 年目となるが、いまだに電池交換せず運用できている。

### (2) 試行内容

試行は令和 7 年 9 月から開始しており、タイマー式電磁弁の設置箇所は配水管末端で残留塩素が低い 2 か所 (地点 B、地点 C) を選定し、それぞれ  $\phi 25\text{mm}$  のドレン管に新設した。放水時間は、週 1 回、午前 1 時~4 時の間を標準とし、曜日ごとに放水地点、放水時間を変更しながら、地点 A の  $\phi 50\text{mm}$  のタイマー式電磁弁と連携して運用し、残留塩素の確保を図った。放水量は地点 A では全開時  $35\text{ m}^3/\text{h}$ 、地点 B、C では全開時ともに  $10\text{ m}^3/\text{h}$  に設定した。



図3 令和 7 年度設置のタイマー式電磁弁運用状況

## 配水管末端におけるタイマー式電磁弁の設置と試行

平日の日中に付近の消火栓7基で水温、残留塩素の計測を行い、効果の有無を調べた。内訳は地点A付近の消火栓4基（①～④）、地点B付近の消火栓1基（⑤）、地点C付近の消火栓2基（⑥、⑦）とした。

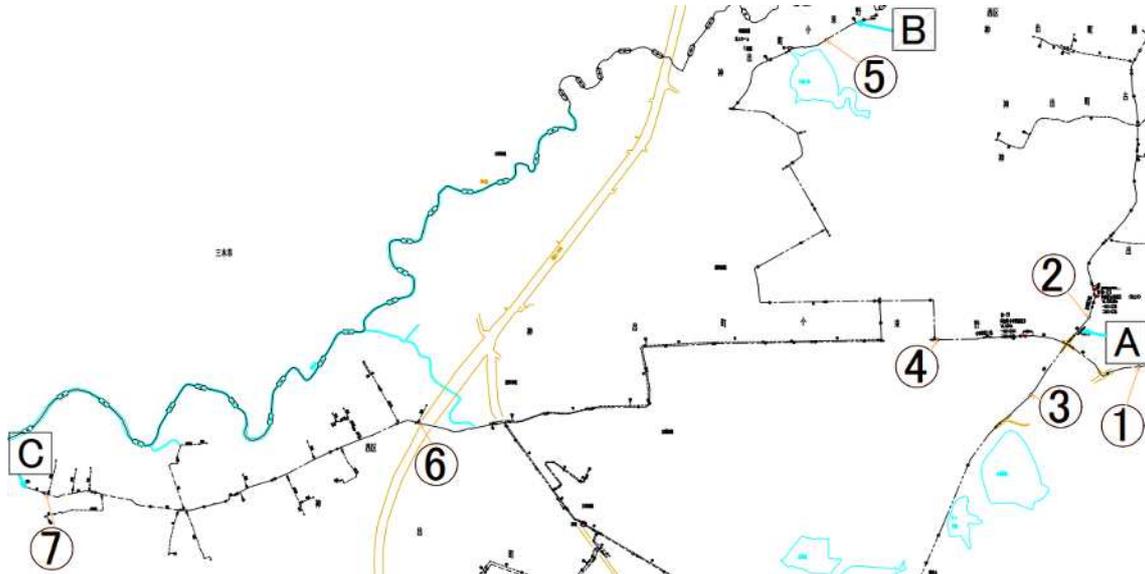


図4 管内水温・残留塩素計測箇所

### (3) 効果確認

初期設定は、通年で残留塩素が 0.3mg/L 以上を確認できている地点Aから上流側の地区における管内水量（35 m<sup>3</sup>）をすべて入れ替えさせる設定とした。地点B、地点Cに関しては過去に計測した流量、日平均使用水量を参考に、使用水量と放水量を合わせて、測点④からそれぞれの末端までの管内水量をすべて入れ替えさせる設定とした。（表1 初期設定を参照）

#### 【電磁弁設定】

電磁弁	初期設定 (8/29(金))	変更1 (9/1(月))	変更2 (9/11(木))
A	毎週火曜2:00-3:00 (1h)	毎週火曜2:00-4:00 (2h)	毎週火曜2:00-4:00 (2h)
B	毎週水曜2:00-3:00 (1h)	毎週水曜2:00-4:00 (2h)	毎週水曜2:00-4:00 (2h)
C	毎週木曜2:00-4:00 (2h)	毎週木曜2:00-4:00 (2h)	毎週木曜1:00-4:00 (3h)

表1 電磁弁設定時間

その後、表1のとおり2回（9/1、9/11）の放水時間変更（増加）を実施した結果、表2のとおりの結果を得ることができた。

## 配水管末端におけるタイマー式電磁弁の設置と試行

### 【水質】

測点	測定日	8/29	9/1	9/4	9/11	9/18	9/25
		金	月	木	木	木	木
	天候	晴	晴	曇	曇	曇	曇
	測定時間	11:00	14:00	10:00	10:00	10:00	14:00
①	水温	30.8	31.0	31.0	30.0	29.5	28.5
	残留塩素	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35
②	水温	31.0	31.0	31.0	30.0	30.0	29.0
	残留塩素	0.15	0.30	0.20	0.25	0.25	0.30
③	水温	30.5	31.0	31.0	30.0	29.5	28.5
	残留塩素	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
④	水温	31.0	31.0	30.8	30.0	29.5	28.5
	残留塩素	0.10	0.30	0.10	0.15	0.15	0.20
⑤	水温	30.5	31.0	30.8	29.5	29.5	28.5
	残留塩素	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.20
⑥	水温	31.0	30.8	30.8	29.5	29.0	28.5
	残留塩素	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.20
⑦ 給水より下流	水温	33.0	32.0	33.0	31.5	31.0	29.5
	残留塩素	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10

表2 管内水温・残留塩素計測結果

変更1までは効果が見られなかったが、変更2の設定後は測点③、⑦以外の測点で測定日9/25時点で残留塩素0.2mg/L以上を確保することができた。夏季が過ぎ、水道管内の水温が低下していることを考慮しても、初期設定(8/29)時の値と比較し、全測点で大幅な改善が確認された。

残留塩素確保のために放水した水量についても、変更2の運用では週当たり地点B、Cで合計50m<sup>3</sup>、地点A～Cでは合計145m<sup>3</sup>となった。継続放水を行っていた地点B、Cでは令和6年9月度と比較して、週当たり364m<sup>3</sup>削減することができた(令和6年9月度は地点B、Cにて週当たり414m<sup>3</sup>を継続放水にて使用)。年間では、令和6年度の放水量と比較し、年間7000～8000m<sup>3</sup>が削減できる見込みである。

#### 4. おわりに

今後は、φ25mmタイマー式電磁弁をさらに増設し、酷暑環境においても地点Cにて0.2mg/Lの残留塩素を観測できるような運用を試行するとともに、同様の条件を有する箇所にも設置し、効率的な運用を目指す。さらに、タイマー式電磁弁の新たな活用策として、通常は使用していない隣接自治体への配水連絡管末端に設置し、定期的な放水を行うことで、有事の際に飲用水を迅速に供給できる体制の構築を検討したい。

# 新マッピングシステムを利用した管路の維持管理について

兵庫県企業庁 広域水道事務所三田浄水場 ○ 増田 裕介

## 1 はじめに

兵庫県企業庁の水道用水供給事業は4水系あり、主に県南部の17市5町1企業団に1日最大41万トンの水道用水を供給している。これらの送水管路総延長は約280kmであり、工業用水道事業の配水管路総延長と合わせると約430kmにもものぼる。さらには、制水弁や空気弁等の弁類は約2,700件もあり、膨大な維持管理が求められている(図1参照)。

これらの維持管理を目的とし、これまでは平成21年度にシステム構築された旧管路マッピングシステムを利用していたが、利用面、管理面及び費用面においてパフォーマンスが低下しており、近年ではほぼ利用実態がないという状況であった。

そこで、令和6年度から新システムの構築を行った。



図1 兵庫県企業庁給水計画の概要

## 2 新システムの整備目的と方針

新システムを構築するにあたり、以下の3つの目的を共通認識として持ったうえで様々な意見を出し合い方針決定を行った。

### (1) 事故発生時の迅速な情報収集・共有

事故はいつどこで起こるか分からない。有事の際には、いつでも、どこでも、だれでも(関係者であれば)利用可能な形態とした(スマホ、タブレットの利用)。

また、システムに取り込むデータ量は多すぎると、かえって煩雑になり緊急時に活用できなくなる可能性がある。そのため、「マストなデータ」と「あれば嬉しいデータ」とに分類し、現時点では前者のみを入力し、今後利用していく中で後者については必要に応じてメンテナンス契約で対応することとした（メンテナンス契約については後述する）。

## (2) 施設情報の一元管理による管路保全業務の効率化

管路巡視や点検作業時に不具合箇所等の気づいた点については瞬時に記録することが望ましいことから、職員や点検業者が適宜簡単に書き込みできるようなシステムとした（図2参照）。

一方で、職員の業務負担量の軽減も図るため、大きな変更を伴うデータの追加作業等については、メンテナンス契約を結ぶこととした。

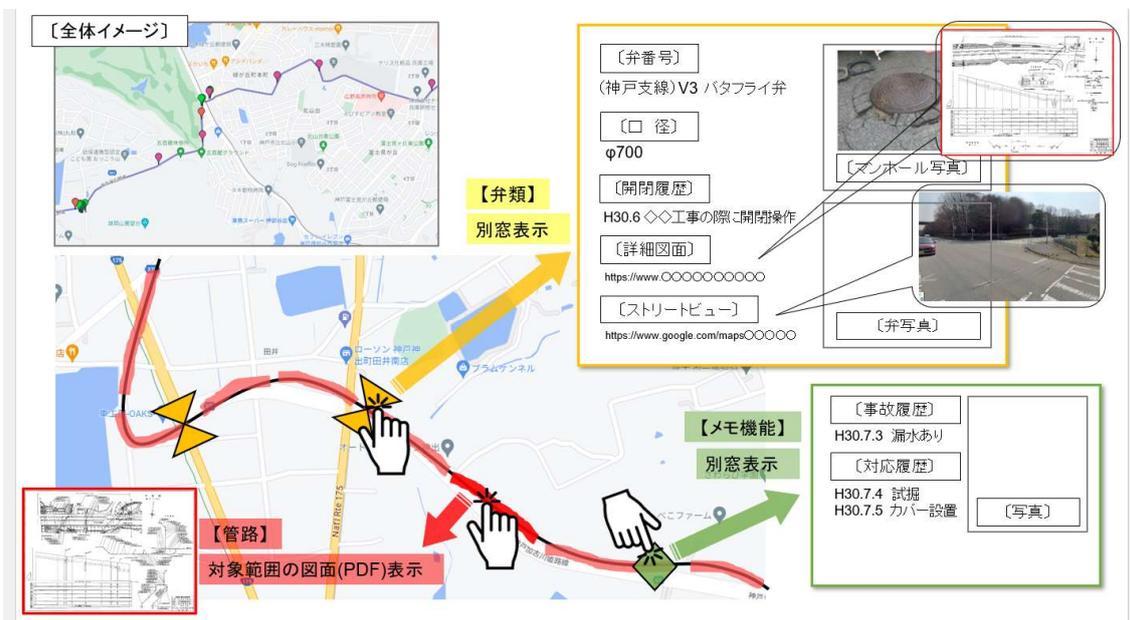


図2 新システムのイメージ

## (3) 職員の世代交代に向けた情報の継承

現在、兵庫県企業庁では水道に特化した技術職員は採用されておらず、情報の継承が深刻な問題となっている。そこで、今回の新システムの立ち上げにおいても、各浄水場からの主担当者を含めて7人中5人は水道での経験年数が3年未満の職員をあえて選び、経験が浅いからこそ見えてくる問題点も新システムに反映させた。そして、今後も増えるであろう若い世代の職員でもすぐに使えるような分かりやすいシステム設計を心掛けた。

## 3 新システムの運用開始後に見えてきたこと

令和7年度より新システムの仮運用が始まり、各事務所で管路巡視等の際に活用しているが、そこで見えてきた利点や検討が必要な点について述べる。

## (1) 利点

### ① 事故発生時の報告について

令和7年5月に広域水道事務所管内で水道管破損事故が発生した。仮運用を開始して間もない頃であったが、事故直後の第一報を報告する際に、本システムを用いて説明を行うことで組織としての初動を誤ることなく対応できた。

組織が大きければ大きいほど、事故発生時の報告は重要になるため、その際にも本システムが大いに活用できることが分かった。

### ② 若手職員の反応について

経験が浅い若手職員でもすぐに扱える分かりやすいシステムを目指すということで、初めての管路巡視に新規採用職員が同行し新システムを操作した。

今後、操作に慣れる必要はあるものの、初めて操作する職員でも使いこなせることが分かった。どのルートで管路が布設され、どこにマンホール・弁類があるのか、現場とタブレット画面で一致するので扱いやすいとのことであった（写真1参照）。



写真1 管路巡視の様子

## (2) 今後検討が必要な点

### ① 事務所内で問題点の集約について

三田浄水場では、管路巡視等で現場に出る際にはタブレットを持ち出し、操作に慣れるように呼び掛けている。併せて使用した際の問題点を記入できる文書を共有している（図3参照）。

これらの文書を集約し、全体会議の場で改善要望としてとり上げたり、メンテナンス業者へフィードバックを行ったりして、システムそのものの改善や操作性の向上に繋げていきたい。

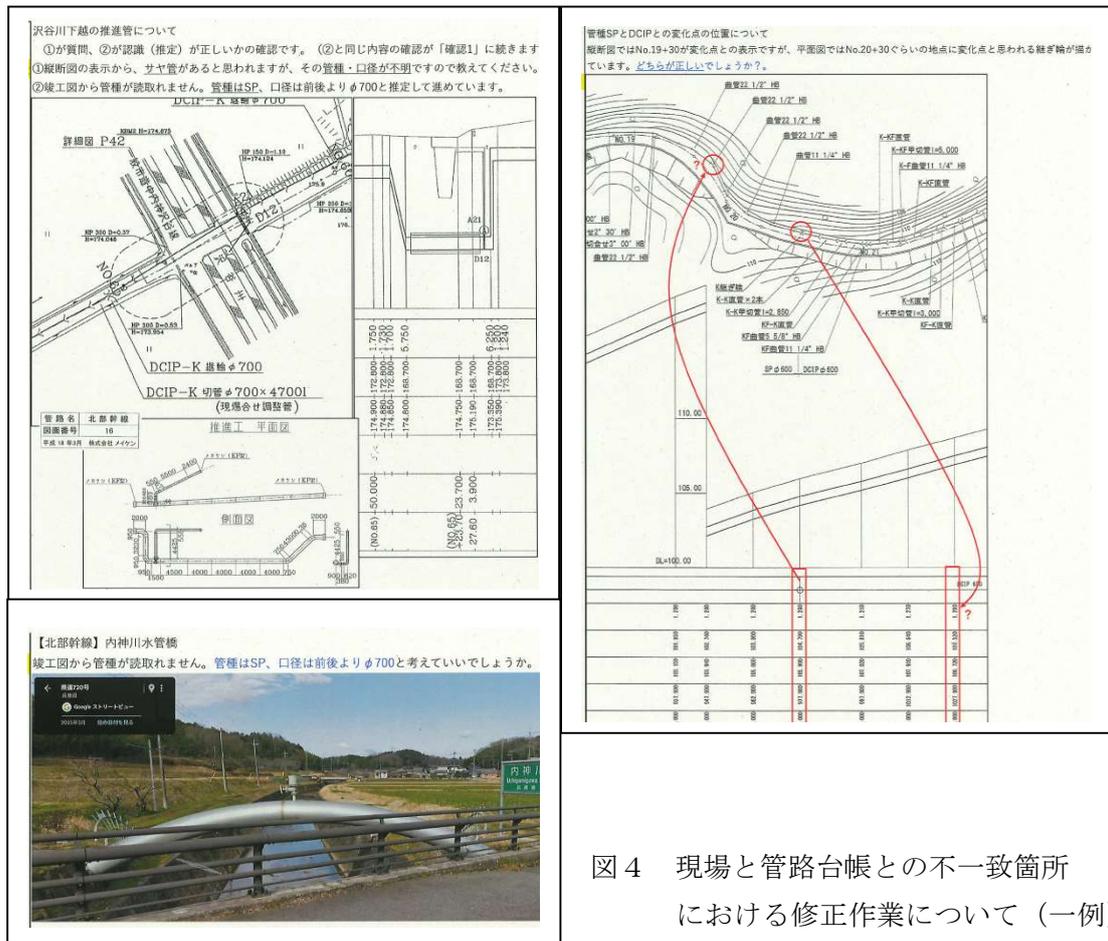
管路マッピングシステム仮稼働状況における問題点等について（三田浄水場）			
		質疑等	
日時	使用状況	問題点・改善要望等	
1	R7.4.30 管路巡視	特に晴天時、屋外でディスプレイが反射して見づらい。	
2	R7.5.7 画面確認	加東市永福の減圧弁室内のバルブ記載について要確認。 ex. 制水弁の順番V30とV30-2が逆？、D24-1はあるのか？、減圧弁自体を見やすくできるか？	
3	R7.5.7 画面確認	三田西宮連絡管 最新の管路台帳は完成しているが、コンサルのもとには渡っていない（現時点）とのこと。管路台帳に合わせて弁番号等を修正する。	
4	R7.9.8 管路巡視	マッピング画面に交差点の名称が出てくるようにすることはできるかどうか？ (出てくる時と、出てこない時があるような)	
5	R7.9.8 管路巡視	車内で、タブレット画面を見ると酔う。 何か良い方法はないか？ (ダッシュボードに固定できるようにするとか)	

図3 問題点の集約について

## ②管路台帳とのリンクについて

さらなる「施設情報の一元管理」を見据えて、管路台帳とのリンクを行うことを前提に本業務を立ち上げた。

ただ、総延長 430 km にものぼる管路になると、台帳だけでも約 5,000 枚にのぼり、過去の弁類やマンホールの点検記録等と合わせると本業務の対象となる図面・文書は 1 万枚を超える。これらの資料を収集するだけでも大変だが、当然のことながら現場と整合しない箇所等があり、それらを修正すると多大な時間を要することが分かった（図 4 参照）。



## 4 おわりに

今回導入した新マッピングシステムは、今後長期的な運用が可能であると考えます。そのためにもまずは、操作演習や管路巡視等を通じて職員ひとりひとりが操作に慣れることが重要である。

そして、上でも述べた問題点を改善し、いつでも、どこでも、だれでも使いやすいシステムとなるように展開させていきたい。

# AI 劣化診断と IoT 遠隔監視システムによる維持管理業務の効率化 II

たつの市上下水道部 ○山本 雅人

フジテコム(株) 加治 克宏、印藤 三津生、桑原 貴彦

## 1. はじめに

全国の水道事業は、高度経済成長期に整備された施設の老朽化に直面している。法定耐用年数を超過する管路は年々増加する一方で、更新率は低下傾向にある。さらに、人口減少に伴う料金収入の減少や職員数の減少により、施設更新に必要な財源や人材を確保することは困難となっている。

たつの市においても、昭和 40 年代に整備された水道施設の老朽化が進行している。特に課題は、限られた人員による日常点検や異常発生時の配水区域全域の調査、さらに漏水発生時における早期対応には限界があることであり、維持管理業務の効率化が喫緊の課題となっている。

このような背景の下、昨年度は AI 劣化診断を用いて高リスク管路を抽出し、IoT 遠隔漏水監視システムを設置する計画を発表した。本稿はその第 2 報として、実施状況と遠隔監視の成果、ならびに維持管理業務への効果を報告するものである。

## 2. 実施状況

### (1) 実施概要

昨年の計画に基づき、AI 劣化診断システムにより上水道管路 592km を診断し、絶対評価(漏水発生率 60-80%)かつ相対評価ランク 5(劣化度上位 3%以内)に該当する管路を監視対象に選定した。これらのうち、過去に漏水実績のあるエリアや漏水多発管路を含めた 3 つのエリア(図-1)において、合計 27 か所の配水管に IoT 遠隔漏水監視システムのセンサーを



図-1 劣化診断結果(監視対象エリア)

設置した(表-1)。監視は 2024 年 11 月から 2025 年 10 月までの約 1 年間実施した。

表-1 監視箇所情報

エリア	地区	監視箇所数	敷設後年数	選定理由
1	揖保町	21か所	21~49年	漏水リスクを懸念していなかったが劣化度上位の管路が集中
2	神岡町	4か所	34~39年	過去漏水実績あり
3	新宮町	2か所	27~46年	漏水多発管路

## (2) 監視システムの運用状況

IoT 遠隔漏水監視システムは、水道管路の付属設備(仕切弁や消火栓など)に設置した高感度センサーにより実測した管路を伝播する振動データを毎日クラウドサーバーに送信し、漏水判定アルゴリズムにより漏水の兆候を捉えることのできるシステムである。判定結果や監視状況(変化)は Web アプリケーション上の MAP やトレンドグラフで日々継続的に確認することができ(図-2)、異常を検知した際はアラート通知により現場に赴くことなく早期に状況を知ることができる。



図-2 監視システム画面例



写真-1 設置状況

システムは導入から現在まで安定して稼働しており通信やデータ取得に大きな支障はない。これまでに複数回のアラート通知があり事務所にて現地調査の必要性を判断し確認調査を実施した結果、実漏水の早期発見につながったケースが得られた。一方で、多くの監視地点では漏水による異常検出はなく、毎日の監視で対象管路に「異常がない」ことを継続的に把握できている。

## 3. 遠隔監視の成果・効果

### (1) 監視による成果

AI 劣化診断により抽出された対象管路(3 エリア、計 27 か所)での漏水発生箇所は、エリア 1 で 2 件、エリア 2 およびエリア 3 では漏水は確認されなかった。

今回は、システムによる漏水判定による通知から修繕対応できたケースと、漏水が無いことを継続的に監視できているケースの 2 つをご紹介します。

#### ① ケース 1：漏水判定による通知から修繕対応できたケース

##### 監視箇所 No.10 (※劣化度判定ランク 5 の管路)

監視センサー設置当初より漏水の可能性を示すアラートが発生していたため現地調査に入ったところ、配水管消火栓での地下漏水を発見した。Web アプリケーションのトレンドグラフ(図-3)からも、漏水判定の状況から消火栓修繕後に漏水判定が解除されていることが分かる。

劣化診断で判定ランク 5 の管路を継続的に監視し、漏水発見につながったケースである。

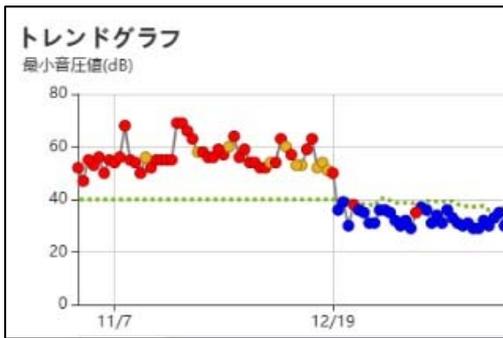


図-3 トレンドグラフ (No. 10)



写真-2 消火栓漏水

## ② ケース 2 : 漏水が無いことを継続的に監視できているケース

### 監視箇所 No. 2、No. 27

監視期間においてシステムからのアラート通知も殆どなく、グラフも安定した状態を継続しており(図-4)、対象管路に「異常がない」ことを確認できている。毎日状態監視をすることで異常時の変化に早く気付くことが可能となる。

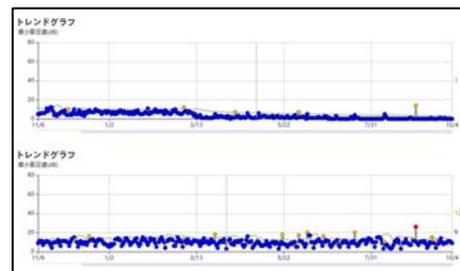


図-4 トレンドグラフ(上:No. 2、下:No. 27)

## (2) 維持管理業務への効果

今回の取り組みにより、維持管理業務において次の4つの効果が得られた。

### ① 迅速化

システムからのアラート通知により異常を即座に把握できるようになったことで、住民通報に依存せず初動対応が可能となった。その結果、漏水の拡大を防ぎ、道路陥没などの二次災害リスクを低減できた。

### ② 省力化

システムによる遠隔監視と自動判定の可視化およびアラート通知により、現地調査の可否を事前に判断できるため、不要な巡回調査を削減できた。その結果、限られた職員数でも効率的に維持管理業務を遂行することができた。

### ③ 健全性の確認

監視により異常が発生していないことを日常的に把握できるため、対象管路の健全性を裏付ける情報が得られ、維持管理水準の信頼性が高まった。

#### ④ コスト削減

高リスク管路を遠隔監視する場合と、従来の音聴調査や弁栓操作を毎日実施する場合を比較した結果、27か所（管路延長5.4km）において約85%の削減効果が見込まれた。

### 4. まとめ

AI劣化診断により予測された高リスク管路に対してIoT遠隔漏水監視システムを活用した継続的な監視を行うことで、業務の迅速化と省力化による水道管路の効率的・効果的な維持管理を可能とし、費用対効果の観点からも導入効果が高いことが確認できた。

また、劣化診断で高リスクと判定された管路は「いつ漏水が発生してもおかしくない管路」であるため、毎日の点検を可能にする遠隔監視は、漏水事故を未然に防止するうえで極めて有用である。

### 5. おわりに

今後は、限られた人員や予算を有効に活用するため、データに基づく精緻な調査を実施し、漏水発生リスクが高い管路から優先的に対策を講じていく必要がある。

住民への影響を十分に考慮しながら、優先順位を付けて点検・調査・更新に取り組むことで安定した水の供給を確保するとともに、国が進めている重要給水施設管路や急所施設の耐震化計画を踏まえ、たつの市では漏水事故や二次災害等の防止に向けて、IoT遠隔漏水監視システムの導入を検討していく考えである。

# 応急給水の簡易化への模索

東大阪市上下水道局 ○ 発表 松田 武之  
共同 下別府 祐希

## 1. はじめに

近年多発する大型台風や地震などの自然災害、また、経年による劣化管の部分破損など、偶発的に発生する災害により、日ごろ安定供給されている水の供給が突如として途絶えてしまうことがある。災害時の応急給水は各事業者で定められたマニュアルに従って対応することとなっているが、応急給水活動を経験している職員は少なく、いざ東大阪市で災害や事故等が発生した場合に「応急給水活動の早期対応が可能なのか」という問題もある。

上記の問題を解決するために、応急給水の実施方法を整理し、現場判断が求められる状況を減らすことで1件当たりを使用する所要時間を低減する方法の確立が必要となる。

本稿では貯水槽設備に主眼を置いて設備面での応急給水簡易化への調査及び協議経過の報告である。

## 2. 令和4年度に行った主要医療機関への調査

### (1) 調査目的

重要給水施設に定めている主要医療機関での給水状況を調査し、給水車から受水槽への直接応急給水方法、受水槽と設備の状況確認を行うこととした。

### (2) 手順

主要医療機関 15 箇所へ受水槽に関するアンケートを行い、回答のあった 13 箇所 21 基の受水槽について現地調査を行った。

現地調査では受水槽等の調査を行い、給水車を用いて実際に受水槽に応急給水を行う場合の必要備品の確認等を行った。

### (3) 結果

13 箇所 21 基の受水槽の内、13 箇所 20 基は給水車を施設敷地内に停車させ、飲料水送水用ホース等を使用し、直接受水槽へ応急給水可能であることが確認できた。

### (4) 課題

給水車から受水槽までの距離が平均 29mあり、給水車に常時積載しているホースでは延長が不足している施設があることが判明した。



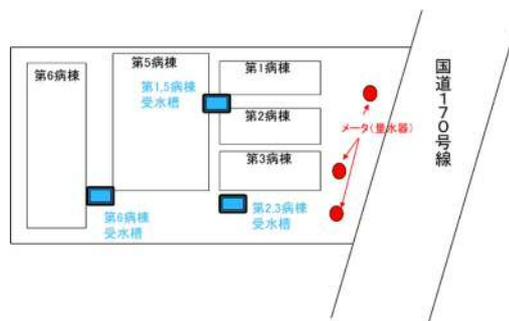
写一1 受水槽確認内容

### 3. 医療機関との改修協議

#### (1) 医療機関との改修協議

前項の主要医療機関への調査の際に医療法人藤井会石切生喜病院様で新棟建築工事の計画があり、簡易に応急給水が行える施設への改修について助言を求められた。

図-1 に示すとおり、協議開始時点では、受水槽は施設内で別々に存在し、それらに給水するためのメーターも離れている状態であった。



図一1 病院内概略図

また、給水車から受水槽への応急給水を行うアプローチの距離も長い状態であった。

#### (2) 提案内容

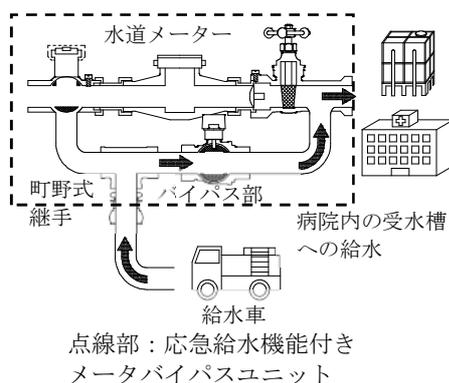
医療機関であるため、応急給水の目的が被災時での病院機能の維持とのことから、施設内配管は無事であるという前提での改修協議を行い、

- ①「新棟の引き込みに合わせて既設メーターも移設し検針等もしやすいように変更すること」
- ②「応急給水機能付きメーターバイパスユニットに変更すること」の計2点を提案した。

#### (2-2) 応急給水機能付きメーターバイパスユニットとは

応急給水機能付きメーターバイパスユニットは、不  
断水での水道メーター交換ができ、また町野式継手  
を備えていることで、給水車から病院内の受水槽へ  
直接給水することが可能である。

とりわけ後者の機能により震災等で水道給水が  
断たれても、受水槽を災害用の貯水タンクとして運  
用ができる。このことにより、災害時でも透析等の  
医療で患者様に必要とされる水の供給を可能とす  
るシステムの一助になるものとする。



図一2 メーターバイパスユニット配管例

#### (3) 協議後

病院に接続されている3系統について、メーターバイパスユニットを設置し、事務所棟も含む4系統についてメーター移設を行い日常でのメーター検針・災害時の簡易に  
応急給水が行える構造へ改修することとなった。



写一2 メーターバイパスユニット設置状

#### 4. 公共施設での応急給水（受水槽）の簡易化への取組

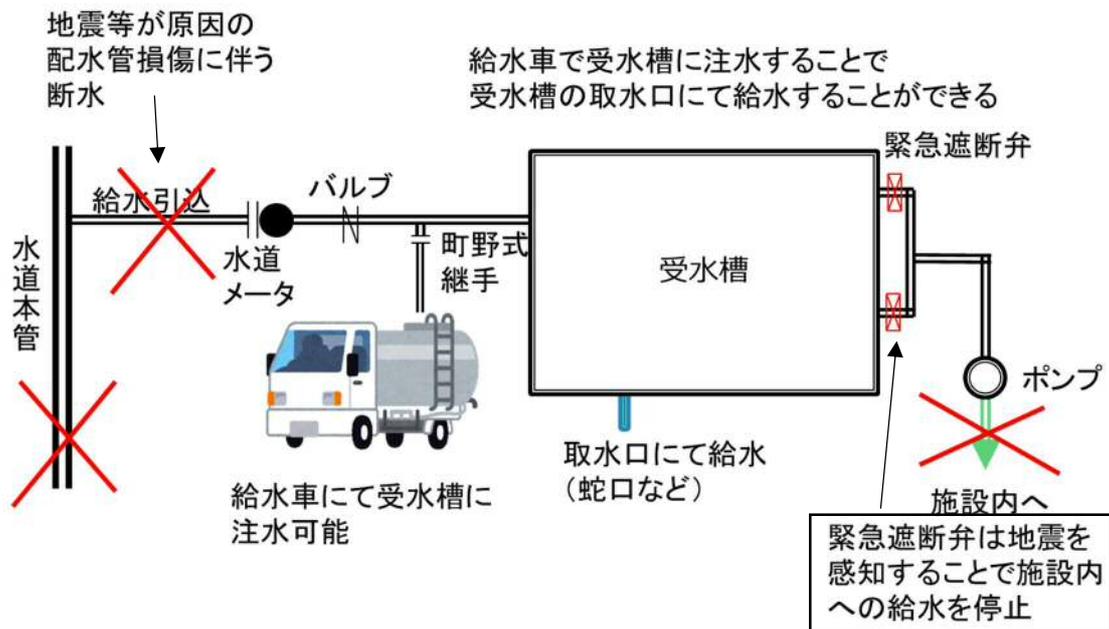
##### （1）公共施設の貯水槽を災害用貯水槽とする目的

学校や行政サービスセンターのような公共施設は、建物構造体の耐震化は済んでいるが水道配管等の内部設備については更新を行っていないものも見受けられる。また、避難所に指定されていることも多く、被災時は施設を利用する以外の人の使用も想定される事が多いことから、施設の受水槽を災害用貯水槽として流用できる構造にすることを提案した。

##### （2）公共施設の貯水槽を災害用貯水槽として流用できる構造

一般的な受水槽の建物は水道本管から分岐して、引込、メータを通過して受水槽に注水し、給水ポンプで圧送して施設内への給水をする。災害時における本管断水や施設内の給水管が破損した際の対策として、受水槽までの配管にバルブ及び町野式継手を、受水槽に取水口を、受水槽二次側に緊急遮断弁を設置することで、地震等が原因による配水管損傷に伴う断水時でも緊急遮断弁が地震を感知し内部配管への水の供給を停止することで、施設内の配管破損時に水が流失することを防ぎ、受水槽に取り付けられた取水口にて水を利用することが可能となる。

また、町野式継手を利用して給水車から圧送することで受水槽に注水することもできる。



図一3 災害用貯水槽化の配管案

## 5. おわりに

本稿では、貯水槽施設のある重要給水施設に対しての応急給水についての報告をした。応急給水活動は水道事業体が行うものではあるが、災害や事故等が発生した場合、それだけのマンパワーを用意することは難しい。

指定避難所や医療機関のような、重要給水拠点が、給水車による応急給水を受けやすい施設へ改修を行い、水道事業体も状況を確認することで、応急給水に必要な資機材が減り、ベテランの経験則に頼る現場判断や水道基地と現場との往復が減り、少ないリソースで給水活動を行うことが出来ると考える。

災害等による断水時でも円滑な応急給水を行なえるようにバックヤードの工夫を進め、これらの施設への改修について提案の基準化を目指し危機管理担当課も含めた関係各課と協議を進めていく所存です。

# 応急給水受援マップと応急給水受援カルテの活用 －応急給水活動の受援ツール－

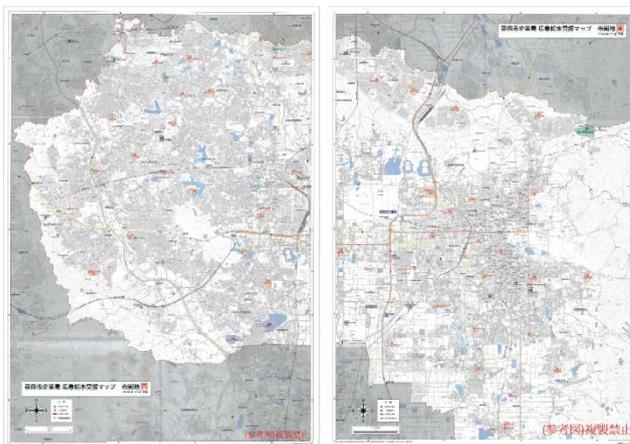
奈良市企業局 ○ 発表 西崎 聡志  
共同 小柴 善裕  
共同 小西 大造  
共同 内田 圭悟

## 1. 制作の経緯と必要性について

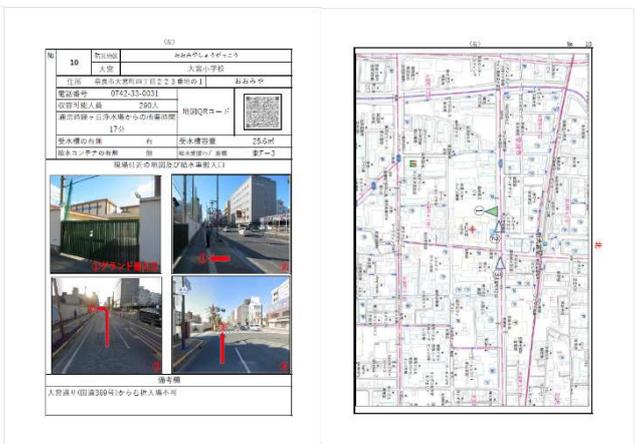
奈良市企業局では、これまで阪神淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、西日本豪雨災害、六十谷水管橋崩落事故、能登半島地震など未曾有の大災害や事故時に応急給水や応急復旧等で被災地へ派遣し現地での活動を行ってきた。その様な中で、被災市民、住民の生命に直結する初期の応急給水の速やかな展開の重要性についてはどの事業者でも強く感じており、当市を含め水道事業者の中ではさまざまな工夫をされてきているところである。

災害が発生し大規模断水が生じたときには、今や職員数の減少に悩む事業者において自前の給水車や参集できた職員の数だけでは満足のいく応急給水活動が行えず、日本水道協会等を通じて、他の事業者へ応援要請を发出し、受援をいただくことになる。被災事業者において、初期の応急給水活動で一番重要なことは、応援給水に来ていただいた事業者へいかに的確かつ速やかに応援給水先の施設や給水車充水施設の位置情報や状況を伝えることであり、このことは自市被災者の命の水を守ることに直結する。加えて、大規模災害の場合、電源の喪失やスマートフォンなどインターネット等を利用した地図が使えないことも考えられる。また、スマートフォン等端末が使えた場合であっても、応急給水のリーダー会議、受援者間の引継の際にも紙媒体はとも有効であると過去の経験から習得した。

奈良市企業局では、このような背景から、奈良市街地を2枚に分割した応急給水受援マップ(A0)を制作した。応急給水受援マップには奈良市地域防災計画で示された一次避難所、災害拠点病院を含む救急車の受け入れが可能な救急告示病院、緊急遮断弁などが設置された応急給水拠点の3つと災害事故時の水融通を可能とする近接事業者との相互融通連絡管を明記した。また、応急給水受援マップにプロットされている上記3つの各施情報を解説している応急給水受援カルテ(A4)も同時に策定し、応急給水受援マップとのリンクをもたせることとした。



図－1 応急給水受援マップ



図－2 応急給水受援カルテ(1次避難所)

# 応急給水受援マップと応急給水受援カルテの活用

## －応急給水活動の受援ツール－

### 2. 応急給水受援マップと応急給水受援カルテの内容とその実用性

#### (1) 応急給水受援マップ

応急給水受援マップ(以下、マップ)は、住宅地図を専門に制作している民間事業者に協力を得て、策定を行うことができた。策定するにあたり当該民間事業者は、地元の道路地形や、住宅地の形状まで鮮明に反映されている精度の高い白地図を用意していることに加え、当方の意図、目的に応じた地図を作成いただけることなどから選定し、上記で説明した内容をプロットした構造で制作した。今回作成した、マップのサイズは、A0サイズ2枚で表現しているが、奈良市全域を地図に表現しようとすると、縮尺が大きくなり、道路が小さく潰れ応援事業体にとってわかりにくいものになってしまうことが分かった。

そのため、今回作成したマップは奈良市の人口密集地域で、災害発生時に多くの市民に影響を及ぼす奈良市街地域をカバーでき、かつ応援給水にこられた奈良市の土地勘がない事業体であっても給水車等で走れる道路幅や住宅の状況が認識できる縮尺で制作した。また、マップの材質として、応急給水活動という水を使った作業であることを前提に、雨や雪でも強度を保ち、なおかつ文字の書き込みが可能な紙を使用して制作した。

#### (2) 応急給水受援カルテ

応急給水受援カルテ(以下、カルテ)は、避難所などの施設情報などを詳細に示したものであるため、改訂が容易にできるよう職員の手によって企画制作した。カルテにはマップに掲載する一次避難所、救急告示病院、応急給水拠点の3種類の詳細情報を掲載しており、一次避難所であれば、グラウンドへの出入り口の位置と進入する方向、施設であれば、受水槽の有無や位置、容量やその場所の注意事項を掲載した。また、インターネット環境が復旧していれば、Google マップナビが使えるよう QR コード、難読漢字が多い、奈良市のために地名の読み仮名とマップでの位置が分かるように、座標位置を掲載することでよりマップとの連携を図り使いやすい形にした。

### 3. 局内訓練での試行

当初の目的が達成されるマップとカルテになっているかどうかの確認を行うため、令和7年2月に日常業務で現場へあまりでることがない事務職2名2班体制で、携帯電話やカーナビを使用せず、マップとカルテのみで応急給水拠点へ向かう訓練を実施した。その結果、2班とも最短距離での走行ではなかったものの、土地勘のない者でもこのツールを使い無事目的地まで到達することができた。



図-3 応急給水受援マップの活用状況

### 4. 近隣の日水協支部長都市等への貸与

令和6年度末から7年度にかけて日本水道協会関西地方支部及び支部長都市へ受援マップ及びカルテの貸与を行った。奈良市が受援を必要になった場合、応援に来ていただく可能性が高い

都市のため、事前に貸与していれば土地勘のイメージをしてもらうことができるため、貸与を行い、受援マップ及び受援カルテを作った目的と使い方を伝えた。

## 5. おわりに

マップ及びカルテの作成により、奈良市の主力浄水場である緑ヶ丘浄水場から各応急給水拠点や一次避難所、救急告示病院まで災害時、電源やインターネットが使えないときでも目的地まで行けるように準備を行った。災害時の対応として全国的に水道事業に携わる職員が少なくななかで自市の職員では限界があり、自力でどこまでの対応が可能か予測は困難である。今回の取組は、日本水道協会等の体制のもと、受援を行い、来ていただいた事業者の方にすぐにマップとカルテを貸与し、少しでもスムーズに初期の応急給水を開始できるようにとの思いでこの2つを制作した。今回、全国研究発表の場でご報告させていただいた理由は、すでにこのようなマップ、カルテをつくられている事業者もあると思うが、自市へ受援していただくときの準備と、初期の応急給水活動の参考となればと思う。この活動が広がり災害時に一秒でも早く一滴でも多くの水が被災地に給水されれば幸いである。

# 広域化に向けた水道料金システムの統一の取り組み ～県域水道一体化における24団体のシステム統合～

奈良県広域水道企業団 事業部 計画課 ○ 杉本 好崇  
阪井 裕貴

## 1. 背景・目的

奈良県では、県内の水道事業、用水供給事業及び共同処理する水質検査業務を統合する「県域水道一体化」の取組を平成30年から行ってきた。関係団体が協議検討を重ねた結果、令和6年11月、奈良県広域水道企業団が、表1に示す奈良県および26市町村を構成団体とする一部事務組合（特別地方公共団体）として設置され、令和7年4月から水道事業及び用水供給事業を行っている。広域化の形態は事業統合である。

水道料金の取り扱いについては、令和5年2月に策定した基本計画において、「料金体系は統合時（令和7年4月）において統一することを基本とするが、料金体系の制度的変更により単独経営の場合に比べて料金が上がることとなる利用者が生じないよう、必要な経過措置を講じる」方針が示された。このことから新しい料金体系に基づく計算ができるよう、水道料金システム（以下、「システム」という。）を統一する必要がある。

しかしながら、システムの統一に向けては次のような課題があった。

- ① システムの仕様と密接に関連する業務の運用方法が標準化できていなかった。
- ② 事務局を担う奈良県水道局は用水供給事業者であったため、システム全般や料金徴収業務を熟知する職員がいなかった。
- ③ 詳細な仕様を決定する会議に全団体が直接参加することは困難であり、検討体制を決定する必要がある。

表1 奈良県広域水道企業団の構成団体

奈良県、大和高田市、大和郡山市、天理市、橿原市、桜井市、五條市、御所市、生駒市、香芝市、宇陀市、平群町、三郷町、斑鳩町、安堵町、川西町、三宅町、田原本町、高取町、明日香村、上牧町、王寺町、広陵町、河合町、吉野町、大淀町、下市町
---

本論文では、広域化に合わせて行ったシステムの統一の取組（以下、「本取組」という。）について、主に業務標準化の内容や検討体制、統一する過程で浮かび上がった各種課題の内容について報告する。

## 2. 方法

### (1)システムの概要

システムの概要を表2に示す。システムはクラウド方式とし、水道標準プラットフォーム上に構築した。システム開発方針は、スクラッチ開発は行わず、可能な限りパッケージ標準機能で導入し、カスタマイズは必要最低限とした。

### (2)スケジュール

水道料金システムの統合スケジュールを図1に示す。令和4年度に調達仕様書の作成及び関連する基本情報の整理等を行い、令和5年、6年度の2ヶ年でシステム構築を行った。運用開始に向けた新システムへの操作習熟のため、本稼働前に4ヶ月の試行運用期間を確保できるよう計画した。

### (3)データ移行

本取組では、データ移行における新旧システムベンダーの役割分担は次のとおりとした。

- ① 旧システムのデータは旧システムベンダーが抽出し、新システムベンダーが指定する標準レイアウトの形式に変換した上で新システムベンダーに提供する。コンバートにはコード変換やコードの分割、統合も含む。

表2 システムの概要

方式	クラウド方式 (水道標準プラットフォーム上に構築)
接続拠点	38拠点
PC台数	230台
検針端末	232台
利用者数	355人

工程	令和4年度	令和5年度				令和6年度				令和7年度
水道料金システム	調達仕様書作成	水道料金システム構築業務								本稼働
		要件定義	基本設計	開発・単体テスト	結合・総合テスト	試行運用	運用テスト	平行検証		
データ移行			仕様確定▲		データ提供▲	データ提供▲	データ提供▲	▲データ提供(リハ)		★本番移行
金融機関連携							新旧チェック	回線申込	委託者コード読替	
他システム連携					コンビニ収納、マッピング連携			伝送テスト		

図1 システム統合スケジュール

- ② 新システムベンダーは受けとったデータを新システムにセットアップする。

なお、データの提供は本番までに計5回実施し、旧システムからのデータ抽出・変換プログラムの改善およびデータ検証を繰り返すことで、データ品質を向上させた。

(4)要件定義の検討体制

システムの統合に関する作業は、首長による「協議会」の下部に位置づけられる、実務担当者による分野別の「作業部会」で主に行った。

要件定義、基本設計は仕様を確定する重要な工程であるが、会議回数が多く、全団体が参加することは不可能であった。そこで、幅広い意見を踏まえつつ、詳細な仕様を決定していくため、要件定義の検討メンバーを選定した。メンバー構成は旧システムのベンダー別に、会議に参加できる熟練職員の有無や、広域化の経験等を踏まえて調整し、6団体が参加した。旧システムのベンダー別に選定した理由は、ベンダーごとの仕様や業務運用方法の違いが新システムへの移行において問題とならないかをこの工程で確認しておく必要があると考えたためである。

作業部会と要件定義検討メンバーとの役割分担は次のとおりとし、要件定義においては決めるべきことを肅々と決められるようにした。

- ① 作業部会は業務運営方針を決定する。
- ② 要件定義検討メンバーは、作業部会で決定した方針（業務方法）を新システムベンダーとの協議において仕様に反映する。
- ③ 要件定義検討メンバーは仕様確定に関する権限を持ってもらう。なお、メンバー間で確

定できない事項があれば作業部会に戻し、作業部会は対応について検討整理する。

3. 結果および考察

(1)業務体制

基本設計工程までの7ヶ月間は、会議を週2回、各4〜5時間のペースで行い、その回数は50回に上った。別途、市町村別の料金計算、業務フローのヒアリングが24回あった。この工程では、決定事項のとりまとめと併せて、未決定事項の課題管理も重なったため、想定以上の労力が必要であった。また、構築業務の後半では、PCの調達配備、金融機関、コンビニ収納代行会社、印刷会社との連携テストも重なったことから、外部連携を含めてシステム全般を熟知した職員がいることが望ましかった。

(2)業務の標準化

本取組では、業務の標準化に積極的に取り組んだ。広域化の形態が事業統合であり、統合当初から料金体系を統一した（経過措置あり）ことに加えて、将来的な事務所統合や料金徴収業務の委託共同化において有利と考えたためである。表3にシステムの統合と併せて業務を標準化した内容を示す。

本取組では、検針・請求サイクルは「隔月検針・隔月請求」に統一し、業務日程も統一した。業務日程の統一にあたっては、移行時点の請求状態（口座未請求、口座請求中等）を団体別に整理し、個別に運用を移行することで対応した。

水道料金の計算仕様は可能な限り統一した（表3）。一方で、水道料金と同時に徴収する下水道使

表3 システム統合と併せた業務の標準化

項目		統合前の状況	統一方法
番号	お客様番号	独自の付番ルール ・連番 ・検針地区、順	新ルールで再付番 旧お客様番号も移行し検索等に活用
	栓番号	独自の付番ルール	旧栓番号はそのまま移行
業務日程	検針・請求サイクル	・隔月検針・隔月請求(8団体) ・毎月検針・毎月請求(7団体) ・隔月検針・毎月請求(9団体)	隔月検針・隔月請求 (一部使用者は毎月検針・毎月請求)
	月の請求回数	・月2回 ・月1回	・月2回に統一
	請求日程(納入通知書、口座振替)	独自日程 ・15日、月末日等	・月2回の特定日に統一
帳票	検針票	独自様式	統一様式
	納入通知書	様式、発行有無、対象条件が様々	帳票様式、対象条件、スケジュールを統一
	督促状、催告書 給水停止		
料金計算	水道料金	水道事業ごとの仕様	統一 ・日数計算仕様 ・基本料金の月数計算 ・共同住宅計算仕様 ・消費税の端数処理
	下水道使用料	下水道事業ごとの仕様	市町村ごとに仕様を決定 ・基本料金の月数計算 ・消費税の端数処理 ・督促手数料
収納	口座振替取扱金融機関	独自契約	統一(18行)
	コンビニ収納代行業者	独自契約	統一

用料については、各市町村の下水道条例の算定方法に従って計算できるよう、市町村ごとに仕様を決定した。

### (3)発生した課題の例

システムの統合にあたっては多数の課題が発生したが、その例を表4に示す。新旧システム間のデータ管理方法の違いのため、旧システムでは問題ないデータでも新システムでは不整合となる場合もあった。運用テストまでに判明した課題は事前に対策できたが、本稼働後に発生したものについては事後対応とならざるを得なかった。移行データの不具合は運用テストや新旧チェックテストで判明したものも多く、判明した時点で全団体会同様の問題がないか横展開して確認していたが、本稼働後に判明したものもあった。事前のテスト期間で十分なテストを行い、エラーを洗い出すことが重要である。

### (4)データ移行における課題

本取組では、新システムベンダー：旧システムベンダー=1社：9社であった。2(3)の役割分担で移行業務を進めたが、次のようなデメリットが

あった。①旧システムベンダーが提供するデータ品質が期待したように向上しなかった(データクレンジング等)。②移行データの提供スケジュールが遅れて計画通り新旧チェックが開始できなかった。③本稼働後に設定ミスが判明した。

結果として、これらの調整に労力を割くこととなったため、データ移行における新旧ベンダーの役割分担については、本取組の方法が最善とは考えておらず、他の方法も含めて比較検討する必要があると考えている。

### (5)本稼働前後のサポート体制

新システムベンダーのサポート体制として、①本稼働5ヶ月前のヘルプデスクの設置、②操作研修、③本稼働1ヶ月前の移行リハーサルによる移行データの提供手順及びタイムスケジュール確認並びにデータ品質の最終チェックがあった。また、④本稼働後の1週間は24ヶ所の事務所にシステムエンジニアを各1名配置して問合せ対応し、⑤各種バッチの本稼働後初回処理時には新システムベンダーのシステムエンジニアが立ち会う体制とし、移行データに起因するエラー対応に備えた。

表4 発生した課題の例（いずれも一部団体の例）

種別	判明時期	内容
運用変更によるもの	基本設計	毎月検針から隔月検針への変更により、標準仕様では検針時に水量異常と判定されることや、検針票の前回水量の表示に問題があることが判明。プログラムを修正して対応。
データ管理方法の違いによるもの	基本設計	旧システムでは利用者住所を文字情報でのみ管理していたが、新システムでは文字情報と地番の数値情報の両方で管理し、住所検索は数値を検索する仕様としたため、そのままでは住所検索に対応できなかった。
	基本設計	分納誓約や分割請求など、新旧システム間でデータ管理方法の違いが大きく、技術的に移行できないデータがあった。
	運用テスト（新旧チェック）	新システムで請求済みの判定に利用する項目が、旧システム（1ベンダー）では調定作成時に自動で入力される項目であったため、未請求状態で移行しても新システムで請求対象にならないことが判明。新システム側で修正対応。
	運用テスト	旧システムでは督促状の発行履歴を管理していなかったため、新システムでは督促状未発行と判定され、過去の未収調定が多数発行対象になった。抽出条件を一部変更して対応。
移行データの変換・設定ミス	本稼働後	検定満期のメーター取替水量が正しく移行できていなかったため、本稼働後に取替後の初回検針があった場合、下水検針水量が異常になることが判明（上水は問題なし）。新旧システム間でのデータ管理方法の違いも一要因。
複合要因	本稼働後	新システムへの移行後に口座振替請求すべき対象者に口座請求できなかった（2団体）。原因は、①新旧システム間で請求履歴の管理方法に違いがあり、新システム側で請求済みと判定されたため。②旧システムで移行前に特殊な請求処理が実行されたため、移行データが請求済みとなっていたため。

運用面では、事務局で⑥運用テストのテスト項目を周知して進捗管理し、⑦別途立ち上げた営業プロジェクトチームで作成した営業業務マニュアルを配布するなどして業務開始に備えた。

本稼働前後に発生したヘルプデスクへの問い合わせ件数を図2に示す。件数は本稼働後に急増し、4月は1,000件/月を超えるピークがあった。この問合せ件数の増加を受け、ヘルプデスクの回線を増強するなどの対策を講じたものの、利用者側でシステムの移行や業務運用方法の変更に伴う混乱があり、課題が浮かび上がった。

改善点としては、新ベンダー側の体制として、本稼働後の立会対応の充実、ヘルプデスクの人員

確保、問合せ件数の減少に応じた柔軟な体制の縮小などが考えられる。一方で利用者側は、テスト期間に十分なテストを実施し本稼働に備えることが上げられる。しかし、そのテスト内容は体系化されておらず手探りで実施したのが実情である。人的リソース面では、日常業務に加えて広域化に伴う各種条例の改廃事務や届出等がある中でテストを行う必要があったため、事業開始を見据えた十分な体制を整え、その上で効率的かつ確実に実施することが今後の課題である。

#### 4. まとめ

本論文では、奈良県における水道事業の広域化に向けた水道料金システム統一の取組について報告した。本取組で構築したシステムは予定通り稼働し、半年経過時点で大きなトラブルなく安定して稼働している。また、業務の標準化を行ったことで料金徴収業務を近隣事務所で共同発注する取組も進んでいる。

システムの統合にあたっては業務標準化、データ移行、試行運用テストがポイントであった。その中でも移行データの品質を確保するのが最も困難で、そのための各種検証テストにどう取り組むかが今後の課題である。

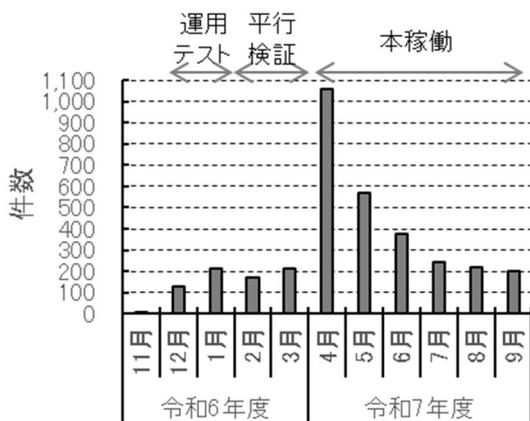


図2 ヘルプデスクの問合せ件数の推移

# 堺市上下水道局における新たな人事施策の実施状況について

堺市上下水道局 総務部 総務課 ○石田 吉則 小山 莉穂 下村 俊

## 1. はじめに

近年、堺市上下水道局においては、事務ミスが多発、局運営方針の伝達不足など、組織運営上の課題が顕在化している。これらの問題は、組織の健全性を損なうだけでなく、利用者サービスの質にも影響を及ぼす重大な要因となっている。

具体的には、以下のような現状が確認されている。

- ・業務における事務ミスが多発

入札公告関係書類の内部確認が不十分であったため、公告後の訂正や入札中止等が相次ぐなど、事務ミスが多発により円滑な事務執行に支障が生じている。

- ・局運営方針等の職員への伝達不足

組織マネジメントの経験が浅い所属長が多く、トップからのメッセージを所属職員に十分に伝達できておらず、各部署での業務遂行と局全体の方針との整合性が十分に確保されていない。

- ・相談体制の活用不足

組織内の相談窓口が十分に機能しておらず、職場内での問題点や不安を適切に伝える手段が乏しく、所属長と職員との信頼関係の強化が課題となっている。

- ・リスク・情報共有の不足

管理職を含めたリスク認識が不十分であり、必要な情報がトップに十分に伝わらない。これにより、組織課題が深刻化し、重大事案への初動対応が遅れ、その事案への対応負担が増大し、職員のモチベーションの低下が懸念される。

これらの課題を解決し、より良い組織運営を実現するためには、職員相互のコミュニケーションと信頼関係を基盤とした組織活性化が不可欠である。単なる制度の導入にとどまらず、日常的な対話と相談、重大事案につながるリスクへの迅速な対応を循環させる仕組みの構築が求められる。

本稿では、堺市上下水道局が導入した3つの人事施策（1on1 ミーティング、SENPAI ほっとライン、管理者ほっとライン）の概要を説明した後、特に 1on1 ミーティングについて、アンケートを踏まえた効果測定結果を分析の上、報告する。これらの施策は、心理的安全性の向上、初動対応の迅速化、キャリア開発支援を同時に推進することを目的としており、組織文化の再構築に向けた中長期的な基盤整備の一環である。

## 2. 施策概要

堺市上下水道局では、従前より、日々の業務の中で職員が気づいたことや、ちょっとした悩み・疑問などを人事部門の職員に直接相談できる体制として「Ki・Zu・Ku ほっとライン」を導入している。これに加え、令和6年10月からは、職員間の信頼関係構築と組織の活性化を目的として、以下の3つの人事施策を導入・実施している。

### 2-1. 1on1 ミーティングの実施

所属長と職員が定期的に1対1で面談を行うことで、意思疎通の緊密化、信頼関係の構築、そして職員の業務に対する考え方等を踏まえた組織運営による組織活性化の実現を図る施策である。

- ・対象：課長補佐級以下の上下水道局全職員（会計年度任用職員を除く。）
- ・頻度・時間：四半期に1回、年4回実施。1人あたり30分程度
- ・内容：今後のキャリアプラン、業務上の課題（些細な疑問や違和感を含む。）、プライベートでの悩み事など、あらゆる相談を対象とする。
- ・特徴：面談内容は原則として所属長限りとし、人事評価とは無関係とする。  
所属長は事前に「組織マネジメントポリシー」を策定・共有する。

## 2-2. SENPAI ほっとライン（相談員制度）

職員が誰でも気軽に相談できる環境を整備するための制度で、局内の管理職を相談員として任命し、業務上の不安や悩みに対応する。

- ・対象：上下水道局全職員（管理職・会計年度任用職員を含む。）
- ・相談方法：面談、電話、メール、チャットなど多様なチャンネル
- ・相談員の選定：局内管理職から公募・選考の上、任命  
略歴や得意分野を局内HPで公開
- ・相談内容：業務上の悩み、職場の問題点など、原則として業務に関すること全般を相談対象とし、緊急事案、重大事案を除き、原則として相談内容は相談員限りとする。
- ・対応方針：相談者より相談内容への対応が求められ、解決には担当部署との連携が必要な場合には、相談者の了解の上で関係部署への情報展開を行う。
- ・実績：令和6年度：延べ5人（7回）、令和7年度（9月まで）：実績なし

## 2-3. 管理者ほっとライン

所属長に相談しづらい事案や職場内での協議・改善が困難な問題に対して、管理者へ直接相談できる制度

- ・対象：上下水道局全職員（管理職・会計年度任用職員を含む。）
- ・相談方法：管理者の個人メールへ直接送信（件名に【管理者ほっとライン】と明記）
- ・相談内容：職場でのハラスメント行為や所属長に相談しづらい事案など、職場内では協議・改善が困難な事案を対象とする。
- ・対応方針：緊急事案、重大事案を除き、相談内容については原則として秘密厳守とする。  
管理者が必要と判断した場合は、相談者の了解の上で担当部署へ必要最小減の情報展開を行い、組織的な対応を管理者主導で実施する。
- ・実績：令和6年度・令和7年度ともに実績なし

これら3つの施策は、職員の声を尊重しながら、違和感の早期発見、相談の敷居の低減、重大事案に繋がるリスクへの迅速な初動対応を同時に実現する仕組みである。これにより、心理的安全性の向上と組織内の信頼関係の再構築をめざすものであり、健全な組織運営に不可欠な基盤を形成する重要な取組といえる。次章では、これら施策のうち1on1ミーティングについての職員による評価について、アンケート結果をもとに分析を行う。

## 3. アンケート結果と課題の分析

1on1ミーティングの導入から1年が経過したことを受け、令和7年10月に所属長と課長補佐級以下の常勤職員を対象に、1on1ミーティングの実施状況等に関するアンケート調査を実施した。回答数は所属長が23名、職員が285名（回答率71.9%）であった。主なアンケート結果は以下のとおりである。

## ○所属長向けアンケート

・「職員との信頼関係の構築に繋がったと感じますか」という設問に対し、8割以上の所属長が「信頼関係の構築につながった」と肯定的に回答しており、一定の効果を上げていることがうかがえる。特に「職員の業務に対する考え方」や「業務上での悩み」、「メンタル状況」の把握が信頼関係の構築に寄与したと考えられる。(図-1)

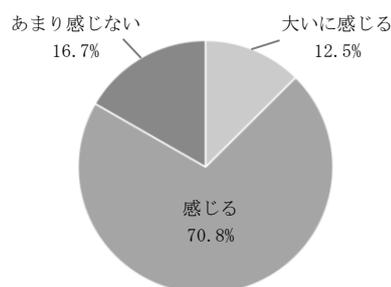


図-1 職員との信頼関係構築

・「職員の育成支援に繋がったと感じますか」という設問に対し、全体の7割以上が肯定的に回答しており、1on1 ミーティングが育成支援の一助となっていることがうかがえる。特に、「業務上での悩み」や「プライベート上の悩み」の把握が進んだことにより、職員の状況に応じた支援や配慮が可能となった点が評価されているものと考えられる。(図-2)

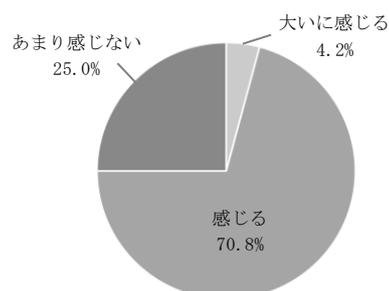


図-2 職員の育成支援

・今後の実施にあたっての意見についての自由記述では、制度の運用に関する課題が多数指摘されている。最も多かったのは、実施頻度に対する負担感である。「四半期に1回では繁忙期に対応できない」「年2回程度にしてほしい」といった声が複数あり、所属長にとって負担となっている実態が浮き彫りとなった。

また、「会議室などのスペース確保が難しい」「職員との時間調整が困難」といった実施環境の制約も課題として挙げられている。特に職員数が多い部署では、1on1 ミーティングの実施にかかる時間が膨大となり、通常業務との両立が困難であるとの意見が目立った。

さらに、「普段からコミュニケーションが取れている職員に一律実施する必要があるか疑問」「所属長の裁量で柔軟に運用できるようにしてほしい」といった制度の画一性に対する懸念も示されており、職場の実情に応じた柔軟な対応が求められている。

## ○職員向けアンケート

・「1on1 ミーティングで自身の言いたいことを所属長に伝えることができたか」という設問に対し、約8割の職員が「すべて」または「おおむね」伝えることができたと回答しており、1on1 ミーティングが職員の率直な声を拾う場として効果的であったことがうかがえる。

また、回答には無かったものの、自身が職場内でハラスメントを受けている場合に面談時にシグナルを発見することで、事案への早期対応を可能とする効果が期待できる。(図-3)

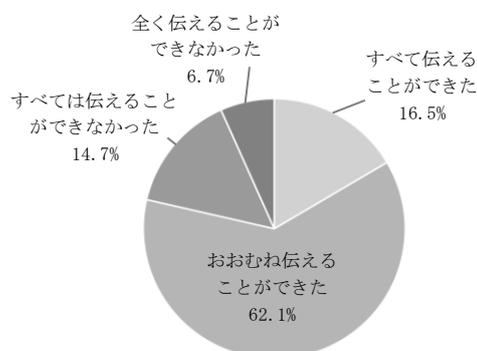


図-3 所属長への意思伝達状況

・「1on1 ミーティングの定期的な実施により所属長との距離感が近くなったと感じるか」という設問に対し、「元々近いので変わらない」を除くと約半数の職員が「近くなった」と肯定的に回答しており、1on1 ミーティングが所属長との関係性の構築に一定の効果をもたらしていることがうかがえる。(図-4)

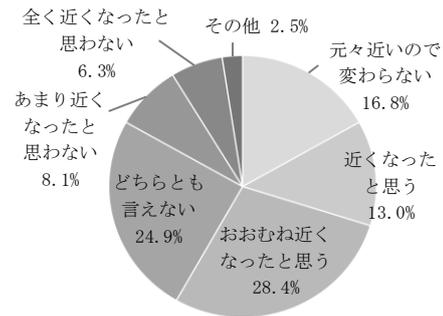


図-4 所属長との距離感

・「今後、1on1 ミーティングをどのようにすればよいと思うか」という設問に対し、約 65%の職員が「現状どおり」と回答しており、現在の実施方法に対する一定の評価がうかがえる。

一方で、「縮小して欲しい」「廃止して欲しい」といった否定的な意見も約 4 人に 1 人の割合で存在しており、実施頻度やミーティングの効果に対する疑問、実施の趣旨が十分に浸透していないことが背景にあると考えられる。(図-5)

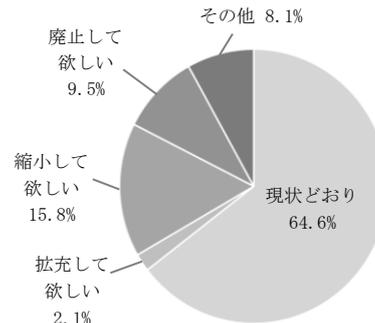


図-5 今後の実施方法への意向

#### 4. 課題への対応と今後の展望

アンケートの結果から、1on1 ミーティングは一定の成果を上げているものの、実施頻度や時間の確保に課題があることも明らかとなった。所属長の多くが「年 4 回の実施は負担が大きい」と感じており、特に職員数が多い部署では、面談時間の確保が現実的でないとの意見が目立った。職員からも、所属長の負担を危惧する声があがっており、所属長の業務負担を考慮した運用の見直しが求められている。

今後は、最低実施回数をあらかじめ定め、それ以上は業務繁忙期とのバランスを取りながら、職員の状況を踏まえ所属長の裁量で実施頻度を調整できるようにするなど、制度の継続性を確保する必要がある。

また、所属長が職員のキャリアや悩みに寄り添った対話を行うためには、面談スキルの向上が不可欠である。より効果的に実施するための研修の実施や、面談の目的・進め方や好事例の共有など、制度の質的向上に向けた取組が求められる。

本市上下水道局においては、働きやすい職場形成の一環として、これまでも人事部門による相談窓口である「Ki・Zu・Ku ほっとライン」を設け、職員からの各種相談に対応してきたところである。

今回の新たな人事施策のうち、「SENPAI ほっとライン」及び「管理者ほっとライン」は、職員が相談できる相手の選択肢を広げるものであり、「1on1 ミーティング」は所属長と職員との信頼関係を構築する手段として活用されている。

これらの施策は、職員の声に寄り添い、信頼関係の構築を促進することで、働きやすい職場環境の形成と健全な組織運営に寄与するものである。今後も制度の継続的な改善を図りながら、職員一人ひとりが安心して働ける職場づくりを推進していくことが重要である。

# 給水装置工事しゅん工検査における自社開発システムを活用した 案件管理について

株式会社大阪水道総合サービス ○ 久保 亮介  
小林 優介  
梶 絢一

## 1. はじめに

(株)大阪水道総合サービス(以下、「当社」という。)では、主に近畿圏の水道事業者より水道事業に関する業務を受注している。本稿では、大阪市水道局(以下、「発注者」という。)より受注している給水装置工事しゅん工検査業務を円滑に進めるため、「しゅん工検査業務管理システム」を自社開発したので、その利点や機能、実際の活用例などについて報告する。

## 2. 給水装置工事しゅん工検査業務の概要

給水装置工事しゅん工検査業務とは、指定給水装置工事事業者(以下、「指定工事店」という。)から発注者へ提出されたしゅん工検査届に基づき、指定工事店が行った工事内容、工事に用いた材料の構造及び材質等が、水道法及び同施行令の要件を満たし、かつ発注者の設計施工基準等に適合しているか現場で検査し、通(給)水の可否を判断するものである。

過去3か年のしゅん工検査実績(表-1)及び業務フロー(図-1)は次のとおりである。

	令和4年度	令和5年度	令和6年度
道路部検査件数	2,908	3,022	3,043
内部検査件数	5,074	4,942	4,984

表-1 過去3か年のしゅん工検査実績

道路部検査：道路掘削を伴う  
給水装置工事の検査

内部検査：宅地内のみの給水  
装置工事の検査



図-1 給水装置工事しゅん工検査業務フロー

## 3. 自社開発システム導入の背景

給水装置工事しゅん工検査業務では、年間8千件余りの書類を適切に管理しつつ、毎日数十件の検査を指定工事店等と調整して実施する必要がある。発注者では、局内の共有サーバー上で担当業務(受付、設計審査、しゅん工検査など)ごとに個別Excelファイルが

作成され、複数のファイルで情報管理が行われていたため、案件の進捗を把握することに時間と労力を要すると想定された。

また、業務報告書や出来高数量等の内容を発注者へ報告する新たな帳票等も必要となった。これらの課題について社内で協議した結果、業務に関する情報を一元管理し、各種帳票の出力が可能なシステムを自社で開発することになった。

本システムは、当社ICT推進担当が開発した製品であるため、業務手順変更や新たな帳票等の追加にも適宜対応でき、システム開発及び維持等に係る経費も安価である。

何をしますか？

2025.10.31(Fri)



図一 2 しゅん工検査業務管理システムの業務選択画面

#### 4. 業務におけるシステムの活用

しゅん工検査業務管理システムには、令和3年の業務開始以降、提出された給水装置工事しゅん工届が全件入力されている。それらの情報を基に、業務の進捗管理や検査日程の管理、各種報告書や帳票の作成及び社内や発注者への情報共有など、いくつかの機能を有している。(図一 2 参照)

種別	案件ID (年度)	案件名	検査日	備考	操作
内	11115 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 坂市川区今堀島1丁目1番 A.【4,200円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以下	検査日: 2025/10/14 15:30	備考内容:	選択
道	21111 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 北區今堀島1丁目1番 A.【4,200円】(既設) 給水管径大口径25mm以下	検査日: 2025/10/20 09:00	備考内容: 引込配管変更有り。図面訂正済。	選択
内	11121 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 北區今堀島1丁目1番 A.【4,200円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以下	検査日: 2025/10/20 10:00	備考内容: 浄水器の取付位置確認。図面訂正済み及び 浄(水)水質に関する契約変更出を指示する。	選択
内	11125 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 院元川区取島1丁目1番 B.【5,980円】(既設給水)「新設」給水管径大口径40~50mm以下	検査日: 2025/10/20 10:00	備考内容: フォスターポンプの設置位置変更あり。 アイソメ図、水曜計算含めた図面の訂正を指示する。	選択
内	11117 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 北區今堀島1丁目1番 A.【4,200円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以下	検査日: 2025/10/20 11:00	備考内容: メータ位置の変更あり。1次列延長が長 くなるため契約変更出と図面訂正を指示する。	選択
内	11123 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 坂市川区今堀島1丁目1番 B.【5,980円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以上	検査日: 2025/10/20 11:00	備考内容: 浄水器取付位置の設計と既設あり。水曜計算 と実水曜設置位置の再提出を指示する。	選択
内	11118 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 院元川区今堀島1丁目1番 C.【5,980円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以上	検査日: 2025/10/20 13:00	備考内容:	選択
内	11119 (2025)	6046 (給) 大原水道組合サービス 院元川区今堀島1丁目1番 C.【5,980円】(既設給水)「新設」給水管径大口径25mm以上	検査日: 2025/10/20 14:15	備考内容:	選択

図一 3 検査記録の一覧

### (1) 検査書類の所在、検査案件の進捗管理

しゅん工届の提出日、当社が引継いだ日時、発注者への書類返却日等の日付に加え、検査で指摘した事項や検査に至るまでの対応経過などが、システム上で全て記録でき、確認することができる。また、紙の書類は、そのステータス（道路部検査や内部検査、合格や不合格及び過去からの続きか新規検査か等の状況）ごとに保管場所を決めてあり、各書類の所在も常時確認できるようにしている。（図—3 参照）

案件ごとのステータスや検査予定日は、毎日、システムから発注者へメールを自動送信しており、発注者も書類の所在等を確認できる仕組みとしている。

### (2) 検査日程の管理

指定工事店と調整した検査日時や検査結果は、日付や検査班ごとに表示させることができる。そして、検査班ごとに持出し書類の一覧表を作成し、検査準備をサポートする機能を有している。また、検査のステータスごとに表示する色を変えることで視覚的に状況把握ができる仕様としている。（図—4 参照）



図—4 検査予定の管理

是正を指示した案件や図面の再提出を求めている案件のリスト出力も可能であり、是正確認業務の進捗管理に寄与している。

その他、道路部では、夜間や土日祝日に施工されるケースがあり、その際の問い合わせ対応に、施工予定日や住所情報、施工している指定工事店や担当者連絡先等が必要となるため、施工予定スケジュール及び施工者情報は、毎日、システムから発注者へメールを自動送信している。

### (3) しゅん工検査結果等の記録及び検査報告書の作成機能

しゅん工検査の可否判定をはじめ、水質検査結果、検査時の指摘事項及びその他対応経過などの入力によって、検査報告書や不合格事案の改善指示書等の出力が可能である。

また、検査不合格や図面の誤り、急な検査キャンセルなどの事案をシステム上でリスト化し、発注者と共有することによって、指定工事店ごとの業務品質の把握が容易にできる。

#### **(4) 発注者へ提出する出来高報告書等の帳票作成機能**

検査結果を入力されたものがシステム上で自動集計され、しゅん工検査に係る月次報告書が即時に作成可能である。その他、日々の書類の受渡しに伴う帳票の作成が可能である。

#### **(5) その他、全件データより各種分析が可能**

全件データを Excel ファイルに出力することが可能であり、ファイル内で検索やソートをかけることにより、様々な分析が可能となっている。

例としては、指定工事店ごとの検査申込件数と検査不合格件数をソートすることにより、検査合格率を比較することも容易である。

### **5. システム導入の効果と課題**

発注者では、しゅん工検査の進捗管理、検査予定表の作成や管理、その他検査に必要なチェックシートの作成などの作業を、複数の Excel ファイル上で管理し、それぞれにしゅん工検査申請番号をはじめとした情報を入力されていたことを鑑みると、大幅な作業時間の削減が図られており、業務の効率化に繋がっている。

また、単体のシステム上で一元管理することで、調べたいデータにすぐアクセスできることは勿論、その他の情報も併せて閲覧が可能となり、より多面的に情報を確認することが可能となった。その結果、単一の情報のみの確認で起こりがちな思い込みや勘違いなど、ヒューマンエラーの抑止にも繋がっており、精度向上にも寄与できている。

一方で、現場での検査や事務処理において、紙媒体を用いた運用が一部に残っており、今後、発注者の意向も踏まえ、更なるデジタル化を推し進めることによって、一連のしゅん工検査業務の全てをペーパーレス化し、システム上で完結させることが必要と考えている。

### **6. おわりに**

当初、想定していた委託化に伴う書類管理・情報共有、発注者への報告及び出来高管理などの課題については、本システムを導入することで大きな混乱もなく、ほぼ解消できた。

昨今、世界的なデジタル技術の発展により、水道事業においても様々な分野でDX化やAI技術の活用が進んでいる一方で、社会的に労働人口の減少に伴う課題等が顕在化している状況も見受けられ、我々としても深刻に考えている。

当社においては、今後とも設計審査業務のシステム化など、様々なシステム開発を進めていき、同様な課題を抱えている水道事業体の皆様の業務を側面から支えていきたい。

# 「水道料金・下水道使用料算定の手引き」の策定と運用

富永 武志（豊中市上下水道局）○山口 領一（豊中市上下水道局）  
小谷 智哉（豊中市上下水道局） 高坂 永梨香（豊中市上下水道局）

## 1. はじめに

本市の水道料金は、長年現行水準を維持していたが、水需要の減少により料金収入の減少が予測され、非常に厳しい経営状況を見込んでいたことから、新たな料金水準及び体系の検討を行い、適正な料金負担による資金の確保を図る必要があった。本稿では、「水道料金・下水道使用料算定の手引き」（以下「手引き」という。）の策定に至った検討過程や主な内容、今後の運用について報告する。

## 2. これまでの検討過程

本市の水道事業は、平成 20 年度に公共下水道事業が地方公営企業法を全部適用することに合わせて、下水道事業との組織統合を実施した。平成 29 年度には、経営戦略である「第 2 次とよなか水未来構想」（以下「構想」という。）を策定し、新たな料金・使用料水準及び体系について検討を始め、平成 30 年度には顧客分析を実施するとともに料金に関する論点を洗い出し、現状や課題を整理した。また、包括外部監査において、料金・使用料に関する意見を受けた。令和元年度には新料金調定システムを用いた顧客分析を実施し、令和 2 年度にこれまでの論点整理や包括外部監査、法改正を踏まえて「構想」を改訂した。令和 3 年度に料金のあるべき形について整理・検証するために、手引きをとりまとめ、令和 7 年 2 月に水道料金と下水道使用料の改定を同時に行った。

## 3. 手引きの策定方針及び構成

料金の改定作業は専門的かつ複雑であることや人事異動等により、過去の検討過程や改定の考え方が適切に引き継がれないおそれがあることから、そのノウハウをしっかりと管理して後世へと引き継いでいくことで将来の改定に備える必要があった。

そのため、過去の料金改定経過を踏まえたうえで「水道料金算定要領」・「水道料金改定業務の手引き」（日本水道協会）に示される手法を参考とし、次回以降の料金改定がスムーズに実施できるように、内部利用（マニュアル）を兼ねた職員向けを意識した内容とした。

手引きの構成は図 1 にあるように大きく 3 部構成としている。「料金算定の考え方」については、料金改定の考え方をまとめた根幹となる部分とし、「資料編」は「料金算定の考え方」に至った過去の経過や分析の結果などを反映したもので、「資料編」の内容を継続的に見直しなが、必要に応じて「料金算定の考え方」に反映することとした。

「料金改定ツールの使い方」は、新しい料金表を作成するエクセルの使用方法をマニュアル化したものである。

また本市は、水道事業と公共下水道事業を組織統合していることから下水道使用料の内

# 「水道料金・下水道使用料算定の手引き」の策定と運用

容も記載した。

料金・使用料算定の考え方	資料編	料金・使用料算定ツールの使い方
<ul style="list-style-type: none"> <li>○改定のタイミング (経営SIMでアラートを察知)</li> <li>○改定のスケジュール (必要な手続きや工程)</li> <li>○経営SIM、経営目標</li> <li>○料金・使用料水準の検討</li> <li>○体系の検討(通増度等)</li> <li>○定期的な見直し</li> </ul>	<p style="text-align: center;">過去の経過や分析の結果など</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○これまでの論点整理 基本料金と従量料金のバランス 通増度、資産維持率</li> <li>○料金・使用料算定の基本的な事項</li> <li>○水使用の実態(顧客分析)</li> <li>○料金・使用料の変遷</li> <li>○これまでの取り組み 費用の抑制策、各種計画の策定</li> <li>○他団体との比較</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○水道料金改定ツール(エクセル)マニュアル ・総括原価の算定や分解、配賦の方法 ・<b>新しい水道料金表の作成</b></li> <li>○下水道使用料改定ツール(エクセル)マニュアル ・汚水や雨水の区分方法 ・使用料対象経費(総括原価)の算定 や分解、配賦の方法 ・<b>新しい下水道使用料表の作成</b></li> </ul>

↑ 継続的に見直しを行い、必要に応じて反映

図1(「手引き」の構成)

## 4.手引きの主な内容

### (1) 料金算定の手順の整理(図2)

これまで(手引き策定前)は、決算で赤字が発生した場合に料金改定を行っており、将来どのような経営をめざしたいかという中長期的な観点が不足していた。

これから(手引き策定後)は、経営シミュレーションを活用して、計画期間内に赤字が見込まれる段階から、料金改定が必要かどうかの検討に着手し、赤字を解消するための改定ではなく、将来めざすべき経営の方向性を踏まえ、具体的な『経営目標指標』を考慮して、料金改定を検討していくこととした。

	これまで(手引き策定前)	これから(手引き策定後)
料金・使用料改定検討のアラート	 ・決算ベースの収益的収支(損益)で赤字が発生 <small>※経営シミュレーションは十分に活用できていなかった</small>	 ・計画期間の推計(経営シミュレーション)における収益的収支(損益)で赤字が発生
めざす経営の方向性の検討(目標指標設定)	<small>※これまで十分に検討できていなかった</small>	収益的収支(損益)に加え、以下の点から、経営状態を考察 (めざす経営の方向性) ✓ 借金に頼りすぎないこと(世代間負担の公平性に配慮) ✓ 事業を実施するための必要な運転資金(現金)を保有できていること等
実際の改定検討	・決算で発生した赤字を解消できるよう、改定を検討 <small>※近視眼となるおそれ</small>	・将来めざす経営の方向性を踏まえた改定を検討 <small>※中長期的な思考</small>

図2(料金・使用料算定の手順の整理)

## 「水道料金・下水道使用料算定の手引き」の策定と運用

### (2) 経営目標指標の設定 (図3)

これまで「構想」では、2つの経営目標指標(料金回収率 100%以上、流動比率 100%以上)を設定していた。検討を行う過程で「水道料金改定業務の手引き」(日本水道協会)や「経営戦略策定・改定マニュアル」(総務省)で示されている内容等を踏まえ、健全な経営を確保するため、企業債残高や現金預金残高に着目した指標の把握が必要であるという考えのもと、新たに2つの経営指標(企業債残高対給水収益比率、現金預金残高)を追加することとした。

指標	目標水準
料金回収率	100%以上
流動比率	100%以上
企業債残高対給水収益比率	現状の水準を維持(R2:340%)
現金預金残高	常に20億円以上を保有

図3 (経営目標指標の設定)

### (3) 新料金表の確定までの手順の整理 (図4)

大きく5つのプロセスに分けて整理した。まず Step1 として、投資・財政計画を設定し、その際に、現行の料金収入で賄えるか、資金を確保できるか、経営目標は達成できるかの確認を行い、その結果、未達成の項目があれば、料金改定の検討を行うこととした。料金改定を検討する必要がある時は、Step2 の料金水準の検討に進み、料金を算定する期間も合わせて検討を行う。次に Step3 の料金体系の検討に進み、新たな料金表のたたき台の作成を行う。次に Step4 として、たたき台を用いて、再度財政計画を確認し、設定した新しい料金収入で賄えるか、資金が確保できるか、経営目標は達成できるかを確認したうえで、達成できる場合は、Step5 として、新料金表を確定し、未達成の場合は、前の手順 (Step2、3) に戻り、改めて水準や体系を検討することとした。

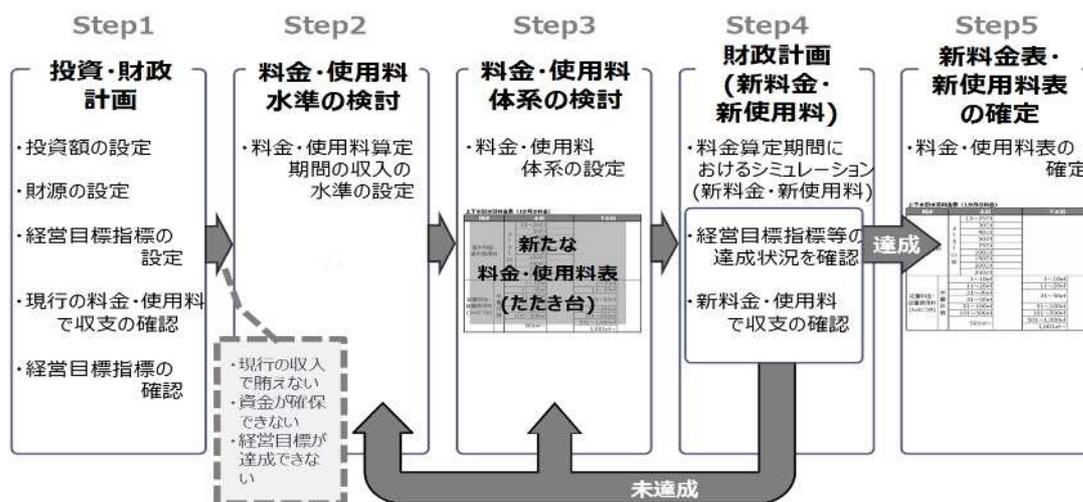


図4 (新料金表・使用料表の確定までの手順の整理)

# 「水道料金・下水道使用料算定の手引き」の策定と運用

## 5. 今後の運用

令和7年2月に料金改定を行った際には、実際に手引きを活用し、新たな料金水準や体系の検討を行った。手引きに基本的な考え方や手順を整理していたことで、比較的短期間で水準や体系の検討を行えたもの考えられる。

また、手引きは、作成したら完成ではなく「資料編」の内容を継続的に見直しなが、必要に応じて「料金算定の考え方」に反映していくとともに、情勢の変化があった際にはその経過等を追記していくことが必要である。そのため、今後は、定期的に料金水準を検討する中で、情報を逐一残しながらブラッシュアップを図っていくことで、技術継承の役割を果たすとともに、料金改定に関するノウハウを継承しながら将来の改定に備えていきたい。

## 6. おわりに

水道料金は、社会経済活動に密接に関係することから、公共料金として、公平で合理的な水準と体系を追求していかなければならない。そこで、適宜この手引きを見直していくことで、適正な水準と体系の構築につなげていくことが必要である。

### 【参考文献】

- 1) 日本水道協会「水道料金算定要領」
- 2) 日本水道協会「水道料金改定業務の手引き」
- 3) 日本下水道協会「下水道使用料算定の基本的考え方」

## 20年後を見据えた持続可能な業務体制のあり方検討

神戸市水道局 ○島本 航太  
武田 裕行  
小森 朋典  
牛尾 亮太  
有馬 栄一

### 1. はじめに

将来の業務体制のあり方検討に際しては、人口動態の変化に伴う職員数の推移予測を踏まえた計画的な対応が必要不可欠である。神戸市（以下、「本市」という）における総人口の推移としては、2011年の約155万人をピークに減少傾向へと転じており、2023年には150万人を下回った。さらに、今後の推計人口においても、2050年には約120万人まで減少する見込みである。

人口減少は人材確保に大きく影響を及ぼしており、特に技術職は現時点においても必要としている職員数を確保できていない状況にあり、従来どおりの行政サービス提供を行う運営は困難になる見通しである。

水道局ではこれまでも、事務所等の再編・統廃合や、大幅な職員削減を実施するなど、コンパクトで効率的な組織の構築を進めてきたところである。これに加え、将来的な労働人口を見据え、本質的な業務の必要性や業務構造の再構築などを含めた、抜本的な見直しの検討を実施することとした。

### 2. 20年後会議

抜本的な見直しの検討を進めるため、将来的な職員数の減少や委託事業者における労働者数の減少が見込まれる状況を踏まえ、持続可能な業務のあり方を検討する「20年後会議」を実施した。

20年後という期間については、参加職員が将来のあり方検討を自らの課題として主体的に捉えることができるよう、抽象的な未来像ではなく、現実的かつ長期的な視点に基づいた検討が可能な期間の設定である。

また、各業務における既存の枠組みや慣行に依存することなく、様々なアイデアを出しながら業務遂行方法等の再構築に向けた検討を進めることを目的とした。

将来の業務のあり方を主体的に捉えて議論してもらうことが最重要であるため、参加者については、20年後において組織の中核的役割を担う30代や40代の係長級職員を中心とし、これまで経験した他業務等の業務遂行方法を活かした柔軟的かつ創造的な議論となるような構成とした。

### 3. 5つの検討テーマ

将来の業務のあり方を検討する業務については、総務部門における管理業務から、配水管更新に関する技術的業務に至るまで、幅広い業務を対象とした。

なお、維持管理業務等については、これまで継続的に業務改善を実施してきているため、今回の対象からは除外した。

#### (1) 庶務・経理・人事などの局総務業務の効率化の検討

局総務業務については、これまで、業務の可視化や他部門による業務改善の検証等を十分に実施できていなかった。そこで、約150ある業務の棚卸を実施し、課内業務の一覧化を行うとともに、「自律」か「他律」、「必須」か「非必須」、「突発」か「経常」などの分類も行うことで、業務の性質を一目で誰でもわかるように整理し、見直し可能な業務の選定を実施した。

選定した業務における見直し方法については、大枠として、単純な削減・DX等による効率化・類似業務同士の集約に仕分けし、個別に検討の方向性や見直し時期の議論を行った。

議論を進めることで、水道局単独で実施していた業務を市長部局の運用に統一したことや生成AIによる議事録作成の試行が進むなど、20年後会議のテーマとして業務の効率化を設定したことが、職員の問題意識を醸成し業務改善の契機となったと考えている。

引き続き、個別に検討した内容をもとに段階的に見直しや試行実施をする予定である。

#### ● 経営企画課業務の特徴



図-1 局総務業務における棚卸結果（一部抜粋）

#### (2) 営業業務の効率化の検討

給水契約事務（開閉栓の受付）、徴収業務（メーター検針・料金調定）、収納事務（未納整理）等の営業業務については、これまで委託化を積極的に進めてきたところである。しかしながら、当該事業における人の手がかかる業務の量は依然として多いため、水道局職員と委託事業者の業務を洗い出し、確認作業などの双方で重複している業務を解消するための検討を行った。

また、見直しについては、他事業者や他業種の類似サービスにおける先進事例等の実態調査も行い、オペレーターによる電話受付からAIボイスボットによる無人でのインターネット受付へ誘導するなど、広範な視点での検討が可能となった。

今後についても、引き続き効率性や利便性のバランスを見定めつつ将来像を検討していく予定である。

### (3) 技術職員が担当している業務のうち、事務職員でも実施できる業務の検討

技術職の人材確保が困難な状況にあるため、現行で技術職が担っている業務のうち、事務職においても実施可能な業務を切り出すことで、職種間の業務分担の整理を検討した。今回の議論においては、関係機関との調整や設計積算等の業務を対象にしており、工事監督や施設巡回等の業務は対象外とした。

検討内容としては、各業務にかかる概算の年間工数を一覧化し、事務職でも対応可能な業務の洗い出しや、他事業体との職員数比較を多方面から行うことで議論を深めた。

結果としては、技術的判断を伴わず事務職員が対応可能な業務は多くないため、業務の切り出しによる分担整理は利点が少ないという判断となった。また、水道統計資料を活用した本市と近い水道事業環境を有する他都市との比較は、技術職員 1 人が管理する管路延長など様々な視点で調査したが、いずれにおいても職員数が特に多い、特に少ないなどの特徴的な点は見受けられなかった。

今回の議論の結果を踏まえつつも、技術職員の確保については水道業界のみならず全国的な課題であることから、引き続き、専門性のない職員も含めて業務の執行体制を構築できるような取り組みを調査・研究していく予定である。

### (4) 配水管の更新に関する検討

配水管更新事業の持続可能な体制構築を目的として、「無くす・減らす・変える」の視点を基本方針として、計画・設計・積算・工事・管内洗浄作業等の一連の業務を対象とした業務構造の見直しを進め、各業務に内在する課題を抽出し、改善の方向性を整理した。

具体的には、システムや AI の導入による設計・積算の自動化や簡素化、配水管の更新基準年数の見直し、重要管路への耐震管の集中更新、外部委託の推進など、技術的・制度的な解決策を提案した。例えば、更新基準年数の見直しにおいては、埋設土壌の腐食進行状況に応じた管路寿命の再評価を行い、更新年数の延伸の可能性について検討した。また、他都市へのヒアリング調査を通じて、先進事例の導入可能性や技術移転の方策を検証し、優先度を踏まえた実施計画案を策定した。

今後については、期待される効果、想定される影響・課題を多面的に分析した実現可能性の評価等をもとに、短期・中期・長期の段階的な各解決策の実現を目指していく。また、実現が困難と判断された案についても、市民や事業者への影響を含めて課題を可視化することで、次世代における政策立案の基礎資料として活用可能な成果として整理した。

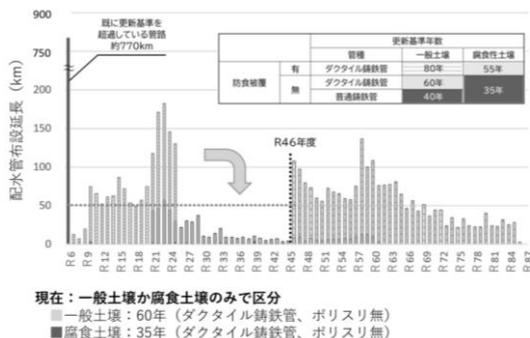


図-2 現在の配水管更新基準年数

#### (5) 給水審査業務等の効率化の検討

工事事業者が給水装置工事をするにあたり実施する給水審査業務の効率化については、これまでも積極的に進めてきており、今後の運用方法やスケジュール整理等、より一層踏み込んだ議論を行った。

図面審査については、全国初となる AI を活用した図面審査システム（AI 審査アプリ）を活用した審査手法の運用を行っており、さらに、AI 審査アプリをもとに工事事業者が申請前にセルフチェックを行えるシステムの運用も開始した。

また、予め情報を付加した給水装置の記号等を作成し、本市の基準に沿った図面が簡単に作成できる図面作成アプリの構築もするなど、審査業務の改善を進めているところである。

今後も、これら DX の推進を進めつつ、業務の効率化等を検討していく予定である。

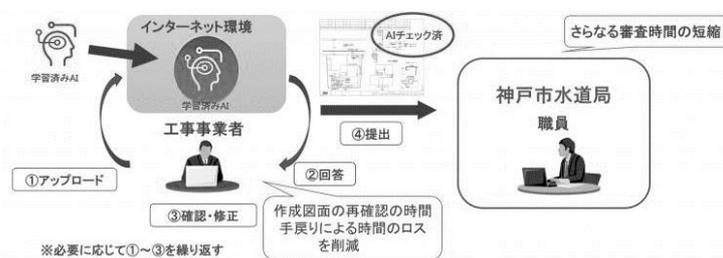


図-3 セルフチェック AI アプリを活用した申請イメージ

#### 4. おわりに

20 年後を見据えた業務体制のあり方検討を行うことで、業務改善の意識醸成を促進するきっかけとなるとともに、各業務の可視化や他都市・他業種の業務内容をより深く調査する良い機会となった。

また、各事業の施策等の検討については幹部職員を中心として実施しているところであるが、今回の 20 年後会議において、係長級職員を中心に議論を実施することで、当事者意識を持って将来のことを検討できたことも非常に有意義であったと考えている。

今回の会議を受けて、すでに改善に向けて着手している業務もあるが、中長期的な改善を目指している業務についても、議論の内容を土台として、日常的な見直しを少しずつ進めることで、将来的な改善の実現に努めていく。

今後も、将来における業務遂行方法等のあり方については、継続的に見直しを進めるべきものであり、次世代においても異なる観点からの再検討や試行実施、効果検証を可能とする体制の構築が求められるため、20 年後会議等の機会を設けるとともに、若手職員が参加して議論できるような機会も設けることが大切であると考えている。

## 資産管理システム導入への取組

阪神水道企業団 ○宗和 牧彦

阪神水道企業団 横山 直哉

### 1 はじめに

阪神水道企業団（以下「企業団」という。）においては、令和7年度より管路、構造物、設備に関する資産情報を一元管理する資産管理システム（以下「本システム」という。）を運用する予定である。

本稿では、本システムの導入経緯、導入手順を説明するとともに、今後の展望を紹介する。

### 2 導入に至った経緯

これまで企業団では、管路、構造物、設備の資産管理において、個別のシステムあるいは表計算ソフトにより所管課所ごとに管理を行っていた。そのため、経営戦略策定等のために建設改良計画を確認する場合、担当課所ごとに施設の更新計画を作成し、計画部門がそれを集約、調整することから、多大な労力が必要となることが課題であった。（図-1）

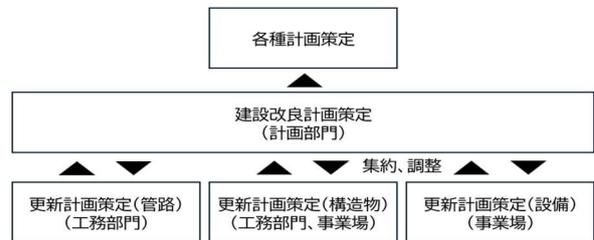


図-1 各種計画策定時の課題

そのような状況のなか、企業団では「デジタル技術の活用」「環境整備」「デジタル人材の育成・確保」「情報セキュリティ対策」を重点施策としたDX戦略<sup>1)</sup>を令和5年度に策定しており、前述の課題を解決するため「デジタル技術の活用」の1項目として本システムの導入が位置付けられた。

### 3 導入手順

#### (1) 基本設計業務委託

令和5年度にシステム導入に係る必要な情報収集、分析及び計画策定を目的とした基本設計業務を実施した。

##### ① 現状把握

企業団内の資産管理業務及びそれに関連する台帳類（設備台帳、水管橋台帳、管路台帳、建築物台帳、工事台帳、固定資産台帳）について情報収集、分析を行った結果、台帳データに情報粒度のばらつきがあ



図-2 報告された課題

ること、また、予算、設計、監督、資産管理などのそれぞれの業務にて何度も同じ情報入力を行っていることが課題として報告された。(図-2)

## ② 他事業体調査

他事業体における資産管理に関するシステムの調査を行った。調査対象は先進的な資産管理の取組を実施していることが予想された 10 事業体と、企業団の構成 5 市（令和 5 年当時）に対して調査を行った。その結果、下記のような調査結果が得られた。

- [1] 管路及び設備台帳システムは大半の事業体が所有しており、寡占的なベンダーは存在していない。
- [2] 各台帳システムと維持管理情報の連携機能を有する事業体は半数程度。
- [3] 固定資産台帳システムと各技術台帳システムを自動連係している事業体はない。
- [4] 将来の建設改良計画のシミュレーション機能については半数程度の事業体のシステムが機能を有している。
- [5] システムの導入にあたっては、大部分の自治体がカスタマイズを行っていない。

## ③ 機能要件の決定

①②を踏まえ、以下の内容でシステムの機能要件を設定した。

### [1 に対する対応]

多くのベンダーが入札参加可能な仕様とすることが望ましいと判断し、ベンダーに対して R F I（情報提供依頼書）を行い、求める機能が複数ベンダーにて実現可能であることの確認を行った。

### [2、3、4 に対する対応]

機能要件を定義する際には、企業団が要求する先進的な機能と、業界標準の一般的な機能とのバランスをとるべきと考え、①簡易な水道施設台帳の電子システム導入に関するガイドライン（平成 30 年 5 月 厚生労働省）のアンケートにて必要とされる機能（回答率 70%）であること、②他事業体調査の結果、保有割合の高い機能であること（保有数 6 事業体以上）を満たすことを基本的な考え方とした。

### [5 に対する対応]

入札に際して、ベンダーがオプション機能やカスタマイズによる対応ではなく、標準機能で対応可能であれば評価点を加点することとした。

## ④ 計画策定

関係課所から意見を聴取し、企業団全体の取組として本システムの仕様を検討した。また、本システムへのデータ移行などのシステム導入、職員の日々のデータの入力の本システムへ切り替えるなどのシステム移行の計画を策定した。



行う職員にこれまで慣れ親しんだ業務手法を変更してもらう必要がある。

これまでの業務内容は、この方法で業務を行えば安全であるという長年積み重ねられた成功体験に基づいており、加えて、新しい業務内容への変更は短期的なメリットを感じにくいいため、業務内容を変更してもらうことは困難が予想される。これについては、運用ルールに基づくデータ入力のチェック体制、管理職側からの日常業務における活用の推奨、係員レベルへのメリットの情報発信などを通じて全庁的マインドセットの醸成を行いたいと考える。

### (3) アジャイルな運用

公共団体の業務においては「間違えてはいけない、間違わないために前例を踏襲する」という無謬性の考えが浸透している。実際には日々テクノロジーの進化によって、より良いモノや手法が生まれているのに、「間違えてはいけない」という概念にとらわれすぎて前例踏襲から抜け出せない場面も存在する。

しかし、技術革新が急速なデジタル分野においては、状況を見てすばやく判断・意思決定する必要があるため、OODAループの考え方のもと必要に応じてシステムの仕様の見直しや、運用ルールの変更、新機能の追加に柔軟に対応していきたい。

### (4) 広域連携

企業団のビジョンにおいて、目指すべき将来の方向性として「阪神地域を俯瞰して地域の水道のあるべき姿を認識・共有し、実現すべく主体的な役割を果たす」ことを掲げている。地域の水道のあるべき姿の一つの方向性として広域化があるが最初の段階としてはお互いの資産を知ることが求められる。そのため将来的には本システムの情報を構成市や近隣自治体へ公開により、資産を知りあうような環境が構築できればと考える。

### (5) 更新計画

施設規模の適正化による施設運用負荷率も上がるなか、供給安定性を確保するためにも、適正な施設更新計画が求められる。これに対し、本システム導入により、更新基準ベース、予防保全ベースなど多様な更新計画案が簡単に作成できるようになる。

## 5 おわりに

現在、水道事業では、人口減少に伴う水需要の減少や施設の老朽化に伴う更新需要の増大等により、経営環境は一層厳しさを増している状況であり、持続可能な事業運営に向けた経営基盤の強化が課題となっている。

企業団においても、生産年齢人口の減少により、今後の人材確保が困難となることが見込まれる中、大量の施設整備（更新・耐震化等）を進める必要がある。

こうした背景を踏まえ、水道用水供給ビジョンの基本理念である「安全な水の安定供給の持続」を達成し続けることを目標に本システムを活用していきたいと考える。

#### 【参考文献】

- 1) 山本鴻志郎, 宗和牧彦: 阪神水道企業団におけるデジタル化・DXに向けた取組(Ⅱ), 令和6年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp. 40-41 (2024)

## 本庁舎改修における省エネ化の取組

阪神水道企業団 ○松本 未来  
阪神水道企業団 塩見 高志

### 1. はじめに

阪神水道企業団（以下、企業団）は、昭和 38 年に神戸市東灘区に本庁舎（鉄筋コンクリート造、5 階建）が竣工し、企業団構成市（神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市、宝塚市、明石市）に向けた用水供給事業における計画、事務部門の庁舎としておおむね 100 人程度の職員により現在も使用している。これまで建物の補修は適時実施しており、平成 26 年には耐震補強工事、令和元年にはバリアフリー化を目的としたエレベータ設置工事を行い、長期的な庁舎利用に向けた改修も進めてきた。

これらの改修後も課題として残されていた庁舎老朽化に伴う建築基準法等の既存不適格部分解消を図るとともに、令和 5 年に企業団内で策定した『地球温暖化対策実行計画』に基づき、庁舎の省エネを達成するため、本庁舎の内装改修工事を令和 6 年から行うこととなった。

本報では、施工中である「本庁舎改修工事」について、ZEB 化（Net Zero Energy Building）に向けた取り組みと工事の施工状況について報告する。



図－1 本庁舎外景

### 2. 改修工事の概要

#### (1) 改修の内容

企業団本庁舎では、昭和 38 年の竣工以来軽微な補修を適時行いながら利用を続けていた。平成 24 年に本庁舎を同位置で改修することにより更に長期にわたって利用する方針を固め、費用面を鑑みながら平成 26 年にブレース造設及び地盤改良による耐震補強を、令和元年にバリアフリー化に向けた取り組みの一環としてエレベータ設置を実施した。

今回施工する内装改修工事では、アスベスト含有建材の撤去、一部空間の排煙設備未整備といった既存不適格部分の解消及び経年劣化している内装の全面的な改修を目的とすると同時に、今後各公共事業体の庁舎等に求められる省エネに向けた取り組みも意欲的に取り入れることとした。

## (2) ZEB 化に向けた検討

企業団では環境負荷の低減及び温室効果ガス排出量抑制を目的として令和5年に『地球温暖化対策実行計画』を策定した。この計画の中で建築物においても省エネルギー対策の検討を行い、更新や改修の際には ZEB 化達成を目指すことが明記されている。本工事においてもこの計画に基づき、ZEB 化達成に向けた検討を行った。

ZEB 化の達成には図-2に示す通り、従来建物で必要とされるエネルギー量から50%以上の削減を基本とし、再生可能エネルギーを含め一定以上エネルギー消費量を低減させることが求められる。本工事では、耐用年数を迎えていた空調設備及び換気設備、照明機器の更新及び高効率化、建具等の断熱性向上を実施し、ZEB 化達成に向けた改修を行うこととした。ただし、再生可能エネルギー生成に向け太陽光発電の導入も検討したが、敷地面での制約や太陽光パネルからの反射による周囲の住宅、マンション等への光害が懸念されたため、導入を見送った。

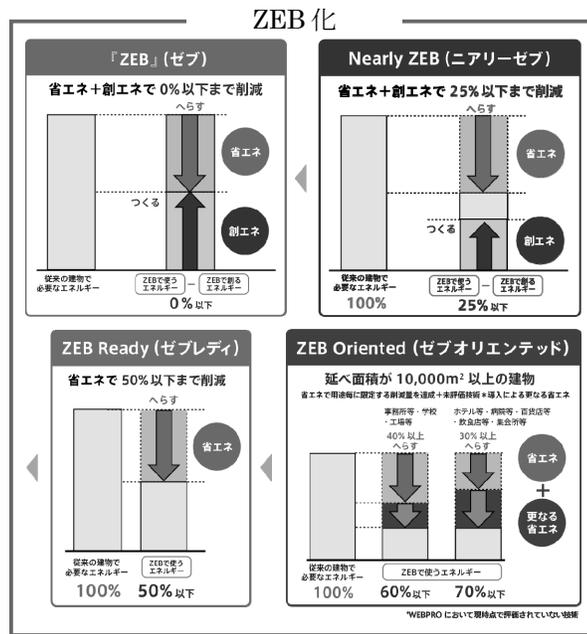


図-2 ZEB の定義 (出典：ゼブ・ポータル)

## 3. ZEB 化達成に向けた工事での取り組み

図-3に本庁舎における ZEB 化達成に向けた改修項目を示す。今回の改修においては、各建具の複層ガラスへの更新や外壁および天井部への断熱ウレタンの吹付を含めた大規模な内装改修を行うとともに、各設備においても高効率型の空調設備、全熱交換型の換気設備、LED 照明設備へそれぞれ更新することとした。

特に照明設備については人がいない場所において自動的に照度を弱める明るさセンサーによる調光制御を各部屋に導入し、省エネの効率を高めた。また、屋上防水も耐用年数を迎えていたことを踏まえ、防水材の更新を行うとともに断熱材の敷き込みも行った。

図-4に本庁舎改修に伴う各設備における一次エネルギー削減率とそれらを総合した ZEB 化の達成状況を示す。これらの取り組みにより基準一次エネルギー量から50%以上の削減が見

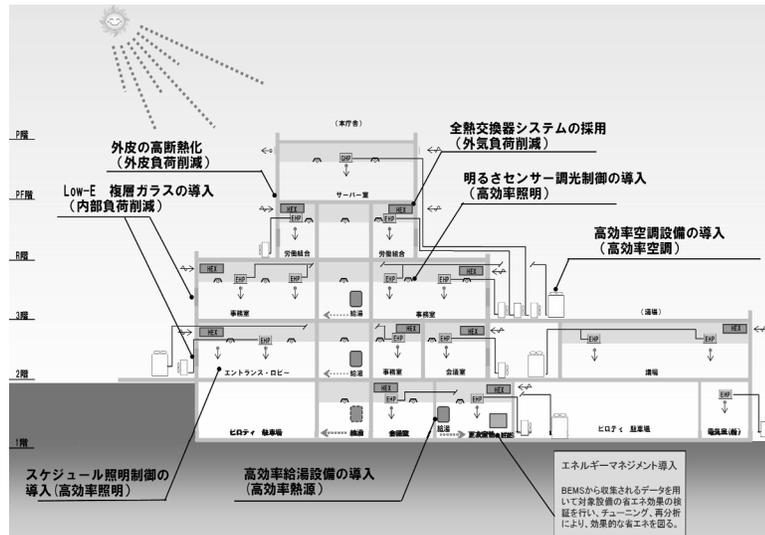


図-3 本庁舎における ZEB 化達成に向けた改修項目

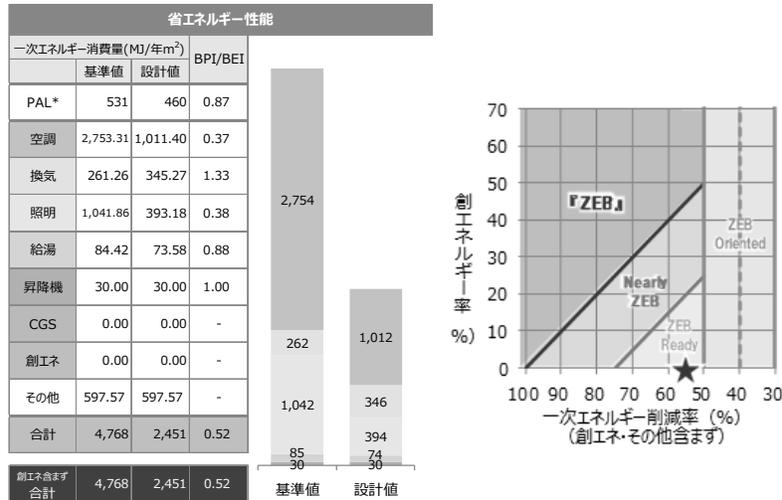


図-4 工事完成による ZEB Ready の達成判定と一次エネルギー削減率

込まれる ZEB Ready の達成が可能となった。これを踏まえ環境省の補助事業である「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（建築物等の Z E B 化・省 C O 2 化普及加速事業）」の採択を受けるとともに、補助事業適合に向けエネルギー消費量の監視と継続的な ZEB 化達成を目的としたビルエネルギー監視システムも新たに導入することとした。

#### 4. 工事の施工状況

本工事は当初、一部部署については仮設事務所の設置や企業団の他施設への移転を検討していたが、移転に伴う費用及び移転先の建設、改修費用の増大が見込まれたため、工事区画の再検討を行い、すべての部署を本庁舎内のすべての会議室を利用し一時移転することで改修を行うこととした。この結果、当初の計画より工事費の低減を図ることができた。

令和6年7月の着工後、同年9月から庁舎の改修エリアを5区画に切り分け、ブロックごとの改修とし、改修時期に応じて職員を非

工事エリアに随時移動させながら施工する執務並行改修としている。業務として利用している執務室と隣接する区画で改修を行ったため、職員への騒音、振動等の問題については各所に配慮を求めつつ、必要に応じて工事を一時停止させながら施工を行った。図-5及び図-6に施工状況を示す。

また、本庁舎の内装は昭和38年の竣工以来、軽微な補修は適時行ってきたものの、これまで大規模な内装改修は実施していなかった。そのため、築造時に使用したとみられる石綿含有建材が広範囲に残置されていることが設計段階で明らかになった。調査により各建材に含まれる石綿の飛散性（発じん性）は比較的低いレベル3であることを確認し、適正に除去を行った。その上で、改修工事の設計及び特殊建築物定期調査により既存不適格と指摘を受けていた一部廊下部分における排煙設備の欠落や、防火区画におけるガス給湯設備や可燃物の存置などにつ



図-5 空調設備、換気設備の据付

いて、廊下及び給湯室を執務室と一体化することにより解消を進めた。

このほか、庁舎の築造当時から断続的に発生していた地盤沈下による庁舎全体のレベルのずれに対する各執務室での高さの調整や天井スラブのひび割れや梁欠損部の補修など、平成 26 年に実施した耐震改修に引き続き庁舎の長寿命化に向けた対応を各区画で行っている。

本工事は令和 7 年 10 月現在おおむね計画どおりに施工しており、残る 1 区画の施工を進め、令和 7 年度中に工事完成する予定である。

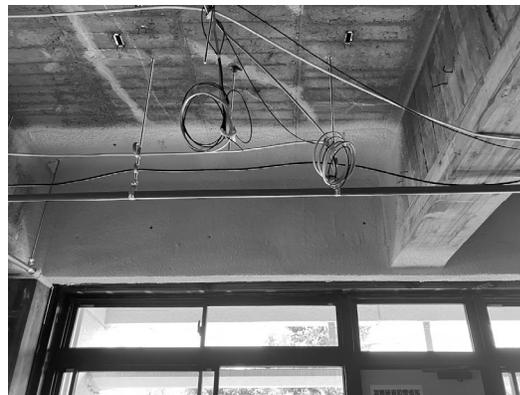


図-6 発泡ウレタンの吹付

## 5.おわりに

本工事は用水供給事業体の庁舎改修としては例の少ない高レベルの省エネ指標となる ZEB 化達成を目指す内装改修であり、本庁舎の一次エネルギー削減率は現時点の算定で改修完了によって 52%削減となり、ZEB Ready を達成する見込みである。今後は補助事業への適合を確認するため、工事完了後 5 年間にわたってビルエネルギー監視システムにより実際の ZEB 化達成度を確認するとともに、庁舎の運用によるより効率的な省エネを実行していく所存である。

### 【参考文献】

- 1) 阪神水道企業団：阪神水道企業団地球温暖化実行計画、2023、p2,8、  
<https://hansui.org/effort/environment> (参照 2025 年 10 月)
- 2) 環境省：“ZEB PORTAL (ゼブ・ポータル) ZEB の定義”、2025、  
<https://www.env.go.jp/earth/zeb/detail/01.html> (参照 2025 年 10 月)