

第65回研究発表会概要集

令和3年度 近江八幡市

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65回研究発表会日程

令和4年1月26日(水)

1 開 会 10時00分

会場:第1会場「おうみ鶴」

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 10時20分～17時00分

会場:第1会場「おうみ鶴」・第2会場「おうみ亀」

日本水道協会関西地方支部第65回研究発表会プログラム

令和4年1月26日(水)

- 1 開会 10時00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 10時20分～17時00分

第1会場「おうみ鶴」

水質・浄水施設・浄水処理(計16題)

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
1	10:20～10:40	大津市企業局	橋詰 和典	吉田 稔	大津市におけるPFOS等の検出状況	水質	1
2	10:40～11:00	神戸市水道局	平木 康大	伊藤 邦彦、福田 幸司、山口 敏彦、小田 琢也	有機フッ素化合物の分析におけるLC/MS/MSによる直接分析法の導入	水質	5
3	11:00～11:20	大阪市水道局	鶴田 朋子	板倉 愛実、平林 達也、今中 壮一	直接注入ー液体クロマトグラフ質量分析法による有機フッ素化合物の測定における前処理方法の検討	水質	9
4	11:20～11:40	大阪市水道局	外山 義隆	中野 耕太、平林 達也、今中 壮一	高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を活用した未規制農薬類の浄水処理過程における挙動調査	水質	13
5	11:40～12:00	大阪市水道局	中野 耕太	外山 義隆、平林 達也、今中 壮一	高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を活用した淀川水系における農薬類の実態調査	水質	17
休 憩 (60分)							
6	13:00～13:20	大津市企業局	堀野 善孝	吉田 稔、橋詰 和典、竹内 洋祐	大津市企業局における農薬類検査について ～農薬類分析検出事例等報告～	水質	21
7	13:20～13:40	神戸市水道局	小幡 一貴	清水 武俊、小田 琢也、中山 恵介	シミュレーションを用いた千苅貯水池における出水時の水質変化予測 (その2)	水質	25
8	13:40～14:00	大阪市水道局	今村 康夫	板倉 愛実、春田 知昭、今中 壮一	経年使用による粒状活性炭の性能変化について (Ⅱ)	水質	29
9	14:00～14:20	大阪市水道局	宇都宮 勉	梅谷 友康、森實 圭二、原 郁夫、服部 晋也	色度の透過光測定における試料温度の違いが起因する測定誤差について	水質	33
10	14:20～14:40	大阪市水道局	船附 壮一	小川 真穂、當山 裕一、吉村 誠司、北本 靖子、平林 達也	ICT技術を活用した水質管理の高度化への取り組み ～水質試験データ検索装置再構築～	水質	37
11	14:40～15:00	大阪市水道局	柳瀬 剛士	北本 靖子、吉村 誠司	FT-IRを用いた水道水中の劣化異物分析	水質	41
休 憩 (20分)							
12	15:20～15:40	横河ソリューションサービス株式会社	渡邊 彩花	田中 克知、黒木 成多、山宮 広之	水中粒子画像解析による藻類の識別事例の報告	水質	45
13	15:40～16:00	阪神水道企業団	洗 優佑	金子 周平、山根 久和、用害 良徳	猪名川浄水場におけるオゾン処理設備の更新事例	浄水施設	48
14	16:00～16:20	阪神水道企業団	浅堀 悠介	西澤 浩司、村田 直樹	猪名川浄水場における返送水質改善手法の開発にむけた調査研究	浄水処理	52
15	16:20～16:40	滋賀県企業庁	安本 勇太	島田 桃衣、門野 薫、瀧口 喜三男	水安全計画におけるろ過池冬季目標残留塩素濃度低減に伴う水質調査のまとめ	浄水処理	56
16	16:40～17:00	滋賀県企業庁	島田 桃衣	熊崎 起弥、門野 薫	水口浄水場での消毒副生成物低減に向けた取り組み	浄水処理	60

第2会場「おうみ亀」

配水施設・災害対策・一般施設・その他(浄水・計画)・広報広聴・IT・経営(計14題)

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
17	10:40~11:00	大津市企業局	林 春己	金銅 崇皓	特殊洗浄工法を用いた配水管の洗浄	配水施設	64
18	11:00~11:20	豊中市上下水道局	池上 聡宣	矢野 章吾、岩淵 成吾、山中 伸一	旧規格消火栓用補修弁の点検整備における一考察	配水施設	66
19	11:20~11:40	豊中市上下水道局	立花 心	森山 祐則、中川 裕義、池永 正文、西澤 義晃	幹線事故対応マニュアルの作成	配水施設	70
20	11:40~12:00	舞鶴市上下水道部	神田 秀之		配水管赤水対策としての計画洗管	配水施設	74
休 憩 (60分)							
21	13:00~13:20	株式会社クボタ	川原 聡		高精度な水道管路の老朽度評価方法の開発	配水施設	78
22	13:20~13:40	大成機工株式会社	久津輪 薫		水管橋分岐部の漏水予防対策について	配水施設	82
23	13:40~14:00	大阪市水道局	松本 侑士	吉澤 源太郎、梅野 博司	上町断層帯地震の断層変位に対する水道局施設のリスク評価と対策	災害対策	85
24	14:00~14:20	東大阪市上下水道局	鈴木 隆雄		東大阪市水走配水場におけるマイクロ水力発電の導入事例	一般施設	89
25	14:20~14:40	神戸市水道局	岸本 隆志		自己水源の有効性再評価について -阪神水道の費用制度見直しに伴う自己水源コストの整理-	その他 (浄水)	91
26	14:40~15:00	阪神水道企業団	坂本 和己	大野 克彦、毛笠 共幸	阪神水道企業団における広報戦略	広報広聴	95
休 憩 (20分)							
27	15:20~15:40	堺市上下水道局	郷田 秀章	鴻谷 由紀	令和3年度日本水道協会水道イノベーション大賞受賞 スマホアプリ「すいりん」の取組について	I T	99
28	15:40~16:00	神戸市水道局	金尾 至	新明 正也、竹田 勝	工業用水道スマート化によるデータの利活用策	I T	102
29	16:00~16:20	神戸市水道局	高田 浩太郎		神戸市内における2つの水道事業の統合事例について (六甲山上水道事業の統合)	経営	106
30	16:20~16:40	大津市企業局	須藤 靖	杉田 徹、中井 博之	水需要予測の見直しに伴う浄水場統廃合計画の改定	その他 (計画)	110

大津市における PFOS 等の検出状況

大津市企業局 ○橋詰 和典 吉田 稔

1 はじめに

厚生労働省からの通知（令和 2 年 3 月 30 日付け生食発 0330 第 2 号）により、令和 2 年 4 月 1 日からペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）及びペルフルオロオクタン酸（PFOA）（以下、PFOS 等という。）が要検討項目から水質管理目標設定項目（目標値：50 ng/L）に位置付けが変更されたため、大津市企業局では令和 2 年度から PFOS 等について検査を開始した。また、水源である琵琶湖、琵琶湖に流入する河川及び浄水処理過程での PFOS 等の検出状況について調査を実施した。本報告では、PFOS 等に関する検査及び調査で得られた知見について紹介する。

2 測定方法

『水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について』の別添 4「水質管理目標設定項目の検査方法」に基づき測定した。また、高速液体クロマトグラフ質量分析計では、リテンションギャップ法を採用し、機器及び移動相による影響が最小限になるようにした。なお、原水等の懸濁物を含む試料は、ガラス繊維ろ紙（孔径 1 μ m）でろ過後に固相抽出を行った。

3 測定結果

(1) 各浄水場

本市の 6 か所の浄水場における原水及び栓水について、冬期（令和 3 年 3 月）の測定結果は表 1、夏期（令和 3 年 8 月）の測定結果は表 2 のとおりであり、全ての浄水場で PFOS 等が検出された。

原水では、測定結果に浄水場系統及び季節による顕著な差は見られなかった。栓水では、測定結果に浄水場系統及び季節による差が見られたが、活性炭処理の影響と推測される。PFOS 等の合算値は、水質管理目標値の 10 分の 1 である 5 ng/L 程度までであり、水道水の安全性に問題はなかった。

表 1 冬期の各浄水場の測定結果 (単位：ng/L)

水域	浄水場	原水			栓水		
		PFOS	PFOA	合算値	PFOS	PFOA	合算値
北湖	比良	0.7	3.6	4.3	0.9	3.5	4.4
	八屋戸	0.7	3.8	4.5	0.8	3.6	4.4
	真野	0.7	3.9	4.6	1.0	3.8	4.8
南湖	柳が崎	0.9	4.0	4.9	0.6	3.0	3.6
	膳所	0.9	4.0	4.9	0.8	3.5	4.3
	新瀬田	0.9	4.2	5.1	0.9	3.9	4.8

表 2 夏期の各浄水場の測定結果 (単位：ng/L)

水域	浄水場	原水			栓水		
		PFOS	PFOA	合算値	PFOS	PFOA	合算値
北湖	比良	2.2	4.4	6.6	0.9	3.3	4.2
	八屋戸	1.9	4.3	6.2	<0.5	<0.5	<0.5
	真野	0.8	3.1	3.9	<0.5	2.0	2.0
南湖	柳が崎	0.8	3.7	4.5	1.1	4.4	5.5
	膳所	1.0	3.6	4.6	0.9	3.7	4.6
	新瀬田	0.7	3.5	4.2	<0.5	0.6	0.6

(2) 琵琶湖

各浄水場の原水からPFOS等が検出されたため、水源である琵琶湖の状況を調査した。調査は12地点(北湖1地点、南湖11地点)で実施し、測定結果は表3のとおりである。

表3 琵琶湖でのPFOS等の測定結果

(単位: ng/L)

地点	PFOS	PFOA	合算値	地点	PFOS	PFOA	合算値
琵琶湖大橋	0.7	3.3	4.0	由美浜	0.8	3.2	4.0
雄琴港沖	0.7	3.4	4.1	膳所沖	0.8	3.6	4.4
坂本沖	0.7	3.4	4.1	瀬田川	0.7	3.1	3.8
際川沖	0.7	5.4	6.1	草津川河口	1.1	4.7	5.8
柳が崎沖	0.7	3.3	4.0	赤野井湾	3.2	6.9	10.1
三井寺沖	0.7	3.3	4.0	野洲川河口	0.9	6.3	7.2

琵琶湖において閉鎖性の高い水域である赤野井湾で最高濃度を検出し、PFOS等の合算値が10ng/Lを超えた。他の地点では、野洲川河口でやや高濃度であった。

(3) 流入河川

琵琶湖での調査において、地点により測定値に差が見られたため、PFOS等の供給経路と

表4 河川でのPFOS等の測定結果

(単位: ng/L)

地点	PFOS	PFOA	合算値	地点	PFOS	PFOA	合算値
和邇川	2.3	11.8	14.1	草津川	4.2	18.9	23.1
真野川	1.1	3.7	4.8	葉山川	3.5	15.5	19.0
雄琴川	<0.5	3.3	3.3	守山川	3.6	12.4	16.0
柳川	0.9	16.4	17.3	野洲川	0.8	6.8	7.6

推定される河川についても調査を実施した。調査は琵琶湖に流入する河川8地点(北湖3地点、南湖5地点)で実施し、測定結果は表4のとおりである。

測定値は、地点により大きな差が見られ、特にPFOAの差が顕著であった。また、市街部を流れる河川で高い傾向があった。

(4) 浄水処理過程

(1)の浄水場の測定結果から、PFOS等が活性炭処理により低減されることが示唆された。そのため、浄水処理過程でのPFOS等の挙動を調査した。調査は、特徴的な処理工程をしている柳が崎浄水場及び新瀬田浄水場で実施した。なお、柳が崎浄水場では図1のとおり、急速ろ過処理と緩速ろ過処理を併用しており、臭気対策として生物接触ろ過処理を行っている。また、新瀬田浄水場では図2のとおり、急速ろ過処理後に粒状活性炭ろ過処理を行っており、PFOS等がほとんど検出されなかった。浄水処理過程でのPFOS等の挙動を図3及び図4に示す。

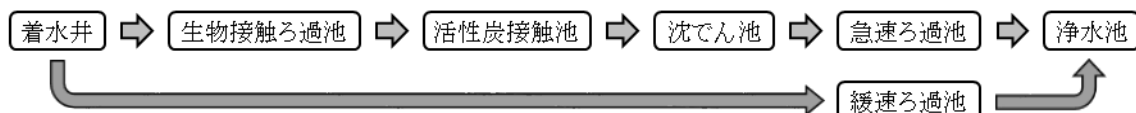


図1 柳が崎浄水場の処理工程

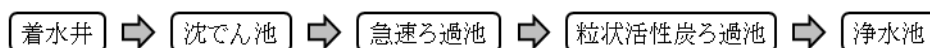


図2 新瀬田浄水場の処理工程

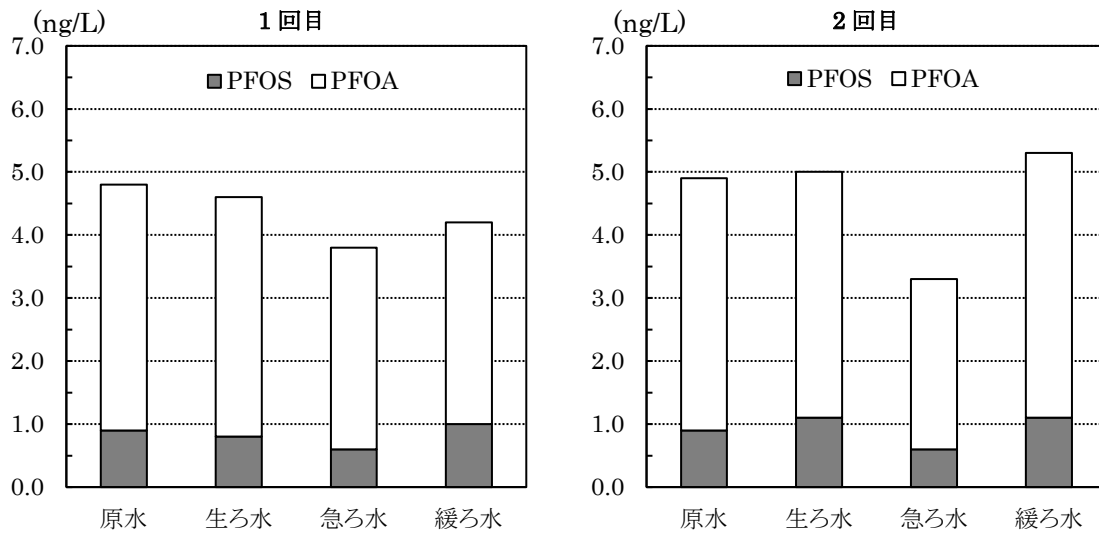


図3 柳が崎浄水場での挙動

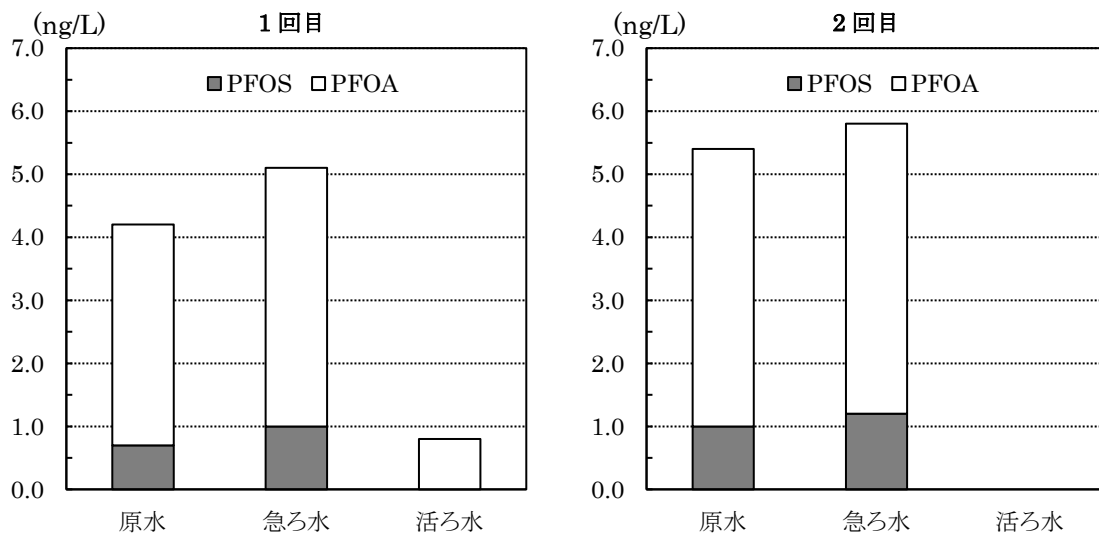


図4 新瀬田浄水場での挙動

① 生物接触ろ過

柳が崎浄水場の生物接触ろ過水（生ろ水）の PFOS 等は、原水の値と差異が見られなかった。PFOS 等は、環境中での安定性が高く、生分解性が低いとされている¹⁾。そのため、PFOS 等は生物処理では除去が困難と推定される。

② 急速ろ過

新瀬田浄水場では、急速ろ過水（急ろ水）の PFOS 等は原水から減少しなかった。一方、柳が崎浄水場では、急ろ水で減少した。測定時に、柳が崎浄水場では粉末活性炭（Dry）を注入しており、PFOS 等は粉末活性炭に吸着される²⁾ため、吸着除去されたと推定される。また、粉末活性炭

処理を実施していない新瀬田浄水場において、急ろ水で PFOS 等が減少していないため、凝集沈でんー急速ろ過処理のみでは PFOS 等が除去される可能性は低い。

③ 緩速ろ過

柳が崎浄水場の緩速ろ過水（緩ろ水）の PFOS 等は、原水より微減する場合と微増する場合があった。PFOS 等は土壤に吸着される³⁾ため、緩速ろ過池中の土壤粒子又はろ過砂に吸着された可能性があるが、増加する場合もあり、詳細は不明である。また、緩速ろ過処理では、生物の作用により有機物は分解されるが、生物接触ろ過池と同様に PFOS 等が分解される可能性は低い。

④ 粒状活性炭ろ過

新瀬田浄水場の粒状活性炭ろ過水（活ろ水）では、PFOS 等がほとんど検出されなかった。PFOS 等が粒状活性炭に吸着除去されたと判断している。

4 おわりに

本市の浄水場、水源である琵琶湖及び琵琶湖の流入河川について PFOS 等の測定を行い、次の知見が得られた。

- (1) 浄水場の栓水から PFOS 等が検出されたが、その濃度は水質管理目標値の 10 分の 1 程度であり、水道水の安全性に問題はなかった。
- (2) 水源の琵琶湖では、閉鎖性の高い赤野井湾で PFOS 等の濃度が最も高かった。
- (3) 琵琶湖の流入河川では、PFOS 等は市街部を流れる河川のほうが高い傾向が見られた。
- (4) 浄水処理過程では、活性炭処理で PFOS 等の除去が期待できる。

今後は粉末活性炭の注入率による除去効果の差及び前塩素注入の有無による差について調査を行い、浄水場で対応可能な PFOS 等の濃度について検証を進めていきたい。

5 引用文献

- 1) 中央環境審議会；水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等の見直しについて（第 5 次答申），中環審第 1120 号，2020
- 2) 木村功二ほか；粉末活性炭による残留性有機フッ素化合物類の吸着除去特性および影響要因の検討，環境工学研究論文集，Vol.45，pp.301-308，2008
- 3) 西野貴裕ほか；東京都内地下水における有機フッ素化合物の汚染実態と土壤浸透実験における挙動の考察，環境化学，Vol.25 No.3，pp.149-160，2015

有機フッ素化合物の分析における LC/MS/MS による直接分析法の導入

神戸市水道局 ○平木康大 伊藤邦彦 福田幸司 山口敏彦 小田琢也

1. はじめに

ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) 及びペルフルオロオクタン酸 (PFOA) などの有機フッ素化合物は、撥水剤、表面処理剤等の用途で広く利用されてきた (図 1)。しかしながら、難分解性で高い蓄積性を有し、環境中で広範囲に残留していることが報告され、国際的に規制が強化されてきている¹⁾。

国内の水道水においても、2020 年 4 月に PFOS 及び PFOA が水質管理目標設定項目に格上げされ (暫定目標値：合算で 50ng/L)、2021 年 4 月にペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS) が要検討項目に追加された。

有機フッ素化合物の分析方法としては、厚生労働省通知 (平成 15 年 10 月 10 日健水発第 1010001 号別添 4 [最終改正 令和 3 年 3 月 26 日薬生水発 0326 第 1 号]) で固相抽出-液体クロマトグラフ-質量分析法 (以下、固相抽出-LC/MS/MS 法) が示されている。神戸市においても 2007 年から通知に先立ち、固相抽出-LC/MS/MS 法 (通知と一部条件は異なる) で分析を実施してきた。しかしながら、この分析方法は、前処理操作が煩雑で時間を要するという難点がある。そこで、前処理操作の短縮化・簡略化を目的に、直接注入-液体クロマトグラフ-質量分析法 (以下、直接注入-LC/MS/MS 法) を検討・確立した。より迅速な分析が可能となり、分析体制の拡充が図れたので報告する。

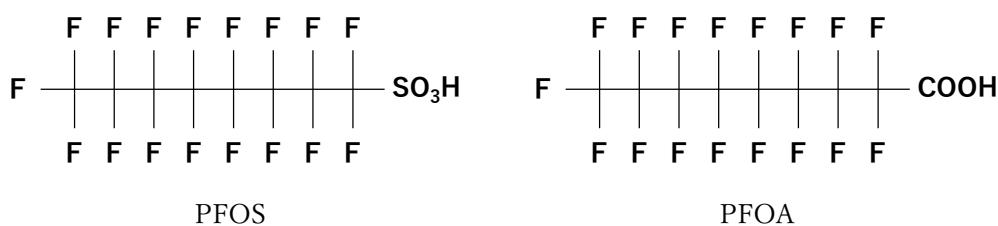


図 1 PFOS 及び PFOA の構造式

2. 分析方法

2. 1 試薬

標準物質は、Wellington Laboratories 社製の L-PFOS 及び PFOA を使用した。

内部標準物質は、Wellington Laboratories 社製の M8PFOS (PFOS-¹³C₈) 及び M8PFOA (PFOA-¹³C₈) を使用した。

溶媒には、超純水 (PFOS・PFOA 分析用：富士フイルム和光純薬社製)、1mol/L 酢酸アンモニウム溶液 (高速液体クロマトグラフ用：富士フイルム和光純薬社製)、メタノール (残留農薬試験用：関東化学社製)、及びアセトニトリル (LC/MS 用：関東化学社製) を使用した。

2. 2 固相抽出-LC/MS/MS 法の前処理及び測定条件

試料 500mL に 100 µg/L 混合内部標準物質を 50 µL 添加し、あらかじめメタノール 10mL、超純水 5mL でコンディショニングした逆相の固相カラムに通水した。なお、通知法では陰イオン交換の

固相カラムが示されているが、通水速度が遅いことやアンモニア水を溶媒として使用することを考慮し、逆相の固相カラム（昭和電工社製のPS@Liq）を選択した。通水終了後、超純水 10mL を通して固相カラムを洗浄し、吸引及び窒素吹きつけによる固相カラムの脱水を行った。脱水後、固相カラムを反転させ、メタノール 6mL で溶出し、窒素ガスを吹きつけて 0.5mL に濃縮した。その後、超純水で 1mL に定容したものを試験溶液とした。分析フローを図 2、LC/MS/MS の測定条件を表 1 に示す。

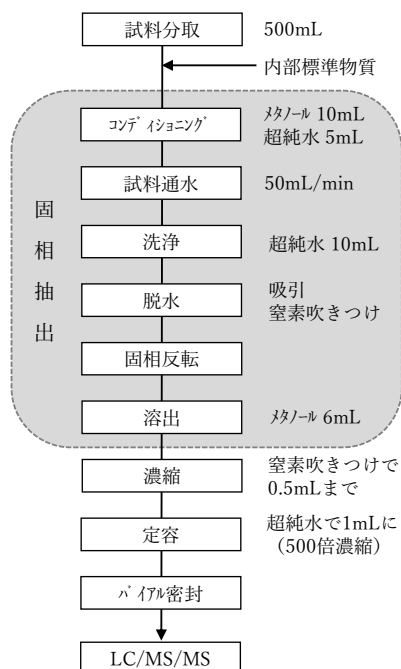


表 1 固相抽出-LC/MS/MS 法における測定条件

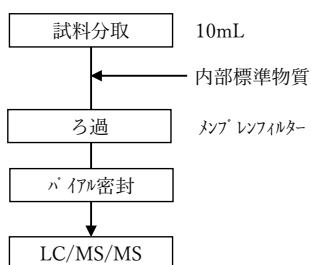
LC条件	
装置	Nexera X2 (島津製作所)
LCカラム	Shim-pack GIST C18-AQ 150×2.1mm (島津GLC)
移動相A	10mM 酢酸アンモニウム水溶液
移動相B	アセトニトリル
移動相条件	B : 25%(0-1min) → 100%(26-30min) → 25%(30.01-33.5min)
流速	0.2 mL/min
カラム温度	40 °C
注入量	5 μL
MS条件	
装置	LCMS-8050 (島津製作所)
検出器	SRM
イオン化法	ESI ネガティブ

図 2 固相抽出-LC/MS/MS 法の分析フロー

2. 3 直接注入-LC/MS/MS 法の前処理及び測定条件

試料 10mL に 2 μg/L 混合内部標準物質を 50 μL 添加し、アドバンテック東洋社製のメンブレンフィルター（孔径：0.20 μm、材質：セルロースアセテート）でろ過したものを試験溶液とした。分析フローを図 3、LC/MS/MS の測定条件を表 2 に示す。

表 2 直接注入-LC/MS/MS 法における測定条件



LC条件	
装置	Exion LC (AB SCIEX)
LCカラム	kinetex 2.6 μm Polar C18 100 Å 50×3.0mm (phenomenex社) Delay Column for PFAS (GLサイエンス社)
移動相A	10mM 酢酸アンモニウム水溶液
移動相B	アセトニトリル
移動相条件	B : 30%(0-0.7min) → 100%(10-12min) → 30%(12.1-15min)
流速	0.6 mL/min
カラム温度	40 °C
注入量	40 μL
MS条件	
装置	Triple Quad 5500 (AB SCIEX)
検出器	SRM
イオン化法	ESI ネガティブ

図 3 直接注入-LC/MS/MS 法の分析フロー

3. 妥当性評価

妥当性評価は、「水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン」（最終改正：平成 29 年 10 月 18 日付け薬生水発 1018 第 1 号）に基づき実施した。

3. 1 各分析方法における検量線の評価結果

固相抽出-LC/MS/MS 法では 1~50 ng/L の濃度範囲で、直接注入-LC/MS/MS 法では 2~40 ng/L の濃度範囲で、PFOS 及び PFOA の各検量線の重相関係数は 0.999 以上であり、良好な直線性が得られた。

また、両方の分析方法において、各検量点の真度、精度、並びにキャリーオーバーが、妥当性評価ガイドラインの目標に適合することを確認した。表 3 に各分析方法における PFOS 及び PFOA の各検量点の真度及び精度（RSD）を示す。

表 3 各検量点の真度及び精度

濃度 (ng/L)	固相抽出-LC/MS/MS法				直接注入-LC/MS/MS法				
	PFOS		PFOA		濃度 (ng/L)	PFOS		PFOA	
	真度 (%)	RSD (%)	真度 (%)	RSD (%)		真度 (%)	RSD (%)	真度 (%)	RSD (%)
1	99.0	4.9	99.0	7.2	2	107	2.2	106	3.6
2	104	3.3	99.1	9.9	5	96.3	2.8	102	4.7
5	103	2.0	101	5.6	10	100	5.1	103	4.4
10	99.2	0.9	97.8	3.0	20	97.7	4.4	97.7	3.4
20	98.9	1.1	101	2.6	40	101	1.8	99.7	1.1
50	100	0.2	99.9	0.4	-	-	-	-	-

* 目標値は、真度 80~120%、RSD 20%以下

3. 2 各分析方法における添加試料の評価結果

表 4 に PFOS 及び PFOA の添加回収試験結果を示す。固相抽出-LC/MS/MS 法では、精製水には 1ng/L、水道水には 5ng/L を添加して評価した。表 4 のとおり、PFOS 及び PFOA で、真度 86.9~118%、併行精度 2.1~8.5%、室内精度 3.6~17.5%の結果が得られ、この結果は妥当性評価ガイドラインで定められた目標値を満たしていた。

同様に、直接注入-LC/MS/MS 法では、精製水には 2ng/L、水道水には 5ng/L を添加して評価し、妥当性評価ガイドラインで定められた目標に適合することを確認した。表 4 のとおり、PFOS 及び PFOA で、真度 92.9~104%、併行精度 0.8~7.9%、室内精度 5.9~11.8%と、固相抽出-LC/MS/MS 法よりも精度が高い結果が得られた。前処理工程の少ないことが要因の一つと考えられる。

表 4 添加回収試験結果

項目	固相抽出-LC/MS/MS法						直接注入-LC/MS/MS法					
	PFOS			PFOA			PFOS			PFOA		
	精製水	水道水	原水	精製水	水道水	原水	精製水	水道水	原水	精製水	水道水	原水
真度 (%)	92.9	117	118	86.9	106	106	104	98.9	100	101	96.2	92.9
併行精度 (%)	5.8	8.5	3.9	4.4	4.2	2.1	0.8	3.0	2.5	4.9	7.9	3.7
室内精度 (%)	15.3	9.2	8.4	17.5	10.8	3.6	11.8	7.8	7.6	8.6	8.0	5.9

* 精製水は定量下限値（固相抽出-LC/MS/MS法：1ng/L、直接分析-LC/MS/MS法：2ng/L）、水道水及び原水は5ng/Lを添加

* 目標値は、真度 70~130%、併行精度 20%以下、室内精度 25%以下

4. 分析時間の比較

直接注入-LC/MS/MS 法の方が固相抽出-LC/MS/MS 法よりも分析時間の短いことは明らかであるが、前処理操作に着目して分析時間を比較する。

前処理操作は、固相抽出-LC/MS/MS 法では、①試料分取・内標添加、②固相抽出、③濃縮・定容、④バイアル密封の 4 工程に大別される。他方、直接注入-LC/MS/MS 法では、①試料分取・内標添加、②ろ過・バイアル密封の 2 工程のみである。

試料 15 個（標準液を含む）の分析を行う場合で、各分析方法における前処理の所要時間を整理すると表 5 となる。表 5 のとおり、直接注入-LC/MS/MS 法では、煩雑で時間を非常に要する固相抽出及び濃縮・定容の操作を省くことができる。そのため、固相抽出-LC/MS/MS 法と比較し、直接注入-LC/MS/MS 法は分析時間をおよそ 4 時間短縮することができる（表 5 の条件において）。

これは、限られた職員及び装置で効率的に分析を行う上で大きな利点である。固相抽出-LC/MS/MS 法では、標準液の調製を加えると試験溶液の準備までで、職員 1 人が 1 日を要する。一方、直接注入-LC/MS/MS 法では、試料 15 個程度であれば職員 1 人で 1 日の業務時間内に分析を終えることが可能である。

表 5 前処理の工程及び所要時間

工程	固相抽出-LC/MS/MS法		直接注入-LC/MS/MS法	
	内容	所要時間	内容	所要時間
①	試料分取・内標添加	40分	試料分取・内標添加	40分
②	固相抽出	90分×2	ろ過・バイアル密封	20分
③	濃縮・定容	60分	—	—
④	バイアル密封	20分	—	—

*所要時間は試料15個における大まかな時間である

*固相抽出には全自動固相抽出装置（最大6試料）を2台使用する

5. まとめ

有機フッ素化合物 PFOS 及び PFOA の分析方法として、新たに直接注入-LC/MS/MS 法を検討した。検討の結果、本分析方法が「水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン」の目標に適合することを確認した。

直接注入-LC/MS/MS 法の導入により、固相抽出-LC/MS/MS 法の難点である煩雑かつ時間を要する前処理操作を省くことができ、分析を簡略化・短縮化することが可能となった。また、神戸市においては、固相抽出と直接注入の 2 つの分析方法を確立し、他都市との分析業務の共同化を進める中、バックアップ体制の強化が図られた。日常的な水質管理においては効率的に分析を実施でき、また水源への流入事故といった不測の事態においてもより迅速な分析が期待できる。

6. 今後について

要検討項目に追加された PFHxS についても、直接注入-LC/MS/MS 法による分析を検討し、測定実施の目処がついた。PFOS 及び PFOA との一斉分析により、定期的な水質監視を行っていく。

7. 参考文献

- 1) 厚生労働省；令和 2 年度第 1 回水質基準逐次改正検討会 資料 1：水質基準等の改正方針について（案），https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000183130_00004.html（参照 2021 年 10 月 18 日）

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

大阪市水道局 ○鶴田 朋子
板倉 愛実
平林 達也
今中 壮一

1. はじめに

ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) 及びペルフルオロオクタノ酸 (PFOA) を代表とする有機フッ素化合物 (PFCs) は、耐水性・耐油性・耐熱性・耐薬品性等の性質を有することから、これまで広範な工業用品の製造に使用されてきたが、難分解性や高い生物蓄積性を有し、近年環境水や野生生物中に広範囲に存在していることが報告されており、国内外で製造、使用及び輸出入に関する規制が強化される方向にある。

日本の水道水質基準制度において、平成 21 年 4 月に PFOS と PFOA が要検討項目に位置付けられた¹⁾。さらに、令和 2 年 4 月には、PFOS と PFOA を水質管理目標設定項目に格上げするとともに、目標値を PFOS 及び PFOA の合算値で 50ng/L(暫定値)に設定した²⁾。また、令和 3 年 3 月 26 日の通知において、ペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS) が要検討項目に追加されている³⁾。

本市では、平成 17 年度から PFCs に関する調査に取り組み、水道水源である淀川水系における存在実態及び浄水処理性を明らかにしてきた^{3)~7)}。水道水質基準に係る昨今の動向や、製造・使用に関する規制が強化されてきたにもかかわらず、現在でも水道水源及び水道水中に一定の濃度レベルで存在すること⁸⁾、新規の粒状活性炭以外では除去が期待できないこと⁴⁾及び国内外での規制強化の流れを鑑みると、PFOS・PFOA・PFHxS 並びにこれらの類縁化合物の水源や浄水処理工程における存在実態を監視し、水道水の安全性を確認する必要性は今後ますます高まると考えられる。

一方、PFCs の分析法については、厚生労働省の通知法では PFOS・PFOA・PFHxS を対象として、固相抽出—液体クロマトグラフ—質量分析法が示されている⁹⁾が、前処理工程が多く、測定に時間を要する。PFCs の監視強化を図る上で、より迅速に測定可能な手法の確立が望まれる。そこで、固相抽出操作を必要としない直接注入—液体クロマトグラフ—質量分析法による PFCs の分析方法の確立を目的として検討を行った。

2. 調査方法

2. 1. 調査対象物質及び試薬

調査対象物質を表-1に示す。表-1には調査対象物質の定量に用いるサロゲート物質についても併記した。

PFCs の混合標準原液と混合サロゲート標準原液は、それぞれ PFAC-MXC 及び MPFAC-C-ES (共に Wellington Laboratories Ins. 製) を使用した。メタノール、アセトニトリル及び酢酸アンモニウムは LC/MS 用を用いた。精製水は MilliQ 超純水製造装置 (Milli-Q Integral 10、メルク(株)製) で製造したものを使用した。

2. 2. 分析装置

PFCs の分析には、液体クロマトグラフ—タンデム質量分析計 (LC-MS/MS) (LC : Nexera X2、MS/MS : LCMS-8060 (共に(株)島津製作所製)) を用いた。分析条件を表-2に示す。なお、LC システム由来の PFCs と試料中の PFCs を分離するため、ミキサーとオートサンプラーの間にリテンションギャップカラムを接続し、分析を行った。

2. 3. 試料調製

2. 3. 1. 標準液の調製

2. 1に示した混合標準原液及び混合サロゲート標準原液をそれぞれメタノールで希釈し、100 µg/L の混合標準液及び混合サロゲート標準液とした。これらの標準液を 2. 3. 2. 以降の試料調製に用いた。

2. 3. 2. 最適な検液溶媒の検討

混合標準液と混合サロゲート標準液を混合し、メタノールで希釈した混合標準・サロゲート溶液を調製した (濃度 : 5 µg/L)。この溶液を精製水とメタノールで水 : メタノール比率がそれぞれ設定した比率となるよう希釈し、LC-MS/MS 分析に供した (標準物質濃度・サロゲート物質濃度共に 100ng/L)。なお、希釈の際には混合標準・サロゲート溶液によるメタノールの添加量 (メタノール濃度 2%相当) を考慮し、試料を調製した。

2. 3. 3. 精製水・浄水試料の添加回収試験

混合標準液及び混合サロゲート溶液をメタノールで希釈した後、精製水とメタノールで段階的に希釈し、検量線用標準試料を調製した (検量点 : 5、7、10、20、50、100ng/L)。

表-1 調査対象物質と
サロゲート物質

化合物名	略号	炭素数
	PFBS	4
	PFPeS	5
	PFHxS	6
ペルフルオロ アルキル スルホン酸	PFHpS	7
	PFOS	8
	PFNS	9
	PFDS	10
	PFDoS	12
	PFBA	4
	PFPeA	5
	PFHxA	6
	PFHpA	7
	PFOA	8
ペルフルオロ アルキル カルボン酸	PFNA	9
	PFDA	10
	PFUdA	11
	PFDoA	12
	PFTrDA	13
	PFTeDA	14
	PFHxDA	16
	PFODA	18
サロゲート物質 (ペルフルオロ アルキル スルホン酸)	¹³ C ₃ -PFBS	4
	¹³ C ₃ -PFHxS	6
	¹³ C ₆ -PFOS	8
	¹³ C ₄ -PFBA	4
	¹³ C ₅ -PFPeA	5
	¹³ C ₅ -PFHxA	6
サロゲート物質 (ペルフルオロ アルキル カルボン酸)	¹³ C ₄ -PFHpA	7
	¹³ C ₈ -PFOA	8
	¹³ C ₉ -PFNA	9
	¹³ C ₆ -PFDA	10
	¹³ C ₇ -PFUdA	11
	¹³ C ₂ -PFDoA	12
	¹³ C ₂ -PFTeDA	14

精製水及び本市柴島浄水場浄水に上記の混合標準液、混合サロゲート溶液及びメタノールを添加し、添加回収試験用試料とした。調査対象物質の添加濃度は、水試料中に含まれる濃度が5、7、10ng/Lとなるよう添加した。試料は添加試料・無添加試料共に5本ずつ調製した。なお、本市では高度浄水処理を採用しており、凝集沈澱処理後に急速砂ろ過処理し、その前後で2段のオゾン処理を行った後、後段のオゾン処理後に粒状活性炭処理を行っている。

全ての試料に対し、水：メタノール比率90：10試料及び水：メタノール比率45：55試料の両方を調製し、各サロゲート物質の添加濃度は50ng/Lとした。なお、検量点の濃度は、水試料中に含まれるPFCsの濃度として設定している。

3. 結果

3. 1. 最適な検液溶媒の検討

調査対象のPFCsは、炭素数がC4～C18と広範に及ぶため、オクタノール-水分配係数 ($\log K_{ow}$) (3.26～6.41) や水溶解度 (0.194～9500) 等の化学的性質についても多岐に亘っており¹⁰⁾、溶媒に対する溶解度が物質によって大きく異なる。一方、逆相クロマトグラフィーによる分離では、グラジエント分析の場合、初期の移動相組成を溶媒比率の低い条件とし、測定対象物質を分析カラムに保持させた後、徐々に溶媒比率を上昇させ、溶出する手法が一般的である。そのため、試料を初期移動相より溶解性の高い溶媒に溶かして注入すると、カラム内で濃縮されずに拡散してしまい、クロマトグラフの再現性に影響するため、試料の検液溶媒は初期移動相に近い組成とすることが望ましいとされている¹¹⁾。そこで、最適な検液溶媒の組成を検討するため、比較的高濃度、すなわち装置感度に対し十分かつ容器吸着の影響を無視できる濃度の試料を繰り返し測定し、再現性を確認した。

表-2に示したLC条件の初期移動相と同じ溶媒比率(水：メタノール比率90:10)とした時の各物質の面積値の変動係数(CV%)を図-1に示す(n=5)。

調査の結果、炭素鎖が比較的短い物質については、5回測定の実験値のばらつきは小さく、良好な再現性が確認されたが、炭素鎖が長くなるほど、面積値のCV%が大きくなる傾向が見られた。特にPFDoS (C12)、PFDoA (C12)～PFODA (C18)及び¹³C₂-PFTeDA (C14)については、面積値のCV%が高い値を示しており、定量再現性に影響する可能性が示唆された。この現象は、検液溶媒への溶解度のばらつきが起因していると推察され、炭素鎖の長い物質に対しては、溶媒比率を上げて溶解度を上げる必要があると考えた。そこで、検液溶媒のメタノール比率を20%、50%、70%、90%に上げて比較検討を行った(n=3)。

水：メタノール比率80：20の面積値平均に対する各溶媒比率での面積値平均の比を図-2、水：メタノール比率10：90(すべての物質において13%以上)を除く各比率での面積値のCV%を図-3に示す。

図-2から、PFBS (C4)、PFPeS (C5)、PFBA (C4)、PFPeA (C5)及びこれらに対応するサロゲート物質については、メタノール比率を上げるほど面積値平均は小さくなり、カラムへの保持が弱まっていると推察された。また、PFBAについては、水：メタノール比率が80：20の場合においてもピークのリーディングが確認され、クロマトグラム上の再現性に悪影響を及ぼすと

表-2 LC-MS/MS分析条件

LC条件						
リテンションギャップカラム	Acquity UPLC BEH C18 1.7 μ m 3.0 \times 50mm (日本ウォーターズ製)					
分析カラム	Acquity PREMIER BEH C18 1.7 μ m VanGuard FIT 3.0 \times 50mm (日本ウォーターズ製)					
移動相	A: アセトニトリル B: 10mM酢酸アンモニウム					
グラジエント条件	時間(分)	A (%)		B (%)		対応するサロゲート物質 No.
	0	10		90		
	0.5	10		90		
	12.0	98		2		
	13.8	98		2		
オープン温度	14.0	10		90		
	19	10		90		
	40°C					
注入量	50 μ L					
流速	0.3mL/min					
MS条件						
イオン化法	ESI (-)					
Probe Voltage	-0.3kV					
Mode	MRM					
Nebulizing gas flow	2.5mL/min					
Drying gas flow	5mL/min					
Heating gas flow	15mL/min					
DL temp.	200°C					
Heat Block Temp.	300°C					
Interface Temp.	300°C					
MRM条件						
No.	化合物名	プリカーサーイオン (m/z)	プロダクトイオン (m/z)			
			定量イオン	CE (eV)	確認イオン	CE (eV)
1	PFBS	299.1	99.1	28	80.1	31
2	PFPeS	349.1	99.0	34	80.1	36
3	PFHxS	399.1	99.1	39	80.1	44
4	PFHpS	449.1	99.1	39	80.1	48
5	PFOS	499.3	99.0	41	80.1	52
6	PFNS	549.3	99.1	49	80.1	52
7	PFDS	599.2	99.1	49	80.1	54
8	PFDoS	699.2	99.0	72	80.1	72
9	PFBA	213.2	169.3	9	-	-
10	PFPeA	263.1	219.3	8	-	-
11	PFHxA	313.2	269.3	8	119.2	21
12	PFHpA	363.1	319.2	9	119.2	20
13	PFOA	412.9	169.1	16	369.1	9
14	PFNA	463.1	419.2	12	219.1	15
15	PFDA	513.1	469.1	10	269.2	16
16	PFUdA	563.1	519.2	11	319.2	17
17	PFDoA	613.1	569.1	12	369.2	17
18	PFTeDA	663.2	619.2	12	419.2	18
19	PFTeDA	713.2	669.2	12	469.0	20
20	PFHxDA	813.2	769.1	40	569.3	18
21	PFODA	913.2	869.1	17	669.9	26
22	¹³ C ₃ -PFBS	302.2	99.0	30	-	-
23	¹³ C ₃ -PFHxS	402.1	99.0	38	-	-
24	¹³ C ₆ -PFOS	507.1	99.1	46	-	-
25	¹³ C ₄ -PFBA	217.1	172.3	7	-	-
26	¹³ C ₅ -PFPeA	268.1	223.3	8	-	-
27	¹³ C ₅ -PFHxA	318.1	273.2	8	-	-
28	¹³ C ₄ -PFHpA	367.1	322.2	9	-	-
29	¹³ C ₆ -PFOA	421.1	376.2	10	-	-
30	¹³ C ₆ -PFNA	472.3	427.2	11	-	-
31	¹³ C ₆ -PFDA	519.3	474.1	10	-	-
32	¹³ C ₇ -PFUdA	570.2	525.2	12	-	-
33	¹³ C ₂ -PFDoA	615.2	570.1	12	-	-
34	¹³ C ₂ -PFTeDA	715.2	670.2	14	-	-

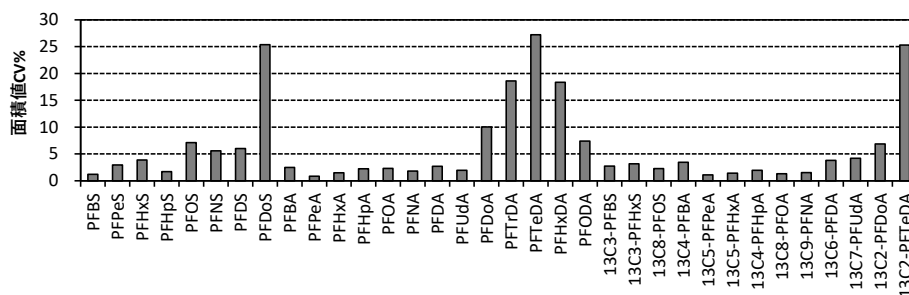


図-1 検液溶媒の水：メタノール比率を90:10とした時の面積値のCV%

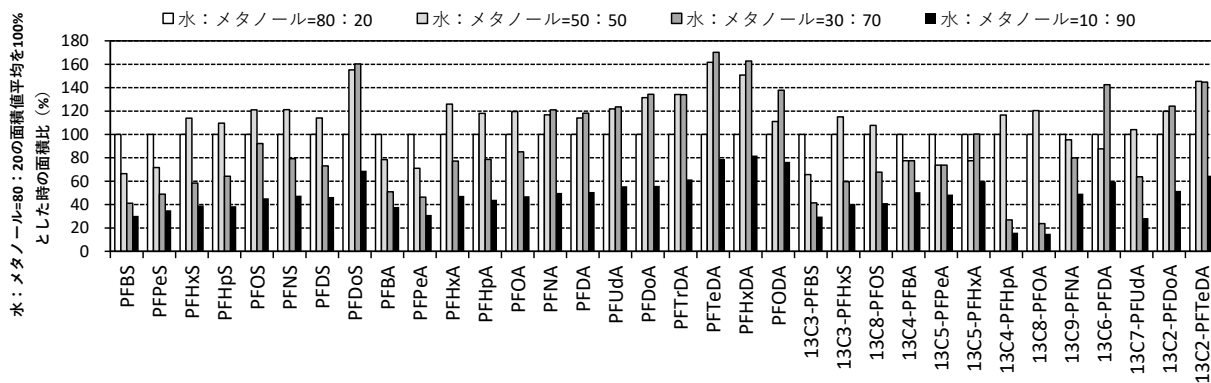


図-2 検液溶媒の水：メタノール比率を変化させた時の面積値の変化

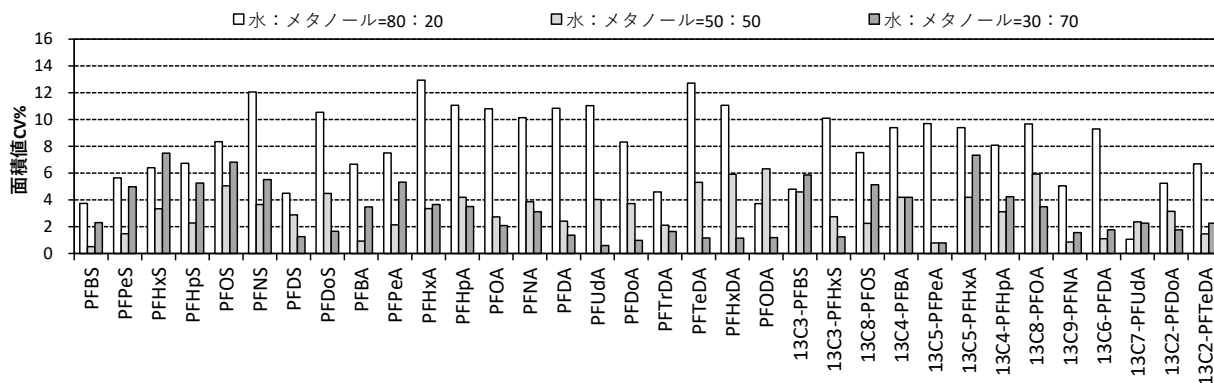


図-3 検液溶媒の水：メタノール比率を変化させた時の面積値の CV%

考えられた。一方、これら以外の物質では、今回検討したメタノール比率の範囲では、メタノール比率を 50 あるいは 70%とした時の面積値が最大となり、メタノール比率を 90%まで上げると面積値が低下する傾向を示した。また、図-3 に示した面積値の CV%についても、水：メタノール比率を 50 あるいは 70%とすると、20%の場合よりも小さい傾向を示しており、溶解度のばらつきが小さくなっていると推察された。以上の結果から、C6 以上の PFCs に対する最適な検液溶媒の組成は、メタノール比率が 50~70%の間であると推定された。そこで、メタノール比率 50~70%の範囲内でメタノール濃度を 5%ずつ変化させて 5 回の繰り返し測定を行い、面積値、CV%及びピーク形状の変化を確認した。これらの結果と実試料の測定への適用を想定した場合の手間（できる限り溶媒比率の種類を少なくする）等を総合的に考慮した上で、各物質に対する最適な検液の水：メタノール比率を表-3 の通り決定し、測定対象物質により水：メタノール比率 90：10 と 45：55 の二種類の検液溶媒を使い分けることとした。

表-3 各物質に対する検液の水：メタノール比率

化合物名	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFNS	PFDS	PFDoS					
水：メタノール比率	90：10	90：10	90：10	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55					
化合物名	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUdA	PFDoA	PFTrDA	PFTeDA	PFHxDA	PFODA
水：メタノール比率	90：10	90：10	90：10	90：10	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55
化合物名	¹³ C ₃ -PFBS	¹³ C ₃ -PFHxS	¹³ C ₈ -PFOS	¹³ C ₄ -PFBA	¹³ C ₅ -PFPeA	¹³ C ₅ -PFHxA	¹³ C ₄ -PFHpA	¹³ C ₈ -PFOA	¹³ C ₉ -PFNA	¹³ C ₆ -PFDA	¹³ C ₇ -PFUdA	¹³ C ₂ -PFDoA	¹³ C ₂ -PFTeDA
水：メタノール比率	90：10	90：10	45：55	90：10	90：10	90：10	90：10	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55	45：55

3. 2. 添加回収試験

表-2 に示した分析条件において、3. 1. の検討結果に基づき測定試料を調製した場合の各 PFCs の定量下限値を調査し、精製水・浄水を対象に添加回収試験結果を行った。結果を表-4 に示す。

標準試料のクロマトグラムから、S/N 比が 10 となる濃度を算出して各物質の定量下限値を算出した結果、それぞれ 1~10ng/L であった。合算での暫定目標値 (0.05 μg/L) が設定された PFOS と PFOA の定量下限値は、暫定目標値に対し、それぞれ 1/5 及び 1/25 であった。また、2. 3. 3. に示した検量点とサロゲート物質に対する調査対象物質の面積比の関係を直線回帰し、検量線を作成した結果、すべての物質の検量線の決定係数は、表-4 に示した濃度範囲において 0.99 以上であった。

添加回収試験について、浄水試料では、無添加試料において定量下限値以上の濃度で検出された物質が存在したため、これらの物質については添加試料での定量値から無添加試料の定量値を差し引いて真度を算出した。調査の結果、真度は、精製水試料では 81.1~121%、浄水試料では 83.4~127%であり、併行精度は、精製水試料では 4.8~18%、浄水試料では 3.9~16%と、それぞれ妥当性評価ガイドラインの目標値 (真度 70~130%、併行精度 ≤20%)¹²⁾ を満たしていた。

なお、本試験に使用した浄水試料から、PFBS、PFBA、PFPeA、PFHxA、PFHpA 及び PFOA が定量下限値以上の濃度で検出された。これらの物質の検出濃度は、固相抽出-液体クロマトグラフ法にて分析した本市の実態調査結果

8) 及び既報¹³⁾における本市と同様にオゾン-粒状活性炭処理を含む高度浄水処理が施された浄水からの検出濃度と同程度であった。

以上の結果から、本検討結果から得られた分析法は、水道水の PFCs のモニタリングに適用可能であると考えられた。

4. 今後の課題

1) 測定感度の向上

調査対象の 21 物質中、PFOS をはじめとする 8 物質の定量下限値については、暫定目標値の 1/10 を上回った。本市が行ってきた固相抽出-液体クロマトグラフィー質量分析法による実態調査での検出濃度レベルを考慮する

と、水道水源や水道水中の PFCs の存在実態をよりの確に把握するためには、LC-MS/MS 条件の最適化等により、さらなる測定感度の向上が必要であると考えられた。

2) 吸着対策の手法検討

今回の検討において、水道原水についても添加回収試験を試みたが、特に長炭素鎖の物質では良好な結果が得られなかった。その原因として、濁質除去工程（遠心操作）での容器への吸着が考えられたため、対策手段を検討することが必要不可欠である。

5. まとめ

- 1) 直接注入-液体クロマトグラフィー質量分析法による 21 種の PFCs の分析法の試料調製工程における最適な検液溶媒の組成を検討した結果、検液溶媒の水：メタノール比率を短炭素鎖 PFCs の測定では 90：10、中～長炭素鎖の PFCs の測定では 45：55 とすることにより、測定値のばらつきが改善された。
- 2) 各物質の定量下限値は 1～10ng/L であり、PFOS・PFOA の暫定目標値に対し、1/50～1/5 の値であった。検量線の直線性については、調査対象の全ての PFCs について、決定係数は 0.99 以上であった。添加回収試験の結果、精製水試料・浄水試料共に真度と併行精度は妥当性評価ガイドラインの目標値を満たしていた。
- 3) 今後の課題として、測定感度の向上と吸着対策の手法の検討が必要である。

参考文献

- 1) 厚生労働省、水質基準に関する省令の一部改正等における留意事項について、健水発第 0306002 号（平成 21 年 3 月 6 日）
- 2) 厚生労働省、水質基準に関する省令の一部改正等について（施行通知）、生食発 0330 第 1 号（令和 2 年 3 月 30 日）
- 3) 厚生労働省、水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等についての一部改正における留意事項について、薬生水発 0326 第 1 号、令和 3 年 3 月 26 日
- 4) 服部晋也ら、2008、PFOA・PFOS 等有機フッ素化合物の淀川水系での実態及び浄水処理性、水道協会雑誌、第 77 巻、第 3 号、pp. 2-11.
- 5) 服部晋也ら、2011、淀川水系および高度浄水処理過程における PFOA および PFOS の実態調査、用水と廃水、第 53 巻、第 3 号、pp. 49-57.
- 6) 稲田康志ら、2010、有機フッ素化合物の淀川水系における動向と浄水処理過程における挙動、日本水道協会関西地方支部第 54 回研究発表会概要集、pp. 79-82.
- 7) 稲田康志ら、2012、淀川水系の有機フッ素化合物の濃度推移とその要因、大阪市水道局水質試験所調査研究ならびに試験成績、第 63 集、pp. 24-30.
- 8) 大阪市水道局、2020、有機フッ素化合物の測定結果、大阪市水道局水質試験所調査研究ならびに試験成績、第 72 集、pp. 265.
- 9) 厚生労働省医薬・生活衛生局 水道課、水質管理目標設定項目の検査方法（平成 15 年 10 月 10 日付健水発第 1010001 号）（最終改正 令和 3 年 3 月 26 日）
- 10) 村上道夫ら、2010、フッ素系界面活性剤の水環境汚染の現況と今後の展望、水環境学会誌、第 33 巻、第 8 号 pp. 103-114.
- 11) 中村洋、2004、液クロの巻、筑波出版社
- 12) 厚生労働省、水道水質検査法の妥当性評価ガイドライン（平成 24 年 9 月 6 日付健水発 0906 第 1 号別添）（最終改正：平成 29 年 10 月 18 日付薬生水発 1018 号第 1 号）
- 13) 高木総吉ら、2021、水道水中におけるペルフルオロ及びポリフルオロアルキル化合物の分析法検討、水道協会雑誌、第 90 巻、第 6 号、pp. 2-15.

表-4 添加回収試験結果

化合物名	定量 下限値 (ng/L)	添加濃度 (検量線 下限値) (ng/L)	精製水試料		浄水試料			検量線	
			真度 (%)	併行精度 (%)	真度 (%)	併行精度 (%)	無添加試料 濃度 (ng/L)	濃度範囲 (ng/L)	決定係数 R ²
PFBS	1	5	83.9	13	91.2	7.7	1.1	5-50	1.000
PFPeS	1	5	90.4	13	107	12	<1	5-50	0.999
PFHxS	1	5	81.1	12	99.1	3.7	<1	5-50	0.999
PFHpS	1	5	83.3	8.2	84.3	11	<1	5-50	0.997
PFOS	10	10	85.2	18	98.3	13	<10	10-100	0.992
PFNS	10	10	121	5.3	123	6.6	<10	10-100	0.991
PFDS	10	10	91.8	12	85.0	16	<10	10-100	0.997
PFDoS	10	10	115	5.7	110	9.2	<10	10-100	1.000
PFBA	3	5	97.0	3.3	89.7	4.0	5.0	5-50	0.999
PFPeA	1	5	94.0	7.4	96.1	4.2	3.3	5-50	0.998
PFHxA	2	5	103	4.8	93.1	3.9	5.2	5-50	0.998
PFHpA	3	5	106	7.2	89.1	4.6	4.0	5-50	0.998
PFOA	2	5	95.9	10	83.4	5.1	11	5-50	0.998
PFNA	4	5	103	9.5	113	7.7	<4	5-50	0.997
PFDA	10	10	115	6.2	127	8.0	<10	10-100	0.999
PFUDA	7	7	104	10	107	15	<7	7-50	1.000
PFDoA	4	5	101	9.0	85.5	9.8	<4	5-50	0.998
PFTrDA	5	5	98.7	12	96.6	12	<5	5-50	0.996
PFTeDA	5	5	102	9.4	103	8.1	<5	5-50	0.997
PFHxDA	10	10	111	9.9	96.6	10	<10	10-100	0.997
PFOA	10	10	107	6.9	113	10	<10	10-100	0.998

高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を活用した 未規制農薬類の浄水処理過程における挙動調査

大阪市水道局 ○外山 義隆 中野 耕太
平林 達也 今中 壮一

1. はじめに

四重極型液体クロマトグラフ質量分析計（以下、LC/MS）は、主に水質検査等の定量分析に活用され、質量分析計のスタンダード機として広く普及しており、高感度での定量分析が可能である。しかし、分解能は高くなく、また、ガスクロマトグラフ質量分析計のようなライブラリも整備されていないことから、定性分析に優れているとは言い難い。一方、高分解能液体クロマトグラフ質量分析計（以下、LC/HRMS）は、高い分解能を有しており、近接した m/z のイオンを分離して、精密質量を取得することで組成式を推定できることから、定性に優れた装置と言える。

そこで、LC/HRMS の利点を活かし、網羅的に得られた情報をデータベースと照合することで、標準物質を用いなくても試料中に含まれる物質の推定が可能となる手法であるスクリーニング分析を用いて、淀川水系での存在実態が把握できていない微量有機物の調査を行った。

その結果、本市柴島浄水場原水から、「対象農薬リスト掲載農薬類」及び「要検討農薬類」に該当せず、これまで農薬類の測定対象としていない、「その他農薬類」のイマズスルフロンのイマズスルフロンの分類にも該当しないヘキサジノン及びメタゾスルフロンの抽出された。これら農薬類の浄水処理過程における挙動について知見がないことから、本稿では調査した結果を報告する。

2. 調査方法

2. 1 分析装置及び分析方法

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は、Q Exactive Focus（Thermo Fisher Scientific 製）を使用した。分析については、水質事故発生時の活用も想定していることから、迅速性を優先するため、濃縮は行わず前処理のみの直接注入によるスクリーニング分析法の検討を行った。また、スクリーニングと同時に定量を行う検討も行った。

2. 2 試薬

精製水は超純水製造装置（Milli-Q Integral 10、Merck 製）で精製したものを使用した。メタノール（関東化学製）及び酢酸アンモニウム（ジーエルサイエンス製）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。ヘキサジノン（Dr. Ehrenstorfer 製）、メタゾスルフロンの（富士フィルム和光純薬製）、イプフェンカルバゾン（富士フィルム和光純薬製）及びテフルトリオン（富士フィルム和光純薬製）、の標準品は残留農薬試験用を使用した。

2. 3 試料の採取及び前処理

試料の採取には 15mL ポリプロピレン製遠沈管（サンプラテック製）を使用し、満水にして直ちに密栓した。残留オゾン及び残留塩素が含まれる試料は、0.3w/v%チオ硫酸ナトリウム溶液を予め 50 μ L 加えたものに採取した。その後、採取した試料に 10%量のメタノールを加えて混合し、LC/MS 用スクリュウバイアル（Waters 製）に分取した。濁質分を有する試料については、10%量のメタノールを加えて混合し、1.5mL マイクロチューブ（Corning 製）に分取したものを、遠心分離（8000G、20 分）し、上澄み 500 μ L をスクリュウバイアルに採ったものを分析に用いた。

2. 4 本市の浄水処理フロー及び採水地点

本市の浄水処理フローを図-1に示す。淀川の表流水を原水として取水し、急速砂ろ過池の前後に2段のオゾン処理、後段に粒状活性炭（以下、GAC）処理を配置した高度浄水処理を採用している。中オゾン接触池では、溶存オゾン濃度に基づくフィードバック制御を基本としているが、高水温期は、オゾンの自己分解量が多く、溶存オゾン濃度制御が困難であることから、注入率制御（0.7mg-O₃/L）を行っている。後オゾン接触池においては、臭素酸生成抑制の観点から溶存オゾン濃度と接触時間の積が 2.5mg-O₃・min/L（CT2.5）となるよう、溶存オゾン濃度を設定し、溶存オゾン濃度に基づくフィードバック制御を行っている。

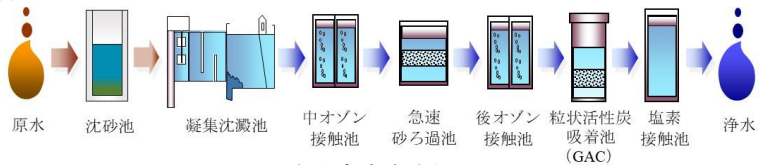


図-1 本市高度浄水処理フロー

採水地点については、本市柴島浄水場原水と、浄水処理過程は、凝集沈澱処理水、中オゾン処理水、急速砂ろ過処理水、後オゾン処理水、GAC 処理水及び浄水とした。

2. 5 調査対象農薬

農薬類は、「対象農薬リスト掲載農薬類」が水質管理目標設定項目の1つに区分されている。さらに、「対象農薬リスト掲載農薬類」に該当しないが、検出状況等により、「要検討農薬類」、「その他農薬類」、「除外農薬類」に分類される。本調査で対象とした農薬類は、本市の測定対象に含まれておらず、「その他農薬類」または何れの分類にも該当しない農薬であるものの、近畿5府県の出荷量が比較的多い表-1に示すものとした。

表-1 調査対象農薬の近畿5府県出荷量(2019年度)

農薬名	分子式	用途	近畿5府県出荷量(t/year)
アミスプロロム	C13H13BrFN5O4S2	殺菌剤	0.9
インツアニル	C11H5Cl2N3OS	殺菌剤	1.6
イマズスルフロン	C14H13ClN6O5S	除草剤	1.4
クロラントラニプロール	C18H14BrCl2N5O2	殺虫剤	0.8
ビリフルキナゾン	C19H15F7N4O2	殺虫剤	0.7
フェノキサスルホン	C14H17Cl2NO4S	除草剤	0.8
プロジアミン	C13H17F3N4O4	除草剤	2.1
プロスルホカルブ	C14H21NOS	除草剤	14.0
ヘキサジノン	C12H20N4O2	除草剤	2.5
メタズスルフロン	C15H18ClN7O7S	除草剤	1.5

3. 結果及び考察

3. 1 分析条件

スクリーニング分析の条件を表-2に示す。測定手法は、フルスキャンと Data Independent Acquisition (以下、DIA) を併行して測定するメソッドを採用した。DIA は、イオン強度に関わらず、フルスキャンで設定した m/z の範囲における、検出可能な全成分に関するプリカーサイオン及びフラグメントイオンの精密質量スペクトルを取得できる方法であり、データの取りこぼしを最小限に抑えることができる特徴を持つ。DIA でデータを取得しておくことにより、ターゲット若しくはノンターゲットのスクリーニングに対応したデータと同時に、定量データの取得が可能となる。また、将来の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解析することが可能となる。

フラグメンテーションには Stepped Collision Energy モードを採用し、3パターンのコリジョンエネルギーでフラグメント化することで、最適なコリジョンエネルギーが不明な未知物質であっても、構造情報を取得することが可能となる。また、本装置は四重極型と同様、イオン化の正負極性切替が行えるため、正極(以下、pos)、負極(以下、neg)の同時分析が可能である。しかし、表-2の条件で pos、neg の同時分析を行うと、スキャンポイント数が減少したため、分解能を下げること、スキャンポイント数を増加させることを検討したが、本調査では pos、neg は別々に分析し、定性能を優先させることにした。

一例として、テフルトリオンを表-2の条件で分析し、データベース検索した結果を図-2に示す。プリカーサイオンは、理論 m/z460.1191 に対して m/z460.1185 で検出され、保持時間、同位体パターン及びプロダクトイオンパターンについても高い一致度を示していることから、この7.98分に検出されたピークはテフルトリオンであることが推定される。このように、データベースの情報と照合することで、標準物質を用いずに物質の検出及び推定が可能であることが示された。

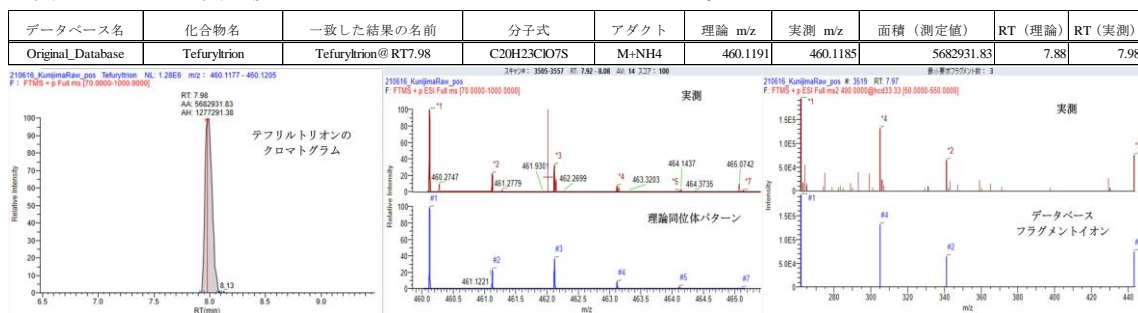


図-2 データベース検索結果の一例

表-2 分析条件

【LC条件】

LC	Thermo Fisher Scientific	Vanquish Flex UHPLC							
Column	Waters ACQUITY UPLC BEH C18 1.7µm 2.1×100mm								
Mobile phase	A	100mM Ammonium Acetate							
	B	Methanol							
	C	H ₂ O							
Flow rate	0.3mL/min								
Injection vol.	50µL								
Column temp.	40°C								
Gradient	Time[min]	0	3	13	16	16.01	20	20.01	30
	A[%]	5	5	5	5	5	5	5	5
	B[%]	2.5	2.5	92.5	92.5	95	95	2.5	2.5
	C[%]	92.5	92.5	2.5	2.5	0	0	92.5	92.5

【MS条件】

MS	Thermo Fisher Scientific	Q Exactive Focus
Ionization mode	ESI	
Spray voltage	positive/3500V	negative/2500V
Capillary temp.	250°C	
Aux gas heater temp.	300°C	
Sheath gas	50arb	
Aux gas	15arb	
S-Lens level	50	
【Full Scan】	Resolution	70000(FWHM)
	Mass width	m/z 70~1000
	Resolution	17500(FWHM)
【DIA】	Isolation range	m/z 70~250, 250~550, 550~1000
	Stepped (N) CE	15, 35, 50 eV

次に、表-2の条件で得たデータを定量解析した結果の感度と妥当性を確認するため、液体クロマトグラフ-タンデム四重極型質量分析計（以下LC/MS/MS）で定量した結果との比較を行った。柴島浄水場原水で検出された農薬類、テフリトリオン及びイプフェンカルバゾンの定量結果の比較を表-3に示す。LC/MS/MSと比較すると感度は劣るものの、スクリーニング分析と併行して簡易的な定量は十分行えることを確認した。

3. 2 柴島浄水場原水の分析結果

3. 2. 1 スクリーニング分析結果

スクリーニング分析により得られたデータから、表-1に示す農薬類についてデータベース検索した結果、その他農薬類に分類されるイマゾスフロロン、何れかの分類にも該当しない、ヘキサジノン及びメタゾスフロロンと推定される農薬が検出された（図-3）。イマゾスフロロンについては、標準物質が入手できていないため、同定に至っていないが、ヘキサジノン及びメタゾスフロロンについては、標準品と照合した結果、同位体パターン、フラグメントパターン及び保持時間が一致していることを確認した。

ヘキサジノンの検出結果については、降雨の影響と考えられる変動は認められたが、季節的な変化はみられなかった。ヘキサジノンは、樹木等における雑草防除剤として使用されており¹⁾、水稲用除草剤と比べ季節による使用量の増減は小さいと考えられた。メタゾスフロロンは、主に水稲用除草剤として使用されており²⁾、検出状況については、5月中旬から6月下旬にかけて高い面積値で推移した。本農薬の使用時期は田植後であることから³⁾、検出結果に矛盾は無いと考えられた。イマゾスフロロンと推定される物質は、3月下旬から5月中旬にかけて検出され、5月19日以降は検出されなかった。本農薬は主に水稲及び芝用除草剤として使用されており、出芽前から生育初期の散布が有効であることから⁴⁾、検出結果に矛盾は無いと考えられた。

3. 2. 2 定量分析結果

ヘキサジノンの一日摂取許容量（以下、ADI）は0.049（mg/kg 体重/日）⁵⁾、メタゾスフロロンのADIについては、0.027（mg/kg 体重/日）と設定されている⁶⁾。これを厚生労働省水質基準逐次改正検討会で明示されている算出方法⁷⁾に基づき評価値を算出したところ、ヘキサジノンは122.5 μ g/L、メタゾスフロロンは67.5 μ g/Lであった。

ヘキサジノン及びメタゾスフロロンの定量結果を図-4に示す。図-3に示した面積値による結果からも示されたように、ヘキサジノンについては顕著な増減はみられず、最高値は0.014 μ g/Lであった。一方、メタゾスフロロンは、田植の時期である5月中旬から6月下旬に検出濃度は上昇し、本調査での最高値は0.058 μ g/Lであった。この結果から、柴島浄水場原水で検出されたヘキサジノン及びメタゾスフロロンの濃度は、最高値においても評価値と比較して低濃度であることが示された。

3. 3 浄水処理過程における挙動

次に、ヘキサジノン及びメタゾスフロロンの浄水処理過程における挙動を調べた。その結果を表-4及び

表-3 定量比較

採水日	イプフェンカルバゾン (μ g/L)		テフリトリオン (μ g/L)	
	LC/MS/MS	LC/HRMS	LC/MS/MS	LC/HRMS
2021/5/6	0.00169	N.D	0.02307	0.025
5/13	0.00204	N.D	0.03546	0.041
5/19	0.00569	N.D	0.11707	0.109
5/27	0.00787	0.009	0.11903	0.130
6/2	0.01946	0.010	0.22497	0.162
6/9	0.01655	0.012	0.27078	0.289
6/16	0.01900	0.020	0.53615	0.631
6/23	0.00895	0.013	0.21673	0.264
6/30	0.00846	0.003	0.27494	0.289

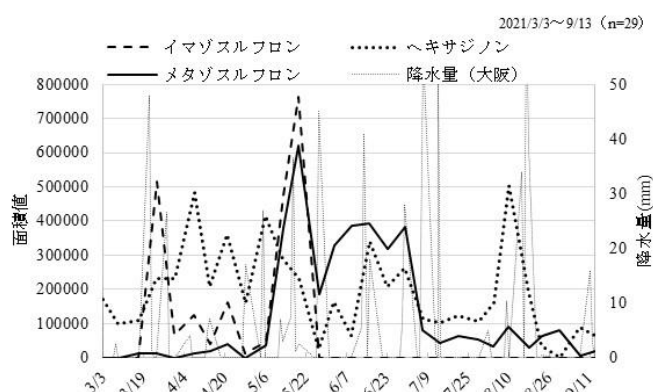


図-3 柴島浄水場原水の検出状況（面積値）

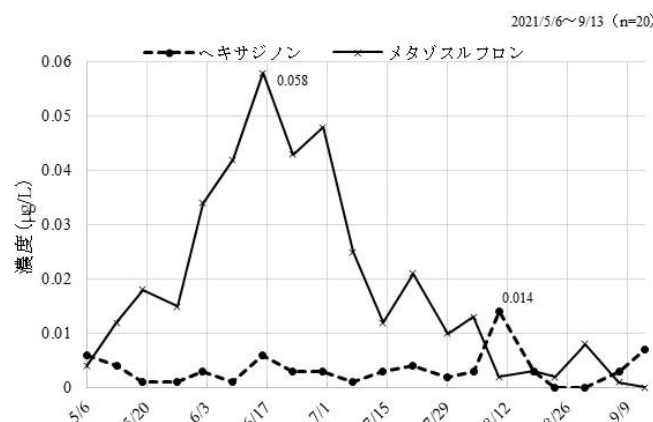


図-4 柴島浄水場原水の検出状況（定量値）

表-5に示す。両農薬とも原水と比較して凝集沈澱池で一定除去されている傾向がみられ、中オゾン接触池では顕著に濃度が低下していることから、両農薬ともオゾン処理が有効であることが示された。

ヘキサジンは、トリアジン系農薬であり(図-5)、トリアジン骨格はオゾンとの反応性は低いとされるが⁸⁾、トリアジン骨格に結合するジメチルアミンはオゾンとの反応性があることから⁸⁾、オゾン処理により分解したと考えられた。メタゾスルフロンは、スルホニルウレア系農薬であり(図-6)、スルホニルウレア骨格は構造上オゾンとの反応性は高くはないと考えられるが、側鎖のピラゾール構造はオゾンとの反応性を有することから⁹⁾、オゾン処理によって分解したと考えられた。両農薬とも中オゾン処理で低減されていることから、急速砂ろ過池以降は低濃度であり評価することが困難となるが、両農薬とも急速砂ろ過池での効果は期待できない挙動を示した。調査時期が高水温期であり、生物処理能は十分に機能していることを鑑みると、急速砂ろ過池におけるヘキサジン及びメタゾスルフロンの処理性は低いと考えられた。また、後オゾン接触池においては、中オゾン接触池同様、両農薬とも減少しているが、日によっては残存が認められたことから、条件によっては後オゾン接触池で完全に分解できない可能性があることが示唆された。GAC処理水及び浄水については、ヘキサジンはGAC処理水及び浄水で検出される日が見られた。メタゾスルフロンについては、GAC処理水での検出は認められなかったものの、浄水で検出される日が見られた。これらの結果から、条件等によってヘキサジン及びメタゾスルフロンは、浄水処理過程で完全に除去されず残存する可能性があることが示唆された。本調査における浄水での最高検出濃度は、ヘキサジンで0.002 $\mu\text{g/L}$ 、メタゾスルフロンで0.008 $\mu\text{g/L}$ であり、低濃度であることから3.2.2で示したとおり、健康影響等の問題はないと考えられた。

ヘキサジンは、トリアジン系農薬であり(図-5)、トリアジン骨格はオゾンとの反応性は低いとされるが⁸⁾、トリアジン骨格に結合するジメチルアミンはオゾンとの反応性があることから⁸⁾、オゾン処理により分解したと考えられた。メタゾスルフロンは、スルホニルウレア系農薬であり(図-6)、スルホニルウレア骨格は構造上オゾンとの反応性は高くはないと考えられるが、側鎖のピラゾール構造はオゾンとの反応性を有することから⁹⁾、オゾン処理によって分解したと考えられた。両農薬とも中オゾン処理で低減されていることから、急速砂ろ過池以降は低濃度であり評価することが困難となるが、両農薬とも急速砂ろ過池での効果は期待できない挙動を示した。調査時期が高水温期であり、生物処理能は十分に機能していることを鑑みると、急速砂ろ過池におけるヘキサジン及びメタゾスルフロンの処理性は低いと考えられた。また、後オゾン接触池においては、中オゾン接触池同様、両農薬とも減少しているが、日によっては残存が認められたことから、条件によっては後オゾン接触池で完全に分解できない可能性があることが示唆された。GAC処理水及び浄水については、ヘキサジンはGAC処理水及び浄水で検出される日が見られた。メタゾスルフロンについては、GAC処理水での検出は認められなかったものの、浄水で検出される日が見られた。これらの結果から、条件等によってヘキサジン及びメタゾスルフロンは、浄水処理過程で完全に除去されず残存する可能性があることが示唆された。本調査における浄水での最高検出濃度は、ヘキサジンで0.002 $\mu\text{g/L}$ 、メタゾスルフロンで0.008 $\mu\text{g/L}$ であり、低濃度であることから3.2.2で示したとおり、健康影響等の問題はないと考えられた。

イマズスルフロンと推定される物質については、5月19日以降検出されなかったことから、面積値による処理性評価も行えなかった。

4. まとめ

- 1) LC/HRMS を用いてスクリーニング分析及び定量分析が併行して行えることを確認した。
- 2) 柴島浄水場原水をスクリーニング分析した結果、その他農薬類のイマズスルフロンと推定される物質が検出され、また、農薬類の何れの分類にも該当しないヘキサジン及びメタゾスルフロンが検出された。
- 3) ヘキサジン及びメタゾスルフロンについて定量を行った結果、本調査における柴島浄水場原水の最高値はヘキサジンが0.014 $\mu\text{g/L}$ 、メタゾスルフロンが0.058 $\mu\text{g/L}$ であった。
- 4) 本市の浄水処理過程におけるヘキサジン及びメタゾスルフロンの挙動を調査した結果、両農薬とも中オゾン処理で低減されている傾向を確かめることができた。

5. 参考文献

- 1) 一般社団法人日本植物防疫協会：農薬ハンドブック pp.720-721、2016
- 2) 一般社団法人日本植物防疫協会：農薬ハンドブック pp. 666-667、2016
- 3) 日産化学株式会社：製品紹介一覧、https://www.nissan-agro.net/data/propdf/23223_pro.pdf
- 4) 一般社団法人日本植物防疫協会：農薬ハンドブック pp. 678-680、2016
- 5) 内閣府食品安全委員会：食品安全総合情報システム、<https://www.fsc.go.jp/fscis/evaluationDocument/show/kya20070306012>
- 6) 内閣府食品安全委員会：食品安全総合情報システム、<https://www.fsc.go.jp/fscis/evaluationDocument/show/kya20101210343>
- 7) 厚生労働省：令和3年度第1回水質基準逐次改正検討会、農薬類の目標値の見直し等について、<https://www.mhlw.go.jp/content/10901000/000798941.pdf>
- 8) 吉田隆、NTS：OHラジカル類の生成と応用技術、pp.232-233、2008
- 9) 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、pp.2-15、2019

表-4 浄水処理におけるヘキサジンの濃度変化

2021/6/23~9/13 (n=13)

	原水	凝集沈澱池流出	中オゾン接触池流出	急速砂ろ過池流出	後オゾン接触池流出	GAC流出	浄水
平均値 ($\mu\text{g/L}$)	0.0035	0.0032	0.0007	0.0006	0.0002	0.0002	0.0002
最高値 ($\mu\text{g/L}$)	0.014	0.009	0.004	0.003	0.001	0.001	0.002

表-5 浄水処理におけるメタゾスルフロンの濃度変化

2021/6/23~9/13 (n=13)

	原水	凝集沈澱池流出	中オゾン接触池流出	急速砂ろ過池流出	後オゾン接触池流出	GAC流出	浄水
平均値 ($\mu\text{g/L}$)	0.0145	0.0132	0.0031	0.0043	0.0006	0.0000	0.0006
最高値 ($\mu\text{g/L}$)	0.048	0.036	0.014	0.017	0.008	0.000	0.008

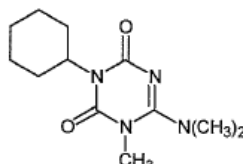


図-5 ヘキサジン

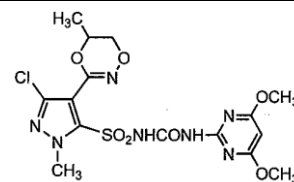


図-6 メタゾスルフロン

高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を活用した 淀川水系における農薬類の実態調査

大阪市水道局 中野耕太 外山義隆 平林達也 今中壮一

1 はじめに

高分解能液体クロマトグラフ質量分析(以下、LC/HRMS)は、高い分解能を有し、精密質量を取得できることから、試料中に含まれる微量有機物の定性分析に優れている。本市では、安全で良質な水道水を供給するために、水源から給水栓末端に至る総合的な水質管理を行っているが、その精度をより高めるために将来の水源水質の動向を把握することは重要であることから、LC/HRMSの利点を活かし、網羅的に得られた情報をデータベースと照合することで、試料中に含まれる物質の推定が可能となるスクリーニング分析を行い、現在把握できていない淀川原水中に含まれる微量有機物の存在実態を調査した。

今回は、淀川水系に存在している微量有機物として農薬類に着眼し、データベース検索を行った結果について報告する。

2 調査条件

2.1 標準試料

農薬標準品は、富士フィルム和光純薬工業製農薬混合標準液(WQ-1-2、2、3、4、6、9)および、農薬標準品原体としてアミトラズ、オキシ銅、クロルニトロフェン(CNP)アミノ体、チオファネートメチル、クロラントラニプロール、イブフェンカルバゾン、メタゾスルフロン(富士フィルム和光純薬製)、2,2-DPA(ダラボン)(関東化学製)、メチル N-(1H-ベンツイミダゾール-2-イル)カーバメート(MBC)およびヘキサジノン(Dr. Ehrenstorfer 製)を使用し、各 0.5 µg/L(フェンチオン(MPP)およびその代謝物、イプロジオンについては 1 µg/L)の 10%メタノール標準溶液を調製した。ただし、カルタップはネライストキシンとして、ペノミルは MBC として測定した。

2.2 測定方法及び分析条件

表 1 装置及び分析条件

試料に 10%量のメタノールを加えて混合したものを供試水とし、表 1 に示す条件で LC/HRMS により測定した。濁質分を含む試料については、試料に 10%量のメタノールを加えて混合したものを 1.5 mL ポリプロピレン製遠沈管に入れ、8000×g で 20 分間遠心分離して濁質を除去した。

本調査における農薬類の検出可否は、以下の条件をすべて満たした場合に「検出可能」と判断した。

【標準試料】

○感度：0.5 µg/L 標準試料のピーク面積値が 500,000 以上であること。

○保持：保持時間が 1 分以上であること(カラムに保持されていること)。

○妨害：ブランク試料(10%メタノール水溶液)測定時に、同一保持時間にピークが存在しないこと。

【未知試料】

○感度：ピーク面積値が 50,000 以上であること。

○保持：標準試料との保持時間の差が ±0.05 min 以内であること。

○妨害：ブランク試料(10%メタノール水溶液)測定時に同一保持時間にピークが存在しないこと。

【LC条件】

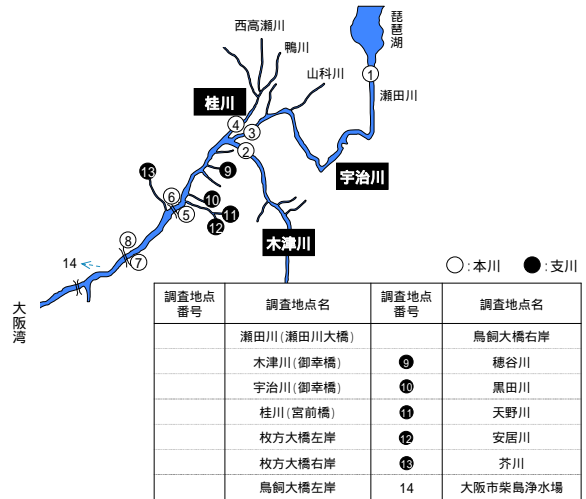
LC		ThermoFisherScientific Vanquish Flex UHPLC								
Column		Waters ACQUITY UPLC BEH C18 1.7µm 2.1×100mm								
Mobile phase	A	100mM Ammonium Acetate								
	B	Methanol								
	C	H ₂ O								
Flow rate		0.3mL/min								
Injection vol.		50µL								
Column temp.		40								
Gradient	Time [min]	0	3	13	16	16.01	20	20.01	30	
	A [%]	5	5	5	5	5	5	5	5	
	B [%]	2.5	2.5	92.5	92.5	95	95	2.5	2.5	
	C [%]	92.5	92.5	2.5	2.5	0	0	92.5	92.5	

【MS条件】

MS		ThermoFisherScientific Q Exactive Focus	
Ionization mode		ESI	
Spray voltage		positive/3500V negative/2500V	
Capillary temp.		250	
Aux gas heater temp.		300	
Sheath gas		50arb	
Aux gas		15arb	
S-Lens level		50	
【Full Scan】			
Resolution		70000(FWHM)	
Mass width		m/z 70 ~ 1000	
【DIA】			
Resolution		17500(FWHM)	
Isolation range		m/z 70 ~ 250, 250 ~ 550, 550 ~ 1000	
Stepped (N) CE		15, 35, 50 eV	

2.3 採水地点および頻度

本調査における採水地点を図1に示す。浄水場原水として、本市の中で淀川の最下流に位置する柴島浄水場原水を令和3年4月～8月に月4～5回採水した(N=22)。また、本川試料は図1の～の地点で4月および7月に採水した(N=2)。支川試料は⑨～⑬の地点で、5月に採水した(N=1)。



3 結果と考察

3.1 標準試料による農薬類の検出試験

本市の水質検査計画で定める農薬試験の測定対象となっている成分が本分析条件で測定可能であるか確認するために、標準試料を用いて検出試験を行った。附表に農薬混合標準試料の測定結果を示す。農薬類(水質管理目標設定項目15)の対象農薬リストに掲載されている農薬(以下、対象リスト農薬)については、測定対象とした100農薬114化合物のうち、86の対象リスト農薬が本手法で検出可能であることがわかった。ダラボン、EPN、オキシ銅、カルタップ(ネライストキシン)、キャプタン、クロロニトロフェン、シアノホス、ジクロロベニル、ジスルホトン、トリクロピル、トリフルラリン、フェニトロチオンおよびプロシミドンはピークが未検出、もしくは感度が不十分であったため、本手法では測定不可とした。また、チウラムは同一保持時間に大きな妨害ピークが認められ、アシュラムはほぼ保持されなかったことから、これらも測定不可と判断した。

また、要検討農薬、除外農薬、その他農薬および前年度の柴島原水スクリーニングによって検出されたヘキサジノン、メタゾスルフロンおよびクロラントラニプロールについても同様に標準試料を測定した結果、イプロジオン、ペントキサゾン、クロロピリホスメチル、メタミドホス、クロロネブ、トルクロホスメチル、ピフェノックスを除く82種類が検出可能であった。

以上より、本分析条件では、標準試料で測定対象とした188種類のうち、170種類の農薬が検出可能であると判断した。

図1 淀川本川、支川における実態調査地点

表2 柴島原水における農薬の検出回数

番号	農薬名	用途	4月	5月	6月	7月	8月	合計	農薬名	用途	4月	5月	6月	7月	8月	合計	
3	2,4-D(2,4-PA)	除草剤	4	0	1	0	0	5	要	アセチムプリド	殺虫剤	0	0	0	0	1	1
4	アトラジン	除草剤	4	3	0	0	1	13	要	メタゾスルフロン	殺虫剤	0	1	0	0	1	2
15	イソプロチオラン(PT)	殺菌剤	2	3	4	2	18	要	イブフェンプロックス	殺虫剤	0	0	0	0	0	0	
20	エトフェンプロックス	殺虫剤	1	1	0	0	0	2	要	エチプロロール	殺虫剤	0	0	0	0	4	4
24	オリサストロビン	殺菌剤	4	4	4	4	5	22	要	テブコナゾール	殺菌剤	2	0	0	0	4	6
26	カブエンストロール	殺菌剤	0	0	4	0	0	4	要	プロマシル	殺菌剤	3	4	5	4	5	21
39	シアナジン	殺菌剤	0	3	4	0	2	9	要	メトラクロール	殺菌剤	4	3	5	2	0	14
41	ジウロン(DCMU)	殺菌剤	4	4	4	4	22	他	クロチアニジン	殺虫剤	4	4	2	0	3	13	
50	シメトリン	殺菌剤	0	2	3	4	3	16	他	クロチアジド	殺虫剤	0	0	0	0	1	1
52	シメトリン	殺菌剤	4	4	4	4	3	23	他	ジノテフラン	殺虫剤	4	1	0	0	3	8
52	シメトリン	殺菌剤	0	0	0	0	1	1	他	ジメピレレート	殺菌剤	0	0	3	0	3	
54	ダイムロン	殺菌剤	4	4	4	4	5	22	他	シラフルオフェン	殺虫剤	2	0	1	1	4	
59	チオファネートメチル	殺菌剤	0	0	0	0	2	2	他	チメトキサム	殺虫剤	0	0	0	0	1	1
61	テフリルトリオン	殺菌剤	4	4	4	4	5	22	他	ビメトロジン	殺虫剤	0	0	0	1	0	1
65	トリシクラゾール	殺菌剤	3	2	0	1	3	11	他	ピロミハクメチル	殺菌剤	0	2	0	1	0	3
70	ピラクロニル	殺菌剤	1	3	4	4	4	17	他	アズメビル	殺菌剤	0	0	0	0	4	4
70	ピラクロニル	殺菌剤	4	4	4	4	5	22	他	モノクロトホス	殺虫剤	0	0	0	0	1	1
78	フェノキカルブ(PMC)	殺虫剤	0	0	0	0	1	1	除	アゾキシストロビン	殺菌剤	3	3	5	4	4	19
79	フェリムゾン	殺菌剤	0	0	0	0	4	4	除	シフェロン	殺菌剤	0	3	1	0	0	4
86	プロブフェジン	殺菌剤	0	0	3	0	0	3	除	ハロスルフロンメチル	殺菌剤	1	0	0	0	1	1
91	プロビコナゾール	殺菌剤	2	0	0	0	1	3	除	フルトラニル	殺菌剤	0	0	3	4	4	11
92	プロビシミド	殺菌剤	1	0	0	0	4	5	除	ベシスルフロンメチル	殺菌剤	0	2	3	0	0	5
94	ベノミル	殺菌剤	4	4	4	4	4	21	除	ヘキサジノン	殺菌剤	9	2	6	4	2	16
96	ペンタゾン	殺菌剤	3	1	1	0	2	7	除	メタゾスルフロン	殺菌剤	1	3	1	0	0	5
99	ペンタゾン	殺菌剤	2	4	5	4	3	20									
100	ペンタメタリン	殺菌剤	0	0	0	0	1	1									
105	マラチオン(マラソン)	殺虫剤	0	0	1	0	1	2									
106	メコプロップ(MCPP)	殺菌剤	4	3	0	0	0	7									
110	メトミノストロビン	殺菌剤	1	0	2	1	3	7									
112	メフェナセット	殺菌剤	1	0	2	1	2	6									
113	メゾニル	殺菌剤	1	0	2	4	2	9									

番号/種別について、対象リスト農薬については通知番号を示し、それ以外の農薬については、要検討農薬:要、その他農薬:他、除外農薬:除とした。ヘキサジノンおよびメタゾスルフロンについては、リストへの掲載がないが、前年度のスクリーニング分析により柴島原水に存在する可能性が示唆された農薬である。測定月ごとの検出結果について、数字は検出回数を示す。調査回数は、4、5、7月が4回、6、8月が5回である。

表3 頻繁に検出された農薬の淀川水系における出荷量(t)

番号	農薬名	用途	15年	16年	17年	18年	19年	合計
8	アトラジン	除草剤	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6	2.3
15	イソプロチオラン(PT)	殺菌剤	3.6	4.8	4.6	3.7	4.2	20.8
24	オリサストロビン	殺菌剤	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.5
41	ジウロン(DCMU)	除草剤	8.2	7.8	7.4	6.2	10.1	39.7
50	ジメタメトリン	除草剤	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	2.9
52	シメトリン	殺菌剤	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.8
54	ダイムロン	除草剤	6.5	8.9	10.1	9.7	13.2	48.4
61	テフリルトリオン	除草剤	4.7	4.3	6.2	9.9	9.2	34.2
65	トリシクラゾール	殺菌剤	2.4	2.0	2.1	1.6	1.8	10.1
70	ピラクロニル	殺菌剤	8.7	8.1	8.0	5.3	8.9	39.1
75	ピロキロン	殺菌剤	13.8	13.6	14.4	12.9	7.4	62.1
94	プロモブチド	除草剤	36.9	39.4	35.1	20.6	28.9	160.9
95	ベノミル	殺菌剤	2.5	2.2	2.1	2.3	1.9	11.0
99	ペンタゾン	除草剤	21.4	21.1	22.4	21.8	27.7	114.4
110	メトミノストロビン	殺菌剤	2.5	3.0	3.2	1.5	1.4	11.6
112	メフェナセット	除草剤	10.4	7.2	5.7	4.2	2.9	30.4
要	プロマシル	殺菌剤	5.8	6.1	6.2	6.8	7.2	32.1
要	メトラクロール	除草剤	1.9	1.9	3.0	3.4	3.2	13.3
他	クロチアニジン	殺虫剤	3.9	4.0	3.8	3.8	3.9	19.4
他	ジノテフラン	殺虫剤	7.5	7.1	7.3	6.9	6.8	35.6
除	アゾキシストロビン	殺菌剤	1.3	1.7	1.7	1.9	3.4	9.9
除	フルトラニル	殺菌剤	1.2	0.8	0.6	0.6	1.1	4.2
検	ヘキサジノン	除草剤	0.0	0.1	0.2	1.1	2.5	4.8

3.2 淀川水系におけるスクリーニング分析

3.2.1 柴島浄水場原水

表2に測定月ごとの農薬の検出回数を示すが、4月～8月にかけて56の農薬が検出された。オリサストロビン、ジウロン(DCMU)、シメトリン、ダイムロン、テフリルトリオン、ピロキロン、プロモブチド、およびベノミル(MBC)が調査期間を通して頻繁に検出された一方で、時期により検出頻度が異なる農薬もあった。たとえば、フェノキ酸系除草剤である2,4-D(2,4-PA)やメコプロップ(MCPP)、トリアジン系除草剤のアトラジンは主に4月に検出された。また、メトミノストロビン、フェリムゾンなどの殺菌剤や、エトフェンプロックスを除く殺虫剤は6月以降に頻繁に検出される傾向があった。

全体を通して稲に適用がある農薬が多く検出されており、特に田植えが始まる5～6月にかけて水稲用の除草剤の検出数が増え、7～8月にかけては水稲用の殺虫剤、殺菌剤の検出数

が増えていたことから、柴島浄水場原水は水稲用農薬の影響を大きく受けていることが考えられた。

10 回以上検出された農薬について、2015～19 農薬年度の淀川水系における出荷量を表 3 に示した。なお、出荷量データは、淀川水系 5 府県（大阪、奈良、京都、滋賀、三重）の合計量となっている。

過去 5 年間で 10 t 以上出荷されているものが多く、特に長期にわたって頻繁に検出されているジウロン、ダイムロン、プロモブチドおよびベンタゾンには 2019 年度には 10t 以上の出荷実績があったことから、主には現在も多く使われている農薬が検出されたと考えられる。一方で、オリサストロピンは出荷量が少なく、2018, 19 年には出荷実績が確認されなかったにも関わらず、すべての測定で検出された。期間を通してピーク面積値の変動が小さいことと、水中光分解性が短い(0.8 日(東京春季太陽光換算 1.7 日)(pH7 滅菌自然水、25°C、152W/m²、290-800nm)) ことから、土壌中に残留したものが徐々に放出されている可能性が考えられた。

3.2.2 淀川本川調査

表 4 に淀川本川のスクリーニング結果を示す。4 月は 29 種類、7 月は 28 種類の農薬が検出された。時期による検出傾向については 3.2.1 に示した柴島原水のスクリーニング結果と概ね一致した。

下流部の枚方大橋、鳥飼大橋では概ね同様の農薬が検出されている一方で、上流部では違いがみられた。桂川では全体的に検出数が少なく、特に水稲用農薬が少ない傾向にあった。また、瀬田川では殺菌剤や殺虫剤の検出数が比較的少なかった。

3.2.3 淀川支川調査

5 月に行った淀川支川のスクリーニング結果を表 5 に示す。33 種類の農薬が検出された。全体として、穂谷川、黒田川、天野川および芥川では柴島浄水場原水と同様の傾向を示した。一方で、安居川は他の支川と比較すると検出される農薬が異なり、アミトラズやキノクラミン(ACN)、アセフェートなどが検出された。

4 まとめ

本調査により、以下に示す知見を得ることができた。

- 1) LC/HRMS を用いて、現在測定している農薬の混合標準液を測定した結果、188 種類中 170 種類の農薬を検出することができた。
- 2) 4 月～8 月の柴島原水に含まれる農薬のスクリーニング分析を行った結果、60 種類の農薬が検出された。時期ごとに検出頻度が異なる農薬が存在し、常時頻繁に検出される農薬、5 月以前に検出される農薬、6 月以降に検出される農薬に大別された。
- 3) 淀川本川および支川の農薬のスクリーニング分析を行った結果、35 種類の農薬が検出された。本川では上流三川(木津川、宇治川、桂川)間で検出される農薬の傾向に差がみられた。支川では安居川で検出される農薬が柴島浄水場原水と異なる傾向にあった。

今後、より高度な水源水質監視を行うために、継続した実態調査と行うとともに、製造メーカーが cloud 上に提供しているデータベースを活用し、スクリーニング対象物質を拡大させる予定としている。

表 4 淀川本川調査における農薬類スクリーニング結果

番号/種類	農薬名	用途	4月						7月									
			瀬田川	木津川	宇治川	桂川	枚方左岸	枚方右岸	鳥飼左岸	鳥飼右岸	瀬田川	木津川	宇治川	桂川	枚方左岸	枚方右岸	鳥飼左岸	鳥飼右岸
8	アトラジン	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15	イソプロチオラン(PT)	殺菌剤					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	エトフェンプロックス																	
24	オリサストロピン		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
41	ジウロン(DCMU)	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
52	シメトリン	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
54	ダイムロン	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
61	チフルトリオン	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
65	トリシクラゾール	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
70	ピラクロニル	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
75	ピロキロン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
79	フェニプロルブ(BPMAC)	殺菌剤											○	○	○	○	○	
82	プロピザミド	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
94	プロモブチド	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
95	ベノミル	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
99	ベンタゾン	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
100	ペンチメタリン	除草剤											○	○	○	○	○	○
106	メコプロップ(MCPP)	除草剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
110	メトミストロピン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
112	メフェナセツト	殺菌剤											○	○	○	○	○	○
113	メブロニル	殺菌剤											○	○	○	○	○	○
要	イブフェンカルバゾン	除草剤											○	○	○	○	○	○
要	エチプロル	殺菌剤											○	○	○	○	○	○
要	プロマシ	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
要	メトラクロー	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
他	クロチアニジン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
他	ジノチフラン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
他	シラフルメフェン	殺菌剤					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
他	ピリミノックスチル	殺菌剤											○	○	○	○	○	○
他	アゾキシストロピン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
他	ハロスルフロメチル	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
検	ヘキサジノン	殺菌剤	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
検	メタスルフロ	殺菌剤																

検出された農薬を○印で示している。

表 5 支川調査における農薬類スクリーニング結果

番号	農薬名	用途	穂谷川	黒田川	天野川	安居川	芥川
5	MCPA	除草剤		○			
7	アセフェート	殺菌剤		○		○	
8	アトラジン	除草剤	○	○			
10	アミトラズ	殺菌剤		○		○	
30	キノクラミン(ACN)	殺菌剤				○	
32	クミルロン	除草剤				○	
41	ジウロン(DCMU)	除草剤	○	○	○	○	○
52	シメトリン	除草剤	○	○	○	○	○
54	ダイムロン	除草剤	○	○	○	○	○
61	チフルトリオン	除草剤	○	○	○	○	○
65	トリシクラゾール	殺菌剤	○	○	○	○	○
70	ピラクロニル	殺菌剤			○	○	○
75	ピロキロン	殺菌剤	○	○	○	○	○
94	プロモブチド	除草剤	○	○	○	○	○
95	ベノミル	殺菌剤	○	○	○	○	○
96	ベンシクロ	殺菌剤	○	○	○	○	○
99	ベンタゾン	除草剤	○	○	○	○	○
106	メコプロップ(MCPP)	除草剤	○	○	○	○	○
要	イブフェンカルバゾン	除草剤					○
要	テブコナゾール	殺菌剤	○	○	○	○	○
要	プロマシ	殺菌剤	○	○	○	○	○
要	メトラクロー	殺菌剤	○	○	○	○	○
他	クロチアニジン	殺菌剤	○	○	○	○	○
他	ジノチフラン	殺菌剤	○	○	○	○	○
他	メトロジ	殺菌剤			○	○	○
他	フルアジホップ	殺菌剤				○	○
除	アゾキシストロピン	殺菌剤	○	○	○		
除	シデュロン	殺菌剤	○	○	○	○	○
除	ハロスルフロメチル	殺菌剤	○	○	○	○	○
除	フラズルフロ	殺菌剤				○	○
除	フルトラニル	殺菌剤	○		○		
検	クロラントラニプロール	殺菌剤	○		○		
検	ヘキサジノン	殺菌剤	○	○	○	○	○

検出された農薬を○印で示している。

大津市企業局における農薬類検査について

～農薬類分析検出事例等報告～

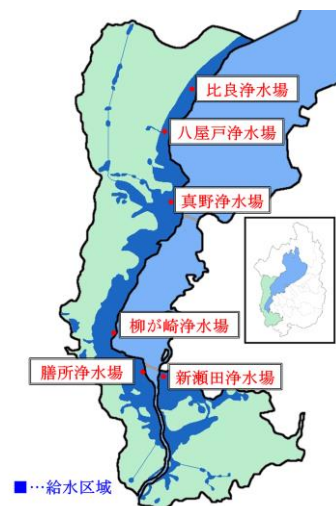
大津市企業局 ○堀野 善孝 吉田 稔
橋詰 和典 竹内 洋祐

1. はじめに

大津市の水道事業は、現在、琵琶湖を水源とする 6 つの浄水場を有し、給水人口およそ 34.4 万人を対象に、一日平均 11.1 万 m^3 、最大 12.5 万 m^3 の水道水を給水している。

令和 3 年度水質検査計画においては、水質管理目標設定項目の測定方法(平成 15 年 10 月 10 日付健水発第 1010001 号)(最終改正 令和 3 年 3 月 26 日薬生水発 0326 第 1 号)に基づき、目標 15 「農薬類」を 1 回/年以上検査することと定めており、自己分析可能な農薬類の検査を行っている。

今回、これまで実施してきた農薬類検査の結果について、考察を行ったので、その結果を報告する。



2. 検査の経緯

「水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について(平成 15 年 10 月 10 日付健水発第 1010001 号)」により、平成 16 年 4 月 1 日付で総農薬方式による「農薬類」として水質管理目標設定項目に位置付けられた対象 101 項目のうち、ガスクロマトグラフ質量分析計(以下 GC-MS)による一斉分析法により 71 項目について分析を行っていた。分析できないものについては委託していた。

平成 25 年 4 月 1 日付の「農薬類分類の見直しについて(平成 25 年 3 月 28 日付健水発 0328 第 4 号)」により、分類の見直しが行われ、対象 120 項目となり、そのうちの 75 項目について GC-MS による一斉分析法により分析を行っていた。また、平成 28 年度には液体クロマトグラフ質量分析計(以下 LC-MS/MS)を導入したため、LC-MS/MS による一斉分析法等にも対応可能になった。

現在は、水質管理目標設定項目 目標 15 「農薬類」の対象農薬リスト掲載農薬類(以下「対象農薬類」とする) 114 項目について、検査を実施している。

3. 検査詳細(採水地点・検査頻度・分析方法及び農薬項目数等)

(1) 採水地点及び検体数

市内 6 浄水場(比良浄水場・八屋戸浄水場・真野浄水場・柳が崎浄水場・膳所浄水場・新瀬田浄水場)の原水、給水栓水及び京都市から受水している藤尾地区追分の給水栓水の 13 検体を検査対象としている。

(2) 検査頻度

令和3年度は水質検査計画において、農薬類の検査回数について見直しを行い1回/年以上(前年度までは、2回/年以上)行うことになっているが、例年通り、6月及び8月に計2回の農薬類の検査を行った。

(3) 分析方法及び分析可能農薬類数

分析可能な分析方法及び分析できていない分析方法は表1、表2のとおり。

表1 分析可能な分析方法及び対象農薬類の数

分類	分析方法	対象農薬類の数
別添方法5 及び別添方法5-2	固相抽出-GC-MS法	70物質
別添方法7	パージ・トラップ(以下PT)-GC-MS法	1物質
別添方法20 及び別添方法20-2	LC-MS/MS法	35物質
別添方法22	※分析はLC-MS/MS法による分析	2物質
		計108物質

表2 分析できていない分析方法及び対象農薬類

分類	分析方法	対象農薬類
別添方法21	固相抽出-LC-MS法	イミノクタジン・パラコート・ジクワット(3物質)
別添方法23	PT-GC-MS法	ダゾメット・メタム及びメチルイソチオシアネート(1物質)
別添方法24	ヘッドスペース-GC-MS法	ジチオカルバメート系農薬(1物質)
別添方法25	固相抽出-GC-MS法	プロチオホス(1物質)
		計6物質

分析ができていない対象農薬類については、分析方法がそれぞれ分かれているとおり、個別に分析が必要となっている。分析装置が整備されていないものや、他とは異なった前処理や分析条件での分析が必要となり、保有の機器では分析できる体制が整っていないため、分析は不可能となっている。分析が必要な場合は委託している。

3. 検出状況について

(1) 目標値の1/100未満であるが、定量下限を超えて検出されているもの

直近5か年に検出した農薬類は表3のとおり。ただし、全検体における年度別の最大値を列挙しており、全浄水場の原水及び給水栓水で一様に検出されているとは限らない。

検出状況を調べた結果、多くが原水での検出となっていることが分かった。また、対象農薬類 114 物質に対して検出される農薬類は限られており、同じ農薬類が繰り返し検出される傾向が分かった。

特にイソプロチオラン(殺菌剤)、シメトリン(除草剤)、ピロキロン(殺菌剤)、ブロモブチド(除草剤)については、ほぼ毎年検出されており、検出頻度が高い。また、全浄水場の原水において検出されることが分かった。

ブロモブチド(除草剤)については表 4 に示すとおり 1 回目検査において検出濃度が高い傾向があり、季節性のようなものが見られた。また、原水と給水栓水で同等に検出されている事例が見られた。原水でブロモブチドが検

出された時の給水栓水の検出状況を表 5 に示す。

原水と給水栓水で同等濃度での検出がある事例(H30.6)が全浄水場でみられることから、ブロモブチドは急速ろ過処理方式だけでは除去できていないと考えられる。しかし、毎年同様ではなく、原水では検出されたものが給水栓水では全く検出されていない事例(H29.6 及び R3.8)もあった。また、全浄水場の原水において検出されたブロモブチドが、比良・八屋戸浄水場の給水栓水では原水と同等に検出されたものの、他の真野、柳が崎、膳所及び新瀬田浄水場の給水栓水では、ほとんど検出されないといった事例(R3.6)も確認

表3 農薬類の検出状況(目標値の1/100未満 年度最大値) (mg/L)

農薬名	目標値	H29	H30	R1	R2	R3
イソプロチオラン	0.3	0.00002	0.00001	0.00003	0.00004	0.00002
グリホサート	2	N.D.	0.00015	N.D.	N.D.	N.D.
シメジン	0.003	N.D.	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.
ジメタトリン	0.02	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	0.00001
シメトリン	0.03	0.00005	0.00004	0.00004	N.D.	0.00004
タイムロン	0.8	N.D.	0.00005	N.D.	N.D.	N.D.
ピラクロニル	0.01	N.D.	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.
ピロキロン	0.05	0.00007	0.00006	0.00005	0.00004	0.00003
MPPキソニスルホキソト*	0.006	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
フレチラコール	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.00001
フェリメジン	0.05	N.D.	0.00006	N.D.	N.D.	N.D.
プロモブチド*	0.1	0.00038	0.00025	0.0002	0.0001	0.00032
ペニミル	0.02	N.D.	0.00004	N.D.	N.D.	N.D.
ペンゾフェナップ	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	0.00001	N.D.
ペンタゾン	0.2	0.00031	0.00031	N.D.	0.0002	N.D.
メロブロップ	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	0.0002	N.D.
メフェナセト	0.02	0.00002	0.00004	0.00004	N.D.	N.D.
メブロニル	0.1	0.00001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

*検出されていない農薬類についてはN.D.とする。

表4 各浄水場原水におけるブロモブチドの検出状況(1回目/2回目) (mg/L)

原水	H29(6月/9月)	H30(6月/9月)	R1(7月/9月)	R2(7月/9月)	R3(6月/8月)
比良	0.00019 / 0.00012	0.00017 / 0.0001	0.0001 / <0.0001	<0.0001 / <0.0001	0.00019 / 0.00010
八屋戸	0.00019 / 0.00011	0.00017 / 0.0001	0.0001 / <0.0001	<0.0001 / 0.00010	0.00018 / <0.00010
真野	0.00020 / 0.00011	0.00017 / 0.0001	0.0001 / <0.0001	<0.0001 / 0.00010	0.00020 / 0.00014
柳が崎	0.00024 / <0.0001	0.00019 / <0.0001	0.0002 / <0.0001	0.00010 / <0.0001	0.00024 / 0.00013
膳所	0.00038 / 0.00010	0.00023 / <0.0001	0.0002 / <0.0001	<0.0001 / <0.0001	0.00031 / 0.00013
新瀬田	0.00037 / 0.00010	0.00023 / <0.0001	0.0002 / <0.0001	0.00011 / <0.0001	0.00032 / 0.00013

表5 原水でブロモブチドが検出された時の給水栓水における検出状況 (mg/L)

	H29.6(原水/栓水)	H30.6(原水/栓水)	R3.6(原水/栓水)	R3.8(原水/栓水)
比良	0.00019 / <0.0001	0.00017 / 0.00019	0.00019 / 0.00016	0.00010 / <0.0001
八屋戸	0.00019 / <0.0001	0.00017 / 0.00016	0.00018 / 0.00018	<0.0001 / <0.0001
真野	0.00020 / <0.0001	0.00017 / 0.00018	0.00020 / <0.0001	0.00014 / <0.0001
柳が崎	0.00024 / <0.0001	0.00019 / 0.00012	0.00024 / <0.0001	0.00013 / <0.0001
膳所	0.00038 / <0.0001	0.00023 / 0.00017	0.00031 / <0.0001	0.00013 / <0.0001
新瀬田	0.00037 / <0.0001	0.00023 / 0.00025	0.00032 / <0.0001	0.00013 / <0.0001

された。この時期はびわ湖でかび臭物質が発生する時期と重なっており、浄水場によってはかび臭対策として、粉末活性炭または粒状活性炭ろ過処理を実施している。平成 29 年度はかび臭物質の発生が早く、6 月の時点で全浄水場とも活性炭処理を行っていた。また、平成 30 年度はかび臭物質の発生が遅く、6 月は全浄水場とも活性炭処理を行っていなかった。令和 3 年度の 6 月は南湖を中心にかび臭が発生しており、比良・八屋戸浄水場は活性炭処理を行っていないが、8 月は北湖でもかび臭物質が発生し、全浄水場とも活性炭処理を行っていた。そのため、かび臭対策の活性炭処理によりブロモブチドも併せて除去できていると考えられる。

(2) 目標値の 1/100 を超えて検出された農薬類について

平成 29 年 4 月 1 日付けで対象農薬類に新たにテフリルトリオンが追加され、平成 30 年度より分析項目に追

原水	H30(6月/9月)	R1(7月/9月)	R2(7月/9月)	R3(6月/8月)
比良	0.00014 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	<0.00002 / 0.00011	0.00009 / 0.00005
八屋戸	0.00016 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	<0.00002 / 0.00010	0.00006 / 0.00005
真野	0.00013 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	<0.00002 / 0.00012	0.00008 / 0.00008
柳が崎	0.00016 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	0.00003 / 0.00011	0.00013 / 0.00005
膳所	0.00018 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	0.00002 / 0.00011	0.00005 / 0.00007
新瀬田	0.00015 / <0.00002	<0.00002 / <0.00002	0.00003 / 0.00010	0.00005 / 0.00006

加している。目標値は 0.002mg/L であるが、表 6 に示すとおり原水において目標値の 1/100 を超えて検出される事例が全浄水場で発生している。検出濃度は最大 0.00018 mg/L であり、目標値 0.002mg/L の 10%程度の検出である。全浄水場の給水栓水においては全て 0.00002 mg/L 未満と除去されており、問題とはなっていない。

5. 今後の課題

GC-MS における農薬類分析においては、他分析の誘導体化試薬が農薬類分析に悪影響を及ぼすため、専用カラム等に交換し分析を行うのが望ましい。本市では農薬類専用の GC-MS は持っておらず、水質基準項目検査に使用している機器を併用して分析を行っている。水質基準項目検査の合間を縫って農薬類の検査を行っているため、汎用カラムでの分析を行っており精度の確保に苦慮している。また、農薬類は逐次改正方式をとられており、最新の知見により、新たな農薬類の追加や、代謝物の測定の新規追加など常に見直しが行われている。このことに対応するためには分析の可否から検討を行う必要があり、時間を要すことから、日頃より動向を見据えて準備していく必要がある。

さらに、農薬類を常に精度よく分析するためには、農薬類分析専用機器の設置や、分析担当者の確保など、農薬類に特化した分析や検討を行える環境整備が必要であると考えられる。

6. 終わりに

前述の課題もあるが、安心・安全な給水確保のため、検査結果のデータ等を基に、引き続き研究を重ねていく所存である。

シミュレーションを用いた千苺貯水池における出水時の水質変化予測(その2)

神戸市水道局 ○小幡 一貴

清水 武俊

小田 琢也

神戸大学大学院 中山 恵介

1. はじめに

千苺貯水池は神戸市北部に水道水を供給するための重要な自己水源であり、流域面積は約 95 km²、有効貯水容量は 1,124 万 m³ である。貯水池の形態は南北に長く、流程約 9 km の波豆川及び流程約 26 km の羽束川が流入している(図 1)。

貯水池の水質管理として、堰堤に水深別に設けられた取水口*から良好な水質の水を選択的に取水する「選択取水」を行い、その水を下流の千苺浄水場にて処理している。

*各取水口は鉛直方向に約 2.5 m (4 尺) の間隔で表層側から 0.6 m (4 尺)、3.1 m (12 尺) の順に最大 28 m (93.5 尺) まで設置されている。

近年は気候変動の影響により、台風や平成 30 年 7 月に発生した西日本豪雨に代表されるような大雨の発生頻度が増加してきている。その際、高濁度かつ低アルカリ度の河川水が貯水池に大量に流入し、貯水池内の水が大きく入れ替わる現象が確認されている。これに伴い、浄水場原水の水質が急激に変化するため、浄水場に水質試験担当の職員を新たに派遣し、頻繁にジャーテストを行いながら、アルカリ剤や凝集剤の注入量を適宜変更する対応に追われている。このような原水の水質変化に対して適切な浄水処理を行うためには、出水の際に貯水池内の水質がどのように変化し、いつ高濁度水が浄水場に到達するかを把握する必要がある。しかしながら、これまでは過去の実績や職員の経験に基づいて推測せざるを得ず、正確な予測が困難であった。

神戸市では平成 28 年度から 30 年度の 3 か年にわたり、大学等と共同で貯水池の縦断観測を行い、その一環として、神戸大学において水理・水質の動態に関する詳細なデータをもとに貯水池の水質予測モデルを構築した¹⁾。このモデルを用いて台風などの出水時に予めシミュレーションを行うことで、原水水質変化の程度やタイミングについて把握が可能となり、実績値ベースで平成 30 年の西日本豪雨についてほぼ完全に再現できることを報告した²⁾。

今年度は実運用として、夏季(7月、8月)に発生した大雨時にシミュレーションを実施し、予測と実測結果について比較・検証を行った。また、より高精度な予想を行うため、過去の主な出水時のデータを編集し、渓流量と原水濁度の関係性について明らかにしたので、併せて報告する。

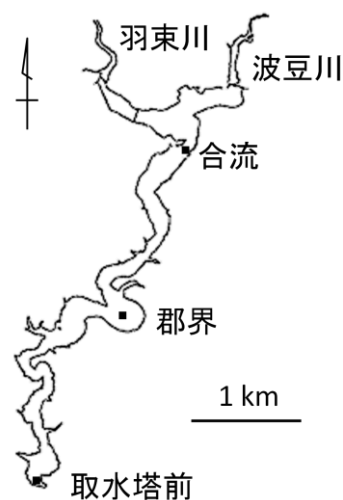


図 1 千苺貯水池

2. 方法

2-1. 水温および濁度に関するシミュレーション

2-1-1. モデルの仕様

本モデルは環境流体モデル Fantom を用いて鉛直 2 次元で構築している。これは 3 次元的なモデ

ルの場合、使用 PC のスペック上計算時間が膨大となること、かつ千苺貯水池がある程度理想的な均一幅を有していることから、2次元計算でも十分な知見が得られると考えられるためである。

また、プログラミング言語は PYTHON3 を用い、シミュレーションには、計算用 PC として HP 社製 Z240 SFF Workstation を使用した。

2-1-2. シミュレーション入力条件

入力条件は、①気象予報をもとにした降雨量、風向等のデータ、②流入河川の水質・水量データ、および③取水塔前における鉛直方向の温度・濁度データである。

①気象データ

シミュレーションには気象予報サイトから、気温、降水量、日照時間、風向・風速、全天日射量、現地気圧、相対湿度、雲量のデータを使用した。

②流入河川の水質および水量データ

流入河川の波豆川および羽束川の渓流量については、貯留関数により、気象予報の降水量から算出した。流入の水温・濁度は過去の大雨におけるデータを参考に、流量ピークから推定した。また、流出量は取水量とダム堰堤からの越流量の合計とし、貯水池流入量が流出量を上回る際は、越流量で差異を埋める条件とした。なお取水口の位置は、実績に合わせ 28 尺(水深約 6.0 m)および 36 尺(水深約 9.5 m)とした。

③取水塔前における鉛直方向の水温・濁度データ

計算期間直前に取水塔前において実測した水温・濁度の鉛直分布を基礎条件として入力した。

2-1-3. シミュレーション実施内容

令和3年7月(7月7日～8日)および8月(8月8日～19日)の2回の出水についてシミュレーションを実施し、貯水池内の水質変化の予測を行った。予測に用いた項目は、出水時の浄水処理において重要なファクターとなる「濁度」及び「水温」である。なお、予測期間は出水開始から降雨後までの数日間とし、データ出力条件は、1時間毎に設定した。

2-2. 過去の出水時データを基にした渓流量と原水濁度の関係

千苺貯水池におけるこれまでの主な出水時の渓流量と原水濁度に関するデータ(主に2015年以降で、一定期間に合計40mm以上の降雨量が観測された事象)を基に、両者の関係性を明らかにした。

3. 結果

3-1. 水温および濁度に関するシミュレーション

3-1-1. 7月大雨の検証

令和3年7月7日から8日にかけて、貯水池上流の後川で合計155.5mmの降雨量が観測された。これは、例年7月の月間降雨量の約7割に相当する。特に7日の夕方は時間20mmを超える雨が降り続く、激しい雨となった。その結果、波豆川、羽束川から合計950万m³を超える渓流量が観測された。

図2-①, ②に、7月8日朝時点に実施したシミュレーションによる貯水池内の濁度分布の結果を示す。計算期間は、降雨開始前の7月7日午前1時から、雨が止むと予想されていた7月10日0時までとした。降雨開始前の時点(図2-①)では、貯水池全体の濁度が2度程度と低く、平常時の値であったが、その後大雨の影響で上流から土砂を多く含む高濁水が流入し、7月8日午前2時に、

最高で 80 度程度の高濁水が 28 尺および 36 尺の両取水口に到達する結果となった（図 2-②）。なお、水温の変化についてもシミュレーションを行ったが、大雨により水温躍層の混合は生じない予測となった。

実績値については、7 月 8 日の午前 4 時ごろから徐々に浄水場原水の濁度が上昇を始めており、シミュレーション結果とほぼ一致した。また、水温躍層の混合も生じなかった。したがって、実運用においてもシミュレーションにより濁水の到達時間を正確に予測できることが確認された。一方で原水濁度については最大で 38 度であり、予測を下回る結果となった。

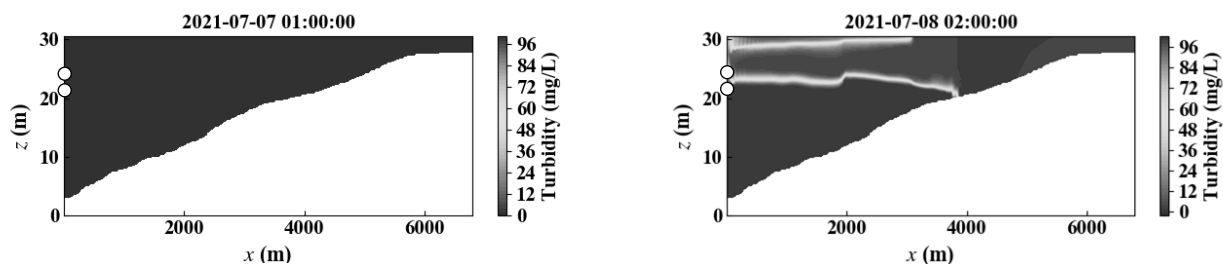


図 2-①②. 貯水池内の濁度予測分布(左:① 7 月 7 日午前 1 時、② 7 月 8 日午前 2 時)
※なお○は上から順に 28 尺、36 尺の取水口を示す。

3-1-2. 8 月大雨の検証

令和 3 年 8 月 8 日から 8 月 19 日にかけて、後川で合計 433.5 mm の降雨量が観測され、例年 8 月の月間降雨量の約 2.7 倍もの雨を観測した。特に 12 日以降は日量 50 mm を超える雨が降り続き、波豆川および羽東川から合計 3,300 万 m³ を超える流入があった。

図 3-①～③に、8 月 12 日午後、13 日午後、及び 14 日午後時点で実施した、貯水池内の濁度分布に関するシミュレーション結果を示す。12 日午後時点の予測結果では、高濁水の到達時間が 13 日午後 9 時ごろと予測された(図 3-①)。しかしながら、天気予報が絶えず変化し、13 日に再度行ったシミュレーションでは 14 日午後 1 時の到達に(図 3-②)、14 日時点でのシミュレーションでは 15 日午前 10 時の到達と大きく結果が変化した。なお、いずれのシミュレーション結果においても原水最高濁度は 80 度程度と予測され、水温躍層の混合等は生じない結果となった。これに対し、実測値では、予測通り水温躍層の混合は生じなかったものの、濁水の到達は 15 日の午後 3 時頃と大きくずれが生じた。また、原水濁度は最大で 36 度であった。

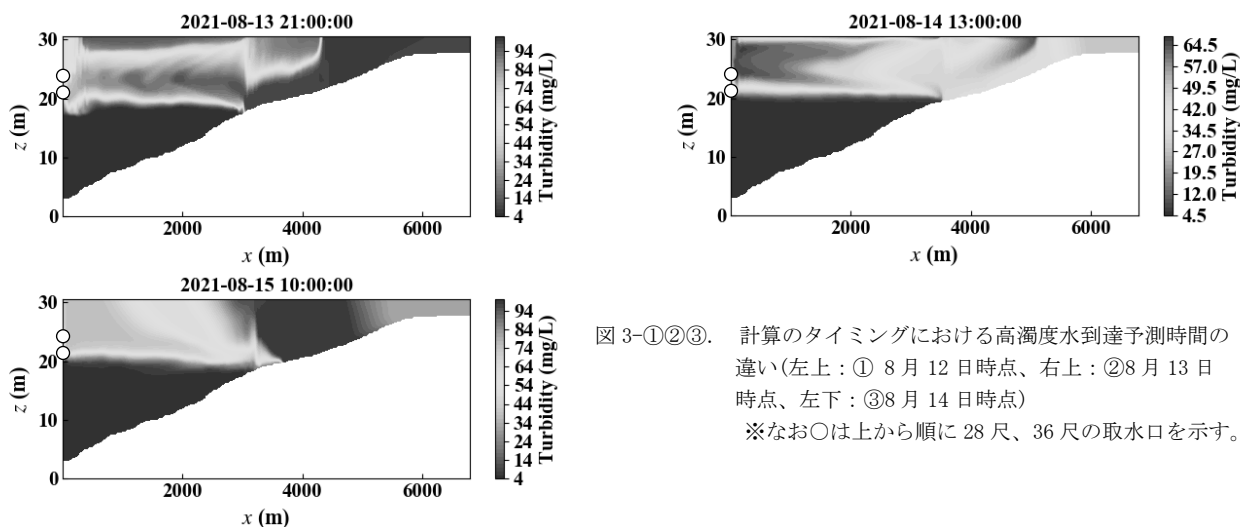


図 3-①②③. 計算のタイミングにおける高濁度水到達予測時間の違い(左上:① 8 月 12 日時点、右上:②8 月 13 日時点、左下:③8 月 14 日時点)
※なお○は上から順に 28 尺、36 尺の取水口を示す。

3-2. 過去の出水時データを基にした渓流量と原水濁度の関係

今回の予想では、原水最高濁度が予想に比べて低い値となった。より精度の高い予想を行うため、千苺貯水池における過去の主な出水時の渓流量と原水濁度に関するデータを基に、両者の関係性について調べた。その結果、両者は相関関係にあり、渓流量から原水濁度をある一定の精度で予測できることが明らかになった(図4)。また、原水濁度が100度を超過し、浄水処理が困難になる際の渓流量についても把握することができた。

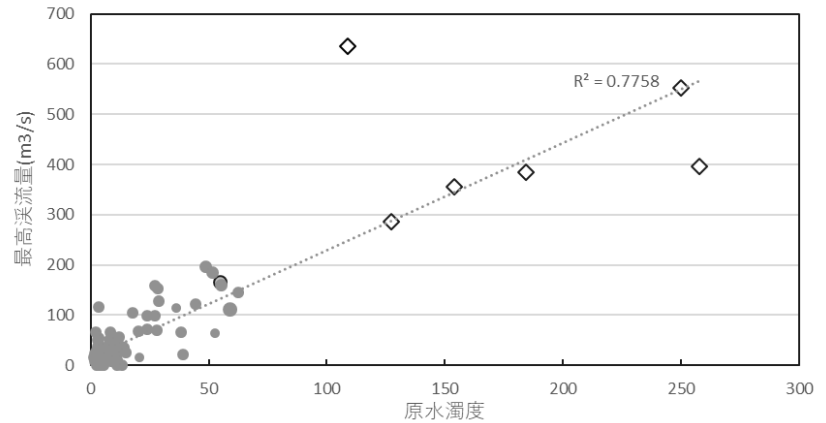


図4. 原水最高濁度と最高渓流量(m³/s)の関係

※データは2015年以降に一定期間で合計40mm以上の雨が降った例を対象とした。

※原水濁度が100度を超過した事例を□印、100度以下の事例は●印でプロットした。

4. 考察と今後の課題

今回の大雨では、貯水池内水温の変化についてはいずれも水温躍層が破壊されず、シミュレーション通りの結果となった。また濁度に関して、7月の大雨については濁水の到達時間が予測結果と実測がほぼ一致し、シミュレーションの有効性が確認された。一方、8月の大雨では到達時間が実測とは大きく異なる結果となった。これは8月大雨時には活発な前線が日本列島に長時間留まり、雨雲が複雑な動きとなった結果、天気予報が時間と共に大きく変化し、シミュレーションで入力した条件が実際の降雨状況と乖離したためであった。また、今回は主に2つの天気予報サイトの情報を基にシミュレーションを行ったが、それぞれ当該期間内でサイト間の予報降水量が大きく異なり、シミュレーションの前提条件としてどちらを採用すべきか、不明確であった。今後は他の天気予報サイトも参照し、各サイトの特性を踏まえた活用をしていく必要がある。

また浄水場原水の最高濁度については、予測に比べいずれも低い結果となった。これはシミュレーションを行う際、前提条件として流入河川の波豆川、羽束川に設置された原水モニターでリアルタイムに測定された濁度を入力しているが、今回の出水時には数値が上限値を超え、正確な値を把握できなかったことが原因である。今後は出水時の流入濁度のデータを蓄積し、シミュレーション精度の向上を図っていく。また過去の出水時のデータをとりまとめた結果、出水時には河川の渓流量を確認することで、原水濁度の上昇の程度やこれに伴う応援体制の必要性の有無を容易に判断できることが明らかになった。今後はシミュレーションと組み合わせた活用により、出水時対応力の向上を図っていききたい。

5. 参考文献

- 1) 平木康大, 中島祐輔, 清水武俊, 小田琢也, 藤井智康, 中山恵介, 藤原建紀 (2018) 千苺貯水池の水質・水理構造に関する共同研究. 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp. 212-213.
- 2) 小幡一貴, 清水武俊, 小田琢也, 小林弘樹, 山元幸之助, 中山恵介 (2020) シミュレーションを用いた千苺貯水池における出水時の水質変化予測. 令和2年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp. 174-175.

経年使用による粒状活性炭の性能変化について（Ⅱ）

大阪市水道局 ○今村康夫
板倉愛実
春田知昭
今中壮一

1. はじめに

本市では、植物性プランクトンが産出するかび臭原因物質やトリハロメタンのような微量有機物の除去を目的に高度浄水処理設備を段階的に導入し、平成12年3月に市内全域に高度浄水処理が通水されるようになった。高度浄水処理の導入により、浄水のかび臭は完全に除去されており、総トリハロメタンは中間塩素処理と比較して約80%低減されるなど、良質で安全な水道水が確保されている。

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

今回、使用年数の異なるGAC吸着池の処理水中に含まれる微量有機物の測定や、経年使用により懸念されるGAC吸着池の潜在リスクについて調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査方法等

2.1 浄水処理フロー

本市の浄水処理フローは、図-1に示すように急速砂ろ過池の前後に2段のオゾン処理を設置している。GAC吸着池の前段にある後オゾン接触池では、溶存オゾンが一定濃度検出されるような制御を行っていることから、GAC吸着池表面は恒常的にオゾンに曝露されている。

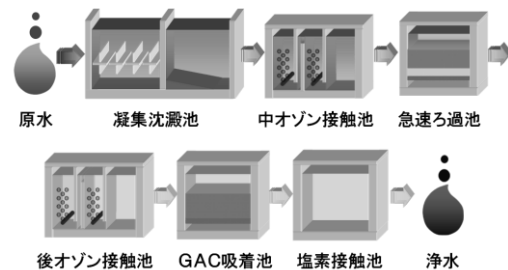


図-1 大阪市における浄水処理フロー

2.2 GAC吸着池の運用

1) 洗浄方法

GAC吸着池内での後生生物の繁殖を抑制するために、通常72時間周期で浄水による洗浄を実施しているが、GAC処理水中のワムシ・線虫の検出数の合計が20匹/Lを超過する場合には、洗浄周期を

表-1 GAC吸着池の洗浄方法

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

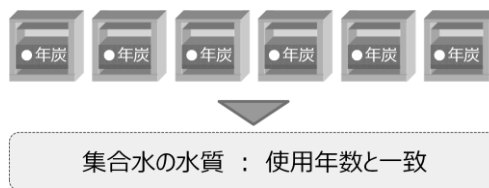
短縮する運用を行っている。なお、GAC吸着池の洗浄フローは、水位を低下させてから空気水洗浄を5分間行い、10分間の逆流洗浄を2回繰り返した後に捨水する工程となっている。

2) 更新方法

本市における GAC 吸着池の更新方法を図-2 に示す。平成 19 年度までの更新では、水処理性能をはじめ、物理的性状、経済性、環境影響といった各側面から種々の検討を加えた結果、更新期間を 5~6 年とし各系統の GAC を一斉に更新する一括更新を行っていた。平成 20 年度以降については、GAC 処理水質の平均化やコストの平準化の観点から、各系統の GAC 吸着池が 5 年で全て更新されるよう、毎年数池ずつ更新する分散更新を行っており、各系統で運用中の GAC 吸着池については、使用年数が 1~5 年目のものが混在している。

なお、GAC 吸着池における集合水の処理水質は、分散更新では単池換算で 3 年使用相当になることを確認している。

一括更新



分散更新



図-2 GAC 吸着池の更新方法

2.3 GAC 処理水中の有機物測定

本市柴島浄水場下系における使用開始後 1~5 年目の GAC 吸着池の処理水を採水し、GAC 処理水に含まれる有機物の測定を行った。測定には、処理水中に含まれる微量有機物を探索的に分析するため、高分解能液体クロマトグラフ質量分析計(以下、LC/HRMS)を用いた。

2.4 GAC 洗浄捨水中の微粉量調査

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

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

2.5 使用年数と一般細菌の検出数の相関調査

GAC 吸着池の使用年数が微生物学的な安全性に与える影響を評価するため、使用年数と GAC 処理水中に含まれる一般細菌数の相関を調べた。

年数が異なる柴島浄水場下系 GAC 吸着池を選定し、ろ過継続時間が 0~60 時間の試料を採水し、孔径 0.45 μ m の疎水性格子フィルターで 500mL ろ過した。ろ過後の疎水性格子フィルターを標準寒天培地上に静置させた後に 37 $^{\circ}$ C の恒温槽内で 24 時間培養し、一般細菌を計測した。

3. 結果と考察

3.1 GAC 処理水中のプロモブチド

LC/HRMS によるスクリーニング分析により得られた結果のうち、GAC 吸着池の使用年数の違いにより処理性の違いが最も顕著に現れたプロモブチドについてその挙動を整理した。GAC 吸着池の使用年数とプロモブチド面積値の関係を図-3 に示す。なお、図-3 に示すデータは、令和 3 年 6 月に行った採水日毎の測定結果であり、流入水は後オゾン処理水の結果を示している。

使用 1 年目ではプロモブチドは全量除去できていたが、2 年目以降から徐々に面積値が増大し GAC 吸着池から流出する傾向が認められた。流出量の増加割合は 2~3 年目にかけて大きくなっているが、3 年目以降については緩やかな増加傾向を示した。また、6 月 9 日及び 16 日の測定結果は、使用年数によらず一定量除去されていたが、処理水中の濃度は目標値の 100 分の 1 以下と十分低い濃度ではあるものの、6 月 23 日については蛍光強度と同様²⁾に 3 年目の処理水の方が流入水よりも面積値が高くなっていることから、被処理水の水質により GAC の吸着機構は変化する可能性があると考えられた。

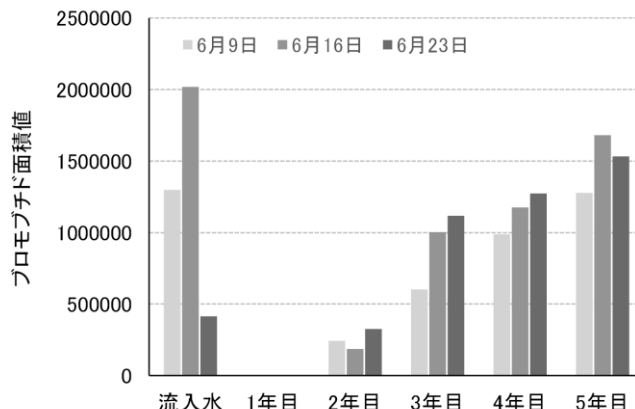


図-3 使用年数とプロモブチド面積値の関係

3.2 GAC 洗浄捨水の水質調査

洗浄捨水後の微粒子数(粒径 0.5 μ m)の推移を図-4 に、濁度の推移を図-5 に示す。なお、微粒子数については 0.5 μ m~15 μ m の測定を行ったが、存在数が最も多いこと、最も鋭敏に捨水経過とともに粒子数が推移していたことから、粒径 0.5 μ m の結果を示している。

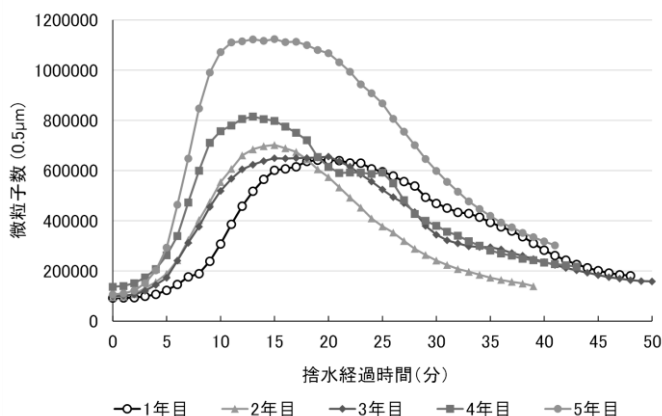


図-4 洗浄捨水後の微粒子数(粒径 0.5 μ m)の推移

洗浄捨水後の微粒子数と濁度は同じ推移を示しており、使用年数が長いほど多く、濁度も高くなっており微粉化の懸念が大きくなっていることがわかった。また、最高濁度は 1~3 年目ではほぼ同じであったが、4 年目以降は使用年数に比例して最高濁度が高くなる傾向にあった。

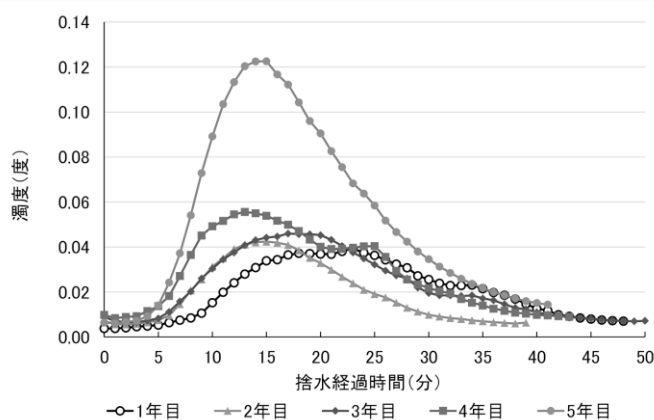


図-5 洗浄捨水後の濁度の推移

洗浄捨水の水質については、捨水開始後 10 分間は浄水水質とほぼ同じ水質を示し、洗浄に使用した浄水が捨水されていたが、10 分以降は GAC 処理水の水質を示した。また、洗浄捨水工程を通して、一般細菌、大腸菌の検出はなかったが、10 分以降は大腸菌群が検出された。

3.3 使用年数と一般細菌の検出数

GAC 吸着池の使用年数とろ過継続時間毎の一般細菌の検出数を表-2 に示す。

GAC 吸着池の処理継続時間が長くなるほど、また、GAC の使用年数が長くなるほど、GAC 処理水中の一般細菌数が多くなる傾向が認められた。

洗浄直後から 20 時間は、ほとんど一般細菌が検出されていないことと、使用中の吸着

池から採取した GAC 試料を培養すると一般細菌が検出されたことから、GAC 吸着池から微粉炭が漏出すると GAC 処理水から一般細菌が検出される一因になると推測された。GAC 吸着池以降の塩素処理において一般細菌は不活化されるものの、ろ過継続時間 60 時間後における一般細菌数は 4 年目以降に多くなっていることから、4 年目以降の GAC 吸着池については、処理水中の濁度監視の強化等が必要になると考えられた。

表-2 一般細菌の検出数

(cfu/500mL)

	洗浄直後	20時間後	50時間後	60時間後
ブランク	0	0	0	0
1年目	4	6	10	23
3年目	1	1	24	2
4年目	0	0	39	>100
5年目	3	0	41	76

4. まとめ

本調査により、得られた結果を次に示す。

- GAC 吸着池の使用年数と GAC 処理水中のプロモブチドの存在量の関係を調べたところ、使用 2 年目以降から徐々に除去性能が低下した。流出量の増加割合は 2~3 年目にかけて大きくなったが、3 年目以降については緩やかな増加傾向を示した。
- 3 年目以降において、流入水よりも処理水の方がプロモブチドの存在量が多くなる測定結果が得られたことから、被処理水の水質により GAC の吸着機構が変化する可能性があるかと推測された。今後、スクリーニング分析による評価対象物質を増やし、吸着機構について詳細に調べる予定としている。
- GAC 吸着池の洗浄捨水中に含まれる微粒子数は、1~3 年目の吸着池で大きな差はなかったが、4 年目以降は使用年数に比例して多くなり微粉化の懸念が高くなることがわかった。また、微粒子数と濁度は同様の挙動を示しており、濁度を管理基準としていることから GAC の微粉化を抑制することで洗浄捨水に要する時間を抑制できることがわかった。
- 捨水開始から 10 分までは大腸菌群は検出されなかったが、10 分以降は陽性であったことから、10 分頃までは浄水による消毒効果が持続していると推測された。
- GAC の使用年数が長くなるほど、GAC 処理水中に微粉炭が漏出するために、一般細菌数が多くなり、4 年目以降にその傾向が顕著になることがわかった。
- 水処理性能を指標として GAC の更新基準を推定しているが³⁾、単池の使用年数に換算するとほぼ 3 年使用相当となり、GAC の微粉化が顕著になる年数と概ね一致していることがわかった。

参考文献

- 1) 今村康夫ら：経年使用による粒状活性炭の性能変化について、第 61 回研究発表会概要集（平成 29 年度 榎原市 日本水道協会 関西地方支部）、pp. 64-67
- 2) 今村康夫ら：浄水処理における粒状活性炭性能の経時変化、平成 30 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp. 284-285
- 3) 今中壮一ら：水処理性能から推定される粒状活性炭の更新基準、令和 2 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp. 598-599

色度の透過光測定における試料温度の違いが起因する測定誤差について

大阪市水道局 宇都宮 勉 梅谷 友康
森實 圭二 原 郁夫
服部 晋也

1. はじめに

当局の水質試験所では、平成 17 年 12 月に水道 GLP(Good Laboratory Practice = 優良試験所規範)の認定を取得し、品質管理システムに則った水質管理を行っている。水道 GLP では、水質基準項目ごとに計画的な内部精度管理調査を実施することとしており、これにより標準作業手順書に基づいた水質検査の過程で発生する誤差の要因を見つけ出し、適宜、手順書を改善することで検査結果の信頼性向上に繋げている。

水質基準項目の一つである「色度」の測定法については、平成 15 年 7 月 22 日の「水質基準に関する省令の規定に基づき厚生労働大臣が定める方法」(平成 15 年厚生労働省告示第 261 号)において、比色法に加えて 390nm 付近の吸光度を 50mm 又は 100mm セルで測定する透過光測定法が採用され、これを機に吸光分析による水道水中の色度測定が普及すると同時に、より低い色度レベルの定量が行われるようになった。

本市においては、平成 25 年度に水道水質検査における色度の測定を比色法から透過光測定法へと切り替え、概ね 2 年周期で当該項目についての内部精度管理調査を行っているが、その中で同一の試料であっても測定時の温度の違いによって、定量結果に大きな差が生じる場合があることが明らかになっている。

そこで、本事象の発生要因を究明するとともに、試験法に関する改善策についても検討を行ったので、以下にその結果を報告する。

2. 色度測定における誤差の発生事象

表-1 は、令和元年度に実施した色度の内部精度管理調査における結果を一覧したものである。調査では、精製水に色度 1.0 度となるよう標準液を添加した溶液を調製し、これを精度管理調査用試料として受検者 8 名に濃度を伏せて配布した。試料測定は連続して 5 回行うこととし、設定濃度に対する定量平均値の誤差率、及び相対標準偏差について評価を行った。

表中に示すように、何れの実験者とも色度の定量値は安定(相対標準偏差:0.0~3.3%)しているものの、受検者間で大きな差(誤差率:-4.9~-45.6%)が生じる結果となった。図-1 には、各受検者によって測定時に作成された検量線を示したが、当該誤差率の差が生じるレベルの違いは認められていない。

表-1 色度の内部精度管理調査における調査結果

受検者	試料測定結果		
	色度(度)	誤差率(%)	相対標準偏差(%)
A	0.720	-28.0	2.4
B	0.926	-7.4	3.3
C	0.787	-21.3	2.5
D	0.931	-6.9	1.9
E	0.703	-29.7	0.0
F	0.678	-32.2	2.8
G	0.951	-4.9	0.0
H	0.544	-45.6	0.0

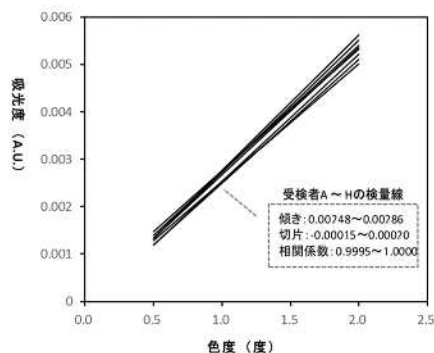


図-1 内部精度管理受検者が作成した検量線

図-2 は精度管理調査用試料の測定時における吸光度に着目し、誤差率との関係を描いたものである。前述のとおり 8 名の検量線が概ね同じ（検量線用標準試料の吸光度は概ね同じ）であるのに対して、精度管理調査用試料の吸光度が大きく異なったことにより定量値に差が生じたことがわかる。そこで、吸光度の差が生じた要因を調査すべく各受検者に測定時の状況を聞き取ったところ、精度管理調査用試料を冷蔵状態から取り出し、室内で馴致する際の時間に受検者間で大きな違いがあることが明らかになった。これより、馴致時間が短く温度が低い状態で測定した試料ほど吸光度が低くなる傾向が窺えた。一方、検量線用標準試料については何れの受検者においても室温で測定しているため、吸光度には大きな違いが生じなかったものと推察される。

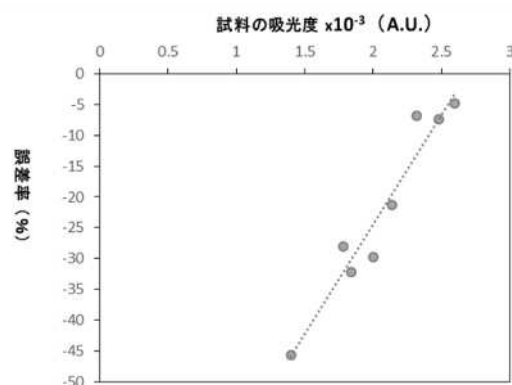


図-2 試料測定時の吸光度と誤差率の関係

3. 実験方法

実験に用いた試料は、精製水に K 社製の色度標準溶液（色度試験用 1000 度）を添加して調製し、恒温槽で所定の温度に設定した後、N 社製の濁色度計（390nm 透過光測定方式、50mm フローセル使用）によって測定を行った。

また、S 社製紫外-可視分光光度計（50mm 固定セル使用）を用いて、試料に紫外線もしくは可視光を照射した際に照射波長ごとに試料が吸収する光量（吸光度）を波長走査速度 4nm/sec で連続測定し、吸光度と波長の関係（以下、吸収スペクトルと称す）を調べた。

4. 結果及び考察

4. 1 試料及び色度標準溶液の吸収スペクトル

図-3 は、本市の豊野浄水場における原水及び浄水処理過程水について、吸収スペクトルを測定した結果である。牧田ら¹⁾は、河川水や湖水等について紫外吸収スペクトルを測定し、一般的な環境水は紫外領域に吸収の極大や極小を持たず、短波長側ほど吸収が高くなることを示しており、図-3 についてもこれと同様の結果であった。

一方、色度の測定に用いられる標準溶液については、精製水に白金（塩化白金酸カリウムとして）及びコバルト（塩化コバルトとして）を添加したもので、含有する成分は環境水と異なるものの、環境水等に含まれる溶解性物質及びコロイド性物質が呈する類黄色ないし黄褐色に近い色調を有している。

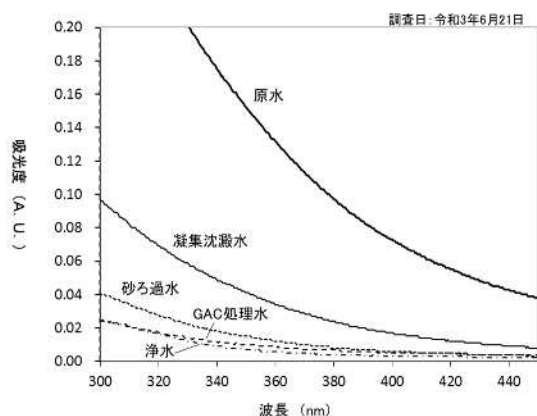


図-3 原水及び浄水処理過程水の吸収スペクトル

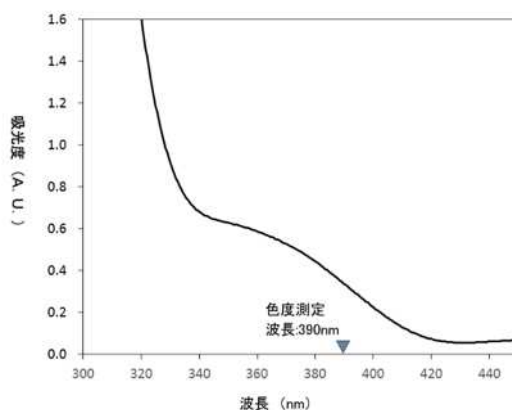


図-4 色度標準溶液の吸収スペクトル

図-4には、色度50度の標準溶液について吸収スペクトルを測定した結果を示したが、実試料と同じように短波長側ほど吸収が高くなる単純なパターンであることが確認できた。

4.2 水温変化が吸収スペクトルに及ぼす影響

図-5は、色度50度の標準溶液について、水温を10、20、35、及び50に設定して吸収スペクトルを測定し、得られた結果から描いたものである。図に示すように、10から水温を上昇させるに連れて吸収スペクトルが長波長側へシフトする現象が確認できた。即ち、波長を390nmで固定して試料の吸光度を測定する透過光による色度検査では、同一試料であっても、水温の上昇に伴って吸光度の測定値が高くなるものと推察される。

分子が持つ内部エネルギーには、電子・振動・回転があるが、紫外-可視吸収スペクトルの測定は電子エネルギーの遷移を測定するものである。小池²⁾は、振動と回転準位は電子のエネルギー準位ごとに含まれ、このうち振動準位間の遷移は室温程度の熱エネルギーで容易に生じると述べており、基底状態にある分子の電子状態にも広い振動準位の分布があることを示している。

そこで、水温変化で吸収スペクトルがシフトする要因について、エネルギー準位に着目した考察を行った。図-6は、水温差のある2つの試料について、光照射によるエネルギー状態の変化(イメージ)を示したものである。

光照射前の両試料のエネルギー準位は、水温の違いによって差があり、準位の低い低水温の試料では、光を吸収して励起状態に至るために要するエネルギーが、高水温の試料に比べて大きい($E_1 < E_2$)ことがわかる。

次式は、光のエネルギーの大きさを表す一般式である。ここでh(プランク定数)及びc(光の速さ)は定数であるため、E(光のエネルギー。図-6で示すE)が大きくなるほど(波長)は小さな値をとることになる。即ち、水温が低くなるほど、吸収波長は短波長側へシフトするものと考えられ、この現象が色度の精度管理調査時に生じたものと思われる。

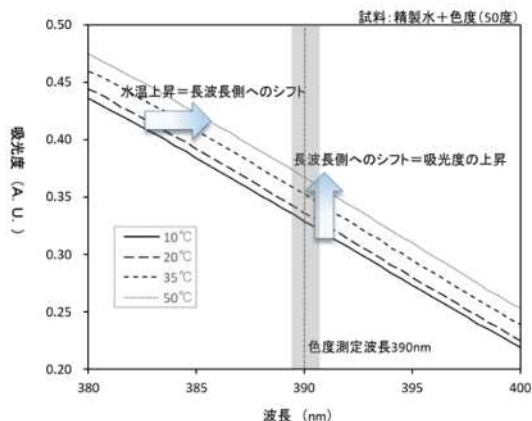


図-5 水温変化が吸収スペクトルに及ぼす影響

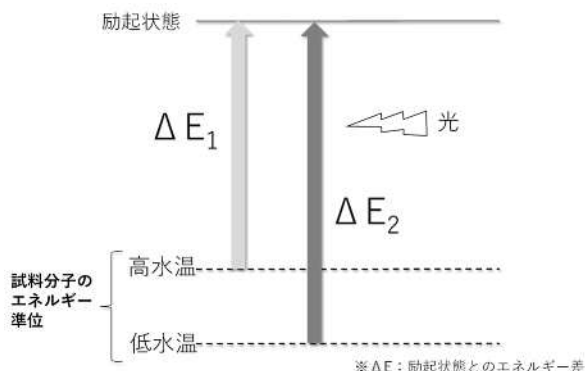


図-6 光照射によるエネルギー状態の変化(試料温度が異なる場合のイメージ)

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda}$$

E:エネルギー h:プランク定数
v:周波数 c:光の速さ λ:波長

4.3 水温差と測定誤差の関係

透過光測定法による色度の測定において、水温の違いが測定結果に影響を及ぼすことが明らかになったことから、影響の程度について明確化する必要がある。

図-7は、精製水に色度標準溶液を添加して水質基準値の1/10にあたる色度0.5度となるように設定した試料について、水温を変化させた際の定量結果の挙動を示したものである。この際、定量計算

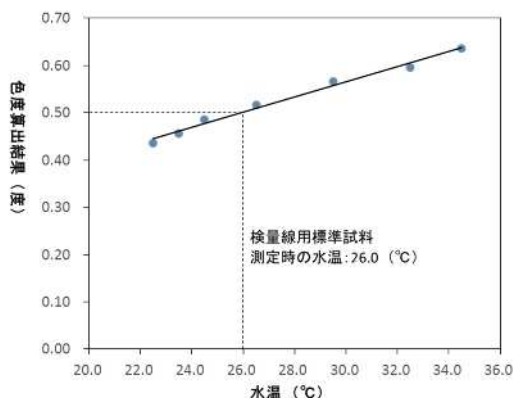


図-7 試料温度の変化に伴う定量結果の挙動

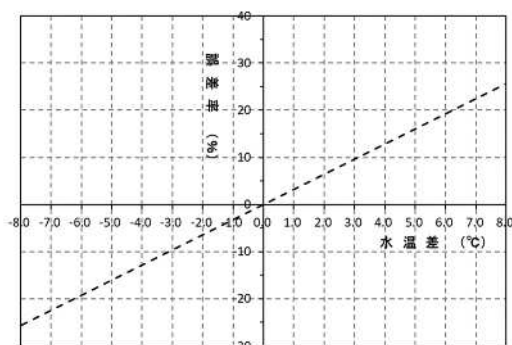


図-8 検量線用標準試料と未知試料の温度差が起因する測定誤差

のため用いた検量線は、何れも概ね 26 に保った標準試料（0.5 度、1.0 度、1.5 度、2.0 度）の吸光度により作成したものである。また、図-8 は、検量線用標準試料と色度 0.5 度に設定した試料の水温差と、定量における誤差率（試料定量結果を設定濃度 0.5 で除して百分率表示したもの）の関係を描いたものである。これらの結果から、定量を行う試料の水温が検量線用標準試料と差がない場合の定量結果については設定濃度からのズレはなく、水温差が生じた場合には、それに比例して色度が 0.016/ の割合で変化することがわかった。

図-9 は色度 0.5 度に設定した試料について、水温を概ね 15、20、25、及び 30 として変動係数(n=5)を求めたものである。当該の水温範囲において吸光度は変化するものと思われるが、各水温での測定精度については大きな差はなく、何れも安定して測定できることを確認できた。

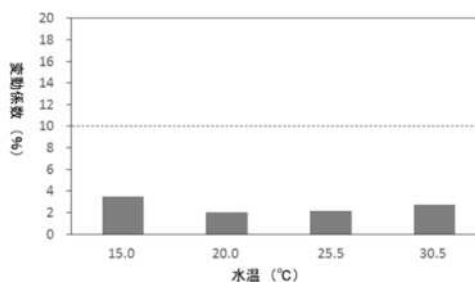


図-9 試料温度と測定精度

当局では、色度検査における測定結果の最小表示値を 0.5 度とし、当該濃度測定時の誤差率を $\pm 10\%$ に規定して水質検査の信頼性を保持しているところである。当局が規定している誤差率を遵守するためには、測定対象となる試料と標準試料の水温差を 3.0 以内にしなければならないことを、本調査によって明らかにすることができた。

5. まとめ

吸光度測定において、試料水温の上昇（もしくは低下）によって吸収スペクトルが長波長側（水温低下では短波長側）へシフトする現象が生じることを確認できた。透過光測定法による色度検査では、波長を 390nm に固定して吸光度の測定を行うため、未知試料と検量線用標準試料の水温が異なった場合に当該の影響による定量誤差が生じるものと思われる。このため、色度 0.5 度（水質基準値の 1/10）の試料を誤差率 $\pm 10\%$ 以内で測定する場合には、水温差を 3.0 以内にしなければならないものと推定される。

今後、本調査で得られた知見について、標準作業手順書への反映を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 牧田ら、三次元蛍光スペクトルによる環境水中の蛍光物質の評価、環境化学、Vol. 12, No. 2, pp. 367-373
- 2) 小池、分光測定の基礎、低温科学、67, pp. 431-447

ICT 技術を活用した水質管理の高度化への取り組み ～ 水質試験データ検索装置再構築 ～

大阪市水道局 船附 壮一 小川 真穂
當山 裕一 平林 達也
吉村 誠司 北本 靖子

1. はじめに

当局は、水源から給水栓まで一貫した水道トータルシステムの中で、法令に基づく水道水の水質検査を始めとして、水源の水質状況を把握する定期的水質調査、浄水場の処理性能を確認する日常の水質試験や資機材・水道用薬品に関する品質試験、さらに各種自動水質計器などから得られた様々な測定データを通じて、水道水の安全性を評価している。

当局における水質管理の自動化は、水質自動計器とネットワーク通信を組み合わせることによって一元管理された水質遠隔監視装置システムの構築に始まり、自動計測と遠隔監視によって約 40 年間、給水栓水の毎日検査と水質管理を行っている。さらに、平成 11 年度に水質試験所本所と各分室を相互にネットワークを介して接続できる水質試験データ検索装置（以下、旧システム）の運用を開始し、水質管理に必要な各種データを蓄積してきた。しかしながら、近年、多様化していく業務に対してシステム機能面で不足している箇所が目立ってきた。また、他事業者では ICT 技術の活用による水質異常への早期対応や水質検査結果の情報共有に関する取り組みが進められている¹⁾。

そこで、ICT 技術を活用したシステムの再構築によって実現した、水質管理データの統合的な管理と運用を通じた水質管理の高度化への取り組みと、新システムの稼働によって得られた成果について報告する。

2. 旧システムについて

2.1 システム構成

システム構成図を図-1 に示す。旧システムはオンプレミス(当局での一元管理)によるサーバー・クライアント方式を採用しており、水質試験所本所(当局柴島浄水場内)を拠点とし、庭窪分室(当局庭窪浄水場内)と豊野分室(当局豊野浄水場内)をネットワークによって一体的に運用してきた。ハードウェア(サーバーや操作端末)は、5 年を目途に定期的に更新し、システムについては、ハードウェアの更新や WindowsOS のサポート終了等のタイミング、また水質基準項目等の逐次改正にあわせて改修を行ってきた。

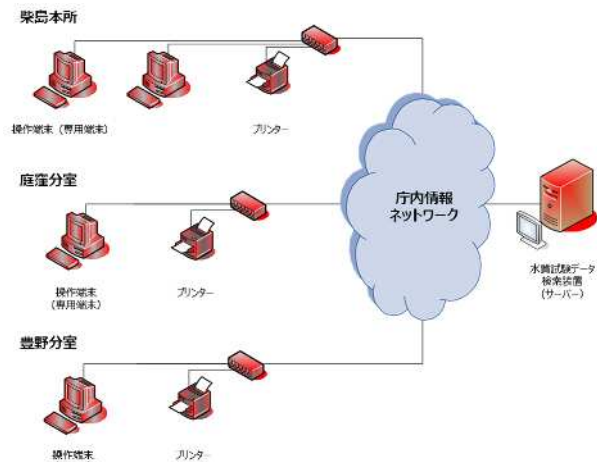


図-1 旧システムの構成

また、旧システムは社会要請に合わせて、情報管理の強化や維持管理費用の低減化を目的に、その構成を大きく 2 度変更した。

第 1 世代：所単独サーバー + 専用操作端末 + 独自ネットワーク（通信会社）

第 2 世代：所単独サーバー + 専用操作端末 + 局共通情報ハイウェイ

第 3 世代：局統合基盤サーバー + 専用操作端末 + 局共通情報ハイウェイ

2.2 旧システムが抱えた問題

約 20 年の運用中に、次に示す問題が発生した。

1) 水質基準の逐次改正への対応

旧システム設計時には、水質基準項目やそれに準ずる項目の逐次改正の考え方がなかったことから、システムに年度管理の概念を持たせなかった。このため、一旦改正が行われると、再設定等で膨大な時間を要し、また過去のデータとの紐づけを維持すること

が困難になった。

2) 試験内容や項目・対象の拡大

試験種別の大幅な増加によって、改修に係る費用が膨大となったことから、一部の帳票については自製することになり、データの一元管理体制が崩れてしまった。

3) トレーサビリティ確保

検査結果の履歴情報を確保するためには、帳票の修正ログ記録を保持することが望ましいが、機能改修では対応出来ないことがわかった。また、水道 GLP を効果的に運用するために実現したい、分析機器等から得られたクロマトグラフ等の 1 次記録との紐づけについても、電子ファイル上で実現するためには、機能改修では対応できないことがわかった。

4) 保守技術者の確保

機能改修は行っていたものの、プログラム言語は当時のままであり、取り扱える技術者が減少し、保守管理体制が脆弱になってしまった。また、機能改修に係る費用の増加が懸念された。

3. 再構築の事前準備について

3.1 システム再構築業務

水質管理に関するデータの保管及び帳票出力には、有効数値の丸め（JIS 丸め）や最小記入値、定量下限値など、数値処理に関する特有の管理が必要になる。また、水質分析者（検査員）の業務支援の観点から、最新の ICT 関連技術を搭載したシステム構築が必要であると考え、システムコンサルタント（民間企業）の知見を活用して検討を進めることとした。検討期間は 1 年間とした。

3.2 旧システムの現状調査と分析

現状調査では、旧システムの開発当時からの設計書や手順書の存否、開発・維持・改修に関する各種書類の整理を進めた。また、旧システムのハードウェアの状態とサポート状況、システム稼働に必要な関連ソフトウェアのサポート状況を整理し、費用対効果が高い更新時期を検討した。更に、ネットワーク構成や局内の他システムの連携の有無、また水質管理に関する分析機器や水質遠隔監視装置との連携の可能性とこれらシステム連携によって得られる効果も検証した。

その結果、システム再構築の課題（旧システムの機能的課題とシステム移行時に発生する課題）として 12 項目が抽出された（図-2）。旧システムは、手入力の基本となっており、データ入力に時間を要すると

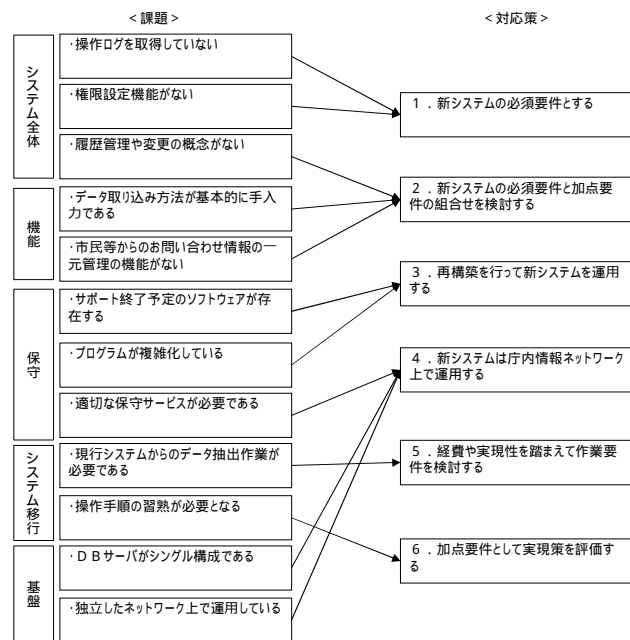


図-2 システム再構築の課題とその対応策

ともに、入力ミスも引き起こす可能性があるなど作業効率が悪いこと、また利用者全員が全ての機能を利用できるため、意図しない情報の更新や削除等が容易にでき、セキュリティ面で不安があること、サポート終了のソフトウェアが存在することから、速やかに再構築することが望ましいとの結論が得られた。一方、他の水質関連システムや局内システムとの連携については、相手方システムの再構築及び改修・更新時期によって対応することが望ましいとの結論となった。

3.3 情報提供依頼（RFI）と事業者へのヒヤリングによる調査

予算規模や開発実施可能性を検証するため、水質管理データを取り扱う企業（システ

ムメーカーや水処理関連メーカーなど）を対象に情報提供依頼（RFI）を実施した。また、他の水道事業者へのヒヤリングを通じて、システムの保有状況や課題・規模や管理対象データの範囲等について情報収集を行った。その結果、当局の要求レベルに耐えるためには、当時のパッケージタイプでは大幅なカスタマイズが必要であること、水質試験データの完全移行の実現には、新システムのプログラム構成が移行難易度に大きく影響することがわかった。

3.4 新システムに求める機能要件の設定

新システムの設計方針の検討にあたり、水質関連データの一元管理の実現、セキュリティ・堅牢性の充実、局内資源の最大限活用、保守管理作業の軽減を図るとともに、対応策への機能要件（図-2）として、新システムの主な機能を表-1のように設定した。さらに、業務効率の向上を目指し、ICTの最新技術として注目されている定型業務の自動化（RPA技術）や音声・画像認識機能によるデータ入力・帳票出力支援、AI技術による水質管理のデータ解析支援への導入可否及びそれらの導入効果を検討した。その結果、RPA技術は単独システムへの導入では費用対効果が得られないこと、音声・画像認識機能はその識別機能が当局業務の活用レベルには耐えられないこと、AI技術は費用対効果に加え、実証実験によってその効果を見極める必要があったため、再構築と同時期での導入を見送ることとした。

3.5 再構築（本調達）に向けた取り組み

本調達での調達方式は、価格要素と技術要素の合計で受注者を決定する総合評価落札方式一般競争入札とした。これは、新システムは水質管理業務の根幹を担うものであり、システムの完成度や充実度、新技術の導入可否が事業者の技術力によって大きく左右するため、その技術力を評価する必要があったためである。また本調達の範囲は、再構築（新システムの設計・開発）に加え、旧システムから新システムへのデータ移行作業、稼働後の運用・保守を一体とした。事業期間は開発1年と運用保守5年の計6年とし、開発・運用費の低減化を目指した。本調達の発注にあたって、複数事業者から入札参加資格申請がなされ、外部有識者参加による検討会議を通じて、システム会社を選定した。

表-1 新システムの主な機能

機能	内容
データ管理	定量下限値・最小記入値の識別
	基準値・目標値との判定
	3値の評価による異常値の表示
	季節限定調査と定期調査の識別 検査結果へのファイル添付
データ連携	Excel・csvファイルの自動取り込み
	他部署作成の各種帳票類 水道GLP検査結果との連携
データ検索	期間指定検索
	年度横断同月検索 地点・項目指定検索
データ出力	Excel出力（帳票・データ一覧）
	年次統計処理
	検査結果書発行（HP公開含む） Access出力（一覧管理）
進捗管理機能	水質試験・検査の進捗 お客さまからのお問い合わせへの回答
市内残留塩素管理	水質TMデータ管理 残留塩素濃度の予測値算出

4. 再構築業務（新システム開発）について

4.1 開発体制と方針

システム開発は、表-2のように進めた。着手早々に、新型コロナウイルス感染症拡大に伴う緊急事態宣言が発出され、関係者間での打ち合わせ機会や手段について、大幅な制限を受けた。

新システムは、全てオリジナルのプログラムによる開発とし、オンプレミスによるWeb方式を採用した。

4.2 新システムの稼働に伴う成果

1) 旧システムの問題解決による効果

水道法の逐次改正方式への対応やトレーサビリティ確保（水道GLPへの対応）、編集履歴やログ管理を確実に行うことでセキュリティ・堅牢性を確保した。

表-2 新システム開発スケジュール

令和2年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
動作環境分析 実施計画書作成	→											
環境設計 機能設計	→											
テスト計画	→											
製造	→											
単体テスト 結合テスト	→											
総合テスト 受入テスト	→											
職員研修	→											
データ移行	→											

新システムには当該システム内で進捗確認できる機能を付加した。これによって、水質試験所内のデータ確認（情報共有）を紙から電子ファイルへ移行するとともに、検査の進捗状況などもリアルタイムに確認できる仕組みとなった。

2) 機能強化による効果

他課や外部機関から提供されるファイル（Excel, csv 形式）を自動取り込みすることで、手入力や登録時の読み合わせ作業など人的負担が軽減された。さらに残留塩素管理機能を搭載し、水質遠隔監視装置で取得したデータを取り込むことによって、給水栓における想定塩素濃度や浄配水場における必要塩素量などを自動的に算出可能となった。

3) Web システムによる効果

データ処理を局の統合基盤サーバーで行うことで、データの入出力を行う端末（庁内端末等）に専用のソフトウェアを搭載する必要がなくなり、開発及び維持費を低減させ、保守作業が容易になった。また、データ入出力や管理を複数人で同時並行的に実施可能となった。

4) 局共通基盤に構築したことによる効果

新システムを局の庁内共通ネットワーク上に構築したことから、クライアント端末が庁内端末となり、外部からの不正アクセスなどの対策を局の統合基盤で行え、これらの対策に要していた労力等を削減できた。さらに、当局の with/after コロナに向けた体制の構築として、BYOD（Bring Your Own Device）によるテレワークの仕組みが構築された。この仕組みを併用することで、自宅や採水等の作業場所（局外）からも水質管理に関するデータ入力・閲覧の実務が可能となり、迅速な情報共有の仕組みを技術的に構築できた（図-3）。

今後、当局の関連システムの再構築が予定されており、更なる連携と機能強化を模索している。また、タブレット端末の利活用や水質分析機器等の検査関連システムとの連携も検討し、ICT 技術による更なる水質管理の高度化を目指していく。

5. まとめ

- 1) システム再構築は、構想段階を含めると3年を要して完了した。旧システムが抱えた種々の問題に対応するとともに、システム構成を見直し、情報管理に関する堅牢性を向上させた。
- 2) 再構築に合わせて、検索手段やデータ連携、進捗管理機能、残留塩素管理機能などの業務支援機能を充実させ、水質管理の高度化に取り組んだ。
- 3) Web システムを採用することで、複数人による同時並行的な作業を実現した。また、局共通ネットワーク上に構築を行ったことで、BYOD による外部アクセスの仕組みとの連携が実現でき、場所を問わず水質管理データにアクセスできる仕組みとなった。

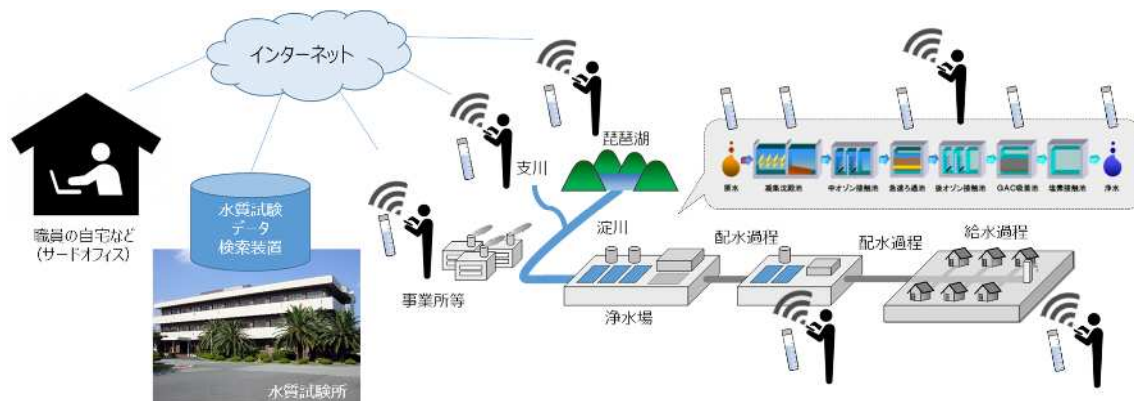


図-3 ICT 技術を活用した水質管理（一部将来構想含む）

6. 参考文献

- 1) 森ら：水質情報管理システムの開発と活用方法に関する検討 水質情報を一元化したプラットフォームの開発、水道協会雑誌、第88巻、第9号、5-8、2019。

FT-IR を用いた水道水中の劣化異物分析

大阪市水道局 柳瀬 剛士 北本 靖子 吉村 誠司

1. はじめに

高度浄水処理が本市に導入されてから 20 年以上が経過した。かび臭やカルキ臭などの異臭味やトリハロメタンなどの消毒副生成物が低減され、より安心・安全な水道水をお届けすることができるようになった。しかしながら、浄水場から供給される水が良質であっても、給水栓に至るまでの給配水過程に起因する水質異常が生じる場合がある。

本市では、年間約 200 件程度の水道水質に関する問い合わせを受け、そのうち異物に関するものは、件数として約 2～4 割を占めている(図-1)。水道水中の「異物」は、お客さま

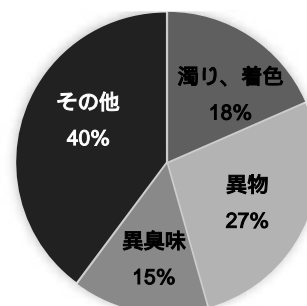


図-1 水道水質に関する問い合わせ件数
(令和元年度)

が目で見えてすぐにわかるため、水道水質に対する大きな不安要因となりうる。本市では、形状観察に加えて、電子顕微鏡(以下、SEM)を用いた特性 X 線による元素分析(以下、EDS)やフーリエ変換赤外分光光度計(以下、FT-IR)を用いた機器分析を併用することで異物の同定に努めてきた。特に FT-IR による異物分析においては異物の原因となる可能性のある物質を集めた専用ライブラリを作成して活用することにより、異物の同定精度を向上させてきた¹⁾。しかしながら、水道水中から漏出した異物は、長期間、加熱や塩素に接触することで劣化し、使用当初の物性から変化することから同定が難しく、特に水道用ゴムパッキン由来であると考えられる黒色異物については、明瞭な定性結果が得られないことがある。そこで、新たに材質の異なる数種類の黒色のゴムパッキン(以下、黒ゴム)について、それらを次亜塩素酸ナトリウムに浸漬させることで劣化評価を行い、異物分析精度の向上を検討した。

2. 異物の試験方法

(1) 前処理操作

水道用黒ゴム試料としては、市販のアクリロニトリル・ブタジエンゴム(以下、NBR ゴム)、スチレン・ブタジエンゴム(以下、SBR ゴム)、エチレンプロピレンジエンゴム(以下、EPDM ゴム)を主成分とするものを使用した。また、これらのゴムを強制的に劣化させるために 13%の次亜塩素酸ナトリウムに 4 の暗所で 1 か月間浸した。これらの試験試料は、十分に精製水で洗浄した後、シリンジなどで可能な限り周囲の水を除去し、恒温乾燥器(乾燥温度 60 程度)にて十分乾燥してから、次の分析作業に供した。

(2) 分析機器と測定条件

FT-IR(日本分光製 FT/IR4700)を使用した測定は、一回反射 ATR 法とし、波数 500cm^{-1} から 4000cm^{-1} の範囲の赤外吸収スペクトルを測定した。また、黒色異物の同定に適しているゲルマニウム結晶を用いた。

3. 結果と考察

3.1 FT-IRによる各種黒ゴムの評価

一般的なゴムの種別分析方法としては、FT-IRによる定性方法が知られている²⁾。図-2に、新品の各種黒ゴム（NBRゴム、SBRゴム、EPDMゴム）のスペクトル測定結果を示す。特徴的なピークとして、SBRゴム（図中A）は、 700cm^{-1} の $-\text{C}_6\text{H}_5$ （ベンゼン環由来）、 970cm^{-1} の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合、 2800cm^{-1} の $-\text{C}-\text{H}$ 結合が検出された。NBRゴム（図中B）は、 970cm^{-1} の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合や 1460cm^{-1} の $-\text{CH}_2-$ 結合、 2240cm^{-1} の $-\text{CN}$ 結合、 2800cm^{-1} の $-\text{C}-\text{H}$ 結合のピークが検出された。EPDMゴム（図中C）は、 1460cm^{-1} の $-\text{CH}_2-$ 結合、 2800cm^{-1} の $-\text{C}-\text{H}$ 結合のピークが検出された。また、各種黒ゴムの化学構造を図-3に示す。今回の検討に用いた各種黒ゴムには、図-2で検出された官能基を含んでおり、一般的に水道用ゴムパッキンとして使用されている黒ゴムはスペクトルの違いから、種別を同定できることがわかった。

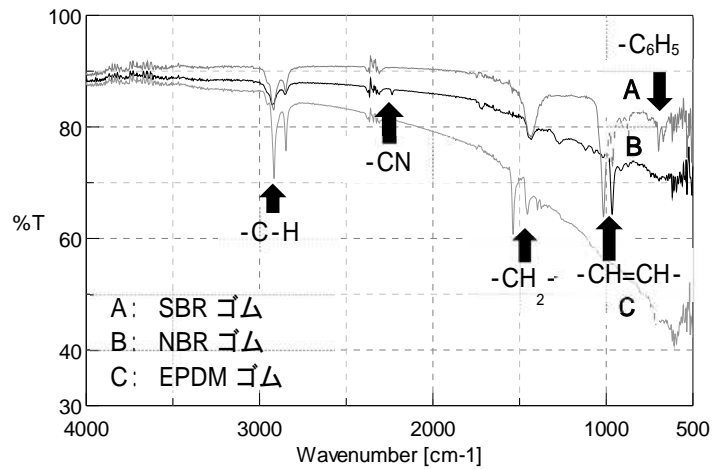


図-2 FT-IRによる各種黒ゴムの測定結果

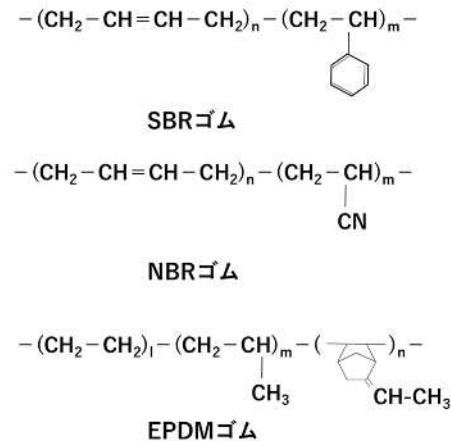


図-3 代表的な黒ゴムの化学構造

3.2 FT-IRによる劣化異物の評価

(1) SBRゴム

図-4に、FT-IRによる標準品SBRゴム（図中A）と13%次亜塩素酸ナトリウムで1か月浸漬させた試料（図中D）のスペクトル測定結果を示す。結果から、次亜塩素酸ナトリウム処理したSBRゴムは標準品に比べ、 970cm^{-1} の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合由来のピークが減衰していることを確認した。これは、黒ゴムの表面が次亜塩素酸ナトリウムによ

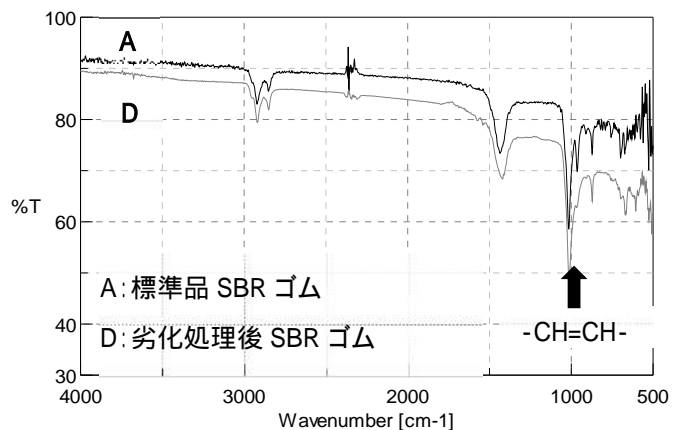


図-4 FT-IRによるSBRゴム劣化前後の測定結果

て劣化し、ゴム成分主鎖由来の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合が開裂することでピークが減衰したと推察され

た。このため、劣化した SBR ゴムは、黒ゴムの標準品スペクトルによるライブラリ検索で、同定率の低下につながっていたと考えられた。

(2) NBR ゴム

図-5 に、FT-IR による標準品 NBR ゴム (図中 B) と 13% 次亜塩素酸ナトリウムで 1 か月浸漬させた試料 (図中 E) のスペクトル測定結果を示す。結果から、次亜塩素酸ナトリウム処理した NBR ゴムは標準品に比べ、 970cm^{-1} の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合由来のピークが減衰していることを確認した。また、NBR ゴムの特徴的なピーク

(2240cm^{-1} の $-\text{CN}$ 結合由来のピーク) が消失し、 $-\text{OH}$ 結合由来のピークの出現が確認された。これは、SBR ゴムと同様に、長期間使用しているゴムパッキンが水道水中の次亜塩素酸によって表面が劣化し、ゴム成分主鎖由来の $-\text{CH}=\text{CH}-$ 結合が開裂することによるピークの減衰および $-\text{CN}$ 基の脱離と $-\text{OH}$ 基の結合が考えられた。このことから、劣化した NBR ゴムについても、黒ゴムの標準品スペクトルからなるライブラリ検索で、同定率の低下につながっていたと考えられた。

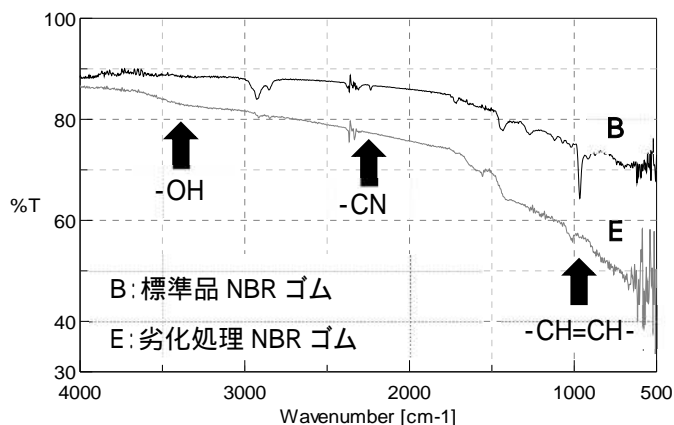


図-5 FT-IR による NBR ゴム劣化前後の測定結果

(3) EPDM ゴム

図-6 に、FT-IR による標準品 EPDM ゴム (図中 C) と 13% 次亜塩素酸ナトリウムで 1 か月浸漬させた試料 (図中 F) の測定結果を示す。結果から、次亜塩素酸ナトリウム処理した EPDM ゴムは標準品と比較して、検出されるピークに顕著な差異は見られなかった。結果から、EPDM ゴムについては、劣化の有無によらず、一定の同定率を得られると考えられた。

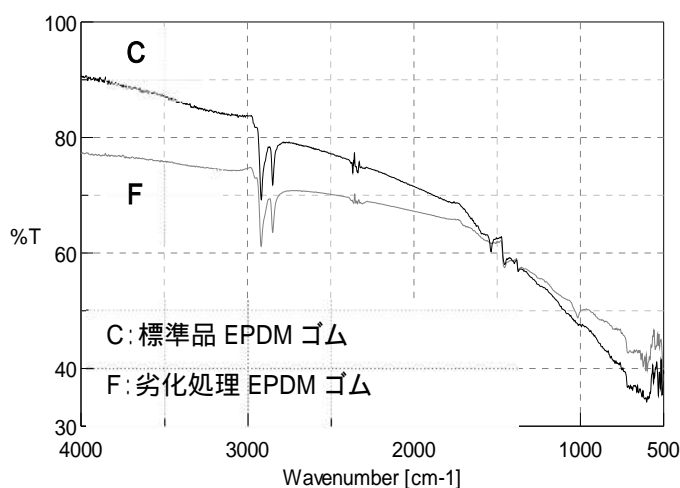


図-6 FT-IR による EPDM ゴム劣化前後の測定結果

ただし、標準品として今回は市販品を用いたため、詳細な製造法や表面処理・耐劣化処理などが不明である。このため、継続的に黒ゴム製品 (EPDM ゴム) について調査し、ライブラリの充実を検討していく。






3.3 黒色異物ライブラリ検索事例

3.1 および 3.2 で得られたゴムの材質（標準品）およびそれらの次亜塩素酸ナトリウムによる劣化時のスペクトルデータを専用ライブラリに登録した。

実際にお客さまから「台所から黒い異物が出る」という問い合わせがあったため、該当試料（色：黒色、所感：ゴム様、SEM-EDS による元素分析：C, O, S 検出）につ

いて、FT-IR 測定結果のライブラリ検索を行った事例を表-1 に示す。その結果、標準品（表中：ゴム NBR）との同定率（表中：HQI）が 896.76 であったことに対して、新たに登録した劣化品（表中：次亜塩素酸劣化ゴム NBR）との同定率は 912.51 となり、FT-IR による黒色異物の同定率の向上を確認できた。

表-1 問い合わせ試料のライブラリ検索結果

HQI	名称	スペクトル
912.51	次亜塩素酸劣化ゴム (NBR)	
901.25	ゴム (EPDM)	
899.45	ゴム (EPEM)	
896.76	ゴム (NBR)	
892.88	次亜塩素酸劣化ゴム (EPDM)	

4. まとめ

- 1) 材質の異なる数種類の黒色ゴムパッキンを FT-IR で評価した結果、素材の官能基に由来し、それぞれ検出されるスペクトルが異なることがわかった。
- 2) 黒色ゴムパッキンを次亜塩素酸ナトリウムに浸漬させることによって強制的に化学変化（劣化）させ、それらの表面状態を FT-IR で評価した結果、SBR ゴムと NBR ゴムに関しては劣化前後でスペクトルに変化が見られた。EPDM ゴムは劣化前後で検出されるピークに差異はみられなかった。
- 3) 数種類のゴムの材質および次亜塩素酸ナトリウムによる劣化試料のスペクトルをライブラリに登録し、形状観察や SEM-EDS の元素分析によって黒ゴム様と判明したお客さまからのお問い合わせ試料に対してライブラリ検索を行った結果、新たに登録したライブラリと高い一致度を示し、黒色異物の同定率を向上させることができた。

5. 今後の展開

FT-IR は表面分析であるため表面劣化が過度な物質については明瞭な結果が得られない場合がある。そのため、表面状態に関係なく異物に含まれる有機添加剤の情報を取得することが可能な加熱脱着ガスクロマトグラフ質量分析計（以下、TD-GCMS）³⁾などを併用して、劣化した異物分析への精度を向上させていく予定である。

【参考文献】

- 1) 春田ら、水道水中の異物分析における専用ライブラリの活用、日本水道協会第 64 回全国水道研究発表会講演集、pp.40-43(2013)
- 2) ゴム-赤外分光分析法によるゴムの種類の同定 [JIS K 6230:2018]
- 3) 柳瀬ら、TD-GCMS を用いた水道水中の劣化異物分析、令和 3 年度水道研究発表会予定

水中粒子画像解析による藻類の識別事例の報告

横河ソリューションサービス株式会社 ○渡邊 彩花・田中 克知・黒木 成多
横河電機株式会社 山宮 広之

1. はじめに

上水道において藻類の大量発生は、異臭味、凝集障害、ろ過閉塞等の要因となり、長年の課題となっている。早期に適切な対処を行うためには、要因となっている藻類の早期識別が望ましいが、従来の手動顕微鏡による粒子分析では時間を要するためタイムリーな対処を行うことが困難であった。本報告では、この識別による時間を短縮するため、水中粒子画像解析技術を用いた藻類自動識別事例を紹介する。

2. 水中粒子画像解析の仕組み

水中粒子画像解析装置は、幅広い倍率のレンズの $2\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ の水中粒子に対応しており、肉眼では観察できない水中粒子を、複数の特徴量により識別することができる。装置の構造は図1に示すとおりである。対象のサンプル水を投入口に挿入すると、シリンジポンプにより、サンプル水がフローセルを通過するよう吸引する。その際に、1秒間に何千もの粒子画像（図2）が撮影される。コンピュータにてリアルタイムに各粒子の画像を長さ、幅、アスペクト比、透明度などの特徴量を数値化し、既知の特徴量に基づき自動的に分類する。

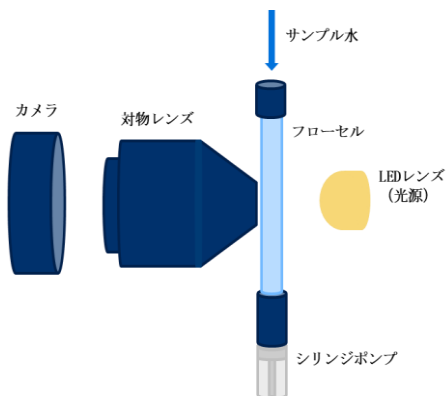


図1 水中粒子解析装置の構造

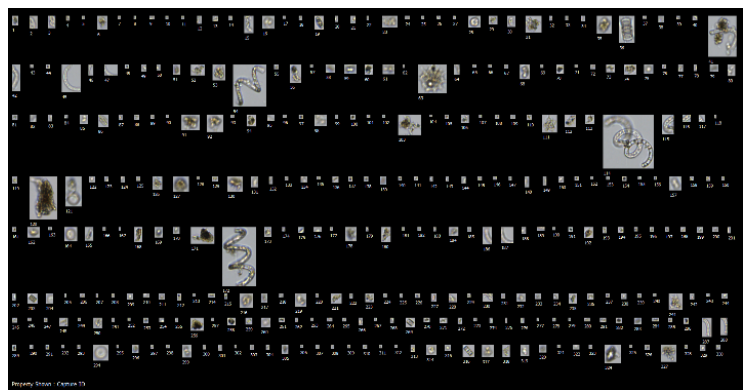


図2 湖の藻類画像データ例

撮影された粒子の画像は既知の特徴量に基づいて、それぞれのプランクトン種別に分類されることにより、従来時間を要していた識別プロセスの短縮を可能とした。技術者は、画像認識ソフトウェアを使用して、様々な特徴量の中から、さらに細分化した特性フィルタを作成することで、より細かい分析を行うことも可能である。また、収集データの管理において、顕微鏡記録は転記および人の手によってデジタル化する必要があるが、水中粒子画像解析装置は、特徴量による分類から更に、対象藻類の数、濃度、およびサイズなどの概要を示すグラフと統計値を自動的に表示する（図3）。これらの機能により、測定から解析までの時間を短縮することを可能とした。

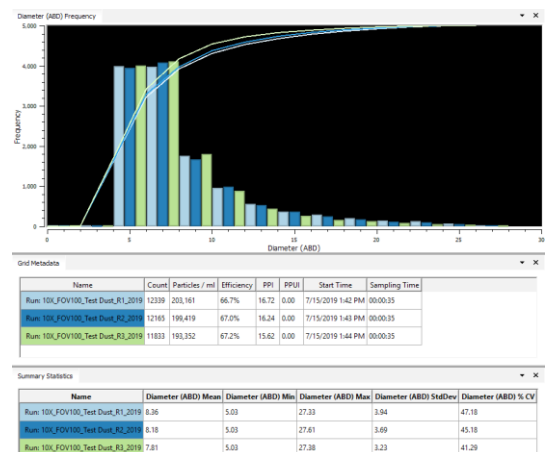


図3 ソフトウェアより生成されるグラフの例

3. 水中粒子解析を活用した藻類の識別事例

(1) 概要

カナダアルバータ州全域にある約 60 箇所の湖で藻類調査を行った。その際に、生成された藻類の総数と詳細の分析を、標準的な光学顕微鏡と水中粒子解析装置の両方を使用しその結果を比較した。

(2) 検証方法

本検証では、6月から9月にかけて各湖より隔週にて毎月サンプルを収集した。収集から24時間以内の生細胞の分析を可能にするため、ラボに輸送する際は収集後すぐに冷暗所に保管し、さらにプランクトンなどの脆弱な生物の固定や保存に用いられるルゴール液を使用してサンプル水を保管した。

光学顕微鏡は倍率40~63倍のものを使用し、各サンプル水に含まれる藻類の最大サイズを観察した。その結果を水中粒子解析装置の対物レンズの倍率とフローセルの直径数を設定する際の基準とした。水中粒子解析装置の対物レンズを20倍にすることで、光学顕微鏡とほぼ同等の識別が可能となった。そのため、最終的には、20倍の対物レンズと50 μ mのフローセルを使用して0.02mL/分の流量でフローセルを通過する条件のもと観察を行った。なお、フローセル内側のガラス表面に藻類が付着することを防ぐため、濃度5%のヨウ素ベース酸性ルゴール溶液をサンプル水に添加した。

光学顕微鏡と水中粒子解析装置の識別結果は、相関分析によって評価した。

(3) 検証結果と考察

水中粒子解析装置の対物レンズの倍率は、藍藻類の総細胞数と検出された藍藻類の種類に影響を与えた。図4に示すように、20倍率の対物レンズを使用した際、4倍率の対物レンズで同じサンプル量を分析して得た結果と比較して14倍の総細胞数、そして4倍の藍藻類の濃度を検知することができた。これより、高倍率の対物レンズの使用により高画質の画像撮影を行うことで、細胞直径が5 μ m未満の比較的小さな藍藻類の検出が可能であることがわかった。

20倍率の対物レンズの水中粒子解析装置と63倍率の光学顕微鏡を使用し、186のサンプルを対象に藍藻類の識別を行った。それぞれのデータを図5Aに記した結果、有意な正の相関を得られた。また、藍藻類の細胞個数が100,000 cell/mLを超えない場合、より有意な正の相関を示すことが分かった(図5B)。同様に、主要な藻類分類群(図6A アナベナ属、図6B ミクロキスチス属、図6C アファニゾメノン属)の総細胞数も有意な正の相関を示した(図6)。アファニゾメノン属の水中粒子解析装置での検出数が光学顕微鏡を使用した場合より少なく見られた。これは、群体となって浮遊するアファニゾメノン属を個別に識別することが困難であったからと考える。これらの結果から、群体を除く藻類に対し水中粒子解析装置を活用した識別が有効であることがわかった。また、作業効率が向上したことから、光学顕微鏡を使用した場合では週に15サンプルの分類データしか生成できなかったが、水中粒子解析装置を使用したことにより週50サンプルの分類データを生成することができた。このように、水中粒子解析装置は多くのサンプルをタイムリーに分類する際に有効的であることが分かった。

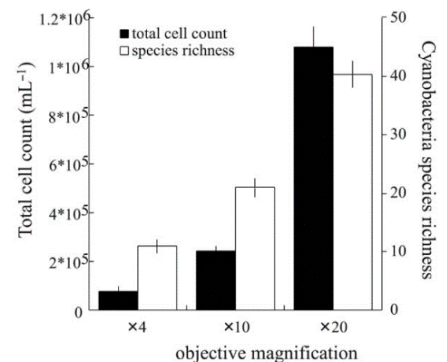


図4 対物レンズの倍率ごとの総細胞数と藻類種の検出データ

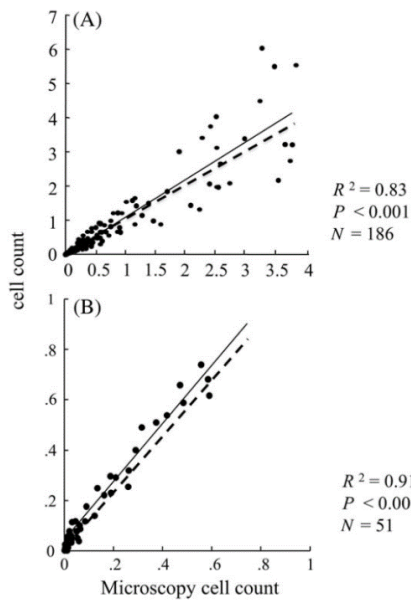


図 5 水中粒子解析装置と光学顕微鏡による藻類の総細胞数の相関

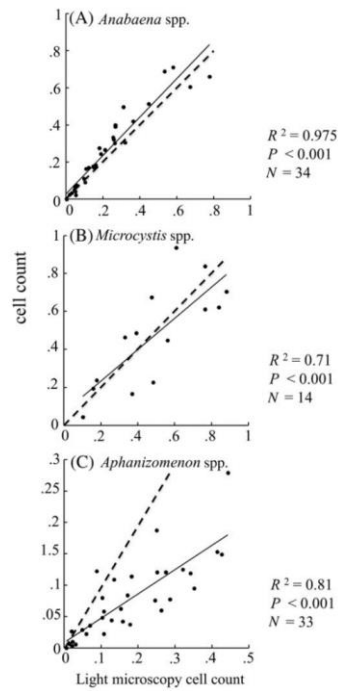


図 6 水中粒子解析装置と光学顕微鏡による主要な藻類分類群の総細胞数の相関

4. おわりに

藻類の識別に対して水中粒子画像解析の技術を適用した事例を紹介した。これまで人の経験に依存してきた藻類識別管理だが、水中粒子の特定を自動化することで、藻類の識別にかかる時間を大幅に削減できることがわかった。しかし、細分化した識別を実施するためには、自動分類のベースとなる藻類データのライブラリの充実が必要であることがわかった。これらの課題も踏まえ今後は、ライブラリの充実、サンプリングの自動化等、藻類識別調査の時間短縮やオンライン化による浄水場での活用を目指し、引き続き技術開発を進めていきたい。

参考文献

- (1) Frances, Buerkens et al. Tackle taste and odor with proactive water quality monitoring. Opflow. 2020. P. 10-14. <https://doi.org/10.1002/opfl.tktk>
- (2) Graham, M.D. et al. High-resolution imaging particle analysis of freshwater cyanobacterial blooms. Limnology and Oceanography: Methods. 2018. P.1-11. doi:10.1002/lom3.10274.

問合せ先 : 横河ソリューションサービス株式会社 環境システム本部 企画部 開発グループ
 渡邊 彩花 TEL : 0422-52-6701 E-mail: Ayaka.Watanabe@yokogawa.com

猪名川浄水場におけるオゾン処理設備の更新事例

○洗 優佑(阪神水道企業団) 金子 周平(阪神水道企業団)
山根 久和(阪神水道企業団) 用害 良徳(阪神水道企業団)

1 はじめに

阪神水道企業団（以下「企業団」という。）の猪名川浄水場は、昭和 38 年の稼働以後、段階的な拡張工事及び高度浄水処理施設を導入し、Ⅰ系、Ⅱ系、Ⅲ系と 3 系統の浄水処理施設を有する施設能力 916,900 m³/日の基幹浄水場である。このうちⅢ系オゾン処理設備は、平成 5 年に 1,2 号、平成 7 年に 3 号、平成 9 年に 4 号が稼働を開始し、最終的に処理能力が 321,900 m³/日となった。

しかし、本設備は稼働から約 25 年が経過したため、令和元年度より更新工事を実施している。本報告では、オゾン処理設備更新に至るまでの経緯、オゾン処理設備の仕様と台数の検討並びに異なる仕様の新設設備を既設設備と併用しながら更新する施工方法について報告する。

2 既設オゾン処理設備の仕様

猪名川浄水場のオゾン処理設備のシステムフローを図-1 に表す。猪名川浄水場では空気原料のオゾン発生器を使用し、接触槽は有効水深 5m、接触時間は約 10 分の上下迂流 3 段向流接触方式である¹⁾。注入量については、オゾン化空気量を一定とし、オゾン発生濃度の変更により増減させ、活性炭吸着槽の流入渠末端にて溶存オゾン濃度が設定値 (0.25mg/L) となるようフィードバック制御を行っている。企業団では、オゾン処理設備の更新基準を定めており、水処理性、運転管理性、維持管理性から評価を実施した結果、各機器の劣化が進行していること、部品製造が終了し供給が困難なこと、今後の維持管理費が増大するなどの理由により、基準通りの更新が必要と判断した²⁾。

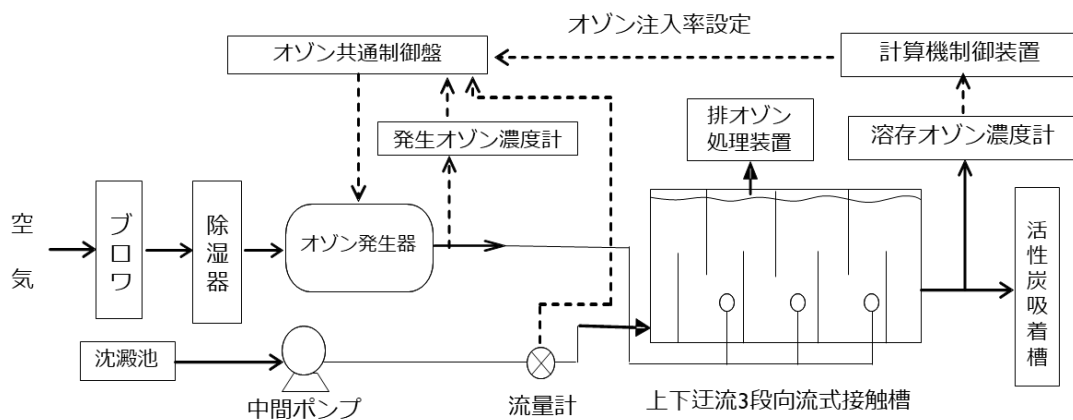


図-1 猪名川浄水場オゾン処理設備システムフロー

3 オゾン処理設備更新の検討

更新に際して最新の技術動向を調査したところ、既設接触槽に高濃度オゾン発生器と低風量型散気装置（散気板、又は散気ディスク）を導入すれば、ブロワ、除湿機及び排オゾン処理装置等の補機類の容量の小型化が可能となり、機器費、維持管理費及び消費電力が低減することが見込まれた。

そこで、オゾン発生器の台数と発生容量等についても検討を行った。既設発生器の導入時は、オゾンの平均注入率を2 mg/L、最大注入率3 mg/Lとし、接触槽を2槽運用から3槽、4槽へ段階的に稼働することを考慮したため、10kgO₃/hの発生器を順次4台設置した。しかし、これまでの運転実績では平均注入率1 mg/L、最大注入率2.55 mg/Lであり、また、導入時の想定より低い注入率での運転状況が多くなっていた。その結果、最大注入率を変更せず、設置台数を4台から3台に変更する方が、工事費、消費電力量や維持管理上においても優位であるため、13.4kgO₃/hの発生器を3台設置することを決定した。

なお、新設オゾン処理設備を導入した際の水処理性については、数値流体力学（CFD）でのシミュレーションを行い、オゾン吸収効率や槽内の溶存オゾン濃度分布等が既設オゾン処理設備を運用している場合と同等であることを確認している³⁾。

これらの検討から高濃度オゾン発生器と低風量型散気ディスクを組み合わせ、発生容量を増量した3台の発生器を導入することに決定した。表-1に既設・新設オゾン処理設備の仕様を、図-2の左に既設、右に新設発生器を示す。

表-1 既設・新設オゾン処理設備の主な仕様

	既設オゾン処理設備	新設オゾン処理設備
オゾン発生器	円筒多管無声放電方式・4台	円筒多管無声放電方式・3台
原料ガス	乾燥空気（露点-60℃以下）	乾燥空気（露点-60℃以下）
放電管	ガラス系放電管	ガラス系放電管
発生容量	10.0kgO ₃ /h（1台当たり）	13.4kgO ₃ /h（1台当たり）
発生濃度	20g/m ³ (N)（1台当たり）	40g/m ³ (N)（1台当たり）
ブロワ	空気原料・520 m ³ /h・0.108MPa	空気原料・358 m ³ /h・0.18MPa
散気装置	セラミック散気筒	低風量型散気ディスク
気液接触方式	上下迂流3段向流接触方式	上下迂流3段向流接触方式
接触時間	約10分	約10分
排オゾン処理装置	マンガン触媒+活性炭(4台)	マンガン触媒+活性炭(3台)



図-2 既設・新設オゾン発生器

4 更新工事中の課題と対応

4-1 工事施工の課題の検討

更新工事の施工にあたっては、本来であれば施工リスクや経済性を考慮し、Ⅲ系オゾン処理設備を全停止して行うことが望ましい。しかし、Ⅲ系オゾン処理設備を全停止させる場合、必要給水量の確保が難しくなるため、既設のオゾン処理設備を稼働させながら施工することが求められる。そこで、新たに新設オゾン処理設備のみ制御を行う新共通制御盤の設置を行った後、既設設備の共通制御盤も稼働させながら発生器の更新を稼働期間が長い設備より順に1台毎に施工し、残りの設備で運用を行うこととした。

ただし、新設・既設設備を併用運転する場合、発生オゾン濃度・風量・圧力などの機器仕様が異なるため、更新工事中にオゾンの注入を適切に行うための運用方法について検討した。

4-2 新設・既設設備併用運転時の対応

新設オゾン処理設備が稼働を開始している状態での更新工事中のオゾン処理設備全体の運用概略図を図-3に示す。新設設備の稼働後は、新設・既設それぞれの系統で単独運用ができる仮設配管の設置を行うようにした。これにより既設のオゾンヘッド管も流用しながら互いのオゾン処理設備に影響を及ぼすことなく設備の更新を行うことが可能となった。なお、このときのオゾン注入率は、新設・既設共用で比率設定器にて新設・既設設備それぞれの処理水量を設定することで、共に適切なオゾンの注入を行うことができる。

しかし、このような運用を行う中で機器故障時のバックアップ体制について課題が生じることとなった。施工前の故障停止時は、オゾンヘッド管にて各発生器が接続されているため、自動でバックアップされていたが、更新工事中は新設・既設設備がそれぞれ単独でオゾン接触槽・排オゾン処理装置へと接続されているため、新設・既設設備間を自動でバックアップすることが不可能であった。

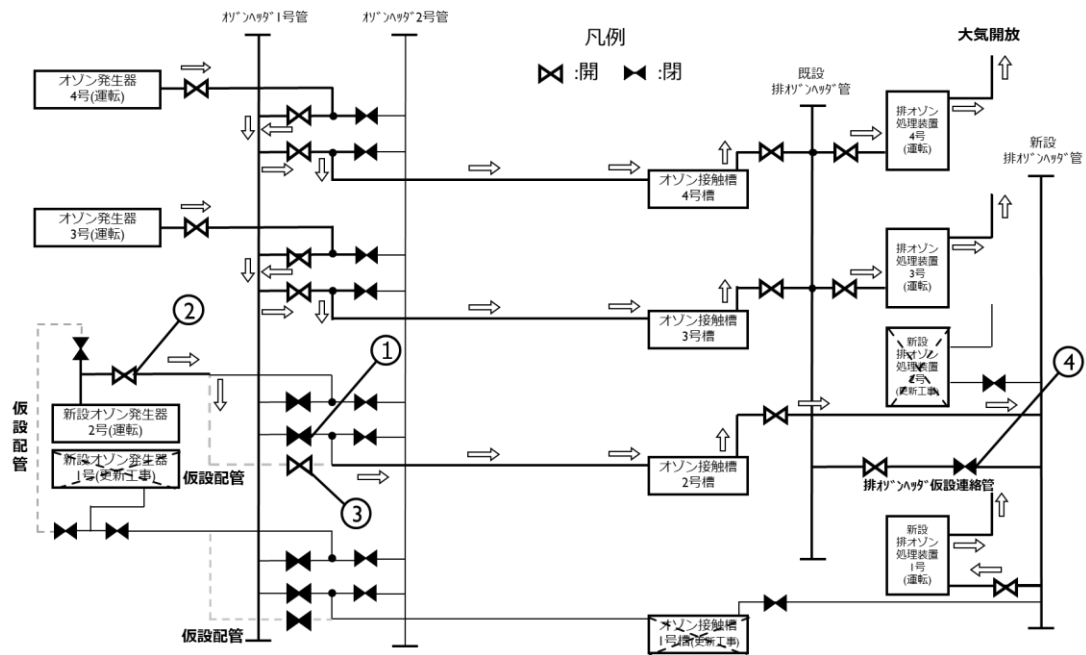


図-3 更新工事中のオゾン処理設備の運用概略図

そこで更新工事中はオゾン化空気配管を既設ヘッド管へ接続したままとし、新設の排オゾンヘッド管は既設ヘッド管と仮設の連絡管で接続した。これにより新設である2号のオゾン発生器が故障した場合、①のバルブを開、②③のバルブを閉とすれば、既設のオゾン発生器から新設オゾン処理設備系統へのオゾンの注入が可能となる。同様に新設の排オゾン処理装置が故障した場合、④のバルブを開とすれば新設と既設の排オゾンヘッド管が連絡され、新設オゾン処理設備で発生した排オゾンを経由して既設の排オゾン処理装置で処理することができる。このような配管の接続により、故障時のバックアップ体制を整えることができた。

5 おわりに

オゾン処理設備の更新にあたり、高濃度オゾン発生器及び低風量型散気装置を導入することで既設オゾン処理設備よりも機器費、維持管理費及び消費電力が低減される機器が導入されることとなった。本工事は、既設オゾン処理設備の運用を継続させながら更新工事を実施しているため、課題の抽出と解決を図りながら更新工事を進め、令和4年度の完成を目指している。また、故障時にも処理水量を減量することがないようバックアップ体制の確立を行い、慎重に施工している。今後更新を迎える他の高度浄水処理設備の更新についても安全に施工できるよう、本工事での教訓を活かしていきたいと考える。

【参考文献】

- 1)花元ら：猪名川浄水場オゾン処理システムの技術的特徴,第44回全国水道研究発表会,p234-236(1993) 2)小椋ら：オゾン処理設備の更新の考え方について,第25回日本オゾン協会年次講演会講演集,p97-100(2016) 3)小椋ら：オゾン処理設備の更新に向けた既存接触槽への高濃度オゾン発生器の導入可能性調査,第27回日本オゾン協会年次講演会講演集,p41-44(2018)

猪名川浄水場における返送水質改善手法の開発にむけた調査研究

阪神水道企業団 ○浅堀 悠介 西澤 浩司
メタウォーター株式会社 村田 直樹

1. はじめに

阪神水道企業団では、沈澱汚泥の脱水ろ液（以下「脱離水」という。）や濃縮槽上澄水、ろ過池洗浄排水など、浄水処理に伴い発生する排水の全量を着水井へ返送するクローズドシステムを採用しており、返送水のうち半量程度が浮上分離設備¹⁾による処理を経て返送されている。しかし、脱離水や濃縮槽上澄水にはアンモニア態窒素や溶解性マンガ（以下、それぞれ「NH₃-N」「溶解性 Mn」という。）等の溶解性物質が淀川原水と比較して多く含まれていることが分かっており²⁾、それらの返送による浄水処理等への影響が懸念されている。

現在、猪名川浄水場では浮上分離設備が更新時期を迎えており、排水処理の見直し検討の一つとして、新たな排水処理方式の開発検討を進めている。そこで、当企業団ではメタウォーター(株)との共同研究により、令和2年度から生物酸化や化学酸化を用いた前処理設備と膜ろ過設備の複合システムを用いて、猪名川浄水場返送水への適用性調査を開始した。

本報では、(1)基礎調査として、猪名川浄水場の返送水を処理対象とした場合の膜ろ過特性の確認調査、続いて(2)膜ろ過の前段に生物酸化等を活用した前処理設備を導入したシステムを適用した場合の水処理性・運転性について、調査を行ったので報告する。

2. 処理対象水(実験原水)の水質状況

本実験調査に用いる処理対象水の水質について、調査開始から令和3年7月末までの測定結果を表-1に示す。処理対象水は、排水の中でも特に溶解性・不溶解性物質共に負荷の高いことが示唆されている脱離水²⁾を用いた。脱離水の性質として、浄水原水（淀川河川水）と比較すると全期間を通して負荷が非常に高いことや、同じ脱離水でも排出元設備の稼働状況により大きく水質が変動することなどが挙げられる。

表-1 処理対象水（脱離水）の水質

水質項目	単位	処理対象水(脱離水)			【参考】 浄水原水
		平均値 (n=37)	最大値	最小値	
水温	℃	17.5	29.5	6.2	5.1~30.3
濁度	度	86	212	7	6.8
色度 [※]	度	139	345	20	14
pH	-	7.75	8.21	6.73	7.4
NH ₃ -N	mg/L	8.5	21.6	0.3	0.03
TOC	mg/L	33.0	133.7	7.6	2.0
E260	5mm70°セル	0.15	0.31	0.08	0.034
総Mn	mg/L	13.7	30.6	2.3	0.021
溶解性Mn	mg/L	13.2	33.6	0.5	-

R2.10~R3.7

※見かけの色度(参考値)

浄水原水データは令和2年度における猪名川浄水場原水の年間平均値

3. 処理対象水に対する膜ろ過性確認調査

(1) 実験方法

本調査に用いた実験プラントについて、フロー図及び設備仕様を図-1、表-2にそれぞれ示す。脱離水を処理対象水として、セラミック膜による全量ろ過（デッドエンド方式）を行った。また、一定のろ過時間毎に物理洗浄を実施した。実験条件は表-3の通りである。なお、調査初期には凝集剤（硫酸アルミニウム）注入の有無による比較調査を2系列で並行して行った。

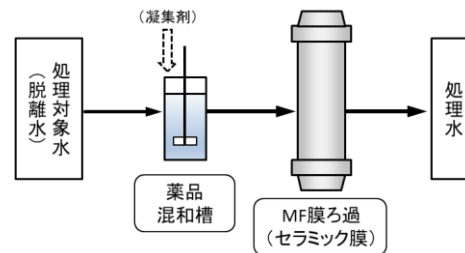


図-1 膜ろ過実験フロー

(2) 凝集剤注入有無による比較調査結果

調査初期に 2 系列の膜ろ過装置を使用し、凝集剤注入有無における膜差圧挙動の比較調査を行った。物理洗浄間隔毎（バッチ間）の膜差圧を図-2 に、物理洗浄直後の膜差圧を図-3 に示す。結果として、脱離水に対して凝集剤を注入しても膜差圧挙動に大きな違いは確認できなかった。これは、脱離水が浄水処理過程で既に荷電中和が完了した汚泥から発生する排水であるため、凝集剤を注入しても凝集効果が発現しなかったからと考えられる。なお、膜ろ過水質も同等であったことから、以降は凝集剤無注入にて調査を行うこととした。

表-2 膜ろ過設備の仕様

膜ろ過面積	0.4m ² /1系列
系列数	3系列
処理水量	2m ³ /日（3系列の合計）
使用膜	ケーシング収納型 セラミック膜 （公称孔径：0.1μm）
構成	内圧式モノリス型 （外径φ30×1000mmL）

表-3 膜ろ過処理 実験条件

膜ろ過流束（m/日）	1.44
物理洗浄間隔（時間）	2.5

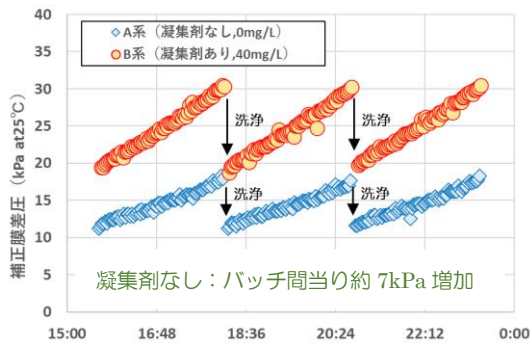


図-2 物理洗浄間隔毎の膜差圧挙動比較

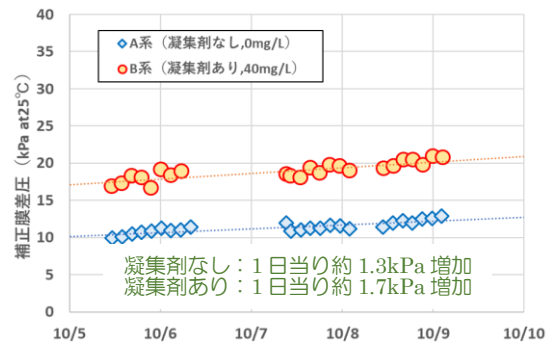


図-3 洗浄直後毎の膜差圧挙動比較

(3) 膜ろ過連続通水結果

図-4 に、装置稼働開始から令和 3 年 5 月にかけての連続運転結果を示す。なお、脱離水の排出元設備運用の関係上、装置運転は基本的に平日のみとした。結果より、令和 2 年 12 月までの期間については、凝集剤なしの条件下で 3 ヶ月程度の安定運転が可能であることを確認した。しかし、令和 3 年 1 月以降、急激な膜差圧上昇が確認された。この原因について調査したところ、同期間に脱離水水質（TOC 等）が悪化し、処理負荷が増加していることが分かった。この遠因として、本事象の発生から 1 ヶ月程度前より淀川水源上流部にて急激に藻類（珪藻類）数が増加³⁾しており、この藻類が増加した河川水が浄水場に流入後、浄水処理及び排水処理工程を経た上で、脱離水水質に影響を与えたものと考えられる。藻類の増加時期と TOC のピークには 1~2 ヶ月程度の差があり、淀川水源にて藻類が減少した後の時期においても膜差圧への影響は続いていた。また、令和 3 年 4 月以降、TOC 値は低下したものの、依然膜差圧上昇が高い傾向が継続していた。同時期においては淀川水源上流において黄色鞭毛藻類が増加しており、この影響を受けたもの

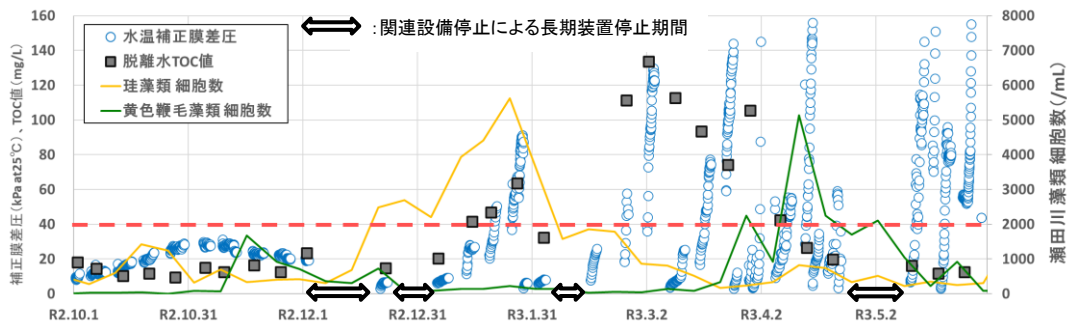


図-4 膜差圧の変動と淀川水源上流部の藻類発生状況

と考えられる。なお、藻類発生期間における浄水処理への影響は特に確認されていない。

以上のことから、脱離水を対象とした場合の膜ろ過適用性について、平常時は適用可能ではあるものの、淀川河川での藻類増加時には膜差圧へ大きな影響を与えることが確認され、洗浄方法等について対策の検討が必要であることが示唆された。

4. 生物酸化システムを前処理に用いた膜ろ過システム適用性調査

(1) 実験方法

前処理設備として、膜ろ過前段に生物処理と粉末活性炭吸着の効果を備えた生物処理・粉末活性炭吸着槽（以下「生物処理槽」という。）を導入したシステム（以下「ハイブリッド膜ろ過システム」という。）の、水処理性及び運転性の調査を行った。本調査の実験フローを図-5 に示す。処理対象水に、生物処理槽内の濃度が一定となるよう粉末活性炭を注入し、生物処理槽にて一定時間滞留後に汚泥沈降槽を通過させ、その上澄水を対象に膜ろ過を行う。膜ろ過洗浄排水や沈降槽の沈降汚泥は生物処理槽へ返送/循環しており、所定の濃縮率により濃縮している。濃縮率の調整は、汚泥系外排出量の変更により行った。

(2) 運転条件

運転条件を表-4に示す。RUN1では、実施化時のコスト低減の観点から、試験的に生物処理槽内で曝気を実施しない方式により調査を行った。RUN2以降からは曝気を実施し、RUN3以降においては曝気量の増加を行うと共に、膜差圧抑制の観点から生物処理槽の濃縮率について大幅な見直し（低減）を行った。

(3) 調査結果

i) 運転性調査結果

実験期間における膜差圧の推移を図-6に示す。3.で示した膜ろ過連続通水結果と同様、冬季に藻類発生に起因すると考えられる膜差圧の急激な増加が確認された。なお、前段工程の生物処理槽水が非常に高濁度であることから、後段に沈降槽を設置しているものの、3.の結果より大きな膜差圧の増加が確認された。RUN3以降は、膜ろ過流入水濁度の低下及び脱離水中の藻類減少に起因し、RUN-1,2 と比較して膜差圧の上昇は緩やかとなっている。RUN-3 の条件下では 1.5 ヶ月程度の連続運転が可能であり、薬品洗浄は年 8 回程度行う必要があると想定される。ただし、ろ過継続時間が 1 時間未満であることや、状況により大きく変動する原水性状に対応するため、今後は化学的強化逆洗（CEB）を用いた検討を行うなど、運転性のさらなる改善が必要と考えられる。

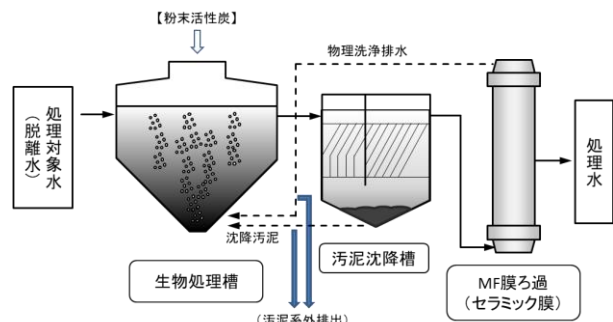


図-5 ハイブリッド膜ろ過システムを用いた実験フロー

表-4 運転条件

	RUN-1	RUN-2	RUN-3
生物処理槽内粉炭 濃度	300mg/L		
曝気風量 (生物処理槽容量: 100L)	-	2~5L/min	10L/min
生物処理槽内滞留時間	4時間		
濃縮率	>100倍	100倍	10倍
膜ろ過流速	1.44m/d		

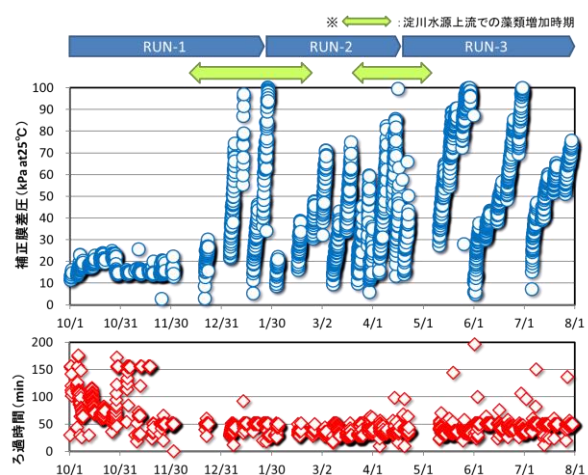


図-6 ハイブリッド膜ろ過システムにおける膜差圧の変動

ii) 水処理性調査結果

各条件における水処理性について、結果を表-5 に示す。濁度・色度は、全条件にて対処理対象水比 90%以上の除去率となっており、膜ろ過流入水が非常に高濁度である生物処理槽水であっても極めて良好に除去可能であることが確認された。NH₃-N 及び溶解性 Mn について、RUN-1 では処理性が確認されず、特に溶解性 Mn については処理対象水よりも逆に増加する傾向が確認された。これは、生物処理槽及び沈降槽に沈降した汚泥の嫌気化により、汚泥中の不溶性マンガンが還元され再溶出したものと考えられる。RUN-2 では生物効果の発現とマンガンの再溶出防止を目的とし、生物処理槽にて曝気を開始した。最適風量検討のため、徐々に曝気風量を増加したものの処理性は発現せず、RUN-3 ではより曝気量を増加したところ、両項目について比較的良好な処理性の発現が確認された。水温の上昇も一因として考えられるが、処理性安定後に 2 週間程度曝気停止状態としたところ、顕著に処理性が低下したことから生物処理性の発現及び維持のためには十分な曝気量の確保が重要であることが確認された。

以上より、運転性及び処理性の両面について、RUN-3 の条件にて比較的良好な結果が確認された。今後は RUN-3 の条件を基本形とし、より効率的な運転条件について検討を進める予定である。

表-5 水処理性の結果

運転条件		RUN-1			RUN-2			RUN-3		
水質項目	単位	処理対象水 平均	膜ろ過水		処理対象水 平均	膜ろ過水		処理対象水 平均	膜ろ過水	
			平均値	除去率		平均値	除去率		平均値	除去率
n数	-	15			9			11		
水温	°C	14.0 (6.2~22.0)			12.3 (6.9~19.5)			25.1 (18.1~29.5)		
濁度	度	110	0.03	100%	116	0.04	100%	40	0.09	100%
色度※	度	146	5.0	97%	240	6.0	97%	65	4.8	93%
TOC	mg/L	22.1	15.6	29%	81.4	58.8	28%	12.3	8.8	29%
NH ₃ -N	mg/L	7.9	6.2	21%	15.0	14.9	1%	5.0	1.2	76%
溶解性Mn	mg/L	9.5	9.5	0%	24.2	23.9	1%	9.4	5.9	37%

※見かけの色度(参考値)

5. まとめ

猪名川浄水場の脱離水を処理対象としてセラミック膜ろ過を適用した結果、凝集剤を添加せずとも安定した膜ろ過が可能であった。ただし、水源での藻類発生等に起因すると考えられる処理負荷増加時には、膜差圧への大きな影響が見られた。この対策として、処理対象水が休日には排出されない運用の特性を活用した洗浄方法等も含め、改善の検討を進めていく。

また、水処理性については十分な曝気を行うことで、ターゲットとする NH₃-N については 80%以上、溶解性 Mn については平均して 30%程度の除去率を確認できた。ただし、低水温期については処理性を確認できておらず、今後継続調査を行う必要がある。

以上より、猪名川浄水場における返送水質改善手法としてハイブリッド膜ろ過システムの可能性が示唆された。今後は、運転性・処理性の両面に加えコスト面なども含めたトータルの観点から、より効率的な運転条件等について追求し、実施化に向けた検討を進める。

【参考文献・引用データ】

- 1)花元他：浮上分離装置による場内回収水の水質改善、第 42 回全国水道研究発表会講演集、pp.253-255、1991.
- 2)浅堀他：猪名川浄水場における新たな返送水質改善手法の開発に向けた調査研究—水質面から見た排水処理の現状調査—、令和 2 年度水道研究発表会講演集、pp.198-199、2020.
- 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より

HP: https://www.lberi.jp/setagawa_plankton

水安全計画におけるろ過池冬季目標残留塩素濃度低減に伴う水質調査のまとめ

滋賀県企業庁

○安本勇太 島田桃衣 門野薫 瀧口喜三男

1. はじめに

滋賀県企業庁が所轄する 3 浄水場のうち琵琶湖北湖を水源としている馬淵浄水場と吉川浄水場について今回の調査を実施する。図 1 の浄水場の管路図に示す通り浄水池から直接配水池に送水される管路と、一旦調整池に送水されてから配水池へ送水される管路が存在する。浄水場の近辺と遠方で残留塩素濃度に大きな差が出ることから、平成 30 年度から、調整池の追加塩素注入装置（以下「追塩装置」という）を稼働し、順次残留塩素濃度の平準化を実施している。追塩装置は次亜塩素酸ナトリウムの劣化防止と設備の維持管理上通年稼働させる必要があるため、冬季は残留塩素の消費が少ないため、残留塩素管理を見直す必要があった。そのため吉川浄水場ろ過水の残留塩素濃度を通年の当庁管理基準である 0.55 mg/L よりも低い 0.40 mg/L に設定し、追塩装置の運転継続をした上で、ろ過水残留塩素を下げたことで懸念されるマンガン障害の調査を実施した¹⁾。令和 2 年度は馬淵浄水場においても冬季のろ過水残留塩素濃度の低減を計画し、マンガン砂の性能低下によるろ過水のマンガン濃度の上昇およびそれに伴う色度等の水質への影響について両浄水場共に調査を実施し、ろ過水の傾向について調査した。今回はこの 2 年間の結果のまとめを報告する。なお、両浄水場のマンガン砂は、原水より供給されたマンガンにより自然に形成されたものである。

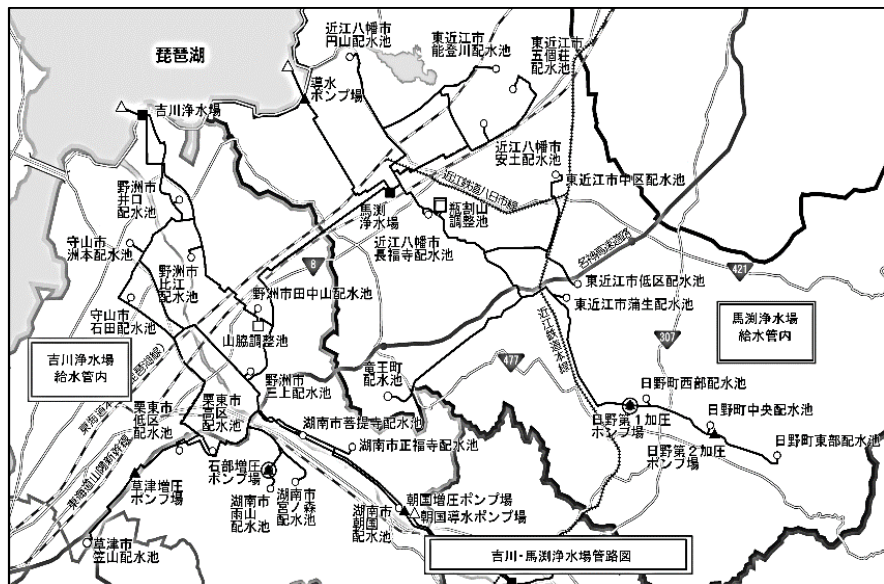


図 1 浄水場の管路図

2. 水安全計画による管理

当庁では独自の水質基準として、厚生労働省が定める水質基準（色度5度、マンガン及びその化合物50 µg/L）よりも厳しい管理基準を水安全計画により制定している³⁾。当庁の管理基準は水道維持管理指針²⁾を参考にしており、昨年度の実績を基にろ過水の管理方法を立案した^{1),3)}。日々の水質管理は色度を基準に実施しており、水質異常である判断の目安を色度0.4度とした。また、マンガン測定の際には、管理濃度を5 µg/Lとした。

3. 調査方法

令和元年度および令和2年度のろ過水の残留塩素低減実施期間はそれぞれ令和元年12月1日から令和2年3月15日、令和2年12月21日から令和3年2月29日の期間（以下、「低減期間」という）であった。ろ過水残留塩素濃度は図3のとおり吉川浄水場では一度に0.40mg/Lまで低減させ、馬淵浄水場では図2および図6のとおり段階的に低減させた。マンガンの測定頻度については、令和元年度の吉川浄水場は週4、5回、令和2年度の馬淵浄水場は週3回、吉川浄水場は週2回実施し、採水時には色度や残留塩素濃度を確認した。色度の測定はWater Analyzer 6000（日本電色製）、マンガンの測定はICP-MSのiCAP Q（サーモフィッシャーサイエンティフィック製）を用い、マンガンの検量線濃度範囲を0.1 µg/Lから5.0 µg/Lに設定した。

4. 結果および考察

4.1 吉川浄水場

吉川浄水場の令和元年度および令和2年度冬季のろ過水残留塩素濃度のモニタリング結果を図3に示す。低減期間終了後も含め、ほとんど逸脱がなく、およそ目標値通りに残留塩素が管理できていることを

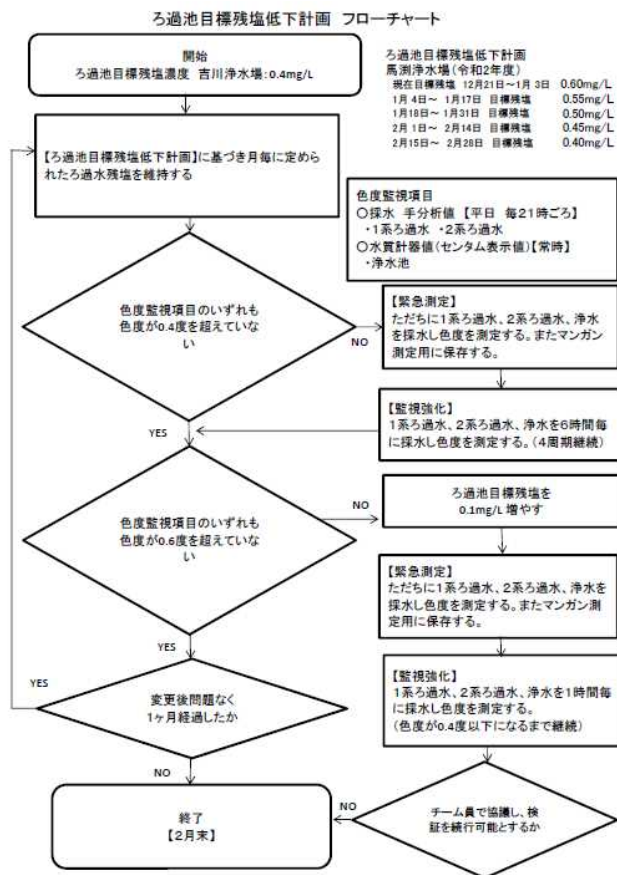


図2 冬季ろ過池管理のフローチャート

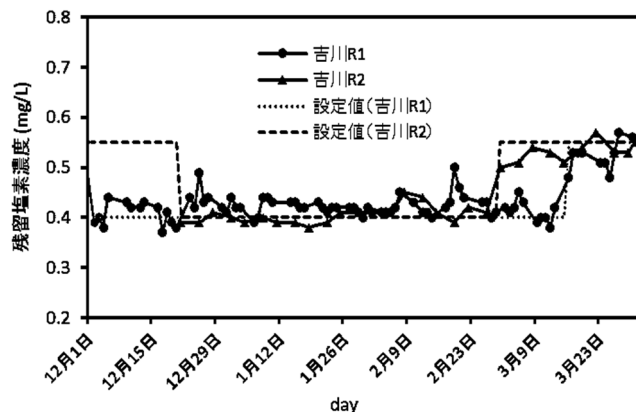


図3 吉川浄水場ろ過水残留塩素濃度の推移

確認した。

低減期間中のろ過水色度の測定結果を図4に示す。低減期間中は両年度共に低い水準で安定しており、残留塩素濃度の低減による色度の変化は見られなかった。この結果は低減期間外での測定結果とほとんど差がなかった。

ろ過水マンガンの測定結果を図5に示す。令和元年度においては低減期間中にマンガン濃度の上昇がみられたものの、管理基準値の5.0 $\mu\text{g/L}$ よりも十分低い値であった。また、低減期間終了後は再びマンガン濃度が低下し安定して推移していることも確認されたことから、マンガン砂への再吸着が示唆された。一方、令和2年度はマンガン濃度の上昇は見られず安定して推移していた。色度およびマンガン濃度が令和2年度の方が安定して推移していたのは、マンガン砂にマンガンが蓄積されマンガン除去性が増加したためだと考えられる。

4.2 馬淵浄水場

馬淵浄水場の令和2年度冬季のろ過水残留塩素濃度のモニタリング結果を図6に示す。比較として同年度の吉川浄水場のデータも併せて表示している。吉川浄水場の場合と同様におよそ目標値通りに残留塩素が管理できていることを確認した。

低減期間中のろ過水色度の測定結果を図7に示す。色度の推移についても同様に低減期間内外を問わず安定して推移していることを確認した。

ろ過水マンガンの測定結果を図8に示す。吉川浄水場の場合とは異なり、馬淵浄水場の場

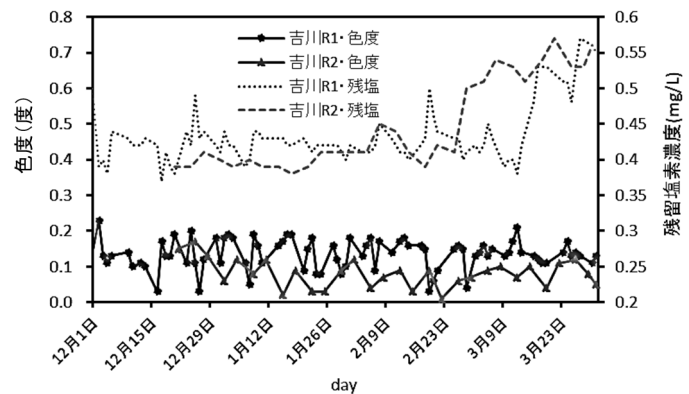


図4 吉川浄水場ろ過水色度の推移

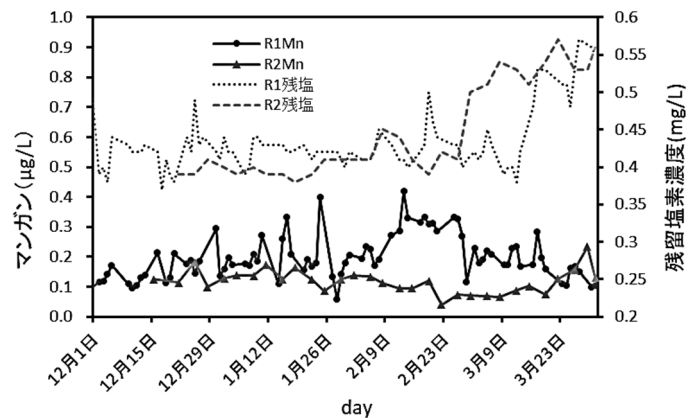


図5 吉川浄水場ろ過水マンガンの推移

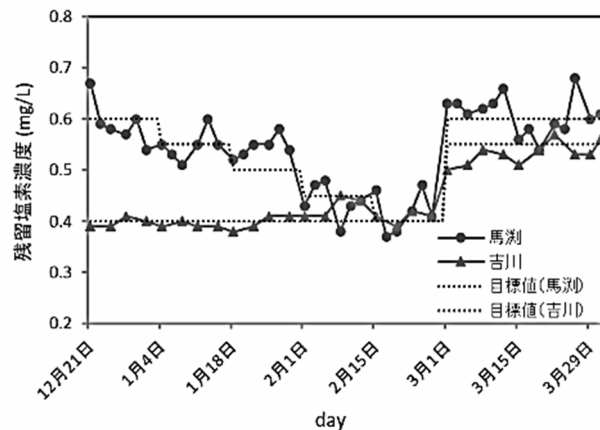


図6 令和2年度各浄水場ろ過水残留塩素濃度の推移

合1月半ばから2月にかけてマンガンの濃度が増加する結果となった。このマンガンの濃度が増加した期間は残留塩素濃度を0.50 mg/L以下に設定している期間と重なっており、残留塩素濃度の低減によりマンガンの溶出が示唆されたが、マンガンの濃度は当庁が定める管理基準値を超過することはなかった。また、低減期間終了後は再びマンガンの濃度が低下し安定して推移していることも確認されたことから、マンガンの再吸着が示唆された。マンガンの動向を探るため原水および凝集処理水のマンガンの測定も実施したが、凝集処理水とろ過水および原水とろ過水のマンガンの濃度に相関は見られなかった。このことより、ろ過水のマンガンの濃度の増減は沈殿池および水源の状態に依存せず、ろ過水の残留塩素濃度に影響すると考えられる。

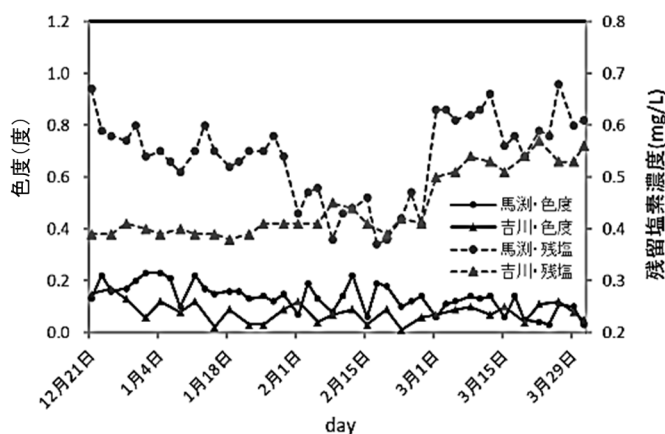


図7 令和2年度各浄水場ろ過水色度の推移

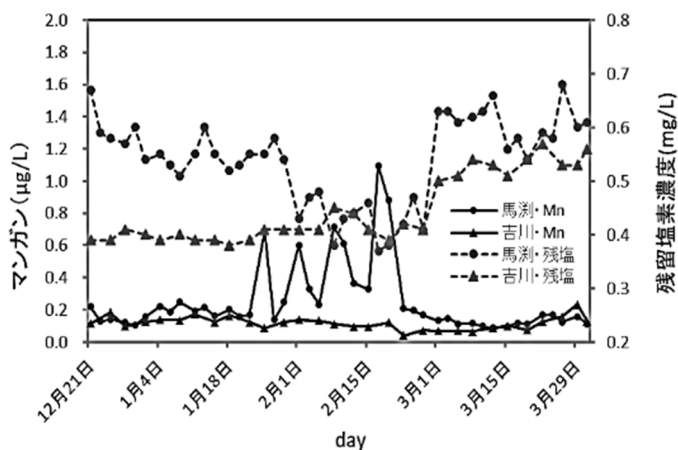


図8 令和2年度各浄水場ろ過水マンガンの推移

5. おわりに

吉川・馬淵両浄水場においてろ過水残留塩素管理基準を低減させたが、マンガンの性能低下による水質異常は見られず運用できることが確認された。今回の結果を基に、令和3年度においては馬淵浄水場においても冬季に残留塩素濃度を一度に0.40 mg/Lまで低減させて運用する方針である。また、水安全計画において冬季ろ過水管理方法(図2フローチャート)を付属書として掲載させ、運用のマニュアル化を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 安本他：吉川浄水場ろ過水の目標残留塩素濃度の低下に伴う水質調査、令和2年度水道研究発表会講演集 P.202-203 (2020)
- 2) 日本水道協会：水道維持管理指針 2016 (2017) P.367-368
- 3) 滋賀県企業庁：滋賀県営水道水安全計画 2013 (最終改訂 2019)

水口浄水場での消毒副生成物低減に向けた取り組み

滋賀県企業庁

○島田桃衣 熊崎起弥 門野薫

1. はじめに

当庁の浄水場のうち野洲川を水源とする水口浄水場では、夏期の原水水質悪化時に浄水の消毒副生成物濃度が特異的に上昇するため、水質に応じた対応が求められてきた。以前より野洲川や流入河川の調査および原水の消毒副生成物生成能調査を行い、水質計器による連続測定で原水の水質に応じた浄水処理を行っている。あわせて浄水の消毒副生成物調査により、浄水処理の効果を確認してきた。本年度は、実際に水質が悪化した時の導水施設での原水および浄水についての水質調査を行ったので、その経過と効果について報告する。

2. 水口浄水場の概要

水口浄水場の平均導水量は約 1050 m³/hr、平均送水量は約 23,000 m³/day、処理方式は PAC による凝集沈殿+急速ろ過である。処理フローを Fig. 1 に示す。導水施設から浄水池末端までは導水量により約 11.6 時間から約 17 時間程度必要である。導水施設では粉末活性炭注入設備を有し、消毒副生成物対策のほか、農繁期の臭気対策や油臭事故対策のために整備されている。消毒副生成物対策では、夏期の原水水質悪化時に粉末活性炭注入を行い、滋賀県営水道水安全計画により水質基準よりも厳しく設定した独自の管理基準で運用している (Table 1)。なお、連絡管により当庁の他の浄水場から浄水の相互融通が可能である。

Table 1 当庁での管理基準

	管理基準 mg/L	水質基準 mg/L
ジクロロ酢酸	0.01	0.03
トリクロロ酢酸	0.01	0.03
クロロホルム	0.012	0.06

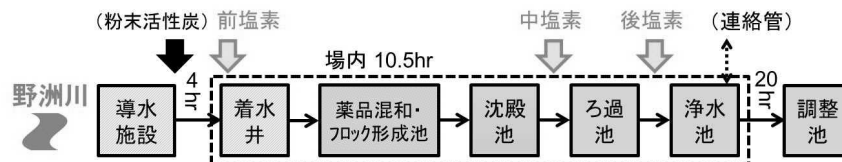


Fig. 1 水口浄水場の処理フロー

3. これまでの取り組み

原水は夏期の雨天時に水質が悪化し、浄水の消毒副生成物濃度が特異的に上昇する。消毒副生成物低減に向けて、平常時は前塩素を停止して中間塩素処理を基本とした。2018年7月から導水施設において原水の紫外線吸光度 UV- α VIS (UV 吸光度を濁度で補正した値) を消毒副生成物の代替指標として用いて浄水処理を行っている。対応としては原水の水温が 20°C以上において、UV- α VIS が 0.140 を超え 0.120 を下回るまで粉末活性炭注入を 20mg-dry/L で行うこと、0.660 を超えると当庁の浄水処理では対応できない恐れがあったため、取水量を低減あるいは取水停止して当庁の他の浄水場から連絡管により浄水の融通を受けることとしたⁱⁱ。Table 2 に示すように、水温が 15°C以上であり UV- α VIS が 0.140 を超えた期間を水質悪化期間として水質調査をし、2018年7月から#1 として順番に番号で管理をしている。

また、消毒副生成物のうち当庁で主にリスクの高い物質はクロロホルム、ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸であるが、これらの測定結果から生成量が互いに高い相関にあったためクロロホルムをモニタリングに使用した。

Table 2 当庁での浄水管理

	原水水温	期間開始	期間終了
水質悪化期間 (調査対象)	15°C以上	UV- α VIS が 0.140 超	30 時間後
粉末活性炭 注入期間	20°C以上	UV- α VIS が 0.140 超	UV- α VIS が 0.120 未満

4. 本年度の取り組み内容と結果

4.1 調査試料

浄水については、2018年7月から引き続き2021年8月まで調査を行った。水質悪化期間#1 から#69 において、6時間毎または8時間毎に採水を行い、クロロホルムを測定した。

原水については、2021年4月から2021年8月にあたる#48 から#69 について、導水施設に設置されている株式会社エヌケーエス製の自動採水機 LYSAM-P 型を用いて3時間間隔で採水した。前処理として孔径 1.0 μ m の GF/B ガラス繊維ろ紙でろ過したものを調査試料とした。

4.2 対象物質および分析方法

浄水のクロロホルムの測定にはページ・トラップーガスクロマトグラフィー質量分析計による一斉分析法を用いた。

原水は、三次元励起-蛍光マトリクス (Excitation-Emission Matrix : EEM) 測定により、励起波長 Ex 260 nm / 蛍光波長 Em 435 nm (ピーク①) および Ex 340 nm / Em 435 nm (ピーク②) の蛍光ピークをフルボ酸・フミン酸様物質として用いた。スペクトル取得の際に精製水によるブランク補正、吸収スペクトルから内部遮蔽効果の補正を行った。蛍光

強度は 10 μ g/L 硫酸キニーネ溶液の Ex 350 nm / Em 455 nm の蛍光強度を 10 QSU として規格化した。採水に使用した LYSAM-P 型では、ポリ容器・室温保存・開放系となるため、採水直後に試料回収ができない場合を考慮して同条件により原水における 1 週間後の経時変化を EEM 測定から得られるフルボ酸・フミン酸様物質のピーク①およびピーク②に大きな変化がないことにより確認している。

また、UV- α VIS および水温は水質計器による連続測定であるため、基本的に正時におけるデータを使用した。ただし、水温については導水施設において計器が導入されていないため、水口浄水場内の原水の水温計による測定値で代用した。

4.3 結果

#48 から#69 の原水について UV- α VIS と EEM 測定によるフルボ酸・フミン酸様物質（ピーク①）の蛍光強度との関係を Fig.2 に示す。UV- α VIS は 0.4 付近まででピーク①の蛍光強度と相関を示した。これより、水質悪化の指標として UV- α VIS を使用していることが妥当であることが示された。

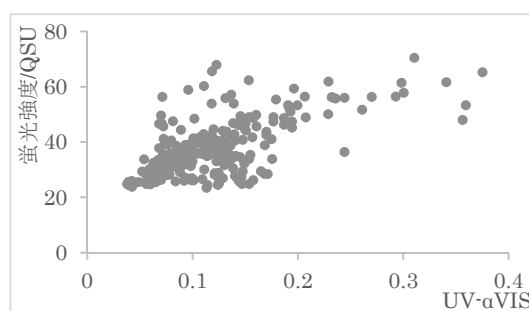


Fig.2 UV- α VIS とピーク①の関係

そこで、導水施設から浄水池末端までの到達時間を導水流量により計算し、クロロホルム測定対象とした浄水にあたる原水の水質測定値を確認した。導水流量は瞬時で変化するためそれぞれの期間ごとの平均値を使用し、最も近い時刻での測定値を使用した。#48 から#55 において粉末活性炭が 3mg-dry/L 注入されていた時のピーク①とクロロホルムの関係は Fig.3 のとおりとなった。なお、粉末活性炭を 3mg-dry/L 注入していたのは 4 月中旬から 7 月初旬にかけての農繁期の土臭対策である。この期間は盛夏でないこともありクロロホルムの生成が管理基準値を超えていなかった。ピーク①とクロロホルムには相関が見られ、粉末活性炭で除去される以上に負荷源となる有機物が相当量含まれることが考えられた。

#56 から#69 において消毒副生成物対策として粉末活性炭を 20mg-dry/L 注入していた期間についてのピーク①とクロロホルムの関係を Fig.4 に示す。ほとんどが管理基準値を超過

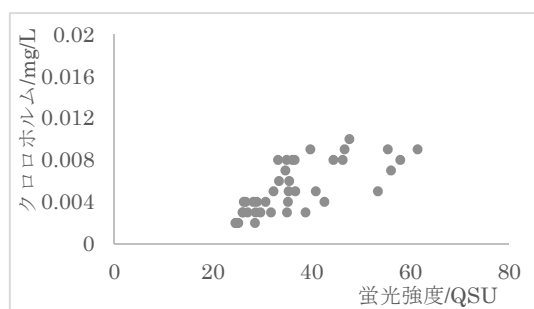


Fig.3 ピーク①とクロロホルムの関係
(粉末活性炭 3mg-dry/L 注入)

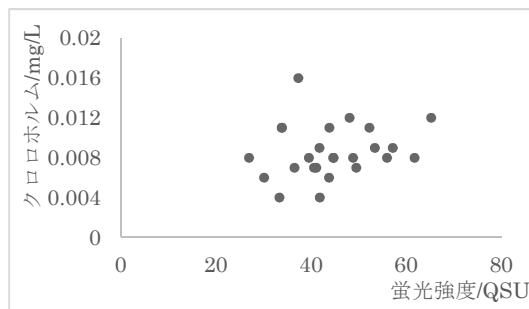


Fig.4 ピーク①とクロロホルムの関係
(粉末活性炭 20mg-dry/L 注入)

していないため粉末活性炭注入が有効であったことがわかる。クロロホルムがピーク①との相関がないことから、粉末活性炭全てが存在する有機物に寄与しておらず、粉末活性炭の注入率を低減できる可能性が示唆された。

水質悪化期間#48 から#69 のうち粉末活性炭が注入されていなかった時のピーク①とクロロホルムの関係を Fig.5 に示す。当庁の指標 UV- α VIS を満たさなければ水質悪化期間ではないと判断して粉末活性炭は停止しているが、Fig.3 や Fig.4 と比較してピーク①の蛍光強度は弱いにも関わらず管理基準値を超える事象が見られた。管理基準値を超過した点では原水の水温が関係していることが示唆された。

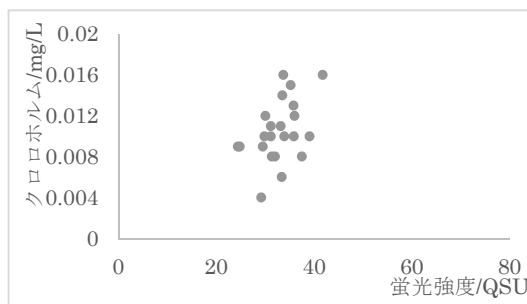


Fig.5 ピーク①とクロロホルムの関係
(粉末活性炭なし)

5. 今後の課題

これまで、粉末活性炭注入制御として導水施設における原水の UV- α VIS を指標として用いてきたが、より正確な制御のために連続測定計器として蛍光分光光度計による指標の決定が必要となる。

また、蛍光分光光度計により測定される正確な有機物の濃度に加えて、導水施設における原水水温も制御の最適化として重要である。水温による消毒副生成物生成量を把握し、水温と蛍光強度による2指標で活性炭注入が行えるように整えていくことが必要である。今後は、より適切な活性炭の注入により活性炭の削減に貢献できる調査を実施していく。

参考文献

i 滋賀県企業庁：滋賀県営水道水安全計画，2013年3月制定（2019年3月最終改訂）

ii 大方正倫ほか：ハロ酢酸の低減に向けた浄水処理制御方法の設定と実運用，Journal of EICA, 第21巻，pp.73-80 (2016)

謝辞 EEM測定では、会計年度任用職員の池田卓也氏に多大なご協力をいただきました。記して感謝申し上げます。

特殊洗浄工法を用いた配水管の洗浄

○林 春己（大津市企業局）

金銅 崇皓（藤野興業㈱）

1. はじめに

本市では、「湖都大津・新水道ビジョン」の基本方針の一つとして「安全で安心な湖都大津の水道 ― すべてのお客様がいつでもどこでも安心して、おいしく飲める水道を未来につなぎます」を掲げ、水質管理の充実と強化を推進している。

中でも具体的な取り組みの一つである「水質を維持するための水道管洗浄作業」では、濁水発生の未然防止と水質維持向上対策の方法として、通常は排泥管や消火栓からの放水による洗浄作業を実施している。しかし、一部の地区（石山内畑町）において、この洗浄作業実施直後においても濁水が何度も繰り返し発生した。

このことから、アイスピグ（特殊材料）を活用した特殊洗浄工法により濁水の原因となる管内の夾雑物を除去し安心で安全な給水の確保を図ったので、事例研究として報告する。

2. 現場（管路）の状況

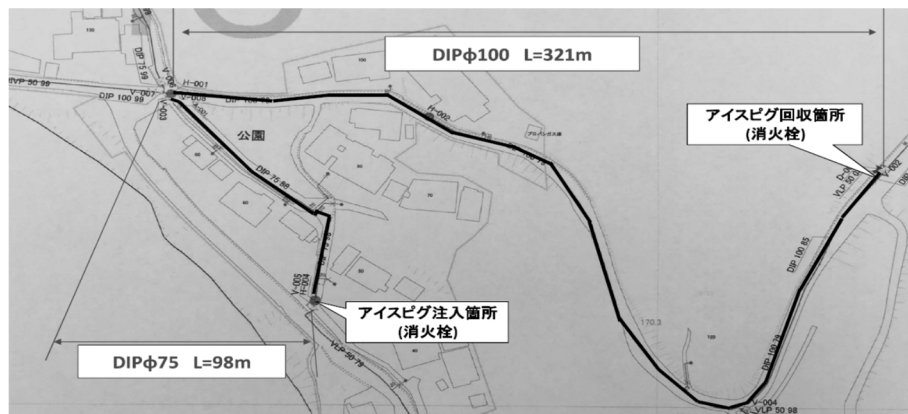
（1）対象地区（石山内畑町）の特徴

山間地に位置し、計画給水人口 100 人で配水池以降の配管延長約 420m で水道整備を行ったが、人口減少が進み、現在は約 30 人となっている。このため、管内流速の低下により水が滞留するほか、対象配水管の経年により、濁水の発生が課題となっている。（図 1）参照。

（2）管路の状況

- ①材質 : ダクタイル鋳鉄管
- ②口径・延長 : 呼び径 100 及び 75 延長約 420m
- ③布設年 : 1979 年（昭和 54 年）布設 約 40 年経過

（図 1）



特殊洗浄工法を用いた配水管の洗浄

3. 特殊洗浄工法による洗浄

(1) 工法採用

アイスビグは氷（固形物）で管内を洗浄する技術で、管内面の汚れを擦り取るとともに管外へ運搬する能力を有し、経年化が進んでいる管路でも安全性が高く、口径の変化や曲がりにも対応可能であることから、当該工法を採用した。

(2) 作業状況

作業状況については、写真1から写真3のとおり。また、洗浄作業の前後に管内カメラを挿入し、管内状況の確認も行った。



写真1 アイスビグ注入状況



写真2 アイスビグ回収状況



写真3 回収したアイスビグ

4. 洗浄結果

- ①洗浄状況確認：実施前後に管内カメラを挿入し状況確認を実施（平成29年度）。洗浄1年後の確認でも異常なし（平成30年度）。2年後は確認なし。3年後となる令和2年度に管内カメラ挿入した結果、異常なしであった。
- ②洗浄時間：これまででは夜間に実施し、職員2名2班体制で6～7時間要した作業を今回の工法では、昼間時間帯で、約4時間で完了した。確認のため職員2名要。
- ③効果：通常の放水洗浄で排除できなかった夾雑物を取り除くことにより、お客様に安心して水道を使用していただくことはもとより、働き方改革の観点からも効率的効果的な工法である。また、これまででは今回のようなケースの配管は更新してきたが、延命化させることでも大きな効果はある。

5. 将来展望

今後も引き続き経過観察を実施し、結果を数値化することで、今後の維持管理の参考とする。特殊洗浄後の管路の計画的な洗管作業の計画や管路更新計画の資料とする所存である。

6. おわりに

安全、安心な給水を将来的にも持続させることは、すべての水道事業者の使命であることから、皆様の事業体でも今回の事例が参考になれば幸いである。

7. 謝意

最後に本事例研究に協力いただきました関係の皆様にご感謝を申し上げ、事例研究の報告とする。

旧規格消火栓用補修弁の点検整備における一考察

岩渕 成吾（豊中市上下水道局） 矢野 章吾（豊中市上下水道局）
山中 伸一（豊中市上下水道局） ○池上 聡宣（豊中市上下水道局）

1. はじめに

平成 30 年（2018 年）の水道法改正にともない、水道施設を良好な状態に保つため点検を含む施設の維持・修繕を行うことや水道施設の適正な管理のための水道施設台帳の作成、保管が義務付けられた。

そのようななか、旧規格消火栓用補修弁の埋込みボルト腐食による漏水や消火栓を含む補修弁の弁箱上部が離脱し物損事故等に至る事故が全国的に発生し問題となっている。本市においても、物損事故等には至っていないものの、旧規格の補修弁における漏水事故が発生しており、計画的な点検・整備が喫緊の課題となっていた。

2. 本市施設概要と旧規格補修弁

本市は令和 2 年度（2020 年度）末時点において給水人口 400,948 人に対し、総延長 813,575 m の管路（うち基幹管路 75,424m）で配水を行っており、その管路附属施設として仕切弁 16,307 基、空気弁 265 基、消火栓 5,622 基等が設置されている。

管路施設が老朽化するなか、地域水道ビジョンである「第 2 次とよなか水未来構想」に基づき、仕切弁や空気弁等については施設の重要度により定めた周期で点検を行うとともに、劣化状況に応じた適切な整備を行う等、効率的かつ合理的な点検整備を進めている。それとは別に、消火栓については補修弁も含め消防局（市）が点検を行い、不具合等が確認されれば上下水道局（局）が修繕・整備を実施し、その費用は市の一般会計から繰り入れられるものとなっている。

問題となる補修弁は、「JWWA B 126 水道用補修弁」旧規格のものであり、本市では平成 11 年度（1999 年度）以前に設置した補修弁が対象である。この旧規格の補修弁は、弁箱上下を接合するボルト材質が現状 SUS（ステンレス鋼）に対し、SS（一般構造用圧延鋼）や埋込みボルトで径が細く SS と比較し腐食により脆性破壊しやすい SCM（クロムモリブデン鋼）が使用されているものがあつた（図 1 参照）。平成 29 年（2017 年）に本市で発生した補修弁漏水（写真 1 参照）も、ボルト径が細い SCM 埋込みボルトであり、弁箱上下を接合するボルト 5 本中 3 本が破断していた。このように今後もボルト腐食による漏水や補修弁の離脱事故が発生する可能性があり、特に消火活動や消火栓点検、洗管作業における消火栓操作時に、補修弁ボルトに外力が作用するため、離脱事故が発生するリスクを有している。離脱事故が発生すると消火栓を操作している職員や市民が人的被害にあう可能性があるため、早急な対策が必要であつた。

本市において、対象となる消火栓用補修弁は配水本管に 140 基、配水支管に 3,775 基の計 3,915 基が設

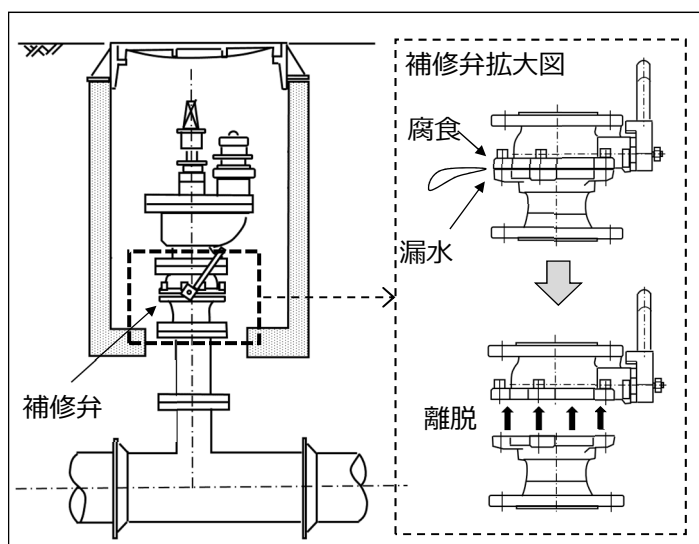


図 1 補修弁接合部のボルト腐食



写真 1 本市における補修弁漏水

置されており、全消火栓用補修弁の約7割に該当する。この莫大な数の補修弁を短期間で整備することは困難である。また、消火栓に係る財源は一般会計からの繰り入れであるため、データとエビデンスに裏付けされた事業の有効性・効率性等を客観に示す必要があった。

そのため、現地調査によりボルト形状や劣化状況を把握するとともに、管路の重要度等も含めリスク評価を行い、優先順位を明確にすることで、効率的かつ合理的に整備を進めるものとした。

3. 補修弁調査とリスク評価

平成11年度（1999年度）以前に設置された市内一円の補修弁について、鏡や触診等にてボルト形状の確認調査を実施した。調査効率を考え、このうち、「第2次とよなか水未来構想」の目標年度である令和9年度（2027年度）までの幹線整備予定路線および平成30年度（2018年度）から令和4年度（2022年度）の新配水管整備事業（第7期）で更新が予定されている路線については、現地調査対象外とした。また、弁室内の土砂による埋没状況等でボルト形状を確認できない補修弁も存在したが、同一工事にて施工された補修弁については、局が一括購入し施工業者に支給していたことからボルト形状も同じと判断した。なお、ボルト径を短時間で判断できるように独自の調査キット（写真2参照）を作成する等の工夫を重ねほぼ1年で調査を終えた。

調査の結果、ボルト形状はTypeⅠの六角穴付埋込み細ボルト、TypeⅡの埋込み細ボルト、TypeⅢのナット付細ボルト、TypeⅣの埋込み太ボルト、TypeⅤのナット付太ボルト、更にTypeⅥのボルトなし、TypeⅦのその他の7種類に整理することができた。また、ボルト形状ごとに漏水、離脱危険度が高いものから順に危険度Aから危険度Eとし、更新予定路線や補修弁の代わりに仕切弁が設置されているもの等については危険度無と設定した（表1参照）。

TypeⅠはボルト径が細く、SCMが多く使われている埋込みボルトで、全国的にも漏水・離脱事故履歴が多いため最も危険度が高く、危険度Aとした。

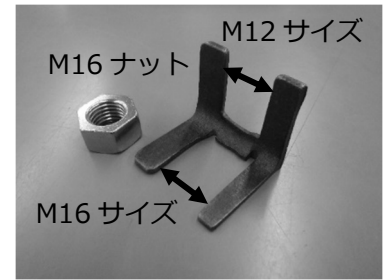
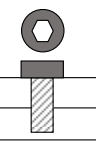
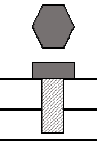
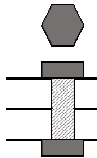
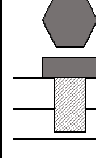
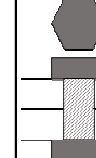



写真2 ボルト径調査キット

表1 補修弁ボルト形状と調査結果

ボルトタイプ		TypeⅠ 六角穴付 埋込み 細ボルト (M12)	TypeⅡ 埋込み 細ボルト (M12)	TypeⅢ ナット付 細ボルト (M12)	TypeⅣ 埋込み 太ボルト (M16)	TypeⅤ ナット付 太ボルト (M16)	TypeⅥ ボルトなし TypeⅦ その他	更新予定 現地無等	確認 できず
ボルトナット形状 イメージ図									
危険度		A 危険度	B 危険度	C 危険度	D 危険度	E 危険度	— 危険度 無	危険度 不明	
									
配水本管 (系統幹線) φ350以上	A 影響度 高	AA 2基 (0.05%)	BA 26基 (0.66%)	CA 2基 (0.05%)	DA 39基 (1.00%)	EA 9基 (0.23%)	12基 (0.31%)	20基 (0.51%)	30基 (0.77%)
配水 支管	ブロック内 幹線 φ200以上 B 影響度 中	AB 13基 (0.33%)	BB 133基 (3.40%)	CB 1基 (0.03%)	DB 191基 (4.88%)	EB 31基 (0.79%)	396基 (10.11%)	406基 (10.37%)	357基 (9.12%)
	φ150以下 C 影響度 低	AC 106基 (2.71%)	BC 697基 (17.80%)	CC 73基 (1.86%)	DC 1,066基 (27.23%)	EC 305基 (7.79%)			
配水支管 合計	B・C 影響度 中・低	AB・AC 119基 (3.04%)	BB・BC 830基 (21.20%)	CB・CC 74基 (1.89%)	DB・DC 1,257基 (32.11%)	EB・EC 336基 (8.58%)	396基 (10.11%)	406基 (10.37%)	357基 (9.12%)

なお、本市で発生した漏水もこの Type I であった。また Type II もボルト断面積やねじ切り部の接触面積を考えると構造的に漏水、離脱危険度が比較的高く、危険度 B とした。逆に Type III は Type II に比べてボルト長が長くナットによる締付固定効果が期待できるため、漏水、離脱危険度は危険度 C とした。Type IV や Type V はボルト断面積やねじ切り部の接触面積が大きいことから、漏水、離脱危険度は比較的低いと考えられるためそれぞれ危険度 D、危険度 E とした。

対象補修弁 3,915 基に対し、特に危険度の高い Type I は配水本管（口径 φ350mm 以上）で 2 基 0.05%、配水支管（口径 φ300mm 以下）で 119 基 3.04%、次に危険度の高い Type II は配水本管で 26 箇所 0.66%、配水支管で 830 箇所、21.20% であった。

また、配水本管の漏水、断水となれば配水支管に比べて影響を及ぼす範囲は大きくなるため、影響度は口径によって設定する必要がある。したがって影響度を φ350mm 以上の配水本管と配水支管の内 φ200mm 以上のブロック内幹線、それ以外の φ150mm 以下の配水支管に区分した。その危険度と影響度によりマトリックス法を用いたリスク評価を行った。

その結果、配水本管では、Type I と Type II、配水支管では Type I におけるリスクが高いため、整備優先順位が高いと位置付けた（表 2 参照）。また、整備費用等も考慮し、配水本管 Type III や配水支管の Type II、Type III は、早急な整備は行わないものの要監視と位置付けた。ただし、定期的な点検を行い、漏水やぐらつき等が確認され始めた段階で、整備対象に加えるものとした。

表 2 整備対象補修弁

優先順位	評価	配水管	ボルト形状	基数	整備方針
1	AA	配水本管φ350以上(系統幹線)	Type I	2	整備
2	BA	配水本管φ350以上(系統幹線)	Type II	26	
	AB	配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	Type I	13	
3	AC	配水支管φ150以下	Type I	106	要監視
4	CA	配水本管φ350以上(系統幹線)	Type III	2	
	BB	配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	Type II	133	
5	CB	配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	Type III	1	監視
	CC	配水支管φ150以下	Type III	73	
6	DA	配水本管φ350以上(系統幹線)	Type IV	39	
	EA	配水本管φ350以上(系統幹線)	Type V	9	
	DB	配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	Type IV	191	
	EB	配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	Type V	31	
	DC	配水支管φ150以下	Type IV	1,066	
不明	?	配水支管φ150以下	Type V	305	
		配水本管φ350以上(系統幹線)	不明	30	再調査
		配水支管φ200以上(ブロック内幹線)	不明	357	要監視
配水支管φ150以上	不明				

4. 対策方針

リスク評価により定めた優先順位を基本として 10 年で整備を行う。対策工法としては「フランジ補強金具工法」、「補修弁接合部補強金具工法」、「ステンレスロングボルト補強工法」、「補修弁更新」がある（表 3 参照）。

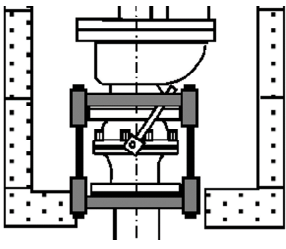
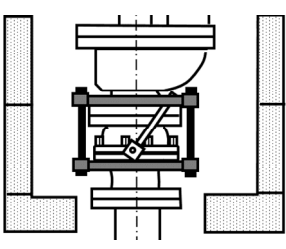
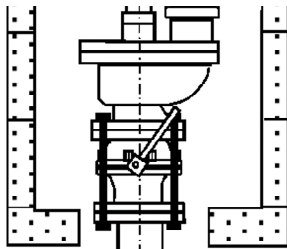
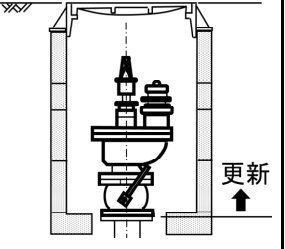
「フランジ補強金具工法」は耐震性を有している補強工法ではあるが、消火栓室内は狭いうえ、本市では補修弁の下フランジ部が床板に近接しているため、試験施工を試みたが掘削せずに施工することは困難であった。

「補修弁接合部補強金具工法」は補修弁接合部や補修弁上フランジと補修弁接合部を挟み補強する工法である。消火栓室の壁からある程度の幅があれば掘削せずに施工できる可能性があるため、経済性、施工性に優れた工法である。

「ステンレスロングボルト補強工法」は補修弁の上下フランジの既設ボルトを外し、ステンレス製ロングボルトを既設ボルトの穴に貫通させて補強する工法であり、掘削をとまなう中では最も経済的な工法である。本市の補修弁漏水においては、この「ステンレスロングボルト補強工法」で修繕を行った（写真 3 参照）。

整備方針としては、対象補修弁が設置されている管路は耐震管が少なく、耐震性を有する補強金具を使って施工することまでは行わないものとした。そして、迅速に数多くの補修弁が整備できるように、掘削せず

表 3 対策工法比較表

対策工	フランジ 補強金具工法	補修弁接合部 補強金具工法	ステンスロングボルト 補強工法	補修弁 更新
イ メ ー ジ 工 図				
補強構造	補修弁上下のフランジ部を挟む形で補強する工法。	補修弁接合部を直接補強する工法。	補修弁上下のフランジ部のボルトを抜き、新たにステンレス製のロングボルトにて挟み補強する工法。	断水した上で、補修弁自体を更新する工法。
施工性	弁室の床板と補修弁下部フランジが近接するため、掘削と弁室の築造替が必要。	弁室の壁からある程度幅があれば、掘削せずに施工可能。	弁室の床板と補修弁下部フランジが近接するため、掘削と弁室の築造替が必要。既設ボルト穴の通り調整がやや困難。	断水工事となるため、地元調整や洗管作業等が必要。幹線やブロック内幹線等では断水が困難。
耐震性	○	×	×	×
経済性	×	◎	○	△
評 価	△	◎	◎ ※掘削する場合	○

に施工できる可能性があり、経済性、施工性に優れた「補修弁接合部補強金具工法」を最初の2年で可能な限り先行して整備を行う。その後、8年間で費用の平準化を図りつつ、掘削をとまなう中では最も経済的な「ステンスロングボルト補強工法」にて整備を行う。この整備方針をリスク評価結果も踏まえ、消防局や市財政部に説明、協議を行い、理解を得たことから令和3年度より整備を実施している。

あわせて、水道施設台帳としても利用している水道GISを活用し、属性データに「補修弁メーカー」、「製造年度」、「ボルト形状」、「ボルトサイズ」等を追加することで、今後の補修弁の適正管理を行うものとした。なお、埋没等でボルト形状を確認できなかった補修弁については、近傍での掘削をとまなう工事に併せ、確認、整備を行うものとしている。



写真3 ステンスロングボルト補強工法

5. まとめ

旧規格の補修弁ボルト腐食による事故予防対策として、現地調査により把握したボルト形状を基にリスク評価を実施し優先順位を定めた。その結果、市の財政運営が厳しいなかでも効率的で合理的な整備方針を定めることができた。埋設環境によりボルト形状やボルト径が確認できていない補修弁や、消火栓用補修弁だけでなく、空気弁用補修弁の一部も整備対象になるため、引き続き現地調査でボルト形状等を把握したうえで整備を進めていきたいと考える。

今後も水道施設の老朽化にとまなない、新たな劣化事象が発生する可能性があるが、無計画に整備するのではなく、対象施設の性状把握、適正評価が結果的に合理的で効率的な点検整備に直結することを念頭において、今後の維持管理を進める必要があると考える。

幹線事故対応マニュアルの作成

森山 祐則（豊中市上下水道局） 中川 裕義（豊中市上下水道局）
池永 正文（豊中市上下水道局） 西澤 義晃（豊中市上下水道局）
○立花 心（豊中市上下水道局）

1. はじめに

本市では、今後も増加する施設の老朽化や水需要の減少など、長期的な課題の対応を踏まえて、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、基幹管路及び基幹構造物の耐震化や系統間のバックアップ化、配水小ブロック化などの事業を進めてきた。

しかし、老朽管は現在も多数存在しており、漏水等の事故はいつ起きるかわからない状況にある。幹線レベルでは平成 30 年度（2018 年度）にφ500mmの管路で断水を要する漏水事故があった。特に幹線管路で事故が起きた場合、広範囲に出水不良や濁水等の影響が生じることが容易に想定される。

本市の幹線管路は各系統から複数箇所からのバックアップが可能であり、影響を小さくするには適切な方法を選択しなければならない。また、緊急時には局職員が連携して対応する必要があり、共通の認識を持っておくことが重要と考える。

そこで、幹線管路において、事故による断水が必要となった場合の、バックアップを含めた断水作業の手順とその作業による水圧変動や濁水等の影響について検討を行った。検討結果をもとに幹線管路を区間分けし、区間ごと、時間帯別に必要な対応方法について「幹線事故対応マニュアル」（以下「マニュアル」）として整理した。

2. 豊中市の現状

令和 2 年度末（2020 年度末）時点で、給水人口 400,948 人、一日最大給水量 133,462m³/日、管路総延長は、813,575m（内基幹管路は 75,424m）で、管路耐震適合率は管路全体で 33.8%、基幹管路に限っては 68.4%に達している。一方で、敷設後 40 年以上経過している管路の総延長は 221,291m で 27.2%、基幹管路に限ると 37,379m で 49.6%となっている。

市内へは 6 か所の配水池と、大阪広域水道企業団（以下「企業団」）の管路から直接分岐によって配水し、配水系統ごとに大ブロックを整備し水運用を行っている（図 1）。緊急時には系統間の連絡管や幹線管路のループ化により被害の最小化が図れるよう、管網整備を進めてきた。

また、管路の維持管理は直営堅持の方針のもと夜間や休日についても、職員により漏水事故や給水の問合せに対応している。

幹線管路で夜間や休日に事故があった場合において、断水可否やバックアップの方法などを速やかに判断する必要があるため、「マニュアル」を整理することで、突発的な事故対応に活用できるものとする。

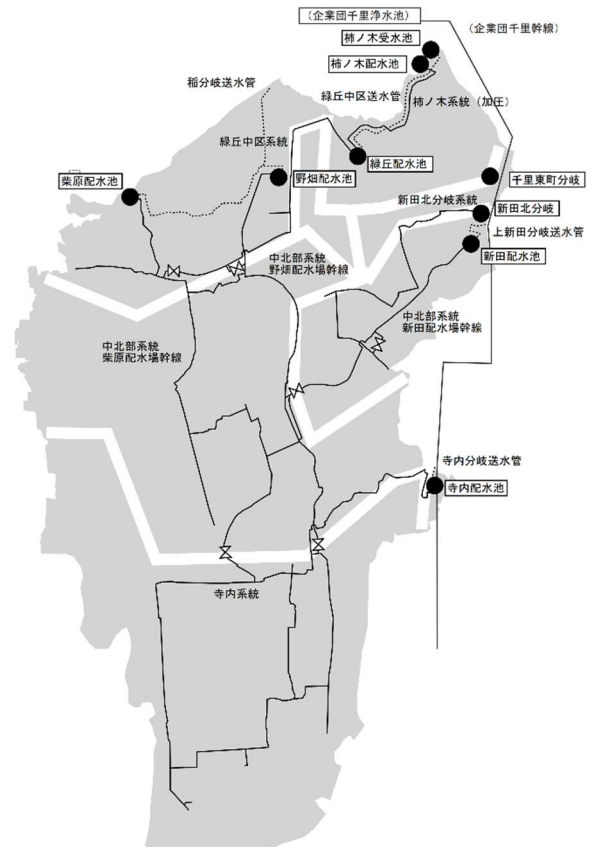


図 1 豊中市配水系統図

3. マニュアル化する内容の検討

基幹管路で漏水事故が起きた場合を想定し、断水可否及び、影響の最小化が図れる断水作業の方法を検討する。ここでいう断水可否とは、圧力変動により出水不良となる給水箇所がない場合、「断水可」とし、出水不良となる給水箇所がある場合、「断水不可」とする。濁水については排水すれば順次解消するという考えのもと断水可否の判断では考慮しないものとする。

まず、基幹管路を区間分けし区間ごとに断水の方法を検討する。区間分けは、配水池からの幹線が6系統、「企業団」から直送の幹線が1系統、配水池への送水管が4系統あるため、それぞれの系統でバルブごとに1つの区間とした。

次に、時間帯により各系統に配水量の差があることに加え、水運用が異なることもあり、1日を3つの時間帯に分類することとした。時間帯の分類は、系統ごとに1時間当たりの配水量をもとに分類する。配水量が時間最大配水量の時間帯（以下「ピーク時」）、配水量が少ない深夜の時間帯（以下「深夜」）、そのどちらでもない配水量が中程度の時間帯（以下「日中」）とした。

それぞれの時間帯でK値（時間係数）を設定し、GISを用いて管網解析を行った。この解析結果をもとに全139区間で時間帯別の、断水可否、必要なバックアップの方法、出水不良や濁水などの影響について検討を行った。

4. マニュアル化のための整理

検討結果を「マニュアル」として整理するために、区間の基本情報、解析結果をまとめた「断水情報」（図2）とバックアップを含めた区間の断水作業の手順を記載した「断水手順」（図3）の2枚をA3版で全区間作成した。

区間番号	断水情報											
区間の位置図 操作バルブの管理番号												
<table border="1"><tr><td rowspan="10">基本情報</td><td>・断水区間の住所</td></tr><tr><td>・管口径</td></tr><tr><td>・断水区間の延長</td></tr><tr><td>・管内水量</td></tr><tr><td>・最大流量</td></tr><tr><td>・地盤高</td></tr><tr><td>・断水消火栓情報</td></tr><tr><td>・ブロック流入点</td></tr><tr><td>・時間帯種別</td></tr><tr><td>・断水可否 (5パターンに分類)</td></tr></table>	基本情報	・断水区間の住所	・管口径	・断水区間の延長	・管内水量	・最大流量	・地盤高	・断水消火栓情報	・ブロック流入点	・時間帯種別	・断水可否 (5パターンに分類)	備考欄 (留意点など)
基本情報		・断水区間の住所										
		・管口径										
		・断水区間の延長										
		・管内水量										
		・最大流量										
		・地盤高										
		・断水消火栓情報										
		・ブロック流入点										
		・時間帯種別										
	・断水可否 (5パターンに分類)											
・バックアップ												
・断水影響ブロック												
・濁水影響ブロック												

図2 断水情報

区間番号	断水手順	通水手順
幹線管路の系統図 断水区間 バルブ配置図 時間帯別流量		

図3 断水手順

基本情報として、断水時に必要となる情報をあらかじめ記載しておき緊急時に迅速な対応ができるようにする。時間帯種別の項目は、「ピーク時」、「日中」、「深夜」の時間が系統ごとに異なるため、どの時間がそれぞれの時間帯にあたるかを記載した。また、解析によって影響が出る範囲を記載しておくことで、現地での対応や広報に活用できると想定している。備考欄には、バックアップ方法、水圧低下が予想される地域について、操作するバルブの注意事項などを留意点として記入した。

断水可否の項目ではバックアップができない場合など、出水不良となる給水箇所がある場合、「断水不可」とし、それ以外は水圧低下や濁水の有無に関わらず水が出る場合は「断水可」とした。その上でバックアップの可否と濁水の有無から以下の5パターン（表1）に分類することとした。分類した結果は市域全体図において色分け表示し、断水可否を迅速に判断できるようにした。ここでは、濁水はバックアップを含めた断水作業により、通常のピーク時と比較して、管内流速が、流向が同じ場合は0.2m/s以上、流向が逆転する場合は0.1m/s以上で濁水のリスクとした。

断水可否の判定の結果（表2）、139区間のうち全時間帯で断水不可の区間が6区間あった。この6区間については、いずれも断水範囲に含まれる給水箇所が限定的であるため、事前に調整を行ってから断水作業を行うか、必要に応じて応急給水等を行うことで対応が可能と想定している。

表2 断水可否の判定結果 (単位:区間)

	ピーク時	日中	深夜
パターン①	70	63	33
パターン②	9	21	49
パターン③	23	17	9
パターン④	24	32	42
パターン⑤	13	6	6

表1 断水可否のパターン

パターン①	バックアップすれば断水可能だが濁水が発生する
パターン②	バックアップすれば断水可能で濁水は発生しない
パターン③	バックアップせずに断水可能だが濁水が発生する
パターン④	バックアップせずに断水可能で濁水は発生しない
パターン⑤	断水を回避する方法がない

「断水手順」にはバックアップを含めた断水作業の手順、操作するバルブの管理番号等を記載している。番号はGIS上で記録しているほか、幹線のバルブについては弁室に番号、口径を書いた札を入れて管理しており、事務所と現地でのやりとりに活用する。参考資料としてバルブの写真帳も作成中である。

5. 「マニュアル」を活用した対策工事

「マニュアル」作成の際、緊急時の影響の最小化を図るために必要となるバルブや管路の整備についても検討した。ここでは検討結果を反映した対策工事を今年度（2021年度）に実施予定である新田北分岐系統のうち1区間について例として挙げることにする。

新田北分岐系統は「企業団」の送水管から直接分岐している幹線管路で5ブロック、約6万人に給水しており、中北部系統の新田幹線と連絡管でつながっている。新田北分岐系統の主なバルブ配置やブロック流入点等の配置を模式図で表したものを図4に示す。

例として挙げる「区間3-5」（図4の二重線部）は口径φ600mm、区間延長1200m、時間最大流量が「ピーク時」で950 m³/hの区間である。バックアップをせずに断水作業を行うと東豊中、上野坂、泉丘ブロックが断水となるため、新田幹線から連絡管のバルブを開にし、新田北分岐系統へバックアップを行う。東豊中ブロックと上野坂ブロックの流入点については区間内にあるため、断水する場合はそれぞれのブロックのバックアップ（流入点の切り替え作業）をする必要がある。

バックアップを含めた断水作業の影響を検討した結果、断水可否の分類は「ピーク時」と「日中」ではパターン①、「深夜」はパターン②とした。主な影響としては、東豊中ブロックは通常、減圧しているブロックであるため、バックアップ流入点への切り替えに伴い無減圧状態となり、水圧が上昇する。また、流入点が通常時と大きく異なるため、ブロック内で流速の上昇や逆流により広範囲で濁水の発生が想定される。

そこで東豊中、上野坂ブロックの流入点上流側に不断水式仕切弁の設置工事を実施することとした。新たに設置したバルブを閉めることで、東豊中、上野坂ブロック流入点の切り替えが不要となる。それにより東豊中ブロックの減圧状態を保持しながら、2つのブロックへの安定した供給も可能となり、断水までに必要な操作の軽減、時間短縮につながると想定している。

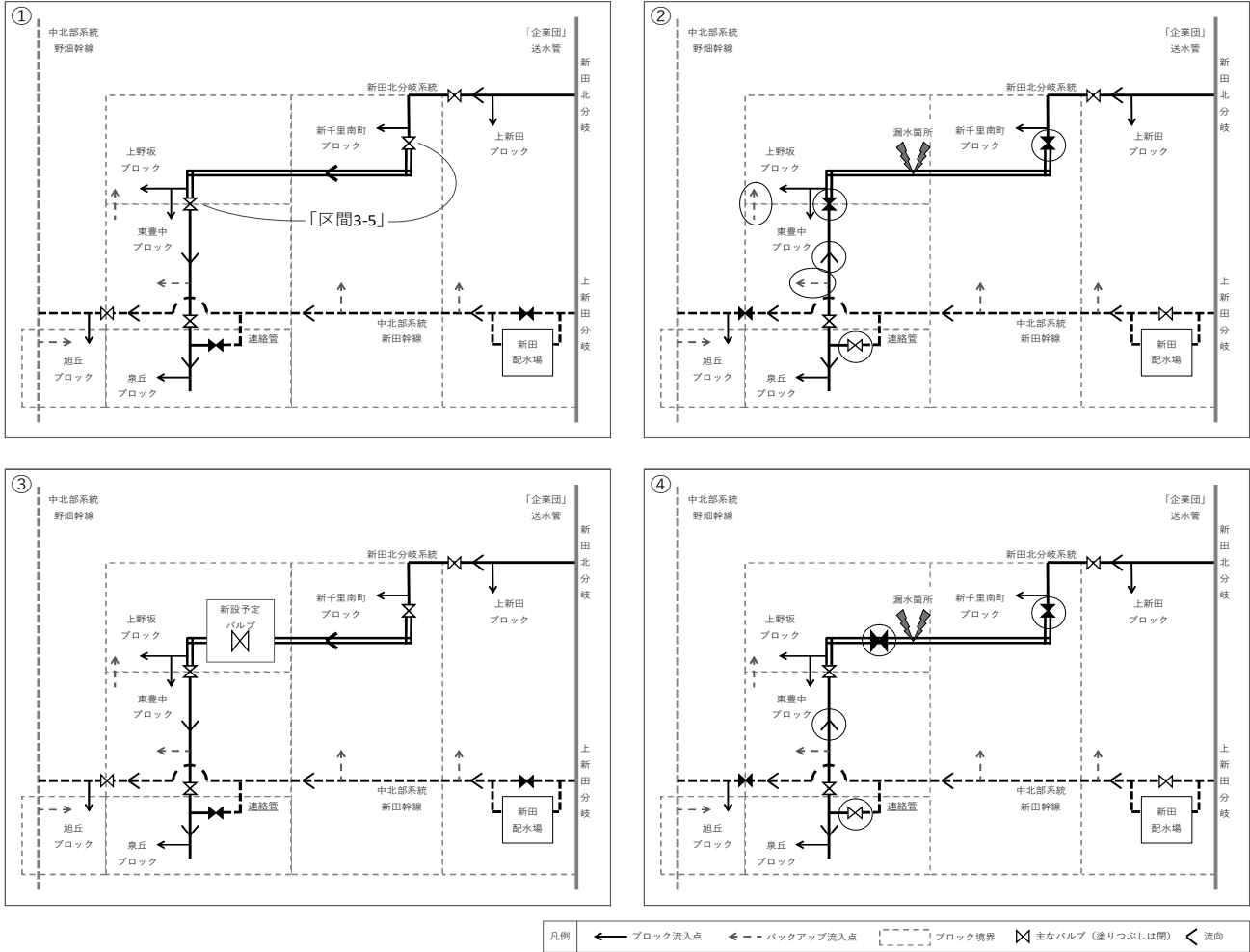


図4 新田北分岐系統模式図

6. 「マニュアル」の共有

バックアップの方法や断水手順について計画、浄水、維持部門で意見の集約を行った。その際、過去に幹線を断水した事例や想定している水運用が可能かどうか、別の方法はあるかなどの意見交換や、区間ごとの注意点などを話し合った。また、実際に「マニュアル」を用いた訓練の提案などの意見があった。

7. おわりに

今回のマニュアル作成では幹線管路において断水を必要とする緊急事態を想定し、区間ごとに断水が可能な時間帯、最適なバックアップの方法、断水作業の手順とその影響について検討し、断水に必要な基本情報と共に整理することで、緊急時に備えた参考資料を作成することができた。また、計画、浄水、維持部門で意見の集約を行ったことで、緊急時の対応について共通の認識を持つことができた。

今後は「マニュアル」を用いた訓練を行うなど、実効性を高めるとともに、改良や編集を重ねていく予定である。また、「マニュアル」作成時に抽出された管路の改善点は今後の整備計画に反映していきたいと考えている。

配水管赤水対策としての計画洗管

舞鶴市上下水道部 神田 秀之
KOHDA Hideyuki

1. はじめに

舞鶴市水道では、たびたび発生する赤水の対応に苦慮している。年間を通して苦情があるが、特に春先から夏期にかけて増加傾向となる。態様としては、目に見えて色度または濁度が高い赤水そのものもあるが、翌日に浴槽の底に残留して気付くような錆粉、錆粒の混入苦情も多い。

苦情や問い合わせが集中するとその対応に相当の時間や手間を取られるだけでなく、水道に対する信頼性を損なうため、平成 27 年度から事後対策だけではなく予防対策として「計画洗管」を開始した。これにより線的または面的に赤水または錆粉の発生を抑止している。

開始から 7 年が経過し一定の抑止効果が認められることから、この取り組みの経過と現状について報告する。

2. 赤水発生状況と原因推定

1) 態様：赤水に関する苦情通報の態様には概ね 2 種類のパターンがある。

① 水道水に色が付き、使用時に「水が茶色い」または「黄色い」と言われるもの
あるいは通常の使用時にはわからないが、浴槽などに溜めたときに気付くもの
※こうした赤水の大半は一時的な濁りの混入であり、30 分～1 時間程度の水栓排水で解消することが多く、料金減免で対応している。

② 浴槽などの湯水を抜いたあとに、底面に錆の粉や粒が残るもの
まれに特定の管路で発生した赤水が線的または面的に広がることもあるが、大半は単独・短時間で散発的に発生する。

2) 時期：概ね 5 月から 9 月にかけて多発したが、近年、時期に関係なく発生する事例が増加。

3) 場所：比較的赤水の発生が頻発する系統、地域が多いが、比較的新しいライニング管路でも発生することがある。

4) 原因推定：

当市の水源は大半を由良川から取水しており、塩水遡上という特徴的な問題があるため、原水の塩素イオン濃度との関係について別途比較調査を実施した。またランゲリア指数（腐食性）に影響する水温 変化と苦情発生件数との関係についても比較調査を行なったが、相関性は認められなかった。従って物理的または化学的な因果関係は不明であるが、主因は内面無ライニング鉄管・鋼管の存在、誘因はランゲリア指数の低下（腐食性の増加）であろうと考えている。

※舞鶴市の水道水質は概ね、pH7.2、アルカリ度 20mg/L、カルシウム硬度 20mg/L、ランゲリア指数 -2.1 の、腐食性の強い軟水である（平成 23 年 10 月 19～20 日採水検体）

よって無ライニング鉄管・鋼管の錆の発達した部分から供給される錆粉が管網全体に供給・蓄積され、時間的または面的に連続性のない、散発的な赤水発生を引き起こしているものと推測している。

※無ライニング鉄管延長約 35km/全配水管延長 628km≒5.5%残存



【閉塞が進んだ無ライニング DIP-A 内面】

3. 予防的対策「計画洗管」の概要

計画洗管を始める契機は、配水管由来と思われる赤水苦情が年々増加傾向になり平成26年に年間二百数十件に達したことにあった。特に夏期が多く概ね平日休日を均して3件/日、多いときには20件以上の電話が集中することがあり、需要家の安心と信頼の向上はもとより、その対策に要する労力と精神的な負担の軽減が急務となった。

そこで頻繁に濁水が発生する管路について、その頻度に応じて毎月1回実施、1年～3年毎に実施など、洗管頻度を決め適宜修整しながら取り組んできた。

1) 洗管方法

- ・排水装置・消火栓を使用した、排水による管内洗浄

2) 洗管流速

- ・周辺・上流側への影響を考慮しつつ可能な限り1m/secを目指す
- ・最低0.5m/secを目途とする
※平常は流速の極めて小さい管路が多く、周辺への影響が大きいため、概ね0.5m/secと設定することが多い

3) 洗管時期、作業時間と規模

- ・濁水苦情が多くなる前に先手を打つため、4月～6月に集中的に実施
その他に、毎月実施管路や年2回実施管路などがある
- ・住宅地であれば昼間とし、13時～17時の間＝4時間以内
事業所など営業に配慮が必要な管路は夜間とし、23時～5時の間＝6時間以内
長延長で時間内に収まらないときは複数回に分割して施工
- ・洗管規模（延長）は管内容積と、濁水が無くなるまでの管内水の入れ替わり回数の推定によって決定する
よって、仮に夜間作業で対象管路がφ150mm、濁水が無くなるまでの管内水量の入れ替わり回数を5回と仮定すると、
流速0.5m/secとなる排水流量が31.8 m³/h ⇒ 消火栓1栓で32 m³/h排水として
6時間で洗管可能な延長は約2170mとなる。
(2170m管内容積38 m³/排水量32 m³/h) *5回≒6h
実際には安全率として10回入れ替わりを想定しこの1/2規模で計画することが多い。

4) 作業計画と準備

- ・作業は職員2～3名を1班として（適宜増員）その中から班長を選任し計画を立案する
- ・水理解析により洗管を要する管路とその周辺の影響範囲を把握し、事業所や公共施設等との調整、使用者への戸別ビラ配布を行う
- ・夜間作業の場合は万一計画範囲外まで濁水が拡散した場合や、計画時間外まで延びた場合等に備えて、事務所要員として給水作業班、電話受付班が自宅待機。



【夜間洗管排水の状況】

4. 計画洗管の経過と効果

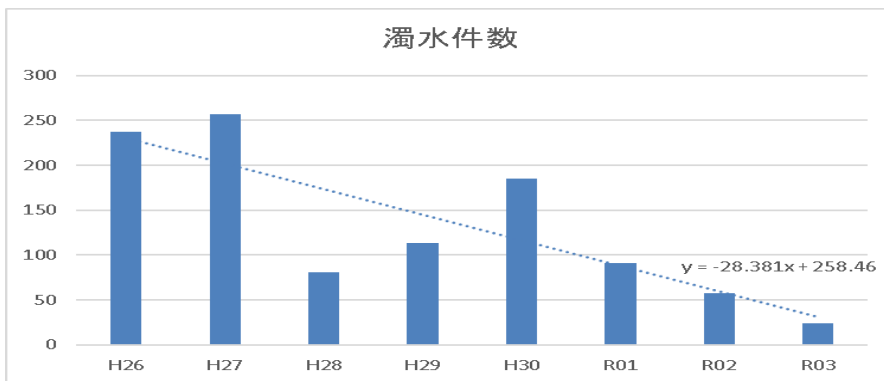
1) 苦情件数と洗管回数の推移 ※H27 から計画洗管開始

月	濁水通報(自然発生件数)								洗管箇所数							
	H26	H27	H28	H29	H30	R01	R02	R03	H26	H27	H28	H29	H30	R01	R02	R03
4月	12	14	21	16	14	0	1	2	7	26	32	30	28	24	26	26
5月	13	36	25	42	7	22	8	10	19	28	30	32	35	28	31	28
6月	34	45	11	16	65	24	1	7	20	30	30	24	19	18	22	22
7月	46	26	4	7	51	12	5	3	13	19	15	20	7	17	13	12
8月	37	18	6	5	16	8	9	2	19	19	16	16	17	12	16	15
9月	20	23	5	5	8	9	15	0	15	18	12	11	11	12	13	11
10月	8	30	1	8	10	7	8		21	17	12	13	12	15	13	
11月	9	22	3	1	7	3	2		3	5	7	2	2	2	1	
12月	13	1	2	1	2	2	2		6	14	14	12	13	14	13	
1月	8	24	0	7	2	2	0		6	4	6	3	1	1	0	
2月	9	9	0	4	0	2	4		7	15	12	12	11	13	14	
3月	28	9	3	1	3	0	3		8	9	6	12	2	0	1	
合計	237	257	81	113	185	91	58	24	144	204	192	187	158	156	163	114

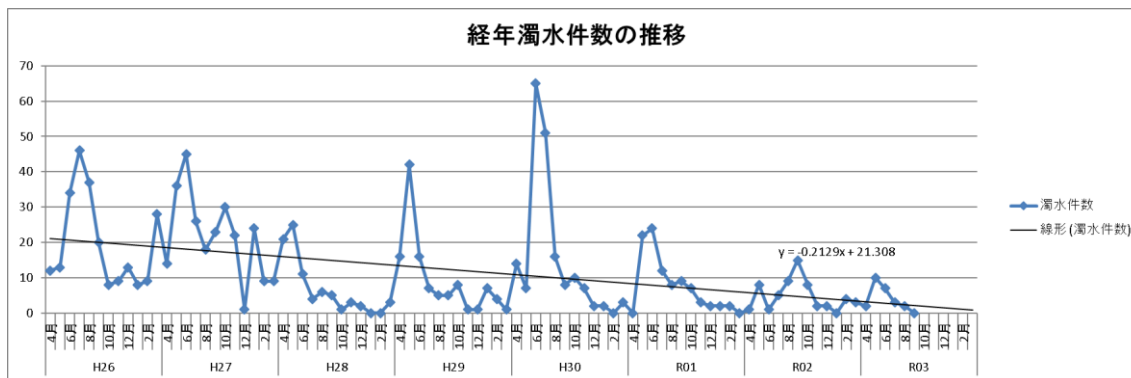
- ・洗管は毎年実施するところと、隔年実施など状況に応じて変えている
- ・毎月簡便に実施している管路が12~14カ所あるため特に計画して実施するのは4~6月の約40~50カ所、概ね30km

2) 濁水件数の変化

① 経年変化 (H26~R3)



② 経年詳細



- ・H30の6～7月に特異な濁水が発生した（中口径管路で発生し影響件数が多くなった）が、回帰直線のとおり概ね全体としては減少傾向となっている

3) 洗管に係る経費と損失の概要

R3年度の計画洗管に係る実績数値は以下のとおり

- ・対象管路延長 26km/36カ所
- ・昼間作業員 43人・時間+夜間作業員 118人・時間 ⇒ 時間単価換算約 50万円
- ・計画～実行に要した期間 70日間
- ・排水量約 1,700 m³ ⇒ 給水原価換算約 23万円

総配水量に占める割合 $1,700/10,955,523(R2) = 0.0155\%$

よって有収率、有効率の指標数値にはほとんど影響しない範囲の数量となっている

5. 全管路洗管の検討

当然ながら、計画対象外のノーマークの管路で赤水苦情が寄せられることもある。そうした管路は状況に応じて洗管計画に追加しているが再現予測が難しいため、洗管計画（範囲・頻度決定）には流動的な要素が多く、「当たり外れ」の不確実性が常につきまとう。そこで不確実性を排除するために全配水管路を巡回洗管した場合、どの程度の手間と費用がかかるかを試算し、その現実性を検討してみた。紙幅の都合上詳細な計算過程は省略するが、概ね以下のとおりとなった。

1) 全管路洗管の試算

- ・夜間6時間以内での作業延長の上限を2km（現状R3年度実績0.72km/回）と仮定して314回の洗管が必要 ⇒ 314回/年間平日245日=1.28年 概ね1年4カ月を要する
- ・必要となる人工数 ⇒ 洗管5時間を2人で実施するものとして3,140人・h
これを仮に10人で分担すると、314h/人/16月 ⇒ 20h/人・毎月
- ・洗管に要する排水量 ⇒ 必要排水量 $\Sigma Qd = 89,960 \text{ m}^3$
- ・洗管排水による有収率への影響推算 ⇒ 有収率を0.8%押し下げる
- ・洗管排水に係る費用推算 ⇒ 労務費約800万円+排水損失約1,200万円

2) 評価

時間的に難しい大口径管路を除外するとしても、大口需要家を含む事業所・使用者との調整や洗管作業に要する膨大な時間のため、実現は困難が予想される。したがってその労力と費用を、管路布設替更新等に振り向ける方が効果的である。

6. まとめ

計画洗管は濁水苦情の低減に寄与し、赤水対策として有効に機能しているものと言える。もちろん単純に洗管による効果のみではなく、漏水事故はもちろん濁水発生の多い管路も優先して更新してきた相乗効果もある。

洗管作業を行うと副次的な効果として、閉塞管路の発見・把握ができるため、これを管路更新の優先順位付け資料として活用している。また仕切弁及び消火栓の開閉による内面掃除と動作確認を行なうこともできる。

さらに職員の減断水等作業計画立案能力の向上、実際のバルブ操作、ポンプ所等施設の理解、遠隔監視トレンドデータの理解等の現地訓練・研修を兼ねる作業としても重要な位置を占めている。そこで今後も対象管路を精査しながら、計画洗管の継続が必要と考えている。

併せて、夾雑物堆積や水の滞留が生じにくい、あるいは洗管排水がしやすい管路構成や小ブロック構成の研究と整備を進めていきたい。

高精度な水道管路の老朽度評価方法の開発

株式会社クボタ

川原 聡

1. はじめに

水道は市民生活になくてはならないインフラだが、老朽化した管路の割合は年々増加している。予算や人手不足といった課題からすべての管路を更新することは困難であり、優先的に更新する管路を選定することが必要である。

クボタでは効果を最大化させる管路更新計画を支援すべく、長年培ってきた知見に加え、AI を活用した新しい老朽度評価方法を構築したので報告する。

2. 新しい老朽度評価方法の開発

(1) 新しい老朽度評価モデルの特徴と概要

新しい老朽度評価モデルの 3 つの特徴を下記に示す。

- ①50 年間にわたって収集した約 6,000 件の調査データをもとに、AI を活用して鉄管の新しい老朽度評価モデルを構築した。
- ②老朽度の予測精度が大幅に改善できた。
- ③管路毎の予測漏水件数（件/年/km）から、更新による効果を定量的に評価できた。

新しい老朽度評価方法として構築した漏水リスクモデルは以下の 4 つのモデルを基に作成した。

<埋設環境モデル>

約 6,000 件の腐食調査データ及び埋設環境データを基に、土質と土壌比抵抗値から腐食速度に有意な差のある 4 つの埋設環境分類を設定した。

<ラグタイムモデル>

外面塗装の防護期間であるラグタイムをデータ解析に導入した。

<腐食深さ予測モデル>

任意の腐食深さに至る埋設期間を予測するモデルを構築した。

<漏水リスクモデル>

図1に示す漏水リスクモデルを埋設環境分類ごとに作成した。

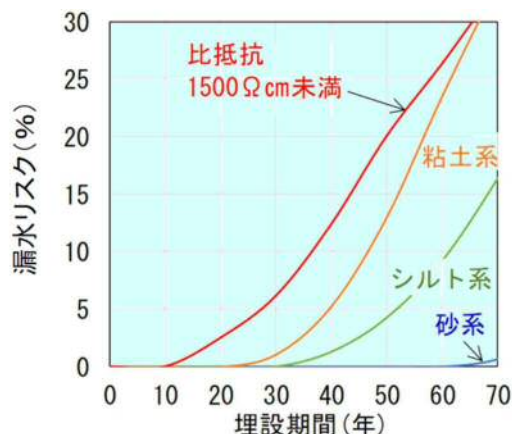


図1 埋設環境分類ごとの漏水リスクモデル
(管厚 7.5 mm の場合の例)

(2) 精度の検証

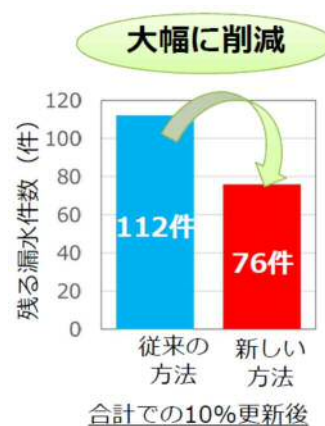
事業者から入手した実際の管路データおよび漏水事故履歴を用い、従来の方法または新しい方法で漏水事故の予測精度比較を行った。8事業者での精度比較結果を表1に示す。

更新することで何件の漏水件数が残るか試算を行ったが、新しい方法は大幅に漏水事故件数を削減できることがわかった。

表1 精度の検証結果

水道事業者	残る漏水件数						
	更新無	10%更新後			20%更新後		
		-	従来の方法	新しい方法	評価	従来の方法	新しい方法
1 A事業者	14件	9件	3件	○	6件	1件	○
2 B事業者	27件	21件	18件	○	14件	11件	○
3 C事業者	22件	12件	7件	○	5件	2件	○
4 D事業者	13件	8件	6件	○	5件	4件	○
5 E事業者	4件	2件	0件	○	0件	0件	△
6 F事業者	15件	6件	5件	○	6件	2件	○
7 G事業者	5件	2件	0件	○	0件	0件	△
8 H事業者	57件	52件	37件	○	46件	25件	○
合計	157件	112件	76件	○	82件	45件	○

※ 評価基準 ○ : 発生する漏水件数が従来の方法より少ない
△ : " " と同数



3. 新しい老朽度評価の活用方法

漏水リスクを色分けしたマップを図2に示す。このマップにより、以下のような活用が可能となる。

- ・漏水リスクが高い管路が視覚的に分かる。
- ・漏水リスクから換算した予測漏水件数が表示可能で、将来の漏水件数を予測できる。
- ・漏水件数を予測できるため、更新の効果を定量的に評価できる。
- ・将来の漏水リスクも示すことができ、予測漏水件数が高い管路から優先的に更新することで将来発生する漏水事故件数を抑えることができる。

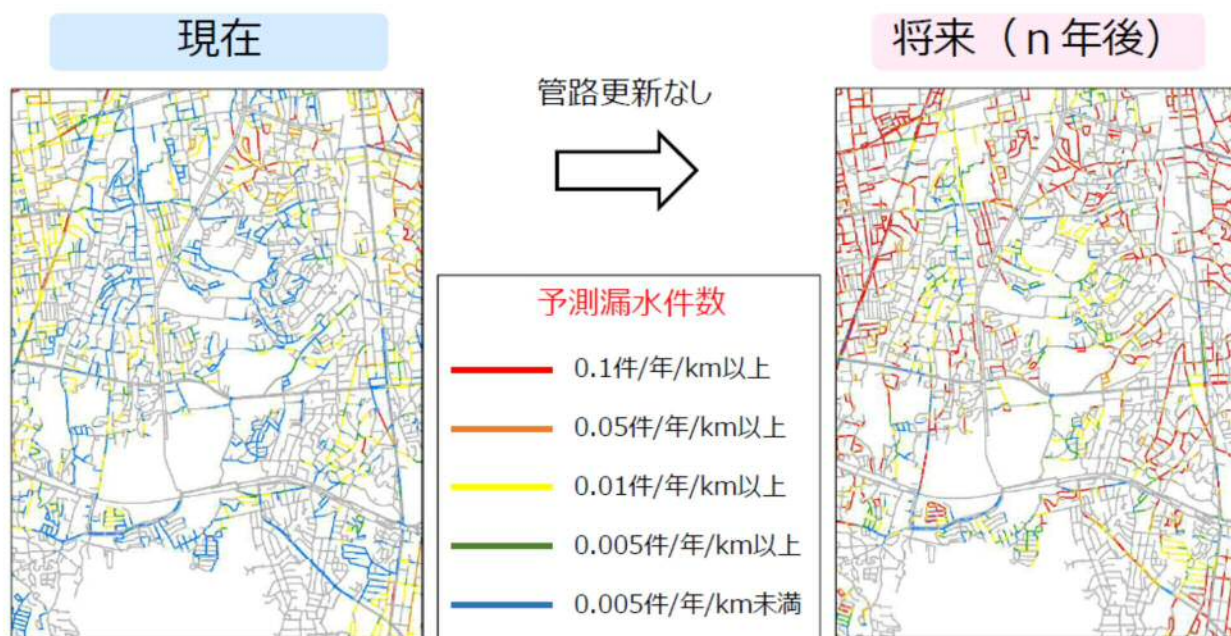


図2 管路の予測漏水件数（件/年/km）による色分け結果例

4. 今後の取り組み

今後は以下の開発を進め、効果を最大化させる管路更新計画の策定に貢献していきたいと考える。

- ・塩化ビニル管や鋼管など、鉄管以外の老朽度評価精度の向上
- ・HR（自然災害への耐性）、水理・水質、重要度評価のそれぞれの項目での精度向上
- ・AIを活用した総合評価による最適な管路の更新優先順位を導き出す技術の開発



鉄管以外の他管種の老朽度評価精度の向上と
HR、水理・水質、重要度の評価精度の向上

図3 今後の取り組み内容

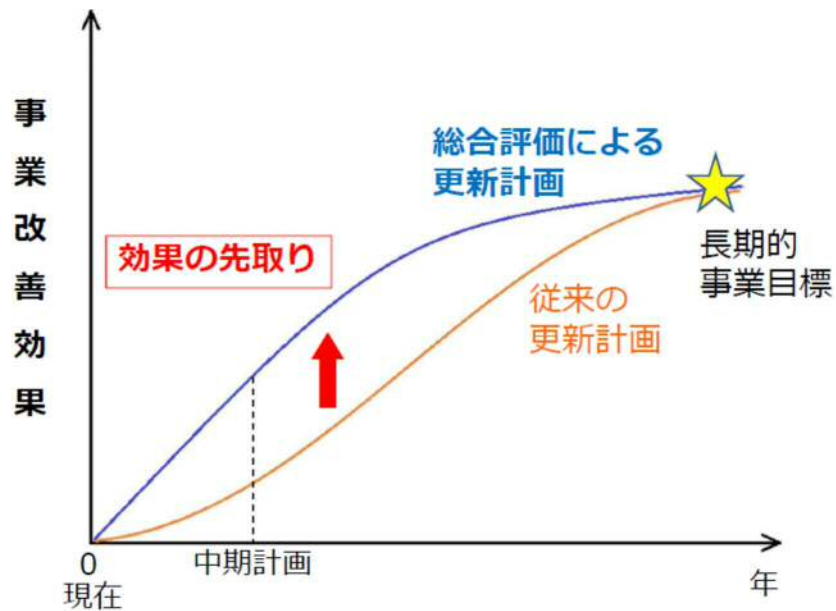


図4 管路の総合評価適用による効果例

5. まとめ

これまで積み上げてきた膨大な調査データを用い、高精度な新しい老朽度評価方法を開発した。

今後は、他管種の老朽度、HR（自然災害への耐性）、水理・水質、重要度の評価技術の精度を向上させるとともに、AIを用いた総合評価を開発し、限られた予算の中で効果を最大化させる管路更新計画の策定に貢献していく。

水管橋分岐部の漏水予防対策について

大成機工株式会社
○久津輪 薫

1. はじめに

水道設備の維持管理や修繕を進める中で、漏水事故発生頻度の高い箇所として水管橋や橋梁橋梁添架鋼管の分岐部がある。この部分に対する漏水予防対策の共同研究を京都市上下水道局と行った。従来の汎用修繕材料では覆うことができず、専用材料の検討を要するなど修繕復旧に時間が掛かる課題を解決する修繕材料（以下、漏水予防用金具）を開発できたことにより、漏水発生時の早期対応に加え、あらかじめ設置することで未然に漏水を予防が可能となる。今回報告する漏水予防用金具により本管の断水リスク低減や送水機能の健全維持に寄与できると考える。以下に開発内容の詳細を報告する。

2. 修繕方法の検討

図-1のように、空気弁が設置されている鋼製T字管の分岐根元部分から、漏水が発生する例が多くある。この部分は複雑な分岐根元の形状に加えて、溶接の凹凸など特殊な環境が想定されるため、汎用の修繕修材が適用され難い。過去の修繕方法は、外周に鋼製材を溶接設置して覆い込む方法などで対応している。この方法は材料と工事準備など、費用と日数が必要となる。漏水状況は様々で、にじみ出るようなものから噴き出しが発生するものまである。これらの原因は溶接部周辺の腐食と推測し、部分的な当て板や塗装などによる局部補修では再発の懸念があることから、確実なメカニカル式で覆う方法を検討する方向とした。以上を踏まえて開発したものが、図-2に示す漏水予防用金具である。

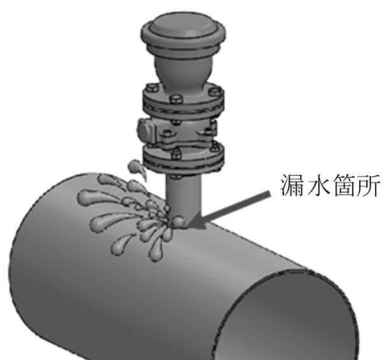


図-1 漏水例

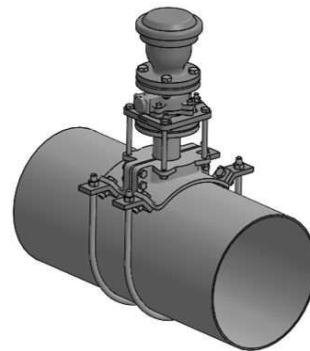


図-2 漏水予防用金具

3. 漏水予防用金具

3-1. 特長

- ・ 事前設置により、将来的な漏水を防ぐことが可能
- ・ 本管を通水したまま分岐管の補強が可能
- ・ 金具をボルト・ナットで締め付けるだけの構造のため、本管との溶接が不要
- ・ 分岐根元のみを設置するため、軽量かつコンパクト
- ・ 緊急時の漏水補修材としても利用可能

3-2. 構造

漏水予防用金具の構造を図-3 に示す。主に「割本体」「U 形状バンド」「固定部材」の3つの部品で構成。割本体はボルト締結であり、U 形状バンドで割本体と本管を締め付固定することにより、本管へ溶接することなく取付可能。また、固定部材により分岐管から先のフランジ接合の離脱を防止する構造。

止水構造は図-4 に示すように、2 片の割本体にそれぞれ内蔵されているパッキンにより、分岐管胴部から分岐管根元周辺の間を密閉、分岐管根元の溶接部から余裕をとった範囲をカバーしている。

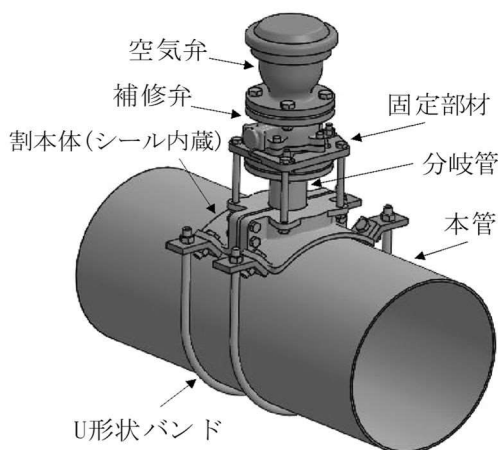


図-3 金具構造

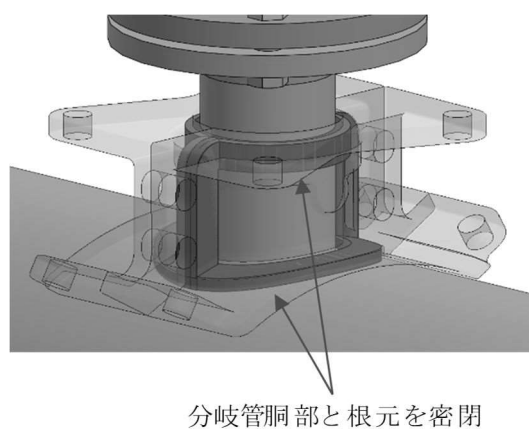


図-4 止水構造

3-3. 仕様

- ・ 本管サイズ：350, 400, 450, 500
- ・ 分岐管サイズ：75
- ・ 使用圧力：0.75MPa

4. 施工事例

4-1. 施工条件

1975年施工の本管 SP400mm、分岐 SP75mm の補修弁付き空気弁配管部。漏水は無いが、分岐根元溶接部の外観に錆があり、漏水未然予防目的として施工。施工者 1 名、施工補助者 1 名（金具や工具の受け渡しなど）。地上 6m に位置しており、足場設置を行い作業実施。

4-2. 施工結果

製品一式を地上 6m に無理なく持ち運びを行い、作業時間 60 分にて取付け完了。



写真-1 現場状況



写真-2 施工前



写真-3 作業状況



写真-4 施工完了

5. おわりに

施工事例のような、重量物の運搬が難しい現場状況でも対応できた。今後、様々な現場状況への対応実績を積み上げ、改善点を抽出したいと考える。また対応サイズについても拡充し対応範囲を広げて行きたい。今回紹介した漏水予防用金具が、水道設備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。

上町断層帯地震の断層変位に対する水道局施設のリスク評価と対策

大阪市水道局 ○松本 侑士
吉澤 源太郎
梅野 博司

1. はじめに

近年、地震時において断層が変位し、断層横断部に埋設されていた管路が集中的に損壊するという新たな破壊モードが顕在化している¹⁾。現在の国内の水道施設耐震設計の考え方のなかでは、断層変位を受ける管路等に対する対応の必要性については触れられてきたものの、その設計手法および対策工法が基準化されておらず、試行的に個別設計の段階に留まっているのが現状である。一方、上町断層帯地震の断層変位に対する調査研究が徐々に進展し、その全容が明らかになりつつある。また、ひとたび断層変位が生じれば、インフラの応急復旧すら難しいほど致命的な被害が生じる可能性もあることから、一部のライフライン事業者では、それぞれ断層変位リスクを設定し、設計上の想定外力として、具体的な対策を講じ始めている²⁾。

そこで、大阪市の最大想定地震動である上町断層帯地震に対して、これまで未考慮であった断層変位に対する水道局施設のリスク評価を行い、その対策をまとめた検討成果を報告する。

2. 上町断層の断層変位量と影響区間の設定

上町断層は、日本の都市の中でも稀な大都市の都心市部直下を通過する断層である。活断層調査はこれまで多数実施されており、様々な活断層分布が存在している。国内の公的機関が公開されているものだけでも、①活断層図（国土地理院）、②活断層データベース（産業技術総合研究所 地質調査総合センター）、③活断層詳細デジタルマップ（東京大学出版会）がある。本市では、断層線が最も多く示され、かつ最新の地質調査の結果が最も反映されている②活断層データベース（図-1）を用いることとし、断層変位の影響範囲を最大で見込むことで、設計上安全側の選択をすることとした。

また、断層変位リスクを検討するうえで、断層線がインフラ構造物の埋設されている表層部まで到達するかが、地震対策上の大きな要素となる。平成7年に大阪市内で実施した反射法探査の結果（図-2）からは、現時点では地表から600m以深まで到達している。この点については、大阪地盤の地質・活断層研究の有識者に意見参酌を行い、堆積する海成粘土層を含む堆積層が非常に分厚いため、次の地震時においても、地表から100～200m以深までに留まる可能性が極めて高いことから、地表到達リスクは無いものと整理した。

上町断層帯地震の断層運動は「逆断層」に分類され、変位タイプは「撓曲」である⁴⁾。



図-1 設計想定上の上町断層帯の断層線

上町断層地震の断層変位の推計については、次の2つの検討事例が知られている。

(1) 文部科学省地震調査推進本部の検討事例⁴⁾

- ・ 1回の活動で3m程度の上下変位発生を推定
- ・ 断層線に対して直角方向へ撓曲に変形する範囲(以下、「撓曲幅」)は約6kmと推定

(2) 京阪電鉄の中之島線整備にあわせて実施された断層変位の推計事例⁵⁾

- ・ 1回の活動で4m程度の上下変位発生を推定
- ・ 撓曲幅は600mと推定

両者を比較したとき、断層変位の被害想定として大きいものは(2)である。そのため、設計上安全側の選択をするという視点から、(2)の推計結果を耐震設計で用いる断層変位ハザードの想定外力とした。

ここで、断層変位は撓曲幅に均等に発生するものではなく、断層線に近づくほど、地盤変位やひずみが増加する(図-3)。そのためシビアな想定である断層線付近のものを用いる方が、より地震対策上の安全側となるため、設計外力としては、断層線直近に発生する最大ひずみ(水平方向)0.7%と最大変位(鉛直方向)2m/100m区間を設定した。

また、断層変位の発生区間は、図-1に示す断層線の場所に確実に発生するとは限らず、地表地盤の土質性状等に左右されるため不確実である。この課題に対して、土木学会地震工学委員会では、過去の地震発生前後における想定と実際の断層線の位置を比較し、想定断層線から300m以内は出現リスクが高いことを明らかにしている⁶⁾。そのため、耐震設計上考慮する断層変位リスクの影響区間は、想定断層線から300m離れた区間と設定した。

3. 水道局施設の損壊リスクに対する評価

大阪市水道局の管路及び浄配水場のほとんどは地下に埋設されているため、少なくとも断層線を横断する管路、並びに断層線上及び近傍に位置する浄配水場については、断層変位に伴う損壊を受ける可能性がある。一方、大阪市内においては、少なくとも地表から100m以深までは撓曲変形の断層変位しか被害を受けないとみなすことができる(図-4)。

現時点において、水道局が保有する管路及び浄配水場施設は、構造物を支える杭基礎も含めて、すべて100m以浅の埋設に留まっている。よって、基本的には、撓曲変形タイプの断層変位に対

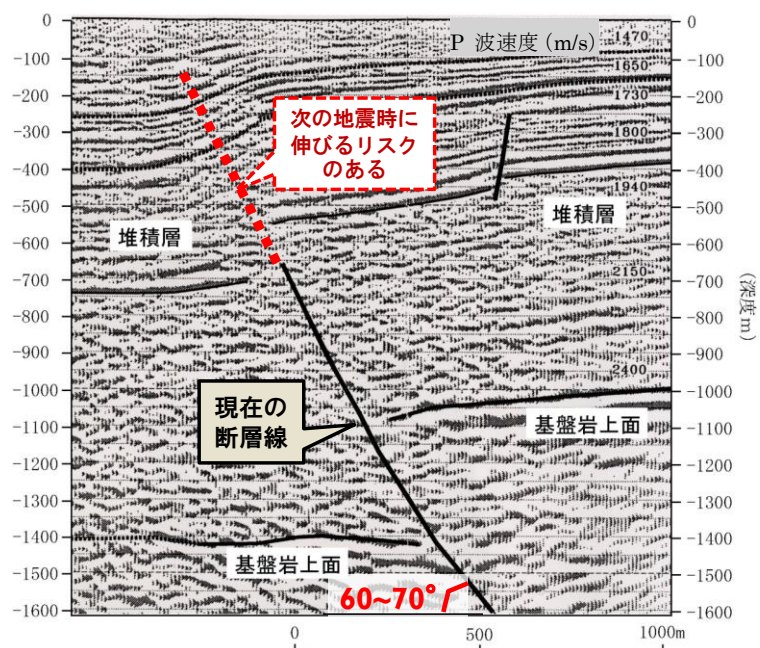


図-2 反射法地震探査による上町断層線の調査結果図³⁾

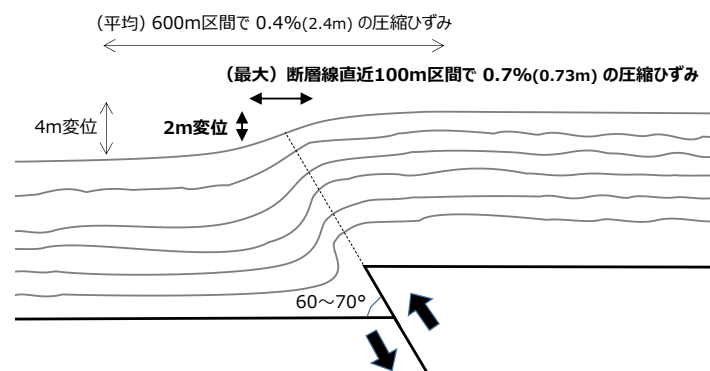


図-3 大阪市内の上町断層帯地震の断層変位モデル

してのみリスク評価を行えばよいことになる。

撓曲変形の特徴は、地層が切断され局所的に大きな地盤変形が起こるのではなく、広い範囲で緩やかに地盤の変形が起こるというものであるため、浄配水場施設のような、その地点にスポット的に立地している「点状構造物」については、基本的に損壊のリスクは考えられない。しかしながら、線状に形成され拡がりをもつ埋設管路やシールドトンネルなどの「線状構造物」に対しては、特に断層を横断するものにおいて、ひずみが蓄積され、軸方向に圧縮や引っ張り、直角方向にズレを生じさせる外力が働く。よって、断層変位に対する水道局施設の損壊リスクは、断層を横断する埋設管路などの線状の埋設構造物に対して高く、それ以外の点状構造物は、基本的に考慮しなくても問題ないと整理した。

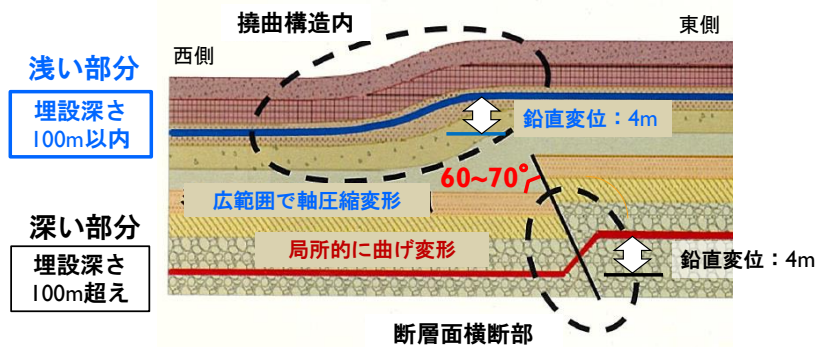


図-4 埋設深さと断層変位の変形タイプの関係

4. 断層横断管路の要求性能

4.1 ダクタイル鋳鉄管の要求性能

耐震型ダクタイル鉄管は、継手が伸縮するため、管路が圧縮状態となる場合、引張状態となる場合のいずれの断層変位にも追従可能な管路を設計することができる。しかしながら、撓曲変形を受ける管路は、圧縮方向の変位を受けるため、主として管体を押し潰すような大きな軸力が発生するとともに、継手部では、大きな屈曲が発生する。そこで、日本ダクタイル鉄管協会が示す耐震性能1の基準⁷⁾に準拠する形で、表-1の性能を満たすこととした。

表-1 断層変位に対する管路の設計照査値^{7), 8)}

ダクタイル鋳鉄管	溶接鋼管
① 管体応力 $\sigma \leq 270 \text{MPa}$ ② 軸力 $F \leq 3DkN$ (D:呼び径[mm]) ③ 継手屈曲角度 $\theta \leq \theta_0$ θ_0 : 変形後の継手屈曲角度 θ_0 : 地震時に曲がり得る最大屈曲角度 (継手による)	① 管体発生歪み $\epsilon_s = 5\%$ ϵ_s : 座屈開始歪み ② 変形後の通水断面積 $A \geq 0.8 \cdot A_0$ A : 変形後の最小通水断面積 A_0 : 直管部の通水断面積

鋼管は、一様伸びが20%以上あり、5%以上の圧縮ひずみに対しても亀裂が生じない優れた変形特性を有している。断層を横断する鋼管は、日本水道鋼管協会が示す耐震性能3の基準⁸⁾に準拠する形で、部分的に塑性化しても漏水が発生しない限界状態である性能を満たすこととした。さらに、上町断層帯の断層変位は最大で0.7%であり、鋼管の座屈開始歪み5%よりも小さいことから、鋼管を用いる場合は、原則、特別な対策は要しないことと位置付けた(表-1)。

4.2 鋼管の要求性能

鋼管は、一様伸びが20%以上あり、5%以上の圧縮ひずみに対しても亀裂が生じない優れた変形特性を有している。断層を横断する鋼管は、日本水道鋼管協会が示す耐震性能3の基準⁸⁾に準拠する形で、部分的に塑性化しても漏水が発生しない限界状態である性能を満たすこととした。さらに、上町断層帯の断層変位は最大で0.7%であり、鋼管の座屈開始歪み5%よりも小さいことから、鋼管を用いる場合は、原則、特別な対策は要しないことと位置付けた(表-1)。

5. 断層横断管路の設計手法(ダクタイル鋳鉄管)

上町断層帯の断層線(図-1)を横断し、かつ断層線から300m範囲内に入る横断管路については、上町断層帯地震時の撓曲変形による断層変位(図-3)を吸収し、表-1に示した性能を満たすために必要な対策を講じることが設計の基本的な考え方となる。

いま、管路設計の実務的にイメージしやすい1スパンの50mピッチでみた場合、断層横断管

路の耐震設計の目標は、『50m区間で1.0mの上下変位と0.36m(0.7%)の地盤圧縮に耐える管路構造とすること』と置き換えることができる。ダクティル鋳鉄管の伸縮性については、直管のみが有する性質であり、その伸縮許容量は、管長の±1%⁹⁾に留まるため、撓曲変形の地盤圧縮に対しては、上下変位への対策を上回る措置が必要となる。

口径600mmの管路設計を例にすれば、管1本(直管1本あたりの長さ6m)あたりの許容伸縮量が0.06mであるため、50m区間で継手を6個配置できれば、0.36m(0.7%)の地盤圧縮に追従可能という計算である。

一方、①異形管を設置する場合、②管路の屈曲部・分岐部・末端部・バルブ部で発生する不平均力への対策として直管継手にライナを設置する場合は、伸縮機能が活用できなくなる。その際は、1)埋設ルート直線化、2)保護コンクリート設置(ライナ設置箇所を縮小)、3)継輪の配置を行いながら、地盤圧縮に追従可能な管割付としていくことが設計手順となる(図-5)。

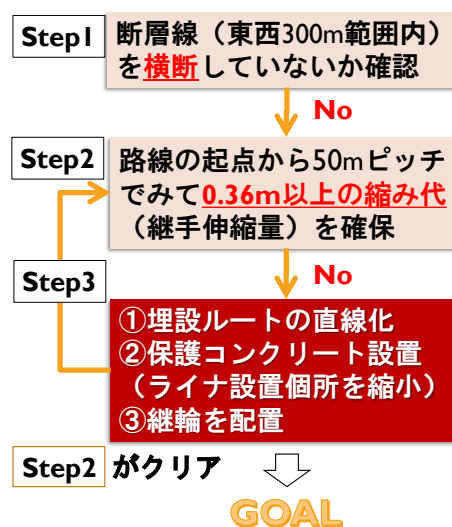


図-5 断層横断管路の設計手順

6. まとめ

本報告は、上町断層帯地震の断層変位に対する水道局施設のマクロ的なリスク評価と対策の枠組みを示したものである。従来明確でなかった上町断層の断層変位の標準モデルを例示し、設計外力を導き出すことができた。そして、浄配水場施設や埋設管路等の損壊リスクに対する変位への安全性評価を行い、その対策を図る設計基準の整備までの一連の道筋をまとめることができた。

ただし、今回設定した断層変位モデルは、現時点で解析的に想定できた外力に基づいて組み立てたものであるが、現時点では想定が難しい残余のリスクも存在している。引き続き最新の研究動向をフォローしながら、適宜手法を見直し、危機耐性に優れた設計基準を確立していきたい。

謝辞

本調査研究を進めるにあたり、一般財団法人地域地盤環境研究所 理事 北田奈緒子氏 には、上町断層帯の構造や地震時挙動などの様々な知見をご教示いただきました。また土木学会地震工学委員会「断層変位を受ける地中管路の設計手法に関する研究小委員会」幹事長 長谷川延広氏 には、地中管路の断層変位対策に関する国内外の動向をご教示いただきました。謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会 地震工学委員会「断層変位を受ける地中管路の設計手法に関する研究小委員会」最終成果報告会，成果報告 WG3 資料，2020.10.23
- 2) 上町断層変位被災を考えるシンポジウム(一般財団法人 地域地盤環境研究所 主催)，2018.10.1
- 3) 大阪市：平成7年度地震関係基礎調査交付金，上町断層に関する調査成果報告書，1996.
- 4) 文部科学省 地震調査推進本部地震調査委員会，上町断層帯の長期評価について，2004.
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/04mar_uemachi/index.htm
- 5) 向井寛行：上町断層を横切るシールドトンネルにおける対策事例，上町断層変位被災を考えるシンポジウム，2018.10.1
- 6) 土木学会地震工学委員会：断層変位を受ける地中管路の設計手法に関する研究小委員会，研究中間成果報告書，2019.8
- 7) 日本ダクティル鋳管協会：耐震型ダクティル鉄管による断層対策管路の設計，JDPAT 64，2020.2
- 8) 日本水道鋼管協会：断層用鋼管 WSP077-2012，2012
- 9) 日本ダクティル鋳管協会：ダクティル管路 配管設計標準マニュアル，JDPAT 27，H27.6

東大阪市水走配水場における マイクロ水力発電の導入事例

○鈴木 隆雄（東大阪市上下水道局）

1. はじめに

東大阪市は河内平野のほぼ中央に位置し、西は大阪市、南は八尾市、北は大東市と接し、東は生駒山地を境に奈良県と接している。また、大阪市、堺市に次いで府下3番目の人口を抱える中核市である。水道事業については昭和7年に当時の布施町にて給水を開始し、その後拡張を重ね、現在の給水人口は約50万人、年間総配水量は約5,600万m³の規模である。水源の大部分は大阪広域水道企業団(以下企業団)から受水し、自己水源は約1%(生駒山系の湧水)となっている。

当市では、地球温暖化対策として「2050年ゼロカーボンシティ」を表明し、脱炭素の取り組みを進めている。水道事業における省エネルギー対策として、ポンプのインバータ制御や高効率モータの採用、電灯のLED化等を積極的に実施している。一方、再生可能エネルギー発電として配水池上部にパネルを設置した太陽光発電は実施しているが、小水力発電の導入については水圧の確保や設置場所、コスト面等課題が多く、実現には至っていなかった。

本稿では、民間活力を利用して当市の水走配水場に導入したマイクロ水力発電システムの設置場所の選定や特長について報告する。

2. マイクロ水力発電システムの概要

(1) 設置場所の選定

当市の水道水は企業団より水走配水場、池島配水場、上小阪配水場、菱屋西配水場及び中石切受水中継ポンプ場の5施設で受水している。その中で水走配水場は昭和41年に竣工し現在は市内全ての水道施設を監視・制御している唯一の有人施設であり、特別高圧受電施設として安定給水を行っており当市の中核的な配水場となっている。また、同配水場は企業団の大口径送水管路(φ1800mm)から分岐した受水管(φ1350mm)を場内へ引き込んでいる。当市と同様に多くの大阪府の水道事業者は企業団の送水管路から受水をしており、加圧施設等を通じて東大阪市よりさらに遠方となる大阪府最南端の岬町まで圧送している(北は大阪府北端の豊能郡能勢町まで)。つまり大阪府南部の泉州地域まで送るために必要なエネルギーは、手前に位置する水走配水場では余剰エネルギーが発生している状況となっている。

このような現況のもと、安定した水圧・水量・発電設備設置スペース及び余剰エネルギー有効利用等の一定条件をクリアした施設として水走配水場をマイクロ水力発電設備の設置場所に選定し、水運用シミュレーションによる検討や試掘調査、関係機関との調整等を行い、最終的に設置可能と

東大阪市水走配水場における マイクロ水力発電の導入事例

判断した。なお、発電設備設置スペースの課題に対しては、場内配管が輻輳することからスペース確保に苦慮したが、既設配水池の一部を機能停止し、その上部を発電設備の設置スペースに活用することで課題の解決に至った。この結果、当事業は余剰水圧を利用した再生可能エネルギー発電に、水需要の減少を見据えた施設ダウンサイジングを組み合わせた事例となった。

図1に水走配水場内略図を、図2に発電設備概要図を示す。

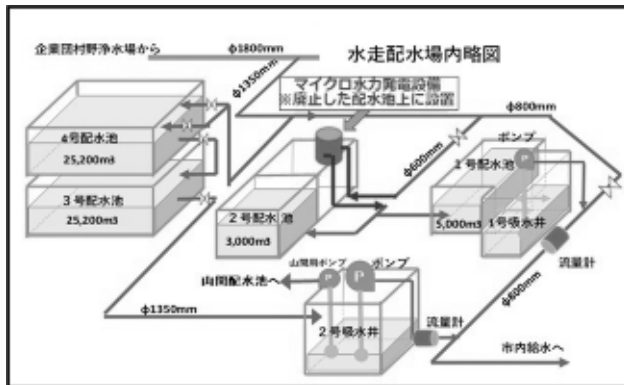


図1 水走配水場内略図

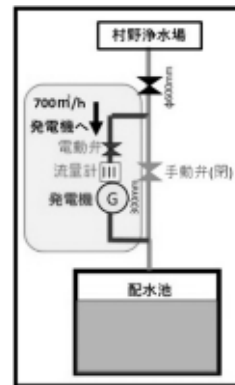


図2 発電設備概要図

(2) マイクロ水力発電の特長

水走配水場で導入したマイクロ水力発電の特長を以下に示す。また、写真1に発電設備を示す。

- 水需要の減少により廃止しても問題ないと判断された配水池を機能停止して活用した（上部に発電設備を設置）。
- 57.5kW クラス発電機1台での発電（最大使用水量 700 m³/h 年間発電量：約48万 kWh 一般家庭の145軒相当）。
- 発電設備と既設受水設備を併用して配水池への受水を行う。
- 水圧（落差）を利用するため、太陽光発電、風力発電とは違い天候に左右されず、常に一定の発電が出来る事から、高い発電効率（95%以上）を求めることが出来る。
- 発電による売電収入の一部を還元金として当市が雑収入を得る。
- 発電事業者が設置費用負担、土地利用料（行政財産使用料）の支払い及び運用を行うことで、費用・運用に係る市・職員の負担を発生させずに導入が可能となった。



写真1 発電設備

3. おわりに

民間活力を利用し新たな市の負担もなくマイクロ水力発電設備の導入ができ環境負荷の低減が図れた。現在の実績でも想定以上に効率的に発電できており今後は本設備を応用した災害による長時間停電時の補助電源への切り替えや二次電池使用による市民への給電サービス等も可能と思われる。

自己水源の有効性再評価について -阪神水道の費用制度見直しに伴う自己水源コストの整理-

神戸市水道局 岸本 隆志

1. はじめに

神戸市の自己水源は千苺・布引・烏原の3貯水池をはじめ、市内の小河川及び湧水からなっている。現在神戸市水道全体の水源確保量は約87万m³/日であり、その約4分の3を用水供給事業者である阪神水道企業団（以下、「阪神水道」）からの受水（約63.8万m³/日）に依存し、自己水源は20万m³/日とおよそ2割しかない。

配水量の動向については、平成22年度から減少の一途を辿っており、現在は日平均配水量50.2万m³/日である。これは、自己水源に依存していない地域は阪神水道からの受水のみで賄える状況にあり、水量の観点からであれば阪神水道を軸に、自己水源を統廃合できる。

一方で、近年は全国的に洪水や土砂災害を引き起こす原因となる大雨や、ゲリラ豪雨の頻度が増加しているという報告がある。さらに、今後予想される南海トラフ地震では地震対策はもちろん津波対策も求められ、これら多様化する自然災害へのリスクを分散する観点からいえば、自己水源を有効活用すべきである。

このような背景の中、令和2年度より阪神水道の受水費の費用構成が一部変更されたことや、今後の施設規模見直し等により、構成市の費用負担方法を協議していくことを受け、自己水源を定量的に評価できる機会と捉え、各水源の浄水にかかるコストを精査したため報告する。

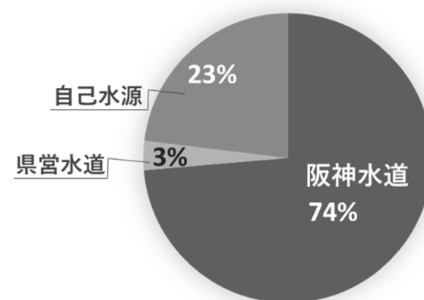


図1 神戸市の水源確保量

2. シミュレーションの方法 -固定費と変動費の分類-

(1) 阪神水道の固定費・変動費

阪神水道への受水費についてはまず、その費用負担制度について少し触れることとする。阪神水道は、事業運営に必要な費用を、本市含む5つの構成市が要求する配分量（一日最大給水量）に応じて受水費（分賦金）で負担する制度としている。この受水費の費用構成について、令和元年度以前は、実績受水量に関係なく定額負担（以下、「責任水量制」）であったが、令和2年度より、定額負担分と実績受水量に応じて支払う変動費の区分が新たに追加され、固定費と変動費の2部制の体系になっている。固定費の水道水1立米あたりの単価は、定額負担分を全体要求受水量と本市要求受水量との割合から算出され、51.06円/m³であり、変動費は薬品費や動力費などの供給量の変動に係る費目が抽出され、9.62円/m³

である。そして、この固定費と変動費の考え方を自己水源に関しても同様に分類した。

(2) 自己水源の固定費・変動費

自己水源については、浄水コストに該当するものを、「水道水を1m³作るのに必要な水道施設」と定義し、水道施設のうち、貯水施設、取水施設、導水施設、浄水施設をそれとした。そして、勘定科目の営業費用のうち、原水費・浄水費・減価償却費から、上記施設に関連する費用を抽出した(図2参照)。以下に、費用抽出の具体例を2例列挙する。

営業費用の内訳は、原水費・浄水費のほかに配水費・給水費などがあるが、本市の場合、水道施設でいうところの「送水施設」の費目への置き換えが曖昧となり、浄水費と配水費の内訳に「送水施設」に関連する費用が計上されていた。本稿の浄水コストの定義には「送水施設」は含まれないため、これに関する費用は除外した。

本市では、水質検査機関を有しており、給水栓での検査はもちろん、浄水場の原水及び浄水、各用水供給事業からの受水点等で検査を行っている。このうち、浄水コストとして、浄水場の原水及び浄水にかかる検査費用が該当するものとした。具体的には、年間を通じて行った水質検査(受託分

は除く)の検体数のうち、各浄水場の原水及び浄水の検体数を抽出し、総検体数との割合を求め、検査機関の人件費や物件費等の総費用からそれぞれコストを算出した。

そして、上記のように抽出した浄水コストにかかる費用を、浄水処理量に影響される費用は変動費、影響されない費用は固定費として分類した。

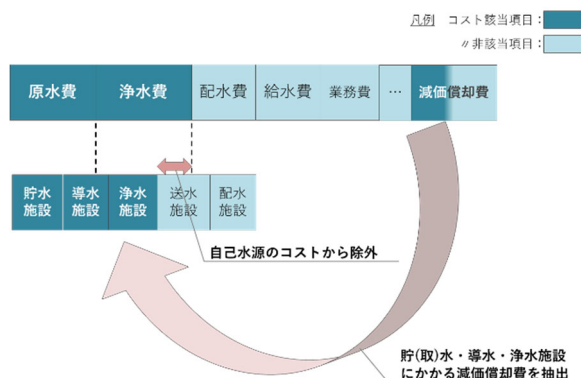


図2 自己水源-浄水コスト該当費目-

3. シミュレーションの条件

シミュレーションでは、全体水量を50万m³/日の固定値とし、自己水源の水量(割合)を変えて、阪神水道の受水量がそれと対になるよう設定した。なお、シミュレーションを行った浄水場は、自己水源に依存していない地域に関連した3浄水場とし、それ以外は固定値としている。

ケース1: 奥平野浄水場(6万m³/日)

奥平野浄水場は、昭和58年度に急速ろ過方式の浄水施設に改築され、浄水された水は、浄水場内の配水池で阪神水道の水とブレンドされている。責任水量制の際は市全体配水量の落ち込みもあり、浄水場の稼働日数が年間の1/3程度で、修繕にかかる投資も最低限としていたため、現在では機械・計装設備を中心に機能劣化しているほか、水源水質の影響から、施設能力相当の浄水量が確保できない状況である。この水源であるが、本浄水場は、布引・烏原2貯水池と、湧水の計3箇所から導水し処理を行ってきたが、近年カビ臭等により浄水処理が困難となったため、貯水池を1箇所予備水源とし、残り2箇所導水している。

また、湧水についても、原水水質を考慮した薬品を使用していることや、ポンプで導水しているため、一定変動費を要する。

以上のことから、水源含む浄水場を廃止し阪神水道の受水量を増量した場合（ケース 1-1）と、水源のうち湧水を廃止し浄水設備を更新した場合（ケース 1-2）でシミュレーション比較を行い、自己水源の評価を行った。

ケース 2：上ヶ原浄水場（7万 m³/日）

上ヶ原浄水場は、大正 6 年より供用開始しており、浄水場下流の送水施設で阪神水道とブレンドされている。本浄水場は、令和 3 年度より経年化による再整備を行い、原水のカビ臭を考慮して、高度処理設備である粒状活性炭設備を新たに処理フローに導入し、安定的な上水水質の確保を図る。再整備にあたっては PFI 方式を採用しているため、設計・施工費用の減価償却費を定額で計上し、浄水量を一定変動させることでシミュレーションを行った。

ケース 3：千苺浄水場（10万 8千 m³/日）

千苺浄水場は、阪神水道に依存していない地域へ送水し、その地域の下流に位置する配水池で阪神水道とブレンドされるため、ブレンド量を変動させてシミュレーションを行った。



図 3 浄水場位置概略図

4. シミュレーション結果

ケース 1：奥平野浄水場

ケース 1-1,2 の結果を図 4 に示す。1-2 については、ろ過速度最小での年間水量(1-2a)と最大導水量での年間水量(1-2b)の 2 パターンで算出している。ケース 1-1 で本浄水場の固定費が計上されているのは、布引・烏原貯水池は本市所管の利水ダムであるため、浄水場を停止したとしても、これらの維持管理等は引き続き行う必要があり、減価償却費や維持管理費等の固定費がゼロになることはないためである。ケース 1-2 と 1-1 の費用比較の結果、1-2a は総費用が 1-1 に比べ増加し、1-2b はそれが減少した。これは、変動費の差額を年間水量で乗した費用が、設備更新の減価償却費等の固定費増分を上回ったからである。

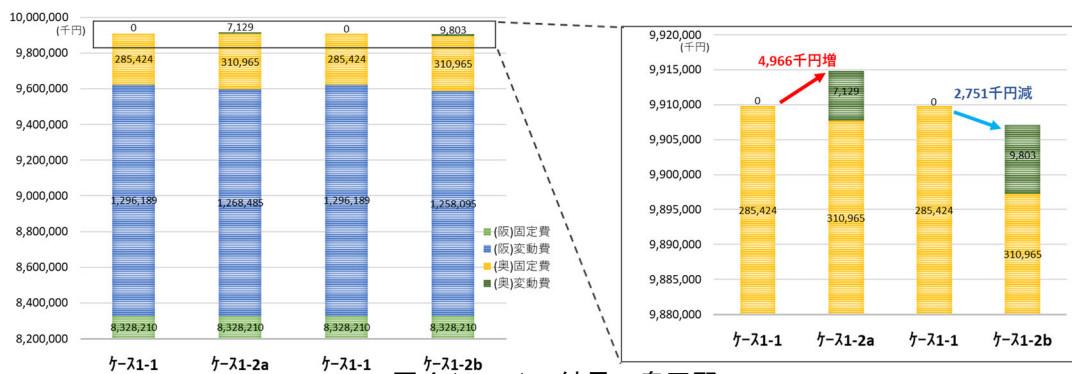


図 4 シミュレーション結果 -奥平野-

ケース 2：上ヶ原浄水場

上ヶ原浄水場再整備にあたっては、位置エネルギーを最大限有効活用できるというコンセプトがある。これは、水源であるダムから導水―浄水―送水施設へ水を運ぶ過程で最低限の動力のみで浄水することで、例えば、広域停電時は阪神水道に比べ送水効率が有利な本浄水場の稼働を確実に維持し、送水施設への維持に必要な水量を確保することができる。そのため、変動単価については阪神水道に比べ約 24%経済的となる見込みであり、平常時でも有効に機能する浄水場であるから、自己水源量をより多くすることで、総費用を抑えることができる。本浄水場の場合、2万 m³/日増量することで年間約 53 百万の費用差が生じることが分かった。

ケース 3：千苺浄水場

千苺浄水場は、上ヶ原浄水場と同じく導水―浄水までは自然流下で運用しており、変動単価は阪神水道に比べ約 22%経済的であり、ブレンド量を 1万 m³/日増量することで、浄水コストは年間約 27 百万の費用差が生じることが分かった。

5. まとめ

全体配水量を 50.0 万 m³/日で固定し、3つの自己浄水場の水量を変動させ比較した結果(右図 5)、変動単価が安い自己水源を多く取水し浄水することで受水費も含めた総費用の低減が図れることが分かった。また、奥平野浄水場のように、一定投資を行う場合でも、投資の減価償却費<変動費の差額となるようであれば、定量的なメリットが生じることも判明した。

以上の結果を踏まえ本市では、今後平常時においても自己水源を有効利用した総費用

の低減が図れる水運用をベースとしていくが、一方で、経年化した基幹的な送水施設の更生を順次計画している。更生の際は、水源配分を変えざるを得ないため、その場合の水源配分はもちろん、総費用も算出し今後の本市の財政計画等に反映していきたい。

6. おわりに

水需要の減少や多様化する自然災害への対策を考えるにあたっては、規模の小さな水源の統廃合・存続の判断を迫られるケースが増えてくると想定される。本稿では、自己水源の浄水にかかる固定費・変動費を抽出し、スケールの大きい水源(阪神水道)と比較することで定量的な有効性を確認したため、同様に検討している事業体において、判断の一助になれば幸いである。

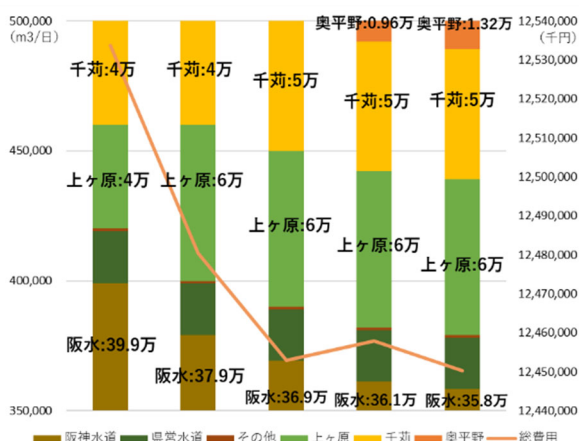


図 5 シミュレーションまとめ

阪神水道企業団における広報戦略

○坂本 和己（阪神水道企業団） 大野 克彦（阪神水道企業団）
毛笠 共幸（阪神水道企業団）

1 はじめに

阪神水道企業団（以下「企業団」という。）では、供給エリアに対して約8割の水道用水を供給している現状から、構成市だけでなく、構成市の水道利用者全てに対して積極的な情報の受・発信を行う必要がある。そのために、これまでの広報・PR活動を発展させ、今後の広報活動の指針として、その目的及び施策等を定めた「阪神水道企業団広報戦略」（以下「広報戦略」という。）を、「経営戦略2020」に掲げる推進施策（アクションプラン）の一つとして2020年より策定し、実施していくところである。

本稿では、広報戦略の実施内容及び課題並びに今後の取組について報告する。

2 企業団の考える広報戦略

企業団では、2018年3月に「水道供給ビジョン2017」を策定し、「安全な水の安定供給の持続」という基本理念の下、水道用水供給事業の運営を進めている。

これからも構成市水道部局と強く連携し、水道水の供給を適切に進めていくためには、構成市水道部局をはじめ構成市の水道利用者全てに対して情報を確実に提供し、十分な説明責任を果たすことで、企業団事業への理解、信頼を得ることが重要である。

そして企業団が発信した情報をより多くの方に享受してもらうためには、企業団に対する認知度の向上は欠かせないものである。

このように水道利用者に対し、危機管理や経営状況等についての説明責任と、認知度の向上という広報における目的のため、これまでの広報・PR活動を発展させていく必要がある。

そこで今後の広報活動の指針として、情報の見える化4方針（図-1）などの施策を定めた「広報戦略」を策定し、実施していくこととした。

そうすることで、企業団のみならず、阪神地域全体を俯瞰した地域の水道事業の最適化にも繋げていく。

次項からは、情報の見える化4方針に基づいた、企業団の広報活動について報告する。

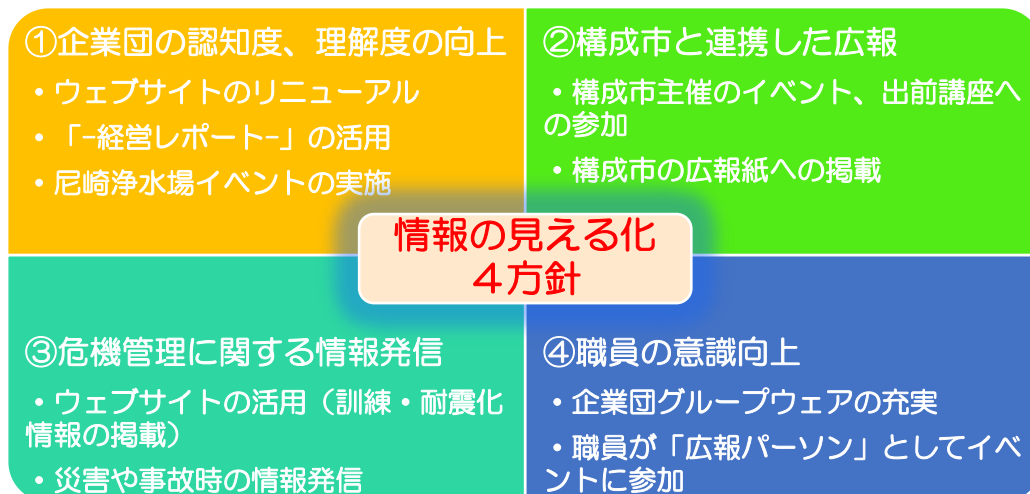


図-1 情報の見える化4方針

3 情報の見える化4方針

① 企業団の認知度、理解度の向上

企業団では、認知度及び理解度向上を図る広報活動として、毎年尼崎浄水場特別開放イベントを、水道週間に合わせて開催している。このイベントでは、尼崎市との共催で実施しており、企業団の広報活動の中では最も規模の大きいもので、例年多くの方に参加していただいている。

イベント内容は、浄水場を一日開放し、水の処理工程を体験してもらう水の実験教室、給水車を用いた応急給水体験など、大人から子どもまで楽しめるものとしている。本イベントは、水処理の仕組みや、企業団の事業並びに水道事業の社会的貢献とその重要性について、水道利用者から理解と関心を持って頂ける貴重な機会であるとともに、市民と接する機会の少ない企業団職員にとっても、貴重な広報活動の場となっている。

またイベントのみならず、小学生の社会見学としても尼崎浄水場の見学を受け入れており、例年多くの小学校が訪れている。(表-1)

しかし、現在は新型コロナウイルス感染症の影響により、イベントへの参加や施設見学が難しい状況にある。このような状況を契機として、場所や時間を選ばずに水道事業への関心や理解を促進できるような、尼崎浄水場の施設見学動画を2021年度中に作成する予定であり、広報戦略に掲げたこれまでの広報・PR活動の発展の一手法として取り組む。

表-1 施設見学者推移

年度	一般市民		小学生		その他		合計	
	件数	人数	件数	人数	件数	人数	件数	人数
2015	8	3,884	34	3,180	11	88	53	7,152
2016	5	1,775	33	3,211	27	373	65	5,359
2017	6	2,162	35	3,669	25	413	66	6,244
2018	13	1,344	40	3,877	16	278	69	5,499
2019	4	2,079	36	4,201	7	77	47	6,357
平均	7	2,249	36	3,628	17	246	60	6,122

② 構成市と連携した広報

企業団では、構成市と連携した広報活動にも取り組んでいる。特に構成市の主催するイベントについては、直接市民と接する貴重な機会であることから積極的に参加し、構成市と連携を図りつつ、阪神間の水道事業への理解に努めている。

主な活動としては、阪神間水道事業体広報連携企画(以下「カーナ」という。)があり、構成市と企業団が連携して安心して良質な水道水を供給していることについて、広く市民に周知することを目的として、2011年度から活動している。

これまでの活動では、神戸市営地下鉄などの公共施設へのポスターの配布や、阪神電車での広告掲載、YouTubeでの動画配信やカーナカード(図-2)の配布などを行ってきた。

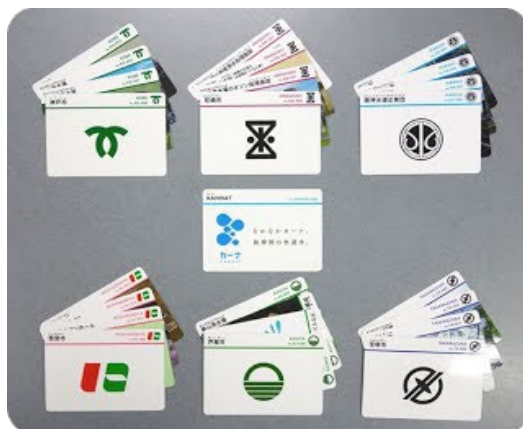


図-2 カーナカード

カーナカードは各事業所での配布だけでなく、尼崎浄水場開放イベントの際にも配布されるなど、企業団の広報物としても活用している。

またその他にも、神戸市の奥平野浄水場・尼崎市の神崎浄水場のイベントへの企業団ブースの出展や、尼崎市などが開催している「みんなのサマーセミナー」への参加、「ウォーターニュースあまがさき」等の構成市の広報紙への掲載などを行っている。

③ 危機管理に関する情報発信

企業団の危機管理の取組は、地震等の災害対策から水質事故等への対応など幅広く行っている。「安全な水の安定供給の持続」のためにも、あらゆる危機的事象を想定した対策を実施しており、これらの情報を構成市から水道利用者まで発信している。

災害対策においては企業団 HP 上に耐震化への取組や南海トラフ巨大地震への対策、事業継続計画（地震編）や危機管理対策の訓練について発信している。

また、水質事故等への対応についても、構成5市との水質異常を想定した広報訓練を行っている。水質異常が発生した場合の構成市への情報提供及び連絡調整を、各市の広報担当者とメール等で行い、実際に水質異常があった際の危機対応をスムーズに進められるよう取り組んでいる。

④ 企業団職員の意識向上

企業団職員の広報活動への意識向上の手段として、昨年度より企業団グループウェア内に新たに広報用のサイトを設け、イベントや危機管理の訓練、工事の記録映像などを写真や映像を用いて発信している。

また、尼崎浄水場の開放イベントでは、採用2年目までの職員をはじめとし、多くの職員がイベントに参加している。（図-3）

しかし、昨年度からの新型コロナウイルス感染症の影響により、イベント等の広報活動が中止となっていることから、広報の担い手となる職員個々が十分なパフォーマンスを発揮する機会が減っている。

職員の意識低下を防ぐためにも情報発信の場となる共有サイトを整備するとともに、広報活動にかかるアイデアを募集するなど、共有サイトを活用しながら、職員個々の意識向上を図っていく。



図-3 企業団職員イベント対応の様子

4 広報活動の振り返りと課題

広報戦略の策定以前より、企業団は経営状況や危機管理など幅広い分野において情報発信に取り組んできた。また、構成市との連携についてもイベントやカーナの活動などを通じて強化してきた。

しかしながら、イベント時に実施したアンケートの結果などを踏まえると、企業団への認知度及び理解度はまだまだ低いと言える。

図-4にあるように、企業団を知っていると回答したのは全体の5割、事業について理解していると回答したのは全体の3割しかいなかった。

企業団における広報活動の目的である、企業団事業に関して、説明責任を十分に果たし、水道利用者から理解、信頼を得るためには、これらの向上は大きな課題である。

また、従来の企業団の情報発信について

は、企業団 HP などを用いた一方的なものであるため、相互発信できるような取組についても検討していかなければならない。

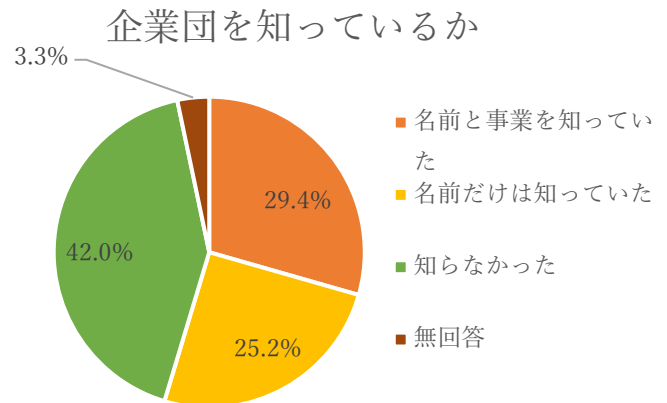


図-4 アンケート結果

5 これからの広報活動

本稿では、広報戦略に則り企業団が実施してきた広報活動について紹介してきた。

広報戦略は、おおむね3か年（2020年度～2022年度）で推進する内容を取りまとめたもので、随時見直しを図りながら、実施していくものである。

ただ、先述したように企業団の理解度及び認知度の向上や、情報発信の方法についてはまだ多くの課題がある。

それら課題の解決に向け、尼崎浄水場施設見学動画のような時と場所を選ばず、多くの人に関心を促せられるような取組についても着手し、理解度及び認知度の向上を図るとともに、情報発信の手法として SNS 等の相互発信のツールの活用についても検討しているところである。

特に危機管理に関しては、災害等による被害状況をより一層迅速に伝えられるだけでなく、水道利用者から情報収集を行うことができるなど、双方向での情報が得られることによる対応が可能となる。

また危機管理だけでなく、広報活動全般において SNS の活用はこれから主流となると考えられるため、SNS を通して得た情報の扱いや、構成市との連携等について慎重に検討しながら、適切な運用を実施できるよう計画していく。

このように直面する課題に関しては様々な視点から解決を図りつつ、従来の活動についても随時見直しを図りながらより良いものとなるよう改善し、より一層多くの方に伝わる広報活動を推進していきたい。

令和3年度日本水道協会水道イノベーション大賞受賞
スマホアプリ「すいりん」の取組について

堺市上下水道局 郷田 秀章 ○
鴻谷 由紀

1. はじめに

水道事業では料金収入の減少や施設の老朽化、職員数の減少等の課題があり、さらなる安全安心な利用者サービスの維持・向上と業務効率化が求められている。

本市では、ICTの活用による業務の効率化をはじめ、利用者の利便性を向上させるためのキャッシュレス化を推進してきた。令和元年5月から「LINE Pay」「Pay B」「楽天銀行コンビニ支払サービス」3社のモバイル決済をスタートし、令和2年1月からは「PayPay」、同年6月から「ゆうちょPay」「auPay」の利用が可能となり、令和3年6月からはクレジット決済をスタートさせ、利用者サービスの向上に取り組んでいる。

2. 導入の経過

(1) 実証実験

令和元年7～8月、本市水道料金等管理システム開発・運用業務受注者とスマホアプリ実証実験を職員対象に行った。開発中のスマホアプリを使用し、利用開始や休止の申込み、使用水量の履歴閲覧の2つの機能をテストしアンケート結果や要望をまとめ、実用化に向けての課題を整理した。また、スマホアプリの実用化に向けては、ペーパーレス決済機能が利便性や効率化の面で不可欠であることを確認した。

(2) 納入通知書の電子化

令和元年12月、ペーパーレス決済の実現に向けて、上記受注者と収納代行業者からスマホアプリへバーコードを送付する「PAYSLE」と連携してはどうかという提案があった。

地方自治法第231条及び地方自治法施行令第154条第3項に規定されている「納入の通知」は、原則「書面」で行うこととされていたが、令和元年5月公布の情報通信技術を活用した行政の推進等に関する法律（デジタル手続法）第3条第11項及び第9条の規定により、水道料金及び下水道使用料の納入通知を電磁的記録（電子メール、アプリによる通知など）にてスマホアプリへの送付が可能となった。

(3) クラウドサービス

スマホアプリを使用するにあたり、水道料金等管理システムの一部の個人情報をクラウドサービスに掲載する必要があり、局内をはじめ、本市のICTイノベーション推進室や市政情報課と連携して、クラウドサービスの採用ルールや要件を確認した。また、堺市個人情報保護審議会において、有識者の審議を受け、クラウドサービスの利用の承認を得ることができた。

(4) 運用開始

令和3年2月からスマホアプリ「すいりん」の運用を開始した。当初の機能は、2年間の水量及び料金履歴表示（図1）、納入通知書等の電子化（図2）である。水量等の確認から支払いまでスマホアプリのできる取組みは地方自治体初となった。支払方法は、モバイル決済（PayPay（残高払い））

（図3）及び先述のPAYSLEを利用したコンビニ店頭払い（セブンイレブン、ミニストップ、セイコーマーケット：現金払いのみ）でスタートした。また、令和3年6月から、利用休止、市内転居での利用休止・開始受付機能（図4）を追加し、同月に開始したクレジット決済の受付をすいりんからの申込みのみとすることで、受付、申請書郵送、データ入力業務等に係る委託料を抑制した。

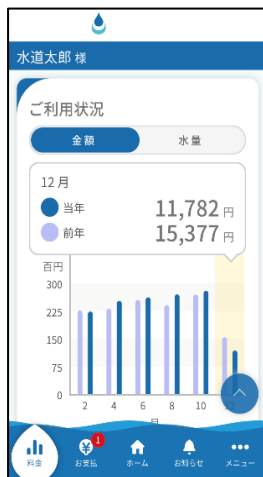


図 1 料金履歴表示



図 2 電子納入通知書

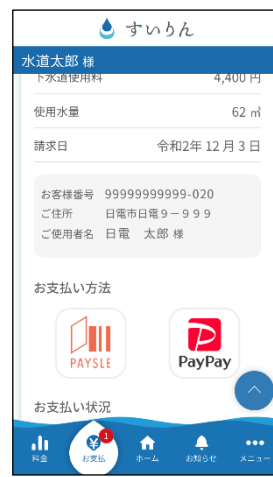


図 3 モバイル決済



図 4 各種申請機能

	R2帳票印刷実績
ご使用水量のお知らせ(検針票)	1,922,730
納入通知書	525,316
口座開始のお知らせ	19,961
未納通知書・再振替のお願い	148,846
検満取替通知書	37,197
過誤納・充当のお知らせ	3,349

表 1 郵送書類年間印刷数

3. ペーパーレスの効果

すいりんを活用することでペーパーレス化した主な郵送書類及び直近の年間数量は（表 1）のとおりである。給水契約者の 10%（34,400 件）がすいりんを利用した場合の効果試算額は年額 422 万円であり、5 年かけてすいりん利用者が 15%（51,600 件）に達した場合の累積効果試算額は 1,960 万円である。すいりん利用者が増加することで、ペーパーレスによる効果額のさらなる増加が見込める。

4. 導入後の声

2 年間の水量及び料金履歴表示については便利だという反応がある一方、履歴をパソコンで印刷できるようにデータをダウンロードできるようにしてほしいといった要望や、ひとつの ID で複数の契約内容を管理できないかといった要望もあった。

また、ローソン、ファミリーマートの利用や、楽天ペイ、d 払いといったモバイル決済の取扱い店舗の増加についても要望があった。取扱店舗や決済の拡大については、収納代行業者と調整を進めている。

5. おわりに

令和 3 年 10 月執筆時点で、すいりん利用者は 15,471 件を超えた。同月から開始したクレジット決済の申請手続きをすいりんを経由したオンライン申込みに限定したことで、今後さらに登録者数が増加すると見込まれる。

本年度末にすいりん利用者を給水契約者の 10%（34,400 件）にすることを目標とし、目標達成のため、今秋に全戸配布を予定している上下水道事業広報紙への掲載や、民間クレジット事業者等と連携した登録促進事業などを実施し、求められる機能を追加することで、便利で使いやすく魅力的なスマホアプリとなるよう進化させていきたい。

最後に、堺市上下水道局では、イノベティブな変革を生み出すため、すべての職員が様々な新しい取組にチャレンジしている。ICT 技術の急速な進化や新型コロナウイルス感染症等による昨今の社会の大きな変革を従来の常識や慣習を打破するチャンスと捉え、DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進によって、更なる利用者サービスや生産性の向上、業務の効率化に繋げていく。

工業用水道スマート化によるデータの利活用策

神戸市水道局 ○金尾 至 竹田 勝
新明正也

はじめに

(1) 水道スマート化とは

(公財) 水道技術研究センターでは、水道事業のスマート化に関する調査研究を行っている。水道スマート化とは、水道スマートメーターを用いることで、オンラインでの検針値の確認、漏水・断水などの早期発見、時間毎水量情報を活用したポンプ運転省力化など、水道運営管理の高度化を図ることであると定義されている。

(2) 神戸市工業用水道事業の概要

本市工業用水道事業においては、2017 (H29) 年度より 2019 (R01) 年度末までスマートメーター実証実験を行い、データの蓄積や見える化が、工業用水道事業運営の効率化に寄与することを確認した。本市工業用水道の料金体系は、責任水量制を採用しており、従前より超過流量積算を行うため、一定時間 (1 秒) ごとに瞬時流量を計測できるメーターと水量を積算する計器盤を設置していた。計器盤に電源が供給されていることや、スマートメーターの有用性確認結果を踏まえ、2020 (令和 2) 年より計器盤の機能を強化し、いわゆるスマートメーターの役割を持たせることで、スマート化の取り組みを進めている。

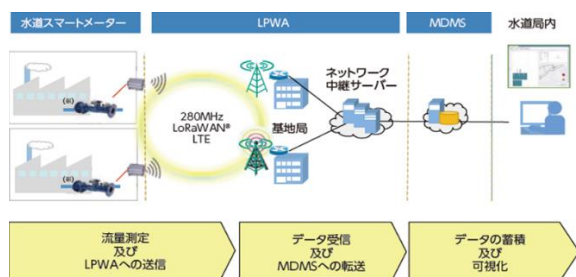


図 実証実験概要



図 工業用水計器盤

(3) 本市でのスマート化取組状況

2021 (令和 3) 年度上期末時点で、全 71 ユーザーの受水場所に設置している計器盤のうち 61 箇所の機能強化が完了している。同年度末には全計器盤の機能強化が完了予定。

機能強化の具体的な内容は、実証実験の結果から使用する回線を LTE に決定し、計器盤の演算結果を LTE 回線網でサーバーへ送信する仕組みの構築である。10 分ごとに水量データをサーバーへ送信している。以下、スマート化により得られた、データの利活用の実践事例および今後の構想を示す。

1. 各ユーザーの使用水量の見える化

工業用水道事業の運営にあたっては、各ユーザーの使用状況の確認が必要となる場合が

ある。スマート化を推進するまで、各ユーザーの使用状況は、従前より導入されている計器盤のデータを現地で確認していた。

スマート化を進めたことにより、各拠点での使用水量を水道局職員の事務処理用パソコンで確認できるようになった。使用水量は、全ユーザーの最新値、全ユーザー当日の水量積算値、各ユーザーの1時間毎の値、各ユーザーのグラフでの水量表示と、さまざまな形式で確認が可能となっている。

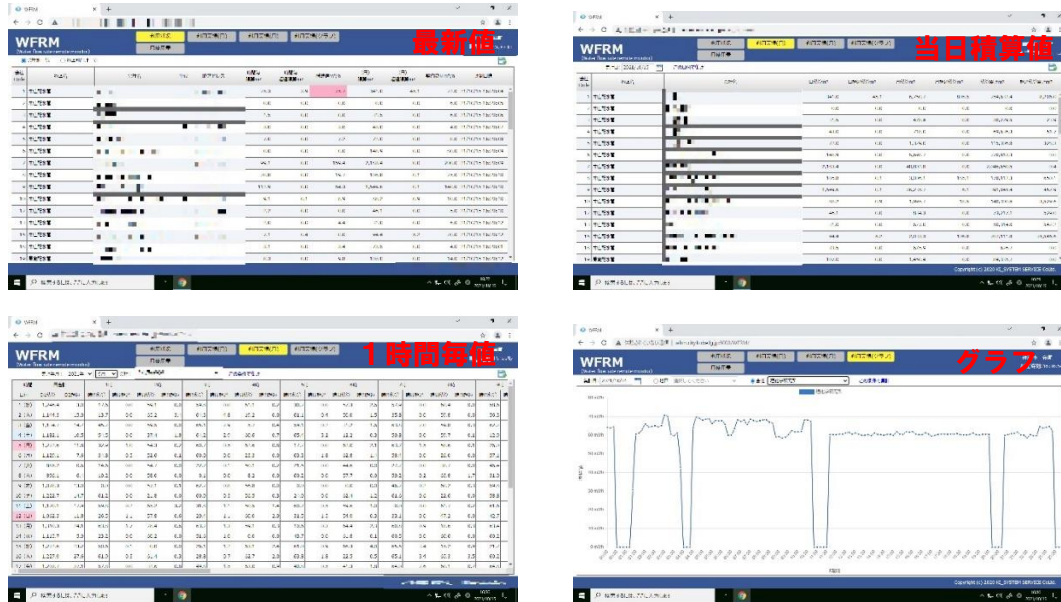


図 Water Flow Remote Monitor 画面イメージ

2. 調定・請求業務の省力化

本市工業用水道の料金調定に当たっては、水量確定のため、従前は各ユーザーへ毎月末検針値の報告を要求していた。各ユーザーから報告された検針値を、水道局職員が料金調定システムへ手入力し、調定を上げ、納付書を各ユーザーへ郵送していた。



図 スマート化推進前の調定業務イメージ

計器盤にスマートメーターの役割を持たせるようにすることで、各ユーザーからの検針値報告は不要となった。また、職員が担っていた検針値入力は、LTE 通信網を利用して送信された csv データを、新たに開発した料金システムに取り込めるようにした。



図 スマート化推進後の業務イメージ

結果として、ユーザーの検針工数、水道局職員によるシステム入力工数削減に寄与できた。また、検針値報告時のミス、水量データ入力時のミスをなくすことができた。

3. 工業用水管路全体での水量可視化（今後の構想）

本市工業用水管路は老朽化が進んでいるが、更新工事を実施しながら、維持管理に努めている。維持管理にあたっては、各ユーザーの使用状況を勘案しながらの工事・作業が求められる。従前、各ユーザーの使用状況は、現地に設置されている計器盤のデータを随時確認していた。（プリントアウトされた積算使用水量（日・月積算）、1秒毎の瞬時流量データ）

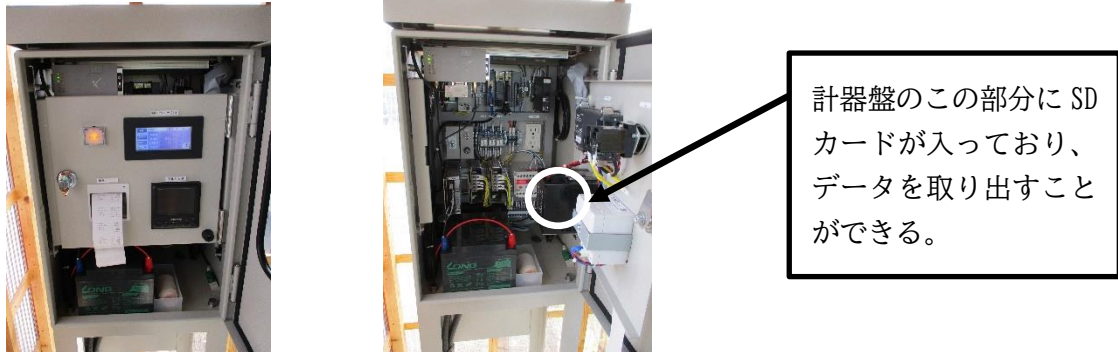


図 計器盤データの確認

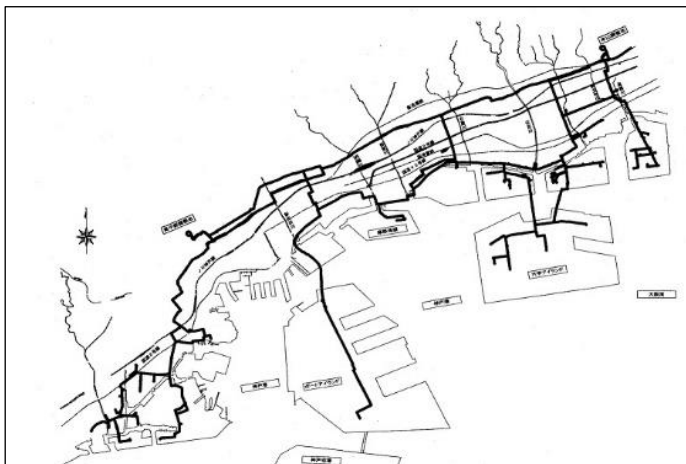


図 神戸市工業用水道 管路図

先に述べたとおり、スマート化の推進によって各ユーザーの使用水量を随時確認できる状況ではあるが、ユーザー毎という部分的な水量データの把握となっている。図にある管路ごとの使用状況の把握が、維持管理にあたり必要となっている。

現時点では全てのユーザーのスマート化は完了していないが、2021年9月に発生した給水拠点での濁水の際、このシステムによって濁水発生直前に急な水量変化や流速変化させる要因となったと思われる動きの確認に有効であった。

また、更なるデータ利活用に向けて、今年度末には全体及び管路ごとのリアルタイム配水量やピークタイムの可視化などの機能追加を行う予定である。

機能追加後は、管路維持だけでなく、水使用のピークシフトを目論む新たな料金体系構築検討、ユーザーごとの水量使用トレンドを踏まえたポンプ運転・浄水場運営など、幅広い活用の可能性を研究していく。

おわりに

工業用水道事業においては、スマート化による利活用策の検討・実施を進めることができしており、事業運営管理の効率化を図りつつある。また、実証実験に協力いただいた一部のユーザーからは、「水道局だけでなく我々にもデータを提供してほしい」旨の要望が上がってきている。そのため、ユーザーの要望を吟味し、ユーザーポータルサイト作成、オンラインによるデータの見せ方等の検討を進め、ユーザーサービスの向上を行う予定である。

一方で、工業用水道と上水道では、計器盤と電源の有無や機器価格が与える影響には大きな違いがあり、上水道の全てのメーターをスマートメーターとするには莫大な費用が必要となることは水道事業体共通の課題である。

そのため、上水道においては、まずはスマートメーター先行導入が有効であると考えられる用途や目的を限定した形で検討していきたい。

今後、工業用水道スマート化で得られた知見を、上水道事業のスマートメーター導入に向けた課題の解決や、新たなスマート化で得られた情報の活用手法の開発に積極的に取り組んでいく。

神戸市内における2つの水道事業の統合例について (六甲山上水道事業の統合)

神戸市水道局
高田 浩太郎

1. はじめに

本市では、市域の中央に位置する六甲山系により南北に二分され、瀬戸内海に面する市街地と六甲山系北側の北神地域から成っている。本市の水道の特徴は、六甲山系の起伏に富んだ土地の高低差を利用した自然流下での送配水システムであり、127箇所の配水池を運用して、日量約50万m³/日の給水を行っている。また、大きな川や湖に恵まれていないため、水源確保量の約4分の3以上を琵琶湖・淀川水系を水源とする阪神水道企業団(用水供給事業者)からの受水に依存している。

このような地域の特徴があるなか、これまで、本市は2つの水道事業を行っていた。1つは、神戸市水道事業で、市域の中心部を給水区域として1900年より給水を開始し、その後、市域の拡張にあわせて区域を広げ、これまで7回の拡張事業を実施してきた。もう1つが、標高約900mに位置する六甲山上地区を給水区域とする六甲山上水道事業で、独自の水源・浄水場を持ち、神戸市水道事業とは別の料金体系で水道事業を行っていた。

神戸市水道事業における六甲山系北側に位置する北神地区では、市街地からの阪神水道企業団の水が送水できず、自己水源の千苅系統のみしか送水できない区域が一部存在している。よって、バックアップを確保するため市街地から阪神水道企業団の水を送水できるように施設整備を計画的に行ってきた。その施設整備において、六甲山上に阪神水道企業団の水も送水できることとなり、六甲山上も含めて一体的な水の運用管理が可能となったことから、今回の施設整備に併せて六甲山上水道事業を廃止し、神戸市水道事業との事業統合に至った。

2. 六甲山上水道事業及び神戸市水道事業の位置づけについて

明治の後期に最初の開発がなされた六甲山は、昭和4年に六甲山上への道路が開通されてから次第に別荘、保養所、観光施設が増え、登山も盛んになってきた。昭和31年5月に六甲山一帯が瀬戸内海国立公園に指定されたため、六甲山上に水道を布設する計画をたて、「簡易水道」として昭和37年4月から給水を開始した。その後の山上の発展はめざましく、観光・福利厚生施設の増加に伴って水需要も急激に増加したため、昭和42年には新たに水源を求め、第1回拡張工事を実施するとともに既存施設の増強を行い、一日最大給水量を750m³から日量1,370m³へ倍増させた。

さらに、急激な経済成長を受けて、六甲山上の開発も急速に進み、安定した水供給の必要性が高まってきたことや原水の水質汚濁にも対応するため、神戸市の北神地区における北神水道事業から受水からできるように高揚程ポンプ設備や揚水管を整備することを計画し、昭和47年4月に「六甲山上水道事業」として知事認可を取得し、日最大給水量を4,520m³に変更した。

一方、昭和40年代の神戸市水道事業は、第5回拡張事業に着手したところであり、神戸市の西側の開発造成や埋立地への整備など、更なる拡張工事を進めていた。当時は、北区の千苅系統を水

源とする北神地区も神戸市水道事業とは別水道事業（北神水道事業）であったが、その後の神戸市水道事業の拡張工事で市街地から北神地区へ送水できる施設が完成し、市街地と一体管理ができることから、平成7年度の第7回拡張事業で北神水道事業と神戸市水道事業とで事業統合を行った。

六甲山上においても、神戸市水道事業の水源である千苅浄水場系統から受水していたこともあり、六甲山上水道事業と神戸市水道事業の統合は検討課題であった。しかし、神戸市水道事業の標高で最も高い箇所が約400mに対して六甲山は約900mの山間部に位置していることや、神戸市の水源の大部分を占める阪神水道企業団の水が六甲山上に送水することができず市街地も含めて一体的な水の運用管理ができないことなどから、神戸市の中でも特別な位置づけとしており、事業統合には至っていなかった。

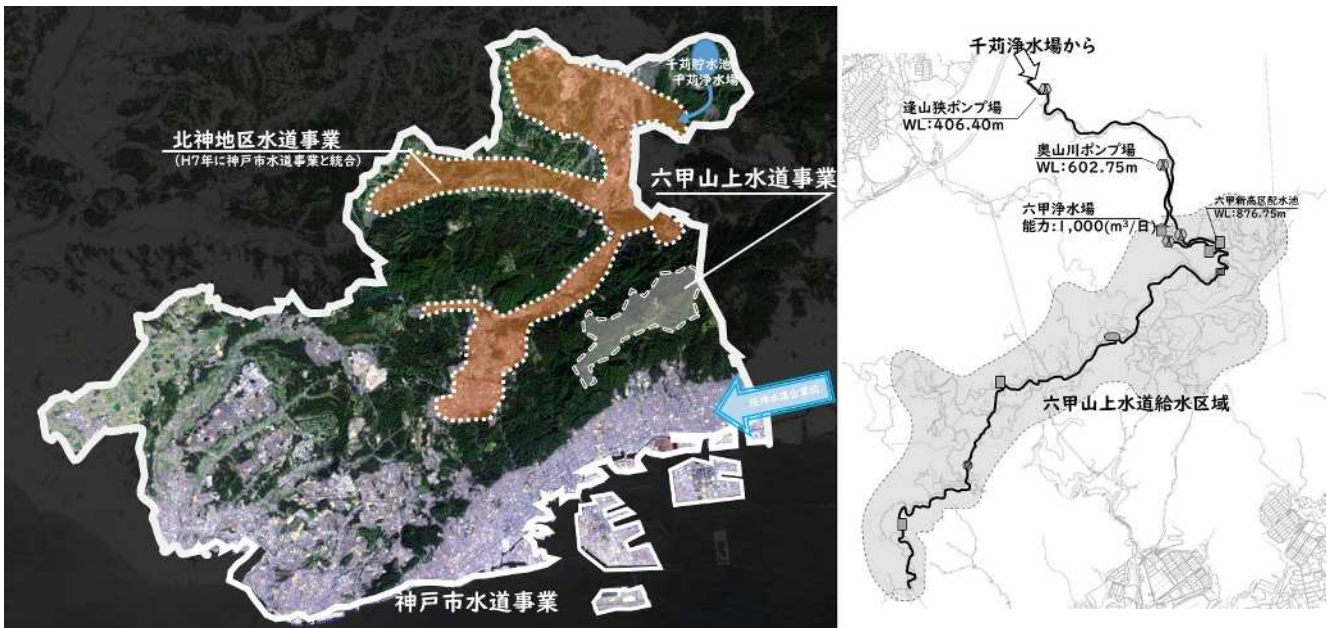


図 六甲山上水道事業の位置付け

表 六甲山上水道事業の沿革及び直近の神戸市水道事業

事業名		認可年月日	目標年度	計画給水人口	計画1日最大給水量	水源
六甲山上水道事業	創設 (簡易水道事業)	S35.7.8	S46	3,000人	750m ³	生田川
	第1回拡張事業 (簡易水道事業)	S42.4.8	S52	3,800人	1,370m ³	奥山川 生田川
	上水道拡張事業 (水道事業認可)	S46.3.31	S52	6,000人	4,520m ³	奥山川 千苅受水・隧道湧水
神戸市水道事業		H31.3.28	H37	1,531,640人	582,800m ³	千苅・上ヶ原 奥平野・本山 阪神水道企業団 兵庫県営水道

3．六甲山上水道事業と神戸市水道事業の統合について

(1) 送水施設の整備

基幹的な送水施設は、災害・事故時に市民生活に与える影響が大きいため、バックアップ施設を整備しておく必要がある。神戸市水道事業の六甲山北側の北神地区において、自己水源である千苅浄水場系統の水しか送水できない区域が一部存在しており、神戸市では平成25年度から、北神地区の再整備を順次進めていた。具体的には、送水系統を分けるために、基幹送水施設を連絡するための送水管の整備やポンプ場を新設する等の工事を進めてきた。

そして、令和2年度末に完了した送水管の新設やポンプ場の築造に伴い、北神地区だけでなく、六甲山上にも市街地と同様に、阪神水道企業団の水が送水できるようになることから、六甲山上水道事業の事業認可において、水源種別の区分を変更し、阪神水道企業団の水を追加する必要が生じた。六甲山上に阪神水道企業団の水も送水できるようになることで、全市で一体的な水運用が可能となるため、この度、六甲山上水道事業を廃止し、神戸市水道事業と事業統合する事に至った。



図 北神地区の送水再整備事業

(2) 料金統一について

これまでの六甲山は、別荘や保養所といった避暑地としての利用が主であったことから、市街地の負荷率約9割に対して、六甲山の負荷率は約7割と低く、また1年を通して水道水を利用している利用者の割合は全利用者の半数程度となっている。その特異性から、六甲山の水道料金は市街地と異なる料金構造となり、基本料金は、市街地と比較して高くなる構造としていた。今回、水道事業の統合により水道料金を統一することによる影響を考慮する必要はあるが、神戸市では「六甲山スマートシティ構想」を令和2年度に掲げており、保養所等の遊休資産施設を活用し、ITベンチャー・クリエイター等のオフィスを誘致する動きがあり、全市的に六甲山を活性化しよう動き始めている。六甲山上の水道料金を市街地と同一料金となり且つ水道料金が以前より安くなることで、六甲山スマートシティ構想による山上への事業者誘致の促進には大きく寄与できると考えている。

表 市街地と六甲山の比較（R1年度）

項目	給水人口 (人)	平均給水量 (m ³ /日)	最大給水量 (m ³ /日)	給水戸数 (戸)	負荷率 (%)
市街地	1,515,628	508,949	545,497	810,529	93.3
六甲山	897	1,086	1,569	401	69.2

現在 【家事用】	基本料金		従量料金		(1か月・金額は税抜)																																				
	口径	料金	使用水量	単価																																					
↓	20mm以下	1,100円	~10 m ³	基本料金に含む	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">口径20mm以下</th> <th colspan="2">口径25mm以上</th> </tr> <tr> <th>使用水量</th> <th>単価</th> <th>使用水量</th> <th>単価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>~10 m³</td> <td>基本料金に含む</td> <td>~20 m³</td> <td>145円/m³</td> </tr> <tr> <td>11~20 m³</td> <td>145円/m³</td> <td>21~30 m³</td> <td>155円/m³</td> </tr> <tr> <td>21~30 m³</td> <td>155円/m³</td> <td>31~100 m³</td> <td>215円/m³</td> </tr> <tr> <td>31~100 m³</td> <td>215円/m³</td> <td>101 m³~</td> <td>250円/m³</td> </tr> <tr> <td>101~300 m³</td> <td>290円/m³</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>301~1,000 m³</td> <td>330円/m³</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,001 m³~</td> <td>360円/m³</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	口径20mm以下		口径25mm以上		使用水量	単価	使用水量	単価	~10 m ³	基本料金に含む	~20 m ³	145円/m ³	11~20 m ³	145円/m ³	21~30 m ³	155円/m ³	21~30 m ³	155円/m ³	31~100 m ³	215円/m ³	31~100 m ³	215円/m ³	101 m ³ ~	250円/m ³	101~300 m ³	290円/m ³			301~1,000 m ³	330円/m ³			1,001 m ³ ~	360円/m ³		
	口径20mm以下		口径25mm以上																																						
	使用水量	単価	使用水量	単価																																					
	~10 m ³	基本料金に含む	~20 m ³	145円/m ³																																					
	11~20 m ³	145円/m ³	21~30 m ³	155円/m ³																																					
	21~30 m ³	155円/m ³	31~100 m ³	215円/m ³																																					
	31~100 m ³	215円/m ³	101 m ³ ~	250円/m ³																																					
101~300 m ³	290円/m ³																																								
301~1,000 m ³	330円/m ³																																								
1,001 m ³ ~	360円/m ³																																								
口径		料金																																							
20mm以下	880円																																								
25mm	1,700円																																								
40mm	4,500円																																								
50mm	8,800円																																								
75mm	21,700円																																								

図 料金制度の比較

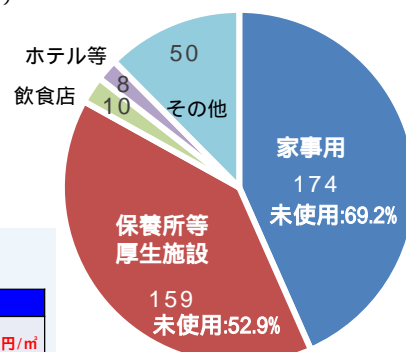


図 六甲山上水道事業契約者の使用状況 (R2年度)

(3) その他

厚生労働省や市議会との調整

事業統合を実現するためには、厚労省・兵庫県との協議や、条例改正等の手続きは必要不可欠である。厚労省の「水道事業等の認可等の手引き」(R1.9)に従い、事業統合に関する「届出」の手続きを進めた。厚労省との協議は、滞りなく事務手続きが完了して、令和3年2月に「届出」を提出した。また、兵庫県に対しては、知事認可の六甲山上水道事業の廃止に関する説明を行い、厚労省への提出と併せて兵庫県にも六甲山上水道事業の「廃止届」を提出した。また、事業統合に伴う神戸市水道事業の設置条例等を改正する必要があると、令和3年2月の市議会に上程し可決された。

地元への周知

六甲山上の水道利用者に対しては、水道料金が変わることもあり、十分な周知が必要である。令和2年10月頃から区役所を通じて、地元団体等に説明し、令和3年3月・5月の検針票とともにビラの投函または郵送により住民への周知を行った。その結果、問合せも1件と少なく円滑に移行することができた。

4. まとめ

このように約60年近く続いた六甲山上水道事業は、神戸市水道事業と統合され1市1水道を実現することができた。また、神戸市全体の水道システムも一体的に管理できるようになった。六甲山上は、神戸市にとって重要な地域の一つであり事業統合後も安定給水を図るとともに、水道料金が市街地と同等になったことで六甲山の活性化が促進されることを期待したい。

水需要予測見直しに伴う浄水場統廃合計画の改定

大津市企業局 ○須藤 靖
杉田 徹
中井 博之

1. はじめに

今後、水需要は減少傾向になることが予想される中、大津市企業局では、平成 27 年度に「湖都大津・新水道ビジョン」（以下「本市ビジョン」という。）を策定し、水道施設の更新・耐震化、浄水場の統廃合、水道管のダウンサイジング等を盛り込んだ事業計画を推進している。しかし、浄水場の統廃合は施設能力に影響することから、今後の水需要により廃止時期を慎重に検討する必要がある。

本稿では、令和 2 年度に本市ビジョンの改訂を行い、水需要予測を見直した結果、浄水場統廃合計画を改定したことから、廃止時期の設定方法や予備力の考え方について報告する。

2. 浄水場統廃合計画について

現在、本市には 6 つの浄水場（施設能力合計：185,500m³/日）があり、約 34 万市民に給水を行っている。しかし、令和 2 年度の一日最大給水量（実績値）は 124,842m³/日であり、最大稼働率は 67%となっている。このため、本市ビジョンでは、表-1 のとおり 6 つの浄水場のうち 3 つを廃止し、残る 3 つの浄水場を核として耐震化等の強靱化を図ることで、水道システムの再構築を推進している。また、3 つの浄水場を連絡管で結び、相互融通機能を持たせることで、災害等においても応援給水が可能となるシステムを目指している。

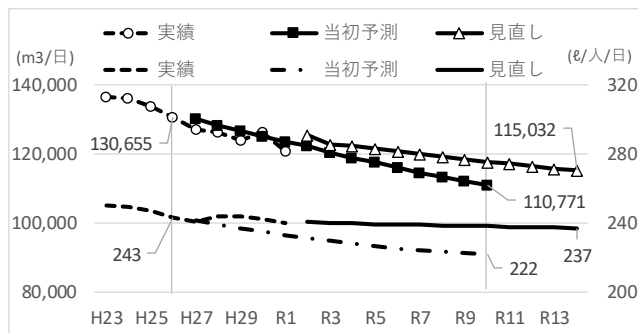
表-1 浄水場施設能力(当初計画) (m³/日)

浄水場名	現在施設能力	将来施設能力
比良	4,000	R3年度廃止
八屋戸	5,200	R12年度廃止
真野	45,000	45,000
柳が崎	45,000	45,000
膳所	48,800	R9年度廃止
新瀬田	37,500	37,500
合計	185,500	127,500

3. 本市ビジョン改訂に伴う水需要予測の見直し

本市ビジョン策定当初は、図-1 のとおり、生活用原単位の減少が進み、H26 実績の 243ℓ/人/日から 222ℓ/人/日に大きく減少するものと予測していた。しかし、近年は横ばいの状況が続いており、今後もほぼ横ばいで推移するものとして予測を見直した。今回の改訂では、それらの影響を加味し、一日最大給水量の予測を上方修正した。

図-1 水需要予測の当初・見直し結果比較
【上段：一日最大給水量(左軸) 下段：生活用原単位(右軸)】



水需要予測見直しに伴う浄水場統廃合計画の改定

4. 浄水場統廃合計画の改定

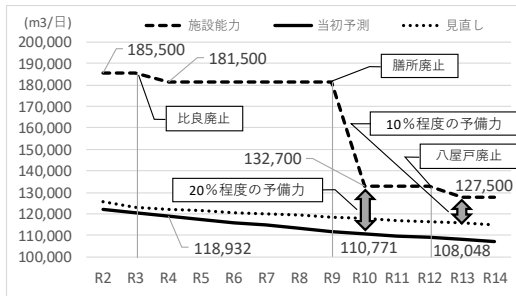
(1) 当初計画における浄水場廃止時期の設定

浄水場の廃止時期については、表-2の条件を考慮して設定している。比良・八屋戸浄水場については、電気・機械設備の使用年数を30年とし、建設から概ね30年後を廃止年度として設定した。また、膳所浄水場については、昭和45年に建設されており、令和12年には60年経過することから、統廃合に必要な浄水場連絡管等の整備を行うことで令和9年度に設定した。なお、図-2のとおり、水需要予測の結果と比較し、各浄水場の廃止時点の予備力が20%程度確保できることを確認している。

表-2 浄水場廃止時期の設定に係る検討事項

①	浄水場統廃合に必要な施設整備（連絡管など）
②	電気・機械・土木施設の耐用年数（実使用年数）
③	廃止後の施設の予備力（施設能力/一日最大給水量）

図-2 水需要予測結果と浄水場施設能力の比較



(2) 膳所浄水場廃止時期の変更

水需要予測見直しの結果、一日最大給水量の予測値を上方修正したため、図-2において20%程度であった予備力が八屋戸浄水場廃止時点で10%程度となる。しかし、膳所浄水場は施設の老朽化が進んでおり、廃止時期を大幅に遅らせると全面的な更新が必要となる。このことから、部分的な更新等に対応可能な範囲として、令和14年度に設定した。ただし、変更後についても、表-3のとおり膳所廃止時点の予備力が12%程度しか確保できないため、浄水場の相互融通機能の強化により対応することを検討した。

表-3 浄水場廃止翌年度における施設能力・予備力の比較

廃止翌年度	R4 (比良)	R13 (八屋戸)	R15 (膳所)
施設能力	181,500	176,300	127,500
予測値	122,089	115,761	114,311
予備力	49%	52%	12%

(3) 相互融通機能を考慮した浄水場予備力の設定

浄水場の予備力については、水道施設設計指針に記載されている計画浄水量の25%程度を標準としている。図-3のとおり、浄水場連絡管を常時運用でも使用できるように相互融通機能を強化することで、全浄水場の予備力確保可能量を活用し、必要量25%を確保することとした。

図-3 相互融通機能強化による浄水場予備力の考え方 (m³/日)

浄水場名	施設能力	予備力	
		必要量(25%)	確保可能量(12%)
真野浄水場	45,000	9,000	4,800
柳が崎浄水場	45,000	9,000	4,800
新瀬田浄水場	37,500	7,500	4,000
合計	127,500	25,500	13,600

※予備力は全浄水場に対応

5. おわりに

本稿において、浄水場統廃合計画の改定について報告したが、今回の見直しは現時点の水需要予測によるものであり、コロナの影響など、さらに水需要が減らない場合の対応についても検討が必要である。今後も事業環境の変化に対応しつつ、状況に合わせた計画の見直しを推進していきたい。

【参考文献】水道施設設計指針 2012年版（日本水道協会）