

第66回研究発表会概要集

令和4年度 和歌山市

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66回研究発表会日程

令和5年1月24日(火)

1 開 会 9時40分

会場:第1会場「グラン」

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00分～17時40分

会場:第1会場「グラン」・第2会場「プリエ」

日本水道協会関西地方支部第66回研究発表会プログラム

令和5年1月24日(火)

- 1 開会 9時40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00分～17時40分

第1会場「グラン」

水質・浄水処理・給水施設・IT・経営(計19題)

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
1	10:00～10:20	和歌山市	愛須 芳隆	秋津 仁志、塚田 貴文、浜田 実、得津 雅夫	凝集沈殿地更新による水質の変化について	水質	1
2	10:20～10:40	和歌山市	米田 菜美子	塚田 貴文、浜田 実、得津 雅夫	浄水におけるトリハロメタン濃度の上昇とTOC濃度の関係について	水質	5
3	10:40～11:00	大阪市	今村 康夫	今中 壮一	大阪市の高度浄水システムにおける消毒副生成物生成能の処理特性	水質	9
4	11:00～11:20	大阪市	山田 圭一	中野 耕太、今中 壮一	メタゾスルフロンの塩素処理生成物の推定	水質	13
5	11:20～11:40	阪神水道企業団	中村 瑞穂	大森 圭、橋本 久志	阪神水道企業団における同化性有機炭素の実態調査	水質	17
6	11:40～12:00	大阪広域水道企業団	青木 里紗	奥田 雄斗、秋丸 貴也、上野 加寿紀、熊澤 正朗、前床 紀文	水質モニターを活用した送水水質管理	水質	21
休 憩 (60分)							
7	13:00～13:20	橋本市	塔鼻 裕也	辻本 知弘	相關監視システム活用による運転管理ノウハウの形式化	IT	25
8	13:20～13:40	神戸市	大森 惇平	清水 武俊、小田 琢也、上鶴 哲矢、戎 紫穂	干苜貯水池におけるラフィド藻の動態および浄水処理特性	水質	29
9	13:40～14:00	大阪市	立石 浩之	船附 壮一、鬼丸 祐二、鶴田 朋子、今中 壮一	オゾンCT値によるGAC後生生物の不活性化評価について	水質	33
10	14:00～14:20	滋賀県	中村 優		琵琶湖流入域におけるAphanizomenon gracileの検出	水質	37
11	14:20～14:40	阪神水道企業団	井上 航	道下 健二、小林 正継	阪神水道企業団における冬期カビ臭への対応	浄水処理	39
12	14:40～15:00	大阪市	尾花 百合子	巽 有紀子、稲田 康志、平林 達也、淵上 知弘	窒素キャリアガスを用いたGC/MSによる揮発性有機化合物測定方法の検討	水質	43
休 憩 (20分)							
13	15:20～15:40	大阪市	船附 壮一	森口 泰男、平林 達也、今中 壮一	ヘリウムガスに依存しないかび臭原因物質分析法の検討	水質	47
14	15:40～16:00	和歌山市	秋津 仁志	塚田 貴文、浜田 実、得津 雅夫	LC/MSを用いたフタル酸ジ (2-エチルヘキシル) のタンデム質量分析法の検討	水質	51
15	16:00～16:20	神戸市	相原 敏宏	梅原 匡、谷口 夏海、土居 真純、小河 広志	神戸市における給水装置工事申請・検査業務の電子化について	IT	55
16	16:20～16:40	高槻市	蔵重 昌直	阪本 敦志	高槻市における給水装置工事に係る検査関連の業務委託	給水施設	59
17	16:40～17:00	東大阪市	池村 彩	木村 達也	耐震型サドル付分水栓の施工検証ー東大阪市池島町における試験施工ー	給水施設	63
18	17:00～17:20	兵庫県	坊垣 悠紀子		水道広域化の現状と課題	経営	65
19	17:20～17:40	豊中市	黒木 綾香	小川 智司、小谷 智哉	豊中市柿ノ木配水場の共同化ー基盤強化に向けた広域連携の取り組みー	経営	69

第2会場「ブリエ」

配水施設・計装・一般施設・広報広聴・IT・一般事務・その他(計18題)

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
20	10:20~10:40	大阪市	竹内 徹	増田 成仁	大阪市水道局におけるオープンデータの推進について	IT	73
21	10:40~11:00	阪神水道企業団	小林 貴生	杉本 重之	阪神水道企業団における内部統制の取組	一般事務	77
22	11:00~11:20	豊中市	播磨 純一郎	山田 栗子、山下 由美子	「コロナ禍をきっかけとした水道出前教室の見直し」ー職員派遣型から教材貸出型へー	広報広聴	81
23	11:20~11:40	京都市	谷 晃輔		デジタルコンテンツ及びクラウドサービスを活用した浄水場見学の充実	一般施設	85
24	11:40~12:00	大阪市	砂原 梨乃	土橋 裕輝、益崎 大輔	コロナ禍における水需要構造の変化	その他 (計画)	89
休 憩 (60分)							
25	13:00~13:20	横河ソリューションサービス株式会社	畑 正明	川出 慎士、山本 裕司、和田 篤士	監視カメラにおけるクラウド利用方法の提案	計装	93
26	13:20~13:40	豊中市	森 梨菜	牟田 義次、池永 正文、西沢 好則	大口径配水管布設工事における概算数量設計発注方式の試行	配水施設	96
27	13:40~14:00	東大阪市	他谷 涉		水道建設工事におけるコスト節減の取組み	配水施設	100
28	14:00~14:20	兵庫県	西 佑真	岡村 篤樹	新設ポンプ所における機器の検討	配水施設	102
29	14:20~14:40	神戸市	山村 優	牛尾 亮太、松田 康孝	基幹施設の更新とバックアップ体制の強化ー送水トンネル更生と連絡管整備ー	一般施設	106
30	14:40~15:00	株式会社クボタ	能勢 正樹	丹羽 茂之	残留塩素濃度管理システムについて	配水施設	110
休 憩 (20分)							
31	15:20~15:40	栗本鐵工所	山本 雅之	小仲 正純、魚津 颯二郎、田中 清治	自動排水装置による滞留部の水質維持効果と導入メリットの評価	配水施設	114
32	15:40~16:00	神戸市	鶴長 孝二郎	伊賀 正師、和氣 巨一、中野 陽介	IoT技術を活用した水圧遠隔監視システムの導入	配水施設	118
33	16:00~16:20	大津市	青木 一真	山田 崇雄、須藤 靖、山本 巨樹、後藤 竜也	比良浄水場廃止に伴う配水系統の切替事例	その他 (計画)	122
34	16:20~16:40	大成機工株式会社	寺口 仁		水管橋漏水補修金具について	配水施設	124
35	16:40~17:00	和歌山市	里坊 康次郎	西 展弘	六十谷水管橋仮復旧工事について	その他 (緊急仮復旧工事)	127
36	17:00~17:20	和歌山市	宮田 健太郎	宮之原 和俊、島 昌伸、前田 晃希、日茂 大明、三宅 宏祐、中嶋 弘幸	六十谷水管橋崩落に伴う復旧工事	その他 (送水施設)	131
37	17:20~17:40	和歌山市	中野 善史	友淵 義人、金野 良忠	六十谷水管橋崩落を受けた水管橋維持管理マニュアルの作成について	一般施設	135

凝集沈殿池更新による水質の変化について

和歌山市企業局 ○愛須 芳隆 秋津 仁志
塚田 貴文 浜田 実
得津 雅夫

1 はじめに

和歌山市加納浄水場は、昭和48年に供用開始した121,000 m³/日の施設能力を有する当市の基幹浄水場であり、浄水処理方法は凝集沈殿急速ろ過である。既存の浄水施設の多くは建設から約50年が経過し、老朽化が著したため、順次、施設の更新工事を実施している。施設の更新にあたり、原水水質及び維持管理性を考慮した結果、凝集沈殿池を高速凝集沈殿池から横流式凝集沈殿池に変更し、2019年1月に切替を行った（表1）。

当浄水場は、紀の川の表流水を原水として取水しており、藻類による味・臭気、特にかび臭に関する問題が発生する。また、当浄水場は給水区域が広く、末端給水栓への到達時間が長い地点もあることから、消毒副生成物濃度の上昇に注意が必要である。そこで、味・臭気及び消毒副生成物の対策として、横流式凝集沈殿池には覆蓋を設置し、そして、前塩素処理を停止した。本稿では、凝集沈殿池の方式の変更及び覆蓋の設置による水質の変化について報告を行う。

表1 凝集沈殿池比較表

凝集沈殿池方式	高速凝集沈殿池	横流式凝集沈殿池
槽数	4	4
1池当り容量 (m ³)	3,895	5,000
1池当り処理水量 (m ³ /日)	42,125	41,250
滞留時間 (hr)	2.21	2.90
沈降装置	スラリー循環式	板型傾斜装置

2 凝集沈殿池の運用と効果

(1) 運用方法

加納浄水場の浄水フローを図1に示す。かび臭原因物質及び消毒副生成物の対策として、原水及び浄水を連続測定装置で常時監視し、原水のかび臭原因物質または浄水の消毒副生成物の濃度が管理基準に達した場合、沈砂池で粉末活性炭を注入している。塩素処理には次亜塩素酸ナトリウムを使用しており、殺藻を目的として、沈砂池で前塩素処理を実施していたが、凝集沈殿池に覆蓋を設置し、遮光したことで、前塩素処理は不要となり2019年7月以降は停止している。

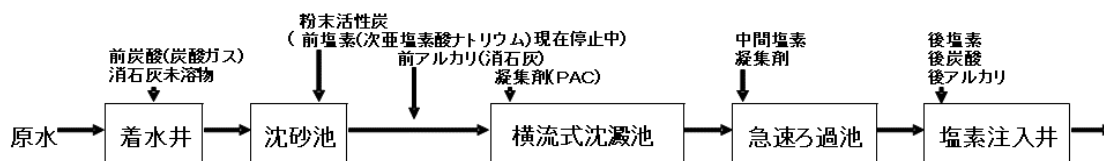


図1 加納浄水場の浄水フロー

(2) 濁質物の除去

加納浄水場は表流水を原水としているため、季節や天候により濁度が大きく変動する。そのような環境下において、横流式凝集沈殿池は高速凝集沈殿池と同等の濁度除去性能を有していた(表2)。また、凝集沈殿処理水の濁度は変動が小さく、処理が安定していることを確認できた。

表2 原水及び沈殿処理水の濁度

		原水		凝集沈殿処理水	
沈殿池		高速凝集沈殿池			
期間		2016.1~2018.12			
比較項目	濁度(度)	濁度(度)	濁度(度)	除去率(%)	
最大	63.5	0.9	98.9		
最小	1.3	0.1	77.6		
平均	8.0	0.3	93.1		
標準偏差	10.2	0.18	5.33		
変動係数	1.3	0.53	0.06		

		原水		凝集沈殿処理水	
沈殿池		横流式凝集沈殿池			
期間		2019.1~2021.12			
比較項目	濁度(度)	濁度(度)	濁度(度)	除去率(%)	
最大	66.5	0.6	99.6		
最小	0.5	0.1	72.7		
平均	9.1	0.2	95.7		
標準偏差	10.7	0.10	3.69		
変動係数	1.2	0.40	0.04		

(3) かび臭原因物質の抑制

加納浄水場における浄水のかび臭原因物質濃度(表3)と過去6年間の濃度推移(図2)を示す。凝集沈殿池の更新以降、浄水のかび臭原因物質濃度は低下した。これは、前塩素処理を停止したことで、かび臭原因物質を藻体内に保持したまま、凝集沈殿池で除去できたからであると思われる。

2022年8月、原水に藍藻類が大量発生し、かび臭原因物質の濃度が上昇した。その際の原水と原水をろ過した試料(以下「原水ろ過水」と呼ぶ。)(フィルター ADVANTEC 25CS080AN 孔径 0.80 μm)のかび臭原因物質をSPME-GC/MS(捕集時の試料加熱温度 80℃)で測定した。藻体を含む原水と含まない原水ろ過水の結果を比較したところ、原水のかび臭原因物質は原水ろ過水よりも高濃度であった(表4)。この結果は、測定時の加熱工程で藻体が破壊されたことで、藻体からかび臭原因物質が放出されたことを示している。つまり、藻体を破壊せずに系外へ除去することで、浄水のかび臭原因物質濃度を抑えることができると言える。

さらに、かび臭原因物質の濃度が低下したもう一つの理由として、覆蓋による遮光の効果が挙げられる。光合成を阻害することで、処理工程における藻類の繁殖及びかび臭原因物質の産生を抑制できたと考えられる。

表3 原水及び沈殿処理水のかび臭原因物質濃度

		原水		浄水	
沈殿池		高速凝集沈殿池			
期間		2016.1~2018.12			
項目	ジェオスミン	2-MIB	ジェオスミン	2-MIB	
最大	4	4	9	3	
最小	<1	<1	<1	<1	
平均	1	<1	2	1	

(単位 ng/L)

		原水		浄水	
沈殿池		横流式凝集沈殿池			
期間		2019.1~2021.12			
項目	ジェオスミン	2-MIB	ジェオスミン	2-MIB	
最大	7	7	5	5	
最小	<1	<1	<1	<1	
平均	2	1	1	<1	

(単位 ng/L)

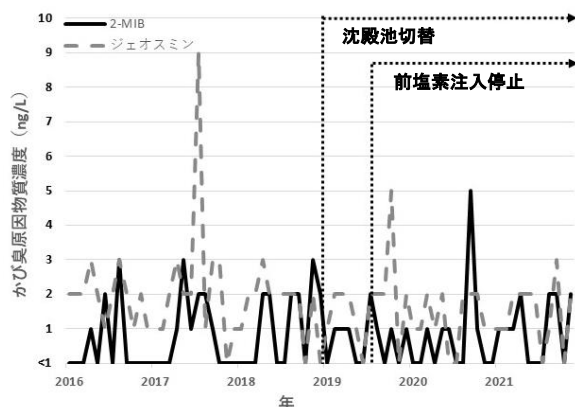


図2 浄水のかび臭原因物質濃度の推移

表4 原水と原水ろ過水のかび臭原因物質濃度

2022/8/3

	ジェオスミン	2-MIB
原水	3.5	8.0
原水ろ過水	3.0	5.4

(単位 ng/L)

2022/8/4

	ジェオスミン	2-MIB
原水	4.0	6.1
原水ろ過水	2.9	5.6

(単位 ng/L)

(4) 次亜塩素酸ナトリウム注入率と消毒副生成物の抑制

消毒副生成物について、浄水のクロロホルム濃度と塩素注入率を図3、トリクロロ酢酸濃度と塩素注入率を図4に示す。浄水場及び給水栓における浄水のクロロホルム及びトリクロロ酢酸は、前塩素処理を停止した2019年7月以降において、減少傾向が確認された。この理由として、前塩素処理の停止により、処理工程における有機物と塩素との接触時間が短縮したこと、また、前塩素処理による殺藻で発生していた溶解性有機物が減少したことで、消毒副生成物が抑制されたと考えられる。

消毒副生成物の減少率について注目すると、前塩素処理の停止はクロロホルムよりもトリクロロ酢酸に対して抑制の効果があることが示された(表5)。

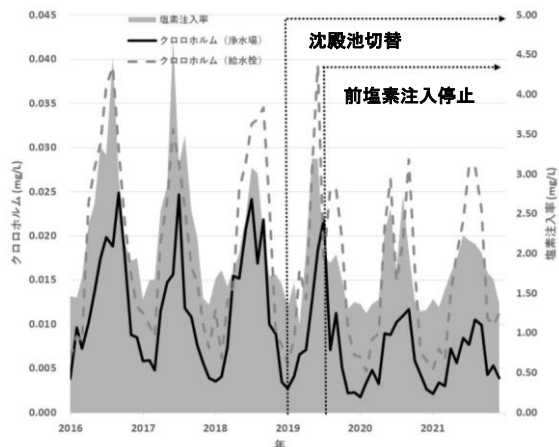


図3 浄水のクロロホルム濃度と塩素注入率

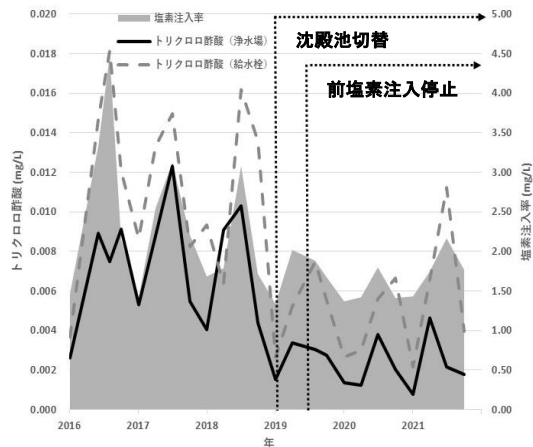


図4 浄水のトリクロロ酢酸濃度と塩素注入率

表5 消毒副生成物の更新前後3年間の平均と減少率

	クロロホルム		トリクロロ酢酸	
	浄水場	給水栓	浄水場	給水栓
更新前 (mg/L)	0.012	0.020	0.007	0.012
更新後 (mg/L)	0.007	0.016	0.002	0.005
減少率 (%)	43	20	68	55

(5) 次亜塩素酸ナトリウム使用量の削減

凝集沈殿池の更新前である2016年から2018年の平均使用量と更新後である2019年から2021年の平均使用量を比較して、次亜塩素酸ナトリウム使用量は約19%減少し、費用削減に期待できる結果であった(表6)。

表6 次亜塩素酸ナトリウムの年間使用量と注入率

年	送水量 (m ³)	12%次亜塩素酸ナトリウム 年間使用量 (kg)	塩素注入率 (mg/L)
2016年	34,743,520	721,928	2.49
2017年	33,961,360	687,586	2.43
2018年	34,048,060	587,140	2.07
2019年	33,693,559	531,161	1.89
2020年	37,499,736	544,020	1.74
2021年	36,893,011	547,438	1.78

塩素濃度12%、比重1.14で計算

3 まとめ

加納浄水場凝集沈殿池更新による施設面での変更点は、処理方式の変更と覆蓋の設置である。処理方式の変更で、濁質物の除去性能は同程度のままで、安定的な処理が可能となった。そして、覆蓋の設置は、浄水のかび臭原因物質及び消毒副生成物の低下、次亜塩素酸ナトリウム使用量の減少に貢献した。

特に注目すべき改善点は覆蓋設置にともない前塩素処理を停止したことである。その結果、かび臭原因物質及び消毒副生成物対策として非常に有効であることが分かった。かび臭原因物質については、藻体内のかび臭原因物質を放出させず、沈殿除去することにより、浄水のかび臭原因物質の増加を抑制できることを確認した。

消毒副生成物については、前塩素処理の停止により、浄水のクロロホルム及びトリクロロ酢酸の濃度上昇の抑制を確認した。また、当浄水場ではクロロホルムよりトリクロロ酢酸への効果が大きいことが確認された。これは、原水に含まれるトリクロロ酢酸の生成に関わる物質が前塩素処理の停止により減少したからと思われる。ただし、水源によって原水中の有機物が違うため、他浄水場では当浄水場とは異なる結果を示す可能性があり、そのことについては今後、調査検討を行っていきたい。

4 おわりに

現状、加納浄水場では原水のかび臭原因物質または浄水の消毒副生成物の濃度上昇が確認された場合には、粉末活性炭の注入で適宜対応している。今回の凝集沈殿池の更新、覆蓋の設置により、浄水中のかび臭原因物質及び消毒副生成物を抑制できたが、高濃度原水が流入した場合には、粉末活性炭を注入している。粉末活性炭による処理は高い効果を示すが、使い捨てであること及び価格が上昇していることを踏まえ、粉末活性炭の使用量を抑制する処理方法が今後の運営で重要となる。

加納浄水場は今後、ろ過池の施設更新を計画しているが、更新までの間は現状施設での対応となるため、より効率的な浄水処理を目標とし、今後も調査、検討を継続する。

浄水におけるトリハロメタン濃度の上昇と TOC 濃度の関係について

和歌山市企業局 ○米田 菜美子 塚田 貴文
浜田 実 得津 雅夫

1 はじめに

和歌山市加納浄水場は、昭和 48 年に供用開始した 121,000 m³/日の施設能力を有する当市の基幹浄水場であり、その水源に紀の川表流水を使用していることから水質の変動には常に注意を払っている。特に、カビ臭物質とトリハロメタンには注意が必要であることから、通常の水質検査に加え、VOC 及びカビ臭連続測定装置を導入して常時監視も実施している。しかし、トリハロメタン濃度は送水中に濃度が上昇することから、その管理をより難しいものとしている。そこで、比較的測定の手間がかからない、TOC 濃度及び遊離残留塩素濃度とクロロホルム（以下、TCM）濃度の関係に着目して実験を行った結果、TOC 濃度と TCM 濃度の関係及び遊離残留塩素消費量と TCM 濃度の関係について興味深い知見が得られた。また、得られた知見を基に、末端給水栓における TCM 濃度を管理するための簡便な手法を導き出すことができたので報告する。なお、当市における総トリハロメタン濃度の内訳は、TCM が過半を占めており、過去 10 年分のデータを確認しても、ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン及びブロモホルムについては基準値の 50%を超えたことがないことから、今回は TCM 濃度についてのみ着目して報告する。

2 実験方法

2-1 装置

パージ・トラップーガスクロマトグラフィー質量分析計（以下、PT-GC/MS）：日本電子 JMS Q1500
TOC 計：アナリティクイエナ multi N/C 3100
残留塩素濃度計：HACH ポケット残留塩素計 58700-00
超純水装置：ヤマト科学 オートピュア WR700

2-2 試薬

揮発性有機化合物標準原液：富士フィルム和光純薬 揮発性有機化合物 25 種混合標準液（メタノール溶液）

遊離残留塩素試薬：柴田科学 紛体試薬 DPD 法

アスコルビン酸ナトリウム：関東化学 L-アスコルビン酸ナトリウム 鹿特級

2-3 TOC 調製液の作製

腐葉土：超純水を体積比 1 : 1 で混合し、一晚静置。静置後、ろ過（AVDANTEC No. 5A φ185 mm）したろ液を遠心分離（3000 rpm、10 分、20℃）し、上澄み液をメンブランフィルター（ADVANTEC 25CS080AN 孔径 0.80 μm）で濾過した物を TOC 調製液とした。測定の結果、TOC 調製液の TOC 濃度は 222 mg/L であった。

2-4 試料

疑似浄水として、超純水に TOC 調製液と次亜塩素酸ナトリウム溶液を加えたものを調査試料とした。

2-5 TCM 測定手順

試料をフラン瓶に採取し、密栓したまま恒温器内で一定期間保管後、アスコルビン酸ナトリウムを添加し、pH2 となるよう塩酸を添加した試料を PT-GC/MS で測定。

3 実験結果および考察

3-1 疑似浄水の検討

加納浄水場浄水① (TOC 濃度 : 0.8 mg/L、遊離残留塩素 : 1.1 mg/L) 及び①に遊離残留塩素が 2.0 mg/L となるように次亜塩素酸ナトリウム溶液を添加した試料②と、超純水に TOC 調整液と次亜塩素酸ナトリウム溶液を添加して、加納浄水場浄水と同様の TOC 濃度及び遊離残留塩素濃度となるように調整した疑似浄水③、④を用意した。それぞれの試料を 36 °C で一定期間保管後 TCM 濃度の測定を行った。加納浄水場浄水と疑似浄水には初期 TCM 濃度に差があったため、図 1 では、③に 10.5 $\mu\text{g/L}$ 、④に 7.8 $\mu\text{g/L}$ 分をオフセット値として加えた状態でプロットしている。

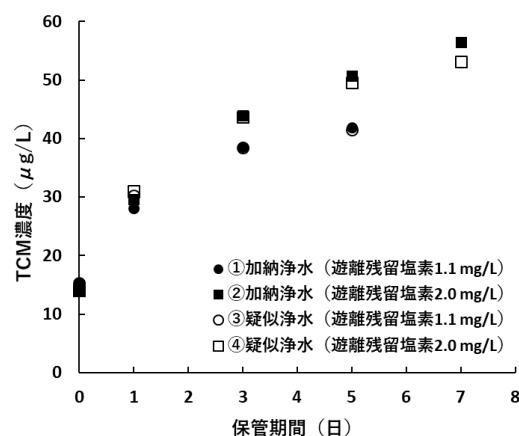


図 1 疑似浄水による TCM 濃度の経時変化

初期遊離残留塩素濃度の差異にかかわらず、加納浄水場浄水と疑似浄水の挙動はよく一致しており、疑似浄水が浄水の代用として使用可能であることが示された。なお、①及び③は、5 日経過時点で遊離残留塩素濃度が 0.01 mg/L に達したため、その時点で測定を終了している。

3-2 初期遊離残留塩素濃度の影響

TOC 濃度 0.8 mg/L、遊離残留塩素濃度がそれぞれ 0、0.6、0.8、1.0、1.2、1.6、1.9 mg/L となるように段階的に調整した疑似浄水を、36 °C で一定期間保管後 TCM 濃度の測定を行った。測定結果を図 2 に、TCM 生成量 ($\mu\text{g/L}$ [TCM]) : 遊離残留塩素消費量 (mg/L [Cl]) の比 (以下、TCM 生成率とする) を表 1 に示す。

初期遊離残留塩素濃度にかかわらず、TCM 生成率はほぼ一定で、その平均は 31.9 ($\mu\text{g/L}$ [TCM] / mg/L [Cl]) であった。なお、データは遊離残留塩素濃度が 0.01 mg/L に達した時点で測定を終了している。

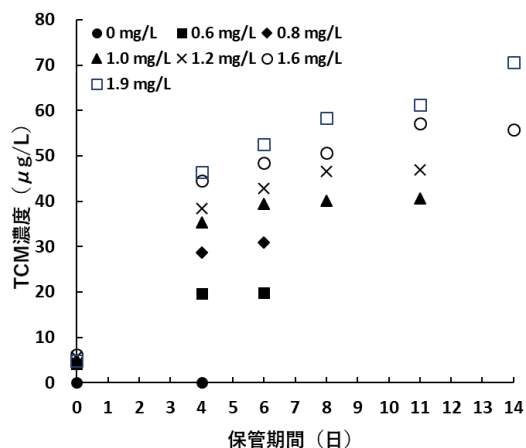


図 2 遊離残留塩素濃度変化時の TCM 濃度の経時変化

表 1 遊離残留塩素濃度変化時の TCM 生成率

	保管期間 (日)					平均
	4	6	8	11	14	
0.6 mg/L	27.1	28.0	/	/	/	27.5
0.8 mg/L	31.2	34.5	/	/	/	32.9
1.0 mg/L	29.8	33.6	34.3	34.7	/	33.1
1.2 mg/L	33.7	33.0	33.3	33.8	/	33.5
1.6 mg/L	28.9	27.4	29.2	33.3	31.5	30.1
1.9 mg/L	31.9	32.2	28.6	33.8	37.4	32.8
平均	30.4	31.4	31.3	33.9	34.5	31.9

3-3 初期 TOC 濃度の影響 (1)

遊離残留塩素濃度 1.4 mg/L、TOC 濃度がそれぞれ 0、0.6、0.9、1.2、1.4、1.8 mg/L となるように段階的に調製した疑似浄水を、36 °C で一定期間保管後 TCM 濃度の測定を行った。測定結果を図 3 に、TCM 生成率を表 2 に示す。

初期 TOC 濃度にかかわらず、TCM 生成率はほぼ一定で、その平均は 29.7 (μg/L [TCM] / mg/L [C1]) であった。

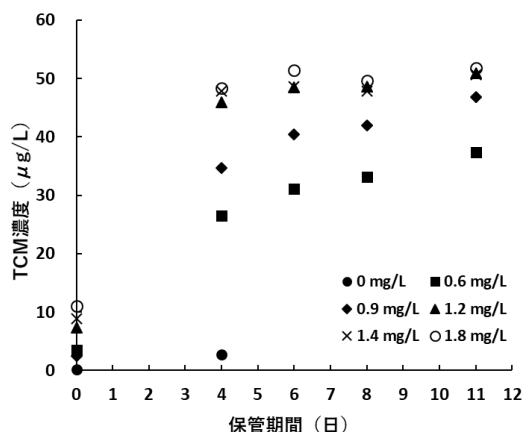


図 3 TOC 濃度変化時の TCM 濃度の経時変化

表 2 TOC 濃度変化時の TCM 生成率

	保管期間 (日)				平均
	4	6	8	11	
0.6 mg/L	26.8	26.8	23.5	30.2	26.8
0.9 mg/L	27.2	31.6	30.8	33.6	30.8
1.2 mg/L	31.1	32.6	32.8	34.3	32.7
1.4 mg/L	29.1	29.5	29.1	31.0	29.7
1.8 mg/L	27.0	29.0	27.9	29.3	28.3
平均	28.2	29.9	28.8	31.7	29.7

3-4 初期 TOC 濃度の影響 (2)

TOC 濃度がそれぞれ 0、0.6、0.9、1.2、1.5、1.8 mg/L となるように段階的に調製した疑似浄水に、遊離残留塩素濃度で約 1.3 mg/L に相当する量の次亜塩素酸ナトリウム溶液を添加し、2 時間静置後 TCM 濃度の測定を行った。測定結果を図 4 に示す。

初期 TOC 濃度に比例して TCM 濃度が上昇していることがわかる。これは、浄水中 TOC の主たる原因物質である「フミン質」と呼ばれる物質が単一の物質ではなく、分子量も反応性も異なる複数の物質の集合体であることに起因していると考えられる。フミン質の一部は塩素と接触すると速やかに TCM へ変換し、それ以外の成分は時間をかけてゆっくりと TCM へ変換していることがうかがえる。

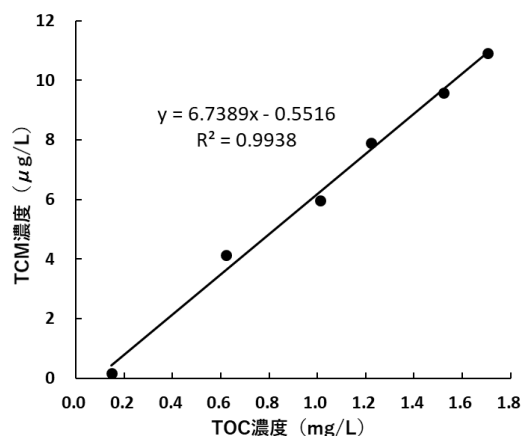


図 4 TOC 濃度変化時の初期 TCM 濃度変化

3-5 保管温度の影響

TOC 濃度 0.9 mg/L、遊離残留塩素濃度 1.4 mg/L に調整した疑似浄水を、それぞれ 20、28、36 °C で一定期間保管後 TCM 濃度の測定を行った。TCM 生成率を表 3 に、TCM 生成率と保管温度の関係を図 5 に示す。

図 5 より、TCM 生成率は保管温度に依存しており、その TCM 生成率 A は①式のように表すことができる。

$$A = 0.4952 \times T + 13.144 \dots \textcircled{1}$$

T : 保管温度(°C)

表3 保管温度変化時のTCM生成率

	保管期間(日)				平均
	4	6	8	11	
20°C	21.1	23.7	20.7	25.9	22.8
28°C	27.1	26.9	27.0	28.7	27.4
36°C	27.2	31.6	30.8	33.6	30.8
平均	25.1	27.4	26.2	29.4	27.0

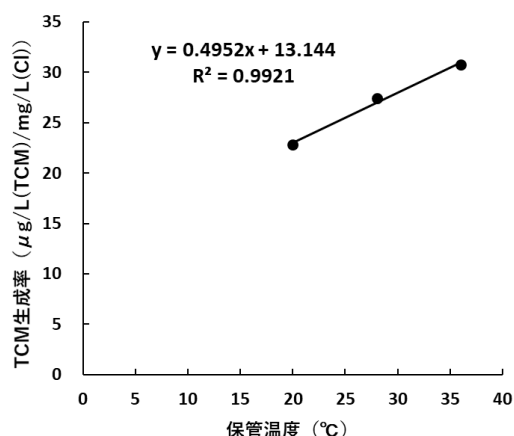


図5 保管温度変化時のTCM生成率

3-5 推定値と実測値

上記の結果から、末端給水栓におけるTCM濃度は②式のように表せる。

$$TCM = A \times \Delta Cl + TCM_0 \dots \textcircled{2}$$

A : TCM生成率(μg/L [TCM] / mg/L [Cl])

ΔCl : 遊離残留塩素消費量(mg/L)

TCM₀ : 初期TCM濃度(μg/L)

そこで、②式を用いて2017年1月から2022年9月までの、加納浄水場浄水のTCM濃度及び遊離残留塩素濃度と、末端給水栓である山口西公園の遊離残留塩素濃度及び水温を用いて計算した結果と、山口西公園のTCM濃度実測値を比較した結果を図6に示す。

推定値と実測値はよく一致しており、初期TCM濃度、遊離残留塩素消費量及び水温から、末端給水栓でのTCM濃度を予測することが可能であることが示唆された。

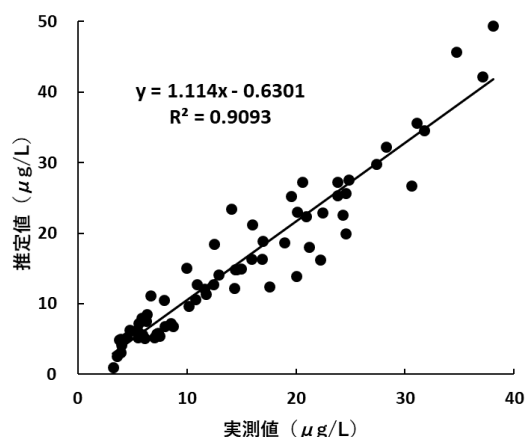


図6 浄水中のTCM濃度推定値と実測値

4 まとめ

疑似浄水を用いて、TCM濃度と遊離残留塩素濃度、TOC濃度及び水温の関係性について検討した結果、初期TOC濃度は、初期TCM濃度に大きな影響を及ぼすものの、TCM生成率には大きな影響を及ぼさないこと、また、TCM生成率は反応温度に依存するということが分かった。これらの結果を基に、TCM生成係数を求め、末端給水栓におけるTCM濃度を計算する推定式を得た。この推定式に基づき計算した結果と実測値はよく一致しており、浄水場の水質管理において末端給水栓におけるTCM濃度を管理するのに十分役に立つものと思われる。

大阪市の高度浄水システムにおける消毒副生成物生成能の処理特性

大阪市水道局 ○今村康夫
今中壮一

1. はじめに

本市では、発がん性の疑いのあるトリハロメタンの低減やかび臭原因物質の除去を主な目的として、オゾン処理と粒状活性炭処理を組み合わせた高度浄水処理を平成 10 年から平成 12 年にかけて柴島浄水場下系、庭窪浄水場、豊野浄水場、柴島浄水場上系に順次導入した。その結果、浄水中の総トリハロメタンは中間塩素処理時の約 4 分の 1 に低減され、かび臭原因物質については完全に除去できており、想定を上回る結果が得られている。また、平成 16 年 4 月に施行された大幅な水質基準改正や、逐次改正により新たに対象となった水質項目全てについても、本市の高度浄水処理により十分対応できることを確認している。

今回、令和 3 年度の水質基準逐次改正検討会において、要検討項目に設定されているブロモクロロ酢酸及びブロモジクロロ酢酸の原水及び給水栓水における存在実態計画が示されたことを受け、ハロ酢酸及び類似の分子構造を有するハロアセトニトリルを対象にして、本市の高度浄水処理システムにおける消毒副生成物生成能の処理特性を調査した。

2. 調査方法等

2.1 大阪市の浄水処理フロー

本市の浄水処理では、図-1 に示すように急速砂ろ過池の前後で2段のオゾン接触池を設けている。

オゾン注入はともに溶存オゾン濃度制御としているが、中オゾン接触池では、一定水温以上になるとオゾンの自己分解等により溶存オゾン濃度が検出されないために注入率を 0.7mg/L に設定し運用している。

一方、後オゾン接触池では、高度浄水処理導入時は注入率制御を行っていたが、平成 14 年度より、臭素酸の生成制御を目的に、目標溶存オゾン濃度を 0.2mg/L としたフィードバック制御に変更した。さらに、平成 20 年度には、かび臭原因物質の分解や後生生物の不活化を考慮し、溶存オゾン濃度(C)と接触時間(T)の積であるオゾン CT 値に基づく水質評価を開始し、後オゾン接触池におけるオゾン CT 値が 2.5 となるよう溶存オゾン濃度の目標値を段階的に引き下げた。

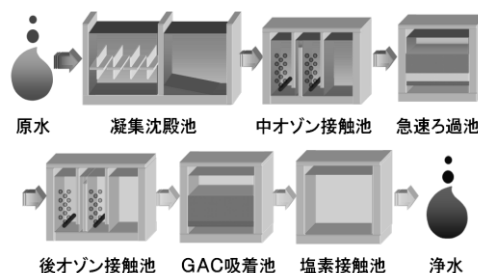


図-1 大阪市における浄水処理フロー

2.2 分析方法

試料に何段階か添加量を変化させ塩素を添加し、24 時間後の残留塩素濃度が最も 1mg/L に近い試料を測定し、ハロ酢酸生成能、ハロアセトニトリル生成能を求めた。

平成 15 年度までの測定は、上水試験方法¹⁾(1993 年版)に準拠し、電子捕獲検出器(ECD)を用いたガスクロマトグラフ法(GC-ECD 法)により行った。また、平成 16 年度以降、ハロ酢酸は厚生労働省告示法²⁾別表第 17 に、ハロアセトニトリルは厚生労働省通知³⁾に準拠した。なお、測定方法の違いによる定量値の大きな差は認められなかった。

2.3 測定対象

柴島浄水場 3 系の高度浄水処理過程について、平成 12 年度から平成 18 年度にかけて計 40 回(年 4 回から 7 回の頻度)測定を行った。図-1 に示す原水、凝集沈澱水、中オゾン処理水、急速砂ろ過水、後オゾン処理水、GAC 処理水を採水し、表-1 に示した成分の生成能を測定した。

表-1 測定対象成分

クロロ酢酸	ジブロモクロロ酢酸
ジクロロ酢酸	プロモ酢酸
トリクロロ酢酸	ジプロモ酢酸
ブロモクロロ酢酸	トリプロモ酢酸
プロモジクロロ酢酸	
ジクロロアセトニトリル	ジブロモクロロアセトニトリル
ブロモクロロアセトニトリル	トリクロロアセトニトリル
プロモジクロロアセトニトリル	プロモアセトニトリル
ジプロモアセトニトリル	トリプロモアセトニトリル
クロロアセトニトリル	

3. 調査結果

3.1 ハロ酢酸

1) 浄水処理における除去性能

浄水処理過程における総ハロ酢酸生成能の平均値を成分ごとに積算して示した結果を図-2 に、原水に対する各処理過程における総ハロ酢酸生成能の除去率を図-3 に示す。なお、各処理過程の除去率は測定日ごとに計算し、その平均値を表示しているため、図-2 に示した生成能の値から計算される除去率とは数値が一致しない。

原水中の総ハロ酢酸生成能の平均値は、ともに水質基準に設定されているトリクロロ酢酸が 21.1 $\mu\text{g/L}$ 、ジクロロ酢酸が 16.5 $\mu\text{g/L}$ とこれらで全体の 4 分の 3 以上の割合を占めており、高度浄水処理における除去効果を注視する必要があると考えられた。

原水の生成能が 1 $\mu\text{g/L}$ 程度であり、分析機器の測定精度の観点から正確な除去率の算出が難しい成分もあるが、処理過程が進むにしたがい、生成能が減少する成分がほとんどであったが、特に原水の生成能が最も高いトリクロロ酢酸は、凝集沈澱処理、砂ろ過処理をはじめ各工程で低下しており、砂ろ過池までの過程で 85%程度除去された。

本市の高度浄水処理システムにおける総ハロ酢酸の除去性能は、凝集沈澱処理で 46.1%、中オゾン-砂ろ過処理で 28.0%、後オゾン-GAC 処理で 5.6%となっており、GAC 処理水には原水中の 20.3%の総ハロ酢酸生成能しか残留せず、約 8 割が除去されていた。Miltner ら⁴⁾は、前段のオゾン処理の有無に関係なく、フラスコ内での生物処理により最大で 75%のハロ酢酸生成能が減少したことを報告しており、Chaiket ら⁵⁾は、ハロ酢酸 9 種類の生成能に

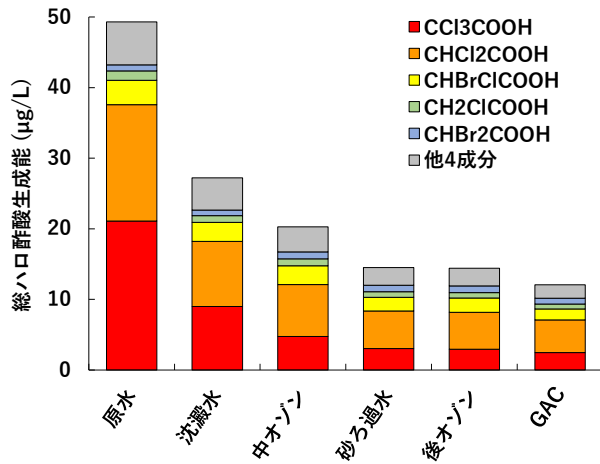


図-2 高度浄水処理過程における総ハロ酢酸生成能の推移

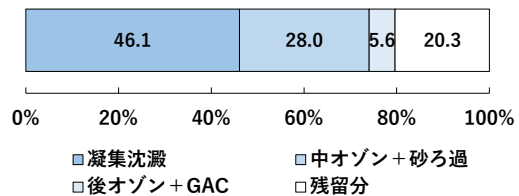


図-3 高度浄水処理過程における総ハロ酢酸生成能の除去率

ついて高度浄水処理の除去効果を調べたところ、60～80%の除去率が得られたと報告している。これらの報告と同じように、本市の高度浄水処理システムにおいても、ハロ酢酸が顕著に低減できることが明らかになった。

2) 構成割合の変化

高度浄水処理過程における総ハロ酢酸生成能の構成割合の平均値を図-4に示す。原水ではトリクロロ酢酸生成能が最も高い割合を占めていたが、凝集沈澱処理以降はジクロロ酢酸生成能の割合が最も高くなった。また、分子構造中の塩素原子数が多い成分ほど浄水処理による除去性能が高くなっており、処理が後段に進むにつれ、臭素系ハロ酢酸の構成割合が高くなる傾向が確認された。

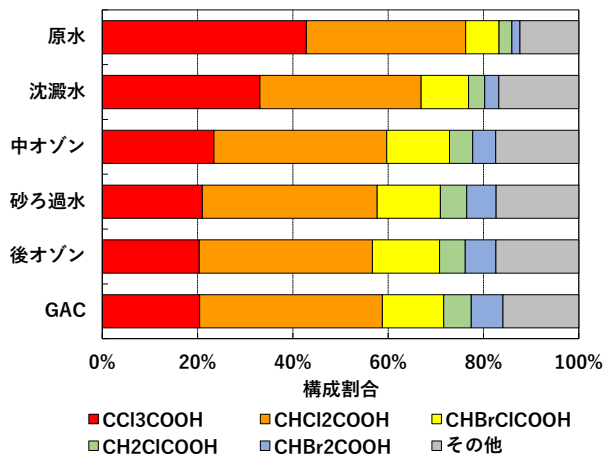


図-4 高度浄水処理過程における総ハロ酢酸生成能の構成割合

3.2 アセトニトリル生成能

1) 浄水処理における除去性能

浄水処理過程における総アセトニトリル生成能の平均値を成分ごとに積算して示した結果を図-5に、原水に対する各処理過程における総アセトニトリル生成能の除去率を図-6に示す。各処理過程の除去率は、ハロ酢酸生成能の結果と同様に測定日ごとに計算し、その平均値を示している。

原水中の総アセトニトリル生成能については、水質管理目標設定項目であるジクロロアセトニトリルが3.8μg/Lと最も高い割合を示しており、GAC処理水では0.8μg/Lと大きく低減していたが、次いで構成割合が高かったブromoクロアセトニトリルは、原水 1.7μg/L から GAC 処理水 1.2μg/L と除去率は低かった。また、ブromoジクロロアセトニトリルは原水 1.1μg/L から GAC 処理水 0.1μg/L と大きく低減したものの、オゾン処理により生成能が増加する傾向が認められた。

本市の高度浄水処理システムにおける総ハロ酢酸の除去性能は、凝集沈澱処

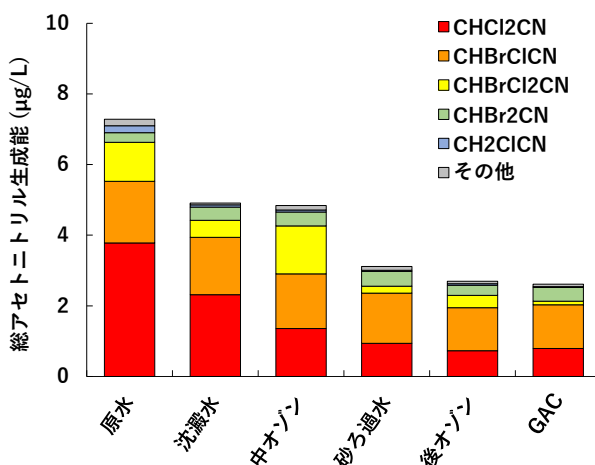


図-5 高度浄水処理過程における総アセトニトリル生成能の推移

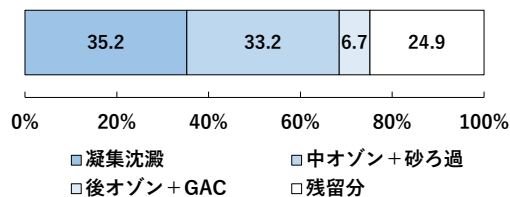


図-6 高度浄水処理過程における総アセトニトリル生成能の除去率

理で 35.2%、中オゾン-砂ろ過処理で 33.2%、後オゾン-GAC 処理で 6.7%除去され、GAC 処理水中には原水中の 24.9%の総ハロアセトニトリル生成能が残留しており、原水の 4 分の 3 が高度浄水処理システムで除去されていることがわかった。

2) 構成割合の変化

高度浄水処理過程における総アセトニトリル生成能の構成割合の平均値を図-7 に示す。ジクロロアセトニトリル、ブromクロアセトニトリル、ブromジクロアセトニトリルの 3 物質が、全処理過程で 80%以上占めていた。特に、ブromジクロアセトニトリルについては、オゾン処理で生成能が増加するため、中オゾン、後オゾンにおいて占める割合が高くなった。

また、GAC 処理水の生成能から、浄水中のハロアセトニトリルの構成成分を推測すると、含臭素成分の存在割合が 60%以上を占めることがわかった。

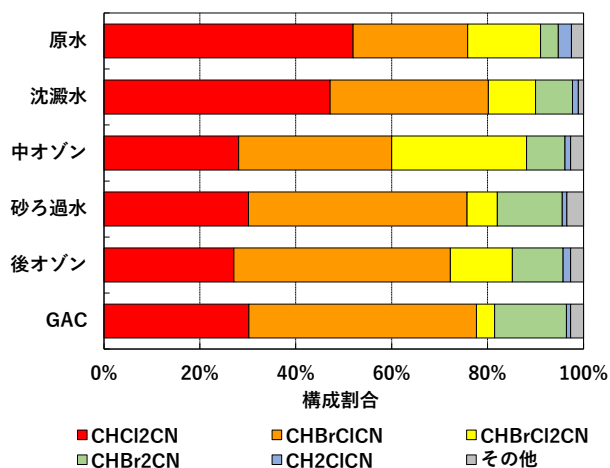


図-7 高度浄水処理過程における総アセトニトリル生成能の構成割合

4. まとめ

本調査により、次に示す知見が得られた。

- ・ 総ハロ酢酸生成能、総アセトニトリル生成能は、本市の高度浄水処理システムによってそれぞれ約 80%、約 70%除去されており、高度浄水処理による低減効果が高いことが確認された。
- ・ ハロ酢酸については、分子構造中の塩素原子数が多い成分ほど浄水処理による除去性能が高くなるため、処理が後段に進むにつれ、臭素系成分の構成割合が高くなった。
- ・ アセトニトリルについては、ジクロロアセトニトリルを除く成分の除去率が大きくないために、臭素系成分の構成割合が高く、浄水で 60%以上を占めることがわかった。

参考文献

- 1) 上水試験方法 1993 年版、日本水道協会 (1993)
- 2) 平成 15 年 7 月 22 日付 厚生労働省告示第 261 号
- 3) 平成 15 年 10 月 10 日付 厚生労働省通知 健水発第 1010001 号
- 4) R.J.Miltner, H.M.Shukairy, R.S.Summers, "Disinfection By-product Formation and Control by Ozonation and Biotreatment", Jour.AWWA, Vol.84, No.11, pp.53-62 (1992)
- 5) T.Chaiket, P.C.Singer, A.Miles, M.Moran, C.Pallotta, "Effectiveness of Coagulation, Ozonation, and Biofiltration in Controlling DBPs", Jour.AWWA, Vol.94, No.12, pp.81-95 (2002)

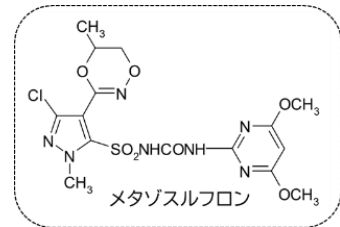
メタゾスルフロンの塩素処理生成物の推定

大阪市水道局 ○山田圭一
中野耕太
今中壮一

1. はじめに

大阪市では、大阪市水道・水質管理計画に基づき、水質管理目標設定項目に含まれる「対象農薬リスト掲載農薬類」115種類の測定を実施している。これらに加え、安全でより良質な水道水質を確保するため、水源である淀川水系の特性を把握することを目的に、土地の利用状況や使用実態調査に基づき、水源に影響を及ぼす農薬を対象とした測定も行っている。

昨年度、外山ら¹⁾が水質管理目標設定項目に該当しないものの、近畿圏で出荷量が多い未規制農薬類の存在実態を調査したところ、イマズスルフロン、ヘキサジノン及びメタゾスルフロンの3成分が検出され、これらの農薬類は本市の高度浄水処理で分解除去されることを明らかにしている。しかしながら、浄水処理によりどのような物質に変換されるか解明されていないことから、3成分のうち淀川原水からの検出量が最も多かったメタゾスルフロンを対象にして、塩素処理生成物の推定を行った。



2. メタゾスルフロンの原水及び浄水での検出状況

メタゾスルフロンは国内で平成25年に上市された水稲用除草剤であり、田植え時期から稲穂形成期にかけて長期間使用されている。近年では使用量が増加傾向にあり、淀川水系近畿5府県で令和2農薬年度に1.6 t/年出荷されている。

また、本市では令和3年度から柴島浄水場・庭窪浄水場・豊野浄水場の原水及び浄水を対象に、メタゾスルフロンの測定を実施している。令和3年度に実施した3浄水場原水におけるメタゾスルフロンの検出状況を図-1に示すが、5月を検出期ピークとして0.02~0.15 µg/L 検出され、以降8月まで検出され続けたものの、浄水からは検出されなかった。

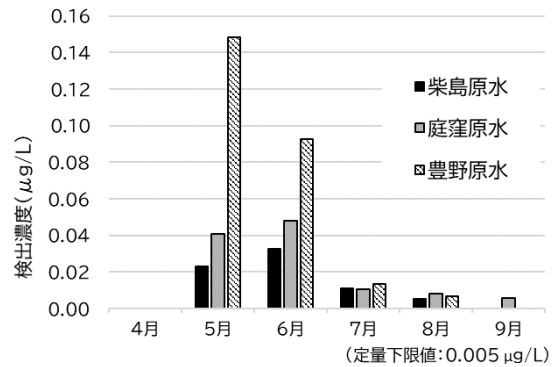


図-1 原水におけるメタゾスルフロンの検出状況

3. 調査方法

3.1 塩素処理実験

メタゾスルフロン原体が10 µg/Lとなるよう精製水で希釈した溶液へ遊離塩素濃度が2 mg/Lになるように塩素水を添加し、試験溶液を調製した。これを5本の25 mL比色管へ分取し、満水密栓した後、遮光下20 °Cで静置させた。それぞれ2, 24, 48, 72時間経過後に、試験

溶液 20 mL に対し、0.3 wt/v%チオ硫酸ナトリウム溶液を 20 μ L 添加することで塩素を除去した後、メタノール 2 mL を加えたものを分析試料とした。

3.2 分析条件及び解析方法

本調査では、高い分解能を有し、微量有機物の定性分析に優れている高分解能液体クロマトグラフ質量分析計を用いて測定を行い、メタゾスルフロンの塩素分解物の構造推定を行った。

中野²⁾らの方法に基づき、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) を使用したが、MS/MS 条件におけるデータ取得を Data Dependent Acquisition (DDA) に変更し、各スキャン時に強度の高い上位 3 ピークについて MS/MS 分析を行う条件とした。解析ソフトは Compound Discoverer 3.2 (Thermo Fisher Scientific 製) を使用し、フラグメントイオンサーチを行うことにより化学構造を推定した。

4. 結果及び考察

4.1 塩素処理後のメタゾスルフロン及び分解物の面積値推移

メタゾスルフロンを塩素処理することにより新たな 2 種類の未知物質が検出されるようになった。これらはメタゾスルフロンの塩素処理により生成された分解物であると考えられたことから、それぞれを分解物 A、B として、塩素処理後経過時間毎のメタゾスルフロン、分解物 A 及び B の面積値 (positive mode) の推移を図-2 に示した。

塩素添加後 2 時間でメタゾスルフロンが減少し、新たに分解物 A が生成された。また、24 時間後にはメタゾスルフロンはほとんど消失し、分解物 A が主生成物となったが、以降は時間経過とともに分解物 A の濃度は減少し、新たな分解物 B が生成され濃度が増加する傾向が認められた。

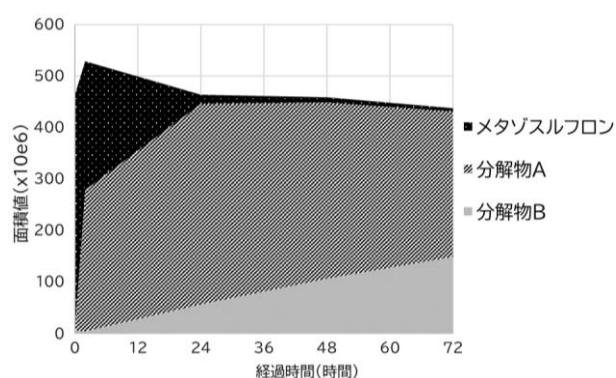


図-2 検出された物質の面積値の経時変化

4.2 分解物 A 及び B の構造推定

メタゾスルフロンの化学構造から予測される分解物リストを作成し、塩素処理後に検出された分解物 A 及び B を対象に、フラグメントイオンサーチによる構造推定を行った (図-3、4)。

分解物 A はプリカーサーイオンとして m/z ($[M+H]^+$) = 510.0368、512.0338、514.0301 の質量数が 9 : 6 : 1 の強度比で同位体パターンが検出されたため、二つの塩素原子を有する化合物、つまりメタゾスルフロンに一つの塩素原子が付加した化合物であると考えられた。また、プロダクトイオンとして m/z = 190.0378、192.0349 の質量数が 3 : 1 の強度比、 m/z = 216.0169、218.0139 の質量数が 3 : 1 の強度比で同位体パターンが検出されたため、ピリミジン環 (右側

の六員環)に塩素原子が付加した化合物であると考えられた(図-3)。したがって、分解物 A はメタゾスルフロンのピリミジン環に塩素原子が付加した化学構造であると推定された。

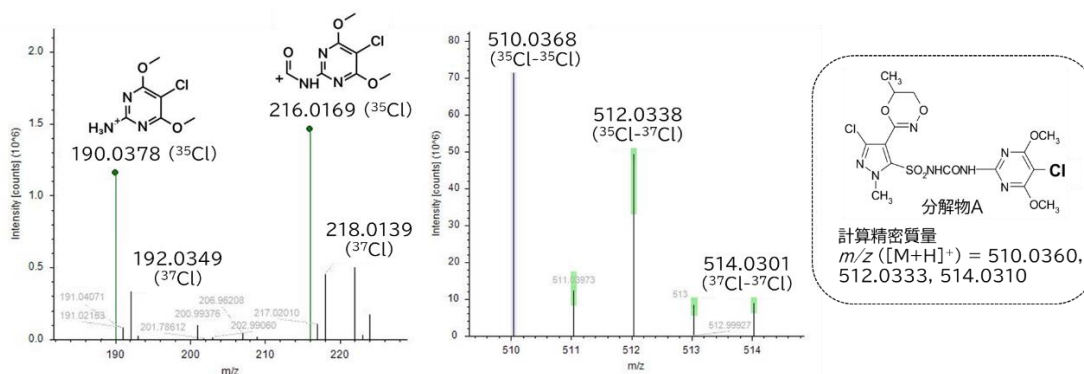


図-3 分解物 A のマススペクトル

一方、分解物 B はプリカーサーイオンとして m/z ($[M+H]^+$) = 295.0260、297.0229 の質量数が 3 : 1 の強度比、プロダクトイオンとして m/z = 221.9733、223.9701 の質量数が 3 : 1 の強度比で同位体パターンが検出された。したがって、分解物 B はメタゾスルフロンのスルホニル尿素結合が開裂した化学構造であると推定された(図-4)。

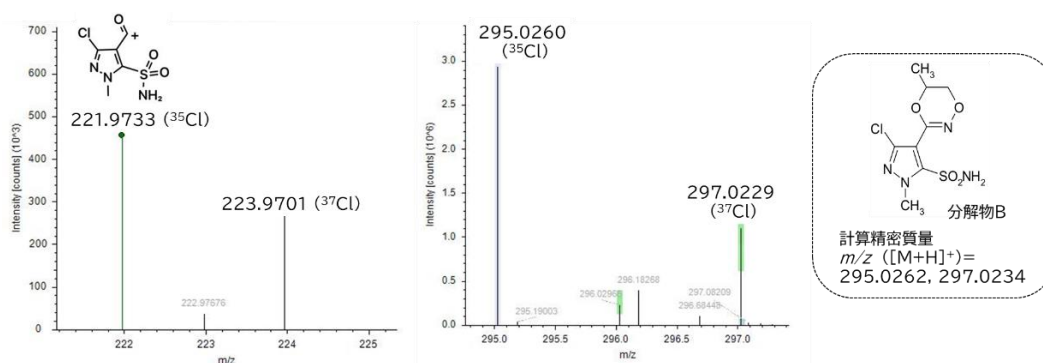


図-4 分解物 B のマススペクトル

4.3 メタゾスルフロンの推定分解経路

得られた結果に基づき、推定されるメタゾスルフロンの分解経路を図-5 に示す。分解物 A 及び B の推定構造から考察すると、メタゾスルフロンの塩素処理により、直ちにピリミジン環(右側の六員環)に塩素原子が付加した分解物 A が生成し、さらにピリミジン環の開裂またはスルホニル尿素結合の開裂により分解物 B が生成したと推定され、塩素処理により最終的には分解物 B が主な生成物となることが予想された。

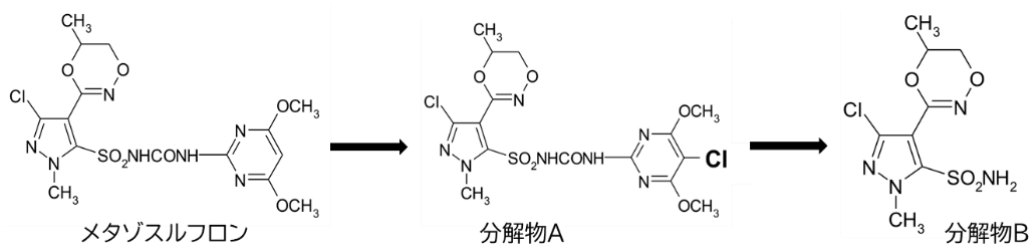


図-5 メタゾスルフロンの推定分解経路と分解物の推定化学構造

5. メタゾスルフロン及び分解物 B の安全性評価

本調査で構造推定を行った分解物 A 及び B について、本市の浄水における存在実態を調査したところ、分解物 A は検出されず、分解物 B が痕跡量検出された。このことから、原体であるメタゾスルフロン及び分解物 B の安全性評価を行うことで、メタゾスルフロンに起因する浄水のリスク評価を行った。

農薬評価書³⁾によるメタゾスルフロンの一日摂取許容量(ADI)0.027 mg/kg 体重から算出される評価値は 67.5 µg/L であり、本市の原水からの検出濃度（最大 0.15 µg/L）を大きく上回っている。また、メタゾスルフロン及び分解物 B はラット経口急性毒性試験において半数致死量 (LD₅₀) が >2000 mg/kg 体重であり、発がん性の原因となりうる遺伝毒性試験においても、両化合物は陰性であった（表-1）。以上のことから、メタゾスルフロンが塩素処理され分解物 B が生成しても、急性毒性及び発がん性のリスクは向上しないと考えられた。

表-1 メタゾスルフロン及び分解物 B の安全性評価

化合物名	急性毒性(LD ₅₀) ^{A)}	遺伝毒性 ^{B)}
メタゾスルフロン	>2000	陰性
分解物 B	>2000	陰性

^{A)} (mg/kg 体重)、^{B)} 復帰突然変異試験及び小核試験

6. まとめ

本調査により、次の知見が得られた。

- 柴島・庭窪・豊野 3 浄水場において 5 月から 8 月にかけて、最大 0.15 µg/L のメタゾスルフロンが検出された。
- メタゾスルフロンを塩素処理した結果、分解物 A が生成した後に分解物 B へ変換されることを明らかにした。
- マススペクトル解析により、分解物 A はメタゾスルフロンのピリミジン環に塩素原子が付加した化合物、分解物 B はスルホニル尿素結合が開裂した化合物であると推定された。
- メタゾスルフロンの塩素処理では急性毒性及び発がん性リスクは向上しないと考えられた。

本調査では高分解能質量分析計の性能を活かし、メタゾスルフロンの塩素処理生成物の推定を行ったが、今後は水源事故時の原因物質の同定などへの活用を検討する予定である。

参考文献

- 1) 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、関西地方支部第 65 回研究発表会概要集、pp. 13-16
- 2) 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、関西地方支部第 65 回研究発表会概要集、pp. 17-20
- 3) 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/fsciis/evAluAtionDocument/show/kyA20101210343>

阪神水道企業団における同化性有機炭素の実態調査

○中村瑞穂(阪神水道企業団) 大森圭(阪神水道企業団)
橋本久志(阪神水道企業団)

1. はじめに

同化性有機炭素(以下、「AOC」という。)は、特定の細菌の栄養素となる有機炭素のことである。水道水中の AOC を測定することにより、細菌が再増殖する可能性についての潜在的な能力を評価することができる。AOC が 0.01mg/L 以下であれば、従属栄養細菌の再増殖が抑制され、0.05mg/L 以下であれば、大腸菌の再増殖が抑制されるとの報告がある^{1),2)}。また、高度浄水処理において AOC はオゾン等の酸化処理で増加、生物処理で減少するといわれており³⁾、送配水の微生物リスクを評価する上で重要な指標である。

阪神水道企業団(以下、「企業団」という。)では、高度浄水処理技術の導入に並行して、AOC を測定し浄水処理の評価や送配水システムでの挙動を確認してきた。本稿では、AOC を用いて 2007 年から 2021 年までの 15 年間のデータを解析することにより、微生物学的な観点から企業団の浄水処理性の評価を行った。

2. 企業団の処理フロー

企業団では、猪名川浄水場(能力 916,000 m³/日)と尼崎浄水場(能力 373,000 m³/日)より、構成市(神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市及び宝塚市)へ用水供給を行っている。今回調査対象とした処理フローを図-1 に示す。処理過程では、原水の藻類の繁殖を抑制する前塩素注入、硫酸アルミニウムによる凝集沈澱処理、トリハロメタンなどの消毒副生成物の生成を抑制するためにブレイクポイント塩素処理を中間塩素注入で行っている。さらに、送配水過程での残留塩素確保のため、ろ過処理後に後塩素注入、中継ポンプ場で追加塩素注入を行っている。

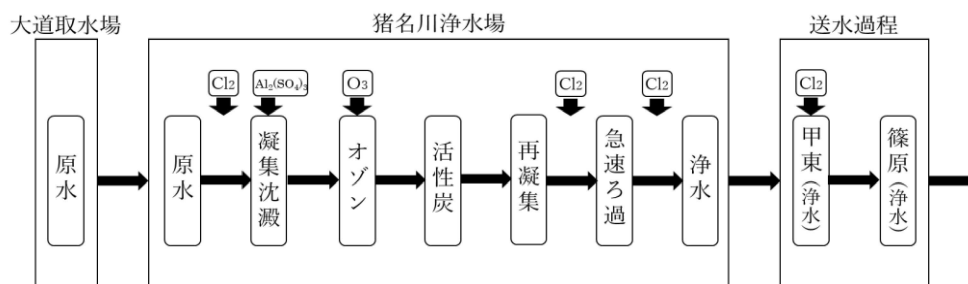


図-1 企業団の処理フロー

3. 調査方法

AOC の測定は、上水試験方法³⁾に従って実施し、*Pseudomonas brenneri* P-17 株と *Herminiimonas* sp. NOX 株を測定し、各細菌の最大増殖量と増殖収率から、P-17 株の AOC(以下、「AOC_{P17}」という。)と NOX 株の AOC(以下、「AOC_{NOX}」という。)を求め、それらの合算値として酢酸炭素相当量の AOC 濃度を求めた。P-17 株はアミノ酸や芳香族酸、糖類などの有機炭素を利用可能であり、NOX 株はシュウ酸や蟻酸などの低分子のカルボン酸を選択的に利用可能である⁴⁾。

調査地点は大道取水場(原水)、猪名川浄水場(原水、沈澱処理水、オゾン処理水、活性炭処理水、ろ過処理水、浄水)、とその直下流側に位置する甲東ポンプ場(浄水)と、供給最末端に

位置する篠原量水池(浄水)の計 9 地点とした。測定頻度は年に 4 回、2007 年～2021 年の 15 年間のデータを用いた。

4. 結果と考察

4-1. AOC の挙動

2007 年から 2021 年の 15 年にわたる調査結果として、取水場から供給最末端までの各工程での AOC 及び AOC_{P17}、AOC_{NOX} の平均値を図-2 に示す。

AOC は大道取水場から猪名川浄水場原水の間で減少していた。これは、導水管路内での生物酸化によるものと考えられ、主に AOC_{P17} が減少していた。その後、着水井での前塩素注入により AOC_{NOX} は増加していたものの、凝集沈澱処理でフロックに取り込まれて排除されることにより AOC_{P17} は大きく減少し、結果として原水より沈澱処理水の AOC は減少していた。オゾン処理では、オゾンの酸化作用によって有機物が酸化分解されることにより、特に NOX 株が利用可能な低分子の有機物が増加したため、AOC_{P17} より AOC_{NOX} の割合が高くなったと推察された。活性炭処理水では AOC_{P17}、AOC_{NOX} ともに減少していた。ろ過処理及び浄水過程においては、濃度の変化は比較的少なかった。

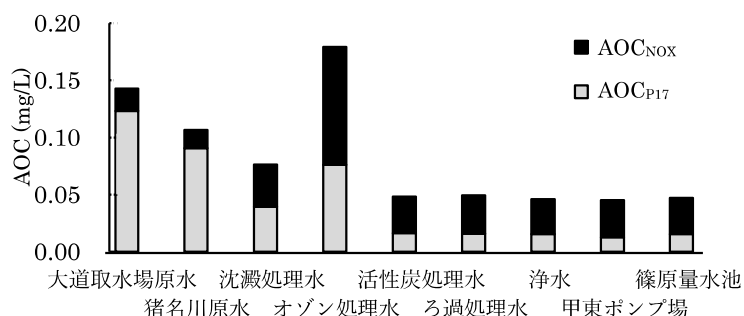


図-2 各工程の AOC 濃度

4-2. 5 年単位の AOC の経年変化

AOC 濃度の経年変化を調査するために、各工程における 5 年単位の AOC 濃度を図-3 に示す。

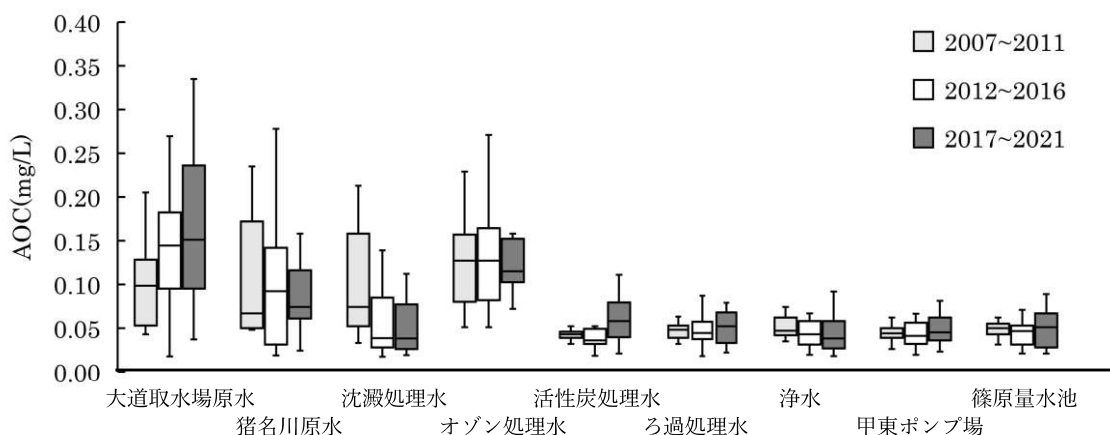


図-3 各工程における 5 年単位の AOC 濃度

大道取水場原水では濃度のばらつきが大きくなっていった。河川で AOC 成分となる低分子の有機物が増加した可能性が考えられた。猪名川浄水場原水では特徴となる変化はみられなかった。沈澱処理水では AOC 濃度は減少傾向にあった。オゾン処理水では AOC 濃度のばらつきが小さくなっていった。これは沈澱処理水で AOC 濃度が減少していたためと思われる。一方で、活性炭処理水では 2017~2021 年に AOC 濃度のばらつきが大きくなり、中央

値の上昇がみられた。ろ過処理水の 2017~2021 年の AOC 濃度は、活性炭処理水の濃度に影響を受けているため、ばらつきが大きくなっていた。浄水での AOC 濃度は 0.038~0.054mg/L であり減少傾向を示していた。その下流側の甲東ポンプ場の AOC 濃度は 0.036~0.061mg/L であり、殆ど変化はみられなかった。供給最末端に位置する篠原量水池では 0.028~0.066mg/L とわずかにばらつきは大きくなっていた。

4-2-1. 原水及び沈澱処理水の挙動

原水及び沈澱処理水の 5 年単位の全有機炭素(以下、「TOC」という。)を図-4 に示す。各原水の TOC と AOC に関連はみられなかった。一方、凝集沈澱後の TOC と AOC に同じ傾向がみられた。沈澱処理水中の TOC は殆どが溶存体であることから、同様に溶存体である AOC の濃度が減少したと推察された。沈澱処理水中の対象となる有機物がオゾン処理における AOC の前駆物質となっていると考えられた⁵⁾。

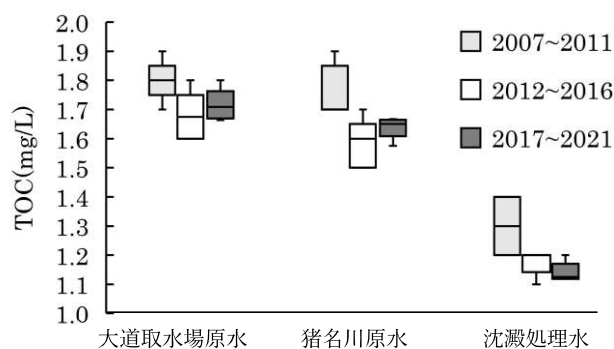


図-4 原水及び沈澱処理水の TOC 濃度

4-2-2. 活性炭交換補充の AOC への影響調査

活性炭吸着槽での活性炭交換補充が活性炭処理水の AOC に及ぼす影響について調査した。調査方法は全量交換後 1 年目、3 年目、9 年目の活性炭を使用する各活性炭槽の活性炭処理水について AOC を測定した。企業団では、活性炭槽の活性炭交換補充方法について、2013 年以前は活性炭投入後毎年活性炭量の 20%量を新炭に交換する作業を行っていた⁶⁾。一方、2014 年以降は段階的に活性炭の全量交換補充が行われており、全量交換後の 3 年間は交換補充を行わず、4 年日以降から 20%量交換補充を行っている。1 年目は新炭全量交換直後の活性炭、3 年目は交換補充を一度も行っていない活性炭、9 年目は全量交換後の 4 年目から 20%交換補充を行っていた活性炭である。各活性炭処理水の調査結果を表-1 に示す。AOC は 1 年目が最も低く、次いで 9 年目、3 年目となっていた。1 年目の結果について、他の経年炭と比較して AOC_{P17} は高い値であったが、AOC_{NOX} は大幅に低くなっており、結果として合算値の AOC が低くなっていた。3 年目と 9 年目の結果を比較すると、AOC_{P17} は同程度であったが、AOC_{NOX} について 9 年目が低い結果であった。交換後 9 年目の活性炭処理水では調査直前に 20%交換補充を行っていたため、交換した 20%の新炭の効果により AOC_{NOX} が低くなっていると考えられた。今回の結果から、新炭全量交換が活性炭処理水の AOC の低減に寄与することが分かった。また、AOC は活性炭処理の生物酸化に加え、物理吸着でも低減が期待できると考えられた。近年、活性炭処理水では AOC 濃度の増加がみられるが、AOC 濃度の減少には活性炭を定期的に新炭に交換することが有効であることが明らかになった。

表-1 活性炭処理水の AOC 濃度

	(mg/L)		
	1年目	3年目	9年目
AOC _{P17}	0.009	0.004	0.004
AOC _{NOX}	0.008	0.066	0.030
AOC	0.017	0.070	0.034

(採水日:2022 年 6 月 20 日)

4-2-3. 送水過程での挙動調査

浄水の遊離残留塩素の5年単位の平均値を表-2に示す。猪名川浄水場(浄水)では一定であったものの、甲東ポンプ場及び篠原量水池では送水過程での追加塩素注入により、猪名川浄水場より高くなっていた。

送水過程での滞留時間とAOC濃度の関係を図-5に示す。滞留時間は、流下する管路及び調整池等の容積と通水流量から算出した。浄水場からの流達時間は、甲東ポンプ場は2.8～3.3時間、篠原量水池は13.2～15.1時間であった。甲東ポンプ場では、追加塩素注入を行っているもののAOC濃度の増加はみられなかった。篠原量水池では、供給末端であることから滞留時間が半日以上経過しており、かつ0.8～0.9 mg/Lの遊離残留塩素が確保されているもののAOC濃度の大幅な増加はみられなかった。しかし、2017～2021年はわずかに増加傾向であったことから、滞留時間や残留塩素の濃度の傾向を考慮しつつ今後の動向について更なる調査を行う必要があると考えられた。

表-2 浄水の遊離残留塩素濃度(mg/L)

年	2007～2011	2012～2016	2017～2021
猪名川浄水	0.81	0.81	0.81
甲東	0.83	0.86	0.89
篠原	0.83	0.88	0.87

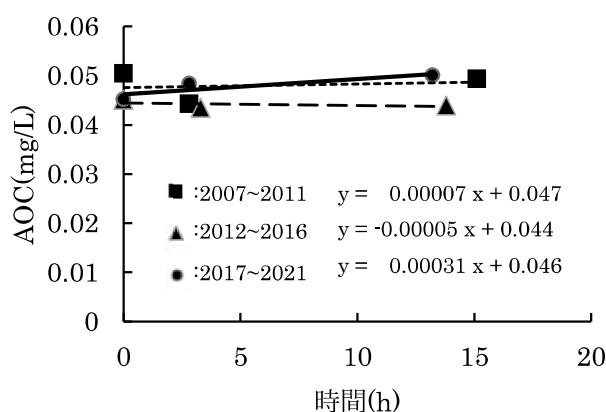


図-5 浄水の滞留時間とAOC濃度の関係

5. まとめ

阪神水道企業団の供給水中のAOCは大腸菌の再増殖が抑制される濃度である0.05mg/Lに近い値であり、微生物学的安定性は保たれているといえた。一方、浄水処理の各工程でAOCの実態調査を行った結果、AOCはオゾン処理及び塩素処理で増加するが、活性炭処理により大幅に低減されていることが分かった。また、送水過程においてもAOCの増加はみられなかった。

今後も安定した浄水の供給を行っていくためには、効果的な活性炭交換補充方法を含むオゾン・活性炭処理の運転管理を行うことがAOCの低減に繋がるものと考えられた。また、送配水過程での残留塩素管理、滞留時間を考慮することが重要であると考えており、供給水での微生物学的安定性の確保に努めていきたい。

【参考文献】

- 1) Dirk van der Kooji, Assimilable Organic Carbon as in Indicator of Bacterial Regrowth, J. AWWA, Vol.84, No.2, p57-65, 1992.
- 2) LeChevallier. M. W., et al. Bacterial nutrients in drinking water. Applied and Environmental Microbiology, Vol.57, No.3, p.857-862, 1991.
- 3) 上水試験方法 2020年版 (IV 微生物編)、日本水道協会、p254-260、2020.
- 4) 金子光美. 飲料水の微生物学、技報堂出版、東京、p55-73、1992.
- 5) 笠原伸介他、淀川表流水中に含有する生物同化可能有機炭素及び細菌増殖ポテンシャルの浄水処理に伴う基礎的挙動、水環境学会誌、p605-612、2002.
- 6) 小椋和生他、流動層活性炭吸着槽の施設管理、第47回全国水道研究発表会講演集、p128-129、1996.

水質モニターを活用した送水水質管理

大阪広域水道企業団

○青木 里紗 奥田 雄斗 秋丸 貴也
上野 加寿紀 熊澤 正朗 前床 紀文

1. はじめに

大阪広域水道企業団（以下「企業団」という。）では、法令で1日1回以上の水質検査を行うことが定められている色、濁り、消毒の残留効果について、送水幹線上に計32台の水質モニター（連続自動測定器）を設置し（図-1）、24時間連続で監視を行っている。また、供給する水道水が水質基準に適合し、安全で良質であることの確認と、送水過程での水質変化を把握するために、送水幹線上に全53地点の水質監視地点（表-1）を定め、法令に基づく水質基準項目に加え、水質管理目標設定項目、要検討項目及びび一般項目の検査を主要な地点で毎月行っている。

本報告では、水質モニターを活用した送水水質管理について報告する。

市町村分岐地点名	送水施設
1. 柿ノ木（豊中市）	A. 千里浄水池
2. 寺内（豊中市）	B. 小野原ポンプ場
3. 芝（箕面市）	C. 彩都ポンプ場
4. 十日市（茨木市）	D. 多留見浄水池
5. 三島（摂津市）	E. 郡家ポンプ場
6. 鳥飼下（摂津市）	F. 高槻立坑
7. 畑（池田市）	G. 奈佐原浄水池
8. 水無瀬（島本町）	H. 四條畷ポンプ場
9. 野間中（能勢町）	I. 旧布施ポンプ場
10. 香里（枚方市）	J. 枚岡ポンプ場（庭窪流入）
11. 上馬伏（門真市）	枚岡ポンプ場（4拡出口）
12. 茄子作（交野市）	K. 藤井寺ポンプ場
13. 高宮（寝屋川市）	L. 松原ポンプ場
14. 寝屋（寝屋川市）	M. 美陵ポンプ場
15. 砂（四條畷市）	N. 富田林ポンプ場
16. 寺川（大東市）	O. 河南加圧ポンプ場
17. 水走（東大阪市）	H. 泉北浄水池（流入）
18. 高安（八尾市）	泉北浄水池（流出）
19. 柏原（柏原市）	Q. 和泉浄水池
20. 道明寺（藤井寺市）	R. 岸和田連絡弁
21. 西浦（羽曳野市）	S. 泉佐野ポンプ場
22. 池之原（大阪狭山市）	T. 泉南浄水池
23. 廿山（富田林市）	
24. 我堂（松原市）	
25. 上田（松原市）	
26. 千代田（河内長野市）	
27. 太子（太子町）	
28. 山城（河南町）	
29. 川野辺（千早赤阪村）	
30. 浅香山（堺市）	
31. 堀上（堺市）	
32. 北（高石市）	
33. 万町（和泉市）	
34. 山荘（和泉市）	
35. 豊中（泉大津市）	
36. 北出（忠岡町）	
37. 流木（岸和田市）	
38. 三ツ松（貝塚市）	
39. 中庄（泉佐野市）	
40. 紺屋（熊取町）	
41. 吉見（田尻町）	
42. 樽井（泉南市）	
43. 貝掛（阪南市）	
44. 岬（岬町）	

凡 例	
□ ●	浄水場及び取水場
○	水質基準適合判定地点 15地点
△	水質定期監視地点 38地点
■	水質モニターによる連続監視地点 32地点
—	村野浄水場系の送水管
—	庭窪浄水場系の送水管
—	三島浄水場系の送水管
□	追加塩素注入地点 3地点

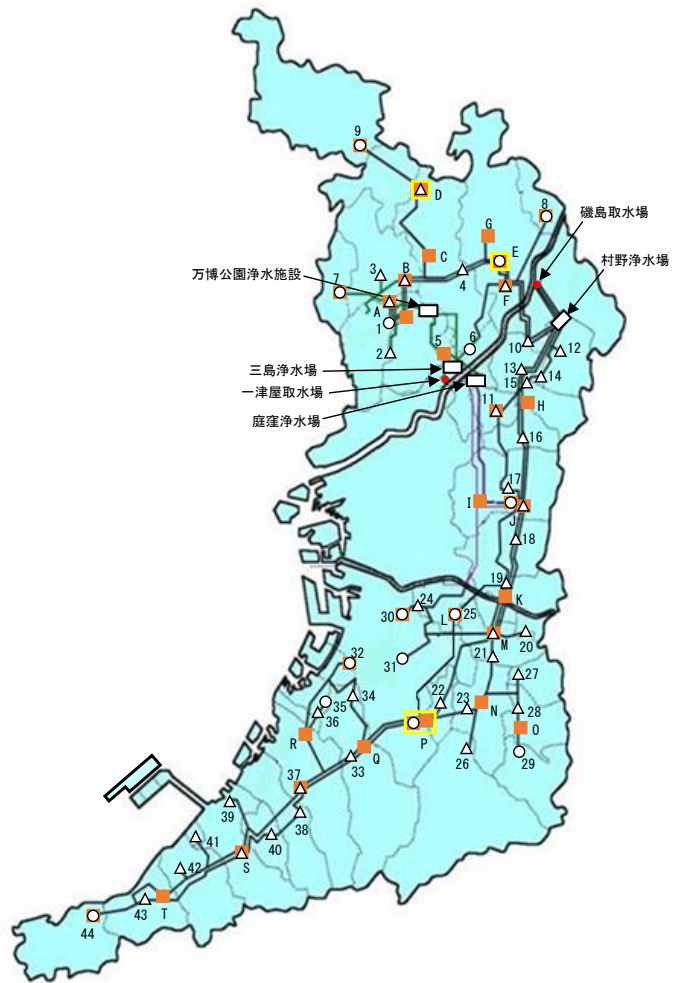


図-1 送水幹線採水位置図

表-1 送水幹線における水質検査地点の分類

水質基準適合判定地点 15 地点	浄水場の系統ごとに、受水事業体への受け渡し地点や企業団のポンプ場等から主要な地点を選定し、水質基準に適合していることの確認を目的として水質検査を行っている。
水質定期監視地点 38 地点	水質基準適合判定地点を補完するため受水事業体への受け渡し地点や企業団のポンプ場等から水質基準適合判定地点を除く 38 地点を選定し、送水過程での水質変化を把握するために、水質検査を行っている。
連続自動測定地点（水質モニター） 32 地点	法令で毎日検査が定められている色、濁り、消毒の残留効果（遊離残留塩素）等について 24 時間連続自動測定を行い、広域的な送水過程における水質変化の傾向把握、さらに突発的な水質異常について連続監視している。

2. 水質モニターの送水水質管理への活用

2.1 水質モニターの役割

企業団では、送水の濁度、色度、遊離残留塩素、pH 値、電気伝導度、水温の 6 項目を水質モニターで連続的に自動測定することにより、広域的な送水過程における水質変化の傾向把握、突発的な水質異常の連続監視を行っている。また、水道法により定められている色、濁り、消毒の残留効果に関する毎日検査も水質モニターを活用して行っている。

水質モニターの測定値は、アクアネット大阪というシステムを通じて企業団と 42 受水事業体で情報共有が行われており、送水の水質状況をリアルタイムで確認することができる。また、水質モニターには測定項目ごとに上下限警報値を設定しており、それを超過した場合、水質管理センターに設置されたアクアネット大阪端末が警報を発する仕組みになっており、送水の水質異常を瞬時に検知することができる。さらに、送水水質の異常を検知した場合の受水事業体への情報提供基準（表-2）を定めており、水質異常に対して速やかに対応できるようにしている。

2.2 毎日検査への活用

毎日検査は、午前 9 時時点における水質モニターによる測定値を確認することにより行っており、送水の運用状況（送水量、水圧など）の水質への影響も考慮している。また測定値については、異常がないことを確認するだけでなく、その変化にも注意を払っている。送水運用としては、緊急措置レベルを超えなければ「正常送水」としているが、緊急措置レベルに達していても測定値が通常と異なる場合は、何らかの異常を疑い、その原因を早期に把握する必要がある。そのため、水質管理センターでは、測定値が通常よりも高く又は低くなった場合（特に濁度が 0.05 度を超過又は、色度が 0.5 度を超過した場合）には、その原因を確認することとしている。

通常時、水質モニターの測定値は図-2 のような安定したトレンドを示すが、送水幹線において疎通能力維持作業（後述）を実施した際は、送水量や水圧の一時的な変動により、濁度及び色度が上昇し、図-3 のようなトレンドを示すことがある。疎通能力維持作業とは、事故や工事等による送水系統の変更に備え、送水

表-2 水質モニターの水質異常値検出時の受水事業体等への情報提供基準

<情報提供レベル（警報発生から 2 時間継続）>

項目	情報提供レベル	措置
濁度	0.50 度以上	正常送水
色度	3.00 度以上	
残留塩素	0.40mg/L 以下	

<緊急通報レベル（警報発生から 15 分継続）>

項目	情報提供レベル	措置
濁度	1.00 度以上	正常送水
色度	4.00 度以上	
残留塩素	0.30mg/L 以下	

<緊急措置レベル（警報発生から 15 分継続）>

項目	情報提供レベル	措置
濁度	2.00 度以上	送水制限
色度	5.00 度以上	
残留塩素	0.10mg/L 以下	受水停止

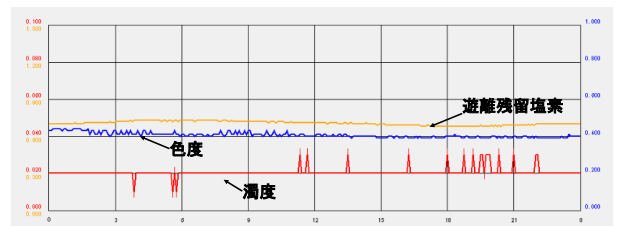


図-2 通常時のトレンド例

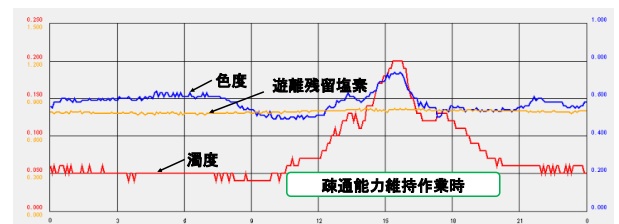


図-3 疎通能力維持作業時のトレンド例

管の通水能力を確保することを目的として、送水量を目標水量まで増加させるものであり、定期的実施している。疎通能力維持作業は、予め日程が決まっているため、作業時間以降に作業実施箇所の下流において濁度及び色度が上昇しても、作業実施箇所と下流までの予定到達時間と濁度上昇時間が合致していれば水質事故ではないことが分かる。

このように、作業が行われることを事前に把握している場合は問題ないが、それ以外にも水質モニターがしばしば原因不明のトレンドを示すことがある。図-4の事例は、水質モニター設置地点の上流で布設している複数の送水管を繋ぐ連絡管の流向が変化した際に、管底に沈んだ少量の濁質を巻き上げたことが原因であることが後に分かった。これは、通常の送水運用の範囲内で生じたものであり、水質異常ではないが、場合によっては事故が発生している可能性があるため、水質モニターの測定値が送水水質としては異常がなくても、その値の変化には注意して水質管理を行っている。

2.3 水質モニターの不具合

水質モニターは、送水の水質管理に重要な役割を果たしているため、水質が監視できない状況（以下「不具合」）が生じないよう維持管理に努めている。しかしながら、適切な維持管理を行っていても、計器異常により不具合が発生することがある。水質モニターが異常値を示した場合、表-3の判定基準をもとに水質異常か計器異常かを判断する。図-5に計器異常の例を示す。測定値のトレンドから、明らかな計器異常と判断できなければ、現場に出動して水質確認を行い、その結果、水質に異常がなければ計器異常と判断する。

不具合が生じた水質モニターは監視対象外とするため、その地点では一時的に送水水質の連続監視ができなくなり、毎日検査もできなくなる。このような場合の代替手段として、対象地点付近の送水量、水圧、バルブ操作等の水質への影響の有無を確認したうえで、上下流に設置している水質モニターにより水質を監視するとともに、受水事業者が受水地点で毎日検査を行っている場合には、その結果も参考とすることで、水質に異常がないことを確認している。代替手段による水質確認ができない場合は、現場において1日1回以上、濁度、色度、残留塩素濃度を測定し、水質に異常がないことを確認している。

このように、代替手段を用いて水質監視を行っているが、根本的に不具合を減少させるための維持管理が重要である。

3. 令和3年度の維持管理の取り組みと効果

水質モニターが不具合となる期間をより短縮するために、令和3年度は2つのことに取り組んだ。

3.1 保守点検内容の見直し

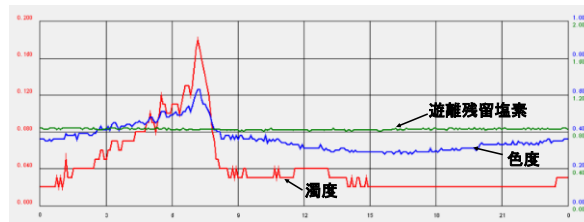


図-4 原因不明の濁度上昇のトレンド例

表-3 計器異常と水質異常疑いの判定基準

計器異常	<ul style="list-style-type: none"> 以下の条件をすべて満たす場合は、計器異常と判断 ① 異常の発生している水質モニターの測定値が、直前の値と比較して15分以内の急激な上昇、下降を頻繁に示している。また、急激な上昇、下降後15分以上直線的にピークの値を継続している。 ② 上下流の水質モニター測定値には異常が無い。 ③ 以下の「水質異常の疑い」のいずれの項目にも当てはまらない。
水質異常の疑い	<ul style="list-style-type: none"> 上下限警報値を超過した直前1時間程度の値が緩やかに上昇又は下降を示している。 濁度・色度が同じような挙動で緩やかに上昇している。 (濁度・色度の上昇に伴い、残塩が低下する場合がある。) 管路での漏水や大幅な流量変動、浄水場での処理不良、停電によるポンプの緊急停止、バルブ誤動作などの情報がある。 薬品注入（追加塩素）の異常、工事や洗管の影響による水質異常の疑いがある。

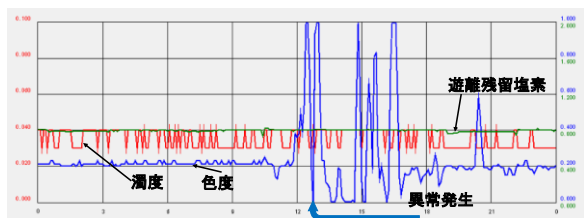


図-5 計器異常発生トレンド例（色度の異常）

水質モニターの維持管理は、年に12回（月に1回）のメンテナンスにより行っており、そのうち10回を保守点検、2回を特別補修として実施している。

令和2年度に、水質モニターのメーカーに、これまでの保守点検内容に過不足がないかどうかの聞き取り調査を実施したところ、必要以上に清掃や調整などを行っていたために、不具合が発生していた可能性があるということが分かった。そこで、清掃や調整などの保守点検内容が必要十分となるように仕様を変更し、令和3年度から運用を行った。

3.2 不具合対応業務の開始

これまで不具合発生時には、職員が現場に出動し、メーカーと繰り返し連絡をとりながらその原因を確認していた。この方法では、原因の特定までに1～2か月程度の期間を要し、また、原因が判明してから修繕を行うこととなるため、水質監視が再開できるようになるまで長期間を要する場合があった。そこで令和3年度から、不具合が生じた水質モニターをできるだけ早く復旧させるため、不具合発生時にメーカーを速やかに現場に出動させて、原因を特定する委託業務（不具合対応業務）を開始した。これにより早期にメーカーが専門的知識を持った担当者を派遣し、不具合の原因を速やかに解明し、修繕できるようになった。また、軽微な部品交換だけで解決することができる場合は、派遣時に部品交換を実施する仕様としており、直ちに復旧できる場合もあった。

3.3 取り組みの効果

過去3年間（平成30年～令和2年度）及び令和3年度の水質モニターの不具合発生状況を表-4に示す。

保守点検の内容を見直すことにより、保守点検後に指示値が不安定となり監視対象外となるような事例を減少させることができた。それ以外にも、一部地点において測定槽に空気が混入するのを防止するための設備的な改良を行うなどにより根本的な原因を解消することができたことも、不具合の発生回数の減少につながったものと考えている。具体的には、不具合が発生した回数は、過去3年間の平均が52回であったものが、令和3年度は37回となり約3割減少させることができた。

また、不具合対応業務により、水質モニターの不具合が発生した場合でも、発生から復旧までの期間は、過去3年間では、平均約0.8か月、最大約6か月必要であったものが、令和3年度は、平均約0.3か月、最大約3か月に短縮させることができた。

ただし、令和3年度でも毎月平均3～4回の不具合が発生しており、これを減少させるための原因調査を継続して行っている。

4. まとめ

企業団では、水質モニターを活用した送水水質管理を行っており、送水の水質に異常がないことを確認するだけでなく、水質の変化にも注意を払い、万が一の事故を早期に発見することができるよう努めている。水質モニターの不具合により対象地点の水質を監視できなくなった場合でも、代替手段を定め、送水幹線全体の水質に異常がないことを確認している。さらに今後も、不具合を減少させるための原因調査を継続して進めていき、水質モニターを活用した送水の水質管理を適切に行っていく。

表-4 不具合発生状況の比較

年度	不具合が発生した回数	不具合発生から復旧までにかかる期間	
		平均	最大
平成30年度	58回	約0.5か月	約3か月
令和元年度	49回	約0.8か月	約5か月
令和2年度	50回	約1か月	約6か月
過去3年間の平均	52回	約0.8か月	約6か月
令和3年度	37回	約0.3か月	約3か月

相関監視システム活用による運転管理ノウハウの形式化

橋本市水道環境部 ○塔鼻 裕也
辻本 知弘

1. はじめに

水道施設の安定的な運転管理を実現するためには、故障警報だけでなく、水位・流量・機器の運転状態等、あらゆる情報を活用して異変を早期に察知することが重要であり、熟練の技術を要するものである。これは一般的にノウハウと呼ばれるものであるが一朝一夕で身につくものではなく、経験や理解度によって個人差があり、たとえノウハウをマニュアルとして整理した場合でも、情報量が膨大になるため、運転監視員一人ひとりが内容をすべて理解し、確実に実行することは容易でない。橋本市においても、監視員の技術力の差によって関係者への通報や初動対応が遅れる事例があるのが実情である。

そこで、現在利用中のクラウド監視システム内で提供されているサービスのひとつである「相関監視システム」に着目し、熟練者の思考回路を論理図として形式化することで、監視レベルの底上げと、見落とし等のヒューマンエラー防止を図った成果についてここで報告する。

2. 橋本市水道事業・相関監視システムについて

橋本市は、和歌山県の北東端に位置し、およそ 60,500 人の人口を有する都市である。橋本市水道事業は、市内中央部を東西に流れる紀の川を原水とする橋本市浄水場により、一日平均 22,000m³（令和 3 年度）を給水する水道事業体である。高低差の多い地形に対応するため、令和 3 年度末時点で 29 か所の送水設備、36 か所の配水施設（流量監視盤 4 か所を含む）を市内各所に配置しており、この内 17 か所の送水設備、22 か所の配水施設についてクラウド監視システムによる運転監視を行っている。

相関監視システムとは、クラウド監視システムに搭載されている機能のひとつであり、サーバーに蓄積されたデータを基にサーバー内の仮想端末で演算を行うことにより、従来の故障警報や上下限警報とは異なる複雑な警報項目を利用者が自由に作成できる機能である。演算式の作成方法は、あらかじめ用意された演算子を組み合わせしていくものであるため、プログラム言語を扱わず視覚的に作業することが可能である。

3. 重要項目の選定

相関監視システムの導入によって形式化を図る熟練者のノウハウは、通常と異なる状態を発見すること、緊急の対応が必要な異常を通知すること、計測機器のない施設の状態を可視化すること、の 3 点である。これらを重要項目と定め、クラウド監視画面内で表現することを目指した。また、複数の施設に適用できるように、演算のパターンを汎用的な形で作成するよう配慮した。各重要項目に対応する対応策の概要を表 1 に示す。

表 1 重要項目と対応策の概要

重要項目	対応策の概要
通常と異なる状態の発見	① 送水ポンプ運転時間の管理 ② 深夜流量の監視 ③ 残留塩素の管理
緊急の対応が必要な異常の通知	④ 断水またはオーバーフロー発生のおそれを通知 ⑤ 配水流量の急激な変化を通知 ⑥ ヒューマンエラーの防止
計測機器のない施設状態の可視化	⑦ 水位計を持たない配水池の水位予想

4. 演算パターンの作成と運用結果

表 1 に示す 7 通りの対応策について、それぞれの考え方と作成した演算パターンの図を順に述べる。また、一部運転パターンについては、実際に運用している中で発生した課題についても併せて述べている。

① 送水ポンプ運転時間の管理

送水ポンプの運転時間が長すぎる、または短すぎる場合に警報を発信し、運転監視員に確認を促すものである。演算パターンは、一日の累積運転時間を評価するものと、一回の運転時間を評価するものの 2 種類作成し、後者については、異常認識までの判定時間を水需要の多い時間帯と少ない時間帯で区別できるようにしている。

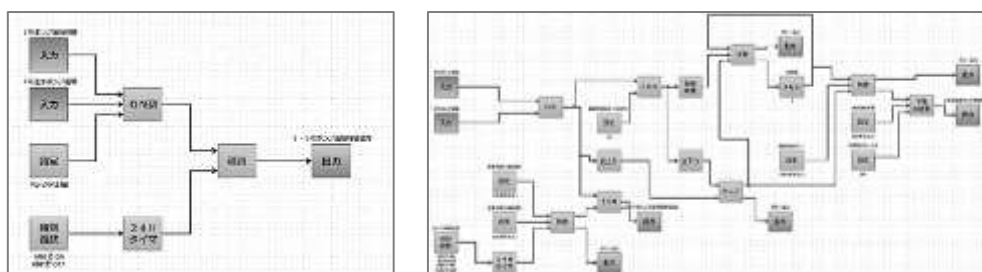


図 1 一日累積ポンプ運転時間 (左) 長・短時間運転警報 (右)

② 深夜流量の監視

橋本市では通常、午前 3 時から午前 4 時の間に配水流量が最小となる。この 1 時間において配水流量が指定値を下回らなかった場合に警報を発信し、異変を知らせるものである。深夜流量の増加は小規模な漏水を示唆している場合があり、人の判断では気づきにくいような、月単位や年単位におよぶ緩やかな変化も見逃すことなく監視できる。

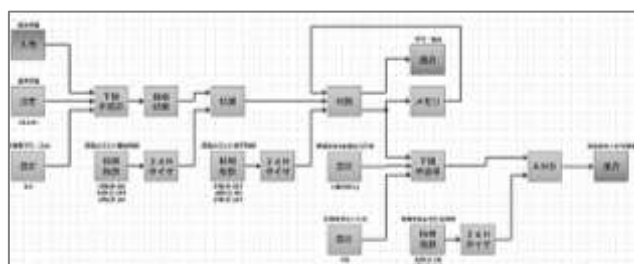


図 2 深夜流量増加警報

③ 残留塩素の管理

配水池や中継ポンプ場の残留塩素濃度は、流入があるときに上昇し、流入がないときに低下する動きをしている。原水の水質変化や温度変化によって残留塩素の保持性が悪化した場合には流入停止中の残留塩素減少幅が大きくなるため、この減少幅を利用して給水末端の残留塩素低下を予報するものである。季節に応じて目標残塩値を下げていく段階では、想定通りの残留塩素低下も異常として誤検知してしまうため、適切な判定値にその都度修正する必要がある点が難点である。

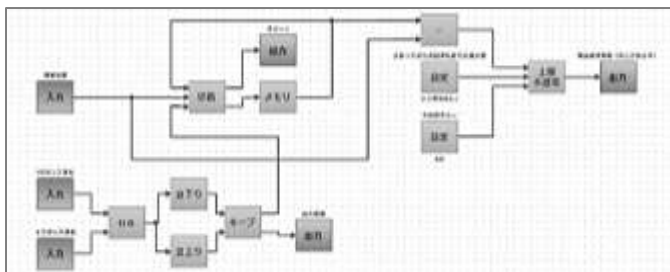


図3 残留塩素低下予報

④ 断水またはオーバーフロー発生のおそれを通知

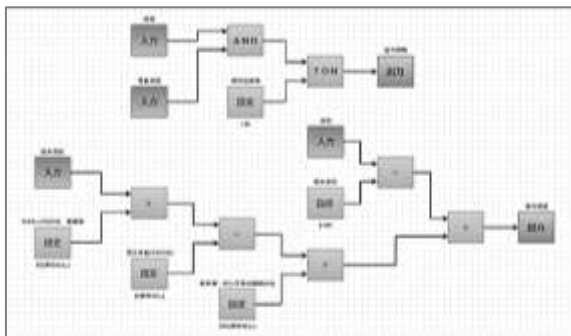


図4 停電時断水予報

停電や機器故障により配水池への送水ができないとき、断水のリスクが発生する。断水発生までの残り時間がひと目で分かれば施設間の緊急性比較が即座に行えるため、対応の優先順位を定めるのに効果的である。この演算パターンは、異常発生により流入が止まらない場合のオーバーフロー時刻予想にも応用することが可能である。

⑤ 配水流量の急激な変化を通知

配水流量に急激な変化が発生したときには大規模漏水や消火活動が想定されるが、それが上限警報設定値を超過しない場合には警報発信されず、異常発見が遅れる可能性があった。この演算パターンでは、5分毎の平均流量に一定以上の差が生まれたときに警報を発信する。一部配水系統にはマンションの受水槽が存在し、受水槽流入時に配水流量が大幅に変化することが分かっているため、受水槽流入による配水流量変化を警報から除外するように試みているが、異常との区別が完全にはできず、受水槽流入時にも度々警報が発信されてしまうところに改善の余地がある。

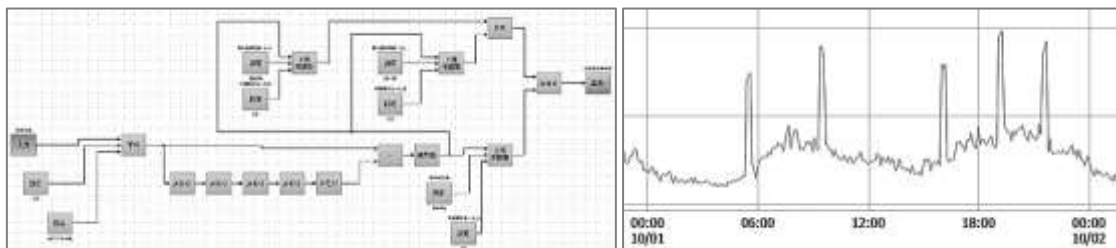


図5 配水流量変化率異常 (左) 受水槽がある系統の配水流量トレンドグラフ (右)

⑥ ヒューマンエラーの防止

水道施設の点検を行ったとき、送水ポンプ等の機械を手動で操作した後に自動運転に戻し忘れてしまう事例が稀に発生している。この演算パターンは、既定の水位等で機械が正しく発停しているかどうかを判定している。警報設定器等の故障により自動運転しない場合も検知可能である。

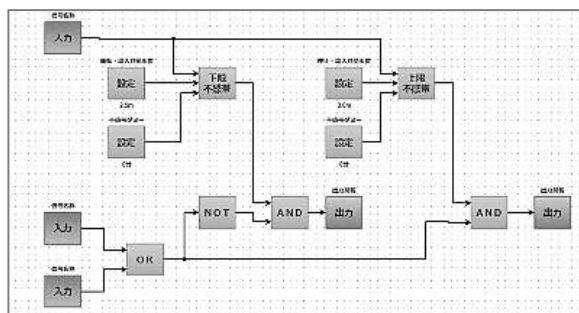


図6 運転・停止水位異常

⑦ 水位計を持たない配水池の水位予想

小規模な配水池には水位計や配水流量計等の計測機器が設置されておらず、機器の故障や発停、電極による水位異常警報のような、必要最小限の監視項目で運用している施設がある。このような施設について、計算によって求めた模擬の配水流量を与えることにより配水池水位を演算させれば、あたかも水位計が存在するかのように画面表示させることができるため、配水池の状態が視覚的に理解できるようになる。

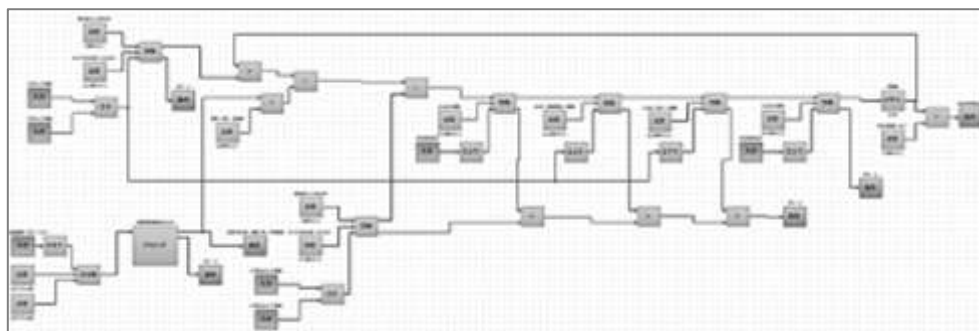


図7 配水池水位予想

5. まとめ

関連監視システムを活用することにより、熟練者のノウハウ、特に異常の判断基準について形式化することができ、画面上に表現して共有することができるようになった。しかしながら演算パターンは完全なものではないため、関連監視システムによる警報は異常発生を直接的に示すものではなく、異常判定すべきタイミングを運転監視員に知らせるものとして最大限に利用することが適切であり、異常が実際に発生しているのかどうかについては、人が慎重に判断する必要がある。

6. おわりに

現在は演算パターンを人が考え、人が設定した異常判定値を使用しているため、演算パターンの最適化や異常判定値の更新を継続的に実施していく必要があるが、人工知能技術の発展により、蓄積したデータから異常判定値を人工知能が定め、さらには演算パターンの作成までも人工知能が担うことができるようになっていくような、将来の技術革新に期待している。

千苺貯水池におけるラフィド藻の動態および浄水処理特性

神戸市水道局 ○大森惇平 上鶴哲也 戎紫穂 清水武俊 小田琢也

1. はじめに

ラフィド藻は鞭毛を有する比較的大型の植物プランクトンであり、近年、本生物の増殖に伴う浄水の消毒副生成物（ハロ酢酸、特にトリクロ酢酸：以下 TCAA と表記）濃度の上昇が報告されている¹⁾。本生物が細胞内に消毒副生成物の前駆体を多く含有していることが、その原因として考えられている。

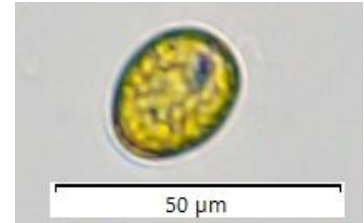


図 1. *Merotrichia capitata*

神戸市の千苺貯水池では、令和 2 年の秋季（9 月 7 日から 12 月 28 日）に初めてラフィド藻の *Merotrichia capitata*（以下メロトリキアと表記）の増殖が確認された（図 1）。増殖期間中の最大検出数は、取水塔前表面水で 2000 細胞/mL、原水で 230 細胞/mL であった。これまでの研究では、ラフィド藻 1 細胞当たりの TCAA 生成能は高く、原水中の細胞数が少数でも、浄水における TCAA 濃度が水質基準値を超過する恐れがあることが報告されているが、国内における報告事例は少なく、実態は明らかではない。

そこで本研究では、令和 2 年から 3 年にかけて貯水池における本生物の挙動を調査するとともに浄水処理における TCAA 除去特性の把握を進めた。その結果、リスク管理上で必要となる除去率や水質基準を超過しないための細胞数などが明らかとなったので報告する。

2. 方法

2-1. *Merotrichia capitata* の日周期鉛直移動

貯水池において毎週モニタリングを行い、メロトリキアが増殖ピークとなった令和 2 年 11 月に千苺貯水池及び千苺浄水場にて調査を実施した。千苺貯水池取水塔前において水深別試料を採水し、1 mL の試料水を界線入り枠付き計数板（離合社）に封入し、光学顕微鏡を用いて細胞数を計数した。また同様に千苺浄水場原水を 4 時間ごとに採水、計数し、メロトリキアの細胞数の日周変動を調査した。

2-2. *Merotrichia capitata* の 1 細胞当たりの TCAA 生成能

メロトリキアが増殖期間中の令和 3 年 11 月 1 日および 11 月 8 日に取水塔前表面水を採水し、①孔径 5.0 μm のろ紙を用いて自然ろ過を行ったものおよび②無処理水について、それぞれ 24 時間後の塩素濃度が 1~2 mg/L となるように次亜塩素酸ナトリウムを添加し、TCAA 生成能を LC-MS-MS 法により測定した。②から①を差し引いた濃度を藻体内の TCAA 生成能とし、この値を細胞数で除したものを 1 細胞当たりの TCAA 生成能として算出した。

2-3. *Merotrichia capitata* および TCAA 生成能の凝集沈澱除去性

メロトリキアおよび TCAA 生成能の凝集沈澱による除去性をジャーテストにて調査した。メロトリキアが増殖した令和 3 年 11 月 1 日に取水塔前表面水を採水後、PAC を用いてジャーテストを実施した。なお、PAC 注入率は本生物が発生期間中の千苺浄水場の運転条件に合わせて 26 mg/L とした。その後、無処理の表面水とジャーテスト後の上澄み液（沈澱処理水）について、検鏡による細胞数の計数と TCAA 生成能の測定を行い、凝集沈澱による除去率を算出した。

2-4. 浄水処理工程における TCAA 生成能の除去特性

千苺浄水場での TCAA 生成能の除去性を調査した。メロトリキアが検出された令和 2 年～3 年度の期間で千苺浄水場の原水、活性炭処理水、浄水および給水栓における TCAA 生成能を測定し、除去率を算出した。

2-5. TCAA が水質基準超過する恐れのある *Merotrichia capitata* の細胞数の推定

2-2 から 2-4 までの調査で得られた結果を基に、浄水において TCAA が水質基準を超過する場合の原水中におけるメロトリキアの細胞数の推定を行った。

3. 結果および考察

3-1. *Merotrichia capitata* の日周期鉛直移動

増殖ピーク時の 11 月 9 日午前 11 時に取水塔前における鉛直分布を調査した。その結果、本生物は日中、水深が浅い表層に集中して分布していることが明らかになった(図 2)。この結果を基に取水口の位置を下げたところ(4 m と 9 m 併用から 9 m 単独に変更)、原水中のメロトリキアの細胞数は低減したことが確認された。

さらに、水深 9 m の取水口から取水した原水を 4 時間おきに採水し、細胞数の時間変動を調査した(図 3)。原水中のメロトリキアの細胞数は 15 時に最小(23 細胞/mL)、23 時に最大(130 細胞/mL)となり、夜間には日中の約 5 倍の細胞数となった。この結果からメロトリキアは鉛直方向に日周期鉛直移動していることが明らかになった。

ラフィド藻の *Gonyostomum semen* および *Chattonellaz* 属は鞭毛を用いた遊泳により、日周期鉛直移動することが報告されているが^{2), 3), 4)}、メロトリキアの鉛直移動に関する報告は本件が初めてである。

メロトリキアにおいても他のラフィド藻と同様に日射量や栄養塩類の影響により、日周期で鉛直移動しているものと考えられる。また今回の調査結果より、貯水池においては鉛直移動を考慮した選択取水を行うことで原水に流入するメロトリキアの低減が可能であることが確認された。

3-2. *Merotrichia capitata* の 1 細胞当たりの TCAA 生成能

取水塔前表面水を採取し、メロトリキア 1 細胞当たりの TCAA 生成能を測定した(表 1)。TCAA 生成能は 11 月 1 日採水試料では 0.08 ng/細胞、11 月 8 日採水試料では 0.11 ng/細胞となり、平均は 0.10 ng/細胞であった。また藻体外の

表 1. *Merotrichia capitata* 1 細胞当たりの TCAA 生成能

試料	採水日	TCAA生成能(mg/L)			細胞数 (細胞/mL)	1細胞当たりの 生成能(ng/細胞)	平均 (ng/細胞)
		ろ過前	ろ過後 (藻体外)	差 (藻体内)			
取水塔前 表面水	11/1	0.043 (100%)	0.033 (77%)	0.010 (23%)	130	0.08	0.10
	11/8	0.037 (100%)	0.031 (84%)	0.006 (16%)	54	0.11	

TCAA 生成量の割合は 11 月 1 日試料で 77%、11 月 8 日試料で 84%と高く、増殖期間中においても TCAA 前駆物質のほとんどが藻体外(溶存態)として存在していることが明らかになった。

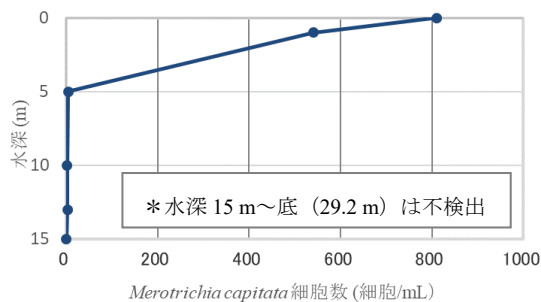


図 2. 水深別の *Merotrichia capitata* の細胞数 (取水塔前、11 月 9 日 11:00)

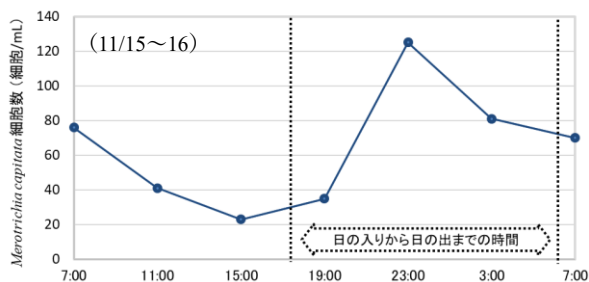


図 3. 原水における *Merotrichia capitata* 細胞数の日変動

3-3. *Merotrichia capitata* および TCAA 生成能の凝集沈澱除去性

ジャーテスト後の沈澱処理水とフロック中のメロトリキアの顕微鏡写真を図 4 に、ジャーテスト前後のメロトリキア細胞数および TCAA 生成能の除去率を表 2 に示す。沈澱処理水での細胞数は非常に少なく、ほとんどの細胞は PAC の添加により除去され、除去率は 97%であった。またフロック中のメロトリキアは大部分が死滅し、細胞が破裂していたものの、内容物が拡散することなく、塊状のまま、フ

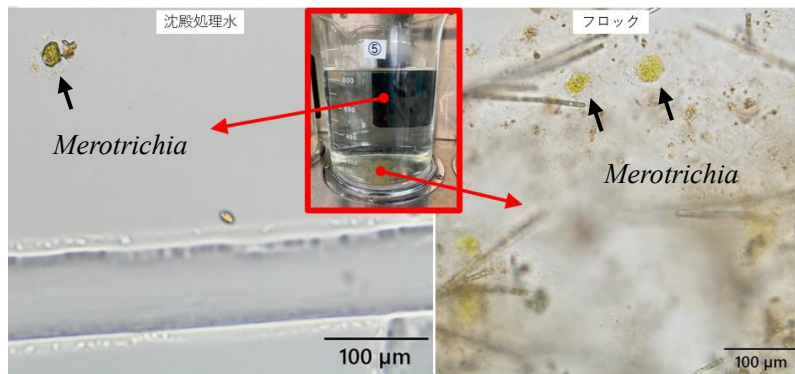


図 4. ジャーテスト後の顕微鏡写真

ロック内に捕捉されていた。TCAA 生成能の除去率も 70 %と

表 2. *Merotrichia capitata* 細胞数と TCAA 生成能の凝集沈澱除去率

	採水日		凝集沈澱前	凝集沈澱後	除去率(%)
			取水塔前表面水	2021/11/1	細胞数(細胞/mL)
		生成能(mg/L)	0.043	0.013	70

高く、メロトリキアの細胞だけでなく、溶存態の前駆物質も併せて除去されたものと考えられた。以上の結果から、沈澱処理が TCAA 生成能の除去に非常に有効であることが明らかになった。

3-4. 浄水処理工程における TCAA の除去特性

千苺貯水池においてメロトリキアが検出され始めてから 2 年間の浄水場処理工程水の TCAA 処理状況を表 3 に示す。

表 3. 千苺浄水場における TCAA の処理状況

採水日	原水の細胞数 (細胞/mL)	TCAA生成能(mg/L)		TCAA(mg/L)		活性炭による 除去率 (%)	浄水処理全体の 除去率 (%)	使用した 活性炭槽
		原水	活性炭 処理水	浄水	給水栓 (末端)			
2020/6/8	0	0.030	0.024	<0.003	0.003	20	>90	3・4号槽
2020/7/6	2	0.049	0.028	0.003	0.006	43	94	3・4号槽
2020/11/9	230	0.075	0.032	0.003	0.006	57	96	2・4号槽
2021/2/8	0	0.036	0.027	0.004	0.008	25	89	3・4号槽
2021/5/10	0	0.069	0.049	<0.003	0.005	29	>96	3・4号槽
2021/7/5	0	0.063	0.045	<0.003	0.006	29	>95	3・4号槽
2021/10/4	0	0.060	0.050	0.003	0.007	17	95	3・4号槽
2022/2/7	0	0.036	0.029	<0.003	0.006	19	>92	3・4号槽

原水の TCAA 生成能は 0.030 から 0.075 mg/L で変動しており、メロトリキアが多数検出された際には生成能も高くなった。ただし、メロトリキアが検出されていない時でも生成能が高くなるケースが確認された。

粒状活性炭処理による除去率は 17~57%であった。3・4 号槽併用時の除去率は 17~43%であった一方、2・4 号槽併用時の除去率は 57%と最も高かった。神戸市で粒状活性炭槽を 4 基有しており、1・2 号槽は通水時間が短く、物理吸着能が維持されているが、3・4 号槽は通水時間が長いため、物理吸着能が低下している。以上の結果から TCAA の除去には物理吸着が有効であることが示唆された。

また原水 TCAA 生成能と浄水 TCAA から浄水処理全体の TCAA 除去率を算出した。千苺浄水場では、原水⇒粒状活性炭⇒沈澱⇒ろ過により処理を行っているため、粒状活性炭・凝集沈澱・急速ろ過処理を組み合わせることにより TCAA を 89%以上、除去できることがわかった。

各工程処理における TCAA 除去率は、粒状活性炭処理において 20～60%、沈澱・ろ過処理において 40～80%であった。今回の調査により、沈澱処理がメロトリキア増殖時の TCAA 除去に最も有効であることが明らかになった。

3-5. TCAA が水質基準超過する恐れのある *Merotrichia capitata* の細胞数の推定

3-2 から 3-4 の結果を用いて、浄水において TCAA が水質基準 (0.03 mg/L) を超過する場合の原水中のメロトリキアの細胞数 X (細胞/mL) を次式により算出した。

計算には、メロトリキアの 1 細胞あたりの TCAA 産生能 0.10 ng/細胞 (調査: 3-2)、TCAA の凝集沈澱による除去率 70% (調査: 3-3) を用いた。また夏季から秋季にかけて、原水中のメロトリキアの存在の有無に関わらず、TCAA が比較的高濃度で検出されているため、今回の計算では 3-4 の調査で得られたメロトリキア非検出時の原水における TCAA 生成能の最高濃度 (0.069 mg/L) も加算した。

$$[0.10(\text{ng}/\text{細胞}) \times X(\text{細胞}/\text{mL}) / 1000 + 0.069(\text{mg}/\text{L})] \times (1 - 0.7) = 0.03(\text{mg}/\text{L})$$

計算の結果、X=310 となり、水質基準を超過しないための原水中のメロトリキアの最大許容密度は 310 細胞/mL であることが明らかになった。なお、上記計算においては、沈澱処理のみを考慮しており、活性炭処理・ろ過による除去を加味していない。したがって、実処理において許容可能なメロトリキアの細胞数はさらに大きくなるものと考えられる。

4. まとめ

貯水池でのメロトリキアの鉛直分布を調査し、他のラフィド藻と同様にメロトリキアが日周期鉛直移動していることが明らかとなった。またその特性から選択取水により原水に流入するメロトリキアを低減できることがわかった。

メロトリキアおよび TCAA 生成能の凝集沈澱除去性や浄水処理における TCAA の処理状況について調査したところ、沈澱処理が TCAA 生成能の除去に最も有効であることが明らかになった。なお千苺浄水場においてはメロトリキアが異常増殖した場合にも物理吸着能に優れた 1・2 号槽の稼働により、除去性能をさらに向上させることが可能である。

千苺貯水池においてメロトリキアが検出され始めた令和 2 年から現在まで浄水 TCAA 濃度の大幅な上昇は確認されていないが、今回の調査結果より選択取水や活性炭・凝集沈澱処理の強化により十分に対応可能であると考えられる。メロトリキアの発生事例は少ないため、今後もデータを集積し、浄水処理のリスクを把握しながら良好な水道水の供給を図っていく。

5. 参考文献

- 1) 横井貴大ら (2021) ラフィド藻類の塩素処理による給水トリクロロ酢酸濃度の上昇及びその原因調査. 水道協会雑誌, 第 90 巻 第 1 号, pp1-8.
- 2) 古本 勝弘ら (2005) ラフィド藻 *Gonyostomum semen* のブルーム特性とその鉛直移動に関するメソコスム実験. 水工学論文集, 49, pp1189-1194.
- 3) 坂口 昌生ら (2017) 諫早湾における有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* 赤潮の発生状況とメソコスム内での日周鉛直移動. 日本プランクトン学会報, 64(1), pp1-10.
- 4) 竹本 陽一, 古本 勝弘 (2002) ラフィド藻 *Gonyostomum semen* の日周期鉛直移動特性. 土木学会第 57 回年次学術講演会要旨集, pp409-410.

オゾン CT 値による GAC 後生生物の不活化能評価について

大阪市水道局 ○立石 浩之
船附 壮一
鬼丸 祐二
鶴田 朋子
今中 壮一

1. はじめに

本市の浄水処理システムにおける GAC 吸着池は、前段に位置する後オゾン接触池と相互的に機能することで、より安全で良質な水道水質を確保する上で重要な役割を担っている。その一方で、GAC 吸着池槽内では線虫・ワムシのような後生生物が繁殖し、水道水へ漏出することが懸念されている。また、三輪ら¹⁾は GAC 吸着池から線虫やワムシが漏出する現象は、オゾン-GAC 処理である程度想定される事象であるが、漏出を抑制するためには GAC 層内での増殖を抑制することが重要であり、その対策として GAC 吸着池直前におけるオゾン処理が有効な手段であるとしている。

後生生物が漏出すると水道水の性状だけでなく、後生生物が保有している細菌により生物学的な安全性も損なわれる恐れもあることから、本市では漏出対策として後オゾン処理におけるオゾン CT 値を $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ 確保することで、GAC 吸着池内への流入数を抑制するとともに、原則 72 時間周期の空気洗浄と遊離塩素を含む浄水による逆流洗浄によって、GAC 吸着池からの後生生物の排出を実施している。

しかし、後生生物の不活化能については、塩素消毒による線虫への影響調査が室内実験において行われているものの、本市の浄水処理システムを反映した報告は見当たらないことから、GAC 吸着池から漏出する線虫・ワムシを捕集し、溶存オゾン濃度が検出される条件下でオゾン処理を実施し、オゾン CT 値と線虫・ワムシの不活化効果について室内実験を実施した。また、後オゾン接触池におけるオゾン CT 値と GAC 吸着池からの後生生物の漏出数の相関について、新実験施設を用いて調査を行ったので、これらの結果についてもあわせて報告する。

2. 調査方法等

2.1 本市の浄水処理フロー

本市の浄水処理フローを図-1 に示す。本市では、急速砂ろ過池の前後で 2 段のオゾン接触池を設けており、中オゾン処理ではマンガン酸化処理に加え、一部の有機物を易生物分解性に改善する役割を担い、後オゾン処理ではかび臭物質の分解と中オゾンで処理できなかった有機物の易生物分解への分解に加え、線虫・ワムシのような後生生物を不活化する役割を担っている。なお、後オゾン接触池では、オゾン CT 値が $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ となるよう、溶存オゾン濃度 $0.12\sim 0.15\text{mg/L}$ 程度、残留するように制御を行っている。

また、GAC 吸着池内での後生生物の増殖を抑制するために、72 時間周期で浄水による洗浄を実施しており、GAC 吸着池からの線虫・ワムシの漏出数が 20 匹/L を超過する場合には洗浄周期を短縮することとしている。

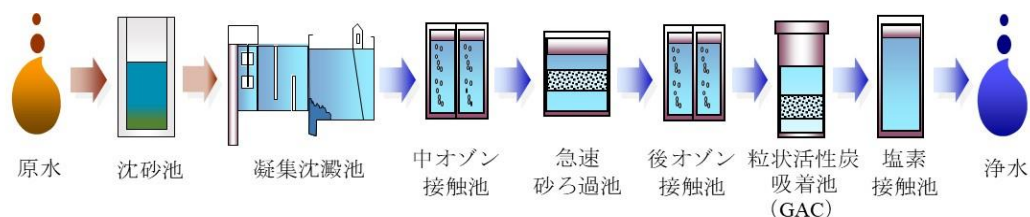


図-1 大阪市の浄水処理過程

2.2 試供生物

2.2.1 線虫

柴島浄水場下系 GAC 吸着池から GAC 処理水 3L を採水し、1 μ m メンブレンフィルターで 1mL まで濃縮したものを、GAC 処理水と pH 値が等しい 1mM リン酸緩衝液中に移し替えたものを調査に用いた。なお、リン酸緩衝液の液温は 21 \pm 1 $^{\circ}$ C であった。

2.2.2 ワムシ

柴島浄水場下系 GAC 吸着池から GAC 処理水 5L 採水し、0.45 μ m メンブレンフィルターで 5mL まで濃縮したものを LE 培地²⁾ 500mL に移し替え 30 $^{\circ}$ C の恒温槽で 100 匹/mL 以上になるまで増殖させたものを調査に用いた。

LE 培地の調製については、90 $^{\circ}$ C で 2 時間乾燥させたレタス及びゆで卵の卵黄を別々の 1L ビーカーにそれぞれ 3g 取り、リン酸緩衝液 1L を入れて、約 30 分間煮沸させ減少した水分は精製水で補充した。溶液は冷却した後、GF/B ろ紙でそれぞれろ過し、ろ液を等量混合したものに、水酸化ナトリウム水溶液で pH7.0 に調整した。溶液は、耐圧ビンに分取し、121 $^{\circ}$ C で 20 分間オートクレーブ滅菌し、これを LE 培地とした。培地は冷蔵保存し、調製後 2 か月以内を目安に使用した。なお、用いたリン酸緩衝液 (pH 7.2) は、リン酸二水素カリウム 42.5g を精製水 500 mL に溶解させ、水酸化ナトリウム水溶液を滴下して pH を 7.2 に調整した後に精製水を加えて 1L としたものを 1mL 分取し、さらに精製水により 1L とした後に 121 $^{\circ}$ C で 20 分間オートクレーブを用いて滅菌を行った。

2.3 オゾン処理実験装置による不活化実験

2.3.1 オゾン処理実験装置

オゾン処理については、酸素発生器からの酸素ガスをオゾン処理実験装置 (ラウンドサイエンス社製 WAT-08) に供給し、オゾンを生成し、バッチ式でオゾン処理を行った。

2.3.2 線虫

1) オゾン処理条件

1mM リン酸緩衝液 (pH6.8、20 $^{\circ}$ C) 5L に濃度 24mg/L のオゾンガスを流量 50mL/min で 30 分間注入し、溶存オゾン濃度約 1.5mg/L のオゾン溶液を調整した。その後、実施の後オゾン接触池におけるオゾン接触時間である 20 分間接触させた場合に、CT 値 1.5mg-O₃/L \cdot min 及び 2.5mg-O₃/L \cdot min となるよう段階的に希釈したオゾン溶液を調製した。

2) 調査手順

線虫溶液 (100 匹程度/mL) をスライドガラスに移し、光学顕微鏡で生存・死滅した線虫を計数した後、1mM リン酸緩衝液を入れた洗びんでビーカーに移した。さらに、1mM リン酸緩衝液で 200mL にメスアップしたものを供試水とし、オゾン溶液を添加しスターラーで 20 分間攪拌接触させた。

1%チオ硫酸ナトリウムを用いて溶存オゾンを分解した後に、孔径 1 μ m のメンブレンフィルターでろ過し、フィルターの上澄み液約 1mL をスライドガラスに移し、光学顕微鏡で生存・死滅した線虫を計数した。また、実験操作による誤差も評価するために、CT 値が 0 となる条件で一連の操作を行うブランクテストも実施した。

2.3.3 ワムシ

1) オゾン処理条件

50mL の比色管に培養したワムシ溶液 1mL を入れ、1mM リン酸緩衝液で 50mL としたものに、濃度 5g/m³ のオゾンガスを流量 10mL/min の割合で注入した。あらかじめワムシ溶液に同じ条件

でオゾン処理を行い、オゾン接触時間と溶存オゾンの関係からオゾン CT 値を計算し、CT 値が 1.5mg-O₃/L・min と 2.5mg-O₃/L・min になる接触時間を求めた。

2) 調査手順

LE 培地で培養したワムシ溶液 1mL (100 匹/mL 以上) をスライドガラスに移し、マイクروسコープで生存・死滅したワムシを計数した後、1mM リン酸緩衝液で洗浄しながら 50mL 比色管に移し全量を 50mL とした。

その後、50mL 比色管に散気管を挿入してオゾン処理を行い、所定の接触時間後に 1%チオ硫酸ナトリウムを用いて溶存オゾンを分解し、5μm のメンブレンフィルターでろ過し、フィルターの上澄み液約 1mL をスライドガラスに移し、マイクروسコープで生存・死滅したワムシを計数した。また、実験操作による誤差も評価するために、CT 値が 0 となる条件で一連の操作を行うブランクテストも実施した。

2.4 新実験施設における後生生物漏出調査

柴島浄水場最適先端処理技術実験施設(以下、新実験施設とする)の A・B 系の各後オゾン処理槽・GAC 吸着池を使用し、オゾン CT 値と GAC 吸着池からの後生生物漏出数の関係を調査した。前処理及び測定は、試料水 1L を孔径 0.45μm のメンブレンフィルターでろ過し、フィルター上の後生生物を遠心分離にて沈降させ、0.5mL に濃縮したものを顕微鏡にて検鏡した。なお、調査は後生生物が活性化する水温 20~25°C 時に実施し、調査期間や採水間隔を図-2 に示す。

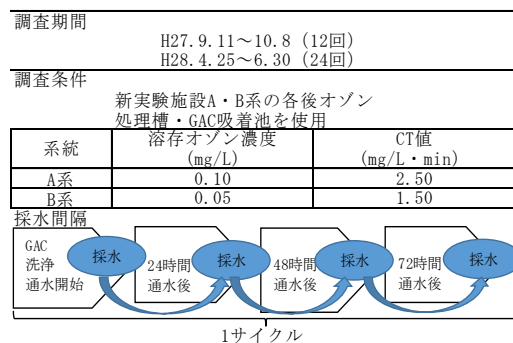


図-2 実験条件

3. 調査結果

3.1 オゾン処理実験装置による不活化実験結果

3.1.1 線虫

オゾン CT 値と線虫生存率の関係を表-1 に示す。表中の回収率は、オゾン処理前の生死合計数に対するオゾン処理後の生死合計数の割合を表しており、生存率はオゾン処理前の生存数の割合を回収率により補正を行った値となっている。生死判定は、動きのあるものを生存、動きがなく一文字に伸びているものを死滅しているものとした。なお、測定は各条件 3 回測定しており、ブランクテストの結果は回収率:93.3%、生存率:90.2%となった。オゾン CT 値 1.5mg-O₃/L・min では生存数が 92.0%と、1 割程度しか不活化されなかったが、オゾン CT 値 2.5mg-O₃/L・min に処理条件を強化すると生存率は 6.9%まで低下しており、9 割以上の線虫が不活化されることがわかった。

表-1 CT 値と線虫生存率の関係

線虫	CT=1.5		CT=2.5	
	回収率	生存率	回収率	生存率
RUN1	101.6	93.9	87.3	5.0
RUN2	95.3	87.7	102.9	6.5
RUN3	93.6	94.3	99.5	9.2
平均	96.8	92.0	96.6	6.9

3.1.2 ワムシ

オゾン CT 値とワムシ生存率の関係を表-2 に示す。表中の回収率及び生存率は、前項の線虫と同様の算出方法で求めた。生死判定は、動きのあるものを生存、動きがないもの、もしくは体内の臓器が無いものを死滅しているものとした。なお、測定は各条件 3 回測定しており、ブランクテストの結果は回収率:71.1%、生率:81.6%となった。

表-2 CT 値とワムシ生存率の関係

ワムシ	CT=1.5		CT=2.5	
	回収率	生存率	回収率	生存率
RUN1	91.9	13.0	80.1	1.9
RUN2	72.3	7.6	76.8	4.0
RUN3	88.4	14.4	91.4	0.0
平均	84.2	11.7	82.8	2.0

オゾン CT 値 $1.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ では生存数が 11.7%となり、線虫よりも 8 割ほど低い生存率であった。また、CT 値 $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ まで処理条件を強化すると、生存率は 2.0%まで低下し、ほとんどのワムシが不活化されることがわかった。また、線虫と比較すると、ワムシのオゾン耐性は低いことがわかった。

これらの結果から、CT 値 $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ を確保することで、GAC 吸着池に流入する後生生物数を抑制できることがわかった。しかし、丁ら³⁾は線虫類と細菌との間に捕食と被食関係のみならず、病原性細菌の増殖を助ける等の関係があり、線虫類等の微小動物が水道水中に漏出するリスクを指摘していることから、本市の高度浄水処理システムにおける後オゾン接触池 - GAC 吸着池からの後生生物の漏出状況に関する調査を行うこととした。

3.2 新実験施設における後生生物漏出調査結果

新実験施設において実施した GAC 処理水中の線虫・ワムシの漏出数調査 (N=36) の結果を表-3 に示す。オゾン CT 値を $1.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ として運用した場合、平均値が 7.1(匹/L)、最高値が 33(匹/L)であったのに対し、オゾン CT 値を $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ となるように溶存オゾン濃度を高めると、平均値が 3.1(匹/L)、最高値が 8(匹/L)と後生生物が活性化する水温期においても、顕著な生物増加が認められなかった。

表-3 CT 値と GAC 吸着池からの後生生物漏出数 (匹/L)

CT値 ($\text{mg/L}\cdot\text{min}$)	最高	最低	平均
1.5	33	0	7.1
2.5	8	0	3.1

このように、溶存オゾン濃度の制御目標値を下げると後生生物の漏出数が増加することが確認されたことから、必要以上に後オゾン注入率を低下させると、給配水過程で残留塩素が消失する等の消毒効果を欠いた条件下が生じた場合には、線虫等が捕食した細菌の再増殖リスクが高くなることが懸念された。

4. まとめ

本調査により、次に示す知見を得ることができた。

- 1) オゾン CT 値と後生生物の不活化率の関係を調べたところ、オゾン CT 値が高くなるほど不活化率は高くなることがわかった。また、オゾン CT 値 $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ における不活化率は、線虫 93.1%、ワムシ 98.0%となった。
- 2) オゾン CT 値 1.5 及び $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ の条件下で GAC 吸着池からの後生生物の漏出数を調べたところ、オゾン CT 値を $2.5\text{mg-O}_3/\text{L}\cdot\text{min}$ 確保することで後生生物が活性化する水温期においても、漏出数を抑制することができた。
- 3) 溶存オゾン濃度の制御目標を下げると、GAC 吸着池から後生生物が漏出し、給配水過程においても後生生物が検出される可能性が示唆された。
- 4) 本市の高度浄水処理システムにおいては、十分なオゾン CT 値を確保していることに加え、定期的な GAC 吸着池の洗浄や独自の管理基準に基づく洗浄も併行して実施していることから、現在のところ、浄水中への後生生物漏出リスクは十分低減されていると考えられた。

参考文献

- 1) 三輪雅幸、森實圭二、稲田康志：オゾン・粒状活性炭処理における微生物の挙動（続報）、大阪市水道局工務部水質試験所調査研究ならびに試験成績、41、pp. 48-61
- 2) Sudo, R. and Aiba, S.: Growth rate of Vorticellidae isolated from activated sludge, Jap. J. Ecol., 21, 70(1971)
- 3) 丁 国際：浄水処理における細菌の塩素消毒に及ぼす線虫類の影響、日本水処理生物学会誌、第 34 巻 第 4 号、pp. 253-265 (1998)

琵琶湖流入域における *Aphanizomenon gracile* の検出

○中村優（滋賀県企業庁）

はじめに

滋賀県企業庁は琵琶湖北湖を水源とする馬渕浄水場と吉川浄水場を有している。琵琶湖流入河川および琵琶湖において検出事例のない *Aphanizomenon gracile* を検出した。本発表は、*Aphanizomenon gracile* の検出状況およびジェオスミン産生について調査結果を報告する。

Aphanizomenon gracile の検出状況

2022年4月20日、長命寺川上流において、*Aphanizomenon gracile* を検出した（図1）。定期的に採水する地点付近で、滞留部に局所的なアオコ状を発見した。このプランクトンを持ち帰り、単離培養を行った。培養は、CT培地、23℃、2000 lux、明暗周期L:D=12:12、1ヶ月程度静置した。その間、このプランクトンは長命寺川上流の定期採水地点、馬渕浄水場原水においても少量観察された。その後、このプランクトンが *Aphanizomenon gracile* と同定された。

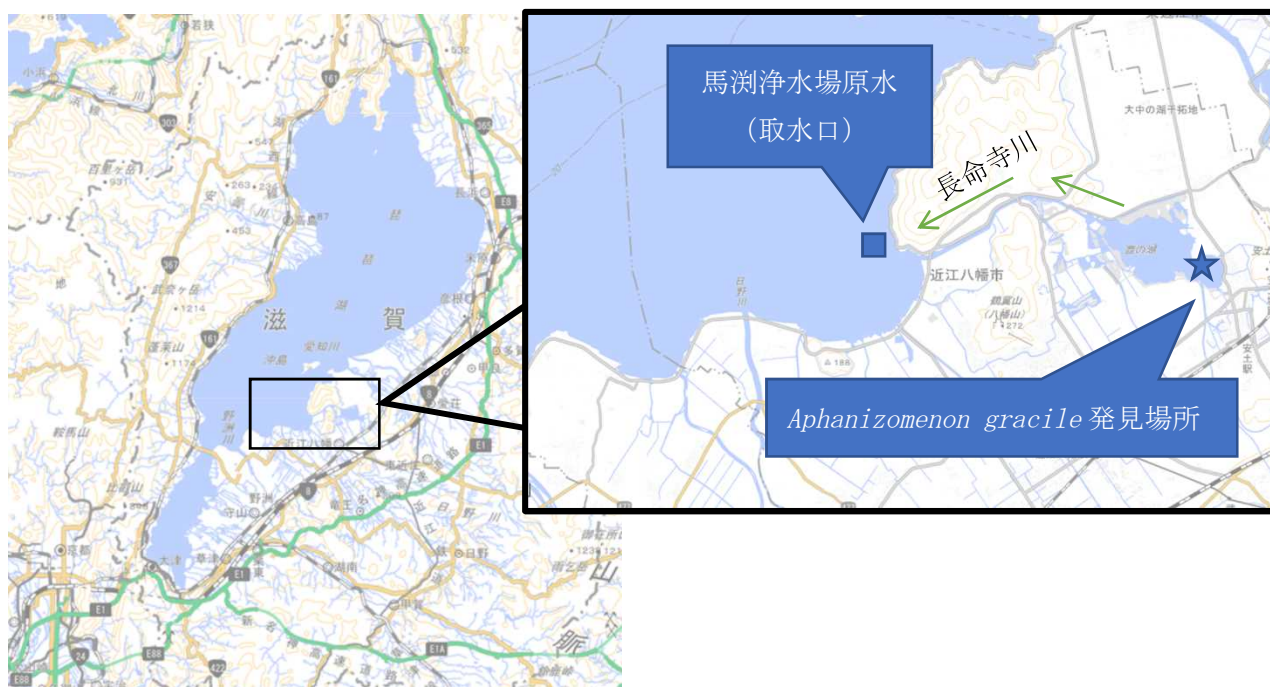


図1. 馬渕浄水場取水口と長命寺川の位置関係

Aphanizomenon gracile の特徴

図2に今回単離培養した *Aphanizomenon gracile* を示す。以下の形態的特徴が確認でき、*Aphanizomenon gracile* と同定した。

- ①トリコームは単独で浮遊し群体をつくらない。
- ②トリコームはまっすぐ、両端は丸く終わり尖ることがない。
- ③異質細胞は幅 4.1~4.8 μm 、長さ 5~6.5 μm 、長球形である。
- ④アキネートは幅 4.8~8.3 μm 、長さ 13.4~17.9 μm 、長楕円形ないし長円筒形、異質細胞から 1~5 個隔てたところに 1 個または 2 個並んで生じている。

また、対象株を国立保健医療科学院に調査依頼したところ、遺伝子解析の結果からも *Aphanizomenon gracile* であることが確認でき、かび臭原因物質産生関係遺伝子：*geoA* 遺伝子も確認できた。



図2. *Aphanizomenon gracile*

ジェオスミンの産生

PT-GC/MSにより、培養後の株と培養液 (Run1) のジェオスミン濃度を測定した。同時に、藻体内ジェオスミンを抽出する目的で次亜塩素酸ナトリウムを加えた検体 (Run2) も測定した。

Run1 は 1100 ng/L、Run2 は 1400 ng/L であった。このときの *Aphanizomenon gracile* は 24 糸状体/mL (1 糸状体=100 μm)。これより、今回採取した *Aphanizomenon gracile* はジェオスミンを産生し、次亜塩素酸ナトリウムを加えると藻体内のジェオスミンが溶出することが確認できた。浄水場の運用としては、前次亜の注入に留意が必要である。

一方で、採水地点のジェオスミンは 1~5 ng/L と低濃度であった。その後、6 月下旬からジェオスミン濃度が上昇するが、これは *Anabaena* sp. によるジェオスミンが主体と考えられる。今後、*Aphanizomenon gracile* が大増殖することがあれば、*Anabaena* 発生時期と差があったことから、警戒すべき期間が早まるおそれがある。

謝辞

本調査は、プランクトンの同定において滋賀県琵琶湖環境科学センター 藤原様、一瀬様、滋賀県立琵琶湖博物館 根来様、また遺伝子解析において国立保健医療科学院 浅田様にご協力いただいた。ここに謝意を表する。

阪神水道企業団における冬期カビ臭への対応

○井上 航（阪神水道企業団） 小林 正継（阪神水道企業団）
道下 健二（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、異臭味や各種化学物質の除去並びに消毒副生成物の抑制を目的に、オゾン・粒状活性炭処理による高度浄水処理を導入している。これまで、異臭味の中でもカビ臭の原因となる 2-メチルイソボルネオール（以下「2-MIB」という。）及びジェオスミンの原水中の濃度上昇は、主に春期から秋期に限られており、高度浄水処理導入以降は、カビ臭の発生に対して問題なく対応してきた。しかし、令和 3 年度冬期には、原水の 2-MIB が低水温期としては過去に例のない濃度で検出された。本稿では、企業団における本事象への対応経過及び対応後の課題並びに見直し内容について報告する。

2 企業団施設の概要

企業団の施設は、2 系統（淀川取水場－尼崎浄水場系統、大道取水場-猪名川浄水場系統）からなる。淀川右岸最下流域に位置する淀川取水場と大道取水場で取水した原水は、約 10 km離れた尼崎浄水場と猪名川浄水場（Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ系統）に導水され、両浄水場で浄水処理された後、受水事業者（神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市、宝塚市）に送配水される。

図-1 に企業団の浄水処理フローを示す。企業団では、凝集沈澱と急速ろ過の間にオゾン処理、粒状活性炭処理、再凝集処理を組み込んだ高度浄水処理を採用しており、平成 13 年度から全量が高度浄水処理水と

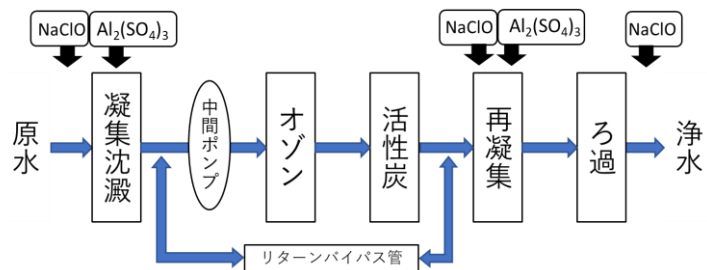


図-1 阪神水道企業団の浄水処理フロー

なっている。主な薬品注入として、原水の藻類の繁殖を抑制する前塩素注入、凝集剤として硫酸アルミニウムを使用した凝集沈澱処理、ブレイクポイント塩素処理のための中間塩素注入、ろ過直前の再凝集を目的とした硫酸アルミニウムの注入、送配水過程での残留塩素確保のための後塩素注入などを行っている。オゾン注入制御は、活性炭流入部での溶存オゾン制御である。

3 カビ臭の発生状況

図-2 に猪名川ⅠⅡ系原水中の 2-MIB 濃度の推移を示す。本稿では、藻体内外の 2-MIB を区別するため、ガラス繊維ろ紙でろ過したろ液内の 2-MIB を溶存態、ろ過によって除去された藻体内の 2-MIB を不溶存態と表記する。

原水中の 2-MIB 濃度は、1 月初旬～中旬は 10ng/L 以上であったが、1 月中旬頃から、2-MIB を生成することが指摘¹⁾ されている *Phormidium tenue* の減少とともに緩やかに低下傾

向となった。2月中旬には *Phormidium tenue* が検出されなくなり、例年並みの 3ng/L まで低下した。このことから、令和3年度冬期カビ臭の発生は *Phormidium tenue* が原因生物であると推測された。また、1月初旬は 2-MIB のうち溶存態の占める割合は 60%程度であったが、原因生物の減少とともに溶存態の占める割合が大きくなった。

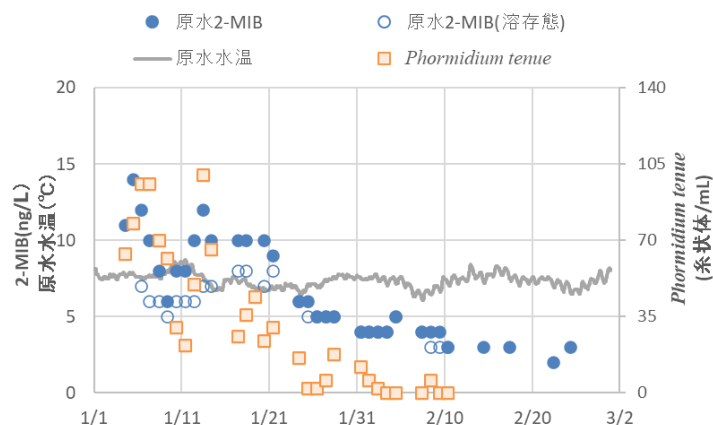


図-2 原水 2-MIB 濃度の推移 (猪名川 I II 系)

4 対応経過

表-1 対応期間中のモニタリング体制

4.1 モニタリング体制

本事象への対応期間中のモニタリング体制を表-1に示す。かび臭物質のモニタリングは原水、浄水に

	カビ臭物質		生物		臭素酸	臭気試験
	2-MIB	ジェオスミン	<i>Phormidium tenue</i>	<i>Synedra acus</i>		
原水	1回/日 (平日)	-	1回/日 (平日)	-	-	活性炭水を追加 1回/日 状況に応じて頻度増
工程水	適宜	-	沈澱水を対象に1回/日 (平日)	-	-	
浄水	1回/日以上	-	-	-	1回/日	

ついては1日に1回以上、工程水については処理効果の確認のため、条件変更時などに適宜、測定した。生物試験は *Phormidium tenue* に加え、前塩素注入停止の影響で処理性の低下が懸念された *Synedra acus* (ろ過障害生物) についても測定を実施した。また、オゾン処理の強化による影響を想定し、浄水の臭素酸の測定を実施した。臭気試験では通常の前水、浄水に加え、塩素臭の影響を受けない活性炭水の臭気試験を追加で実施した。

4.2 浄水処理

(1) 凝集沈澱処理

猪名川 I 系の凝集沈澱処理による不溶存態 2-MIB の除去の結果を図-3に示す。凝集沈澱処理では、かび臭原因生物の除去を目的に前硫酸アルミニウム注入率を上げ凝集沈澱の強化を図った。また、藻体内からの 2-MIB の流出を防止するため前塩素注入を停止した。これにより猪名川 I 系においては、不

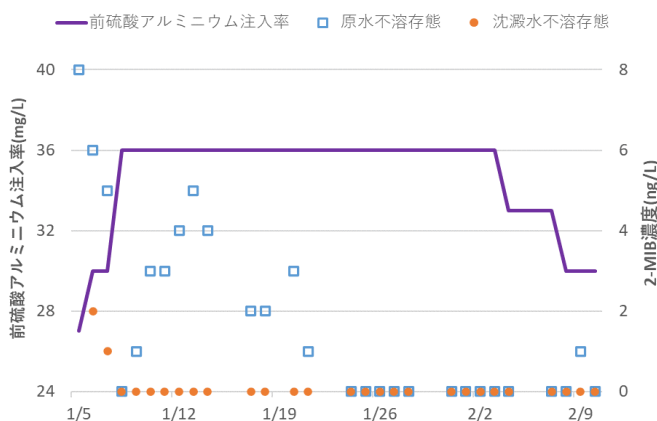


図-3 凝集沈澱による不溶存態 2-MIB 除去 (猪名川 I 系)

溶存態 2-MIB はほぼ全量が凝集沈澱処理によって除去された。しかし、1月中旬頃から原水中の溶存態 2-MIB の占める割合が増加したことに伴い除去率が低下し、凝集沈澱処理に

よる 2-MIB 低減効果は発揮されなくなった。一方で、前塩素注入停止の影響もあり *Synedra acus* (ろ過障害生物) の処理性が低下し、ろ過抵抗の上昇が早まったため、凝集沈澱処理の強化は継続して行った。

(2) オゾン・活性炭処理

猪名川 I 系のオゾン及び前塩素注入率、浄水 2-MIB 及び浄水臭素酸濃度の推移を図-4 に示す。対応の初期段階ではオゾン処理を強化するため、溶存オゾン濃度設定値を段階的に上昇させた。しかし、溶存オゾン濃度の管理による制御では、早急にオゾン注入率を上昇させることが困難であったため、オゾン注入率制御に切り替え、直接オゾン注入率を上昇させることでオゾン処理の強化を図った。本操作においてオゾン注入率 1.0mg/L 以上（最大 1.25mg/L）を維持することで、全系統で浄水 2-MIB 濃度を 2ng/L 以下にまで低減することができた。

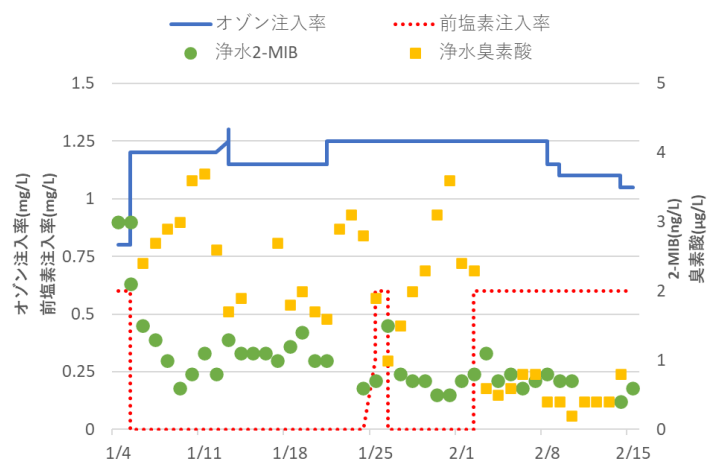


図-4 オゾン及び前塩素注入率、浄水 2-MIB 及び浄水臭素酸濃度の推移

また、今回確認できた活性炭処理での 2-MIB 除去率は 70%程度（オゾン処理水 3ng/L、活性炭水 1ng/L）であったが、冬期における経年炭での除去性は低下する傾向にある²⁾ため、今後は除去性の向上について検討が必要である。

4.3 対応による影響

(1) 前塩素停止時のアンモニア態窒素の影響

前塩素停止時に原水アンモニア態窒素が上昇した際には、低水温期の活性炭処理における生物処理性の低下のため、アンモニア態窒素がほとんど処理されず活性炭水のアンモニア態窒素が原水と同程度まで上昇した。これにより中塩素注入率が上昇し制御に支障をきたした。この頃には原水の不溶存態 2-MIB が低下していたため、一時的に前塩素注入を再開する対応を行った。

(2) 臭素酸の上昇

カビ臭対応期間中においては、オゾン注入率増加の影響により、臭素酸が企業団の水安全計画³⁾管理対応レベル 3 (3.1 µg/L 以上) に相当する濃度で検出された。また、前塩素注入を再開した期間においては臭化物イオンの次亜臭素酸化⁴⁾によるものと考えられる臭素酸濃度の低減を確認した。

5 課題と対応

(1) 臭気試験の追加

企業団の浄水場では、毎日検査において原水、浄水を対象に臭気試験を実施しているが、

令和 3 年度冬期においては、カビ臭に加えウログレナなどによる生ぐさ臭が同時発生していたこともあり、微量なカビ臭の濃度変化を検知することができなかった。このため、今回の対応で実施した活性炭水の臭気試験を毎日検査に位置付けるとともに、標準試料などを用いたカビ臭の臭気試験研修を定期的に行うことで、カビ臭異常の早期発見に努めることとした。

(2) オゾン注入制御の見直し

低水温期における溶存オゾン制御においては、平～高水温期に比べ、オゾンの自己分解が抑制されることなどにより、カビ臭物質の除去に寄与するヒドロキシルラジカルの生成が低下し⁵⁾、オゾン注入率が低下する。このため、突発的なカビ臭の発生にも対応できるよう低水温期には、溶存オゾン濃度制御からオゾン注入率制御に切り替え、オゾン注入率が一定値以上となるようオゾン注入制御方法の見直しを行った。

(3) 水安全計画管理対応マニュアルの見直し

今回の事象に対しては、水安全計画のカビ臭の管理対応マニュアルに従い対応したが、企業団の同マニュアルは、低水温期のカビ臭発生を十分に考慮できていなかった。そのため、運転管理データや水質データを精査するとともに、受水事業者の意見も取り入れ、マニュアルの見直しを図った。

見直し内容としては、新たに低水温期のカビ臭を対象とした管理対応マニュアルを整備し、管理目標値の設定値を強化するとともに、管理措置にオゾン処理の強化、状況に応じた凝集沈澱処理の強化及び前塩素の注入停止、粉末活性炭の投入、モニタリング体制確立など、より具体的な対応を追加した。また、琵琶湖や淀川上流のカビ臭及びカビ臭原因生物の発生情報を活用することで、対応の早期化を図ることや早い段階での受水事業者への情報共有を位置付ける改訂を行った。

6 おわりに

今回の事象から、低水温となる冬期のカビ臭発生の際には、カビ臭の除去性の低下を防ぐために、凝集沈澱及びオゾン処理の強化をはじめとする適切な対応が必要なことが明らかになった。今後も、冬期のカビ臭発生が続く場合に備え、今回の対応で得られた経験をもとに、企業団全体でカビ臭発生の早期把握・対応を引き続き行っていく。

【参考文献】

- 1) 横井他、2007 年-2017 年の琵琶湖南湖における溶存態かび臭物質 2-メチルイソボルネオールの発生機構、日本水処理生物学会誌、第 56 巻、第 3 号、pp47-55、2020.
- 2) 小林他、淀川水系において低水温期に発生したかび臭物質の浄水処理性(I)、令和 4 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp.296-297、2022.
- 3) 長谷川他、浄水場における水安全計画の取り組み、日本水道協会関西地方支部第 55 回研究発表会概要集、pp121-124、2011.
- 4) 山腰他、前塩素－オゾン処理による臭素酸生成抑制、第 57 回全国水道研究発表会講演集、pp.588-589、2006.
- 5) 打上他、猪名川浄水場オゾン接触槽におけるヒドロキシルラジカル Ct 値の推定、平成 30 年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp342-343、2018.

窒素キャリアガスを用いた GC/MS による揮発性有機化合物測定方法の検討

大阪市水道局 ○尾花百合子
異 有紀子
稲田 康志
平林 達也
淵上 知弘

1. はじめに

大阪市水道局では、水道水が水質基準に適合していることを確認するとともに、その品質と安全性を確保するため、「大阪市水道・水質管理計画」を毎年策定し公表している。この計画は、水道法で策定が義務付けられている水質検査計画だけでなく、水源水質の監視計画、浄水処理工程の水質管理に係る計画、新たな水質課題に対する調査研究の計画という 4 つの個別計画から構成されており、安全で良質な水道水をお届けするために必要な全ての水質測定を一元的に網羅している。しかしながら、昨今、水質分析に必要なヘリウムガスが世界的な供給不足に陥っており、国内においてもヘリウムガスの入手が困難となったことから、業務の継続に支障が生じている。また令和 4 年 5 月 13 日には、厚生労働省から水道事業体に向けた事務連絡¹⁾があり、ヘリウムガス供給不足への対応が急務となっている。

そこで、本市では、これまで水質基準項目を含む揮発性有機化合物(以下 VOC)の測定を、ヘリウムをキャリアガスとしたガスクロマトグラフ質量分析計(以下 GC/MS)により行ってきたが、ヘリウムガスの使用量を削減するため、GC/MS のキャリアガスをヘリウムから窒素に変更し、分析条件等について検討を行った。今回の発表では、キャリアガスを窒素に変更した場合におけるピーク形状や面積値、SN 比等に係る影響の他、ヘリウムガスを用いた水質検査を継続しつつ、ヘリウムガスから窒素ガスに切り替える場合のノウハウや留意点等についても併せて報告する。

2. 検討方法

2.1 装置及び試料の調製方法

トラップ機能を備えたヘッドスペース装置 MS-62070 STRAP と GC/MS の JMS-Q1500GC (ともに日本電子株式会社製) から構成されたヘッドスペースガスクロマトグラフ質量分析計(以下 HS-GC/MS)を用いた。GC 部の分離カラムについては、InertCap AQUATIC (長さ 60m×内径 0.32mm、膜厚 1.5 μ m)を使用した。

試料は、塩化ナトリウム 3g を入れたヘッドスペースバイアルにブランク水を 10mL 採り、VOC 成分(25 種)が 0.1~50 μ g/L、内部標準物質が 20 μ g/L となるようマイクロシリンジを用いて標準液を注入し、直ちにクリンプキャップで密栓することにより調製した。密栓したヘッドスペースバイアルを振とうして塩化ナトリウムを溶解させた後、HS-GC/MS に導入し、測定を行った。

2.2 ガスラインの改良

ヘリウムガスの供給不足は過去にも発生しており、以前の経験をふまえ、令和 3 年 3 月の装置更新時に HS-GC/MS のキャリアガスのラインをヘリウムだけでなく窒素も使用できるように改良した。具体的には、ガスラインの HS 部に手動の切替バルブ、GC 部に自動の切替バルブを取り付けて、GC 部のバルブ切替についてはプログラムで自動制御できるようにした。

2.3 分析条件の最適化

キャリアガスを窒素に変更すると、ヘリウムと比べてイオン化エネルギーが低くノイズが増え

やすい、最適な分離を得ることができる線速度が遅くかつ領域が狭い、真空度が下がる等の傾向があることが知られており、感度の低下が課題となることを前提に分析条件の検討を行った。

装置のイオン化電圧、イオン化電流、カラム圧力、検出器の相対 EM (Electron Multiplier) 電圧の各設定値を変更して測定を行うことにより最適な分析条件を検討した。JMS-Q1500GC については、キャリアガスの線速度一定制御が設定できないため、圧力一定制御を適用した。MS の検出器電圧については、VOC 成分のグループごとに最適値を設定することが可能であるが、保持時間の変化によりピークが異なるグループに含まれた場合、ピーク検出の途中で電圧が変化する結果となることから、今回の検討では、全ての VOC 成分について同一の設定値を適用した。カラムオープンの昇温条件については、表-1 に示した。

表-1 カラムオープンの昇温条件

	速度 °C/min	温度 °C	ホールド時間 min	ランタイム min
(初期)		40	3	3
ランプ1	5	100	0	15
ランプ2	10	200	5	20

2.4 キャリアガスの切替

ヘリウムガスの供給が急激にひっ迫した令和 4 年 2 月以降、窒素をキャリアガスとして用いた VOC 測定条件の検討に着手した。装置を完全に停止してキャリアガスを止めてしまうと、周辺の空気が装置に流入して空気中に含まれる有機化合物がカラムやトラップ管等の分析ラインに付着し、起動時に装置が分析できる状態になるまでに多くの時間を要することになる。このため、定期的水質検査でヘリウムガスを流して測定を行った後、ガスクロマトグラフ質量分析計 JMS-Q1500GC に取付けた 2 つの切替バルブ (HS 部は手動、GC 部は自動) を用いてキャリアガスを直ちにヘリウムから窒素に切り替えてヘリウムガスの使用量を削減しつつ、窒素ガスキャリアによる VOC 測定条件の検討を行った。

3. 結果及び考察

今回の検討対象物質の中で最も感度が低い 1,4-ジオキサンについて、ピーク形状や面積値、SN 比等を確認し、比較を行った結果を以下に示す。

3.1 イオン化電圧の影響

イオン化電圧については、ヘリウムキャリアの場合は 70V で測定を行っているが、窒素はヘリウムに比べてイオン化しやすく、大量のイオンが生成すると目的物質のイオン化が阻害され感度が低下すると考えられた。このため、装置の製造会社が推奨するイオン化電圧 20V²⁾ で測定を行った。

図-1 は、上記条件で測定した 1,4-ジオキサン 2 μ g/L のクロマトグラムを示したもので、イオン化電流は 20 μ A、カラム流量は 2mL/min とし、検出器の相対 EM 電圧は 200V とした。この結果から、ノイズが大きく SN 比は十分ではないものの、ピークとして検出することは可能であることがわかった。

なお、保持時間を確認するために SCAN 測定を事前に行ったが、20V で測定したデータでは定性解析のライブラリ検索で一致する化合物がほとんどなく、ピークの同定ができなかった。この原因として、70V と 20V では化合物を壊すエネルギーが異なるため、生成されるフラグメントイオンに違いが生じ、70V で測定したライブラリのスペクトルデータと一致しなかったためであると考えられたことから、イオン化電圧を 70V、イオン化電流を 10 μ A に設定して SCAN 測定を行ったところ、ピークを同定することができた。

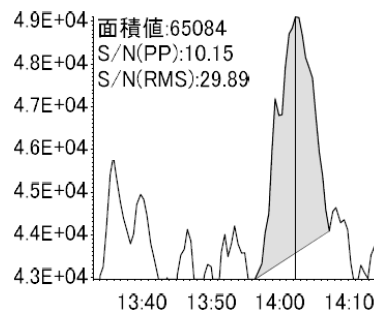


図-1 1,4-ジオキサン 2 μ g/L の測定結果 (イオン化電圧 20V、イオン化電流 20 μ A、カラム流量 2mL/min、検出器の相対 EM 電圧 200V)

3.2 イオン化電流、カラム圧力、検出器電圧の影響

イオン化電圧を 20V で固定し、イオン化電流 (20 μ A、15 μ A、10 μ A)、カラム圧力 (50kPa、30kPa、20kPa、10kPa)、検出器の相対 EM 電圧 (200V、100V) の設定値をそれぞれ変化させて測定を行い、結果を比較した。なお、カラム圧力制御の各設定値を 40~200 $^{\circ}$ C での昇温条件で流量に換算すると、50kPa では 1.5~0.7、30kPa では 1.1~0.5、20kPa では 0.9~0.5、10kPa では 0.8~0.4mL/min となる。

(1) イオン化電流の影響

図-2 は、カラム圧力を 20kPa に制御し、検出器の相対 EM 電圧を 100V として測定した場合の 1,4-ジオキサン 2 μ g/L のクロマトグラムを示したもので、イオン化電流の設定値を 20 μ A から 15 μ A に下げることによってノイズが少なくなり SN 比が向上したが、さらに 10 μ A まで下げると、ピーク形状、SN 比ともに若干悪くなる傾向が認められた。ヘリウムキャリアでは

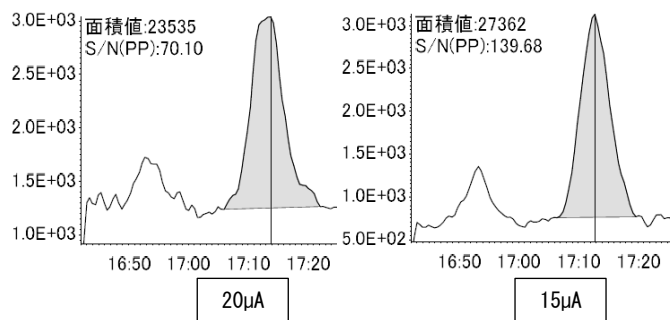


図-2 1,4-ジオキサン 2 μ g/L の測定結果 (カラム圧力制御 20kPa、検出器相対 EM 電圧 100V)

20 μ A で測定を行っているが、窒素ガスの場合は、ある程度、フィラメントのイオン化電流を下げて測定を行った方がノイズが少なくなり良好な結果が得られることが分かった。

(2) カラム圧力の影響

図-3 は、イオン化電流を 15 μ A、検出器の相対 EM 電圧を 100V として測定した場合の 1,4-ジオキサン 2 μ g/L のクロマトグラムを示したもので、カラム圧力の設定を 50kPa、30kPa、20kPa と下

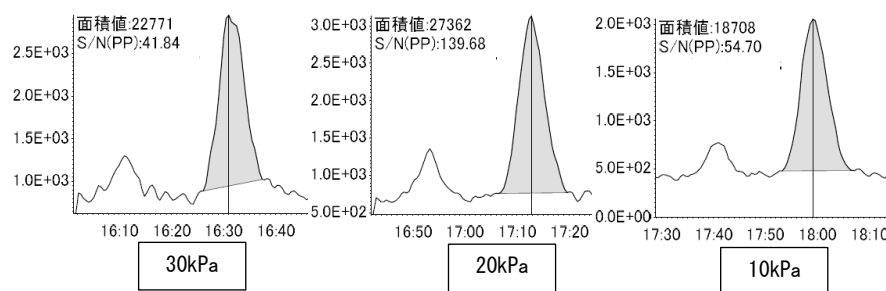


図-3 1,4-ジオキサン 2 μ g/L の測定結果 (イオン化電流 15 μ A、検出器相対 EM 電圧 100V)

げていくと、ピーク形状、SN 比ともに向上したが、10kPa まで下げると SN 比が下がり、感度の低下が認められた。窒素キャリアを用いると MS の真空度が下がり感度が低下する傾向が認められることから、ガス流量を下げて真空度を保つ必要があると考えられ、カラム圧力を 20kPa に制御すると流量は 0.5~0.9mL/min になることから、窒素キャリアを使用する場合は、ガス流量をヘリウム使用時(2mL/分)の半分程度に落とした方が感度が良くなることがわかった。

(3) 検出器電圧の影響

(1)(2)の検討結果をふまえて、イオン化電流を 15 μ A、カラム圧力を 20kPa に設定し、検出器の相対 EM 電圧を 200V と 100V に設定して測定、結果を比較したところ、100V の方が SN 比が良くピーク形状も良好であった。また、100V にするとピーク強度が概ね半分となるため、200V ではピークが飽和していたクロロホルムの高濃度側の検量点についても定量に用いることが可能となった。

3.3 キャリアガス変更の確認

分析ラインが変更後のキャリアガスで完全に置換されたことを確認する方法について検討した。ヘリウムガスから窒素ガスへ切り替えた場合は、マニュアルチューニングで m/z 4(ヘリウム)をモ

ニタリングし、 m/z 4 のピーク強度が十分下がっていることをもって窒素ガスへの置換が完了したものと判断した。今回、 m/z 4 のモニタリングにより、切替後 1 日程度で窒素ガスへの置換が完了したことを確認できたが、念のため、窒素キャリアを用いた分析条件の検討は、さらに 1 日程度窒素ガスを流した後で実施することとした。

一方、窒素ガスからヘリウムガスへ戻した場合は、 m/z 28(窒素)と m/z 18(水)のピーク強度比が、窒素ガスへ切り替える前の値と同等になっていることをもってヘリウムガスへの置換が完了したものと判断することにしたが、ヘリウム使用時のピーク強度比に戻るまでに 2 日程度を要した。また、ピーク強度比が適正値になった後、内部標準物質のピーク面積値がヘリウム使用時のレベルまで回復、安定するまでに 10 本程度のブランクを測定する必要がある。これは、装置のヘッドスペース部やトラップ部等に窒素ガスが残っており、ヘリウムガスに置換されていなかったためと考えられた。

4. 今後の検討課題

その他 VOC 成分についてもヘリウムガス使用時と同等の感度が得られており、窒素をキャリアガスとした VOC 成分の一斉分析について妥当性確認を行い、水質検査への適用可能性について検討を進める予定である。また、分析待機時にキャリアガスを窒素に切り替えてヘリウムガスの使用量を削減しつつ、ヘリウムを用いた水質検査がスムーズに実施できる方法についても引き続き検討していく。

キャリアガスを窒素にすると真空度が下がってしまうことから、真空度を保ちつつ感度の低下を抑えるためには、現在使用しているカラム(内径 0.32mm)よりも内径が小さなカラムを用いることが有効である。しかしながら、ヘリウムキャリアを用いた水質検査を継続しながら窒素キャリア用の分析カラムに取り換えて検討を行おうとすると、ピーク保持時間の再設定等、作業負担が大きくなってしまう。分析カラムの選択については、このような実運用時の課題もふまえて検討していきたいと考えている。

5. まとめ

窒素キャリアガスを用いた HS-GC/MS による VOC 測定方法について検討したところ、以下の結果が得られた。

- 1) 窒素はヘリウムに比べてイオン化しやすいため、VOC の測定で窒素キャリアを用いる場合は、ヘリウムキャリアの時よりもイオン化電圧やイオン化電流を下げてイオン化を抑制した方がノイズが少なくなり良好な分析結果が得られた。
- 2) 窒素キャリアのカラム流量をヘリウムキャリアの場合の半分程度とすることで、MS の真空を保つことができ、感度が向上した。
- 3) 分析条件を最適化した結果、測定対象 VOC 中で最も感度の低い 1,4-ジオキサンについて $2\mu\text{g/L}$ の濃度が十分検出可能であることがわかった。
- 4) キャリアガスを窒素からヘリウムに戻して測定を行う場合は、少なくとも 2 日前にはガスの切り替えを行い、試料を測定する前にブランクを 10 本程度測定して、内部標準物質のピーク面積値が安定したことを確認する必要がある。

参考文献

- 1) 厚生労働省、分析用ヘリウムガスの供給不足への対応について (令和 4 年 5 月 13 日)
- 2) 日本電子株式会社 Applications note MSTips No383 : 窒素キャリアガスを使用した HS-GC-MS 法による水中の塩化ビニルモノマー、1,4-ジオキサン、VOC の一斉分析
<https://www.jeol.co.jp/applications/detail/2204.html>

ヘリウムガスに依存しないかび臭原因物質分析法の検討

大阪市水道局 ○ 船附 壮一
森口 泰男
平林 達也
今中 壮一

1. はじめに

主に藍藻類により生成されるかび臭原因物質（ジェオスミン及び2-メチルイソボルネオール（以下、2-MIB））は、においの観点から水質基準項目に設定されており、ガスクロマトグラフ-質量分析計（以下：GC/MS）を用いて検査している。

水道水が水道水質基準に適合しているかを判断するには、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（以下：告示法）に従って検査する必要があるが、昨今の世界的なヘリウムガスの需要逼迫により、水質検査用のヘリウムガスを確保することが難しくなっている。厚生労働省医薬・生活衛生局水道課は、分析用ヘリウムガスの供給不足への対応について、令和4年5月13日付事務連絡¹⁾を発出し、ヘリウムガスの確保や使用量の削減方法について示した。

そこで、各検査機関は、ヘリウムガス使用量の低減化や代替キャリアガスによる検討を進めていることに加え、ハロ酢酸やフェノール類等の、ように、告示法がGC/MS以外の分析方法である高速液体クロマトグラフ質量分析法（以下：LC/MS）等が提案されてる項目については、検査方法を切り替えて対応している。しかしながらかび臭原因物質の検査方法については、ヘリウムガスを用いたGC/MS法以外に新たな分析方法を確立できていない。

そこで、今回、窒素キャリアを用いたヘッドスペース-GC/MS（以下：HS-GC/MS）による測定方法及びLC/MS法による測定方法の検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 調査方法

2.1 分析装置

分析装置のHS-GC/MSのGC部（Agilent 7890A）はアジレント・テクノロジー（株）製を用い、HS部（EQ-12031HSA）及びMS部（JMS-Q1050GC）は日本電子（株）製を用いた。また、HS-GC/MSのトラップ管（AQUATRAP1）及びキャピラリーカラム（InertCap1、30m×0.25mm膜厚0.4µm）は、ともにジーエルサイエンス（株）製を用いた。

LC/MSのLC部（NexeraX2）、MS部（LCMS8060）は（株）島津製作所製を用い、分離カラム（ACQUITY UPLC BEH C18、粒径1.7µm、2.1mm×50mm）はWaters（株）製を用いた。

2.2 試薬

HS-GC/MS法については、関東化学（株）製のかび臭物質2種混合標準液をメタノール（水質試験用）で希釈したものを標準原液とし、内部標準物質の2,4,6-トリクロロアニソールd3は富士フィルム和光純薬（株）製を使用し、試料の塩析には、使用前に300℃で2時間加熱、放冷した関東化学（株）製の塩化ナトリウム（特級）を使用した。一方、LC/MS法では、富士フィルム和光純薬（株）製の2-MIB、ジェオスミン標準品を関東化学（株）製のアセトニトリル（LC/MS用）で溶解したものを標準原液として使用した。移動相は、富士フィルム和光純薬（株）製のメタノール（LC/MS用）とアセトニトリルを使用した。精製水は、Merck製の超純水製造装置（Milli-Q Integral 10）で精製したものを使用した。

2.3 分析方法の検討内容

HS-GC/MSのキャリアガスをヘリウムガスから窒素ガスに変更した場合、キャピラリーカラムの分離能の悪化に加えて、電子イオン化法（以下：EI法）によるイオン化効率の低下によって、測定対象物質の検出感度が低下するとされている²⁾ことから、その最適化条件について検討を行った。

一方、LC/MS法のイオン化条件については、エレクトロスプレーイオン化法（以下：ESI法）、大気圧化学イオン化法（以下：APCI法）のポジティブモード、ネガティブモードについて確

認し、さらに、各パラメータの最適化と分離条件（分離カラム、移動相組成、流速）の検討を行った。しかしながら、直接注入法では、十分な感度が得られなかったため、固相抽出による濃縮操作によって、定量下限値を低下させることができるか検討を行った。

3. 結果

3.1 HS-GC/MS 法の検討

これまでかび臭物質の測定に用いていた分析条件をもとに、キャリアガスを窒素ガスに変更し、検討を行った。

GC 部の条件については、窒素ガスの分離能の最適線速度は、ヘリウムガスに比べて遅いため、できる限り線速度を遅くして良好な分離能が確保できるように調整した。また MS 部については、窒素ガスを使用することで、ヘリウムガスに比べて、対象物質の検出感度が低下することが分かった。そこで、窒素ガスの場合のマススペクトルを確認すると、窒素ガス由来だと考えられる m/z 14、42 が強く検出されていることが分かったことから、 m/z 14、42 が生成しないようにイオン化電圧を下げたところ、図-1 に示す(1)から(2)のように検出感度が向上することを確認した。

また、表-1 に示す HS-GC/MS 法の最適化した分析条件による精製水にかび臭物質を添加した試料について、検量線を作成した結果を図-2 に示した。2-MIB、ジェオスミンともに定量下限値を 5ng/L に設定することができ、検量線の決定係数は 0.99 以上確保することができた。

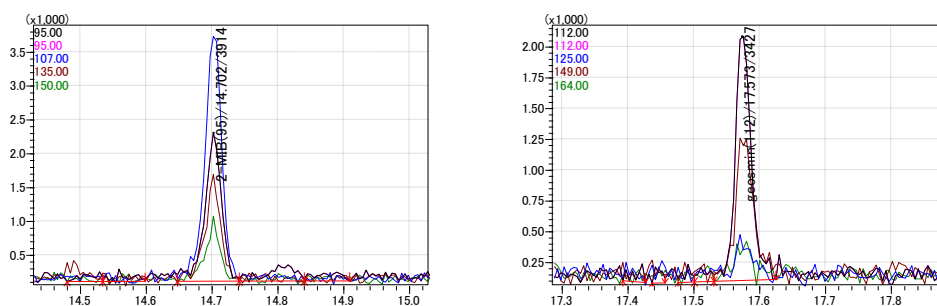


図-1(1) イオン化電圧 70V 時のマスクロマトグラム
(左図：2-MIB、右図：ジェオスミン (ともに 500ng/L))

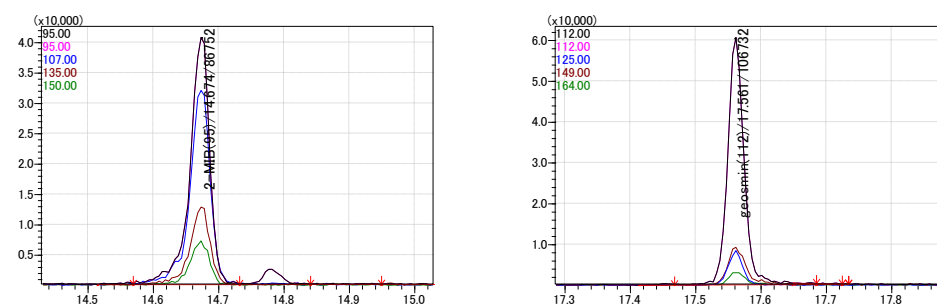


図-1(2) イオン化電圧 20V 時のマスクロマトグラム
(左図：2-MIB、右図：ジェオスミン (ともに 500ng/L))

3.2 LC/MS 法の検討

MS 部のイオン化の条件について、インフュージョン測定した結果、APCI 法によるイオン化を確認し、 m/z 151、165 のマススペクトルが検出され、分子量から考察すると、それぞれ、2-MIB 及びジェオスミンの分子から OH 基が脱離した構造であると推測された。また、 m/z 151、

表-1 HS-GC/MS 法の分析条件

HS	サンプルブロック温度	80℃
	サンプルモード	トラップ
	加熱攪拌時間	25min
	加圧ガス	窒素
GC	カラムオープン温度	40℃
	注入モード	カラム直結
	キャリアガス	窒素
MS	イオン源温度	230℃
	イオン化電圧	22V
	イオン化電流	25μA
	測定モード	SIM
		2-MIB
	モニターイオン	<i>m/z</i> 95,107
		<i>m/z</i> 112,149

165 をプリカーサイオンとして、さらにイオン化した結果、プロダクトイオンとして両物質ともに *m/z* 95、109 が検出された。これらは GC/MS による EI 法によるイオン化でも検出されるスペクトルである。

次に、移動相の条件を検討した結果、移動相に水とメタノールを用いた場合はジェオスミンの感度が著しく低下する一方で、移動相に水とアセトニトリルを用いた場合は 2-MIB の感度が低下することを確認した。また、流速は遅く設定した方がイオン化効率は良好であった。

以上の結果より、表-2 に示す LC/MS 法の分析条件を用いて、直接注入によるかび臭物質を測定し、得られたマスプロトグラフの結果を図-3 に示した。直接注入法で得られる定量下限値では、水質基準で求められるためには十分ではないことから、試料の濃縮が必要であると判断した。

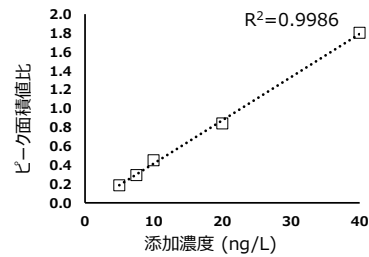
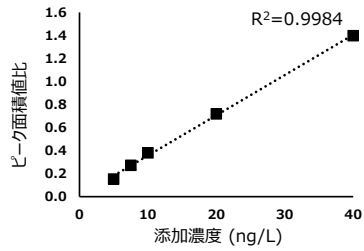
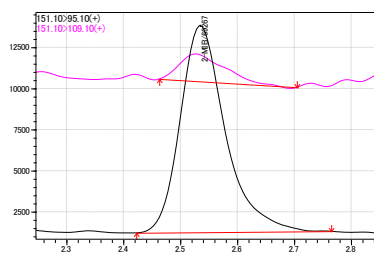


図-2 検量線

(上図：2-MIB 下図：ジェオスミン)

表-2 LC/MS 法の分析条件

移動相	水：アセトニトリル
	40:60
流量	0.2mL/min
オープン温度	40℃
注入量	50μL
イオン化法	APCI(+)
インターフェイス電圧	4.5kv
インターフェイス温度	350℃
ネブライズガス流量	3.0L/min
ドライイングガス流量	5.0L/min
DL温度	200℃
ヒートブロック温度	200℃
MRM条件	2-MIB 151.10>95.10
	151.10>109.10
	ジェオスミン 165.05>109.10
	165.05>95.00

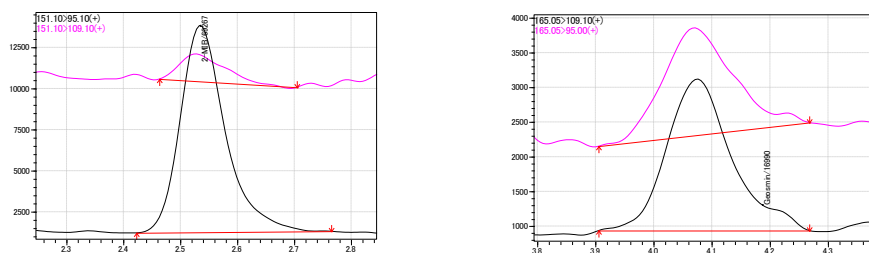


図-3 マスプロトグラム

(左図：2-MIB 右図：ジェオスミン (ともに 1000ng/L))

3.3 固相抽出法の検討

かび臭物質の固相抽出法は告示法で規定されているジクロロメタンではなく、移動相に使用できる有機溶媒のアセトニトリルまたはメタノールで検討を行った。その結果、溶出溶媒をアセトニトリルにした場合は、かび臭物質を回収できなかった一方で、メタノールを用

いた場合、回収率は良好となった。しかしながら、最終の試料の溶媒がメタノール 100%だとクロマトグラムのピーク形状が著しく悪化したことから、試料における水相と有機相の比率を調整することでピーク形状の改善を試みたところ、水：メタノールを 50:50 に調整すると、ピーク形状が改善することを確認した。

これらの結果から、固相抽出法の条件を表-3 のように設定し、精製水またはアスコルビン酸ナトリウムで脱塩した水道水にかび臭物質を添加した試料を測定したところ、2-MIB とジェオスミンの定量下限値はそれぞれ 1ng/L と 4ng/L に設定することができた。また図-4 に検量線を示しており、決定係数 0.99 以上であったことから、2-MIB は 1ng/L～20ng/L、ジェオスミンは 4ng/L～20ng/L の濃度範囲で良好な直線性を得ることができた。

表-3 固相抽出法の条件

固相カラム	PLS-3 Inert sep slim J 230mg
コンディショニング メタノール	5 mL
コンディショニング 精製水	5 mL
試料溶媒	精製水または水道水
通水量	400 mL
洗浄量	10 mL
溶出溶媒	メタノール
溶出量	2 mL
溶出の方向	バックフラッシュ
精製水添加量	2 mL
最終液量	4 mL
濃縮倍率	100

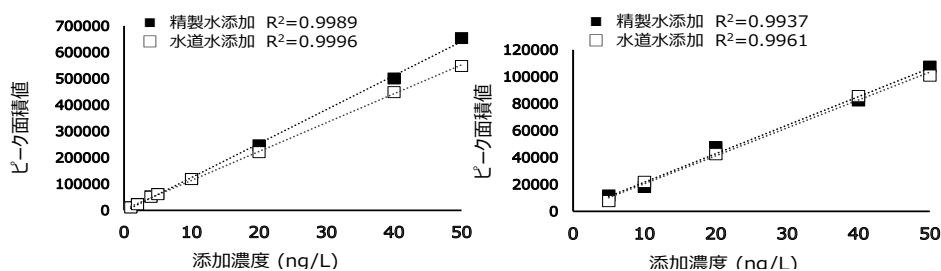


図-4 検量線 (左図：2-MIB 右図：ジェオスミン)

4. まとめ

キャリアガスをヘリウムガスに依存しないかび臭物質の測定方法として、窒素ガスを用いた HS-GC/MS 法と LC/MS 法による 2 つの分析方法の検討を試みたところ、次の知見が得られた。

- 1) HS-GC/MS 法では、イオン化エネルギーを下げることで検出感度が向上させることができ、2-MIB、ジェオスミンともに 5ng/L～40ng/L の範囲で検量線を作成することができた。
- 2) LC/MS 法では APCI 法によってかび臭物質をイオン化できることを確認した。また 2-MIB は 1ng/L～20ng/L、ジェオスミンは 4ng/L～20ng/L の範囲で検量線を作成することができた。
- 3) ジクロロメタンを使用しない新たなかび臭物質の固相抽出方法を確立することができた。

5. 今後の取り組み

本市では、今後も水質基準値の 1/10 である 1ng/L を定量下限値にできるような分析方法の検討を継続して行い、ヘリウムガス供給不足への対応を進めていく一方で、今回得られた分析方法については、当面はかび臭発生時の監視や水源調査等での活用を検討している。

参考文献

- 1) 令和 4 年 5 月 13 日付 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課事務連絡：分析用ヘリウムガスの供給不足への対応について
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000939516.pdf>
- 2) 平松：代替ガスを用いた分析技術の紹介-ガスクロマトグラフ質量分析計-、低温工学、56 巻 3 号、p125-129、2021 年

LC/MS を用いたフタル酸ジ (2-エチルヘキシル) のタンデム質量分析法の検討

和歌山市企業局 ○秋津 仁志 塚田 貴文
浜田 実 得津 雅夫

1 はじめに

液体クロマトグラフー質量分析法 (以下、LC/MS 法) は、検水の有機溶媒抽出操作を必要とせず、タンデム質量分析法 (以下、MS/MS 法) は微量の化合物を定量可能である等の利点がある。そのような利点等があるため、水質基準に関する省令に基づき厚生労働大臣が定める方法 (以下、告示法) において、平成 24 年度にクロロ酢酸、ジクロロ酢酸及びトリクロロ酢酸の LC/MS 法が追加された。それ以降、フェノール類、ホルムアルデヒド、臭素酸及び塩素酸の LC/MS 法が追加された。管理目標設定項目についても、亜塩素酸及び農薬類の水質試験法として LC/MS 法が通知されている。

本報文では、LC/MS を用いたフタル酸ジ (2-エチルヘキシル) (以下、DEHP) の MS/MS 法について検討し、検量線の直線性の確認、定量下限の推定及び浄水を用いた水道水質妥当性評価ガイドライン (以下、ガイドライン) に基づく評価を行い良好な結果を得たので報告する。

2 分析条件の検討

(1) プロダクトイオンの選択

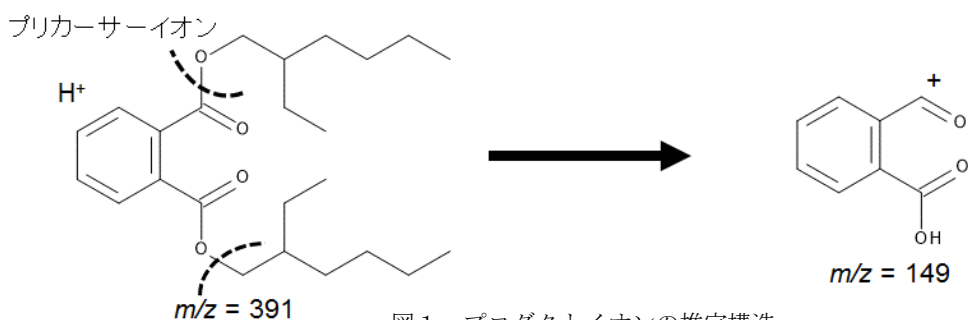
プリカーサーイオンとして DEHP プロトン付加体を選択し、プロダクトイオンの探索及びコリジョンエネルギー (以下、CE) の最適化を行った結果を表 1 に示す。面積値の大きい m/z 149 を定量イオンとした。

表 1 プロダクトイオン及びコリジョンエネルギー

Ch	プリカーサー m/z	プロダクト m/z	Dwell Time (msec)	Q1 Pre Bias(V)	CE	Q3 Pre Bias(V)
Ch1	391.2848	149.0500	100.0	-20.0	-20.0	-20.0
Ch2	391.2848	167.0500	100.0	-14.0	-12.0	-16.0
Ch3	391.2848	121.0500	100.0	-10.0	-47.0	-23.0

(2) プロダクトイオンの推定構造

プリカーサーイオンの構造から、点線での開裂が推定される。その場合、 $C_8H_5O_3$ であり、質量数が 149 となる。これは、観測される m/z 149 と一致している。そのため、図 1 で示す構造であると推定した。



(5) 分析条件のまとめ

上記分析条件の詳細を表2に示した。

表2 分析条件まとめ

L C 条 件	カラム	CAPCELL PACK C18 MGⅢ 150 mm(L) × 3 mm(id)、3 μm (大阪ソーダ)	M S 条 件	イオンモード	ESI(+)
	移動相	A液: 0.2 vol%ギ酸水溶液		インターフェイス電圧	4 kV
		B液: 0.2 vol%ギ酸メタノール		プリカーサーイオン	m/z 391
	移動相混合比	98%B(イソクラティック)		プロダクトイオン	m/z 149
	流速	0.3 mL/分	CE	20 V	
	オープン温度	40°C	試料調製	メタノール添加	
	注入量	5 μL			

3 MS/MS法の検証

(1) ガイドラインに基づく検量線の評価

8、16、40及び80 μg/Lの4点を調製し、検査員1人、3併行で1日間分析を行い検量線の評価を行った。その測定結果を表3に示す。真度及び併行精度について、ガイドラインの目標を満たしていた。

表3 検量線妥当性評価結果

	設定濃度 (μg/L)	測定割り戻し濃度(μg/L)			真度(%)		併行精度(%)	
		1回目	2回目	3回目	評価結果	目標	評価結果	目標
S1	8	6.79	8.27	8.55	98.4	80~ 120 %	12	≤ 20
S2	16	15.01	16.73	16.24	99.9		5.5	
S3	40	38.89	42.03	42.71	103.0		4.9	
S4	80	75.12	80.16	81.51	98.7		4.3	

(2) ガイドラインに基づく浄水を用いた評価

和歌山市加納浄水場の浄水にDEHPを8 μg/L添加し、検査員1人、2併行で5日間分析を行いガイドラインに従って、真度、併行精度及び室内精度を求めた。その測定結果を表4に示す。当該MS/MS法は、真度、併行精度及び室内精度について、ガイドラインの目標を満たしていた。

(表5)

表4 ガイドラインに基づく測定結果

	定量結果(μg/L)				
	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
1回目	8.56	7.71	7.52	7.58	7.04
2回目	8.62	7.89	8.2	7.74	7.05

表5 浄水を用いた妥当性評価

	妥当性 結果	ガイドライン 目標(%)
真度	97.4 %	70~130
併行精度	2.9 %	≤ 20
室内精度	7.3 %	≤ 25

(3) 定量下限の推定

上水試験方法記載の方法¹⁾に従いべき乗回帰式により定量下限を推定した。調製濃度と変動係数(以下、CV)の結果を表6に、べき乗回帰式のグラフを図6に示す。回帰式より、CV20%となる定量下限値を2.07 μg/Lと推定した。

表6 調製濃度と変動係数 (CV)

調製濃度(μg/L)	2	4	8	16	40
CV (%)	31.9	6.4	2.9	1.2	0.7

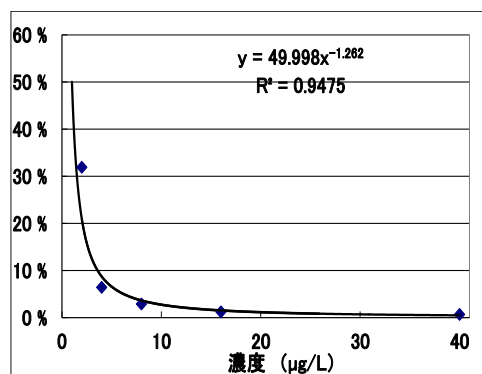


図6 MS/MS法によるDEHPの定量下限の推定

4 まとめ

分析法としてLC/MS法が広く採用されている。本報告において、GC/MS法が通知法で採用されているDEHPについてLC/MS法を検討した。LCの条件はイソクラティックとし、標準列の調整や試料の前処理としてメタノールを添加することで、直線性のある検量線を作成できた。ガイドラインに基づく検量線の評価及び浄水添加試料における真度、併行精度及び室内精度の評価についても目標値を満たす良好な結果であった。また、当該分析法における推定定量下限値は、2.07 μg/Lであった。従来のGC/MS法と比較すると、有機溶媒の添加は必要であるが抽出は必要ない事及び内部標準物質の添加作業を省略でき前処理工程の圧縮に成功した。(図7)

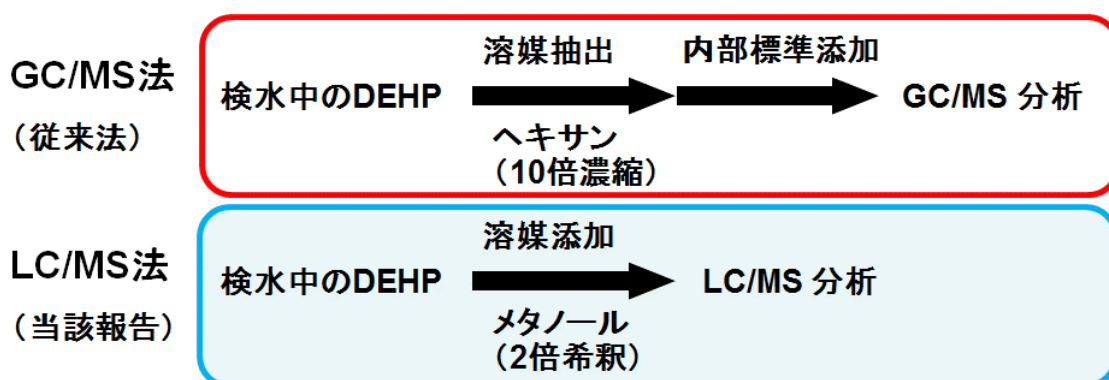


図7 GC/MS法との作業工程における比較

【参考文献】 1) 社団法人日本水道協会 上水試験方法 2020年度版

神戸市における給水装置工事申請・検査業務の電子化について

神戸市水道局 ○相原 敏宏 谷口 夏海
梅原 匡 小河 広志
土居 真純

1. 背景

神戸市では、長年、5つのセンターに分けて給水装置工事の審査・検査業務を行ってきた。審査は対面方式で行い、修正があればその場で指示していたため、審査担当者は知識と経験が必要で、経験の浅い職員が審査窓口業務に就くまでは、十分な育成期間の確保や後進の育成が課題であった。そのため、平成30年度より給水装置工事の申請書類を預かり、3～5営業日で審査を行う「預かり方式」を採用し、時間をかけて申請内容を審査できる体制を確保することで、職員の人材育成・技術継承を図ってきた。

一方で、新型コロナウイルス感染症の流行により料金収入が激減することが予想されたことから、令和2年度より緊急経営改革として、給水装置工事申請書類の電子受付の導入や、審査業務と検査業務の一箇所への集約化などを進めてきた。その結果、スケールメリットを生かした業務の効率化だけではなく、職員の育成やセンター毎にバラつきがあった審査・検査内容の統一化などの課題解決も図られてきた。

しかし、指定工事事業者からは「申請窓口が工事場所から遠い」、「検査予約枠が少ない」といった新たな課題が発生してきたこともあり、さらなるサービス向上と効率化を目的として、検査業務の電子化やクレジットカード決済の導入などにより、指定工事事業者の来庁回数の軽減に向けて取り組むこととした。

2. 給水装置工事申請・検査業務の電子化の推進

神戸市では現在、一般の戸建て住宅、マンション、業務ビル、工場などの様々な建築物にかかる給水装置工事申請を年間に約6,500件受付をしている。

工事の申請は、取出し工事や工事用の他、戸建て住宅、2階建て以下の集合住宅や店舗など軽微な工事については、事前協議書の提出や水理計算を省略して申請することが出来ることにしており、令和2年度より、従来の紙媒体による申請に加えて電子申請での受付を開始したが、押印が必要な書類が多く、原本提出のために来庁する必要性が残されていたこともあり、電子化が思うように進まなかった。しかし、令和2年11月に神戸市全体で示された「押印基準の見直し」により、申請書類への押印が廃止できることになったことから、本格的に給水装置工事申請・検査業務の電子化を進めることにした。

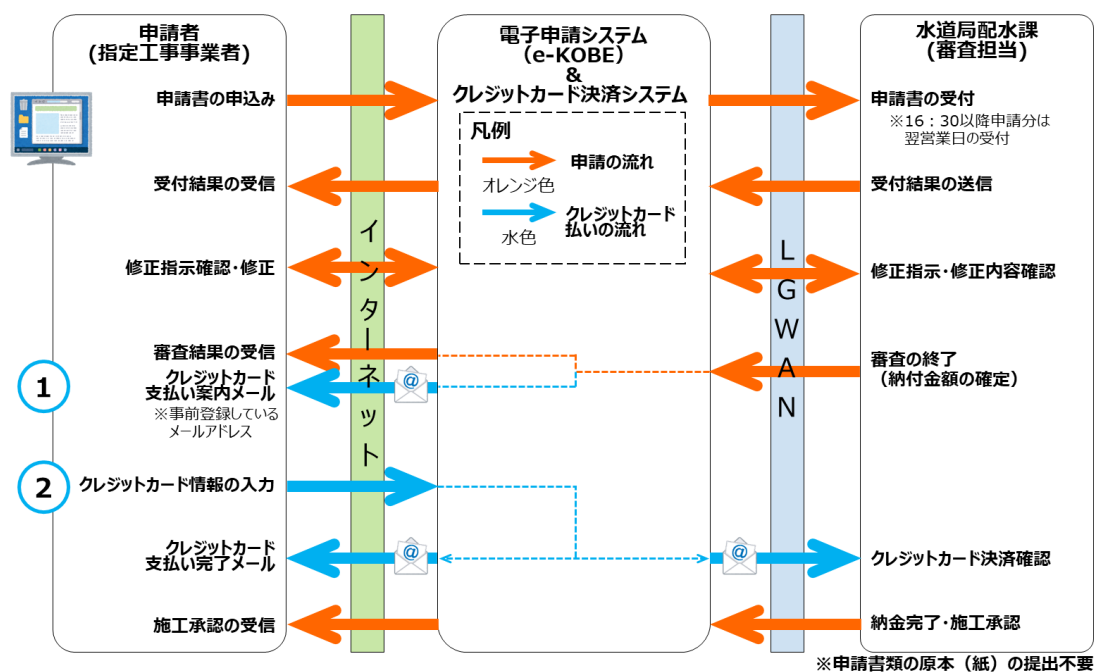
審査・検査業務の集約により指定工事事業者から出された新たな課題については、電子申請やリモート検査を利用することにより、①24時間工事申請が行えること、②水道局への来庁回数が減らせること、などのメリットについてのPRや参加型の研修を行うことで理解を求め、普及を進めていった。

3. 給水装置工事の電子申請の概要

電子申請は、申請データの添付容量が大きく、クレジットカード決済と組み合わせが可能となる「e-KOBE（神戸市スマート申請システム）」を使用している。このシステムは、神戸市が掲げる「行財政改革方針 2025」の実現目標の一つである、行政手続きのスマート化率 70%（令和 7 年度まで）を達成するため、令和 3 年 7 月より運用が開始されたオンライン申請・審査・窓口予約・カード決済機能等を備えたプラットフォームのことである。令和 3 年度にスマート化した手続きとして、住民異動届や軽自動車税の登録などがある。

神戸市では、職員が業務改善や電子申請を目的としたシステムやアプリ等の開発・運用を行うことを前提としており、パッケージやノーコード/ローコード開発ツールが整備されている。給水装置工事の電子化にあたって、これらのツールを活用することにより、コスト面やスケジュール面でのハードルが低く、開発や導入をスムーズに行うことができている。また、申請フォーム等の改善を職員が速やかに反映することができている。

電子申請の流れは下図の通りとなっている。



「e-KOBE」を活用した工事申請では、申請場所や申込者、申請業者名（指定工事事業者名）、施工時期などが記載された給水装置工事申請書兼設計書の鑑を Excel 様式で作成し、図面や申込書、利害関係者の承諾書などを PDF データで添付することになっている。工事図面については 1 ファイルあたり 10MB 以下で、最大 3 ファイルまで添付することができる設定としている。

全体の申請件数に対する電子申請の比率では、電子申請導入当初（令和 2 年度）は 16% 程度だったものが、令和 3 年 10 月には 60% を超え、令和 4 年 8 月現在では 80% を超えるまでに増えてきた。これは、令和 3 年の下半期より、軽微な工事については原則として電

子申請によることとルール付けしたことに加え、少しずつ申請業者と局職員が電子申請に慣れてきたことによるものと考えられる。

表 1 電子申請の実績

(上段：申請数 (件)、中段：電子申請数 (件)、下段：電子申請率 (%))

R3年度												R4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	4月	5月	6月	7月	8月
716	507	573	533	534	545	514	522	451	483	494	457	566	600	571	505	529
93	95	111	121	140	188	342	323	261	347	376	401	429	452	445	384	430
13.0	18.7	19.4	22.7	26.2	34.5	66.5	61.9	57.9	71.8	76.1	87.7	75.8	75.3	77.9	76.0	81.3

4. クレジットカード決済の概要

これまで、申請や検査に伴う手数料等の支払いは、銀行等に入金するための納付書を窓口で受取る方法に限られていたため来庁が必須となっていたが、令和4年7月にクレジットカード決済を導入し、来庁することなく申請手続きが完了できるようになった。

申請業者は、工事の申請と併せて審査・検査手数料等の支払い方法について、「納付書(窓口)」か「クレジットカード」のどちらかをe-KOBEの申請フォーム上で選択できるようにしており、職員が送信した審査結果を受信した後に、選択した支払い方法により納金を行う。クレジットカード決済は、ネットショッピング等で汎用されているメールリンクシステムを活用しており、送られてきた案内メールに沿ってカード情報を入力するだけで決済を完了できるものである。

職員は、納金確認後に受付番号など必要事項を給水装置工事申請書兼設計書の鑑に記入し、「e-KOBE」を使って審査後の書類を返送するが、クレジットカード払いの際には納付書が発行されないため、施主による納金確認が出来ないといった指定工事事業者からの意見があり、その対策として、「施工承認証」を併せて返送することとしている。

クレジットカード決済は、導入したばかりという事もあり、導入直後の令和4年7月の利用率は約3%と低かったが、3か月後には約13%まで上昇しており、今後も利用者の増加が見込まれている。

5. 検査業務の電子化について

○現地検査予約の電子化

工事検査は大きく「写真検査」と「現地検査」に区分して行っている。

建築工事や解体工事の為に一時的に使用する給水栓などは「写真検査」、それ以外は原則「現地検査」としており、「現地検査」については従前、電話による事前予約だったものを、窓口業務の集約化により電話が集中することを避けるために、クラウドサービスを活用したインターネットのみの受付に変更とした。

検査を希望する指定工事事業者は、検査希望日の6営業日前までにインターネットの画面で予約を入れるが、他の検査希望工事と移動時間等の調整を考慮し、第1希望～第

3希望までを入力してもらうことにしている。職員は、他工事との調整を経て決定した検査日程をインターネット上のカレンダーに入力し、業者が確認する形としている。

○リモート検査の実施

リモート検査は、現地検査の代わりになるものとして導入した。

審査業務・検査業務の集約化により、現地検査に行く際の移動の長距離化や長時間化による検査担当者の負担や、1日当たりの検査可能件数の減少などが懸念された。そこで、近年さまざまな企業や自治体でも活用されているWeb会議アプリのビデオ通話を使った「リモート検査」を令和3年1月から試行し、令和3年5月に本格導入した。対象工事としては、戸建ての直結給水方式で、既にメーターが設置されているもの（建替えや、取り替える必要のない工事用メーターが設置されている等）とした。また、円滑に検査が進むよう、比較的検査に慣れた指定工事業者を対象にしており、①神戸市指定給水装置工事業者となってから3年以上経過していること、②過去1年以内に25件以上の完成検査受検実績があること、のどちらかを利用条件としている。

導入当初は説明会を行ったものの、新しいシステムを利用することへの拒否反応や、通信費、スマートフォンの購入など業者負担が増えることから、リモート検査を選択する業者は少なかった。しかし、「原則リモート検査対象区域」を設定し、少しずつ利用してもらう業者を増やしていった結果、「現地検査よりも1日当たりの検査件数が多く、予約が取りやすいこと」や「検査開始時間が現地検査より正確であること」など業者にとってのメリットもあり、導入当初は1%程度だった利用率は、半年後には10%まで上昇し、令和4年8月現在では40%まで増えている状況である。

表2 リモート検査の実施件数

(上段：検査数(件)、中段：リモート検査数(件)、下段：リモート検査率(%))

R3年度												R4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	4月	5月	6月	7月	8月
	291	326	332	277	304	284	314	339	258	311	447	289	272	321	263	308
	3	2	3	0	3	7	16	35	18	36	56	33	52	88	89	117
	1.0	0.6	0.9	0.0	1.0	2.5	5.1	10.3	7.0	11.6	12.5	11.4	19.1	27.4	33.8	38.0

6. 今後の展望・まとめ

給水装置工事申請・検査業務の電子化は、①24時間いつでも申請が可能、②紙媒体による原本提出が原則不要、③メールリンクシステムを活用したクレジットカード払いが可能、④検査予約が容易、⑤交通渋滞や駐車場所の確保が不要、など様々なメリットがあり、急速に利用率が増えている。そのため、今後は、原則リモート検査の対象地域を拡大することや、検査業務のペーパーレス化も進めていきたいと考えている。

一方で、携帯電話の大規模な通信障害が散見されており、リモート検査への影響が懸念されるなど新たなリスクが発生してきたため、今後も引き続き課題の抽出と対策の検討を進め、確実かつ効率的な審査・検査業務の電子化を進めていきたい。

高槻市における給水装置工事に係る検査関連の業務委託

高槻市水道部 蔵重 昌直
阪本 敦志

1. はじめに

高槻市の水道事業は、令和3年度末で給水人口約35万人、給水戸数約16万戸であり、令和3年度における給水装置工事の検査件数は約2,300件となっている。

本稿では、従来、本市職員が行っていた給水装置工事の検査業務とそれに付随する業務（以下、「検査関連業務」という。）について令和3年度から外部委託を行っており、この業務委託に至るまでの経緯や想定される懸念等への対応について報告するものである。

2. 委託に至った経緯

本市の給水装置工事に係る一連の業務は、全て職員が行っており、その内、検査関連業務については、近年では、水道部を退職した職員を時間額制の職員として雇用することで業務を行っていた。

しかし、その職員が高齢となり、代替の職員の確保も困難であったことから検査関連業務を委託することとなった。

3. 委託の概要

業務内容は検査業務フローに示すとおり（図1）、市納金の納付書発行、検査受付、竣工図書確認、現場検査とし、令和3年10月に契約締結し、業務履行期間は令和4年度から令和8年度までの5か年である。

4. 委託にあたっての懸念事項

検査関連業務を委託するにあたり、懸念されることとして以下の項目があった。

(1) 職員の技術力の低下

検査関連業務を委託することにより、本市職員が検査関連業務に携わらなくなることで、検査関連業務の知識不足及び技術力低下を招き、適正に管理できなくなることが考えられた。

(2) 業務の引継

本市から受注者へ業務を引き継ぐにあたり、受注者における本市の給水装置工事施行指針の理解、習

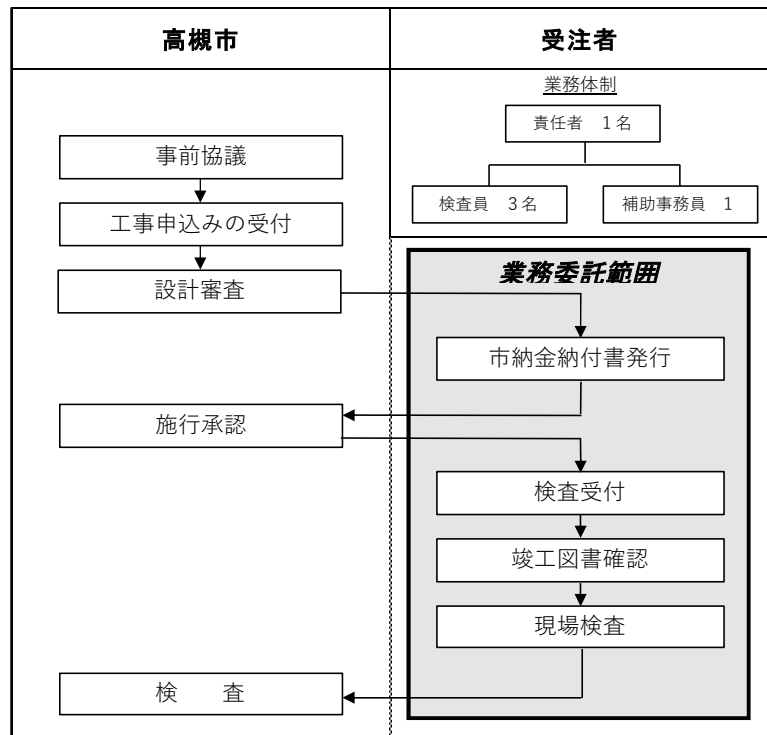


図1 検査業務フロー

熟及び実践を十分に行う必要があった。

(3) 業務の管理方法

検査業務フローのとおり、検査受付以後の業務は受注者が行うため、検査受付状況の確認、各種手続きの進捗、及び現場検査の状況把握が困難になることが懸念された。

5. 懸念事項の対応内容

上記懸念事項を解決するため、以下のとおり対応策を施した。

(1) 給水装置工事施行指針の活用と現地研修の実施

令和3年4月の水道法改正に伴い、本市における給水装置工事の基準となる施行指針（以下、「施行指針」という。）を改訂している中で、施行指針の解説を充実させ、検査関連業務においても理解しやすい内容とした。

また、後述する準備期間及び業務プロセスパトロールにおいて、ベテラン職員を現場に同行させ、経験が浅い職員に対し同指針をもとに現場確認や指導を行っているほか、給水装置工事事業者（以下、「指定業者」という。）への指導も併せて行うことで、法令に係る知識の増強、施工事例の把握、及び指定業者への指導経験を積むことで、職員における技術力低下の防止を図っている。

(2) 準備期間の設定と業務フロー等の作成

円滑に業務の引き継ぎを行うため、以下の事項を実施した。

① 準備期間の設定

受注者が業務内容を理解、習熟及び実践できるように、令和3年10月から令和4年3月までの6か月間を準備期間として設けた。受注者は準備期間において、業務内容を理解及び習熟するための業務計画書を作成し、これに基づき本市職員が検査種別ごとのチェックシートとその解説書の作成、及び事務処理システムの操作方法などの説明及び指導を行った。

また、受注者における施行指針の理解と習熟についても各種業務の実践の中で、本市職員が施行指針の説明と解説を行い、不明な点等があればその都度解決を図り、即時理解を促した。



写真1 検査受付の実践状況



写真2 現場検査の実践状況

② 業務フロー及び仕様書の解説の作成

業務範囲及び業務フローの中に（図2）、業務項目及び仕様書の項目番号をリンクさせ、責任区分を明確にすることで本市と受注者の業務区分を見える化し、各業務の所掌が容易に把握できるようにした。また、仕様書に管理ポイントや手順を具体的に示した解説を記載することで受注者の理解を促した。

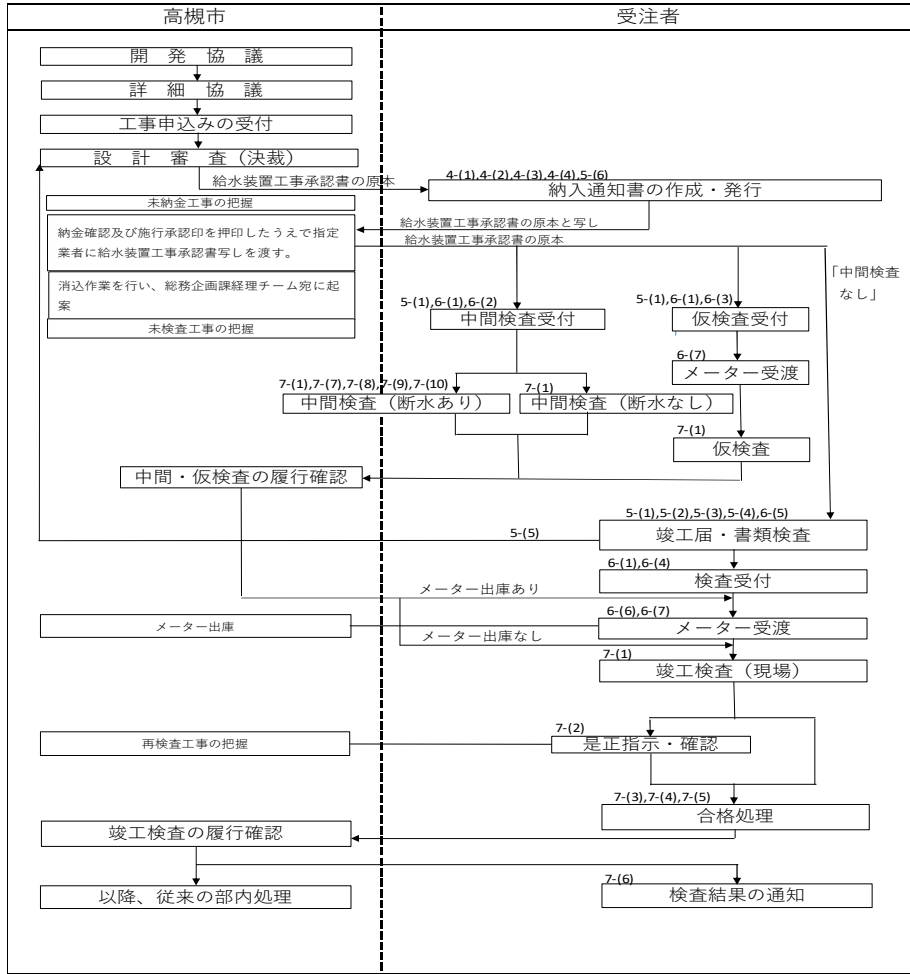


図2 業務範囲と業務フロー

(3) 業務の管理方法

1) 各種帳簿の確認

検査関連業務の進捗状況をタイムリーに把握するため、本市と受注者間でネットワーク環境を整備し、下表の帳簿の共有ファイルを作成し、管理することとした。

確認方法としては、帳簿を毎日職員が確認し、検査関連業務の状況及び進捗の把握に努め、業務管理の強化を図った。

表1 各帳簿の内容と確認事項

帳簿名	内容	確認事項
検査受付簿	指定業者からの検査受検日時の受付簿 (業者名、日時、場所、検査種別、断水の有無、メーター出庫数等)	<ul style="list-style-type: none"> 検査申込状況 断水作業の有無 メーター出庫数量
工事進捗管理簿	給水装置工事申込書類の受渡日時の管理簿 ①設計審査、②断水作業調査、③納付書発行、④施行承認、⑤検査、⑥メーター出庫等	<ul style="list-style-type: none"> 市納金の未納状況 未検査状況 指定業者への指摘事項の是正状況 給水装置工事申込書類の所在 指摘内容及び件数による指定業者の特性

2) 業務プロセスパトロール

業務プロセスパトロールとは、本市及び受注者が給水装置工事申込に係る手続きと書類の管理、及び検査関連業務が適正に行われているか確認することを目的として毎月実施しているものであり、この実施内容を受発注者双方に供覧することで情報の見える化と共有化を図り、必要に応じ業務の改善を行うものである。また、同パトロールは前述の業務管理や職員の技術力低下の防止といった効果も兼ね備えている。同パトロールの内容は下表のとおりである。

表2 業務プロセスパトロールの内容

番号	項目	内容
①	現場検査状況確認	本市と受注者が現場検査に同行し、受注者の検査状況を確認し、検査内容に不備がある場合、受注者に対し指導を行い、是正する。また、本市職員の研修も兼ねており、職員の検査関連業務の技術力低下の防止を図る。
②	他部署からの要望等	検針業務や給水装置の修繕業務において、検査関連業務に係る要望・是正等を聴取し、同業務に反映・指導する。
③	業務処理状況 (未納金・未検査)	市納金の納金や検査申込が一定の期間経過してもなされていない給水装置工事について状況を確認し、必要な指導を行うことで加入金等の未納及び未検査を防止する。
④	業務処理状況 (検査の是正)	検査の指摘事項について、指定業者からは是正報告が一定の期間経過してもなされていない給水装置工事について状況を確認し、適正な業者指導を実施する。
⑤	その他	受注者の社内教育の実施状況、業務マニュアルの作成と進捗状況、及び人員の欠員や補充計画の有無を確認し、適正な業務履行がなされているか確認する。

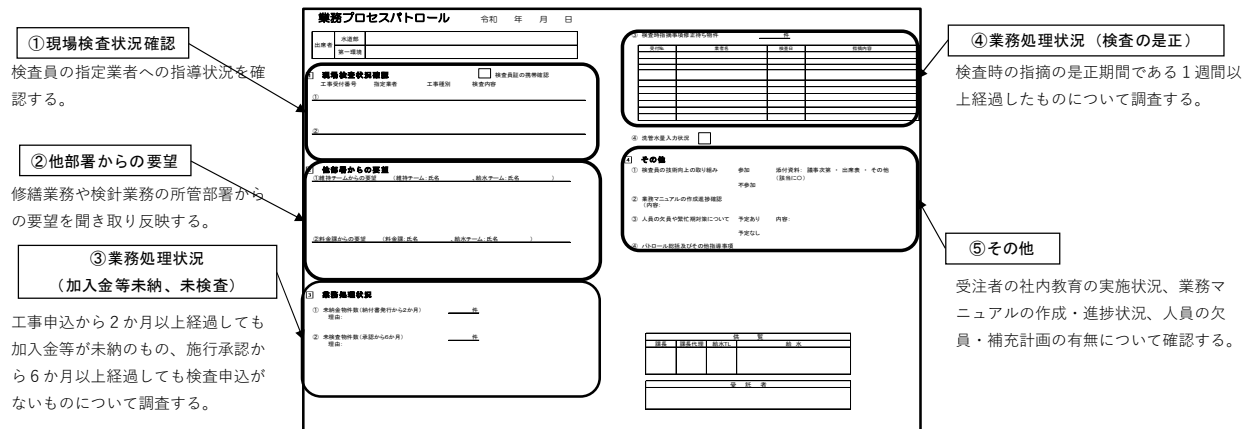


図3 業務プロセスパトロール調書

6. おわりに

本市として今回の業務委託をするにあたり、多くの懸念事項に対応するために業務の見直しや検討を繰り返した。短期間で効率よく業務の引き継ぎを行うためにも日頃から職員が行っている業務について細かく書面化し、実践による引き継ぎを行ったことで万全な状態で業務開始を迎えることができ、現在も問題なく円滑に業務を履行している。

今後も受注者と十分なコミュニケーションを図り、検査関連業務に係る知識及び技術の研鑽も行いながら、適正な業務委託の管理に努めていきたい。

耐震型サドル付分水栓の施工検証

— 東大阪市池島町における試験施工 —

○東大阪市上下水道局 池村 彩
東大阪市上下水道局 木村 達也

1. はじめに

近年、高性能ポリエチレン管（HPPE）やポリエチレン管用耐震性能強化型金属継手（給水システム協会規格 WSA B 011）が普及する等、給水装置の耐震化について機運が高まっている。しかし、地震における被害は給水管や継手のみでなくサドル付分水栓を含む給水分岐部においても発生している事例も多く確認されていることから、給水分岐部にも耐震化を図ることは急務である。

本稿ではサドル付分水栓の耐震化に着目し、過去の地震による給水分岐部における被害要因の考察と、本市で施工した耐震型サドル付分水栓の概要や施工結果について報告する。

2. 平成 28 年熊本地震における給水分岐部の被害要因

(1) 概要

熊本地震は平成 28 年 4 月 14 日、熊本県熊本地方を中心に震度 7 を観測し、それ以降も同 4 月 16 日に震度 7 を観測する等、震度 5 弱以上を計 27 回記録した震災であり、水道の被害については最大 44 万戸超の断水が発生した。

(2) 被害要因と考察

地震による被害は給水管部（管および継手）が全体の 80%以上（1,715 件）を占めているが、給水分岐部の被害も全体の 6.3%（131 件）に上っている。給水分岐部の被害形態は様々であり、サドル付分水栓以外にチーズ継手で分岐しているもの、また材料の劣化や施工の確実性が疑われるものもあるが、いずれも給水管が配水管と T 字形に接続されていることにより、管軸方向の地盤ひずみによる応力が給水分岐部に集中し、給水管接続部の破損または抜けが起きることが被害の大きな要因であると考察されている。

このことから給水管と配水管の接続部が T 字形に固定されず、管軸方向の地盤ひずみに追従することで応力の集中を防ぐことができるサドル付分水栓に着目した。

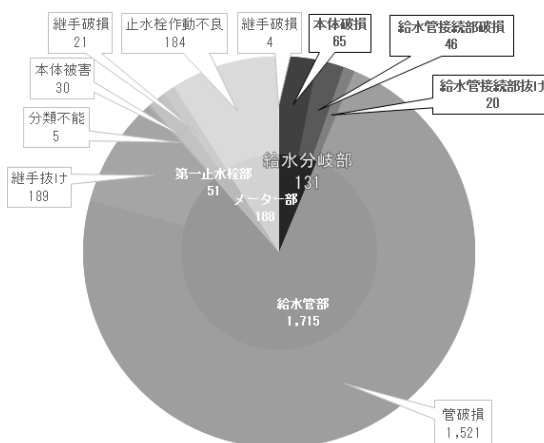


図-1 部位別の被害原因

(公財)給水工事技術振興財団調査報告書¹⁾を元に作成

耐震型サドル付分水栓の施工検証

— 東大阪市池島町における試験施工 —

3. 耐震型サドル付分水栓

(1) 概要

使用した耐震型サドル付分水栓は、サドル上部が回転することで地震動による配水管の横ずれに追従し、分水栓部に接続する給水管に掛かる負荷を抑制でき、塑性変形を防ぐことができるものである。この回転機構を除くと形状は従来型のサドル付分水栓と変わらないため、従来の穿孔機やコア挿入機を使用でき、導入へのハードルが低いこともメリットである。

(2) 耐震性能の実証²⁾

実験用土槽においてレベル2地震動を想定し、配水管を管軸方向に±30cm(往復60cm)×3振幅の変位を加えた実験が行われた結果、従来型サドル付分水栓では土圧により接続部の給水管が大きな変形を起こし、通水不良や漏水発生が懸念されることとなった。一方、耐震型サドル付分水栓ではサドル上部が回転することで過度な変形を抑止することができ、通水可能な状態を保つことができた。



写真-1 耐震型サドル付分水栓とロックピン

(3) 施工結果と考察

試験施工は本市発注工事にて、配水支管布設替に伴う給水接続替時に行った。

従来どおりの施工手順でサドル取付け、穿孔、コア挿入、給水管の接続を完了させる。最後に回転のロック機構を解除するのであるが、U字形のロックピンを取り外すだけの簡易な構造であるため、取り外しは容易で施工性に問題はなかったと施工者より回答を得られた。また、万一バックホウで給水管を引っ掛けてしまう等の事故が発生しても、回転機構が作動すればサドルの破損を回避できるのではないかとの見解も得られた。

表-1 試験施工概要

工事名	池島町配水支管布設替工事
工事場所	東大阪市池島町
本管口径	φ200
分岐口径	φ25-3箇所、φ20-4箇所

4. おわりに

今回の試験施工において現地で耐震性能を検証できないが、施工性については従来のサドル付分水栓と変わらず、またロック機構取り外し後に回転機構が想定通りに動作していることを確認した。地震発生時には実験で得られたデータのとおり動作することを期待し、引き続き耐震型サドル付分水栓の試験施工に取り組みたい。

【参考文献】

- 1) (公財) 給水工事技術振興財団：熊本地震給水装置被害状況調査報告書(平成30年)
- 2) 山下和宏・竹田優一：土槽を用いた実践的耐震給水分岐製品開発の一考察，令和3年度全国会議(水道研究発表会)講演集，P506-P507

水道広域化の現状と課題

兵庫県企業庁水道課 坊垣 悠紀子

1. はじめに

私たちが毎日当然のように利用しているこの水道水がいったいどのように運ばれているのか、誰がどのように水道事業に携わっているのか、ということを知っている人はあまりいないかもしれない。

私はこの4月に兵庫県庁に入庁し、初めて配属されたのが水道課だった。送水の仕組みから独特な技術的用語など何もかもがわからず混乱する中で、地域に住む人々に安全な水道水を供給する、ということのために、とてつもなく大きな額のお金が動いているということに何よりも緊張する毎日を送っている。

ところで、水道事業は今、非常に困難な局面を迎えている。少子高齢化が急激に進む日本で水需要は減少していき、それに伴って今後給水収益はさらに減少していくだろう。技術面を支える職種の人も相対的に減少していき、ひいては水質の低下、施設の弱体化、そして安心安全な水の供給ができなくなることにも繋がりがかねない危機である。

そのような中、水道業界ではこの状況を打破するため、「水道の広域化」が大きなテーマとなっている。「水道の広域化」とは簡潔に説明すると、市町村の区域を越えて共同で水道事業、経営を行うというものである。広域化が進めば、事業の統廃合による浄水場の維持管理の削減、管路のダウンサイジングによる経費、手間の削減が叶い、限られた予算や職員の中で今までどおりの高クオリティな給水を実現することができる。

素人目には広域化の進展は水道事業者にとって喫緊の課題であり、達成したい目標であるように感じるが、なぜ現実はそう甘くないのだろうか。

たった半年間という短い期間で、私が水道について学べたことは多くないが、本稿では日本の「水道広域化」のこれまでの歴史的背景や、兵庫県で行われている具体的な例をあげながら、自治体や事業者たちの本音について考えていきたいと思う。

2. 水道広域化の歴史

平成30年に水道法が改正されたが、改正法の趣旨は「人口減少に伴う水の需要の減少、水道施設の老朽化、深刻化する人材不足等の水道の直面する課題に対応し、水道の基盤の強化を図るため、所要の措置を講ずる」というものであった。これまであくまで例外的なポジションにあった水道事業の集権的広域化が水道事業の基本形に成り代わったのである。この水道法の改正によって、水道事業の基本形は従来の「拡張整備型」から「既存の水道の基盤を確固たるものにしていく」というスタイルに移り変わり、多くの小規模で経営基盤が脆弱な水道事業体を、都道府県が広域的な連携の推進役としてとりまとめるという形態に変わっていかうとする姿勢が目的化された。

ここで広域化に関する歴史をもう少し深掘りしてみる。水道の広域化の歴史が動き始めたのは昭和 41 年、大都市を中心に水需要が逼迫し人々が消費地から離れたダムに水源を求めざるを得なくなった時期である。そこで解決策として水道の広域化について考えられるようになり、この年に広域水道施設に対する国庫補助制度が創設された。そしてその 10 年後の昭和 51 年、水道法に「広域的水道整備計画」が新設され水道事業の広域化が始まった。この当時のかけだしの広域化と現在の広域化の考えの違いは、広域化を単なる施設の一体化と捉えるのではなく、「経営の一体化・管理の一体化・施設の共同化」という、より広義で高度に捉えるようになった点である。

例えば、兵庫県内でも市町の「水道施設台帳共同電子化」や「薬剤の共同購入」、「メーターの共同購入」などが既に実施されている。また、私が所属する企業庁では「三田西宮連絡管整備事業」という大規模工事を行っている(R4 年 10 月現在)。これは県が所有する「あかしあ台調整池」から西宮市が所有する「丸山供給点」まで送水管を繋げるという巨大事業で、南海トラフ地震など未知の大型地震が到来し、通常の給水が困難になっても企業庁の浄水場間の水融通を行い、応援給水を可能にしてくれる。震災大国日本にとって、まさに今後なくてはならない広域連携事業の一つである。

3. 進まない水道広域化

日本全国で広域化の動きが進めば「水」という人々にとって欠かすことのできないインフラをどんな時でも強固なものにし続けられると思ったのだが、残念ながら現実はその甘くはないようだ。その理由について兵庫県を例に考えてみたい。

兵庫県の地形は南北に 170 キロメートル東西に 110 キロメートルと広大で、また県域の約 8 割が山地を占めている。543 万人の県民は、阪神から東播磨の区域に約 4 分の 3 が集中しており水需要には偏在がある。さらに山地地形は水源の広域利用を難しくしており高低差等による送水コスト増が広域化の阻害要因になってしまうのだ。このような地形による問題は簡単に解決できるものではないため、地域によってはコスト面からもなかなか積極的な気持ちにはなれないかもしれない。

さらに、厚生労働省が平成 27 年に行った水道広域化への取り組みに関するアンケート結果をみると、地形以外にも広域化に軸足を置ききれない様々な現場の思いが浮かび上がってきた。例えば 47 都道府県を対象にしたアンケートでは広域化への取り組み状況として 21 件(44.7%)が「取り組んでいる」と回答し半数以上が取り組んでいなかった。これらの都道府県が広域化を進める中で苦慮している点としてあげたのは「大臣認可事業者との接点の確保」「広域化に対する理解」、「水道事業者間の温度差の解消」などであった。もう少し具体的にいうと、水道事業者間での施設整備面・経営面にポテンシャル差があるということである。老朽度や耐震化の度合いが低い方が広域化後の投資額も多くなり、水準の高い水道事業者から見れば不公平感を感じてしまうのは否めない。これらの差異は確かに合意形成をより難しくするだろう。特にこの場合、都道府県は事業者間の板挟みになることが多いためそれ

によって都道府県側における、広域化への意欲もそがれてしまうのも無理はない。しかしながら、それでも広域化に取り組めていなかった 26 都道府県のうち、「広域化の必要性は感じるか」という問いに対しては 1 件を除くすべてが感じているという結果であった。

このように広域化の重要性自体は認識しつつも、それにかかるコストや、利害調整の難しさなどもあり、なかなか踏みだせないのが現状である。

そんな中、広域化推進に対する意見として、都道府県が主体となって情報提供や検討の場を設定したり、各事業にとってメリットのある部分から段階的に広域化を図ったり、地域内の施設整備基準を一致させたりなどが挙げられた。また、広域化推進を制度面から支えるという意味で、広域化ができた地域には、国からノウハウ・人的支援をしてもらえるなどの制度の創設が効果的なのではないかという声も見受けられた。

このアンケート結果を鑑みていえることは、広域化成功の鍵は「広域化を希求する度合が一致していること」、「水道施設や財政状況の水準が離れすぎていること」であることがよくわかる。

4. 提言

これらのことから水道の広域化は困難な道のりではあるが市町やそれを統括する都道府県がどれほど密に意向を擦り合わせ、考える努力をするかという「主体性」が何よりも重要な水道の広域化への第一歩であると感じた。広域化への阻害要因として「施設整備、経営面での格差」が最も深刻な問題である中で、都道府県のリーダーシップが各事業体の広域化への意欲に直接繋がると私は考える。例えば、施設の共同利用という形での広域化プランの場合は、共同で使うものなのだから、耐震化の進んでいない事業体に、進んでいる事業体が積極的に経営面や技術面でサポートするべきであり、逆に援助した事業体に対して、国や都道府県が経営面での追加補助のメリットを与えるなど、安心して両者が助け合える環境作りを行うと良いのではないかと考える。はじめは格差により苦しむ事業体も、長い目で見れば、地域全体としてそのデメリットを補ってあまりあるメリットがあるという効果を示すなど、国や県が主体となって良い方向性を作り出すことが広域化が進展していない事業者の「主体性」を高め、広域化に繋がると思うのだ。

5. 終わりに

私が水道課配属になってから今日まで、「広域」という言葉を何度も聞いてきたが、正直なところ、「言葉の意味はよくわからないけど今後必須な何か」くらいにしか思っていなかった。

広域化の重要性やそれによって享受できるメリットも、それが実際にはどれほど難しいことなのかも、今回の論文を書くに当たって初めて知った。今後少子高齢化により、日本の水需要は減少の一途をたどり、水道事業者や職員も当然数が減っていくであろうが、だからといって、ここで広域化を無理に推進しても、歪みが生じ、「誰もが当然享受すべき」水道水

が公平に行き渡らなくなる結果となっては元も子もない。

今回、「水道の広域化」の難しさを実感し、広域化が推進されるべきとは思いながらも、正直課題が多く、困難に感じることも多かったというのが、私の今の率直な思いである。それでも少子化や施設の老朽化は止まって待ってはくれない。世界に誇る日本の安全安心な「水」の提供を守るために、これからも積極的な姿勢で日々の業務に取り組み、水道の広域化推進に貢献できるよう勉強を続けていきたい。

豊中市柿ノ木配水場の共同化

ー 基盤強化に向けた広域連携の取り組みー

○黒木 綾香（豊中市上下水道局） 小川 智司（豊中市上下水道局）
小谷 智哉（豊中市上下水道局）

1. はじめに

本市は、令和4年3月に新たな広域連携の取り組みとして、本市の柿ノ木配水場を隣接する吹田市と共同化する協定を締結した（図1）。本稿では、広域連携を検討する他事業体の一助となるべく、柿ノ木配水場の共同化に至る経緯や検討過程、共同化による効果について報告する。

2. 共同化に至るまで

（1）共同化の契機

柿ノ木配水場は、本市の北部に位置し、大阪広域水道企業団（以下「企業団」という。）の千里浄水池、吹田市の蓮間配水場、箕面市の船場東受水場に近接している。

平成23年度に、府域の水道事業の効率化と広域化を図る目的で、千里浄水池の整備に伴い発生する余剰地の利活用について検討すべく、同浄水池

に隣接する施設を有する3市及び企業団からなるワーキンググループが設立された。当初は3市の施設を集約し、千里浄水池敷地内に3市共同ポンプ施設（以下「3市共同ポンプ」という。）を設置する方向で検討を進めていた。

しかし、柿ノ木配水場は平成20年に耐震補強工事を実施していたことから、直ちに同配水場を廃止することは困難であった。そこで、同配水場が耐用年数を迎える令和25年度以降を目途に、3市共同ポンプを設置することとした。

一方で、吹田市の蓮間配水場の更新時期が迫っていたことから、平成26年度に吹田市より、蓮間配水場の機能を停止し、柿ノ木配水場を共同利用したい旨の申し出があった。そこで、段階的に施設集約を進めることとし、第一段階として、柿ノ木配水場に蓮間配水場の機能を一部移転し、吹田市の一部区域への配水を実施する方向で協議を進めることとなった。

（2）手法の検討

吹田市への配水を実施するにあたり、その手法について吹田市と協議を重ねた。検討にあたっては、下記の3点を前提条件とした。

- ・今回の2市連携は3市共同ポンプ設置までの暫定的な形であることから、可能な限り手続きを簡素化する。

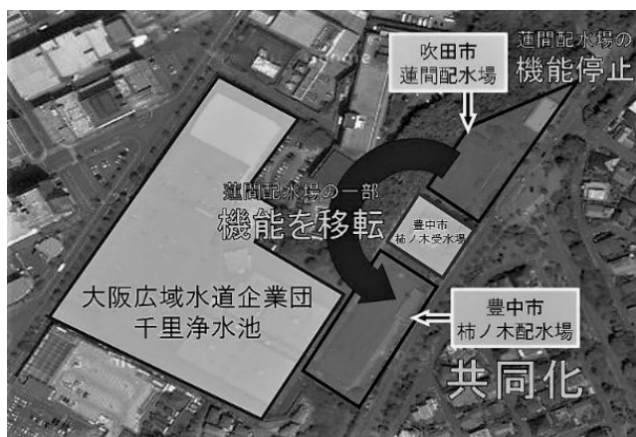


図1 柿ノ木配水場の共同化のイメージ

豊中市柿ノ木配水場の共同化

－基盤強化に向けた広域連携の取り組み－

- ・同配水場は2市の共有財産とはせず、所有権は本市に残す。
- ・厚生労働省より解消に取り組むべきとされている分水や区域外給水（以下「分水等」という。）に該当しない手法を選択する。

また、日本水道協会の「水道広域化検討の手引き」や地方自治法の共同処理制度を参照し（図2）、今回のケースに適用しうる手法を検討した。

手 法	根拠等	必要な手続				問題点・課題
		規約	議会承認	事務局等	協定書等	
1. 私法上の業務委託	私法上の契約に基づく				○	分水・区域外給水に該当しないかが問題となる。
2. 任意協議会の設置	関係団体の合意に基づく				○ ○	契約主体となることができない。
3. 公の施設の区域外設置・他の団体の公の施設の利用	地方自治法244の3		○		○	議会の承認が必要。 分水・区域外給水に該当しないかが問題となる。
4. 協議会の設置	地方自治法252の2の2～252の6	○	○	○	○	議会の承認等、手続きが多い。
5. 事務の委託	地方自治法252の14～16	○	○	○	○	議会の承認等、手続きが多い。
6. 事務の代替執行	地方自治法252の16の2～4	○	○	○	○	議会の承認等、手続きが多い。
7. 一部事務組合等の設置	地方自治法284～291	○	○	○	○	議会の承認等、手続きが多い。

図2 手法一覧（日本水道協会「水道広域化検討の手引き」p.133の表1.1を一部加工）

先に述べた前提条件を踏まえて検討した結果、他の手法よりも手続きが簡易であり、所有権を本市に残すことが可能な「私法上の業務委託」と「公の施設の区域外設置・他の団体の公の施設の利用」が候補に挙がった。そこで、これらが分水等に該当しないかを検証するため、厚生労働省の「水道事業等の認可等の手引き」及び「令和元年度全国水道関係担当者会議資料」にて示された分水等の対応方策を参照した。

当該文献では、分水等の問題点として、水道法（以下「法」という。）上の責任の所在が不明確であり、需要者への安全かつ安定的な水の供給が担保されていないことを指摘している。そしてその解消方策として、「水道用水供給事業の創設」、「給水区域の拡張」、「関係水道事業者における事業統合」、「分水等を行う水道事業者への第三者委託」を挙げているが、今回のケースにおいて採用しうる手法は、「分水等を行う水道事業者への第三者委託」のみとなる。

これは、法第24条の3に規定する第三者委託（以下「法上の第三者委託」という。）にあたり、法上の責任とともに水道の管理に関する技術上の業務を委託することができる点において、先程候補に挙がった一般的な「私法上の業務委託」と異なる。一方で、契約の締結により実施可能である点は共通していることから、当該法上の第三者委託を適用することができれば、分水等の状態を回避できるとともに、事務手続きを簡素化することも可能になると考えた。さらに、当該文献にて示された事例（図3）では、施設の所有権は変更せず、共同管理とすることで法上の第三者委託を可能としていたことから、当該事例に則れば、所有権の問題も解決できるのではないかと考えた。

豊中市柿ノ木配水場の共同化

－基盤強化に向けた広域連携の取り組み－

そこで、当該手法の適用可否等につき、厚生労働省に照会したところ、今回のケースにおいて、柿ノ木配水場の所有権を本市に残したまま、法上の第三者委託が可能であること、議会の議決や認可上の手続きは不要であること、分水等に該当しないこと、等の確認が取れたことから、法上の第三者委託を活用し、吹田市への配水を実施することとした。

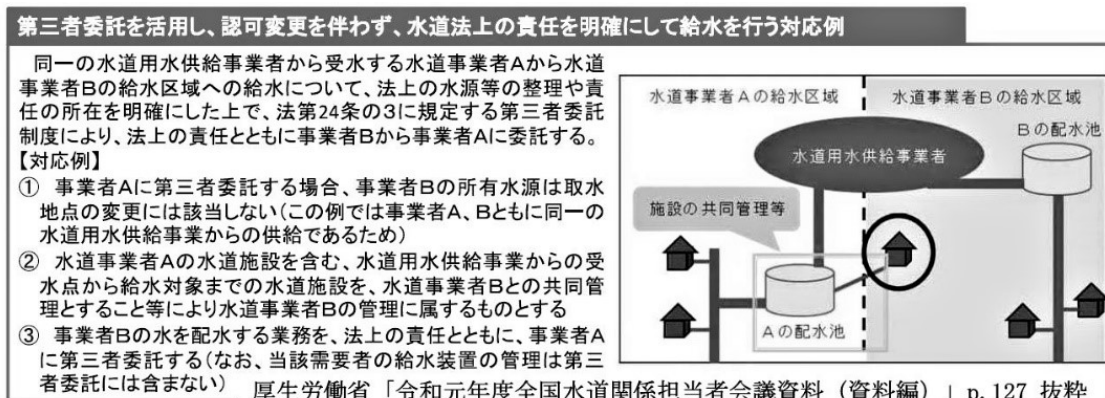


図3 法上の第三者委託を活用する対応例

(3) 手続き

前述の事例に沿って法上の第三者委託を実施する場合、①水源等の整理、②責任の所在の明確化、③第三者委託契約の締結が必要となる。②については、例に則り、柿ノ木配水場を吹田市と共同管理とすることで対応することとした。手続きの流れについては、以下に示す。

- ①両市ともに企業団からの受水に変更はないことから、取水地点の変更に伴う認可上の手続きは不要であることにつき、前述の厚生労働省への照会にて事前に確認した。
- ②柿ノ木配水場を共同化する旨の協定を締結し、吹田市にも管理権を付与するとともに、協定書上で責任の区分を明確化することで、法上の第三者委託を可能にした。
- ③第三者委託契約を締結し、吹田市から配水業務を含む柿ノ木配水場の管理業務を受託した。契約書には、法施行令や法施行規則にて記載すべきとされた事項を明記した。当該第三者委託については、委託者である吹田市が、法に則り、厚生労働大臣への届出を行った。

3. 共同化による効果

(1) 余剰能力の有効活用

柿ノ木配水場の令和2年度の平均給水量は、計画給水量 15,169 m³に対し 8,513 m³で、施設の稼働率は約 56%であったが、共同化後は吹田市への平均配水量を 1,000 m³程度想定していることから、稼働率は約 7%上昇する見込みである。

昨今、水需要の減少に伴い、施設のダウンサイジングの検討が必要となる中、今回の共同化により、施設の規模は維持したまま、余剰能力を有効活用することが可能となった。

豊中市柿ノ木配水場の共同化

－基盤強化に向けた広域連携の取り組み－

(2) 負担金収入による経費の節減

柿ノ木配水場の管理業務の受託に伴い、維持管理費と事務費からなる負担金収入を年間約 800 万円見込んでいる。算定方法については両市で協議を重ね、水量按分に基づき算出した維持管理費に、維持管理費の 30%にあたる額を事務費として合算することとした。

当該負担金により、柿ノ木配水場に係る経費を節減することが可能となった。

4. おわりに

今回の共同化は、本市水道事業の経営基盤の強化だけでなく、両市の職員間の関係強化にもつながった。共同化の手続きが完了した後も、事業に関する情報の共有等を通して連携を図っており、ソフト面においても大いに効果があった。

現在大阪府では、府域一水道（事業統合・料金統一）を目標に掲げ、持続可能な府域水道事業を構築すべく、段階的に施設の共同化や管理の一体化を進めている。本市も、引き続き情報共有や意見交換等を通し、近隣事業体との協力関係を深めていきながら、施設の共同化や業務連携等、基盤強化に向けた更なる広域連携の検討を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 日本水道協会「水道広域化検討の手引き」
- 2) 厚生労働省「水道事業等の認可等の手引き（令和元年9月版）」
- 3) 厚生労働省「令和元年度全国水道関係担当者会議資料」

大阪市水道局におけるオープンデータの推進について

大阪市水道局総務部 ICT 推進課 ○竹内 徹
大阪市水道局総務部 ICT 推進課 増田 成仁

第1編 はじめに

総務省が「情報通信白書」を初めて刊行した1973（昭和48）年と現在を比べると、我々の日常は大きく様変わりしている。主なコミュニケーションツールが固定電話から携帯電話になり、映像の視聴手段はアナログ方式の地上放送から衛星放送やデジタル放送、あるいはインターネット動画配信サービスに置き換わっている。21世紀に入ってこの流れはさらに加速しており、いまま ICT（情報通信技術）は日進月歩で高度化している。

ビジネスの世界では、1973（昭和48）年当時は、保有する情報を汎用機（メインフレーム）と呼ばれる大型のコンピュータで処理しており、組織の中でしか情報を扱うことができなかったが、1990年代から爆発的に普及したインターネットはいまやどこからでも情報にアクセスできるクラウドコンピューティングを可能にし、2021（令和3）年では企業の約7割がクラウドサービスを利用するまでに至り¹⁾、ネットワーク上では日々大量のデータが行き来している。

私たちが日々の生活の中でスマートフォンやパソコンを使用して写真や文字をやり取りしているが、これらはすべて「データ」である。好むと好まざるとにかかわらず、私たちはデータに触れることを避けられない環境の中で毎日を送っていると言えるだろう。

2006（平成18）年にイギリスの数学者であり起業家であるC. ハンビーは「データは21世紀における石油である（Data is the new oil）」と言い、これはデジタル社会における有名なメタファーとなったが、データは消費して終わるものではなく、再利用が可能であり、また活用して新たな価値を生み出すことができることから、土から花が咲くのに見立て、近年では「データは新しい土壌である（Data is the new soil）」と言われている。

第2編 オープンデータとは

第1章 オープンデータとは

このようにプレゼンスが高まっている「データ」だが、行政の分野におけるデータにかかる取組としてよく言われる「オープンデータ」とは何だろうか。

内閣官房に設置された高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 総合戦略本部）が2017（平成29）年5月30日に決定した「オープンデータ基本指針」によると、オープンデータとは、「国、地方自治体及び事業者が保有する官民データのうち、営利目的・非営利目的を問わず二次利用可能なルールが適用され、機械判読に適した形であり、無償で利用できるもの」と定義されており²⁾、同指針においては、行政の保有するデータは全てオープンデータとして公開することが原則であるとうたわれている。

第2章 オープンデータの重要性

保有するデータをオープンにすることについては、「ニーズはあるのか」「何に使われるのか」「目的は何か」という議論になりがちである。しかし、国の「オープンデータ基本指針」にも述べられている通り、公共データは元来市民国民の財産であり、公共財であるという認識に立つべきである。もちろん個人情報が含まれるもの、安全や秩序の維持に支障を及ぼすおそれのあるものは公開すべきではないが、その場合には公開できない理由をきちんと持つておくことが必要である。

2021（令和3）年に発生した静岡県熱海市における土石流災害は、悲劇的な事故のレポートとともに、オープンデータを公開しておくことの重要性が改めて注目された事件でもあった。静岡県では以前から県が土木作業をするための「点群データによる地域地形情報」をオープンデータとして公開しており、「VIRTUAL SHIZUOKA（バーチャル静岡）」と呼ばれるデジタルツインの整備計画はもともと災害対策のためのものであったが、結果として土石流発生メカニズムを解析するための基礎情報とし

て非常に価値のあるものとなった。意義深いのは、事故の検証を従来であれば県が単独で行うところを、オープンデータとしていたことで検証のコミュニティが立ち上がり、行政単独では想像もできないような人数が関わることで、驚異的なスピードでの巨大な集合知の形成につながった点である。データを行政の中にとどめることなく、オープンにしておいたことで、東京都におけるシビックテックの取組と同様、多くの専門スキルを持った市民の参画が可能になったのである。難波静岡県副知事(当時)が「時代が変わった」という言葉とともに、行政の「自前主義からの脱却」について自らの言葉で実感を持って語る姿は非常に印象深いものであった。³⁾

第3編 本市の状況

第1章 本市の取組

大阪市は、地方自治体の中ではいち早くオープンデータに取り組んでおり、2014(平成26)年1月の時点から「公共施設の情報」や「統計情報」についてオープンデータとして公開を行っていた。その翌年の2015(平成27)年1月には、大阪市としてのオープンデータへの考え方を示す「オープンデータの取り組みに関する指針」を策定、公表している⁴⁾。この指針では、大阪市自らが積極的に、コンピュータが読み取れる形式でデータを公開し、営利目的か否かを問わず活用を認め、促進することを謳っており、現在も本市における取組のバックボーンとなっている。

また、大阪市オープンデータポータルサイト⁵⁾を2016(平成28)年に開設、2022年(令和4)年には全面的なリニューアルを行い、掲載データの質・量の向上に取り組んでいる。(図1)

本市は、「オープン市役所」として市の全会議を公開するなど他都市と比較しても情報公開(オープン)が積極的に行われており、統計情報も多数ホームページ上に掲載されているが、公開されている数多くの情報はそのほとんどがPDFファイルであり、機械判読性や二次利用が難しい状態のものが多い。「データ」の形で公表はまだまだ道半ばであると言える。



図1 大阪市オープンデータポータルサイト

第2章 水道局の取組

当局においても、「オープンデータの取り組みに関する指針」の通り、「大阪市水道経営戦略(2018-2027)【改訂版】」において「水道事業のデータのオープンデータ化」を、「大阪市水道局 ICT 計画第2.1版」では「オープンデータの推進」をそれぞれ掲げ、局として取り組んでいる。しかしながら大阪市オープンデータポータルサイトにおける水道局データの掲載は2022(令和4)年度当初にはなく、「データ」の形式での情報公開が当局においては積極的に進んでいるとは言えない状況であった。そのような中、オープンデータの公開に取り組んだ事例として以下を紹介したい。

当局が市民に伝えるべき重要な情報の一つである「水道水の安全性」についての情報を所管する水質試験所では、市民に対してよりわかりやすい形で情報発信を行うにはどのような方策がよいのか、について検討していた。これまでは毎月の地点別水質検査結果をPDFファイルのみで公開しており(図2)、これには一定のニーズがあるものの、閲覧する市民が安全性の観点から「網羅的」に確認することは事実上困難だったからである。

地図の●の地点の水質検査結果がPDF形式でご覧いただけます。

水質検査の結果、浄水場出口及び給水栓のすべての地点において、厚生労働省令で定められた水質基準値を十分に下回っており、安全性が確認されています。



地点別水質検査結果

- [令和3年7月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.61KB\)](#)
- [令和3年8月の地点別水質検査結果\(PDF形式、405.29KB\)](#)
- [令和3年9月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.80KB\)](#)
- [令和3年10月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.98KB\)](#)
- [令和3年11月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.89KB\)](#)
- [令和3年12月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.81KB\)](#)
- [令和4年1月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.63KB\)](#)
- [令和4年2月の地点別水質検査結果\(PDF形式、405.48KB\)](#)
- [令和4年3月の地点別水質検査結果\(PDF形式、404.29KB\)](#)
- [令和4年4月の地点別水質検査結果\(PDF形式、402.17KB\)](#)
- [令和4年5月の地点別水質検査結果\(PDF形式、402.31KB\)](#)
- [令和4年6月の地点別水質検査結果\(PDF形式、402.25KB\)](#)

図2 PDFでの水質検査結果掲載ページ

しかし、近年ではICTの急速な発展により、大量のデータを収集・分析・加工し、データの可視化

や分析を容易にして、様々なインサイトやビジュアルデータの共有を可能とする BI ツール（ビジネス・インテリジェンス・ツール）と呼ばれるツールが普及してきている。BI ツールは官民を問わず、蓄積しているデータの利活用を図る組織において必須のツールとなっており、組織における意思決定をよりデータドリブンなものにすることにもつながることから、当局ではこのツールとオープンデータを組み合わせることで、より良い市民への情報発信ができるのではないかと考えた。

BI ツールについては多種多様なものが存在するが、全世界で 86,000 社以上、日本国内だけでも 4,000 社以上の導入実績があるなど世界的に利用されている（2021 年 10 月時点）点や可視化したコンテンツを WEB サイトへ埋め込むことが可能である点、さらには中央省庁や自治体など官公庁においても多くの導入実績があり利用者のコミュニティが活発である点などを総合的に考慮し、「Tableau」を用いることとした。

人が見やすい表形式（いわゆる横持ちデータ）であった PDF ファイルを加工して機械判読性の高い縦持ち形式の CSV ファイルを新たに作成し、Tableau を用いて可視化したコンテンツを 2022（令和 4）年 8 月より当局のホームページに新たに掲載した。これにより、閲覧者は自身が見たい地点や期間を自由に選んでインタラクティブにグラフの操作・表示ができ、水質試験情報の視認性が格段に高まったと考えている。

あわせてデータの利用者によるさらに自由な分析が可能になるよう、作成した CSV ファイルは文字コードや改行コードなどのメタデータを付与したうえで当該ページ及び大阪市オープンデータポータルサイトに掲載している（図 3）⁶⁾。

いくら大方針や立派なポータルサイトを作ったところで、公開すべきデータがなければ「仏作って魂入れず」の状態になってしまう。組織的なオープンデータの推進には、実際に事業においてデータを扱っている各所属の理解と協力が欠かせないことから、今後も積極的な提案・働きかけに加えて、意識の醸成が必要であると考えている。

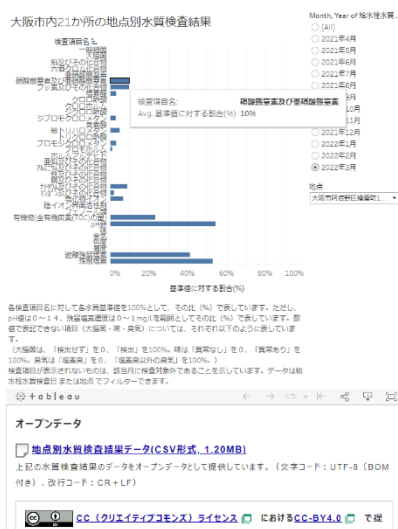


図3 視認性を高めた水質検査結果掲載ページ

第 4 編 海外の事例

一方、海外に目を向けると、水道事業体自らが多くのデータを積極的に公開している状況が見受けられる。これらの取組は行政の透明性を高めると同時に、市民へのわかりやすい情報発信を可能にしているという点で、ベストプラクティスとして参考になる要素が多くあると考える。

オープンデータの先端都市として知られるニューヨーク市では、同市のオープンデータポータルサイトに、各月の濁度、大腸菌、塩素等の水質情報をまとめた「水質モニタリングデータ (Drinking Water Quality Distribution Monitoring Data)」や、1979（昭和 54）年からの年次の水使用量の推移がわかる「ニューヨーク市における水使用量の推移 (Water Consumption in the City of New York)」といったデータが掲載されている。⁷⁾また、これらはポータルサイト上で容易に可視化が可能であり、ポータルサイトそのものの性能が高いことも特筆すべきである。

また欧州では、近代水道が我が国に 80 年あまり先だって整備されたイギリスがオープンデータにおいても代表格となっており、首都ロンドンのオープンデータポータルサイトでは貯水池の水位が

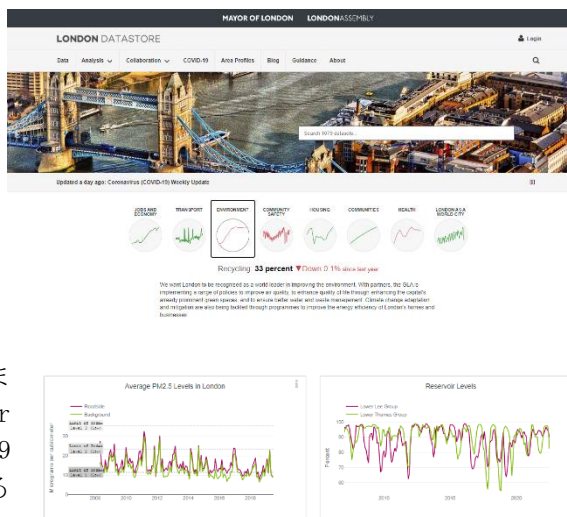


図4 ロンドン市データストア(ポータル)サイト

視覚的にわかりやすいグラフで発信されていることに加え、機械判読性の高い形式でのデータ提供が合わせて行われている（図4）。⁸⁾

「ロンドンデータストア (London Datastore)」と名付けられたロンドンのポータルサイトでは、単にデータを掲載するだけにとどまらず、シンプルなグラフや親しみやすいデザインを駆使してデータを視覚化・可視化して市民に分かりやすい情報発信を行っている点が目新しい。

第5編 まとめ

以上のように、オープンデータの取組は古くは2000年代初頭から始まっており、ここ数年になって急に始まったものではないが、国内においてはオープンデータを十分に提供している水道事業者は、現時点ではほとんど見当たらない。国外と比較すれば取組の進捗に我が国との差があることは明らかであろう。

オープンデータの取組のさらなる推進には意義・必要性の周知が欠かせないが、オープンデータを進めるうえで重要な「情報とデータの違い」をおおむね理解していると回答した職員は当局において約27%にとどまっていた⁹⁾。データの公開が進まない一因には、データあるいはICTにかかるリテラシーの欠如もあると考えている。

第3編第2章で示した水質試験所の事例のように、テーマ性を持ったうえで情報とデータを合わせて示し、市民に対してわかりやすく情報発信していくことは、今後の取組の一つの柱になるものと考えられる。啓発や人材育成を積極的に行いつつ、できることからあるいは課題意識のある部署に対してオープンデータの推進部署が主体的にコミットし、量は少なくとも質の高いデータを公開するなどベストプラクティスを積み上げていきたい。

行政がオープンデータの取組を進めることは、公開する側の職員がデータに親しむことにつながり、リテラシー向上にも寄与すると考えられることから、今後も当局では経営戦略やICT計画に掲げるオープンデータの取組を積極的に進め、「貢献する水道」の基本方針に基づいた「水道事業に関するデータの積極的な提供」¹⁰⁾によるデータ活用社会の実現に貢献することをめざしていく。

第6編 おわりに

近年では「データストーリーテリング(Datastorytelling)」や「責任ある可視化(Vizresponsibility)」といった言葉や概念も聞くようになってきている。前者は文字通りデータを使って語ることであるが、そもそもデータは意味を持たせなければただの数字の羅列になってしまう。技術の進歩によって以前は考えられなかった量のデータを高速に処理できるようになった現在、データを使って何を見せるか、何を語るか、は以前より重要になってきているとも言える。行政の分野で考えると、市民とのコミュニケーションツールとしてデータを積極的に活用していくことは自然な流れではないだろうか。

データに囲まれて生活している現代だからこそ、これまでの旧態依然とした取組にとどまることなく、デジタル化した社会、あるいは未来の社会を見据えて、行政の持つデータを積極的に発信・活用していくことが求められているのではないだろうか。

(参考文献・サイト)

- 1) 令和3年通信利用動向調査(総務省情報通信統計データベース)
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/statistics05.html>
- 2) オープンデータ基本指針
(平成29年5月30日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議決定、令和元年6月7日改正)
https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/data_shishin.pdf
- 3) 静岡県公式チャンネル・難波副知事記者会見 2021年7月15日
<https://www.youtube.com/watch?v=MYoXQwUMxpk> (2022年8月25日閲覧)
- 4) 大阪市オープンデータの取り組みに関する指針
<https://www.city.osaka.lg.jp/ictsenryakushitsu/page/0000295385.html>
- 5) 大阪市オープンデータポータルサイト
<https://www.city.osaka.lg.jp/contents/wdu290/opendata/>
- 6) 大阪市の水道水について
<https://www.city.osaka.lg.jp/suido/page/0000562757.html>
- 7) ニューヨーク市オープンデータポータル(水質モニタリングデータ)
<https://data.cityofnewyork.us/Environment/Drinking-Water-Quality-Distribution-Monitoring-Dat/bkwf-xfky> (水使用量の推移)
<https://data.cityofnewyork.us/Environment/Water-Consumption-In-the-City-of-New-York/1a2d-e54m> (いずれも2022年8月25日閲覧)
- 8) London Datastore(Environment カテゴリ)<https://data.london.gov.uk/> (2022年8月25日閲覧)
- 9) データ活用についての意識調査(大阪市水道局、2022年7月実施)
- 10) 大阪市水道経営戦略(2018-2027)【改訂版】基本方針4基本施策4-4(P116-118)

阪神水道企業団における内部統制に関する取組

阪神水道企業団 ○小林 貴生

阪神水道企業団 杉本 重之

1 はじめに

会社法や金融商品取引法の制定により、上場企業等において、内部統制体制の整備が求められるなど、近年、内部統制の重要性はますます高まっている。

その背景には、金融機関や鉄道会社による企業のガバナンスが問われる不祥事の発生や大規模な粉飾決算が続いたことにより、会社経営の健全性の確保や財務報告の信頼性をより一層確保する必要性が高まったこと等がある。

その後、平成 29 年に地方自治法が改正され、地方自治体（都道府県及び指定都市）においても内部統制制度の導入が義務づけられ、体制の整備が必要となった。

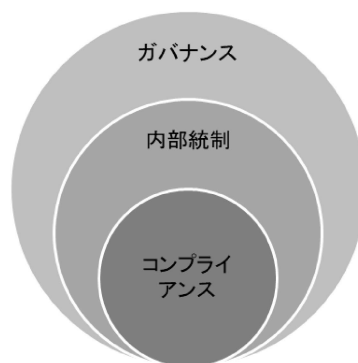
その様な状況もあり、阪神水道企業団（以下「企業団」という。）では、内部統制の取組を進めている。本稿では、企業団における内部統制の取組について報告する。

2 内部統制とは

一般論として、ガバナンスとは企業が自らを監視・統制する仕組みのことであり、内部統制とは、組織内の全ての人により、企業の適正性を確保するための取組とされている。ガバナンスは、一般に外部からの統制と内部からの統制で構成される。したがって、ガバナンスには、議会等からの統制を含んでいると考えられているが、内部統制には含まれていないと考えられている。

また、コンプライアンスは、企業活動における法令順守を指し、近年は法令のみならず、社内規範、社会規範及び企業理念などを守ることも含まれていると考えられている。（図－1）

企業団においても、内部統制の取組を進めることにより、職員のコンプライアンス遵守の意識を高めることができると考えている。



図－1 ガバナンス、内部統制、コンプライアンスの相関イメージ

3 阪神水道企業団における内部統制の取組

(1) 取組にあたっての方針

企業団では、内部統制の取組を進めるにあたり、地方自治法の改正に沿った「内部統制体制の整備」を進めるだけでなく、「業務棚卸し」、「情報化推進」といった3つの

取組をパッケージ的に進めていくことにより、より効率的、効果的に組織体制の強化や持続可能な組織のための土台づくり等を図ることができると考えている。(図-2)

内部統制体制の整備においては、地方自治法の改正に沿った取組を行うこととしている。地方自治法に規定された財務に関する事務(予算の執行、収入、支出、契約、現金及び有価証券の出納保管、財務管理等)を対象に、これまでの企業団の問題点や監査からの指摘事項も踏まえたリスクの評価及び対応策の検討等を行うこととしている。

業務棚卸しにおいては、業務体系表、業務フロー図及び業務記述書の作成を行い、業務プロセスの可視化を進め、業務量や業務フローの把握、業務の標準化・効率化、また、事務処理マニュアルの整備等を実施していくこととしている。

情報化推進においては、近年の情報通信技術(ICT)の急速な進展等も踏まえ、人口減少等による職員数減少も見据えた業務の効率化等を情報化の側面から推進していくこととしている。

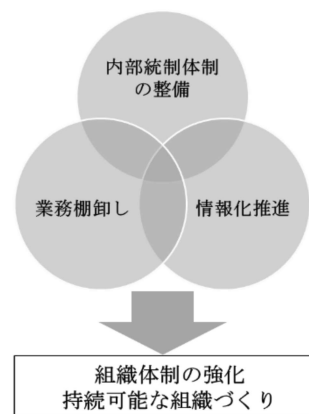


図-2 阪神水道企業団における内部統制の取組

(2) 各施策におけるこれまでの取組と今後の課題

ア 内部統制体制の整備

(イ) これまでの取組

企業団では、令和3年度よりリスクの抽出・分類、対応策の整理、実行(リスクコントロールマトリクス)の取組を開始した。

具体的な取組内容としては、地方自治法に規定された財務に関する事務について、リスクの内容や影響度を記載したリスク評価シート等により、リスクの洗い出しを行った上で、発生頻度や影響度等を考慮したリスク評価を行った。その上で、各所属がリスクに対する自己評価を行い、確認された事例(職員の手当の請求誤りや業者への支払遅延等)について、マニュアルや規則・規定の改訂等を含めた対応策の検討を行った。(図-3)

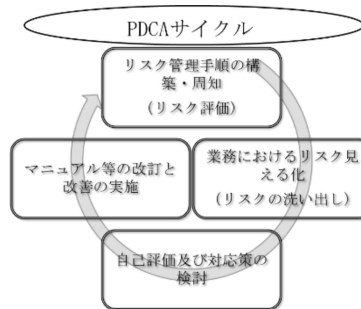


図-3 内部統制体制の整備におけるPDCAサイクル

(イ) 今後の取組

内部統制に関する方針及び内部統制体制の整備状況についての評価や各所属における対応策の実施内容についての評価等を内部統制評価報告書（案）として取りまとめを行うこととしている。また、今後、円滑に行うための体制を整えるために、「阪神水道企業団内部統制基本方針（案）」及び「阪神水道企業団内部統制実施要綱（案）」を策定する計画である。

イ 業務棚卸し

(ア) これまでの取組

企業団では、令和3年度より段階的に業務棚卸しを実施しており、第1段階としては、各所属共通の庶務的業務を対象に実施した。また、現在（令和4年度）においては、各所属共通の庶務的業務以外の各所属固有の業務にも範囲を広げ、業務棚卸しを実施している。

具体的な取組内容としては、まずは、分課規程を基に各所属の業務を体系的に分類した上で具体業務の洗い出しを行い、定型又は非定型の分類分けや年間従事時間数の整理を行い、現在の業務従事状況を網羅的に把握するため、業務区分、業務特性、業務量等を記載した業務体系表の作成を行った。（図－4）

その上で、業務内容や実施にあたっての注意事項等を明確にした業務記述書及び事務処理の流れを可視化した業務フロー図を作成した。（図－5）

また、整理した「業務体系表」、「業務フロー図及び業務記述書」も踏まえ、現行の業務手順の評価及び課題抽出、さらには、改善内容等の検討を行い、適宜改善を図るなど内部事務の効率化を進めている。

(イ) 今後の取組

今後の取組として、作成を進めている業務フロー図や業務体系表は、令和4年度で一旦、完成させる予定である。今後は、整理した業務フロー図や業務体系表を基に、事務処理手順の改善や、事務支援システム導入やRPA等の活用可能性の検討、さらには、人員配置の適正化等、幅広く活用することを検討している。

大分類 (分課規程)	業務区分		業務特性		業務量							
	中分類 (具体業務)	小分類 (作業内容が具体的にわかるレベルで記載)	定型	定型以外	必要時間数 (1件あたり)	参加者数 (1件あたり)	時間数	頻度				
								日	週	月	年	
議会事務局並びに監査事務局との連絡調整に関すること	議会日程	連絡調整	1		0.5	1	0.50					15
秘書及び渉外事務に関すること	全国水道企業団協議会	役員会・総会・企業長事務局長経営会議随行	1		8.0	1	8.00					7
法規の運用並びに例規の制定、改廃及び例規類集の編纂に関すること	企業団規程改正業務	改正案集約、作成、決裁(条例、規則、訓令、管理規程、要綱等)	1		3.0	2	6.00				1	
公告式及び令達に関すること	公報関係業務	公報原稿作成、公報発送手続及び企業団ホームページ掲示	1		2.0	2	4.00				1	
文書管理に関すること	文書管理事務	書庫管理(保存文書管理・焼却等適正廃棄処分管理)	1		3.0	2	6.00					5
広報に関すること	広報事務	各種パンフレット作製		1	3	2	6.00					5

図－4 業務体系表

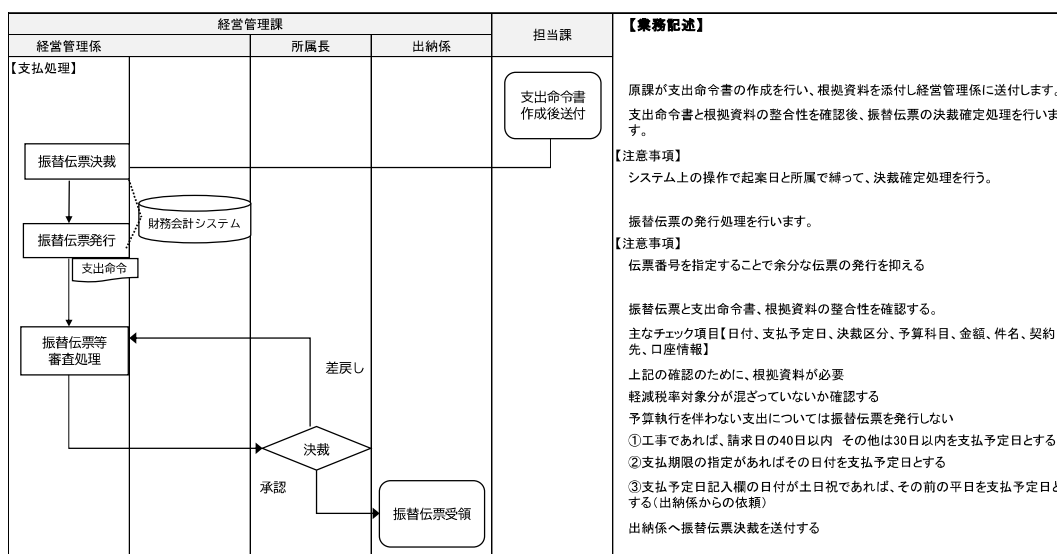


図-5 業務フロー図及び業務記述書

ウ 情報化推進

(7) これまでの取組

企業団では、事務及び維持管理業務においても ICT 活用等の検討を進めている。

具体的には、事務については、電子決裁・文書管理システム等の業務支援システムの導入や RPA ツールの導入等による業務の効率化・高度化及び人為的ミスの防止によるリスクの軽減や意思決定の迅速化等に向けた検討を行っている。

また、維持管理業務においては、タブレット端末を用いた施設の点検やウェアラブルカメラを用いた遠隔臨場導入の検討等、施設の維持管理業務の高度化・効率化に向けた取組を進めている。

(i) 今後の取組

業務効率化や人為的ミスの防止等によるリスク軽減を情報化の側面から推進するためにも、デジタル技術を積極的に活用し、業務棚卸しで見つかった課題改善策の検討や更なる業務効率化を図る等、業務改善を推進していくこととしている。

4 おわりに

今後も3つの施策（内部統制体制の整備、業務棚卸し、情報化推進）を着実に推進し、その上で、企業団内部で定着させることが課題として挙げられる。

これまでの企業団における内部統制の取組については、各施策を個々に展開してきているが、有機的に連携させることで企業団の適正な事業運営に寄与させていきたいと考えている。

今後も内部統制体制の整備を進めるとともに、PDCA サイクルを継続的に実施し、企業団全体に内部統制の意識が浸透するよう尽力していきたい。

「コロナ禍をきっかけとした水道出前教室の見直し」

—職員派遣型から教材貸出型へ—

○播磨 純一郎（豊中市上下水道局） 山下 由美子（豊中市上下水道局）

山田 栗子（豊中市上下水道局）

1. はじめに

豊中市上下水道局では、平成13年（2001年）より、水道を初めて学習する小学4年生を対象に、水の循環や、水資源の大切さを知る環境学習の場として、局職員が小学校に出向き、沈殿実験やろ過実験などの体験型グループ学習（水道出前教室）を毎年実施してきた。1校ずつ2時間の授業時間を使い、4年生全員を対象に体育館などで5～10名程度のグループに分かれて実験を実施。しかし新型コロナウイルス感染症の影響により、グループ形式で長時間にわたる学習を展開することは困難となった。

そこで、コロナ禍を踏まえて、これまでの方式を根本的に見直して密の回避と時間の短縮などを考慮し、かつ従来同様の学習効果を得られるような新しい形の方法を考案した。本稿ではこれら内容の取り組みを報告する。



体育館での学習



グループごとで沈殿実験

2. 改善工夫の観点

これまでの方式を見直すにあたっては、以下の3点を工夫した。

- ・局職員が授業に出向かなくても実験ができること。
- ・教員の負担も大きく増えないこと。
- ・1人1台実験装置を使えることで、児童が楽しく学習できること。

実験装置を作成するにあたり、児童1人につき1台にすることで、ソーシャルディスタンスを確保することができ、実験にかかる時間も短縮出来るのではと考えた。装置を小型化・軽量化し、机に実験用具と冊子が置けるサイズに工夫した。以下、実験装置及び実験実施についての詳細である。

(1) 沈殿装置・実験

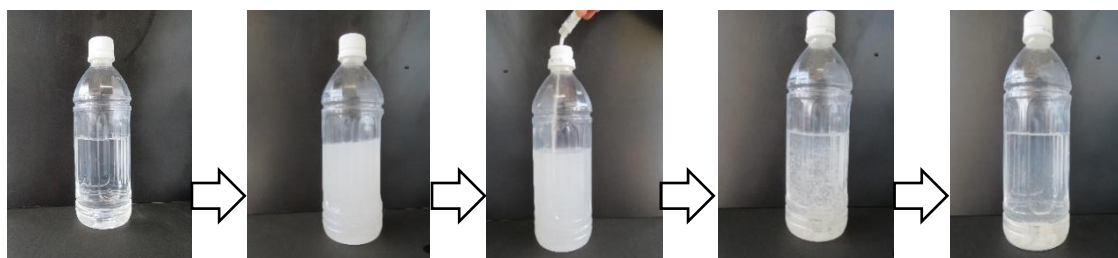
以前は10ビーカーに事前に作成した泥水を入れ、凝集剤（PAC）を局職員がスポイトで2～3滴注入、児童が割りばしで攪拌しその後静置し、沈殿状態を確認していた。そのため、

児童の密集が避けられず、また水温、薬剤の量などの違いにより実験結果としてもばらつきがあった。新たに考えた方法は以下のとおりである。

- ① 500 ml～700 mlのペットボトルに水を六分目まで入れる。
- ② 洗顔料や化粧品にも使用されるカオリンを約0.2 g入れ、蓋をして20回ほど振って濁り水（模擬原水）を作る。
- ③ 火山灰（シラス）を原料とした*無機凝集剤を約0.2 g入れ、蓋をして20回ほど振り机に静置し状態を確認する。（凝集始まり）
- ④ さらに20回ほど振り机の上に静置して状態を観察する。するとペットボトル内で大きなフロック（かたまり）が形成され、30秒ほどで沈殿する。

このように沈殿実験自体をペットボトル内で完結させることができた。

*この凝集剤はPACと同じようにプラスに帯電しており、マイナスの電荷を持つ微粒の汚れを引き寄せて凝集することが出来る



① 水を入れる ② 模擬原水を作る ③ 凝集剤を入れる ④ 沈殿中 ④ 沈殿完了



以前の沈殿実験



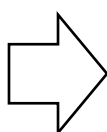
改善後、ペットボトル内で完結

（２）ろ過装置・実験

以前は以下の写真左のような大型のろ過装置を使い、児童が観察していたが、今回の小型ろ過装置は机の上で実験出来るよう作成した。またろ過材にはさまざまな種類があるが、豊中市の浄水場では砂ろ過を行っていることから、小型ろ過装置でも砂を採用した。



以前のろ過装置



薬剤（カオリン、凝集剤、DPD）を色分けし、使う順番に番号をラベルした

改善後のろ過装置

ろ過装置の作成方法は以下のとおりである。

- ① 1ℓのペットボトルを半分程度に切断する。
- ② 蓋に千枚通しで3か所穴をあける。
- ③ メラミンスポンジ（30 mm×30 mm×15 mm厚）のフィルターを入れ、蓋を閉める。
- ④ そこに、洗浄し汚れが無くなったきれいな川砂を230 g入れる。
- ⑤ B5サイズのトレーに支柱取り付け用突起をビスで固定する。
- ⑥ 口径13 mmの水道管（耐衝撃性硬質塩化ビニール管）を使用して作成した支柱（約25 cm）を立てる。
- ⑦ ペットボトルのろ過装置をマジックテープと輪ゴムで支柱に固定する。
- ⑧ 装置下部にビーカーを置き、沈殿実験で出来た上澄み水を静かに入れ、ろ過を行う。ろ過されて装置下部から出た水を観察し、水道水のように透明であることを確認する。



① ペットボトル切断



② 穴をあける



③ フィルターを入れる



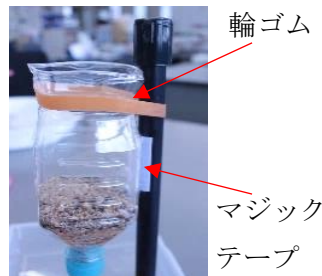
④ 砂を入れる



⑤ トレー



⑥ 支柱を立てる



⑦ ろ過装置を固定



⑧ ろ過装置完成

(3) 残留塩素実験

残留塩素実験に関しては、従前どおりの方法で実施している。

- ① 沈殿実験とは別にもう一本ペットボトルを用意し、半分程度水道水を入れる
- ② その中に DPD 0.1 g を入れ、蓋をして10回程度振る。

ペットボトル内の水が透明からピンク色に変化する様子を観察し、水道水が塩素消毒されていることを確認する。

※ (2) -⑧で、ろ過実験での水が落ちきるまでに時間があるため、この時間を利用して残留塩素の実験を行えば、さらに時間の短縮を図ることができる。

3. 実施検証

以上の改善を行った結果、従来同様の学習効果の確保に加えて以下のような効果が得られた。

- ・教室から体育館までの移動時間に加え、沈殿実験の薬品投入時や大型ろ過装置使用時の待ち時間が発生していたが、改善後は教室で児童1人ずつが実験できた。3つの実験の合計所要時間が15分から20分となり、授業全体では90分（授業時間2コマ分）から45分（授業時間1コマ分）に短縮できた。
 - ・4年生全クラスで一斉に授業を行っていたので、実施日の調整や変更が困難だったが、改善後はクラス単位で実験ができ、機材貸出期間内（3日間から5日間）で各クラスの教員が自由にこの授業を実施できるようになった。
 - ・体育館などで実験の様子が見えるように大型の機材を使用していたため、授業前に局職員が1時間かけて準備していたが、新機材は教員が休憩時間内に設置・撤収できるようになった。
 - ・局職員が説明していた内容をもとに、説明書や教材リスト、説明用DVDを作成したことで、教員のみでの指導で実験ができるようになった。
 - ・局職員による授業を行わず、また器材を小型化・軽量化したことで、局職員の時間と労力を削減することもできた。
 - ・以前は授業後に毎回ろ過装置のメンテナンスを行っていたが、改善後のろ過装置は10回以上の連続使用が可能で、5月から12月の貸出期間中に3回程度のメンテナンスで提供できるため、負担が軽減された。
 - ・その他の効果として、これまで主に体育館で開催（6月～7月）していたが、機材の小型化により教室内でできるため、熱中症対策にも繋がった。
- また、実験後のアンケート結果では、「子どもたちがウキウキワクワクしながら実験できた」「器材はよくできていて使いやすかった」など、多くの先生方から高い評価を得た。



提供教材と説明用DVD



コンパクトに保管・輸送できる



4. おわりに

コロナ禍において活動にさまざまな制限がかかり、今まで出来たことが出来なくなり事業継続していた水道出前教室の中止も考えた。その中で児童が安全に楽しく分かりやすい方法を考えることで今回の器材考案に至った。現在機材数はトレイ・支柱が108台、ろ過装置が144台で運用中であり、令和4年度は市内42校中、36校3194名が実験に参加した。

また、小学生だけでなく広く水道に対する興味・関心を持ってもらうため、実験動画を豊中市ユーチューブ「とよなかチャンネル」に今年度中にアップする予定である。

今後も多くの人に水道事業に関心を持っていただけるように改善に取り組みたい。

デジタルコンテンツ及びクラウドサービスを活用した浄水場見学の充実

京都市上下水道局

谷 晃輔

1 概要

本市の浄水場では、小学4年生を対象に例年7,000人超の社会見学の受入を行っていたが、コロナ禍において、令和2年度は受入の見合せを行った。また、令和3年度は緊急事態宣言下を除き、受入を再開したものの、1,500人超に留まっている。

このような状況を踏まえ、社会見学の選択肢の1つとして、動画視聴やデジタルパンフレット等のデジタルコンテンツを作成・オンライン学習化し、感染対策としての代替手段に加え、事前・事後の学習を可能とすることで、水道事業へのより一層の理解促進に努めている。

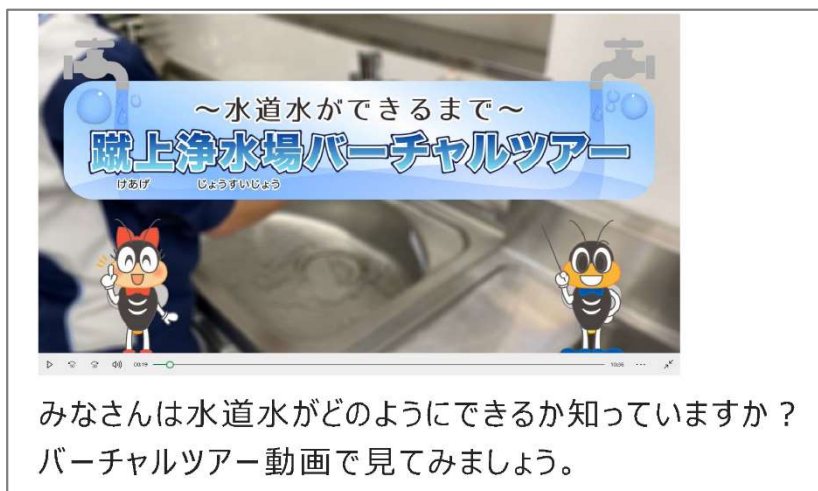
また、当該コンテンツの改善を図るため、クラウドサービスを活用したアンケートを実施したので、それらの取組を報告する。

2 目的

- (1) コロナ禍において、社会見学に来ることができない小学生などに向けて浄水場バーチャルツアー動画を作成する。
- (2) 浄水場の社会見学の際に、配布しているパンフレットをデジタル化し、併せて、ペーパーレス化を図り、長期的な視点での経費削減に努める。
- (3) 小学校の学習活動におけるGIGA端末の活用などを踏まえ、社会見学の新たな選択肢の1つとして、デジタルコンテンツを制作・オンライン学習化し、小学校において、当該コンテンツを活用していただくことで水道事業の理解促進を図る。

3 デジタルコンテンツ（当局ホームページ引用）

- (1) 浄水場バーチャルツアー動画（YouTubeに掲載、10分程度）

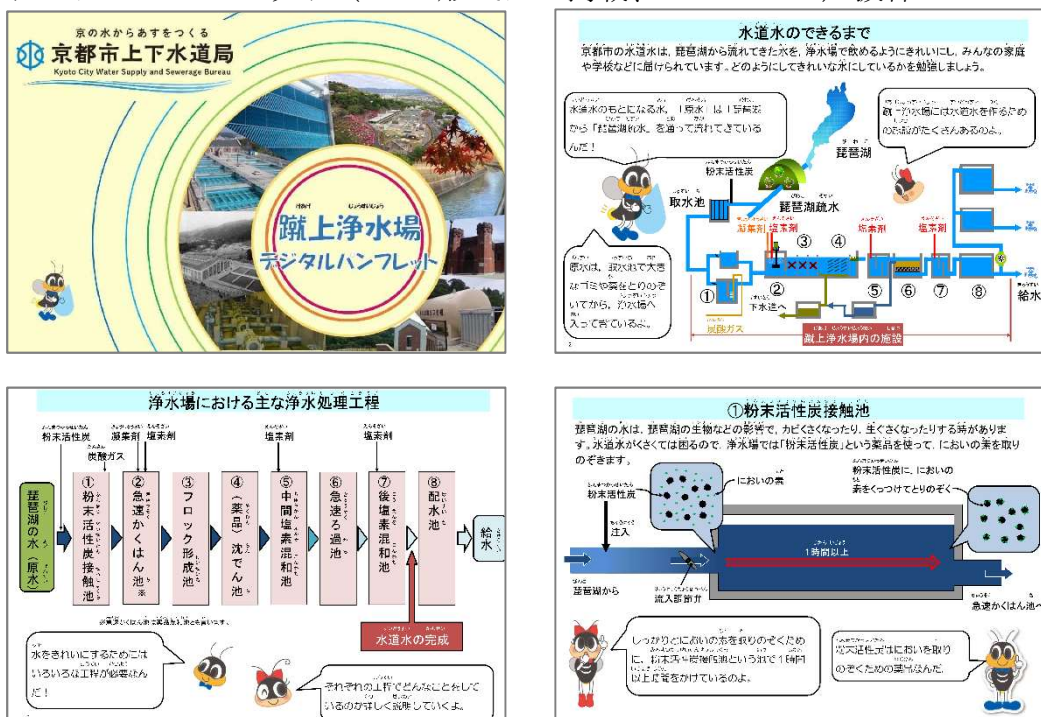


当該バーチャルツアー動画は、当局水道関連部署に所属する若手職員の連携の強化を目的として活動する MIYAKO PROJECT が作成した。作成にあたっては、動画の時間やどのような画角で撮影すれば、浄水場の仕組みが分かりやすいかをグループで検討し、小学生に何か1つでも印象に残るように、実験コーナーやろ過池洗浄の様子など動画だからこそできる演出を考えた。また、ナレーションについても、蹴上浄水場の特徴も考慮し、関係者とも協議を行いながら、完成させた。

参加者からは、メンバー間でのアイデアのブラッシュアップ・業者への意見の伝え方について、考える機会になったとの意見や普段は浄水場の業務に関わらない部署の職員からは、動画作成の過程が、非常に勉強になったとの意見があり、副次的な効果もあった。

なお、動画再生回数は、掲載5箇月（令和4年9月末時点）で約1,700回となっている。

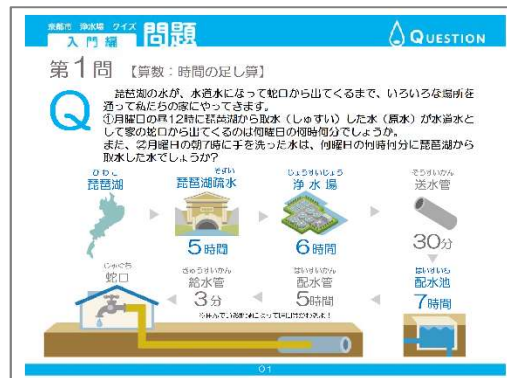
(2) デジタルパンフレット（PDF形式にて掲載、15ページ）抜粋



浄水場を統括する施設課が中心になって、浄水場の意見も確認しながら、細部にこだわり作成した。

なお、紙のパンフレットをデジタルパンフレット化することで、小学校のタブレット端末を活用してもらうなどし、従来、施設見学时に配布していたパンフレットの印刷を在庫がなくなるまで凍結するなど、一定の経費削減が図れた。

(3) すいどうクイズ (デジタルブック形式にて掲載、9問) 抜粋



施設課、浄水場で小学生の子供を持つ職員により、小学校4年生が習う科目を用いて水道に関するクイズを作成した。国語・算数・社会・理科で構成されており、上級編もあり、保護者の方も楽しめるコンテンツとなっている。

4 クラウドサービス (kintone) を活用したアンケート

(1) kintone の活用

kintone は、クラウド型業務アプリ開発プラットフォームで、案件管理などのアプリがノンプログラムで作成できる。目的に応じてデータを抽出し集計することも可能である。

今回のアンケートについては、kintone へデータが自動で保存されていくウェブフォームを作成できるフォームブリッジを使用した。

(2) 教育委員会等との連携

デジタルコンテンツの更なる充実に向けて、教育委員会と連携し、当該コンテンツを活用いただいた先生方に、アンケート調査 (QRコードを携帯で読み取って、簡単に回答できる仕組み) を実施した。

(3) アンケート結果

○動画・パンフレットは理解できましたか。

(理解できた 75% 概ね理解できた 25%)

- 動画の時間は適当でしたか。(適当だった 100%)
- クイズの内容はどうでしたか。(興味深かった 100%)
- デジタルコンテンツは学校の授業で活用できますか。(活用できる 100%)
- ・先生方からは、次の意見があった。
 - 見学の場で説明を聞き逃してしまった児童にも、もう1度コンテンツを使って教室で振り返りを行うことができました。見学とコンテンツの両方を利用することで、浄水場の仕組みについてよく理解していました。
 - 水道管の工事の様子、浄水場から家までの地下の配管の配置、実際に傾斜になっていることわかる動画。琵琶湖の水と浄水後の水の比較動画。一日に使う水の量の紹介などがあるとうれしいです。

5 考察

本市でも、様々な工夫を行って広報に取り組んでいるが、紙面等の限られたスペースで、水道水の水質や安全性について、説明することには限界があり、一定の情報量を伝えられる動画等は有効な手段である。

小学校においては、授業で一定の時間をとって水道の勉強をすることから、ここをターゲットに、様々なコンテンツを準備し、先生方にも活用してもらって、学習の充実を図ることは、水道事業の理解促進に向けて効果的・効率的であると考えます。

今回は、本市教育委員会から各学校にコンテンツを紹介してもらうとともに、国立・私立小学校にも情報提供を行った。その結果、小学校からも出張授業の依頼があり、実際に授業に行くと、子供たちが熱心に水道の勉強をする姿に感心させられた。

今後は、子供たちから保護者の方へ伝わる仕組みの検討やアンケート結果を踏まえたデジタルコンテンツの更なる充実を図り、引き続き、浄水場見学の充実及び水道事業の理解促進に努めたい。

最後にデジタルコンテンツ作成に協力いただいた、水道部施設課及び各浄水場、MIYAKO PROJECTの皆様には、心から感謝いたします。本当にありがとうございました。

京都教育大学付属京都小中学校 HP から引用

2022年06月08日 44名

くらし水 ～学習のまめめ～



社会科の学習で『暮らしと水』という単元を学習している児童が、『くらし水』というデジタルコンテンツを授業で活用している様子。このコンテンツは、浄水場の仕組みや水質の検査方法など、児童が興味を持てるような内容が盛り込まれている。また、児童が学習した内容を復習するためのクイズも用意されている。このコンテンツは、児童の学習意欲を高め、理解を深めるのに役立つと期待されている。

コロナ禍における水需要構造の変化

大阪市水道局 ○砂原 梨乃
土橋 裕輝
益崎 大輔

1. はじめに

令和2年より流行が続く、新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）感染拡大防止を目的とした緊急事態宣言及びまん延防止等重点措置等に伴う様々な行動制限により、人々のライフスタイルは大きく変化した。一方で、感染拡大防止と社会経済活動の両立を目的とし、政府及び地方自治体による経済支援策及びワクチン接種の普及等が進められ、段階的に行動制限は緩和されているものの、COVID-19感染拡大前の生活状況に戻っているとは言えない。また、この間における、各種オンラインサービスの普及等により、これらライフスタイルの変化が将来的に想定されるCOVID-19共存社会においても、一定程度、定着する可能性もある¹⁾。

大阪市域(以下、市域)における水需要は、家庭、事務所、旅館及び娯楽施設等、様々な用途で使用されており、コロナ禍における人々のライフスタイルの変化は、こうした水需要構造に大きな変化を与えた^{2,3)}。これらの変化から水需要構造を経年的にモニタリングすることで、人々のライフスタイルの変化及びその定着の度合いを評価できると考えられる。

本報告では、業態別及び時間帯別に、コロナ禍における水需要構造の経年的な変化を分析し、認められた変化と人々のライフスタイルの変化との関連性を考察するとともに、今後、ライフスタイルの変化の定着を想定し、その評価方法についての考え方を報告する。

2. 調査方法（活用データ）

水需要構造の分析にあたり活用したデータは以下のとおりである。いずれの水量も令和元年1月～令和4年7月までのデータを活用し、令和元年をコロナ前、令和2年以降をコロナ禍におけるデータと定義した。なお表記方法について、2019年は元号が2つ存在するため、本報告では便宜上、2019年を令和元年として表記している。

① 調定水量

大阪市水道局(以下、当局)で、毎月行っている水道メータ検針で得られる個々のユーザで使用水量(調定水量)を業態別に分類し、市域における業態別での水需要構造の分析に用いた。当局では、ユーザを表-1に示す21業態に分類しており、家庭での使用水量を生活用水量、それ以外での使用水量を都市活動用水量としている。

② 浄水場出口配水量

当局の3つの浄水場(柴島浄水場、庭窪浄水場、豊野浄水場)からの合計配水量を浄水場出口配水量として定義した。浄水場出口配水量は日単位だけではなく、時間単位でも取得可能であり、これを用いて、市域全体での時間帯別の水需要構造の分析に用いた。

③ 分譲マンション使用水量

大阪市住之江区に位置する分譲マンション(契約件数:606世帯)(以下、マンション)への引き込み管に設置されたスマートメータ(φ150mm)から取得可能な毎時の使用水量を家庭における時

表-1 ユーザの業態分類

生活用水量 (3業態)	一般住宅
	鉄筋住宅
	アパート・寮
都市活動用水量 (18業態)	学校
	工場
	その他公益法人
	美容・理容
	クリーニング
	プール
	市場
	公衆浴場
	官公署
	病院・医院
	運輸関係
	事務所
	小売店
	百貨店
	飲食店
	娯楽場
	旅館
	その他

間帯別の水需要構造の分析に用いた。マンションには、受水槽が設置されていることから、各家庭での水使用状況をタイムリーに把握できないものの、朝方（5時～10時）、昼間（11～16時）、夕方（17時～20時）及び夜間（21時～4時）の時間帯に、受水槽に水道水が補給されたタイミングを水使用の期待値として捉えることで、マンション全体での使用水量の傾向変化を評価した。なお、当該スマートメータは、令和元年4月1日からデータ取得を行っているが、スマートメータに付随する無線機更新のため、令和3年3月15日から令和3年8月4日の期間はデータ取得が行えていない

3. コロナ禍における行動制限等

令和2年以降、COVID-19感染拡大に伴う緊急事態宣言発令時に大阪府より要請された主な行動制限⁴⁾は表-2に示すとおりである。

4. 調査結果

4. 1 業態別使用水量の変化

図-1には、生活用水量と都市活動用水量の推移を示した。COVID-19感染拡大に伴う行動制限の要請がなされた令和2年3月以降、令和元年同月と比較して、生活用水量は増加し、都市活動用水量は減少する傾向がみられ、これは現在まで継続している。特に、初めての緊急事態宣言の影響を受けたと考えられる令和2年5月には、その影響が顕著であり、生活用水量は6.9%増加、都市活動用水量は33.2%減少していた。

また、図-2には、業態別水量について令和元年同月と比較した各月の増減率群（n=31）を箱ひげ図で示した。これより、図-1で減少傾向を示した都市活動用水量について、すべて業態で使用水量は減少傾向を示していた。

業態別にみると「学校、プール、百貨店及び娯楽場」では、最小値以下に傾向の異なる外れ値が存在しており、これらは緊急事態宣言発令時に要請された施設休止の影響を受けたものと考えられる。また、「事務所、百貨店、飲食店、娯楽場及び旅館」の減少率が他の業態よりも大きく、これらは不要不急の外出自粛（STAY HOME）、リモートワークの普及等に加え、商業、娯楽施設及び飲食店の休業（時短営業）や旅行控

表-2 緊急事態宣言時の主な行動制限要請

緊急事態宣言	期間	主な行動制限<大阪府の要請>
第1回	R2.4.7 ～ R2.5.21	・不要不急の外出自粛、府県をまたぐ移動の自粛 ・イベントの開催自粛 ・施設*の使用制限(休止含む) ・飲食店の時短営業20時まで(酒類提供店は19時まで) ・臨時休校<政府からの要請(R2.3.2～R2.5.30)>
第2回	R3.1.14 ～ R3.2.28	・不要不急の外出自粛、首都圏との往来自粛 ・イベントの開催制限(上限5,000人、定員50%以内) ・施設*の使用制限(時短営業20時まで) ・飲食店の時短営業20時まで(酒類提供店は19時まで)
第3回	R3.4.25 ～ R3.6.20	・不要不急の外出、府県をまたぐ移動の自粛 ・イベントの開催制限(原則無観客) ・施設*の使用制限(休止含む) ・飲食店の時短営業20時まで(酒類提供店は休止)
第4回	R3.8.2 ～ R3.9.30	・不要不急の外出、府県をまたぐ移動、旅行の自粛 ・イベントの開催制限(上限5,000人、定員50%以内) ・施設*の使用制限(時短営業20時まで) ・飲食店の時短営業20時まで(酒類提供店は休止)

*具体的な施設については4)参考文献を参照

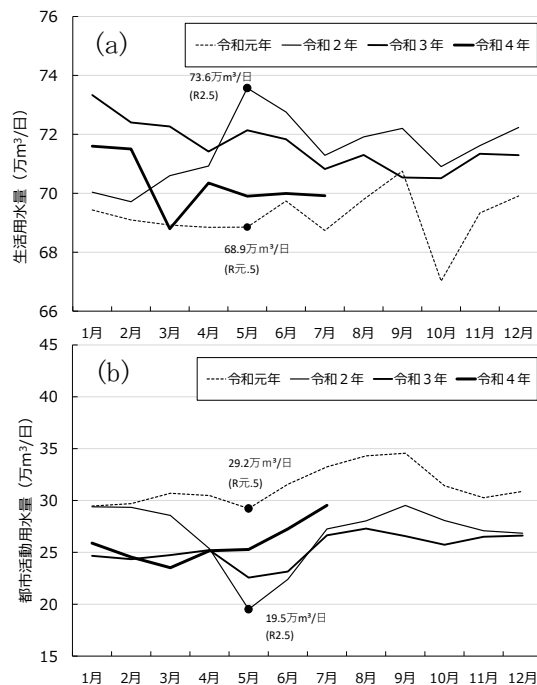


図-1 (a)生活用水量と(b)都市活動用水量の推移

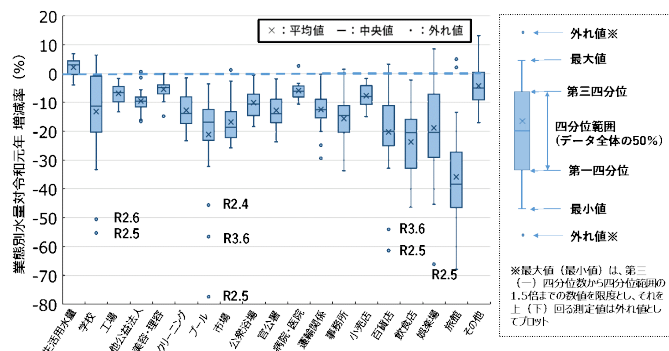


図-2 コロナ禍における業態別水量の増減(箱ひげ図、n=31)

え等コロナ禍における行動制限の影響が反映された結果と考えられる。

一方で、いずれの業態も四分位範囲が約 20%以内に集約されており、水需要構造の変化に影響を与えたと考えられる人々のライフスタイルの変化及び行動変容パターンが一定程度、定着しており、図-2で示す四分位範囲に増減率群が集約されているものと示唆される。

今後、COVID-19 共存社会への移行に伴い、業態別水量はコロナ前の状況に戻ると推察されるが、特に使用水量減少の大きかった「事務所、百貨店、飲食店、娯楽場及び旅館」は、全体水量、給水収益に対し、それぞれ 17.2%、29.6%を占め（対令和元年比）⁵⁾、事業運営に与える影響も大きいと考えられる。また、リモートワークや各種オンラインサービスの普及によるライフスタイルの変化の定着の影響を受けることも想定されるため、使用水量の変化については注視が必要である。

4. 2 時間帯別水量の変化

図-3には、コロナ禍における時間帯別浄水場出口配水量について、コロナ禍前である令和元年の同週同曜日との配水量比較を行い、その配水量差の平均値、平均値の 95%信頼区間及び緊急事態宣言期間内外の増減量を示した。ここでは、特徴的な 3つの増減ピークが確認され、朝方（5時～10時）における配水量減少、夕方（17時～20時）における配水量増加、夜間（21時～4時）における配水量減少が顕著であった。また、これら増減ピークについて、緊急事態宣言期間、期間外でその傾向は一致しているものの、増減量は緊急事態宣言期間が期間外よりも大きく、緊急事態宣言の発令により、行動変容の程度が増大しているものと推測される。

図-4は、時間帯別のマンション使用水量について、同様の比較を行ったものである。結果、朝方（5時～10時）、昼間（11～16時）及び夕方（17時～20時）における使用水量増加、夜間（21時～4時）の使用水量減少傾向が認められた。また、昼間（11～16時）、夕方（17時～20時）及び夜間（21時～4時）の時間帯では、浄水場出口配水量と同様に、緊急事態宣言期間内外で増減傾向は一致し、増減量は緊急事態宣言期間の方が期間外よりも大きかった。一方で、朝方（5時～10時）の時間帯に着目すると、緊急事態宣言期間の使用水量は期間外と比較して使用水量が少なく、傾向が逆転していた。昼（11時～16時）の時間帯における緊急事態宣言期間の使用水量が期間外と比較して、大きく増加していることと合わせると、緊急事態宣言の発令に伴うリモートワークの普及等により、昼間の在宅時間が増加したことに加え、朝の活動を行う時間帯が相対的に遅くなったことが想定される。

このように、コロナ禍においては、在宅時間の増加、商業、娯楽施設及び飲食店の休業（時短営業）以外に、リモートワークを行っていない場合でも帰宅時間が早まっていることが想定される。これらのライフスタイルの変化や行動変容、図-4の結果から図-3で示した浄水場出口配水量の増減傾向の要因を以下のように推定した。

① 朝方（5時～10時）における配水量減少

（生活用水量の増加を上回る都市活動用水量の減少）

- ・ 施設の休業やリモートワークの普及による出勤者数の減少に伴う事務所等での使用水量の減少

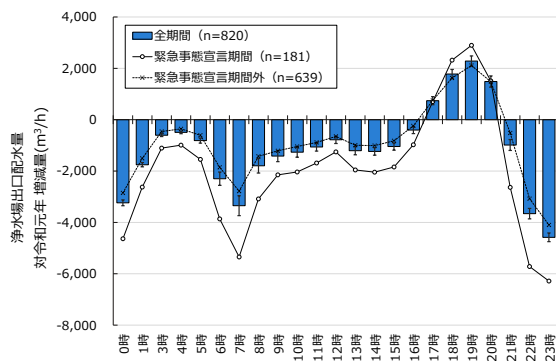


図-3 時間帯別浄水場出口配水量の増減
(エラーバーは95%信頼区間)

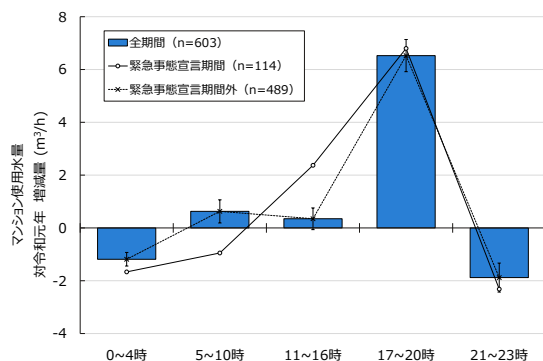


図-4 時間帯別マンション使用水量の増減
(エラーバーは95%信頼区間)

- ② 昼間（11時～16時）における配水量減少
（生活用水量の増加を上回る都市活動用水量の減少）
 - ・ 施設の休業やリモートワークの普及による出勤者数の減少に伴う事務所等での使用水量の減少
- ③ 夕方（17時～20時）における配水量増加
（都市活動用水量の減少を上回る生活用水量の増加）
 - ・ 帰宅時間が早まり、かつ入浴や食事が集中したことに伴う、使用水量の増加
- ④ 夜間（21時～4時）における配水量減少
（生活用水量及び都市活動用水量の減少）
 - ・ 入浴や食事が夕方に集中したことに伴う夜間の使用水量の減少
 - ・ 娯楽施設及び飲食店の休業（時短営業）、それら利用機会の減少に伴う使用水量の減少

5. ライフスタイルの変化とその定着の評価

コロナ禍においては、「4. 調査結果」で示したとおり、人々のライフスタイルの変化に伴った水需要構造の変化が生じている。特に、逡増性の料金制度を採用している当局にとって、生活用水量よりも比較的料金単価の高い都市活動用水量が減少している事実は、使用水量の減少以上に給水収益の減少が大きくなることを示しており²⁾、施設老朽化対策及び耐震化等に伴う水道施設の更新需要が今後、高まる水道事業体にとって、経営面においても注視すべき課題である。

これらの変化については、行動変容の緩和、COVID-19 共存社会への移行に伴い、今後、コロナ禍前の水需要構造に戻っていくと推察しているが、コロナ禍において普及した各種オンラインサービスやリモートワーク等の影響により、生じたライフスタイルの変化や水需要構造の変化は一定程度、定着することが想定される¹⁾。本報告で示したように、水需要構造の変化がライフスタイルの変化の写し鏡にあることを鑑みれば、このような水需要構造の変化を経年的にモニタリングすることで、ライフスタイルの変化の定着、将来の水需要量及び給水収益への影響を評価できるものと考えられる。

6. おわりに

本報では、コロナ禍における使用水量の分析を行い、人々のライフスタイルの変化等に伴う水需要構造の変化について、業態別及び時間帯別に取りまとめた。これら水需要構造の変化は本市特有の現象ではなく、多くの水道事業体で同様の傾向を示しているものと考えられること³⁾、また都市活動用水量の割合が高く逡増性の料金制度を採用している水道事業体では、ライフスタイルの変化の定着に伴う給水収益の減少が見込まれること等から、多くの水道事業体にとって活用可能な知見であると考えている。今後も、継続的な使用水量の分析を行うことで、将来的な水需要量及び給水収益への影響を評価していく。

7. 参考文献

- 1) 大阪市水道局：令和3年度インターネットアンケート
URL <http://www.city.osaka.lg.jp/suido/page/0000558701.html>
- 2) 益崎大輔、池田拓哉、武田風史、岡本実乃里、川上紀彦、坂本順子：COVID-19 感染拡大による水需要への影響と水需要構造の分析、水道協会雑誌、第90巻、第10号（2021）
- 3) 川邊典和、江上健太郎：新型コロナウイルス感染症（COVID-19）感染拡大防止措置に伴う配水量への影響分析、令和3年度全国会議（水道研究発表会）講演集、p. 432-433（2022）
- 4) 大阪府：感染拡大防止に向けた取組み《過去の要請等》
URL <https://www.pref.osaka.lg.jp/kikaku/kinkyuzitai-yousei/index.html#04>
- 5) 大阪市水道局：決算の概要
URL <https://www.city.osaka.lg.jp/suido/category/3516-3-4-2-0-0-0-0-0-0.html>

監視カメラにおける クラウド利用方法の提案

○ 畑 正明 (横河ソリューションサービス)
山本 裕司 (横河ソリューションサービス)

川出 慎士 (横河ソリューションサービス)
和田 篤士 (アムニモ)

1. はじめに

監視カメラは、古くから防犯・安心安全・設備監視省力化の観点より水道施設を含め、幅広い社会インフラで導入されてきた。カメラ本体は技術の進歩とともに、以前のアナログ式からデジタル式へ移行され、さらに近年では外出先からのリアルタイム監視などのニーズもあり、クラウドの利用が広がりつつある。しかしながら、防犯意識向上による鮮明な映像要求、カメラ設置台数、監視拠点数増加もあり扱う画像データ量が増えており、結果としてクラウド使用料、回線使用料が上がりランニングコスト増大が懸念される。これらを回避するための監視カメラシステムを開発したので報告する。

2. 監視カメラシステムにおけるクラウド利用時の課題

鮮明な映像要求、設備監視省力化によるカメラ設置台数、監視拠点数が増加したことにより、クラウド利用時のランニングコスト増大に繋がっていることが課題となっている。

2-1. 鮮明な映像要求に伴う画像データ量の増加

画像データは、防犯意識向上による人物特定、顔識別など鮮明な映像要求に伴い解像度、画質が従来と比べて高くなっている。表1に示す通り扱うデータ量は、従来と比べ静止画・動画ともに約4倍以上増加している。今後も画質向上に伴う増加が予想される。

表1. 解像度に対する画像データ量比較

解像度	VGA 640×480	HD 1280×720	FHD 1920×1080
画素数	40万画素	120万画素	200万画素
静止画 データ量 ^{*1}	0.7MB	1.9MB	3.3MB 対VGAの約4倍
動画30fpsの データ量 ^{*1,*2}	6Mbps	15.6Mbps	26.4Mbps 対VGAの約4倍

*1 画像圧縮方式JPEGで試算した場合の概算画像データ量。撮影画像、設定、メーカーにより変わる。

*2 bps: bit per sec...1秒間に通信できるビット数

2-2. カメラ設置台数、監視拠点数増加による画像データ量の増加

カメラの汎用化による導入コスト低減、巡回点検の効率化、防犯意識向上もあり従来監視していなかった箇所への導入促進、無人化による遠隔集中監視など監視の効率化がされた。結果、カメラ設置台数、監視拠点数が増加し扱う画像データ量が増加している。

2-3. ランニングコストの増大

ランニングコストは、接続点の数と回線使用料、クラウド側のサーバ利用容量により決定される。鮮明な映像要求、カメラ設置台数、拠点数増加に伴いランニングコストの増大に繋がっているものと考えられる。

3. 画像データ量削減検討

第2章でクラウドを利用した監視カメラシステムにおいて、画像データ量増加によるランニングコストが課題としたことで、画像データ量を削減するための検討を行った。監視カメラシステムのデータは大きく分けて画像データ、制御データの2つに分けられるが、データ量の大半は画像データが占めており、画像データの削減がデータ量の削減、ランニングコスト低減につながると考えた。画像データの削減のために、カメラ本体の画像圧縮技術向上、カメラ設置台数の削減も検討事項としてはあるが、カメラ本体の開発、監視方法見直しなどが必要になることから、今回は利用用途による必要な画像データの整理に着眼し検討を行った。

画像データの利用用途は、大きく分けて設備監視と防犯監視が考えられ、それぞれ必要な画像データが異なっている。導水流入部や発電機運転状況などを確認する設備監視においては、稼働状態を主とした監視となり、監視対象にもよるが監視対象物の変化があまりないため、常

監視カメラにおける クラウド利用方法の提案

時リアルタイムな画像データを取得する必要がなく定期的な静止画データの取得で十分監視の目的は達成すると考えた。一方、不審者の侵入や異常事態の発生などを確認する防犯監視においては、状況証拠、証明用として利用されるため、現状リアルタイム監視と合わせ動画データの保存が重要視され常時動画データ取得が必要となっている。しかしながら、事象発生時以外のデータは利用されておらず、結果活用しないデータとなっている。よって、今回利用シーンにおける必要な画像データの整理をした結果、必要となる画像データは次の2つに整理できた。

1. 変化の少ない監視対象、つまり防犯監視は定期的な静止画データ
2. 異常事態の把握が必要な監視対象、つまり設備監視はリアルタイム監視と合わせ事象発生前後の動画保存データ

4. クラウドを利用しやすいシステムの開発

3章の比較より、画像データ量削減のために必要な項目を次の3つにまとめ監視カメラシステムの開発を行った。今回開発したシステムを図1に示す。

1. 定期的な静止画データ
2. 事象発生前後の動画データを外部トリガにより伝送
3. 現場でのバックアップ保存

クラウドを利用した監視カメラシステムは大きく分け設備部、変換部、伝送部、処理・保存部の4つの階層に分かれており、画像データ量削減のためには、必要なデータを必要な時期に送信することが重要であり、そのためには回線を利用する前の現場側に上記3つの機能を有する構成が良いと考えた。設備部であるカメラよりも今回は変換部である変換装置に対し、機能付加することを考えた。変化の少ない静止画データは、あらかじめ指定された周期で定期的にクラウドへ送信、事象発生前後の動画保存データは、外部トリガによる事象発生前後の動画データを一定期間保存して必要な動画データのみを選別しクラウドへ送信するようにした。また、伝送部における伝送路障害の際、クラウドとの接続ができなくなりデータ欠損、監視できないリスクを想定し、現場でも保存できる機能を持たせ必要に応じ取出し可能なシステムの開発を行った。

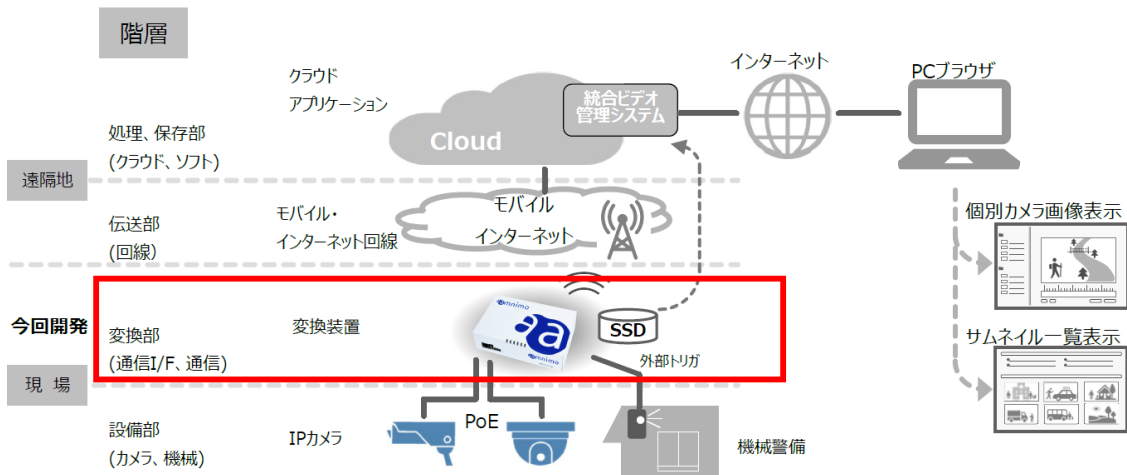


図1.クラウドを利用しやすい監視カメラシステム構成例

5. システム比較

次にクラウドを利用した監視カメラシステムでのデータ量、信頼性、経済性について、事例の多いシステム構成にて比較したものを表2にまとめた。条件としては、ポンプ場にカメラ4台、監視用のPCブラウザを1台設置の構成とした。

監視カメラにおける クラウド利用方法の提案

表 2.監視カメラシステムにおけるクラウド利用時のデータ量、信頼性、経済性比較

項目		従来システム	今回システム
システム例		<p>データ量：大</p>	<p>データ量：小</p>
データ量	伝送部における 負荷帯域	× 約24Mbps	○ 約10Mbps(従来比約2分の1に低減)
	録画保存データ	× 約500GB	○ 約5GB (従来比約100分の1に削減)
信頼性		× 回線異常、サーバ故障時データ欠損	○ 現場側でもデータ保存、欠損無し
経済性(ランニング)		× 大容量の契約が必要	○ 容量を抑えることで低減可能

録画条件 : 従来システム
 画質：FHD
 配信間隔：動画、常時録画
 保存期間：30日
 事象件数：120件、事象発生時30fpsで前後10秒録画

: 今回システム
 画質：FHD
 配信間隔：静止画、1時間に1枚
 保存期間：30日
 事象件数：120件、事象発生時30fpsで前後10秒録画

表 2 に示す通り、画像データによる伝送部にかかる負荷が約 2 分の 1 に低減され、回線利用料低減が図れた。録画装置に保存される画像データ量も約 100 分の 1 と大幅に削減されることが分かり、結果画像データ量が減ることによる監視カメラシステムにおけるクラウド利用時のランニングコストを抑えることが可能となった。

6. まとめ

今回開発した監視カメラシステム利用により、通信、保存に必要な画像データ量が大幅に削減され監視カメラシステムにおけるクラウド利用に必要なランニングコストが抑えられることが分かった。さらに、事象発生前後の画像データのみ確認を行うことでこれまで実施していた保存画像検索、確認作業の効率が上がり、監視員の負担軽減にもつながると考えられる。

今後は、AI 技術を活用した画像解析、物体検知、人物識別などが利用できることによりさらなる画像データ量削減を目指す。

参考文献：月間『計装』2022年10月号 アムニモ記事

大口径配水管布設工事における概算数量設計発注方式の試行

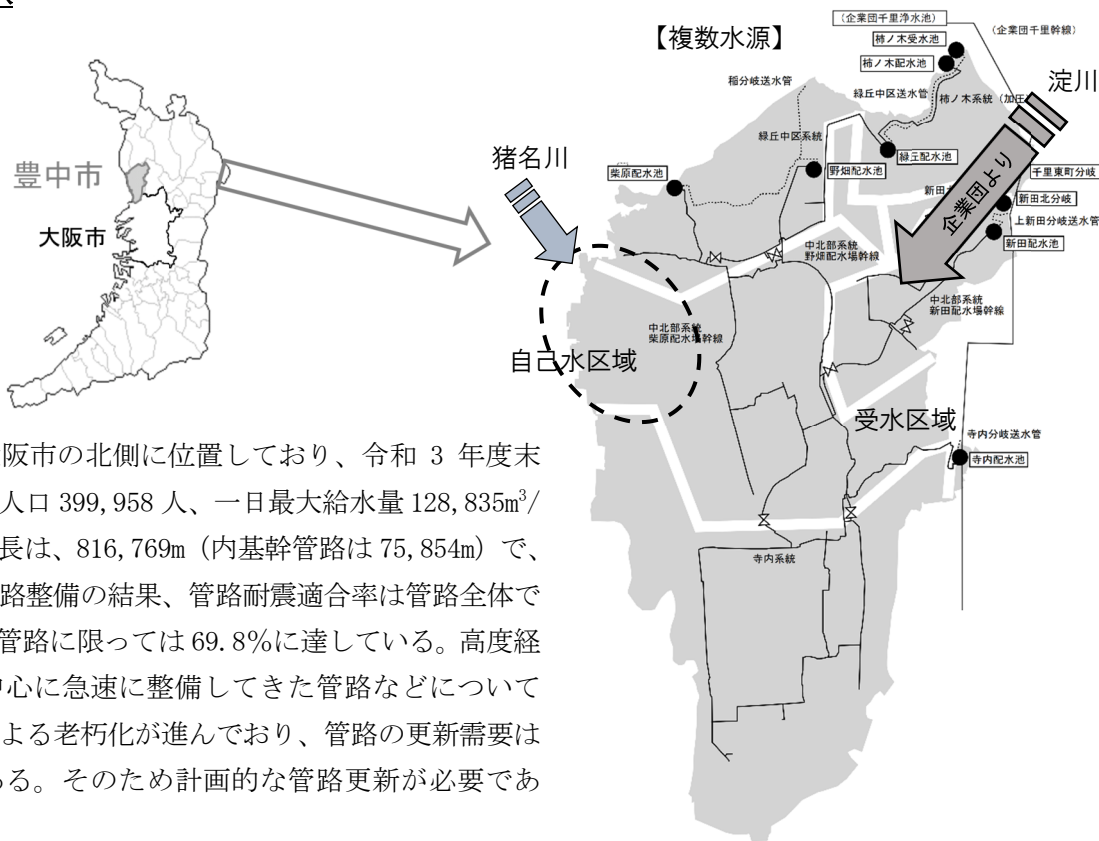
牟田 義次（豊中市上下水道局） 池永 正文（豊中市上下水道局）
西沢 好則（豊中市上下水道局） ○森 梨菜（豊中市上下水道局）

1. はじめに

水道事業を安定的に維持するには計画的かつ継続的な管路の改築更新が必要不可欠であり、本市では「豊中市水道施設整備計画」に基づき、8.5km/年の管路更新（更新率約1.0%）を行っている。

そして、業務効率化の推進や職員の技術継承を進めていく対応策の一つとして、地元工事に詳細設計付きで工事を一括発注する方式を試行中である。本稿では、令和3年度に本市で実施した概算数量設計発注方式（以下「概算発注方式」という。）の試行について、その取り組み概要と実施結果を報告する。

2. 豊中市の現状



豊中市は大阪市の北側に位置しており、令和3年度末時点で、給水人口399,958人、一日最大給水量128,835m³/日、管路総延長は、816,769m（内基幹管路は75,854m）で、これまでの管路整備の結果、管路耐震適合率は管路全体で35.2%、基幹管路に限っては69.8%に達している。高度経済成長期を中心に急速に整備してきた管路などについて確実に経年による老朽化が進んでおり、管路の更新需要は増加傾向にある。そのため計画的な管路更新が必要である。

3. 概算数量設計発注方式の試行

(1) 本市の検討経緯と考え方

本市では、以前から設計積算業務の効率化等に取り組む中、平成30年度に日本ダクトイル鉄管協会の「管路更新を促進する工事イノベーション研究会」に参画し、概算発注方式を検討してきた。研究会では、小口径の適用事例が多いが、中大口径では給水管の接続もなく、事前に十分な埋設位置の検討を行うため施工中の変更が少ない等、更なるメリットが期待できると考え、適用を決めた。なお、工法変更が生じないように、事前に開削工事で実施可能であることを前提に検討を進めた。

(2) 試行実施までの取り組み

表-1

内部調整	「試行」との位置づけのため、実施要領等の制定は行わなかった。また、契約担当課との調整では「積算が適切であれば問題ない」ことを確認した。			
外部調整	本市建設業協会内の事業者への周知は協会を通じて、協会外の事業者には個別に本発注方式の概要説明を実施し、理解を得た。			
設計・積算			概算発注方式	
	<u>設計作業</u>	従来発注方式	地下埋設物調整・ 照会あり	地下埋設物調整・ 照会なし
	地下埋設物調整図の作成	設計コンサルタント	受注者	設計 コンサルタント
	↓			
	他企業調整 (道路法第 34 条協議)	発注者	受注者	発注者
	↓			
	設計図の作成	設計コンサルタント	受注者	
	受注者に任せる業務範囲(地下埋設物調査・照会の有無等)に応じ、設計委託の実務必携項目の内、「図面作成」または「図面作成と現地調査」を設計費として計上した。また、概算数量は、本市の過去の工事実績から算出した。			
入札方式	総合評価一般競争方式 (特別簡易型)			

(3) 工事の概要

表-2

工事番号	No.604	No.606	No.8	No.9	No.10
工期	R3. 4. 7~R4. 3. 30	R3. 4. 7~R4. 1. 31	R3. 8. 24~ R4. 3. 25	R3. 8. 27~ R4. 2. 28	R3. 8. 27~ R4. 2. 28
工事概要	φ 700L=272m 他	φ 700L=294m, φ 350L=223m 他	φ 600 L=367m	φ 600 L=307m	φ 600 L=251m
受注者の 設計業務	図面作成と現地調査		図面作成		
備考	道路法第 34 条協議は受注者で実施		R3. 3 月の漏水事故に伴う緊急対応 (6 月に公告実施)		

4. 実施結果・検証

(1) 総括・所感

図 1、図 2 は今回の試行工事において受注者が作成した設計図である。今回の試行では、発注者側で行っていた地下埋設物調査や他企業調整を踏まえた詳細設計図の作成などについて、受注者での実施には相当な時間や負担がかかると想定していたが、受注者が一定の設計スキルや他企業協議に臨める人材を有していたこともあり、順調に工事を完了することができた。また、後述のような効果を確認することができたことから、今後も試行を継続して検証を進める。

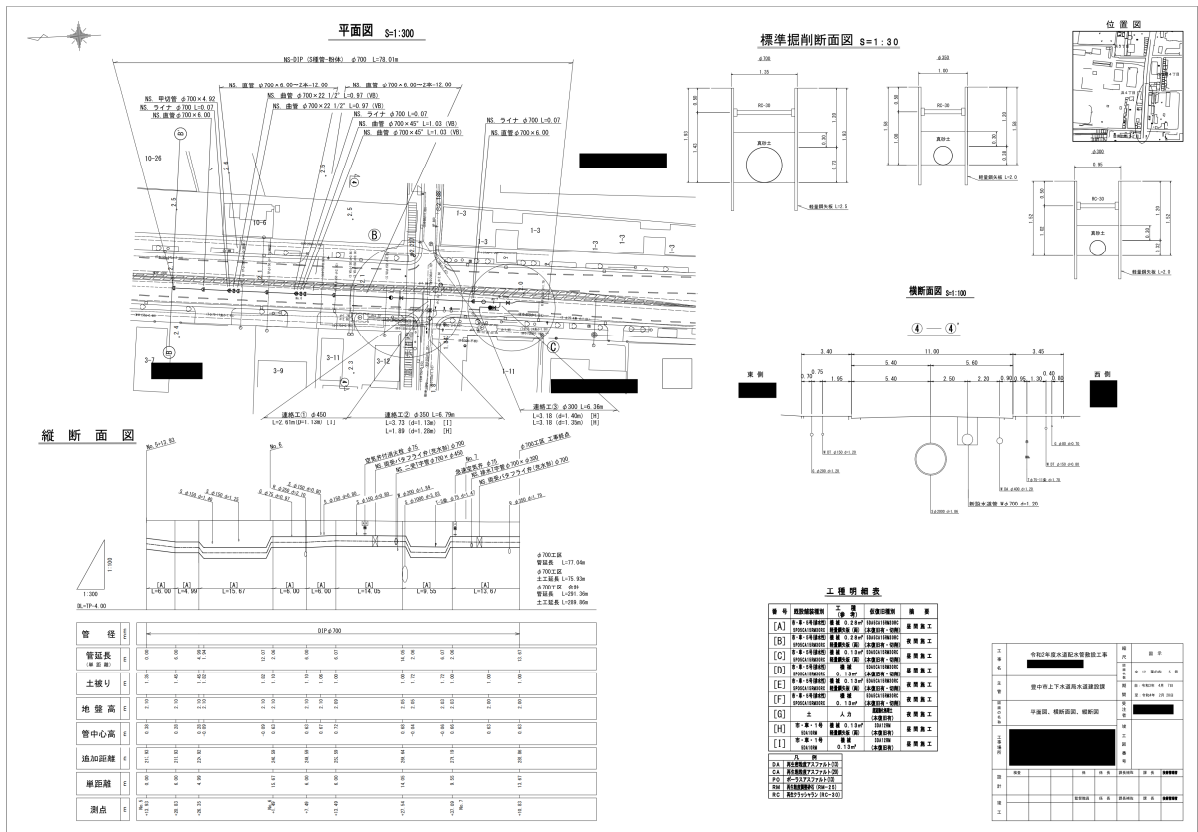


図-1 No.604 設計図 1

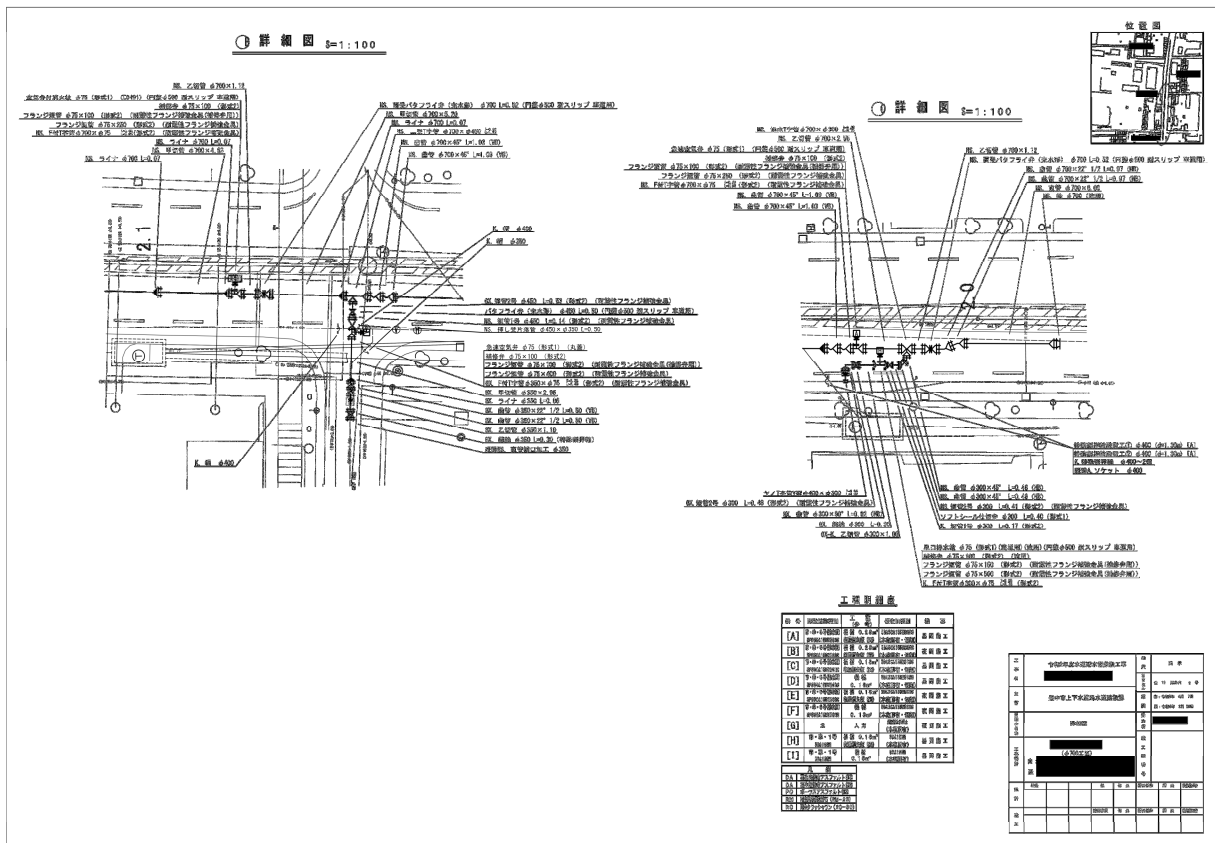


図-2 No.604 設計図 2

(3) 確認できた効果

- ①詳細設計を省略し概算数量設計としたことで、大幅に設計積算業務を軽減できた。
- ②若手職員が工事会社の知識や経験を取り入れながら取り組む良い機会となった。
- ③発注時の設計時間をかなり短くできるため、緊急対応工事に適用できることが確認できた。
- ④概算数量設計に伴う精算変更（誤差）は許容範囲内であった。（下表参照） 表-3

工事番号	No.604	No.606		No.8	No.9	No.10
口径	φ 700	φ700	φ350	φ600	φ600	φ600
材料費(%) ^{※1}	10.6	-7.6	-3.2	4.7	-13.1	17.7
請負金額(%) ^{※2}	13.7	5.1		11.9	-2.6	17.6

※1 口径毎の材料費の変更率

※2 工事毎の請負金額の変更率

(4) 工事会社の意見

本市として初めての取り組みで、「業務の担当範囲が明確でない」「他企業管調査や調整図作成の手順が分からない」など戸惑う部分もあったが、今回の試行を経験することで、「次回はよりスムーズに進められると思う」との意見もあった。また、「詳細設計図は竣工図と同様に描くことができ、問題ない」「現地調査等により現場条件に合わせた設計図を作成することで、施工内容の理解が深まり段取りよく進めることができ、管材料の返品も少なかった」との声が聞かれた。

(5) 今後の課題

- ・受注する工事会社への概算発注方式の浸透（対応可能な工事会社の拡大）
- ・従来方式との併用による技術力の保持と継承していくべきコア業務の整理
- ・概算発注方式の小口径工事への適用と効果検証

5. おわりに

本市では令和4年度にも概算発注方式の試行（φ800・700・250・200・150）を行い、中大口径での試行継続に加え小口径での効果を検証予定である。その結果も踏まえ、今後の適用範囲や従来方式とのバランス等を検討し、その他の効率化策と併せ、管路更新計画を着実に実施していく。最後に、様々な情報提供を頂いた「管路更新を促進する工事イノベーション研究会」委員の皆様にご心より謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 日本ダクティル鉄管協会、
「管路更新を促進する工事イノベーション 研究会（第2期）令和3年度研究経過報告書」、令和4年5月

水道建設工事におけるコスト節減の取組み

○東大阪市上下水道局 他谷 渉

1. はじめに

東大阪市上下水道局では、平成 17 年度より水道料金及び下水道使用料の徴収率向上、計画的な漏水調査による有収率の向上など様々な経営改革に取り組んでいる。なかでも水道事業は、老朽化施設の更新に多額の費用が必要となることから、令和元年度策定の「東大阪市政改革プラン2020（上下水道編）」において、平成22年度より実施している「水道建設工事のコスト節減」に引き続き取り組むこととした。

また、令和2年度には水道事業における最上位計画として「ひがしおおさか水道ビジョン2030」を策定し、今後の水道が目指す姿と目標を設定し、その実現に向けた今後の施策の方向性を示した。「水道建設工事のコスト節減」はビジョンの重点施策の1つである「必要な財源確保の推進」と関連した取組みとなる。本市では料金収入が減少する厳しい経営状況の中、事業経営の持続性確保のため、東大阪市上下水道事業経営審議会にて「水道料金のあり方」を諮問・審議しているところだが、建設改良事業費の確保に向けた料金見直しについては、コスト節減に関するこれまでの取組みを継続するとともに、さらなる経営効率化にも取り組む必要がある。

本稿では、「東大阪市政改革プラン2020（上下水道事業編）」の「水道建設工事のコスト節減」の取組みについて報告する。

2. コスト節減の取組み概要

本プランにおける取組みの概要を表-1 に示す。令和2年度から令和6年度までの5か年計画となっており、毎年1億円の節減を行い、計画期間において5億円の節減に取り組むこととしている。

取組項目	取組スケジュール・効果額（百万円）					担当部
	R2	R3	R4	R5	R6	
水道建設工事のコスト節減	100	100	100	100	100	水道施設部
【取組内容】 建設改良事業における水道施設や管路の更新工事等において、建設コストを抑制するために、引き続き以下の取組みに努めます。 ・他企業との共同施工 ・低コスト材料や低コスト工法の採用 ・建設発生土の再利用など						

表-1 取組み概要

3. 継続して取り組む内容

(1) 低コスト工法採用による工事費の節減

管路更新工事を行う路線において、舗装復旧工事を行うにあたり一定の道路幅員や作業スペースが確保できる現場では、道路切削工法を採用し、路面復旧費の節減に努めている。また、本工法の採用により建設副産物の抑制にも取り組んでいる。

●令和3年度の節減効果額は、約2,560万円

●舗装版取壊工法から道路切削工法にすることにより、約4,500円/m²（舗装厚さによる）の節減が可能である。

(2) 他企業等との共同施工による工事費・委託費の節減

他企業や他事業者が施工する路線において、埋設調査時及び道路連絡協議会等による施工情報の共有により、施工場所・時期の調整を行うことで路面復旧費の節減に努めている。また工事路線における測量データ等の提供

水道建設工事におけるコスト節減の取組み

を受けることにより委託費の節減にも努めている。これまで下水道事業やガス事業が行う工事のほか、市の都市計画道路築造工事や河川改修工事に合わせ水道工事を行っている。

●令和3年度の節減効果額は、約2,030万円

●路面復旧費（負担割合は協議による）や測量費が不要となる。

（3）建設発生土の再利用による節減

国土交通省「発生土利用基準について」に基づき、平成30年度より工事毎に所定の調査試験方法から判断し、利用可能な土質区分であれば、発生土を埋戻材として再利用するものとし、工事費の節減に努めている。

●令和3年度の節減効果額は、約2,680万円

●発生土を埋戻材として再利用することにより、約13,000円/m³の節減が可能である。

4. 新規に取り組む内容

（1）耐久性、経済性に優れた水道本管材料の採用検討による節減

令和2年度より、新たな配水管材料の採用に向け検討を行ってきた。まず、耐久性、施工性及び経済性に優れた材料をピックアップし、それぞれの材料の評価を行い、その中で評価に優れた水道配水管用ポリエチレン管（以下、「HPPE管」という）について試験施工（写真-1）を行った。令和2年度で1か所、令和3年度で12か所の合計13か所になり、布設延長は約2.4kmになる。この新規材料の検討における試験施工により、工事費が節減された。令和4年度からは、φ150以下はHPPE管を本採用するため、今後も新規材料採用による節減として継続して取り組んでいく。



写真-1 試験施工

●令和3年度の節減効果額は、約3,460万円

●GX形ダクタイル鋳鉄管からHPPE管にすることにより、約10%~15%/現場の節減が可能である。

5. これまでの取組み実績

取組み実績を表-2に示す。令和2年度においては、低コスト工法の採用がなかったことに加え、新規材料採用に向けた検討段階であったため目標効果額を下回ったが、令和3年度は達成することができた。今後はこれまでの取組みを継続することに加え、HPPE管採用による効果により、更なる節減効果が得られると考えている。

表-2 取組み実績

	令和2年度	令和3年度
節減効果額 (万円)	8,730	10,730

※目標効果額 10,000万円

6. おわりに

行財政改革プラン2020（上下水道事業編）では、これまでの節減項目を継続しつつ、新しい材料の採用検討を行うなど、新規の取組みも行っている。今後は、施設規模や管路口径の適正化（ダウンサイジング）による費用縮減や、複数工区をまとめて発注することによる工事費の節減に取り組むとともに、再生可能エネルギーの活用による新たな収入の確保に努めるなど、「必要な財源確保の推進」に取り組んでいきたいと考えている。

※この報告における節減効果額は東大阪市独自試算によるものである。

新設ポンプ所における機器の検討

○兵庫県企業庁水道課 西 佑真
兵庫県企業庁利水事務所 岡村 篤樹

1. はじめに

安全で安心な水道水の安定供給には、事業計画に基づいた施設の整備や更新が重要だが、「人口の減少等に帰因する水需要量の減少による収入の減少」に加え、「高度成長期に建設した施設の老朽化による維持管理費や更新費の増加」は事業運営の大きな問題となっている。

現在、兵庫県企業庁では5つの浄水場整備を行い運営管理している。その1つ船津浄水場(姫路市)は神谷ダムと黒川ダムを水源とし、7市町に130,480 m³/日(計画水量)を供給している。このうち加西市は、ポンプ圧送により送水を行っているが、施設の老朽化による更新時期であることから、施設の集約化を行い更新費と維持管理費の低減を図るために新たに鴨谷配水池を整備し、他自治体からの水道用水供給を県水受水に振り替えることとした。

鴨谷配水池での受水には、既存県水管路からの再加圧が必要であり、そのため整備した「栗田ポンプ所」における施設スリム化の取り組みについて報告する。



2. 栗田ポンプ所について

これまでの加西市向けの送水は、船津浄水場の北部系送水ポンプから圧送された水が寺山配水池(8,800 m³/日)及び別府ポンプ所を経由し、明神山配水池と同ラインを利用した船木方面の滝野供給点と西脇供給点(合計9,890 m³/日)に行っていた。

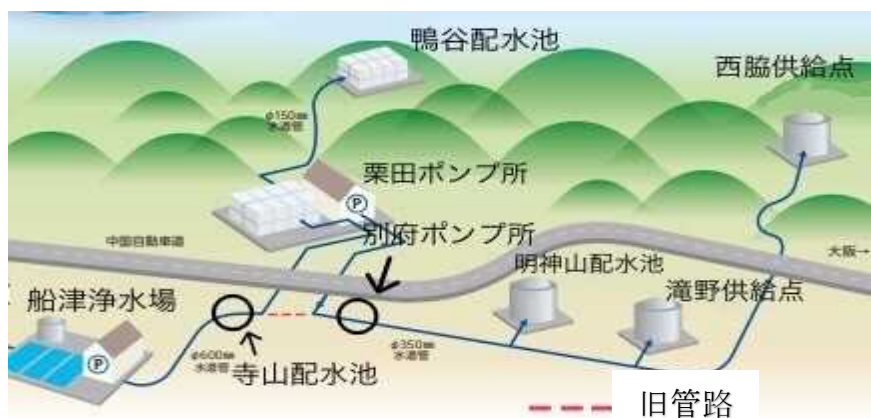


図 1 位置図

しかし、新規の鴨谷配水池は別府ポンプ所より船津浄水場側に位置するため、別府ポンプ所からの送水はできない。また、船津浄水場の送水ポンプだけでは揚程が不足する。このための栗田ポンプ所を整備することになった。

3. ポンプ所の検討について

栗田ポンプ所の整備にあたり、別府ポンプ所の運用も含め、維持管理性とランニング等を考慮し検討をおこなった。

検討は栗田ポンプ所整備後にも別府ポンプ所を存続・運用する場合（ケースA）と、別府ポンプ所を廃止し栗田ポンプ所に別府ポンプ所の機能を統合し、明神山・船木方面の配水池に送水する場合（ケースB）について、ランニングコストを試算して比較した。

ランニングコストは、以下の項目について算定した。

- ① 定常ランニングコスト
 - (a) 動力費
 - (b) 日常的な点検保守及び整備費
- ② 定期整備等

10年程度で発生する分解整備(オーバーホール)、装置取替等

算定の結果、表1のようにケースB(別府ポンプ所廃止)の方が、明神山・船木方面の送水ポンプの消費電力量が大きいことから、動力費についてケースA(別府ポンプ所存続)に劣る。一方で他の項目では運用するポンプ所数が少ないケースBの方がランニングコストが小さくなり、別府ポンプ所を廃止し栗田ポンプ所に機能集約するケースBの方がトータルコストが低くなる結果となった。

	ケースA 別府・栗田(円/年)	ケースB 栗田(円/年)
初期費用	△	◎
ポンプ動力費	◎	○
通信料		○
点検保守	○	◎
10年程度以内での事故等		○
合計	○	◎

表 1 ランニングコストの比較表

別府ポンプ所廃止の場合には計画している自家発電設備の新設も必要なくなること、維持管理性においても、1つのポンプ所に集約した方が良いと判断した。

4. 送水ポンプの検討

(1)ポンプの共通化

栗田ポンプ所からの送水に必要なポンプの台数及び規格等を検討した。送水条件は表2のとおりである。

鴨谷配水池への必要なポンプ規格と、明神山・船木方面に必要なポンプの規格に関しては、揚程の比較から条件の最も厳しい滝野供給点(96.00m)を基準として規格を考え、鴨谷と明神山・船木方面へのポンプの共通化によるポンプ台数の削減を検討した。

表2のとおり必要な揚程が約100m程度と近い値であったこと、さらに鴨谷と明神山・船木方面の計画水量が約1:3であることから、定格流量を2.3 m³/日としポンプを鴨谷向けポンプ1台、明神山・船木方面向けポンプ3台とした。

系統	揚程	計画水量
(1)鴨谷向け	93.00 m	3,100 m ³ /日 (2.15m ³ /分)
(2)明神山・船木方面向け		9,890 m ³ /日 (6.87m ³ /分)
(うち明神山配水池)	79.00 m	(3,700 m ³ /日)
(うち滝野供給点)	96.00 m	(3,190 m ³ /日)
(うち西脇供給点)	89.00 m	(3,000 m ³ /日)
【合計】		12,990 m ³ /日 (9.02 m ³ /分)

表 2 送水条件

ポンプを鴨谷向けポンプ1台、明神山・船木方面向けポンプ3台とした。

定格流量 2.3 m³/分=3,312 m³/日

(計画水量 鴨谷：3,100 m³/日<3,312 m³/日、明神山・船木方面：9,890 m³/日<9,936 m³/日)

ポンプ駆動用電動機容量計算

1台当吐出量	Q =	2.300	m ³ /min
ポンプ全揚程	H =	93.0	m
ポンプ効率	$\eta_p =$	75	%
電動機余裕率	$\alpha =$	15	%
電動機出力	$P_m =$	$\frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha)}{\eta_p}$	
	=	53.461	kw

上記計算より電動機出力は
M = 55.0 kw

図 2 鴨谷配水池への出力計算

ポンプ駆動用電動機容量計算

ポンプ1台当吐出量	Q =	2.300	m ³ /min
ポンプ全揚程	H =	96.0	m
ポンプ効率	$\eta_p =$	76	%
電動機余裕率	$\alpha =$	15	%
電動機出力	$P_m =$	$\frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha)}{\eta_p}$	
	=	54.459	kw

上記計算より電動機出力は M = 55.0 kw

図 3 滝野供給点への出力計算

以上の結果から予備機を1台のポンプで共有化でき計5台での運転にすることで、維持管理性の向上とランニングコストの削減をおこなうことができた。

5. 運転方法

鴨谷配水池と明神山・船木方面では、送水系統（ルート）が異なるため、運転方法は以下のとおりとした。

(1)送水ポンプは各系統に1台以上の専用機を設ける。また2系統合計で1台以上の予備機を設ける。

(2)送水ポンプ吐出側ヘッダ管を共通化し、ポンプ稼働の切替えが可能な配置とする。

(3)吐出側ヘッダ管に電動切替弁を設けることにより吐出側系統を分離する。なお、電動切替弁の開閉は遠隔でも操作

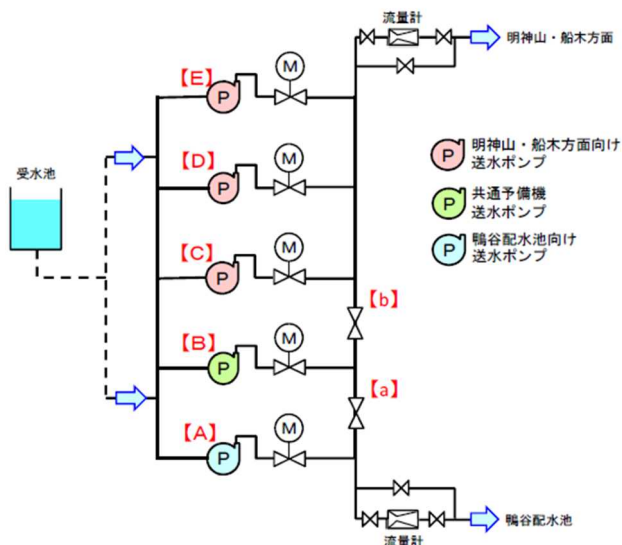


図 4 ポンプ配置イメージ

可能とする。

(4)設置するどの送水ポンプ1台を停止（故障）しても、予備機を含む残りの送水ポンプにて上記2系統に計画水量を送水可能とする。

鴨谷配水池向け	共通機			明神山・船木方面向け		電動切替弁		備考
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(a)	(b)	
●	○	○	○	○	○	□	■	電動切替弁【b】を閉として、送水ポンプ【A】【B】を鴨谷配水池向けとする
○	●	○	○	○	○	□	■	
○	○	●	○	○	○	■	□	電動切替弁【a】を閉として、送水ポンプ【B】～【E】を明神山・船木方面向けとする
○	○	○	●	○	○	■	□	
○	○	○	○	●	○	■	□	

【送水ポンプ】○：運転，●：停止 【電動切替弁】□：開，■：閉

図 5 バックアップイメージ

6. 共同事業

整備費は、別府ポンプ所の能力を移行する部分を県が、鴨谷配水池への加圧に係る部分を市が、それぞれ負担することとした。栗田ポンプ所の整備は兵庫県営水道と加西市水道との初めての共同事業となった。

令和元年度に市が先行して着工し、令和2年度に県が着工した。完成は令和4年3月。有効容量1,080 m³の受水槽と予備機を含めて5台のポンプを有し、船津浄水場からの水を受け、加西市新設の「鴨谷配水池」と既存の明神山・船木方面へ計画給水量12,990 m³/日を送水する。

7. 終わりに

今回は県と市が共同でポンプ所を整備し、ポンプ規格の共通化、予備機の共有により施設のスリム化をおこない、維持管理費やランニングコストの低減を図ることができた。

水道事業は今後ますます老朽化した施設が増え、運営が難しくなるが、本事例がポンプ所の新設や統廃合を検討する際の参考の1つとなれば幸いである。

基幹施設の更新とバックアップ体制の強化

－送水トンネル更生と連絡管整備－

○山村 優（神戸市水道局） 牛尾 亮太（神戸市水道局）
松田 康孝（神戸市水道局）

1. はじめに

水源となる大きな河川や湖が市内にない神戸市（以下、本市）では、「阪神水道企業団（旧：阪神上水道市町村組合）」を設立し（昭和 11 年）、琵琶湖・淀川に水源を求め、給水安定化の礎を築くことで市を発展させてきた。令和 3 年度末時点での給水人口は約 151 万人（ピーク：約 154 万人 平成 22 年）、日平均配水量約 49.8 万 m³（ピーク：約 60 万 m³ 平成 5 年）である。

本市より東部に位置する阪神水道企業団から送られる水は、3 本の送水トンネルにより市街地東部から西部に一方送りで送水している。具体的には、3 拡送水トンネル（奥平野以東・昭和 28 年築造・1.81m×1.81m 馬蹄形）、4 拡送水トンネル（昭和 39 年築造・2.5m×2.5m 馬蹄形）および大容量送水管（平成 28 年布設・φ2400mm）が市街地東部の送水を、3 拡送水トンネル（奥平野以西・昭和 32 年築造・1.81m×1.81m 馬蹄形）と 5 拡送水トンネル（昭和 52 年築造・2.5m×2.5m 馬蹄形）が市街地西部の送水を担っている。本市は水源の約 8 割を阪神水道企業団からの受水に依存しており、これらの送水幹線は本市の水道事業の生命線として機能している。

なお、大容量水管は、阪神・淡路大震災の教訓と経験から平成 5 年に基本設計を進めていた六甲山中を通る第 3 送水トンネルを、山岳から市街地直下ルートに変更したもので、危険分散と耐震性を高め、さらに被災時の応急給水に活用できるように計画変更を行った。大容量送水管の整備完了により、3 拡送水トンネル・4 拡送水トンネル・大容量送水管のいずれかが停止した場合でも送水を継続することができるバックアップ体制が整った。



図-1. 神戸水道の送水幹線の概況

基幹施設の更新とバックアップ体制の強化

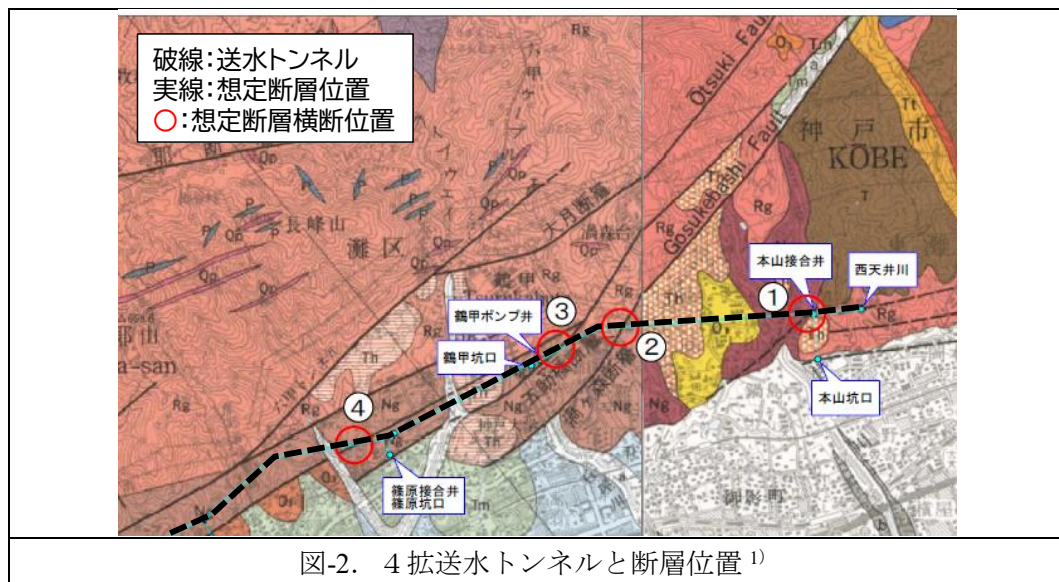
－送水トンネル更生と連絡管整備－

2. 送水トンネルの更生とバックアップ施設整備

大容量送水管整備以前、市街地東部の送水トンネル（3 拡送水トンネルおよび4 拡送水トンネル）についてはその双方を運用しなければ必要水量を送水することができず、一方の送水トンネルで事故等が発生した場合には、送水能力に不足が生じる状態にあった。また、市街地西部の送水トンネル（3 拡送水トンネルおよび5 拡送水トンネル）は基本的にはそれぞれ異なる地域へ送水しており、相互にバックアップすることはできない。これらの送水トンネルは本市水道の生命線であり、この送水トンネルで事故が発生した際には、市民生活および都市活動へ甚大な影響を与えることになる。市民への安定給水を確保すべく、これらの送水トンネルの更生やバックアップ施設の整備を「中期経営計画 2023」で「基幹施設の更新とバックアップ体制の強化」を重要な事業と位置づけ、精力的に取り組んでおり、本項ではその取り組みについて紹介する。

（1）市街地東部における取り組み

市街地東部においては、3 拡送水トンネルの送水エリアを4 拡送水トンネルでバックアップすることで3 拡送水トンネルの運用を停止し、FRP 管挿入による更生（昭和 62 年）を行った。4 拡送水トンネルは、図-2 に示すように六甲山地南麓部の活断層を複数横断しており、阪神・淡路大震災の影響が懸念される施設であるが、3 拡送水トンネルだけではバックアップができず、調査点検も実施できていないことが大きな課題であった。



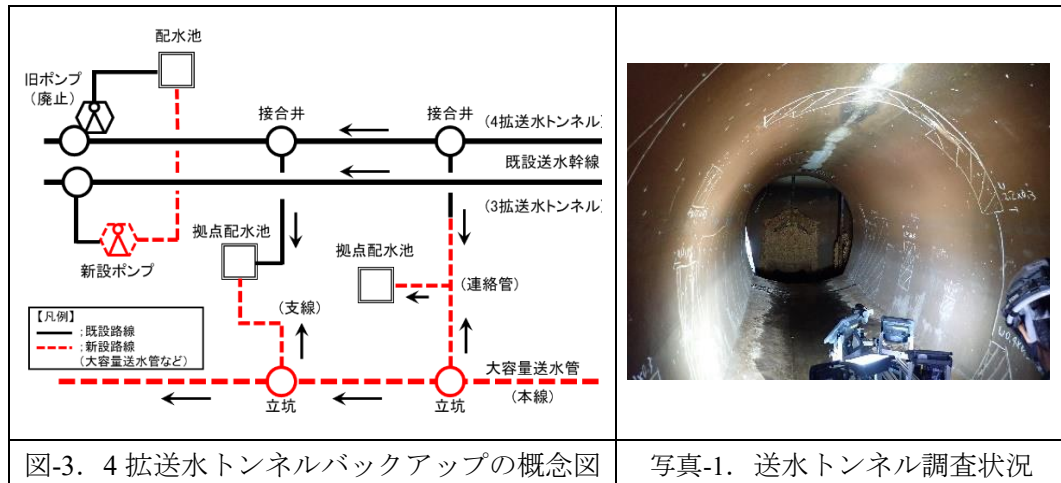
そこで、大容量送水管を整備するとともに、4 拡送水トンネルとの連絡管や立坑から拠点配水池への送水を担う支線の整備も行うことで、4 拡送水トンネル上流部や拠点配水池への送水のバックアップを確保した。

また、大容量送水管からのバックアップができない配水池について新たに3 拡送水トンネルから送水する設備の整備を行い、4 拡送水トンネルの停止に必要な施設整備（図-3）を令和4年に完了したことから、本年9月に4 拡送水トンネルの運用を停止し健全度調査を開始している（写真-1）。

基幹施設の更新とバックアップ体制の強化

－送水トンネル更生と連絡管整備－

この健全度調査では、全方位カメラと目視による覆工表面変状調査、電磁波レーダーによる覆工背面調査などに加え、既往文献や踏査による断層調査も併せて実施し、調査結果をもとに、適正な補修と更生方法の検討を進めているところである。



(2) 市街地西部における取組み

3 拡送水トンネルおよび 5 拡送水トンネルの末端部で近接する一部区間においては、それぞれ他系統から拠点配水池へ送水するための管路整備を行ってバックアップを確保し、送水トンネルの覆工背面充填、ひび割れ補修、管挿入による更生を順次実施してきた。しかし、上記のバックアップの確保および更生を実施することができた区間はあくまで一部であり、大部分の区間については、その送水経路上に相互の連絡施設を有しておらずバックアップが確保されていない状況である。そのため、事故時のバックアップ機能はもろんのこと、それぞれの送水幹線の更生時の代替送水施設の整備が急務となっている。



基幹施設の更新とバックアップ体制の強化

－送水トンネル更生と連絡管整備－

そこで、3 拡送水トンネルと 5 拡送水トンネルを経路途中で連絡し、事故時および更生工事のバックアップ確保を目的とした連絡管（奥畑－妙法寺連絡管）の整備を令和 2 年より進めている。この連絡管は、非開削工法を用いて図-4 に示すように幹線道路直下に設け、この連絡管によって日最大約 6 万 m³ の相互融通が可能となる。主要諸元を表-2 に示す。

計画口径	φ 1,600（シールド区間）、φ 1,100（推進区間）
計画延長	約 3.87km（約 3,710m+150m）
計画深度	約 GL -6 ～ -77m
計画送水能力	60,000m ³ /日
事業費	約 70 億円
工事期間	令和 2 年度～令和 7 年度（予定）

3. 送水トンネルの今後について

現在は 4 拡送水トンネルの補修・更生により市街地東部の送水の安定化を、奥畑－妙法寺連絡管の整備により市街地東部の送水トンネルの相互バックアップの確保に取り組んでいるところである。4 拡送水トンネルの補修・更生は令和 11 年まで、奥畑－妙法寺連絡管の整備は令和 7 年に完了する予定である。これらが完了した後は、令和 18 年頃に 3 拡送水トンネル（西部）の更生、令和 32 年頃に 5 拡送水トンネルの更生を計画している。送水トンネルの更生には多大な費用を要するため、将来の使用水量を予測した上で水道システム全体を俯瞰した適正な補修・更生を検討していく。

4. おわりに

冒頭で述べた通り、本市の送水トンネルは水道事業の生命線と言える重要な施設である。それらの事故時リスクは極めて高く、その更生やバックアップ施設の整備は必要不可欠な事業であり、今後着実に実施していく所存である。

現在実施している奥畑－妙法寺連絡管の整備は大深度、長距離、多様な地質といった特徴故に施工難度が高く、施工業者から様々な技術提案を受けながら慎重に取り組んでいる。また、4 拡送水トンネルについては六甲山麓部の活断層を横断しているため、阪神淡路大震災が地下構造物へ与えた影響を評価できる機会であると考えている。そのため、事業完了の暁には、事業の詳細を改めて紹介したいと考えている。

5. 参考文献

1) 通商産業省工業技術院 地質調査所：「神戸地域の地質」、1983

「大阪西北部地域の地質」、1983

残留塩素濃度管理システムについて

○ 能勢 正樹（株式会社クボタ）
丹羽 茂之（株式会社クボタ）

1. はじめに

近年、人口減少や節水機器の普及に伴う水需要の減少により、配水管路内における残留塩素濃度の低下が問題となる場合がある。そのため、一部の事業者では配水管路内の残留塩素濃度確保のため、管路末端部における排水作業を余儀なくされる場合があり、これらの作業に係る人員の確保や排水コストの削減が課題となっている。このような課題を解決するため、弊社では排水量の削減及び残留塩素濃度の適正管理を目的として、残留塩素濃度の自動測定を行い、残留塩素濃度が設定値以下に低下した場合には電磁弁を開いて排水する機能を有する「残留塩素管理システム」を開発し、現在実用に向けた試験中である。本システムの導入により、管路末端の残留塩素濃度を設定値以上に保ち、排水量を必要最小限に抑えることが可能となる。

これまでいくつかの事業者のご協力をいただき本システムのフィールドテストを実施してきたが、ここでは、それらの中から一例（2事業者3カ所のテスト内容）を報告する。

2. 残留塩素確保システムの概要

本システムは、水質測定のためのセンサ、測定結果を記録するデータロガー、データロガーからの信号で開閉する電磁弁で構成される。なお、計測に必要な機器は、メーターボックス内に収納することも可能である。

水質センサが測定した残留塩素濃度がしきい値に達すると、ロガーから電磁弁に開閉信号が送られる。残留塩素濃度が下限値以下になった場合、電磁弁開（排水開始）状態となり、同濃度が上限値以上になるまで排水が継続され、上限値に達した時点で電磁弁閉（排水停止）状態となる。

表 1 残留塩素濃度管理システムの仕様

項目	内容
測定可能項目	残留塩素濃度（～2.0m/L） 電気伝導率 水温 水圧
測定間隔	2分、3分、5分、10分、 20分、30分、60分から選択
連続稼働時間	30日 （バッテリー（3.7V128Ah）使用）
外形寸法（mm） ※コネクタ等の突起除く	水質センサユニット 190×130×380 データロガー 220×130×190
電磁弁	Φ13～50 （電源はデータロガーから供給）

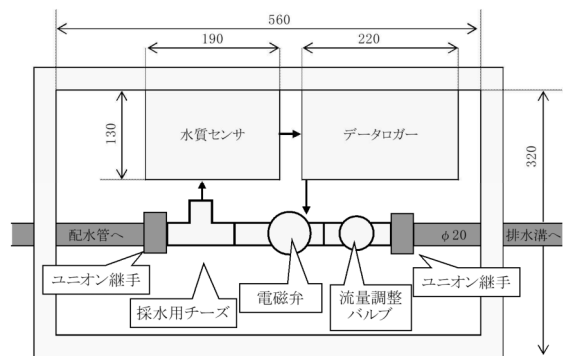


図 1 機器設置例

3. フィールドテストの方法

(1) テスト概要

フィールドテストの概要を表2に示す。

表2 フィールドテストの概要

フィールド事業体 (テスト実施箇所名)		A事業体 (A)	B事業体 (B1、B2)
テスト期間		令和3年12月24日(金) ～ 令和4年3月25日(金)	令和4年5月19日(木) ～ 令和4年7月5日(火)
測定項目		残留塩素濃度、水圧、排水量	残留塩素濃度、水圧、 排水量、水温
測定 間 隔	残留塩素濃度 水圧 水温	5分間欠測定	
	排水量		
校正		十分な慣らし運転の後、残留塩素濃度について、DPD試薬を用いた残塩計による校正を行った。その後、週に1～2回の頻度で、センサ指示値と残塩計の値を比較し、センサの測定精度確認を行った。	

(2) システムの構成

フィールドテストの機器構成概要を図2に示す。

フィールドテストでは既設の排水管に電磁弁を接続し、電磁弁及びその他の機器をトランクに収納・設置した。

本システムは以下3点の主要機器から構成されており、排水量測定には別途水道メーターを設置した。

- ① 水質センサユニット
- ② データロガー
- ③ 電磁弁

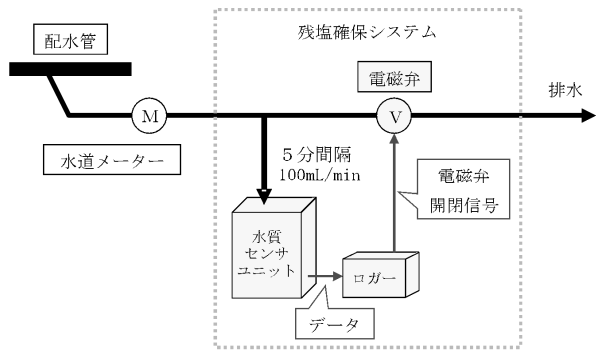


図2 フィールドテストの機器構成概要

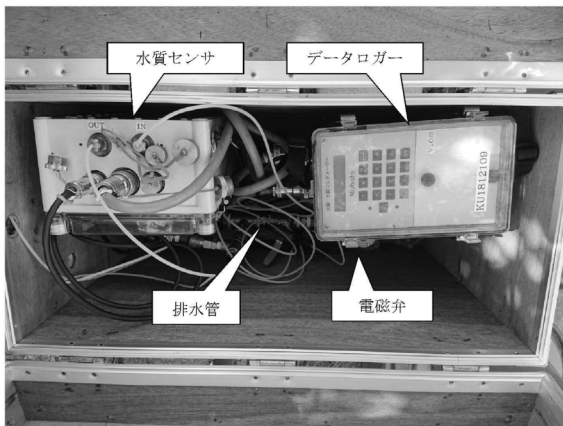


写真1 機器収納トランク内部



写真2 機器設置状況(B2)

4. フィールドテストの結果

4. 1 A事業体におけるテスト結果

(1) 残留塩素濃度の適正管理

テスト中の残留塩素濃度測定結果(条件A_③の場合)を図3に示す。

設定した下限値(0.20mg/L)以上の残留塩素濃度が維持されたことが確認された。

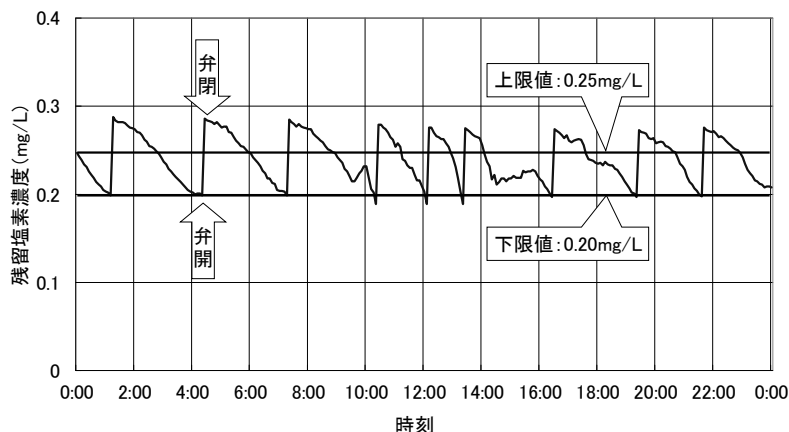


図3 残留塩素濃度測定結果(条件A_③)

(2) 排水量の削減効果

テストは8パターンの条件下で実施した。

従来の排水状態(常時排水・117L/min)を条件A_①とし、単位時間排水量については、その影響を確認する為、条件A_⑥(53L/min)の2パターンとした。また、電磁弁を開閉するしきい値についても2パターン設定した。

各テスト条件における1日当たりの排水量を表3に示す。

一例として、条件A_③の場合、条件A_①(常時排水)と比較すると、排水量は8.1m³/日(5%)となり、約160 m³/日(95%)削減となった。

フィールドテスト期間中は必ずしも水源水質、及び水温等の条件が一定ではない為、各条件の単純な比較は難しいが、各々の単位時間排水量において、日排水量は「常時排水」>「下限値0.20、上限値0.25」>「下限値0.15、上限値0.20」となった。また、同じしきい値の条件同士(条件A_③とA_⑦、及び条件A_②とA_⑧)を比較すると、単位時間排水量による明確な傾向は認められなかった。

なお、条件A_④では残留塩素濃度減少の低減を期待して浄水処理における活性炭を通常の10倍使用したが、テスト結果から費用対効果が得られないと判断した為、条件A_⑤は実施しなかった。

表3 各条件における1日当たりの排水量

上段左: 条件名、 上段右: 期間中の平均残塩濃度(mg/L)
下段左: 日排水量(m³/日)、下段右: 条件A_①の日排水量との比

電磁弁のしきい値(mg/L)		活性炭	単位時間の排水量	
下限値	上限値		117(L/min)	53(L/min)
常時排水		通常	条件A_① 0.26 168.0	条件A_⑥ 0.23 76.6 (46%)
0.20	0.25	通常	条件A_③ 0.24 8.1 (5%)	条件A_⑦ 0.24 9.8 (6%)
		通常の10倍	条件A_④ 0.24 6.7 (4%)	条件A_⑤ - 実施せず
0.15	0.20	通常	条件A_② 0.20 5.3 (3%)	条件A_⑧ 0.19 3.5 (2%)

4. 2 B事業体におけるテスト結果

(1) 残留塩素濃度の適正管理

フィールドテスト中の残留塩素濃度及び排水量測定結果を図4に示す。

設定した下限値(0.15mg/L)以上の残留塩素濃度が維持されたことが確認された。

なお、6月14・15日の排水量(図中○印)は配水池における塩素注入装置不具合により残留塩素が低下したため、テスト実施箇所の排水量が増加した。

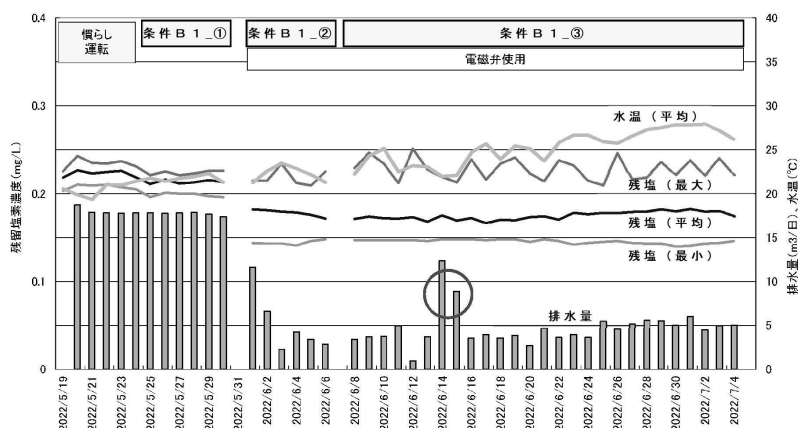


図4 残留塩素濃度及び排水量の測定結果(テスト箇所B1)

(2) 排水量の削減効果

B1でのテストは、従来の排水状態(常時排水・12.3L/min)である**条件B1_①**と、電磁弁の開閉により排水を制御した**条件B1_②**、**条件B1_③**の3パターンとし、B2でのテストは、従来の排水状態(常時排水・17.7L/min)である**条件B2_①**と、電磁弁の開閉により排水を制御した**条件B2_②**の2パターンとした。

各テスト条件における1日当たりの排水量を表4に示す。

テスト箇所B1、B2のいずれにおいても、常時排水に比べ電磁弁の開閉により排水制御した場合には日排水量を大きく低減できた。特にB2の排水量は常時排水25.5 m³/日から1.4m³/日(5%)となり、約24.1 m³/日(95%)削減となった。

表4 各条件における1日当たりの排水量

上段左: 条件名、 上段右: 期間中の平均残留塩素濃度(mg/L)
下段左: 日排水量(m³/日)、下段右: 常時排水の日排水量との比

テスト箇所	電磁弁のしきい値(mg/L)		単位時間の排水量		
	下限値	上限値	12.3(L/min)	20.0(L/min)	17.7(L/min)
B1	常時排水		条件B1_① 0.21 17.7		
	0.15	0.20	条件B1_② 0.18 5.2 (29%)	条件B1_③ 0.17 4.7 (27%)	
B2	常時排水				条件B2_① 0.25 25.5
	0.15	0.20			条件B2_② 0.18 1.4 (5%)

5. まとめ

これまでのフィールドテストの条件下において、残留塩素濃度の適正管理ができ、それに伴い排水量の削減でも効果が確認された。今後、夏季におけるフィールドテスト、及び長期の連続運転テストに関する報告を行う予定である。

以上

自動排水装置による滞留部の水質維持効果と導入メリットの評価

栗本鐵工所 ○山本 雅之
 小仲 正純
 魚津 颯二郎
 栗本商事 田中 清治

1. はじめに

人口減少や節水機器の普及等に伴う水需要の減少は、料金収入に影響を与えるだけでなく、配水管路内の滞留箇所の増加による水質問題にも影響を及ぼしている。その対策として、常時排水や作業員による定期排水などが行われているが、これらの対策は無収水量の増加、作業員の人件費や作業負荷の増加等につながり、水質維持とのトレードオフが課題となる。

この課題解消のため、弊社はタイマー制御の電磁弁開閉で定期的に排水を行う自動排水装置（以下、装置と呼ぶ）を開発し、導入効果確認のため、滞留対策が必要な実配水管路でのフィールドテストに取り組んだ。本稿ではその成果について報告する。

2. 自動排水装置の概要

(1) 仕様

装置の外観と設置例を図 1 に、主な仕様を表 1 に示す。装置は、低コスト且つ取り扱いを容易とするため、シンプルな構成をコンセプトとしている。また、コントローラを含めて量水器ボックスもしくはφ500 の弁室内に収まるコンパクトな形状で、外部電源を必要とせず、IP67 相当の保護性能を有しているため、設置場所の制約が少ない特長を有する。

設置は、図 2 に示すように装置の流入側配管はサドル付分水栓等を介して配水管と接続し、流出側配管は排水溝等に流れるように接続する。

表 1 主な仕様

項目	仕様
保護性能	IP67 相当
電源	9V アルカリ乾電池 1 個 約 1 年間使用可能
配管	呼び径 20 ステンレス鋼製 ねじ込み管継手
排水設定	最大 2 回/日、 1 回当たり 1 分～9 時間 59 分

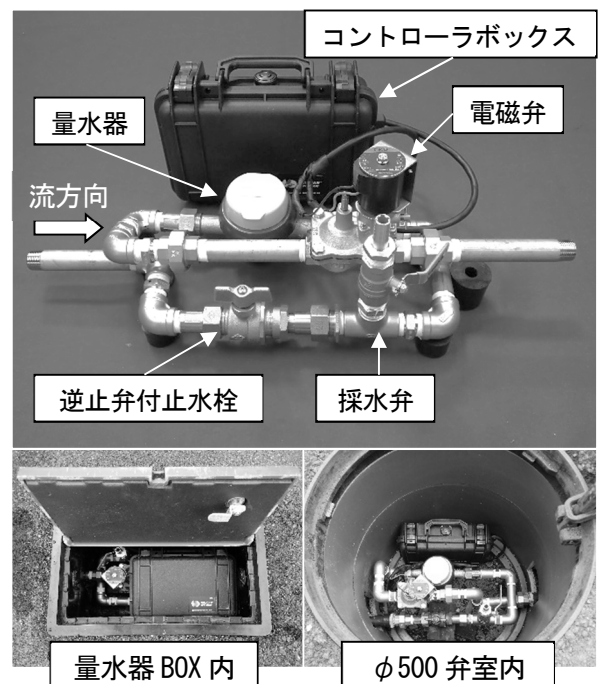


図 1 装置の外観（上）と設置例（下）

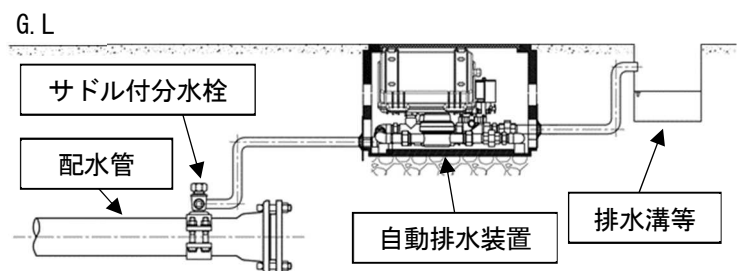


図 2 設置方法例

(2) 装置による水質維持イメージ

残留塩素濃度と経過時間の関係を図 3 に示す。装置は、管路状況に応じた排水条件に設定することで、残留塩素濃度が管理目標下限値以下となる前に排水を行い、残留塩素を適正濃度に保つ。

排水条件の設定は、排水インターバルは既往の研究¹⁾を参考に設定した式(1)で求め、排水実施時間は滞留水の確実な入れ替えのため、テスト開始時は滞留管路延長相当分の管内水量の2倍の排水を行うこととしたが、装置の運用に適した考え方となるよう、フィールドテスト後にその結果を反映させて見直した。

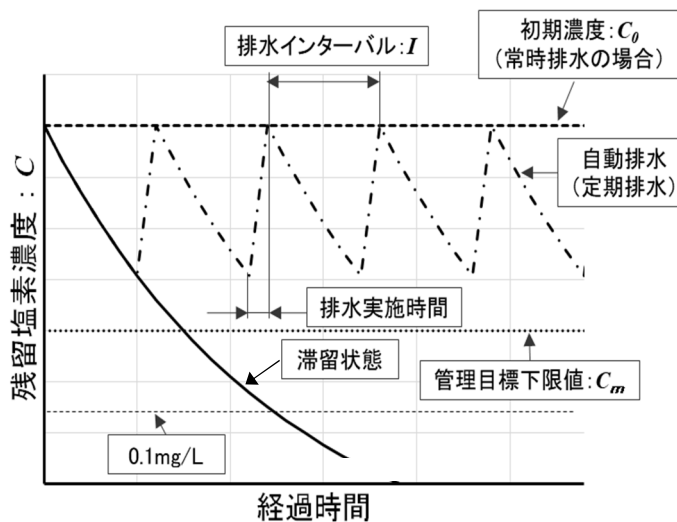


図 3 自動排水装置による水質維持のイメージ

$$I = \ln(C_m / C_0) / (-k) \dots \text{式(1)}$$

I : 排水インターバル (hr)、 C_0 : 残留塩素濃度初期値 (mg/L)

C_m : 残留塩素濃度管理目標値 (mg/L)、 k : 残留塩素濃度減少速度係数 (hr^{-1})

3. フィールドテスト概要

(1) テスト概要

フィールドテスト対象管路概要を、表 2 に示す。対象管路は、A 市の配水管路で滞留水対策が必要な 4 カ所とした。なお、滞留水対策として B、C 地点では常時排水が行われ、A、D 地点では作業員による排水が行われている。

テスト期間は令和 3 年 6 月～令和 4 年 3 月までとし、1 週間に 1 回程度の頻度で装置の点検と排水条件の見直し等を実施した。また、テスト後は令和 4 年 8 月末までの半年間、常時排水に設定した状態で点検無しで運用し、耐久性等を評価した。

表 2 フィールドテスト対象管路概要

地点	配水管呼び径×滞留部延長 (m)	従来の水質維持対策	自動排水装置設置方法
A	$\phi 200 \times 350 + \phi 150 \times 150$	定期排水	$\phi 500$ 弁室
B	$\phi 150 \times 360$	常時排水	$\phi 500$ 弁室
C	$\phi 100 \times 410$	常時排水	量水器ボックス
D	$\phi 150 \times 520$	定期排水	$\phi 500$ 弁室

(2) 評価項目および方法

①装置の排水条件設定手法の検討

6～10 月を高水温期、11～5 月を低水温期とし、それぞれについて残留塩素濃度を管理目標下限値以上で維持できる排水量が最も少ない排水条件を見出し、その結果に基づいて装置の排水条件設定手法を決定した。

②装置耐久性評価

装置の耐久性、およびメンテナンス頻度を評価した。

③装置導入メリットの評価

決定した装置の排水条件設定手法に従って水質維持を行ったときの経済性や排水量削減効果を、常時排水および作業員による定期排水と比較した。

4. 評価結果

(1) 装置の排水条件設定手法の検討結果

一連の評価の結果、装置の排水条件設定手法を、a) ～c)のように決定することができた。

- 1回当たりの排水量は、高水温期は滞留管路延長相当分の管内水量の1.8倍、低水温期は同1.0倍とする。
- 通水断面全域の水が入れ替わるよう、配水管内が乱流状態に遷移する流速以上に設定し、1回当たりの排水実施時間は最大18時間までとして、なるべく長時間確保することで滞留時間が短くなるようにする。
- 管路情報および式(1)に基づいて排水インターバルを算出し、排水実施時間と組み合わせて排水開始日時を決定する。

上記a) ～c)の考え方に準じて決定した排水条件で水質維持を行った結果の例を、**図4**に示す。本手法で、高低水温期を問わず装置による水質維持が可能と考えられる結果を得た。

なお、ここで決定した排水条件設定手法は、水質維持の安全側に配慮した排水条件のため、排水量をさらに削減できる可能性がある。また、条件の異なる管路に設置した場合にどの程度適用できるかは、未検証である。そのため実際に自動装置を使用する場合は、設置後1週間程度本条件で様子を見た後に、現地状況に応じて微調整を行えば、より経済的且つ安全な水質維持ができるものとする。

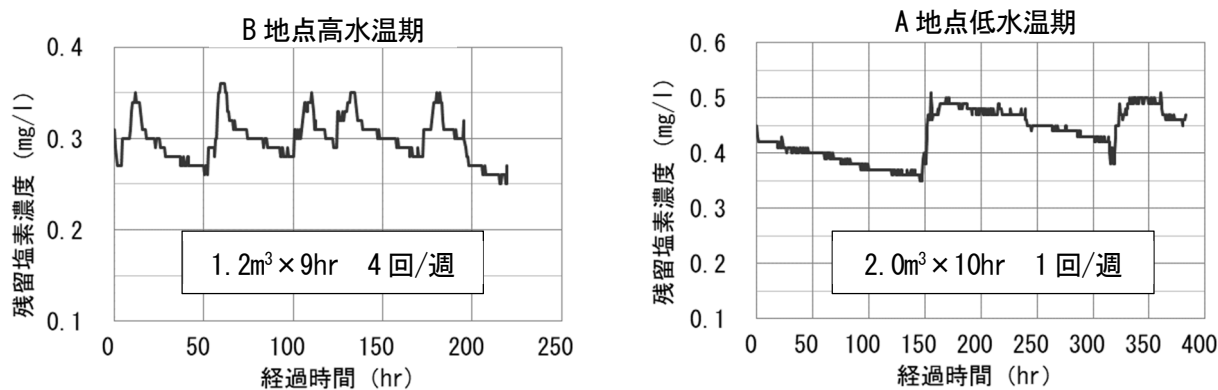


図4 決定した排水条件設定手法に準じて水質維持を行った結果の例

(2) 装置耐久性評価結果

耐久性評価結果を**表3**に示す。フィールドテスト開始後まもなく、豪雨により全ての弁室等が数日間水没し、その結果、A地点においてコントローラボックス内への滲み程度の浸水が認められた（コントローラには影響なし）。調査の結果、コントローラボックス蓋への異物の挟まりが要因であることが分かったため、これをメンテナンス要領に反映させて以降は、豪雨があっても浸水することは無くなった。また設置から1年1か月に渡って経過を確認したが、装置に異常は認められなかった。一連の結果より、メンテナンス頻度は半年に1回程度と設定した。

表3 装置耐久性評価結果（設置から1年1か月）

地点	配管からの漏水	コントローラボックスへの浸水	電磁弁の動作不良
A	無し	豪雨による弁室水没時に滲み程度あり →蓋への異物挟まりが原因。対策後は浸水なし	無し
B	無し	無し	無し
C	無し	無し	無し
D	無し	無し	無し

(3) 装置導入メリットの評価

フィールドテストの結果を基に、常時排水および作業員による定期排水に対する自動排水の経済性及び排水量の削減効果を評価した。評価条件の一部を表 4 に示す。定期排水は、自動排水と同じ排水条件を作業員 2 名が行うことと仮定し、常時排水が行われていない A、D 地点は、滞留管路容量を考慮して常時排水量を決定した。また、自動排水は 10 年に 1 回の更新を行うこととした。

なお、常時排水と定期排水は共に、最初に排水設備の設置費用が発生する可能性があるが、本検討では考慮しないものとした。

表 4 自動排水装置導入メリット評価条件

排水方法	内 訳
自動排水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 装置費+装置設置作業費+設置工事費 (初年度のみ) ・ メンテナンス代 (半年に 1 回、作業員 2 名/回) ・ 装置更新費 (10 年に 1 回、装置費+装置交換作業費) ・ 排水費×水単価
常時排水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排水量×水単価
定期排水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業費 (作業員 2 名/回が、自動排水と同じ頻度で排水) ・ 排水量×水単価

自動排水の経済性評価結果を、表 5 に示す。定期排水に対しては、全地点において自動排水が経済的となった。また常時排水に対しては、装置導入費の影響で初年度の経済性は低くなるが、B 地点を除いて使用年数が長いほど経済性が高まり、排水量を大幅に削減できる結果となった。なお、B 地点は常時排水の排水流量が少量であったことから、常時排水が最も経済的となった。

表 5 自動排水装置の経済性評価結果

地点	条件	常時排水を 100 とした時の、 自動排水及び定期排水の経済性 (%)					常時排水の年間排水量を 100 とした時の自動排水量の 年間排水量 (%)
		初年度	2 年目	4 年目	10 年目	40 年目	
A	自動排水	161	102	73	61	51	39
	定期排水	356	356	356	356	356	
B	自動排水	5924	3964	2984	2593	2123	1755
	定期排水	23093	23093	23093	23093	23093	
C	自動排水	153	94	65	53	43	28
	定期排水	548	548	548	548	548	
D	自動排水	225	135	89	71	56	33
	定期排水	422	422	422	422	422	

5. おわりに

フィールドテストにより、装置の排水条件設定手法を決定し、導入メリットを評価することができた。今後は、異なる場所でも評価を行って排水条件の考え方の見直し等を行い、より経済的な水質維持の実現を目指したい。最後に、フィールドのご提供にあたりご協力をいただいた関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。

【参考文献】 1) 財団法人水道技術研究センター：管路内残留塩素濃度管理マニュアル, pp62-65, 1999

IoT 技術を活用した水圧遠隔監視システムの導入

所 属 神戸市水道局配水課
氏 名 伊賀 正帥
和氣 巨一
中野 陽介
鶴長 孝二郎

1. 背景

神戸市の水道は、六甲山系による起伏に富んだ地形を活用し、市内 127 箇所に配置した配水池からの自然流下方式による給水を採用している。

局所的に標高が低くなる地域等、地形の制約上、配水池からの自然流下では適正水圧を維持することができない給水区域については、公道内の配水管に減圧弁を設置することで水圧調整をしており、その箇所数は市内 62 箇所（令和 4 年 4 月現在）となっている。

これらの減圧弁は公道下に配置されているため、通信設備設置のための用地や電源の確保等の制約があり、常時監視が難しく、動作不良等をリアルタイムに把握をすることが困難であった。

このため、近年、急速に発展した IoT 技術を活用し、公道下の限られたスペースに設置が可能で、且つ電源の引込みが不要な電池式の機器による常時水圧監視を導入することとした。

2. 導入前の課題

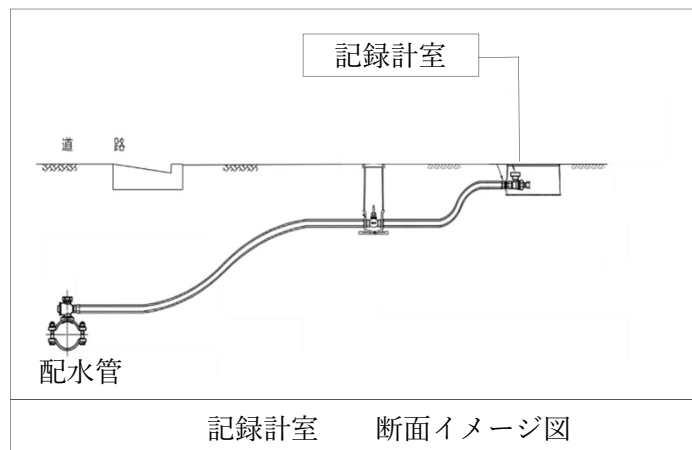
本市では、配水管網に設置した減圧弁に対し、おおよそ 1~2(新設は設置後 3 年から)年ごとのメーカー一点検を行っているが、突発的な動作不良等によるハンチングや断水等のトラブルを完全に回避することは困難であり、安定給水の観点からは、減圧弁下流の常時水圧監視等によって常時状態を把握することが望ましい。

しかし、本市の場合、道路管理者の占用許可に係る方針、用地確保、コスト等の課題から、公道に設置した減圧弁に電源設備や通信装置、制御盤等を整備することは難しい状況にあった。

このため、本市ではこれまで、配水管網内の原則全ての減圧弁下流の記録計室に、ログ式の水圧計を設置、1~2 週間毎に回収し、データを確認するこ



とで、減圧弁の状態把握を行ってきたが、水圧異常等が生じてリアルタイムでの検知ができないことやデータ回収に係る職員の負担が課題であった（図1、図2）。



3. 減圧弁の水圧データ提供等業務

上記の課題を解決に向け、IoT技術を活用した水圧遠隔監視システムを導入するにあたっては、以下の通りの方針で検討を進めた。

- ・現地に設置する水圧測定機器（電池や通信装置を含む）は、既存の弁室内に設置可能なものとする。
- ・水圧監視システムには、緊急度に応じた2段階の警報発報機能を付与し、大幅な水圧異常が生じれば、警告灯やサイレン鳴動によりリアルタイム（1時間単位）で認知可能とする。
- ・職員が水圧を確認したい場合に、リアルタイムの水圧の閲覧や過去（1年程度）の水圧データのダウンロードが、事務処理用PC等から容易に可能なものとする。
- ・業務の効率化の観点から、職員はユーザーに徹することとし、電池交換、水圧測定機器故障時対応等のメンテナンス、管理運営を含めて業務を委託する。

この結果、本件に係る業務は、水圧測定機器の製作設置、水圧の遠隔監視や警報発報までを含めたシステム開発、設置した機器のメンテナンスまでを含めた「配水減圧弁の水圧データ提供等業務」として委託することとした。これにより、職員は減圧弁の状態監視に関して、本業務により提供される水圧データの適宜活用や、システムからの警報発報に応じ現地確認や修理対応等に専念することができる。

4. システムの概要

本業務については、総合評価方式による入札の結果、(株)日立システムズと契約しており、システムの主な仕様は以下の通りとなっている。

① 水圧閲覧機能（図3）

・PC、スマートフォン、タブレット等のデバイスに依存することなく、インターネット経由で接続し、遠隔で水圧データを確認可能（ロギング間隔設定により取得データ間隔は設定可能）

・デバイスに特別なソフトウェアのインストールは不要で、ウェブブラウザは、Google Chrome に対応

・水圧データのロギング間隔は最短1秒間隔。但し、本市としては電池消耗度に配慮して、1分間隔での運用を予定している。

・Webサーバへの転送時間は10分間隔から設定可能。但し、本市としては電池消耗度に配慮し、1時間間隔での運用を予定している。

・過去に収集した水圧データの保存期限は1年間以上としており、任意のタイミングでExcel形式にてダウンロード可能。

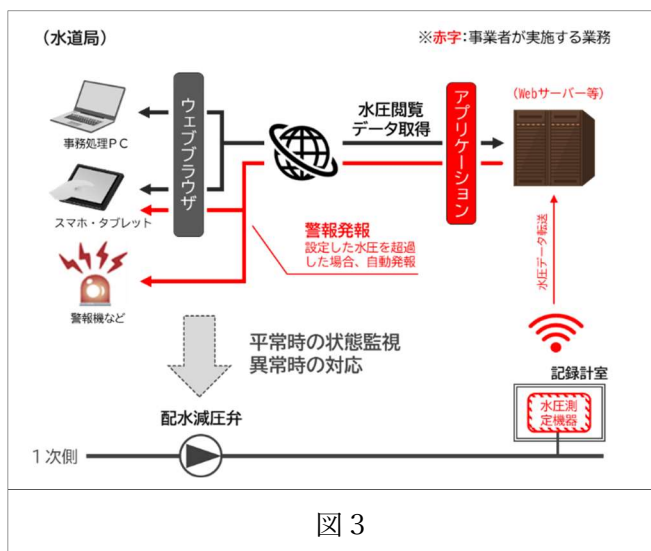


図3

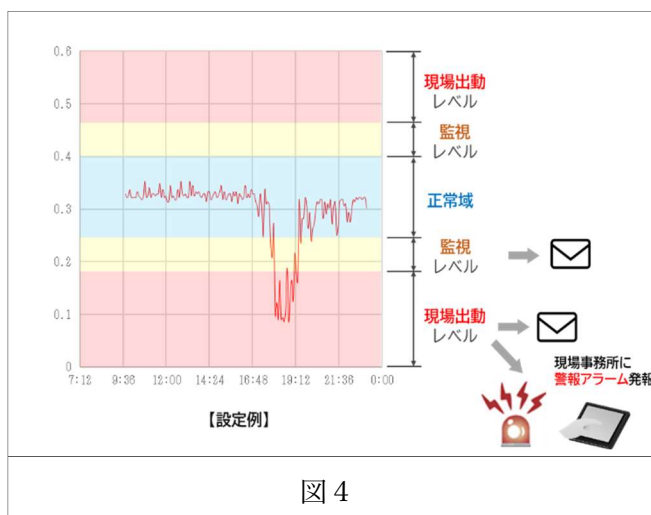


図4

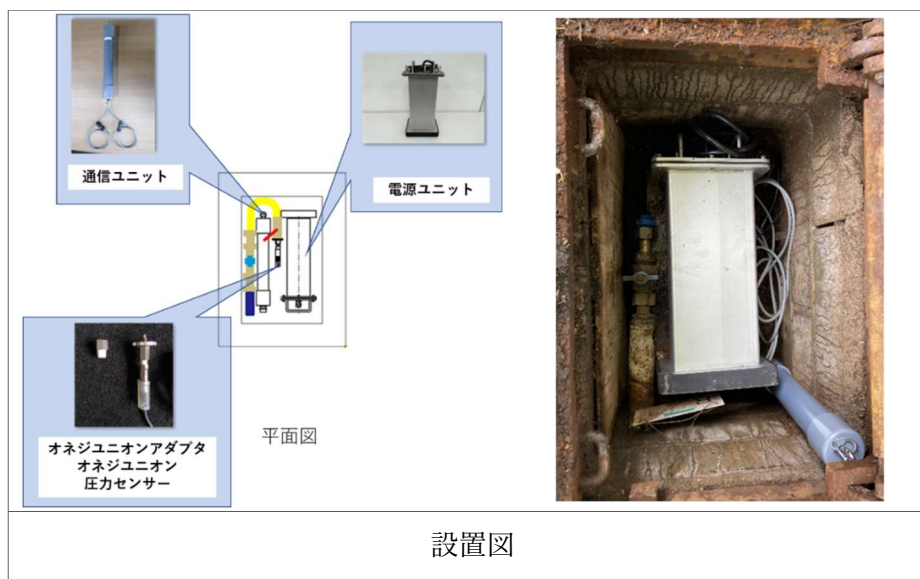
② 水圧監視機能（図4）

- ・水圧の異常を検知した際に、本市のPCや警報装置に対して発報機能にて通知する。
- ・水圧上昇及び低下方向に各々2段階の監視閾値（計4つの閾値）を設定。監視閾値については機器毎に設定・変更が可能。
- ・1段階目の閾値は故障の予兆等、注意レベルとし、これを超えた場合、事前に登録したメールアドレスにメールを送信する。
- ・2段階目の閾値は緊急対応が必要なレベルとし、これを超えた場合、メール送信に加え、事業所に設置する回転灯とアラーム音で発報する。
- ・1段階目、2段階目を問わず管理閾値を超えた場合、その後の所定の時間（50分程度を想定）は、ロギング間隔とWebサーバへの転送間隔を共に1分間に変更。（所定の時間経過後、自動で通常運転に復帰）

③ 水圧測定機器の性能

以下の設置環境に耐えられるものとする。

- ・ 機器設置スペースの標準内寸：W350×L550×H300。
- ・ 屋外地中（甲からの電力供給等は不可）。
- ・ 土砂粉塵及び水の侵入あり（参考：IP67）。
- ・ 使用周囲温度 -10°C~60°C
- ・ 使用周囲湿度 90%RH
- ・ 最大 2MPa の水圧



5. 今後の予定

現在は、水圧測定機器の年度内製作設置に向けて、現地の電波調査等の確認作業を進めているところである。調査結果としては、設置予定カ所の大半で電波状況に問題は無く、一部、電波が弱い箇所についても、水圧測定箇所を既存の位置から下流側の電波状況が良好な場所に移動させる等の措置により、対応が可能と見込んでいる。

本システムは、現地に機器を設置すれば、あとは Web 上のシステムを構築すれば運用が可能なものであり、導入のハードルは低いシステムである。

また、このシステムは、センサー部分を変更することで、水圧だけではなく、流量や水質の監視などにも活用できる可能性を有している。

システムの運用開始は、令和 5 年度当初を予定しており、これに向けて、将来の拡張可能性も視野に入れ、より汎用性が高く、より使いやすいシステムを構築していきたい。

比良浄水場廃止に伴う配水系統の切替事例

○青木 一真（大津市企業局） 山田 崇雄（大津市企業局）
 須藤 靖（大津市企業局） 後藤 竜也（大津市企業局）
 山本 巨樹（大津市企業局）

1. はじめに

本市は琵琶湖の南西に位置し南北に細長い地形であり、また、数次の市町村合併により水道施設数が多く、給水人口 34 万人に対し 6 つの浄水場と 65 箇所の配水池を有する。今後、水需要の減少が想定される中、これらの施設の維持管理や更新に係る費用が事業経営に大きな負担となることが予想される。このため、本市では、浄水場の廃止を含めた水道施設の統廃合を推進している。

本稿では、本市の進める水道施設の統廃合の一環として、令和 3 年度に実施した比良浄水場の廃止に伴う配水系統の切替事例について報告する。

2. 比良浄水場の廃止に伴う水量の再配分

比良浄水場は平成 18 年に合併した旧志賀町の施設であり、施設能力が小さく、機械・電気設備の老朽化が進んでいる。このため、隣接する八屋戸浄水場及び真野浄水場への統廃合を計画した。

一日最大給水量に対し施設能力に余裕のある真野浄水場に、八屋戸浄水場の給水量のうち 2,400 m³/日を配分し、比良浄水場の給水量 3,100 m³/日を八屋戸浄水場に配分することで比良浄水場を廃止した。（表-1）

表-1 浄水場別施設能力と給水量 (m³/日)

浄水場名	真野	八屋戸	比良
施設能力	45,000	5,200	4,000
一日最大給水量	実施前	4,300	3,100
		2,400	1,900
	実施後	36,100	5,000

3. 水道システムの再構築（真野～比良浄水場）

八屋戸浄水場系の木戸高区配水池から比良浄水場へ送水管を整備し、比良浄水場は加圧施設として再整備した。また、比良浄水場系の比良高区配水池及び比良低区配水池へは、それぞれインラインポンプ及び電動弁制御による流入とすることで、木戸高区配水池からの一次圧の有効利用による省エネルギー化を図った。

さらに、八屋戸浄水場系のうち、住吉低区配水池系（2,400 m³/日）を真野低区配水池系へ統合することで、住吉低区配水池を廃止し施設の統廃合を図った。（図-1）

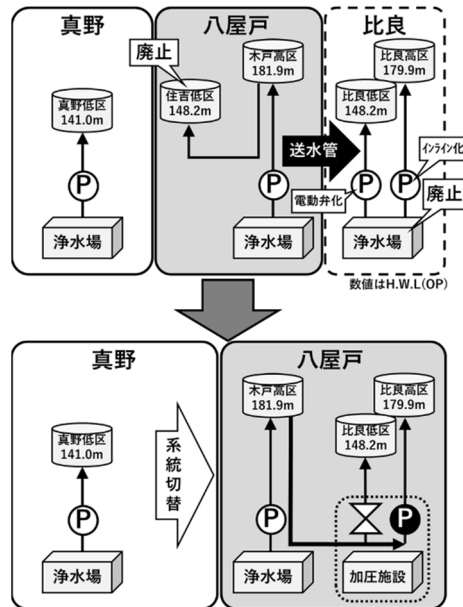


図-1 比良廃止に伴う施設統廃合イメージ

4. 配水系統の切替手順

上記の八屋戸・真野浄水場への配水系統切替作業については、次の 3 段階により実施した。

①既設管網の事前洗管 住吉低区配水池系から真野低区配水池系への切替の事前作業として、既設管網の流速や流方向の変化による濁水への対策として夜間洗管を行った。既設管網に小ブロックを構築し、その後に幹線管路の洗管を行うことで、濁水の影響範囲を最小限に抑えた。（図-2①）

比良浄水場廃止に伴う配水系統の切替事例

②配水系統の切替(八屋戸→真野) 図-2①の幹線管路を通じ、住吉低区配水池系から真野低区配水池系への切替を、夜間洗管作業により段階的に行った。住吉低区配水池の廃止においては、配水量の段階的な低下に応じ配水池の運転水位を調整することで残留塩素の確保を行った。同様に浄水量が変動する八屋戸浄水場の運転状況にも留意した。(図-2②)。

③配水系統の切替(比良→八屋戸) 八屋戸浄水場からの新設送水管の洗管を行い、比良浄水場の加圧施設化工事により、比良高区・低区配水池への流入を比良浄水場系から八屋戸浄水場系へ切り替えた。新設したインラインポンプや電動弁の動作や制御、中央監視システムとの連動等の試運転作業の後、配水池ごとに切替作業を行い、比良浄水場を廃止した。(図-2③)

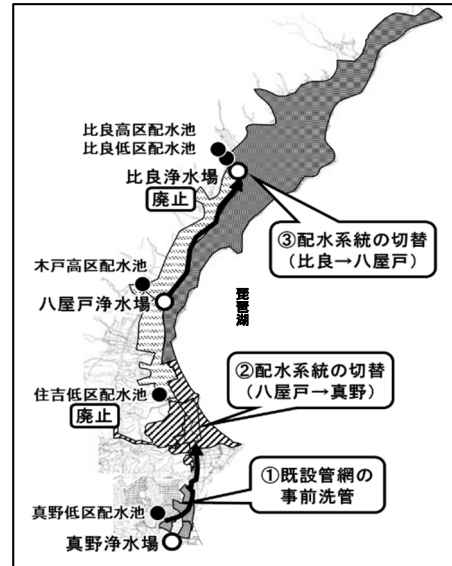


図-2 配水系統の切替手順

5. 系統切替等の実施体制及び実施結果

①実施体制 比良浄水場の廃止時期は、老朽化施設の更新時期や運転管理委託の契約期間等の制約により、令和3年度末を期限として事業を進めた。そのため、1)取水量の再配分による水利権変更申請、2)送水管や加圧施設の整備、3)浄水場間の配水系統の切替作業、4)水量バランスの変化に応じた施設運転の対応、その他関連する業務を同時並行で進める必要があった。これらの業務の円滑な実施のため、本市企業局内の関係課を集めた調整会議を継続的に開催し、協力体制を構築した。

②作業人員 比良浄水場の廃止までの配水系統の切替には、合計35回の洗管等の作業に延べ336人の職員を動員した。ベテラン職員の指導の下、洗管作業計画の立案を若手職員に積極的に経験させる等、技術継承の機会とした。

③事後対応 切替実施後に市民からの問合せが7件あった。濁水と水圧低下に関しては、追加の洗管作業やバルブ操作作業が必要となり、全体の作業回数が増加する要因となった。臭味に関しては、水源の変更によるものであり、個別説明により対応した。(表-2)

表-2 系統切替作業の人員及び問合せ件数 (人)

段階	洗管等作業内容	作業回数	事前作業	洗管作業		人員計	問合せ件数
				昼間	夜間		
①	既設管網の洗管	8回	65	4	38	107	濁水1件 水圧1件
②	配水系統の切替 (八屋戸→真野)	9回	110	5	60	175	水圧2件 臭味2件
③	配水系統の切替 (比良→八屋戸)	18回	11	37	6	54	臭味1件
合計		35回	186	46	104	336	7件

6. おわりに

本事例では、比良浄水場の廃止とともに、配水池の統廃合や加圧施設の省エネ化等も実施することで、維持管理コストの低減と事業経営の効率化を進めることができた。

本市では、令和14年度までに、さらに2つの浄水場の廃止を計画している。これに伴い、今後多くの施設統廃合と系統替え、浄水場連絡管の整備運用、ブロック構築等を予定しており、関連する事業と調整し効率的に実施していきたい。

水管橋漏水補修金具について

大成機工株式会社 寺口 仁

1 はじめに

水道施設の維持管理や修繕を進めている中で、老朽化した単独水管橋や橋梁に添架された水道管（以下「水管橋等」という。）の延命化や漏水修繕が課題となっている。水管橋等の維持管理は、塗装工事が一般的である。しかし、塗装の剥離等や内外面からの腐食、老朽化が原因と思われる漏水が度々発生しているのが実状である。

今回、横浜市水道局と当社は水管橋等での漏水を容易に止水できる軽量、施工性の良い新しい漏水補修金具を開発したので報告する。

2 課題

(1) 水管橋等の漏水の多くは、腐食や老朽化により管厚が薄くなることで発生している。特に漏水箇所は、溶接部及び橋梁基礎付近が多く、ピンホール程度の漏水が多くなっている（図-1）。

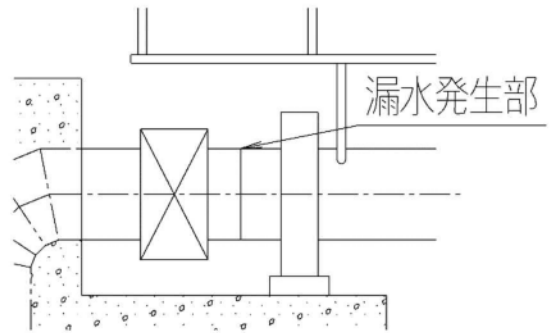


図-1 漏水箇所イメージ

(2) 既存の漏水補修金具は鋳鉄製で重量が大きくなり、水管橋等にかかる負担が大きくなる。

(3) 管口径が大きくなるほど、水管橋等に設置されている足場や歩廊などでの施工や運搬が困難となる。また、施工時における技術的経験も必要になることが多い。

上記の課題を踏まえ、新たな漏水補修金具の開発を行った。

3 漏水補修金具の構造及び性能

漏水補修金具の構造を図-2に示す。主に「本体」「止水ゴム」「ボルト」の3つの部品で構成。本体（ステンレス製）と止水ゴム（EPDM製）を接着一体化したのとなっている。

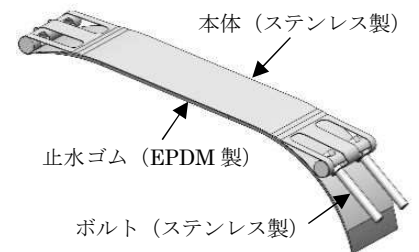


図-2 漏水補修金具

(1) 金具本体の組み合わせ次第で各口径に対応可能

異なる長さの金具本体（全3種類）を組み合わせることで、口径300mmから700mmまでの全7サイズに対応できる構造とした（表-1）。既存品だと口径毎に在庫を備蓄する必要があったが、この漏水補修金具は、3種類の金具本体を備蓄管理しておくことで漏水補修

に対応可能とした。

(2) 十分な柔軟性と強度、軽量化を追究

管表面の曲率は口径毎で大きく異なるが、それぞれの口径に漏水補修金具を沿わせて密着させる必要があり、十分な柔軟性が必要となる。また、ボルト締めには耐える十分な強度も必要となる。この柔軟性と強度を併せ持ち、既存の鋳鉄製品と比べて軽い、ステンレス製を採用し、最大口径の700mmの場合においても人力のみで持ち運び可能な15 kg以下とした。更に金具本体にナイロンコート塗装をすることで取り扱い性と耐候性を向上させた。

表-1 各口径の組合せ、及び重量表

口径 [mm]	使用する金具本体の種類 [個]			重量 [kg]
	L=250	L=400	L=600	
SP300	0	1	1	6.5
SP350	2	0	1	8.5
SP400	1	1	1	9.0
SP450	0	2	1	9.5
SP500	0	1	2	10.0
SP600	1	1	2	12.5
SP700	0	1	3	13.5

(3) 施工性の向上

最小口径の300mmで4本、最大口径の700mmの場合でも8本の締付ボルト数とし、既存製品よりもボルト数を減少させて、施工に要する手間や時間を短縮した。

(4) 対象漏水箇所の条件設定

漏水箇所が橋梁基礎付近や溶接ビート付近などピンポイントで設置できないことがある。金具本体幅を150mmとコンパクトにして、ピンホール等の小規模漏水専用とし、金具本体の端部しか漏水箇所を覆えない場合でも止水可能とした。

(5) 性能

各口径、共通した止水性能が得られた。試験条件として、供試管にφ3mmの貫通穴を開けた部分に漏水補修金具を取り付けし、止水状況を確認した。

表-2 止水性能

試験項目	試験内容	試験結果	
		SP300	SP700
止水試験	水圧をかけていない状態で金具設置 その後に加圧を開始 (1.0MPa5分保持)	○	○
漏水下止水試験	水圧をかけて漏水が発生している 状態で金具設置 (0.75MPa15分保持)	○	○

4 施工手順

以下に施工手順及び施工事例を示す。

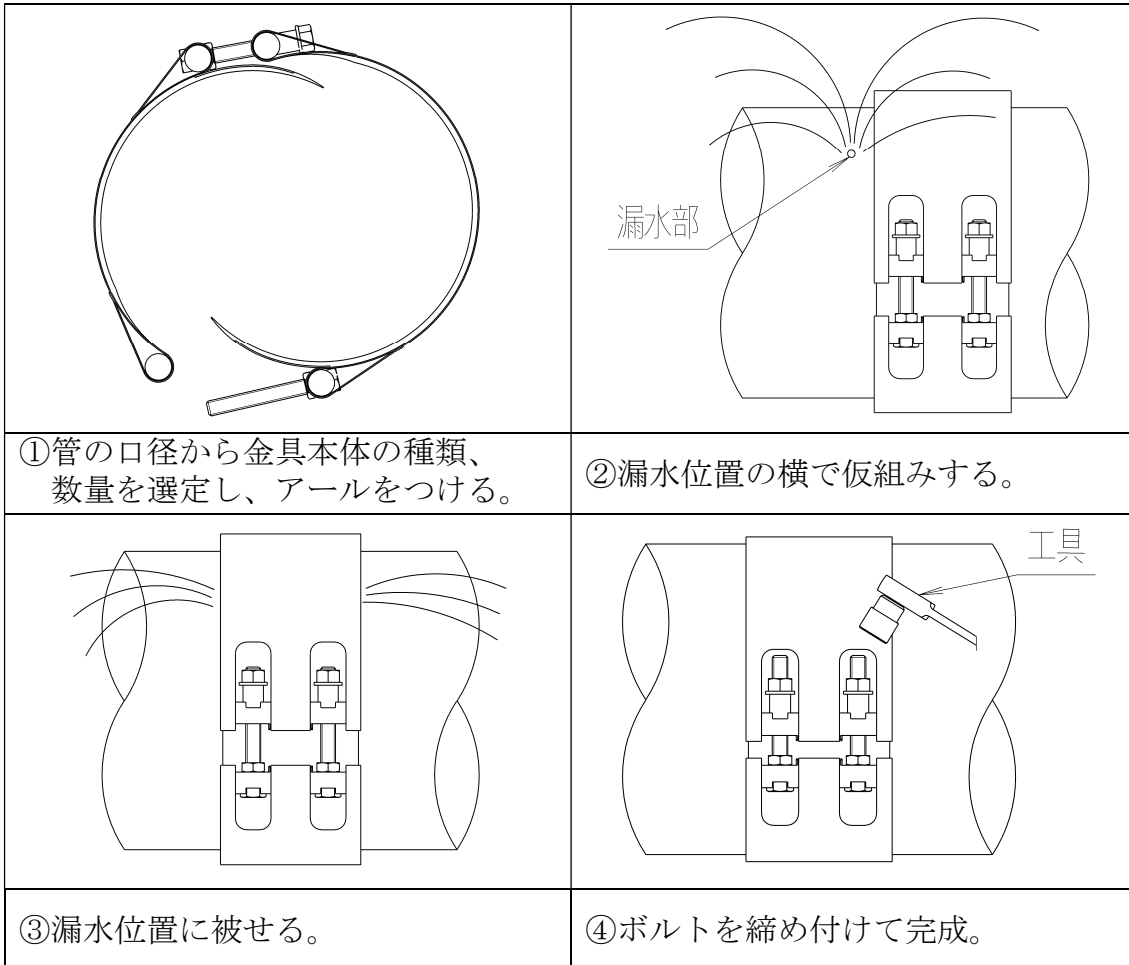


写真-1 事例1 (水管橋 SP600)



写真-2 事例2 (埋設管 SP300)

5 おわりに

本製品は、漏水補修の対象をピンホールなど小規模漏水専用とした上で備蓄管理のしやすさ、軽量化、狭い場所も含めた施工性向上と様々な利点がある。今回紹介した水管橋漏水補修金具が水道施設の維持管理における一助としてお役に立てれば幸いである。

六十谷水管橋仮復旧工事について

和歌山市企業局
里坊 康次郎
西 展弘

1. はじめに

令和3年10月3日(日)に六十谷水管橋の破損により発生した紀の川以北地域(約6万世帯、約13万8千人)の断水を早急に解消するため、水管橋に隣接する県道六十谷橋及び紀の川兩岸河川敷に仮設送水管を延長646.3mにわたり布設したものです。

2. 六十谷水管橋について

六十谷水管橋(写真1)は本市の基幹浄水場である加納浄水場(写真2)から供給された水道水を、貴志配水池、鳴滝配水池、有功配水池、紀伊配水池の4つの配水池を経由し、紀の川以北(河西地区)約6万世帯(約13万8千人)へ供給する送水管です。(図1)

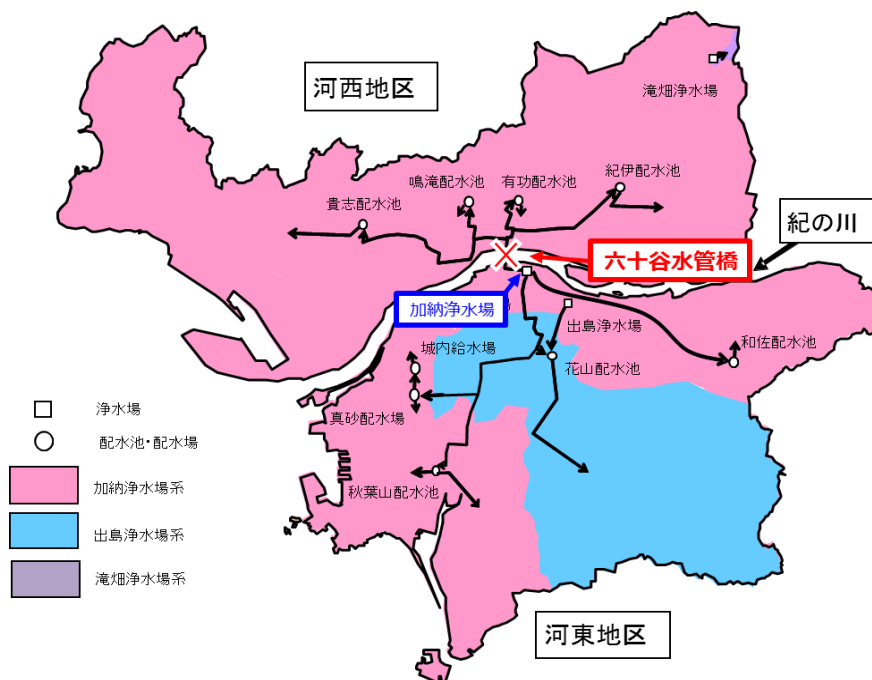


図1 和歌山市の配水区域と崩落箇所



写真1 六十谷水管橋

φ900mm(鋼管)×2本 546.55m



写真2 加納浄水場

3. 仮設配管決定までの時間的経過と協議

令和3年10月3日、事故発生後直ちに現場状況を確認し、応急復旧方法の検討と管材料の手配に着手しました。

崩落部分での復旧方法を検討すると同時に、隣接する道路橋への仮設配管案についても検討を進めた。仮復旧工事での採用を想定したφ900 mm、φ800 mm、φ700 mmの各口径毎に紀の川以北地域への送水についての検討を行うと同時に、日本水道協会関西地方支部、また管材料メーカーに各口径について確保できる材料の照会を行いました。

それと並行して鋼管メーカーに依頼し、既設φ900 mm鋼管からの取り出しおよび接続方法の検討についてご協力いただきました。

材料照会の結果、口径700 mmのダクタイル鋳鉄管であれば、仮復旧工事に必要な数量を確保できる目途が立ったことから、口径700 mmで水理計算したところ、口径700 mm×1条で紀の川以北地域の配水池へ必要な送水が可能であるとの結果であった。次に橋梁管理者である和歌山県と協議を行い、橋梁に対する安全性を確認するため、φ700 mm仮設送水管の総重量を元に荷重計算を依頼したところ、10月4日に和歌山県より、橋梁保護のためにH鋼による敷桁設置を条件に布設可能との回答をいただきました。

以上の事から、道路橋へのφ700 mmの仮設送水管布設を決定し、計画図面を作成しました。道路橋への仮設配管平面図は図2の通りです。

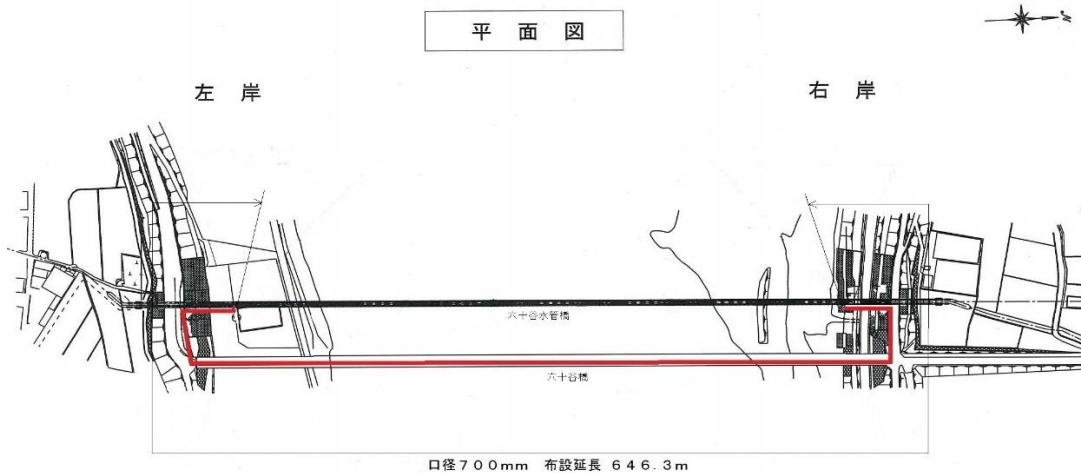


図2 仮設配管平面図

調達した主な管材料

	種別	規格	数量
NS形 ダクタイル鋳鉄管	直管	φ700×6000	115本
	曲管	φ700×90°	10本
	曲管	φ700×45°	8本
	曲管	φ700×22°	6本
	曲管	φ700×11°	4本
鋼管	直管	700A×6600L	1本
	分岐用短管	700A×550L	2本
	曲管	700A×1500L×45°	1本
	曲管	700A×1000L×45°	1本

表1 調達管材料

仮復旧工事で使用する管材料の調達(表1)については、国、県をはじめ、日本水道協会、ダクタイル鋳鉄管メーカー、鋼管メーカーなど全国の関係機関の皆様のご協力を賜り、短期間で調達することができました。

また、関係機関との協議については一級河川紀の川の河川区域内での作業および占用許可が必要であるため、着工前に国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所のご協力を頂き、協議を進めました。

厚生労働省とは、事故その他の原因による断減水が発生した場合の情報提供依頼に基づき、対応を進め、リエゾンの派遣を受け、情報の共有を図りました。

また、和歌山県からもリエゾンの派遣を受け、情報共有と共に、六十谷橋通行止めに伴う交通規制について道路管理者である海草振興局建設部を中心に警察と和歌山市(道路河川部・水道工務部)の関係機関が10月5日に集まり協議を行いました。

4. 六十谷橋への安全性について

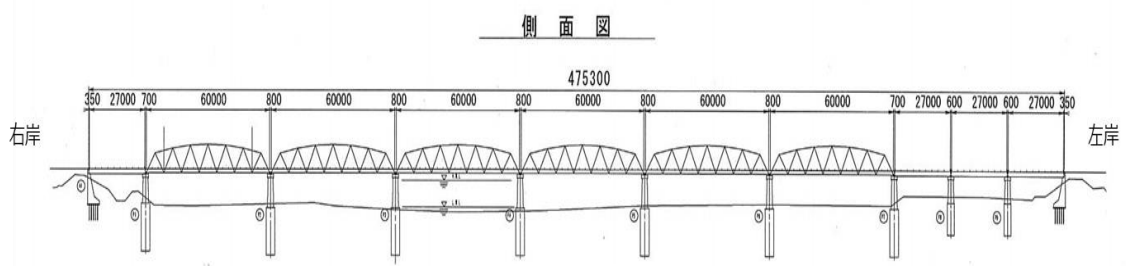


図3 六十谷橋側面図

(1) 六十谷橋概要 昭和38年(1963年)供用開始(図3)

全長 475.3m(トラス構造6径間+鉸桁構造4径間)

幅員構成 全幅員 8.35m、有効幅員 7.8m、車道幅員 左右共 2.75m、

車線数 左右1車線、歩道幅員 右側 1.8m

(2) 耐荷重の検討 六十谷橋の全延長に口径700mm水道管を1条布設した場合の重量と六十谷橋の設計活荷重とを比較して、仮設管布設時の安全性についての確認を橋の管理者である和歌山県に依頼し、橋梁の安全性には影響しないとの回答を頂きました。

(3) 布設方法 橋の保護と仮設管の荷重が橋梁に均等に掛かるように主桁間を跨ぐように設置したH鋼敷桁の上に仮設管の布設を行いました。(写真3、4・図4、5)



写真3 六十谷橋トラス部

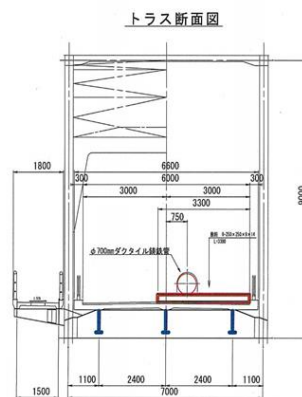


図4 トラス部断面図



写真4 六十谷橋鉸桁部

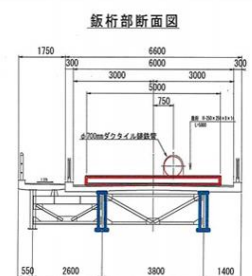


図5 鉸桁部断面図

5. 仮復旧工事の経過

【10月6日(水)】	10:00	六十谷橋全面通行止め 施工開始
【10月7日(木)】	12:00	布設延長 L=350.7m/646.3m (54%)
	20:30	布設延長 L=515.7m/646.3m (80%)
【10月8日(金)】	13:00	布設延長 L=607.7m/646.3m (94%)
	22:30	布設延長 L=646.3m/646.3m (100%)
	22:38	送水開始



写真5 仮設配管布設状況

6. 六十谷橋全面通行止めの影響

令和3年10月6日10時から令和4年6月15日5時までの期間、六十谷橋の全面通行止めにあたり、住民の皆様をはじめ利用者の皆様に変長らくご迷惑をおかけしました。また、関係機関(国、県、警察、NEXCO 西日本、和歌山バス等)においても、多大なるご協力をいただき、迂回路の利用及び規制看板を設置いたしました。(図6)



図6 迂回路及び規制看板設置状況

7. おわりに

今回、崩落した水管橋に隣接する道路橋があり仮復旧工事を行うことが出来ましたが、今後の災害時や想定外の事態に備え紀の川以北地域への安定給水の確保のため、送水管の複線化や新浄水場の建設を早期に検討していきたいと考えております。

六十谷水管橋崩落に伴う復旧工事

○宮田 健太郎(和歌山市企業局) 宮之原 和俊(和歌山市企業局)
島 昌伸(和歌山市企業局) 前田 晃希(和歌山市企業局)
日茂 大明(和歌山市企業局) 三宅 宏祐(和歌山市企業局)
中嶋 弘幸(和歌山市企業局)

1. はじめに

令和3年10月3日に発生した六十谷水管橋（以下、「本水管橋」と記す。）の落橋により、約6万世帯が約6日間の断水を招くなど、水道利用者に深刻な影響を与える甚大な事故となった。

断水している世帯にできるだけ早く水道水を供給する必要があるため、本水管橋に隣接して並走する県道141号六十谷橋の車道を全面通行止めにして仮設バイパス管を設置する応急復旧工事を行った。

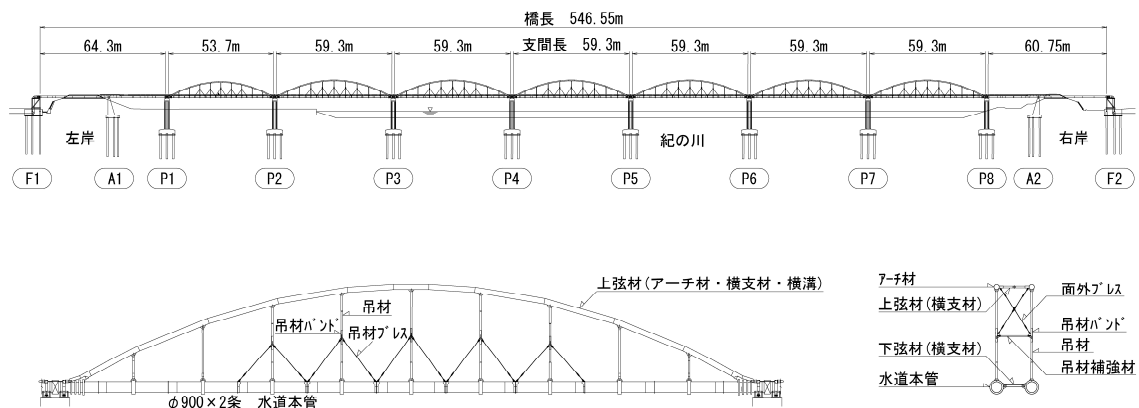
本復旧工事は、非出水期における河川区域内からの仮設バイパス管の撤去と、仮設バイパス管が布設されている六十谷橋の通行止めを解消するために、早急を実施する必要があることから、本復旧工事と同時に工事に係る調査、設計、関係機関協議を並行して行った。また、市をはじめとして有識者や専門技術者等による「六十谷水管橋破損に係る調査委員会」（以下「委員会」と称する。）が招集され、委員会での意見や審議事項については、本復旧工事の進捗に応じて可能な限り反映するようにした。本稿は、その本復旧工事例について報告するものである。

2. 水管橋の基本構造（復旧工事前）

本水管橋は昭和48年度に供用開始をした送水施設である。構造形式は、アーチ補剛形式（ランガー橋）であり、水管橋では多く見られる標準的な形式である。ランガー橋は構造上、吊材には大きな引張力、アーチ材には大きな軸圧縮力が作用し、構造全体として、力学的な作用がバランスを保っている構造であり、部材寸法の大小に関係なく全て構造的に欠かせない重要な部材となる。また、本水管橋は、昭和51年に吊材にカルマン渦を原因とする亀裂が多数発見されたため、下図に示すように吊材の面外及び面内に水平材や斜材を取付けて補強を行っている。

塗装種類について、架設時は、アクリル変性アルキド樹脂塗装であったが平成5年にふっ素樹脂塗装にて全面更新を行っている。

図 2.1 六十谷水管橋概要図



3. 落橋状況の概要

本水管橋の落橋はP4橋脚とP5橋脚の間で発生しており、通水管を含む構造部材が河川内に落下（落橋）した。水管橋を構成する部材では、図3.1に示すようにアーチ材の座屈と溶接部の破断が生じており、吊材にも破断がみられた。また、両端の橋脚部分で通水管の脱落がみられた。

委員会の検証の結果として、落橋の要因やメカニズムについて「腐食によって一部が欠損し、事故発生時、荷重を負荷できる限界の状態であった吊材が、風対策用後付け部材の上下部において連続的に破断したことにより構造的なバランスを失い、水管橋自体が大きく変形し、次にアーチ材や通水管において破断や座屈が生じ、この時点で水道施設としての通水機能を失った。」と報告され維持管理においても「年次点検は、歩廊から視認できる範囲に限られており、部材の死角部分が多くあるため、本水管橋の構造的な安全性を確認するための十分な調査は行えない。なお、重要部材である吊材の後付け部材周辺が腐食しやすいとの認識が薄く、さらに目視しにくい部分であるため十分な点検が行えていなかった」等の反省点を指摘された。(1)

図 3.1 落橋状況詳細図

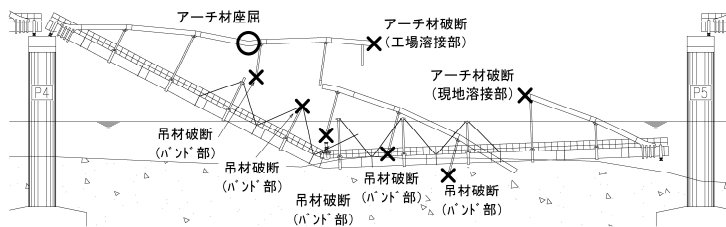


写真 3.1 落橋状況写真

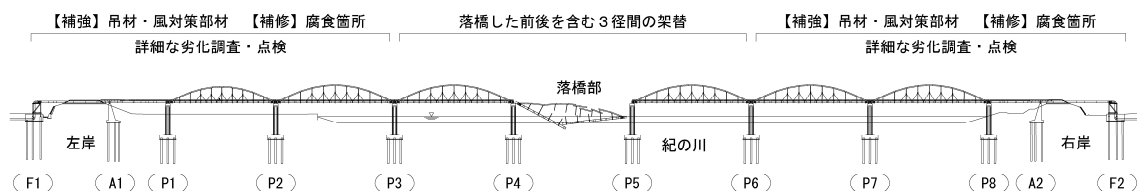


4. 復旧工事の概要

本復旧工事の概要を図4.1に示す。図に示すように、落橋した径間に隣接する2径間についても、支承部をはじめとし落橋による影響が考えられたことと、隣接する右岸側水管橋において吊材の破断が確認されるなど腐食が著しいことから、架替工事を実施した。また、他の径間については既設を残存させて継続使用するも、吊材や風対策部材は更新・補強を実施した。さらに、詳細な劣化調査を行い、細部において腐食が確認された箇所については、技術的評価を行ったうえで、必要に応じて補修工事をし、塗装全面更新を行うこととした。

工期については、令和4年11月9日から設計、調査を開始し、令和4年6月15日までに架替工事、河川区域内の仮設構造物の撤去及び仮設バイパス管の撤去を実施した。また、補修・補強工事については、架替工事と並行して実施したが、塗装作業については、作業足場をHWL+余裕高さより上にするこことで、出水期においても作業を行えるようにし、令和4年12月末までに完了する計画とした。

図 4.1 復旧工事概要図



5. 水管橋架替工事の施工

(1) 工法

本水管橋の下流側には紀の川大堰があり、短工期で施工可能である台船での一括架設工法が採用できなかったため、仮栈橋及び仮設ベントを設置し、水管橋の架替を実施する計画とした。

(2) 仮設工

仮栈橋については、工期短縮を図るため左岸及び右岸の両岸から作業を実施し、河川全幅（約 350m）に設置した。仮栈橋の形式は、支持杭の本数削減を考慮のうえ、鋼管杭を採用し、支間長 14m のリース橋を利用した。仮栈橋撤去時については、資材搬出の配車が追い付かない可能性が考えられたため、早い時期から受注者と協議を重ね、車両不足による遅れがでないよう注意した。

また、架設計画、キャンパの調整が行えるように、H 鋼杭基礎の仮設ベントを 1 径間当たり 3 箇所設置した。

(3) 水管橋の撤去(落橋部)

落橋部については、不安定な状態であり、橋脚損傷等の二次被害が発生するおそれがあると判断し、また、仮栈橋設置の支障となるため、仮栈橋設置前にクレーンを搭載した組立台船より早期に撤去する計画とした。計画を立てるにあたっては、国土交通省和歌山河川国道事務所よりマルチビーム測定の測量結果等の情報共有があり、落橋状況の把握、水深の把握等に活用した。撤去作業後についてもマルチビーム測量を実施し残置物の有無を確認した。（資料 5.1）

(4) 架設工（写真 5.1）

現地で地組を行い通水管部については 3 ブロックに分け上架をおこなった。架設順序としては、P4-P5 区間を最初に架設し、次に P3-P4 及び P5-P6 区間を同時に架設し工期短縮を図った。2 径間同時架設については、仮栈橋を河川全幅に設置したことにより両岸から資材搬入ができ、P3-P4、P5-P6 の部材を交互に搬入し、上架作業、地組溶接作業を同時に実施できるようにしたことにより可能となった。

資料 5.1 マルチビーム測量(落橋部撤去後)

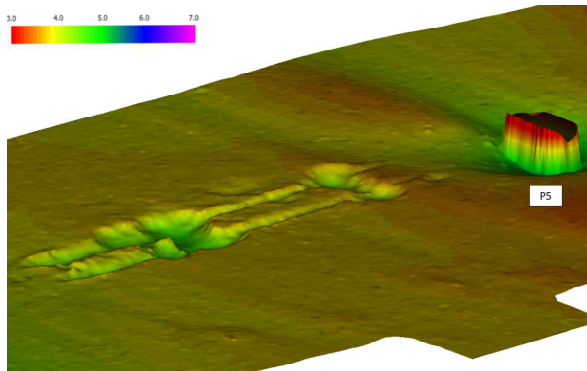
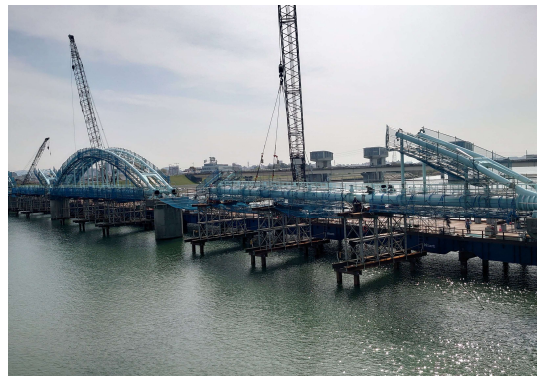


写真 5.1 2 径間同時架設状況



6. 補修・補強工事の施工

補修・補強工事を行うにあたり、健全度を確認するため、全体目視確認による発錆部の調査、溶接部付近及び後付け部材下の管厚調査、塗装の劣化調査、塗膜の付着力調査、P6-P7 区間については溶接部の PT 検査等を行った。調査結果及び本復旧工事で対応した内容を表 6.1 に示す。本復旧工事で対応できなかった項目等は、今後の対応として整理し、維持管理マニュアル六十谷水管橋点検の留意事項に反映した。(2)

表 6.1 診断・調査結果、本復旧工事の対応

箇所	診断・調査結果	本復旧工事の対応
吊材 後付材	・各種調査の結果、吊材の後付け材設置部などの凹凸部において著しい腐食と塗装劣化が顕著などの腐食要因が確認された。	・後付け部材の構造を変更し凹凸の少ない構造としたことにより、水や糞などのスケール等の腐食要因の堆積を抑制した。また吊材をφ125からφ150に増径した。
アーチ材	・P6-P7区間をはじめ、広い範囲で著しい腐食を確認した。	・著しい孔食部や腐食部に対しては穴埋め、当て板補強等を実施した。
外面 塗装	・部材接合部、ボルト等の凹凸部や溶接部等、塗重ねや旧塗膜の撤去が十分に行えない箇所等で塗装の劣化が多く確認された。	・腐食部については、腐食部除去後、下塗りから更新した。その他の部分は素地調整後、全面塗装を施した。
内面 塗装	・内面塗装は、溶接箇所を除き健全であり、腐食は局部的。強度的な問題とならないことを確認した。	・既存溶接部の錆コブ発生箇所、塗装剥離が確認された箇所等について、塗装を更新した。

7. おわりに

本復旧工事について、塗装工事以外を除き、非出水期である令和4年6月15日までに完了することができ、また六十谷橋の全面通行止めを解除することができた。通常工事では考えられない短工期であったにも関わらず、目標日までに完成できたのは、日々協議を行い、知恵を出して頂いた本工事受注者や本工事に関係した施工業者、製造業者の皆様のおかげである。

また、河川管理者、道路関係機関の皆様には、技術的な助言、情報の共有、占用許可等について様々な角度から協力頂いたことに感謝の意を表す。

【参考文献】

- (1) 和歌山市企業局. 六十谷水管橋破損に係る調査委員会 報告書 令和4年11月. 2022
<http://www.city.wakayama.wakayama.jp>
- (2) 和歌山市企業局. 水管橋維持管理マニュアル別冊1 六十谷水管橋(ランガー橋)点検の留意事項(案). 2022

六十谷水管橋崩落を受けた水管橋維持管理マニュアルの作成について

○中野 善史（和歌山市企業局）
金野 良忠（和歌山市企業局）
友淵 義人（和歌山市企業局）

1. はじめに

2021年10月3日に発生した六十谷水管橋（和歌山市企業局、昭和48年度供用開始）の崩落事故では、約6万世帯が約6日間の断水を招くなど、水道利用者に深刻な影響を与える甚大な事故となった。この事故を受けて、市をはじめとして有識者や専門技術者等による『六十谷水管橋破損に係る調査委員会』（以下「委員会」と称する。）が招集された。

委員会の検討結果を受けて、これまでの維持管理において十分に対応できていなかった事項や反省すべき事項についても明らかにした上で、今後の維持管理の基本的な方針として水管橋維持管理マニュアルを作成した。

2. 水管橋・橋梁添架管点検

水管橋及び橋梁添架管（以下「水管橋等」という。）の点検は、河川や軌道を横断する水管橋等の機能維持を図るため、定期的に漏水の有無、塗装の状況、構造部材・付帯設備の状況を点検評価し、必要に応じて塗装塗り替えや補修、修繕を実施するものである。

厚生労働省「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」及び公益社団法人日本水道協会、WSP日本水道鋼管協会による水管橋の保守・点検に関する指針である「露出鋼管（水管橋等）～外面塗装劣化診断評価の手引き～」に準拠し、点検を行う。

（1）点検項目

水管橋等の点検項目として構造部材・付帯設備、景観性、防食性について点検を行う。

構造部材・付帯設備については、六十谷水管橋の吊材が破損していたことから、点検漏れのないように、上部工主構部の点検区分を細分化して点検を行う。厚生労働省によるガイドラインにある、上部工主構部の点検区分を7項目に細分化し、点検記録表に記録することとした。表1に上部工主構部の点検項目を示す。

景観性、防食性については、外面塗装劣化診断評価の手引きより、それぞれ白亜化、変退色、汚れ、外観の4項目と、さび、はがれ、われの3項目について点検を行う。

表1 上部工主構部の点検項目

分類	点検部材	点検項目
上部工主構部	管体	漏水の有無
		外面塗装の状況（剥離、発錆）
		変形の有無及び腐食
	トラス弦材	外面塗装の状況（剥離、発錆）
		変形の有無及び腐食
		現地溶接部の状況
	横構	外面塗装の状況（剥離、発錆）
		変形の有無及び腐食
		現地溶接部の状況
	アーチ材	外面塗装の状況（剥離、発錆）
		変形の有無及び腐食
		現地溶接部の状況
	吊材	外面塗装の状況（剥離、発錆）
		変形の有無及び腐食
現地溶接部の状況		
斜材	外面塗装の状況（剥離、発錆）	
	変形の有無及び腐食	
	現地溶接部の状況	
橋門構	外面塗装の状況（剥離、発錆）	
	変形の有無及び腐食	
	現地溶接部の状況	

(2) 点検方法

水管橋等の点検は目視や打音による点検を基本とするが、白亜化（景観性）の点検は、配管部分を可能な限り触手によるチョーキング点検とする。

点検箇所が高所等の近接点検ができない場所にある場合、双眼鏡や光学高倍率ズームデジタルカメラを活用し点検を行う。また、劣化部分を詳細に点検する場合には、現地にて撮影した画像を PC 等で拡大画像点検を実施する。

構造部材・付帯設備の点検は、表 2「構造部材・付帯設備点検評価の区分」の評価内容を参考に個別部位の損傷程度を 8 区分の評価（A・B・C・E1・E2・M・S・N）に分類する。

景観性、防食性の点検については、それぞれの評価を 5 段階の評価区分に分類し点検記録表に記録する。

表 2 構造部材・付帯設備点検評価の区分

評価区分	内 容
A 良好	劣化・損傷が認められないか、有っても軽微で補修の必要はない
B 状況に応じて補修	劣化・損傷はあるが原因・規模が明確で補修しなくても安全性・耐久性に問題が無いもの
C 次回点検までに補修	劣化・損傷が進行し補修などが必要なもの
E1 緊急対応が必要	水管橋及び橋梁添架管の安全性が著しく損なわれており、緊急に処置する必要があるもの
E2	歩行者、第三者への影響が懸念され、緊急に対処する必要がある状況
M 日常点検などで対応	日常の維持補修のなかで対応する必要があるもの
S 要調査	詳細調査により対応方針を決める必要があるもの
N 未点検又は該当なし	未点検又は該当する点検部位がないもの

(3) 点検位置

六十谷水管橋は、劣化状況が中央部と端部では大きく異なっていたことから、点検位置を径間毎に分割するなど細分化して点検を行い、点検記録はそれぞれ分割部毎に評価を行うこととした。図 1 に点検位置の分割例を示す。

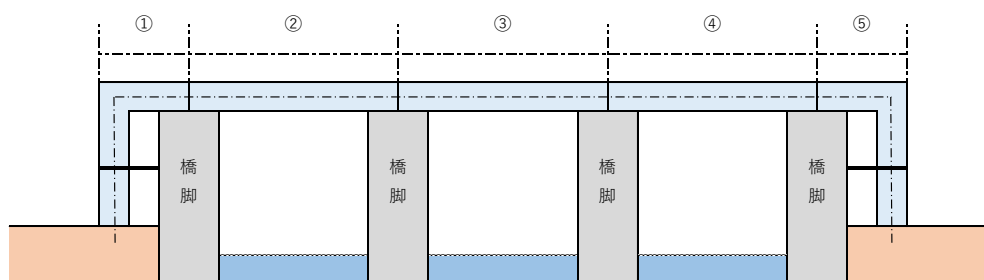


図 1 点検位置の分割例

(4) 点検の注意点

委員会により、水管橋等に対する職員の知識、経験の不足の指摘があったことから、水管橋点検の専門業者から、現地溶接部や支承、伸縮管等、特に注意する点検箇所などを学び、維持管理マニュアルに反映した。また、今後局内研修を定期的に行うことにより、技術の継承を行うこととした。

3. 水管橋劣化度の評価方法

(1) 評価方法

現地点検調査における構造部材・付帯設備の評価は、表2の評価内容を参考に個別部位の損傷程度をA～Nの8区分に分類する。

景観性、防食性については、点検記録表に記録された、各項目毎の採点を平均して評価点(平均値による評価)を求める。さらに評価点の合計を算出する。調査の結果から算出された評価点を、下記の式により総合点を算出して評価する。

$$\text{総合評価【劣化度指数】} = \left\{ 1 - \frac{\text{項目別評価点の合計}}{\text{満点(3点)} \times \text{評価項目数}} \right\} \times 100$$

(2) 維持管理区分の判定

算出された景観性・防食性の劣化度指数は40、60を境に当該水管橋等の維持管理区分を判定する。日本水道協会及び日本水道鋼管協会による外面塗装劣化診断の維持管理区分を4分割3区分から9分割4区分に細分化し、塗装塗替えや補修の判断基準をより明確にすることにより、予算化に繋げることとした。なお、表2の評価内容において、C以下の区分に該当する部位が1か所でもあった場合は、水管橋等の維持管理区分を1段階引き上げることができることとする。表3に維持管理区分の判定表を示す。

表3 維持管理区分の判定表

		防食性		劣化度指数		
		景観性		0～40点	41～60点	61～100点
劣化度指数	0～40点	定期点検		重点管理点検		
	41～60点	重点管理点検		塗替え対象		
	61～100点			早期塗替え対象		

良好

劣化進行

良好

(3) 維持管理区分

定期点検の区分は、現状の劣化等は微量であり、塗装は防食機能及び景観機能を維持していると位置付け、定期点検を実施していく。

重点管理点検の区分は、すでに塗装の劣化が進行していることが明らかであり、今後の経過確認が重要と考えられるため、重点管理点検の頻度で点検を継続的に実施する。

塗替え対象の区分は、塗装の塗替えや補修が必要であると位置付け、塗装塗り替え対象とし、計画的に塗装塗替えを実施する。

早期塗替え対象の区分は、塗装の塗替えや補修が早急に必要であると位置付け、早急に塗装塗替えを実施する。

4. 水管橋等の分類

(1) 重要対象のリスト化

断水の影響度が高い水管橋等について、特別管理対象、基幹管路の水管橋等としてリスト化を行い、より詳細に管理していく。基幹管路の水管橋等は、送水管及び口径500mm以上の配水管と位置付け、その中でも漏水事故などが発生した場合に、断水の影響度が高く、補修や対応が難しい水管橋等を特別管理対象とした。

(2) 点検業務委託

特別管理対象については、橋梁点検車、ロープ高所作業、ドローンやロボットカメラなどを活用した専門業者による点検を実施するものとする。点検方法として、近接目視、画像、触手及び打音により、構造部材・付帯設備、景観性、防食性の3項目について点検を行う。

(3) 点検頻度

維持管理区分の判定（定期点検、重点管理点検）による特別管理対象、基幹管路の水管橋等、その他の水管橋等の点検頻度を表4に示す。

表4 水管橋及び橋梁添架管ごとの点検頻度

分類	維持管理区分	点検頻度		
		特別管理対象	基幹管路の水管橋等	その他水管橋等
直営点検	定期点検	半年に1回	2年に1回	5年に1回
	重点管理点検		1年に1回	2年に1回
点検委託	定期点検	5年に1回		
	重点管理点検	2年に1回		

5. 個別マニュアル

六十谷水管橋のような大規模で構造が複雑な水管橋については、点検の死角となる場所が多く、構造上においても注意すべき点多岐に渡り、基本的な維持管理マニュアルだけでは対応できない。そのため、委員会では特別管理対象の特異な構造を持つ水管橋等については、個別にマニュアルを作成することが必要ではないかと提言された。

特別管理対象については、委員会で得られた最新の知見を踏まえて、六十谷水管橋など特別管理対象の留意事項として、特筆すべき事項を定めた別冊資料を作成することとした。

6. おわりに

委員会においては、事故原因の究明はもとより、復旧方法や今後の維持管理方法についてもご提言いただくことで、水管橋維持管理マニュアルの策定にも繋がった。委員会で検討された、これまでの維持管理方法の問題点や崩落原因を踏まえた改善点に留意し、水管橋維持管理マニュアルを作成することができた。

水管橋維持管理マニュアルの完成後は、しっかりとマニュアルを活用することはもちろん、新たな知見や技術も取り入れながらブラッシュアップしていくこと、また、着実に実行するための組織的な体制を確保することが重要となる。

第六十六回研究発表会概要集

令和四年度 和歌山市 公益社団法人 日本水道協会 関西地方支部