

第67回研究発表会概要集

令和5年度 橿原市

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67回研究発表会日程

- 1 開催日 令和6年1月19日(金)
- 2 開催場所 DAIWA ROYAL HOTEL THE KASHIHARA
2階 第1会場「畝傍」・第2会場「耳成」
〒634-0063 奈良県橿原市久米町652番地の2
- 3 開 会 9時30分 会場：第1会場「畝傍」
 - (1) 挨拶
開催地代表挨拶
地方支部長挨拶
 - (2) 座長・コメンテーター紹介
- 4 研究発表 9時50分～17時40分
 - 第1会場「畝傍」
水質・浄水施設・浄水処理・計装・一般事務・災害対策・その他(20題)
 - 第2会場「耳成」
配水施設・給水施設・IT・その他(20題)

日本水道協会関西地方支部第67回研究発表会プログラム

令和6年1月19日(金)

- 1 開会 9時30分
- 2 挨拶
 - (1)開催地代表挨拶
 - (2)地方支部長挨拶
- 3 座長・コメンテーター紹介
- 4 研究発表 9時50分～17時40分
 第1会場「軌傍」20題（水質・浄水施設・浄水処理・計装・一般事務・災害対策・その他）

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
1	9:50～10:10	奈良市	澤村 直明	藪内 誠	予測式を用いた消毒副生成物対策の取組	水質	1
2	10:10～10:30	大阪市	鶴田 朋子	今中 壮一	PFASの水道水源における実態及び浄水処理性	水質	5
3	10:30～10:50	大阪市	藪内 宣博	淵上 知弘	気候変動が水源水質に与える影響に関する基礎的調査	水質	9
4	10:50～11:10	大津市	竹内 洋祐	橋詰 和典, 吉田 稔 中村 優, 鈴木 久司	琵琶湖北湖を起点とするかび臭物質の移動	水質	13
5	11:10～11:30	京都市	森 雅士	東野 亮司, 岩谷 健斗, 生野 愛	PT-GC/MS 法によるジクロロアセトニトリルの分析法の検討 -標準原液の溶媒としてアセトニトリルを使用-	水質	17
6	11:30～11:50	京都市	前田 航佑	荻野 賢治, 山本 桂詩 岩谷 健斗	最近隣法を用いた原水臭気物質濃度とプランクトンの予測シミュレーションの検討	水質	21
7	11:50～12:10	京都市	中嶋 紀彰	猪飼 正和, 野口 晴生 中西 正博, 伊藤 優一	広域連携事業における水道水中の異物分析受託事例	水質	25
休 憩 (50分)							
8	13:00～13:20	大阪市	今村 康夫	今中 壮一	大阪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()	水質	29
9	13:20～13:40	大阪市	白山 拓実	北本 靖子, 森口 泰男	水道水質管理における過マンガン酸カリウム消費量測定データの活用	水質	33
10	13:40～14:00	大阪市	大坪 章子	柳瀬 剛士, 宇都宮 勉 吉村 誠司	コロナ禍による大阪地域の水需要構造の変化と残留塩素管理への影響	水質	37
11	14:00～14:20	阪神水道企業団	久保田 太樹	川上 倫弘	猪名川浄水場における落雷事故対応事例	浄水施設	41
12	14:20～14:40	神戸市	小幡 一貴	吉住 昌将, 赤瀬 孝也, 小田 琢也	千叡貯水池における急激なジェオスミン増加とその対応事例	浄水処理	45
休 憩 (10分)							
13	14:50～15:10	高槻市	青木 圭一朗	松山 太一	罐速ろ過施設における一次ろ過(上向流粗ろ過)の実証実験について	浄水処理	49
14	15:10～15:30	八尾市	坂口 亮太	林 和志	水質自動監視システムのクラウド化	計装	52
15	15:30～15:50	奈良市	笠原 隆史	岡本 豊	水道標準プラットフォームによる中央監視制御システムの構築(場外系運用報告)	計装	54
16	15:50～16:10	堺市	牧野 涼子		公民連携による収納率向上の取組	その他 (営業業務)	57
休 憩 (10分)							
17	16:20～16:40	東大阪市	前畠 敬子		重要給水施設への応急給水方法の調査からOJTへ-医療機関への調査を実施して-	一般事務	61
18	16:40～17:00	神戸市	岡野 敬明	松田 康孝, 小倉 洋平	災害時の情報共有ツールの活用について	災害対策	63
19	17:00～17:20	橿原市	大北 与織		お客さまセンター業務共同化の成果について	一般事務	67
20	17:20～17:40	横河ソリューションサービス株式会社	小野寺 湧紀	松下 武司, 川出 慎士	カーボンニュートラル実現に向けた 再生可能エネルギー及びエネルギーストレージ導入量解析の必要性	その他 (カーボンニュートラル)	71

研究発表 9時50分～17時40分

第2会場「互成」20題（配水施設・給水施設・IT・その他）

No	発表時間	会 員 名	発 表 者	共 同 研 究 者	題 名	部 門	頁
21	9:50～10:10	橿原市	開野 英俊	吉村 俊朗, 的場 一矢	橿原市における水道施設集約に向けた一町配水池整備工事の実施について	配水施設	74
22	10:10～10:30	橿原市	堀 哲也	仲渡 織慧, 的場 一矢	橿原市における水道施設集約の取り組み	配水施設	78
23	10:30～10:50	東大阪市	山口 智功		配水管布設における建設コスト縮減の取組 -水道配水用ポリエチレン管の導入-	配水施設	82
24	10:50～11:10	東大阪市	水谷 義幸	山口 智功, 松岡 宏樹	東大阪市における管網再構築の取組 -管路口径のダウンサイジング検討-	配水施設	86
25	11:10～11:30	八尾市	林 和志	坂口 亮太	八尾市水道施設台帳システムの開発及びシステムのフリーダウンロードについて	配水施設	89
26	11:30～11:50	豊中市	池上 聡宣	岩淵 成吾, 山中 伸一, 金原 諒	住宅密集地域におけるドローンや特殊カメラ等を活用した水管橋点検	配水施設	92
27	11:50～12:10	大阪市	北谷 健太	永田 健次, 家永 有記	配水管内における汚染物低減に資する漏水修繕方法の検討 -断水器を使用した配水管の不断水修繕-	配水施設	96
休 憩 (50分)							
28	13:00～13:20	奈良市	岩田 学	藤原 信吾, 乾 伸之	小規模水道施設更新における施設諸元の検討	配水施設	100
29	13:20～13:40	配水用ポリエチレンパイプシステム協会	小島 賢一郎	池田 満雄, 山中 大輔 塚浜 裕一	水道配水用ポリエチレン管用スクイズオフ(圧着一時止水)工法について	配水施設	104
30	13:40～14:00	大成機工株式会社	嶋田 嵩之	宮之原 和俊, 永岡 亜隆 東川 仁士, 西 勇也	伸縮機能を有する既設伸縮可とう管の漏水予防材料の開発	配水施設	108
31	14:00～14:20	奈良市	山東 秀樹	石田 剛, 馬場 整子	給水装置工事の分岐立会に係る業務改善	給水施設	112
32	14:20～14:40	橿原市	木村 和正	西川 敬悟, 前田 成生, 的場 一矢	給水管の輻輳解消について	給水施設	115
休 憩 (10分)							
33	14:50～15:10	びわ湖ブルーエナジー株式会社	高澤 侑作	内田 優大	官民連携会社における水道及びガス保安・修繕業務等について-会社設立5年目を迎えて-	その他 (水道管路)	119
34	15:10～15:30	奈良市	森崎 匠哉	小西 大造	近隣事業者との水道事業連携について-北和都市水道事業協議会-	その他 (広域連携)	123
35	15:30～15:50	奈良市	下野 博久	吉村 傑会	送配水施設整備計画の見直しにおける職員ワークショップの活用事例	その他 (整備計画)	125
36	15:50～16:10	大阪市	砂原 梨乃	益崎 大輔	1人1日あたり使用水量の予測モデルの最適化に向けた重回帰分析に用いる説明変数の組合せ検討	その他 (計画)	128
休 憩 (10分)							
37	16:20～16:40	神戸市	小島 啓文		ローコードツールを活用したスマート化とBIツールによるデータ分析	IT	132
38	16:40～17:00	大津市	山中 克巳	木村 俊彦	大津市企業局管路情報閲覧システム-上下水道、ガス管路情報のインターネット公開-	IT	136
39	17:00～17:20	株式会社クボタ	能勢 正樹	奥村 勇太, 越智 孝敏 藤井 宏明, 加藤 昌彦 溝淵 浩平, 友野 雄介	水道管路の効率的な総合評価システムの開発 -自動グルーピング技術を用いた管路更新条件の検討-	IT	138
40	17:20～17:40	橿原市	前田 成生	宮武 大輔, 的場 一矢	水圧実測データを用いた水道管路の現況把握手法と対策	その他	142

予測式を用いた消毒副生成物対策の取組

奈良市企業局 ○澤村 直明
藪内 誠

1 目的

本市の東部山間地域では、末端給水栓まで複数の配水池を経由している場合があり、また使用量が少ないことから、本市緑ヶ丘浄水場より給水栓末端まで送水するのに最高で約8日経過している箇所がある。西部の市街地においても、複数の配水池を経由している箇所では、4日程かかる場合がある。東部・西部地域ともに到達時間が長い地点があるため、春から夏季にかけて消毒副生成物の対策に苦慮している。

給水栓等で消毒副生成物濃度が上昇した際は、浄水場原水の粉末活性炭注入に加えて、一部の東部山間地域の配水池は曝気装置を稼働して対策を実施している。また、適宜ドレン管での常時放水により到達時間を縮減することで、水質改善を図っている。

ただ、現状では末端給水栓等の消毒副生成物試験結果を元に水質改善の対応を実施しており、末端の給水栓水を高頻度で水質試験する必要があるため、多大な労力が必要となっている。そこで、問題を解消すべく、消毒副生成物のうち水質基準値に対して最も生成割合が高いクロロホルムおよびトリクロロ酢酸について、浄水場浄水で簡便に測定できる紫外線吸光度(UV 260nm)と水温の値を用いた生成量予測の検討を行った。また、予測式を用いたシミュレーションを行い、管理指標について検討した。

2 実験

UVを指標項目とするため、異なるUVとなる模擬浄水を作成した。手順は以下のとおりである。

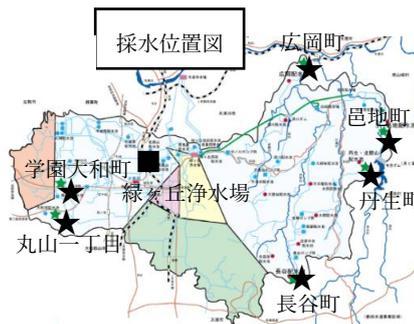
- ・原水に種々の濃度(0,10,20,30ppm)の粉末活性炭(wet50%)をそれぞれ注入して振とう
- ・ジャーテスターにて凝集沈でん処理を行い、ガラス繊維ろ紙にてろ過
- ・遊離残留塩素濃度が1.0mg/L程度となるよう次亜塩素酸ナトリウムを注入

模擬浄水の作成後、水温と紫外線吸光度(UV, 260nm)を測定した。

次に、経過時間と水温を指標項目とするため、10, 20, 30°Cの恒温槽にて模擬浄水を保管したのち、設定時間後に取り出してクロロホルムおよびトリクロロ酢酸濃度を測定した。詳細条件は下記の通り。

- ・設定時間：24,72,144もしくは168,240時間
- ・保存容器：アルミ箔で巻いたフラン瓶
- ・遊離残留塩素濃度が0.2mg/L以上となるよう追塩

また、予測式作成後に給水栓等での消毒副生成物測定結果と予測値との比較を行った(採水地点は地図上の★印)。



3 結果

(1) トリクロロ酢酸予測式

① 30°C下における予測式について

最も消毒副生成物の生成量が多い夏季の水温を想定した30°C下において、トリクロロ酢酸

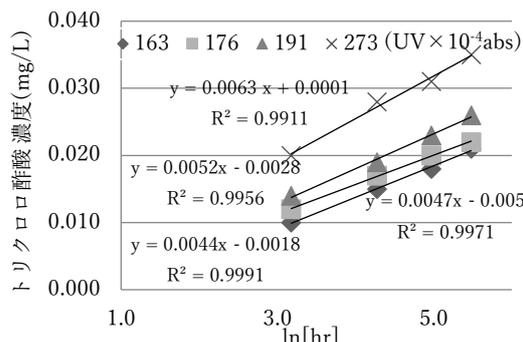


図1 各紫外線吸光度でのトリクロロ酢酸と経過時間相関

酸生成濃度 ([TCAA]) に対する UV や反応時間との相関性を確認した。その結果、図 1 のように [TCAA] に対して UV 値 ([UV] ($\times 10^{-4}$ abs)) が、また図 2 のように [TCAA] に対して反応時間の自然対数値 ($\ln[\text{hr}]$) がそれぞれ直線性を示し、良好な相関があることが分かった。

以上の結果よりトリクロロ酢酸の予測式は下記の[1]式とした。

$$[\text{TCAA}] = a \times \ln[\text{hr}] \times [\text{UV}] - b \cdot \cdot \cdot [1]$$

さらに各年度 (平成 30 年度、令和元年度) の実験結果から係数値を算出したところ、下記のように年度間で予測係数に大きな変動はなかった。

$$a = 2.52 \times 10^{-5}, b = 2.17 \times 10^{-3} (\text{平成 30 年度})$$

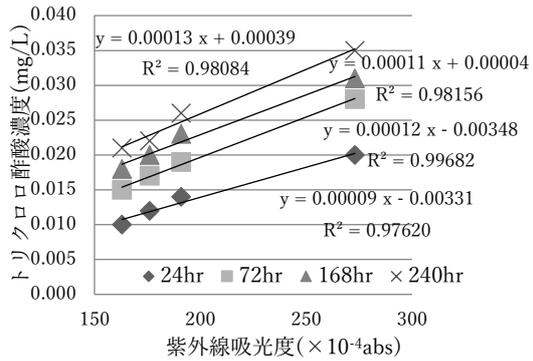


図 2 各経過時間でのトリクロロ酢酸と紫外線吸光度相関

② トリクロロ酢酸生成予測式係数の温度依存性について
10,20,30°C下での[1]式の a 項について温度依存性を確認したところ、図 3 のように予測係数 a 項と水温との直線的な相関が得られたため、水温を加味したトリクロロ酢酸の予測式は次のようになる。

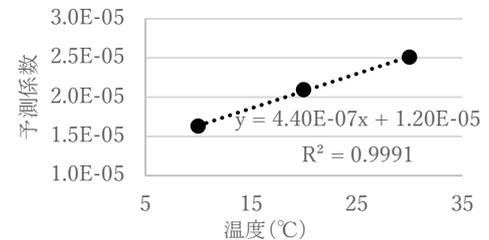


図 3 予測係数 a 項と水温との相関

$$[\text{TCAA}] = (c \times [\text{水温}] + d) \times \ln[\text{hr}] \times [\text{UV}] - b \cdot \cdot \cdot [2]$$

$$c = 4.40 \times 10^{-7}, d = 1.20 \times 10^{-5}, b = 2.17 \times 10^{-3} \cdot \cdot \cdot \text{予測係数値}$$

[2]式を基にした予測値と実測値は概ね良好な相関結果 ($R^2=0.9601, n=48$) となり、直線性も良好で傾きは 1.01 とほぼ実測値と予測値での偏りはなかった。

(2) クロロホルム予測式

総トリハロメタン濃度 ([THM]) の予測式は下記のような[3]式が一般的である*。

$$\ln[\text{THM}] = e \cdot \ln[\text{hr}] + f \cdot \ln[\text{UV}] + g \cdot \cdot \cdot [3] \quad (e, f, g : \text{実験により求まる係数})$$

[3]式をクロロホルム濃度 ([CH₃Cl]) の予測に用いることとし、実験により係数の算出を行った。

① クロロホルム生成量と UV および経過時間の相関

図 4 のように、クロロホルム生成量と UV (○印、240 時間反応時)、クロロホルム生成量と時間 (◇印、UV : 233×10^{-4} abs) の対数値はそれぞれ直線的な相関となり、これらの傾きから e, f 値を求めた。他の UV 値や反応時間の場合も e, f 値を求めたが、大きな差は見られず、e, f 値は各結果の平均値とした ($e=0.43, f=1.33$)。これら e, f 値を [3]式に代入し、実測値から g 値を求めた ($g=-12.1$)。

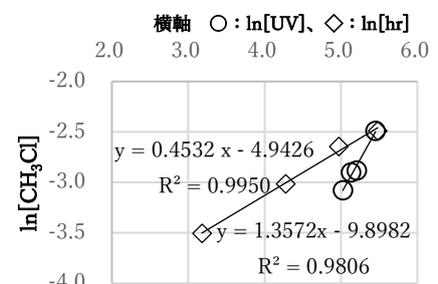


図 4 時間や UV とクロロホルム相関(30°C)

② クロロホルム生成量と水温との相関

10°Cと20°C、20°Cと30°Cでのクロロホルムの生成比を確認した。その結果、下記の図5,6のように到達時間が24時間の場合はばらつきが見られたものの、72時間から240時間の場合は、いずれの水温帯においても、10°C低下すると生成量は6割程度に減少することがわかった。すなわち、1°Cの低下では5%の生成量の減少となる。そこで、30°Cでのクロロホルム生成濃度 $[\text{CH}_3\text{Cl}]_{30^\circ\text{C}}$ を基準として式に表すと、次の[4]式ようになった。

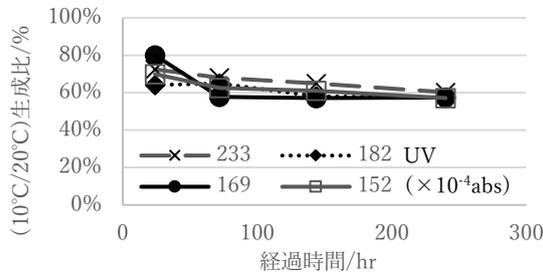


図5 10°C/20°C クロロホルム生成比の比較

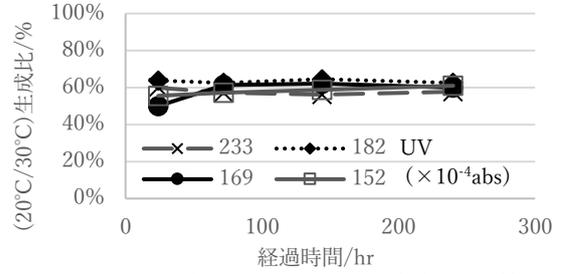


図6 20°C/30°C クロロホルム生成比の比較

$$[\text{CH}_3\text{Cl}] = 0.95^{(30-T)} \times [\text{CH}_3\text{Cl}]_{30^\circ\text{C}} \dots [4]$$

T:水温 (°C)、 $[\text{CH}_3\text{Cl}]_{30^\circ\text{C}}$: 30°Cでのクロロホルム生成濃度

以上の結果をまとめると、[3]、[4]式よりクロロホルムの予測式は次のようになる。

$$[\text{CH}_3\text{Cl}] = 5.56 \times 10^{-6} \times 0.95^{(30-T)} \times [\text{hr}]^{0.43} \times [\text{UV}]^{1.33} \dots [5]$$

本予測式を用いてラボでの実測値と予測値を比較すると良好な相関($R^2=0.9928, n=48$ (24~240時間全ての結果を含む))となった。また直線性も傾きが0.9928と、1に近いので予測値と実測値の乖離は少なかった。本検討では末端の給水栓水での生成予測を目的としており、予測式の適用時間は式の算出過程で72時間以上となったが、経過時間が24時間の場合でも問題なく予測できることが確認された。

4 現地調査結果

模擬浄水を用いて作成したトリクロロ酢酸およびクロロホルムの予測式([2]、[5])より予測値を算出し、現場実測値との比較を行った。なお、東部山間地域については、トリハロメタン対策のための曝気装置稼働時にはクロロホルムは予測が困難であるため、トリクロロ酢酸のみ比較を行うこととした。まず、市内西部

に位置する学園大和町や丸山一丁目での給水栓のクロロホルムおよびトリクロロ酢酸測定結果を実測値として、予測値との比較を行った。その結果、予測値の方がともに実測値よりも低くなる傾向がみられた(年平均値:クロロホルムで30%、トリクロロ酢酸で20%程度)。

そこで、対象地点へ送水している本市緑ヶ丘浄水場急速系浄水をラボにて模擬浄水と同様に反応させてトリクロロ酢酸・クロロホルムを測定し、予測値と比較した。その結果、図7のようにいずれの反応時間・温度でも概ね10%以内での誤差となり、ラボでは良好な予測であったことから、現場ではより反応が進行したものと思われた。

そこで、現場実測値(丸山)での測定結果をもとに、非線形の最小二乗法を用いて各予測式の係数値を再度算出した。その結果、下記の式のように、トリクロロ酢酸では水温項の係数が、クロロホルムでは水

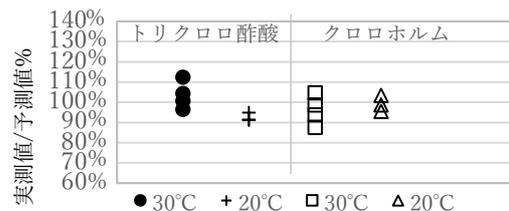


図7 緑ヶ丘浄水場 急速系浄水予測結果

温項やUV項の係数項が補正された（下線部が変化した係数）。

$$[TCAA] = (\underline{6.03} \times 10^{-7} \times [水温(^{\circ}C)] + 1.20 \times 10^{-5}) \times \ln[hr] \times [UV] - 2.17 \times 10^{-3}$$

$$[CH_3Cl] = 5.56 \times 10^{-7} \times \underline{0.94}^{(30-水温(^{\circ}C))} \times [hr]^{0.43} \times [UV]^{1.41}$$

再度係数を算出した予測式を元に、予測値と実測値との比較を行ったところ、表1のとおりいずれの採水箇所や項目においても、予測値と実測値での乖離は小さくなり（実測値/予測値は年平均値で88~104%）、良好な予測精度となった。また、求めた係数値を用いた翌年度以降も良好な相関となることが確認できた。

予測誤差(%)		≦10%	10%< ≦15%	<15% ≦20%	<20%	合計(回)
トリクロロ酢酸	広岡町	36	9	4	0	49回
	長谷町	37	11	1	0	49回
	邑地町	34	9	5	1	49回
	丹生町	32	11	3	2	48回
	丸山	28	3	8	0	39回
クロロホルム	学園大和町	24	4	3	0	31回
	丸山	21	6	0	2	29回
	学園大和町	19	9	1	0	29回

表1 各採水地点での予測誤差範囲に収まった回数(令和元年~4年)

5 予測に基づく管理シミュレーション

現場実測値に対して良好な予測が得られたため、最も到達時間が長い長谷町給水末端について予測式に基づくシミュレーションを行った。図9は浄水UVが $200 \times 10^{-4} \text{abs}$ の場合の予測値に対する水質基準値の割合を示すシミュレーション結果であるが、トリクロロ酢酸に対してクロロホルムは水温の上昇

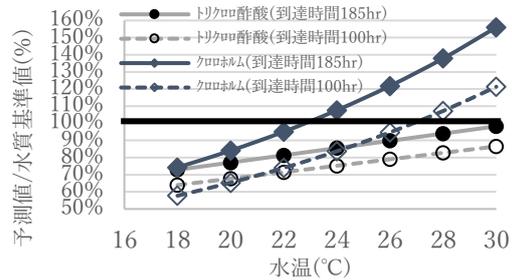


図9 消毒副生成物予測シミュレーション

とともに生成率が伸びやすく、水温が $20^{\circ}C$ 以上で差が大きくなること分かる。そのため、トリハロメタン対策としての配水池の曝気装置は、水温が $20^{\circ}C$ 以上となったときに稼働するのが有効であると思われる（図中の東部4地点への送水時に経由する大慈仙配水池の曝気装置は、今年度は緑ヶ丘浄水場急速系浄水が水温 $20.3^{\circ}C$ となった5月下旬より稼働）。また、ドレン量の調整で（浄水場からの到達時間約185hr→約100hr）、トリクロロ酢酸で約10%、クロロホルムで約20~30%（高水温ほど効果高い）の削減効果が見込める。

さらに原水に粉末活性炭を注入することにより浄水UVを $160 \times 10^{-4} \text{abs}$ 程度まで低減することで、水温が $30^{\circ}C$ の場合でもトリクロロ酢酸の生成濃度が水質基準値の7割を下回る（ 0.020mg/L ）予測結果となった。本予測式により水温ごとの浄水UV管理目標値を設定することで、適切な粉末活性炭の注入率を選択できる。

6 まとめ

本検討により、浄水場浄水の測定結果からトリクロロ酢酸とクロロホルムについて予測値を算出できたため、末端給水栓に赴かずに水質改善の対応が可能となった。詳細は下記のとおり。

- ・トリクロロ酢酸とクロロホルムについて、浄水場浄水の水温・UV・経過時間を指標項目とした生成予測式を算出
- ・給水栓の測定結果を用いて係数値の補正を行い、両項目ともに予測精度を改善
- ・予測シミュレーションを元に、配水池曝気装置の適正稼働時期、到達時間縮減のためのドレン量調整や浄水UV低減化における粉末活性炭注入量の管理による、消毒副生成物の生成量改善効果について検証が可能となった

参考文献（文中の※）

伊藤禎彦 越後信哉：水の消毒副生成物、p72、技報堂出版、2008

PFAS の水道水源における実態及び浄水処理性

大阪市水道局 ○鶴田 朋子
今中 壮一

1. はじめに

有機フッ素化合物である PFAS（ペルフルオロアルキル化合物及びポリフルオロアルキル化合物）は、難分解性の化合物群であり、生態蓄積性やヒトの健康へ悪影響を及ぼす可能性が指摘されている。令和2年に PFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）、PFOA（ペルフルオロオクタノ酸）が要検討項目から水質管理目標設定項目（暫定目標値：PFOS と PFOA の合算値で 50 ng/L 以下）に格上げされ、PFHxS（ペルフルオロヘキサンスルホン酸）についても令和3年に要検討項目に位置付けられる等、国内外で規制強化の動きがある。昨今の流れを鑑みると、PFOS・PFOA・PFHxS 並びにこれらの類縁化合物の水源や浄水処理工程における存在実態を監視し、水道水の安全性を確認する必要性は今後ますます高まると考えられる。そこで、PFOS、PFOA 及び PFHxS を含む 19 種の PFAS を対象とし、直接注入-LC-MS/MS 法を用いて水道水源での存在実態・浄水処理工程における挙動及び粉末活性炭での処理性を調査した結果を報告する。

2. 調査方法

(1) 調査対象物質及び試薬

調査対象物質を表-1に示す。また、試薬は既報¹⁾と同じ試薬を使用した。

(2) 試料調製

試料調製は既報の検討結果¹⁾を基に、固相抽出による濃縮を行わない直接注入法による測定を行った。試料水は 15mL ポリプロピレン製チューブ 2 本に採水した。2 本の試料水それぞれに対し、メタノールとサラゲート物質（添加濃度：50ng/L）を添加し、検液溶媒組成が一方はメタノール 10%水溶液、他方はメタノール 55%水溶液となるよう調製した。メタノール 10%水溶液試料は炭素数 4～7 の調査対象 PFAS の定量に用い、炭素数 8 以上の調査対象 PFAS の定量はメタノール 55%水溶液試料を用いて行った。濁質を含む試料は、試料水にメタノールとサラゲート物質を添加した後、3,000rpm で 20 分間遠心した上清を測定に用いた。

(3) 分析条件

測定感度の向上を図るため、既報の分析条件¹⁾の LC 条件と MS 条件を最適化した表-2の分析条件により測定を行った。本分析条件による各物質の定量下限値を表-3に示す。

(4) 実態調査

① 浄水処理工程

図-1に示した本市柴島浄水場の各処理工程水を採水し、調査対象の PFAS 濃度を測定した（調査日：令和5年6月29日、7月7日、12日、20日）。

② 水道水源

調査地点を図-2に示す。淀川本川 8 地点・支川 5 地点に加え、淀川本川及び淀川支川への下水処理場放流水と工場排水をそれぞれ図-2に示した 6 地点及び 2 地点の調査対象 PFAS 濃度を測定した。

③ 雨水

柴島浄水場構内の水質試験所の屋上にポリプロピレン製バットを一定時間設置し、雨水を採水した後、2本の 15mL ポリプロピレンチューブに移し、PFAS 濃度を測定した。

(5) 粉末活性炭処理実験

柴島浄水場原水（水温：25.9℃、濁度：2.0度、色度：12度、pH 値 7.3、E260：0.046、DOC：1.7mg/L）に 50ng/L 相当の PFAS 標準液を添加し、試料水とした。ジャーテスターを用いて 2.5 (w/v) %となるよう調製した粉末活性炭（ダイネン(株)製 PL-WPS（ドライ炭、木質系））を 0、10、20、50、100mg/L となるよう添加した後 120rpm で攪拌し、10、30、

表-1 調査対象物質

化合物名	略号	炭素数
ペルフルオロアルキルスルホン酸	PFBS	4
	PFPeS	5
	PFHxS	6
	PFHpS	7
	PFOS	8
	PFNS	9
	PFDS	10
	PFDoS	12
	PFBA	4
	PFPeA	5
PFHxA	6	
PFHpA	7	
ペルフルオロアルキルカルボン酸	PFOA	8
	PFNA	9
ペルフルオロカルボン酸	PFDA	10
	PFUdA	11
	PFDoA	12
	PFTTrDA	13
	PFTeDA	14

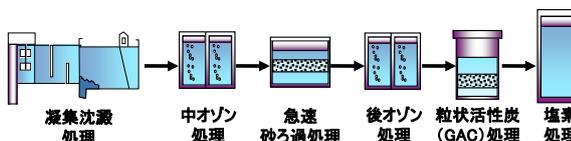


図-1 本市高度浄水処理フロー

表-2 分析条件

LC条件			
分析装置	(株)島津製作所 Nexera		
リテンションギャップカラム	ACQUITY UPLC BEH C18 (3.0 mm X 50 mm, 1.7 μm, 日本ウォーターズ)		
分析カラム	ACQUITY UPLC BEH C18 (2.1 mm X 100 mm, 1.7 μm, 日本ウォーターズ)		
移動相	A: アセトニトリル B: 10mM酢酸アンモニウム		
グラジエント条件	A : B = 10 : 90 (0-2.5分) - 25:75 (4.5分) - 30 : 70 (6.5分) - 40 : 60 (8.5分) - 60 : 40 (11.5分) - 95 : 5 (15.0-22.0分) - 10 : 90 (22.1-29.0分)		
オープン温度	40℃		
注入量	メタノール10%水溶液：50uL、メタノール55%水溶液：50uL		
流速	0.3mL/min		
MS条件			
分析装置	島津製作所 LCMS-8060	インターフェイス温度	290℃
イオン化法	ESI (-)	脱溶媒温度	510℃
ネブライザーガス流量	2.4 L/min	DL温度	190℃
ドラインガス流量	5.0 L/min	ヒートブロック温度	370℃
ヒーティングガス流量	8.0 L/min	コンバージョンダイノード電圧	10 kV
インターフェイス電圧	-0.3 kV	CIDガス圧力	280 kPa

60分経過後、シリンジフィルター（メルク（株）製マイレクス-LG、孔径0.20 μm）を用いてろ過した試料水中のPFAS濃度を測定した。

3. 調査結果

(1) 浄水処理工程での調査対象PFASの濃度推移

4回の調査において、調査対象の19物質のうち、炭素数4・6・8のスルホン酸系PFAS及び炭素数4～9のカルボン酸系PFASの計9物質が検出された。検出された物質の濃度の平均・最高・最低値及び検出回数を表-4に示す。表-4には検出された調査対象PFASの濃度の合計値（Σ19PFAS）の平均・最高・最低値についても記載した。調査対象PFASの中ではPFOAが最も高濃度で検出されたが、PFOSの検出濃度との合計が暫定目標値を上回る調査日はなかった。いずれの物質においても濃度の最高・最低・平均値に大きな差は認められず、日間の濃度変動幅は小さいことが推察された。また、検出された各PFASの濃度及びΣ19PFASは、原水から浄水までの各処理工程においてほぼ一定で推移していた。PFOSとPFOAは凝集沈澱・砂ろ過による固液分離及びオゾン・塩素処理による酸化処理による除去は期待できず、粒状活性炭（GAC）による吸着除去が可能であるが、その吸着性能は使用月数と共に低下し、PFOAは約40カ月で全く除去されなくなることが報告されている²⁾。一方、本市ではコストの平準化や処理水質を平準化するため、各処理系統の粒状活性炭が5年で全て入れ替わるよう毎年数池ずつ更新する分散更新を行っており、0～5年通水したGACによる処理水が混合されたGAC集合水の処理水質は、3年通水したGAC吸着池の処理水質に相当することが確認されている³⁾。本調査の結果から、PFOS及びPFOA以外の調査対象PFASについてもこれら2物質と同様に一定期間通水されたGACでの吸着除去は困難であることが示唆された。

(2) 水道水源実態調査

図-2に示した調査地点から検出された調査対象PFAS濃度を表-5に示す。

本川では、表-4の柴島浄水場原水に含まれていた9物質の調査対象PFASが検出された。検出された調査対象PFASのうち、ほぼすべての地点においてPFOAが最も高濃度で検出された。各調査地点の検出濃度レベルは淀川下流に位置する柴島浄水場原水と同程度であり、流下過程での濃度上昇は確認されなかったが、木津川では他の調査地点よりもやや高い傾向を示した。

支川では、淀川左岸側の河川（穂谷川、黒田川、天野川、安居川）では右岸側の河川（芥川）よりも検出濃度が高い傾向が確認された。左岸側の支川では、PFOAは50～108ng/L検出され、特に穂谷川、黒田川、天野川ではΣ19PFASに占める割合PFOAの割合はそれぞれ47、43、47%であり、本川（17～33%）とは異なる構成比であった。その他の物質についても本川よりも高濃度であったが、

淀川流量に占める各河川の流量の割合（1/1000～1/100程度）を考慮すると、淀川本川のPFAS濃度に大きな影響を与える濃度レベルではないと考えられた。一方、右岸側の芥川では、検出された調査対象PFASは5物質と他の調査地点よりも少なく、Σ19PFASについても左岸側の支川よりも低い傾向であっ

表-3

定量下限値

物質名略号	定量下限値 (ng/L)
PFBS	1
PFPeS	1
PFHxS	1
PFHpS	2
PFOS	1
PFNS	2
PFDS	2
PFDoS	2
PFBA	2
PFPeA	1
PFHxA	1
PFHpA	1
PFOA	2
PFNA	2
PFDA	2
PFUdA	2
PFDoA	2
PFTTrDA	2
PFTeDA	2

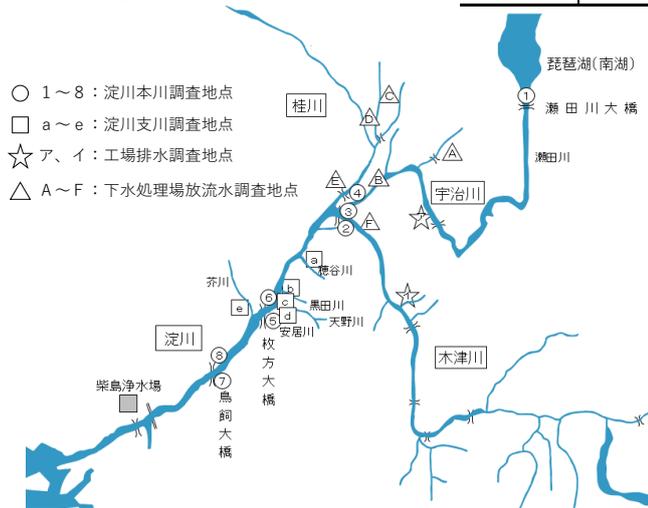


図-2 水道水源調査地点

表-4 柴島浄水場処理工程PFAS測定結果

物質名略号	原水		凝集沈澱処理水		中オゾン処理水		急速砂ろ過処理水		後オゾン処理水		GAC処理水		浄水	
	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値	平均値	最高値
PFBS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	<1	<1
PFHxS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PFOS	2	<1	3	2	2	2	3	2	3	2	4	2	2	2
PFBA	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
PFPeA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PFHxA	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
PFHpA	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
PFOA	8	7	8	6	8	7	8	6	8	7	8	7	8	7
PFNA	2	2	3	3	3	2	3	2	<2	<2	3	3	<2	<2
Σ19PFAS	26	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	25	25
	28	21	28	23	31	22	26	22	27	23	30	24	27	22

平均値
最高値 | 最低値
単位: ng/L

表-5 水道水源実態調査結果

単位：ng/L

調査地点 記号	調査地点名 (河川名)	調査日	PFBS	PFPeS	PFHxS	PFOS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUdA	Σ19PFAS
1	瀬田川大橋 (瀬田川)	R5.4.19	<1	<1	<1	2	5	3	7	3	7	3	<2	<2	28
		R5.7.19	<1	<1	<1	1	6	3	4	3	4	3	<2	<2	24
2	御幸橋 (木津川)	R5.4.19	2	<1	<1	3	7	5	9	4	17	4	<2	<2	51
		R5.7.19	2	<1	<1	2	9	6	8	5	14	3	<2	<2	49
3	御幸橋 (宇治川)	R5.4.19	<1	<1	<1	3	5	3	5	3	9	3	<2	<2	30
		R5.7.19	<1	<1	<1	<1	7	3	5	4	5	2	<2	<2	25
4	宮前橋 (桂川)	R5.4.19	<1	<1	<1	4	4	3	4	3	7	<2	<2	<2	24
		R5.7.19	1	<1	2	6	4	3	4	3	6	2	<2	<2	32
5	枚方大橋左岸 (淀川)	R5.4.19	<1	<1	<1	4	9	5	8	5	10	4	<2	<2	45
		R5.7.19	1	<1	<1	2	5	3	5	3	9	3	<2	<2	31
6	枚方大橋右岸 (淀川)	R5.4.19	<1	<1	<1	3	7	4	7	4	9	3	<2	<2	38
		R5.7.19	<1	<1	<1	2	5	3	4	3	7	3	<2	<2	28
7	鳥飼大橋左岸 (淀川)	R5.4.19	1	<1	<1	2	6	4	7	4	9	2	<2	<2	35
		R5.7.19	<1	<1	<1	2	5	3	5	3	9	3	<2	<2	29
8	鳥飼大橋右岸 (淀川)	R5.4.19	<1	<1	<1	2	6	4	6	4	8	3	<2	<2	33
		R5.7.19	<1	<1	<1	<1	4	3	4	3	7	2	<2	<2	23
a	穂谷川合流直前	R5.5.17	3	1	5	12	19	9	48	17	108	9	<2	<2	232
b	黒田川合流直前	R5.5.17	3	<1	5	12	19	10	37	15	83	10	2	<2	195
c	天野川合流直前	R5.5.17	3	<1	5	10	18	8	26	17	86	9	<2	<2	181
d	安居川合流直前	R5.5.17	1	<1	2	14	14	11	31	17	50	11	10	3	163
e	芥川合流直前	R5.5.17	<1	<1	<1	2	3	<1	2	2	5	<2	<2	<2	14
ア	工場ア	R5.6.14	<1	<1	<1	2	7	3	4	3	7	3	<2	<2	28
イ	工場イ	R5.6.14	2	<1	<1	4	23	145	81	19	53	7	4	2	340
A	A水環境保全センター	R5.6.14	2	<1	1	6	9	6	8	5	13	4	<2	<2	55
B	B水環境保全センター	R5.6.14	2	<1	5	41	12	8	10	6	19	8	10	4	125
C	C水環境保全センター	R5.6.14	4	<1	5	17	15	13	18	12	25	9	3	<2	120
D	D水環境保全センター	R5.6.14	2	<1	4	16	13	9	12	8	19	6	3	<2	91
E	E浄化センター	R5.6.14	2	<1	1	5	10	7	9	5	13	5	<2	<2	57
F	F浄化センター	R5.6.14	2	<1	2	3	10	5	8	3	12	2	<2	<2	46

た。

調査対象とした2か所の工場排水のうち、繊維製品加工業の工場イの排水では、PFOA (53ng/L) よりもPFPeA (145ng/L)、PFHxA (81ng/L) の検出濃度が高い結果であった。しかし、放流先の木津川に対する流量比は小さいため、水道水源の濃度レベルへの影響は小さいと推察された。

下水処理場放流水では、PFOA の検出濃度は 12~25ng/L であった一方で、PFOS は 3~41ng/L と、処理場による検出濃度の差が PFOA よりも大きいことが示唆された。その他の調査対象 PFAS の検出濃度は、いずれも河川水と同等あるいはやや高い濃度レベルであった。これらの結果から、下水処理後も調査対象 PFAS が残留し、河川へ放流されていることが示された。

(3) 雨水実態調査

表-6 に採水日時、検出された調査対象 PFAS の濃度及び気象庁ホームページから抜粋した⁴⁾ 採水時の大阪の降雨量を示す。

調査の結果、雨水に含まれる PFAS 濃度は変動幅が大きいことが明らかになった。令和5年4月5日19時~4月6日9時の雨水から非常に高濃度の調査対象 PFAS (PFHxA : 642ng/L、PFBA : 176ng/L、Σ19PFAS : 986ng/L) が検出されたが、翌日には大幅に低下 (PFHxA : 43ng/L、PFBA : 3ng/L、Σ19PFAS : 48ng/L) し、4月7日9時~18時の雨水からは PFHxA のみ 4 ng/L 検出された。降雨の量や降り始め・降り終わりのタイミングと検出濃度の関係を調査するため、5月18日~19日にかけて6回サンプリングを行い、濃度推移を

表-6 雨水中の PFAS 実態調査結果

単位：ng/L

物質名 略号	R5.4.5 19時 ~4.6 9時	R5.4.6 19時 ~4.7 9時	R5.4.7 9時~18時	R5.5.18 19時 ~5.19 10時	R5.5.19 10時~11時	R5.5.19 11時~12時	R5.5.19 12時~13時	R5.5.19 13時~14時	R5.5.19 14時~16時	R5.6.22 18 時~6.23 9時	R5.7.10 14~15時
PFBS	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PFOS	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
PFBA	176	3	<2	15	3	2	<2	2	4	68	63
PFPeA	85	2	<1	5	<1	<1	<1	<1	1	16	14
PFHxA	642	43	4	26	3	6	28	18	55	239	19
PFHpA	52	<1	<1	6	1	<1	<1	1	2	10	24
PFOA	21	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	9	5
PFNA	7	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3	<2
Σ19PFAS	986	48	4	52	7	9	28	21	64	345	125
大阪 降水量 (mm)	1.5	8.0	43.0	1.5	5.0	2.5	2.5	3.5	2.5	5.0	6.0

調査したが、降雨と検出濃度の間の相関関係は認められなかった。雨水の特徴として、Σ19PFASに占めるPFBA、PFPeA及びPFHxAの割合(76~100%)が、表-5に示した河川水(29~56%)よりも高く、PFOAの構成割合が低い(5%以下)ことが挙げられた。カルボン酸系PFASの揮発性前駆物質の一つであるフッ素テロマーアルコール(FTOHs)と対象とした大阪市域における大気環境調査において、近年PFOAの前駆体の一つである8:2FTOHに代わり、推定分解経路からPFHxAが分解生成物の一つとして考えられる6:2FTOH濃度の著しい上昇が確認されたとの報告事例⁵⁾があることから、雨水中のPFASの組成には大気中に含まれるPFAS前駆体の濃度が影響している可能性があるとして推察された。

(4) 粉末活性炭処理実験

粉末活性炭処理による除去率を表-7に示す。なお、表-7にデータを記載していない炭素数9以上のスルホン酸系PFAS3物質及び炭素数10以上のカルボン酸系PFAS5物質の計8物質については、添加濃度の80%以上が粉末活性炭処理に用いた器具やろ過に使用したシリンジフィルターへ吸着することが確認されたため、粉末活性炭による処理性の評価は不能と判断した。

調査の結果、評価対象11物質の除去率は、いずれも接触時間が長いほど除去率は上昇する傾向が確認された。また、炭素鎖が長くなるほど高い除去性を示したことから、表-7に除去率を示していない8物質については、表-7の11物質よりも除去性は高いと推察された。スルホン酸系PFASとカルボン酸系PFASの除去性を比較すると、同一炭素数のPFASでは、スルホン酸系PFASはカルボン酸系PFASよりも除去率は高い結果であった。接触時間を60分とした場合、PFOS・PFOA共に粉末活性炭注入率50mg/Lで90%以上除去され、その他の評価対象PFASについても、PFBA、PFPeAを除き、70%以上の除去率が確認された。PFBA及びPFPeAについては、粉末活性炭注入率20mg/L以下では概ね20%以下の除去率であったが、PFPeAは50mg/L、PFBAは100mg/Lの粉末活性炭注入率において50%程度除去可能であることが確認された。

表-7 粉末活性炭処理での除去率

単位：%

粉末活性炭注入率	10mg/L			20mg/L			50mg/L			100mg/L		
	10分	30分	60分	10分	30分	60分	10分	30分	60分	10分	30分	60分
PFBS	15	17	22	25	31	35	54	69	76	84	91	93
PFPeS	19	23	25	33	43	51	70	84	91	94	98	100
PFHxS	22	28	32	40	52	61	77	91	96	97	100	100
PFHpS	30	35	31	48	61	73	81	96	98	100	100	100
PFOS	28	63	58	56	80	88	93	100	100	100	100	100
PFBA	5	3	4	10	11	16	25	29	35	44	54	58
PFPeA	7	8	11	17	20	23	38	49	57	69	82	89
PFHxA	12	17	15	32	35	39	57	70	78	86	95	97
PFHpA	16	21	27	32	40	47	66	81	88	93	98	98
PFOA	15	25	30	34	50	53	75	89	96	97	100	100
PFNA	24	42	39	46	61	69	79	95	100	100	100	100

4. まとめ

- ・19物質のPFASを対象とした調査の結果、検出された9物質のPFASはいずれも浄水処理工程を通してほぼ一定濃度で推移しており、浄水処理での除去が困難であることを示す結果であった。
- ・淀川本川では、流下過程での調査対象PFASの著しい濃度上昇は確認されず、上流から下流までの濃度レベルはほぼ一定であったが、木津川では他の調査地点と比べて検出濃度がやや高い傾向を示した。
- ・支川、工場排水及び下水処理場放流水の実態調査を行った結果、淀川左岸側の4支川と1か所の工場排水では比較的高濃度のPFASが検出されたが、淀川に対する流量比を考慮すると、淀川本川への負荷割合は高くはないと考えられる濃度レベルであった。
- ・雨水の実態調査を行った結果、降雨時により濃度変動が大きく、PFBA、PFPeA及びPFHxAの比率が高いことが明らかになった。
- ・粉末活性炭処理実験を行った結果、調査対象の19物質のうち、除去性の評価が可能であった11物質について、いずれも一定の除去性が確認され、粉末活性炭との接触時間が長いほど、またPFASの炭素数が多いほど除去率が上昇する傾向が確認されたことから、残りの8物質についてはより除去性が高いと推察された。

5. 参考文献

- 1) 鶴田朋子ら：直接注入-液体クロマトグラフ質量分析法による有機フッ素化合物の測定における前処理方法の検討、日本水道協会関西地方支部第65回研究発表会概要集、pp. 9-12、2022
- 2) 服部晋也ら：PFOA・PFOS等有機フッ素化合物の淀川水系での実態及び浄水処理性、水道協会雑誌、第77巻、第3号、pp. 2-11、2008
- 3) 今中壮一ら：水処理性能から推定される粒状活性炭の更新基準、令和2年度水道研究発表会、pp. 598-599、2020
- 4) 気象庁、「過去の気象データ検索」、<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>、(参照 2023-9-22)
- 5) 東條秀樹：大気中FTOHsの測定条件の検討と大阪市域におけるPFOA Stewardship Programによる濃度推移の検証、大阪市立環境科学研究センター報告第2集、pp. 23-27、2019

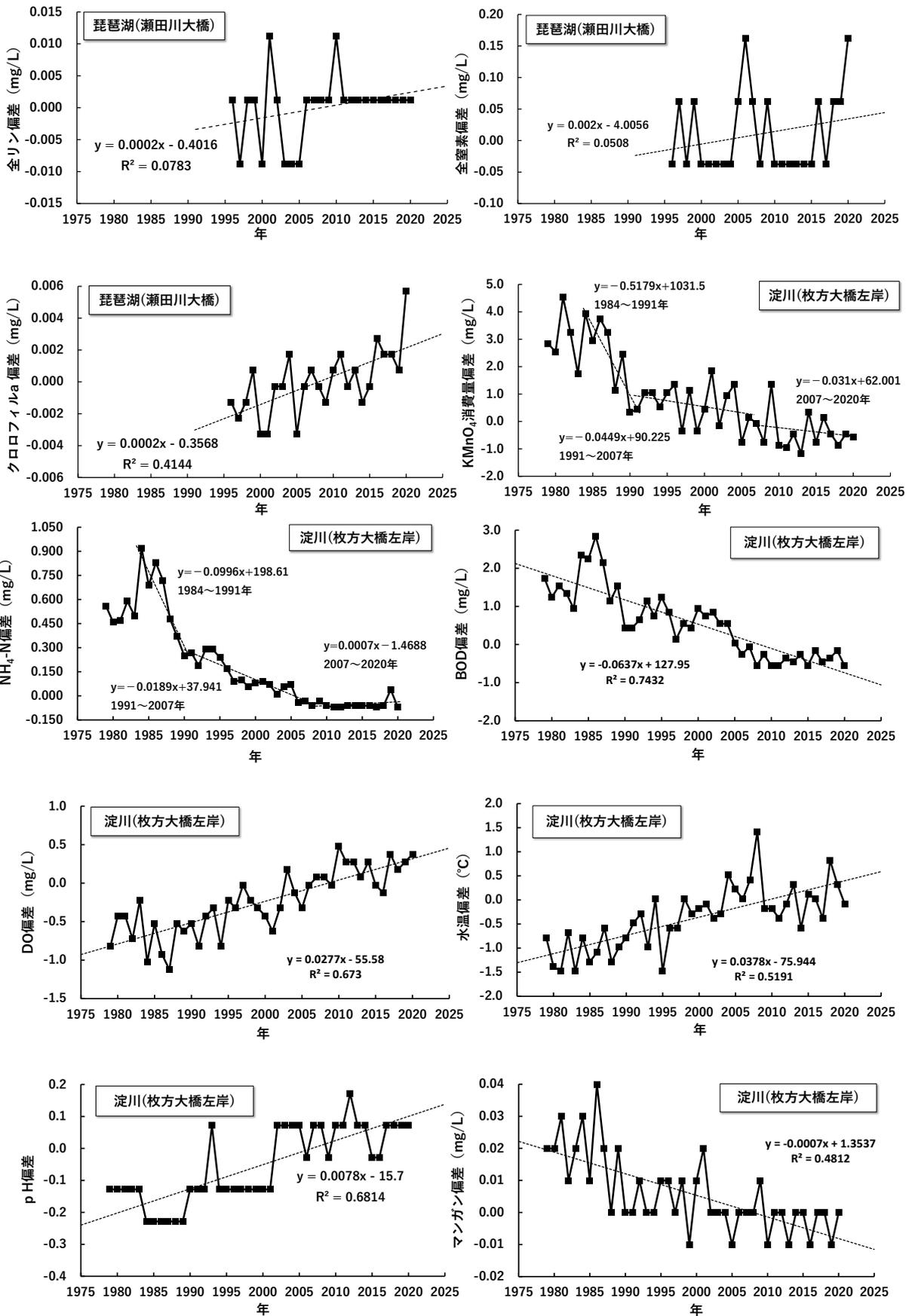


図-2 琵琶湖及び淀川における水質項目の長期変化傾向

4. 考察

琵琶湖及び淀川における各項目の25年平均値、長期変化傾向、回帰直線の傾き、40年間の増加量/減少量及び2020年度の平均値を表-1にまとめた。40年間の増加量/減少量は回帰直線の傾きから計算したが、KMnO₄消費量及びNH₄-Nについては、1981年度と2020年度の各平均値の差として求めている。

表-1 琵琶湖と淀川における各項目の25年平均値と長期変化傾向

測定地点	項目	25年平均値	長期変化傾向	回帰直線の傾き	増加量/減少量(40年間)	2020年度平均値
琵琶湖 瀬田川 大橋	全リン	0.02 mg/L	認めず ^a	—	—	0.02 mg/L
	全窒素	0.4 mg/L	認めず ^a	—	—	0.6 mg/L
	クロロフィル a	0.007 mg/L	増加	+0.0002	+0.008 mg/L	0.013 mg/L
淀川 枚方 大橋 左岸	KMnO ₄ 消費量	6.7 mg/L	減少	-0.5179 (1984~1991年) -0.0449 (1991~2007年) -0.031 (2007~2020年)	-5.1 mg/L*	6.1 mg/L
	NH ₄ -N	0.12 mg/L	減少	-0.0996 (1984~1991年) -0.0189 (1991~2007年) +0.0007 (2007~2020年)	-0.54 mg/L*	0.05 mg/L
	BOD	1.6 mg/L	減少	-0.0637	-2.5 mg/L	1.0 mg/L
	DO	9.3 mg/L	増加	+0.0277	+1.1 mg/L	9.7 mg/L
	水温	17.2 °C	増加	+0.0378	+1.5 °C	17.1 °C
	pH	7.5	増加	+0.0078	+0.3	7.6
	マンガン	0.040 mg/L	減少	-0.0007	-0.028 mg/L	0.037mg/L

* : KMnO₄消費量及びNH₄-Nの減少量は、1981年度の平均値から2020年度の平均値を差し引いて計算した。

(1) 水温

淀川の水温に増加傾向が認められ、40年あたりでは約1.5°C上昇していた。大阪・京都・滋賀の年平均気温は、100年あたりそれぞれ約2.0°C、2.1°C、1.3°Cの割合で上昇しており³⁾、琵琶湖表層の年平均水温は40年間で約1度上昇したと報告されていることから⁴⁾、本調査で確認された淀川の水温上昇についても気候変動の影響によるところが大きいと考えられる。

(2) BOD・DO

淀川のBODに減少傾向、DOに増加傾向が認められ、水質汚濁状況の改善を反映しているものと考えられる。水質汚濁防止法の施行をはじめとする排水規制や下水道の整備等により淀川の水質は改善されてきたが、KMnO₄消費量やNH₄-Nは近年一定レベルで推移している。水温が上昇すると、土壌有機物の生分解が促進されて水中の有機物濃度やBODが上昇かつDOは低下するとともに、酸素の水への溶解度が小さくなることによるDO低下の影響も予想され⁵⁾⁶⁾、今後の動向を注視する必要がある。

(3) pH

淀川の pH に上昇傾向が認められ、40 年あたりでは約 0.3 上昇していた。

上昇した原因のひとつとして、水温上昇や日射量増加による藻類の光合成作用促進の影響が考えられる。図-3 は、枚方大橋に設置された水質自動監視装置で 1 時間おきに測定された DO、水温及び pH の変化を示したもので⁷⁾、いずれの測定値も日周変動を繰り返しており、DO と pH の変動は、藻類の光合成と呼吸の作用を反映しているものと考えられるが、7 月半ばからの水温上昇に伴い、DO と pH の振幅は大きくなっていった。長期変化傾向の解析に用いた試料

の採水は日中に行っており、同様の状況が長期的にも生じている可能性がある。加えて、図-2 に示した琵琶湖の全リンや全窒素の濃度は近年横ばいで推移しているが、クロロフィル a は増加傾向にあり、水温上昇による藻類の増殖や種構成の変化が起こっている可能性も考えられる。近年、冬期に藻類が増殖してかび臭が発生しており⁸⁾、藻類の動向を注視していく必要がある。

(4) マンガン

淀川のマンガンを減少傾向が認められた。琵琶湖では、温暖化の影響で湖水の鉛直循環が起こりにくくなっており、湖底の貧酸素化が進行することでマンガンやヒ素が底質から溶出する可能性が指摘されている⁹⁾。マンガン以外の金属類も含め、長期的なモニタリングが必要である。

5. まとめ

気候変動影響に係る基礎的調査として、琵琶湖・淀川水系の長期にわたる水質測定結果を解析した。水源の水温上昇に伴う水質や生態系の変化は、浄水処理等の水道システムに様々な影響を及ぼす懸念がある。豪雨等による急激な水質変動リスクも含め、対策を検討していく必要がある。

謝辞

本研究で解析に用いたデータは、淀川水質協議会を構成する水道事業者が分担して測定を行ったものであり、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 文部科学省・気象庁：IPCC(気候変動に関する政府間パネル) 第 6 次評価報告書 (AR6) 第 1 作業部会 (WG1) 報告書 「気候変動 2021 自然科学的根拠」解説資料
- 2) 環境省：気候変動影響評価報告書 総説、令和 2 年 12 月
- 3) 大阪管区気象台：近畿地方の気候変動 2017、平成 31 年 1 月
- 4) 滋賀県気候変動適応センター：滋賀県の気候変動影響等とりまとめ、令和 3 年 3 月
- 5) 中村怜奈、山田俊郎、秋葉道宏：気候変動が水道システムに与える影響に関する文献調査、用水と廃水 52(6) pp. 473-481 2010
- 6) 小坂浩司、秋葉道宏：気候変動影響に対する水道システムの適応策 保健医療科学 69(5) pp. 425-433 2020
- 7) 国土交通省 水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) 閲覧日時 2023 年 9 月 8 日
- 8) 大阪市水道局：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) (II) 令和 4 年度全国会議(水道研究発表会)講演集 pp. 296-299
- 9) 板井啓明、早瀬大祐、平田佐和子、兵部唯香、熊谷道夫、田辺信介：琵琶湖北湖底泥のマンガン濃集層の経時変化、2010 年度日本地球化学会第 57 回年会講演要旨集 p. 60

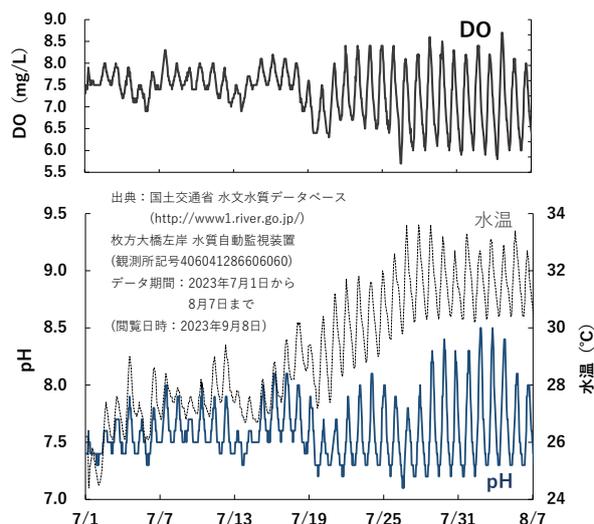


図-3 DO、水温及び pH の日周変動

琵琶湖北湖を起点とするかび臭物質の移動

大津市企業局 ○竹内 洋祐 橋詰 和典
 吉田 稔
 滋賀県企業庁 中村 優 鈴木 久司

1. はじめに

琵琶湖北湖は南湖と比較して水質が良く、大規模なかび臭の発生は2015年以前には確認されていない。しかし、2016年に琵琶湖北湖東岸の長命寺港付近において高濃度のかび臭物質が検出され、北湖から取水する浄水場が大きなかび臭被害を受けた¹⁾。この年、滋賀県企業庁馬淵浄水場原水で、2-MIBが最高濃度290ng/L(溶存態)検出された。2021年には、2016年のかび臭被害をうけて設置された馬淵浄水場原水のかび臭連続監視装置(以下、監視装置)で、2-MIBが日平均値で最高810ng/L(総量)、2022年にはGeosminが日平均値で最高610ng/L(総量)検出された。これらの影響は北湖の他の浄水場にも及び、南湖の浄水場においてもかび臭濃度の上昇が確認されている。いずれの年も、北湖東岸の長命寺港付近からかび臭物質が広がり、浄水場原水のかび臭物質濃度が急に上昇する傾向にあったため、迅速な対応が必要であった。そこで、今後の対策の参考となるよう、大津市企業局及び滋賀県企業庁が保有するかび臭物質濃度のデータを活用し、かび臭物質の移動についてルートや速度を検証した。



図1. 浄水場取水口位置図

2. 方法

調査対象は、表1に示す浄水場の原水のかび臭物質測定データ、及び、監視装置の測定データである。かび臭物質の濃度及び検出日を整理し、各浄水場へ至るルートや速度の検証に用いた。なお、馬淵及び吉川においては溶存態を測定しており、その他では総量を測定している。溶存態の濃度については、以降の本文中「○ng/L(溶)」と示す。監視装置は1時間に1回測定をしているが、本報告中では、日平均値を用いた。

また、降水量について気象庁彦根気象台のデータ²⁾を用いた。さらに、国土交通省琵琶湖管理事務所の公表する琵琶湖の水位及び放流量も、あわせて参照した。

表1. かび臭濃度測定施設一覧. 南津田導水ポンプ場は馬淵浄水場原水の導水施設である

位置	設置者	名称	測定タイプ
北湖	滋賀県企業庁	馬淵浄水場	溶存態
		監視装置(馬淵)	総量
		吉川浄水場	溶存態
南湖	大津市企業局	比良浄水場	総量
		八屋戸浄水場	
		真野浄水場	
		柳が崎浄水場	
		膳所浄水場	
		新瀬田浄水場	

3. 発生状況

(1) 2016年の2-MIBの検出状況

2016年の2-MIBの検出状況を図2に示す。9月2日に馬淵で34ng/L(溶)の2-MIBが検出された後、9月5日と9月11日にそれぞれ270、290ng/L(溶)が検出された。その後、北湖の他の浄水場でも2-MIBの上昇がみられ、9月19~21日の間に最高濃度に達した。南湖の柳が崎では、それまで10ng/L前後だった2-MIB濃度が、9月26日に39ng/Lに達した。同日に膳所においても32ng/Lが検出された。

(2) 2021年の2-MIBの検出状況

2016年に続いて高濃度の2-MIBが発生した。監視装置において8月13日に23ng/Lだったが、8月14日に280ng/Lに上昇し、8月15日に最高810ng/Lが検出された。その後8月22日までおおむね300ng/L以上で推移し、8月末ごろに100ng/L以下まで低下した。この年は、他の浄水場での2-MIB上昇はほとんどなく、真野浄水場で8月17日に85ng/Lを検出した以外は、目立った被害はなかった。

(3) 2022 年の Geosmin の検出状況

2022 年の Geosmin の検出状況を図 3 に示す。2022 年はこれまでと異なり、Geosmin が検出された。監視装置では、7 月上旬から中旬にかけて上昇し、7 月 14 日に最高 610ng/L を検出していた。吉川浄水場では、7 月 14、16 日にそれぞれ、110、120ng/L(溶)を検出した。北湖ではその他、真野で 7 月 14 日に 400ng/L、八屋戸で 15 日に 70ng/L を検出した。南湖では柳が崎で 7 月 19 日に 230ng/L、同日に膳所で 160ng/L を検出した。なお、2022 年は He ガスの供給不足により大津市ではかび臭の測定を制限していたため、測定間隔が長くなっている。

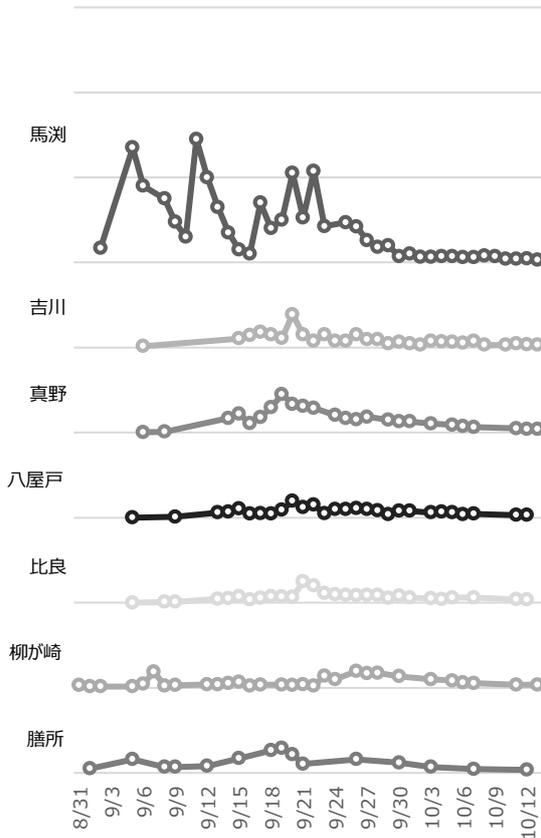


図 2.2016 年 2-MIB 濃度推移 (1 目盛り=200ng/L)

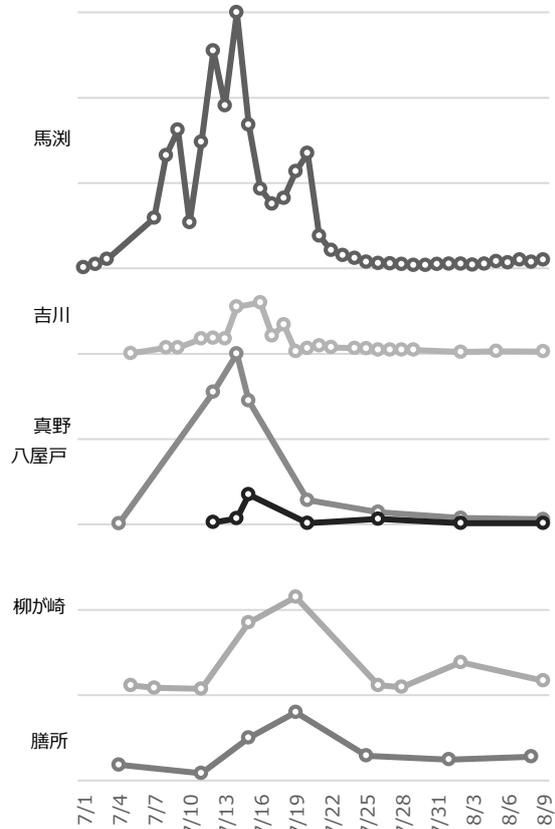


図 3.2022 年 Geosmin 濃度推移 (1 目盛り=200ng/L) . 比良は 2021 年度末に廃止.

4. 考察

(1) かび臭濃度の上昇と降水量

最も高い濃度が検出される馬淵のかび臭物質濃度、降水量、琵琶湖水位、瀬田川放流量の推移を図 4 ～ 6 に示す。2016 年は 8 月末の降雨後に最初のかび臭濃度の上昇がみられた。その後、おおむね 2 回の濃度上昇があったが、ほぼ同じタイミングで降雨があった。特に、9 月中旬から下旬までにかけては、まとまった雨が降り洗堰からの放流量も増加した。

2021 年は、8 月中旬に西日本から東日本の広い範囲で大雨となった³⁾。8 月 14 日に降水量が 100mm を超え、琵琶湖の水位が急上昇し、洗堰では 8 月下旬まで全開放流が続いた。この大雨が降ったと同時に、かび臭濃度が急上昇していた。

2022 年は 7 月 3 日に 100mm を超える降雨があった。その後かび臭濃度が上昇し、その間も断続的に雨が降っていたことが分かる。7 月 19 日の再上昇時にも、同じタイミングで約 100mm の降雨があった。放流量も濃度上昇と同時に増加していた。

以上のように、降雨後にかび臭濃度の上昇がみられ、降雨を契機とした長命寺港へのかび臭物質の放出が示唆された。

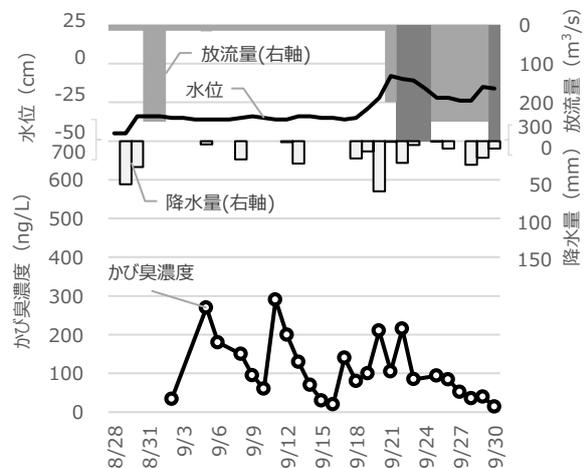


図 4.2016 年 2-MIB 濃度 (溶存態・馬淵浄水場内原水)、降水量、琵琶湖水位、瀬田川放流量 (濃いグレーは全開放流を示す)

琵琶湖疏水のみであるので、南湖の流速は瀬田川洗堰での放流量の影響を大きく受ける。ここで、琵琶湖疏水からの流出量を、15.5 m³/sec (2015年の推定値 4.9 億 t/year より算出⁸⁾) で一定とし、瀬田川洗堰での放流量の推移から流速を求め、9月19日以降の真野からの移動距離を推定して、南湖の浄水場への到達日と比較した。この計算にあたって、主流域の断面積を 10,000m² (=幅 2.5km×水深 4m)、9月22~24日の全開放流における放流量を 300 m³/s と仮定した。表 8 にその結果を示す。放流量は 9月20日までは 15m³/s だったが、台風 16 号の影響を受け 18~20 日に大雨が降ったことにより 21日から放流量が急増した。推定される移動距離は 26日に真野-柳が崎の 12km を超え、翌 27日に真野-膳所及び新瀬田の 15km を超えており、実際にピークが検出された 26日とよく一致した。

また、2022年においても同様に放流量から推定したところ、真野から柳が崎、膳所及び新瀬田までの到達には約 6日 を要しており、7月20日前後にピークを迎えたと推定され、7月19日の濃度上昇とおおむね一致する結果となった。このことから、南湖の浄水場への到達に関して、放流量の影響が大きいと考えられた。なお、2021年は、瀬田川洗堰において全開放流が続いていたこと、南湖の浄水場におけるかび臭濃度上昇がわずかであったことから流下速度の推定は困難であった。

(4) 南湖での濃度上昇

北湖からのかび臭流入の影響を受けた時期の、南湖での濃度上昇について表 4 に示した。2016年及び 2021年と比較して、2022年の濃度上昇が大きいことが分かる。2016年は、発生当初の南湖への流出量が少なく、北湖にしばらく滞留し拡散したことが南湖での被害を軽減したと考えられる。2021及び 2022年には、監視装置での最高濃度はそれぞれ 810、610 と同程度であるが、2021年はほとんど濃度上昇がなかった。4.(1)で述べたように 2021年は広範囲にわたる大雨だった一方で、2022年はピーク時の降水量がそれほど多くなかったため、2021年と比較して希釈効果が少ないまま流下した結果、濃度上昇幅が大きくなった可能性がある。

5. まとめ

今回、かび臭物質の移動についてそのルートや速度の推定を試みたが、両事業者が蓄積したデータを合わせることで、より具体的な検証を行うことができた。馬淵浄水場のデータからは、降雨後にかび終濃度の上昇がみられ、降雨を契機とした長命寺港へのかび臭物質の放出が示唆された。また、北湖では第三還流や河川からの流入により複雑な流れが生じ、かび臭物質の移動に影響を及ぼしている一方、南湖の浄水場へのかび臭物質の到達は、瀬田川放流量に依存していると考えられた。2016年においては放流量が少なかったために、北湖で滞留し、八屋戸及び比良への影響が及んだとみられる一方、2022年は比較的速やかに流下したため、南湖での濃度上昇が高くなる結果となった。このように、被害の大きさにはかび臭物質濃度だけでなく、その後の降水量や洗堰での放流量が大きく影響している。今後同様の事態が発生した場合には、これらの知見を活かし、適切な浄水処理に努めていく。

【参考資料】

1. 中村優ら：滋賀県企業庁（琵琶湖北湖）におけるかび臭障害事例，日本水道協会関西地方支部第 63 回研究発表会概要集，pp.9-12，2019.
2. 気象庁 HP 過去の気象データダウンロード，<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2023年10月確認)
3. 災害をもたらした気象事例，気象庁，前線による大雨令和 3 年 8 月 11 日～8 月 19 日，<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bo-sai/report/2021/20210831.html> (2023年10月確認)
4. 戸田孝：琵琶湖還流の研究史，水陸学会誌，Vol.35，pp.35-48，2014.
5. 秋友和典：夏季の琵琶湖に見られる還流とその形成メカニズム，水理科学，No.361，pp.10-31，2018.
6. 京都工芸繊維大学計算工学研究室：琵琶湖内流れ，<http://www.cis.kit.ac.jp/~nishida/gallery.html> (2023年10月確認)
7. 今本博健ら：琵琶湖南湖の湖流に関する水理模型実験：土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，II-54-1-II-54-2，1996.
8. 琵琶湖流域の水循環，滋賀県 琵琶湖ハンドブック三訂版，pp.135，2018.

表 3. 2016 年 9 月の洗堰放流量と推定される流速及び真野からの移動距離

日付	洗堰放流量 m ³ /sec	主流域流速 km/day	移動距離 km
19	15	0.3	-
20			0.3
21	200	1.9	0.6
22	全開 (300と仮定)	2.7	2.5
23			5.2
24			7.9
25	250	2.3	10.6
26			12.9
27			15.2

表 4. 南湖での(a)2-MIB 又は(b)Geosmin 濃度(ng/L)の上昇

	2016 ^a	2021 ^a	2022 ^b
柳が崎	10 未満 → 39	10 未満 → 19	15 → 230
膳所	10 未満 → 32	10 未満 → 13	17 → 160
新瀬田	10 未満 → 37	10 未満 → 16	16 → 170

PT-GC/MS 法によるジクロロアセトニトリルの分析法の検討

-標準原液の溶媒としてアセトニトリルを使用-

京都市上下水道局 ○森 雅士 東野 亮司
岩谷 健斗 生野 愛

1. はじめに

ハロアセトニトリル類は、平成 15 年に行われた水質基準の改正により、ジクロロアセトニトリルが水質管理目標設定項目、トリクロロアセトニトリル、ブロモクロロアセトニトリル及びジブロモアセトニトリルが要検討項目に設定された。

現在、水質管理目標設定項目であるジクロロアセトニトリルの検査方法は、厚生労働省の通知にて溶媒抽出-GC/MS 法と定められているが、溶媒抽出-GC/MS 法は煩雑な前処理が必要であり、また、塩化ナトリウムを多量に使用するため分析装置(オートサンプラー、マイクロシリンジ等)への負荷が懸念されている。このため、より簡便で分析装置への負荷が低い検査方法の確立が望まれる。そこで、煩雑な前処理が不要で塩化ナトリウムを使用しないパージ・トラップーガスクロマトグラフー質量分析法 (PT-GC/MS 法) による分析法について検討することとした。既に、標準原液の溶媒に tert-ブチルメチルエーテル (MTBE) を使用した分析法が報告¹⁾されているが、同じ機器で分析を行う揮発性有機化合物 (VOC) の測定への影響が懸念されるため、今回、溶媒がアセトニトリルの標準原液を用いた分析法について検証を行った。

2. 分析条件

測定対象成分は、水質管理目標設定項目であるジクロロアセトニトリルとした。標準液は、ジクロロアセトニトリル標準原液 (1mg/mL アセトニトリル溶液富士フィルム和光純薬製) を用いた。

PT-GC/MS 法の分析条件を表-1 に示す。

表-1 PT-GC/MS 法の分析条件

PT:AQUA PT 6000 (GL Sciences 製)	
トラップ管	AQUATrap-1 (GL Sciences 製)
パージ時間	8min.
デソープ温度	220°C
クライオフォーカス	不使用
GC:GC-2010 PLUS (SHIMADZU 製)	
カラム	AQUATIC (GL Sciences 製) 0.25mm I.D. ×60m, df=1.00µm
オープン温度	40°C (3min.) →6°C/min. 100°C →11°C/min. 210°C (2min.)
気化室温度	150°C
MS:GCMS-QP2010 PLUS (SHIMADZU 製)	
イオン化法	EI
測定モード	SIM
インターフェース温度	220°C
イオン源温度	200°C
内部標準物質	p-プロモフルオロベンゼン

3. 測定条件及び結果

(1) 定性分析結果

ジクロロアセトニトリルの各濃度を 0.005、0.01、0.02、0.05 mg/L と設定した定性分析時のクロマトグラムを図-1 に示す。各濃度にてジクロロアセトニトリ

ルのクロマトグラムが確認された。図-2 に検体のマススペクトルを示す。シミラリティ検索の結果、ジクロロアセトニトリルとの適合率が 95% となった。また、表-2 に示す通り、ジクロロアセトニトリルの測定質量数は厚生労働省の通知法と同値となった。

② 添加試料の評価

蹴上浄水場配水池水（2023年9月28日）を用いて、濃度が0.001 mg/Lとなるように添加した試料5検体の平均濃度について評価を行った。なお、試料に含まれる残留塩素を除去する際の試薬として、アスコルビン酸ナトリウム及びチオ硫酸ナトリウム溶液（0.3w/v%）を検証した。結果は表-4に示す通り、アスコルビン酸ナトリウム及びチオ硫酸ナトリウム溶液（0.3w/v%）共に、真度及び併行精度は良好な結果が得られた。また、併行精度に大きな差は無かったが、真度についてはチオ硫酸ナトリウム溶液（0.3w/v%）の方が優れた結果となった。

表-4 添加試料の真度及び併行精度

試薬	蹴上配水池水 濃度 (mg/L)	蹴上配水池水 添加濃度：0.001mg/L		
		平均濃度 (mg/L)	真度	併行精度
アスコルビン酸ナトリウム	0.00129	0.00122※1	122%	1%
チオ硫酸ナトリウム溶液 (0.3w/v%)	0.00145	0.00112※1	112%	3%

※ 真度：70%から130%、併行精度：20%以下

※1 水道水に含まれるジクロロアセトニトリルの濃度を差し引いた値

(4) 揮発性有機化合物への影響の検証

本検討で使用した PT-GC/MS は、水質基準項目及び水質管理目標項目である揮発性有機化合物（以下、VOC とする）を測定しており、本検討で使用したジクロロアセトニトリル標準原液（1 mg/mL アセトニトリル溶液 富士フィルム和光純薬社製）が、VOC の測定に影響していないかを検証した。検証方法としては表-5に示す通り、高濃度のジクロロアセトニトリル標準溶液を測定した後、VOC用の標準列、VOC用定量下限値5本（定量下限値は2種類あり）、検証濃度2種類、検証ブランクの測定を行った。結果は表-6に示す通り、全ての化合物において、決定係数が0.99以上であり、誤差率及び変動係数が適切な範囲に収まった。また、検証濃度、検証ブランクも適正な測定結果が得られた。

表-5 VOC への影響検証時のシーケンス

測定順	試料名	種類	測定順	試料名	種類
1	ジクロロアセトニトリル標準溶液 0.01mg/L	未知	7	VOC用混合標準液 0.01mg/L	標準
2	VOC用混合標準液 0.0002mg/L	標準	8~12	VOC用定量下限値検体 0.0002mg/L	未知
3	VOC用混合標準液 0.0005mg/L	標準	13~17	VOC用定量下限値検体 0.001mg/L	未知
4	VOC用混合標準液 0.001mg/L	標準	18	VOC用検証濃度① 0.001mg/L	未知
5	VOC用混合標準液 0.002mg/L	標準	19	VOC用検証濃度② 0.005mg/L	未知
6	VOC用混合標準液 0.005mg/L	標準	20	検証ブランク	未知

表-6 VOC への検証結果（検量線の直線性及び VOC 用定量下限値検体の結果を掲載）

化合物名	決定係数	定量下限値 (mg/L)	平均濃度(5検体) (mg/L)	誤差率 (%)	変動係数 (%)
四塩化炭素	0.999	0.0002	0.000213	6.4	3.9
1,4-ジオキサン	0.999	0.001	0.00092	8.4	2.6
シス-1,2-ジクロロエチレン	1.000	0.0002	0.000198	1.0	1.1
トランス-1,2-ジクロロエチレン	1.000	0.0002	0.000200	2.8	3.6
ジクロロメタン	1.000	0.0002	0.000189	5.3	0.9
テトラクロロエチレン	1.000	0.0002	0.000191	4.6	5.4
トリクロロエチレン	1.000	0.0002	0.000198	2.6	3.5
ベンゼン	1.000	0.0002	0.000197	1.7	2.5
クロホルム	1.000	0.001	0.00098	3.0	3.8
ジブromクロロメタン	1.000	0.001	0.00102	2.4	0.6
ブromジクロロメタン	1.000	0.001	0.00100	1.7	2.0
ブromホルム	1.000	0.001	0.00105	5.0	0.8
1,2-ジクロロエタン	1.000	0.0002	0.000203	1.5	1.2
トルエン	1.000	0.0002	0.000196	2.2	1.9
1,1,1-トリクロロエタン	1.000	0.0002	0.000205	3.4	3.2
メチル-tert-ブチルエーテル	0.990	0.0002	0.000214	7.2	1.8
1,1-ジクロロエチレン	1.000	0.0002	0.000199	3.0	4.0

※ 誤差率、変動係数：20%以下

4. 結論

- (1) PT-GC/MS 法によるジクロロアセトニトリルの定性分析の可否の検証の結果、検証した濃度の 0.005、0.01、0.02、0.05 mg/L の全てにおいて、ジクロロアセトニトリルのクロマトグラムが確認され、得られたマススペクトルのシミュレーション検索においても、ジクロロアセトニトリルとの高い適合率が得られた。
- (2) PT-GC/MS 法によるジクロロアセトニトリルの定量分析の検証の結果、0.001、0.002、0.004、0.01 mg/L の 4 点検量において、妥当性評価における検量線の評価及び添加試料の評価は、全ての項目において妥当性評価ガイドラインの基準を満足する結果となった。
- (3) 高濃度のジクロロアセトニトリル溶液測定後の VOC の測定への影響を評価した結果、全ての化合物において、直線性、誤差率及び変動係数が適切な範囲に収まった。

5. 今後の展望

通知法にてジクロロアセトニトリル及び抱水クロラールの分析は、溶媒抽出-GC/MS 法による煩雑な前処理後、一斉分析となっている。このため、抱水クロラールも PT-GC/MS 法により測定可能な条件を検証し、さらに、ジクロロアセトニトリル及び抱水クロラールが一斉分析可能な条件を見出せれば、非常に大きな省力化につながると考えられる。しかし、抱水クロラールはイオン化が困難と予想されるため、検証はより慎重に行う必要がある。また、PT-GC/MS 法の高感度測定による低濃度測定の特性を活かした更なる低濃度での測定の検証や、同検体における PT-GC/MS 法と溶媒抽出-GC/MS 法との比較検討も有効であると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 柏木勉ほか：ハロアセトニトリル類の PT-GC/MS 法による分析法の検討（平成 19 年度日本水道協会関東地方支部水質研究発表会）

最近隣法を用いた原水臭気物質濃度とプランクトンの予測シミュレーションの検討

京都市上下水道局 ○前田 航佑 荻野 賢治
山本 桂詩 岩谷 健斗

1. はじめに

京都市の主要な 3 浄水場が水源とする琵琶湖では、毎年のように植物プランクトンによるかび臭や生ぐさ臭等の異臭が発生している。これらの浄水場では、凝集沈殿・急速ろ過方式による浄水処理を行っており、かび臭等が発生した際は、粉末活性炭の注入によって溶存態物質を吸着除去し、凝集処理の強化によって粒子態物質（藍藻類の細胞内に保持されている臭気物質）を沈殿除去している。

琵琶湖のかび臭等は 1969 年以降ほぼ毎年発生しており、原水監視として、1988 年から GCMS による臭気物質濃度の測定を行っている。令和元年から令和 4 年にかけては、原水で 2-MIB 及びジェオスミンが高濃度で検出され、高機能粉末活性炭を用いて注入能力最大で脱臭を行った事例があった他、低水温期に 2-MIB が上昇する事例もあり、以前とかび臭等の発生状況が変化している。

本稿では、数日先の原水臭気物質濃度の予想をすることで、過不足ない粉末活性炭の注入による浄水処理を行うことを目標に、汎用のクラスター分析の 1 つである最近隣法を用いて、直近令和 5 年度春季、夏季の原水臭気物質濃度とプランクトン数の動向について予測を行った。

2. シミュレーション方法

(1) 最近隣法

最近隣法は、クラスター分析の一つであり、現在と直近数点のデータの時系列傾向を過去の傾向と照合し、現在の状況と近い傾向のデータを利用して予想値を算出する手法である。渋滞予測システムの開発¹⁾や市場調査、株価の予測²⁾等様々な分野で利用されている。

(2) 最近隣法による予測値算出のための手順

本市では琵琶湖原水の臭気物質濃度を毎日測定しており、それぞれの実測値における時系列傾向として 1 日前から 4 日前のデータを用いてクラスターを形成した (図 1 表の四角の枠で囲んだ箇所 1 期前~4 期前)。任意の日の実測値を x_t 、その翌日の予測値を y_{t+1} としたとき、 y_{t+1} におけるクラスターと m 日前のクラスターとの距離 d_m を図 1 式 (1) のように定義する。 d_m が小さいほど時系列傾向が類似していることを意味する。次に、 d_m が小さい順に s 番目まで順位付けを行い、図 1 式 (2) のように類似度に応じた重みを算出する。予測値 y_{t+1} は図 1 式 (3) のように類似度に応じて加重平均をとることにより求められる。

例えば、8 月 16 日の予測値を求める場合、8 月 16 日のクラスターと、1 日前の 8 月 15 日のクラスター間の距離 d_1 、ウエイト w_1 は、図 1 の表の図形で印付けした各値を式 (1)、(2) の同じ図形で印付けした各文字に代入して求める。

日付	実測値	4期前	3期前	2期前	1期前	予測値	統計情報	1期前	2期前	3期前	4期前	5期前	6期前	7期前	8期前	...
8月12日	200	120	120	120	200	200.18144	実測値×ウエイト	144.22205	145.6022	146.96998	62.617899	96.77293	119.94957	174.3961	203.03202	
							距離	0.0069338	0.006968	0.0069041	0.0159699	0.0103335	0.0064069	0.0057341	0.0049253	
							順位	24	27	29	2	7	11	55	81	
8月13日	270	120	120	200	200	188.83622	ウエイト		80	164.92423	166.13248	93.808315	84.396018	112.09371	163.67346	216.18048
							実測値×ウエイト				18.60898	24.082252				
							距離		0.0125	0.0060634	0.0060193	0.01066	0.0118503	0.0089211	0.0061097	0.0046258
							順位	3	21	22	6	4	10	19	64	
8月14日	260	120	200	200	270	225.25141	ウエイト	0.1241866			0.1059067	0.1177319				
							実測値×ウエイト	24.837316			12.7088	14.127828				
							距離	106.30146	133.04135	222.93497	175.78396	167.63055	98.086696	196.22691	237.50579	
							順位	6	8	26	16	13	5	19	32	
8月15日	370	200	200	270	260	235.33446	ウエイト	0.09476	0.075143				0.1026962			
							実測値×ウエイト	25.585213	15.142858				12.323544			
							距離	106.77078	145.9452	197.23083	223.83029	217.48563	166.43317	187.24583	256.17377	
							順位	5	10	18	26	22	13	15	32	
8月16日	120	200	270	260	370	284.5405	ウエイト	0.0949782								
							実測値×ウエイト	24.694344								
							距離	130.76697	157.79734	247.79023	278.20855	325.88341	294.27878	288.79058	249.72185	
							順位	4	6	17	23	31	25	24	18	
							ウエイト	0.1200384	0.0994744							
							実測値×ウエイト	44.413484	25.863354							

$$d_m = \sqrt{(x_t - x_{t-m})^2 + (x_{t-1} - x_{t-m-1})^2 + (x_{t-2} - x_{t-m-2})^2 + (x_{t-3} - x_{t-m-3})^2} \quad \dots(1)$$

$$w_m = \frac{1/d_m}{\sum_{d_k \in s} 1/d_k} \quad \dots(2)$$

$$y_{t+1} = \sum_{d_m \in s} w_m x_{t-m+1} \quad \dots(3)$$

図 1. 最近隣法の算出方法

(3) 採用期数の選定

採用期数(図 1 式 (2) 中の s)とは、類似しているクラスターを上位何点まで採用するかを表す。この値を変えることで予測値が異なるため、最近隣法において採用期数が予測シミュレーションを立てる上で重要な役割を占める。

今回採用した過去のデータは、データ量の重さやかび臭発生状況の変化³⁾を考慮し、令和元年以降のデータを使用して、令和 5 年度の春季、夏季の原水臭気物質濃度とプランクトン数の予測値を算出した。採用期数は 5~20 の範囲で実測値と最も乖離が小さくなるような期数を検討した結果 8 を採用した。

3. 令和 5 年度春季におけるウログレナ群体数とヘプタジエナール濃度の実測値と予測値

令和元年以降の、生ぐさ臭の原因生物であるウログレナ群体数及び生ぐさ臭の指標物質であるヘプタジエナール濃度の蓄積データを基に、令和 5 年度春季におけるウログレナ群体数とヘプタジエナール濃度の予測値を最近隣法により算出し、実測値と予測値の推移を図 2 (a), (b) にそれぞれ示した。なお、ウログレナ群体数は顕微鏡で計数し、ヘプタジエナール濃度は GCMS により測定した。

図 2 (a) より、ウログレナ群体数の実測値 (実線) 及び予測値 (破線) の推移を比較すると、実測値と予測値の乖離は全体的に大きかった。一方で、図 2 (b) より、ヘプタジエナール濃度の実測値 (実線) と予測値 (破線) の推移を比較すると、概ね実測値の推移に近い予測値の推移を示した。しかし、実測値のアップダウンが急激な最大値付近においては、グラ

フ全体の中で比較的乖離が大きかった。また、予測値は概ね実測値の立ち上がりに遅れて追隨する挙動を示した。

ヘプタジェナール濃度の方がウログレナ群体数と比較して実測値と予測値の一致精度が高かった要因は、GCMS による臭気物質濃度の測定値の方が、ヒトが顕微鏡で計数したプランクトン数よりも真値からの誤差が小さい実測値が得られ、時系列傾向が類似したクラスターからの予測が正確になり易かったものと考えられる。最大値付近において、ヘプタジェナール濃度の予測値と実測値との乖離が大きかった要因としては、令和 5 年度は令和元年以降のデータに類をみない大きな変動が観測されたため、予測が困難であった可能性がある。また、臭気物質が低濃度域で推移した後を上昇する立ち上がり局面は、類似クラスターからの予測が困難であったと考えられる。

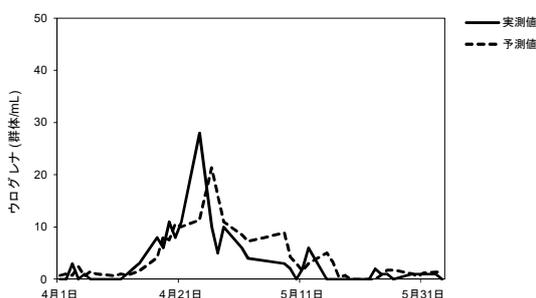


図 2(a). 令和 5 年度のウログレナ群体数の
実測値(実線)及び最近隣法による予測値 (破線)

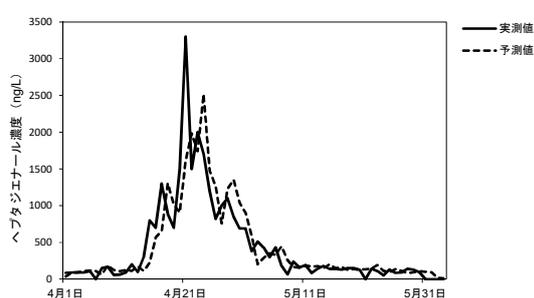


図 2(b). 令和 5 年度のヘプタジェナール濃度の
実測値(実線)及び最近隣法による予測値 (破線)

4. 令和 5 年度春季における 2-MIB 濃度と夏季におけるジェオスミン濃度の実測値と予測値

令和元年以降のかび臭の原因物質である 2-MIB 及びジェオスミン濃度の蓄積データを基に令和 5 年度春季における 2-MIB 濃度と夏季におけるジェオスミン濃度の予測値を算出し、実測値と予測値の推移を図 3(a), (b) にそれぞれ示した。2-MIB 及びジェオスミン濃度は GCMS により測定した。

図 3 より、2-MIB 及びジェオスミン濃度の実測値 (実線) 及び予測値 (破線) の推移を比較すると、概ね実測値の推移に近い予測値の推移を示した。一方で、ジェオスミン濃度については実測値のアップダウンが急激な最大値付近においては、グラフ全体の中で比較的乖離が大きかった。また、予測値は概ね実測値の立ち上がりに遅れて追隨する挙動を示した。

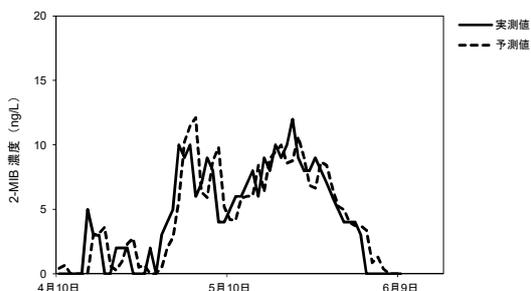


図 3(a). 令和 5 年度の 2-MIB の実測値 (実線)
及び最近隣法による予測値 (破線)

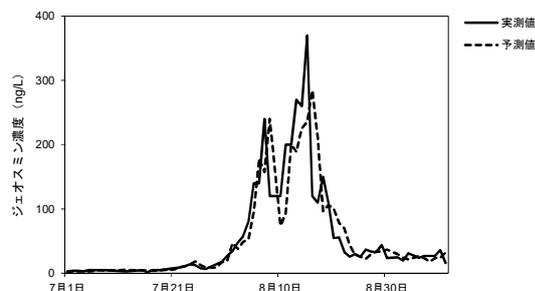


図 3(b). 令和 5 年度のジェオスミン濃度の実測値 (実線)
及び最近隣法による予測値 (破線)

最大値付近において、ジェオスミン濃度の予測値と実測値との乖離が大きかった要因としては、令和5年度は令和元年以降のデータに類をみない値が観測されたため、予測が困難であった可能性がある。また、臭気物質が低濃度域で推移した後に上昇する立ち上がり局面は、類似クラスターからの予測が困難であったと考えられる。

5. まとめと今後の展開

最近隣法を用いて、原水臭気物質濃度及びプランクトンの動向を予測した。その結果、生ぐさ臭の原因生物であるウログレナの予測値は実測値と乖離が大きかったものの、ヘプタジェナール、2-MIB 及びジェオスミンの各臭気物質濃度において、概ね実測値の推移に近い予測値の推移を示した。一方で、ヘプタジェナール及びジェオスミンについては、実測値のアップダウンが急激な最大値付近においては、グラフ全体の中で比較的乖離が大きい結果となった。また、予測値は概ね実測値の立ち上がりに遅れて追従する挙動を示した。

課題として、最近隣法の特性上、過去に事例のない変動については予測が出来ないこと、増減の無い数値が続いた場合には変化する局面の予測が困難であることが挙げられる。今後は、これらの課題の改善に向けて最近隣法の算出に用いるデータ数及び採用期数の見直しや、最近隣法による予測モデルを基礎式として、水温、天候、生物数、発生期間、河川放流量等といった補正項を加えた算出方法についても検討し、精度を上げる必要がある。

6. 参考文献

- 1) 村木, 高野, 「空間を考慮した最近隣法による渋滞予測システムの開発」, 全国大会講演論文集, 70, 207-208 (2008).
- 2) 上田, データマイニング実践集, 共立出版, (1999).
- 3) 山本, 野口, 岩谷, 藤原, 「近年のかび臭発生状況とその対応」, 令和5年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 212-213(2023).

7. 謝辞

本研究の遂行に当たり、ご指導いただきました滋賀県琵琶湖環境科学研究センター藤原直樹様に深謝致します。

広域連携事業における水道水中の異物分析受託事例

京都市上下水道局 ○中嶋 紀彰 猪飼 正和
野口 暁生 中西 正博
伊藤 優一

1 はじめに

厚生労働省は、人口減少に伴う水需要の減少、水道施設の老朽化、深刻化する人材不足等の水道事業の直面する課題に対応し、水道の基盤強化を図るため、平成 30 年 12 月に水道法を改正した。本改正では、都道府県に対して水道事業者等の広域的な連携の推進役としての責務が規定されるとともに、広域連携や官民連携の推進などが盛り込まれたところである。

一方、京都府では、平成 30 年 11 月に策定した「京都水道グランドデザイン」において、法改正に先立ち広域化・広域連携の検討に取り組む方針を示している。その方針を踏まえ、この間、当局では府内水道事業者との間で広域連携の取組の検討を進めてきており、その一つとして令和 4 年 4 月から京都府内市町村を対象とした水道水中の異物分析の受託を開始したので、その経緯と事例について報告する。

2 受託開始までの経緯

(1) 実現可能な広域連携の取組事項の検討

当局では、これまでから「共同研修」や「災害時の相互応援」などの広域連携の取組を実施するとともに、広域化・広域連携の在り方についても検討を行っている。

しかしながら、当局は京都府内最大の事業者であり、他の府内水道事業体との事業規模が大きく異なるため、ニーズが異なる他、水道料金水準の違い等、解決すべき課題が多い状況となっている。そのような中、府内水道事業体からのニーズも高く、当局において実現が可能である「水道水中の異物分析の受託」について具体的な検討を進めてきた。

(2) 異物分析の意義

水道施設、水道管路、宅内配管などに使用される材料が経年劣化で剥離し、給水栓から出た水道水の中に、鉄サビ、砂、樹脂材、ゴム材のかけらといった異物が含まれることは、お客様の水道水質への不安や苦情につながる原因の一つとなっている。そのため、これら異物の組成や材質を詳細に分析することで、人体への影響の有無や、その由来、混入箇所の判明につながることから、異物分析により異物を判別することは問題を解決するうえで非常に重要である。なお、本市では過去から年間 15 件程度の異物分析を実施しており、知見等を積み重ねてきた。

(3) 異物分析受託の実現可能性について

まず、受託実施に当たっての当局の負担を検討した。一般的に水質検査を受託する場合には、検査項目ごとに採水法、採水容器、採水から分析までの時間に制限がある等、受入側だけでなく委託側にも労力や技術力が必要となる。一方、異物分析の場合は採水から分析までの時間制限がないことに加え、温度管理も不要であり、検体の運搬・搬送が容易であることや、採水法や採水容器、採水量についても制限がなく、採水にも特別な技術力を要しない。そのため、受入側だけでなく委託側の負担も少ない異物検査は、京都府内全域を対象として実施が可能であると考えた。

次に、異物検査についての府内水道事業体のニーズを調査した。府内水道事業体に対し、異物分析の依頼希望についてアンケートを実施したところ23事業体から回答があった。(図1)

結果は、9事業体からは「依頼したい」というニーズが確認でき、その理由としては知見やノウハウ、検査結果への信頼性が挙げられた。また、「どちらともいえない」を選択した事業体においては、異物の発生件数が少ない

ことや、検体回収や分析後の対応方法の提案まで含むなら委託したいとの意見があった。給水栓から出た水道水に異物が含まれる場合、異物の判定、安全性の確認、お客様への説明、異物流出の解消までの一連の対応が必要となる。水道水中の異物分析を取り扱っている民間の検査業者もあるが、水道事業体ではないため一連の対応はしていない。一方で、当局においては水道事業体としてこれまでも一連の対応を実施してきており、蓄積してきた様々な知見を活用できることから、「依頼したい」と考えている府内事業体のニーズに応えることが可能であると考えた。

以上の検討・調査の結果を踏まえ、府内水道事業体を対象とした異物検査の受託については実現可能性が高いと判断できたことから、受託開始に向けて準備を進めることとした。

(4) 実施フロー・分析費用の検討

異物検査の受託に関しては、手続きが煩雑になると、受託実施の支障となるため、委託側と受託側両者の負担が少なくなるよう可能な限りシンプルな実施フローを検討した。(図2)

また、分析費用については、顕微鏡フーリエ変換赤外分光装置 (FT-IR) や走査型電子顕微鏡 (蛍光 X 線分析) により分析することを前提とし、当局における積算価格 (20,600 円/1 検体) と市内における各民間業者の異物分析費用 (20,000 円以上/1 検体) を踏まえて、20,000 円/1 検体 (税抜) として設定した。

3 異物分析に使用する機器について

当局では、異物分析に以下の機器を使用している。

- ・電子顕微鏡 TM4000Plus 及び X 線分析装置 AZtecOne (日立ハイテック社製)
- ・FT-IR 分光光度計 Nicolet iS20 及び赤外顕微鏡 Nicolet iN5 (Thermo Scientific 製)

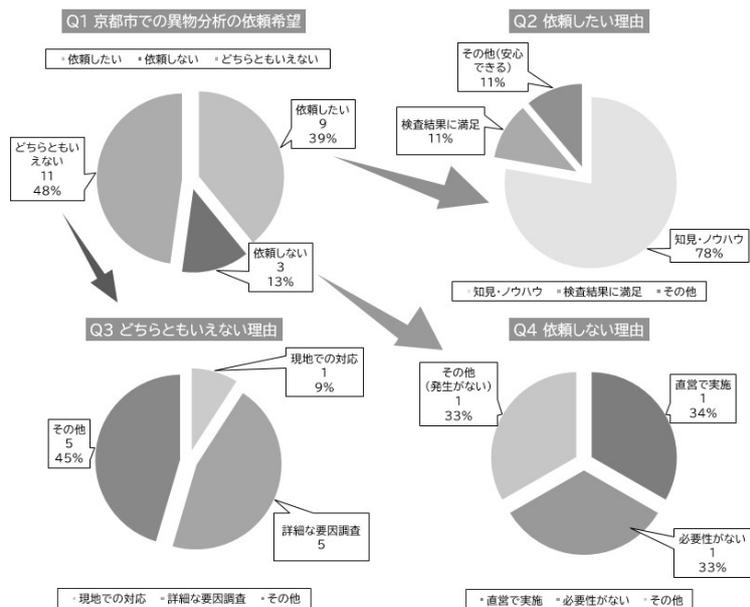


図1. 異物分析の依頼希望アンケート集計結果

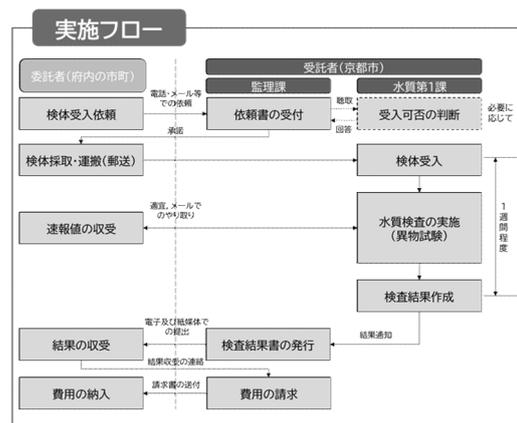


図2. 異物分析受託の実施フロー

4 異物分析の受託事例

令和4年4月より受託を開始し、現在までに2件の依頼があったので、以下に報告する。

(1) 1例目

水道事業体Aにおいては、新管敷設後に開設された公共施設内での水道水から異物が検出された。そのため、水道管内の水の入換えを行ったが、異物を除去できなかったことから、給水を停止し、異物について分析を行うこととした。当初は民間への委託も検討したが、民間業者では分析に時間を要する(2~3週間)とのことから、短時間で分析が可能な当局に依頼があった。図3に異物の電子顕微鏡像、表1にX線分析による元素分析と元素ごとの重量比率を示す。

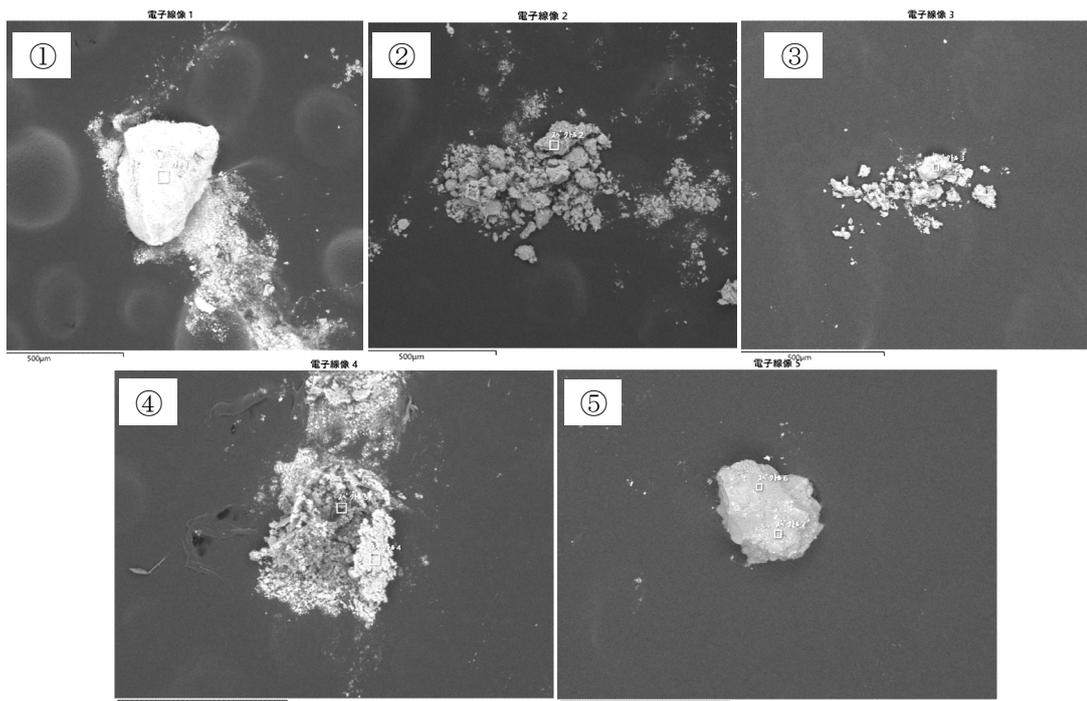


図3. 異物の電子顕微鏡像
表1. 異物に含まれる元素の重量比率

	① 黄褐色	② 白~黄	③ 白~黄	④ 赤褐色	⑤ 白
O	60.72	41.6	55.27	10.98	41.64
Al	6.53	11.52	3.52	-	-
Si	17.25	25.39	39.3	3.56	58.36
K	5.25	2.41	-	-	-
Ca	-	-	-	1.21	-
Fe	10.25	19.08	1.91	84.25	-

測定した異物からは、けい素(Si)と鉄(Fe)が多く検出された。けい素(Si)を主成分とする異物は、水道管工事などで管内に混入してしまった砂やコンクリート片もしくは配管内面のモルタルライニングがはく離したものの、鉄を主成分としている異物は鋳鉄管由来の鉄錆の破片だと考えられた。この分析結果を検体受入から4日目に依頼者へと報告した。

また、その翌日に、施設側への説明についての助言を依頼者より求められたため、「鉄錆、砂、コンクリート片等は体内に入ってもそのまま排出されるので、健康に影響はない。給水栓に浄水器などのフィルターを設置することで除去可能である」という所見を追加で報告した。この結果を以て、検体受入から6日目に施設への給水を再開することとなったと連絡を受けた。

(2) 2 例目

水道事業者 B において、お客様宅の給水栓から異物(黒色と白色の小さな異物)が多数検出されたため、異物検査を行うこととし、当局 Web サイトの異物分析受託のページを閲覧して、当局へ依頼された。図 4 に異物の電子顕微鏡像、表 2 に分析による重量比率、図 5 に白色異物の FT-IR 像、図 6 に白色異物の赤外スペクトルを示す。



図 4. 異物の電子顕微鏡像

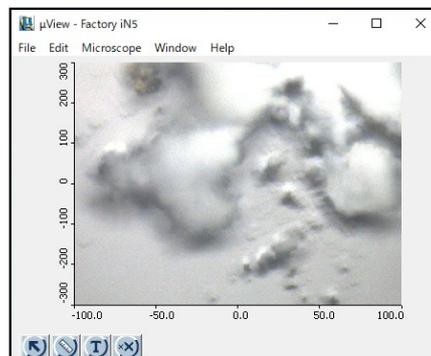


図 5. ②白色異物の FT-IR 像

表 2. 異物に含まれる元素の重量比率

	① 黒色	② 白色
O	28.65	40.72
C	67.93	36.89
Mg	-	9.64
Al	0.54	-
Si	-	12.75
S	0.99	-
Cl	1.33	-
Ca	0.56	-

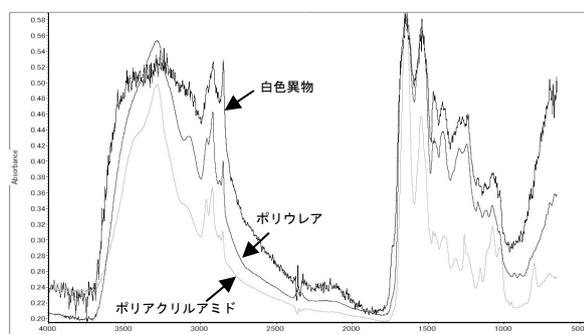


図 6. ②白色異物の FT-IR 分析による赤外スペクトル

元素の重量比率の測定結果からは、黒色異物、白色異物両方とも炭素(C)が多く検出され、有機物を主成分としていることが推測された。黒色異物においては硫黄(S)が約 1%検出されており、ゴム系材料が弾性や耐熱性を付与するために加硫されていることを踏まえると、水道管に使用されるパッキン等のゴム材の欠片の可能性が高いと考えられた。一方、白色異物は他に手がかりがなかったため、FT-IR により分析したところ、ポリウレア系の樹脂によく似たスペクトルを示した。ポリウレアは施設の防水剤や配水管のライニング材として使用されることがあるため、白色異物はお客様宅周辺の経年劣化した配水池壁面もしくは配水管由来であると考えられた。

これらの分析結果を 8 日目に依頼者へ報告するとともに、黒色異物、白色異物ともに飲用しても健康に影響はない旨を伝えた。また、依頼者からはお客様宅付近に老朽管や水道管工事を行っている箇所はないとの情報を得たため、遠方から流れてきている可能性も考慮し、付近の消火栓で異物の有無を確認し、異物が出るエリアの確定を行うこと、定期的な洗管放水で流しきることを提案する等、異物の解消に向けての助言を行った。

5 おわりに

広域連携の取組の 1 つとして、令和 4 年度から開始した水道水中の異物分析の受託について、事例を紹介した。異物分析結果は問題解決の判断に使われるため、迅速かつ正確な結果報告が求められることから、今後も引き続き、分析用ライブラリの充実や、知見の集積をさらに進めることで、他水道事業者のニーズに応え続けられる体制の確立を目指す。

大阪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（Ⅱ）

大阪市水道局 ○今村康夫
今中壮一

1. はじめに

本市では、トリハロメタン低減やかび臭原因物質除去を主な目的として、平成4年度を初年度とする高度浄水施設整備事業により、従来の浄水処理フローにオゾン-粒状活性炭処理設備を増設した高度浄水処理の導入を進め、平成12年3月には市内全域に高度浄水処理が通水されるようになった。高度浄水処理の導入によって水中に含まれる有機物が低減されたことにより、当初の想定対象ではなかったホルムアルデヒドのような消毒副生成物の低減効果も得られている。

本報では、高度浄水処理導入による水質改善効果に加え、前報¹⁾において評価対象となっていなかったトリハロメタン、ホルムアルデヒド、抱水クロラール、TOXを対象に、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とりまとめた。

2. 調査方法等

2.1 大阪市の浄水処理フロー

本市では、原水水質悪化対策として中間塩素処理を導入した後、かび臭やトリハロメタンの低減化を主な目的として図-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た高度浄水処理を導入している。

中オゾン処理はMn²⁺の酸化や一部有機物の易生物分解性への改質、後オゾン処理はかび臭原因物質の分解や有機物の易生物分解性への改質、後生動物の不活化が主な役割である。

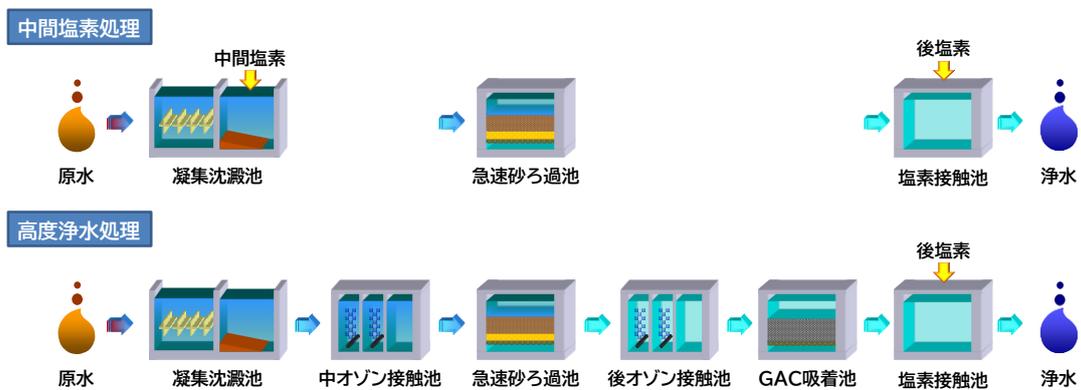


図-1 中間塩素処理と高度浄水処理の浄水処理フロー

2.2 調査対象試料

柴島系統において下系のみ高度浄水処理が導入されていた平成10年度から平成11年度において、高度浄水処理水である下系浄水と、中間塩素処理水である上系浄水の消毒副生成物の測定を行い、両者を比較することで高度浄水処理の導入効果を検証した。

トリハロメタン、ホルムアルデヒド、抱水クロラール、TOXの各生成能は、柴島浄水場3系の高度浄水処理過程を対象に、平成12年度から平成18年度にかけて前報¹⁾に示す方法で測定を行った。

2.3 TOXへの寄与率算出方法

式(1)に示す塩素換算係数を物質の生成能に乗じることで塩素換算した値を求め、TOXへの各物質の寄与率を算出した。

$$\text{塩素換算係数} = 35.5 \times (\text{物質中のハロゲン数}) / (\text{物質の分子量}) \dots (1)$$

3. 調査結果

3.1 高度浄水処理の導入効果

中間塩素処理水と高度浄水処理水の消毒副生成物の平均濃度及び高度浄水処理導入による濃度の低減率を表-1に示す。

高度浄水処理導入の目的であったトリハロメタン濃度が約80%低減されていることに加え、他の消毒副生成物についても80%以上の除去性が得られており、令和5年4月1日現在の水質基準値及び暫定目標値の1/30以下の濃度まで低減されており、大きな水質改善効果が得られていることがわかった。

表-1 中間塩素処理と高度浄水処理の比較

	中間塩素処理 (μg/L)	高度浄水処理 (μg/L)	低減率 (%)
トリハロメタン	19.5	4.0	79.5
ホルムアルデヒド	5.3	0.8	84.9
抱水クロラール	3.5	0.6	82.9
ジクロロ酢酸	4.9	0.8	83.7
トリクロロ酢酸	5.3	0.5	90.6
ジクロロアセトニトリル	1.7	0.2	88.2

※ 平成10年度～平成11年度の平均値

中間塩素処理：柴島上系浄水、高度浄水処理：柴島下系浄水

3.2 高度浄水処理における挙動

1) 総トリハロメタン生成能

浄水処理過程における総トリハロメタン生成能の平均値を成分毎に積算して示した結果を図-2に、各処理過程における総トリハロメタン生成能の構成割合を図-3に示す。

原水中の生成能平均値はクロロホルム21.1 μg/L、ブromoジクロロメタン11.2 μg/L、ジブromoクロロメタン3.7 μg/L、ブromoホルム0.4 μg/Lであり、処理が後段に進むにつれて総トリハロメタン生成能は低減し、GAC処理水では原水中の約7割が除去されていた。各成分生成能の除去性能は、クロロホルムが最も高く、次いでブromoジクロロメタンであったが、ジブromoクロロメタンやブromoホルムについてはほぼ除去されなかった。また、各処理過程における構成割合は、原水ではクロロホルムが最も高い値を示したが、凝集沈澱池以降ではクロロホルムの割合が低くなり、臭素系成分の割合が高くなる傾向を示した。

臭化物イオン共存下でのトリハロメタン生成反応について、トリハロメタン前駆物質との反応速度は、次亜塩素酸よりも次亜臭素酸の方が速く、反応初期に次亜臭素酸と反応するため、前駆物質が減少した場合には、塩素系生成の生成量が顕著に低下するが臭素系成分の生成量は大きく変わらないことをSymonsら³⁾は報告している。このことから、トリハロメタン前駆物質が除去されることで、塩素系成分の生成量が減少する一方、臭素系成分の生成量は大きく変化しないために、処理が後段に進むにつれ臭素系成分の割合が高くなったものと推測された。

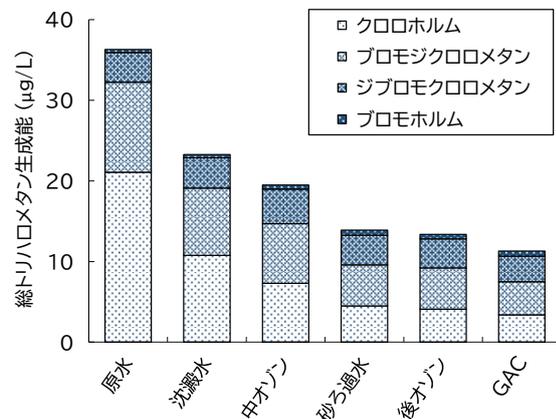


図-2 浄水処理過程における総トリハロメタン生成能の推移

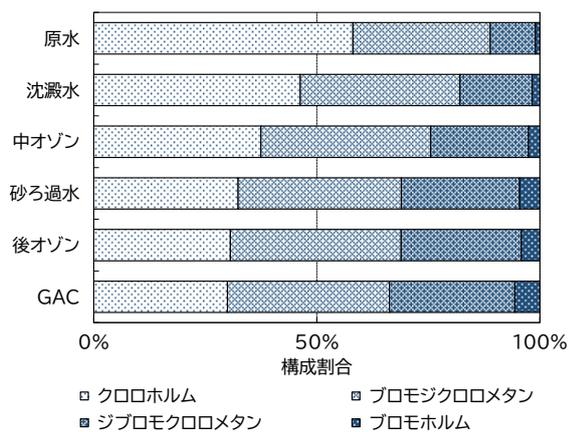


図-3 総トリハロメタン生成能の構成割合

2) ホルムアルデヒド生成能

浄水処理過程におけるホルムアルデヒド生成能の推移を図-4に示す。

ホルムアルデヒド生成能については、総トリハロメタン生成能とは異なり、オゾン処理によって増加するが、後段の急速砂ろ過処理及びGAC処理で生成能が低減する傾向が確認された。

住友ら⁴⁾は、ホルムアルデヒドは親水性であるためにGACによる吸着効果は小さく、GACもしくは砂ろ過を担体とした生物分解によるものが主な除去機構であるとしており、著者ら²⁾も、GACのヨウ素吸着性能とホルムアルデヒド生成能の除去性には相関はなく、ヨウ素吸着性能の値によらず一定の除去率を示すことを確認していることから、急速砂ろ過池およびGAC吸着池におけるホルムアルデヒドの除去は、生物分解作用に起因しているものと推定された。

本調査で示したホルムアルデヒド生成能の結果は、塩素添加24時間後に脱塩した試料中のホルムアルデヒド濃度となっているが、オゾン処理によってホルムアルデヒドは生成されることから、塩素未添加のオゾン処理水のホルムアルデヒド濃度を別途測定したところ、沈澱水生成能よりも中オゾン処理水が高く、砂ろ過水生成能よりも後オゾン処理水が高くなった。このことから、オゾン処理によって水中に含まれる有機物の低分子化が起こること、ホルムアルデヒド前駆物質が新たに生成されると推測された。

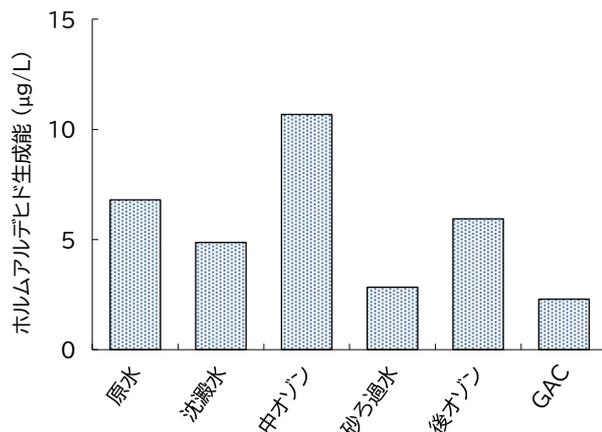


図-4 浄水処理過程におけるホルムアルデヒド生成能の推移

3) 抱水クロラール生成能

浄水処理過程における抱水クロラール生成能の推移を図-5に示す。

抱水クロラール生成能についても、ホルムアルデヒドと同様に、オゾン処理によって生成能が増加した後、後段の急速砂ろ過処理やGAC処理で低減する傾向を示した。GAC更新後の新炭時と比較すると、経年使用により除去性は低下するものの、更新直前であっても一定の除去率を示すことから、生成能の低減に生物活性が寄与しているものと推定された。

オゾン処理によってホルムアルデヒドそのものが生成されるが、抱水クロラールは塩素が付加したアルデヒド構造を有する化合物であることから、オゾン処理によって抱水クロラールが生成したのではなく、塩素添加により生成能が増加したものと考えられた。また、後オゾン処理による生成能の増加割合は、中オゾン処理と比較すると小さいことが確認された。

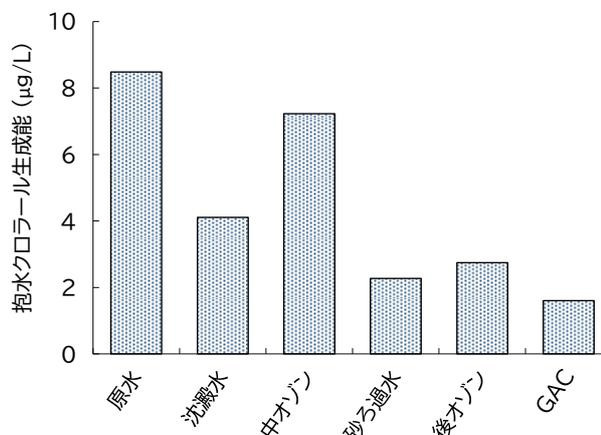


図-5 浄水処理過程における抱水クロラール生成能の推移

4) TOX 生成能

浄水処理過程におけるTOX生成能の平均値を成分毎に積算して示した結果を図-6に、各処理過程におけるTOX生成の構成割合を図-7に示す。なお、TOX生成能からトリハロメタン、ハロ酢酸、抱水クロラール、ハロアセトニトリルの合計を減じた値を「その他」とした。

TOX生成能は、凝集沈澱処理で約4割、中オゾン-砂ろ過処理で約3割、後オゾン-GAC処理で僅かに低減し、最終的にGAC処理水には原水中の約25%のTOX生成能しか残留してお

らず、約 3/4 が高度浄水処理過程で除去されることがわかった。

また、原水から GAC までのどの処理過程においても、4 項目（トリハロメタン生成能、ハロ酢酸生成能、抱水クロラール生成能、ハロアセトニトリル生成能）の構成割合は TOX 生成能の約 1/3 を占めており、残りの約 2/3 が「その他」項目であった。

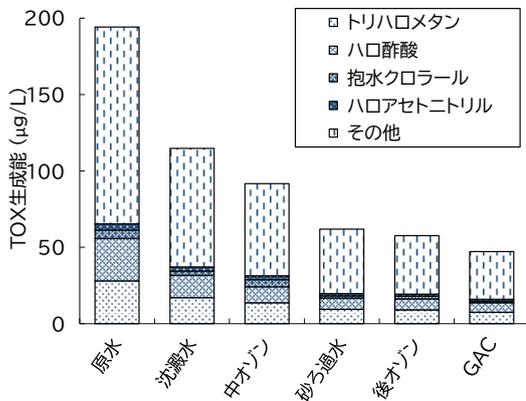


図-6 浄水処理過程における TOX 生成能の推移

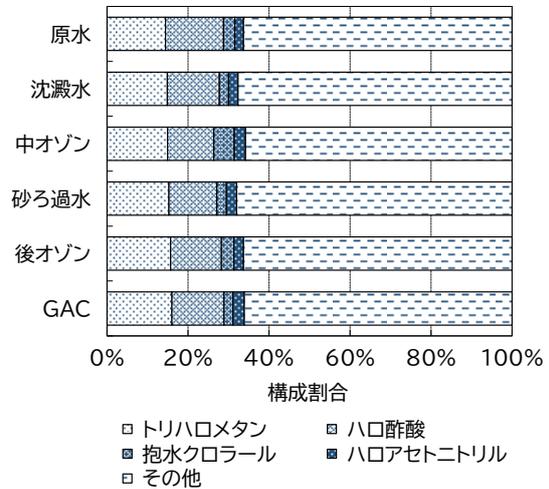


図-7 TOX 生成能の構成割合

4. まとめ

本調査により、次に示す知見が得られた。

- 高度浄水処理の導入により、消毒副生成物の生成量が約 8 割低減され大幅な水質改善効果が得られた。
- 総トリハロメタン生成能は、浄水処理が後段に進むにつれ低減されたが、臭素系成分の割合が高くなる傾向を示した。
- ホルムアルデヒド生成能及び抱水クロラール生成能は、2 段のオゾン処理においていずれも増加したが、後段の急速砂ろ過および GAC 処理において、生物分解によって減少しており、ホルムアルデヒドおよび抱水クロラールの低減化には、オゾン処理後の急速砂ろ過または粒状活性炭処理の必要性が確認できた。
- TOX についても、浄水処理が後段に進むにつれ生成能は低減したが、4 項目（トリハロメタン生成能、ハロ酢酸生成能、抱水クロラール生成能、ハロアセトニトリル生成能）の構成割合はほぼ一定であり、成分不明な「その他」は全体の約 2/3 を占めた。

参考文献

- 今村康夫、今中壯一：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、第 66 回研究発表会概要集、pp. 9-12 (2023)
- 今中壯一、今村康夫、宮田雅典：水処理性能から推定される粒状活性炭の更新基準、令和 2 年度水道研究発表会講演集、pp. 598-599 (2020)
- J. M. Symons, S. W. Krasner, L. A. Simms, M. Scilimenti, "Measurement of THM and Precursor Concentrations Revisited: The Effect of Bromide Ion", Jour. AWWA, Vol. 85, No. 1, pp. 51-62 (1993)
- 住友恒、藤原啓助、側島義久：生物活性炭によるホルムアルデヒドの除去、水道協会雑誌、Vol. 60, No. 9, pp. 2-7 (1991)

水道水質管理における過マンガン酸カリウム消費量測定データの活用

大阪市水道局 ○ 白山 拓実
北本 靖子
森口 泰男

1 はじめに

安全で良質な水道水質を常に確保するためには、そのような水を供給できるシステムを構築維持するとともに、水源から給水栓に至る水道システムを構成する各過程で適切な水質試験を行い、水質管理の状況を日々評価することが重要である。大阪市では、水道法施行規則で義務付けられた水質検査計画のみならず、水源水質の監視や浄水場の水質管理、未規制物質の調査等に係る計画も含めた「大阪市水道・水質管理計画¹⁾」を毎年度策定し、各過程の水質を評価するために必要な水質項目を選定して水質試験を行っているが、過去の試験結果に照らして通常想定されない挙動を示した場合は、ただちに原因を究明し、必要な対応を講じることとしている。

過マンガン酸カリウム消費量（以下、 KMnO_4 消費量）は、上記計画で有機物指標として位置付けている項目であるが、迅速に測定結果が得られるという利点があり、長きにわたって水質管理に使用されてきた指標のため、過去の膨大な測定データと比較し、長期的な動向を検証することができる数少ない項目でもある。そこで、本発表では、原水測定値の長期的な推移、浄水で測定値が想定外の変動をした際に原因や影響を調査した結果等、水道水質管理における KMnO_4 消費量の活用事例を紹介する。

表 1 大阪市の水質管理における主な有機物指標

2 大阪で測定している有機物指標

大阪で測定している有機物指標に係る試験項目の一覧を表 1 に示した。これらの項目の測定は、各過程の水質管理上の目的に応じて、採水地点や頻度を決定している。

有機物指標に関する水質基準項目は、平成 16 年度に KMnO_4 消費量から全有機炭素（以下、TOC）に変更された。しかし、様々な場面において迅速に水質の確認ができることや、過去 120 年以上の長期間にわたる水質変化を追跡できることから、現在も測定を継続している。

有機物指標（略称等）	測定頻度	得られる情報
全有機炭素 (TOC)	平日1日1回	水中に存在する有機物の量
溶解性有機炭素 (DOC)	平日1日1回	水中に存在する有機物の量 (溶解性のみ)
過マンガン酸カリウム消費量 (KMnO_4 消費量)	1日1回	水中に存在する有機物の量 ※TOCとほぼ同等とされる
生物化学的酸素要求量 (BOD)	月1回	生物に分解されやすい有機物の量
紫外線吸光度 (UV)	平日1日1回	消毒副生成物の前駆物質
蛍光強度	平日1日1回	消毒副生成物の前駆物質

3 原水水質の長期的推移

明治 33 年(1900 年)以降の柴島浄水場原水における KMnO_4 消費量の推移を図 1 に示した¹⁾。 KMnO_4 消費量は、昭和 30 年代から 40 年代にかけて、工業化や人口増加といった高度経済成長の影響により、大きく上昇したものの、昭和 40 年代後半以降は排水規制の強化等による下水道の普及やその処理能力の高度化によって、低下傾向が続いてきた。

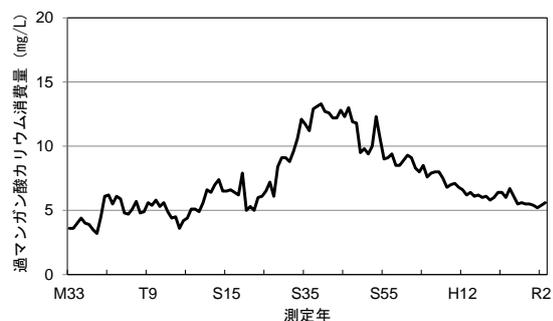


図 1 柴島浄水場原水における KMnO_4 消費量の推移

4 原水水質変動時における浄水水質への影響

4.1 浄水におけるKMnO₄消費量の上昇

図2に、柴島浄水場下系原水及び浄水におけるKMnO₄消費量の測定結果（令和4年6～7月）を示した。6月初旬から浄水の測定値が高めに推移し、24日には1.6 mg/Lとなった。原水が前日の23日に12.4 mg/Lと高値を示したことに由来していると考えられた。

図3に高度浄水処理の稼働後、平成10年4月1日から令和5年3月31日の柴島浄水場下系浄水におけるKMnO₄消費量の測定結果をヒストグラムで示した。この図から、浄水処理が通常通りに行われた場合の柴島下系浄水のKMnO₄消費量は、おおよそ0.7から1.2 mg/L程度の範囲内に収まるものと予想され、令和4年6月24日の測定値1.6 mg/Lは、最大値ではないもののかなりの高値であるといえる。

以上の結果をふまえ、浄水のKMnO₄消費量が高値となった原因について、当時の浄水処理状況や原水及び水源の水質状況を調査、考察した。

4.1.1 浄水処理の状況

図4(1)及び(2)に、6月17日から28日の期間における柴島浄水場下系の中オゾンと後オゾンの注入率、接触池と注入井における塩素注入率をそれぞれ示した。これらの結果から、後オゾン注入率及び接触池の塩素注入率に上昇傾向が認められ、浄水処理過程において有機物量が通常よりも上昇傾向にあったものと推定された。

4.1.2 他の有機物指標の傾向

図5に、令和4年6～7月における柴島浄水場下系原水及び浄水の紫外線吸光度(以下、UV)を示した。これらの結果から、KMnO₄消費量と同様、原水において6月23日にUVが最高値を示していたことがわかった。なお、他の有機物指標であるTOCや蛍光強度も調べたが、いずれも同様の傾向を示していたことを確認した。

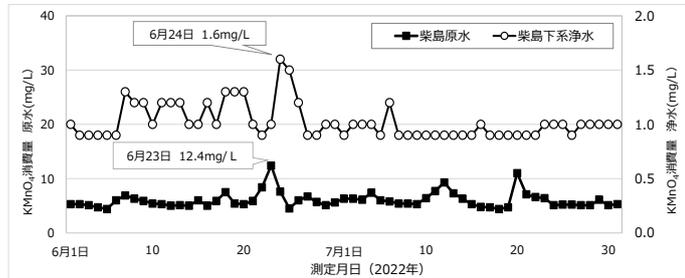


図2 柴島浄水場下系原水及び浄水におけるKMnO₄消費量（令和4年6月から7月）

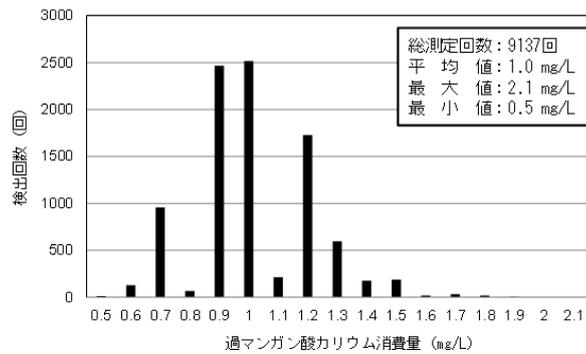


図3 柴島浄水場下系浄水におけるKMnO₄消費量

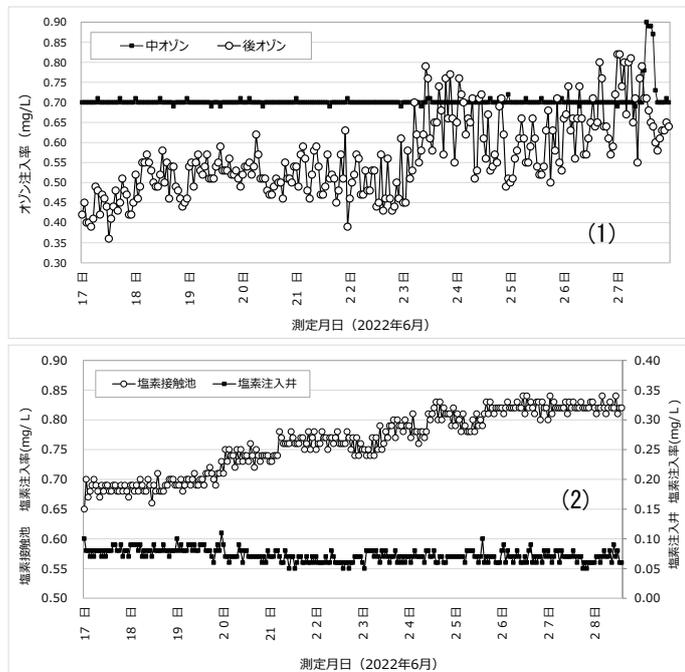


図4 柴島浄水場下系における浄水処理の状況
(1)中オゾン及び後オゾン注入率 (2) 塩素注入率

4.1.3 降雨と水源水質

淀川上流の三川合流地点に設置された宇治川御幸橋、桂川宮前橋の水質観測所で、降雨のあった6月21日から22日にかけて濁度、アンモニア態窒素及び化学的酸素要求量が上昇していたことを国土交通省の水文水質データベース²⁾で確認した。淀川中流域の枚方大橋でも同様の上昇が確認され、下流の柴島浄水場原水で約2日遅れた6月23日に濁度に加えて有機物指標であるTOCやUVが上昇し、浄水処理過程を経て24日に浄水へ影響したものと考えられた。

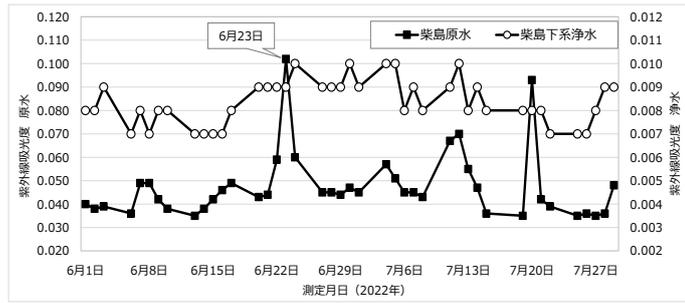


図5 柴島浄水場下系における紫外線吸光度

4.2 浄水におけるKMnO₄消費量の低下

令和5年6月から7月における柴島浄水場下系原水及び浄水の過マンガン酸カリウム消費量を図6に示した。令和4年度の同時期(図2)と異なり、7月10日から19日にかけて、浄水のKMnO₄消費量が0.6 mg/Lから0.7 mg/Lと図3における最低値に近い値で推移した。これらの結果

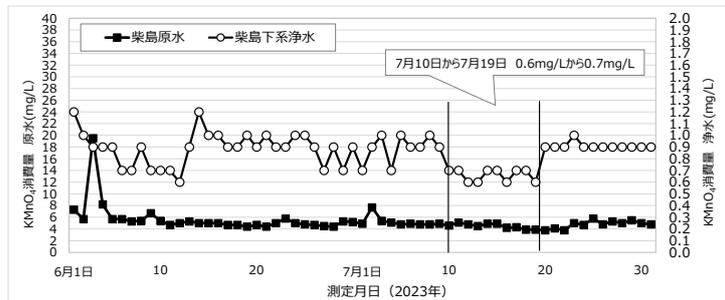


図6 柴島浄水場下系原水及び浄水におけるKMnO₄消費量(令和5年6月から7月)

は、当該期間は降雨が少なく、KMnO₄消費量が低い原水を取水していたためと考えられた。

4.2.1 市内水道水における残留塩素消費量への影響

水道水に対しては塩素消毒が義務付けられており、給水栓における遊離残留塩素濃度(以下、残留塩素濃度)が0.1mg/L以上となるよう定められている。このことを毎日、水質遠隔監視装置(以下、水質TM)による測定結果から確認している。本市では、直圧の末端給水栓水における残留塩素濃度の目標値を0.2mg/Lと定め、残留塩素シミュレーションプログラムを用いて、浄・配水場における塩素注入濃度を設定している³⁾。

令和5年7月18日の直送末端の水質TMにおける遊離残留塩素濃度の実測値と計算値を図7に示した。全ての配水系統で、実測値が計算値よりも高くなっていることがわかる。この現象は、7月10日から19日の期間に顕著に現れたことから、残留塩素シミュレーションプログラム式に用いる流達時間や水温の変数ではなく、浄水の有機物量の減少が影響したことが示唆された。

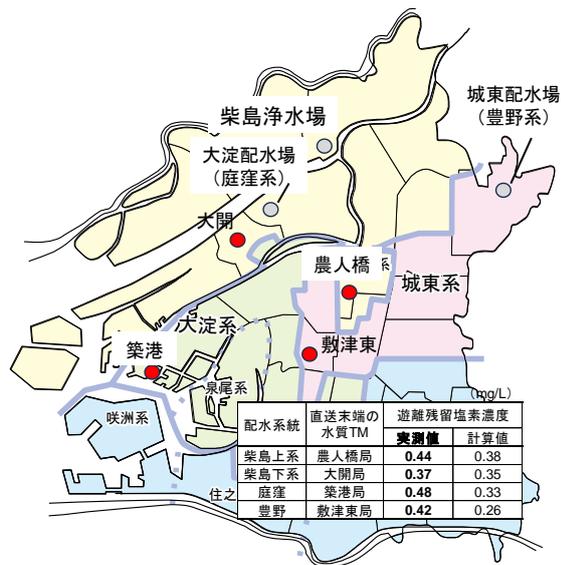


図7 浄水有機物量の低下が配水過程における残留塩素濃度の消費に与える影響(令和5年7月18日)

5 水質異常や問い合わせにおける活用

お客さまからの水道水質に関する問い合わせや水質異常発生時においても、 KMnO_4 消費量を迅速に水質の違いを把握できる指標として用いている。一例として、令和3年度に発生したクロスコネクションの事例における原因者施設内及び近隣使用者の給水栓、ならびに近隣の消火栓の水質試験結果⁴⁾を表2に示した。この水質試験結果をもとに現場の調査を行ったところ、井戸水と上水道の配管が誤って接合されていることが明らかとなった。

表2 クロスコネクション発生事例における初期水質試験結果

	基準値	大阪市における通常時の水質	原因者施設内	近隣使用者	H517消火栓	H52消火栓
採水年月日			R3.10.26	R3.10.26	R3.10.26	R3.10.26
濁度	2度以下	0.5度未満	3.0	2.0	4.0	2.0
色度	5度以下	1度程度	10	4	36	4
臭気	異常でないこと	塩素臭	強塩素臭	強塩素臭	塩素臭	強塩素臭
pH値	5.8~8.6	7.5程度	7.2	7.5	7.7	7.2
総アルカリ度	-	30mg/L程度	157	109	39.8	120
KMnO_4 消費量	10mg/L以下	1.2mg/L程度	8.1	2.9	1.6	5.7
電気伝導率	-	200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度	2270	1416	262	1587
遊離残留塩素	0.1mg/L以上	0.4mg/L程度	12	52	0.78	23
残留塩素	-	-	15	53	0.95	24

6 まとめ

- 1) 大阪市では、原水水質汚染や浄水処理状況の把握、水道水質の確認等を目的として多くの有機物指標項目を測定しており、水道システムの各過程における水質管理に適した採水場所や頻度を設定しているが、 KMnO_4 消費量はいずれの過程においても簡便で迅速な水質管理指標として活用できる。
- 2) 浄水における KMnO_4 消費量の変動は、原水水質の影響、特に降雨による影響を受けていることが多い。浄水有機物量の変動は市内配水過程における残留塩素管理に影響を及ぼしており、 KMnO_4 消費量のモニタリングによりその影響を把握することは重要である。
- 3) クロスコネクションを原因とする水質汚染事故において、迅速に試験結果を得ることができる KMnO_4 消費量は、誤接合箇所の迅速な発見に有効活用することができる。
- 4) KMnO_4 消費量は明治33年から100年以上にわたって測定しており、長期的な水質変動を把握できることに加え、水道水質の異常も迅速に検出できるという利点がある。水質基準項目から水質管理目標設定項目へ変更になって10年以上経過するが、今後も水質管理へ積極的に活用を図っていく。

7 参考文献

- 1) 大阪市水道局：令和5年度大阪市水道・水質管理計画、2023
- 2) 国土交通省：水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) (令和5年9月29日閲覧)
- 3) 瀧上知弘、寺嶋勝彦：配水管内面の塩素消費を考慮した残留塩素濃度管理手法の構築、水道協会雑誌、第74巻、第6号、pp.15-26、2005
- 4) 大阪市水道局：浪速区で発生した水道給水管と地下水給水管のクロスコネクション対応、令和3年度水質試験所調査研究ならびに試験成績、第73集、2021

コロナ禍による大阪市域の水需要構造の変化と残留塩素管理への影響

大阪市水道局 ○ 大坪 章子
柳瀬 剛士
宇都宮 勉
吉村 誠司

1. はじめに

水道法では、水道水の微生物学的安全性を確保するために塩素消毒が義務付けられており、給水栓において遊離残留塩素濃度（以下、残留塩素）が 0.1mg/L 以上となるよう確保することが定められている。本市では、貯水槽を経由した水でも残留塩素が 0.1mg/L を確保できるように直圧の末端給水栓における残留塩素の目標値を 0.2mg/L としており、残留塩素シミュレーションプログラムを用いて浄配水場における塩素注入量を適切に制御することで、市内給水区域の残留塩素の適正化と均一化を図っている。しかしながら、水需要の低下に伴う配水管新設時の計画配水量からの乖離や管網末端で発生する滞留等により、局地的に水質が劣化する懸念があることから、市内全域を対象とする残留塩素の実測調査を平成 30 年度から高水温期に実施しており、得られた結果を残留塩素管理に反映している¹⁾。

令和 2 年に国内で初めて感染が確認された新型コロナウイルス感染症（以下、コロナ禍）では、感染拡大防止の観点から緊急事態宣言が発令され、大規模な都市機能を有する本市では、生活用水量が増加する一方、学校や飲食店等の都市活動用水量が大幅に減少する等、コロナ禍による水需要構造の変化が認められた²⁾。そこで、本研究では、本市が実施している市内全域を対象とした残留塩素実測調査の結果を解析してコロナ禍の影響を評価するとともに、残留塩素連続監視の妥当性についても検証したので報告する。

2. 調査方法

(1) 調査区画

本報告では、平成 30 年度の調査結果¹⁾と比較するため、市内を A～R の 18 区画に分割して調査した。調査地点数は表-1 のとおりであり、L、M、N、O、Q、R の 6 区画については、起点となる 2 次配水場もしくは給水塔において追加塩素注入を実施している。

(2) 調査地点及び期間

残留塩素の調査は、調査区画をさらに細分化した配水支管網ブロックについて 1 か所ずつ選定した消火栓で実施した（計 561 地点）。また、令和 3 年から 5 年の夏期（水温 24～34℃）を調査対象期間として、3 か年をかけて全 561 地点を調査した。

(3) 調査項目

測定項目は、残留塩素、水温及びトリハロメタン（ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン、ブロモホルム、クロロホルム。以下、THMs）とした。残留塩素と水温は、消火栓から採水する際に、ポータブル残留塩素計と水温計を用いて速やかに測定した。THMs は、採水時に塩酸で pH3 程度に調整、アスコルビン酸ナトリウムで脱塩素した後、試料を水質試験所に持ち帰り、電子捕獲型検出器（ECD）付きガスクロマトグラフ分析計を用いて測定した。

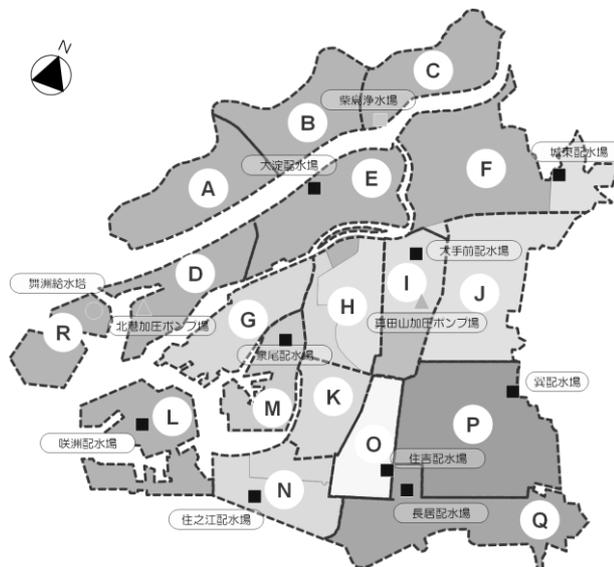


図-1 調査区画

表-1 調査地点数

調査区画	A	B	C	D	E	F	G	H	I
配水系統	柴島系	柴島系	柴島系	柴島系	柴島系	柴島系 豊野系	庭窪系	柴島系 庭窪系 豊野系	柴島系 豊野系
調査地点数	26	37	40	12	56	55	26	63	32
調査年度	R4	R4	R4	R4	R5	R4	R3	R3	R5
調査区画	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
配水系統	豊野系	庭窪系	2次配水系	2次配水系	2次配水系	2次配水系	庭窪系	2次配水系	2次配水系
調査地点数	42	19	12	22	22	13	49	33	2
調査年度	R5	R5	R3	R3	R5	R5	R5	R3	R4

(4) 残留塩素シミュレーション式と流達時間

本市では、市内給水区域の残留塩素管理を適切に行うため、式(1)に示すシミュレーション式を用いている。

$$C = C_0 \exp(-kt) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 C は調査地点における残留塩素、 C_0 は浄水場出口もしくは配水場出口における初期残留塩素、 t は管路を流達する時間である。また、 k は残留塩素に係る減少速度係数であり、過去の測定結果に基づき水温と k の関係式を定めている。本調査では、実測水温に基づき算出した k と残留塩素の実測値 C 及び C_0 を式(1)を変形した次式に代入することにより流達時間 t を算出した。

$$t = -\frac{1}{k} \ln \frac{C}{C_0} \dots \dots \dots (2)$$

なお、初期残留塩素 C_0 は、起点となる浄配水場出口における測定値の日平均値とした。

3. 結果と考察

以下、既報¹⁾による調査(平成30年度)を「コロナ前」、初めての緊急事態宣言発令(令和2年4月7日)から5類感染症移行(令和5年5月8日)までの期間に含まれる令和3年度と令和4年度の調査(表-1のR3とR4が該当)を「コロナ禍」、令和5年度の調査(表-1のR5が該当)を「コロナ後」と表記している。

(1) 残留塩素とTHMsの状況

コロナ禍及びコロナ後の調査における各調査区画の平均残留塩素を図-2に示す。全ての地点で本市の管理目標である0.2mg/L以上の残留塩素を確保できており、塩素の消費量が大きくなる高水温期においても12区画(約67%の調査地点)で本市が定めるおいしい水指標0.2~0.4mg/Lの範囲内に制御できていた。一方、浄配水場に近接するエリアでは、残留塩素が高値となる傾向にあり、特にL調査区画が高かった(0.6~0.8mg/L未満)。当該区画は追加塩素注入を行っている2次配水場の近辺に一部住宅地区があるものの大部分は工業地区であり、配水場から管網末端まで流達する時間が比較的長くなる傾向にあることから、配水場出口の残留塩素を高く制御せざるを得なかったためと考えている。

柴島・庭窪・豊野の各直送系と追加塩素注入を行う2次配水系について、コロナ禍及びコロナ後の残留塩素と総THMsの調査結果を表-2にまとめた。各配水系統の残留塩素平均値と中央値はほぼ同じであり、系統による差は見られなかった。一方、2次配水系の総THMsは、直送系と比べて若干高い傾向を示していた。2次配水場を含む配水過程は流達に長時間を要することとなり、配水過程の途中で追加塩素も注入することから、

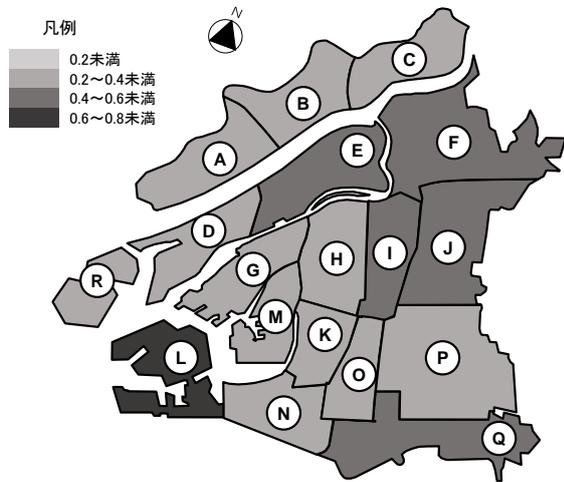


図-2 残留塩素濃度の分布図

表-2 水質調査結果概要

	残留塩素濃度 (mg/L)		総THMs濃度 (µg/L)	
	平均値	中央値	平均値	中央値
柴島系	0.43	0.44	13	12
庭窪系	0.42	0.43	13	13
豊野系	0.45	0.44	13	13
2次配水系	0.43	0.42	18	17

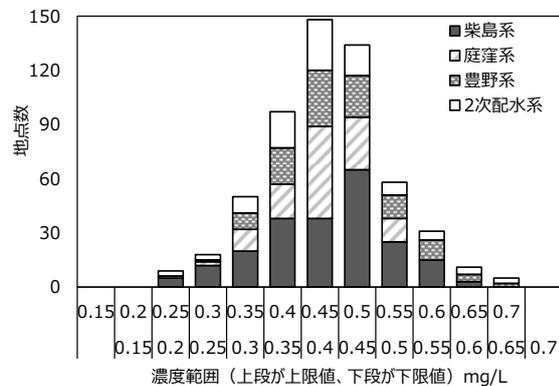


図-3 残留塩素濃度の頻度分布

THMsの生成反応が直送系と比べてより進行するためと考えられる。

図-3は、コロナ禍及びコロナ後の市内全域における残留塩素測定値の頻度分布を示したもので、概ね正規分布に従っており、平均値と中央値はともに0.43mg/Lであった。コロナ前の平均値と中央値はともに0.44mg/Lであったことから¹⁾、コロナ禍に伴う水需要構造の変化は、市域の総体的な残留塩素管理には大きく影響しなかったものと考えられた。

(2) 水質 TM 連続監視への影響

本市では、市域の各調査区画内に水質遠隔監視装置(以下、水質 TM)を設置して残留塩素や濁度等の連続監視を行っており、残留塩素管理に活用している。そこで、コロナ禍において水質 TM の残留塩素測定値が各調査区画の残留塩素分布をどの程度代表していたかについて知るために、水質 TM の日平均値と消火栓実測値を比較した。

図-4はその結果を示したもので、全ての調査区画で水質 TM の日平均値は消火栓実測値の分布範囲内に収まっていた。コロナ前も概ね同様の状況であり¹⁾、コロナ禍は水需要構造に変化をもたらしたものの、水質 TM による残留塩素監視の有効性については同等であったものと評価している。なお、例えば A や D 区画では、消火栓実測値が水質 TM 測定値よりも低値側に分布しているが、両調査区画にはともに工業地区が存在しており、調査実施日が工場や事業所の夏期休業と重なったため、局地的な使用水量の低下につながり、残留塩素の分布に影響を及ぼしたものと考えている。

(3) 流達時間への影響

式(2)により算出した流達時間 t の頻度分布をコロナ前とコロナ禍で比較した結果を図-5、コロナ前とコロナ後で比較した結果を図-6に示す。なお、市内全域を対象とした残留塩素の実測調査は3か年をかけて実施しているため、図-5は平成30年度と令和3~4年度(コロナ禍)に実施した11区画、図-6は平成30年度と令和5年度(コロナ後)に実施した7区画の実測結果に基づき計算した流達時間 t を示した。

図-5(コロナ禍)では、流達時間の平均値と中央値ともに、10~11時間程度とコロナ前と変化がなかったものの、図-6のコロナ後では、コロナ前より流達時間が1~2時間短くなっていた。

(4) 商業地区と住宅地区への影響

コロナ禍が商業地区と住宅地区の水需要に影響したことから、コロナ前とコロナ禍における両地区の残留塩素と流達時間の分布を調べた。商業地区(H区画)と住宅地区(G+M区画)における残留塩素と流達時間の頻度分布を図-7と図-8に、残留塩素と流達時間

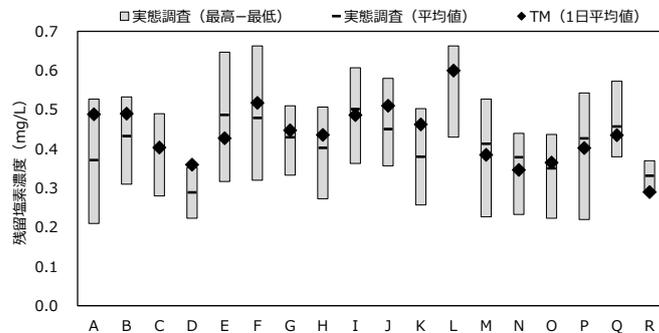


図-4 各区画における水質 TM 測定値と実測値の分布

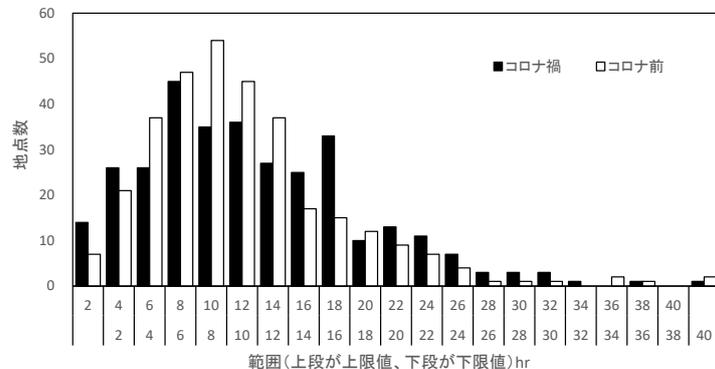


図-5 流達時間の頻度分布(コロナ禍)

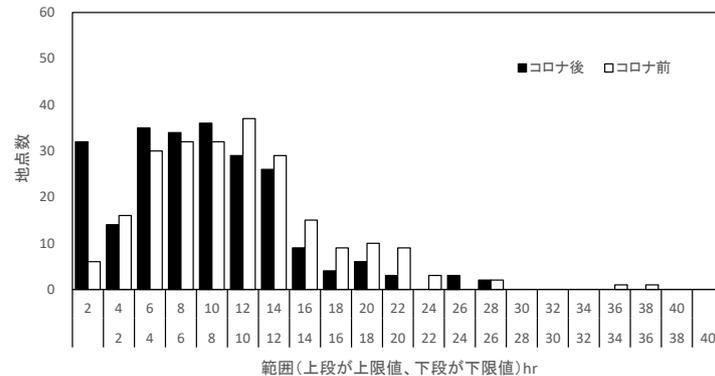


図-6 流達時間の頻度分布(コロナ後)

の平均値と中央値を表-3にまとめた。残留塩素については、平均値と中央値は概ね一致していたが、いずれの地区においてもコロナ前の方がコロナ禍よりも高かった。流達時間については、商業地区ではコロナ禍の方がコロナ前より5時間程度長くなる一方、住宅地区ではコロナ禍の方がコロナ前より1～2時間程度短くなっていた。

なお、市内全域調査は3か年をかけて調査を完了するため、コロナ後におけるH区画の調査は未だ実施されていない。代わりに、同じ商業地区(E区画)におけるコロナ後の調査結果をコロナ前のものと比較したところ、コロナ後の流達時間tはコロナ前に比べて2時間短くなっていた(データ略)。このことから、コロナ禍の商業地区で見られた傾向については、すでに解消されていると考えている。

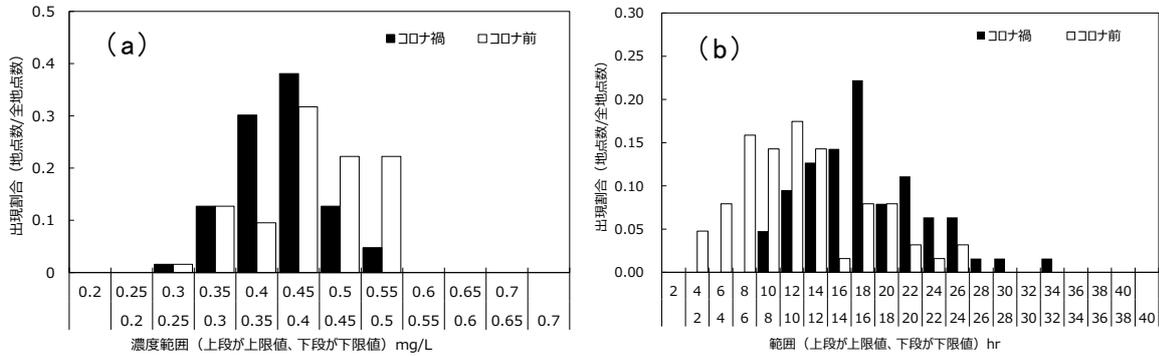


図-7 H区画(商業地区、コロナ禍)における水質調査結果の頻度分布 (a) 残留塩素濃度、(b) 流達時間

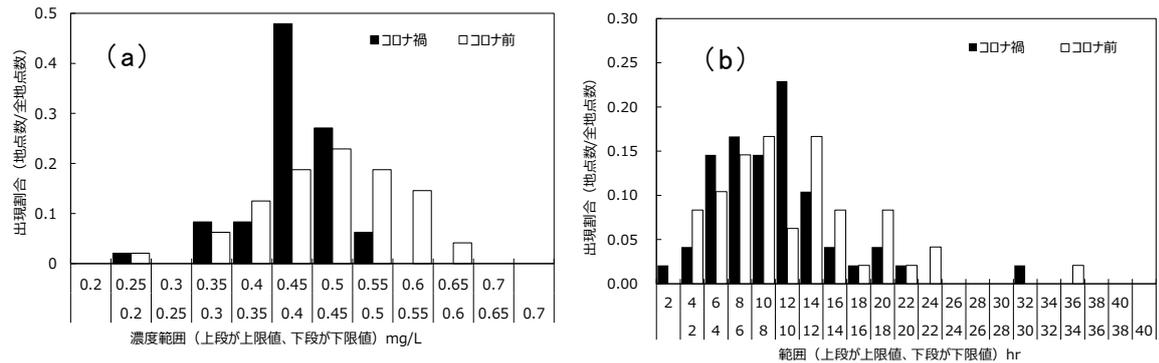


図-8 G+M区画(住宅地区、コロナ禍)における水質調査結果の頻度分布 (a) 残留塩素濃度、(b) 流達時間

4. まとめ

本市では、水温の上昇に伴い残留塩素の消費量が大きくなる夏期に、市内全域の消火栓561か所で実測調査を行っている。調査結果を解析したところ、コロナ禍前後の期間を通じて、全ての調査地点で本市が目標とする0.2mg/L以上の残留塩素が確保されていた。また、水質TMによる残留塩素連続監視の有効性は、コロナ禍前後の期間を通じて確保できていたと評価された。一方、コロナ禍による水需要構造の変化は、商業地区や住宅地区の残留塩素分布に一定の影響を及ぼしていたものと考えられた。

表-3 商業地区と住宅地区の残留塩素と流達時間

	年度	残留塩素濃度 (mg/L)		見かけの流達時間 (hr)	
		平均値	中央値	平均値	中央値
Hブロック (商業地区)	コロナ前	0.44	0.44	12	11
	コロナ禍	0.40	0.40	17	17
G+Mブロック (住宅地区)	コロナ前	0.47	0.48	12	10
	コロナ禍	0.42	0.42	10	9

参考文献

- 1) 小川真穂、吉村誠司、當山裕一、原郁夫、高橋準人：大阪市内一円の配水管路における残留塩素等の水道水質の実態調査結果、日本水道協会関西地方支部第62回研究発表会概要集 pp.147-150 (2019)
- 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 pp.23-32 (2021)

猪名川浄水場における落雷事故対応事例

○久保田 太樹 (阪神水道企業団)

川上 倫弘 (阪神水道企業団)

1 はじめに

近年、地球温暖化の影響によるゲリラ雷雨の増加に伴う落雷が増加傾向にある。阪神水道企業団（以下、「企業団」という。）猪名川浄水場では、避雷針等の設置により、直撃雷による落雷については既に対策を講じている。しかし、誘導雷や逆流雷（雷サージ）の影響と思われる落雷被害の増加に伴い、浄水場設備の故障・停止が発生しており、順次、誘導雷や逆流雷についての落雷対策を検討している。本稿では、令和3年度に発生した落雷事故時の対応と今後の雷害対策方針について報告を行う。

2 猪名川浄水場の施設概要

猪名川浄水場は、尼崎市北東部、大阪国際空港の南西約2kmに位置している企業団の中核浄水場である。昭和38年に一部通水を開始し、昭和46年に給水能力595,000m³/日の施設（Ⅰ・Ⅱ系）として完成した。その後、給水能力321,900m³/日の浄水施設（Ⅲ系）の増設が平成9年7月に完成し、現在916,900m³/日の供給能力を有している。

猪名川浄水場の浄水施設は3系統に分かれており（図-1参照）、Ⅲ系は設計当初より高度浄水施設を導入し建設している。Ⅰ・Ⅱ系浄水施設も既設沈澱池を横流式から傾斜管式に改造することにより確保した用地に高度浄水施設を建設し、平成12年7月から全量高度浄水処理水を供給している。



図-1 猪名川浄水場系統図

3 落雷事故対応事例

1) 被害を受けた設備の概要

令和3年7月14日12時50分頃、猪名川浄水場付近で落雷が発生し、雷サージの影響と思われる事故が場内で発生した。被害状況をまとめたものを以下に示す（表-1、図-2参照）。

管理室で警報表示を確認後、担当職員が、系統毎に分かれて現場確認と復旧対応を行い、各設備の被害報告を元に、業者手配や部品交換などの初期対応を行った。

今回報告する落雷事故では、電力供給会社からの停電・瞬時電圧低下情報は届いておらず、設備影響が、図-2に示すように、主にⅢ系施設に偏って発生していたことから、浄水場南東部に位置する鉄塔への落雷による誘導雷または逆流雷と想定される。

表-1 落雷による被害設備

対象機器	被害概況	
受電設備	受電棟UPS	インバータ給電からバイパス給電に切替
ポンプ設備	送水ポンプ8号	VVVF重故障で停止
	送水ポンプ9号	回転数センサー異常発報（運転は継続）
	送水ポンプ10号	セルビウス重故障で停止
Ⅲ系ろ過池設備	Ⅲ系ろ過池監視操作盤	中央監視制御不可（自動洗浄不可）
薬品注入設備	Ⅲ系後次亜AB、CD列1号	注入不可
Ⅲ系浮上分離設備	Ⅲ系浮上分離	運転不可
Ⅲ系排水池設備	Ⅲ系回収ポンプ	運転不可
計装設備	Ⅲ系送水管圧力計	指示値上昇
中央監視制御装置	受配電監視	電力量、電流値監視不可
火災報知器	Ⅲ系受電棟感知器	誤作動
監視カメラ	構内監視カメラ	カメラ一部故障
電動門	コントローラ	開閉不可
機械警備	受信機	異常表示

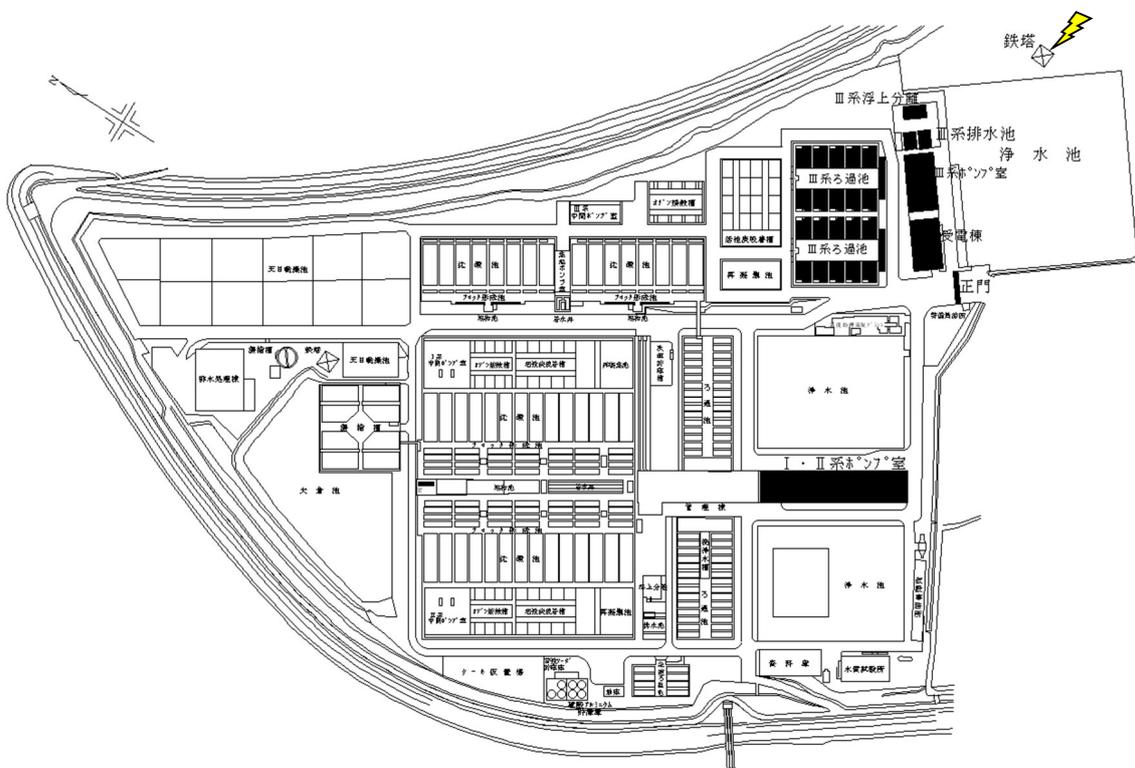


図-2 事故発生位置図（塗りつぶし箇所）

2) 各設備の復旧経過

(1) 受電設備 (UPS)

受配電設備用UPS (単相) は、故障によりインバータ給電からバイパス給電へ無瞬断にて切り換わっていた。UPS 負荷設備を商用電源からのメンテナンスバイパス給電に切替え、翌日に制御基板及びユニットの取替えを行ったが復旧しなかったため、仮設UPSにて仮復旧を行うと同時に、UPS 発注手配を行い、翌年、新設UPS に取替えて本復旧した。

(2) 中央監視制御装置 (受配電監視、帳票)

中央監視制御装置にて、センサー異常を確認した。各電気室電力量及び電流値について、監視及びデータ取り込みが不可になったため、この間、監視強化で対応を行った。計装機器 (AI カード、アイソレータ) の故障については、設備保守業者によって予備品にて取替え修理対応を行ったが、加算器については予備品がなかったため、発注手配を行い、後日、取替え後、本復旧した。

(3) ポンプ設備

表-2に示すように、I、II系ポンプ室とIII系ポンプ室では制御が別となっており、重故障などで運転号機が停止する場合は、同じ定格水量のポンプが自動バックアップにて運転する。

今回、送水ポンプ8号及び送水ポンプ10号が回転数制御装置重故障のため停止したが、各号機とも自動バックアップにより予備機の送水ポンプが起動し要求水量まで復旧した。送水ポンプ9号については、運転を継続していたが、回転数の異常値を検出していたため、予備機であった送水ポンプ7号と掛替を行った。

翌日、送水ポンプ9号は回転数制御装置保守業者による回転数制御装置カードの取替え修理を行い復旧したが、送水ポンプ10号については、不具合機器の納期に半年が必要と報告を受け、再整備品ではあるが予備品として保管していた制御カードを交換し試運転を行った後、予備機扱いとして仮復旧を行った。

表-2 送水ポンプ定格水量

ポンプ室	回転方法	号機	定格水量 (m ³ /h)
I、II系ポンプ室	固定速	2号	2,600
		3号	
		4号	
	可変速	5号	
		6号	
		8号	
III系ポンプ室	可変速	7号	4,500
		9号	5,250
		10号	
		11号	
12号			

(4) III系ろ過池設備

III系ろ過池監視操作盤の警報を確認した。中央監視制御装置との通信不良により、管理室での監視操作が行えない状態となったため、III系ろ過池設備を全池『中央-自動』モードから『現場-手動』モードへ切替え操作し、現場にてろ過通水作業を行った。計装設備保守業者への手配を行い、故障箇所であると思われる基板を予備品と取替えたが復旧しなかった。故障調査を行った結果、通信装置の各種設定データが消去しており、設定データを再インストールしたことにより復旧した。

(5) 薬品注入設備

III系ろ過池に塩素注入をするための次亜注入設備が注入停止した。III系ろ過池設備は2系統に分けて注入を行っているが、雷害により次亜注入設備においては2系統ともコントロール弁及び計算機の基板に損傷があり、自動注入が不可のため、注入機の電動弁、コントロール弁を手動操作で注入を再開した。その後、基板の復旧に伴い、予備機側の自動制御が可能となったため、予備機側に切替え注入した。故障した機器の1台は予備品との取替えにて当日に復旧した。もう1台は、コントロール弁本体の取替えが必要であったため、後日、機材を手配のうえ、取替えて本復旧した。

(6) 計装設備

III系送水管圧力計の指示が0.15MPaから0.3MPaに上昇した。管理室では漏水警報が連続で発報していたが、現場の状況から漏水とは判断せず通常の運用を継続していた。点検の結果、圧力伝送器の故障を確認したため、備蓄していた予備品と交換して仮復旧を行い、後日、新品と取替えた。

3) 今後の雷害対策方針

従来、猪名川浄水場では、建物への直撃雷対策として避雷針の設置、建物間の計装信号線は誘導雷対策としてサージ防護デバイス（以下、「避雷器」という。）の設置を講じている。しかし、建物内の部屋間の計装信号線や機器へ接続している電源線及び逆流雷については対策を講じていなかった。

今後は、避雷器の増設や逆流雷の対策など、過去の落雷実績、接地線の電位調査など専門業者の協力を得ながら令和5年度より対策を講じていく方針である。今回、浄水場南東部に位置している鉄塔からの落雷事故が発生することが把握できたことや、浄水場南東部には受電設備やポンプ設備など重要な設備が多数あることから、Ⅲ系（浄水場南東部）の雷害対策を優先的に実施する。

令和5年度から誘導雷対策として電源線の取替えや機器更新に併せて避雷器設置（図-3、図-4参照）、また、逆流雷対策として、接地間用避雷器の設置（図-5、図-6参照）に着手したところである。



図-3 誘導雷対策（避雷器）

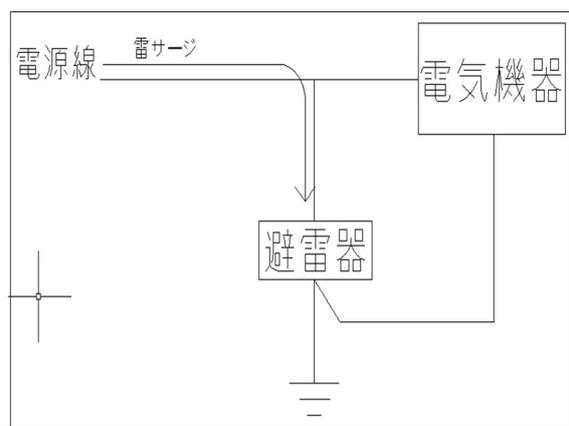


図-4 誘導雷対策イメージ

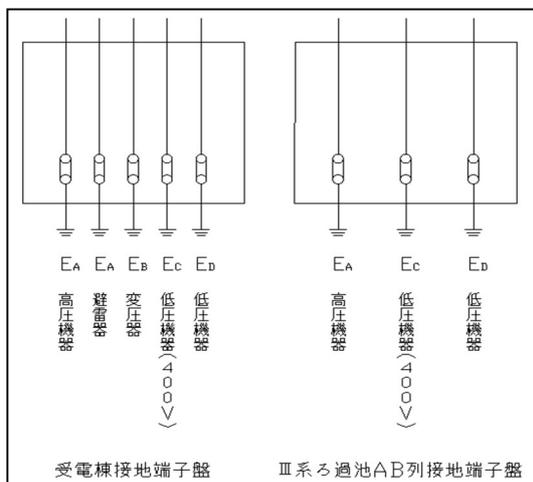


図-5 逆流雷対策前（現状）

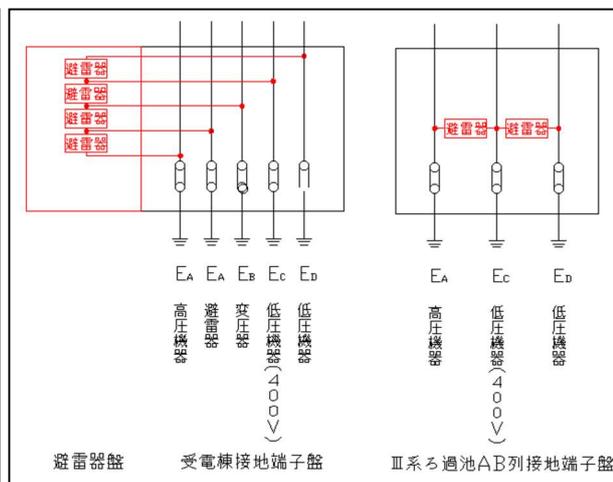


図-6 逆流雷対策後

4 おわりに

今回報告した落雷事故対応事例は、近年、猪名川浄水場で発生した中で、特に影響が大きかった事例を取り上げた。浄水場の事故及び故障は、初期対応が遅れば送配水ポンプ設備や浄水処理設備が機能停止し、社会活動や市民生活に多大な影響を与えてしまう恐れがある。今回は幸い、職員が迅速に各設備の状況の把握を行い、適切な対応を行ったことで影響を最小限にとどめ、設備の早期復旧に繋がったため、社会活動や市民生活に影響を及ぼす大きな事故には至らなかった。今後は、今回発生した事故から対策を行い、事故を未然に防ぐことで、安全な水の安定供給に努めていきたいと考える。

千苺貯水池における急激なジェオスミン増加とその対応事例

神戸市水道局水質試験所 ○小幡 一貴
吉住 昌将
赤瀬 孝也
小田 琢也

1. はじめに

千苺浄水場は兵庫県神戸市にある千苺貯水池を水源とし、神戸市北部に水道水を供給する浄水場である。浄水処理方法は凝集沈殿急速ろ過方式、現状施設能力は日量 108,000 m³で、臭気(以下かび臭と表記)対策として粒状活性炭槽(4槽)を用いている(図1)。

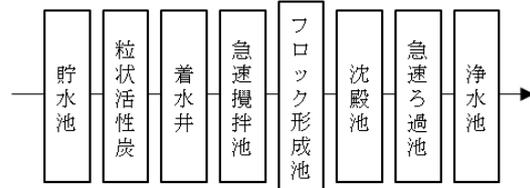


図1 千苺貯水池～浄水場フロー図

水源である千苺貯水池では、毎年かび臭物質を産生する藍藻類が春から秋にかけて増殖し、取水運用[※]や浄水処理の変更などの対応が課題となっていることから、早期に貯水池におけるかび臭産生藍藻類を検出し、対策を適切に行うことが不可欠である。

[※]各取水口は鉛直方向に4尺、12尺の順に8尺(約2.5 m)間隔で93.5尺まで設置されている。

神戸市では週1～2度、貯水池各地点及び浄水場工程水を採水して各種分析を行い、水質のモニタリングを行っている。その中でかび臭濃度の増加や藍藻類の増殖を確認した段階で、藍藻類等の殺藻を目的とした硫酸銅散布の準備を開始し、薬品等の運搬や散布用の配管施工といった準備作業が完了した後、船上からの散布を行っている。

しかしここ数年はかび臭濃度の上昇スピードが急激に増大しており、硫酸銅散布の準備開始から散布実施までの間に想定以上のかび臭濃度の上昇が見られるケースがあり、これまで以上に、取水口高さの変更や浄水場における薬品注入量等の変更など、スピード感を持った対応が必要不可欠となっている。

本稿では、貯水池内のかび臭、特にジェオスミン濃度の急激な増加により浄水処理に苦慮した令和4年7～8月の事例を取り上げ、当時の貯水池・浄水場での対応をまとめるとともに、本事例を教訓とした取組事例も報告する。

2. 令和4年7～8月における貯水池水質の状況

(1) 採水・分析地点

定期的な採水・分析は貯水池及び浄水場のサンプルを対象に行っており、貯水池は上流側から「合流」「郡界」「取水塔前」(図2)、浄水場工程水は「原水」「活性炭処理水(以下AC水と表記)」「浄水」を対象としている。

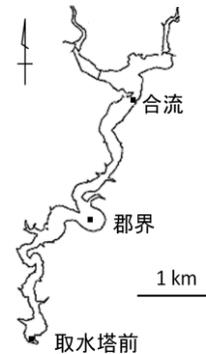


図2 千苺貯水池

(2) ジェオスミン濃度

表1に、7/25～8/22における貯水池・浄水場各地点・水深のジェオスミン濃度の推移を示す(太枠部は取水水深)。貯水池では8/1から各地点でジェオスミンの増加が見られ始め、2週間後の8/15には、最上流の合流表面水(以下0 m水と表記)で1,600 ng/Lとなった。その後8/16, 17で硫酸銅散布を実施し、貯水池内のジェオスミンは減少傾向となった。この間対

策として、随時取水口高さを下方へ変更した。一方浄水場工程水はいずれも 8/15 から増加が見られ、8/18 に原水で最大 39 ng/L、浄水も 8/17 に最大 7 ng/L となったが、取水口高さ変更の対策によりその後は減少傾向となった。

表 1 千苺貯水池・浄水場内のジェオスミン濃度の推移(7/25~8/22、単位：ng/L)

採水月日		7/25	8/1	8/8	8/15	8/17(*2)	8/18	8/19	8/22
貯水池 (*1)	合流 0m	3	8	88	1600	-	-	-	6
	5m	-	3	-	-	-	-	-	10
	郡界 0m	8	31	122	660	-	-	-	8
	5m	-	2	-	-	-	-	-	6
	10m	-	2	-	-	-	-	-	4
	底	-	6	-	-	-	-	-	-
	取水塔前 0m	10	12	50	100	-	-	-	6
	20尺(4 m)	-	5	-	-	-	-	-	7
	28尺(6.5 m)	-	0	-	-	-	-	-	84
	36尺(9 m)	-	1	-	-	-	-	-	28
44尺(11.5 m)	-	0	-	-	-	-	-	13	
52尺(14 m)	-	0	-	-	-	-	-	11	
浄水場	原水	0	1	2	17	29	39	21	12
	AC水	0	0	2	11	31	30	13	7
	浄水	0	0	0	2	7	5	3	2

*1 各地点の水深表記は、水面下の深さを表し、太枠部は取水していた水深を表す。
なお洪水期(5~11月)には水位を1.5 m下げて運用。

*2 8/16, 17で硫酸銅散布を実施。

(3) ジェオスミン産生 *Anabaena*

表 2 に、7/25~8/22 における貯水池・浄水場各地点のジェオスミン産生 *Anabaena* の検出数推移を示す。8/1 から各地点で検出され始め、ジェオスミン濃度が各地点で最大となった 8/15 には、*Anabaena Circinalis* が最大で 190 巻/mL 検出された(合流 0 m)。その後 8/16, 17 に硫酸銅を散布して以降は減少傾向となった。

表 2 千苺貯水池・浄水場における *Anabaena* 検出数の推移(7/25~8/22、単位：巻/mL)

採水月日		7/25		8/1		8/8		8/15		8/22(*2)	
<i>Anabaena</i> (*1)		<i>Cir</i>	<i>Cra</i>								
貯水池	合流 0m	0	0	0	0	21	0	190	0	0.1	0
	郡界 0m	0	0	2	0	18	2	55	4	0.4	0
	取水塔前 0m	0	0	0	0	3	1	5	0	0.2	0
浄水場	原水	0	0	1	0	0	0	0	0	0.8	0

*1 *Cir*:*Anabaena Circinalis*, *Cra*:*Anabaena Crassa*

*2 8/16, 17で硫酸銅散布を実施。

(4) 浄水場での対応

表 1 に示す通り、原水濃度は 8/15 から増加傾向を示しており、そのうち 6 割程度が *Anabaena* 藻体内(以下粒状態と表記)由来、残りが藻体外(以下溶存態と表記)由来のものであった。粒状態は活性炭では処理が難しいことから、凝集剤であるポリ塩化アルミニウム(以下 PAC と表記)を臨時で増量し、その後原水ジェオスミン濃度の減少に合わせて PAC 注入量も減らす対応を行った。一方溶存態由来のものは、運用する活性炭槽を通常時(2槽)に加えて 1槽増やし、3槽での処理体制とした。

3. 考察

(1) ジェオスミン濃度と *Anabaena* の個体数の推移

これまで貯水池でのかび臭濃度の増加スピードは、1週間あたり3～5倍程度であることが多く、本事例でも郡界0 m・取水塔前0 mではその範囲内であった。しかし、合流0 mでは1週間あたり10～20倍程度とこれまでに経験のない増加スピードであった。また、合流0m地点でのジェオスミン産生 *Anabaena* の増殖速度も想定していたよりも速くなっていた。

本市では、貯水池各地点におけるかび臭濃度の増加や藍藻類の増殖を確認した段階で、藍藻類等の殺藻を目的とした硫酸銅散布の準備を開始するが、準備期間としては10日程度が必要であり、散布日は最短でも10日後となる。今回の事例では、合流0mでの *Anabaena* の増殖速度が速く、硫酸銅を散布した段階で当初想定した個体数より多くなっていたと思われる。

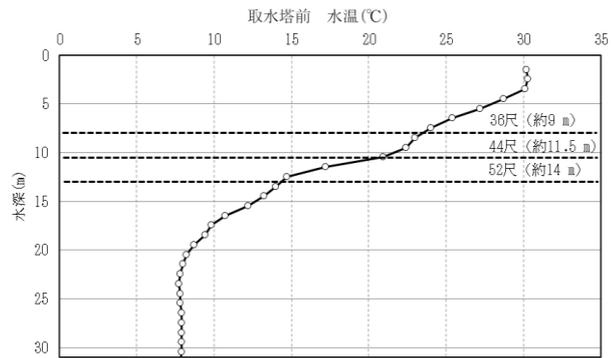


図3 8/15の取水塔前—鉛直方向水温分布

(2) 浄水処理への影響

8/16, 17に硫酸銅を散布した時点で、弱まって断片化したジェオスミン産生 *Anabaena* の細胞は一旦水面下5 m～10 m付近に蓄積したものと考えた。これは図3に示す8/15時点での取水塔前の鉛直方向水温分

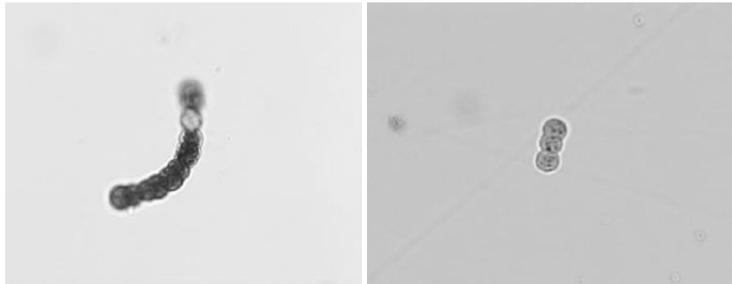


図4 硫酸銅散布前後の *Anabaena* の違い(左：散布前、右：散布後)

布より、水面下5 m前後から水温躍層が形成され始め、さらに10 m以深でより顕著な躍層が形成されることによる。つまりその水深よりも下方で取水していれば、原水に *Anabaena* を巻き込む可能性は少なく、原水のジェオスミン濃度が比較的落ち着いていくものと考えたため、8/17以降は取水口を52尺(14 m)に変更した。しかし8/17以降も原水濃度の減少は見られず、さらにPACで凝集処理しきれなかった粒状態のジェオスミンが、中塩素処理により溶存態へと変化し、そのまま浄水に残存する形で8/17に最大7 ng/Lを検出した。

顕微鏡で各サンプルを観察すると、硫酸銅の散布後、*Anabaena* はらせん状の群体が壊れ、数細胞単位のばらばらになった群体となって硫酸銅の散布効果が見られたものの、その断片が原水にも混入していることが確認され(図4)、これが原水でのジェオスミン濃度の上昇につながったものと考えられる。8/17以降に順次取水口を下げた後もジェオスミン濃度が通常時(2～3 ng/L)に比べて高いことから、強固に形成されている水温躍層を越えて、断片化した *Anabaena* が深い水深まで降下してきていることが示唆された。

(3) 天候の影響

過去の実績から、硫酸銅散布後の断片化した *Anabaena* は水温躍層上部に蓄積するケースが多く、躍層より下部で取水していれば、原水に巻き込む可能性は低いと考えていた。しかし前述の通り断片化した *Anabaena* が躍層を越えて降下し、原水に混入していた。その原因を探るべく、硫酸銅を散布した8/16, 17

前後の天候、及び河川から貯水池への流入量を調べた。8/17～18にかけて計66mmの降雨を観測し、流入量も8/16までは10万m³/日前後であったのが、8/17,18は100万m³/日を超過した(図5)。通常降雨がない場合は、流入水は表層付近を上滑りすることが多いが、降雨があり、一定量の雨水を含んだ状態で貯水池に流入すると、通常に比べて流入水温が低くなる。そのため流入水が表層～中

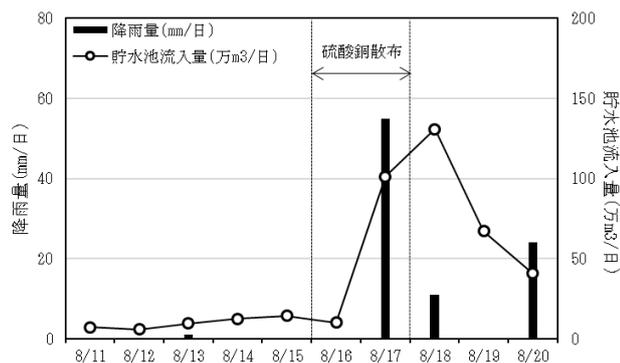


図5 硫酸銅散布前後の貯水池降雨量と流入量

層域(水面下0～10m付近)を水塊となって流下し、堰堤に衝突した際に鉛直方向に拡散することで、強固な水温躍層を越えて取水口付近まで届いたと考えられる。さらに想定以上のスピードで *Anabaena* が増加し、硫酸銅散布時に個体数も多かったため、通常よりも多くの断片化した *Anabaena* が水温躍層下部に降下し、原水のかび臭濃度の上昇につながったと考えられ、硫酸銅散布を行う際は、散布日前後の天候も考慮に入れておく必要がある。

4. 現在及び今後の対策

(1) 硫酸銅散布準備期間の短縮

これまでは硫酸銅の散布準備～実施までに、作業日数ベースで5日前後を目途に対処していたが、それでは想定以上の速度で貯水池のかび臭濃度の上昇があった場合に、対応が後手に回る可能性が高い。そこで硫酸銅散布の準備期間を短縮すべく、準備作業の内容を踏まえ、対策を行った。

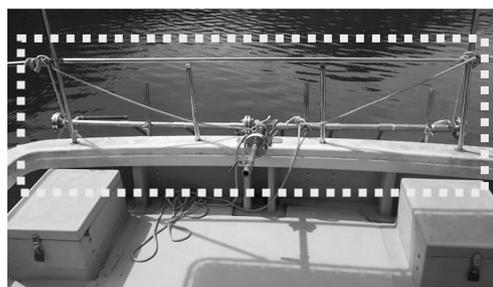


図6 硫酸銅散布用の準備配管(枠線部)

通常千苅貯水池では、硫酸銅散布を船上から行っている。散布の方法は、船上設置のポンプで貯水池の水を揚水して攪拌槽に送液後、固体状の硫酸銅と混合し、送液ポンプを使って貯水池に散布する方法である。また硫酸銅散布の準備作業として、主に①硫酸銅の船への運び込み、②揚水・送液ポンプの設置、③散布用の配管施工がある。このうち①及び②については数時間程度の作業であり、準備期間の長さに大きな影響はない。しかし③は手作業での内容であり、かつ船上の業務に支障がないよう作業を行う必要があるため、準備に時間を要していた。そこで図6に示すように、通常作業の支障がない範囲で配管を組み立てておき、直前の配管施工作業量を極力減らす対策をとった。その結果数日程度、準備期間が短縮でき、迅速な散布が可能となった。またかび臭が増加しやすい夏～秋にかけ、固定して設置しておくことで、想定外のかび臭増加にも柔軟に対応することが可能となった。この対策は令和5年度より運用をスタートし、今後もシーズンに合わせてあらかじめ配管施工を行い、かび臭の増大に備える予定である。

(2) 取水口別の採水・分析

神戸市では、取水口別(水深別)採水を月に2度実施しており、本事例でも取水口別採水を8/1,8/22で実施した。それに加え、緊急時には臨時で採水・分析を行い、鉛直方向の各種濃度分布を把握するようにしている。取水する水の状態によって浄水場側での対応も大きく変わることが考えられ、本事例を教訓として、今後かび臭濃度の増大時には、1週間おきに鉛直方向の濃度分布を調査するなど、その時々状態に応じた適切な処理ができるよう、対応を行っていく。



写真 - 1 実験装置外観（左から原水計量槽・沈砂槽、沈砂水計量槽、粗ろ過槽）

3. 結果

令和4年10月から令和5年7月の期間で原水濁度が10度以上となった事象において、各工程の濁度（ $T_0 \sim T_3$ ）の最大値を図-2に示す。全20回の事象のうち、粗ろ過前の濁度（ T_0 ）が目標条件の50NTU以下である14回すべてにおいて、粗ろ過第3槽の濁度（ T_3 ）が10NTU以下となり、本実験における処理水の水質が目標を達成していることを確認できた。

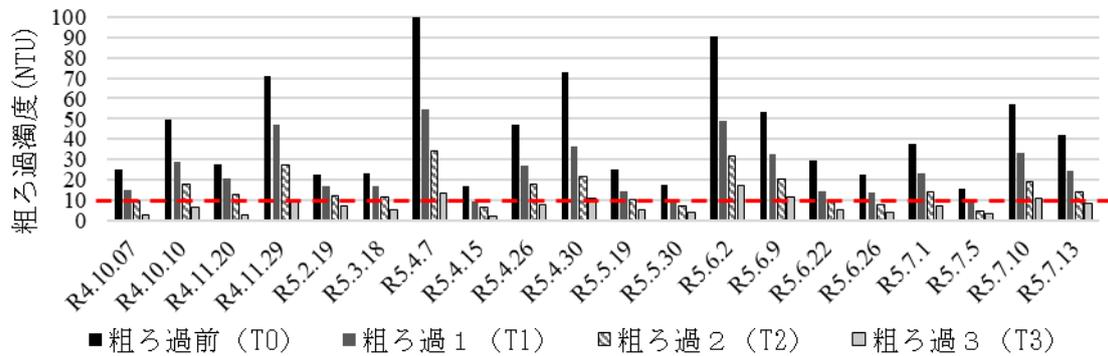


図 - 2 原水濁度上昇時における粗ろ過処理水濁度

4. 考察

粗ろ過槽全体の濁度除去率を求めるため、粗ろ過前後の濁度（ T_0 、 T_3 ）の関係を図-3に示す。散布図から算出される近似式により、粗ろ過第3槽の濁度 T_3 は粗ろ過前の濁度 T_0 の約15%まで低下していることから、粗ろ過槽全体の濁度除去率は約85%であることが確認できた。

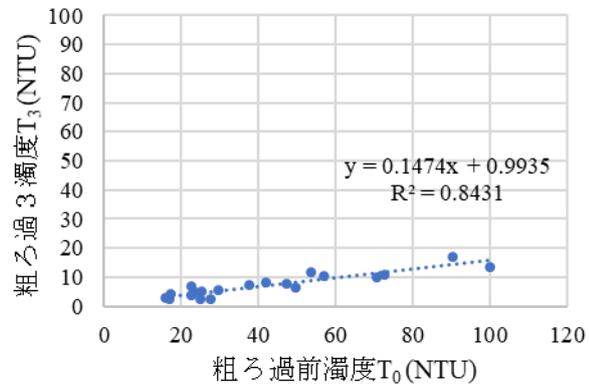


図 - 3 粗ろ過前と粗ろ過第3槽の濁度

次に、各粗ろ過槽の濁度の関係を図-4～6に示す。この結果より、粗ろ過槽それぞれの濁度除去率は、第1槽で約46%、第2槽で約40%、第3槽で約56%となり、各槽で濁度が除去されていることが確認できた。また、粗ろ過第3槽は第2槽と同じ粒径の礫で構成されているが、粗ろ過第3槽の濁度除去率が3槽のうち最も高い結果になった。これはろ過槽に生息する微生物の特性により第2槽で原水の凝集作用が促進され、成長したマイクロブロックが

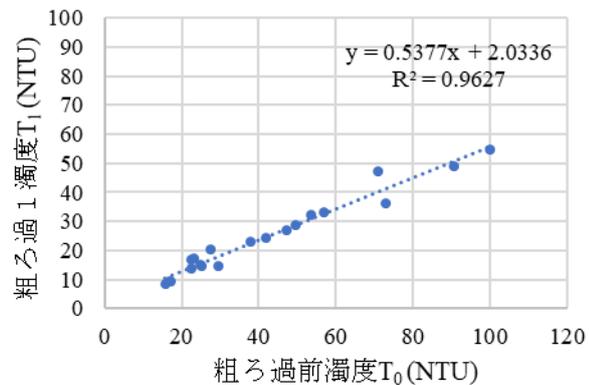


図 - 4 粗ろ過前と粗ろ過第1槽の濁度

第3槽で除去されたものと考えられる。²⁾

5. まとめ

本実験により、上向流粗ろ過の濁度除去率は約 85%であり、樫田浄水場の条件において十分な除濁性能を有することが確認できた。上向流粗ろ過を緩速ろ過施設の一次ろ過として用いることで、原水濁度が 50 度まで上昇した時においても、ろ過池流入水の濁度を水道維持管理指針で示されている 10 度以下にできることがわかった。よって、取水及びびろ過停止時間の短縮が期待できる。

また、上向流粗ろ過の維持管理は定期的な洗浄のみであり、洗浄方法は粗ろ過槽の水を勢い良く抜き、濁質を掃流する簡便な方法である。本実験では半年以上経過しても粗ろ過槽のろ過抵抗がほぼ上昇しなかったことから、半年に 1 回程度の洗浄で維持管理が可能と考えられる。加えて、緩速ろ過施設の負荷もこれまでより低減でき、ろ過砂のカキトリ頻度が減ることも想定できる。以上より、上向流粗ろ過を緩速ろ過施設の一次ろ過として導入することで、安定した水処理に寄与することが明らかであり、省力化も期待している。

6. 謝辞

調査にご協力いただいた NPO 地域水道支援センター、(株) トーケミ、関西技術コンサルタント (株) の方々に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 瀬野守史 : 緩速ろ過システムの安定化と効率化 (令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) (4-43))
- 2) 大河内由美子 他 : 緩速ろ過法における前処理の実証実験 (V) - 上向流粗ろ過処理による濁度除去に対する生物活性の寄与 - (令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) (4-46))
- 3) 住田修平 他 : 緩速ろ過法における前処理の実証実験 (II) - 上向流粗ろ過を組み合わせた緩速ろ過方式の高濁度原水に対する除去性能 - (令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) (4-19))

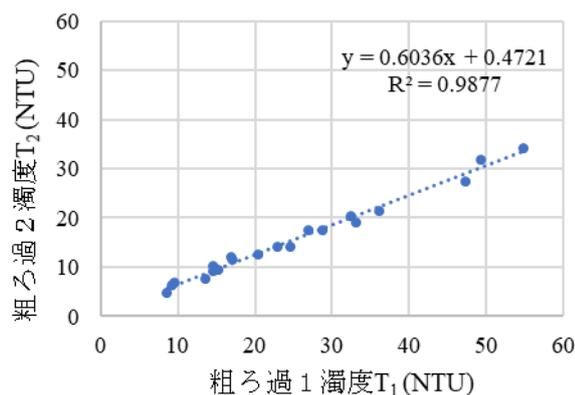


図 - 5 粗ろ過第 1 槽と第 2 槽の濁度

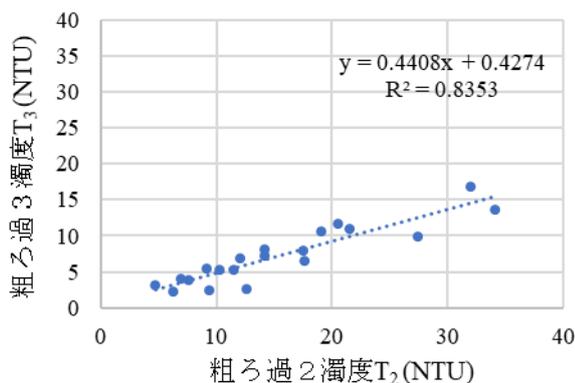


図 - 6 粗ろ過第 2 槽と第 3 槽の濁度

水質自動監視システムのクラウド化

八尾市水道局 ○ 坂口 亮太
林 和志

1. はじめに

八尾市水道局（以下、当局という）は、水質を市内配水区域末端7か所、受・配水場2か所で24時間365日、自動計測・監視している。測定項目は7項目（水温、水圧、pH、残塩、濁度、色度、電気伝導率）である。計測・監視は計9箇所で行っており、データは、令和3年度まで6箇所を水質監視専用PCに、3箇所を中央監視制御装置へ伝送していた。令和4年度から、これら9箇所で開催された水質項目をクラウドで一元管理している。本稿では、水質自動監視システムのクラウド化に至った経緯を整理する。

2. 水質監視における課題

（1）水質監視専用PCのOSサポート終了への対応

当局所有の水質監視専用PCは「Windows XP」を使用していた。Windows XPは平成26年4月にサポートを終了し、不具合発生時の対処困難事象や代替品の確保が困難な状態にあった。従前システムは専用ソフトがOSのバージョンアップに追従できなかったため、更新にはシステムの再構築が必要であった。そこで、中長期的な運用を図るべく、有用性の観点から今後はOSに左右されず長期的に運用できるシステム構築が課題となった。

（2）親機と子機の関係解消

既存の監視システムは水道局庁舎に親機、高安受水場に子機を設置していたが、親機のトラブルが発生時、子機での監視は不可となる。このため、親機・子機の間関係を解消した独立したシステムの構築が課題であった。

（3）システムの一元管理

水質監視専用PCと中央監視制御システムに区分されている監視方法の一元管理も課題となっていた。

3. 課題解決案の選定

上記の課題を遂行するため、以下のA～C案の3つを精査した。

（1）既存デバイスの置き換え（A案）

既存デバイスである水質監視専用PCの置き換えである。これにより、OSサポート期間には対応できる。しかし、親機と子機の間関係およびシステムの一元管理の課題は解消されない。

（2）中央監視制御システムに集約（B案）

既存の中央監視制御システムへの集約である。水質監視専用PCを廃止し、水質監視専用PCで監視していた6箇所の水質自動監視システムの信号を既存の中央監視制御システムに取り込み、一元管理する。この解決策であれば、前述の3つの課題が解消される。

（3）クラウドサービスを利用した監視システムの構築（C案）

オンプレミスからクラウドを活用した監視への移行である。この解決策も前述の3つの課題が解消される。

(4) 課題解決策の選定

当局では、C案の監視システムを導入し、令和4年度から市内9箇所の水質を常時自動監視している。表-1に各案の特徴をまとめ、以下に選定理由を述べる。

表-1. A案、B案、C案の比較表

解決策	メリット	デメリット	評価
A案	<ul style="list-style-type: none"> OSサポート期間での対応が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 親機と子機の解消と一元管理が実現できない 今後もOSに左右される 	×
B案	<ul style="list-style-type: none"> 一元管理が可能 従来の水質監視PCが不要 スタンドアロンのため安全性が確保される 	<ul style="list-style-type: none"> 中央監視制御システムのソフト改造や接続工事費が非常に高価、さらにシステム保守費も今後嵩む 中央監視室以外でのデータ監視が不可 	△
C案	<ul style="list-style-type: none"> 一元管理が可能 従来の水質監視専用PCが不要かつ保守点検が不要 インターネット環境を整えばどこでも監視が可能 通信費が従来システムより安価 データ二重化（バックアップ）が実現 停電や地震などに対し、サーバーの安全性が向上 デバイスを身軽に（スマホなどでも監視可） 	<ul style="list-style-type: none"> IDとPASSが漏れた場合、データ閲覧される（水運用、制御システムに影響はなし） インターネット環境が必要 	○

表-1よりA案は、一元管理ができないことや今後もOSに左右され、課題の根本的解決が難しい。そのため、B案ならびにC案でトータルコストや維持管理面、セキュリティ面から検討した。B案は、管理上のメリットは大きいが高価となる上、建物（中央監視室）での監視に制限される。一方、C案はランニングコストを含めた経済性に優れ、デバイス制限もなく、既往システムと異なり、リアルタイム監視（1秒周期）が可能となる。インターネット回線を経由しているため、システムトラブル発生時は従来の来局型での対応から遠隔操作での対応が可能となる。さらに、当該システムは測定項目数の変更や水質自動監視装置の移動など将来的な配水池再編や広域化事業にも対応できる特長をもつ。クラウド活用により、水質監視業務の効率化を図り、一層の安全な水道水の供給に努める。

水道標準プラットフォームによる中央監視制御システムの構築（場外系運用報告）

奈良市企業局 ○笠原 隆史
岡本 豊

1. はじめに

奈良市の水道事業において、基幹浄水場となっている緑ヶ丘浄水場及び場外施設の中央監視制御システムは平成8年に構築されたが、構築から20年以上が経過しており、システムの経年化のため更新を行う必要があった。

今回、緑ヶ丘浄水場中央監視制御システムを更新するうえで、重要視した点は二点あり、一点目は、ベンダー特有の伝送プロトコル仕様からオープン仕様への転換を行い、仕様が統一されたデータによる監視制御システムの構築を行うことでベンダーロックインを避けるシステムの構築、二点目は、統一データによるシステムの運用により、システム設置ベンダーが異なる他都市とのシステム連携を実現することで、監視オペレーション等の共用化を行い、施設共有管理が可能となる発展的なシステムの構築である。この二点において実現性が高い水道標準プラットフォームを活用したシステムを採用した。

2. 水道標準プラットフォームについて

現在の緑ヶ丘浄水場中央監視制御システムは企業局内で情報システム（サーバー）を保有し、運用しているオンプレミス方式であり、場外施設及び浄水場内の監視制御信号等を浄水場内にあるサーバーで集約、演算処理して監視及び制御・操作を行っている。

これに対して、クラウド方式はインターネットによるネットワーク環境を利用し、施設の監視情報等をクラウド事業者が保有するサーバーへ伝送し、監視・制御及び操作を行う方式である。

クラウド方式では利用料は発生するが、サーバーの維持管理についてはクラウド事業者が行う為、サーバーの初期設置費用・維持管理が不要となる。水道標準プラットフォームはクラウド方式であるが、特定のベンダーが提供するクラウドサービスではなく、データを標準化することにより様々なベンダー・事業者が参入する事が可能な共通基盤クラウドとなっているため、他都市（他ベンダーシステム）との監視信号等の情報共有化を図ることが可能であるため、施設共有化の観点からも非常に効果的である。

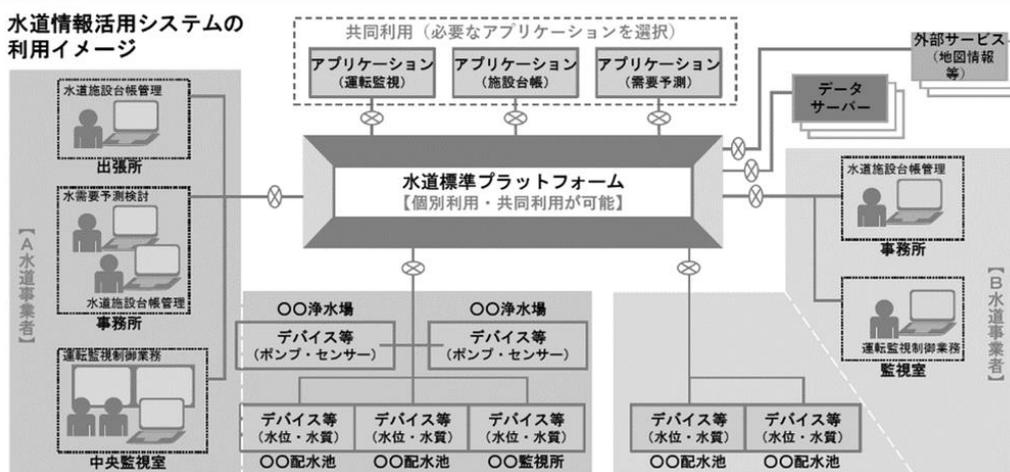


図1. 水道情報活用システム導入支援事業の概要（厚生労働省より）

3. 水道標準プラットフォーム導入の経緯

緑ヶ丘浄水場中央監視制御システムの経年化によるシステム更新検討において、奈良市企業局内にて設備維持管理経験者による検討会を実施した結果、従来のオンプレミス方式であるサーバー保有構成による更新では、システム設置業者のベンダーロックにより、保守管理費用が高額となることが大きな問題であるという結論に至った。

そのため、今回の更新にあたっては、伝送装置は汎用 PLC による構成とし、サーバーを企業局内で保有しないクラウド方式としたが、ベンダー提供のクラウドサービスではベンダーロックとなってしまうので、ベンダーロックとならない水道標準プラットフォーム（共通基盤クラウド）事業を導入してシステム更新工事を行うことが、拡張性及び維持管理性等の観点において非常に有益であるということになり、水道標準プラットフォームを導入したシステムの更新を行うこととなった。

4. 緑ヶ丘浄水場中央監視制御システム更新工事の構成

緑ヶ丘浄水場中央監視制御システム更新工事におけるシステム構成としては、場外の配水池・ポンプ所及び浄水場内の計装・運転信号等が PLC を経由して伝送され、さらにゲートウェイにより水道標準プラットフォーム用の伝送プロトコルに変換され、水道標準プラットフォームに集約される。集約された情報を用いてプラットフォーム内の事業者テナントにある監視制御アプリを用いてネットワークで接続された監視操作端末（PC・タブレット）を利用して施設の監視・制御及び操作等を行う構成となっている。

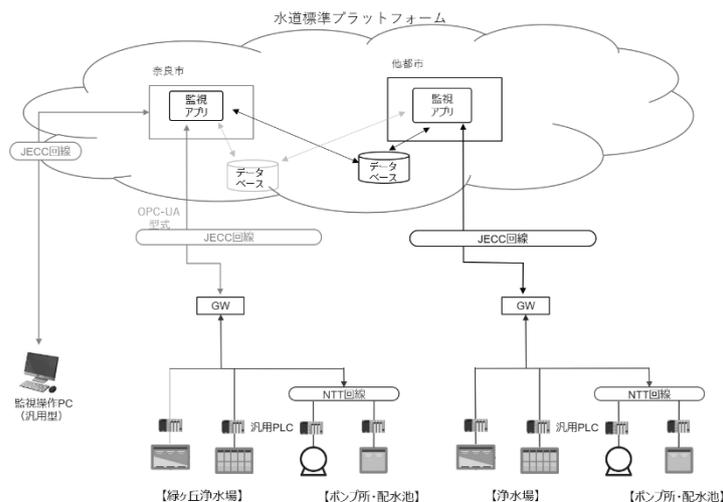


図2. 緑ヶ丘中央監視制御システム更新工事における信号伝送イメージ図（発注仕様）

5. 場外系運用について

緑ヶ丘中央監視制御システム更新工事は令和2年度より着工され、令和5年度末に竣工予定である。現在、場外系の施設においては工事が竣工し、令和4年度より場外系施設の運用を行っている。

水道標準プラットフォームを導入した場外系の監視制御に関しては、受注者を含め奈良市としても初の試みであったため、理論上の検証は十分に確立されており、運用に支障がないことは分かっているが、実運用実績がなかったため、導入するまでは予期しない不具合等が発生しないか工事監督者としては不安な面も正直あったが、実際に導入してみると、監視制御のレスポンスも以前よりも非常に良く、また長時間のシステム障害や外部からの不正アクセス等も現在のところ発生しておらず、監視制御が良好に行えている状況である。

また、新システムでは閉域網（プラットフォーム提供回線）さえ確立できれば、汎用ノートPCやタブレット（ただし、Windows ベース）においても監視制御も行えることより利便性も飛躍的に向上した。

その他には、奈良市と同時期に水道標準プラットフォームを導入した生駒市（奈良市の隣接市）とお互いに隣接している施設について、それぞれの市の監視画面（奈良市は生駒市の施設、生駒市は奈良市の施設）にて監視が行えるようなシステム体制を構築することができた。

通常システムでは奈良市、生駒市の設置ベンダーが異なる為、データ形式も異なり、相互の施設を監視することは技術的に不可能であるが、データが標準化されている水道標準プラットフォームでは相互監視が可能である。

奈良市と生駒市の場合は、水道標準プラットフォーム内において、生駒市施設からアップロードされた監視データが奈良市の監視アプリへ、奈良市施設からアップロードされたデータが生駒市の監視アプリへ取り込まれており、水道標準プラットフォーム内でのデータ連携を図る構成となっている。

6. おわりに

現在は緑ヶ丘浄水場内設備のシステム切替を順次進めているところであり、場内設備の監視制御において最適な設定パラメータ等の調整などの検証中である。

工事竣工後の本運用において、水道標準プラットフォーム及び汎用機器によるシステム構成となっているため、プラットフォームの割り勘効果（複数の自治体のサーバーをプラットフォームが一括してサーバー管理を行う事により、割り勘効果が発生する）によるランニングコストの低減化が図れ、また修繕等の保守費用においても汎用品構成となっているため、ベンダーロックが排除され、競争性が確保できることにより、保守管理費用の低減化を図ることが可能である。

水道標準プラットフォームのサービスメニューについて監視アプリケーションを構築するサーバーの仕様内容により保守費用が増減するため、保守費用をより低減化させる手法として監視制御に必要な十分かつ過大にならないような仕様選定を行う必要があり、運用状況を確認しながら、最適なサーバーメニュー仕様選定を進めているところである。

本工事において、プラットフォームの利用料のさらなる低減化・サービス品質向上に関して引き続きプラットフォームと協議を進めていきたい。

公民連携による収納率向上の取組

堺市上下水道局 ○牧野 涼子

1. はじめに

堺市では、新たな課題の解消に向けて、令和 12 年度までの具体的取組と目標値をまとめた「堺市上下水道事業経営戦略 2023-2030」を令和 5 年 2 月に策定した。

同戦略のゴールの一つとして「持続可能な経営」を掲げ、経営基盤の強化を目的に公民連携を推進しており、民間ノウハウの活用による効果的・効率的な公民連携事業により、「利用者サービスの向上」「業務の効率化」「コスト縮減」等につなげ、上下水道事業の基盤強化に取り組んでいる。また、水需要減少の影響により、長期的に純損失が発生する見込みであることを水道事業の今後の経営課題としており、その対応方針の一つとして、債権の早期収納による料金収入の確保を掲げている。

2. 取組

(1) 包括的民間委託

① 給水停止の運用の見直し

本市では、公民連携の推進の取組として、平成 29 年度から水道メーター検針、料金収納、コールセンター等のいわゆる営業業務に包括的民間委託を導入し、利用者からの問合せの受付から現場対応等までの業務を一元化することにより、ワンストップサービスによる利用者サービスの向上及び業務の効率化を図っている。令和 4 年 9 月 30 日には契約を更新し、現在、第 2 期契約の業務履行中である。

包括的民間委託の導入に合わせて、料金の滞納事案の対応の強化策として、納期限から給水停止に至るまでの期間について、従来は約 140 日としていたものを約 90 日に短縮化した。また、利用者間の公平性の観点から、平成 27 年度に制定した「堺市上下水道局給水停止の取扱いに関する要綱」に基づく、給水停止の対象及び解除要件の明確化による厳格な給水停止の運用により、滞納債権の早期収納を推進している。

これらの給水停止の運用の見直しにより、料金の調定年度の翌年度末時点での収納率は、包括的民間委託の導入前よりも、表-1 のとおり向上（平成 28 年度比 0.16 ポイント上昇）しており、公民連携による早期収納の取組における効果が確実に発現している。

平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和 元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
99.69%	99.77%	99.89%	99.88%	99.89%	99.85%

表-1 料金の収納率の推移（調定年度の翌年度末時点）

②収納率に応じた正負インセンティブ

この包括的民間委託では、委託業者の意欲・意識の向上及びノウハウの活用による更なる収納率の向上を期待し、収納率の増減に応じて報奨金を支払う正負インセンティブを採用している。

第1期契約では、発注時の見込みよりも大幅に収納率が向上したが、正のインセンティブの支払額に上限額を設定していなかったことから、支払額が非常に高額となった。これを受けて、第2期契約では、インセンティブ適用の判定方法及び基準値の設定方法を見直すとともに、支払額に上限額を設定し、業務品質を低下させることなく、インセンティブによる支出の抑制を図った。

この正負インセンティブと上記にある給水停止の運用の見直しにおける相乗効果により、収納率の向上につながっているものと考えられる。

③モニタリングの実施及び公表

本市では、令和5年4月に制定した「堺市上下水道局包括的民間委託に係るモニタリング基本方針」に基づき、包括的民間委託について、適正な業務履行状況の監督及び評価、評価指標の設定、包括的民間委託の導入効果の検証、委託契約の更新時における現状及び課題の分析等を実施している。

モニタリングに当たっては、履行状況を定量的に可視化し、適正かつ客観的に評価するため、達成目標値、最低基準値等の評価指標を設定するとともに、モニタリング結果をホームページで毎月公表することで、包括的民間委託についての透明性及び客観性を確保している。

また、調定年度の翌年度末時点の収納率をモニタリング項目として設定した上で、毎月の収納率の推移をモニタリングし、過去実績に比べて収納率に増減があった場合においては、その要因を都度分析しながら、委託業者との緊密な情報共有により、良好な関係の構築を図りつつ、連携して収納率の向上を推進している。

利用者サービスの提供及び向上				
項目	定義	目標	目標	4月
利用者満足度の向上	利用者へのアンケートによる良好な回答の割合	80%以上	80%	
コールセンター応答率の維持	応答件数/着信件数	(毎月) 80%以上	80%	87.3%
窓口来庁者の削減	令和8年度末において令和2年度比50%以下	(3月末時点における年平均) 令和2年度比95%以下	85%	60.0%
口座振替及びずいりん登録の増加	新規開栓者が開栓月の翌月末までに口座振替又はずいりんとなった割合	(毎月) 40%以上	40%	45.8%
適正な給水契約及び公共下水道使用の確保並びに適正な調定				
項目	定義	目標	目標	4月
調定の正確性の向上	総検針数 - (使用者不明件数 + 誤検針数等 + 認定件数) / 総検針数 ※認定件数には桁上がりと誤検を除く	(3月末時点における年平均) 98.80%以上	98.80%	98.84%
水道料金及び下水道使用料の収納率向上				
項目	定義	目標	目標	4月
収納率の向上	令和3年度調定に対する令和4年度末の収納率	(3月末時点) 99.90%以上	99.90%	96.94%

図-1 水道メーター検針・料金収納等業務 令和5年度モニタリング結果

包括的民間委託は、業務範囲が多岐にわたっており、業務処理件数も多いことから、委託業者による日々の業務履行状況の細部までを、本市がモニタリングすることは現実的ではなく、委託業者によるセルフモニタリングが適正に行われていることが大前提となる。

この包括的民間委託のモニタリングでは、委託業者の執務室の視察及び業務責任者へのヒアリングにより、委託業者のセルフモニタリングの体制及び状況を詳細に把握した上で、第三者に対しても、そのスキームをわかりやすく説明できるよう、本市のモニタリングと委託業者のセルフモニタリングの関係性を整理してフロー図化する等、セルフモニタリングの「可視化」に取り組んでいる。

(2) 弁護士法人への業務委託

本市では、上記の包括的民間委託に加え、給水停止の執行により徴収できない市外転居等、包括的民間委託業者では対応が困難な債権については、弁護士又は弁護士法人による債権回収業務委託（平成24年度業務委託開始（現在は弁護士法人に委託）。以下「弁護士委託」）に移行する運用を行っている（実績は表-2のとおり）。

この弁護士委託は、月額基本料等の固定の委託料及び郵送料等の債権回収に係る費用負担が発生しない成功報酬型の契約手法を採用しているが、未収金の回収率は毎年度20%を超えており、費用対効果に優れた契約手法と考えられる。

令和4年9月からは、早期収納の取組の一環として、包括的民間委託から弁護士委託への移行時期について、従来、閉栓後6か月としていたものを、閉栓後3か月に短縮化し、収納率の更なる向上に取り組んでいる。

市内転居の場合は、包括的民間委託による給水停止の執行や現地訪問による督促業務を継続するが、それにも応じず、回収困難な事案については、弁護士委託への移行を検討する。その移行時期については、転居先の料金の収納状況についても確認し、事案ごとに判断する必要がある。

現契約については、令和6年度末で契約期間が満了するが、この弁護士委託は、成功報酬型の契約手法の採用及び包括的民間委託との役割分担により、高い費用対効果が得られるため、今後も引き続き発注する予定である。また、閉栓債権のみを弁護士委託の対象としている現在の運用から、次期契約では、集合住宅又は水道メーターが建物内に設置されているもの等、閉栓債権以外の給水停止の執行が困難な事案についても、弁護士委託に移行する運用を検討する。

	対象		入金		回収率	
	件数 (件)	金額 (円)	件数 (件)	金額 (円)	件数	金額
令和2年度	1,178	27,657,836	713	6,886,820	60.53%	24.90%
令和3年度	537	10,220,322	380	2,844,901	70.76%	27.84%
令和4年度	653	10,857,887	363	2,939,417	55.59%	27.07%

表-2 現契約の業務実績（下水道使用料を含む。）

3. おわりに

包括的民間委託の次回の契約更新に当たっては、現契約のモニタリング結果等を踏まえつつ、現状の枠組みにとらわれることなく、関連する直営業務を含めて委託範囲、仕様等を見直すとともに、事業の更なる基盤強化に向けて、より最適な公民連携手法を検討する。

また、更なる収納率の向上に向け、最適なモニタリング体制、給水停止の運用、正負インセンティブ及び弁護士委託への移行時期について検討し、公民連携事業における最適な公と民の役割分担についても検討を進める。

現在、日々の債権回収業務は包括的民間委託業者が担っているが、徴収停止や債権放棄等の債権整理は職員が担っていることから、債権整理の段階において委託業者による対応経過を確認し、債権回収業務の履行状況を確認している。その際に、疑義が生じた場合は、その都度、委託業者へフィードバックし、業務品質の向上を図りつつ、職員のモニタリングスキルの向上及び営業業務に関する技術継承を図っている。

今後の課題としては、長期にわたる滞納者や不採算な少額債権への対応等、債権回収業務における費用対効果及び損益分界点を見定める必要がある。その一方で、支払意思はあるものの、失業や病気等の理由から支払が困難な生活困窮者等に対し、滞納者の個々の実情に合わせた柔軟な対応が求められる。

今後の収納率向上の方策としては、スマートフォンアプリ「すいりん」の普及促進や、クレジットカード決済、口座振替利用者の拡大等、新たな滞納を発生させない取組の推進も重要となる。

重要給水施設への応急給水方法の調査から 0JT へ －医療機関への調査を実施して－

○前嶋 敬子（東大阪市上下水道局）

1. はじめに

東大阪市では、主要医療機関 15 箇所、災害時指定避難所 78 箇所、防災活動拠点 13 箇所の計 106 箇所を災害時に応急給水体制を構築していく上での重要給水施設と位置付けている。令和 32 年度までの耐震化完了を目標に、これらに至る配水ルートの耐震化に取り組んでいるが、ハード整備には時間と財源が必要という問題がある。

一方ソフト整備では、応急給水活動を経験した職員は少なく、いざ東大阪市で災害や事故等が発生した場合に「応急給水活動の早期対応が可能なのか」という問題もある。上記 2 つの問題を少しでも解決するために、重要給水施設への応急給水方法の調査を危機管理担当課のみではなく、技術職員、事務職員を含んだ幅広い職員で調査を行った。本稿では、令和 4 年度に行った主要医療機関の調査について報告する。

2. 調査方法

（1）調査目的

調査の目的は、現状で給水車から受水槽への直接応急給水方法、受水槽と設備の状況確認とする。

（2）調査手順

事前に各主要医療機関 15 箇所へ受水槽に関するアンケートを行い、回答のあった 13 箇所の 21 基の受水槽について、給水車を用いて現地調査を行う。

（3）調査協力職員

水道事業の各課より調査協力職員を推薦し、幅広い職員で調査を行う。調査協力職員の構成を表-1 に示す。

表-1 調査協力職員構成

	事務職員	技術職員	合計
60 代	0 名	1 名	1 名
50 代	1 名	1 名	2 名
40 代	1 名	3 名	4 名
30 代	2 名	3 名	5 名
20 代	2 名	0 名	2 名
合計	6 名	8 名	14 名

（4）現地調査項目

給水車の停車位置、受水槽までの距離、受水槽の構造、自家発電機設備等の有無についてチェックシートを作成し、重点的に調査を行う。

（5）現地調査

まず初めに災害拠点病院の 2 箇所について、調査協力職員全員で現地調査を行い、現地調査の体験を行った。その後は、1 班 4 人程度の班体制により現地調査を行う。

調査協力職員 4 人には、「隊長」、「給水車運転」、「筆記」、「撮影」の役割を依頼し、各主要医療機関の担当者の立ち合いのもと調査を行った。

3. 現地調査

(1) 調査結果

13 箇所 21 基の受水槽の内、13 箇所 20 基は給水車を施設敷地内に停車させ、飲料水送水用ホース等を使用して、直接受水槽へ応急給水することが可能であることが確認できた。しかし各施設の受水槽や設備は、転倒防止は行われているが浸水対策が行われていないものが4割以上あり、また揚水ポンプに非常用電源が接続されていない施設もあった。その結果を表-2に示す。

表-2 調査結果概要

単位：施設

	受水槽		揚水ポンプ		
	転倒防止	浸水対策	非常用電源	転倒防止	浸水対策
有	21	12	13	21	7
無	0	9	5	0	14
未確認	0	0	3	0	0
合計	21	21	21	21	21

(2) 今後の課題

医療機関 13 箇所については、現状での応急給水方法が確立できたが、多くの課題は残った。主な課題を以下に示す。

- 給水車から受水槽までの距離が平均 29m あり、長距離である。
- 受水槽容量が平均 57.5 m³あり、給水車台数の確保や運搬順位が必要である。
- 医療機関によっては複数受水槽もあり、優先順位の検討が必要である。
- 4割程度の施設で施設内設備の耐震、浸水対策が行われていない。

4. 調査から OJT へ

現地調査では、受水槽調査結果以外にも成果があった。班体制を組む際に職種、年齢等を混在させることにより、事務職員と技術職員の関りや知識豊富な職員から若手職員が話を聞きながら調査を行うなど、自然と技術継承が行われていたような状態となっていた。

また実際に給水車で現地調査を行うことで、給水車から受水槽への応急給水方法をイメージしやすくなり、災害時等の給水車を使用した応急給水への早期対応を可能にしていくと考える。

5. おわりに

調査結果を医療機関に報告することにより、応急給水方法や課題についても共有することができた。医療機関への調査は、今回の調査で終了することなく、数年に1回の調査を行い、医療機関との関係性を築き、施設内設備の耐震化等を促していきたい。

また市としても調査に応急給水活動未経験の職員や幅広い職員が関わることで、技術力向上、技術継承を行い、災害時等の早期対応を可能にしていきたい。

災害時の情報共有ツールの活用について

神戸市水道局 ○ 岡野 敏明
 松田 康孝
 小倉 洋平

1. はじめに

災害発生時の応急給水班の派遣に係る、指示・集約等の経過記録は、現在日本水道協会（以下、日水協）の様式を使用し、全て紙媒体の受け渡しによる情報伝達・管理が行われている。

これら情報伝達および集約作業には多くの時間と労力が必要となるため、神戸市水道局では、過去の災害応援等の経験を踏まえ、災害発生時の情報共有の効率化を図り、応援側・受援側双方の負担低減を目的に、電子媒体を利用した情報共有について検討を進めている。本稿では、これまでの検討内容と今後の展開について述べる。

2. 現状とこれまでの取り組み

(1) 日水協の応急給水体制

現在の日水協の応急給水体制は、図-1¹⁾の通りである。大まかな流れとして、応援事業体は、被災事業体より応援要請を受けた後、現地へ出動する。そして、現地到着後、「応急給水応援体制報告書」(【様式12】)により、応急給水の応援体制報告を行う。被災事業体(応援対策本部)(以下、本部)は、この「応急給水応援体制報告書」の情報を基に「応急給水作業指示書」(【様式13】[表])を作成し、応援事業体へ手渡すことで指示を出す。この時の指示は、【様式14】の「応急給水作業予定表」にてとりまとめる。応援事業体は作業指示書を基に応急給水作業を実施、作業完了後に「応急給水作業報告書」(【様式13】[裏])を作成し、本部へ提出する。本部は、この「応急給水作業報告書」の内容を「応急給水作業集約表」(【様式15】)に集約し、実際の給水活動を把握すると共に、翌日以降の応急給水指示を検討する。

ここまでの応急給水に関する情報共有は全て紙の様式を使用・手作業で集約を行っており、情報伝達および集約作業に多くの時間と労力が必要となっている。また、図-2の通り、応急給水は、市民の生活時間に合わせて実施されることから作業時間が長時間化するため、応援事業体にとっては作業指示の受領・作業報告書の提出が、本部にとっては報告書の受領後の集約作業が負担となっている。

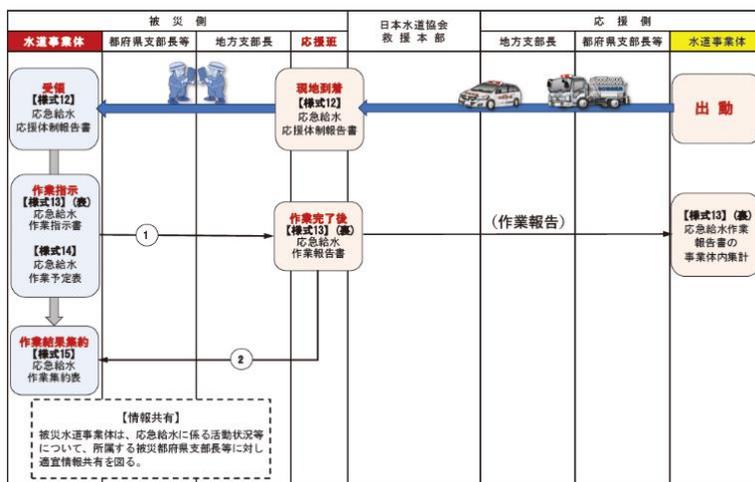


図-1 応援活動及び情報共有フロー(応急給水)

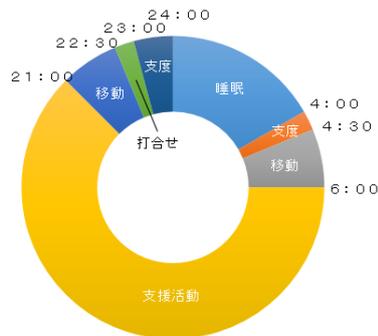


図-2 H28年 神戸市水道局の熊本地震応援スケジュール例

1 点目は、コスト低減である。ローコードツールの場合、システム会社に依頼することなく、職員自身で開発できるため、低コストでシステム開発を行うことができる。また、システムの改善についても職員自身で行うため、運用コストがかからない他、常に最新の状態を保つことができる。

また、クラウド型のローコードツールで作成したシステム利用する場合、インターネットアンケート等と同様、応援事業体全てがアカウントを保有することなく、システムを利用できることから、コストを大幅に低減することができる²。

2 点目は、情報共有のリアルタイム性と集約作業の自動化である。クラウド型のシステムを利用することで、入力された情報はリアルタイムで確認可能である。そのため、空き時間や移動時間にスマートフォン等から入力することで、わざわざ直接指示書や報告書の受け渡しを行う必要がないだけでなく、リアルタイムで作業状況の把握が可能となる。

また、入力データは図-3のように表形式で自動集約されるため、本部の作業報告書受領後の集約作業がなくなることで、翌日以降の作業指示の検討に時間を割くことが可能となる。さらに、集約されたデータは絞り込み等も可能なため、チャットでの情報共有に起こりがちな、過去の情報伝達内容の閲覧をする煩雑さなどの課題も改善される。

3 点目は、データの見える化である。システムでは、応援職員や給水車の数、給水量等の様々な入力されたデータから、図-3のように、拠点ごとの給水量や、給水車の稼働率³等をグラフ化することが可能である。また、図表を並べて表示することで、1つの画面内で複数のデータを比較・検討することも可能である。そのため、例えば、この拠点ではもう応急給水する必要がない、この拠点は給水量が足りていないなど、翌日以降の給水車差配等の判断材料への利活用が期待できる。



図-3 情報伝達のイメージ図

(3) 懸案事項とその対策

上述のとおり、情報共有ツールの利用にはメリットが多いが、2点確認すべき点が存在する。

1 点目はセキュリティである。複数事業体の利用を想定していることから、情報が流出した場合の影響は多大なものとなることが考えられる。そのため、セキュリティ面に注意が必要となるが、外部の認証等⁴受けているツールを利用することで、高いセキュリティ性の担保が可能となる。

また、作業報告等の入力には、専用の二次元バーコード等によりアクセスする形を想定しているが、二次元バーコードを応援事業体に配布する関係から、コード流出のリスクが懸念される。これについては、閲覧範囲を支部ごとに限定したコードを配布することで被害を低減させる他、コード読み取り時に ID・パスワードを設定することで対策する。

2 点目は、災害時の利用リスクである。災害時には、携帯電話等が利用できない等の理由により、情報共有ツールへアクセスできないことも想定される。これについては、直近の大地震であった平成 28 年度の

熊本地震の際の停波基地局数(図-4)⁵を参照するに、本震から二日程度で役所エリアが、3日後には避難所エリアが復旧している。また、併せて応急復旧対策も実施されていた⁶。そのため、災害初期には利用が難しい面もあることから、紙の併用も検討する必要があるが、応急給水が長期間にわたる場合は十分に活用が可能であるといえる。また、情報共有ツールのデータについても、災害に備えたバックアップ体制が構築されている場合⁷、災害時での利用も十分可能であると考えられる。

4. 今後の展開

今後の展開について、2023年12月に日本水道協会兵庫県支部・関西地方支部合同訓練が開催されることから、応急給水訓練において情報共有ツールを利用した情報共有を試行する予定である。この訓練において、上述の取り組み効果等を確認すると共に、事後アンケートを実施することで更なる課題を洗い出し、

「令和5年度第2回大都市水道局大規模災害対策検討会」にて報告を行うことを予定している。

今回は応急給水における情報共有のみについて検討しているが、例えば応急復旧等の報告においても同様の効果を発揮すると想定されることから、今後も検討を重ねることで、災害時の情報共有の効率化を推進していきたい。

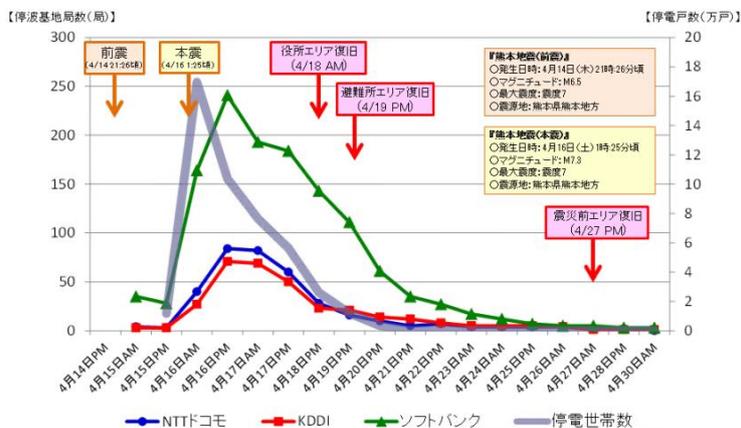


図-4 熊本地震後の停波携帯電話基地局数の時間推移

¹ 公益社団法人日本水道協会. 地震等緊急時対応の手引き. 資料・様式・参考, (令和2年4月). http://www.jwwa.or.jp/info/files/jishin_kunren_04/earthquake_emergency_guide.pdf, p. 1 (参照 2023-10-23)

² システム開発のローコードツール及び、アカウント未所持者へのデータ入力・閲覧用のツールの利用を想定している。

³ 今回は「補水量の合計-給水量」が0より多いとき、補水したが待機していた給水車と仮定した上で図表を出力した。

⁴ セキュリティについては、例えば「政府情報システムのためのセキュリティ評価制度」(ISMAP)のクラウドサービスに掲載されているシステムや、ISMSに関する第三者認証を受けているシステム等を想定している。

⁵ 総務省. 電気通信事業者の平成28年熊本地震への対応状況 (2016年7月29日).

https://www.soumu.go.jp/main_content/000432337.pdf, p. 3(参照 2023-10-23).

ただし、停波中の基地局数は、サービス影響の規模を直接表すものではないことに留意する必要がある。

⁶ 同上 p. 5。

⁷ ここでは、東日本と西日本にサーバーを用意し、バックアップ体制を構築している等を想定している。

お客さまセンター業務共同化の成果について

橿原市上下水道部経営総務課

○ 主査 大北 与織

1. はじめに(共同発注をした事実と今回の発表の概要)

昨今の人口減少による使用水量及び料金収入の減少や、水道管の老朽化等による経営の悪化は、多くの水道事業体にとって喫緊の問題となっている。こうした事態に、全国の水道事業体は様々な対策を講じているが、事業体単独での取り組みには限度があるため、複数の水道事業が連携して、事業を統合する又は業務の受委託関係を構築する広域化が検討されることも多い。

奈良県内の、互いに近隣する自治体である橿原市と大和高田市も、経営の効率化を図るために、令和元年10月にお客さまセンター業務委託を共同して発注した。それから4年が経過した現時点での成果について報告する。



上下水道部お客さまセンター
(グリーンセンターかしはら内)

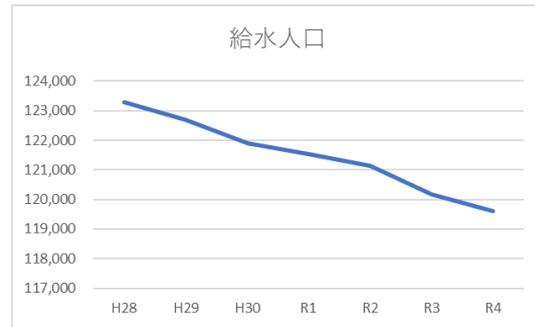
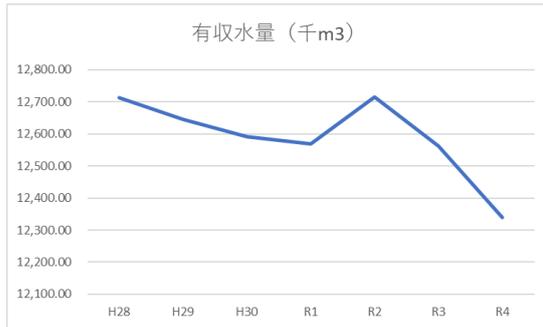


(橿原市、大和高田市、お客さまセンター位置図と外観写真)

2. 橿原市と大和高田市の現状

橿原市においても、給水人口は年々減少しており、それに伴って有収水量も下降していた。大和高田市もまた似たような状況であり、こうした収入減による経営の悪化に対処するため、平成27年に大和高田市から提案があったことを契機にして、二市が連携による経営の効率化を模索することとなった。

水道事業の広域化を検討する場合は、事業統合が議論されることが多いが、一般に事業統合は、各事業体間の調整や議会承認など、クリアすべき課題が多く、労力と時間がかかるという問題がある。その点、ある特定業務の委託の共同発注は、連携する事業の範囲は小さいものの、事業体間の調整等は比較的簡易に実施できるという利点がある。橿原市と大和高田市においては、連携を迅速に実施するため、お客さまセンター業務委託の共同発注について検討することとなった。



(樫原市の有収水量と給水人口の推移)

しかし、事業統合に比べると簡易とはいえ、独立した二つの異なる事業体の事業の一部を共同で実施するのであるから、慎重かつ丁寧な議論は欠かせない。なかでも窓口の拠点と上下水道料金システムについては、お客さまセンター業務の根幹をなす要素であり、費用にも大きく関わる部分であったため、共同化部会を何度も開催して合意形成を図った。そして最終的に、お客さまセンターの窓口を樫原市にあるクリーンセンターかしはらに集約し、同一の上下水道料金システムを利用することとなった。

こうして、令和元年の10月にお客さまセンターを共同化し、運用を開始した。

共同化することができた業務は多岐に渡り、業務効率を高めることができたほか、拠点施設を集約することによる人件費や設備費のコストダウンにも成功している。こうした削減効果は、開始以降の将来費用にも及ぶこととなる。

◆共同化した業務

- ・水道メーターの検針、点検業務
- ・上下水道使用開始、使用中止等の受付業務
- ・上下水道料金の収納、滞納整理及び給水停止業務
- ・水道メーター等取替及び維持管理業務
- ・電話対応業務
- ・水道の開閉栓業務
- ・水道料金、下水道使用料の算定・請求業務 など

3. 当初懸念されていた点の検証

業務の共同化をするにあたり、当初懸念されていた点と、現在の運用については以下のとおりである。

・業務手法の違い

共同化にかかる調整において、運用を統一できなかった業務もある。以下がその例である。

- ・料金体系
- ・検針サイクル、請求サイクル
- ・給水停止執行の基準や期間
- ・水道メーター交換にかかる費用等の違い
- ・帳票類の違い
- ・樫原市と大和高田市とで委託するお客さまセンター業務の違い

これらの業務の違いが、運用にあたり混乱を招く恐れがあった。

共同化によるメリットを最大限発揮するには、こうした業務を統一することが望ましいため、共同化実施後も協議を重ね、統一化を図った。そのうち達成したものについては次項で述べる。

一方、それぞれの業務の違いは、両市の歴史的背景等に根ざしているものであるため、変更するためには多大なコストがかかってしまうもの、変更することによって新たな問題を発生させかねないものもある。

よって現在は、手法の統一を図りつつも、できないものについては、その相違によって支障をきたさないよう運用方法を定めて業務を遂行している。

具体的にはお客さまセンター内で、樫原市を担当する係と大和高田市を担当する係を分け、両者を混同しないようにしている。また、料金システムについても樫原市の情報と大和高田市の情報にアクセスできる権限を厳密に分けている。窓口や電話対応については、樫原市・大和高田市のどちらの市民であっても柔軟に対応をし、その後、係間で確実に伝達するものとしている。

・市民サービスの質

こうした二つ以上の自治体の連携についての議論となると、その財政効果や業務効率に重点が置かれる傾向があるが、大前提として市民にとってもメリットがあるものでなければならない。水道事業体の経営が効率化することは、最終的には市民の利益につながるとはいえ、現場における市民サービスの低下は避けなければならない。

たとえば、大和高田市のお客さまセンター業務も樫原市の拠点で実施することにより、市民の混乱を招く懸念があった。お客さまセンターに電話で相談した大和高田市の市民が、同じ件について大和高田市役所を訪問するケースや、お客さまセンター職員が樫原市と大和高田市の案件を混同するケースなどである。

こうした懸念点に対し、両市で広報を実施し周知に努めた。また、窓口・電話対応時に両市を混同しないよう十分注意をして業務を行うほか、お客さまセンターと樫原市と大和高田市内での密な伝達を実施できるような環境を整えた。

樫原市と大和高田市それぞれのノウハウや知見を活かして業務を遂行できるようになったため、市民サービスの質も向上した。

・三者間の伝達、コミュニケーション

お客さまセンターの拠点を樫原市に置くことにより、大和高田市又は大和高田市民との伝達やコミュニケーションが不便になる恐れがあった。特に業務に関わる伝達のミスは、そのままトラブルにつながる危険性があるため、三者間のコミュニケーション手段については十分に確保しておく必要があった。

具体的には、タブレット端末による大和高田市とのリモート通話手段の確保、1日に2回の大和高田市とお客さまセンター間の連絡便の実施、お客さまセンター会議の定期的な開催等である。

こうした対策により、いまのところ三者間での伝達の齟齬による大きなトラブルは発生していない。

4. 共同化後に統一した業務手法

この4年のうちに、業務手法について協議を重ね、運用を統一したものについて以下のものがある。

・給水停止執行までの期間

料金を未納にされている市民に対しての、給水停止執行までの期間は、共同化開始前は樫原市と大和高田市で違っていた。お客さまセンターはこの違いに留意して業務を行わなければならなかったが、協議の結果、変更しても大きな支障はないことが確認されたので、同じ期間に統一することができた。

・水道使用開始・中止等申請のインターネット受付開始

令和5年2月から、水道使用開始・中止や名義変更等の申請のインターネット受付を開始した。これによって市民は24時間いつでも申請することができるようになり、お客さまセンター側においても、社員の対応時間を削減することができた。

業務委託の共同化により、同一のシステムでの一括対応が可能であったため、システムの導入にあっても通常より低コストで実施することができている。

・インボイスに係る帳票類の対応

令和5年10月から開始されたインボイス制度に係る帳票類の対応についても、両市が同じシステムを使っていることから、一括して変更することができ、スケールメリットを活かした帳票の発注が可能となっている。

以上のように、共同化後において必要の生じた運用方法や諸制度の変更についても、同一の拠点やシステムを使用していることのメリットや、規模の経済を活かした対応を取ることが可能となっている。また、両市において日常的に業務を共同で行う体制となったことにより、両市の事務的・技術的ノウハウを共有できる体制が構築されていることも、共同化の効果である。

5. おわりに

本稿で述べたように、お客さまセンター業務委託の共同化は、開始時に調整やコストが必要であったものの、業務効率化によるコストダウンが実現し、将来費用を削減することができた。人口減少や老朽化する水道管の増加が今後も見込まれるなか、経営の効率化のため広域化を検討する企業体も増えると予想される。その際に、事業統合と比較すれば簡易な手法である委託業務の共同発注は、検討する価値が十分にある選択肢である。ただし本稿で述べたとおり、共同発注を開始すればそれで終わりというものではなく、運用していくなかで絶えず改善・修正は必要であることには留意しておく必要がある。

なお、令和7年度には、奈良県と県下の水道事業体が事業統合を行って企業団を設立する予定である。これについては県下水道事業体の大きな転換点となる。また、その準備には多大な労力と時間、費用がかかると予想される。よって、我々がつちかかってきた連携の経験やノウハウを最大限活かせるよう、取り組む所存である。

カーボンニュートラル実現に向けた再生可能エネルギー 及び エネルギーストレージ導入量解析の必要性

横河ソリューションサービス株式会社 ○ 小野寺 湧紀
松下 武司
川出 慎士

1. はじめに

昨今、脱炭素が注目されている背景として二酸化炭素（以下、CO₂）をはじめとした温室効果ガスによる気候変動がある。気象庁によると、20世紀半ば以降の地球規模での気温の上昇は、人間活動による温室効果ガス排出量の増加が原因である可能性が極めて高く、各企業に対応が求められている。

こうした背景から日本は2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することや2050年にカーボンニュートラルを達成するという目標を宣言しており、この宣言を契機に、各企業が脱炭素に向けた経営に取り組んでいる。しかし、各企業が脱炭素経営を目指すにあたり、「何からすればよいか分からない」、「コストがかかる」など様々な課題に直面しているだろう。

今回は、脱炭素に関する社会の変化を踏まえ、カーボンニュートラル実現に向けた再生可能エネルギー（以下、再エネ）及びエネルギーストレージ（以下、ESS (Energy Storage System)）の導入量解析、ESSによる計画的な運用の必要性について紹介する。

2. 脱炭素経営の実現可能性

脱炭素経営の実現に向けた取り組みとして再エネの導入がある。現在主流である化石燃料は資源に限りがあり、発電時にはCO₂を多く排出する。一方で再エネは、資源が枯渇せず、発電時のCO₂排出量を抑えられる。こうした背景から、各企業は再エネの導入を積極的に進めている。再エネの中でも太陽光発電設備（以下、PV）は導入が比較的容易と考えられる。

しかしながら、PVの導入にはコストの課題があると感じている企業も多いのではないだろうか。再エネ固定価格買取制度として2012年からFIT¹が導入されているが、PV（50kW以上250kW未満）の買取価格を見てみると、2012年の40円/kWhが、2023年は10円/kWhと1/4以下まで下がっている。これは、PVの普及が進み導入コストが下がったために、買取価格も下がっていることを意味している。

次に再エネを導入した際の採算はどうだろうか。これは設備の導入量、導入工事費、そして購入している電力料金単価を用いて投資回収期間をシミュレートすることができる。たとえば、工場や事業所でPV導入費用が20万円/kW、電気料金が20円/kWhでPVを導入した場合、約10年で回収することが可能である。（平均的な発電量に基づいた計算であり、地域や日照条件によって異なる）（図1）。近年では、電力単価の上昇もあり、約7～8年での回収も望めるようになった。

この採算性を考える際には、発電した電力をすべて使用できているかも重要となる。実は1年という期間で見た場合、季節の観点だけでも5月の大型連休や年末年始があり、さらに工場や事業所は土日祝日が休暇となることで消費電力が下がることが予想される。そのため、想定された以上にPVの発電電力が使い切れずに余剰が発生している可能性がある（図2）。電力需要量の大きい工場では太陽光だけで余剰電力は簡単に発生しないが、比較的需要の少ない事業所などでは余剰電力が発生するケースが多い。

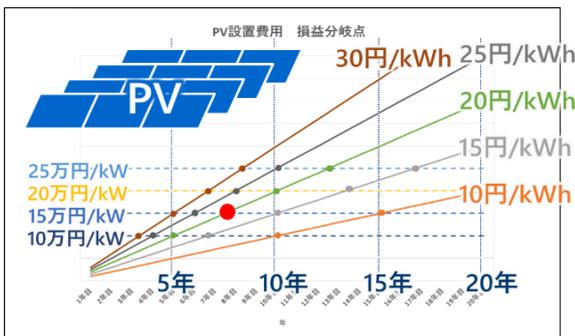


図1. PV導入設備の導入単価と回収

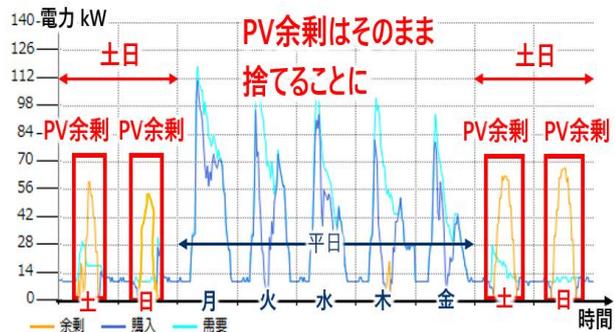


図2. 消費電力とPV発電量の関係例

¹ 「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」。再エネで発電した電気を電力会社が一定価格で一定期間買い取ること
を国が約束する制度。

3. 余剰電力の有効活用

余剰電力の有効活用の一つとして ESS の導入が考えられる。ESS の代表的なものとして挙げられるのが LiB(リチウムイオン蓄電池)で、2023 年度時点で 1kWh あたり 15 万円² 程度の導入コストとなる。ESS はエネルギーを「ためる」ことにより、余剰電力の有効活用や再エネの安定化を実現することができる。今後再エネの増加に伴い、ESS の導入も進むとみられるが、再エネは気候条件により発電出力が一定ではなく、電力需要量も一定ではない中で、ESS の導入量を算出する必要がある。少ない導入量で、最大限の効果を発揮する適正な導入量はどの程度なのかは、企業が検討する際の大きな課題である。また、数百 kWh の導入を考えると投資金額は数千万円の規模となり慎重な検討も必要になる。

4. 再エネ・ESS 導入における解析の必要性

本課題に対し、工場や事業所で計測している 30 分単位の消費電力データを活用することで、PV を導入した場合に発生する余剰電力量や、PV や ESS の最適な導入量を解析できる。PV や ESS の導入検討における解析パターンとして、主に以下の 4 パターンがある。

- 1) 希望する PV・ESS 導入量による解析
- 2) 15~20 年目で収益最大になる PV・ESS 導入量の解析
- 3) CO2 排出量削減効果が最大になる PV・ESS 導入量の解析
- 4) 2030 年や 2050 年のカーボンニュートラルの目標に向けた導入量の解析

上記の解析により、再エネによる CO2 排出量削減効果や投資回収に係る期間などを把握し、高い効果が想定される導入量を検討していくことができる(図3)。また、カーボンニュートラルに向けた計画活動の立案や社内起案にも活用していくことが可能である。なお、導入検討するうえでは、PV・ESS の導入条件や目的も重要な要素となる。例えば、自給率〇〇%達成といった「条件」や、電力コスト削減を優先する「目的」から導入量を決定していく場合もある。

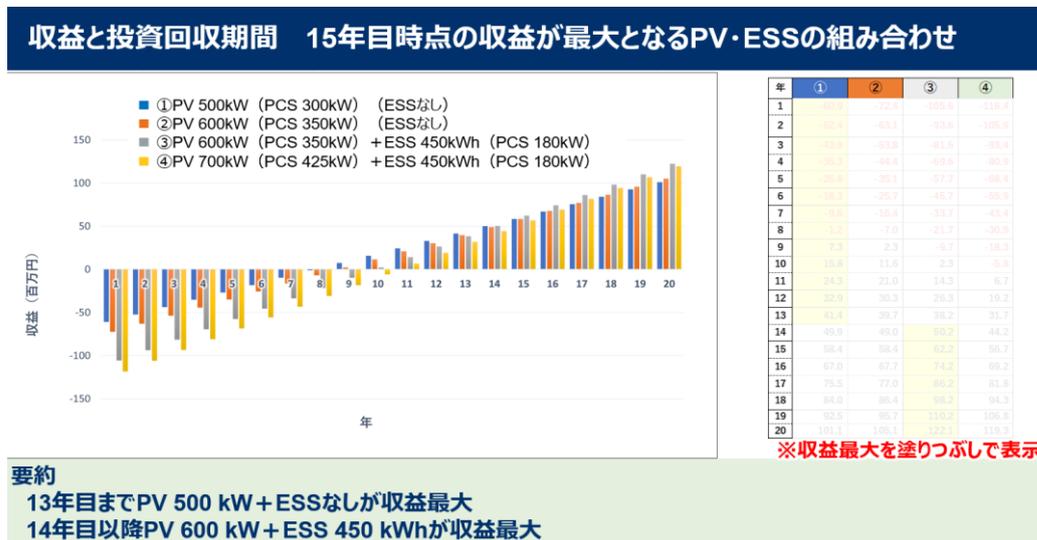


図3. PV・ESS 導入時の収益と投資回収期間 例

5. ESS の効率運用

前章での解析に基づき、企業が PV 及び ESS を導入した場合に、解析通りに運用できるかという点とは限らない。実運用で再エネ及び ESS を有効活用するためには、エネルギーマネジメントシステム(以下、EMS)による計画的な運用が必要となる。一般的に PV・ESS のみでの運用となるとタイマー制御となり、毎日同じ運用となる。そうすると休日や季節などによる消費電力量の変動に対応することができない。一方で、EMS では発電量<つくる>と需要量<つかう>の予測を行い、その予測に基づき ESS<ためる>の計画を立案することで、エネルギー全体を<活かす>ことが可能となる。つまり、ESS の計画的な運用により、再エネの価値を最大化することができる(図4)。

² 一般的なりチウムイオン蓄電池のコストであり、実際の金額はメーカーごとで異なる。

今回、上記のように ESS の管理を活かした EMS を開発した。蓄電池をはじめ、水素、メタン、アンモニアなど、様々な形でエネルギーを「ためる」ことにより、再エネの利活用や CO2 排出量削減を実現する。今後、ESS による計画的な運用は、再エネ増加による余剰電力の増加や系統の不安定さなどの懸念を解決するにあたり、とても重要な役割を担うと考える。



図 4. ストレージ管理による再エネ価値最大化

6. まとめ

脱炭素の重要性が認知されるようになり、各企業において PV や ESS の検討が進むようになってきた。しかしながら、導入量を算出する際には、コストや余剰電力の把握など様々な項目から検討する必要がある。その解決手段として消費電力データを用いた解析が有用であると分かった。さらに、PV や ESS を単純に導入するだけでは、毎日の発電電力量や消費電力量の変動に対応できないため、EMS で計画的に運用する必要があることも分かった。

今後はカーボンプライシング³などの影響により、CO2 排出量の算出が求められることから、再エネ由来の電力をトラッキングし、証明するシステムの開発も進めている。将来的には EMS と連携し、さらなるカーボンニュートラルへの貢献を目指す。

参考文献

月間『計装』2022年3月号 YOKOGAWA 記事

経済産業省、「令和2年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2021）」2021

横河ソリューションサービス(株)ホームページ、

[再生可能エネルギー設備導入検討サポート | YOKOGAWA](#)、
[分散エネルギーリソースマネジメントソリューション | YOKOGAWA](#)、
[蓄電池ソリューション | YOKOGAWA](#)

³ 企業などの排出する CO2（カーボン、炭素）に価格をつけ、それによって排出者の行動を変化させるために導入する政策手法

檀原市における水道施設集約に向けた 一町配水池整備工事の実施について

檀原市上下水道部 ○關野 英俊
吉村 俊朗
的場 一矢

1. はじめに

檀原市では、平成 27 年度まで市内全域への配水を一つの自己水源と二箇所の県営水道受水・配水施設によって行ってきた。しかし、今後も継続する水需要減少に伴う収益減少に対して施設更新費用の抑制と職員減少に備えた施設管理の効率化の必要性について検討した結果、自己水源を廃止し全量を県営水道受水とし、受水・配水施設を一箇所に集約することとした。本稿は、施設集約に向けて実施した一町配水池の新設工事と既設配水池の改修工事について報告する。

2. 工事概要について

(1) 一町配水池の概要

一町配水池は、檀原市南西部の高市郡高取町との境に位置しており（図-1 参照）、貝吹山の山間部に建設されている。既設配水池の外観は白を基調としていた。PC 製円筒形で容量 10,000 m³で比較的規模の大きい配水池である。

(2) 工事内容と年度別工程

一町配水池敷地内の配置は図-1 に示す通りで配水池を新たに建設するだけの用地は確保されていた。また工事内容と年度別工程を表-1 に示す。工事は平成 28 年より着手し令和元年に完了した。尚、工事は①～③に分けて発注して実施した。

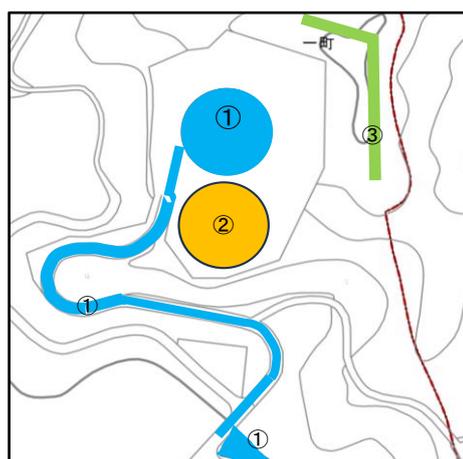


図-1 位置図

- ① ■ 配水池新設工事
- ② ■ 既設配水池改修工事
- ③ ■ 法面補強工事

① 配水池新設工事

3 工事の中でも最初に契約、着工したものである。配水量を確保するため既設配水池を稼働したまま工事を実施し、新設配水池が供用開始できたのは平成 30 年 3 月となった。また配水池の新設工事に併せ応急給水管 HPPE Φ100 の布設及び災害時の給水活動を想定した給水拠点の整備を実施し、平成 30 年 8 月に本工事が完了した。

② 既設配水池改修工事

既設配水池の内外面の再塗装、避雷針等の付属設備も併せて更新した。本工事は①の配水池の新設工事完了後に既設配水池の稼働を停止させた後に本工事に着手し、平成 30 年 12 月に完了した。

年	H28		H29												H30												R1									
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6				
①配水池 新設工事	←準備工		←基礎			←周辺配水管			←SUS配水池組立						←応急給水拠点整備																					
②既設配水池 改修工事													←準備工			←既設配水池改修																				
③法面補強 工事																									←準備工			←法面補強								

表-1 配水池整備の経過

③ 法面補強工事

配水池敷地の東面及び北面は計4段の法面で形成され、その土質は風化花崗岩である。特に最上段4段目の風化が激しく、調査により補強が必要となった。そこで、鉄筋を挿入し法面を補強した。上述工事②にて仮設足場を撤去してから着手し、令和元年6月に完了した。

3. 新設配水池改修工事について

(1) SUS 円筒形の選定

新設配水池は容量 10,000 m³が必要となり、検討項目として、耐震性、耐久性、施工期間、施工環境、実績、経済性の6項目を挙げた。また形状については円筒形と矩形を検討したが、併設する既設配水池とのバランス、景観性や内部構造がシンプルであることを考慮して円筒形とした。また、材質についてはPC円筒形とSUS円筒形を候補として上記6項目について比較検討した(表-2参照)。

耐震性と経済性では、双方に優れた特性があり、実績についてはPC製が多い傾向にある。今回の工事では、地元住民から施工期間短縮と工事車輛の往来抑制の強い要望があった。また以後の内外面塗装補修が不要となるため本市ではSUS製円筒形を採用した。

(2) SUS の特性と仕様

SUSは鉄を主とした合金鋼であり、鉄の他にクロムとニッケルが含まれている。一般的に使用されるSUSの仕様はSUS304であるが、揮発した残留塩素による腐食耐性が不十分である。本工事では底版部以外をクロムの含有率が多く錆が生じにくい特性のあるSUS329J4Lを採用した。



写真-1 工事前



写真-2 施工中

	PC	SUS	判定
耐震性	破損実績なし	破損実績なし	—
耐久性	内外面とも塗装補修が必要	塗装処理不要	SUS
施工期間	現場作業：10か月	現場作業：6か月	SUS
施工環境	Co打設により車輛往来増	工場作製により車輛往来減	SUS
実績	多い	近年増加	PC
経済性	初期低、運用高	初期高、運用低	—

表-2 PC製とSUS製の比較

4. 既設配水池改修工事について

本施設は平成元年度に竣工し、約30年間運用していた。配水池本体の耐震性には問題はないが、外側及び内面の塗装の劣化が顕著であった。また天井部にはヘアクラックが生じ、配水池内部への雨水の浸透が懸念された。そこで、平成29年度の改修工事に至った。

(1) 内外面の塗装修復

内面塗装については、既設塗装はエポキシ樹脂であったが、防水機能が高く施工効率の向上が期待できるスワエール工法（ポリウレア樹脂）による塗装とした。外面については、複層塗材 RE（水系エポキシタイル）による塗装とした。天井部についてはレムスプレーによる防水機能を有する塗装とした。

(2) 外面塗装の色選定

新設配水池は SUS 素材色を活かす無塗装を採用したことと、貝吹山に位置することから景観法が適用されるため検討の結果、既設配水池の外観についても、SUS 無垢に近い色で塗装することとした。遠景、近景、天候等の条件で検討を重ねた。近景では SUS の光沢が確認できるが、遠景ではほぼ灰色であることが分かった。また同じ SUS 素材であっても、光の反射により側面と天井部では異なる色に見えた。そこで、既設配水池の塗装色は灰色を基調としたが、側面については GN-65、天井部については側面よりも明るい GN-75 を採用した。



写真-3 工事完成（外面）



写真-4 工事後（内面）

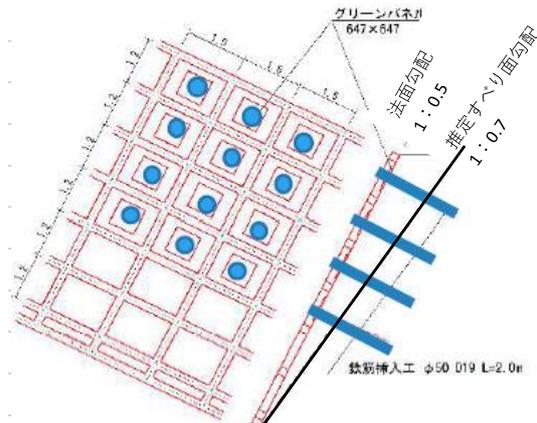


図-2 法面補強概要図



写真-5 応急給水拠点

5. 法面補強について

配水池の法面は築造の当初工事の際に斜面を削り表面を法枠で抑えていた。推定すべり面勾配 1 : 0.7 に対して、現況の法面勾配 1 : 0.5 となっている (図-2)。そこで、当該法面を削孔 (Φ50) して鉄筋 D19L=2.0m を挿入、グラウト材にて間詰めをして鉄筋の定着を図った。しかし、法面表面の凹凸が大きくグリーンパネルのみでは、鉄筋の定着が困難であった。そこで、グリーンパネルと法面の間に植生マットを張り付けることで、鉄筋を定着させることができた。

6. まとめ

これら工事は、平成 28 年から令和元年にかけて一町配水池を整備するものであり、本市における配水施設を集約し拠点化することが出来た。また、元々竹林であった場所を、災害時に給水活動を行う応急給水拠点として整備した (写真-5)。ここでは、毎年給水活動訓練を実施し、職員の技術継承をする場となっている。本事業により、榎原市内へ長きにわたり安心・安全な水を供給が実現したと言えるだろう。

【参考文献】

- 1) 一町配水池増設及び既設配水池補修実施設計業務委託成果品 (平成 27 年 3 月竣工)
- 2) 一町配水池新設工事 地元説明会資料 (平成 29 年 2 月実施)
- 3) 一町配水池新設工事 現地研修会資料 (平成 29 年 10 月実施)

檀原市における水道施設集約の取り組み

檀原市上下水道部 ○堀 哲也
仲渡 織慧
的場 一矢

1. はじめに

檀原市の水道事業は、給水人口が約 12 万人、面積が 39.56km² で配水管延長の合計は約 606km を有している。令和 4 年度の日最大配水量は 39,555 m³/日であり、ピーク時の 53,530m³/日 (平成 6 年度) に対して 26%減となっている。そのため、今後の水需要の減少による水道料金収入の減少等を鑑みた種々検討の結果、平成 28 年 3 月に配水量のうち約 20%を占める八木浄水場を廃止し県営水道への 100%転換を実施した。また、転換に伴い配水池を含む水道配水施設の集約を実施した。本稿は、これらの取り組みと更新コスト及び維持管理コストへ寄与した結果について報告する。

2. 施設等集約の実施概要

本市の給水区域内の地形は、標高が高い地域で約 115m程度、標高が低い地域で約 50m 程度となっており、起伏がほとんどなく南部から北部へ行くにしたがって徐々に低くなるため、自然流下での配水に適した地形となっている。この利点を活かし施設集約を検討した。

(1) 施設の概要と集約の方向性

本市は表1のとおり 1 カ所の浄水場と 3 カ所の奈良県営水道受水施設を有していた。施設の集約に向けて奈良県水道局と協議のうえ、各々責任分界を定め、本市が配水池新設、既設配水池改修、配水管の切替、廃止する配水池の解体など一連の工事を行う一方で、ポンプ施設を県へ売却・移管し更新工事・運転管理を県が実施することとした。

表-1 施設集約開始時の施設概要と集約の方向性

施設名	種別	建設年次	配水池	運用形態	集約の方向性	計画配水量
八木浄水場	浄水場	S31	2,700 m ³ RC 造	ポンプ圧送	廃止	7,500 m ³ ⇒0 m ³
小槻配水場 (休止)	受水地点	S45	1,000 m ³ ×2 PC 造	ポンプ圧送	直結化(※) 配水池解体	2,000 m ³ ⇒5,000 m ³
白檀配水場	受水地点	S45	10,000 m ³ PC 造	ポンプ送水 自然流下	直結化(※) 配水池解体	20,000 m ³ ⇒500 m ³
一町配水場	受水地点	H1	10,000 m ³ PC 造	ポンプ送水 自然流下	ポンプ施設売却 配水池増強	31,500 m ³ ⇒35,000 m ³

(※)奈良県水道局から受水の際に圧力解放せず、受水圧により市内へ配水する。

(2) 施設集約の整備手順

施設集約についての基本的な考え方は次の 3 点である。1 点目は、建設コストの抑制のため主要構造物は用地に余裕のある一町に集約すること。2 点目は、運転コスト削減のため電気動力を不要とし自然流下による運用とすること。3 点目は、水源確保の観点から市内 3 カ所の県営水道受水施設は受水点として存続することとした。

小槻配水場については、県営水道からの直結化とした。(市内配水量の約 12%)

白櫃配水場については、配水池が廃止できるよう県水道局の送水管を購入し、基幹管路への接続工事を行い配水管に転用し、管網の確保を行った。また、一部機能を残してポンプ施設等を廃止し、直結受水及び災害時の応急給水拠点としての運用を可能とした。

そして一町配水池の増設分については、トータルコスト及び維持管理性を考慮し SUS 造の円筒製を採用した。整備内容及びイメージは表-2、図-1 のとおりである。図-2 には、実際の施設ごとの配水量変化の経過を示す。

表-2 施設整備事項とその概要

手順	整備内容	整備項目	工期
STEP1	八木浄水場停止	・水源施設の解体	H28～H29
STEP2	小槻配水場	・配水池・配水場の解体	H28
STEP3	一町配水場集約	・奈良県水道局へ配水場を売却 ・配水場を整備(県施工) ・配水池の増設 10,000m ³ SUS 造 ・既設配水池の塗装補修	H28～R1
STEP4	管路整備	・県水道局の送水管(φ600mm×2,590m)の取得 ・市の基幹管路への接続工事	H29～R1
STEP5	小槻配水場	・直結化(県、市施工)	H29～H30
STEP6	白櫃配水場停止	・配水池・配水場の運用停止 ・一町配水池への切り替え、洗管作業 ・直結化(市施工) ・応急給水拠点として整備 ・配水池の解体	H30～R3

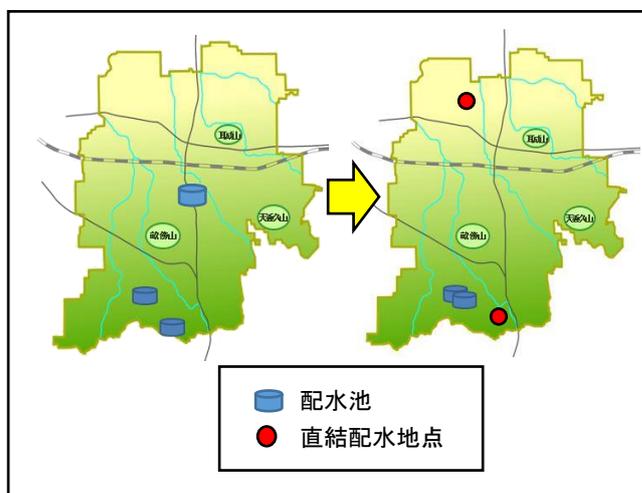


図-1 配水施設の集約イメージ

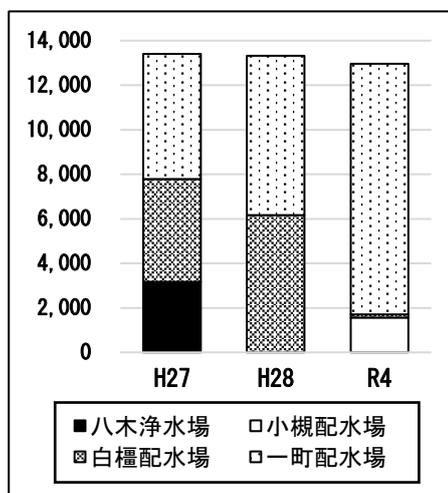


図-2 施設ごとの配水量変化の経過

3. 施設集約にかかる試算

(1) 八木浄水場更新コストの試算

八木浄水場更新検討にあたり現有能力の 7,700m³/日の浄水能力について更新費用の試算を実施した。

試算の結果、八木浄水場更新には、設計調査費として約 2 億円が必要なほか、土木工事や機械設備工事などを合わせ現有能力のまま更新すると約 40 億円必要となった。試算結果は以下の表-3 のとおりである。

表-3 八木浄水場更新試算結果

項目	7,700 m ³ /日(税抜)
建物(管理棟・浅井戸上屋・機械室等)	171,835,000 円
構築物(導水管・送水管・沈殿池・ろ過地等)	1,811,143,000 円
その他構築物(場内舗装等)	12,708,000 円
機械設備(ポンプ設備・計装設備等)	1,692,800,000 円
合計	3,688,486,000 円

(2) 県営水道受水費用の試算

八木浄水場を廃止する場合、自己水を廃止するため受水費の増大が予想された。八木浄水場廃止以前の平成 27 年度の給水原価は 1m³あたり 199.20 円で、そのうち 100.93 円が受水費であった。有収水量の推計推移を基に県営水道へ転換した場合の試算結果は表-4 のとおりである。

受水費の増加は 1m³あたり約 20 円であり、1 年間で約 2 億 5000 万となった。

表-4 有収水量及び受水費の試算(平成 27 年 2 月推計)

	H27	H30	H33(R3)	H36(R6)	H39 (R9)	H42(R12)
有収水量【千 m ³ 】	12,737	12,556	12,191	11,826	11,492	11,096
受水費【円/m ³ 】	101.53	121.43	121.78	121.86	122.19	122.11

4. コストの検証

(1) 固定資産及び施設整備コスト関係

配水施設の集約化に伴う固定資産及び施設整備にかかるコストは表-5 のとおりである。

県営水道への 100%転換により約 50 億円の費用を縮減する結果となっている。

表-5 配水施設の集約化に伴うコスト及び自己水継続時の施設整備コストの試算結果

		県水100%転換(円)	自己水継続(円)	比較増減(円)
収入	一町配水場固定資産譲渡	408,862,000	0	408,862,000
費用	一町配水場更新	0	700,000,000	△ 700,000,000
	一町配水池増設・既設補修関係	1,020,803,000	182,860,000	837,943,000
	八木浄水場更新	0	3,700,000,000	△ 3,700,000,000
	八木浄水場廃止関係	164,354,000	0	164,354,000
	白檀配水場・配水池更新	0	2,021,584,950	△ 2,021,584,950
	白檀配水場直結化	427,383,000	0	427,383,000
	白檀配水池廃止関係	259,337,000	0	259,337,000
	小槻町配水地直結化	34,534,000	0	34,534,000
収支計		△ 1,497,549,000	△ 6,604,444,950	5,106,895,950

※白檀配水場・配水池は、近隣で仮設用地確保が出来ず更新は不可能。

※白檀配水場・配水池の更新費用は八木浄水場の試算結果に準じて算出

(2) ランニングコスト(受水及び浄水費)関係

配水施設の集約化に伴うランニングコストについては、自己水を継続した場合と比較すると、9,500 万円増加している。これは先述の 3 の(2)のとおり、受水費の増大による。

一方で、受水費以外については、約 1 億 8,000 万円の費用を縮減する結果となっており、更に県営水道 100%転換直後の平成 28 年度決算と比較しても、約 70%の費用の削減に寄与している。

表-6 配水施設の集約化に伴うランニングコスト比較

		県水転換(円) ※R4年度決算値	自己水継続(円) ※H27年度決算値	比較増減(円)	【参考】 県水転換(円) ※H28年度決算値
収入	配水場維持管理収益	319,000	0	319,000	14,422,000
費用	人件費	13,995,000	96,869,000	△ 82,874,000	26,127,000
	委託料	10,657,000	23,107,000	△ 12,450,000	42,653,000
	動力費	222,000	60,961,000	△ 60,739,000	23,167,000
	薬品費	310,000	8,453,000	△ 8,143,000	335,000
	受水費	1,659,471,000	1,389,455,000	270,016,000	1,684,911,000
	その他	5,868,000	16,324,000	△ 10,456,000	9,444,000
収支計		△ 1,690,204,000	△ 1,595,169,000	△ 95,035,000	△ 1,772,215,000

5. おわりに

本市では、県営水道への転換により浄水場の更新費用等(約 50 億円)を削減することが可能となった。また、施設の集約により、設備点検費用や運転管理に要する費用等も大幅に削減された。

一方、受水費の増大に起因するランニングコストについては、先述の 4 の(2)のとおりであるが、これは受水費増大分として試算していた表4の費用を大幅に下回る数値である。

これらの結果から中長期的には、建設コストの大幅圧縮が可能なこと、また維持管理業務のスリム化が図られたことにより、人材や資金を老朽化した管路の更新に集中させることが可能となり、自己水源を持つよりも県営水道受水への転換が有利に働くものと考えている。

水道事業の共通課題として「給水収益の減少」、「施設老朽化による更新需要の増加」、「職員の減少」等が挙げられるが、本市における施設の集約事例は奈良県内においても先進的な取組であり、これらの課題解決に有効な方策の一つであるといえる。

【参考文献】

- 1) 配水拠点施設運用方針策定業務 報告書 平成 27 年 2 月
- 2) 平成 27 年度 樞原市上水道事業会計 決算書
- 3) 平成 28 年度 樞原市上水道事業会計 決算書
- 4) 令和 4 年度 樞原市上水道事業会計 決算書

配水管布設における建設コスト縮減の取組

－水道配水用ポリエチレン管の導入－

東大阪市上下水道局 ○山口 智功

1. はじめに

東大阪市は大阪平野の東部に位置し、市域西部は大阪市に隣接し、東部は生駒山を境に奈良県と接している。昭和 42 年に旧布施市、旧河内市、旧枚岡市が合併して発足した人口約 49 万人の中核市であり、東大阪市花園ラグビー場を有する「ラグビーのまち」、製造業の事業所密度が全国1位を誇る「モノづくりのまち」として有名である。

本市の水道事業は旧3市の事業を継承して開始し、都市の発展に伴い 3 次につながる拡張事業をはじめ、配水施設整備事業などを実施し、令和4年度末現在で約 1,043 kmの水道管路を有している。これらの管路は高度経済成長期に集中的に整備されたため、現在の法定耐用年数超過管路率は 39.7%となっており、今後も管路の経年化は進行する見込みである。

また、近年、全国的に災害における水道施設の甚大な被害が発生しており、南海トラフ巨大地震のリスクも指摘されている。本市でもこれまで老朽管更新にあわせて管路の耐震化を進めてきたが、現在は管路の耐震管率 17.8%、基幹管路の耐震適合率 53.4%であり、地震に対する備えが十分といえる状況ではない。

このように、これまで拡張してきた水道施設の老朽化が進む中、人口減少・水需要減少も見据え、水道施設全体の最適化・ダウンサイジングを図る「再構築」が必要となっている。一方、管路施設は本市アセット全体の約 70%を占めており、装置産業としての水道の大部分を構成することから、更新・耐震化には莫大な期間及び投資が必要である。

本稿では水道施設の再構築とあわせて取り組んでいる「水道建設工事のコスト縮減」の一部として検討し、令和4年度から本採用した「水道配水用ポリエチレン管(以下、「HPPE 管」という。)」の導入事例について令和5年度の効果見込みも含めて報告する。

2. 建設コスト縮減の取組

本市では「ひがしおおさか水道ビジョン 2030」及び「東大阪市行財政改革プラン 2020(上下水道編)」において、必要な財源確保のため、毎年1億円の「水道建設工事のコスト節減」に取り組んでいる。また、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「水道料金のあり方」を諮問し、建設改良事業費の確保に向けた料金見直しを答申いただいたが、料金改定に向けて、さらなる経営効率化・コスト節減にも取り組む必要がある。

現在実施している建設コスト縮減の取組を表 1 に示す。

表 1 建設コスト縮減の取組内容

No.	項目	主な取組
①	低コスト工法の採用	切削による路面復旧費の縮減
②	他企業との共同施工	路面復旧・測量費の縮減
③	建設発生土の再利用	再利用による埋戻材料費の縮減
④	低コスト材料の採用	HPPE 管の採用による縮減
⑤	管路口径の最適化	ダウンサイジングによる縮減

3. HPPE 管の導入検討

(1) HPPE 管導入検討の背景

検討の背景としては、前述の建設コスト縮減について、「低コスト材料・工法の採用」の取組を推進するために検討を開始した。

なお、これまで本市において HPPE 管は採用検討の対象としていなかったが、以下に示す状況の変化によって今回の検討対象となった。

① 水道管材料出荷実績

水道管材料の全国出荷実績(φ50～200)において、平成29年度からHPPE管が最も出荷延長が多い管種となっており、実績を積み重ねている。

② 近年の災害による被害状況

近年の地震・災害においてレベル2地震動に被災したHPPE管の被害がなかった。

③ 耐久性

検証資料に加え、各事業者・団体による布設後20年程度経過した管の掘上調査で、新管と同等の性能を保持していることが確認できている。

④ 国・日水協における位置づけ

各種指針・指標においても耐震性・長期耐久性が評価され、耐震管として位置づけられている。

(2) 採用管種の比較検討

検討内容としては、令和2年度から本市管路の約70%を占めるφ150以下の配水支管について、新たな配水管材料の採用に向けて検討を開始した。

管種は、これまで使用してきたダクタイル鋳鉄管GX形に加え、NS形E種管及びHPPE管を対象とし、それぞれについて規格・性能、耐震性、施工性、耐食性、イニシャルコスト、ライフサイクルコストの観点から比較検討を実施した。

(3) 試験施工の実施

比較検討の結果、HPPE管が最も優位となり、イニシャル及びライフサイクルコストの縮減が期待できるものとなった。

そこで、令和2年度・3年度においてHPPE管の試験施工を実施し、施工性や効果を確認することとした。管種の比較を含め検討内容等を表2に示す。



図1 HPPE管布設の様子

表2 新規材料採用検討の実施内容

年度	実施項目	内容	実施件数
R2	新規材料の検討	GX・NS・E・HPPEの比較検討	-
R2	HPPE管試験施工・評価	新設管路φ100の布設	1件
R3	HPPE管試験施工・評価	新設・布設替(φ75～φ150)	9件

(4) 試験施工の条件

令和2年度は1件 0.2km、令和3年度は9件 1.7km を試験施工した。試験施工の条件を表 3 に示す。初年度である令和2年度の試験施工結果により、埋戻し材料、溶剤浸透防止スリーブ、給水管及び給水分岐について、令和3年度から以下のとおり施工条件を変更した。

表 3 HPPE 管試験施工の条件

条件	令和2年度	令和3年度
埋戻し材料	再生砂	発生土・改良土
溶剤浸透防止スリーブ	設置せず	設計時に検討する
ロケーティングワイヤー	設置	
給水管	高密度PE(融着)	PP1 種2層管(金属継手)
給水分岐	EFサドル	鋳鉄サドル
配管工資格	POLITEC・メーカー講習会の受講証	

- 埋戻し材料

管周りは砂で埋め戻すことが推奨されているが、HPPE管採用事業者への調査や経済比較及び配水用ポリエチレンパイプシステム協会(以下、「POLITEC」という。)による検証結果から、管機能を損なうほどの損傷を与える確率は低いと考え、現場発生土もしくは改良土を使用することに変更した。

- 溶剤浸透防止スリーブ

令和2年度は設置しなかったが、日水協・POLITEC における報告及び他事業者の調査により、令和3年度からは設計時にスリーブ設置を検討することとした。ガソリンスタンド等の有機溶剤浸透の可能性のある地域については、関係機関調査及び試掘等を実施する事により設置を判断する。

- 給水管・給水分岐

令和2年度は、給水管は高密度ポリエチレン管で融着、給水分岐も EF サドルを使用した。従来の1種2層管及び鋳鉄サドルよりも施工時間が大幅に長くなること、及び既存材料の性能を再整理し、令和3年度からは1種2層管・鋳鉄サドルの使用に変更した。ただし、高密度ポリエチレン給水管は引き続き調査・研究していく。

(5) 試験施工の結果・評価

試験施工の結果、工事は特に支障無く完了し、施工上の問題は特になかったことがわかった。この理由としては、HPPE管の普及から相当の年数が経過しており、本市配管事業者の多くがHPPE管施工講習会を受講済であったことも関係していると考えている。また、次節で詳細に述べるが経済効果も確認できたため、令和4年度からHPPE 管を本採用することとした。

4. HPPE 管導入によるコスト縮減の確認

(1) コスト縮減金額の算出方法

コスト縮減金額は以下の方法で算出し、経済効果を確認した。

- 各種モデル管路条件を設定して、工事費(材料費・管工・土工)を積算し、HPPE管と DIP-GX形の各口径の1mあたり布設単価を算出する。

- 材料数量の算出は各協会にて妥当性の検証をされた概算数量算出方法を採用する。
 - HPPE 管 :POLITEC HPPE 管を用いた概算数量設計手法の検討
 - DIP-GX 形 :JDBA 管路更新を促進するイノベーション研究会報告書(小規模簡易DB)
- HPPE 管及び GX 形における口径ごとの単価に布設延長を乗じ、その差分を経済効果とする。

なお、算出した布設単価を完了済工事にフィードバックして、大きな誤差がないことを確認しており、本市ではこの布設単価を予算要求における概算工事費算出にも使用している。

(2) コスト縮減効果の確認

上記の方法により算出した経済効果を表 4 に示す。各年度において、HPPE管採用により約 10%のコスト縮減効果が確認された。また、現在施工中の令和5年度工事においても同様の縮減効果を見込んでいる。

多額の整備費用が必要な状況の中、HPPE 管採用が大きな経済効果を発揮しており、昨今の労務単価の上昇・材料価格の値上げ等の影響を緩和できていると考えている。

表 4 HPPE 管採用による経済効果

年度	件数	延長	工事費(千円)		経済効果	
			DIP-GX	HPPE	縮減額	縮減割合
R2	1件	0.2km	7,700	6,400	1,300	15.9%
R3	9件	1.7km	317,700	283,100	34,600	10.9%
R4	27件	5.4km	1,289,800	1,158,200	131,600	10.2%
R5(見込み)	25件	5.1km	1,611,600	1,475,000	136,600	8.5%

※R2～R3:試験施工 R4～:本採用 ※工事費は本管工事以外も含む

5. おわりに

本稿では、「水道建設工事のコスト縮減」の一部として検討した HPPE 管の導入事例について報告した。結果として、本市では施工面も問題なく工事進捗し、約 10%のコスト縮減効果も確認できたため、令和4年度から HPPE 管を本採用している。

本市管路更新計画では増大する更新需要に対応するため、管路更新約 10km/年、更新率1%を目標に事業量を増加させているところである。一方、事業収益の根幹となる料金収入の減少が見込まれるため、「水道建設工事のコスト縮減」は必要な事業投資を確保するためにも重要である。

よって、今後も現在の取組を継続することに加え、水需要に見合った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、さらなる建設コスト縮減及び必要な財源確保に取り組んでいきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 東大阪市上下水道局、他谷渉、水道建設工事におけるコスト節減の取組み、令和4年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp.528-529、2022
- 2) 配水用ポリエチレンパイプシステム協会、大沼ら、水道配水用ポリエチレン管を用いた概算数量設計手法の検討、令和4年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp.322-323、2022
- 3) 一社)日本ダクタイル鉄管協会、管路更新を促進する工事イノベーション研究会(第2期)報告書、2023

東大阪市における管網再構築の取組

－管路口径のダウンサイジング検討－

東大阪市上下水道局 ○水谷 義幸

山口 智功

松岡 宏樹

1. はじめに

(1) 東大阪市の概要

東大阪시는大阪平野の東部に位置し、市の大半は標高 5m前後の平野部の市街地で、東部は生駒山系の山々が連なっており、豊富な自然が残されている。昭和 42 年に布施市、河内市、枚岡市が合併して発足した大阪府の中部に位置する市で、人口は約 50 万人であり中核市に指定されている。近年、NHK 連続テレビ小説「舞い上がれ！」の舞台としても名を馳せている。

(2) 本市水道事業のあらまし

本市の水道事業は旧 3 市の事業を継承して開始し、都市の発展に伴い 3 次につながる拡張事業をはじめ、配水施設整備事業などを実施し、安心で安全な水道水を安定的に供給してきた。

市内に大きな河川や湖沼がないため、水源の大部分は淀川から取水している大阪広域水道企業団からの受水となっており、一部は小規模な自己水の浄水により給水を行っている。

給水区域は地形的な特色に伴い、標高が約 10m までの西部の平野部が大半を占めるが、山間部となる東部は標高レベル(約 10～150m(一部 230m))に応じて、南北に長い複数の配水区域を形成する特徴的な給水形態となっている。

表-1 水道事業の概要(令和4年)

給水人口	486,198人	給水戸数	267,151戸
普及率	99.9%	有収率	94.4%
年間配水量	54,399,980m ³	日最大配水量	162,450m ³
水道施設	浄水施設 : 取水場2施設、浄水場2施設		
	送配水施設 : 配水場4施設、ポンプ場1施設		
	配水池13施設、受水槽2施設		
	管路施設 : 総延長 約1,043km		

(3) 本市水道事業の課題と管網再構築の方針・内容

これまで拡張してきた水道施設・管路の老朽化が進む中、近年人口減少傾向にあり、今後の水需要の減少も見据え、水道施設全体の最適化を図る「再構築」が必要となっている。

そのため、水道施設等再構築事業として、平野部主要配水場の統合再編、配水池の耐震化、配水ブロック化、また将来の水運用を見据えた適正な管路口径の見直し(ダウンサイジング)や管路更新・耐震化などを進めている。さらに、水需要・給水収益も減少していくことから、需要に応じた施設規模の適正化(施設の統廃合や規模の縮小等)を図っていく必要がある。

2. 管路口径の最適化

(1) 検討内容

水道事業の課題に基づいて過年度に東大阪市水道施設再構築基本計画を実施し、その中で基幹管路(φ 400mm 以上)については最適口径の検討を実施済みのため、本検討では配水支管(φ 350mm からφ 200mm)について、管路口径の適正化(ダウンサイジング)をして、建設改良事業費の低減を図った。なお、φ 150mm 以下の配水支管については、消火栓の設置や消火時の水圧確保、及び将来の小ブロック化実施の面を考慮し、今後ダウンサイジングの検討を

行う予定である。市では現有の「水道 GIS(水道管路情報システム)^{※1}」を用いて、職員が毎年、各配水区域の管網解析モデルを作成している。本検討では、これを基に主要施設の統合再編や中ブロック化の設定、また地域エリア別の将来水量を設定したモデルを作成して検討した。管路口径の最適化は管網解析を通して実施するが、平常時だけではなく非常時として機場停止時などのバックアップ対応や消火時の検討を通して、所定の有効水頭を満足する必要最低限の口径を最適口径として算定した。尚、検討における制約条件として給水区域の状況や水質面などを考慮して流速や動水勾配の上限を表-2のとおり設定した。

表-2 シミュレーションの検討ケース

ケース	平常時	非常時:消火活動時	非常時:機場停止時
水量条件	日最大・時間最大水量	日最大・時間平均水量	日平均・時間平均水量
確保水圧	0.25MPa以上	極力0.1MPa以上	0.15MPa以上
上限流速	1m/sec	制限なし	制限なし
上限動水勾配	1.5‰	1.5‰	1.5‰
区 域	平野部	○	○
	山間部	○	○

※ 平野部:10万人超、山間部(低区、中区、高区):10万人以下

(2) 検討結果

平野部の配水区域では、現状水量・口径でも所定の水圧を下回る箇所が散見されている状況である。そこで、検討時の動水勾配制限を数段階に変えて有効水頭への影響を確認したところ、管網全体としては厳しい動水勾配の条件においても、ある程度のダウンサイジングは可能であることが確認できた。また、主要機場やブロック注入箇所の事故を考慮した非常時検討では、特定ケースにおける局所的な水圧低下が懸念されたため、水圧低下地区について動水勾配制限を設けることにより、水圧低下を最小限とする結果が得られた。

最終的な結果として、各ケース(平常時、非常時)を通して得られた必要最大口径を最適口径として整理した。これにより様々な状況にも多少の余裕をもった運用可能な管網が形成される。ダウンサイジング前後での最大低下水圧は 0.01Mpa 未満となり、大きな水圧低下を生じることのない結果が得られた。

山間部の各配水区域は傾斜面に位置し、標高の高い箇所における水圧が必然的に低下するため、平野部と同様に動水勾配の制限を変えて検討をした。

山間部の系統については給水人口が 10 万人以下となるため、人口規模に応じた消火用水量を加算した火災時の検討も追加した。系統の規模によっては 4~5m³/min の消火用水量が必要となり水圧がかなり低くなる箇所が生じるため、火点に至る路線をダウンサイジング対象から外すことにより、水圧低下を抑えながら検討をした。山間部については全体的な水圧低下を僅かとしながらダウンサイジングが可能となる結果が得られた。

(3) 費用削減効果

本市の布設単価を用いて、本検討における配水支管ダウンサイジングの費用削減効果を試算したところ、現況口径の更新に対して、約 90 億円の費用削減が可能という結果となった。これは、ダウンサイジングを考慮した適切な資産管理に寄与するものであると考えている。

3. おわりに

山間部の配水区域においては消火時も含めた検討を行ったが、配水基点から想定火災箇所に至るまでの管路路線に通水能力が求められ、ダウンサイジングが多少難しい結果となった。水需要減少に伴い適正口径への見直しが必要な中、消火用水量による制約が生じている。

このような背景を受け、水道分野と消防分野において実態や課題の話し合いを行う動きなどがあるため、水道の担う消火用水量の考え方など今後の動向を注視したい。

費用削減に関して、今回の検討対象管路をφ350mm からφ200mm の範囲としたことで限定的な効果となっており、今後は市の約7割を占めるφ150mm以下の小口径管路についてダウンサイジング検討を行い、さらなる「管路更新工事費用の削減」と「事業の効率化」を図りたい。

最後に、本検討にあたり、様々な提案と助言を頂戴した株式会社ジオプラン・ナムテック様に謝意を表す。

※1 GE社製 Smallworld GIS + ジオプラン・ナムテック社製水道標準システム「Water Suite」

【参考文献】

1) 将来の不確実性に対応した水道管路システムの再構築に関する研究(Rainbows プロジェクト) 公益財団法人 水道技術研究センター、2) 人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究 (Pipe Σプロジェクト) 公益財団法人 水道技術研究センター、3) 逐条問答「消防力の整備指針・消防水利の基準」第2次改訂版 消防力の整備指針研究会

八尾市水道施設台帳システムの開発及び システムのフリーダウンロードについて

八尾市水道局 ○ 林 和志
坂口 亮太

1. はじめに

八尾市水道局（以下、当局という）では、ベテラン職員が有す豊富な知識の暗黙知が常態化していたことで異動者などは設備名称・配置・能力・型式などの把握に時間を要していた。今後、これらの情報が形式知・集合知化できなければ、業務の増加に加えて職員がさらに減少する中で、異動者などが設備の現状把握に努める猶予時間は少ないため、職員の能力低下は加速度的に増していく。これが進めば、老朽化設備の故障時に初期対応である情報検索に時間を浪費し、修繕への遅れが生じる恐れがある。この問題に対して、集合知形成の観点から水道施設台帳の電子化による効率的なナレッジマネジメントを目的とした人材育成および技術継承の両面で改善を図るため、施設台帳システムを内製化し、これを他の団体にも提供できる仕組みを構築した。

2. 水道施設台帳の内製化

当局所有の水道施設について、紙媒体の台帳や既設図面から全施設の機器配置状況や型式、設置年度、故障履歴等を抽出・整理する。情報の詳細が不明な場合は、現地精査を行うとともに、電子化への準備として全施設における屋内・屋外・ピット内に設置されている全設備の全景、型式・能力が記載された銘板などの写真を整理し、設備ごとに管理 No. でナンバリングした後、CAD 図面と一致させる（図-1）。管理 No. の整理情報には維持管理情報として、設置年度、故障・修繕履歴、点検履歴、写真を紐付けする。誰でも扱えるシステムとするため、ユーザーフォームを設計し、写真・関連資料フォルダの登録、設備配置平面図の表示や維持管理情報の検索を Excel の VBA を利用しプログラミングする。以上の工程でシステムの開発ならびに運用後のシステム登録・更新のすべてを職員のみで実施している。これにより、イニシャル・ランニングコストゼロを実現し、情報陳腐化を防止している。

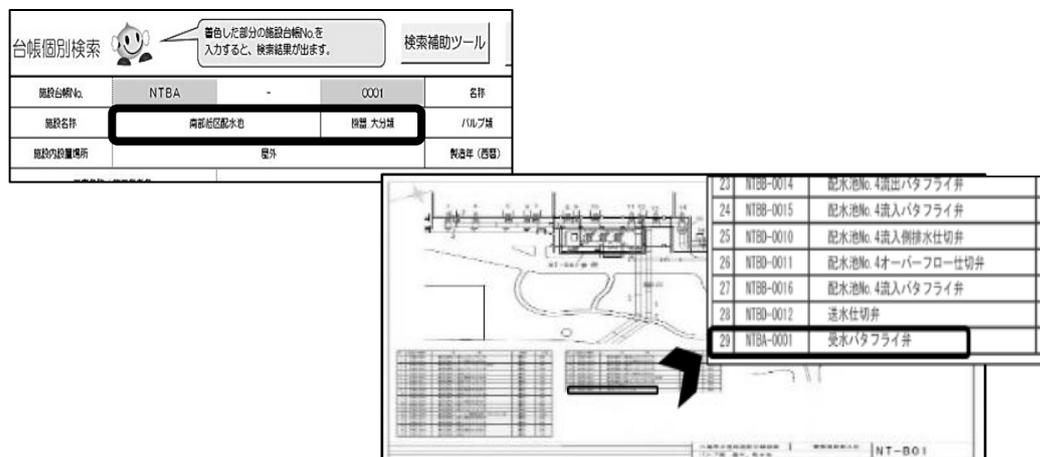


図-1. 管理 No. と CAD 図面の一致

3. システムによるナレッジマネジメントの構築

(1) 情報検索の容易化

情報検索機能は台帳個別検索で行い、設置年度や維持管理履歴、能力などが表示される（図-2）。これにより、台帳データベース（以下、DB という）に登載した設備概要の把握ができる。また、図面検索で設備平面図が表示される（図-3）。これらの情報により設備故障対応時に修繕業者との現地確認が省略できるケースが増える。

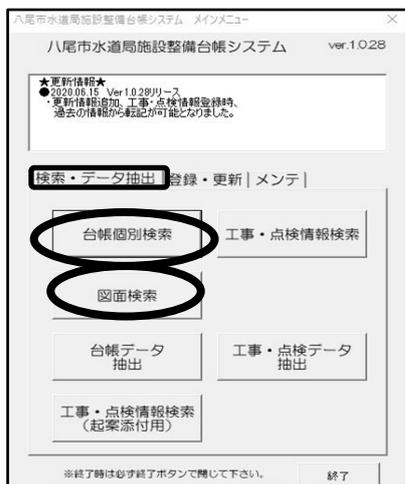


図-2. 検索メインメニュー

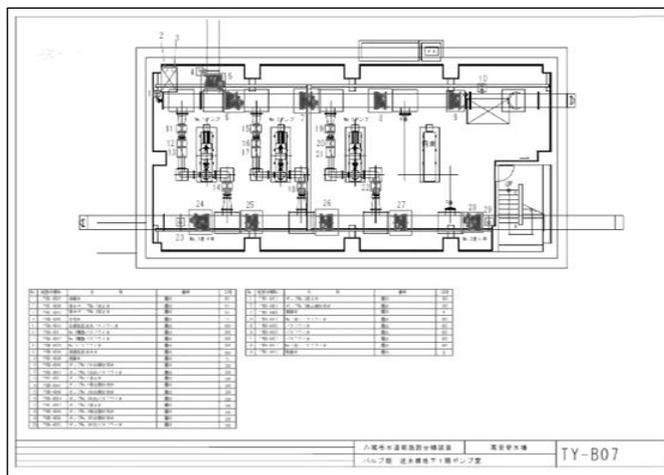


図-3. 設備配置平面図

(2) 情報更新の容易化

設備の更新、修繕・点検の維持管理情報は適宜、DB に職員が登録・更新している。さらに、設備の取り扱い説明書も DB に登録可能である。これら作業手順はワンクリックで行えるため、直営で常に最新情報とできるほか、職員の自主性の醸成、形式知・集合知にも有効に働く。

(3) マネジメントサイクルの構築

最新の維持管理情報などを DB に反映することでマネジメントサイクルが構築される（図-4）。情報検索および情報更新の容易化により「誰でも扱えるシステムを構築」したことでユーザーインターフェースが向上し、ベテラン職員の IT システムへの抵抗の解消、異動者の早期な現状把握と能力向上、知識の空洞化対策を図り、ナレッジマネジメントの構築を実現している（図-5）。

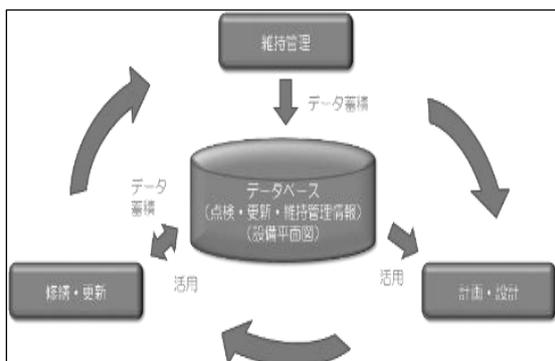


図-4. マネジメントサイクルイメージ

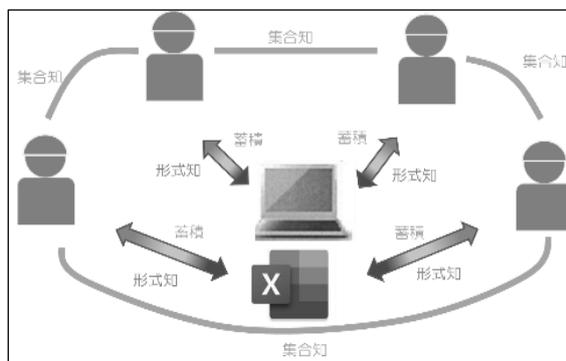


図-5. ナレッジマネジメントの構築イメージ

4. 施設台帳システムのフリーダウンロード

令和5年度から当局のホームページで本システムのフリーダウンロードを開始した。図-6のQRコードを読み込むか、インターネットで「八尾市 台帳システム」などで検索をかければヒットする。ダウンロードした初期化システムは、独自のシステムとするために「台帳No.の割り付け」や「写真の登録」などの若干のカスタマイズが必要となるものの、コスト面やシステムレガシー化などの課題を抱える団体の運営効率化の一助になれば幸いである。



図-6 フリーダウンロードQRコード

住宅密集地域におけるドローンや特殊カメラ等を 活用した水管橋点検

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

1. はじめに

令和3年（2021年）に発生した和歌山市の水管橋崩落事故により全国的に水管橋の点検、維持管理が課題となっている。本市においても、水管橋点検を毎年度実施しているが、遠方目視でしか点検していない水管橋や死角で見えない範囲があることが課題であった。そこで、ドローンや特殊カメラ、AI等のDXを用いた点検調査を実施したので報告する。

2. 本市における水管橋概要・水管橋点検

本市は大阪市の北側に隣接しており、市内全域が人口集中地区（DID地区）であり大阪都市圏の衛星都市、ベッドタウンとして栄え住宅が密集する地域である。地域水道ビジョンである「第2次とよなか水未来構想」や「管路施設の管理計画」に基づき、施設の重要度により定めた周期で職員による点検を行うとともに、劣化状況に応じた適切な整備を行う等、効率的かつ合理的な点検整備を進めている。

本市には78橋の水管橋があり、その内訳は河川横断49橋、道路横断2橋、水路横断27橋で、河川横断の中で補剛形式の水管橋が6橋ある（図1参照）。この78橋の水管橋点検に対し、本市では毎年度職員による目視点検を実施しているが、管体や防護柵の腐食状況と漏水の有無程度でしか評価していなかった。しかし、和歌山市での水管橋崩落事故を受けて、当時の「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（厚生労働省：令和元年9月）」（以下、「ガイドライン」という。）や「露出鋼管（水管橋等）～外面塗装劣化診断評価の手引き～（公益社団法人日本水道協会・WSP 日本鋼管協会：平成25年3月）」（以下、「鋼管手引き」という。）に基づく緊急調査を改めて職員で行った結果、遠方目視でしか確認できない水管橋や死角により目視できない範囲のある水管橋が確認された。そこで、令和4年度（2022年度）から3年計画で28橋を対象に、ドローンや特殊カメラ、AI等のDXを活用した点検や超音波による管厚調査を委託に行っている（写真1参照）。

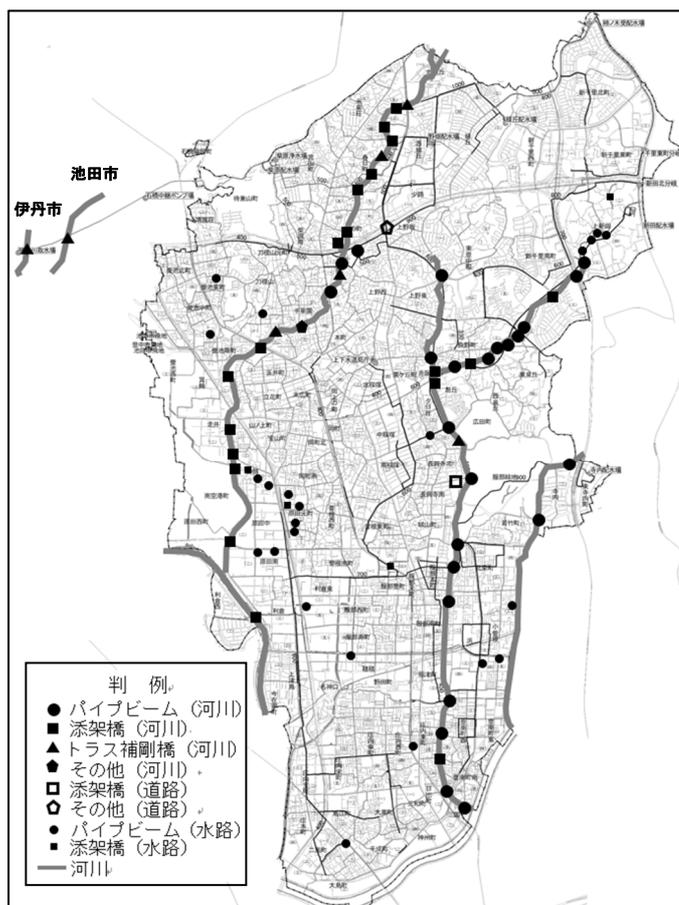


図1 水管橋分布図



写真1 特殊カメラによる点検状況

3. DX を活用した水管橋点検の内容

令和4年度（2022年度）に実施した委託点検対象は、補剛形式の水管橋および破損により多大な影響が生じる基幹管路やブロック内幹線のパイプビーム水管橋や添架水管橋、計14橋を選定した。本市の水管橋は100mを超えるような大規模な水管橋は1橋しかない。また、本市が住宅密集地域のため小規模ではあるが狭隘な場所に設置されている水管橋が多いことに加え、大阪国際空港付近では飛行禁止区域もあるためドローンだけの点検では確認できる範囲に限界があった。そこで、ドローンだけの点検にこだわらず、ポール付きのアクションカメラや360°カメラ、スマートフォン+ネットワーク型RTK-GNSS測位（衛星データと周辺の電子基準点からリアルタイムに数cmの誤差で位置情報を取得する技術）を活用し、水管橋の死角部分の点検を行った。なお、点検項目はガイドラインと鋼管手引きをもととした。

点検結果は、ドローンや特殊カメラにて取得した画像データをもとにオルソ画像にて整理した（図2参照）。オルソ画像とは、位置ズレ、歪みを補正した画像であり、広範囲を1枚の画像に集約することができ、不具合部や錆、腐食の大きさとその位置の把握が可能となる。また、そのオルソ画像や取得したデータをもとにAIによる画像解析を実施した。加えて、撮影した写真から画像解析技術（SfM処理）により3D点群データの取得も試行的に行うとともに一部の鋼管については既存技術であるが、超音波による管厚調査を実施した。

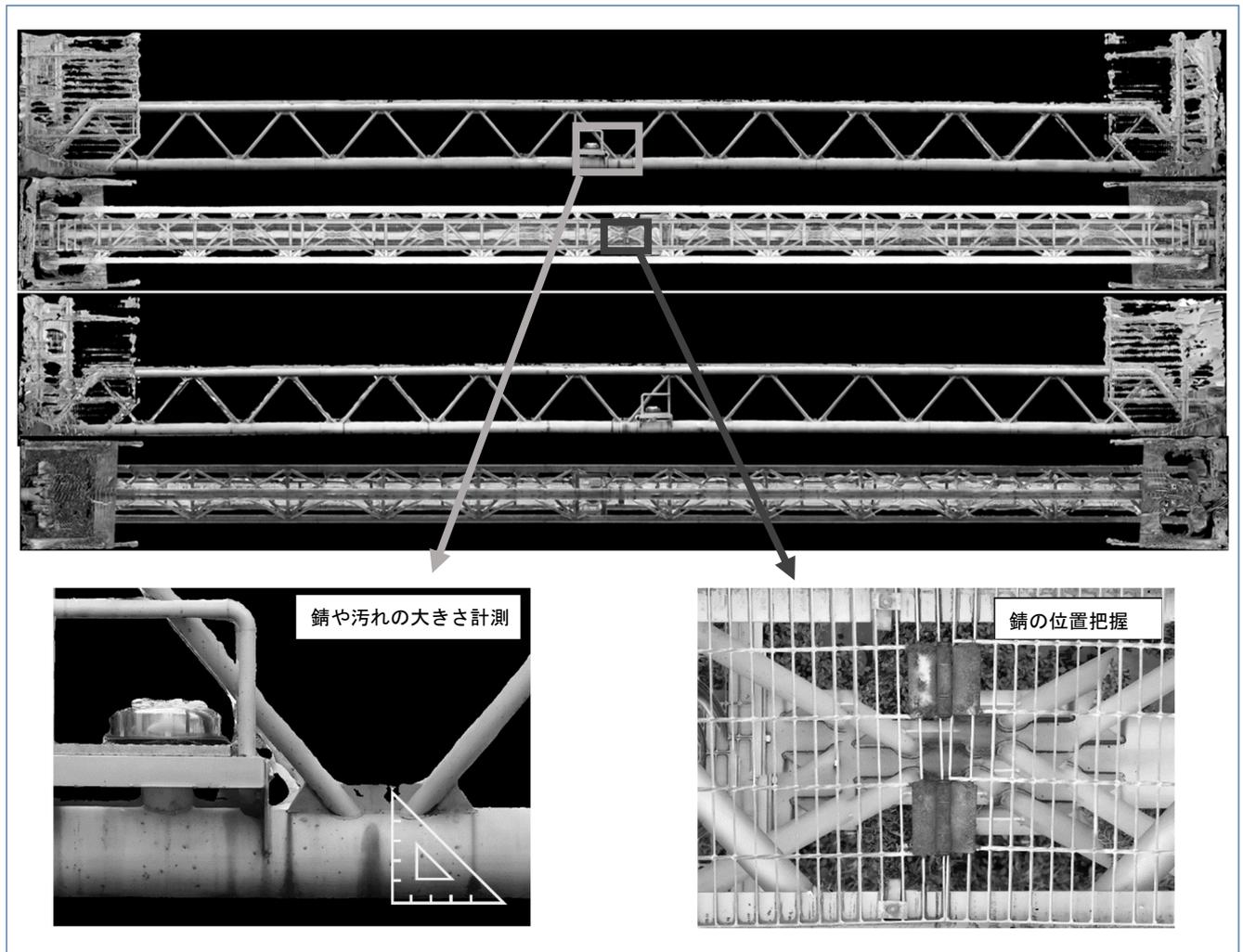


図2 取得したオルソ画像（4面）と活用イメージ図

4. 水管橋点検結果と取得データの活用

今回の点検調査ではドローンにて水管橋全面を撮影できたものは14橋中8橋、一部のみ撮影できたもの

は1橋であった。この1橋とドローンでの撮影が困難であった水管橋5橋は特殊カメラを用いて点検を行った。なお、撮影条件により全面（上下左右4面）オルソ化が可能であった水管橋はドローンで撮影ができた8橋と3面が1橋、1面が2橋の計11橋あったが、オルソ画像ができなかった水管橋やドローンで撮影できなかった面も特殊カメラにより概ね確認できた（表1参照）。

表1 点検結果一覧

No.	導送配	竣工年度	型式	形式詳細	延長(m)	口径(mm)	管種	調査方法	調査結果
①	配水支管	1994	トラス補剛形式	三角トラス補剛形式	20.0	200	ステンレス鋼管	ドローン管厚調査	ドローンにて全面点検し、歩廊のボルト緩み、点検扉の蝶番に発錆を確認した。
②	配水本管	1967	パイプビーム	アーチ形式	20.0	500	鋼管	ドローン	ドローンにて全面点検し、管体と空気弁分岐部根本の外面防食材にひび、腐食、錆汁を確認した。
③	配水支管	1976	トラス補剛形式	三角トラス補剛形式	20.0	200	鋼管	ドローン	ドローンにて全面点検し、外面防食材に一部剥がれを確認した。
④	配水支管	1967	橋梁添架		22.0	300	ダクタイル鋳鉄管(A形)	ドローン特殊カメラ	橋梁添架管であるため、橋梁と水管橋の間は特殊カメラにて初めて点検でき、管体及びボルトナット、添加支持金具の発錆を確認した。
⑤	配水支管	1989	トラス補剛形式	四弦トラス補剛形式	23.4	200	ステンレス鋼管	ドローン管厚調査	ドローンにて全面点検し、歩廊のボルト緩みを確認した。
⑥	送水管	1996	橋梁添架		21.9	600	ダクタイル鋳鉄管(S・SII形)	特殊カメラ	橋梁の真下に添架されている水管橋であり、橋梁と水管橋の間は特殊カメラにて初めて点検でき、良好であることが確認できた。
⑦	配水本管	1966	パイプビーム	単純支持	14.0	500	鋼管	ドローン	ドローンにて全面点検し、外面防食材に一部剥がれを確認した。
⑧	配水支管	1990	橋梁添架		21.0	200	ステンレス鋼管	特殊カメラ	グレーチングに囲われた水管橋であり、底面は特殊カメラで初めて点検でき、良好であることが確認できた。
⑨	配水支管	1995	ランガー補剛形式		19.0	200	ステンレス鋼管	ドローン	ドローンにて全面点検し、補剛材に真上等、今まで点検できていない部分も含めて良好であることが確認できた。
⑩	配水支管	1977	橋梁添架		27.0	200	鋼管	特殊カメラ	歩道橋の間狭窄な場所に添架されており、特殊カメラで今まで確認できていなかった外面防食材に剥がれ、剥がれ部に雨水が溜まりを確認できた。
⑪	配水支管	1994	橋梁添架		30.0	200	ダクタイル鋳鉄管(S・SII形)	特殊カメラ	スリット上のルーバー内に設置されている水管橋であり、今まで点検ができていなかった水管橋であるが特殊カメラにて点検し、良好であることが確認できた。
⑫	導水管	1974	トラス補剛形式	三角トラス補剛形式	33.0	450	鋼管	ドローンAI解析管厚調査	ドローンにて全面点検し、外面防食材の劣化を確認した。管厚調査により減肉を確認した。
⑬	導水管	1969	パイプビーム	単純支持	15.0	450	鋼管	特殊カメラAI解析管厚調査	空港付近のため飛行禁止区域。パイプビームであるが、道路橋の真横に近接し敷設されており、特殊カメラで道路橋との間を初めて確認できた。管厚調査により減肉を確認した。
⑭	配水本管	1967	パイプビーム	アーチ形式	17.0	900	鋼管	ドローンAI解析	ドローンにて全面点検し、外面防食材に一部ひび割れを確認できた。

その結果、これまでの遠方目視では確認できなかった水管橋を近接で確認でき、これまで見逃していた錆や塗装の剥がれ、ボルトのゆるみ等を確認することができた（写真2参照）。特に、スリット状のルーバー内に設置された水管橋はこれまで見ることもできなかったが、ポール付カメラをスリットの隙間挿入することで、近接目視により異常がないことを確認できた（写真3参照）。

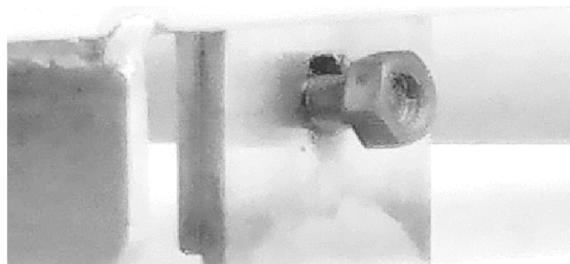


写真2 No. ⑤歩廊のボルトの緩み

オルソ画像では、水管橋全体とひび、錆等の変状の分布とその規模が一目で把握でき、次回点検時にもこのオルソ画像を用いることにより、変状の進行度合いを評価することが可能となった（図3参照）。この進行度合いを定量評価することで更新・修繕時期の把握や計画等のアセットマネジメントに繋げることができると考えている。また、点群データによる座標管理により、橋台の沈下や水管橋の屈曲が把握でき、落橋につながる予兆を捉えることができると考えている（図4参照）。

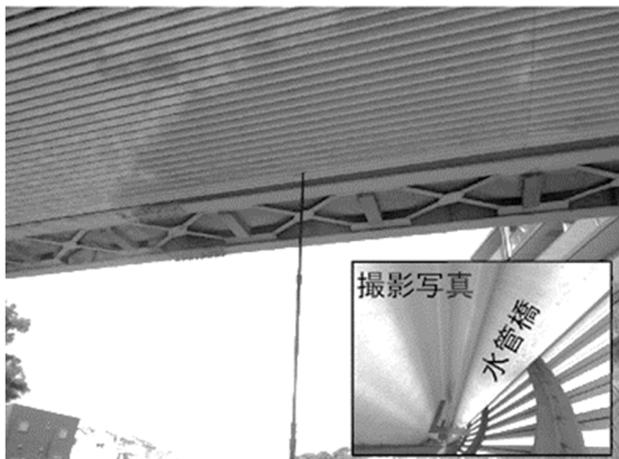


写真3 No. ⑪スリットルーバー内水管橋撮影状況

AIによる画像解析では、通常、画素単位で変状を検出するAIエンジンが多いが、本業務では画像単位、今回はオルソ画像で解析を行うことで、作業の効率化とコスト削減を図った。

この結果、オルソ画像の継目や管の継手等にひび割れや錆の過検出や誤検出はあったものの人の目による見逃し防止として有用であることを確認した。

なお、ドローンによる点検結果で腐食、劣化が進行していると判定された導水管2橋については、管厚調査においても減肉が確認されたことから、令和5年度(2023年度)に延命化対策工事を行っている。

水管橋台帳や点検結果については、現地での点検結果の即時反映を目的としたタブレットおよびスマートフォンの活用や市販のクラウドサービスでの管理について機能面、拡張面、費用面、更にベンダーロックインの回避を考慮しながら検討したいと考えている。

5. まとめ

水道事業体は全国的に職員数の減少と技術継承の課題に直面しているなか、水管橋をはじめ水道施設の老朽化が進み、その点検に苦慮している。今回実施したドローンや特殊カメラ、また、取得したデータから作成したオルソ画像等、DXが水道分野における課題解決の1つのツールとして十分有効であることが確認できた。今後は改正された水道法施行規則やガイドラインとの整合を図りつつ、今回取得したオルソ画像や点群データの活用等、熟練者の経験に頼らない効率的な水管橋点検手法とその周期を検討していきたい。また、建設部門と連携し、水管橋建設時は点検用歩廊設置等、点検のしやすさも考慮した計画、設計を心がけたい。

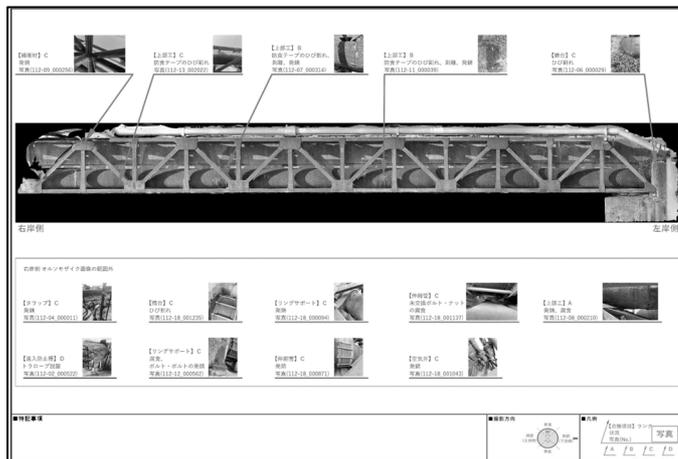


図3 オルソ画像による水管橋点検(スマートフォン撮影)

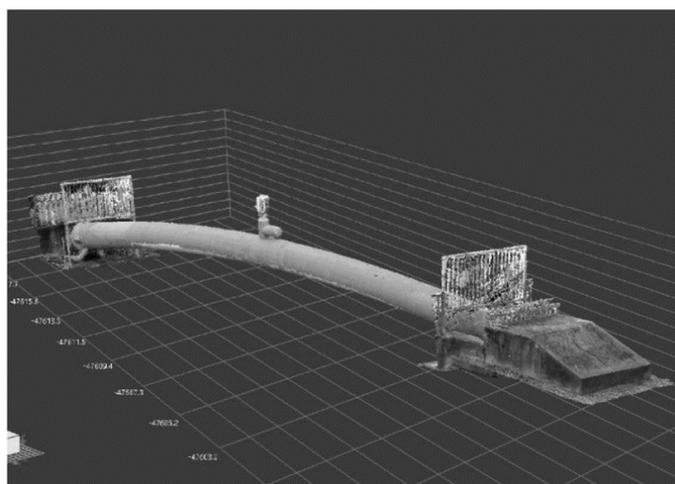


図4 水管橋3D点群モデル

配水管内における夾雑物低減に資する漏水修繕方法の検討

～断水器を使用した配水管の不断水修繕～

大阪市水道局 ○北谷 健太

大阪市水道局 永田 健次

大阪市水道局 家永 有記

1. はじめに

大阪市水道局では、平成3年7月に発生したシーลコート[®]の給水装置への流出事例を契機に、平成4年度から計画的洗浄排水作業を実施しており、これと管路更新事業の進捗も相まって、濁り苦情は年々減少している。しかしながら、件数は少ないものの、配水管由来と考えられる錆・砂・塗膜片・木片・鉄屑・モルタル片・シーลコート等といった夾雑物の給水装置等への流出が局所的に発生している。このような夾雑物が発生すると、継続的に排水を行う等の対策を行っているが、早期に解消できる事例は少なく、補償事案に発展することも多い。こうした夾雑物の流出事象は、お客さまからの水道水質への不安を招く一因となっており、解消に向けた対策が必要である。

前述のとおり、こうした夾雑物は配水管由来と考えられるが、本研究では、このうち配水管の木栓を使用した漏水修繕に起因すると考えられる木片の流出対策に着目し、木栓による漏水修繕の代替となる修繕方法について検討するなど、修繕後に管内に木栓が残存しない方法について調査、研究を行ったので、その内容について報告する。

2. 木栓を用いた漏水修繕方法

漏水が発生すると止水を行う必要があるが、この際、お客さまの水使用への影響低減のため、可能な限り不断水で止水することが望ましい。この一般的な止水方法として、漏水部分に木栓を打ち込み、その修繕部分に割継輪を設置し保護する方法が、全国的にも広く採用されている。

この木栓を用いた漏水修繕方法は、打ち込まれた木栓をハンマーで叩き込むことと、木材が時間の経過とともに、水を吸収して膨張することによって摩擦力を増し、漏水孔の中で木栓が変形して止水するものである。この方法は材料調達が安価で、かつ木栓部は加工が容易で漏水孔の形状



写真-1 混入した木片

写真-2 木栓挿入風景



写真-3 木栓の加工

を問わず、また作業に特別な技術を要しないメリットがある。その一方で、作業過程で配水管に激しく叩きまれた木片の先端部は管内に残存し、その残骸が夾雑物化する可能性があるというデメリットがある。

このため、木栓を使用せず別の材料を用いて漏水修繕を行う方法について、検討を行った。

3. 木栓に代わる止水機構の検討

(1) 新たな止水機構に必要な条件

木栓に代わる止水機構として、求める条件は以下の3点となる。

- ・ある程度複雑な漏水孔でも変形して止水できる材質であること
- ・長時間水道管内にあっても劣化しにくく、水道水質に影響を及ぼさない材質であること
- ・調達が容易で、市場性がある素材であること

上記を満たす素材として、給水管断水用の置きコマ断水器¹⁾を加工し、配水管の漏水孔に適用する方法を検討することとした。



写真-4 置きコマと断水器

(2) 置きコマの改良

まず、置きコマのメーカーにヒアリングを行い、以下の3点の意見を得た。

- ・置きコマのゴム部分は、加工手間を考慮すると、既存の円筒形のものを用いたほうが良い。
- ・断水器は既存のものよりも長いほうが望ましい。
- ・漏水孔への置きコマ断水器の適用可否判断には、フィールド実験が必要。

これを踏まえ、本市にて置きコマの改良を行った。給水管における置きコマは円筒形になっており小口径の給水管に対してコマが受ける水圧は考慮されていない。しかし、本市で一般家庭に使用されてきた25 mmの甲型分水栓の破損や腐食による木栓での修繕が事例として最も多く、水圧についても、平成8年より実施された、3階以上への直結直圧給水拡大に向けた最小動水圧 0.196MPa 以上確保のための、配水ポンプの高揚程化により昇圧されている現在では、真上に吹き上がる水圧に対しその圧を受け流しながら木栓を打ち込む作業は容易ではない。給水管の断水作業は置きコマを止める位置に特に考慮する必要もなく、水圧に押し負けない程度の力で置きコマを拡張させれ



写真-5 突き抜けた置きコマ

ばよい。しかし配水管に対しその直上部から管の厚み部分の限られた場所へ、断水コマを設置しようとしても、**写真-5**のように突き抜けてしまうリスクが高い。

これを回避するため、**図-1**のようなコマの置き場を一定にするためのリングワッシャーを取り付け、定位置に断水コマを密着できる構造にした。ワッシャーは水圧を横方向へ受け流すとともに足をかけられるなど水圧に対しストッパーとなる効果にも期待される。

なお、断水器については、既製品を用いて実験を行うこととした。

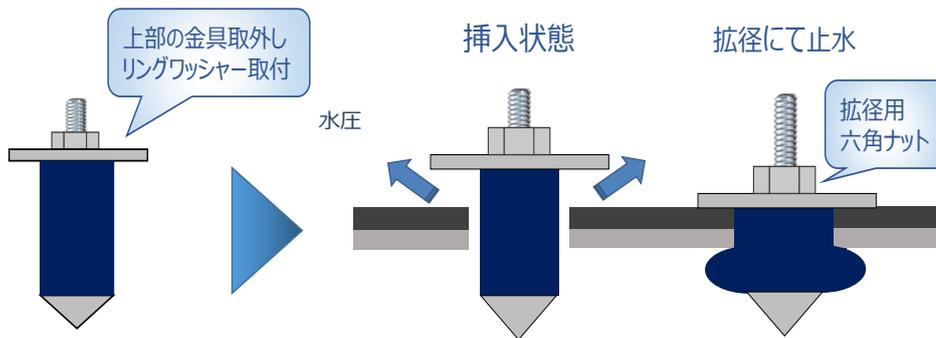


図-1 置きコマの改良

4. 改良した置きコマを用いた実証実験

改良した置きコマで実際に止水が可能であることを確認するため、本市研修施設内の配管（口径150mmのNS形ダクタイル鋳鉄管）に様々な口径、形状の疑似漏水孔を設置し、改良した置きコマと既存断水器を用いて、止水実験を行った。実験は、置きコマ断水器を用いた給水管の断水作業の経験が豊富な職員が作業を行い、体感的に配水管でも同様の作業が可能であるか、確認することとした。



写真-6 円形孔と異形孔

実験の結果、13mm、20mm、25mmの小口径漏水孔の場合、円形孔、異形孔にかかわらず、給水管を止水する場合と比較して、技術的に大差なく挿入できたと、給水管での作業を行った経験のある職員両名が同じ感想を述べた。実際の施工環境と比較して、研修施設での施工環境が整っていることを考慮して

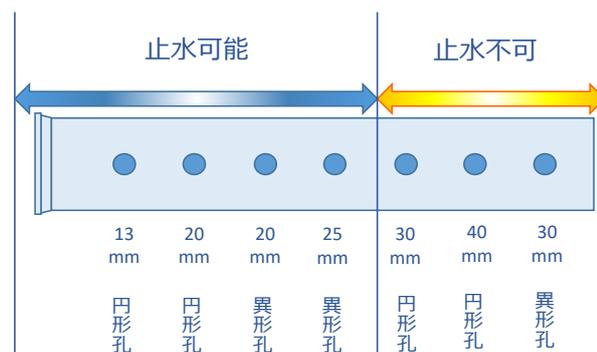


図-2 止水実験結果

も、十分実地で施工は可能であると考えられる。また異形孔に関して、置きコマのゴム部分が広がり、多少の異形孔では、止水可能であることが確認された。

なお、それ以上の口径の漏水孔については、ねじ込み式の断水器では対応できず、止水は困難であった。

漏水孔口径（異形孔）25mmの置きコマ設置状況を**写真-7**に示す。設置後の置きコマは非常に安定しており、完全止水に至った。本研究では



写真-7 25mm 異形孔止水状況（有圧）

最終的に安定した耐久性を有し、割継輪の設置を不要とした経済的な手法・構造を目指しているが、漏水孔がいびつであるなど、完全止水に至らないケースも考えられる。その際、漏水量の減少が見込まれる場合は、木栓同様に上から割継輪を設置し、修繕を行う必要がある。設置後の置きコマのネジの突起部分は4cm程度であり、金鋸やディスクグラインダーなどで容易に切断が可能なることから、割継輪の設置が可能であることが確認された。

6. おわりに

木栓は安価で調達しやすく、一定期間において管内に叩き込まれた木材は時間とともに水分を含み膨張し、管体と強固に密着する理にかなった工法である。しかし、木栓が原因と考えられる夾雑物リスクが存在することから、置きコマ断水器を木栓の代替として使用する修繕方法の検討を行った。この方法は実地においても有効と考えられ、かつ安価で流通している置きコマの改良で対応可能であることが判明した。また、今回異形孔についても一定の成果が得られたが、漏水孔の形状は多岐に及ぶことから、さらなる検討が必要である。このように、本研究では、水道水のより一層の安心安全の追求にむけて、断水器による新たな修繕方法として、木片夾雑物の低減に資する有効性を確認することができた。今後も積極的かつ継続的に工器具の改良を含めた改善・改良に取り組んでいきたい。

本研究にあたり、栗岡式断水器の配水管修繕工事への工器具の改良については大喜工業株式会社のご担当者様にご協力いただき、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大喜工業株式会社 栗岡式置きコマ断水器
(商品 HP : www.daikikoma.com)

小規模水道施設更新における施設諸元の検討

奈良市企業局 ○岩田 学
藤原 信吾
乾 伸之

1. はじめに

奈良市の市街地東端に位置する川上ポンプ所及び川上配水池は若草山の麓にあり、高地盤地区へ供給している小規模水道施設である。現在、当該施設は2軒のホテル事業者のみに給水している。また当該地域は「古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法（古都保存法）」により開発行為が規制されており、新たな給水は見込まれない状況である。

当該施設は昭和30年代に建設されており、老朽化が著しく、漏水事故も生じていることから更新工事を計画することとした。施設更新にあたり給水利用者が限られた小規模水道施設であること等の地域特性を考慮した基本諸元を検討したことについて報告する。

2. 計画一日最大給水量の検討

計画一日最大給水量算定の一般的な手順について図-1に示す。計画一日平均使用水量を求める際には、水使用実態調査の統計資料または実績より推定する。しかし当該施設の給水状況は特殊な状況であり、統計資料を用いると実態と乖離する恐れがあるため、実績値を基に算定することとした。ところが当該施設は流量計を設置しておらず、流量に関するデータは無い。そこで調停水量を基に3つの手法により算定し、比較することとした。

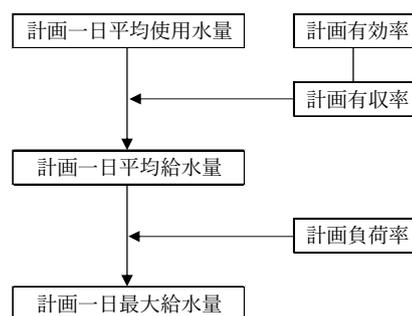


図-1 計画一日最大給水量算定の一般的な手順

2-1. 負荷率による算定

当該給水区域における年間調停水量から一日平均使用水量を求め、その値を基に市内全域における有収率と負荷率により計画一日最大給水量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{一日平均使用水量} &= \text{年間調停水量} \div \text{調停期間日数} \\ &= 74,010 \text{ m}^3 \div 364 \text{ 日} \\ &= 203 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{計画一日最大給水量} &= \text{一日平均使用水量} \div \text{有収率} \div \text{負荷率} \\ &= 203 \text{ m}^3 \div 90.4\% \div 89.6\% \\ &= 251 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2-2. 日最大給水量比による算定

過去7年間の当該給水区域における月間最大調停水量と、同時期の市内全域における月間給水量と日最大給水量の割合及び有収率から計画一日最大給水量を算定した。

$$\begin{aligned}\text{日最大給水量比} &= \text{市内日最大給水量} \div \text{月間総給水量} \\ &= 118,860 \text{ m}^3 \div 3,788,740 \text{ m}^3 \\ &= 0.03137\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{計画一日最大給水量} &= \text{月間最大調停水量} \times \text{日最大給水量比} \div \text{有収率} \\ &= 7,423 \text{ m}^3 \times 0.03137 \div 90.4\% \\ &= 258 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2-3. ポンプ運転時間による算定

当該施設のポンプ稼働状況と配水池水位は把握しており、これらの情報を基に算定することとした。過去7年間の当該給水区域における月間最大調停水量と、同時期のポンプ運転時間と配水池変動水量から計画一日最大給水量を求めた。

$$\begin{aligned}\text{ポンプ送水能力} &= (\text{月間最大調停水量} + \text{変動水量 (月量)}) \div \text{運転時間} \\ &= (7,423 \text{ m}^3 + 2.7 \text{ m}^3) \div 27,529 \text{ 分} \\ &= 0.2697 \text{ m}^3/\text{分}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{計画一日最大給水量} &= (\text{日最大運転時間} \times \text{送水能力} + \text{変動水量 (日量)}) \div \text{有収率} \\ &= (995 \text{ 分} \times 0.2697 \text{ m}^3/\text{分} + 1.5 \text{ m}^3) \div 90.4\% \\ &= 299 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2-4. 計画一日最大給水量の決定

算定した各計画一日最大給水量の最大値であり、当該施設の稼働実績による算定である299 m³を計画一日最大給水量として採用することとした。

3. 管路の検討

当該施設の既設管路は送配水兼用となっており、給水圧力の均等化や水質等の管理面を考慮し、送配水分離型として整備することとした。また流速及び損失水頭を基に口径を決定した。

4. 送水ポンプの検討

当該地域は古都保存法による建築規制があるが、人が出入りしない工作物は設置できることから、ポンプ井を設けて水中ポンプで送水することとした。送水ポンプを選定する際に必要となる吐出量については計画一日最大給水量、全揚程については実揚程にヘーゼン・ウィリアムスの式で計算した損失水頭を加えた値を用いた。その結果、265L/min×11kW と 310L/min×15kW のポンプが候補として挙げられた。

5. 配水池容量の検討

配水池容量の考え方について図-2に示す。配水池容量は一般的に計画一日最大給水量の12時間分を標準としている。当該地域は古都保存法により、高さ5mを超える工作物を設置することができない。また山中にあることから広い用地を確保することも難しい。以上を踏まえ配水池容量を表-1に示す4つの案に整理し、火災時の運用検討により決定することとした。

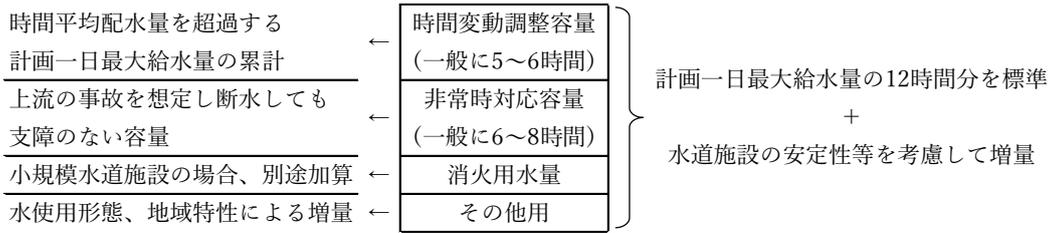


図-2 配水池容量の考え方

表-1 配水池容量案

	案A	案B	案C	案D	
消火用水量の考え方	別途加算		非常時対応容量に含む		
ポンプの選定	11kW	15kW	11kW	15kW	
時間変動調整容量	6m ³	0m ³	6m ³	0m ³	ポンプ送水量を超過する給水量累計
非常時対応容量	75m ³	75m ³	75m ³	75m ³	計画一日最大給水量/24時間×6時間
消火用水量	30m ³	30m ³	0m ³	0m ³	0.5m ³ ×60分(単口消火栓65mm)
その他用	0m ³	0m ³	0m ³	0m ³	
配水池容量	120m ³	110m ³	90m ³	80m ³	一の位切り上げ

運用上の低水位時(2.2m)に消火用水量が必要となった場合、図-3に示すように全ての案において施設管理上の下限水位とする1m以上を保っていることから、配水池容量は80m³とした。

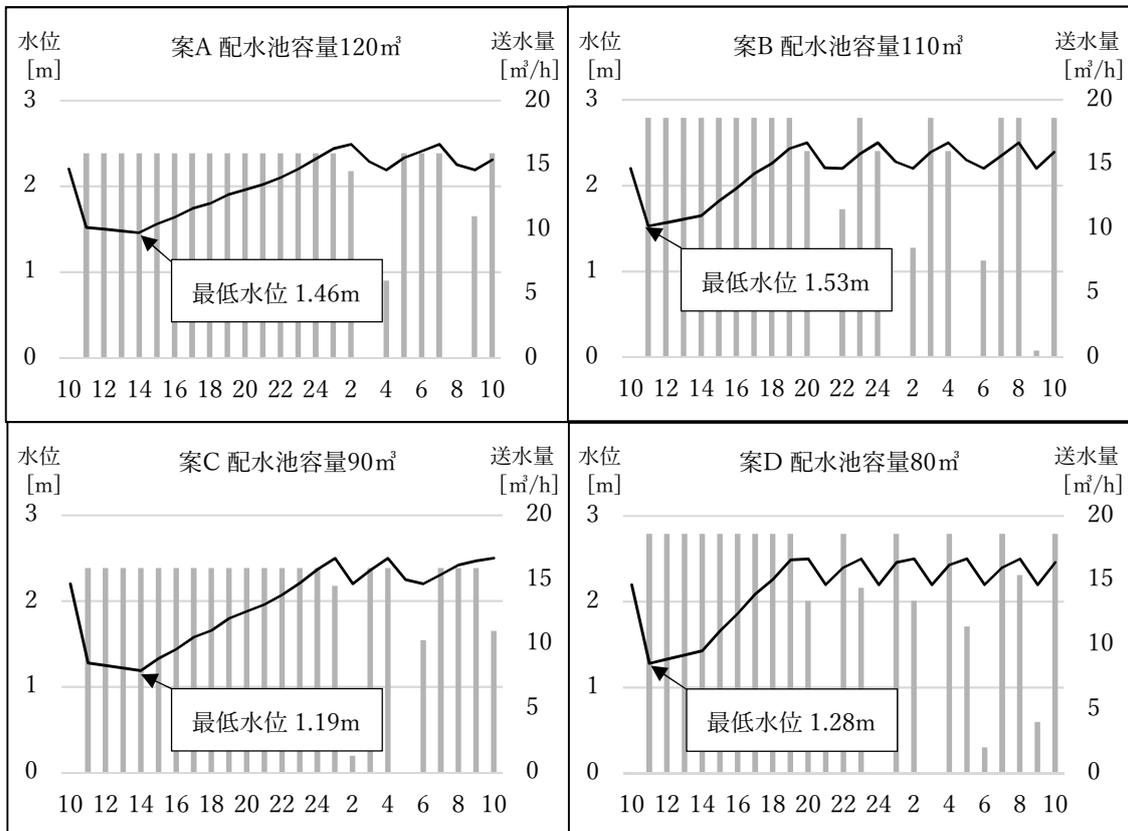


図-3 火災時の配水池運用

6. 非常用発電設備についての検討

運用上の低水位時（2.2m）に停電が発生し、施設管理上の下限水位とする1mに達するまでの停電許容時間の検討を行った結果を図-4に示す。停電許容時間は136分となり、可搬型非常用発電機による停電対応を行うには時間的余裕が少なく、夜間や悪天候時には、更に対応に苦慮することが見込まれる。安定した配水池管理を行うため、据置型非常用発電機をポンプ所に設置することとした。

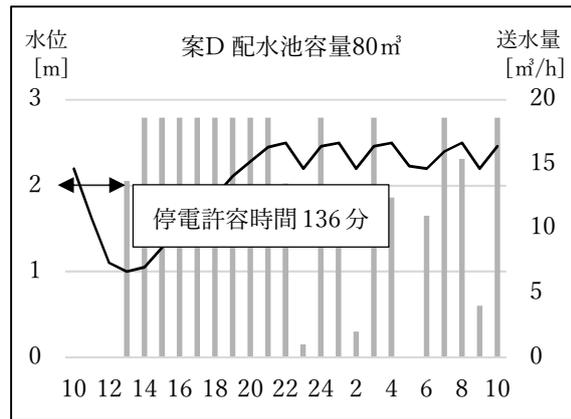


図-4 停電時の配水池運用

7. まとめ

小規模水道施設では需要の影響を大きく受ける上、業務営業用水が主体となる場合には一般的な需要変動と異なることから、実態を正確に捉える必要があると考える。当該施設の更新にあたり、給水状況や地域の特性を加味した計画給水量算定や施設規模の検討を行った。特に配水池容量については一般的な算定を行わず、シミュレーションにより容量設定を行ったことから、適正に規模の縮小が図れることとなった。

水道配水用ポリエチレン管用スクイズオフ（圧着一時止水）工法について

配水用ポリエチレンパイプシステム協会 ○小島 賢一郎
池田 満雄
山中 大輔
塩浜 裕一

1. はじめに

近年、全国の水道事業者で水道配水用ポリエチレン管（以下、HPPE 管）の採用が増加し、その布設延長は、2022 年度末時点で延長 58,493 km^{*1}に達しており、口径 150 mm 以下での HPPE 管の構成比は 50%を超えるまでになっている。（※1 日本水道協会 検査実績より POLITEC 算出。）

HPPE 管の維持管理手法として、配水用ポリエチレンパイプシステム協会（以下、POLITEC）では、任意の場所で一時的な止水もしくは水流を抑制する工法としてスクイズオフ（圧着一時止水）工法を呼び径 50 mm から 100 mm で確立したことにより、水道事業者での採用が進んでいる。

POLITEC ではスクイズオフ工法を採用した水道事業者や実際に工事に携わった施工会社へのヒアリングを実施し、スクイズオフ工法の採用効果や工法及び工具類の要望に基いた改良について報告する。

2. HPPE 管用スクイズオフ工法の概要

2-1. 適用口径

HPPE 管の口径 50 mm, 75 mm, 100 mm の 3 口径で可能である。

2-2. HPPE 管専用工具

圧着ストッパー付の専用工具を使用する。従来の圧着機は圧着ストッパーがついておらず必要以上に管を潰してしまい管体へのダメージが大きくなるため HPPE 管への使用を禁止している。また専用工具の圧着部は HPPE 管用に改良された圧縮棒となっている。

2-3. 工法の条件

1 点目は一時止水部分の既設管と新管の接続にはメカニカル継手を使用することである。これは使用環境等によって微量ではあるが圧着部に通水があり融着接合できないためである。2 点目は圧着部の補強には EF ソケットを使用することである。

2-4. 工法のフロー

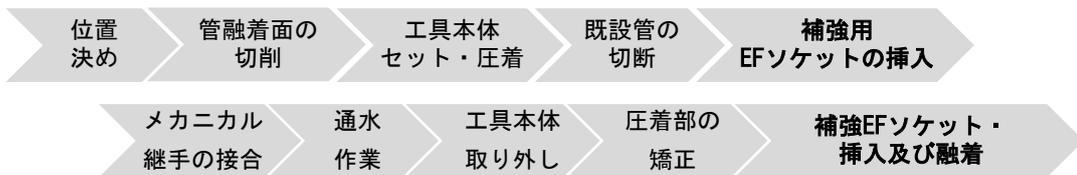


図-1 作業フロー（要約版）



写真-1
スクイズオフ工法

3. スクイズオフ工法の採用事例とその効果

3-1. 採用事例

スクイズオフ工法の採用事例とその効果について、広島県福山市上下水道局における採用事例（2022 年度）を報告する。

HPPE 管口径 100 mm の配水管から分岐した直後に設置されている口径 50 mm 仕切弁が道路改良工事により移設が必要となった。この仕切弁を移設するためには配水管口径 100 mm の仕切弁を閉じる必要があったが、断水範囲が広がるため口径 50 mm 仕切弁の上流部分でスクイズオフ工法により一時止水を実施し、口径 50 mm 仕切弁の移設を行った。（図-2）

3-2. 採用効果

スクイズオフ工法を実施した事例の概要及び効果を表-1 に示し、バルブ操作による断水の場合の影響等は以下の通りである。

- (1) 配水管口径 100 mmの仕切弁を閉じると断水戸数が増加し、さらに断水範囲内に工場等があり時間制約を受け、夜間による断水作業が必須となる。
- (2) 断水範囲には枝管が多く、また管路の高低差が大きいことから、放水時には多数の作業人員と時間を要する。

表-1 スクイズオフ工法の採用事例概要及び効果

スクイズオフ工法の実施箇所	配水管口径 100 mmの分岐口径 50 mm部分で実施	
断水方法	スクイズオフ工法	バルブ操作
断水戸数	5 戸	108 戸
断水範囲の配水管総延長	90m	3,815m
断水範囲の総面積	約 4,000 m ²	約 295,000 m ²
断水時の管洗浄による放水量	2 m ³	最大 67 m ³
断水作業時間	2 時間(昼間施工)	6 時間(夜間施工)

断水範囲は図-3 に示すようにバルブ操作による場合、断水は 108 戸に及んだが、スクイズオフ工法の採用により斜線エリアの 5 戸にすることができた。またスクイズオフ工法作業も順調に進み、予定していた時間内で作業が完了した。

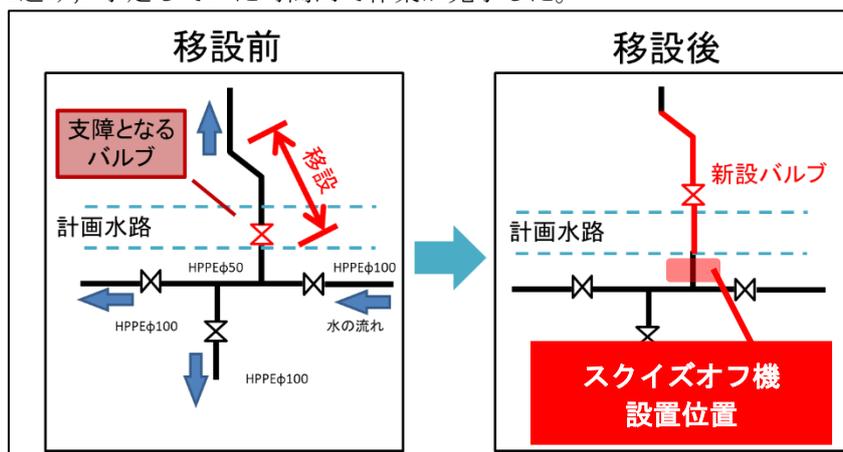


図-2 バルブ移設の状況

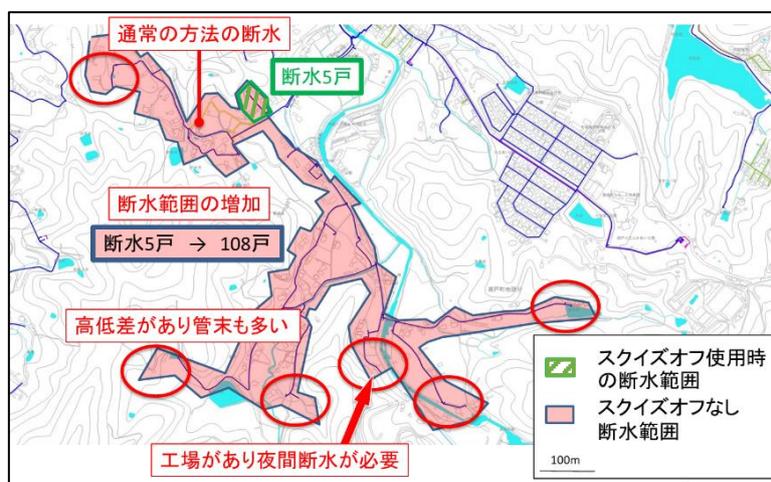


図-3 断水範囲

4. 工法及び工具の改良点

採用水道事業体及び施工会社へのヒアリングを実施し、さらなる施工性向上のために工法及び工具類の改良を実施した。

4-1. 半割型メカニカル継手形補強バンドの採用

(1) 採用の経緯

図-1 作業フローに示す通り、スクイズオフ機による圧着部に EF ソケットを設置することで補強を行っているが、EF ソケットを挿入するためには既設管の切断が必要であり、また水場での EF 接合は注意が必要となることから、管を切断せずに圧着部の補強が可能となる半割型のメカニカル継手（以下補強バンド）が、水道事業体等より要望されていた。そこで、スクイズオフ工法専用の補強バンドを試作し、その性能評価を実施した。

(2) 補強バンドの性能評価内容と結果

① 評価サンプル：補強バンド（試作品）

POLITEC 会員会社にて試作したスクイズオフ工法専用の補強用メカニカル継手（補強バンド）を使用。（写真-2）

以下の評価では、口径 50 mm、75 mm、100 mm について、低温室にてスクイズオフ工法を実施後に、上記補強バンドをセットして行った。



写真-2 補強バンド

② 長期性能評価

a. 試験方法

水をサンプル内に満たした後、試験温度 80℃ に保った水中に浸せし、試験圧力 1.00MPa をかけ試験時間 1,000 時間以上保持し、補強部からの漏れ、破損のないことを確認する。

b. 試験結果

各口径とも、2,629 時間経過で漏れ、破損なし。（写真-3）
試験後に管内面状況を確認。き裂等の進展は確認されなかった。



写真-3 試験結果

③ 耐震性評価

a. 試験方法

油圧式試験装置に接続し、周波数 1Hz で有効長の±3%に相当する 27 mm の振幅を計 30 回与え、補強部周辺の破損等の異常の有無を確認する。（写真-4）

b. 試験結果

口径 50 mm、75 mm、100 mm とも、破損等の異常は見られなかった。



写真-4 耐震性評価

4-2. スクイズオフ機の改良

スクイズオフ工法を採用した水道事業体及び施工会社へのヒアリングの内容を精査した上で POLITEC 会員会社の協力を受け、以下の改良を実施する方針とした。（図-4）

(1) 芯出し機能の追加

圧着する管が油圧シリンダーの中心にセットできるようにガイドを新設する。

(2) 油圧ポンプの変更

口径 100 mm の管を圧着する際の作業性向上のため、油圧ポンプの仕様を変更する。

(3) 本体取っ手の変更

掘削溝での作業性向上のため、取っ手を油圧シリンダー上部へ変更する。

(4) 油圧ポンプのリリースバルブの変更

圧着解放時の微妙な調整がしやすいリリースバルブに変更する。

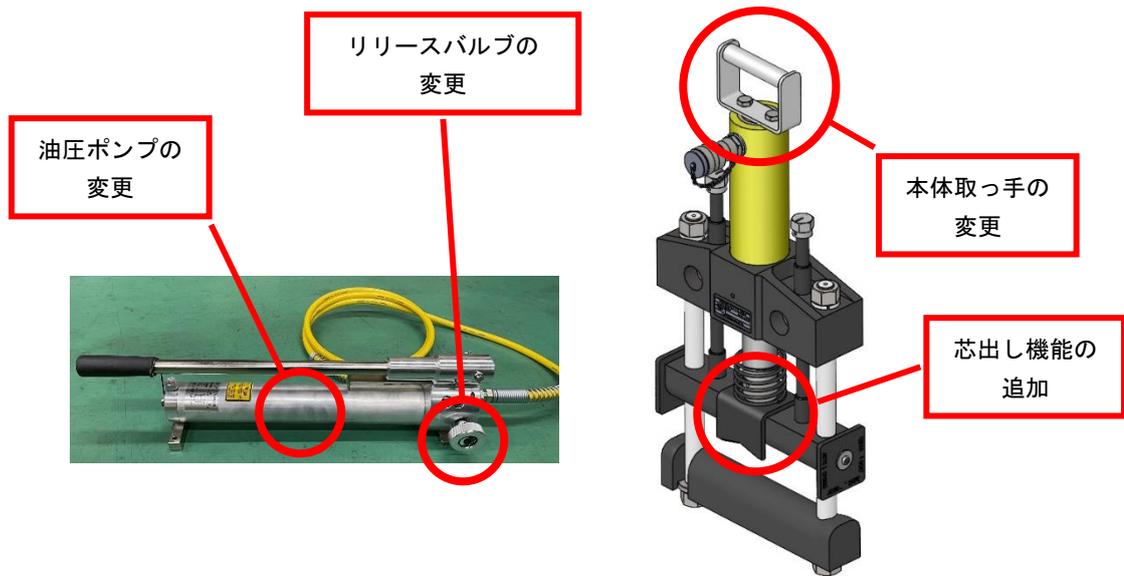


図-4 スクイズオフ機の改良イメージ

5. まとめ

5-1. スクイズオフ工法の採用

水道事業者へのヒアリングによると、近年、店舗の営業形態が多様化している中で、断水の時間制約を受ける機会が増加し、スクイズオフ工法を採用することにより断水範囲を縮小する効果も確認できた。今後、各水道事業者でHPPE管の布設割合が増加することから、スクイズオフ工法の採用により、維持管理業務の作業効率アップ・住民サービスの向上を見込むことができるとのコメントもあった。

5-2. 工法及び工具の改良

補強バンドについての性能検証を実施した結果、従来のEFソケットによる補強と同等の性能があることが確認できた。今後は、市販ベースの試作品を使用した現場での検証評価を進める予定である。また、スクイズオフ機の改良により、さらなる施工性向上を見込んでいる。

POLITECでは、スクイズオフ工法の普及促進のために、今後も工法及び工具の改良について引き続き検討を実施し、HPPE管の維持管理工法の充実を図っていく所存である。

【参考文献】

- 1) 大野宗久他：水道配水用ポリエチレン管のスクイズオフ工法に関する報告，平成28年度水道研究発表会講演集，pp.460-pp461，平成28年
- 2) 池田満雄他：水道配水用ポリエチレン管 スクイズオフ工法の改良に関する報告，令和4年度水道研修発表会講演集，pp.452-pp453，令和4年

伸縮機能を有する既設伸縮可とう管の漏水予防材料の開発

○大成機工株式会社 嶋田 嵩之
和歌山市企業局 宮之原 和俊
和歌山市企業局 永岡 亜隆
和歌山市企業局 東川 仁士
日本ニューロン株式会社 西 勇也

1. はじめに

既設管の変位による接合部からの漏水予防として伸縮可とう管の補修材の開発に日本ニューロン株式会社と着手している中、2021年10月3日に六十谷水管橋崩落事故が発生。本事故については、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であった。

復旧にあたり、所轄である和歌山市企業局は、所管省庁である厚生労働省や和歌山県、河川管理者である国土交通省の協力と受注者や地元水道関係企業の尽力の基、2022年6月15日には塗装工事以外の工事を完了させ、再び六十谷水管橋を使用して通水を再開させた。

和歌山市の六十谷水管橋の事故での経験を本製品に活かすべく3者合意し共同開発を行うこととなり、今回、既設伸縮可とう管からの漏水予防と伸縮機能の向上を目的とした断水を伴わずに施工可能な漏水予防材料を和歌山市企業局と日本ニューロン株式会社と共同で開発した。

(概要)

本開発品の構成を図-1に示す。本開発品は大きく分けて、「本体」と既設管の変位を吸収するステンレス製の「特殊ベローズ」がそれぞれ2分割で構成されており、既設伸縮可とう管の外周に断水で設置できる。

一体成形した特殊ベローズは分割切断前に固溶化熱処理を施すことで溶接個所の食い違いを最小限に抑え、内面を不活性ガス雰囲気として現地一体化溶接を行う。さらに本体との溶接手順を最適化することで設置時に断水を伴わず施工可能とした。本開発品は既設管路への取り付けを前提とするため限られた設置スペースに適合する形状寸法であることが重要である。この観点から特殊ベローズには高低2種類の山形状を交互に配する独自構造を採用する。(図-2)

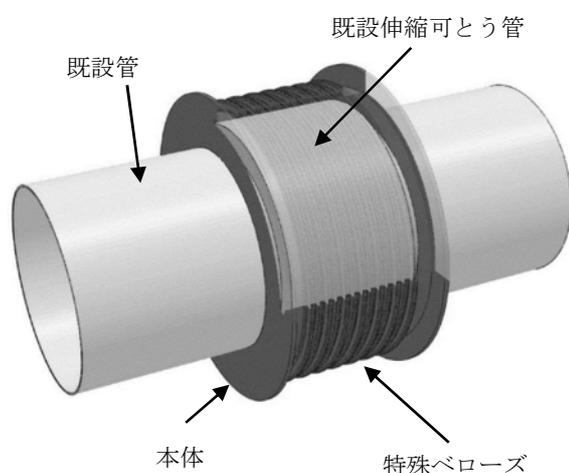


図-1 製品構成

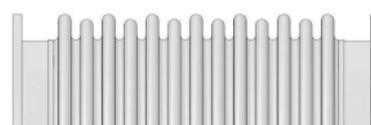


図-2 特殊ベローズの形状

この構造によりベローズ変形時の山同士の干渉を軽減することで、大変位吸収性能が短面間で実現可能となる。通常、ベローズの設計は各種設計規格の強度計算式によって行われるが、本開発品は一般的なベローズ型伸縮可とう管とは構造や用途が異なる。さらに設置管路で最大限に性能を発揮するためには既設管との力学的な相互関係を把握する必要がある。そこで特殊ベローズの設計に際し、FEM 解析による弾塑性変形シミュレーションを行っている。(図-3)



図-3 特殊ベローズの FEM 解析

2. 性能試験

呼び径 400mm において表-1 の仕様にて各種性能試験を実施。

表-1 性能試験品の仕様

呼び径	設計水圧	許容伸縮量	許容偏心量
400	0.75MPa	+200mm - 50mm	200mm

(1) 短期水密性能

本体と特殊ベローズが共に 2 分割であり、現場にて溶接一体化となるため溶接部の水密性を確認。初期取付状態、許容伸縮量および許容偏心量の最大・最小値の状態毎に水圧負荷し、短期水密性能を確認。

結果として、許容伸縮量および許容偏心量の最大・最小値において、水圧 1.25MPa、5 分間保持可能であり、溶接部の水密性を確認できた。

(2) 長期水密性能

初期取付状態において、試験水圧の加圧、減圧(0 ⇔ 0.75MPa)を繰り返し 10 万回負荷し、長期水密性能を確認。

結果として、試験水圧 0 ⇔ 0.75MPa、10 万回保持可能であり、長期水密性能は有していることを確認できた。

(3) 限界水密試験性能

特殊ベローズの製品指標を確認するため、限界水密性能試験として、水圧を昇圧し水密性などの機能を損なわず顕著な変化が見られる最大水圧を確認。結果として、設計水圧 0.75MPa を超える 2.0MPa 保持可能であることを確認できた。供試体の支持が実環境に比べ不安定な厳しい条件であることから 2.05MPa 昇圧時に、特殊ベローズ部において長柱

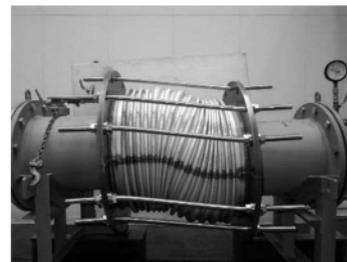


写真-1 限界水密試験

座屈が発生した。その後、昇圧を中止し 1.25MPa まで降圧したが水密性能は確保されたことを確認し、十分な水密性能を有しており、急激な水圧上昇に対しても止水性能を担保できる製品であることを確認できた。(写真-1)

(4) 短期変位性能

有事の際に生じる既設管の変位量に対しても追従できることを確認するため、初期取付状態から許容伸縮量および許容偏心量の最大・最小値まで管内無負荷状態と水圧を负荷した状態で伸縮・偏心させ、短期変位性能を確認。管内無負荷状態、水圧を负荷した状態で許容伸縮量および許容偏心量の最大・最小値まで伸縮・偏心可能であることを確認。管内無負荷状態での試験において、伸縮荷重と偏心荷重の試験値と FEM 解析値の最大荷重はほぼ等しい値が得られ、FEM 解析の有効性を確認できた。(写真-2)

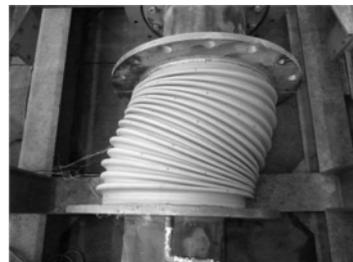


写真-2 短期変位性能

(伸縮量-50mm 偏心量 200mm)

(5) 短期繰り返し性能

水管橋に生じる温度伸縮に伴う常時伸縮量±50mm の伸縮が発生した場合を想定し、配管内空管、内圧解放状態において初期取付状態から伸縮量±50mm 伸縮させ短期繰り返し性能を確認。試験を繰り返し 5 回実施可能であり、繰り返し回数 2 回目以降は特殊ベローズの伸縮荷重が安定することを確認できた。

(6) 最大変位量繰り返し性能

実使用環境では発現しないと考えられる低頻度且つ過酷な条件下での性能を確認するため、初期取付状態から許容偏心量 200mm を大きく超える偏心量 300mm まで偏心させ、許容伸縮量の最大・最小値の状態毎に試験水圧 1.25MPa を负荷した状態で水密性を保持しているか確認。結果として、試験を繰り返し 1 回実施可能であり、特殊ベローズの変位性能、水密性能が十分な性能を有していることを確認できた。(写真-3)

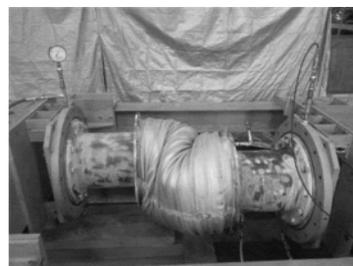


写真-3 最大変位量繰り返し性能

(伸縮量-50mm 偏心量 300mm)

(7) 伸縮性能(堆積物の影響)

製品取り付け後、既設配管および既設伸縮管の老朽化により破片、砂、錆コブなどの阻害物が製品の内面に落下及び堆積した状態において、水管橋に生じる温度伸縮に伴い常時伸縮量-50mm の伸縮性能を保持しているか確認。

既設配管および既設伸縮管の破片、砂、錆コブなどの阻害物が製品の内面に堆積した状態でも伸縮量-50mm の伸縮が可能であり、特殊ベローズに局所的な残留変形が生じたが製品の伸縮性能及び水密性能は損なわれないことを確認できた。(写真-4)

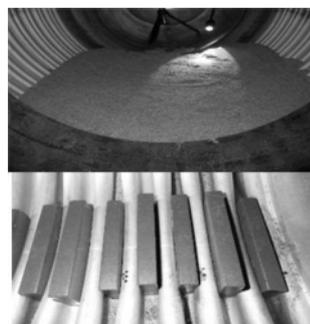


写真-4 堆積物の影響

(上：砂 下：鋼材)

性能試験の結果（表-2）より、本開発品は水管橋の既設伸縮可とう管に対して耐震性の向上と安定性の確保に有効であることが確認できた。

表-2 性能試験の結果

性能試験項目	試験結果
短期水密性能	試験水圧 1.25MPa 5 分間保持
長期水密性能	試験水圧 0⇔0.75MPa 10 万回保持
限界水密試験性能	試験水圧 2.0MPa 5 分間保持
短期変位性能	伸縮・偏心可能
短期繰り返し性能	繰り返し 5 回伸縮可能
最大変位量繰り返し性能	繰り返し 1 回 試験水圧 1.25MPa 5 分間保持
伸縮性能(堆積物の影響)	伸縮可能

3. 大口径管（φ900mm）へのフィールド施工

水管橋の状況を正確に把握している六十谷水管橋においてフィールド施工を令和 5 年度中に実施。

既設管呼び径が φ900mm であり、既設管内面塗装を施している大口径管となる。既設管に対して溶接熱による内面塗装の損傷が危惧されるため、フィールド施工の製品形状はメカニカル受口形式を採用し、特殊ベローズは SUS304 仕様とした。使用環境による腐食性の評価や複数年の設置においてどのような影響が出るのかを観察し確認する計画としている。



写真-5 施工箇所（六十谷水管橋）

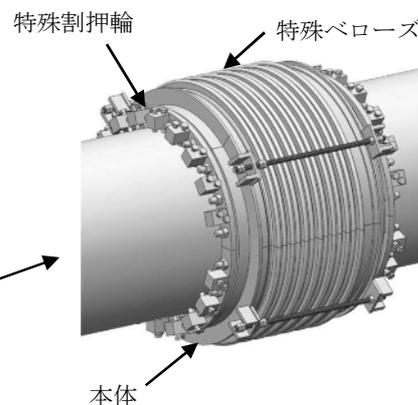


図-4 構造図

4. おわりに

今後、六十谷水管橋 φ900 へのフィールド施工品の挙動計測と分析を継続的に実施し、設置環境による影響などの情報を基に大口径管での有効性を評価する予定である。

給水装置工事の分岐立会に係る業務改善

奈良市企業局 石田 剛

○山東 秀樹

馬場 整子

1. はじめに

昨今、全国的に職員数が減少する中、様々な業務の効率化および業務改善が求められている。

本市当部署の所管業務の一部に、建築物の新築や改築等に伴う給水申請に係る給水装置分岐工事の立会がある。

給水装置工事に係る配水管からの給水管分岐において、従来は給水申請者から委任されている指定給水装置工事事業者が、局職員の立会のもとで施工していたが、局職員が一旦現場に出でしまうと、現場状況によりなかなか帰庁できないことで、内勤業務が滞ってしまう課題があった。

このことから、令和4年4月から試行的に給水装置分岐工事の立会を原則廃止し、施工内容を書面による報告として管理することにした。試行期間で抽出された課題を整理し、令和5年3月施工分より正式運用している。

今回は実施方法の紹介と成果について報告を行う。

2. 係の主な内勤業務内容

- 1) 給水申請に係る給水装置分岐工事の受付業務
- 2) 道路掘削占用協議業務
- 3) 分岐工事データ(台帳)作成業務
- 4) 貯水槽管理業務
- 5) 給水管管理情報整備業務
- 6) 窓口対応業務
- 7) 給排水検査受付業務

3. 奈良市の給水申請、分岐工事件数

令和1年度から令和4年度までの給水申請数と分岐工事件数を表-1に示す。

毎年コンスタントに約400件の分岐工事があることがわかる。

表-1 給水申請、分岐工事件数

	R1年度	R2年度	R3年度	R4年度	平均
全給水申請数	2734	2361	2797	2713	2651
分岐工事件数	444	383	391	396	404
分岐工事率	16.2	16.2	14.0	14.6	15.2

4. 実施方法

(1) 提出書類の精査

職員が立会していた時と同等の品質確保ができるよう提出書類への記載内容を精査した。この精査にあたっては、制度の習熟と過度な負担の防止を念頭におき、試行期間の提出書類の内容をA4・1ページに収まるようにまとめた。

(2) 指定給水装置工事事業者への周知

立会依頼の受付時に、今後は原則立会しない旨を伝えた。窓口受付時はその場で詳細に説明をした。また、電話受付時は電話で簡易的に内容を伝え、現場に行き提出書類の説明を行った。令和4年4月以降に給水装置分岐工事の受付を行ったものに関しては、給水申請提出時に説明し、道路掘削占用許可書にも添付し周知を行った。

(3) 提出書類について指導

書類提出時に、内容の確認を行い不足箇所の訂正、計測箇所の修正等の指導を行った。

(4) 提出書類の再精査

試行期間の経過に伴い、訂正が多い箇所が抽出されたことから、制度のブラッシュアップのためヒアリングをした。以上の内容をふま次に示す。

- 1) 指定様式の作成
- 2) 記入例の詳細作成
- 3) 写真撮影内容および方法の詳細作成

(5) 正式稼働に伴う通知

メールまたは文書郵送および窓口への掲示を行い、周知を図った。

5. 提出書類

主な提出書類を次に示す。

図-1 報告書ひな形

種別1(L型掘の場合)		給水管分岐工事報告書	
受付番号	年度	工事場所	奈良市
指定給水装置工事事業者	分岐日	令和	年 月 日
(平面図) 新設管は赤実線(---)、既設管は赤点線(---)で記入して下さい。			
(横断面図) 新設管は赤実線、既設管は赤点線で記入して下さい。			
使用材料 			

図-2 報告書記入例

記入例1		サドル付き分水栓で分岐する場合(引込管口径φ13~φ50)	
受付番号		年度	工事場所
指定給水装置工事事業者		分岐日	令和
(平面図) 新設管は赤実線(---)、既設管は赤点線(---)で記入して下さい。 丸数字の詳細については、別紙「提出書類解説1」分岐工事報告書を参照			
(横断面図) 新設管は赤実線、既設管は赤点線で記入して下さい。			
使用材料 <ul style="list-style-type: none"> ⑥ サドル付き分岐栓φ100×φ20 ⑦ H45×φ20×φ20 ⑧ HVPφ20×0.3m ⑨ H45φ20×2.3m ⑩ フレキシブル継手φ20×0.5m ⑪ 市販水漏止水栓φ20 ⑫ メーターボックスφ20 			

6. 懸念事項および対応

(1) 職員の知識・技術力の低下

立会を行わないことにより、給水管の配管方法や現場での状況判断能力といった知識・技術力の低下が懸念された。これに対応するため、職員が立会必要と判断した現場に関しては、ベテラン職員と経験が浅い職員がペアとなり現場へ行き、指定給水装置工事事業者への指導、施工事例の把握、現場作業等を行うことにより現場経験を積み、職員の知識・技術力の低下抑制を図っている。

(2) 施工管理方法

市町村によっては、配管材料や配管方法が異なる場合があるので、施工前に注意事項や現場状況の説明をより充実させるようにした。

また、立会がない＝施工日の事前連絡が不要と勘違いする事業者が複数いたため根気よく説明し周知を図った。

7. まとめ

分岐工事の確認方法を見直すことによって、提出書類のチェックや現場説明等の新たな業務が発生したものの、立会による時間的制約や移動時間が削減され、既存の手法と比較して、人工数が減少することとなった。また、このことにより内部業務へ注力することができた。また、提出書類の精査により品質確保もでき、主任技術者の責任感もより向上し、指定給水装置工事事業者のレベルアップにも寄与していると感じる。

現状、提出書類は紙ベースでの提出がほとんどとなっている。今後はデータでの提出を促進し、DXの推進も進めていき、更なる業務の効率化を図りたいと考えている。

給水管の輻輳解消について

橿原市上下水道部 ○木村 和正 西川 敬悟 前田 成生 的場 一矢

1. はじめに

道路において複数の給水管が縦断的に布設されることは、漏水頻度の増加や他埋設物への支障など、デメリットが多々ある。また、道路管理者においては地下埋設物の調整の観点から同一路に複数の給水管が並行して布設されることは問題があるものとして捉えている。

これらデメリットの軽減を図るだけでなく、ある一定の基準を定めることにより、今後の道路管理者との協議をスムーズに進めることができることを目的として要綱「橿原市における給水装置工事申請に伴う配水管整備等に関する基準等を定める要綱（令和4年12月9日上下水道部告示第12号）」（同要綱第4条給水管輻輳を解消するための配水管布設等を参照）を制定したので報告する。

2. 給水管輻輳状況

橿原市においては、本市が所有及び維持管理する水道管を配水管、需要者が所有する水道管を給水管と定めている。また、ここでいう道路とは建築基準法（昭和25年法律第201号）第42条各項に規定される道路及び道路管理者が特に必要と認める道路である。

給水管は前面に接する道路の配水管から需要者の申請地へ最短で布設することを基本としているが、前面に接する道路に配水管が存しない場合、最も近傍にある配水管から当該道路を縦断して給水管を布設せざるを得ない場合がある。本市には、このように道路を縦断して複数の給水管が布設された事例（給水管の輻輳）が見受けられる。

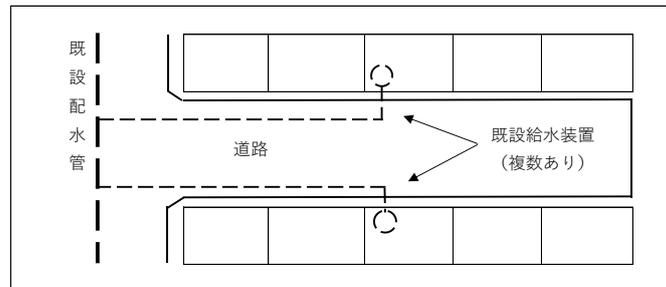


図1：給水管輻輳状況

3. 給水管輻輳の課題

(1) 漏水リスク

漏水は老朽化したVP（ビニル管）やHIVP（硬質塩化ビニル管）の継手部分から発生する割合が非常に高い。既に給水管が輻輳し実際に漏水が多発している箇所の使用部材はほぼVPかHIVPである。道路での漏水事故は周辺の安全性を阻害するため、給水管が輻輳するという事は同じ道路内でも（老朽化した）給水管延長が長くなり、漏水事故の発生確率が上がるということである。

(2) 道路管理者との協議

縦断的な給水管の布設について道路管理者と協議を行うと、道路管理者からは配水管を新たに布設するよう要請されてきた。道路管理者は、原則として水道需要者の前

面道路には配水管が布設されていることが本来であり、給水管を道路に縦断的に布設するものではないという認識がある。

また、道路管理者は給水管の安全性よりも配水管の安全性の方が高いという認識があり、このことは給水管損傷等に伴う漏水による道路規制等の担当窓口として日々対応している道路管理者の立場に立つと、ある程度はやむを得ないものと考えられる。

水道事業者としては道路に複数の給水管を縦断的に布設することについては、道路管理者との協議を経た上で進めてきた経緯はあるものの、他方将来需要見込みや配水管等の更新計画等に則った取り組みとして配水管への集約は進めてきたが、すべてを配水管に集約できたわけではなく、また道路管理者との協議を経て新たに給水管が輻輳する箇所も生じている。

これまで道路管理者から要請されてきた 1～2 軒の給水需要に対して配水管を布設することは、需要者の負担が増大するだけでなく、口径が大きくなることで発生する滞留による水質悪化も懸念されるところである。

水道事業者としては、将来需要を見越した配水管布設の必要性や配水管口径等の検討を行わなければならないが、1～2 軒の給水申請があった場合で、且つ開発事業等でない場合には、それらに付加した将来需要予測が立てられないのが現状であり、これまでも適正な基準を有してこなかったこともあって、道路に縦断的に給水管を布設するための事前の道路管理者との協議に苦慮してきたところである。

(3) 配水管への集約

輻輳する給水管の配水管への集約については、具体的には下水道工事に伴う支障移設工事や老朽管更新工事などを行う際に関連工事として位置づけ、同一工事にて対応している。しかしながら、関連するこれらの工事が実施できない場合は、輻輳する給水管を配水管として集約することができず存置しているのが現状である。

また、配水管へ集約することだけを目的として工事発注する場合、本市では、このような工事を受注できる事業者数が限られていることや工事規模が小さく工事金額も少額となるため、これらの工事を計画的に実施することは本市では現実的には難しいものと捉えている。

4. 要綱の制定と費用負担について

(1) 要綱の制定

老朽化した給水管の漏水リスクが高いこと、道路管理者が示す明確な基準がないこと、配水管への集約が進まないことに加え、縦断的に給水管を布設することができた既存需要者と新たな需要者との公平性を保つ観点など、このような課題を解決するため、要綱の制定に向けて着手した。

(2) 費用負担

需要者は家屋 1 棟への給水目的のために給水申請を行うが、その申請が道路に縦断的に給水管が必要な場合、先にも述べたとおり道路管理者から配水管の布設を求められる。

これまでも給水申請が 1～2 軒の場合、配水管ではなく給水管を布設することについて道路管理者に理解を求めてきた経緯もあり、道路管理者においてもやむを得ないものとしてある一定の理解をしていたところである。しかしながら、同一路路において

3 軒目以降となる給水申請があった場合、仮に水道事業者として配水管を布設すること自体は問題がないと判断しても、その負担を 3 軒目の給水申請を行った需要者に求めることは、1～2 軒目の給水申請された需要者との公平性の観点から問題になることは言うまでもない。

そこで、3 軒目となる新たな給水需要者が配水管を布設する際における費用負担の公平性を担保するため、水道事業者がその費用の一部を負担するための規定を要綱に盛り込むこととした。そうすることで、老朽化した給水管の漏水リスクの低減を図るとともに道路内にある給水管の輻輳解消にも繋がるのである。

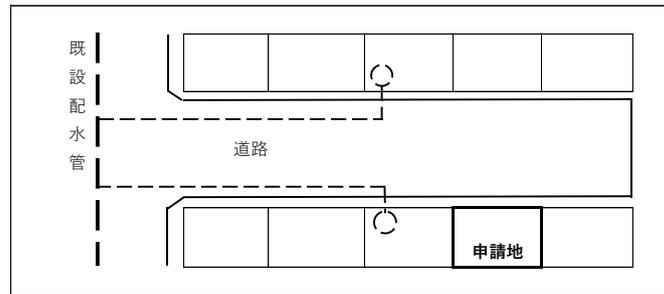


図 2 : 工事前

(3) 負担する費用の明文化

要綱の制定に際し、様々なケースを想定して検討しなければならないことと説明責任をしっかりと果たすことができるようにしなければならないことから、条件等の整理と公平性が担保できるような費用負担の検討に特に配慮を要した。

一般的には、給水申請された需要者の費用負担は必要口径に見合う給水管の布設費用とそれに伴う道路の掘削復旧工事に要する費用であるが、配水管として集約する場合は、配水管の布設費用とそれに伴う道路の掘削復旧工事に要する費用に加え既設給水管の仮設に要する費用と既設給水管への接続費用が発生する。

まず、配水管へ集約する場合にのみ発生する費用（既設給水管の仮設に要する費用と既設給水管への接続する費用）は、水道事業者が負担すべき費用として整理した。

また、図 3・図 4 に示すように布設する材料については、配水管の材料と給水管の材料の差額を水道事業者が負担するものとして整理した。次に道路の掘削復旧工事に要する費用であるが、給水管を布設する際に要する費用と配水管を布設する際に要する費用の差はそれほど大きくない。また、配水管を単独で布設する際に発生する掘削復旧工事に要する費用と比較すると水道事業者にもメリットがあり、将来的な維持管理に要するコストも低減できることから、配水管を布設する時の掘削復旧工事に要する費用から給水需要者が給水管を布設する時に要する費用の 2 分の 1 を差し引きした費用を水道事業者が負担することとして整理した。

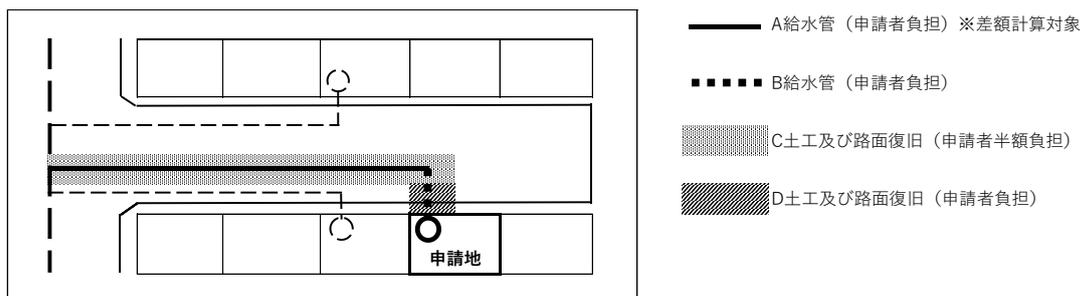


図 3 : 費用負担の整理 (仮想の工事)

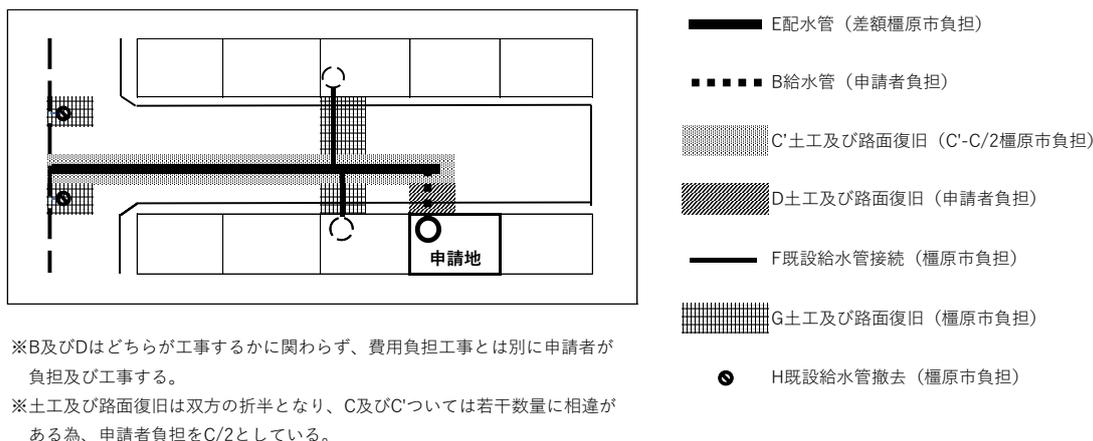


図4：費用負担の整理（現実の工事）

5. おわりに

給水管の輻輳解消を目的のひとつとして制定した要綱については、令和4年12月9日に告示し同日施行した。施行後、それほどの期間を経ずに給水管を集約するために配水管を布設した案件について報告する。

既に5軒分、本数にして3本の給水管が道路に輻輳して埋設されているところに、4本目の給水管を布設する需要者との協議で新たに制定した要綱の説明を行い、4本分の給水管を集約した配水管を埋設することについての需要者の理解を経て実施したものである。

当該需要者には、既設給水管の所有者に対し、配水管への統合・接続（当該配水管布設工事及び既設給水管の切替え工事）の同意を得ていただいた。仮設給水管の配管から配水管の布設、既設給水管の切替え工事等の全てを水道事業者である本市が施工した。

4本目の給水需要者が負担すべき費用については、水道事業者である市から給水需要者に請求し、指定期日までに納付していただいたことを付け加えておく。

今回、水道事業者が負担した費用は、過年度に敷設された老朽化した給水管の漏水リスクの低減と漏水時に発生する修理コストの削減などを勘案すると費用対効果が充分あり、今後もこのような事案が発生した場合には、積極的に配水管への集約を行っていきたいと考えている。

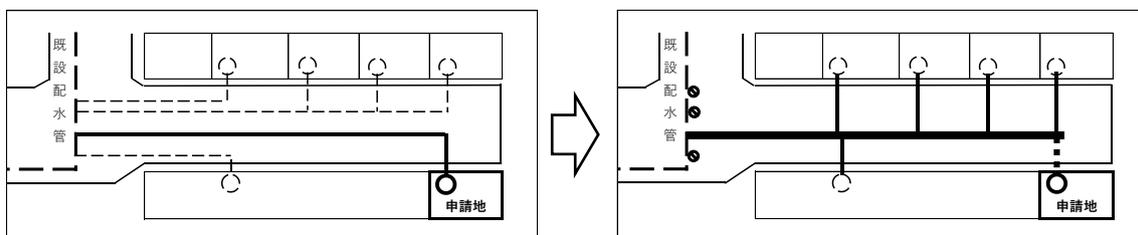


図5：実例の概略図

官民連携会社における水道及びガス保安・修繕業務等について

～会社設立5年目を迎えて～

びわ湖ブルーエナジー株式会社 ○高澤 侑作
内田 優大

1. はじめに

弊社は、2018年12月に大津市ガス特定運営事業等公共施設等運営権実施契約（以下「本契約」という）を大津市と締結し、2019年4月1日から事業を開始している。

本契約により、弊社は、ガス小売事業及び水道・ガスに関する緊急保安及び修繕業務等を包括的に運営しており、PFI法に基づき、官民連携会社（民間企業）による保安・修繕業務等を運営することは全国でも前例のない実施形態であると思われる。

本稿では、会社設立5年目を迎え、保安・修繕業務等を実施してきた経緯及び今後の課題について報告する。

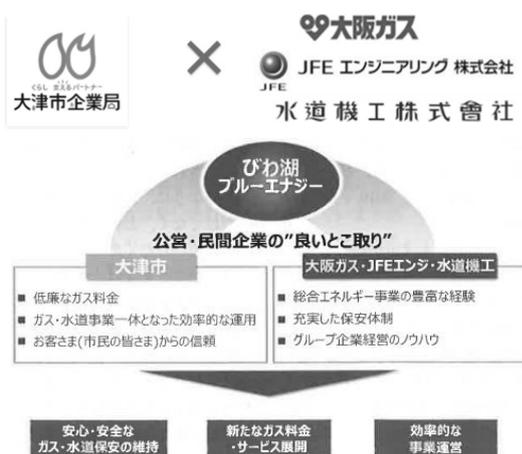
2. 設立経緯

大津市では、都市ガス事業につき、1937年より供給を開始して以来、市域の拡大と市勢の発展とともに供給区域の拡大検討をしながら需要家である市民の皆様へ、低廉なガスを安全かつ安心して利用していただけるよう努めてきた。一方で、昨今の不透明な経済情勢や省エネ意識の浸透、平均気温の上昇等の影響により都市ガスの販売量は年々減少傾向となっていることに加え、

施設の経年化に伴う更新費用の増加や人口減少が予測されるなか、2017年4月にガス事業法が改正され、ガスの小売全面自由化が始まり、都市ガス事業は、需要家による契約の切替えが進むなど、これまで経験したことのない急激な事業環境の変化に直面した。

さらに、大津市では都市ガス事業だけでなく上下水道事業も営んでおり、これまで、これらの事業と一体的に運営を試みてきたことで、事業の運営面における効率化や市民サービスの向上を検討してきた側面があるため、当該官民連携出資会社では、ガス小売事業にとどまらず、これまで大津市が培ってきた効率的な事業運営と市民サービスを損なわないための関連業務及び当該会社に出資する民間事業者が提案する新規事業等を含めて、官民連携により総合的にサービスを提供し、需要家である市民の皆様にとって有益な会社として事業を展開することが求められた。

それゆえ、PFI法に基づき大津市ガス特定運営事業等の優先交渉権を選定され、代表企業として大阪ガス株式会社、構成員としてJFEエンジニアリング株式会社、水道機工株式



会社の3社がコンソーシアムとして優先交渉権を獲得した。

これにより公営・民間企業の“良いところ取り”を目指した官民連携新会社びわ湖ブルーエナジー株式会社が設立された。(※企業団体名については事業開始当時のもの)

3. 業務内容

弊社は本契約に基づき、大津市企業局保安センターにおいて24時間365日、お客さまからの修繕業務に関する通報の受け付け、現場対応（工事施工管理を含む）完了までを一括して担っており、休日及び夜間については修繕業務以外にも水道及びガスに関する一般的な相談対応等も行っている。また、水道及びガス事業に関する通報に限らず、他埋設物に関するものと疑われる通報があることから、明確に断定できない場合には現場へ出動し確認した上で、他埋設物であれば関係機関に引継ぎを行っている。(写真-1)



(写真-1)

併せて、大津市が公表する水道・下水道・ガス事業年報の修繕業務に関する統計資料の作成についても一部弊社が担っており、最新（2023年度版）の結果を含めた本事業開始後の統計は（表-1）のとおり分析できる。

《 大津市事業概要・水道修繕統計 》

<table border="1"> <tr> <td>大津市行政区域面積</td> <td>464.51 km</td> </tr> <tr> <td>給水人口</td> <td>342,779 人</td> </tr> <tr> <td>給水戸数</td> <td>161,479 戸</td> </tr> <tr> <td>普及率</td> <td>99.97 %</td> </tr> <tr> <td>年間配水量</td> <td>39,304,669 m³</td> </tr> <tr> <td>配水管総延長</td> <td>1,520,360 m</td> </tr> <tr> <td>水道事業職員数</td> <td>82 人</td> </tr> </table>	大津市行政区域面積	464.51 km	給水人口	342,779 人	給水戸数	161,479 戸	普及率	99.97 %	年間配水量	39,304,669 m ³	配水管総延長	1,520,360 m	水道事業職員数	82 人	<table border="1"> <tr> <th colspan="13">▼2022年度水道修繕件数▼</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">項目 月別</th> <th rowspan="2">受付件数</th> <th colspan="4">メーター1次配管水</th> <th colspan="4">メーター2次配管水</th> <th rowspan="2">水質異常</th> <th rowspan="2">汲水機</th> <th rowspan="2">不具合</th> <th rowspan="2">不具合</th> <th rowspan="2">その他</th> <th rowspan="2">合計</th> </tr> <tr> <th>配水管</th> <th>配水管</th> <th>給水装置</th> <th>浄水管理区</th> <th>配水管</th> <th>給水装置</th> <th>浄水管理区</th> <th>給水装置</th> </tr> <tr> <td>4</td> <td>111</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>29</td> <td>1</td> <td>20</td> <td>4</td> <td>13</td> <td>7</td> <td>9</td> <td>2</td> <td>15</td> <td>4</td> <td>106</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>81</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>11</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>13</td> <td>17</td> <td>8</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>79</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>114</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>24</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>3</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>4</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>5</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>128</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>32</td> <td>0</td> <td>19</td> <td>2</td> <td>21</td> <td>15</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>6</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>130</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>38</td> <td>0</td> <td>17</td> <td>9</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>14</td> <td>6</td> <td>128</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>114</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>37</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>2</td> <td>14</td> <td>4</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>104</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>24</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>1</td> <td>14</td> <td>14</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>15</td> <td>3</td> <td>99</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>94</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>20</td> <td>0</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>16</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>16</td> <td>11</td> <td>6</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>115</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>32</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>16</td> <td>9</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>107</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>197</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>29</td> <td>0</td> <td>103</td> <td>5</td> <td>15</td> <td>7</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>12</td> <td>5</td> <td>185</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>147</td> <td>10</td> <td>8</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>42</td> <td>4</td> <td>19</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>123</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>134</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>21</td> <td>0</td> <td>14</td> <td>9</td> <td>14</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>3</td> <td>104</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>1,469</td> <td></td> <td></td> <td>412</td> <td></td> <td>288</td> <td>52</td> <td>185</td> <td>131</td> <td>70</td> <td>66</td> <td>148</td> <td>59</td> <td>1,384</td> </tr> <tr> <td>比率</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>29.1%</td> <td></td> <td>21.1%</td> <td>3.8%</td> <td>13.6%</td> <td>9.6%</td> <td>5.1%</td> <td>4.8%</td> <td>10.9%</td> <td>4.3%</td> <td>100.0%</td> </tr> </table>	▼2022年度水道修繕件数▼													項目 月別	受付件数	メーター1次配管水				メーター2次配管水				水質異常	汲水機	不具合	不具合	その他	合計	配水管	配水管	給水装置	浄水管理区	配水管	給水装置	浄水管理区	給水装置	4	111	4	2	29	1	20	4	13	7	9	2	15	4	106	5	81	1	2	11	0	8	5	13	17	8	3	8	4	79	6	114	5	2	24	2	10	3	18	19	4	11	11	5	109	7	128	3	4	32	0	19	2	21	15	4	10	12	6	125	8	130	2	2	38	0	17	9	17	15	4	6	14	6	128	9	114	5	5	37	0	15	6	9	9	8	2	14	4	109	10	104	5	3	24	0	15	1	14	14	6	4	15	3	99	11	94	1	1	20	0	4	4	16	6	6	16	11	6	90	12	115	3	4	32	0	21	0	16	9	6	7	7	5	107	1	197	5	6	29	0	103	5	15	7	1	2	12	5	185	2	147	10	8	21	0	42	4	19	6	7	0	8	8	123	3	134	3	5	21	0	14	9	14	7	7	3	21	3	104	合計	1,469			412		288	52	185	131	70	66	148	59	1,384	比率				29.1%		21.1%	3.8%	13.6%	9.6%	5.1%	4.8%	10.9%	4.3%	100.0%	<p>▼大津市給水区域図▼</p>
大津市行政区域面積	464.51 km																																																																																																																																																																																																																																																																						
給水人口	342,779 人																																																																																																																																																																																																																																																																						
給水戸数	161,479 戸																																																																																																																																																																																																																																																																						
普及率	99.97 %																																																																																																																																																																																																																																																																						
年間配水量	39,304,669 m ³																																																																																																																																																																																																																																																																						
配水管総延長	1,520,360 m																																																																																																																																																																																																																																																																						
水道事業職員数	82 人																																																																																																																																																																																																																																																																						
▼2022年度水道修繕件数▼																																																																																																																																																																																																																																																																							
項目 月別	受付件数	メーター1次配管水				メーター2次配管水				水質異常	汲水機	不具合	不具合	その他	合計																																																																																																																																																																																																																																																								
		配水管	配水管	給水装置	浄水管理区	配水管	給水装置	浄水管理区	給水装置																																																																																																																																																																																																																																																														
4	111	4	2	29	1	20	4	13	7	9	2	15	4	106																																																																																																																																																																																																																																																									
5	81	1	2	11	0	8	5	13	17	8	3	8	4	79																																																																																																																																																																																																																																																									
6	114	5	2	24	2	10	3	18	19	4	11	11	5	109																																																																																																																																																																																																																																																									
7	128	3	4	32	0	19	2	21	15	4	10	12	6	125																																																																																																																																																																																																																																																									
8	130	2	2	38	0	17	9	17	15	4	6	14	6	128																																																																																																																																																																																																																																																									
9	114	5	5	37	0	15	6	9	9	8	2	14	4	109																																																																																																																																																																																																																																																									
10	104	5	3	24	0	15	1	14	14	6	4	15	3	99																																																																																																																																																																																																																																																									
11	94	1	1	20	0	4	4	16	6	6	16	11	6	90																																																																																																																																																																																																																																																									
12	115	3	4	32	0	21	0	16	9	6	7	7	5	107																																																																																																																																																																																																																																																									
1	197	5	6	29	0	103	5	15	7	1	2	12	5	185																																																																																																																																																																																																																																																									
2	147	10	8	21	0	42	4	19	6	7	0	8	8	123																																																																																																																																																																																																																																																									
3	134	3	5	21	0	14	9	14	7	7	3	21	3	104																																																																																																																																																																																																																																																									
合計	1,469			412		288	52	185	131	70	66	148	59	1,384																																																																																																																																																																																																																																																									
比率				29.1%		21.1%	3.8%	13.6%	9.6%	5.1%	4.8%	10.9%	4.3%	100.0%																																																																																																																																																																																																																																																									

【水道修繕受付件数推移】



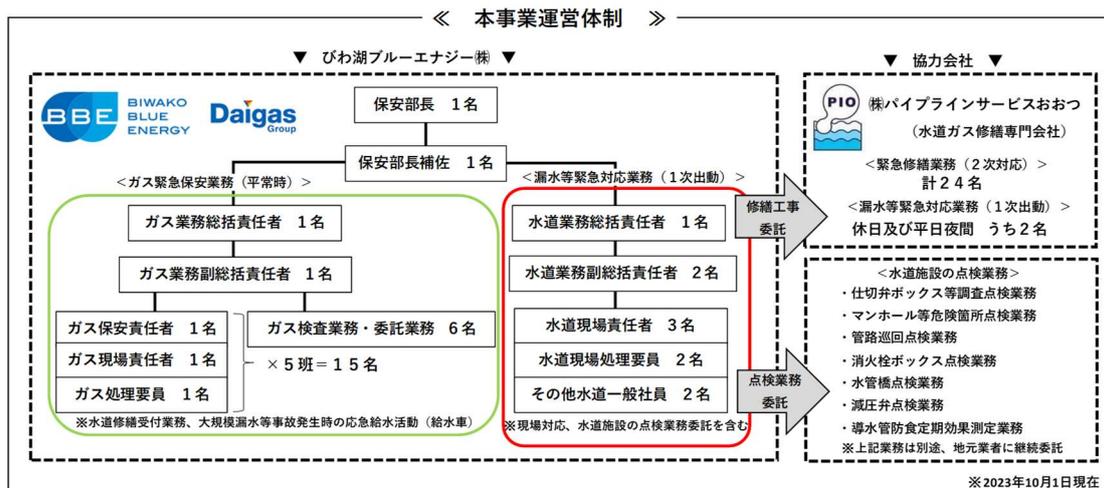
- ◎大津市は滋賀県にある琵琶湖の西南端に位置しており、山と湖に挟まれた南北に細長い地形である。
- ◎2020年及び2022年の水道修繕件数増加は冬季の寒波による給水装置での漏水対応が増加したものの。

※2023年3月31日現在

(表-1)

本業務の運営体制は（表-2）のとおりであり、弊社が運営する業務対象範囲は大津市給水区域内における送水管、配水管、給水装置のほかに導水施設、浄水施設、配水池、調圧

水槽、加圧施設、電動弁制御場、(電動)減圧弁室に付随する埋設配管及びこれらに付随する設備が対象であり、本事業開始までに大津市で行っていた保安・修繕業務等を弊社が継承している。具体的な対応としては、受付から現場確認及び調査、修繕工事に係るバルブ操作、濁水対応、水質異常対応、修繕工事の施工管理、関係法令に基づく協議及び申請、修繕方法の選定及び修繕材料の調達、地元対応、給水車による応急給水等を行う。いかなる口径、規模であっても現場への第一次出動を弊社で担っており、大津市との連携及び協力体制は必要不可欠である。業務開始後も大津市と連携協力の下、二次災害の防止を図り、については市民サービスの低下がない運営に努めている。



4. 課題

事業開始以来、休業災害・重大な自社作業トラブルゼロを継続、加えて要員確保のために自社採用従業員（以下「社員」という）の採用、早期育成に取り組んできた。一方で、事業開始5年目を迎え、業務品質、業務効率の維持向上のためには、事業運営を通じて顕在化した課題に対処していくことが重要である。

まず、新たに採用した社員へのノウハウ継承、技能伝承である。これまでは、熟練従業員の判断スキル、対応スキルに多く依存しながら事業運営を行ってきたが、今後、徐々に熟練従業員が減少していくことが想定される。業務品質、業務効率の維持向上を担保するためには中長期計画によるフォローが必要不可欠である。一方で、熟練従業員の経験則に頼った事業運営に依存した結果としてマニュアル整備に遅れが生じていることも事実であり、業務内容の標準化をするうえで、マニュアル整備について、早急に進めることが極めて重要である。

さらに、DX 推進を検討していくことも重要である。水道本管漏水事故発生時、非常時及び緊急時の対応について、既存のシステムを適用して対応しているが、よりスムーズな情報共有、連携を可能にするためには、大津市と同様の端末を適用することが必要である。また、委託先との情報共有は紙媒体を用いる方法が多くを占めているため、必然的に目検チェックとなる。それゆえに、見落としによるヒューマンエラーが発生するため、DX を推進していくことでヒューマンエラーの抑止効果、業務の効率化が望める。

5. 今後の取組

顕在化させた課題を基に、今後の取組について計画していく。

熟練従業員の減少の後には、弊社の社員が中心となり業務を履行するため、早期人材育成に取り組むことが重要である。特に現場対応要員になるためには公的資格が必須であり、受験資格には実務経験を要することから、最低でも5年以上の経験を要する。これらの公的資格の取得は現場対応要員としての出発地点であり、資格取得が目的とならないように社内OJT（写真-2）を十分に積み重ねることで熟練従業員となるように育成する。また、これらを“見える化”した育成計画を策定し、ロールモデルとして運用する。すなわち、社員が自身を客観視することで成長速度を促進し、組織の活性化にも寄与できるものとする。現社員の育成のみならず、将来を見据えた人員配置計画や社員の採用を継続する必要もあり、そのためには弊社の認知度を高めること、働きやすい職場環境を維持することが求められる。また、採用後の育成を進める中で、社内OJTのみならず、Off-JTとして外部機関や調査機器メーカーによる研修会にも積極的に参加し、社員の知見を広げていく。

社内OJT状況（木栓による応急処置、漏水補修金具取付、バルブ開閉・洗管実務）



(写真-2)

業務品質を向上させるためには、経験則に頼った事業運営を脱却することも重要であるため、マニュアル化を一層、加速する。併せて現状は紙媒体でやり取りを行う事務処理についても電子データ化を促進し、業務委託先との成果物の受渡し等ではクラウドを活用した運用を目指し業務の効率化を図る。

今後も大津市との連携及び協力体制を維持向上することが、大津市民の皆様へのサービス向上に直結することから、大津市で先行して導入している情報共有アプリを弊社にも新規に導入し、事故対応時の連携強化を図る。

6. おわりに

水道は市民の生活や経済活動の基盤であり、市民の生活を守るライフラインとして、必要不可欠である。弊社が運営している業務では、大事なライフラインに直結するため、迅速且つ的確な対応、二次災害防止、お客さまに「清浄にして豊富低廉な水を安定的に供給」、の基本原則を常に念頭に置き、大津市のこれまでのサービス水準を落とすことなく維持向上に努めていく。

近隣事業体との水道事業連携について

—北和都市水道事業協議会—

奈良市企業局 ○ 森崎 匠哉
小西 大造

1. 北和都市水道事業協議会のなりたち

「北和」は奈良県の北部に位置する地域を指す名称で、奈良市、大和郡山市、天理市および生駒市の四市の呼称を「北和都市」としている。北和都市全体の給水人口は約62万人で奈良県全体の約半分を占め、四市ともそれぞれの浄水場で浄水した自己水と県営水道水を合わせて給水している。この四市の水道事業がお互いに協力することにより効率的に事業運営を行い、また広域的かつ総合的な観点から水道行政施策を推進し市民に安心・安全な水を供給していくことを目的として平成22年度に「北和都市水道事業協議会」を設立した。

2. 北和都市水道事業協議会の活動内容

具体的な連携の活動内容として、相互融通連絡管の整備および管理、水道メーターの共同調達、水道事業のPR活動などを行い北和四市の水道事業をより市民の皆さまに理解が得られるよう持続可能な水道事業における運営ツールとして活動している。

(1)相互融通連絡管の整備および管理

平成7年に発生した阪神・淡路大震災の教訓を活かして、災害時や緊急時において給水が必要となった市に水を送ることができるよう、四市それぞれの市境界に水道水の相互融通連絡管を設置することとした。設置工事は、平成9年度から実施しており、施工予定12箇所の内10箇所が完成し、現在合計日最大2800m³が融通できる状態にある。現在は、完成箇所の管路保全においては維持管理が重要として毎年北和四市の担当者が集まり、相互融通連絡管の両市境界にあるそれぞれの仕切弁や流量計を設置する流量計室の状態を目視し、損傷箇所の有無や水没等がないかなどの定期設備点検を実施している。今まで幸いにも、相互融通連絡管を使用する非常事態は発生していないが、これからも地震や濁水、事故等をはじめとした非常事態に備え、未整備区間の早期整備と相互融通連絡管を使用する必要が生じた場合にスムーズに操作が行えるよう、今後も相互応援体制の充実を図っていく。

(2)水道メーターの共同調達

平成27年度より北和都市間で共通する物品の調達ならびに事務の省力化等を目指すとともに、各市でのコスト削減や迅速な物品確保を図るため、共同調達の協定を締結し、現在、水道メーター（20mmと25mm）の共同調達を実施している。水道メーターの共同調達は令和4年度で8年目を迎え、奈良市の調達個数によるスケールメリットを活かし、北和都市全体のコスト削減を目指して進めている。

(3)水道事業のPR活動

人口減少に伴う水需要の減少が続く中で水道事業への理解を深めてもらうとともに、新たな水需要喚起となるようPR活動を行っている。北和各市でのイベント等でブースを出展して、水道水の美味しさや安全性をPRするため、水道水と国産や外国産のミネラルウォーターを飲み比べて水道水を当ててもらった「利き水体験」を実施しています。また、令和2年度は、利き水イベントの代わりに水道事業のPRポスターを作成し、北和各市の市役所・小中学校などの公共施設や、大型商業施設をはじめ各市の主要な駅に掲載し、北和都市の多くの方にPRした結果「蛇口をひねれば水がでる」という「当たり前で普通のこと」に意識を向けることができた。また、令和3年度は、北和都市の中心駅である近鉄大和西大寺駅の南北自由通路にて、災害用備蓄水（アルミボトル水）を配布、令和4年度には同地点において給水袋を配布し、北和市民に対して応急給水拠点や災害時の備えについて広報することができた。



図－1 水道事業PRポスター(2種類)

3. 北和都市水道事業の今後について

現在、奈良県では県域水道一体化への協議が進められており、実現すれば、奈良に水道が普及して以来の事業のあり方を根本的に転換することになる。今後は新企業団へ参入する事業体もあるが、北和都市水道事業においては、これまで相互に培ってきた信頼関係をもとに緊密で率直な意見交換ができており、今後、事業継続が厳しくなることが想定される水道事業において事業の諸課題についての共通認識と課題解決に向けた意見交換会は有意義な時間となっている。また、相互融通連絡管や事務に係る物理的な協力関係もさることながら、北和都市における互いの信頼もまた大きな財産だと強く感じている。

これからも北和都市それぞれの立場を尊重しながら命の水を供給する使命を持つ仲間として、永続的に絆を深めより一層の協力が必要になる。

今後、水道事業を恒久的に継続していくための手段として、広域的な連携が必要となってくるなかで、今回、提示した北和都市水道事業の取組は、近隣市町との身近な広域連携の一例であり、明日からでも実行できる施策と思われる。この取組が事業体の見本となれば幸いに思う。

2. アンケート調査に基づく既計画の改善点の抽出

(1) アンケート実施について

企業局職員のうち、課長級以上を除いた技術系職員（88人／163人中）に既計画の評価や今後の方針についてアンケート調査を実施した。

(2) アンケートの活用

アンケート調査の結果で明らかになった課題、既計画の改善点を抽出した。今回の計画見直しでは、計画の実効性を高めるために、抽出した課題に対して（表1）に示す取り組みを実施した。

アンケート調査で明らかになった課題	課題改善のために実施した取組
計画内容の周知	ワークショップの活用
膨大な事業量への対応	事業に実施優先度の設定
計画の推進目標や基準値の設定	当面の目標の設定

表1 課題と取組

3. ワークショップの狙いと議論した内容について

(1) WSの狙いについて

抽出された既計画の課題を踏まえて、「事業の実施優先度の設定」と「当面の目標への意見収集」にテーマを絞り、これらについて職員間で議論することで、計画内容の周知と計画実践の気運を高めることを狙いとした。

(2) WSで議論した内容

送配水施設整備計画の主題である、「送水ネットワークの構築」、「送配水分離の実施（配水区域の再編）」及び「配水ブロック化の推進」の各施策について、優先すべき理由とその実施優先度を議論し、その結果を組織全体の方針として共有した。

(3) 当面の目標への意見収集

上記の3つの主題において事務局が作成した当面の目標案に対して、その方針や具体的な内容について職員から意見を聴取し議論を行った。

4. WSの結果

実施優先度について議論した結果、「送水ネットワークの構築」、「送配水分離の実施」及び「配水ブロック化の推進」の順で優先して施設整備を実施していく方針となった。非常時の備えや施設の強靱化についての意見が最も多く集まり（図3）、水質改善や基幹施設の配置の見直しが期待できるとして、「送水ネットワークの構築」が最も優先される結果となった。

実施優先度が高いテーマ	意見数	理由	意見数
送水ネットワーク	15	水質・到達時間の改善	3
		非常時(事故・災害)への備え・施設強靱化	10
		将来における水需要の低下を見越した施設配置の見直し(施設の統廃合・ダウンサイジング)	1
		計画の順序(基幹部分→末端部分)	1
送配水分離	2	計画実現性・実効性	2
配水ブロック	1	非常時(事故・災害)への備え・施設強靱化	1
合計	18		18

…最も意見が多い理由

図3 実施優先度の意見

5. 見直し後の各施策について

「送水ネットワークの構築」では、市南西部において用水供給事業者（以下、県営水道）から新たな受水点を確保することにより、市域南部における送水融通の代替機能を目指すこととし、奈良市単独での送水管をループ化しない形態で整備を進める方針となった。（図4）「送配水分離の実施」では、一部直送区域が残ることとなるが、大規模な配水区域の再編を避けて、優先度が高い箇所から送配水を分離し、別途非常時のバックアップ方法を確保する方針となった。

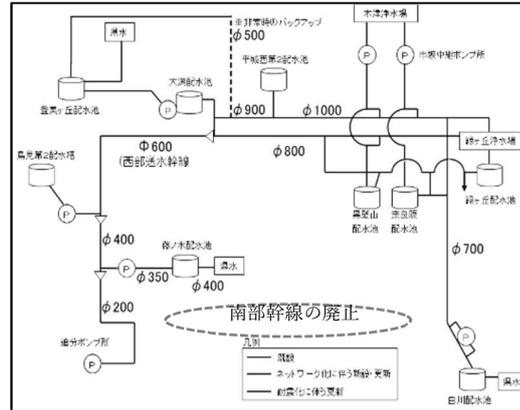


図4 見直し後の送水ネットワーク

箇所から送配水を分離し、別途非常時のバックアップ方法を確保する方針となった。

「配水ブロック化の推進」では、実施優先度が低いことから既設管の更新に合わせて、一部地域において配水ブロック化を試行する方針となった。

実施計画の策定にあたり、上記整備計画、幹線管路及び重要給水施設管路を中心とした施設整備となったが、実施予定の整備には、県営水道との協議・調整が必要なものがあるため、現時点で取り掛かることが可能な配水幹線の更新から実施していくこととした。

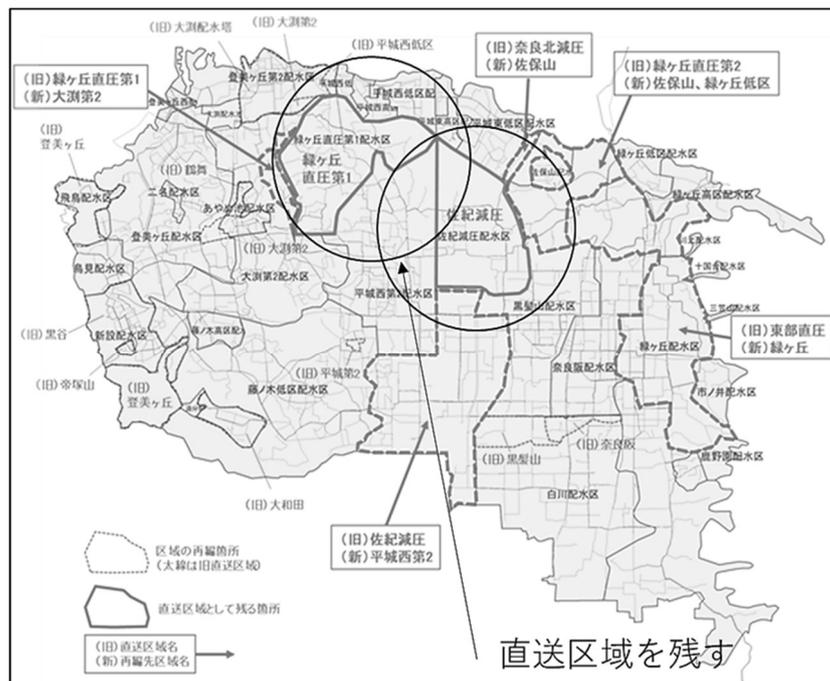


図5 見直し後の直送区域

6. おわりに

WSを実施することにより、施策の実施優先度及び当面の目標を含む計画の方針について計画の周知と方針の共有を図ることができた。このことにより、現実的な目標設定、年次計画の策定、整備計画を推進するための部署の新設など、組織内の活性化を図ることができたと考えられる。今後は、見直した計画を継続的に実施し、定期的に見直していきたい。

1人1日あたり使用水量の予測モデルの最適化に向けた 重回帰分析に用いる説明変数の組合せ検討

大阪市水道局 ○砂原 梨乃
益崎 大輔

1. はじめに

大阪市水道局（以下、当局）で策定している水需要予測¹⁾では、大阪府域（以下、府域）の有収水量を生活用水量と都市活動用水量に大別し、それぞれの使用水量を推計している。なかでも、生活用水量は、1人1日あたり使用水量（以下、原単位）と在住人口の積により算出しており、将来推計値が公表されている在住人口^{2,3)}とは異なり、原単位は水量変化をモデル化するため、「住宅着工数（節水機器の普及）」、「65歳以上就業者数（在宅時間の減少）」、「1人あたり消費支出額（経済性）」の3つの説明変数を用いた重回帰分析を採用している¹⁾。説明変数の選択について、原単位に影響しうる要因については、節水機器の普及以外にも年齢や世帯人数といった世帯構成、経済性、女性や高齢者の社会進出といったライフスタイルの変化もその一因と考えられる。

当局が水需要予測で採用している上記3つの説明変数は、現在公表している水需要予測以前から採用してきた説明変数を中心に選択してきており、その統計的妥当性は確認したうえで採用しているが、候補となりうる説明変数について網羅的な分析・評価を行えていないことが課題であった。

そこで本検討では、過去の知見、既報文献^{4,5)}等を参考に原単位に影響を及ぼすと考えられる説明変数を網羅的に整理し、総当たり法により原単位をモデル化するうえで、最適な説明変数の組合せを検討したので報告する。

2. 重回帰分析

重回帰分析とは、多変量解析の一つであり、回帰分析において独立変数が2つ以上のものを指す。現在、当局が採用している重回帰分析を例¹⁾にすると、3つの説明変数を用いて目的変数となる原単位の変化を関数化しており、Excelで重回帰分析を実施する際には、関数式と同時にいくつもの統計指標が算出される。当局では、それら統計指標等を活用し、以下に示す5項目を統計的妥当性があると判断する基準としている。（詳細は参考文献¹⁾参照）

- ① 説明変数から想定される原単位への影響（例えば、住宅着工数であればマイナス）と実際に関数化した時の符号が合致していること。
- ② 原単位について、増加要因、減少要因の両方を含んだ説明変数の組合せであること。
- ③ 各説明変数が目的変数である原単位に与える影響を表す標準偏回帰係数が絶対値で0.2以上であること。
- ④ 説明変数の組合せによる原単位との相関を表す自由度調整済重相関係数（R*）が0.7以上であること。
- ⑤ 説明変数の組合せの有意性を表すF値が95%有意水準を超えていること。

3. 説明変数候補

重回帰分析の説明変数の組合せを検討するにあたり候補とした説明変数は表1に示す21個である。説明変数は「①生活用水量との因果関係を説明できる変数であること」「②国勢調査の結果等、公的データであること」「③大阪市のデータであること」「④取得可能なデータ期間が長いこと」「⑤経済性を表す指標については、デフレータ補正が可能または不要であること」を原則とし過去の知見、既報文献^{4,5)}等を参考に抽出したが、一部、参考として全国または大阪圏（大阪駅を中心とした半径50キロ圏内の大阪府、兵庫県、京都府、奈良県の一部）のデータについても説明変数候補とした。また、重回帰分析の説明変数の組合せを検討するうえでは、互いに干渉しない独立した説明変数を選択することが望ましい⁶⁾ことから、まずは候補とした説明変数を「節水指標」「世帯構成」「ライフスタイル」「経済指標」の4つにカテゴリ化した上で、それぞれ同じカテゴリから2つ以上の説明変数を選択しないこととし、組合せを絞り込んだ後に個別の検討を行った。さらに、それぞれの説明変数データは、公表している当局の水需要予測と同様に、1995（平成7）年から2019（令和元）年まで

の 25 年間のデータを用いることとしたが、一部の説明変数についてはデータが公表されていないまたは不存在であったため、直近の傾向をもとにデータを外挿した。最後に、経済指標に分類した 1 人あたり消費支出額については、2000（平成 12）年の物価を基準として、各年の 1 人あたり消費支出額を補正している¹⁾。

4. 説明変数の組合せ検討

4. 1 説明変数の組合せ

原単位の説明変数の組合せ検討にあたっては、3 で示した説明変数候補及びそのカテゴリーから 3 つまたは 4 つの説明変数を選択し、計 768 通りの重回帰分析を行い、その結果を評価することとした（表 2）。なお、一般家庭における原単位の変化要素として、節水機器の普及要素は影響が大きいと考え、「節水指標」のカテゴリーからは必ず 1 つの説明変数を選択することとした。

4. 2 検討結果

4. 1 で記載した説明変数の組合せにより重回帰分析を実施後、2 で設定した評価基準を満たした組合せは表 3 に示す 48 通りであった。なお、これら評価基準を満たした組合せのうち、市域のデータである説明変数の組合せであるものは①～⑬の 13 通り、全国、大阪圏のデータである説明変数を含んだ組合せはその他の 35 通りであった。

4. 3 最適な説明変数の組合せ検討

表 3 に記載した説明変数の組合せは、設定したデータ期間（1995（平成 7）年～2019（令和元）年）について、原単位を重回帰分析により関数化した場合の統計的妥当性が満たされた組合せを示したものである。最終的には、これらの組合せの中から、最適な組合せを検討することとなるが、本検討では市域のデータである説明変数の組合せ（13 通り）について、以下の観点で最適な組合せを選定した。

- ① 生活用水量の変化をより説明しやすい説明変数の組合せであること。
- ② 説明変数の組合せの中に、同類の説明変数が同時に選択されていないこと。
- ③ 将来推計を行いやすい説明変数であること。
- ④ 可能な限り、データを外挿していない説明変数であること。

これらの評価基準に基づき、表 3 に記載した統計的妥当性を満たす説明変数のうち、最適と判断された説明変数の組合せは 3 通り（②、⑤、⑦）であり、残り 10 通りの組合せについて、最適でないとして判断した理由は以下のとおりである。

（組合せ①）

「離婚率」・・・世帯人員や年齢といった他の説明変数と比較し、生活用水量への影響を説明しにくい。
「女性就業者数」・・・データを外挿している。

（組合せ③、⑨）

「65 歳以上単身世帯数」「65 歳以上就業者数（割合）」・・・説明変数の組合せの中に、同種の説明変数が同時に選択されている。

（組合せ③、④、⑥、⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬）

「単身世帯数」「若年単身世帯数」「65 歳以上就業者割合」・・・説明変数の将来推計が行いづらい。

図 2 は、「単身世帯数」「若年単身世帯数」「65 歳以上就業者割合」について、実際に将来推計を行った結果である。いずれの説明変数も時系列傾向分析により将来推計を行った場合、今後も単調増加する傾向となった。

表 1 説明変数候補

カテゴリー	説明変数	想定される符号	備考
節水指標	住宅着工数(万件)	「-」	
	家電普及率【温水洗浄便座】(%)	「-」	全国データ
	家電普及率【食器洗い機】(%)	「-」	全国データ データ外挿 ^{※1}
	家電普及率【システムキッチン】(%)	「-」	全国データ
世帯構成の指標	65歳以上人口割合(%)	「+」	
	65歳以上単身世帯数(人)	「+」	
	平均年齢(歳)	「+」	
	65歳以上人員(人/世帯)	「+」	
	単身世帯数(人)	「+」	
	平均世帯人数(人/世帯)	「-」	
	離婚率(%)	「-」	データ外挿 ^{※2}
	離婚率(%)	「+」	データ外挿 ^{※2}
ライフスタイルの指標	若年単身世帯数(世帯)	「+」	
	65歳以上就業者数(人)	「-」	
	65歳以上就業者割合(%)	「-」	
	女性就業者数(人)	「-」	データ外挿 ^{※3}
	女性就業者割合(%)	「-」	データ外挿 ^{※3}
	女性管理職割合(%)	「-」	データ外挿 ^{※3}
	在宅時間(分/日)	「+」	大阪圏のデータ データ外挿 ^{※3}
経済指標	1人あたり消費支出額(百万円)	「+」	
	持ち家率(%)	「+」	データ外挿 ^{※4}

※データ外挿について、※1 は H7～H16、※2 は H7～H8、※3 は H7～H11、※4 は R2 のデータについて、直近の傾向をもとに時系列傾向分析した。

表 2 説明変数の組合せ

	節水指標	世帯構成の指標	ライフスタイルの指標	経済指標	組合せ(通り)	合計(通り)
3つのカテゴリーの組み合わせ (節水指標は固定)	4種	9種	6種	-	216	768
	4種	9種	-	2種	72	
	4種	-	6種	2種	48	
4つのカテゴリーの組み合わせ	4種	9種	6種	2種	432	

世帯数については、今後、人口が減少するに従い世帯数も減少すると考えられること、65歳以上就業者割合については、高齢者の雇用機会の創出が期待されるものの図2で示すような就業者割合の増加は現実的な推計値とは言えないことに加え、時系列傾向分析以外に一般的な予測手法がないことから将来推計が行いづらいと判断した。以上から、原単位を重回帰分析によりモデル化するうえで、最適と考えられる説明変数の組合せは、組合せ②、⑤、⑦の3通りと結論付けた。

なお、全国データではある家電普及率を使用した説明変数の組合せ(35通り)については、全国と市域では家電普及率に大きな差異はないと考えられることから、今後オープンデータの推進により、市域の家電普及率またはこれと同様の性質の説明変数が取得可能となった場合には検討する余地があると考えられた。

5. 原単位の将来推計

4で見出した3通りの説明変数の組合せを活用し、目的変数である原単位の将来推計を行った。重回帰分析によりモデル化された原単位の将来推計を行うためには、個々の説明変数の将来推計を実施し、モデル化された関数にあてはめ、原単位の将来推計を行うこととなる。今回採用した、原単位の将来推計手法は表4の通りで、当局の水需要予測で設定している2つのシナリオ(ケース1、ケース2)¹⁾にならない、それぞれの組合せごとに原単位を将来推計した(図3)。

図3より、いずれの説明変数の組合せによっても原単位の将来推計は可能であり、使用する説明変数の違いから、現在採用している組合せ(組合せ②)による結果とは若干の差異があるものの、ほぼ同等の結果となった。ただし、平均世帯人数を説明変数としている組合せ(組合せ⑤)では、他の組合せより原単位の将来推計値は低く見積もられた。これは、ケース1では、出生数の増加を想定しており、これに伴い原単位への影響がマイナスである平均世帯人数も増加することで、他の組合せと比較して原単位が低く算出されたためと考察される。

現在、当局の水需要予測で活用している説明変数の組合せは組合せ②によるものであり、3つの説明変数を組合せて、原単位をモデル化することを前提にすれば、最適な組合せを選択できていると考えられる。

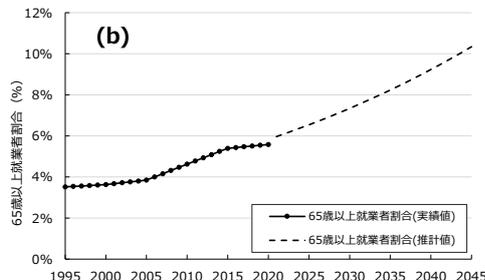
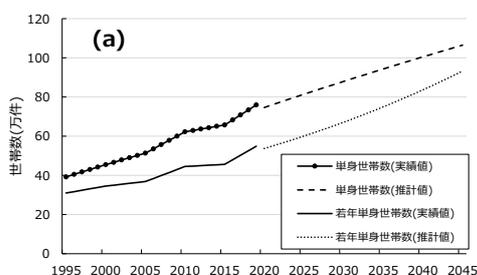


図2 説明変数の将来推計 (a) 単身世帯数、若年単身世帯数 (b) 65歳以上就業者割合

表3 評価基準を満たした組合せ

No.	節水指標	世帯構成の指標	ライフスタイルの指標	経済指標
①	住宅着工数	離婚率	女性就業者数	—
②		—	65歳以上就業者数	1人当たり消費支出額
③		65歳以上単身世帯数		
④		単身世帯数		
⑤		平均世帯人数		
⑥		若年単身世帯数	65歳以上就業者割合	
⑦		平均年齢		
⑧		—		
⑨		65歳以上単身世帯数		
⑩		単身世帯数		
⑪		平均世帯人数		
⑫		若年単身世帯数		
⑬		平均年齢		
⑭	平均年齢	65歳以上就業者数	—	
⑮	平均世帯人数			
⑯	65歳以上人口割合			
⑰	単身世帯数			
⑱	若年単身世帯数	65歳以上就業者割合		
⑲	平均年齢			
⑳	平均世帯人数			
㉑	65歳以上人口割合			
㉒	単身世帯数	女性管理職割合		
㉓	若年単身世帯数			
㉔	65歳以上単身世帯数			
㉕	—			
㉖	平均世帯人数	—		持ち家率
㉗	平均年齢			
㉘	—	65歳以上就業者数	—	
㉙	単身世帯数			
㉚	若年単身世帯数			
㉛	単身世帯数			
㉜	若年単身世帯数	65歳以上就業者割合		
㉝	65歳以上単身世帯数			
㉞	—			
㉟	平均年齢			
㊱	—	65歳以上就業者数		—
㊲	単身世帯数			
㊳	若年単身世帯数			
㊴	単身世帯数			
㊵	若年単身世帯数	65歳以上就業者割合		
㊶	単身世帯数			
㊷	65歳以上人口割合			
㊸	単身世帯数			
㊹	若年単身世帯数	65歳以上人口割合		
㊺	65歳以上人口割合			
㊻	単身世帯数			
㊼	若年単身世帯数			
㊽	65歳以上人口割合	65歳以上就業者割合		
㊾	単身世帯数			
㊿	若年単身世帯数			
1	65歳以上単身世帯数			
2	平均年齢	女性管理職割合	持ち家率	
3	平均世帯人数			
4	65歳以上人口割合			
5	単身世帯数			
6	若年単身世帯数	65歳以上就業者割合		
7	65歳以上人口割合			
8	単身世帯数			
9	若年単身世帯数			
10	65歳以上単身世帯数	女性管理職割合		
11	平均年齢			
12	平均世帯人数			
13	65歳以上人口割合			
14	単身世帯数	65歳以上就業者割合		
15	若年単身世帯数			
16	65歳以上人口割合			
17	単身世帯数			
18	若年単身世帯数	65歳以上人口割合		
19	65歳以上人口割合			
20	単身世帯数			
21	若年単身世帯数			
22	65歳以上単身世帯数	女性管理職割合		
23	平均年齢			
24	平均世帯人数			
25	65歳以上人口割合			
26	単身世帯数	65歳以上就業者割合		
27	若年単身世帯数			
28	65歳以上人口割合			
29	単身世帯数			
30	若年単身世帯数	65歳以上人口割合		
31	65歳以上人口割合			
32	単身世帯数			
33	若年単身世帯数			
34	65歳以上単身世帯数	女性管理職割合		
35	平均年齢			
36	平均世帯人数			
37	65歳以上人口割合			
38	単身世帯数	65歳以上就業者割合		
39	若年単身世帯数			
40	65歳以上人口割合			
41	単身世帯数			
42	若年単身世帯数	65歳以上人口割合		
43	65歳以上人口割合			
44	単身世帯数			
45	若年単身世帯数			
46	65歳以上単身世帯数	女性管理職割合		
47	平均年齢			
48	平均世帯人数			
49	65歳以上人口割合			

※「大阪市上水道 需要予測」で使用している組合せは「②」で

一方で、4つの説明変数の組合せによってでも最適な組合せが2通り存在した。市域には約275万人もの人口が在住し、生活用水量の増減要因は多種多様に及ぶものと推察され、独立した多くの説明変数を採用した重回帰分析による予測モデルは、市域の実情をより反映しているものとも考えられる。また、どの組合せでも原単位の将来推計が可能であったことから、現在公表している水需要予測のモデルを見直す際に、本検討による知見は最適な予測モデルの構築に寄与するものであると考えられた。

表4 説明変数の将来推計手法

説明変数	将来推計手法
住宅着工数	指数曲線（ケース1、ケース2）
65歳以上就業者数	ロジスティック曲線（ケース1、ケース2）
1人あたり消費支出額	直線（将来値 ケース1：過去25年間の平均値、 ケース2：過去25年間の最低値）
平均世帯人数	0～4歳人口数から平均世帯人数を推計（ケース1、ケース2） （0～4歳人口数と平均世帯人数との相関を活用）
平均年齢	コーホート要因法による5歳階級別人口全員が階級の中央値の年齢であると仮定し推計（ケース1、ケース2）

6. まとめ

当局が水需要予測で採用している説明変数は、現在公表している水需要予測以前から採用してきた説明変数を中心に選択してきており、統計的妥当性は確認したうえで採用しているが、候補となりうる説明変数について網羅的な分析・評価を行っていないことが課題であった。

そこで、本検討において総当たり法により、21種類の説明変数から計768通りの重回帰分析を行い、最適な説明変数の組み合わせを検討したところ、以下の3つ組合せが最適な組合せがあった。

パターン①「住宅着工数」「65歳以上就業者数」「1人あたり消費支出額」

パターン②「住宅着工数」「平均世帯人数」「65歳以上就業者数」「1人あたり消費支出額」

パターン③「住宅着工数」「平均年齢」「65歳以上就業者数」「1人あたり消費支出額」

現在、当局の水需要予測で活用している3つの説明変数の組合せ（パターン①）のほかに、4つの説明変数の組合せによってでも最適な組合せが2通り存在した。市域の生活用水量の増減要因は多種多様に及ぶものと推察され、市域の実情をより反映しているものとも考えられる。今後水需要予測を更新する際に、本検討による知見を活用し、最適な予測モデルの構築につなげていきたい。

参考文献

- 1) 大阪市水道局：大阪市上水道 需要予測 <https://www.city.osaka.lg.jp/suido/page/0000555736.html>
- 2) 大阪市人口ビジョン（令和2年3月更新）
<https://www.city.osaka.lg.jp/seisakukikakushitsu/page/0000339383.html>
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口（平成30（2018）年推計）
<https://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/t-page.asp>
- 4) 安齋敦司、佐藤厚、宮松直樹、筒井健介：節水型機器の普及に伴う家事用原単位への影響に関する一考察、第62回全国水道研究発表会講演集、p124-125（平成23年度）
- 5) 田坂英美、臼井重人、高田治郎：一般家庭における目的別使用水量の実態、第56回全国水道研究発表会講演集、p66-67（平成17年度）
- 6) Excelで学ぶ重回帰分析入門 平成23年7月

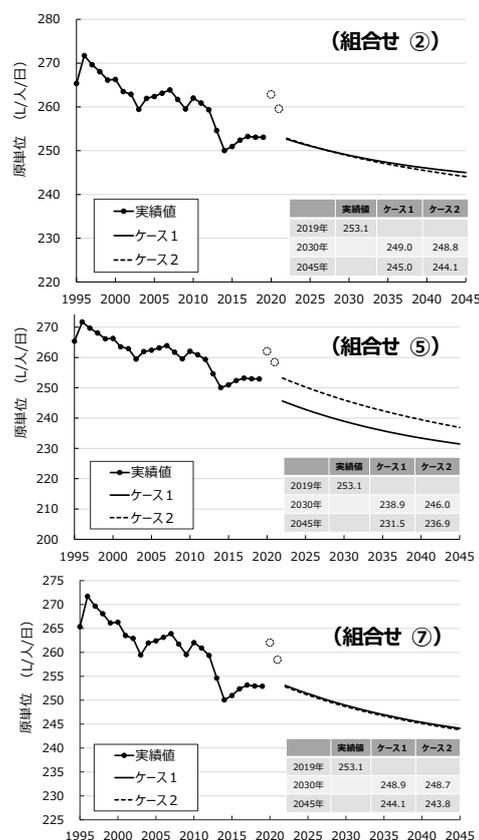


図3 原単位の将来推計

（○は2020年、2021年の実績値）

ローコードツールを活用したスマート化 と BI ツールによるデータ分析

神戸市水道局 ○小島 啓文

1. DX 推進の必要性

生産年齢人口の減少に伴う労働力不足が社会全体の課題となっているが、特に神戸市水道局では技術職員の約 55%が 50 歳以上であることからDX 推進による業務見直しは不可欠であり、喫緊の課題であると考えている。そこで、令和 4 年度より水道局内にDX ラインを設置して、デジタル技術を活用した業務見直しを積極的に進めている。

2. DX 推進方針

水道局全体でDX を推進していくためには、職員一人ひとりにその効果と必要性を実感してもらうことが重要だと考えており、最初に取り組む題材として、日々の業務で多くの職員が利用する運転日報※を電子化の対象として選定した。

※運転日報：神戸市水道局公用車運行規程により、公用車を運転する職員において使用の都度、運行状況等を記した運転日報を作成し、運行管理者（課長級）へ報告すべきことが定められている。

3. アプリ開発概要

(1) 採用ツール

電子化に当たっては、短期間・低コストでシステム化できるローコードツール※(サイボウズ株式会社：kintone)を採用し、職員自身の手で開発を行った。

※ローコードツール：プログラムコードをほとんど書かずにアプリ開発できるツール

(2) BPR（ビジネスプロセス・リエンジニアリング）

単に紙の様式を電子化するに留まらず、業務フローの見える化、分析、課題整理といった業務プロセス全体の再構築を行うとともに、アプリ開発の面では、「画面の見やすさ」、「使いやすさ」、「間違いにくさ」に重点を置いて工夫した。

(3) 稼働

令和 4 年 10 月に一部の所属で試験的に導入し、実際の運用で判明した課題を修正しながら、令和 5 年 1 月から局全体での運用を開始した。

(4) 付加機能

同時に、運転日報と同様に紙で運用されていたETCカード使用簿アプリの運用を開始し、運転日報とデータ連携を行い、一体的なものとして効率化した。

4. アプリ開発の工夫ポイント

(1) 全所属で利用できるように仕様を標準化

神戸市では各職場で創意工夫する中で既に kintone を活用した運転日報アプリは一部所属で存在したが、単独所属で作成されたもので、仕様等が統一されておらず複数の職場で共通利用することができないものだった。そこで、1つのアプリで複数所属が利用可能な仕様として、DX ラインでアプリとデータの管理ができるようにした。

(2) 入力支援による省力化と誤入力防止

車両毎に専用のQRコードを作成し、車の鍵にQRコードを貼付したキーホルダーを付けた。運転者がQRコードをタブレット端末のカメラで読み込むとアプリが起動し、入力画面に車両情報、所属情報、前回使用終了時のメーター距離等を初期表示することにより、手入力に手間とミスが無くなるようにした。

(3) 行動様式に沿った画面構成

画面構成を運転前入力と運転後入力を分けることにより、入力者（運転者）の行動様式に沿って自然な流れで入力できるようにした。

(4) ETCカード利用簿連携

紙の様式の場合、ETCカード利用料金の請求時に該当の運転日報との突合せを手作業で行っていたが、一意となるキー項目で紐づけることにより、突合せ作業を簡略化した。

5. データ利活用

これまでは、紙で運用されていることもあり、稼働状況を正確に把握することは難しく、車両の適正台数の判断が難しい状態であった。電子化により令和5年1月から9月末までの9か月間で約2万5千件のデータが登録され、このデータをBI（ビジネス・インテリジェンス）ツール※（タブローソフトウェア：tableau）を利用して、運転日報データを分析することにより所属別や車両別の使用状況を詳細かつ即時に把握できるようになり、車両台数の適正化等に利用することが可能になった。

※BIツール:データ整形、クロス集計などの操作を効率的に行え、判断へ至る分析等の労力を低減させるツール。

6. その他

運転日報の電子化後、各所属より業務報告書、点検書や日報など、紙運用業務の見直し相談が増え、現場でのペーパーレス化推進の一步となったことを実感しており、一層の取り組みを進めていきたい。

導入前	導入後
<p>○紙運用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・毎日、紙帳簿のページが増えていき、さらにそれを所定年数保存しておく必要があった。 ・各所属で運用・管理されていた。 	<p>○ペーパーレス化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・今の規程上電子化ができない支出事務(ETC利用料)を除いて全ての作業を電子化。 ・1つのアプリで一括管理できるようになった。 
<p>○帳簿に依存した運用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・利用するときは帳簿(紙)を棚や書庫へ取りに行かなければならない。 ・決裁中だったり、他の職員が持ち出していたりすると帳簿(紙)が行方不明になる。 ・ETCの利用があれば、別の帳簿(紙)も取り出す手間がある。 <p>紙 only</p> 	<p>○複数のデバイスで入力可能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・iPad、PC、スマホでいつでもどこでも入力できるようになった。 ・同じデバイスで続けてETCカード使用簿も入力できるようになった。 
<p>○各所属-押印と回議(紙)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事務所に出勤する必要があり、決裁の押印数が多く、修正に訂正印を押す手間がある。 	<p>○各所属-ハンコレス化、運用の適正化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・運行管理者(課長)への報告形態が、「自動メール&システムでの確認」へ変わったため、押印が無くなった。※支出事務を除く ・運行管理者(課長)はシステムでいつでも、どこでも記録を確認できるため、運用がより適正になった。 
<p>○公用車管理者-押印と回議(紙)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各所属が毎月1か月分の日報(紙)を公用車管理者に送って、公用車管理者が全ての日報に押印していた。 	<p>○公用車管理者-ハンコレス化</p> <p>データによる簡略化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各所属で電子決裁の合議に公用管理者を含めて決裁。
<p>○手作業による集計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・手書きのため集計や検索をするために文字起こしが必要になる等、労力を要する。 	<p>○BIツールの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・記録をデータ化し、容易に集計や分析ができるようになった。 

表-1 アプリ導入による効果

◎tableauによる分析例

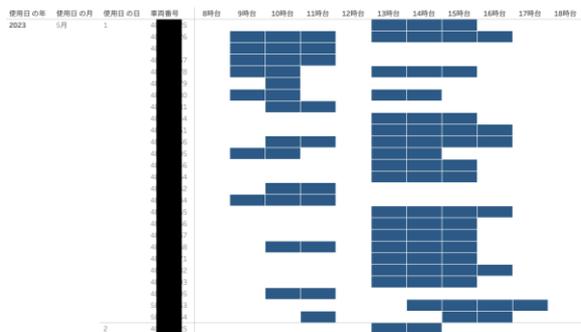


図-4 車両別・時間帯別使用状態

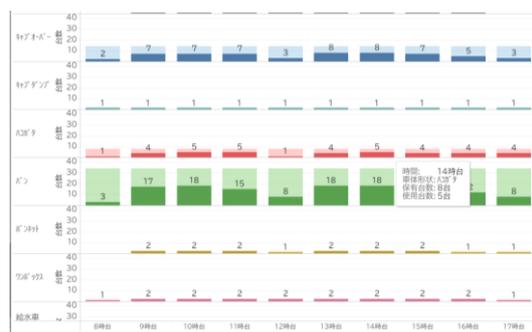


図-5 時間帯別最大使用台数

大津市企業局管路情報閲覧システム

～上下水道、ガス管路情報のインターネット公開～

大津市企業局 ○ 山中 克巳
木村 俊彦

1. はじめに

大津市企業局では、これまで上下水道及びガスに係る管路情報については、市庁舎窓口の端末機にて閲覧提供してきたが、このほど、企業局DX戦略の一環として、お客様サービスの拡充及び行政事務のさらなる効率化を図ることを目的として、令和4年度にインターネットクラウドによる管路情報閲覧システムの構築を行った。これにより、時間・場所にとらわれず、パソコンまたはスマートフォンにて上下水道、ガスに関する管路情報の閲覧が可能となった。

2. 管路情報閲覧システム構築業務の概要

公開情報は、運用中の上下水道・ガスマッピングシステムより管理ツールを用いて自動生成された公開用ファイルで、市民向けに構築した上下水道、ガス施設情報とする。システムを利用するには利用者IDとメールアドレスを登録したのち、ログイン画面から管路情報図の閲覧が可能となる。Webブラウザのみで本システムを利用でき、事前に特別なアプリケーションのインストールを必要としない形式としており、住所や施設一覧からの検索が可能で、縮尺を指定して印刷することができる。なお、セキュリティ確保及び個人情報保護のため、浄水場、配水池、加圧施設の主要施設と埋設情報図、土地使用承諾書などは非公開としている。利用者向けサービスの提供時間はメンテナンス時間を除き24時間としており、システムの利用料は無料で、通信に係る費用は利用者負担としている。

管路情報の公開は、担当職員が公開ツールにより更新用ファイルを本システムヘッダーアップロードすることとなるが、任意のタイミング(4回/年)、容易な操作で公開処理が行えるシステムとなっている。

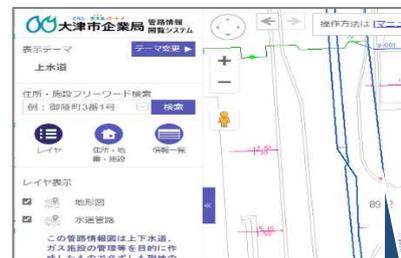
図1-ログイン画面



図2-トップページ



※管路をクリックすると、詳細情報が表示される。



0734C00049	管内
一連番号	0734C00049
管種	タクトイル鉄管
呼び径	150
所有者コード	大津市企業局
管区分	配水管
図形種別	呼び径350未満

管路を
クリック

3. 公開情報の検討内容

セキュリティ、個人情報保護を考慮した上で、既存のマッピング情報が最大限活用できるよう、公開する情報は導・送・配水管の管種、口径、布設年度、寄り・深さ、私有管等の管路情報、メーター口径・設置位置、仕切弁・消火栓など施設番号を含む情報としている。

利用するにあたっての留意点として、公開する管路情報図は大津市企業局が上下水道、ガス施設の管理等を目的に作成したものであることが挙げられる。必ずしも現地の状況と一致するものでなく、また証明できるものではないことから、本システムを管路の埋設状況確認以外の目的外利用を禁止することなどについて、情報利用に関する注意事項として利用規約に明記した。

4. 期待される効果

インターネット上で公開することにより、特に利用回数が多い開発業者や設計業者などが来庁することなく、24時間いつでも管路情報を確認することができ、また、窓口対応の負担の軽減を図ることが期待できる。

本システムはスマートフォンで閲覧可能であり、位置情報により場所や管路などの情報をその場にながら直接確認することができる。また、水道の施設番号（例：仕切弁 V-001、消火栓 H-002 等）を表示していることから施設の判別が瞬時に可能であり、災害時や断水事故時等に現場対応に役立つことを想定している。加えて、Google (StreetView) コンテンツを同一画面で2画面表示し連動することができ、検定満期メーターの交換や開閉栓業務、修繕業務など、様々な業務の受託者が自ら施設場所を現地確認することができることから、市職員や受託業者にとっても利点が多いといえる。

図-3 管路図

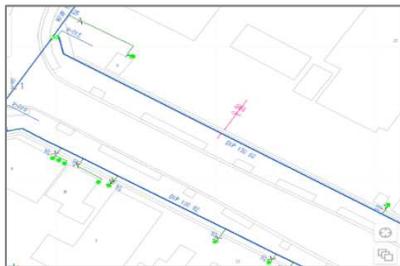
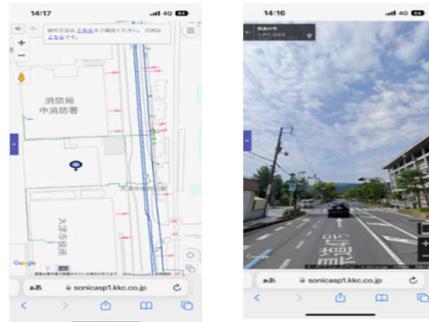


図-4 スマートフォン表示



5. おわりに

企業局では上水道に加え、下水道及びガスの3事業を経営しており、今回のシステム構築により同時に公開することとした。インターネットでの公開において、上下水道、ガス管路情報図利用者の利便性向上とともに、新しい生活様式に対応した非対面での情報公開として有効なものとなった。引き続き、ICT技術の更なる活用について取り組みを進めていきたい。

水道管路の効率的な総合評価システムの開発 -自動グルーピング技術を用いた管路更新条件の検討-

株式会社クボタ ○ 能勢 正樹 奥村 勇太
越智 孝敏 藤井 宏明
株式会社管総研 加藤 昌彦
神戸市水道局 溝渕 浩平 友野 雄介

1. はじめに

(株)クボタは、神戸市水道局及び(株)管総研と共同で、管路工事発注区間（以下、グループ）を自動で作成（以下、グルーピング）し、更新優先度を評価した管路データと組み合わせてグループ単位の更新優先度を評価して管路更新解析を自動で繰り返すことで、事故件数などの管路更新効果を長期的に評価する技術を開発してきた。ここでは、本技術を活用し、神戸市全域を対象に 120 年後までの事故件数や地震時の断水人口などの推移の評価を行った結果の一例について報告する。

2. 従来の管路データ単位の評価における課題

神戸市水道局では、平成 19 年度に配水管網再構築立案システム（以下、P-DES）を導入し、更新するべき管路を効率的に選択し、更新・耐震化の事業を進めてきている。

P-DES は、マッピングシステムの管路データや埋設環境のデータを用いて、老朽度や耐震性を総合的に評価して「管路データ単位」（管種や口径が同一な 1 つの管路データ）で更新優先度を決定できるシステムであるが、以下の課題があった。

- ① 実際の更新工事は一定区間をまとめて実施するが、解析による更新優先度上位 1% の管路（以下、キー管路）は点在するため、管路データ単位の評価結果をグループ単位の管路更新計画に有効活用できていない（図 1）。
- ② そのため、キー管路を抽出し、その周辺管路を含めて人力で工事発注区間を決めているが、職員個人のスキルに頼る事になる。
- ③ グループの設定には時間や労力を要するため、グループの管路長を変えた再検討や、グループ単位で管路を更新した時の更新効果の長期的評価を行うことができない。

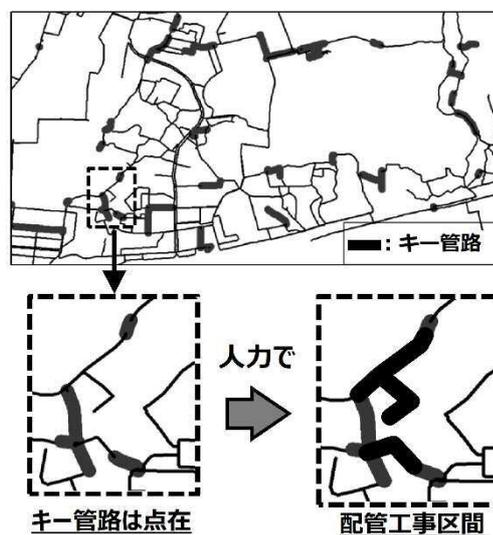


図 1 管路データ単位の評価例

3. 自動グルーピング及び更新効果の長期的評価技術の概要

上記課題の解決に向け、条件を変えたグルーピング及び管路の更新の試行を容易に繰り返し、最適な管路更新条件を検討できるように、グルーピングから管路更新効果の長期的評価までを全て自動で行うプログラムを開発した。

開発したプログラムの実行フローを図 2 に示す。

① グルーピングの自動化

実際の工事規模（延長あるいは工事金額で設定可能）や現地状況を考慮したうえで、評価対象とする全区域内の全ての管路を対象に、AI 技術を活用した自動グルーピング技術を開発した。

工事効率や住民生活の影響を考慮した、適正なグループを自動作成するために、「ばらつき係数（図3）」によるグループ形状の評価を考案した。

② グループ単位の更新優先度評価

管路データ単位の評価結果と①の結果を組み合わせ、グループ単位の更新優先度を自動的に求める。優先度の高い管路が多く含まれるグループで優先度を高く評価できるように、管路データ単位の優先度をグループの管路延長で加重平均した。

③ 管路更新効果の長期的評価

グループ単位の更新優先度評価結果に従って、事故件数の推移などの更新効果を長期的に評価した。

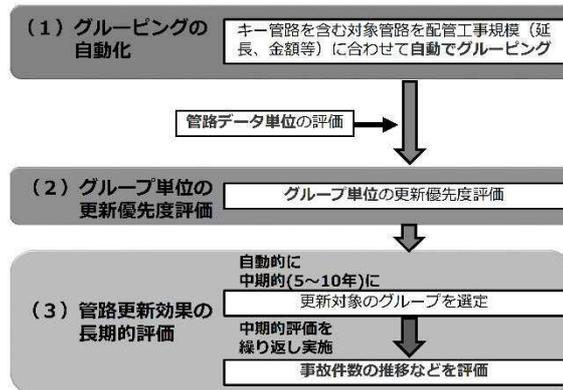


図2 開発したプログラムの実行フロー

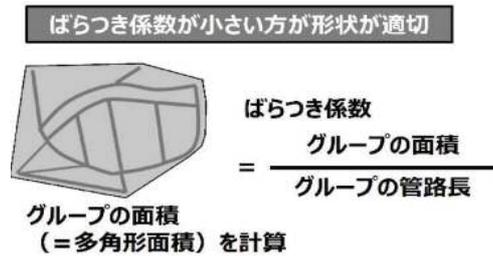


図3 グループの「ばらつき係数」

グルーピング及びグループ単位の更新優先度評価（実行フローの①、②）について、結果の妥当性を評価するため、モデルケースとして、神戸市内2つの行政区の管路を対象にグルーピングを行い、管路データ単位及びグループ単位の更新優先度を比較した。

図4にグループ単位での更新優先度を、表1に管路データ単位及びグループ単位の更新優先度の比較結果をそれぞれ示す。

- 更新優先度を管路工事の発注に適したグループとして評価できた（図4）。
- グループ単位での更新優先度が上位5%のグループに、「キー管路」の約9割が含まれていることから（表1）、グループ単位の評価に基づき管路を更新してもキー管路を早期に更新できることが確認できた。

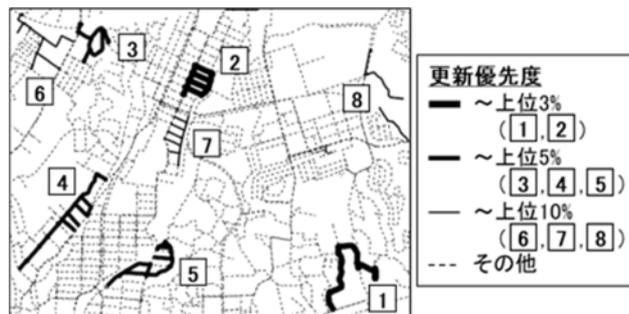


図4 グループ単位での更新優先度

表1 管路データ単位及びグループ単位の更新優先度の比較結果

区分	更新優先度が上位1%の「キー管路」の所属割合 (管路延長比として)		
	上位3%までのグループ	上位5%までのグループ	上位10%までのグループ
配水支管（～φ250）	90%	93%	96%
幹線管路（φ300～）	82%	88%	92%

4. 自動グルーピング及び更新効果の長期的評価技術を用いた神戸市全域での検討

(1) グルーピング及び長期的評価の検討条件

評価対象は神戸市全域（約4,800km）とした。

- ① グループの管路長：配水支管（呼び径 250 以下）で 1,000m 以下
：幹線管路（呼び径 300 以上）で 800m 以下
- ② 更新順序：グループ単位に更新優先度の高いものから更新（20 年毎に再評価）
- ③ 更新対象管路：1977 年（昭和 52 年）以前に埋設された管路
- ④ 更新率：0%、0.6%、0.8%、1.0%
- ⑤ 更新管路仕様：【条件(1)】GX 形（山地を除く国土の 95%で 100 年以上の使用を期待）のような外面耐食塗装効果を従来管より長く設定した管路更新
：【条件(2)】従来管の外面塗装効果とポリエチレンスリーブの寿命 20 年（神戸市独自設定）を見込んだ管路更新
- ⑥ 評価項目：120 年後までの事故件数、重要拠点ルート耐震化率、災害時断水人口

ここで、更新優先度を評価する際の老朽度評価手法は、DIP 及び CIP については（株）クボタで開発した新手法（図 5 上段参照）による。

一方、VP 及び SP の更新優先度を評価する際の老朽度評価手法については、これまで、（公財）水道技術研究センターの事故率推定式を使用してきたが、事故件数が実際より多く予測される傾向が見られたため、今回、複数事業体の漏水データ及び管路データに一般公開されている地図情報を重ねて機械学習させ、漏水事故率を予測するモデル（以下、AI モデル）を開発した（図 5 下段参照）。

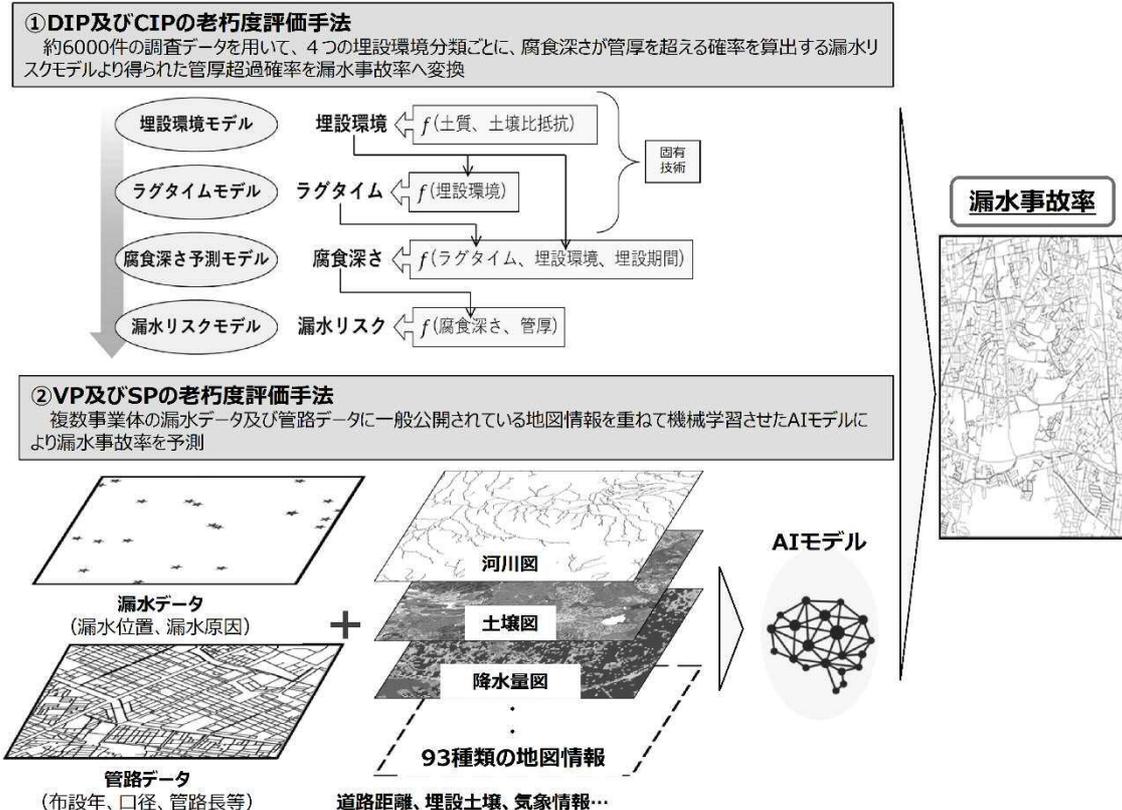


図 5 老朽度評価モデルの概要

(2) 長期的評価の検討結果

更新率に応じた事故件数や重要拠点ルートの耐震化率向上効果、災害時断水、人口低減効果など、条件変更により様々な用途で本システムを効果検証に活用できることを確認した。また、現状の VP の事故件数が実際（約 1 件/年）と概ね一致しており、AI モデルの有効性が期待できる結果を得た。

評価結果の一例として事故件数の推移を図 6 に示す。

条件 (1) では、更新率を引き上げることで、事故件数の抑制を確認した。

さらに、条件 (1) と条件 (2) の比較では、外面耐食塗装効果の検証（特に 100 年後以降）などにも活用できることを確認した。

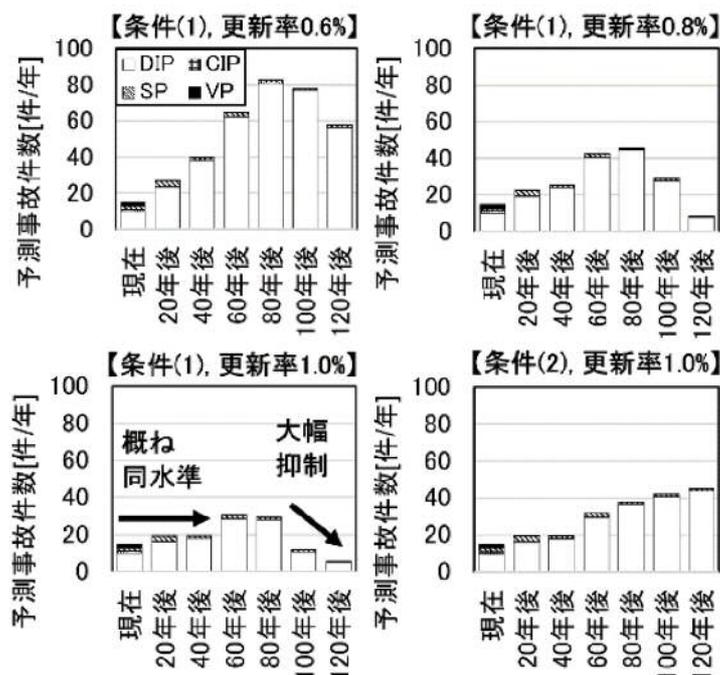


図 6 事故件数の推移

5. まとめ

神戸市水道局の実際の更新工事に近い条件のもと、グループとして更新優先度を評価、グループ単位の更新優先度に基づいた管路更新における長期的なシミュレーションにより 120 年後までの事故件数などの推移を評価し、さらに条件を変えた試行を実施することで、管路更新効果の高い管路更新条件を検討することが可能となった。

今後もリスクアセスメントやアセットマネジメントに活用できる技術開発に取り組むことで、最適な更新計画立案を支援し、健全な管路の維持管理に貢献していく。

【参考文献】

- 1) 友野雄介ら, 水道管路の効率的な総合評価システムの開発 (I) —グループ単位の更新優先度評価—, 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 488-489, 2022
- 2) 奥村勇太ら, 水道管路の効率的な総合評価システムの開発 (II) —自動グルーピング手法の開発—, 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 490-491, 2022
- 3) 奥村勇太ら, 水道管路の効率的な総合評価システムの開発 (III) —自動グルーピング技術を用いた管路更新条件の検討—, 令和 5 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 100-101, 2023
- 4) 奥村勇太ら, ダクタイル鉄管の高精度な老朽度評価手法の研究, 令和 3 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 340-341, 2021

水圧実測データを用いた水道管路の現況把握手法と対策

橿原市上下水道部 ○ 前田 成生
宮武 大輔
的場 一矢

1. はじめに

令和元年に施行された改正水道法（第 22 条の 2 の規定等）により、水道事業者及び水道用水供給事業者は、水道法施行規則で定める基準に従い、水道施設を良好な状態に保つため、その維持・修繕を行うことを義務付けられた。

厚生労働省では、水道事業者等が点検を含む維持・修繕の内容を定めるにあたっての基本的な考え方を明らかにするために、維持・修繕に関するガイドラインを作成し、適切な資産管理の推進を図っている。

ガイドラインでは、管路の日常点検実施率は約 4 割、定期点検実施率は約 3 割^(※1)にとどまっている現状を鑑み、水道施設の大半を占める水道管路については、管路の状態や埋設環境等の情報収集に努め、時間計画保全による管路更新とともに、巡視・点検で異状の早期発見と管路事故の予防に努めることが必要であると強調している。

しかしながら本市では、水道事業に携わる職員数が、令和 4 年度で平成 20 年度と比較して、21 人減少している。そのため、安全な水供給のための施設や管理方法の検討にあたっては、管路の点検率を画的に高めるには人的資源に限界があり、維持管理の基盤について合理的施策を策定する必要がある。

これらの状況を踏まえ本稿では、水圧の定期的な定点測定による『水道施設の現況把握』に加え、水圧データを利用した『原因分析と対策立案』による維持管理の効率化についての事例を紹介する。

2. 本市の水道概要

本市上水道事業の令和 4 年度時点の詳細は給水人口 119,595 人、給水区域面積 39.56 km²、配水管延長 606km、年間総配水量 12,960,798 m³となっている。

住民生活に不可欠な『水』を提供するライフラインとして、昭和 28 年に事業認可を受け、昭和 31 年の給水開始以来、現在までに 4 回の拡張事業を行い、現在は県営水道からの 100% 受水による水道供給で、本市のあるべき姿として掲げている『歴史と文化のある街の暮らしをささえる水道を目指して～安全で安心できる、安定した水道の供給～』の実現にむけて、水の安定供給に努めている。一方で人口減少や節水意識の高揚、これまで整備した水道施設の老朽化や耐震化など上水道を取り巻く環境の変化により新たな課題が山積している。

このような状況に対応し、管路の健全性を維持していくためには、維持管理・水運用の合理化、そして災害発生時に備えた取り組みを限られた資源の中で推進する必要がある。そのため、把握することが難しい管路の現状を、実データにより定量評価することが可能となる水圧に着目した。

3. 水圧測定データログシステムの概要

水圧測定データログシステムは乾電池駆動のポータブルな水圧計であり、水圧測定とデータ保存を行うことができるシステムである。

水圧測定データログシステムでの水圧データ収集・分析に至る構成を図-1に示す。

(1) 機器設置・計測・撤去

水圧センサーを接続した水圧測定データログシステムを消火栓など水道付帯設備に取り付けることで、指定した時間帯の動水圧値が収集され、データはSDカードに転送・保存される。

(2) データの解析

水圧測定データログシステム内に収集された水圧データはPC上に取り込むことにより、解析ソフトを介して各種グラフ化や帳票化が可能である。

測定箇所別の水圧データを蓄積しグラフ比較をすることで管路における状況の変化を簡便的に抽出が可能であり、管路の維持管理に必要な実データ情報を効率的に管理・参考とすることができる。

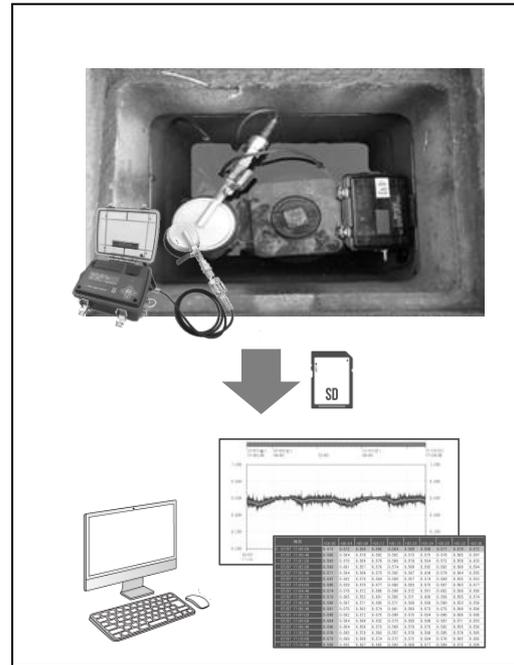


図-1 データログシステムの概要

4. 本市のシステム活用方法

本市では配水区が小槻配水地、一町配水池、白檀配水場と3つの系統に分かれおり、各系統合わせて約100箇所を計測点として定め、夏季と冬季の年間2回の計測を行っている。本計測における配水区と計測箇所を図-2に示す。

本市では水圧データログシステムを12台所有している。配水系統ごとに、なるべく同条件下同時設置になるようにして、4秒おきのデータを2日間程度取得する手法を取っている。

水圧を計測することで高水圧管路の抽出や低水圧管路の抽出の他に圧力損失の課題管路や給水不良エリアの割り出し、停滞水発生管路の確認、ウォーターハンマー発生管路の確認、管路のクリティカルポイント（標高が高くて

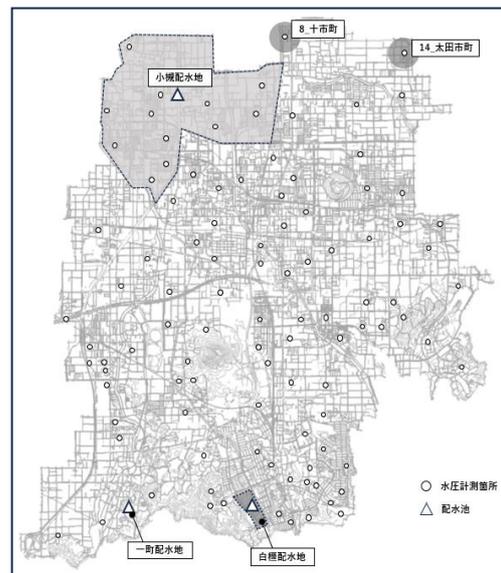


図-2 配水系統と水圧計測箇所

配水圧力低下となる地点)の割り出し等、配水管路網の課題を把握することができる。令和5年度水圧データを用いた計測結果の活用事例を次項に示す。

5. 令和5年度水圧測定データの活用事例と考察

(1) 事例1 圧力変動差の大きい実測箇所の要因と対策

急激な圧力変動の発生原因を放置すると、時間経過と共に水道管路に影響を及ぼし、水圧低下の原因や管路の破損事故へとつながる可能性がある。

図-3のデータは一町配水池系統の配水管管末付近(前頁:図-2:8十市町及び14太田市町)の計測データとなっている。水圧トレンドグラフで確認すると水圧に大きな変動が発生している。この現象は、昼間では約2時間周期、夜間では約3時間周期にて発生している事から受水槽の流入弁開・閉動作が要因と考えられる。流入弁開から閉動作までの時間は約1分程度である為、受水量は少量であると思われるが、水撃圧が生じる動作速度の速い流入弁と想定される。この受水槽の流入弁を特定し、定流量弁の設置等を行うことが対策となる。

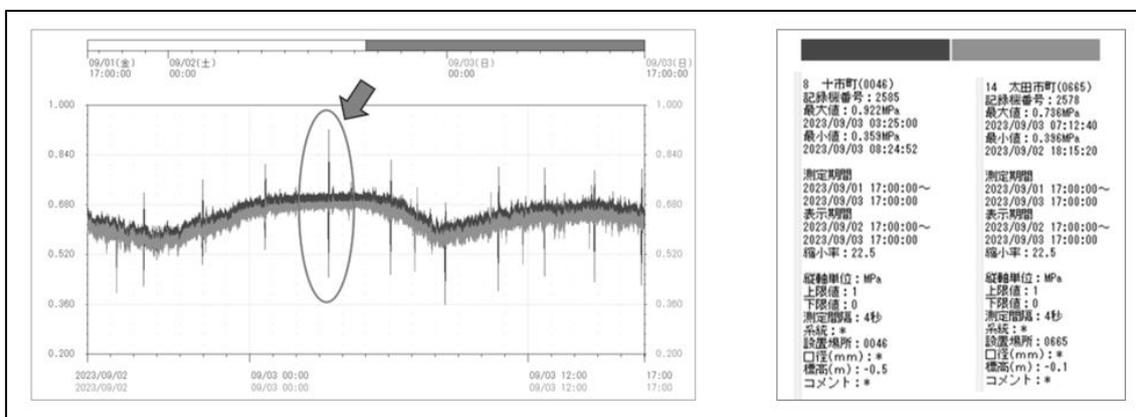


図-3 水圧値変動グラフ

(2) 事例2 配水圧力の減圧検討手法

水圧実測地点の水圧変動を把握する事により、減圧値を想定する事ができる。

一町配水池から市内配水は自然流下方式となっている。当配水エリアでは最大配水量においても0.5Mpa以上となる高水圧が実測される箇所が存在する。

当配水系統管末実測箇所の配水流量と水圧値のQ-H特性グラフを図-4に示す。配水流量が約270 m³/hから2,500 m³/hの変動に対して、水圧変動は主に最大水圧が約0.7Mpa、最小水圧が約0.5

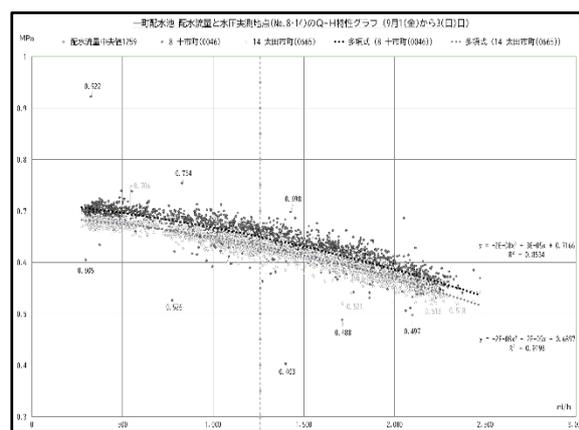


図-4 配水量と水圧値のQ-H特性グラフ

Mpaの間で変動していることがグラフから把握することができる。当グラフを参考として、当系統配水エリア全体の最低水圧0.5Mpaを0.2Mpa減圧したと想定した場合、配水流量の減少率は計算上77%となり、現状の水運用では夜間最小流量が約270 m³/hである

ことから、 $270 \text{ m}^3 \times 77\% \approx 208 \text{ m}^3/\text{h}$ が配水減圧後の夜間最小配水流量時の期待値となる。このように配水流量と配水管網による水圧損失を把握し減圧を検討する事で、無収水量の削減に寄与するものと考ええる。

(3) 事例3 不明水量の参考値評価指標

水圧データログシステムの解析ソフト内に標高を登録する事で、実測箇所の水頭と動水勾配の算出ができる。図-5の水圧グラフを用いて、配水圧力が高くなる時間帯の移動平均を採取・分析した結果は下記の通りである。

水圧の移動平均値を抽出した結果、《8_十市町》では 127.8m、《14_太田市町》では 128.7m と水頭は《14_太田市町》の方が約 1m 高く、このことから《14_太田市町》（一次圧力）から《8_十市町》（二次圧力）方向へ水流がある事が分かる。

この水頭差をヘーゼンウィリアム式に代入する事で、《14_太田市町》から《8_十市町》の水量算出をする事が出来る。（図-5 では管路口径・管路延長距離・流速係数は仮の数値にて算出）当評価方式を最小流量時間帯の計測圧力で代入する事により、測定区間内の不明水量（≒漏水量）の指標と捉える事が可能である。

本市では、重要管路に限定して相関式漏水探知器を用いた直営調査に取り組んでいるが、今後は当評価方式を用いて不明水発生エリアを選定し、調査を実施することも検討している。

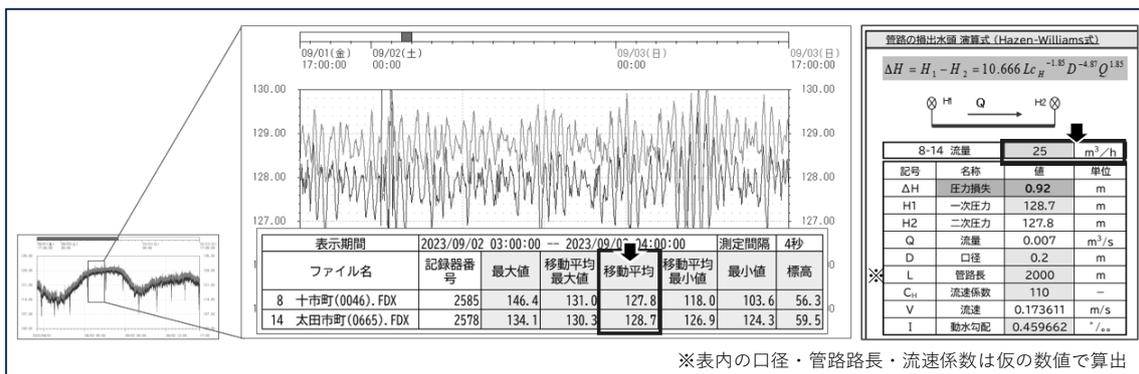


図-5 ヘーゼンウィリアム式を用いた評価指標

6. おわりに

本稿にて紹介した水圧実測データを運用することで管網課題の抽出と評価、蓄積したデータにより管路情報を客観的に捉えることができ、災害時には水圧分布比較による迅速な対応が可能となる。今後、水圧計測点の追加、同時的計測点の増加、データ取得頻度の増加を検討することにより、さらに評価精度の向上が期待できることから、より効果の高い施設資産管理の実現への応用が見込めると考える。

また、奈良県では水道広域化を推進しており、今後は市外からの給水、市外への給水が行われる可能性が十分にある。その際には水圧実測データが貴重な資料となるという事は言うまでもなく水圧計を活用し広域的な水運用を行っていききたい。

【参考文献】

(※1)厚生労働省 (2019)：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