

分担研究報告書

取水・送水・給水における管路の維持管理方法に関する検討

研究分担者 伊藤禎彦 京都大学大学院工学研究科教授
研究協力者 福岡早紀 京都大学大学院工学研究科修士課程

研究要旨：

静岡県浜松市内において川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の3箇所を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量 (g/m^2) とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することを可能とした。さらに本成果に基づいて、今後の展開方法と狙いについて整理した。

A．研究目的

水需要の減少は、配水管内での滞留時間増大をもたらし、水道水質が劣化することが懸念される。今後は、配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御するニーズが高まっていく。

本研究では、静岡県浜松市内における小規模な飲料水供給施設をとりあげ、まずは配水管内に堆積する重量 (g/m^2) とその分布を推定することを目指す。これによって、配水管内の環境管理からみて重点的に管理・制御すべき事項・段階の抽出を試みるとともに、検討対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示する。

B．研究方法

2017年11月14日に、浜松市の飲料水供給施設3箇所（川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設）を調査した。原水、浄水処理フローなどの各施設の状況は、別の総括・分担研究報告書を参照されたい。

表1（川上飲料水供給施設の場合を例示）に示す項目について、浜松市から情報を収集するとともに、現地での調査によって独自にデータを取得した。

配水管網については、提供された管路データから、配水区域までのルートを設定した。写真2、3は、川上飲料水供給施設の低区配水池（写真2）および高区配水池（写真3）である。



写真1 川上飲料水供給施設
浄水処理施設

表 1 川上飲料水供給施設に関する必要情報

	入手済み	要問合せ	独自で調査・入手	入手できず推定、または仮定する必要有
管路	管路総延長[m]	①各管路の口径[mm] ②節点数 ③各管路延長[m] ④管材質 ⑤敷設年度	①配水管 φ50~20 ②不明(右欄に推定) ③送水管 L=1,599m 配水管 L=4,818m ④送水管 PE 配水管 PE/VP ⑤H21~H26	②配水管 高区5点 低区21点
水質	濁度(原水、浄水)	浄水濁度 (給水区域内で数点)	原水、浄水、および配水区域内3箇所の給水栓水を採水して測定	浄水SS濃度(μg/L)
配水池	配水池の水位[m] (HWL)	①平均配水量[m ³ /日] ②配水量の時間変化、または時間係数・(配水池水位の変動)	全て不明 → 同じ地域にある配水池の時間変化の情報を取得	
その他		①標高[m] (配水池、および各節点) ②各戸位置・各戸居住人数	①配水方式の選定を参照(別紙) ②聞き取り調査にて取得	



写真 2 低区配水池



写真 3 高区配水池

3つの飲料水供給施設において、配水量に関する情報はない。そこで、例えば、川上飲料水供給施設配水区域における全戸(26戸)について、その各戸居住人数(合計50人)を聞き取った。これに計画原単位である240 L/人・日を乗じ、各節点からの取り出し水量とした。また、明野飲料水供給施設(8戸、25人)、長沢飲料水供給施設(4戸、10人)においても、同様に各戸の居住人数を聞き取った。

管網計算方法は岸本ら(2017)の方法にしたがった。使用ソフトは、EPANET2.0およびEPANET-MSXである。

C. 研究結果

水質測定結果を表2に示す。例えば、川上飲料水供給施設の浄水処理装置では、PACが注入され沈殿および急速砂ろ過が行われていることから、濁度除去性は高いといえる。一方、明野飲料水供給施設では、浄水を直接採水することはできなかったが、給水栓水の測定結果から、浄水処理施設の除去能は低いものと推察できた。

表2 水質測定結果(2017年11月14日採水)

事業主体	サンプル	濁度			残留塩素濃度[mg/L]	備考	
		(1回目)	(2回目)	平均			
浜松市	川上飲供	原水	0.81	0.73	0.77	-	PAC注入前の原水そのものを採水
		浄水	0.00	0.00	0.00	0.00	塩素は間欠的に注入されているので濃度としては安定せず、採水時たまたまゼロであったとみられる。実際、低区・高区配水池以降では残留塩素は安定して検出されている。
		高区配水池	0.00	0.01	0.01	0.16	
		A宅(高区配水区域)	0.03	0.02	0.02	0.19	
		低区配水池	0.02	0.03	0.02	0.21	
		B宅(低区配水区域、北方分岐)	0.01	0.02	0.02	0.21	
		茶工場(低区配水区域、西方分岐)	0.01	0.02	0.02	0.00	1年のうち5月の3~4日しか水を使用しない箇所
	明野飲供	原水	1.26	1.33	1.29	0.86	簡易ろ過装置内の砂層上の水を採水。ここに塩素が直接滴下される構造
		浄水	-	-	-	-	配水池の水は採水できない構造
		C宅(西方末端)	1.44	1.46	1.45	0.16	
		D宅(東方末端)	1.42	1.42	1.42	0.04	
		E宅(南方末端)	1.45	1.48	1.46	0.18	
	長沢飲供	原水	1.01	1.08	1.04	-	
		浄水	0.16	0.18	0.17	0.79	
		F宅(北方末端)	0.21	0.15	0.18	0.71	
		F宅(南方途中)	0.13	0.11	0.12	0.70	

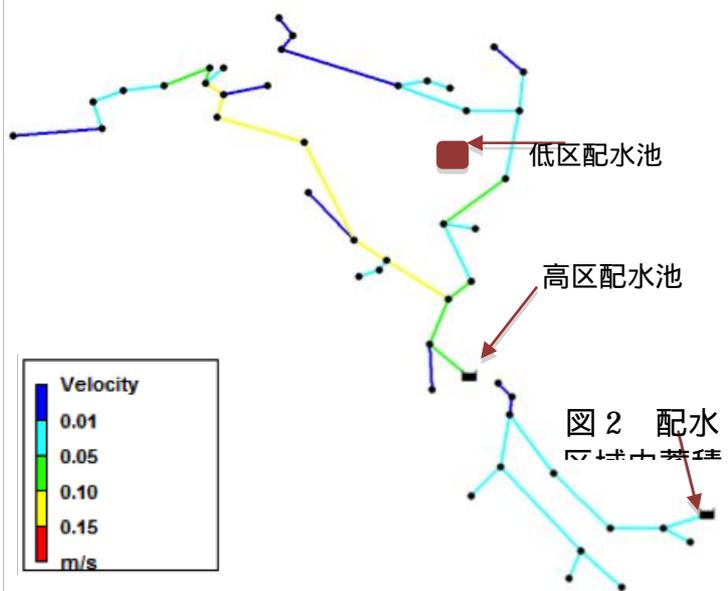
別に、大阪広域水道企業団および阪神水道企業団の浄水場において、浄水の濁度とSSとの関係を把握する調査を行ってきている。これより、濁度-SS換算式(中西、2018)として下記を使用した。

$$SS(\mu\text{g/L}) = 314 \times X(\text{度}) + 7.18$$

これより川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の各配水区域における水道水の平均的なSS濃度はそれぞれ12.7 $\mu\text{g/L}$ 、460 $\mu\text{g/L}$ 、54.3 $\mu\text{g/L}$ と推定した。また、これらから各配水区域に流出している重量を見積もることもできる。例えば、川上飲料水供給施設の場合、低区配水池および高区配水池から流出している重量は152mg/日と推算できる。

川上飲料水供給施設からの配水区域における配水管内平均流速の分布を図1に示す。浄水場から低区配水池、高区配水池までの送水管は対象としておらず、2つの配水池からの配水管の流速のみを図示している。また、平均流速、中央値、最頻値を表3に示す。参考のため、神戸市篠原低層における流速も併記した。このうち配水管の先端における取り出し水量がゼロであって、流速がゼロである配水管については、以下の蓄積量推定においては除外することとした。

配管内における蓄積量の重量分布を図2に示す。配水期間は10年であり、蓄積量の単位は mg/m^2 である。



浄水施設

表3 配水管内流速の代表値

	篠原低層	川上飲供	明野飲供	長沢飲供
平均流速(m/s)	0.084	0.042	0.059	0.022
中央値(m/s)	0.060	0.030	0.060	0.020
最頻値(m/s)	0.020	0.020	0.090	0.020

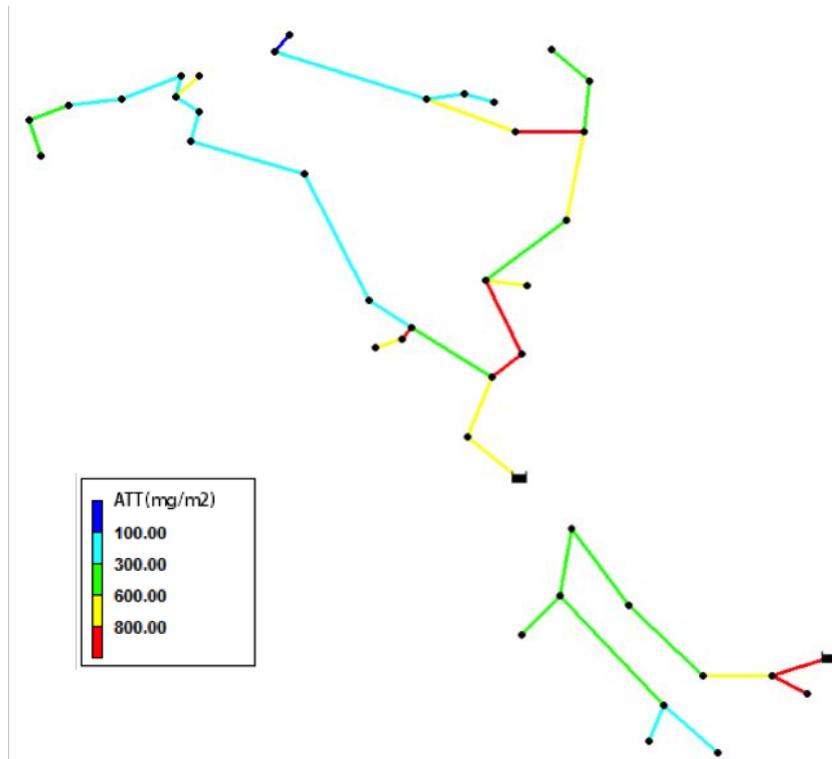


表 3 配水管内流速の代表値

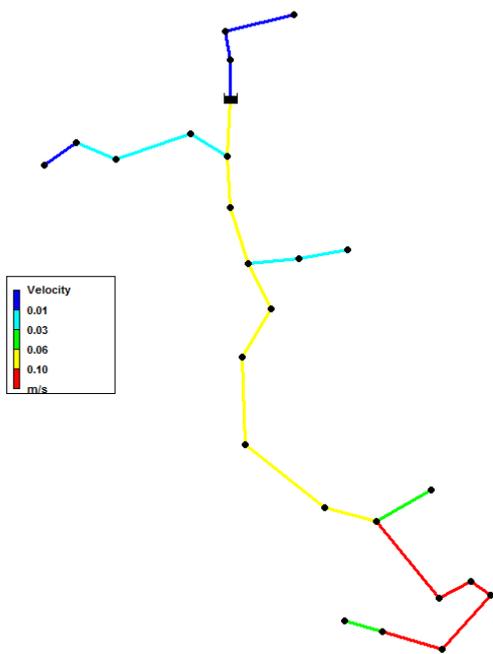


図 3 配水管内平均流速の分布（明野）

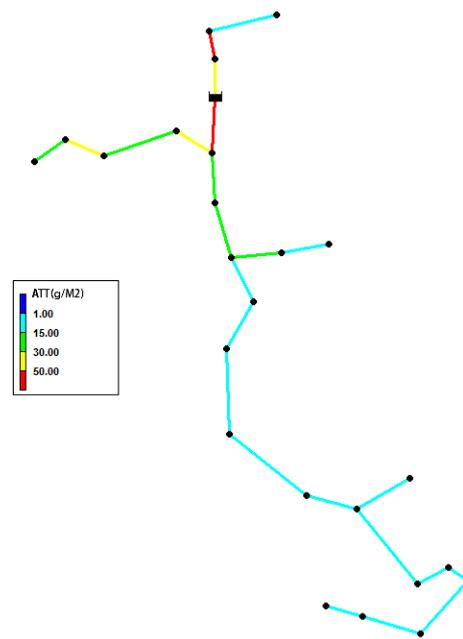


図 4 配水区域内蓄積量の分布（明野）

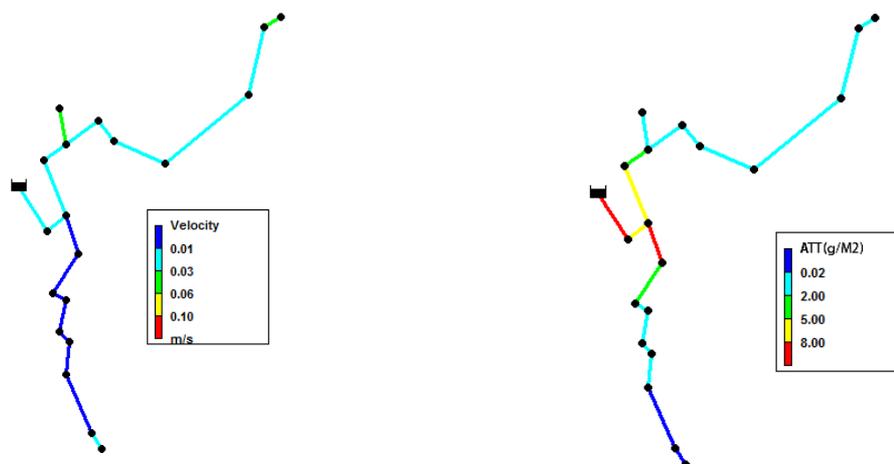


図5 配水管内平均流速の分布（長沢） 図6 配水区域内蓄積量の分布（長沢）

同様に、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の各配水区域における平均流速、中央値、最頻値を表3に示し、それぞれの平均流速の分布を図3、図5に示す。さらに、配管内における蓄積量の重量分布（単位：g/m²）を図4、図6に示す。

D．考察

1．蓄積量分布の表示について

明野飲料水供給施設配水区域における蓄積量が多いことがわかるが、これは表2に見られるように、配水区域内給水栓水の濁度値が比較的高いためである。ただし、管内流速は3つの配水区域の中では最も大きく、流速の観点からは蓄積は進みにくいともいえる。今後、浄水処理施設の除去能を改善することによって、配水管内の蓄積量を低減させることができると推察できる。

図2、図4、図6のように、配水区域内の蓄積量分布を表示できるようになったことが現段階での成果である。今後これを利用して、管網を再構成した場合の蓄積量の変化などを議論することができる。

ただ、使用したモデル式では、懸濁物質の付着速度は単純に管内流速に反比例している点、蓄積が進んでも脱着しない設定としている点など、いくつかの課題を有している。今後、別途行っている室内実験や現地調査の結果を活用して本推定方法を改良することが必要と考えている。

2．今後の展開とねらいについて

(1)実施予定内容

別に、配水管テストピースを用いた付着・堆積・脱離に関する室内実験（中西ら、2017）および神戸市において洗管排水の分析を行っている（Itoh *et al.*, 2017）。これらの結果を活用してモデル化を行い、上記重量分布の推定方法を改良する。

上記では、配水量については日平均値だけを用いている。今後は、日内変動（時間係数）を考慮した推定を行う。浜松市内の熊切簡易水道における配水量、配水池水位変動に関するデータを入手しており参考にする。

後述する観点から、(1)浄水処理水質、(2)配水管の水理条件、(3)洗管に関するシナリオを設

定し、蓄積量の重量分布の変化を検討する。得られた結果から、これら3段階のうち、配水管内の環境管理からみて重点的に管理・制御すべき事項・段階の抽出を試みる。同時に、各段階の位置づけや役割について整理する。

(2)ねらい

各地で水需要の減少と配水管の老朽化が進んでいる。これらによって、配水管内での滞留時間が増大することなどにより、水道水質が劣化することが懸念される。配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御するニーズが高まってきているといえる。

配水管内環境の管理・制御ための方法としては、浄水処理における懸濁物質等の除去、管網における水理条件の管理・制御、洗管があり(van der Kooij and van der Wielen, 2014)、実務上はこれらを組み合わせる必要がある。

一般に、1日に一度0.4 m/秒以上(実用的には0.2 m/秒以上)の流速が確保されれば、その管路は自己洗浄機能を有するとされる(Vreeburg, 2007)。流速を高めて管内環境を清浄に保とうという考え方だが、わが国ではこの観点から配水管網を構成する考え方はこれまでになかった。

以上の背景から、ここでは、配水管内環境の管理・制御法を探るため、以下の3段階の観点から検討を進める。

第一段階 浄水処理：配水管内環境を良好に保つのに寄与する浄水処理をあらかじめ行っておくという観点。関西地方の浄水場において、浄水処理プロセスを凝集沈殿-急速砂ろ過-オゾン・粒状活性炭から凝集沈殿-オゾン・粒状活性炭-急速砂ろ過に変更することによって、送配水系への流入重量が20 kg/日が14 kg/日に約30%低減できると評価している(中西, 2018)。この例のように浄水後濃度を変化させ、配水区域内蓄積量に与える影響を解析する。

第二段階 配水管網の水理条件：滞留域を最小化するとともに自己洗浄機能を確保し水の流れを保つという観点。枝状化や縮径を行い、自己洗浄機能を高めた管網において、微粒子の堆積がいかにか低減しうるかを評価する。実際、神戸市内のある配水区域を対象とした検討例では、現状管網の場合10年間での蓄積量は130 kgであるが、仮に区域内の配水管の管径を1段階ずつ縮小できたとすると76 kgに低減できると推定した。また、配水管内面の単位面積あたりの蓄積量も2.13 g/m²から1.63 g/m²に減少した(岸本ら, 2017)。

第三段階 洗管：別に行っている通水試験管路を用いた試験では、放水洗管作業(洗管時流速0.45 m/秒)による管内付着物の除去率が得られる。これを用いて、洗管作業を行いつつ配水を継続した場合の効果を表示する。洗管間隔としては、洗管作業を10年あるいは20年サイクルで行うシナリオが考えられる。

上記の3つの段階の中から、配水管内の環境管理からみて重点的に管理・制御すべき事項・段階の抽出を試みる。同時に、各段階の位置づけや役割について整理する。これにより、検討対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示する。

E . 結論

静岡県浜松市内において川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の3箇所を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量(g/m²)とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することが可能となった。

参考文献

Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada,

- Y., Echigo, S. : Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- van der Kooij, D., van der Wielen, P. eds. : Microbial Growth in Drinking-Water Supplies, 453p., IWA Publishing, London, UK, 2014.
- Vreeburg J. : Discolouration in drinking water systems: a particular approach, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, Chapter 5, 89-112, 2007.
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲 : 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史 : 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第54巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.
- 中西智宏 : 送配水システムに流入する浄水中懸濁物質による配水管内環境の形成とその実態に関する研究、京都大学博士学位論文、2018.

F . 研究発表

1 . 論文発表

- 平山修久, 伊藤禎彦 : 需要者へのコントロール感の付与からみた災害時の上水道システムにおける情報提供のあり方に関する検討, 日本リスク研究学会誌, Vol.26, No.4, pp.199-208, 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史 : 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第54巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.

2 . 学会発表

- Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S. : Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- Zhou, X., Nakanishi, T., Nishioka, H., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Behavior of suspended matters in drinking water distribution system, Proceeding of The 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, C-04_8p, July 6-7. 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲 : 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- Kishimoto, J, Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Survey on micro-particles adhered inside water distribution pipes and a distribution of accumulated matters in a network, HUST & KU International Symposium on the Education & Research of the Global Environmental Studies in Asia in conjunction with the 10th Regional Conference on Environmental Engineering 2017, October 30-31, 2017, Hanoi, Vietnam.
- 三輪雅幸, 伊藤禎彦 : 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 平成 29 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.148-149, 2017.
- 樽井滉生, 中西智宏, 西岡寛哲, 伊藤禎彦 : 浄水中微粒子の配水管内付着に対する流速の影響,

3 . 総説・解説

伊藤禎彦: 高度水処理技術を中心とする水の浄化システムの開発, ケミカルエンジニアリング, Vol.62, No.10, pp.1-7, 2017.

伊藤禎彦: 巻頭言 人口減少・水需要減少社会への挑戦, 水道技術ジャーナル, No.85, p.1, 2017.

三輪雅幸, 伊藤禎彦: 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 水道, Vol.63, No.2, pp.8-17, 2018.

4 . 講演

Sadahiko Itoh: Reestablishment of water supply system in a depopulation society and research needs, Kyoto University International Symposium, 5th Southeast Asia Network Forum / 23rd Southeast Asia Forum, February 4, 2017, Hotel Pullman Bangkok Grande Sukhumvit Asoke, Bangkok, Thailand.

伊藤禎彦: 浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出へ向けて, 平成 28 年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会, 千葉市生涯学習センター, 2017.1.20.

伊藤禎彦: 「濁度 0.1 度」から科学的根拠に基づく微生物的安全レベルの設定へ, 日本紫外線水処理技術協会 (JUVA) 技術セミナー 濁度 0.1 度とは? ~リスク管理と UV の役割~, 日本紫外線水処理技術協会技術委員会主催, お茶の水女子大学, 2017.3.29.

伊藤禎彦: 人口減少時代における浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出へ向けて, 第 27 回「水を語る会」, 日本水道会館会議室, 2017.5.13.

伊藤禎彦: 水需要減少下における浄水処理・配水システム再構築の考え方と技術ニーズ, 第 5 回水道技術工法研究会 (滋賀)「水道事業の持続と強靱化に貢献する最新技術」, JA 滋賀中央会 2 階多目的ホール, 2017.8.31.

伊藤禎彦: 人口減少下における浄水処理-配水システム再構築の考え方と各種課題, 平成 29 年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会新潟県会場, 朱鷺メッセ, 2017.10.11.

伊藤禎彦: 水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と各種ニーズ, 第 22 回 21 世紀水処理技術懇話会, 北海道北見市, ホテル黒部, 2017.11.9.

伊藤禎彦: 水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と技術ニーズ, 一般公開シンポジウム 第 54 回環境工学研究フォーラム企画セッション「人口減少社会における環境工学の展開」, pp. 31-46, 岐阜大学講堂, 2017.11.18.

中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 岸本如水, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦: 人口減少社会へむけた上水道システムの再構築と高機能化に関する総合研究, 配水管内環境に関する報告会, 大阪広域水道企業団水質管理センター会議室, 2017.3.23.

中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 岸本如水, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦: 人口減少社会へむけた上水道システムの再構築と高機能化に関する総合研究, 阪神水道企業団尼崎浄水場, 2017.6.12.