

# 京都大学教育研究振興財団助成事業 成 果 報 告 書

31 年 3 月 25 日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 工 学 研 究 科

職 名 教 授

氏 名 伊 藤 禎 彦

助 成 の 種 類	<b>30年度 ・ 研究活動推進助成</b>			
申請時の科研費 研究 課 題 名	人口減少に直面する地域における浄水処理—配水システム構成手法の構築			
上記以外で助成金を 充 当 した 研 究 内 容	該当なし			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名) 名古屋大学・准教授・平山修久 京都大学・准教授・小坂浩司 国立保健医療科学院・主任研究官・浅田安廣			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 1)岸本如水, 樽井滉生, 北田純悟, 中西智宏, 浅田安廣, 小坂浩司, 伊藤禎彦:配水管網における管内環境の形成過程とその制御性、平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.410-411, 2018. 2) 福岡早紀, 伊藤禎彦:小規模水道システムにおける配水管内環境の制御と評価、第53回日本水環境学会年会講演集, 2019.			
成 果 の 概 要	<b>研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)</b>			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円		
	使用した助成金額	1,000,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		デスクトップパソコン一式(解析用ソフトウェア含む)	255,119	
		(今後の使用見込)		
		試薬類	273,881	
		プラスチック器具類	154,000	
		高純度ガス	88,000	
メンブレンフィルター、クロマトディスク		82,000		
調査旅費(青森県八戸市、1泊2日×2人、レンタカー借上含む)	147,000			
当財団の助成につ いて	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 繰越が可能なことを含めて助成金使用に関する自由度が高い点が、たいへんありがたいです。実験装置を持ち込んで研究を進めている大阪広域水道企業団村野浄水場との調整に時間を要し、当初予定よりも実験開始時期が遅れた結果、助成金をやむを得ず繰り越すこととなりました。今後、「成果の概要」に記した残された課題に取り組むために有効に使用させていただきます。具体的には、上記のとおり、実験用消耗品、および人口密度が低く給水人口が少ない小規模水道(青森県八戸市内の簡易水道施設および飲料水供給施設)に対する調査旅費としています。大学事務には経理事務の延長を依頼し、すみやかに全額使用することとしていま			

# 人口減少に直面する地域における浄水処理—配水システム構成手法の構築

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻  
教授 伊藤 禎彦

## 1. 研究の背景と目的

人口減少と水需要の減少によって、配水管内での滞留時間が次第に増大していき、水道水質が劣化することが懸念されている。実際、配水する水道水の数十%を放水している配水区域もある。そうしないと家庭にフレッシュな飲み水を届けられないのである。かつ、(今後更新率をアップさせる施策が展開されたとしても)配水管の老朽化が進行していかざるをえない現状にある。

このような状況下にあっても、市民が望む水道水とは安全でおいしい水である。老朽化が進んでいく配水系でこれを実現するための各種技術の必要性が高まっているといえる。それらには、水質を劣化させない配水管網の再構築、更新スピードの改善、老朽配水管内の環境管理の高度化、さらには管内環境の向上に寄与する浄水処理プロセスの開発などが含まれよう。上記のうち實際上核になるのは配水管内環境の管理・制御である。その対処方法を検討するにあたっては次に示す3つの段階に分けると考えやすい<sup>1)</sup>。第1段階：浄水処理における制御、第2段階：配水管網における水理条件の管理・制御、第3段階：配水管内環境が劣化した場合、計画的な洗管。

管内環境の主な形成要因のひとつは、長年月の間に浄水中懸濁物質が配水管壁面に付着・蓄積することである。ここでは、配水管内面における懸濁物質の蓄積量を指標とし、その管理と制御の可能性を検討する。まず、室内実験とフィールド調査を組み合わせ、管内環境の形成過程のモデル化を行った。その上で、実配水管網を対象に、上記の3段階の観点から蓄積量低減のためのシナリオを複数設定し、それらの効果について比較検討した。

## 2. 方法

配水管テストピース(エポキシ樹脂粉体塗膜)を用いて、0水道企業団M浄水場内において、長期間の浄水中懸濁物質の付着試験を行った。本実験では流速を複数設定して付着量の経時変化を測定し、その結果から流速をパラメータとした実験式を導出した。さらに、実際の配水管網に適用可能にするため、実験式を元に定数Kを導入した以下のモデル式を構築した。

$$\frac{dC_L}{dt} = \{K \cdot (1.05 \cdot U) \cdot C_S - (-69.9 \cdot U + 70.6) \cdot C_L\} \cdot A_v$$

$$\frac{dC_S}{dt} = (-69.9 \cdot U + 70.6) \cdot C_L - K \cdot (1.05 \cdot U) \cdot C_S$$

$C_L$ : 浄水中懸濁物質濃度( $g/m^3$ )、 $C_S$ : 管壁面における懸濁物質の蓄積量( $g/m^2$ )、 $U$ : 管内流速( $m/s$ )、 $K$ : 定数(-)、 $A_v$ : 単位体積あたりの表面積( $m^2/m^3$ )

表1 制御性を検討するために設定したシナリオ

設定シナリオ		内容
浄水シナリオ	ケース1	浄水中懸濁物質濃度を50%低減
	ケース2	浄水中懸濁物質濃度を20%低減
縮径シナリオ	ケース1	全管路の口径を1段階縮小
	ケース2	100 mmの管路を75 mm、120, 150 mmの管路を100 mmに縮小
	ケース3	口径120, 150 mmの管路を100 mmに縮小
洗管シナリオ	区域を10区画に分割、配水開始10年後から1年ごとに最も蓄積量の多い区画に対し管路の洗浄を行う	

フィールド調査では、K市S配水区域を対象とし、洗管作業によって排出される濁水を分析して対象管路の蓄積量(g/m<sup>2</sup>)を推算した。30箇所における平均蓄積量は1.01 g/m<sup>2</sup>であった。これと管網解析による計算結果を比較してK=0.061を得た。また、対象区域内での水道水の濁度測定結果に対し、別に検討した浄水中濁度-SS換算式<sup>2)</sup>を用いて浄水中懸濁物質濃度を推算した。この結果、配水池でのC<sub>t</sub>として10 µg/Lを与えた。なお、管網解析にはEPANET2及びEPANET-MSXを用いた。

管網計算は、配水管内に懸濁物質が全くない状態から開始し、20年後の蓄積量を推定した。上記の3段階の考え方を元に、表1に示す3種類計6つのシナリオを設定した。なお、洗管シナリオにおいて、通水試験管路を用いた実験結果に基づき放水洗管による除去率を60%に設定した。また、1度洗管した区画は再度洗管せず、10～20年の間に配水区域全体を洗管するものとした。

### 3. 結果と考察

表2は、近畿地方の大規模浄水場をとりあげ、配水系へ流入する微粒子等重量を推定した結果である。2つの浄水場ともに、オゾン-粒状活性炭を含む高度浄水処理プロセスを備えている。浄水濁度を見るといずれも低く、浄水場としては十分な処理が行われている。しかし、浄水中浮遊物質の重量を実測し、浄水量をかけ算すると、kg/日のオーダーとなる。毎日これだけの量の固体が送配水系に流入し、それが何十年も続くのであるから、無視できるかどうか即断できない。特に今後、配水管における滞留時間が増大し、配水管内環境が劣化する可能性があるのである。この観点から、今後は、浄水場か

表2 送配水系へ流入する微粒子等重量の推定例

	浄水濁度	浄水中微粒子濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	平均浄水量 (万 m <sup>3</sup> /day)	配水系流入重量 (kg/day)
A浄水場	0.004	5.1	47	2.4
B浄水場	0.032	18	113	20

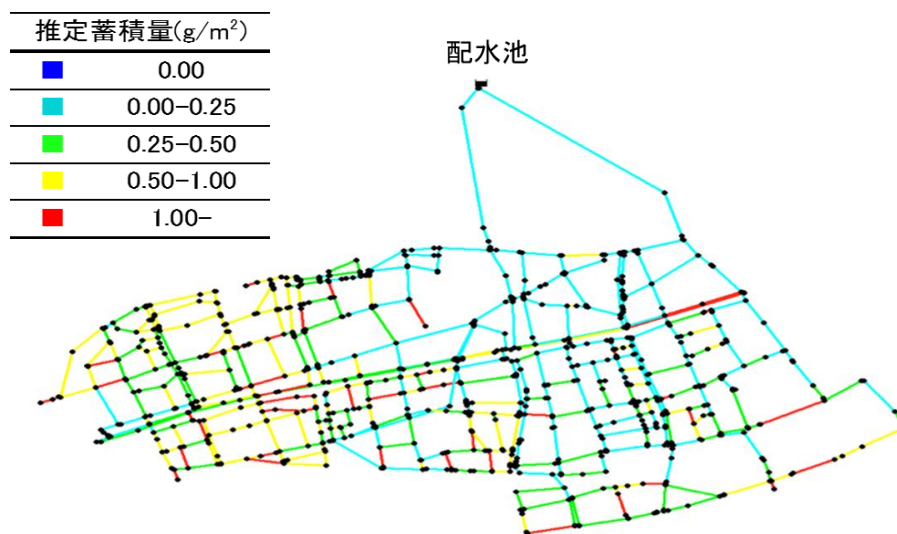


図1 配水区域における蓄積量分布の推定結果例

ら流出する kg/日という指標で水質を表示することを提案したい。

表2のB浄水場では、粒状活性炭層からの不快生物や微粉炭の捕捉を目的として、急速砂ろ過池を粒状活性炭の後に置くことを決定している。これは、現行プロセスの「凝集沈殿-急速砂ろ過-オゾン-粒状活性炭」を「凝集沈殿-オゾン-粒状活性炭-急速砂ろ過」に変更するもので、新たにプロセスを追加するのではない。著者らが調査したところ、これによって送配水系に流入する重量は20 kg/日から14 kg/日に約30%低減できると推定した（ただし実験プラントでの評価）。

図1は、近畿地方K市におけるある配水区域における現行条件(ベースケース)での20年間の懸濁物質の蓄積量分布を示したものである。単位はg/m<sup>2</sup>であり、配水管内面の単位面積当りに蓄積した懸濁物質等の重量を意味する。区域全体での合計蓄積量は9.90 kg、単位内面積当たりの平均蓄積量は0.55 g/m<sup>2</sup>であった。

図2は、表1に示す各シナリオ間で単位内面積当たりの平均蓄積量を比較したものである。浄水処理プロセスを改善し浄水中懸濁物質濃度を50%低減できたとすると(浄水シナリオ:ケース1)、全ての配水管の口径を1段階縮小した場合(縮径シナリオ:ケース1)に匹敵する効果が見込めることがわかる。また、洗管を計画的に実施することにより、懸濁物質濃度を20%低減した場合(浄水シナリオ:ケース2)や特定の管路のみ1段階縮径した場合(縮径シナリオ:ケース2、3)と同等の効果が得られると指摘できる。

このような知見により、上記3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・段階を抽出できるとともに、各段階の位置づけや役割について整理することができる。なお、ここで対象としたのは都市域であるが、同様の検討は、人口密度が低く給水人口が少ない飲料水供給施設(給水人口100人以下の施設。水道法の適用を受けず、したがって水質測定の義務もない)でも行っている<sup>3)</sup>。

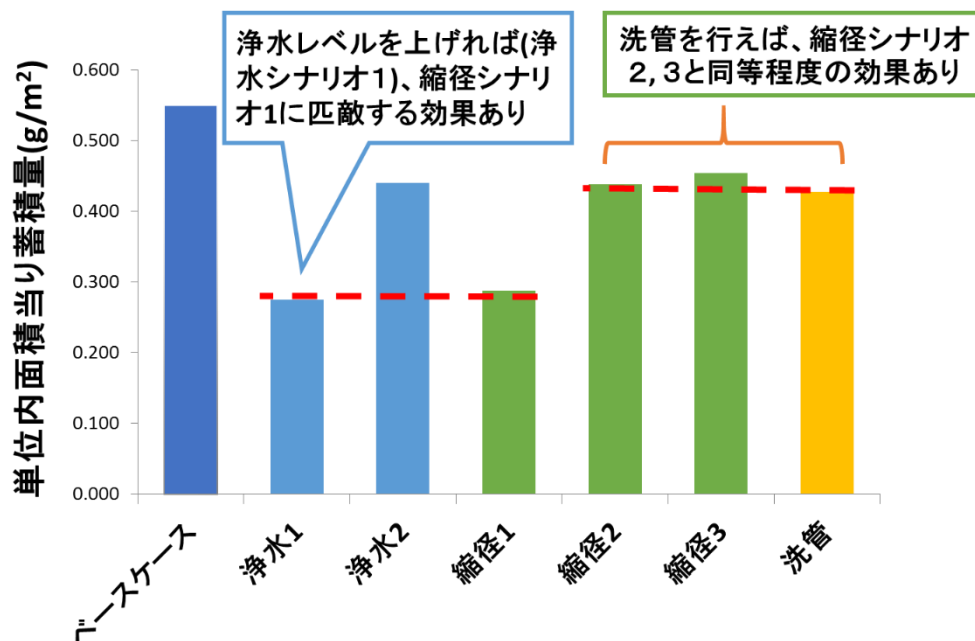


図2 平均蓄積量のシナリオ間比較

#### 4. まとめ

浄水濁度は低くても、送配水系に流入する固体重量は kg/日のオーダーとなることを示し指標としての重要性を指摘した。

配水区域における20年間の懸濁物質の蓄積量分布(単位: g/m²)を表示することに成功した。

制御のためのシナリオを設定し、単位内面積当たりの平均蓄積量を比較した。この結果、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・段階を抽出できるとともに、各段階の位置づけや役割について整理することができることを指摘した。

この取り組みの究極の目的は、浄水処理プロセスと配水管内環境の管理・制御に関するトータルソリューションを導き出すことにあるといってもよい。本研究によって、人口減少時代を迎えたわが国の上水道システムを再構築する上で貴重な知見を提供できたものとする。

なお、現段階では、構築したモデル式、洗管時の設定除去率、洗管シナリオの設定方法に再検討すべき点を残しており、現在取り組んでいる最中である。また、人口密度が低く給水人口が少ない地域における適用も進めている。

#### 参考文献

- 1) van der Kooij, D. and van der Wielen, P. W.: Microbial Growth in Drinking-Water Supplies, IWA Publishing, London, 2014.
- 2) 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.
- 3) 福岡早紀、伊藤禎彦、岸本如水: 飲料水供給施設における配水管内環境の評価と制御、平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集、pp.412-413、2018.