

受水槽内塩素消費量実態調査 結果報告書



平成 26 年 8 月



要 約

本報告書は、千葉県水道局が有識者で構成する研究会から意見を伺いながら平成23年7月から平成26年3月までの3か年にかけて実施した受水槽内塩素消費量実態調査の成果をとりまとめたものである。

本調査では、「おいしい水づくり計画」の取り組みの一つである残留塩素の低減化において課題となっている受水槽内の塩素消費の挙動について、次の2つの観点から調査を行った。

1. 使用中の受水槽を対象とした調査（A 調査）

使用中の受水槽における残留塩素の挙動を確認するため、受水槽の流入出水の残留塩素及び水温並びに流入量の連続測定などを行う調査。

2. 長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B 調査）

学校の夏季休暇等、長期に使用停止している受水槽内での残留塩素の減少状況を確認するため、受水槽の流出入を遮断した状態で貯留水の残留塩素及び水温の連続測定などを行う調査。

これらの調査結果から、使用中の受水槽における受水槽内の塩素消費量の推定式を作成すると共に、使用停止している受水槽内の塩素消費量については既往の研究で示された残留塩素減少速度の推定式が適用できることを明らかにした上で、残留塩素を低減化する上での今後の課題について整理した。

本調査の実施にあたっては、先進他事業体の文献を参考にさせていただいた。この場を借りて謝意を表す。

「受水槽内塩素消費量実態調査」結果報告書の作成にあたって

千葉県水道局では、適切な浄水処理や定期的な水質検査などを行い、国の基準を十分に満足した安全で良質な水道水をお客様に御利用いただいております。

一方で、お客様からは安全性やおいしい水への要望が強く、また、水道水がおいしくないといった不満の声もいただいております。

このような背景から、当局では、お客様からの御要望にお応えするため、平成19年3月に「おいしい水づくり計画」を策定しました。

本計画では、より安全で良質なおいしい水をいつでも供給するため、国の定める水質基準よりも高い水準の水質目標を設定し、その目標を達成するため、残留塩素の低減化などの技術的な取組みを実施するとともに、こうした取組みをより正確にわかりやすく情報提供するため、インターネットなどを用いたPR活動を積極的に実施しております。

しかし、水質目標のひとつである残留塩素については、お客様の蛇口で残留塩素濃度 0.1mg/l 以上を維持しながら低減化を推進するためには、受水槽での塩素消費の挙動を把握する必要がありました。

そこで、当局では、受水槽内塩素消費量実態調査を開始し、調査にあたっては、関連分野の専門的な知識が必要であることから、学識経験者をお招きし、受水槽内塩素消費量実態調査研究会（旧検討委員会）を設置しました。

この研究会では、調査方法やその結果に関してのさまざまな御意見等をいただき、検討を重ねていただいたところであり、その結果を本報告書としてまとめたところです。

当局では、この報告書を基に、残留塩素の低減化の進め方を見直すとともに、おいしい水づくり計画の更なる推進に努めてまいります。

最後に、この場をお借りしまして、御指導を賜りました研究会の構成員の方々をはじめ、本調査に御協力いただいた関係者各位に厚くお礼申し上げます。

平成26年8月

千葉県水道局長 田谷 徹郎

受水槽内塩素消費量実態調査を終えて

最近における水道事業では、水量の安定的供給や安全性の向上について、ある程度は満足なレベルに到達しているものの、今後の更新事業や耐震化の促進といった課題等が残されている状況にある。一方、水質については飲用に安全となる残留塩素濃度と「おいしい水」としての残留塩素濃度とはトレードオフの関係にある。つまり、残留塩素濃度が高ければ安全ではあるが、カルキ臭の問題が生じるためまずい水となってしまう。逆に、残留塩素濃度を低くすれば、おいしさは増すものの安全性が確保できない場合が生じる。特に滞留時間が大きく影響する受水槽の残留塩素濃度管理は極めて難しい問題となっている。

千葉県水道局では、平成18年度に策定した「おいしい水づくり計画」で水質目標として残留塩素濃度を設定し、残留塩素濃度の低減化に向けた様々な取り組みを行っている。今回の受水槽内塩素消費量実態調査は、残留塩素の低減化に向けた取り組みの一つであり、受水槽内の塩素消費の挙動を把握するため、実施設を対象として調査を実施したものである。調査の実施にあたり、研究会（旧検討委員会）が設置され、各構成員と共に専門的見地から調査方法、調査結果の評価、今後の残留塩素の低減化の方向性について助言を行ってきた。

今回の調査の結果、受水槽内の塩素消費の挙動について、その一端が明らかとなり、貯水槽水道の適正管理や残留塩素の低減化への取り組みについての考え方など、大きな成果が得られたと考えている。特に、受水槽に水を貯留した場合における残留塩素濃度の低減実験では、残留塩素の低減過程が明確になり、夏休み等で使用がなされない小学校等の受水槽の管理において、貴重な情報を提供する成果を得ている。また、複数の受水槽における実態調査の結果、流入残留塩素濃度と流出残留塩素濃度の変化過程をモデルとして表現することができ、今後の受水槽管理に有用な情報を提供するものである。

この報告書が、今後の千葉県水道局における「おいしい水づくり計画」の取り組みの一助になると共に、安全で良質な「おいしい水」の供給に貢献できれば幸いである。

平成26年8月

受水槽内塩素消費量実態調査研究会 座長 小泉 明

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景	1
1.1.1 おいしい水づくり計画	1
1.1.2 おいしい水づくり計画の水質目標	2
1.2 調査目的	4
1.3 調査体制	5
1.4 活動概要	6
1.4.1 活動経過	6
1.4.2 調査概要	8
2. 現状把握	9
2.1 受水槽の設置状況	9
2.2 貯水槽水道地域巡回サービス	10
2.2.1 実施状況	10
2.2.2 判定結果	11
2.2.3 残留塩素濃度の測定結果	12
2.3 直結給水方式	13
2.3.1 受水槽方式から直結給水方式への切り替え棟数	13
2.3.2 直結給水率	14
2.4 文献調査	15
3. 調査方法	17
3.1 使用中の受水槽を対象とした調査 (A 調査)	17
3.1.1 調査内容	17
3.1.2 調査期間	18
3.1.3 調査箇所	18
3.1.4 測定位置	21
3.1.5 測定項目及び測定機器	26
3.2 長期に使用停止している受水槽を想定した調査 (B 調査)	28
3.2.1 調査内容	28
3.2.2 調査期間	28
3.2.3 調査箇所	28
3.2.4 測定位置	30
3.2.5 測定項目及び測定機器	33
4. 調査結果の分析	35
4.1 使用中の受水槽を対象とした調査 (A 調査)	35
4.1.1 使用中の受水槽内の塩素消費	35
4.1.2 受水槽流出以降の塩素消費	40
4.1.3 使用中の受水槽内における残留塩素の推定	42

4.2	長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B調査）・	45
4.2.1	使用停止している受水槽内の塩素消費	45
4.2.2	使用停止している受水槽内の塩素消費の推定	50
5.	残留塩素の低減化の方向性	52
5.1	受水槽内の残留塩素減少日数の推定	52
5.2	今後の方向性	55
6.	まとめ	56
6.1	使用中の受水槽を対象とした調査（A調査）	56
6.2	長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B調査）・	56
参考文献		57
千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査検討委員会 設置要綱		57
千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査研究会 設置要綱		59

1. はじめに

本章では、本調査を実施する背景、目的、調査体制等について整理する。

1.1 背景

1.1.1 おいしい水づくり計画

千葉県水道局では、「より良質なおいしい水をいつでも安心して利用できる水道」を基本目標の一つに掲げ、施設整備など様々な施策を総合的に推進し、国の基準を十分満足した水道水を、多くのお客様にご利用いただいている。

近年、「においの少ないおいしい水」を求めるお客様の要望が多いことから、千葉県水道局では、お客様の意見を十分反映した、国の水質基準より高いレベルでおいしさに関する局独自の水質目標を設定し、同時にそれを達成するための総合的な施策を明らかにする「おいしい水づくり計画」を平成18年度に策定した。施策体系図を図1.1.1に示す。

この計画に基づき、残留塩素の低減化などの技術的な取り組みを行うとともに、こうした取り組みをより正確にわかりやすく情報提供するため、インターネットや水道出前講座などによるPR活動を積極的に実施し、お客様から、より信頼・満足される水道サービスの実現に向けて取り組みを行っているところである。

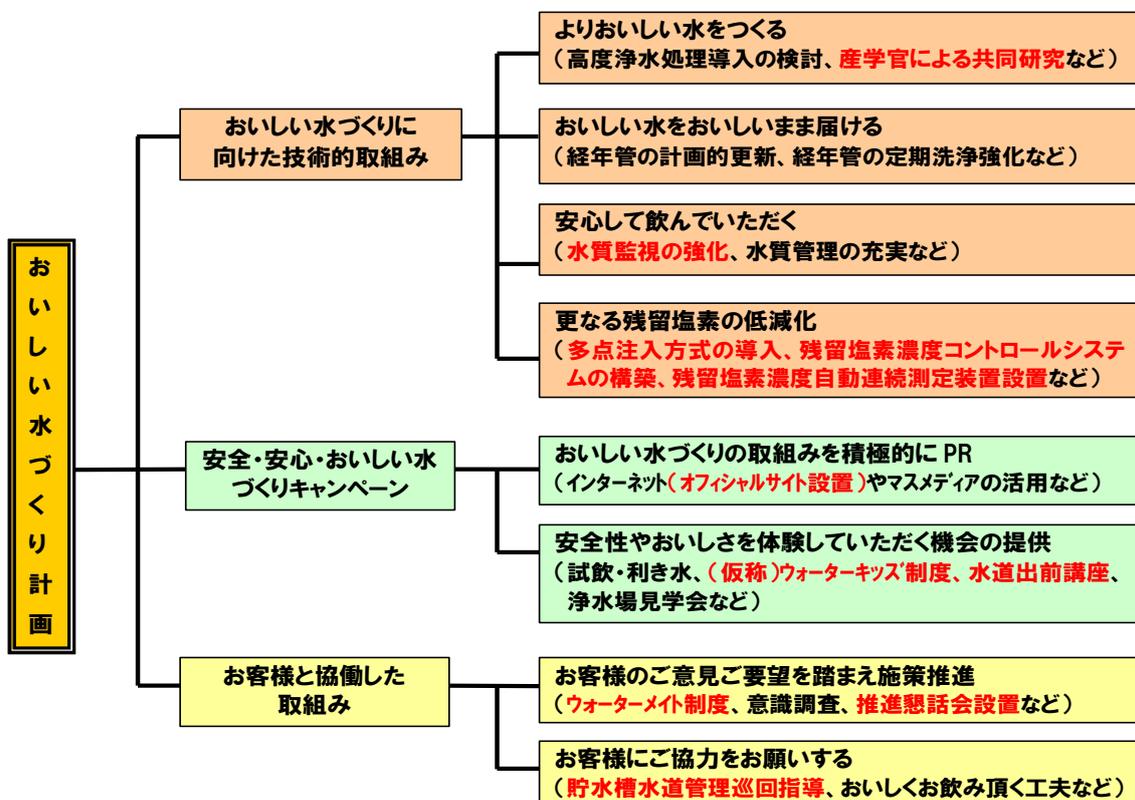


図 1.1.1 おいしい水づくり計画の施策の体系図

1.1.2 おいしい水づくり計画の水質目標

「おいしい水づくり計画」では、おいしさの観点から水質目標を設定しており、残留塩素については、中期（平成 22 年度）の目標値を 0.6mg/ℓ 以下、長期（平成 27 年度）の目標値を 0.4mg/ℓ 以下と設定している。水質目標を表 1.1.2 に示す。

表 1.1.2 「おいしい水づくり計画」の水質目標

観点	項目	目標値	目標値の目安	
におい 及び味	残留塩素	0.6mg/ℓ 以下 0.1mg/ℓ 以上 (中期)	—	
		0.4mg/ℓ 以下 0.1mg/ℓ 以上 (長期)	ほとんどの人が 塩素臭を感じない	
	臭気強度(TON)	1(臭気なし)	異臭味(塩素臭以外)を感じない	
	かび臭	2-MIB	1ng/ℓ 以下	かび臭を感じない
		ジオキシベンゾ-p-ジオキシン		
	有機物(TOC)	1.0mg/ℓ 以下	不快な味を感じない	
外観	色度	1 度以下	色や濁りがわからない	
	濁度	0.1 度以下		
安心	総トリハロメタン	0.03mg/ℓ 以下	安心して飲める	

(今後目標設定すべき項目)

におい	トリクロロアミン	検査体制が整い次第 目標値を設定	カルキ臭を感じない値以下
-----	----------	---------------------	--------------

【(中期) 平成 22 年度までの目標値 (長期): 平成 27 年度までの目標】

この目標達成に向け残留塩素の低減化を推進した結果、残留塩素濃度の平均値[※]は、図 1.1.2 に示すとおり平成 18 年度に 0.83mg/l であったものが、平成 24 年度には 0.59mg/l まで低減している。

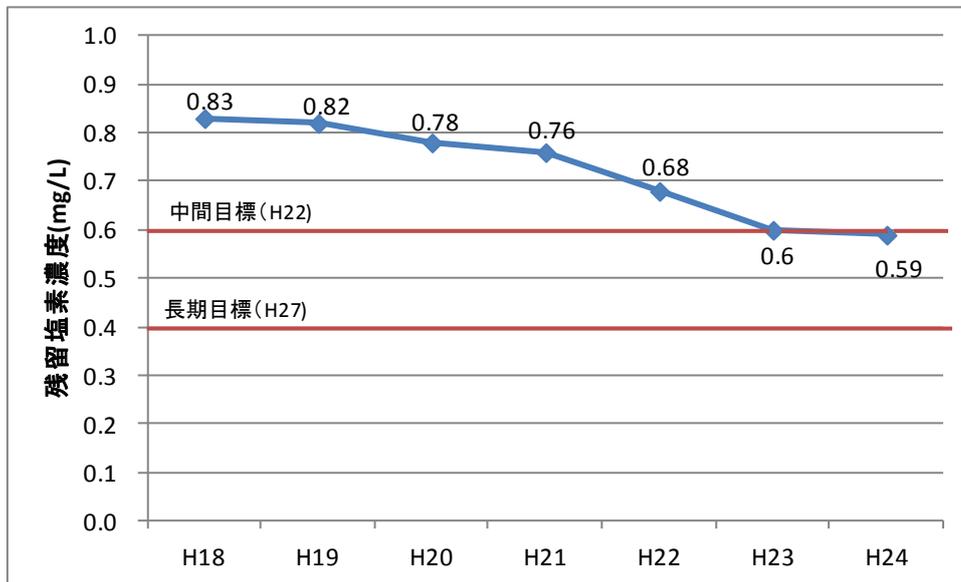


図 1.1.2 残留塩素濃度の推移

なお、インターネットモニターアンケートの結果では、表 1.1.3 に示すとおり、水道水を「おいしい」又は「ややおいしい」の回答されたお客様の割合は、本計画を策定した平成 18 年度では 17.5%であったものが、平成 25 年度では 42.2%まで増加している。これは「おいしい水づくり計画」の各種施策に取り組んできた成果であり、その要因の一つとして残留塩素の低減化の効果が考えられる。

表 1.1.3 水道水のおいしさ（インターネットモニターアンケートより）

項目	平成 18 年度	平成 25 年度
回答数	355 人	521 人
おいしい	1.1%	10.2%
ややおいしい	16.4%	32.1%
計	17.5%	42.2%
おいしくない	37.8%	12.5%
ややおいしくない	27.0%	23.4%
計	64.8%	35.9%

※ 給水栓の当該年度の残留塩素濃度測定結果から算出したもの

1.2 調査目的

「おいしい水づくり計画」における残留塩素の長期目標 0.4mg/l を達成するためには更に残留塩素の低減化を推進する必要があるが、その課題となっているのが、受水槽内における残留塩素の減少である。

残留塩素は図 1.2.1 に示すとおり時間と共に減少するため、受水槽内での水道水の滞留状況によっては、受水槽に流入する時点で一定以上の残留塩素がないと、受水槽以降の給水栓（蛇口）で衛生上の安全性を確保するために必要な一定の残留塩素を確保することが難しくなる。このため、受水槽以降の残留塩素の減少状況を把握する必要がある。

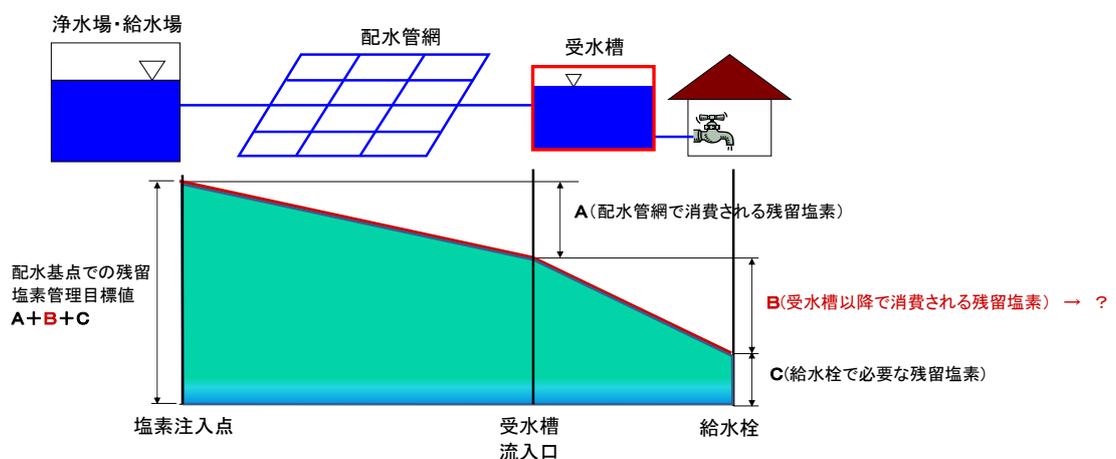


図 1.2.1 残留塩素減少イメージ図

そこで、受水槽の設置状況や残留塩素の減少に関する既往の研究論文等の現状を把握し、受水槽内での残留塩素の減少に関する実態を調査することとした。

〈検討手順〉

- ① 現状把握（受水槽の設置状況、既往の研究論文の整理（文献調査）等）
- ② 受水槽内での残留塩素の減少に関する実態調査
- ③ 残留塩素の低減化の方向性を決定

1.3 調査体制

本調査の実施にあたっては、関連分野の有識者から意見を聴くため、「千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査 研究会」（旧検討委員会）を設置した。

表 1.3.1 構成員名簿

職名	氏名	所属
座長	小泉 明	首都大学東京 都市環境学部 特任教授
構成員	安藤 茂	公益財団法人 水道技術研究センター 専務理事
	長岡 裕	東京都市大学工学部 教授
	松本 正敏 (石出 広) (本木 義雄)	千葉県健康福祉部薬務課 副課長 (同課 薬事審査指導室長：平成 24 年度) (同課 薬事審査指導室長：平成 23 年度)

備考1 研究会終了時点

備考2 () 内は前任者 (旧検討委員会を含む)

1.4 活動概要

1.4.1 活動経過

本調査は平成23年度から平成25年度までの3か年で実施したものであり、その活動経過は以下のとおりである（表1.4.1～1.4.3参照）。

1) 平成23年度

表 1.4.1 平成23年度の活動概要

年月日	概要
平成23年 7月 7日	検討委員会 設置
平成23年 7月29日	第1回検討委員会 開催 ・実態調査の取組み ・実態調査方針（案）
平成24年 2月27日	A 予備調査（冬期）開始
平成24年 3月 9日	A 予備調査（冬期）終了
平成24年 3月28日	第2回検討委員会 開催 ・予備調査現場見学 ・予備調査（冬期）の結果 ・実態調査の実施計画書（案）

2) 平成24年度

表 1.4.2 平成24年度の活動概要

年月日	概要
平成24年 5月 1日	A 予備調査（夏期）開始
平成24年 7月13日	B 調査 開始
平成24年 8月13日	A 予備調査（夏期）終了
平成24年 8月23日	第3回検討委員会 開催 ・予備調査（夏期）の結果 ・B 調査の中間報告 ・実態調査の実施計画書（修正案）
平成25年 2月25日	A 調査（冬期）開始
平成25年 3月7日	第4回検討委員会 開催 ・A 調査の途中結果 ・B 調査の途中結果 ・平成25年度の実態調査
平成25年 3月18日	A 調査（冬期）終了
平成25年 3月31日	検討委員会 終了

3) 平成 25 年度

表 1.4.3 平成 25 年度の活動概要

年月日	概要
平成25年 6月21日	研究会設置
平成25年 9月 2日	A 調査（夏期）開始
平成25年10月 1日	A 調査（夏期）終了
平成25年10月 2日	B 調査 終了
平成25年11月12日	第 1 回研究会 開催 ・ A 調査の結果報告 ・ B 調査の結果報告
平成25年12月 3日	現地調査（A 調査の調査箇所） 開始
平成25年12月 9日	現地調査（A 調査の調査箇所） 終了
平成26年 1月30日	第 2 回研究会 開催 ・ 調査報告書（案）
平成26年 3月31日	研究会終了

1.4.2 調査概要

1) 平成 23 年度

①A 予備調査（冬期）

平成 24 年度から実施する A 調査の実施に先立ち、機器の設置方法や使用する測定機器の精度等を検証するため、千葉県水道局幕張庁舎の受水槽を使用して A 予備調査を実施した。

2) 平成 24 年度

①A 予備調査（夏期）

平成 23 年度に A 予備調査を実施したところ、冬期で水温が低かったにもかかわらず残留塩素消費量が想定以上であったことから、水温が高い夏期において平成 23 年度と同様の予備調査を実施した。

②A 調査（冬期）

水温の低い冬期に 9 ヶ所の施設を対象として受水槽流出入水の残留塩素等の連続測定を行う A 調査を実施した。

③B 調査

受水槽の流出入が遮断できる 3 ヶ所の施設を対象として、受水槽内の残留塩素等の連続測定を行う B 調査を実施した。

3) 平成 25 年度

①A 調査（夏期）

水温の高い夏期に 8 ヶ所の施設を対象として受水槽流出入水の残留塩素等の連続測定を行う A 調査を実施した。

②B 調査

受水槽の流出入が遮断できる 3 ヶ所の施設を対象として、受水槽内の残留塩素等の連続測定を行う B 調査を実施した。

2. 現状把握

本章では、千葉県水道局の給水区域内に設置されている受水槽の設置状況、残留塩素の減少に関する既往の研究論文等について整理する。

2.1 受水槽の設置状況

千葉県水道局の給水区域内に設置されている受水槽は、表 2.1.1 に示すとおり平成 23 年度末現在で約 18,000 基である。

容量別に見ると、水道法の規制を受けない 10m³以下の受水槽が約 13,000 基 (72.3%) となっている。

また、材質別に見ると、FRP 製が約 15,000 基 (83.5%) となっており、他の材質を大きく上回っている。

表 2.1.1 容量・材質別受水槽設置数

(単位：基)

容量 \ 材質	材質				合計	
	コンクリート	FRP	ステンレス	その他		
1.0 m ³ 以下	67	1,983	20	92	2,162	(12.0%)
1.0~3.0 m ³ 以下	358	3,259	15	144	3,776	(21.0%)
3.0~5.0 m ³ 以下	358	3,089	14	83	3,544	(19.7%)
5.0~8.0 m ³ 以下	327	2,041	10	73	2,451	(13.7%)
8.0~10.0 m ³ 以下	174	840	5	33	1,052	(5.9%)
小計(10.0 m ³ 以下)	1,284	11,212	64	425	12,985	(72.3%)
	(9.9%)	(86.3%)	(0.5%)	(3.3%)	(100.0%)	
10.0 m ³ 超	971	3,779	79	139	4,968	(27.7%)
	(19.5%)	(76.1%)	(1.6%)	(2.8%)	(100.0%)	
合計	2,255	14,991	143	564	17,953	(100.0%)
	(12.6%)	(83.5%)	(0.8%)	(3.1%)	(100.0%)	

平成 23 年度末現在

2.2 貯水槽水道地域巡回サービス

2.2.1 実施状況

千葉県水道局では、貯水槽水道の適正な管理・点検を促進するため、平成 19 年度から「貯水槽水道地域巡回サービス」※¹（以下「巡回サービス」という。）を実施している。

巡回サービスについては平成 22 年度までに全ての貯水槽水道で実施する計画であったが、実際に点検を実施できたのは、表 2.2.1 に示すとおり約 9,500 件（47.5%）であった。

表 2.2.1 巡回サービス実施状況（平成 19 年度～平成 22 年度）

内容		件数	
点検実施		9,441	47.5%
点検未実施	点検希望無し	8,932	44.9%
	受水槽撤去済	1,520	7.6%
合計 ※ ²		19,893	100%

※¹ 「貯水槽水道地域巡回サービス」では、貯水槽水道の管理状況の点検、指導・助言、水質検査（味・臭気・色・色度・濁度・残留塩素）及び直結給水転換に関する相談受付としている。

※² 合計の件数は、平成 17 年度末時点のもの。

2.2.2 判定結果

巡回サービスで点検を実施した貯水槽水道約 9,500 件の内、判定基準により不適正^{*}と判定された件数は、表 2.2.2 に示すとおり約 1,500 件（16.0%）であった。

不適正と判定された件数を容量別に見ると、有効容量 10m³以下の貯水槽水道では約 1,200 件（20.3%）となっており、5 件に 1 件という高い割合になっている。これに対し、有効容量 10m³を超える貯水槽水道では、不適正と判定された件数が 139 件（4.6%）に留まっている。

表 2.2.2 巡回サービス判定結果（平成 19 年度～平成 22 年度）

判定	受水槽有効容量						計	
	10m ³ 以下		10m ³ 超		不明			
適正	4,786	79.7%	2,913	95.4%	227	59.6%	7,926	84.0%
不適正	1,222	20.3%	139	4.6%	154	40.4%	1,515	16.0%
計	6,008	100.0%	3,052	100.0%	381	100.0%	9,441	100.0%

※ 受水槽及びその付帯設備について、衛生上の観点から改善が必要なもの。

- ・受水槽の周囲にゴミなどが置かれ不衛生になっている。
- ・受水槽内部の壁面が汚れている。
- ・マンホールのパッキンの劣化により、雨水やほこりが入る恐れがある。
- ・防虫網が劣化などにより有効に機能していない。 など



写真 2.2.1 貯水槽水道地域巡回サービスの実施状況

2.2.3 残留塩素濃度の測定結果

残留塩素濃度の測定結果については、水温の影響を受けることから、ここでは、水温が 20℃以上となる時期に測定した結果に絞って整理した。

この時期の残留塩素濃度の測定件数は、表 2.2.3 に示すとおり受水槽内が約 4,000 件、受水槽以下の給水栓が約 3,000 件となっている。

その中で 0.2 mg/ℓ 未満となったものは、受水槽内が 111 件 (2.7%) であり、受水槽以下の給水栓が 283 件 (8.9%) であった。

なお、残留塩素濃度の測定結果が低かった貯水槽水道については、設置者または管理者に対し、滞留時間の改善などについて指導・助言を行っている。

表 2.2.3 残留塩素濃度の測定結果（受水槽内水温 20℃以上）

残留塩素濃度 (mg/ℓ)	受水槽内		給水栓	
	件数	割合	件数	割合
0.2 未満	111	2.7%	283	8.9%
0.2 以上 0.3 未満	117	2.9%	295	9.4%
0.3 以上 0.4 未満	278	6.9%	402	12.7%
0.4 以上 0.5 未満	438	10.9%	459	14.6%
0.5 以上 0.6 未満	627	15.5%	468	14.8%
0.6 以上 0.7 未満	755	18.7%	429	13.6%
0.7 以上	1,710	42.4%	818	26.0%
計	4,036	100%	3,154	100%

2.3 直結給水方式

2.3.1 受水槽方式から直結給水方式への切り替え棟数

千葉県水道局では、平成8年6月から「3階直結直圧式給水方式」^{※1}、平成10年4月から「直結増圧式給水方式」^{※2}を採用し、直結給水方式への転換を促進している。

これらの直結給水方式の採用に伴う受水槽方式から直結給水方式への切り替え棟数は、表2.3.1に示すとおり平成24年度末までの累計で約2,900棟となっている。

表 2.3.1 受水槽方式から直結給水方式への切り替え棟数 (単位：棟)

H8～H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	計
800	207	260	265	444	275	293	343	2,887

※1 3階直結直圧式給水方式

配水管の水圧により3階の建物へ給水する方式。

(平成7年度まで3階へ給水する場合は受水槽を設置する必要があった。)

※2 直結増圧式給水方式

直接給水用増圧装置(増圧ポンプ)を利用して中高層の建物へ給水する方式。

2.3.2 直結給水率

総給水件数に対する直結給水件数の割合である直結給水率は、表 2.3.2 及び図 2.3.1 に示すとおり平成 14 年度に 59.7%であったものが平成 24 年度では 69.3%まで増加している。

表 2.3.2 直結給水率の推移

項目	H14	H20	H21	H22	H23	H24
直結給水件数 (A) 件	640,272	792,744	822,252	851,686	865,512	887,984
総給水件数 (B) 件	1,073,170	1,221,475	1,239,462	1,261,959	1,267,437	1,281,397
直結給水率 (A)÷(B)	59.7%	64.9%	66.3%	67.5%	68.3%	69.3%

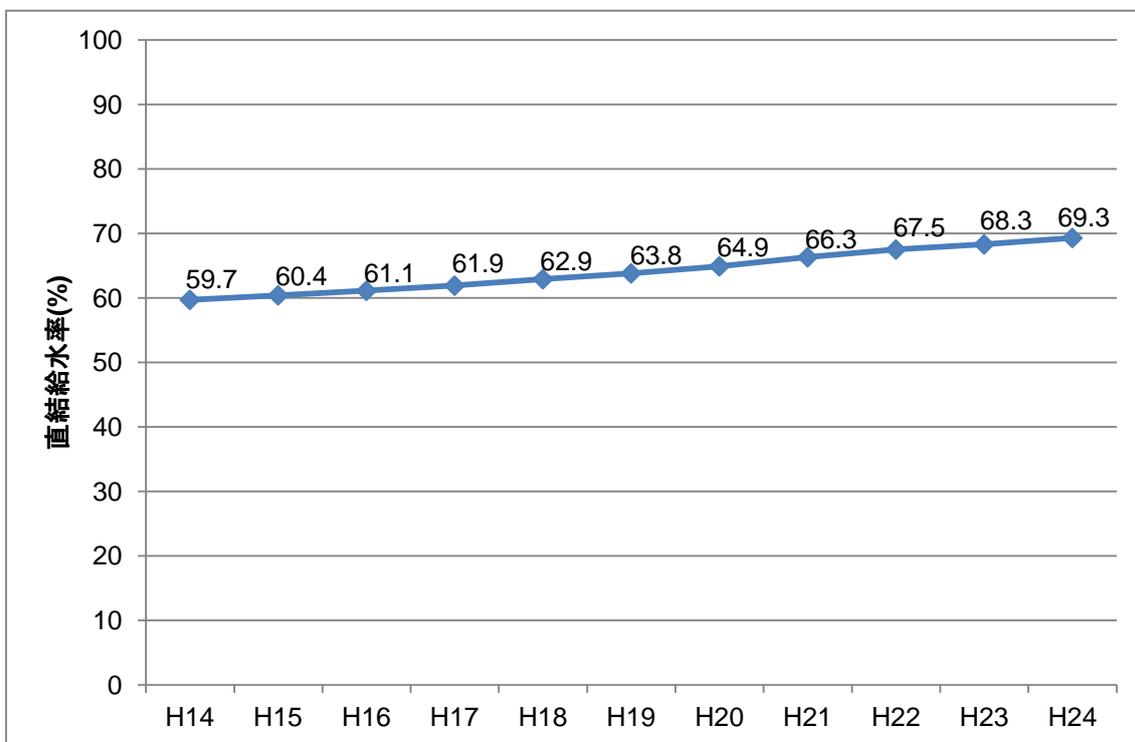


図 2.3.1 直結給水率の推移 (平成 14 年度～平成 24 年度)

2.4 文献調査

2.4.1 文献調査の目的

実態調査を進めるにあたり、残留塩素の減少に関する研究について現状を把握するため、文献調査を行った。

2.4.2 文献調査の方法

文献調査は、独立行政法人化学技術振興機構の文献データベース「J-STAGE」及び「J-DREAM II」等を利用し、「残留塩素、貯水槽、受水槽」等をキーワードに検索を行った。

2.4.3 文献調査の結果

文献調査の結果を表 2.4.1 に示す。

1) 受水槽を対象とした研究

① 実施設によるもの

実施設による受水槽内の残留塩素の減少に関する研究は、ビル管理教育センター^(文献1)及び横浜市水道局^(文献11)で行われている。

ビル管理教育センター^(文献1)の研究は、簡易専用水道を対象に行われており、残留塩素の減少に影響を与える因子として「水の滞留」、「水温」、「受水槽材質」、「配管材質」などを挙げている。

横浜市水道局^(文献11)の研究は、貯水槽水道を対象に行われており、受水槽内の残留塩素の減少量が 0.1 mg/l 程度であることや残留塩素の減少に影響を与える因子として「入替回数」、「月」、「受水槽容量」、「受水槽材質」、「設置場所」及び「設置形態」を挙げている。

② 実験施設によるもの

実験装置による受水槽内の残留塩素の減少に関する研究は、東北文化学園大学及び東京都中央区保健所^(文献3、8)、大阪市立環境科学研究所及び大阪大学^(文献6)で行われている。

東北文化学園大学及び東京都中央区保健所^(文献3、8)の研究は、受水槽に流入する部位（直管・ボールタップ）や貯留水の水面からの揮散について検討している。

大阪市立環境科学研究所及び大阪大学^(文献6)の研究は、FRP、透過光、空気中への揮散及び水道水中の微量物質による消費について検討している。

2) 送配水管を対象とした研究

送配水管を対象とした残留塩素の減少に関する研究は、東京都水道局及び首都大学東京^(文献4、9、10)で研究が行われている。

これらの研究では、残留塩素減少速度係数の予測式の導入を試みている。

表 2.4.1 文献一覧

No.	標題	著者	資料
1	遊離残留塩素減量の実態調査レポート	斉藤 敬子	設備と管理 5月号, 1992
2	中高層ビルの受水槽水及び給水栓水の水質	佐谷戸 安好、中室 克彦、岡 恒、杉本 潔、 棟近 悦彦、瀧川 修一、平原 嘉親	水道協会雑誌 第62巻 第10号 (第709号), 1993
3	給水タンク内の構造等に起因した残留塩素の消失に関する研究	岡田 誠之、金子 岳夫	空気調和・衛生工学会論文集 No. 98, 2005
4	配水管網における水質変化 (Ⅲ) －管路内の残留塩素濃度減少速度係数－	後藤 圭司	水道協会雑誌 第51巻 第4号 (第571号), 1982
5	大型緊急貯水槽の残留塩素濃度変化の予測	園田 克樹、山口 以昌、高雄 信吾、中島 良和	水道協会雑誌 第68巻 第5号 (第776号), 1999
6	飲料水の衛生学的研究 (第3報) 貯水槽における残留塩素の挙動	山本 耕司、鶴保 謙四郎、細川 守、山本 功、 加藤 敬香、近藤 雅臣	衛生化学 27(5), 1981
7	東京都における残留塩素低減化に向けた取組	保坂 幸尚	水道協会雑誌 第79巻 第12号 (第915号), 2010
8	受水槽・高置水槽における水道水中の残留塩素の消失	岡田 誠之	用水と廃水 Vol. 48 No. 6, 2006
9	送配水系統における実用的な残留塩素濃度予測式	佐藤 親房、吉沢 健一、及川 智、尾崎 勝、 荳阪 晴男、稲員 とよの、小泉 明	水道協会雑誌 第77巻 第11号 (第890号), 2008
10	全有機炭素 (TOC) を考慮した残留塩素減少に関する化学反応論モデル	佐藤 親房、吉沢 健一、及川 智、北澤 弘美、 稲員 とよの、小泉 明	水道協会雑誌 第76巻 第10号 (第877号), 2007
11	貯水槽水道における残留塩素濃度の減少に関する研究	牛窪 俊之	水道協会雑誌 第77巻 第11号 (第890号), 2008

3. 調査方法

本章では、今回実施した以下の2種類の調査の方法について記述する。

- ・使用中の受水槽を対象とした調査（A調査）

使用中の受水槽における残留塩素の挙動を確認するため、受水槽の流入出水の残留塩素及び水温並びに流入量の連続測定を行った。

- ・長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B調査）

学校の夏季休暇等、長期に使用停止している受水槽内での残留塩素の減少状況を確認するため、受水槽の流入出水を遮断した状態で受水槽内貯留水の残留塩素及び水温の連続測定を行った。

3.1 使用中の受水槽を対象とした調査（A調査）

3.1.1 調査内容

使用中の受水槽における残留塩素の挙動を確認するため、受水槽の流入出水の残留塩素及び水温並びに流入量の連続測定を行ったものであり、調査イメージは図 3.1.1 のとおりである。

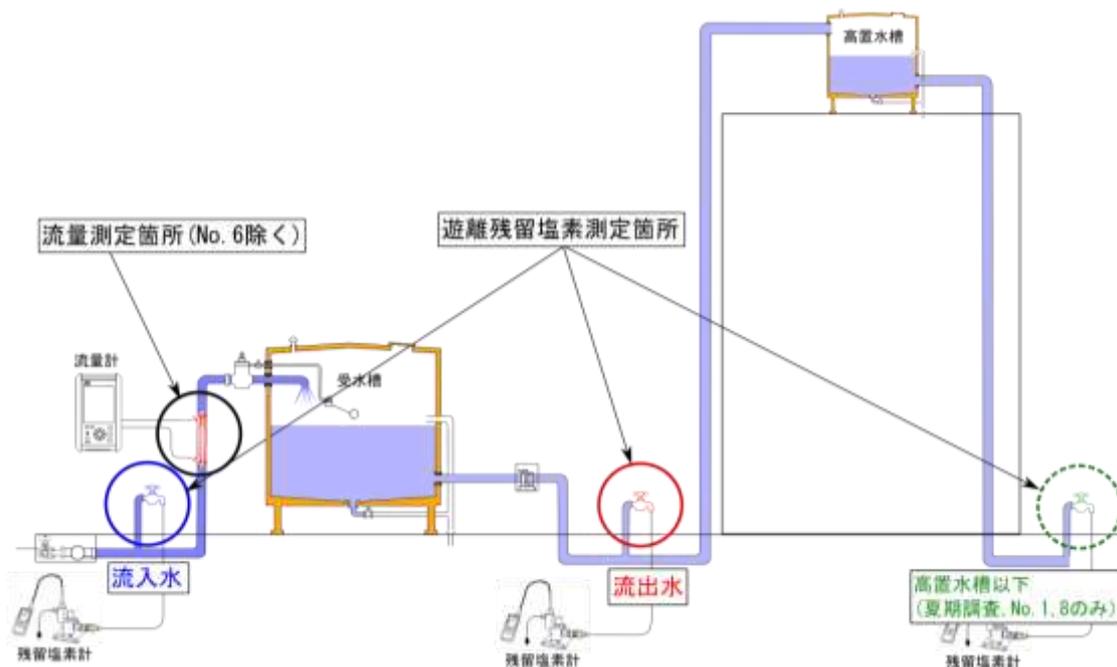


図 3.1.1 調査イメージ

3.1.2 調査期間

水温による影響を確認するため、冬期（水温 15℃未満）及び夏期（水温 25℃以上）の 2 期に分けて調査を実施した。また、調査箇所毎の 1 回あたりの調査期間は、平日と休日の違いを確認するため、土・日曜日を含む連続 10 日間程度とした。

3.1.3 調査箇所

以下の選定条件に合致する受水槽を選定した。結果を表 3.1.1 に、また選定した受水槽の配置を図 3.1.2 に示す。

なお、調査箇所数は、冬期は 9 箇所であったが、この内の 1 箇所は安定した測定結果が得られなかったことから、夏期は 1 箇所減の 8 箇所とした。

〈選定条件〉

①有効容量

概ね 10m³以下

②材質

全体の 83%を占める FRP 製、または残留塩素消費量が多いと報告^(文献1)のあるコンクリート製

③入替回数

施行基準の基準※より少ない 1 日 1 回以下

※ 千葉県水道局給水装置工事施行基準 2.11 受水槽式の設備 3 受水槽の容量 1)
「受水槽の容量は、一日最大使用水量の 4/10 ～ 6/10 程度とする。」

表 3.1.1 調査箇所

調査 No	住所	調査期間 (上段：冬期 下段：夏期)	有効容量 (m ³)	受水槽 材質	高置 水槽	受水槽 利用用途
1	千葉市緑区 古市場	H25. 2. 25～3. 8 ----- H25. 9. 2～9. 13	4. 4	FRP	有	事務所
2	市川市市川南	H25. 2. 26～3. 8 ----- H25. 9. 17～9. 30	2. 1	FRP	無	事務所
3	市原市五井金杉	H25. 3. 8～3. 18 ----- H25. 9. 3～9. 13	0. 7	FRP	無	事務所
4	松戸市松戸	H25. 2. 25～3. 8 ----- H25. 9. 17～9. 30	1. 6	FRP	無	住居 ^{※1}
5	千葉市花見川区 横戸町	H25. 2. 26～3. 8 ----- H25. 9. 2～9. 13	4. 4	Co	有	事務所
6	松戸市松戸	H25. 3. 8～3. 18 ----- H25. 9. 18～10. 1	1. 2	FRP	無	資料館
7	船橋市市場	H25. 2. 25～3. 8 ----- H25. 9. 17～9. 30	6. 4	FRP	有	事務所
8	千葉市花見川区 幕張町	H25. 2. 26～3. 8 ----- H25. 9. 2～9. 13	15. 3	FRP	有	事務所
9	千葉市中央区 中央港	H25. 2. 26～3. 8 ----- — ^{※2}	20. 0	Co	有	事務所

※1 調査時点で全 8 部屋中 7 部屋が入居。

※2 地下式受水槽のため流出側の残留塩素等の測定がポンプ起動時しか行えず、冬期で安定した測定結果が得られなかったことから、夏期は調査対象から外した。

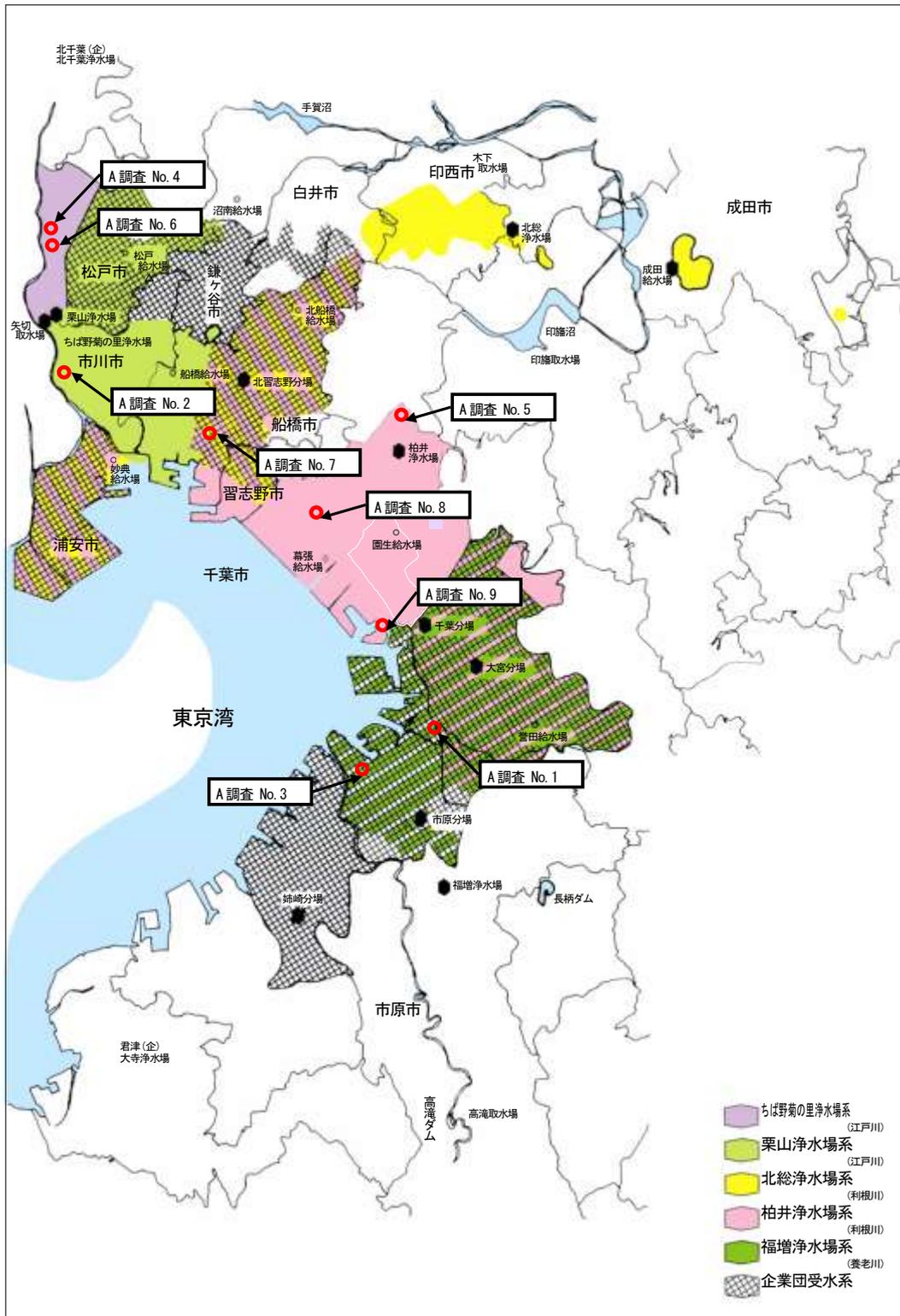


図 3.1.2 調査箇所

3.1.4 測定位置

各調査箇所毎の測定位置の選定理由は以下のとおりである。また、具体的な測定位置は、**図 3.1.3** のとおりである。

①残留塩素及び水温

残留塩素計を設置する給水栓は、できるだけ受水槽に近い場所を選定し、適当な給水栓が無い場合は、分岐工事等により仮設給水栓を設置して測定位置を確保した。

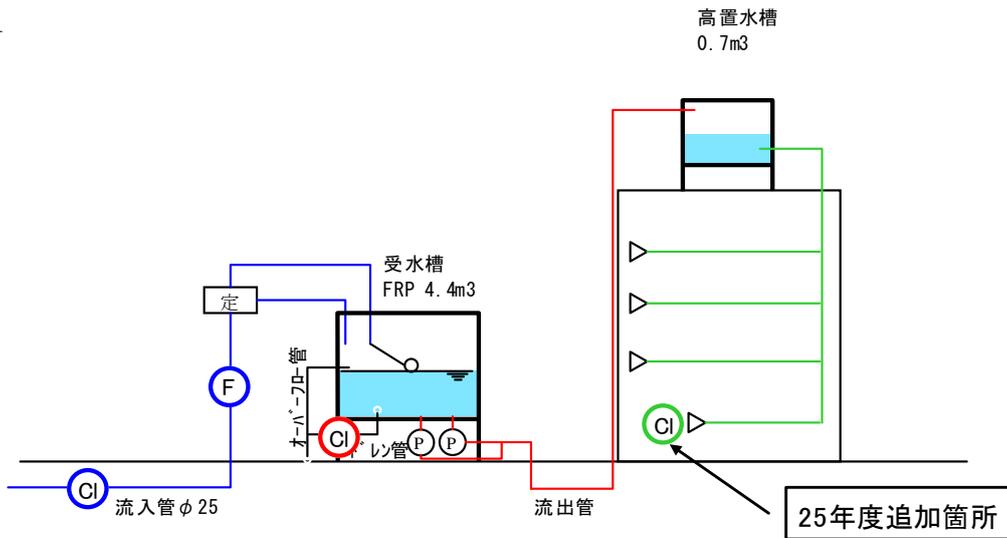
具体的には、調査 No. 8 は、当局の施設であることから流入管及び流出管に仮設給水栓を設置した。その他の調査箇所については、お客様の施設であるため、既存の設備に影響を与えないよう、流入側は量水器筐に仮設給水栓を設置し、流出側は受水槽の排水管に仮設給水栓を設置した。

②流量

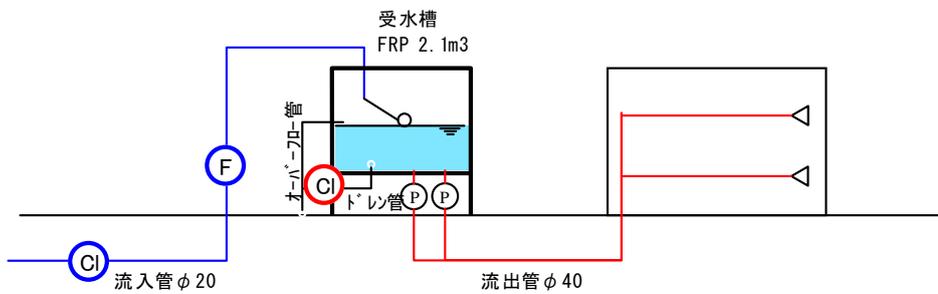
受水槽流入管の保温材を取り外し、超音波式の流量計を設置した。

なお、調査 No. 6 については保温材の取り外しができず流量計が設置できなかったため、量水器の指針値により受水槽の流入量を確認した。

No. 1



No. 2



No. 3

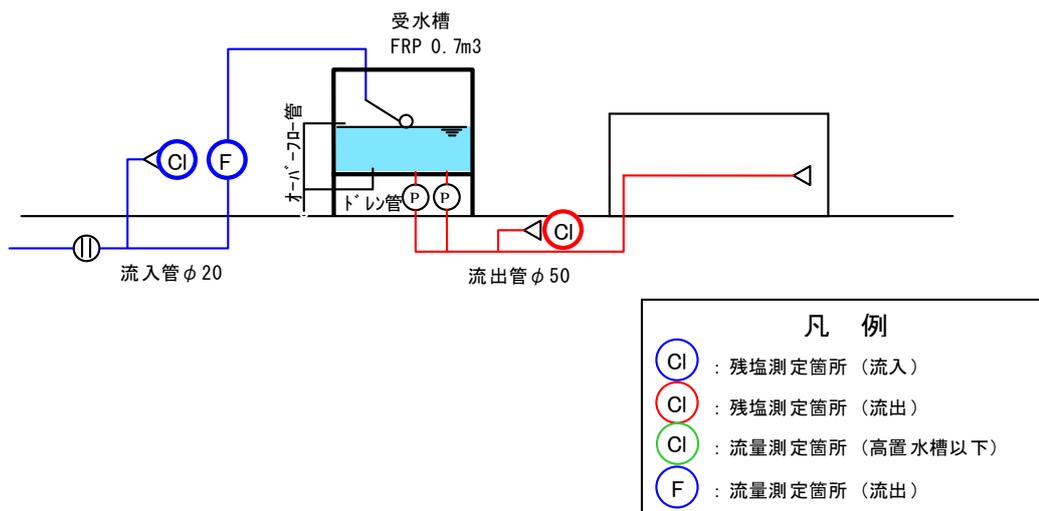
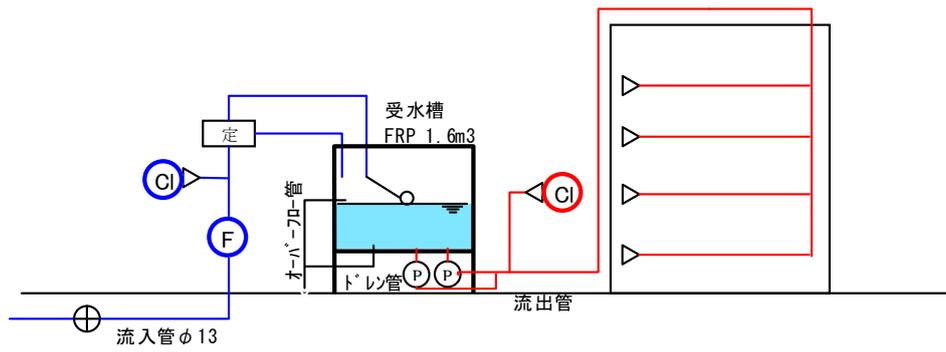
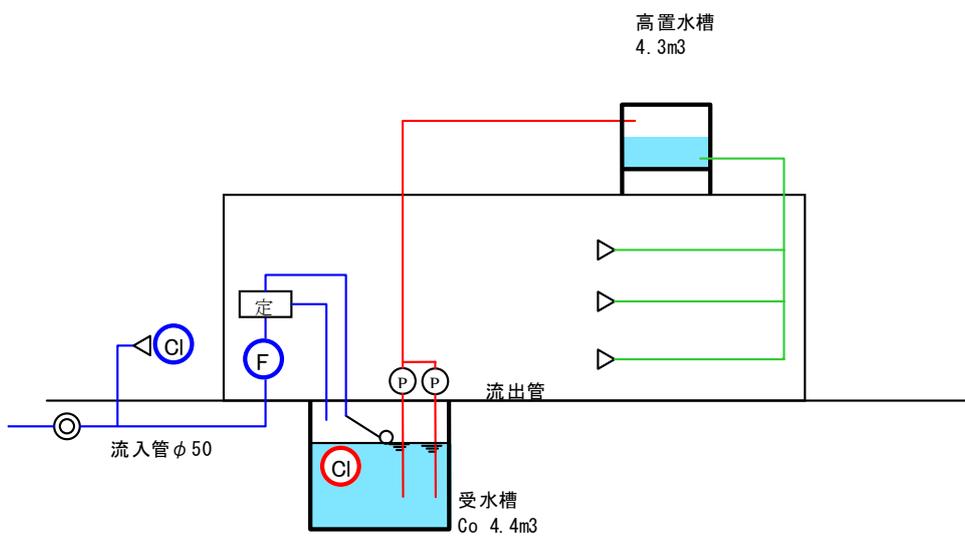


図 3.1.3 測定位置 (No. 1~No. 3)

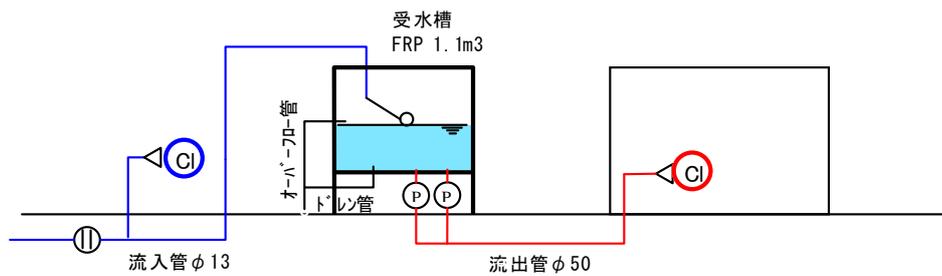
No. 4



No. 5



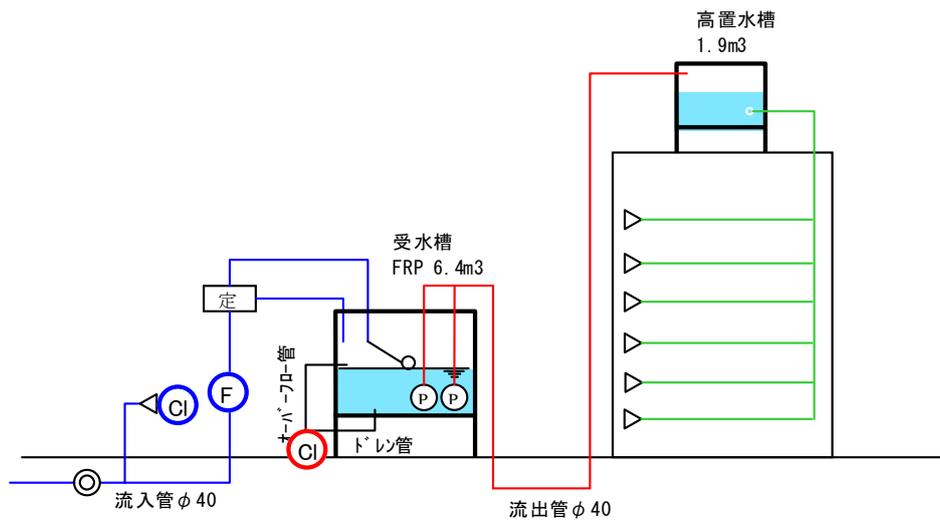
No. 6



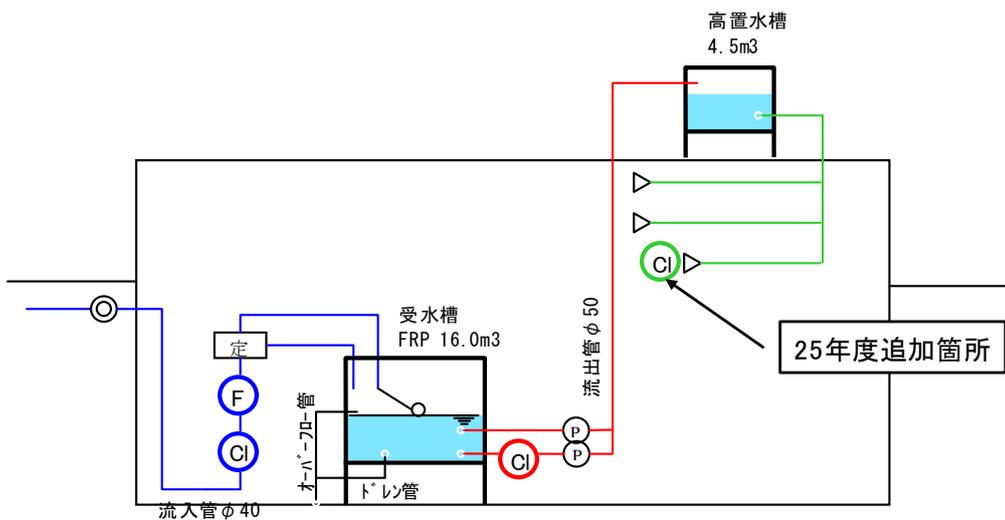
凡 例	
	: 残塩測定箇所 (流入)
	: 残塩測定箇所 (流出)
	: 流量測定箇所 (高置水槽以下)
	: 流量測定箇所 (流出)

図 3.1.4 測定位置 (No. 4~No. 6)

No. 7



No. 8



凡例	
	: 残塩測定箇所 (流入)
	: 残塩測定箇所 (流出)
	: 流量測定箇所 (高置水槽以下)
	: 流量測定箇所 (流出)

図 3.1.5 測定位置 (No. 7, No. 8)

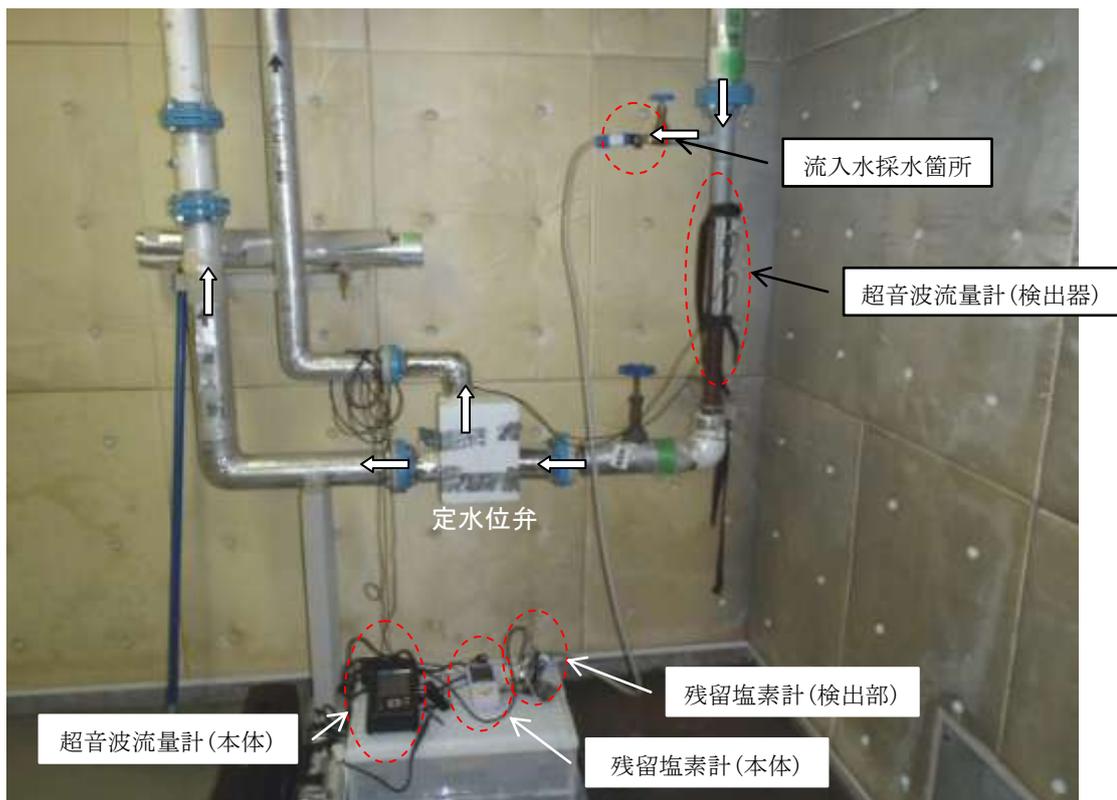


写真 3.1.1 A 調査の実施状況 (NO. 8: 流入)

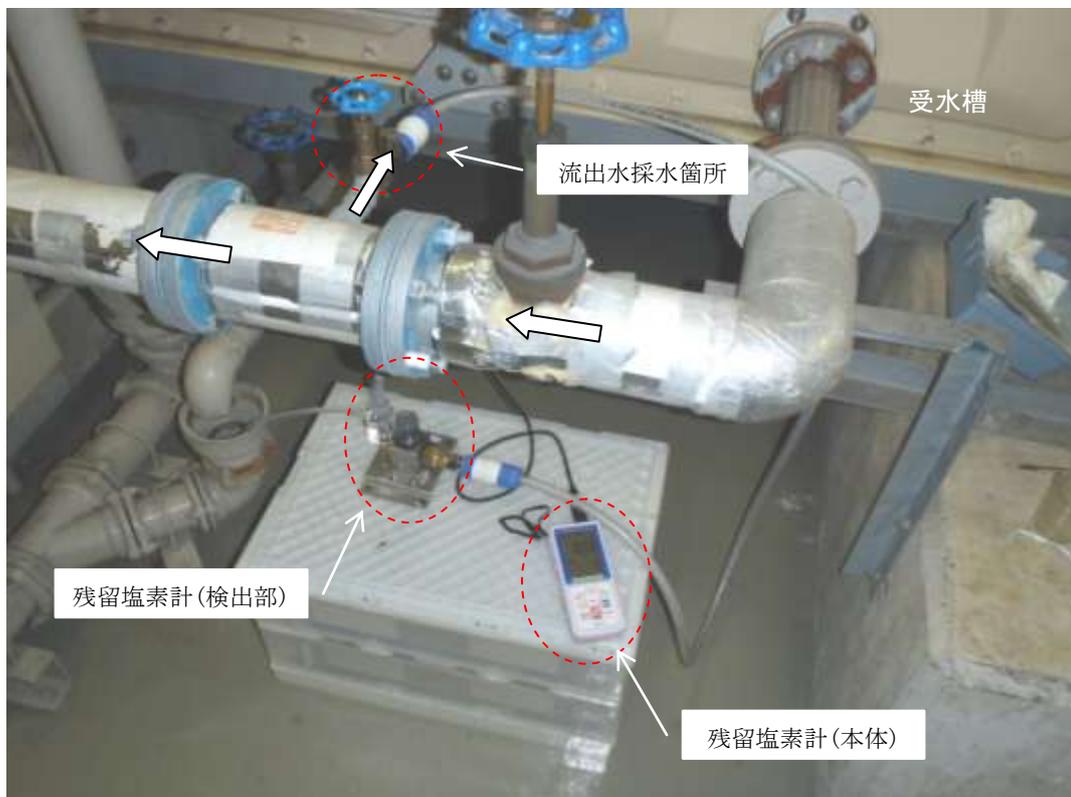


写真 3.1.2 A 調査の実施状況 (NO. 8: 流出)

3.1.5 測定項目及び測定機器

測定項目及び測定機器は、表 3.1.2 のとおりである。

表 3.1.2 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器			記録 間隔	備考
	機器名	方式	機種		
・遊離残留塩素濃度 ・水温	連続測定用	ポーラロ	RC-31P-K ^{※1}	10分	—
	残留塩素計	グラフ式	RC-31P-F ^{※1}	10分	No.5の流出水測定で使用
・流入量	流量計	超音波式	Portaflow-X ^{※2}	1分	冬期調査で使用
			Portaflow-C ^{※2}	1分	夏期調査で使用

※1 東亜ディーケーケー（株）製、※2 富士電機（株）製

①残留塩素計

今回使用した残留塩素計は、給水栓からブレードホースを通して連続サンプリングができる機種を使用した。ただし、調査 No. 5 は、受水槽の水を飲用に使用していないことから、後述する B 調査で使用した受水槽内に検出部を設置する機種を使用した。

また、この機種は、本体メモリーに測定結果を一定の時間毎に記録することが可能であるが、データメモリー数が 1,000 データに限られているため、記録間隔を 1 週間程度の測定結果を記録できる 10 分間に設定した（1,000 データ×10 分/データ=10,000 分=167 時間=6.9 日）。

②流量計

今回使用した流量計は、配管の外側から測定ができる超音波式の機種を使用した。この機種も外部メモリーにデータを記録することが可能であり、データメモリー数に余裕があったことから、記録間隔を 1 分間に設定した。



写真 3.1.3 残留塩素計及び流量計

写真 3.1.4 流量計センサー

また、上記の連続測定用残留塩素計を校正するための手分析用の残留塩素計は、表 3.1.3 の機器を使用した。

表 3.1.3 手分析用残留塩素計

測定項目	測定機器		
	機器名	方式	機種
残留塩素	残留塩素計	DPD 法	HACH2470*

※ HACH 社製



写真 3.1.5 手分析用残留塩素計

3.2 長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B調査）

3.2.1 調査内容

学校の夏季休暇等で長期に使用停止している受水槽内での残留塩素の減少状況を確認するため、受水槽の流入出水を遮断した状態で受水槽内の貯留水の残留塩素及び水温を連続測定したものであり、調査イメージは図 3.2.1 のとおりである。

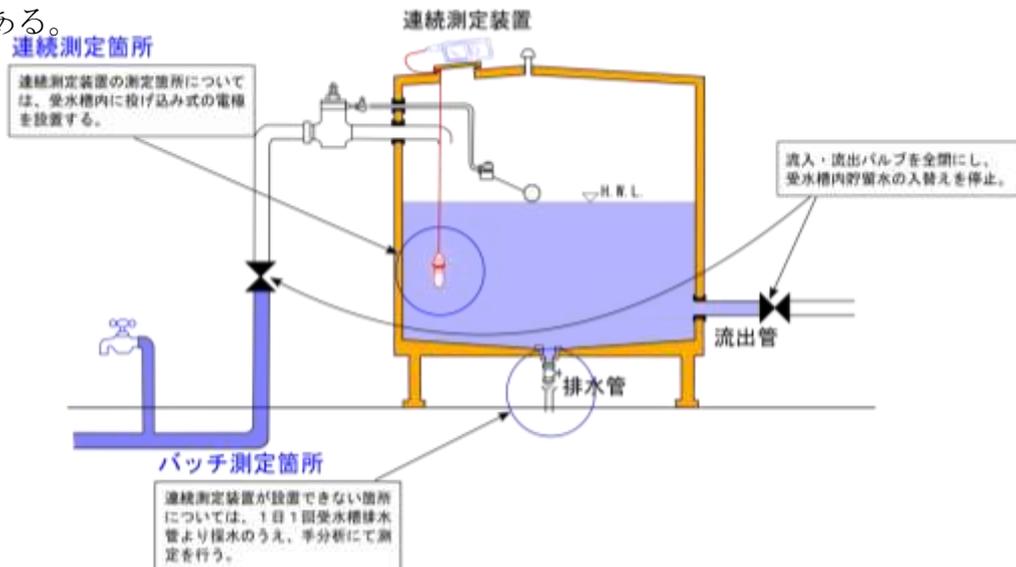


図 3.2.1 調査のイメージ

3.2.2 調査期間

水温による影響を確認するため、調査期間は通年とした。また、調査箇所毎の1回あたりの調査期間は、受水槽へ注水してから貯留水の残留塩素が0.1mg/lを下回るまでとした。

3.2.3 調査箇所

調査は受水槽の流出入水を遮断する必要があることから、調査箇所は水道の使用停止や直結給水方式への転換により使用されなくなった受水槽から選定した。

平成24年度は、FRP製の受水槽3箇所で行ったが、この内調査No.4は漏水が発生したため途中で調査を中止した。また、平成25年度は、受水槽の材質による残留塩素の減少量の違いを確認するため、調査No.4の代わりにコンクリート製の調査No.3の受水槽を追加し、受水槽3箇所で行った。調査箇所は表3.2.1及び図3.2.2に示すとおりである。

(B調査の調査箇所数)

- ・平成24年度：3箇所 (No. 1、No. 2、No. 4)
- ・平成25年度：3箇所 (No. 1、No. 2、No. 3)

表 3.2.1 調査箇所

調査 No	住所	調査期間	調査回数	有効容量	材質	調査方法	備考
1	千葉市美浜区若葉	H24. 10. 24 ～H25. 10. 2	8	1.0m ³	FRP	連続測定	浄水場実験用を移設
2	千葉市中央区 星久喜町	H24. 7. 13 ～H25. 10. 2	10	4.5m ³	FRP	連続測定	H23. 3末使用停止 2槽中1槽使用
3	松戸市日暮	H25. 4. 15 ～H25. 10. 1	6	10.7m ³	Co	連続測定	H18直結給水転換
4※	千葉市花見川区 幕張町	H24. 7. 13 ～H25. 2. 15	2	7.6m ³	FRP	バッチ測定	2槽中1槽使用

※ 調査中に漏水が発生したため、途中で調査を終了。



3.2.5 測定位置

調査 No. 1、No. 2 及び No. 3 については、受水槽の使用を完全に停止していることから、残留塩素計の検出部を受水槽内に設置し受水槽内の貯留水の遊離残留塩素濃度及び水温を直接測定した。

調査 No. 4 については、この調査のために一時的に受水槽の使用を停止しており、衛生上の安全性を考慮して、定期的に排水管から受水槽内の貯留水を採水し、手分析による測定を行った。

各調査箇所毎の測定位置は、図 3.2.3 のとおりである。

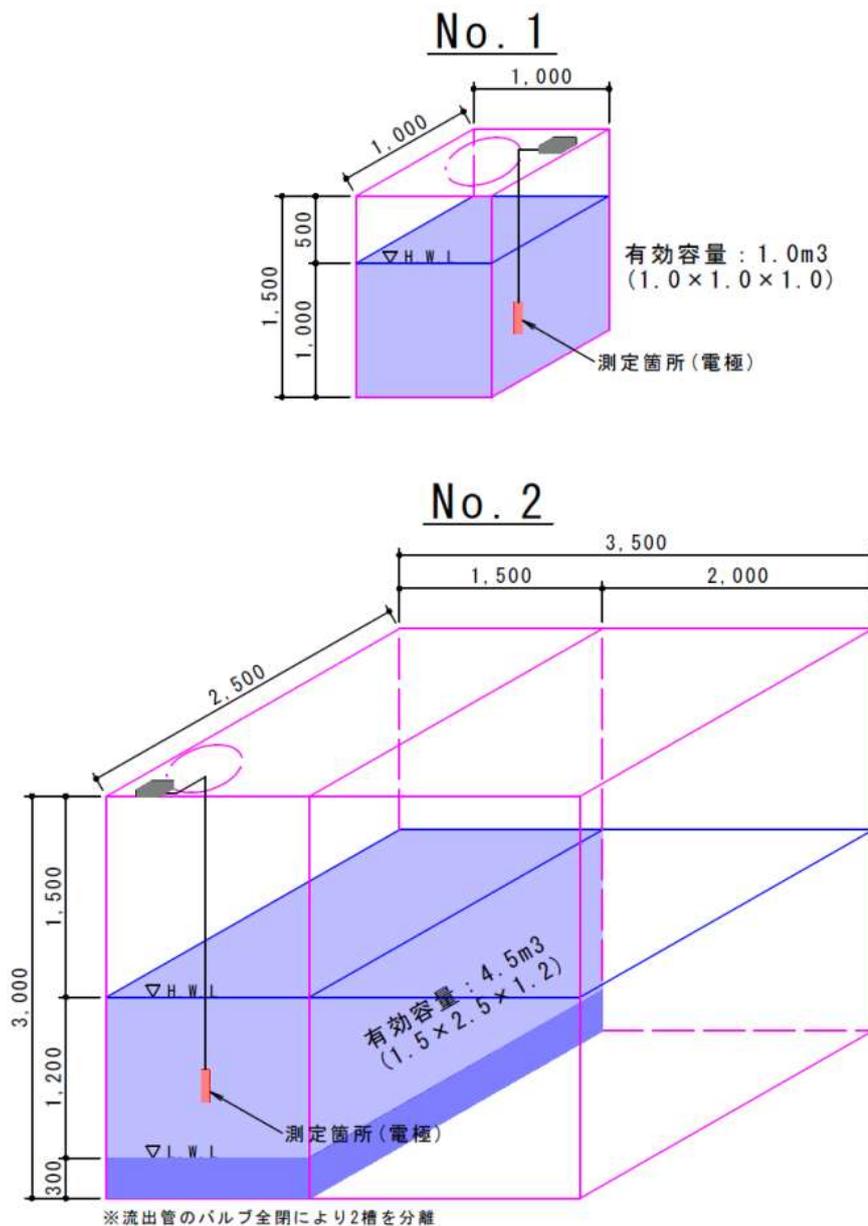


図 3.2.3 測定位置 (No. 1、No. 2)

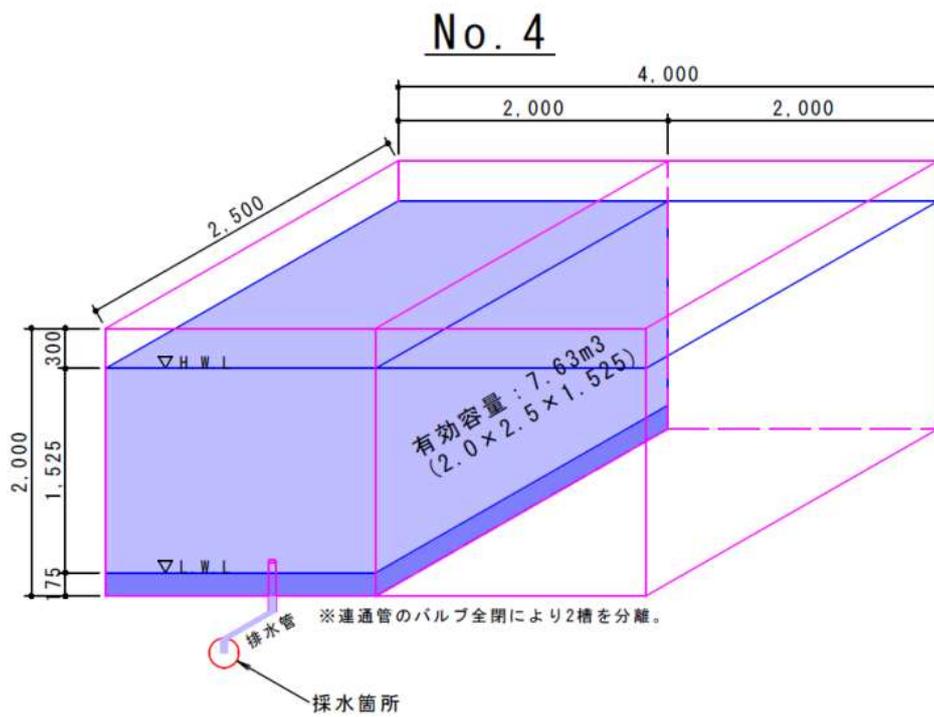
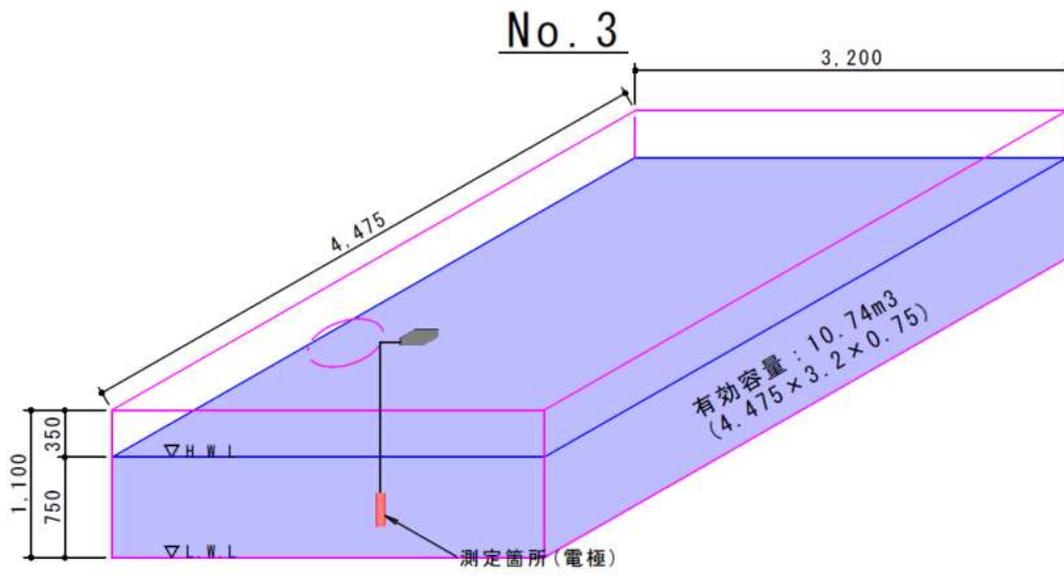


図 3.2.4 測定位置 (No. 3、No. 4)



写真 3.2.1 B 調査の実施状況 (NO. 2: 受水槽上部)



写真 3.2.2 B 調査の実施状況 (NO. 2: 受水槽内部)

3.2.5 測定項目及び測定機器

調査 No. 1、No. 2 及び No. 3 の測定項目及び測定機器は、表 3.2.2 のとおりである。

表 3.2.2 測定項目及び測定機器（調査 No. 1、No. 2 及び No. 3）

測定項目	測定機器			測定間隔
	機器名	方式	機種	
・遊離残留塩素濃度 ・水温	連続測定用 残留塩素計	ポーラログラフ式	RC-31P-F※	1 時間

※ 東亜ディーケーケー（株）製

残留塩素計は、本体は A 調査と同じものであり、検出部は受水槽内に直接設置する機種を使用した。記録間隔は、B 調査の場合、短時間で急激な残留塩素の変化が想定されないことから、1 時間に設定した。



写真 3.2.3 残留塩素計

また、調査 No. 4 と上記の連続測定用残留塩素計の校正用に使用した手分析用の残留塩素計及び水温計は、表 3.2.3 の機器を使用した。

なお、調査 No. 4 の測定間隔は、平日 1 日 1 回とした。

表 3.2.3 測定機器（調査 No. 4、残留塩素計校正用）

測定項目	測定機器		
	機器名	方式	機種
・遊離残留塩素濃度	残留塩素計	DPD 法	HACH2470※
・水温	デジタル式水温計	—	—

※ HACH 社製



写真 3.2.4 手分析用残留塩素計

4. 調査結果の分析

本章では、2種類の調査結果を基に受水槽内の塩素消費に関する分析結果について記述する。

4.1 使用中の受水槽を対象とした調査（A調査）

4.1.1 使用中の受水槽内の塩素消費

1) 分析方法

分析にあたっては、回帰分析により受水槽内の塩素消費に関する予測モデルを作成することとした。

残留塩素の減少は、一次反応として取り扱うことが一般的に行われており、残留塩素の減少速度は次式で定義される。^(文献4)

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad \dots (1)$$

$$C_t = C_0 \exp(-kt) \quad \dots (2)$$

C_t : 時間 t における残留塩素濃度 (mg/l)

C_0 : 初期残留塩素濃度 (mg/l)

k : 残留塩素減少速度係数 (hr^{-1})

回帰分析の目的変数は、残留塩素減少速度係数、塩素残存率、塩素消費量等の分析を試みた中で最も結果の良かった、残留塩素減少速度係数を目的変数に選定することとした。

なお、回帰分析に用いた残留塩素減少速度係数は、(2)式を変換した(3)式により算出した。

$$k = -\ln \frac{C_t}{C_0} \div t \quad \dots (3)$$

また、残留塩素減少速度係数に係る変数の定義は、**図 4.1.1** のとおりであり、滞留時間 (t) は受水槽貯留水が 1 回入れ替わる時間、受水槽流入残留塩素 (C_0) は滞留時間 t の間の受水槽流入残留塩素の平均値とした。

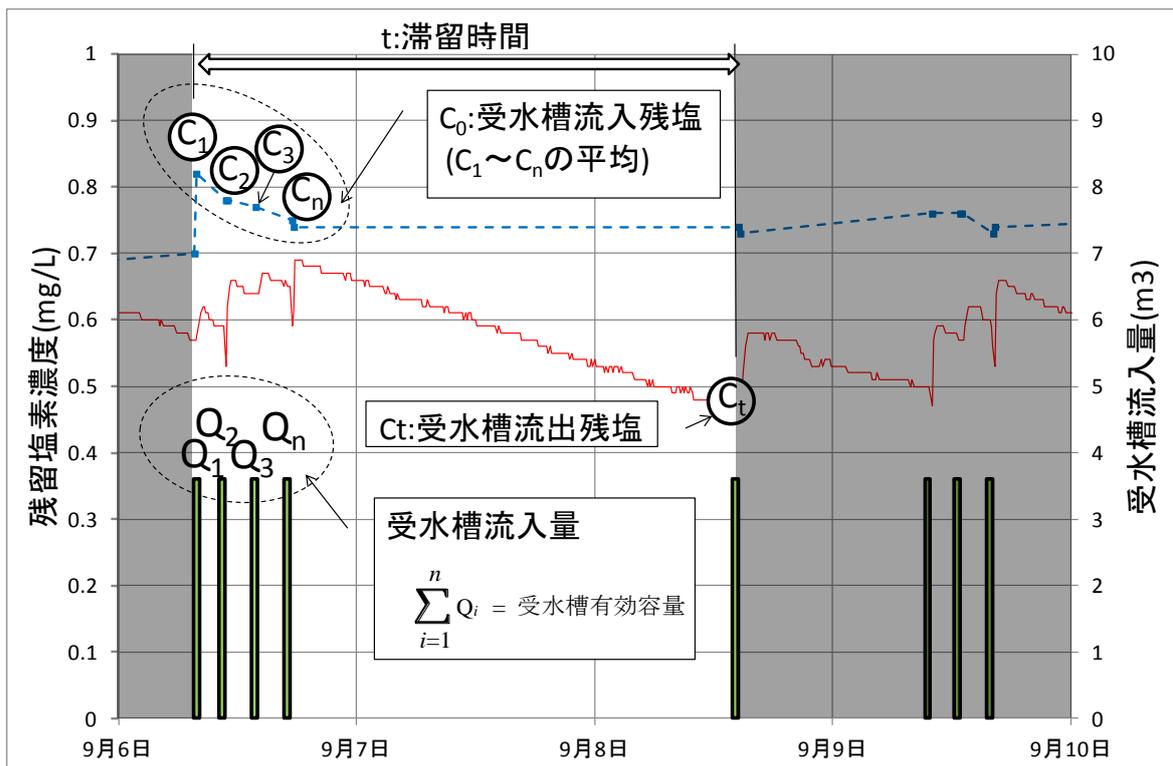


図 4. 1. 1 A 調査の分析における残留塩素減少速度係数 k の算出方法

説明変数は、受水槽内の塩素消費に影響すると考えられる以下の因子から選定することとした。

- ①水温：受水槽流出水の平均水温（℃）
- ②定期清掃：受水槽の定期清掃の有無（有：0、無：1）
- ③高置水槽：高置水槽の有無（有：0 無：1）
- ④材質：受水槽の材質（FRP：0、コンクリート：1）
- ⑤TOC：調査期間中に浄水場の配水池で測定した TOC の平均値（mg/l）

2) 分析結果

①説明変数の選定

8箇所の調査結果から60データを抽出し、目的変数である残留塩素減少速度係数と説明変数間の相関係数を算出した。結果を表4.1.1に示す。

表 4.1.1 残留塩素減少速度係数と説明変数間の相関行列

	減少速度係数	水温	定期清掃	高置水槽	材質	TOC
減少速度係数	1					
水温	0.459	1				
定期清掃	0.748	0.278	1			
高置水槽	0.472	-0.077	0.585	1		
材質	0.065	0.220	0.308	-0.152	1	
TOC	-0.135	-0.616	-0.145	0.078	0.135	1

結果として残留塩素減少速度係数とある程度の相関が認められたのは「水温」、「定期清掃」及び「高置水槽」であった（t検定における5%有意水準の相関係数：0.25）。

一方、「材質」については、今回、コンクリート製受水槽のデータ数が少なかったこと、また「TOC」については、受水槽から採水して測定せず浄水場配水池の測定値を用いたため時間差の影響等で相関を確認するには至らなかった。

②回帰分析による予測モデルの作成

回帰分析に用いる説明変数は、上記の結果から、残留塩素減少速度係数と相関が認められた「水温」及び「定期清掃」とした。

なお、「高置水槽」も残留塩素減少速度係数との相関が認められたが、説明変数に選定した「定期清掃」との相関も認められ適切な分析結果が得られない可能性があること、また、t検定の結果から説明変数としての有意水準を満たさなかったことから説明変数から外した。

回帰分析により作成した予測モデルを(4)式に示す。

$$k = 0.00258 + 0.00035T + 0.01574D \quad \dots (4)$$

k：残留塩素減少速度係数 (hr⁻¹)

T：水温 (°C)

D：定期清掃の有無（有：0、無：1）

この回帰分析の結果は、表 4.1.2 のとおりであり、重相関係数 R が 0.793、自由度調整済み重相関係数が 0.785 となった。

また、表 4.1.3 及び表 4.1.4 に示すとおり、F 検定からこの予測モデルは成立し、t 検定から「水温」及び「定期清掃」は説明変数として妥当であるとの結果となった。

表 4.1.2 回帰分析の結果

項目	結果
重相関係数 R	0.793
決定係数 R ²	0.629
自由度調整済み重相関係数 R*	0.785
自由度調整済み決定係数 R* ²	0.616
標準誤差	0.00647
観測数	60

表 4.1.3 F 検定の結果

項目	自由度	変動	分散	F 値	有意 F (5%)
回帰	2	0.00404	0.00202	50.5	3.159
残差	57	0.00239	0.00004		
合計	59	0.00643			

表 4.1.4 t 検定の結果

項目	係数	標準誤差	t 値	有意 t (%)
切片	0.00258	0.00197		
水温	0.00035	0.00011	3.182	2.002
管理状況	0.01574	0.00197	7.990	2.002

残留塩素減少速度係数について(3)式による算定値と予測モデルの(4)式による予測値の散布図を図4.1.2に示す。

予測モデルは、必ずしも精度が良いとは言えないが、概ねの傾向は把握できる結果となった。

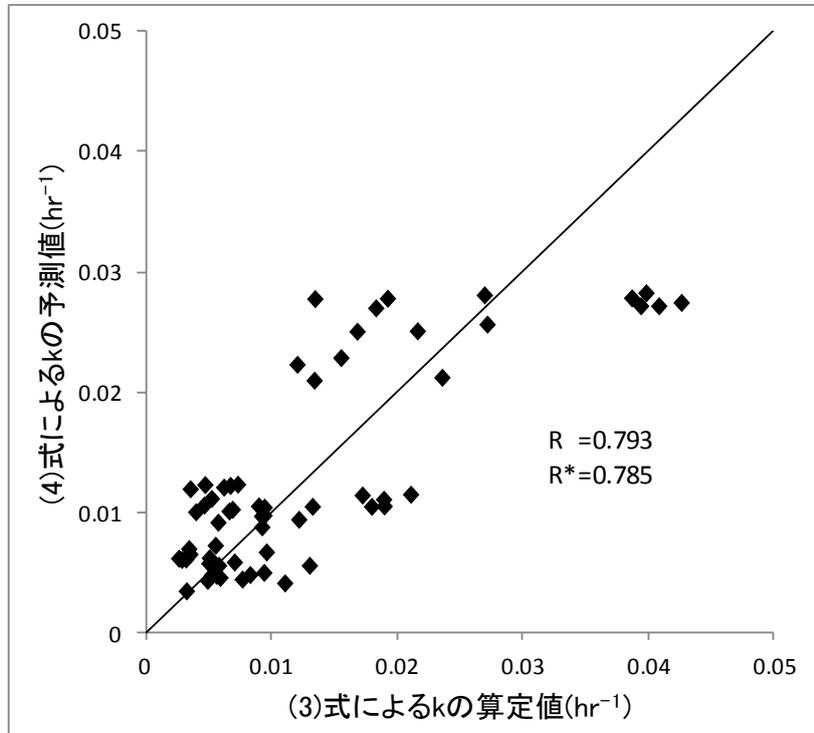


図 4. 1. 2 残留塩素減少速度係数の算定値と予測値の散布図

4.1.2 受水槽流出以降の塩素消費

1) 分析方法

夏期調査で高置水槽以降の給水栓で測定を行った No.1 と No.8 の結果から、受水槽流出残留塩素と給水栓残留塩素の差をとり、受水槽流出以降の配管及び高置水槽での塩素消費量を算出した。算出方法を図 4.1.3 に示す。

受水槽流出以降の塩素消費量 = 受水槽流出残留塩素 - 給水栓残留塩素

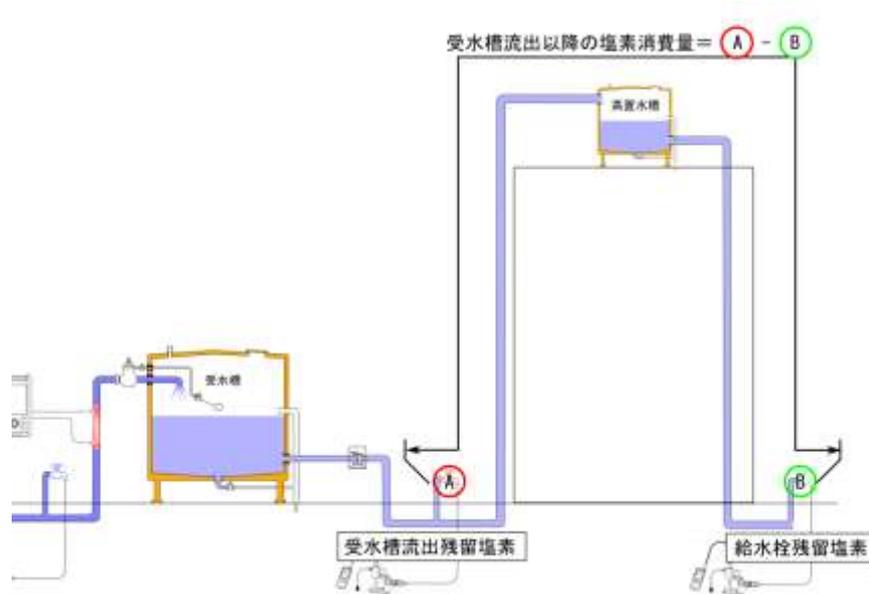


図 4.1.3 受水槽流出以降の塩素消費量

2) 分析結果

受水槽流出以降の配管及び高置水槽での塩素消費量は、NO. 1 は平均 0.13mg/ℓ、NO. 8 は平均 0.11mg/ℓとなった。結果を図 4. 1. 4 及び図 4. 1. 5 に示す。

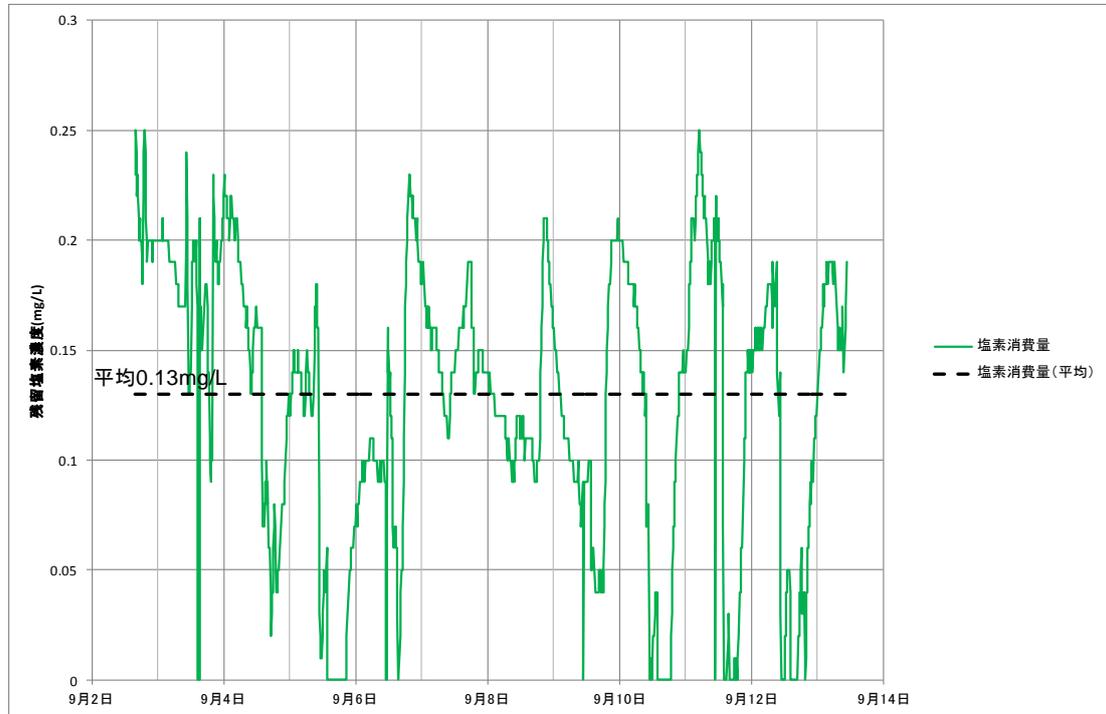


図 4. 1. 4 受水槽流出以降の塩素消費量 (No. 1)

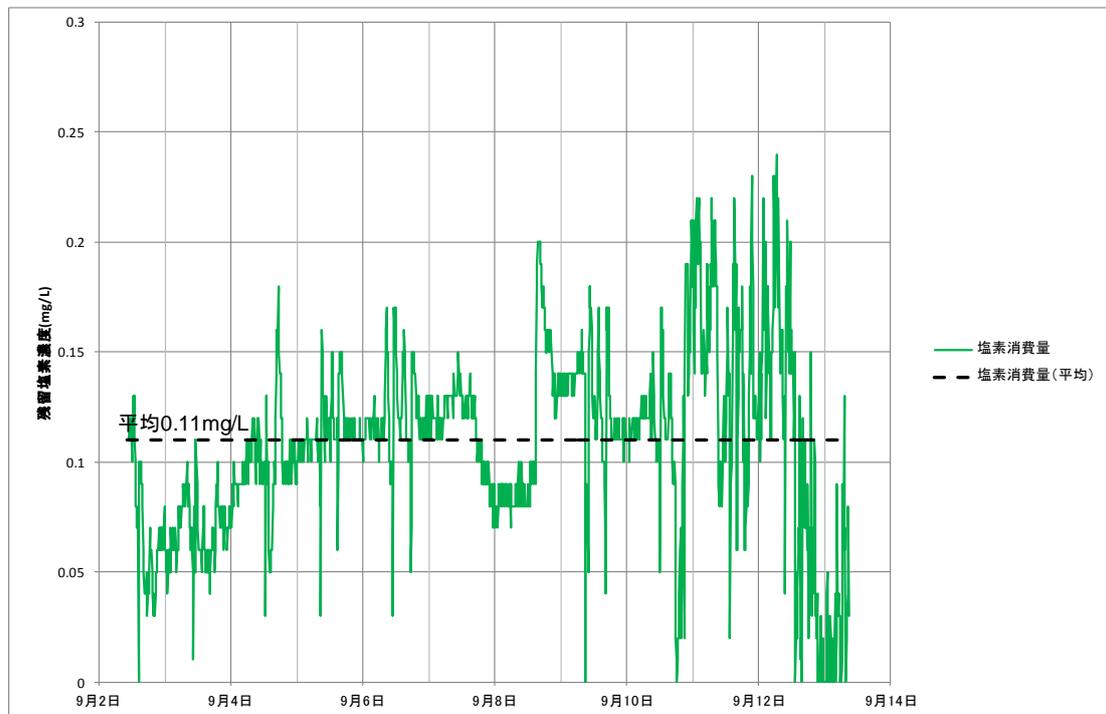


図 4. 1. 5 受水槽流出以降の塩素消費量 (No. 8)

4.1.3 使用中の受水槽内における残留塩素の推定

1) 推定方法

4.1.1 で作成した予測モデル(4)式から残留塩素減少速度係数を求め、(2)式により使用中の受水槽内における残留塩素の推定を行った。

なお、当局では水温に応じて浄給水場の配水残留塩素を設定していることから、推定条件はこれを考慮して表 4.1.3 のとおりとした。

表 4.1.3 使用中の受水槽内の残留塩素の推定条件

時期	水温	受水槽流入 残留塩素※
冬期	15℃	0.52mg/ℓ
春秋期・夏期	25℃	0.62mg/ℓ
最夏期	30℃	0.69mg/ℓ

※ 平成 24 年度の水質自動監視装置 62 台の測定結果の平均値

また、受水槽流出時に必要とする残留塩素は、高置水槽が無い場合は 0.1mg/ℓ とし、高置水槽がある場合は 4.1.2 の結果から受水槽流出以降の塩素消費量 0.13mg/ℓ とし、合わせて 0.23 mg/ℓ とした。

- ・ 受水槽流出時に必要とする残留塩素
高置水槽がない場合：0.1mg/ℓ
高置水槽がある場合：0.23mg/ℓ (=0.13mg/ℓ+0.1mg/ℓ)

2) 推定結果

推定結果を表 4.1.4 及び図 4.1.6 から図 4.1.8 に示す。

表 4.1.4 推定結果

高置水槽 の有無	受水槽流出 残留塩素目標値	定期 清掃	給水栓残塩が 0.1mg/ℓ に到達する日数		
			冬期	春秋期・夏期	最夏期
有	0.23mg/ℓ	有	4.3 日	3.6 日	3.5 日
		無	1.4 日	1.5 日	1.6 日
無	0.1mg/ℓ	有	8.8 日	6.7 日	6.2 日
		無	2.9 日	2.8 日	2.8 日

結果として、高置水槽がある場合では、定期清掃を行ってれば滞留日数が 3、4 日程度でも問題無いが、定期清掃を行っていないと滞留日数が 1.5 日を超えると給水栓の残留塩素が 0.1mg/L を下回る可能性があることとなった。また、高置水槽がない場合では、定期清掃を行ってれば滞留日数が 6、7 日程度でも問題無いが、定期清掃を行っていないと滞留日数が 3 日を超えると給水栓の残留塩素が 0.1mg/L を下回る可能性があることとなった。

これらの結果から、定期清掃の有無が、受水槽内の残留塩素に大きく影響することがわかった。

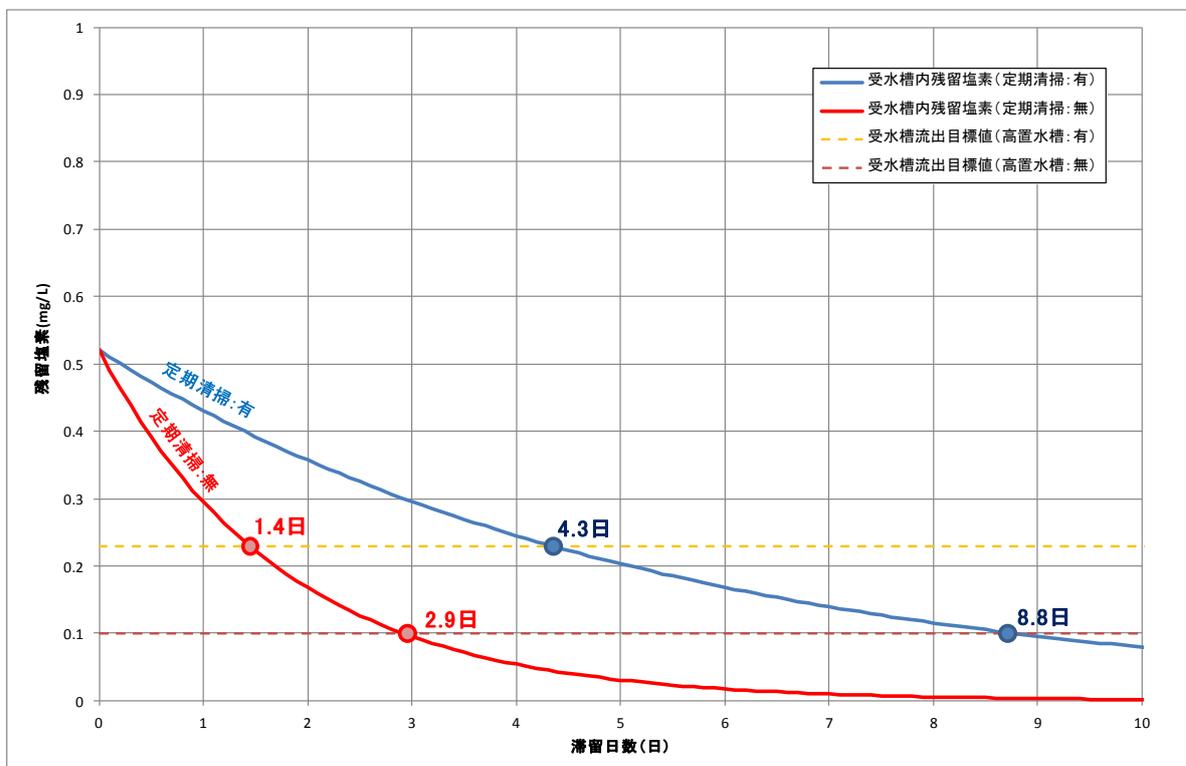


図 4.1.6 冬期の推定結果

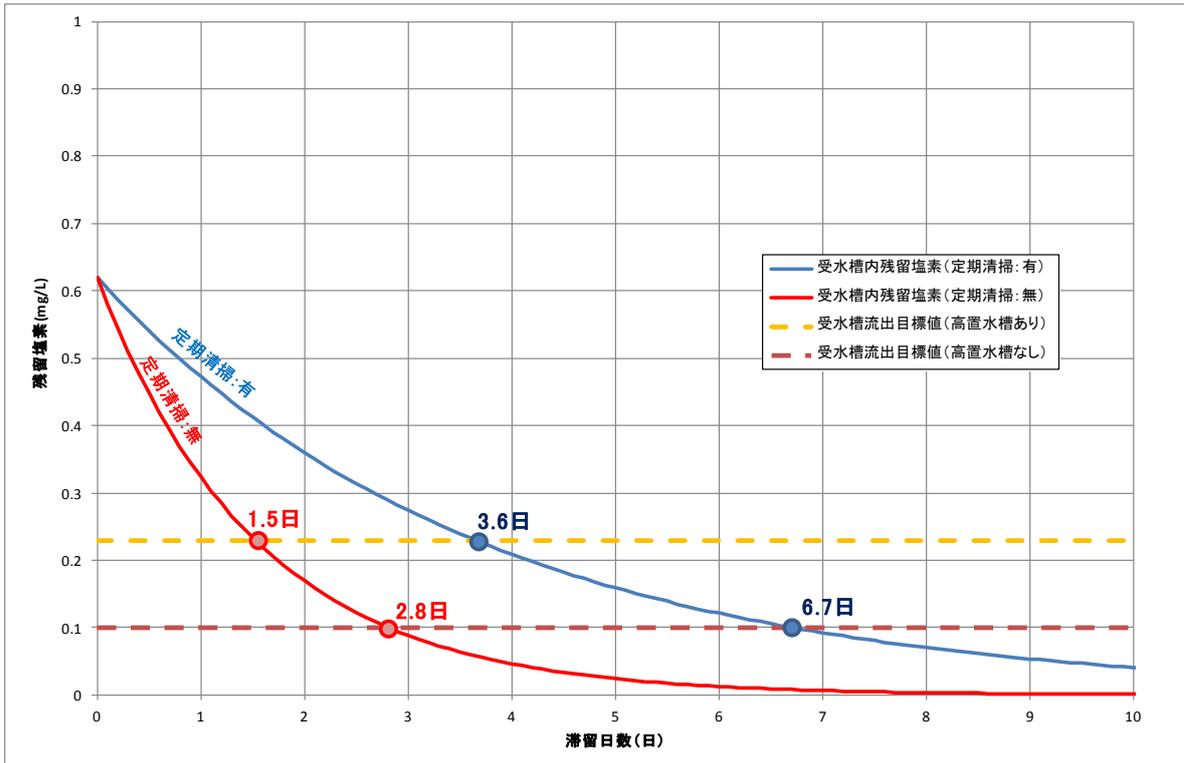


図 4.1.7 春秋期・夏期の推定結果

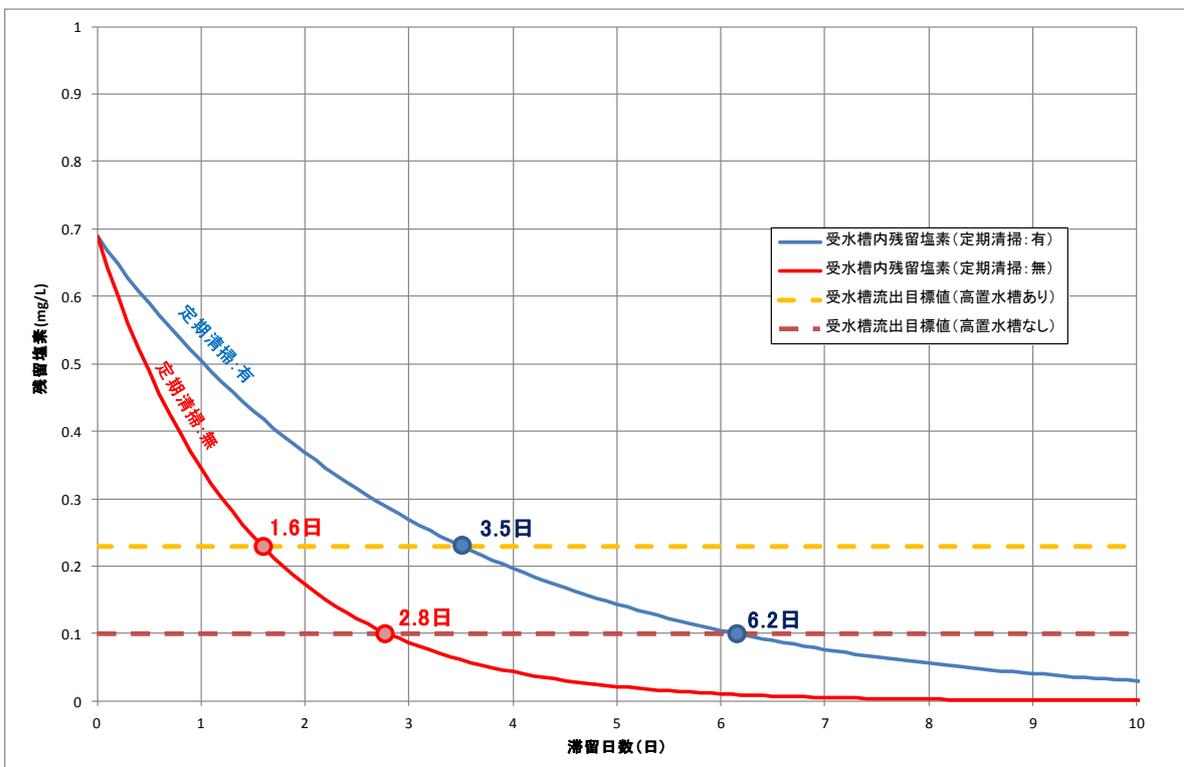


図 4.1.8 最夏期の推定結果

4.2 長期に使用停止している受水槽を想定した調査 (B 調査)

4.2.1 使用停止している受水槽内の塩素消費

1) 分析方法

B 調査の分析にあたっては、既往の研究で示されている以下 2 種類の残留塩素減少速度係数の予測モデルについて比較検証を行うこととした。

① TOC、水温等を変数とするモデル

本モデルは、水中における残留塩素減少速度係数を TOC、初期残留塩素濃度、水温及び塩素添加からの経過時間から推定するモデルである(以下、「 k_b モデル」と言う。)^(文献10)。予測モデルを(5)式及び(6)式に示す。

$$k_b = B \cdot \frac{[TOC]}{C_0} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \dots (5)$$

$$B = 69000 \cdot \exp(-0.0185t_b) \quad \dots (6)$$

k_b : 残留塩素減少速度係数 (h^{-1})

[TOC] : TOC 濃度 (mg/l)、 C_0 : 初期残留塩素濃度 (mg/l)

E_a : 活性化エネルギー ($=39000J/mol$)、 T : 水温 (K)

R : 気体定数 ($=8.314J/(K \cdot mol)$)、 t_b : 塩素添加からの経過時間 (hr)

なお、今回、TOC は受水槽注水直後に受水槽内から貯留水を採水して当局水質センターにて測定した結果を用い、塩素添加からの経過時間(t_b)は管網解析シミュレーションの推定結果を用いた。

② 水温を変数とし定数を回帰分析から求める予測モデル

本モデルは、水中における残留塩素減少速度係数を水温により推定するモデルである(以下、「 k_w モデル」と言う。)^(文献4)。予測モデルは(7)式に示すとおりであり、定数の α 及び β は回帰分析により別途算出する必要がある。

$$k_w = \exp(\alpha \cdot T + \beta) / 1000 \quad \dots (7)$$

k_w : 残留塩素減少速度係数 (h^{-1})、 T : 水温 ($^{\circ}C$)

α 、 β : 定数

今回 α 及び β は、受水槽毎に算出した。

2) 分析結果

調査 No. 1 から No. 3 の 3 箇所の 19 データについて、 k_b モデルと k_w モデルの予測結果を比較した。

その結果、調査 No. 1 及び No. 2 については、 k_b モデル、 k_w モデル共に精度が良かった。例を図 4.2.1 に示す。

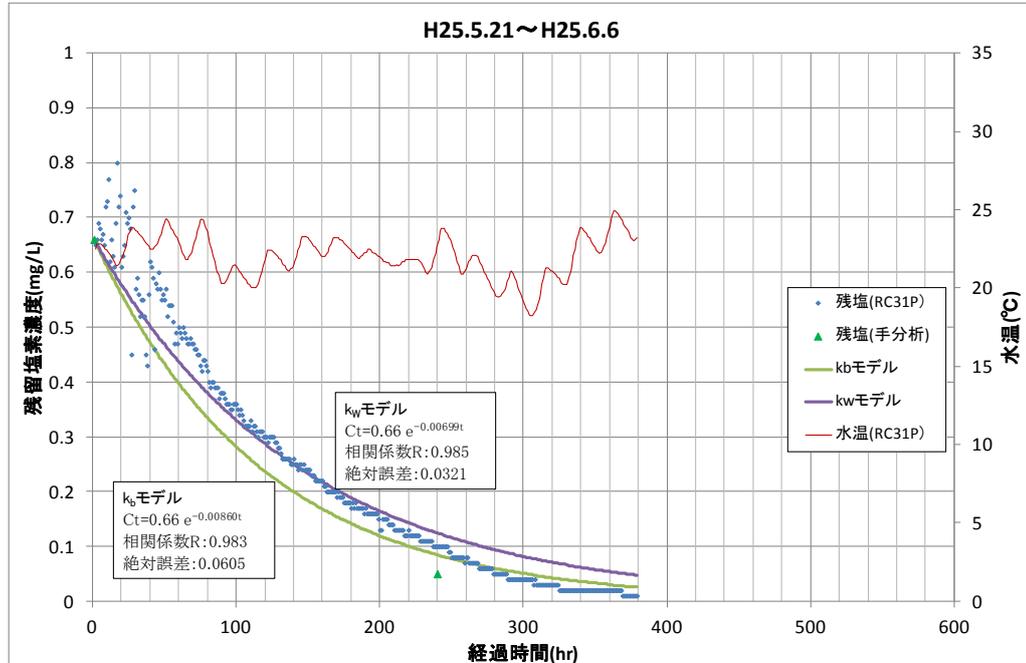


図 4.2.1 予測モデルの推定結果例 (No. 1)

一方、調査 NO. 3 では、両モデル共に相関係数はある程度確保されているものの、調査 NO. 1 及び NO. 2 に比較して精度に劣る結果となった。例を図 4.2.2 に示す。

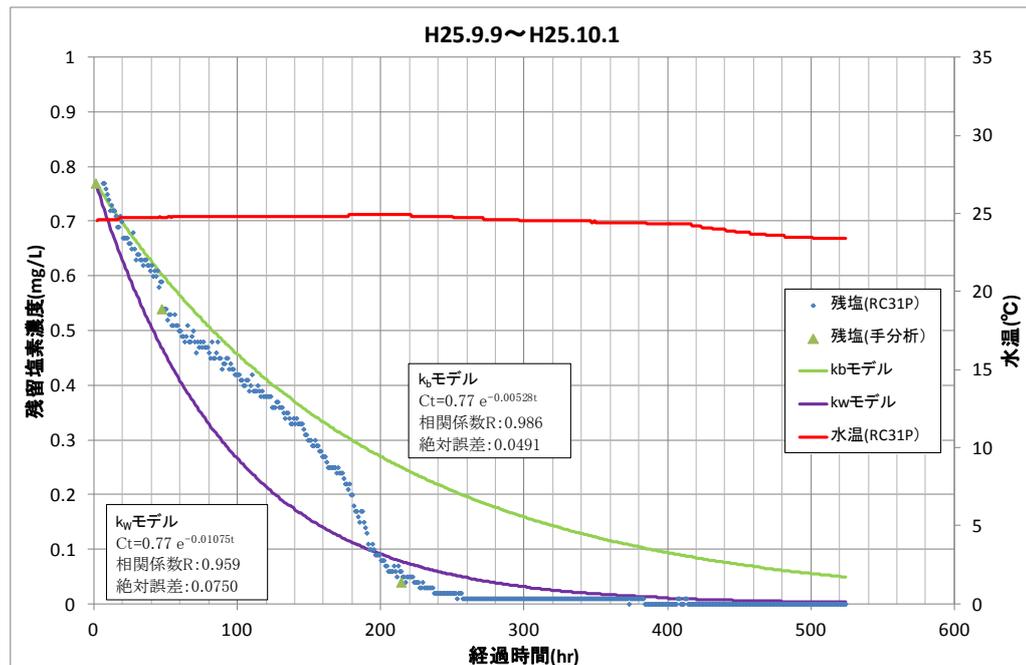


図 4.2.2 予測モデルの推定結果例 (No. 3)

調査 No. 3 の推定結果で精度に劣る結果となった原因としては、長期間使用停止し老朽化したコンクリート製受水槽を再稼働したことが影響していた可能性が考えられる。

両モデルのうち、 k_w モデルについては、図 4.2.3 に示すとおり、調査地点によって水温毎の残留塩素減少速度係数が異なっていることがわかる。特に調査 NO. 2 は調査 NO. 1 及び NO. 3 との乖離が大きい。 k_w モデルが実測データに基づく経験モデルであることから同じ調査地点では再現性が得られるものの、汎用性がなく、条件が異なる受水槽で用いるには限界があると考えられる。

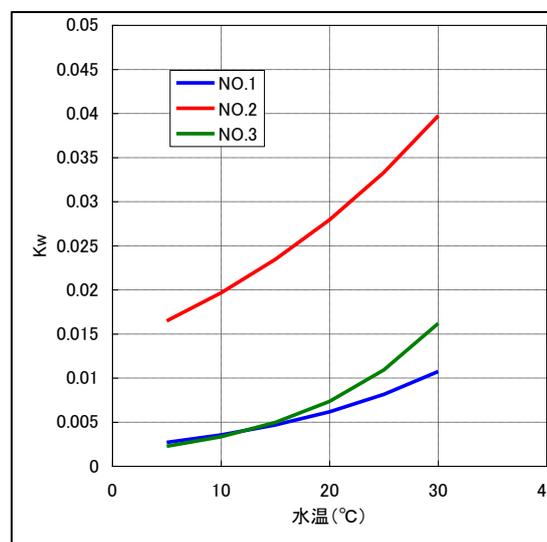


図 4.2.3 k_w モデルの残留塩素減少速度係数

一方、 k_b モデルについては、TOC、初期残留塩素及び塩素添加からの経過時間の条件がわかれば、残留塩素の推定が可能であるため、汎用性の高いモデルと言える。

調査箇所 No. 1 から No. 3 の予測モデルの検証結果を表 4.2.1 から表 4.2.3 に示す。

表 4.2.1 予測モデルの検証結果 (No. 1)

調査期間		k 値	相関 係数 R	絶対 誤差	平均 水温	
①	25 年 1 月 11 日	k _b モデル	0.00297	0.987	0.0440	4.5°C
	～ 25 年 2 月 8 日	k _w モデル	0.00262	0.989	0.0227	
②	25 年 5 月 21 日	k _b モデル	0.00860	0.983	0.0605	22.2°C
	～ 25 年 6 月 6 日	k _w モデル	0.00699	0.985	0.0321	
③	25 年 6 月 6 日	k _b モデル	0.00908	0.998	0.0170	22.8°C
	～ 25 年 6 月 27 日	k _w モデル	0.00721	0.996	0.0387	
④	25 年 7 月 30 日	k _b モデル	0.00868	0.996	0.0254	28.9°C
	～ 25 年 8 月 13 日	k _w モデル	0.01011	0.993	0.0487	
⑤	25 年 8 月 21 日	k _b モデル	0.00921	0.993	0.0548	28.1°C
	～ 25 年 9 月 10 日	k _w モデル	0.00966	0.994	0.0445	
⑥	25 年 9 月 10 日	k _b モデル	0.00505	0.997	0.0234	25.3°C
	～ 25 年 10 月 2 日	k _w モデル	0.00830	0.994	0.1102	
平均		k _b モデル	—	0.992	0.0375	22.0°C
		k _w モデル	—	0.992	0.0495	

表 4.2.2 予測モデルの検証結果 (No. 2)

調査期間		k 値	相関 係数 R	絶対 誤差	平均 水温	
①	25 年 2 月 7 日	k _b モデル	0.00194	0.976	0.0383	4.5°C
	～ 25 年 2 月 28 日	k _w モデル	0.01619	0.933	0.2526	
②	25 年 3 月 1 日	k _b モデル	0.00241	0.989	0.0359	9.9°C
	～ 25 年 3 月 28 日	k _w モデル	0.01959	0.808	0.2459	
③	25 年 5 月 17 日	k _b モデル	0.00524	0.998	0.0311	19.8°C
	～ 25 年 6 月 6 日	k _w モデル	0.02775	0.792	0.2838	
④	25 年 6 月 6 日	k _b モデル	0.00550	0.994	0.0663	21.6°C
	～ 25 年 6 月 27 日	k _w モデル	0.02957	0.768	0.2453	
⑤	25 年 7 月 30 日	k _b モデル	0.00612	0.994	0.0670	27.1°C
	～ 25 年 8 月 13 日	k _w モデル	0.03588	0.763	0.2928	
⑥	25 年 8 月 21 日	k _b モデル	0.00622	0.977	0.0437	27.4°C
	～ 25 年 9 月 5 日	k _w モデル	0.03626	0.847	0.1905	
⑦	25 年 9 月 10 日	k _b モデル	0.00446	0.991	0.0224	24.4°C
	～ 25 年 10 月 2 日	k _w モデル	0.03626	0.847	0.1905	
平均		k _b モデル	—	0.988	0.0471	18.4°C
		k _w モデル	—	0.818	0.2518	

表 4.2.3 予測モデルの検証結果 (No. 3)

調査期間		k 値	相関 係数 R	絶対 誤差	平均 水温	
①	25 年 4 月 15 日	k _b モデル	0.00437	0.962	0.0544	14.4
	～ 25 年 5 月 16 日	k _w モデル	0.00473	0.962	0.0760	
②	25 年 5 月 16 日	k _b モデル	0.00450	0.975	0.0669	18.1
	～ 25 年 6 月 14 日	k _w モデル	0.00633	0.958	0.1340	
③	25 年 6 月 14 日	k _b モデル	0.00543	0.988	0.0187	20.8
	～ 25 年 7 月 3 日	k _w モデル	0.00784	0.979	0.0660	
④	25 年 7 月 16 日	k _b モデル	0.00656	0.995	0.0249	25.5
	～ 25 年 7 月 31 日	k _w モデル	0.01136	0.987	0.1010	
⑤	25 年 8 月 20 日	k _b モデル	0.00981	0.988	0.0669	27.2
	～ 25 年 9 月 3 日	k _w モデル	0.01299	0.976	0.1160	
⑥	25 年 9 月 9 日	k _b モデル	0.00528	0.986	0.0491	24.8
	～ 25 年 10 月 1 日	k _w モデル	0.01075	0.959	0.0750	
平均		k _b モデル	—	0.982	0.0468	21.8
		k _w モデル	—	0.970	0.0947	

4.2.2 使用停止している受水槽内の塩素消費量の推定

1) 推定方法

4.2.1 で汎用性を確認した k_b モデルから残留塩素減少速度係数を求め、使用中の受水槽内における残留塩素を推定した。

なお、推定条件としては、A 調査での推定と同様に、浄給水場の配水残留塩素を設定を考慮して表 4.2.4 のとおりとした

表 4.2.4 使用中の受水槽内の残留塩素の推定条件

時期	水温	TOC ^{※1}	受水槽流入 残留塩素 ^{※2}	塩素添加から の経過時間
冬期	15℃	0.69mg/ℓ	0.52mg/ℓ	24hr
春秋期・夏期	25℃	0.60mg/ℓ	0.62mg/ℓ	
最夏期	30℃	0.63mg/ℓ	0.69mg/ℓ	

※1 各時期の全浄水場の水質日報の平均値

※2 平成 24 年度の水質自動監視装置 62 台で測定した残留塩素の平均値

また、受水槽流出時に必要な残留塩素は A 調査での推定と同様に、高置水槽が無い場合は 0.1mg/ℓ とし、高置水槽がある場合は 4.1.2 の受水槽流出以降の塩素消費量 0.13mg/ℓ を合わせて 0.23 mg/ℓ とした。

・受水槽流出時に必要な残留塩素

高置水槽がない場合：0.1mg/ℓ

高置水槽がある場合：0.23mg/ℓ (=0.13mg/ℓ+0.1mg/ℓ)

2) 推定結果

推定結果を表 4.2.5 及び図 4.2.4 に示す。

表 4.2.5 推定結果

高置水槽 の有無	受水槽流出 残留塩素目標値	給水栓残塩が 0.1mg/ℓ に到達する日数		
		冬期	春秋期・夏期	最夏期
有	0.23mg/ℓ	6.8 日	6.6 日	5.9 日
無	0.1mg/ℓ	13.7 日	12.1 日	10.5 日

結果として、受水槽の使用停止期間が、高置水槽がある場合で6日間、高置水槽がない場合は10日間を超えると残留塩素の管理に留意する必要があることがわかった。

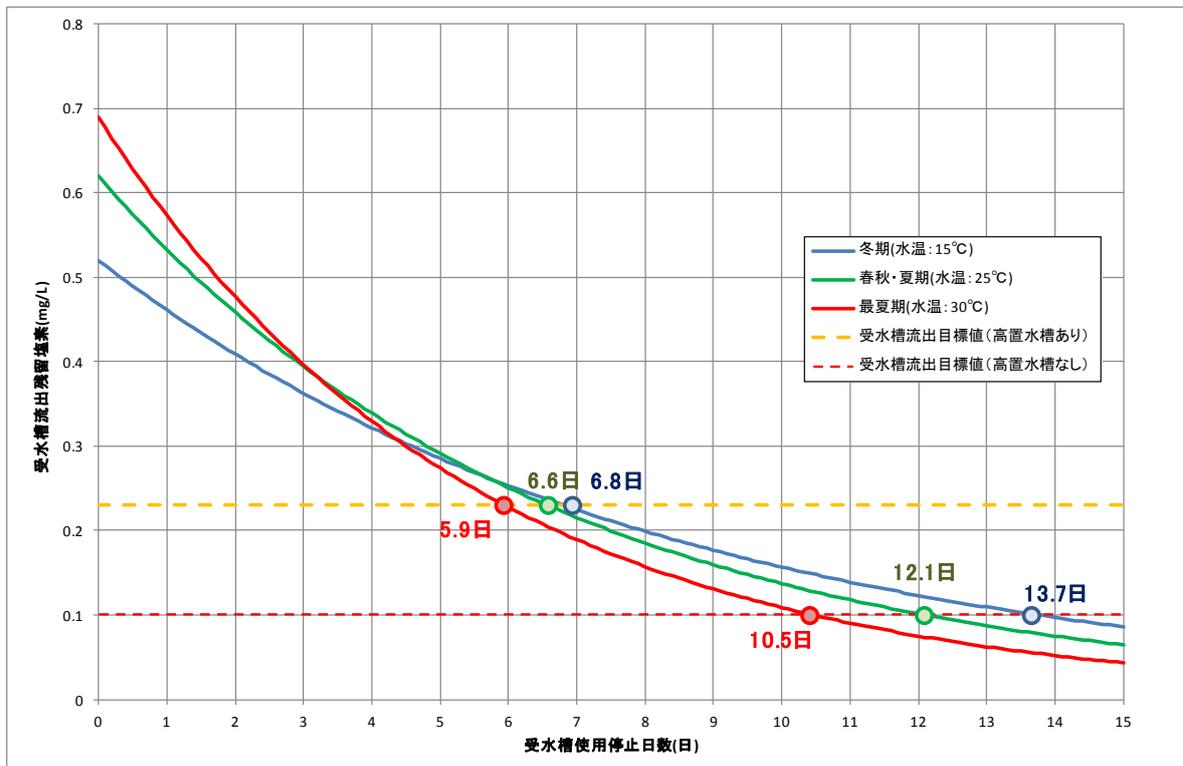


図 4.2.4 長期に使用停止している受水槽内の塩素消費量（推定結果）

5. 残留塩素の低減化の方向性

本章では、「4. 調査結果の分析」に基づき、「おいしい水づくり計画」の技術的な取り組みの一つである残留塩素の低減化の方向性について検討を行った。

5.1 受水槽流入時に必要となる残留塩素

残留塩素の低減化に伴い受水槽へ流入する残留塩素も低下することから、受水槽流入時に必要となる残留塩素を、一般的な残留塩素の減少式である(2)式を変換した(8)式により推定した。

$$C_{in} = \frac{C_{out}}{\exp(-kt)} \quad \dots (8)$$

k : 残留塩素減少速度係数 (hr⁻¹)

t : 受水槽内の平均滞留時間 (hr)

C_{out} : 受水槽流出時に必要となる残留塩素 (mg/ℓ)

C_{in} : 受水槽流入時に必要となる残留塩素 (mg/ℓ)

なお、残留塩素減少速度係数 k は、A 調査の結果から作成した予測モデルの(4)式を用い、変数である受水槽の定期清掃については、巡回サービス等の効果により適切に実施されていることを条件にした。

また、受水槽流出時に必要な残留塩素(C_{out})は、給水栓で必要とする残留塩素 0.1mg/ℓ の他に 4.1.2 で算出した受水槽流出以降の残留塩素消費量 0.13mg/ℓ を合わせて 0.23mg/ℓ とした。

推定条件を、表 5.1.1 及び図 5.1.1 に示す。

表 5.1.1 推定条件

時期	水温 (T)	定期清掃の有無 (D)	受水槽流出水の残留塩素目標値 (C _{out})
冬期	15℃	有	0.23mg/ℓ
春秋期・夏期	25℃		
最夏期	30℃		

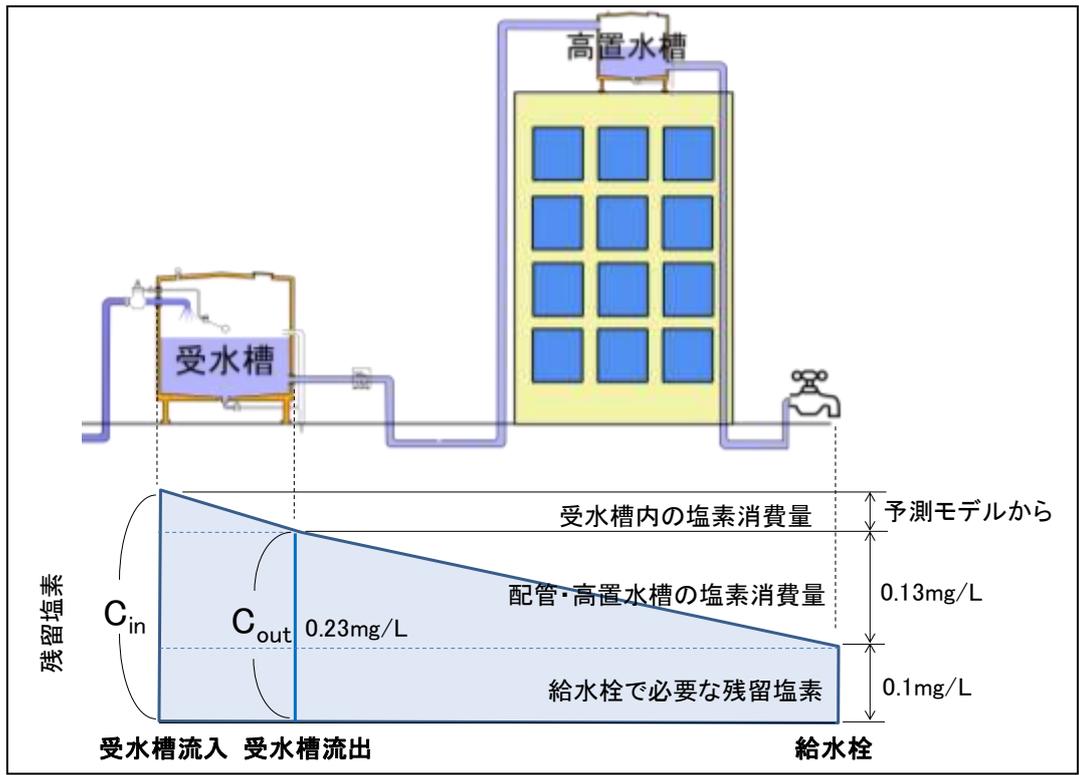


図 5.1.1 推定条件

推定結果を図 5.1.2 及び表 5.1.2 に示す。

図 5.1.1 の貯水槽水道の設置数は、有効容量10m³以下のものを集計している。

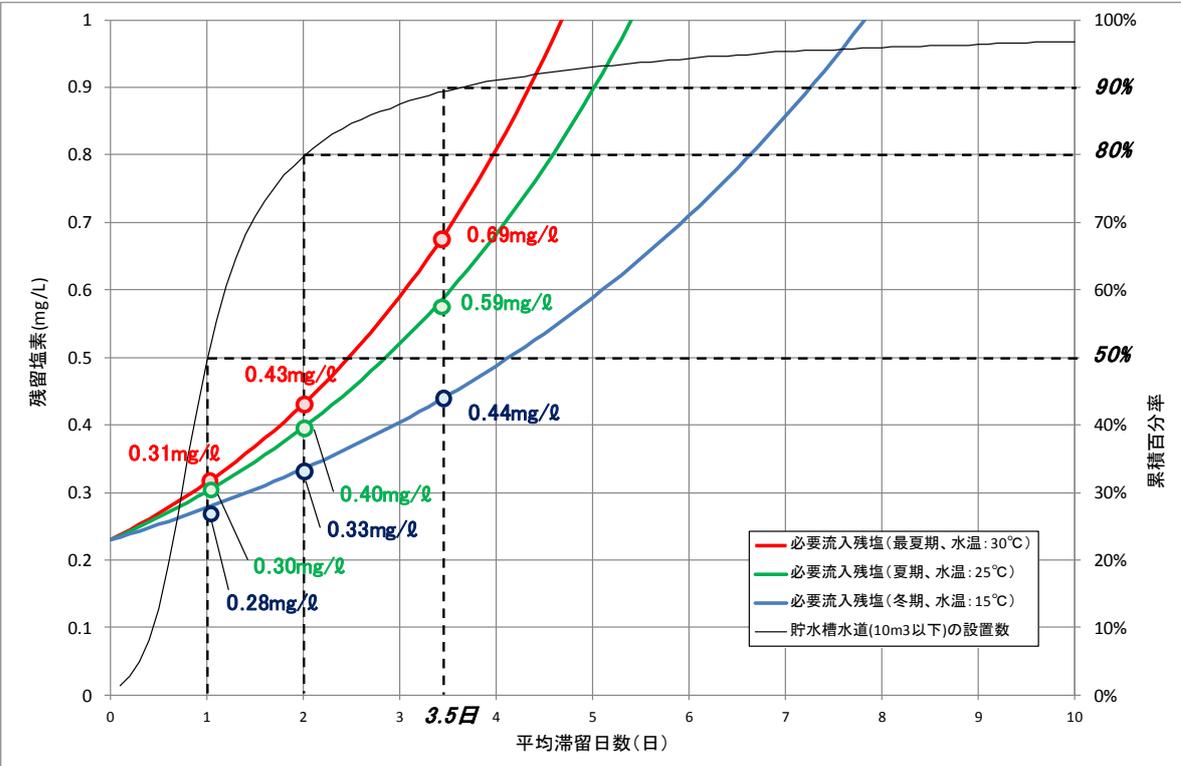


図 5.1.2 受水槽流入時に必要となる残留塩素

表 5.1.2 受水槽流入時に必要となる残留塩素 (単位 : mg/ℓ)

滞留 日数	該当 受水槽	受水槽の流入水に必要な残留塩素		
		冬期	春秋期・夏期	最夏期
1	50%	0.28	0.30	0.31
2	80%	0.33	0.40	0.43
3.5	90%	0.44	0.60	0.69

受水槽流入時に必要となる残留塩素は、標準的な滞留日数の設定により大きく異なってくる。

当局の基準では、受水槽の容量は一日最大水量の 4/10 から 6/10 程度で設計することとなっており、滞留日数に換算する 0.5 日程度となる。仮に標準的な滞留日数を基準の 2 倍の 1 日とした場合、受水槽流入時に必要となる残留塩素は最夏期でも 0.3mg/ℓ 程度となるが、5 割の受水槽で給水栓の残留塩素が 0.1mg/ℓ を下回る恐れがある。

また、9 割の受水槽で給水栓の残留塩素を 0.1mg/ℓ 確保しようとする、受水槽流入時に必要となる残留塩素は最夏期で 0.69mg/ℓ 程度となり、これ以上の残留塩素の低減は困難となる。

5.2 今後の方向性

「おいしい水づくり計画」では平成27年度までに残留塩素を0.4mg/l以下とすることを水質目標としているが、平成25年度末の年間平均値は0.56mg/lに留まっており、更なる残留塩素の低減化が必要である。

しかし、5.1の結果から、残留塩素の低減化にあたっては滞留日数が長い受水槽の設置者に対する指導・助言を検討しなければならない。現在実施している貯水槽水道を対象とした巡回サービスは、実施率が50%程度に留まっており、今後、受水槽の適正管理を促進する実効性のある施策を検討する必要がある。

受水槽内の残留塩素管理に係る指導・助言内容（案）

①残留塩素の消費抑制

ア) 滞留時間の短縮

受水槽の有効容量を小さくして、受水槽内での滞留時間を短くする。

（具体例：ボールタップの位置、電極棒の長さ調整等）

イ) 受水槽の清掃

定期的（1年に1回以上）に受水槽内を清掃する。

②塩素注入設備の整備

塩素の追加設備を導入する。（具体例：滅菌装置、塩素再生成装置等）

③直結給水方式への転換

直結給水方式へ転換し、受水槽の使用を止める。（3階直結、増圧直結等）

④設置場所の指導

日光や気温の影響を受けにくい設置場所（屋内、建物北側等）を指導する。

6. まとめ

本章では、今回の実態調査の成果について整理した。

6.1 使用中の受水槽を対象とした調査（A 調査）

A 調査では、お客様が通常使用されている受水槽を調査対象として受水槽の流入出水の残留塩素及び流入量を連続測定するというこれまでにない試みを行った。

その結果、受水槽の流出入の残留塩素の挙動を把握すると共に、水温及び受水槽の定期清掃を説明変数に用いた受水槽流出時の残留塩素を推定する予測モデルを作成することが出来た。

また、この予測モデルを用いて受水槽の流入時に必要となる残留塩素の推定を行い、その結果、「おいしい水づくり計画」の水質目標を達成するためには、受水槽内の滞留日数の短縮や定期清掃の適切な実施が重要であることがわかった。今後の残留塩素の低減化にあたっては、この結果に基づき受水槽設置者に対する指導・助言を検討する必要がある。

6.2 長期に使用停止している受水槽を想定した調査（B 調査）

B 調査では、使用を停止している受水槽内の残留塩素がどのように減少していくのか確認するため連続測定を行い、その結果として既往の研究^(文献 10)において示されている TOC、水温等を変数とする予測モデルが適用できることを明らかとなった。

この予測モデルを用いることで、例えば小学校の受水槽で夏季休暇期間中に残留塩素がどれくらい減少するのか推定することが可能となる。

また、高度浄水処理の導入等により TOC が低減できれば、受水槽内の残留塩素の消費が抑制され、更に残留塩素を低減化できる可能性があることが示された。

千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査検討委員会設置要綱

(趣旨)

第1条 この要綱は、千葉県水道局のおいしい水づくり計画で予定されている平成27年度最終目標の残留塩素濃度0.4mg/lに向けて、解明されていない受水槽内塩素消費の動向調査（以下、「調査」という。）における調査方法と調査結果による低減化の判断等について、関連分野の専門知識を有する学識経験者等からの意見を聴取し、適切な低減化を推進するための受水槽内塩素消費量実態調査検討委員会（以下、「委員会」という。）の組織及び運営について必要な事項を定める。

(委員会の業務)

第2条 委員会は、本事業に関する次の各号に掲げる事項を所掌する。

- (1) 調査の実施計画書（案）の評価
- (2) 調査の実施結果の評価
- (3) 受水槽内塩素消費量0.3mg/lの評価
- (4) 残留塩素0.6mg/lから0.4mg/lへの実施に向けての総合評価
- (5) その他、受水槽内塩素消費量実態調査に関して必要な事項

(組織)

第3条 委員会は、学識経験者2名、水道技術研究機関1名、衛生行政機関1名をもって構成し、委員は次の各号に掲げる者をもって充てる。

- (1) 学識経験者
水道技術等の有識者から千葉県水道局長（以下、「局長」という。）が委嘱する者
- (2) 水道技術研究機関
水道技術研究機関から局長が委嘱する者
- (3) 衛生行政機関
衛生行政機関から局長が委嘱する者

(任期)

第4条 委員の任期は、委嘱の日から平成25年3月31日までとする。
2 委員に欠員が生じたときは、局長は新たな委員を委嘱することができるものとする。

(委員長)

第5条 委員会に委員長を置く。

- 2 委員長は委員の互選により選出する。
- 3 委員長は、委員会の会務を総括し委員会を代表する。
- 4 委員長に事故があるとき、又は欠けたときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

(会議)

第6条 委員会の会議（以下、「会議」という。）は、必要に応じて委員長が招集する。

- 2 会議は公開とする。
- 3 会議は、委員の2分の1以上の出席がなければ開催することができない。
- 4 会議の議事は、出席委員の過半数をもって決し、可否同数のときは、委員長の決するところによる。
- 5 委員会は、必要があると認めるときには、千葉県水道局が別に委託したアドバイザー、その他議事に関係ある者に対し、参考資料・意見書等の提出、会議への出席等を求め、意見等を聴くことができる。
- 6 前項の規定により会議に出席した者は、会議において知り得た情報を公表してはならない。

(委員の責務)

第7条 委員は、委員会において、知り得た秘密を正当な理由なく漏らしてはならない。その職を退いた後も、また同様とする。

(事務局)

第8条 委員会の庶務は、千葉県水道局技術部計画課において処理する。

(その他)

第9条 この要綱に定めるもののほか、委員会の運営に必要な事項は、委員長が別に定める。

附 則 この要綱は、平成23年7月7日から施行する。

千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査研究会 設置要綱

(趣旨)

第1条 「おいしい水づくり計画」の水質目標である残留塩素濃度 0.4mg/L の達成に向けて実施する受水槽内塩素消費実態調査（以下「調査」という。）について、関連分野の専門知識を有する学識経験者等から意見を聴取するため、千葉県水道局受水槽内塩素消費量実態調査研究会（以下「研究会」という。）を設置する。

なお、本研究会は、地方公営企業法第14条の規定に基づき、条例により設置された附属機関ではない。

(構成員)

第2条 研究会は、学識経験者2名、水道技術研究機関1名、衛生行政機関1名をもって構成し、構成員は次の各号に掲げる者をもって充てる。

(1) 学識経験者

水道技術等の有識者から千葉県水道局長（以下「局長」という。）が選任する者

(2) 水道技術研究機関

水道技術研究機関から局長が選任する者

(3) 衛生行政機関

衛生行政機関から局長が選任する者

2 構成員の任期は、選任した日から平成26年3月31日までとする。

3 構成員に欠員が生じたときは、局長は新たな構成員を選任することができるものとする。

(役割)

第3条 研究会の構成員は、次の事項について意見や助言する。

(1) 調査手法に関すること

(2) 調査の実施結果に関すること

(3) 受水槽内塩素消費量の設定に関すること

(4) 残留塩素濃度の低減化に関すること

(5) その他、受水槽内塩素消費量実態調査に関して必要な事項

(研究会)

第4条 研究会は、必要に応じて局長が招集する。

(座長)

第5条 研究会に座長を置く。

2 座長は、構成員の互選により選出する。

3 座長は、研究会の進行を行う。

4 座長は、必要があると認めるときには、千葉県水道局が別に委託したアドバイザー、その他議事に関係ある者に対し、参考資料・意見書等の提出、会議への出席等を求め、意見等を聴くことができる。

5 前項の規定により会議に出席した者は、会議において知り得た情報を公表してはならない。

(構成員の責務)

第6条 構成員は、研究会において知り得た秘密を正当な理由なく漏らしてはならない。任期の終了後も、また同様とする。

(庶務)

第7条 研究会の庶務は、千葉県水道局技術部計画課において処理する。

(その他)

第8条 この要綱に定めるもののほか、研究会の運営に必要な事項は、局長が別に定める。

附 則

(施行期日)

1 この要綱は、平成25年6月21日から施行する。

(失効)

2 この要綱は、平成26年3月31日限り、その効力を失う。