

令和3年度 日本水道協会関西地方支部 水道実務講習会（技術部門）

塩素管理の高度化について
～塩素消毒100年の歩みと近年の事例～

1

本日の発表内容

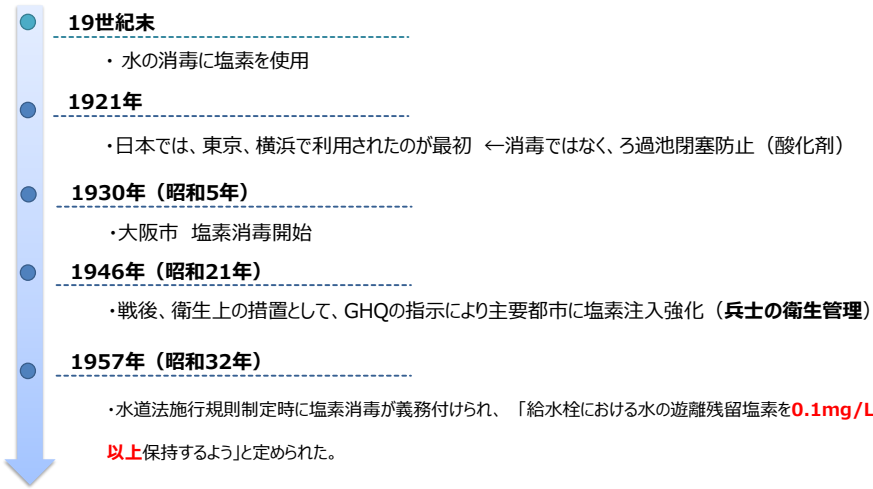
1. 塩素消毒について
2. 残留塩素管理の取り組み
 - ハード面の取り組み
 - ソフト面の取り組み
3. まとめ

2

1. 塩素消毒について

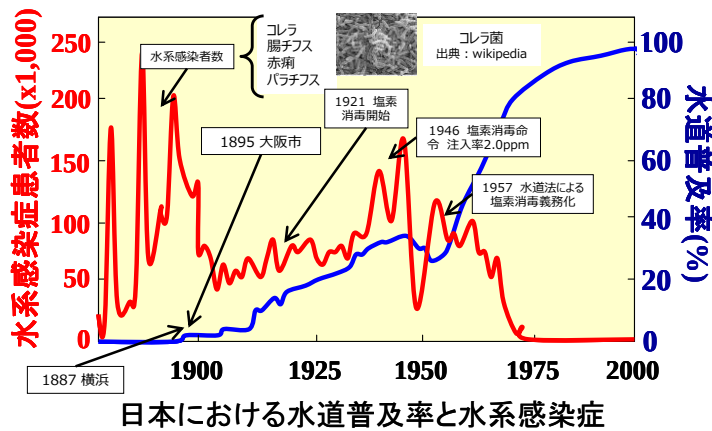
3

水道における塩素利用の歴史



4

水系感染症と水道普及率の推移



5

消毒とは

消毒

塩素消毒、アルコール消毒

人に対して、有毒な微生物（病原菌など）を不活化し、感染力をなくすこと

殺菌

紫外線殺菌、オゾン殺菌

物理的、化学的手法により微生物を殺すことであり、定量的な意味合いはない。

滅菌

乾熱滅菌・高圧滅菌

対象とする物体に付着あるいは混入している全ての微生物を芽胞を含めて完全に排除すること

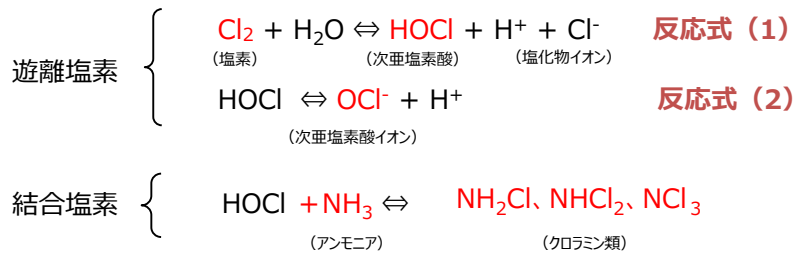
索引：水道用語辞典

消毒は水道水の微生物制御のプロセス

塩素は残留性・費用・入手のしやすさ・注入制御、測定などの点で有利

6

水中での塩素の形態



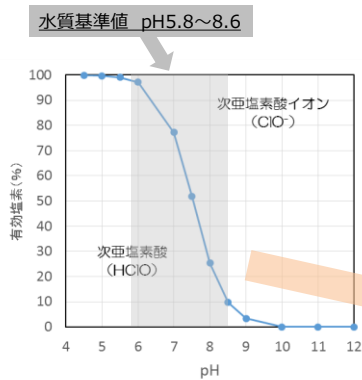
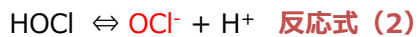
消毒効果は？

次亜塩素酸 > 次亜塩素酸イオン > クロアミン類

水に溶解した塩素（塩素ガス Cl_2 ）が、消毒効果をもつ有効塩素として消失せずに残留している塩素のことを残留塩素

7

pHによる塩素の形態の存在比

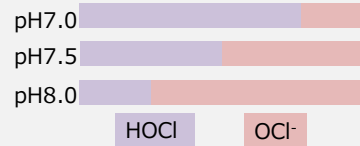


pHが低くなるとHOClの割合が高くなり、pHが高くなると OCl^- が高くなり、消毒効果が低くなる。

消毒効果

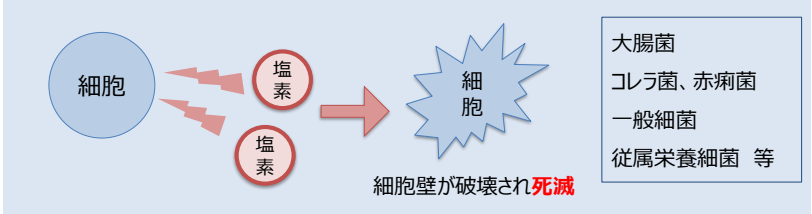
次亜塩素酸 > 次亜塩素酸イオン

強 ← → 弱

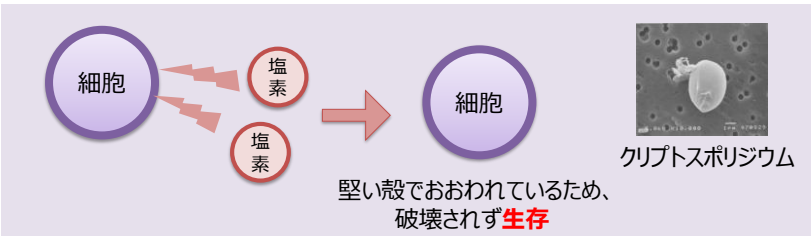


8

耐塩素性が**弱い**微生物

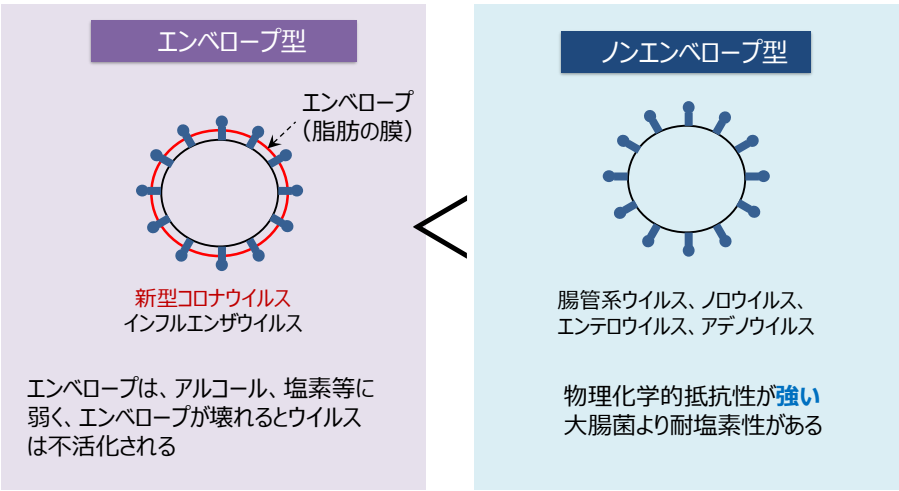


耐塩素性が**強い**微生物



9

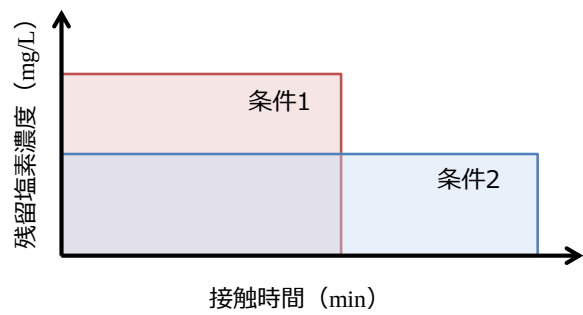
塩素によるウイルスへの消毒効果



10

消毒の効果

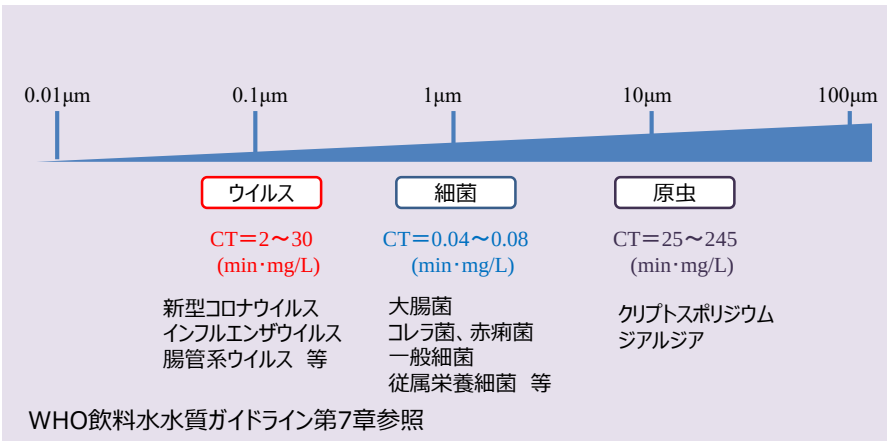
消毒の効果 = C（残留塩素濃度） × t（接触時間）



条件1、2のCt値が同じであれば同じ消毒の効果を得ることができる。

ただし、消毒の効果に影響をあたえる因子として、pH、懸濁物質、塩素消費物質がある。

各微生物における塩素の消毒効果



塩素濃度が0.5mg/Lの時、必要な接触時間はウイルスは4~60分、細菌は1分以下、
原虫は50~490分

残留塩素濃度の**下限値**の設定

水道法第22条（衛生上の措置）

（略）消毒その他衛生上必要な措置を講じなければならない

水道法施行規則第17条（衛生上必要な措置）

給水栓における水が、遊離残留塩素を0.1mg/L（結合残留塩素の場合は、0.4mg/L）以上保持するように塩素消毒をすること。ただし、供給する水が病原生物に著しく汚染される恐れのある場合又は病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物若しくは物質を多量に含む恐れがある場合の給水栓における水の遊離残留塩素は0.2mg/L（結合残留塩素の場合は1.5mg/L）以上とする。

13

残留塩素濃度の**上限値**の設定

消毒副生成物の生成

塩素と有機物の反応によるトリハロメタン等の消毒副生成物の生成

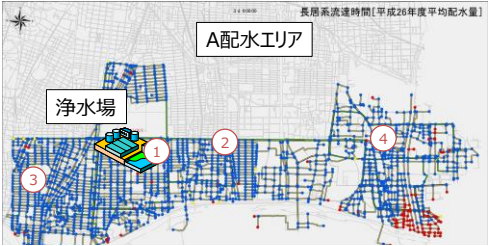
塩素とアンモニアの反応によるカルキ臭の生成

- ・ **水質管理目標設定項目** ： 残留塩素 **1 mg/L以下**
- ・ 厚生省（現厚生労働省）は昭和60年においしい水の水質要件として、残留塩素濃度**0.4mg/L以下**を示している。

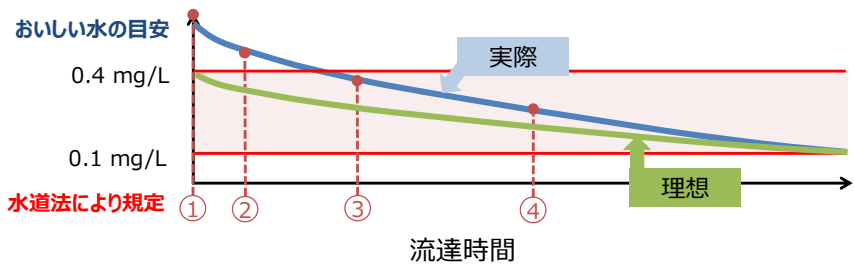
塩素濃度の上限値は、おいさと消毒副生成物の観点から各事業体において、目標値が独自に設定されている場合がある。

14

残留塩素管理のイメージ



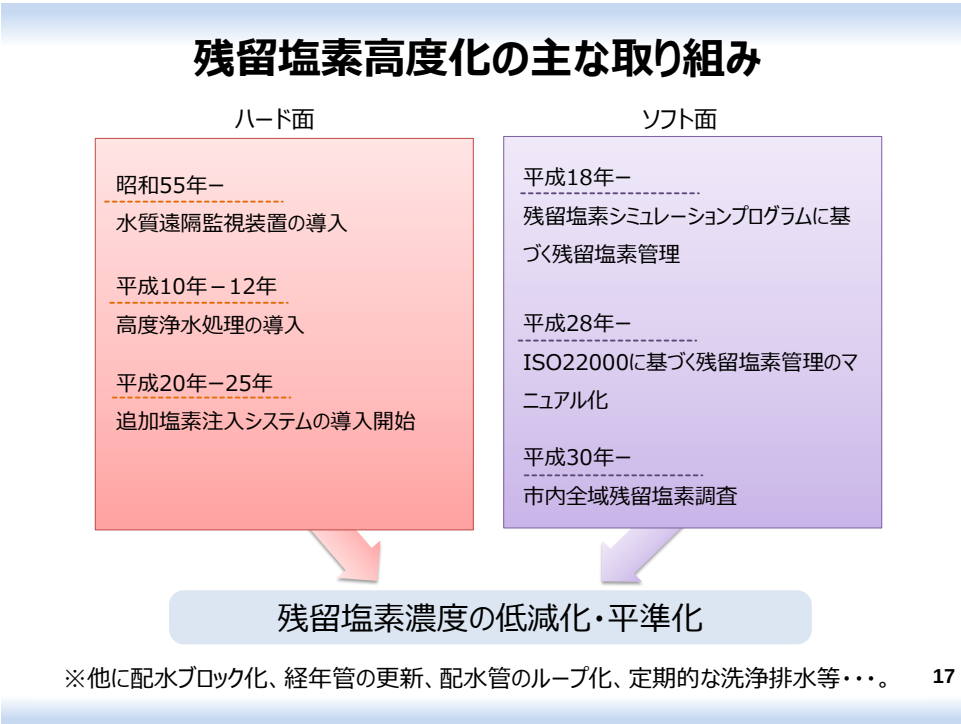
残留塩素管理の理想は？
A配水エリアにおける給水栓水における残留塩素濃度を0.1mg/L～0.4mg/Lになるよう管理



15

2. 残留塩素管理の高度化の取り組み

16

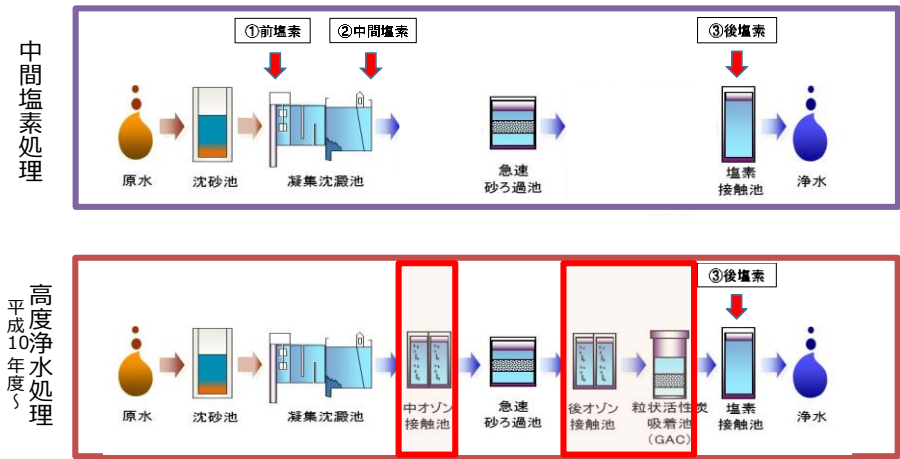


ハード面

平成10年－12年
高度浄水処理の導入

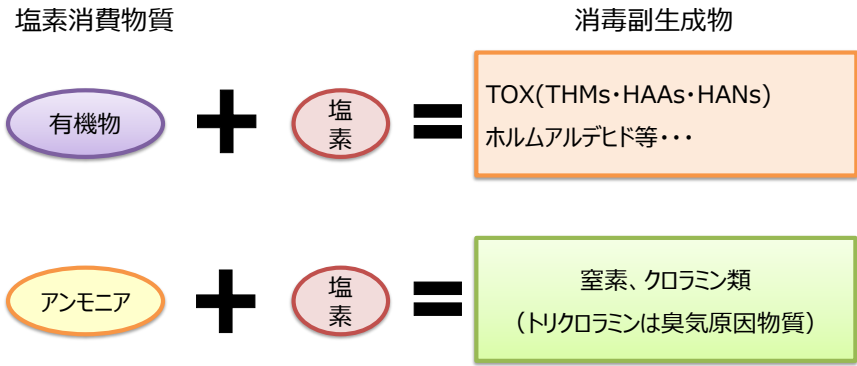
18

中間塩素処理と高度浄水処理のフロー図



19

塩素消費物質とその反応生成物



20

高度処理と中間塩素処理の水質の比較

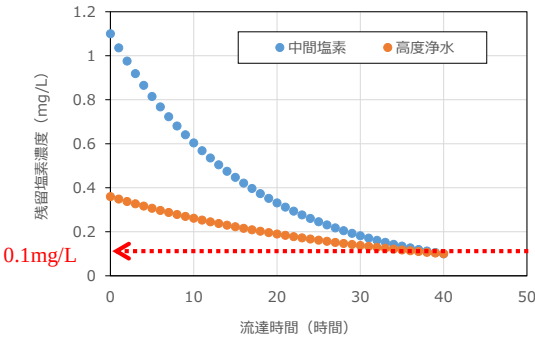
		中間塩素処理水	高度浄水処理水 (低減率%)
		平成9年度	平成12年度
市内給水栓	全有機炭素 (mg/L)	1.7	1.0 (41)
	総トリハロメタン (mg/L)	0.025	0.011 (56)
浄水場	塩素注入率 (g/m ³)	3.69	1.57 (57)
	TON (臭気強度)	4	1

塩素消費物質の処理性は？
高度浄水処理＞ 中間塩素処理

21

残留塩素濃度の減少パターンの比較

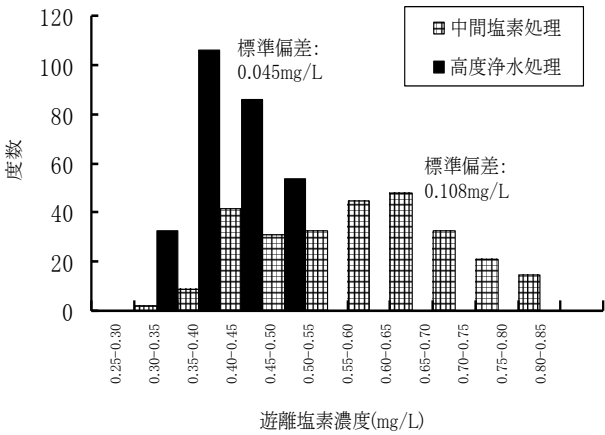
条件：水温30度、40時間後の塩素濃度を0.1mg/L確保するのに必要な浄水場出口における残留塩素濃度は？



	高度浄水処理水	中間塩素処理
単位時間当たりの塩素減少量	小	大
浄水場出口濃度	小	大

22

市内給水栓水における残留塩素濃度の濃度分布



	高度浄水処理水	中間塩素処理
濃度範囲	0.30～0.55mg/L	0.30～0.85mg/L

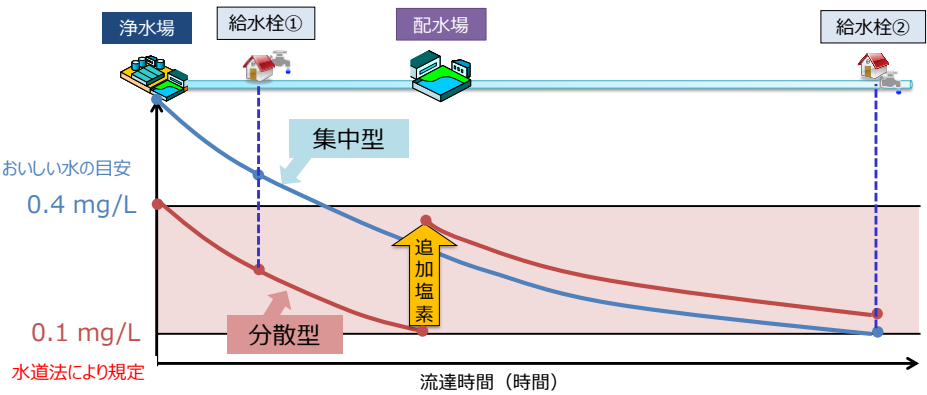
23

ハード面

平成20年－25年
追加塩素注入設備の導入

24

追加塩素注入方式による塩素濃度の挙動

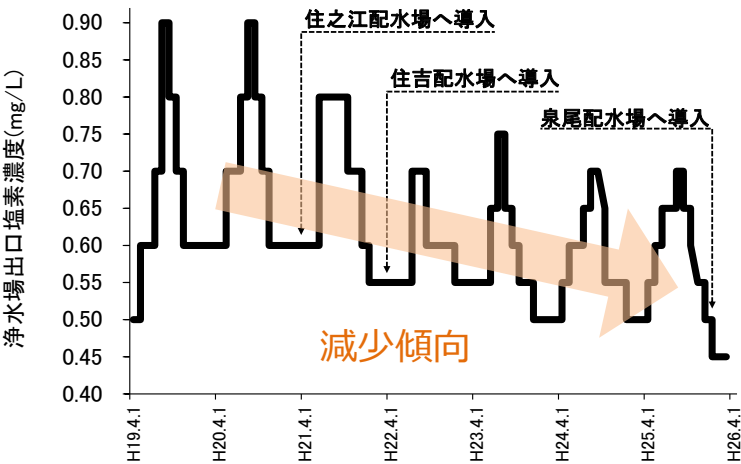


追加塩素注入方式の効果

0.4mg/L以下の給水栓数が増加・塩素注入量の削減・消毒副生成物の抑制

25

浄水場出口における残留塩素制御目標値の推移



26

ハード面

昭和55年ー

市内給水栓末端における水質遠隔監視装置の整備

27

水質遠隔監視装置の整備状況



水質TM 外観

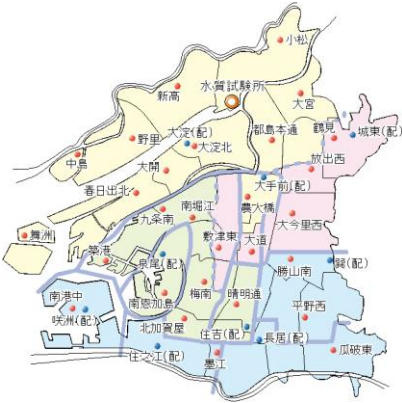


水質TM 内部

水質TMの測定項目

測定項目	水質管理上の位置づけ
濁度※	毎日検査 水質異常の検知
色度※	
遊離残留塩素	
pH※	長時間滞留による影響把握
電気伝導率	配水系統の判別 水質異常の検知
水温	残留塩素消費量の推定

※ 水質基準項目



図：R3.4現在の設置箇所
(給水栓30か所、配水場出口9か所)

※ 保守点検は1回／月

28

水質遠隔監視装置の役割

水質検査

水道法施行規則第15条第1項第一号イに基づく、市内給水栓水の毎日検査（濁り、色、消毒の効果）

水質監視

24時間の常時監視、水質異常の検知、災害時直後、復旧時における水質の安全性確認

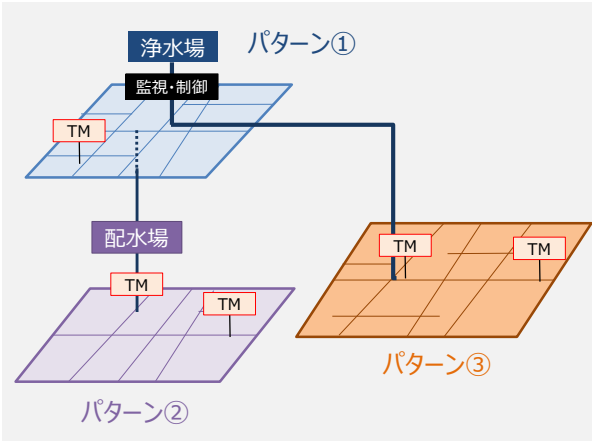
水質制御

給水栓水の残留塩素やpH等の濃度の調整

給水栓末端における水質管理

29

水質遠隔監視装置設置の考え方

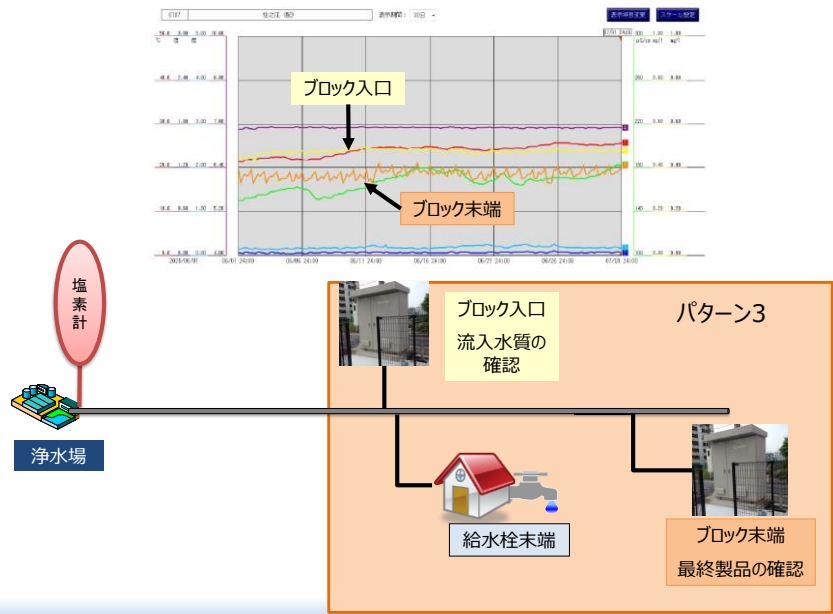


パターン名	配水ブロックの考え方
パターン①	浄水場があり、浄水場から直接給水される配水ブロック
パターン②	浄水場から配水場を経由して給水される配水ブロック
パターン③	浄水場から流達時間が長い場所に位置する配水ブロック

水質制御の徹底、水質異常の検知等の水質管理のために
配水ブロック**入口**と**末端**へ設置

30

残留塩素濃度管理への活用方法



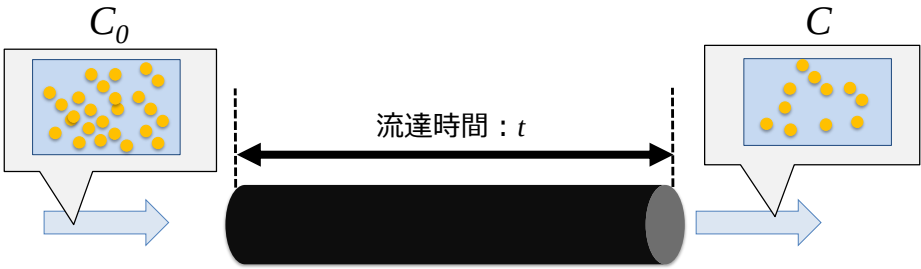
31

ソフト面

平成18年ー
残留塩素シミュレーションプログラムを用いた
残留塩素管理の紹介

32

残留塩素濃度の減少速度式



塩素濃度は1次速度式に従うとき、速度式は時間と濃度の微分方程式で示される。

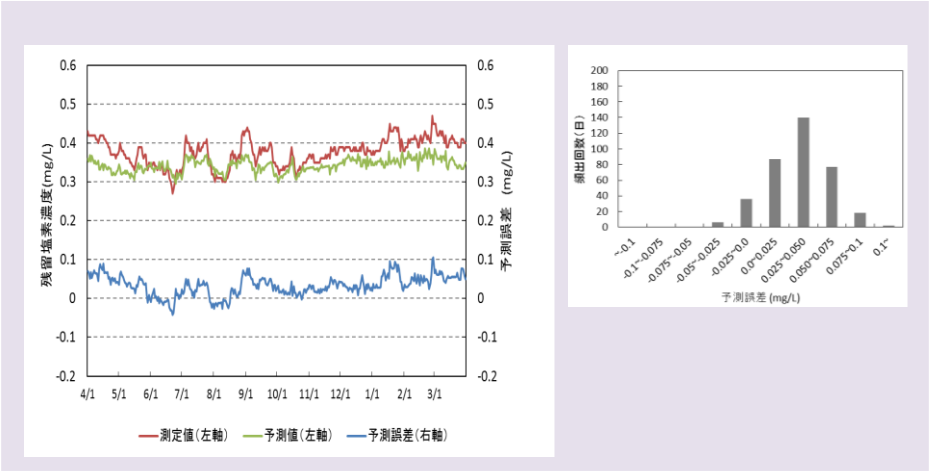
反応速度

$$V = -\frac{dC}{dt} = k_1 C \quad \xrightarrow{\text{積分すると...}} \quad C = C_0 \exp(-kt)$$

C_0 : 塩素濃度初期値 (mg/L) C : t 時間後の塩素濃度 (mg/L) 、 t : 流達時間 (時間)

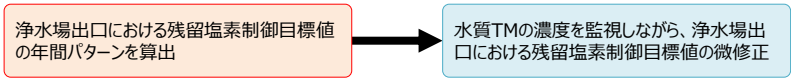
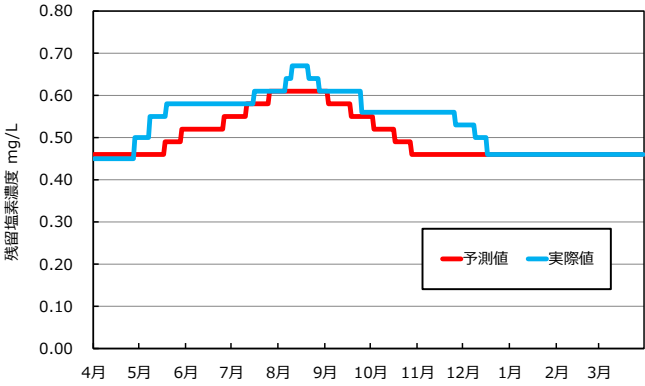
・ k : 減少速度係数 各水道水の固有の数値

残留塩素シミュレーションの精度の評価結果



測定値と予測値との予測誤差の年間平均値は±0.05mg/L以内を目標

残留塩素シミュレーションプログラム式の活用方法



メリット：過不足ない塩素注入・計画的な次亜塩素酸ナトリウムの納入

35

ソフト面

平成30年－
市内全域における残留塩素調査

36

市内全域の残留塩素調査

現状：市内給水栓末端における残留塩素の情報

水質遠隔監視装置30か所（毎日検査）、市内給水栓末端21か所の水質検査（定期検査）などの情報

調査地点数の不足

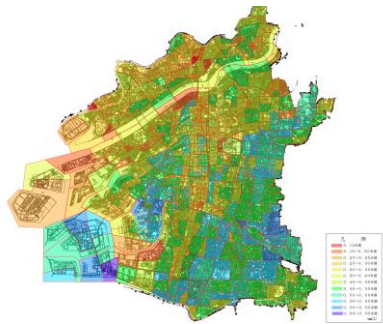
市内全域調査の目的

水道水の安全性の確保と快適性の向上のために残留塩素濃度が著しく低い地点はないか、高い地域はないかまた、 残留塩素シミュレーションプログラムによる予測値と比較し、残留塩素管理手法の妥当性を検証

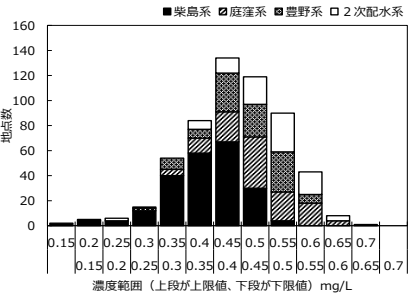
市内全域の残留塩素調査結果

全域調査の実施条件

調査地点：市内全域の561か所の消火栓
実施日：平成30年7月～9月
水温：23℃～31℃



図：市内全域における残留塩素濃度結果



図：各残留塩素濃度における頻度分布

(mg/L)			
平均値	最低値	最高値	中央値
0.44	0.13	0.67	0.44

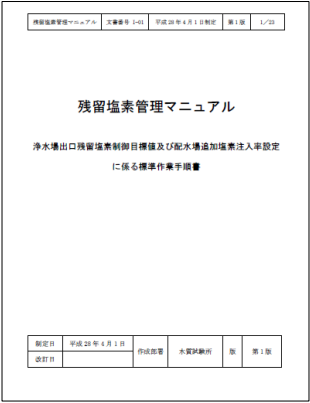
ソフト面

平成28年ー

残留塩素管理手法のマニュアル化

39

残留塩素管理マニュアルについて

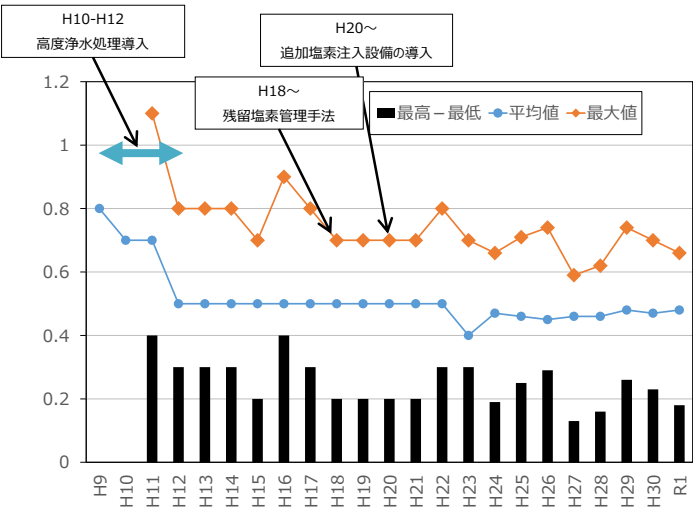


マニュアルの内容

- 浄水場、配水場における塩素注入率の設定方法
- 浄水場、二次配水場における塩素注入率の連絡方法
- 残留塩素シミュレーションの評価方法
- 残留塩素計の精度の評価方法
- 市内給水栓水における残留塩素濃度の評価手法

40

市内給水栓水における塩素濃度の推移



41

ソフト面

次亜塩素酸ナトリウムの管理方法

42

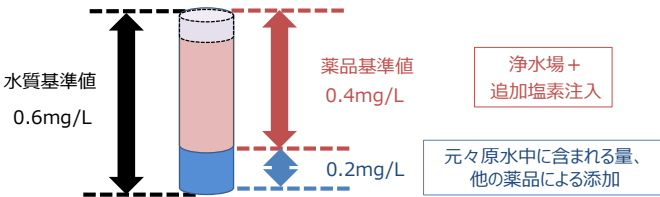
塩素酸 (ClO₃⁻)の生成について

水道用薬品 次亜塩素酸ナトリウム (NaClO)

次亜塩素酸ナトリウムの次亜塩素酸イオンが分解し、塩素酸が生成される。



水道用薬品の品質基準と水質基準の関係



43

次亜塩素酸ナトリウムの管理方法

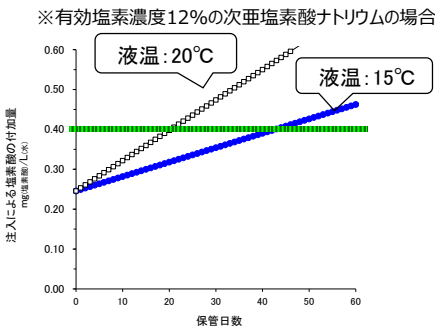


図 液温による塩素酸の生成について

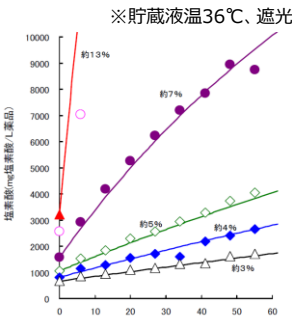


図 次亜塩素酸ナトリウムの品質変化

塩素酸の生成の特徴

- 次亜塩の保管期間中に増加
- 次亜塩の液温が高いほど、分解が早い

次亜塩素の有効塩素が低いほど分解速度は緩やかである

塩素酸の生成抑制対策

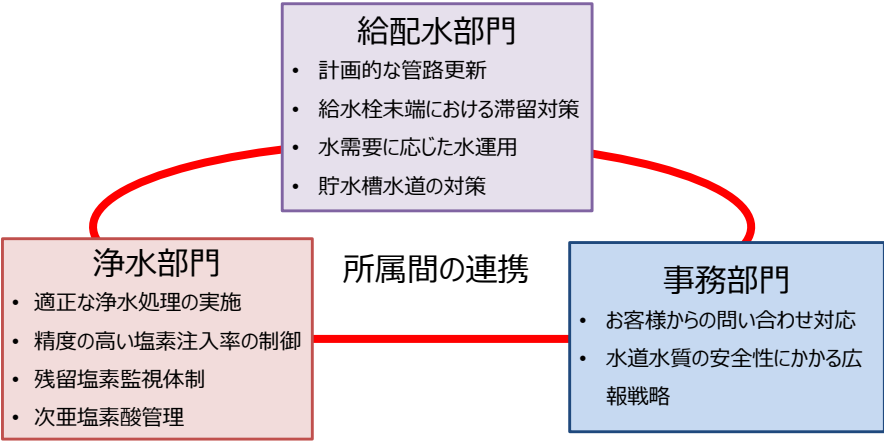
冷却貯蔵、保管日数の管理・貯蔵タンク内の異物の除去、有効塩素濃度を下げる

44

3.まとめ

45

水道事業体にとっての残留塩素管理とは



安全性の高い水道水 → お客様の信頼感UP →お客様満足度UP

46



以上です。
ありがとうございました。