

公衆浴場のレジオネラ対策を目的とした モノクロラミン消毒の解説

泉山信司

国立感染症研究所 寄生動物部 主任研究官

厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)

「公衆浴場の衛生管理の推進のための研究」 研究代表者

レジオネラ症とは

レジオネラ・ニューモフィラ

*Legionella pneumophila*を代表とするレジオネラ属菌による
呼吸器系の感染症

環境から感染し、ヒトヒト感染しない
(ワクチンがない)
(抗生物質を間違えると効かない)

重症型 **レジオネラ肺炎**

軽症型 **ポンティアック熱**
インフルエンザに似た熱性疾患

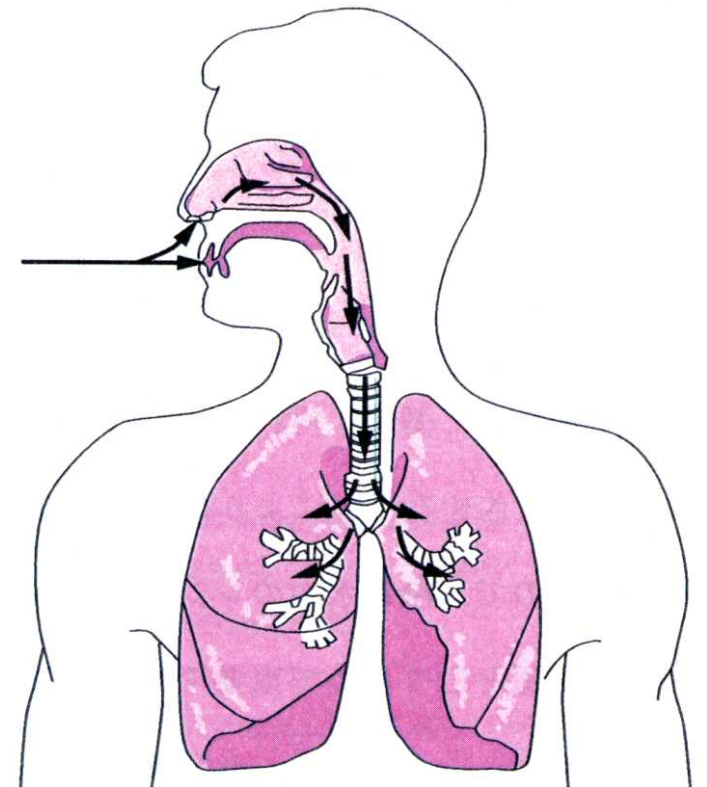
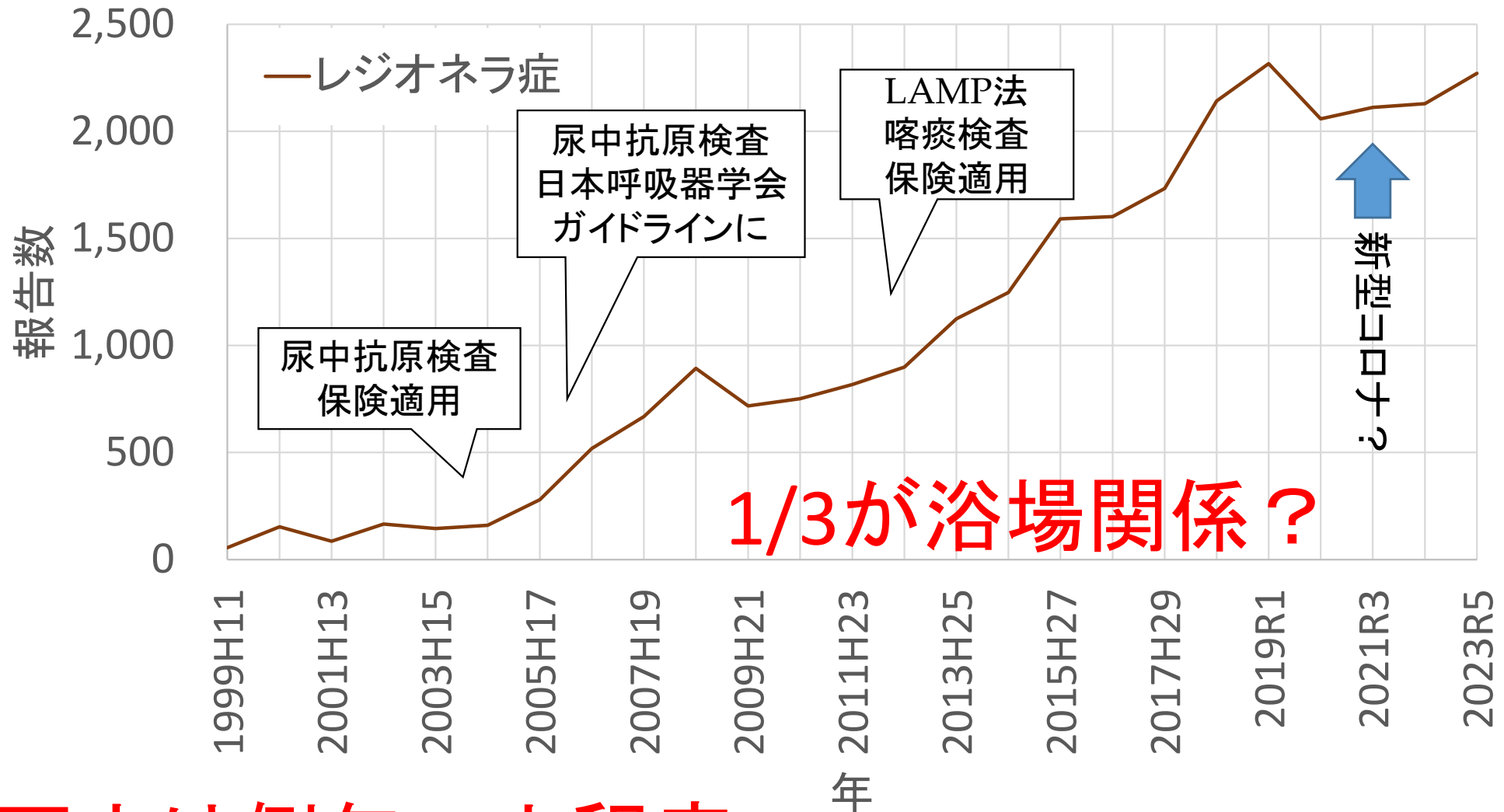


イラスト:新版 レジオネラ症防止指針より

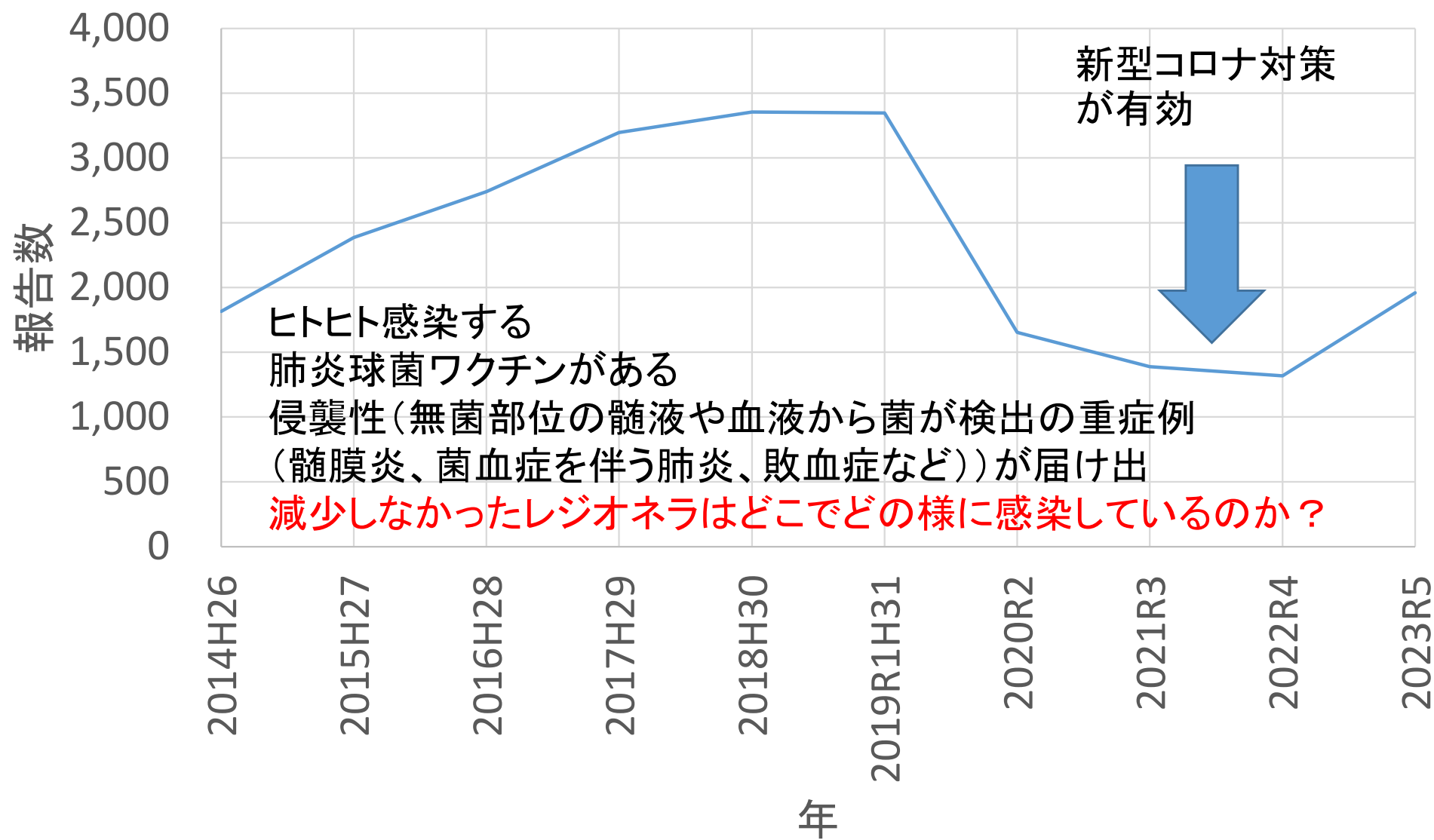
レジオネラ症の届出(4類全数)

マスクで感染が防げない場面、風呂や家庭環境？
新型コロナウイルスの流行の影響で、公衆浴場の衛生悪化？



死亡は例年50人程度

侵襲性肺炎球菌感染症の届出(5類全数)



レジオネラ属菌集団感染事例、古い分

	年月	都道府県	施設	感染源	患者数	確定症例数	死亡者数
1	1980.8-9	福岡	病院		7	7	1
2	1994.8	東京	研修所	冷却塔	45	1	0
3	1996.1-2	東京	病院新生児病棟	給湯器、加湿器	13	4	1
4	2000.3	静岡	温泉施設	循環風呂		23	2
5	2000.6	茨城	温泉施設	循環風呂	45	27	3
6	2002.4-7	福島	乳児院	不明	21	8	0
7	2002.7	宮崎	温泉施設	循環風呂	295	46	7
8	2002.8	鹿児島	温泉施設	循環風呂		9	1

ポンチアック熱

→節約のための循環式浴槽が、健康危害を発生させていた

➢緊急避難的に、塩素消毒でプール並みの管理が徹底された

入浴施設のレジオネラ属菌集団感染、最近

- 2015H27 岩手県盛岡市 公衆浴場
13名感染 内1名死亡
- 2017H29 広島県三原市 公衆浴場
58名感染 内1名死亡
- 2022R4 兵庫県神戸市 ホテル入浴施設
2名感染 内1名死亡

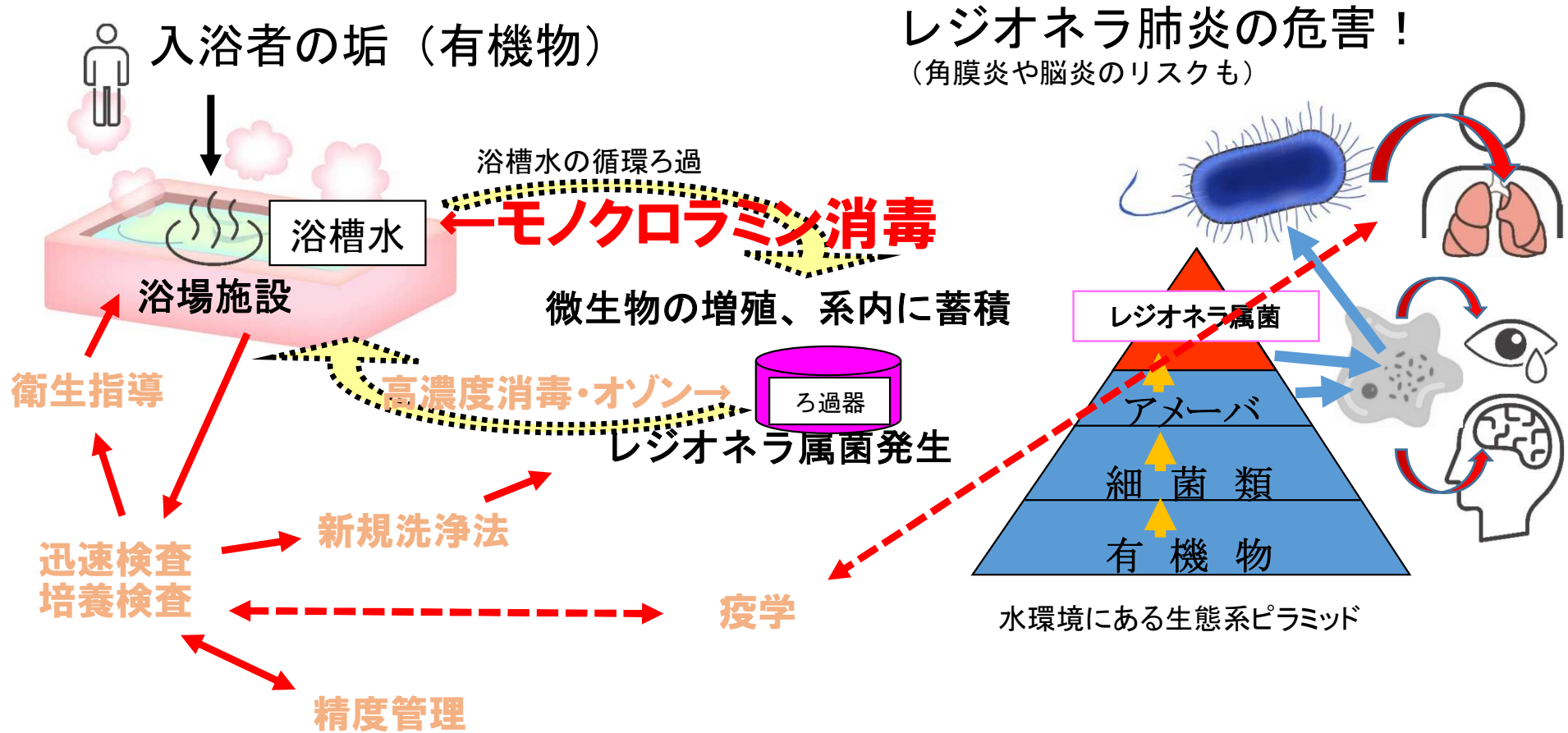
冷却塔のレジオネラ集団感染

- 病院の利用歴がなく、半径3km以内に自宅や勤務先のある男女11人が感染
- 病院利用者8人(内死亡2)
- 国内で大規模は初

生活衛生、人工の水周り等、の管理は大事

(宮城県 疾病・感染症対策課感染症対策班、レジオネラ症の集団発生について(第三報)、令和5年9月11日 記者発表資料より、https://www.pref.miyagi.jp/documents/48529/legionnaire_03_20230911.pdf 令和6年1月25日確認)

浴場施設がレジオネラ培養器相当、 を対策中



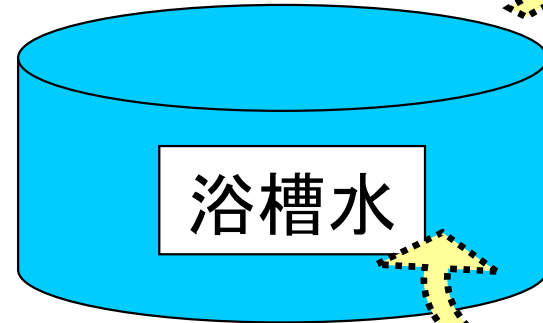
厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「公衆浴場の衛生管理の推進のための研究」

循環式浴槽のアメーバ・レジオネラの対策 モノクロラミン消毒

入浴者

源泉

水道水



モノクロラミン消毒

~~ろ過器等での微生物の繁殖~~

~~系内に蓄積、生物浄化~~

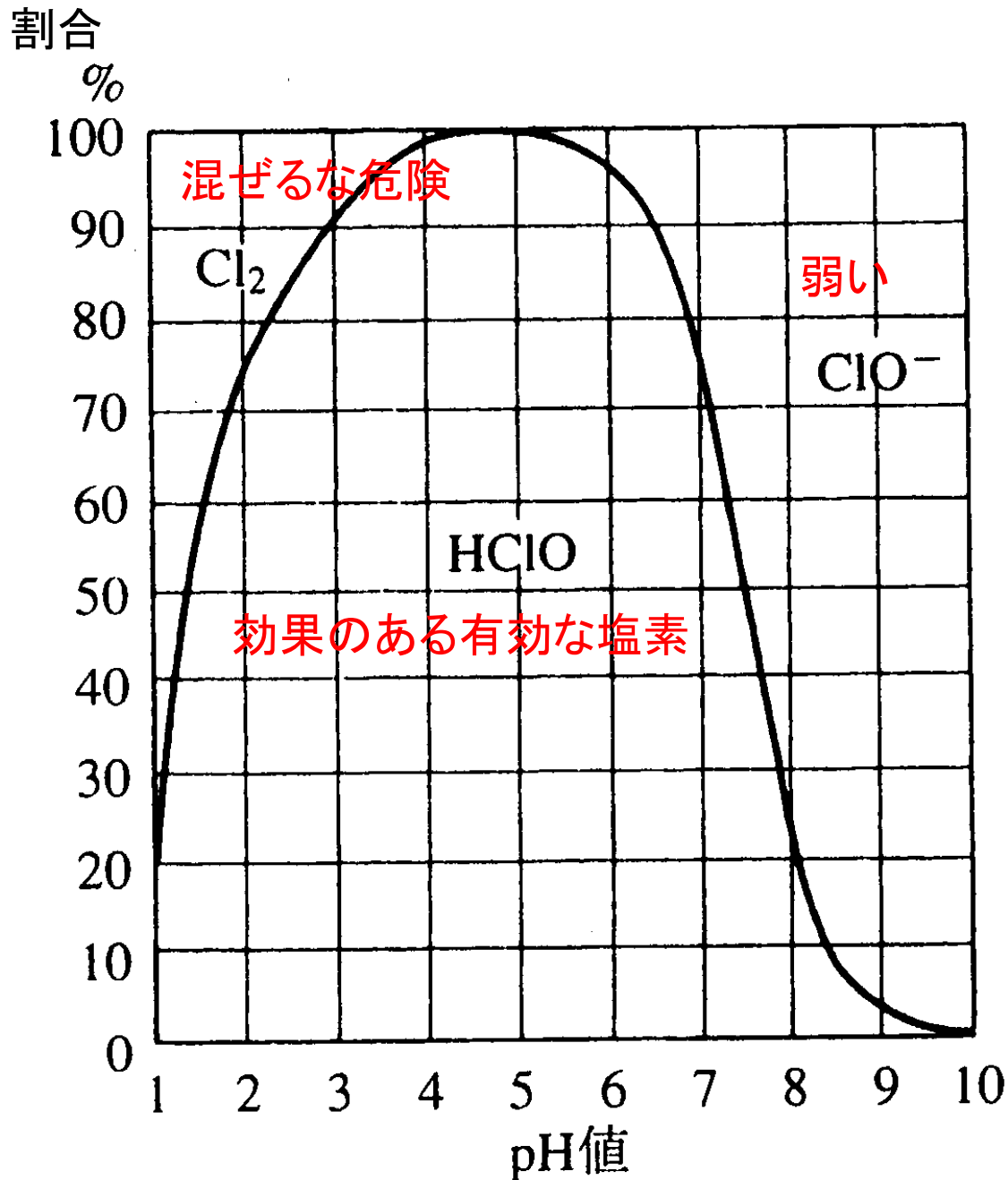
~~アメーバ・レジオネラ発生~~

1. 蓄積する汚れは徹底排除
完全換水、溢水、物理洗浄、化学的洗浄

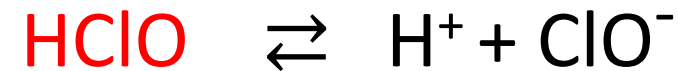
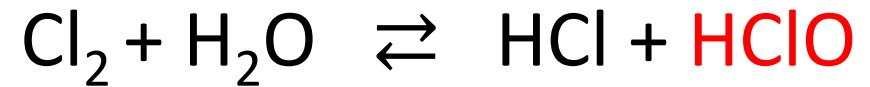
2. 安全のための消毒、
汚れを蓄積させないための消毒、

→モノクロラミン消毒

塩素消毒へのpHとアンモニア態窒素の影響



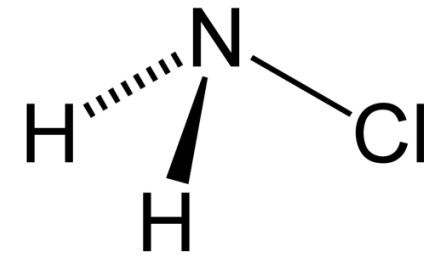
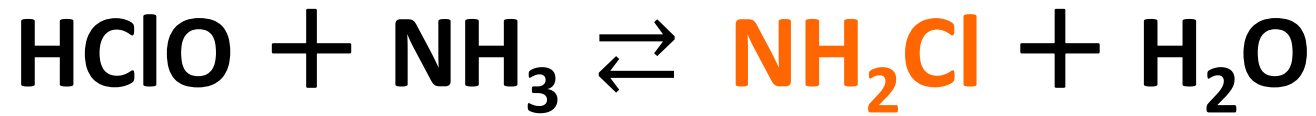
次亜塩素酸



次亜塩素酸イオン

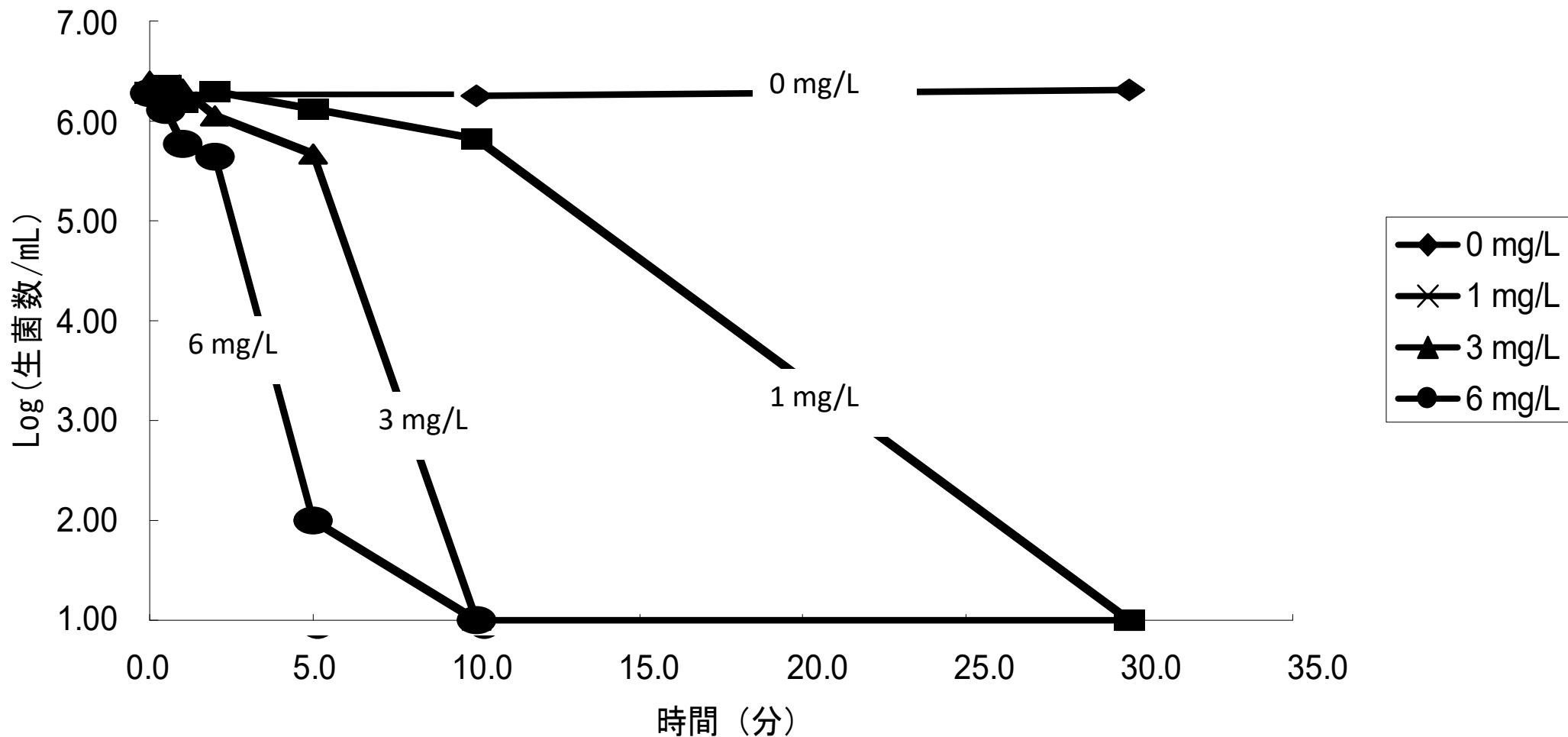
加えて、アンモニア態窒素、有機物等があれば、その10倍量相当の遊離塩素が消費されてしまうことも問題

モノクロラミンとは



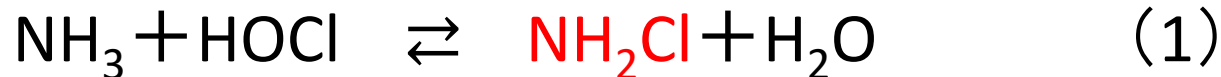
- 結合塩素の一種、レジオネラや宿主アメーバなどに対し消毒効果
- プールのような不快な塩素臭、消毒副生成物(トリハロメタン)が少ない
(アンモニア態窒素や有機物等のR-NH₂があっても、モノクロラミンの消費は遅い)
- 欧米の水道にも利用(国内は小笠原諸島)
濃度は3mg/Lを目標(汚染された水道水の1.5mg/L、EPAの飲料水上限4mg/Lを参考、飲用が目的ではないので、多少前後するのは構わない)
(有機クロラミン R-NHCl は消毒効果があまり期待できない)
- 機械式添加方法は市販中、手投入も可能
- pH5~10でレジオネラを抑制した実績あり
- (ただし、還元物質や硫黄等があると、塩素は不適)

モノクロラミンによる *Legionella pneumophila* 殺菌効果 (40°C、pH9)



モノクロラミンの生成と注意

- 遊離塩素とアンモニアが反応すると、3種の無機クロラミン類（モノクロラミン(NH_2Cl)、ジクロラミン(NHCl_2)、トリクロラミン(NCl_3))が生成する



- モノクロラミンは微臭、ジクロラミン、トリクロラミンは刺激臭（塩素臭の原因）
- 濃度比が影響、アンモニアの割合が少ないと、ジクロラミン、トリクロラミンが生じてしまう
- 用時調製、高濃度はガス発生危険、低濃度に生成
- 低pHも避ける、ガス発生
- 高校化学程度で理解できると思うが、事故注意、消毒は理解のある人が行うべき（素人はすべきでない）

モデル循環式浴槽での実施例

保健医療科学 2010 Vol.59 No.2 p.109-115

特集：平常時・災害時の衛生対策

<原著>

モノクロラミン消毒による浴槽レジオネラ属菌の衛生対策

杉山寛治¹⁾, 小坂浩司²⁾, 泉山信司³⁾, 縣邦雄⁴⁾, 遠藤卓郎⁵⁾

¹⁾ 静岡県環境衛生科学研究所微生物部

²⁾ 国立保健医療科学院水道工学部

³⁾ 国立感染症研究所寄生動物部

⁴⁾ アクアス株式会社つくば総合研究所

⁵⁾ 国立感染症研究所細菌第一部

Sanitary Control of Bathing Water with Monochloramine Disinfection: Prevention of Legionella Contamination

Kanji SUGIYAMA¹⁾, Koji KOSAKA²⁾, Shinji IZUMIYAMA³⁾, Kunio AGATA⁴⁾, Takuro ENDO⁵⁾

¹⁾ Department of Microbiology, Shizuoka Institute of Environment and Hygiene

²⁾ Department of Water Supply Engineering, National Institute of Public Health

³⁾ Department of Parasitology, National Institute of Infectious Diseases

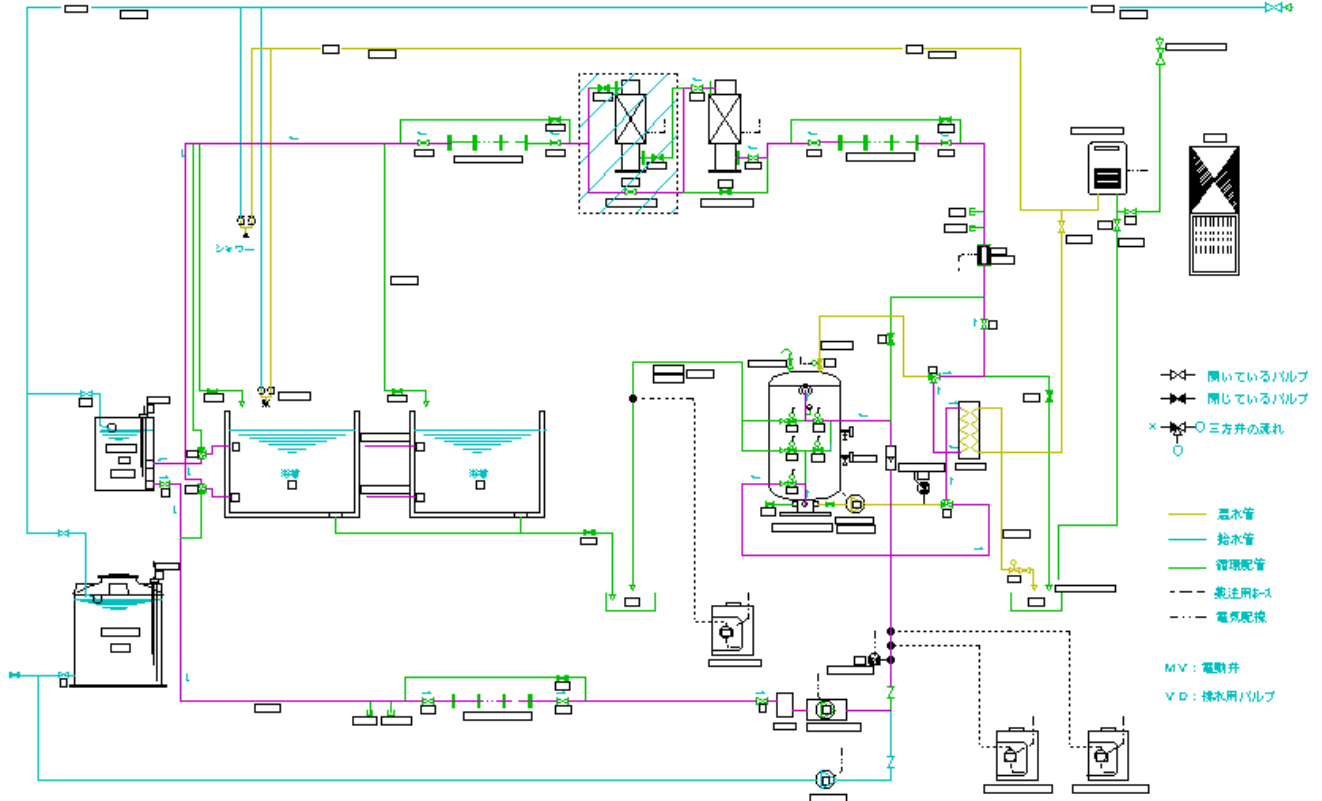
⁴⁾ Tsukuba Research Laboratories, Aquas Corporation

⁵⁾ Department of Microbiology, National Institute of Infectious Diseases

抄録

目的 循環式浴槽では肺炎の起因菌であるレジオネラ属菌の汚染が問題となっている。死亡例を含む集団感染が繰り返さ

モデル浴槽（循環ろ過式）



循環ろ過式浴槽モデルにおける モノクロラミン消毒実験

- 浴槽水2 m³ (pH8.4、40°C、井戸水)
 - 循環速度4 m³/h (2回/1h)
- 用時調製したモノクロラミン溶液を手で投入
 - 井戸水1~2 Lに次亜塩素酸ナトリウム、塩化アンモニウムを混合
 - 作成直後に2 m³の浴槽水に加えて、3 mg/Lとした
 - 14日間にわたって、モノクロラミン溶液の1日1回程度の間欠的な投入を繰り返し、濃度3 mg/Lを維持
 - モノクロラミン濃度、全残留塩素濃度、遊離残留塩素濃度はポケット残留塩素計を用い測定
- 浴槽への入浴でヒトの体から出る有機物を蓄積

モノクロラミン消毒実験、 浴槽水の微生物汚染

管理状態	日数	レジオネラ属菌数(CFU/100mL)	従属栄養細菌数 (CFU/mL)	アメーバ数 (50mL中)
濃度管理入浴前		< 10	< 10	0
濃度管理入浴	1日目	< 10	< 10	0
	3日目	< 10	< 10	0
	7日目	< 10	< 10	0
	11日目	< 10	20	0
	14日目	< 10	10	0
濃度管理なし	15日後	7.5×10^2	3.1×10^5	9.5

表2 モノクロラミン投入量、塩素濃度、入浴者数の変化

	モノクロラミン 濃度(mg/L)	全塩素濃 度(mg/L)	残留塩素濃 度(mg/L)	入浴者数	モノクロラミン投 入量(mg/L相 当)
モノクロラミン投入前	0.11	0.33	0.01	0	
濃度一定調整時	2.98	2.96	0.14	0	3.6
濃度管理1日後	2.6	2.56	0.11	0	0.86
濃度管理2日後	2.5	2.52	0.13	0	1
濃度管理3日後	2.5	2.5	0.2	0	0.6
濃度管理入浴1日目	2.33	2.6	0.1	1	1.6
濃度管理入浴2日目	2.56	2.96	0.15	1	1
濃度管理入浴3日目	2.56	2.58	0.14	3	1.2
濃度管理入浴4日目	2.7	2.72	0.13	3	1
濃度管理入浴5日目	2.54	2.74	0.13	1	1
濃度管理入浴6日目	2.66	2.68	0.13	1	0.8
濃度管理入浴7日目	2.63	2.66	0.14	3	1.2
濃度管理入浴8日目	2.84	2.6	0.12	2	0.8
濃度管理入浴9日目	2.64	2.7	0.13	1	0.8
濃度管理入浴10日目	2.43	2.46	0.13	2	1.2
濃度管理入浴11日目	2.65	2.62	0.13	2	1
濃度管理入浴12日目	2.43	2.6	0.13	1	0.8
濃度管理入浴13日目	2.33	2.48	0.14	1	0.8
濃度管理入浴14日目	2.38	2.48	0.13	0	0

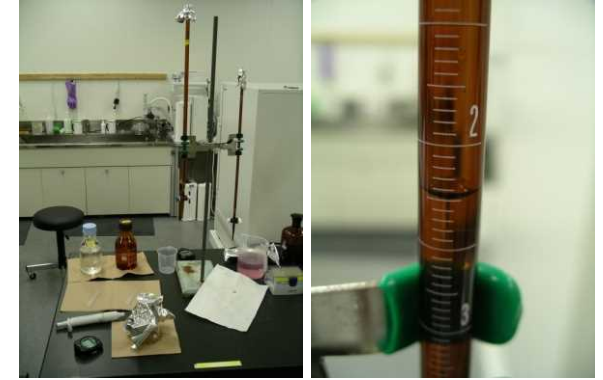
モノクロラミン 消毒時の浴槽水の水質変化

採水日	色度	濁度	pH	電気伝導率	アモニア態窒素	有機物等	TOC	塩化物イオン
	度	度		mS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
モノクロラミン投入前	< 0.5	0.2	8.4	18.5	< 0.05	1.0	< 0.3	2.4
濃度一定調整時	< 0.5	< 0.1	8.4	20.8	2.22	1.4	< 0.3	9.2
濃度管理入浴前	< 0.5	< 0.1	8.7	24.3	3.12	2.7	0.6	15.9
入浴1日目	< 0.5	< 0.1	8.6	24.5	2.94	2.2	0.7	17.3
入浴3日目	< 0.5	< 0.1	8.7	25.2	3.22	3.0	1.0	19.0
入浴7日目	< 0.5	< 0.1	8.7	27.8	4.03	3.5	2.1	26.8
入浴11日目	< 0.5	< 0.1	8.7	31.6	4.61	7.6	3.3	34.2
入浴14日目	< 0.5	< 0.1	8.7	33.9	5.04	8.0	4.0	40.3

モノクロラミン等の測定方法

- DPD/FAS滴定法

- 有機クロラミンを測定するので注意が必要
 - 遊離残留塩素、モノクロラミン、ジクロラミン、トリクロラミン



- サリチル酸吸光度法

- 有機クロラミンに影響されないモノクロラミン検出
 - モノクロラミン

- HS-GC/MS法

- トリクロラミンの高感度検出
 - トリクロラミン



- インドフェノール法の簡易キット

- とにかく簡易に選択性良く(有機クロラミンに影響されない)
 - モノクロラミンとアンモニア態窒素
 - 試薬が劇毒物で要注意、確認が済めば、

DPDの全塩素濃度で代用している



モデル浴槽での自動測定



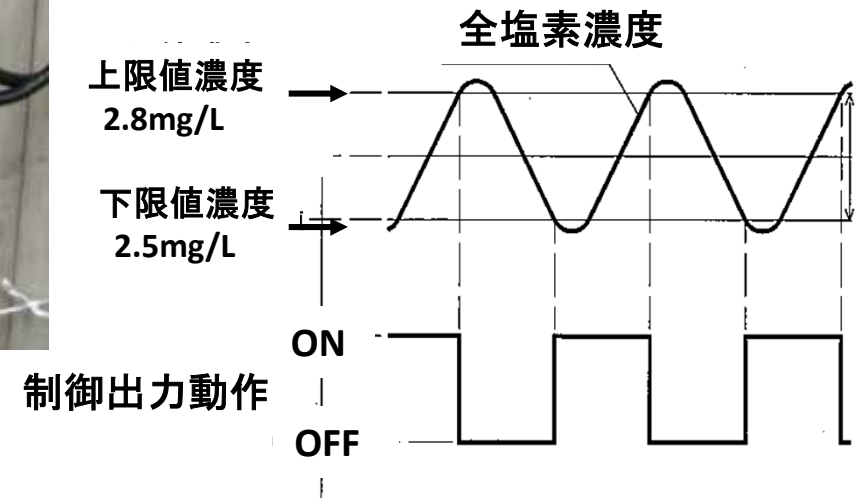
全塩素濃度測定用センサ



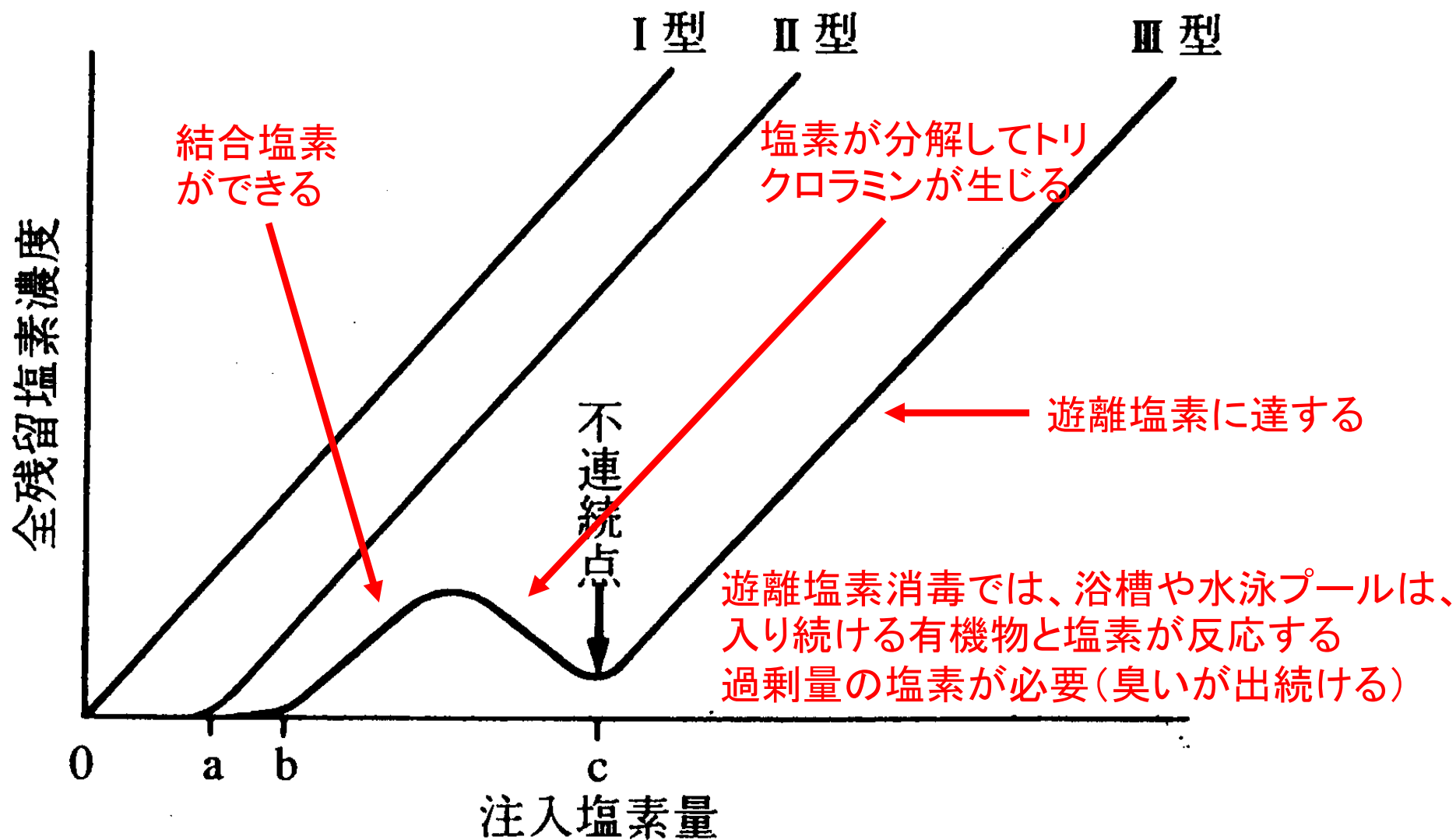
モニタ



制御盤

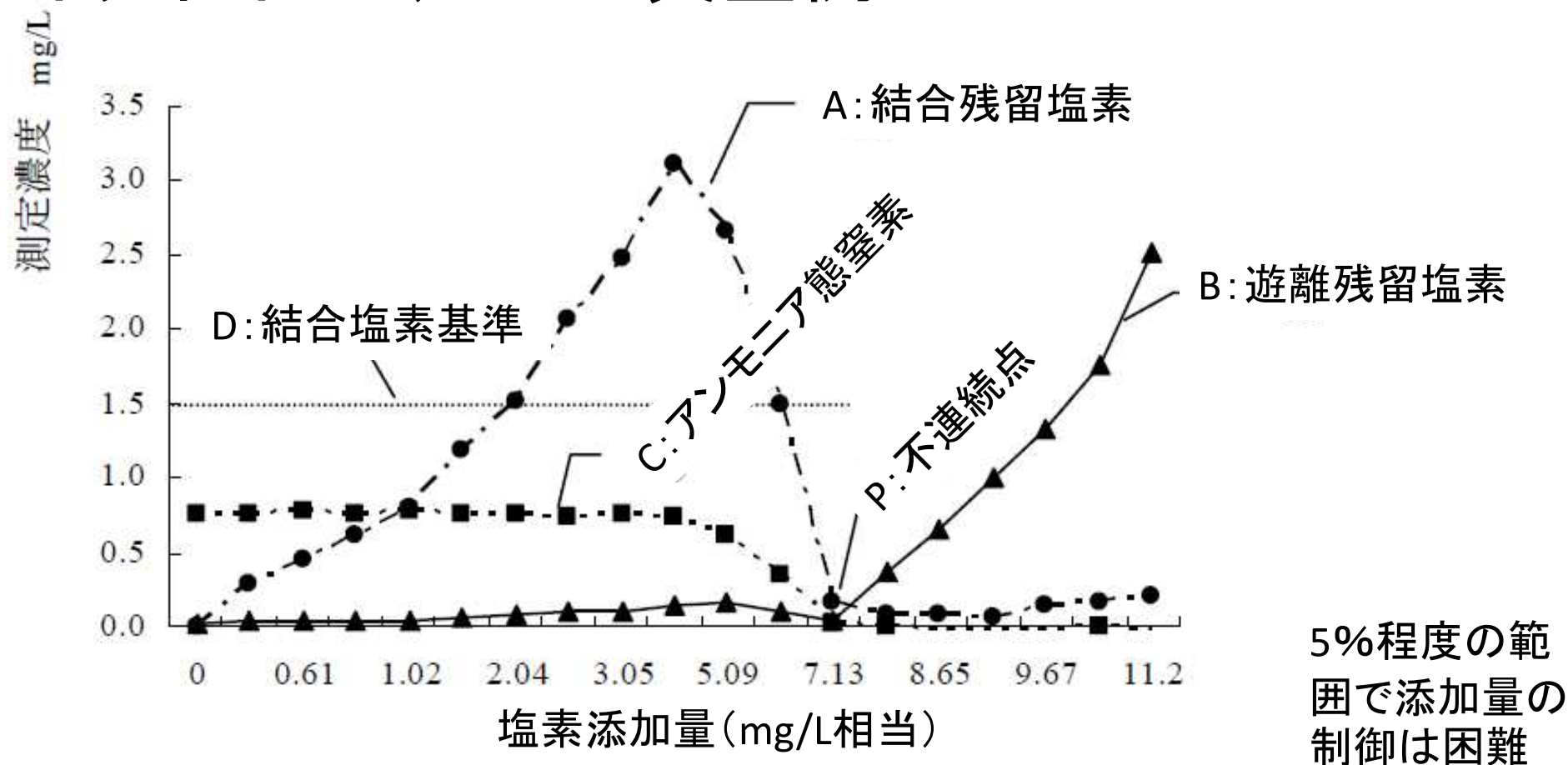


遊離塩素消毒は、アンモニア態窒素があると、ブレイクポイント処理が必要



- I型 塩素を消費する物質を含まない場合 (純水等)
- II型 無機性還元性物質を含む場合 (鉄分、硫化水素等)
- III型 アンモニア態窒素を含む場合

「アンモニア態窒素を含む地下水の塩素処理」より、ブレイクポイント処理の典型例



アンモニア態窒素を含む飲用検査用地下水が11施設あり、塩素添加を行い、8施設で結果的に結合残留塩素処理を行っていた。

きめ細かい管理をしなければならない。

(安齋ら、千葉県衛研年報第57号2008年)

入浴者一人が0.5gの有機物を落とし、ブレイクポイント処理は困難(推算)

- 仮に100人分なら50gの垢
- ブレイクポイント処理に要する塩素消費量は、単純計算で10倍の、500g as Cl
 - アンモニア態窒素0.5mg/Lだと、5mg/L as Clの塩素消費
- 10%濃度(市販12%)次亜塩素酸ナトリウム溶液は、5L必要
 - 5%濃度(市販6%)なら10Lが必要
 - 12%は濃度の低下が早く、塩素酸が生じることから、6%での購入が一般的か
- 多量の塩素消毒でブレイクポイント処理するよりは、系外に排出するほうが良いのでは
 - 臭気、消毒副生成物の原因
 - 溢水で排出するか、ろ過器を逆洗して排出するか
- モノクロラミン(結合塩素消毒)は、ブレイクポイント処理をしないので、多量の塩素を消費しない

水泳プールと浴槽は、規模が違う

- 500m³の水泳プールに一度に50人が入ったら？
 - 垢25g/500,000L = 5g/100,000L = 5mg/100L = 0.05mg/L
 - 0.5mg/L as Cl程の消毒がなされている水泳プールは、塩素がなんとか足りる
 - プールの塩素濃度は0.4～1.0mg/L
 - 目安として有機物の10倍量の塩素が消費される
- 50m³の浴槽に一度に50人が入ったら？
 - 垢25g/50,000L = 0.5mg/L
 - 5mg/L as Clの消毒が必要、追加しないと全然足りない
 - 井戸水・温泉に含まれる有機物もあり、制御困難

簡易なDPD試薬も困難の原因？

- 遊離用試薬が、有機クロラミン、モノクロラミンを検出？
 - 遊離残留塩素測定キットは水道水が用途であって、難しい井戸や温泉の消毒には適していない？
 - 遊離残塩の試薬に結合塩素が反応し、直ちに発色したり、ゆっくり発色して、遊離が少ないことは分かるが、刻々と発色が進み1分も置けなかったりする
 - 11製品を検討、5製品は遊離・結合塩素に対する選択性が認められず、**結合塩素を遊離塩素と見誤らせる結果**、注意必要
(横浜市衛生研究所調査情報月報2008年3月号「市販DPD試薬を使用して遊離残留塩素を測定する場合の注意」、第59回全国水道研究発表会「各種調製DPD試薬の遊離・結合残留塩素に対する選択性」(2008年)、吉川らより)

遊離塩素消毒がうまく行かない背景、まとめ

- アンモニア・有機物存在下で、無理をして遊離塩素消毒
 - 遊離塩素ではなく結合塩素(モノクロラミン、有機クロラミン等)が生成
 - 実用のモノクロラミン濃度(3mg/L)に比べて1桁少なく?(0.1~0.2mg/L?)
 - 有機クロラミンが生成していたが、消毒効果は低い
(有機クロラミン(防腐剤クロラミンT等)で消毒した場合、レジオネラが生えた経験)
 - 入浴者に加えて補給水の有機物、不連続点を超えられない
 - pHの影響を過小評価



提案:モノクロラミンを現場で生成してから添加

実施設でのモノクロラミン消毒の例

掛け流しであっても、汚染に悩まされていた



源泉 190 CFU/100mL
(pH 9.0、ナトリウム-硫酸塩泉、
49°C)

源泉タンク 120 CFU/100mL



A浴槽 260 CFU/100mL



B浴槽 50 CFU/100mL



C浴槽 90 CFU/100mL

モノクロラミン消毒の導入



モノクロラミン生成自動注入装置



源泉 (pH 9.0)

源泉タンクにモノクロラミンを注入、**3mg/L**濃度維持



A浴槽



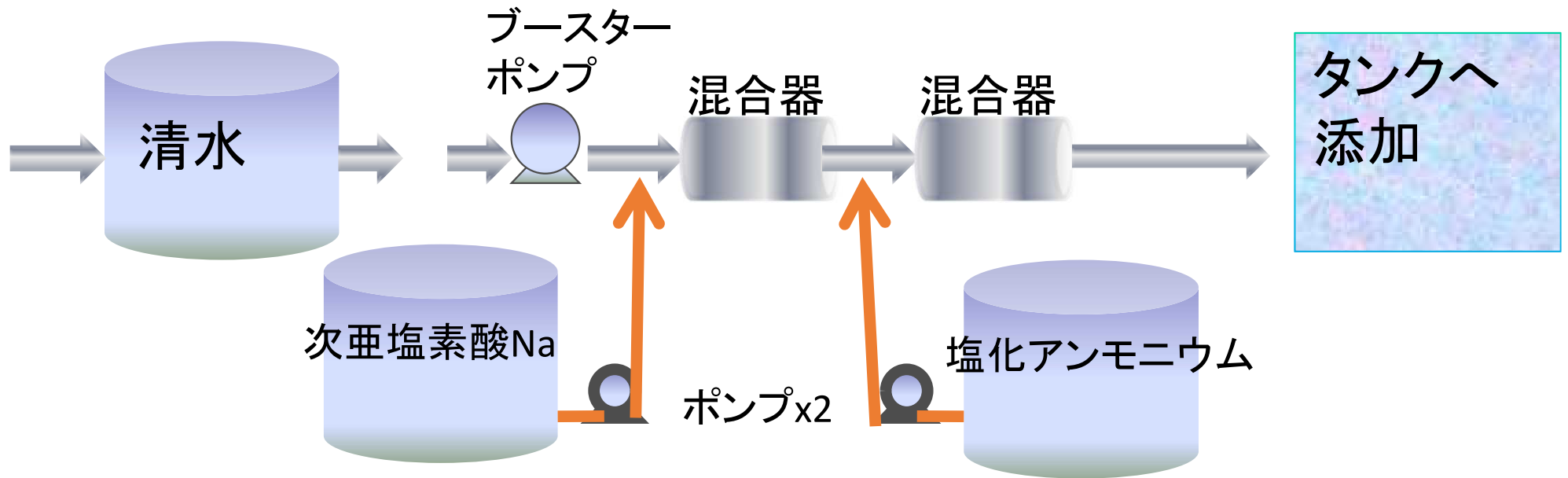
B浴槽



C浴槽

アメーバ・レジオネラ不検出

モノクロラミン自動生成・注入装置



- 源泉は常に一定量
- 注入速度を一定

-
- 一系統が100万？
 - 複数系統を一式で賄うことあり
 - 濃度測定50万～自動制御が高い

モノクロラミン消毒を実施した営業中の温泉3施設の例 (杉山寛治、ビルと環境より)

- ・泉質:ナトリウム-炭酸水素塩泉、**pH9.0**
- ・**アンモニア態窒素 1.9 mg/L**
- ・公衆浴場の露天風呂
- ・浴槽容量:20m³
- ・利用者数:平均319人/日
- ・泉質:ナトリウム-塩化物泉、**pH7.8**
- ・**アンモニア態窒素 4.3 mg/L**
- ・公衆浴場の露天風呂
- ・浴槽容量:6.5m³
- ・利用者数:平均587人/日
- ・泉質:ナトリウム-カルシウム塩化物泉、**pH8.2**
- ・**アンモニア態窒素 0.4 mg/L**
- ・ホテルの露天風呂
- ・浴槽容量:28m³
- ・利用者数:平均480人/日

アンモニア態窒素があり、遊離塩素によるブレイクポイント処理に10倍の塩素が必要、**高pH**で塩素の消毒効果が低下、レジオネラ汚染に苦慮していた
モノクロラミン3mg/Lの消毒により、**レジオネラ属菌は不検出**とできた

モノクロラミン消毒の応用を進めた

- 高pHやアンモニア態窒素のある浴槽水
 - 静岡県、長崎県、山梨県、三重県他
- 薬湯
 - 遊離塩素は打ち消されても、モノクロラミンは可能
- 弱酸性pHへの応用
 - 小規模の水泳プールに使える可能性も



レジオネラ属菌、アメーバは不検出

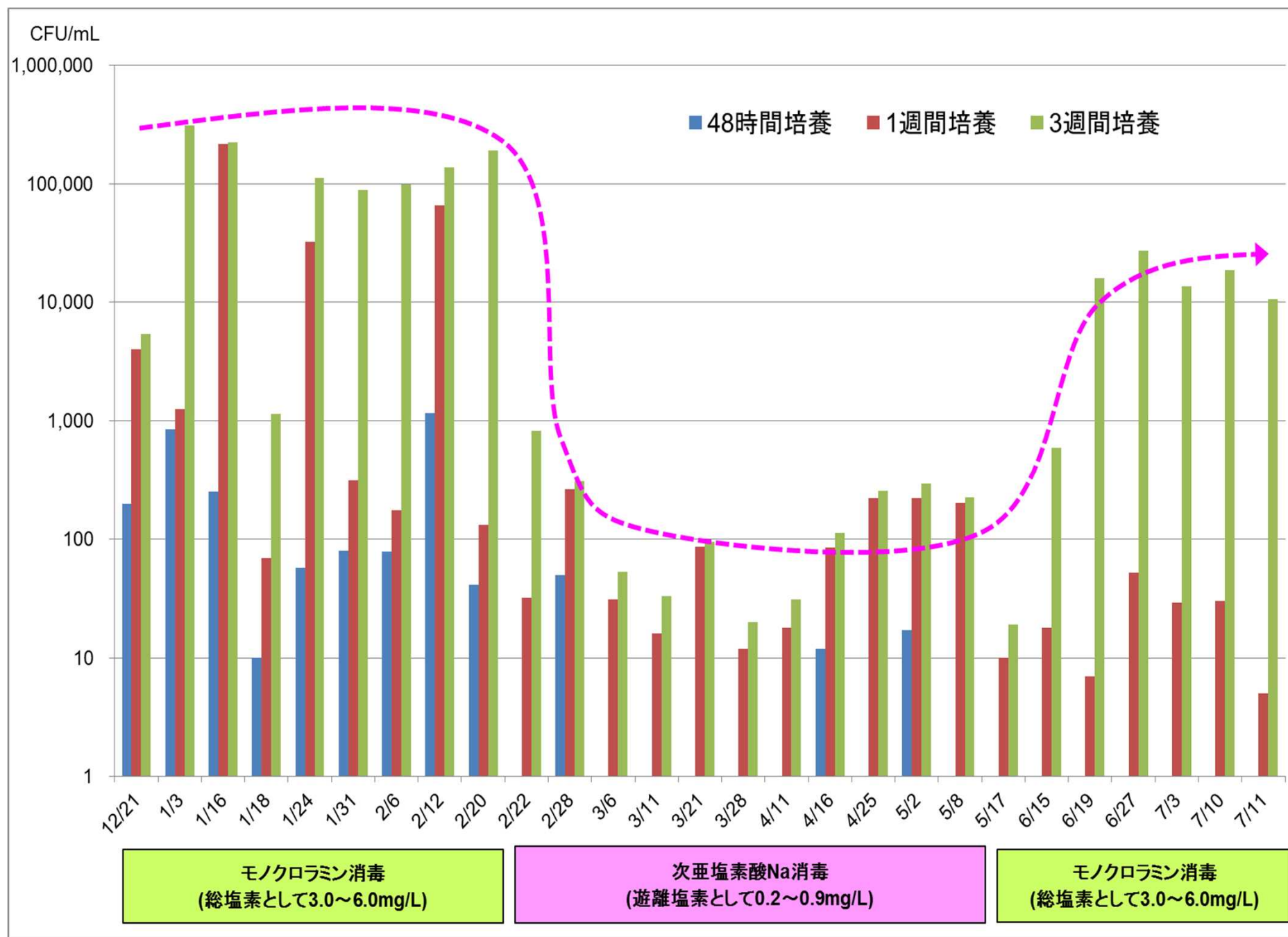
従属栄養細菌数(R2A培地)の増加

- 洗浄の必要を改めて確認、長期連用が目的ではない

モノクロラミンの連用で雑菌

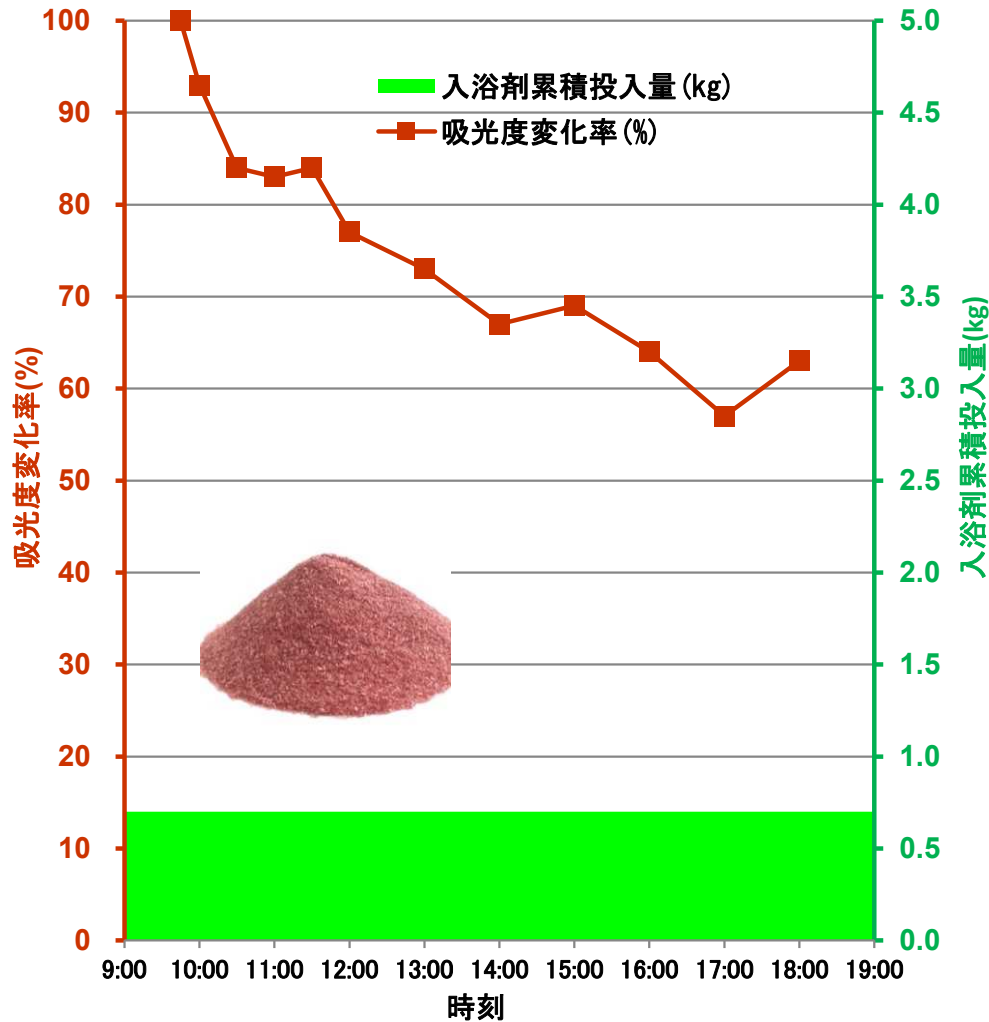
- 連用、洗淨をサボるのが目的ではない
 - 汚れが蓄積している、洗淨が必要
- *Mycobacterium phlei*など雑菌が増える
 - *M. phlei*は非結核性抗酸菌の一種と言えるが、健常者で感染発症は聞かない。発育が早い。
 - 菌叢解析を行った範囲で、今のところ病原細菌が増える証拠はないが、*Mycobacterium*属や緑膿菌などの病原細菌が増える恐れを軽視しない。

従属栄養細菌数に及ぼす消毒剤切替の影響

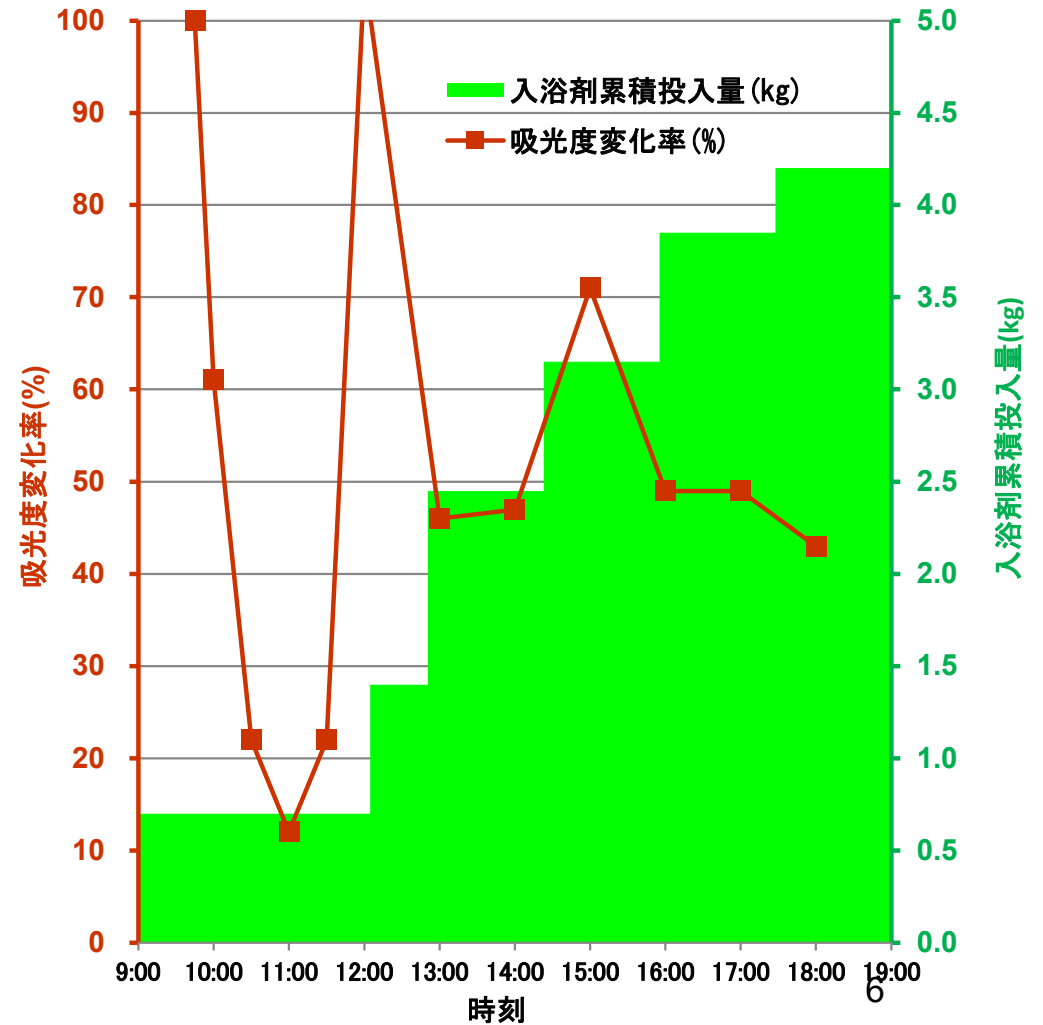


無機塩薬湯へのモノクロラミン消毒応用

【モノクロラミン消毒時】

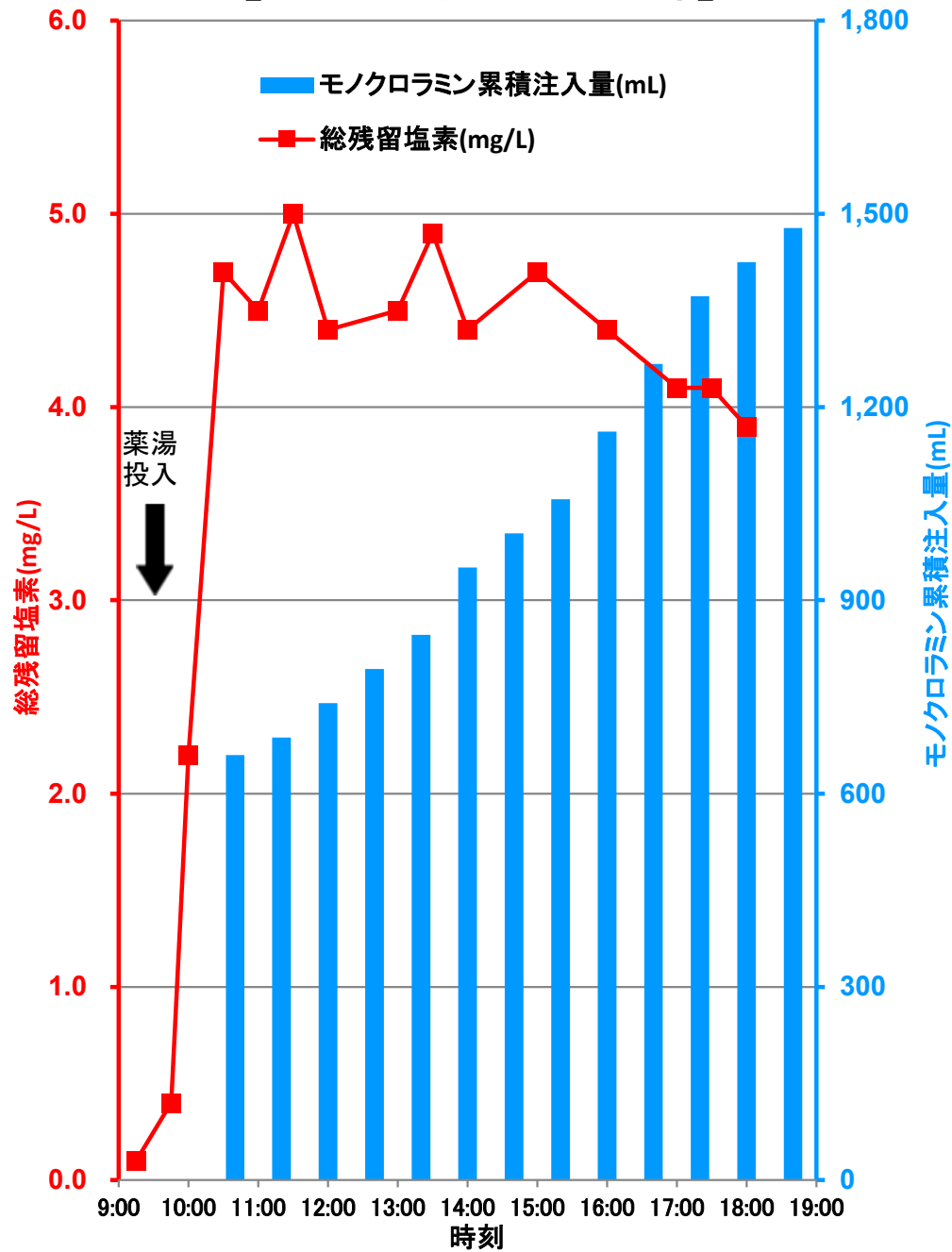


【次亜塩素酸Na消毒時】

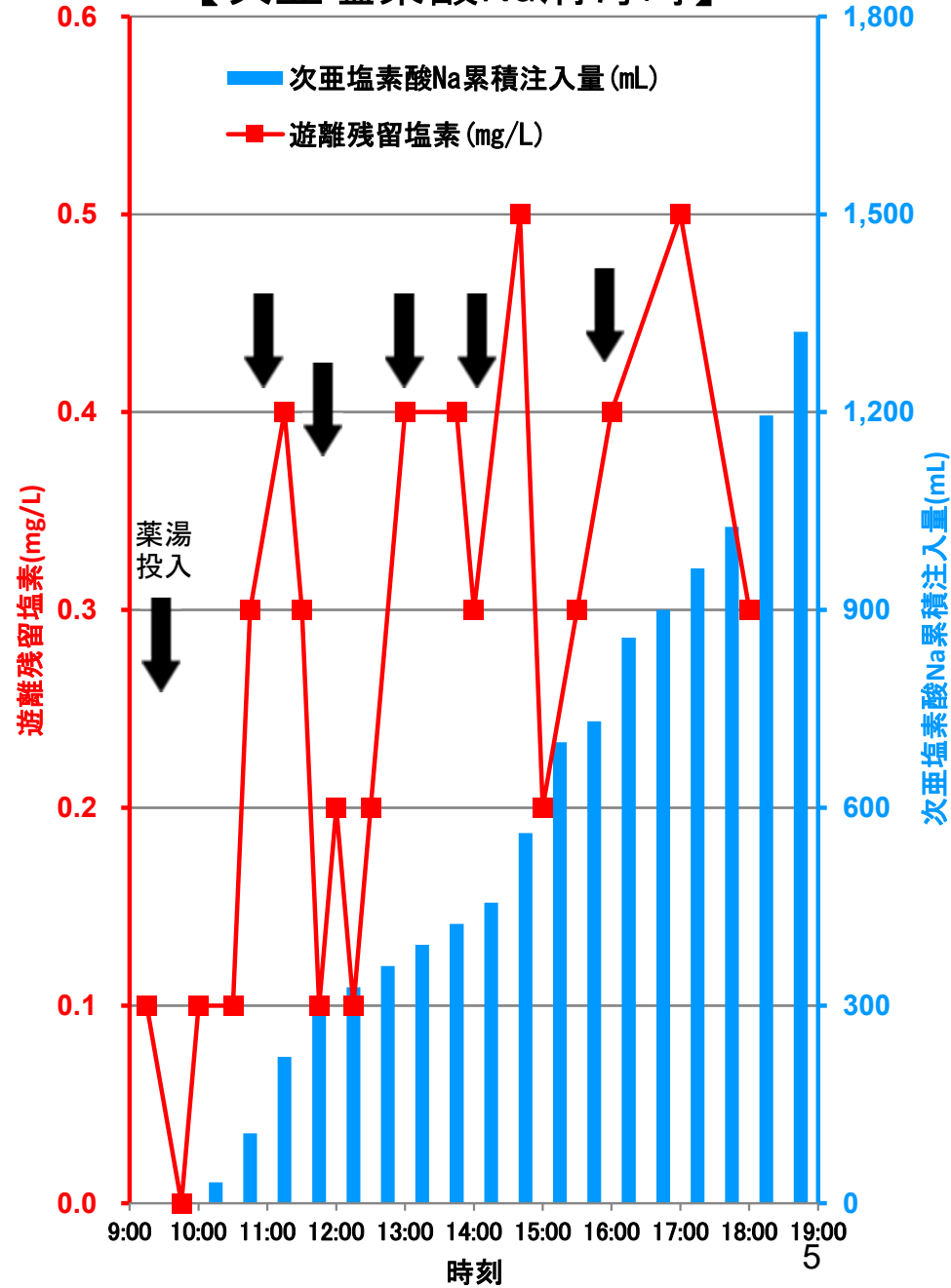


無機塩薬湯の塩素消毒

【モノクロアミン消毒時】



【次亜塩素酸Na消毒時】



弱酸性pHへの適用

- これまではアルカリ性(～pH10)、アンモニア態窒素、薬湯

- 弱酸性pHの人工炭酸泉への適用



レジオネラ属菌、アメーバは不検出
従属栄養細菌数の増加もなかった

(pH5を下回ると、濃度が維持できず、
塩素ガス発生のおそれ)

炭酸泉は、炭酸ガス(二酸化炭素)が
溶け込んだお湯のこと。

<https://i-sanso.jp/files/libs/60/201205281814448580.gif>



表1. pH を 3～8 に調整した緩衝液中でモノクロラミンの安定性を比較

各pH液(リン酸－クエン酸緩衝液にてpH調整)に3ppm相当になるようにモノクロラミンを添加.

添加1分

塩素形態	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
total	96.4	100	100	100	100	100
free	14.3	3.6	0	0	0	0
mono-	78.6	92.8	100	100	100	100
di-	3.5	3.6	0	0	0	0

添加5分

塩素形態	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
total	(96.4) [※]	100	100	100	100	100
free	25.0	3.6	0	0	0	0
mono-	67.9	92.8	100	100	100	100
di-	3.5	3.6	0	0	0	0

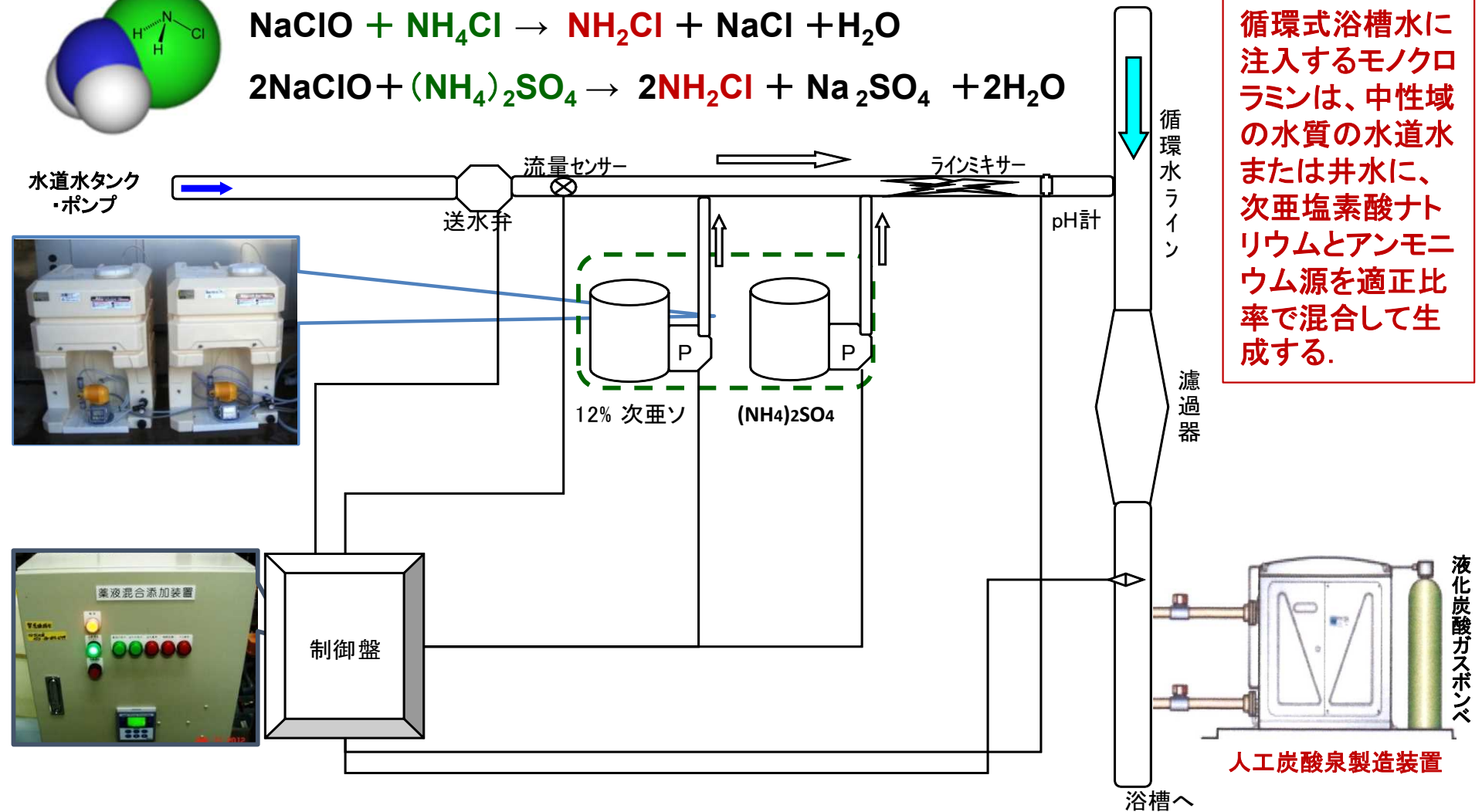
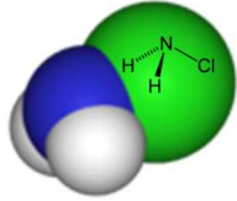
添加10分

塩素形態	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8
total	(92.8) [※]	100	100	100	100	100
free	17.8	3.6	0	0	0	0
mono-	67.9	92.8	100	100	100	100
di-	7.1	3.6	0	0	0	0

※ total塩素測定は、終点不明のために遊離と結合塩素測定で得られた数値の合算値

一旦生成されたモノクロラミンは緩衝液の pH が 5 以上であれば、安定して維持される。

モノクロラミンの生成・注入装置と人工炭酸泉製造装置



循環式浴槽水に注入するモノクロラミンは、中性域の水質の水道水または井水に、次亜塩素酸ナトリウムとアンモニウム源を適正比率で混合して生成する。

炭酸風呂(3施設、4浴槽水)におけるモノクロラミンの消毒効果

A施設の炭酸風呂

検査項目	モノクロラミン消毒期間		
	1週目	3週目	13週目
レジオネラ属菌数 (CFU/100mL)	<10	<10	<10
一般細菌数 (CFU/mL)	<1	<1	<1
従属栄養細菌数 (CFU/mL)	<1	<1	<1
大腸菌群 (CFU/mL)	<1	<1	<1
全塩素濃度 (ppm)	4.2	4.1	3.8

浴槽水のpH値: 5.6

B施設の炭酸風呂

検査項目	モノクロラミン消毒期間	
	11ヵ月後	14ヵ月後
レジオネラ属菌数 (CFU/100mL)	<10	<10
一般細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
従属栄養細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
大腸菌群 (CFU/mL)	NT	<1
全塩素濃度 (ppm)	4.1	4.9

浴槽水のpH値: 5.1、NT: 検査せず

C施設の男子炭酸風呂

検査項目	モノクロラミン消毒期間	
	15ヵ月後	19ヵ月後
レジオネラ属菌数 (CFU/100mL)	<10	<10
一般細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
従属栄養細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
大腸菌群 (CFU/mL)	NT	<1
FCM値 (counts/mL)	333	NT
全塩素濃度 (ppm)	4.8	3.5

浴槽水のpH値: 5.0、NT: 検査せず

C施設の女子炭酸風呂

検査項目	モノクロラミン消毒期間	
	15ヵ月後	19ヵ月後
レジオネラ属菌数 (CFU/100mL)	<10	<10
一般細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
従属栄養細菌数 (CFU/mL)	<1	<1
大腸菌群 (CFU/mL)	NT	<1
FCM値 (counts/mL)	95	NT
全塩素濃度 (ppm)	4.3	3.2

浴槽水のpH値: 5.2、NT: 検査せず

- 炭酸風呂浴槽水をモノクロラミン消毒することで、レジオネラ属菌の増殖だけでなく、従属栄養細菌数の増加を抑えることができた。
- 塩素臭等の悪臭の発生もなかった。
- 弱酸性(pH 5)の人工炭酸泉にもモノクロラミン消毒が適用できた。

謝 辞

- 保健所、地方感染症情報センター、衛生部局、医療機関、検査機関
- 研究班の共同研究者の方々
 - 衛生研究所、大学、研究機関、民間企業
- 浴場施設