

平成 28 年度厚生労働科学研究（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
公衆浴場等施設の衛生管理におけるレジオネラ症対策に関する研究
研究代表者 前川 純子（国立感染症研究所 細菌第一部）

分担研究報告書

水泳プールのモノクロラミン消毒

研究分担者	泉山 信司	（国立感染症研究所 寄生動物部）
研究分担者	長岡 宏美	（静岡県環境衛生科学研究所 微生物部）
研究協力者	青木 信和	（ケイ・アイ化成株式会社 機能性薬品部）
研究協力者	市村 祐二	（ケイ・アイ化成株式会社 機能性薬品部）
研究協力者	江口 大介	（ケイ・アイ化成株式会社 機能性薬品部）
研究協力者	杉山 寛治	（株式会社マルマ 研究開発部）

研究要旨

入浴施設を原因としたレジオネラの集団感染が発生し、水泳プールの管理に倣って浴槽水に遊離塩素消毒が導入された過去の経緯があった。ところが温泉や井戸水で遊離塩素消毒の効果が得られない場合があり、追加の対策として結合塩素消毒（モノクロラミン消毒）を浴槽水に導入し、効果が得られている。モノクロラミン消毒の発展を目的に、水泳プールへの逆の応用として、水泳プールのモノクロラミン消毒を試みた。水温が 30 程度の 270m³の水泳プールにモノクロラミン消毒を適用した。1 週間の短期であったが、塩素濃度はほとんど減少せず、追加塩素は必要なかった。消毒管理に問題が生じることなく、レジオネラの発生もなかった。実際に泳いでみたが、いわゆる典型的な塩素臭（プール臭）がほとんどなかった。短期間に完全換水して消毒洗浄を行う、小規模なプールへのモノクロラミン消毒の応用が期待された。

A. 研究目的

入浴施設を原因としたレジオネラの集団感染が発生し、対策を目的に、水泳プールの管理に倣って浴槽水に遊離塩素消毒が導入された過去の経緯があった。ところが温泉や井戸水で遊離塩素消毒の効果が得られなかったり、不安定な場合があり、真面目に対策をしている施設であってもレジオネラ汚染に苦慮していると聞かれる。これに対して代替の対策方法として結合塩素消毒（モノクロラミン消毒）を浴槽水に導入し、レジオネラを消毒し不検出にする効果が得られている。多くの水道では遊離塩素消毒がなされているが、国内外の一部の水道では結合塩素消毒（モノクロラミン消毒）が利用されており、この消毒方法に

着目して浴槽水への応用を進めている¹⁾。

実際に本研究班では浴槽水でのモノクロラミン消毒とレジオネラ対策の発展を目的に、効果検証を続けている（長岡ら、本研究班 H28 年度分担研究報告書）。そこで本研究では、水泳プールへの逆の応用、水泳プールへのモノクロラミン消毒を試みた。水は有機物の汚染を受けると遊離塩素と反応して、臭気や、発がん性で知られているトリハロメタン等の消毒副生成物が生じる。すなわち、水泳利用に伴って常に有機物の汚染が続き、臭気やトリハロメタン等が生じ続けている。言い換えると、消毒効果を維持するには過剰量の遊離塩素消毒が必要で、塩素より少ない有機物がブレイクポイント処理され続けている。

ところがモノクロラミン消毒の場合、有機物の汚染が続いても、臭気やトリハロメタン等がほとんど生じない利点がある。一般に水道水の塩素消毒と塩素臭は嫌われているが、水泳プールは消毒がなければ病原微生物による汚染を受けて、細菌ウイルスによる様々な水系感染症が生じうるので、臭気やトリハロメタンがあっても仕方なく遊離塩素消毒が許容されてきたのかもしれない。水泳プールでも安全性を維持しながら、臭気等を抑えることができれば、それに越したことはない。つまり、水泳プールにおけるモノクロラミン消毒は、遊離塩素消毒の代替法の一つになりえると考えられる。なお、PubMed や Google 検索で調べた範囲では、国内外で水泳プールのモノクロラミン消毒は実験的に行われた古い例しか見当たらなかった²⁾。

研究班では、これまで浴槽水の 10m³ 単位の水量に対するモノクロラミン消毒を行ってきたが、水泳プールは 100m³ 単位となる。単純なスケールアップは容易ではなく、想定外のことが生じるかもしれない、そのような大容量であっても安定した消毒が可能であるのが当初の課題であった。

本研究の後に、入浴施設において判明したこととして、モノクロラミン消毒を数週間続けて水を交換しないと、多数の従属栄養細菌数が検出されるようになった(長岡ら)。大容量の水泳プールは水を交換しないので、従属栄養細菌数の増加が懸念された。雑菌の増加を回避するためには、定期的な洗浄と換水が欠かせないと考えられた。結果として、洗浄や換水が容易な小規模なプールであれば、モノクロラミン消毒の応用が可能と期待された。

B. 研究方法

水泳プールは、国立健康栄養研究所に設置の屋内プール、270m³ の 25m × 4 コースで行った(図 1)。なおこの建物には、国立感染症研究所も入居している。当該プールは利用が無く廃止の予定であったことから、実験目的に借用でき

た。実験は 2014 年の 6 月に実施した。プール管理を止めると衛生状態が悪くなることから、利用はしていなかったが遊離塩素消毒を続けており、朝の 9 時に水の循環による砂ろ過を開始し、夕方 17 時頃に停止していた。循環ポンプは機器に掲示されていた性能表示によると、1 ~ 2m³/min の吐出量の能力があり、135 分ないし 270 分で 270m³ の 1 回転に相当する計算であった。遊離塩素濃度の管理は、DPD 法による測定と次亜塩素酸ナトリウム溶液の添加により行われ、利用がないことから通常よりも高い濃度で管理されていた。完全換水には十数万円(例えば 400 円/m³ × 270m³)の上下水道料を要すると予想され、経費負担の手続きが困難であったことから換水はせず、遊離塩素濃度が自然に下がってから同じ水でモノクロラミン消毒を行った。モノクロラミン消毒を開始した直後と終了時に、成人男性 2 名が泳いだ。消毒期間中に成人男女数名が臭気を確認した。

モノクロラミン消毒には、クロラクター装置(ケイアイ化成)を用いた。これは水道水に次亜塩素酸ナトリウム溶液と硫酸アンモニウム溶液を加えて混合することによって、モノクロラミンの自動生成と添加をする装置で、プールサイドに設置した(図 2)。この装置は pH やポンプの動作を監視し、異常時には動作を停止する安全装置が内蔵されている。ポーラログラフ法による全塩素濃度の測定を行い、フィードバック制御により必要に応じて追加塩素を行い、全塩素濃度(モノクロラミン濃度)が維持される様に設定した。プールサイドからプール水を水流ポンプで全塩素計に送り、塩素濃度を連続監視した。注入するモノクロラミンは、プール全体に行き渡るように、プール底の吸引口に導入した。循環ポンプが作動中であれば、ろ過後の水はプール槽の全体に分布する吐出口から戻るため、モノクロラミンをプール全体に行き渡らせることが出来る。

上記の連続全塩素濃度計とは別に、手動で各種塩素濃度を測定した。モノクロラミンとアンモニア態窒素の濃度は、インドフェノール法によるポケットモノクロラミン・アンモニア計(HACH 社)

を用いて測定した。遊離塩素濃度と全塩素濃度は、DPD 法によるポケット残留塩素計(HACH社)を用いて測定した。

水温の測定は、水泳プール内に吊り下げられているアルコール式温度計を用いた。pH はガラス電極式 pH メーター(堀場)を用いた。濁度は、積分球光電光度法で測定した³⁾。過マンガン酸カリウム消費量は、酸性法で測定した⁴⁾。

微生物検査用の水試料はチオ硫酸ナトリウムを添加した滅菌容器に採水した。試料は冷蔵にて搬送・保存した。レジオネラ属菌の定量は、浴槽水 500mL をメンブランフィルター法により 100 倍濃縮後、酸処理した後に GVPC 寒天培地に分離培養し、100mL あたりの CFU (Colony Forming Unit) を算出した⁵⁾。また、レジオネラ属菌の増殖の場となる自由生活性アメーバ(大腸菌塗布無栄養寒天培地)、および従属栄養細菌(R2A 寒天培地(ニッスイ))や一般細菌数(標準寒天培地(栄研化学))についても常法により定量した⁶⁾。ただし、従属栄養細菌については 37℃ で、7 日間培養した。

C. 研究結果および考察

遊離塩素濃度は、当初 3mg/L 程度と、通常の水泳プールより高めであった(図 3A)。塩素添加を止めてから 6 月 23 日までに徐々に濃度の減少が進み、この間に装置を設置して待機した。塩素濃度が 0.2mg/L を下回った 6 月 24 日にモノクロラミン消毒を開始した。装置の運転開始から 3 時間程度でモノクロラミンの濃度が 4mg/L に達し、プール水の混合が速やかであることを確認した(図 4)。モノクロラミン添加装置に最も近い位置で採水した場合の塩素濃度の立ち上がりが早く(図 4 の A 地点)、対角線上の最も遠い位置での濃度は遅れて上がって来た(図 4 の B 地点)。このグラフから見て、3 時間あれば濃度は均一になると考えられた。270m³と水量が多かったが、塩素添加は 1~2 時間程度と速やかに完了することができた。

モノクロラミン濃度は、6 月 24 日から 6 月 30 日まで徐々に減少したが、機器に設定した下限

値 2mg/L に達しなかったため、追加塩素はされなかった(図 3B)。人の利用や、溢水や水の追加がないので、この 1 週間に 1mg/L 程度の自然な低下しかなく、モノクロラミン濃度は安定であった。この間に加温はしていなかったが、水温は約 30℃ と安定していた。予想と異なり、モノクロラミン濃度より遊離塩素濃度の減少が遅かった。ただし、単純比較はできないことに後から気がついた。というのは、遊離塩素の管理の際は、ブルーシートで水面全面が覆われて、揮発や光が遮られていた。モノクロラミンでの管理の際は、ブルーシートを取り除き、揮発や光は遮られていなかった。

アンモニア態窒素は過剰量を維持し、トリクロラミンの発生の心配はなかった。モノクロラミン消毒に切り替える最中と、試験終了時に遊泳し、また、室内に時々入って臭気を確認した。モノクロラミン消毒中に、塩素臭(いわゆるプール臭)は特に感じなかった。pH はモノクロラミン消毒開始直後の 6 月 24 日に 7.5、終了直前の 6 月 30 日に 7.7 と、変動している様子はなかった。

遊離塩素消毒とモノクロラミン消毒のいずれにおいても、レジオネラ属菌、従属栄養細菌数、一般細菌数のいずれもが不検出であった(表 1)。通常、消毒効果がなければ水の雑菌は一晩でも多数になることから、消毒効果は十分にあったと考えられた。なお、濁度と過マンガン酸カリウム消費量は、遊泳プールの基準値未満と問題なかった。

以上の水泳プールとは別の研究である浴槽水のモノクロラミン消毒において、何週間か経過すると高い従属栄養細菌数の検出を経験した(長岡ら)。雑菌の増加は、雑菌を捕食する自由生活性アメーバの増加や、アメーバに感染するレジオネラ属菌の増加につながることから、好ましくない。週に 1 回、20mg/L 程度の高濃度モノクロラミン消毒を 12 時間程度行くと雑菌が検出されず、10mg/L の 2 時間では検出されることが現時点までに判明している。水泳プールの場合、週に 1 回の完全換水や洗浄は行われないので、従属栄養細菌数の増加が心配される。つまり、

週に1回の完全換水や洗浄をしない大型のプールにはモノクロロミン消毒の適用を考えず、換水消毒ができる小型のプールにモノクロロミン消毒の適用が可能と考えられた。

D. 結論

水温が30℃程度の270m³の水泳プールにモノクロロミン消毒を適用した。1週間の短期であったが、塩素濃度はほとんど減少せず、追加塩素は必要なかった。消毒管理に問題が生じることなく、レジオネラの発生もなかった。実際に泳いでみたが、いわゆる典型的な塩素臭、プール臭がほとんどなかった。短期間に完全換水と消毒洗浄が可能な小規模プールへのモノクロロミン消毒の応用が期待された。

E. 参考文献

1. 杉山寛治、小坂浩司、泉山信司、縣邦雄、遠藤卓郎、モノクロロミン消毒による浴槽レジオネラ属菌の衛生対策、保健医療科学 2010 Vol.59 No.2 p.109 - 115
2. Chanlett ET, Gotaas HB. The Time Factor in the Chlorine and Chloramine Disinfection of Contaminated Swimming Pool Water. Am J Public Health Nations Health. 1942 Apr;32(4):355-64.
3. 日本水道協会：上水試験方法(理化学編)、pp.47～49、2011
4. 日本水道協会：上水試験方法(理化学編)、pp.117～119、2011
5. レジオネラ症防止指針作成委員会：レジオネラ症防止指針(第3版)、pp.28～36、2009、(財)ビル管理教育センター
6. 日本水道協会：上水試験方法(微生物編)、pp.43～51、2011

F. 研究発表

誌上発表

1. 杉山寛治、長岡宏美、佐原啓二、神田隆、

久保田 明、縣 邦雄、小坂浩司、前川純子、遠藤卓郎、倉 文明、八木田健司、泉山信司、モノクロロミン消毒による掛け流し式温泉のレジオネラ対策、日本防菌防黴学会誌、2017年1月受理

口頭発表

1. 黒木俊郎、泉山信司、大屋日登美、鈴木美雪、前川純子、倉文明、医療機関の給水系におけるレジオネラ属菌汚染調査、日本水道協会水道研究発表会、2016年11月、京都市
2. 杉山寛治、長岡宏美、佐原啓二、和田裕久、土屋祐司、市村祐二、青木信和、神野透人、小坂浩司、泉山信司、八木田健司、縣邦雄、田中慶郎、前川純子、倉文明、モノクロロミン消毒の事前適合性試験の提案、防菌防黴学会、2016年9月、東京都
3. 泉山信司、倉文明、大屋日登美、黒木俊郎、病院の蛇口におけるレジオネラ汚染の検出、環境技術学会、2016年9月、姫路市

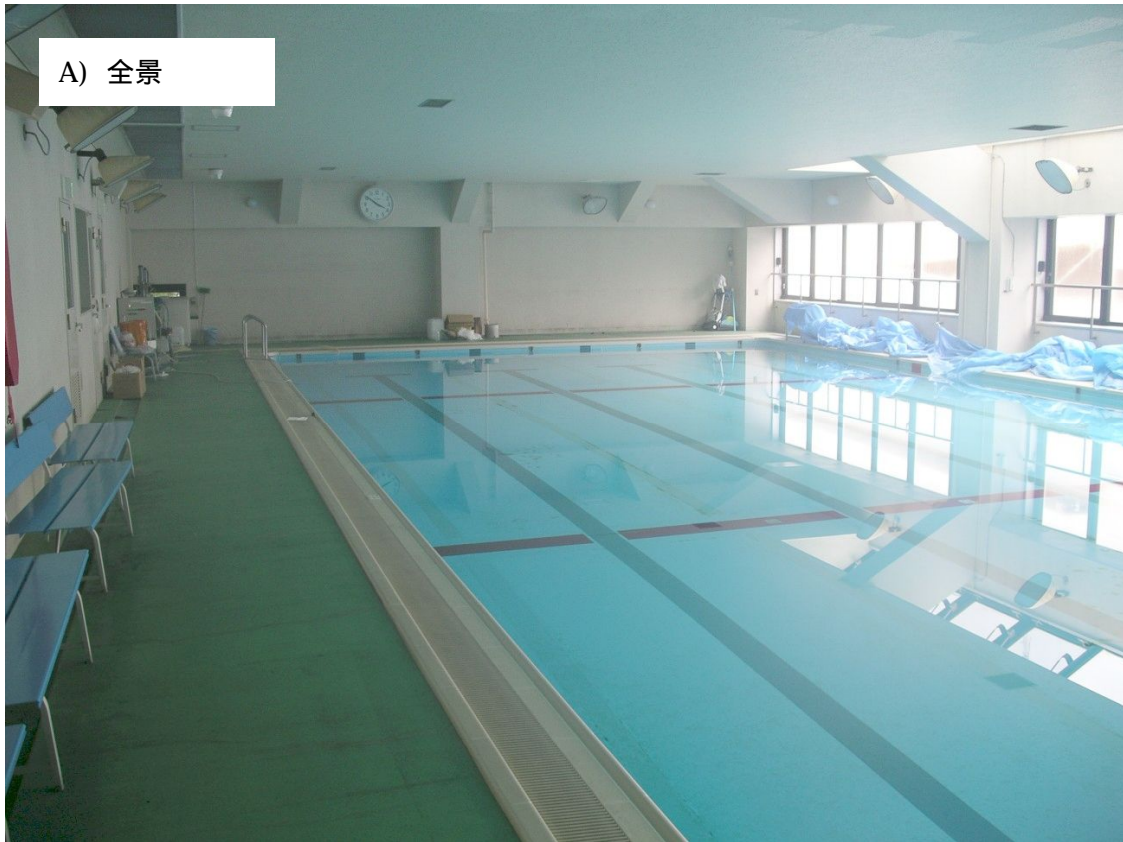
G. 知的所有権の取得状況

特許申請

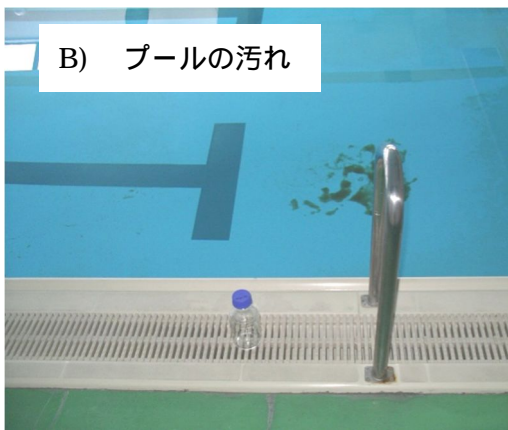
1. 藤野敬介、泉山信司、特願 2016-233947、モノハロゲノアミン製造用組成物
2. 花王、特願 2016-225469、モノハロゲノアミンの製造方法
3. 花王、特願 2016-225470、モノハロゲノアミン製造用固体組成物
4. 花王、特願 2016-225471、モノハロゲノアミン製造用被覆粒子群
5. 花王、特願 2016-225472、モノハロゲノアミン製造用組成物

実用新案登録、その他

なし



A) 全景



B) プールの汚れ

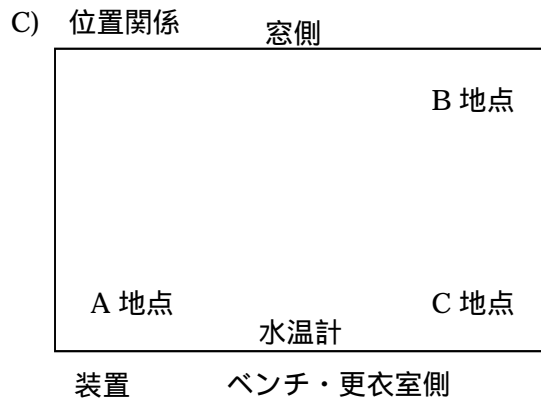


図 1 国立健康栄養研究所に設置の屋内プール

A) 全景:水量は 270m³あり、大きさは 25m×4m(4 コース)×約 1.2m であった。左奥に水道の流しがあり、その少し手前にモノクロラミン添加装置を設置した。写真左側プールサイドの丁度中央付近から、水中に水温計が設置されている。窓は西向きで、午後になると直射日光が入る。窓枠の下にブルーシートがあり、遊離塩素消毒の間はこのシートで水面を覆っていた。B) プールの汚れ:手すりの影になっているが、プールの底に汚れが見える。塩素濃度測定用の 500mL のガラスボトルが手前に写っている。C) 位置関係:A 地点が塩素注入点、図 4 プロット A と全塩素計に対応する。B 地点が図 4 プロット B に対応する。C 地点が図 1B の汚れ、図 3 の遊離塩素濃度とモノクロラミン濃度、および表 1 の各種測定値の測定地点に対応する。

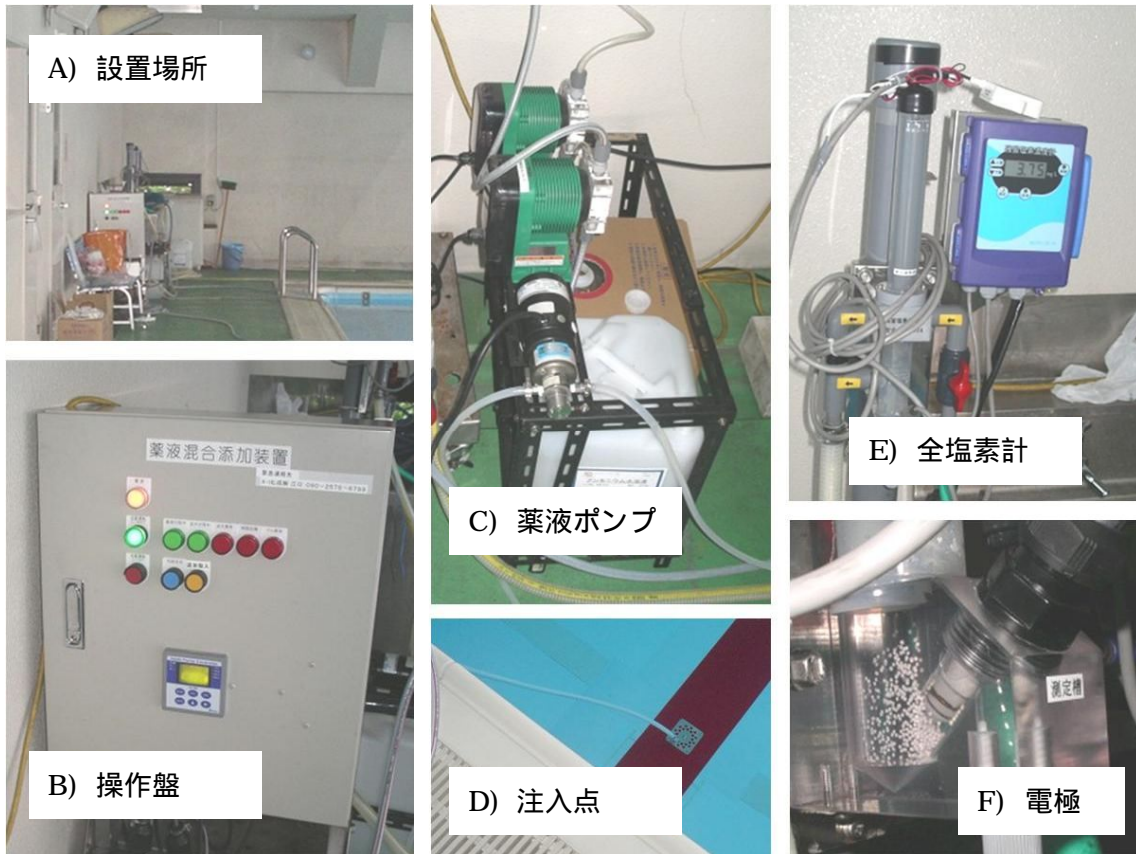
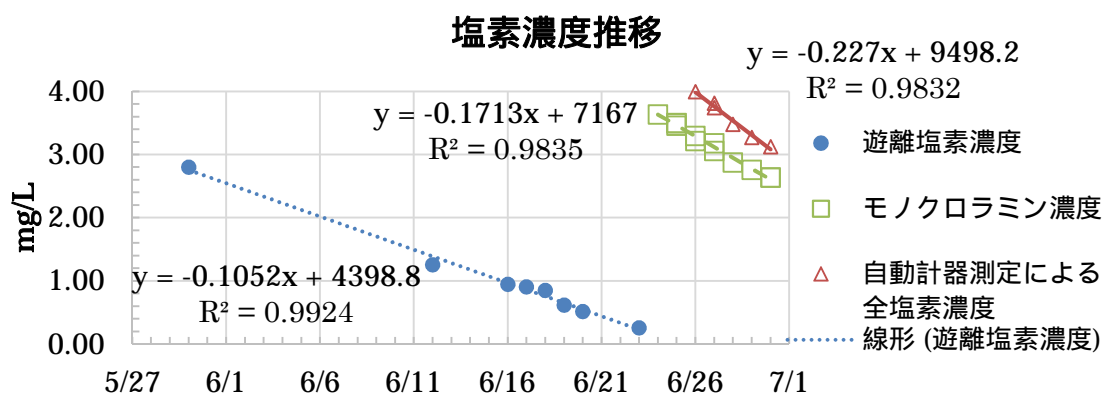


図2 モノクロラミン生成添加装置

- A) 設置場所：通常このような機器は機械室に設置するが、一時的な利用であったのでプールサイドに設置した。左奥にある水道水をモノクロラミンの生成と添加に用いた。ポンプを使って全塩素計にプール水を導入し、測定後の水はプールに返送した。
- B) 操作盤：複数台のポンプの連動動作させて、モノクロラミンを生成している。全塩素計からの信号に従って動作を設定した。
- C) 薬液ポンプ：水道水に硫酸アンモニウム溶液と次亜塩素酸ナトリウム溶液を混合してモノクロラミンを生成した。
- D) 注入点：プール底にある循環の吸引口に生成したモノクロラミンを添加した。
- E) 全塩素計：全塩素濃度を測定し、フィードバック制御を設定した。
- F) 電極：ポーラログラフ電極は、スケールの付着を防ぐために、白く小さなプラスチック粒子が測定セル中に含まれており、これが水流によって動いて電極に衝突することで、電極を常時洗浄している。

A) 遊離塩素濃度の推移



B) モノクロラミン濃度の推移

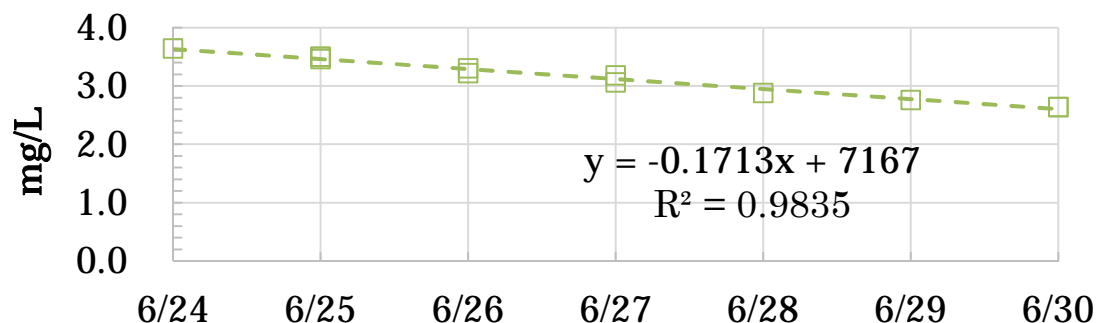


図3 塩素濃度の推移

- A) 遊離塩素濃度の推移：5月末から遊離塩素濃度の監視を開始した。6月中旬に塩素濃度がなくなることが予想されたことから、それまでに装置を設置し、遊離塩素濃度の低下を待って、モノクロラミン消毒に切り替えた。参考として、モノクロラミン濃度も同じグラフ上にプロットしてある。自動計器測定による全塩素濃度と、手測定によるモノクロラミン濃度は測定場所が異なり、測定値が若干離れている。
- B) モノクロラミン濃度の推移：6月24日から6月30日までのモノクロラミン濃度、Aのプロットの再掲

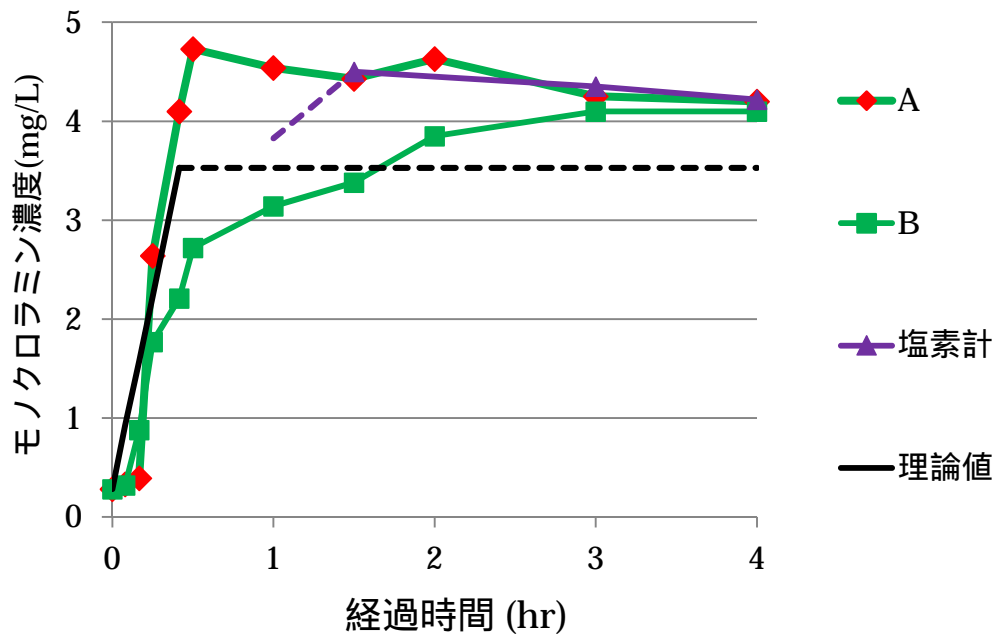


図4 モノクロラミン消毒を開始した直後の濃度推移

3.5mg/L の濃度を目標に、モノクロラミンの添加を開始した。プロットの A は、添加装置近くから採水した値で、速やかに濃度が立ち上がった。プロット B は、装置から最も遠く離れた対角線上の位置から採水した値で、徐々に濃度が高まった。塩素計は 1 時間経過後に手動でキャリブレーション調整をしているので、それ以前の測定値は反映させていない。プロット A、B と図 3 のモノクロラミン濃度は測定方法が同じだが、測定地点、測定者、試薬ロットが異なり、若干の違いが生じている。

表 1 レジオネラ属菌等の検査結果

検体名	一般細菌* (CFU/mL)	従属栄養細菌** (CFU/mL)	レジオネラ属菌 (CFU/100mL)	濁度 (度)	過マンガン酸 カリウム消費量 (mg/L)
6月18日採水 (遊離塩素管理時)	< 10	< 10	< 10	< 0.2	1.1
6月30日採水 (モノクロラミン 管理時)	< 10	< 10	< 10	< 0.2	2.9
遊泳用プールの 水質基準	< 200	-	(< 10)***	< 2	< 12

* 一般細菌: 35 , 2日培養. ** 従属栄養細菌: 35 , 7日培養.

*** 循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアルに準ずる.