

令和5年度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 泉山 信司 国立感染症研究所 寄生動物部

分担研究報告書

電解生成オゾンを用いた温浴施設循環式ろ過器の消毒・洗浄試験

研究分担者	田栗 利紹	長崎県環境保健研究センター
研究協力者	斎藤 利明	株式会社ヤマト 温浴事業部
研究協力者	木村 哲也	株式会社ヤマト 温浴事業部
研究協力者	小森 正人	株式会社ヤマト 大和環境技術研究所
研究分担者	柳本 恵太	山梨県衛生環境研究所 微生物部
研究分担者	森 康則	三重県保健環境研究所 衛生研究課
研究分担者	枝川 亜希子	地方独立行政法人大阪健康安全基盤研究所
研究分担者	小坂 浩司	国立保健医療科学院 生活環境研究部
研究協力者	陳内 理生	神奈川県衛生研究所 微生物部
研究協力者	山本 哲司	花王株式会社 ハウスホールド研究所
研究協力者	細川 賢人	花王株式会社 ハウスホールド研究所
研究協力者	田中 孝典	花王株式会社 ハウスホールド研究所
研究協力者	杉山 寛治	株式会社マルマ 研究開発部
研究協力者	田中 慶郎	株式会社マルマ PC 営業部
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	茶山 忠久	ケイ・アイ化成株式会社 機能性薬品部
研究協力者	藤井 明	株式会社ヘルスビューティー

研究要旨

公衆浴場のろ過器はレジオネラ属菌の汚染源の1つであり、週に1回以上の頻度で高濃度塩素を用いた洗浄消毒が推奨されている。しかし、この方法は多量の薬液を必要とし、労力・コスト負担が避けられないばかりか、消毒が不足すればろ過器のレジオネラ属菌の繁殖が防げなかったりする。一方、塩素より高い酸化力を有するオゾンの場合、消毒効果への期待はあるが、人体に有害であり、特に空気(酸素)の無声放電で生成する場合に排オゾン処理が必須となる。これが水の電気分解により生成するオゾンであれば、相対的に生成量が少なく安全性の問題が少ないことから、当該研究では電解生成オゾンに着目した。スーパー銭湯の協力を得て、有効

容量(ろ材充填量) 1.8m³ のろ過器に対して、電解オゾン水を営業終了後毎日供給した。オゾン濃度は 0.5~0.9(平均 0.7)mg/L、供給量はろ過器容量分(1.8m³)とした。ろ過器の使用(循環)と逆流洗浄(逆洗)が停止された当初の約 2 ヶ月間は、オゾンを供給したにも関わらず、ろ過器内のレジオネラ属菌が 10³CFU/100mL 程度まで対数増殖した。ろ過器の使用と逆洗が再開された後は、オゾン消毒前の逆洗水のレジオネラ属菌は、約 4 ヶ月間継続して不検出となった。オゾンによる消毒だけでなく、逆洗も重要と考えられる結果であった。

A. 研究目的

公衆浴場等の温浴施設で衛生上の問題となっているレジオネラ属菌は、設備に付着する生物膜中で保護され、洗浄や消毒の困難なことが知られている¹⁾。つまり生物膜を除去し、その増殖を抑制することは、重要な衛生管理の1つとなっている。特にろ過器を有する循環式浴槽はレジオネラ属菌に汚染されやすく、「公衆浴場における衛生等管理要領等について」において、「1週間に1回以上、ろ過器を十分に逆流洗浄(以下、逆洗)して汚れを排出するとともに、ろ過器及び循環配管について、適切な方法で生物膜を除去、消毒」するとされている²⁾。これを受けて「循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアル」では、循環配管に2~3%の過酸化水素や5~10mg/Lの高濃度塩素を用いる方法が紹介されている³⁾。「レジオネラ症防止指針」では、ろ過器に対して、1週間に1回以上の頻度で5~10mg/Lの高濃度塩素を使用した逆流洗浄(以下、逆洗)が推奨されている⁴⁾。加えて、気泡装置等の汚染されやすい浴槽に対しては、毎日1回以上の頻度とされている。

しかし、これらのマニュアルや指針には、ろ過器の適切な生物膜の除去、消毒についての具体的方法や説明が不足しているかもしれない。例えば大容量のろ過器と配管に対応するための、多量の薬液と外付けタンク等を必要としたり、中和排水等の後処理が必要だったりし

て、多くの労力やコスト負担が避けられない。また、逆洗の浴槽水がアルカリ性のところに高濃度の遊離塩素を使う場合には、次亜塩素酸に比べて次亜塩素酸イオンの比率が高くなるため酸化力が低下し⁵⁾、消毒効果が不足する。消毒が不足するとろ過器に雑菌が繁殖し、レジオネラ属菌の検出が続いたりすることになる。

過酸化水素や塩素以外の方法として、前述のマニュアルや指針には、オゾン、紫外線、銀イオン、光触媒等の利用が挙げられている。そのうちオゾンは、先進的な管理要領が高知県で制定されており、有力な候補の一つと考えられる⁶⁾。オゾンは、空気(酸素)の無声放電⁷⁾や水の電気分解⁸⁾により必要量を現場で生成できて、多量の薬剤を搬入するための労力は不要となる。高pHでは、自己分解して酸化力の高いヒドロキシラジカルを生成し⁹⁾、pHの影響は無視できるか、むしろ消毒効果が高まる傾向を持つこともある¹⁰⁾。オゾンは塩素消毒より高い酸化力を有し、消毒効果への疑問はない¹¹⁾。一方で気体のオゾンは高濃度になると人体に危険であり、多量に使用する場合には排オゾン設備が必須となる等、厳重な注意を要する。

日本産業衛生学会では、作業環境基準(1日8時間労働)としてのオゾン許容濃度(健康上の影響がないと判断される濃度)を0.1ppm(0.2mg/m³)と定めている¹²⁾ものの、水溶液のオゾン水については特段の基準値等は見受

けられなかった。水の電気分解により生成するオゾンは、相対的に生成量が少なく、安全性の問題が少ない。

本試験では、電解生成オゾンを用いたろ過器の消毒・洗浄方法について検討した。令和4年度は某スーパー銭湯の協力を得て、アトラクション浴槽の小規模ろ過器(0.2m³)で試験を行い、逆洗水のレジオネラ属菌を約10ヶ月間、概ね継続して不検出とすることが出来た。今年度はスケールアップを図り、より大規模なろ過器(1.8m³)を対象に同様の試験を行った。その際に設備の都合によりろ過器の使用(循環)と逆洗を停止する期間があり、逆洗の重要性が強調される結果が得られたので、前後のレジオネラ検出を踏まえて考察する。

B. 方法

試験対象とした浴槽は、当初露天風呂(約40℃)として使用されていたが、施設側の意向により、オゾン供給直前に露天サウナ用の水風呂に変更された(井水、17 m³、16～24℃、pH7.3、図1)。既設制御盤の故障により、当初の約2ヶ月間、ろ過器の使用(循環)と逆洗が停止した時期があったが、この間もろ過器へのオゾン供給を行い、部分的にろ過器内水を採水してろ過器内の清浄度を調べた。先の試験と同様に、営業終了後、逆洗前のろ過器に対して、電解オゾン水を毎日供給した。試験条件を表1に、試験対象とした浴槽のろ過器(有効容量1.8m³、直径約1.4m×高さ約1.2m)を図2に示す。

協力を得た当該スーパー銭湯は、施設全体で通常1日に約1,000～1,500人の入館者数があり(表1)、年末から正月にかけての繁忙期には2,000人に届く日も見受けられた。この人数が全て試験対象の浴槽へ入るわけではない

ものの、ろ過器への汚濁量は日常的に非常に多いと考えられた。試験対象とした浴槽は、オゾン供給直前に露天風呂から露天サウナ用の水風呂に変更され、露天風呂の時の汚れが多く蓄積していることが疑われた。

オゾン供給前(露天風呂)の汚濁状況を調べるために、オゾン供給77日前(2022年8月13)より水質分析を開始し、この日を試験開始日とした。繰り返しになるがオゾン開始に前後して露天風呂は水風呂に変更された。335日目(2023年7月4日)に試験を終了した。

試験装置は前回同様、単相100Vの電源で稼働し、始動スイッチを一度押すだけで、電解オゾン水を自動供給する単純なシステムとした。電解オゾン水は、施設で使用している井水を活性炭で塩素除去した後、市販のオゾン生成電極で電気分解することにより生成した。電極は昨年度の物から約5倍の面積を持つ電極(オゾンバスターインダストリー、オゾンマート製)にスケールアップした。オゾン供給装置設置状況および試験装置概略を図3および図4に示す。また、オゾン生成電極の外観、電解槽の外観および仕様を図5、図6および表2にそれぞれ示す。

オゾン供給装置は、始動スイッチを一度押すだけで、ろ過器下部のドレン口より電解オゾン水を供給し、タイマー制御により一定時間経過後停止する(図4)。当該スーパー銭湯は営業終了後に複数ろ過器の自動逆洗を行っており、試験対象ろ過器の逆洗を開始する前に、オゾン供給装置の始動スイッチを押すよう施設担当者へ依頼した。これにより、逆洗前のろ過器に対して、電解オゾン水を毎日供給した。流量は30L/minとし、オゾン濃度は0.5～0.9mg/L(平均0.7mg/L)であった。供給時間はろ過器容量分(1.8m³)を供給するため60分間

とした。陰極や電解槽内へのスケール付着が多いため、100g/L クエン酸溶液を電解槽内に1時間浸漬させる薬品洗浄を月に1回の頻度で行った。

なお、電解オゾン水は注入後、そのほとんどがろ過器内で消費されるか、わずかに残留しても逆洗により施設外へ排水されるため、作業空間中へのオゾン漏洩は実質ゼロに近いレベルとなる。環境中のオゾン濃度を測定した結果、本試験の電解条件では、排オゾン処理は不要(0.1ppm未満)であった。

当該オゾン生成電極は、水道水の利用を想定され、目的外の成分が生成しない様に、電圧は調整変更できない。温泉水や海水等の電気伝導度が高い水の場合、電解電流が過大になると安全装置が働き、電解が停止することに注意を要する。電極にオゾン生成量(電解電流)をコントロールする機能は無く、電解に供する水の電気伝導度に伴って、オゾン生成量が決定する。従って、水質および水温が一定の条件では、電解オゾン水のオゾン濃度は流量に伴って一定になる。換言すると、オゾン濃度は流量に依存し、オゾン供給量は供給時間に従うため、オゾン供給量の調整は、この2つのパラメータの設定により行うことになる。

消毒・洗浄の効果を調べるため、週1回の頻度で、浴槽水、オゾン消毒前の逆洗水、それから部分的にろ過器内水とオゾン消毒後のオゾン排水を採水し、水質を分析した。ろ過器内水は、制御機器の故障によりろ過器の使用(循環)と逆洗が停止した約2ヶ月間(98日目から154日目)に採水した。この間もろ過器へのオゾン注入とろ過器内水のレジオネラ属菌を分析した。オゾン消毒前の逆洗水は、汚染が最も蓄積されている状態を期待して279日目まで測定した。286日目からオゾン消毒後の

オゾン排水を測定し、ろ過器内部の状態を確認した。以上のレジオネラ測定試料は採水方法の違いにより3通りあって結果の単純比較は出来ないが、レジオネラの検出不検出や増減傾向は参考になる。本試験における分析項目と分析方法を表3に示す。ATP測定では対照として、オゾンを供給しない浴槽水も測定した。なお、グラフ中表示する都合で、レジオネラ属菌数の1CFU/100mLは不検出(検出限界10CFU/100mL未満)を示している。

C. 結果および考察

浴槽水、オゾン消毒前の逆洗水(279日目まで)およびろ過器内水(98日目から154日目の間)のレジオネラ属菌、浴槽水の残留塩素(DPD)、(オゾンを供給していない対照浴槽を含む)各浴槽水のATP、286日目以降のオゾン消毒後のオゾン排水のレジオネラ属菌とアメーバ、それぞれの分析結果を図7から図10に示す。

オゾン供給77日前からオゾンを開始するまでの間、浴槽水のレジオネラ属菌は、10~70CFU/100mLの間で断続的に検出された。その間の56日目から測定した逆洗水のレジオネラ属菌は、10~160CFU/100mLの間で連続して検出された(図7)。

75日目の(施設による)配管洗浄(過酸化水素+塩素化イソシアヌル酸塩)の後、露天風呂は水風呂に変更され、77日目より電解オゾン水の供給を開始した。ろ過器の使用(循環)と逆洗が停止された98日目までの3週間は、オゾン消毒前の逆洗水から連続して10~120CFU/100mLの間でレジオネラ属菌が検出された(図7)。

ろ過器の使用(循環)と逆洗が停止された98日目から154日目までの約2か月間は、オ

ゾン供給を継続したにも関わらず、20 CFU/100mL から 7900 CFU/100mL までレジオネラ属菌が対数増殖した(図 7)。逆洗を伴わないオゾン供給だけでは、レジオネラ対策としては不足であった。それまでに蓄積した多量の汚れ成分をオゾンで分解することにより、微生物代謝に資する易分解性の有機物(BOD)がろ過器内で増加したことが推察された。このような状況は、水道のオゾン後の活性炭槽でも生じることが知られており、細菌数が増加や微生物の漏出に注意が払われる^{16,17)}。

繰り返しになるが、オゾンを注入しただけでは、ろ過器を消毒できないことが明らかとなった。しかし、154 日目よりろ過器の使用(循環)と逆洗が再開された後は、オゾン消毒前の逆洗水のレジオネラ属菌は、約4ヶ月間継続して不検出となった(図 7)。これは、汚れ成分が効率よく系外に排出されたためであると考えられた。すなわち、オゾンによる消毒だけでなく、逆洗による排出が非常に重要であることが示唆された。

浴槽水のレジオネラ属菌は、77 日目のオゾン供給開始時より、約7ヶ月間継続して不検出であった(図 7)。これは、水温が低下(16~24℃)したことと、遊離残留塩素が概ね 0.0~2.0mg/L の間で維持されたためであると考えられた(図 8)。遊離残留塩素が高めに推移した要因としては、水風呂変更後の入浴者減少やオゾン供給によるろ過器の清浄化により、塩素消費が少なくなったことと推察された。

ATP はレジオネラ属菌の検出リスクの指標として使用できることが報告されている^{14),15)}。浴槽水の ATP は、ろ過器の使用(循環)と逆洗が停止した期間も含めて、77 日目のオゾン供給開始時より約7ヶ月間、概ね安全ゾーン(検出率 0.3%)とされる 40RLU 未満¹⁴⁾まで低下し、

オゾンを供給していない他の浴槽に比べて最も低い値で推移した(図 9)。浴槽水の ATP が 180 日目付近より上昇していく傾向にあるが、季節変化(2月から5月)に伴う温度上昇(18℃から 23℃)により、微生物の活性が上昇したことが理由と推察された。

浴槽水およびオゾン消毒前の逆洗水の水質分析は 279 日目で終了としたが、その後のオゾンによる消毒・洗浄効果を調べるため、286 日目からはオゾン消毒後のオゾン排水中のレジオネラ属菌およびアメーバを測定した。いずれも逆洗水ではあるが、279 日目より以前はろ過器内の上層に蓄積された汚れを意図して測定しようとした、消毒を受ける前の逆洗水であり、286 日目以降は消毒を受けたろ過器内の中心部の汚れを含む逆洗水であり、試料の性質が異なることに注意を要する。結果として後者の 286 日目以降のオゾン消毒後のオゾン排水中から、濃度は低いものの、レジオネラ属菌は 10~30 CFU/100mL、アメーバは 1~15 PFU/100mL のレベルで検出され、微生物が完全に死滅することはなかった(図 10)。本研究の結果全体から見ると、オゾンによる消毒よりも、汚れを除去する逆洗の効果が大きいことが強く示唆された。

D. 結論

循環ろ過器を対象とした電解オゾン水による消毒・洗浄のスケールアップを検討した。ろ過器有効容量 1.8m³ のろ過器に対して、オゾン濃度 0.5~0.9(平均 0.7)mg/L の電解オゾン水を、有効容量分(1.8m³)毎日逆洗前に供給した。

オゾンを開始して3週間は、オゾン消毒前の逆洗水から連続して 10~120 CFU/100 mL のレジオネラ属菌が検出された。その後ろ過

器の使用(循環)と逆洗が停止した約 2 ヶ月間は、オゾン供給にも関わらず、ろ過器内水のレジオネラ属菌は 20 CFU/100mL から 7,900 CFU/100mL まで対数増殖した。ろ過器の使用(循環)と逆洗が再開された後は、オゾン消毒前の逆洗水のレジオネラ属菌は、約 4 ヶ月間継続して不検出となった。

ろ過器より排出されたオゾン消毒後のオゾン排水からレジオネラ属菌およびアメーバが検出され、ろ過器内の微生物は死滅していなかった。逆洗による汚れの排出が非常に重要と示唆された。

E. 参考文献

- 1) 厚生労働省:入浴施設におけるレジオネラ症防止対策、pp.2、2019年12月、(<https://www.mhlw.go.jp/content/1113050/0/000580777.pdf>)。)
- 2) 厚生労働省:公衆浴場における衛生等管理要領等について、pp.13、2020年12月、(<https://www.mhlw.go.jp/content/11130500/000556111.pdf>)。)
- 3) 厚生労働省:循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアル、pp.22-23、2019年12月、(<https://www.mhlw.go.jp/content/11130500/000577571.pdf>)。)
- 4) (公財)日本建築衛生管理教育センター:レジオネラ症防止指針(第4版)、pp.110、2017年7月。
- 5) 藤田賢二 監修:水道工学、pp.273、技報堂出版(株)、2006年10月。
- 6) 高知県、オゾン殺菌方式による浴室等の衛生及び安全に関する管理要領 (<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/131901/h24-ozonikenkoubo-kekka.html>、2022/3/24時点、2023/2/13リンク切れ)。
- 7) (特非)日本オゾン協会:オゾンハンドブック(改訂版)、pp.151-158、2016年10月。
- 8) Foller, P. C. and Tobias, C. W.: The anodic evolution of ozone, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 129, No.3, pp.506-515, 1982.
- 9) Staehelin, J. and Hoigne, J.: Decomposition of ozone in water in the presence of organic solutes acting as promoters and inhibitors of radical chain reactions, *Environmental Science & Technology*, 19, pp.1206-1213,1985.
- 10) 宮崎朋美、安田奏平、中川健斗、高鳥浩介、釜瀬幸広、黒松 久、櫻井美栄、白井淳資:オゾン水の殺糸状真菌(カビ)効果におけるpHの影響、家畜衛生学雑誌、44、pp.1-7、2018年。
- 11) 金子光美 著:水の消毒(初版)、pp.172-175、(財)日本環境整備教育センター、1997年8月。
- 12) (公社)日本産業衛生学会:許容濃度等の勧告(2022年度)、産業衛生学雑誌、pp.255、Vol.64、No.5、2022年。
- 13) (公財)日本建築衛生管理教育センター:レジオネラ症防止指針(第4版)、pp.131、2017年7月。
- 14) (財)日本公衆衛生協会:平成 22-23 年度地域保健総合推進事業「保健所のレジオネラ対策における簡易迅速な検査法の実用化と自主管理の推進に関する研究」報告書、2011年。
- 15) 千葉県山武健康福祉センター:入浴施設におけるルシパック Pen 及びルシパック A3 surface の測定値の比較について、千葉県

公衆衛生学会分科会、2019年.

- 16) 藤田賢二 監修:水道工学、pp.281、技報堂出版(株)、2006年10月.
- 17) 水道技術研究センター、高度浄水処理に関する基本事項、pp.1-11、水道事業における高度浄水処理の導入実態及び導入検討等に関する技術資料より、2009年3月 (<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jousui/dl/01b.pdf>, 2024年2月28日時点)

F. 研究発表

紙上発表

なし

口頭発表

1. 小森正人,住谷敬太,齋藤利明, 泉山信司,田栗利紹, 電解オゾン水を用いた温浴施設循環式ろ過器の消毒試験, 日本オゾン協会 第32回年次研究講演会, 2023年.

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

1. 田中孝典, 泉山信司, 配管の洗浄方法、特許 7453065、発行日令和6年3月11日



図1 試験浴槽

表1 試験条件

オゾン 生成方式	濃度	流量	供給時間	供給量		頻度	試験施設
	mg-O ₃ /L	L/min	min	L/回	mg-O ₃ /回	回/日	
水電解 (井水)	0.5~0.9 (平均0.7)	30	60	1800	1260	1	<u>スーパー銭湯</u> 入館者数：1000~2000人/日 浴槽：露天サウナ水風呂 17m ³ 井水（16~24°C、pH7.3）



図2 試験ろ過器

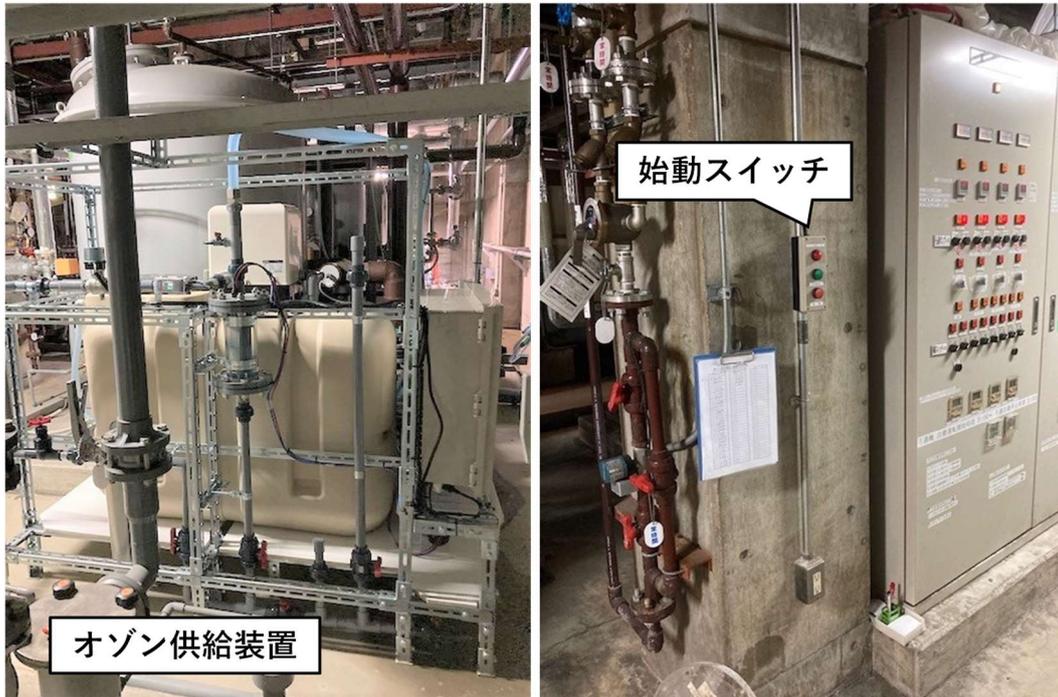


図3 オゾン供給装置設置状況

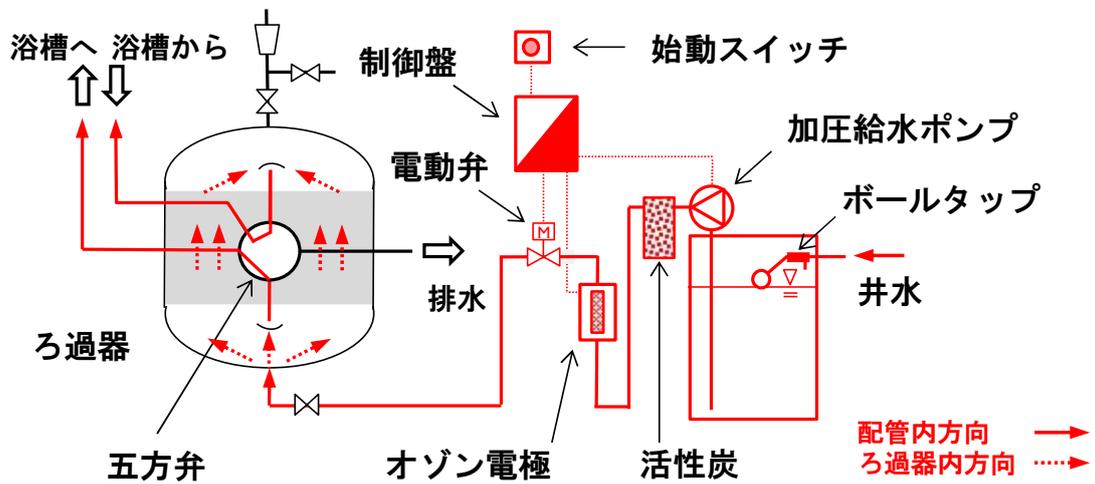


図4 試験装置概略

実線矢印および破線矢印は、それぞれ洗浄中の配管内オゾン水通水方向およびろ過器内オゾン水通水方向を示している。



図5 オゾン生成電極



図6 電解槽

表2 オゾン生成電極仕様

	寸法	枚数	定格電力	使用数
	cm	枚	W	個
オゾン生成陽極	5 W × 20 L × 0.1 t	8	480 (AC100V)	1
陰極		9		

表3 分析項目および分析方法

項目	単位	測定方法
レジオネラ属菌	CFU/100mL	培養法
残留塩素濃度	mg/L	デジタル比色計DP-3F、笠原理化工業(株)
水中オゾン濃度	mg/L	デジタル比色計O3-3F、笠原理化工業(株)
気相中オゾン濃度	ppm	オゾンチェッカー OC-300、(有)オゾンテクニカ オゾンガスモニタ OZG-EM-010K、(株)アプリクス
アメーバ	PFU/mL	アメーバ培養法 ¹³⁾
ATP	RLU (Relative Light Unit)	ルミテスター・ルシパックA3法 ^{14),15)} 、 キッコーマンバイオケミファ(株)

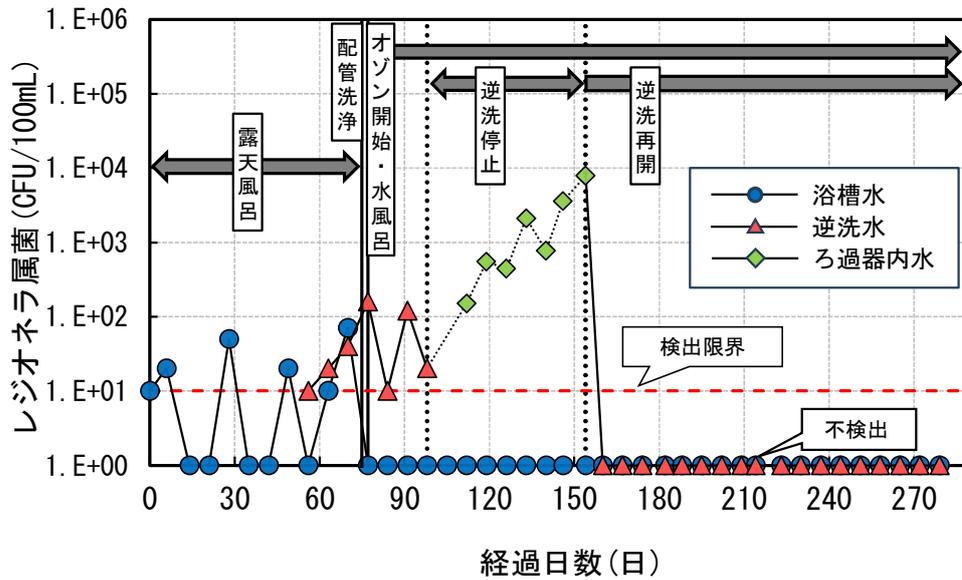


図7 レジオネラ属菌経日変化

レジオネラ属菌の1CFU/100mLは不検出(検出限界10CFU/100mL)を示している。75日目に過酸化水素によるろ過器と配管の化学的洗浄が行われ、対象浴槽が露天風呂から露天サウナ用の水風呂へ変更された。オゾン供給は77日目より開始した。98日目から154日目までは、既設制御盤の故障によりろ過器の使用(循環)と逆洗が停止されたが、この間もオゾン供給は継続し、ろ過器内水のレジオネラ属菌分析結果を部分的にろ過器内水として表示した。

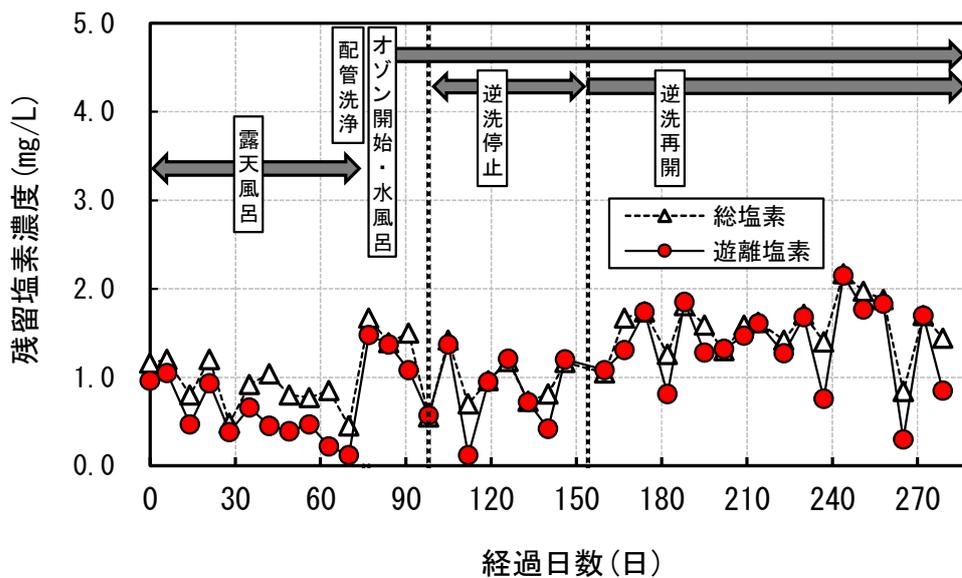


図8 浴槽水残留塩素経日変化

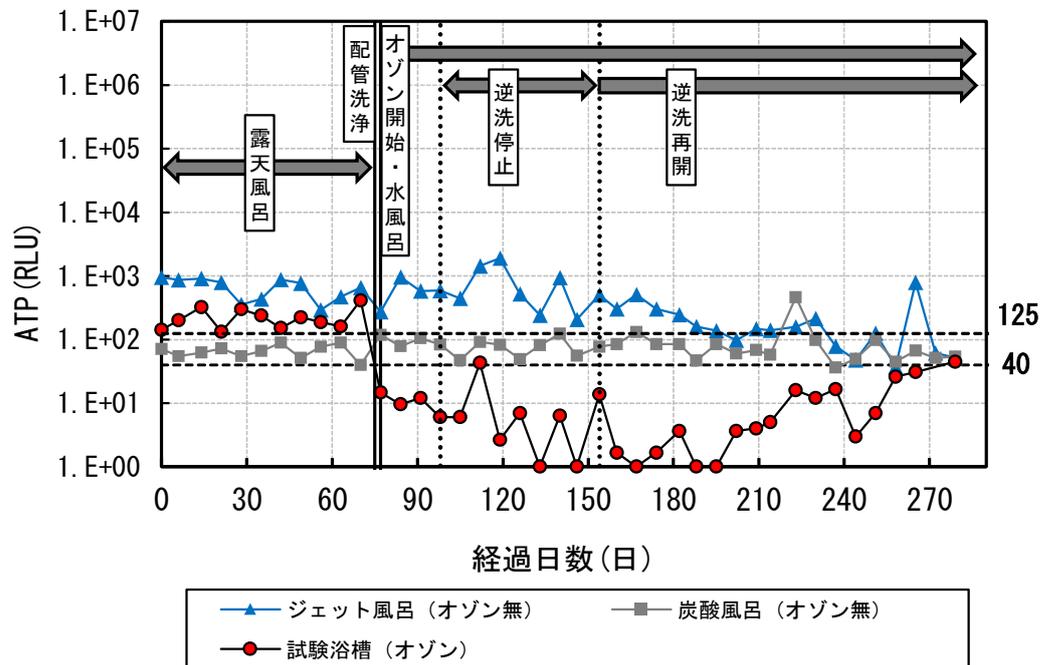


図9 浴槽水 ATP 経日変化

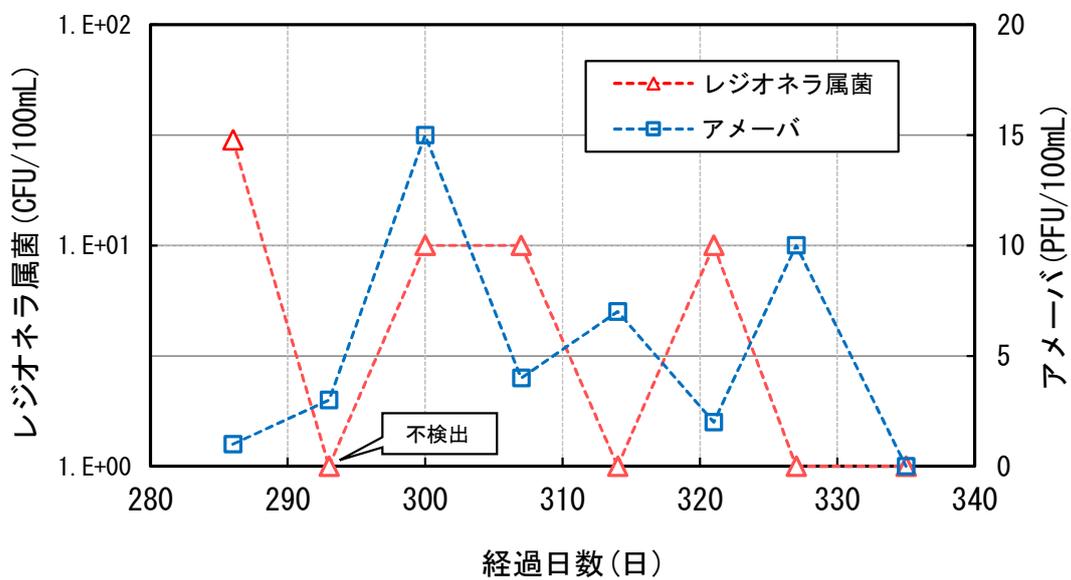


図10 オゾン消毒後の排水中のレジオネラ属菌およびアメーバ経日変化