

# 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

An examination of disinfecting a filter for circulating bathwater using ozone made by electrolysis.

○小森正人\*、住谷敬太\*、齋藤利明\*、泉山信司\*\*、田栗利紹\*\*\*

\*：株式会社ヤマト、\*\*：国立感染症研究所、\*\*\*：長崎県環境保健研究センター

## 論文要旨

温浴施設の循環式浴槽で使用されているろ過器は、レジオネラ属菌に汚染されることから、高濃度の塩素で消毒することが推奨されている。本研究は塩素消毒を、オゾン消毒で代替する方法について検討した。装置として、一度のボタン押下で一定量の電解オゾン水を自動供給するシステムを構築した。温浴施設のスーパー銭湯の協力を得て、毎日のろ過器逆流洗浄前に、電解オゾン水をろ過器内へ直接供給する実地試験を行った。試験開始前に検出されていた逆洗水のレジオネラ属菌は、約10ヶ月間概ね継続して不検出となった。

キーワード：温浴施設、レジオネラ属菌、ろ過器

## 1. はじめに

温浴施設の循環式ろ過器は、レジオネラ属菌に汚染されやすく、定期的には高濃度塩素を使用して洗浄することが推奨されている<sup>1) 2)</sup>。しかし、多量の薬液を用いる方法は、設備や中和処理等、多くの労力やコスト負担が避けられない。オゾンであればそうした負担を軽減でき、塩素より高い酸化力を有するので消毒効果の疑問はなく<sup>3)</sup>、空気（酸素）の無声放電や水の電気分解<sup>4)</sup>により必要量を現場で生成できる。高濃度なオゾンは人体に危険であり、無声放電で生成する場合、余剰のオゾンに対して排オゾン設備が必要となる。水の電気分解は、電解オゾン水として使用可能であり、比較的 안전한方法と考えられる。そこで本研究では、循環式ろ過器を電解オゾン水で安全に消毒する方法について検証した。本研究は昨年度の本講演会にて当初の成果を一部報告したところであるが、その成果も含め年余にわたって継続した結果について報告する。

## 2. 試験場所、装置および方法

### 2. 1 試験場所

協力頂いたスーパー銭湯は、施設全体の入館者数が1000～2000人/日であり、露天風呂、炭酸風呂、ジェット風呂等、循環式浴槽を複数備えている。試験では、その中の小規模アトラクション浴槽（井水、約1m<sup>3</sup>）の循環式ろ過器（砂ろ過槽、直径約0.5m×高さ約1m、写真-1）を対象とした。各系統ろ過器の逆流洗浄（以下、逆洗）は、営業終了後の深夜（0：00～）に管理担当者が制御盤のスイッチを操作することにより自動的に行われていた。

### 2. 2 試験装置

オゾン供給装置の操作は、管理担当者が行う通常の管理業務と同程度の簡易さが求められることから、一度のボタン押下のみで、タイマー制御により一定量の電解オゾン水を、ろ過器下部ドレン口から自動供給するシステムを構築した（図-1、写真-2）。



写真-1 循環式ろ過器

オゾン生成には、一般消毒用に市販されているオゾン電極を使用した（商品名：オゾンバスターPRO、定格電力：120W・AC100V、販売元：オゾンマート）。オゾン電極は、4枚の陰極間に同形状で3枚のオゾン生成陽極が挟まれた構造となっており、電極1枚の寸法は、幅5cm×長さ10cm厚さ1mm、電極間隔は1.5mmであった。オゾン供給装置として、当該オゾン電極をアクリル容器に収めた状態で、2個を直列に設置した（写真-2）。始動ボタンを一度押すと、電動弁が開き、加圧給水ポンプにより活性炭（塩素除去）を介して井水が給水され、電気分解（オゾン生成）を行いながら、下部ドレン口より上向流で電解オゾン水が供給される。電解オゾン水による押し出し流れにより、ろ過器内の浴槽水は逆流しながら徐々に電解オゾン水へと置換される。

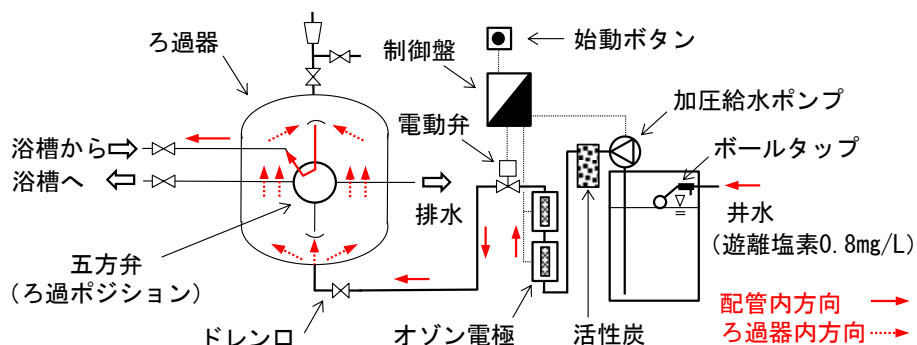


図-1 オゾン供給装置概略図



写真-2 オゾン供給装置

### 2. 3 試験方法

営業終了後、ろ過器の逆洗操作前に、オゾン供給装置の始動ボタンを押すよう施設側へ依頼した。これにより、ろ過器に対して電解オゾン水を毎日供給することが可能となった。供給流量は10L/minで一定とし、この時の水中オゾン濃度は0.7~0.9 mg/L（平均0.8mg/L）、供給時間を開始当初は10min（100L）、開始77日目より20min（200L）とした。

電解オゾン水によりろ過器内を消毒した後、逆洗により汚れと共に電解オゾン水をろ過器外へ排出した。本試験では、この操作を毎日継続することにより、ろ過器内が徐々に清浄になることを期待した。なお、井水を電気分解して電解オゾン水を生成しているため、陰極やアクリル容器内へのスケール付着が多く、月1回の頻度で、100g/L クエン酸溶液による漬け置き洗浄を行った。

週1回の頻度で、営業終了後のオゾン供給前に、浴槽水および逆洗水を採水し、水質を分析した。なお採水日のみ、逆洗前にろ過器をブローによりエアレーションし（約200 L/min、約5分間）<sup>5)</sup>、その後の逆洗水を採水することで、蓄積していた汚れを分析できるようにした。安全確認のため、試験開始時と供給時間を変えた際に、浴槽とろ過器周辺の気相オゾン濃度を測定した。分析項目および分析方法を表-1に示した。

表-1 測定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	平板培養法
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	オゾンガスモニタ OZG-EM-010K、(株)アプリクス
一般細菌	CFU/mL	標準寒天培地法
ATP	RLU (Relative Light Unit)	ルミテスター・ルシパックA3法 <sup>6)、7)</sup> キッコーマンバイオケミファ(株)

### 3. 試験結果および考察

#### 3. 1 試験結果

水質分析を開始したオゾン供給56日前を試験開始日とし、レジオネラ属菌の分析結果を図-2に示した。図中、1 CFU/100 mLは不検出（検出限界 10 CFU/100 mL未検出）を表している。また、330日目から338日目までは施設側の都合により浴槽使用が停止された。

オゾン供給前は、浴槽水で10~60 CFU/100 mL、逆洗水で30~330 CFU/100 mLのレジオネラ属菌が検出された。オゾン供給量は当初100L（10L/min、10min）で開始したが、63日目の逆洗水からレジオネラ属菌が検出され、オゾンの不足が疑われたことから、66日目の配管洗浄（過酸化水素+塩素化イソシアヌル酸塩）を挟んで、77日目より供給量をろ過器有効容量となる200L（10L/min、20min）に増やした。試験中、電解槽からの漏水があり、229日目の配管洗浄（同上）を挟んで、186日目から245日目の約2ヶ月間オゾン供給を停止した。電解槽を補修してオゾン供給を再開した後も断続的に微量の漏水が確認され、隙間からのオゾンガス漏洩も懸念された。322日目にはリード線の腐食による断線から、電解槽が1個停止し、オゾン濃度は0.8mg/Lから0.4mg/Lへと半減した。

逆洗水のレジオネラ属菌は、266日目に10 CFU/100 mL検出され、浴槽の使用停止期間があったものの、オゾン供給の停止期間と半減期間も含め、364日目まで約10ヶ月間概ね継続して不検出となった。オゾン濃度が半減していた370日目からは検出頻度が増加した。浴槽水のレジオネラ属菌についても、91日目の検出以外は、逆洗水と同様の傾向であった。

一般細菌の分析結果を図-3に示した。一般細菌は浴槽水と逆洗水で同様の挙動を示しており、 $10^4 \sim 10^6$  CFU/mLだったものが、オゾン停止（186日目）までに $10^1 \sim 10^2$  CFU/mLまで、2~5-Log減少した。オゾン停止中は $10^2 \sim 10^3$  CFU/mLまで約1-Log増加し、その後のオゾン漏洩期間と半減期間を通じて、オゾン供給前と同程度にまで増加した。

ATP（図非表示）はレジオネラ属菌検出リスクの指標として使用でき、40RLU（Relative Light Unit）未検出は安全ゾーン（検出率0.3%）、40以上125RLU未検出は要注意ゾーン（検出率3.1%）、125RLU以上は危険ゾーン（検出率22%）となることが報告されている<sup>6,7</sup>。他の浴槽との衛生度を比較するため、オゾン供

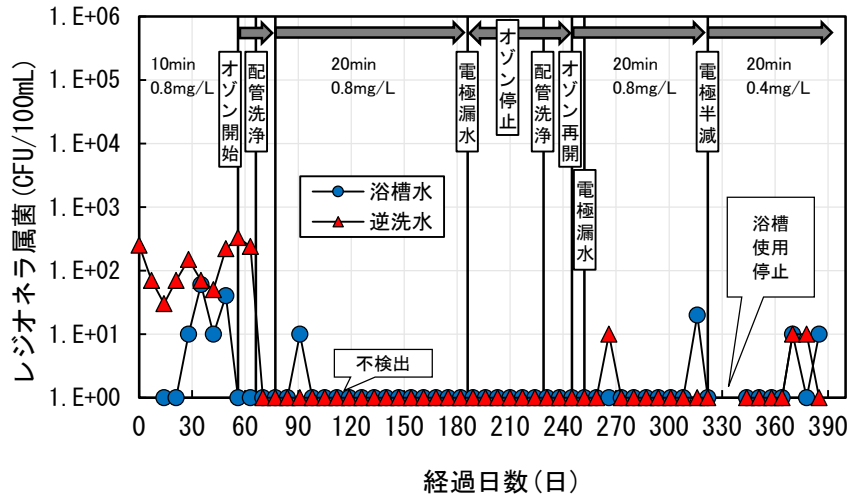


図-2 レジオネラ属菌分析結果

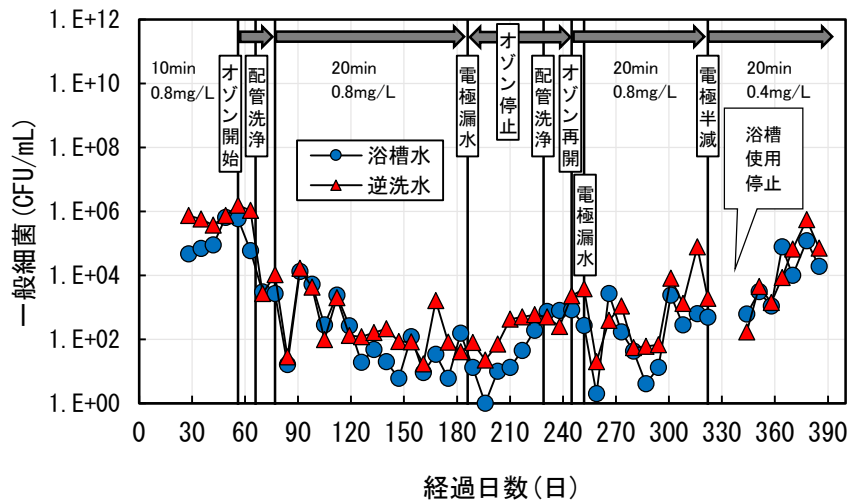


図-3 一般細菌分析結果

給量を増やした 77 日目より浴槽水の ATP を測定したところ、試験対象の浴槽水 ATP は、オゾンを供給していない他の浴槽に比べて概ね低く推移し、危険ゾーン（125RLU 以上）にはほとんど至らなかった。

### 3. 2 考察

本試験では、オゾン供給後の 77 日目から 364 日目まで、約 10 ヶ月間概ね継続して逆洗水のレジオネラ属菌が不検出となった。オゾン供給開始直後の 66 日目とオゾン供給停止中の 229 日目に配管洗浄を行っており、得られた結果が全てオゾン消毒の効果としては強調しづらいかもしれない。しかしながら、消毒を行っていないモデル循環式浴槽では、1 日目で雑菌、2 日目で自由生活性アメーバ、3 日目でレジオネラ属菌の増殖が実験的に示されている<sup>8)</sup>。従って、毎日のろ過器への電解オゾン水供給は、消毒方法として有効であると考えられる。

266 日目の逆洗水と 316 日目の浴槽水からレジオネラ属菌が検出された要因としては、断続的な漏洩によるオゾン供給不足と考えられた。また、91 日目の浴槽水からレジオネラ属菌が検出された要因としては、その前後で不検出が続いて消毒効果自体は安定していたこと、当日に限って遊離残留塩素が 0.09 mg/L と低かったこと等から、生物膜の塊を偶然に測定したと考えられた。

### 4. まとめ

オゾン生成電極を用いて、オゾン濃度 0.7~0.9 mg/L (平均 0.8mg/L) の電解オゾン水を生成し、毎日逆洗前にろ過器内へ直接供給することにより、温浴施設における循環式ろ過器を継続的に清浄状態とすることが可能であった。

### 5. 謝辞

本研究の一部は厚生労働省（JPMH22LA1008）により行われた。

### 6. 参考文献

- 1) 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>) .
- 2) (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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) (社) 日本水道協会：水道施設設計指針、pp.219-220、2000 年.
- 6) (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.
- 7) 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.
- 8) 杉山寛治：講座 環境水からのレジオネラ・宿主アメーバ検出とその制御 8、浴槽のレジオネラ対策① 浴槽のどこで、どのように増えるのか、*日本防菌防黴学会誌*、Vol.47, No.2, pp.83-89, 2019.