

図5. 水中でのレジオネラの生残率とアメーバへの感染性

## II. 分担研究報告書

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)  
分担研究報告書

循環式浴槽における浴用水の浄化・消毒方法の最適化に関する研究

循環式温泉施設における浴槽水との接触面積の検討

主任研究者	遠藤 卓郎	国立感染症研究所 寄生動物部
分担研究者	泉山 信司	国立感染症研究所 寄生動物部
	縣 邦雄	アクアスつくば研究所
研究協力者	山崎 和生	西原衛生工業所
	烏谷 竜哉	愛媛県立衛生環境研究所

概要：

レジオネラ属菌はアメーバなどの原虫類を宿主として増殖するものであるが、レジオネラを含め多様な微生物の集合体が構造物の表面に付着・増殖しバイオフィルムを形成する。したがって、バイオフィルムの付着面積を減らすことはレジオネラ汚染防止の対策の1つとして重要な要素となる。当該研究においては循環式浴槽システムを採用している温泉施設の竣工図面より水接触面積を求め、循環・配管系の占める割合を求めた。その結果、循環系、特にろ材の占める面積が全体の約90%にも達することが示された。これら循環系ならびにろ材の排除（掛け流し式の浴槽システムへの変更）がなされることでバイオフィルム対策をすべき面積は1/10以下に削減することが可能となり、併せてレジオネラ対策が容易になるものと考えられる。

ちなみに、現在、厚生労働省が奨励するレジオネラ対策は残留塩素管理による浴槽水の消毒とろ過槽内のバイオフィルム（活性汚泥）の洗浄除去である。これらの対策により、循環式浴槽システムの従来の機能であるいわゆる生物浄化機能は排除されなければならず、おのずとろ過槽の機能は濁質の除去に限られる。

A. 研究目的

レジオネラ属菌の増殖の要因としてのバイオフィルムの形成程度や量には、浴槽水が浴槽システム内の装置(浴槽本体・機器類・配管類)に接触する面積が重要な要素と考えられる。当該研究では、レジオネラ属菌汚染の対策として、循環式浴槽システムを掛け流し式システムに改修した温泉施設の竣工図面・改修後のシステム図などから浴槽水と浴槽や機器・配管類の接触面積を算出し、システム全体

に占める循環配管系の割合を算定した。

B. 研究の方法

掛け流し式システムに改修した循環式温泉施設の竣工図面・改修後のシステム図などから、改修前後の浴槽水と装置類との接触面積を算出し比較を行った。

1. 施設の概要

施設各浴槽の接触面積関連装置の主な構成概要を表1に示し、施設の配置を図1に示す。

表1 各浴槽の接触面積関連装置の主な構成概要

浴槽名	装置構成概要	
	浴槽・配管類	機器類(処理量)
和風歩行浴槽	循環配管、水位計配管	ろ過器 (48m <sup>3</sup> /h)
洋風歩行浴槽	循環配管、水位計配管、ジェット配管	
和風露天風呂	循環配管、水位計配管	ろ過器 (23m <sup>3</sup> /h)
洋風露天風呂	循環配管、水位計配管	
和風イベント浴槽	循環配管、水位計配管	ろ過器 (7.5m <sup>3</sup> /h)
洋風イベント浴槽	循環配管、水位計配管	
和風水風呂	循環配管、水位計配管	ろ過器 (10m <sup>3</sup> /h)
洋風水風呂	循環配管、水位計配管	
和風打たせ湯	循環配管、水位計配管、打たせ配管	ろ過器 (43m <sup>3</sup> /h)
洋風打たせ湯	循環配管、水位計配管、打たせ配管	
和風大浴槽	循環配管、水位計配管、ジェット配管	
洋風大浴槽	循環配管、水位計配管、ジェット配管	

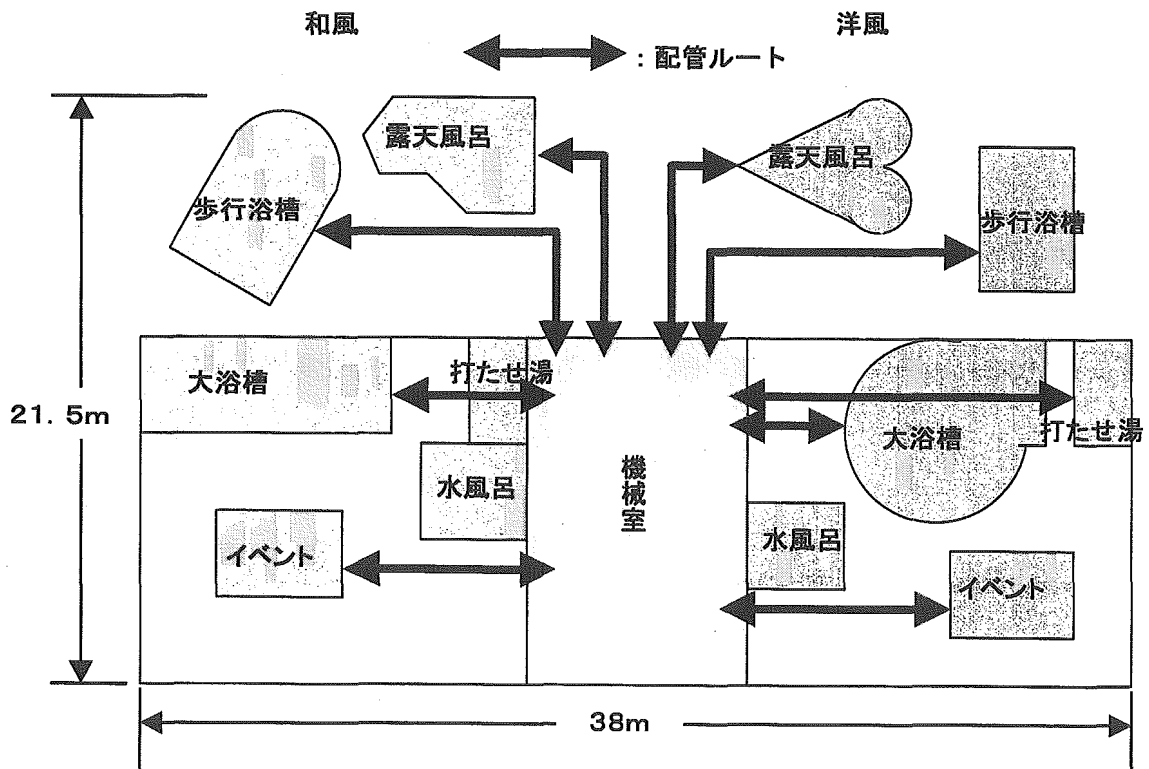


図1 各施設の配置

2. システムフロー

改修前の循環式浴槽システムと改修後の掛け流し式浴槽システムのフロー概要を図2及び図3に示す。本温泉施設の基

本的な改修内容は、ろ過循環の廃止と打たせ湯の廃止およびジェット配管への塩素注入である。

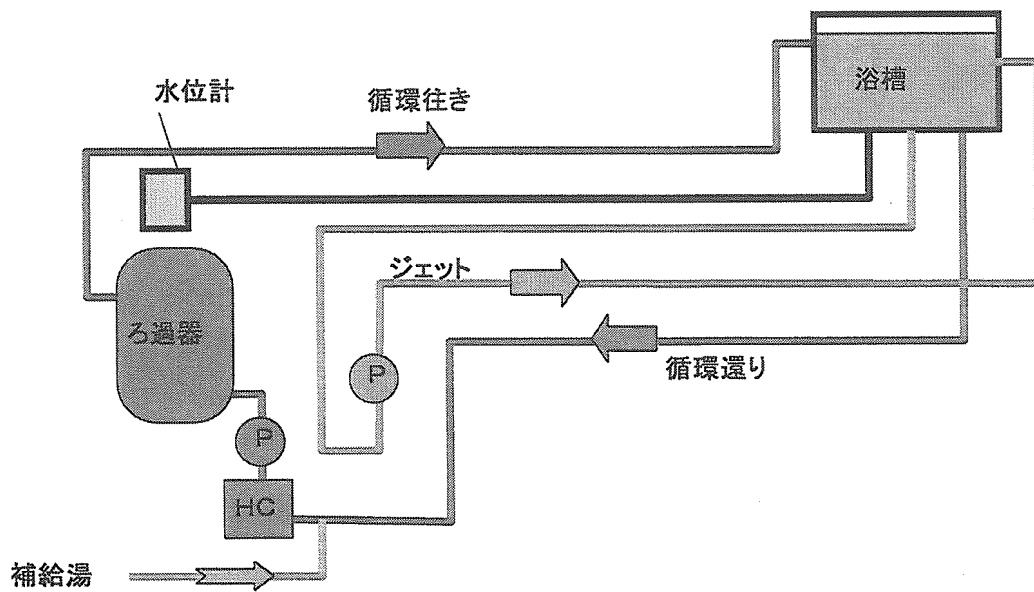


図2 改修前の循環式浴槽システムフロー概要

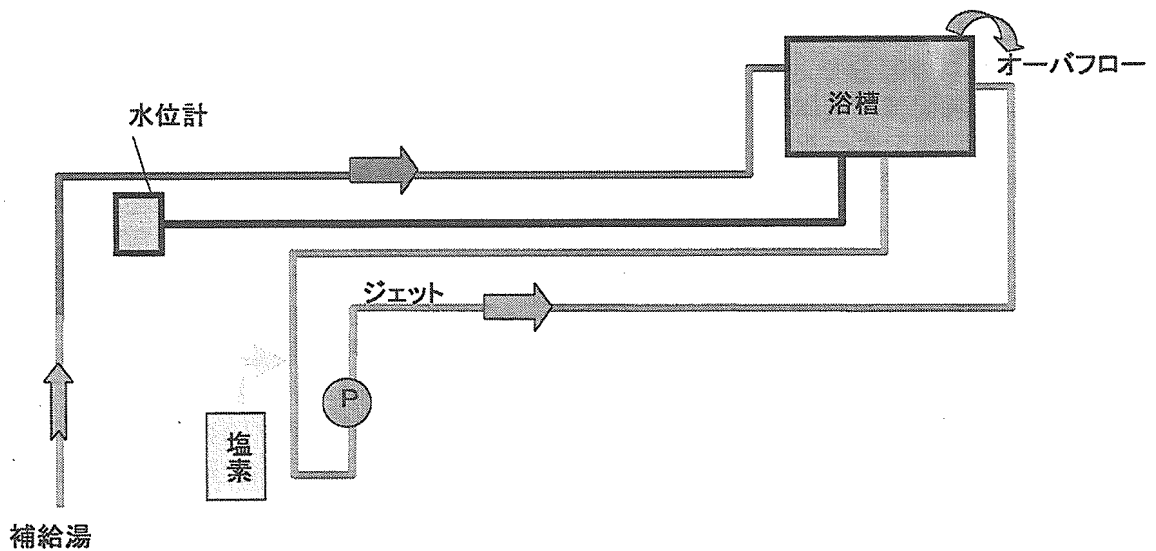


図3 改修後の掛け流し式浴槽システムフロー概要

### 3. 浴槽水との接触面積算定

#### 1) 配管類(浴槽含む)の接触面積の算定

配管類の浴槽水との接触面積は、各配管の内周と延長距離から算定し、ろ過器は本体内周と高さから算定した。また、浴槽は浴槽水面下の内壁面積を算定した。

#### 2) ろ材の接触面積の算定

本来、ろ材として用いられる素材はろ

過砂をのぞき多孔質の素材が多く用いられているが、ここでは計算を簡略化するためにろ材を球形と想定してその表面積を算定し、ろ過槽容量内のろ材表面積を算定した。したがって、多孔質の素材を用いた場合の表面積は当該研究で示される値よりもさらに大きなものになる。

表2 ろ材の直径と容量1 Lあたりの表面積

ろ材直径 (mm)	表面積 (m <sup>2</sup> /L)
0.6	5.23
1.0	3.14
3.0	1.05
5.0	0.63

### C. 研究結果

#### 浴槽水との接触面積比較

今回の研究対象とした温泉施設において、ろ材をセラミック(5 mm)とした場合の改修前後の接触面積比較を表3に示し、ろ材をろ過砂(0.6mm)とした場合を表4に示した。また、別物件の例を表5および6に示した。

表3～6により明らかなように、浴槽施設における水との接触面積はろ過循環系がかなりの部分を占め、ろ材を除く循環系の接触面積は全体の20～55%に達していることが示された。ろ過槽の機能は、固形物のろ過除去と、ろ材の表面等に着生した微生物による浴槽水の生物浄化であり、ろ材そのものに水の浄化作用はない。すなわち、ろ材は微生物の着生表面積を飛躍的に広げるために用いられている。ろ材には砂やセラミックスなどが使われており、粒径はさまざまであるが、ここでは0.6 μm (砂)～5 μm (セラミックス)の間とし、それらを球体として表面積を求めた(表2)。なお、水との接触面積を効率的に広げるために多孔質のろ材が用いられていることは承知しているが、ここでは計算を単純化するためにろ材粒子を単純な球体として扱った。その結果1Lあたりの表面積は粒径が小さくなるほど大きくなり、5.23～0.63m<sup>2</sup>と計算された。これを基に上記の施設の水との接触面積を再計算し、全体に対するろ過循環経路の面積の占める割合を計算したところ、いずれも90%以上と極めて大きな比重を占めることが判明した。

### D. 考察

レジオネラの増殖は水と接触する基質に着生するバイオフィーム(活性汚泥)が汚染巣となっていることはすでに知られているところである。循環式浴槽システムにおいて水との接触面積のかなりの部分がろ材を含む循環系に彫って占められているものと想定して、その割合を計算した。その結果、循環配管が総面積の20～50%程度を占め、これにろ材の面積を加算すると90%以上に達することが明らかとなった。すなわち、循環式浴槽システムにおけるバイオフィーム対策はそのほとんどの部分が日々の管理が容易でない(ろ過槽を含む)循環配管系にあることが改めて実証された。なお、今回の調査の対象となった施設でのレジオネラ属菌の検出は、改修前には各浴槽で38,000～130,000 CFU/100mL、改修後は不検出とのことで(「東郷温泉ゆったり館」のレジオネラ属菌検出に伴う施設改修及びレジオネラ肺炎患者等への補償に関する報告書(平成15年3月、鹿児島県東郷町))、バイオフィームの形成場所である装置内の浴槽水の接触面積の減少がその後の管理に良好に寄与していることが示されている。

厚生労働省などが勧奨する浴槽の管理方法では残留塩素管理を軸に微生物汚染対策がなされており、ろ過槽内での微生物繁殖(活性汚泥)による生物浄化方式は基本的に否定されている。したがって、ろ過槽内に多量のろ材を詰め、水接触面積を確保することは現在の管理手法と矛盾するものであることへの理解を広める必要があると考える。また、循環系の除去により管理が極めて容易となる点も広く

啓発する必要があるものとする。

次年度の研究事業では、連続使用に要する光熱量などエネルギー収支の検討、および、循環配管系のバイオフィーム対策に要する労力と光熱水道費および薬剤費（塩素剤などの消毒剤と洗浄剤）などといった経済面からの検討を行い、本システムの真の効率評価を行う必要があるものとする。

#### E. 結論

循環式浴槽システムにおけるバイオフィーム対策の一環として、システムの水接触面積を温泉施設の竣工図面より求め、循環・配管系の占める割合を求めた。その結果、循環系、特にろ材の占める面積が全体の約 90%にも達することが示された。これらを排除することで浴槽水のレジオネラ対策は容易になるものと考えられた。

表 3 接触面積比較表（ろ材：セラミック 5mm φ の場合） [単位:m<sup>2</sup>]

浴槽名	改修前			改修後		減少%	配管類のみの減少%
	配管類	ろ材面積	計	配管類	計		
和風歩行浴	68.3	1004	1162	46.3	115.6	90.1	32.2
洋風歩行浴	89.9			69.3			22.9
和風露天	44.6	520	597.2	31.8	52.6	91.2	28.7
洋風露天	32.6			20.8			36.2
和風イベント	24.2	362	413.9	15.1	30	92.8	37.6
洋風イベント	27.7			14.9			46.2
和風水風呂	20.6	362	403.2	15.2	28.9	92.8	26.2
洋風水風呂	20.6			13.7			33.5
和風打たせ	23.5	1004	1228	12.5	155.1	87.4	46.8
洋風打たせ	26.8			12			55.2
和風大浴槽	89.5			65			27.4
洋風大浴槽	84.3			65.6			22.2
全体	517.6	3252	3770	382.1		89.9	26.2

表 4 接触面積比較表（ろ材：砂 0.6mm φ の場合） [単位:m<sup>2</sup>]

浴槽名	改修前			改修後		減少%	配管類のみの減少%
	配管類	ろ材面積	計	配管類	計		
和風歩行浴	68.3	8339	8497	46.3	115.6	98.6	32.2
洋風歩行浴	89.9			69.3			22.9
和風露天	44.6	4323	4400	31.8	52.6	98.8	28.7
洋風露天	32.6			20.8			36.2
和風イベント	24.2	3002	3054	15.1	30	99.0	37.6
洋風イベント	27.7			14.9			46.2
和風水風呂	20.6	3002	3043	15.2	28.9	99.1	26.2
洋風水風呂	20.6			13.7			33.5
和風打たせ	23.5	8339	8563	12.5	155.1	98.2	46.8
洋風打たせ	26.8			12			55.2
和風大浴槽	89.5			65			27.4
洋風大浴槽	84.3			65.6			22.2
全体	517.6	27005	27523	382.1		98.6	26.2

表5 別物件接触面積比較表（ろ材：セラミック5mmφの場合）[単位:m<sup>2</sup>]

浴槽名	改修前			改修後	減少%	配管類のみの減少%
	配管類	ろ材面積	計	配管類		
露天	38.4	231	269.4	20.8	92.3	45.8
浴室1	84.8	315	399.8	41.9	89.5	50.6
全体	123.2	546	669.2	62.7	90.6	49.1

表6 別物件接触面積比較表（ろ材：砂0.6mmφの場合）[単位:m<sup>2</sup>]

浴槽名	改修前			改修後	減少%	配管類のみの減少%
	配管類	ろ材面積	計	配管類		
露天	38.4	1921	1959.4	20.8	98.9	45.8
浴室1	84.8	2615	2699.8	41.9	98.4	50.6
全体	123.2	4536	4659.2	62.7	98.7	49.1

F. 参考文献

1. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、1557-1560、2005年8月（札幌）

G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし



厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

循環式浴槽における浴用水の浄化・消毒方法の最適化に関する研究

珪藻土を用いたケーキろ過の微粒子除去性能の事前評価

主任研究者	遠藤 卓郎	国立感染症研究所寄生動物部
研究協力者	泉山 信司	国立感染症研究所寄生動物部
	山中 俊治	ミウラ化学装置株式会社技術部
	松本 英樹	ミウラ化学装置株式会社技術部
	小野 更生	日本フィルコン株式会社生産技術部

概要

循環式浴槽のろ過器に求められる機能の1つは濁質の除去であるが、蓄積した有機物が *Legionella* 属菌発生の温床となることから問題となっている。ろ過層を常に清浄に保つには逆洗浄を高頻度に行うことが重要であるが、完全な除去は困難であり、現実には高濃度塩素を用いてろ過層の微生物を殺滅することが行われている。ところで濁質除去を目的とした装置の1つに珪藻土ろ過が存在する。珪藻土ろ過は、珪藻土を用いてろ過用のケーキ (cake) を形成させ、ろ過を行う方法である。ケーキ素材の珪藻土は原則に使い捨て使用するもので、ろ過層を常に新しく張って使用するろ過器であることから、蓄積した濁質は張り直しの度に廃棄される。換言すると、循環式浴槽で使用される砂ろ過に比較して、汚染除去がはるかに容易である。珪藻土ろ過は使用する珪藻土を調整することで除去する粒子の大きさ等を調整することが可能である。本研究では珪藻土ろ過の性能評価を目的として、ほぼ細菌の短径に相当する  $0.5\mu\text{m}$  のポリスチレンの蛍光粒子を用いて粒子の除去率を求めたところ、ろ材の量に応じて74~99.99%の除去を達成し、浴槽水より直接的な細菌除去が可能であるとの結果が得られた。

A. 研究目的

これまで、循環式浴槽におけるろ過機能として、浴槽水からの有機物の除去と濁質の除去を目的としてきた。しかしながら、*Legionella* 汚染防止の必要性から残留塩素管理が推奨されるに至り、生物浄化による有機物の除去は理論的に不可能となり、ろ過の目的は濁度管理のみにしぼられる。ろ過器に蓄積した濁質等の有機物を放置すれば細菌、アメーバ、そして *Legionella* 属菌が増殖することから、ろ過層の管理は循環式浴槽における重要な

管理点の1つである。ろ過層のろ材は主に砂が用いられるが、一度使用を開始すれば長年にわたって同じ砂を使いつづけることが想定される。蓄積した濁質を除去するため逆洗浄が推奨されているが、一部の微生物（バイオフィーム）が残ることは避けられず、高濃度塩素による殺菌あるいは常時塩素注入を行って浴槽水の安全を担保する必要がある。

一方、珪藻土ろ過は、水泳プール、食品、銭湯など広く使用されているものがあるが、大型浴場施設にはほとんど導入

実績がない模様である。珪藻土ろ過では珪藻土を支持体の上に積層させてケーキ(cake)を作り、水を圧送ろ過する。一般的な珪藻土の使用量は  $0.2\sim 1.6\text{kg}/\text{m}^2$  の範囲で、この際のケーキの厚さは数 mm である。実機ではケーキの張替えはほぼ自動的に行えるような設計となっており、ケーキ交換時のろ過装置の洗浄は容易である。

ろ過濃縮した濁質を廃棄することを前提とした珪藻土ケーキろ過の導入により、浴槽水中の細菌数を大幅に低減させ、あわせて *Legionella* の発生をおさえることが可能と期待される。本研究では  $0.5\ \mu\text{m}$  のビーズを細菌の代替指標として、小規模な珪藻土ケーキろ過による除去性能評価を行った。珪藻土ケーキろ過では用いる珪藻土の粒径の 1 割程度の粒子より除去が可能とされており、珪藻土の選択によっては細菌を直接除去することが可能と考えられる。

## B. 研究方法

ビーズは  $0.5\ \mu\text{m}$  (Fluoresbrite、ポリスチレン製、Polyscience) を用いた。ビーズはあらかじめ蛍光染色されており、B 励起で緑の蛍光を発し、蛍光顕微鏡下での観察が容易である。

珪藻土ろ過試験装置は、直径 47 mm の支持体(ろ布)を有する小型試験装置(ミウラ化学装置(株))を用いた。5 L の原水タンクにフィルターろ過した脱イオン水を入れ、ビーズを所定の濃度となるよう添加した。珪藻土は 100 番あるいは 200 番(ラジオライト、昭和化学(株))を  $0.5\sim 1.6\text{kg}/\text{m}^2$  の条件で使用し、支持体上

に珪藻土を積層させてケーキを形成させた(プリコート操作)。原水タンクより濃度計数用の試料 200 ml を 2 本採取後、ろ過を開始した。ろ過水は 500 ml のボトルに回収し、ろ過水量 1.5 L から 3 L までの 3 本の試料より平均ビーズ濃度を求めた。流速は  $10\ \text{m}/\text{h}$  程度を目標に原水タンクの圧力を調整し、実際の流量、並びにろ過圧力を確認した(図 1, A, B)。

試料水は 150ml を直径 23mm 孔径  $0.22\ \mu\text{m}$  のポリカーボネートフィルター(Millipore)でろ過し、蛍光顕微鏡下でビーズ数を計数した。視野あたりのビーズ数と予め求めた視野面積、あるいは全視野のビーズ数より、試料水中のビーズ濃度を算出した。

## C. 結果および考察

ろ過前並びにろ過後のビーズ濃度を一覧に示した(表 1)。

珪藻土は加圧ろ過であることから圧力でサイズが変化する恐れを考慮し、微生物より小さな粒子である  $0.5\ \mu\text{m}$  のビーズを細菌類に見立てて除去性能の評価を行った。珪藻土 100 番は 200 番よりも孔径が小さく、微細粒子の除去を目的とした製品として販売されている。評価の結果、 $0.5\ \mu\text{m}$  程度の微粒子であっても 99.99 % ( $4\log_{10}$  除去)と非常に高い除去性能が得られた。しかしながらこの条件では送水圧力が高く、実用面で問題を生じる可能性があった。

200 番の珪藻土を使用した場合、送水圧力を下げることが可能となり、実用性をますものと考えた。珪藻土量を  $1.6\ \text{kg}/\text{m}^2$  に設定してろ過実験を行ったところ、1

回のろ過で0.5  $\mu\text{m}$ のビーズに対して99%以上の除去性能を示した。一方、珪藻土量を0.5  $\text{kg}/\text{m}^2$ にまで減量した場合には除去効果は74%にまで低下した。

得られた結果から珪藻土の量を0.5～1.6 $\text{kg}/\text{m}^2$ の間で、より適正な条件を設定すれば細菌類を除去できるものと判断された。

最新の知見によれば（H17 厚生厚生労働科学研究助成掛け流し式温泉における適切な衛生管理手法の開発等に関する研究報告書（主任研究者：井上博雄）、浴槽水において半日程度の間で一般細菌数が $10\sim 10^6$  CFU/mlに達することが示されている。仮に、20分に1回分裂増殖する細菌を想定すると、1回のろ過で99%の除去性能がある装置で1時間に1回行うと、理論上は除去が勝り、浴槽水中の細菌類の除去が可能となる（単純計算では、1個の細菌が1時間で8個に増える間に99%除去され、その結果、細菌は0.08個に減少）。今後、実機による検討を予定している。

なおデータは示していないが、3  $\mu\text{m}$ のビーズを対象とした除去試験では、ラジオライト200、0.5～1.6  $\text{kg}/\text{m}^2$ の珪藻土量の条件でそれぞれ1.4、および5.9  $\log_{10}$ 程度の除去が確認されており大きな粒径夾雑物の除去に関しては極めて良好な結果を得ている。これに対し、最近の砂ろ過器の性能試験によると、ろ速20～60  $\text{m}/\text{h}$ 、ろ過砂粒径0.6  $\text{mm}$ 、ろ過層厚300～600  $\text{mm}$ の実験条件で1回ろ過（one pass）での濁度除去率（濁度7NTUの原水使用）は40%未満にとどまると報告されている（空気調和・衛生工学会大会学術講演論

文集、1557-1560. 2005年8月（札幌）

#### D. 結論

循環式浴槽のろ過器は砂ろ過が行われているが、蓄積された濁質や微生物に異化された有機物等を砂などのろ材から完全に剥離・除去するのは困難である。これに対し、珪藻土を用いたケーキろ過ではケーキ層の廃棄を前提としており、ろ過捕捉物を一緒に廃棄することが出来る利点がある。今後は実際の浴槽水での評価を行い、塩素消毒とは全く異なる微生物対策の手法として確立を目指すことが課題である。

#### E. 参考文献

1. 厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)「掛け流し式温泉における適切な衛生管理手法の開発等に関する研究」平成17年度報告書（主任研究者 井上博雄）
2. ジオネラプロジェクト、温泉のレジオネラ除菌、モニタリングシステムの開発、静岡県環境衛生科学研究所研究主幹杉山寛治、平成16年度報告書
3. 厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)「循環式浴槽における浴用水の浄化・消毒方法の最適化に関する研究」、主任研究者：遠藤卓郎、平成16年度研究報告書
4. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、1557-1560. 2005年8月（札幌）

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

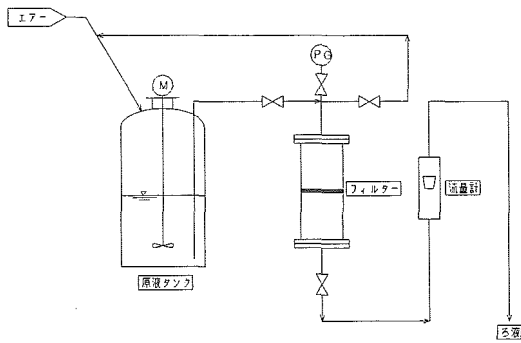
泉山信司、縣 邦雄、遠藤卓郎：浴槽水に

おける有機物汚染の蓄積に関する考察、  
環境技術学会（大阪）、2005年9月

1. 知的財産権の出願・登録状況

なし

A) 模式図



B) 実機写真

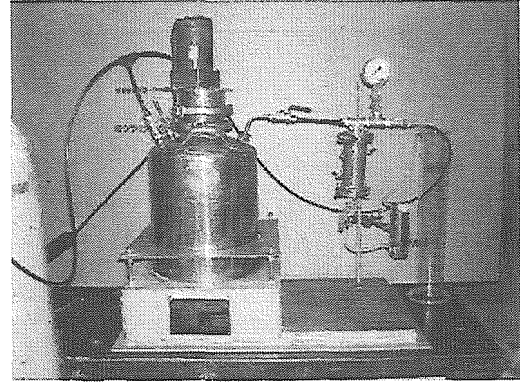


図1 珪藻土ろ過試験装置

攪拌装置のついた原液タンクにフィルターろ過した脱イオン水とビーズを入れ、窒素ガスの圧力を用いて加圧ろ過を行った。珪藻土をフィルター上に積層する操作では金属製の筒の上部を外して、精製水で混和した珪藻土を直接投入した。支持体そのものは粗い目の布であり珪藻土が漏出することから、ろ過液が清明になるまで通過した珪藻土を繰り返し支持体に通した（いわゆるプリコート操作）。フィルター層が形成されたら筒を元通り接続し、ろ過を開始した。複数のメスシリンダーを用いてろ液を 500ml 単位で受け、500ml ボトルに移した。ボトルには 50 $\mu$ l の 10% Tween80 溶液を添加し、ビーズのボトルへの付着を防止した。

表1 珪藻土ろ過によるビーズ除去

実験 #	ビーズ um	珪藻土種類 #	使用量 kg/m <sup>2</sup>	平均ろ圧 MPa	平均ろ速 m/h	ビーズ濃度(個/ml)		除去率	
						原液	ろ液	log表記	%表記
1	0.5	100	1.6	0.178	9.2	9.5E+03	6.2E-01	4.18	99.99343%
2	0.5	200	1.6	0.089	9.0	1.0E+04	9.8E+01	2.02	99.05299%
3	0.5	200	0.5	0.025	8.9	1.2E+04	3.0E+03	0.59	74.49525%

厚生労働科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)  
分担研究報告書

循環式浴槽における浴用水の浄化・消毒方法の最適化に関する研究

泉質と消毒法の整理

主任研究者	遠藤 卓郎	国立感染症研究所 寄生動物部
分担研究者	縣 邦雄	アクアスつくば総合研究所
研究協力者	藪崎 裕昭	アクアスつくば総合研究所

概要：浴槽水中のレジオネラ属菌をはじめとする細菌類の殺菌には塩素剤が用いられている。浴槽水の水源として水道水を使用している場合は塩素剤が有効に作用するが、温泉水の場合は泉質によっては塩素剤の効果が発揮されない場合がある。泉質に応じた適切な消毒方法、及び循環式浴槽の消毒管理方法の考え方について整理した。

A. 研究目的

浴槽水中のレジオネラ属菌をはじめとする細菌類の殺菌には塩素剤が用いられている。浴槽水の水源として水道水を使用している場合は塩素剤が有効に作用するが、温泉水の場合は泉質によっては塩素剤の効果が発揮されない場合がある。泉質に応じた適切な消毒方法、及び循環式浴槽の消毒管理方法の考え方について整理した。

B. 消毒方法

1. 酸化性殺菌剤の種類

酸化力を持つ化学物質によって微生物を殺滅するタイプであり、塩素、臭

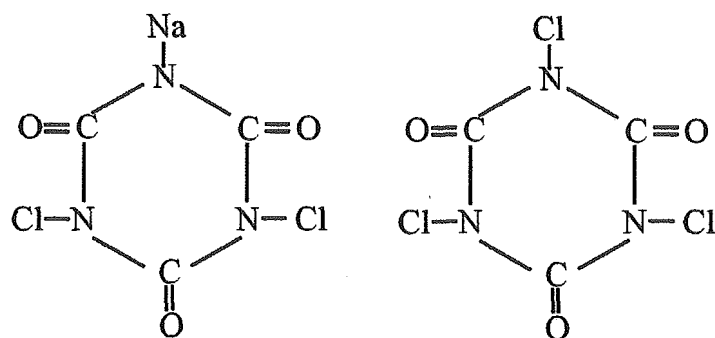
素、二酸化塩素、オゾン、過酸化水素、過酢酸などがある。

1) 塩素剤

水中に次亜塩素酸(HCLO)を存在させて、塩素の酸化力で殺菌する。

消毒剤として使用されている化学物質には、以下のものがある。

1. 次亜塩素酸ナトリウム溶液
2. 次亜塩素酸カルシウム
3. ジクロロイソシアヌル酸ナトリウム(下図左の構造式)
4. トリクロロイソシアヌル酸(下図右の構造式)



ジクロロイソシアヌル酸ナトリウム トリクロロイソシアヌル酸

5. 電解塩素（食塩：NaClを電気分解して次亜塩素酸を発生させる）

いずれも水中で、次亜塩素酸として殺菌効果を発揮する。

pHによって殺菌効果が異なり、pH7.5以上ではイオン化して次亜塩素酸イオン（ClO<sup>-</sup>）の化学種が多く存在するようになり殺菌効果が減ずる。

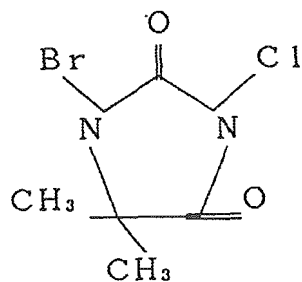
1. 1-ブロモ-3-クロロ-5,5-ジメチルヒダントイン (BCDMH)
2. 次亜塩素酸ナトリウム等の塩素剤と臭化ナトリウム (NaBr) を反応させる

次亜塩素酸に比較して pKa が 1.2 単位大きいので、次亜臭素酸イオンを生成する pH が次亜塩素酸よりも 1.2 単位アルカリ側となる。従って、pH が高い浴槽水でも殺菌効果が得られやすいとされている。

2) 臭素剤

水中に次亜臭素酸 (HBrO) を存在させて、臭素の酸化力で殺菌する。消毒剤として使用されている化学物質は、以下のものがある。

BCDMHの構造式



### 3) 二酸化塩素

化学物質  $\text{ClO}_2$  として水中に存在させ、酸化力で殺菌する。二酸化塩素は不安定な物質のため、使用現場で製造する必要がある。製造は、亜塩素酸ナトリウムと酸（塩酸）や次亜塩素酸を反応させて行なう。主な酸化反応は二酸化塩素が電子を一つ受け取り、亜塩素酸イオン ( $\text{ClO}_2^-$ ) になる。

二酸化塩素は、アンモニウムイオンと結合型塩素を形成しないこと及び、塩素化反応を起こさないことでトリハロメタン類を生成しない利点がある。pH10 付近まで有効に作用するなどの特長を有している。大気に揮散すると塩素ガスに似た刺激臭 ( $17\text{mg/L}$  で感知) があることが指摘されている。トリハロメタンのような消毒副生成物の生成は無いが、還元性物質との反応によりヒトが摂取するとメトヘモグロビンを生成する亜塩素酸イオンが生成されるのでそれらの濃度管理が必要となる。

ちなみに、水泳プールでの使用条件は  $0.1\text{mg/L}$  以上、 $0.4\text{mg/L}$  以下であること、および、亜塩素酸イオン濃度が  $1.2\text{mg/L}$  以下であることと定められている。また、二酸化塩素を用いた場合、二酸化塩素、亜塩素酸塩および塩素酸塩が共存することからそれらを分離測定することが求められている。測定法はイオンクロマトグラフィーや電流滴定法、DPD (ジエチル-p-フェニレンジアミン) 法がある。

DPD 法は簡便であるが、亜塩素酸塩の測定ができない。

### 4) オゾン

化学物質  $\text{O}_3$  を水中に存在させ、酸化力で殺菌する。

不安定な物質であるため、現地で放電法や電解法により製造する。殺菌効果を発揮する濃度は  $0.2\sim 1\text{mg/L}$  程度であるとされており、比較的 low 濃度で有効であるが、オゾンガスは人体に有害であり使用の際は配慮を要する。水泳プールではオゾン処理後に活性炭吸着層を設けることが求められている。したがって、オゾン消毒では水中に殺菌の残量効果は望めない。

### 5) 過酸化水素

化学物質  $\text{H}_2\text{O}_2$  である。水中で殺菌効果を持たせるためには、数  $100\text{mg/L}$  程度の高濃度の注入が必要である。

過酸化水素は、浴槽循環系の洗浄用として  $1\sim 3\%$  の濃度で数時間循環することでバイオフィルムの剥離洗浄・殺菌用に用いられることが多い。

### 6) 過酢酸

化学物質  $\text{CH}_3\text{COOOH}$  である。食品産業における殺菌用として、 $100\sim 500\text{mg/L}$  程度の濃度で古くから使用されている。特有の臭気を有する。



## 2. 有機系殺菌剤

有機系殺菌剤には非常に多くの種類の化学物質があり、作用機構や有効濃度、毒性などは様々である。代表的なものは、第4級アンモニウム塩（塩化ベンザルコニウムなど）、ピグアニド類（塩酸シクロヘキシジンなど）、イソチアゾリン類（5-クロロ-2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オンなど）、アルデヒド類（グルタルアルデヒドなど）がある。

浴槽の内壁や循環系を定期的に洗浄・殺菌するときの殺菌剤として各種の物質が使用されている。洗浄時に使用した場合、その後水洗を行なうので、入浴者の入る浴槽中に薬剤成分が残留することはなくなる。

## 3. 紫外線殺菌

波長254nmの紫外線を照射することで微生物類を殺菌する。殺菌効果は対象微生物の種類と紫外線の照射エネルギーにより異なり、水中のレジオネラ属菌であれば5mJ/cm<sup>2</sup>の照射で99.9%の殺菌効果が得られるとされている。

水中の微生物類を殺菌する場合は、紫外線ランプの周囲に水を通水する流水式紫外線殺菌装置が用いられる。照射エネルギーは紫外線ランプの出力と通水流量で決定される。

循環式浴槽水のレジオネラ属菌を殺菌する場合は、浴槽へ戻る循環湯の全量を紫外線処理し、紫外線殺菌装置は出来る限り浴槽に近い箇所に設置する。

最低でも5mJ/cm<sup>2</sup>の照射線量を確保するとともに、石英保護管を定期的に清掃することにより照射線量を維持する。紫外線殺菌は水に対して殺菌効果の持続性がなく、浴槽や配管の内壁などにバイオフィームが定着してくるので、適切な頻度で消毒洗浄を行なう。

紫外線殺菌では光回復現象が起きる事がある。これは、254nmの紫外線により損傷を受けたDNAが可視光の照射により回復するというものであり、一旦死にかけた細菌類が復活する現象となる。浴槽の場合は露天風呂の場合、この影響を受ける可能性があり、対策としては照射線量を強くするのが有効である。

（光回復の話を書きたいが??）

## 4. その他の殺菌方法

### 1) 銀・銅イオン

金属の銀や銅の板を電気分解することで、水中に銀イオン、銅イオンを存在させ殺菌効果を発揮する。欧米では給水給湯水のレジオネラ対策に使用されている。実験室レベルでは20μg/Lの銀イオンと200μg/Lの銅イオンの共存下で45℃、24時間の接触で5log<sub>10</sub>の不活化が得られたとの報告（Rohr, Senger and Selenka 1996）などがあるが、長期連用した場合の効果などについては不明な点がある。

### 2) 光触媒、酸化チタン、セラミックボールなど

各種の浴槽水用殺菌システムが提案されている。メーカーにより殺菌処理原理や有効に作用するための設計仕様

が異なる。

### C. 循環式浴槽の消毒方法

循環式浴槽の消毒には2つの種類がある。1つは人が入浴している時の浴槽水の消毒（以下、入浴湯消毒と称する）、もう一つは浴槽および、ろ過器を含む循環系の定期的な消毒（以下、洗浄消毒）である。

入浴消毒と洗浄消毒はお互いに補完的に作用しており、いずれも重要である。

#### 1. 入浴湯消毒

入浴湯消毒は入浴者が入る湯を消毒するものであり、化学物質を使用する場合はその安全性が重要である。また、薬剤によっては消毒効果が浴槽水質の影響を受ける場合がある。従って、入浴湯消毒を行う場合は特に泉質に対する注意が必要である。

#### 1) 入浴湯消毒の基本方針

入浴湯消毒の基本は、塩素剤を使用し、浴槽水中の遊離残留塩素濃度を常時概ね0.2~0.4mg/L（1.0mg/Lを越えないことが望ましい）に維持する。浴槽に添加する塩素剤は、上述した各種化学物質が使用される。浴槽水中の遊離残留塩素濃度は変動しやすく、時間の経過、湯温、ジェットやバイブラによる気泡発生、入浴者の持ち込む汚れとの反応などにより大きく変動する。この為、浴槽水中の遊離残留塩素濃度を安定に維持するには、管理上の注意が必要である。

#### 1. 浴槽水の遊離残留塩素濃度を一定

に維持する為には、以下の方法がある。

浴槽水の遊離残留塩素濃度を人手によりこまめ（およそ1時間ごと）にDPD法などを用いて測定して塩素剤の注入量を調整する。

2. 電気化学的測定法により浴槽水の遊離残留塩素濃度を連続的に測定して、塩素剤の注入ポンプを制御して浴槽水の残留塩素濃度を調整する。

#### 2) 塩素剤による消毒が有効な水質

浴槽水のうち、塩素剤による消毒が有効に作用する水質要件として以下があげられる。

1. 水道水を湯の供給源としている場合。
2. 温泉水や地下水を湯の供給源とする場合は、以下の全てに該当しないこと。
  - ① pH\*が高い（目安として8.5以上）である。
  - ② アンモニウムイオンを含有（目安として0.5mg/L以上）する。
  - ③ 過マンガン酸カリウム消費量を含有（目安として10mg/L以上）する。
  - ④ 鉄を0.3mg/L以上、マンガン を0.05mg/L以上含有する。

\*pHに関して：温泉水のpHは原泉と浴槽水では大きく変化する場合がある。アルカリ度の高い温泉水は浴槽水を循環することで二酸化炭素ガスが抜けてpHが上昇するので、pHの測定は浴槽水での確認が重要である。

以上の条件であれば、浴槽水の遊離残留塩素濃度を DPD 法などで測定しつつ、あるいは電気化学的測定器で自動制御して一定範囲に維持することで十分な消毒効果を得ることが出来る。但し、浴槽水中にアンモニウムイオンが蓄積することにより結合型塩素が増えないように注意する。

3) 塩素剤による処理が有効でない水質  
前項の 2.に該当する水質の場合、塩素剤による処理が無効であったり、効果が著しく減ずることがあるので注意が必要である。

① pH が高い場合

pH が高い場合（目安として 8.5 以上）は、遊離残留塩素中の次亜塩素酸イオンの比率が高くなるため、殺菌効果が低減する。pH7.5 の場合、次亜塩素酸イオン（ $\text{ClO}^-$ ）と次亜塩素酸（ $\text{HClO}$ ）の比率は 1 : 1 であり、pH8.5 では 10 : 1、pH9.5 では 100 : 1 となる。

② アンモニウムイオンを含む場合

アンモニウムイオンは塩素と結合して結合型塩素(クロラミン)を生成する。結合型塩素は遅効性で、遊離塩素に比較して殺菌効果が低い。

また、DPD 法による残留塩素濃度測定では、条件によって結合型塩素の一部が発色し、遊離塩素濃

度として誤った測定値を得ることがあるので注意が必要である。

③ 過マンガン酸カリウム消費量  
を含有する場合

過マンガン酸カリウム消費量は、被酸化性物質の量を示す。浴槽水に塩素剤を添加した場合、過マンガン酸カリウム消費量成分と反応して浴槽水中に残留塩素を維持できない場合がある。ただし、過マンガン酸カリウム消費量として検出される成分内容により、塩素剤との反応程度が異なるので、一概に全ての場合に塩素剤が消費されるわけではない。特に、硫化物イオンを含有する場合は塩素との反応が早いので注意を要する。

④ 鉄、マンガンを含有する場合

鉄、マンガンは温泉水中では還元状態で溶解しているが、塩素剤を添加すると塩素と反応して、自身は酸化状態となる。この結果、酸化鉄の茶色いフロックや、二酸化マンガンの黒い着色が発生する。塩素の消費に関しては、残留塩素が出るまで塩素剤を添加することで対応するが、茶色や黒色の汚れ（に見える）成分が浴槽内に蓄積するようになる。

⑤ pH が低い場合

pH が低い場合は、塩素剤による殺菌効果は十分に発揮されるが、およそ pH5 以下の水質では塩素ガスが発生する恐れがあるので注意

が必要となる。なお、浴槽水の pH が 3 以下の条件では、浴槽水中からのレジオネラ属菌の検出率は全体の検出率の平均が 28.7% であるのに対して 4.9% と低いとの報告がある。(古畑 引用論文：末尾に記載)

## 2. 洗浄消毒

洗浄消毒は入浴者がいない全換水を行なう際に、浴槽の内壁や、循環系の配管、ろ過器等を洗浄・消毒するものである。目的は、浴槽系内部に生成したバイオフィルムを除去することにある。バイオフィルムの付着量が多い場合は、ブラシ等を使った物理的な除去、ろ過器のろ材を取り出して洗浄したり逆洗洗浄を行なう。また、過酸化水素を 1~3% の濃度で循環する方法も取られる。バイオフィルムを物理的に除去した場合は、残留物が殺菌されずに残るので、追加して化学的に消毒する必要がある。バイオフィルムの付着量が少ない場合は、物理的洗浄を行わず、化学的な殺菌処理を行なうことで除去が可能である。

こうした、洗浄消毒の場合は、塩素剤に限らず有機系の化学物質を使用しても、その後すすぎの徹底により薬剤の残留をなくせば入浴者に対する影響はを除外することができる。但し、洗浄水の放流に際しては、法規制を遵守するとともに放流先への影響に配慮する必要がある。

洗浄消毒では、浴槽水中に低濃度の消毒剤を維持させて効果を発揮させるのではなく、比較的高濃度の消毒剤を

維持させて使用するため、泉質の影響は受けにくい。従って、入浴湯消毒において、塩素剤による効果が得にくい施設においては洗浄消毒に重点を置いて管理せざるを得ないものと判断される。その際には洗浄消毒の頻度を調整することにより、浴槽循環水系内のバイオフィルムの定着およびレジオネラ属菌の定着が起きないように運転管理が前提条件となる。

入浴湯消毒の効果が十分でない場合は、浴槽循環系へのバイオフィルムの付着が早く、多くなる傾向があるが、それを勘案して消毒洗浄の頻度を設定して運用すると良い。

## 3. 入浴湯消毒で塩素剤が有効で無い場合の処理方法

入浴湯消毒で塩素剤による効果が十分得られない泉質における処理方法は、一義的には洗浄消毒を適切な頻度で確実に行なうことで対応することとなる。

### 1) pH が高い泉質の場合

pH が高い泉質の場合は、次亜塩素酸イオンの生成により塩素剤による殺菌効果が低下するので、塩素剤を使用する場合、残留塩素濃度の管理値を高くすることで殺菌効果を維持する。殺菌効果の判定は定期的なレジオネラ属菌検査で行う。

塩素剤の高濃度維持が、臭気や入浴者の感覚により不都合な場合は、塩素剤よりも pKa が 1.2 単位大きい臭素剤の選択が有り得るものと考えられる。また、二酸化塩素は pH10 程度まで殺菌効果が低下しないとされており、二