

循環式浴槽システムの衛生管理に関する研究  
第1報—中空糸膜による細菌類の阻止実験

Study on the Hygienic Management of the Circulation Bathtub System

Part1—Inhibiting Experiment of Bacteria by the Hollow Fiber Membrane

正会員 ○小宮 翔 (クリマテック) 技術フェロー 野知 啓子 (関東学院大学)  
技術フェロー 大塚 雅之 (関東学院大学) 正会員 菅生 政樹 (新菱冷熱工業)  
技術フェロー 赤井 仁志 (ユアテック) 技術フェロー 松村 佳明 (山下設計)

Syo KOMIYA\*<sup>1</sup> Keiko NOCHI\*<sup>2</sup> Masayuki OTSUKA\*<sup>2</sup> Masaki SUGOH\*<sup>3</sup> Hitoshi AKAI\*<sup>4</sup> Yoshiaki MATSUMURA\*<sup>5</sup>

\*<sup>1</sup> Kurimatekku Corporation \*<sup>2</sup> Kanto Gakuin Univ. \*<sup>3</sup> Shinryo Corporation \*<sup>4</sup> Yurtec Corporation \*<sup>5</sup> Yamashita Sekkei Inc.

This study did improving water quality of the circulation bathtub water with the purpose. The organic substance of the bathtub water was removed in the biological activity charcoal. Then, bacteria carried out the experiment stopped in the hollow fiber membrane. And, trial bathtub water and real bathtub water were used as a treatment object. As the result, 90% was obtained the DOC extraction ratio. The real bathtub water was high for LRV of bacteria by the hollow fiber membrane, and 3.5 (medium value) was calculated. The Legionella population was detected using a hollow film, and it became 1220CFU/100ml at the maximum value.

はじめに

循環式浴槽システムで生じやすいリスクは、①入浴者由来の汚れ成分は細菌等の最適な基質となりやすいこと、②37℃前後の浴温は微生物増殖の至適温度であること、③①、②の条件を循環系で繰り返し使用することで浴槽壁面等にバイオフィルムが形成し、レジオネラ属菌等の病原性細菌がその中で保護され増殖すること、④塩素剤が加温および水質(温泉水質も含む)により低減しやすいこと等が挙げられる。

公衆浴場法では、これら細菌汚染を防止するために「公衆浴場における衛生等管理要領」において、「浴槽水の消毒に当っては、塩素系薬剤を使用し、浴槽水中の遊離残留塩素濃度を頻繁に測定して、通常0.2ないし0.4

mg/L程度に保ち、かつ、遊離残留塩素濃度は最大1.0 mg/Lを越えないように努めること」としている。

一方で、塩素剤を循環式浴槽水の消毒に適用した場合の不適切な部分として、浴槽水中には溶解性有機物(以下、DOCとする)が水道水の5~10倍程度含むため、トリハロメタンが生成しやすいことや水温が高いため、塩素消失に伴う細菌の爆発的増殖が懸念されてくる。

以上の背景から、本研究では中空糸膜等で細菌数を減少させ、ある程度の衛生的安全性を担保したうえで、塩素消毒を施用することで、効果的な消毒法が確立されると考え、以下の実験を試みた。

まず、本報では中空糸膜(孔径:0.04μm)による細菌類の阻止実験を行い、循環式浴槽システム適用への可能性について検討した。

表1 実浴槽水の水質特性

実浴槽水 No	pH 値 [-]	Cond. [μS/cm]	DOC [mg/L]	一般細菌 [CFU/mL]	従属栄養細菌 [CFU/mL]	レジオネラ属菌 [CFU/100mL]
1	6.9	83	2.70	—	—	40
2	6.9	96	5.21	9.2×10 <sup>4</sup>	5.5×10 <sup>6</sup>	ND
3	6.5	90	5.21	9.2×10 <sup>4</sup>	—	ND
4	7.1	89	2.74	4.5×10 <sup>6</sup>	4.4×10 <sup>6</sup>	220
5	6.6	147	12.1	1.2×10 <sup>7</sup>	1.5×10 <sup>7</sup>	—
6	6.9	89	4.51	1.0×10 <sup>6</sup>	5.5×10 <sup>6</sup>	60
7	6.9	80	1.18	4.4×10 <sup>5</sup>	3.0×10 <sup>6</sup>	50
8	6.9	80	26.0	4.4×10 <sup>6</sup>	3.0×10 <sup>7</sup>	51
9	6.9	92	4.24	1.2×10 <sup>3</sup>	7.0×10 <sup>6</sup>	—
最小値	6.5	80	1.18	1.2×10 <sup>3</sup>	3.0×10 <sup>6</sup>	ND
最大値	7.1	147	26.0	1.2×10 <sup>7</sup>	3.0×10 <sup>7</sup>	220
中央値	6.9	89	4.51	7.2×10 <sup>5</sup>	5.5×10 <sup>6</sup>	50

# 1. 実験方法

## 1.1 処理対象とした浴槽水

浴槽水は模擬浴槽水(L-グルタミン酸溶液 15mg/L、[DOC:6mg/L])および実浴槽水を用いた。浴槽水は、4~5人が19時から23時の間に入浴した浴槽水を翌朝8時に採取した。供試した実浴槽水の水質特性を表1に示す。

## 1.2 中空糸膜による細菌の阻止実験

本実験では、循環式模擬浴槽システムに中空糸膜ろ過試験装置を付設した(図1)。膜モジュールの仕様を表2に示す。実験条件は、温水槽に処理対象とする浴槽水を30L加え、生物活性炭・砂ろ過槽への循環速度は40m/h(循環量 1.35L/min)とした。なお、塩素消毒を施用しないことから、自然増殖する微生物により生物活性炭が調製され、DOCを除去する仕組みとなっている。

浴槽水の流れは生物活性炭・砂ろ過槽を通過後、温水槽に戻り、中空糸膜へ流入する。孔径0.04μmの中空糸膜を透過した浴槽水は、再び温水槽へ戻る循環系となっている。なお、中空糸膜の透過量は0.04 m<sup>3</sup>/dとした。また、入浴に伴う有機物負荷を想定し、処理対象浴槽水5Lを添加し、添加回数は1回/日とした。測定試料は、24時間後に5Lを採取した。採取箇所は図1に示すとおり中空糸膜出口(透過水とする)および温水槽内とした。

## 1.3 中空糸膜による細菌類阻止率等の算出

中空糸膜による各細菌の阻止率および対数減少値(Log Reduction Value、以下、LRVとする)を次式より求め評価した。

$$\text{各細菌の阻止率}[\%] = (1 - (C_m / C_0)) \times 100 \dots (1)$$

$$\text{LRV} = \log(C_0 / C_m) \dots (2)$$

表2 中空糸膜モジュールの仕様

膜の種類	中空糸膜
(ろ過方式)	(加圧ろ過(外圧式))
材質	ポリスルホン樹脂
公称孔径	0.04 μm
管径	φ0.8mm
膜面積	0.3m <sup>2</sup> /モジュール
膜ろ過流束	0.2m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> · d)
ろ過能力	0.06m <sup>3</sup> /d
収納方式	ケーシング
膜洗浄方式	逆洗とエアレーションの併用

ここに、  
C<sub>0</sub>: 処理対象浴槽水中の細菌数[CFU/mL]、C<sub>m</sub>: 透過水、温水槽水の細菌数[CFU/mL]

ただし、透過水、温水槽水の細菌数が不検出 (ND) の場合には C<sub>m</sub> を 1 とおく

模擬浴槽水を処理対象とした実験では、生物活性炭・砂ろ過槽で10日前後循環させ、細菌の増殖が確認された模擬浴槽水を C<sub>0</sub> として用いた。

## 2. 結果および考察

### 2.1 生物活性炭による有機物質の除去特性

砂ろ過槽は浮遊性の汚濁物質は阻止するが、DOCは透過してしまう。そのため、浴槽水に含有するDOCは低濃度とはいえ、細菌類を増殖させるには十分な基質濃度であることから、まず、DOCを除去することが、循環式浴槽水の水質改善につながると考えた。本実験では、前述のとおり生物活性炭によりDOCを除去する実験を行った(表3)。

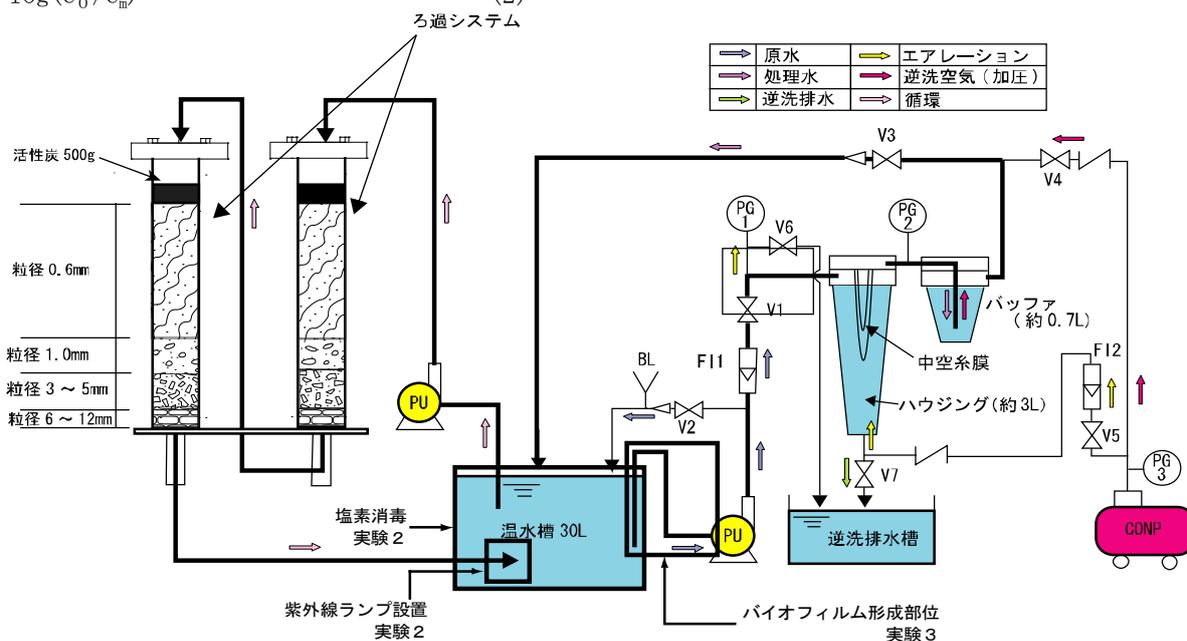


図1 中空糸膜付設循環式浴槽システム

実験開始時の DOC は 6.0mg/L を示し、7 日値では、0.59mg/L となり、水道水中に含有する DOC (1 mg/L 前後) 程度まで浄化され、DOC 除去率は 90.2% であった。

模擬浴槽水を基質とした細菌の検出数は、一般細菌数は 30CFU/mL、従属栄養細菌 51CFU/mL、レジオネラ属菌は不検出なり、1 週間循環させることで、一般細菌および従属栄養細菌とも  $10^5$ CFU/mL オーダ前後まで増殖した。

本実験より、生物活性炭による有機物の除去と循環に伴う細菌類の増殖特性を観察することができた。

## 2.2 中空糸膜による細菌類の阻止実験

### 2.2.1 模擬浴槽水における阻止実験

#### (1) 透過水 (中空糸膜出口)

透過水の水質試験結果を表 4 に示す。pH 値は 7.5~7.7 の中性付近にあり、電気伝導率 (Cond.) は 168~179  $\mu$ S/cm となり、DOC は 0.42~0.61mg/L と安定しており、DOC 除去率は中央値で 90.8% が得られた。

中空糸膜による細菌類の阻止実験では、一般細菌の初期値 (模擬浴槽水を 1 週間循環させた) は、 $9 \times 10^4$ CFU/mL であり、透過水 (中央値) は 877 CFU/mL まで減少し、阻止率で示すと 99.0% が得られた。

従属栄養細菌の初期値は  $1 \times 10^5$  CFU/mL であり、透過水の従属栄養細菌数は中央値で、 $1.4 \times 10^3$  CFU/mL が得られた。阻止率で示すと、98.6% となり一般細菌より低い阻止率となった。

一般細菌および従属栄養細菌が不検出となった場合の LRV は 4.0 となる。この値に本実験結果の LRV (中央値) を対比すると、一般細菌は 2.0 となり従属栄養細菌は 1.9 が得られた。

#### (2) 温水槽水

実浴槽を想定した温水槽内の水質試験結果を表 5 に示す。pH 値、電気伝導率、DOC は表 4 に示す透過水と大きな相違は認められなかった。

細菌類 (中央値) では、阻止率で見ると一般細菌、従属栄養細菌とも 98%、96.1% となり、透過水より低下する傾向にあった。理由として、循環経路において両細菌の再増殖が予測された。

両細菌の LRV (中央値) は 1.7 および 1.4 が得られた。

#### (3) レジオネラ属菌の検出状況

レジオネラ属菌の浴槽水中からの検出数が極端に低いことから、中空糸膜による細菌阻止実験の対象細菌とはしなかった。本実験では、中空糸膜を透過することで、どの程度阻止されるかについて評価した (表 6)。

透過水中からレジオネラ属菌は、53~1220CFU/100mL が検出された。理由として、温水槽から中空糸膜の流入経路において、バイオフィルム中で増殖していることが予測された。また、温水槽水中のレジオネラ属菌は透過水と同様に 326~560CFU/100mL の範囲で検出された。

表 3 生物活性炭による DOC 除去率 (模擬浴槽水)

	初期値	7 日値
pH 値[-]	6.9	6.6
Cond. [ $\mu$ S/cm]	136	417
DOC [mg/L]	6.00	0.59
DOC 除去率[%]	—	90.2
一般細菌 [CFU/mL]	30	$9 \times 10^4$
従属栄養細菌 [CFU/mL]	51	$1 \times 10^5$
レジオネラ属菌 [CFU/mL]	ND	20

表 4 透過水における細菌阻止率 (模擬浴槽水)

	最小値	中央値	最大値
pH 値[-]	7.5	7.6	7.7
Cond. [ $\mu$ S/cm]	168	170	179
DOC [mg/L]	0.42	0.55	0.61
DOC 除去率[%]	89.8	90.8	93.0
一般細菌 [CFU/mL]	266	877	10500
阻止率[%]	88.3	99.0	99.7
LRV	0.9	2.0	2.5
従属栄養細菌 [CFU/mL]	1033	1366	5000
阻止率[%]	95.0	98.6	99.0
LRV	1.3	1.9	2.0

表 5 温水槽水における細菌阻止率 (模擬浴槽水)

	最小値	中央値	最大値
pH 値[-]	7.5	7.6	7.8
Cond. [ $\mu$ S/cm]	166	178	188
DOC [mg/L]	0.33	0.50	0.78
DOC 除去率[%]	87.0	91.7	94.5
一般細菌 [CFU/mL]	903	1800	5300
阻止率[%]	94.1	98.0	99.0
LRV	1.2	1.7	2.0
従属栄養細菌 [CFU/mL]	2300	3900	4600
阻止率[%]	95.4	96.1	97.7
LRV	1.3	1.4	1.6

表 6 中空糸膜によるレジオネラ属菌の検出数 (模擬浴槽水)

	最小値	中央値	最大値
透過水	53	343	1220
温水槽水	326	380	560

### 2.2.2 実浴槽水における阻止実験

#### (1) 透過水

透過水の水質試験結果を表 7 に示す。透過水中の pH 値は 5.5~5.8 (中央値 5.6: n=6)、とやや酸性を示した。また電気伝導率 (中央値) は 485  $\mu$ S/cm が得られ、透過水の DOC は 1.93 mg/L となり DOC 除去率は 51% であった。以上の結果より、実浴槽水の方が模擬浴槽水より生物活性炭による浄化能の低いことが示された。

実浴槽水 (表 1、No. 2) 中の細菌は一般細菌数が  $9.2 \times 10^4$ CFU/mL であり、従属栄養細菌数は  $5.5 \times 10^6$ CFU/mL

であった。この実浴槽水を中空糸膜により阻止した結果、一般細菌は7~95 CFU/mL（中央値 28 CFU/mL；n=6）となり、従属栄養細菌は 230~3100 CFU/mL（中央値 1325 CFU/mL；n=6）と良好な結果が得られた。

阻止率（中央値）で示すと、一般細菌の阻止率は99.95%となり、従属栄養細菌の阻止率は99.98%が得られた。両細菌のLRVの最大値は、4.1および4.4となり、完全に阻止されたとした時の一般細菌のLRVは5.0であり、従属栄養細菌はLRV 6.7となることから、本実験結果におけるLRVの高いことがわかる。

### (2) 温水槽水

得られた結果を表8に示す。pH値、電気伝導率(Cond.)およびDOCについては、透過水水質とほぼ同様であった。

一般細菌の阻止率は、99.80~99.98%の範囲にあり、約25日間における一般細菌数は比較的低い値で推移した。LRVで示すと2.7~3.7となった。一方、従属栄養細菌は、 $10^3 \sim 10^4$  CFU/mL オーダで生残り、中空糸膜による阻止率は99.56~99.92%となり、透過水よりやや低い値となり、本条件におけるLRVは、2.4~3.1となった。

### (3) レジオネラ属菌の検出状況

中空糸膜により処理した試料水中におけるレジオネラ属菌の検出状況を表9に示す。透過水および温水槽水中（中央値）から20~35CFU/100mLのレジオネラ属菌が検出された。

## 2.2.3 中空糸膜による循環式浴槽水のLRV

透過水における一般細菌および従属栄養細菌のLRVを図2に示す。まず、処理対象とした浴槽水（模擬浴槽水、実浴槽水）中に生残する細菌数をみると、両浴槽水とも従属栄養細菌の方が、 $1 \log \sim 2 \log$  程度高いことがわかる。

実浴槽水中の一般細菌が不検出となるLRV5.0と対比すると、透過水のLRVは3.6と比較的高い値が得られている。従属栄養細菌のLRVは、模擬浴槽水が1.9/5.0となり、実浴槽水では3.6/6.7となった。

一方、温水槽水のLRVはほぼ透過水と同様な傾向を示すものの、一般細菌および従属栄養細菌とも温水槽水のLRVの方が低い傾向にあり、循環系内で若干の再増殖が予測された。

## 3. まとめ

- (1) 生物活性炭による模擬浴槽水のDOC除去率は約90%と良好であった。
- (2) 中空糸膜（孔径：0.04 μm）により一般細菌および従属栄養細菌の阻止実験を行い、阻止率、LRVから評価した。最も高い阻止率、LRVが得られた条件は、透過水（実浴槽水）中の従属栄養細菌であり、それぞれ99.99%、4.4であった。

表7 透過水における阻止率（実浴槽水）

	最小値	中央値	最大値
pH値[-]	5.5	5.6	5.8
Cond. [μS/cm]	439	485	560
DOC[mg/L]	0.75	1.93	2.40
DOC除去率[%]	39.2	51.1	81.0
一般細菌[CFU/mL]	7	28	95
阻止率[%]	99.90	99.95	99.99
LRV	3.0	3.5	4.1
従属栄養細菌[CFU/mL]	230	1325	3100
阻止率[%]	99.94	99.98	99.99
LRV	3.2	3.6	4.4

表8 温水槽水における阻止率（実浴槽水）

	最小値	中央値	最大値
pH値[-]	5.6	5.7	5.8
Cond. [μS/cm]	430	481	568
DOC[mg/L]	1.41	1.69	1.98
DOC除去率[%]	49.9	57.2	64.3
一般細菌[CFU/mL]	17	113	175
阻止率[%]	99.80	99.88	99.98
LRV	2.7	2.9	3.7
従属栄養細菌[CFU/mL]	4400	11000	24000
阻止率[%]	99.56	99.80	99.92
LRV	2.4	2.7	3.1

表9 実浴槽処理水中のレジオネラ属菌数

	最小値	中央値	最大値
透過水	ND	20	40
温水槽水	20	35	110

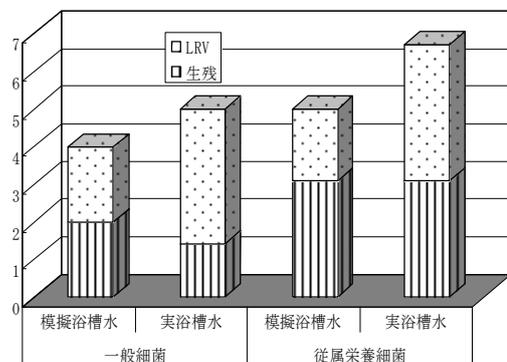


図2 透過水のLRV

- (3) 透過水および温水槽水のLRVを対比すると、一般細菌および従属栄養細菌とも、若干ながら温水槽水の方が低い傾向にあり、循環系内で再増殖することが予測された。

謝辞：本研究の一部は、(社)空気調和・衛生工学会循環式浴槽システムの衛生管理対策小委員会(主査:野知啓子)の一環として行ったものである。