

**循環式浴槽システムの衛生管理に関する研究**  
**第2報—中空糸膜に紫外線および塩素消毒を併用した細菌類の不活化実験**

Study on the Hygienic Management of the Circulation Bathtub System

Part2— Inactivation Experiment of the Bacteria which Used Ultraviolet Ray and Chlorination Jointly in the Hollow Fiber Membrane.

正会員 ○菅生 政樹 (新菱冷熱工業) 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 小宮 翔 (クリマテック)  
 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)

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

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

This study used ultraviolet ray and chlorination jointly in hollow fiber membrane. As a result of using ultraviolet ray jointly in hollow fiber membrane, general bacterial population became the 100CFU/mL order, and the 1000CFU/mL order was detected the heterotrophic bacterium number. General bacterial population were inactivated to 10CFU/mL or less, when chlorinated pesticide was injected, after bacterial population is stopped in hollow fiber membrane. And, the heterotrophic bacterium was inactivated to 1000CFU/mL. The Legionella population was detected at 50~220CFU/100mL. For the chlorination, it was possible to verify that the hygienic safety of the circulation bathtub system becomes certain by using ultraviolet ray method and hollow fiber membrane method jointly.

### はじめに

前報 (第1報) では、循環式浴槽水の衛生的安全性の確立を目的として、孔径 0.04 μm の中空糸膜モジュールによる細菌類の阻止実験を行った。

本実験では、中空糸膜に紫外線照射および塩素消毒法を併用し、中空糸膜で阻止することによる消毒剤の低減化および循環系内で細菌類が生残できない消毒条件を探ることを目的として実験を進めた。

## 1. 実験方法

### 1.1 紫外線照射併用実験

実験装置は、前報の図1に示す中空糸膜付設備循環式浴槽システムを用いた。紫外線の照射位置は図1(第1報)に示すとおりであり、紫外線ランプの仕様を表1に示し、紫外線ランプの形状を写真1に示し、設置位置を写真2に示す。紫外線ランプは生物活性炭・砂ろ過槽出口(以下、ろ過槽とする)に設置した。試料の採取は前報と同様に、透過水および温水槽水とした。

### 1.2 塩素消毒併用実験

本実験においても前報(図1)に示す中空糸膜付設備循環式浴槽システムを用いた。塩素注入位置は、図1に記載のとおりろ過槽前段および後段とした。

#### 1.2.1 模擬浴槽を処理対象とした実験

本実験では、中空糸膜で阻止した細菌の減少分だけ、注入する塩素剤を低減できると考え、次亜塩素酸ナトリウムを間欠注入する条件とした。

砂ろ過槽内に定着するレジオネラ属菌を抑制するために、公衆浴場法では、砂ろ過槽前段で塩素剤を注入するよう指導されるが、前段注入はろ過槽内に定着するバ

表1 紫外線ランプの仕様

形式	GL/145
定格電流[V]	AC 100
ランプ電力[W]	4.6±0.7
ランプ電流[mA]	160±20
ランプ電圧[V]	30±5
殺菌線出力[W]	1
ランプ強度[mW/cm <sup>2</sup> ]	109
定格寿命	6000 時



写真1 紫外線ランプの形状



写真2 紫外線ランプ位置 (ろ過槽出口)

イオフィルム等による塩素消費量の増大が予想される。また、塩素注入位置の相違により塩素剤の注入量および細菌類に対する有効性がどのような相違してくるかを確認するために、ろ過槽前段および後段における塩素注入実験を行った。

### (1) ろ過槽後段における塩素注入実験

次亜塩素酸ナトリウム 1000mg/L を注入量 22mL/2 分および 22mL/5 分の計 4 回/日の注入間隔で温水槽内に間欠注入した。①0～14 日間の注入時間は 5 分とし、②16～21 日間は注入時間を 2 分とした。本条件における塩素注入濃度は、7.6mg/L・d、17.6mg/L・d となる。

### (2) ろ過槽前段における塩素注入実験

次亜塩素酸ナトリウム濃度を 1000mg/L とし、注入量および注入間隔は 1.2.2 (1) の実験と同様とした。

① 0～7 日の間は塩素注入時間を 2 分とし、②14～21 日間は塩素注入時間を 5 分、③28～35 日は塩素注入時間を 5 分で次亜塩素酸ナトリウム濃度を 2000mg/L (注入塩度：35.2 mg/L・d) に高める条件とした。

### 1.2.2 実浴槽水を処理対象とした実験

本実験では、第 1 報、表 1 に示す実浴槽水 No. 7、No. 8、No. 9 を供試した。塩素の注入条件を表 2 に示す。

塩素の注入は、細菌試験により生残数をみながら随時高めていく条件とし、ろ過槽後段注入とした。

## 2. 結果および考察

### 2.1 紫外線照射併用実験

#### 2.1.1 模擬浴槽水を用いた不活化実験

##### (1) 透過水

中空糸膜に紫外線照射を併用した透過水の水質試験結果を表 3 に示す。pH 値は 6.9～7.4 となり経過日数に伴う大きな変化はみられなかった。電気伝導率(Cond.) は、168～202  $\mu$ S/cm の範囲にあった。DOC は ND～1.77mg/L と低い値で安定していた。

一般細菌は 303～1806CFU/mL となり、不活化率の中央値は 99.2% (初期値： $9 \times 10^4$  CFU/mL) であった。従属栄養細菌は、756～3666 CFU/mL (初期値： $10^5$  CFU/mL) の範囲にあり、中央値で 1645 CFU/mL まで低下した。それぞれの LRV を中央値で示すと 2.1 および 1.8 が得られた。

また、温水槽水における水質特性も透過水とほぼ同様な傾向を示した。

##### (2) レジオネラ属菌の検出状況

紫外線併用実験における透過水および温水槽水中のレジオネラ属菌数を表 4 に示す。本実験においても検出される本菌数が低いことから、阻止率および LRV の算出は行わなかった。公衆浴場法では、「検出されず」となっていることから、極端に高い値は示されないものの、66～290CFU/100mL が検出され、中空糸膜に紫外線を併用しても検出率は 100% であった。

表 2 次亜塩素酸ナトリウムの間欠注入条件(実浴槽水)

日数 [日]	濃度 [mg/L]	注入量 [mL/min]	時間 [min]	回数 [回/d]	注入量 [mg/d]	槽内濃度 [mg/L・d]
0	1497	3.4	10	4	204	8.14
6	1497	3.4	10	6	305	12.2
10	1200	3.4	10	6	245	9.79
17	1440	3.4	10	6	294	11.8
20	1440	3.4	15	6	441	17.6
21	1760	3.4	10	6	359	14.4
25	2680	3.4	15	6	820	32.8
26	2800	3.4	60	6	3427	138
28	6800	3.4	30	6	4162	166
31	5400	3.4	30	6	3305	132
33	4700	3.4	20	6	1918	76.7

表 3 紫外線併用による模擬浴槽水の不活化率(透過水)

	最小値	中央値	最大値
pH 値[—]	6.9	7.1	7.4
Cond. [ $\mu$ S/cm]	168	181	202
DOC[mg/L]	ND	0.44	1.77
DOC 除去率[%]	70.5	92.7	100
一般細菌[CFU/mL]	303	743	1806
不活化率[%]	98.0	99.2	99.7
LRV	1.7	2.1	2.5
従属栄養細菌 [CFU/mL]	756	1645	3666
阻止率[%]	96.3	98.4	99.2
LRV	1.4	1.8	2.1

表 4 紫外線併用によるレジオネラ属菌数 (模擬浴槽水)

	最小値	中央値	最大値
透過水	66	176	290
温水槽水	23	73	490

表 5 紫外線併用による実浴槽水の不活化率 (透過水)

	最小値	中央値	最大値
pH 値[—]	6.0	6.4	6.5
Cond. [ $\mu$ S/cm]	119	146	175
DOC[mg/L]	2.62	3.25	4.44
DOC 除去率[%]	63.4	73.1	75.3
一般細菌[CFU/mL]	15	50	2000
不活化率[%]	99.9833	99.9996	99.9999
LRV	3.8	5.4	5.9
従属栄養細菌 [CFU/mL]	75	310	6000
阻止率[%]	99.9600	99.9979	99.9995
LRV	3.4	4.7	5.3

#### 2.1.2 実浴槽水を用いた不活化実験

##### (1) 透過水

本実験で処理対象とした実浴槽水 No. 5 (第 1 報、表 1) からは、一般細菌数および従属栄養細菌数が  $10^7$ CFU/mL オーダーで検出された。本浴槽水を中空糸膜で透過し、さらに紫外線で不活化した透過水の水質試験結果を表 5 に示す。

pH 値は 6.0～6.5 のやや酸性側にあった。DOC は、中央値で 3.25mg/L を示し、DOC 除去率は 73.1% が得られ、模擬浴

槽水より若干 DOC 除去率の低下がみられた。

一方、紫外線を併用することで、LRV は高まり、一般細菌の LRV は中央値で 5.4 となり、従属栄養細菌の LRV は、4.7 と高い値が得られた。

### (2) 温水槽水

紫外線併用における温水槽水の不活化率を表 6 に示す。pH 値等の理化学的性状は透過水とはほぼ同等であった。温水槽中における一般細菌および従属栄養細菌は、透過水より高い検出数となり、中央値で 700 CFU/mL、4750CFU/mL (初期値:  $10^7$ CFU/mL) が生残した。LRV で示すと 4.2 および 3.5 が得られ、紫外線を照射しても、中空糸膜を透過した浴槽水は循環系内で若干ではあるが、再増殖することが示された。

### (3) レジオネラ属菌の検出状況

実浴槽水中のレジオネラ属菌は、220CFU/100mL が検出された。本浴槽水を処理対象として中空糸膜に紫外線を併用し不活化した結果を表 7 に示す。透過水は中央値で不検出となり、検出率は 36% (4/11) であった。透過水が循環した温水槽内から検出された生残数は、中央値で 280 CFU/100mL が検出され、検出率は 81% (9/11) と高まった。以上の結果より、レジオネラ属菌は中空糸膜出口(透過水)では、検出率は低いものの、温水槽で検出率の高まることが示された。

## 2.2 塩素消毒併用実験

### 2.2.1 模擬浴槽水を用いた不活化実験

#### (1) ろ過槽後段注入による実験

生物浄化により、浴槽水中の DOC を除去してから、中空糸膜で透過し、さらに塩素を間欠注入する実験を行った。得られた結果を図 1 に示す。各細菌とも塩素注入 3 日値が高く、レジオネラ属菌は 26CFU/100mL となり、一般細菌、従属栄養細菌は 69 CFU/mL、883 CFU/mL と最大値を示した。1 週間を経過すると、レジオネラ属菌は検出されず、検出率は 11% であった。一般細菌は、中央値で 1CFU/mL であり、ND~3 CFU/mL と高い不活化傾向を示した。従属栄養細菌の生残数は中央値で 10 CFU/mL と低い値で示された。本実験における塩素の間欠注入濃度は、0~7 日の間は 17.6mg/L・d となり、16~21 日の間は 7 mg/L・d と低い注入濃度になった。理由として、模擬浴槽水中に含まれる細菌数が低いためと考えられる。

#### (2) ろ過槽前段注入による実験

塩素の注入位置をろ過槽前段とし、不活化実験を行った(図 2)。前述したろ過槽後段における塩素注入実験結果より、各細菌の生残数が高い傾向にあった。レジオネラ属菌は、16~140CFU/100mL(中央値: 93 CFU /100mL)となり、検出率は 100% であった。塩素消毒効果の低い理由として、温水槽までの距離や、ろ過槽内での塩素消費分も影響したと考えられる。そこで、塩素注入濃度を 35.2 mg/L・d に高めた結果、一般細菌、従属栄養細菌は不検出と

表 6 紫外線併用による実浴槽水の不活化率 (温水槽水)

	最小値	中央値	最大値
pH 値[-]	6.1	6.4	6.6
Cond. [ $\mu$ S/cm]	120	145	180
DOC[mg/L]	2.26	3.31	4.77
DOC 除去率[%]	60.6	72.6	81.3
一般細菌[CFU/mL]	220	700	2000
不活化率[%]	99.983	99.994	99.998
LRV	3.8	4.2	4.7
従属栄養細菌[CFU/mL]	3300	4750	8600
阻止率[%]	99.943	99.968	99.978
LRV	3.2	3.5	3.7

表 7 紫外線併用によるレジオネラ属菌数 (実浴槽水)

	最小値	中央値	最大値
透過水	ND	ND	200
温水槽水	ND	280	540

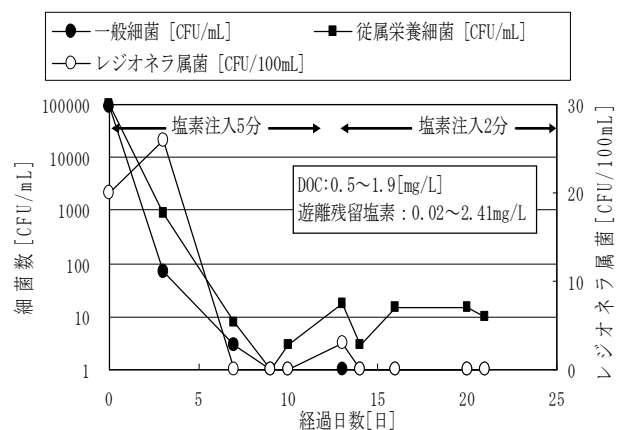


図 1 ろ過槽後段における塩素注入実験(模擬浴槽水)

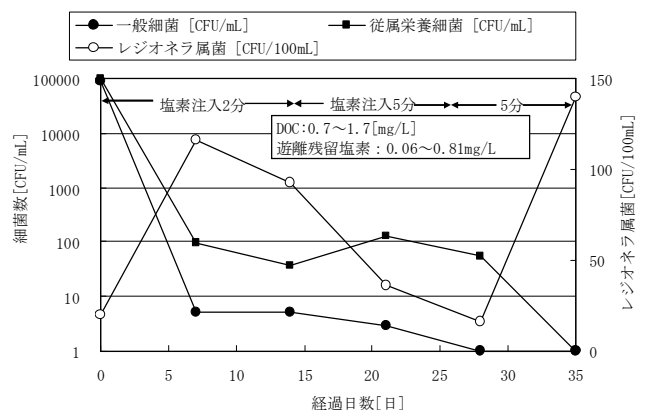


図 2 ろ過槽前段における塩素注入実験(模擬浴槽水)

なり、レジオネラ属菌は 140CFU/100mL が検出された。

### 2.2.2 実浴槽水を用いた不活化実験

#### (1) 温水槽水

一般細菌等が $10^3\sim 10^7$  CFU/mL オーダで含まれる実浴槽水（浴槽水 No. 7、8、9、第1報）を5日、19日および24日に追加する条件で塩素注入実験を行った。

得られた結果を表8に示す。まず、レジオネラ属菌は5日値を除き検出されなかった。検出率は11% (1/9) が示された。一般細菌および従属栄養細菌は、中央値で8 CFU/mL、3550 CFU/mL が得られた。本条件における塩素注入濃度は、表3に示すとおり、 $8.1\sim 166\text{mg/L}\cdot\text{d}$  となっている。

細菌生残数の高い実浴槽水を試料とした結果、模擬浴槽水を処理対象とした条件より、塩素濃度を高める必要性が示された。

### 2.3 各消毒法による温水槽水の不活化

各消毒法による浴槽水の不活化率を表9に示す。中空糸膜による阻止実験では、一般細菌数は $10^2\sim 10^3$  CFU/mL、従属栄養細菌数は $10^3\sim 10^4$  CFU/mL オーダで生残した。

紫外線併用実験では、一般細菌数は $10^2$  CFU/mL、従属栄養細菌数は $10^3$  CFU/mL オーダとなり、1log 程度中空糸膜のみの実験結果より、細菌数は低下した。

塩素併用実験では、一般細菌数は $1\sim 8$  CFU/mL と低いものの、従属栄養細菌数は $10^3$  CFU/mL オーダ(実浴槽水)で生残した。

以上の結果より、塩素消毒法に膜および紫外線等の物理的不活化法を付加することで、塩素濃度の低減化および塩素消失に伴う高濃度細菌汚染を防止することができることを実証することができた。同時に循環系における細菌汚染対策には、塩素剤を確実に残留させることの重要性が改めて確認された。

### 3. まとめ

得られた知見を要約すると次のとおりである。

- (1) 中空糸膜に紫外線を併用した結果、循環式浴槽水中に生残する一般細菌数は $10^2$  CFU/mL オーダであり、従属栄養細菌は $10^3$  CFU/mL であった。
- (2) 実浴槽水試料中一般細菌数 ( $10^6$  CFU/mL) を中空糸膜で $10^2$  CFU/mL 程度まで減少させてから塩素消毒を

表8 塩素消毒併用による実浴槽水の不活化率(温水槽水)

経過日数 [日]	遊離残留塩素 [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]
5	0.32	750	$2.1\times 10^4$	30
10	0.69	545	$1.4\times 10^4$	ND
12	0.76	ND	3600	ND
17	0.82	39	4400	ND
19	0.23	8	3550	ND
24	1.25	15	2995	ND
26	2.98	3	1360	ND
33	4.12	ND	623	ND
38	4.27	ND	730	ND
最小値	0.23	ND	623	ND
最大値	4.27	750	$2.1\times 10^4$	30
中央値	0.82	8	3550	ND

間欠注入した結果、塩素濃度  $18\text{mg/L}\cdot\text{d}$  で生残数を10CFU/mL 以下まで不活化することが可能であった。一方、従属栄養細菌は消毒を施用しても、不活化されずに生残しやすい菌があり、 $10^3$  CFU/mL オーダで生残した。

- (3) レジオネラ属菌は、実浴槽水中から  $50\sim 220$  CFU/100mL で検出された。細菌数は極端に高いものの、中空糸膜および紫外線照射よりも塩素消毒法がレジオネラ属菌の不活化には有効であった。
- (4) 塩素消毒法に中空糸膜、紫外線照射法を併用することで、循環式浴槽システムの衛生的安全性が確実になることを実証することができた。

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。

表9 各消毒法による浴槽水の不活化率(温水槽水)

項目	中空糸膜法		中空糸膜法+紫外線照射法		中空糸膜法+塩素消毒法	
	実浴槽水	模擬浴槽水	実浴槽水	模擬浴槽水	実浴槽水	模擬浴槽水
pH [-]	(5.7, 6)	(7.6, 5)	(6.4, 11)	(7, 11)	(5.2, 9)	(7.4, 9)
Cond. [ $\mu\text{S/cm}$ ]	(481, 6)	(178, 5)	(145, 11)	(183, 11)	(972, 9)	(1062, 9)
DOC [mg/L]	(1.69, 6)	(0.5, 5)	(3.31, 11)	(0.51, 11)	(1.63, 9)	(1.06, 9)
一般細菌 [CFU/mL]	(113, 6)	(1800, 5)	(750, 11)	(660, 11)	(8, 9)	(1, 9)
従属栄養細菌 [CFU/mL]	( $1.1\times 10^4$ , 6)	(3900, 5)	(4750, 11)	(1605, 11)	(3550, 9)	(10, 9)
レジオネラ属菌 [CFU/100mL]	(35, 6)	(380, 5)	(280, 11)	(73, 11)	(ND, 9)	(ND, 9)

透過水量 $0.04\text{m}^3/\text{d}$

(中央値、n)、ND：検出されず