

図3. 循環ろ過立ち上げ時の一般細菌数の推移

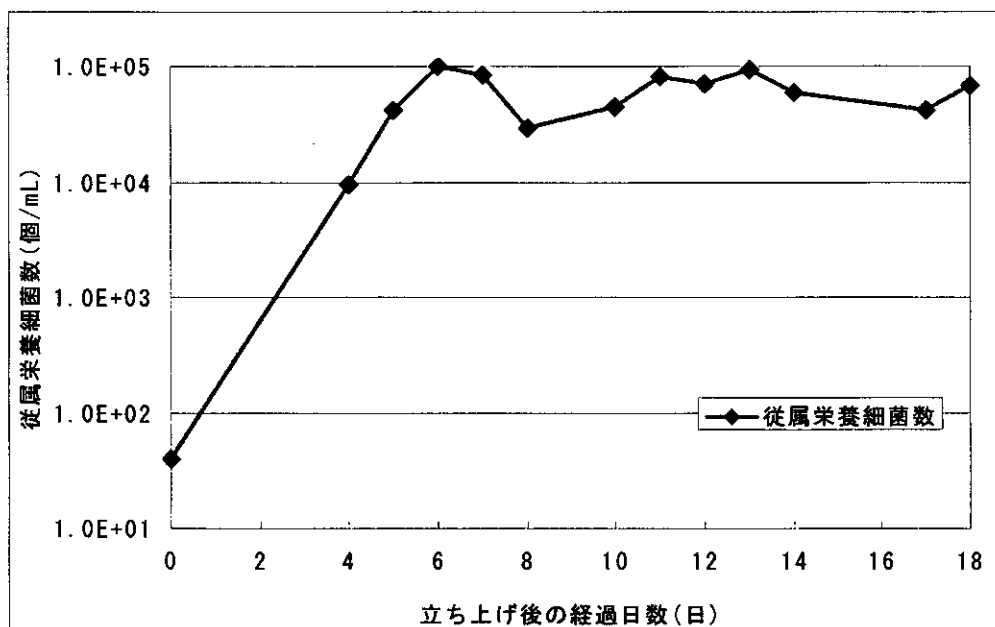


図4. 循環ろ過立ち上げ時の従属栄養細菌数の推移

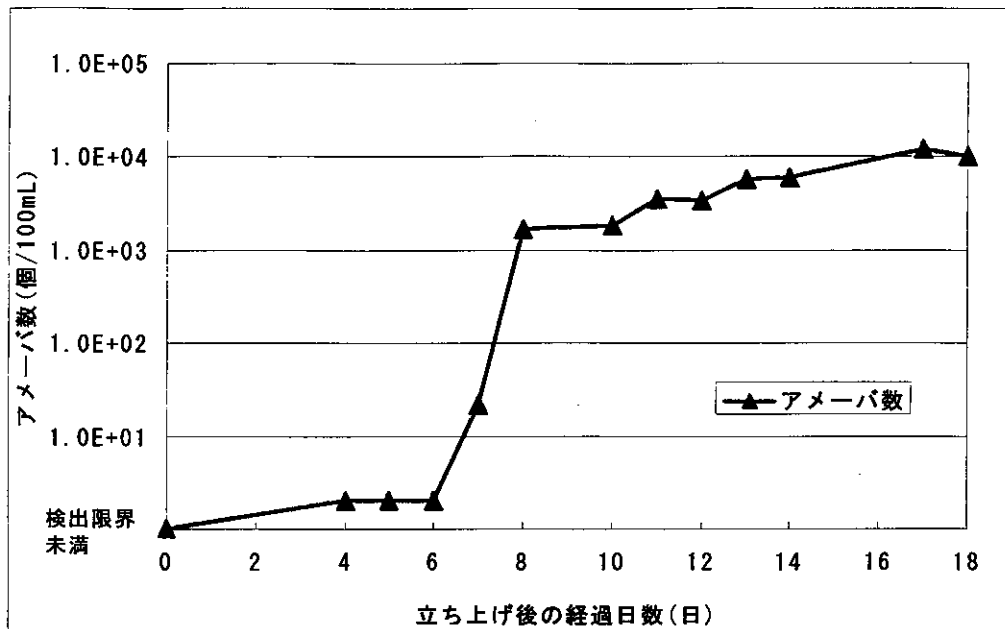


図5. 循環ろ過立ち上げ時のアメーバ数の推移

(2) 各種配管材質に対するバイオフィーム付着調査

結果を表4. 及び図6. ~図9. に示す。試験回数を2回(n=2)としたが、いずれもデータのばらつきが少ない事が確認され、このことから、2回の平均値を取った。

各種材質で比較を行ったところ、レジオネラ属菌、一般細菌、従属栄養細菌共、銅に対する菌の付着が他の材質に比べて少ない事が確認された。

銅に対するレジオネラ属菌の付着個数は1cm<sup>2</sup>当り平均で15個であった。これは他種材質に付着した菌数(平均値で10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>オーダー)に比べて少ない事が確認された。また、材質表面が他に比べて平滑である塩化ビニル(PVC)及びサニタリー配管(SUS316L)もレジオネラ属菌数付着が比較的少ない(塩化ビニルで平均86個、サニタリー配管で平均100個)事が確認された。

材質の表面が全面的に腐食し、酸化鉄の腐食生成物を生じていた鉄では1cm<sup>2</sup>当り2,300個のレジオネラ属菌が付着していた。

今回の研究では、様々な材質に対するレジオネラ属菌を含むバイオフィーム付着程度を評価し、循環式浴槽系を設計する際の材質選定の参考とすることが出来た。試験の結果より、各種材質のうち、銅はバイオフィーム付着量が少ない結果となっており、銅表面のイオンが溶出する近傍での殺菌効果が示唆された。

今後、更に長期の試験を持つ必要があるが、銅管はバイオフィーム付着量が少なくなる可能性が示された。また、鉄管のように酸化鉄の腐食生成物が嵩高く生じるものは、付着物に付随してバイオフィームが多く定着する危険性があることが判明した。

表4. 各種材質に対する各種微生物(レジオネラ属菌、一般細菌、従属栄養細菌、アメーバ)の付着量

種別	レジオネラ属菌			一般細菌			従属栄養細菌			アメーバ			腐食度
	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均	
SPCC-SB(鉄)	$2.6 \times 10^3$	$1.9 \times 10^3$	$2.3 \times 10^3$	$4.0 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$	$3.8 \times 10^2$	$1.3 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$	0.37	0.37	0.37	276.2
CI110P(銅)	$2.0 \times 10^1$	9.6	$1.5 \times 10^1$	$5.9 \times 10^1$	$3.3 \times 10^1$	$4.6 \times 10^1$	$2.6 \times 10^2$	$9.2 \times 10^2$	$5.9 \times 10^2$	0.37	1.1	0.74	3.3
SUS304	$3.7 \times 10^2$	$2.1 \times 10^2$	$2.9 \times 10^2$	$1.5 \times 10^4$	$8.8 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$1.7 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	$1.4 \times 10^4$	1.5	1.8	1.7	0
Al(アルミニウム)	$1.7 \times 10^3$	$2.9 \times 10^3$	$2.3 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$8.1 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$	$9.9 \times 10^3$	$1.9 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	3.7	2.6	3.1	0.4
抗菌板(アクリル)	$3.6 \times 10^2$	$8.0 \times 10^2$	$5.8 \times 10^2$	$5.0 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$3.4 \times 10^3$	$4.8 \times 10^3$	$7.1 \times 10^3$	$6.0 \times 10^3$	0.20	0.20	0.20	—
アング板(アクリル)	$3.8 \times 10^2$	$6.0 \times 10^2$	$4.9 \times 10^2$	$1.6 \times 10^3$	$2.4 \times 10^3$	$2.0 \times 10^3$	$4.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$	1.8	1.0	1.4	—
透明塩ビ(PVC)	$5.4 \times 10^2$	$1.8 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$	$8.6 \times 10^3$	$2.1 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$6.4 \times 10^4$	$4.9 \times 10^4$	$5.7 \times 10^4$	6.4	6.4	6.4	—
PVC	$1.2 \times 10^2$	$5.2 \times 10^1$	$8.6 \times 10^1$	$1.4 \times 10^3$	$4.4 \times 10^3$	$2.9 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$7.7 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$	0.49	0.74	0.62	—
ライニング管 (PEコート)	$8.0 \times 10^2$	$1.6 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$5.0 \times 10^3$	$1.4 \times 10^4$	$9.5 \times 10^3$	$1.8 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	$2.4 \times 10^4$	0	1.0	0.50	—
サニタリー配管 (SUS316L)	$1.5 \times 10^2$	$5.5 \times 10$	$1.0 \times 10^2$	$8.1 \times 10^2$	$9.5 \times 10^2$	$8.8 \times 10^2$	$3.1 \times 10^3$	$1.9 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$	3.0	2.0	2.5	0

単位：菌数；各種材質の1cm<sup>2</sup>当りに付着した微生物数(個/cm<sup>2</sup>・材質)

腐食度；mdd

腐食度：一定期間における腐食の平均進行速度。単位表面積、単位時間あたりの腐食による質量の減少で表す場合には、腐食度という。単位として通常、1日あたりに腐食した1dm<sup>2</sup>あたりの腐食減量mg/dm<sup>2</sup>/day(mdd)を用いる。

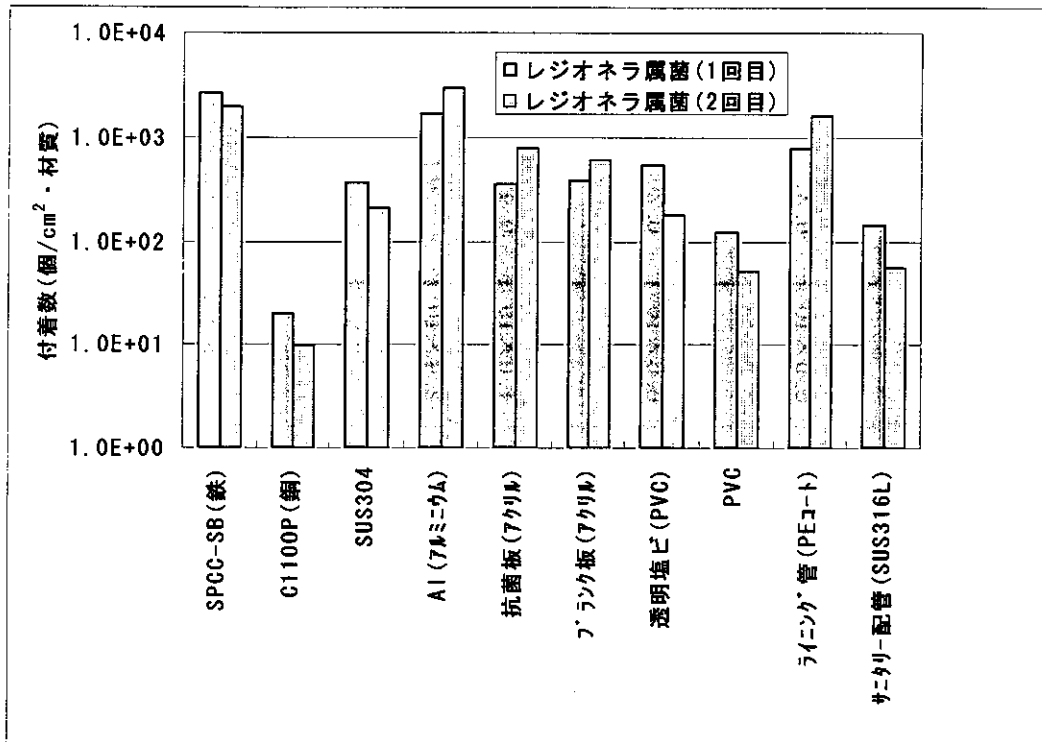


図6. 各種材質に対するレジオネラ属菌付着量(2回分のデータ)

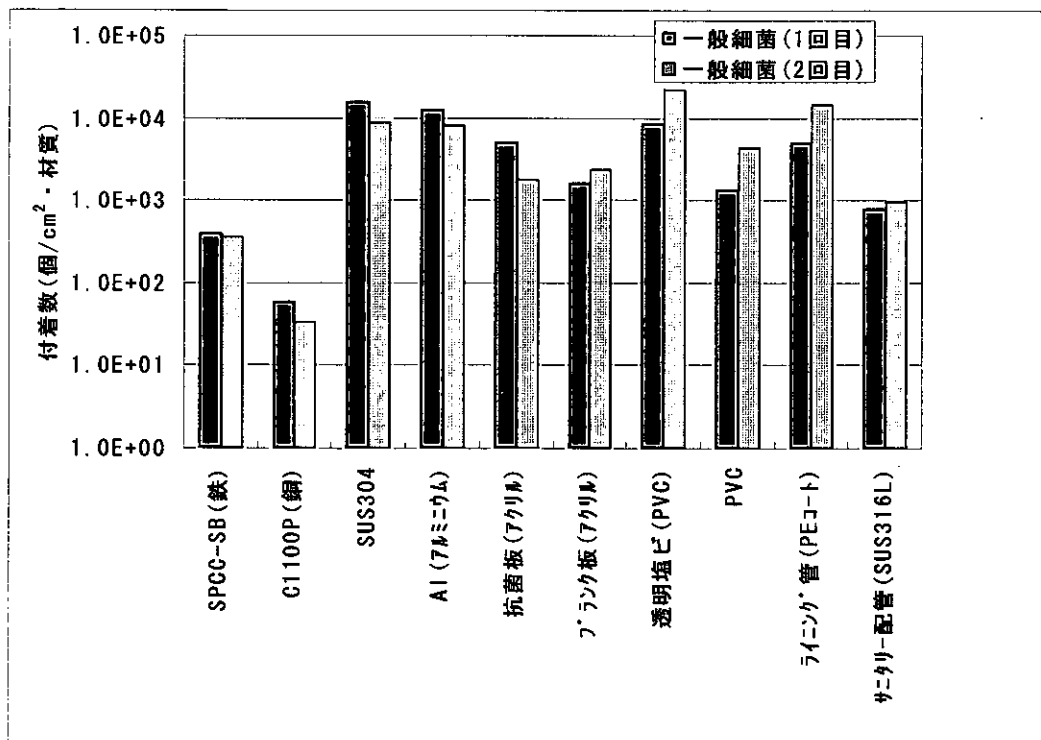


図7. 各種材質に対する一般細菌付着量(2回分のデータ)

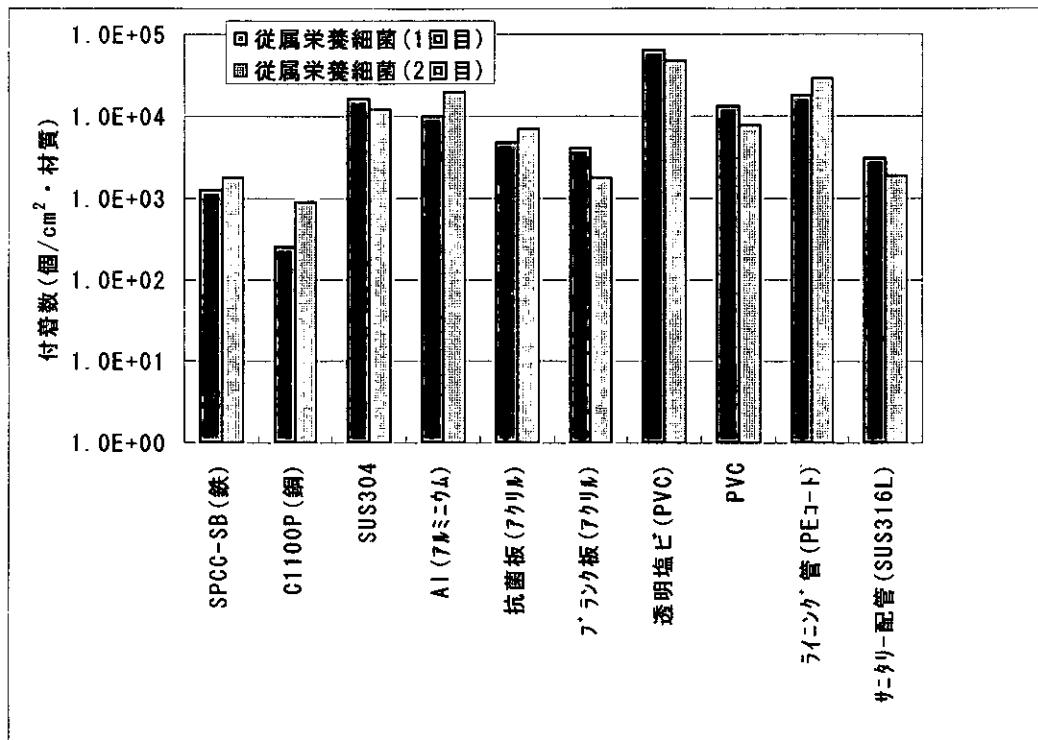


図8. 各種材質に対する従属栄養細菌付着量(2回分のデータ)

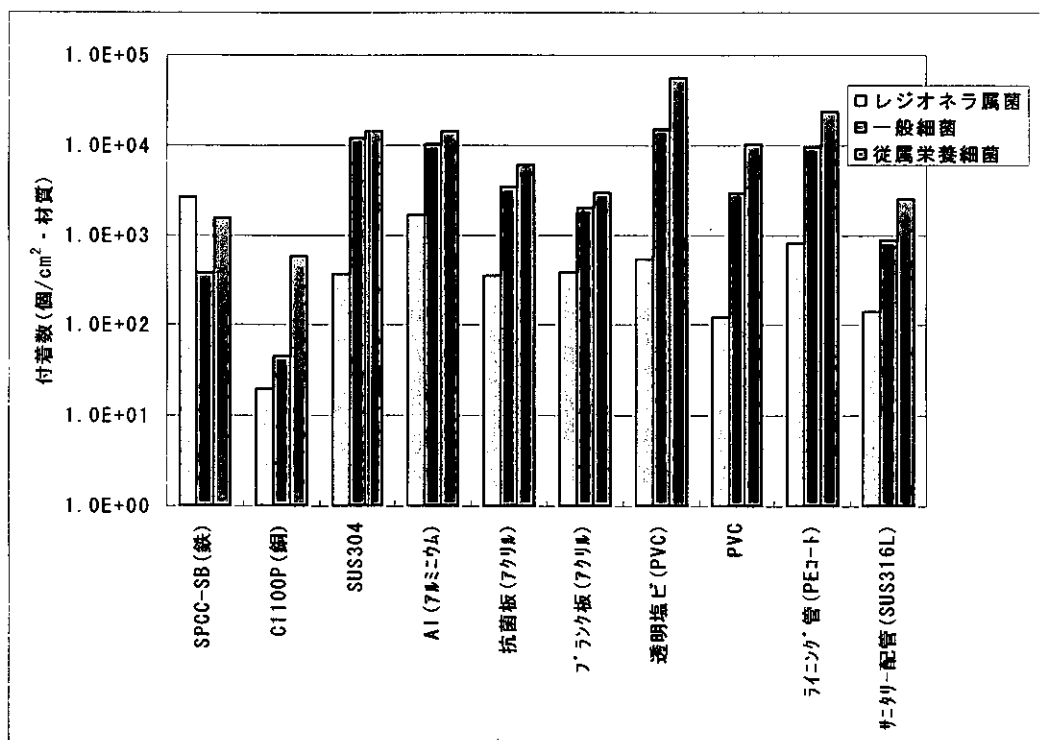
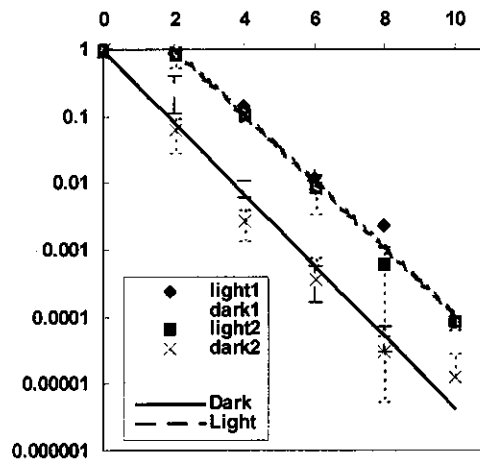


図9. 各種材質に対する各種微生物の付着量(試験回数2回の平均値)  
(レジオネラ属菌、一般細菌、従属栄養細菌)

(3) 紫外線処理を実施した場合の浴槽水等でのレジオネラ属菌の挙動

予備実験として、*L. pneumophila* および *L. bozmanni* に対する紫外線の効果を比較したが、差は見られなかった。すなわち、 $2\text{mJ}/\text{cm}^2$  の照射条件で  $1\text{-log}_{10}$  程度の増殖阻害が認められ、照射量と阻害効果は直線関係にあり  $2\text{-log}$  阻害には  $4\text{mJ}/\text{cm}^2$  であった。また、蛍光灯下で2時間の照明により認められる光回復は、 $1\text{-log}$  程度期待された。紫外線照射後の *Legionella* 属菌を蛍光灯の下で2時間静置した。光回復を行った場合は線量に関わらず  $1\text{-log}$  程度の回復が見られており、本研究で用いた紫外線照射線量の範囲で不活化曲線は平行な線として示された。



*Legionella* 属菌光回復の例

実験プラントでは、砂ろ過装置出口、及び紫外線照射処理前で  $10^3$  オーダー/100mL 存在していたレジオネラ属菌は、紫外線照射処理後には 10 個未満/100mL まで減少した (表 5. 及び図 10. ~図 12.).

紫外線処理装置の入口で確認されたアメーバは *Vahlkamphia* 属、*Hartmannella* 属、*Vexillifera* 属の 3 属が多く、*Vannella* 属も少数ながら確認された。

① 浴槽水での各微生物の挙動

48 時間まではレジオネラ属菌が検出限界未満であった。但し、48 時間以降はレジオネラ属菌が検出されるようになった。

一般細菌は処理開始後 24 時間までは 10 個以下/mL であったが、徐々に増加し、処理開始後 120 時間で 140 個/mL 検出された。

従属栄養細菌は処理開始直後で 26 個/mL 検出されており、処理開始後 240 時間まで 50 個~220 個/mL を推移した。

アメーバは常時 3 個以下/100mL を維持していた。

## ② 紫外線照射処理による各微生物の挙動

紫外線出口でレジオネラ属菌は常時検出限界未満となっており、紫外線照射処理で3logの減少であった。

一般細菌は処理開始後240時間まで、紫外線照射処理出口において10個以下/mLを維持したが、不検出(1個/mL未満)とはならなかった。

従属栄養細菌は処理開始後240時間まで、紫外線照射処理出口において11個以下/mLとなった。

アメーバは常時2個未満/100mLとなり、紫外線照射処理により、アメーバが効果的に処理されている事が明らかとなった。

今回の研究により、紫外線殺菌は経済性、効果の面で実用化を検討する可能性がある事が示された。

紫外線殺菌装置は、13mJ/cm<sup>2</sup>の照射線量において装置出口でレジオネラ属菌を効果的に殺菌でき、今回の試験期間10日間では効果の低下も見られないことから、実用的に浴槽水のレジオネラ属菌殺菌に使用できる可能性がある。

但し、紫外線殺菌では局所的な効果(紫外線照射点直後の近傍のみでの効果)しか期待出来ない。また、紫外線照射開始直後、循環浴槽水中で検出限界未満であったレジオネラ属菌が72時間後に10個/100mL検出されている事から、浴槽や配管内壁の汚染等の影響を受けやすい可能性が示唆された。

表5. 紫外線処理を実施した場合のレジオネラ属菌、その他細菌類、アメーバ数の挙動

処理時間 (h)	レジオネラ属菌数			一般細菌数			従属栄養細菌数			アメーバ数*				
	浴槽水	砂ろ過 出口	UV 入口	浴槽水	砂ろ過 出口	UV 入口	浴槽水	砂ろ過 出口	UV 入口	浴槽水	砂ろ過 出口	UV 入口	UV 出口	
0	<10	$4.5 \times 10^3$	$7.0 \times 10^3$	2	$9.0 \times 10^3$	$7.7 \times 10^3$	26	$3.1 \times 10^4$	$4.9 \times 10^4$	—	2	31	19	—
4	<10	$5.0 \times 10^3$	$3.7 \times 10^3$	2	$8.5 \times 10^3$	$7.7 \times 10^3$	150	$3.0 \times 10^4$	$4.0 \times 10^4$	7	<2	29	21	<2
8	<10	$2.9 \times 10^3$	$4.0 \times 10^3$	1	$8.8 \times 10^3$	$9.0 \times 10^3$	70	$3.2 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	9	2	40	18	<2
12	<10	$5.7 \times 10^3$	$5.0 \times 10^3$	2	$7.0 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	120	$4.0 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	10	3	38	33	<2
24	<10	$4.0 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$	10	$5.5 \times 10^3$	$8.1 \times 10^3$	140	$3.0 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	6	3	33	22	<2
48	<10	$7.7 \times 10^3$	$6.0 \times 10^3$	15	$1.2 \times 10^4$	$7.2 \times 10^3$	50	$3.0 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4$	3	2	27	39	<2
72	10	$6.0 \times 10^3$	$8.0 \times 10^3$	70	$9.0 \times 10^3$	$1.1 \times 10^4$	170	$3.8 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4$	6	<2	29	33	<2
120	40	$5.2 \times 10^3$	$4.0 \times 10^3$	140	$1.2 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	190	$2.9 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	11	<2	22	40	<2
240	70	$6.0 \times 10^3$	$4.9 \times 10^3$	100	$1.0 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	220	$2.4 \times 10^4$	$3.3 \times 10^4$	8	<2	20	19	<2

単位：レジオネラ属菌；個/100mL、一般細菌数、従属栄養細菌数、アメーバ数；個/100mL

※検出されたアメーバ：Vahlkampfia属、Hartmannella属、Vexillifera属・・・◎

Vannella属・・・△



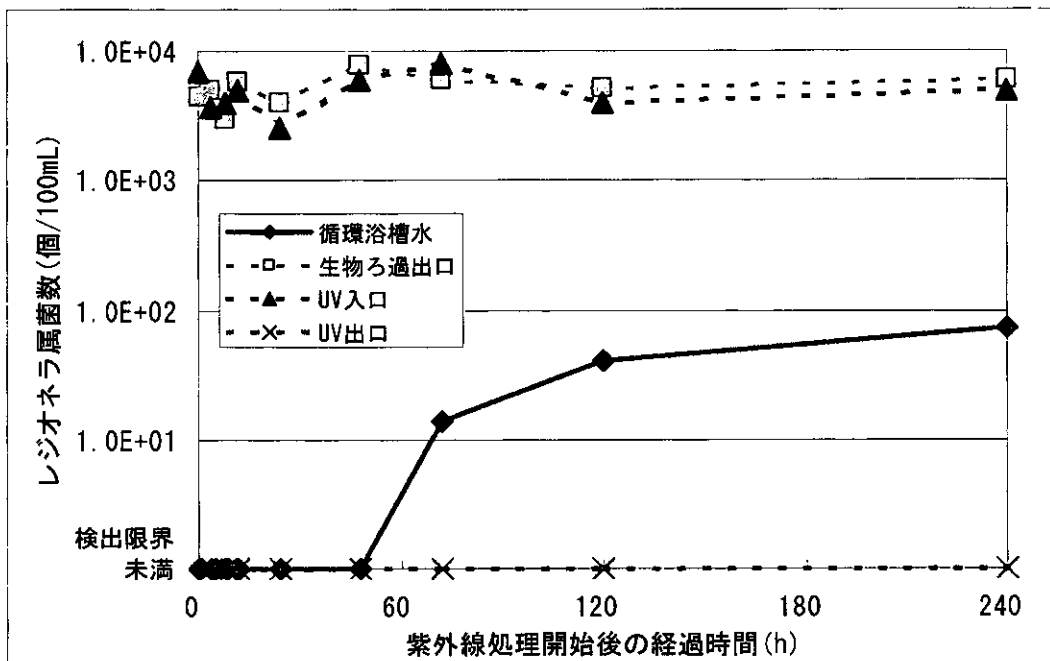


図 10. 紫外線処理を実施した場合のレジオネラ属菌の挙動(グラフ)

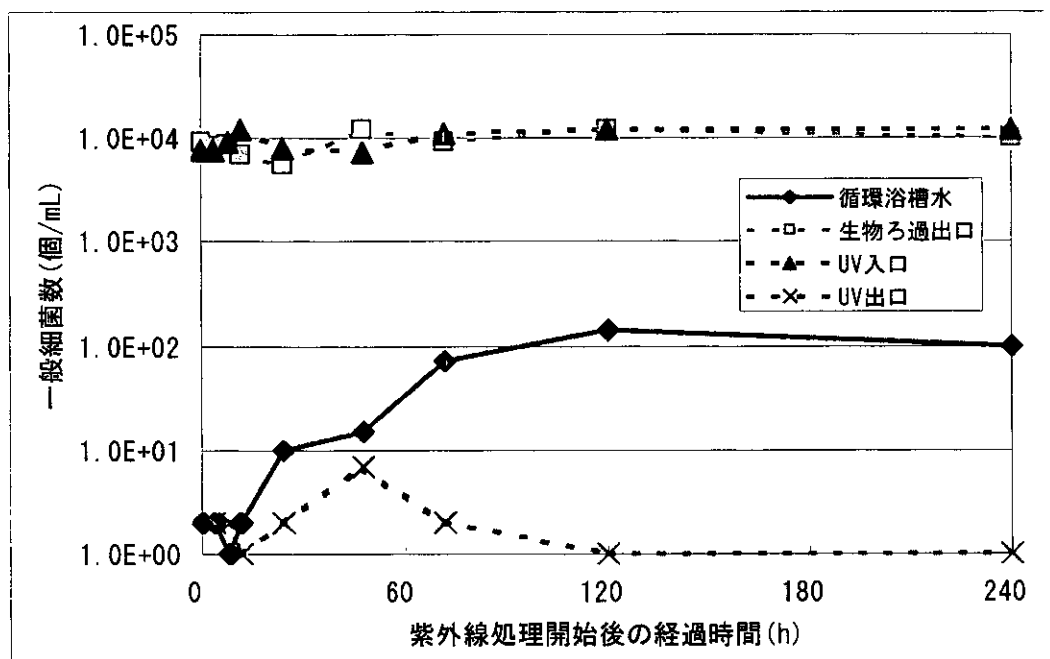


図 11. 紫外線処理を実施した場合の一般細菌の挙動(グラフ)

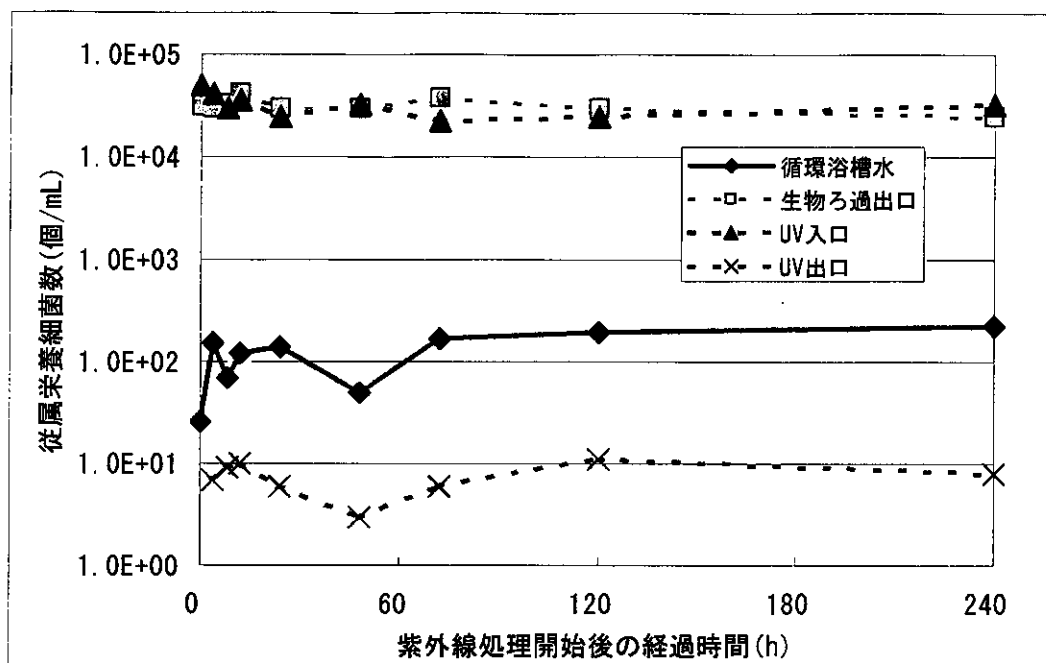


図 12. 紫外線処理を実施した場合の従属栄養細菌の挙動(グラフ)

(4) MF 膜処理を実施した場合の浴槽水等でのレジオネラ属菌の挙動

結果は表 6. ~表. 7 及び図 13. ~図 16. の通りとなった。

MF 膜処理前で  $10^4 \sim 10^5$  オーダー/100mL 存在していたレジオネラ属菌は、MF 膜処理開始直後で  $10^2$  オーダー、その後 120 時間までは  $10^1 \sim 10^2$  オーダー、120 時間後以降 240 時間後までは  $10^3$  オーダー/100mL となった。

MF 膜処理開始時点で浴槽水中には 80,000 個/100mL のレジオネラ属菌が存在していたが、MF 膜処理中でも  $10^3 \sim 10^4$  オーダー/100mL を推移し、開始後 240 時間後には 25,000 個/100mL 検出された。

アメーバは MF 膜処理前で 4~40 個/100mL 存在していたが、処理後には 2 個未満~9 個/100mL となった。

処理開始後 120 時間前後で MF 膜入口と出口の差圧が 0.15MPa、240 時間後で 0.21MPa まで上昇した。通常運転可能な差圧は 0.15MPa とされており、MF 膜の閉塞が示唆された。

今回の結果より、MF 膜に代表される精密ろ過膜による除菌処理は、膜の閉塞や除菌性能の問題から実用的でない事が示された。

実際の循環式浴槽に採用することは困難である事が確認された。

表6. MF膜処理を実施した場合の各微生物の挙動

処理時間 (h)	レジオネラ属菌数			一般細菌数		従属栄養細菌数		アメーバ数	
	入口	出口	循環浴槽水	入口	出口	入口	出口	入口	出口
0	$1.0 \times 10^5$	—	$8.0 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	—	$9.0 \times 10^4$	—	12	—
4	$1.0 \times 10^5$	$1.3 \times 10^2$	$8.2 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	$8.5 \times 10^2$	$1.0 \times 10^5$	$1.6 \times 10^2$	21	9
8	$5.2 \times 10^4$	$1.5 \times 10^2$	$8.0 \times 10^4$	$1.4 \times 10^4$	$9.2 \times 10^2$	$1.0 \times 10^5$	$1.3 \times 10^2$	8	6
12	$4.4 \times 10^4$	$1.0 \times 10^2$	$6.8 \times 10^4$	$1.0 \times 10^4$	$3.0 \times 10^2$	$7.2 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	12	5
24	$1.4 \times 10^4$	$3.0 \times 10^1$	$9.0 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$1.4 \times 10^3$	$8.2 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$	7	2
48	$1.6 \times 10^4$	$4.0 \times 10^1$	$6.2 \times 10^3$	$1.4 \times 10^4$	$1.6 \times 10^3$	$4.2 \times 10^3$	$7.2 \times 10^2$	4	<2
72	$3.8 \times 10^4$	$5.0 \times 10^2$	$9.0 \times 10^3$	$1.7 \times 10^4$	$1.4 \times 10^3$	$3.5 \times 10^3$	$7.5 \times 10^2$	7	<2
120	$1.9 \times 10^4$	$1.0 \times 10^3$	$7.0 \times 10^3$	$3.0 \times 10^4$	$1.2 \times 10^3$	$4.5 \times 10^3$	$5.0 \times 10^2$	11	<2
240	$4.0 \times 10^4$	$1.5 \times 10^3$	$2.5 \times 10^4$	$5.7 \times 10^3$	$2.0 \times 10^3$	$1.2 \times 10^4$	$2.0 \times 10^3$	40	2

単位：レジオネラ属菌；個/100mL、一般細菌数、従属栄養細菌数、アメーバ数；個/mL

表7. MF膜処理実施時のMF入口、MF出口における圧力変化、及び差圧上昇の推移

MF膜 処理時間(h)	圧力(MPa)		差圧(MPa)
	入口	出口	
0	0.07	0.04	0.03
4	0.1	0.08	0.02
8	0.1	0.07	0.03
12	0.12	0.06	0.06
24	0.14	0.06	0.08
48	0.17	0.06	0.11
72	0.18	0.07	0.11
120	0.21	0.08	0.13
240	0.29	0.08	0.21

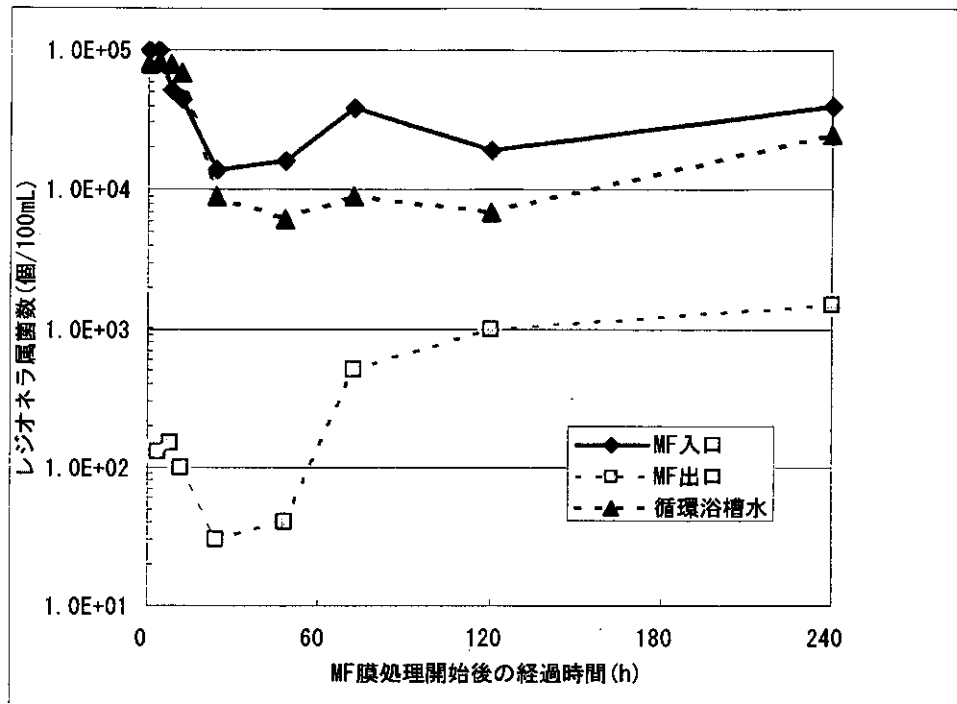


図 13. MF 膜処理を実施した場合のレジオネラ属菌の挙動

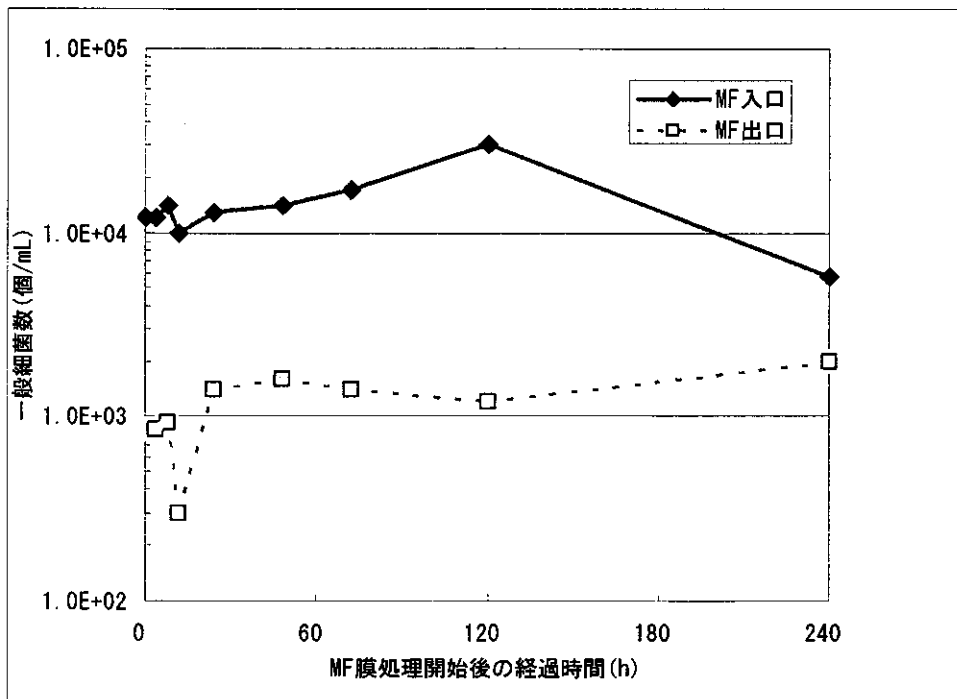


図 14. MF 膜処理を実施した場合の一般細菌の挙動

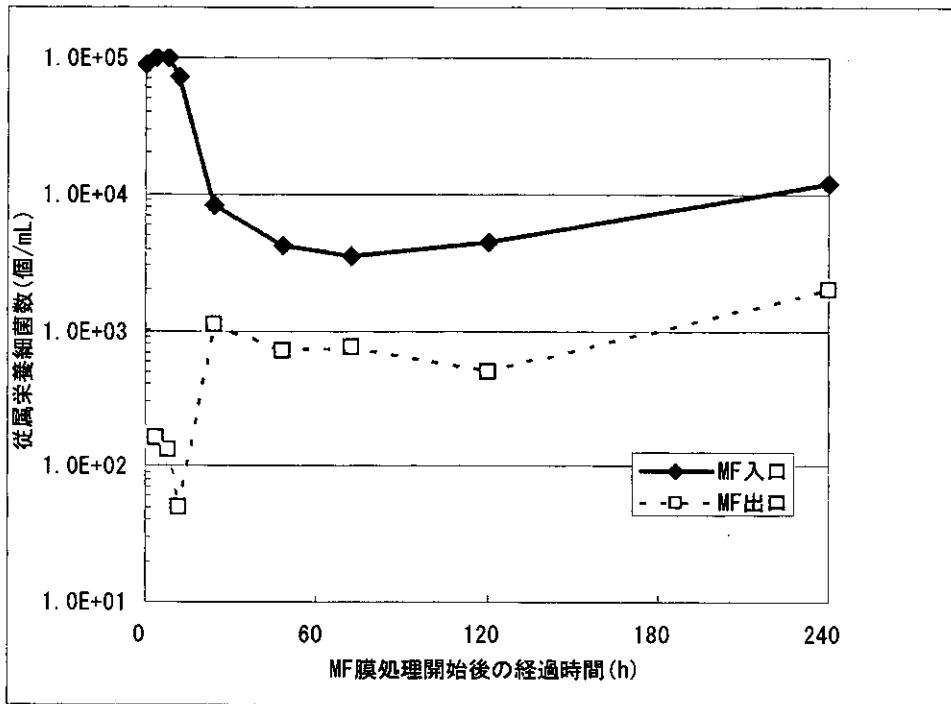


図 15. MF 膜処理を実施した場合の従属栄養細菌の挙動

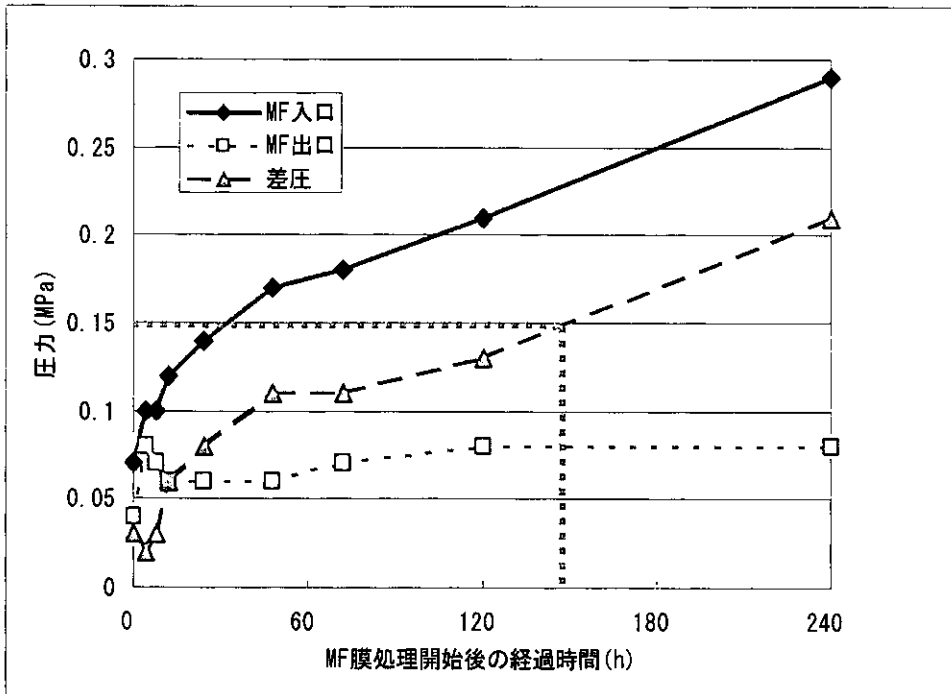


図 16. MF 膜処理実施時の MF 入口、MF 出口における圧力変化、及び差圧上昇の推移(グラフ)

(5) 塩素(Cl<sub>2</sub>)処理を実施した場合のレジオネラ属菌の挙動

予備的実験から、塩素消毒はレジオネラに有効で、40°Cにおいて *L. pneumophila* (IID, Y-25 株を使用) で求めた Ct<sub>99.99</sub> 値は 0.02-0.06 の範囲にあり、株によって

は大腸菌の Ct 値とほぼ同等か、それよりも少し塩素耐性を有することが示された。

当該実験における浴槽水の遊離残留塩素濃度は 0.2~0.4ppm を維持していた(表 8)。また、ろ過装置(装置中の砂に生物群が定着している状態)の前段に塩素除去用の活性炭ろ過装置を設置しておき、ろ過装置入口での遊離残留塩素濃度は 0 を維持させた。

処理前で循環浴槽中に 8,000 個/100mL 存在していたレジオネラ属菌は、塩素処理後で 10 個未満/100mL となり、240 時間後の試験終了まで 10 個未満を維持した。アメーバは処理前で 22 個/100mL 存在していたが、塩素処理後で 2 個未満~3 個/100mL となり、240 時間後まで推移した。

一般細菌数は処理前で 12,000 個/mL 存在していたが、塩素処理後で 20 個以下/mL となった。

塩素剤(次亜塩素酸ナトリウム)による殺菌処理は有効であった。

バイオフィーム由来のレジオネラ属菌による汚染の激しい循環系であっても、浴槽水中の遊離残留塩素濃度を 0.2~0.4mg/L の範囲に維持することで、浴槽水中の浮遊性レジオネラ属菌を不検出(10 個/100mL 未満)に維持出来た。

今回の結果より、浴槽水の遊離残留塩素濃度を監視しつつ適正範囲に管理することで、レジオネラ属菌を抑制出来ることが確認された。

遊離残留塩素濃度の測定は比較的簡便な管理パラメータであり、この管理手法を徹底することが、レジオネラ属菌抑制に有用である。

塩素剤の殺菌効果が低下する pH の高い水質(例えば 9.0 を超える水質)での殺菌効果の評価、及び浴槽水中のレジオネラ属菌が VNC 状態であるかどうかの評価、さらには塩素剤と有機物が反応する事によって発生するクロラミン臭の対策が今後の課題として残っている。

表 8. 塩素処理を実施した場合のレジオネラ属菌、その他細菌類、アメーバの挙動

処理時間 (h)	レジオネラ属菌数		一般細菌数		従属栄養細菌数		アメーバ数	
	浴槽水	砂ろ過 出口	浴槽水	砂ろ過 出口	浴槽水	砂ろ過 出口	浴槽水	砂ろ過 出口
0	$8.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$	$1.2 \times 10^4$	$1.4 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4$	$3.1 \times 10^4$	22	31
4	<10	$9.5 \times 10^3$	1	$1.5 \times 10^4$	150	$3.0 \times 10^4$	<2	29
8	<10	$1.2 \times 10^4$	13	$8.8 \times 10^3$	70	$3.2 \times 10^4$	2	40
12	<10	$1.6 \times 10^4$	10	$1.4 \times 10^4$	120	$4.0 \times 10^4$	3	38
24	<10	$7.5 \times 10^3$	20	$1.2 \times 10^4$	140	$3.0 \times 10^4$	3	39
48	<10	$1.2 \times 10^4$	18	$1.7 \times 10^4$	50	$3.0 \times 10^4$	2	27
72	<10	$1.4 \times 10^4$	9	$1.9 \times 10^4$	37	$3.8 \times 10^4$	<2	29
120	<10	$9.0 \times 10^3$	7	$1.4 \times 10^4$	19	$2.9 \times 10^4$	<2	29
240	<10	$7.7 \times 10^3$	1	$9.0 \times 10^3$	22	$2.4 \times 10^4$	<2	20

単位：レジオネラ属菌；個/100mL、一般細菌数、従属栄養細菌数、アメーバ数；個/mL

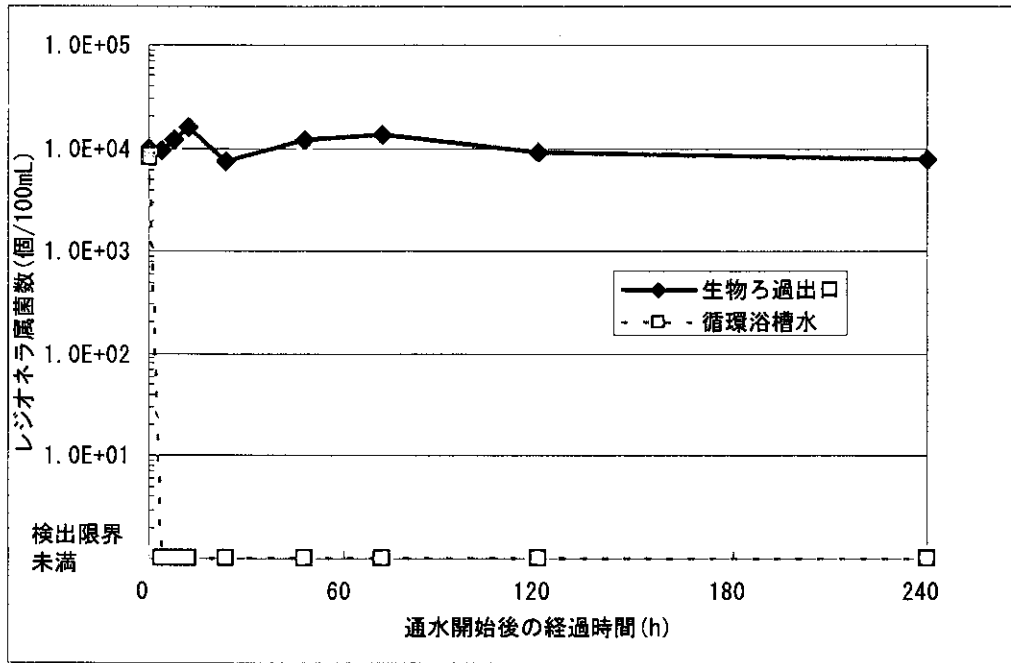


図 17. 塩素(Cl<sub>2</sub>)処理を実施した場合のレジオネラ属菌の挙動

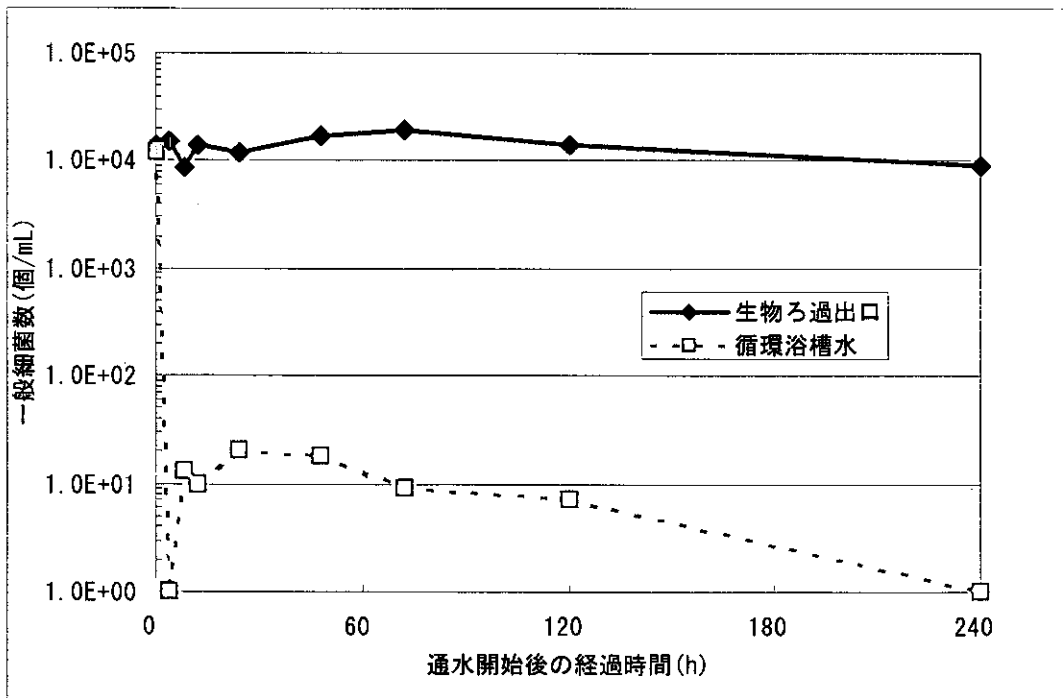


図 17. 塩素(Cl<sub>2</sub>)処理を実施した場合の一般細菌の挙動

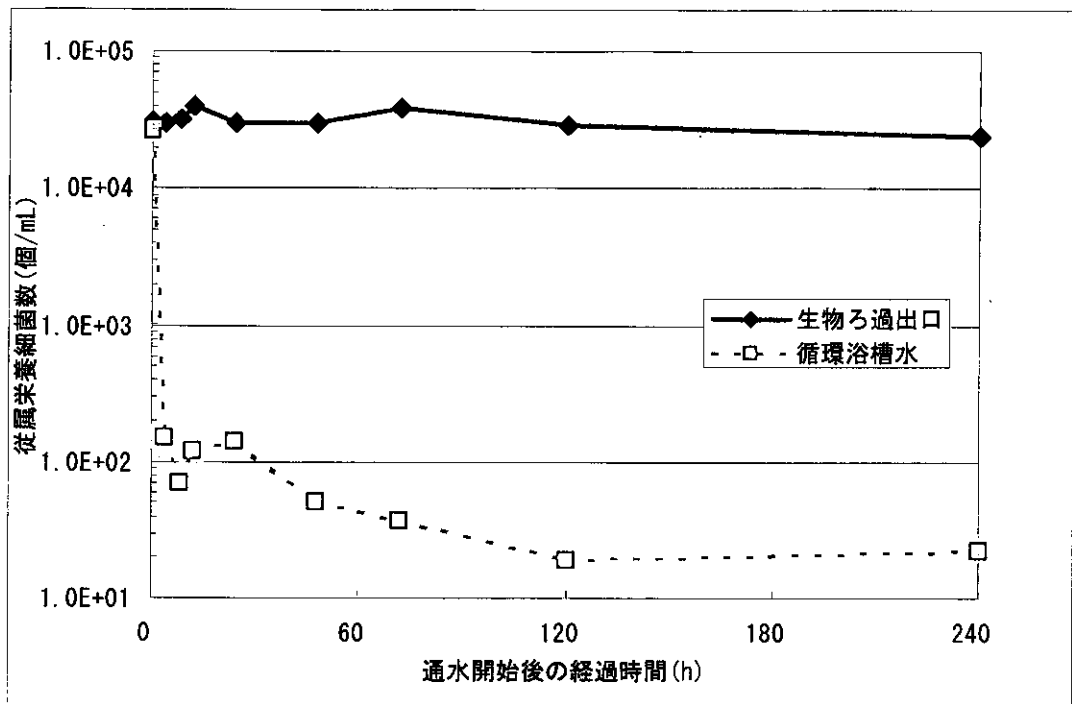


図 18. 塩素(Cl<sub>2</sub>)処理を実施した場合の従属栄養細菌の挙動

(6) 過酸化水素による洗浄と残留過酸化水素の除去

35%過酸化水素水(以下、過酸化水素水)を適量取り、つくば市水で適宜希釈し、過酸化水素濃度=約 100ppm(実測値 119ppm)の水溶液を 2L 調製した。上記水溶液に次亜ソを適宜添加し、残留塩素濃度(DPD、o-トリジン)を確認すると共に、pH の推移も確認した。結果は下図ならびに表意示すとおりであった。すなわち、残留塩素濃度を o-トリジン、シリングアルダジン法で確認した場合、塩素添加 100ppm まで残留塩素が検出されなかった。次亜塩素酸ナトリウムの添加により、過酸化水素濃度が減少しており、過酸化水素を次亜塩素酸ナトリウムが消費しているものと推測された。この間、次亜塩素酸ナトリウムの検出はできないものの、次亜塩素酸ナトリウムの添加量が増すにつれて反応系の pH が徐々に上昇し、残留塩素が検出された時点、すなわち次亜塩素酸ナトリウムが過酸化水素を消費(中和)し終えた時点から次亜塩素酸ナトリウムに含まれる水酸化ナトリウムが過剰となり反応系の pH を急激に上昇させたものと考えられた。DPD 法の場合、塩素添加 100ppm の段階で瞬間的に発色したが、即時に退色したのは高 pH による反応阻害と考えられた。



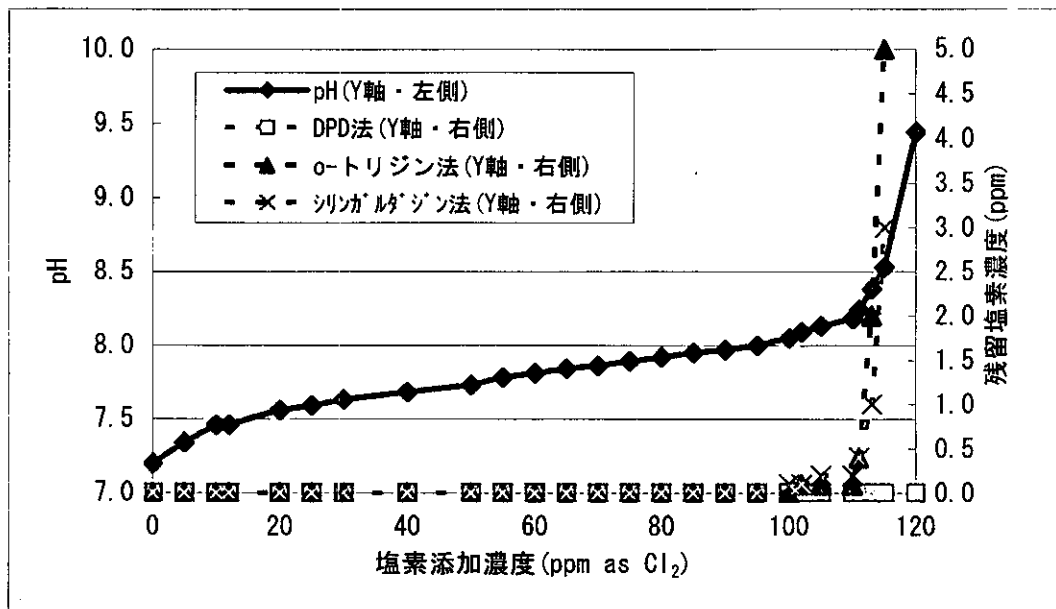


図. 塩素添加濃度と pH、残留塩素濃度の推移

表

塩素添加濃度 (ppm as Cl <sub>2</sub> )	pH	残留塩素濃度 (ppm)			残存 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)
		DPD	o-トリジン	シンガ ルダ ジン	
0	7.20	0	0	0	119
5	7.34	0	0	0	
10	7.46	0	0	0	
12	7.46	0	0	0	
20	7.56	0	0	0	
25	7.59	0	0	0	93.6
30	7.63	0	0	0	
40	7.68	0	0	0	
50	7.73	0	0	0	76.5
55	7.78	0	0	0	
60	7.81	0	0	0	
65	7.84	0	0	0	
70	7.86	0	0	0	
塩素添加濃度 (ppm as Cl <sub>2</sub> )	pH	残留塩素濃度 (ppm)			残存 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ppm)
		DPD	o-トリジン	シンガ ルダ ジン	
75	7.89	0	0	0	
80	7.92	0	0	0	
85	7.95	0	0	0	
90	7.97	0	0	0	
95	8.00	0	0	0	
100	8.05	0	0	0.1	32.3
102	8.09	0	0.1	0.1	
105	8.13	0	0.1	0.2	
110	8.18	0	0.1	0.2	22.1
111	8.24	0	0.4	0.4	
113	8.38	0	2.0	1.0	
115	8.53	0	5.0	3.0	
120	9.44	0			6.8

## 5. 結 論

実証用の循環式浴槽システムを構築し、浴槽内でのレジオネラ等の微生物の増殖状況を把握し、その汚染防止あるいは防除対策への科学的資料の収集に努めた。

本実験ではレジオネラ等の微生物の定着を効率的に行うために種となるバイオフィルムを新規の循環式浴槽に投入し、その後の増殖の過程をモニターした。従属栄養細菌（一般細菌）の定着・増殖はバイオフィルム投入1日目からすでに検出され、4日後には $10^3$ CFU/mlのレベル、宿主アメーバ類は8日目に $10^3$ PFU/100mlに達し、これに呼応してレジオネラは8日目に検出され始め、10日目には $10^2$ CFU/100mlに達した。これら微生物の定着・増殖の挙動は環境中でのレジオネラの増殖過程を典型的に再現するものであった。翻って、レジオネラの汚染防止に向けては、レジオネラの増殖を支える微生物環境を制御することが鍵であることが指摘される。以下、このような総合的な微生物の制御に向けて、効果的な手法に付き検討した。すなわち、各種配管材質の違いによるバイオフィルム付着状況の比較、紫外線照射、MF膜ろ過、塩素( $Cl_2$ )等による汚染防止効果、過酸化水素による洗浄に伴う残留過酸化水素の除去方法等々につき検討した。

配管材質の違いによるバイオフィルム定着の差異は比較的明瞭で、すでに指摘されているように銅管では溶出する銅イオンによると思われる殺菌効果が示唆された。すなわち、銅管表面のレジオネラ付着量は最も少なく、 $15$ CFU/cm<sup>2</sup>であった。次いで、塩ビ(PVC)及びサニタリー配管(sus316L)への菌数付着が少なく $10^2$ CFU/cm<sup>2</sup>前後であった。一方、材質の表面が腐食を起こしていた鉄への付着量は $2.3 \times 10^3$ CFU/cm<sup>2</sup>であった。すなわち、銅イオンの殺菌効果を別とすれば、表面が滑らかな材質の方が微生物の定着がし難い傾向が示された。反面、鉄管のように酸化鉄の腐食生成物が嵩高く生じるものはバイオフィルムが多く定着する危険性があることが指摘できる。

紫外線殺菌は残留効果がないという欠点があるものの、連続照射により浴槽水のレジオネラを低濃度に抑えることが示された。一方、照射が及ばないろ過槽等では浴槽水より10から100倍程度高い菌数で推移した。当該研究によりあらためて、塩素管理の有効性が指摘された。残留塩素濃度が0.2~0.4ppmとなる管理条件では、少なくともレジオネラ属菌は検出限界以下に抑制された。ただし、一部はVNC(viable but nonculturable)と呼ばれる状態にあるため培養で検出できないという可能性も考慮すれば持続的な塩素処理が必須と考えられた。塩素消毒と紫外線照射との効率的な組み合わせはより安全側に傾いた対策を可能とするのではないかと感触を得た。

一方、MF膜ろ過装置は短期間で目詰まりに至り、生物浄化槽との併用を前提とした物理的な微生物の封じ込めは管理方法として不相当と判断された。

厚生労働科学研究費補助金（厚生労働科学特別研究事業）  
分担研究報告書

循環式浴槽システムにおける微生物管理手法に関する研究

循環式浴槽施設におけるレジオネラ属菌対策事例

分担研究者： 遠藤 卓郎（国立感染症研究所 寄生動物部）  
古畑 勝則（麻布大学 環境保健学部）  
大井 照（東京都板橋区保健所）

研究協力者： 八木田健司（国立感染症研究所 寄生動物部）  
泉山 信司（国立感染症研究所 寄生動物部）  
上野 邦夫（東京都板橋区保健所）  
三井 公夫（東京都板橋区保健所）  
田村 弘治（東京都板橋区保健所）  
縣 邦雄（㈱アクアス つくば総合研究所）

本調査研究では、過去 2 年間にわたり浴槽水をはじめ、循環系の衛生管理に留意し定期的なレジオネラ属菌を含む検査項目すべてについて基準値を維持しつつ運転管理している循環式浴槽の設備の状況および管理方法を調査・整理した。調査の対象とした施設は、塩素剤による消毒処理を基本とし、浴槽水の遊離残留塩素濃度をきめ細かく測定し調整しているもので、ろ過装置のろ材に汚れがたまらないよう逆洗・消毒の徹底、砂ろ過を採用していること、浴槽水を計画的にオーバーフローし、浴槽水中の過マンガン酸カリウム消費量成分を排出し、濃度を適正に維持している。この調査から、設備改善と管理の徹底により、良好な衛生管理状態が維持されることが示された。一方、設備改善に費用が掛かること、徹底した維持管理には管理費用（主として人件費）、本施設の場合には朝 8 時から夜 21 時まで 1 人の専任管理者が必要であり、設備メンテナンスの際には更に要員が必要であること、加えて日々の清掃・消毒に人手が必要なことなど、きわめて経済的な負荷がかかることが明らかとなった。また、本施設は水源として水道水を使用しているが、温泉水などの特殊な水質では塩素剤が有効に使用できない場合もあり、管理手法の確立が必要である。なお、本調査研究の成果として、浴槽系の殺菌を徹底した場合に問題となる、浴槽水中の過マンガン酸カリウム消費量の蓄積についても、実際のデータをもとにモデルを構築し、シミュレーションを行なうことが出来た。今後、浴槽水の過マンガン酸カリウム消費量計算の実用的手法として活用されることが期待される。