

写真 2.3 従属栄養細菌 (×1000)  
グラム染色陽性

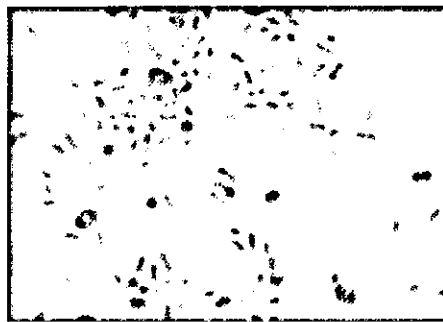


写真 2.4 レジオネラ属菌 (×1000)  
グラム染色陰性

### 2.2.2 ろ過槽内のバイオフィルム

写真 2.5 は、ろ過槽内から採取したバイオフィルムをグラム染色した、顕微鏡写真である。糸状を形成し、グラム染色陰性菌が確認された。

表 2.1 にろ過槽内の生細菌数を示す。結果をみると、好気性細菌が優占的に認められ、 $2.2 \times 10^4$  (30°C) から  $2.8 \times 10^5$  CFU/mL 以内 (45°C) の範囲にあった。好気性細菌の中で、グラム陰性菌が  $2.1 \times 10^4$  CFU/mL となり、グラム陽性菌は  $3.3 \times 10^3$  CFU/mL を示した。また、比較的低栄養条件下においても、生息可能な細菌群が優占種であり、低栄養細菌数としては  $3.2 \times 10^6$  (30°C) ~  $2.9 \times 10^6$  (45°C) CFU/mL が検出されている。すなわち、これらろ過槽で増殖した細菌による漏えいが、浴槽水中の従属栄養細菌数を高めると考えられた。

さらにろ過槽内細菌類の特徴的なこととして、腸内細菌、嫌気性細菌、放線菌、糸状菌、酵母は 10~20 CFU/mL と低いことが挙げられる。また、顕微鏡観察した結果、細菌性フロックや原生動物が確認された。

次にろ過槽内バイオフィルムの生成量と入浴者の有機汚濁負荷単位を照らし合わせると次のようになった。すなわち、入浴者からの有機汚濁負荷 (TOC) 単位は 0.3 g/人で計算される。これに対し、バイオフィルムとしてろ過槽内に増殖した量は 0.3~0.4 g / L-BF・日 (BF:ろ材) となった。

以上のことから、0.3 g / 人・日の有機汚濁負荷により 0.3~0.4 g/L-BF・日のバイオフィルムが生成したことになる。

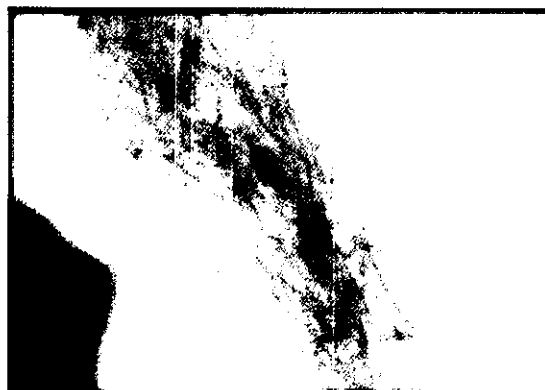


写真 2.5 ろ過槽内から採取したバイオフィルム  
グラム染色陰性 (×1000)

表 2.1 ろ過槽内の生細菌数

対象菌	生菌数 (CFU/mL)	培養条件
好気性細菌	2.2×10 <sup>4</sup> 2.8×10 <sup>5</sup>	30℃、3日間、SCD培地 45℃、3日間、SCD培地
低栄養細菌	3.2×10 <sup>6</sup> 2.9×10 <sup>6</sup>	30℃、30日間、普通ブイヨン培地 45℃、30日間、普通ブイヨン培地
グラム陰性菌 グラム陽性菌	2.1×10 <sup>4</sup> 3.3×10 <sup>3</sup>	30℃、3日間、コロンビアCAN培地 30℃、3日間、CTV培地
腸内細菌 嫌気性細菌 放線菌 糸状菌 酵母	10以下 10以下 10以下 10以下 20	35℃、1日間、DHL培地 35℃、3日間、ゲンタマイシン加GAM培地 30℃、14日間、アルブミン 25℃、7日間、クロラムフェニコール加PD培地
検体中の主な介在微生物(分離菌群) 1/100 普通寒天培地から分離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多形性無芽胞グラム陽性桿菌(中温性) 3×10<sup>6</sup></li> <li>・非発酵性グラム陰性桿菌 1×10<sup>6</sup></li> <li>・好気性芽胞菌 1×10<sup>6</sup></li> <li>・カタラーゼ陽性、グラム陽性球菌 2×10<sup>5</sup></li> </ul>	
顕微鏡による所見	細菌性フロック c c c 原生動物 c c Monas sp c	鞭毛虫類のMonas spが多く存在している。 球状の生物(細胞)が認められる。

ccc: 非常に多い、cc:多い、c:中位

### 2.2.3 バイオフィーム内レジオネラ属菌の増殖試験

実際に使用している循環浴槽ろ過槽内バイオフィーム中からは、レジオネラ属菌が10<sup>5</sup>CFU/mL オーダーで検出される。これらのバイオフィーム中のレジオネラ属菌が滅菌水中、すなわち、基質無添加条件下において、どのように増殖するか観察した。得られた結果を図2.3~2.6示す。

本実験ではバイオフィーム濃度を91mg/L~2128mg/Lの範囲とし、約3週間の培養を行った結果、pHは7.7~6.3と酸性側に移行し、この傾向は供試バイオフィーム濃度が高い条件下で顕著に認められた。

一方、本条件下におけるバイオフィームを培養をした結果、各条件とも大きな変動はみられなかった。なお、このバイオフィーム内におけるレジオネラ属菌は、初期値で10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup>CFU/mLで検出された。培養日数に伴う推移をみると7日値において、各条件ともに10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup>CFU/mLと最大値を示した。この理由として、バイオフィーム中には原生動物等が共存しているために、日数の経過に伴い、レジオネラ属菌が極端に減少しない要因になっていると考えられた。一方、大腸菌群は初期値において2~12CFU/mLと低く、この値は34CFU/mL(最大値、14日値)まで増殖したものの、時間に伴う大きな増殖はみられなかった。すなわち、本培養系は大腸菌群等の高栄養細菌が増殖する環境にないことが示された。

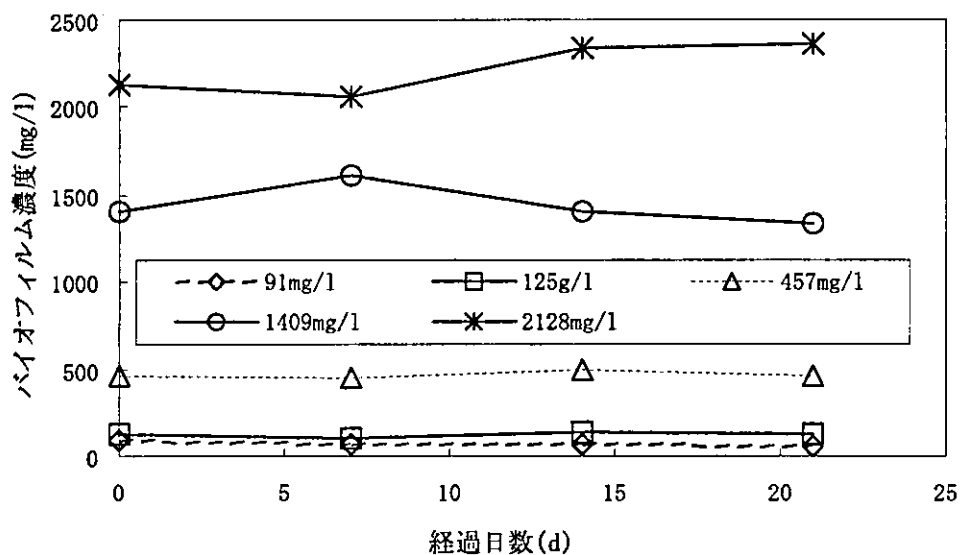


図 2.3 バイオフィルム濃度の時間変化

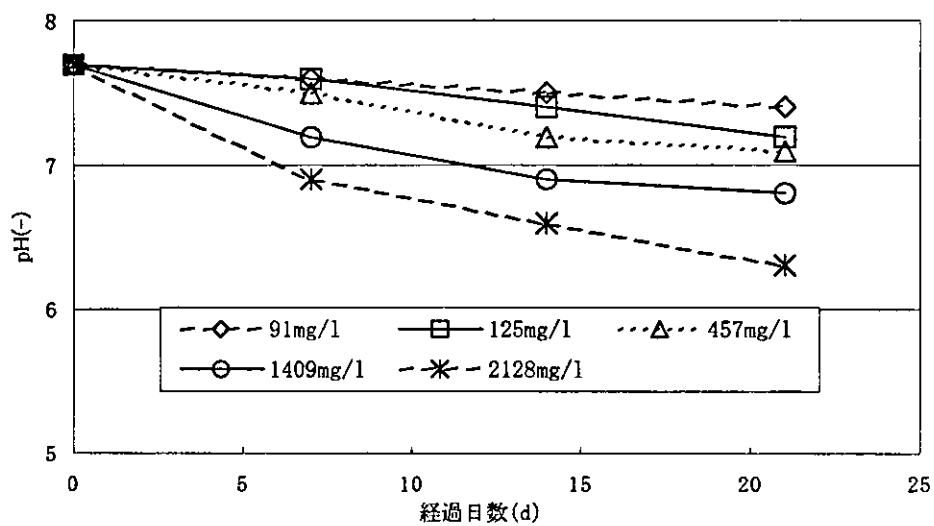


図 2.4 バイオフィルムの pH 変化

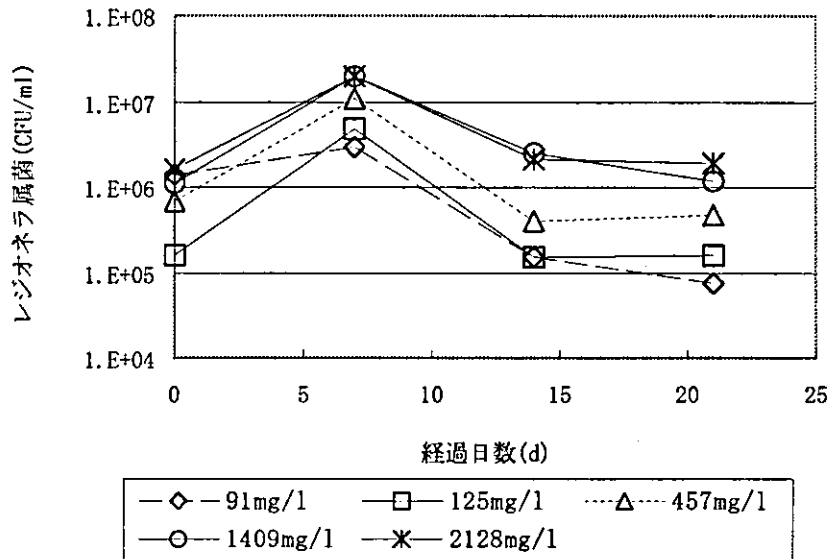


図 2.5 バイオフィルム中レジオネラ属菌の時間変化

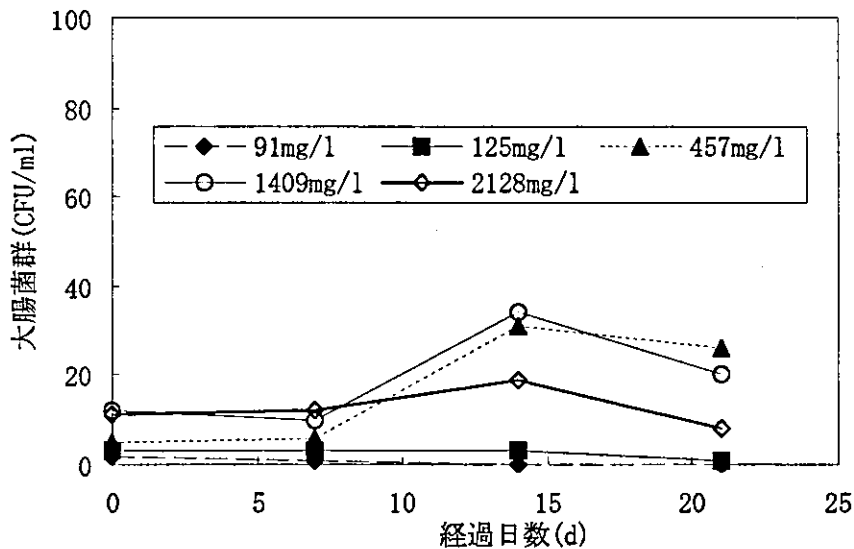


図 2.6 バイオフィルム中大腸菌群の時間変化

### 3. バイオフィルムの消毒試験

#### 3.1 実験方法

##### 3.1.1 家庭用循環浴槽内の消毒試験

実験動している循環浴槽システム（図 2.1）に、遊離残留塩素濃度で 0.2mg/L 程度になるように、次亜塩素酸ナトリウムを入浴時に加え、塩素消毒による従属栄養細菌の減少量について測定した。

さらに、消毒によるバイオフィルムへの影響について、浴槽中の TOC の変動についても

観察した。

次に紫外線照射法による消毒効果について検討した。本装置（図 2.1）は紫外線ランプ付設のタイプであるが、ろ過槽前段にあることから、さらにろ過槽後段に紫外線ランプを追加し、実験を行った。

### 3.1.2 バイオフィームおよびレジオネラ属菌の消毒試験（ビーカテスト）

バイオフィームの消毒効果を明らかにするために、室内規模による不活化実験を行った。塩素消毒および紫外線照射法は次に示すとおりである。

塩素消毒方法としては、2.1.3 に示すバイオフィームを滅菌水に添加する。この中に、次亜塩素酸ナトリウム溶液を遊離残留塩素濃度として、0.05～2.0mg/L の範囲で加えた。本試料をバイオフィーム試料とする。対照として、滅菌水に継代培養した *L. Pneumophila* を添加した。本試料を水試料とする。レジオネラ属菌の測定は、消毒前後における水試料およびバイオフィーム試料について行った。

紫外線照射法による消毒試験は、水試料中のレジオネラ属菌およびバイオフィーム試料中のレジオネラ属菌を対象とした。各試料を 0.2～1L 入れたビーカーおよび深型シャーレ内をマグネティックスラスタで攪拌する。紫外線の照射は、ビーカーの上部にハンディ型紫外線照射計（UVP 社製 UVGL - 58 型）を用いてランプ強度 0.1～1.1mW/cm<sup>2</sup> の範囲となるように照射した。生残率と紫外線照射時間の関係を次式により算出した。

$$N_t/N_0 = e^{-kc} \dots \dots (1) \quad N_t/N_0 = e^{-kt} \dots \dots (2) \quad , \quad N_t/N_0 = e^{-kIt} \dots \dots (3)$$

ここに、

$N_t$  : t 時間後の微生物濃度 (CFU/100mL)

$N_0$  : 初期 (t=0) の微生物濃度 (CFU/100mL)

k : 速度定数 (1/s)

C : 残留塩素濃度 (mg/L)、t : 時間 (s)、It : 紫外線量 (mW · t / cm<sup>2</sup>)

## 3.2 結果および考察

### 3.2.1 循環浴槽内における消毒効果

#### (1) 塩素消毒

塩素剤を添加した浴槽水の水質変化を表 3.1 に示し、浴槽水の従属栄養細菌および TOC の経日変化を図 3.2、図 3.3 に示す。

表に示すとおり、浴槽水の pH は経過日数が 49 日～102 日までの約 50 日間は 7.0～7.3 の範囲にあり、大きな変動はみられなかった。本条件下において、塩素添加を 90 日目から開始した。その結果、従属栄養細菌の極端な減少はみられなかった。同時に浴槽水中の TOC をみると、塩素添加前の値は、1.5～4.6mg/L (中央値 ; 2.86mg/L、n=9) を示した。本条件に塩素を添加した結果、91 日以降から 4.0～5.2mg/L の範囲にあり、塩素によるバイオフィームへの影響が懸念された。すなわち、バイオフィームによる浴槽水中有機汚濁物質の浄化作用は、低下する傾向にあった。しかし、本実験では、塩素を添加してからの経過時間が短期であり、塩素による消毒効果が明らかに認められるまで、実験を継続しなかった。

参考値として、表 3.2 に塩素による循環浴槽水の水質を示す。本水質は業務用循環装置によるものであり、ろ過槽内および浴槽水ともに塩素が効果的に作用しており、TOC は 6.5 ~14mg/L の高い値となり、細菌類は低いことが特徴として示されている。

以上のことから、生物浄化の伴わない浴槽水の水質は、塩素消毒効果により、細菌学的安全性は保持されるものの、補給水が少ない条件下では TOC の上昇することが留意点として挙げられる。

表 3.1 塩素剤を添加した浴槽水の水質変化

経過日数(日)	pH	電気伝導率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	TOC (mg/L)	従属栄養細菌 (CFU/mL)
49	7.0	217	—	—
56	7.1	229	2.28	—
58	7.1	240	2.48	—
61	7.2	298	1.52	—
72	7.0	272	2.44	—
78	7.2	306	4.63	50000
82	7.3	305	2.84	1300
84	7.2	276	2.72	12000
86	7.1	272	3.63	16000
89	7.1	272	3.67	—
91	7.3	277	4.88	23000
96	7.2	282	4.37	50000
98	7.2	288	4.0	11000
102	7.2	297	5.23	300000

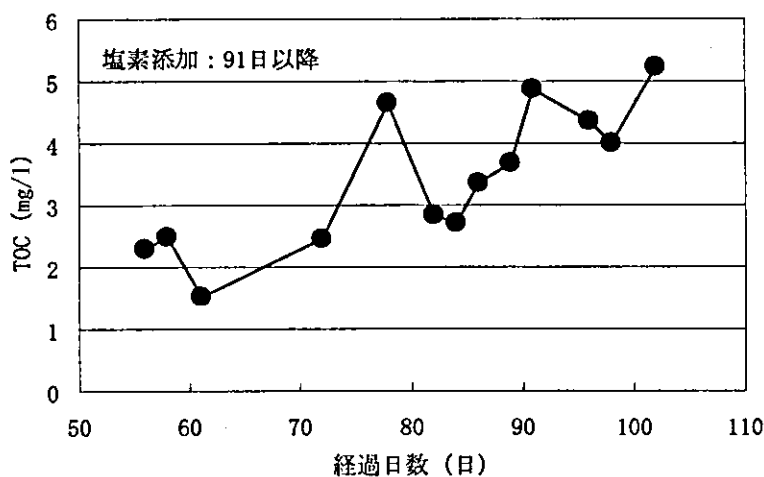


図 3.2 塩素剤添加における浴槽水の TOC 変化

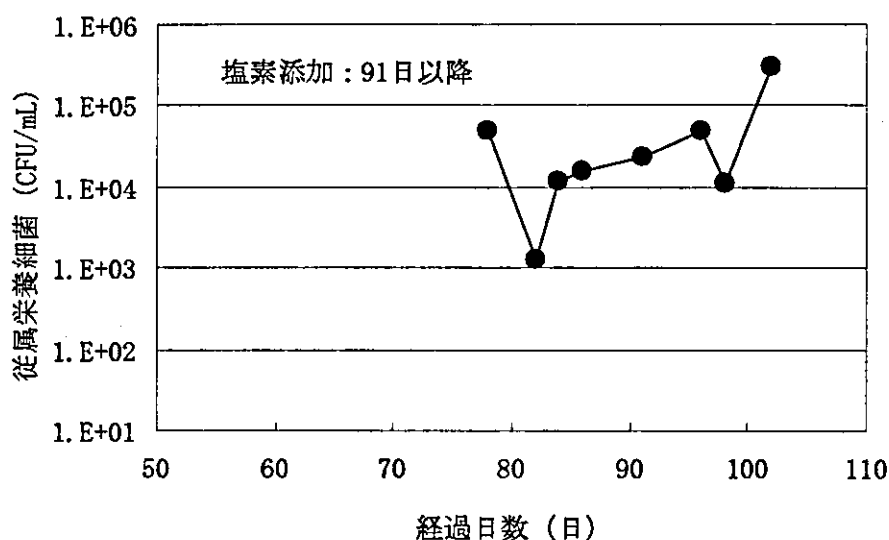


図 3.3 塩素剤添加における従属栄養細菌の変化

表 3.2 塩素剤添加による業務用循環浴槽水の水質

Run	pH	TOC (mg/L)	従属栄養細菌 (CFU/mL)	レジオネラ属菌 (CFU/100mL)	大腸菌群 (CFU/mL)
1	8.0	6.46	60	ND	ND
2	7.9	7.24	400	ND	ND
3	8.0	13.8	300	50	ND
4	8.0	10.1	20	ND	ND
5	8.0	11.3	10	ND	ND
6	8.0	8.83	30	ND	ND

## (2) 紫外線殺菌装置による浴槽水の消毒

紫外線殺菌装置による浴槽水の変化を表 3.3、図 3.4 および図 3.5 に示す。TOC は 3.4mg/L ~6.2mg/L (n=10, 中央値 4.0mg/L) が得られた。また、従属栄養細菌数は 1 週間を経過すると、3000CFU/mL ~10CFU/mL と安定する傾向にあった。また、浴槽水中におけるレジオネラ属菌の検出率は 16% (2/12、50CFU/100mL) であった。さらに本条件におけるろ過槽内バイオフィル生成量は紫外線殺菌をしない条件より約 1/10 (生成量: 0.04 (g-バイオフィルム/L-BF・d)) に低下した。

表 3.3 紫外線殺菌における浴槽水の水質変化

経過日数 (日)	pH	電気伝導率 ( $\mu$ S/cm)	TOC (mg/L)	従属栄養細菌 (CFU/mL)	レジオネラ属菌 (CFU/100mL)	大腸菌群 (CFU/mL)
5	7.5	196	3.76	—	ND	ND
8	7.4	201	—	12000	ND	ND
10	7.5	206	5.57	3000	50	ND
12	7.4	208	3.95	—	ND	ND
17	7.5	210	3.12	200	ND	ND
19	7.3	222	3.47	30	ND	ND
22	7.4	221	3.35	10	ND	ND
26	7.6	215	—	—	ND	ND
31	7.5	216	5.21	20	ND	ND
33	7.4	22	4.1	210	ND	ND
38	7.3	224	6.22	100	ND	ND
40	7.3	224	5.76	10	50	ND

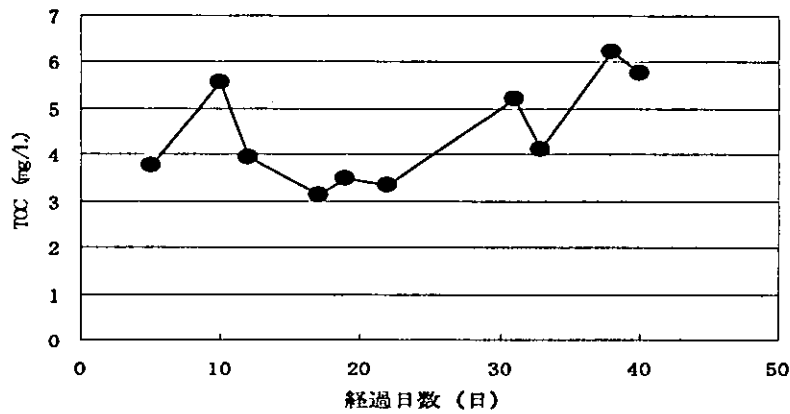


図 3.4 紫外線殺菌による浴槽水の TOC 変化

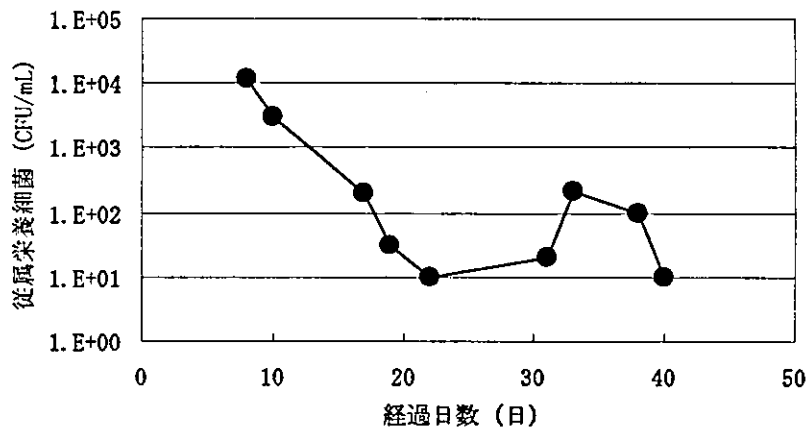


図 3.5 紫外線殺菌による従属栄養細菌の経時変化



### 3.2.2 バイオフィームおよびレジオネラ属菌の消毒試験(ビーカテスト)

#### (1) 塩素による不活化

次亜塩素酸ナトリウム溶液による、バイオフィーム中レジオネラ属菌の不活化を図 3.6 に示す。本実験では塩素の接触時間を3分間とした。

バイオフィーム中のレジオネラ属菌に対して、本溶液を作用させたところ、近似式  $N_t/N_0 = e^{-24.1c}$  が得られた。本実験式より、レジオネラ属菌を99%不活化するのに必要な残留塩素濃度は0.2mg/Lになった。

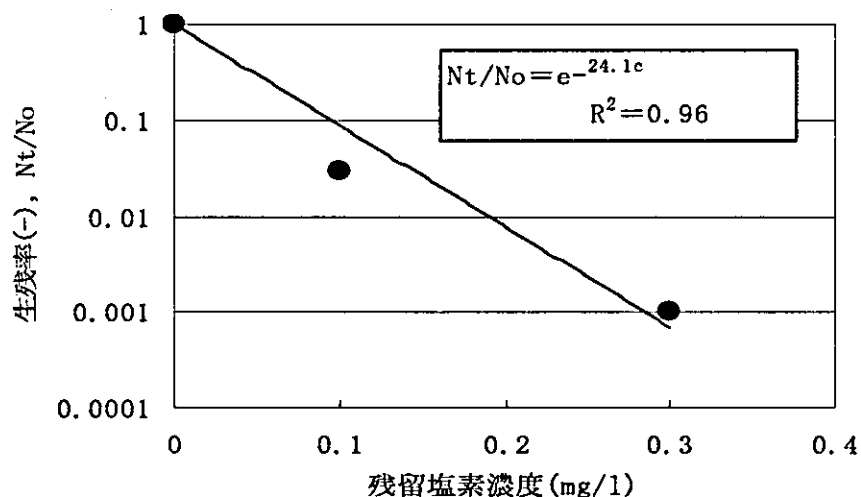


図 3.6 塩素によるバイオフィーム試料中レジオネラ属菌の不活化

#### (2) 紫外線照射法による不活化効果

水試料中およびバイオフィーム試料におけるレジオネラ属菌の生存率と紫外線量の関係を図 3.7 に示す。得られた近似式から、水試料における k 値とバイオフィーム試料の k 値は、それぞれ 0.34 および 0.35 が得られ、両者に明らかな差異は認められなかった。

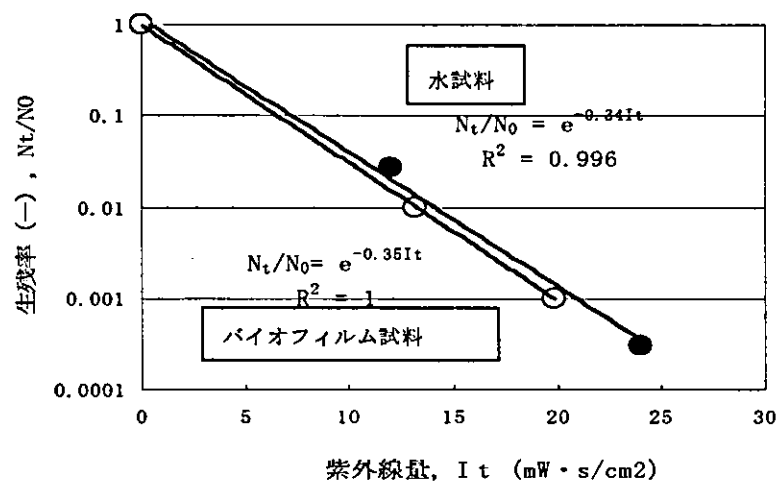


図 3.7 紫外線照射による水、バイオフィーム試料中レジオネラ属菌の不活化

### (3) 塩素および紫外線によるバイオフィルムの不活化

表 3.4 に各殺菌法によるレジオネラ属菌の 99%不活化を示す。表に示すとおり、塩素による方が両者に差異が認められた。すなわち、水試料にレジオネラ属菌を 99%不活化するには、残留塩素が 0.1mg/L 必要であり、バイオフィルム試料では、0.2mg/L の塩素が必要となった。

表 3.4 各種殺菌法によるレジオネラ属菌の 99%不活化

試料	不活化法	紫外線照射		塩素処理	
		k 値	紫外線量, $I_t$	k 値	残留塩素, C
			( $mW \cdot s/cm^2$ )		(mg/L)
水試料	0.34	14	35	0.1	
	$R^2=0.995$		$R^2=0.87$		
バイオフィルム試料	0.35	13	24	0.2	
	$R^2=1.0$		$R^2=0.96$		

## 4. 各種温泉水におけるバイオフィルムの生成抑制実験

### 4.1 実験方法

#### 4.1.1 振とう培養法によるレジオネラ属菌の増殖試験方法

泉質を明らかにした温泉水を対象に、泉質の相違によるレジオネラ属菌の増殖特性について検討した。本条件では、表 4.1 に示す泉質の温泉水に、表 2.1 のバイオフィルムを添加し、原生動物等の混合培養系におけるレジオネラ属菌の増殖傾向について測定した。実験方法は、各温泉水にバイオフィルム・レジオネラ調製液（バイオフィルム 140mL (SS 濃度：2140mg/L) + *L. pneumophila* 1 白金耳) を各 10mL ずつ加え、全量を 500mL にする。培養用試料は 300mL とし、25℃、100rpm で 12 日間の振とう培養試験を行った。測定は培養前後におけるレジオネラ属菌の測定を行い、増殖特性については生残率から評価した。

#### 4.1.2 塩素消毒の有無によるバイオフィルムの生成試験

本実験で用いたバイオリアクタを図 4.1 に示す。まず、本実験では、本装置の槽内に浴槽水を 4L 入れる。浴槽水は 5 人が 2 日間入浴後の一般家庭浴槽水を用いた。この中に図 2.1 から採取したバイオフィルム (SS 濃度：2140mg/L) を 100mL 植菌する。これはバイオフィルムの生成を早めることを目的に行った。実験条件としては、同条件下で 1 週間稼働させ、1 週間後に 1 台の装置には残留塩素で 0.2~0.4mg/L の範囲に添加し、もう 1 台は塩素無添加とした。両者における評価は、培養前後における、①吸着板上に生成したバイオフィルム量の測定および目視観察(写真撮影)、②槽内の水質測定として、水温、電気伝導率、pH、TOC、一般細菌、大腸菌群、レジオネラ属菌について測定した。培養期間は 21 日間とした。なお、バイオリアクタの回転数は 180rpm とし、測定時以外は暗所とした。

表 4.1 対象とした泉質の特徴

泉質	項目	泉質特性				
		pH	ORP	TS	EC	アルカリ度
	硫酸塩泉	7.7	335	1785	250	39
	塩化物泉	7.5	311	9749	1700	790
	含鉄泉	2.8	750	1136	190	0
	硫黄泉	7.6	335	6821	930	37
	単純温泉	7.7	466	749	110	200
	アルカリ性単純泉	8.4	427	434	57	44
	炭酸水素塩泉	8.7	375	1366	200	500
	酸性泉	1.9	574	2114	770	0

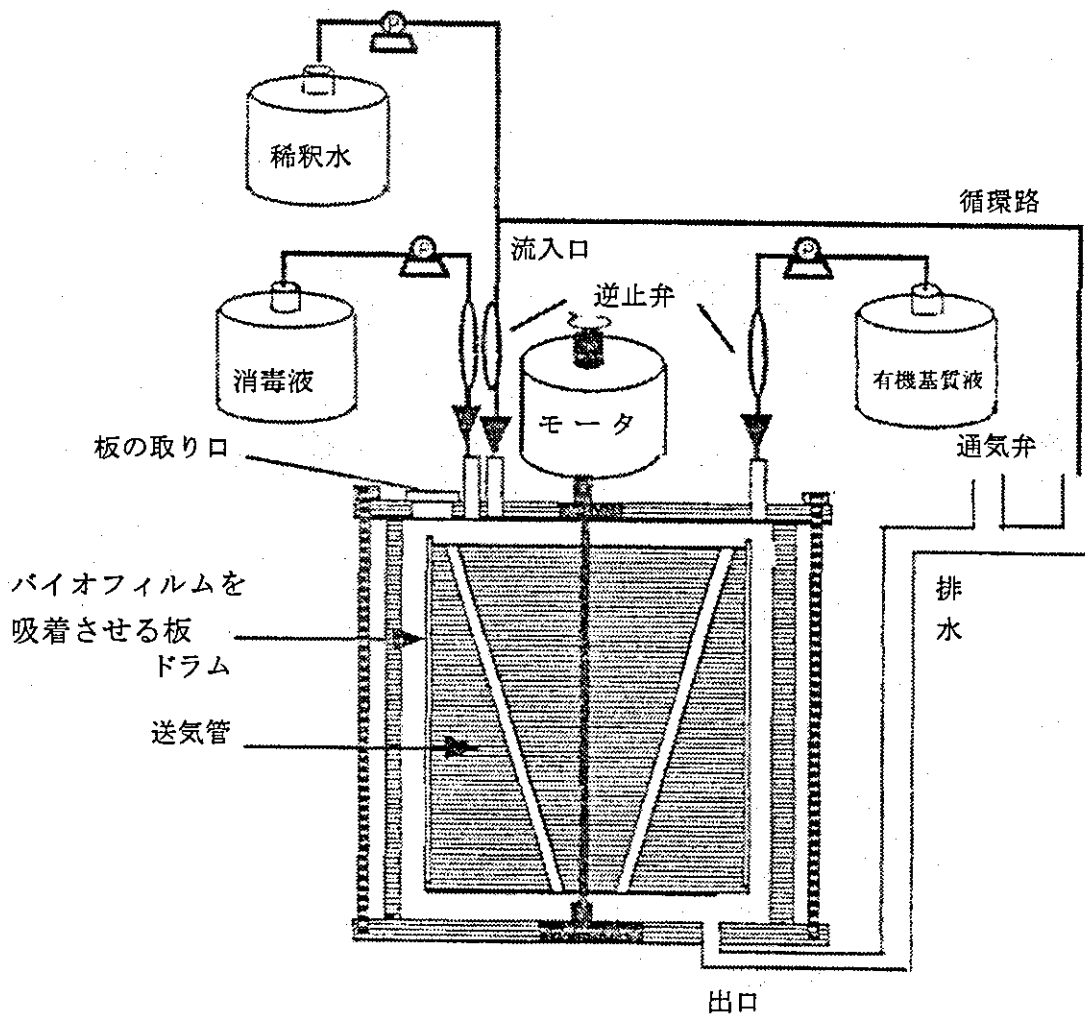


図 4.1 バイオリアクタ

## 4.2 結果および考察

### 4.2.1 振とう培養法によるレジオネラ属菌の増殖試験

得られた結果を表 4.2 および図 4.2 に示す。

本実験は、バイオフィーム（表 2.1、原生動物等混在）存在下におけるレジオネラ属菌の増殖挙動について検討した。その結果、泉質により増殖特性は異なり、時間の経過に伴いレジオネラ属菌が減少し、6 日値において生残率が 0% となった泉質は塩化物泉、酸性泉であった。比較的増殖が顕著であった泉質は、炭酸水素塩泉、硫酸塩泉および水道水であった。最終値における生残率の高い泉質順は、炭酸水素塩泉 (10.6) > 硫酸塩泉 (5.1) > 水道水 (4.1) > 硫黄泉 (0.6) > 単純温泉 (0.4) > アルカリ性単純泉 (0.2) > 含鉄泉 (0.02) > 酸性泉・塩化物泉 (0) のとおりになった(表 4.3、図 4.3)。

表 4.2 バイオフィーム存在下におけるレジオネラ属菌の増殖特性  
(CFU/mL)

泉質	0	2	4	6	10
単純温泉	19000	25000	9000	11000	8450
アルカリ性単純泉	24000	9000	2300	3600	4800
炭酸水素塩泉	10000	36000	24000	60000	106000
硫酸塩泉	1400	1600	800	1400	7200
塩化物泉	6500	600	ND	ND	ND
含鉄泉	7700	1400	100	40	190
硫黄泉	9900	9500	2650	22000	5800
酸性泉	3800	10	ND	ND	ND
水道水	5150	10000	2050	3100	21000

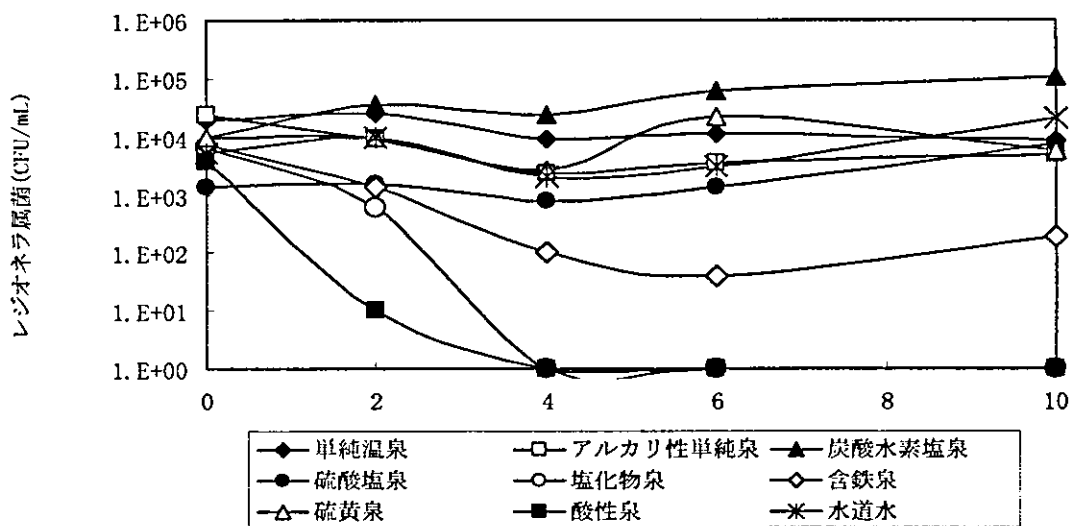


図 4.2 バイオフィーム存在下におけるレジオネラ属菌の増殖特性

表 4.3 バイオフィルム存在下におけるレジオネラ属菌の生残率 (-)

泉質	0	2	4	6	10
単純温泉	1	1.32	0.47	0.58	0.44
アルカリ性単純泉	1	0.38	0.10	0.15	0.20
炭酸水素塩泉	1	3.60	2.40	6.00	10.60
硫酸塩泉	1	1.14	0.57	1.00	5.14
塩化物泉	1	0.09	0.00	0.00	0.00
含鉄泉	1	0.18	0.01	0.01	0.02
硫黄泉	1	0.96	0.27	2.22	0.59
酸性泉	1	0.00	0.00	0.00	0.00
水道水	1	1.94	0.40	0.60	4.08

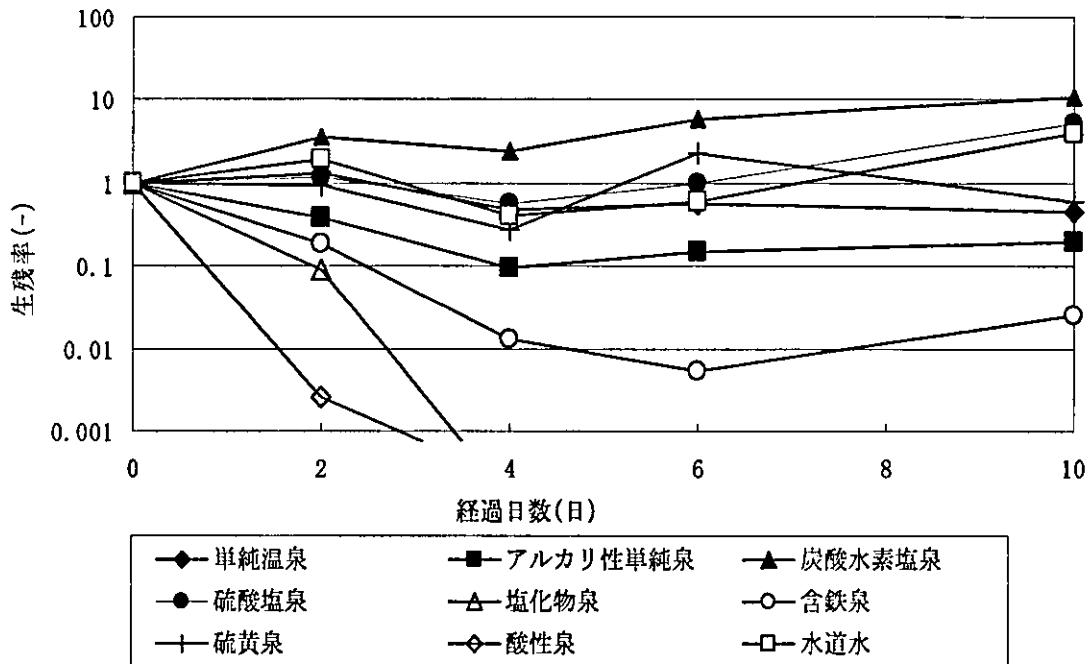


図 4.3 バイオフィルム存在下におけるレジオネラ属菌の生残率

#### 4.2.2 塩素消毒の有無によるバイオフィルムの生成試験

塩素添加条件を表 4.4 に示す。本実験では、塩素添加濃度を 0.1~0.4mg/L の添加条件下で、1 日 1 回の添加を行い、添加前に前日の残留塩素を測定した。表に示すとおり、前日の残留塩素は低く、0.02~0.04mg/L の値を示した。この条件を 3 週間継続した結果を表 4.3、に示す。表に示すとおり、入浴後の浴槽水の TOC は 10.4mg/L であり、これにバイオフィルムを添加し 3 週間培養した結果は 7.8mg/L となり、23% の減少を示した。一方、塩素添加条件下では、TOC の減少する傾向はみられなかった。次に、浴槽水中の細菌的な水質変化をみると、塩素添加では、レジオネラ属菌は 50CFU/mL、一般細菌は 10<sup>5</sup>CFU/mL が示された。一方、塩素無添加ではレジオネラ属菌は 1100CFU/mL が検出され、一般細菌は 10<sup>6</sup>CFU/mL

と初期値の浴槽水と同等であった。

吸着板に付着したバイオフィルムの生成は、写真 4.1～写真 4.6 に示すとおり、塩素添加試料では、吸着板上には明らかなバイオフィルムの生成は認められなかった。また、塩素添加における水槽内バイオフィルムの形状は水槽内低部の沈積する傾向がみられた。

塩素無添加条件では、写真 4.3 および写真 4.6 に示すとおり、吸着板上部にバイオフィルムは付着するものの、吸着板全面に均一な定着傾向は認められなかった。また、水槽内バイオフィルムの生成量は添加時 (53.5mg/L) の値より約 1/2 となり、付着板 (20 本) への移行が考えられた。今後は時間を延長し観察する予定である。

さらに吸着板に付着したバイオフィルムの細菌数を表 4.5 に示す。表に示すとおり、塩素添加により吸着板上に増殖する細菌類の減少傾向は顕著に認められた。

表 4.3 バイオリアクタの塩素添加条件

(mg/L)

経過日数 (日)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
添加前	0.02	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
添加後	0.14	0.26	0.18	0.22	0.28	0.33	0.37	0.19	0.13	0.18	0.13	0.18	0.23

表 4.4 バイオリアクタ内の水質変化

項目	初期値	3 週間経過後	
		塩素無添加	塩素添加
pH	7.18	7.92	7.80
EC (mS/m)	18.86	19.13	28.90
ORP, Eh (mV)	421	376	375
SS (mg/L)	—	23.6	20.4
TOC (mg/L)	10.39	7.66	10.94
TC (mg/L)	16.57	26.74	30.36
IC (mg/L)	6.18	19.08	19.42
レジオネラ属菌 (CFU/mL)	80	1100	50
一般細菌 (CFU/mL)	14×10 <sup>5</sup>	52×10 <sup>5</sup>	21×10 <sup>4</sup>
大腸菌群 (CFU/mL)	46×10 <sup>2</sup>	—	—



写真 4.1 バイオリアクア  
吸着板（塩素添加）



写真 4.2 バイオリアクア  
吸着板（塩素無添加）

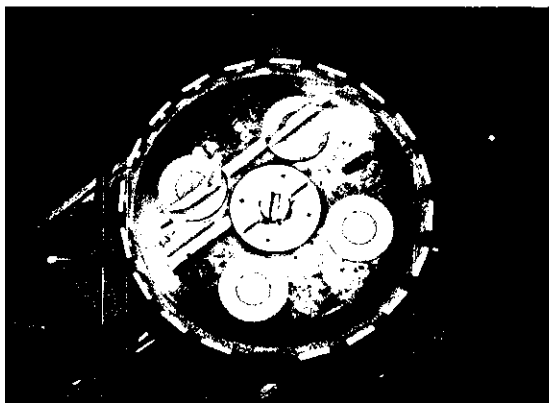


写真 4.4 バイオリアクタ  
吸着板上部（塩素添加）

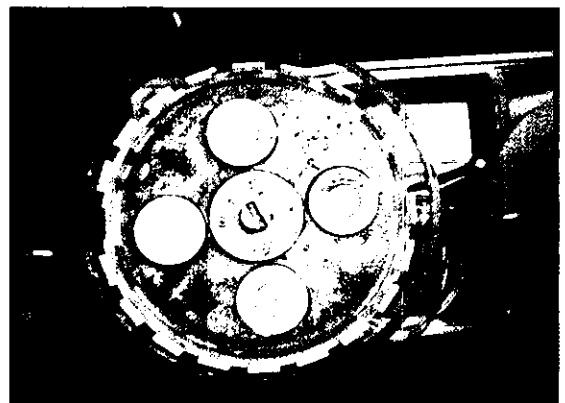


写真 4.3 バイオリアクタ  
吸着板上部（塩素無添加）



写真 4.5 バイオリアクタ  
吸着板上部（塩素添加）

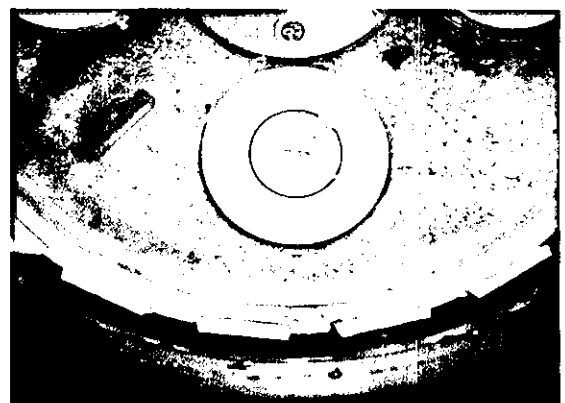


写真 4.6 バイオリアクタ  
吸着板上部（塩素無添加）

表 4.5 吸着板上に付着した細菌数

	塩素無添加	塩素添加
レジオネラ属菌 (cfu/cm <sup>2</sup> )	2	0.1
一般細菌 (cfu/cm <sup>2</sup> )	1.3×10 <sup>4</sup>	(-)
大腸菌群 (cfu/cm <sup>2</sup> )	3	0.4

## 5. まとめ

本実験では、循環浴槽システムにおけるバイオフィルムの生成および発生抑制実験を行った。得られた知見を要約すると次のとおりである。

(1) 実態調査として、生物膜仕様の家庭用循環浴槽システム内に増殖する、浴槽内およびろ過槽内のバイオフィルムの生成特性について検討した。まず、浴槽内壁面に増殖したバイオフィルム中からは、一般細菌、従属栄養細菌、大腸菌群およびレジオネラ属菌が検出された。さらに、ろ過槽内に定着固定したバイオフィルム中の細菌類を同定した結果、細菌性フロック、原生動物が混在するなかで、低栄養細菌が 10<sup>6</sup>CFU/mL と優占であり、腸内細菌、嫌気性細菌、放線菌、糸状菌、酵母は 10CFU/mL 以下と少ないことが特徴として挙げられた。

(2) 生成したバイオフィルム中におけるレジオネラ属菌の増殖特性について振とう培養法により検討した。バイオフィルム 90～2100mg/L の濃度範囲において、レジオネラ属菌は 10<sup>5</sup>～10<sup>7</sup>CFU/mL の範囲で推移し、約 3 週間は大きな減少はみられなかった。

(3) 塩素および紫外線による消毒試験を行った。浴槽水を対象に消毒試験を行った結果、塩素消毒は細菌類を不活化する一方で、浴槽水中に溶解性有機汚濁物質を残留させることが示された。また、紫外線照射による結果では、紫外線照射をろ過槽後段に設置し、消毒効果が顕著にみられた条件下では、バイオフィルム生成量は常用使用（紫外線をろ過槽前段設置）の 1/10 になった。

(4) バイオフィルムの不活化試験として、ビーカテストを行った。その結果、バイオフィルム混在化におけるレジオネラ属菌を 99% 不活化するのに必要な紫外線量は 13mW・s/cm<sup>2</sup> であり、残留塩素は 0.2mg/L であった。

(5) 泉質を明らかにした各種温泉水（硫酸塩泉、塩化物泉、含鉄泉、硫黄泉、単純温泉、アルカリ性単純泉、炭酸水素塩泉、酸性泉）を対象に、バイオフィルム混合系におけるレジオネラ属菌の増殖特性について把握した。最終値（10 日値）における生残率（-）の高い順は炭酸水素塩泉（10.6）＞硫酸塩泉（5.1）＞水道水（4.1）＞硫黄泉（0.6）＞単純温泉（0.4）＞アルカリ性単純泉（0.2）＞含鉄泉（0.02）＞酸性泉、塩化物泉（0）となった。

(6) バイオリアクタを用いた塩素消毒の有無によるバイオフィルムの生成実験を行った結果、残留塩素濃度 0.1～0.4mg/L の範囲で、2 週間の作用条件下では吸着板上に明らかなバイオフィルムの生成は目視できなかった（写真 4.5）。一方、塩素無添加では、写真 4.6 に示すとおり吸着板上部にバイオフィルムの生成があった。また、水槽内バイオフィルムの生成量は添加時（53.5mg/L）の値より約 1/2 となり、付着板（20 本）への移行が考えられた。



## 6. 今後の検討課題

今後の検討課題を掲げると次のとおりである。

### (1) 実稼動家庭用循環浴槽システムによる実験

ろ過槽内バイオフィーム生成と浴槽水の水質浄化を時系列で測定する。ろ過槽内の測定はバイオフィーム生成量、レジオネラ属菌、従属栄養細菌等を中心に行う。浴槽水については、ろ過槽内に微生物が定着固定する前後における浴槽水水質の推移を測定する。測定項目はTOC、pH、電気伝導率、レジオネラ属菌、緑膿菌、従属栄養細菌、大腸菌群について行う。

### (2) 振とう培養試験による検討

循環浴槽水の生物浄化は低栄養細菌が優占種であるため、生物浄化速度が遅いと考えられることから、循環ろ過槽内バイオフィームによる浴槽水中有機汚濁物質の生分解可能な領域を検索する。すなわち、有機物質濃度・組成および浄化速度について検討する。

ろ過槽への生物定着が安定しない場合に、浴槽内が細菌増殖の場となり、細菌汚染の可能性が高くなると推定される。さらにろ過槽内での定着性が悪いと、浴槽水中への細菌類の漏えいが発生する。これらのことが解決されれば、有機物残留量の少ない良質な浴槽水を消毒することで細菌汚染を防止できると考えられる。

### (3) バイオリアクタによるバイオフィームの発生抑制実験

(1)、(2) が対応できる循環浴槽システムは、比較的小規模で、滞留時間がとれる施設であり、このような浴槽では生物浄化を対応させること考えられる。しかし、多数の入浴者が常時使用し、過負荷となりやすい大型浴槽施設では、現状の循環系では生物浄化法は不向きであり、トラブルが発生しやすいと考えられる。そこで、本実験では、循環系におけるバイオフィームの発生抑制に最適な消毒方法について検索する。なお、本実験では、レジオネラ属菌の増殖が顕著であった温泉水も対象とする。

(担当：野知 啓子)

## 4章 社会福祉施設の浴槽水調査

### 4.1 施設の概要

施設の概要は、表 4.1.1 の通りである。施設 A がデイサービス、施設 B、C、D が介護老人保健施設である。施設 D では、デイサービスによる入浴も行っており、計測日は、午前中がデイサービス利用者、午後に施設入所者が入浴した。

計測日の入浴の状況は、施設 A と施設 C が午前中のみ、施設 B と施設 D は午前・午後を通して行われた。このために 1 日の入浴者数に対する時間最大入浴者数の割合が、施設 A と施設 C は、それぞれ 70% 前後となっている。単位面積当りの時間最大入浴者数を、厚生労働省健康局通知「公衆浴場における衛生等管理要領」（健発第 0214004 号 平成 15 年 2 月 14 日）にある必要浴槽面積と比べると、計測日の入浴者数では必要面積の 2.2~4.4 倍確保されていた。

浴槽の特徴として、公衆浴場や宿泊施設等の業務用施設大型浴槽の浴槽深さは 600 mm の場合が多い。施設 A と施設 D の浴槽深さは 600 mm であったが、施設 B は 500 mm、施設 C は 470 mm と浅めであった。溺死等の事故防止や介助しやすさから浅めの浴槽深さとしている

表 4.1.1a 施設の概要 (1)

施設名		施設 A	施設 B
施設用途		デイサービス	介護老人保健施設
所在地	県	宮城県岩沼市	宮城県仙台市
計測日		平成16年12月8日	平成17年3月10日
計測時間帯		9:30 ~ 12:00	9:30 ~ 14:00
1 日の入浴者数	男子 [人]	6	16
	女子 [人]	27	9
	合計 [人]	33	25
時間当り最大入浴者数	男子 [人/h]	0	5
	女子 [人/h]	22	6
	合計 [人/h]	22	11
1日の入浴者に対する時間最大入浴者の比率 [%]		67%	44%
ろ過器種類		カートリッジフィルタ + 石英斑岩	カートリッジフィルタ + 石英斑岩
気泡板		無し	無し
浴槽面積 [ m <sup>2</sup> ]		6.8	6.6
浴槽容量 [ m <sup>3</sup> ]		4.1	3.3
浴槽深さ [ m ]		0.60	0.50
単位面積当り時間最大入浴者数 [ 人 / ( m <sup>2</sup> · h ) ]		3.2	1.7
単位容積当り時間最大入浴者数 [ 人 / ( m <sup>3</sup> · h ) ]		5.4	3.3
公衆浴場法関係法令*による必要浴槽面積 [ m <sup>2</sup> ]		3.1	1.5
実際浴槽面積 / 公衆浴場関係法令必要浴槽面積		2.2	4.3
換水日・時間帯		平成16年12月3日(5日前) 朝	平成17年3月8日(前々日) 朝
消毒剤の種類		ジクロロインシアヌル酸ナトリウム顆粒	電解次亜塩素酸
消毒剤の投入方法		浴槽に直接投入	ポーラグラフで制御
その他			

※「公衆浴場における衛生等管理要領」(健発第0214004号 平成15年2月14日 厚生労働省健康局長)

…浴槽内面積 = 毎時最大浴場利用人員 × 10 / 60 × 0.7m<sup>2</sup> × 1.2

表 4.1.1b 施設の概要 (2)

施設名		施設 C	施設 D
施設	用途	介護老人保健施設	介護老人保健施設
所在地	県	岩手県北上市	新潟県新井市
計測日		平成17年1月14日	平成17年2月9日
計測時間帯		10:00 ~ 14:00	9:20 ~ 15:40
1日の入浴者数	男子 [人]	6	23
	女子 [人]	18	30
	合計 [人]	24	53
時間当り最大入浴者数	男子 [人/h]	0	9
	女子 [人/h]	17	6
	合計 [人/h]	17	15
1日の入浴者に対する時間最大入浴者の比率 [%]		71%	28%
ろ過器種類		砂式	砂式
気泡板		無し	有り(900mm×900mm)
浴槽面積 [ m <sup>2</sup> ]		10.4	7.9
浴槽容量 [ m <sup>3</sup> ]		4.9	3.8
浴槽深さ [ m ]		0.47	0.60
単位面積当り時間最大入浴者数 [人/(m <sup>2</sup> ・h)]		1.6	1.9
単位容積当り時間最大入浴者数 [人/(m <sup>3</sup> ・h)]		3.5	3.9
公衆浴場法関係法令*による必要浴槽面積 [m <sup>2</sup> ]		2.4	2.1
実際浴槽面積/公衆浴場関係法令必要浴槽面積		4.4	3.8
換水日・時間帯		平成17年1月13日(前日) 午後	平成17年2月9日(当日) 朝
消毒剤の種類		次亜塩素酸ナトリウム	次亜塩素酸ナトリウム
消毒剤の投入方法		ホーラログラフで制御	手で循環系に注入
その他			入浴剤使用

※「公衆浴場における衛生等管理要領」(健発第0214004号 平成15年2月14日 厚生労働省健康局長)

…浴槽内面積=毎時最大浴場利用人員×10/60×0.7m<sup>2</sup>×1.2

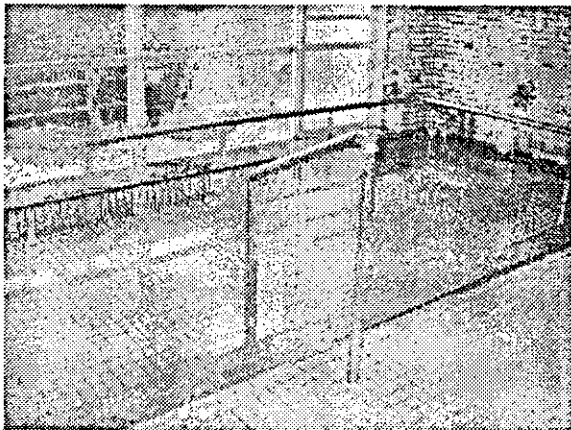


写真 4.1.1 施設 B の浴槽



写真 4.1.2 施設 C の浴槽

と推測する。

入浴しやすさを考慮して、階段やスロープを設置している。施設 A と施設 B は公衆浴場や宿泊施設等の一般の浴槽で用いられるのと同様の腰掛を兼ねた上がり框 (かまち) 状の

階段がある(写真4.1.1)。施設Cはスロープを設置している(写真4.1.2)。施設Dは、全体に蹴上げの低い階段を雛壇(ひなだん)状に設置している(写真4.1.3)。

施設Dには、900 mm×900 mmの気泡板(いわゆるパイブラマット)が設置されており、入浴時間帯に実際に使用されている。ろ過器の種類は、施設Aと施設Bがカートリッジフィルターと石英斑岩(いわゆる麦飯石)との組み合わせ、施設Cと施設Dは砂式である。

消毒剤の種類は、施設Aがジクロロイソシアヌル酸ナトリウム顆粒、施設Bが電解次亜塩素酸、施設Cと施設Dが次亜塩素酸ナトリウムである。消毒剤の添加方法では、施設Bと施設Cはポーラログラフ電極式で遊離残留塩素濃度を検出して自動的に注入している。施設Aは朝にジクロロイソシアヌル酸ナトリウム顆粒を浴槽に投入している。施設Dは、手動で薬注ポンプを稼働させ、次亜塩素酸ナトリウムを注入している。

施設Dでは、入浴剤を投入している。計測日は午前中に投入し、午後は14時00分～14時30分の間にも追加投入した。入浴剤は炭酸水素ナトリウム(重曹)と硫酸ナトリウム(芒硝)が主成分で、赤色を呈している。施設Dは、多くの補給水を入れており、午前中はホースにて2時間程度加水していた。また13時～14時までの約1時間、機械室に設置されている補給用二方弁を作動させて補給していた。

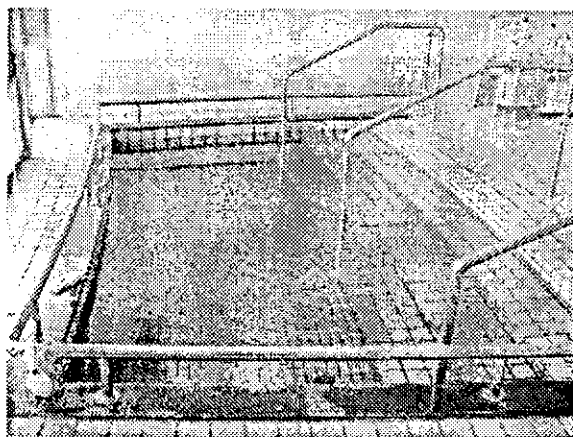


写真4.1.3 施設Dの浴槽

## 4.2 浴槽の水質等

施設Aの浴槽水水質等変移が、表4.2.1である。同様に施設Bが表4.2.2、施設Cが表4.2.3、施設Dが表4.2.4である。また時刻によって変動の見られた水質項目と代表的な項目を抽出してグラフ化したものが、図4.2.1～4.2.4である。以下に水質項目を抽出して、解説する。

「公衆浴場における水質基準等に関する指針」(健発第0214004号平成15年2月14日)では『濁度は5度以下であること』としている。今回の調査で、施設Dでは入浴剤を添加していたために吸光度を計測した。残りの3施設は、濁度を計測したが、測定値全てが「公衆浴場における衛生等管理要領」を大きく下回っていた。計測値の最大が施設Aの11時30分と12時00分の0.9度である。施設Bは、時間経過による濁度の変化は見られなかったが、施設Aと施設Cは時間経過とともに上昇した。施設Aは9時30分からの2時間に、濁度が0.4度から0.9度に上昇した。施設Cは10時00分からの2時間に、濁度が0.06度から0.22度に上昇した。入浴を終了してからも濁度は上昇し、14時00分には0.31度となった。入浴がないのに濁度が上昇したのは、攪拌されたか、ろ過器で捕集された汚れが何らかの原因で流出したことが考えられるが、不明である。濁度の大きな上昇のなかった施設Bでは、色度も測定したが時刻変動はあるものの、特徴的な傾向は見られない。

アンモニア性窒素は、施設Aと施設Dで時間経過とともに上昇傾向が見られた。施設Aは9時30分からの2時間に、アンモニア性窒素が0.11mg/Lから0.26mg/Lに上昇した。施