

しては、個数濃度ではパーティクルカウンタ、SMPS、WPSが可能である。ただし、パーティクルカウンタは希釈方法と $0.3\mu\text{m}$ 以下の粒子計測、SMPS、WPSは価格とブタノールの発生に課題が残る。組成測定法には、捕集後に分析する方法が一般的である。カスケードインパクトによる捕集後XPS、ICP-MS、HPLC、GCなどによる分析する方法があるが、いずれも経費と専門技術に課題が残る。そのため、質量濃度とパーティクルカウンタを用いた粒径別の個数濃度を併用したデータの蓄積が推奨される。

浮遊微生物については、空調時においてはどの物件においても日本建築学会環境基準を満足していた。室内で検出された最近は約60から95%が球菌であること、真菌は、*Cladosporium* 属、*Penicillium* 属、*Asperfillus* 属などであった。室内の発生源は居住者の人数と相関があることから、居住者によるものであると考えられる。

室内化学物質については、各建物とも厚生労働省の指針値を超過するものはなかった。季節変動では、冬期にTVOC濃度が上昇する傾向があり、この時期には指針値以外の物質が室内に多く存在する傾向があった。モニタ装置については、若干精密法よりも高い値を示した。

喫煙室における汚染実態調査では、5建物の喫煙対策の施された喫煙・非喫煙空間において、粒子状及びガス状物質の実測を行った。デジタル粉じん計及びパーティクルカウンタによる経時変化の測定より、たばこ喫煙の行為と共にその濃度の変化を観察することができ、また、WPSによる測定では粒径のピークの種類による違いなどが観察することが出来た。パーティクルカウンタによる $0.7\mu\text{m}$ 以上の粒子の計数値がデジタル粉じん計の結果と極めて似通っており、粒子としてのタバコ煙の代表性となる可能性がある。大学構内に設けられた喫煙所に隣接する分煙空間内の粒子状物質の質量濃度と個数濃度の測定を実施した結果、間仕切りやドアの設置されている閉鎖型の区画において分煙空間内の濃度が高くなること、また外部の風向により分煙空間が汚染される状況が生じていることが明らかとなった。

また、喫煙区域とその近くの非喫煙区域と指定されている場所および外気または非喫煙の事務室でサンプリングした粒子の分析結果から、室内で測定された粒子はほとんどがPM_{2.5}であった。元素炭素(EC)は有機性炭素(OC)に比べ非常に少なかった。粒子に含まれるOC主体の炭素分は20から60%と幅広く分布した。60%の場合は明らかにタバコ煙由来の粒子が主成分と思われる。ニコチンは喫煙区域と一部の非喫煙区域でサンプリングされた粒子のみから検出され、たばこ煙の指標となることがわかった。また、ガス状物質の測定については、ニコチン及びエテニルピリジンを対象として解析を行った。粒子状物質とは異なり、喫煙室及び非喫煙スペースの濃度比が異なり、喫煙スペースから非喫煙スペースへの流入の状況が、粒子及びガス状物質で異なっていることがこの測定からも明らかとなった。また、たばこ煙由来のガス状物質についても3-エテニルピリジンとニコチンによるもれだしの評価を行い、粒子状ニコチンとは異なる傾向となることを明らかにした。粒子状物質及びガス状物質の組成分析によるたばこ煙由来の汚染の特定には、高度な測定技術が必要である。粒子の個数濃度は測定が容易なため、高濃度の場合はデジタル粉じん計を用いて評価指標として参照できるものの、空気清浄機は粒子状物質のみしか除去できないことから、ガス状物質についてもその除去効果、周囲への影響について考慮する必要がある。

化学物質の全国実態調査では、昨年度の長際によりパッシブ法による調査で指針値を超過する物件が数例あったが、本年度では比較的低濃度となっており、その原因として喫煙の影響と推測できた。今回のパッシブ法によるホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、キシレン、ベンゼン、スチレンなどの VOC の調査が可能であり、問題があった場合のみアクティブ法による詳細調査を行うことが現実的である。

測定精度について、DNPH カートリッジによるホルムアルデヒド及びアセトアルデヒドについて検討を行った。カートリッジをブランク、標準添加試料、実空気採取試料について各機関により分析を行った結果、ある程度のばらつきを持って測定値が存在すること、DNPH 捕集管のブランク値、ばらつきも認められたため、今後も更に調査解明することが必要である。

最後に、本調査で事務所建築の実態調査の方法を検討し、数件の建物に適用を試みたがまだ十分なものとはいえない。今後も、室内空気質に関するデータの蓄積し、室内環境基準の検討が課題となる。また、建築物の居住状態も年々変化し、特定建築物室内における空気の質が変わってきている。現在建築物衛生法により規制を受けている汚染質及びその計測方法では、現状の汚染の状態について、正確に把握しているとは言えない。粒子状物質については、現在は重量濃度での評価によるものであるが、分煙が徹底された現在では、その基準値を超過することはまれである。これは重量測定による粗大粒子の測定上の重みよること及びデジタル粉じん計の係数値による評価が原因である。大気汚染では、微小粒子について注目し、ディーゼル排ガスは超微粒子を対象としており、人体への健康影響の知見からも評価の対象が微小粒子へと変化している。今回の調査では、この微小粒子の計測方法の検討を行い、基準値提案までには至らなかったが、今後も粒子状物質の評価方法については、検討する必要があると考えられる。また、浮遊微生物についても、室内の発生源を主とするもので、部屋の居住人数や外気導入量だけではなく、空調機のエアフィルタの管理状態が影響する。現状の環境測定では微生物汚染を慨そうすることは困難であり、空調機、ダクトなどの衛生管理が影響されることにも注意を払うべきである。ガス状物質については、一酸化炭素、二酸化炭素と共にホルムアルデヒドが基準値となった。ガス状物質は室内での発生を換気により除去することが基本となる。特定建築物はその内装材料が異なり換気が適切に行われていれば、ホルムアルデヒド濃度が超過する、またその他の化学物質が高濃度となることはないと考えられる。しかし、全国調査では、ホルムアルデヒドの超過と共に、アセトアルデヒドの指針値超過も数例確認することができた。主にたばこ煙由来であると結論付けたが、ホルムアルデヒドのみの管理だけではなく、他の汚染質及び換気設備の維持管理、外気取り入れ量の管理などが重要であると考えられる。現在の特定建築物では、受動喫煙を防止した対策が行われているが、空調システムや局所排気的设计・管理状態によって、それぞれの汚染質に対して環境の悪化を特に注意する必要がある。現在のガス状物質及び粉じんの監視についても、基準に適合しているとはいえ、個々の汚染質に対して適切な管理、対策を行えるようなものにすることが理想である。そのためにも、今後更に衛生的な環境の確保のために、管理目的に応じた総合的な対象汚染物質及び計測項目をガイドラインとして整備する必要があるものと考えられる。

(藤井修二)

平成 17 年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
「建築物における環境衛生管理に関する研究」
建築物の給水における水質管理に関する実態調査報告書

はじめに

近年、浴槽水を循環ろ過して繰り返し使用している浴場施設において、レジオネラ症集団感染事故が多発しており、その原因として浴槽水の消毒の不備が挙げられている。

そのため、平成 12 年度厚生科学研究費補助金(生活安全総合研究事業)「室内空気中の微生物汚染に関する調査研究 ～建築物の水利用設備におけるレジオネラ防止対策の検討部会～」で作成された「循環式浴槽におけるレジオネラ症防止対策マニュアルについて」(平成 13 年 9 月 11 日健衛発第 95 号厚生労働省健康局生活衛生課長通知)によって、具体的な管理方法をまとめたマニュアルとして、循環式浴槽利用者や設備維持管理者、行政等の関係者らに配布され、レジオネラ症防止対策が普及啓発された。

しかし、その後も度重なるレジオネラ感染症の発生は、維持管理上の問題もさることながら、システム上の問題点も大きく関係しているものと考えられる。

そこで、平成 16 年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）「建築物における環境衛生管理に関する研究」ではレジオネラ属菌のみならず、循環配管内に生成されるバイオフィルムの除去方法や生成を抑制させるための方法等、循環式浴槽に関する構造、清掃、消毒等について幅広く調査研究を実施した。今年度はその継続研究として、循環式浴槽におけるレジオネラ属菌汚染を防止するための衛生面からみた維持管理手法等の検討を目的に実施した。

水道法の水質基準に関する省令が平成 15 年 5 月に改正され、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律（以下、「建築物衛生法」とする）」でも同様に改正が行われ、平成 16 年 4 月 1 日から施行されている。

今回の改正は、社会的、科学的状況の変化が生じ、原水の種類や浄水方法等による消毒副生成物が問題提起され、健康影響等を考慮し追加された。

建築物衛生法でも給水設備内において水温や塩素量、時間等水の滞留の影響を受け生成されると考えられるシアン化物イオン及び塩化シアンやハロ酢酸等の 6 項目が追加された。

そこで、建築物内の給水水質の実態調査を全国的に実施し、建築物内給水の水質実態を把握して、健康影響等を考慮した上で検証を行い、建築物内給水設備における維持管理の必要性を示すことを目的とした。

1. 浴槽水の調査・実験と管理

1. 1 家庭用循環浴槽水（生物ろ過膜仕様・レジオネラ対応型）の実態調査

1.1.1 目的

浴槽水を循環利用する留意点としては、第一に良質な水質の確保、第二に細菌汚染防止が挙げられる。少なくとも、この二点が満足されていなければ、循環式浴槽水の衛生学的安全性が図られているとはいえない。

これまで、浴槽水を循環系で再利用するために、ろ過槽内に自然増殖する微生物による有機汚濁物質の浄化作用を活用してきた。これら微生物は混合培養系であるため、ヒトに有害となる細菌類の増殖が指摘され、生物ろ過膜適用の見直しに迫られている。しかし、希釈することが本来の有機汚濁物質除去とはいえ、循環系浴槽水に対する有効な有機物除去対策が必要となっている。

以上の背景から本節では、循環系浴槽水の衛生学的安全性を図る基礎資料を得るために、実稼動家庭用循環浴槽水の水質調査を行った。

1.1.2 実験方法

(1) 生物ろ過膜仕様家庭用循環浴槽システム

装置概要を図 1.1.1 および表 1.1.1 に示す。本システムでは、浴槽水は循環ポンプによって入水口から吸い上げられ、生物ろ過槽内を通り浴槽内に戻る循環系システムになっている。本装置は紫外線殺菌灯が生物ろ過槽前段に設置されているタイプであり、生物ろ過槽後段に消毒装置はなく、浴槽内の浴槽水を直接消毒するシステムではないタイプのものである。

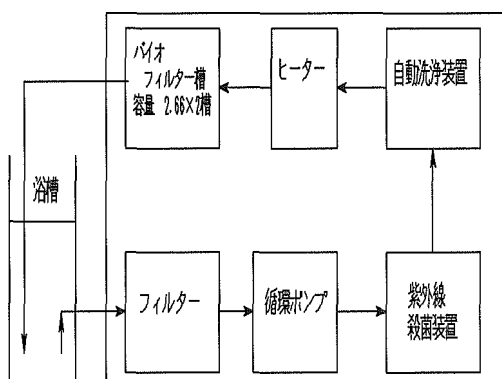


表 1.1.1 生物ろ過膜仕様循環浴槽システムの仕様

型式	BS-4126
外形寸法	高さ537×幅592×奥行192mm
電源	単相100V 50/60Hz
消費電力	946W/978W(ヒーター、循環ポンプ他) (50/60)Hz
ヒーター	850W(セラミックヒーター・空焚き防止センサー付き)
温度表示	マイコン制御デジタル表示
温度調節範囲	39℃~45℃

図 1.1.1 生物ろ過膜仕様循環浴槽システム

(2) レジオネラ対応型循環浴槽システム

本実験で使用したレジオネラ対応型家庭用循環浴槽システムの概要を図 1.1.2、表 1.1.2 に示す。本装置は生物ろ過槽後段に紫外線殺菌灯が設置されている。また、浴槽内は1日当たり、3時間の次亜塩素酸イオン(ClO^-)による消毒があり、生物ろ過槽内はレジオネラ属菌の不活化を目的として、1回/14日の70℃熱洗浄が行われる。なお、本装置の仕様では、浴槽水の全換水を1回/1ヶ月とし、浴槽水に濁り等が生じた場合には適宜全換水することになっており、ろ過槽内バイオフィルムの全洗浄は1回/3ヶ月となっている。

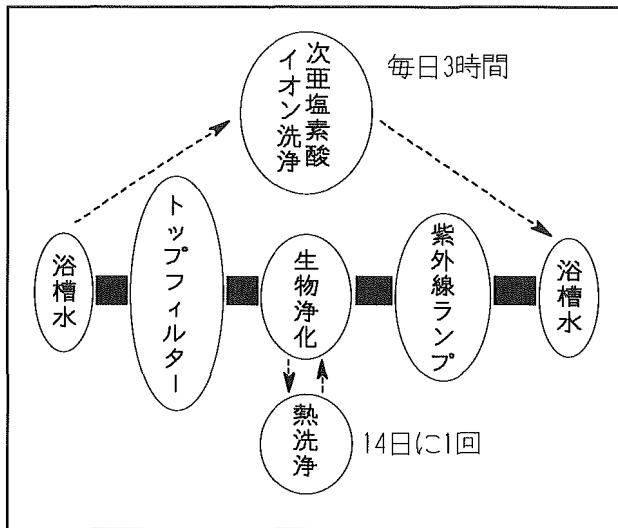


表 1.1.2 レジオネラ対応型循環浴槽システムの仕様

型式	LB-271 (LB-271-HG)
本体外形寸法	高さ 533×幅 500×奥行 175mm
定格電圧	AC 100V
定格周波数	50/60 Hz
浄化システム	生物浄化+物理浄化
温度表示	デジタル表示
温度調節範囲	35～45℃(設定 1℃毎)、OFF

図 1.1.2 レジオネラ対応型循環浴槽システム

(3) 浴槽水の水質調査

本調査は入浴に使用している家庭用循環浴槽水を対象とし、浴槽水の理化学および細菌試験を経日的に測定した。また、最終日におけるろ過槽内バイオフィルムの生成量を計測した。さらに、レジオネラ対応型循環浴槽システムにおける次亜塩素酸イオン (ClO⁻) による消毒効果を評価するために、消毒開始から入浴終了時までの残留塩素濃度について時系列に測定した。

なお、生物ろ過膜仕様家庭用循環浴槽システムにおける調査期間は、2005.4.15～6.22(Series-1) とし、レジオネラ対応型循環浴槽システムについては、2005.7.24～10.21 (Series-2) および 2005.10.21～2006.1.21 (Series-3) とした。なお、各シリーズにおいて調査期間中の全換水は行わず、入浴に伴い消費した分は新鮮な上水 (温水) を補給した。また、各シリーズの終了時には生物ろ過槽内の充填剤を水道水で洗浄し、生成したバイオフィルム量、細菌数の測定を行った。

入浴者数は、成人 4 人 (男 2 人、女 2 人) であり、浴槽水の採取は入浴後 8 時間以降とし、午前 7 時～8 時に行った。

1.1.3 結果および考察

(1) 生物ろ過膜仕様家庭用循環浴槽水の水質特性(Series-1)

生物ろ過膜仕様家庭用循環浴槽システムの約 2 ヶ月間における、水質試験結果を表 1.1.3 に示す。まず、pH は 7.2～7.8 (中央値 7.5, n=27) を示し、ほぼ中性付近で推移した。また、電気伝導率は 152～185 μS/cm (中央値 170 μS/cm, n=27) となり、数値が大きく変動していないことから、浴槽内水質は水道水の補給によって希釈されたことがわかる。

過マンガン酸カリウム消費量 (KMnO₄ 消費量とする) および TOC の経日変化を図 1.1.3 に示す。KMnO₄ 消費量は 2.10～9.65 mg/L (中央値 4.33 mg/L, n=26) となり、初期時 (生物浄化の安定しない期間) は 4.28～9.65 mg/L と高い数値を示すが、生物浄化が安定する 40 日以降になると 4.0 mg/L 以下となっている。同様に TOC をみると 1.36～4.86 mg/L (n=27, 中央値 3.80 mg/L) を示し、生物浄化に伴う水質は、時間の経過に伴い有機質の低い水質

で維持されていくことがわかる。

細菌試験の結果を表 1.1.4 に示す。循環浴槽水における生物浄化の特徴は、有機質は低い一方で細菌類の増殖を伴うことが挙げられる。

図 1.1.4 に示すとおり、レジオネラ属菌の検出状況は不検出～555cfu/100mL（中央値 130cfu/100mL , n=27）となり、検出率は 96% であり浴槽内におけるレジオネラ汚染は明瞭であった。

次に一般細菌についてみると 13～530cfu/mL（中央値 99cfu/mL , n=27）を示し、細菌数は低く、本菌は増殖しにくい水質となっていることがわかる。同様に大腸菌群も不検出～3.0cfu/mL（中央値 1.0 cfu/mL , n=27）となり、検出率は 22% と低い値で示された。緑膿菌も同様に、本水質からは検出されなかった。

以上の結果より、本システムにおける浴槽水の水質特性としては、浴槽水の有機汚濁物質は TOC および KMnO_4 消費量から評価すると、3.8 mg/L、4.3 mg/L（中央値）と低い値が得られている一方で、レジオネラ属菌の検出率は 96% と高く、最大値で 555cfu/100ml が検出されていることから消毒方法の不備が指摘され、システム内における適切な消毒位置の検証が重要になると考えられる。

表 1.1.3 生物ろ過膜仕様における浴槽水の水質試験結果

経過日数(日)	pH	Cond.(μ S/cm)	TOC(mg/L)	KMnO_4 消費量(mg/L)
1	7.6	163	3.18	2.52
2	7.4	152	3.87	4.28
3	7.4	158	4.60	5.31
5	7.4	160	4.52	4.33
6	7.5	160	4.38	6.29
7	7.7	160	4.09	4.45
8	7.8	159	4.16	6.15
9	7.7	160	4.41	8.39
10	7.9	161	3.89	6.66
11	7.7	162	4.25	5.96
12	7.8	160	3.80	7.66
14	7.3	166	3.43	9.65
17	7.2	170	4.07	—
29	7.2	173	3.78	7.66
34	7.4	178	3.85	4.70
35	7.2	174	3.72	3.64
36	7.3	177	3.80	4.56
37	7.2	179	3.58	4.11
40	7.2	180	3.30	4.33
41	7.3	182	3.35	3.61
42	7.5	183	3.02	3.52
43	7.5	185	3.37	3.22
55	7.2	171	1.36	3.22
58	7.2	170	1.56	3.50
59	7.4	170	4.35	3.92
65	7.5	170	3.53	2.10
66	7.5	172	4.68	3.66

調査期間:2005 4/15～6/22

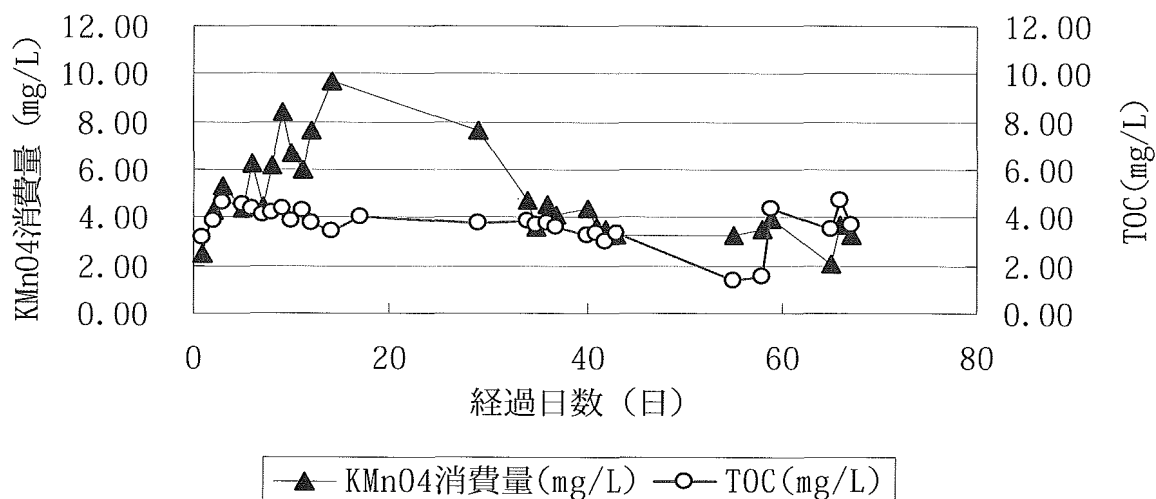


図 1.1.3 生物ろ過膜仕様における浴槽水の KMnO_4 消費量、TOC の変化

表 1.1.4 生物ろ過膜仕様循環浴槽システムの細菌試験結果

経過日数(日)	レジオネラ属菌(cfu/100mL)	一般細菌(cfu/mL)	大腸菌群(cfu/mL)	緑膿菌(cfu/mL)
1	110	160	2.0	ND
2	10	530	ND	ND
3	30	180	ND	ND
5	155	47(カビ共存)	ND	ND
6	145	39	3.0	ND
7	150	210	ND	ND
8	555	180	ND	ND
9	370	245	1.0	ND
10	375	150	ND	ND
11	400	90	ND	ND
12	315	90	2.0	ND
14	350	175	ND	ND
17	485	110	ND	ND
29	40	205	ND	ND
34	50	25	ND	ND
35	30	45	ND	ND
36	80	35	ND	ND
37	40	80	ND	ND
40	300	75	ND	ND
41	50	140	ND	ND
42	130	70	ND	ND
43	150	13	ND	ND
55	ND	99	ND	ND
58	30	53	0.5	ND
59	70	365	ND	ND
65	100	67	0.5	ND
66	540	215	ND	ND

調査期間：2005 4/15～6/22

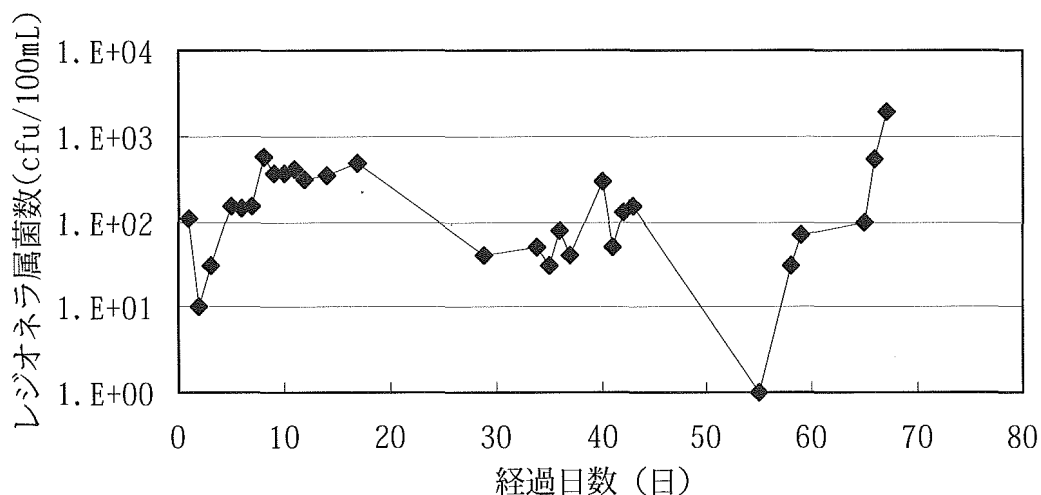


図 1.1.4 生物ろ過膜仕様におけるレジオネラ属菌検出状況

(2) レジオネラ対応型循環浴槽水の水質特性 (Series-2)

1) 夏期から秋期における調査

レジオネラ対応型循環浴槽システムの水質調査を行った。浴槽水の採取期間として、夏期から秋期（7月24日～10月21日）にかけて約3ヶ月間の水質調査を行った。

理化学試験結果を表 1.1.5 に示し、細菌試験結果を表 1.1.6 に示す。図 1.1.5 に示す浴槽水の TOC をみると 2.55～8.46mg/L（中央値 5.08 mg/L, n=17）を示し、KMnO₄消費量は 2.80～8.95mg/L（中央値 6.57 mg/L, n=17,）となった。これは生物ろ過槽内が1回/14日の頻度で70℃の熱洗浄が行われることから、ろ過槽内の生物浄化能が低下するため、先に示した生物ろ過膜仕様システムの浴槽水より若干水質低下がみられた。

pHは7.1～7.6（中央値7.6, n=21）を示し、ほぼ中性で推移していた。また、電気伝導率は151～193 μS/cm（中央値163 μS/cm, n=21）を示し、水道水の電気伝導率（150 μS/cm）と大きく相違していないことから、浴槽水の水質は水道水によって希釈されていることがわかる。

次にレジオネラ属菌についてみると、不検出～30cfu/100mL（中央値：不検出, n=21、検出率：19%）と低い値で示された。また、一般細菌数は不検出～3150cfu/mL（中央値11cfu/mL, n=20）が得られた。最も検出数の高い従属栄養細菌は190～1.6×10⁵cfu/mL（中央値2150cfu/mL, n=21）が示された（図 1.1.6）。また、大腸菌群は不検出～1cfu/mL（中央値：不検出, n=21）であった。

次に次亜塩素酸イオン（ClO⁻）消毒の時系列調査結果を表 1.1.7 に示す。残留塩素濃度は結合塩素で若干検出されるものの、低濃度で示された。すなわち、本装置では水道水中に含有する塩素イオン（Cl⁻）濃度10mg/L前後から、次亜塩素酸イオンを生成しているために、ClO⁻濃度が低い結果になったと考えられた。このため、浴槽内の残留塩素濃度を高めるには、本装置付属品である塩化ナトリウムを加え、電解次亜塩素酸イオン濃度を高める必要性も考えられる。

表 1.1.5 レジオネラ対応型循環浴槽システムの水質試験結果

経過日数(日)	pH (-)	EC(μ s/cm)	KMnO ₄ 消費量(mg/L)	TOC(mg/L)
1	7.3	181	2.80	-
6	7.4	172	-	-
7	7.5	163	-	-
25	7.1	161	-	4.07
39	7.3	166	3.92	4.02
48	7.4	154	4.47	5.08
50	7.6	151	-	4.49
51	7.5	153	4.47	5.19
52	7.4	152	7.27	4.58
53	7.6	160	6.99	6.46
54	7.6	160	6.15	7.28
55	7.6	161	8.95	5.31
59	7.2	193	8.95	8.46
66	7.5	171	7.55	-
69	7.5	168	6.71	5.98
73	7.5	169	8.66	5.16
76	7.5	161	7.55	6.72
80	7.6	167	6.95	5.03
83	7.6	173	5.55	2.55
87	7.6	175	5.55	3.21
90	7.6	154	6.43	3.56

調査期間：2005 7/24～10/21

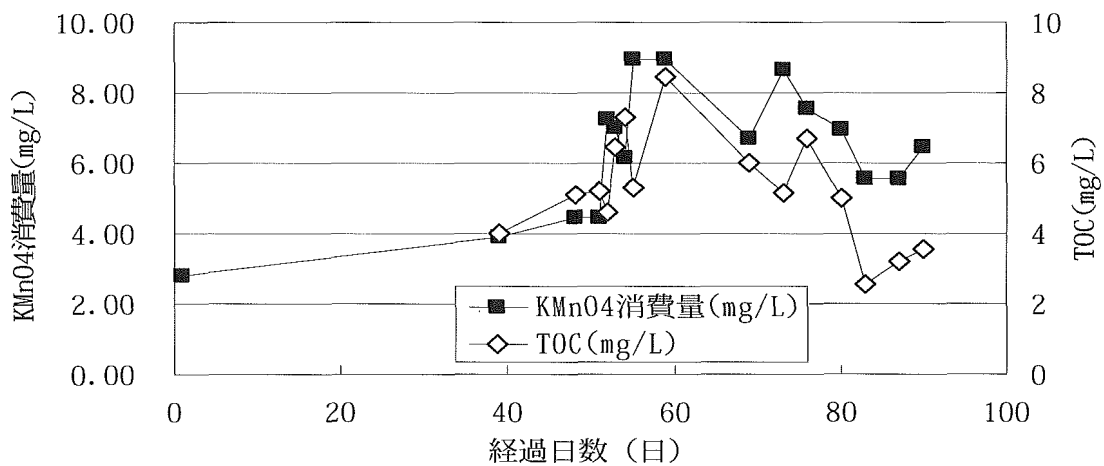


図 1.1.5 レジオネラ対応型循環浴槽システムにおける kMnO₄ 消費量、TOC の変化

表 1.1.6 レジオネラ対応型循環浴槽システムにおける細菌試験結果

経過日数(日)	レジオネラ属菌(cfu/100mL)	一般細菌(cfu/mL)	大腸菌群(cfu/mL)	従属栄養細菌(cfu/mL)
1	ND	3150	ND	7.3×10^4
6	ND	10	ND	5×10^2
7	10	60	ND	5×10^3
25	20	10	ND	2.2×10^3
39	ND	ND	ND	2.5×10^3
48	ND	40	ND	9×10^2
50	ND	6	ND	9×10^2
51	ND	14	1	6×10^2
52	ND	-	ND	6.2×10^3
53	ND	10	ND	1.9×10^2
54	ND	40	ND	2×10^2
55	ND	10	ND	2×10^3
59	ND	20	ND	8×10^2
66	ND	70	1	4.6×10^3
69	30	11	ND	1.6×10^5
73	ND	14	ND	3.7×10^4
76	ND	1	ND	10×10^3
80	ND	31	ND	6×10^3
83	10	10	ND	1.8×10^3
87	ND	10	ND	7×10^3
90	ND	28	ND	5×10^2

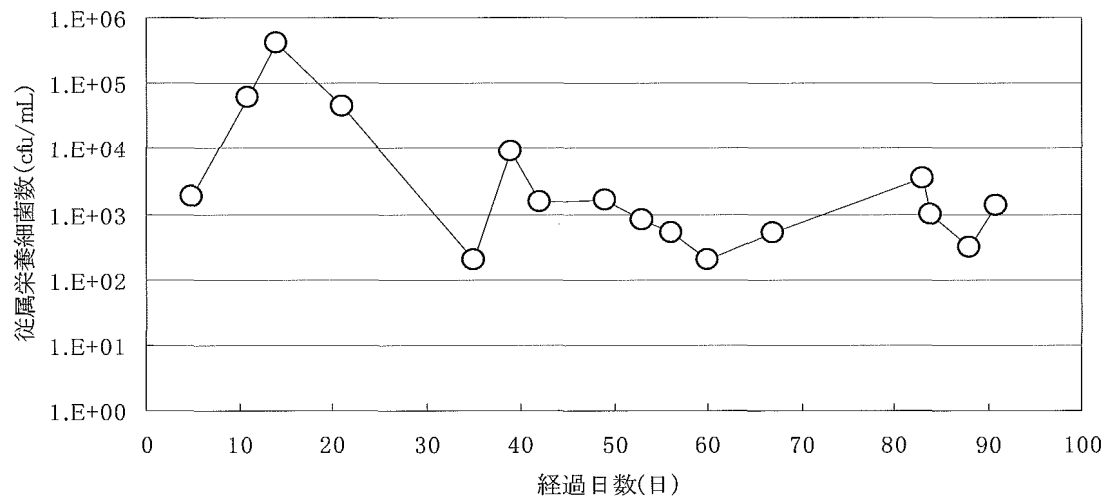


図 1.1.6 レジオネラ対応型循環浴槽システムにおける従属栄養細菌の経日変化

表 1.1.7 レジオネラ対応型循環浴槽水の 27 時間調査

時間 (h)	pH	Cond. ($\mu S/cm$)	TOC(mg/L)	遊離塩素 (mg/L)	結合塩素 (mg/L)	入浴者
6	7.5	159	5.20	ND	0.07	
9	7.5	159	6.85	ND	0.07	10:00:1人
12	7.3	158	5.00	ND	0.07	
15	7.5	160	6.96	ND	0.07	
18	7.6	161	4.51	ND	0.07	18:30:1人
21	7.5	159	5.32	ND	0.04	22:50:1人
24	7.5	160	5.85	ND	0.09	
27	7.5	159	5.33	ND	0.08	

2) 秋期から冬期における調査(Series-3)

2005.10.21～2006.1.20(秋、冬期)における理化学試験結果を表1.1.8に示し、細菌試験結果を表1.1.9に示す。本実験では、冬期における浴槽水水温を43℃下の比較的高温条件における水質変動について観察した。図1.1.7に示すTOC値をみると、2.23～6.21mg/L(中央値4.43mg/L、n=16)を示し、KMnO₄消費量は4.77～9.54mg/L(中央値5.52mg/L、n=16)となり、夏期とほぼ同等な値になった。またpH値も7.2～7.7(中央値7.4、n=16)のほぼ中性付近にあった。電気伝導率は166～355μS/cm(中央値195μS/cm、n=16)を示し数値に変動がみられた。この理由として最大値を示した5～11日の間に次亜塩素酸イオンの消毒効果を高めるため、塩化ナトリウムを添加した影響によると考えられた。浴槽水中のレジオネラ属菌は不検出～20cfu/100mL(検出率：19%)と低い値で維持された(図1.1.8)。一般細菌数は5～1500cfu/mL(中央値：55cfu/mL、n=16、)が示された。また、図1.1.9に示すとおり、従属栄養細菌数は100～4×10⁵cfu/mL(中央値1400cfu/mL、n=16)が検出された。

1.1.4 まとめ

夏期調査および冬期調査における循環浴槽水の水質特性としては、浴槽水温度による大きな相違は認められず、類似の水質試験結果が得られた。

表1.1.10に生物ろ過膜仕様とレジオネラ対応型循環浴槽水の水質を示し、表1.1.11に生物ろ過槽内のバイオフィルムの生成量および細菌数を示す。表に示すとおり、浴槽内レジオネラ属菌の検出状況では対応型の検出率は20%と低いものの、生物ろ過槽内におけるレジオネラ属菌数に両装置による大きな相違はみられなかった。

表1.1.8 レジオネラ対応型循環浴槽システムの水質試験結果

経過日数(日)	pH	Cond.(μS/cm)	KMnO ₄ 消費量(mg/L)	TOC(mg/L)
5	7.7	166	6.71	2.60
11	7.2	355	4.77	6.21
14	7.5	272	5.96	4.03
21	7.4	197	8.37	4.47
35	7.4	188	5.07	5.68
39	7.3	188	5.66	4.39
42	7.3	184	5.37	3.65
49	7.6	209	6.86	4.47
53	7.4	206	5.31	2.99
56	7.4	203	4.77	5.53
60	7.3	205	5.31	5.98
67	7.5	188	5.07	2.23
83	7.4	201	9.54	5.13
84	7.5	179	5.37	3.21
88	7.4	192	5.66	3.68
91	7.5	186	6.86	4.81

調査期間 2005.10.21～2006.1.20

表 1.1.9 レジオネラ対応型循環浴槽システムの細菌試験結果

経過日数(日)	レジオネラ属菌(cfu/100ml)	一般細菌(cfu/mL)	大腸菌群(cfu/mL)	従属栄養細菌(cfu/ml)
5	ND	300	ND	1.8×10^3
11	ND	400	ND	5.9×10^4
14	10	1500	2	4.1×10^3
21	20	700	ND	4.3×10^4
35	ND	30	ND	2×10^2
39	10	600	ND	9×10^3
42	ND	80	ND	1.5×10^3
49	ND	140	ND	1.6×10^3
53	ND	9	ND	8×10^2
56	ND	50	ND	5×10^2
60	ND	5	ND	2×10^2
67	ND	18	ND	5×10^2
83	ND	10	ND	3.4×10^3
84	ND	20	ND	10×10^2
88	20	26	ND	3×10^2
91	ND	60	ND	1.3×10^3

調査期間 2005.10.21～2006.1.20

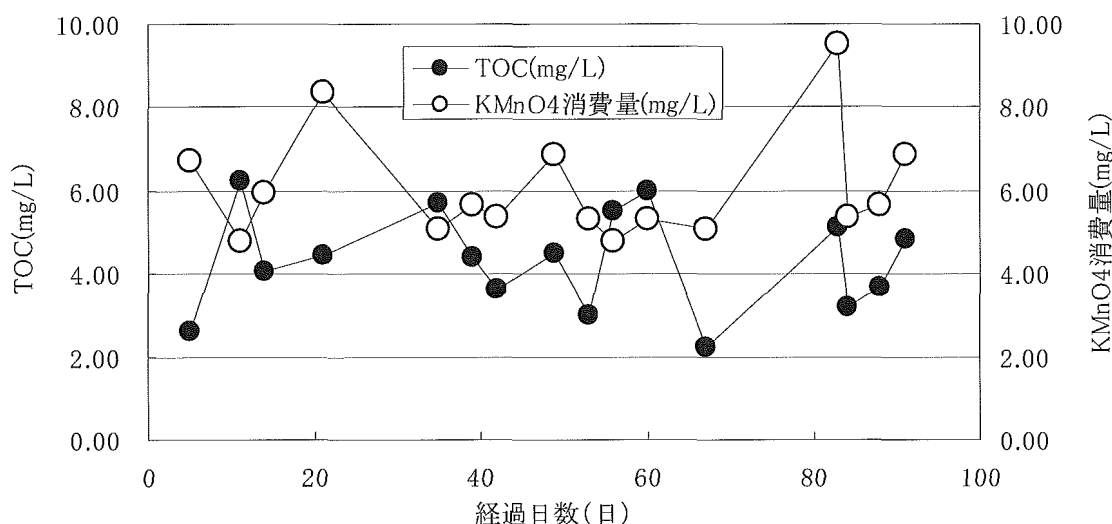


図 1.1.7 レジオネラ対応型システムにおける KMnO₄, TOC の経日変化

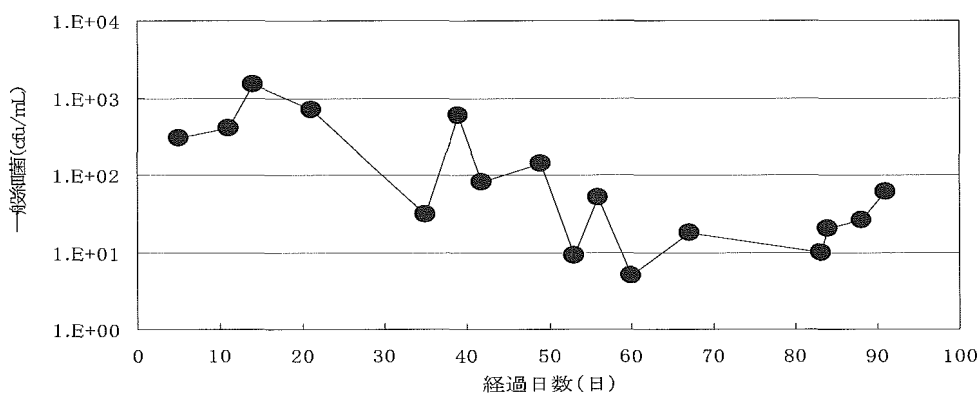


図 1.1.8 レジオネラ対応型システムにおける一般細菌数の経日変化

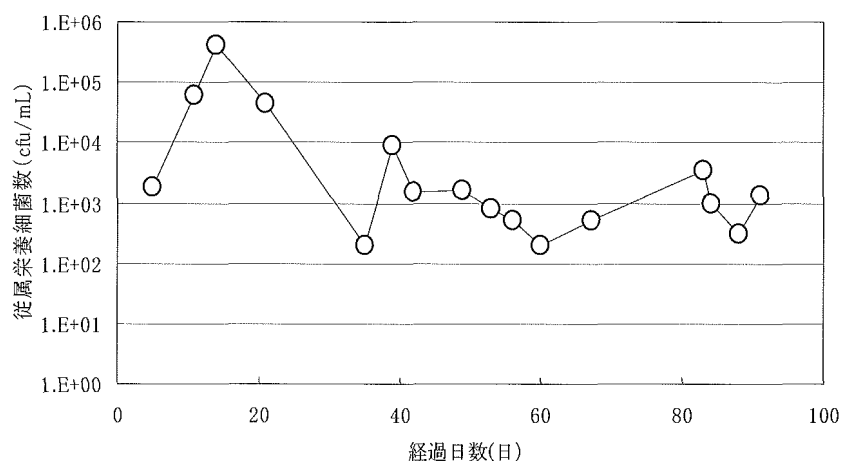


図 1.1.9 レジオネラ対応型システムにおける従属栄養細菌の経日変化

表 1.1.10 生物仕様およびレジオネラ対応型循環浴槽水の比較

	生物ろ過膜仕様 最小値～最大値 (中央値, n)	レジオネラ型対応 最小値～最大値 (中央値, n)
pH (-)	7.2～7.9 (7.4, 28)	7.1～7.7 (7.5, 37)
Cond. (μ S/cm)	152～185 (170, 28)	151～355 (173, 37)
KMnO ₄ 消費量(mg/L)	2.1～9.65 (4.3, 27)	2.8～9.54 (5.66, 33)
TOC(mg/L)	1.36～4.68 (3.8, 28)	2.23～8.46 (4.7, 34)
レジオネラ属菌(cfu/100mL)	ND～555 (120, 28)	ND～30 (ND, 37)
一般細菌数(cfu/mL)	13～530 (95, 28)	ND～3150 (20, 36)
従属栄養細菌(cfu/mL)	-	100～4.3×10 ⁵ (1800, 37)
大腸菌群(cfu/mL)	ND～3 (ND, 28)	ND～2 (ND, 37)

表 1.1.11 バイオフィルム生成量および細菌数

装置	生物ろ過膜仕様	レジオネラ対応型	レジオネラ対応型
経過日数 (日)	78	90	91
レジオネラ属菌 (cfu/100ml)	10 ⁶	3.0×10 ⁶	4.0×10 ⁵
一般細菌(cfu/mL)	2.2×10 ⁴	2.1×10 ⁴	2.1×10 ⁴
大腸菌群(cfu/mL)	10以下	25	-
従属栄養細菌 (cfu/mL)	3.2×10 ⁶	8.5×10 ⁶	1.5×10 ⁶
汚泥生成量 (g/d)	0.2	0.05	0.1

(担当者:野知 啓子)

1. 2 循環式浴槽模擬実験装置を用いた浴槽水の衛生学的な安全性についての実験

1.2.1 目的

1.1 節においては、実稼動循環系浴槽水の水質特性を明らかにした。本節では室内規模の循環式浴槽模擬実験装置を用いて、①物理浄化および物理・生物浄化作用における循環系浴槽水の水質特性の把握、②砂ろ過槽、配管等におけるバイオフィルムの生成挙動、③循環系浴槽水の衛生学的な安全性を評価するために塩素消毒試験を行い、実施設では明確に出来ない点についての検証試験を行った。

1.2.2 実験方法

(1) 実験条件

本実験で使用した循環式浴槽模擬実験装置を写真 1.2.1、図 1.2.1 に示す。温水の流れとして、温水槽から循環ポンプで吸い上げられ、第 1 砂ろ過槽を通り、第 2 砂ろ過槽に入り温水槽に戻る仕組みとなっている。また砂ろ過槽は 4 層からなっており各層の厚さは図 1.2.1 に示すとおりである。

本装置内の水質としては、温水槽に水道水 25L を入れ、L-グルタミン酸を TOC で 5mg/L になるように添加した。温水槽内温度は 36℃、循環量を 1.35 L/min とした。なお、蒸発分として温水を随時補給し、水量は常時 25L とした。また 50 日以降は、L-グルタミン酸ナトリウム溶液 5 mg/L (TOC) を補給水とした。また、ろ過機能を評価するために、充填材(砂)を充填しない条件下における水質試験を行った。

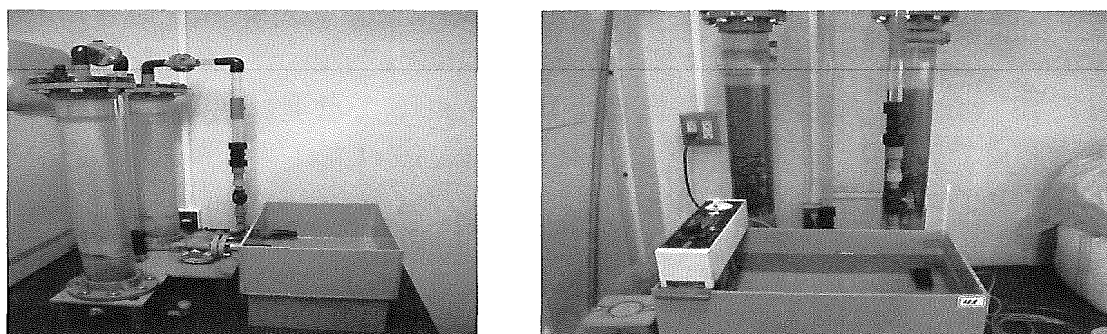


写真 1.2.1 循環式浴槽模擬実験装置

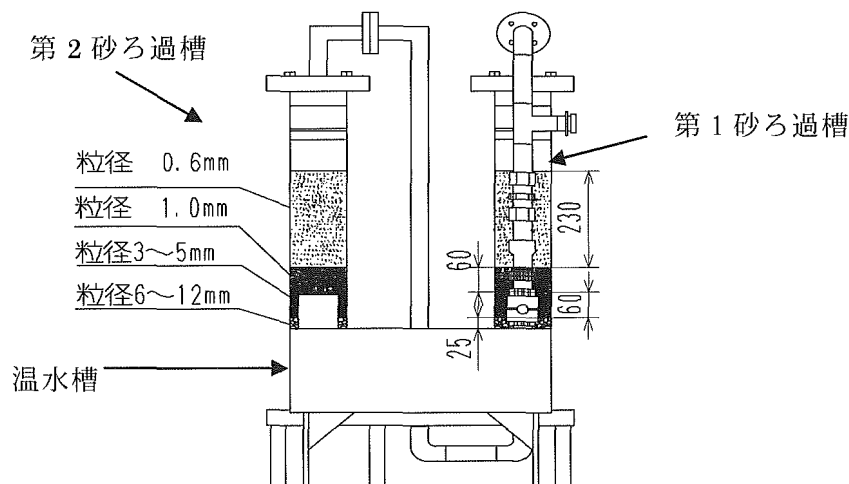


図 1.2.1 循環式浴槽模擬実験装置

(2) 塩素消毒試験

日機装エイコー(株)社製塩素消毒装置を循環式浴槽模擬実験装置(図 1.2.1)に付設し、24 時間連続稼働させ、温水槽内に注入した。塩素注入条件としては、次亜塩素酸ナトリウム(12%) 溶液を希釈し、温水槽内の遊離残留塩素濃度が 0.4mg/L 前後になるように調整した。

1.2.3 結果および考察

(1) 砂ろ過槽水の水質特性

まず、砂ろ過槽の機能を評価するためにろ過槽内に砂ろ過材を充てんせずに、4 日間の連続試行した。得られた結果を表 1.2.1 に示す。結果をみると pH、電気伝導率、TOC は日数に伴う変動はみられず、細菌数は日数の経過に伴い増殖する傾向にあり、最終日における温水槽内の TOC 濃度はほぼ 8mg/L を示し、一般細菌数は 10^3 cfu/mL オーダとなり、従属栄養細菌数は 10^4 cfu/mL オーダで検出された。

次に砂ろ過材を充填し、実験初期時における時系列観察結果を表 1.2.2 に示す。表に示すとおり、TOC は 3.3mg/L から 4.0mg/L の範囲にあり、pH は 7.8~7.9 を示しほとんど変動していないことがわかる。

日数に伴う水質変化を表 1.2.3 および図 1.2.2 に示す。40 日経過時点における TOC 濃度は 4.0mg/L を示し、補給水として L-グルタミン酸ナトリウム (TOC 濃度: 5mg/L) を追加した、50 日以降の TOC 濃度は 7~8mg/L を示し、TOC の明らかな減少傾向はみられなかった。

次に、経過日数に伴う細菌数の変化を表 1.2.4 および図 1.2.3、図 1.2.4 に示す。細菌の増殖傾向をみると、2 日経過時点で一般細菌数は 10^4 cfu/mL オーダとなったが、57 日経過時点で 10^2 cfu/mL になり、最終値では 10 cfu/mL まで低下した。また従属栄養細菌は 18 日経過時点で 7×10^5 cfu/mL となり、最終値では、 10^4 cfu/mL オーダを示した。なお、レジオネラ属菌は本循環温水中からは検出されなかった。

最終培養時点におけるバイオフィルムの生成および細菌類等の測定結果を表 1.2.5 に示す。また、28 日経過時点におけるろ過槽内状況を写真 1.2.2 に示す。

表 1.2.1 温水槽内の水質変化 (ろ過材無添加)

経過日数(日)	pH	Cond. (μ S/cm)	TOC(mg/L)	一般細菌(cfu/mL)	従属栄養細菌(cfu/mL)
0	7.5	177	9.11	5	1.0×10^3
1	7.8	171	10.0	2.7×10^3	1.8×10^5
2	7.8	176	9.86	1.1×10^3	1.2×10^5
3	8.0	190	10.5	1.5×10^3	8.9×10^4
4	8.0	187	7.49	1.0×10^3	7.3×10^4

表 1.2.2 砂ろ過 8 時間処理の水質試験結果

経過時間(h)	pH	TC(mg/L)	IC(mg/L)	TOC(mg/L)
0	7.8	13.3	9.94	3.38
1	7.8	13.1	9.87	3.19
2	7.9	13.9	9.71	4.16
3	7.8	13.9	9.39	4.49
4	7.9	14.1	9.25	4.82
5	7.8	13.4	9.65	3.76
7	7.9	12.8	9.48	3.29
8	7.9	14.0	9.37	4.62

表 1.2.3 砂ろ過槽の水質試験結果

経過日数(日)	pH	Cond. (μ S/cm)	TC(mg/L)	IC(mg/L)	TOC(mg/L)
0	7.8	174	13.3	9.94	3.38
1	7.9	—	13.3	9.59	3.68
2	7.8	180	11.8	10.6	1.15
3	7.9	183	12.7	10.7	2.03
4	7.9	192	13.3	10.7	2.54
5	7.9	194	13.5	11.2	2.29
7	8.0	201	12.8	11.4	1.39
8	8.0	216	13.3	11.7	1.62
9	8.1	224	14.3	12.1	2.16
11	7.8	—	14.2	12.4	1.74
14	7.9	243	15.5	13.2	2.31
15	8.2	240	18.1	13.7	4.45
18	8.1	275	19.6	15.0	4.53
20	8.3	291	20.4	15.7	4.67
24	8.4	319	21.2	17.0	4.19
29	8.3	349	22.1	18.2	3.90
33	8.1	354	22.2	18.5	3.72
36	8.3	362	22.8	18.8	4.02
39	8.4	389	23.1	19.2	3.88
43	—	—	—	—	—
45	8.2	425	26.1	19.8	6.32
50	8.4	436	28.6	21.0	7.53
53	8.5	454	—	—	—
56	8.7	487	29.4	22.3	7.11
57	—	—	—	—	—
58	—	—	31.1	22.2	8.91
63	8.4	456	28.2	21.1	7.15
64	8.5	464	29.8	21.1	8.68
71	8.5	418	23.9	16.3	7.57
74	8.5	440	24.7	16.6	8.05
78	8.5	441	23.5	16.5	6.95
81	8.4	453	24.5	16.5	8.00

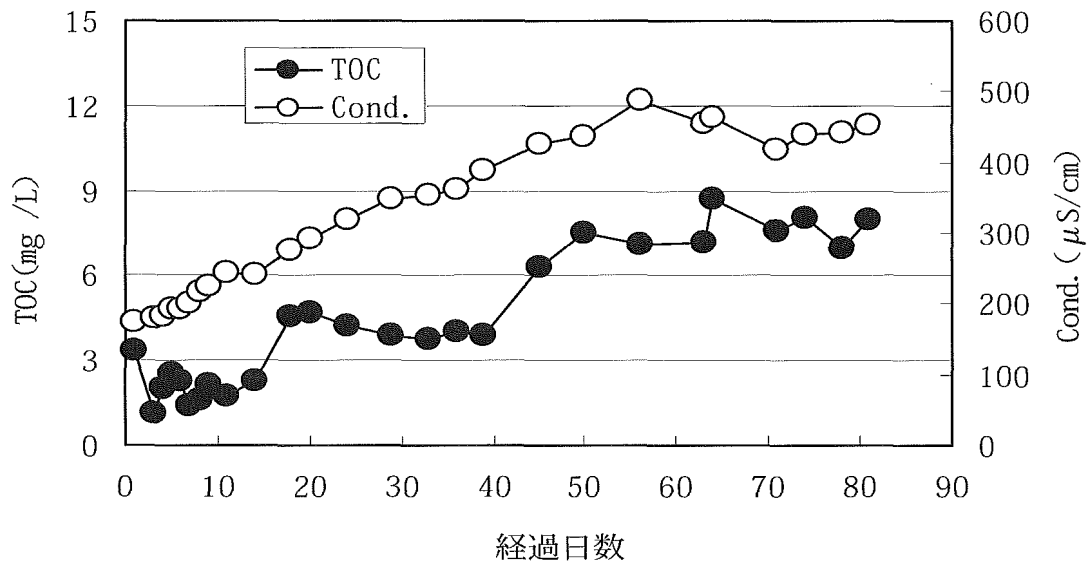


図 1.2.2 砂ろ過槽水の TOC 変化

表 1.2.4 砂ろ過槽水の細菌試験結果

経過日数 (日)	一般細菌 (cfu/mL)	従属栄養細菌 (cfu/mL)
0	1	155
2	6.3×10^4	1.2×10^5
4	3.4×10^3	1.9×10^5
8	1.9×10^3	2.2×10^5
11	1.9×10^4	4.2×10^5
14	2.2×10^4	3.2×10^5
18	8×10^4	7.4×10^5
20	2.5×10^3	4.5×10^5
24	2.2×10^3	3.6×10^5
29	1.3×10^4	4.0×10^4
33	4.3×10^3	1.3×10^4
36	3.0×10^3	8.5×10^3
43	1.8×10^3	—
50	1.7×10^3	2.1×10^4
53	—	3.0×10^4
57	200	1.6×10^4
64	110	2.0×10^4
78	30	4.1×10^4
81	10	1.0×10^4

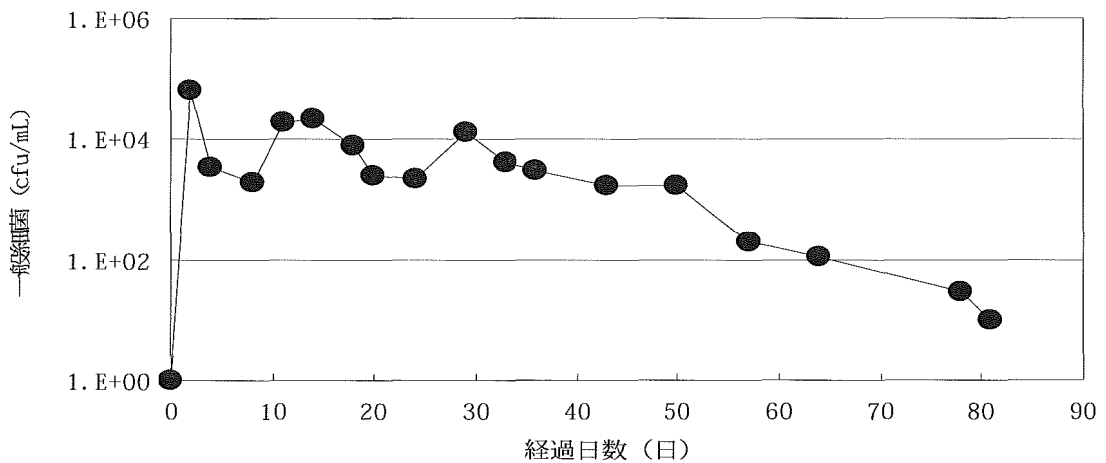


図 1.2.3 砂ろ過槽水の一般細菌数

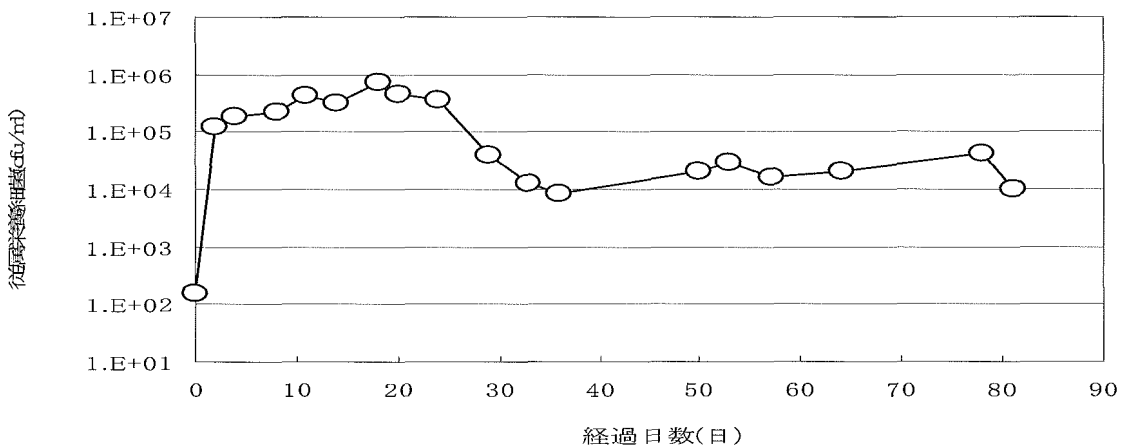


図 1.2.4 砂ろ過槽水の従属栄養細菌数

表 1.2.5 最終時における砂ろ過槽内のバイオフィルム

項目	細菌数
一般細菌 (cfu/mL)	2.1×10^4
従属栄養細菌 (cfu/mL)	1.5×10^6
SS (mg/L)	827

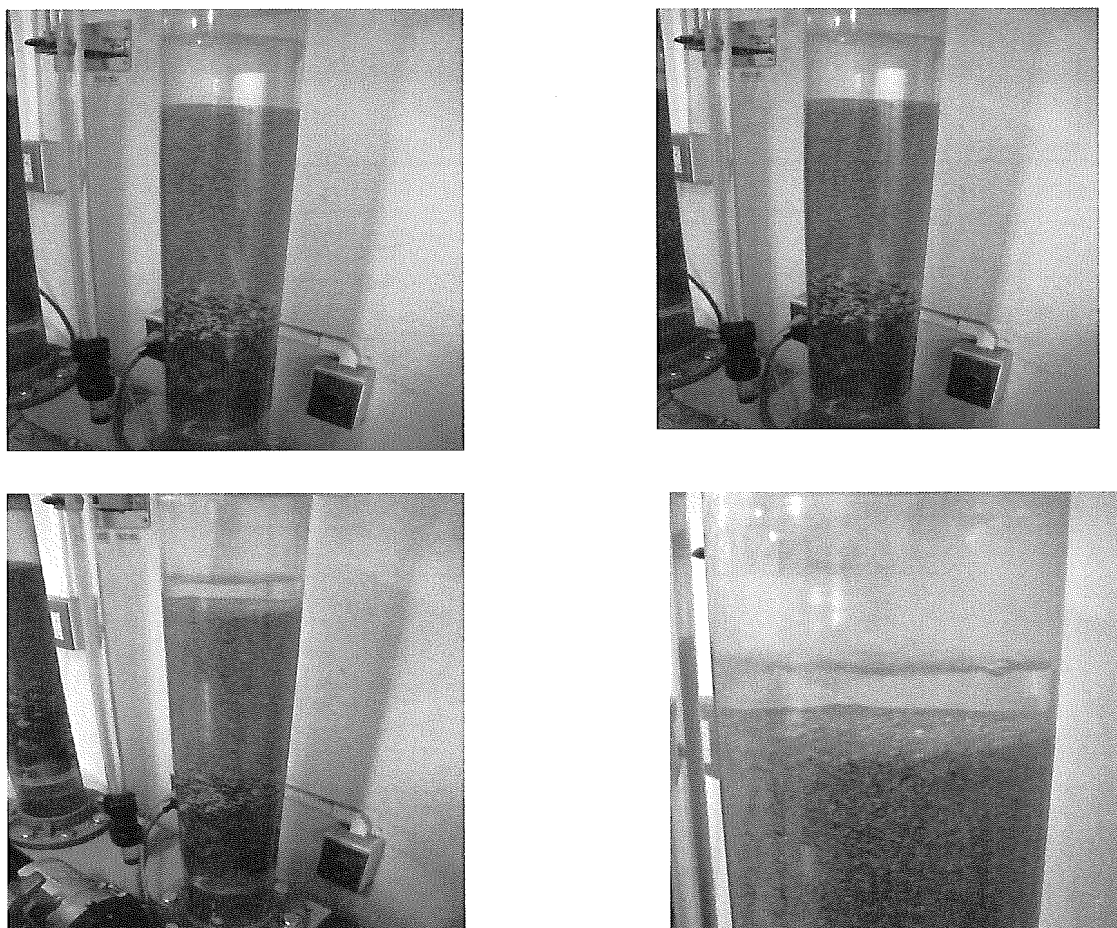


写真 1.2.2 28 日経過後第 1 ろ過槽内

(2) 消毒試験

得られた結果を表 1.2.6 に示す。一般細菌を対象に約 20 日間の塩素消毒試験を行った。次亜塩素酸ナトリウム溶液添加前の pH は 7.6 を示し、電気伝導率は $222 \mu S/cm$ 、TOC 値は $4.9 mg/L$ であった。また、一般細菌数 $300 cfu/mL$ が検出された。

塩素消毒試験結果は、次の傾向にあった。循環温水槽内の全塩素濃度および遊離塩素濃度の測定を行った結果、全塩素濃度は $0.3 \sim 0.76 mg/L$ の範囲にあり、遊離残留塩素濃度は不検出 $\sim 0.02 mg/L$ と低濃度で示された。

本消毒条件で消毒を継続し、10 日時点で細菌試験を行った結果、一般細菌数は $47 cfu/mL$ が検出された。さらに塩素消毒を継続した結果、不検出 $\sim 3 cfu/mL$ と消毒効果は安定する

傾向を示した（図 1.2.5）。

表 1.2.6 砂ろ過槽水の塩素消毒試験結果

経過日数 (日)	pH (-)	Cond. (μ S/cm)	TOC (mg/L)	一般細菌数 (cfu/mL)	全塩素 (mg/L)	遊離残留 塩素(mg/L)
初期値	7.6	222	4.91	300	無添加	無添加
12	8.1	312	9.82	47	ND	ND
13	8.0	291	6.40	ND	0.3	0.02
15	8.4	323	7.17	ND	0.79	0.05
19	8.3	385	6.78	3	0.25	0.01
20	8.3	392	6.60	1	0.28	0.01
21	8.4	432	6.88	ND	0.27	0.02

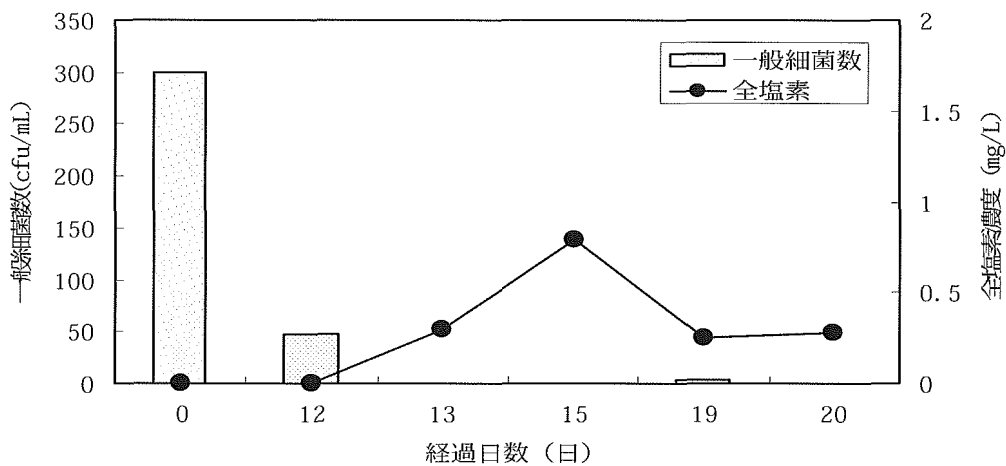


図 1.2.5 砂ろ過槽水の塩素消毒試験結果

1.2.4 まとめ

本実験では、実験室規模の砂ろ過槽による循環系温水の水質特性について検討した。実稼動の浴槽水システムを想定し、有機汚濁物質としてL-グルタミン酸を添加し、30℃下の循環系を再現する条件とした。

L-グルタミン酸の挙動をTOCとして8時間の時系列で測定した結果、砂ろ過槽による物理的処理効果は認められなかった。すなわち、入浴に伴い発生する溶解性有機汚濁物質は砂ろ過槽では除去されないことが示された。

さらに約80日間における細菌の増殖は従属栄養細菌数からみて、 $10^3 \sim 10^5$ cfu/mLが増殖し、消毒をしない条件下で温水を約2日間循環することで、細菌数は 10^5 cfu/mLまで増殖し、日数の経過に伴う減少は低いことが示された。

塩素消毒試験に関しては、試験日数が不足しているため、結論を導き出すことはできないものの、循環槽内温度が30℃となっているため、塩素の消失量が大きく、消毒効果を確実にするには、添加する塩素濃度を高める必要があり、この点が温水に塩素消毒を使用する大きな課題になると考える。

(担当者：野知 啓子)

1. 3 社会福祉施設の浴槽水調査

1.3.1 施設・循環式浴槽の概要と入浴の状況

昨年度に続き、社会福祉施設に設置されている循環式浴槽水の1日の時系列調査を実施した。昨年度は、東北地方を中心に冬季に計測したが、今年度は中部地方（愛知県）と北

表 1.3.1a 施設の概要（1）

施設名	施設 G	施設 H		
施設用途	デイサービス	介護老人保健施設		
所在地	愛知県三河地方	愛知県名古屋市		
ろ過器種類	砂式	砂式		
気泡板・超音波	超音波・気泡共有り	無し		
浴槽面積〔m ² 〕	15.1	13.7		
浴槽容量〔m ³ 〕	4.5	6.7		
浴槽深さ〔m〕	0.42	0.59		
消毒剤の種類	(夏)次亜塩素酸ナトリウム (秋)次亜塩素酸ナトリウム+ 二酸化塩素	次亜塩素酸ナトリウム		
消毒剤の投入方法	ポーラグラフで制御	ポーラグラフで制御		
その他				
夏季	計測日	平成17年8月23日	平成17年8月25日	
	計測時間帯	9:00～12:00	9:30～16:30	
	1日の入浴者数	男子〔人〕	3	
		女子〔人〕	9	
		合計〔人〕	12	
	時間当り最大入浴者数	男子〔人/h〕	0	
		女子〔人/h〕	5	
		合計〔人/h〕	5	
	1日の入浴者に対する時間最大入浴者の比率〔%〕	42%		
	単位面積当り時間最大入浴者数〔人/(m ² ・h)〕	0.3		
	単位容積当り時間最大入浴者数〔人/(m ³ ・h)〕	1.1		
	公衆浴場法関係法令 [*] による必要浴槽面積〔m ² 〕	0.7		
	実際浴槽面積/公衆浴場関係法令必要浴槽面積	21.6		
秋季・冬季	計測日	平成17年10月26日	平成17年10月28日	
	計測時間帯	9:00～11:30	10:00～17:15	
	1日の入浴者数	男子〔人〕	4	7
		女子〔人〕	9	22
		合計〔人〕	13	29
	時間当り最大入浴者数	男子〔人/h〕	0	0
		女子〔人/h〕	5	10
		合計〔人/h〕	5	10
	1日の入浴者に対する時間最大入浴者の比率〔%〕	38%	34%	
	単位面積当り時間最大入浴者数〔人/(m ² ・h)〕	0.3	0.7	
	単位容積当り時間最大入浴者数〔人/(m ³ ・h)〕	1.1	1.5	
	公衆浴場法関係法令 [*] による必要浴槽面積〔m ² 〕	0.7	1.4	
	実際浴槽面積/公衆浴場関係法令必要浴槽面積	21.6	9.8	

^{*}「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×10/60×0.7m²×1.2