

細菌試験結果を表 7.3 に示す。レジオネラ属菌は不検出～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 KMnO₄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 7.3 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

(2) レジオネラ対応型循環浴槽水の水質特性

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 7.4 に示し、細菌試験結果を表 7.5 に示す。浴槽水 TOC は 2.55-8.46mg/L (中央値 5.08 mg/L, n=17)、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/2 週の頻度の 70℃の熱洗浄により、ろ過槽内の生物浄化能が低下したものと考えらる。

pH は 7.1-7.6 (中央値 7.6, n=21) を示した。また、電気伝導率は 151-193 μ S/cm (中央値 163 μ S/cm, n=21) を示し、水道水と相違していない結果であった。

次にレジオネラ属菌についてみると、不検出-30cfu/100mL (n=21、検出率:19%) と低値であった。一般細菌数は不検出-3, 150cfu/mL(n=20)、従属栄養細菌は 190-1.6 $\times 10^5$ cfu/mL (n=21) であった。また、大腸菌群は不検出-1cfu/mL (n=21) であった。

表 7.4 レジオネラ対応型循環浴槽システムにおける理化学試験結果

経過日数 (日)	p H (-)	E C (μ S/cm)	KMnO ₄ 消費量 (mg/L)	T O C (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

2) 秋期から冬期における調査

秋期から冬期における調査結果として、理化学試験結果を表 7.6 に、細菌試験結果を表 7.7 に示す。冬期調査として浴槽水水温を 43℃下の比較的高温条件における水質変動を観察した。TOC 値は 2.23-6.21mg/L (中央値 4.43 mg/L, n=16)、KMnO₄消費量は 4.77-9.54mg/L (中央値 5.52 mg/L, n=16) と、夏期と同等であった。また pH 値も 7.2-7.7 (中央値 7.4, n=16) であった。電気伝導率は 166-355 μ S/cm (中央値 195 μ S/cm, n=16) と数値の変動幅が大きかった。この理由として最大値を示した

5-11日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%)と低値で維持された。一般細菌数は5-1,500cfu/mL(n=16)、従属栄養細菌数は100-4×10⁵cfu/mL(n=16)検出された。

表 7.5 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

表 7.6 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)	KMnO4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

表 7.7 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/100)	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

7.1.4 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 7.8 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、表 7.9 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。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 7.8 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)	-	$100 \sim 4.3 \times 10^5$ (1800, 37)
大腸菌群(cfu/mL)	ND~3 (ND, 28)	ND~2 (ND, 37)

表 7.9 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

7.2 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

7.2.1 目的

7.1 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に関する検証試験を行った。

7.2.2 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 7.1、図 7.2 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 7.2 に示すとおりである。

本装置内に水道水 25L を入れ、TOC 濃度 5mg/L になるよう L-グルタミン酸を添加し、温水槽内温度 36℃、循環量 1.35 L/min で稼働させた。なお、蒸発分には温水を随時補給した。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。

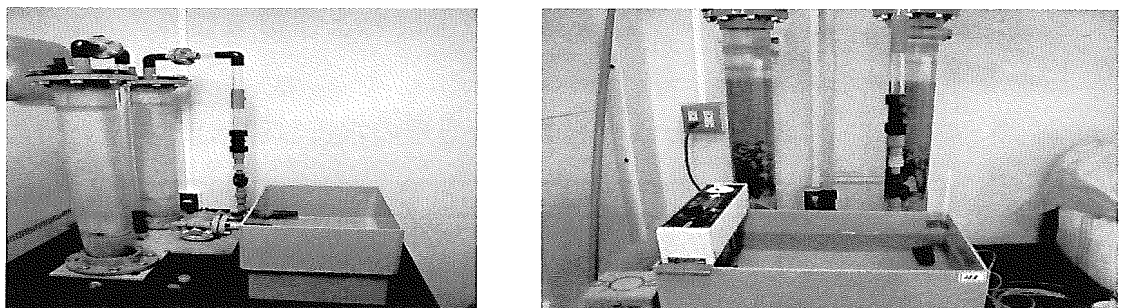


写真 7.1 循環式浴槽模擬実験装置

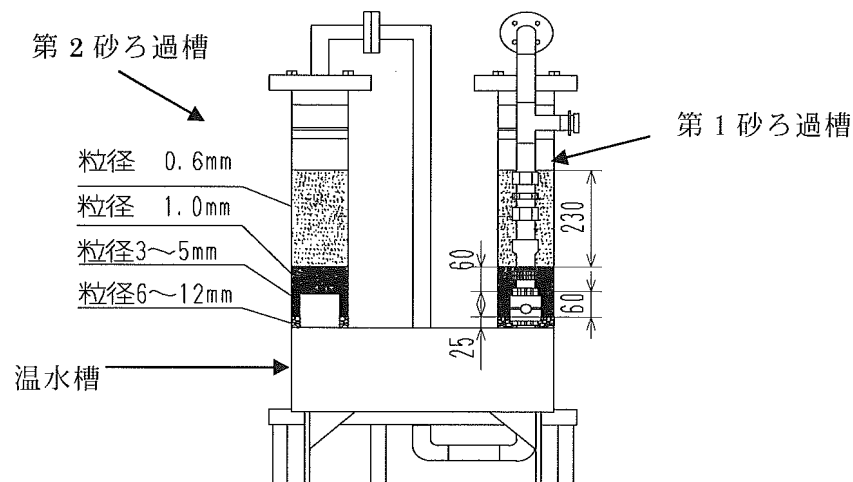


図 7.2 循環式浴槽模擬実験装置

(2) 塩素消毒試験

塩素消毒装置を循環式浴槽模擬実験装置に付設し、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。

7.2.3 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砂ろ過材を充てんせずに連続試行した結果、pHや電気伝導率、TOCは変動がみられず、細菌数は経過に伴い増殖傾向であった。

そこで、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7.10に示す。TOCは3.3-4.0mg/L、pHは7.8-7.9とほとんど変動していなかった。経時調査の理化学結果を表7.11に、細菌学結果を表7.12に示す。40日経過時点でのTOC濃度は4.0mg/Lであったため、L-グルタミン酸（TOC濃度：5mg/L）を追加したところ、50日以降のTOC濃度は7-8mg/Lを示し、TOCの減少はみられなかった。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7.13に示す。

表 7.10 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 7.11 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

表 7.12 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

表 7.13 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

(2) 消毒試験

得られた結果を表 7.14 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。次亜塩素酸塩添加前の初期値として pH7.6、電気伝導率 $222 \mu\text{S/cm}$ 、TOC 値 4.9mg/L であり、一般細菌数は 300cfu/mL 検出された。

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 $0.3\text{--}0.76\text{mg/L}$ の範囲にあり、遊離残留塩素濃度は不検出- 0.02mg/L と低濃度であった。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。塩素消毒を継続した結果、不検出- 3cfu/mL と消毒効果が安定した。

表 7.14 砂ろ過槽水の塩素消毒試験結果

経過日数 (日)	pH (-)	Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	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

7.2.4 まとめ

本実験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。

有機汚濁物質として L-グルタミン酸を添加し、 30°C 下の循環系を再現した。

TOC 濃度の 8 時間の時系列変化を測定した結果、砂ろ過槽による物理的処理効果は認められなかったことから、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で $10^3\text{--}10^5\text{cfu/mL}$ 増殖していることから、無消毒条件下で温水を約 2 日間循環すると、細菌数は 10^5cfu/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。

塩素消毒試験については、水温 30°C であったため、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ると考える。

7.3 社会福祉施設の浴槽水調査

7.3.1 施設・循環式浴槽の概要と入浴の状況

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。調査は中部地方と北海道の施設で夏季と秋-冬季に実施した。施設Gと施設Iはデイサービス、施設H、施設Kと施設Lは介護老人保健施設である。

消毒方法は、次亜塩素酸ナトリウムによるものがほとんどである。施設Gでは消毒方法が夏季と秋季で異なり、夏季が次亜塩素酸ナトリウムのみ、秋季が次亜塩素酸ナトリウムと二酸化塩素の混合注入であった。施設Jの大浴槽でも夏季と冬季で消毒剤の注入方法が異なり、夏季は定量注入、冬季はポーラログラフ式遊離残留塩素濃度計で計測して自動注入を行っていた。施設Kではオゾンと次亜塩素酸ナトリウムの組み合わせである。

ろ過器の形式は、施設Jの2系統が砂式と溶解性風化鉱石（人工温泉）ろ過式との組み合わせ、社会福祉施設は全て砂式である。

気泡浴や超音波浴の設置状況は、施設Gでは気泡浴と超音波浴を設置している。施設Iや施設Lには超音波浴もあり、施設Iでは入浴剤を使用していた。

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）の必要浴槽面積と比較すると、計測日の入浴者数は2.9～30.5倍確保されていた。

7.3.2 浴槽水質・入浴者数等の推移

施設Gではレジオネラ属菌は不検出であったが、大腸菌群が検出された。入浴前の試料からも大腸菌群が検出されたことから、超音波の循環系等に菌が生息していると考えられ。

施設Jでは入浴者数が多いため、遊離残留塩素濃度が入浴者数が多い時間帯は0.15mg/Lを示した。気泡浴槽では、3.75mg/Lあった遊離残留塩素濃度が4時間後には0.72mg/Lまで下がった。

施設Kでは塩素とオゾンを併用していた。レジオネラ属菌は不検出であったが、大腸菌群や緑膿菌が検出された。

7.3.3 原水と浴槽水質との関係

アンモニア性窒素は調査施設9箇所の原水のうち2箇所から検出され、浴槽水では8箇所検出された。入浴により尿や汗が浴槽水に影響を与えたためと考える。

KMnO₄消費量とTOC濃度では原水と浴槽水に相関は見られなかった。

以上の結果から、原水と浴槽水の水質とに相関が強い水質項目は、硝酸イオンと硫酸イオンである。ある程度相関が見られる水質項目は、水素イオンである。また相関がほとんど見られない水質項目はアンモニア性窒素、過マンガン酸カリウム消費量とTOCで、入浴等による水質変化の影響が強いと考えられる。

8章 循環ろ過の性能

8.1 循環ろ過器による水質の影響

8.1.1 目的と実験概要

本実験はろ過器による塩素等消毒剤の捕捉量を把握することを目的に実施した。

方法として、循環系にトリクロロイソシアヌル酸錠剤と二酸化塩素を投入し、30分以上ろ過循環させた後に一過式に切り替えて運転し、ろ過器手前で採水して、その後120秒後にろ過器後で採水し、濁度、遊離残留塩素濃度、結合残留塩素濃度、二酸化塩素濃度を計測した。

8.1.2 試験結果

ろ過器前後の水質変化は、表 8.1 及び表 8.2 となった。ろ過器前後の遊離残留塩素の濃度比率(残留率)には、トリクロロイソシアヌル酸錠剤を使用した場合でも、二酸化塩素を使用した場合でも、大きな違いは見られなかった。二酸化塩素そのものは、ろ過器ではほとんど消費されないことがわかった。

遊離残留塩素濃度のろ過器前後の濃度比(DPD吸光光度法)が56.6%と大きく減少し、結合残留塩素濃度が400.0%と増加し、総残留塩素濃度が77.8%と減少している。このことからろ過器内で遊離残留塩素が結合残留塩素に変化したものと考えられる。

換言すれば、アンモニア性窒素等と化学反応して遊離残留塩素濃度が結合残留塩素となる塩素と、反応の少ない二酸化塩素の性質の違いが、ろ過器前後の濃度変化にあらわれている。

濁度の濃度比率は、二酸化塩素での場合の方が、トリクロロイソシアヌル酸錠剤より大きいように見える。しかし、トリクロロイソシアヌル酸錠剤のろ過器手前の300秒と450秒の値(共に0.13)が、他の濁度の値(0.28~0.34)と比べて異常に小さい値となっていることから、全体を俯瞰的見地から見ると大差はないと判断する。

表 8.1 トリクロロイソシアヌル酸錠剤使用時のろ過器前後の水質変化

ろ過器前後別	測定経過時間(秒)	濁度(度)	遊離電極式塩素(mg/L)	遊離吸光度塩素(mg/L)	結合吸光度塩素(mg/L)	総残留塩素(mg/L)
ろ過器手前	0	0.34	0.78	0.76	0.05	0.81
	150	0.34	0.70	0.76	0.05	0.81
	300	0.13	0.70	0.76	0.11	0.87
	450	0.13	0.68	0.80	0.07	0.87
	平均	0.23	0.72	0.77	0.07	0.84
ろ過器後	120	0.16	0.70	0.74	0.01	0.75
	270	0.16	0.46	0.43	0.20	0.63
	420	0.16	0.69	0.79	0.11	0.90
	570	0.13	0.67	0.80	0.12	0.92
	平均	0.15	0.63	0.69	0.11	0.80
ろ過器前後差 (消失量)	0	0.19	0.08	0.02	0.04	0.06
	150	0.19	0.24	0.33	-0.15	0.18
	300	-0.03	0.01	-0.03	0.00	-0.03
	450	0.00	0.01	0.00	-0.05	-0.05
	平均	0.09	0.09	0.08	-0.04	-0.04
	標準偏差	0.12	0.11	0.17	0.08	0.10
ろ過器前後比 (濃度比)	0	45.3%	89.7%	97.4%	20.0%	92.6%
	150	45.3%	65.7%	56.6%	400.0%	77.8%
	300	124.8%	98.6%	103.9%	100.0%	103.4%
	450	100.0%	98.5%	100.0%	171.4%	105.7%
	平均	78.9%	88.1%	89.5%	172.9%	94.9%

表 8.2 二酸化塩素使用時のろ過器前後の水質変化

ろ過器前後別	測定経過時間(秒)	濁度(度)	遊離電極式塩素(mg/L)	遊離吸光度法塩素(mg/L)	結合吸光度法塩素(mg/L)	総吸光度法塩素(mg/L)	二酸化塩素(比色式)(mg/L)
ろ過器手前	0	0.28	0.41	0.50	0.03	0.53	0.22
	150	0.34	0.48	0.51	0.08	0.59	0.13
	300	0.31	0.47	0.48	0.13	0.61	0.14
	450	0.28	0.46	0.46	0.14	0.60	0.13
	平均	0.30	0.46	0.49	0.10	0.07	0.16
ろ過器後	120	0.16	0.22	0.29	0.04	0.33	0.17
	270	0.13	0.42	0.47	0.10	0.57	0.16
	420	0.13	0.45	0.49	0.00	0.49	0.14
	570	0.16	0.47	0.52	0.10	0.62	0.14
	平均	0.14	0.39	0.44	0.06	0.11	0.15
ろ過器前後差 (消失量)	0	0.12	0.19	0.21	-0.01	0.20	0.05
	150	0.22	0.06	0.04	-0.02	0.02	-0.03
	300	0.19	0.02	-0.01	0.13	0.12	0.00
	450	0.13	-0.01	-0.06	0.04	-0.02	-0.01
	平均	0.16	0.06	0.05	0.04	-0.04	0.00
	標準偏差	0.05	0.09	0.12	0.07	0.10	0.03
ろ過器前後比 (濃度比)	0	55.7%	53.7%	58.0%	133.3%	62.3%	77.3%
	150	36.3%	87.5%	92.2%	125.0%	96.6%	123.1%
	300	39.9%	95.7%	102.1%	0.0%	80.3%	100.0%
	450	55.5%	102.2%	113.0%	71.4%	103.3%	107.7%
	平均	46.9%	84.8%	91.3%	82.4%	85.6%	102.0%

8.2 ろ過器の性能評価に関する実験

8.2.1 実験の目的および方法

(1) 実験の目的

ろ過器は種々の条件によりろ過・逆洗能力が変化することが分かっており、砂式ろ過器に対する水温 25℃におけるろ過速度及びろ過層の厚みについての影響は、空気調和・衛生工学で実験結果が取りまとめられている。

本実験では、報告された条件下で同等の実験を行い、条件因子の一つである温度変化によるろ過性能とろ過器の逆洗性能を検証した。

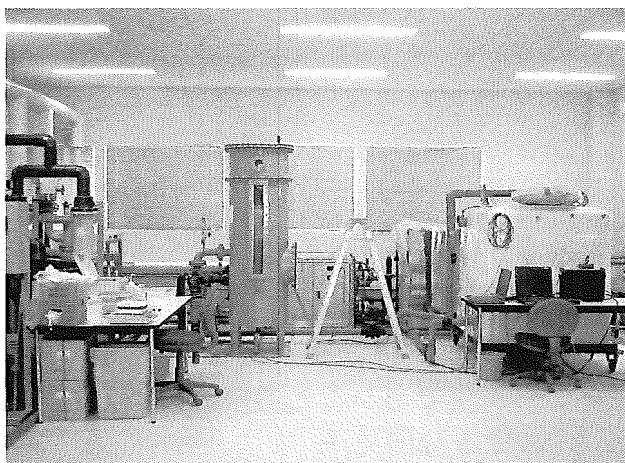


写真 8.1 実験装置

(2) ろ過層および支持層

支持層及びろ過層の各粒径と仕様を以下に示す。

1. 支持層 1：粒径 7～13mm，厚さ 200mm
2. 支持層 2：粒径 3.5～7mm，厚さ 200mm
3. 支持層 3：粒径 0.9mm，厚さ 150mm
4. ろ過層：粒径 0.6mm，厚さ 300～600mm

(3) 実験方法

濁度 7NTU（濁度約 5 度）温度 40℃に保った試験水を、ろ過循環及び逆洗時の流量（LV 値）とろ過層厚を変え、下記の条件下によりろ過器の浄化性能を検証した。

LV 値を 20m/h, 30m/h, 40m/h, 50m/h, 60m/h の 5 種類、ろ過層厚を 300mm, 400mm, 500mm, 600mm の 4 種類とした。

ろ過性能の判定はろ過器への流入水とろ過器からの流出水の濁度を計測／比較することで行った。

(4) ろ過層厚の決定方法

ろ過層厚 300, 400, 500, 600mm を基準に以下の式から体積より算出したろ材量と実際にろ材を水に浸漬させたろ材量との量的比較を行った結果を図 8.1 に示す。

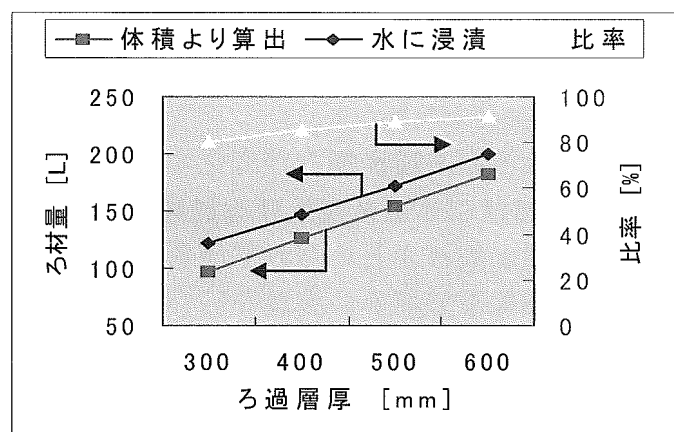


図 8.1 体積計算及び水に浸漬したろ材量の比較

(5)実験手順

実験手順を以下に示す。

1) ろ過層の洗浄を下記の手順で行う。

LV40 で 10 分間逆洗→LV30 で 5 分間逆洗→LV20 で 5 分間逆洗→逆洗完了後、逆洗水が入口濁度>出口濁度であることを確認→五方弁を洗浄工程として、出口圧力 0.05Mpa、LV30 で 5 分間洗浄

2) 逆洗濁度測定（カオリン無添加）

ろ過器を運転し循環水を 40℃に昇温→逆洗運転開始、LV 値 20, 30, 40 で逆洗して各 LV 値で 1 分間隔で 12 回採水・測定

（ただし、観察窓より内部を観察して、支持層とろ過層の混合に注意し、混合する直前で LV 値を調整する）

3) 原水タンク内試験水の濁度調整

原水タンクに試験水 1L を貯水し、ろ過循環により 40℃に昇温→タンク内試験水にカオリンを添加し、濃度 7NTU（濁度 5）に調整→ろ過器出口圧力を 0.05Mpa に調整

4) ろ過循環における濁度測定

運転開始後 1 分後にろ過器入口および出口で採水・測定→以後経過時間 60 分まで 5 分間隔、60 分以後は 10 分間隔で測定→同様に LV20, 30, 40, 50, 60 で実施

5) 装置の洗浄

原水タンク内の試験水を排水→ろ過器五方弁を排水モードに設定し、ろ過器および配管内を洗浄→原水タンク内等実験装置内循環水の濁度 0.5NTU を確認

6) 逆洗時における濁度測定

原水タンクに試験水 1L を貯水し、ろ過循環により 40℃に昇温→原水タンク内の試験水にカオリン添加し、濃度 7NTU（濁度 5）に調整→ろ過器出口圧力を 0.05Mpa に調整→100 分間ろ過運転し原水をろ過→逆洗運転を開始し、1 分経過後に測定→以降 1 分ごとに 12 分間測定→同様に LV20, 30, 40 で実施→同様に支持層とろ過層が混合に注意し、混合する直前で LV 値を調整

(6) 実験装置

実験装置の系統図を図 8.2 に示す。

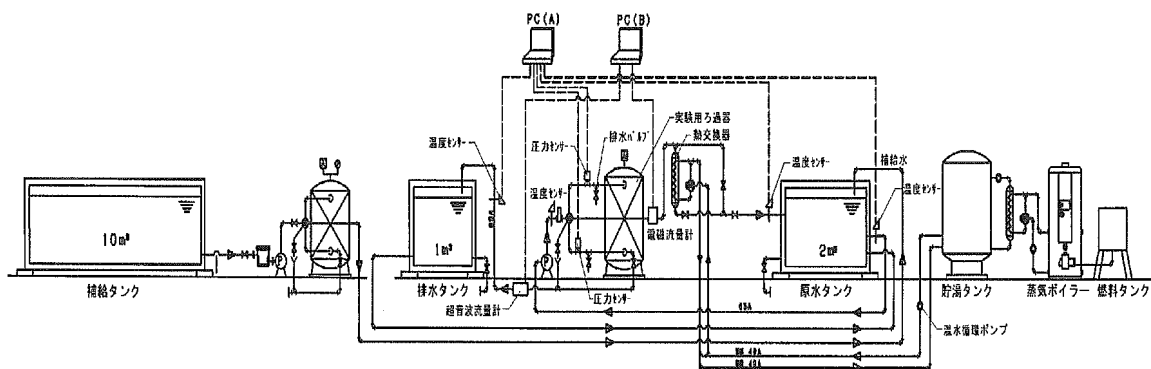


図 8.2 実験装置の系統図

8.2.2 循環ろ過時におけるろ過性能実験

(1) 濁度残留率の算出

ろ過層厚を 300, 400, 500, 600mm の 4 種類として、各ろ過層厚において連続 100 分間循環ろ過して実験手順に従って測定した濁度変化測定値を基に、実験開始後 1 回転 (以下ターン) 終了時の測定値からろ過器入口基準濁度を 4.0NTU とし、各種設定条件におけるターン数別の原水タンク内の濁度残留率を図 8.3 (ろ過層厚基準) と図 8.4 (LV 別基準) に示す。

(2) ろ過層厚および LV 値の差異による濁度残留率

LV 値別の濁度残留率は LV が遅いほど濁度残留率が低い値を示した。

ろ過層厚別の濁度残留率は、ろ過層厚さ 300-500 mm の場合はどの LV 値においてもろ過層厚による差異は見られないが、ろ過層厚 600 mm の場合には、濁度残留率が他より低い値を示す傾向を示しており、この傾向は LV が早いほど顕著であった。

濁度変化の挙動に関しては、初期時の濁度変化が最も大きく、時間が経過するにつれてこの濁度変化は小さくなった。よって、比較的初期時の濁度減少量でろ過器のろ過性能は決定されることが判明した。

入口・出口の初期濁度差を LV 値別に比較すると LV 値が低い程、入口・出口間の濁度差は大きかった。

ろ過層厚・LV 値に関係なく、濁度残留率はターン数の増加と共に低下している。

(3) 水温の変化に伴う濁度残留率

本実験と同様、水温 25℃ で実施した実験との比較結果を図 8.5 に示す。

水温 25℃ と比較して、どの LV においても水温 40℃ における濁度残留率のほうが低い値を示している。また、ろ過層厚さに濁度残留率も水温 40℃ のほうが低い値を示しており、ろ過層厚 600 mm の場合が最も顕著に示した。

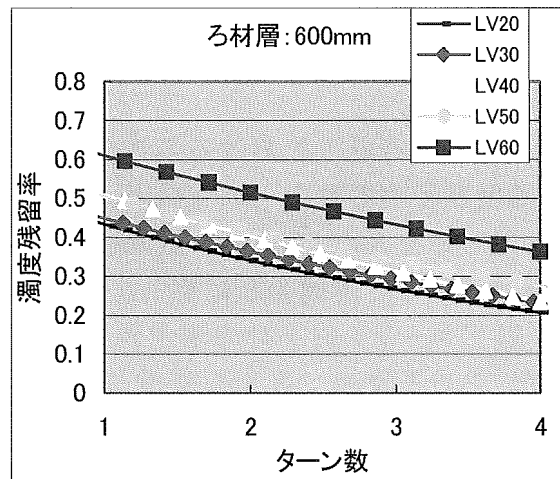
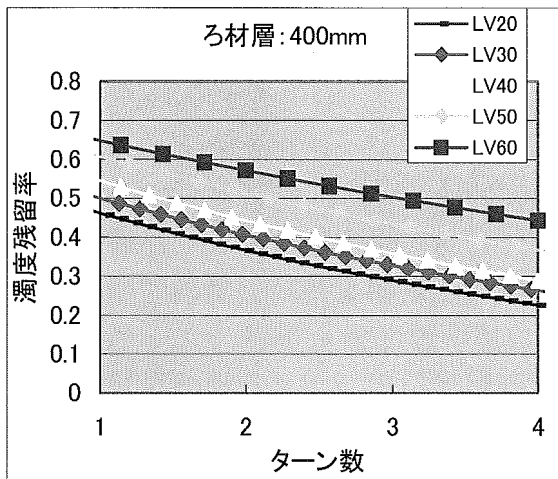
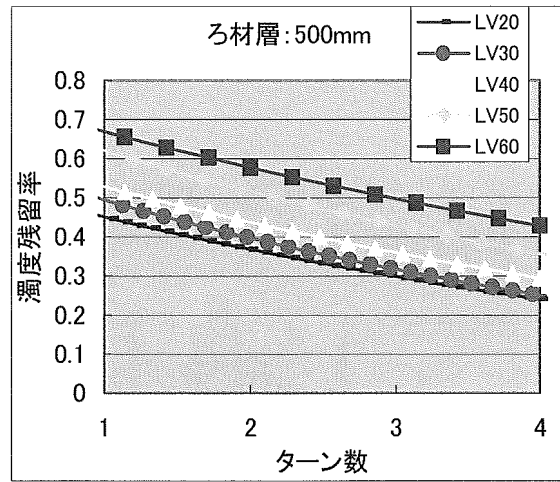
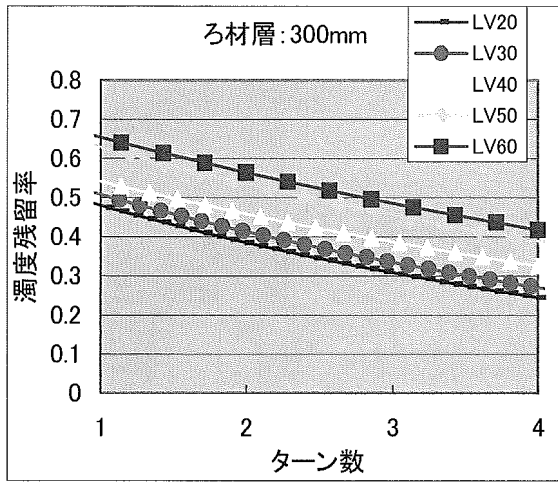


図 8.3 ろ過層厚による濁度残留率変化

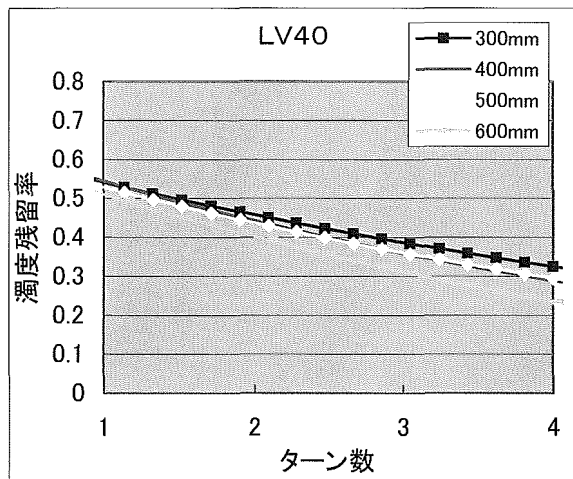
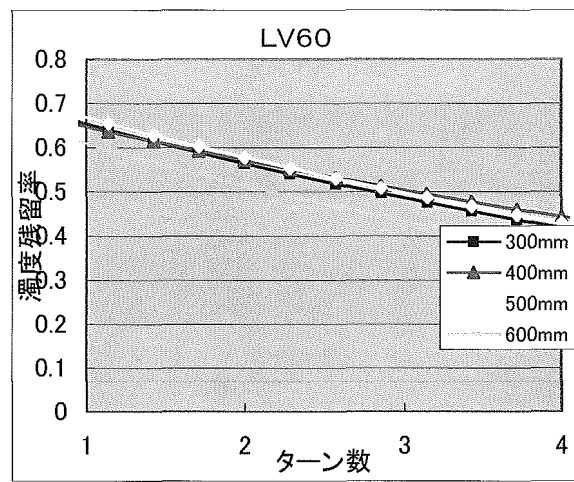
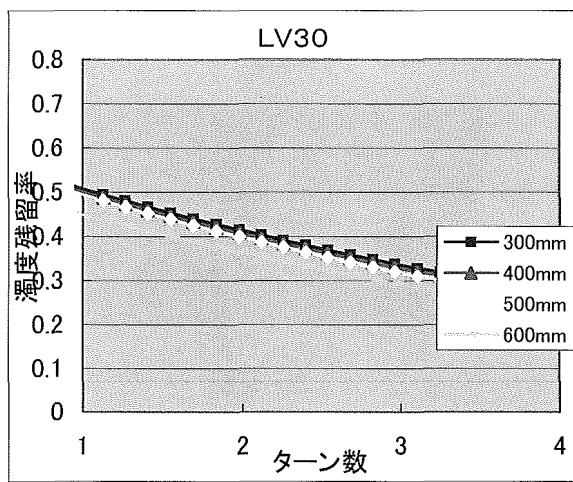
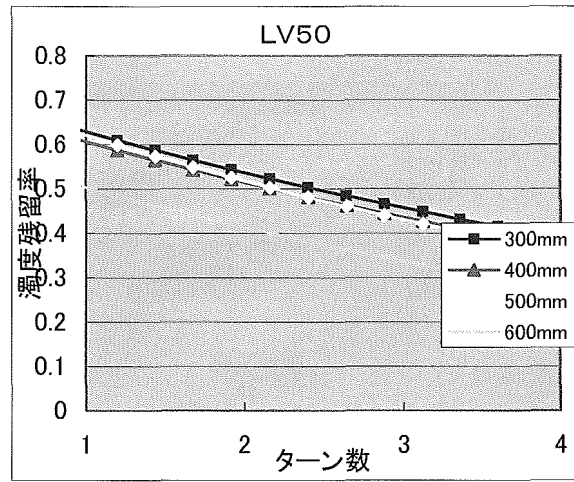
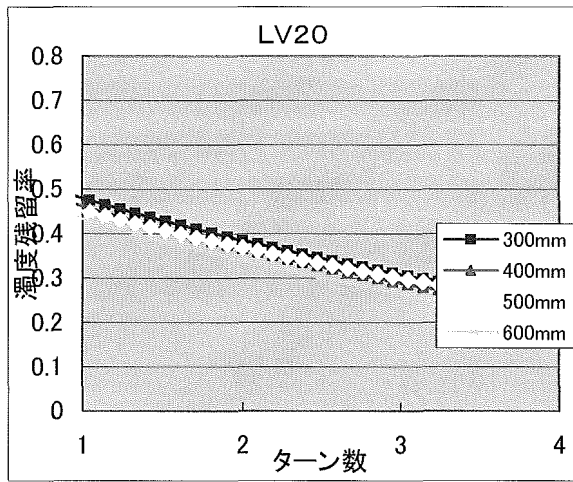


図 8.4 LV 値による濁度残留率の変化

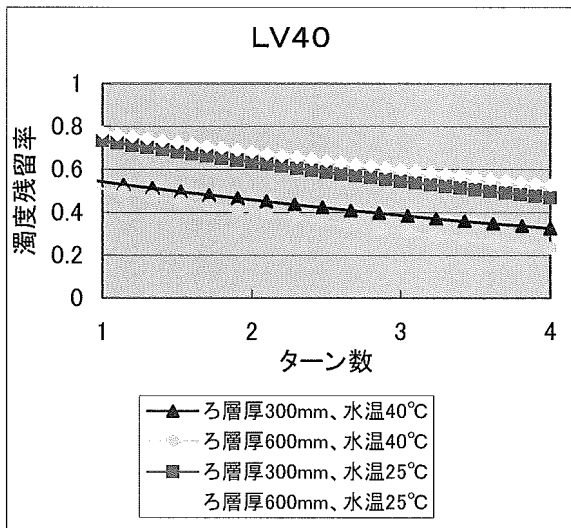
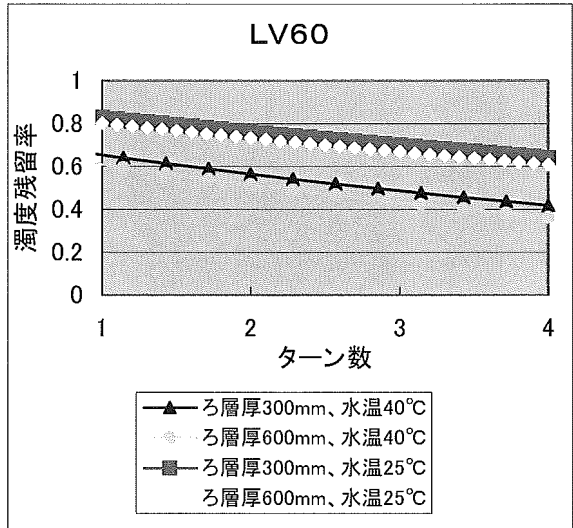
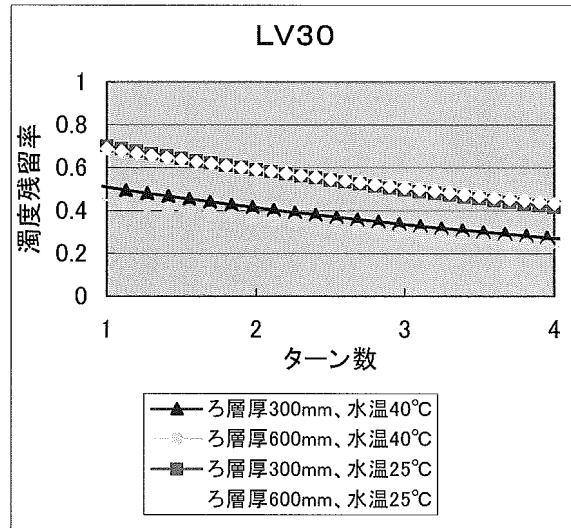
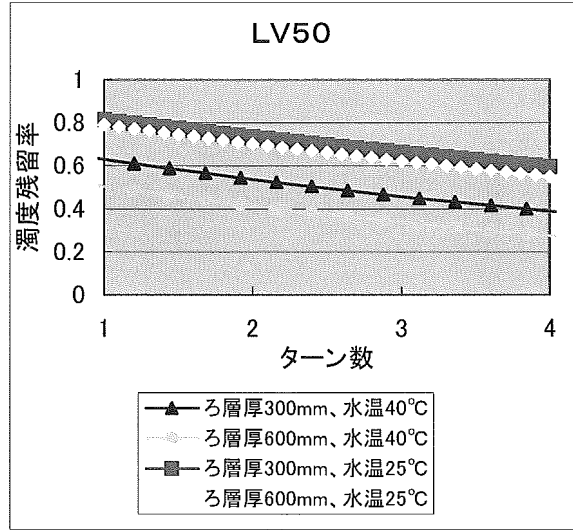
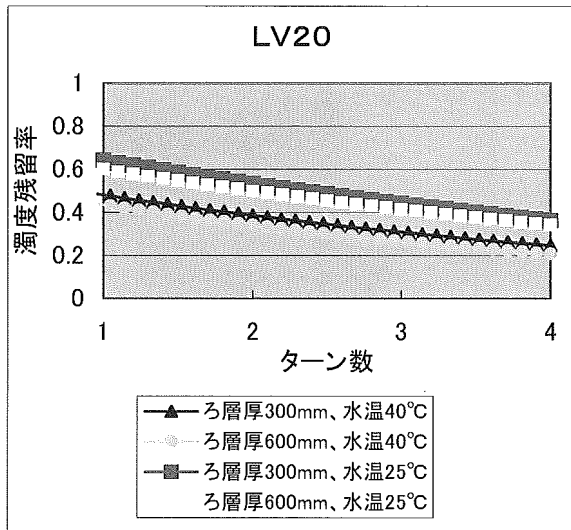


図 8.5 水温による濁度残留率比較

8.2.3 逆洗性能検証実験

ろ過器の逆洗は、ろ過によって閉塞されたろ材を攪拌・洗浄することによってろ過器の性能の再生を目的として行う。本実験では逆洗の効果を左右するろ層の攪拌状態を、逆洗時のLVとろ過層の厚さを変化させて観察し、逆洗効果が適切に行われる条件を検証する。ろ過層厚は最もポピュラーな400と600mmで実施した。

(1)ろ過層 600 mmにおける濁度変化

ろ過層を600mmとしてLV20, 30, 40における濁度の時間変化を図8.6に示す。LV値が大きくなるほど逆洗初期の濁度は高く、逆洗の効果はLVが速いほど効果が大きい。また、逆洗開始後、4分後には濁度が原水濁度近くまで減少しており、その後はほぼ横ばい状態を示し、原水濁度に達するのに6分間要した。この結果から、逆洗効果が得られるまでには最低4分以上の逆洗運転が必要であると考えられる。

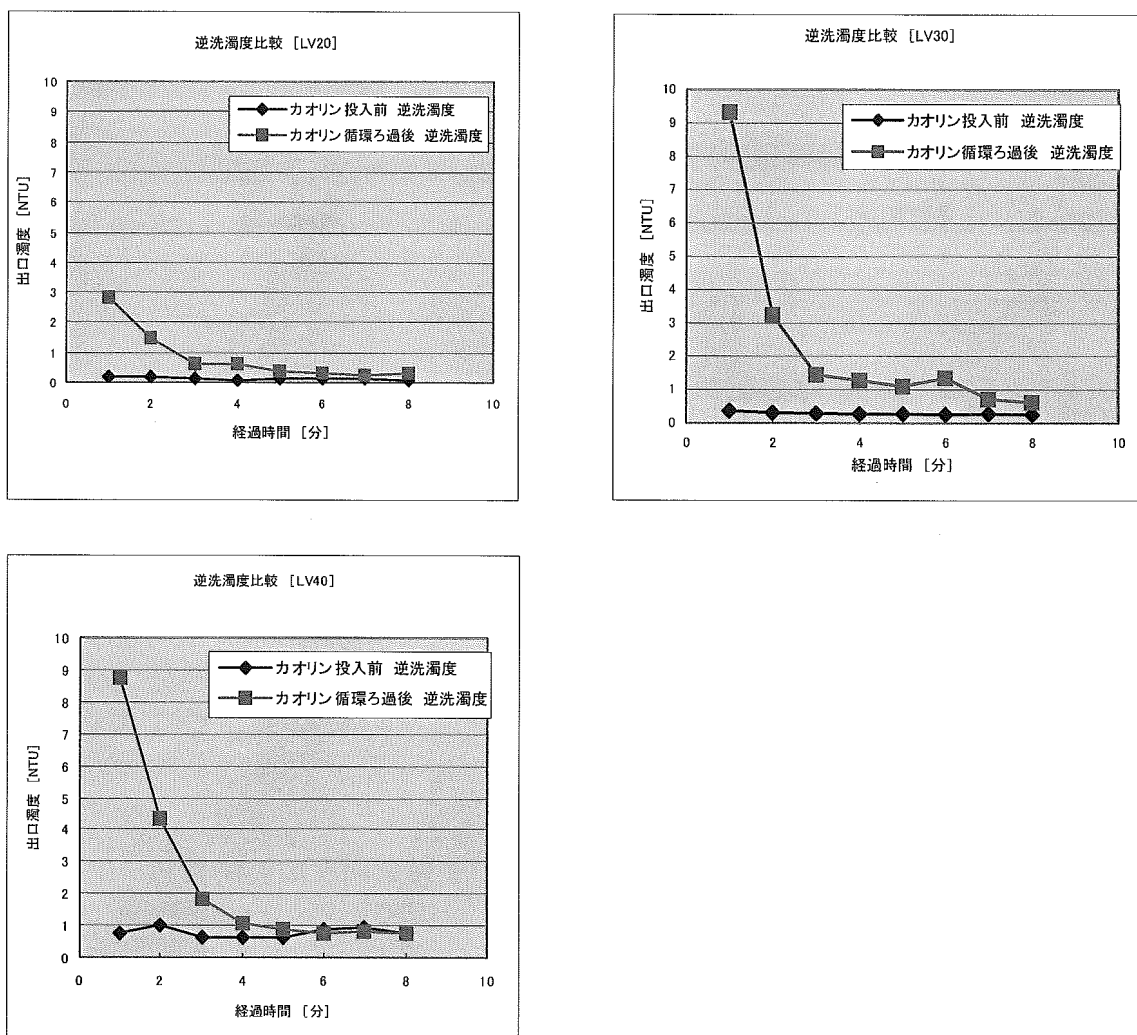


図 8.6 ろ過層 600mm における LV 値別濁度の時間変化

(2)ろ過層 400 mmにおける濁度変化

ろ過層を 400 mmとして LV20, 30, 40 における濁度の時間変化を図 8.7 に示す。

ろ過層厚 600 mmと同様に、LV 値が大きくなるほど逆洗初期の濁度は高い傾向を示しており、逆洗の効果は LV が早いほど効果大きいことを示している。

逆洗初期の濁度がろ過層 600 mmに比較して低値であることから、ろ過層厚 400 mmでは 600 mmに比較してろ過層の汚濁物捕捉が少ないことを示している。

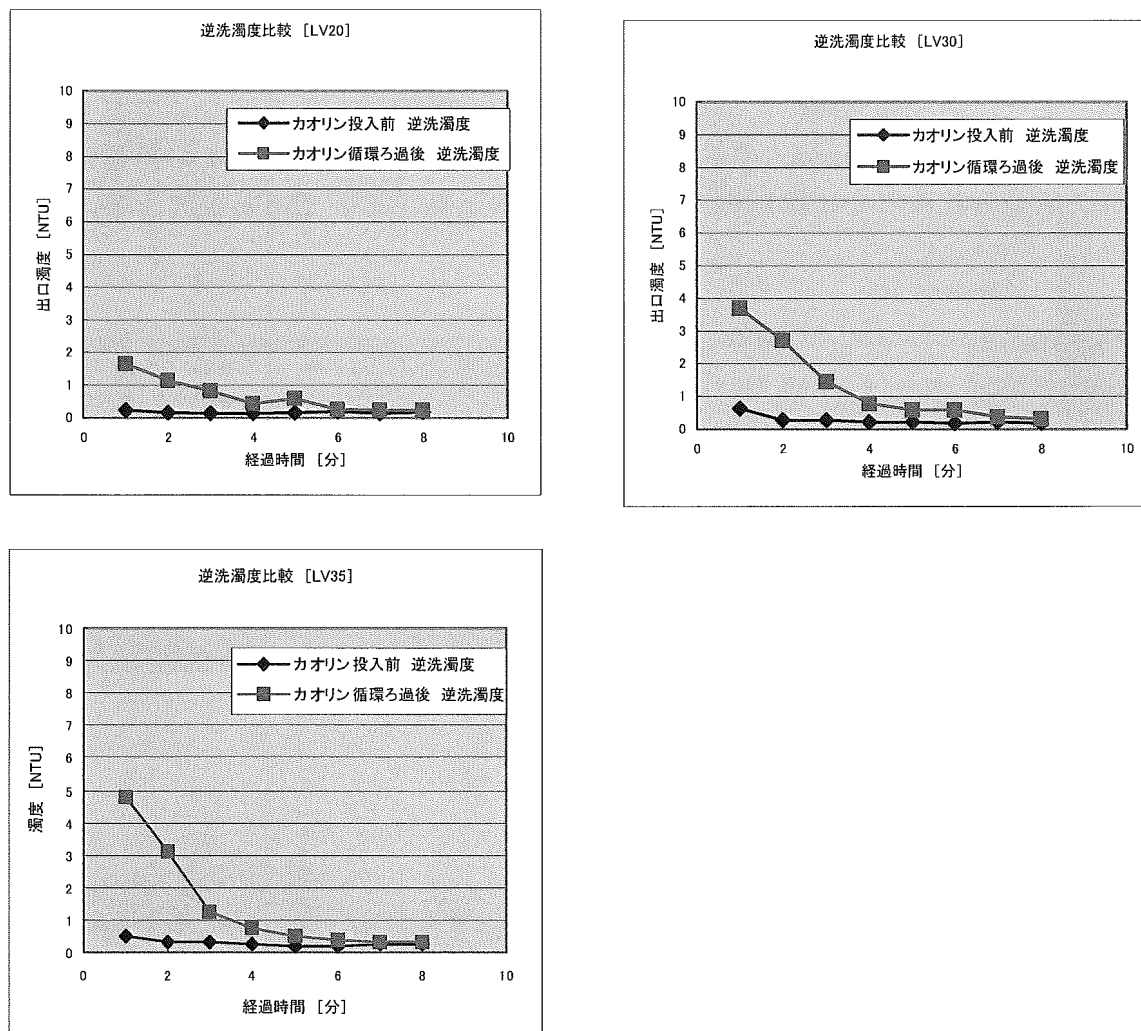


図 8.7 逆洗時によるろ過層 400mm・LV 値別濁度の時間変化

8.2.4 考察

実験結果より、天然砂をろ材とした物理処理ろ過器ではろ過層の厚さが大きいほど、また LV 値が小さいほどろ過性能が向上することが確認され、この結果から LV 値 40m/h、ろ過層圧 600 mmが妥当な数値と考える。

逆洗については、逆洗時の LV 値が大きいほどろ材の洗浄効果が大きくなるが、逆洗はろ過層と支持層が混合しない状態を保って行う必要があり、LV はろ過層厚やフリーボードによって決定する必要がある。