

# A Study on the Securing of Safety and Sanitation in Bathing with Improved Comfort : With Particular Regard to Legionnaires' Disease

赤井, 仁志  
Yurtec

<https://doi.org/10.15017/13531>

---

出版情報 : 九州大学, 2008, 博士 (芸術工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

## 第4章

# 入浴等による消毒剤の消失と入浴による汚濁

本章は、浴槽内と浴槽循環系統での消毒剤の消失に関わる研究と、ヒトの入浴による浴槽水の汚濁の研究成果である。

「1. 消毒剤消費の要因」では、浴槽と浴槽循環系統での浴槽水の残留塩素の消失の主な要素を挙げた。消毒剤の消失の要因の中で、温泉水の補給による消毒剤の消失は、第5章の「2. 温泉の違いによる消毒剤消費特性」に記述した。

消毒剤の消失の要因の中で、本章で研究を行ったものは、①ろ過器での消失、②気泡浴槽や超音波浴槽で浴槽水中に空気を吹き込んだときの消失、③ヒトの入浴による消失である。これらはそれぞれ「2. ろ過器での消毒剤の消費特性」、「3. 気泡浴・超音波浴による消毒剤の消費特性」、「4. 入浴による消毒剤の消費特性」に記載した。

本章で行った消毒剤の消失の研究は、飲料水系統システムでは起きない要因を捉えたものである。本章の消毒剤の消失の研究成果に、第5章の「2. 温泉の違いによる消毒剤消費特性」を加えることで、浴槽内と浴槽循環系統特有の浴槽水中の消毒剤消失の大きな要因が特定されることになる。

また、ヒトの入浴による消失の研究では、入浴実験に合わせて有機物等による浴槽水の汚濁の研究も同時に行った。これは「5. 入浴による浴槽水の汚濁と必要補給水量」に記述した。

なお「4. 入浴による消毒剤の消費特性」と「5. 入浴による浴槽水の汚濁と必要補給水量」は、空気調和・衛生工学会論文集No.114（2006年9月）に掲載された「入浴の行為による浴槽水の汚濁原単位及び消毒剤の減少に関する研究」（赤井仁志、岡田誠之、青沼徹）<sup>4)</sup>を参考にした。

## 1. 消毒剤消費の要因

消毒剤の消費は、浴槽や循環ろ過系統等の消毒剤の濃度管理をしなければならぬ大きな要因である。建築設備の飲料水系統でも衛生管理のために塩素消失の定量化をしているところで、様々な要素があり、研究途上である。例えば、(社)空気調和・衛生工学会では、給排水衛生設備委員会の傘下に建物内の水質の保全マニュアル作成小委員会（主査：東北文化学園大学教授 岡田誠之）を設けて、研究している。

浴槽と浴槽循環系統での浴槽水の残留塩素の消失の主な要素を挙げる。

- ① 浴槽水中での消失
- ② 浴槽水面からの飛散
- ③ 浴槽壁面や床面等の浴槽材料との接触による消失（浴槽表面に生物膜があると消失が促進される）
- ④ 日射による消失
- ⑤ 循環配管やろ過器等での消失（配管内面やろ過器のろ材等に生物膜があると消失が促進される）
- ⑥ 気泡浴槽や超音波浴槽で、浴槽水中に空気を吹き込んだときの消失
- ⑦ 温泉や入浴剤等に含まれる還元性物質での消失
- ⑧ 補給水の補給による消失（残留塩素濃度の低い補給水、有機物や還元性物質等の多い補給水の補給のほか、温泉水の補給でも起きる）
- ⑨ ヒトの入浴による消失（洗剤やアンモニア性窒素の影響もある）

浴槽水中での消失では、フミン質（腐植質）やフルボ酸等の天然有機物質と次亜塩素酸との反応で、塩素化トリハロメタンなどに化学変化して、生成されるものなどもある。トリハロメタンは、入浴によるヒト由来の有機物でも生成するとも考えられている。

塩素の消失とは言えない事象もある。遊離塩素がアンモニア性窒素と化合して、結合塩素に変化するの、総残留塩素としての消失はない。

## 2. ろ過器での消毒剤の消費特性

### 2.1 はじめに

実際の浴槽に取り付けられているろ過器での遊離残留塩素濃度の消失調査は、何度か行ったが、適当なデータを得ることができなかった。利用している浴槽では、塩素濃度が低いことやろ過器に蓄積された塩素が溶出していることなどが要因と考えられる。

そこで、実験室に設置したろ過器を使用して、実験を行った。消毒剤の消失実験にあわせて、濁度の変化のデータも採取した。

この実験は、2005年度（平成17年度）の厚生労働科学研究費で(財)ビル管理教育センターに設置された建築物の給水における水質管理に関する調査研究部会で実施し、本報告書<sup>1)</sup>を参考に記述した。

### 2.2 目的と実験概要

実験は、2005年（平成17年）11月上旬に福岡県嘉麻市内の工場で行った。ろ過器は、砂式ろ過方式で、600 mm $\phi$ ×1,800 mm Hの装置（写真-4.2.1と図-4.2.1）を使用した。

実験は、循環系に塩素等消毒剤等を水槽の中の水に投入し、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、採水した。一過式でデータを採取した意図は、ろ過器で捕捉されて、徐々に消毒剤の濃度が希釈するのを防ぐためである。

採水はろ過器手前で採水して、その後120秒後にろ過器後で採



写真-4.2.1 実験室に設置したろ過器

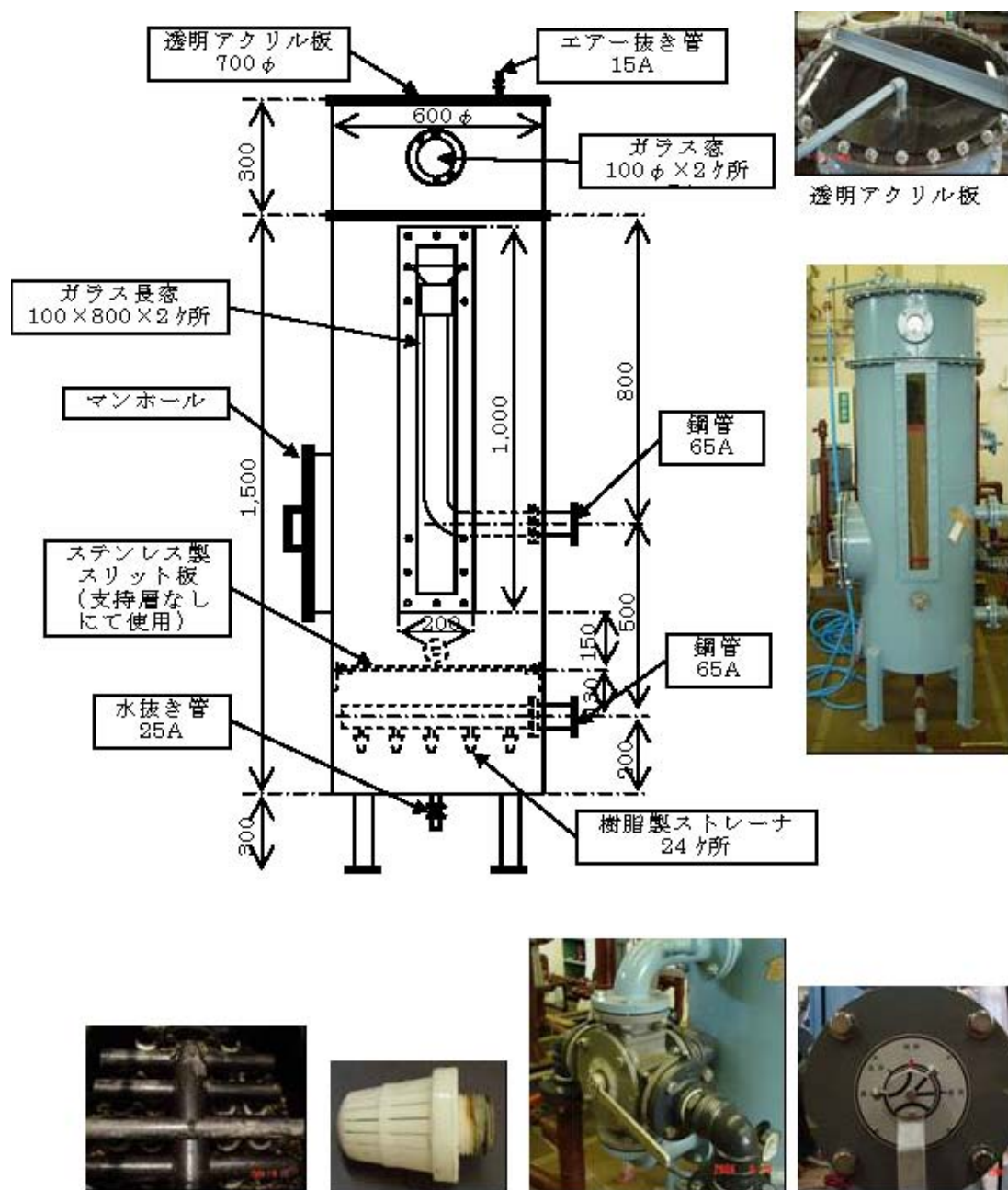


図-4.2.1 ろ過器の立面図と詳細部分の写真

水した。タイムラグを取った意図としては、ろ過器手前を通過した水と、ろ過器後でもほぼ同じ水を採取しようとしたためである。ただし、ろ過器内の外周部と中央部との流速の違いや予想遅れ時間と実際の採水遅れ時間の違い、誤差等もあるために、データにばらつきが生じていることは否めない。

本実験は、消毒剤にトリクロロイソシアヌル酸錠剤を使用した場合と二酸化

塩素を使用した場合の2種類実施した。濁度は研究室に持ち帰って計測したが、遊離残留塩素濃度、結合残留塩素濃度と二酸化塩素濃度は、実験場で採水後、直ちに計測した。遊離残留塩素濃度は、電極式と DPD 試薬による吸光光度式の2方式で計測した。

実験の諸条件は、下記の通りである。

(条件) ろ過器 LV 値 40m/h

水温 約 40°C

室温 トリクロロイソシアヌル酸錠剤による実験時：約 25.5°C

二酸化塩素による実験時：約 23.0°C

湿度 トリクロロイソシアヌル酸錠剤による実験時：約 42%RH

二酸化塩素による実験時：約 32%RH

## 2.3 実験結果

ろ過器前後の水質の変化は、表-4.2.1 と表-4.2.2 である。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。

結合残留塩素濃度は、ろ過器後の方が大きな値になっている例が多く見られる。遊離残留塩素が反応して結合残留塩素に変わったとも推測できる。例えば表-4.2.1 のろ過器手前・150 秒の結合残留塩素濃度は 0.05mg/L であるが、ろ過器後・270 秒の結合残留塩素は 0.20mg/L に上昇している。ところが遊離残留塩素濃度（DPD 吸光光度法）で見ると、ろ過器手前・150 秒では 0.76mg/L であったものが、ろ過器後・270 秒では 0.43mg/L と大きく減少している。総残留塩素濃度で見ると、ろ過器手前・150 秒では 0.81mg/L であったものが、ろ過器後・270 秒では 0.63mg/L となっている。

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

表-4.2.1 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)	一遊離D吸光度法一素(mg/L)	一結合D吸光度法一素(mg/L)	一総D残留光塩素(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	0.07
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	0.11
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%

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。

表-4.2.2 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DPA吸光度法(mg/L)	結合DPA吸光度法(mg/L)	総DPA残留吸光度法(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%

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考えられる。

## 2.4 まとめ

ろ過器での消毒剤の消失は、消毒剤によってことなることがわかった。

トリクロロイソシアヌル酸を用いた塩素の実験では、ろ過器を通過することで遊離残留塩素が結合残留塩素に変化する現象が見られた。

二酸化塩素の実験では、二酸化塩素そのものは、ろ過器を通過しても減少する傾向は見られなかった。

### 3. 気泡浴・超音波浴による消毒剤の消費特性

#### 3.1 はじめに

近年、浴場施設がいたるところに建設され利用されている。しかし浴場施設でレジオネラ属菌の発生によって、大きな事故が起きている。この原因は浴槽の構造に起因することや維持管理に関連することが想定されている。浴槽における消毒剤の減少は、ヒトの入浴による浴槽水の汚濁が最も大きな要因である。

それ以外の要因として、気泡浴槽や超音波浴槽がある。空気を供給することで水中の消毒剤が発散しやすくなり、消毒剤が減少すると考えられる。循環式浴槽であれば消毒剤の濃度を維持するために、ろ過装置の手前で消毒剤の濃度を検出し、その結果、規定濃度レベル以下の濃度になれば消毒剤を添加する方式がある。この消毒剤添加の手法は、検出器の性能、消毒剤を添加する装置の性能や維持管理が十分であれば、衛生的に浴槽が維持される。この他に浴槽の形状や周辺の配管も消毒剤の減少に影響する。

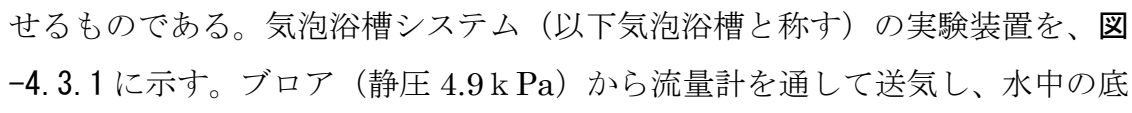
気泡浴槽と超音波浴槽は、打たせと同じくエアロゾルが大量に発生する。このため浴槽水に *Legionella pneumophila* 等のレジオネラ属菌が含まれると、ヒトはレジオネラ症に対して大変脆弱である。欧米では超音波浴槽でのレジオネラ症感染が報告されており、1988年のスコットランドのロッホゴイルヘッドでの17症例、94年4月から7月までにアメリカ合衆国のクルーザーでの50症例、95年夏にデンマークの別荘での15症例、96年秋のアメリカ合衆国の住宅展示での23症例（うち2人死亡）、99年2月のオランダでの花と消費財展示会での226症例（うち18人死亡）、同年11月のベルギーでの見本市での95症例（うち4人死亡）、04年3月のオーストリアの省エネルギー製品展示会での3症例などの集団感染例がある。とくにベルギーとオランダでは、超音波浴が関与した地域流行があるとされている。

水質管理、取り分け消毒剤の適切な濃度管理と維持が欠かせない気泡浴槽と超音波浴槽に着目して、運転時の水中の塩素の減少について水温、水深、空気量および水流による攪拌の影響を実験的に検討した。したがって実施規模で、各実験条件下での塩素を対象とした消毒剤の濃度減少の実態を明らかにすることを目的とした。

## 3.2 実験装置

実験装置は、実物の規模で実施した。浴槽は FRP 製水槽とし、水面積 1 m<sup>2</sup>(1m × 1m)、高さ 1m とした。4 つの側面には断熱材をはり、水槽内の水の保温を施した。さらに水中投げ込み式ヒータを設けて水温の保持を行った。気泡浴槽と超音波浴槽の実験は、同じ浴槽を用いたが、各システムは別々のシステムで実験を行った。

### 3.2.1 気泡浴槽に設けている気泡箱と実験条件

気泡浴槽は、気泡箱にブローで空気を送り、気泡箱から気泡を水中に放散させるものである。気泡浴槽システム（以下気泡浴槽と称す）の実験装置を、に示す。ブロー（静圧 4.9 kPa）から流量計を通して送気し、水中の底に設けた気泡箱にいったん送気する。この気泡箱の上部に直径 2mm の円形（以下 2mm と称す）の穴、または直径 4mm の円形（以下 4mm と称す）の気泡穴の 4 個から水中に空気を放出させて、水槽内を攪拌した。

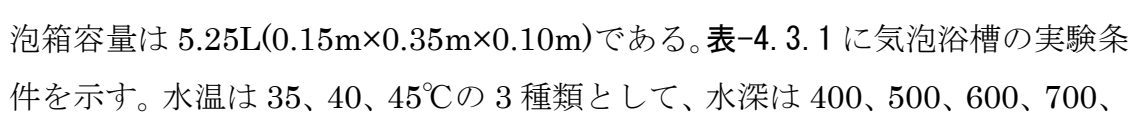
気泡箱を、に示す。この気泡箱を水槽の中心の底部に固定した。気泡箱容量は 5.25L(0.15m×0.35m×0.10m)である。**表-4.3.1**に気泡浴槽の実験条件を示す。水温は 35、40、45℃の 3 種類として、水深は 400、500、600、700、800mm とした。したがって、浴槽水量は 400L、500L、600L、700L、800L の 5 種類となる。気泡箱の穴を通して、ブローから送気された空気を 38L/min と 43L/min で浴槽水内に放出した。

表-4.3.1 気泡浴槽の実験条件

水温 [°C]	水深 [m]	空気量 [L/min]	空気吐出 口径 [mm]	初期濃度 [mg/L]
35, 40, 45	0.4	38, 43	2	0.6
	0.5		2	
	0.6		2	
	0.7		2	
	0.8		4	

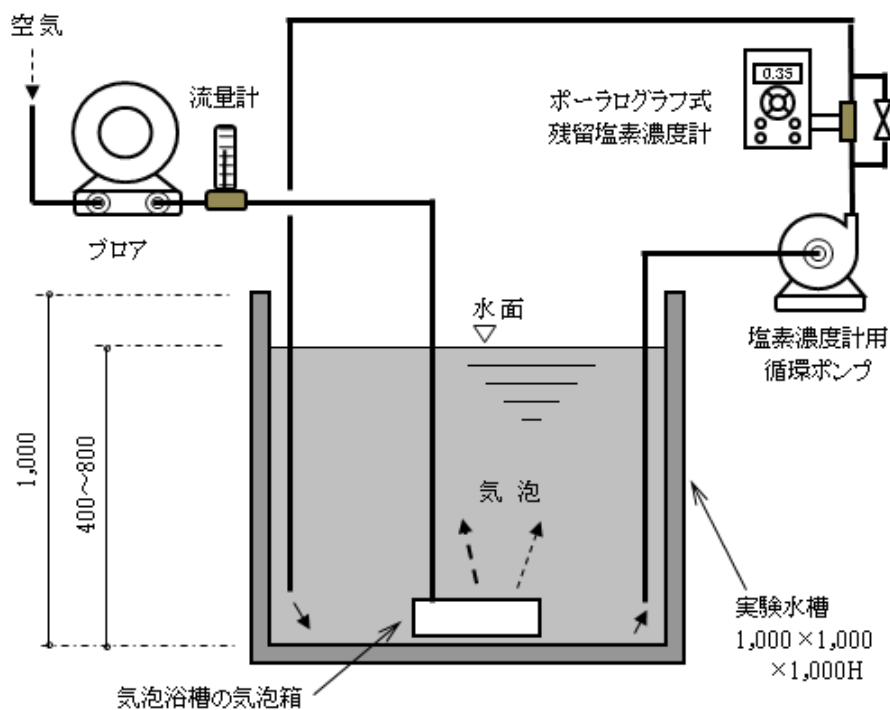


図-4.3.1 気泡浴槽の実験装置 [単位 mm]

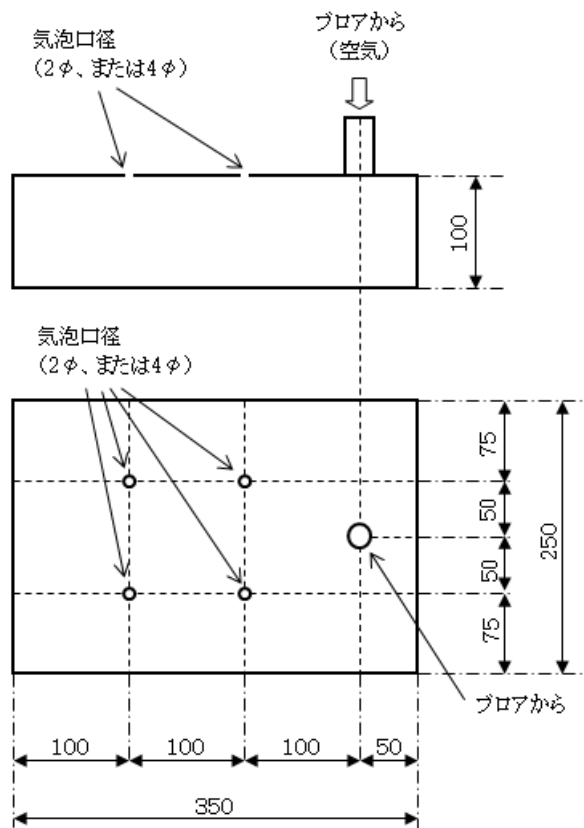


図-4.3.2 気泡浴槽の気泡箱 [単位 mm]

### 3.2.2 超音波浴槽に設けている気泡箱と実験条件

超音波浴槽は、ノズルから水を噴出させると同時に、ノズル部からの誘引空気を吸い込み、空気と水を混合して放出するものである。超音波浴槽システム（以下超音波浴槽と称する）の実験装置を図-4.3.3に示す。ノズルから放出する空気を誘引空気のみとするため、循環ポンプで浴槽水を循環させる循環水中の空気を脱気するための装置（最高圧力 1MPa）を設けた。誘引した空気を水に混合し、水槽内に放出させて、攪拌した。

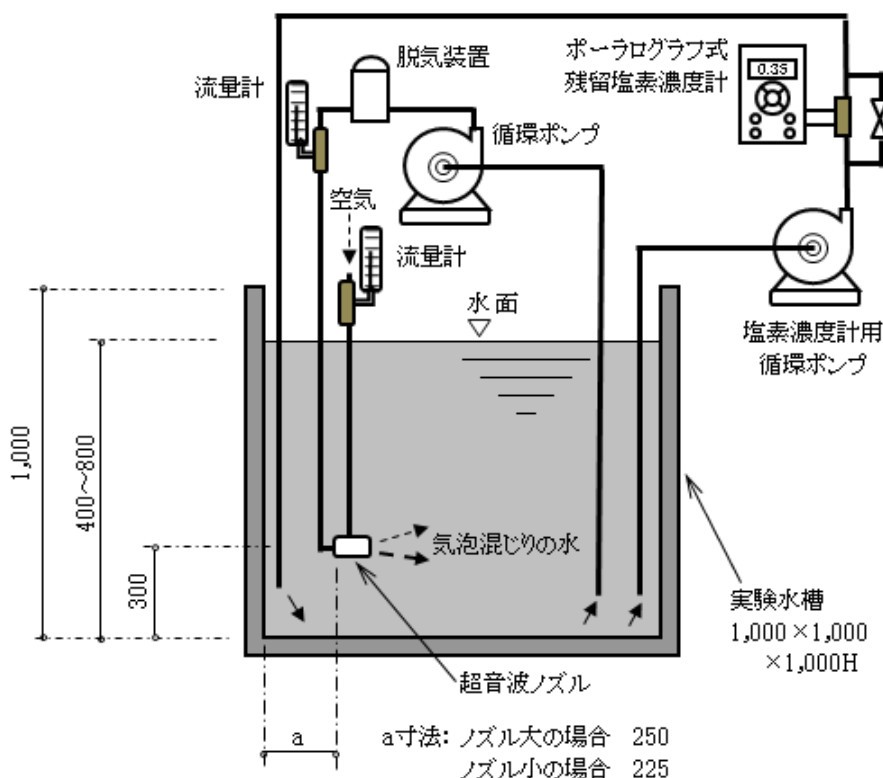


図-4.3.3 超音波浴槽の実験装置 [単位 mm]

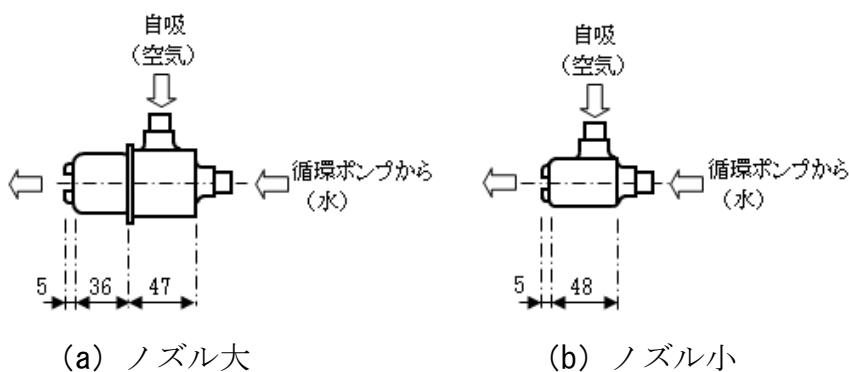


図-4.3.4 超音波浴槽のノズル大・小 [単位 mm]

ノズルの形状は図-4.3.4 に示すとおりで、日東工業(株)製のノズルの大 (ND-38) と小 (NS-23) の 2 種類を使用した。また、超音波浴槽の実験条件を表-4.3.2 に示す。ノズルはノズル部の口径の差異のある 2 種類を用い、各々を「大」と「小」と標記する。

循環ポンプからのノズル装置への入口の口径は「大」は 6mm、「小」は 5mm、吐水口ノズルの口径は「大」は水 18.2mm、「小」は 18.5mm である。循環させながら、同時にノズル部から誘引させた空気と循環水を浴槽内に放出させた。循環水量はノズル「大」では 27L/min、ノズル「小」では 24L/min で、ノズル部で吸い込まれる誘引空気量はノズルの「大」および「小」とも 6 L/min とした。

表-4.3.2 超音波浴槽の実験条件

水温 [°C]	水深 [m]	循環水量 [L/min]	空気量 [L/min]	ノズル の種類	初期濃度 [mg/L]
40	0.4	27	6	大	0.6
	0.5				
	0.6				
	0.7				
	0.8				
	0.4	24		小	
	0.6				
	0.8				

### 3.3 実験の評価方法

気泡浴槽と超音波浴槽とも、実験開始時の初期濃度を、残留塩素濃度で 0.6mg/L とした。この数値は、全国の水道の調査結果から建物に流入する時点の残留塩素濃度の平均が 0.6mg/L であると報告があるために基準とした。残留塩素の調整は仙台市の水道を使用し、0.6mg/L 以上に残留塩素が存在する水道水を用い、気散によって残留塩素濃度を下げて、0.6mg/L になった時点から実験を開始した。

#### 3.3.1 消毒剤の減少の評価

溶存水中物質の気中への発散現象は、水道管路研究センターの調査によって、

式(1)で表示されている。本研究は式(1)で、経過時間と残留塩素濃度の関係の評価を行った。

式中の発散係数を用いて、気泡浴槽と超音波浴槽での塩素の減少について、検討を進めた。

$$y = e^{-kt} \quad \dots \dots (1)$$

$y$  :  $C_t/C_0$  ( $C_0$ :初期濃度[mg/L])

$C_t$ :  $t$  時間後の濃度[mg/L]

$k$  : 発散係数[1/min]

$t$  : 経過時間[min]

### 3.3.2 ヒータおよび残留塩素測定用の循環による残留塩素の減少

浴槽への補給は、給湯器 TE=I で行い、対象とした水温より 1°C 高い水温とするが、水温が低下するため、測定中は水温  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  の範囲でヒータの管理を行う。さらに残留塩素の測定のためにポンプで測定器に浴槽水に循環している。この 2 つの要素が、残留塩素の減少に、どの程度影響しているかを検討した。

実験結果は、表-4.3.3 に示すとおりで、減少する状況を、式(1)で算出した発散係数で表した。水温 35、40、45°C で、水深を 400 から 800mm に変化させた場合、水温が高くなるにつれて発散係数が高くなった。また水深が浅くなるにつれて発散係数が高くなっている。

すなわち、残留塩素測定用の循環ポンプ稼働とヒータによる加熱により、塩素の発散が生じることが明らかとなった。また、(1)の算出式は表-4.3.3 に示すとおり、すべての実験条件で、相関係数が高いために算出式が成立すると考えられる。以後は式(1)に対しての相関は前記で十分として評価を省略する。

さらに、残留塩素の初期濃度 0.6mg/L から 0.2mg/L まで減少する浴槽内の残留塩素を時間当たりの減少量を表-4.3.4 に示した。まず、水中の塩素の減少量[mg] (減少濃度×水量) を算出した。次に残留塩素の初期濃度が 0.6mg/L の条件下で実験を行い、0.2mg/L に達するまでの時間[min]を、すでに算出した発散係数を式(1)に代入して求めた。

上記で求めた 0.2mg/L に達するまでの減少量と時間から時間当たりの減少

表-4.3.3 ヒータと残留塩素測定用の循環による残留塩素の発散係数

水深 [m]	水温[°C]					
	35		40		45	
	発散係数 [1/min]	相関係数	発散係数 [1/min]	相関係数	発散係数 [1/min]	相関係数
0.4			0.0022	0.928		
0.5			0.0016	0.938		
0.6	0.0011	0.960	0.0014	0.932	0.0030	0.997
0.7			0.0010	0.995		
0.8			0.0007	0.927		

表-4.3.4 初期濃度 0.6mg/L から 0.2mg/L までの塩素濃度の時間当たりの減少量 [mg/min]

水深 [m]	水温[°C]		
	35	40	45
0.4		0.646	
0.5		0.408	
0.6	0.240	0.306	0.656
0.7		0.182	
0.8		0.102	

量[mg/min]を算定した。以上の数値は、各実験条件で検討する基本的な補正数値である。

### 3.3.3 遊離残留塩素濃度測定計

遊離残留塩素濃度（以後残留塩素と呼称する）の測定は、(株)タクミナ製 (RM-51) のポーラログラフ式残留塩素濃度計を用いて、連続測定をした。水槽内から検水を 30L/min でポンプ送水させて、その一部をポーラログラフ式残留塩素濃度計に流れる仕組みにした。

## 3.4 気泡浴槽・超音波浴槽の実験結果

### 3.4.1 気泡浴槽



### (1) 全条件の残留塩素減少状況

図-4.3.5は、7種類の実験条件ごとの経過時間と残留塩素濃度の関係である。実験条件は、水温 35℃では水深 600mm、空気吐出口径 2mm、水温 40℃では水深 500 から 800mm、空気吐出口 2mm と 4mm、水温 45℃では水深 600mm、空気吐出口径 2mm として残留塩素濃度を示した。

水温 35℃が最も 0.2mg/L に到達する時間が遅く、次に 40℃、最も速い条件が 45℃である。水深 600mm、空気量 38L/min の条件下では、0.2mg/L に達する時間は水温 35℃で 440 分、40℃で 162 分、45℃で 84 分である。

以後の評価は、ヒータと残留塩素測定用の循環による残留塩素の発散現象を除いた。気泡浴槽と超音波浴槽のみの発散現象を評価するため、表-4.3.4 に示した値で補正した。

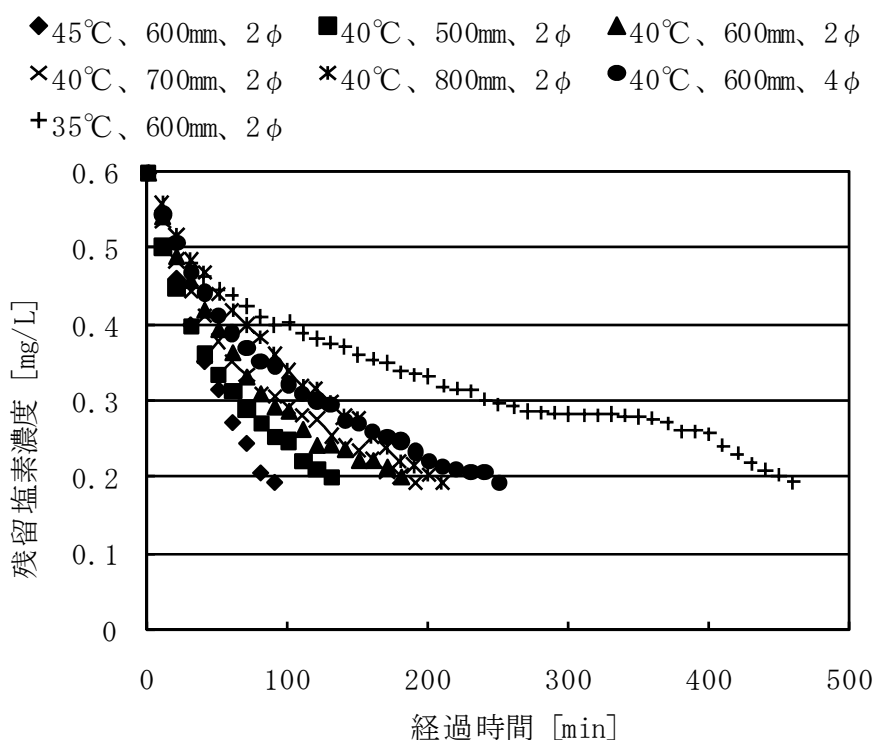


図-4.3.5 残留塩素濃度と経過時間の関係（気泡浴槽）

### (2) 水温の影響

図-4.3.6は、水温と発散係数の関係である。水深 600mm、空気吐出口径 2mm、空気量 38L/min を一定とした例で、水温が高くなると、発散が速くなり発散係

数が高い値となっている。

発散係数は 35℃で 0.0017[1/min]、40℃で 0.0064[1/min]、45℃で 0.0101[1/min]となり、直線式の関係が認められる。1 分間の水温当たりの発散係数は、0.0008[1/ (min・℃) ]であった。

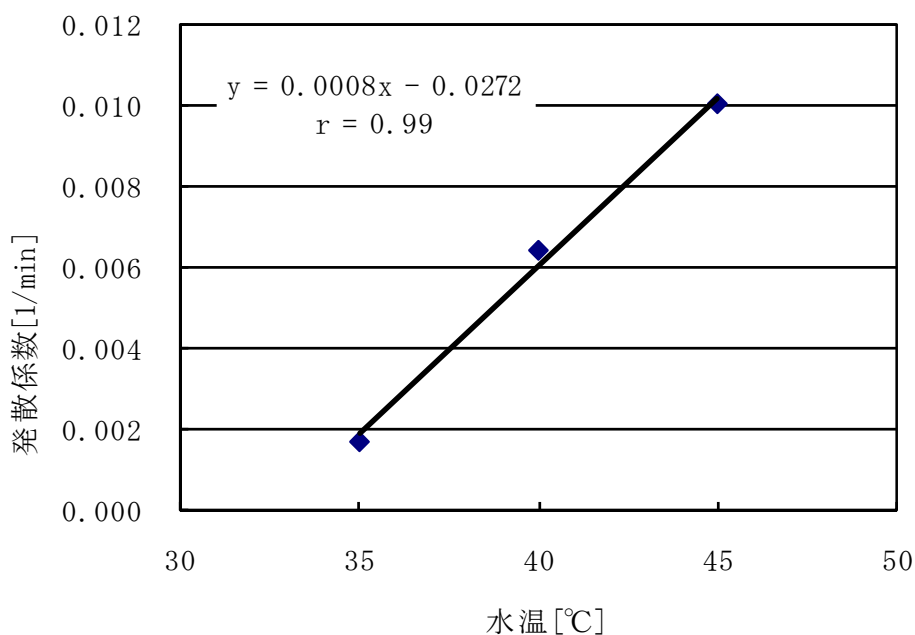


図-4.3.6 発散係数と水温の関係 (気泡浴槽)

### (3) 空気吐出口径の差異による影響

図-4.3.7は、水温 40℃、2mm では空気量 38L/min、4mm では空気量 43L/min として、水深と空気吐出口径を変化させた際の発散係数の結果である。空気吐出口径の径 2mm では、発散係数が 0.0064[ 1/min]となり、空気吐出口径の径 4mm では、発散係数が 0.0036[ 1/min]となった。

空気吐出口径が小さい方が浮上する気泡の径が小さくなるので、水中の塩素の発散を促進させていることが認められる。2mm は 4mm に比べて、発散係数が 1.8 倍高くなっている。

### (4) 水深による影響 [空気吐出口径 2 mm]

図-4.3.8 は、水深と発散係数の関係である。水温 35、40、45℃、空気量 38L/min の条件下で、水深が深くなるにしたがい、発散係数が低くなった。空

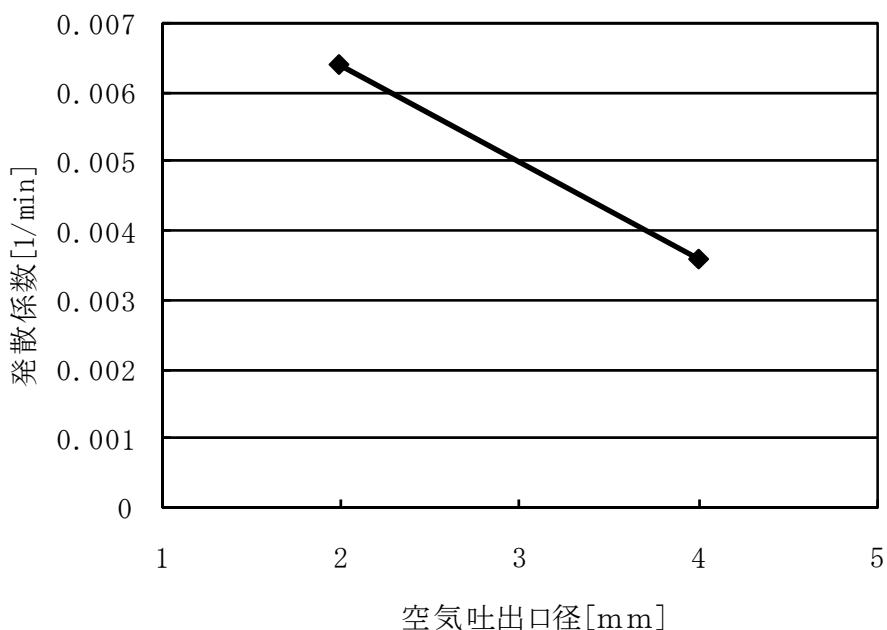


図-4.3.7 発散係数と空気吐出口の関係 (気泡浴槽)

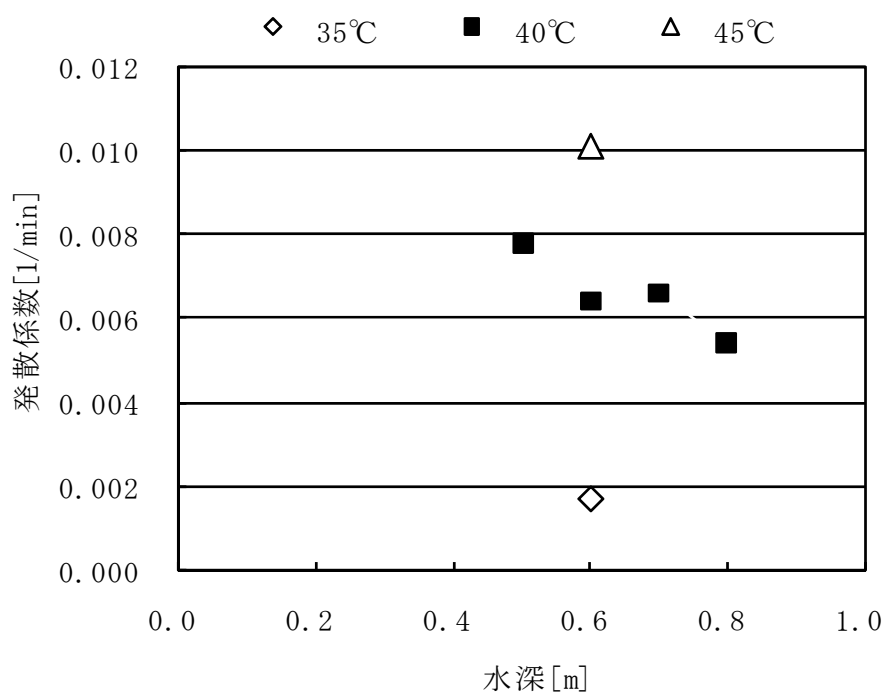


図-4.3.8 発散係数と水深の関係(気泡浴槽)

気発散面に比べて水面積が同じか同等の条件では水深が深くなると発散が促進される。しかし、この実験では空気発散面を気泡箱の表面積とすると、この面積と水面積の比が約 1/11 の条件だと、水深が深くなっても発散係数が高くなることはない。このことは吐出する空気はすべて発散に利用されていないため、

水の攪拌にも利用されているためだと考えられる。

40℃の水深 500mm の発散係数は、水深 800mm の発散係数に比べて 1.6 倍高くなっている。水深 600mm では、35℃の発散係数に比べて、40℃の発散係数が 4.6 倍、45℃の発散係数が 7.2 倍高くなっている。

### (5) 空気量と水量の比による影響[空気吐出口径 2 mm]

図-4.3.9 は、水温 35、40、45℃、空気吐出口径 2mm の条件下で、空気量[m<sup>3</sup>/h](A) (1 時間当たりの空気量m<sup>3</sup>) と浴槽水量 [m<sup>3</sup>] (W) の比 (A/W) と発散係数の関係である。空気量が 38L/min、水深が 400、500、600、700、800mm で組み合わせた実験結果をまとめたものである。

例えば、A/W3.8 の場合は、1 時間に浴槽水量の 3.8 倍の空気を送気する空気量を示している。A/W と発散係数は、比例関係が認められる。さらに水温 40℃で、水深の影響をみると、空気量 (A) が一定条件下で、A/W が大きくなると発散係数が高くなっている。すなわち、水深が低くなると発散係数が大きくなることがわかる。

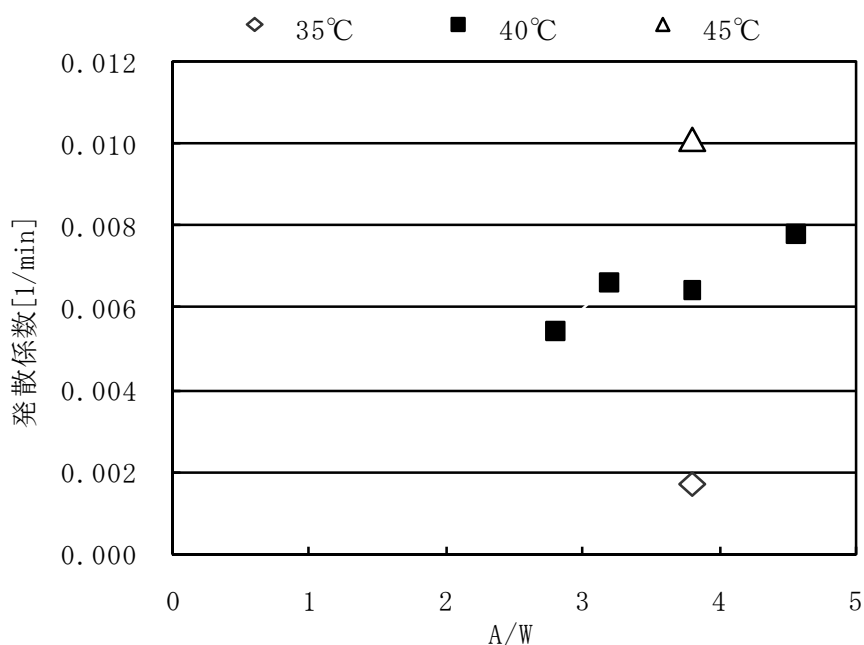


図-4.3.9 発散係数と A/W の関係(気泡浴槽)

### 3.4.2 超音波浴槽

#### (1) 全条件の残留塩素減少状況

図-4.3.10は、超音波浴槽のノズルの大小、水深400mmから800mm、水温40℃の条件下で、発散への影響を示したものである。0.6mg/Lから0.2mg/Lに達する最長時間は、ノズル小、水深800mmで230分、最短時間はノズル大、水深400mmで160分であった。

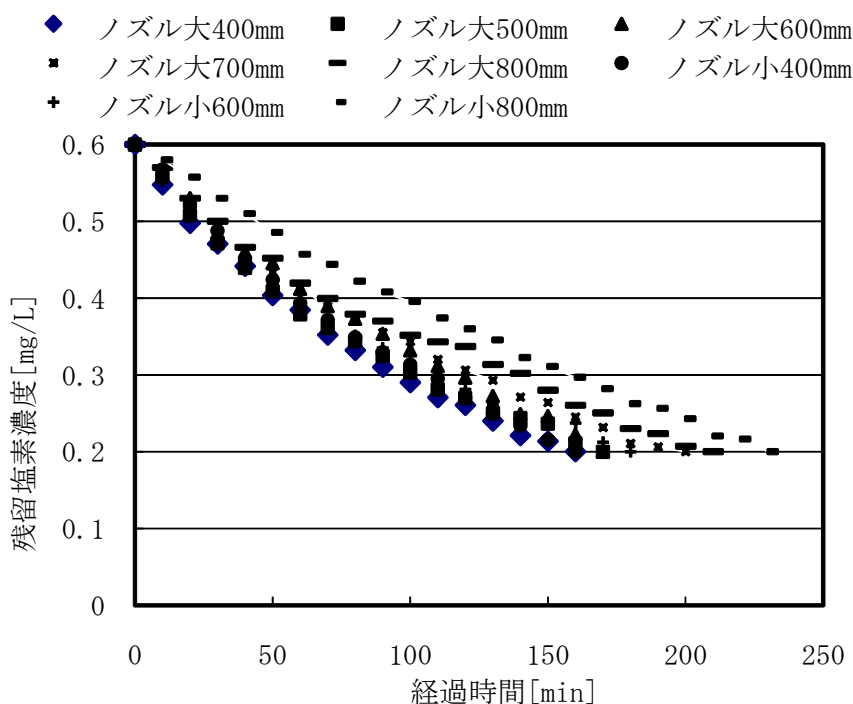


図-4.3.10 残留塩素と経過時間の関係(超音波浴槽)

#### (2) 水深による影響

図-4.3.11は、水深と発散係数の関係である。ノズルの種類による水循環量は、ノズル大(27L/min)と小(24L/min)に3L/minの差がある。ノズル大はノズル小に比べて水深400mmで、発散係数が0.0049[1/min]から0.0047[1/min]に8.1%減少、水深600mmで発散係数が0.0047[1/min]から0.0049[1/min]に4.3%増加、水深800mmでは発散係数が0.0045[1/min]から0.0038[1/min]に15.5%減少している。

ノズル大と小は、水深が大きくなるにしたがい若干発散係数が減少している。

このことは気泡浴槽と同様に、ノズルから吐水する循環水量が水面積に比べて少ないため、発散にすべて利用されずに、水の攪拌にも利用されているため、水深が深くなっても発散が多くなる理由であると考えられる。

### (3) 空気量と水量の比による影響

図-4.3.12はノズル大、ノズル小の誘引空気量(A) (1時間当たりの空気量 $m^3$ )と浴槽水量(W) ( $m^3$ )の比(A/W)と発散係数の関係である。誘引空気量が6L/min、水深が400、500、600、700、800mmで組み合わせた実験結果をまとめたものである。

例えば、水深500mm、ノズル大の条件下では、循環水量は浴槽水量に対して1時間当たり3.24倍の循環量で、空気量は浴槽水量に対して1時間当たり0.72倍の空気量となる。図-4.3.11と同様の傾向となった。

## 3.5 時間当たりの残留塩素の減少量

これまで気泡浴槽と超音波浴槽とも、気泡と超音波のみの減少量を算出するため、ヒータと残留塩素測定用の循環による残留塩素の発散の影響を除いた発散係数を示してきた。また、ここでも気泡と超音波のみの時間当たりの減少量[mg/min]を算出する。

時間当たりの減少量と水深の関係を、気泡浴槽は図-4.3.13に、超音波浴槽は図-4.3.14に示した。気泡浴槽は、水温40°C、空気吐出径2mmだと、水深との関係はなく、ほとんど変化がみられない。空気吐出口径4mmでは、2mmに比べて時間当たりの減少量が低くなり、さらに水温が高くなると時間当たりの減少量が増加している。

超音波浴槽は、ノズルの大小とも水深に比例して減少量が増加している。

ヒトが入浴していない条件での浴槽自体の減少量が明らかになった。この数値を活用することを考えた場合、例えば1日当たりの塩素の添加量が推定できるために、維持管理の塩素添加量がより利用し易いと考えている。

## 3.6 まとめ

気泡浴や超音波浴で消毒剤が発散に影響する要因は、水温と水の攪拌方法、

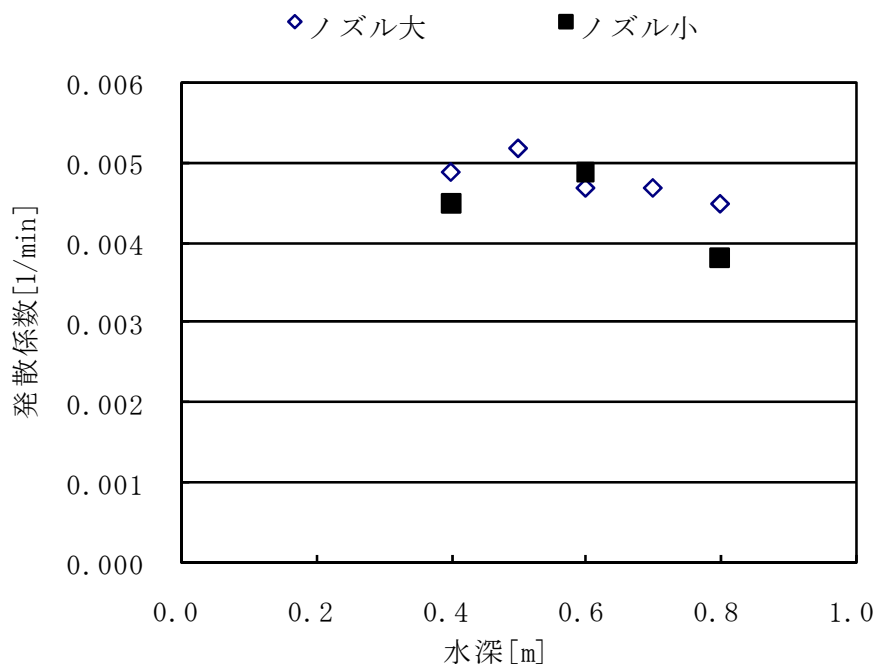


図-4.3.11 発散係数と水深の関係（超音波浴槽）

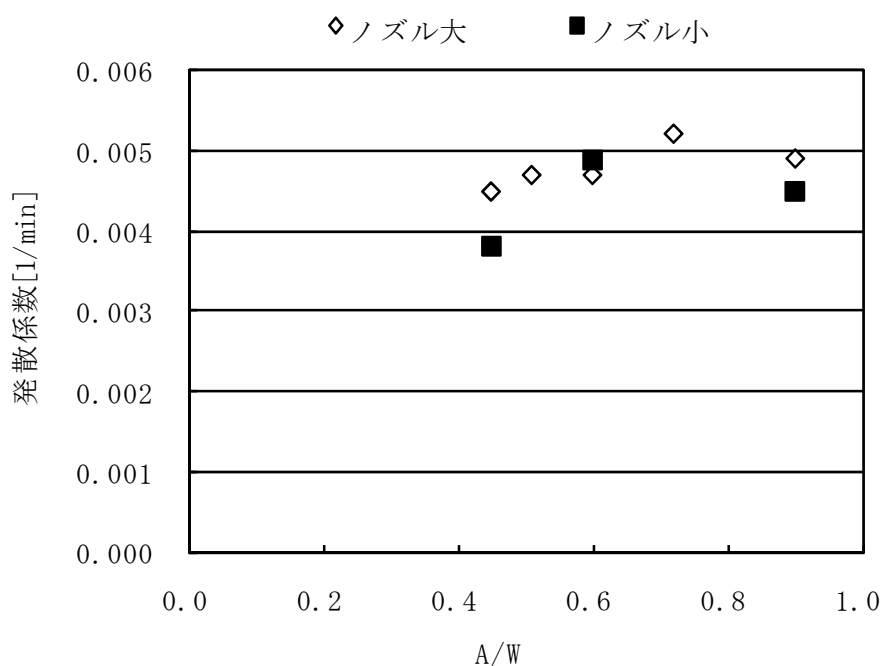


図-4.3.12 発散係数と A/W の関係（超音波浴槽）

水深であった。水温が高くなると発散が多くなることがわかった。

気泡浴槽では吐出口径が細くなると水中の気泡が細くなるので、発散を促進することが明らかとなった。実験に用いたノズル口径の差では発散に差異はみられなかった。

対象とした実物大の気泡浴槽と超音波浴槽の塩素の発散は同程度であったが、

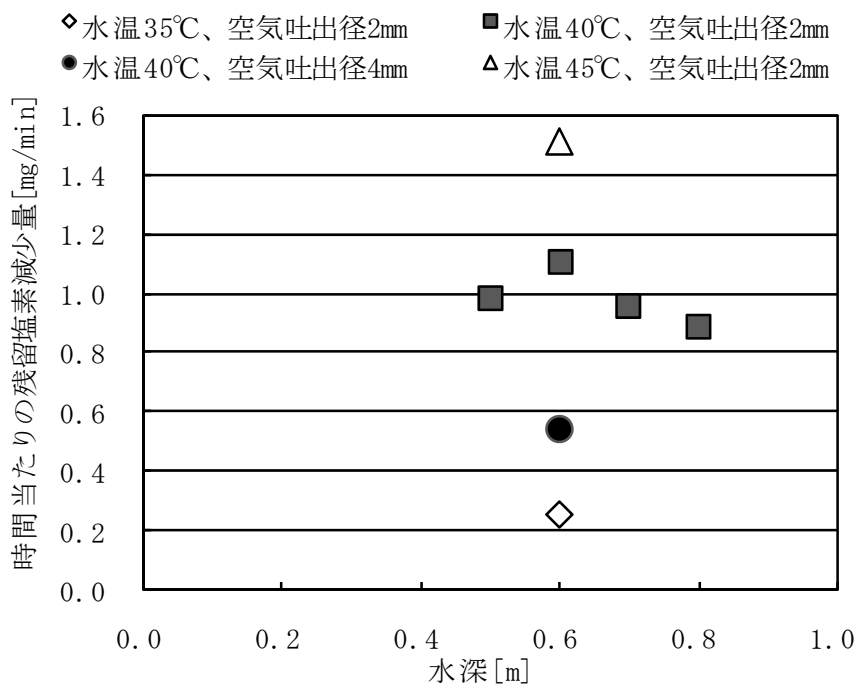


図-4.3.13 時間当たりの残留塩素の減少量 (気泡浴槽)

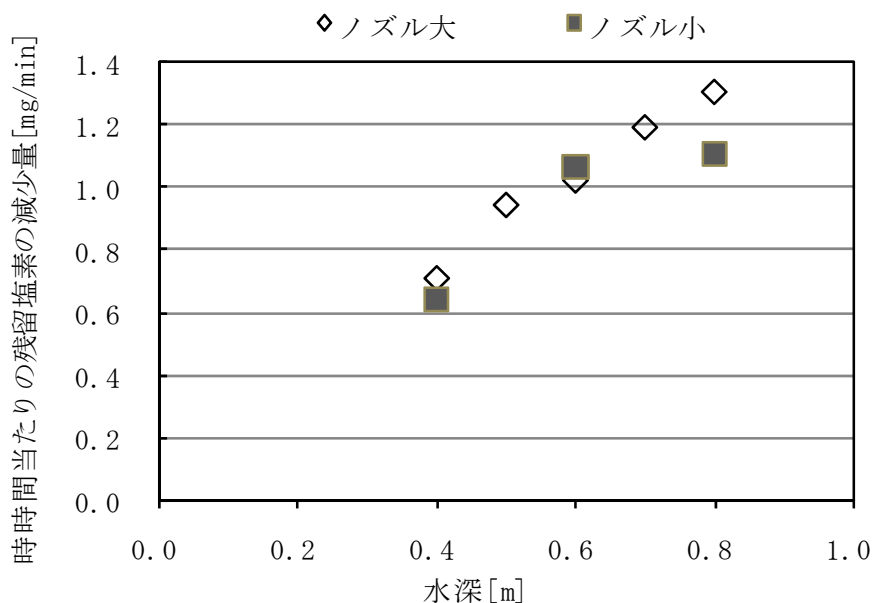


図-4.3.14 時間当たりの残留塩素の減少量 (超音波浴槽)

消毒剤の減少は気泡浴槽が超音波浴槽に比べて、やや速かった。

残留塩素の初期濃度を 0.6mg/L とすれば、浴槽内の残留塩素の基準濃度 0.2mg/L までに発散する時間と塩素の発散量が明らかとなった。このことにより維持管理上塩素の添加量の推定が可能となった。



## 4. 入浴による消毒剤の消費特性

### 4.1 はじめに

本実験は、全裸での入浴による消毒剤の消費を、次亜塩素酸ナトリウム、二酸化塩素と次亜臭素酸のBCDMH（ブロモクロロジメチルヒダントイン）の3種類で測定した。さらに次亜塩素酸ナトリウムは、身体の洗浄状態の違いを実験した。実験は、本章「5. 入浴による浴槽水の汚濁と必要補給水量」のデータも一緒に採取した。

本項は、2005年度の(社)空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集『浴場施設におけるレジオネラ対策に関する研究(その4)、入浴による水質の変化』<sup>2)</sup>、(社)空気調和・衛生工学会 浴場施設におけるレジオネラ対策小委員会の『入浴による水質変化の実験,浴場施設におけるレジオネラ対策指針のための調査・研究』<sup>3)</sup>と(社)空気調和・衛生工学会論文集No.114(2006年9月)掲載の『入浴の行為による浴槽水の汚濁原単位及び消毒剤の減少に関する研究』<sup>4)</sup>を参考に執筆した。

### 4.2 予備実験

本実験を進めるに当たり、塩素消失量の概略を把握するために身体を洗わずに入浴する予備実験を行った。入浴被験者は、女子が日本女子大学の学生、男子は空気調和・衛生工学会 浴場施設におけるレジオネラ対策小委員会の委員で、入浴時間は約5分間とした。

実験結果は表-4.4.1である。女子(F1~F5)では、同じ浴槽水に連続して入浴したために3人目以降(F3~F5)の入浴前の遊離残留塩素濃度(初期遊離残留塩素濃度)が低くなった。このために入浴前の遊離残留塩素濃度が低い値となったF3~F5のデータは有効なデータとして、扱うことができなかった。よって、F1とF2の被験者のみのデータも提示した。遊離残留塩素濃度が低い場合、有効なデータ採取ができなかったことを踏まえ、本実験では入浴者毎に換水することにした。

遊離残留塩素減少値と減少量は、F1~F2の女子被験者とM1~M3の男子被験者の結果は、同じ傾向であった。遊離残留塩素減少率と体表面積当り遊離

表-4.4.1 予備入浴実験での水質変化

被験者 F:女子 M:男子	身体データ			遊離残留塩素濃度変化					
	体重 kg	身長 cm	体表面積 (※1) m <sup>2</sup>	入浴前 mg/L	入浴後 mg/L	減少率 %	減少値 mg/L	減少量 (※2) mg	体表面積当り 減少量 mg/m <sup>2</sup>
F1	51.0	160.0	1.51	1.03	0.49	52.4	0.54	75.60	49.94
F2	52.0	165.0	1.56	0.49	0.09	81.6	0.40	56.00	35.88
F3	50.0	158.0	1.49	0.09	0.11	-22.2	-0.02	-2.80	-1.88
F4	46.0	163.0	1.47	0.11	0.08	27.3	0.03	4.20	2.86
F5	53.5	165.0	1.58	0.08	0.06	25.0	0.02	2.80	1.77
M1	78.0	175.0	1.94	0.84	0.11	86.9	0.73	102.20	52.81
M2	69.0	178.0	1.86	0.92	0.56	39.1	0.36	50.40	27.10
M3	78.0	177.0	1.95	0.74	0.42	43.2	0.32	44.80	22.96
女子全員平均	50.5	162.2	1.52	-	-	32.8	0.19	27.16	17.71
女子F1・F2平均	51.5	162.5	1.54	-	-	67.0	0.47	65.80	42.91
男子平均	75.0	176.7	1.92	-	-	56.4	0.47	65.80	34.29
全体平均	59.7	167.6	1.67	-	-	41.7	0.30	41.65	23.93
F1～F2,M1～M3平均	65.6	171.0	1.76	-	-	60.7	0.47	65.80	37.74

※1 体表面積は、下記のDuBoisの式で求めた。

$$Sh = 0.007184 \times Wh^{0.425} \times Hh^{0.725}$$

Sh: 体表面積 m<sup>2</sup>

Wh: 体重 kg

Hh: 身長 cm

・F1～F5は連続入浴、

M1～M3は1人ずつ換水入浴。

・試験は、03年7月28日に行った。

・全く身体を洗わないで、入浴した。

・入浴時間は、約5分間。

※2 浴槽容量は、140Lとした。

残留塩素減少量は、女子被験者F1～F2の方が、男子被験者M1～M3と比べて大きい値となった。本予備実験では、女子被験者の方が男子被験者に比べて、遊離残留塩素消費に関わるアンモニア性窒素等が多いと推測できる。なお、本予備試験では、他の水質項目は測定しなかった。

### 4.3 本実験の方法と条件

遊離残留塩素濃度は、入浴前と入浴後のデータを採取した。遊離残留塩素濃度の測定はD社製ポーラログラフ式検出器、二酸化塩素濃度はWG社の簡易比

色式デジタル検出器、次亜臭素酸の BCDMH (ブロモクロロジメチルヒダントイン) は遊離残留塩素濃度を測定することによって表示した。

残留塩素に関する消毒は、仙台市の市水を用いて、塩素の添加は行っていない。二酸化塩素は、G 社の二酸化塩素溶液 1000mg/L を希釈して実験に使用した。次亜臭素酸系の薬剤は BCDMH (ブロモクロロジメチルヒダントイン) とし、G 社の有効塩素 27%、有効臭素 61%の顆粒状を実験に使用した。二酸化塩素の純度は、たとえば、二酸化塩素が 0.13mg/L の時、 $\text{ClO}_2$  は 0.047mg/L、 $\text{ClO}_3^-$  は 0.059gm/L、Cl イオンは 2.16mg/L の溶液であった。

実験は、2004 年 (平成 16 年) 7 月～10 月までの間行った。東北文化学園大学 科学技術学部 環境計画工学科 (現・人間環境デザイン学科) の水環境実験室にユニットバスとガス瞬間湯沸器等 (写真-4.4.1～写真-4.4.2) を設置した。入浴被験者は、東北文化学園大学の学生等で、年齢 22～24 歳である。

入浴時の塩素系浴槽水消毒剤と身体の汚れの状態を組み合わせ、実験を進めた。塩素系浴槽水消毒剤は、次亜塩素酸ナトリウム、臭素酸系の BCDMH (ブロモクロロジメチルヒダントイン) と二酸化塩素とした。身体の汚れの状態は、液体洗剤を使用し身体を洗った場合、シャワーの湯のみで洗った場合と一切洗わない 3 つの条件とし、次亜塩素酸ナトリウムのみ身体洗浄を 3 条件で行った。BCDMH (ブロモクロロジメチルヒダントイン) と二酸化塩素は、シャワーの



写真-4.4.1 実験に使用したユニットバスの外観 (右部分は脱衣コーナー)



写真-4.4.2 実験に使用した湯沸器

みで洗った条件とした。

実験条件と入浴被験者数は、表-4.4.2 の通りである。なお体表面積は、表-4.4.1 の実験同様 Du Bois の式で求めた。被験者の体表面積のデータを表-4.4.3 に示す。

$$\text{体表面積 } Sh[m^2] = 0.007184 \times Wh^{0.425} \times Hh^{0.725} \dots (\text{Du Bois の式})$$

ここに

Wh : 体重[kg]

Hh : 身長[cm]

使用した浴槽材質は FRP 製で、満水で約 210L、入浴時水量を約 150L とした。実験結果は、実際の浴槽容量に水質濃度を乗じて、絶対値として評価した。

実験の手順は、次の通りである。水質以外のデータの採取に併せて、使用水量も計測している。

- ① 浴槽に湯を張る (浴槽水量の測定)
- ② 初期値データ採取のための採水を行う
- ③ 初期値の遊離残留塩素濃度を測る
- ④ 身体を洗うなどして、入浴する (洗う時間、入浴時間、洗剤量)
- ⑤ 終了時の遊離残留塩素濃度を測る
- ⑥ 終了時のデータ採取のための採水を行う
- ⑦ 浴槽水を排水して、浴槽内を洗浄する
- ⑧ まとめて各種水質データを分析する

(本章「5. 入浴による浴槽水の汚濁と必要補給水量」のデータ)

表-4.4.2 本入浴実験での水質変化の実験条件と被験者数

表内の数値は実験毎の被験者数

入浴前の身体洗浄の状況		液体石鹼 使用し洗浄		シャワー のみで洗浄		洗浄なし	
		男子	女子	男子	女子	男子	女子
使用 薬 剤 名	塩素 (次亜塩素酸ナトリウム)	20人	20人	5人	5人	5人	5人
	二酸化塩素			5人	5人	5人	5人
	BCDMH(プロモクロロ ジメチルヒダントイン)			5人			

表-4.4.3 本入浴実験での条件ごとの体表面積

		最大[m <sup>2</sup> ]	最小[m <sup>2</sup> ]	平均[m <sup>2</sup> ]	被験者数[人]
塩素	洗剤洗い男子	1.85	1.45	1.68	20
	洗剤洗い女子	1.76	1.42	1.58	20
	お湯洗い男子	1.83	1.63	1.70	5
	お湯洗い女子	1.78	1.42	1.57	5
	洗わず男子	1.69	1.61	1.65	5
	洗わず女子	1.67	1.42	1.52	5
二酸化塩素	お湯洗い男子	1.83	1.60	1.69	5
	お湯洗い女子	1.76	1.54	1.64	5
	洗わず男子	1.83	1.66	1.73	5
	洗わず女子	1.76	1.54	1.64	5
次亜臭素酸	お湯洗い男子	1.67	1.44	1.59	5

体表面積は、下記のDuBoisの式で求めた。

$$Sh = 0.007184 \times Wh^{0.425} \times Hh^{0.725}$$

Sh: 体表面積 m<sup>2</sup>

Wh: 体重 kg

Hh: 身長 cm

入浴時に被験者が浴槽に入る時点、出る時点で水面を動かすことによって、水中の塩素が気中に発散する現象の調査は、被験者がすべて同じような行為をするとして検討対象から除き、これらの行為を含めて残留塩素の減少の実験を進めた。

## 4.4 本実験のデータと解析

### 4.4.1 浴槽の初期条件

#### (1) 洗剤洗い

残留塩素濃度は男子では平均値 0.44mg/L、水温は平均値 40.4℃、女子では平均値 0.75mg/L、水温は平均値 39.7℃であった。

#### (2) お湯洗い

残留塩素濃度は男子では平均値 0.46mg/L、水温は平均値 40.9℃、女子では平均値 0.87mg/L、水温は平均値 40.4℃であった。

二酸化塩素濃度は男子では平均値 0.38mg/L、水温は平均値 40.7℃、女子で

は平均値 0.62mg/L、水温は平均値 40.3°Cであった。

次亜臭素酸濃度は男子では残留塩素換算値として平均値 0.45mg/L、水温は 40.2°Cであった。

### (3) 洗わず

残留塩素濃度は男子では平均値 0.51mg/L、水温は平均値 41.2°C、女子では平均値 0.77mg/L、水温は平均値 41.0°Cであった。

二酸化塩素濃度は男子では平均値 0.54mg/L、水温は平均値 40.6°C、女子では平均値 0.60mg/L、水温は平均値 40.1°Cであった。

## 4.4.2 各消毒剤の減少率

各消毒剤について、男女の消毒剤の減少率を表-4.4.4 に示す。

### (1) 塩素

残留塩素の減少率は男子では洗剤洗いが 52.9%、お湯洗いが 64.0%、洗わずが 89.0%、女子では洗剤洗いが 30.2%、お湯洗いが 52.5%、洗わずが 81.9% である。

洗剤を使用した身体の洗い方が他の洗い方に比べて残留塩素の減少率の範囲が最も広く、このことは洗い方に個人差があり、さらにこの個人差が残留塩素の減少率に大きく影響することが明らかである。また、女子のお湯洗いも身体の洗い方で残留塩素の減少率の範囲が広く現れている。

### (2) 二酸化塩素

二酸化塩素の減少率は男子ではお湯洗い 50.6%、洗わずが 24.8%、女子ではお湯洗いが 26.8%、洗わずが 42.0% である。二酸化塩素を使用した入浴の男子の二酸化塩素減少率が、お湯洗いと洗わずに入浴した場合には塩素の傾向とは異なった数値となった。

### (3) BCDMH (ブロモクロロジメチルヒダントイン)

表-4.4.4 本入浴実験での消毒剤の変化

		塩 素 (次亜塩素酸ナトリウム)			二酸化塩素		次亜臭素酸 (BCDMH)
		洗剤洗い	お湯洗い	洗わず	お湯洗い	洗わず	お湯洗い
男子	平均値[%]	52.9	64.0	89.0	50.6	24.8	81.3
	最大値[%]	95.2	78.3	97.9	65.0	39.6	97.1
	最小値[%]	20.7	54.5	74.4	37.9	10.2	72.2
	試料数[人]	20	5	5	5	5	5
女子	平均値[%]	30.2	52.5	81.9	26.8	42.0	
	最大値[%]	68.2	93.3	97.2	43.8	59.7	
	最小値[%]	5.6	22.2	58.5	13.5	19.3	
	試料数[人]	20	5	5	5	5	

次亜臭素酸 BCDMH の減少率は男子のみについてお湯洗いが 81.3%であった。

以上の消毒剤を同じ条件で比較すると、お湯洗いの場合、二酸化塩素<塩素<次亜臭素酸の順に減少量が多くなっている。

## 4.5 まとめ

二酸化塩素での男子のデータでは異なった傾向が見られたが、平均値で判断すると、洗剤洗いくお湯洗いく洗わずの順に減少量が多くなる傾向が見られた。

また消毒剤の違いをお湯洗いで見ると、二酸化塩素<塩素<次亜臭素酸の順に減少量が多くなった。

## 5. 入浴による浴槽水の汚濁と必要補給水量

### 5.1 はじめに

本項のデータは、本章「4. 入浴による消毒剤の消費特性」のデータ採取の際に、一緒に採った。汚濁は、浴槽水の換水の水量や頻度、補給水量に影響を与える。汚濁量の定量化は、ろ過による除去や補給水による希釈の基礎データとなる。

換水や補給水が足りないと、有機物が増えてレジオネラ症に脆弱になるとともに、浴槽水の汚れとこれに伴う臭気で不快になる。汚濁量の定量化は、安全性、衛生性と快適性には欠くことができない。

本項も本章「4. 入浴による消毒剤の消費特性」同様、2005年度の(社)空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集『浴場施設におけるレジオネラ対策に関する研究(その4)、入浴による水質の変化』<sup>2)</sup>、(社)空気調和・衛生工学会 浴場施設におけるレジオネラ対策小委員会の『入浴による水質変化の実験,浴場施設におけるレジオネラ対策指針のための調査・研究』<sup>3)</sup>と(社)空気調和・衛生工学会論文集No.114(2006年9月)に掲載の『入浴の行為による浴槽水の汚濁原単位及び消毒剤の減少に関する研究』<sup>4)</sup>を参考に執筆した。

本項では、汚濁量の特定の他に、汚濁量の増加と遊離残留塩素濃度の減少を解析した。また汚濁量に基づき、必要補給水量の試算を行った。

### 5.2 実験の方法と条件

水質検査の調査項目は、つぎの通りで入浴前と入浴後のデータを採取した。

- ① 遊離残留塩素濃度  
・・・本章「4. 入浴による消毒剤の消費特性」に関係
- ② pH
- ③ TOC
- ④ 過マンガン酸カリウム消費量
- ⑤ 電気伝導率
- ⑥ 濁度
- ⑦ 色度



- ⑧ 塩素イオン
- ⑨ リン酸イオン
- ⑩ 硝酸イオン
- ⑪ 硫酸イオン
- ⑫ においの測定

ほとんどの測定項目は JIS K 0102 に基づいて分析した。

実験の手順や条件は、本章「4. 入浴による消毒剤の消費特性」に記載した通りである。

## 5.3 実験のデータと解析

### 5.3.1 汚濁原単位

#### (1) 過マンガン酸カリウム消費量

表-4.5.1 に、入浴による過マンガン酸カリウム消費量の原単位について、男子と女子の消毒剤、入浴方法の違いで差異を示した。汚濁原単位は、浴槽水量に各水質項目の入浴前後の濃度差を乗じて算出した。

##### a. 塩素の場合

男子では過マンガン酸カリウム消費量は、洗剤洗いが 16.0～432.0 mg/人、お湯洗いが 4.1～241.6mg/人、洗わずが 75.5～456.0mg/人の範囲となっている。女子では過マンガン酸カリウム消費量は、洗剤洗いが 0～288.0 mg/人、お湯洗いが 14.3～296.0mg/人、洗わずが 98.2～408.0mg/人の範囲となっている。

女子の洗剤洗いの最小値が 0 になっていることは、入浴前に比べて入浴後の数値が変わらないことは入浴前によく身体を洗って入浴したと思われる。

##### b. 二酸化塩素の場合

男子では過マンガン酸カリウム消費量は、お湯洗いが 35.2～275.2mg/人、洗わずが 60.8～208.0mg/人の範囲となっている。女子では過マンガン酸カリウム消費量は、お湯洗いが 35.2～155.2mg/人、洗わずが 161.6～363.2mg/人の範囲となっている。

入浴時間が長くなると汚染が増加していく傾向がやや認められる。したがって、入浴時間を一定とした調査を行わないと比較できないことが認められた。

表-4.5.1 入浴による過マンガン酸カリウム消費量の汚濁量原単位

		塩 素 (次亜塩素酸ナトリウム)			二酸化塩素		次亜臭素酸 (BCDMH)
		洗剤洗い	お湯洗い	洗わず	お湯洗い	洗わず	お湯洗い
男子	平均値[mg/人]	160.0	174.3	260.0	107.9	123.2	120.6
	最大値[mg/人]	432.0	241.6	436.0	275.2	208.0	213.9
	最小値[mg/人]	16.0	74.1	75.5	35.2	60.8	7.9
	試料数[人]	20	5	5	5	5	5
女子	平均値[mg/人]	112.0	188.8	232.6	89.6	232.0	
	最大値[mg/人]	155.2	296.0	408.0	155.2	363.2	
	最小値[mg/人]	0.0	14.3	98.2	35.2	161.6	
	試料数[人]	20	5	5	5	5	

(2) TOC

表-4.5.2 に、入浴による TOC の原単位について、男子と女子の消毒剤、入浴方法の違いで差異を示した。

a. 塩素の場合

男子では TOC は、洗剤洗いが 0~212.8 mg/人、お湯洗いが 10.8~72.9mg/人、洗わずが 48.6~557.6mg/人の範囲となっている。女子では TOC は、洗剤洗いが 1.6~144.0 mg/人、お湯洗いが 8.1~87.8mg/人、洗わずが 27.0~189.0mg/人の範囲となっている。男女ともお湯洗く洗剤洗いく洗わずの順に TOC 濃度が高くなっている。

b. 二酸化塩素の場合

男子では TOC 濃度は、お湯洗いが 0~301.1mg/人、洗わずが 38.4~136.0mg/人、また、女子では TOC は、お湯洗いが 8.0~64.0mg/人となり、洗わずが 81.6~171.2mg/人となった。TOC 濃度の傾向は男女とも入浴方法によって汚濁原

表-4.5.2 入浴による TOC の汚濁量原単位

		塩 素 (次亜塩素酸ナトリウム)			二酸化塩素		次亜臭素酸 (BCDMH)
		洗剤洗い	お湯洗い	洗わず	お湯洗い	洗わず	お湯洗い
男子	平均値[mg/人]	81.6	43.2	214.7	101.3	86.4	85.1
	最大値[mg/人]	212.8	72.9	557.6	301.1	136.0	129.6
	最小値[mg/人]	0.0	10.8	48.6	0.0	38.4	33.8
	試料数[人]	20	5	5	5	5	5
女子	平均値[mg/人]	54.4	43.2	214.7	101.3	86.4	
	最大値[mg/人]	144.0	72.9	557.6	301.1	136.0	
	最小値[mg/人]	1.6	10.8	48.6	0.0	38.4	
	試料数[人]	20	5	5	5	5	

単位は、お湯洗い<洗剤洗い<洗わずの順に TOC 濃度の傾向が現れている。

以上のことから、二酸化塩素の条件を除いてみると入浴方法による汚濁の程度は男女とも洗剤洗い<お湯洗い<洗わずの順に汚濁の傾向が現われていると考えられる。

### (3) 濁度

表-4.5.3 に、入浴による濁度の原単位について、男子と女子の消毒剤、入浴方法の違いで差異を示した。

#### a. 塩素の場合

男子では濁度は、洗剤洗いが 0~155.2 mg/人、お湯洗いは 19.2~42.0mg/人、洗わずが 9.0~29.5mg/人の範囲となっている。女子では濁度は、洗剤洗いが 0~214.4 mg/人、お湯洗いが 4.8~54.4mg/人、洗わずが 16.3~25.9mg/人の範囲となっている。男子は、洗剤洗い<洗わず<お湯洗いの順、女子は洗わず<お湯洗い<洗剤洗いの順に濁度が高くなっている。

#### b. 二酸化塩素の場合

男子では濁度は、お湯洗いが 0~0mg/人、洗わずが 9.6~30.4mg/人の範囲となっている。また、女子では濁度は、お湯洗いが 0~30.4mg/人となり、洗わずが 0~20.8mg/人となった。男子ではお湯洗い<洗わず、女子ではお湯洗い>洗わずの順となり、男女の濁度の傾向が逆になっている。

表-4.5.3 濁度の汚濁量原単位

		塩素 (次亜塩素酸ナトリウム)			二酸化塩素		次亜臭素酸 (BCDMH)
		洗剤洗い	お湯洗い	洗わず	お湯洗い	洗わず	お湯洗い
男子	平均値[mg/人]	4.8	24.9	232.6	0.0	19.2	39.6
	最大値[mg/人]	155.2	596.0	408.0	0.0	30.4	118.4
	最小値[mg/人]	0.0	14.3	98.2	0.0	9.6	3.2
	試料数[人]	20	5	5	5	5	5
女子	平均値[mg/人]	32.0	27.4	22.4	12.8	8.0	
	最大値[mg/人]	214.4	54.4	35.9	30.4	20.8	
	最小値[mg/人]	0.0	4.8	16.3	0.0	0.0	
	試料数[人]	20	5	5	5	5	

ここで、汚濁原単位に実測値の最大値を見ると、過マンガン酸カリウム消費量の汚濁原単位は 500mg/人、濁度の汚濁原単位は 200mg/人、TOC の汚濁原単位は 560 mg/人となる。

しかし、男女とも過マンガン酸カリウム消費量の汚濁原単位は 400mg/人の汚濁量、濁度の原単位は 50mg/人の汚濁量を提案する。なお、空気調和・衛生工学便覧（第13版）では、浴場では 0.1～0.5 g/人（100～500mg/人）とし、プールでは 0.5～1.5 g/人（500～1,500mg/人）としている。

今回の提案値は実験データが少ないために最大値と平均値から決定した。今後、入浴による水質変化のデータ数を増やすことも重要である。これには実際の施設での入浴前の身体の洗浄状況を把握しなければならない。また、年齢、性別、季節、入浴前の活動量（代謝量・運動量）等の要因の影響も考慮し、実験データを収集する必要がある。

### 5.3.2 TOC 増加量と消毒剤の減少率の関係

#### (1) 残留塩素減少率

表-4.4 の通り、残留塩素減少率の平均値で比較すると、男女とも洗剤洗いくお湯洗いく洗わずの順に残留塩素の減少率が多くなる。しかし、表-4.5.2 の通り TOC 増加量は、お湯洗いく洗剤洗いく洗わずの傾向が見られる。入浴条件全体でみると残留塩素減少率は TOC 濃度が 150mg 程度の増加量までは減少率にばらつきがあるが、TOC 濃度が 150mg を超えるとすべて残留塩素の減少率が 100% 近くまで減少している。

#### (2) 二酸化塩素減少率

二酸化塩素の減少率は TOC 濃度増加量に関係しており、TOC 濃度増加率は関連が高いと考えられる。

### 5.3.3 各水質濃度と消毒剤の減少率の関係

#### (1) 残留塩素減少率

##### a. 全体

全体の男女で検討すると TOC 濃度との相関係数 0.48、過マンガン酸カリウ

ム消費量との相関係数が 0.47、塩素イオン濃度との相関係数が 0.40 となった。

上記 3 測定項目と関連が高く、他の測定値との相関はこの相関係数に比べて低い値であった。

#### b. 実験条件ごと

相関係数が 0.6 以上に着目して数値を整理すると下記の通りである。

- 1) 洗剤洗いの男子の TOC 濃度との相関係数が 0.68 であった。
- 2) お湯洗いの女子のみ TOC 濃度との相関係数が 0.66、過マンガン酸カリウム消費量との相関係数が 0.80、塩素イオン濃度との相関係数が 0.87 であった。
- 3) お湯洗いの男女の過マンガン酸カリウム消費量の相関係数が 0.71 であった。
- 4) 洗わずの女子の相関は、TOC 濃度との相関係数が 0.66、色度との相関係数が 0.87、過マンガン酸カリウム消費量との相関係数が 0.65、塩素イオン濃度との相関係数が 0.69 であった。

## (2) 二酸化塩素減少率

#### a. 全体

男子の全体の相関では、色度との相関係数が 0.85、女子の全体の相関では過マンガン酸カリウム消費量との相関が 0.80、塩素イオンとの相関係数が 0.91 であった。

#### b. 実験条件ごと

相関係数が 0.6 以上に着目して数値を整理すると下記の通りである。

- 1) お湯洗いの男子の電気伝導率との相関係数が 0.93、女子の濁度との相関係数が 0.93、塩素イオン濃度との相関係数が 0.68 であった。濁度との相関係数が 0.64、男女の色度との相関係数が 0.85 であった。
- 2) お湯洗い男女の色度濃度の相関係数が 0.64 であった。
- 3) 洗わずの男子の過マンガン酸カリウム消費量との相関係数が 0.76、女子の電気伝導率との相関係数が 0.88、色度との相関係数が 0.99、塩素イオン濃度との相関係数が 0.83 であった。

### (3) 次亜臭素酸減少率

湯洗いのみであるが、過マンガン酸カリウム消費量との相関係数が 0.77、塩素イオンとの相関係数が 0.63 であった。

以上の結果をまとめると、相関係数 0.6 以上の測定値の出現回数が多い順に並べると、過マンガン酸カリウム消費量=塩素イオン>色度>TOC >濁度であった。したがって、総合的にみると消毒剤の減少率は過マンガン酸カリウム消費量が指標として有効であり、さらに、身体から排出される塩分を検出する塩素イオンも有効な指標であることが明らかとなった。

#### 5.3.4 必要補給水量

浴槽水の水質基準項目があるものから、必要補給水量の予測を検討する。空気調和設備では、室内空気質基準と外気の二酸化炭素含有率、人体からの二酸化炭素吐き出し量から、取入外気量を算出している。同様の考え方によって、以下の検討を進めた。

浴槽水の基準は、「公衆浴場における衛生等管理要領」（平成 15 年 2 月 14 日 健発第 0214004 号 厚生労働省健康局長通知）に規定されている。この中には、浴槽水の水質基準として、濁度、過マンガン酸カリウム消費量、大腸菌群とレジオネラ属菌が規定されている。「公衆浴場における衛生等管理要領」には、原湯と原水の水質基準も規定されている。

前述した実験で、入浴による過マンガン酸カリウム消費量の増加量として 400mg/人のデータがある。「公衆浴場における衛生等管理要領」の原湯、原水の過マンガン酸カリウム消費量の水質基準 10mg/L と、浴槽水の水質基準 25mg/L から、単純に 1 人当りの必要補給水量を算定する。ここで「単純に」というのは、塩素等の注入や温泉成分等により化学的に過マンガン酸カリウム消費量が変化しないこと、吸着等により物理的に濾されないことや、生物的に微生物によって浄化されないことなどを指す。

水道法第 4 条による水質基準（水質基準に関する厚生労働省令 第 101 号、平成 16 年 4 月 1 日から施行）では、有機物等は全有機炭素（TOC）5mg/L 以下となった。しかし平成 17 年 3 月 31 日までは過マンガン酸カリウム消費量

10mg/L 以下となっている。つまり浴槽水の原湯・原水の過マンガン酸カリウム消費量 10mg/L の基準は、水道水の基準と同じである。

$$Q = \frac{Km}{K1 - K0}$$

ここに  $Q$  : 有効必要補給水量 [L/人]

$Km$  : 過マンガン酸カリウム消費量の汚濁原単位

$$0.4[\text{g/人}] = 400[\text{mg/人}]$$

$K1$  : 許容浴槽水の過マンガン酸カリウム消費量 25[mg/L]

$K0$  : 原湯・原水の過マンガン酸カリウム消費量 10[mg/L]

であることから、

$$Q = \frac{400}{25 - 10} = 26.7 \text{ [L/人]}$$

となり、希釈のみで過マンガン酸カリウム消費量の水質基準値を満足させるには、入浴者 1 名当りの有効必要補給水量は 26.7 L/人となる。原湯・原水の過マンガン酸カリウム消費量を 5 mg/L であっても、入浴者 1 名当りの有効必要補給水量は 20.0L/人となる。循環ろ過装置や塩素消毒装置のない掛け流しの浴槽（一過式浴槽）では、化学的や物理的、生物的な水質改善は望めないことから、計算上の有効補給水量が必要となる。

実際には、補給水が既存の浴槽水と混合せずに置換するのではないため、安全率（割増係数）を乗じる必要がある。補給水位置が浴槽水面上で、補給水温が高温、さらに循環系のない場合、既存の浴槽水が残り、新たに補給された原湯・原水が先に浴槽から排出されやすいために安全率（割増係数）は大きくなる。

これらの状況を鑑みて、空気調和・衛生工学会 浴場施設におけるレジオネラ対策小委員会の『入浴による水質変化の実験,浴場施設におけるレジオネラ対策指針のための調査・研究』<sup>2)</sup> では、循環ろ過装置がある場合の設計計画上の（実務上の）必要補給水量を 40.0 L/人を提案した。この値が、現時点での日本の基準値になっている。しかし、計算に用いた許容浴槽水の過マンガン酸カリウム消費量の 25[mg/L]は、厚生労働省の基準値であるが、高すぎるという意見も多く、今後見直す予定である。

因みに「温泉利用基準」(昭和50年7月12日 環自企第424号 環境庁自然保護局長通知)では、総硫黄(総硫化水素+チオ硫酸に対応するもの)が2mg/kgの温泉の場合、浴槽湯面上に温泉の注入口を設けることになっている。硫化水素による事故を回避するための措置である。

「温泉の利用に関する公衆衛生上の指導について」(昭和43年5月18日 国管発第23号 厚生省国立公園局管理課長通知)に、温泉の供給量と利用者数に対する汚染防止指導の必要性が規定されている(通知の発信元に厚生省国立公園局とあるが、現在の省庁の区分では環境庁自然保護局となる)。循環ろ過装置や塩素消毒装置のない掛け流し式浴槽(一過式浴槽)では、換水効率を十分に考慮しなければならない。

温泉の注入口が浴槽水面上にある場合、掛け流し浴槽だと新しく補給された熱い湯が、既存の浴槽水と混ざったり、置換したりすることが少なく、そのまま浴槽上縁から溢れ、排出されることが多いためである。このことは、入浴者が少ない時間帯に掛け流し浴槽に入ると、浴槽上部だけが熱く、底部が冷たい現象から容易に推測できる。つまり入浴によって汚濁した浴槽水が、非入浴時間帯に新しく供給される温泉水によって希釈して、水質が回復できる可能性が低い。

## 5.4 まとめ

入浴によって有機物濃度の変化を実測したデータでは、次亜塩素酸ナトリウムを消毒剤とした場合、過マンガン酸カリウム消費量とTOCとで異なる傾向が見られた。過マンガン酸カリウム消費量では、男女とも洗剤洗いくお湯洗いく洗わずの順で、有機物が増加した。TOCでは、男女ともお湯洗いく洗剤洗いく洗わずの順で、有機物が増加した。

入浴による濁度の変化は、男女で異なる傾向が見られた。男子は、洗剤洗いくお湯洗いく洗わずの順で、濁度が増えた。しかし女子は全く反対で、洗わずくお湯洗いく洗剤洗いの順となった。

本実験データから、入浴に伴う必要補給水量は、過マンガン酸カリウム消費量基準から、40.0 L/人を提案した。この値が、現時点での日本の基準値になっている。