

図2-2 次亜塩素酸ナトリウムの殺菌・殺胞子効果と濃度の関係
(Odling 1981, 古田 1997)

表2-5 塩素による細菌の不活性化 (金子, 1996)

微生物種	実験水	残留塩素 (mg Cl/l)	水温 (°C)	pH (-)	接触時間 (min)	不活化率 (%)	濃度時間積 (mg·min/l)	研究者
<i>Escherichia coli</i>	BDF	0.2	25	7.0	15	99.998~99.996	ND	Ram and Malley (1984)
<i>E. coli</i>	BDF + N-organics	0.2	25	7.0	15	99.999~99.992	ND	
<i>E. coli</i>	BDF	0.1	23	10	3.5	90	0.6	Haas et al. (1986)
<i>E. coli</i>	BDF + 0.1 M KNO ₃	0.1	23	10	0.8	90	0.15	
<i>E. coli</i>	BDF, < 7 μm	0.5	5	7.0	30	ND	0.9	Berman et al. (1988)
<i>E. coli</i>	BDF, > 7 μm	0.5	5	7.0	30	ND	2.7	
<i>E. coli</i>	CDF	1.5	4	?	60	ca. 99.9	ca. 2.5	Le Chevallier et al. (1984 b)
<i>E. coli</i> + GAC	CDF	1.5	4	?	60	≪ 10	≧ 60	
HPC	CDF	1.7	4	?	60	> 99.995	2.5	
HPC + GAC	CDF	1.7	4	?	60	< 10	≧ 60	
HPC	treated	0.25~1.3	24	8.0	15	42~> 99.99	ND	Wolfe et al. (1984)
HPC	treated	0.25~1.3	24	8.0	30	46~> 99.99	ND	
<i>Campylobacter jejuni</i>	BDF	0.1	4	8.0	5	99.98~> 99.998	ND	Blaser et al. (1986)
<i>Legionella pneumophila</i> (water grown)	tap	0.25	20	7.7~7.8	58	99	15	Kuchta et al. (1985)
<i>L. pneumophila</i> (media grown)	tap	0.25	20	7.7~7.8	4	99	ca. 1.1	"
<i>L. pneumophila</i>	tap	4~6	25	?	52	99.9	ND	Muraca et al. (1987)
<i>Micobacterium chelonae</i>	BDF	0.3	25	7.0	60	40	≧ 60	Carson et al. (1978)
<i>M. chelonae</i>		0.7	25	7.0	60	99.95	46	
<i>M. chelonae</i>	BDF	1.0	?	7.0	60	96	ca. 80	Pelletier and Du Moulin (1987)
<i>M. fortuitum</i>	BDF	0.15	?	7.0	60	0	> 720	"
<i>M. intracellulare</i>	BDF	0.15	?	7.0	60	70	≧ 480	

注) BDF: 要求量のない緩衝液, CDF: 塩素要求量なし, ND: 行わず, またはデータなし, < 7 μm: 粒径 7 μm 以下の粒子を含む, > 7 μm: 粒径 7 μm 以上の粒子を含む, GAC: 粒状活性炭, treated: 通常の浄水処理を行った表流水.

表 2-6 塩素によるウイルスの不活性化 (金子, 1996)

微生物種	実験水	残留塩素 (mg Cl/l)	水温 (°C)	pH (-)	接触時間 (min)	不活化率 (%)	濃度時間積 (mg·min/l)	研究者
parvo- II - 1	PBS	0.2	20	7.0	6.	99.9	0.53	Churn et al.(1984)
parvo- II - 1	PBS	0.2	10	7.0	11.	99.9	0.85	
SAll, 分散系	BDF	ca. 0.5	5	10	1.1~1.65	99.	0.63	Berman and Hoff(1984)
SAll, 細胞付着	BDF	ca. 0.5	5	10	2.4~4.4	99.	1.8	"
rota, Wa	treated	0.75	22	8.3~8.6	60.	94.3	ND	Raphael et al(1987)
human rota-	effl.	1.1	15	7.2	15.	40.	≥ 15.	Harekeb. and Butler(1984)
human rota-	effl.	2.2	15	7.2	10.	60.	≥ 15.	
rota, SAll	BDF	0.1	4	8.0	0.5	99.9	0.03	Vaughn et al.(1986)
rota, Wa	BDF	0.1	4	8.0	0.65	99.9	0.03	
rota, SAll	BDF	0.4 ~0.28	25	10.0	1.1	99.99	ca. 4.0	Grabow et al.(1983)
hepatitis A	BDF	0.42~0.06	25	6.0	0.7	99.99	ca. 3.0	
hepatitis A	BDF	0.4 ~0.28	25	10.0	2.5	99.99	ca. 5.5	
hepatitis A	BDF	0.5	5	6.0	6.5	99.99	ca. 1.8	Sobsey et al.(1988)
hepatitis A	BDF	0.5	5	10.0	49.6	99.99	ca. 12.3	
coliphage MS 2	BDF	0.5	5	6.0	1.2	99.99	ca. 0.25	
coliphage MS 2	BDF	0.5	5	10.0	26.5		ca. 6.9	

注) PBS:リン酸塩緩衝生理食塩水, effl.:下水処理水.

表 2-7 塩素による原虫シストまたはオーシストの不活性化 (金子, 1996)

微生物種	実験水	残留塩素 (mg Cl/l)	水温 (°C)	pH (-)	接触時間 (min)	不活化率 (%)	濃度時間積 (mg·min/l)	研究者
<i>Giardia lamblia</i>	BDF	1~4	5	7.0	3~32	90.	90~170	Jarroll et al.(1981)
<i>G. lamblia</i>	BDF	1.5	25	6.0~8.0	47	99.	> 15	
<i>G. lamblia</i>	BDF	2.5	5	6.0~8.0	19~26	90.	ca. 120	Rice et al.(1987)
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2~3.0	5	6.0		99.	54~87	Hibler et al.(1987)
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2~3.0	5	7.0		99.	83~133	
<i>G. lamblia</i>	BDF	0.2~3.0	5	8.0		99.	119~192	
<i>Giardia muris</i>	BDF	2.5	5	6.0	30	90.	> 150	Rice et al.(1982)
<i>G. muris</i>	BDF	2.5	5	8.0	48	90.	> 150	
<i>G. muris</i>	BDF	23.8~78.5	5	7.0	5.7~42.6	99.	449~1 012	Leahy et al.(1987)
<i>G. muris</i>	BDF	2.8~7.1	25	7.0	3.6~16	99.	25.5~44.8	
<i>G. muris</i>	BDF	11.1	25	9.0	15.6	99.	177	
<i>G. muris</i>	BDF	4.4	25	5.0	16.3	99.	71	
<i>Naegleria</i> (2 sp.)		0.5~1.0	25	7.3~7.4	1~3 h ?	99.99	12~18	de Jonckheere and van de Voorde.(1976)
<i>Acanthamoeba</i> (2 sp.)		4~8	25	7.3~7.4	24 h	99.99	960~7 200	
<i>Naegleria gruberi</i>	BDF	2.64	25	5.0	2.8	99.	7.3	Rubin, et al.(1983)
<i>N. gruberi</i>	BDF	2.2	25	7.0	5.2	99.	11.4	
<i>N. gruberi</i>	BDF	15.4	25	9.0	15.4	99.	177	
<i>Cryptosporidium</i> gut homog. in PBS		30 000	4	ca. 7.0	18 h	< 95.	≥ 18 h	Campbell et al.(1982)

5. 2 接触比率と反応比率

消毒あるいは不活性化効果を評価するうえで、非常に重要な因子として「反応比率」(または接触比率)がある。これは対象とする微生物あるいは病原体1容量に対して、消毒剤等を何容量反応させるかということで、液体同士であれば反応比率、付着固体に対して液体を反応させる場合などは接触比率というのが通例である。また、参考として水道水等における塩素抵抗性試験などは対象微生物1容量に対し、検討水100(または99)容量を反応させる方法を用いる。

反応比率による不活性化効果の典型的な相違例を図2-3, 図2-4に示す。これは次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)による炭疽菌(*B.anthraxis* Pastuer I 菌株)芽胞の不活性化効果について、反応比率(芽胞:NaClO 溶液)を1:9および1:100で作用させた場合の不活性化time courseを示している。反応比率1:9では有効塩素1000ppm、20分の反応で6log₁₀CFUの減少が確認されているが、有効塩素230ないし550ppmではわずかに1log₁₀CFU程度にとどまっている。一方反応比率を1:100とした場合、有効塩素55ppmであっても5分以内に6log₁₀CFUの減少が達成される。このように反応比率により不活性化効果が大きく変化するので消毒処理に関しては対象容量もしくは面積に対し、どの程度の薬剤を使用するかを明確にするべきであろう。

もうひとつの例として、ノロウイルスの代替評価に用いられるネコカリシウイルス(FCV)とプール熱の原因ウイルスであるAdenovirus(AdV)に対するNaClOによる不活性化効果を図2-5, 図2-6及び図2-7, 図2-8に示す。FCVでは研究論文などでもっぱらF9という株が用いられているが、その他臨床分離株ではNaClOに対する感受性がかなり異なり、こうした現象はFCVと同様に構造タンパクに変異の多いノロウイルスでも起こりうると考える。また、AdVではGB3という株が使用される場合が多いが、これに対し臨床分離株の中にはNaClOに対し抵抗性を示すものがあるということも重要と考える。

これら2つの例を踏まえると、NaClOによる消毒あるいは殺菌行為については、濃度・時間・比率を厳密にコントロールする必要がある。従って、今回示した実験結果がただちに使用塩素濃度を減らすことの根拠にはなり得ず、今後これらの評価方法及びその判定基準などを設定してゆくことが望ましい。

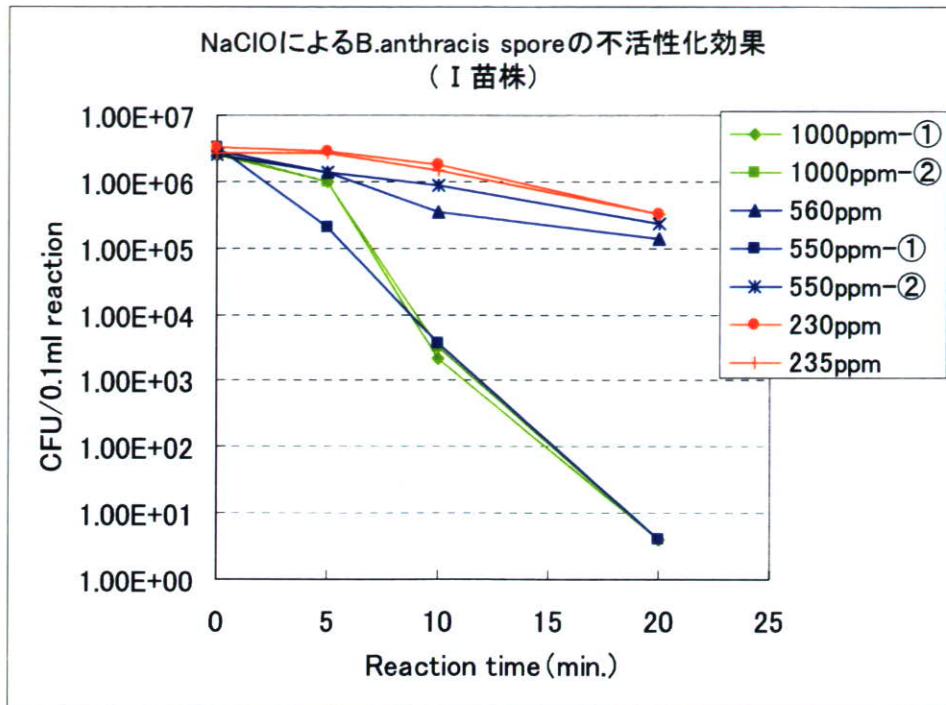


図 2 - 3 NaClO による B.anthraxis spore の不活性化効果
(厚生労働科研特別研究報告書(2002)より抜粋)

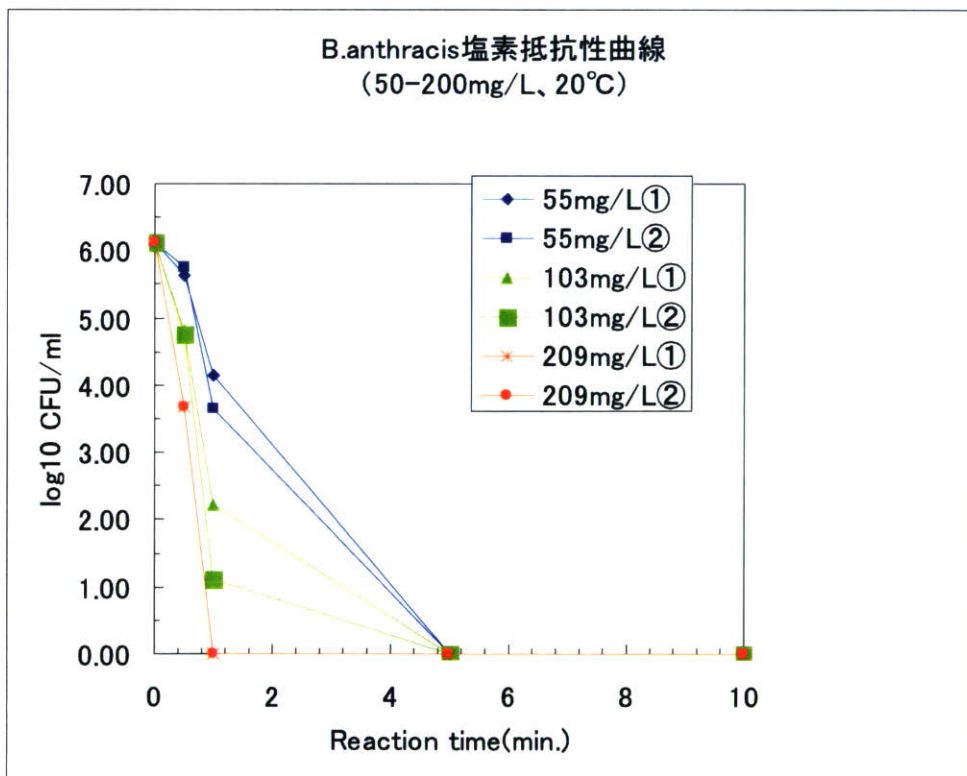
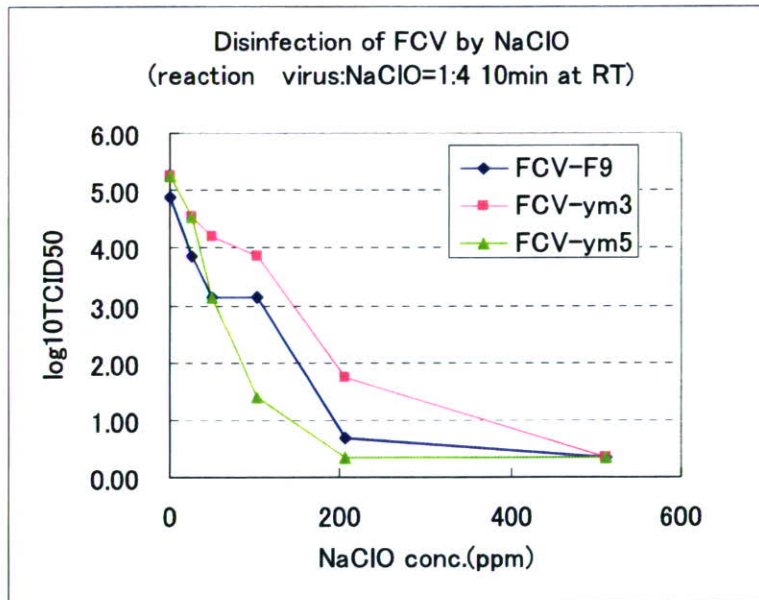


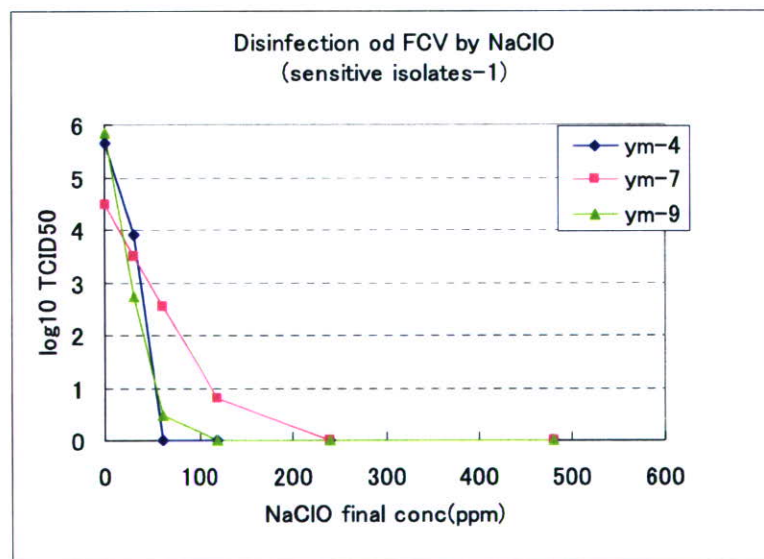
図 2 - 4 B.anthraxis 塩素抵抗性曲線
(厚生科研特別研究報告書(2001)より抜粋)



反応比率 FCV:NaClO=1:4 反応条件 室温 10min

図2-5 Norovirus 代替としてのネコカリシウイルス(FCV)に対する NaClO による不活性化効果

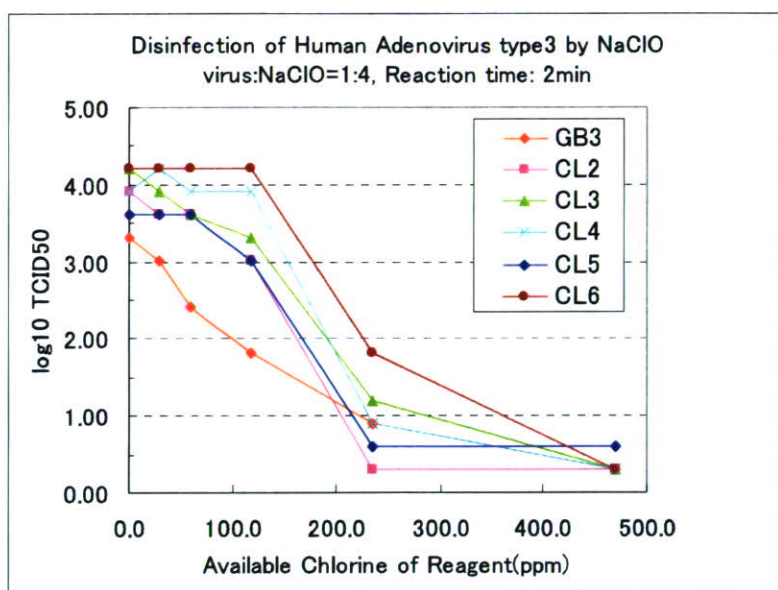
(高木ら(2005) 日本防菌防黴学会第32回年次大会発表より抜粋)



反応比率 FCV:NaClO=1:4 反応条件 室温 10min

図2-6 Norovirus 代替としてのネコカリシウイルス(FCV)に対する NaClO による不活性化効果

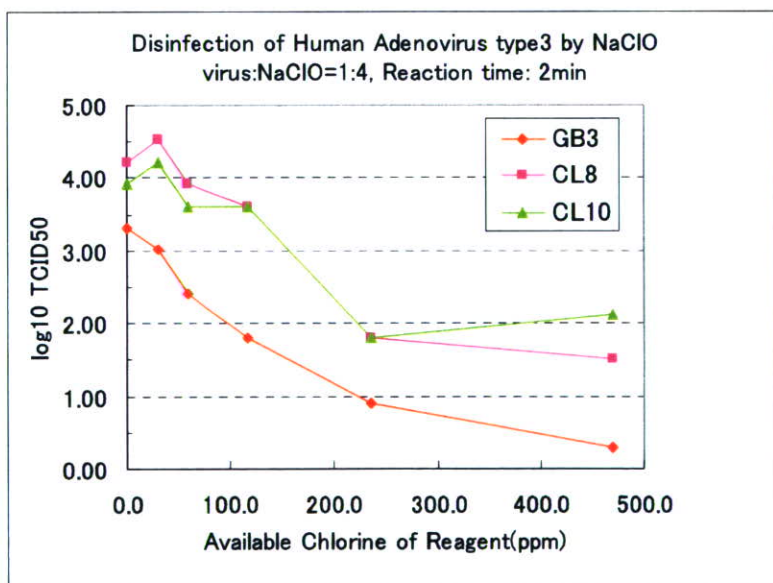
(高木ら(2005) 日本防菌防黴学会第32回年次大会発表より抜粋)



反応比率 AdV:NaClO=1:4 反応条件 室温 2min

図 2-7 Adenovirus に対する NaClO 不活性化効果

(高木ら(2006) 第 80 回日本感染症学会総会・学術講演会発表より抜粋)



反応比率 AdV:NaClO=1:4 反応条件 室温 2min

図 2-8 Adenovirus に対する NaClO 不活性化効果

(高木ら(2006) 第 80 回日本感染症学会総会・学術講演会発表より抜粋)

5. 3 有効塩素濃度の管理

前項でも挙げたように、消毒行為における有効塩素濃度は非常に重要であり、現行の 50～100ppm という数値幅は目的微生物によっては大きく影響を受ける場合がある。

これまでの経験上、食品添加物あるいは医薬部外品としての次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)溶液は、有効塩素濃度と有効期限の記載がなされている。こうした薬剤でも室温暗所では有効塩素濃度の半減期はおおよそ 2 年程度で、初期値有効塩素が 6% (60,000mg/L)であれば 2 年後には約 3% となる。冷暗所すなわち冷蔵庫などでの保存では 5 年でもほとんど減衰しない。

このことから、原液の保存管理をより厳密にするとともに、原液の有効塩素濃度の管理も考慮することが重要である。その他の塩素系薬剤に関しても、安全性・取扱いなどに注意を要するものが多いので、使用には慎重を期すべきであろう。

水道水については、水道法施行規則第 17 条第 3 項に水に含まれる遊離残留塩素が 100 万分の 0.1 (結合残留塩素の場合は 100 万分の 0.4) 以上検出されなければならないと規定されている。

また、建築物衛生法施行規則第 4 条第 1 項では、給水栓における水の遊離残留塩素の含有率を 100 万分の 0.1 以上に保持すること、但し、水が病原性微生物に著しく汚染されるおそれがある場合などには、その含有率は 100 万分の 0.2 以上とすることとされている。貯水槽清掃作業後には、給水栓から遊離残留塩素が 0.2mg/L 以上検出されることとなっている。従って、塩素測定器は必携とされている。

建築物衛生法では、残留塩素の含有率の検査方法を DPD 法又はこれと同等以上の精度を有する方法で測定することとされている。

DPD 法には比色式とデジタル式の 2 つの方法が用いられている。比色式は残留塩素がジエチル-p-フェニレンジアミン(DPD)と反応して生じる桃～桃赤色を標準比色板と比較して測定する方法である。デジタル式は DPD 法の発色程度を吸光光度法(波長 510 または 550nm)で測定する方法である。ともに 2.0mg/L 程度まで測定可能である。

DPD 法の残留塩素測定器を用いて有効塩素濃度を測定するには、原液を希釈すれば可能である。初期値有効塩素が 6% (60,000mg/L)であれば、100 倍希釈(対象 1mL に対して精製水 99mL)を 2 回行い、さらに 10 倍希釈(対象 10mL に対して精製水 90mL)することによって DPD 法の残留塩素測定器で測定可能となる。この希釈作業を実施するにあたっては、精製水と清浄な容器、1mL 採取するピペット等が必要となる (図 2-9)。

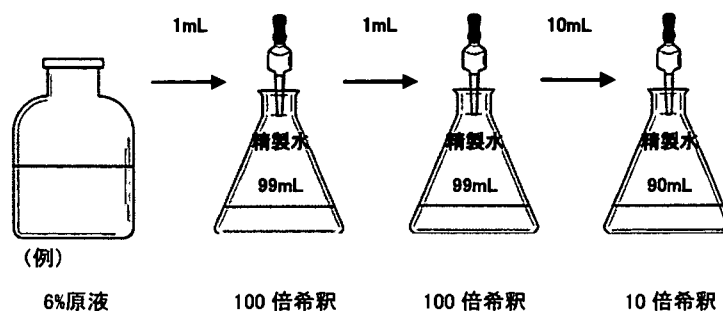


図2-9 有効塩素濃度を測定するための希釈操作例

DPD 法以外の方法として、テストペーパーによる簡易濃度測定や高濃度残留塩素測定器(有効塩素濃度測定器)等も販売されている。テストペーパーは NaClO ストック溶液の調製および濃度管理等を実施するにあたって使用されている。判断の目安となる標準比色列が数段階示されており、最大 200mg/L~1,000mg/L となっている。変色したテストペーパーと標準比色列を比較しておおよその濃度が測定可能である。

高濃度残留塩素測定器は DPD 法のデジタル式と同様、発色程度を吸光光度法(波長 510nm)で測定する方法である。測定原理としては、ヨウ素試薬吸光光度法が用いられている。測定範囲は 0~300mg/L 程度であることから、テストペーパーにしても高濃度残留塩素測定器を使用するにしても、図 2-9 に示す希釈操作が必要となる。

他にヨウ化カリウムによる比色法などがあるが、判定するのに経験を要することや試薬劣化等により誤差が生じるおそれがある。

なお、遊離残留塩素測定の方法のうち DPD 法以外に同等以上の精度を有する方法として、ポーラログラフ法や電流滴定法、ガルバニ法、シリンガルダジン法、オルトトリジン法等があり、日常の飲料水の水質管理等に用いられている。これらの測定方法を有効塩素濃度の管理に使用するには、測定範囲や測定誤差、機器の運搬等の問題がある。

以上のような濃度管理の条件を満たしたうえで、消毒処理による実績を積み重ねれば、将来的に消毒方法の再考も明確な理由付けをもって検討が可能になると考える。

5. 4 貯水槽の消毒濃度に関する実験結果

貯水槽の消毒薬および消毒濃度については、昭和 58 年(1983 年)3 月 18 日厚生省環境衛生局長通知第 28 号などにおいて、「有効塩素 50~100ppm の濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液またはこれと同等以上の消毒能力を有する塩素剤を使用」と明示されている。この濃度をさらに低下させた場合の消毒効果について文献調査を行った。

木村(1985)は、上水を原水とする地下式コンクリート製貯水槽 5 基を用いて行った実験結果を報告している。実験は、貯水槽清掃作業手順に従い次亜塩素酸ナトリウム溶液の濃度を変化させ、槽内壁面等の細菌検査を行っている。10ppm, 20ppm, 30ppm, 50ppm, 100ppm の濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液を用い、清掃前、清掃後、2 回消毒後において、一般細菌、大腸菌群の検査を行っている。その結果、清掃前後およびいずれの消毒濃度においてもこれらの細菌は検出されなかった。

さらに木村(1985)は、2m³ の FRP 製の試験用貯水槽を用いて同様の実験を行った。貯水槽の水は、水質検査で一般細菌と大腸菌群が検出された地下水を貯水槽内部に噴霧している。そして、貯水槽の清掃作業を行った際の消毒効果を試験している。その結果、清掃前後では一般細菌と大腸菌群が検出されたが、消毒後はいずれの濃度においてもこれらの細菌は検出されなかった。

杉山ら(2000)は、未使用 FRP パネル、使用済み FRP パネル、未使用コンクリートパネルの試験ピースを用いた実験結果を報告している(財団法人ビル管理教育センター, 2000)。表 2-8, 図 2-10 にこれらの結果を抜粋した。それぞれの試験ピースの表面に、大腸菌、緑膿菌、ブドウ球菌を一定量付着させて物理的洗浄を行い、10mg/L (ppm), 50mg/L (ppm), 100mg/L (ppm)の濃度の次亜塩素酸ナトリウムによる消毒を行った後、付着菌数を測定している。その結果、FRP 製試験ピースでは、未使用、使用済みともに、いずれの濃度においても消毒後に菌は検出されなかった。未使用のコンクリートパネルでは、1 回の消毒のみの結果ではあるが、菌種による差が観察された。大腸菌と緑膿菌では、50mg/L と 100mg/L の濃度の消毒で菌が検出されなかったが、10mg/L の消毒では残菌が検出された。しかしながら、ブドウ球菌ではいずれの濃度においても残菌が検出されている。

表 2-8 FRP パネルにおける各有効塩素濃度における消毒効果 (杉山ら, 2000 をもとに作成)

有効塩素濃度	10mg/L			50mg/L			100mg/L								
	未使用			使用済			未使用			使用済					
	大腸菌	緑膿菌	ブドウ球菌	大腸菌	緑膿菌	ブドウ球菌	大腸菌	緑膿菌	ブドウ球菌	大腸菌	緑膿菌	ブドウ球菌			
1 回目消毒 30 分後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 回目消毒 30 分後	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

単位: CFU/25cm²

初期付着菌数

(未使用) 大腸菌: 8, 緑膿菌: 126, ブドウ球菌: 600

(使用済) 大腸菌: 17, 緑膿菌: 126, ブドウ球菌: 520

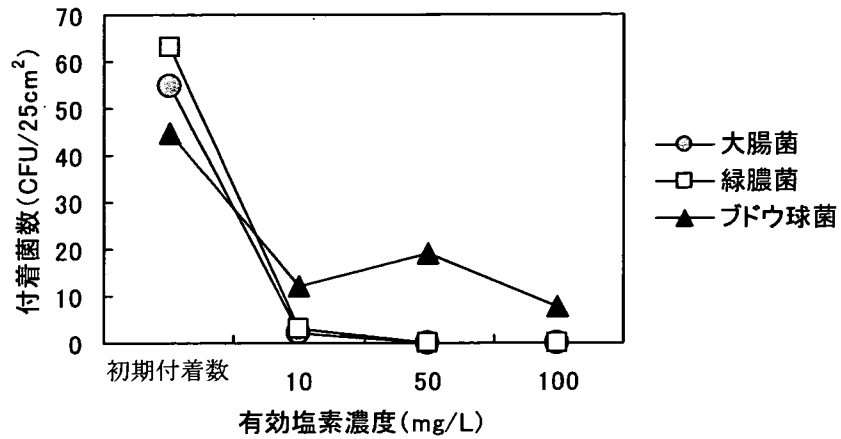


図 2-10 コンクリートパネルにおける各有効塩素濃度における消毒効果

(杉山ら, 2000 をもとに作成)

貯水槽の清掃作業において、槽内のスライム、汚泥等の塩素を消費する物質を完全に排除できれば、一般的に水中の微生物を消毒する濃度で十分であると考えられる。しかしながら、それが完全ではない可能性があるのであれば、消毒以外に消費される塩素量を考慮した有効塩素濃度が必要と考えられる。

6. まとめ

- 5) 貯水槽内には、凝集剤や凝集補助剤などによる汚泥、細菌や藻類等の微生物によるスライムが発生し、集積物ができる。集積物の下面は嫌気性状態となって有芽胞菌が繁殖するため、その代謝ガスで水に異種味を与える。当初、貯水槽の清掃と消毒は、汚泥等の集積物中の細菌繁殖による異臭対策が主な目的であったと考えられる。
- 6) FRP は、コンクリートや鉄に比べて光透過率が高い。FRP 製貯水槽では、藻の光合成を促進し、藻が増殖しやすくなる。従って、貯水槽内で通常は十分とされる残留塩素量では藻類を必ずしも死滅できないことや、清掃しても 1 年以内に藻が発生する場合のあることが観察されている。また、槽内壁が粗いほど汚れやすく、藻類等による汚染が生じやすいことが報告されている。従って、貯水槽タンク内の藻類の発生防止と除去には貯水槽の清掃と消毒が重要である。藻類以外の微生物としては、細菌や真菌類、ダニ類が検出されている。
- 7) 次亜塩素酸塩は、広範囲の微生物に対する消毒効果を有している。有機物が存在しない条件下では、10ppm 以下の低濃度で短時間に微生物を死滅することができる。しかし、細菌胞子やかび胞子は抵抗性が大きい。また、有機物などの存在下では、次亜塩素酸の殺滅作用は著しく低下する。そのため、有効塩素量を 50 倍、100 倍と変化させなければならぬ。従って、洗浄後であっても、スライムや沈殿物等の汚泥が完全に除去されていない可能性があるのであれば、一般に水中の微生物を消毒する濃度よりも高濃度の有効塩素が必要と考えられる。
- 8) 貯水槽への混入・汚染リスクに係わる病原微生物としては、主に経口・腸管感染症を引き起こすものがあげられ、それらは感染症法の二類から五類に分類される。微生物汚染や消毒効果を検討する場合には、細菌やウイルスなどの微生物間における病原性や感染力の差異、消毒剤に対する感受性（有効性）の違いに留意する必要がある。

貯水槽の消毒作業において、汚染ルートによる病原微生物の特定は重要である。昨今大規模な感染例がみられるノロウイルスのようなヒト-ヒト感染を起こすものや、腸管出血性大腸菌やサルモネラなど少量で感染・発症するような病原微生物については、第一に作業者の健康管理を充分に行う必要がある。

また、消毒行為における消毒剤の濃度・作用時間・作用比率は重要である。作用比率による細菌芽胞の不活性化効果やネコカリシウイルスやアデノウイルスのように異なる株による塩素感受性の相違などを踏まえると、今後明確にしてゆくべき課題である。

消毒方法については安全性や取扱の面から現行の次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いるのがよいと考えるが、原液の保管や濃度の管理などは、消毒剤の性質をよく理解したうえで実行してゆくべきであろう。

参考文献

岩戸武雄, 森村武雄 (1976) 貯水槽の衛生管理, 厚生大臣認定・貯水槽衛生管理技術講習会・テキスト, 財団法人ビル管理教育センター

- 太田好紀 (2006) 次亜塩素酸を主成分とした殺菌水による微生物の殺滅, 臨床と微生物, **33** (3), pp. 275-279
- 金子光美 (1996) 水質衛生学, 技報堂出版
- 菊屋奈良義 (1986) 高置水槽の生物系について, 第 14 回建築物環境衛生管理技術研究集会講演梗概集, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 61 年 11 月 4 日,5 日, pp. 37-38
- 紀谷文樹, 他 9 名 (2005) 新 貯水槽の衛生管理, 厚生労働大臣登録・貯水槽清掃作業監督者講習会テキスト, 財団法人ビル管理教育センター
- 木村晃久 (1985) 貯水槽の清掃に使用する消毒液の濃度に関する調査と考察, 第 13 回建築物環境衛生管理全国大会講演集, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 60 年 11 月 13 日,14 日, pp. 38-39
- 木村晃久 (1988) 貯水槽における藻類の実態について II, 第 16 回建築物環境衛生管理技術研究集会講演梗概集, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 63 年 11 月 10 日,11 日, pp. 27-29
- 木村晃久 (1989) 貯水槽に於ける藻類等微生物の実態について III, 第 17 回建築物環境衛生管理技術研究集会講演梗概集, 財団法人ビル管理教育センター, 平成元年 11 月 9 日,10 日, pp. 19-20
- 小澤克行, 浜田孝敏, 今関久和 (2003) 受水槽内のバイオフィームについて, 第 30 回建築物環境衛生管理全国大会抄録集, 財団法人ビル管理教育センター, 平成 15 年 1 月 23 日,24 日, pp. 34-35
- 財団法人ビル管理教育センター (2000) 建築物の多様化に対応した新たなる維持管理手法の構築に関する研究, 平成 10・11 年度厚生科学研究補助金(生活安全総合研究事業), 総合報告書
- 佐藤鉄雄 (1974) 給排水設備の衛生管理について, 第 1 回建築物環境衛生管理全国大会研究集会および特別講演集録, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 49 年 1 月 21 日,22 日, pp. 17-34
- 杉山順一, 斉藤敬子, 高柳 保, 古畑勝則, 紀谷文樹 (2000) 貯水槽消毒時の消毒に関する実験的検討, 第 27 回建築物環境衛生管理全国大会抄録集, 財団法人ビル管理教育センター, 平成 12 年 1 月 20 日,21 日, pp. 38-39
- 高橋孝則, 尾上洋一, 森 實 (1981) 貯水槽の微生物汚染調査, 神奈川県衛生研究所研究報告, **11**, pp. 63-64
- 田崎一幸 (1985) 貯水槽の清掃と藻の発生について, 第 13 回建築物環境衛生管理全国大会講演集, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 60 年 11 月 13 日,14 日, pp. 36-37
- 日本防菌防黴学会 (1986) 防菌防黴ハンドブック, 技報堂出版
- 長谷川一夫, 森 康明, 節田節子, 内藤昭治 (1980) 貯水槽沈殿物の調査結果, 神奈川県衛生研究所研究報告, **10**, pp. 59-61
- 原田伊紀 (1987) 貯水槽の藻発生と防止対策, 住宅設備, **8** (4), pp. 63-67
- 古田太郎 (1997) 除菌洗浄剤の特性と利用の実際 ハロゲン系 (塩素・ヨウ素) 製剤の特性と利用の実際, 月刊フードケミカル, **13** (2), pp. 31-35
- 古畑勝則, 小池和子, 松本淳彦 (1989) 飲料用タンクから検出された細菌について, 第 17 回建築物環境衛生管理技術研究集会講演梗概集, 財団法人ビル管理教育センター, 平成元年 11 月 9 日,10 日, pp. 17-18
- 村瀬 誠, 村松 學, 笹野英雄 (1988) 飲用 FRP 高置水槽における藻類の発生とその防止対策, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 189-192
- 山口友宏, 田中庄一, 加川式一, 服部泰典, 桑村忠夫, 大平勝久, 三木 誠, 戒井康友, 吉元征二, 中村 博, 林 優子, 木村雅則, 服部孝一 (1987) 受水槽を有する給水施設の維持管理等に関する実態調査結果について, 第 15 回建築物環境衛生管理技術研究集会講演梗概集, 財団法人ビル管理教育センター, 昭和 62 年 11 月 19 日,20 日, pp. 38-39

綿貫知彦 (1984) 建築物の貯水槽に発生する藻類の増殖特性と種類組成, 第 11 回建築物環境衛生管理全国大会講演集, ビルの環境衛生管理 1984 特別号 No.8, 財団法人ビル管理教育センター, pp. 43-46

綿貫知彦, 木村憲司 (1986) 建築物の貯水槽などに発生する藻類, 用水と排水, **28** (12), pp. 1209-1213

Odlaug, T. E. (1981) Antimicrobial effects of halogens, *Journal of Food Protection*, **44**, pp. 608-613

Ⅲ. 消毒剤による健康影響に関する科学的知見

貯水槽の消毒剤および消毒濃度として、有効塩素 50~100ppm の濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液またはこれと同等以上の消毒能力を有する塩素剤が使用されている。本章では、この条件の消毒剤による作業者の健康影響を把握するために文献調査を行った。

1. 次亜塩素酸ナトリウム溶液の基本物性と有害性

貯水槽の消毒に使用される次亜塩素酸ナトリウム溶液の濃度は、有効塩素濃度 50~100ppm である。しかしながら、市販の次亜塩素酸ナトリウム溶液は、有効塩素濃度 5~6%のものと、12%前後のものが流通している。そのため、貯水槽の消毒に用いる場合、作業現場で市販の次亜塩素酸ナトリウム溶液を水で希釈して使用する場合が多い。また、次亜塩素酸ナトリウム溶液は、加熱、酸との接触、光の影響下で分解し、有毒で腐食性のある塩素ガスや塩化水素ガスを生じることが考えられる。そこで、水で希釈する前の次亜塩素酸ナトリウム溶液、希釈後の次亜塩素酸ナトリウム溶液、塩素ガス、塩化水素ガスそれぞれに関する基本物性と有害性を以下に概説した。

1. 1 希釈前の市販の次亜塩素酸ナトリウム溶液

表 3-1 に次亜塩素酸ナトリウム溶液の基本物性と有害性、表 3-2 に一次災害時の急性症状・予防・処置および漏洩物処理と貯蔵について示す。有効塩素 10%以上の溶液と 10%未満の溶液とでは、有害性が大きく異なる。従って、その取り扱いと災害予防および災害時の処置については、厳重に注意する必要がある。

表 3-1 次亜塩素酸ナトリウム溶液の基本物性と有害性 (IPCS, 1993a; 1998)

項目	有効塩素濃度 10%以上水溶液	有効塩素濃度 10%未満水溶液
英名	Sodium Hypochlorite	
構造式	NaClO	
分子量	74.4	
CAS No.	7681-52-9	
外観	特徴的な臭気のある澄明な帯黄色の溶液	特徴的な臭気のある澄明でわずかに黄色の溶液
沸点	40 °C以上で分解	40 °C以上で分解
融点	—	-6 °C (5%水溶液)
溶解性	水によく溶ける	水によく溶ける
比重(水=1)	1.21 (14%水溶液)	1.1 (5.5%水溶液)
曝露経路	エアロゾルの吸入, 経口摂取	
短期曝露の影響	眼・皮膚・気道に対する腐食性, 経口摂取による腐食性, エアロゾルの吸入で肺水腫を起こすことがある。これらの影響は遅れて現われることがある。医学的な経過観察が必要である。	眼, 皮膚, 気道への刺激
長期曝露の影響	反復または長期の接触で皮膚が感作されることがある	反復または長期の接触で皮膚が感作されることがある

表 3-2 次亜塩素酸ナトリウム溶液による一次災害時の急性症状・予防・処置及び漏洩物処理と貯蔵 (IPCS, 1993a)

項目	有効塩素濃度 10%以上水溶液	有効塩素濃度 10%未満水溶液
吸入	<p>症状 灼熱感・咳・息苦しさ・息切れ・咽頭痛、 症状は遅れて現われることがある</p> <p>予防 換気，局所排気，または呼吸用保護具</p> <p>処置 新鮮な空気・安静，半座位，医療機関に連絡する</p>	<p>咳，咽頭痛</p> <p>換気</p> <p>新鮮な空気・安静，医療機関に連絡する</p>
皮膚	<p>症状 発赤，皮膚熱傷，痛み，水疱</p> <p>予防 保護手袋，保護衣</p> <p>処置 多量の水で洗い流した後に汚染された衣服を脱がせて再度洗い流す，医療機関に連絡する</p>	<p>発赤，痛み</p> <p>保護手袋</p> <p>多量の水で洗い流した後に汚染された衣服を脱がせて再度洗い流す</p>
眼	<p>症状 発赤，痛み，重度の熱傷</p> <p>予防 顔面シールド，または呼吸用保護具と眼用保護具の併用</p> <p>処置 数分間多量の水で洗い流し(できればコンタクトレンズを外して)，医師に連れて行く</p>	<p>発赤，痛み</p> <p>安全眼鏡</p> <p>数分間多量の水で洗い流し(できればコンタクトレンズを外して)，医師に連れて行く</p>
経口	<p>症状 腹痛，灼熱感，ショックまたは虚脱，意識喪失，嘔吐</p> <p>予防 作業中は飲食，喫煙をしない</p> <p>処置 口をすすぐ，吐かせない，医療機関に連絡する</p>	<p>腹痛，灼熱感，咳，下痢，咽頭痛，嘔吐</p> <p>作業中は飲食，喫煙をしない</p> <p>口をすすぐ，多量の水を飲ませる，医療機関に連絡する</p>
漏洩物処理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 換気 ・ 漏れた液を密閉容器に可能な限り集める ・ 次に多量の水で洗い流す ・ おがくず等の可燃性吸収物質に吸収させてはならない ・ この物質を環境中に放出してはならない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 換気 ・ 多量の水でこぼれた液を洗い流す ・ おがくず他可燃性吸収物質に吸収させてはならない
貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可燃性物質、還元性物質、酸、食品や飼料から離しておく ・ 冷暗所に保管 ・ 密封 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 酸から離しておく ・ 冷暗所に保管 ・ 密封

1. 2 有効塩素濃度 50～100ppm に希釈後の次亜塩素酸ナトリウム溶液

有効塩素 50～100ppm (0.005～0.01%) の濃度に希釈した次亜塩素酸ナトリウム溶液の基本物性や有害性に関する情報はほとんどみあたらない。水で低濃度に希釈していることから、市販の高濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液と比較して有害性は低いと考えられており、50～100ppm 程度の濃度の塩素溶液を誤飲しても口腔内の唾液で速やかに分解されて人体への影響はほとんどないとされている。しかしながら、呼吸器から吸い込んだ場合は、気管支、肺泡に障害を及ぼすおそれがあるので、貯水槽内を十分に換気しながら防毒マスクや酸素呼吸器などを使用して身体を保護する必要があるとされている(貯水槽管理中央協議会, 1999)。

1. 3 塩素ガスおよび塩化水素ガス

次亜塩素酸ナトリウム溶液は、加熱、酸との接触、光の影響下で分解し、有毒で腐食性のある塩素ガス(Cl₂)や塩化水素ガス(HCl)を生じると考えられている。従って、貯水槽内における清掃作業従事者の安全確保のためにも、貯水槽内で次亜塩素酸ナトリウム溶液から発生するエアロゾル、さらには、塩素ガスや塩化水素ガスの吸入や皮膚への付着防止のための防護対策が必要である。表 3-3、表 3-4 に塩素および塩化水素の基本物性および有害性等のデータを示す。

表 3-3 塩素および塩化水素の基本物性と有害性 (IPCS, 1982; 1993b; 1993c; JSOH, 2007)

項目	塩素	塩化水素
英名	Chlorine	Hydrogen Chloride
構造式	Cl ₂	HCl
分子量	70.9	36.5
CAS No.	7782-50-5	7647-01-0
外観	刺激臭のある帯緑色から黄色の気体	刺激臭のある無色の気体
沸点	-34 °C	-85 °C
融点	-101 °C	-114 °C
蒸気圧	365 kPa (0°C) 673 kPa (20°C)	2615 kPa (0°C) -
相対蒸気密度 (水=1)	2.5	1.3
曝露経路	吸入	吸入
短期曝露 の影響	催涙性、眼・皮膚・気道に対する腐食性、吸入すると肺臓炎や肺水腫を生じて反応性気道機能不全症候群を生じることがある、許容濃度をはるかに超えると死に至ることがある、これらの影響は遅れて現われることがある、医学的な経過観察が必要である	眼・皮膚・気道に対する腐食性、高濃度の気体を吸入すると肺炎・肺水腫を生じて反応性気道機能不全症候群を生じることがある、これらの影響は遅れて現われることがある、医学的な経過観察が必要である
長期曝露	肺に影響を与え慢性気管支炎を生じることがある、歯に影響を与え歯牙酸蝕を生じることがある	肺に影響を与え慢性気管支炎を生じることがある、歯に影響を与え歯牙酸蝕を生じることがある

表 3-4 塩素および塩化水素による一次災害時の急性症状・予防・処置及び漏洩物処理と貯蔵
(IPCS, 1993b; 1993c)

項目	塩素	塩化水素
許容濃度	日本産業衛生学会最大許容濃度 0.5 ppm (1.5 mg/m ³) 米国産業衛生専門家会議(ACGIH) 許容限界値(TLV): 0.5 ppm (TWA) 1 ppm (STEL)	日本産業衛生学会最大許容濃度 5 ppm (7.5 mg/m ³) 米国産業衛生専門家会議(ACGIH) 許容限界値(TLV): 2 ppm (STEL)
臭いの閾値	0.02 - 2 ppm (0.06 - 5.8 mg/m ³)	—
その他	<ul style="list-style-type: none"> この気体は空気より重い 許容濃度を超えても臭気として十分に感じないので注意が必要 	この気体は空気より重い
吸入 症状	腐食性, 灼熱感, 息切れ, 咳, 頭痛, 吐き気, めまい, 息苦しさ, 咽頭痛, 症状は遅れて現われることがある	腐食性, 灼熱感, 咳, 息苦しさ, 息切れ, 咽頭痛, 症状は遅れて現われることがある
吸入 予防	呼吸用保護具, 密閉系および換気	換気, 局所排気, または呼吸用保護具
吸入 処置	新鮮な空気, 安静, 半座位, 人工呼吸が必要なことがある, 医療機関に連絡する	新鮮な空気, 安静, 半座位, 人工呼吸が必要なことがある, 医療機関に連絡する
皮膚 症状	液体への接触による凍傷, 腐食性, 皮膚熱傷, 痛み	液体への接触による凍傷, 腐食性, 重度の皮膚熱傷, 痛み
皮膚 予防	保温用手袋, 保護衣	保温用手袋, 保護衣
皮膚 処置	多量の水で洗い流した後に汚染された衣服を脱がせて再度洗い流す, 医療機関に連絡する	多量の水で洗い流した後に汚染された衣服を脱がせて再度洗い流す, 医療機関に連絡する
眼 症状	腐食性, 痛み, かすみ眼, 重度の熱傷	腐食性, 痛み, かすみ眼, 重度の熱傷
眼 予防	安全ゴーグル, または呼吸用保護具と眼用保護具の併用	安全ゴーグル, または呼吸用保護具と眼用保護具の併用
眼 処置	数分間多量の水で洗い流し(できればコンタクトレンズを外して), 医師に連れて行く	数分間多量の水で洗い流し(できればコンタクトレンズを外して), 医師に連れて行く
漏洩物処理	<ul style="list-style-type: none"> 危険区域から立ち退く 専門家に相談する 換気 液体に水を噴射してはならない 細かな噴霧水を用いて気体を除去 環境中に放出してはならない 	<ul style="list-style-type: none"> 危険区域から立ち退く 専門家に相談する 換気 細かな噴霧水で気体を除去
貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> 強塩基, 可燃性物質, 還元性物質から離す 涼しい場所 乾燥 換気の良い場所に保管 	<ul style="list-style-type: none"> 可燃性物質, 還元性物質, 強力な酸化剤, 強塩基, 金属から離す 換気の良い場所に保管 涼しい場所 乾燥

TWA: 8 時間/日・40 時間/週の労働時間に対する時間荷重平均濃度, STEL: 15 分間の短時間曝露限界

塩素ガス、塩化水素ガスのいずれも蒸気圧が高い。そのため、きわめて急速に気化する。特に、塩化水素ガスは塩素ガスよりも蒸気圧が高いため、より気化しやすい。

塩素ガスは常温では気体で有害性が高い。塩素ガスは空気よりも重いため、換気は床面に沿って行う必要がある。また、許容濃度を超えても臭気として十分に感じない場合もあるので、貯水槽内を十分換気しながら防毒マスクや酸素呼吸器などを使用して身体を防護する必要がある。塩素ガスが皮膚に付着すると、皮膚表面の水分に塩素ガスが溶解して塩酸が生じる。塩酸は皮膚に対する腐食性が強いため、皮膚が露出しないよう、防護衣や帽子、安全ゴーグルや保護手袋等を着用して身体を防護する必要がある。

塩化水素ガスも塩素ガスと同様に常温では気体で有害性が高い。塩化水素ガスも空気よりも重いため、換気は床面に沿って行う必要がある。換気、防毒マスクや酸素呼吸器、防護衣、安全ゴーグルや保護手袋等の保護具の着用は、身体の防護のために必要である。

2. 貯水槽の消毒作業における健康影響の調査事例

貯水槽を清掃した後に使用される次亜塩素酸ナトリウム溶液等の消毒液は、次亜塩素酸ナトリウム溶液そのものの有害性もあるが、消毒作業時に発生する塩素系ガスによる作業者の健康影響が懸念される。そこで、貯水槽の消毒作業における健康影響の調査事例について文献調査を行った。その結果を表3-5に示す。

表3-5 貯水槽の消毒作業における健康影響の調査事例一覧

調査時期	調査結果の概要	出典
1982年頃 (推定)	給排水設備の保守管理を行う衛生管理業者が貯水槽の洗浄消毒作業を行っていた。作業は、洗浄→水洗→消毒の順で行っていた。洗剤はリン酸系化合物、消毒液は次亜塩素酸ナトリウム溶液であった。最初の洗浄時に誤って次亜塩素酸ナトリウム溶液を使用した。その後洗剤を追加する際、リン酸系洗剤を追加したところ塩素ガスが発生し、作業者がのどの激しい痛みを訴えた。その後作業者は10日の入院治療を受けた。この事例の原因は、リン酸と次亜塩素酸ナトリウムが反応して塩素ガスが発生したことであった。	労働省労働衛生課(1983)
1984年	社団法人全国飲料水槽清掃管理協会の会員に対して、使用消毒液濃度、作業従事者の健康影響等に関するアンケート調査を行い、207社から回答を得た。調査結果を図3-1、図3-2、図3-3、表3-6に示した。有効塩素濃度50ppmの作業者が最も多く、消毒作業後の事故の発生はなかった。有効塩素濃度の増加に伴い、作業従事者の主訴・症状の件数が増加していた。	木村(1985)
1986年	建築物飲料水貯水槽清掃業北海道知事登録会社の作業従事者に対して、使用消毒液濃度、作業従事者の健康影響等に関するアンケート調査を行い、87名から回答を得た。調査結果を図3-1、図3-2、表3-6に示した。有効塩素濃度50ppmの作業者が最も多く、1984年の調査結果とほぼ同様の傾向であった。作業時に、メガネ、マスクを使用していない従事者が多く、それぞれ54%、76%であった。また、手袋の未使用者も17%であった。	木村(1986)
1999年	都内のマンションにおいて、FRP製貯水槽清掃時に塩素ガス、塩化水素ガス濃度を調査した。その結果を表3-7に示す。さび落としのためにFRP専用の酸性洗剤を使用した受水槽では、次亜塩素酸ナトリウム溶液との反応により高濃度の塩化水素ガスの発生が認められた。表3-8に示すように、実験的に行った調査でも、高濃度の塩化水素ガスが確認された。	財団法人ビル管理教育センター(2000) 杉山ら(2000)

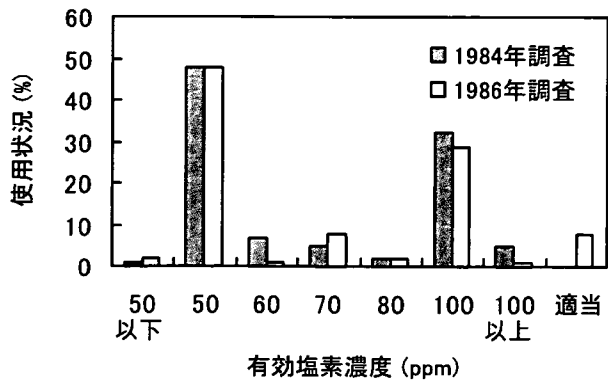


図3-1 有効塩素濃度の使用状況

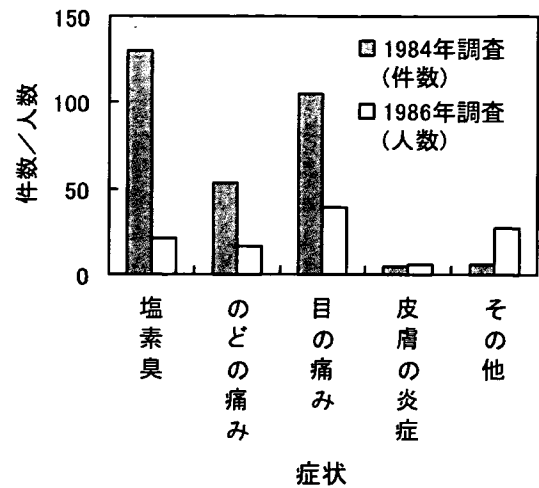


図3-2 作業従事者の主訴・症状

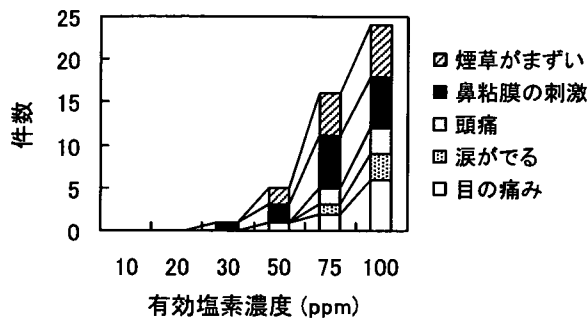


図3-3 有効塩素濃度別の主訴・症状

表3-6 作業従事者の使用保護具の状況

使用保護具		使用割合 (%)	
		1984年調査	1986年調査
マスク	ガーゼマスク	62	28
	ガスマスク	23	10
	エアラインマスク	15	7
	その他	0	1
	未使用	—	54
メガネ	水中メガネ	39	3
	ゴーグル	22	5
	防じんメガネ	39	13
	その他	0	3
	未使用	—	76
手袋	軍手	13	7
	ゴム手袋	54	58
	ビニール手袋	33	18
	未使用	—	17
作業衣	つなぎ	53	21
	カッパ	41	15
	貯水専用服	—	60
	その他	6	4