

表6 アメリカにおける消毒処理の実施割合(%) (2000年) 7)

表流水の場合

消毒処理方法	給水人口									
	100人以下	101-500	501-3,300	3,301-10,000	10,001-50,000	50,001-100,000	100,001-500,000	500,000以上	全施設	
塩素のみ	49.5	32.4	7.9	6.0	0.3	1.0	6.8	10.2	16.2	
前消毒・酸化	塩素	18.6	2.9	37.6	50.9	51.7	45.8	52.2	45.4	34.5
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	11.4	7.4	4.3	2.2
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	1.0	8.3	0.0	10.0	11.1	2.4
	オゾン	0.5	0.9	0.0	1.0	0.0	5.3	3.9	6.0	1.0
	KMnO <sub>4</sub>	0.0	1.1	24.9	29.4	37.1	29.2	27.8	26.6	20.3
	その他	0.0	0.0	4.8	1.0	0.0	0.0	1.7	0.0	1.3
中間消毒・酸化	塩素	7.4	11.9	24.2	24.3	35.4	38.3	31.5	37.7	23.0
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.0	2.8	0.0	0.8
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1.3	6.9	7.7	1.4
	オゾン	0.0	15.3	0.0	0.0	1.1	2.3	4.1	6.0	3.5
	KMnO <sub>4</sub>	0.0	1.2	6.9	10.1	5.5	7.8	3.9	2.6	5.0
	その他	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	1.0
後消毒	塩素	27.8	58.3	77.4	85.3	83.7	75.3	74.5	53.9	68.7
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	1.0	5.0	1.5	0.6	0.0	1.1
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	4.1	22.5	18.9	23.6	21.3	7.1
	オゾン	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	1.7	0.4
	紫外線	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.6
	その他	0.0	0.0	7.9	0.0	2.1	1.0	1.1	0.0	2.1

地下水の場合

消毒処理方法	給水人口									
	100人以下	101-500	501-3,300	3,301-10,000	10,001-50,000	50,001-100,000	100,001-500,000	500,000以上	全施設	
塩素のみ	81.4	73.2	72.7	72.5	67.8	71.1	68.6	96.9	74.3	
前消毒・酸化	塩素	0.0	7.5	9.4	10.6	11.3	5.9	9.5	0.0	7.2
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	10.5	0.4	0.0	0.2
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	4.5	0.0	0.1
	オゾン	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1
	KMnO <sub>4</sub>	0.0	3.7	3.2	4.4	0.7	1.2	0.4	0.0	2.6
	その他	1.3	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	4.9	0.0	0.4
中間消毒・酸化	塩素	1.5	7.1	10.0	7.5	10.8	1.2	3.0	2.5	6.9
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.4	0.0	0.0
	オゾン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	KMnO <sub>4</sub>	0.0	1.4	5.0	2.4	4.0	0.0	0.4	0.0	2.6
	その他	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
後消毒	塩素	8.5	7.8	15.3	21.0	19.9	3.3	11.5	2.7	12.3
	ClO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.1
	クロラミン	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.8	3.4	0.0	0.3
	オゾン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	紫外線	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	その他	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.5

表7 アメリカにおける消毒方法の例<sup>10,11,12)</sup>

No.	浄水場名	所在地	処理水量 m <sup>3</sup> /日	塩素以外の消毒剤 数値は注入率	残留消毒剤
1	アパーサントリアンドロ 浄水場	オークランド	300,400	オゾン 4mg/L (殺菌 + 異臭味除去)	塩素 浄水場出口 0.7mg/L
2	サンアンドアス浄水 場	サンフランシスコ	684,000	前オゾン 1.3mg/L フッ素添加	塩素
3	ハワース浄水場	ニュージャージー	832,000	後オゾン (殺菌+異 臭味除去)	クロラミン アンモニア 0.9 mg/L 塩素 2.5 mg/L 注入
4	ベイシティ浄水場	ニュージャージー	152,000	後オゾン 1.5 ~ 3.0 mg/L フッ素添加	塩素 浄水場出口 1.2 mg/L
5	フェフナー浄水場	オクラホマシティ	171,000	後オゾン	クロラミン アンモニア+塩素
6	エイミス浄水場	ルイジアナ州	342,000	前後オゾン5mg/L(異 臭味除去)	クロラミン 3mg/L ClO <sub>2</sub> 0.5mg/L 注入
7	マートビーチ浄水場	サウスカロライナ 州	112,100	前後オゾン 11 mg/L (脱色+殺菌)	モノクロラミン 2.5mg/L 注入
8	ツーソン浄水場	アリゾナ州	60 万人	前オゾン (殺菌)	クロラミン 塩素 : NH <sub>3</sub> = 4 : 1
9	ロサンゼルス浄水場	ロサンゼルス	1,634,000	前オゾン 1.5 mg/L (殺菌+異臭味除去)	塩素 1mg/L 注入
10	チャーチデベリエ浄 水場	モンチリオール	1,136,000	後オゾン 3mg/L (脱色+脱臭+消毒)	塩素 0.7 mg/L 浄水場出口
11	ロスディル+スミス浄水 場	エドモントン	800,000		クロラミン配水管で 0.5 mg/L
12	フットヒルズ浄水場	デンバー	1,080,000		クロラミン 1.3mg/L
13	フィートコリンズ浄 水場	フィートコリンズ	280,000		塩素 0.5 mg/L 浄水場出口
14	ヘネシー浄水場	カルフォルニア州	113,600		塩素 0.7mg/L 浄水場出口
15	スミス浄水場	ネバタ州	2,271,000		塩素
16	ウェイマウス浄水場	カルフォルニア州	1,968,000		クロラミン 塩素 : NH <sub>3</sub> = 5 : 1
17	スキナー浄水場	カルフォルニア州	1,970,000		クロラミン
18	アグア・デ・リゾス浄 水場	カルフォルニア州	291,000		クロラミン 塩素 : NH <sub>3</sub> = 5 : 1

No. 1 ~ 11 は海賀信好著：世界の水道（2002年4月発行）<sup>10)</sup> から引用しており、調査年度は不明

No.12,13 は 1997年9月時点のデータ<sup>11)</sup>、No.14~18 は 1999年8月の時点のデータ<sup>12)</sup>

表 8 アメリカにおける主な紫外線実施例（試運転を含む）<sup>13)</sup>

浄水場名	所在地	処理水量 m <sup>3</sup> /日	ランプ出力×本数×基数
ウエストビュー浄水場	ペンシルバニア	150,000	20kw×6×1
グロッセポイント浄水場	ミシガン	53,000	4kw×4×1
ボーリンググリーン浄水場	オハイオ	45,000	20kw×4×1
イーエルスミス浄水場	エドモントン	360,000	20kw×6×3
キャンモア浄水場	アルバータ	21,300	4kw×4×1
マンハイム浄水場	オンタリオ	76,000	20kw×6×2
ムンタウンシップ浄水場	ペンシルバニア	20,000	4kw×2×4
ノースバルトフォード浄水場	サスカチュワン	171,000	
ノースベイ浄水場	オンタリオ	79,800	
ノースタホー浄水場	カリフォルニア	17,500	
シアトル浄水場	ワシントン	684,000	
ジャンパングルチ浄水場	ビクトリア	581,400	
チャーターズクリーク浄水場	ビクトリア	15,200	
アルバニー浄水場	ニューヨーク	152,000	
アウエゴ浄水場	ニューヨーク	38,000	
クリステッドバット浄水場	コロラド	7,600	
オンタリオ浄水場	ニューヨーク	13,300	
デイビスノース浄水場	ユタ	97,500	
フリーマンロード浄水場	ジョージア	45,000	
ダブリュージェイフーパー浄水場	ジョージア	76,000	
ヘンダーソン浄水場	ネバダ	56,200	

### 3 ヨーロッパにおける消毒の現状

#### 3. 1 ヨーロッパにおける消毒基準値

欧州連合（EU）では、EU 各国が遵守しなければならない最低水質基準値として EU 指令を 1985 年(1998 年改訂)に施行しているが、その指令では消毒は必要とされていない。ただし表 2 に示したとおり、大腸菌などの微生物が検出されないこととなっており、必然的に適切な消毒が行われることを意味している。これらを指標もとに EU 各国では、独自に消毒剤の選定や水質基準を設定している。ここでは EU 各国の消毒に関する法規制や実施状況、考え方を整理する。なお、各国のデータは米国水道協会雑誌（1999 年 1 月）<sup>14)</sup>から引用している。

#### 3. 2 消毒を法的に義務づけている国

EU のなかではポルトガル、スペイン、イギリスが、すべての飲料水に対して法的に消毒を義務づけている。オーストリア、デンマーク、フランス、オランダは表流水から取水している場合のみ消毒を法的に義務づけている。またオーストリアとドイツは、微生物に関する基準値を達成する必要がある場合に限り、消毒剤の残留を要求しているが、オーストリアは同時に上限値も設定している。日本と同様に給水栓で消毒剤の残留を法的に義務づ

けているのは、ポルトガルとスペインであり、ポルトガルは給水栓で 0.2mg/L、スペインは給水栓で 0.2~0.8mg/L の残留塩素濃度保持を法的に義務づけている（表 9）。

各国は消毒についてのガイドラインを作成しており以下の情報が提示されている。

- (1) 消毒剤として塩素、次亜塩素酸、オゾン、二酸化塩素、クロラミン、UV、銀、過マンガン酸に関する情報
- (2) 状況に応じた適切な注入量に関する情報
- (3) 消毒残留効果を低減化させる物質に関する情報

表 9 法的に消毒剤の残留を義務づけている国の例<sup>14)</sup>

国名	消毒剤	浄水場出口濃度 mg/L	給水栓濃度 mg/L	備考
オーストリア	遊離塩素	0.3~0.5	0.3 未満	微生物基準値を達成するために必要な場合に浄水場出口での消毒剤の残留を義務づけているが、給水栓では上限値を設定している。
	オゾン	0.1 以上	0.05 未満	
	二酸化塩素	0.05 以上	0.2 未満	
ドイツ	遊離塩素	適用なし	0.1 以上	微生物学的に必要な場合
	二酸化塩素	適用なし	0.05~0.2	
ポルトガル	塩素	適用なし	0.2	
スペイン	遊離塩素	適用なし	0.2~0.8	pH によって基準値は異なる
	結合塩素	適用なし	1.0~1.8	

### 3. 3 目標値として消毒剤の残留濃度を規定している国

ベルギー、フィンランド、フランス、アイルランド、ルクセンブルグ、スイスの6カ国は浄水場出口において目標値（ガイドライン）となる消毒剤の残留濃度を示している（表 10）。目標値の提示の方法は二通りあり、ベルギーやフランスのように浄水場出口で確保する値を示しているものものと、ルクセンブルグやスイスのように上限値を設定しているものがある。残留消毒を法的に又は目標値として規定している理由は以下のとおりである。

- (1) 生物学的指標値に合致するため
- (2) 生物膜の生成を防止するため
- (3) 微生物やバクテリアを最小化するため
- (4) 配水システムにおける混入時の被害を最小限に対処するため
- (5) 汚染物質が混入した場合の指標として活用するため

一方、イギリスなどでは、法的に諸毒を義務づけていながら基準値や目標値を設定していない。それは、消毒残留濃度は水源水質、処理方法、配水システム状況に応じて異なるという観点からである。

表 10 消毒剤残留の目標値（ガイドライン）<sup>14)</sup>

国名	消毒剤	浄水場出口濃度 mg/L	給水栓濃度 mg/L
ベルギー	遊離塩素	0.2	適用なし
フィンランド	全塩素	1.0 未満	
フランス	遊離塩素	0.1	
アイルランド	遊離塩素	0.2~0.5	
ルクセンブルグ	遊離塩素	0.25 未満	
スイス	遊離塩素 二酸化塩素 オゾン クロラミン	0.1 以下 0.05 以下 0.05 以下 0.2 以下	

### 3. 4 消毒剤の残留を要求していない理由

前述した国以外では消毒剤の残留を要求していない。その理由は以下のとおりである。

- (1) 良好な原水水質であるため（特に地下水は生物学的に安定している）
- (2) 浄水場におけるマルチプルバリアの考えからほとんどの有害物質を除去できるため
- (3) 配水システムの微生物の再増殖は、洗管などによる維持管理で清澄な状況を維持できるため
- (4) 消毒副生成物を防ぐため

また、仮にわずかな消毒残留効果を維持していても重大な汚染物質の混入には効果がなないと考えており、さらに残留消毒を汚染物質混入の指標として用いることは、現実的には信頼性に乏しいとも考えている。

### 3. 5 消毒副生成物の基準

ギリシャ、ポルトガル、スペインを除いた他の国は、1つ以上の消毒副生成物に対する基準値を設けている（表 11）。主な物質は総トリハロメタンであり、10~100  $\mu$ g/L の範囲で基準値を設定している。オランダのみが臭素酸について基準値を設けている。

表 1 1 消毒副生成物の基準値<sup>14)</sup>

国名	消毒副生成物	基準値 mg/L	備考
オーストリア	総トリハロメタン	0.03	
	亜塩素酸	0.2	
ベルギー	総トリハロメタン	0.1	
デンマーク	総トリハロメタン	できるだけ低く	目標値 0.010~0.015
フィンランド	クロロフォルム	0.03	
	ブロモジクロロメタン	0.06	
	その他	WHO に従う	
フランス	クロロフォルム	0.03	
ドイツ	総トリハロメタン	0.01	浄水場出口値(状況により 0.025)
	亜塩素酸-二酸化塩素	0.2	
アイルランド	総トリハロメタン	0.1	
イタリア	総トリハロメタン	0.03	
ルクセンブルグ	総トリハロメタン	0.05	
オランダ※	ハロゲン化炭化水素	0.001	それぞれ物質に対して 消毒使用の場合は 0.005
	臭素酸	0.0005(目標値)	
	総トリハロメタン	0.02(目標値)	
スウェーデン	総トリハロメタン	0.05	
スイス	クロロフォルム	0.1	
	ブロモジクロロメタン	0.015	
	ジブロモクロロメタン	0.1	
	ブromoフォルム	0.1	
	総トリハロメタン	0.025(目標値)	
	亜塩素酸-塩素酸	0.3	
イギリス	総トリハロメタン	0.1	
	亜塩素酸-二酸化塩素	0.5	

※オランダは他に以下の暫定的な目標値を設定している。

クロロフォルム 0.005mg/L、ブロモジクロロメタン 0.006mg/L、ジブロモクロロメタン 0.005mg/L、ブromoフォルム 0.005 mg/L、亜塩素酸 0.2 mg/L、トリクロロ酢酸 0.1 mg/L、シアン化塩素 0.07 mg/L、ジブromoアセトニチル 0.1 mg/L、ジクロロアセトニチル 0.09 mg/L、ジクロロ酢酸 0.05 mg/L、ホルムアルデヒド 0.09 mg/L、トリクロロアセトニチル 0.001 mg/L、飽水クロラロール 0.01 mg/L

参考：日本の水質基準

総トリハロメタン 0.1 mg/L、クロロ酢酸 0.02 mg/L、クロロホルム 0.06 mg/L、ジクロロ酢酸 0.04 mg/L、ジブromoクロロメタン 0.1 mg/L、トリクロロ酢酸 0.2 mg/L、ブromoホルム 0.09 mg/L

### 3. 6 ヨーロッパにおける消毒のまとめ

各国の消毒管理の状況を表 1 2 にまとめた。日本と同様に給水栓での消毒剤の残留保持を法的に規定しているのはスペインとポルトガルである。逆にほとんどの国が消毒剤の残留基準値（下限値）を設定しない。理由は以下のとおりである。

- ① 水源が良好なため、浄水場で十分な処理が可能であること
- ② 的確な配水システムの管理が可能であること
- ③ 水道システムのおかれた状況により必要な消毒剤の量が異なるため一律な基準値の設定が困難なこと
- ④ 消毒副生成物を防止するためにはできるだけ消毒剤は少ない方がよいと考えること

表12 EUにおける消毒管理の状況のまとめ

国名	法的に消毒を義務づけている	消毒剤残留値 (□は法的に規制している国)			消毒副生成物基準値 (法的かガイドラインかの区別は不明)	
		消毒剤	浄水場出口 mg/L	給水栓 mg/L	消毒剤	濃度 mg/L
オーストリア	表流水	遊離塩素	0.3~0.5	0.3未満	総トリハロメタン	0.03
		オゾン	0.1以上	0.05未満		
		ClO <sub>2</sub>	0.05以上	0.2未満	亜塩素酸	0.2
ドイツ		遊離塩素		0.1以上	総トリハロメタン	0.01
		ClO <sub>2</sub>		0.05~0.2	亜塩素酸-二酸化塩素	0.2
ポルトガル	すべて	塩素		0.2		
スペイン	すべて	遊離塩素		0.2~0.8		
		結合塩素		1.0~1.8		
ベルギー		遊離塩素	0.2		総トリハロメタン	0.1
フランス	表流水	遊離塩素	0.1		クロロフォルム	0.03
フィンランド		全塩素	1.0未満		クロロフォルム	0.03
					プロモジクロロメタン	0.06
					その他	WHOに従う
スイス		遊離塩素	0.1以下		クロロフォルム	0.1
		ClO <sub>2</sub>	0.05以下		プロモジクロロメタン	0.015
		オゾン	0.05以下		ジプロモクロロメタン	0.1
		クロラミン	0.2以下	プロモフォルム	0.1	
				総トリハロメタン	0.025(目標値)	
亜塩素酸-塩素酸	0.3					
アイルランド		遊離塩素	0.2~0.5		総トリハロメタン	0.1
ルクセンブルグ		遊離塩素	0.25未満		総トリハロメタン	0.05
オランダ	表流水				ハロゲン化炭化水素	0.001
					臭素酸	0.0005(目標値)
					総トリハロメタン	0.02(目標値)
イギリス	すべて				総トリハロメタン	0.1
					亜塩素酸-二酸化塩素	0.5
デンマーク	表流水				総トリハロメタン	0.01~0.015
イタリア					総トリハロメタン	0.03
スウェーデン					総トリハロメタン	0.05
ギリシャ						

※ドイツとオーストリアは微生物基準値を達成するために必要な場合のみ、法的な消毒剤の残留値を適用する。

#### 4 オランダの取り組み

オランダは、EU のなかでも消毒剤の残留をなくすため、先進的な取り組みを行っている。特に AOC (Assimilable Organic Carbon : 同化有機炭素) と HPC (Heterotrophic Plate Count : 従属栄養細菌) という指標を用いた微生物学的水質管理を実践している。ここではオランダにおける微生物学的水質管理の状況について考察する。

##### 4. 1 オランダの現状<sup>15)</sup>

オランダは 20 の供給会社により 15,500,000 人に飲料水を供給しており、国内の年間給水量は 1,300,000,000m<sup>3</sup>/年に上る。国全体で 250 の水道システムがあり、そのうち 232 システムが地下水を処理しており (バンクフィルトレーションも含む)、給水量は 805,000,000m<sup>3</sup>/年 (62%) である。一方残りの 18 システムが表流水から取水しており、給水量は 485,000,000 m<sup>3</sup>/年 (38%) である。

地下水は消毒を用いていない。それらは帯水層に長い年月浸透しており (1000 年以上浸透するケースもある)、大腸菌による汚染される危険がないと考えているためである。

一方表流水から取水については、マルチプルバリアの観点から微生物を除去している。つまり完全に保護された貯水導水施設、凝集、沈殿、急速ろ過、GAC、緩速ろ過を組み合わせている。18 施設のうち、7 施設はバリアの一つとしてオゾン処理、2 つはクロラミン処理を用いている。ほとんどの施設は、浄水場出口では残留消毒効果は消失している。表流水を処理している 18 施設のうち 11 施設は、前塩素処理を行っている。そのうち 5 施設が二酸化塩素、6 施設が塩素を注入している。浄水場内の塩素濃度は 0.1~0.35mg/L である。

前塩素処理の目的は、①砂ろ過層や GAC 層のコロニー数を減少させる、②配水システムにおける再増殖を抑制させるためであり、大部分の配水システムでは残留消毒効果はなくなる。

##### 4. 2 水質管理の徹底<sup>15)</sup>

消毒副生成物の存在が明らかになった 1970 年代後半以降、前塩素処理をしていた 18 施設のうち 7 施設が前塩素処理をやめた。これらの施設は代わりに GAC、オゾン、UV を導入している。

またオランダでは EU 指令より厳しいの水質基準で管理を行っている。例えば大腸菌の試験には 100ml ではなく 300ml の試料水を用いている。浄水場出口の HPC の基準値は定義されていない。再増殖は配水システムにおいて制御されるべきとの考えからである。配水システムでは、1 年以上 HPC が 10cfu/ml(48 時間培養 37℃)以下、100cfu/ml(72 時間培養 22℃)以下になるよう管理している。

1945 年以降、2 回だけ重大な汚染事故が発生している<sup>20)</sup>。1962 年にアムステルダムで下水の混入により 6 人がチフスに感染した。また 1981 年には船からの汚水が水道管に侵入し 609 人が被害となった。



残留消毒がない状況においては、全大腸菌群の測定が汚染物質の混入、再増殖の指標となる。通常配水システムから大腸菌が検出される割合は0.5%以下であるが、まれに1~2%の確率で大腸菌が検出される。また配水管修理の後などには、3~5%の割合で大腸菌群が検出される。再検査でも検出された場合は洗管を実施し、大腸菌 (*E.coli*) が発見された場合は、洗管と塩素消毒を行う。

さらに水質保持の手段として以下の方策がとられている。

- 建設資材と付属品に対する認証制度の適用
- 配水システムの高水圧保持 (最低2気圧)
- 家庭のサイホン防止のためバルブ設置
- 病院などへ接続する配水管への緊急貯水槽の設置
- クロスコネクションを防ぐ基準やマニュアルの提供
- 配水管工事と修理時における指導と監督
- 工事資格者制度の導入と、資格者のみが消火栓を使える。
- 生物学的水質監視目標を発展させる

#### 4. 3 配水管の状況<sup>15)</sup>

オランダ国内の配水管延長 (口径 50mm 以上) はおよそ 100,000km である。約 40% が PVC であり、36%がアスベスト管、鉄管が 14%である。PVC は漏水防止に効果があり、PVC による配水システムの漏水率はおおむね5%以下であることから、PVC が今後も主要な管種となると予想している。

#### 4. 4 AOC、HPC、BFR による管理<sup>15)</sup>

微生物の再増殖は、生物学的に安定した給水と適切な管路の更新により防ぐことができる。生物学的に安定した水の測定方法は、AOC の測定と配水管内の生物膜特性調査がある。配水システムにおける AOC と HPC には重要な相関があり、HPC 増加を制御するためには、AOC は 10  $\mu$ g/L 以下にすべきであることが実証されており、AOC による管理が行われている。

また BFR (Biofilm Formation Rate : 生物膜形成率) (pg/cm<sup>2</sup> per day of ATP) は、生物膜生成の指標となる。アエロモナス菌の基準値である 200cfu/100ml を越えるリスクは、BFR が 10pg/cm<sup>2</sup>\*d ATP 以下では 20%以下であることがわかっている。したがって AOC と BFR は生物学的指標として不可欠なものになっている。さらに最近は生物膜形成ポテンシャル (BFP : Biofilm Formation Potential) を適用している。これは一定の作用時間におけるバッチテストにより、PVC やスチールなどの材料表面における生物膜密度 (pg/cm<sup>2</sup>\*d ATP) を測定するものである。これにより管の材質ごとに生物膜形成の密度を比較することが可能となる。以上の水と材質の両面からの生物学的なアプローチにより、オランダでは生物膜形成に基づいた水質管理を可能にしている。

## 参考文献

- 1) WHO: Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION, Volume 1 Recommendations, WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/)
- 2) アメリカ環境保護庁ホームページ <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#mcls>
- 3) 厚生労働省第4回厚生科学審議会生活環境水道部会水質管理専門委員会参考資料  
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2002/11/s1108-5g.html>
- 4) R.A.Breach: Overview of residential disinfection practice by European water suppliers, AQUA, 48(2), pp.39-43(1994.4)
- 5) 大垣眞一郎: オゾンによる消毒, 水道協会雑誌, 64(10), pp14-17.
- 6) Susan E.Shaw and Stig Regli: US regulations on residual disinfection, J. AWWA, 91(1), pp70-74 (1999.1)
- 7) USEPA: Community water system survey 2000 volume II :Detailed Table and Survey Methodology (2002.12)  
<http://www.epa.gov/safewater/cwssvr.html>
- 8) USEPA: FACTOIDS: Drinking Water and Ground Water Statistics for 2004 (2005.5)  
<http://www.epa.gov/safewater/data/getdata.html>
- 9) Charles N.Haas: Benefits of using a disinfectant residual, J. AWWA, 91(1), pp65-69,(1999.1)
- 10) 海賀信好: 世界の水道安全な飲み水を求めて, 技報堂, p133-180(2002年4月)
- 11) 日本水道協会: 塩素代替消毒剤の評価に関する研究報告書(9年間のまとめ), pp12, pp187-192 (1998.3)
- 12) 水道技術センター: 平成11年度ACT21第2回海外調査実施報告書アメリカ合衆国における浄水技術・浄水施設の視察調査, pp7-67(2000.3)
- 13) 石橋良信: 国内外における紫外線消毒の上下水道への導入方向, 水環境学会誌, 28(4), pp230-233(2005.4)
- 14) Owen Hydes "European regulations on residual disinfection", J. AWWA, 91(1), pp70-74 (1999.1)
- 15) Dick van der kooji, j.Hein M.van Lieverloo, Jon Schellart,and Peter Hiemstara: Maintaining quality without a disinfectant residual, J. AWWA, 91(1), pp55-64 (1999.1)

## ②病原性微生物による水道水源等の汚染および感染事例

分担研究者 県立広島大学生命環境学部 西村和之

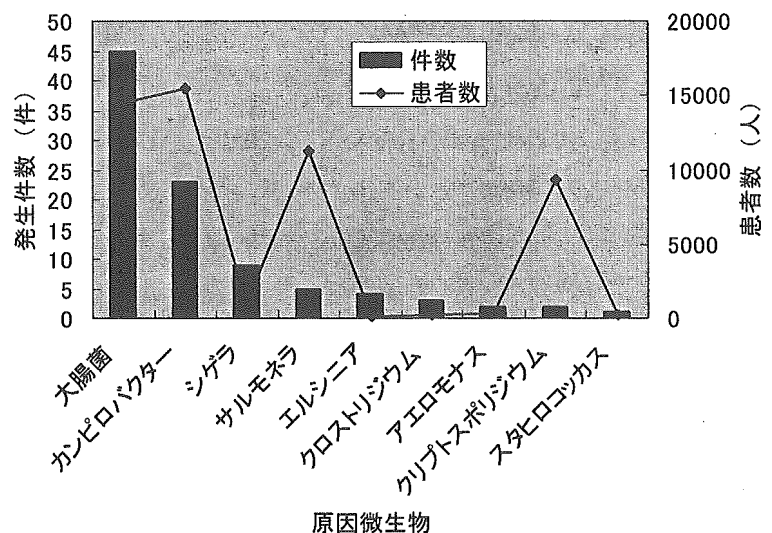
水道水、飲料水、汚染事故、感染症、食中毒あるいは、waterborne disease, outbreaks, infections disease 等のキーワードにより病原性微生物による水道水汚染に関する文献検索を行った。

米国等における事例は、1995年に石橋ら<sup>1)</sup>により1920～1992年までの取りまとめが報告されており、図に例示するように概略が把握できる。これに対して、日本の事例に関する文献検索では、石橋らも指摘するように個別の事例研究的文献が多く、近年、概略を把握できる取りまとめ的な報告は見つけられていない。

これに対して、一般的な情報ソースからの入手はやや困難と考えられるが、浅見<sup>2)</sup>による飲用井戸による健康障害事例に関する報告がある。この報告では、我が国において、1974年から2003年までの間に水道及び飲用井戸水に起因する健康障害の中で微生物によるものが88事例報告されており、特に井戸水によるものが62事例ある。と指摘し詳細を報告している。この報告にある原因微生物の内訳は、血清型不明を含めて *E. coli* が45事例と最も多く、*C. jejuni* 等のカンピロバクター菌類が23事例、*Shi. sonnei* や *Shi. flexneri* 等のシゲラ菌類が9事例、*Sal. typhi* 等のサルモネラ菌類が5事例、*Y. Pseudotuberculosis* 等のエルシニア菌類が4事例、*Clo. Prefingenes* が3事例、*Aeromonas* 菌類が2事例、*Cryptosporidiumu parvum* が2事例、*Sta. aureus* が1事例と報告している。(重複して原因微生物が検出されている場合は、個別に集計) 報告書に記載されている原因微生物、発生件数と患者数を纏めると、右図に示す通りであり、サルモネラ菌類とクリプトスポリジウムを原因微生物とした場合に1事故当りの患者数が多いことが留意点となる。(2種以上の原因微生物が検出している場合は、個別に集計)

一方、汚染原因を見ると、元々消毒設備が無い場合を含む何らかの消毒不良が31事例と半分を占めており、雑用水や浄化槽排水等の混入が13事例、誤配管、漏水やポンプの故障などの管理・施工不備等による汚濁水の混入が13事例あった。感染事故は、多くの事例で複数原因により起こされているが、消毒操作が適切に行われていれば防げた可能性が指摘できる。

次に、より遡った事例を含めて個別の事故報告に付いて概説する。1969年、善養寺ら(東京都立衛研)の報告<sup>3)</sup>によると、1966～1968年に *Shigella sonnei* と *S. flexneri* による飲料水による発症事例は自家井戸水2、専用水道3、不明1の計6件あり総患者数は966名、*E. coli* O27等の病原性大腸菌による発症例は自家井戸2、簡易水道1、不明1の計4件、総患者数417名としている。善養寺は、感染経路として飲用水の直接飲用よりも飲用水を介した食品汚染による増菌による発症を指摘している。また、1989年に長野県高遠町で発生した町営水道を感染源とする *Salmonella enteritidis* による発症事例による調査報告<sup>4)</sup>において、松村らは長野県の発症事例として、刑務所井戸水による278名のパラチフスA(1953)、受水槽の汚染による *Shigella flexneri* ib, *E. coli* O6(1980)、井戸水による *E. coli* O159(1984)、湧水による *Yersinia pseudotuberculosis* O3(1988) および簡易水道の汚染による *Campylobacter jejuni* (1980～1989までに4例)を上げている。この報告では、高遠町の汚染経路は、濁水の配水池への混入であると推定している。なお、同じく松村ら<sup>5,6)</sup>の報告では、1980年の汚染経路をレストラン地下受水槽の亀裂、1984年の汚染経



路をホテルの飲料用井戸水の消毒不備を指摘している。

その他、感染源が飲用水とされ、その汚染経路が推定されているものに、1983～1985年にかけて静岡県富士宮市の簡易水道が感染源となり15名が発症した *Salmonella typhi* D1 の事例<sup>7)</sup>があり、ここでは、下水道管からの漏水が水源を汚染し、簡易水道の消毒不備により感染事故が起きたと結論している。さらに、地下受水槽への雑用水混入による平塚市の *C. parvum* 感染事故 (1984)<sup>8)</sup>や簡易水道のろ過処理不備による越生町の事故 (1996)<sup>9)</sup>プールにおける二次感染 (長野から千葉県 2004) は有名である。

これら以降の報告に関しては、例えば、厚生労働省の web サイト<sup>10)</sup>には、平成 14～17 年までの食中毒発生事例が掲載されており、下表に示すように、2003～2005 年までに 8 例、飲用水が感染源と推定された汚染事故が報告されている。その内訳は次表の通りであるが、汚染経路は不明である。

年	場所	感染源	原因菌	患者数	
2003/3	新潟県	飲食店	井戸水を使用した飲料(推定)	ウイルス-小型球形ウイルス	151
2003/6	石川県金沢市		飲用井戸水	ウイルス-小型球形ウイルス	76
2003/7	大分県	家庭	井戸水	細菌-腸管出血性大腸菌(VT産生)	3
2003/7	千葉県	学校	冷水器の飲料水	ウイルス-その他のウイルス	47
2003/9	愛媛県	学校	飲用水(県条例水道)	細菌-カンピロバクター・ジェジュニ/コリ	69
2004/7	長野県	旅館	自家用井戸水(推定)	細菌-その他の病原大腸菌	18
2005/2	大分県	事業所	飲用水	細菌-その他の細菌	190
2005/8	高知県		飲料水	不明	16

以上のように、飲料水を原因とする感染性微生物による発症事例は、現在でも発生しつづけている。文献調査により得られた結果は、クリプトスポリジウム等の塩素耐性微生物の場合を除き、上水処理操作ミス、配管施工ミスや漏水、ポンプ故障や受水槽管理ミス等の維持管理上の不備等と言った人為的なミスと最終バリアーである消毒操作の不備が重なることにより引き起こされる場合が多い事を示している。従って、「塩素消毒なしの水道」を実現する為には、施工や機器の故障を含めた維持管理ミスを極力無くす必要があることを示していると同時に、「管理ミスによる汚染事故は必ず起こる」事を前提にした最終バリアーとしての代替消毒手法についての検討が必須であると考えられる。

- 1) 石橋良信、大村達夫、下原悦子、平田強、広谷博史：世界の水系微生物感染症の動向、水中の健康関連微生物シンポジウム講演集、1-13(1995)
- 2) 浅見真理：飲用井戸の化学物質汚染による健康障害、平成 16 年度報告書
- 3) 善養寺浩：用水の細菌汚染について、特に病原菌汚染を中心に、食衛誌、Vol.10(5)、1969
- 4) 松村紘一、西澤修一：上水道が原因と推測された *Salmonella Enteritidis* の集団食中毒、感染症学雑誌、Vol.66(6)、1992
- 5) 松村紘一：病原大腸菌食中毒、臨床栄養、Vol.63(1)、1983
- 6) 松村紘一、和田正道、小林正人、井戸水が原因と推定された *Escherichia coli* O159:H20 による集団食中毒、感染症学雑誌、Vol.60(1)、1985
- 7) 仁科敬得ら：静岡県富士宮市における簡易水道を原因とした腸チフスの集団発生、感染症学雑誌、Vol.63(3)、1988
- 8) 黒木俊郎ら：神奈川県で集団発生した水系感染 *Cryptosporidium* 症、感染症誌、70(2)、132-140、1996
- 9) 山本徳栄、中川善雄、羽賀道信：水道水によるクリプトスポリジウムの集団感染例ー国内および海外の事例一、化学療法の領域、14(2)、255-263、1998
- 10) <http://www.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/>

### ③消毒技術による微生物損傷性および塩素代替技術の管理手法

分担研究者 お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 大瀧雅寛

#### 1. 各消毒技術間の微生物損傷程度の比較

##### 1. 1. 培地による検出法からの観点

損傷を受けているが、致命的なものではない微生物に関しては、コロニー形成が行われませんが、回復可能性があることから、誤陰性を生み出す元となることが指摘されている<sup>1)</sup>。これらは状況によって10~90%を占めるとも言われている。また病原微生物は、指標細菌に比べて損傷を受けにくいとの報告もある<sup>2)</sup>。損傷細菌を回復させて回復量を測定する方法として、特定培地を用いて行う方法が提案されている<sup>3)</sup>。その報告では、m-T7培地が良いとされている。また、塩素消毒後の水などにおいてcolisure™培地を使うと検出量が上がるという報告がある<sup>4)</sup>。このような消毒後の試料において、異なる培地を用いたり回復用培地を用いることによって、従来法の結果とは異なる量が検出されることになる。従って、これらの量の比較によって、細菌の損傷程度を推定することが可能と考えられる。

##### 1. 2. 分子生物学的方法からの観点

良く使われる方法としてDAPI/PI法がある。これは染色の透過性の有無によって細胞膜の活性を調べる方法である。その他に、SYBR-IIを用いた方法<sup>5)6)</sup>が報告されている。その他の方法としては、電子顕微鏡を用いた直接形態観察を行った報告<sup>7)8)</sup>がある。また細胞由来の脂肪酸の変遷によって損傷を測定しようと言う試みもある<sup>9)</sup>。また表面電位を測定し、損傷を探ろうとした研究報告<sup>10)</sup>がある。その他には、対象が大腸菌などの病原関連細菌では無いが、BacLight™ viability kitを利用して蛍光発色を利用するものがあり、病原関連細菌への応用も検討できる<sup>11)</sup>。ATPを用いて細胞毒性について調べた報告<sup>12)13)</sup>があり、消毒方法の検討への応用が考えられる。また対象がファージではあるが、塩素消毒過程におけるSDS-PAGE法を用いた外套タンパクの損傷の検出およびPCR法を応用した遺伝子損傷の検出を試みた研究報告例<sup>14)</sup>が見られており、興味深い。その他にはDVC (direct viable count)法による代謝活性を検出する方法もある。これは、増殖(細胞分裂)するための代謝活性を検出するものであり、試料を酵母抽出液(栄養)、ナリジキシン酸(細胞分裂を阻害する抗生物質)と合わせて培養することで、代謝活性が細胞分裂の代わりに細胞伸張に使われるのを顕微鏡にて観察する。海水中の細菌数において、前述のアクリジンオレンジを使用した全菌数と比較すると、DVC法で検出できる細菌数は10-1倍であったと報告されている<sup>15)</sup>。また前述のDAPIやCTC (5-cyano-2,3-ditolyl tetrazoliumを用いた呼吸活性を測定する染色法)、6CFDA (6-carboxy fluorescein diacetateを用いたエステラーゼ活性を測定する染色法)等を使った蛍光観察やDVC法等を併用し、それぞれ試料中の全菌数、呼吸可能細菌数、エステラーゼ活性を持つ細菌数、増殖(growth)ポテンシャルのある細菌数を比較し、生理活性のある細菌がどれだけ存在するかを評価したという報告もされている<sup>16)17)18)</sup>。

### 1. 3. 微生物の損傷を考察した消毒処理からの観点

最も、一般的に使われている塩素消毒における研究報告<sup>4)5)6)10)11)14)</sup>が多い。その他としては、光触媒、オゾンなどの酸化処理に関する報告<sup>7)8)9)</sup>も若干見られている。紫外線照射方法を対象とした報告は今のところ見られない。

## 2. 塩素代替消毒技術の管理手法の開発

### 2. 1. 紫外線消毒のモニタリング手法の観点から

塩素代替消毒技術として特に紫外線消毒の管理手法について文献調査を行った。一般的にはUV消毒はランプ出力の確認と処理対象水の紫外光透過率から算定することができる<sup>19)</sup>。また現場においてUVプラントに試験生物を投入して、装置の通過前後の濃度を測定することにより処理性能を評価するいわゆる生物線量計を用いることが推奨されている<sup>20)</sup>。生物線量計には、これまで様々な研究報告がされている。用いる生物が大腸菌ファージである場合は、Qβ<sup>21)</sup>やMS2<sup>22)</sup>が使われている。また枯草菌もUV耐性が強いことから主にヨーロッパで用いられている<sup>23)</sup>。この方法は、装置の形状によらない、流動条件を考慮する必要がない、など多くの利点がある。しかしいずれにせよ、実地での投入実験による消毒性能の確認では、日常的に監視する方法とはならない。従って処理対象水の状況（透過率など）が変化した場合にも十分な性能が保たれているのかは監視出来ない。そこで対象処理水に既存の微生物を生物線量計に用いる可能性が考えられている<sup>24)</sup>。ここでは既存の微生物として、好気性芽胞菌（Aerobic bacterial spores）が用いられている。我が国で指標として使われている一般細菌を用いた試みも報告<sup>25)</sup>されている。

### 2. 2. 紫外線消毒装置における化学線量計の観点から

これまで多くの化学線量計が提案されている。従来からシュウ酸鉄を用いる方法が確立している<sup>26)</sup>。これはシュウ酸鉄に紫外光が照射されて第一鉄イオンが遊離したものを測定する方法であり長く使われているが、可視光域（～500nm）でも反応するため、ハンドリングの困難さが指摘されている。過硫酸塩を用いる方法も提案されている<sup>27)</sup>。これは、過硫酸塩が紫外光照射によって、酸素存在下において硫酸イオンおよび水素イオンが生じるものを測定する方法である。300nm以下の光に限定されるため、扱いやすいという特徴がある。またヨウ素イオン、ヨウ素酸イオンの混合溶液を用いる方法も提案されている<sup>28)29)</sup>。これは紫外光下で、三ヨウ素イオンの生成が生じるもので、この生成した三ヨウ素イオンを352nmの吸光度で容易に測定出来るという特徴を持っている。この化学線量計も、反応する光は300nm以下に限定されているため、扱いやすい。上記の化学物質は、紫外光で反応する点において消毒ランプへの適用が可能であるが、必ずしも吸光スペクトルが、生物の核酸（DNA および RNA）と同じではない。従って、広い波長域を持つUVランプ（例えば中圧紫外線ランプ）に適用する場合においては、その不一致性が懸念されている。そこで、核酸の構成物質の一つであるウラシルを線量計として扱うという試みも報告されている<sup>26)27)</sup>。しかしウラシル溶液の量子収率は一般的に非常に低く、その点が扱いにくい点となっている。対応策として、ウラシルを結晶とし薄膜を形成させることによって量子収率を向上させることに成功した研究報告<sup>30)231)</sup>がある。ただし結晶化薄膜は、紫外光を面的に測定することが

可能であるが、溶液中の紫外線量を測定することはできていない。従って、溶液において量子収率を挙げる方法の開発が待たれるところである。

### 2. 3. 紫外線消毒の効果の観点から

塩素の代替処理として、紫外線消毒の安全性を確保するためには、さまざまな微生物に対する紫外線消毒効果を把握しておかねばならない。実用的にも消毒装置において、ある紫外線線量が確保されていたとしても、その線量が病原微生物の不活化に十分な量であるのかどうかを把握しておく必要がある。これまで細菌、ウイルス、原虫に対して、紫外線の感受性をまとめた Sobsey の文献レビュー<sup>32)</sup>があり、様々な箇所で引用されている。しかしこの文献レビューは、10年以上前の状況であることなどから、最新のデータではない。特に微生物の中でもデータの蓄積が急速に進んでいるウイルスの分野においては、上記レビューに不足な点が多々見られる。そこで特にウイルスの感受性について、これまでの様々な文献をまとめてみた。その結果を表1に示す。

表1. 各種ウイルスの99%, 99.9%不活化に必要な紫外線線量 [mJ/cm<sup>2</sup>]<sup>32)-39)</sup>

ウイルス種	99%	99.9%	実験条件	文献
Adenovirus 2	53	80	蒸留水	Ballester <i>et al.</i> (2003)
Adenovirus 40	60	90	蒸留水	Meng <i>et al.</i> (1996)
	102	153	地下水	Thurston <i>et al.</i> (2003)
Adenovirus 41	47	71	蒸留水	Meng <i>et al.</i> (1996)
	111	167	PBS	Ko <i>et al.</i> (2003)
Carine calicivirus	10	15	?	Husman (2003)
Feline calicivirus	14	21	地下水	Thurston <i>et al.</i> (2003)
	16	24	?	Husman (2003)
Coxsackievirus A-9	24	36	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Coxsackievirus B-1	31	46	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Echovirus 1	22	32	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Echovirus 11	24	36	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Hepatitis A	7	11	?	Wolfe (1990)
Mouse minute virus	5	7.7	PBS	Anderle (2003)
Porcine parvovirus	5	6.8	PBS	Anderle (2003)
Poliovirus	15	23	?	Cairn (1992)
Poliovirus 1	8	12	蒸留水	Meng <i>et al.</i> (1996)
	10	15	?	Wolfe (1990)
	22	32	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Poliovirus 2	24	36	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Poliovirus 3	21	31	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Reovirus 1	31	46	海水中	Hill <i>et al.</i> (1970)
Rotavirus	23	34	?	Cairn (1992)
Rotavirus SA-11	16	24	?	Wolfe (1990)
MS2	28	42	蒸留水	Meng <i>et al.</i> (1996)
	58	87	BDF	Thurston <i>et al.</i> (2003)
PRD-1	17	26	蒸留水	Meng <i>et al.</i> (1996)
QB	41	54	PBS	Kamiko <i>et al.</i> (1989)
φX174	4	6.7	PBS	Anderle (2003)

### 3. 参考文献

- 1) APHA *Standard methods 20<sup>th</sup> ed.*, American Public Health Association, Washington DC., 1998
- 2) LeChevallier et al, Changes in virulence of waterborne enteropathogens with chlorine injury. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol.50, 412, 1985
- 3) LeChevallier et al, New medium for the improved recovery of coliform bacteria from drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol.45, 484, 1983
- 4) G. A. McFeters et al., Comparative performance of colisure<sup>TM</sup> and accepted methods in the detection of chlorine-injured total coliforms and *E. coli*, *Wat. Sci. and Tech.*, vol.31, 259, 1995
- 5) M. H. Phe et al., Nucleic acid fluorochromes and flow cytometry prove useful in assessing the effect of chlorination on drinking water bacteria, *Wat. Res.*, Vol.39, 3618, 2005
- 6) M. H. Phe et al., Chlorination effect on the fluorescence of nucleic acid staining dyes, *Wat. Res.*, Vol.38, 3729, 2004
- 7) H. F. Diao et al., Electron microscopic investigation of the bactericidal action of electrochemical disinfection in comparison with chlorination, ozonation and Fenton reaction, *Process Biochemistry*, Vol.39, 1421, 2004
- 8) K. P. Kühn et al. Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light, *Chemosphere*, Vol.53, 71, 2003
- 9) F. Abu-Shkara et al. The effect of fatty acid alteration in coliform bacteria on disinfection resistance and/or adaptation, *Wat. Sci. and Tech.* Vol.38, 133, 1998
- 10) C. Venkobachar et al., Mechanism of disinfection: Effect of chlorine on cell membrane functions, *Wat. Res.*, Vol.11, 727, 1977.
- 11) Goar W. Ramirez et al., A rapid, direct method for assessing chlorine effect on filamentous bacteria in activated sludge, *Wat. Res.*, Vol.35, 3894, 2000
- 12) E. Hidalgo et al., Mechanisms underlying chlorhexidine-induced cytotoxicity, *Toxicology in Vitro*, Vol.15, 271, 2001
- 13) D. A. King et al., HOCl-mediated cell death and metabolic dysfunction in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, *Archives of Biochem. and Biophys.*, Vol.423, 170, 2004
- 14) 中村みやこ、片山浩之、李錫憲、大垣眞一郎 (1999) 消毒における水中 RNA ウイルスの損傷の検出 環境工学研究論文集、第 36 巻、pp187-197
- 15) K.Kogure et al., A tentative direct microscopic method for counting living marine bacteria, *Can.J.Microbiol*, Vol.25, p.415, 1979
- 16) Ulla Li Zweifel, Total counts of marine bacteria include a large fraction of non-nucleocid-containing bacteria(ghost), *Appl.Environ.Microbiol.*, Vol.61, p.2180, 1995
- 17) G.M.Luna, Large fraction of dead and inactive bacteria in coastal marine sediments: comparison of protocols for determination and ecological significance, *Appl. Environ.Microbiol.*, Vol.68, p.3509, 2002
- 18) M.Kawai, Rapid enumeration of physiologically active bacteria in purified water used in the



- pharmaceutical manufacturing process, *J.Appl.Microbiol.*, Vol.86, p.496, 1999
- 19) WEF, *Wastewater disinfection: manual of practice*, Water Environmnet Federation, Alexandria, VA, USA, 1996.
  - 20) EPA, *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA, 1999
  - 21) Kamiko, N et al., RNA coliphage Qb as a bioindicator of ultraviolet disinfection efficiency, *Wat. Sci. and Tech.*, Vol.21, 179, 1989.
  - 22) J. A. Tree et al., Virus inactivation during disinfection of wastewater by chlorination and UV irradiation and the efficacy of F<sup>+</sup> bacteriophage as a 'viral indicator', *Wat. Sci. and Tech.*, Vol.35, 227, 1997
  - 23) R. Sommer, Comparison of three laboratory devices for UV-inactivation of microorganisms, *Wat. Sci. and Tech.*, Vol.31, 147, 1995
  - 24) H.M.Gravetz et al. UV disinfection of indigenous aerobic spores: implications for UV reactor validation in unfiltered waters, *Wat. Res.*, Vol.38, 2898, 2004
  - 25) 松澤亮ほか, 「湧水を水源とする蟹沢浄水場への紫外線消毒装置導入(II)」 第50回全国水道研究発表会講演集, 328, 2005.
  - 26) S.L.Murov et al., *Handbook of Photochemistry*, 2<sup>nd</sup> Ed., Marcel Dekker, Newyork, USA, p.299, 1993.
  - 27) G. Mark et al., A chemical actinometer for use in connection with UV treatment in drinking water processing, *J. Water SRT-Aqua*, Vol.39, p.309, 1990.
  - 28) R.O.Rahn, Potassium iodide as a chemical actinometer for 254 nm radiation: use of iodate as an electron scavenger, *Photochem. Photobiol.*, vol.66, p.450, 1997.
  - 29) R.O.Rahn et al, The Iodide/Iodate actinometer in UV disinfection: Characteristics and use in the determination of the fluence rate distribution in UV reactors, *Proc. of AWWA water quality technology conf.*, 2000.
  - 30) A.Bérces et al., Biological UV dosimeters in the assessment of the biological hazard from environmental radiation, *J. of Photochem. Photobio. B: Biology*, Vol.53, p.36, 1999
  - 31) R.Horvath et al., The effect of UV irradiation on uracil thin layer measured by optical waveguide lightmode spectroscopy, *Biosensors & Bioelectronics*, Vol.16, p.17, 2001
  - 32) M. Sobsey, Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes, *Wat. Sci. and Tech.*, Vol.21, p.179, 1988.
  - 33) Ballester N.A. et al., Synergistic Disinfection of Adenovirus Type 2, *Proc. of 2nd IUVA conference held in Vienna.(CD-ROM)*, 2003
  - 34) Meng Q.S: et al., Comparative inactivation of enteric adenoviruses, poliovirus and coliphages by ultraviolet irradiation, *Wat. Res.*, Vol.30, p.2665, 1996
  - 35) Thurston-Enriquez J.A., et al., Inactivation of Feline Calisivirus and Adenovirus Type 40 by UV Radiation, *Appl. Envir. Microbiol.* Vol.69, p. 577, 2003
  - 36) Ko G. et al., UV inactivation of Adenovirus Type 41 Measured by Cell culture mRNA RT-PCR, *Proc.*

*of 2nd IUVA conference held in Vienna.(CD-ROM), 2003.*

- 37) Husman A.M.de R. et al., Calicivirus inactivation by non-ionizing (UV-253.7 nm) and ionizing (gamma) radiation, *Proc. of 2nd IUVA conference held in Vienna.(CD-ROM), 2003.*
- 38) Hill W.F., et al., Viral disinfection of estuarine water by UV, *J. Sanitary Engineering Division, ASCE, SA5, 1971.*
- 39) Anderle H. et al., Assessment of the efficacy of virus inactivation by UV-C treatment of therapeutic proteins, *Proc. of 2nd IUVA conference held in Vienna.(CD-ROM), 2003.*

分担研究報告書 2

## 給配水過程における健康リスクに関する検討

分担研究者 船水 尚行

## 給配水過程における健康リスクに関する検討

分担研究者 北海道大学大学院工学研究科環境創生工学専攻 船水 尚行

### 研究要旨

本研究の目的として、残留塩素に依存しない系において、どのようなリスク要因があるか、(DALYを指標とした場合、依存する場合としない場合とではどの程度の差となるか、また残留塩素に依存しない系においてリスク値を一定以下にするためには現状のままではどうか、という課題に対して、水源域+原水水質+処理系+消毒系+配水池+配水管網+給水系を包括的に表現し、健康リスクを確率的に推算するシミュレーションモデルを構築することとした。2005年度は 検証対象物質(病原微生物)の選定および原水水質+処理系+消毒系+配水池+配水管網+給水系におけるリスクファクターの同定と要素モデルに関する文献調査を実施した。検証対象病原微生物の選定では、国立感染症研究所のデータをもとに、日本における感染症の事例、ならびに水系感染症の事例を調査し、年間の発生数を感染症による疾病の影響程度による重み付けをおこなうことで、検討対象微生物の選定を試みた。原水水質+処理系+消毒系+配水池+配水管網+給水系原水から給水系にいたる検討のフレームを設定し、消毒系、管網系について文献調査により適切なモデルについて検討を行った。水や食品に関連する14の感染症(クリプトスポリジウム症、ジアルジア症、腸管出血性大腸菌、レジオレラ、ノロウイルス、ロタウイルス、細菌性赤痢、腸チフス・パラチフス、コレラ、サルモネラ、腸炎ビブリオ、黄色ブドウ球菌、ウェルシュ菌、セレウス菌)について感染の報告数、または患者数を調査し、現在入手可能なDALY値で重み付けをした結果、腸管出血性大腸菌の報告数×DALY値が他の疾病に比べて、非常に大きくなった。これは、腸管性大腸菌による疾病の重篤さを反映してDALY値が他と比べて非常に大きいことによっている。しかし、サルモネラやノロウイルスなどのDALYがまだ把握できていないことから、どの感染症に注目するかについてはもう少し議論を必要とすると思われる。原水水質+処理系+消毒系+配水池+配水管網+給水系原水から給水系にいたる検討のフレームについて、健康リスク解析におけるDALY値の有用性について、米国、オランダの事例を検証した。消毒系については塩素の消費と副生成物、オゾン処理における臭素酸塩生成に関するモデルを調査した。また、バイオフィーム制御のために次亜塩素酸塩イオン( $\text{ClO}_2^-$ )と二酸化塩素( $\text{ClO}_2$ )の相対的な効率に関する議論を検討した。管網における生物膜生成と制御に関連するモデルについて、生物膜生成と滞留時間、BDOCまたはAOC、消毒剤濃度等の関係を表現するモデルを調査した。また、AOCの水処理工程における処理効率についての検討も調査した。

### A. 研究目的（3年間における研究構想と2005年度研究目的の関係）

本研究では、次の大きなQuestionを用意している：

- (1) 残留塩素に依存しない系において、給配水系ではどのようなリスク要因があるか？ また、それぞれの要因の健康リスクへの寄与度はどの程度か？
- (2) 残留塩素に依存する系としない系ではDALYを評価指標とした場合にどの程度の差が生じるか？