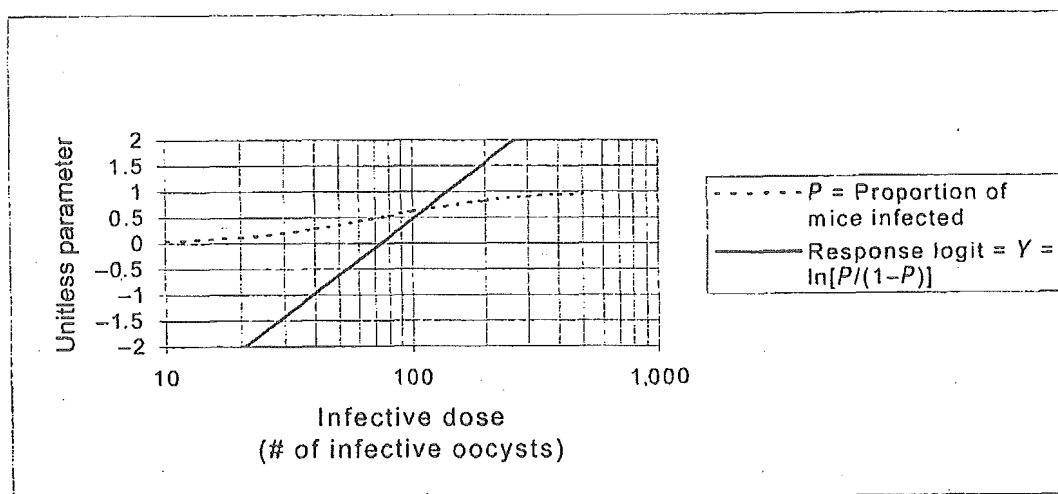


FIGURE 2

Dose-Response Model^a Used to Estimate the Number of Infective Oocysts per Inoculum^b



^aThe model illustrated by this graph was developed by Korich et al. (1999).

^bThe y-axis has been truncated for clarity.

TABLE 1

Summary of Experimental Results—Controls

Oocyst Treatment	Trip Control ^a			Process Control ^b		
Oocyst dose \pm SD (6 counts)	241 \pm 68	139 \pm 42	46 \pm 24	9,500 \pm 840	1,087 \pm 84	115 \pm 17
Mice inoculated	21	21	20	23	20	19
Mice infected	8	6	3	23	19	1
Proportion infected	0.38	0.29	0.15	>0.96 ^c	0.95	0.05
Infective oocyst dose	54	41	25	>562 ^c	484	12
Log reduction in infectivity	0.6	0.5	0.3	<1.2	0.4	1.0
Log reduction in infectivity: 90% CLs (min, max)	0.5, 0.8	0.3, 0.7	0.1, 0.5	NA	0.2, 0.5	0.8, 1.2

NA = not applicable.

SD = standard deviation.

^aOocysts not subjected to experimental conditions.

^bOocysts subjected to all experimental conditions except UV exposure.

^cThe logit response model was not valid for a 100% infection rate; in this case, the calculation was performed with the assumption that one mouse was not infected.

TABLE 2

Summary of Experimental Results—UV Exposure

Oocyst Treatment	Exposed to UV at \sim 120 mJ/cm ²		
Oocyst dose \pm SD (6 counts)	1.19 (\pm 0.10) \times 10 ⁷	1.19 (\pm 0.10) \times 10 ⁵	1,194 \pm 202
Mice inoculated	16	21	23
Mice infected	0	0	0
Proportion infected	<0.0625 ^a	<0.0476 ^a	<0.0434 ^a
Infective oocyst dose	<13 ^a	<15 ^a	<14 ^a
Log reduction in infectivity	>6.0 ^a	>4.0 ^a	<2.1 ^a
Log reduction in infectivity: 90% CLs (min, max)	NA	NA	NA

^aThe logit response model was not valid for a 0% infection rate; in this case, the calculation was performed with the assumption that one mouse was infected.

最終処理水の紫外線照射効果の評価について

Assessing UV reactor performance for treatment of finished water

Z. Bukhari* ら*

1. 概要

近年、低レベルの中・低圧紫外線を使用して、クリプトスポリジウムオーシストの不活化に成功したことは、水道業界にとっては特筆すべきことである。的確な量の照射、ランプのパフォーマンス、センサーの安定度、水質へのインパクトというようなファクターが、消毒効果にインパクトを与え、この技術を採用のカギとなる。アメリカの最も大きな水道事業者であるアメリカンウォーターシステムズでは、最終処理水に紫外線を照射する実施可能性調査を長期にわたり行い、さまざまな試みを行った。粒状活性炭でろ過後、直径12インチ(0.3m)でA4x1UV照射し、処理水の流量は600gpm(2,700L/min)であった。12ヶ月にわたって科学的測定(THM、HAA、UV₂₅₄、DOC、TOC、金属、硝酸塩、亜硝酸塩)および物理的測定(ランプ電圧、流量、センサー計測数値)を実施し、装置性能への影響を検証した。MS2バクテリオファージを用いて、さまざまなランプの形状、様々な稼働時間でのランプによる照射実験を実施した。これらの不活化のデータは、ベンチスケールの不活化データとかなりの相関関係があることを証明している。クリプトスポリジウムオーシストにおいては、ベンチスケールの研究では、HCT-8細胞を用いた感染力評価による検証を実施した。双方の分析結果とも、オーシストイノキュラが増加し、HCT-8細胞の感染度が高まるにつれ、オーシストに紫外線処理を施すと、著しく異なる感染反応の結果が出た。本研究のデータを踏まえると、試験管感染分析評価は少量の紫外線照射(5mJ/cm²-10mJ/cm²)で、>3 logsの不活化を証明した。

キーワード: クリプトスポリジウム、飲料水、紫外線

2. はじめに

紫外線の技術は、水の殺菌に1900年初頭から使用されてきたが、飲料水の処理には最近まで不確かなままだった。それは、ひとつにはクリプトスポリジウムオーシストの不活化計測の実験というのはあまいなものであったし(Lorenzo-Lorenzo 他.1993)、その後、感知しうるほどのオーシストの不活化にはかなりの紫外線の照射が必要とわかった(Campbell 他.1995)。最近になって、生死判別試験と感染性試験では、著しく異なることが証明された。生死判別試験/感染性試験のどちらにて、判断するかが重要であり、紫外線処理がクリプトスポリジウムオーシストの不活化にかなり効果がある、という発見を導く手がかりとなった(Bukhari 他.1999)。これらの発見以来、いくつかの共同研究、個人研究がなされ、データが確認され(Clancy 他.2000)、ある種の紫外線システムはクリプトスポリジウム、ジアルジア、数多くの水系発生物からできた微生物の不活化を可能にすることを証明した(Craun 他.1998)。加えて、データは、紫外線効果がさまざまな微生物に有効であることを証明し、有害副生成物を生じないことが確認された。ステージ2の微生物/消毒のアグリーメントでは、一定のデザインと操作上の問題が解決されれば、紫外線技術が実現可能で、適用できることを示した。

アメリカンウォーターシステム(AWS)(国家の中で最も大きく、最も地理的にもさまざまなところにある水道供給業者)は、80以上の水処理場を所有ならびに運営しており、各プラントは紫外線技術を導入する候補地となっている。従って、紫外線技術の現状に即した設計、操作上の問題を評価し、また、紫外線消毒が原生動物の寄生虫病への感染予防への効果を確認するために、あるプロジェクトが開始された。紫外線ライトの消毒有効性を評価するために、粒状活性炭(GAC)の後段に、パイロットリアクター

が取り付けられた。パイロットリアクターは、1kw 中圧ランプが4つ付き、700gpm (3,150 L/min)まで処理することが可能である。1年の間に、流入水 (pH、濁度、消毒副生成物など)の様々な化学/物質的なパラメータを記録した。第一に、これらの調査の目的は、評価中の紫外線リアクターが、オーシストを2log以上不活化するに足る紫外線を照射できるかを判断することである。しかし、パイロットスケール実験を実施するためにオーシストの十分な量を生成するだけでなく、紫外線照射量を検証するためには、他の微生物を用いた生物線量計の実験を実施する必要がある。結局、パイロットスケール研究における有機的組織体をもたらす紫外線ライトの実照射線量を測定するために、線量-応答曲線が既知のMS2大腸菌ファージを用いた。

ベンチスケール不活化実験は、クリプトスポリジウムオーシストと *in vitro* の感染性試験により実施された。我々の研究においては、定量ポリメラーゼ連鎖反応 (q-PCR) または免疫蛍光性を有する人間のHCT-8細胞を用いた。この研究では、クリプトスポリジウムの紫外線による不活化を *in vitro* の感染性試験にて評価し、マウスを用いた感染性試験と同様の値が得られるかの検証を行なった。

3. 実験方法

紫外線不活化実験のベンチスケール、パイロットスケール

不活化実験には、中圧UVランプ(1 kW)を有するRayox UV collimated beam Unit(Calgon Carbon社)を用いた。並行ビームからの照射線量の測定には、校正したラディオメーターとディテクター(国際ライト)を使用した。紫外線照射量は、実験結果に様々な補正因子を考慮して、コンピュータによる表計算分析を用いて決定した。

直径12インチ(30 cm)、4本の1 kWの中圧ランプを有する紫外線リアクターにて700gpm (3,150 L/min)の処理を行なった。本研究において、UV処理後の処理水は、下水処理施設へ放流した(Figure.1)。

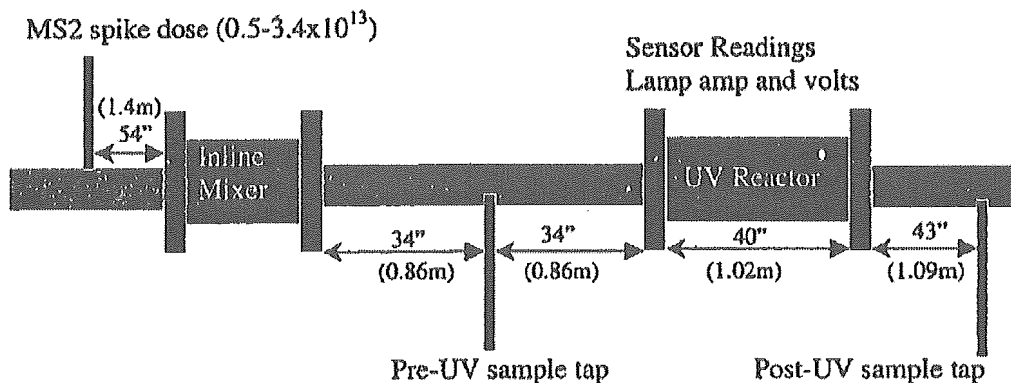


Figure 1 Diagrammatic layout of installed UV reactor

MS2 バクテリオファージのカウント方法

USEPA メソッド 1601 を用い、紫外線照射前後の MS2 のバクテリオファージ数をカウントした。抗生物質 (4 mL) を含む軟寒天培地を、グラススクリーキャップタブに入れ、対数増殖期の *E.coli*100 μ L と適切な濃度の MS2 50 μ L を添加する。混合後、固化した TSA を入れたプレートに注ぎ、静かにかき混ぜ、サンプルが固まった後、プレートを逆さにして 16-24 時間培養(37 $^{\circ}$ C)する。紫外線照射の前後でバクテリオファージのプラークを比較することにより、紫外線照射量における不活化の程度がわかる。

クリプトスポリジウムオーシスト不活化の測定

in vitro での感染性試験には、HCT-8 細胞を用い、感染力を高めるために、pre-treatment/inoculation 手法を用いた。HCT-8 細胞の confluent monolayer を用い、紫外線照射された、ないしはコントロールオーシスト (1,000-10,000 オーシスト) の懸濁液を 100 μ L 添加した。培養後、培養を行なった各穴につ

いて5倍のPBS(リン酸緩衝生理食塩水)溶液で洗浄し、q-PCR または IF 顕微鏡で感染検査を行った。

(1) 定量的な PCR(q-PCR) HCT-8 モノレイヤーから抽出されたクリプトスポリジウム DNA は、Cryptosporidium-specific primer targeting the heat shock protein gene を使って、q-PCR によって検出された。サーモサイクリング条件は、初期 denaturation(95°C; 10 分)、に続き、45 サイクルの denaturation(95°C; 30 s)、annealing(59°C; 1 分)、extension(72°C; 30 s)である。amplification プロセスとしては、一度だけ extension(72°C; 10 分)を実施した後、サンプルを4°Cに保温した。q-PCR 反応はABI プリズム 7700 連続検出器(反応設定ならびにデータ分析をするソフトウェアを有する)にて行なった。光ファイバーケーブルで、96 穴(PCR 反応を含む)にライトを照らすための光学マルチプレクサーに光をもたらすために、アルゴン・イオン・レーザー(488nm)が使用された。光ファイバーケーブルを通じてスペクトログラフでそれぞれの物体から発生した蛍光は、CCD カメラ (500-660nm) により検出された。

(2) 免疫蛍光顕微鏡使用 72 時間培養し、脱囊していないオーシストは、PBS(pH 7.2)を使ってモノレイヤーから洗い落とされ、セルはパラホルムアルデヒドによって固定した。その後、メタノールにて冷却し、sporo-glo(Waterborne Inc)の 1/10 回の希釈液により染色された。余分な抗体は洗い流し、反転蛍光顕微鏡を使って、antifadant を含む培地を計数した。その結果、ある紫外線照射量(<150mJ/cm²)までは、オーシストは依然として脱囊可能であることが確認された(Bukhari 他 1999)。

4. 結 果

(1) ベンチスケール実験での MS2 バクテリアファージの不活化

MS2 バクテリアファージの標準的な不活化カーブは、3 種の紫外線照射によった (Figure2)。

データはそれぞれ違いがみられ、SD レベルが 0.68 ± 0.13 , 1.38 ± 0.24 , 2.47 ± 0.11 につき、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $20\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ であった。(Table 1)

(2) パイロットスケール実験での MS2 バクテリオファージの不活化

パイロットスケール実験では、 $0.5\text{-}3.4 \times 10^{13}$ の MS2 バクテリオファージが 5 分以上にわたり、注入した。当初、1 分、3 分、5 分間隔でサンプルを収集したが、大きな差異は見られなかったので、3 分間隔のみで行われた。

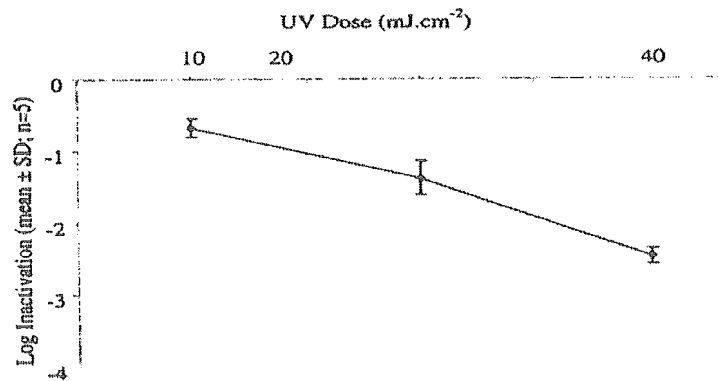


Figure 2 Bench scale MS2 inactivation using various doses of UV

Table 1 Comparison of bench and pilot scale MS2 inactivation data

Anticipated UV dose based on lamp configuration (mJ/cm ²)	Expected inactivation - bench scale (n =)	Log inactivation - pilot scale (n =)
40	2.47 ± 0.11 (5)	2.59 ± 0.46 (6)
20	1.38 ± 0.24 (5)	1.92 ± 0.26 (5)
10	0.68 ± 0.13 (5)	1.21 ± 0.097 (3)

(3) 試験管内での感染力分析評価によるクリプトスポジウムオーシストの不活化の評価

紫外線照射量が 10mJ/cm²、20mJ/cm²、40mJ/cm² の際、q-PCR による細胞培養感染法を用い、不活化率はそれぞれ、1.16 log、1.24 log、1.84log であった。この値は、マウスを使用した感染性試験より低い値である (Bukhari 他 1999, Clancy 他 2000)。

対照的に、IF を用いた感染性試験では、5mJ/cm² と 10mJ/cm² 紫外線照射で、>3log のクリプトスポジウム不活化がみられた。

5. 論 点

(1) ベンチスケールの MS2 バクテリオファージの実験は、3 つの紫外線照射量にて実施し、非常に高い再現性が見られ、過去の実験データとも整合性が取れている。

(2) ランプ照射時間は 16h-5, 800h にて行い、紫外線による不活化性能に差異はあまりみられなかった。

(3) ランプ照射時間が 5, 800h を超過すると、ランプのクリーニング機構が作動した。

(4) パイロットスケールとベンチスケールの不活化の値は、照射線量 40mJ/cm² にて最も相関が高かった。しかし、紫外線照射量を 20mJ/cm² または 10mJ/cm² に減らすと、パイロットスケールとベンチスケールの違いが大きくなり、パイロットスケールの実験の方がより高い値が得られた。ベンチスケールにおいては、10mJ/cm²、および 20mJ/cm² とともに有機体の不活化にすぐれた再現性を示し、パイロットスケールでは、10mJ/cm²、ないしは 20mJ/cm² の照射線量時に計算値より高い紫外線が照射されていたことを示唆している

(5) 反応器への流入水、流出水中の THM と HAA を測定したが、消毒副生成物濃度が MCL 値を下回り、UV 消毒をしても DBP に影響を与えないことが確認された。

(6) この研究では、セル培養の q-PCR 法により不活化を判定し、紫外線照射量 (10-40 mJ/cm²) にて、不活化が確認された。In vitro 過去の研究の分析結果 (蛍光染色, 脱囊法) においては、紫外線照射量が 150mJ/cm² を超えなければ不活化は確認されなかった (Bukhari 他 1999)。q-PCR 法は、in vitro の他の手法より、感度が良いことが分かる。q-PCR による不活化率は、照射線量 10mJ/cm²、20mJ/cm²、40mJ/cm² において、それぞれ、1.16logs、1.24logs、1.84logs であった。

ろ過処理後段での UV 照射による下水からの微生物減少

Removal of microbes from municipal wastewater effluent by rapid sand filtration and subsequent UV irradiation

R. L. Rajala ら

1. 概要

都市下水放流水を水道水あるいは農業用水として取水するような場合、下水から如何に微生物を除去するかが問題となっている。近年、フィンランドの4箇所の下水処理場にてパイロットプラントによる実験の結果、PACによる凝集+砂ろ過に紫外線処理を組み合わせることにより、好結果が得られることが分かった。砂ろ過での除去効果は、SSが90%、濁度が70~80%、色度が20~50%で、これにより、紫外線透過率を20%まで改善することができた。微生物除去については、90~99%、りんは0.05mg/Lまで除去することができた。UV照射の効率は、紫外線照射装置にFRNAファージを添加することにより計測した。パイロットプラントでは、UV照射強度140mWs/cm²にて、99.9%以上のMS2減少が可能であった。なお、砂ろ過および後段でのUV照射により、実験を行った全ての微生物を減じることが可能で、場合によっては分検出限界以下まで生物除去が可能であった。この場合、SSおよび濁度は1-2mg/L、1NTU程度まで除去可能であった。

2. 実験方法

2. 1 実験室規模での実験

ろ過に用いた砂ろ過塔の諸元は、ろ過面積0.177m²、ろ材高0.8m、ろ材粒径0.9-1.2mmである。3つのろ過塔において、2~3日のrunを数度実施した。砂ろ過後の対象微生物の不活化に必要な紫外線照射量は、Collimated-beam装置(水表面でのI₀=0.22mWs/cm²)にて測定した(Blatchley, 1997)。水質としては、SS、濁度、COD、色度、紫外線透過率、等を測定した。常在微生物として、大腸菌ファージ(CP)、糞便性大腸菌(FC)、entrto cocci(EC)、sulphite reducing clostridia(SRC)を処理の前後にて測定した。バクテリアとclostridiaの芽胞はstandard membrane filtration法にて、測定し、大腸菌は、Garbow and Coubroug法(1986)により測定した。

2. 2 実験室規模での実験

Continuously washing sand filter(DynaSand, Waterlink、ろ材径0.9~1.2mm、ろ材高~3.5m、ろ過面積0.7m²)、を用いて4つの浄水場(Q=20,000~70,000m³/日)にて実験を行った。水量負荷は6~10 m/hである。紫外線消毒は、垂直式の紫外線装置(ProMinent Dulcodes ; 反応塔長さ94cm、直径11.4cm、紫外線出力45W、紫外線照射能力16W)2基により実施した。

ランプ強度I₀を線量計にて測定した結果、20mWs/cm²であった。紫外線量Iは $I=I_0(1-e^{-al})$ にて計算される。ここでa:紫外線透過率、l:スリーブからの距離である。微生物及び物理パラメーターは、週2回の測定を3ヶ月実施した。FRNAファージを砂ろ過処理水に添加し、紫外線効率の測定を実施した。また、凝集剤として、PAX18とPAX XL60(アルミ含有率はそれぞれ9%、7%である)を1.0~2.2mgAl/L程度添加した。

3. 結果

3. 1 実験室での実験

(1) 物理的なパラメーター

小規模の砂ろ過は、5m/h および 10m/h にて、A から C の 3 つの処理プラント中の下水中に捕捉された固体の 68-88% と 51-96% を除去することができた。(Table 1)。

濁質は、5m/h で 50-80%、10m/h で 30-84% 減少した。色度と COD の減少はおおのこの流速で 2-35% および 3-41% であった。

Table 1 Reduction (% Red) of physical parameters of effluent (EFF) and sand filtered (SF) effluent in laboratory scale experiments (each experiment run 1-3 d; sand size 0.9-1.2 mm)

	Loading (m/h)	Plant A		Plant B		Plant C	
		5	10	5	10	5	10
SS (mg/L)	EFF	8.1	16.7	5.6	5.5	9.5	20.0
	SF	1.0	2.1	1.8	2.7	2.2	0.8
	% Red	88	84	68	51	77	96
Turbidity (NTU)	EFF	5.3	16.0	2.8	4.3	4.8	16.0
	SF	1.1	7.6	1.6	3.0	1.3	3.0
	% Red	79	53	52	30	73	84
Colour (mg/L PtCo) 27	EFF		32	25	46	38	25
	SF	31	21	30	37	24	25
	% Red	3	16	35	2	4	7
COD (mg/L)	EFF	42	67	41	39	62	113
	SF	31	65	31	32	35	67
	% Red	26	3	24	17	52	41
Transmittance %	EFF	63	52	66	53	57	44
	SF	64	54	67	54	63	57
	% Red	-	-	-	-	-	-
P _{tot} (mg/L)	EFF	-	-	0.24	0.25	-	-
	SF	-	-	0.16	0.21	-	-
	% Red	-	-	33	15	-	-
P _{sol} (mg/L)	EFF	-	-	-	0.15	-	-
	SF	-	-	-	0.15	-	-
	% Red	-	-	-	0	-	-

(2) 微生物の減少

実験室での UV 照射は、比較的低い UV 量の平行ビームで実施した (Do: 13.2-66 mWs/cm²)。SF だけは、著しい微生物の減少は見られなかった (30-60% at 5 m/h; 0-67% at 10 m/h; Table 2)。

FC および enterococci、(99.9% および 97%) を 13.2 mWs/cm² の紫外線照射量にて、低レベルになった。大腸菌ファージは一段目の UV 照射量 (16.5 mWs/cm²) で 98-99.9% 減少した。一方、sulphite reducing clostridia については、2 段目の UV 照射量 (66 mWs/cm²) にて、>90% の減少が得られた。(Table 2)。SF および UV 処理 (平行ビーム) の後の減少量の合計は、高く、FC 99.999%、大腸菌ファージ 99.5-99.97%、腸球菌 99.97% および sulphite reducing clostridia 90-99% であった (Table 2)。

3. 2 パイロット規模実験

(1) 物理的なパラメーター

ろ過により、SS (56-93%)、濁度 (65-87%)、燐 (75-89%)、色度 (23-36%) および COD (34-53%) を除去された。処理水の紫外線透過率は少なくとも 20%、最大で 70% 以上改善された。(Table 3)。

Table 2 Reduction of indicator microbes in laboratory scale experiments

	Geometric mean numbers as CFU(PFU)/100 mL (% reduction)					UV dose mWs/cm ²	
	EFF	SF	UV1	UV2	Cum % red	D ₀₁	D ₀₂
(N = 10-12)							
<i>5 m/h</i>							
FC	2.3×10 ⁴	9.9×10 ³ (56)	26 (99.7)	0.5 (99.998)	99.998	13.2	26.4
CP13706	1.5×10 ³	8.3×10 ² (46)	0.7 (99.92)	0.5 (99.94)	99.97	16.5	33
CP15597	4.0×10 ²	2.7×10 ² (30)	6 (98)	2 (99)	99.5	16.5	33
EC	3.2×10 ³	1.2×10 ³ (63)	60 (95)	1 (99.92)	99.97	13.2	26.4
SRC	1.7×10 ²	70 (60)	70 (0)	2.4 (97)	99	33	66
<i>10m/h</i>							
FC	8.2×10 ⁴	9.0×10 ⁴ (0)	1.1×10 ² (99.9)	1 (99.999)	99.999	1.2	26.4
CP13706	3.3×10 ³	2.5×10 ³ (23)	3 (99.9)	0.7 (99.97)	99.98	16.5	33
CP15597	9.3×10 ²	5.7×10 ² (38)	2 (99.7)	1 (99.8)	99.9	16.5	33
EC	2.4×10 ⁴	8.4×10 ² (67)	2.7×10 ² (68)	8 (99.9)	99.97	13.2	26.4
SRC	1.1×10 ¹	1.0×10 ¹ (0)	9 (0)	0.9 (90)	90	33	66

CP = coliphage (hosts *E. coli* ATCC 13706 and ATCC 15597); UV with collimated beam device; reductions calculated from numbers in SF water; UV1 and UV2 are the two UV reactors

Table 3 Reduction (%) of physical parameters in four pilot scale experiments with polyaluminium chloride coagulation (means of 12-24 determinations)

	Plant 1 (10 m/h)			Plant 2 (7.7 m/h)			Plant 3 (10 m/h)			Plant 4 (7.7 m/h)		
	EFF	SF	Red	EFF	SF	Red	EFF	SF	Red	EFF	SF	Red
SS	12.4	3.9	56	10.4	2.3	79	4.4	1.2	73	22.0	1.6	93
Turbidity	4.7	1.4	65	6.8	1.4	80	2.3	0.7	70	7.1	0.8	87
Colour	49	34	32	39	30	23	24	18	25	34	25	36
COD	53	35	34	60	39	35	27	18	33	41	18	53
Transmittance	38	48	-	40	58	-	67	72	-	53	70	-
P _{tot}	0.31	0.1	77	0.31	0.05	84	0.24	0.06	75	0.52	0.04	89
P _{sol}	0.1	0.03	71	0.04	0.02	50	0.14	0.05	58	0.04	0.02	50

(2) 微生物の減少

実験室規模での実験でのように、機械的なろ過は顕著な微生物の減少は示さなかった。PAC による減少は 90-99%であった。特に、大腸菌フェージに関しては、SRC の減少のほとんど (99%) が砂ろ過によるものである (Table 4)。一段目の紫外線装置 (D₀=60-85mWs/cm²) 後の微生物数は平均で 10CFU (PFU)/100mL であった。

Table 4 Reduction of indicators by rapid SF and UV irradiation in pilot-scale experiments (UV1 = 80–85 mWs/cm²; UV-2 = 120–170 mWs/cm²)

	Geometric mean CFU(PFU)/100ml. (% reduction) (N = 12–24)				Cum % reduction
	EFF	SF	UV1	UV2	
Plant 1 10 m/h		TR 30–47%			
		TR 42–57%			
FC	1.4×10 ⁵	5.4×10 ³ (96)	9 (99.9)	3 (99.98)	99.995
CP13706	4.4×10 ⁴	2.8×10 ² (94)	2 (99.93)	1 (99.93)	99.996
CP15597	1.8×10 ⁴	5.0×10 ² (97)	1 (99.8)	1 (99.8)	99.994
EC	5.6×10 ³	1.0×10 ³ (83)	5 (99.6)	1 (80.0)	99.98
SRC	4.4×10 ²	4.0×10 ¹ (91)	8 (99.9)	3 (93.0)	99.0
Plant 2 7.7 m/h		TR 31–50%			
		TR 54–71%			
FC	5.2×10 ⁴	9.0×10 ² (98)	6 (99.3)	1 (99.9)	99.998
CP13706	3.3×10 ⁴	2.6×10 ³ (92)	5 (99.8)	1 (99.96)	99.997
CP15597	9.3×10 ⁴	1.7×10 ² (98)	1 (99.4)	0.5 (99.7)	99.995
EC	1.1×10 ⁴	2.1×10 ² (98)	6 (97.0)	1 (99.0)	99.97
SRC	6.0×10 ²	1.3×10 ¹ (98)	11 (15.0)	3 (73.0)	99.5
Plant 3 10 m/h		TR 63–70%			
		TR 64–75%			
FC	9.0×10 ⁴	1.6×10 ³ (95)	20 (99.0)	6 (99.9)	99.994
CP13706	1.6×10 ³	3.5×10 ² (78)	<0.5 (99.96)	<0.5 (99.96)	99.99
CP15597	1.8×10 ³	1.3×10 ² (83)	2 (99.4)	1 (99.7)	99.95
EC	1.4×10 ⁴	2.9×10 ² (95)	4 (99.4)	2 (99.7)	99.99
SRC	6.2×10 ²	2.2×10 ¹ (96)	11 (50.0)	8 (27.0)	99.0
Plant 4 7.7 m/h		TR 40–63%			
		TR 54–74%			
FC	1.0×10 ⁵	3.7×10 ³ (96)	4 (99.9)	1 (99.97)	99.999
CP13706	8.4×10 ³	9.6×10 ² (89)	0.6 (99.94)	<0.5 (99.95)	99.99
CP15597	4.1×10 ³	1.4×10 ² (97)	1 (99.3)	<0.5 (99.6)	99.99
EC	1.8×10 ⁴	6.8×10 ² (96)	3 (99.8)	1 (99.9)	99.99
SRC	2.8×10 ³	4.0×10 ¹ (99)	10 (75.0)	4 (90.0)	99.0

3. 3 FRNA フェージへの紫外線照射量の決定

FRNA フェージへの紫外線照射量は 2 つの方法で試験した。UV 放射量は、FRNA フェージ Raa4 および MS2 を流出水に添加することにより、紫外線照射による用量-応答曲線を出決定した。

不活性化カーブ (Figure 1) は水またはフェージと無関係に類似していた。両フェージとも、流出水 (SS=8.3mg/L)、砂ろ過処理水 (SS=2/6mg/L) において、同様の不活性化が得られている。90、99.99% の不活性化を得るには、それぞれ 22, 132mWs/cm² の紫外線量が必要であった (Figure 1a)。同様の結果が FRNA フェージ Raa4 でも得られている (Figure 1b)。パイロット実験では、MS2 フェージを添加した際、紫外線透過率 70% の plant4 においては、140mWs/cm² で 99.94% の不活性化が得られた (Figure 2)。紫外線透過率 50% の plant1 においては、156mWs/cm² で 99.3% の不活性化が得られた。紫外線透過率 40%、72% の plant2, 3 においては、120mWs/cm² でそれぞれ、96%、99.9% の不活性化が得られた (Figure. 2)。本結果より、実験室規模での実験において、SS や紫外線透過率は紫外線による不活性化にさほど影響を与えないことが分かる (Figure1)。これは、本実験で用いたカラム長さが短いと思われる。パイロットスケールでの実験においては、同じ線量にて 1~2log 程度の不活性化率が低くなる結果が得られた。紫外線透過率を 40 から 70% に改善することで、FRNA フェージの不活性化率が 2log 程度上昇した (Figure2)。

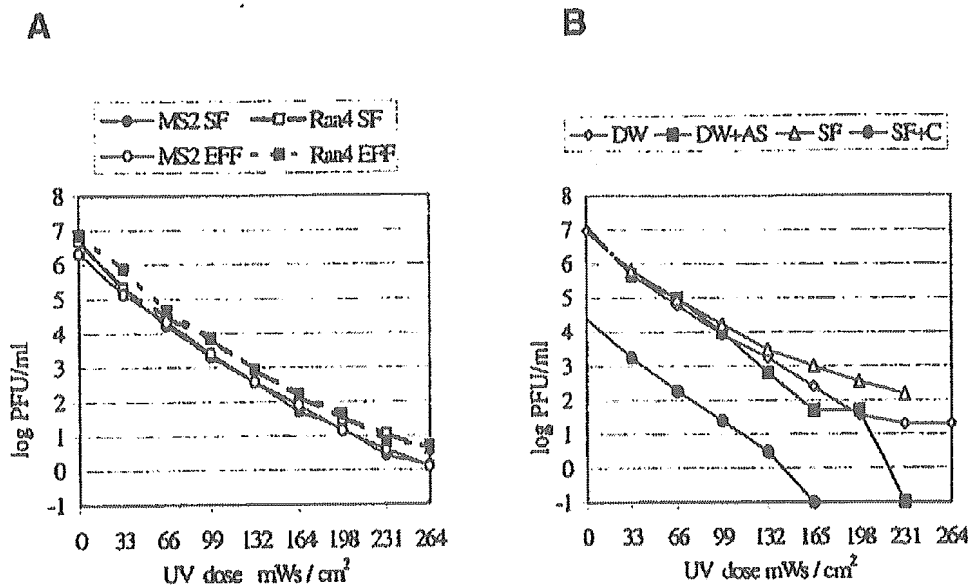


Figure 1 A - reduction of FRNA phages MS2 and Raa4 in wastewater effluent (EFF) and sand littered effluent (SF) UV irradiated in the collimated-beam device. Suspended solids content and UV transmittances of EFF and SF were 8.3 and 2.6 mg/L and 45% and 55% respectively. B - reduction of phage Raa₄ in different waters, DW = distilled water, DW+AS = activated sludge added in DW (SS = 1.9 mg/L), SF = sand filtered (SS = 2.5 mg/L) and SF+C = sand littered with Al-coagulant (SS = 4.7 mg/L)

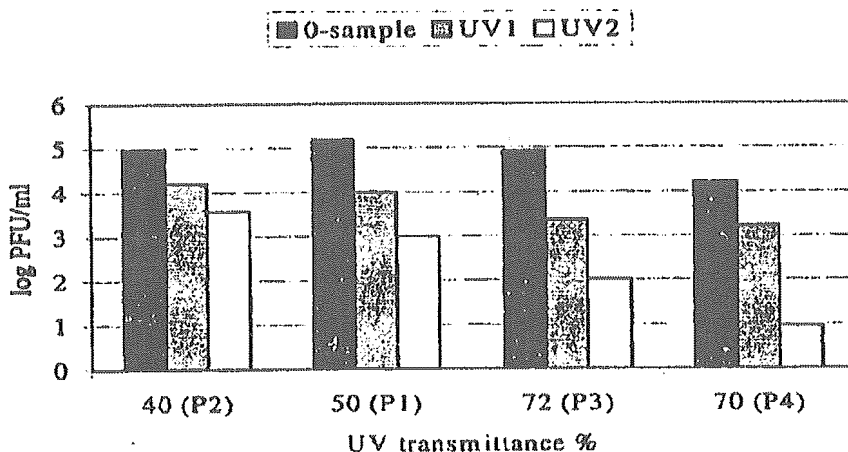


Figure 2 Inactivation of FRNA phage MS2 added to SF filtered water with different transmittances in four wastewater treatment plants. (UV doses varied from 60-80 mWs/cm² and 120-160 mWs/cm² for UV 1 and UV2 respectively. UV doses were approximately equal in plants 2 and 3 and in plants 1 and 4.)

4. 結論

ポリ塩化アルミニウムによる急速砂ろ過は、UV 消毒前段の下水放流の適切な前処理として推奨することができる。それは、効率的に放流水の水質を改善し、微生物の数を 99.9%減少させた。UV 放射は、さらに灌漑と同様に飲料水に対する厳しい EC ガイドライン値のレベル以下に微生物の数を減少した。UV 放射効率および用量作用の決定の指標としての FRNA フェージの有用性が確認された。

微生物が利用可能なリンや有機炭素に対する UV 消毒の効果と飲料水中の微生物の増殖について
Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in
drinking water

Markku J. Lehtola ら

概要

飲料水の消毒には、253.7nm の波長の UV 照射が一般的に使用されている。UV 照射は、有機的に結合しているリンをオルトリン酸に変換し、自然の有機物質に分解することが知られている。我々は、UV 照射により飲料水中の有機炭素やリンの微生物利用可能な形態の量が増加するかどうかについて研究した。

1. はじめに

UV 照射 (波長 253.7nm) は飲料水の一般的な消毒技術となっている。UV254 による消毒は細菌とウイルスの両方の不活化と死滅に効果的である。飲料水処理における UV 技術の利点としては、化学薬品の添加を必要としない点、消毒副生成物を生成しない点、及びコストが安い点が挙げられる。

長時間の UV254 の照射 (水銀放電ランプ) は、有機物を分解し、水中の細菌の増殖能を高めるが、これはおそらく微生物が利用できる基質が増加した結果だと思われる。しかし、少なくとも 130mWs/cm^2 以下の低い UV254 照射では、AOC (同化可能な有機炭素) または生物分解性 DOC (溶解性有機炭素) の増加は認められない。

Lund と Hongye は、UV254 照射が水中の微生物の成育を阻害する OH ラジカルを形成するといっている。

残留消毒剤を含まない飲料水中では、栄養内容が微生物の成育を非常に大きく支配することとなる。AOC または BDOC の代わりにリンが飲料水中の従属栄養細菌の生育を制限する。UV254 の照射が、このような水の中で微生物が利用可能なリン (MAP) を増加させているか疑問である。なぜなら、リン濃度の非常にわずかな増加が、リンを制限した水中での微生物の成育を高める

2. 実験方法

2. 1 実験計画

2. 1. 1 水試料

水試料は三箇所の水道事業体から UV 照射前後に採水した。A 事業体は、水源として地下水を利用しており、緩速ろ過後、UV 消毒前 (15mWs/cm^2) に pH を石灰ろ過で調整している。

水試料 B、D は、地下水を原水とし、石灰にて pH 調整を行い、塩素消毒を行っている水道事業体にて、紫外線消毒 ($40\text{--}50\text{mWs/cm}^2$) を行う前後に採水した。水道事業体 C においては、表流水を原水とし、凝集後、苛性ソーダにて pH を調整し、紫外線消毒を行っている (25mWs/cm^2)。Sample E は、表流水を河床ろ過した後、dry and wet contact filter 処理を行い、緩速ろ過を実施した後、NaOH により pH 調整されている。Sample F は、表流水を河床ろ過した後、硫酸バンドにより凝集させ、石灰により pH 調整を実施している。

2. 1. 2 UV254 照射実験

水試料 D-F は、10 本の平行 philip 低圧 UV ランプ(15W)にて紫外線照射を行った。試料(500mL)を、ランプから 20.5cm の場所にある circular glass bowl(水面での直径 13.5cm、底面での直径 6cm、水深 5cm)に静置した。紫外線強度は、Macam spectrometer(Model SR 9910, Macam metrics LTD., Livingstone UK)を用い測定した。252~262nm での平均エネルギーは 9.27mWs/cm²である。水試料は 5,22,54 秒紫外線照射され、その際の UV254 線量は、46,204,501mWs/cm²である。水試料は、マグネチックスターラー(800rpm)にて攪拌し、水温を 6-7℃に保ち、実験を行った。UV254 透過率は分光計(Shimadzu UV-1601)にて測定した。サンプル D,E,F の透過率(5cm)はそれぞれ、74.5%、46.4%、49.3%である。

2. 2分析手法

ガラス器具より、りん及び炭素を除去するために、リン酸-free の洗剤(Decones ; Bprer Chemie AG,Zuchwil, Switzerland)にて洗浄後、2%zHCl 溶液に 2 時間浸漬させ、脱イオン水にて洗浄後、550 度で 6 時間乾燥させた。

2. 2. 1 有機炭素の量と性質

TOC は、Shimadzu 5000TOC analyzer にて分析した。AOC は、Van der kooij 法により測定した。

2. 2. 2 リン酸の分画

2. 2. 3 微生物の成育

従属栄養細菌(HPC)は、R2A 培地(Difco)を用い spread plating 法により測定した。

3. 結果と考察

下記の Table-1 に示すとおり、UV254 照射は TOC や全リンの中身には影響を及ぼさなかった。

Table 1
Chemical characteristics and bacterial counts in the water samples

Water Treatment works	TOC (mg/l)	AOC ^{potential} (µg/l)	UV ₂₅₄ (abs./cm)	Acetate (µg/l)	Oxalate (µg/l)	Formate (µg/l)	SMSF	Total P (µg/l)	MAP (µg/l)	HPC (CFU/ml)	HGR max (CFU/ml)	HGR + P max ^a (CFU/ml)	HGR inoc ^b (CFU/ml)	
A	Before UV	0.8	25	0.018	14	<2	6	19561	<2	0.06	240	168,000	280,000	43,000
	After UV	0.7	20	0.020	13	<2	7	18438	<2	0.06	40	204,000	439,000	142,000
B	Before UV	0.5	47	0.016	<5	<2	4	9939	2	0.18	171	605,000	1,120,000	469,000
	After UV	0.7	34	0.017	<5	<2	6	7858	3	0.21	180 ^c	215,000	923,000	153,000
C	Before UV	2.2	74	0.035	16	5	16	90345	3	0.19	100	125,000	1,443,000	39,000
	After UV	2.2	37	0.035	20	6	20	66965	3	0.21	15	287,000	601,000	37,000
Laboratory experiments														
UV-dose ^d (mWs/cm ²)											HGR + P inoc ^b (CFU/ml)			
D	0	0.3	77	0.007	Contam	<2	15	17435	<2	0.24	45	NA	351,000	564,000
	46	0.3	42	0.005	<5	<2	13	8045	<2	0.24	5	NA	7,164,000	1,055,000
	204	0.3	59	0.005	<5	<2	4	7315	<2	0.26	<5	NA	587,000	324,000
	501	0.3	54	0.006	8	<2	6	15896	5	0.25	20	NA	359,000	245,000
E	0	2.2	59	0.057	17	4	14	102392	2	0.34	350	NA	669,000	375,000
	46	2.3	55	0.055	7	5	9	83554	2	0.32	15	NA	805,000	764,000
	204	2.4	83	0.056	12	6	11	84749	2	0.59	5	NA	981,000	991,000
	501	2.2	66	0.057	7	7	11	97781	2	0.32	<5	NA	3,054,500	231,000
F	0	2.6	108	0.051	14	4	17	65954	2	0.22	140	NA	797,000	356,000
	46	2.6	81	0.055	21	5	7	84552	2	0.24	9	NA	10,506,100	412,000
	204	2.5	91	0.054	13	10	13	91187	2	0.40	14	NA	20,346,000	369,000
	501	2.5	91	0.052	18	9	14	66186	3	0.15	<5	NA	11,455,000	113,000

^a Analysed with natural microbial population of the sample.

^b Analysed with inoculated microbial population after pasteurization.

^c Water was stored few hours before sampling.

^d UV-irradiation dose for the surface of the sample.

Symbols: TOC: total organic carbon, AOC^{potential}: assimilable organic carbon, SMSF: sum of molecular size fractions expressed as the sum of peak areas (µV s), Total P: total phosphorus, MAP: microbially available phosphorus, HPC: heterotrophic plate counts (R2A), HGR max: maximum number of heterotrophic bacteria during 21 days incubation of water with natural microbial population, HGR + P max: as HGR, but 20 µg/l phosphate was added, HGR inoc: HGR with inoculated bacteria community. Limit of detection for acetate was 5 µg/l, oxalate 2 µg/l and formate 4 µg/l. NA: not analysed.

驚いたことには、微生物の生存に与える影響は、前報による予測よりも低かった。

Table-1 によれば、204mWs/cm²以下の線量で処理した水中には全て微生物が生存していた。水道事業体や、研究室の実験では、46mWs/cm²以下での消毒効果は平均で 89% (1 log の不活化)であった。UV254 照射の消毒効果は、研究室の実験の方が水道事業体よりも良かった。B 水道事業体では、UV 照射の後の方が前よりも高かった。

下記の Fig.1 は、異なる水試料の分子量分画と水試料表面への UV 照射線量 (mWs/cm^2) を示している。Y 軸は面積のピークであり、X 軸は分子量のであり NO.が大きいほど分子量は小さくなる。UV 照射の凡例の説明：水試料の表面で、bl.照射線量ゼロ、46、204、501 mWs/cm^2

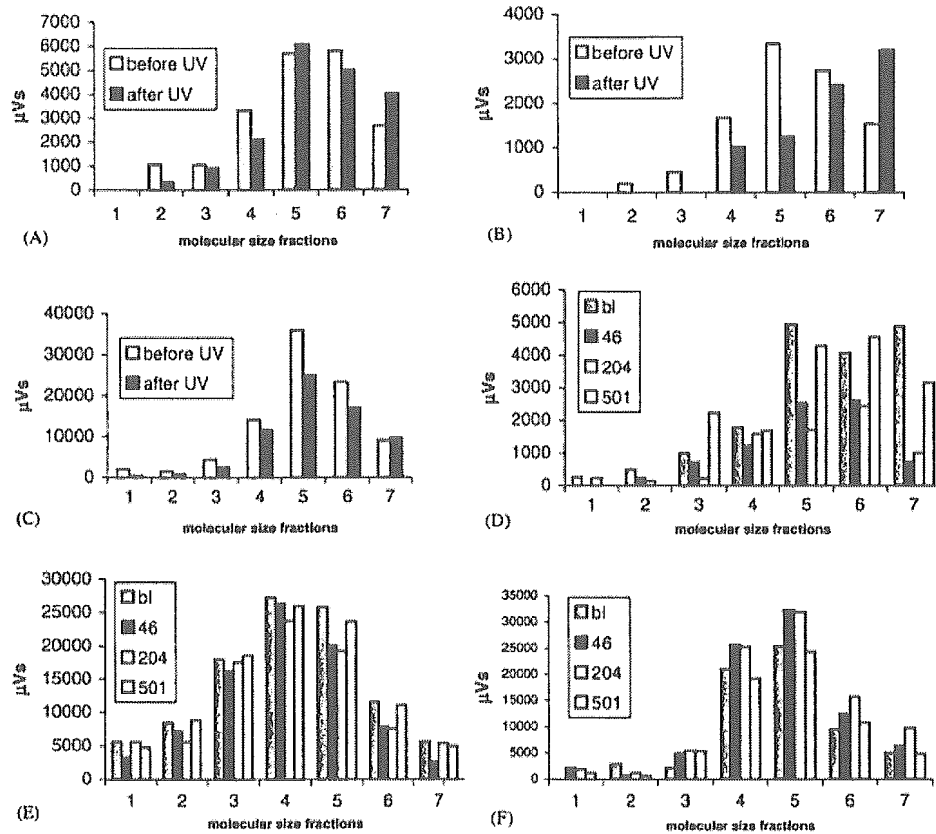


Fig. 1. Molecular size fractions of different water samples and UV-irradiation doses ($\text{mW s}/\text{cm}^2$) for the surface of the water sample. Numbering with decreasing order of molecular size. Y-axis is peak area, where the unit is microvolts multiplied by time ($\mu\text{V s}$). Legends for the UV₂₅₄ doses: bl, no irradiation, 46, 204, 501 $\text{mW s}/\text{cm}^2$ at the surface of the water sample.

4. 結論

- (1) UV₂₅₄ の照射は飲料水に用いられ、AOC ポテンシャルや分子量サイズの合計量を削減する。
- (2) UV₂₅₄ の照射による MAP の解離には、水道事業者で一般的に使用される線量よりも高い線量が必要である。高濃度の有機炭素を含む水ではより高い線量が必要である。
- (3) 化学物質や微生物の性質に対する UV 消毒の効果は水によって異なる。したがって、各水道事業者は飲料水中の化学物質や微生物的な特定に対して UV 消毒の効果を明確にさせるための研究をそれぞれ行わなければならない。

クリプトスポリジウムの不活化に対する UV の費用

Cost of advanced UV for inactivating crypto

Cost comparisons indicate that advanced UV technology may be cost-effective for drinking water treatment and competitive with other treatment alternatives.

John. E. Dyksen ら

1. はじめに

UV の共同プロジェクトはアメリカ水道協会研究基金 (AWWA RF) から資金が提供されており、電力研究所 (EPRI) が、クリプトスポリジウム オーストの不活化能に対する、5つの電子技術の評価を行っている。

新型 UV 技術は、クリプトスポリジウムに対して 4 log 以上の不活化能を有していることが知られている。この UV 技術が、既設の処理施設で実施できるかを決定するため、技術的な視点と経済的な視点から評価された。この論文は、新型 UV 電子技術についての技術的、経済的な解析結果について報告している。

2. 概要

クリプトスポリジウムは従来の処理方法で除去することが難しく、物理的な除去プロセスから漏出してくる微生物を不活化するために用いられる化学的消毒に対して極めて抵抗力が強い。

クリプトスポリジウムを不活化するための代替処理法としては電気技術があり、この技術は、応用科学や電気の応用工学の研究として定義されている。

共同研究の一部として評価された5つの電気技術は、AWWA RF と EPRIによって資金を提供された。5つの電気技術とは、プラズマ放電技術、pulsed electric field 及び3つのタイプの UV (パルス、新型、従来からの低圧) 技術である。各電気技術において、生きている *Cryptosporidium* oocysts を用いて、ベンチスケール、パイロットスケール、実規模により不活化能のテストが行われた。二つの UV システム (新型とパルス UV) では、*Cryptosporidium* oocysts の不活化が認められた。

パルス UV はオーストを不活化したけれども、実験データは可能性を評価するには十分ではなかった。新型 UV での試験が数回行われ、この技術が既設の処理施設で実施される可能性を決定するために、技術的な設計や経済的な視点からさらに評価された。

紫外線消毒装置の設計条件として、処理水量 1.9×10^3 、 3.8×10^3 、 1.1×10^4 、 1.9×10^4 、 $3.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ について、検討した。さらに飲料水中の *Cryptosporidium* を不活化するためのこの UV システムを使用するコストについて、様々な従来の化学的な消毒剤 (オゾン、二酸化塩素、塩素、モノクロラミン及びこれらの組み合わせ方法) を使用する場合のコストと比較した。

本実験においては、figure.1 に示すように、従来処理施設のろ過水に紫外線を照射した。Table1 に、二種類の CID (クリプトスポリジウム不活化装置 (*Cryptosporidium* inactivation device)) の技術データと設計基準をまとめたものを示す。

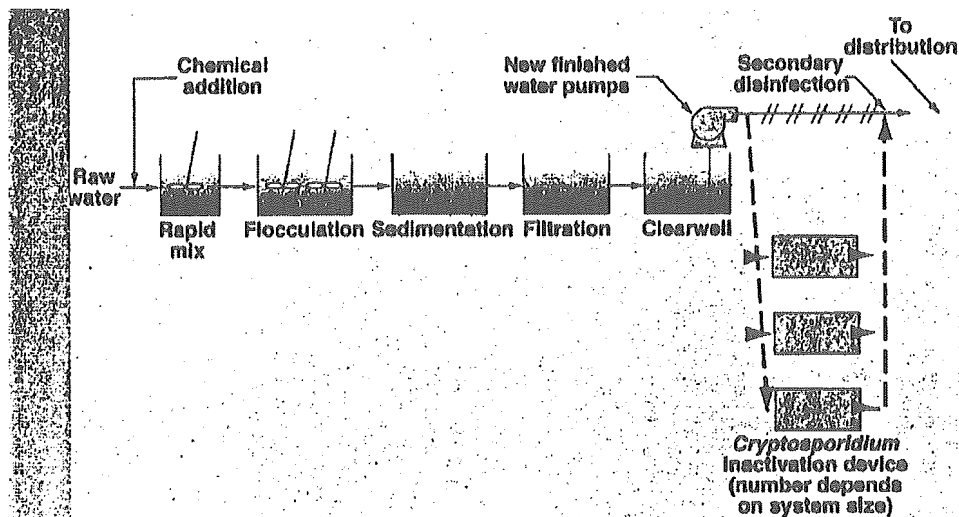


TABLE 1 Design criteria and technical data for *Cryptosporidium* inactivation device units

	Model 1	Model 2
Flow rate— <i>gpm</i> (L/s)	440 (27.7)	880 (55.4)
Overall frame size (length × width × height)— <i>in.</i> (m)	92 × 49 × 43 (2.34 × 1.25 × 1.10)	92 × 49 × 79 (2.34 × 1.25 × 2.0)
Power consumption— <i>kW-h</i>	2.2	3.2
Treatment chambers	Two	Two
Surface screens	Two	Four
UV lamps	12 × 85 W low-pressure mercury-vapor	24 × 85 W low-pressure mercury-vapor
Pressure drop— <i>psi</i> (kPa)	20–30 (131–207)	20–30 (131–207)
Power requirements	240V AC 60 Hz	240V AC 60 Hz
Maximum pressure— <i>psi</i> (kPa)	150 (1,034)	150 (1,034)

3. UV light の技術

ヨーロッパでは、下記の理由から UV 消毒が飲料水の処理に利用されている。

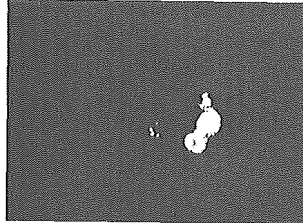
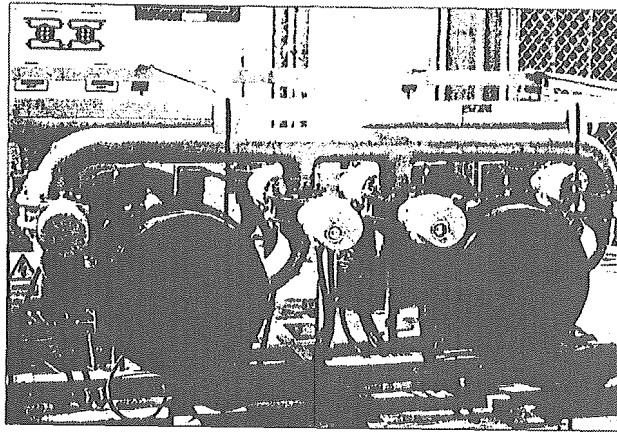
- UV 消毒は化学薬品を添加しない物理的なプロセスである。
- 圧力反応槽内での接触時間が非常に短い（数秒）こと、建設コストが安いこと、ポンプを使用せずに水圧勾配が維持できること。
- 消毒副生成物を生成しない。
- UV照射の代表的な光源は、低圧水銀蒸気放電ランプである。

これらのランプは大部分が殺菌力のある 253.7nm の波長が用いられている。低圧 UV 技術は、細菌やウイルスの不活化のために、排水処理や飲料水処理に利用されている。従来の低圧 UV システムは、経済的な照射量でのオーシストの殺菌に効果的ではなかった。

UV 技術は、原生動物のような、より抵抗力の強い微生物の不活化のために開発された。新型 UV 従来の UV 照射に比べより高い UV 暴露を伴うこととなる。水への UV 照射線量は、UV の光輝（輝度）と暴露時間により決まる。UV 光輝は、UV エネルギーが水に伝えられる割合であり、単位面積又は mW/cm^2 当たりの UV 強度で表されている。UV エネルギーは、UV 照度に照射時間をかけて照射線量として測定される。

$$\text{Dosage}(\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2) = \text{UV irradiance} (\text{mW}/\text{cm}^2) \times \text{time}(\text{s})$$

下記の写真は *Cryptosporidium* 不活化装置 (CID) であり、*C.parvum* を用いて試験が行われた。左下の写真は、DAPI で染色された *C.parvum* oocysts の核が見える。



The *Cryptosporidium* inactivation device (top) was challenge-tested with *C. parvum* oocysts. In the photo at left, distinct sporozoite nuclei can be seen in the *C. parvum* oocysts stained with DAPI.

下記の Table2 は *Cryptosporidium* の不活化装置 (CID) ユニットの施設設計基準である。この表には、各処理水量の配管のサイズと分離バルブの数が示されている。

Facility design criteria for *Cryptosporidium* inactivation device units

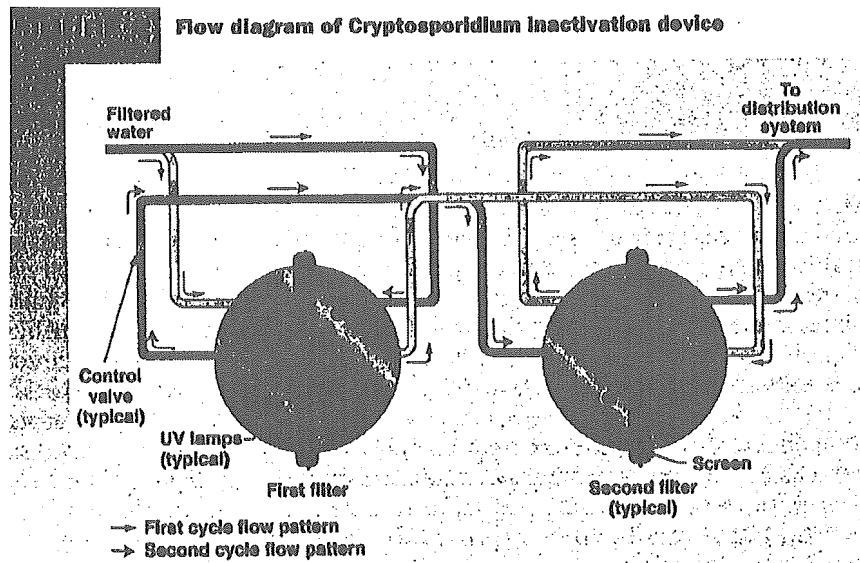
	Flow Rate				
	0.5 mgd (0.00019 × 10 ⁶ m ³ /d)	1.0 mgd (0.004 × 10 ⁶ m ³ /d)	3.0 mgd (0.01 × 10 ⁶ m ³ /d)	5.0 mgd (0.0029 × 10 ⁶ m ³ /d)	10.0 mgd (0.04 × 10 ⁶ m ³ /d)
Number of CID units					
Model 1	Two	None	One	None	None
Model 2	None	Two	Three	Five	Nine
Piping size diameter— in. (mm)					
Unit piping	4 (100)	4 (100)	4 (100)	4 (100)	4 (100)
Plant interface piping		88 (200)	18 (400)	18 (450)	24 (600)
Isolation valves					
Number, diameter— in. (mm)	Eight, 4 (100)	Five, 4 (100) Three, 8 (200)	Nine, 4 (102) Three, 16 (400)	Ten, 4 (100) Four, 18 (450)	Eighteen, 4 (100) Four, 24 (600)
Finished water pumps					
Total head—ft (m)	300 (91)	300 (91)	300 (91)	300 (91)	300 (91)
Building area—sq ft (m ²)	270 (25)	270 (25)	460 (43)	560 (52)	950 (88)

4. UV 技術

下記の Figure2 は、CID のフロー図である。

装置は最初のフィルターで、oocysts を捕獲するように設計されている。

CID として、UV 照度は約 14.6mW/s/cm² per filter であり、各フィルター上の oocysts の保持時間は5分間である。したがって二つのサイクルの全粒子に対する最低照射線量は、フィルター当たり 4,374mW/s/cm²~8,748mW/s/cm²である。



5. 施設設計

UV システムの設計に含まれる項目は下記のとおりである。

CID ユニット

- ・各ユニットを分離するための配管とバルブ類
- ・送水ポンプの更新（必要に応じて）
- ・ユニットを収容する建家（必要に応じて）

Figure.3 に $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ の施設の各種消毒剤の総建設費を示す。

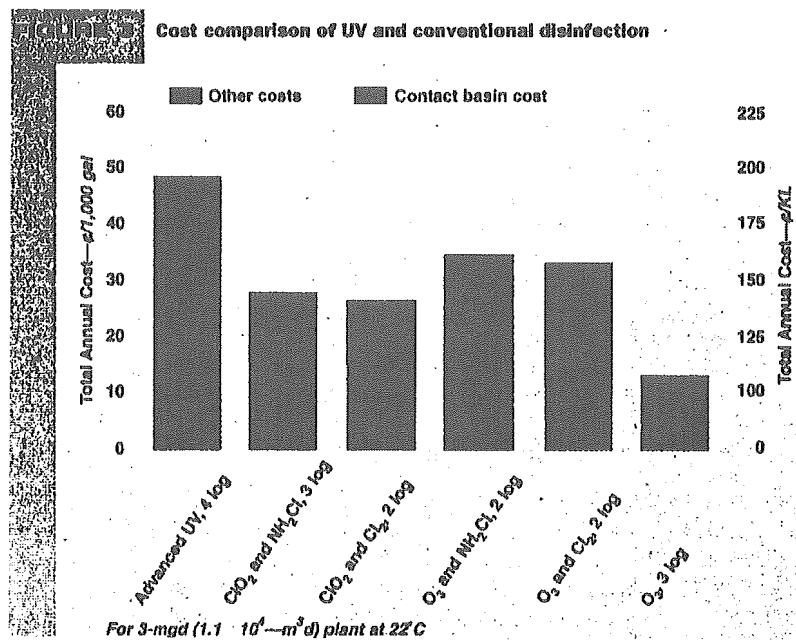


Table 3 に水温 22 度における各消毒剤の CT 値を示す。

TABLE 3 Process design criteria for chemical disinfection alternatives

Disinfectant and Inactivation	Disinfectant 1			Disinfectant 2		
	Applied Dose mg/L	Theoretical Detention Time min	$C \times T^*$ mg · min/L	Applied Dose† mg/L	Theoretical Detention Time min	$C \times T^*$ mg · min/L
O ₃						
2 log	2.5	6	4	NA†	NA	NA
3 log	3.0	7	5	NA	NA	NA
O ₃ and Cl ₂						
2 log	2.0	6	2	2.5	280	360
O ₃ and NH ₂ Cl						
2 log	2.0	15	1	3.0	110	530
ClO ₂ and Cl ₂						
2 log	1.0	70	40	2.5	110	200
3 log	1.5	70	130	2.5	155	300
ClO ₂ and NH ₂ Cl						
2 log	1.0	70	90	3.0	110	300

*Based on the disinfectant residual in the water leaving a contact basin and the effective residence time (T_{10}), as defined in the Guidance Manual for Compliance With the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Waters, US Environmental Protection Agency (1989). The ratio of effective contact time over theoretical detention time was assumed to be 0.7.

†It was assumed that the base plant Cl dose of 2.5 mg/L is adequate. The ammonia dose is 0.25 times the base plant Cl₂ dose of 2.5 mg/L.

‡NA—not applicable

また、Table.4 に、各種消毒剤の実施設を設計する際の条件を示す。

TABLE 4 Facility design assumptions for chemical disinfection alternatives

Disinfectant	Facility Design Assumptions
O ₃	The ratio of T_{10} and T is 0.7 in the ozone contactor. The additional head loss through the ozone contactors can be accommodated without additional pumping.
O ₃ and Cl ₂	An additional chlorine contact basin is constructed to provide sufficient disinfection contact time. The ratio of T_{10} and T is 0.7 in the ozone and existing and new chlorine contact basins. The additional head loss through the ozone and chlorine contact basins can be accommodated without additional pumping.
O ₃ and NH ₂ Cl	An additional chloramine contact basin is constructed to provide sufficient disinfection contact time. It is assumed that the base plant primary Cl ₂ dosage is sufficient to maintain the required residual for primary disinfection. The ratio of T_{10} and T is 0.7 in the contact basins (new ozone, existing chlorine, and new chloramine). The additional head loss through the ozone and chloramine contact basins can be accommodated without additional pumping.
ClO ₂ and Cl ₂	The chlorine dioxide contact basin and feed system are installed to treat the raw water. An additional chlorine contact basin is constructed to provide sufficient disinfection contact time. The ratio of T_{10} and T is 0.7 in the contact basins (chlorine dioxide, existing chlorine, new chlorine). The additional head loss through the chlorine dioxide and chlorine contact basins can be accommodated without additional pumping.
ClO ₂ and NH ₂ Cl	An additional chlorine contact basin is constructed to provide sufficient disinfection contact time. It is assumed that the base plant primary Cl ₂ dosage is sufficient to maintain the required residual for primary disinfection. The ratio of T_{10} and T is 0.7 in the contact basins (chlorine dioxide, existing chlorine, chloramine). The additional head loss through the chlorine dioxide and chloramine contact basins can be accommodated without additional pumping.

6. コスト

下記の Table 5 は各薬品消毒施設（オゾン、二酸化塩素+クロラミン、オゾン+塩素、オゾン+二酸化塩素、オゾン+クロラミン、二酸化塩素+塩素、二酸化塩素+クロラミン、CID）の処理水量、建設コスト、償還費用、年間運転費用/維持管理費用、1m³当たりの処理費用の概算費用である。

単位水量当たりの年間の経費は、3.2~36.5セント/m³（3.8~43.8円/m³）であり、建設コストは規模が小さいほど低く、単位水量当たりの年間経費は規模が大きいほど低くなっている。

TABLE 5 Summary of cost estimates

Log Inactivation	Temperature °C	Stage 1	Stage 2	Design Flow mgd (m ³ /d)	Average Flow mgd (m ³ /d)	Costs				
						Capital \$	Amortized Capital \$	Annual O&M* \$	Total Annual \$	Total Annual \$/1,000 gal (\$/1,000 L)
3	22	O ₃		0.5	0.25	200,000	20,000	18,500	38,500	42 (11.1)
3	22	O ₃		3	1.5	630,000	63,000	32,500	95,500	17 (4.5)
3	22	O ₃		10	5	1,550,000	155,000	67,000	222,000	12 (3.2)
3	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	0.5	0.25	640,000	64,000	16,000	80,000	88(23.2)
3	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	3	1.5	1,500,000	150,000	21,000	171,000	31(8.2)
3	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	10	5	3,200,000	320,000	28,500	348,500	19(5.1)
2	22	O ₃		0.5	0.25	180,000	18,000	18,000	36,000	39 (10.3)
2	22	O ₃		3	1.5	540,000	54,000	29,500	83,500	15 (4.0)
2	22	O ₃		10	5	1,360,000	136,000	60,500	196,500	11 (2.9)
2	22	O ₃	Cl ₂	0.5	0.25	560,000	56,000	17,000	73,000	80 (21.1)
2	22	O ₃	Cl ₂	3	1.5	1,840,000	184,000	25,500	189,500	35 (9.2)
2	22	O ₃	Cl ₂	10	5	3,770,000	377,000	47,500	424,500	23 (6.1)
2	22	O ₃	NH ₂ Cl	0.5	0.25	570,000	57,000	21,000	78,000	85 (22.5)
2	22	O ₃	NH ₂ Cl	3	1.5	1,670,000	167,000	29,500	196,500	36 (9.5)
2	22	O ₃	NH ₂ Cl	10	5	3,820,000	382,000	52,500	434,500	24 (6.3)
2	22	ClO ₂	Cl ₂	0.5	0.25	580,000	58,000	15,000	73,000	80 (21.1)
2	22	ClO ₂	Cl ₂	3	1.5	1,330,000	133,000	20,000	153,000	28 (7.4)
2	22	ClO ₂	Cl ₂	10	5	2,770,000	277,000	25,000	302,000	17 (4.5)
2	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	0.5	0.25	600,000	60,000	19,000	79,000	87 (23.0)
2	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	3	1.5	1,360,000	136,000	24,000	160,000	29 (7.7)
2	22	ClO ₂	NH ₂ Cl	10	5	2,830,000	283,000	30,000	313,000	17 (4.5)
3	7	O ₃		0.5	0.25	335,000	33,500	23,500	57,000	62 (16.4)
3	7	O ₃		3	1.5	1,270,000	127,000	59,500	186,500	34 (9.0)
3	7	O ₃		10	5	3,000,000	300,000	130,000	430,000	24 (6.3)
2	7	O ₃		0.5	0.25	280,000	28,000	21,500	49,500	54 (14.3)
2	7	O ₃		3	1.5	1,000,000	100,000	48,500	148,500	27 (7.1)
2	7	O ₃		10	5	2,700,000	270,000	105,000	375,000	21 (5.5)
4	7	Cl ₂		0.5	0.25	1,080,000	108,000	19,500	128,500	138 (38.5)
4	7	Cl ₂		3	1.5	2,310,000	231,000	45,500	276,500	51 (13.5)
4	7	Cl ₂		10	5	7,100,000	710,000	116,000	826,000	45 (11.9)

*O&M—operations and maintenance

Figure. 4 に、7°C の水温におけるオゾン消毒と、紫外線消毒の年間総費用の比較を示す。

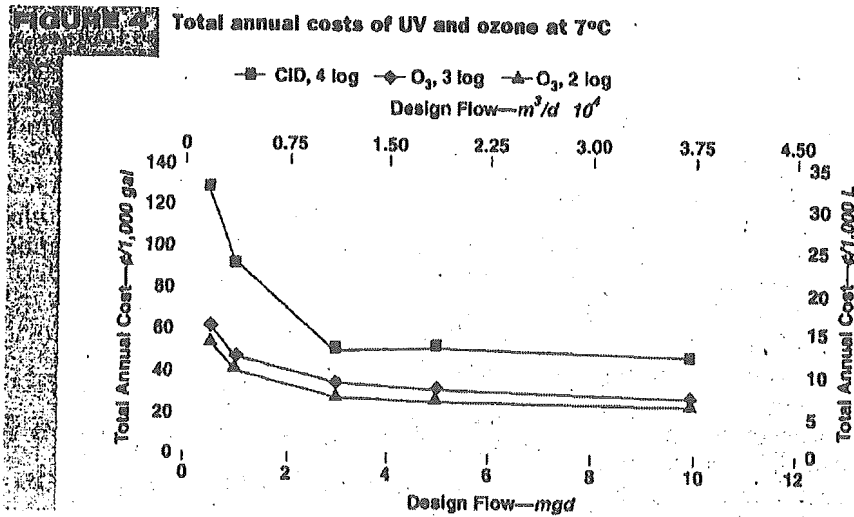
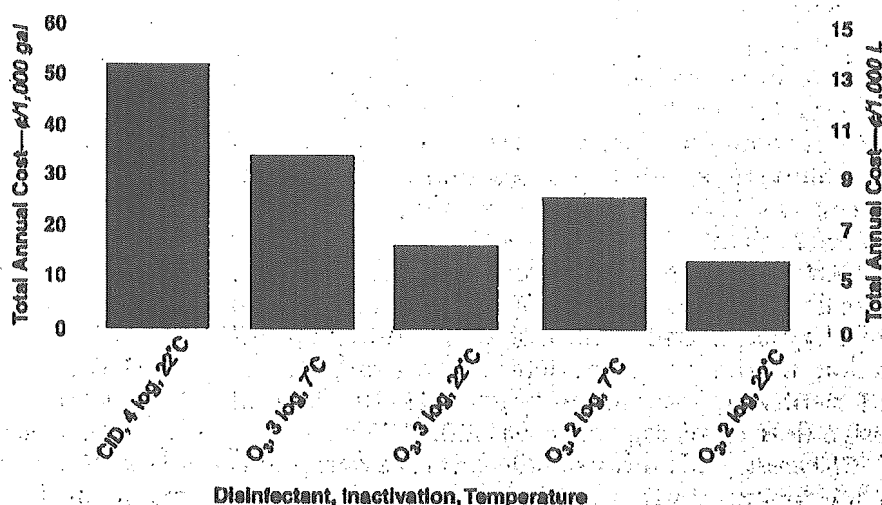


Figure.5 に、 1.1×10^4 m³/d の施設における 各種条件でのオゾン消毒、紫外線消毒の年間総費用を示す。

FIGURE 5 Cost comparison of UV and ozone for 3-mgd ($1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) plant



結論

UV 技術は処理された飲料水中の *Cryptosporidium* を効率的に不活化することが示された。既設の水処理プラントでこの技術を応用する費用は、現場での具体的な条件（水処理方法、水質特性、ポンプ揚程、建物の面積及び *Cryptosporidium* の不活化要求レベル等）に依存する。

なぜなら、これらの要素は設計や運転操作基準に影響しており、また、建設コストや運転コストは新型 UV 技術と関係しているからである。このプロジェクトで行ったコスト比較では、新型 UV 技術が飲料水の処理への応用に対し費用効果が高く、現場での条件次第ではあるが、従来の薬品処理の代替法として価格競争が可能であることを示している。

UV 消毒は飲料水中の *Cryptosporidium* 不活化の応用技術としてコスト以外にもいくつかの特徴がある。

- UV 消毒は水に薬品を添加しない。
- UV は効果的な殺菌剤であり、薬品消毒により効果的に消毒できない、他の問題のある微生物を不活化できる。
- 薬品消毒と異なり、UV 消毒は副生成物を生産しない。
- UV 消毒は、未ろ過の供給水の高不活化率を達成する処理法として経済的である。

UV 技術は非常に一般的となっており、この論文に掲載したときよりも装置コストも安くなるものと思われる。したがって水道事業者はより適切な *Cryptosporidium* 不活化戦略を選択する時には経済性と同様に他の要因についても評価・検討するべきである。