

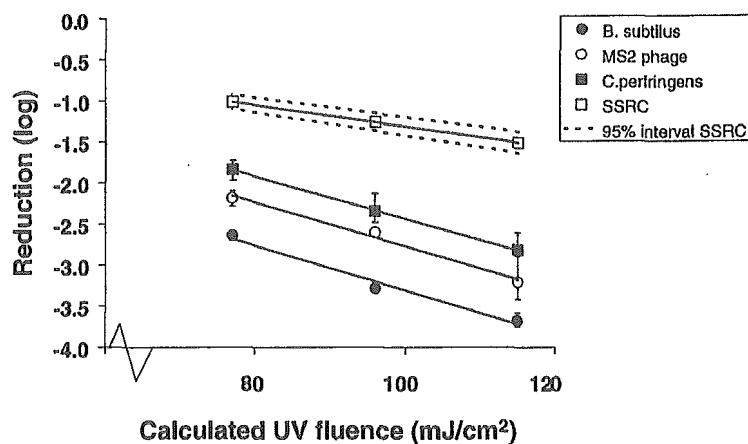
### 試験室培養の微生物実験

微生物の流入水への添加濃度を Table.1 に示し、Figure3 に紫外線耐性を示す。紫外線感受性の高い順に、B,subtilis,MS-2 大腸菌ファージ、C.perfringens、環境中の SSRC となる。

**Table 1** The influent concentrations of the micro-organisms during the challenge test

	<i>B. subtilis</i>	<i>C. perfringens</i>	MS2 phages
Samples ( <i>n</i> )	24	24	9
Average conc. ( <i>n</i> /l)	$1.6 \times 10^5$	$2.2 \times 10^4$	$1.9 \times 10^6$
SD <sup>a</sup>	$2.4 \times 10^4$	$6.5 \times 10^3$	$1.7 \times 10^5$
VC <sup>a</sup> (%)	15	29	9

<sup>a</sup> SD = standard deviation; VC = variation coefficient



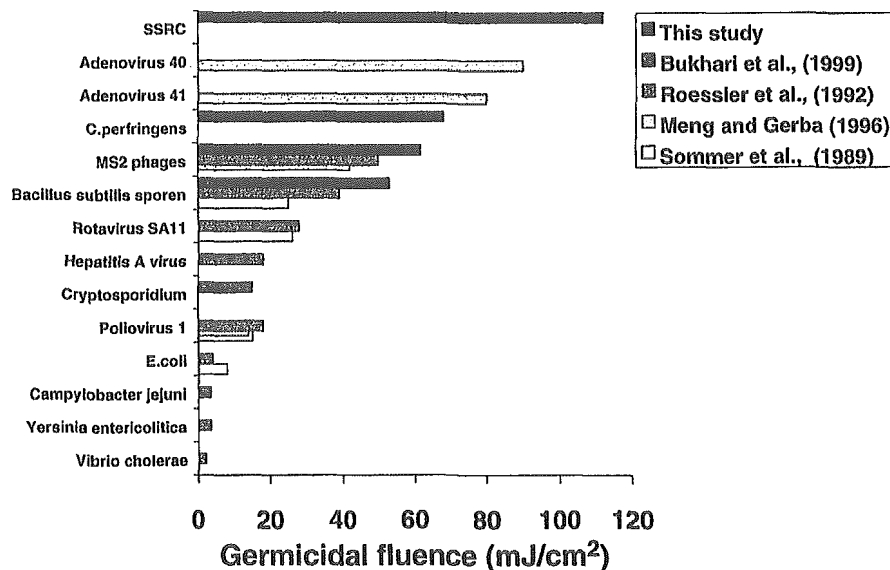
**Figure 3** The dose/effect relation between the inactivation of the micro-organisms and the calculated fluence of the challenge test (range of values presented by the error bars, environmental SSRC data calculated with parameters from the equation presented in Figure 2)

### 紫外線装置の REF

B,subtilis を生物線量計として用いた REF を Table2 に示す。モデル式により計測した値の 55～62%程度の値になっていることが分かる。また、Figure.4 に環境中の SSRC,C.perfringens、MS-2 ファージの紫外線耐性を示す。

**Table 2** The calculated fluence and the germicidal fluence (REF) assessed from the B. subtilis data of the challenge test

Calc. fluence (mJ/cm <sup>2</sup> ) BUV-3D	REF (mJ/cm <sup>2</sup> )	% of the calc. fluence
77	48	62
96	58	60
115	64	55



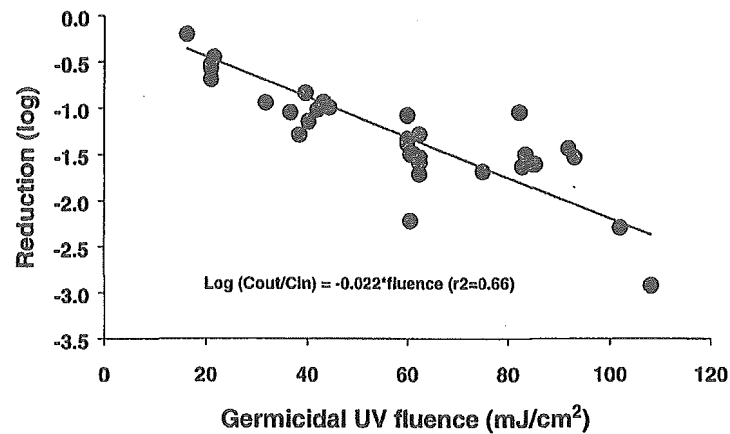
**Figure 4** The required fluence for 3 log inactivation of viruses, *Cryptosporidium*, bacteria and bacterial spores (aerobic and anaerobic)

#### SSRC と他の微生物の紫外線感受性

Figure.4 より SSRC は最も紫外線耐性が強いことが分かる。その理由として、他の Clostridia 種は、C.perfringens より紫外線感受性は低い可能性や、環境中の SSRC は、太陽光等の環境負荷を受けることにより、紫外線耐性を強めた可能性や、環境中の SSRC はコロイド状の粒子により被包され、紫外線耐性を強めた可能性があげられるが、今後の研究により、その理由は特定されるであろう。

#### フルスケールでの運転における不活化指標としての SSRC

現在、実装置において、紫外線量の制御は静置センサーにより制御している。しかし、Table3 に示すように、BUV-3D モデルでは、REF を過大評価されている。微生物学的分析は、オンラインでの紫外線量の測定には適していないが、本研究では環境水中の SSRC により、オンサイトで紫外線効率測定を行えることを示している。B.subtilis を線量計として紫外線量と SSRC の不活化の相関を Figure.5 に示す。



**Figure 5** The relation between the inactivation of environmental SSRC in the WBE water and the germicidal UV fluence assessed with *B. subtilis* with a calibrated UV<sub>253.7nm</sub> sensitivity

原水中に 5 個/L の SSRC は、飲料水基準を満たす処理水として 0.035/L まで不活化する必要があり、2.2log の不活化が必要となる。そのためには、REF98mJ/cm<sup>2</sup>が必要となる。他の原水に対しても同様に指標となるかの確認は、今後の研究で行う必要がある。

## 結論

環境中の SSRC は、試験室培養の *C.perfringens* や、報告されている Adenovirus よりも強い紫外線耐性を有する。他の原水を様々な条件、微生物により実験を行い、この現象の妥当性を確認する必要がある。

生物線量計による紫外線量は、計算値の 60%程度の値となっており、微生物的観点からの紫外線システムの評価が必要になると思われる。環境中の SSRC を用いることにより、オンサイトでの、紫外線効率を測定できる可能性がある。環境中の SSRC と生物線量計との相関に関しては、より広範囲は比較検討が必要である。

## 回収水中における濁質の大腸菌の紫外線消毒に与える影響

## Particle effects on ultraviolet disinfection of Coliform bacteria in recycled water

Domenec Jolis

## 概要

3次処理水中の7 $\mu$ m以上の懸濁物質が増加するに従い、不活化速度は減少する傾向にある。最低限約800J/m<sup>2</sup>の紫外線量が、カリフォルニアにおける排水の大腸菌に関する再利用基準を満たすためには、必要であるといわれている。

## 始めに

1995年、カリフォルニア州サンフランシスコでは乾季の間、610L/sの2次処理排水を回収して、3次処理水に再生する施設の設計を行った。処理方法としては、濁度除去のインラインろ過と消毒用の紫外線消毒を採用した。この際、1000J/m<sup>2</sup>の照射線量にて、大腸菌の不活化率は濁質等の影響より、通常4.15logより3.09logまで減少する場合があった。(分散係数=0.02)。また、8~10 $\mu$ m以上の粒子は、それ以下の粒子よりも紫外線の阻害効果が大きいとの報告もある。

紫外線による大腸菌の不活化は下式で表される。

$$CFU_{\text{eff}}/CFU_{\text{inf}}=e^{-kD} \quad (1)$$

CFU<sub>eff</sub>: 流出水中の大腸菌濃度 (CFU/ml)、CFU<sub>inf</sub>: 流入水中の大腸菌濃度 (CFU/ml)  
D: 紫外線量 (J/m<sup>2</sup>)、k: 不活化速度定数(m<sup>2</sup>/J)

本研究では、1995年の7月~9月まで、パイロットスケール及びベンチスケールの実験を行い、2次処理水中の7 $\mu$ m以上の粒子が紫外線消毒に及ぼす影響について検討した。本研究の主目的は a)2次処理水中の7 $\mu$ m以上の粒子が紫外線消毒に及ぼす影響 b)フルスケールの紫外線消毒装置を設計するのに必要なデータを収集するために、紫外線による不活化実験の有用性の確認、c)大腸菌の基準 Title 22(DHS,1995)を満たす最小紫外線量の設定である。

## 実験方法

パイロットろ過施設は、重力単層ろ過 (General Filter Company, Ames, Iowa) であり、ろ層厚は1.22mで、ろ材の有効径は1.5mm、均等係数は1.7である。このろ過使節は空気-水逆洗を採用している。

2つの濁度計(HACH, Loveland, Colorado)にて流入水、流出水の濁度を計測した。流入及び洗浄水の流量は電磁流量計(Model SC80AS(Altometer))にて測定及び制御を行った。低圧ランプ(Ideal Horizons Poultney)の長さは0.92mである。

微粒子計(Met One, Grand Pass, Oregon)は6種類のレンジ (2~5 $\mu$ m、5~7 $\mu$ m、7~

10 μm、10~15 μm、15~20 μm、20 μm 以上) の計測が可能である。

ベンチスケールの紫外線照射装置は、Qualls and Johnson の方法に基づいて、設計し、低圧ランプ(モデル Pen-Ray (UVP, Upland, California))を黒の金属ケース内に設置した。ランプと試験水の間に、非反射の円筒を設置し、紫外線の散乱を最小限にした。

2つの実験を行った。紫外線照射時のパイロットスケールの用量・応答試験(PSDR)と薬剤なしに紫外線を照射した際の用量・応答試験(CMDR)である、実験条件の詳細は Table1 に示す。

Table 1—Experimental conditions.

Parameters	PSDR	CMDR
Filter parameters		
Hydraulic loading rate, L/s	10	—
Effluent turbidity, nephelometric turbidity units	0.5-1.8	0.2 and 4.8
Chemical doses		
Alum, mg/L	0, 3, 5	—
Polymer, mg/L	0, 0.5	—
UV parameters		
Transmittance, %	68	68
Dose, J/m <sup>2</sup>	400-1150	70-820

PSDR 試験は、式 1 の仮定に基づき、水質の悪化に基づき、不活化速度定数 k が減少するかについて、検討した。3種のろ過実験を行い、それぞれ、60分間運転、若しくは、処理水が 2NTU を下回った時点で、サンプルを回収した。紫外線の実験装置は 0.61L/s の際に 300J/m<sup>2</sup> の紫外線量となるよう設計され、吸収係数は 0.06 である。

実際の照射線量は、流量と製造会社による補正図より算出した。全ての分析項目は Standard Method に準拠した。

CMDR 試験は、実験条件を制御した、実験室にて実施した。20mL の試験水を 60×15mm のオートクレープ用のペトリ皿へ入れ、実験した。その際、2次処理水は 8 μm のメンブレンフィルターにて、7 μm 以上の粒子を 99%以上除去した、サンプルは常時攪拌し、紫外線を 6~70 秒間照射した。照射ランプの強度は、水面上で 11.77W/m<sup>2</sup>であった。

## 実験結果

Figure1 に 3次処理水(大腸菌濃度  $5 \times 10^4 \sim 7 \times 10^5$  CFU/100mL)の実験結果を示す。相関係数は 0.72~0.82 と高く、式 1 の妥当性が確認された。Table2 は、試験水の微粒子の分布及び除去率を示しており、7 μm 以下の粒子が大腸菌の不活化に殆ど影響を与えないことが分かる。

凝集剤を注入しない場合、大きいサイズの微粒子は、大腸菌を紫外線から遮蔽する効果がある。本実験においては、十分な微粒子除去が行われた場合、大腸菌を 4log 不活化するのに必要な紫外線量は、940 から 820J/m<sup>2</sup>に減少した。

Fig.1 に示すように、アルミを 5mg/L 注入した場合と、アルミ 3mg/L 及びカチオンポリマーを 0.5mg/L 添加した場合は、不活化速度定数はほぼ同じであった。しかし、処理水中の微粒子の分布は異なる。このことより、再生水に 7 μm 以上の粒子が除去できるように

凝集剤と高分子凝集剤を組み合わせれば、大腸菌の不活化の消毒プロセスを最適化することが出来ると思われる。

CMDR の結果を Figure.2 に示す。130J/m<sup>2</sup>では、8μm ろ紙によるろ過水と、未処理水の不活化率に大差は無いが、130J/m<sup>2</sup>以上では、明らかに、8μm ろ紙によりろ過をおこなったものの方が、不活化率が高い。130J/m<sup>2</sup>の際には、浮動性の大腸菌のみが不活化し、微粒子の影響が少なかったと思われる。

Figure.2 より計算される擬一次不活化速度定数は、低線量と高線量の場合で大きく異なる。そのため、Figure.1 にて示された不活化速度定数を絶対のものとして取り扱うことは出来ない。

フルスケールの実機を設計するには、その場所で満たすべき水質条件と、最も悪い原水水質条件を考慮する必要がある。また、公共の健康を守るための紫外線照射エネルギーを最適化する際に、微粒子分布や不活化速度定数、前段のろ過の運転条件等が重要となる。

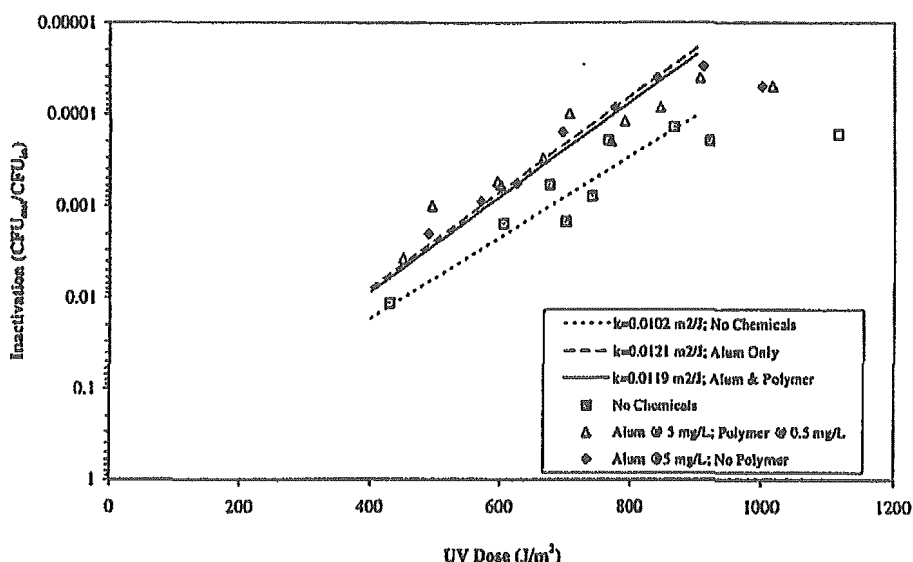
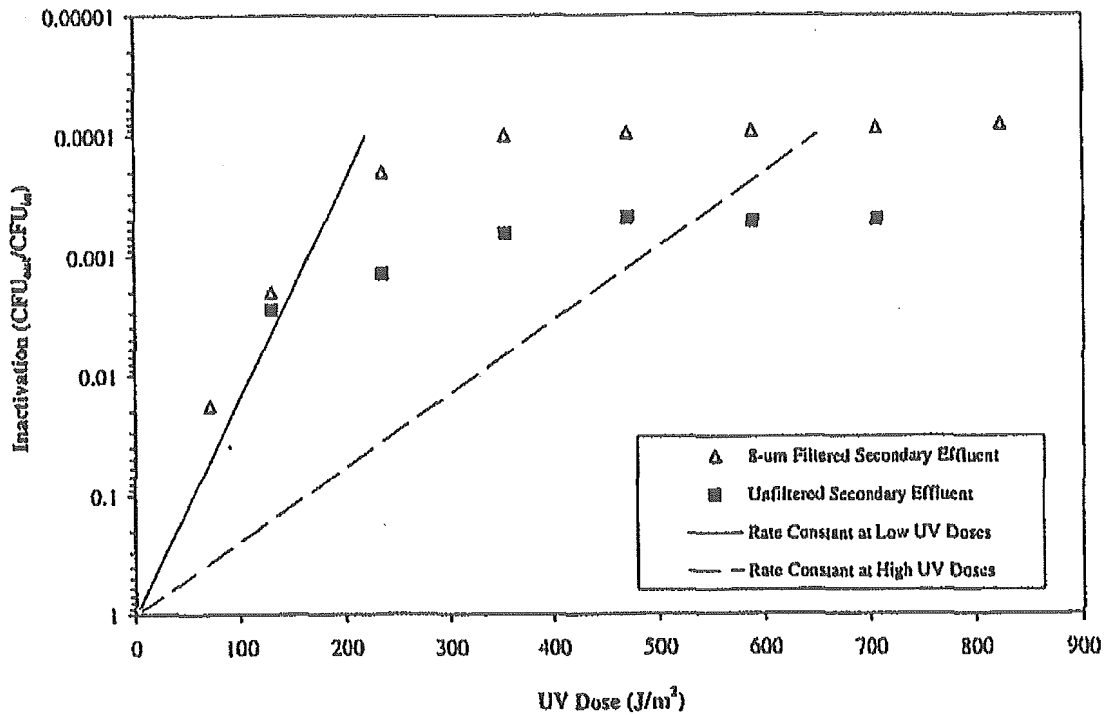


Figure 1—UV dose-response curves, pilot-scale results.

Table 2—Typical particle size distribution and removals.

Parameter	Sample	Chemical doses		Particle size					
		Alum, mg/L	Polymer, mg/L	2 μm	5 μm	7 μm	10 μm	15 μm	20 μm
Number of particles per 100 mL	Filter influent	—	—	407 000	420 000	122 000	79 000	31 000	22 000
	Filter effluent	0	0	± 9 500	± 15 800	± 3 700	± 5 000	± 3 100	± 1 400
Percent removal	Filter influent	0	0	6.8 ± 4.5	32.7 ± 5.5	47.4 ± 4.9	50.2 ± 6.0	39.0 ± 4.9	44.7 ± 6.9
	Filter effluent	5	0	66.0 ± 7.5	85.8 ± 3.2	95.3 ± 2.5	95.7 ± 1.8	94.7 ± 2.7	94.6 ± 3.5
	Filter effluent	3	0.5	66.3 ± 6.2	89.4 ± 3.3	95.5 ± 2.2	98.1 ± 1.2	98.9 ± 0.7	99.2 ± 0.4



**Figure 2—UV dose–response curves, collimated beam results.**

**結論**

紫外線消毒を行う際、大腸菌を遮蔽する大きな懸濁物質は、処理性能に大きな影響を与える。しかし、7μm以下の微粒子は、殆ど影響しない。

十分な微粒子除去が行われた場合、800J/m<sup>2</sup>が Title 22 の基準を満たす最小紫外線量であると思われる。

理論及び実験に基づく紫外線消毒に及ぼす波長の影響について

Theoretical and experimental investigation of wavelength dependence UV disinfection

## 概要

大規模の施設においては、設備費及び維持費が電気代よりも重要視されるため、高出力の中圧ランプの紫外線消毒システムが、従来の低圧紫外線ランプに比べ広く、受け入れられるようになってきている。しかし、波長による殺菌効率については、まだ未明な点がある。

本誌では、他の波長を遮蔽することにより、選択的な波長域における紫外線の殺菌効率に関する検討を行う。放射分析と ferrioxalate 化学光量測定により、紫外線量の測定を行った。また、対象としては、E.Coli を使用した。

E.Coli の波長吸収特性に基づく比率及び 250,254,280nm の波長における光量子の数より算出すると、波長毎の比は、0.53 : 1.0 : 0.74 になる。本研究では、この比の検証を行った。

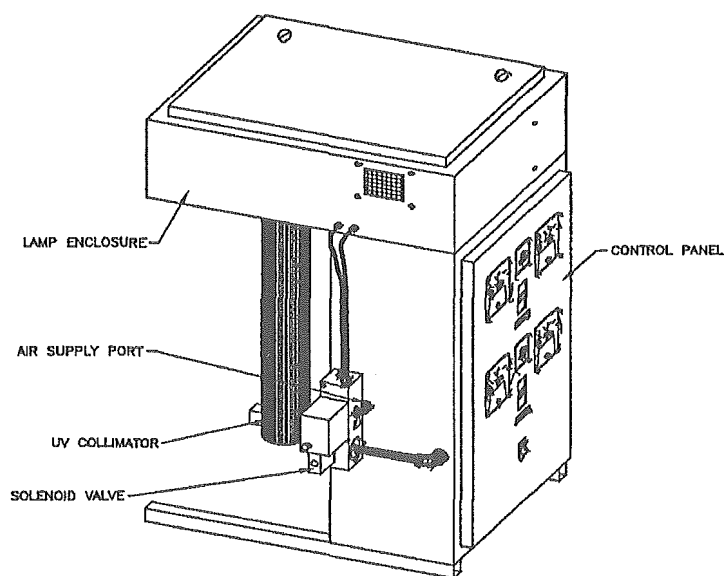
投入エネルギーをワットに換算した場合、2次処理水においては、低圧ランプの 254nm の紫外線エネルギーよりも、中圧ランプを用いた方が、殺菌効率が高いという計算結果が得られた。

## 実験方法

### 実験装置

実験装置 (Figure.1) は、1kW の中圧ランプ一本を有している。紫外線ランプを暖機運転をしている間は、コリメーターにより、紫外線が原水に照射されないよう遮蔽される。150mL の液体サンプルを、装置下の 600mL のビーカーにて、攪拌を行いながら、紫外線照射を

Figure 1. Medium-pressure UV collimated beam apparatus





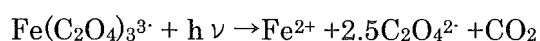
行う。試料水は蒸留水に、下水中から単離した E.Coli を  $2.8\sim 4.3\times 10^6$  個/100mL を使用した。

### 紫外線放射量測定

紫外線の放射照度は、International Light IL 1400A radiometer を用いて測定した。

### 化学光量測定

ferrioxalate 化学光量測定は、下記の光化学反応を用いた計測方法である。



### バクテリア分析

全てのサンプルは、Durham Regional Laboratories に提出し、APHA/AWWA の標準法を用いて、分析した。

### 波長遮断

特定の波長を遮蔽するために、干渉フィルターをランプ周りに設置した。

### 結果

Figure.2 に中圧ランプの各波長における処理性能を示す。データは、3 回の実験値の平均値を採用している。

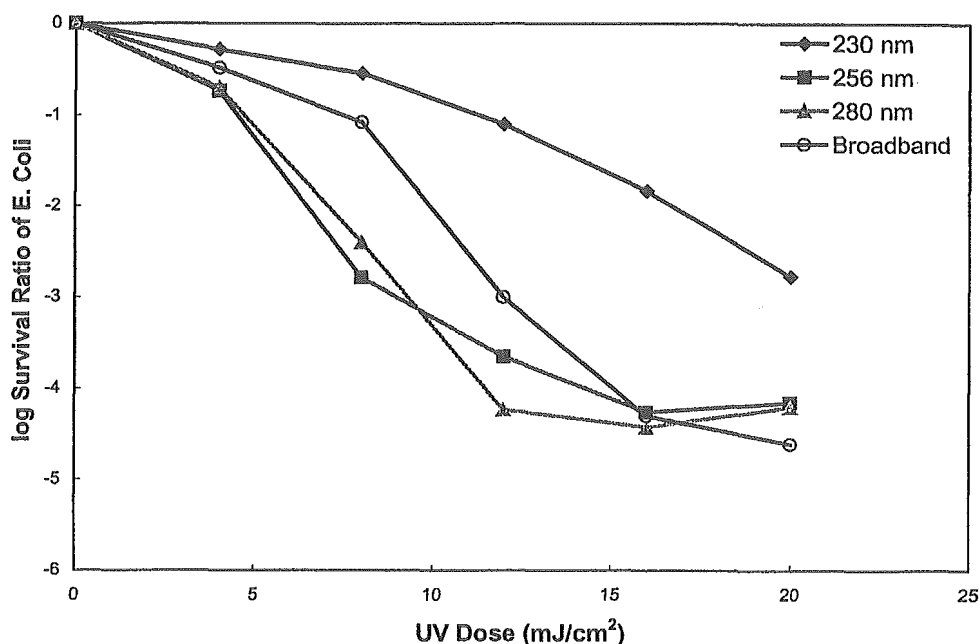


Figure 2. UV Dose-response curves for *E. Coli* at various wavelengths.

紫外線放射量測定および化学光量測定における紫外線量は、230nm を除いて、ほぼ一致

している。紫外線放射量測定および化学光量測定の比は、230nm、256nm、280nm、広波長域光(200~300nm)において、それぞれ、0.78,1/05,0.98,0.96 である。本研究では、紫外線放射量測定を採用している。230nm における相関性の低さは、化学光量測定時の測定ミスと思われる。

別の観点から見ると、紫外線量は、DNA の吸収率(0.41(230nm)、1.04(256nm)、0.65(280nm)、0.76(200~300nm))に基づく殺菌効率を掛ける必要があり、そのデータを Figure.3 に示す。230nm、256nm、広波長域光(200~300nm)は、ほぼ同じ挙動を示し、280nm は他の波長よりも効果が高いよう見受けられる。

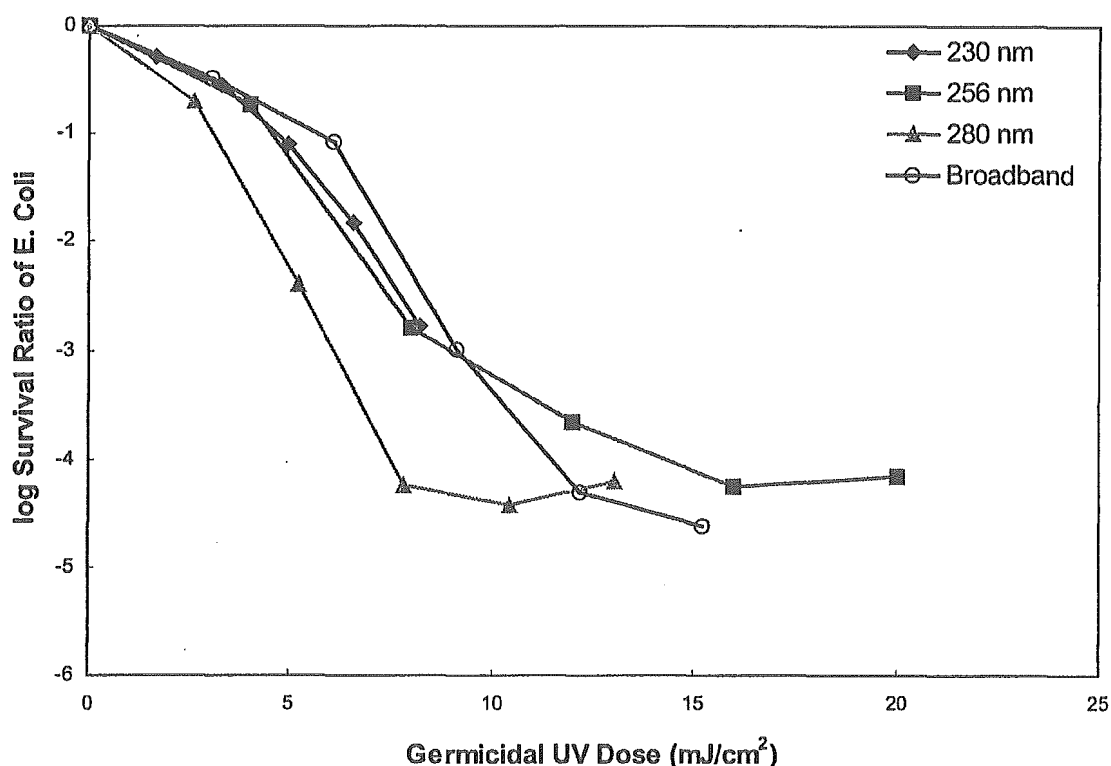


Figure 3. Log Survival Ratio vs. Germicidal UV dose curves for *E. Coli* at various wavelengths.

### 検討

256nm と 280nm の波長域における紫外線効率はほぼ同じであり、230nm と広波長域光(200~300nm)は、効率が低いことが明らかになった。Gateら(1930)によると、波長による紫外線消毒効率は、230nm、256nm、280nm において、それぞれ、0.53、1、0.74 であり、今回の実験結果では、0.38、1、0.88 と非常に良く似た値が得られた。

*E. Coli* の吸収特性及び各波長における光量子を考慮に入れた場合、Table2 に示すように実験値にかなり近い値が得られた。

### 水質の影響

Figure.4 に水質が紫外線の殺菌効率に及ぼす影響を示す。

## 結論

紫外線による殺菌効率は、吸収係数と光量子数の積との相関性が非常に高い。

従来、254nm が消毒に最適だと考えられていた。しかし、照射紫外線中の 1 ワット当たりの光量子数が増加し、高波長における紫外線の高透過率により、中圧ランプにおいては、最適な紫外線波長は、高波長へシフトしている。

## 表流水を原水とした施設における紫外線処理の最適配置

**Optimum location of an ultraviolet step in a surface water treatment plant**

C.Lemontne

**概要**

新しい DBP の基準(臭素酸イオン  $10 \mu\text{g/L}$ )を満足させるためには、オゾン注入量を最小限にし、臭素酸発生量を抑える必要がある。表流水を取水している浄水場では、消毒レベルを現状のまま維持する必要があるため、本件に関して、関心を抱いているケースが多い。そのため、代替消毒剤として紫外線消毒を評価する必要があり、本研究では、水質(アトラジン、BOOC、亜硝酸塩、等)の観点からみた中圧ランプの影響を評価し、紫外線消毒設備を GAC の前段、もしくは、後段のどちらに設置すべきかに関して、検討を行なっている。本研究にて示している結果によると、クリプトの不活化が必要とされる条件では、問題にならない差である。

**始めに**

Neuilly の表流水を取水している浄水施設では、パリ郊外の 1,260,000 の市民に水を配水しているのだが、現状の手法では、新しい DBP の基準を超過することがある。Neuilly-sur-Marne 浄水場では、農業、工業、生活排水の影響を受けるところにある。浄水処理としては、凝集、フロック形成、沈澱、急速砂ろ過、オゾン処理、GAC による生物ろ過、塩素処理を採用している。オゾン処理は、クリプトの不活化に効果がある処理方法であるが、同時に臭素酸を生成する。そのため、オゾン注入量を低減するための新しい消毒方法が必要とされている。

紫外線消毒には、臭素酸や THM の発生が無い点が利点として挙げられる。しかし、ヨーロッパとフランスにおいては、農薬として MCL  $0.1\text{mg/L}$  以下を遵守するために、紫外線消毒により、処理水中の農薬の酸化濃度が上昇しない事を実証する必要がある。同様に、紫外線により、生物分解性有機物が生成しないことを確認する必要がある。

本研究のテーマは下記のとおりである。

- *Cryptosporidium* や MS-2 フェージ等の微生物の中圧紫外線による不活化の確認。
- アトラジンとデスエチルーアトラジン (DEA) の中圧紫外線ランプによる影響
- 亜硝酸塩の中圧紫外線ランプによる影響
- 生物分解性有機炭素(BDOC)の中圧紫外線ランプによる影響

これらの試験結果により、中圧紫外線装置をどのプロセスに入れるのが最適化の判断が行なえる。

- 砂ろ過処理の後段で、GAC 処理の前。(BDOC の除去もしくは、農薬の分解生成物が吸着可能)

- ・ もしくは、GAC 処理の後段(処理水が直接消毒に適するのであれば)

## 実験方法

### 原水水質

本実験にて使用した実験水として、砂ろ過処理水を用い、紫外線透過率は96%/mである。濁度は常時、0.05NTU以下であり、TOCは2.0mgC/L以下である。亜硝酸濃度は、15～30mg/Lであり、アトラジン等の農薬汚染は1μg/Lである。

### 実験装置

装置形状は円筒状で、ランプは流れに平行に設置した。中圧紫外線ランプは2種類の20cm長のランプ(標準ランプとオゾンフリーのランプ)を使用した。両ランプの真空管として、標準石英ガラスを使用し、片方は、オゾンフローの石英スリーブを用いている。ランプはチタニウムにて、固定することにより、副生成物を生成しやすい220nm以下の紫外線を遮断する。標準のランプは、220～280nm間の波長で、12%のエネルギーを放射するが、オゾンフリーのランプだと、4%程度である。これらランプの波長域は、多色光であり、254nmに最大波長を有している。

校正済みの3WLXセンサーにて、254nmのランプ出力を制御している。

### 流束の計算

点源からの照射強度は、下記のように表される。

$$F_i = \frac{P}{S} \exp(-kl) \quad (1)$$

$F_i$ :  $i$ 地点での照射強度(W/m<sup>2</sup>)、 $P$ :光源出力(W)、 $S$ :波面(m<sup>2</sup>)、 $k$ :吸収係数、 $l$ :光源からの距離(m)

円筒状の装置の場合、次のようになる。

$$E'(r,z) = \frac{P_l}{4\pi L} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \frac{1}{R^2} \exp\left(-\frac{k(r-e)}{r} R\right) dz' \quad (2)$$

$P_l$ :ランプの単位長さあたりの殺菌出力、 $L$ :ランプ長さ(W/m)、 $R$ :点源の距離(m)、 $e$ :石英スリーブの半径(m)、 $r$ :ランプ軸の最小距離、 $z_{\min}$ :第1点源、 $z_{\max}$ :最終点源

反射の影響に関しても、同様の公式を用い、下記のように求められる。

$$E_r'(R,Z) = C_r E'(D-r,z) \quad (3)$$

$C_r$ :反射係数

最終的照射強度は、

$$E_t(r,z) = E''(r,z) + E_r'(r,z) \quad (4)$$

## 分析：

Cryptosporidium parvum オーストはフランス TOURS の INRA 研究室のものを用いた。Chemscan 装置を用いて計数し、活性は腸細菌 HCT8 を用いた Slifko(1997)の方法を用いて、判断した。

化学分析には、NF EN ISO11369 手法後、クロマトグラフを使用した。TOC は NF EN 1484(T90-102)を用いて、測定した。生物分解性有機化合物濃度は、XPT90-319 法を用いて測定した。

## 結果

### Cryptosporidium の不活化

Cryptosporidium は  $5 \times 10^5$  オースト/L を原水に加えたところ、100~1000J/m<sup>2</sup> の照射線量において、その不活化率は、計測限界値(即ち、3~3.5log)を毎回、越えていた。どの条件下(ランプ種類、水温)においても、2.7log 以上の不活化率が得られた。

### MS-2 phage の不活化

MS2 バクテリアファージを  $10^6 \sim 10^{10}$  ファージ/L を原水に加えた実験結果を Fig.1 に示す。また、水温影響による影響は見受けられなかった。

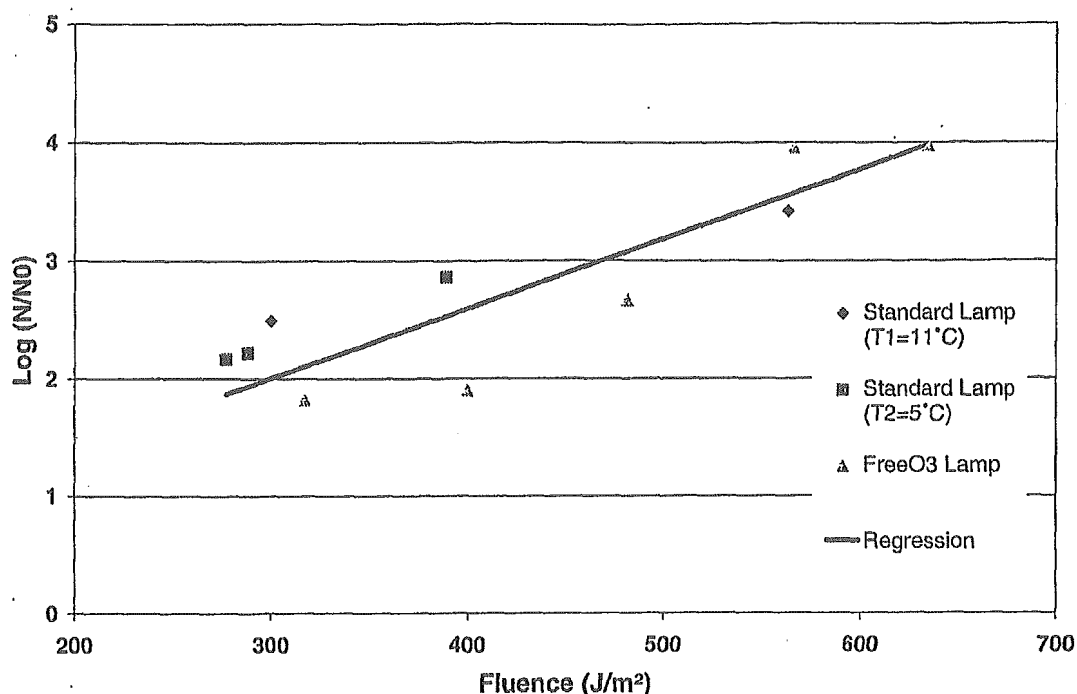


Figure 1 MS2-phages inactivation

### アトラジンの分解と DEA 生成

アトラジンと DEA を原水に  $5 \mu\text{g/L}$  加えた場合、その分解は Fig,2,3 のように対数線形で

現される。アトラジンは、ヒドロキシアトラジンに分解された後、DEA になると思われる。しかし、DEA は更に分解されるため、濃度上昇は見受けられない。

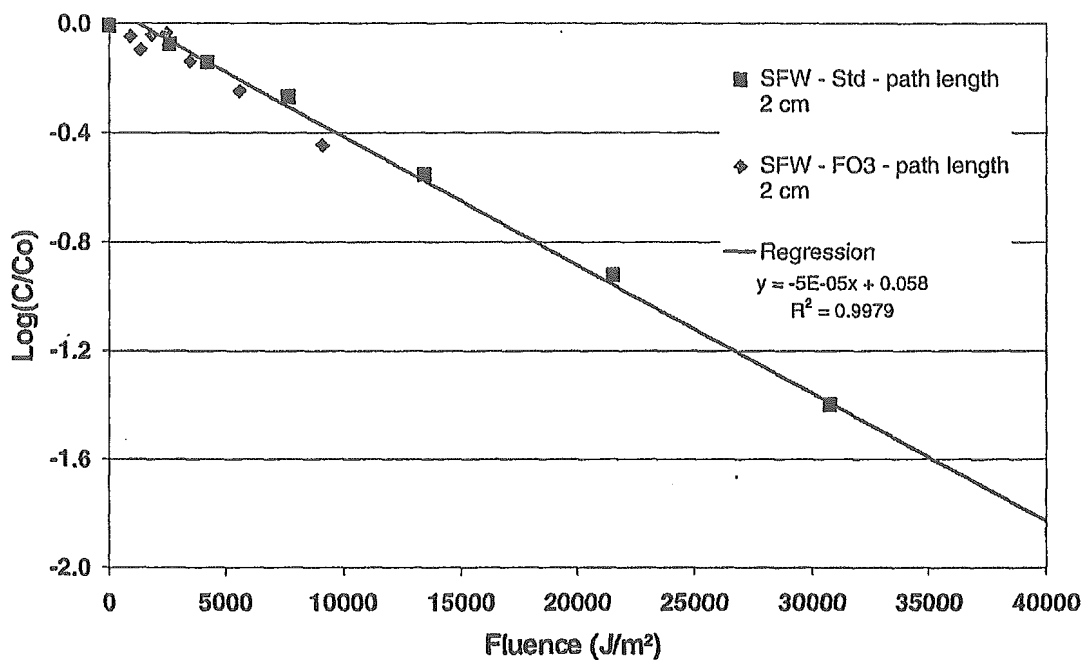


Figure 2 Effect of MP-UV on atrazine

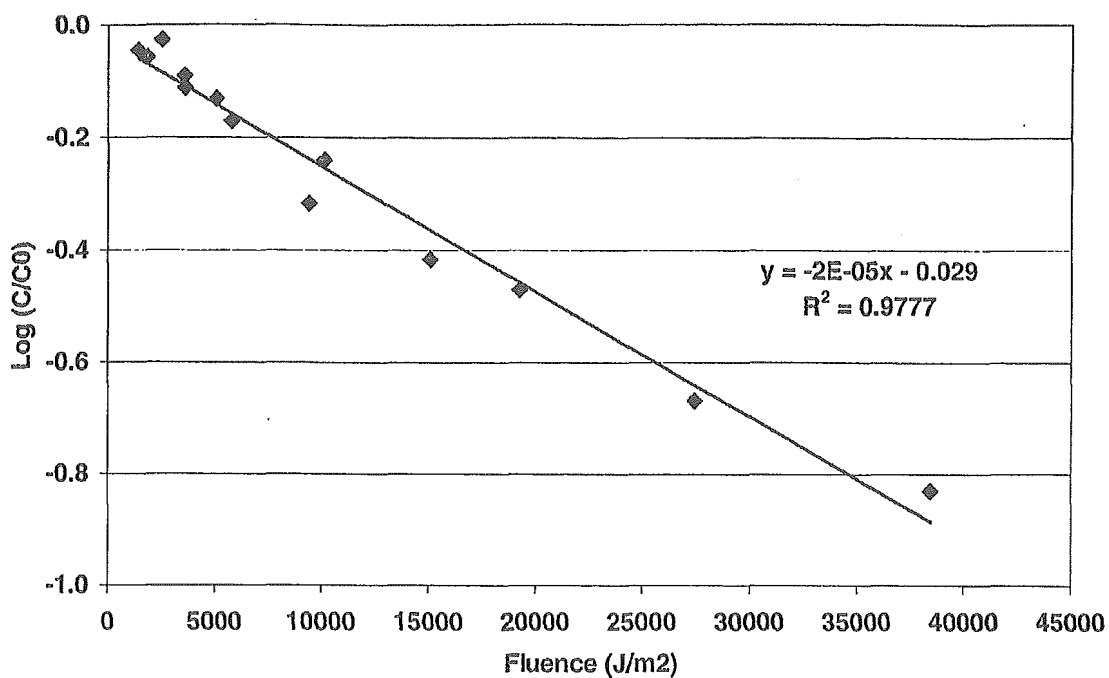


Figure 3 Impact of MP-UV on DEA

### 亜硝酸の生成

農業活動により、亜硝酸イオンは原水中に通常 20~40mg/L 程度存在する。中圧ランプは硝酸塩を亜硝酸塩に還元することが知られている。400J/m<sup>2</sup>以上の紫外線量における実験結果を Fig.4 に示す。

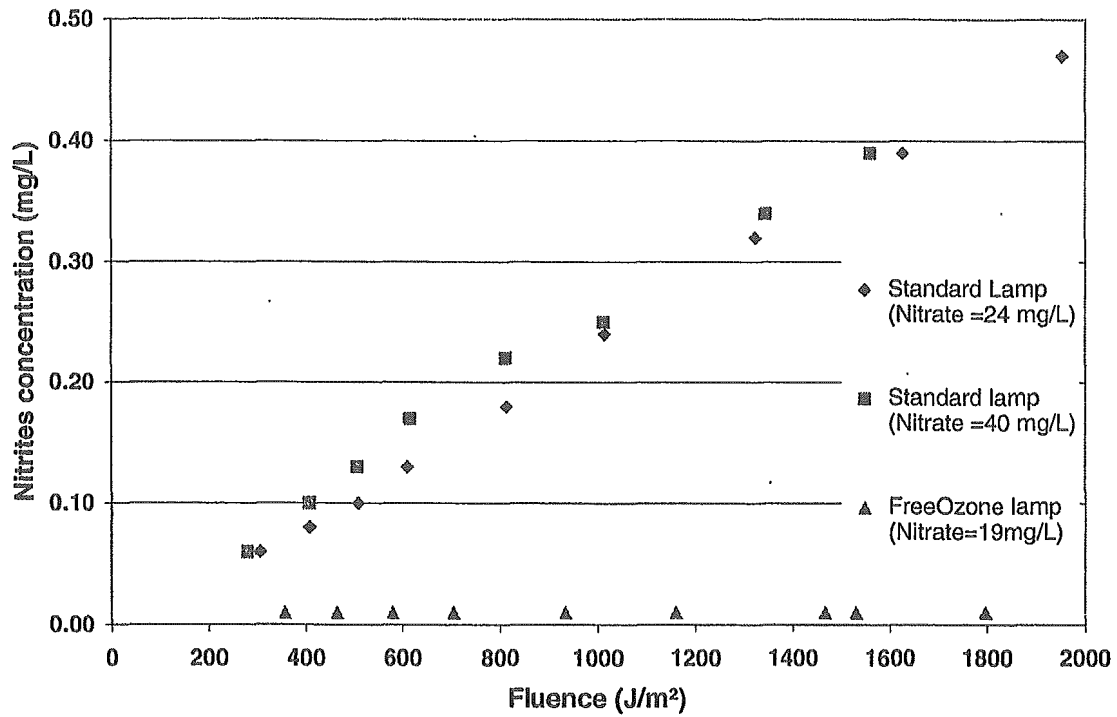


Figure 4 Impact of MP-UV on nitrite formation

### BDOC の生成

BDOC に関しては、Fig.5 に示されるように、中圧ランプにより、BDOC が生成される傾向は見当たらない。



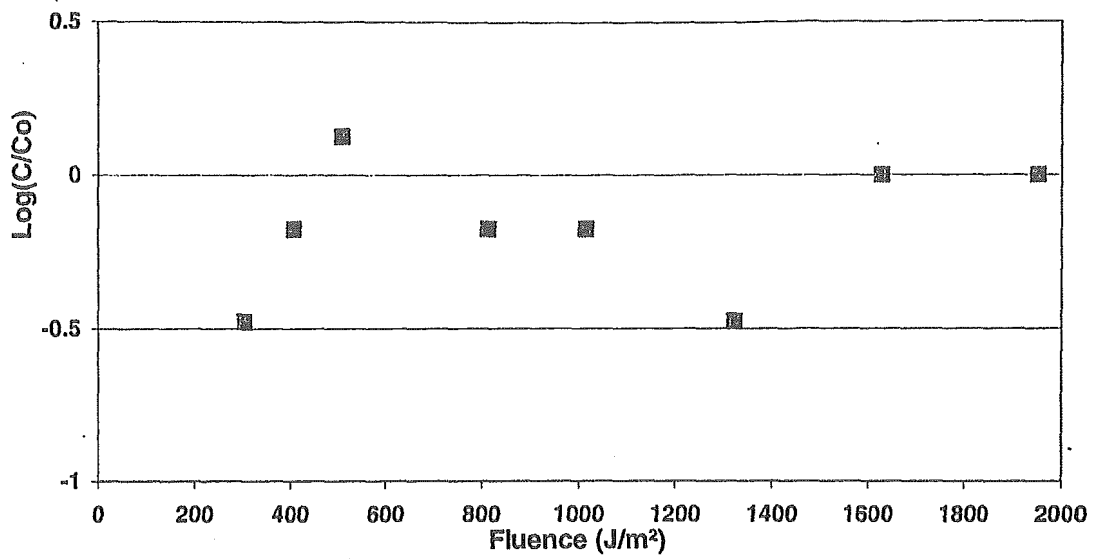


Figure 5 Impact of MP-UV on BDOC

### 結論

Table1 に、各水質要因が紫外線消毒に及ぼす影響を示す。有害副生成物が発生しないことより、紫外線消毒処理は、活性炭の前段、及び、後段の両方にて適用可能であると思われる。

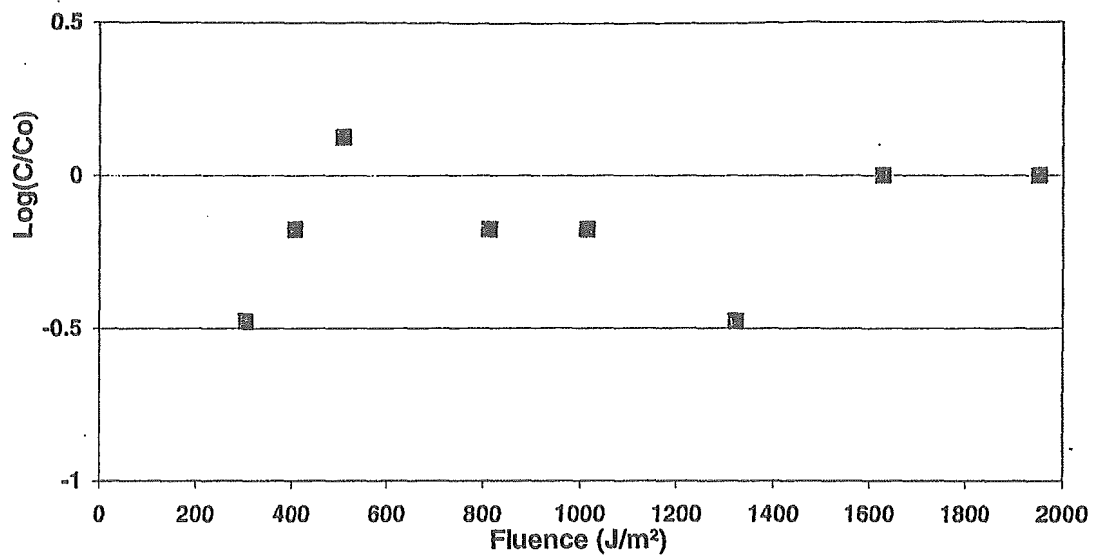


Figure 5 Impact of MP-UV on BDOC

## 異なる懸濁溶液によってエアロゾル化されたときの

*Serratia marcescens* に対する紫外線滅菌照射の影響とエアロゾル径Size and UV Germicidal Irradiation Susceptibility of *Serratia marcescens* when Aerosolized from Different Suspending Media

Ka M. Lai,\* Harriet A. Burge, and Melvin W. First

**1. 序論**

今日、世界中で空気中の細菌を不活化するための紫外線滅菌照射実験が、様々な環境条件の設定下で行われている。システムの差異と実験条件によって、結果が大きく変わる可能性があることが一般的に認識されている。

**キーワード**

紫外線滅菌照射, UVGI 量, エアロゾル径, メジアンサイズ

**2. 実験方法**

本研究では、懸濁溶液の成分がエアロゾル径と *Serratia marcescens* に対する紫外線滅菌照射に影響することを実験によって確認する。我々の研究室に設置した実験装置にて、*S. marcescens* は次の溶液中に懸濁させ、紫外線滅菌照射を行う。(1) 超純水 (2) リン酸緩衝液 (3) ウシ胎仔血清, (4) リン酸緩衝生理食塩水 (0.8%塩化ナトリウム), (5) 人工唾液 (リン酸緩衝生理食塩水と10%ウシ胎仔血清)。

**3. 結果****3. 1 残存細菌数 : UVGI 量 (紫外線照射量)**

初期の実験は  $3.42 \text{ J m}^{-2} \text{ UVGI}$  量で行われ、水中に浮遊する全細菌性細胞を不活性化した。すなわち、最初の目的は、細菌に特異的な減衰係数に反映する UVGI 量及び投与量を算定するために、半対数グラフ用紙に残存細菌数 : UVGI 量の直線関係を算定することである。

図 2 に半対数目盛における、水中に浮遊する *S. marcescens* 残存細菌数 : UVGI 量の直線を示す。使用された UVGI 量と強度は不活性化及び自己増殖の境界線上であった。90%不活性化時の UVGI 量は  $1.05 \text{ J m}^{-2}$  となり Z は  $2.20 \pm 0.35 \text{ m}^2 \text{ J}^{-1}$  となった。これらの結果に基づき、エアロゾル化された水中を紫外線照射した後に全細菌の 22% が培養可能であった  $0.73 \text{ J m}^{-2} \text{ UVGI}$  量を用い実験をおこなった。この UVGI 量を用いることにより、培地の違いにより伴う残存細菌数の変化が検討可能となった。

### 3. 2 培養可能細菌の粒度分布及びCMDの検討

蒸留水、PBS（リン酸緩衝生理食塩水）及び人工唾液使用時6段式カスケードインパクトの4、5及び6段から90%以上の細菌が培養可能であったため、PB（リン酸緩衝液）及びFCS（ウシ胎仔血清）では4、5及び6段を用いた。表1はエアロゾル化した培地の粒度分布を示す。

表1. 噴霧器<sup>ア</sup>を用い異なった *S. marcescens* 用培地をエアロゾル化した際の粒度分布

段	粒径範囲 ( $\mu\text{m}$ ) <sup>イ</sup>	培地				
		蒸留水	PBS	人工唾液	P B	ウシ胎仔血清
1	>7	0.33 $\bar{\gamma}$ 0.64 <sup>ウ</sup>	0.36 $\bar{\gamma}$ 0.71	0.32 $\bar{\gamma}$ 0.10	ND <sup>エ</sup>	ND
2	4.7~7	0.25 $\bar{\gamma}$ 0.29	0.26 $\bar{\gamma}$ 0.04	0.18 $\bar{\gamma}$ 0.09	ND	ND
3	3.3~4.7	0.25 $\bar{\gamma}$ 0.29	2.10 $\bar{\gamma}$ 1.24	1.20 $\bar{\gamma}$ 0.11	ND	ND
4	2.1~3.3	0.28 $\bar{\gamma}$ 0.54	<b>16.0 <math>\bar{\gamma}</math> 3.00</b>	<b>13.0 <math>\bar{\gamma}</math> 0.28</b>	2.00 $\bar{\gamma}$ 0.21	0.91 $\bar{\gamma}$ 0.19
5	1.1~2.1	3.10 $\bar{\gamma}$ 2.30	<b>61.0 <math>\bar{\gamma}</math> 3.40</b>	<b>60.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.70</b>	<b>37.0 <math>\bar{\gamma}</math> 4.10</b>	<b>29.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.30</b>
6	0.65~1.1	<b>96.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.70 <sup>オ</sup></b>	<b>21.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.80</b>	<b>26.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.60</b>	<b>61.0 <math>\bar{\gamma}</math> 4.10</b>	<b>70.0 <math>\bar{\gamma}</math> 2.30</b>
全培養可能細菌 (数 $\text{m}^{-3}$ )		4,541	4,591	8,495	13,238	27,227
CMD ( $\mu\text{m}$ )		0.88	1.50	1.40	1.00	0.95
GSD		1.12	1.67	1.50	1.50	1.58

<sup>ア</sup>6-ジェットコロリソン噴霧器（CN-38モデル；BGI）20lb/in<sup>2</sup>で運転

<sup>イ</sup>アンデルセン試料採取装置の各段のサイズはメーカーにより決定(Andersen Samplers, Inc)

<sup>ウ</sup>UVオフ時、アンデルセン試料採取装置の各段より細菌回収可の%（平均 $\bar{\gamma}$ 信頼区間； $\alpha=0.05$ ）

<sup>エ</sup>ND，不検出

<sup>オ</sup>太字で示すデータはUVオン・オフ時の比較及びUVGI感受性試験（寒天培地で30CFU以上）に用いた。

生菌細胞濃度は4,541~27,227CFU $\text{m}^{-3}$ となり、このデータを用いてCMD及びGSDを算出した。CMD値は懸濁溶液中の溶質濃度が高いほど大きい値になった（PBS>人工唾液>PB>ウシ胎仔血清のみ>蒸留水のみ）。エアロゾル化した蒸留水(GSD=1.12)以外での懸濁溶液中培養可能細菌のGSDは1.56であった。これらの結果は、細菌を含む他の培地と比較し細菌を含む蒸留水をエアロゾル化した場合、粒子のサイズは小さい範囲で変動することを示す。また、他のエアロゾル化した培地の粒子サイズの変動指数は類似したが、中央値（メジアンサイズ）は違う値を示した。

PBS 及び人工唾液の場合、塩分 (0.80% NaCl) 添加は粒子サイズをPBの場合と比較すると著しく増加した (PBS 及び唾液の塩分濃度 0.96% 対 PB 塩分濃度 0.16%)。

細菌が懸濁するウシ胎仔血清の CMD は PB 溶液と類似した。一方、構造と比重の差により幾何形状異なった。例えば、ウシ胎仔血清は棒状体細胞の周りにフィルムを形成し比重 1 の粒子となる一方、乾いた塩は比重 2 の水晶を形成すると考えられる。ちなみに、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  は 2.3,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  は 2.1, KCl は 2.0 である。

表 2 に高湿度及び低湿度時のエアロゾル化した培養可能濃度及び粒子サイズの比較検討結果を示す。培養可能濃度及び粒子サイズは湿度 (36%~68%) に伴い上昇し、溶液の種類によって上昇量が異なった。水懸濁では高湿度時、培養可能濃度は 26% 増加し粒子のサイズは 1.1~2.1 $\mu\text{m}$  であった。

PBS 懸濁の場合、高湿度時の培養可能濃度は低湿度より 3 倍以上高く、粒子のサイズが大きいほど変化が顕著である。この結果より、高湿度時に残存性が増加するのは粒子の大きさの増加によるものと言える。

表 2. 湿度 (RH<sup>ア</sup>) によるエアロゾル化した溶液濃度及び *S. marcescens* 粒子サイズの変化

段	各段での 粒径範囲 <sup>イ</sup> ( $\mu\text{m}$ )	懸濁溶液 <sup>エ</sup>				
		蒸留水		PBS		ウシ胎仔血清
		低湿度	高湿度	低湿度	高湿度	高湿度
4	2.1~3.3	0	0	20 $\bar{\Delta}$ 3.9	23 $\bar{\Delta}$ 0.8	4.7 $\bar{\Delta}$ 2.3
5	1.1~2.1	2.6 $\bar{\Delta}$ 1.7 <sup>ウ</sup>	36 $\bar{\Delta}$ 4.1	65 $\bar{\Delta}$ 4.9	56 $\bar{\Delta}$ 6.3	41 $\bar{\Delta}$ 5.1
6	0.65~1.1	97 $\bar{\Delta}$ 1.7	67 $\bar{\Delta}$ 1.4	15 $\bar{\Delta}$ 1.0	13 $\bar{\Delta}$ 2.1	51 $\bar{\Delta}$ 4.1
培養可能細菌 (数 $\text{m}^{-3}$ )		683	859	5,385	19,498	13,376
CMD( $\mu\text{m}$ )		0.88	0.95	1.60	1.70	1.10
GSD		1.12	1.50	1.56	1.56	1.56

<sup>ア</sup>低湿度 (36%) ; 高湿度 (68%)

<sup>イ</sup>アンデルセン試料採取装置の各段のサイズはメーカーにより決定(Andersen Samplers, Inc)

<sup>ウ</sup>UV オフ時、アンデルセン試料採取装置の各段より細菌回収可の% (平均 $\bar{\Delta}$ 信頼区間;  $\alpha=0.05$ )

<sup>エ</sup>懸濁溶液は 6-ジェットコリソン噴霧器 (CN-38 モデル; BGI; 20lb/in<sup>2</sup>で運転) を用いエアロゾル化した。