

CD-1 マウスは Charles River Breeding Laboratories ( St. Constant, Quebec, Canada )から入手した。

### 3. 結果

#### 3. 1 CD-1 新生児マウスオーシストの照射反応

UV 照射実験に用いた *C.parvum* オーシストグループ (5つ) における新生児 CD-1 マウスの照射反応データを Table2 に示した。

Table 2. Neonatal CD-1 mouse dose response data for *Cryptosporidium parvum* oocyst batches used in the UV exposure trials

Batch 1		Batch 2		Batch 3		Batch 4		Batch 5	
$d_0$	<i>P</i>	$d_0$	<i>P</i>	$d_0$	<i>P</i>	$d_0$	<i>P</i>	$d_0$	<i>P</i>
20	0/10	40	1/10	20	2/10	25	2/10	25	4/10
40	3/10	80	4/10	40	3/10	25	2/10	25	5/10
40	0/10	160	7/10	50	1/5	25	1/10	25	1/10
40	3/10	320	8/10	80	3/10	25	7/10	25	1/10
80	5/10			100	2/5	25	3/5	25	0/5
80	3/10			200	3/5	25	3/10	25	0/5
80	6/10			320	7/10	30	6/10	25	4/10
160	6/10			400	4/5	30	4/10	50	2/5
160	8/10			640	10/10	30	7/10	50	2/10
160	7/10					30	4/10	30	5/10
320	9/10					30	4/5	30	1/5
320	9/10					30	1/10	30	2/10
						30	1/10	30	7/10
						100	9/10	30	3/10
						100	4/10	100	6/10
						100	8/10	100	6/10
						100	7/10	100	4/10
						100	4/5	100	6/10
						100	10/10	100	5/5
						100	5/10	100	3/5
						200	7/10	200	8/10
						200	9/10	200	10/10
						200	10/10	200	2/4
						200	6/10	200	8/10
						200	5/5	200	9/10
						200	9/10	200	1/5
						200	6/10	200	5/10
						400	10/10		

Fig.1 *C.parvum* オーシストの不活化に対するオーシストグループの影響評価は、中圧ランプの紫外線照射により行われた。示されている全ての実験は低照射線量で行われており、温度は 20~22℃であった。

#### 結論

*C.parvum* オーシストの 3log の不活化は、中圧及び従来型の低圧ランプのいずれの場合にも、殺菌力のある 25mJ/cm<sup>2</sup> 以上の UV 照射において確認された。

しかしながら US EPA においては、UV は原生動物の不活化条件の可能性のある代替物である。オーシストの不活化に対する UV の効果は、温度や水質—少なくとも高品質のろ過水については、このような実験条件に依存しないことが明らかとなった。UV 照射の大きさは、*C.parvum* に関しては大きな影響は持たなかった。

低圧と中圧ランプは、オーシストの不活化に対して同レベルの効果を示した。

不活化は、低い照射線量 ( $10\text{mJ}/\text{cm}^2$  以下) での UV 照射に対して非常に感度が高いことが明らかとなった。最も高い照射で達成される最終的な不活化は、オーシストグループに依存していることが示された。もし *C.parvum* の UV 不活化曲線のテーリングが確認されたならば、UV 消毒装置内で約 3–4log が達成されるかもしれない。しかし、テーリングの原因は不明であり、実験操作における未確認の人為的なことによるかもしれない。適切な技術的な安全係数について、飲料水中の病原菌の減少のための UV 消毒システムの設計や性能評価において検討されるべきである。安全係数は受けた UV 線量に関するオーシストの不活化に依存することや、原水中に自然状態で存在するオーシストの UV 感受性の変化の可能性を考慮すべきである。

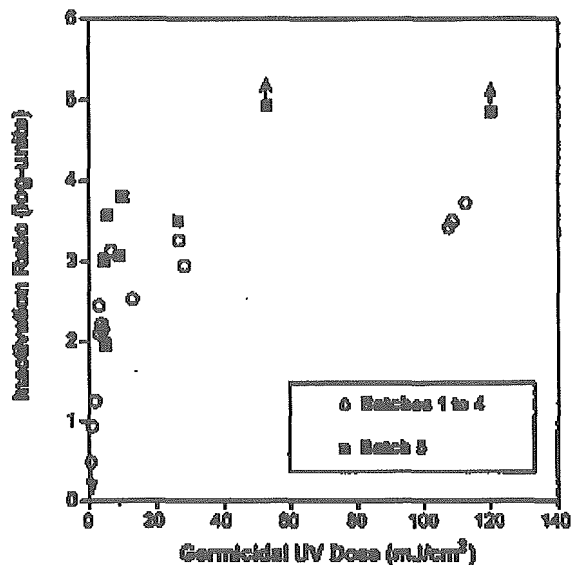


Fig. 1. Effect of oocyst batch on inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts exposed to UV radiation from a medium-pressure lamp. All trials shown were done at low UV irradiance, and at 20–22°C in either finished or buffered laboratory water. Oocyst concentration was  $6 \times 10^5$ ,  $1.5 \times 10^6$  or  $2 \times 10^6$  oocyst/mL. Trial results in which none of the mice in the largest inoculum or all the mice in the smallest inoculum became infected are indicated as ↑ and ↓, respectively.

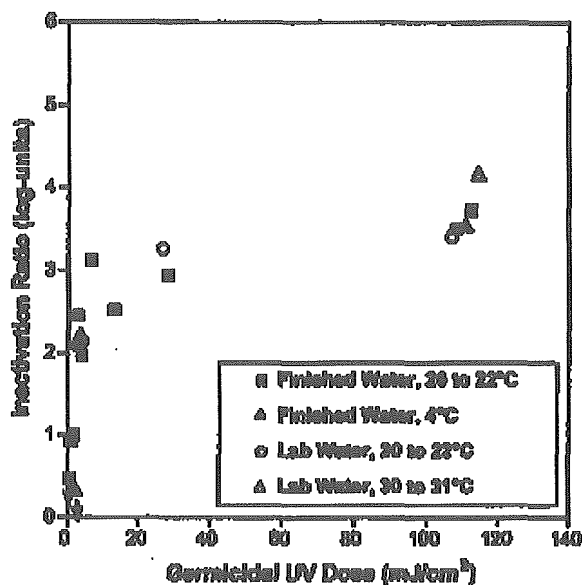


Fig. 2. Effect of water type and temperature on inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts exposed to UV radiation from a medium-pressure lamp. All trials shown were done at low UV irradiance, oocyst concentration of  $6 \times 10^5$ ,  $1.5 \times 10^6$  or  $2 \times 10^6$  oocysts/mL and with oocysts from batches 1 to 4. Trial results in which none of the mice in the largest inoculum or all the mice in the smallest inoculum became infected are indicated as ↑ and ↓, respectively.

動物の感染性評価による *Giardia lamblia* と *Giardia muris* cysts の不活化に対する UV の効果  
 The effect of UV light on the inactivation of *Giardia lamblia* and *Giardia muris* cysts as determined by  
 animal infectivity assay (P-2951-01)

Alexander A.Mofidi ら

## 1. 概要

この研究では、モンゴリアンアレチネズミと CD-1 マウスの感染性により、*Giardia lamblia* と *Giardia muris* cysts の不活化に対する UV 光線の効果を測定した。UV 照射によるシストの感染能の減少は最確数法 (MPN 法) によって定量化した。実験はベンチスケールで、ろ過した天然水に懸濁したシストに対して、コリメートビームを低圧 UV ランプから照射した。*G.lamblia* と *G.muris* シストは UV 光線に対していずれも同様の感受性を示した。3mJ/cm<sup>2</sup>では、この値は大規模 UV 反応槽の設計値よりも 10 倍低い線量であるが、2log (99%) の不活化が観測された。これらの結果から、他の原生動物や細菌が UV に対して同様の高い感受性を持っているという以前の報告データと併せて考えると、飲料水の UV 消毒は、同じレベルのコントロールに対して、UV 照射の 10 倍以上を要求するウイルスを測定することによってコントロールすることができると思われる。

## 2. 方法

## 2. 1 UV装置

ランプの種類 低圧 UV ランプ

## 2. 2 実験の規模

- ・ベンチスケール
- ・UV 照射線量 3 mJ/cm<sup>2</sup>

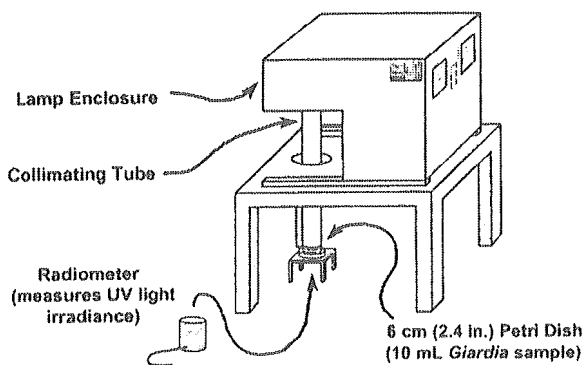


Fig. 1. Collimated beam apparatus.

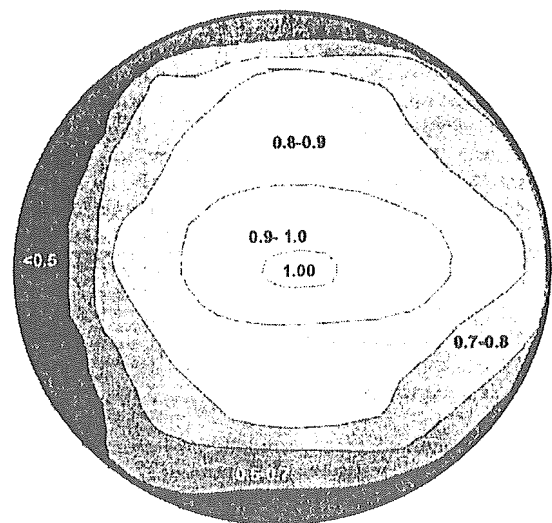


Fig. 2. Petri dish irradiance pattern for *Giardia* tests. Note: values shown are relative units of mW/cm<sup>2</sup>/mW/cm<sup>2</sup>.

## 2. 3 G.lamblia 及び G.muris の入手方法

それぞれ下記の株を使用した。

### ① G.lamblia

WB strain : カルガリー大学の Dr.Merle Olson から入手

この株は 15 年以上前にアフガニスタンで感染したヒトから単離したものである。

### ② G.muris

Roberts-Thomson strain : US EPA の Dr. Frank Schaefer より入手

この株はゴールデンハムスターから単離されたもので、1976 年以来マウスで継体培養されてきたものである。

## 2. 4 評価方法

UV 照射によるシスト感染の減少は、最確数法の応用により定量化した。

## 3. 結果

研究結果より G.lamblia と G.muris はいずれも UV の低照射線量に対して高い感度を有しており、UV 照射に対する感度は同程度であった。

以前公表されたデータが、他の原生動物や細菌は UV 照射に対して類似した高感度を有していることと併せて、飲料水の UV 消毒は、同等の制御レベルに対し 10 倍以上の UV 照射を必要とするウイルスにより制御できることが明らかとなった。

Table 3  
Summary of *G. lamblia* tests

Test name and sample I.D.	Average irradiance (mW/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-3</sup> )	Time of exposure (s)	Corrected UV dose (mJ/cm <sup>2</sup> )	MPN 3-host code	Volume of highest dilution (mL)	Most probable number (MPN/mL)			
						95 Percent Low	Value	95 Percent High	
L1	A <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	430.4	0	3-2-0	0.002	731	2120	6180
	B	25.7 <sup>b</sup>	20.3	0.41	3-3-2	0.2	128	550	2350
	C	28.2 <sup>b</sup>	128.3	2.84	0-0-0	0.2	N/C	< 1.5	N/C
	D	29.4 <sup>b</sup>	260.2	6.01	2-0-0	0.2	1	5	19
	E	28.9 <sup>b</sup>	430.3	9.77	0-0-0	0.2	N/C	< 1.5	N/C
	F <sup>c</sup>	0 <sup>b</sup>	0	0	0				
L2	A <sup>a</sup>	0	173.7	0	3-3-1	0.002	5200	23,100	103,000
	B	8.72	21.7	0.15	3-3-3	0.2	N/C	> 550	N/C
	C	8.88	43.0	0.30	3-2-1	0.02	208	747	2680
	D	9.07	86.2	0.62	3-3-3	0.2	N/C	> 550	N/C
	E	9.32	173.1	1.27	3-3-0	0.2	34	120	429
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				
L3	A <sup>a</sup>	0	465.3	0	3-1-0	0.002	521	2140	8770
	B	8.32	78.3	0.51	3-2-0	0.2	12	47	188
	C	8.35	155.3	1.02	2-0-0	0.02	11	46	185
	D	8.25	310.3	2.01	0-0-0	0.2	N/C	< 2	N/C
	E	8.25	465.3	3.02	0-0-0	0.2	N/C	< 2	N/C
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				
L4	A <sup>a</sup>	0	488.3	0	4-4-4 <sup>d,e</sup>	0.02	N/C	> 6,900	N/C
	B	8.36	81.4	0.54	3-3-2	0.02	1290	5500	23,500
	C	8.45	163.3	1.09	3-0-0	0.02	33	116	405
	D	8.19	325.2	2.08	3-1-0	0.2	5	21	88
	E	8.01	488.2	3.08	1-1-0	0.2	< 1	4	16
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				
L5	A <sup>a</sup>	0	447.4	0	4-1-1 <sup>d</sup>	0.0025 <sup>f</sup>	614	2200	7870
	B <sup>g</sup>								
	C	8.40	160.3	1.06	3-2-0	0.25	9	37	150
	D	8.54	320.3	2.15	3-1-1	2.5 <sup>h</sup>	< 1	3	13
	E	8.66	477.4	3.25	3-0-3	0.25	10	38	152
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				

<sup>a</sup> Positive control sample (not exposed to UV light).

<sup>b</sup> A shorter collimating tube was used for this test (50-cm long) which provided higher irradiance values.

<sup>c</sup> Negative control sample (presumably, no *Giardia* cysts were present).

<sup>d</sup> Four animals were used per dilution instead of three.

<sup>e</sup> All animals at each positive control dilution were infected and disinfection results are reported as beyond detection limit.

<sup>f</sup> 0.25 µL were fed to each gerbil instead of the typical 0.20 µL.

<sup>g</sup> Sample not analyzed.

<sup>h</sup> Due to 10-fold concentration by centrifugation, the volume of the original sample was actually greater than the volume of the inocula.

N/C: Not able to be calculated because the 3-host code was either completely positive or negative.

Table 4  
Summary of *G. muris* tests

Test run and sample I.D.		Average irradiance (mW/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-3</sup> )	Time of exposure (s)	Corrected UV dose (mJ/cm <sup>2</sup> )	MPN 3-host code	Volume of highest dilution (mL)	Most probable number (MPN/mL)		
							95 Percent Low	Value	95 Percent High
M1	A <sup>a</sup>	0	465.5	0	3-3-2	0.02	1280	5500	23,500
	B	8.17	78.3	0.50	3-3-3	0.2	N/C	> 550	N/C
	C	8.17	155.4	1.00	3-3-3	0.2	N/C	> 550	N/C
	D	8.32	310.1	2.03	3-2-2	0.2	30	107	380
	E	8.37	465.3	3.06	2-0-0	2.0 <sup>b</sup>	<0.5	0.5	2
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				
M2	A <sup>a</sup>	0	553.4	0	4-3-1 <sup>d</sup>	0.002	2710	8130	24,400
	B	6.33	92.4	0.46	3-3-3	0.02	N/C	> 5500	N/C
	C	6.35	184.4	0.92	3-3-2	0.02	1280	5500	23,500
	D	6.60	368.3	1.91	3-3-0	0.02	335	1200	4300
	E	7.06	553.4	2.87	2-0-0	0.2	1	5	19
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				
M3	A <sup>a</sup>	0	567.4	0	4-4-4 <sup>d,e</sup>	0.002	N/C	> 69,300	N/C
	B	8.35	95.3	0.63	3-3-3	0.02	N/C	> 550	N/C
	C	8.24	190.4	1.23	3-2-2	0.02	303	1070	3800
	D	8.47	380.4	2.53	3-2-0	0.2	12	47	188
	E	8.63	567.4	3.85	2-2-0	0.2	3	11	37
	F <sup>c</sup>	0	0	0	0				

<sup>a</sup> Positive control sample (not exposed to UV light).

<sup>b</sup> Due to 10-fold concentration by centrifugation, the volume of the original sample was actually greater than the volume of the inocula.

<sup>c</sup> Negative control sample (presumably, no *Giardia* cysts were present).

<sup>d</sup> Four animals were used per dilution instead of three.

<sup>e</sup> All animals at each positive control dilution were infected and disinfection results are reported as beyond detection limit.

N/C: Not able to be calculated because the 3-host code was either completely positive or negative.

Table 5  
Water quality of filtered water used to suspend cysts for disinfection tests

Characteristic	25th percentile value	Median value	75th percentile value
Hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	183	207	211
Light absorbance at 254 nm (1/cm)	0.027	0.029 <sup>a</sup>	0.029 <sup>a</sup>
Light transmittance at 254 nm (percent) <sup>b</sup>	93.5 <sup>a</sup>	93.5 <sup>a</sup>	94.0
pH (units)	7.9	8.0 <sup>a</sup>	8.0 <sup>a</sup>
Temperature (°C)	20	22	24
Turbidity (NTU)	0.07	0.08	0.09

<sup>a</sup> Variability was not detectable within the reportable level of significant digits.

<sup>b</sup> Calculated value based on the absorbance and using the Beer-Lambert law.

Table 6  
Variability in *Giardia* Cysts

Test name	Hemocytometer count of cysts inoculated (no. of cysts)	Test ID <sub>50</sub> (no. of cysts)	MPN/mL of cysts inoculated (no. of cysts)
L1	0.96 × 10 <sup>5</sup>	10 < ID <sub>50</sub> < 40	2.12 × 10 <sup>3</sup>
L2	1.08 × 10 <sup>5</sup>	ID <sub>50</sub> < 22	2.31 × 10 <sup>4</sup>
L3	1.93 × 10 <sup>5</sup>	39 < ID <sub>50</sub> < 390	2.14 × 10 <sup>3</sup>
L4	0.87 × 10 <sup>5</sup>	ID <sub>50</sub> < 62	> 6.90 × 10 <sup>3</sup>
L5	3.08 × 10 <sup>5</sup>	22 < ID <sub>50</sub> < 218	2.20 × 10 <sup>3</sup>
M1	0.21 × 10 <sup>5</sup>	ID <sub>50</sub> < 4	5.50 × 10 <sup>3</sup>
M2	0.49 × 10 <sup>5</sup>	ID <sub>50</sub> < 10	8.13 × 10 <sup>3</sup>
M3	0.92 × 10 <sup>5</sup>	ID <sub>50</sub> < 2	> 6.93 × 10 <sup>4</sup>

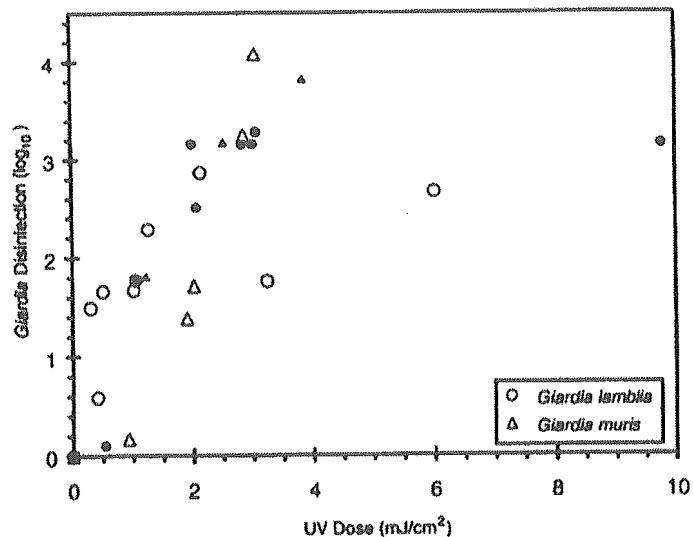


Fig. 3. UV dose-cyst response data for *G. lamblia* and *G. muris* cysts, based on changes in cyst infectivity in animal models (filled data represent response of the animal assay beyond measurable detection limits).

## 8. 結論

*Glamblia* の完全な不活化を示した 2~3 mJ/cm<sup>2</sup> の照射線量での 4 つの *Glamblia* の データポイントがあったことから、3.1 と 6.0 mJ/cm<sup>2</sup> における 2 ポイントのデータは（動物モデルまたはシストからの）変異種またはシストが凝集している事を示しているかもしれない。

この研究は、飲料水と関係があるヒトのジアルジア症発生原因における *Glamblia* の消毒効果について評価した。

*Glamblia* と *Gmuris* のデータの比較が行われているが、Craik とその共同研究者たちによると *Glamblia* は *Gmuris* よりも UV 照射に対する抵抗が等しいか又は低いといえる。この指摘によれば、今後の UV 消毒の研究は、*Glamblia* の反応を測定する代替物として、より簡単に操作できる齧歯類の寄生虫である *Gmuris* を使用することができることとなる。

MPN 法により集められたデータによれば、Craik とその共同研究者たちが、シストへの UV 照射が動物の宿主に引き起こす下痢症の前の潜伏期間にどのような効果を及ぼすかについて発見したテーリング効果と一致しない結果が得られている。

今後の研究は、これらの結果の価値をよりよく理解するために、動物を定量分析するための方法論について比較することになるだろう。

ヒト由来の *Giardia lamblia* cysts に対する UV 照射の効果The effect of UV irradiation on human-derived *Giardia lamblia* cysts

Andrew T.Campbell ら

## 1. 概要

ヒト由来の *G.lamblia* シスト (アレチネズミを使って単離, 培養した) に対する UV 照射の効果は, 254nm の光線のプロトコルを用いて評価した。UV 照射されたシストの感染速度は, UV を照射しないコントロールシストの感染速度と直接的に比較された。この比較により, *Giardia* シストは 254nm の UV 照射により不活化することを示した。

約  $10\text{mjcm}^{-2}$  ( $9.3\sim 11.7\text{mjcm}^{-2}$ ) の UV 照射により 2log (99%) 以上の不活化が観察された。より高い UV 照射 ( $20\sim 40\text{mjcm}^{-2}$ ) では, シストの 3log (99.9%) 以上が不活化した。

これらの照射レベルでの実際の不活化は, より高率で行うことができるが, この研究ではシストの不活化を定量する最大定量限界は 3log (99.9%) 以上であった。

到達した UV 照射量を確認は, Rahn の臭化カリウム光量計を用いた化学的光量測定法により行った。

PI/DAPI 染色による生存試験と感染試験の間には相関は認められなかった。

染色による生存試験は不活化ではないことを証明した。

今後の研究として, デモンストレーション規模の装置を含む代替 UV 照射システムを用いる研究が推薦され, さらに様々な分離に関する研究が薦められるだろう。

## 2. 方法

## 2. 1 シスト

*G.lamblia* の WB 株は Dr. Merle Olson ( University of Calgary ) から入手した。

この系統は, アフガニスタンで感染した患者から Dr. Frances Gillin により単離された。

## 2. 2 シストの染色

PI : propidium iodide

DAPI : 4,6,-diamidino-2-phenyl indole

この生存染色試験は, UV 照射に先立ち直ちに, UV 照射に引き続き, また, 試験 2 では, UV 照射後 48 時間でシストの生存試験に用いられた。

## 2. 3 アレチネズミ

ID<sub>50</sub> 又は UV 照射試験では免疫抑制は行わなかった。

ID<sub>50</sub> や UV 照射試験に用いたアレチネズミは, Newfield の Charles River Laboratories から購入した。

## 2. 4 UV 照射線量の測定

254nm の入射光は International Light Inc. の Model IL 1400A 光量計を用いて直接測定した。



## 2. 5 UV 照射の実験

ジアルジアのシストは照射実験の前日に調製され、使用する直前に 1.0M以上の蔗糖溶液に浮遊させ、脱イオン水で洗浄した。

シストは赤血球計測器を用いて一つ一つ計測され、0.05%の Tween-20 を含むリン酸緩衝液 (PBS)で希釈し、シスト濃度を 53,000~88,000/ml に調製した。

懸濁液の吸光度と透過率 (%) は、254nm で測定した。

### ・ UV 照射条件

三つの実験条件は下記の Table1 に示すとおりである。

Table 1  
Experimental conditions for each UV trial

Trial	Temp. (°C)	Exposure time (s)	Absorbance (254 nm)	Initial cyst viability (%)	Cyst concentration (per ml)	No. of replicate exposures
Trial 1	3.5	60	0.075	91	82,500	12
Trial 2	4.2	120	0.098	89	53,000	14
Trial 3	3.1	240	0.086	93	88,000	11

Trial 1 : 10mJcm<sup>-2</sup>

Trial 2 : 20mJcm<sup>-2</sup>

Trial 3 : 40mJcm<sup>-2</sup>

各試験の実際の条件は Table 1 に示した。

シストの濃縮は遠心分離により行い、その濃縮効率は約 80%であった。

使用された調製シストは、妨害物質を含まず、主に単一の (集合していない) シストであった。

UV 照射したシストの平均 80%が回復した。このことはオゾンで観察されたように、sub-population での種の生存データの可能性を否定している。

## 3. 結果

### 3. 1 UV 照射線量の測定

Table2 に示すように、254nm での照射線量は比較的良く一致していた。

2つの測定方法の平均偏差は約 13%であった。

Table 2  
Comparison of international light radiometer and Rahn actinometry for the measurement of incident irradiance at 254 nm

Trial	Irradiance (μW cm <sup>-2</sup> )		Deviation (%)
	Radiometer <sup>a</sup>	Rahn	
Trial 1	164	159	3
Trial 2	185	147	20
Trial 3	171	142	17

<sup>a</sup> Radiometer readings are distribution corrected.

Table 3  
254 nm UV doses used in the study

	$I_{0\text{ av}}^a$ ( $\mu\text{W cm}^{-2}$ )	$I_{0\text{ max}}^b$ ( $\mu\text{W cm}^{-2}$ )	$T$	$I_T$ ( $\mu\text{W cm}^{-2}$ )	Time (s)	Dose <sub>min</sub> ( $\text{mJ cm}^{-2}$ )	Dose <sub>max</sub> ( $\text{mJ cm}^{-2}$ )
Trial 1	164	194.4	0.85	155.5	60	9.3	11.7
Trial 2	185	204.0	0.80	172.0	120	20.6	24.5
Trial 3	171	188.8	0.84	161.4	240	38.7	45.3

<sup>a</sup> Corrected for distribution factors.

<sup>b</sup> Peak centre reading.

試料の表面のシストは試料の底層にあるシストに比べ高い UV 照射線量を受けることとなる。この線量の違いは試料の底層のシストよりも表面のシストの方が 15~20% 高いと計算された。

### 3. 2 染色による生存試験

染色試験による生命判定の最初の評価は、最高のシストの数を示した。(PI/DAPI 染色を用いて 91%±9.1%)

Table4 に示すように、PI/DAPI 染色により評価された生存数の減少は 3 種類の実験で用いられた UV 照射線量のいずれにおいても認められなかった。

Table 4  
Effect of UV irradiation on PI/DAPI viability assessment

UV dosage ( $\text{mJ cm}^{-2}$ )	PI/DAPI viability (%)	
	Before UV	After UV
10	90.9	87.4
20	89.1	90.1
20 (+ 48 h) <sup>a</sup>	94.1	83.2
40	93.0	93.5

<sup>a</sup> Cysts re-examined 48 h after UV exposure.

### 3. 3 UV Trial 1 (~10mJcm<sup>-2</sup>)

Table5 に *G.lamblia* シストの感染に関する 10mJ/cm<sup>2</sup>での UV 照射の影響を示した。

Table 5  
Trial 1—effect of 254 nm irradiation at 10mJcm<sup>-2</sup> on the infectivity of *G. lamblia* cysts

	ID <sub>50</sub> control	UV exposed
Inoculum 1		
Infectivity % (n) <sup>a</sup>	0 (5)	30 (10)
Cysts per gerbil	10	10,000
Inoculum 2		
Infectivity % (n)	0 (5)	80 (10)
Cysts per gerbil	100	100,000
Inoculum 3		
Infectivity % (n)	100 (5)	100 (10)
Cysts per gerbil	1000	1,000,000

<sup>a</sup> Numbers of gerbils inoculated.

Table 6  
 Trial 2—effect of 254 nm irradiation at 20 mJ cm<sup>-2</sup> on the infectivity of *G. lamblia* cysts

	ID <sub>50</sub> control	UV exposed
<b>Inoculum 1</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> ) <sup>a</sup>	14.3 (7)	0 (10)
Cysts per gerbil	100	10,000
<b>Inoculum 2</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> )	30 (10)	10 (10)
Cysts per gerbil	200	100,000
<b>Inoculum 3</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> )	60 (5)	10 (10)
Cysts per gerbil	1000	1,000,000

<sup>a</sup> Numbers of gerbils inoculated.

Table 7  
 Trial 3—effect of 254 nm irradiation at 40 mJ cm<sup>-2</sup> on the infectivity of *G. lamblia* cysts

	ID <sub>50</sub> control	UV exposed
<b>Inoculum 1</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> ) <sup>a</sup>	40 (10)	0 (10)
Cysts per gerbil	50	10,000
<b>Inoculum 2</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> )	90 (10)	20 (10)
Cysts per gerbil	500	100,000
<b>Inoculum 3</b>		
Infectivity % ( <i>n</i> )	100 (5)	100 (10)
Cysts per gerbil	1000	1,000,000

<sup>a</sup> Numbers of gerbils inoculated.

## 消毒効果に対する単色 UV と多色 UV の比較について

## Comparison of monochromatic and polychromatic UV light for disinfection efficacy

Karl G.Linden ら

## 1. はじめに

従来、254nm の単色に近い UV ランプが供給され、低圧 UV ランプが UV 消毒の標準として使用されていた。最近、パルス型 UV (P-UV) や中圧 (MP) UV のような多色 UV システムが頑固な病原体である *Cryptosporidium parvum* の不活化に効果があることが明らかとなった。

*Cryptosporidium* の不活化に対する多色 UV システムの効果の発見は、おそらく多色の自然光の UV が消毒効果を持っているということからきているのだろう。

他の仮説としては、パルス型 UV システムからの光の強度は非常に強いというものや、光のマイクロ秒での脈動が、この不活化の主役を果たしているとの説もある。これらの仮説は UV 消毒における不活化の基礎的なメカニズムやそれに続く消毒システムの設計を理解する上で重要な含蓄を持っている。

より最近になって、多色型低圧 UV が *Cryptosporidium* の不活化に非常に効果があることが明らかになってきた (Shin. et al., 2000)。実際に、この報告ではこの生物が、ほとんどの腸内細菌よりも UV 光線による消毒に対し非常に感受性が強いことを明らかにしている。

しかし、まだ疑問点も残っている。単色型 UV を放射するランプを使う以上に、多色型 UV を生ずるランプを使用する利点はあるのだろうか。

## 2. 方法

低圧、単色と中圧、多色型 UV ランプからの UV 照射による不活化効果は、*C.parvum* oocysts と MS-2 大腸菌ファージの両方で評価された。UV 照射の特異的なバンド幅の効果もこれらの二種類の生物によって評価した。

低圧と中圧 UV システムからの UV 照射は、線量計

(IL1770, SED240 detector) で検出した。線量計に用いたフィルターは殺菌フィルターであり、内部で多色スペクトルの検出に重みを付けている。

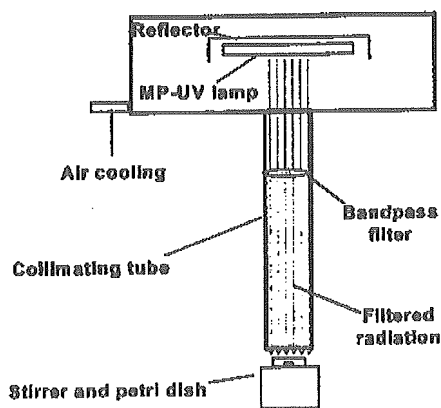


Figure 1. Illustration of medium pressure UV irradiation apparatus with bandpass filter housing.

Fig.1 に波長調節用干渉フィルター8枚を有する中圧 UV 照射装置の図を示す。各フィルターはそれぞれ 216, 230, 242, 255, 263, 271, 281, 290nm の波長の中心に、10nm のピークバンドの約 1/2 を持っている。

この波長調節フィルターの  
特徴を Table1 に示した。

TABLE 1. CHARACTERISTICS OF BANDPASS FILTERS

Filter	Peak wavelength	1/2 peak bandwidth
214	216	211-220
228	230	225-234
239	242	236-247
254	255	250-261
260	263	258-267
270	271	266-277
280	281	276-287
289	290	286-297

C.parvum オーシストは各波長レ  
ンジで 2mJ/cm<sup>2</sup> の UV 照射を行っ  
た。一方 MS-2 は 10 及び 30mJ/cm<sup>2</sup>  
の照射を行った。

### 3. 結果

2mJ/cm<sup>2</sup> の線量での UV 照射による C.parvum オーシストの感染の log10 による減少は、波長が不活化に対して最も効果のあるところで測定するよう、各フィルターを調整して測定した。

同様に MS-2 に対する照射結果も 30mJ/cm<sup>2</sup> の照射でプロットした。

250~270nm の波長が C.parvum の不活化に対して最も高い効果が見られた。感染に対しては約 2log の減少であった。

Fig.2 に示すとおり、216nm と 291nm という両極端な波長において、不活化は明らかに低かった。

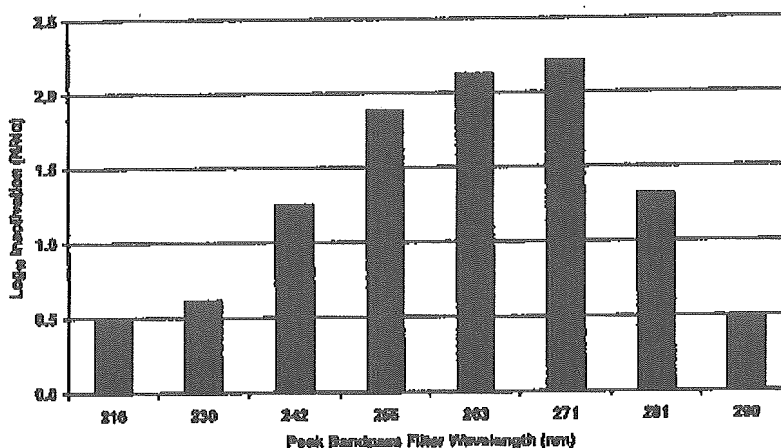


Figure 2. Relative UV wavelength effectiveness for *Cryptosporidium parvum* oocysts..

Fig.3 に、MS-2 大腸菌ファージへの UV 照射における、波長の違いによる不活化の効果

の比較を示した。

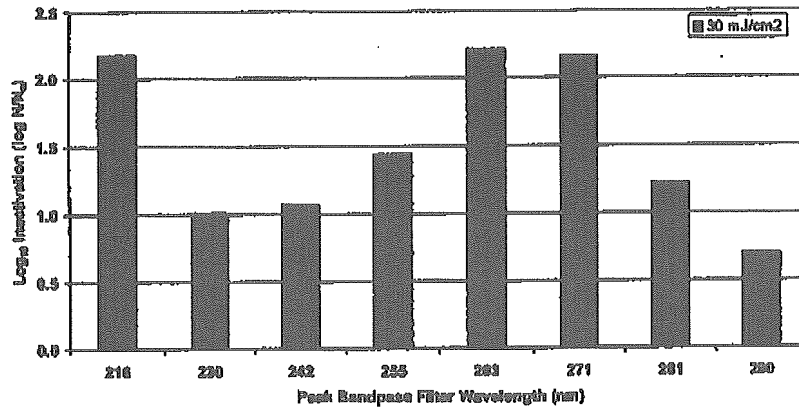


Figure 3. Relative UV wavelength effectiveness for MS-2 coliphage.

To assess the relative importance of the 254-nm range as compared to the rest of the germicidal UV spectra for inactivation of *C. parvum* oocysts and MS-2 coliphage the results were plotted relative to inactivation using the 255 nm filter, as illustrated in Figure 4.

254nm のレンジが比較的重要であることを評価するため、*C.parvum* と MS-2 大腸菌ファージの不活化に対して殺菌力のある残りの UV スペクトルについて、255nm のフィルターを用いたときの不活化との比較値をプロットし Fig.4 に示した。

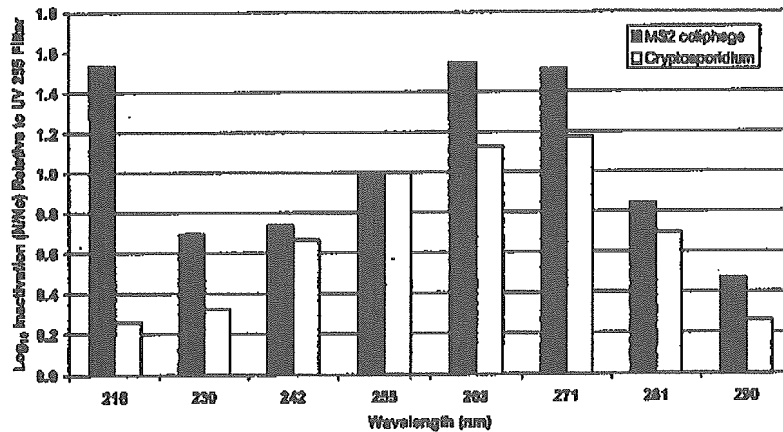


Figure 4. Comparative Inactivation of MS-2 coliphage and *Cryptosporidium parvum* oocysts at different germicidal UV wavelengths, relative to UV 255 filter.

*Cryptosporidium* の不活化のための UV 消毒システム

## 実用的な実施を行う上での問題点の評価

## UV DISINFECTION SYSTEMS FOR THE INACTIVATION OF CRYPTOSPORIDIUM:

## Evaluating practical implementation issues

Erin D.Cushing ら

**1. 概要**

UV 消毒が廃水の消毒のための一般的な処理技術になってきた。

最近の結果では、UVが *Cryptosporidium oocysts* の不活化のために効果的であることを示している。UV消毒は膜やオゾンに替わる費用効果が大きいと考えられる。しかし、実施に当たって、操作や維持管理上の必要条件、信頼性、副生成物の生成、制御の必要条件、建設上の問題、コストや他の処理技術との比較等の解決されていない多くの問題が残っている。

Carollo社は現在、表流水浄水場で *Cryptosporidium* の不活化に対するUV消毒の実施に付帯する実際的な問題を調査するため、AWWARF/EPRI/ECW Tailored Collaboration プロジェクトを行っている。

3種の異なるUV反応槽の形状、3種類のランプのタイプ（中圧、低圧、低圧-高出力）について、6ヶ月インターバルで2回以上テストを行った。紫外線の照射線量は  $40\text{mJ}/\text{cm}^2$  であった。

初期のデータによれば、この線量は *Cryptosporidium oocysts* を 4-log 不活化する。

この研究は *Cryptosporidium* の不活化のための紫外線消毒の長期間テストの良い機会である。現在2つの公衆衛生課題が飲料水産業を支配している。飲料水媒介病原体と消毒副生成物である。

これら2つの課題は相互に関連づけられており、関連したリスクのバランスをとっていくことが、開発調整のあたらしいパラダイム（方法論）となってきた。新しい調査では、UV消毒は、費用効果の高い方法を求めている多くの公共事業体の努力に対する答えの一つになるかもしれないことを示唆している。最も緊急的な課題は *Cryptosporidium* の発生である。*Cryptosporidium* は高い塩素耐性があり、水道事業者や州及び連邦も同様に調整を強化することとなる。

現在、SWTRは水道事業者に対して *Giardia cysts* の除去/不活化を 3-log のレベルで求めているが、*Cryptosporidium* については規制していない。現在、*Cryptosporidium* の水道からの流出は、将来このような出来事を予防するため、消毒レベルを高める方向に水道産業（水製造業）を導くことになる。現在の調整者の議論では、将来は *Cryptosporidium* の除去/不活化の要求という ” になるかもしれないことを示している。

現在のところ *Cryptosporidium* に対して防御できる証明された処理技術としては、膜ろ過と高濃度オゾン処理である。しかしこれら2つの技術には、いくつかの重大な欠点がある。膜ろ過

のコストは、目詰まりを起こしやすい水に対して使うときや、従来法の後で磨きをかける工程として用いられる場合には比較的高いコストとなる。

オゾン消毒は、Cryptosporidium の不活化に対して Giardia の不活化の 30 倍以上の資本と、運転コストが必要であり、ある場合には非常に高レベルの臭素酸を含む高濃度のオゾン副生成物が生成される。

## 2. 方法

4 種の紫外線消毒実験装置のランプの形式と水の形状は Table 1 に示す。

- ・ 実験場所 (3ヶ所) :  
Wisconsin 州 の3つの水道事業体
- ① NSWC
- ② NWU
- ③ CWU

・ 供試水 : ミシガン湖水と Winnebago 湖水

- ・ MP unit : NWU に設置
- ・ LP, LPHO1 unit : NSWC に設置
- ・ LPHO2 unit : CWU に設置
- ・ 各段階の実験期間 : 6ヶ月
- ・ Phase 1 と Phase 2 の間で

MP と LP と LPHO は交換され、LPHO-2 は実験期間中ずっと CWU に設置された。

UV 消毒システム装置のパイロットプラントフロー図を Figure 1 に示す。

NSWC の装置では、2つの UV ユニット (LP と LPHO-1) が連続で設備された。UV 消毒ユニットは全てステンレス製であり、UV ランプは石英管に格納されている。

TABLE 1  
DESIGN CHARACTERISTICS OF THE SELECTED UV REACTOR SYSTEMS

<b>MP<sup>1</sup></b>	
Lamp type & number:	Medium-pressure, 4
Lamp configuration:	In-line, perpendicular to flow
Hydraulic design:	Straight flow through
Internal diameter:	8 inches
Sensor types:	4 intensity sensors
Cleaner type:	Wiper collars, set on automatic timer
<b>LP<sup>2</sup></b>	
Lamp type & number:	Low-pressure, 12
Lamp configuration:	Radial, parallel to flow
Hydraulic design:	Flow enters from the bottom & exits at the top at 90°
Internal diameter:	6 inches
Sensor types:	Intensity and % relative irradiance
Cleaner type:	Wiper collars, set on automatic timer
<b>LPHO-1<sup>3</sup></b>	
Lamp type & number:	Low-pressure high-output, 6
Lamp configuration:	Radial, parallel to flow
Hydraulic design:	Flow enters from the bottom & exits at the top at 90°
Internal diameter:	6 inches
Sensor types:	Irradiance and % relative irradiance
Cleaner type:	Wiper collars, set on automatic timer
<b>LPHO-2<sup>4</sup></b>	
Lamp type & number:	Low-pressure high-output, 6
Lamp configuration:	Side-by-side, perpendicular to flow
Hydraulic design:	Straight flow through
Internal diameter:	8 inches at inlet and outlet sloping to 19.7 inches at the midpoint
Sensor types:	Intensity, % transmittance
Cleaner type:	Off-line chemical clean

<sup>1</sup> Calgon Carbon Sentinel™  
<sup>2</sup> WEDECO Ideal Horizons MDW-1  
<sup>3</sup> WEDECO Ideal Horizons MDW-HO  
<sup>4</sup> WEDECO Ideal Horizons Series K

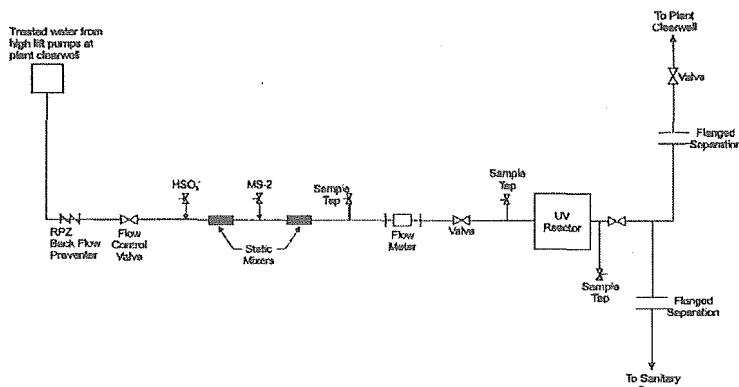


FIGURE 1. UV PILOT SYSTEM PROCESS FLOW DIAGRAM



#### ・処理水量

LP、LPHO-1、MP ユニットは 200gpm (1,100m<sup>3</sup>/d) の流量で運転し、LPHO-2 ユニットは高流量の 300gpm (1,640m<sup>3</sup>/d) で運転している。流量制御はバタフライ弁で行い、流量測定は電磁流量計で行っている。

バイオアッセイ用の注入とサンプリングのために、蛇口が UV ユニットの前後に取り付けられている。配管内のスタティックミキサーにより注入薬品と生物ろ過のための混合が行われる。圧力計は各紫外線パイロットプラントの圧力低下を測定するため、配管の入り口と出口に設置されている。トータルパワー消費量を測定するため、各 UV ユニットにパワーモニターを設置している。水は UV ユニットを出て、浄水井に戻る。運転停止中は、システムを停止するためバルブは出口で閉められる。バイオアッセイやシステムの消毒中は、浄水井へのフランジを閉じ、下水道へ排水する。

水質項目と UV 反応槽の状態は、いろいろな運転要因ごとに毎日、毎週監視される。水質は各事業体で毎日 pH、濁度、総硬度、カルシウム、温度、アルカリ度が測定される。毎週 1 回 1L のサンプルを採取し、船便で Carollo Engineers に送り、TOC、UV 吸収 (200~300nm)、マンガン、鉄を分析する。

UV 反応槽の能力は、電力消費量に基づき毎日監視され、UV センサーの光輝 (輝度) の読みとり、ランプ照射時間、UV 装置通過による圧力低下及びワイパーが性状に作動しているかどうかをチェックしている。

UV 照射線量は指標生物であるバクテリアファージ MS-2 のバイオアッセイにより確認されている。各事業所の各装置において 3 つのテストが計画されている。第 1 のテストは開始と同時に行われ、第 2 のテストは実験期間の中間で行われ、最後のテストは実験期間の最後に行われる。これは UV 照射線量が代わるたびに行われる。

各テストの間、塩素の残留を抑制するため、MS-2 の上流側に亜硫酸ナトリウムを注入する。それから Fig.1 に示すとおり、MS-2 懸濁液が 2 番目のミキサーの上流に注入される。MS-2 は UV 装置の上流と下流の両方でサンプリングされ、Dr. Malley の研究室で MS-2 の不活化数を計測される。テスト期間中、3 回の UV 照射についてバイオアッセイされ、ブランクサンプルはランプを消灯した状態で行われた。

### 3. 結果と考察

#### (1) 水質の影響

November 1999-mid-march 2000

水質は 3 ヶ所の実験場所において非常に安定していた。平均値を Table2 に示す。予想したように、CWU と NSWC の水質パラメータは、両者がミシガン湖の水を処理しているため、非常によく似ている。NWU は Winnebago 湖の水を処理しており、水質ははっきり異なっている。

・ Table-2 にパイロットテスト Phase-1 期間内の平均水質を示す。

・ Fig.2 にパイロットテスト Phase-1 期間内の平均水質を示す。

TABLE 2  
AVERAGE WATER QUALITY DATA DURING PHASE 1 PILOT TESTING

	CWU	NWU	NSWC
pH	7.73	9.02	7.69
Turbidity (NTU)	0.06	0.06	0.13
Ca Hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	76	41	36
Total Hardness (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	140	87	136
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	122	52	104
Iron (mg/L)	0.02	0.01	0.01
Manganese (mg/L)	0.011	0.003	0.007
TOC (mg/L)	1.60	4.08	1.52
UV254 (1/cm)	0.018	0.056	0.010
% Transmittance (at 254 nm)	96	89	98

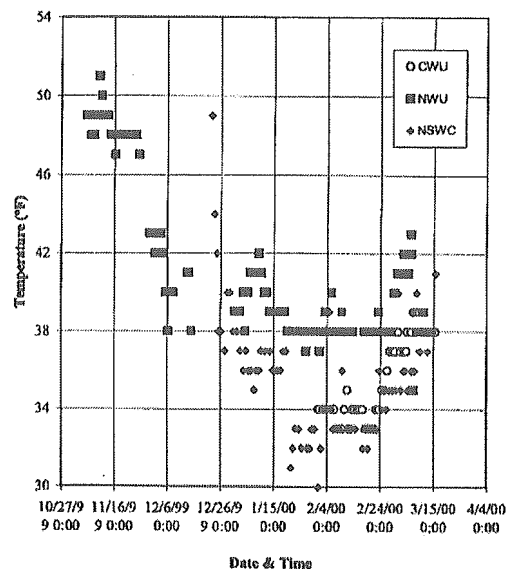


FIGURE 2. FLUCTUATION IN WATER TEMPERATURE DURING PHASE 1 PILOT TESTING

(2) UV 装置の性能

・ バイオアッセイ

Table-3 に 1999 年 1 2 月中旬のバクテリアファージ MS-2 の測定結果を示す。

2000 年 2 月中旬の MS-2 の測定結果を Table-4 に示す。

2000 年 2 月に行われた第 2 回目のテストの結果は、MP、LP 及び LPHO-1 の反応槽に対して、1999 年 12

月に行った第 1 回目のテストと一致している。

LPHO-2 反応槽の結果は、フローの機能として 40~50mJ/cm<sup>2</sup> の範囲の UV 照射が、MS-2 テスト期間内にこの装置により、一貫して信頼できる方法として実現されたことを示している。これは明らかに装置によって供給された計算さ

れた照射線量以下である。この矛盾は水温が極端に低いためであろう。供試水の水温は試験期

TABLE 3

RESULTS OF MS-2 CHALLENGE IN MID-DECEMBER, 1999

	Q (gpm)	MS-2 Log Inactivation	Bioassay Measured Dose (mJ/cm <sup>2</sup> )	Manufacturer Specified Dose (mJ/cm <sup>2</sup> )
MP	200, 4 lamps	3.77	85	74
	200, 2 lamps	2.38	52	37
	200, 1 lamp	0.81	15	19
LP	131	2.78	62.5	115
	246	2.38	53.2	61
	402	1.16	24.8	38
LPHO-1	160	4.77	108.8	116
	298	3.32	75.0	62
	402	3.00	67.6	46

	Q (gpm)	MS-2 Log Inactivation	Bioassay Measured Dose (mJ/cm <sup>2</sup> )	Manufacturer Specified Dose (mJ/cm <sup>2</sup> )
MP	200, 4 lamps	>4.12	>85.7	74
	200, 2 lamps	2.45	50.1	37
	200, 1 lamp	0.98	18.9	19
LP	150	2.12	48.9	100
	250	1.84	42.2	61
	370	0.49	10.5	41
LPHO-1	150	4.54	106.5	123
	250	3.94	92.2	74
	370	2.89	67.2	49
LPHO-2	125	2.65	50.7	>>50
	174	2.33	44.2	>>50
	275	1.93	36.1	>50

間中 0°Cであった。

### (3) 運転要因

4つのUV装置は電力消費や圧力低下に関して安定しており、その平均結果を Table-5 に示している。

TABLE 5  
UV UNITS POWER USE, HEADLOSS AND INACTIVATION EFFICIENCY DURING PHASE 1 PILOT TESTING

	MP	LPHO-1	LP	LPHO-2
Power use (kW-hr/d)	49	26	17	14
Power use per lamp (kW-hr.d <sup>-1</sup> /Lamp)	25	4.3	1.4	2.3
Inactivation-Normalized power use at 200 gpm, (kW-hr.d <sup>-1</sup> /Log inactivation)	20	6	7	6
Pressure drop (psi)	0.13	1	NA	2.7

### (4) センサーの性能

MS-2 バイオアッセイの期間中、LPHO と MP 装置は良好に運転されていることを示している。

センサーの性能は信頼できない。

MP 装置は4つのランプ強度センサーを有している。1つは各ランプの場所に設置され、各ランプの出力を記録する。実験の開始時と3月中旬に記録されたデータは Fig.3 に示されている。

これらの値は 0.35~1.8mW/cm<sup>2</sup> の間で変化している。

MP-1 は 0.60±0.06mW/cm<sup>2</sup>、MP-2 は 0.36±0.12mW/cm<sup>2</sup>、MP-3 0.95±0.08mW/cm<sup>2</sup>、MP-4 は 0.54±0.20mW/cm<sup>2</sup> である。各センサーの読みとり光輝は縦に並んで周期的に 0.1~0.15mW/cm<sup>2</sup> の間隔で上下に変動している。この上下変動の原因は明らかではない。この原因は、送水の変化のためかもしれないが、これを実証するための UV254 吸光度の十分なデータがない。総合的にいえば、1つのセンサーを除き約 0.1~0.2mW/cm<sup>2</sup> のセンサーの値の減少が見られる。この減少は経年劣化としてのランプ出力の減少のためと思われる。

LP と LPHO-1 装置には、それぞれ1つの

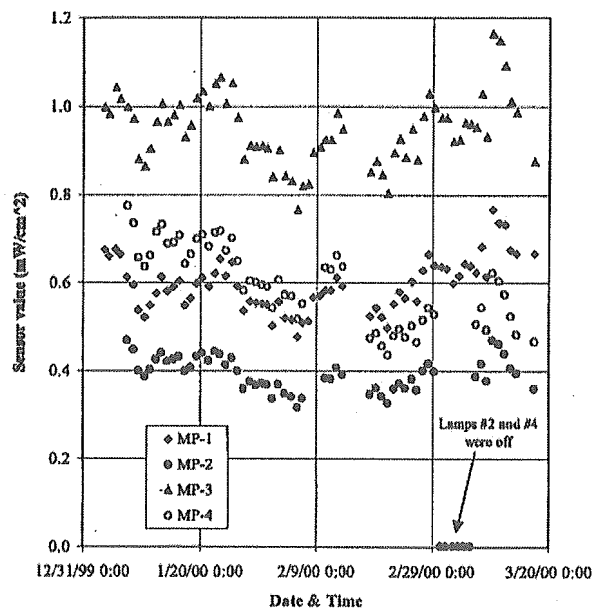


FIGURE 3. MP SENSOR DATA FROM NWU

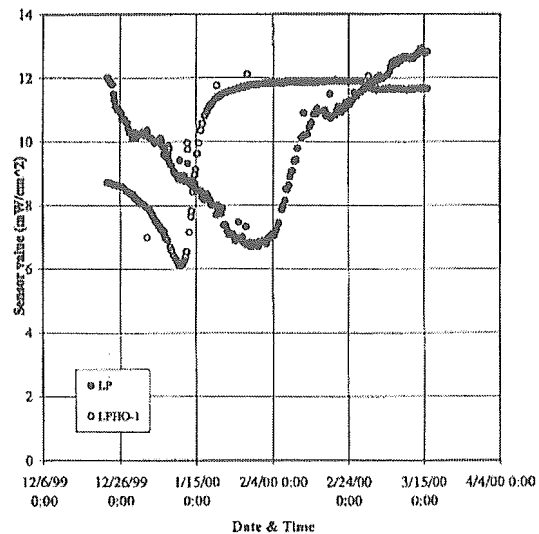


FIGURE 4. LP AND LPHO-1 SENSOR DATA FROM NSW

ランプ光輝センサーがあり、装置の流入口から約 12 インチの所に設置されている。Fig.4 に示すように、この両方のデータは、予期していないことであり、また説明できない現象である。はじめに、測定された LP ランプの光輝は  $12\text{mW/cm}^2$  で、LPHO-1 のランプの光輝は  $8.5\text{mW/cm}^2$  であった。両方とも時間の経過とともに光輝が減少し、それから再び増加している。しかし、その増加の仕方は同じではない。

LP センサーの読みとりは最初の値よりも大きく増加し続け、LPHO-1 装置のセンサーの読みとりは 2000 年 2 月始めに  $12\text{mW/cm}^2$  で安定した。これらは水温の変化とは関係なく、センサーの問題のようである。各センサーによって測定された時間経過に伴っての強度の値の著しい増加は、目を見張る現象である。これらの値は、ランプの寿命としては強度が減少すべきであるが、これはそうになっていない。

CWU に設置された LPHO-2 は、ランプが設置されているところの中間近くに光輝センサーを設置している。このセンサーは Fig.5 に示すようにかなり首尾一貫して作動している。

1 月の終わりから 3 月の初めの間のランプ光輝の  $17\sim 20\text{mW/cm}^2$  へのゆるやかな増加は、水温の段階的上昇に一致する。このランプ光輝の増加は、水温の上昇によるものと思われる。

#### 4. 結論

4 つの UV 装置は、 $200\text{gpm}$  で  $40\text{mJ/cm}^2$  又はそれ以上の UV 線量を照射し、2~4 ヶ月テストされた。低圧-高出力系では  $200\text{gpm}$  で供給されたユニットごとに不活化に関して最も効果的に実施した。低圧と低圧-高出力ランプ出力に関する温度の影響は、寒い季節に適用して考えなければならない。4 つの異なる装置の光輝センサーの性能は、大きく変化し、UV 線量を監視する上での精度と信頼性に大きな課題を残している。これは消毒に対する UV 技術を満足させる上で最も困難で、重要な問題となりそうである。

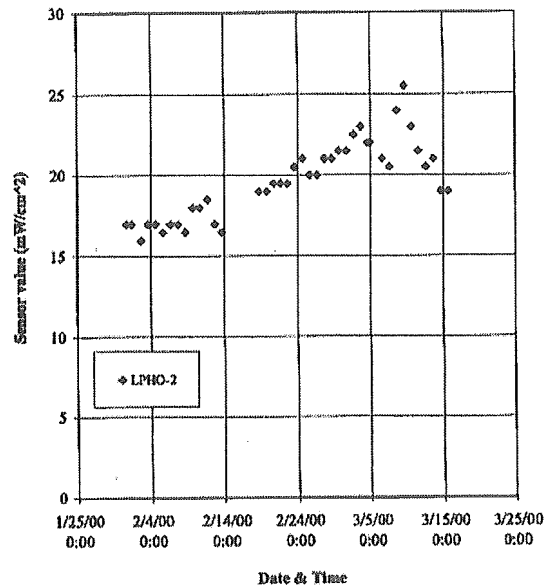


FIGURE 5. LPHO-2 SENSOR DATA FROM CWU