

紫外線量(40mJ/cm²)以下ではほとんど除去されなかった。

- 両原水では、硝酸、アルカリ濃度、DOC が異なっていた。硝酸及び DOC による吸収により光分解による臭素酸の減少は生じなかった。ラジカルの連鎖反応は複雑であるため、水質からの臭素酸の光分解を予測することはできない。
- 臭素酸単独の注入実験と臭素酸と臭化物の複合注入実験において、処理水中の臭素酸濃度に差異は生じなかった。

中圧紫外線を用いた飲料水の消毒技術

Medium-pressure ultraviolet radiation technology used in drinking water treatment

実験装置

実験装置は、Trojan UVShift Model 4L12 UV system を使用した。今回、実験で使用した装置は4本の2.8kWの中圧紫外線ランプを融資、接続口径は12inch管である。Trojanでは、装置前に少なくとも、口径の5倍以上の長さの直管及び、装置後に口径の3倍以上の長さの直管を設置するようにしている。これは、装置上流及び下流での攪拌効率を考慮している。ランプの汚れ対策として、NSFで定めた食品用の酸と食品用のゴムを用いている。装置はランプの汚れを計測するために、紫外線照射センサーと紫外線透過率センサーを有している。

実験場所

本実験は、San Diego の Otay 浄水場内の Aqua2000 研究センターで実施した。実験には、Otay 湖の水を凝集、沈殿、二層ろ過した Otay 浄水施設の放流水を使用した。処理水流量は、695gpm であり、紫外線透過率は84%、ランプ出力は設定の81%で実施した。

実験方法

最初の2週間は操作条件を決定させるために稼働させ、その度、約30日間、装置を稼働させた。320時間以上の正常な稼働を確認するため操作パラメーターとしては、流量、総流量、UV センサー値、ランプの洗浄頻度、ランプ点灯時間、ランプの消灯時間、ランプの消費電力、操作圧と損失水頭を常時記録した。また、UV システムの性能を評価するため、水温、pH、総アルカリ度、硬度、TOC、UV254 吸光度、濁度、色度、硝酸、鉄、遊離塩素、全塩素、従属栄養細菌を測定した。濁度、pH、残留塩素は現地にて測定を行い、その他の項目は、San Diego water quality and microbiology laboratory で測定した。全ての試験項目は、Standard method と EPA の方法に準拠した。また、洗浄前後の UV センサーの値等も観測し、紫外線装置のランプの汚れや洗浄効率について評価した。また、微生物の不活化率を計測し、その際、紫外線ランプの出力を81%に設定した。指標としては、MS2 ウイルスを用いた。原水中に、MS2 を4~5log 添加し、Otay 浄水場の放流水中の2.5mg/Lの結合塩素はメタ重亜硫酸ナトリウムを用いて、脱塩した。サンプルは1~2L採水し、紫外線量としては、20~145mJ/cm²照射した。

性能検証

ウイルスの試験を行う際は、695GPM(1MGD)で運転し、それ以外の際は400gpmで運転した。ランプの出力は81%に設定し、ランプの洗浄は24時間毎に行った。システムは計700時間以上運転し、初期の320時間においては、操作条件を常に計測し、正常にシステムが動いていることが確認された。試験期間中においては、顕著の汚れは見られず、試験終了後もランプのスリーブは比較的きれいであったが、センサーのスリーブには汚れが見受けられ、新しいセンサーに取り替えたところ、7%紫外線照射量が多く計測された。試

験期間中、センサーの値は 1.8～11%程度、基準値とぶれがあったが、センサーの窓を清掃することで、ぶれは半分以下になった。

微生物の不活化実験結果

MS2 ウイルスの原水中の初期濃度は、 5×10^4 pfu/100mL～ 1.1×10^5 pfu/100mL であり、処理水中の濃度は 4×10^2 pfu/100mL～ 1×10^2 pfu/100mL 以下であり、除去率は 2.1～3log 程度である。既に紫外線耐性を定量的に測定されている MS2 ウイルスを用いて、Cryptosporidium や Giardia の不活化率を計測した。用量-反応曲線により MS2 ウイルスを 2log 不活化する際に必要な紫外線量は 42.8 mJ/cm^2 である。本実験では、2.1～3log の不活化が得られたので、 $40.3 \sim 67.6 \text{ mJ/cm}^2$ の等価線量である。本装置は、27 日以上、400gpm で毎日、定期的な洗浄を行い、81%にランプ出力を設定した。最初の 320 時間は、流量、総流量、紫外線センサーの値、ランプの洗浄頻度、ランプの点灯時間、ランプの消灯時間、ランプの消費電力、操作圧と損失水頭を常時記録した。水質データも原水と処理水に対して、水温、pH、総アルカリ度、硬度、TOC、UV254 吸光度、濁度を計測した。原水、処理水ともに従属栄養細菌、大腸菌群も検出限界以下であった。

Parameter	Unit	Count	Median	Range	Average	Standard Deviation	95 Percent Confidence Interval
Feed							
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	7	148	127 - 168	149	N/A	N/A
Total Hardness	mg/L as CaCO ₃	7	208	196 - 227	209	N/A	N/A
Calcium Hardness	mg/L as CaCO ₃	7	132	120 - 146	131	N/A	N/A
Iron	µg/L	7	50	50 - 85.1	55	N/A	N/A
Managanese	µg/L	7	3.91	0.91 - 9.28	4.74	N/A	N/A
Nitrate	mg/L	7	0.2	0.2 - 0.573	0.3	N/A	N/A
TOC	mg/L	17	4.31	2.96 - 5.11	4.11	0.81	3.69 - 4.53
Color	Pt-Co	6	4	2 - 5	4	N/A	N/A
UV ₂₅₄	/cm	17	0.067	0.034 - 0.083	0.063	0.015	0.055 - 0.071
pH	std. Unit	38	8.4	7.3 - 8.9	8.4	0.39	8.3 - 8.5
Desktop Turbidity	NTU	38	0.1	0.10 - 0.20	0.10	0.03	0.10 - 0.10
Temperature	degC	38	21	20.3 - 24.7	22.1	1.4	21.6 - 22.6
Free Chlorine	mg/L	38	0.2	0.04 - 1.4	0.3	0.3	0.2 - 0.4
Total Chlorine	mg/L	38	2.2	1.5 - 3.0	2.2	0.3	2.1 - 2.3
Effluent							
Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	7	153	122 - 178	153	N/A	N/A
Total Hardness	mg/L as CaCO ₃	7	213	199 - 220	210	N/A	N/A
Calcium Hardness	mg/L as CaCO ₃	7	130	123 - 159	136	N/A	N/A
Iron	µg/L	7	50	50 - 131	68	N/A	N/A
Managanese	µg/L	7	3.41	1.18 - 9.07	4.64	N/A	N/A
Nitrate	mg/L	7	0.2	0.2 - 0.669	0.3	N/A	N/A
TOC	mg/L	17	4.12	2.98 - 12	4.52	2.08	3.45 - 5.59
Color	Pt-Co	6	3	1 - 5	3	N/A	N/A
UV ₂₅₄	/cm	17	0.064	0.037 - 0.084	0.063	0.015	0.055 - 0.071
pH	std. Unit	38	8.4	7.3 - 8.9	8.4	0.40	8.3 - 8.5
Desktop Turbidity	NTU	38	0.10	0.10 - 0.20	0.10	0.03	0.10 - 0.10
Temperature	degC	38	22	20.4 - 24.8	22.2	1.4	21.7 - 22.7
Free Chlorine	mg/L	38	0.2	0.04 - 1.6	0.2	0.3	0.1 - 0.3
Total Chlorine	mg/L	38	2.1	1.6 - 3.0	2.1	0.3	2.0 - 2.2

Note: All calculations with below detection limit values used the detection limit value in the calculation as a conservative estimate.

操作及びメンテナンス結果

400gpm で運転し、81%の出力設定にした場合、使用電力量は 0.32kWh/1000gal であった。また、ランプのスリーブの洗浄過程では、化学薬品を用いて洗浄をしたが、センサー部分では、化学薬品を用いた洗浄は実施しなかった。

飲料水消毒目的の紫外線装置の性能検査と監視に関して

Testing performance and monitoring of UV systems for drinking water disinfection

概要

細菌やウイルスを 4log 不活化するには、低圧ランプ(253.7nm)で 400J/m²の紫外線量が必要であるが、副生成物の問題が生じるため、240~290nmの広波長域での紫外線照射が注目されている。4logの不活化には、装置内の全ての水に対して、均質に 400J/cm²以上の紫外線を照射する必要があり、照射面や流れ方式により性能が変化する可能性があるため、計算と実際の性能が異なる場合がある、そのため、400J/m²で 4logの不活化の性能を評価するには、紫外線耐性が既知の細菌を用いた生物線量計を用いる必要がある安全な紫外線消毒は、流量調整と標準化された紫外線センサーにより、紫外線量を監視する必要があり、最低必要紫外線量を下回らないようにする必要がある。

紫外線による消毒の基本事項

Fig.1 に大腸菌と水銀ランプの波長域を示している。低圧ランプでは、254nmでの電気出力が 30%あるのに対し、中圧ランプでは 10%であるが、エネルギー密度は 50 倍以上高い。ISO/IEC によると、紫外線量は、紫外線への投入エネルギーではなく、紫外線の照射量としている。

ドイツの紫外線消毒に関する合同研究では、400J/m²では、光化学反応は観測されなかった。OH ラジカルはほとんど生成せず、フミン質による光吸収もほとんど影響はない。高濃度の硝酸イオンがあり、中圧ランプを用いた広波長の紫外線照射を行う場合は、亜硝酸イオンが生じるので注意が必要である。紫外線光が 240~290nmにおいて殺菌効果を持つのは、DNA もしくは RNA の 2 重螺旋内のプリン塩基の 2 量対化を受け、複製が困難となるためである。光回復性は、青波長域による可視光照射により促進される。宿主細胞の酵素を必要とするウイルスは、そのため、光回復性能を有さない。

Fig.2 では、紫外線照射量と減少率の対数をプロットしている。光回復を起こさない場合は 100mJ/m²で 4logの不活化が得られるのに対し、光回復を生じさせた場合、ほとんど不活化されない結果が得られている。そのため、大腸菌群に対して安全に不活化する際には、280J/m²の紫外線量が必要である。光回復の実験は、ペトリ皿に 10klux の日光を 2 時間あて培養することにより簡単に試験できる。

同条件において、病原体等の紫外線感受性を示したのが、Fig.3 である。このデータよ

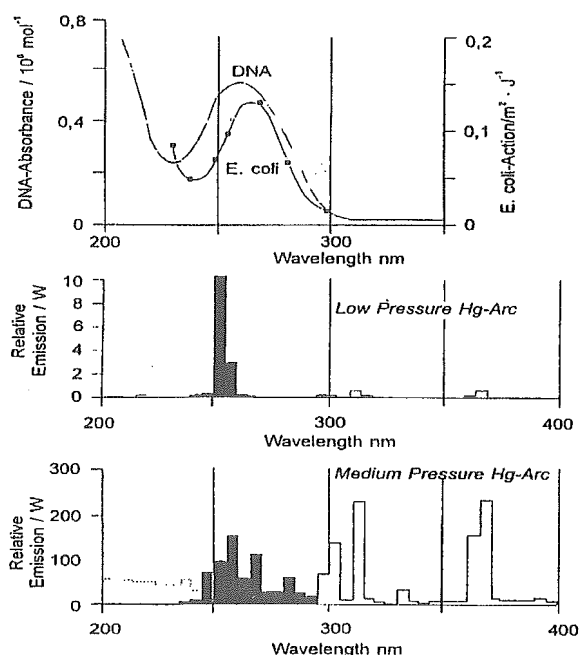


Fig. 1. UV susceptibility is closely related to the spectral absorption of DNA and expressed as action spectrum — here of *E. coli*. The emission of mercury arcs is only effective in this spectral range.

り光回復がある場合は、ない場合の2~4倍程度の紫外線量が必要であることがわかる。

Cryptosporidium oocyst や *Giardia* cyst 等の原虫類は、紫外線の感受性が高く、400J/m²にて90%程度の不活化率である。

紫外線システムに求められるもの

紫外線装置内を通る原水には、紫外線量を十分に照射する必要がある。仮に、0.1%の原水が規定の紫外線量より低い場合、99.99%の不活化率が得られず、99.9%の不活化しかでき

ない可能性

もある。

Fig. 4 に原水中の全部もしくは一部に照射する紫外線照射量を変化させた場合のモデル計算結果を示す。

Fig. 5 に、紫外線ランプと原水の

流れが平行もしくは垂直な種類を示している。照射強度は、Lambert-beerの法則に従い、光源から遠くなるに従い、弱くなる。また、Fig. 6 には、両システムにおける紫外線照射量の分布を示す。ランプと処理水の流れが平行な系においては、ランプの数が増えるほど、紫外線照射分布と水の流れが複雑になるのは、明白である。

実際の紫外線照射量を測定するには、微生物を指標とした生物線量試験を行う必要がある。

実際の装置においては、紫外線照射装置の性能の要因となるものは数多く

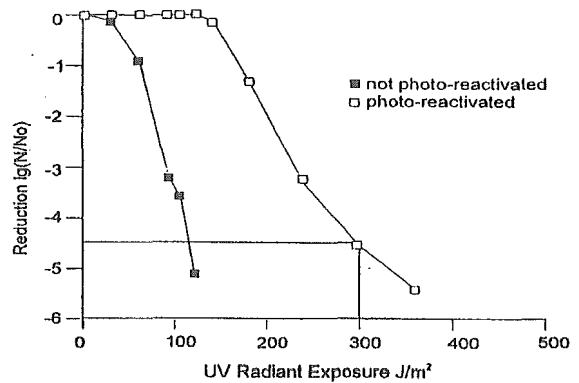


Fig. 2. UV inactivation of *E. coli* ATCC 11229 with 254 nm radiation — effect of photo-reactivation.

UV 254 nm radiant exposure [J/m²] for 99.99% inactivation

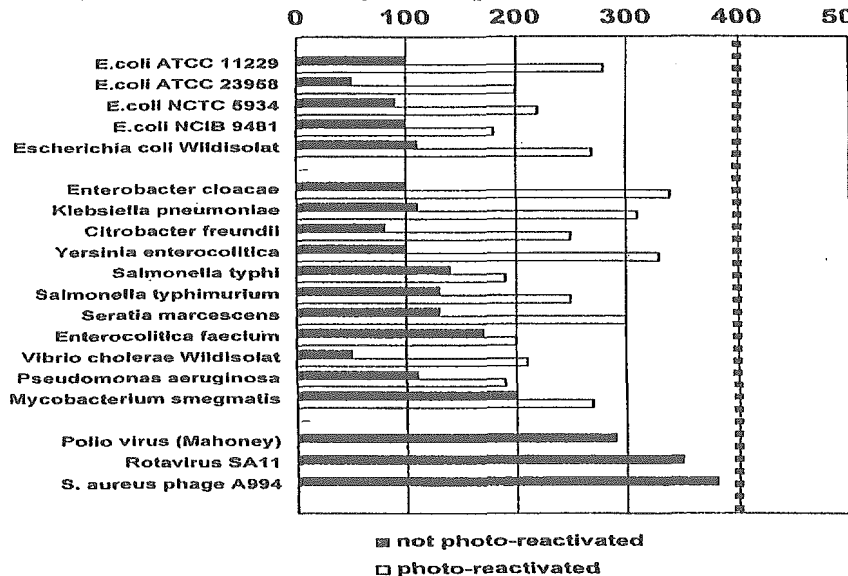


Fig. 3. UV susceptibility of indicator germs, pathogens, facultative pathogens and viruses. Indicated is the minimum required radiant exposure of 400 J/m².

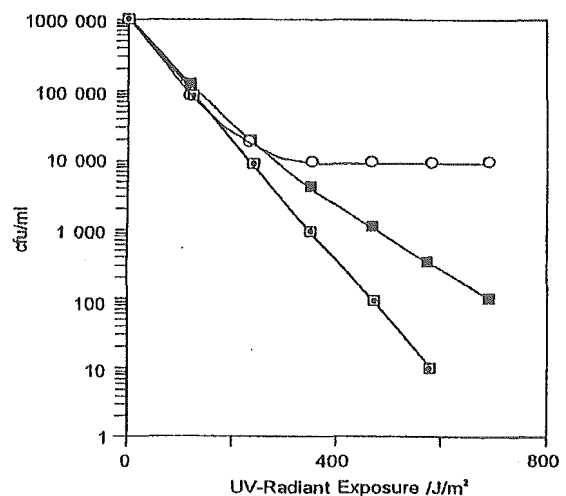


Fig. 4. Four model calculations to demonstrate the effect of inhomogeneous irradiation.

- A ● 10% volume receive 200% UV
- B □ 100% volume receive 100% UV
- C ■ 10% volume receive 10% UV
- D ○ 10% volume receive 0% UV

考えられるが、もっとも重要な項目は、原水中の紫外線吸光度、ランプの寿命、電圧降下による紫外線強度の減少、温度変化等が挙げられる。

生物線量試験が終了する前には、流量調整を適正に行い、紫外線センサーにより、最低必要線量を超えていることを確認する必要がある。

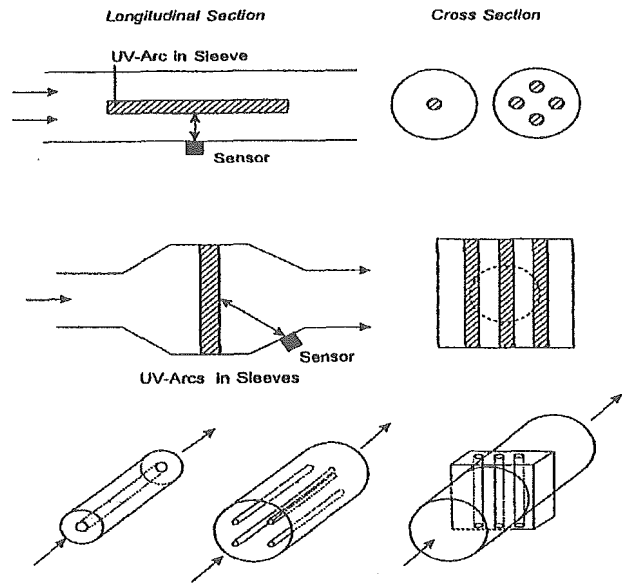


Fig. 5. Common types of UV systems with flow parallel or perpendicular to the axes of the mercury lamps.

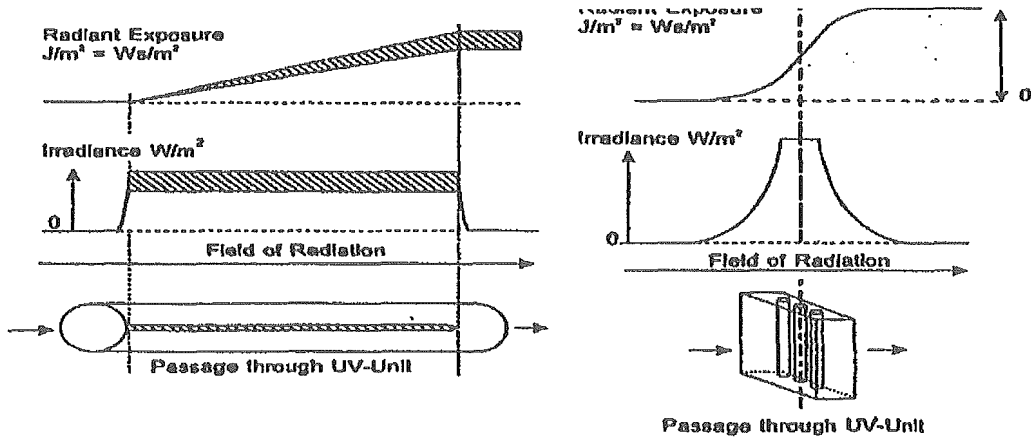


Fig. 6. Simplified diagrams for irradiance and radiant exposure in both types of UV systems.

DVGW -standard W294 による監視

紫外線センサーの値は、システムの洗浄及びランプ交換後には 100%を示すのが通常である。センサーの値が 60%を切るようならば、洗浄では不十分であり、ランプの交換が必要になる。個々の紫外線センサーの値を標準化するために、ドイツでは、DVGW-standard W294 を使用している。

各システムにおいてセンサーの感受部は適合する必要がある、fig.7 に示す。

Fig.8 にランプ寿命による紫外線強度の減衰および、 FeOOH 、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 、フミン酸のスペクトル減衰を示す。この図より、290nm 以上の波長に対しては、センサーの値に 10%以上の影響を与えないことがわかる。

センサーの校正は 253.7nm にて、国際標準団体若しくはウリジンの化学光量測定にて行う。ウリジンは、紫外線量に比例して崩壊し、実験室のスペクトラル光量計により容易に測定可能である。

センサーは、寿命や遮蔽による紫外線量の減少を同程度検出できる場所に設置しなければならない。その場所は装置により異なるので、紫外線出力を変更したり、染料を添加することにより、水の透過率を変更して決定する必要がある。

一つの紫外線ランプでは多くても2個のランプしかモニターできないので、数個以上のランプを有する装置では、電氣的パラメーターにより、モニターを行う必要がある。更に、同一の装置内でのランプは同じ寿命と性能を有することを、製造者は保証する必要がある。

DVGW standard W 294 のモニター概要は、従来の消毒剤と同じように、紫外線消毒を制御できる。

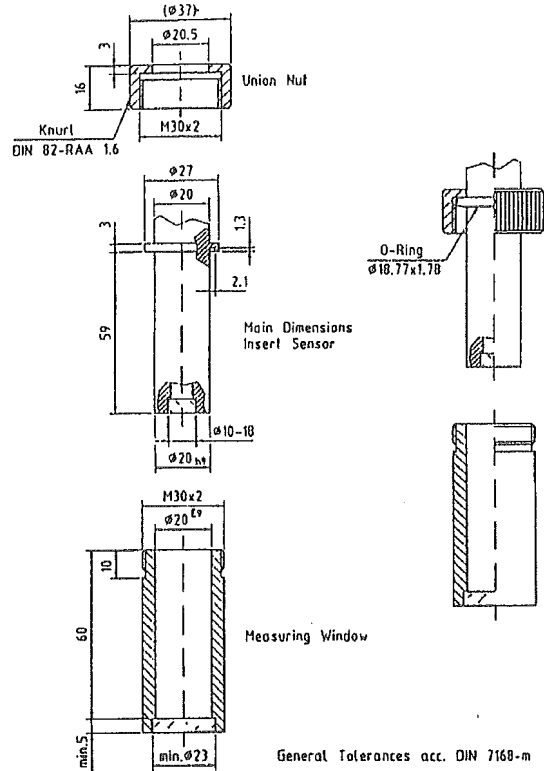


Fig. 7. Dimensions of UV reference sensor and sensor port according to DVGW W 294.

DVGW standard W 294 による生物線量試験性能

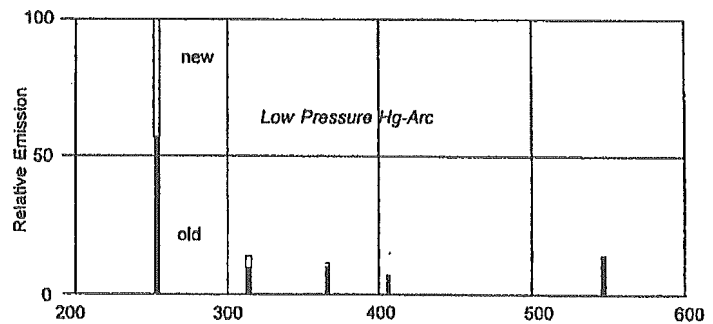
生物線量試験にて、製造者により明記された最小及び最大処理量にて、最低必要紫外線量を満たしている必要がある。

Fig.9 に、試験機を示す。前後の攪拌装置にて、99%以上、添加した生物が混合され、また、処理水も均一にされる。

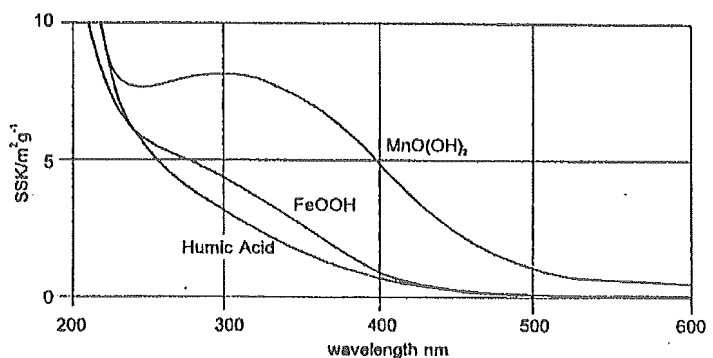
最低必要紫外線量での消毒性能は次の方法により試験される。

1. 水中の最低 SAK-254 ($\leq 1m^{-1}$)において紫外線出力を減少させ、最低紫外線量の値をとる。
2. 最大紫外線出力にて、染料を添加することにより、紫外線吸光度を増加させ、最低紫外線量の値をとる。

この試験を行うには、理想とし



Change of emission from ageing



Spectral attenuation from Mn- and Fe oxide-hydroxides and from Humic Acid

Fig. 8. Ageing of UV lamps and spectral attenuation of water components contribute most to the lower wavelength range.

て、 400J/m^2 で5logの減少が見られるものが必要である。*E.coli* ATCC11229は 400J/m^2 では紫外線感受性が高すぎるが、水の流れの試験を行うには適切であり、*B.Subtilis*は流れの試験を行うには不十分だが、 400J/m^2 の試験を行うには適している。

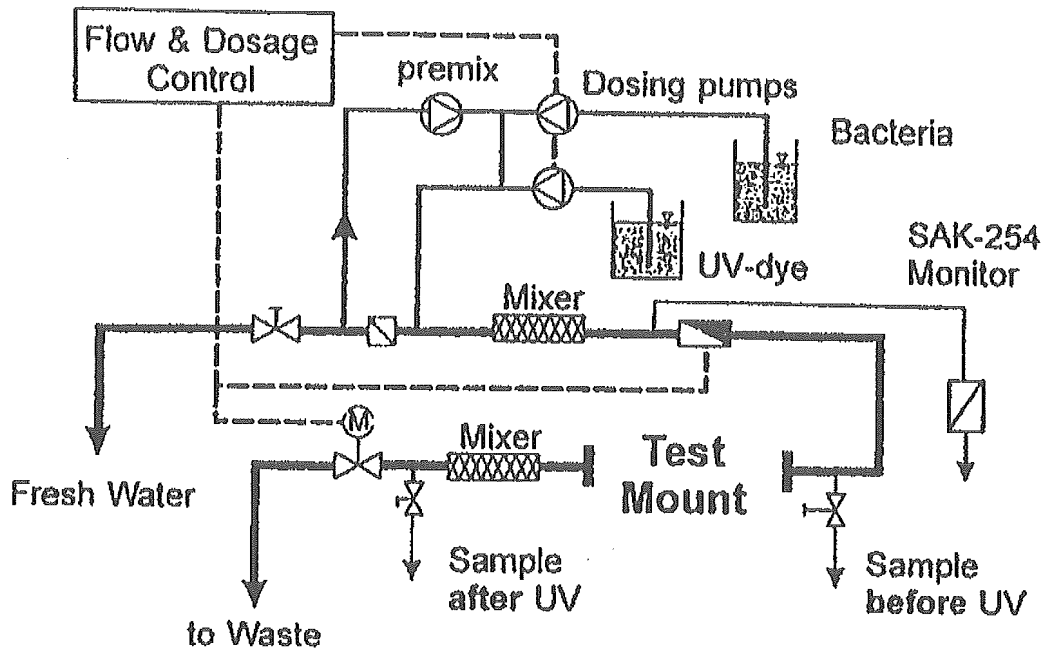


Fig. 9. Schematic of test stand according to DVGW W 294.

結論

- ・ DVGW standard W 294 は従来の消毒剤の代用として信頼性高い浄水処理として適当なものになると思われる。
- ・ 化学消毒剤と同様に、紫外線装置も低濁度の原水のほうが、微生物を不活化しやすい。
- ・ 紫外線消毒の利点は、副生成物が生じない点である。
- ・ 自然由来の有機物の酸化による AOC の増加は無い、

浄水の紫外線消毒：装置性能検証の必要性

UV Disinfection of water :the need for UV reactor validation

概要

紫外線は、排水及び浄水両方にて使用されている。紫外線は、塩素耐性を有する *Cryptosporidium* や *Giardia*、*Legionella* 等の病原性微生物の不活化に効果がある。複数の対象に対する紫外線消毒の利用が求められ、不活化可能な微生物の領域を増やし、効率よく消毒することが必要となってきた。紫外線技術は、装置が対象に必要な紫外線量を照射でき、操作条件・水質により紫外線量を監視、調整できることを保障しなければならない。分析モデルや数理モデルよりも、バイオアッセイを用いた手法が、紫外線装置の性能検証には適している。分析モデルは、平均計算紫外線量を計算するものであり、不适当である。計算流体力学を用いた数理モデルでは、熟練した専門家ならば、正確に装置性能を予測できるが、バイオアッセイ試験に比べ、多くの検証を必要とする。

紫外線消毒の有効利用

従来処理の浄水施設において、一般的には、紫外線消毒は、ろ過池の後段に設置されると考えられるが、他の場所に設置する方が有利と考えられる場合もある。たとえば、逆流排水を返送する場合、不活化されていない微生物が返送されることにより、ろ床より漏出する可能性が増えることになり、この場合は、凝集沈殿後の原水に紫外線消毒を行う方が適切な場合もある。

紫外線耐性を有し塩素耐性を有さない微生物もいれば、塩素耐性を有し紫外線耐性を有さない微生物もいる。Fig.1 に紫外線もしくは、塩素を用いて、4log の不活化を行うのに必要な用量を示す。バクテリアやウイルスの多くは、紫外線、塩素ともに低用量で不活化されている。*Cryptosporidium* spp、*Giardia* spp、*Legionella* Spp、は対塩素性を有するが、低紫外線量で不活化される。Adenovirus は、紫外線耐性を有するが、低用量の塩素にて不活化される。紫外線量 40mJ/cm²、塩素の CT 値 5~10mg/L・分にて多数の微生物が消毒可能であり、片方の消毒剤では効果が薄い微生物に対しては、もう一方の消毒剤の効果が高いことがわかる。

2つの異なる水質による総トリハロメタンの規制値を示す。原水中の有機物濃度が高いほど、総トリハロメタンの生成濃度は高くなり、Fig.1 には、両極端な二つの水質の場合のトリハロメタン

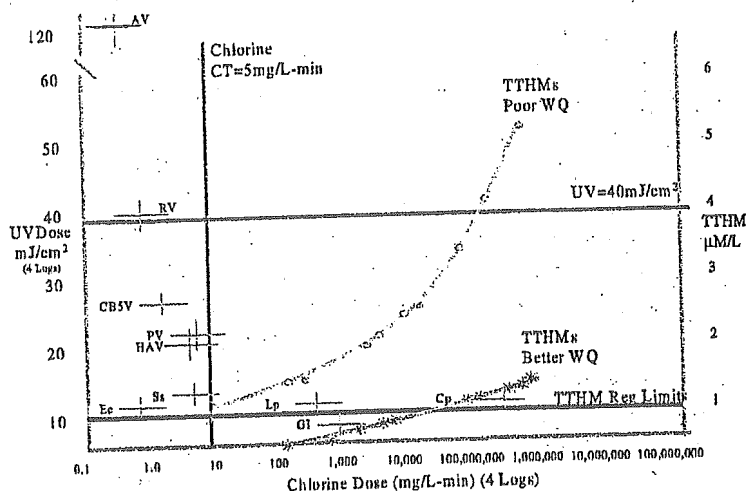


Figure 1 Chlorine and UV dose required for 4 log inactivation

の生成濃度を示しており、大半の水質は、この2つの水質の範囲内に収まる。冬場の低水温期において、塩素のCT値が200~500mg/L・分であるとした場合、総トリハロメタン生成量を抑えるために塩素用量を減らすことができれば、かなりの利点となる。さらに、総トリハロメタン生成速度を抑制するためには、必要塩素用量を添加した後、アンモニアを加え、塩素をクロラミンに変換するのが良い。クロラミンは配水システムにおいて塩素よりも有用な利点を持つ。

理想と実際の紫外線装置

理想の紫外線装置では、紫外線量の分布は一定である。装置内は完全混合であると仮定し、栓流の仮定のもと、モデル式を構築する。その際の理想もしくは平均紫外線量 D_{avg} は平均紫外線強度 I_{avg} と装置内の平均滞留時間 t_{avg} の積により求められる。

$$D_{avg} = I_{avg} \times t_{avg} \quad (1)$$

平均紫外線強度は、装置内の紫外線分布より、次式で表される。

$$I_{avg} = 1/V \times \int \int \int I dV \quad (2)$$

平均滞留時間は、装置体積 V を流量 Q で割ることにより求められる。

$$t_{avg} = V/Q \quad (3)$$

理想の紫外線装置のモデルは一見、単純に見えるが、紫外線強度の空間分布モデルは非常に複雑である。

実際の装置においては、どの微生物、粒子、起動に関しても同一のものではなく、装置内の微生物に照射される紫外線量は異なる。そのため、栓流の仮定は適用できない。計算流体力学を用いた紫外線装置内の紫外線量を Fig.2 に示す。実際の紫外線装置の性能をモデルする際には、各透過率、流量、ランプ条件における線量分布を正確に定量できるかに拠る。

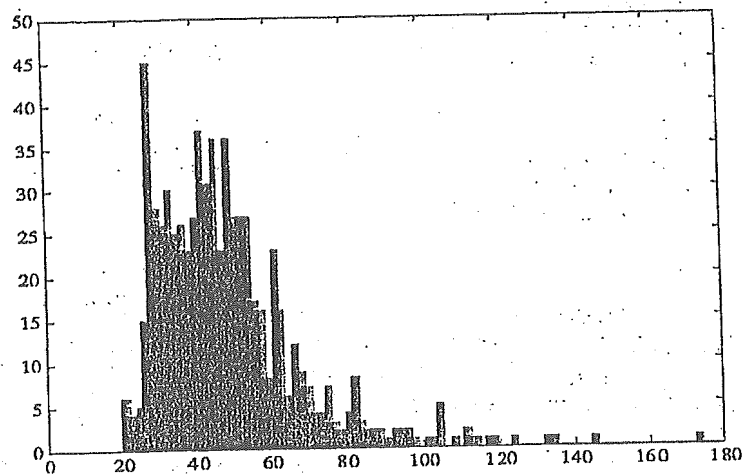


Figure 2 CFD generated histogram of dose delivered to microbes in a UV reactor

流量、透過率、ランプ条件等を変化させた際の、紫外線装置の生物線量と理想線量の相関を Fig3a に示す。モデル式と実際のデータの相関は低く、下記の理由にて理想紫外線量にて紫外線装置の設計を行うのは不相当であると思われる。(a)空間内の紫外線量分布はモデル化するには、非常に複雑である。(b)実際の流れの効率として、20~50%程度の非効率部分があり、2倍以上の性能にて設計する必要がある。

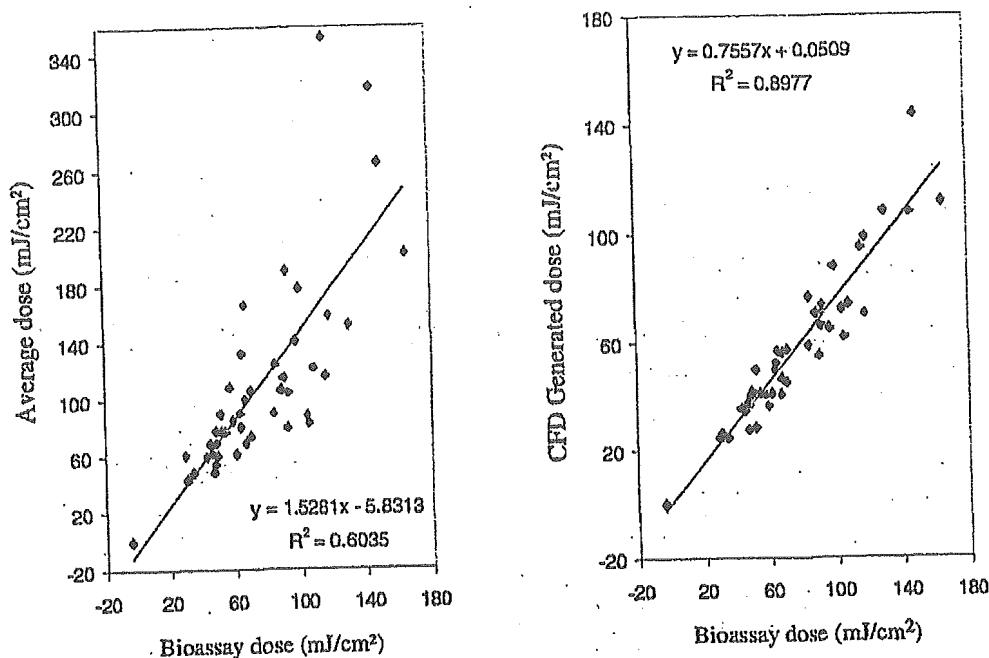


Figure 3 Bioassay dose vs. (a) average dose, (b) CFD generated dose

バイオアッセイ手順

実際の装置は理想条件の挙動を示さず、その設計も非常に複雑であることより、理論計算単独では装置の性能を評価できず、実試験により、性能を評価する必要がある。バイオアッセイ手法は、現在の法規制での標準的手法であり、紫外線消毒装置の性能を評価する手法として世界的に受け入れられている。この微生物試験は3つの手順に分けられる。まず、理想条件下での試験微生物の紫外線との用量一応答曲線を測定し、試験微生物をある流量、ランプ出力、水質内の装置に投入し、処理水中の不活化率を計算することにより用量一応答曲線を用いて、生物アッセイ等量を決定する。

実際の紫外線装置性能のモデリング

実験に基づいたバイオアッセイ試験が一般的な紫外線照射量の検証方法として使用されるが、高度モデルを用いてさらに詳細な紫外線量を計算する必要に迫られる場合がある。このようなモデルがあれば、装置設計及び最適化業務が進む。結果として、要求条件を満たす、より効率のよりシステムを設計でき、水質の変化に伴い、操作条件を変えることもできる。

このような高度紫外線量分布モデルには、流体の挙動、光学、微生物の不活化メカニズム等が含まれる。装置設計が不十分である場合、多くの原水は、紫外線量が低い部分を通り、結果的に短絡流が生じ、対象微生物に照射される紫外線量が減り、装置のエネルギー利用効率が減少する。装置の最適化を考える場合、可能な限り、短絡流を防止する必要がある。とはいえ、低線量で、水力効率が高い場合は、装置内の壁面に紫外線の多くを吸収され、非常に非効率になる場合もある。効率的装置設計では、水流の効率化と壁面への紫外線吸収の減少を両立させる必要がある。

流体の挙動を、計算流体力学(CFD)を用いて解析するのは効率的な方法である。CFDを用いる際には、バイオアッセイによりモデルを検証する必要がある。バイオアッセイ及び

CFD のモデルによる各種条件下での相関を Figure3b に示し、高い相関があることがわかる。CFD を使用したモデルは、紫外線装置の設計、及び on-line の装置監視技術に用いられている。

センサーの Set-point method

Set-point method はドイツの DVGW やオーストラリアの ONORM standards にて使用されている。攪拌状態のよい装置では、バイオアッセイの等価線量と、栓流モデルの値が近づく。

良い設計の紫外線装置において、ランプ出力、紫外線透過率、流量を変えた場合の、センサーの値と CFD モデルを用いたバイオアッセイの等価線量を Fig4a に示す。しかし、同様のデータを用い、センサーの値を紫外線量で割ったものを Fig4b~e に示す。Fig4b は、紫外線装置の理想的な場所にセンサーを設置した場合のデータであり、ほぼ、直線の相関がある。これより、set-point として、 $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ の紫外線量を得るためには、センサーの値/流量が 40 であるといえる。センサーの値/流量を計算することにより、性能を制御でき、この値が照射線量との相関がある。Figure4c,4d では、センサーとランプの距離を変えて、同様のデータをプロットした。この図より分かるように、適切な位置にセンサーを取り付けなければ、相関が得られないことが分かる。Figure4e では、攪拌効率が低くまた、性能も低い紫外線装置での値を示しており、相関が全く得られていないことが分かる。

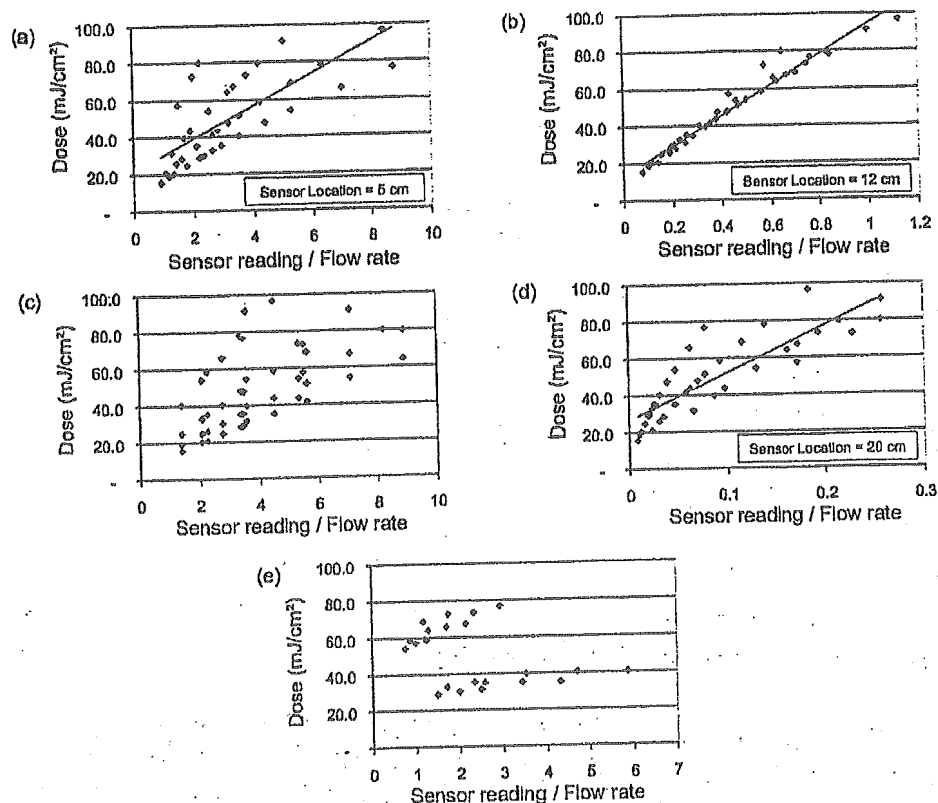


Figure 4 Adjusted sensor readings vs. bioassay equivalent dose based on CFD simulations. (a) Direct sensor reading vs. dose. (b) Sensor reading / flow rate vs. dose for optimal sensor location. (c) Sensor reading / flow rate vs. dose for 5 cm water layer sensor location. (d) Sensor reading/flow vs. dose for 20 cm water layer sensor location. (e) Sensor reading/flow rate for a poorly performing reactor

ただ、流量や紫外線透過率、ランプ出力等を広範囲にてバイオアッセイにて試験をして

いなければ、set-point を超えていても、Figure4e のように規定の性能を出せない場合もある。このような不一致を防ぐため、set-point を用いる際には、操作条件の範囲にて、装置を試験するのが良い。

Dosimeter method

Trojan は、オンラインで線量を予測可能なアルゴリズム UV Dosimeter TM を開発した。この線量計は、流量、ランプ出力、微生物の不活化機構、水質等の情報を組み込んでいる。

Figure.5 にランプのオンオフによる紫外線量の分布をアルゴリズムを用いて解析した結果を示す。短絡流により、3本の紫外線ランプをオフした figure5c の方が4本の紫外線ランプをオフした figure5b より線量が低いことが分かる。このアルゴリズムを用いれば、消毒装置のランプが切れた場合、計画紫外線量が遵守されているかの確認ができ、直ちに、紫外線装置を停止する必要があるかの判断ができる。

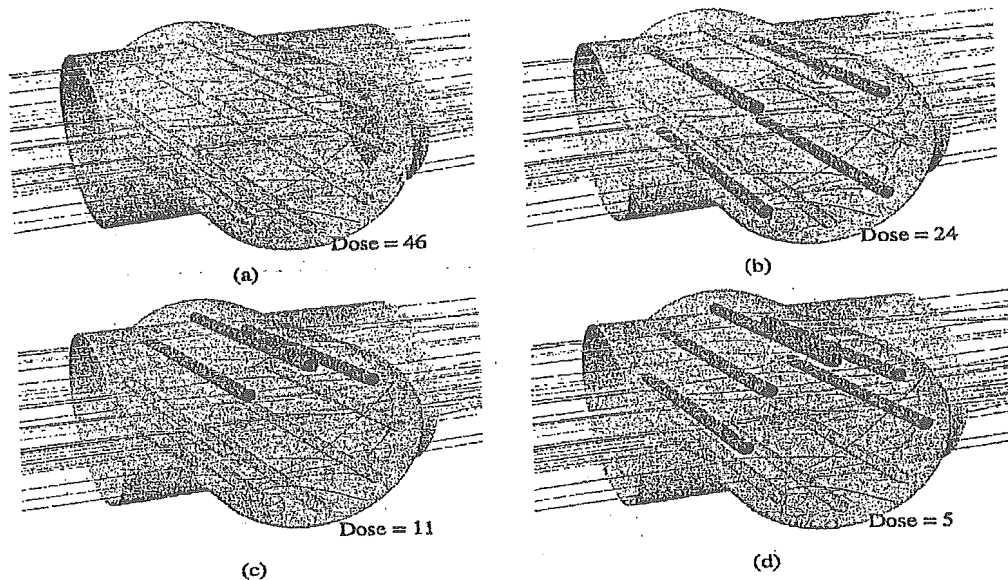


Figure 5 UV Dosimeter™ online control (dose in MJ/cm²): (a) all lamps on, (b) 4 lamps on, (c) 5 lamps on, and (d) 3 lamps on

監視、制御アルゴリズムの妥当性を検証するには、バイオアッセイの等価線量とアルゴリズムによる紫外線の出力量を確認する必要があり、アルゴリズムによる出力は適切な統計手法により評価する必要がある。UVShift TM 装置のバイオアッセイの等価線量とアルゴリズムの性能は fig3b に示す。

結論

紫外線消毒は、費用効率の高い消毒技術である。紫外線消毒装置は、装置内の紫外線量分布について、検証する必要があり、バイオアッセイ試験が多くの紫外線装置メーカーにより使用されている。監視、管理についても幅広い、操作条件の中で、バイオアッセイの試験結果と監視、管理での出力値とが合致する必要がある。

UV照射による下水処理における微生物中のSS及びリン除去及び光回復効果

THE EFFECT OF TRANSMISSION, SUSPENDED SOLIDS AND PHOTOREACTIVATION ON MICROORGANISMS IN WASTEWATER TREATED WITH UV LIGHT

G.E. Whitby ら

要約

下水消毒のためにUVシステムの性能を予測することは、下水水質における変化によっているものであった。糞便性大腸菌におけるUV透過及びSS分における変化の効果が測定された。UV透過、SS分、及び光回復度に相互関係はないことがわかった。大腸菌はUVシステムを伴って照射され、ガラス容器にて観察され、光回復のため受水河川の中にて観察した。光回復はガラス容器にて観察され、受水河川においては観察されなかった。自然界の光回復は、重要でない可能性がある。

概要

北米では、下水処理方法として、UV照射による消毒は、塩素消毒の代替方法として許可されている。UV照射による消毒は、水中生物や飲料水に対し残留毒性を示さない。

UV透過効果

はじめに

異なる処理方法がなされた処理水の研究は、UV透過レベル254nmと消毒レベルの相互関係を示している。

結果及び考察

表1によると、糞便性大腸菌の数の相乗平均、及びSSの相加平均、254nmの波長におけるUV透過、UVシステムへ流入する際の流入率を示している。高UV透過率と低UV透過率は広範囲にわたりこれらのパラメータが変化することが認められる。

表1 UVシステムへの流入における糞便性大腸菌、SS、流入特性

パラメータ	
	<u>相乗平均</u>
糞便性大腸菌	$6.7 \times 10^4/100\text{mL}(\text{SD}=1.1 \times 10^5)$
	<u>相加平均</u>
流入率	$20.1\text{L}/\text{sec}(1.74 \times 10^3\text{m}^3/\text{d})$
SS	$7.9\text{mg}/\text{L}(\text{SD}=0.8)$
254nm, 1cm 照射パーセント	$78(\text{SD}=0.5)$

光回復の前段と後段における、第1段階及び第2段階のUVユニット透過後の糞便性大腸菌の数を図1に示す。

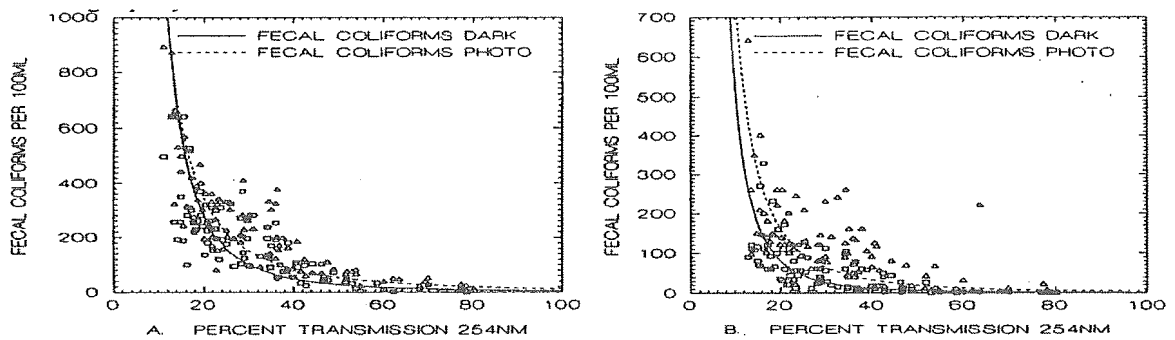


Fig. 1. The effect of UV transmission on the number of fecal coliforms after the first (A) and second (B) UV units with (Δ) and without photorepair (\square).

図1 光回復がある場合(Δ), 光回復がない場合(\square)における, 第1段UV透過後(A), 第2段UV透過後(B)におけるUV照射効果

UV ユニットあたり第1段透過($r=0.38$), 第2段透過($r=0.21$)をした後, 無光回復である糞便性大腸菌 UV 照射と光回復率における相互関係は認められない。ケルナー氏(1951)は, 光回復前の生存率と光回復後の生存率は, UV透過を伴った糞便性大腸菌に対し増加する。シーベル氏らは, UV 照射後光回復の割合は全く変化しないことがわかった。

UV消毒によるSS効果

はじめに

流出において, 通常レベルのSSまたは生物学的プロセス中の乱れは消毒されるべき高SSレベルを生産する。

図2は, 流出における糞便性大腸菌の数がSS分の増加に伴って増加していることを示している。表2はSSの研究に伴った射による大腸菌数形成数を示している。SS分の添加(7mg/L)の前の糞便性大腸菌数は体の6%だけであった。大腸菌のくは返送汚泥の活動, 及び固形分に付着されるか閉塞されると考えられる。

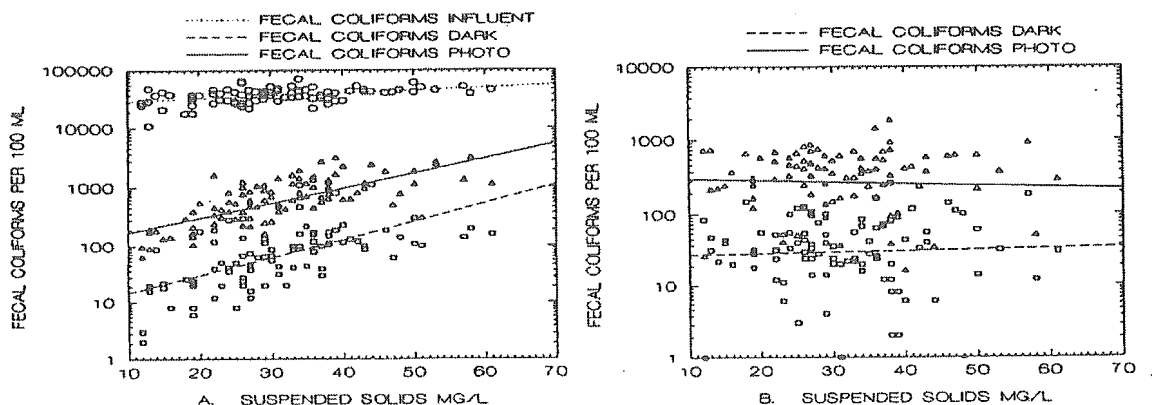


Fig. 2 The effect of suspended solids on the number of fecal coliforms before (\circ) and after the first (A) and second (B) UV units with (Δ) and without photorepair (\square).

図2 光回復がある場合(Δ), 光回復がない場合(\square)における, 第1段UV透過後(A), 第2段UV透過後(B)における残留SS分

表2 SS分を添加した場合と添加しない場合における糞便性大腸菌の数の比較

		大腸菌群数/100mL			
		相乗平均	最大	最小	標準偏向
糞便性大腸菌	固形分なし	2.1×10^3	7.5×10^3	6.1×10^2	2.2×10^3
	固形分あり	3.7×10^4	1.1×10^5	1.1×10^4	1.2×10^4

受水河川中の原位置光回復

本研究において、糞便性大腸菌による生物によらない生体外での実験は、UVはガラス容器中で観察し、光回復のための受水河川において照射された。

結果

1. UVシステムは、最大流下率での照射寿命の最終段階において低UV照射及び高SS分のため設計されるべきである。
2. 糞便性大腸菌及び大腸菌(NAR)の光回復はガラス容器において発生するが、受水河川においては検出できなかった。
3. UV照射量により生存率カーブの範囲が減少する UV照射の増加が最終段階においてその効果が、認められない時、UVユニットは設計されるべきである。
4. UV透過及びSS分は光回復の度合いによる影響はない。
5. UV照射後の流出におけるSS分と、糞便性大腸菌群数には直線的な関係がみられる。

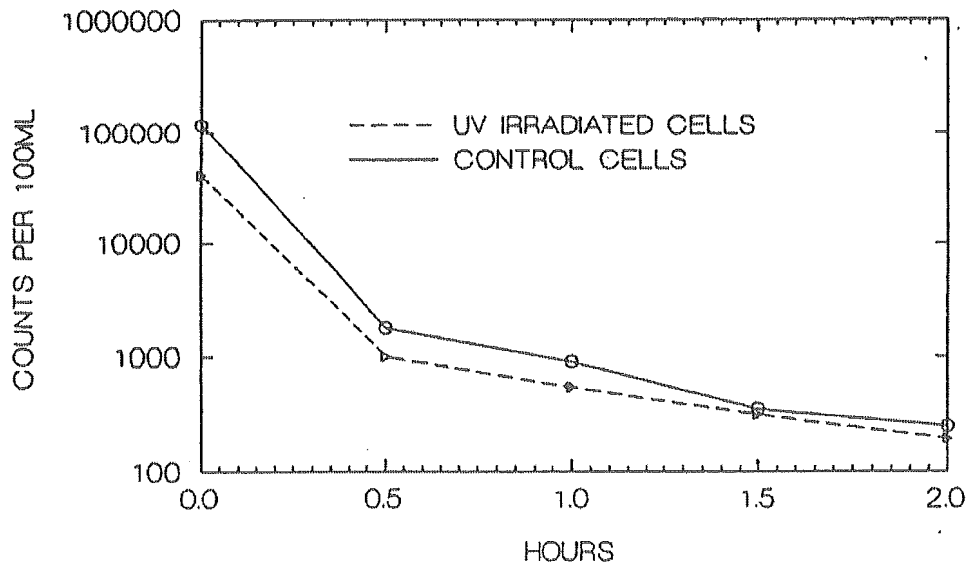


Fig. 3. The decline in the number of irradiated and non-irradiated *E. coli* (NAR) in the receiving stream.

図3 受水河川中の照射された大腸菌数と照射されない大腸菌数(NAR)の減少ライン

TOC 低減のための UV 光 Ultraviolet Light in TOC Reduction

James Dallon

要約

活性炭、逆浸透 (RO)、脱イオン (DI) 処理が TOC の低減化のために用いられる一方、UV もしばしば超純水製造の最終工程に使われている。

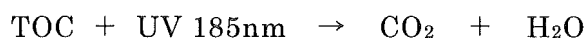
UV は電磁スペクトルとして知られるエネルギーバンドの領域である。

これは宇宙線や、 γ 線、X線、UV、可視光線、赤外線、放射線（これらは UV を含むエネルギーバンドの全ての部分であるが）のような電磁波を含んでいる。

UV 照射は水の消毒に長い間使用されてきた。UV は DNA を構成する分子の変化を引き起こすことにより遺伝子を破壊したり、強力に照射することにより微生物を即死させることができる。

1. TOC 低減化

全有機炭素は、製造業において電子部品の洗浄に超純水を使用するときの問題を代表する。



2. TOC 低減化のための照射線量

$$\begin{aligned} \text{Dosage} &= \text{Intensity} \times \text{Time} \\ &= (\text{microWatts per square centimeter}) \times (\text{seconds}) \\ &= \mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

3. 結論

消毒による超純水はより純粋である。

しかし、一般的な UV の使用において、吸収作用や濁度や汚れが UV システムの有効性を減少させることに留意しなければならない。

システムは通常これらの問題や、以前の WC&P の記事に詳細が載っているような適切な UV システムを冒すような要素を削減するために作られる。

小規模水道における UV 消毒

Ultraviolet Disinfection for Small Systems

Nadia Abboud

要約

アメリカの産業は連邦、州及び地方の行政機関によって統制されている。規制に応じて水道事業はしばしば大きなコスト負担を負うこととなる。安全飲料水法（SDWA）の規制を受けている 170,000 の公共水道事業のうち、小規模水道は最も難しい要求を受けている。給水人口が 500～3,300 人と定義された小規模水道は、一般的に少ない顧客をベースとしており、基幹施設の改良に対して州の資本投資が少ない。

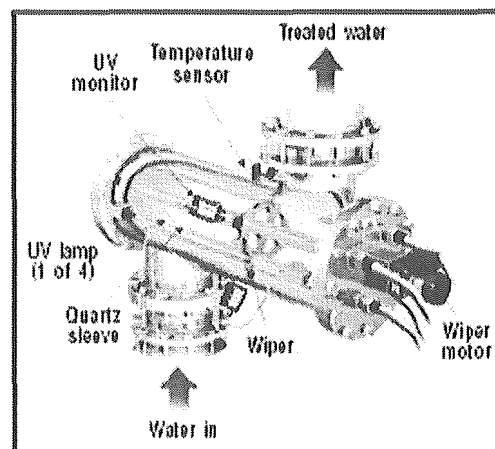
しかし、資本の少ない小規模水道でも、大きな地方自治体と同様に、需要者に対して安全な飲料水を造り供給する責任がある。一般に、小規模水道事業者は、より大きな飲料水処理施設で一般的に使用されている浄水技術をスケールダウンして採用している。しかし全てのシステムが同様ではなく、大規模な事業者のシステムを小規模化することが、効果的で経済的とはいえない。大規模な技術力を持たない小規模事業者にとって効果的な消毒方法の選択肢の一つとして UV 消毒がある。

1. 現実的な選択

消毒に対する UV 技術の使用は、ますます一般的になってきており、古典的な消毒技術に比べて経済的で安全である。UV システムは簡単な設計から構成されている—ステンレススチールチャンバー、動力供給源、石英ガラスカバーの保護具、UV ランプ等—。

このシステムは流水中で励起波長又は殺菌作用を持つ 260nm の波長付近で運転される。

UV 光は微生物の細胞壁を通過して DNA または RNA により吸収され、それらの核酸の再生プロセスを妨げることとなる。



2. UV の検討

UV 技術を評価するとき、小規模水道の運転管理者又は専門的な水処理業者は、次の特性について考えなければならない。

(1) 透過率

一般的に 85%又はそれ以上の透過率値が、水を消毒するための UV の使用に対して推奨されている。

(2) 流速

すべての UV システムは伝達値に基づき最大流速で設計されているので、要求される UV 線量を達成するための十分な大きさを確保することが重要である。

Table 1. UV Doses (mW-sec/cm²) of 1 Log (90%) or 2 Log (99%) of microbial population

Microorganisms	1 Log	2 Log	References*
BACTERIA			
<i>Bacillus anthracis</i>	4.5	8.7	
<i>Bacillus subtilis</i> , spores	12	22	
<i>Bacillus subtilis</i>	7.1	11	
<i>Campylobacter jejuni</i>	1.1	—	5
<i>Clostridium tetani</i>	12	22	1
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	3.4	6.5	1
<i>Escherichia coli</i>	3	6.6	
<i>Klebsiella terrigena</i>	2.6	—	5
<i>Legionella pneumophila</i>	0.9	2.9	4
<i>Sarcina lutea</i>	20	26.4	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6	10	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.5	10.5	6
<i>Salmonella enteritidis</i>	4	7.6	
<i>Salmonella paratyphi</i>	3.2	—	3
<i>Salmonella typhi</i>	2.1	—	5
<i>Salmonella typhimurium</i>	3	6	
<i>Shigella dysenteriae</i>	2.2	4.2	
<i>Shigella flexneri</i> (paradysenteriae)	1.7	3.4	
<i>Shigella sonnei</i>	3	—	5
<i>Staphylococcus aureus</i>	5	6.6	
<i>Streptococcus faecalis</i>	4.4	—	5
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2.2	—	
<i>Vibrio cholerae</i> (V. comma)	—	6.5	6
<i>Yersinia enterocolitica</i>	1.1	—	5
VIRUS			
MS-2 Coliphage	18.6	—	5
F-specific bacteriophage	6.9	—	2
Hepatitis A	7.3	—	5, 6
Influenza virus	3.6	6.6	2
Polio virus	5.77	—	5, 6
Rotavirus	8.11	—	5, 6
PROTOZOA			
<i>Giardia lamblia</i>	1.1	8.1	—
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2.5	21.7	—
ALGAE			
Blue Green	300	600	1, 3
<i>Chlorella vulgaris</i>	12	22	1, 2
YEAST			
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7.3	13.2	1

References:

1. Logan, RW (1980) UV disinfection chambers. Water and Sewage Works 856-861.
2. C. Jevons (1982) Ultraviolet systems in water treatment. Effluent and Water Treatment Journal, 32: 161-162.
3. Greacock, NH (1984) Disinfection of Drinking Water by Ultraviolet Light. J. Inst. Water Engineers and Scientists 38, (2), 163-172.
4. Antopol S.C. (1979) Susceptibility of *Legionella pneumophila* to Ultraviolet Radiation. Applied and Environmental Microbiology 38, 347-348.
5. Wilson, B. (1992) Coliphage MS-2 as UV Water Disinfection Efficacy Test. Surrogate for Bacterial and Viral Pathogens. Presented at WWT Conference By AWWA.
6. Wolfe, R.L. (1993) Ultraviolet Disinfection of potable water: Current Technology and Research. Environmental Sci. Technol 24(6), 768-773.

3. コスト意識

財政的な意識に対して、小規模水道の運転管理者は、維持管理と保守が簡単なこの UV 消毒は人気がある。ほとんどのシステムは、石英ガラスカバーのワイパー、ランプの警報装置、過熱防止センサー、UV 監視装置やその他の器具から設計されている。最小の操作員の関与で運転できる UV システムは、勧告されている耐用年数に近くなってきたときに UV ランプや石英ガラスのカバーを交換したりするような、ルーチンで年間の維持管理を行う小規模水道の要求に適している。

4. 結論

消毒技術の選択を行う場合の、効果と経済性と安全性の統合は、小規模水道にとって UV を人気の高い選択肢としている。

UVによる水処理の新しい進歩 New Advances in UV Water Treatment

Ron Hallett

要約

UVは産業界では教育と証明をとおしてしっかりとした地位を築いている。さらにその分野での進歩は、多くの水処理専門家たちにとってより魅力的なオプションを作り上げている。UVによる消毒は最も効果的で、最も簡単で、最も費用のかからない水処理技術の一つとして長く認められてきた。地方の住宅や商業地域や小さなコミュニティの水処理装置で使用されている UV 技術の最近の進歩は、水の消毒の効果や安全性を劇的に改善することを示している。この 10 年間で、産業界は水の浄化に対する従来の UV 技術を信頼してきた。あいにく、これ等のシステムの設計が根本的に変更され、従来の小規模の飲料水処理システム (Table-1 参照) が本来的に有するリスクがある。

今日、次世代のシステムテクノロジーは、従来の UV システムに関連のあるリスクを除去する方向にある。

以下は、飲料水を処理する UV システムがますます進歩していくかどうか、または安全性が優先されるかどうかについて二つの異なった技術について論議することとする。

1. 従来のシステム設計

従来の UV システムはシングル UV ランプまたは管の中に格納された形での集合ランプとして設計されている。各ランプは防水の石英ガラス製のカバーで覆われている。石英カバーは設計温度で操作されるよう、流水からランプを保護するために用いられている。これらの従来の UV システムの設計は、いろいろ見直されている。(Table 1 参照) しかし不幸にもいつも安全性の点で完全には保証されていない。システムは完成しているが、ヒトの健康に対するリスクがあることから実際には稼働していない。加えて維持管理が難しい点がある。

Table 1. New generation/conventional UV comparison

Risk or problem	Conventional UV	New generation
<i>Minerals coat the quartz tube</i>	Low UV treatment, difficult to access and clean, and possible quartz breakage	Automatic cleaner keeps quartz clean, UV always high, and no maintenance required
<i>Power loss to UV system</i>	No UV or alarms, water still flows	Water shuts off by automatic solenoid valve
<i>UV sensor alarms</i>	Four possible problems, cannot be identified	Problem easy to diagnose, two UV sensors
<i>Particles cause UV shadow</i>	Pathogens can survive in shadow, low treatment	360° UV irradiance, no shadowing
<i>No flow, lamps overheat</i>	Low UV output for several minutes until flow established	Lamps air cooled, no loss in UV