

# 無電極紫外線ランプによる下水処理放流水用消毒装置

Electrodeless Ultraviolet Lamp Disinfection

中山 芳夫  
NAKAYAMA Yoshio

大西 博  
OONISHI Hiroshi

波多野 晶紀  
HATANO Akinori

下水処理放流水や水道水は一般的に塩素で消毒処理されているが、最近では人体や環境への配慮から薬品を使わない滅菌方法として紫外線殺菌処理の採用も検討されている。当社は1996年11月に世界で初の長寿命の無電極紫外線ランプを開発、同時に下水処理放流水用消毒装置を開発した。

このランプは、ランプ内部の電極をなくすことにより、寿命を5万時間(当社従来比約5倍)と大幅に延ばすことができた。これにより、産業廃棄物となる消耗ランプの発生が少なくなり、単に紫外線による環境にやさしい殺菌装置だけでなく、使用後の産業廃棄物の発生を低減することが可能である。

Chlorine disinfection has been in widespread use in sewage treatment and water purification plants. Recently, the use of ultraviolet ray disinfection has also been attracting attention, taking the effect on the human body and the natural environment into consideration.

In November 1996, Toshiba developed the world's first electrodeless ultraviolet lamp. The elimination of the electrode from the lamp has significantly increased its lifetime, to 50,000 hours. This new product is decreasing not only the effect on the natural environment, but also the generation of industrial waste.

## 1 まえがき

近年、二次処理水の殺菌手段として紫外線放射による下水処理水の殺菌が用いられ始めている。

しかし、殺菌に有効な253.7nmを放射する紫外線ランプは、その電極寿命または管材の紫外線透過率寿命から1万時間前後が寿命の限界で、約1年半ごとにランプ交換をする必要があった。この問題は、ランプ交換の手間がかかるだけでなく、寿命の切れたランプは産業廃棄物の発生につながるため必ずしも環境的に優れているとは言えなかった。

当社は、電極寿命に左右されない、長寿命の無電極紫外線ランプを開発し、単に放流先の自然環境にやさしいだけでなく、使用後の産業廃棄物の発生も低減させる下水処理放流水用消毒装置を開発した。

## 2 紫外線殺菌のメリット

紫外線は、細菌やウイルスの遺伝子を構成するDNA(デオキシリボ核酸)を直接破壊する。DNAを破壊された細菌やウイルスは、分裂増殖することができなくなり、死滅する。

このような紫外線殺菌には、従来の薬品による殺菌に比べ、次のようなメリットがある。

### 2.1 環境に対してクリーン

塩素などの薬品を下水の消毒に使用する場合、薬品の維持管理に神経を使う必要があるだけでなく、薬品が下水の

中に含まれている有機物と反応することにより、有害なトリハロメタンなどの副生成物が生成される可能性がある。紫外線は細菌やウイルスだけに直接作用するので、環境へ悪影響を及ぼす心配がない。

### 2.2 高い殺菌効果

熱や薬品による殺菌は、耐熱性や耐薬品性の菌が多数存在するので、殺菌効果を発揮できる場合が限定される。それに対し、紫外線殺菌はDNAを直接破壊するため、細菌やウイルスの種類を問わず殺菌できる。

また、薬品を使用した場合、その薬品に対する耐性をもった細菌を新たに作り出してしまう可能性があるが、紫外線の場合は耐性菌を生じさせることはない。

### 2.3 シンプルな設備構成、簡単な設置管理

紫外線殺菌は、紫外線ランプおよび電子制御装置で比較的シンプルに構成できる。塩素系殺菌のように、薬品タンク、薬品ポンプなどの設備を必要とせず、また接触時間も短時間で済むため、接触槽も不要である。

薬品殺菌では、薬品の注入過多により河川の魚類に悪影響を与えたり、液漏れなどの危険性があるが、紫外線殺菌では、そのような心配はまったくなく、維持管理も容易である。

## 3 無電極紫外線ランプ

### 3.1 点灯原理

図1に無電極紫外線ランプの原理を示す。

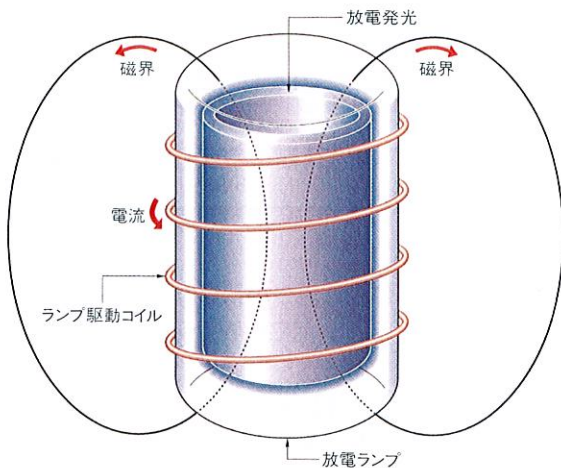


図1. 無電極紫外線ランプの点灯原理 電磁石の原理によりできた磁界が渦電界を起こし放電リングを発生し、紫外線を放射する。

Lighting principle of electrodeless ultraviolet lamp

ランプの外側にコイルを巻いて高周波電流を流すと、電磁石の原理で磁界ができる。この磁界がランプの中で渦電界を起こしドーナツ状の放電リングを発生し、殺菌に有効な紫外線が放射される。

このように、放電発光はランプ外部のコイルによって励起される。ランプ本体の中に電極がないため、従来のランプのような電極によるエネルギーロスや設計上の制約は小さい。

### 3.2 特性

無電極紫外線ランプは、高周波電源回路とランプ形状の最適化により発光長 500 mm のランプに 500 W という高密度入力が可能となったため、最大殺菌線変換効率<sup>(注1)</sup> 30% を実現した。

また、ランプ内部に電極をもたないため、従来のランプのように電極の蒸発によりガラス管内の紫外線透過率が低下することはない。さらに、ガラス管内面を特殊処理することにより、維持率を向上させている。

図2にランプ照光状態を示す。

3.2.1 寿命 紫外線ランプの寿命を決定する要因は、経時劣化による紫外線出力の低下と不点寿命時間の2点である。

紫外線出力の低下は、ランプ管内に酸化物が付着することなどにより、紫外線透過率が低下することに起因する。一方、不点寿命は電極の損耗などに起因し、ランプが1本でも点灯しなくなるまでの時間をいう。

今回、無電極ランプにすることにより電極寿命に起因する不点寿命をなくすと同時に、ガラス管内面に酸化防止の

(注1) 殺菌線変換効率とは、ランプから出力される全殺菌線出力(W)をランプに入力される電力(W)で割った値で、通常は%で表す。

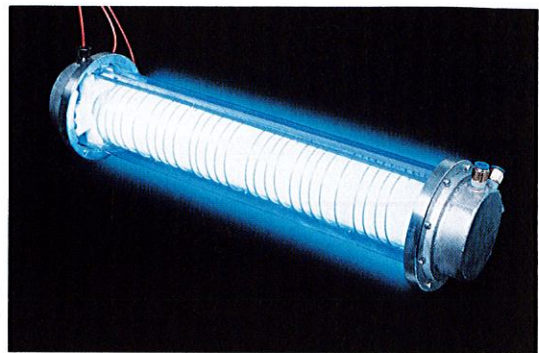


図2. ランプ照光状態 ランプ入力は500 W。従来のランプに比べ5倍以上大きいので一度に大量の水を処理することができる。

Lamp in illuminated state

特殊処理を施すことにより寿命5万時間(当社従来比約5倍)を実現した。

3.2.2 効率特性 無電極紫外線ランプに使用している低圧ランプは、周囲温度によりランプ内部の水銀蒸気圧が変動するため、紫外線放射効率が周囲温度に依存するという特性をもっている。ランプ内の水銀は、内部でもっとも温度が低い部分に凝集するため、その部分の温度(最冷部温度)を制御する必要がある。

図3は、最冷部温度に対する効率を相対値で示したものである。

ランプ入力が増加すると最冷部温度の上昇に伴い、効率は低下することがわかる。この現象は、紫外線ランプに大電流を流すと基底状態の水銀原子密度より励起原子密度が高くなる、いわゆる水銀原子の枯渇が起き始めていることを意味している。電流密度が増加すると、累積電離よりは電子と水銀原子の直接衝突の割合が増大し、紫外線放射効率が低下してくるためである<sup>(1)</sup>。これが、従来、低圧紫外線ランプの大容量化が困難で、50~100 W程度が一般的であった理由である。

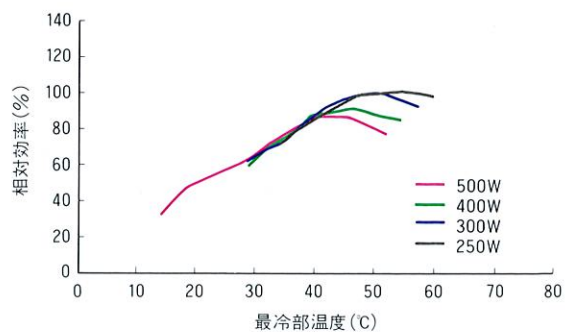


図3. 最冷部温度と相対効率 ランプ入力が増加すると、最冷部温度の上昇に伴いランプ内の水銀電子の枯渇で相対効率は低下する。

Cold-spot temperature vs. UV intensity

しかし、今回開発した無電極紫外線ランプは、放電発光長が500mmと長い。このため、管長方向の単位長さ当たりの電流密度はそれほど大きくなり、枯渇を起こさずに大容量でかつ高効率の紫外線ランプを実現できた。

**3.2.3 温度特性** 低圧紫外線ランプは、ランプの最冷部温度によりランプ内部の水銀蒸気圧が決まるため、結果として周囲温度の変化で紫外線出力が変動する。無電極紫外線ランプは、わが国の下水処理場の年間温度変化に対応するように最冷部温度を選定し、設計した。

図4に被処理水温度と相対殺菌線強度の標準特性を示す。

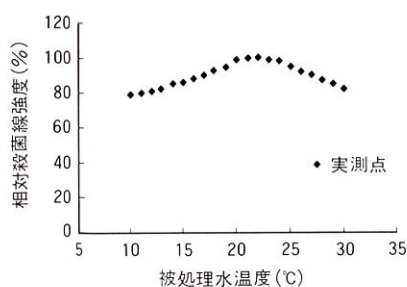


図4. 被処理水温度と相対殺菌線強度の標準特性 周囲温度により紫外線出力が変動するため、それに対応した最冷部温度を選定し、設計した。

Sewage temperature vs. relative UV radiation efficiency

## 4 紫外線消毒装置の構成

### 4.1 消毒装置の機器構成

**4.1.1 ランプ** 無電極紫外線ランプは、中空のガラス管に高周波コイルを巻き、石英ガラス製の保護管に密閉収納している。ランプ本体は石英ガラスの保護管に入れて被処理水と接触させる構造になっているので、保護管の表面が時間とともに汚損され、紫外線透過率の低下が心配される。しかし、この石英ガラス保護管は、表面に酸化チタンを焼結することにより、表面に付着した有機物を紫外線ランプの光で分解除去し、紫外線透過率の低下を防いでいる。

**4.1.2 マッチング回路** マッチング回路は、電源装置とランプとのインピーダンスマッチングをとり、ランプ効率を高める。また、この回路には自動点灯回路を内蔵している。この回路は、ランプからの距離を長くすることが好ましくないため、ランプユニット上部に収納されている。

**4.1.3 ランプユニット** ランプユニットは、複数本のランプとマッチング回路を取り付けたフレームから構成されている。ランプ本数3本の場合のランプユニットを図5に示す。点検清掃時には、ランプユニットをウインチで容易に陸上に引き上げられる構造になっている。

**4.1.4 照射箱** ランプユニットを収納し、被処理水に

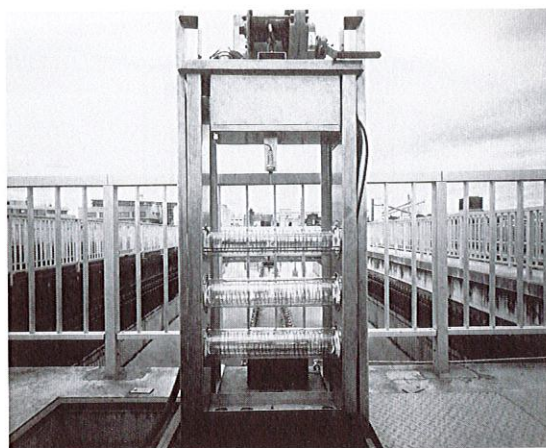


図5. ランプユニット ランプ本数は、処理量に合わせて3本から6本まで標準化されている。

Lamp unit

紫外線を照射する箱で、潜り堰(せき)構造になっている。照射箱中の処理水の流れを図6に示す。被処理水が照射箱の中を通過するとき発生する圧力損失を利用して流量を計測し、外部に流量信号を4~20mAで出力する機能もオプションで用意している。流量計測と消毒が、1台の機器で構成可能である。

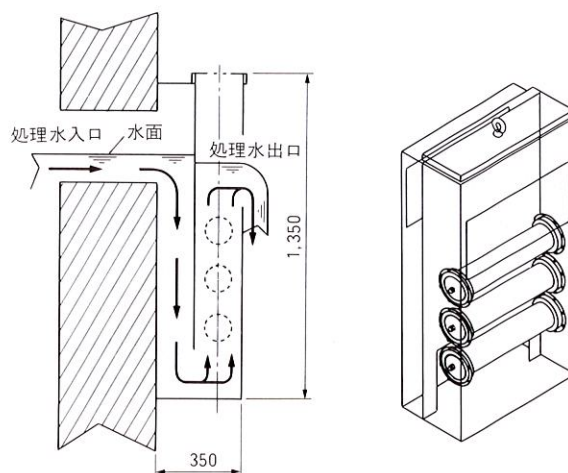


図6. 照射箱 設置にあたって特別な土木工事は不要。分散設置のため既設機場に設置する場合、水を止めずに工事することができる。

Irradiation box

**4.1.5 電源箱** ランプに高周波電力を供給する装置で、周波数が高いため、消毒装置の近く(約10m)に設置する必要がある。このため、電源装置は、周囲環境に対し十分耐えられるように屋外用収納箱に収納される。収納箱中の電源装置を図7に示す。また、この電源箱は、ランプ引上げ時に点検員が誤って紫外線を浴びることを防止するイ

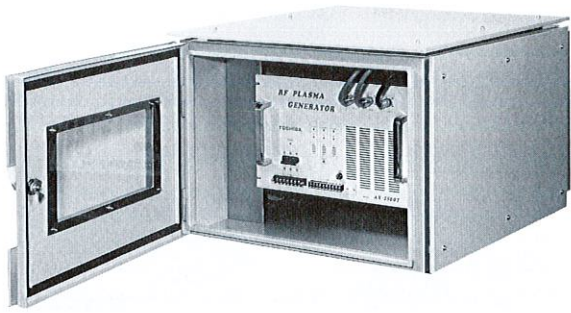


図7. 電源箱 ランプに高周波電力を供給するだけでなく、あらゆる制御回路が組み込まれている。

Power supply box

ントロック回路や、流量変化を検出しランプ点灯本数を制御する制御回路も組み込まれており、この電源箱を設置するだけですべての機能を満たすよう設計されている。

#### 4.2 消毒装置の特長と仕様

この消毒装置は無電極紫外線ランプを複数一括にした標準品であり、この装置を複数台設置することにより、どのような処理規模の処理場でも水路の水位こう配をほとんど増加させることなく適用できる。

処理水は必ずランプ周辺を均等に流れる構造になっている。このため、流量が変動しても処理能力に影響を与える懸念、特に少流量時に偏流による殺菌能力低下の懸念もない。

さらに、この消毒装置は装置自体に越流堰をもっているため、装置を複数台設置する場合に各装置に流れる被処理水の均等化も容易に調整できる。

消毒装置の特長をまとめると次の4点になる。

- (1) 池単位、ユニット単位で保守点検が可能
- (2) 既設機場に設置する場合、放流を止めずに設置工事が可能
- (3) 大規模処理場でも、水位こう配の増加はわずか
- (4) 分散処理のため、偏流などによる殺菌率低下の恐れが少ない

### 5 殺菌性能

大腸菌の殺菌率を“下水試験法 1984年版”デスオキシコール酸塩培地による平板培養法およびメンブランフィルタ法を用いて測定した試験結果を図8に示す。

図8は、紫外線照射量に対する大腸菌の残存率を表している。この残存率は対数で表記しており、次式で求められる。

$$\text{Log 残存率} = \text{Log}(\text{紫外線殺菌後の細菌数} \div \text{紫外線殺菌前の細菌数})$$

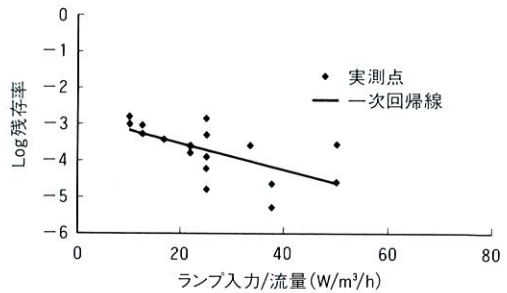


図8. 紫外線照射量に対する Log 残存率 下水処理場でのフィールド試験結果。紫外線照射量 40 W/m<sup>3</sup>/h で殺菌率 99.99%以上が期待できる。

Log residual rate vs. UV irradiation

例えば、Log 残存率=-1のときは残存率 10<sup>-1</sup>=10%、すなわち殺菌率 90%を表し、Log 残存率=-2のときは残存率 10<sup>-2</sup>=1%、すなわち殺菌率 99%を表している。

### 6 あとがき

従来の紫外線消毒装置は環境面では優れているが、ランプ寿命が短いために、消耗ランプが産業廃棄物の増加につながるという問題があった。

今回、長寿命の無電極紫外線ランプを開発すると同時に、下水処理場に適した消毒装置を開発し、“環境にやさしい商品”を世に出すことができた。

今後は、下水処理場への適用を推進し、より使いやすいものに、さらに産業廃水や開発途上国の飲用水などへの適用を進めていく予定である。

### 文献

- (1) Waymouth, J.H. Electric discharge lamps. The M.I.T. Press, Cambridge, 1971.



中山 芳夫 NAKAYAMA Yoshio

府中工場 環境システムエンジニアリング部課長。  
水処理、廃棄物処理のシステム設計に従事。  
Fuchu Works



大西 博 OONISHI Hiroshi

東芝ライテック(株) 産業機器部。  
紫外線応用装置の開発設計に従事。  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



波多野 晶紀 HATANO Akinori

府中工場 環境システムエンジニアリング部。  
水処理システムの開発設計に従事。  
Fuchu Works