

# 低圧UV酸化装置を使用した 排水回収システム

Wastewater recovery system with  
low-pressure UV oxidation



(環)営業部第2グループ  
杉澤政宣  
Masanori Sugisawa  
(環)技術部第1グループ  
阿野真隆  
Masataka Ano

TOCが1 mg/L程度の低濃度有機排水を回収する場合、従来から使用されている高圧UV酸化装置では、排水1 m<sup>3</sup>当たり1.1 kWhの照射電力が必要であった。一方、パイロット装置を使用して低圧UV酸化装置に過酸化水素を添加した試験を行った結果、照射電力を0.55 kWhと50%削減することができた。

また、電子部品工場に本システムを採用することにより1日当たり825 kWhの電力を削減できた。このことはISO 14001における省エネルギーの要求に貢献するものである。

また、設置スペースも50%に削減することができた。

The conventional high-pressure UV oxidation unit has required electricity of about 1.1 kWh per 1 m<sup>3</sup> in treating low-strength organic wastewater of about 1 mg/L TOC.

But electricity was reduced by 0.55 kWh or by 50% by applying hydrogen peroxide to a low-pressure UV oxidation unit with a pilot test.

An electronic factory applied with the system could reduce its electric consumption by 825 kWh/d, contributing to energy saving demanded by ISO 14001. The installation space was also contracted by 50%.

## Key Words :

全有機性炭素  
電子部品工場  
低圧UV酸化  
省エネルギー  
過酸化水素  
有機排水処理

TOC  
Electronic factory  
Low-pressure UV oxidization  
Energy saving  
Hydrogen peroxide  
Organic wastewater treatment

## まえがき

電子部品工場においてもISO 14001への取り組みが積極的に進められているが、廃棄物の削減とともに使用エネルギーの低減が大きなテーマになっている。クリーンルームを持つ工場では、大量の空調用電力を消費しているが、半導体や液晶パネルの微細化が進むに従い純水・超純水の使用量が増加し排水

の回収量も増加するため、水処理系におけるエネルギー消費量も大きな割合を占めるようになってきた。

一次純水製造装置では低圧逆浸透膜の適用によるポンプ消費動力の低減などが進められており、また有機排水の回収では効率的な酸化分解法が研究されている。当社においてもこれまで省エネルギー型の排水回収装置として過酸化水素を併用した低圧UV

(Ultraviolet=紫外線)酸化装置<sup>1)</sup>や、微生物を利用した微量 TOC 除去装置<sup>2)</sup>の提案を行ってきたが、本報では低圧 UV 酸化装置の実装置への適用例について紹介する。

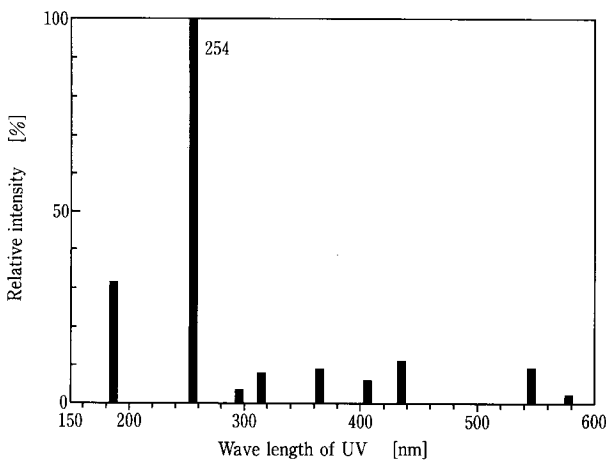
## 1. 電子部品工場における排水回収

電子部品工場のなかでも半導体や液晶製造工場では大量の薬品、たとえば IPA (イソプロピルアルコール)、メタノール、アセトン、TMAH (テトラメチルアンモニウムハイドロオキシド)、DMSO (ジメチルスルホキシド)、フェノール、酢酸、界面活性剤等が使用されている。特に液晶製造ラインでは有機系の薬品類の使用が多くなるため、洗浄排水も TOC (全有機炭素) 濃度で数 mg/L から数百 mg/L となることがある。

高濃度の有機排水を生物処理した場合でも処理水には TOC が数 mg/L 残留するので、回収するためには再度 TOC 除去が必要となる。また、無機排水の回収においても無機イオン成分以外に 1 mg/L 程度の TOC を含むことが多いため、これらの後処理も必要となる。

以上のように排水を回収再利用する場合には、TOC として 1~数 mg/L の微量な有機物を含む大量 (例えば 1000~2000 m<sup>3</sup>/d) の排水を TOC 数十~数百 μg/L 程度までに処理する必要がある。

この処理方法としては、大出力のランプが入手可能な高圧 UV 酸化装置が従来より使用されてきたが、消費電力が処理水 1 m<sup>3</sup>あたり 1~3 kWh と大きく消費電力を低減することが課題であった。この値は TOC が百 mg/程度の有機排水の処理に匹敵し、従来方式による微量濃度域での TOC 除去は非常に効率が悪いものであった。



第1図 低圧 UV ランプのスペクトル分布  
Fig. 1 Spectral distribution of low-pressure mercury lamp

## 2. UV 酸化処理について

### 2.1 紫外線の分類

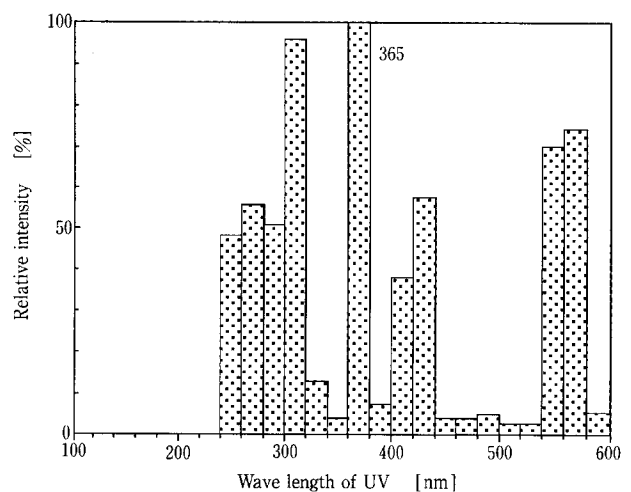
UV とは X 線と可視光線との間の約 100~400 nm の波長域を総称したものである。UV はその作用によりさらに 320~400 nm の UV-A (色素沈着, 光化学作用), 280~320 nm の UV-B (ビタミン生成, 紅斑の生成), 180~280 nm の UV-C (殺菌作用) に分類されている。

### 2.2 UV ランプの種類と特徴

UV ランプは基本的には水銀ランプの一種でありランプ内の水銀蒸気圧で高圧ランプ, 低圧ランプに分けられている。高圧 UV ランプはランプ内の水銀蒸気圧が 1~10 atm, 低圧 UV ランプで 0.01 mmHg 程度である。また放射される波長分布は封入されている水銀蒸気圧により変化し, 特徴的な輝線部を有している。第 1 図に低圧 UV ランプのスペクトル分布の例を, 第 2 図に高圧 UV ランプのスペクトル分布の例を示した。

低圧 UV ランプでは 185 nm (オゾン線), 254 nm (殺菌線) の出力が大きい。このうち 185 nm の UV は水分子に作用しヒドロキシラジカルを生成するため, 数十 μg/L 濃度の TOC であれば過酸化水素を添加せずに酸化分解することが可能である。このため低圧 UV 酸化装置は 2 次純水装置等で TOC 除去・殺菌装置として使用されている。

高圧 UV ランプのスペクトルは連続に近く, また 185 nm のスペクトルは認められない。単独では酸化作用が極めて弱いため, 過酸化水素等の光増感剤を併用する。低圧 UV ランプより発光効率が悪いが大出力のランプが製作できるため, 排水回収で用い



第2図 高圧 UV ランプのスペクトル分布  
Fig. 2 Spectral distribution of high-pressure mercury lamp

られることが多い。

### 2.3 酸化分解の機構

有機物の酸化分解には次の2つのメカニズムが関与している。

- ① UVの持つエネルギーにより直接有機物内の結合を開裂する。
- ② 185 nmのUVがH<sub>2</sub>Oに作用しヒドロキシラジカル(・OH)を生成し、これが有機物を酸化分解する。(1式)



$\nu$ は振動数である。

光のもつエネルギーは波長 $\lambda$ に反比例し、次式で示される。

$$E = N \cdot h \cdot C / \lambda$$

$E$  : 光子1molのエネルギー

$h$  : プランクの定数  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$

$c$  : 光速  $2.998 \times 10^8 \text{ m/sec}$

$N$  : アボガドロ数  $6.022 \times 10^{23} / \text{mol}$

JをKcalに、 $\lambda$ をnmに換算すると

$$E = 2.859 \times 10^4 / \lambda$$

たとえば185 nmでは $E = 155 \text{ Kcal/mol}$ 、254 nmでは113 Kcal/mol、365 nmでは78.3 Kcal/molである。

分子の結合を開裂させるのに必要な結合解離エネルギーの例を第1表に示した。185 nmではほとんどの結合を開裂することができるが、365 nmでは

第1表 結合解離エネルギー  
Table 1 Bond dissociation energy

Bond	Dissociation energy kcal/mol	Bond	Dissociation energy kcal/mol
C-C	82.6	C=O aldehydes	176
C=C	145.8	C=O ketones	179
C-C <sub>1</sub>	81	C-H	98.7
C-F	116	N-H NH <sub>3</sub>	102.2
C-N	72.8	S-O	119
C=N	147	N=O	162

難しい。

このため185 nmの放射が殆ど無い高圧UVランプでは光増感剤として過酸化水素を添加する。また、数mg/LのTOCを含む排水の処理に低圧UVランプを適用する場合にはヒドロキシラジカルの生成能力が不足するため、高圧UVランプと同様に過酸化水素の添加が必要となる。過酸化水素からヒドロキシラジカルが生成する反応を(2)式に示した。

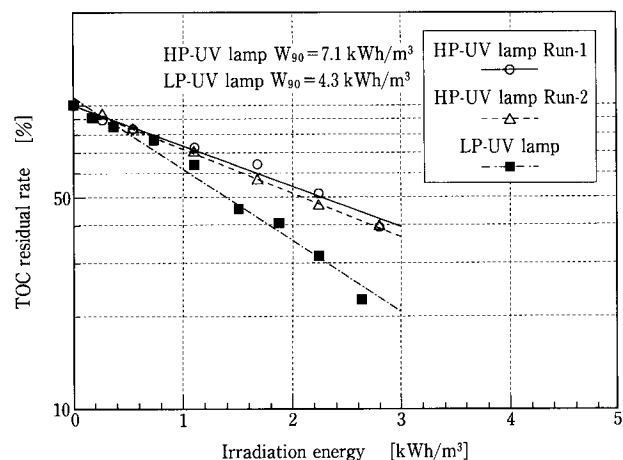


このようにして生成させたヒドロキシラジカルは2.8 Vという高い酸化ポテンシャルを持っている。これはオゾンの2.07 Vと比較しても高く、フッ素の3.06 Vに近い強い酸化力であるためUV酸化の効率を高めるのに有効である。

### 3. 低圧UVランプと高圧UVランプの効率比較

両ランプの特性の違いについては前節で述べたが、UVスペクトルの相違以外に入力に対する紫外線への変換効率が大きく異なっている。一般的には高圧UVランプでは10%程度、低圧UVランプでは25~30%程度といわれており、消費電力を1/2.5~1/3に削減することが期待できる。しかし、185 nm UVの出力は排水回収で使用するには不足であるため、高圧UVランプの場合と同じように光増感剤の併用が必要となる。

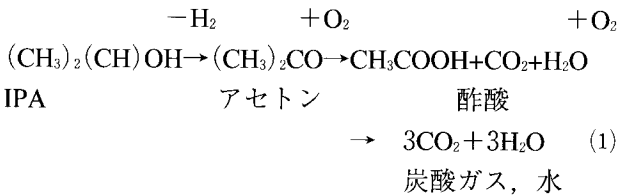
第3図はTOC濃度3 mg/Lの模擬排水を使用し高圧UVランプと低圧UVランプの分解性能について比較試験を行なった結果である。試験は800 Lの反応槽を使用し、その中央に1 kWの高圧UVランプ



第3図 効率の比較  
Fig. 3 Comparison of Performance

と670 Wの低圧UVランプをとりつけて性能比較したものである。排水としては純水に有機源としてIPAを溶解したものを使用しているが、この結果より低圧UVランプは高圧UVランプと比較して消費電力を大幅に削減できることが確認できた。

IPAの酸化分解反応は(1)式に示したように、アセトン、酢酸が中間体として生成する。



また、メタノールではホルムアルデヒドや蟻酸が、アセトンでは酢酸が生成される。これらの中間体内、酢酸や蟻酸はイオン性であるため逆浸透膜やイオン交換樹脂で除去することが可能である。そのため目標TOC濃度によっては完全酸化は不要となる。

#### 4. 納入装置

##### 4.1 排水回収への適用

電子部品工場における低濃度有機排水の回収に適用した例を紹介する。本工場では従来より高圧UV酸化装置により排水の処理・回収を行っていたが、消費電力や設置スペースの削減のため設備の増設に

あたり、低圧UV酸化装置の検討をおこなった。

本排水はリンス排水が大半を占めており、TOC濃度が0.8~1 mg/Lという低濃度の有機排水である。処理方式としては生物活性炭方式のバイオリクターについても検討した。この方式は高圧UV酸化装置、低圧UV酸化装置と比較して消費電力やランニングコストの面で優れているが、本工場では設置スペースの面で適用し難く、最もコンパクトな低圧UV酸化装置を採用することになった。

システムの設計に先立ち、類似排水によりパイロット試験を実施し必要照射電力の確認を行なった。既設工場における高圧UV酸化装置の運転実績では、処理水TOC濃度を300 µg/Lまで下げるのに必要な照射電力量としておよそ1.1 kWh/m<sup>3</sup>であったが、パイロット試験の結果では第4図のように1/2以下の照射電力でこの濃度が得られた。第5図に納入装置のフローを示す。パイロット試験も同様のフローで実施したがH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>除去はNaHSO<sub>3</sub>を添加しておこなった。次にパイロット試験装置の概略仕様を示す。

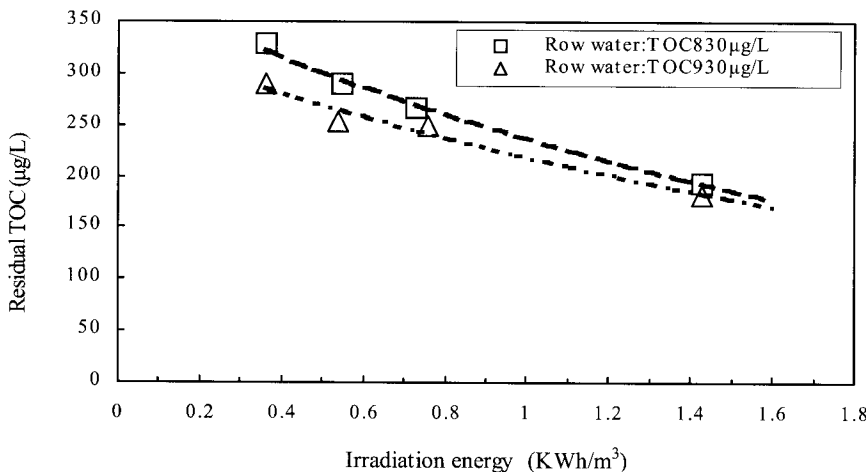
ランプ出力：0.54 kW

シリンダー寸法：150 φ × 1 500 L

通水量：0.38~1.5 m<sup>3</sup>/h

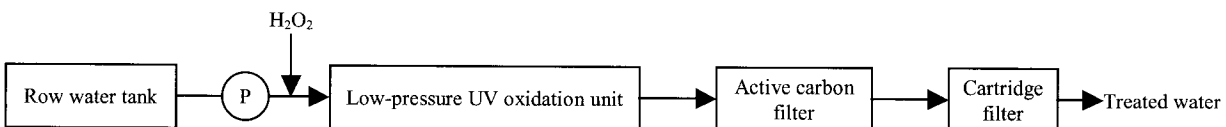
光増感剤：H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

(注入量 15~150 ml/L)



第4図 UV照射量と残留TOCの関係

Fig. 4 Relationship between Irradiation energy and residual TOC



第5図 低圧UV酸化装置を使用した排水回収システムフロー

Fig. 5 Flow diagram of wastewater recovery system with low-pressure UV oxidation

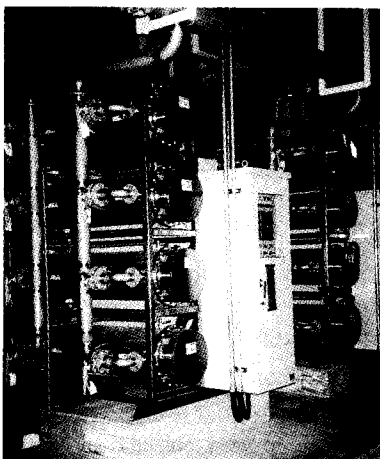


写真 1 低圧 UV 酸化装置  
Photo 1 Low-pressure UV oxidation unit

#### 4.2 納入設備仕様

##### 1) 低圧 UV 酸化装置

形 式：多管式シリンダー型光酸化反応器

ランプ出力：5.4 kW/基

台 数：4 基/台×2 台

処 理 流 量：75 m<sup>3</sup>/h

##### 2) 過酸化水素添加設備

添 加 量：最大注入量 50mg/L

貯 留 槽：既設高圧 UV 酸化設備用から分取

##### 3) 過酸化水素除去塔

形 式：下降流式活性炭充填塔

活性炭充填量：5.9 m<sup>3</sup>

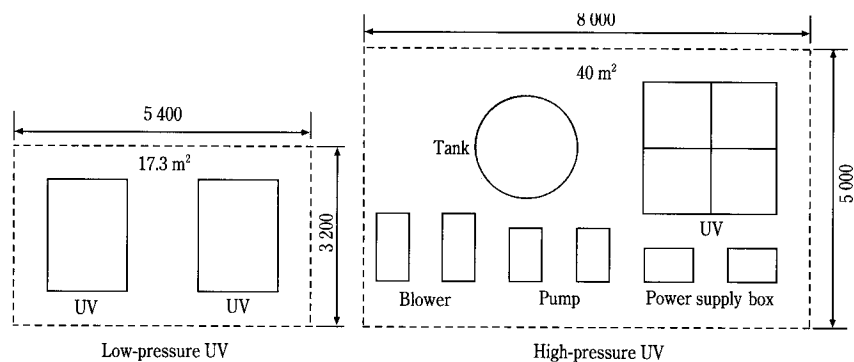
塔 数：2 塔

##### 4) 処理水フィルター

形 式：カートリッジ式 5 μm

台 数：3 台

本設備のフローを第5図に、外観を写真1に示し



第6図 低圧 UV 酸化装置と高圧 UV 酸化装置の配置図  
Fig. 6 Layout of high-pressure and low-pressure UV oxidation system

た。本設備の反応器は立体的に設置されているうえに、電源盤と一体構造としているのでコンパクトな設備となっている。また、同処理量の高圧 UV 酸化装置とのスペースの比較を第6図に示したが、高圧 UV 酸化装置では電源盤やブローア、中間ポンプなどの付帯設備の占めるスペースが大きく低圧 UV 酸化装置の設置スペースは高圧 UV 酸化装置の約50%に削減することができた。

#### む す び

水処理用エネルギーの削減と省スペース化の目的で、低圧 UV 酸化装置を低濃度有機排水の回収装置として電子部品工場に納入した。

この結果、1日あたりの電力消費量が従来方式と比較して約50%、825 kWh 削減することが可能となり、設備スペースについても50%に削減することができた。

#### [参考文献]

- 1) 知福博行：神綱パンテック技報, Vol.40, No.2 (1997), p.16
- 2) 杉澤政宣ほか：神綱パンテック技報, Vol.41, No.2 (1999), p.76
- 3) 照明学会編：ライティングハンドブック

#### 連絡先

杉 澤 政 宣 環境装置事業部  
水処理本部  
営業部  
第2グループ  
T E L 078 - 232 - 8094  
F A X 078 - 232 - 8075  
E-mail m.sugisawa@pantec.co.jp