

# 小型浄化槽処理水に対する LED 近紫外線照射後の

## 大腸菌群光回復特性

(公社)岩手県浄化槽協会 岩手県浄化槽検査センター ○柿木明紘  
東洋大学理工学部 都市環境デザイン学科 山崎宏史

### 1. はじめに

近年、近紫外線 UV-C(波長 200-280nm)を照射できる LED 素子が開発されたことにより、小型浄化槽などにおいても紫外線消毒装置として適用できる可能性がでてきた。しかしながら、紫外線を消毒に用いた場合、大腸菌群は細胞内の光回復酵素によって可視光波長に含まれる紫外線(UV-A)を暴露されることで、受けた DNA 損傷を回復することも知られており、照射効果が漸減されることが懸念されている。特に小型浄化槽においては放流先が開水路であることが多く、その影響は無視できない可能性があるが、LED 近紫外線を照射した処理水の日光下における調査は行われておらず、特性は明らかになっていなかった。その、一方で暗所静置により回復作用が抑制<sup>4)</sup>されるという報告もあることから、暗所下で滞留時間を得られる浄化槽では有効な抑制手段となる可能性がある。そこで本研究では、LED 近紫外線を照射した浄化槽処理水における日光下における可視光量と不活化率の関係と、槽内滞留時間を考慮した暗所静置による光回復抑制効果について調査を行った。

### 2. 調査方法

#### 2.1 UV-LED による近紫外線照射による不活化効果と回復特性の調査

##### (1) UV-LED 照射装置の概要

本調査で用いた照射装置は、汎用の UV-LED 素子(ピーク波長 270-280nm、光出力 50mW、半値角 120° ” ナイトライドセミコンダクター社製” )と冷却装置及び定電流装置を PVU パイプに内蔵したものを製作し、用いた。

##### (2) 大腸菌群数の不活化及び光回復に影響を及ぼす推定紫外線照射量の算出方法

対象試料に不活化と光回復に要した推定紫外線量の算出には、式(1)を用いて行った。I はデータロガー紫外線強度計(Custom 社製)で近紫外線波長(UV-C)、可視光波長(UV-A)の実紫外線強度(W/m<sup>2</sup>)を測定し用いた。T は近紫外線照射時間、日光下暴露時間を示している。また、近紫外線、可視光は水質及び水深により減衰されるため、ランベルトベールの法則に従い、以下(2)式の WF(water Factor)を補正係数として使用した。A<sub>280</sub> は波長 280nm における吸光度(cm<sup>-1</sup>)、x は水深(cm)を示している。

$$J = I \times T \times WF$$

J:紫外線照射量(J/m<sub>2</sub>)、可視光量(J/m<sub>2</sub>) 式(1)  
 WF:吸光補正係数  
 T:照射時間(s)

$$WF = \frac{1 - 10^{(-A280x)}}{A280x \ln(10)}$$

式(2)

### (3) 大腸菌群数測定方法

大腸菌群数の測定には、デソキシコレート寒天培地を基質とした簡易試験紙(サンコリ製)を用い、調査前後の菌数から不活化率 $-\log_{10}(N/N_0)$ を求めた。

### (4) 対象施設と調査方法

対象とした調査施設は、法定検査時(5~8月)で使用用途が専用住宅及び10人槽以下の浄化槽処理水を対象として実施した。各調査は天候による日射量の変動差を明確にするため、快晴時と曇天時で行っている。試料は消毒薬直前の越流部から採取したものをシャーレに充填(水深1cm)し、鉛直方向から近紫外線の照射を行った。(図1)その後、不活化効果を確認したのちに日光下に暴露し可視光の照射(15分)を行い、不活化量の変化を調査した(27基)。また、可視光に含まれる紫外線による大腸菌群の減少も考えられたため、処理水を可視光下のみを照射した場合の消長についても調査を行っている(18基)。なお、対象試料が受けた不活化紫外線量及び日光下可視光量の算定には、(2)の方法で行った。そのほか、比較調査として可視光を照射しない場合の大腸菌群の変化についても測定した(7基)。

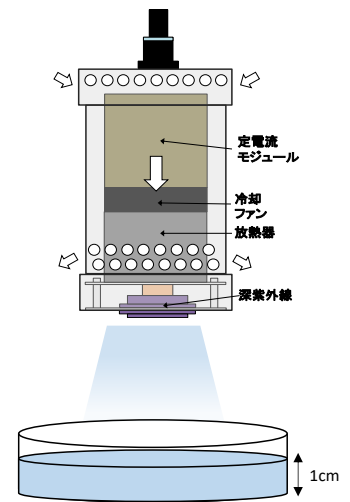


図1 照射方法

## 2. 3 暗所静置後における光回復抑制効果の調査

紫外線照射後の暗所静置による光回復抑制効果について調査を行った。近紫外線照射後、消毒槽滞留時間(構造例示型浄化槽15分、高度処理型浄化槽45分)を想定し暗所に静置後、日光下に暴露し可視光を照射(15分)することで不活化率の変化を調査した。測定方法は2.1と同様である。

## 3. 調査結果及び考察

### 3.1 UV-LEDによる近紫外線照射による不活化効果と回復特性の調査

対象施設における、UV-LED照射装置による不活化効果は図2のようになった。紫外線照射量と生残率は直線的に低下しており相関係数rは、0.8006と高い相関が得られた。100J/m<sub>2</sub>における不活化率は3log程度と下水道における紫外線消毒装置の照射必要量と同程度の線量が得られることが分った。この装置を用い、近紫外線を照射した処理水に可視光を照射した結果を図2に示

す。晴天時と比較して曇天時の可視光量は  $4 \times 10^2 \sim 8.2 \times 10^3 \text{J/m}_2$  と半分以下であったが一部の試料を除いて不活化率の低下がみられ、光回復が起きていると推察された。可視光量の少ない曇天時において不活化率の低下が大きくなる傾向がみられたことで短時間における光回復は可視光量と比例しないことが分かった。この時の不活化率の変化は晴天時平均 $-0.195$  に対し、曇天時は平均 $-0.721$  と低くなり、最大で $-2\log$  と下水道処理水で想定されている $-1.481\log$  よりも

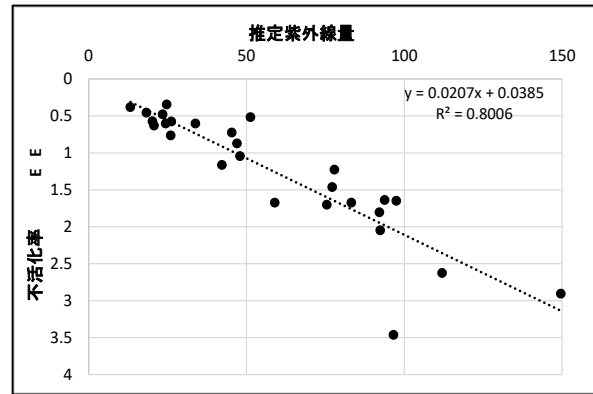


図2 近紫外線照射と不活化効果

低下することが分かった。また、一部の試料は晴天時照射後に不活化率の上昇がみられたため、可視光に含まれる紫外線(UV-A)による不活化効果が影響していることが考えられた。このことから、可視光のみを照射した際の不活化率の変化を調査した。(図4) その結果、可視光照射のみでも大腸菌群の減少が見られ近似曲線から不活化率の上昇がみられた可視光量付近( $2.5 \times 10^4 \text{J/m}_2$ )では $0.28\log$  程度の不活化効果があることがわかった。この可視光不活化効果を考慮すると、これらのプロットの不活化率についても低下することが考えられ、快晴下においては、UV-Aによる不活化と光回復が同時進行している可能性があることが推察された。

一方で比較調査として行った可視光を照射しない暗所静置後の場合においても不活化率の低下がみられる試料もあった。これは紫外線による別の回復機構としての暗回復または、自然増殖によるものと考えられるが、その低下量は平均 $-0.21\log$  と可視光照射時に比べてわずかであり、可視光への暴露に比べ影響が少ないことが分かった。なかには不活化率が上昇しているケースもみられた。これは、照射後の一定時間内で光回復酵素のDNA修復作用が無い場合、正常な回復が行われず死滅するという既往の報告<sup>3)</sup>もありそれによるものとも考えられた。

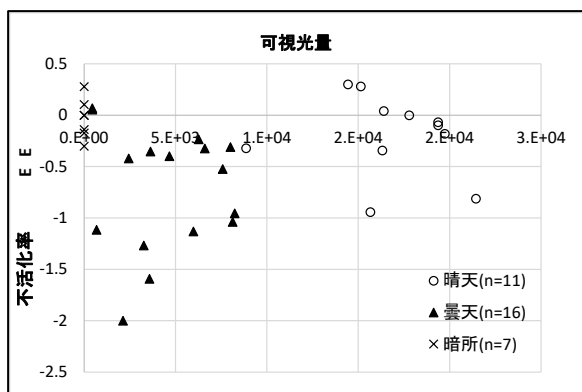


図3 近紫外線照射後における不活化率の関係

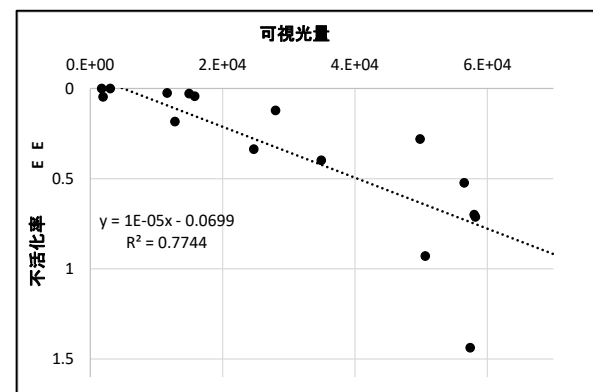


図4 可視光量と不活化率の関係

### 3. 2 暗所静置後における光回復抑制効果の調査

3. 1の調査より暗所静置もしくは可視光量が少ない場合において、一部不活化率が上昇する

傾向がみられた。これは下水道の既往の調査<sup>4)</sup>においても、暗所が大腸菌群の不活化量、光回復量に与える影響が報告されていることから、暗所静置後の不活化率の調査を行った。

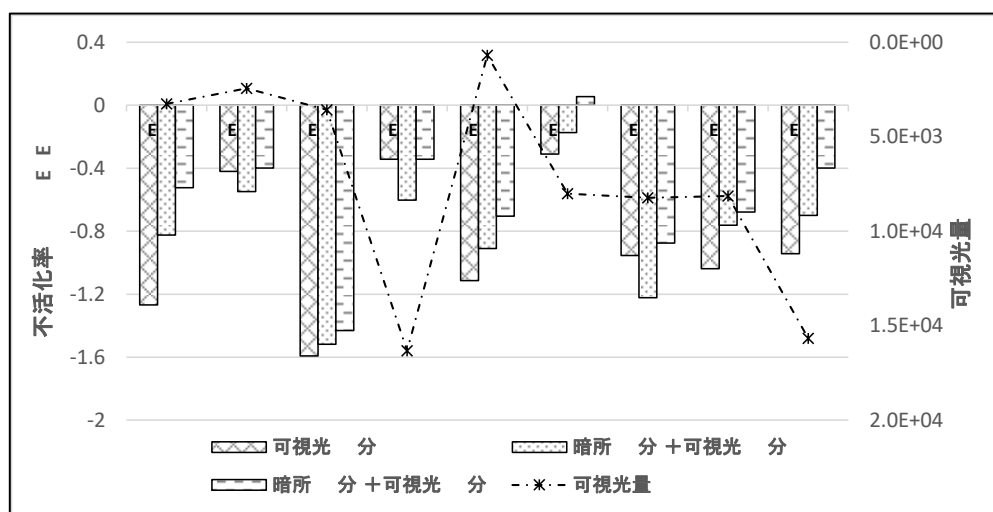


図5 可視光量と暗所静置後試料の不活化率

その結果を図5に示す。近紫外線照射後直後に可視光へ暴露したものに比べ、暗所に静置したものは不活化率の低下が少なく光回復が起こりにくい傾向となった。特に高度処理型を想定した45分静置ではすべての場合において不活化率の低下が抑制されており、光回復が極大になる $1.0 \times 10^4 \text{ J/m}^2$ 以下の可視光量下においても光回復の抑制効果がみられた。このことから、近紫外線照射後、一定時間の暗所静置が放流後における光回復抑制には効果的と考えられた。

### まとめ

今回の調査において、近紫外線照射後の大腸菌群の不活化率の解析から、次のようなことがわかった。

- ① 光回復量は照射量とは比例せず、曇天時などの可視光量 $1.0 \times 10^4 \text{ J/m}^2$ 以下に最も高くなることが分かった。また、最大で2log程度低下するものもみられた。そのほか、暗所内においても不活化率の低下は見られるが、光回復ほどの変化は見られなかった。このことから、照射後の光回復を抑制し、不活化率を維持するには暗所への放流が重要と考えられた。
- ② 照射後に暗所へ45分静置することで、光回復による不活化率の低下を防ぐことが分かった。このことから、高度処理浄化槽のような流量調整機能活用した十分な滞留時間の確保、もしくはそれと同等の時間を確保できる構造が必要と考えられた。

### 【参考文献】

- 1) “大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外線発光ダイオード(UV-LED)の評価” 細井 山豊ら
- 2) “紫外線消毒設備マニュアル” 日本下水道新技術機構
- 3) “分子放射線生物学” 近藤宗平
- 4) 佐藤和朗ら “下水処理水の紫外線殺菌装置に関する研究” 下水道新技術研究所年報, 1994-1996年