

浄化槽消毒への UV-LED 適用による衛生指標生物の消毒効果

東洋大学大学院 学生会員 ○塩原 拓実
 (国研) 国立環境研究所 非会員 蛭江 美孝
 (公社) 岩手県浄化槽協会 非会員 柿木 明紘
 東洋大学 理工学部 正会員 山崎 宏史

1. はじめに

日本における生活排水処理施設として、人口規模が小さい地域では浄化槽の利用が適している。浄化槽は生活排水を原位置にて処理する施設であり、最終工程で塩素消毒を行うことで衛生的に安全な水として公共用水域に放流している。また、現在、浄化槽の消毒には固形塩素剤が用いられているが、水温による溶解量の変化を受け易く、発表者らは、塩素消毒による消毒効果が安定しないことを報告している¹⁾。

紫外線 (UV) による消毒は、化学剤を添加しないため、放流先の環境負荷を低減することが可能である利点を有する一方、設備が過大となるため、小型浄化槽で適用された例はない。しかし、近年、消毒効果が高い UV-C 波長 (200–280 nm) に限定して照射することが可能な小型、低電圧の UV-LED 素子が開発されたことにより、高効率で消毒効果を得ることが可能となった。この UV-LED の開発を踏まえ、本研究では浄化槽処理水の消毒に UV-LED を適用し、大腸菌群、大腸菌、腸球菌に代表される衛生指標生物に対する消毒効果を明らかにすることを目的とした。さらに浄化槽消毒への適用を鑑み、浄化槽処理水質との関係解析を行った。

2. 実験方法

UV-LED による消毒効果の検討は、一般家庭に設置された浄化槽消毒前の処理水を対象とした。浄化槽から採取した処理水を実験室に持ち帰り、直ちに JISK0102 に準拠した水質分析および UV-LED の波長である 280 nm の吸光度を測定し、UV-LED 照射実験を行った。図-1 は本研究で用いた UV-LED 照射装置及び実験装置の概要である。この際、消毒効果を確認するための衛生指標生物として大腸菌群はデソキシコール寒天培地法、大腸菌は特定酵素基質培地法、腸球菌は m-エンテロコッカス寒天培地法をそれぞれ用いて分析を行った。

また、衛生指標生物の除去率は紫外線照射前の菌数を N_0 、紫外線照射後の菌数を N として除去率 $-\log_{10}(N/N_0)$ で示した。また、浄化槽処理水の消毒効果に寄与する推定紫外線照射量 J (J/m^2) を式 (1) により求めた。この式 (1) 中、光の吸光による補正係数 WF (–) は Lambert-beer の法則に従い、式 (2) より求めた²⁾。また、式 (1) 中の $I \times WF$ ($\mu W/cm^2$) を紫外線強度とした。

$$J = T \times I \times WF \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

J : 推定紫外線照射量 (J/m^2)

T : 照射時間 (s)

I : UV-LED 素子光出力 ($\mu W/cm^2$)

WF : 水の吸光による補正係数 (–)

$$WF = \frac{1 - 10^{(-A_{280}\ell)}}{A_{280}\ell \ln(10)} \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

A_{280} : 280nm 時の吸光度 (cm^{-1})

ℓ : 水深 (cm)

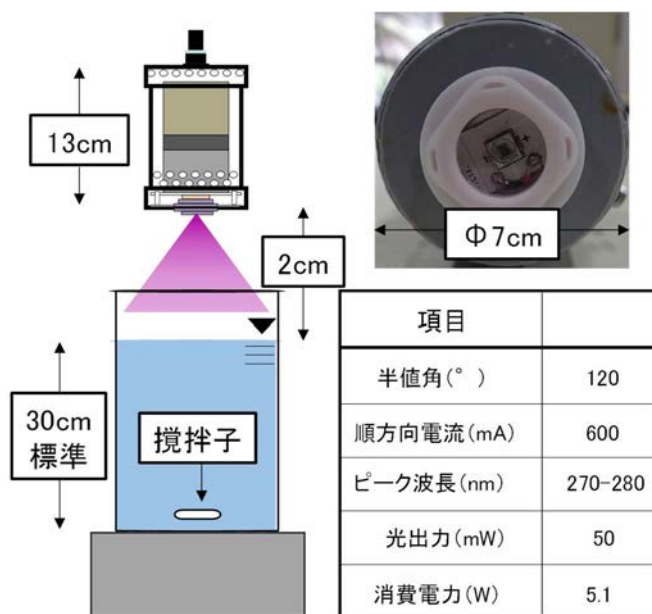


図-1 UV-LED 照射装置及び実験装置の概要

キーワード 浄化槽, UV-LED, 衛生指標生物

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100 東洋大学 理工学部 都市環境デザイン学科 E-mail:yamazaki058@toyo.jp

3. 結果と考察

3.1 3種の衛生指標生物に対するUV-LED照射による消毒効果の検討

図-2はUV-LED素子の光出力(I), 水の吸光による補正係数(WF)を乗じた紫外線強度($I \times WF$)と紫外線照射時間(T)に対する大腸菌群, 大腸菌, 腸球菌の除去率を示している. この図より大腸菌群, 大腸菌は紫外線強度($I \times WF$)を17~192 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の範囲に変更させた条件において, 紫外線照射時間(T)との積値である推定紫外線照射量(J)の強弱に伴う除去効果に大きな差は見受けられなかった. 一方, 腸球菌は大腸菌群, 大腸菌と異なり紫外線強度($I \times WF$)が17~21 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の範囲では, 紫外線照射時間(T)が増加しても大きな除去効果は認められず, 紫外線強度が96 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上にて紫外線照射時間(T)の増加とともに除去効果が確認された. これらの結果は, 大腸菌群, 大腸菌はグラム陰性菌, 腸球菌はグラム陽性菌に分類されており, グラム陽性菌の特徴として, 細胞の形態を維持する細胞壁が厚いことが挙げられている. そのため, 大腸菌群, 大腸菌と腸球菌の除去効果に差がでる結果になったと推察された. また, これらの結果から, 各種生物に対する消毒効果として, 紫外線強度($I \times WF$)は96 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上必要であると考えられた.

3.2 処理水質の性状が紫外線照射に及ぼす影響

紫外線照射による消毒を阻害する因子として, 処理水中に含まれる汚濁物質や濁度などが挙げられる. 推定紫外線照射量は式(1), (2)で定義したように Abs280 nm 時における吸光度にも依存している. そこで, 浄化槽槽内水の BOD 濃度と Abs280 nm 時の吸光度との関係性について検討を行った結果, BOD 濃度と 280 nm の吸光度には正の相関があり, BOD 濃度が高い程, 280 nm における吸光度が高いことを示した. これは汚濁物質として BOD を構成する因子の1つであるタンパク質やアミノ酸等の溶存性有機物が 280 nm 付近に吸光があることおよび懸濁物質の影響が原因であると考えられた. すなわち, 浄化槽処理水中の BOD 濃度が低いと, 式(2)の WF (-) が向上し, 推定紫外線照射量 J が大きくなることから, 浄化槽処理水質が良好である場合, 紫外線による消毒効果が向上すると考えられた. そのため, 紫外線による消毒効果を高めるためには, UV-LED 消毒より前の各処理工程にて, BOD 濃度を十分に低減する必要があると考えられた.

4. まとめ

UV-LED による消毒効果の検討として, 大腸菌群, 大腸菌は推定紫外線照射量が増加することで除去効果が增大することを確認できた. 一方, 腸球菌は紫外線強度($I \times WF$)が96 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上において除去効果が確認された. また, 浄化槽消毒への適用の検討として消毒槽より前の各処理工程で BOD を低減することで, WF が向上し安定した紫外線消毒効果を得ることができると考えられた.

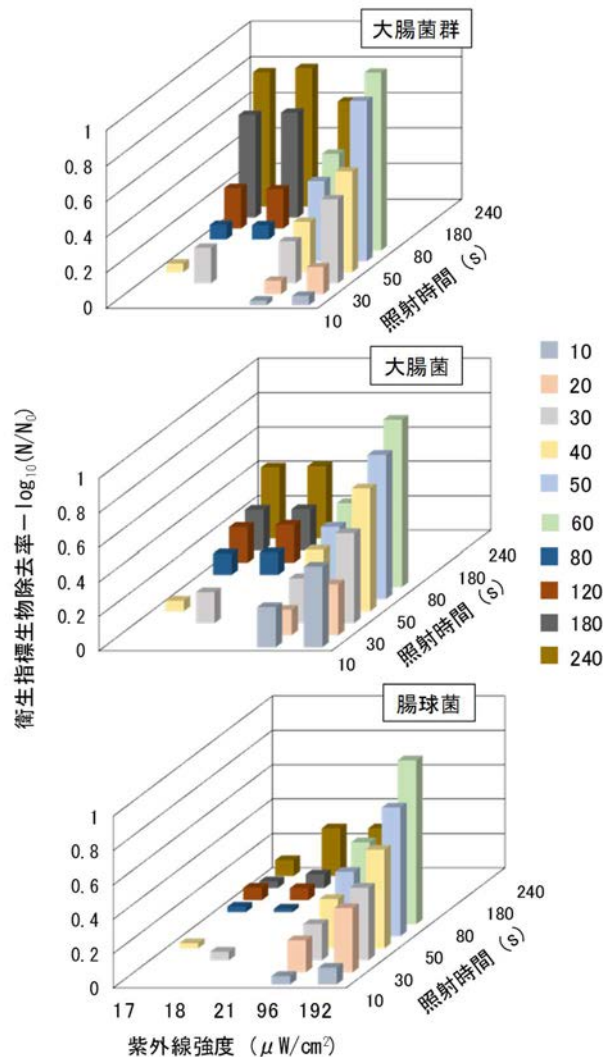


図-2 紫外線強度($I \times WF$)と紫外線照射時間(T)に対する各衛生指標生物除去率

謝辞: 本研究は, 環境省の環境研究総合推進費(1-1603)により実施された. ここに記し謝意を表す.

参考文献

- 1) 山崎, 塩原ら: 浄化槽の処理工程における衛生指標生物の挙動解析, 土木学会 G (環境), 2018
- 2) J.R. Bolton, et. al: Standardization of Methods for Fluence (UV Dose) Determination in Bench-Scale UV Experiments, J. Environ. Eng., 2003