

浄化槽における UV-LED を適用した新規消毒方法の開発

東洋大学大学院 学生会員 ○塩原 拓実
 東洋大学 非会員 齊藤 龍一
 東洋大学 非会員 見城 匠一郎
 東洋大学 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、人口規模の大きい地域では下水道、人口規模の小さい地域においては浄化槽の使用が適している。浄化槽は各家庭からの生活排水を原位置にて処理する施設であり、各処理工程を経て、最終工程である消毒槽にて塩素消毒を行うことで衛生的に安全な水として放流している。現在、消毒槽には固形塩素剤が用いられているが、処理水との流下接触方式であるため、水温による溶解量の変化を受け易く、消毒効果が安定しないことが指摘されている。

筆者らは、浄化槽の各処理工程における大腸菌群等の衛生指標生物の挙動に着目し、解析を行った。その結果、消毒槽において、大腸菌群、大腸菌、腸球菌は最も高い除去効果を示したものの、水温が低い時期において塩素溶解量は少なく、大腸菌群数が 3,000 個/mL を超過している場合もみられた。また、水温が高い時期においては塩素溶解量が過大となり 2.0 mg/L を超える場合も見られ、放流先の水環境への悪影響も懸念された¹⁾。そこで塩素剤に代わる安定的な新規消毒方法の検討が必要であると考えられた。

紫外線による下水処理水の消毒は、塩素剤とは異なり化学剤を添加しないため、トリハロメタンの生成など、放流先の環境負荷を低減することが可能である。これまでに、下水道や集落排水処理施設等の大きな施設では使用された例はあるが、設備が過大となるため家庭用浄化槽では使用された例はない。しかし、近年、殺菌効率が高い UV-C 波長(200-280nm)に限定して照射することが可能な UV-LED 素子が開発されたことにより、小型でありながら低電圧、高効率に照射する事が可能となった。

このような状況を鑑み、本研究では浄化槽の処理水

に UV-LED を適用し、大腸菌群、大腸菌、腸球菌の除去効果に対する検討を行う事を目的とした。更に処理水質との解析を行うことで、処理水質が除去効果に及ぼす影響を調査し、浄化槽における UV-LED 適用の可能性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 UV-LED 照射装置の概要

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。UV-LED 素子(ナイトライドセミコンダクタ社製)の光出力は 50mW、照射角は 120°であった。また、処理水の消毒効果に寄与する紫外線量は処理水中の SS 等、懸濁物質による吸光が発生するため、WF(Water Factor)による紫外線照射線量率で補正を行った²⁾。光の吸収は Lambert-beer の法則に従い、WF は以下の式 (1) を使用した。

$$WF = \frac{1}{x} \int_0^x 10^{A_{\lambda} l} dl = \frac{1-10^{(-A_{\lambda} l)}}{A_{\lambda} x \ln(10)} \quad \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

A_{λ} は試料の Abs280nm 時における吸光度(cm^{-1})、 l は光路長(cm)、 x は水深(cm)を表している。

2.2 実験方法

本研究は、川越市内の一般家庭に設置されている浄化槽の処理水を対象とした。採取した処理水を持ち帰り、直ちに BOD、SS、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ 等の水質分析、Abs280nm 時の吸光度を測定すると共に UV-LED 照射実験を行った。この際、消毒効果を確認するための

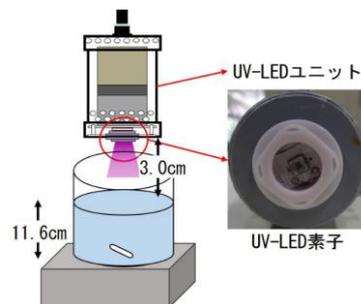


図-1 UV-LED 照射装置及び実験装置の概要

衛生指標生物として大腸菌群，大腸菌，腸球菌の3種を用いた．これら3種の衛生指標生物は分析方法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．

3. 結果と考察

3.1 紫外線照射による各衛生指標生物の除去効果

図-2はWFで補正した推定紫外線照射量に対する大腸菌群，大腸菌，腸球菌の除去率を示している．図-2より衛生指標生物除去率と推定紫外線照射量の相関係数は大腸菌群が0.89，大腸菌が0.68，腸球菌が0.76とそれぞれ正の相関を示しており，推定紫外線照射量が増加するに従い，除去率が概ね増加することを確認できた．更に，照射時間の関係について検討を行った．図-3は紫外線照射線量率が $67.46\mu\text{W}/\text{m}^2$ 時における照射時間と衛生指標生物除去率の関係を示している．図-3より，照射時間が長い程，大腸菌群，大腸菌の除去率が高くなることから，紫外線消毒を適用する条件として，照射時間が重要であることがわかった．一方，腸球菌に関しては，照射時間を増大させても除去効果の改善は見られなかった．

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懸濁物質が挙げられる．紫外線照射線量率は式(1)で定義したようにAbs280nm時における吸光度を使用していることから明らかである．そこで，使用した水のBOD濃度とAbs280nm時の吸光度との関係性について検討を行った．図-4はその結果を示しており，BOD濃度とAbs280nm時における吸光度は正の比例関係を示した．これはBODに含まれる溶解性物質(アミノ酸やタンパク質)を測定する際，使用した波長と同様に用いられていることが要因として考えられる．この結果より，消毒槽より前の各処理工程にてBODを十分に低減することで，UV-LEDによる安定した除去効果が得られると考えられた．

4. まとめ

浄化槽における新規消毒方法としてUV-LEDを適用し，その消毒効果の検討を行った．

WFで補正した推定紫外線照射量が増加するに従い，衛生指標生物除去率も増加した．その際，UV-LED照射装置の照射時間を十分に確保することで安定的な除

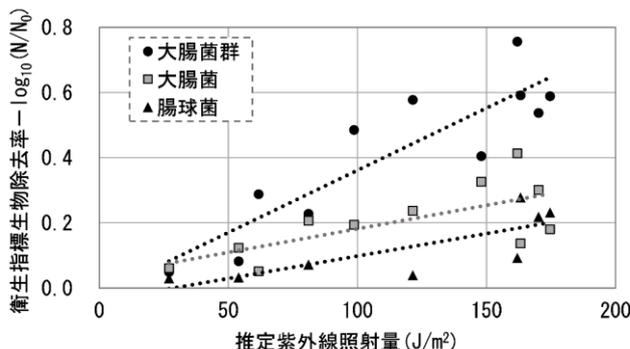


図-2 推定紫外線照射量に対する大腸菌群，大腸菌，腸球菌除去率

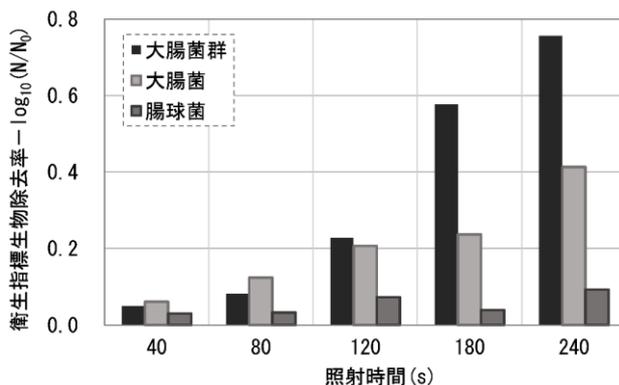


図-3 紫外線照射線量率 $67.46\mu\text{W}/\text{m}^2$ 時における照射時間と衛生指標生物除去率の関係

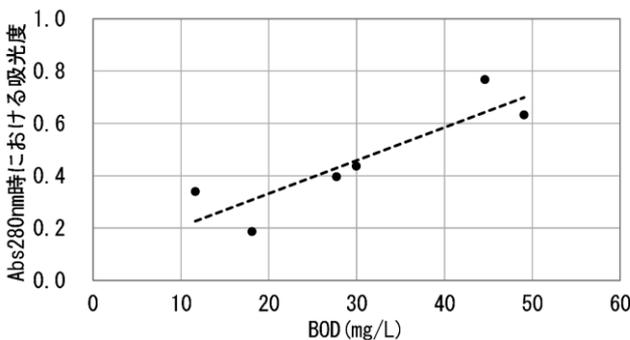


図-4 Abs280nm時における吸光度とBOD濃度との関係

去が可能であると考えられた．更に，消毒槽より前の各処理工程でBODを低減することで，UV-LEDによる安定した除去効果が得られると考えられた．

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，土木学会論文集G, 74, 7, 407-413, 2018
- 2) Bolton, J. et. al : Standardization of Methods for Fluence(UV Dose) Determination in Bench-Scale UV Experiments. *J Environ Eng.*, 129(3), 209-215, 2003