

循環水の紫外線処理を考慮した微生物および化学線量計の検討

Study of biological and chemical actinometries  
for the evaluation of UV treatment of circulating water.

高浪 龍平 (Takanami Ryohei)

近年、限られた水資源の有効活用に対する社会的ニーズが高まっており、循環型の水処理技術の重要性が増している。水処理分野では、紫外線技術が注目されており、法改正により水道水処理における紫外線の適用範囲が地表水にも拡大されたことで、今後さらなる利活用が期待されている。特に、UV-LED など水銀を使用しない深紫外線光源の開発が進展しており、従来の水銀光源に代わる環境負荷の少ない技術として注目されている。本研究では、無水銀の深紫外線光源を用いた水処理において、細菌の不活化機構および有機物の分解特性を明らかにするとともに、微生物線量計およびその代替となる化学線量計に関する知見を得ることを通じて、無水銀深紫外線光源を活用した水処理システムの基礎的な技術的知見を構築することを目的としている。なお本研究は、循環水の紫外線処理を考慮した微生物および化学線量計に関する研究として、JSPS 科研費 22K12480 とともに 2022 年度より検討を開始し、2024 年度は最終年度として以下の成果が得られた。

【無水銀光源の紫外線強度補正と不活化効率の評価】

紫外線照射装置に関する JWRC 技術審査基準では、中圧水銀ランプを用いる際の紫外線強度の算出方法が示されており、本研究ではこれを無水銀のプラズマ UV 光源（以後 LAFi）に適用した。LAFi の分光分布および紫外線強度計の分光感度を用い、従来の低圧水銀ランプ（以後 LPML）を基準とした紫外線強度補正係数  $K$  を算出した。さらに、補正係数  $K$  および LPML を基準とした補正係数  $K'$ 、光源の消費電力から算出した LPML 基準の不活化効率を求め、これらの結果を表 1 に示した。補正係数  $K'$  により、LAFi は LPML に対して 0.565 倍の補正を行えばよいと判断され、これを光回復酵素の分解における照射条件として設定した。また、LAFi が持つ広帯域な紫外線発光の優位性として補正と消費電力を考慮した場合、不活化効率は 1.18 倍程度であった。

表 1 紫外線強度の補正と不活化効率

	LPML	LAFi
補正係数 $K$	0.906	0.512
LPML を基準とした補正係数 $K'$	1.000	0.565
光源の消費電力 (W)	10.0	15.0
LPML を基準とした不活化効率	1.000	1.180

### 【光回復現象に寄与する光回復酵素の紫外線分解】

光回復酵素 FAD-2Na の分解率を図 1 に示す。紫外線強度計を用いて光源の強度を  $1.00 \text{ mW/cm}^2$  に調整した結果を「強度補正なし」とし、紫外線強度補正係数  $K$  を用いて、LPML では  $1.00 \text{ mW/cm}^2$ 、LAFi では  $0.60 \text{ mW/cm}^2$  に調整した結果を「強度補正あり」とした。図中には、それぞれの条件における照射線量を併記している。LPML を基準とした分解比は、強度補正なしで 1.73、強度補正ありで 1.04 であり、補正係数  $K$  の有効性が示された。一方、紫外線強度を補正した結果、FAD-2Na の分解において光源による差は認められず、光回復率や不活化効率においても光源による顕著な差は見られなかった。この結果から、LAFi の発光特性は大腸菌の不活化に対して大きな影響を与えず、不活化機構は LPML と同様であるか、あるいは多波長発光によって DNA 以外の複数の作用点に微小な損傷を与えることによる効果が期待される。しかしながら、FAD-2Na は難分解性であり、光回復酵素の分解による不活化への影響は限定的であることが明らかとなった。

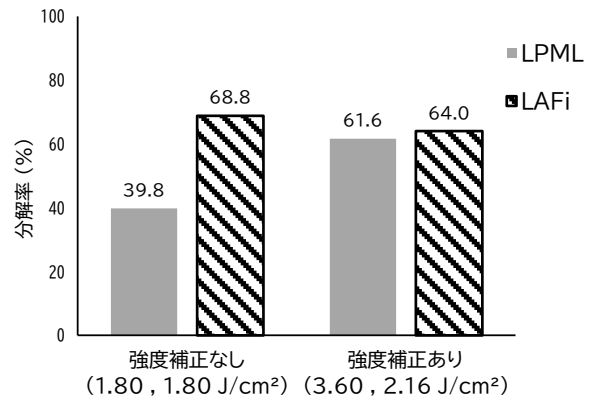


図 1 強度補正の有無による FAD-2Na の分解率

### 【微生物および化学線量計による紫外線水処理の評価】

無水銀プラズマ UV 光源（LAFi）による紫外線照射において、大腸菌を用いた生物線量計は従来の低圧水銀ランプ（LPML）と同様の挙動を示し、生物線量計の利用が可能であることが確認された。大腸菌の不活化および光回復の結果からは、LAFi の優位性が顕著に見られたが、これは LAFi の発光特性に起因するものであり、発光特性を考慮した補正を行うことで、広帯域な発光による効果は限定的であることが明らかとなった。

化学線量計に関しては、低濃度のウリジンを用いた方法が最適であることが判明した。しかし、夾雑物を含む溶液における紫外線量の測定は困難であり、化学線量計の適用には制約がある。

以上の結果から、水処理における微生物線量計および化学線量計の総合的な評価として、化学線量計は微生物線量計を完全に代替することは困難である。一方で、化学線量計は夾雑物を含まない理想的な条件下における水処理装置の簡易評価（スクリーニング）に適しており、簡便かつ迅速に結果を得ることが可能な手法である。したがって、化学線量計を簡易評価手法、微生物線量計を詳細評価手法として活用することで、紫外線水処理装置の評価をより効率的かつ実用的に行うことが可能となり、今後の技術開発の推進に寄与するものと考ええる。

### 成果の公表

高浪龍平、橋口亜由未：プラズマ UV 光源の広帯域紫外線照射による大腸菌の不活化について、大阪産業大学論集 自然科学編, 135, 1-13, 2025