

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)

老朽化したインフラの更新や災害に強いまちづくり、新しい食糧生産方式の発展などで衛生管理に対するニーズが高まっており、水処理において紫外線技術が注目されている。法改正により、水道における紫外線処理が地表水にも適用が可能となったことで、紫外線処理の利活用は、ますます広がると考えられる。さらに、UV-LED などの水銀を用いない深紫外線光源による水処理技術の開発が進められ、既存の水銀光源からの代替が期待できる。本研究では、無水銀の深紫外線光源による細菌の不活化機構や有機物の分解特性を明らかにし、微生物線量計および微生物線量計を代替する化学線量計に関する知見を得ることにより、無水銀の深紫外線光源を用いた水処理システムの基礎的な知見を構築することを目的としている。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、2023 年度において以下の成果が得られた。

【通水式紫外線照射装置の開発】

本研究で用いたプラズマ紫外線光源は、水銀を使用しないため安全であり、瞬時に点灯する応答性、2 mm 幅の発光管で構成されることによるサイズや形状の自由度、封入する物質により発光波長を変更できる波長選択性に優れている。この特性を活かした紫外線照射装置として、通水管の外側から光源を巻き付ける全方位外照型の紫外線照射装置を開発した。屋内の配水管に設置することを想定し、内径 25 mm、外径 28 mm の石英管および樹脂管を対象に、従来の面光源による 1 方位紫外線照射装置（図 1）、新たに開発した全方位紫外線照射装置（図 2）を用いて、紫外線量を測定した。測定は、2022 年度に開発したウリジンによる化学線量計を用いて検討を行った。

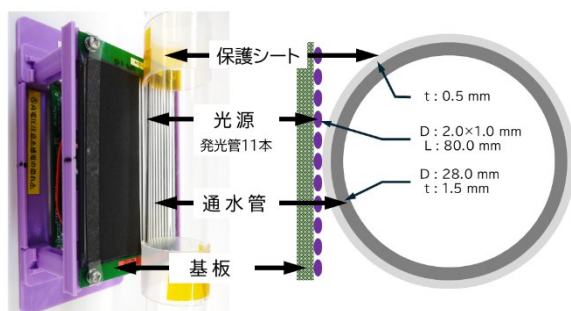


図 1 1 方位紫外線照射装置

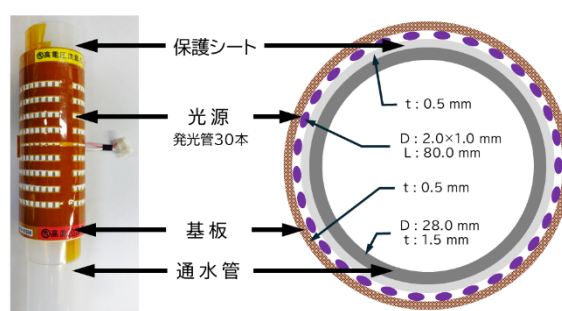


図 2 全方位紫外線照射装置

【通水式紫外線照射装置の評価と課題】

紫外線照射装置による紫外線量の測定は、本研究で開発した化学線量計を用いた。 0.2 mM のウリジン溶液 2000 mL をビーカーで攪拌し、ビーカーと紫外線照射装置をチューブで接続し、送液ポンプを用いて 2000 mL/min で循環し、これを通水試験とした。ビーカーより適宜採取した試料は、分光光度計により波長 262 nm における吸光度の減少からウリジンの反応速度を求め評価した。また、シミュレーションソフト (LightTools) を用いた放射束の算出を行い、通水試験との比較を行った。

紫外線照射装置による紫外線量の測定結果として、1 方位に対する全方位の照射量の比を図 3 に示す。装置における発光管は 1 方位照射で 11 本、全方位照射で 30 本のため、紫外線量はおおよそ 3 倍となる。シミュレーションによる結果では、石英管で 3.37、樹脂管で 3.42 となり、おおよそ 3 倍となっている。また、樹脂管は石英管より光の屈折率が高いため、比の値が石英管よりも少し高くなったと考えられる。一方、ウリジン法による通水試験の結果では、石英管で 4.77、樹脂管で 5.34 となり、3 倍を大きく上回る値となった。それでも石英管に比べて樹脂管の値が高く、屈折率による差は見られた。

各照射条件におけるウリジン吸光度の経時変化を図 4 に示す。 0.2 mM ウリジン溶液 (経過時間 0 分) の吸光度は 2.2 で、溶液の透過率はおおよそ 2 % である。紫外線量の感度を高めるために溶液の透過率が低い条件で行ったため、紫外線は通水管と通水液が接する部分でのみウリジンと反応し、シミュレーションによる結果と大きく異なったと考えられる。紫外線照射装置の評価は、実際の処理水に近い条件が求められるため、今回用いた 0.2 mM のウリジン溶液は処理水を模擬できないという課題が明らかとなった。ウリジン溶液の濃度を低濃度にした条件で化学線量計として用いることができるかを今後の課題とし、検討を行うこととする。

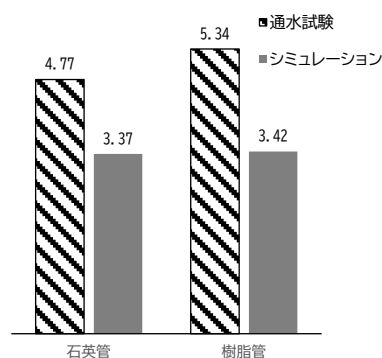


図 3 1 方位に対する全方位の照射量の比

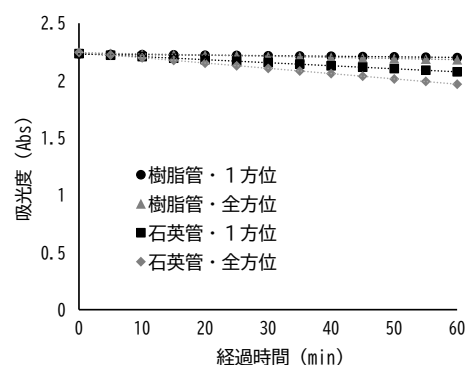


図 4 各条件における吸光度の経時変化

成果の公表

高浪龍平：化学線量計を用いた外照型流水紫外線処理装置の評価，環境工学研究フォーラム講演集, 60, 6, 2023

鴨省吾，石橋亮丞，池内元紀，阪本瑛，高浪龍平：化学線量計を用いた全方位型流水紫外線照射装置の評価，日本水環境学会年会講演集, 45, 618, 2024