

紫外発光ダイオードを用いた小規模分散型水消毒装置の評価と技術実装

小熊久美子（東京大学大学院工学系研究科）

この度は、栄誉ある技術賞を授与いただき誠にありがとうございます。選考にあたりご尽力を賜りました審査委員の皆様、日本水環境学会のご関係各位、そして研究をご支援いただいたすべての皆様に、心より深く御礼申しあげます。

大規模な管路網に依存しない小規模分散型の水供給システムは、山間集落や離島などの遠隔地でも安全で安定した水供給を持続可能な形で実現する切り札となり得ます。水道未普及地区などに点在する住民管理型の水供給施設（集落水道、飲料水供給施設など）では、消毒の不備による水質事故のリスクが高いと指摘されています。一般にそのような地域では人口減少と高齢化が著しく、塩素薬剤の定期的な補充や適切な保管が利用者の大きな負担となっています。また、異臭味への抵抗感から塩素注入が徹底されない事例も散見されます。このように、塩素消毒が必ずしも最適解とは言えない小規模施設に対し、塩素消毒以外の技術的選択肢を提示することが極めて重要と考えました。

そこで、小型で無水銀の紫外発光ダイオード（UV light emitting diode、以下 UV-LED）を用いた紫外線消毒に着目しました。UV-LED を水の消毒に用いると、一般的な紫外線消毒の長所、すなわち、薬品補充が不要、維持管理が容易、水の臭味に一切影響しないという利点を享受できることに加え、従来の水銀紫外線ランプを搭載した装置に比べて省スペース、長寿命、水銀漏出しリスクゼロ、ウォームアップ時間不要などの技術的優位性が期待できます。

一連の検討では、UV-LED を用いた実験室規模での基礎研究に加えて、UV-LED 流水消毒装置の性能評価に取り組み、さらに、国内外の小規模な水供給施設で実証試験を行いました。国内の3地点（静岡県静岡市、宮崎県綾町、北海道富良野市）で行った実証では、原水中に含まれる野生細菌（大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌）の不活化率を最長2年間にわたり経時的に追跡したことに加え、濁度・色度・紫外線透過率などの物理化学的な水質指標が不活化性能に与える影響を調べました。この結果、UV-LED 消毒の有効性と長期的な安定性を明らかにしたほか、異なる3地点の不活化性能に一貫性があること、微生物純粋株を用いた実験室試験で一般に認知されているように処理対象水の紫外線透過率から性能を推定することは実環境では困難なことなどを明らかにしました。このように、小規模な水施設における UV-LED 消毒の有効性や現場ならではの挙動について、科学的データにもとづき定量的に示したことが研究成果の要点です。

これらの知見は、学術論文（Oguma 2023）¹⁾、論説文（小熊 2024）²⁾、国内外の学会発表などを通じて学術界に発信し、このうち論文¹⁾ は当該学術誌で月間閲覧数一位を獲得するなど、国際的に注目を集めました。さらに、実証研究にご協力いただいた地域行政や住民の皆様にて



図1 実装された UV-LED 消毒装置の例

ータをすべて開示し、説明の機会をいただきました。これらの活動がわずかながら一助となり、地域行政のリーダーシップのもと、現在では国内の複数の小規模水供給施設で UV-LED 消毒装置の実装に至り、安全な水供給を実現しています（図1）。また、近く実装を予定しているという嬉しい声も伺っております。

技術開発にあたり最も苦労したのは、新型コロナウイルス感染症の影響下で実証試験を実施したことでした。学生を交えた実証チームの編成を断念し自身がすべての場面で実働する方針に切り替え、装置メーカーによる全面的な技術支援、地域行政のご協力、そして住民の皆様のご支援のもと、無事に3地点で実証を完了できたことは、言い尽くせない感謝の念を覚えるとともに、研究者として一生忘れることのできない感慨深い活動となりました。

遠隔地に点在する小規模水施設の課題解決へ向けた取り組みは、自身のライフワークとしてこれからも継続していく所存です。また、大規模集約的な水道インフラを補完する、あるいは対等に共存する小規模分散型の水供給システムは、人口減少と高齢化が一層深刻化する日本の未来を支える基盤技術の一つと捉えており、その社会的重要性について積極的に社会発信していきたいと考えております。

最後になりましたが、実証研究に多大なご協力・ご支援をいただきました静岡県静岡市、静岡市の集落水道組合、宮崎県綾町、北海道富良野市の皆様、さらに、継続的な技術支援をいただいた日機装株式会社のご関係各位に、改めて御礼を申しあげます。さらに、本研究にご助言をいただいた浅見真理先生（国立保健医療科学院）、牛島健先生（北海道立総合研究機構）に、この場を借りて厚く御礼を申しあげます。

参考文献

- 1) Oguma, K., 2023. Field demonstration of UV-LED disinfection at small and decentralized water facilities. *Journal of Water & Health* 21(9), 1369-1384. doi: 10.2166/wh.2023.192
- 2) 小熊久美子, 2024. 紫外発光ダイオードを用いた水の消毒 - 小規模な水供給施設における実証と実装 -. *水環境学会誌* 47(A) (3), 95-98.