

水銀フリーフィルム型紫外線光源を用いた 低透過率排水への適用に関する検討

Study on degradation and inactivation with low transmittance wastewater
by mercury free UV light source with plasma.

高浪 龍平 (Takanami Ryohei)

感染症対策による衛生管理ニーズの急激な高まりにより、紫外線技術が注目されている。また、2019年5月には「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」が改正され、水道における紫外線処理が地表水にも適用可能となり、紫外線処理の利活用が増えると考えられる。さらに、水俣条約の施行を契機に、UV-LEDなどの水銀を用いない紫外線光源による次世代型の紫外線処理技術の検討が始まっている。本研究では、水銀フリーフィルム型紫外線光源を用いた低透過率排水への紫外線処理の適用について2019年度より検討を行っており、2021年度において以下の成果が得られた。なお、3年におよぶ検討により一定の成果が得られたため本検討を2021年度末で終了した。

【装置の最適化による処理技術の評価】

紫外線反応処理装置の最適化について、排水処理を仮定した照射方法の検討を行った。まず、反応装置は、排水処理過程における高度処理として、既存する処理施設の後段に追加する場合に対応できるよう、限られた設置場所に追加することを想定し、通水管から外照する連続した通水処理とした。水銀フリーフィルム型紫外線光源（以後、LAF）の持つ構造の柔軟性を活かし、通水管から外照する全方位による紫外線照射を行った場合の処理の向上を確認した。LAFを平面に配置した1方位照射とLAFを円筒に配置した全方位照射で比較を行った結果、枯草菌の3 log 不活化は3.2倍、PPCPsの分解は2.6倍向上し、全方位照射の有用性を明らかにした。

つぎに、LAFの蛍光剤を変更し、発光波長を変更した3種の光源（VUV：ピーク波長172 nm、UVC：ピーク波長260 nm、UVA：ピーク波長350 nm）を用い、それぞれを100秒間ずつ、VUV、UVC、UVAの順で照射する条件とUVA、UVC、VUVの順で照射する条件におけるPPCPsの分解率を比較した結果を図1に示す。なお、対照実験としてUVCのみを300秒照射した結果を併記している。低分子のPPCPsにおいて照射波長を変更した多段階照射による効果については、十分な分解により大きな差が見られず、対照区との差も見られなかった。一方、テトラサイクリン類（図1の枠）においては長波長からの多段階照射（UVA→VUV）により、分解率が8%向上し、多段階照射の有効性を確認した。これは濁質のような高分子の有機物が長波長紫外線で低分子化されることにより、効率的な分解が起こっていると考えられ、長波長から低波長に移行する条件が有効であるとの知見を得、本水処理装置の有用性が明らかとなった。

【紫外線照射による低透過率排水に対応する水処理システムの検討】

これまでの研究成果から、低透過率排水の殺菌および有機物分解は、排水の透過率から必要な紫外線の照射エネルギーを推定することにより、十分な処理が可能であること。紫外線照射の方法を通水管の外側より外照する全方位照射が有効であること。UVA から VUV へと波長の短い光源に移行する多段階照射の条件は、高分子有機物の低分子化に有効であることを明らかにした。これらの最適な条件を活用した、高分子に対応する促進酸化水処理システムを検討したものを図 2 に示す。

この水処理システムは、低透過率の排水および下水の高度処理に対応し、処理水の透過率から、処理に必要な紫外線照射量から通水管（反応装置）の長さや流速を調整することが可能で、光源を通水管に巻き付けた外照による全方位照射により効率的な処理を行う。残留する濁質や色素成分、高分子有機物は長波長の紫外線により低分子化され、短波長の紫外線より分解される。この際、装置から発生するオゾンを上流部より注入することで、紫外線とオゾンの促進酸化により分解効率が向上する。このように有機物の分解は、装置全体で行われ、殺菌は、DNA の破壊に有効な UVC (260nm) 光源で行われる。本水処理システムは、これまでにない知見を活用したもので、類似する水処理システムは存在せず、特許を出願済み（特願 2021-093268）である。本水処理システムは、処理が困難な下・排水の環境リスク低減技術として社会的意義が大きく、水銀フリーであること、塩素の使用を軽減できるなど、安全性が高く、持続可能かつ環境負荷が少ない処理システムとして社会的ニーズに応えられるものであると考えられる。

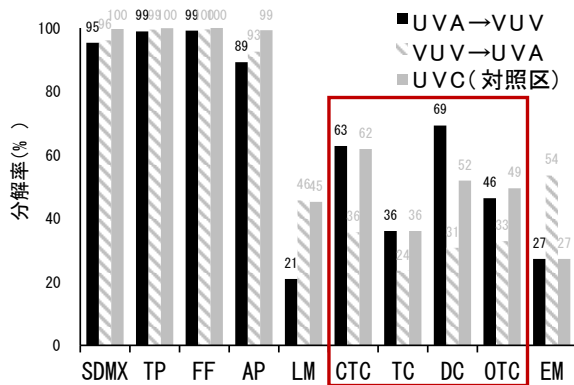


図 1 異なる照射条件における PPCPs の分解率

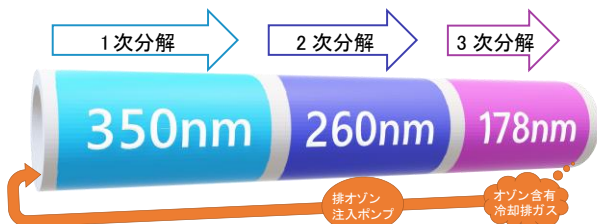


図 2 高分子対応の促進酸化水処理システム