

紫外線処理装置の浄水処理への適用

佐々木 克之* 萩原 一穂* 恩田 建介**

Application of a UV Treatment System to a Water Purification Process

by Katsuyuki SASAKI, Kazuo HAGIWARA, & Kensuke ONDA

A novel UV treatment system has been developed for use in water purification processes as a measure against chlorine-resisting pathogens, in particular *Cryptosporidium*. The following outlines the R&D of this system and provides data on actual application at a water purification plant.

Keywords: *Cryptosporidium*, Inactivation, Water purification, Ultraviolet radiation, UV dose, Low-pressure UV lamp, Medium-pressure UV lamp, Bromate

1. はじめに

水道における紫外線処理については、2007年（平成19年）3月30日に「水道施設の技術的基準を定める省令の一部を改正する省令」が制定され、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」（以下、対策指針）が同年4月1日より適用されたことを受け、クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原生物の対策として新たに位置付けられることとなった。

水道水中のクリプトスポリジウムによる感染症は、米国ミルウォーキー市での40万人以上の集団感染（1993年）など、海外でいくつかの事例が報告されており、また国内においても1996年（平成8年）に埼玉県越生町で集団感染が発生した。それを受け、同年、厚生労働省から「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」が通知された。

これまで、水道における耐塩素性病原生物であるクリプトスポリジウム等の対策は、「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」及びその改定〔1998年（平成10年）及び2001年（平成13年）〕、「水道施設の技術的基準を定める省令」〔2000年（平成12年）制定〕に

より、クリプトスポリジウム等が原水に混入するおそれがある場合には、ろ過等の設備を設置すべきことが規定され、対策の推進が図られてきた。

その一方で、国内外においてクリプトスポリジウムの不活化に関する研究が進められた結果、比較的少ない紫外線照射量でクリプトスポリジウムの感染性が失われることが明らかとなった。そこで、これらの最新の科学的知見等を踏まえた新たな対策の検討調査が財団法人水道技術研究センターにて行われ、環境影響低減化浄水技術開発研究（通称e-Water）の成果として「紫外線消毒ガイドライン」〔2005年（平成17年）〕が取りまとめられた。これにより、紫外線処理がクリプトスポリジウム対策技術として実用的であることが確認され、今回の省令改正、対策指針の適用となり、現在、各自治体においては紫外線処理設備の導入・検討が進められている。

本稿では、水道用としての紫外線照射装置の概要、適用における調査研究の一例及び納入事例について紹介する。

2. 紫外線によるクリプトスポリジウムの不活化

クリプトスポリジウムは硬い「殻」に包まれた5 μm程度の類円形のオーシストを形成している。そのため、クリプトスポリジウムは高い塩素抵抗性を示し、これまでの水道における塩素消毒では十分に不活化することができない。

一方、紫外線によるクリプトスポリジウムの不活化は、主に波長200～300 nmの紫外線の照射により、DNAな

* 荏原環境エンジニアリング㈱

** 環境事業カンパニー 水処理事業本部 環境開発統括部 水環境開発室 第一グループ

本稿は環境浄化技術（2008, Vol.7）への投稿内容を元に、一部加筆修正を加えたものである。

どの遺伝子が損傷を受けて感染性が失われることによると考えられている。なお、WHOによると、クリプトスポリジウムを3 Log (99.9%) 不活化させる紫外線照射量は10 mJ/cm²である¹⁾。

今回の対策指針では、紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して、紫外線の照射量を常時10 mJ/cm²以上確保することとなっており、同指針を満足する装置の選定が必要となる。

3. 紫外線照射装置について

一般的に紫外線照射装置は、紫外線照射槽と制御盤に大別されており、紫外線照射槽とは紫外線ランプ、ランプスリーブ(保護管)、洗浄装置、紫外線センサなどを組み込んだものである。紫外線照射槽の概要を図1に示す。一方、制御盤は制御用電気機器やランプ安定器等が装備されたものであり、ランプ点灯や異常検知等の運転機能管理が行われる。

水道分野で使用される紫外線ランプは主に水銀ランプであり、ランプ動作時の水銀蒸気圧の違いによって低圧ランプと中圧ランプに大別されている。それぞれのランプ特性を表1に示す。

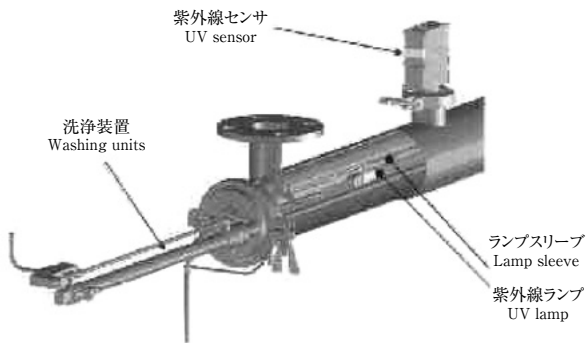


図1 紫外線照射槽概要
Fig. 1 Outline of UV irradiation chamber

低圧ランプはランプより出力される紫外線の主波長が253.7 nmであり、入力電力に対する紫外線変換効率が高い。一方、中圧ランプはランプ1本から出力される紫外線照度が大きいという特徴がある。そのため、比較的小規模の場合は消費電力を抑えた低圧ランプ方式、中～大規模には設置ランプ本数の面などから装置構成が複雑にならず、コンパクトかつ維持管理性に優れた装置となる中圧ランプ方式が適している。

現在、水道向けとしては、荏原エンジニアリングサービス(株)が輸入元となってベルソン社(オランダ)製の紫外線照射装置を導入し、販売している。

これらの荏原紫外線照射装置は、紫外線照射槽の形状についても最新の流れ解析技術であるCFD(Computational Fluid Dynamics)技術を用いてそれぞれのランプに適切な照射槽形状を選定し、処理水量に応じて最適な紫外線処理装置を供給できるものとしている。荏原紫外線照射装置仕様の一例を表2に示す。

水道用紫外線照射装置を取り巻く環境における注目すべき事項として、紫外線照射装置性能及び品質の適正化を図り、水道事業者への円滑かつ適正な導入の普及を目的として、財団法人水道技術研究センターにて「紫外線照射装置JWRC技術審査基準」が取りまとめられた。低圧紫外線ランプ編が2008年(平成20年)1月、中圧紫外線ランプ編が同年8月に制定され、本基準に基づく適合認定制度が開始されている。表3に本審査基準の概要を示す。厚生労働省の対策指針が定める紫外線照射装置は被処理水の95%に対して紫外線照射量を常時10 mJ/cm²以上確保できるものでなければならないが、この要件を保証するための具体的な審査基準が本審査基準に示されている。

表1 紫外線ランプ特性²⁾

Table 1 Characteristics of UV lamp

項目 Items	低圧 (高出力含む) Low-pressure lamp (including high-output type)	中圧 Medium-pressure lamp
波長 Wavelength	主に253.7 nmの単波長 Mainly monochromatic at 253.7 nm	殺菌に有効な波長範囲を含む多波長 Polychromatic, including germicidal range
水銀封入圧 Mercury vapor pressure	1～100 Pa	100 Pa～100 kPa
動作温度 Operating temperature	40～200℃	600～900℃
殺菌に有効な紫外線出力 Germicidal UV output	0.15～3.5 W/cm	5～30 W/cm
電力から殺菌に有効な光への変換効率 UV conversion efficiency	30～40%	10～20%

表2 紫外線照射装置仕様
Table 2 UV irradiation system specification

型式 Model	処理水量 (m ³ /d) Quantity of treatment water	紫外線ランプ UV lamps		
		種類 Lamp type	出力 (W) Output	本数 (本/台) Number of UV lamps
AF3C-04-80W-1.5	177	低圧 Low-pressure	80	1
AF3C-06-270W-3	1 128	低圧 Low-pressure	270	1
CF3C-08-20H1-6	4 560	中圧 Medium-pressure	2 200	1
CF3C-18-50H8-20	50 400	中圧 Medium-pressure	3 700	8

表3 技術審査基準の概要^{3, 4)}
Table 3 Outline of technological examination standard

対象項目 Items	内容 Contents	
ランプ性能 Lamp performance	紫外線強度 UV intensity	紫外線強度試験による確認 (温度影響の確認も含む場合あり) Confirmation of UV intensity (Confirmation of temperature effect might be included)
	ランプ寿命 Lamp life	紫外線強度維持率曲線による確認 Confirmation of UV intensity maintained curve
照射性能 Irradiation performance	紫外線照射量 UV dose	バイオアッセイ法による紫外線照射量の確認 (CFDにより求めた照射量分布、もしくは滞留分布の分散の確認が必要となる場合あり) Confirmation of UV dose by bioassay method (UV dose distribution by CFD or distributed dispersion of detention time might be needed)
モニタリング性能 UV monitoring performance	紫外線モニタ性能 Performance of UV monitor	基準紫外線強度計との差の確認 1箇月連続暴露劣化率の確認 Examination of instrument reading compared to that of standard UV intensity meter Confirmation of deterioration rate in a month
その他 Others	照射槽の浸出性、耐圧性の確認、付属制御盤の確認、紫外線照射装置の主要部寸法の確認 など Leach test and withstanding pressure test in the case, confirmation of control panel, measurement of major dimension, etc	

4. 研究紹介

当社では、紫外線照射装置の開発を進める一方で、生物線量計を用いた装置の性能評価や紫外線照射による水質への影響評価など、水道における紫外線処理の適用に向けて様々な研究開発を行ってきた。

ここでは、その一例として、紫外線照射による臭素酸生成の評価について紹介する⁵⁾。本実験は臭化物イオンを一定濃度以上含有する原水に残留塩素存在下で紫外線を照射すると臭素酸が生成する可能性があるとの懸念から実施したものである。

実験は次亜塩素酸ナトリウムと臭化カリウムを用いて残留塩素濃度を10 mg/L as Cl₂、臭化物イオン濃度を0.1～100 mg/Lに適宜調整した試水に対して紫外線を照射し、紫外線照射量と臭素酸生成量の関係について検討した。なお、紫外線照射は気相用低圧紫外線ランプを用いた回分式紫外線照射実験装置を使用した。臭素酸の測定はイオンクロマトグラフ-ポストカラム法⁶⁾で行った。

紫外線照射における臭素酸生成に及ぼす臭化物イオン

濃度の影響を図2に示す。試水中の臭化物イオン濃度が1.0 mg/Lの高濃度の場合であっても、10 mJ/cm²の紫外線照射量で生成する臭素酸濃度は0.2 μg/L未満であった。更に試水の臭化物イオン濃度が0.1 mg/Lの場合に

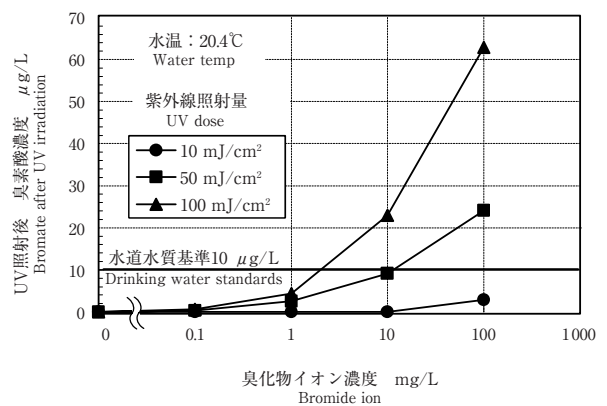


図2 紫外線照射における臭素酸生成に及ぼす臭化物イオン濃度の影響

Fig. 2 The influence of bromide ion concentration on bromate formation during UV irradiation

は、100 mJ/cm²の紫外線照射量であっても、臭素酸濃度は0.6 μg/Lであり十分低かった。なお、加藤⁷⁾らの報告によると水道水中の臭化物イオン濃度は高くても0.1～0.2 mg/Lである。また、沖縄を除いた国内8箇所の地下水、伏流水を原水とする水道水中の臭化物イオン濃度を測定したところ、すべて0.1 mg/L未満であった。

以上のことから、一般的な浄水場において紫外線処理を導入する場合、臭素酸の水道水質基準 (10 μg/L) を十分に満足できることを確認できた。

5. 水道施設への納入事例

富山県砺波市建設水道部から発注された湯山配水池 (計画給水人口 = 120人, 計画処理水量 = 110 m³/d) における紫外線滅菌装置設置工事を2007年5月に受注し、同年10月に納入した (図3, 写真)。本装置は、先に述べた2007年 (平成19年) の厚生労働省令改正, 対策指針に沿って導入された国内初の事例であるとともに、当社の水道分野における紫外線処理設備納入1号機である。

これまで、湯山配水池では水源となるわき水に塩素消毒を行い給水していたが、今回の装置導入により、紫外線を照射してクリプトスポリジウム等を不活化できる本装置を塩素消毒前に付加し、より安心・安全な水道水を供給することができるものとなった。

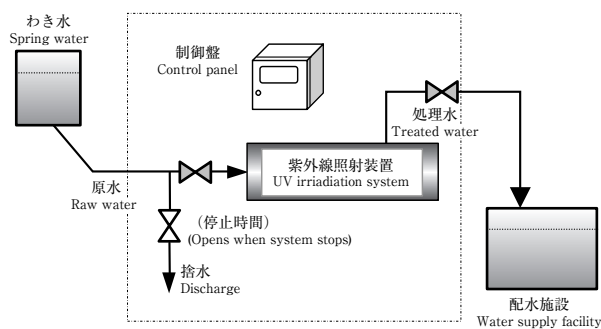


図3 納入紫外線処理設備概要
Fig. 3 Outline of delivered UV treatment system



09-06 01/222

写真 納入紫外線照射装置 (AF3C-04-80W-2)
Photo Delivered UV irradiation system

6. おわりに

水道におけるクリプトスポリジウム等対策としての紫外線照射装置の導入は始まったばかりである。今後も、新たな受注に向けた積極的な製品開発及び市場投入を行うと共に、水道への紫外線処理の適用に関する種々の研究を進め、幅広く導入されることに貢献していく所存である。

参考文献

- 1) WHO, Guidelines for Drinking-water Quality 3rd, Vol.1 (2004), recommendations.
- 2) 財団法人水道技術研究センター, 環境影響低減化浄水技術開発研究 (e-water) ガイドライン集 (2005), P289.
- 3) 財団法人水道技術研究センター, 紫外線照射装置JWRC技術審査基準 (低圧紫外線ランプ編) (2008).
- 4) 財団法人水道技術研究センター, 紫外線照射装置JWRC技術審査基準 (中圧紫外線ランプ編) (2008).
- 5) 出口達也, 小三田栄, 鹿島田浩二, 佐々木賢一, UV照射における臭素酸生成及び透過率低減要因の評価, 第10回水環境学会シンポジウム講演集 (2007), P144-145.
- 6) 社団法人日本水道協会, 上水試験方法2001年度版 (2001), P275-276.
- 7) 加藤康弘, 盛岡崇行, 星川寛, オゾン処理における臭素酸イオン生成を抑制するためのオゾン注入制御システム, 富士時報 (2001), Vol.74 No.8, P449-453.