

水道における紫外線処理に関する Q&A

2008.1.31

国立保健医療科学院水道工学部 浅見真理

神奈川県企業庁 小林紀人

広島県福祉保健部 町一希

はじめに

クリプトスポリジウム等の対策の強化のため、紫外線処理の導入が進められている。紫外線を用いた水処理技術そのものはほぼ確立されおり、海外の事例を踏まえても水道施設における紫外線処理技術はかなり信用性が高いと考えられる。一方、水道施設へ紫外線処理設備の導入を検討している事業者、認可担当者などからは、設計や維持管理に関する情報が求められている。

本 Q&A は、水道における紫外線処理に関心のある方々に、水道における紫外線処理の基礎的事項と課題を理解していただくため、当院の水道工学コースの研修の一環として、既往の知見を収集・整理してまとめたものであり、特に、施設の運営管理に携わる事業者や行政の認可担当者の視点で、紫外線処理設備を扱う上で留意すべき事項を整理した。紫外線照射装置の性能等を規定する JWRC 規格も制定されつつあり、今後これらの新しい知見を随時加筆修正していけば、技術的基盤の弱い小規模事業者向けのサポート資料としても有効ではないかと考えたものである。

紫外線処理は他のろ過施設と比較すれば管理が容易な為、導入した事業者によってはメンテナンスフリーという意識が生じる恐れがある。だが実際には、計測機器のセンサ部分における異常や結露対策等の課題も生じており、さらには定期点検やランプ交換を怠ると耐塩素性病原体に対して効果のない設備となる。維持管理データや課題に関する具体的な事例の共有化を通じて、最適な維持管理を行っていく必要がある。

また監視指導を行う行政機関は、原水水質や維持管理データ、計測機器の点検やランプ交換日等監視・指導項目の検討を行う必要がある。

以上のような設計時の要点、維持管理上の情報等について、本 Q&A 《第 1 版》をホームページ上で公開することとした。本 Q&A では、検討が不十分な点も多々あるかも知れないが、紫外線処理設備については、今後も知見を集積する必要があると考えられることから、本 Q&A を情報交換の場の一つとして、ご意見、ご提案等いただければ幸いである。

なお、本 Q&A は、国立保健医療科学院特別課程水道工学コースの研修の一環で行われたまとめを再構成したものであるため、引用等を行う際は下記までご連絡下さい。

国立保健医療科学院水道工学部水質管理室 浅見 (asami @ niph.go.jp)

<謝辞>

本特別研究の実施にあたり、ヒアリングや現地調査等にご協力頂いた、各事業者関係者ならびにメーカー関係者の方々、また、ご助言をいただいた、立命館大学 神子直之先生に深く感謝の意を表します。

<本Q&Aの作成に当たり参考とさせていただいた文献（詳細は文中に表示）>

- 1) 埼玉県衛生部「クリプトスポリジウムによる集団下痢症－越生町集団下痢症発生事件－」(1997)
- 2) 厚生労働省「クリプトスポリジウム対策実施状況調査（2006年3月末時点）」
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/jouhou/suisitu/pdf/c5.pdf>
- 3) 木暮昭彦, e-Waterの成果～紫外線消毒ガイドライン～, 第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 4) 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)
- 5) 平成19年厚生労働省令第54号「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」
- 6) 平成19年3月30日付け健水発第0330004号厚生労働省健康局水道課長通知「水道施設の技術的基準を定める省令の一部改正について」
- 7) 平成19年3月30日付け健水発第0330005号厚生労働省健康局水道課長通知「水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について」
- 8) 平成19年3月30日付け健水発第0330006号厚生労働省健康局水道課長通知「水道における指標菌及びクリプトスポリジウム等の検査方法について」
- 9) 平成19年3月30日付け健水発第0330007号厚生労働省健康局水道課長通知「飲料水におけるクリプトスポリジウム等の検査結果のクロスチェック実施要領について」
- 10) 平成19年3月30日付け厚生労働省健康局水道課事務連絡「紫外線処理設備について」
- 11) 平田強, 塩素消毒の補完技術としての紫外線消毒-水道におけるクリプトスポリジウム対策として, 水環境学会誌, Vol.28, No.4(2005)
- 12) 日本紫外線水処理技術協会準備会, 浦上逸男, 日本紫外線水処理技術協会設立へ向けての動き, 第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 13) 日本水道協会水道技術総合研究所 他, 水道でのクリプトスポリジウム不活化を目的とした紫外線消毒装置導入のためのガイドライン(案), 水道協会雑誌, Vol.74, No.5(2005)
- 14) 海賀信好, 紫外線ランプ技術の開発動向, 水環境学会誌, Vol.28, No.4(2005)
- 15) 石橋良信, 国内外における紫外線消毒の上下水道への導入動向, 水環境学会誌, Vol.28, No.4(2005)
- 16) 浦上逸男著, 初歩から学ぶ紫外線殺菌, 工業調査会(2005)
- 17) 廣戸裕子, 大瀧雅寛, UV装置の管理基準(オーストリアの例)と生物線量計の新しい試み, 第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 18) 神子直之, USEPA 紫外線殺菌導入マニュアルにおける紫外線量の確認方法, 第9

回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)

- 19) 岩崎達行, 諸工業等における紫外線技術の導入動向, 水環境学会誌, Vol.28, No.4 (2005)
- 20) 宮ノ下友明, 紫外線殺菌装置の設計の要点—USEPA 紫外線殺菌導入マニュアルより—, 第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 21) 財団法人水道技術研究センター編, 新しい浄水技術～産官学共同プロジェクトの成果～ (2005)
- 22) 金子光美編著, 水質衛生学, 技報堂出版(1996)

紫外線処理Q&Aについて 目次

はじめに

- Q1 上水道への紫外線処理導入の背景は？
- Q2 紫外線照射量 10mJ/cm²以上で浄水処理を行う場合の一般的なメリット、デメリットは何か？
- Q3 水道法上の位置付けはなされているか？
- Q4 紫外線処理技術の歴史は？
- Q5 紫外線照射装置規格化の状況は？
- Q6 「カルゴン特許」問題とは？
- Q7 浄水用紫外線処理設備の構成は？
- Q8 低圧と中圧各水銀ランプの特徴は？
- Q9 紫外線照射装置の性能はどのように確認するのか？
- Q10 上水道における紫外線処理の事例は？
 - C1 稼働施設
 - C2 計画施設
- Q11 他分野における紫外線処理の導入実績は？
- Q12 紫外線処理設備の導入検討における留意点とは？
 - C1 検討の流れ
 - C2 基本条件の整理
 - C3 他の浄水処理方法との比較
 - C4 設備仕様の検討
 - C5 認可申請時の確認項目
- Q13 紫外線処理設備の維持管理上の留意点とは？
- Q14 紫外線照射量とオーシスト等の不活化率の関係は？
- Q15 不活化されたクリプトスポリジウムが、光回復によって感染能力を回復させることは無いのか？
- Q16 紫外線処理に係る費用は他の処理方法と比べて安いのか？
- Q17 紫外線ランプが破損した場合の影響は？
- Q18 紫外線照射装置以外にどのような設備等が必要か？
- Q19 紫外線照射装置はどのような場所に設置すれば良いか？
- Q20 維持管理上で重要な管理項目は何か？

付録 紫外線処理に関する用語集

Q1 上水道への紫外線処理導入の背景は？ 1)~13)

1996年にわが国で初めて水道に起因する大規模なクリプトスポリウム感染事件があって、すでに10年以上が経過した。原水の汚染のおそれのある浄水場では、耐塩素性病原生物対策にろ過が必須とされていたが、費用や敷地、維持管理等の面からろ過設備の導入が進まず、クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原生物対策として不十分な塩素消毒のみの施設が多数の存在している。このため、クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原生物による汚染問題は、水道水質管理上の重要課題に挙げられている。

一方、クリプトスポリジウムの不活化が感染性試験により評価されるようになり、10mJ/cm²以下の紫外線照射量で3 log (99.9%)の不活化が可能であることが明らかになり、紫外線消毒が飲料水の安全性を守る消毒技術として特に注目されるようになった。そして、2005年には財団法人水道技術研究センターにより紫外線消毒ガイドラインが編集された。このような流れを受けて、厚生労働省は2007年3月に耐塩素性病原生物対策に紫外線処理を新たに位置づけるための省令改正と関係通知、事務連絡を行った。

Q2 紫外線照射量 10mJ/cm²以上で浄水処理を行う場合の一般的なメリット、デメリットは何か？

メリット

- 1 耐塩素性病原生物対策に対応できる能力がある
- 2 建設費、維持管理費が膜ろ過施設と比較すると安価である
- 3 薬品等の物質を添加しないので、残留物がなく新たな耐性菌を作り出さない
- 4 紫外線強度計等の計測機器の設置により自動運転・監視・連続処理が可能である

デメリット

- 1 浄水処理に導入した実績が国内で少ない
- 2 原水の取水場所や水質、ガラススリーブの汚れ等に照射量が影響を受ける
- 3 耐塩素性病原生物が感染性喪失後も生物としては生きており、処理水中に残存する
- 4 紫外線照射量を直接確認することが困難である

Q3 水道法上の位置付けはなされているか^{1)~3)}

クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原生物への対策については、従来、原水に耐塩素性病原生物が混入するおそれがある場合には、浄水施設にろ過等の設備が設けられなければならないこととされてきた。しかし、必要なるろ過設備が設置されていない施設が、特に小規模な水道施設に多く残存していること等から、これらの施設から供給する飲料水の安全性を守るためには、耐塩素性病原生物対策をより一層推進していく必要が生じている。一方で近年、紫外線照射によるクリプトスポリジウム及びジアルジアの不活化の有効性に関する知見が得られてきており、ろ過と比べ簡便な手法として導入することが可能であると判断されるに至った。

こうしたことから、2007年3月に耐塩素性病原生物対策に紫外線処理を新たに位置づけるため、水道施設の技術的基準を定める省令が改正されるとともに、従来の「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」が廃止となり、新たに「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」がとりまとめられた。あわせて、指標菌及びクリプトスポリジウム等の検査方法等についても関係通知で整理が行われた。なお、現段階では紫外線処理は水道法上の消毒としての位置づけがなされている訳ではないことに留意する。

(省令改正要旨)

- (1) 原水に耐塩素性病原生物混入の恐れがある水道施設において、以下の要件を備えている場合には、耐塩素性病原生物を除去する事ができる濾過等設備が設けられていなくてもよい事とする。
 - ① 地表水を原水としないこと。
 - ② 紫外線が照射される水の濁度、色度その他の水質が紫外線処理に支障がないものであること。
 - ③ 原水中の耐塩素性病原生物を不活化することができる紫外線処理設備が設けられていること。
- (2) 紫外線処理を用いる浄水施設は、以下の要件を備えるものでなければならないこととする。
 - ① 紫外線照射槽は、紫外線処理の効果を得るために必要な時間、水が紫外線に照射される構造であること。
 - ② 紫外線照射装置は、紫外線照射槽内の紫外線強度の分布が所要の効果を得るものとなるように紫外線を照射する構造であるとともに、そうした紫外線を常時安定して照射するために必要な措置が講じられていること。
 - ③ 水に照射される紫外線の強度の監視のための設備が設けられていること。
 - ④ 紫外線が照射される水の濁度及び水量の監視のための設備が設けられていること。ただし、濁度の監視のための設備については、その水の濁度が紫外線処理に影響を及ぼさないことが明らかである場合は設けられなくてもよい。
 - ⑤ 紫外線照射槽内に紫外線ランプを設ける場合は、紫外線ランプの破損を防止する措置が講じられ、かつ、ランプの状態の監視のための設備が設けられていること。

水道水源をリスクレベルで4段階に区分

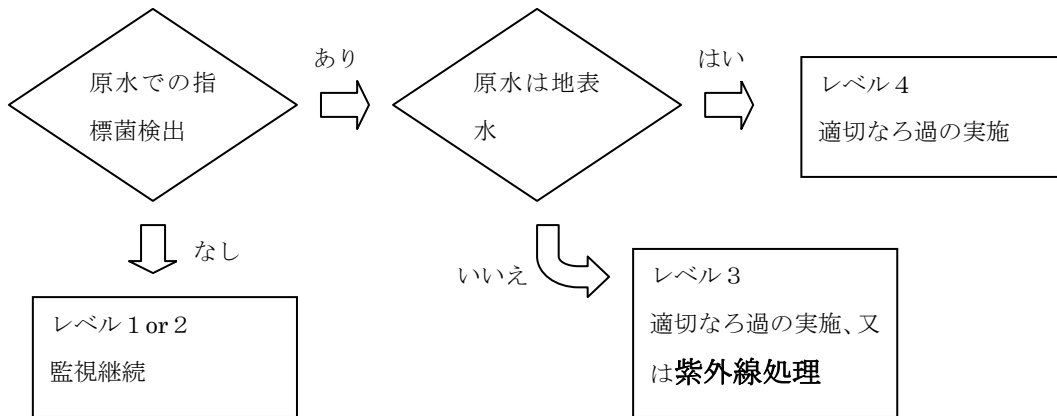


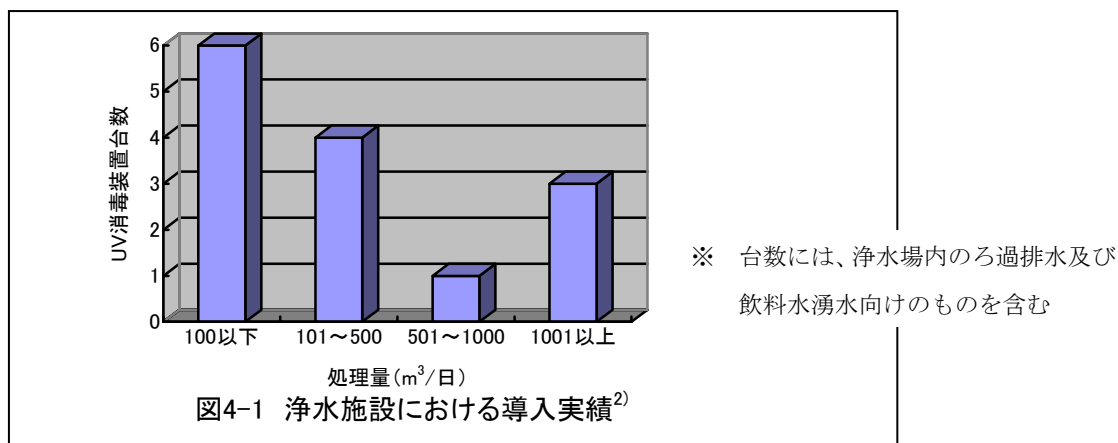
図3-1 水源リスクレベル判断フロー
(参考文献⁷⁾ のレベル1・2を包括表記)

- 1) 平成19年厚生労働省令第54号「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」
- 2) 平成19年3月30日付け健水発第0330004号厚生労働省健康局水道課長通知「水道施設の技術的基準を定める省令の一部改正について」
- 3) 平成19年3月30日付け健水発第0330005号厚生労働省健康局水道課長通知「水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について」

Q4 紫外線処理技術の歴史は^{1)~3)}

紫外線を用いた水処理技術は、欧州では 20 世紀初頭から主に飲料水の消毒及びレクリエーション水対策のために、また、米国では 1950 年代から下水の消毒のために適用されてきた。今日では上記目的の他、食品製造、製薬、水産加工、電子産業等広範な範囲で微生物の消毒・不活化や有機物の分解技術として使用されている。近年、クリプトスポリジウムの不活化に紫外線照射が有効であることが証明されてからは、米国でも上水道分野への利用が広がっている。

一方で、我が国においても 1970 年代になってから食品製造、製薬、水産加工等において普及が進み、その利用範囲を広げてきた。この間、清水系では飲料水製造等の分野で 20 年以上、大規模水処理プラントとしては下水道分野で 10 年以上の実績を得ており、システム、装置本体の耐久性、信頼性等、処理技術のハード面についてはほぼ確立されているといえる。今後は前述の省令改正を受けて、上水道分野での利用拡大が期待される場所である。なお上水道分野では認可を受けた導入事例は無いが、試験的導入も含めた浄水施設への導入事例としては図 4-1 に示す通りで、事実上は既に導入が始まっているといえる。



- 1) 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)
- 2) 日本紫外線水処理技術協会準備会，浦上逸男，日本紫外線水処理技術協会設立へ向けての動き，第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 3) 石橋良信，国内外における紫外線消毒の上下水道への導入動向，水環境学会誌，Vol.28，No.4(2005)

表 紫外線処理技術の歴史 (参考文献¹⁾ の記述に一部追加して作成)

1887年	Downes and Blunt 日光に殺菌作用があることを発見
1901年	人工の紫外線光源として水銀ランプが開発される。
1906年	石英が紫外線の伝達物質として使用される。
1910年	フランスのマルセイユで初めて飲料水の消毒に使用される。
1929年	Gates 紫外線消毒と核酸の紫外線吸収との関連を明らかにする。
1930年代	蛍光灯が開発され、殺菌に効果のある管状ランプの生産が始まる。
1940年	国産第1号の紫外線殺菌ランプ生産。
1950年代	紫外線消毒のメカニズムと微生物の不活化に関する研究が盛んとなる。
1955年	スイスとオーストリアで、地方自治体の水道において初めて紫外線消毒が適用される。
1975年	ノルウェーで初めての水道用紫外線消毒設備が設置される。
1970年代	食品製造工場、製薬工場、水産加工場等において普及が進む。
1980年	オランダで初めての水道用紫外線消毒設備が設置される。以降ノルウェー及びオランダ両国では紫外線消毒が一般的となる。
1985年	この年までにスイス、オーストリア両国で導入された紫外線消毒設備の累計はそれぞれ 500 と 600 に達した。
1980年代	電子・半導体工場等における超純水の製造ラインに普及が進む。
1996年	この時点で欧州における飲料水用紫外線消毒システムが 2000 を超える
1990年代	下水・農業集落排水処理施設等に普及が進む。
1999-2002年	動物細胞への感染性による評価により、少ない照射量であっても紫外線消毒がクリプトスポリジウムの不活化に有効であることが見出され、その効果が再評価される。
2002年	フィンランド、ヘルシンキ市のピトキャスコキ浄水場において処理水量 220, 000m ³ /日という大容量浄水処理に紫外線消毒が適用される。 高効率浄水技術開発研究 (ACT21) の研究成果として、(財)水道技術研究センターが「代替消毒剤の実用化に関するマニュアル」を作成。
2003年	USEPA より紫外線消毒のガイダンスマニュアル案が示される。
2004年	WHO より「飲料水ガイドライン第3版」が刊行される。 青森県八戸圏域水道企業団 (最大給水量 20, 000m³/日) において紫外線消毒が適用される。
2005年	(社)日本水道協会が「水道でのクリプトスポリジウム不活化を目的とした紫外線消毒装置導入のためのガイドライン(案)」を作成。 環境影響低減化浄水技術開発研究 (e-Water) の研究成果として、(財)水道技術研究センターが「紫外線消毒ガイドライン」を作成。
2007年	省令の一部改正により、クリプトスポリジウム等対策としての上水道への紫外線処理導入が認められる。

(斜字は国内におけるトピックス)

Q5 紫外線照射装置規格化の状況は？

紫外線照射装置の品質確保を目的として、装置供給側団体の日本紫外線水処理技術協会（JUVA）が設立されており、2007年6月現在、国内の照射装置メーカー及びプラントメーカー計16社が正会員として名を連ねている。具体的活動としては装置の規格化、標準化を推進して紫外線照射量の検証方法等の提案を行い、装置の性能等を協会認定することを目指している。現在 JWRC 規格として2つの規格（JWRC-UV001：水道用低圧紫外線処理装置規格、JWRC-UV002：水道用中圧紫外線処理装置規格）が策定される予定で、水道用低圧紫外線処理装置規格は2008年2月に発刊される見込みである。このことにより紫外線処理に関する技術情報のさらなる集積、整理が進むことになるが、紫外線照射装置はシンプルさがセールスポイントの一つであり、規格もシンプルに判りやすい形で整理されることが、紫外線処理の一層の普及促進を図る上で期待される。

詳しくは水道技術研究センターホームページを参照されたい。

Q6 「カルゴン特許」問題とは？

クリプトスポリジウム対策として紫外線照射装置を導入する場合、事業者側の負うリスクの一つとして、いわゆる「カルゴン特許」の問題があげられる。これは活性炭の製造で知られるアメリカのカルゴンカーボン社が、クリプトスポリジウムの無害化を非常に少ない UV 照射線量で行なう技術に関しての特許を主張している問題で、特許が成立した国においては、自社製品以外の紫外線照射装置をクリプトスポリジウム対策として使用した場合、特許使用料を装置の使用者、つまり事業者に要求しているということである。我が国においては、同社から特許申請された3案のうち、2つは特許庁から既に拒絶されており、残る1つの内容にも新規性はなく、日本で成立する可能性はほとんどないと関係者は推測している。ただし万一成立した場合、ロイヤリティー負担の問題が生じる可能性がないとはいえない。

Q7 浄水用紫外線処理設備の構成は^{1)~4)}

紫外線処理設備は、紫外線照射部と電源制御盤とで構成される非常にシンプルな構造である。構造別に見ると、処理水が管路内を流れるか、開放された水路を流れるか、また紫外線ランプがスリーブを介して処理対象水の内部にあるか（内照式）、外部にあるか（外照式）で大別される。紫外線ランプ本数を4本に統一した概念図を図7-1に示す。

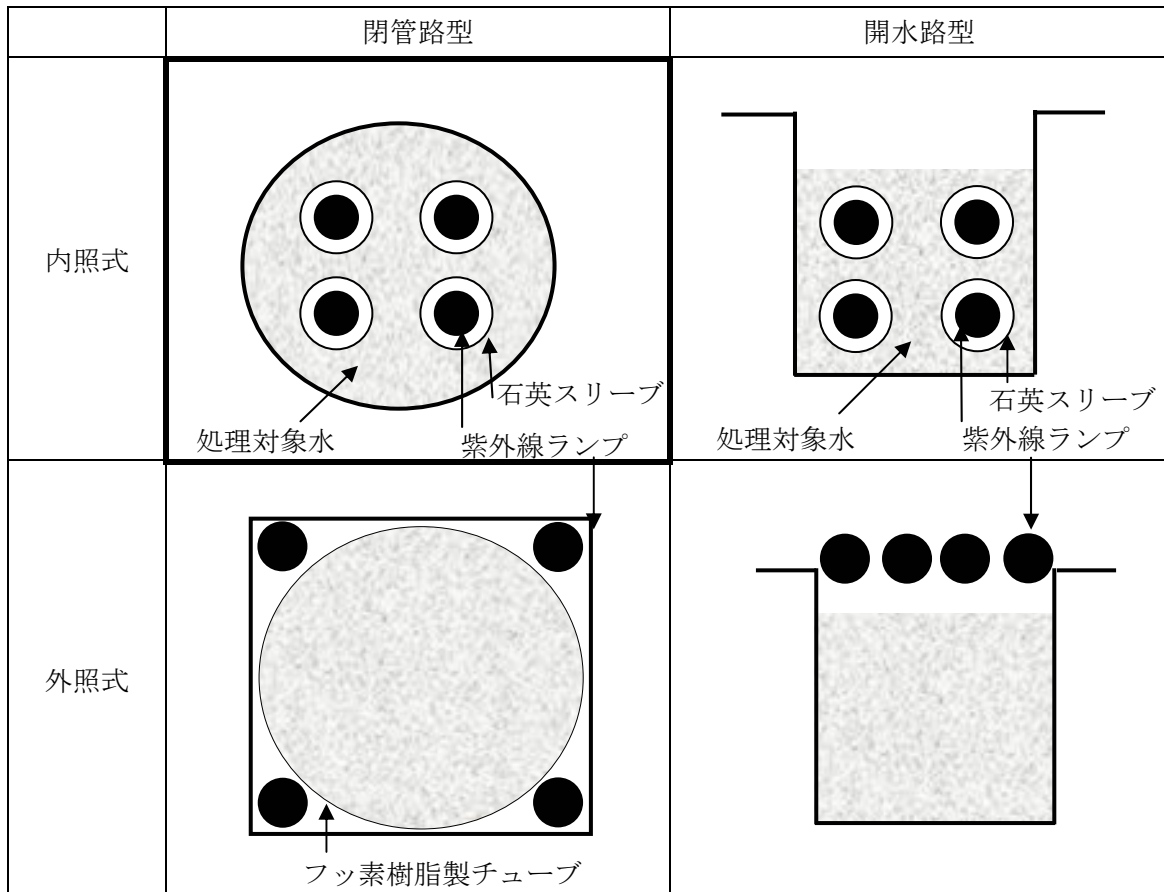


図7-1 紫外線照射装置のタイプ別模式図（参考文献³⁾の図を参考にして作成）

処理水量にも依存するが、浄水処理では閉管路型内照式が採用される場合が多い。その理由として、照射効率が良い、設置面積が少なくすむ、空気由来の汚染の心配がない、作業従事者への紫外線曝露の危険性が低い、紫外線ランプユニットの装着が単純である、等が挙げられる。そのため、閉管路型内照式の模式図を図7-2に示す。紫外線ランプはランプ自体を保護し絶縁させるランプスリーブ内に格納されている。ランプスリーブには処理水との接触で沈着物が付着するため、自動スリーブ機械洗浄装置が備わっていることが望ましい。また、常に設計性能が得られるように維持管理（運転状態の点検、保守部品の交換、センサ類の校正）を適正な頻度と方法で実施しなければならない。

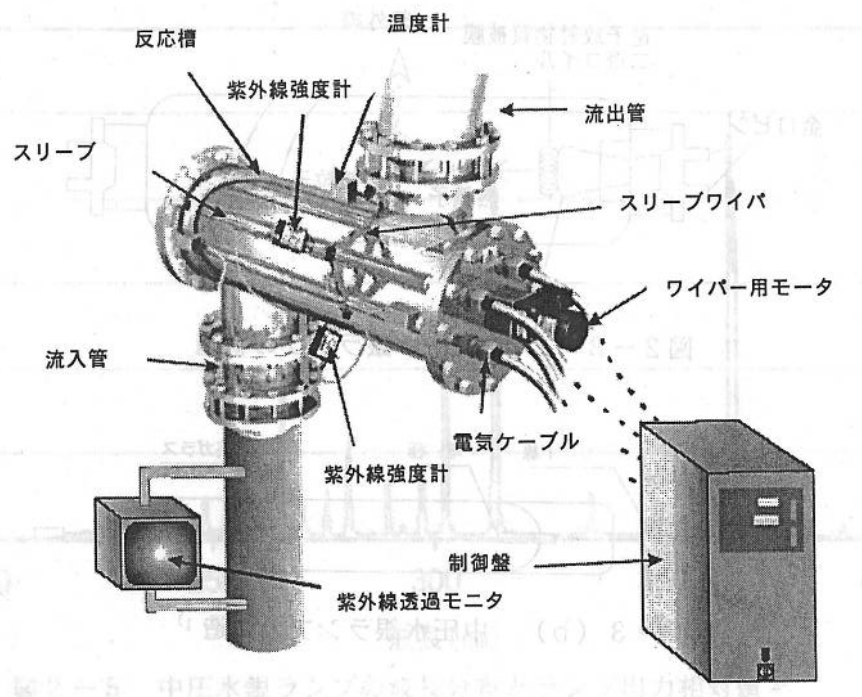


図 7-2 閉管路型内照式の紫外線照射装置の構成部品¹⁾

- 1) 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)
- 2) 平成 19 年 3 月 30 日付け健水発第 0330005 号厚生労働省健康局水道課長通知「水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について」
- 3) 日本紫外線水処理技術協会準備会，浦上逸男，日本紫外線水処理技術協会設立へ向けての動き，第 9 回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 4) 日本水道協会水道技術総合研究所 他，水道でのクリプトスポリジウム不活化を目的とした紫外線消毒装置導入のためのガイドライン（案），水道協会雑誌，Vol.74，No. 5(2005)

Q8 低圧と中圧各水銀ランプの特徴は？^{1)~3)}

浄水場での紫外線処理に用いられるランプには、大別して低圧水銀ランプおよび中圧水銀ランプのいずれかが使用される。各水銀ランプの一般的な性状を表 8-1 にまとめる。大規模な施設では中圧ランプが、それ以外の施設では低圧ランプが使用されることが多い。

また、水銀フリーの紫外線光源の候補としてキセノン・フラッシュ・ランプやエキシマ・ランプがあり、さらには紫外 LED の開発も現在進んでいる。

表 8-1 低圧水銀ランプと中圧水銀ランプの一般的性状（参考文献^{1) ,2)} を元に作成）

項目	低圧水銀ランプ	中圧水銀ランプ
波長	単波長（253.7nm）	多波長（254nm を含む）
メンテナンス	変換効率が高い ランプ寿命長い 概して年一回のランプ交換 1本あたりの出力が小さい ランプ本数が多く設備が大きくなる 大容量施設に対応困難 多灯装置のため、ランプ不点時の影響が少ない 運転温度が低いためスリーブに汚れが付着しにくい 単波長のため生物が繁殖しにくい	変換効率が低い ランプ寿命短い 概して年二回のランプ交換 1本あたりの出力が大きい ランプ本数が少なく設備を小さくできる 大容量施設に対応可能 小灯装置のため、ランプ不点時の影響が大きい 運転温度が高いため、スリーブに汚れが付着しやすい 多波長のため藻類が繁殖することがある
共通の課題	水銀蒸気を使用しているため、スリーブが破損した場合には温度差により水銀ランプの破損も生じ、ランプ内の水銀が処理水中あるいは紫外線照射装置の外部に流出する	

- 1) 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)
- 2) 日本紫外線水処理技術協会準備会，浦上逸男，日本紫外線水処理技術協会設立へ向けての動き，第9回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 3) 海賀信好，紫外線ランプ技術の開発動向，水環境学会誌，Vol.28，No.4(2005)

Q9 紫外線照射装置の性能はどのように確認するのか^{1)~3)}

紫外線照射量は紫外線強度と照射時間の積により求められる。紫外線照射装置内において、紫外線強度は紫外線ランプからの距離により紫外線強度分布が生じる。また照射時間は、必ず装置内に流れの速い部分と遅い部分があるので、滞留時間分布が生じる。それら分布を把握し、紫外線照射量を求めるために液体シミュレーション技術が活用されている。

また、実際の装置での紫外線照射量を正確に把握し、必要な紫外線量を達成するための運転条件を明らかにすることを目的に、有効性確認試験 (validation : バリデーション) が行われる。その手法は、あらかじめ紫外線感受性を測定してある指標微生物を使用して、実際の紫外線照射装置での不活化試験を実施し、その結果から逆に装置の与えた紫外線照射量を得る方法が用いられる。この手法は、いわば微生物を線量計として使用するため、生物学的線量計 (bio-dosimetry : バイオドジメトリー) 等と呼ばれる。また、この生物学的線量計で得られた紫外線照射量のことを、特に換算等価紫外線照射量 (Reduction Equivalent UV Dose : 以下 RED という)ともいう。この試験では、流量計等の各測定機器の値が重要となる。また、U.S.EPA ではそれと同時に平行光線の紫外線を用いた回分型の紫外線感受性測定試験も行うことを義務付けている。そして、対象となる病原生物の何 log 不活化を保証できるか、様々な安全率を考慮して決定する。

指標微生物は、病原性がなく安全で第三者機関が追試可能な微生物の中から選択する。代表的な事例としては、枯草菌 (*Bacillus subtilis*)、大腸菌 (*E. coli*)、あるいは Q β 、MS2 等のファージが挙げられる。

現在、JUVA において紫外線照射装置の性能検査規格が作成中である。アメリカ環境保護庁 (U.S.EPA) やドイツガス水道技術協会 (DVGW)、オーストリア管理基準 (ÖNORM M 5973-1) 等、それぞれの国において紫外線照射装置の規格が作成されている。

シミュレーション (simulation)	目的：装置内の紫外線強度分布や滞留時間分布を把握する
方法 (1) 紫外線照度分布プログラム 装置内すべての位置の紫外線照度を正確に計算するプログラム (2) 数値流体解析プログラム 装置の形状やバッフルおよび処理流量等による影響を計算して、装置内の水の軌跡（流れ）を求めるプログラム	

有効性確認試験 (validation)	目的：必要な紫外線量を達成するための運転条件を明らかにする
方法 (1) 紫外線感受性測定試験 指標微生物を使用し、平行光線の紫外線を用いた回分型の装置により、不活化率を求める試験 (2) 生物学的線量計試験（bio-dosimetry） 指標微生物を使用し、実際の装置に通水して不活化率を求めて、その不活化率に対応する紫外線照射量を求める試験。	

$$\text{紫外線照射量 (mJ/cm}^2\text{)} = \text{紫外線照射強度 (mW/cm}^2\text{)} \times \text{照射時間 (s)}$$

- 1 紫外線照射量を有効性確認試験（生物線量計による間接測定）で求める。
- 2 又は、紫外線照射強度や照射時間をシミュレーションで計算して、紫外線照射量を求める。

参考 紫外線照射装置における紫外線照射量の確認方法

- 1) 浦上逸男著，初歩から学ぶ紫外線殺菌，工業調査会(2005)
- 2) 廣戸裕子，大瀧雅寛，UV 装置の管理基準（オーストリアの例）と生物線量計の新しい試み，第 9 回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)
- 3) 神子直之，USEPA 紫外線殺菌導入マニュアルにおける紫外線量の確認方法，第 9 回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)

Q10 上水道における紫外線処理の事例は？

国外ではすでに多くの浄水場で導入事例があり、欧州や北米を中心に 5,000 箇所以上の実績がある¹⁴⁾。国内の上水道分野でも、Q4 で示したようにわずかではあるが稼働中の施設もあり、計画中の施設も含めて国内の導入事例について次に示す。なお、1 および 2 の記載内容は各水道事業者に対して行った聞き取り調査に基づき整理したものである。

1 上水道における導入事例(稼働施設)

【概要】 従前は湧水を塩素消毒のみで給水。原水からクリプトスポリジウムの指標菌が検出されたため、マイクロブロックろ過や小型紫外線照射装置等の比較実験を経て、2004 年 4 月から紫外線処理を導入している。設備諸元や運転実績に基づく運転状況等を次に示す。

【給水能力】 最大給水能力 20,000m³/d、平均給水能力 15,000 m³/d

【処理フロー】

原水 → 調整井 → 紫外線消毒 → ポンプ井 → 次亜塩消毒 → 配水池

【採用理由】 塩素消毒の補完設備として、紫外線照射量 40mJ/cm² の照射で病原体を不活化して安全性を確保するため。

【設備仕様】 UVユニット : 2基(内1基予備(将来工事))、内径 500mm×長さ 2,104mm
 照射方法 : 内照・インライン・横型・平行流
 ユニット構成 : 低圧高出力 18 ランプ/基
 ユニット処理水量 : 20,000m³/d・基
 紫外線照射量 : 40mJ/cm² 以上
 紫外線透過率 : 95%以上
 洗浄方式 : ワイパによるオンライン機械洗浄

【原水水質】

表 10-1 原水水質 (1989～2006 年)

項目	最高	最低	平均	検出頻度
水温	12.7	9.2	10.8	—
pH値	8.06	7.55	7.85	—
硝酸態窒素	5.67	2.01	3.79	—
総硬度	135	95.0	120	—
一般細菌	160	0	5	166/216
大腸菌	11.0	0.0	1.3	13/36
嫌気性芽胞菌	0	0	0	0/36

- 【運転制御】
- ・ 照射装置は配水池への送水ポンプと連動して運転－停止。ただし、湧水量が 7,000 m³/d 以下の場合でないとポンプ停止の機会がないことから、通常運転では照射装置は連続運転となる。
 - ・ 有人浄水場にて遠方常時監視制御。
 - ・ ランプの初期出力 80%で運転開始し、770 時間毎に運転出力を 2%ずつ上げ、1 年毎のランプ交換時に出力 100%となるように出力を段階的に調整。
 - ・ 原水濁度を 2 箇所の高感度濁度計で監視し、大雨、地震等により濁度が 0.5 度を超えた場合は取水停止。
 - ・ 制御盤での故障表示項目は次のとおり。
 - ① 紫外線照射強度低下
 - ② 紫外線ランプ切れ
 - ③ 安定器故障
 - ④ ワイパ故障

【導入検討における特記事項】

- ・ 導入前の小型装置による実験では、微生物（一般細菌、大腸菌群、大腸菌、嫌気性芽胞菌、従属栄養細菌）の除去性及び石英保護管のスケール付着状況を主に確認した。
- ・ 導入決定に際しての紫外線処理の評価
 - 長所 メンテナンスフリー、コスト安
 - 短所 国内の実績無のため想定外のトラブル発生のリスク有

【維持管理における特記事項】

- ・ 年間のランニングコストは次のとおり。算出根拠は表記項目に基づくものであくまでも参考であるが、処理量 1m³ あたりで換算すると、0.54 円/ m³となる。

表 10-2 ランニングコスト

項目	内訳	金額
ランプ交換費用	7 万円/本×18 本	126 万円
点検整備費用	交換部品費含む	64 万円
電力料	0.0081kWh/m ³ ×24.2 円/ kWh×560 万 m ³	110 万円
計		300 万円

- ・ 日常、定期点検におけるチェック項目は次のとおり。

表 10-3 点検表

点検箇所	点検		点検内容
	日常点検	定期点検	
装置本体	○		漏水等
	○		ボルト、ナットネジの緩み
	○		ケーブル、コネクタ等の緩みや破損
	○		異常な振動、騒音、発熱の有無
UV ランプ		○	定期点検・交換(実働点灯時間1年間)
石英スリーブ		○	付着スケールの除去(硝酸・クエン酸)
UV 制御盤	○		ケーブル、コネクタ等の緩みや破損
	○		異常な振動、騒音、発熱の有無
	○		点灯時間、UV 強度値の記録
ワイパ洗浄	○		異常な振動、騒音、発熱の有無
		○	定期点検(ワイパゴムの劣化等)

- ・ 現状では空調機器による温度管理、湿度管理は行っていないが、照射装置の結露に起因すると考えられる軽度の異常が認められたため、結露対策を検討中。
- ・ 3年間の運転期間中、洗浄ワイパ駆動部の故障や紫外線強度計の不具合があったものの、運転に支障を来すような重大な故障は発生しなかった。
- ・ 一時期、照射量が $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ を下回る期間もあったが、後にこの現象は強度計センサの感度低下が原因と判明しており、結果的には概ね紫外線照射量 $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上を維持していたと判断できる。

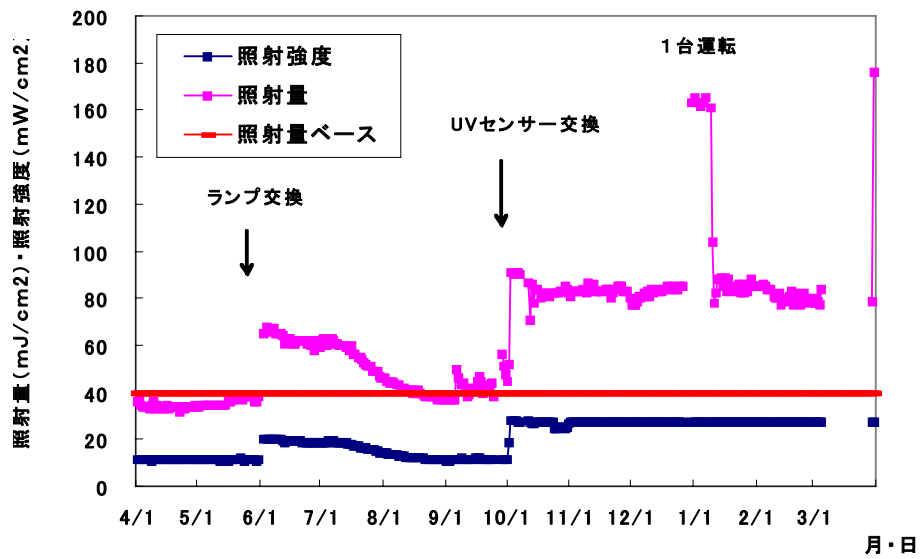


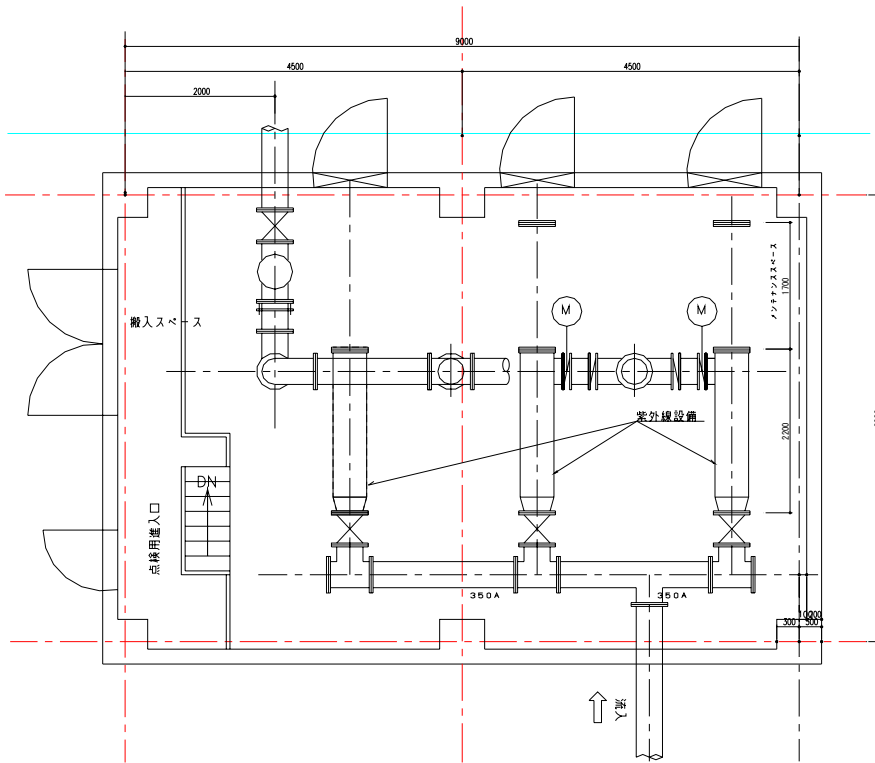
図 10-1 紫外線強度計センサ感度低下による影響

- ・ 石英保護管のスケール付着は若干確認できたが、照射強度には影響無し。
- ・ 紫外線照射後の処理水では大腸菌は検出されていない。

表 10-4 処理水水質（細菌関係）（2004.4～2007.3）

	原水				処理水			
	一般細菌	大腸菌群	大腸菌	ウェルシユ菌	一般細菌	大腸菌群	大腸菌	ウェルシユ菌
	CFU/mL	MPN/100mL		CFU/100mL	CFU/mL	MPN/100mL		CFU/100mL
最高	93	249	11.0	0	3	0	0	0
最低	0	1	0	0	0	0	0	0
平均	6.7	36	1.3	0	0.2	0	0	0
検出回数	26/36	36/36	13/36	0/36	5/36	0/36	0/36	0/36

紫外線設備室（1階）計画平面図



紫外線設備室（2階）計画平面図

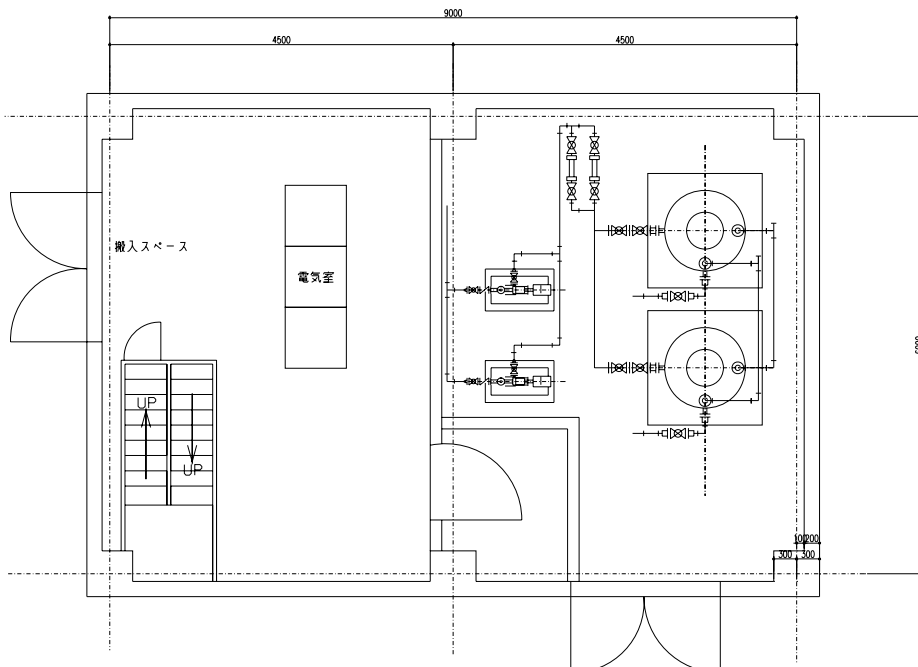


図 10-3 設置計画平面図（参考）

【原水水質】

表 10-5 原水水質 (2001年～2006年)

留意すべき現象	項目		最大値
照射の阻害	濁度	度	0.1
	色度	度	1
紫外線の吸収	亜硫酸	mg/L	—
	亜硝酸	mg/L	<0.005
	フェノール類	mg/L	<0.005
	紫外線吸光度	abs./50mm	0.011
スケール等による透過の阻害	鉄	mg/L	0.01
	硬度	mg/L	142
	硫化水素	mg/L	<0.005
	臭気	(参考)	異常なし
	マンガン	mg/L	<0.005

- 【運転制御】
- ・ 既存配水池TM設備を改造して、拠点監視所において遠方監視制御を行う。
 - ・ 照射装置内の停滞を避けるため、揚水ポンプの起動停止条件を再検討して、連続運転を前提とした運転パターンとする。

【導入検討における特記事項】

- ・ 膜ろ過処理に対して建設費・維持管理費がどの程度抑制できるかを検討し、概算建設費は膜ろ過処理とした場合に対して 1/3 程度を見込んでいる。
- ・ 地震等による紫外線ランプ破損対策としては、照射装置 2 次側にストレーナーを設置する他、既存の着水井（塩素混和池）の滞留時間を活用することとして、その出口に緊急遮断弁を設置する。

【変更認可申請における特記事項】

- ・ 審査時に、対策指針 3-(1)-(イ)-(b)-①に記載の「紫外線照射槽を通過する水量の 95%以上に対して、紫外線（253.7nm 付近）の照射量を常時 10 mJ/cm² 以上確保できる」紫外線処理設備であるかについて資料を求められた。ただし、変更認可申請時点では設置する製品を特定できないため、規格の存在しない状況下では、申請時点で事業者側から具体的な説明資料を提出することは困難である。

【維持管理における特記事項】

- ・ ランプの出力低下とランプ表面へのスケール付着が紫外線照射量に影響を及ぼす要因と想定されるため、紫外線強度を重点監視することが重

要と考えている。

- 予備機の運用方法及びランプ交換時期等、常用と予備の使い分けを整理する必要がある。

Q11 他分野における紫外線処理の導入実績は？¹⁾

紫外線処理技術は下水道でも活用されているが、他にも民間では様々な分野にわたって、数十年の使用実績がある。これら諸工業部門の納入実績等を目的別に表 11-1～2 に示す。使用目的や装置に要求される能力が異なるため、上水道における使用と同列に扱えないことは勿論であるが、これらの導入実態をみると、紫外線を利用した水処理技術自体はそれ程特異なものではないことがよくわかる。

表 11-1 殺菌・不活化目的での導入動向¹⁾

No.	処理対象			紫外線光源		処理効果		納入実績
	業種	対象水	UV 透過率 設定値※	ランプ 種類	ランプ 電力 (kW)	主な対象微 生物	目標殺菌率 (%)	
1	食品製造業	製造用水	90～99% 以上	低圧及び中圧 水銀ランプ	39W～ 3.5kW	耐熱耐塩素性 細菌・一般細菌	99.9～99.99	数 100 台
2	食品製造業	液糖	数%～80% 以上	低圧及び中圧 水銀ランプ	100W～2kW	耐熱性細菌	99～99.9	数 100 台
3	水産加工業	養殖・加工用水	90%以上	低圧水銀ランプ	65～120W	腸炎ビブリア	99.9	100 台以上
4	水産加工業	海水	90%以上	低圧水銀ランプ	39～95W	大腸菌群	99.9	300 台以上
5	医薬製薬業	製造水用	100%	低圧水銀ランプ	39～120W	耐熱性細菌	99.9	100 台以上
6	その他製造業	製造水用	95%	低圧水銀ランプ	39～65W	耐熱性細菌	99.9	1500 台以上
7	電子産業	純水	99%	低圧水銀ランプ	65～160W	耐熱性細菌	99.9	1000 台以上
8	24 時間風呂用	浴槽循環水	70%	低圧水銀ランプ	5W	大腸菌群	99.9	10000 台以上
9	浄水器	水道水	90%	低圧水銀ランプ	5W	耐熱性細菌	90	8000 台以上

※ (254nm、10mm セル)

表 11-2 有機物分解を目的とした導入動向¹⁾

No.	処理対象			紫外線光源		処理効果		納入実績
	業種	対象水	UV 透過率 設定値※	ランプ 種類	ランプ 電力 (kW)	主な対象微 生物	目標殺菌率 (%)	
1	電子産業	超純水	99%以上	低圧水銀ランプ	65～200kW	TOC	90.00	500 台以上
2	電子産業	純水	—	低圧及び高圧 水銀ランプ	0.5～20kW	TOC	—	数 10 台以上
3	一般産業用	廃水	—	低圧水銀ランプ	65～200kW	TOC	—	数 10 台以上
4	ゴミ処分場	浸出水	—	中圧水銀ランプ	1.5kW	ダライキン	90%	数台

※ (254nm、10mm セル)

表 10-3 その他の導入動向¹⁾

No.	処理対象			紫外線光源		処理効果		納入実績
	業種	対象水	UV 透過率 設定値※	ランプ 種類	ランプ 電力 (kW)	主な対象微生物	目標殺菌率 (%)	
1	プール	プール水	90～95%	低圧及び高圧 水銀ランプ	65～95W、 3.5kW	kMnO ₄ 消費量、 大腸菌群、クロロミン	99.9%(殺菌)	100 台以上
2	景観施設	景観用水	70%以上	低圧及び高圧 水銀ランプ	25～95W	アコ	(アコ抑制)	300 台以上
3	温泉	温泉水	70%以上	低圧水銀ランプ	65～95W	レジオネラ菌	100%	数 10 台
4	酒造用水	清酒希釈水		低圧水銀ランプ	95W	除鉄	99%	数台
5	電子産業	ワゾン水		低圧水銀ランプ	95W	残留ワゾン	99%	数台

※ (254nm、10mmセル)

1) 岩崎達行, 諸工業等における紫外線技術の導入動向, 水環境学会誌, Vol.28, No.4 (2005)

Q12 紫外線処理設備の導入検討における留意点とは？

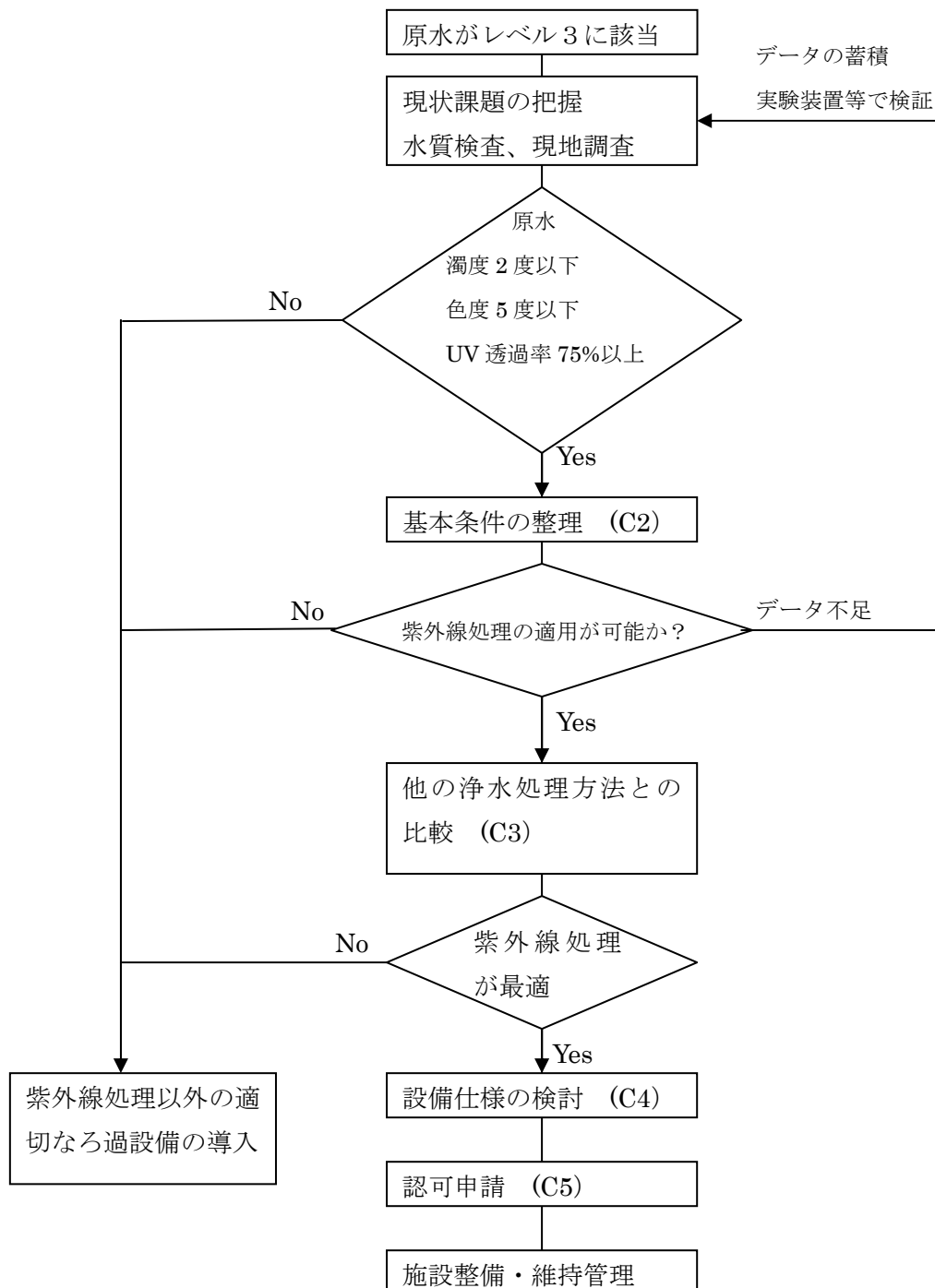
以下の文献などを元に、一般的な導入時の検討事項の例を示す。

- 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)
- 平成 19 年 3 月 30 日付け健水発第 0330005 号厚生労働省健康局水道課長通知「水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について」平成 19 年 3 月 30 日付け厚生労働省健康局水道課事務連絡「紫外線処理設備について」
- 日本水道協会水道技術総合研究所 他，水道でのクリプトスポリジウム不活化を目的とした紫外線消毒装置導入のためのガイドライン（案），水道協会雑誌，Vol.74，No. 5(2005)
- 浦上逸男著，初歩から学ぶ紫外線殺菌，工業調査会(2005)
- 宮ノ下友明，紫外線殺菌装置の設計の要点－USEPA 紫外線殺菌導入マニュアルより－，第 9 回日本水環境学会シンポジウム講演集(2006)

C1 検討の流れ

紫外線処理設備の導入を念頭においた検討のフロー図の例を下に示す。

紫外線処理設備導入検討のフロー図例



C2 基本条件の整理

耐塩素性病原生物対策として紫外線処理設備の導入を検討する場合は、必ず「クリプトスポリジウム等対策指針」の基準を満足する必要がある。原水の条件が対策指針の条件に適合することを確認した上で、表に示すように基本条件を整理し、対象とする水道施設における処理方法として、紫外線処理の適用が可能かを判断する。

表 紫外線処理の導入の基本検討例

検討項目	判断基準
現状の課題、導入目的	現状の設備があればその課題と、紫外線処理設備を導入する目的
原水の水質 (レベル3)	原水は濁度 2 度以下、色度 5 度以下、UV 透過率 75%以上か？（何年間のデータに基づいて判断しているか）
原水の水質 (維持管理上)	鉄分 0.1mg/L 以上、硬度 140mg/L 以上、硫化水素 0.2mg/L 以上だとスケール発生しやすい
原水の微生物 検査	指標菌や従属栄養細菌等がどの程度検出されているか
処理水量、流量の把握	処理水量と最大流量を把握して、どの程度の紫外線処理設備が何台必要かの目安をたてる
最大滞水時間	温度上昇や間欠運転の原因となるため、なるべく短いことが望ましい
適切な紫外線照射量の選定	耐塩素性病原生物対策として 10mJ/cm ² 以上 (その他例えば、病原細菌や病原ウイルスの不活化等を目標とする場合は、目的に応じた目標値設定が必要となる)
設置場所の選定	なるべく一定の流量が確保でき、既存の建屋やテレメータが使用可能、温度や湿度管理が可能な場所が望ましい
塩素注入設備との位置関係	紫外線により、わずかながら遊離塩素濃度が低下するため、塩素注入設備の前に紫外線照射装置を設置することが望ましい
補機類について	携帯型紫外線強度計は常備が望ましい。原水濁度計 (2 度以下が明らかでない場合)、装置の前後ストレーナー等

C3 他の浄水処理方法との比較

紫外線処理の適用が可能であれば、次に紫外線処理と他の浄水処理方法との比較を行う。
この比較は原水水質や処理水量等で条件が変化するため、参考例として下の表に示す。

表 他の浄水処理方法との比較例

処理方法	紫外線処理	膜ろ過	急速(緩速)ろ過	備考
建設費用	建設費用は一般的には紫外線処理が最も安いと言われているが、実際の費用は既存設備の活用に応じて大きく異なる為、土木工事や建屋、送電盤設置費等、全てを含めて建設費用を計算する必要がある。			各処理に応じた使用可能な既存設備の把握
既存設備の活用 (建屋や送電盤)				
維持管理費用	安い	高い	高い	遠隔操作の有無で異なる
管理人員	少ない	少ない	緩速は多い	
設置面積	小	中	大	前処理設備の導入で異なる
耐塩素病原性微生物への効果	10mJ/cm ² で3log(99.9%)の不活化	MF膜で6logから7log程度の除去	3log程度の除去	
各処理装置特有の取水停止条件	・原水濁度上昇・ランプの破損・温度上昇	・膜の異常	・ろ過池の閉塞	
総合的な長所	・建設費、維持管理費が安い・設置面積が小さい	・耐塩素性病原生物の確実な除去	・昔から浄水場で用いられてきた技術・職員が慣れている	
総合的な短所	・原水の変化に弱い・上水道での導入事例が少ない	・建設費、維持管理費が高い	・費用対効果が低い・管理に人員が多くいる	

C4 設備仕様の検討

対象とする水道施設において、紫外線処理を適用することが最適と判断した場合、紫外線処理設備導入に向けて基本的仕様の検討を行い、処理条件に適合する設備となるよう、最適な仕様を決定する。その検討項目等の例を下の表に示す。

表 紫外線処理設備仕様の検討項目リスト例

比較項目	検討内容	留意すべき事項
1 装置の形式	内照式か外照式、閉管路型か開水路型等	内照式閉管路型が望ましい
2 装置の品質確保	日本(JUVA)、アメリカ(U.S.EPA)、ドイツ(DVGW)、オーストリア(ÖNORM M 5973-1)等	どのような基準に準拠した製品なのか？
3 装置、制御盤の設置台数	計画処理水量、1台あたりの処理能力、緊急時対応、費用等	設置台数を増やすと危機対応は可能だが維持管理費が高くなる。
4 ランプの紫外線照射量	処理水の95%以上に10mJ/cm ² 以上(厚生労働省「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」に適用するか)	確認方法(バリテーションやシミュレーション)の確認が必要
5 その他ランプ情報	ランプ形式(低圧か中圧か)、装置1台あたりの本数、動作温度、装置内の配置、設置方向、交換後の処分方法、消費電力、交換効率、水銀使用量、寿命、交換方法	小規模だと、低圧ランプの使用が望ましい
6 ランプスリーブについて	材質(石英管かフッ素コーティング石英管か)、圧力耐性、紫外線透過率、	内部の結露対策や洗浄方法(自動洗浄と装置を停止しての化学洗浄)も把握
7 出力の監視方法、センサの種類と設置位置	センサの位置(乾式か湿式か、装置のどこに設置するか)と個数、構成方法と構成回数、	携帯型の紫外線強度計を購入してクロスチェックすることが望ましい
8 出力、照射量の制御方法	ON-OFF 運転のみか、一定点灯時間毎に出力を上げていく照射量調整方式か	頻繁な ON-OFF はランプ寿命を短くする。
9 電気設備について	必要電源、入力信号、配電設備、変圧器容量、無停電装置	遠隔制御システムや非常用電源の設置が望ましい
10 装置停止の条件と対応	間欠運転の対応、ランプ破損時の対応、運転停止条件、再起動時間、空運転時の対応	濁度上昇時やランプ破損時にはすぐに停止できるシステムが必要。

C5 認可申請時の確認項目

認可を担当する者は、クリプトスポリジウム等対策指針の基準に適合するかの他、必要事項について事業者を確認を行う。次の表に、確認項目のリストの例を示す。

表 認可申請時の確認項目リスト例

確認事項	結果
ク リ プ ト ス ポ リ ジ ウ ム 等 対 策 指 針 確 認 事 項	
原水水質はレベル3に該当するか？	
紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して、紫外線(253.7nm付近)照射量を常時10mJ/cm ² 以上確保できるか？ または、それと同等の規格を満たしているか？	
処理対象水は濁度2度以下、色度5度以下、紫外線透過率は75%を超えるか？(紫外線吸光度は0.125 abs./10mm未満か？)	
処理水量や最大流量を定期的に把握できるか？	
十分に紫外線が照射されていることを常時確認可能な紫外線強度計を備えているか？またメンテナンス方法は明確か？	
原水の濁度の常時測定が可能な濁度計を備えているか？(原水の濁度が2度に達しないことが明らかである場合を除く)	
紫外線ランプやランプスリーブに関する情報は明確か？(ランプの交換条件やランプスリーブの洗浄方法、温度等)	
そ の 他 確 認 す べ き 事 項	
現状課題や装置の導入目的は明確か？	
他の原水水質は調査しているか？ (鉄0.1mg/L以上、硬度140mg/L以上、硫化水素0.2mg/L以上だとスケールが発生しやすい)	
設置場所や塩素注入設備との位置関係、既存設備の有効活用は適切か？	
取水停止条件は明確か？ {間欠運転、ランプ破損時、災害や停電時の対応等}	
周辺設備について必要なものを設置しているか？ {携帯型紫外線強度計、装置前後のストレーナー、湿度管理設備、緊急遮断弁、非常用電源等}	
メンテナンス、維持管理項目は決まっているか？	
危機管理マニュアル等において対応が追加されているか？	

Q13 紫外線処理設備の維持管理上の留意点とは？

紫外線処理設備の維持管理上の留意事項については厚生労働省健康局水道課事務連絡「紫外線処理設備について」等に記載があるが、その内容をふまえて水道事業者の視点で捉えた補足事項等を以下に示す。

運転方法

紫外線ランプは連続点灯状態での運転を原則とする。

点灯・消灯を繰り返すことは紫外線ランプ寿命の短命化にも繋がるので、紫外線ランプは連続点灯での運転を原則とし、紫外線照射槽内を常に流水状態とするように処理水の運用パターンを検討する。施設面等で流水状態を維持することが不可能な場合、紫外線照射槽内が過熱する可能性があるため、流量計及び水温計の監視レベルを強化し、異常検知後速やかに照射槽の水を排水できるようにしておくことが望ましい。

長期停止の場合でも紫外線照射槽内は満水状態を基本とする。

長期停止している照射槽は凍結対策等の観点から抜水状態としておいても良いが、この場合は異常発生時等の処理系列切り替えに支障を来すので、満水状態を基本として、定期排水で照射槽内部の水を入れ替える方法を採用することが望ましい。なお、照射装置の停止頻度が高いことがわかっている場合や元々停止を前提としている予備系列については、照射槽内部での生物繁殖を防ぐために次亜の封入も考慮しておく。

制御系は複雑にせず、単純な「ON-OFF」運転を基本とする方が望ましい。

効率的な運転を行うには自動制御（流量比例、透過率補正）が有効であるが、制御系を複雑にすると紫外線処理の長所である単純さが失われ、コストも割高になり、また制御系に起因する故障発生のリスクも増える。特に小規模施設の場合はこのデメリットの影響が大きいので、最低照射強度の確保を前提として、単純な「ON-OFF」運転を基本とする方が望ましい。また、特に異常時の動作には必ずマニュアルによる操作の余地を残しておくことが重要である。

性能確認

紫外線処理設備を適正に運転するためには、照射装置本体のみではなく補機類も含めて設備全体として適切な管理を行うことが重要である。

処理水側で紫外線照射の効果（クリプトスポリジウム不活化）を確認することは事実上不可能であり、有効に処理が行われているのかを判断するには、装置が正常に動作しており必要な照射量が確保されているかをモニタリングするしか確認方法がない。このため紫外線強度計で紫外線の照射強度を連続測定することを始めとして、次に示す計器類を使用して紫外線照射装置の動作状況を確認する。いずれも連続測定・常時監視することが望ましいが、監視レベルは施設管理者が諸条件を勘案して決定すれば良い。

- ・ 紫外線強度計
- ・ 紫外線透過率モニタ
- ・ 濁度計
- ・ 流量計
- ・ 水温計

日常点検・定期点検での監視項目

設備の管理項目、点検頻度等を整理しておき、計画的な管理を実施することが重要である。

紫外線照射装置は駆動部分がほとんど無く、つい一般の照明装置と混同して維持管理も安易に考えがちであるが、適切な点検を行うことが不測の事態発生を未然に防ぎ、水処理の安全性を高めることに繋がるということを常に意識することが重要である。保守管理項目及び点検頻度の例を表 16-1 に示すが、施設の特長や運転実績に応じて管理者が内容を見直ししていくことが望ましい。なお、保守・点検には概ね特に専門的な技術を要しないが、紫外線は人間の目や皮膚に対して有害であること、制御盤内には高電圧がかかっている箇所があること、ランプ本体及び保護管はガラス製であり破損しやすいことに留意する。日常的に確認を要する代表的な項目と目的は次の表のとおりである。

表 保守・管理項目及び点検頻度例 (参考文献*) の記述に一部追加)

No.	点検項目	実施内容	点検・交換頻度						
			毎日	1 週間 毎	1 ヶ月 毎	6 ヶ 月毎	1 年 毎	3 年 毎	5 年 毎
1	異常表示灯	表示の確認	○						
		動作点検					○		
2	積算時間計	指示値の確認	○						
		リセット					○		
3	基準紫外線強度計	校正					○		
4	UV モニタ (強度、透過率)	指示値の確認	○						
		校正					○		
		交換	随時						
5	流量計	校正	メーカー指定						
6	流量監視用圧力計	動作確認	メーカー指定						
7	UV ランプ	交換					○		
8	ランプ保護管 (石英ガラス管)	点検					○		
		交換						○	
9	保護管洗浄	自動洗浄点検			○				
		自動洗浄機部品交換						○	
		化学洗浄					○		
10	安定器	点検					○		
		交換						○	
11	制御盤吸気口フイ ルタ	清掃			○				
		交換						○	
12	制御盤排気ファン	点検					○		
		交換						○	
13	制御盤内電気機器	動作確認・点検					○		

*) 浦上逸男著, 初歩から学ぶ紫外線殺菌, 工業調査会(2005)

表 代表的な日常点検項目および目的

日常点検項目	目的
紫外線強度	紫外線強度計の測定値をチェックし、所定の照射量が確保されているかを確認、記録する。
流量	紫外線照射装置に設計流量以上の処理水を流すと所定の処理性能が得られないため、適正流量であるかを確認、記録する。
運転時間	紫外線ランプは点灯時間の経過とともに紫外線強度が低下する。ランプには寿命があり、これを超えて使用すると所定の処理性能を得ることができない恐れがあるため、ランプの点灯積算時間を確認、記録する。複数のランプを使用している装置においては、各々のランプについて実施する。
水温	低圧水銀ランプにおいては処理水の温度を確認し、設計水温の範囲を超えた場合は処理を速やかに停止して装置の状態を確認する。

Q14 紫外線照射量とオーシスト等の不活化率の関係は？

紫外線照射量とオーシスト等の不活化率の関係は次表のとおり。他にも最近では 1 mJ/cm² で 2log 以上、3mJ/cm² で 3log 以上のクリプトスポリジウム不活化率が得られるという知見もあるが、日本においては、WHO の飲料水水質ガイドライン第 3 版（2004）に示されている値を採用している。参考に病原性微生物の 3log 不活化に対する要求紫外線照射量を図に示す。

表 紫外線照射によるオーシスト等の不活化効果¹⁰⁾

	不活化率	照射量
<i>Giardia</i>	99% (2log)	5mJ/cm ²
<i>Cryptosporidium</i>	99.9% (3log)	10mJ/cm ²

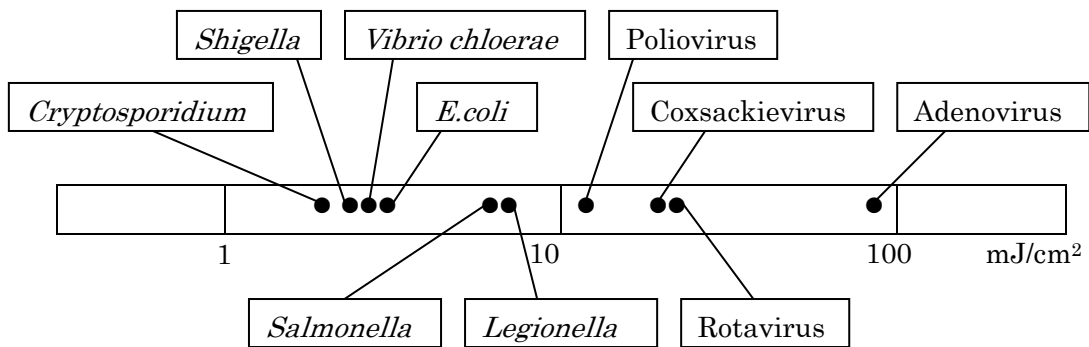


図 病原性微生物の 3log 不活化に対する要求紫外線照射量¹³⁾

Q15 不活化されたクリプトスポリジウムが、光回復によって感染能力を回復させることは無いのか？

1999 年以降、クリプトスポリジウムの不活化が、感染能力の有無の観点からマウスや動物細胞への感染性試験により評価されるようになり、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以下の非常に低い紫外線照射量で $3 \log$ (99.9%) の不活化が可能であることが様々な研究により明らかになった。紫外線照射後に、光回復処理を行い DNA レベルでは回復を確認したオーシストであっても、感染力は回復しないことも明らかになっている。

Q16 紫外線処理に係る費用は他の処理方法と比べて安いのか？

クリプトスポリジウム対策の施設整備を検討する場合、膜ろ過処理と費用比較をされることが多く、一般的には紫外線処理と膜ろ過処理のイニシャルコスト比を 1：10 程度とする情報がよく見受けられる。しかしこの場合概算金額の内訳をよく考慮する必要があり、紫外線処理は照射装置本体および付属設備のみ、つまり設置条件が整っていて最小限の整備で済む場合の金額であることが多い。一方で膜ろ過処理は機械・電気設備の他、建築・土木・管工事等を含んだプラント設備一式の金額であったりする。紫外線処理に適した位置に建物、配管、電源、TM装置等が全て揃っていて、あとは照射装置と制御盤を設置すれば良いというような環境はそう無いため、実際の紫外線処理に係るイニシャルコストは前述の概算金額よりも多くなるのが普通と考えた方が良い。結果的に前述のコスト比は小さくなり、4-2 で示した計画例でも既設設備をほとんど使用しない計画のため、コスト比は 1：3 程度と見込まれている。

ランニングコストも膜ろ過に比べて機器の点数が圧倒的に少ない分、必要な労力・経費は少なくなるが、これも事業者が管理レベルをどう設定するかによって大きく変動することになる。

紫外線処理は建設費、維持管理費ともろ過処理と比べて相対的には低コストであることは間違いがないが、コスト比較を行う場合は現場条件をよく確認して試算条件を適切に設定することが重要である。

Q17 紫外線ランプが破損した場合の影響は？

紫外線ランプ本体はランプスリーブで保護されているが、スリーブ、ランプともに破損した場合は破損したガラス片やランプ中の水銀が流出する可能性がある。こうした浄水の汚染防止対策としては装置 2 次側へのストレーナー設置、同じく 2 次側へ貯留槽等滞留時間を確保できる設備を設置して緊急遮断弁等で下流側への汚染水流出を防止する。

実際に水銀が浄水中に流出した場合の影響については、ランプ内の水銀量は製品毎に異なっており、処理水量や破損状況等の想定条件も様々で一概には述べられないが、一本当たりの水銀量が数十 mg 程度である場合は、浄水中の水銀濃度が水質基準を超えたり、また一人あたりの水銀摂取量が WHO の定める許容摂取量を超えることは考えにくい。また、そのような破損が起これば、装置は緊急停止されることになる。なお、欧州では 5,000 の紫外線処理施設のうちランプ破損事故があったのは 3 件で、それらはいずれも紫外線照射槽の外でランプ取替作業中に発生したものである。

当然、破損を起こさないような予防的処置を図ることが重要で、ウォーターハンマー対策のブロー弁設置や、砂等異物衝突を避けるために装置一次側に沈砂池的な貯留槽を設置すること等も考慮すること。

Q18 紫外線照射装置以外にどのような設備等が必要か？

照射装置はケーシング、ランプ、制御盤を中心に構成されており、シンプルな設備である。維持管理上は「紫外線強度計」「紫外線透過率モニタ」「濁度計」「流量計」「水温計」等の計測機器が重要な役割を占めるが、これらもいわゆる機器の一部として照射装置に組み込まれるか、あるいは周辺配管へ取り付けられる。他に案内見落とされがちなのが、紫外線強度をクロスチェックするための基準強度計（オフライン）で、これも重要監視項目である紫外線強度の監視レベルを強化するため、設備管理者側で携行型の紫外線強度計を常備しておくことが望ましい。なおランプ照射が正常に行われていても、強度計の信頼性が劣ればモニタリング結果としては照射量不足（過大）として現れる可能性があるため、計測機器の校正等適正な管理が必要である。

また、安全対策上はQ 4 で述べた理由により、装置の上下流には貯留槽があることが望ましい。

Q19 紫外線照射装置はどのような場所に設置すればよいか？

塩素を含む水に紫外線を $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 照射した時の塩素濃度の低下はわずか $0.02\sim 0.03\text{mg}/\text{L}$ に過ぎない。しかし処理水量の変化に応じて最低紫外線照射量 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ を確保しようとする、照射強度一定の場合、処理水量が計画最大水量を下回れば照射時間が長くなるために照射量が $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ よりも大きくなる。実運用上は最大処理水量で連続運転することはほぼ皆無であり、処理水量の変動係数が大きいほどこの傾向は強くなる。照射量が強くなれば塩素濃度の低下も無視できないレベルとなることも想定されるので、適正な残留塩素濃度管理の観点から紫外線照射は塩素注入の前に行った方が望ましい。場所の取り合いで塩素注入の後に紫外線照射を行わざるを得ない場合は、好ましくはないが照射強度を流量比例自動制御するか、シミュレーションによって最大照射量を想定して塩素濃度低下との関係を把握しておく必要がある。また、紫外線処理をろ過処理と複合的に組み合わせる場合は、処理水質が安定するろ過処理後に紫外線処理を行う。

その他、装置の外観上は異常がなくても機器等内部での結露により機能に異常を来たすこともあるので、設置場所の温度や湿度といった設置環境も考慮し、気候条件によっては空調機器を設置して温度管理や湿度管理することを検討すること。

(照射量算定式⇒付録用語集参照)

Q20 維持管理上で重要な管理項目は何か？

処理水の安全性は必要な紫外線照射量が確保されていることを前提条件として担保される。ランプの出力低下とランプ表面へのスケール付着が紫外線照射量に影響を及ぼす要因と想定されるため、紫外線強度を重点監視項目として、設備状態の変化をモニタリングして記録しておくことが重要である。

付録 紫外線処理に関する用語メモ

用語	意味
紫外線照射量 (mJ / cm^2)	紫外線ランプの照射強度に、照射時間の積で求める。具体的な計算式は次のとおり。 紫外線照射強度(mW / cm^2) \times 照射時間(s) = $\text{照射強度}(\text{mW} / \text{cm}^2) \times \text{紫外線装置有効体積}(\text{m}^3) \div \text{処理量}(\text{m}^3/\text{s})$
紫外線強度 (mW / cm^2)	単位面積 (1 cm^2) あたりに照射された紫外線量であり、紫外線量計による計測が可能である。
JUVA	日本紫外線水処理技術協会 (JUVA : J apan UV Water Treatment T echnology A ssociation) の略。詳細は Q5 を参照のこと。
不活化 inactivation	紫外線は DNA 上に二量体 (とりわけピリミジン二量体) を形成させ、生命活動の維持に障害を来し、感染力を喪失させる。これが紫外線による生物不活化の主たる機構である。活性を何で評価するかによって (生育活性か感染性か) 大きく異なるが、紫外線の病原生物不活化能力は感染性で判断する。
紫外線による不活化	WHO は 10 mJ / cm^2 の紫外線照射量でクリプトスポリジウムを 3log(99.9%) 不活化できると定めている。ドイツやオーストリアでは紫外線照射量は 40 mJ / cm^2 と規定され、消毒と病原体の回復現象を防ぐための紫外線量である。
光回復 (photo reactivation)	可視光照射により酵素の働きで DNA が修復される機構。光の助力を要しない暗回復 (dark repair) もある。クリプトスポリジウムは光回復しても感染性は再生しないという結果が複数報告されている。
副生成物	著しく高い紫外線照射量や臭化物濃度が高い場合など特殊な条件において副生成物が発生するとの報告もあるが、クリプトスポリジウムなどの不活化を目的に行われる照射量 (10~40 mJ / cm^2) 程度であれば無視して良い。
紫外線ランプ	ランプ内への水銀蒸気の封入圧の違いにより、低圧、中圧、高圧に分類される。それぞれ長所、短所があるので、導入する施設に適合したランプの選択が必要になる。
ランプスリーブ	紫外線ランプを破損から保護し、最適な動作温度を保つために必要な部品であり、材質は石英が一般的である。フッ素コーティングされた石英スリーブは、汚れにくい、万一の破損時の飛散も抑えられる等の長所があるが、コーティングされていないスリーブと比較すると紫外線強度が低下するという短所もある。

安定器	紫外線ランプが必要とする始動電圧（二次無付加電圧）を印加し、適正なランプ電流波形を供給し、安定した点灯を継続するために必要なものである。
スリーブ洗浄	装置を停止させ、洗浄液で洗浄するオフライン薬品洗浄と、装置が連続運転中に、スリーブに沿って移動するワイパにより物理的にスリーブ表面の汚れを除去するオンライン機械洗浄がある。
紫外線強度計	照射槽内の紫外線強度を測定する感光検出器であり、湿式と乾式に分けられる。湿式強度計は反応槽を流れる水に直接接触させて測定するものであるのに対し、乾式強度計は監視窓を通して紫外光を測定するものである。
紫外線透過モニタ	紫外線透過率を監視するために用いられる。センサの感度劣化や透過窓材の透過率低下等により検出される値に差が出るため、適切な校正が必要となる。
温度計	反応槽内の水位低下や水流停止により、紫外線ランプの発熱に起因する温度上昇が紫外線ランプ内の水銀蒸気圧を変化させ、効率低下を招くおそれがある。このため、水温を監視するための温度計を設けることが望ましい。特に、動作温度が 600-900℃と高温になる中圧ランプを使用する場合は水温に注意が必要である。