

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会

ニュースレター No.17

Japan UV Water Treatment Technology Association

JUVA

17

Newsletter

日本紫外線水処理技術協会

ニュースレター No.17

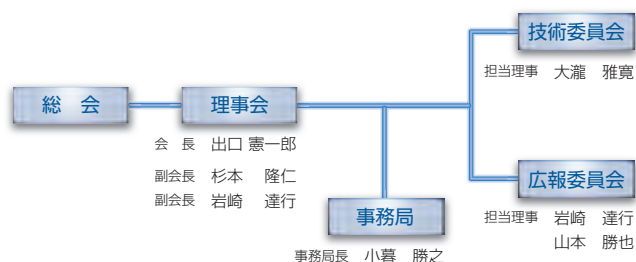
Japan UV Water Treatment Technology Association

JUVA

17

Newsletter

協会組織図



顧問・役員 (令和6年度)

顧問	大垣眞一郎 (東京大学名誉教授)
会長	出口憲一郎 (千代田工販株式会社 部長)
副会長	杉本 隆仁 (メタウォーター株式会社 技師長)
副会長 (広報担当)	岩崎 達行 (スタンレー電気株式会社 主幹)
事務局長	小暮 勝之 (岩崎電気株式会社 課長)
理事 (技術担当)	大瀧 雅寛 (お茶の水女子大学 教授)
理事 (広報担当)	山本 勝也 (株式会社東芝 主幹)
理事	神子 直之 (立命館大学 教授)
理事	小熊久美子 (東京大学 教授)
理事	堀田 秋廣 (フナテック株式会社 顧問)
理事	山越 裕司 (株式会社日本フォトサイエンス 理事)
理事	恩田 建介 (水ingエンジニアリング株式会社 上級エキスパート)
理事	関根 悟 (株式会社ウォーターテック 部長)
監事	今川 洋介 (月島JFE アクアソリューション株式会社 副参事)

もくじ

顧問・役員

●巻頭言

- 01 水道水質の安全確保と紫外線処理への期待
国土交通省 水管理・国土保全局
(上下水道審議官グループ)
水道事業課長
筒井 誠二

●就任あいさつ

- 02 会長就任にあたり
一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会
会長
出口 憲一郎

●技術資料

- 03 塩素存在下での紫外線照射による臭素酸生成に関する検討 –JWRC 第2期 UV-ACE プロジェクトからの報告–
一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員長
お茶の水女子大学 共創工学部
人間環境工学科 教授
大瀧 雅寛

- 06 国内の水道における紫外線照射装置の認定及び導入状況
公益財団法人 水道技術研究センター
浄水技術部 主任研究員
渡部 太士

- 08 塩素と紫外線の併用処理の解説
–米国 Water Research Foundation のレポートから–
一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員
株式会社西原環境
岡本 真由子

- 13 浄水への紫外線照射による促進酸化処理の検討
株式会社フソウ R&D センター
水質分析部
一番ヶ瀬 宏之

- 17 施設見学会報告
–浄水膜排水への紫外線照射と下水処理場紫外線消毒の導入–
一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員
株式会社日本フォトサイエンス
中村 知克
取材協力 大牟田市企業局 施設課
浅名 孝昭 野田 真弘
坂田 充司

●会員紹介

- 21 会員リスト

編集・発行

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 広報委員会



水道水質の安全確保と紫外線処理への期待

国土交通省 水管理・国土保全局（上下水道審議官グループ）水道事業課長 筒井 誠二

昨年4月、国の水道行政の移管により、水道整備管理行政のうち、水道水質・衛生行政については環境省に、それ以外の部分は国土交通省に移管がなされました。国土交通省として、環境省としっかり連携を取りながら、水道行政がしっかりと前に進むように取り組みを進めてまいります。

安心して飲むことができる安全な水道水の供給について、全国の水道関係者が日々尽力されているところですが、水道法の対象とならない小規模水道や飲用井戸などを中心に病原生物を原因とする水質事故等が散見されています。このように、病原生物対策は飲料水の安全管理の観点から依然として主要な課題であり、特にクリプトスポリジウム等の耐塩素性病原生物への対策を含め、適切な浄水処理による飲料水の安全確保のための取り組みの確実な実施が引き続き必要不可欠です。

水道水中のクリプトスポリジウムによる感染症については、平成8年に埼玉県越生町で、我が国で初めて水道水に起因するクリプトスポリジウムによる感染症が発生したことを受け、同年に「水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を定め、ろ過水の濁度を0.1度以下に管理するよう、水道事業者等に求めました。

その後、平成15年の厚生科学審議会答申で耐塩素性病原生物対策の一層の推進が示され、平成19年3月に「水道施設の技術的基準を定める省令」（以下、施設基準省令）を改正するとともに「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）を策定し、地表水以外（地下水等）を原水とする場合の耐塩素性病原生物対策として、それまでのろ過水の濁度を0.1度以下に管理する方法のほか、紫外線処理を対策として位置づけましたが、地表水を原水とするものについては、従前の通り、ろ過水の濁度管理を行うこととされました。

その後、令和元年5月に、国内外の科学的知見の蓄積を踏まえて、施設基準省令及び対策指針を改正し、地表

水を原水とする場合についても、ろ過後の水の紫外線処理を耐塩素性病原生物対策として認め、紫外線処理の適用範囲の拡大がなされました。これらにより、水道事業者等は水源の状況などに応じて、より幅広い選択肢により耐塩素性病原微生物対策を行うことが可能となりました。

言うまでもなく、紫外線処理による消毒技術は、耐塩素性病原生物の不活化が期待され、塩素による殺菌は、蛇口までの安全性を担保できるといった、それぞれの特徴があり、そのことを活用することにより、水道水の安全性をより向上することができると考えております。また、紫外線消毒には、塩素消毒と異なり、ハロゲン化副生成物の生成がないという特徴もあり、このような特徴は、水道分野以外の水分野での消毒での適用も期待されるものと考えております。

これらも含めて、紫外線処理の技術について、水道水の消毒における安定性や維持管理性の向上などをはじめとした技術開発等の進捗、さらには水環境全体での安全性確保への貢献などに向けた知見集積など、（一社）日本紫外線水処理技術協会と会員の皆様をはじめとした関係者における様々な取り組みが進むことを大いに期待しております。



会長就任にあたり

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 会長 出口 憲一郎

令和6年度定時総会においてご承認いただき、堀田秋廣前会長の後任として当協会の会長に就任いたしました。日頃より当協会の活動にご賛同およびご支援を賜りますこと厚く御礼申し上げます。会長就任にあたり、改めて当協会のこれまでの活動と今後の方向性について述べさせていただきます。

当協会は紫外線照射装置の品質確保を目的として2006年に設立されました。当協会の主な取り組みとして、次の二つが挙げられます。第一の取り組みは「紫外線照射量の検証方法の提案と紫外線技術の規格化・標準化の推進」、第二の取り組みは「紫外線の利用方法や新技術の広報と紫外線水処理装置の普及促進」です。

第一の取り組みといたしまして、生物線量計試験と数値流体解析（CFD）を併用した紫外線照射装置の性能検証手法（CFD-I法）の開発・改良と普及促進活動が挙げられます。CFD-I法は当協会独自技術（当時はP-CFD法と表記）であり、公益財団法人水道技術研究センターにおける紫外線照射装置JWRC技術審査基準の策定当初より当協会が技術協力をを行い、同基準にご採用いただきました。その後、当協会技術委員会において改良検討の上改定を重ね、低圧/中圧/UV-LEDといった紫外線光源の違いや紫外線照射槽内面反射影響の有無などを考慮した紫外線照射装置のクリプトスポリジウムRED検証手法として確立いたしました。さらに、日本の水道で培った本技術を国際標準化するため、国土交通省、経済産業省、一般財団法人造水促進センターにご支援いただきながら当協会が提案活動を継続実施した結果、2021年に国際標準規格であるISO 20468-4:2021, Part 4:UV Disinfectionとして正式登録されました。このため現在、CFD-I法は紫外線光源種類・水質・対象微生物・国籍・官民を問わず、あらゆる水処理分野の紫外線照射装置性能評価手法として利用可能となりました。これは、当協会の第一の取り組みにおける大きな成果であると考えております。ご支援ご尽力いただきました関係各位に厚く御礼申し上げます。

一方、当協会の第二の取り組みである紫外線の利用方法や新技術の広報等の活動として、毎年JUVA技術セミナーの開催、およびJUVAニュースレターの発行を行ってまいりました。

本年度のJUVA技術セミナーは「塩素と紫外線で何ができるの？」をテーマとして開催いたしました。水道法の一部改正により紫外線処理が地表水原水にも適用可能となったことで、ろ過池の適正管理のために前塩素や中間塩素が注入された処理水に紫外線処理を行うような、マルチバリアに伴う塩素と紫外線の併用処理が増えるものと予想されております。このため、臭素酸や消毒副生成物はできないのか？あるいは異臭味物質や微量有害物質は塩素と紫外線で分解できるのでは？など率直な疑問も多々あるかと思えます。このような技術的内容について、当協会技術委員長の大瀧先生、当協会技術委員会の岡本委員、当協会会員企業である株式会社フソウの一番ヶ瀬様により、解りやすくご解説いただきました。また本技術セミナーの講義内容につきまして、本誌に技術資料としてご寄稿いただきましたので、ぜひ紫外線処理検討の際にご活用いただければ幸甚に存じます。

令和6年4月より水道整備・管理行政が厚生労働省から国土交通省および環境省に移管され、上下水道一体整備や官民連携、新技術活用等の方針が示されました。紫外線処理は、洗浄排水や残留薬剤が生じず自動運転管理が容易であり、他の水処理技術と組み合わせで相互補完するマルチバリアの適用も容易な水処理技術です。またUV-LEDやUV-AOPなど、新しい紫外線水処理技術の進歩も加速しております。このため、今後はこれまで以上に紫外線処理の適用拡大が進むものと期待しております。当協会は、最新技術に関するセミナーの開催や情報発信などにより多くの皆様に紫外線水処理技術をご理解いただき、紫外線照射装置の普及促進に貢献できるよう取り組んでまいりますので、今後ともご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。



塩素存在下での紫外線照射による臭素酸生成に関する検討 —JWRC 第2期UV-ACEプロジェクトからの報告—

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員長 大瀧 雅寛
お茶の水女子大学 共創工学部 人間環境工学科 教授

1. はじめに

令和元年に表流水を原水とする浄水場において耐塩素性病原微生物対策として紫外線の導入が可能となり、クリプト対策を講じる必要のある国内の全ての浄水場において紫外線処理が適用できることとなった。原水が表流水の浄水場では一般的な処理工程として凝集沈殿ろ過処理となるが、加えて原水水質の変動や藻類などの生物流入、その他の無機金属などの流入に応じて、前塩素処理や後塩素処理が行われるケースが多くなる。紫外線処理は濁質除去が済んでいるろ過処理後に導入されることになるが、残留塩素が存在している状況での紫外線照射になるケースも多くなると考えられる。H19年3月の厚生労働省からの通知¹⁾には「塩素注入の後段に紫外線処理設備を導入する場合は、紫外線照射により生成する臭素酸が問題とならないことを確認する必要がある。」とあるように、紫外線導入を考える施設には、事前の確認作業が必要であり、この点が導入に二の足を踏む原因の一つとなっている可能性は否定できない。

そこで水道技術研究センターが実施した第2期UV-ACEプロジェクトでは、この事前確認作業が省略できる可能性を示すことを目的として、国内において、考えられうる最大の臭素酸生成条件において臭素酸生成レベルを実験的に確認することとした。もしこの生成条件における生成レベルが基準値(0.01mg/L)を下回っていれば、国内のいずれにおいても紫外線導入による生成臭素酸が基準値を超えることはないと示される。

2. 実験条件設定とその根拠

塩素存在下での紫外線照射による臭素酸生成については複数の機構^{2) 3)}が提案されている。そのうち宇佐美ら(2005)の報告からの引用を図1に示す。

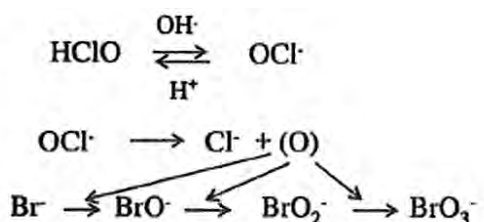


図1 残留塩素存在下の紫外線による臭素酸生成機構²⁾

図中の2段目のラジカル生成プロセスに紫外線照射が関与しているとしている。図からもわかる通り、臭素酸生成に関する因子は、残留する遊離塩素(次亜塩素酸もしくは次亜塩素酸イオン)、臭化物イオンと紫外線照射である。

(1) 紫外光について

耐塩素性病原微生物対策として必要となる紫外線照射量はクリプトスポリジウムの99.9%不活化に必要な12mJ/cm²である。実際は安全側の設定値とするものの、8倍以上の過剰な照射量値として100mJ/cm²とした。また光源としては低圧水銀ランプ(照射波長254nm)、中圧水銀ランプ(波長域200~800nm)、2種類のUV-LED(主波長265nmおよび280nm)を用いることとした。それぞれ照射波長が異なることから単なる照射エネルギー値ではなく254nm光の殺菌エネルギー量としての100mJ/cm²に統一することとし、生物線量計による照射量測定を行った。具体的には大腸菌ファージMS2の紫外線不活化速度定数(臭素酸生成実験当日に別途低圧水銀ランプ(波長254nm)による不活化実験にて求めたもの)から、各光源の照射によりMS2の対数生残率(-log(生残率))を4.88とするに必要な照射強度×時間にて設定した。

(2) 臭化物イオン濃度

国内の水道原水において臭化物イオンが高濃度に検出される地域として沖縄が挙げられる。この濃度範囲が0.1~0.45mg/Lであり⁴⁾、その最大値のほぼ2倍にあたる1mg/Lを過剰量として設定した。

(3) 遊離塩素濃度

国内の浄水場にて消毒用塩素注入量はおおよそ1mg/Lを想定している⁵⁾。本実験ではその2倍の2mg/Lを過剰量として設定した。

(4) pH

上記の遊離塩素はpHによって水中の存在形態が異なる。次亜塩素酸のpKa(解離定数)は7.5であり、

図2に示されるように、pH7.5を境にアルカリ側では次亜塩素酸イオン (OCl^-) が、酸性側では次亜塩素酸 (HOCl) が占有する。

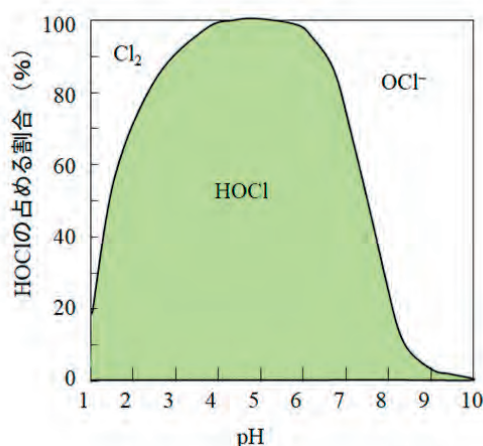


図2 pHとHOCl & OCl^- の存在比率

また図3に次亜塩素酸および次亜塩素酸イオンの吸光スペクトルと、上記(1)で述べた4種の使用光源の照射波長を併せて示した。pHによって残留遊離塩素の形態が変わり、それにより紫外線吸収の効率が変わることがわかる。また光源によって吸光の変わり方が異なる。図1に示すようにラジカル生成に遊離塩素の吸光が関わっていることから、pHと光源の組み合わせによって臭素酸生成に影響すると考えられる。今回、水道水質基準で定められたpH範囲の中から次亜塩素酸が主となるpHとして6を、次亜塩素酸イオンが主となるpHとして8を選択し、実験条件とした。

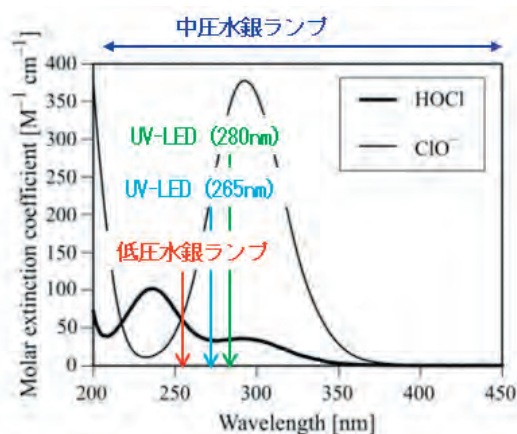


図3 HOCl & OCl^- の吸光スペクトルと各光源の照射波長

(5) 実験装置と実験手順

いずれの光源においても図4に示すような回分式照

射装置にて実験を行った。反応容器はφ50mmの深型ペトリ皿を滅菌して使用した。80mLの反応液を反応容器に注入し、光源からの紫外線を照射した。照射中はいずれもマグネット攪拌子を使用して試料液が均一になるようにした。

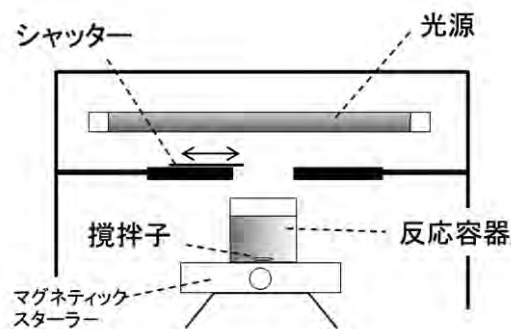


図4 回分式照射装置の模式図

大腸菌ファージMS2を用いた実験より、 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ の照射量を確保するための照射時間は、低圧水銀ランプが239秒、中圧水銀ランプが61秒、主波長265nmのUV-LEDが400秒、主波長280nmのUV-LEDが1,122秒であった。

照射後の試料溶液は直ちに密閉し、常温にて検査機関に宅急便にて送付した。実験終了から検査機関に到着するまで24時間以上経過していることになる。今回の実験は臭素酸生成能の測定であると考え、反応時間としてはトリハロメタン生成能の測定方法に準拠した24時間と考えれば妥当な反応時間であると考えられた。

3. 結果と考察

(1) 対照系（紫外線照射無し、塩素添加無し）

試料中の臭化物イオンが $1\text{mg}/\text{L}$ となるように純水に臭化カリウムを加え、臭化物イオン濃度を計測したところpH6、pH8のいずれにおいても $1.0\text{mg}/\text{L}$ の測定値が得られた。臭化物イオンはいずれも検出限界未満 ($0.001\text{mg}/\text{L}$ 未満) であった。

(2) 紫外線照射無し、塩素添加有りの系

pH6および8に調整した臭化物イオン $1\text{mg}/\text{L}$ の試料溶液に塩素 $2\text{mg}/\text{L}$ となるように次亜塩素酸ナトリウムを添加し、臭素酸濃度を測定したところ、両pHとも $0.001\text{mg}/\text{L}$ が検出された。いずれも水道水質基準以下ではあるが、紫外線照射がなくても、対照系と比較して有意に臭素酸生成が生じていることが示された。

(3) 紫外線照射有り、塩素添加有りの系

図5に各光源および各pHにおける臭素酸生成量をまとめて示す。図に示される通り、各光源およびpHによって臭素酸生成量は異なっていた。ただしいずれの場合も臭素酸の水道水質基準である0.01mg/Lを超えることはなかった。以下に各光源における臭素酸生成に特徴について述べる。

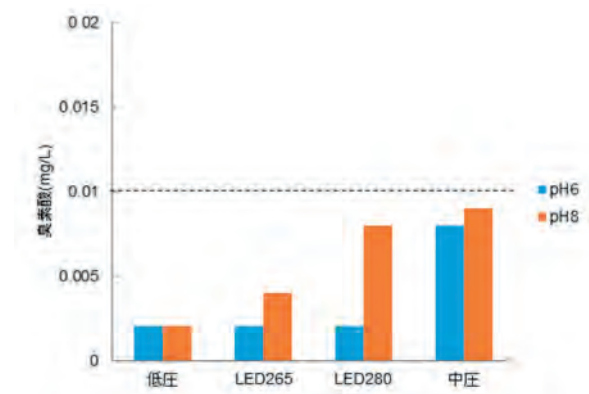


図5 各光源および各pHにおける生成臭素酸濃度

i) 低圧水銀ランプの場合

両pHとも同じかつ低いレベルでの臭素酸生成であった。図3の吸光スペクトルを参照すれば、低圧水銀ランプの照射波長である254nmでは次亜塩素酸と次亜塩素酸イオンの吸収効率は同様であり、かつ吸光のピーク値に比べると低い。従ってどちらのpHにおいても遊離塩素の紫外線吸光によるラジカル生成の効率は低いため、臭素酸生成も抑えられたと考えられる。

ii) 主波長265nm、280nmのUV-LEDの場合

次亜塩素酸イオンが占有するpH8における臭素酸生成がどちらのUV-LEDでも高くなっている。図3の吸光スペクトルを参照すれば、265nm、280nmにおいては次亜塩素酸イオンの吸光が次亜塩素酸に比べて数倍高くなっており、塩素の紫外線吸光によるラジカル生成の効率に差が生じたと考えられる。すなわち吸光の高い次亜塩素酸イオンの方が臭素酸生成反応を進めやすく、280nmの波長の方が、より臭素酸生成を促進させることができたと考えられる。この仮説により図5に示す結果を矛盾なく説明できる。

iii) 中圧水銀ランプの場合

両pHとも臭素酸生成が高くなっていた。中圧水銀ランプは200nmから可視光域まで広い範囲の波長域をもつ光源であり、次亜塩素酸、次亜塩素酸イオンとも吸光ピークとなる波長においても照射光を持つことになる。

従って、塩素からのラジカル生成効率が両pHとも高く、臭素酸生成を促進させたと考えられる。

4. おわりに

残留塩素存在下での紫外線照射における臭素酸生成のポテンシャルを回分試験において確認した。臭素酸生成に関わる因子として過剰な紫外線照射量（254nm殺菌効果として100mJ/cm²以上）、国内浄水場原水での検出実績最大値の約2倍の臭化物イオン濃度の1mg/L、浄水場での設定投入塩素濃度の約2倍の2mg/Lにて、pH6および8の条件で行ったところ、いずれも水道水質基準値未満の臭素酸生成が確認された。各光源および各pHでの臭素酸生成量を比較したところ、次亜塩素酸もしくは次亜塩素酸イオンの吸光スペクトルと光源の照射波長との組み合わせから想定されるラジカル生成効率が大きく関与していると推測された。

謝辞

本実験を進めるにあたり浄水技術研究センターの方々、千代田工販株式会社、スタンレー電気株式会社に多大なご協力をいただきました。御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課技術係（2007）紫外線処理設備についての事務連絡、< <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/shigaisen-shori.pdf>>
- 2) 宇佐美ら（2005）塩素処理による臭素酸イオン生成条件の検討、水環境学会誌28（12），729
- 3) Water Research Foundation（2022）UV-chlorine AOP in potable reuse: A guidance manual to assessment and implementation, <<https://www.waterrf.org/serve-file/resource/DRPT-5050.pdf>>.
- 4) 鹿島田浩二（2009）水道原水の水質が紫外線消毒に及ぼす影響、水環境学会誌, 32（3），122
- 5) 水道統計 浄水場出口水の水質（上水道事業）（2020～2022）日本水道協会水道水質データベース



国内の水道における紫外線照射装置の認定及び導入状況

公益財団法人 水道技術研究センター 浄水技術部 主任研究員 渡部 太士

1. はじめに

(公財) 水道技術研究センター（以降、「JWRC」）は、有識者で構成される浄水技術支援委員会を設置し、当時のクリプトスポリジウム等対策指針（以降、「指針」）に対応した紫外線照射装置の技術適合認定審査を行っている。

その審査基準として、JWRCは2008年に低圧・中圧ランプを対象とした「紫外線照射装置JWRC技術審査基準」（以降、「旧基準」）を定め、2018年にUV-LEDにおける基準を追加した。

地表水を原水とする施設に紫外線照射による対策を広げた2019年の指針改正を受けて、JWRCも旧基準の改訂を行い、2020年3月に「紫外線照射装置JWRC技術審査基準2019年度版」（以降、「新基準」）を定めた。これ以降は、この基準に従った審査を行っている。

2. 審査基準改訂に伴う取り扱い

旧基準では、当時の指針通りに、装置の紫外線照射能力を「通水量の95%以上に対して10mJ/cm²以上」としていた。2019年改正の指針では「クリプトスポリジウム等を99.9%以上不活化できる紫外線処理設備であること」となったため、新基準ではこれに対応するものとして「クリプトスポリジウムでの換算紫外線照射量が12mJ/cm²以上」としている。

新基準での審査開始以降、旧基準で新たな認定を取得することはできないが、旧基準で認定を取得した装置（以降、「既認定機種」）の装置認定は無効になるわけではなく、旧基準の認定品として使用することができる。

既認定機種は新基準で認定を再取得することができる。ただし、新旧の基準で要求される性能は異なるため、新基準で適合認定を取得するためには新たに審査を行う必要がある。

3. 紫外線照射装置認定取得状況

2024年12月末時点の紫外線照射装置の認定取得件数の推移を図1に示す。なお、認定取得件数には既認定機種の認定を新基準で再取得したものを含む。累計で155件であり、2024年度の認定取得件数はこれまで2件となっている。

2021年度以降急激に増加しているが、既認定機種の

認定を新基準で再取得したものが殆どである。それがひと段落したためか、2024年度の認定件数は昨年度から急減した。

認定取得件数を光源別に分類すると、低圧ランプの認定は125件、中圧ランプは24件、UV-LEDは6件である。

一つの認定で複数の装置を登録できるため、認定取得装置の型式総数は、低圧ランプが189型式、中圧ランプが38型式、UV-LEDが3型式である。なお、既認定機種が新基準で認定を再取得した型式については、重複計上しない。

図2に2024年末時点の光源別、処理水量別の認定取得装置型式数を示す。出力は小さいが電力消費効率に優れた低圧ランプの装置は小～中処理水量の範囲に、効率は劣るが高出力で省スペース性に優れた中圧ランプの装置は中～大処理水量の範囲に多いことが分かる。

UV-LEDはまだ出力が小さく小処理水量の装置しか認定されていない。効率もまだ低いが、ウォームアップ不要等の長所がある他無水銀であるため、今後の技術的進歩により、将来これに置き換わっていく可能性がある。

4. 国内における紫外線照射装置の導入状況

JWRCは、JUVA会員企業等の協力を得て、日本国内の浄水プロセスにおける紫外線照射装置の設備単位（複数の照射装置からなるものも1件と計上）の導入状況の調査を実施している。

2023年度末時点の調査結果を図3及び図4に示す。なお、この集計結果は契約済み段階及び工事中の設備を含んでいる。

図3は紫外線照射装置の総設備数と総計画処理水量の推移を示したものである。総設備数については昨年度から23件増加して477件（対前年度比5.1%増）、総計画処理水量は昨年度から125千m³/日増加して1,593千m³/日（対前年度比8.5%増）となっている。

総計画処理水量の大きな増加は、弘前市の新樋の口浄水場（38,000m³/日）、四日市の小牧水源地（27,240m³/日）、岡山市の三野浄水場（25,000m³/日）の追加によるものである（新樋の口浄水場と小牧水源地は現在工事中）。新樋の口浄水場の計画処理水量は、地表水进行处理するものとしては、青森市の横内浄水場に次ぐ国内第

2位となる予定である。

図4に紫外線照射装置の計画処理水量別の設備数を示した。紫外線処理が地表水へと適用拡大となって間もないこともあって、地表水以外を原水とする処理水量の小さい設備がほとんどであり、477件中235件（49.3%）と、約半数が1,000m³/日未満となっている。

5. さらなる適用拡大に向けて

JWRCは水道における紫外線処理技術の適用拡大を目的とするUV-ACEプロジェクトを1期（2019年6月～2021年3月）と2期（2022年10月～2024年3月）の計2回実施した。

第1期では紫外線処理設備の導入と維持管理上の留意事項等の検討及び整理を実施し、その成果を「水道における紫外線処理設備導入及び維持管理の手引き」として発行した。第2期では実際にクリプトスポリジウム等対策（以降、「クリプト等対策」）が必要とされている浄水場をモデルにした紫外線処理設備の設置計画を検討し、また、設備導入の際に必要な法令上の申請手続き等の整理を行った。第2期の成果物「水道における紫外線処理設備導入に関する実務の手引き～基本設計例と申請手続き解説～」はJWRCのHPで無料公開されている。

厚労省の調査によれば、2022年3月の段階で、クリプト等対策が必要な施設のうち対策済みの施設は72%に留まっている。地表水以外を原水とする施設（以降、「レベル3施設」）に限ると51%しかない¹⁾。

レベル3施設では、省スペースでかつ初期費用を抑えられる点で紫外線処理設備が有利だと思われるが、同調査によれば、紫外線処理設備で対策した施設数はろ過設備で対策した施設の約1/4しかない。紫外線処理設備設置にはまだ認知の不足や障壁などがあると考えられ、さらなる適用拡大にはこれらの克服が必要である。

特に、紫外線処理設備の新設には未だに水道事業等の変更認可申請を要し、実験データの提出も求められている。紫外線照射による臭素酸生成が懸念されていることがその理由の一つであるが、第2期UV-ACEでは生成しても水質基準以下に収まることが示された。

紫外線照射がクリプト等対策として位置付けられてから18年が経過し、その技術的実績は積み上げられている。膜ろ過設備と同様に「軽微な変更」として届出で済むようになり、普及がより一層進むことを期待したい。

参考文献

- 1) 水道におけるクリプトスポリジウム等対策の実施状況について（国土交通省HP）<https://www.mlit.go.jp/common/830005178.pdf>

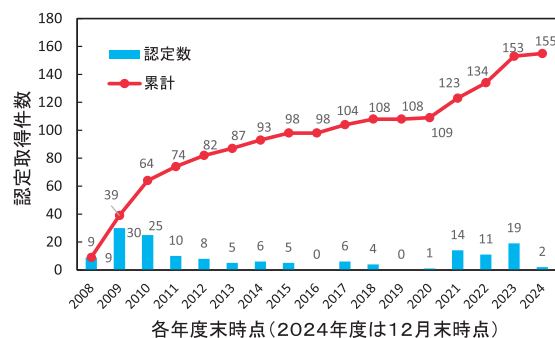


図1 紫外線照射装置の認定取得件数の推移

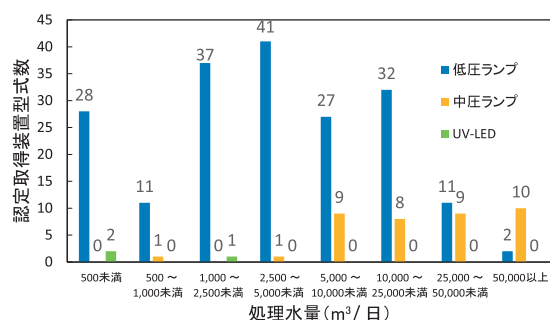


図2 ランプ種類別、処理水量別の認定取得装置型式数（2024年末時点）

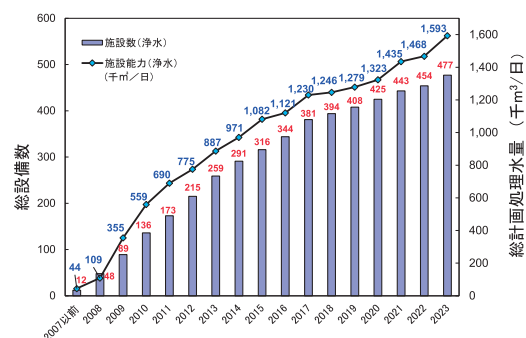


図3 紫外線照射装置の総設備数と総計画処理水量の推移（2023年度末時点）

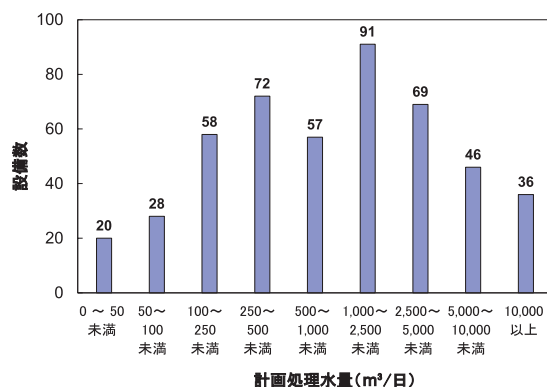


図4 紫外線照射装置の計画処理水量別設備数（2023年度末時点）

塩素と紫外線の併用処理の解説

—米国Water Research Foundationのレポートから—

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員
株式会社 西原環境

岡本 真由子

1. はじめに

一般社団法人日本紫外線水処理技術協会では、紫外線技術に関する規格化・標準化の推進および新技術の広報のため、協会内に専門委員会として技術委員会を設けている。技術委員会では、2022年に米国Water Research Foundation (WRF) より発行されたUV-Chlorine AOP in Potable Reuse: A Guidance Manual to Assessment and Implementationの翻訳を実施した。

本マニュアルでは、排水の飲用再利用水の塩素と紫外線の併用処理（以下、UV+塩素）を解説している。元々米国では、排水の飲用再利用目的のAOPとしてはUV+過酸化水素（ H_2O_2 ）が主流であったが、近年UV+塩素の導入事例が増えてきている。これはUV+ H_2O_2 にはないUV+塩素のもつ反応特性が理由にある。

技術委員会では、本マニュアルの翻訳を通じて、排水の飲用再利用目的のAOPとしてのUV+塩素について理解するだけでなく、日本の表流水原水の浄水場で、残留塩素がある状態でUVを適用した際に生じうる反応についても理解することできると考えた。以下に概要を説明する。

2. 本マニュアルの前提

- ① AOP用のUV光源：

低圧高出力UVランプ（LPHO）または中圧UVランプ（MP）
- ② AOP処理対象水：

飲用再利用のため排水のRO処理水
- ③ AOP処理対象物質：

NDMA、NDEA、1,4-ジオキサンなど

3. UV-AOP光化学の基礎

UV-AOPプロセスは、光子を吸収する追加の酸化化学物質（ H_2O_2 や塩素など）を使用するプロセスで、これにより、水中の汚染物質と反応して分解する能力を持つラ

ジカルの生成が促進される。ラジカルとは1つ以上の不対電子を持つ化学種（原子、分子またはイオン）である。中でもOHラジカルはUV-AOPに使用される最も一般的なラジカルであり、非常に反応性が高く、通常、水中に存在する時間は100万分の1秒未満である。

UV+塩素では、OHラジカルのみならず、ClOラジカル、およびその他のラジカル種が生成される。UV+ H_2O_2 AOPについては全体的なプロセスが理解されているが、UV+塩素AOPの基本的な化学反応は非常に複雑で、まだよく理解されていない。

一般的に、UV+ H_2O_2 AOPでの H_2O_2 の分解は5%から20%にとどまる。一方、塩素はUV吸収が強く、酸化剤分解の量子収率が高いため、一般的な条件下ではUVリアクター全体で、UV+塩素AOPでは、多くの塩素（50%を超えることが多い）を光分解することができる。

図1にpHの違いによる遊離塩素形態の割合を示す。塩素は水のpHが7以下であるとHOClが多く存在し、pHが8以上となると、OCl⁻が多く存在する。

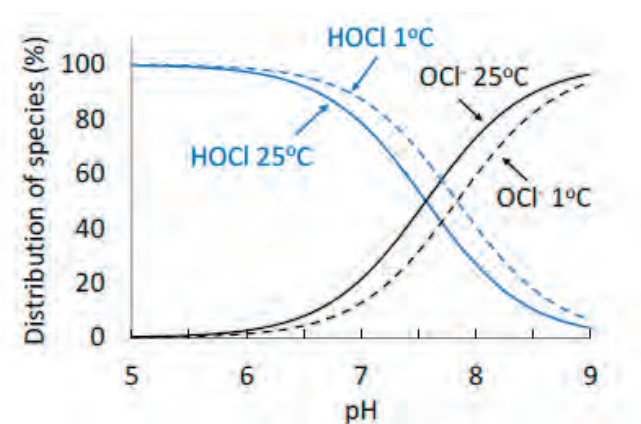


図1 pHの違いによる遊離塩素形態の割合
(引用文献より一部抜粋)

図2に一般的なUVランプ分光分布と H_2O_2 と塩素のモル吸光係数を示す。 H_2O_2 、HOCl、OCl⁻でモル吸光係数

のピークとなる波長が異なる。酸化剤の吸光係数が高い方がラジカル生成効率は良いが、一方でUV-AOP処理効率を高くするためには、処理水全体に光が行き届く必要があり、対象水のUV吸光度は低い（＝UV透過率が高い）方が有利である。

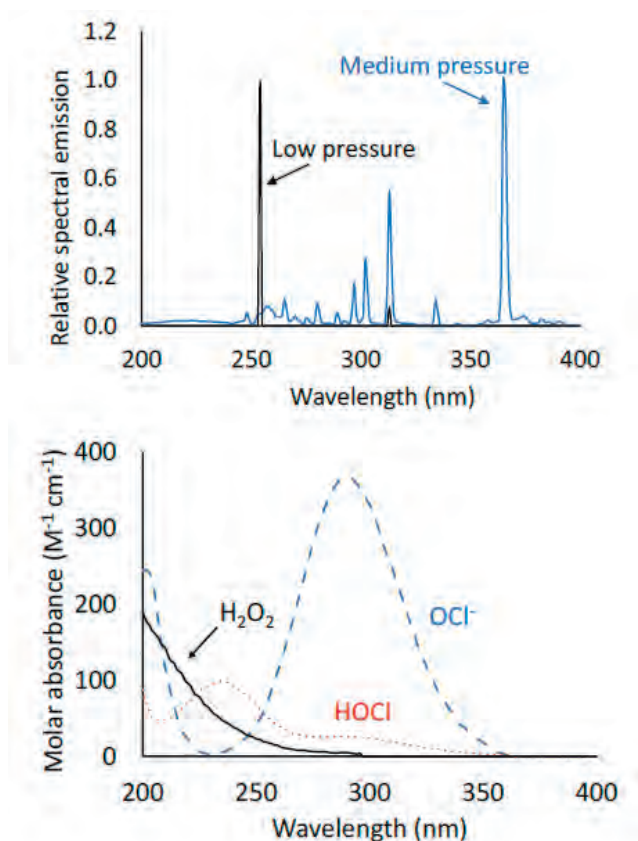


図2 (上) 一般的なUVランプ分光分布 (下) H_2O_2 と塩素のモル吸光係数 (引用文献より一部抜粋)

4. UV-AOPの有効性に対する原水の化学的影響

～共存物質の影響～

ラジカルは通常、無差別に反応するため、水中の除去対象物質以外の他の物質（有機炭素、亜硝酸塩、アルカリ度成分など）とも反応する。したがってそれが多いと効率の低下を招く。ラジカルを消費する除去対象物質以外の物質をラジカルスカベンジャーと呼び、主に以下の3つが挙げられる。

① HCO_3^- 、 CO_3^{2-}

ただしアルカリ度が炭酸カルシウム ($CaCO_3$) として5～20mg/Lの範囲では影響は小さい

② 塩化物および臭化物

塩化物および臭化物そのものはあまりUV-AOPの効率に影響を与えない。ただし臭化物が高濃度で存在するとUV+塩素で臭素酸生成の可能性がある。塩素は臭化物と反応し、 $HOBr$ や Br^- を生成し、これらは塩素と反応して、 BrO_3^- を生成する。対策としてアンモニアにより塩素をクロラミン（結合塩素）として存在させ、 BrO_3^- の生成をコントロールする事例がある。

③ 窒素種 (NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^-)

窒素種は下水の再利用の際には処理水に高濃度に残存することが多く、重要因子であるため、UV-AOPの前処理としてROまたはオゾン／生物活性炭を行い、その後段に設置するのがよい。またAOPの酸化剤により対応が以下のように異なる。

(a) UV+ H_2O_2 の場合

NO_2^- は強いラジカルスカベンジャーである。一方、 NO_3^- はラジカルスカベンジャーとしては弱いが中圧UV照射により NO_2^- に変換されるため、低濃度が望まれる。

(b) UV+塩素の場合

NH_4^+ はAOPの酸化剤である塩素を消費し、かつ生成するクロラミンによりUV透過率が低下する。 NO_2^- については、クロラミンからUV光による NO_2^- 生成もあるが、塩素により速やかに酸化され NO_3^- となるため影響は小さい。 NO_3^- は中圧UVでは NO_2^- に変換されるが、塩素により酸化され NO_3^- となるため影響は小さい。

図3に各窒素種のモル吸光係数、図4に架空のRO透過液（遊離塩素：5mg/L、 NH_2Cl ：3mg/L、 $NHCl_2$ ：4mg/L、 NO_3^- ：1.5mg/L）における254nm（低圧ランプ）光子吸収への相対的寄与の例を示す。

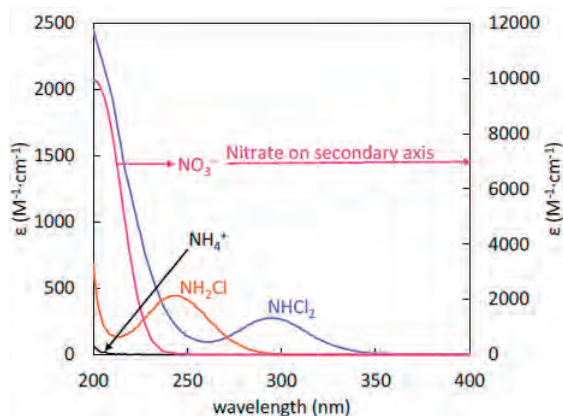


図3 各窒素種のモル吸光係数（引用文献より一部抜粋）

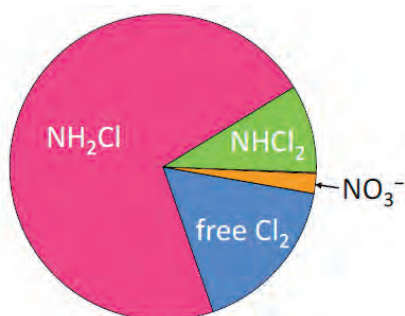


図4 架空のRO透過液における254nm（低圧ランプ）光子吸収への相対的寄与の例（引用文献より一部抜粋）

表1にRO透過液（各濃度は想定値）における各窒素種のラジカル消費割合を示す。表1にある $k \cdot OH$ とは、OHラジカルと各物質の反応速度定数であり、値が高い程、OHラジカルとの反応性が高くスカベンジ能力が高いことを意味する。

図1に示すように遊離塩素はpHが7以下では、HOClの割合が多く、低圧UVの254nm光の吸光係数を比較すれば、OClに比べてラジカル生成効率は高く、かつ表1よりHOClのスカベンジ能力はOClに比べて少ないため、UV+塩素AOPにおいてはpH7以下の方が有利となる。

表1に示すように結合塩素の NH_2Cl 、 $NHCl_2$ はOHラジカルのスカベンジ能力は高い。また NO_2^- が表1においては最もOHラジカルのスカベンジ能力が高いが、前述のようにUV+塩素AOPにおいては塩素と速やかに反応して NO_3^- となる。表1に示すように NO_3^- の $k \cdot OH$ は小さく、結果として NO_2^- 、 NO_3^- とも影響は小さい。

図5にpH 5.5でのRO透過後UV+塩素処理プロセス

におけるクロラミンとUV透過率の影響の例を示す。(a)と(b)で塩素注入率とRO透過後の NH_3 濃度が同じである場合、(a)のように塩素添加からUV照射までの時間が長い場合、遊離塩素と NH_3 が反応し、モノクロラミンから254nm吸光度の低いジクロラミンへの反応が進むため、UV照射の際の水の透過率を高く（吸光度を低く）することができる。一方、(b)のように塩素添加からUV照射までの時間が短い場合、UV照射での水の透過率はほとんど変化しない。ただし NH_3 による塩素消費が抑えられ残留している遊離塩素が多いため、UV照射によるラジカル生成効率は高くなる。

表2にUV+塩素AOP設計における対象水の重要な因子とその影響を示す。

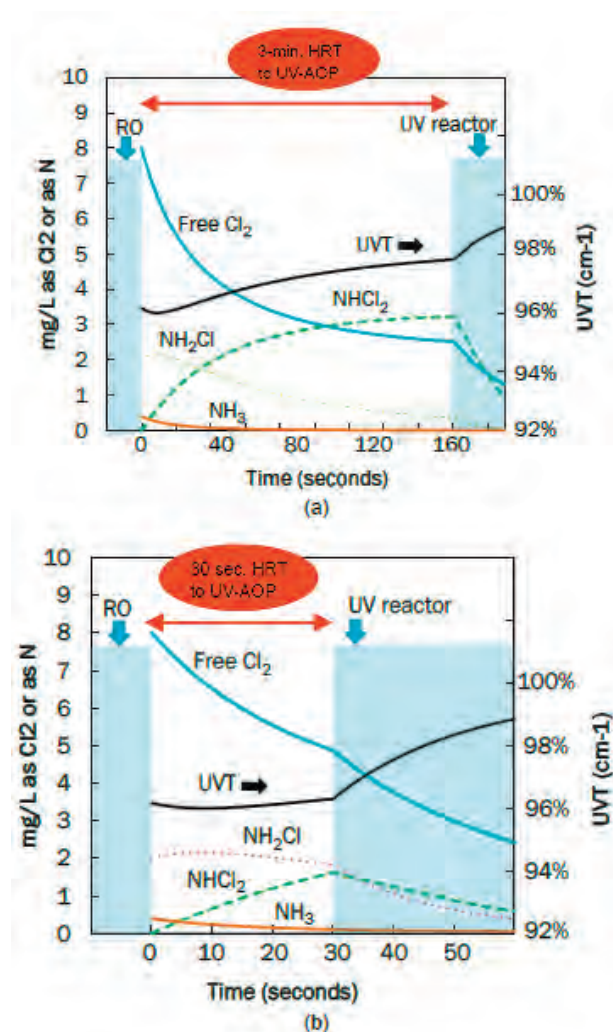


図5 pH 5.5でのRO透過後UV+塩素処理プロセスにおけるクロラミンとUV透過率の影響の例

(a) HRT（塩素添加からUV照射までの時間）3分の場合と (b) HRT30秒の場合（引用文献より一部抜粋）

表1 RO透過液における各窒素種のラジカル消費（引用文献より一部抜粋）

Species	Concentration	$k_{\text{OH}} (\text{M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	Contribution to $^{\bullet}\text{OH}$ scavenging	Reference
Free chlorine	3 mg/L as Cl_2	$2.0 \times 10^9 \text{ HOCl}$, $8.8 \times 10^9 \text{ OCl}$	71%	Buxton and Subhani, 1972 Anastasio and Matthew, 2006
Monochloramine	2 mg/L as Cl_2	1.0×10^5	23%	Anastasio and Matthew, 2006
Dichloramine	1.5 mg/L as Cl_2	6.2×10^5	6%	Anastasio and Matthew, 2006
Nitrate	0.8 mg/L as N	4.0×10^3 ^b	< 1%	Yin et al. 2020 ^b
Nitrite	Variable ^a	1.1×10^{10}	Variable ^a	Yin et al. 2020

$\text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$ = per molar per second

表2 UV+塩素AOP設計における対象水の重要な因子とその影響（引用文献より一部抜粋し日本語に翻訳）

影響因子	影響内容
UV吸収 (254 nm) UV透過率 (UVT)	水を通ずるUV光の有効性
水温	水化学、UVランプの出力、反応動力学への影響
pH	塩素と炭酸塩の化学種特性
アンモニア	塩素など酸化剤消費とクロラミン形成
クロラミン	塩素など酸化剤消費、UV光吸収、ラジカル消費
アルカリ度	ラジカル消費
硝酸塩	UV透過率 (中圧) への影響、リアクター内での亜硝酸塩の生成
亜硝酸塩	ラジカル消費
総有機炭素	ラジカル消費、消毒副生成物 (DBP) 前駆物質
臭化物	UV+塩素システムにおける消毒副生成物 (DBP) 前駆物質
鉄	ランプ保護管の汚れ
マンガン	ランプ保護管の汚れ
カルシウム	ランプ保護管の汚れ
硬度	ランプ保護管の汚れ

5. 化学物質除去（1,4-ジオキサンなど）除去を目的としたAOP（UV+塩素、UV+ H_2O_2 ）のO&Mコスト比較

一般的にUV+塩素はUV+ H_2O_2 よりも運転監視のためのオンライン分析機器が必要となるため、導入コストが割り増しになる。しかし、特定の水質条件下（RO処理水など）では化学汚染物質除去において、コスト面でUV+塩素はUV+ H_2O_2 よりも優位性がある。

図6に12 MGD=45,420 m^3 /日のFAT（Full Advanced Treatment）設置におけるUV+塩素とUV+ H_2O_2 の年間O&Mコスト比較（アンモニア、亜硝酸塩が低く、光源がLPHO UVの場合）を示す。UV+ H_2O_2

は残留 H_2O_2 の除去が必要となり、これに次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いる前提でコスト試算している。一方、UV+塩素での残留塩素は除去の必要が無いレベルであり除去用の薬品添加は不要である。

図7に規模別のUV+塩素とUV+ H_2O_2 の年間O&Mコスト比較（アンモニア、亜硝酸塩が低く、光源がLPHO UVの場合）を示す。UV+塩素とUV+ H_2O_2 の比較においては、処理水量による差は見られない。

図8に亜硝酸塩の増加が年間O&Mコストに及ぼす影響（アンモニアが低く、光源がLPHO UVの場合）を示す。UV+ H_2O_2 は亜硝酸塩の増加に伴い、 H_2O_2 や残留 H_2O_2 除去のための次亜塩素酸ナトリウム溶液の使用量

が増加するため、年間O&Mコストが増加する。一方、UV+塩素は亜硝酸塩が増加しても、年間O&Mコストは微増であり、UV+H₂O₂に比べて高亜硝酸塩の影響を受けない。

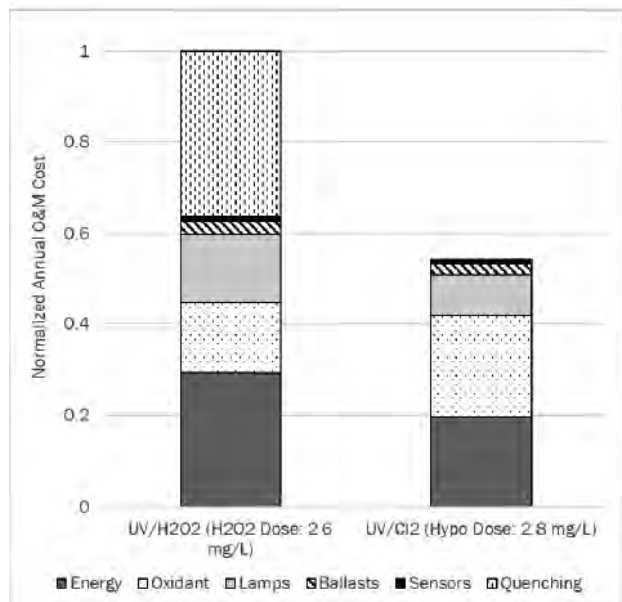


図6 12 MGD=45,420m³/日のFAT (Full Advanced Treatment) 設置におけるUV+塩素とUV+H₂O₂の年間O&Mコスト比較 (アンモニア、亜硝酸塩が低く、光源がLPFO UVの場合) (引用文献より一部抜粋)

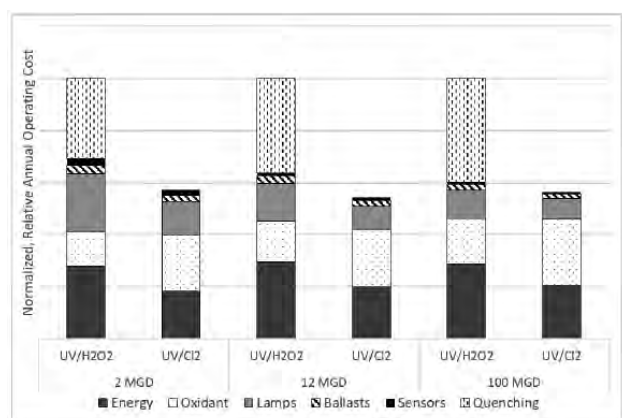


図7 規模別のUV+塩素とUV+H₂O₂の年間O&Mコスト比較 (アンモニア、亜硝酸塩が低く、光源がLPFO UVの場合) 2 MGD=7,570m³/日、12 MGD=45,420m³/日、100 MGD=378,500m³/日 (引用文献より一部抜粋)

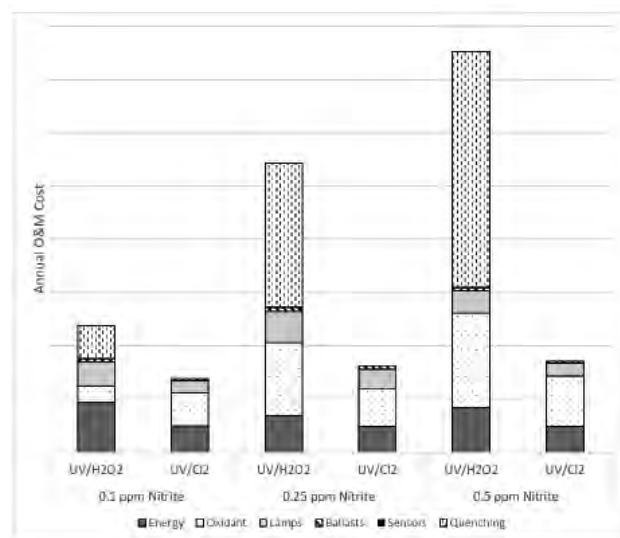


図8 亜硝酸塩の増加が年間O&Mコストに及ぼす影響 (アンモニアが低く、光源がLPFO UVの場合) (引用文献より一部抜粋)

6. おわりに

今回翻訳対象とした米国のマニュアルの主目的である排水の飲用再利用目的のAOPとしてのUV+塩素と、日本の表流水原水の浄水場における残留塩素+UVとは前提など異なる点は多い。しかし本マニュアルには塩素とUVの併用による処理の特性や効率を左右する因子や副生成物など共通の重要情報が多く述べられてもいる。これらのことから、日本の浄水場における塩素存在下でのUV処理の適用を行う上での留意点を改めて再確認することができたと考える。

引用文献

The Water Research Foundation. UV-Chlorine AOP in Potable Reuse: A Guidance Manual to Assessment and Implementation. 2022.



浄水への紫外線照射による促進酸化処理の検討

株式会社フソウ R & Dセンター 水質分析部 一番ヶ瀬 宏之

1. 研究概要

1-1. 研究目的

近年の浄水処理設備に求められている「強靱」や「安全」に資する、消毒技術としての紫外線処理について、カビ臭等の除去能力を併せ持った処理システムの開発を行った。

本実験は、次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) や過酸化水素 (H_2O_2) を添加した浄水に紫外線 (UV) を照射し、難分解性有機物を分解する促進酸化処理 (UV-AOP) を適用した。

1-2. 実験概要

1-2-1. 実験場所

香川県広域水道企業団 川添浄水場 (高松市)

1-2-2. 実験内容

既設浄水を取水後、カビ臭希釈溶液を添加し所定のカビ臭濃度 ($10 \sim 20 \text{ ng/L}$) となるよう調整したものを実験原水とした。UV-AOP処理前後で水質分析を行い、処理性能の確認を行った。

開発目標としては、

- ・カビ臭除去目標： 3 ng/L 以下
- ・消毒副生成物：基準値以下

とした。



写真1 UV照射装置

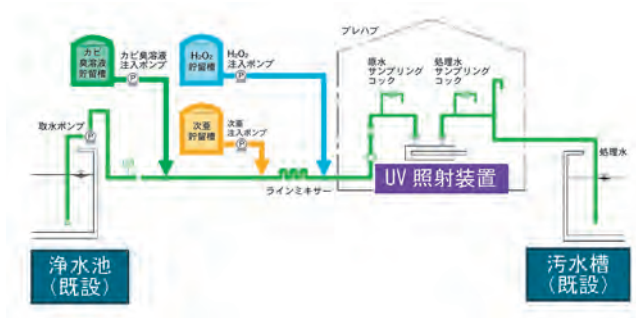


図1 実験フロー

なお、今回のUV照射量の算出方法は、低圧ランプについてはクリプトスポリジウムへの照射量と同じ考えに基づきCFD解析を行い、流量（滞留時間）とUV照射量の関係を算出した。一方、中圧ランプについては、クリプトの波長感受性を考慮せず、全波長で1として算出した。よって、厳密には、照射量は推定値となる。

2. 実験方法

2-1. 低圧UVランプを用いたUV-AOP最適処理条件の検討

UV/ NaClO あるいはUV/ H_2O_2 処理によるカビ臭除去および消毒副生成物の生成状況を確認した。また、最適なUV照射量/ NaClO 注入率あるいはUV照射量/ H_2O_2 注入率条件の導出を行った。

【実験条件】

- ・原水カビ臭濃度： $10 \sim 20 \text{ ng/L}$
- ・UV照射量（設定値）：0, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 mJ/cm^2
(流量を調整することによりUV照射量を調整した。)
- ・薬注条件： (NaClO) 0, 1.0, 2.0 mg/L
 (H_2O_2) 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mg/L

2-2. UV-AOP処理後の消毒副生成物の経時変化

2-1.で得られた最適条件で処理した水における消毒副

生成物の配水中での経時変化を検討するため、処理水に次亜注入後（残塩：0.5mg/L）、恒温槽にて25℃、0～48時間反応させ、その増加量を検証した。

2-3. 既存処理方式とのLCC比較

2-1.で得られた最適条件に基づき、実施規模でのUV-AOP処理システムのコストを試算し、既存のカビ臭除去設備とのLCC比較を行った。

【検討条件】

- ・ 設定浄水量：Q=16,000m³/日
- ・ 比較処理方式：粉末活性炭、(オゾン+)
粒状活性炭、UV-AOP
- ・ 検討内容：建設コスト、維持管理コスト

2-4. 中圧UVランプを用いたUV-AOP最適処理条件の検討

UV/NaClOあるいはUV/H₂O₂処理によるカビ臭除去および消毒副生成物の生成状況を確認し、低圧UVランプの場合との傾向を比較した。

【実験条件】

- ・ 原水カビ臭濃度：10～20ng/L
- ・ UV照射量（設定値）：0, 100, 200, 400, 600, 800, 1000mJ/cm²
(流量を調整することによりUV照射量を調整した。)
- ・ 薬注条件：(NaClO) 0, 1.0, 2.0mg/L
(H₂O₂) 0, 1.0, 1.5, 2.0mg/L

3. 実験結果

3-1. 低圧UVランプを用いたUV-AOP最適処理条件の検討

3-1-1. カビ臭除去性能（図2）

酸化剤を添加しない（UV単独処理）場合、除去性能は低かったが、UV-AOPの場合において高いカビ臭除去性能を確認した。酸化剤の種類で比較すると、NaClOよりもH₂O₂を用いた方がより高いカビ臭除去性能を示した。

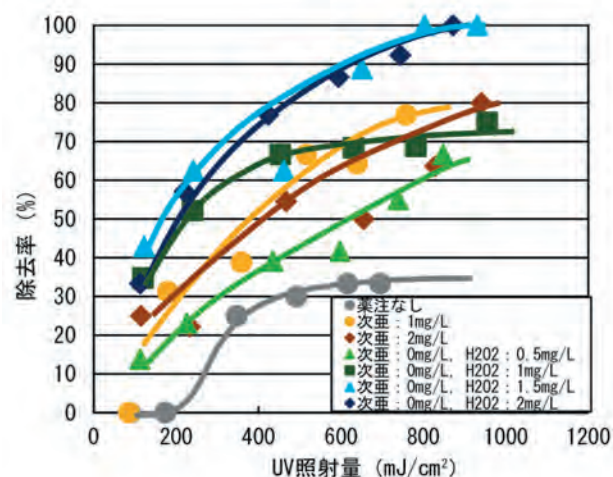


図2 各条件での2-MIB除去率

3-1-2. 消毒副生成物生成状況

有機塩素化合物については、UV/NaClO処理を中心に、条件によって現状維持あるいはやや上昇する傾向であったが基準値は十分下回っていた。塩素酸についてはUV/NaClO処理で上昇傾向であったが、本実験条件範囲内においては基準値は下回っていた（図3）。臭素酸、亜硝酸態窒素については生成しないことを確認した。

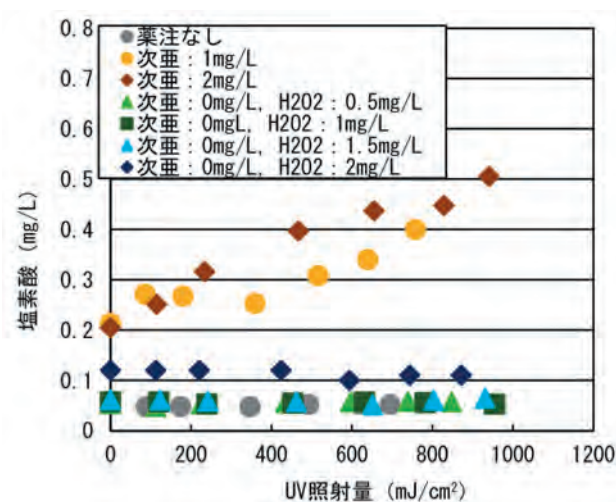


図3 各条件での塩素酸濃度

3-1-3. 最適条件の導出

以上の実験結果から、カビ臭除去率70%（原水：10ng/L→処理水：3ng/L）を達成できる、最もUV照射量の低い条件を最適条件とすると、

- UV/NaClO処理時
UV照射量：500mJ/cm²
NaOCl注入率：1.0mg/L
- UV/H₂O₂処理時
UV照射量：350mJ/cm²
H₂O₂注入率：1.5mg/L

という結果が得られた。

3-2. UV-AOP処理後の消毒副生成物の経時変化

UV/NaClO処理, UV/H₂O₂処理の場合共に、UV-AOP処理を行うことで、初期の残留塩素の低下がやや早くなる傾向が確認された。また、消毒副生成物の種類によっては若干濃度が上昇することが明らかとなった。ただし、基準値は十分下回る濃度であった。

3-3. 既存処理方式とのLCC比較（表1）

【前提条件】

- ・施設稼働日数：2016年度粉炭注入実績日数
[254日]
- ・UV/H₂O₂処理を1として相対的に表現。

UV-AOP処理方式は、粒状活性炭処理方式と比較してLCCを同程度あるいはそれ以下程度にできることが示された。また、ケースによっては粉末活性炭処理方式よりもLCCを安価にできる可能性が明らかとなった。

3-4. 中圧UVランプを用いたUV-AOP最適処理条件の検討

3-4-1. カビ臭除去性能

低圧UVランプの場合と同様に、高いカビ臭除去性能を確認した。また、低圧UVランプの場合とは異なり、酸化剤を添加しない（UV単独処理の）場合でも高いカビ臭除去性能を確認した。

3-4-2. 消毒副生成物生成状況

低圧UVランプの場合と同様の生成傾向であったが、本実験条件範囲内においては基準値を下回ることが確認された。

低圧UVランプの場合と異なる結果として、残塩がない、あるいは低濃度の条件（主にUV/H₂O₂処理）において亜硝酸態窒素が生成することが明らかとなった（図4）。

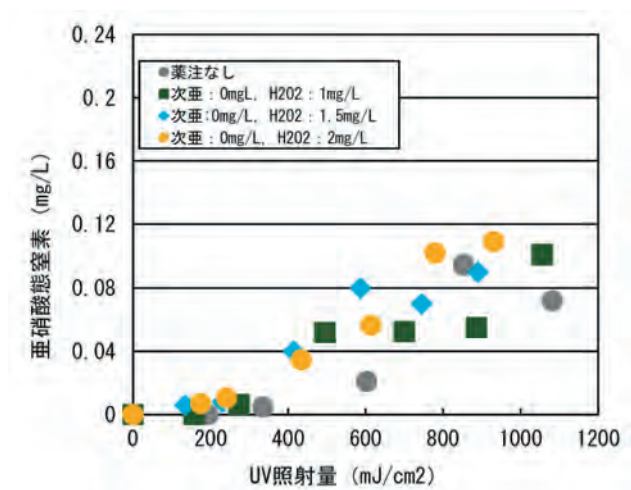


図4 各条件（UV/H₂O₂）での亜硝酸態窒素

表1 既存処理方式とのLCC比較

	粉末活性炭 （ケース①）	粉末活性炭 （ケース②）	粒状活性炭	オゾン ＋粒状活性炭	UV/NaClO	UV/H ₂ O ₂
建設コスト	0.5	0.5	1.5	3.8	1.1	1.0
維持管理コスト	0.7	1.6	0.8	1.1	0.5	1.0
LCC	0.6	1.2	1.0	2.0	0.7	1.0
備考	川添浄水場 2016年度実績ベース （平均注入率 4.4mg/L） （カビ臭平均値：4 ng/L）	浄水技術ガイドライン 臭気物質除去のため の注入率下限値 （10mg/L）とした場合	物理吸着方式として 活性炭交換頻度：1回 /実働3年	活性炭交換頻度 ：1回/実働3年		

4. 実験成果

本実験成果の寄与できる範囲として、以下のような浄水場に対する処理システムとしての提案が可能ではないかと考えている。

- ・ 原水のカビ臭問題が発生している。
- ・ 高度浄水処理施設（粒状活性炭、オゾン+粒状活性炭）を未導入で、コスト等の問題から今後の導入が困難。
- ・ 粉末活性炭注入を行っているが、それに関わる問題点を有している
 - …原水水質の変化に伴う粉末炭の注入率、注入期間の増大およびそれに伴うコスト、手間の増大
- ・ 併せて耐塩素性病原生物対策を講じる必要がある。

特に、従来の対応技術（オゾン処理、粒状活性炭処理）の導入が難しい、中小規模の浄水場への導入に適しているのではないかと考えている。

5. 課題

本研究ではさまざまな成果が得られた一方、実装置化に関わる様々な課題も明らかとなった。その内容およびそれらを解決するための方策を以下に整理する。

課題	解決方法
○消毒副生成物質の低減 特に、 ・ UV/NaClO：塩素酸 ・ 中圧 UV/H ₂ O ₂ ：亜硝酸態窒素のさらなる低減。	消毒副生成物の抑制あるいは除去方法の確立
○カビ臭除去能力の増強 より高い原水カビ臭濃度に対する処理性能の検討。	他所での連続運転による処理性能の安定性、操作性、応答性の検証
○他所での処理性能の検討 川添浄水場とは異なる原水水質に対する処理性能の検討。	
○水質、水量の変化に対する操作性、応答性の検討	
○処理システムとしての安全性の検証	公的機関による技術評価

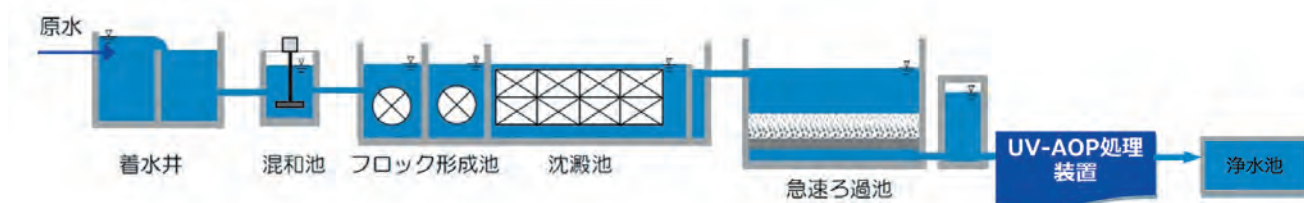


図5 実施設でのUV-AOP処理設備の適用フロー

6. まとめ

- ・ UV-AOPによるカビ臭除去性能、消毒副生成物生成状況、最適条件、LCC等を確認し、浄水処理への適用の可能性を示した。
- ・ カビ臭除去システムとしての本技術の適用範囲、クリプト等への対応技術としての併用イメージについて検討した。
- ・ 本研究で得られた様々な課題およびその解決方策を整理した。

（謝辞）

香川県広域水道企業団様には、5年の長きにわたり、実験装置製作、場所、水、電気および薬品の提供、水質分析等に関して多大なご協力を賜りました。

また千代田工販株式会社様には、実験装置製作、改造、試運転調整、結果解析等に関して多大なご協力を賜りました。

この場を借りて、あらためて深く感謝申し上げます。



施設見学会報告

ー浄水膜排水への紫外線照射と下水処理場紫外線消毒の導入ー

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会 技術委員
株式会社日本フォトサイエンス

中村 知克

取材協力 大牟田市企業局 施設課 浅名 孝昭 野田 真弘 坂田 充司

本報は、日本紫外線水処理技術協会 技術委員会による施設見学会の報告である。

実施日：2024年10月28日

参加者：岩崎達行、岡本真由子、小林伸次、志賀淳一、堀江和峰、松田純司、中村知克

1. はじめに

福岡県大牟田市は福岡県の最南端に位置し、西は有明海に面し、南を熊本県荒尾市と境を接している。



図1 九州地方地図

(赤丸が福岡県大牟田市および熊本県荒尾市付近)

大牟田市、荒尾市は三池炭鉱とともに栄え、経済・生活圏を共有した地域である。三池炭鉱は平成9年に閉山し、120余年の歴史に幕を降ろした。平成27年7月、三池炭鉱関連資産が「明治日本の産業革命遺産製鉄・製鋼、造船、石炭産業」として世界遺産に登録されている。¹⁾

2. 大牟田市の水道事業の概要

大牟田市の水道事業は、大正8年3月に事業認可（計画給水人口80,000人、施設能力8,000m³/日）を得て創設され、大正10年8月に通水を開始した。

その後、第9次拡張事業において、以下の内容を含む拡

張が行われた。

- ・給水区域の拡大（岬町）
- ・四箇地区簡易水道事業の統合
- ・熊本県有明工業用水道水利権の一部転用（10,000m³/日）による20,000m³/日の菊池川水利権使用許可
- ・熊本県荒尾市との共同によるDBO（デザイン・ビルド・オペレート）方式によるありあけ浄水場の整備と運用開始
- ・大山ダム運用開始に伴う福岡県南広域水道企業団からの受水量5,000m³/日の増量（21,500m³/日）

また、長年の懸案事項であった三池炭鉱専用水道（社水）から市水道事業（市水）への切替え（水道一元化事業）が、計画期間を1年短縮し、平成29年度末に完了した。令和4年度末時点での給水人口は105,656人、水道普及率は98.2%であり²⁾、令和5年度の1日最大配水量は32,956m³/日となっている。

3. 施設概要

3-1 ありあけ浄水場の概要



図2 ありあけ浄水場地図

ありあけ浄水場は、菊池川表流水を水源とする計画水量26,100m³/日の施設である。セラミック膜ろ過方式を導入し、常時微粉末活性炭を注入することでより高度な浄水処理を行っている。

また、福岡県大牟田市と熊本県荒尾市が共同で建設した浄水場である。共同で建設することにより、コスト低減が図られるのみでなく、災害時における水の相互融通が可能となり、安定した水供給が可能となっている。県境を越えた共同の浄水場は日本初の取り組みである。



図3、4 ありあけ浄水場

また、ありあけ浄水場はエネルギー消費を抑え、環境に配慮した以下のような取り組みを実施している。

- ・ 自然流下での処理

原水から浄水池までは送水ポンプなしの自然流下による運転がされている。

- ・ 浄水ケーキ有効利用

膜洗浄不純物を乾燥させた浄水ケーキを野菜の育苗に有効利用している。

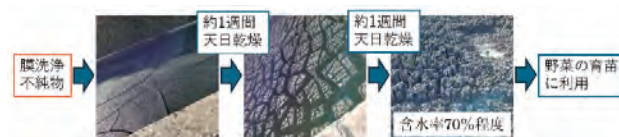


図5 浄水ケーキの再利用

- ・ 太陽光発電の導入

太陽光発電による発電で施設の照明等に利用し省エネルギーでの運用を行っている。



図6 太陽光発電状況

3-2 大牟田市南部浄化センターの概要

大牟田市南部浄化センターは、ありあけ浄水場より北西約4kmに位置し、計画処理能力28,800m³/日の施設である。

大牟田市南部地区の汚水を集め、水環境へ配慮した水（処理水）にして川へ放流している。当初は、オゾン処理にて消毒を実施していたが、現在は紫外線処理を導入している。



図7 大牟田市南部浄化センター

4. 紫外線処理設備導入

4-1 ありあけ浄水場

クリプトスポリジウム対策が求められたが、当時紫外線処理についてはあまり知られておらず、セラミック膜ろ過方式を導入されることとなった。



図8 膜ろ過装置

13年の運用期間中で原水中にクリプトスポリジウムが検出される事例があり、またウェルシュ菌についても高い頻度検出されている。

また、環境への取り組みとして、原水回収率を高めるため、膜洗浄排水を濃縮層にて固液分離し、上澄水を紫外線処理後、原水に返送している。

4-2 大牟田市南部浄化センター

放流先で海苔養殖を行っており、消毒については環境に配慮する必要がある。

当初はオゾン処理にて消毒を行っていたが、ランニングコストが大きいということからオゾン処理に代わり2021年より紫外線処理が導入された。

5. 紫外線処理施設概要

5-1 ありあけ浄水場

ありあけ浄水場では、微粉炭接触からの膜ろ過による処理を行っており、ろ過排水の処理としてUVを利用して

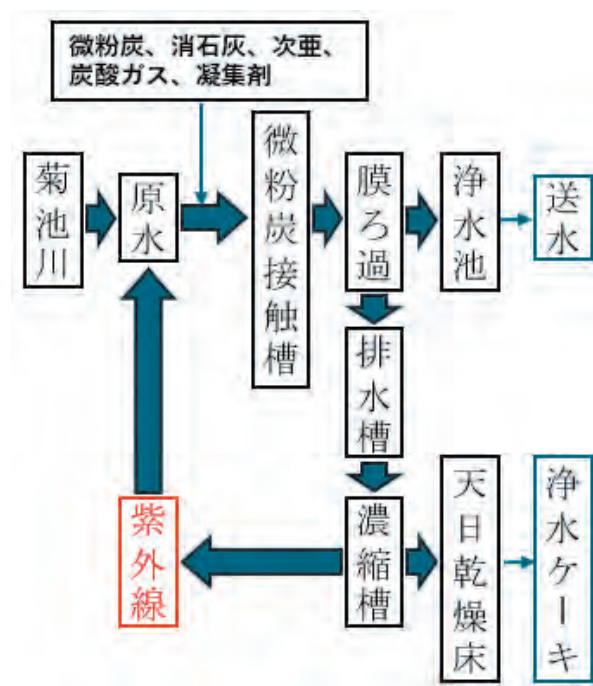


図9 浄水処理フロー図

処理流量は500m³/日であり、紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して253.7nm付近の紫外線照射量を常時10mJ/cm²以上確保するような運転となっている。

ただし、UVの常時点灯はしておらず、膜洗浄排水が来た時のみの運転となっている。処理する上澄水の透過率は不明だが、濁度は2～20度となっている。膜ろ過の乾燥エアーを利用することで除湿を行っており、除湿器は不要としている。

UV処理後の上澄水は原水に戻すことで、原水の高回収率99.9%を達成している。



図10 紫外線処理装置

5-2 大牟田市南部浄化センター

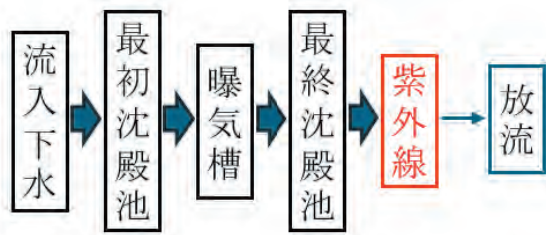


図11 下水処理フロー図

紫外線照射装置は9ユニットで構成されている。1ユニットには250Wのランプが8本あり、合計72本のランプで処理している。ランプは13,000時間で交換している。

平均処理流量11,000m³/日程度であり、1日2回のワイパー運転が実施されているが、ランプスリーブにマンガンのスケールが付着・蓄積するために、3か月に1回の酸洗浄を実施している。



図12 紫外線照射装置

- ・ 透過率70%を少し下回る水でもUVの効果は十分に
出ている
- ・ 透過率（70%）と透視度（60cm）にて管理をして
いる。

また、オゾン処理から紫外線処理に変わったことによる運転上のメリットについては以下の通りである。

- ・ 電力は70%減
オゾン処理時はオゾン生成からオゾン処理までに
莫大な電力消費をしていたが、紫外線導入後は70%
の削減となった。

- ・ 硝化が十分に行われるようになった

オゾン処理運転時では、硝化が十分に行われていなかったためにアンモニアから亜硝酸が生成されていた。亜硝酸はオゾン消費剤として働くことでオゾンの消毒効果が不十分となっていた。出口の大腸菌群は、オゾン処理運転時では100個/mLであったが、紫外線導入後は1桁個/mLまで改善した。

- ・ 省スペースでの運転が可能に

オゾン処理時には、以下の建屋内にオゾン処理関連装置が広がっていたが、紫外線導入後は以下の赤線内に収まっていることがわかる。



図13 紫外線装置電源盤建屋

6. おわりに

大牟田市企業局施設課の皆様には、ありあけ浄水場および大牟田市南部浄化センターの見学会にて、ご協力を賜りました事、厚く御礼申し上げます。

[参考資料]

- 1) 大牟田市「大牟田市・荒尾市のありあけ浄水場の取組み - 県境を越えた水道広域化と官民連携 -」
<https://www.mlit.go.jp/common/001147426.pdf> (2025年1月12日閲覧)
- 2) 大牟田市企業局「令和6年度水道水質検査計画」
https://www.city.omuta.lg.jp/kiji003667/3_667_101922_up_6wr861rs.pdf (2025年1月12日閲覧)

会員リスト

令和 7 年 4 月現在（五十音順）

☐正会員

岩 崎 電 気 株 式 会 社	〒103-0004 東京都中央区東日本橋 1-1-7 京王東日本橋ビル TEL 03-5846-9030
株 式 会 社 ウ ォ ー タ ー テ ッ ク	〒108-0023 東京都港区芝浦 3-16-1 中野興産ビル TEL 03-3456-0795
株式会社神鋼環境ソリューション	〒651-0072 兵庫県神戸市中央区脇浜町 1-4-78 本社 TEL 078-232-8115 大阪支社 TEL 06-6206-6746
水 道 機 工 株 式 会 社	〒156-0054 東京都世田谷区桜丘 5-48-16 TEL 03-3426-2953（営業統括課）
水 ing エンジニアリング株式会社	〒105-0021 東京都港区東新橋 1-9-2 汐留住友ビル 27 階 TEL 03-6830-9055
ス タ ン レ ー 電 気 株 式 会 社	〒225-0014 神奈川県横浜市青葉区荏田西 2-14-1 横浜サテライトセンター TEL 045-912-9222（東日本サテライト部）
セ ン 特 殊 光 源 株 式 会 社	〒561-0891 大阪府豊中市走井 1-5-23 TEL 06-6845-5111
千 代 田 工 販 株 式 会 社	〒104-8115 東京都中央区京橋 1-10-7 KPP 八重洲ビル 8 階 TEL 03-3564-5525
月島JFEアクアソリューション株式会社	〒104-0053 東京都中央区晴海 3-5-1 TEL 03-5560-6031
株 式 会 社 東 芝	〒212-8585 神奈川県川崎市幸区堀川町 72-34 TEL 044-331-0808
ド リ コ 株 式 会 社	〒103-0027 東京都中央区日本橋 2-13-10 日本橋サンライズビルディング 3 階 TEL 03-6262-1421
株 式 会 社 西 原 環 境	〒108-0022 東京都港区海岸 3-20-20 ヨコソーレインボータワー 3 階 TEL 03-3455-4441
日 機 装 株 式 会 社	〒105-6022 東京都渋谷区恵比寿 4-20-3 恵比寿ガーデンプレイスタワー 22F TEL 03-3443-3732
株式会社日本フォトサイエンス	〒193-0832 東京都八王子市散田町 5-8-3 TEL 042-667-5641
株 式 会 社 フ ソ ウ	〒103-0022 東京都中央区日本橋室町 2-3-1 室町古河三井ビルディング 17F（コレド室町 2） TEL 03-6880-2110
フ ナ テ ッ ク 株 式 会 社	〒134-0085 東京都江戸川区南葛西 2-6-22 TEL 03-5679-2700
前 澤 工 業 株 式 会 社	〒322-8556 埼玉県川口市仲町 5-11 TEL 048-253-0907（環境ソリューション事業部 第一部）
三 浦 工 業 株 式 会 社	〒799-2430 愛媛県松山市北条辻 864 番地 1 TEL 089-960-2360（アクア事業管理部 UV 推進課）
メ タ ウ ォ ー タ ー 株 式 会 社	〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 1-25 J R 神田万世橋ビル TEL 03-6853-7340（営業本部 営業企画室）
株 式 会 社 ヤ マ ト	〒371-0844 群馬県前橋市古市町 118 番地 TEL 027-290-1821（環境事業部）
理 水 化 学 株 式 会 社	〒530-0054 大阪府大阪市北区南森町 1-4-10 理水ビル TEL 06-6365-0691

☐特別会員：民間企業

旭化成株式会社
ヒメジ理化学株式会社

☐特別会員：団体

特定非営利活動法人 日本オゾン協会
一般財団法人 千葉県薬剤師会検査センター

☐特別会員：個人

浅見真理 大瀧雅寛 神子直之
石倉 證 小熊久美子

入会を希望される場合は、当協会のホームページ（<http://www.juva.jp/>）の入会申込書 PDF をダウンロードしていただき、必要事項をご記入のうえ事務局までお送りください。

「セミナー・講演会へ」 の講師派遣を随時受付」

本協会では、紫外線水処理装置・技術の啓蒙活動を積極的に行っており、その一環として紫外線水処理装置および技術に関する講師の派遣を行っております。

お申し込みは、メールにて承ります。

(メールアドレス：info-juva@juva.jp)



JUVA 技術セミナー



Japan UV Water Treatment Technology Association

一般社団法人 日本紫外線水処理技術協会

HPアドレス <http://www.juva.jp/> メールアドレス info-juva@juva.jp