

ルマジンを標準液とすると測定値は透過光方式では1.8倍、積分球方式では2倍以上の値となることがわかった。

- 4) 2種類の濁度測定法、即ち透過光方式と透過+90°散乱光方式による測定値の比(濁度比)を用いれば、散乱分率の代替指標として利用できると考えられた。

3.2 紫外線処理設備の照射手法及び設計諸元の検討

素材、色、粒径の異なる標準粒子を任意濃度で添加した試料について、濁度、色度、紫外線透過率の変化を分析した。また、標準粒子試料に大腸菌または大腸菌フェージMS2を添加し、紫外線不活化実験を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 粒子濃度と紫外線透過率の関係について、0.2 μm の粒子は粒子濃度 10^9 – 10^{10} 個/mLにかけて、1.0 μm の粒子は 10^7 – 10^8 個/mLにかけて、紫外線透過率が急低下する閾値が観察された。粒径が同じ粒子は紫外線透過率低下の傾向が類似しており、紫外線透過率の低下に支配的な因子は粒子の素材や色よりも粒径であることが示唆された。
- 2) カーボンブラック粒子(粒径0.1–0.2 μm)を添加すると微生物不活化効率が低下した一方、白色ポリスチレン粒子(粒径0.2 μm)を添加すると不活化効率が向上した。ポリスチレン粒子は紫外線反射率が高く、反射光や散乱光が不活化に寄与したものと推定された。
- 3) 粒径0.2 μm の粒子による不活化効率への影響の程度は大腸菌とMS2で同等であったが、粒径1.0 μm の粒子の影響は両者で異なる傾向があり、粒子と微生物の相対的なサイズが不活化効率に影響する可能性が示唆された。
- 4) 異なる粒子条件で実施したMS2の不活化速度定数を比較した結果、濁度0.5–1.5度、色度13度以上、紫外線透過率56–70%程度と紫外線処理に不利な条件下でも、粒子添加なしの場合と不活化速度に有意差はなかった(ANOVA, $p>0.05$)。よって、現行の地表水以外への紫外線処理適用要件を満たす限り、濁質による処理効率の

有意な低下は生じない可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課 (2007) 水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針.
- 2) 米国環境保護庁 (2006) Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule.
- 3) オーストリア規格協会 (2001) ÖNORM M5873-1: Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation -Requirements and testing - Part 1: Low pressure mercury lamp plants.
- 4) ドイツガス水道協会 (2006) DVGW Standard W 294-2: UV Devices for the Disinfection for Drinking Water Supply.
- 5) 英国水道水検査官事務所 (2010) Guidance on the use of Ultraviolet (UV) irradiation for The Disinfection of Public Water Supplies.
- 6) フランス共和国官報 (2012) 公衆衛生法R.1321-50条(IおよびII)を適用した人用飲料水の処理に用いられる紫外線ランプを備えるリアクタの販売及び使用条件に関する2012年10月9日のアレテ.
- 7) 小熊久美子、平成26年度厚生労働科学研究費補助金「地表水を対象とした浄水処理の濁度管理技術を補完する紫外線処理の適用に関する研究」(H26-健危-一般-004, 代表: 大垣真一郎) 平成26年度研究分担報告書.

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

- 1) Kumiko Oguma(2015.7) Small water systems in Japan: current status and technical challenges for the future: The 10th International Symposium on Water Supply Technologies (第10回水道技術国際シンポジウム、神戸).
- 2) Akihiro Ishida and Naoyuki Kamiko (2015.12) Inactivation and photoreactivation of E.coli in secondary treated wastewater by various UV light sources: The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015.
- 3) Nodoka Kanzaki and Naoyuki Kamiko (2016.2) Ultraviolet resistance of indigenous coliphages and their DNA found in wastewater: IUVA 2016 World Congress & Exhibition.
- 4) 島崎大、田中美奈子、石新一憲、知念光、鐘井豊、白坂威出矢、飯島卓、伊藤雅喜、「高濁度原水の処理不良時における二段凝集処理による濁度およびクリプトスポリジウムの除去効果ならびに感染リスク評価」、平成27年度全国会議（水道研究発表会）講演集、pp.622-623、2015年10月、さいたま.
- 5) 中村栄希、神子直之、「流水式紫外線装置における微生物を用いた性能評価に関する検討」、第50回日本水環境学会年会講演集、P.364、2016年3月、徳島.
- 6) 石田晃啓、神子直之、「指標細菌の不活化速度に対する紫外線波長ごとの濁質による影響の把握」、第50回日本水環境学会年会講演集、P.401、2016年3月、徳島.
- 7) 木下由紀子、大瀧雅寛、島崎大、「濁質の光散乱特性を考慮したUV消毒への影響評価」、第50回日本水環境学会年会講演集、p.362、2016年3月、徳島.
- 8) 小塩美香、小熊久美子、Jenyuk Lohwacharin、滝沢智、「懸濁粒子の特性が紫外線の微生物不活化効果に及ぼす影響」、第50回日本水環境学会年会講演集、P.363、2016年3月、徳島.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

第50回日本水環境学会年会優秀発表賞（クリタ賞）受賞（上記学会発表8）（2016年3月、徳島）

II. 分担研究報告

海外における地表水紫外線処理の適用条件等に関する文献調査

研究分担者 国立保健医療科学院 島崎 大

研究要旨 地表水を対象とした紫外線処理の導入を推進する上での一助とすべく、紫外線処理が適用できる原水水質の条件やろ過処理による濁度管理の目標水準について海外の文献情報を収集し比較した。欧米 5 カ国における紫外線処理の適用条件として地表水および地下水の区分は見られなかったこと、濁度の規定はわが国よりも緩やかであること、紫外線照射量としては所定の生物線量計に基づく RED 値、あるいは、浄水場の原水および運転条件に応じて設定されていること、紫外線透過率や紫外線照射効率の低下を防ぐ観点から、鉄、マンガン、硬度等の水質要件に留意していること等の相違点が見られた。

A. 研究目的

現行の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、レベル4施設に対しても「浄水処理の安全性を一層高めるために、ろ過池等の出口の濁度を0.1度以下に維持することが可能なろ過設備と紫外線処理設備を併用することとしてもよい」とされており、適切な濁度管理の下に地表水の紫外線処理を行うことが可能である。むしろ多段階バリアの観点からすれば、耐塩素性病原微生物などによる汚染の恐れが高い原水に対しては、積極的にろ過処理と紫外線処理を併用することが望ましいものである。しかしながら、現在までに国内で地表水に紫外線処理を導入した事例は見受けられない。

また、これまでの調査研究により、濁度の急激な上昇時において遅延無く凝集剤注入率を増加することで安定した凝集沈殿処理が継続できること、また、高濁度原水の取水により凝集不良または沈殿不良となっ

た場合、二段凝集処理により砂ろ過水濁度の低減が可能であることが示されている。

ここでは、地表水を対象とした紫外線処理の導入を推進する上での一助とすべく、紫外線処理が適用できる原水水質の条件やろ過処理による濁度管理の目標水準について海外の情報を収集、比較し、わが国との相違点を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

欧米各国における紫外線処理装置の技術仕様や、適用可能な原水水質等の規制に関する文献を収集し、わが国の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」と比較した。具体的には、日本、米国、ドイツ、オーストリア、英国、フランスの6カ国における以下の文献を参照した。

- ・日本
水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針¹⁾

- ・米国
長期第2次地表水処理強化規則に係る紫外線消毒ガイダンスマニュアル²⁾
- ・オーストリア
紫外線照射を用いる浄水処理プラントの必要要件と試験法—その1: 低圧水銀紫外線ランプ³⁾
- ・ドイツ
飲用水供給に係る紫外線消毒機器の基準⁴⁾
- ・英国
公共水供給の消毒における紫外線照射使用ガイダンス⁵⁾
- ・フランス
公衆衛生法R.1321-50条(IおよびII)を適用した人用飲料水の処理に用いられる紫外線ランプを備えるリアクタの販売及び使用条件⁶⁾

各文献より、紫外線照射量、原水種別、ならびに適用可能である原水水質（濁度・紫外線透過率・色度・硬度・鉄・マンガン等）を抽出し、相違点についての比較ならびに考察を行った。

C. 結果

(1) 日本

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、クリプトスポリジウム等による汚染の恐れに応じて水道原水をレベル1～4に分類しており、このうち、紫外線処理はレベル3（地表水以外であり糞便汚染の指標菌が検出されたことがある）原水への対応措置として位置づけられている。この紫外線処理施設の要件は以下のよう

ある¹⁾。

- ① 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10mJ/cm²以上確保できること
- ② 処理対象とする水が以下の水質を満たすものであること
 - ・濁度 2度以下であること
 - ・色度 5度以下であること
 - ・紫外線(253.7nm付近)の透過率が75%を超えること(紫外線吸光度が0.125 abs./10mm未満であること)
- ③ 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こと
- ④ 原水の濁度の常時測定が可能な濁度計を備えていること(過去の水質検査結果等から水道の原水の濁度が2度に達しないことが明らかである場合を除く)また、留意事項として、紫外線照射を阻害する物質がランプスリーブの表面に付着することによる紫外線照射量低下の影響をできるだけ避けるため、処理対象水中の鉄が0.1mg/L以下、硬度が140mg/L以下、マンガンが0.05mg/L以下であることが望ましいとされる。

レベル4（地表水であり糞便汚染の指標菌が検出されたことがある）原水については、ろ過池またはろ過膜の出口の濁度を0.1度以下に維持することが可能なろ過設備（急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等）を整備することが求められているが、浄水処理の安全性を一層高めるために、ろ過設備と紫外線処理設備を併用することとしてもよいとされている¹⁾。

(2) 米国

米国環境保護庁による紫外線消毒ガイドンスマニュアル²⁾は、既往の「地表水処理規則 (SWTR: Surface Water Treatment Rule)」、「暫定地表水処理強化規則 (IESWTR: Interim Extended Surface Water Treatment Rule)」、「第1次地表水処理強化規則 (LT1ESWTR: Long Term 1 Enhanced Surface Water Treatment Rule)」ならびに「第2次地表水処理強化規則 (LT2ESWTR: The Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule)」によって定められた、微生物および消毒副生物に関する要求事項を基本としており、これは地表水または地表水の影響を直接的に受ける地下水を水源とするすべての公共水道に適用される。微生物に関する要求事項として、ジアルジアは3Log除去または不活化、ウイルスは4Log除去または不活化、クリプトスポリジウムについてはろ過設備を備えている施設は追加で0～2.5Logの除去または不活化を、ろ過設備の無い施設では2Logまたは3Logの不活化を求めており、とりわけクリプトスポリジウムに関する除去能力や不活化能力は、各施設の原水水質モニタリングならびに現行の浄水処理の運転管理状況に応じて定めることとしている²⁾。具体的に、LT2ESWTRではろ過設備を備えている水道施設を対象に、原水中のクリプトスポリジウム濃度に応じて4グループに分類し、グループ1(<0.075 オーシスト/L)は追加の処理不要、グループ2(<1.0 オーシスト/L)は1～1.5Log、グループ3(<3.0 オーシスト/L)は2～2.5Log、グループ3(3.0 オーシスト/L以上)は2.5～3.0Logの追加処理によるクリプトスポリジウム除去または不活化が必要となり、紫外線消毒は、追加処理の選択肢の一つとして

位置づけられている。

環境保護庁は各病原微生物やウイルスを不活化するために必要となる紫外線強度を、当該微生物等への線量－反応関係に係る不確実性を考慮して定めており、例えば、クリプトスポリジウムの3Log不活化に必要な紫外線照射量は12mJ/cm²、ジアルジアの3Log不活化は11mJ/cm²、ウイルスの4Log不活化は183 mJ/cm²である²⁾。

紫外線消毒に関する水質要件について、紫外線透過率に影響を及ぼす要因の記述はあるものの、特段、基準値や推奨値は定められていない。ただし、SWTRにおける未ろ過処理水への消毒の適用要件として、消毒直前の濁度を5NTU以下とすることが定められている²⁾。

(3) オーストリア

紫外線照射量として、枯草菌胞子 (*B. subtilis* spores) を生物線量計として用いた換算紫外線照射量 (RED: Reduction Equivalent UV Dose) として、40 mJ/cm²以上とすることを求めている³⁾。

(4) ドイツ

オーストラリアと同様に、紫外線照射量は、枯草菌胞子を生物線量計として用いたRED値として40 mJ/cm²以上としている。また、水質に関する要求事項として、紫外線(254nm)透過率70.8%以上、濁度0.3FNU以下(FNUはNTUと同義)、鉄0.05mg/L以下、マンガン0.02mg/L以下と定めている⁴⁾。

(5) 英国

紫外線消毒設備の導入を検討している水道事業者に対して、米国環境保護庁による紫外線消毒ガイドンスマニュアル²⁾を参照することを推奨している。紫外線照射量の設定についても、米国と同様、病原微生物

等が原水中に存在しうる最大濃度および当該の微生物等を不活化する為に要する最小の紫外線照射量を考慮し、紫外線照射量の検証方法として、実規模プラントにおける生物線量計の使用などを推奨している⁵⁾。このため、所定の紫外線照射量は示されていない。一方、紫外線透過量の低下や紫外線ランプスリーブへの付着を生じる水質項目として、天然有機物(NOM)、鉄、マンガン、硝酸イオン、亜硫酸イオン、硬度、アルカリ度を挙げている⁵⁾。なお、英国における水道水質に関する規制(regulation 26)の要件として、消毒前の濁度は常時 1.0NTU 未満であることが示されている⁵⁾。

(6) フランス

飲用水の処理に供する紫外線処理設備の紫外線照射量について、RED 値として常時 400J/m² (=40mJ/cm²) 以上とすることを定めている。また、ランプスリーブへの付着を避けるため、鉄は 50 μg/L 以下、マンガンは 20 μg/L とし、これを超える場合は通常より洗浄頻度を高めること、紫外線透過量を確保するため、濁度は 0.5FNU(0.5NTU)以下、波長 253.7nm における透過率を 80%以上とすることが明記されている。

以上の各国における要件を表 1 に取りまとめた。

表 1 各国における紫外線処理に係る紫外線照射量および原水水質の要件

		日本	米国	オーストリア	ドイツ	英国	フランス
原水種別	地下水 地表水	-	-	-	-	-	-
濁度	≦2度 ≦0.1度	≦5NTU	-	≦0.3FNU	≦1NTU	≦0.5FNU	
紫外線照射量	≧10mJ/cm ² [水量の95%に 対して]	≧12mJ/cm ² [クリプト等 3log 不活化] ≧183mJ/cm ² [ウイルス 4log 不活化]	≧40mJ/cm ² [枯草菌孢子 RED 値]	≧40mJ/cm ² [枯草菌孢子 RED 値]	(米国に 同じ)	≧40mJ/cm ² [RED 値]	
紫外線透過率	>75%	-	-	≧70.8%	-	≧80%	
色度	≦5度	-	-	-	-	-	
硬度	≦140mg/L	-	-	-	-	-	
鉄	≦0.1mg/L	-	-	≦0.05mg/L	-	≦0.05mg/L	
マンガン	≦0.05mg/L	-	-	≦0.02mg/L	-	≦0.02mg/L	

D. 考察

調査対象とした5カ国においては、わが国とは異なり、紫外線処理の適用条件として地表水および地下水の区分は見られなかった。濁度についての規定は、紫外線処理に特化して定められている場合（ドイツ、フランス）、あるいは、紫外線に限らず消毒処理前の要件として定められている場合（英国、米国）があり、前者のほうが厳しい要件であった。最も厳しい濁度条件は、わが国の0.1度以下を除けば、ドイツの0.3FNU（0.33～0.36度）であった。

紫外線照射量について、最低照射量を定めているのはオーストリア、ドイツ、フランスの3カ国であり、いずれも40mJ/cm²以上であった。ただし、各国とも所定の指標微生物を生物線量計として用いたRED値として規定されており、オーストリアおよびドイツは枯草菌胞子を用いることを明示している（フランスは不明）。RED値は当該の指標微生物の紫外線に対する感受性に依存し、微生物種によって異なる値をとることが知られているため、このようにRED算定の根拠となる指標微生物を明示することが望ましいと言える。また、米国においては各水道施設の原水水質モニタリングならびに現行の浄水処理の運転管理状況に応じてクリプトスポリジウム等の除去能力や不活化能力を決定することとしており、一律の紫外線照射量は規定していない。このことは、紫外線処理設備の処理能力が適正となる（過大な処理能力とはならない）利点はあるものの、各水道施設における原水および処理工程の適切かつ定期的なモニタリングが大前提であると言えよう。

紫外線透過率について規定している国は、

ドイツおよびフランスの2カ国であった。フランスは透過率が80%以上であることを求めており、これはわが国の「75%を超えること」よりも厳しい値であった。また、他の水質項目のうち、ランプスリーブ表面への付着による紫外線照射量低下を防ぐ観点から、ドイツおよびフランスの2カ国において鉄およびマンガンの上限濃度が定められており、各国とも鉄0.05mg/L以下、マンガン0.02mg/L以下であった。各値は、いずれもわが国の半分以下と厳しい値であった。なお、硬度や色度の規定は見受けられなかったものの、硬度については、紫外線照射量やランプスリーブへの付着といった面から留意すべきとの記載が複数の国において見られた。

E. 結論

欧米5カ国における紫外線処理装置の技術仕様や、適用可能な原水水質等の規制に関する文献を収集し、わが国の「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」と比較したところ、紫外線処理の適用条件として地表水および地下水の区分は見られなかったこと、濁度についての規定はわが国よりも緩やかであること、紫外線照射量として所定の生物線量計に基づくRED値、あるいは、浄水場の原水および運転条件に応じて設定されていること、紫外線透過率や紫外線照射効率の低下を防ぐ観点から、鉄、マンガン、硬度等の水質要件に留意することといった相違点が見られた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1 論文発表

なし

2 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課 (2007) 水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針
- 2) 米国環境保護庁 (2006) Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule
- 3) オーストリア規格協会 (2001) ÖNORM

M5873-1: Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation -Requirements and testing - Part 1: Low pressure mercury lamp plants

- 4) ドイツガス水道協会 (2006) DVGW Standard W 294-2: UV Devices for the Disinfection for Drinking Water Supply
- 5) 英国水道水検査官事務所 (2010) Guidance on the use of Ultraviolet (UV) irradiation for The Disinfection of Public Water Supplies
- 6) フランス共和国官報 (2012) 公衆衛生法 R.1321-50 条 (I および II) を適用した人用飲料水の処理に用いられる紫外線ランプを備えるリアクタの販売及び使用条件に関する 2012 年 10 月 9 日のアレテ

研究要旨

濁質が存在する条件下での紫外線照射の効果を調べるために、下水処理場の最初沈殿池出口水をろ過して濁度の調整を行った後大腸菌ファージ MS2 を添加して紫外線照射を行い、濁度と不活化速度の関係を調べた。また、ろ過前後の下水処理場最初沈殿池出口水に対して紫外線照射を行い、大腸菌の不活化速度の変化を調べた。その結果、濁度の増大により不活化速度は小さくなったが、254nm 吸光度から求められる平均紫外線量で比較すると、濁質の存在する試料における不活化速度は濁質が無い試料と同等かそれ以上であった。よって、平均紫外線量を算定することで安全側の対応が可能であると考えられた。また、流水式紫外線照射槽に紫外線耐性の異なる 2 種の微生物を流して不活化効果を調べたところ、微生物種により異なる換算紫外線量 (RED) が算出された。線量分布がある紫外線照射槽においては自明であるが、それが実験的に確認できた。また、95%以上の水量に 10mJ/cm² というクリプト対策指針における表記についても、いくつかの線量分布を仮定して平均紫外線量、生物線量計 RED、病原微生物 RED を求め、より明確な紫外線照射槽の要件について考察した。

A. 研究目的

紫外線照射は現在上水道のクリプトスポリジウム対策として導入されている。しかし、適用できる原水は地表水以外であり、地表水を原水とする場合の適用性については様々な議論がなされている。

本分担研究においては、紫外線照射を適用可能な原水の条件を明らかにすることに加え、流水式紫外線照射装置による処理効果の検証をどのように行えば良いのか明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

(1) 濁質存在下での紫外線照射の効果

下水処理場の最初沈殿池出口水を孔径 8 μ m のメンブレンフィルターでろ過し、さらに孔径 5 μ m のメンブレンフィルターでろ過することで、濁度を調整した 3 種類の試料を得た。それぞれの濁度および 254nm 吸光度を測定した後に大腸菌ファージ MS2 を添加し、試料を満たし石英ガラス板で封をした水深 1.7cm のペトリ皿の上部より 254nm の紫外線を照射し、照射した紫外線量と MS2 生残率の関係を調べた。

また、下水処理場の最初沈殿池出口水を孔径 5 μ m のメンブレンフィルターでろ過して濁度を減じて大腸菌を含む試料を得た。ろ過前後の濁度および 254nm 吸光度を測定した後に、試料を満たし石英ガラス板で封をした水深 1.7cm のペトリ皿の上部より 254nm の紫外線を照射し、照射した紫外線量と大腸菌生残率の関係を調べた。

(2) 流水式紫外線照射槽の性能評価

塩化ビニルで覆って出力を低下させた低压紫外線ランプを装備した一灯式紫外線照射槽（内径 12cm、照射容積 400mL）を用い、大腸菌ファージ MS2 と ϕ X174 を同時に流下させ、理論的滞留時間と両ファージ生残率の関係を調べた。

C. 研究結果

(1) 濁質存在下での紫外線照射の効果

大腸菌ファージ MS2 を添加した最初沈殿池出口水における紫外線照射実験の結果を図 1 および 2 に示す。図 1 は照射時間と MS2 濃度との関係を、図 2 は平均紫外線量と log 生残率の関係を示している。

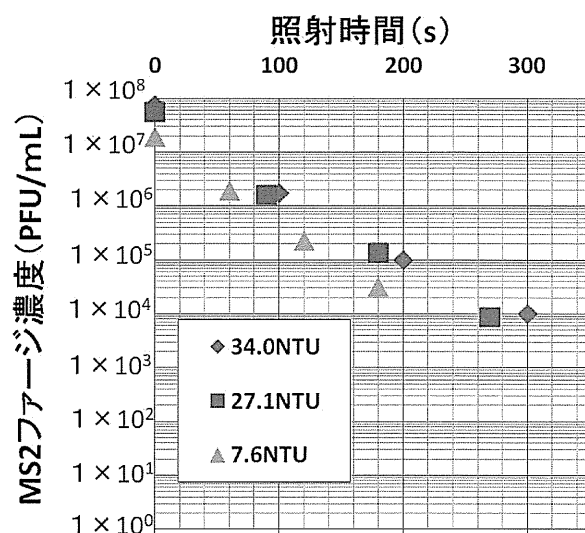


図 1 大腸菌ファージ MS2 を添加した最初沈殿池

出口水における照射時間とファージ濃度の関係

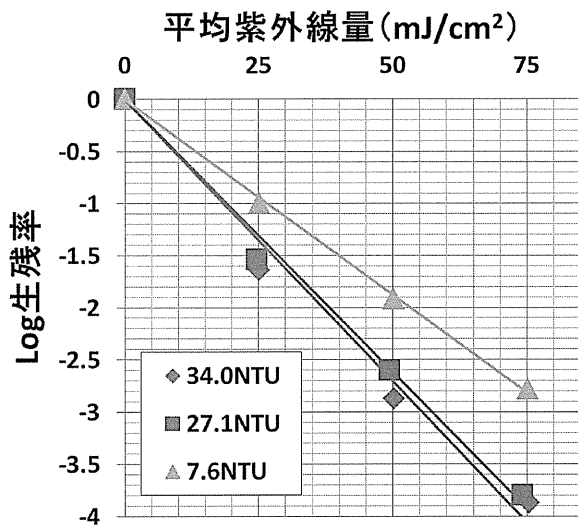


図2 大腸菌ファージ MS2 を添加した最初沈殿池出口水における平均紫外線量と log 生残率の関係

図1より、同じ濃度まで不活化するのに必要な照射時間が、濁度が小さい試料ほど少なくなっていることがわかる。これは濁度が大きい試料ほど 254nm 吸光度が大きく、水深方向での紫外線照度の減衰が大きいためであると考えられる。しかし、254nm 吸光度を用いて水深方向の平均紫外線照度を算出して照射時間を乗じた平均紫外線量に対して log 生残率をプロットすると、濁度が 34.0NTU と 27.1NTU の結果には差が見られなくなったが、濁度が一番小さい 7.6NTU の試料においては不活化速度が小さくなった。これは、濁度が大きい場合に散乱光が生じてそれによる不活化を示唆しているものと考えられた。

最初沈殿池出口水のろ過前後での大腸菌の 254nm 紫外線による不活化実験の結果を図3および4に示す。

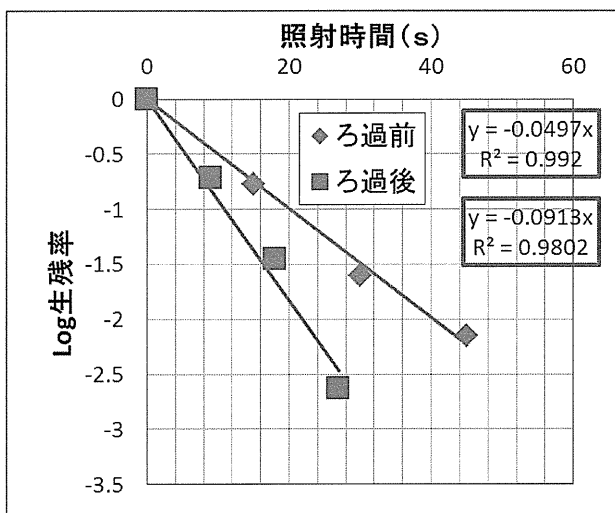


図3 ろ過前後の最初沈殿池出口水に対する紫外線による大腸菌不活化過程における照射時間と log 生残率の関係

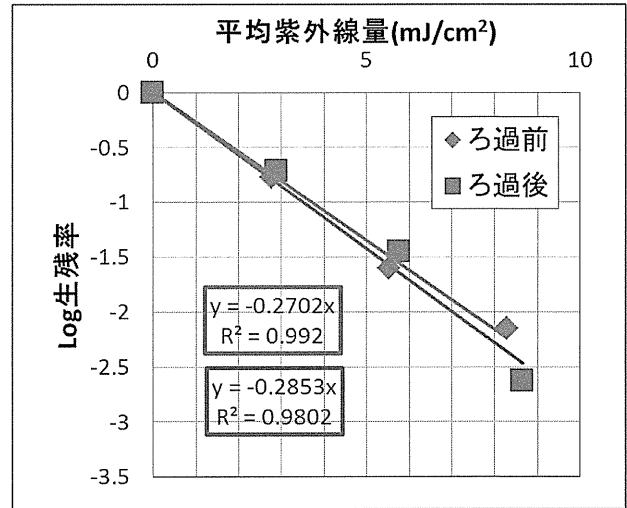


図4 ろ過前後の最初沈殿池出口水に対する紫外線による大腸菌不活化過程における平均紫外線量と log 生残率の関係

図3より、照射時間当たりの不活化速度はろ過後 (8.57NTU) の試料の方がろ過前 (33.2NTU) よりも大きかった。濁質による遮蔽で水深方向の紫外線の減衰が原因と考えられる。一方、図4に示すように横軸を平均紫外線量として整理すると、ろ過前後で大腸菌の不活化効率に大きな差が見られなかった。すなわち、ここで用いた濁質の異なる水における紫外線照射による不活化速度の差は、濁度による遮蔽効果のみであり、それを 254nm 吸光度で把握することが可能であることが明らかになった。

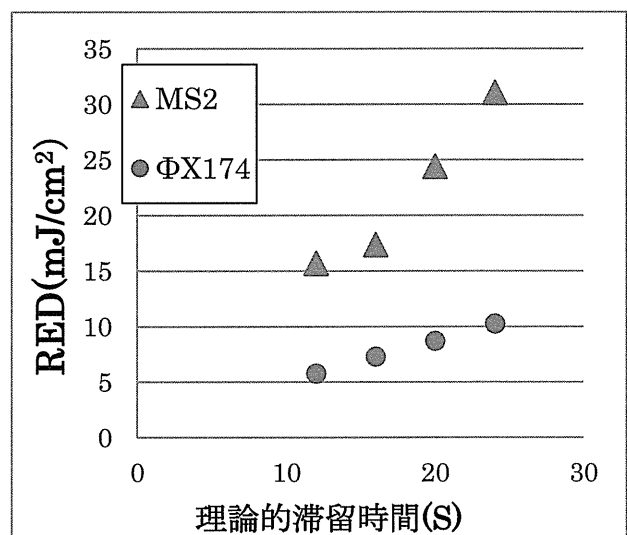


図5 二種の大腸菌ファージを同時に流した流水式紫外線照射装置における理論的滞留時間と RED と

の関係

(2) 流水式紫外線照射槽の性能評価

図5に、二種の大腸菌ファージを同時に流した流水式紫外線照射装置における理論的滞留時間とRED(換算紫外線量)との関係を示す。この図より、MS2(1log不活化に要する紫外線量22.94mW/cm²)の生残率から求めたREDの値は、φX174(1log不活化に要する紫外線量2.18mW/cm²)の生残率から求めたREDの値の2.3~3.0倍であった。これは、紫外線照射装置を通過する際に水塊ごとに様々な線量を照射されていること、すなわち、紫外線量分布があることを示している。

D. 考察

(1) 濁質存在下での紫外線照射の効果

大腸菌ファージMS2および下水処理場最初沈殿池流出水中の大腸菌に対する回分式の紫外線照射実験の結果より、濁質が多く存在している方が、同じ生残率を達成する際に多くの照射時間を必要とした。これが濁質による紫外線到達量の減少に起因するものと考え、被照射試料の254nm吸光度を用いて試料中における紫外線の減衰を考慮して平均紫外線量で整理すると、同じ生残率となるのは同じ平均紫外線量の時であること(図4に示す大腸菌の場合)、あるいは、平均紫外線量で整理すると濁質表面による散乱光を考慮していないため、濁度の高い方が不活化速度が増大すること(図2に示す大腸菌ファージMS2の場合)が示された。これは、濁質が存在している場合に予見される、濁質内部への微生物の吸着あるいは取り込みによる遮蔽効果が実験を行った範囲では見られず、すべての結果において、254nm吸光度に基く平均紫外線量で設計をすることで安全側の効果が得られることを示している。

(2) 流水式紫外線照射槽の性能評価

実験結果より、同じ装置に同時に二種の微生物を流下させて換算紫外線量を求めると微生物種により紫外線量の値が異なることが示された。これは、紫外線照射装置における紫外線量分布が存在する場合に自明の事柄であり、それを実験的に示したことになる。

それをここであらためて議論すべきと考える理由は、その自明の事柄が厚労省によるクリプトスポリジウム等対策指針(以下、クリプト対策指針と称す。)の規定およびJWRCによるその装置の適合認定において十分に周知されているのか確信が持てなかったからである。そのため、クリプト対策指針の文言で

ある「95%以上の水量に10mJ/cm²以上の紫外線照射量」について、理想的な条件における計算を行い、換算紫外線量とクリプトスポリジウムの不活化に関する検討を行った。

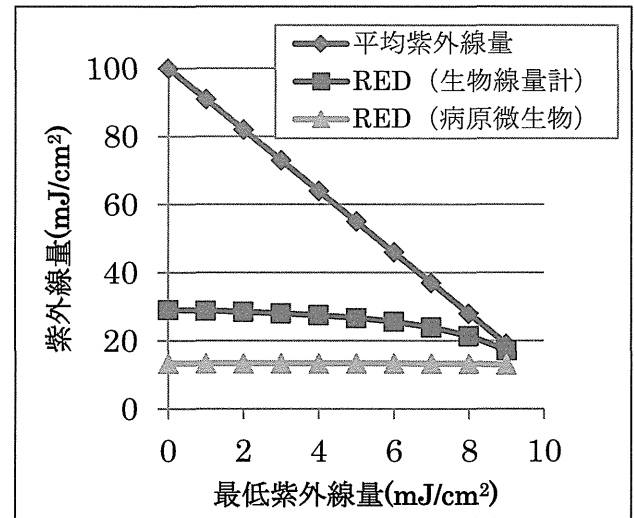


図6 紫外線量が一樣分布で95%以上10mJ/cm²以上を達成した場合の平均紫外線量、生物線量計RED、病原微生物REDの値

図6に示したのは、クリプト対策指針の紫外線照射量の要件を一樣分布でちょうど満たした場合に、照射槽内の平均紫外線量、生物線量計(90%不活化に必要な紫外線量を10mJ/cm²とした。)および病原微生物(90%不活化に必要な紫外線量を3.33mJ/cm²とした)の換算紫外線量(RED)がどのような値になるのか計算した結果である。95%以上が10mJ/cm²の一樣分布を仮定しているため、最低紫外線量(横軸)が0mJ/cm²の時は200mJ/cm²までの一樣分布、最低紫外線量が2, 4, 6, 8mJ/cm²の時それぞれ162, 124, 86, 48mJ/cm²までの一樣分布となる。

いずれの分布においても病原微生物REDは10mJ/cm²を超えた値であり、すなわち99.9%不活化が達成されている。一方で、それだけの消毒効果を得る際の生物線量計REDは30mJ/cm²という大きな値になっている。すなわち、生物線量計による換算紫外線量は病原微生物の換算紫外線量および消毒効果には一致しない。同時に、この照射槽の平均紫外線量はいずれも病原微生物と生物線量計の換算紫外線量よりも大きくなっており、紫外線照射槽内の設計を行う際には平均紫外線量を十分に大きく取らなくてはならない可能性がある。

さらに、より現実的な紫外線量分布を仮定した計算も行った。すなわち、紫外線量の5%値が10mJ/cm²となり、紫外線量の標準偏差がそれぞれ1, 2, 3, 4,

5mJ/cm²である場合の平均紫外線量、生物線量計 RED、病原微生物 RED を求めた。紫外線量分布を図7に、仮定した標準偏差と各紫外線量の関係を図8にそれぞれ示す。

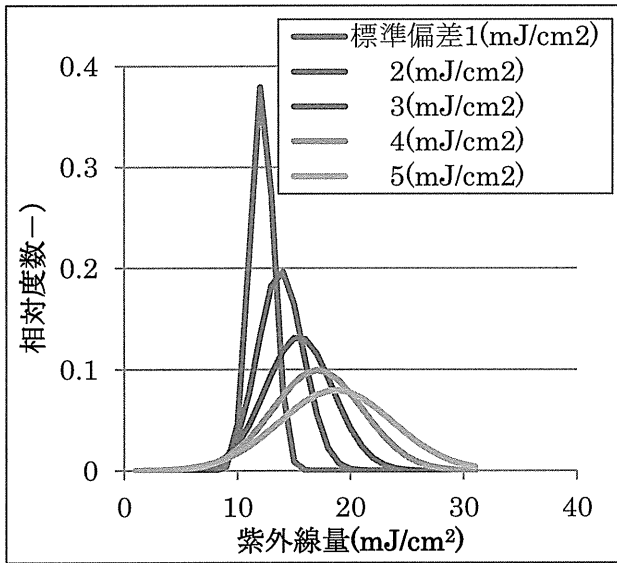


図7 5%値が10mJ/cm²となる正規分布で標準偏差が異なる紫外線量分布における相対度数

検討を行った範囲において、平均紫外線量と生物線量計 RED は標準偏差が大きくなればなるほど大きな値になったが、病原微生物 RED は標準偏差が3mJ/cm²のデータから減少し、標準偏差5mJ/cm²でかろうじて10mJ/cm²を満たす値となった。ここでも、平均紫外線量と生物線量計 RED は病原微生物 RED と異なり、大きい値になった。病原微生物の RED あるいは消毒効果をしっかりと担保するためには、ここでも大きめの平均紫外線量および生物線量計 RED を設計の際に用いる必要があると考えられた。

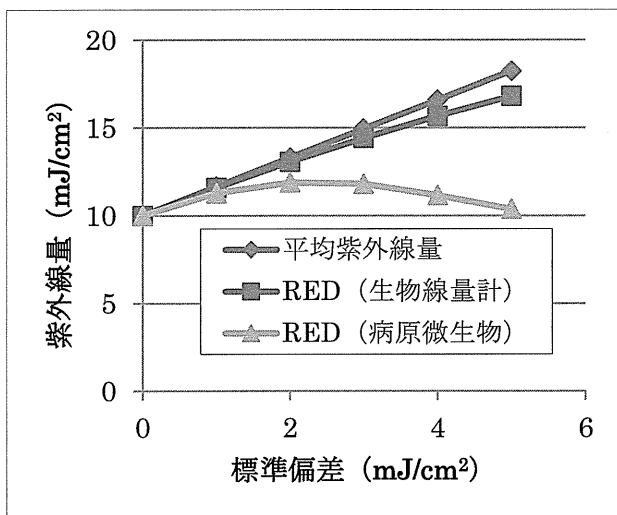


図8 図7に示す分布における平均紫外線量、生物線量計 RED、病原微生物 RED の値

(3) 流水式紫外線照射槽の性能を担保するのに必要なこと

クリプト対策指針にある「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10mJ/cm²以上確保できること。」自体は、5%の水に紫外線を照射せずに95%の水にだけ無限大の紫外線量を照射すれば満たすように読める。しかし、同指針「紫外線処理設備の整備に関する留意事項」において「紫外線照射槽は水流の偏りのない、所定の滞留時間が得られる構造のものであること。」と定められているため、上記0か無限大という極端な紫外線量分布は想定されていない。

そのような要件になっている理由は以下のように推測される。すなわち、流水式紫外線照射というプロセスは確かに定常状態を仮定できる(出口における消毒効果は経時的に変化せず常に一定である。)、水塊を細かく考え、例えば紫外線照射後にも生残している微生物を取り巻く非常に小さい水塊だけを考えると紫外線量は0であり、不活化率は0となる。そのように、紫外線照射槽の出口における消毒効果はある程度以上の水量を仮定すれば一定であるが、小さい水塊ごとに考えれば確かに変動の可能性がある。そのため、そのような紫外線量の変動が時に10mJ/cm²を少々下回ったとしても、クリプトに対する不活性化性能自体には、ある程度以上の平均的な性能の観点から見れば大きな影響は無い。そのため、例えば100%、99%が10mJ/cm²以上の紫外線量を受けると指定すると過大な装置になりかねないという意識があったため95%以上、という線引きがなされたのだと考えられる。

しかし、「偏りのない」という表記は定量的でないため最悪の場合を想定する必要がある。また、10mJ/cm²が「クリプトスポリジウム99.9%不活化(3log不活化)」と明記されていることから、紫外線照射槽にそのような性能を期待していることは明白である。そこで、現行の紫外線照射設備の備えるべき要件に関しては、「紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して、紫外線(253.7nm付近)の照射量を常時10mJ/cm²以上確保できること。」に加えて、例えばクリプトREDを10mJ/cm²実現できること(これは、クリプト99.9%不活化を意味する。)、等の表記を付加することが必要ではないかと考えられる。

紫外線照射槽は、95%以上に10mJ/cm²の紫外線を照射することそのものよりも、クリプト99.9%の不

活化が本来の目的であり、それにより直結した紫外線照射槽の要件を定めるべきであると考え。

E. 結論

- ・実験を行った範囲において、濁質の存在により紫外線消毒の効果は減じられ、濁質が無い場合よりも大きな照射時間を要した。しかし、濁質による紫外線照射効果の低減は吸収よりも大きなものは無く、254nm 吸光度を測定して得られる平均紫外線量を用いれば、濁質の無い試料における不活化率と同じ不活化率を濁質の存在する試料で得るには同じかあるいはより少ない照射時間を必要とした。濁質による紫外線の散乱が不活化効率を増大させているものと考えられた。よって、濁質による紫外線照射の効果を算定する場合には、254nm 吸光度を用いて平均紫外線量を算定することで安全側の対応が可能である。
- ・紫外線耐性の異なる二種の微生物を同時に流水式紫外線照射装置に流した場合には、その微生物の紫外線耐性に応じて、異なる換算紫外線量が算出されることが実験的に確認できた。これは、流水式紫外線照射槽の性能を評価する場合に、単一の微生物の不活化実験の結果だけでは病原微生物に対する効果を予測できないことを表している。
- ・紫外線照射槽の性能評価において、水量の95%以上に対して10mJ/cm²以上という表記は、常識的な紫外線量分布においてクリプト99.9%を達成できていることが計算により示された。しかし、極端な装置においてはそれを達成できない可能性があり、さらに要件を付加する必要があるのではと考えられた。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

1) Akihiro Ishida and Naoyuki Kamiko (2015.12)

Inactivation and photoreactivation of E.coli in secondary treated wastewater by various UV light sources: The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015

2) Nodoka Kanzaki and Naoyuki Kamiko (2016.2)

Ultraviolet resistance of indigenous coliphages and their DNA found in wastewater: IUVA 2016 World Congress & Exhibition

3) 中村栄希、神子直之 (2016.3) 流水式紫外線装置における微生物を用いた性能評価に関する検討、

第50回日本水環境学会年会、徳島

4) 石田晃啓、神子直之 (2016.3) 指標細菌の不活化速度に対する紫外線波長ごとの濁質による影響の把握、第50回日本水環境学会年会、徳島。

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

研究要旨

紫外線消毒における濁度の影響として、紫外光透過率という単一指標だけでなく、紫外光の散乱特性を含めた評価を行うことを目的として、積分球式吸光度測定値を利用した散乱分率という指標を提案した。モデル濁質においては濃度に関わらず物質固有の散乱特性を表すことがわかった。しかし水道原水などの低濁度水では測定誤差が大きくなることから、代替となる指標を検討した。結果として 2 種類の濁度測定法、即ち透過光方式と透過+90° 散乱光方式による測定値の比（濁度比）を用いれば、散乱分率の代替指標として利用できると考えられた。一年間にわたって 2 か所の浄水場原水の散乱特性評価に、この濁度比を用いたところ、原水濁度値と濁度比に正の相関が見られ、即ち濁度が増すのは散乱特性が高い濁質の増加によるものと示唆された。モデル濁質においては可視光の散乱分率と紫外光の散乱分率において良い関係性が見られているため、この結果を併せて考察すると、浄水場原水の濁度が高い場合でも紫外光散乱が高い濁質が多く含まれることになるため、紫外線消毒への負の影響は紫外透過率で評価されるよりも低くなると考えられた。

また浄水原水の濁度比が変動するという事は濁度値が、測定法によって異なるということであるが、さらに校正用標準液の種類によって測定値への影響があるのかどうかについて検討した。カオリン標準液を基準と考えると、特にホルマジン溶液を標準液とすると測定値は透過光方式では 1.8 倍、積分球方式では 2 倍以上の値となることがわかった。

A. 研究目的

紫外線処理に影響を与える因子として濁質の影響が重要視されるが、その負の影響として光透過率の低下が一般的に挙げられるが、濁質による紫外光の散乱による正の影響については評価されていないのが現状である。そこで本研究では濁質の光散乱特性を適切に評価する指標を提案し、かつ浄水場原水に対して適用することで、現場において紫外線消毒を行う際に、濁質が消毒効果に与える影響をより正確に把握することを試みた。浄水場原水については約一年間の変動を観察し、その傾向を探ることとした。

また研究を進める過程において、同一サンプルでも濁度測定法によって濁度値が変わることが判明した。濁度値の相違が測定法だけでなく、校正用の標準液によって生じることが考えられたため、上水試験方法に記載されている 3 つの標準液を用いてその濁度測定値への影響を調べた。

B. 研究方法

B.1) 濁質の光散乱特性指標としての散乱分率の検討

濁質による光透過率の低下は吸光度測定によって評価できるが、この減少が生じる理由としては、①濁質による吸光、②濁質による光散乱、の 2 つが考えられる。吸光度計に積分球式測定装置を付加することで、①濁質による吸光のみの減少光量が測定できる。（図 1 参照）。

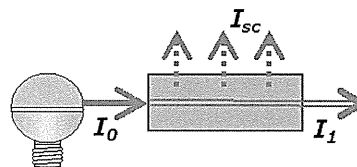


図 1 吸光度測定原理 (I_0 : 入射光強度, I_1 : 透過光強度, I_{sc} : 散乱光強度)

この図 1 において通常の吸光度測定値 A_1 は $\log(I_0/I_1)$ である。また積分球式吸光度値 A_2 は $\log(I_0/(I_1+I_{sc}))$ である。そこで通常の吸光度測定値と積分球式吸光度測定値から、光散乱によって生じる光透過量の減少割合を示すことができると考え、以下の式 (1) のように散乱分率を定義した。

$$\text{散乱分率} = \frac{\text{散乱により透過しない光強度}}{\text{透過しない光強度}} \quad (1)$$

図 1 に示される値を用いて表すと以下の式となる

$$= \frac{I_{sc}}{I_0 - I_1} = \frac{I_0 10^{-A_2} - I_0 10^{-A_1}}{I_0 - I_0 10^{-A_1}} = \frac{10^{-A_2} - 10^{-A_1}}{1 - 10^{-A_1}} \quad (2)$$

この散乱分率が物質固有の散乱特性を示すのか検

討するために、特性が異なると考えられるモデル濁質としてカオリンと活性炭を用いた。カオリン（白陶土）は濁度標準液（和光純薬製）を希釈した試料を用いた。活性炭は粉末活性炭（和光純薬、粒径 150 μm 以上 10%、149~50 μm 20~40%、49 μm 以下 55~75%）を純水に懸濁させて用いた。それぞれ濃度として 50, 70, 80, 100 mg/L となるように調整した。その懸濁液について、分光光度計（島津製作所製、UV-2550）にて 660 nm における吸光度を測定し、通常の吸光度測定値 A_1 とした。660 nm は濁度測定に用いられる可視光波長である。また同分光光度計に積分球式検出器（島津製作所製、ISR-2200）を付加して、660 nm における吸光度を測定し、積分球式吸光度測定値 A_2 とした。それらの測定値を用いて式(2)より散乱分率を求めた。

B.2) 散乱分率と濁度比の相関の検討

吸光度測定によって求められる散乱分率は、散乱特性を直接把握出来る方法ではあるものの、吸光度測定の精度に依存する方法である。1) にて用いた高濁度の懸濁液であれば、吸光度測定値の精度は高いが、本研究で対象としたい浄水場原水などでは濁度は数度程度であり、吸光度値も非常に低い値 (0.01 cm^{-1} 程度) となる。また積分球式吸光度値は一般的にさらに低い値 (0.005 cm^{-1} 以下) となるため、Twyman-Lothian の法則から、その誤差は大きく散乱分率の誤差は非常に大きいことから、適用できない。そこで、散乱分率と相関が高く、かつ低濁度においても適用できる指標として、濁度比を提案した。これは測定方式の異なる濁度値の比によって求められ、散乱光を使用しない透過光方式と、散乱光を使用する透過+90° 散乱光方式もしくは積分球方式との比を指標とするものである。

対象試料としてカオリン、活性炭、ベントナイトの懸濁液を用いた。カオリン、活性炭は 1) と同様のものを、ベントナイトはベントナイト試薬（和光純薬、粒径 3~5 μm ）を純水に懸濁させて用いた。それぞれ濃度として 50, 70, 80, 100 mg/L となるように調整した。その懸濁液について以下の 3 方式にて濁度を測定した。①透過光測定方式による濁度測定には、吸光光度計（島津製作所製、UV-2550）を用いて 660 nm の吸光度を測定し、カオリン標準液において検量線を作成することによって測定した。②透過+90° 散乱光方式には濁度系 (HACH 社製、100P) を用いて測定した。③積分球方式は、濁度計（三菱化学株式会社製、SEP-PT-706）を用いて測定した。濁度比としては②/①もしくは③/①の 2 通りにて検討することとした。これらの濁度比と 1) に述べ

る方法で測定した 660 nm 光における散乱分率との関係性を検討した。

B.3) 可視光と紫外光の散乱分率の関係の検討

上述の B.2) で用いたモデル濁質、すなわちカオリン、活性炭、ベントナイトの懸濁液を用いて、散乱分率を 660 nm と 254 nm において測定し、それらの相関を調べた。モデル濁質の懸濁液濃度としては、B.2) と同様の 50, 70, 80, 100 mg/L となるように調整した。

B.4) 浄水場原水における濁度比の測定

東京近郊の 2 箇所の浄水場 (A 浄水場および B 浄水場) から原水を月に一度の頻度で採水し対象水とした。採水期間は 2014 年 12 月~2015 年 10 月とした。A 浄水場は河川水を原水として取水している浄水場であり、B 浄水場は湖沼を水源とする河川水を原水として取水している浄水場である。

これらの対象水に対して 2) に示した①透過光方式および②透過+90° 散乱光方式にて濁度を測定し、濁度比を求めた。

B.5) 濁度測定法、校正用標準液の違いによる濁度値への影響

上水試験法 (2011 年版 理化学編) によると濁度計の校正用標準液としては、主に 3 種類が用いられている。そこで濁度計を校正する際に用いる標準液の違いによって濁度測定値に与える影響の有無について調べた。用いた標準液は以下のとおり

①カオリン懸濁液

従来から用いられてきた濁度標準液。成分は自然由来なので粒径分布等の均質性が低い。

②ポリスチレン懸濁液

日本で濁度標準液として使用され始めたもの。化学合成物質なので均質かつ安定な粒径分布である。

③ホルマジン懸濁液

米国で主に使用されている。ポリスチレンと同様に、化学合成物質なので均質かつ安定。

3 種類の濁度測定方法 (透過光方式、透過+90° 散乱光方式、積分球方式) について、以上①~③の濁度標準液で校正した場合の濁度値の相対比を算出した。

まずカオリン標準液にて校正した装置にて、ポリスチレン標準液およびホルマジン標準液の濁度を測定した。用いた各標準液は 0.5, 1, 5, 10 度とした。

C. 研究結果

C.1) 濁質の光散乱特性指標としての散乱分率の検討

図 2 に各濃度におけるカオリンと活性炭の 660 nm

における散乱分率の測定結果を示す。

また表 1 に浄水場原水サンプルのうち 3 つの試料に対し、660 nm の吸光度および積分球式吸光度を測定した結果を示す。通常の吸光度値は 0.01 cm⁻¹ 前後であり、積分球式吸光度値は 0.005 cm⁻¹ 以下の値となっていた。

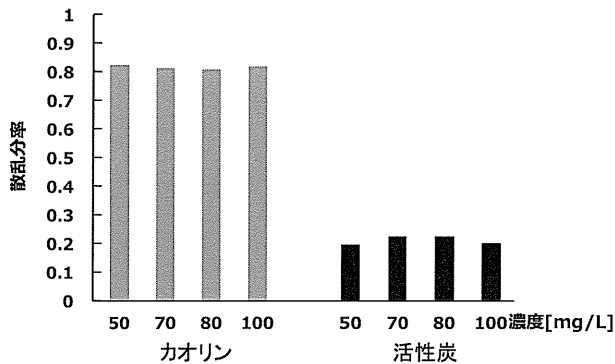


図 2 カオリン・活性炭懸濁液の 660 nm の散乱分率

表 1 浄水場原水の 660 nm での吸光度および積分球式吸光度の測定結果 (cm⁻¹)

採水月 (2015年)	A1: 吸光度	A2: 積分球式吸光度
4	0.007	0.002
5	0.012	0.004
6	0.012	0.004

C.2) 散乱分率と濁度比の相関の検討

カオリン、活性炭、ベントナイトの各モデル濁質懸濁液について、3 つの測定方法によって濁度を測定した。図 3 に分散分率と濁度比 (積分球方式測定値/透過光方式測定値) の関係を示した。図 4 は分散分率と濁度比 (透過+90° 散乱光方式測定値/透過光方式測定値) の関係を示した。

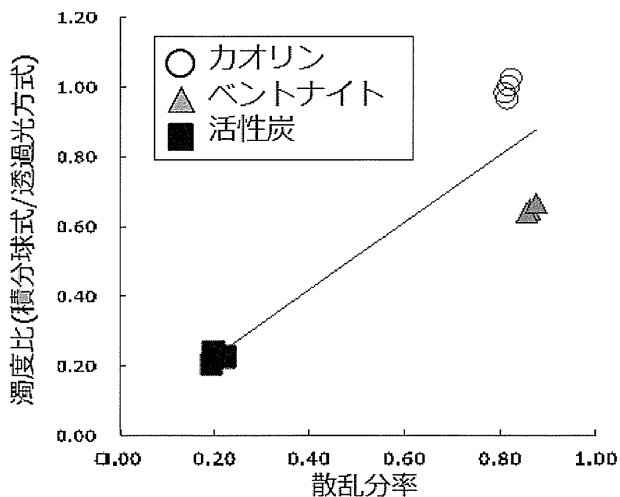


図 3 散乱分率と濁度比(積分球方式/透過光方式)の相関

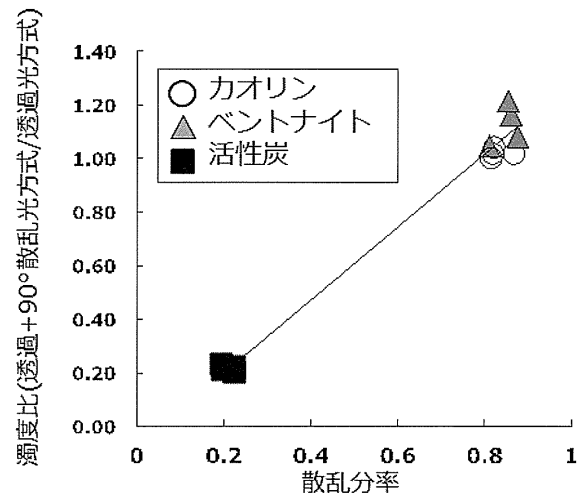


図 4 散乱分率と濁度比(透過+90° 散乱方式/透過光方式)の相関

C.3) 可視光と紫外光の散乱分率の関係の検討

カオリン、活性炭、ベントナイトの各モデル濁質懸濁液について、UV 光 (254 nm) と可視光 (660 nm) において散乱分率を測定し、それらを図 5 にプロットした。

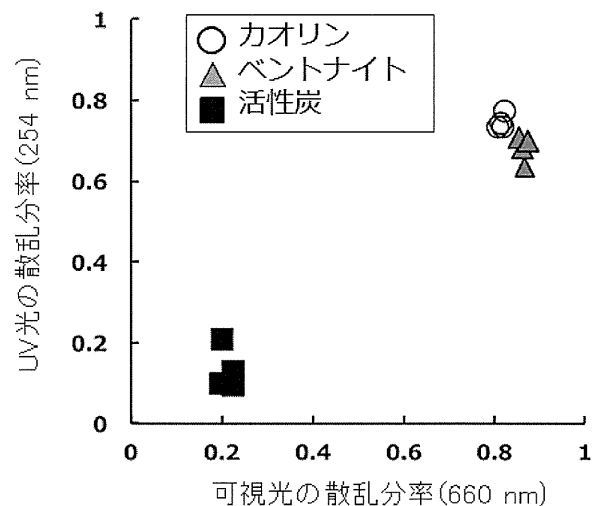


図 5 モデル濁質の可視光の散乱分率と UV 光の散乱分率の関係性

C.4) 浄水場原水における濁度比の測定

東京近郊の 2 箇所の浄水場 (A 浄水場および B 浄水場) から月に一度の頻度で採水した原水の濁度を 2 つの測定方式 (透過光方式, 透過+90° 散乱光方式) で測定した。

図 6 に A 浄水場と B 浄水場における 2 方式の濁度測定結果を示す。B 浄水場においては 2015 年 6 月に定期採水日以外にも台風によって原水の濁度が上がったために緊急採水を行った試料も合わせて測定結果として示した。

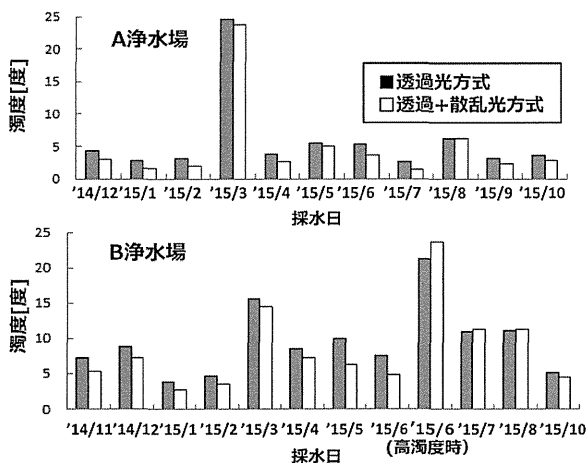


図 6 浄水場原水における 2 つの方式による濁度測定結果

C.5) 濁度測定法、校正用標準液の違いによる濁度値への影響

濁度計の校正用濁度標準液を 3 種類用意して、カオリン標準液にて校正した濁度計を用いて同じ濁度数のポリスチレン、ホルマジン標準液を測定した結果から、各々の標準液を用いた場合の濁度値を算定した。図 7 は、カオリン標準液を用いて校正した場合の濁度値を 100%とした場合の、その他の標準液を用いた場合の濁度値の相対比で示した。濁度測定法は透過光方式、透過+90° 散乱光方式、積分球式の 3 方式である。

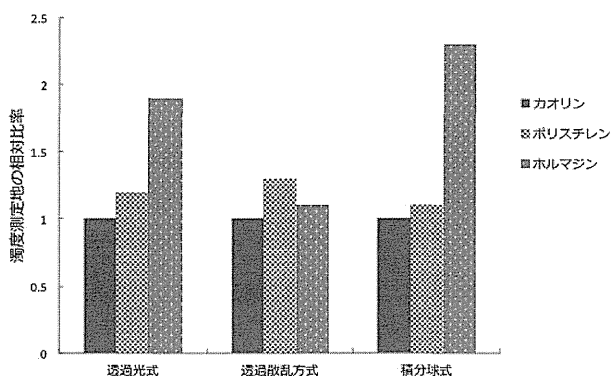


図 7 各濁度標準液にて校正した場合の濁度値の相対比 (カオリン標準液の場合を 100%とした)

D. 考察

1) 濁質の散乱特性の評価方法について

図 2 に示されるように、カオリン、活性炭共に濃度による散乱分率の違いはほとんど無く、かつカオリンと活性炭とは、散乱分率の値が大きく異なっていた。このことから、濁質の散乱特性を評価する指標として散乱分率は良い指標であると考えられた。しかし一方で表 1 に示されるように、浄水場原水へ適用する場合、吸光度および積分吸光度ともに測定値が低くなっており、Twyman-Lothian の法則から、その誤差は両者ともに大きく、その二つを基に算定される散乱分率の誤差は非常に大きくなると考えられる。したがって、この散乱分率を浄水原水に適用することはできないと判断した。

そこで濁度比を代替指標として検討することにした。図 3 には積分球方式と透過光方式によって測定された濁度値から求めた濁度比を求め、散乱分率との相関を調べた結果を示す。図に示されるように、カオリンとベントナイトで、その関係性が逆になっていた。従って、この濁度比は適しないと考えられた。図 4 には積分球式に代えて透過+90° 散乱方式と透過方式の測定値から濁度比を求め、散乱分率との相関を調べた結果を示す。図に示されるように、この場合では、散乱分率と良い相関があると考えられ、散乱分率の代替指標として低濁度水である浄水場原水に適用できると考えられた。

さらに図 5 に示されるように、可視光の散乱分率は UV 光の散乱分率との相関が高いことが示唆された。つまり濁度比が高いということは、可視光散乱分率が高く、かつ UV 光の散乱分率も高くなるという関係が成立することが示唆された。

図 6 に示した浄水場原水における濁度値から濁度比を算定し、横軸として各試料における濁度値 (透過+90° 散乱光方式) として、プロットした図を図 8 に示す。

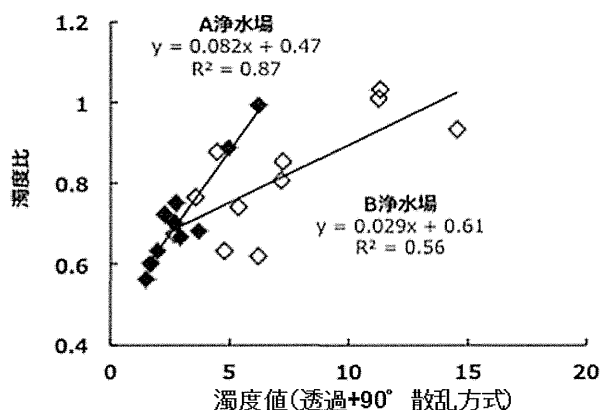


図 8 浄水場原水の透過+90° 散乱光方式濁度と濁

濁度の相関

どちらの浄水場原水においても、濁度が上がるに伴い濁度比が大きくなっていった。これは散乱特性が大きくなることを意味している。従って浄水場原水における濁度の増減は、可視光を散乱する特性をもつ物質の増減によるものと示唆される。先に示した濁度比と UV 光散乱との相関を考えれば、浄水場原水の濁度が高くなり、浄水への濁質混入が懸念される場合でも、その増大は UV 光散乱の高い物質の増加によるものであるため、UV 消毒への負の効果は大きくならないのではないかと考えられた。

2) 濁度測定における測定法、校正用標準液の影響

図 7 に示されるように、校正用標準液としてはカオリンを用いる場合が最も低い濁度測定となることがわかった。またポリスチレン、ホルマジンともに標準液として使用する場合は、濁度値が高くでることがわかった。特に透過光方式と積分球方式においてはホルマジン標準液で校正した場合の違いが最も大きく、この点濁度測定において留意すべき点と考えられる。

E. 結論

- 1) 吸光度値と積分球式吸光度値から求める散乱分率によって濁質の散乱特性が評価できることがわかった。またモデル濁質においては可視光の散乱分率と UV 光の散乱分率において良い関係性が見られており、両散乱分率には高い相関があるものと考えられた。
- 2) 2 種類の濁度測定法、即ち透過光方式と透過 +90° 散乱光方式による測定値の比（濁度比）を用いれば、散乱分率の代替指標として利用できることが考えられた。
- 3) 一年間にわたって 2 か所の浄水場原水の散乱特性評価に、この濁度比を用いたところ、原水濁度値と濁度比に正の相関が見られた。即ち濁度が増すのは散乱特性が高い濁質の増加によるものと示唆された。上記、1) の結果を併せて考察すると、浄水場原水の濁度が高い場合でも UV 光散乱が高い濁質が多く含まれることになるため、紫外線消毒への負の影響は紫外透過率で評価されるよりも低くなると考えられた。
- 4) 校正用標準液の種類によって濁度測定値への影響があるのか検討した結果、カオリン標準液を基準と考え、特にホルマジン溶液を標準液とすると測定値は透過光方式では 1.8 倍、積分球方式では 2 倍以上の値となることがわかつ

た。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

無し

2. 学会発表

- 1) 木下由紀子, 大瀧雅寛, 島崎大 (2016) 濁質の光散乱特性を考慮した UV 消毒への影響評価, 第 50 回日本水環境学会年会講演集, p.362

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

無し

2. 実用新案登録

無し

3. その他

無し

地表水を対象とした浄水処理の濁度管理技術を補完する 紫外線処理の適用に関する研究

研究分担者 小熊久美子 東京大学先端科学技術研究センター

研究要旨：

地表水を原水とする浄水場への紫外線処理導入の可能性を検討するため、標準粒子を添加し濁度等の水質を調整した試料を用いて微生物不活化実験を行った。粒子の性状（素材、色、大きさ）が不活化効率に及ぼす影響を検討するため、カーボンブラック（CB）粒子（黒、粒径 $0.2 \mu\text{m}$ ）、ポリスチレン粒子（白または黒、粒径 $0.2 \mu\text{m}$ または $1.0 \mu\text{m}$ ）を任意の濃度で調整した試験水を用いて、大腸菌および大腸菌ファージ MS2 の不活化特性を調べた。実験の結果、同一の粒径（ $0.2 \mu\text{m}$ ）と粒子濃度（ 10^{10} 個/mL）で粒子の種類を変えた場合、CB を添加すると不活化率が低下しテーリングが発生した一方、白のポリスチレン粒子を添加すると不活化率が向上し、白の微粒子が高濃度で存在することで紫外線の反射や散乱が生じ不活化に寄与した可能性が示唆された。また、 $0.2 \mu\text{m}$ 粒子による影響の程度は大腸菌と MS2 で同等であったが、 $1.0 \mu\text{m}$ 粒子の影響は両者で異なる傾向があり、粒子と微生物の相対的なサイズが影響する可能性が示唆された。異なる粒子条件で実施した MS2 の不活化速度定数を比較した結果、濁度 0.5-1.5 度、色度 13 度以上、紫外線透過率 56-70%程度と紫外線処理に不利な条件下でも、粒子添加なしの場合（濁度 0.0 度、色度 0.7 度、紫外線透過率 97%）と不活化速度に有意差はなかった（ANOVA, $p > 0.05$ ）。よって、現行の地表水以外への紫外線処理適用要件（濁度 2 度以下、色度 5 度以下、透過率 75%以上）を満たす限り、濁質による処理効率の有意な低下は生じない可能性が示唆された。

A. 研究目的

地表水を原水とする浄水場に紫外線処理を導入する場合、地表水原水の水質変動幅が大きいことや、紫外線阻害物質を含むという懸念が挙げられている（厚生労働省，2007，パブリックコメント）¹⁾。しかしながら、北米では地表水を原水とする施設に積極的に紫外線消毒を導入しており、北米の紫外線を備えた浄水施設 123 箇所を調査した事例²⁾では、地表水

（地表水の影響を受ける地下水を含む）を原水とする施設が全体の 76%を占めた。

北米の施設では、原水水質が極めて良好な特例を除き、地表水を原水とする浄水場では凝集、沈殿、ろ過処理の後段に紫外線照射槽を設置することが一般的であり、台風や豪雨等に伴う原水濁度の急上昇など地表水に特徴的な水質変動は、紫外線照射に至る前の処理工程で対応する設計思想が見られる。一方、日本の地表