

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⁾。

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

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)

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

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 [枯草菌胞子 RED 値]	40mJ/cm ² [枯草菌胞子 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