

 <b>JWRC</b> <b>水道ホットニュース</b>	<p>(財)水道技術研究センター 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F TEL 03-3597-0214, FAX 03-3597-0215 E-mail <a href="mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp">jwrchot@jwrc-net.or.jp</a> URL <a href="http://www.jwrc-net.or.jp">http://www.jwrc-net.or.jp</a></p>
---	---

## 水道水の消毒のための 紫外線照射の使用に関するガイダンス（その2） — 英国水道水検査官事務所、2010年2月 —

### 4. 水の前処理

4.1. 第26項は、全ての水道における消毒、複数のバリアーの適用に加えて、水道事業者が消毒への準備として十分な前処理を行うことを求めている。したがって、水道事業者は、消毒プロセスの性能に悪影響を及ぼすことが知られている特質に関して、必要に応じて、水質を改善するために前処理を実施しなければならない。前処理を実施しないのであれば、DWI は水道事業者が、前処理を不要と判断する理由を確たるデータから立証できることを期待する。

4.2. 多くの水質項目は、紫外線消毒プロセスの性能に悪影響を及ぼす可能性がある。特に重要なことは一貫して低濁度の水を生産することである。したがって、浄水場は消毒プロセスに流入する水の濁度を常に可能な限り低減するように（濁度のピークがどんな規模、頻度、継続時間であっても）設計、運転されなければならない。第26項は従来からの WHO の消毒クライテリアに基づき、濁度は常に 1 NTU 未満に保たなければならないと規定している。現在、WHO が効果的な消毒のために、理想的には濁度の中央値を 0.1 NTU 未満に保つように推奨していることに留意すべきである（WHO, 2008）。それ以外に、水道事業者は専門家グループが提唱する推奨事項（Badenoch, 1995; Bouchier, 1998）にも留意すべきである。DWI もこれらの推奨事項を、微生物に起因する課題の性質や採用する消毒プロセスを問わず、有用な運用指針として支持している。

4.3. その他にも紫外線消毒プロセスに直接的又は間接的に影響を与える水質項目が存在する。天然有機物、金属（鉄、マンガンなど）及びアニオン（硝酸塩、亜硫酸塩など）は流入水の紫外線透過率（UVT）を低下させ、その結果として最終的に病原体の不活化に寄与する紫外線量を減少させる。硬度とアルカリ度だけでなく、これらの項目の多くも、ランプスリーブや紫外線モニタリング窓のファウリングを加速し、到達する紫外線量の減少、測定値低下の原因となる。これらの水質項目の存在及び濃度には季節変動があり、時間とともに変化する。

4.4. ろ過、酸化、吸着等のプロセスによる流入水の前処理は、紫外線照射の有効性を確実なものにすることを助けるが、他のプロセスは紫外線照射に悪影響を及ぼすことがあり、逆に紫外線照射が他のプロセスに悪影響を及ぼすこともある。例えば、オゾンや過マンガン酸が水中に十分な高濃度で残留していると後段で実施される紫外線消毒プロセスの効果に悪影響を与える。また、紫外線照射は水中の塩素やクロラミン濃度を減少させるため、紫外線照射の後段で薬品注入を行わない限り、これらの薬品に依存する消毒プロセスや水道水の消毒剤残留濃度の管理に影響を与える可能性がある。

4.5. 水道事業者は、紫外線プロセスの設計に当たって、適切な前処理を組み込み、各々の浄水場の水源の特性が紫外線透過率やスケール形成/ファウリングポテンシャルに与える影響を考慮して、適切な維持管理と余裕を持った方策を組み込むべきである。

## 5. 紫外線消毒

5.1. 200 nm から 300 nm の波長領域の紫外線は、広い温度範囲で、病原体の不活化に効果がある<sup>5</sup>。しかし、この波長領域内であっても、異なる病原体の紫外線感受性、望まれるレベルの不活化効果を得るために必要な紫外線量は、大きく異なる。飲料水への適用という観点から、最も重要な病原体の中では、原虫がこの領域の紫外線に最も高い感受性を示し、続いて細菌、ウイルスは最も耐性が高い。

5.2. 水道事業者は、どの消毒法であっても、妥当性及び確実性を実証することが求められる。したがって、消毒を目的として紫外線照射を使用する場合、各々の紫外線反応槽は、各々の浄水場において、特定された危害を制御する方策として、消毒の対象となる水の物理的、化学的特性を考慮して、設計されなければならない。単独で使用する場合でも、他のプロセスと組み合わせて使用する場合でも、水道事業者は以下の項目の証拠及び妥当性を示す情報を収集しなければならない。

- ・ 浄水場に流入する原水中に存在する可能性のある病原体が有する危険性
- ・ それらの病原体を不活化するために必要な最小紫外線量
- ・ 確認試験の証拠：各々の紫外線反応槽が一貫して必要レベルの性能を達成できること
- ・ 各々の浄水場において、存在する可能性のある病原体が曝露する紫外線量（制御方法の検証結果）

<sup>5</sup> 大部分の微生物の不活化という観点から最も有効な紫外線波長は 260nm である。240 nm 以下の波長については、微生物の種類によって応答に顕著な相違が見られること、及び副生成物形成の可能性が増大することを考慮に入れる必要がある。

### プロセスの確認試験

5.3. 病原体の曝露線量は、個々の紫外線ランプの出力、照射の対象となる水の流量や紫外線透過率によって異なる。連続流の反応槽では、特に水理学的特性が重要である：紫外線ランプの近傍、あるいは比較的遅い流速で反応槽を通過する病原体が大きな線量を受けるのに対して、反応槽の壁面近傍や比較的速い流速で反応槽を通過する病原体はそれよりも小さな線量を受けることになる。

5.4. 様々な運転条件下での紫外線反応槽内の線量分布は、多くの進展しつつある技術によって評価できる。これらの技術はいずれも不確実性を含むため、評価結果はさらに検証を必要とする。現時点で推奨できるのは、生物線量計を用いて反応槽の性能を評価する方法である。

5.5. 生物線量計による確認試験では、紫外線反応槽を通過する特定の指標微生物の log 不活化率を使用する。既知の UV253.7nm 線量に対する応答との関係式(UV<sub>253.7nm</sub> fluence-response relationships)を組み合わせて、対応する換算等価線量 (REF) を算出し、それをもとに目標病原体の有効線量を評価する。反応槽の確認試験から導かれた最小必要線量は、UV253.7nm 等価線量として示される。

5.6. 一般的に、確認試験は浄水場以外の場所で反応槽製造メーカーや事業者により、水安全計画の手法に沿って、以下の条件を満たすように実施される：

- ・ 実際に使用される反応槽と同型式のフルスケールの紫外線反応槽を用い、存在が懸念される病原体に対して適切な指標菌を使用しなければならない
- ・ 浄水場の反応槽で照射される紫外線量に影響を及ぼす因子（運転条件、水質、その他）を全て考慮に入れなければならない
- ・ 各々の浄水場で、最小有効線量が維持されていることを確認するために、水道会社が運転、及びモニタリングしなければならない条件の範囲を具体的に示さなければならない。
- ・ 確認された施設特有の諸条件の範囲外で反応槽を運転することは水を消毒しているとみなされない。したがって、確認された施設特有の諸条件の範囲外で反応槽を運転してはならない。ただし、別途適切なリスク管理対策が実施されている場合はこの限りではない。

他国では、確認試験のための認定された標準プロトコールが公表されている<sup>6</sup>。このような試験で最低限必要とされる要件をまとめて次の表 1 に示す。

表 1 確認試験のために最低限必要な要件

要件	条件
運転条件の確認は、右欄の項目を含まなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流量</li> <li>・ 紫外線線量率（紫外線センサーで測定され、mW/cm<sup>2</sup> またはこれに相当する単位で表される）</li> <li>・ 紫外線ランプの状態</li> </ul>
生物学的線量確認試験は、右欄の項目を含まなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ フルスケールの反応槽、または使用する紫外線反応槽と同型式の反応槽の試験</li> <li>・ 試験微生物の不活化。その微生物は、紫外線量に対する応答特性が知られていて、適切に定量化されており、適用対象となる原水の問題を代表するもの。</li> </ul>
確認試験の結果は、右欄の項目に説明を与えるものでなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水の紫外線透過率/紫外線吸光度</li> <li>・ ランプ及びスリーブ、各々の経時劣化及びファウリング</li> <li>・ オンラインセンサー測定値の不確実性</li> <li>・ 紫外線量分布。（反応槽を通過する流速プロファイルの違いに起因する、反応チャンパー全体が最小必要線量を受けることを示すため）</li> <li>・ 紫外線ランプ、その他の重要コンポーネントの故障</li> <li>・ 紫外線反応槽の流入管、流出管の形状。</li> </ul>

\* “USEPA Ultraviolet Disinfection Guidance Manual (2006)” から改作

<sup>6</sup> 現在実施されているプロトコール：オーストリア規格協会（ÖNORM M 5873-1, 2001; ÖNORM M 5873-2, 2003）；ドイツガス水道協会（DVGW W294, 2006）；米国環境保護庁（USEPA, 2006）。

5.7. 流入管及び流出管の形状（configuration）は、反応槽の水力学的特性に大きな影響を与え、目標病原体が最終的に曝露される最小紫外線量にも影響を及ぼす。したがって、実際に運転される反応槽の流入管及び流出管は、紫外線量が確認試験時に実証された値と同等もしくはそれを上回るように、構成されなければならない。オフサイト確認試験で検証された反応槽でこの条件を達成するために米国環境保護庁が推奨するオプションが 紫外線消毒ガイダンスマニュアル（UVDGM : Ultraviolet Disinfection Guidance Manual）の第 3.6.2 項で解説されている。

5.8. 日常の維持管理活動又は改造等により、反応槽で照射される紫外線量又は線量モニタリングに大きな変化が生じた場合は、反応槽の確認試験を再度実施する必要がある。反応槽の再確認を必要とする一般的な改造のいくつかのタイプが 米国環境保護庁 UVDGM 第 5.13 項で説明されている。水道事業者は、反応槽の確認試験を再度実施しなかった場合には、事業者の活動及び何らかの改造が反応槽の消毒性能を損なわなかったことを証明しなければならない。

### 紫外線プロセスの起動及び再起動

5.9. 紫外線プロセスの確認を実施する条件は、反応槽内で紫外線を放出するランプの最小出力に依存する。一般に認められたプロトコールに従って実施される確認試験は、ランプ経時劣化やその他の因子（例えば、スリーブのファウリング）の影響を考慮に入れている。しかし、ランプの点灯又は停電後の再点灯によっても紫外線出力の低下が起こり得る。

5.10. プロセス起動時に反応槽が確認された条件の範囲外で運転されることを防止するため、最初にランプを点灯し、正常な運転温度に達してから、供給水を反応槽内に流入するべきである。冷却水が

必要な場合は、反応槽が確認済みの条件に達するまで、排水側または再利用側に流すべきである。プロセスの設計は、停電又は電圧低下後の紫外線ランプの再起動の時間を考慮し、適切な非常時の対応策を採用しなければならない。

5.11. 紫外線ランプの出力は使用によって低下するが、特に大きな影響を与える要因は、点灯/消灯サイクルの回数と点灯時間である。紫外線ランプの出力が、ランプメーカーが指定する最大減少割合に達したら、交換しなければならない。紫外線ランプの累積点灯時間と交換日時を記録し、監査を受けられるように保管しておかなければならない。

5.12. 紫外線消毒プロセスは、同等で検証可能なレベルの消毒を行うプロセスが実施され、連続運転されない限り、バイパスしてはならない。

5.13. 水道事業者は、浄水場で消毒されていない水を供給することは違法行為にあたる、ということ留意しなければならない。

### プロセスのモニタリング

5.14. プロセスのモニタリングは運転を制御するために不可欠の手段であり、水道事業者は全ての必要なパラメータを連続的にモニタリングし、記録することにより、次の事実を示さなければならない。

- ・ 反応槽は確認された条件の範囲内で運転されている。
- ・ 反応槽は必要とされる最小紫外線量又はそれを上回る線量を照射している。

5.15. モニタリングの対象となるパラメータは採用する反応槽の制御戦略により異なることがあるが、少なくとも、流量、ランプ状態、紫外線線量率は反応槽ごとに測定する必要がある。紫外線線量率は、適切な方法で正確に校正された紫外線センサーを反応槽内の規格化された測定窓に設置し、測定しなければならない。

5.16. 「線量計算法」を採用する施設では、紫外線透過率（UVT）のモニタリングも必要となる。消毒後の水を代表するサンプルの UVT を測定しなければならない。サンプル水は分析前にろ過、pH調整を行ってはならない。

5.17. 濁度のモニタリングは、全ての消毒の不活化ステージにおいて重要な制御要素（a critical control）であり、紫外線消毒の直前で連続的にモニタリングされなければならない。この原則が適用されないケース（例えば、単一の地下水を水源とし、原水濁度が常に確実に 1 NTU よりも低い場合）では、DWI は最終処理水の濁度モニターの指示値を消毒プロセスに入る前の濁度に相当すると見なす。最終処理水の濁度モニターの測定値を信頼し、このデータのみを使用して第 26 項への適合を示すか否かは、水道事業者の判断に任されている。

5.18. 水道事業者は全てのモニターとセンサーが校正されていることを立証しなければならない。これらの機器は、感度と信頼性を維持できる頻度で、文書化された社内規定の手順に従って、保守、再校正されなければならない。

5.19. 運転を監視するモニター及びセンサーは、直接、適切な制御/モニタリング装置に入力しなければならない。重大な障害発生時には、適切な是正措置を実施できる時間的な余裕を持って、アラームを発生しなければならない。また、十分に消毒されていない水が配水系に流入することを防止する手はずがとられていなければならない。

5.20. 運転監視モニター及びセンサーによって出力される情報は、定期的に有資格者によって点検され、潜在的な問題がみられる場合には、調査と是正措置が遅滞なく始められるように手順を定めてお

かなければならない。この他、水道事業者は、モニタリング方法の妥当性、頻度、範囲を、リスク評価及びリスク管理プロセスの一環として、定期的に見直すことが望ましい。

## プロセスの検証

5.21. 水道事業者は、運転監視モニタリングに加えて、消毒戦略の全体的な性能及び有効性を確認する必要がある。

5.22. 日常の運転では微生物汚染の存在を示す指標として大腸菌（E.coli）や腸球菌のような有機体を使用され、そして、化学的消毒プロセスの効果を知る指標としても利用されるが、これらの有機体は懸念される多くの病原体よりも紫外線照射に対する感受性が高いということに注意を払う必要がある。すなわち、これらの有機体への効果だけで、紫外線消毒プロセスの効果を判断してはならない。紫外線消毒プロセスを検証するためには、適切な方法で確認された紫外線反応槽を明確に定義された施設特有の条件の範囲内で運転する必要があり、さらに、これらの条件の重要な制御ポイントにおける連続的なモニタリングと記録を必要とする。

5.23. 消毒プロセスの検証のためには、さらに、水道水が微生物的な観点から安全であることを、独立した検証方法で行うことが必要となろう。例えば、水道事業者は、彼らの水安全計画における重要な関係者の一つである健康保護局（HPA）と連携して、飲料水中の病原体の監視の強化（必要に応じて、クリプトスポリジウムのような原虫のための日常的な便の原虫検査を含む）を促し、協力する必要がある。

## 6. 消毒副生成物

6.1. 採用する消毒プロセスを問わず、水道事業者は、消毒効果を相殺せずに、生成される消毒副生成物量をできるだけ最小限に保つように努めなければならない。

6.2. 紫外線消毒は、ハロゲン（例えば、塩素）を使用するような化学的なプロセスではない。そして、紫外線照射の直接の結果として、トリハロメタン（THM）やハロ酢酸（HAA）のようなハロゲン化副生成物は生成されない。しかし、他の因子を考慮する必要がある。例えば、硝酸塩が紫外光を吸収（波長 240nm 以下）し、光分解によって、亜硝酸塩が生成される。この問題は、紫外線ランプ又はスリープタイプの選定によって回避できる。

6.3. 選定した消毒方法で消毒副生成物量を最小限とするための制御を確実なものとするために、水道事業者は化学的手法によるプロセスとは異なる前駆物質と副生成物生成条件を考慮する必要がある。

## 7. 消毒残留物

7.1. 消毒とは、水中に存在する全ての病原微生物及び病原寄生虫を除去する、又は人体に対して無害化することを目的とする水処理プロセスである。消毒処理が完了したならば、配水システムでのリスクを管理するために、消毒剤の残留濃度を維持する（又は注入して維持する）ことは、水道事業者にとって一般的な運転管理方法である。例えば、紫外線照射後に残留するレベルの遊離塩素を注入するという方法がとられる。

7.2. 水道事業者は、消毒剤の残留濃度の追加を、浄水場での不十分な消毒処理の補完又は代替手段と考えるべきではない。

## 8. 継手及び接液材料

8.1. 他の装置と同様に、水質に悪影響を及ぼす可能性のある物質が水道水に混入する事態は避けなければならない。そのため、水源から給水点までの過程で水に接触する全ての材料（全ての化学製品や建造物を含む。）は第 31 項の要件を満たさなければならない。認証を取得した材料の現在のリスト及

び認定を取得する方法の詳細は DWI の Web サイトに掲載されている。  
(<http://www.dwi.gov.uk/31/index.shtml>)

8.2. 反応槽内のランプが破損すると、給水からの水銀の暴露により、人の健康に危険を及ぼす可能性が生じる。ランプ及びスリーブは、次のような原因によって破損する可能性がある：

- ・ 水中に浮遊する破片の衝突
- ・ 過度のウォーターハンマー
- ・ 過大な温度差または過熱
- ・ ワイパーの故障などによる機械的な圧力

大部分の破損事故は適切なプロセス設計及び運転管理により予防可能である。

8.3. したがって、水道事業者は、稼働中にランプ破損が発生した場合に、その位置を特定し、対応措置をとるための行動計画を文書化しておくことが期待される。水道事業者は、稼働中のランプ破損が 2009 年水道産業（水道事業者情報）指令に基づく告知事項に該当するか否かについても検討すべきである（現行の DWI ガイダンス<sup>7</sup> 参照）。

<sup>7</sup> “DWI Information Letter 10/2007” 参照

## 9. 連絡先

9.1. 本ガイダンス又は他の関連事項についての質問等は、下記事務所宛に問い合わせられたい。

水道水検査官事務所（Drinking Water Inspectorate）： 55 Whitehall, London SW1A 2EY;

電話：0300 068 6400、Email：DWI.Enquiries@defra.gsi.gov.uk

## 10. 用語解説

### 生物線量計（Biodosimeter）

水を媒介して伝染する病原微生物の代替（試験）微生物であり、紫外線に対して十分な、かつ病原微生物に類似した感受性を持つ。紫外線反応槽の一般的な確認試験では、しばしば枯草菌（細菌孢子）及び MS2 大腸菌ファージ（f-RNA ウィルス）が生物線量計として使用される。クリプトスポリジウム不活化を主たる目的とする紫外線反応槽の確認試験では、それ以外の生物線量計（例えば、T1 ファージ）の使用頻度が増えつつある。

### 生物学的線量試験（Biodosimetry）

生物線量計を、紫外線を利用する系に適用し、log 不活化率から紫外線量を求める方法。

### 線量（Fluence）

しばしば、紫外線量（UV dose）と同じ意味で使用される。しかし、連続的な流れを持つ反応チャンバー内では流れの軌跡によって紫外線線量率（UV fluence rate）が変化し、照射した紫外線が目的とする微生物によって吸収されるのはその一部に過ぎないため、「線量（dose）」という表現は不適當である。線量は線量率（mW/cm<sup>2</sup>）に曝露時間（sec）を乗算して算出され、一般に単位は mJ/cm<sup>2</sup> 又は J/m<sup>2</sup>（1 mJ/cm<sup>2</sup> = 1 mWs/cm<sup>2</sup> = 10 J/m<sup>2</sup>）。

### 線量率（Fluence Rate）

しばしば照度（irradiance）又は紫外線強度（UV intensity）と同じ意味で使用される。一般に単位は mW/cm<sup>2</sup>。

### LP ランプ（Low Pressure Low Output Lamp）

低圧低出力ランプ。この種のランプは比較的低い内部温度と低い水銀蒸気圧で動作し、主に波長 253.7 nm の単色の紫外光を発する（可視光領域も発する）。LP ランプ内部には液体水銀が封入され

ている。

### LPHO ランプ (Low Pressure High Output Lamp)

低圧高出力ランプ。この種のランプはやや低い内部温度と低い水銀蒸気圧で動作し、主に波長 253.7 nm 単色の紫外光を発する(可視光領域も発する)。LPHO ランプには水銀と他の金属(インジウム、ガリウムなど)の合金が封入されている。

### MP ランプ (Medium Pressure Lamp)

中圧ランプ。この種のランプは比較的高い内部温度と水銀蒸気圧で動作し、200 から 400 nm の波長領域の多色の紫外光を発する(可視光領域も発する)。MP ランプ内部には液体水銀が封入されている。

### 換算等価線量 (REF : Reduction Equivalent Fluence)

紫外線反応槽を通過した水に生存する指標菌数を定められた条件に従って換算した値。紫外線量は直接測定できず、また、実際の病原体を用いてフルスケールの確認試験を実施することも現実的ではないことから、生物学的線量測定を適用し、目標の病原体が受ける線量を試験微生物(生物線量計)の REF として評価する。

### 紫外線透過率 (UVT : UV Transmittance)

波長 254 nm、光路長 1 cm での透過率の測定値。紫外吸光度は UVT と次式で関係付けられる。  
 $A_{254\text{nm}} = -\log(\text{UVT}\%/100)$

## 11. 参考文献

省略

(担当) 浄水技術部

### 配信先変更のご連絡等について

「JWRC水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記までEメールにてご連絡をお願いいたします。

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル2F (財)水道技術研究センター ホットニュース担当

E-MAIL : [jwrchot@jwrc-net.or.jp](mailto:jwrchot@jwrc-net.or.jp)

TEL 03-3597-0214 FAX 03-3597-0215

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

### 水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー(第58号以降)は、下記アドレスでご覧になれます。

<http://www.jwrc-net.or.jp/hotnews/hotnews-h21.html>