

より、参照 UV センサは、照射槽の電子機器と独立したハンディタイプを採用することが、重要であると考えられる。

その他

評価対象の、ある UV システムは、布製のアーチ型構造物（※補足：半円筒状で、扉のない車庫のイメージと思われる）内に設置されていた。ゴミが制御盤のエアフィルターを閉塞し、制御盤の電子機器の上に堆積していた。猛暑時の気温は制御盤の冷却能力を上回っており、制御盤内の温度は 48.9℃近かった。アクチュエーターによる多くの動作が開閉に必要な流出入バルブを手動式としていた。開閉動作に多くの労力が必要なため、装置は常時全号機稼働状態であった。さらに、当該サイトでは維持管理時に照射槽底部の排水バルブで水を抜くが、床排水ポンプの能力が不足しているため、床が水浸しになっていた。

水銀放出の低減検討 概要

予備実験の成果

ランプ破損時の水銀放出についてパイロット試験機を用いて評価すると共に、ランプ種類、運転状態毎のランプ破損時水銀移動について確認した。

低圧水銀ランプ、非アマルガム低圧高出力ランプは液体状の水銀を含んでいるのに対し、アマルガム低圧高出力ランプは固体状の水銀－インジウム合金がランプ内に封入されている。これらのランプが点灯中、一部の水銀が気体状となり、紫外線を発している。気体状になった水銀量は理想気体則で近似され、ランプ中に含まれる全水銀量に対して一桁少ない。ランプ破損時、気体状の水銀は水中に溶解し、照射槽の下流側に運ばれる。一方、液体状の、またはアマルガムの水銀は、照射槽底部に沈降する。気体状の水銀量は少ないため、照射槽内に滞留した水中の水銀濃度は飲料水最大許容濃度である 2µg/L（補足：国内水道水質基準=0.5µg/L）より 1 桁小さい。低圧水銀ランプ、低圧高出力ランプ破損時は、バルブを閉め、沈降した水銀を封じ込める。照射槽内の水は、液状水銀、アマルガム水銀が溶解しているものとして、排出前に処理が必要である。アマルガム低圧高出力ランプ破損後の清掃は、水銀がアマルガム内にあるため、比較的容易である。低圧水銀ランプ、非アマルガム低圧高出力ランプ破損後の清掃は、液体状水銀のしずくを見つけだし、除去する必要がある。

中圧水銀ランプは、非点灯時、液体状水銀を含んでいる。中圧水銀ランプはおよそ 600～800℃の高温で点灯するため、点灯中は水銀のほとんどが気体状になる。点灯中の中圧水銀ランプ、スリーブが破損した場合、気体状の水銀は水中に放出され、過飽和の溶液となるか、コロイド状水銀を含む溶液となる。水銀は流れに乗って下流に運ばれ、沈降はしない。気体状水銀の量は比較的多いため、照射槽内に滞留した水中の水銀濃度は飲料水最大許容濃度を超える。それ故、浄水場で中圧水銀ランプが破損した場合、下流側の配水池、配水系統への水銀混入を防止するため、バルブや、迂回路が必要となる。その代り、水銀

は配水系統に送られる以前に、配水池、配管内で希釈される。

UVDGM では、ランプとスリーブの破損により放出された水銀は、低流量ゾーンで捕捉されるとしている。実用目的の観点から、低圧水銀ランプ、非アマルガム低圧高出力ランプ、アマルガム低圧高出力ランプと、点灯状態にない中圧水銀ランプでは、この説は真実と言える。しかしながら、今回の検討より、UVDGM の仮説は点灯中の中圧水銀ランプには適用できないことが示された。

水銀放出の軽減

水銀放出の低減計画は、予防、ランプ破損検知、水銀放出と移送のモデリング、捕捉、封じ込め、サンプリング、処理、汚損水の廃棄、清掃、UV 装置の再調整からなる。

USEPA の紫外線消毒ガイドンスマニュアルでは、ランプ破損の原因として、スリーブへの破片衝突、高温状態のスリーブへの冷水接触、中圧 UV ランプの破裂、負圧、ウォーターハンマー等があることを示している。大流量時、スリーブを通過した渦流の周波数が、スリーブの共鳴周波数と等しくなった際に起こる共鳴スリーブ振動については、触れられていない。共鳴スリーブ振動は照射槽を通過する最大流量を制御する事により、防ぐことができる。

ランプとスリーブの破損は、湿気センサを用いることにより直接的に、ランプ故障、または漏電アラームを用いることにより間接的に、検知することが可能である。ただ、ランプ故障、漏電アラームはランプ、スリーブの破損検知に用いられる一方で、別の要因によっても起き得るアラームである。よって、別の要因でアラームが起きる頻度が高い場合には、ランプ故障、漏電アラームを水銀放出防止のためのバルブ閉止の条件とすることは不適當である。

ランプ破損後の照射槽下流部の配管、槽内水銀濃度は『移流分散』式、CFD モデリング、トレーサー検討より得られた滞留時間分布を用いることで、予測することができる。モデルに入力される水銀量はランプ破損時の気体量として見積もられる。モデル予測の結果、低圧水銀ランプ、低圧高出力ランプの破損後の水銀分散によって、水銀濃度は最大許容濃度より 1 桁少ない値まで低下するとされている。中圧水銀ランプの破損後の水銀分散においても、配水経路、槽、配水池にて最大許容濃度以下に低下するとされる。もし、希釈が不十分な場合、水銀放出は下流部へのバルブ設置、迂回路により抑制されるべきであるが、設置位置はランプ破損検知とバルブ閉止所要時間を考慮した位置としなければならない。

バルブ閉止時間はウォーターハンマーにより制限される。ウォーターハンマーはバルブの上流、下流配管の長さ、比較的速いバルブ閉止時間に起因する事象で、スリーブの破損圧を超える負圧を引き起こす。計算では、石英スリーブは正圧 5.2MPa、負圧 0.55MPa まで耐え得るとされている。

一方、UV システム下流の低流量ゾーンは、水銀液滴、石英片の捕捉に用いられる。但し、初期段階で水中に溶解した気体状の水銀は捕捉されない。本検討では、水銀液滴と石英片

が沈降する流速を見積もっている。解析によると、ランプ破損後の水銀液滴、石英片捕捉に垂直配管は効果的でないとされた。これらの粒子の捕捉には、オーバーフロー時の流速がより細かい粒子を捕捉可能な沈降速度以下となる様に設計された沈降槽（もしくは類似構造物）が必要である。

ランプ破損時の対応計画として、サンプリング箇所、サンプル頻度、汚染水の処理と廃棄、照射槽内に残った液体状水銀、アマルガム水銀、石英片の清掃が挙げられる。水のサンプリングにより、破損後の水銀汚染の拡大状況把握と、廃棄前清掃の必要性評価ができる。照射槽下流の配管、槽におけるサンプリング箇所は、移送モデルにより予想された濃度データに基づいて選択されるべきである。もし、水銀がほとんど拡散しない小さな水塊として振る舞うとモデル予測されているのであれば、あるサンプリング箇所では検出されなかったとしても、他のサンプリング箇所では検出される結果となるかもしれない。以上より、サンプルは多数の場所で行い、モデル予測の不確かさを補完すべきである。USEPA メソッド 1631E、及び、245.7（それぞれの検出限界 5ng/L、0.5ng/L）が、ランプ破損後の水銀放出を明らかにする手法として推奨されている。

ランプ破損後の清掃範囲、及び、処理方法は、水中の測定された水銀濃度、予想された水銀濃度、及び、廃棄濃度限界に依存する。多くの州が水生生物保護のため、水銀 12ng/L の水質基準を規定している一方で、配水地域の 1 日当たり総合最大許容負荷量は 1ng/L 以下とされている。照射槽の中に捕捉された水銀汚染水は、硫黄添着炭のカラムを通すことにより処理される。照射槽をドレンした後、石英片、アマルガム、液状水銀は手作業、もしくは、掃除機により除去できる。照射槽は酸性の液体（例えば、2%塩酸）で洗い流し、その後、清澄な水で再度洗い流すべきである。

清掃に従事する職員は、国立安全衛生センター（OSHA）、または、国立労働安全衛生研究所（NIOSH）の勧告に従うべきである。UV 照射槽をドレンした際、照射槽内の空間は残存した液体状、固体状アマルガム水銀の揮発により汚染されている。そのため、清掃中は、適正な換気と、保護マスクの使用が必要である。照射槽内に作業者がいる間、照射槽への水の流入やランプの点灯を防ぐため、制御盤、上流下流のバルブが作動しないようにロックしなければならない。清掃作業中は、ゴム製、ニトリル製、ラテックス製の手袋と、ゴーグル、保護服を使用すべきである。破損したランプ、スリーブ、照射槽内を拭き取るのに用いた吸着剤はコンテナの中に密閉し、有害廃棄物として処理すべきである。

(2) 紫外線消毒

飲料水および再生水のためのガイドライン第三版 (抄訳)

2012年8月

NATIONAL WATER RESEARCH INSTITUTE 発行

WATER RESEARCH FOUNDATION 協力

第1章：飲料水

Robert W. Emerick

Thomas Hargy

Oluf Hoyer

Robert H. Hultquist

Richard H. Sakaji

O. Karl Scheible

Fred Soroushian

George Tchobanoglous

1. はじめに

本ガイドラインは、前書きで定められた制約を課せられる UV 消毒システムの最低設計合格要求事項およびコミショニングを容易にする。また、UV 消毒システムのパフォーマンスの妥当性確認に用いることのできる方法論も提供する。しかしながら、本ガイドラインは特定の病原体又は不活性化線量要求事項に基づいているわけではない。よって、規制機関が問題となる病原体やそれに対応する UV 線量要求事項を確立する責任を負うことになる。

UV 消毒は数々の飲料水媒介の病原体の効果的なバリアとして使用することができる。多重バリア処理系における UV 消毒の使用は、特定の病原体（例えばクリプトスポリジウムやジアルジア）に対する有効なバリアを提供し、消毒の副産物を最小化する助けになる。本 UV ガイドラインは、濾過された地表水、無濾過の地表水および地下水を含む、飲料水供給源に適用される。濾過された地表水については、UV 消毒前の水処理プロセスには、粒状又は合成媒質による濾過、膜濾過（精密濾過 [MF]、限外濾過 [UF]、ナノ濾過 [NF]、および逆浸透 [OS]）、珪藻土濾過、あるいは緩速砂濾過を含むことがある。

UV 消毒システムの性能試験

本ガイドラインは、UV 消毒技術の評価及び実施のための共通の基盤を提供することを目的としている。最低限、メーカーは第 3 章に概説される設備の¹効能を示すことが求められる。試験が完了したら、結果を報告書にまとめなければならない。この性能型試験のアプローチは、UV 機器によるターゲット微生物（例えば、MS-2 バクテリオファージ）の不活性化の数量化に向けられている。

飲料水ガイドラインの構成

飲料水ガイドラインは、以下の節にまとめられている。

1. はじめに
2. UV 線量
3. リアクタの設計
4. 信頼性設計
5. 監視装置および警告装置の設計
6. 現場でのコミショニング試験

¹ 本ガイドラインに概説される性能型試験は、光化学又は促進酸化工程における UV の使用のカバーを意図していない。

7. パフォーマンス・モニタリング

8. エンジニアリング・レポート

第2節から第7節のトピックは、UV 消毒システムの設計、運用及び監視に関する主要素を特に取り扱っている。これらのトピックスは、求められるエンジニアリング・レポート（第8節）において取り上げられていなくてはならない。

2. UV 線量

UV 線量は、実践的な目的においては、平方センチメートル当たりミリワット (mW/cm^2) で表される UV 強度と、秒 (s) で表される処理される液体または分子の照射時間の積として、表現される。UV 線量の単位は、平方センチメートル当たりミリジュール (mJ/cm^2) で表され、これは平方センチメートル当たりミリワット秒 ($\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) に等しい。現時点では、UV 線量を正確に明らかにすることができるのは、平行ビーム装置を用いた時だけである。というのも、液体要素に達する強度も照射時間も両方正確に数量化することができるからである。非理想の水理と非均一な強度プロファイルは、結果として、定常流リアクタに線量が分布されることとなる。

定常流リアクタについては、以下、「換算等価紫外線量」、「設計 UV 線量」、「運用 UV 線量」という言葉が使われ、その定義は以下のとおりである。

- **換算等価紫外線量 (RED)**。リアクタの確認試験に基づいて UV テストリアクタに割り当てられた線量。RED はターゲット微生物の同じレベルの不活性化のために平行ビーム装置で測定したものと等しい。
- **設計 UV 線量**。RED はターゲット微生物の具体的な Log 不活化のために必要とされる。設計 UV 線量は、UV 消毒システムのサイジングのために用いられる。
- **運用 UV 線量**。設備の確認試験の結果に基づいて確定される UV 線量。リアクタの反応の有用な指数である運用 UV 線量は、設計 UV 線量を維持しながら UV 消毒システムを最も効率的に使用するために使用することができる（例えば、電力要求の削減、リアクタまたはオンラインリアクタ系の数の削減）。

設計 UV 線量はターゲット微生物および UV 消毒以前の給水源の質に依存する。ターゲット微生物および要求される不活化レベルは規制機関によって確立されなければならない。第1節で論じたように、給水源には濾過された地表水、無濾過の地表水および地下水が含まれる。異なる水質のため紫外線消毒機器の確認は以下の通り行われるものとする。

濾過された地表水および地下水

機器確認プロトコル（第3章参照）に従って確認されたリアクタはすべての濾過された

地表水およびすべての地下水に使用することができる。確認されたリアクタの適正な設置と付属施設の建設を確実にを行うために、スポット・チェック・コミッショニング試験が保証される。

無濾過の地表水

潜在的な建築の欠陥および濁度と透過率の季節的な変動に対処するため、無濾過の地表水の消毒に用いられる機器は、第 3 章に概説されるプロトコルに従って具体的な水源と共に確認しなければならない。

理論的根拠

あらゆる特定の微生物の不活化に関して、リアクタの作動は、UV 線量配分と微生物不活化の固有の動態（すなわち、線量応答行動）によって決定される。線量応答行動は平行ビームシステム及び適切な微生物アッセイを用いて測定することができるが、UV 線量分布の特性を明らかにして数量化するために利用することのできる方法ははっきりと定義されていない。UV 線量分布を予測するために数値的な方法を使用することはできるが、これらの方法は標準化されておらず、実践的な利用のために広く採用されてもいない。この結果、本ガイドラインは UV リアクタの試験及び確認については、バイオドシメトリー法に基づいている。

RED の確立には、制御されたバッチ条件（平行ビームシャーレ等）における選択された微生物の UV 不活化の決定が含まれる。UV 装置のパフォーマンス確認のためには、20m J/cm²を超える RED については、MS-2 が推奨される。MS-2 のメリットには、以下のものが含まれる。

- 高い抗 UV 性
- 消毒に典型的に用いられる UV 範囲に対するほぼ第一線の不活化動態
- シーディングおよび実査が容易なこと
- 一貫した、再現性のある分析評価結果
- ヒトへの無病原性
- 光無反応性

標準化の目的において、RED は低圧のオゾンを発生しない水銀灯を備える平行ビーム装置リアクタで達成されるのと同程度の MS-2 不活化を定常流リアクタで達成すると定義されている。詳細は、第 3 章に記載されている。

濾過された地表水および地下水については、UV 消毒の粒子状物質の影響は最小化されている。これらの給水については、第 3 章のプロトコルに従って確認された UV 装置のために開発された RED 相関が UV 消毒システムの設計において使用することができる。確認されたリアクタの適正な設置と附随機器の建設を保証するために、スポット・チェック・コ

ミッショニング試験が行われる。

無濾過地表水における粒子状物質と透過率の変動は、UV 消毒から微生物を保護する可能性がある。これらの給水については、水質の変動の影響を評価するため、サイト固有の機器の確認が推奨される。

設計条件

飲料水機器用 UV 消毒システムは、最大流量と最小 UV 透過率で、下記の設計条件に基づいて設計 UV 線量を実現するように設計されなければならない。

1. メーカーがエンジニアリング報告書に明記するランプ交換間隔に相当する期間のランプ経年係数を画定しない限り、通常の（新しい）UV ランプの出力の 50%での UV ランプの出力（適切なバーンイン期間後）。ランプ経年係数は、第 3 章のプロトコルに従って確認されなければならない。
2. 手で清掃されるシステムについては、石英スリーブの透過性を除き、石英スリーブを通じて 80%の透過率
3. 第 3 章のプロトコルに従ってより高い値のテストデータが実体化されない場合には、自動で清掃されるまたは化学清掃されるシステムについては、石英スリーブの透過性を除き、石英スリーブを通じて 80%の透過率。清掃頻度はメーカーの推奨に基づく。
4. UV 消毒システムの設計において用いられる最小 UV 透過率は、12 か月の UV 透過データの最小値（実施期間において均等に間隔を置いた、1 日分のサンプルの最小値）に基づく 5%UV 透過率値と定義されている。12 か月の監視データが入手できない場合、最小 UV 透過率値 80%が使用される。UV 透過率測定は、波長 254 ナノメートル（nm）でなければならない。
5. ランプの貯蔵寿命を取り換えるためのランプの保存に考慮しなければならない。貯蔵需要はメーカーの推奨に従うものとする。

理論的根拠

ランプ支援データに基づくと、飲用水再利用 UV 消毒システムの作動条件は、大気内で試験されたものに比べると、UV ランプの光度の減衰のスピードが速くなるという結果になった。飲料水における UV ランプの光度の減衰は、水の再利用における者と同等だと予測される。従来の低圧ランプでは、1年間の使用後では 0.5 のランプ寿命係数が一般的である。さらに、保存期間を超過した取替え用ランプについては、ランプの出力低下が観測された。第 3 章のプロトコルに従ってデータが収集されて異なる設計値が生成されるまでは、この経年値が推奨される。多色ランプについては、ランプの経年およびランプの出力特性に対するファウリングの影響、ならびに放射される個々の波長は不明である。従って、追加のデータが入手できるまでは、同じ係数として仮定される。

3. リアクタの設計

利用できる数々のシステム構成（例えば、オープンチャンネル、閉回路、種々のランプ配向等）の理由から、UV 施設は異なるスケールアップ、レイアウト、および機械の余剰要件を有することになる。下記の言葉は、本文書を通して一貫して用いられる。

- **モジュール** UV 消毒システムの基本的建築ブロック。共通の電気供給を持った 1 つ以上の UV ランプを備える。
- **バンク** 所定のリアクタ系のフロー全体が通過しなければならない 1 つ以上の UV モジュール
- **リアクタ** 共通のダウンモード（例えば電気、冷却、清掃システム等）を有する 1 つまたは連続した複数のバンクの独立した組合せ
- **リアクタ系** 入口、出口およびレベル制御配置（該当する場合）を含む、連続したリアクタの組合せ
- **UV 消毒システム** リアクタ系と関連制御装置や器具類との組み合わせ

リアクタ系は照射領域内のプラグ流（すなわち、最小軸方向混合、効率的な側面混合）を促進するアプローチ、入口および出口条件を持って設計しなければならない。リアクタ系のフロー能力に応じた複数のリアクタ系の中には信頼できる流れ分布がなければならない。代替の流速場を測定することができて、これが第 3 章のプロトコルに従った十分な性能を提供すると証明されない限りは、入口への進入条件はリアクタ系の最初のリアクタの上流に均一な流速場を確立するのに十分な距離を与えなければならない。出口条件は、最後のリアクタ内の水力挙動が流体レベル制御装置または管継手の出口によって悪影響を受けないことを保証しなければならない。

用いられる機器にかかわらず、第 4 章に記載されるスタンバイ設備および信頼度特性が UV 消毒システムの設計に組み込まなければならない。

水力的制約

リアクタ系の入口および出口の設計は、UV メーカーおよび設計技師の責任である。水力テストは、UV 確認試験の一環として実施されなければならない（第 3 章参照）。あらゆる場合において、リアクタ系は、設備の確認のための用いられるものと同じ範囲のアプローチ速度で機能するように設計される。

飲料水機器用としては、パイロット規模の機器からのスケールアップは認められていない。第 3 章のプロトコルに従って確認された原寸大のリアクタのみを使用することがで

きる。確認されたリアクタのモジュール配置は、原寸大の機器で実施することができる。

UV 消毒システムのレイアウトにおいては、次の水力要素（機器の確認テストの結果に基づいたもの）に対応しなければならない。

1. 最初のリアクタより前に必要なアプローチの長さおよび条件
2. 最後のリアクタ以降で、流体平準化装置（該当する場合）またはその他の配管設備（例：バルブ、ベンド）以前の間のダウンストリームの長さ
3. 複数の UV リアクタの間のスペース。このスペースは、十分な水理学的挙動に加えて、メンテナンスおよびアクセスを可能にするものでなければならない。
4. 実際上の統一的な速度を達成するか、向上するために用いられるあらゆる装置、リアクタ部品その他の機能
5. クリーニング装置・メカニズムの存在および機能

理論的根拠

現在入手可能な情報に基づけば、照射領域内における過度な軸方向混合は、線量分布の拡散を推進することになる。同様に、何らかの液体的要素が、不十分な UV 線量を受ける場合には、不十分な側面混合によって、線量分布の幅広い拡散が促進される。適切に設計された入口構造およびアプローチは、UV リアクタ系の最初のリアクタに統一的な流動条件が課されるようにする上で役立つことになる。同時に、適切に設計された出口構造または配管は、出口条件が、最後のリアクタ内での流体挙動に悪影響を及ぼさないことを確保することになる。通常均一な流量分布が望ましいが、それは、照射領域における適切な流体力学的挙動を保証するものではない。入口と出口の条件が、配置、拡散器の位置、および／または、流量調整装置との関係で同一ではない場合、速度測定が必要になる。

リアクタ系のレイアウト上の制約

含まれているリアクタ系の数については、所定の UV 殺菌システムについての水力的制限およびターンダウン比を考慮したものでなければならない。低流量から最大流量の条件までの多様な変化に対応するために複数のリアクタ系が必要になる場合がある。リアクタ系の大きさおよびレイアウトは、リアクタ系の速度が、装置について確認されている速度幅内になるようにしなければならない。重要な設計上の要素には、次が含まれる。

1. リアクタ壁は、メーカー推奨に適合したものであること。
2. メンテナンス作業中、それぞれのリアクタ系を分離することができなければならない。
3. リアクタの建設またはコーティングおよび壁との接点において用いられている全ての素材は、NSF International Standard 61 Drinking Water System Components - Health Effects（米国規格協会国際規格 61 上水道システム部品－健康への影響）および適用があるその他の規則を遵守したものであること。UV 殺菌に晒される全ての物質は、UV 抵抗性があること。コンクリートの経路は、隙間に有機物が付着しないようにするために、適切に裏打ちするかコーティングすること。
4. 石英スリーブをきれいにするための化学物質は、NSF Standard 60 Drinking Water Treatment Chemicals - Health Effects に従って、認証および掲載されているものとするべき。
5. UV リアクタのアップストリームおよびダウンストリームの部分、ならびに、リアクタ間の部分は、水密性および光密性がなければならず（例：覆われている。）、また、外部の流水その他の物質が、UV リアクタ系に侵入することをふさぐものでなければならない。

理論的根拠

所定のリアクタについて受け入れ可能な速度幅を逸脱している極端な流量状態（即ち、低流量および最大流量）は、複数のリアクタ系の使用により緩和することができる。メンテナンス中にランプが壊れる可能性があることから、メンテナンス中にリアクタを隔離することができることは、汚染された水を閉じ込める上で役立つ。様々なリアクタ壁があることによって、UV 強度が低い場所が生じる場合もあり得るが、これは、不十分に殺菌された液体要素の通過を助ける場合がある。コンクリートの溝を裏打ちすることは、溝の隙間で微生物が聖域することを防ぐ上で役立つが、これは、殺菌機能に不利な影響を及ぼす可能性もある。リアクタ系は、バイオフィルムを含んでいる藻の繁殖を防ぎ、人の健康を守るために密封するか覆わなければならない。

清掃システムの制約

UV 消毒システムの一環として、清掃システムは、現場固有の水質要素（例：降雨、ならびに、鉄、カルシウム、アルミニウム、マンガン、その他の無機物および有機物による汚

染)を効果的に処理しなければならない。鉄、カルシウム、アルミニウム、マンガンおよびマグネシウムが飽和限界と比較して高濃度で存在する場合、現場固有のテストが推奨される。汚染テストは、商業的な清掃装置の最小の大きさのものを含む、十分なスケールで実施することができる。

理論的根拠

UV 消毒システムの有効性は、部分的には、清掃システムの性能によって維持される。鉄、カルシウム、アルミニウム、マンガンおよびマグネシウムは、清掃要件の有効性および頻度に影響することが観察されている。石英スリーブを汚染することになり得る濃度でこれらのいずれかが存在する場合には、現場固有のテストが推奨される。

4. 信頼性設計

飲み水を消毒するために設置することが提案される UV 消毒システムの信頼性については、スタンバイ装置、水質の信頼性、運転およびメンテナンス、電力供給の信頼性、電気保安、および、耐震設計等に特別の注意しなければならない。

スタンバイ装置

UV 消毒システムは、最悪の運転条件（例：流量、水質）においても、リアクタ系を通過する病原体に、設計 UV 線量（§2 参照）を届けるように設計されるべきである。システムが継続的な流量処理を行うことが必要であることから、最低一つのスタンバイ・リアクタ系を提供するものとする。UV システムをラインからははずすことができる場合、一つのリアクタ系を使うことができる。スタンバイ UV 装置は、それぞれのリアクタ系において、完全なスタンバイ UV リアクタ系または追加的な UV リアクタ系のいずれかを提供することによって利用できるようにしなければならない。スタンバイ UV 装置は、最大流量の消毒用に必要な UV 装置の 20%分に相当するものを最小とする。追加的には、提供されるスタンバイ装置の構成および水準は、アップストリームの工程において利用可能な構成および余剰分と整合的なものとすべきである。

UV 消毒システムは、必要な設計 UV 線量を、故障しているか使用していないリアクタに適用する能力がなければならない。故障は、電力供給、清掃メカニズム、および、電気機器の冷却システムを含む（これらに限られない。）あらゆる数の条件を理由とする。本項において記載されているスタンバイ装置の最低必要条件に加えて、UV 清掃システムが全面的に故障する可能性に備えて、緊急時対応策を策定すべきである。スタンバイ装置の用意および構成、ならびに、UV 消毒システムの全面的な故障に備えた緊急時対応策は、必要なエン

エンジニアリング・レポートに記載しなければならない。故障の場合には、UV システムは、スタンバイ系を自動的に起動し、故障した系を分離すべきである。

理論的根拠

システムの構成要素の故障は、あらゆる処理工程において予想されるものである。UV 消毒システムは、分配の前の構成要素の故障中、消毒された水を製造する能力がなければならない。継続的な流量の処理のために、メンテナンスおよび修理中、または、ライン上の一つのリアクタ系が故障した際に、流量から一つのリアクタ系を隔離するために、最低一つのスタンバイ・リアクタ系が必要である。

給水の水質の信頼性

水質の変化または、上流の処理工程の不調により、UV 消毒には不適当な水になる場合（例：過度の濁り、低い透過率）、必要なエンジニアリング・レポートにおけるそれらに対応する緊急時対応計画が実施される。

理論的根拠

低品質の UV 供給水は、適切に消毒することができない。

運転およびメンテナンス

UV 消毒システムの運転およびメンテナンス手続は、エンジニアリング・レポートに収録する。オペレータは、UV 消毒システムの運転についての具体的な訓練を受けるべきである。ランプの破産、および、それによる水銀の水流への放出は、水銀蒸気ランプを使用する UV 消毒システムの懸念事項である。リアクタ系は、メンテナンスおよび修理中、水流から切り離される。エンジニアリング・ランプの一部として、ランプの破損に対応した緊急時対応計画を策定しなければならない。

理論的根拠

信頼できる運転のためには、適切な訓練と、適時のメンテナンス、取り替え、および、システムの構成要素の校正が必要である。水銀は、公衆衛生および水生生物にとって破壊的でもあり得ることから、水銀の存在は懸念される。

電力供給の信頼性

継続的な電力供給を確保するために、UV 消毒システムには、予備電源およびループ配電

系統（送電線の一つが故障した場合用）を備えなければならない。同じ種類の UV 消毒システムの構成要素（即ち、リアクタ）は、同一のモードの故障を避けるために 2 以上の配電盤または切り替え盤に分けておく必要がある。

UV 消毒システムの設計は、利用されている技術を考慮しなければならない。特に、次を考慮しなければならない。

1. 短時間の停電：UV 消毒システムが短時間の停電から直ちに回復することができない場合、設計において無停電電源装置（UPS）を検討しなければならない。UPS 施設が備えられない場合、緊急時対応計画（即ち、蓄電）を用意しなければならない。
2. 環境温度：施設の設計では、バラスト冷却およびその他の電気装置への環境温度の影響に備えなければならない。
3. システム高調波：施設は、UV 消毒により生じる電気高調波の、プラントの電力供給その他の電気システムへの影響に対応しなければならない。

理論的根拠

UV 消毒システムは、電力なしでは運転できないことから、（水処理プラントに、代替的な信頼できる装備または消毒能力がない限り）信頼できる電力供給と予備電力は、継続的な消毒を確保するために不可欠である。複数の配電盤または切り替え盤を使うことによって、配電盤または切り替え盤の一つが故障したとしても、システムの一部が作動することが可能になる。

電気保安設計

UV 消毒システムには全て、漏電遮断（GFI）回路を備えなければならない。

理論的根拠

GFI 回路は、ランプまたは破損等、電気が水と直接接触するその他の状況の場合に、人への危険を最小化するために必要である。

耐震設計

UV 消毒施設（例：建物、構造、配管）は、システムが使用される地域の地震荷重特性に適用される耐震設計上の要件に従って設計されるべきである。同じ耐震設計基準が、UV 代

替装置が保管されている構造にも適用される。

理論的根拠

耐震設計を考慮することは、UV 消毒システムにおいて脆弱なもの（特にランプおよび石英スリーブ）が使われていることから、UV 消毒システムにとって特に重要である。UV 消毒システムの耐震安全設計は、少なくとも消毒の前の水処理施設の設計と同等であるべきである。これにより、プラントが製品を生み出すことができるときは、UV 消毒システムは、常に適切な消毒が行われることが確保される。

5. 監視装置および警告装置の設計

運転パラメータを継続的にモニターすることができることは、適切な消毒が行われることを確保するために UV 消毒システムの運転において重要である。運転可能な UV 線量および US 消毒システムの構成要素を調整するために用いられるパラメータの継続的にモニターすること、ならびに、オンラインのモニタリング装置の適切な較正は、UV 消毒システムの有効性を維持するために重要である。

継続的モニタリング

次のパラメータは、継続的にモニタリングされなければならない。

1. 流量
2. UV 強度
3. UV 透過率
4. 濁度
5. 運転可能 UV 線量

UV 消毒システム

次の UV 消毒システムの較正要素のモニタリングを行う。

1. それぞれの UV リアクタ系の状態、オン・オフ
2. 各 UV ランプの状態、オン・オフ
3. 一つのリアクタにつき最低一回の調査、および、5 キロワット(kW) の電力消費につき最低一回の調査（二つのランプにつき一回を超えない調査）により計測される UV 強度
4. ランプの使用時間

5. リアクタのオン・オフ・サイクルの累積回数
6. UV 消毒システムの累積電力消費量
7. リアクタの電力設置（ランプへの可変的な電源入力が必要なシステムの場合）
8. UV 消毒リアクタ系の液面（遊水位を伴う全ての UV 消毒システム、および、UV ランプが空気にさらされる可能性がある施設の場合）
9. GFI

モニタリング装置の確認および校正

UV 強度測定器の読み取りは、参考 UV 強度測定器を使って、最低毎月確認する（および、必要に応じ校正する。）（第 3 章参照）。オンライン強度測定器および参考測定器の場所は、性能の確認のために用いられている UV リアクタのものと同一の場所にしなければならない。濁度および UV 透過率モニタリング装置の校正は、メーカーの推奨に従って実施する。また、無作為抽出サンプルの UV 透過率の検査室測定は、毎週、オンライン透過率モニタリング装置の正確性を確認するために用いられる。

理論的根拠

流量、UV 透過率および UV 強度の測定は、運転可能な UV 線量を確定するために必要である。運転可能 UV 線量の継続的な決定は、技術的に可能であり、また、残留塩素の継続的なモニタリングについての現在の要件と整合的である。運転可能 UV 線量を確定するための手順は、エンジニアリング・レポート（セクション 8）に収録されている。濁度および UV 透過率モニタリング・データは、UV 流入質の悪化への対応を開始するために使用することができる。リアクタ系の水深は、（遊水層がある UV 消毒システムについては）一番上の UV ランプの上の水深が、事前に決められている設計上の最高値を上回ることを防ぎ（これを上回った場合、その結果消毒が不十分になる可能性がある。）、また、低水量レベルにより、ランプが水流から出て、UV 放射の効果を失うことを防ぐために慎重に制御しなければならない。各 UV リアクタおよび UV ランプの状態は、UV 消毒システムの運転のオンラインでモニタリングされる必要がある。UV 強度とランプ寿命は、清掃およびランプの交換の必要性を決定するために用いられる。GFI は、ランプの損傷等、様々な要因によって作動する。

アラーム

公衆衛生を保護するため、UV 消毒システムの運転には、高い優先度と低い優先度両方のアラームが必要である。放置された場合、高い優先度のアラーム状態は、UV 消毒システムのパフォーマンスを害することになる。低い優先度のアラーム状態は、UV 消毒システムの

パフォーマンスを害しないとしても、高い優先度の状態が生じる前に、是正措置を開始しなければならない。これらのアラームの設定点は、個々のサイトの条件に応じて変わってくる。設定点は、アラームの重要性およびその後の影響に基づいて、適切な対応時間を認めるべきである。アラームの設定については、エンジニアリング・レポートにおいて詳述される。最低限、次の高い優先度および低い優先度のアラームが必要である。

高い優先度のアラーム

- ・ 隣接したランプの故障—2以上の隣接したランプが故障したとき
- ・ 複数のランプの故障—一つのリアクタの5%を超えるランプが故障したとき
- ・ 低—低 UV 強度—強度測定器の測定値が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 低—低 UV 透過率—水の透過率が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 低—低運転 UV 線量—運転 UV 線量が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 高—高濁度—流入水の濁度が、事前に決められた設定点を上回ったとき
- ・ 高水位—UV リアクタ系の水位が、事前に決められた設定点を上回ったとき（遊水位の UV 消毒システムの場合）
- ・ 低水位—リアクタまたはリアクタ系の水位が、事前に決められた水位を下回ったとき
- ・ GFI

理論的根拠

低—低運転 UV 線量、低—低 UV 強度、および、高—高濁度アラームは、理由の如何を問わず、緊急事態対応計画に基づく対応を稼働する。その他の高い優先度のアラームについては、運転 UV 線量は、スタンバイ・リアクタまたはリアクタ系を稼働することによって増やすべきである（即ち、UV 消毒パフォーマンスが悪化しているとき）

低い優先度のアラーム

- ・ 個々のランプの故障（一つのリアクタの全ランプの5%未満の単独のランプの場合）—ランプの場所は、リアクタおよびランプの順番によって表示されることにある。
- ・ 低 UV 強度—強度測定器の測定値が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 低運転 UV 線量—運転 UV 線量が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 低 UV 透過率—流入 UV 透過率が、事前に決められた設定点を下回ったとき
- ・ 高濁度—流入水の濁度が、事前に決められた設定点を上回ったとき

理論的根拠

低運転 UV 線量および低 UV 強度アラームについては、UV 線量は、流入量の自動的な引

き下げ、ランプ出力の増加、または、リアクタもしくはリアクタ系の稼働によって引き上げるべきである。次にオペレータは、アラームの原因を調べ、対応することが必要である。その他の低い優先度のアラームは、メンテナンスが必要であることを示すものである。例えば、低 UV 透過率アラームは、低い優先度のアラームになり、オペレータは、問題を調べる必要がある。オペレータは、調査または修理中、適宜、スタンバイ・リアクタまたはリアクタ系を稼働することができる。

UV アラーム記録

高い優先度および低い優先度のアラーム状態はすべて、自動的に記録される。

6. 現場でのコミッショニング試験

次の事項は、UV 消毒水の生産および流通の前に試験され確認される。

1. 電気装置
2. 水位
3. リアクタ系間の水流の分割
4. 制御およびアラーム
5. 機器の校正
6. スポット・チェック・コミッショニング試験

最後の現場でのコミッショニング試験の結果を記録し詳述した報告書は、適切な水道施設の職員および規制機関による検討のために提出される。

理論的根拠

コミッショニング試験は、UV 消毒システムの適切な運転および、設計との適合を確保するために極めて重要である。

7. パフォーマンス・モニタリング

UV 消毒システムのパフォーマンスのモニタリングには、微生物のサンプル抽出、および、セクション 5 に記載されている継続的なオンライン計測が含まれる。

微生物のサンプル抽出

微生物の種類およびサンプル抽出の頻度は、規制機関の要件に従う。

理論的根拠

パフォーマンス・コンプライアンスのために必要なサンプル抽出プログラムは、規制機関が定めるサンプル抽出要件に従っていないなければならない。

運転 UV 線量のモニタリング

UV 消毒システムにより照射される運転 UV 線量は、セクション 5 において記載されているところから従って継続的に決定されモニターされる。

理論的根拠

他の継続的モニタリング・データとあわせた運転 UV 線量の継続的な決定は、塩素消毒システムにおける残留塩素のモニタリングに相当するものである。運転 UV 線量は、設計 UV 線量を維持しつつ、UV 消毒システムを最も効率的に使用するために用いることができる。残留塩素のモニタリングと同様、運転 UV 線量は、リアクタのパフォーマンス特性の決定的なパラメータではない。

8. エンジニアリング・レポート

エンジニアリング・レポートを提出したことがない水処理施設については、登録エンジニアが完全なエンジニアリング・レポートを作成し、UV 消毒システムの実施の前に、適切な規制機関に提出する。

例えば、規制当局に受け入れ可能なエンジニアリング・レポートが提出されており、消毒用として UV が提案されている既存の水処理施設については、次の種類の報告書が必要である。

1. 最後のエンジニアリング・レポートを提出してから、処理済み水の生産に変更または修正が行われていた場合（例：原料水もしくは処理済み水の水質、処理工程、プラントの信頼性特性、モニタリングまたは、運転およびメンテナンス手順）、完全かつ情報を更新したエンジニアリング・レポートが必要になる場合がある。UV 消毒システムのみを取り扱った簡略な報告書の代わりに、完全かつ情報を更新したエンジニアリング・レポートを提出することが必要かどうかは、規制機関の裁量によることになる。
2. UV 消毒システムならびに管理する処理および信頼性の特性のみを取り扱った簡略なエ

エンジニアリング・レポートは、提案されている変更が、消毒工程のみに関するものである場合（例：UV 消毒施設の附属の消毒施設の取り替えまたは強化）にのみ、受け入れ可能である。但し、エンジニアリング・レポートにおいては、上流の処理工程からの元の水の様々な水質に基づいて、UV 消毒システムが、どの程度処理工程系に組み込まれているかの評価を提供すべきである。

エンジニアリング・レポートの要素

エンジニアリング・レポートで取り扱うテーマには、次を含むべきである（これらに限られない。）

水の提供者

飲料水の生産に責任を有する官または民間の事業体を特定すること。複数の事業体が飲料水の生産にかかわっている場合、各事業体の責任を記述することが必要である。

原水

入手先、および、UV 消毒システムのパフォーマンスに影響を及ぼす可能性がある水質のパラメータの想定される範囲（例：変化する透過性）を記述すること。

処理工程

水処理施設全体の概略図を記述する（モニタリングの場所を含む。）こと。UV 消毒の対象になる水についての水質パラメータの想定される範囲を記述すること。

UV 消毒システムの設計の基礎

UV 消毒システムの略図および詳細な説明を記述すること。設計および運転要件が、確認プロトコル、および該当する場合、拡大要件に適合していることを明確に示すために十分詳細な情報を提供すること。最低限、次の情報を提供すべきである。

1. リアクタおよびリアクタ系のレイアウト、入口と出口の較正、リアクタ系の速度範囲、および、配管または溝の中で水流を変更するために用いられる装置
2. UV リアクタについての説明: UV ランプの数、メーカーおよび種類(アーク長を含む。)