

紫外線消毒設備技術マニュアル

1. はじめに

平成6年度に50%を超えた下水道処理人口普及率は、平成16年度末で68.1%にまで達している。こうした普及率の上昇に伴い、都市部では河川の流量に占める下水処理水の比率が増大し、中には流量の半分以上を下水処理水が占めている河川もある。さらに、下水処理場の放流先に水産資源が存在している事例や稀少生物が生息している事例、また放流先の下流において、水道水源として河川水を利用する事例があり、ますます下水処理水の安全性が求められている。

下水処理水の放流先水域の衛生学的安全性を保つために、下水処理場における放流水の消毒には、従来、塩素剤が主に用いられてきた。しかし、塩素剤は水中の有機物と反応して、上水の水質基準項目に含まれているトリハロメタン等の消毒副生成物を発生し、残留塩素は放流域の生物相に影響を与える可能性がある等の点が指摘されている。

放流先における安全な利水および生態系維持の観点から、近年、紫外線消毒法を用いる施設が増えつつあり、2005年3月時点において、国内90ヶ所以上の下水処理場での導入実績がある。しかし、紫外線消毒設備の設計にかかわる実用的なマニュアルはこれまで存在しなかった。このため、これまでの実績や過去の実験から得られた性能、維持管理性等の調査結果に基づいて、紫外線消毒設備の技術的事項を整理しマニュアル化することで、最適な設備の建設・維持管理が行われるようにするものである。

2. 技術マニュアルの概要

今回とりまとめた「紫外線消毒設備技術マニュアル」は、下水処理場の高級処理水、高度処理水の消毒を対象とした紫外線消毒設備の計画、設計、施工、維持管理に適用する。

本マニュアルの作成に際しては、導入済み処理場へのアンケート調査を行い、紫外線消毒設備を有する地方自治体等における紫外線消毒設備の導入の背景や効果、維持管理状況を調べることで、紫外線消毒設備の適用領域を明確化し、維持管理の現状を把握した。また、紫外線消毒の原理、特徴、使い分け、性能を明らかにし、計画、設計、維持管理に関する技術的事項についてとりまとめている。

今後、下水道管理者が既存消毒設備を改築する場合や処理場を新規設計する場合に、紫外線消毒設備の導入検討、設計検討を行う際の活用が期待される。具体的には、以下のようなマニュアルの活用が挙げられる。

- ①紫外線消毒設備の計画、設計、施工および維持管理の際の内容および留意事項を容易に把握でき、各段階における判断をすることができる。
- ②紫外線ランプの点灯時間と紫外線強度の低下率の関係を示しており、紫外線ランプの寿命時間等を把握することができ、適切なランプ交換時期を判断することに活用できる。

- ③モデル設計例として、開水路浸漬型紫外線消毒設備や密閉流通型紫外線消毒設備の計算例および機器選定例を示しており、設計の内容や流れを把握できる。
- ④開水路浸漬型および密閉流通型紫外線消毒設備の機器仕様を整理し掲載しており、選定時の参考とすることができる。
- ⑤工事積算基準や特記仕様案についても整理されているため、工事発注の際の参考とすることができる。

3. 技術マニュアルの内容

3.1 紫外線消毒の特徴

紫外線消毒の特徴を塩素消毒と対比して整理したものを表-1に示す。

表-1 紫外線消毒の特徴

項目	紫外線消毒	塩素剤による消毒
消毒機構	紫外線吸収による核酸の損傷 →複製機能停止→増殖不能	細胞膜機能への直接作用 →細胞膜損傷による細胞成分の漏出
残留性および消毒副生成物	残留性がないため、過剰照射の影響はないが、光回復現象が起こる場合がある	残留性があり、消毒効果が継続するが、過剰注入が起こった場合に水棲生物への影響の可能性が高い
消毒必要時間	照射時間：数秒～数十秒	接触時間：15分以上
設置面積	設置面積小	設置面積大
照射量/注入量の制御	時間最大水量と紫外線透過率から一定の照射量を決定	処理水の水量および水質に応じて注入量を変動させる
消毒の目安	ランプの照度、処理水量	残留塩素濃度0.1mg/l
その他	ランプの劣化（約1年=9000時間）があり、定期的な交換が必要	次亜塩素酸ナトリウムの劣化（標準貯蔵期間7～8日）があり、必要量以上の貯蔵不可

3.2 紫外線ランプの特徴

消毒に用いる紫外線ランプは放電管内部に封入された水銀蒸気圧の違いにより、低圧ランプと中圧ランプの2種類のランプに分類される。低圧ランプは、投入電力に対する殺菌線の変換効率が高いが、ランプ1本あたりの出力が低いものが多い。中圧ランプは、エネルギー効率は低圧ランプの2分の1～3分の1程度であり、出力の大きなランプが製作できる。低圧ランプに比べるとランプ本数が抑えられるため、規模の大きな処理場に適用する場合に有利である。

3.3 通水方式

紫外線消毒設備には通水方式により、密閉流通型と開水路浸漬型の2つのタイプがある。

密閉流通型紫外線消毒設備はランプを密閉容器内に設置し、汚水処理水を流通させる形式である。開水路浸漬型紫外線消毒設備は、汚水処理水が流れる水路にランプを浸漬する形式である。密閉流通型紫外線消毒設備を写真-1に、開水路浸漬型紫外線消毒設備を写真-2に示す。



写真-1 密閉流通型紫外線消毒設備

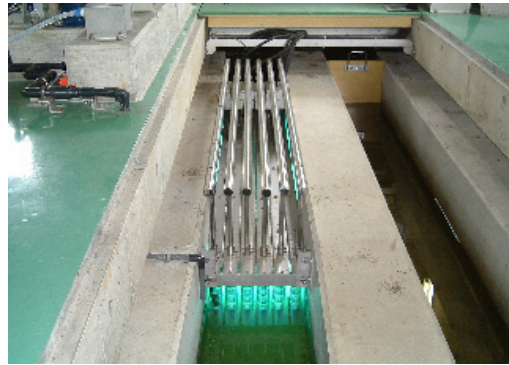


写真-2 開水路浸漬型紫外線消毒設備

3.4 適用事例

紫外線消毒設備の採用事例を調査した結果、放流先に溪流魚やノリなどの水産資源があり、これを保全する地域やオオサンショウウオなどの稀少生物を保全する地域における処理施設、あるいは放流先の下流において水道水源として河川水を利用する地域における処理施設、また修景用水等に汚水処理水を再利用する処理施設が大半であった。紫外線消毒設備を有する下水処理場に紫外線消毒設備を導入した経緯についてアンケートした結果を図-1に示す。

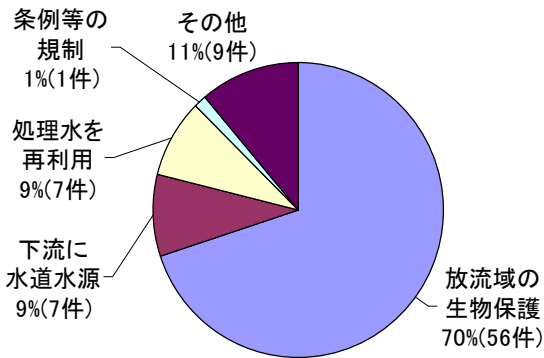


図-1 紫外線消毒設備を導入した理由

3.5 適用範囲

紫外線消毒は、汚水処理水の放流先において特定の水棲生物を保全する地域がある場合や、放流先の下流において水道水源として河川水を利用する場合、あるいは処理水を修景用水等に再利用する場合の消毒方法として有効である。再利用水に対する紫外線消毒設備の採用は修景用水への利用を基本とし、散水用水、親水用水等への利用時は、水質に十分留意する。

3.6 計画

下水道の全体計画に基づき、消毒設備の新設・改造の

区分および消毒設備の設置箇所など消毒に関する基本フローを決定する。また、ランプの種類および通水方式を決定する。

3.7 条件設定

(1) 計画処理水量の設定

紫外線消毒は、ランプの有効照射範囲内のみで消毒するため、処理能力以上の水量増加は、照射時間が減少し消毒性能の低下につながるおそれがある。したがって、本設備の計画水量は、計画時間最大汚水量を採用する。

(2) 紫外線透過率の設定

汚水処理水の紫外線透過率は、各処理場において実測することを基本とする。新設処理場に設置する場合など、紫外線透過率の測定が困難なときは、汚水処理水の紫外線透過率は、70%以上を標準とする。

(3) 消毒性能の設定

殺菌性能のデータをまとめたグラフを図-2、図-3に示す。図-2のグラフより、紫外線照射量 300~500J/m²で、99.9%以上の殺菌率が得られていることがわかる。また、図-3のグラフより、紫外線照射量 300~500J/m²で消毒後の大腸菌群数がいずれの場合も 10 個/cm³以下となっており、光回復による大腸菌群数の増加（増加率約 30 倍）を見込む場合でも、大腸菌群数を安定的に 3,000 個/cm³以下とすることができる。よって、消毒直後での大腸菌群の平均殺菌率は 99.9%、必要な紫外線照射量を 300~500J/m² (30~50mW・sec/cm²) と設定する。

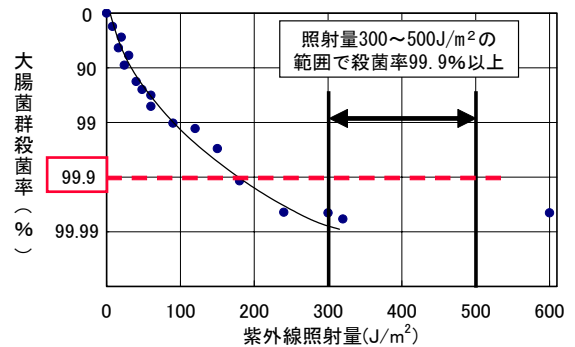


図-2 紫外線照射量と大腸菌群数殺菌率の関係
照射量 300~500J/m²でいずれの場合も 10 個/cm³以下

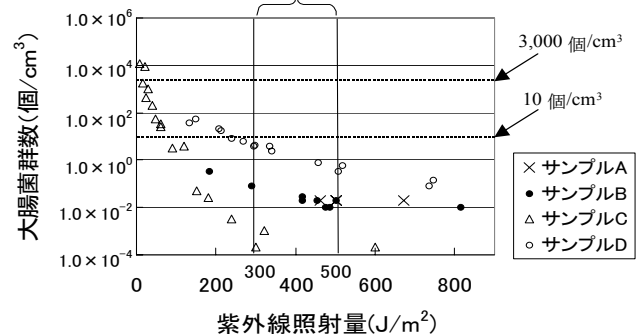


図-3 紫外線照射量と消毒後の大腸菌群数の関係

紫外線照射量は、紫外線強度と照射時間の積で表される。

$$\text{紫外線照射量} = \text{紫外線強度} \times \text{照射時間}$$

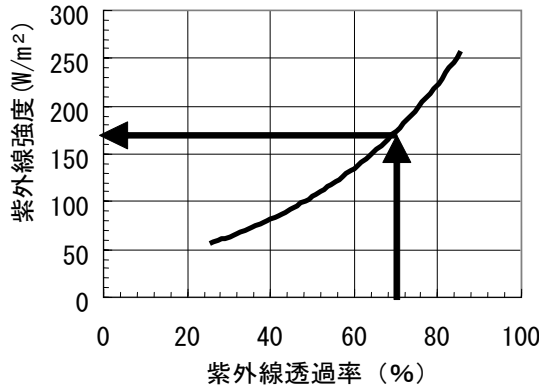
紫外線消毒設備の設計においては、紫外線強度と照射時間を設定して、必要な紫外線照射量を確保する。紫外線消毒設備の設計においては、紫外線強度と照射時間を設定して、必要な紫外線照射量を確保する。

3. 8 設計

本マニュアルでは、密閉流通型紫外線消毒設備と開水路浸漬型紫外線消毒設備の設計手順を示すと共に、その計算例を参考資料に示している。以下に開水路浸漬型紫外線消毒設備の設計手順例を示す。

(1) 設計紫外線強度

紫外線強度は、任意の点における合計紫外線強度の平均値を点光源合計法により理論的に算出する。予想紫外線強度曲線の例を図一4に示す。予想紫外線強度曲線と紫外線透過率から紫外線強度を読みとった上で、経年変化による出力低下等を加味した上で、設計紫外線強度とする。



図一4 予想紫外線強度曲線の例

(2) 照射時間

消毒に必要な紫外線照射量と、設計紫外線強度から、必要となる照射時間を求める。

$$T = \frac{D}{I} \dots\dots\dots \text{式1}$$

T : 照射時間 (sec)
D : 紫外線照射量 (J/m²)
I : 設計紫外線強度 (W/m²)

(3) ランプ1本当たりの処理可能水量

照射時間と単位ランプ有効容積から、式2によって、ランプ1本当たりの処理可能水量を求める。

$$q = \frac{V}{T} \times 10^{-3} \times (24 \times 60 \times 60) \dots\dots \text{式2}$$

q : ランプ1本当たりの処理可能水量 (m³/日)
V : 単位ランプ有効容積 (L) (参考値 : 7.6L)
T : 照射時間 (sec)

(4) ランプ本数

ランプ1本当たりの処理可能水量と計画処理水量から、式3によって、必要ランプ本数を求める。

$$n = \frac{Q}{q} \dots\dots\dots \text{式3}$$

n : 必要ランプ本数 (本)
Q : 計画処理水量 (m³/日)
q : ランプ1本あたりの処理可能水量 (m³/日)

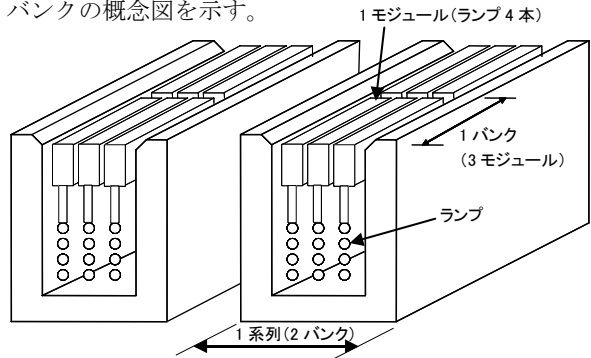
(5) ランプ配列

必要ランプ本数を満たすように、UVモジュールを選定し、モジュール数、バンク数、系列数を決定する。表一2から1モジュールのランプ本数を決定し、UVモジュール数を選定する。

表一2 UVモジュールの標準選定表

1モジュールのランプ本数	1バンクの最大UVモジュール数	1バンクの最大ランプ本数
4本	4モジュール	16本
6本	12モジュール	72本
8本	16モジュール	128本

次に、1バンクのモジュール数、1系列のバンク数、系列数を決定し、式4をもちいて、総ランプ本数が必要ランプ本数を満たしているか確認する。図一5にUVモジュールとバンクの概念図を示す。



図一5 UVモジュールとバンクの概念図

$$N = n_m \times M \times B \times K \geq n \dots\dots \text{式4}$$

N : 総ランプ本数 (本)
n_m : 1モジュールのランプ本数 (本/モジュール)
M : 1バンクのモジュール数 (モジュール/バンク)
B : 1系列のバンク数 (バンク/系列)
K : 系列数 (系列)
n : 必要ランプ本数 (本)

(6) 水路の設計

ランプ配置、水理特性を満足する水路設計をおこなう。開水路浸漬型の紫外線消毒設備の場合、装置の形状は、総ランプ本数、ランプ配列、UVモジュールの種類によって異なる。装置の形状に合わせて装置幅、装置浸漬深を決定し、紫外線消毒水路の設計を行う。

(7) 水位制御装置の設計

汚水処理水の流量の変動に伴い、装置付近の水位変動を制御するために、水位制御装置を設置する。水位制御装置には、特殊越流堰と自動水位調整ゲートの2つの方式がある。

3. 9 施工と試運転

開水路浸漬型紫外線消毒設備と密閉流通型紫外線消毒設備の施工手順を整理すると共に、各装置設置時および試運転時における留意点を整理した。

3. 10 維持管理

紫外線消毒設備の維持管理事項として、運転管理、安全管理および保守点検について整理した。保守点検については、点検項目毎の頻度を目安で示すと共に、ランプの種類別の点灯時間と紫外線強度の低下曲線を示し、概ねの交換時期を示した。

4. まとめ

本マニュアルは、これまでの実績や過去の実験から得られた性能、維持管理性などの調査結果に基づき、紫外線消毒設備の適用範囲、特徴、施設の設計、施工、維持管理などに係る技術的事項をとりまとめたものである。本技術マニュアルを用いることにより、消毒設備の計画、設計等を行う際の一助になれば幸いである。