

# 下水処理水の紫外線殺菌装置に 関する調査研究

## 1. 目的

従来、下水処理の分野においては、処理水の衛生学的安全性を確保するために塩素消毒法が用いられてきた。しかし近年、有機塩素系化合物等の副生成物や水生生物への影響等、塩素消毒法特有の問題点が指摘されている。

愛知県と本機構は、塩素消毒法の代替法として紫外線殺菌法を取り上げ、その衛生学的安全性と水質の影響などについて調査・検討し、施設整備方針を策定することを目的とした共同研究を行っている。平成5年度は、文献調査により各種の代替消毒法の中から紫外線殺菌法を選択し、調査計画を立案した。平成6年度は、実規模の紫外線殺菌装置を用いて各種の安全性指摘と施設の維持管理性を調査するとともに、塩素消毒装置との性能比較を行った。

## 2. 消毒施設

矢作川浄化センターでは、2段嫌気好気活性汚泥法に凝集剤添加法を併用した処理を行った後、全量を砂ろ過している。消毒装置としては、次亜塩素酸ソーダ添加装置が設置されている。

紫外線殺菌には砂ろ過水を用い、全量を紫外線殺菌槽に流入させている。なお、対比するため紫外線殺菌灯を消灯し、次亜塩素酸ソーダを添加することにより塩素消毒試験を行った。

紫外線殺菌装置を図-1に、紫外線殺菌装置仕様を表-1に示す。

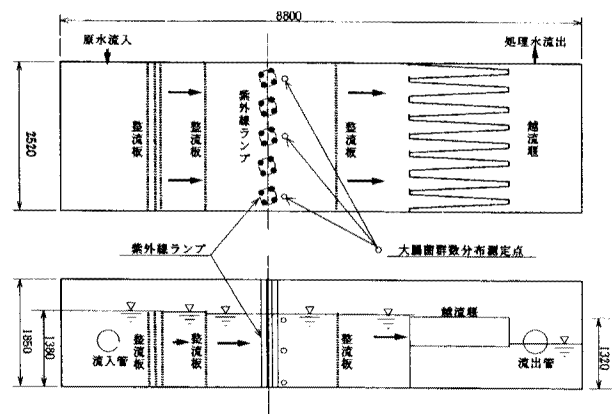


図-1 紫外線殺菌装置概略図

表-1 紫外線殺菌装置仕様

処 理 水 量	20,000 m <sup>3</sup> /日
装 置 形 式	垂直浸漬型 自動清掃装置付
紫外線殺菌灯形式	低圧水銀灯 出力1KW/本
ユ ニ ッ ト 数	5ユニット (4本/ユニット)
平均紫外線強度	5.23 mW/cm <sup>2</sup> /ユニット
平均照射時間	約7.9秒
平均紫外線照射量	41~17 mW·S/cm <sup>2</sup>

### 3. 調査内容

本研究では、紫外線殺菌法に関する

- (1) 一般水質
- (2) 副生成物
- (3) 殺菌効果
- (4) 槽内殺菌効率
- (5) 光回復
- (6) 維持管理

について四季にわたって調査を行うとともに、塩素消毒法との比較を行った。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 一般水質

pH, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, 窒素（四態）、紫外線透過率等の水質指標により、紫外線殺菌による水質への影響を調査するとともに、紫外線殺菌効果を判定するための参考とした。この結果、各項目とも紫外線照射によると思われる化学的変化は認められなかった。また、殺菌効果に影響を及ぼすSSは1.7mg/l以下、紫外線透過率は74~79.7%と紫外線殺菌に適した値を示していた。

#### 4.2 副生成物

塩素系化合物等11項目について調査した結果、紫外線殺菌時・塩素消毒時ともに処理水の水質が良好で、定量限界値以下の値を示したため、各消毒法による影響は評価できなかった。

#### 4.3 殺菌効果<sup>1) 2)</sup>

大腸菌群等の生物学的指標により、紫外線照射による殺菌効果を評価した。

- (1) 大腸菌群数・糞便性大腸菌群数・腸球菌数

大腸菌群、糞便性大腸菌群および腸球菌に対する殺菌性能を、紫外線照射後の生存数により評価した。調査の結果、それぞれ最大で8,700個/100ml、3,700個/100mlおよび970個/100mlを示した。大腸菌群数に関しては、矢作川浄化センターの目標水質300個/ml以下を十分満足していることが確認された。

大腸菌群数と糞便性大腸菌群数の比較は一般的に10:1程度と言われており、欧米の報告との比較等に用いられている。本調査結果においても、殺菌前（図-2参照）には同程度の比率を示した。これに対し殺菌後（図-3参照）は、

平均して10:4程度を示した。このことは、大腸菌群数と糞便性大腸菌群数の紫外線に対する感受性の違いを示していると考えられる。この点に関しては、今後、諸外国における調査データとの比較を行うに当たり重要な問題となるので、平成7年度も継続して調査を行う予定である。

- (2) 大腸菌フェージ

大腸菌フェージに対する殺菌性能を紫外線照射後の生存数で見ると、最大で40PFU/100mlであった。

この値は大垣らの報告にある、比較的清浄な都市河川における値に近いものであった。

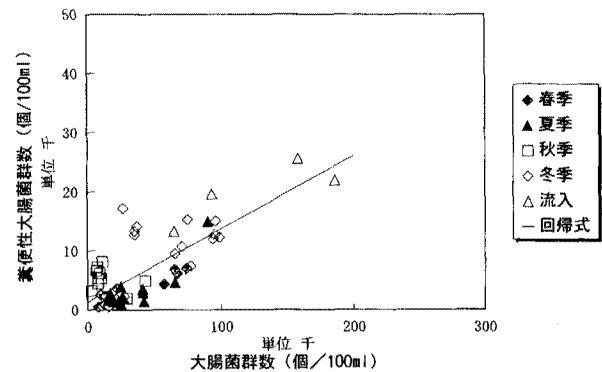


図-2 殺菌比率（殺菌前）

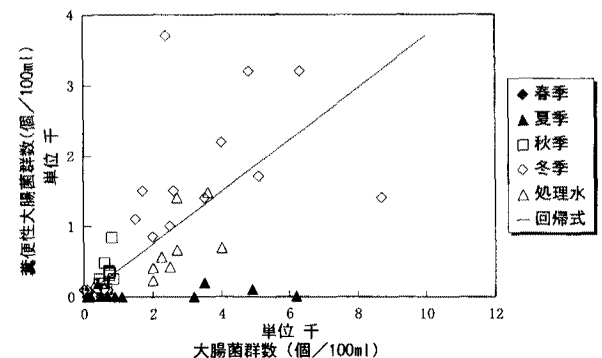


図-3 菌数比率（殺菌後）

#### 4.4 槽内殺菌効率

紫外線殺菌槽内の大腸菌群数分布を槽横断面等で測定する事により、槽内の殺菌効果のばらつきを調査した。

調査は、図-1に示すように、殺菌灯直後の槽横断面を表、中、底層および左岸、中央、右岸の9点に分割した測定を行った。

調査の結果（表-2参照）、槽底層部で殺菌率の低下が見られた。このことから、底部に短絡流が存在すると考えられた。この対策として、紫外線殺菌

灯下部に短絡流防止板を設けたところ、槽内における殺菌率の偏りは改善された。しかし改善後にも、本装置に期待される殺菌率は得られていないことから、今後さらなる調査・検討が必要と考えられる。

表-2 槽内殺菌効率

(単位: 個/100mℓ)

	短絡流防止前			短絡流防止後		
	左岸	中央	右岸	左岸	中央	右岸
上層	0	2	0	8	4	6
中層	3	58	9	2	1	3
下層	8,000	120	25,200	5	6	10

次に、暗所保管による光回復への影響を見ると、暗所保管時間20~60分において光回復率が低下する傾向が見られた。この事は、紫外線殺菌処理水が暗渠に20~60分間滞留することにより、光回復が抑制される可能性があることを示唆している。

表-3 光回復実験結果

測定項目	測定条件	紫外線殺菌前	紫外線殺菌後	光回復後(暗所保管時間)			
				0分	20分	40分	60分
大腸菌群数	測定値(個/100mℓ)	27,300	1	34	2	4	4
	光回復百分率(%)	-	99.99	0.12	0	0.01	0.01
	log回復率	-	-	1.53	0.3	0.6	0.6

#### 4.5 光回復<sup>3)4)</sup>

紫外線照射を利用した微生物(大腸菌等)の殺菌には、光回復と呼ばれる現象が伴う。

当調査では、大垣らの手法に準じ、紫外線照射直後の水に蛍光灯による可視光を照射し、大腸菌群および糞便性大腸菌群の光回復率を調査した。また、矢作川浄化センターでは、殺菌後、滞留時間30~60分間の暗渠を経由して放流される。この暗渠滞留による光回復への影響を調査するため、紫外線照射後の水を暗所保管した後、可視光を照射する実験を行った。調査結果を表-3に示す。なお、光回復百分率およびlog回復率は、式-1および式-2により算出した。

調査の結果、紫外線照射直後における光回復百分率およびlog回復率は、大腸菌群数で、それぞれ0.12%および1.53であった。

$$\text{光回復百分率} = \frac{(\text{光回復後の微生物数} - \text{紫外線殺菌後の微生物数})}{(\text{紫外線殺菌前の微生物数} - \text{紫外線殺菌後の微生物数})} \times 100 \quad \dots\dots \text{式-1}$$

$$\text{log回復率} = \log \frac{(\text{光回復後の微生物数})}{(\text{紫外線殺菌後の微生物数})} \quad \dots\dots \text{式-2}$$

Lindenauerらは、光回復百分率は紫外線照射量と逆相関の関係にあり、15mW・s/cm<sup>2</sup>の照射量の時、光回復百分率は0.1%程度になると報告している。

これに対し、本装置による紫外線照射量は33mW・s/cm<sup>2</sup>程度と推定されることから、報文と同程度の光回復は示していると考えられる。なお、現状では殺菌後の大腸菌群数は非常に少ないので、光回復が起こっても処理目標値は十分達成できると考えられる。

#### 4.6 維持管理

##### (1) 紫外線殺菌灯保護管の汚れ

紫外線殺菌灯保護管の汚れは、紫外線照射強度を低減させ、殺菌効率を低下させてしまう。この汚れを調査するため、殺菌灯保護管の紫外線透過率を測定した。

調査の結果、運転820時間時に透過率は約79%へと低下していた。そこで、リン酸による拭き取り清掃を行ったところ約100%へと回復した。この汚れの原因物質は、カルシウム、アルミニウムを主成分とする非結晶性のスケールであった。その後の調査(清掃後2204時間運転時)では、透過率は約94%を維持していた。

本紫外線殺菌装置は、自動清掃装置により定期的な清掃を行っている。しかし、上記のようなスケールは十分に除去できないので、保護管の汚れ具合によっては、人力による清掃が必要となる。なお、清掃後の紫外線透過率の低下率が小さくなっているが、これは、矢作川浄化センターで用いているPAC添加凝集活性汚泥法のPAC添加率を少なくしたことも一因であると考えられるので、今後も継続調査を行う予定である。

##### (2) 紫外線殺菌灯の寿命

矢作川浄化センターで使用している紫外線殺菌灯の設計寿命は、運転13,000時間時に55%の照度を保持できることとされている。この殺菌灯寿命を調査するため、紫外線殺菌灯保護管を除いた殺菌灯単体の照度を計測することとした。

平成6年度では、運転5,800時間時に調査を行った結果、80~89%まで照度が低下していた。

紫外線殺菌灯照度の低下率は、ある時点から

急に早くなると言われているので、上記設計寿命に関して、平成7年度も継続調査を行う予定である。

(3) 付着藻類

矢作川浄化センターでは、太陽光による付着藻類の増殖を防止するため、紫外線殺菌槽上部を覆蓋している。しかし、紫外線殺菌灯から発生する可視光の照射を受ける部分に、藍藻類 (*Oscillatoria* sp.) が付着増殖する現象が見られた。この様な藻類の付着は槽の清掃頻度が増えることを意味し、装置の維持管理上好ましくない。

平成7年度調査では、遮光版等なんらかの付着防止対策について検討を行う予定である。

4.7 塩素消毒との消毒効果比較

塩素消毒による殺菌効果を、紫外線殺菌と比較した。なお、当調査での塩素注入量は、夏季で遊離残留塩素濃度0.3mg/l、冬季で0.1mg/lの設定とした。調査結果を表-4に示す。

調査の結果、遊離残留塩素濃度0.3mg/l注入時において塩素消毒法が紫外線殺菌法より高い消毒率を示した。

表-4 殺菌率

(単位：%)

	夏 季		冬 季	
	紫外線	塩素	紫外線	塩素
大腸菌群数	99.3	100	99.2	96.9
糞便性大腸菌群数	97.2	100	87.4	97.9
腸球菌群数	94.8	100	92.5	98.1
大腸菌 ファージ	92.7	97.9	-	-

5. まとめ

- 紫外線殺菌により、矢作川浄化センターの衛生的目標水質を達成することが出来た。
  - 紫外線殺菌法、塩素消毒法ともに副生成物は見られなかった。
  - 本処理場における光回復率は、低い値を示した。また、暗所保管による光回復への影響が見受けられた。
- 平成7年度では、以上の点に着目し、施設整備方針を策定するため、次の調査を行う。
- 殺菌率向上
  - 紫外線殺菌法、塩素消毒法、塩素および紫外線の併用による殺菌法
  - 光回復の影響
  - 維持管理性、経済性

<参考文献>

- 1) Environmental Protection Agency  
Ultraviolet Disinfection Technology Assessment (紫外線消毒技術評価) P13~15
- 2) 大垣 眞一郎  
ウイルス指標としてのバクテリオファージ  
水道協会雑誌 第62巻第10号(第709号)  
1993 P22~27
- 3) 大垣 眞一郎他  
紫外線照射水処理における光回復の評価  
水環境学会誌 第18巻 第1号 P44~50  
1995
- 4) Karl G. Lindenauer Jeannie L. Darby  
EVALUATION OF ULTRAVIOLET LIGHT  
DISINFECTION: SIGNIFICANCE OF PHOTO-  
REACTIVATION  
Speciality Conference Series May 23—25  
1993  
Water Environment Federation

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長 佐藤 和明  
研究第一部主任研究員 伊藤 久明  
技術部研究員 水見 直孝