

下水処理水の紫外線殺菌装置に関する調査研究

1. 目的

1. 目的

愛知県と（財）下水道新技術推進機構は、平成5～7年度にかけて、愛知県矢作川流域下水道矢作川浄化センターにおいて、紫外線殺菌を用いた殺菌法について調査・解析を行い、その安全性検討と設備整備方針の策定を行った。

2. 調査内容

平成5年度では、オゾン・紫外線・その他、各種の消毒方法に関する文献調査を行い、実規模の紫外線殺菌装置（図-1参照）を用いて行う調査計画を立案した。

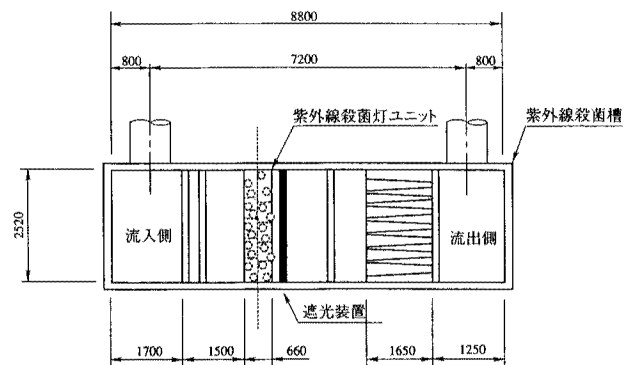
平成6年度からは、この計画に基づき、紫外線殺菌装置の機能評価を主目的とした調査を行った。

調査の最終年度に当たる平成7年度では、これまでの調査結果に基づき装置の改良を行うと共に、前年度の継続・補完調査を行った。

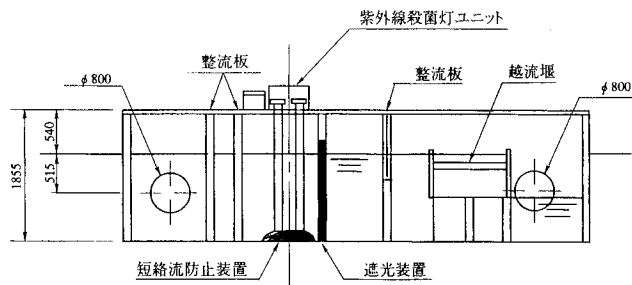
3. 装置の改良

(1) 底部短絡流防止装置

平成6年度の偏流試験の結果より、紫外線殺菌灯下部に短絡流が存在している事がわかった。この対策として底部短絡流防止装置を設置したところ、短絡流はほぼ無くなり、殺菌効果は大幅に改



平面図



断面図

図-1 紫外線殺菌装置概略図

善された。

(2) 遮光装置の設置

本実験に用いられている紫外線殺菌槽は、供用開始後、ゴミ混入および藻類発生防止対策として上部を覆蓋した。しかし、その後も殺菌灯周辺に藻類の付着生育が認められた。また、偏流調査により、紫外線殺菌槽内において、光回復現象が起きていることが確認された。この2点より、紫外線殺菌灯自体を発生源とした、殺菌効果を持つ紫外線以外の近紫外線および可視光線が存在している事が分かった。以上の対策として、平成7年度の調査過程において、殺菌灯下流側（殺菌灯より20cm下流側）に遮光装置（図-2参照）を設置したところ、藻類の付着生育防止および槽内光回復現象の抑制ができた。

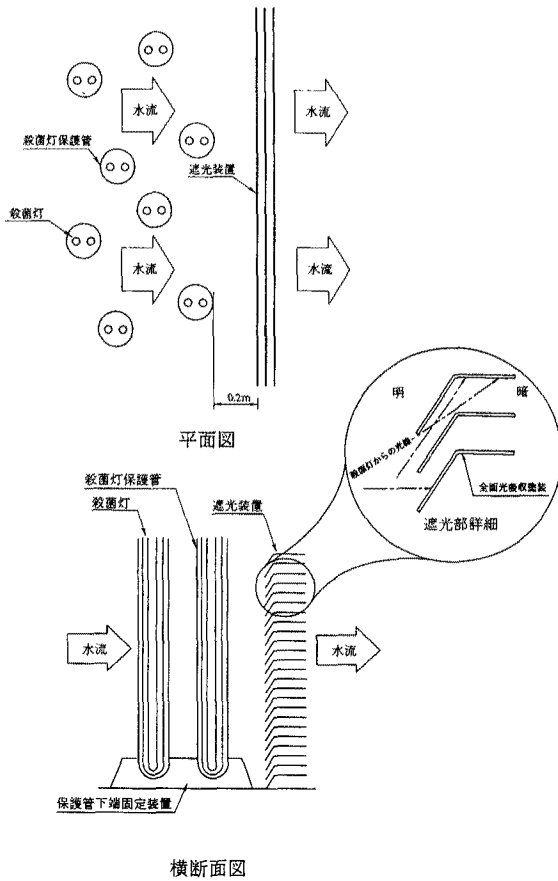


図-2 遮光装置概略図

4. 結果

4.1 一般水質 (13項目), 副生成物 (16項目)

紫外線照射によると思われる変化や生成は、各項目とも見られなかった。

紫外線透過率とCOD_{Mn}の間には相関性が見られ (相関係数 $r=0.775$, $n=113$), COD_{Mn}の上昇に伴

い紫外線透過率が減少し、透過率の低下により殺菌効果が低下した (図-3参照)。また、紫外線透過率への影響が大きいSSに関しては、原水が砂ろ過水である事から、SS濃度が低く影響を検証できなかった。

紫外線殺菌は、処理水中のSSから受ける殺菌効果への影響が大きい。そのため、効率の良い殺菌を行うには、砂ろ過等の高度処理を行うことが望ましいと考えられる。

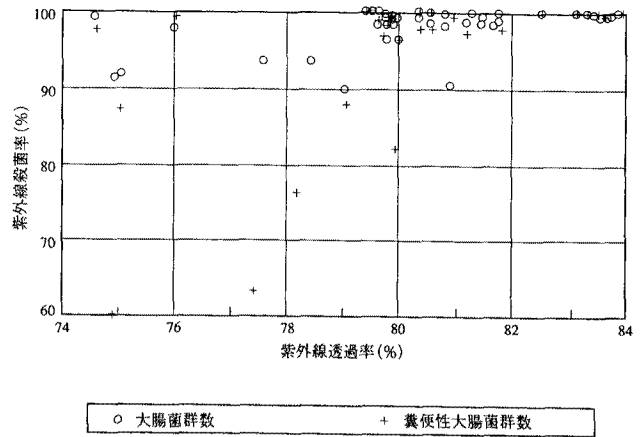


図-3 紫外線透過率と紫外線殺菌率の関係

4.2 殺菌効果

(1) 大腸菌群数・糞便性大腸菌群数・腸球菌群数

矢作川浄化センターでは、独自の水質基準として大腸菌群数300個/ml, 殺菌率99%という数字を挙げている。本調査では、紫外線殺菌法により、上記の数値をほぼ満足できる事がわかった。(図-4参照)

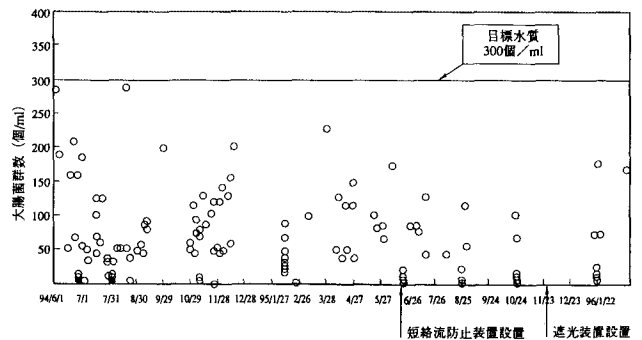


図-4 大腸菌群数生存数

(2) 大腸菌ファージ

紫外線殺菌後の大腸菌ファージ数は、平成6年度で最大40PFU/100mlであったのに対し、平成7年度で最大2PFU/100mlであった。これらの値は、大垣らの報告¹⁾にある、比較的清浄な都市河川における値よりも低い数値であった。なお、平成7年度の値は前年度よりも向上していたが、この時の原水中のファージ数は15PFU/100mlと低かったことから、殺菌効果の向上が、前述の装置の改良によるものであるか否かは、判定できなかった。

4.3 変異原性

現在、下水処理水に対する変異原性試験は研究途上であり、種々の試験方法が試みられている最中である。従って、その評価方法も確定されておらず、今回の調査においても、今後の多様な要求に対応できるよう、Rec-Assay法²⁾およびumu-test³⁾による試験を行った。その結果、いずれの手法においても結果は陰性を示しており、特に高い変異原性は示さなかった。

4.4 水生生物に関する影響

紫外線殺菌処理水を用いて、スサビノリの生育実験を行った結果、処理水添加量の増加に伴い、発芽率が高くなる傾向を示した。生存数については、顕著な影響が見られなかった。

下水処理水がノリの生育に影響を及ぼす原因の一つとして、処理水中に含まれるアンモニア性窒素と、そこに添加された塩素との間で起こる化学反応により生成されるクロラミン⁴⁾があるとされている。本調査においても、処理水に塩素を添加した培養液を作り、スサビノリの生育実験を行った。しかし、矢作川浄化センターの処理水がアンモニア性窒素をほとんど含んでいなかったため、生存数・発芽率に対する影響は見られなかった。

将来、アンモニア性窒素の含有量が増加したとしても、「4.2 一般水質、副生成物」で述べたとおり、紫外線殺菌法を用いると、水質変化や副生成物、特にクロラミンが生成されない事から、紫外線殺菌法による水産生物への影響は少ないと考えられる。

4.5 光回復実験

紫外線殺菌に伴う光回復現象については、多くの調査・研究がなされてきた。本調査で得られた結果も、これら既報⁵⁾と同程度の光回復率を示していた。しかし、これらの実験は、紫外線照射直後に可

視光線を照射するというものであり、矢作川浄化センターの様な、紫外線照射後23~46分間暗渠を經由した後、光照射を受けるという条件については検証されていなかった。そこで、本調査業務では、紫外線照射直後の処理水を0~120分間暗所保管した後、可視光線を照射する実験を行った。その結果、紫外線照射後に20分以上の暗所保管を行った場合に、光回復が抑制されることが判明した(図-5参照)。

報文では、紫外線照射強度が高いと光回復率は低くなるという報告がされている。北米で用いられている紫外線殺菌装置は、その殺菌目標値が高い事から、照射強度が非常に高く取られている。そのため、その光回復率が非常に低いことから、光回復抑制装置の検討はあまり行われていなかった。しかし、本施設のように99%程度の殺菌率を目標とする場合、0.3%程度の光回復率が殺菌率に影響を及ぼすため、光回復を抑制する措置が必要となる事がわかった。

4.6 偏流調査

紫外線殺菌装置を設計するに当たり十分な検討を必要とする事項に、殺菌灯周りの整流がある。

本調査に用いた紫外線殺菌装置は、処理量

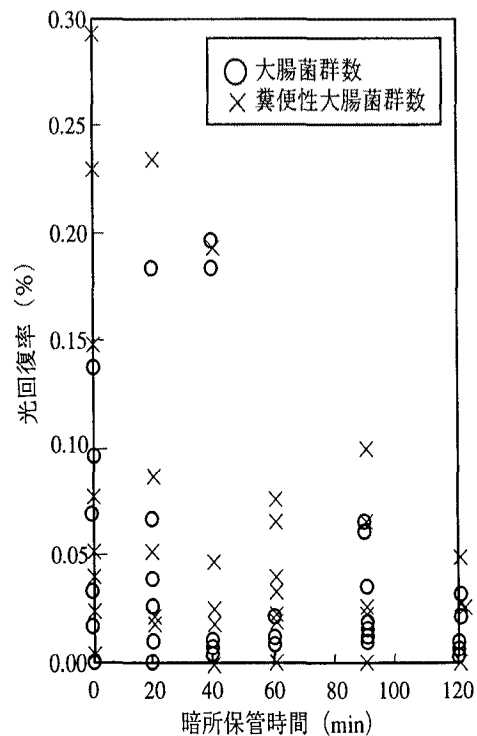


図-5 暗所保存時間による光回復率変化

20,000t/dayという実規模の実験装置であるため、ここから得られるデータは実施設にそくしたデータであると考えられる。

調査は、殺菌槽内23箇所の流速・大腸菌群数・糞便性大腸菌群数を測定することにより行った。その結果、平成6年度調査において、殺菌灯周辺に偏流（流下方向右側で流速が速い）があることがわかった。更に、殺菌灯下部で殺菌効果が極端に悪化していたことから、紫外線照射を受けていない短絡流が発生していることが判明した（図-6のSt. b下層側を参照）。この対策として、短絡流防止装置を設置したところ、殺菌効果は著しく改善された（図-7のSt. b下層側を参照）。しかし、その下流側では全体的に菌群数が増加していた（図-7のSt. bとcを比較参照）。このことから、殺菌灯周辺において、殺菌灯自身が発している、殺菌効果を持つ紫外線以外の近紫外線および可視光線を原因とする光回復現象が起こっている事が判明した。この対策として遮光装置を設置したところ、前述の光回復現象が抑制されたと同時に（図-8のSt. bとcを比較参照）、殺菌灯周辺の整流効果も改善された。

4.7 殺菌灯

従来用いられてきた紫外線殺菌灯は、比較的多数の殺菌灯を必要とする低出力低圧水銀灯が、電力消費量に対して殺菌効果が比較的低い高出力中圧水銀灯であった。本調査に用いた高出力低圧水銀灯は、比較的少量で効率の良い殺菌を行えるものとして期待されているが、使用実績が少なく、その劣化特性や耐用時間等、実証されていない点があった。

今回、実施設規模の殺菌装置を用いて、2年間にわたる試験を行い、これらの点について多くの知見を得る事ができた。その結果、当初予想された「運転開始1年後も、新品に対する相対照度が60%以上保持される。」という性能は、実際には、80%以上を保持できる事がわかった。なお、今回使用した20本の殺菌灯の内、1本が運転開始後10,000時間で、2本が運転開始後11,000時間で切れたのに対し、約15,000時間以上の長寿命の物もあった事から、製品品質にバラツキがあることがわかった。今後は、生産工程の改善により、長寿命化される事が期待される。

4.8 殺菌灯保護管の汚れ

一般に、本装置のような浸漬型の紫外線殺菌灯では、保護管の汚れによる紫外線照射強度の低下が問題となるため、場合によっては頻繁な清掃が必要と

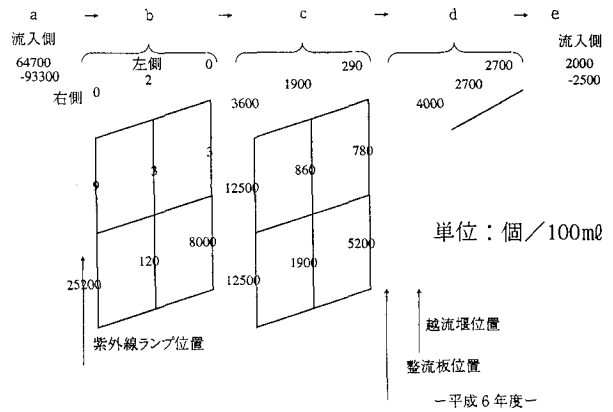


図-6 短絡流発生状況（大腸菌群数）

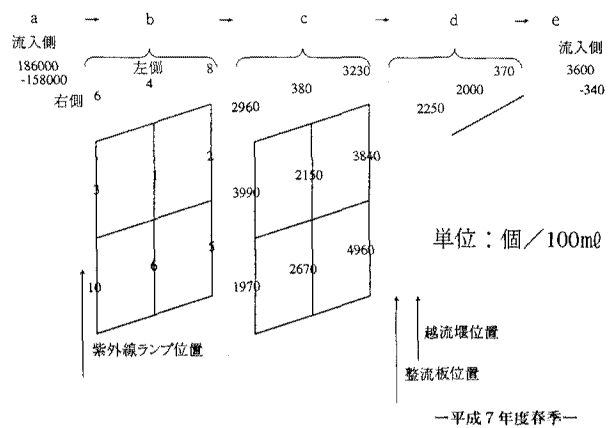


図-7 槽内光回復状況（大腸菌群数）

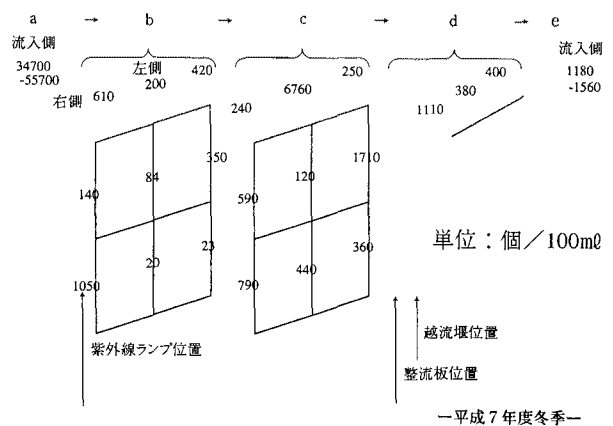


図-8 槽内光回復抑制状況（大腸菌群数）

なる。本調査では、紫外線照度の急激な低下は見られず、運転開始後約11,000時間でも、初期値の90%に低下したにすぎなかった。更に、保護管に付着したスケールもアルミニウム、リン等を主成分としたもので、リン酸を用いた拭き取り清掃により、容易に除去できるものであった。

このことにより、当浄化センターでは、保護管の紫外線透過率を高水準に維持するための清掃が、年1回程度で済む事がわかった。

5. まとめ

- ・紫外線殺菌を用いることにより、矢作川浄化センターの水質目標値である大腸菌群数300個/ml、殺菌率99%以上を達成できた。
- ・一般水質（13項目）、副生成物（16項目）に対し、紫外線照射の影響は見られなかった。
- ・紫外線透過率とCOD_{Mn}の間には相関性が見られ、COD_{Mn}の上昇に伴い紫外線透過率が低下し、透過率の低下により殺菌効果が低下した。
- ・本浄化センターでは、多段嫌気好気活性汚泥法と砂ろ過を用いた高度処理を行うことにより、紫外線殺菌に適した処理水水質が維持されている。
- ・スサビノリの生育に対し、紫外線殺菌処理水の影響は見られなかった。
- ・紫外線照射後の処理水を、暗所に20分以上保存することにより、光回復を抑制できる可能性がある。

る。

- ・紫外線殺菌灯が発している、殺菌効果を持つ紫外線以外の近紫外線および可視光線を原因とした光回復現象が見られた。
- ・遮光板の設置に伴い、効果的な遮光板の形状および設置位置が検証できた。
- ・本紫外線殺菌灯は、製品品質にバラツキがある事がわかった。
- ・矢作川浄化センターでは、紫外線殺菌灯保護管の清掃が、年1回程度で済む事がわかった。

〈参考文献〉

- 1) 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) P22~27 1993
- 2) 松井 他 Rec-assayによる水質評価 用水と廃水 35(4): 22-27 1993
- 3) 小野芳郎他 水環境化学物質の遺伝毒性評価に関する研究 京都大学博士論文 1993
- 4) 丸山他 養殖ノリの生育に及ぼす塩素殺菌都市下水処理水の影響 日本水産学会誌 Vol.53 No.3 P465~472 1987
- 5) Karl G. Lindenauer, Jeannie L. Darby EVALUATION OF ULTRAVIOLET LIGHT DISINFECTION; SIGNIFICANCE OF PHOTO-REACTIVATION Specialty Conference Series Water Environment Federation May23-25 1993

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
技術部研究員

佐藤 和明
伊藤 久明
水見 直孝