

表 4 - 3 紫外線照射装置点検表の一例

日時	平成 年 月 日	点検者	
天候 / 気温	/ °C	装置 No.	
点検場所	点検項目	記入事項	
監視室	流量	m ³ /hr	
	濁度	度	
	色度	度	
	紫外線透過率	%	
	水温	°C	
付属制御盤	紫外線モニタ値	%	
	積算点灯時間	時間	
	故障表示	無 有 ()	
	異音、振動、発熱等	無 有 ()	
	その他	無 有 ()	
紫外線照射槽	漏水	無 有 ()	
	異音、振動、発熱等	無 有 ()	
	ボルト・ナットの緩み	無 有 ()	
	その他	無 有 ()	

4. 4 異常時の対応

本項では、紫外線照射装置に何らかの異常が発生した場合の対処方法について説明する。予想される異常・警報及びその主な原因について、表 4 - 4 に示す。なお、各メーカーにより、異常・警報の名称、分類方法は異なっているため、下表はあくまでも一例であることに留意されたい。

4. 4. 1 漏水異常

表 4 - 4 中の「漏水異常」に該当する警報の際は、重大な異常の可能性があるため、紫外線照射装置を緊急停止するとともに、ポンプが付随する場合はポンプ停止、緊急遮断弁を設置している場合は閉とする。予備機を設けている場合はもう一方の照射装置に運転を切り替え、浄水処理を停止することなく、原因の究明、対策をとることが可能である。

「漏水異常」警報を引き起こすと考えられる原因としては、“照射槽内ランプスリーブのシール部からの漏水”、“結露による漏水誤検知”、“ランプスリーブ破損”等が考えられる。

特に、“ランプスリーブ破損”の場合は、スリーブを構成する石英ガラスの破片、ラ

ランプの管材として使用されている石英ガラスの破片、ランプ内部に封入されている水銀等の流出防止のため、緊急対応が必要である。

表4-4 異常・警報発生の原因と対策（例）

No.	分類	異常・警報	原因
1	重故障	漏水異常	<ul style="list-style-type: none"> ・ランプスリーブのシール部からの漏水 ・結露による漏水誤検知 ・ランプスリーブ破損
2		紫外線強度低下	<ul style="list-style-type: none"> ・紫外線ランプ異常消灯、不点灯 ・紫外線ランプ出力異常 ・安定器故障 ・ランプスリーブ汚損 ・処理水質（濁度等）異常 ・紫外線センサ劣化
3		水温異常	・流量不足
4		漏電	・地絡
5		シーケンサ故障	・バッテリー不足
6	軽故障	制御盤内温度異常	・冷却ファン異常
7		紫外線センサ異常	<ul style="list-style-type: none"> ・採光窓（保護管）汚損 ・校正不良
8		洗浄装置動作不良	・駆動部への異物噛み込み

4. 4. 2 紫外線強度低下

表4-4中の「紫外線強度低下」に該当する警報の際は、“紫外線ランプ異常消灯・不点灯（球切れ）”、“紫外線ランプ出力異常”、“安定器故障”、“ランプスリーブ汚損”、“処理水質（濁度等）異常”、“紫外線センサ劣化”等が原因として考えられる。

“紫外線ランプ出力異常”や“紫外線センサ劣化”は、基準強度計（ポータブル型等）による初期強度との比較により確認することが可能である。

“ランプスリーブ汚損”は、自動洗浄装置のクリーニング性能の低下などが考えられる。

“処理水質（濁度等）異常”は、降雨などによる処理対象水の濁度上昇等で、装置選定時の想定紫外線透過率を下回った場合が考えられる。処理対象水の濁度が2度を上回る場合には処理を一時停止し、また、処理対象水の濁度が2度以下の場合には一時的に流量を落として必要紫外線照射量を確保し、水質の回復を待つ。ただし、水質回復後も異常警報が解除されない場合は、設計条件等を再度確認し対応するか、メーカーに確認を行う。

4. 4. 3 水温異常

表4-4中において、「水温異常」は通水停止状態又は設定最低水量以下において紫外線ランプを点灯し続けたことが原因で、照射槽内に滞留した処理水の温度が上昇した場合に発生する警報である。点灯を継続すると装置本体に支障をきたすおそれがあるため、緊急停止とする。

4. 4. 4 その他

その他の警報のうち、紫外線照射装置に特有なものとしては、「紫外線センサ異常」、「洗浄装置動作不良」の2つが挙げられる。「紫外線センサ異常」の原因として考えられるのは、採光窓（装置によっては保護管）汚損によるセンサ読み値の低下及び推奨校正期間を超えての継続使用である。「洗浄装置動作不良」は異物の噛み込みなどが考えられるため、運転を停止し、洗浄装置を点検する必要がある。なお、予備品との交換方法等についての不明な点は、マニュアルで確認するか、メーカーに問い合わせるなどして対応する。

4. 5 予備品

定期的な又は異常時の交換に備えて、施設内に予備部品を備えておく。

表 4-5 標準予備部品

番号	品名	備考
1	紫外線ランプ	劣化又はランプ切れ時の交換用
2	ランプスリーブ	汚染、失透、破損時の交換用
3	パッキン・Oリング類	保守管理時の交換用
4	ヒューズ	同上
5	ワイパーブレード	同上
6	センサ用監視窓	失透、破損時の交換用

注)「失透」とは、ガラスの一部が結晶質に構造変化し、透明度を失う状態をいう。
失透が生じた場合にはガラスが破損する原因となるおそれがある。

紫外線照射装置の主要構成部品の一般的な交換周期の目安を表 4-6 に示す。

表 4-6 紫外線照射装置の主要構成部の交換周期の目安

構成部	交換周期の目安
低圧紫外線ランプ	8,000~12,000 時間
中圧紫外線ランプ	4,000~8,000 時間
ランプスリーブ	3~7 年
紫外線強度計（オンライン）	2~5 年
基準紫外線強度計（校正用）	4~8 年
ワイパーブレード	1~3 年
安定器	5~7 年

紫外線ランプ・ランプスリーブ・センサ用監視窓は、埃や手の汚れなどが付かないように保管する。併せて、これらはガラス品としての取扱注意が必要であるので、棚などに整頓することが望ましい。

4. 6 紫外線ランプの廃棄及び回収

事業活動に伴って生じた金属くず、ガラスくず等は産業廃棄物に該当する。紫外線処理を行う浄水場から排出される使用済み紫外線ランプは、金属、ガラス等を含んでいることから産業廃棄物に該当するため、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年12月25日、法律第137号）の規定に基づいて、排出事業者自ら処分するか、産業廃棄物処理業者に委託して、適切に処分しなければならない。なお、使用済み紫外線ランプは、環境負荷低減の観点からできるだけ資源回収を行うことが望ましい。

また、紫外線ランプの交換に際しては、紫外線ランプを破損しないように十分注意して作業を行わなければならない。

表4-7 低圧紫外線ランプの構成成分例（メーカー資料に基づく）

構成部材名		主成分又は形態
外管（石英硝子）		二酸化ケイ素
口金	樹脂部（混合物）	不飽和ポリエステル
	ピン部 （ニッケルメッキ）	ニッケル
		銅
		亜鉛
電極	フィラメントコイル	タングステン
	水銀ディスペンサ	ジルコニウム
		アルミニウム
		水銀
	導線	モリブデン
ニッケル		
封入ガス		アルゴン
		ネオン

4. 7 安全管理

紫外線が人体（目や皮膚）に直接照射されると、その部分の細胞に異常が生じ損傷を受けるので、短時間であっても人体露出部分への紫外線の直接照射は極力避ける必要がある。したがって、ランプスリーブの洗浄やランプ交換を行う際は紫外線ランプを消灯する。点灯時に作業する必要がある場合には必ず手袋や紫外線保護マスク等を着用して行う。

紫外線のヒトへの健康影響は主に眼と皮膚とにあらわれる。表4-8に、これらの影響をまとめたものを示す⁹⁾。

目における一般的な紫外線障害は角結膜炎で、紫外線を浴びている時には何ら自覚症状はないが、数時間の潜伏時間を経て激痛を起こす。通常、紫外線は角膜で吸収されるため網膜には障害を与えずほとんど一過性ではあるが、繰り返すと白内障の原因となる。また、皮膚においても過度の暴露は老化を促進させ、良性・悪性腫瘍発症の誘引となる。

表4-8 紫外線のヒトへの健康影響⁶⁾

影響を受ける部位	影響又は症状	原因とされる紫外線
皮膚	サンバーン(Sunburn)と呼ばれる日焼け <ul style="list-style-type: none"> 赤くなってヒリヒリ痛む 重傷では水ぶくれ シミ、ソバカスの原因 	UV-B
	サンタン(Suntan)と呼ばれる日焼け <ul style="list-style-type: none"> 曝露から数日後に現れる 数週間～数カ月続く 色素細胞への刺激によるメラニン生成が原因 	UV-A
	皮膚ガン <ul style="list-style-type: none"> 皮膚のDNA損傷による突然変異 	UV-A及びUV-B
眼	電気性眼炎(角膜炎・結膜炎) <ul style="list-style-type: none"> 直接、多量に浴びた場合 強い痛み、涙が出て眼の中がゴロゴロする 顔面の発赤、結膜(白目)の充血を伴う 曝露から数時間後に発症(12~24時間安静にて自然治癒の場合が多い) 	強いUV-A及びUV-B
	角膜炎 <ul style="list-style-type: none"> 結膜(白目)の充血、異物感、流涙、時に、眼痛(雪目ともいう) 曝露から数時間後に発症 	主にUV-B
	翼状片 <ul style="list-style-type: none"> 眼球結膜(白目)が翼状に角膜(黒目)に侵入し、重度では視力障害をきたす 	主にUV-B
	白内障 <ul style="list-style-type: none"> 水晶体の濁り、重度では視力低下 	主にUV-B
体内免疫機能	免疫機能低下によるウイルス感染症 <ul style="list-style-type: none"> 単純ヘルペス(特に口唇ヘルペス) 	

紫外線被曝の一日当たりの許容限度としては、ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) が定めた値があり、低圧紫外線ランプが照射する 254 nm の光では、6 mJ/cm² が許容値として提案されている⁷⁾。

その他の波長については、270 nm 光が最も有害であるとしており、この波長光では 3 mJ/cm² が許容値となっている。中圧紫外線ランプは 270 nm を含む広い波長域において照射光を持つため、安全側の視点に立てば、3 mJ/cm² の許容値を基準として考えた方がよいと思われる。この数値から試算される紫外線強度と許容被曝時間との関係を表4-9⁸⁾に示す。低圧紫外線ランプの場合では、254 nm の基準値を考慮すればよいので、許容曝露時間は、表4-9の値の2倍を目安に考えればよいことになる。

表4-9 紫外線強度と許容被曝時間との関係(皮膚又は眼に対して)⁸⁾

紫外線強度 (μ W/cm ²)	許容被曝時間	紫外線強度 (μ W/cm ²)	許容被曝時間	紫外線強度 (μ W/cm ²)	許容被曝時間
0.1	8 時間/日	1.7	30 分/日	100	30 秒/日
0.2	4 時間/日	3.0	15 分/日	300	10 秒/日
0.3	2 時間/日	5.0	10 分/日	3,000	1 秒/日
0.8	1 時間/日	10	5 分/日	6,000	0.5 秒/日
		50	1 分/日	30,000	0.1 秒/日

参考文献

- 1) 厚生労働省、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」、2007
- 2) 堀田秋廣、岩崎達行、相川幸一、林宏、「紫外線照射装置の運転・維持管理」、水道協会雑誌、第76巻、第11号(第878号)、2007
- 3) 「紫外線照射装置 JWRC 技術審査基準(低圧紫外線ランプ編)」、(財)水道技術研究センター、2008
- 4) 「民間開発技術審査証明報告書 紫外線殺菌装置」、日本下水道事業団、1994
- 5) 「環境影響低減化浄水技術開発研究ガイドライン集」、(財)水道技術研究センター、2005
- 6) 「紫外線環境保健マニュアル2008」、環境省、2008
- 7) 平田強編、「紫外線照射 -水の消毒への適用性-」、技報堂出版、2008年3月
- 8) 「代替消毒剤の実用化に関するマニュアル」、(財)水道技術研究センター、2002年12月

3. 3 紫外線照射試驗結果

1. 目的

紫外線照射による副生成物生成の有無を確認することを目的とする。

2. 試験内容

(1) 試験条件

試験条件は表 1 に示したとおりである。試験水の条件は 2 条件とし、条件 1 はトリハロメタンとアルデヒド、条件 2 は臭素酸及び亜硝酸態窒素の生成を確認するための条件である。紫外線照射は低圧及び中圧の 2 種類のランプを用い、それぞれ 1,000 mJ/cm²、10,000 mJ/cm² 照射した。なお、照射方式は試水循環式で、試験水の温度は 20℃ にコントロールした。

表 1 試験条件

項目	条件
試験方法	循環照射式
紫外線ランプ	低圧、中圧
照射量	0mJ/cm ² 、1,000mJ/cm ² 、10,000mJ/cm ²
照射温度	20℃
試験水	条件 1 : 残留塩素 : 2 mg/L、臭化物イオン : 1mg/L、 TOC : 2 mg/L、pH : 7.0 条件 2 : 残留塩素 : 2 mg/L、臭化物イオン : 1mg/L、 TOC : 0 mg/L、硝酸態窒素 : 10mg/L、pH : 7.0

(注) 精製水に各物質を添加して調整した。

(2) 水質分析項目

紫外線照射前、照射後の試料について、表 2 に示す水質項目を分析した。なお、分析方法は水道試験法に準拠した。トリハロメタン、臭素酸、塩素酸およびアルデヒド類の分析試料は照射終了後直ちに残留塩素を消去して分析に供した。

表2 水質分析項目

水質項目	条件1	条件2
硝酸態窒素	—	○
亜硝酸態窒素	—	○
総トリハロメタン	○	—
クロロホルム	○	—
ジブロモクロロメタン	○	—
ブロモジクロロメタン	○	—
ブロモホルム	○	—
臭素酸	○	○
TOC	○	○
残留塩素	○	○
塩素酸	○	○
アセトアルデヒド	○	—
ホルムアルデヒド	○	—

3. 試験方法

(1) 試薬

炭酸水素ナトリウム、臭化カリウムおよび硝酸ナトリウムは和光純薬 試薬特級を用いた。タンニン酸は和光純薬 化学用を使用した。次亜塩素酸ナトリウムは和光純薬 食品添加物（有効塩素濃度：13%）を精製水で希釈して用いた。その他の試薬も試薬特級を使用した。

(2) 試験水の調製

試験水の組成を表3に示す。条件1のTOCはタンニン酸により調整した。TOCを2.0 mg/Lにするためのタンニン酸濃度は3.7 mg/Lである。試験水は次亜塩素酸ナトリウム以外のすべての試薬を添加した後、0.01 M 硫酸でpHを調整してから定容した。次亜塩素酸ナトリウム希釈液を添加した後、再度pHを調整し、塩素添加の30分後に紫外線照射を開始した。

表3 試験水の組成

組成		条件1	条件2	備考
炭酸水素ナトリウム	mM	2.0	2.0	
タンニン酸	mg/L	3.7	—	TOC:2.0mg/L (条件1のみ)
臭化カリウム	mg/L	1.49	1.49	臭化物イオン:1 mg/L
硝酸ナトリウム	mg/L	—	60.7	硝酸態窒素:10 mg/L (条件2のみ)
塩素注入率	mg/L	12.0	2.0	残留塩素:2 mg/L
pH	—	7.0±0.2	7.0±0.2	0.01 M 硫酸で調整

(3) 塩素注入率の決定

本照射試験の塩素注入率は塩素添加 5 時間後（対照試験の最長反応時間）の遊離残留塩素が 2 mg/L になる条件に設定した。塩素注入率を決定するため、各試験水に所定量の次亜塩素酸ナトリウム希釈液を添加し、30 分後、5 時間後の遊離残留塩素を測定した。結果を表 4 に示す。この結果から、塩素注入率は条件 1 が 12.0 mg/L、条件 2 が 2.0 mg/L とした。なお、次亜塩素酸ナトリウム希釈液の遊離残留塩素はヨウ素滴定で、試験水の遊離残留塩素は DPD 法で測定した。

表4 塩素注入率の決定

塩素 注入率 (mg/L)	条件1		塩素 注入率 (mg/L)	条件2	
	残留塩素濃度(mg/L)			残留塩素濃度(mg/L)	
	30分後	5時間後		30分後	5時間後
5.0	0	0.0	2.0	1.9	1.8
10.0	1.4	0.0	3.0	2.8	2.6
11.0	1.8	0.6	4.0	4.0	3.6
12.0	3.0	1.9	-	-	-
13.0	4.0	2.5	-	-	-

(4) 紫外線照射装置

紫外線照射装置の主な仕様を表5に、低圧照射装置の概要を図1に、中圧照射装置の概要を図2に示す。紫外線照射は「紫外線照射が水道水質に与える影響に係る調査のためのJWRC被照射液調製方法（財）水道技術研究センター」に準拠して実施した。

照射装置の紫外線強度は事前の換算紫外線照射量（RED）試験により求めた。詳細は次項に記す。なお、紫外線ランプは30分以上点灯して安定した後に照射試験を開始した。また、試験中の試験水はすべて褐色瓶に入れて恒温水槽に浸漬し、水温を20℃に保持した。

表5 照射試験の仕様

仕様	低圧紫外線水銀ランプ	中圧紫外線水銀ランプ
ランプ	50 W、発光長 425 mm	2,200 W、発光長 220 mm
照射管	合成石英製、内径 22 mm×長さ 350 mm×2 本 ランプと照射管の距離 30 mm	合成石英製、内径 22 mm×長さ 200 mm×1 本 ランプと照射管の距離 260 mm
紫外線強度	約 4.4 mW/cm ²	約 24.8 mW/cm ²
試験水の容量	2.0 L	2.0 L
循環水量	6.7 L/min	6.7 L/min

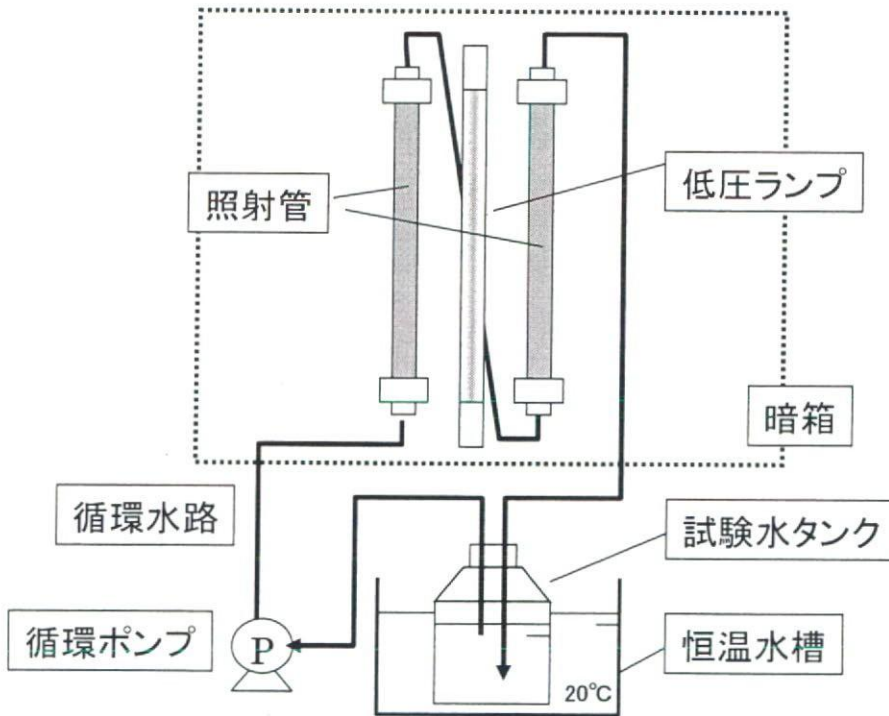


図1 低圧照射装置の概要

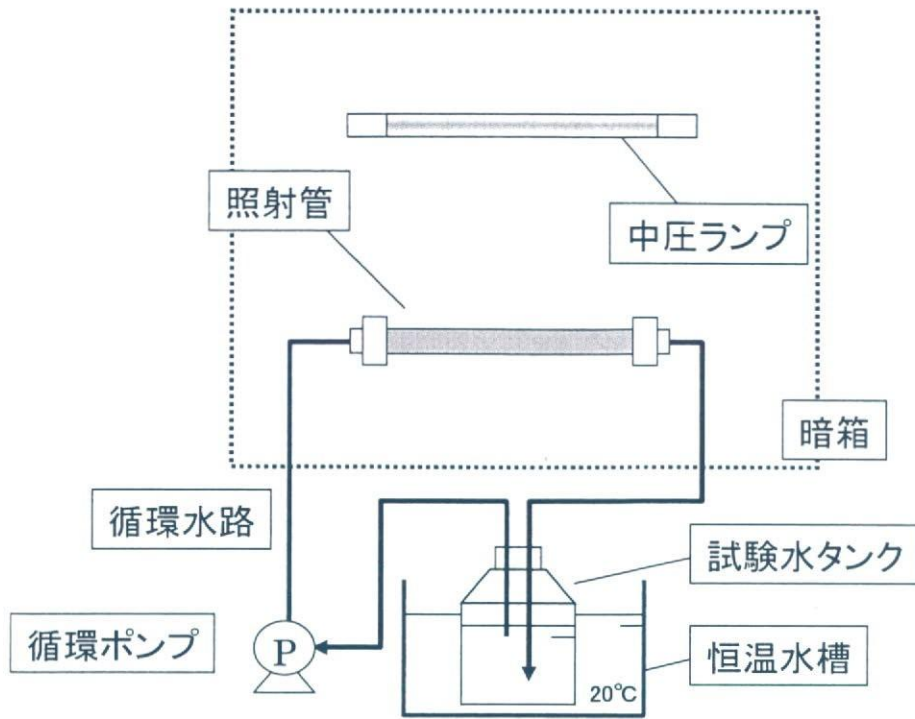


図 2 中圧照射装置の概要

(5) 紫外線強度

装置の紫外線強度は「紫外線照射が水道水質に与える影響に係る調査のための JWRC 被照射液調製方法（（財）水道技術研究センター）」に準拠し、換算紫外線照射量（RED）試験により求めた。

RED 試験は「紫外線照射装置 JWRC 技術審査基準（中圧紫外線ランプ編）（（財）水道技術研究センター）」に準拠して実施した。

RED 試験は低圧 20.0 L、中圧 19.5 L の MS2 フェージ液に所定時間紫外線照射した後にフェージ生残率を求め、式 1 により RED[MS2] を算出した。ここでは、MS2 フェージの不活化速度定数 (D_0) を 9.4 (実測値) とした。なお、MS2 フェージ液は水道水にチオ硫酸ナトリウム (最終濃度 10 mg/L) を添加して残留塩素を消去した後にフェージを加えて調製した。本フェージ液の紫外線透過率 (10 mm セル) は 220 nm で 37.9 %、254 nm で 96.0 % である。

図 3 に紫外線照射時間と RED[MS2] の関係を示す。各装置の 1 分間照射時の RED (近似式の傾き) を式 2 に代入し、紫外線強度を算出した。照射装置の紫外線強度は低圧が 4.4 mW/cm²、中圧が 24.8 mW/cm² である。

$$RED \text{ (mJ/cm}^2\text{)} = -D_0 \ln(S_0) \quad (\text{式 1})$$

ここで、 D_0 は MS2 フェージの不活化速度定数、 S_0 は MS2 フェージの生残率である。

$$I \text{ (mW/cm}^2\text{)} = (J \times V) / (t \times V_R) \quad (\text{式 2})$$

$$\text{低圧: } I \text{ (mW/cm}^2\text{)} = (3.48 \times 20.0 \times 1000) / (1 \times 60 \times \pi (2.2/2)^2 \times 35 \times 2) = 4.4$$

$$\text{中圧: } I \text{ (mW/cm}^2\text{)} = (5.81 \times 19.5 \times 1000) / (1 \times 60 \times \pi (2.2/2)^2 \times 20) = 24.8$$

ここで、 I は紫外線強度 (mW/cm²)、 J は紫外線照射量 (RED 値、mJ/cm²)、 V は試験対象水量 (mL)、 t は照射時間 (秒) そして V_R は照射管容積 (mL) である。

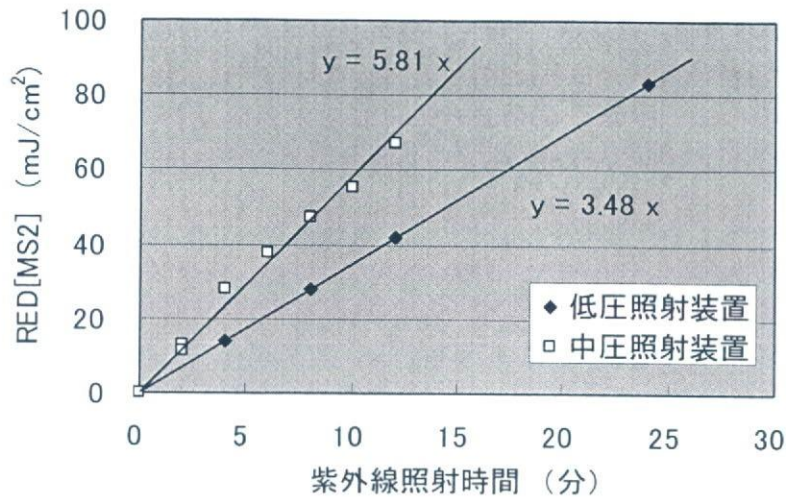


図3 各照射装置における紫外線照射時間と換算紫外線照射量 RED[MS2]の関係

※ 試験水量は低圧 20L、中圧 19.5L の結果である。

(6) 照射条件

各試験条件の紫外線照射前後における紫外線透過率 (10mm セル、254 nm) を表 6 に示す。なお、紫外線透過率は石英ガラス製 10mm セルを使用し、超純水をブランクとして測定した。

条件 1 の紫外線透過率は紫外線照射前が 80.8% であったが、1,000mJ/cm² 照射後は低圧、中圧ともに 10% 以上増加した。また、条件 2 の紫外線透過率は安定して高かった。そのため、ここでは紫外線透過率を考慮した照射時間の補正は行わないことにした。

表 7 に照射条件を示す。紫外線強度 I は低圧が 4.4 mW/cm²、中圧が 24.8 mW/cm² であり、試験時の試験水量 V は 2L、必要紫外線照射量は 1,000 mJ/cm² および 10,000 mJ/cm² の 2 通りである。これらの値を式 3 に代入し、照射時間 t を求めた。

$$\begin{aligned}
 t \quad (\text{min}) &= J / (I \times (V_R / V)) && \text{(式 3)} \\
 &= (J \times V) / (I \times V_R)
 \end{aligned}$$

なお、本試験では、試験水に紫外線を照射しないで循環攪拌する対照試験を実施した。対照試験の反応時間は低圧ランプで 1,000 mJ/cm²、10,000 mJ/cm² 照射する場合と同じ時間に設定した。各条件における反応時間は表 8 に示す。試験中の試験水はすべて褐色瓶に入れて恒温水槽に浸漬し、水温を 20℃ に保持した。

表 6 紫外線照射前後の紫外線透過率 (%)

条件	照射前	対照		低圧		中圧	
		1時間	5時間	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²
条件 1	80.8	84.1	87.2	94.4	96.5	91.5	99.6
条件 2	98.8	98.8	99.3	98.8	98.5	99.0	98.6

※波長 254nm、10mm セルの値

※各試験終了後 1 時間以内に測定した

表 7 照射条件一覧

項目	記号	低圧照射条件	中圧照射条件
紫外線強度 (mW/cm ²)	I	4.4	24.8
紫外線照射量 (mJ/cm ²)	J	1,000 10,000	1,000 10,000
試験対象水量 (L)	V	2.0	2.0
照射管容積 (L)	V _R	0.266	0.76

表 8 反応時間

条件		反応時間 (分)		
ランプ	反応条件	塩素反応時間	紫外線照射時間	合計
低圧	1,000 mJ/cm ²	30.0	28.5	58.5
	10,000 mJ/cm ²	30.0	284.8	314.8
中圧	1,000 mJ/cm ²	30.0	17.7	47.7
	10,000 mJ/cm ²	30.0	176.9	206.9
対照	1 時間	58.5	0.0	58.5
	5 時間	314.8	0.0	314.8

4. 試験結果

条件1の試験結果を表9に、条件2の試験結果を表10に示す。また紫外線照射時の残留塩素、トリハロメタン、臭素酸、亜硝酸態窒素およびアルデヒドの挙動を図4～図8に示す。

表9 条件1の試験結果

測定項目		照射前	対照		低圧		中圧	
			1時間	5時間	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²
総トリハロメタン	mg/L	0.055	0.097	0.137	0.098	0.014	0.042	0.002
クロロホルム	mg/L	0.010	0.012	0.011	0.010	0.012	0.011	0.001
ジブromクロロメタン	mg/L	0.020	0.038	0.064	0.028	0.002	0.012	<0.001
ブromジクロロメタン	mg/L	0.022	0.038	0.044	0.031	<0.001	0.017	<0.001
ブromホルム	mg/L	0.003	0.009	0.018	0.028	<0.001	0.002	<0.001
臭素酸	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.035	0.015	0.005	<0.001
TOC	mg/L	1.74	1.66	1.68	1.64	1.54	1.68	1.19
残留塩素	mg/L	3.1	3.2	2.3	0.4	0.05	<0.05	<0.05
塩素酸	mg/L	0.47	0.47	0.48	0.68	0.64	0.55	0.60
アセトアルデヒド	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.010	0.002	0.016
ホルムアルデヒド	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.011	0.005	0.035

表10 条件2の試験結果

測定項目		照射前	対照		低圧		中圧	
			1時間	5時間	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²	1,000 mJ/cm ²	10,000 mJ/cm ²
硝酸態窒素	mg/L	10.27	10.26	10.13	10.04	9.91	9.99	9.23
亜硝酸態窒素	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0.008	0.034	0.086	1.02
臭素酸	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	0.061	0.125	0.030	0.017
TOC	mg/L	0.12	0.16	0.32	0.16	0.31	0.16	0.48
残留塩素	mg/L	2.0	1.9	1.9	0.9	0.1	0.1	<0.05
塩素酸	mg/L	0.07	0.07	0.07	0.14	0.17	0.10	0.10

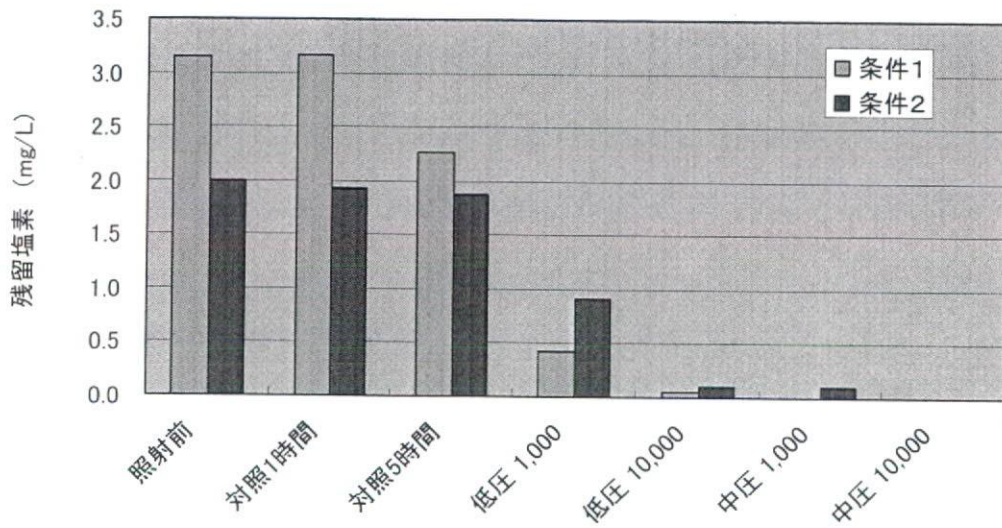


図4 紫外線照射時の残留塩素の挙動

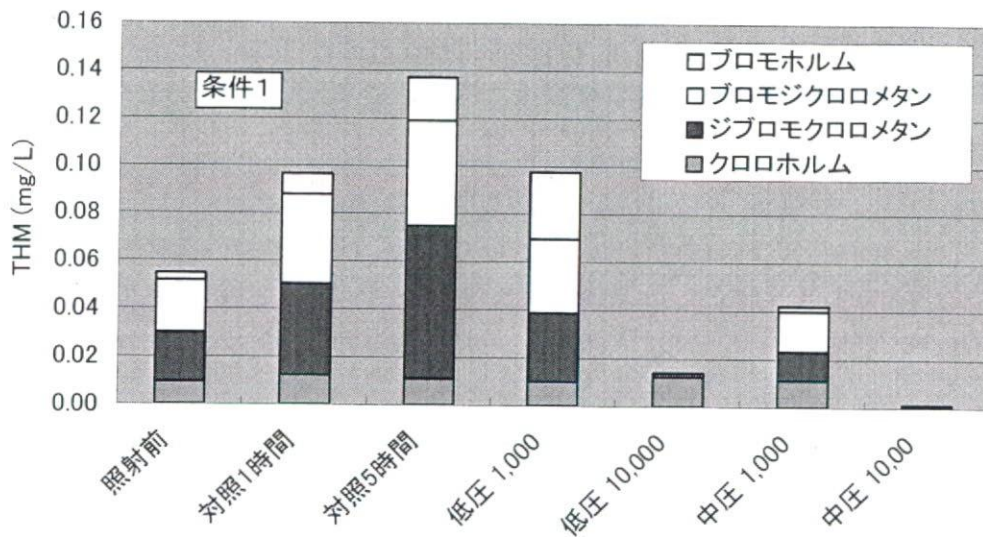


図5 紫外線照射時のトリハロメタン (THM) の挙動

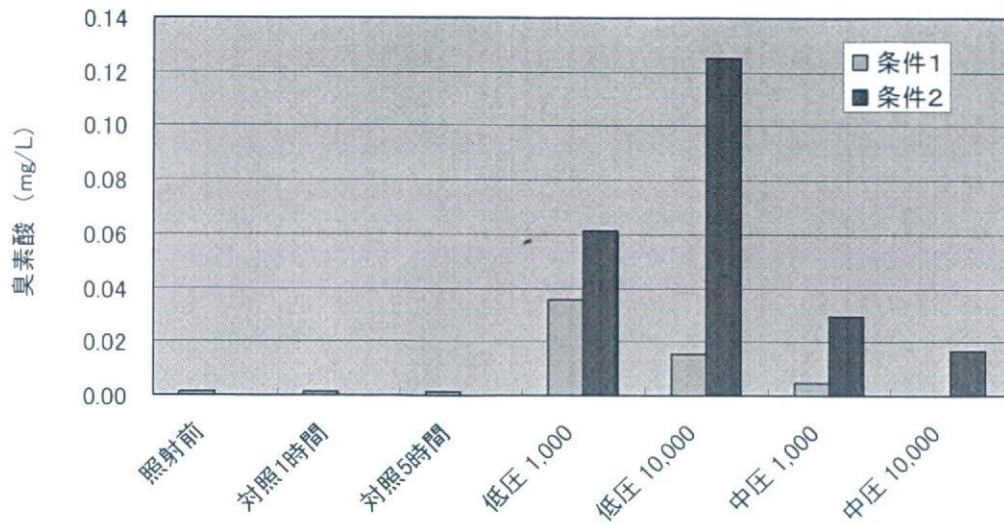


図6 紫外線照射による臭素酸の生成

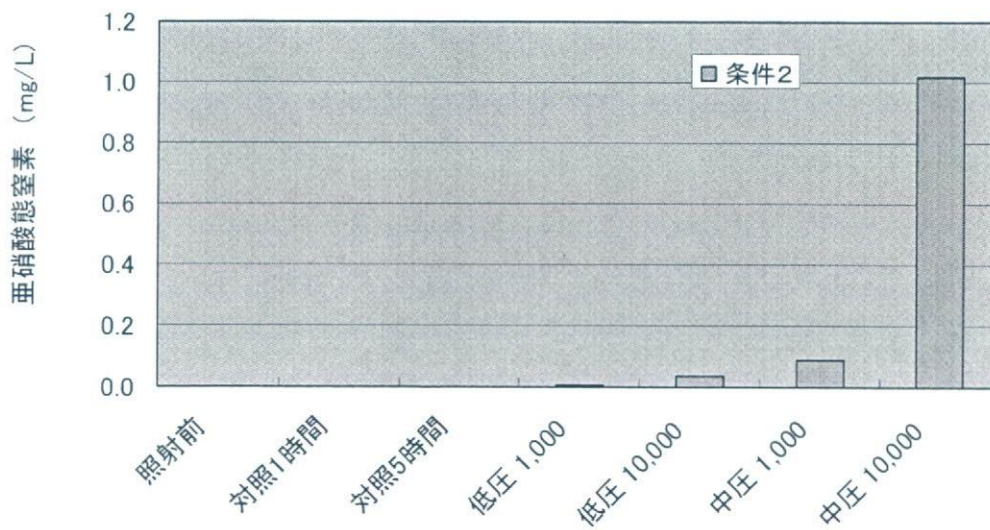


図7 紫外線照射による亜硝酸態窒素の生成

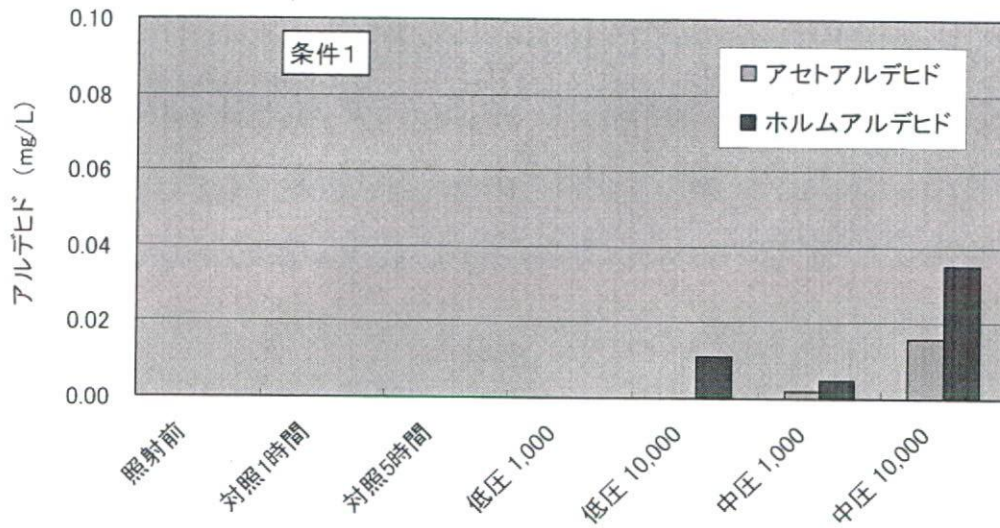


図8 紫外線照射によるアルデヒドの生成

上記の図表からみた、各水質項目別の結果は以下のとおりである。

(1) 残留塩素

残留塩素は紫外線照射によって分解される。低圧紫外線ランプよりも中圧の方が、また照射量の高い方が、残留塩素は減少する。条件1は、TOCの影響により、条件2に比べて残留塩素が分解されやすい傾向にある。

(2) トリハロメタン

残留塩素の影響で、対照1時間及び対照5時間では時間経過と共に増加する。「低圧紫外線ランプ、1,000mJ/cm²」では対照1時間と同程度、それ以外の条件では照射前より減少しており、紫外線照射によって分解される傾向がある。

(3) 臭素酸

臭化物イオンと残留塩素の共存下に紫外線を照射すると、酸化促進反応により臭素酸が生成される。条件1では、低圧紫外線ランプの場合は水道水質基準値(0.01mg/L)を満足できない。一方、中圧紫外線ランプでは残留塩素が分解されているため、臭素酸の生成は少ない。条件2では、いずれの条件でも臭素酸は生成され、水道水質基準値(0.01mg/L)を満足できない。

また、臭素酸の生成量が多い要因の一つとして、今回の試験条件は、臭化物イオンが通常の水道原水の数倍～十倍程度と非常に高いことが挙げられる。

(4) 亜硝酸態窒素

紫外線照射によって硝酸態窒素の還元が生じ、亜硝酸態窒素が生成される。低圧紫外線ランプより中圧の方が、さらに照射量の高い方が生成量が多い。中圧紫外線ランプではいずれの条件でも水質管理目標値 (0.05mg/L 以下(暫定)) を超える値となった。

(5) アセトアルデヒド及びホルムアルデヒド

アセトアルデヒドとホルムアルデヒドは紫外線照射によって僅かに増加するが、ホルムアルデヒドについては、いずれの場合も水道水質基準値 (0.08mg/L) を下回っている。なお、アセトアルデヒドについては、水質基準や水質管理目標は設定されていない。

5. 考 察

紫外線照射試験の結果から、対象水中の前駆物質濃度が今回の試験条件のように高い場合には、1,000mJ/cm²、10,000mJ/cm²といったクリプトスポリジウム等対策で用いる照射量よりも非常に高い照射量で紫外線照射を行うと、臭素酸、亜硝酸態窒素、アセトアルデヒド及びホルムアルデヒドが生成され、トリハロメタンは分解されることが分かった。

通常の設定は、水量、水温、紫外線強度等が一定の範囲を超えると運転できないように設計されており、通常はこのような照射量になることはないと考えられるが、例えば、頻繁な運転停止を避ける目的で、水を流さずにランプを点灯し続けるような運転をする場合には、紫外線が過照射とならないような配慮が必要である。