

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
	水銀ディスベンサ	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⁶⁾。

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

5. 事例紹介

5. 1 八戸圏域水道企業団 蟹沢浄水場

(1) 導入の経緯

蟹沢湧水は、石灰岩層による硬度分が高い弱アルカリ性の清澄な水源で、昭和 25 年の通水開始以来、これまで塩素消毒のみの給水を行ってきたが、近年、水源上流域での開発行為が進み、大腸菌などによる水質の悪化が懸念されていた。

このため、従来の塩素消毒と紫外線処理との併用による消毒効果の強化を目的として、平成 16 年 4 月に紫外線照射装置の導入を図った。

(2) 施設概要

浄水場名 : 蟹沢浄水場
 原 水 : 蟹沢水源（湧水）
 計画処理水量 : 20,000m³/日
 一日平均浄水量 : 16,700m³/日（平成 19 年度）

(3) 処理フロー

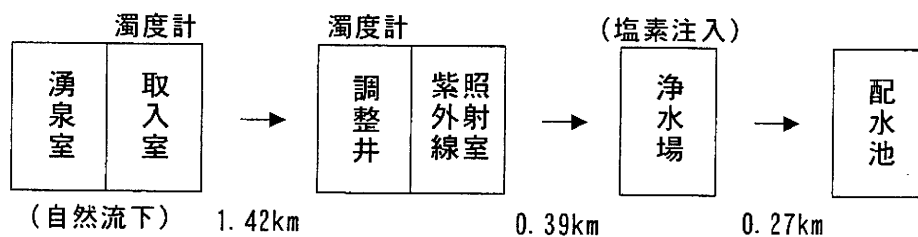


図5-1 処理フロー

(4) 紫外線処理設備の内容

1) 紫外線照射装置諸元

表5-1 紫外線照射装置の諸元

項目	諸元
主な目的	消毒強化（クリプトスポリジウム、大腸菌等の不活化等）
形式	内照式管路形
計画処理水量	20,000m ³ /日
ランプ種類（出力×本数）	低圧ランプ（250W×18本）
紫外線照射量	40mJ/cm ² 以上
構成	①ランプ ②ランプスリーブ ③UVセンサー ④安定器 ⑤ワイパー ⑥制御盤 ⑦その他
台数	1台
稼動年月	平成 16 年 4 月

2) システム構成、運転制御方法

表 5 - 2 システム構成、運転制御方法

項目	内容
UV処理設備システム構成	①濁度計 ②UV照射装置 ③テレメータ及び監視設備
運転制御及び監視方法	①蟹沢浄水場送水ポンプとの連動運転（運転、停止、自動、手動） ②白山浄水場中央管理室による遠方監視制御（自動／手動）
テレメータ伝送内容	①照射強度 ②故障（ランプ切れ、照射強度低下、安定器故障、ワイパー故障） ③運転状況（運転、停止、自動、手動）
その他 ・水源（原水）の濁度管理 ・運転条件（濁度） ・故障対応	①水質計器（濁度計）による濁度管理 ①濁度（水源）の上限を 0.5 度とし、超過すればUV照射装置の運転を停止 ①担当職員による現場確認及びメーカーへの調査依頼

(5) 原水水質

表 5 - 3 原水水質（平成 19 年度）

項目	平均	最大
濁度（度）	0.1	0.7
色度（度）	< 0.5	1.2
紫外線吸光度（260nm、10mm）	0.004	0.007
総硬度（mg/L）	131	134
鉄（mg/L）	< 0.01	< 0.01
マンガン（mg/L）	< 0.001	< 0.001

(6) 紫外線照射による水質の変化

表 5 - 4 原水及び紫外線処理水の水質（平成 16 年度）

項目	蟹沢原水			紫外線処理水		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
pH	7.93	7.74	7.81	7.91	7.73	7.80
塩化物イオン（mg/L）	14.1	12.4	13.6	14.1	12.5	13.6
硝酸態窒素（mg/L）	4.82	4.07	4.43	4.84	4.05	4.44
総硬度（mg/L）	132	121	129	132	121	128
全有機炭素（mg/L）	0.7	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4
紫外線吸光度（260nm）	0.008	0.003	0.005	0.007	0.003	0.005
一般細菌（CFU/mL）	26	0	5	3	0	0
大腸菌（MPN/100mL）	11	0	2	0	0	0
従属栄養細菌（CFU/mL）	3,800	100	1,100	470	25	170

(7) 維持管理

1) 日常点検

- ①職員 2 名の一回／週の巡視による紫外線照射装置の目視点検及び照射強度等の確認
- ②紫外線処理水量、照射量及び照射強度等のデータ管理

2) 委託点検

- ①一回／年の委託業務による紫外線ランプの取替え、紫外線照射装置内の清掃点検及び強度計の校正等を実施
- ②在庫部品の確認、補充

3) 主要消耗品の交換頻度

ランプ	: 1 年に 1 回
ランプスリーブ	: 5 年に 1 回
紫外線強度計	: 1 年に 1 回
安定器	: 3 年に 1 回

(8) 装置の外観

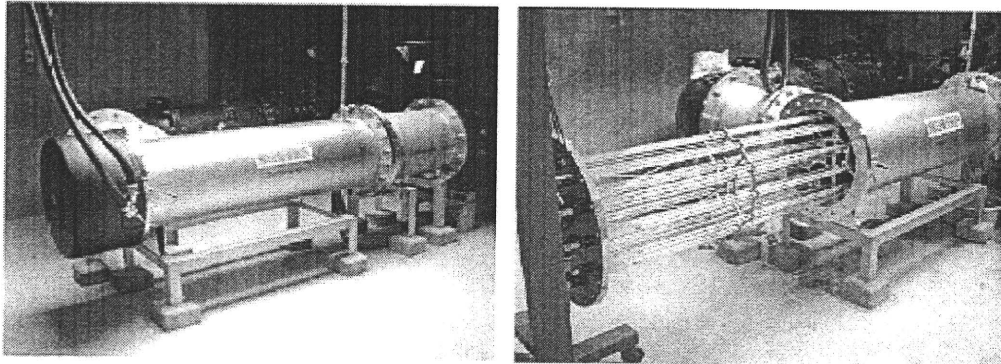


写真 5 - 1 紫外線照射装置外観

5. 2 熊本市上下水道局 亀井水源地

(1) 導入の経緯

熊本市では、水道水源の全量を地下水で賄っており、水源地が 21ヶ所（81本の取水井）があるが、現在までクリプトスポリジウムが検出された取水井はない。しかし、3ヶ所（一本木水源地、八景水谷水源地、亀井水源地）の水源地が、下水道終末処理場の下流域にあたることから、指標菌が検出された場合の対策として、塩素消毒を補完するという目的で、紫外線処理設備の導入を計画し、最初に設置されたのが亀井水源地である。

(2) 施設概要

施設名 : 亀井水源地
原水 : 取水4号井（浅井戸）
施設能力 : 6,500m³/日
一日平均浄水量 : 5,368m³/日（平成19年度）

(3) 処理フロー

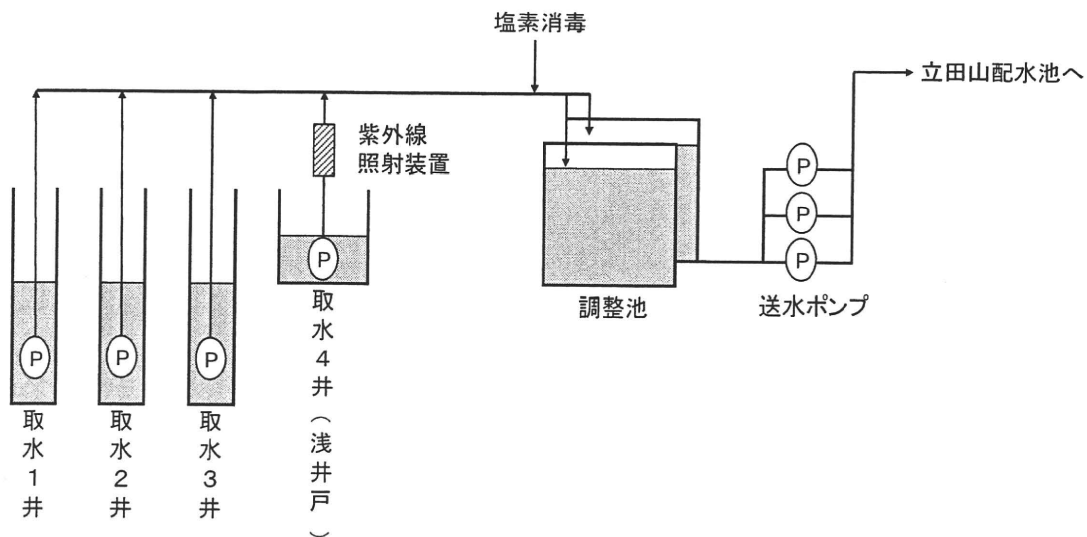


図5-2 処理フロー

(4) 紫外線処理設備の内容

1) 紫外線照射装置諸元

表 5-5 紫外線照射装置の諸元

項目	諸元
主な目的	クリプトスポリジウムの不活化等
形式	内照式管路形
処理能力	6,400m ³ /日
ランプ種類 (出力×本数)	低圧ランプ (240W×6本)
紫外線照射量	40mJ/cm ² 以上
構成	①ランプ ②ランプスリーブ ③UVセンサー ④安定器 ⑤ワイパー⑥制御盤 ⑦その他
台数	1台
稼動年月	平成19年4月

2) システム構成、運転制御方法

表 5-6 システム構成、運転制御方法

項目	内容
紫外線処理設備システム構成	①高感度濁度計 ②紫外線照射装置 ③テレメータ及び監視設備
運転制御及び監視方法	①取水4号井取水ポンプとの連動運転 (運転、停止、自動、手動) ②管理センターによる遠方監視 (監視のみ、取水連動)
テレメータ伝送内容	①運転状況 (運転、停止、自動、手動) ②故障 (ランプ切れ、照射強度低下、安定器故障、ワイパー故障)
その他 ・水源 (原水) の濁度管理 ・運転条件 (濁度) ・故障対応	①水質計器 (高感度濁度計) による濁度管理 ①濁度 (水源) 異常で取水停止 ①担当職員による現場確認及びメーカーへの調査依頼

(5) 原水水質

表 5-7 原水水質 (平成19年度)

項目	平均	最大
濁度 (度)	<0.05	<0.05
色度 (度)	<0.5	<0.5
硬度 (mg/L)	85	87
鉄 (mg/L)	<0.01	<0.01
マンガン (mg/L)	<0.001	<0.001

(6) 維持管理

1) 日常点検

点検頻度

: 週 1 回 (2 名による巡回)

内 容

: 点検表に基づく記録点検 (電力、紫外線強度、
運転時間、水温、アンプ出力、濁度、湿度等)

2) その他の点検内容

装置内点検・清掃頻度 : 1 年に 2 回

紫外線強度計校正頻度 : 1 年に 2~3 回

3) 主要な消耗品の交換頻度

ランプ : 1 年に 1 回

ランプスリーブ : 3 年に 1 回

安定器 : 5 年に 1 回

(7) 運用状況

ランプスリーブ内に結露が発生し、対策としてエアチューブを用いてスリーブ内の換気を行っている。また、設備内に結露水がたまり短絡事故により安定器が損傷した。対策として室内に除湿機を設置した。

運用開始直後、異物が自動洗浄装置の駆動部に噛み込み、動作不良が発生した。対策としてサクシオン側にストレーナを設置した。

(8) 装置外観

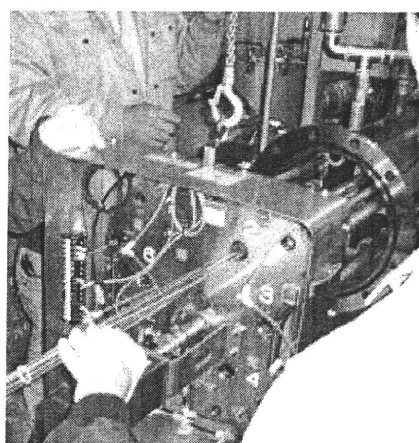
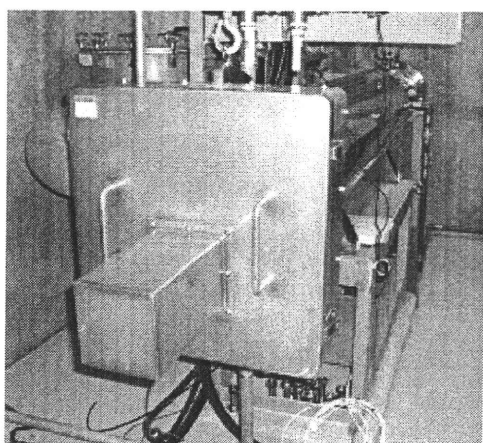


写真 5 - 2 紫外線照射装置外観

5. 3 熊本市上下水道局 一本木水源地

(1) 導入の経緯

熊本市では、水道水源の全量を地下水で賄っており、水源地が 21 ヶ所（81 本の取水井）があるが、現在までクリプトスポリジウムが検出された取水井はない。しかし、3 ヶ所（一本木水源地、八景水谷水源地、亀井水源地）の水源地が、下水道終末処理場の下流域にあたることから、指標菌が検出された場合の対策として、塩素消毒を補完するという目的で、紫外線処理設備の導入を計画し、そして亀井水源地に次いで設置されたのが一本木水源地である。

(2) 施設概要

施設名 : 一本木水源地
原 水 : 取水 2 号井、取水 3 号井（深井戸、浅井戸）
施設能力 : 10,200m³/日
一日平均浄水量 : 5,217m³/日（平成 19 年度）

(3) 浄水フロー

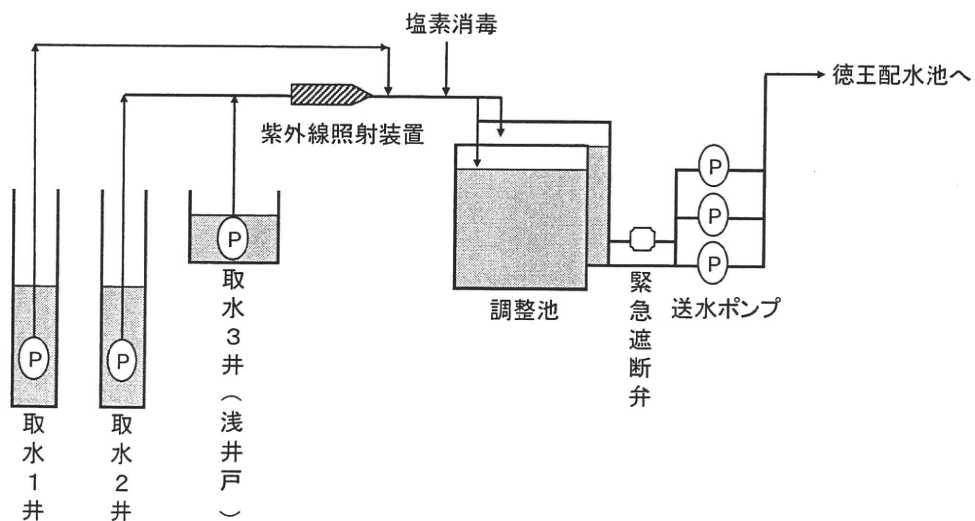


図 5 - 3 処理フロー

(4) 紫外線処理設備の内容

1) 紫外線照射装置諸元

表5-8 紫外線照射装置の諸元

項目	諸元
主な目的	クリプトスポリジウムの不活化等
形式	内照式管路形
処理能力	11,000m ³ /日 (1台あたり 5,500m ³ /日)
ランプ種類 (出力×本数)	低圧ランプ (240W×6本)
紫外線照射量	通過水量の95%に対し 10mJ/cm ² 以上
構成	①ランプ ②ランプスリーブ ③UVセンサー ④安定器 ⑤ワイパー⑥制御盤 ⑦その他
台数	2台
稼動年月	平成20年8月

2) システム構成、運転制御方法

表5-9 システム構成、運転制御方法

項目	内容
紫外線処理設備システム構成	①高感度濁度計 ②紫外線照射装置 ③テレメータ及び監視設備
運転制御及び監視方法	①取水ポンプ2台との連動運転 (運転、停止、自動、手動) 流量による台数制御 ②管理センターによる遠方監視制御 (設備切替可能)
テレメータ伝送内容	①運転状況 (運転、停止、自動、手動、使用、除外) ②故障 (ランプ切れ、照射強度低下、安定器故障、ワイパー故障)
その他 ・水源 (原水) の濁度管理 ・運転条件 (濁度) ・故障対応	①水質計器 (高感度濁度計) による濁度管理 ①濁度 (水源) 異常で取水停止 ①担当職員による現場確認及びメーカーへの調査依頼

(5) 原水水質

表5-10 原水水質 (平成19年度)

項目	平均	最大
濁度 (度)	<0.05	<0.05
色度 (度)	<0.5	<0.5
硬度 (mg/L)	62	66
鉄 (mg/L)	<0.01	<0.01
マンガン (mg/L)	<0.001	<0.001

(6) 維持管理

1) 日常点検

点検頻度

: 週 1 回 (2 名による巡回)

内 容

: 点検表に基づく記録点検 (電流、紫外線強度、
運転時間、水温、アンプ出力、濁度、湿度、
流入圧等)

2) その他の点検内容

装置内点検・清掃頻度 : 1 年に 2 回

紫外線強度計校正頻度 : 1 年に 2~3 回

3) 主要な消耗品の交換頻度

ランプ : 1 年に 1 回

ランプスリーブ : 3 年に 1 回

安定器 : 5 年に 1 回

(7) 装置外観

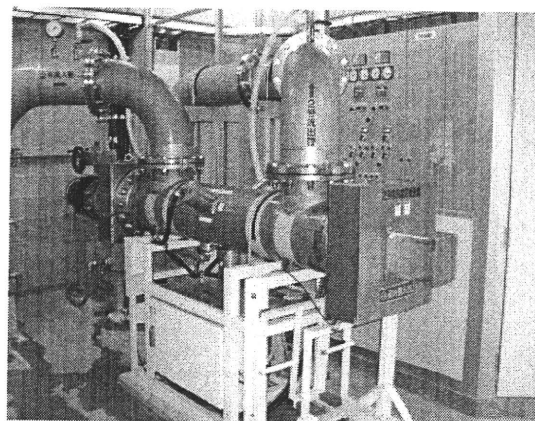
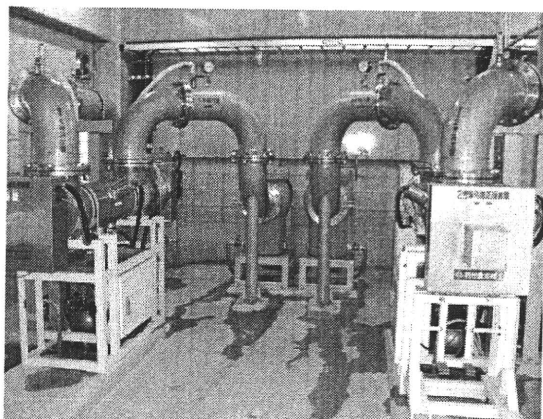
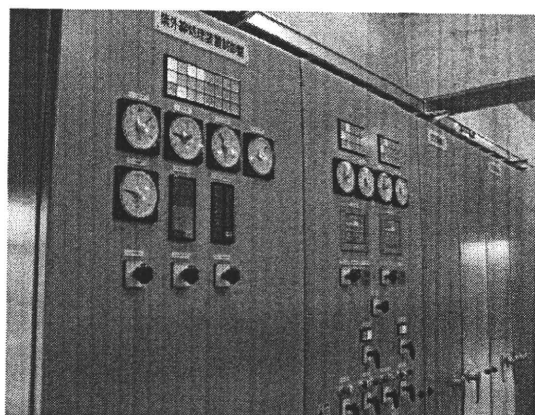
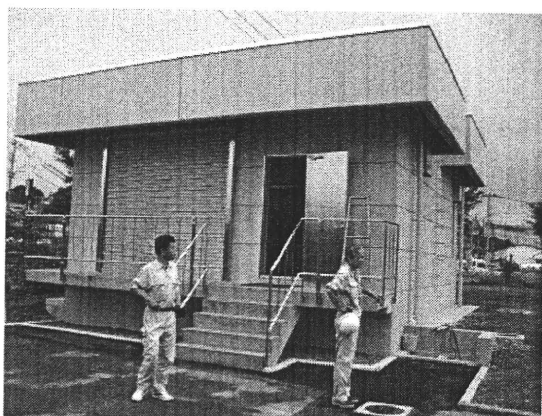


写真 5 - 3 紫外線照射装置外観

6. 参考資料

6. 1 紫外線消毒の歴史

紫外線消毒は、北米と欧州において基礎及び応用研究が行われ実用化されてきた。今日では、製薬工業、食品工業、水産養殖等における殺菌、電子工業における超純水製造プロセスでの微生物の増殖抑制、下水処理における消毒など広範な分野において既に実用化されている。

紫外線消毒は、ヨーロッパでは主として飲料水の消毒に、米国では 1950 年代から下水の消毒に適用されてきた。

これらの過程で $4 \log_{10}$ (99.99%) の不活化率を得るための紫外線照射量として、細菌類に対しては $3 \sim 10 \text{ mJ/cm}^2$ 、数多くのヒト腸管ウイルスに対しては $20 \sim 50 \text{ mJ/cm}^2$ という値が示された^{1) 2)}。

紫外線消毒は、従来、クリプトスポリジウムパルバムオーシスト（以下、「クリプトスポリジウム」という。）の不活化には有効でないとされていた。すなわち、試験管内の脱嚢試験と生体染色試験による生残性の評価によれば、 120 mJ/cm^2 の照射量によってもクリプトスポリジウムの不活化率はわずか $2 \log_{10}$ (99%) に過ぎず³⁾、 $3 \log_{10}$ (99.9%) の不活化率を達成するためには $8,700 \text{ mJ/cm}^2$ を超える照射量が必要とされていた⁴⁾。

2000 年前後になって、クリプトスポリジウムの不活化について、マウスや動物細胞への感染性による試験及び評価方法が適用されることによって紫外線消毒の評価は一変し、クリプトスポリジウムの不活化に対する有力な方法として一躍脚光を浴びることとなった。

動物細胞への感染性の有無による評価方法により、クリプトスポリジウムの不活化率 $2 \log_{10}$ (99%) を得るには紫外線照射量としてはわずか 2 mJ/cm^2 、 $4 \log_{10}$ (99.99%) の不活化率に対しては同様に 8 mJ/cm^2 でよいことが示された^{5) 6)}。他の研究者によっても同様に、少量の紫外線照射量によりクリプトスポリジウムを不活化できるという結果が得られている^{7) 8) 9) 10) 11) 12)}。

2004 年版の WHO ガイドライン¹³⁾ ではクリプトスポリジウムの不活化率 $3 \log_{10}$ (99.9%) を得るに必要な紫外線照射量としては 10 mJ/cm^2 としている。

日本では、2004 年に青森県八戸圏域水道企業団において最初の紫外線処理設備が導入されている。その後、2007 年に「水道施設の技術的基準を定める厚生労働省令」の一部が改正されるとともに、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」が策定され、紫外線処理はクリプトスポリジウム等対策として位置付けられている。

表 6 - 1 紫外線消毒の歴史

1887年	Downes and Blunt が日光に殺菌作用があることを発見
1901年	人工の紫外線光源として水銀ランプが開発される
1906年	石英が紫外線の伝達物質として使用される
1910年	フランスのマルセイユで初めて飲料水の消毒に使用される
1929年	Gates が紫外線消毒と核酸の紫外線吸収との関連を明らかにする
1930年代	蛍光灯が開発され、殺菌に効果のある管状ランプの生産が始まる
1950年代	紫外線消毒のメカニズムと微生物の不活化に関する研究が盛んとなる Dulbecco 1950; Kelner 1950; Powell 1959; Brandt and Giese 1956 など
1955年	スイスとオーストリアの地方自治体の水道において初めて紫外線消毒が適用される ノルウェーで初めての水道用紫外線消毒設備が設置される
1980年	オランダで初めての水道用紫外線消毒設備が設置される 以後ノルウェー及びオランダ両国では紫外線消毒が一般的となる
1985年	この年までにスイス、オーストリア両国で導入された紫外線消毒設備の累計はそれぞれ 500 と 600 に達した
1996年	この時点で欧州における飲料水用紫外線消毒システムが 2000 を超える (USEPA の調査による)
1999-2002年	動物細胞への感染性による評価により、少ない照射量であっても紫外線消毒がクリプトスポリジウムの不活化に有効であることが見出され、その効果が再評価される Bukhari ら 1999; Clancy ら 2000; Craik ら、Modifi ら 2001; Morita ら、Mackey ら 2002
2002年	フィンランド・ヘルシンキ市のピトキャスコキ浄水場において処理水量 22 万 m ³ /日規模の浄水処理に紫外線消毒が適用される
2003年	USEPA が「紫外線消毒ガイダンスマニュアル (案)」を提示
2004年	WHO が「飲料水ガイドライン第 3 版」を刊行
2004年	青森県八戸圏域水道企業団 (計画処理水量 2 万 m ³ /日) が紫外線処理を導入
2006年	USEPA が「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」を策定
2007年	「水道施設の技術的基準を定める厚生労働省令」の一部が改正されるとともに、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」が策定され、紫外線処理がクリプトスポリジウム等対策として位置付けられる
2008年	水道技術研究センターが「紫外線照射装置 JWRC 技術審査基準 (低圧紫外線ランプ編)」及び「同 (中圧紫外線ランプ編)」を制定
2008年	カナダ・バンクーバー広域圏のセイモア-キャピラノ浄水場において最大処理水量約 180 万 m ³ /日の紫外線消毒設備が設置される (2009 年運用開始)
2008年	米国・ニューヨーク市で最大処理水量約 900 万 m ³ /日 (240 億ガロン) の紫外線消毒設備の建設が開始される (2012 年稼動開始予定)

(注)EPA の「紫外線消毒ガイダンスマニュアル(案)」の記述に一部追加して作成

6. 2 海外における導入状況

海外での水道における紫外線処理の実施例として、(財)水道技術研究センターが2008年の第20回海外水道技術視察調査で調査した事例を示す¹⁴⁾。

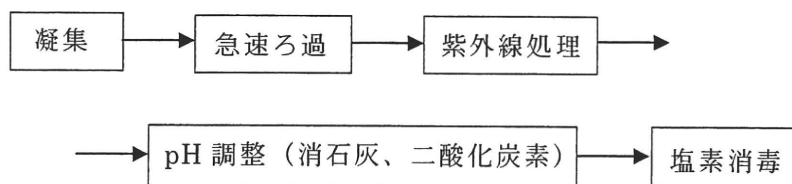
6. 2. 1 セイモア・キャピラノ浄水場

場 所 : バンクーバー・カナダ

最大計画水量 : 1,800,000 m³/d

水 源 : セイモア水源及びキャピラノ水源 (表流水)

処理フロー :



紫外線照射装置

台 数 : 24 基

ランプの種類 : 低圧紫外線ランプ

ランプの本数 : 48 本/基

設計紫外線照射量 : 21 mJ/cm²注)

1 基当たりの最大処理水量 : 94,000 m³ /d

注) MS2 フェージを用いて測定した *RED* (換算紫外線照射量)

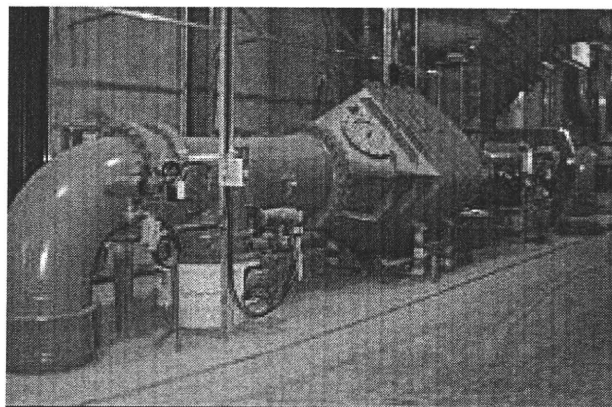


写真 6-1 セイモア・キャピラノ浄水場の紫外線照射装置

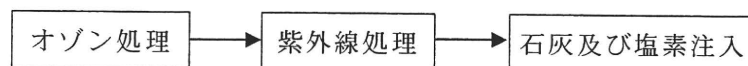
6. 2. 2 シダー浄水場

場 所 : シアトル・アメリカ

最大計画水量 : 680,000 m³/d

水 源 : ヤングス湖 (表流水)

処理フロー :



紫外線照射装置

台 数 : 13 基

ランプの種類 : 中圧紫外線ランプ

ランプの本数 : 6 本/基

設計紫外線照射量 : 40mJ/cm²

1 基当たりの最大処理水量 : 68,000 m³/d

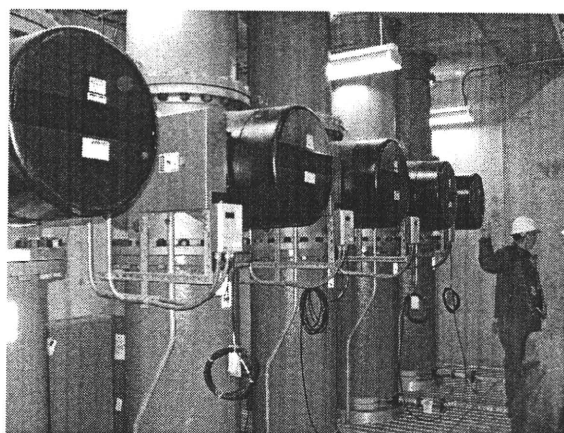


写真 6 - 2 シダー浄水場の紫外線照射装置

6.3 日本における導入状況¹⁵⁾

(財)水道技術研究センターでは、日本紫外線水処理技術協会（JUVA）の会員企業の協力を得て、我が国の水道における紫外線照射装置の導入状況（平成20年3月末現在）について調査を行った。

本調査は、水道を対象として納入された紫外線照射装置とし、契約済段階及び工事中の段階のものも含んでいる。なお、図6-1～図6-3は、調査先である企業からの回答の内容を整理したものであり、導入総数と一致しないことがありうる。

図6-1は、紫外線照射装置の浄水プロセスへの適用における累積導入件数、累積計画処理水量を示したものである。平成18年度までに3件が導入されており、改正省令が施行された平成19年度では累積導入件数は7件、平成20年度では12件である。累積計画処理水量は、平成20年度時点では約40,600m³/日となっている。

図6-2は、膜ろ過洗浄排水や浄水場排水処理の上澄水等の排水プロセスへの適用における累積導入件数、累積計画処理水量を示したものである。平成20年度では累積導入件数は7件、累積計画処理水量は約47,700m³/日となっており、浄水場排水処理においても、クリプトスポリジウム対策として紫外線が用いられていることが分かる。

図6-3は紫外線照射装置の導入件数を計画処理水量別に示したものである。浄水プロセスへの適用では、1,000m³/日未満は6件、1,000m³/日以上～10,000m³/日未満は6件であり、小規模水道への導入が中心となっている。10,000m³/日以上設備は浄水プロセスでは1件、浄水場排水プロセスでは2件となっている。

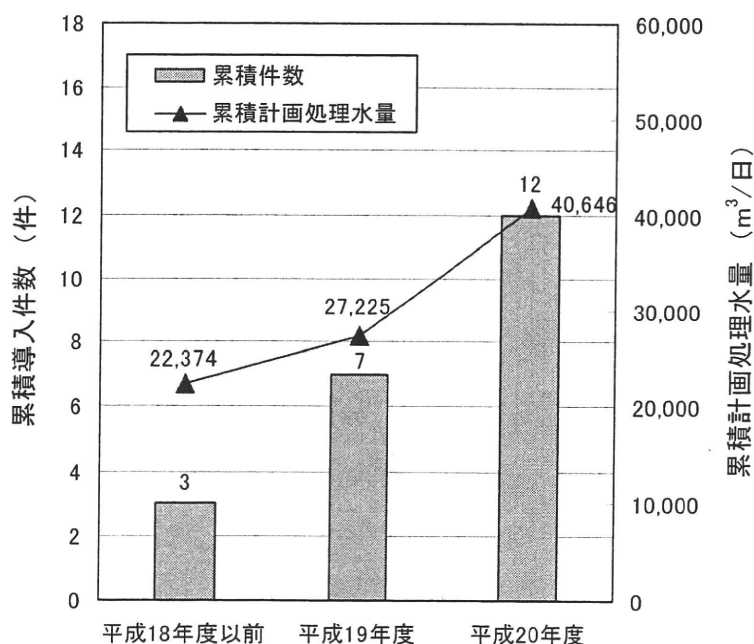


図6-1 紫外線照射装置の導入状況（浄水プロセス）

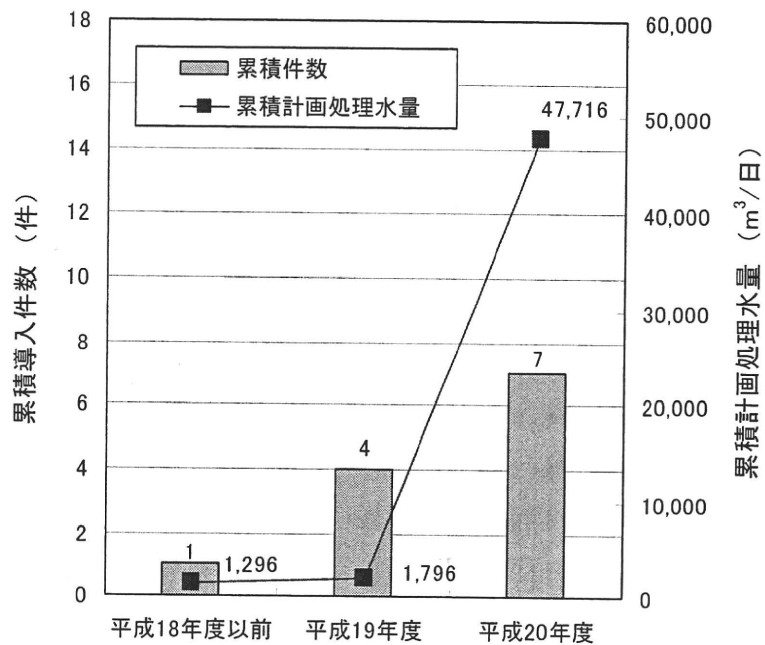


図6-2 紫外線照射装置の導入状況（浄水場排水プロセス）

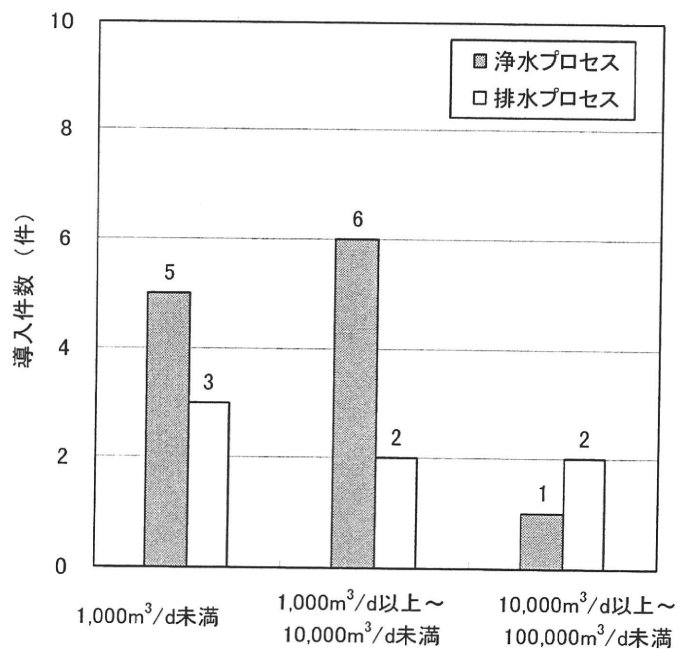


図6-3 紫外線照射装置の導入状況（計画処理水量別）

6. 4 紫外線照射量

6. 4. 1 紫外線のエネルギー

紫外線は光の 1 種であり、紫外線照射の基本要素である光子 (Photon) 1 個が持つエネルギーは次式で表される。

$$E = h \cdot \nu \quad (1-1)$$

ここで、

E: 光子 1 個が持つエネルギー [J=W・s]

h: プランク定数 6.63×10^{-34} [J]

ν : 振動数 [Hz]

すなわち、光子 1 個のもつエネルギーは振動数 (波長の逆数) に比例する。振動数の多い光ほど高いエネルギーを持つ。一方、波長と振動数との関係は次式で表される。

$$C = \lambda \cdot \nu \quad (1-2)$$

ここで、

C: 光速度 3×10^8 [m/s]

λ : 波長 [m]

ν : 振動数 [Hz]

(1-1)、(1-2) 式より、

$$E = h \cdot C / \lambda \quad (1-3)$$

低圧水銀ランプから照射される紫外線の代表的な波長は 253.7×10^{-9} m であるので、この数値を (1-3) 式に代入することにより、この波長の光子 1 個あたりのエネルギーは $E = 7.84 \times 10^{-19}$ J = 7.84×10^{-16} mJ (mW・s) と計算される。

今、1mJ (mW・s) のエネルギーの紫外線が照射された場合、その光子数 N は

$$N = 1 / (7.84 \times 10^{-16}) = 1.27 \times 10^{15} \text{ 個と計算される。}$$

6. 4. 2 紫外線ランプ出力、紫外線強度、紫外線照射量

メーカーからの紫外線ランプの仕様には通常、①ランプ電力、②ランプ電流、③管径、④全長、⑤発光長 (アーク長) などとともに紫外線出力 [W] が表示されている。この値は「公称出力」といい、通常、累計点灯時間が 100 時間に達した時の紫外線出力 [W] で表示されている。ランプ出力は使用時間の経過に伴って低下する。ランプ点灯時間とランプ出力の相対値の関係例を図 6-4 に示す。

所定の相対紫外線出力値を下回った時点でランプを交換する。それまでの累積点灯時間がランプ寿命である。ランプ寿命はランプの種類、メーカーによって異なるが、低圧紫外線ランプでは 8,000~12,000 時間、中圧紫外線ランプでは 4,000~8,000 時間程度である。

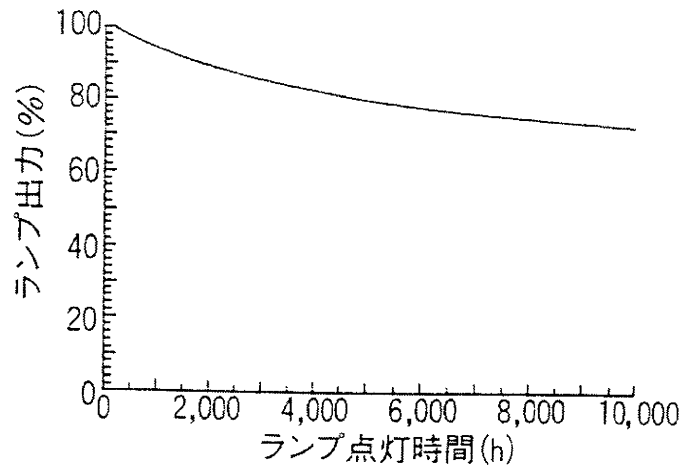


図 6-4 UV ランプ点灯時間と紫外線相対出力の関係例¹⁶⁾
(点灯 100 時間後の値を 100%として)

紫外線ランプ光源を点光源とみなすと、光源から距離 R の位置における紫外線強度 I は

$$I = S/4\pi R^2 \quad (1-4)$$

ここで、 I : 距離 R における紫外線強度 [mW/cm^2]

R : 光源からの距離 [cm]

S : ランプ光源の紫外線出力 [mW]

実際の紫外線照射槽内では、ランプの配列によって、槽内各点における (1-4) 式から計算される紫外線強度は不均一となる。このため装置の設計にあたっては、これを解析し、代表的な強度を前もって求めておく必要がある。

紫外線照射槽における紫外線強度の代表値としては、①平均値と②最小値とが考えられる。経験上、紫外線照射槽内の流れは乱流とみなして、①の平均値を用いる。

この平均強度を求める方法としては、①理論計算により求める方法、②照射槽単位容量当たりの合計紫外線出力から求める方法、③生物検定実測法などがある。

このうち理論計算による方法には 1) 点光源合計計算法 (Point Source Summation, PSS)、2) 単一光源合計計算法 (Single Point Source Summation, SPSS) がある。SPSS 法は PSS 法に比べて計算が若干簡単ではあるが、いずれも計算が複雑で、コンピューターソフトを利用する必要がある¹⁶⁾。紫外線ランプメーカーは独自のソフトを有しているので、利用者側は計算結果の提示を要求することができる。

紫外線消毒の効果は、対象微生物に加えられるエネルギー量によって決まる。そのエネルギー量は紫外線照射量と呼ばれている。

紫外線照射量は次式のように、紫外線強度 (mW/cm^2) と暴露時間 (sec) との積で表される。紫外線照射量は塩素消毒やオゾン消毒の場合の CT 値に相当する概念である。