

JIEG-007-a

紫外線放射の産業界における使用例と

その実用測定機器・方法の現状

紫外放射の放射照度測定方法特別研究委員会報告書 第1分冊

平成6年3月

社団法人 照明学会

目 次

1. 総 論

1. 1 概 要	1
1. 2 委員会 の 構 成	1
1. 3 委員会 活 動 の 概 要	2
1. 3. 1 産業界における紫外放射の応用とその測定の調査	2
1. 3. 2 紫外常用放射標準の設定	3
1. 3. 3 標準の供給と維持	4
1. 4 報 告 書	4
1. 4. 1 報告書第1分冊の内容	4
1. 4. 2 報告書第2分冊の内容	5
1. 5 お わ り に	6

2. 産業界に於ける紫外放射の応用とその測定の実情調査

2. 1 環境浄化（空気、水等）、医療設備の分野	7
2. 1. 1 環 境 浄 化	7
2. 1. 2 医 療 設 備	17
2. 2 半 導 体 産 業 の 分 野	25
2. 2. 1 ま え が き	25
2. 2. 2 超純粋の製造における紫外線殺菌システムと紫外線酸化システム ..	25
2. 2. 3 I C, L S Iの製造工程における紫外放射の応用と測定	27
2. 2. 4 ま と め	31
2. 3 印 刷 ・ 製 版 産 業 の 分 野	37
2. 3. 1 紫 外 線 硬 化 シ ス テ ム の 概 要	37
2. 3. 3 紫 外 線 硬 化 シ ス テ ム 実 施 例	46
2. 3. 4 ホ ト エ ッ チ ン グ の 分 野	48

2. 4	自然太陽光のUV-B放射の測定について	55
2. 4. 1	自然太陽光のUV-B放射の特徴	55
2. 4. 2	自然太陽光のUV-B放射の測定法と問題点	55
2. 5	環境評価試験機器での紫外線放射測定分野	59
2. 5. 1	材料の屋外暴露試験および人口促進暴露での測光	59
2. 5. 2	環境評価試験機器における紫外放射の応用と その実態及び問題点と放射源	62

3. 紫外放射測定機器の現状と問題点の提起

3. 1	実用紫外放射計の性能調査	67
3. 2	紫外放射照度計に対する要求仕様	67
3. 3	要求仕様に対する紫外放射照度計メーカーの対応	67
3. 4	分光応答度の問題	74
3. 5	校正の考え方	74

4. 紫外放射測定での誤差要因とその対応

4. 1	紫外放射測定での留意すべき事項	80
4. 2	至近距離測定での誤差要因	82
4. 3	標準トレーサビリティ	87

5. ま と め

5.	ま と め	87
----	-------	----

1. 総論

1.1 概要

紫外放射の応用は産業界の広い分野にわたっていて、近年とくに、その無公害性から、殺菌、浄化方面での需要が増大している。しかし、このような応用で常に問題にされる必要照射量を定める基礎量である、紫外放射照度（対象物の面に与えられる紫外放射の密度）の測定方法が完成されておらず、測定器の仕様などについても、統一された基準がないため、種々の混乱が生じている。

このような事情から、照明学会に対して、産業界から紫外放射照度の測定を含む紫外放射測定の研究・調査を行うよう要望があり、平成3年度から紫外放射の放射照度測定方法研究調査委員会が発足し、平成5年には照明学会の特別予算を給付されて表記の特別研究委員会となり、活発な研究活動を行った。委員数は後述のように19名で、この間の委員会開催数は15回であり、多数の実験、測定・調査を行い、報告書を作成した。ここで特筆したいのは委員会の出席率であって、全15回の平均出席率は88%であり、参加者が極めてアクティブであったことを示している。

委員会の活動は下記の2項に大別されるので、報告書もそれに沿って2分冊としてある。

- (1) 産業界における紫外放射応用の実態（種別、実施例など）と、それに必要とされる測定量（波長的・空間的要素）、測定環境、及びこれに対応する産業用測定器（いわゆる紫外照度計）の実態調査。使用者例の要求を分析した結果にもとづく測定器の仕様と、測定器製作者の見解にもとづく仕様の対比。（分冊1，全87ページ）
- (2) 産業測定の基準を確立するための放射の標準と、産業の現場で使用する常用標準として使用するものの入手と選別の方法、校正源として使用するための目盛付けの方法、経時変化、分光放射測定の技術と具体的な手段など。（分冊2，全71ページ）

これらの具体的な内容の概要を本編1.4に示す。

1.2 委員会の構成

委員会の構成は以下のとおりである。なお委員は2つのワーキンググループ（WG）に分かれ、それぞれ報告書1，2の作成を担当した。WGの所属は(1)，(2)のようにして示してある。

委員長	中川 靖夫	(埼玉大学)
幹事・WG1主査	石野 正敏	(東芝ライテック(株))
幹事・WG2主査	大谷 文雄	(埼玉大学)
委員・(1)	相原 清	(株)オーク製作所
委員・(1)	浦上 逸男	(千代田工販(株))
委員・WG2幹事	大久保 和明	(松下電器産業(株))
委員・(1)	後藤 学	(ウシオ電機(株))
委員・(2)	斎藤 一郎	(電子技術総合研究所)

委員・(1)(2)	佐々木 政子	(東 海 大 学)
委員・WG2 幹事	須山 恵司	(浜 松 ホ ト ニ ク ス 株 式 有 限 公 司)
委員・(2)	高沢 恒士	(東 京 都 立 工 業 技 術 セ ン タ ー)
委員・(1)	谷水 伸吉	(株 日 立 製 作 所)
委員・WG1 幹事	戸沢 均	(株 ト プ コ ン)
委員・WG1 幹事	古海 浩	(ニ ッ ポ 電 気 株 式 有 限 公 司)
委員・(1)	干場 芳洋	(岩 崎 電 気 株 式 有 限 公 司)
委員・(2)	本間 誠一	(日 本 電 気 計 器 検 定 所)
委員・(1)	馬込 一男	(三 菱 電 機 オ ス ラ ム 株 式 有 限 公 司)
委員・(1)(2)	峰松 陽一	(芝 浦 工 業 大 学)
委員・(1)	三宅 行美	(英 弘 精 機 株 式 有 限 公 司)

委員外の参加者

古橋 正吉(東京医科歯科大学), 大沢 理(ウシオ電機株), 三好 和彦(岩崎電気株), 吉川 和彦(東芝ライテック株), 安田 誠(株日立製作所), 竹下 秀(東海大学)

1. 3 委員会活動の概要

前述のように本委員会では大別して2種類の事項について調査・研究を行った。その1つは産業界における紫外放射の応用の実態と、それに関して要求される測定法の実態の調査である。第2の事項は、実用測定を行う際の測定器の校正、放射源の測定を正確に行うための、常用標準器の設定とその値付けに関する基準の作成である。これらについて行った活動は以下のとおりである。

1. 3. 1 産業界における紫外放射の応用とその測定の調査

産業界において紫外放射の応用がどのように行われていて、その際にどのような測定方法、測定量が必要であるのか。そして、現状の測定装置や測定の規約で、それがどの程度満足されているのか。さらに理想的な測定器についての要求仕様はどのようなものか。などを中心とした調査は、委員及び関連業界等の有識者の発表と討論によるヒアリングを1回約1時間で、計12回行って実施した。また、関連機関である日本電気計器検定所の見学会を行い、紫外放射の測定器に関するアンケート調査を行った。

ヒアリングの分野は医用関係1件、半導体産業関係1件、印刷・水浄化・殺菌関連5件、自然光関係1件、光源関係1件、測定法・測定器関係3件であって、この結果から産業界での紫外放射の応用は、水処理、表面浄化・殺菌の分野のシェアが相当大きいと考えられた。使用方法の特色は、長い放射源で至近距離(数cm以下)の照射を行うことであり、放射源直近の大入射角の放射照度が測定対象になることが確認された。

また、産業界の現場で用いる、紫外放射照度計については、機器の個体差、校正方法の不統一に起因する測定上の問題点(放射源の種類が異なると指示の誤差が大きく変動すること)、入射角度特性が不十分である、などの多くの指摘があった。それらと測定器メーカー側との意見交換が活発に行われて、現場側からの要求仕様ととして表1.1に示すよう

な数値がまとめられ、受光器の厚みを除き、ほぼ要求を満足できるとのメーカ側の見解がしめされた。但し、最も問題となっている、校正方法の統一については更に検討が必要であるので、次に述べる標準の維持の問題と共に、学会から産業界（日本電球工業会など）へ問題提起を行って調整を行うよう検討することとした。

表 1. 1 U V 用 検 出 器 受 光 部 (ヘ ッ ド) の 要 求 仕 様
(最も厳しい要求)

	要 求 仕 様	測 定 対 象 の 装 置 の 用 途
受 光 器 ヘ ッ ド の 大 き さ (平面寸法, 円形・矩形等)	受光面 $\phi 20$ mm	フリッカ-用マイクロ波放電 光源装置のUV測定及び被照射面強度の測定
受 光 器 ヘ ッ ド の 厚 み (底面から受光面までの距離)	1.5 mm	フリッカ-用マイクロ波放電 光源装置のUV測定及び被照射面強度の測定
入 射 角 (1) 絶対的に入射をとり込みたい角度範囲	0 ~ 80°	水殺菌, 品包装材料の殺菌, 光酸化処理 光CVD, 食品容器の殺菌,
入 射 角 (2) COS θ 特性をほぼ満足したい角度範囲	80°	UV硬化樹脂の硬化 表面コート
使 用 温 度 の 上 限	60 °C	業 界 全 般
上 記 温 度 で の 測 定 時 間	連続使用可能	焼付装置露光管理 樹脂, 塗料, インキ等の硬化照度管理

1. 3. 2 紫外常用放射標準の設定

第2の事項は紫外域における放射の測定方法、とくに測定を行う際の基本となる標準器からの値を、産業の現場で使用できるように整えることである。紫外放射の公的な標準は日本電気計器検定所が供給しているハロゲン電球であるが、これは紫外域での放射照度が非常に弱くて、これによって実用的な測定を行うためにはかなり高度の技術と設備が必要であり、現場向きでない。1.3.1の実態調査から、産業界で要求の多い常用放射標準として、254 nmライン放射用のものがあげられたが、この種の常用標準となる殺菌ランプGL-15等の放射を、ハロゲン電球で直接目盛付けすることは一般には極めて困難である。そこで本委員会では254nm放射常用標準に関しては次のような方策を設定した。

- (1) 254nm ラインの放射照度、及び放射照度計の分光応答度を校正するための常用標準として、受光器 (S1337-1010BQシリコンホトダイオード) を設定する。
- (2) 但し、現場で使用する254nm常用標準は、従来の経緯から放射源の方が好都合であるので、受光器から放射源へ値付けする方法を規定して、放射源の (GL-10, 15など) の使用を推奨することとした。なおこれらの放射源の選定・枯化などの方法については文献1) によることとした。
- (3) また、受光器常用標準設定の前提となる分光応答度の値付けの確かさを検討するために、国内4機関 (国家機関2, 民間2) によって分光応答度の相互比較を行い、実的に十分な一致を見ることができた (文献2)。

次に254nm 以外の常用分光放射標準については、連続スペクトルが便利と考えられたので、その候補として150W Xeランプを選定して、常用標準としての使用上の要件である、多数回点滅の、短時間点灯に対する安定性、再現性のテストをほぼ全委員の参加で実施した。この結果L 2273（浜松ホトニクス）が100時間、100点滅での紫外放射照度変化が約2%以内であることが認められ、常用標準となり得ることが分った。また、このランプの分光分布の値付けと供給については将来的に日本電気計器検定所が行う態勢とすることが確認された。

1. 3. 3 常用標準の供給と維持

常用標準については、技術的な問題の他に、その目盛が関係業界の中で、いかに維持されて国家標準につながるかと云うトレーサビリティの確立が、実際上の重要事項となる。現在、蛍光ランプ等については業界内のこの態勢が整って、十分な状態にあり、これがユーザーの信頼につながっている。紫外放射応用についても、更なる発展を行うために、このことが極めて重要な要因となる。

本委員会で検討して推奨した常用標準についても、受光器校正に関する目盛は波長250nm～1100nmまでの分光応答特性が電子技術総合研究所から供給可能であるし、ハロゲン電球による分光放射照度標準にもとづくXeランプ常用分光放射照度標準も前述のように日本電気計器検定所から供給できる見通しであるので、これらにもとづく、254nm 常用標準など、あるいは標準的な紫外放射照度計などの値が常に公的な標準に対してトレーサブルであるかどうかを産業界内で継続的に相互比較し、維持・管理する組織の整備が必要であり、これに関しては照明学会でなく、日本電球工業会などの業界団体での協議が必要である。幸いこれに関しては関係各位の御理解をいただけそうなので、近い将来の実現を目指して努力中であることを付記したい。

1. 4 報 告 書

以上のような経緯から本委員会の報告書は2分冊とし、その1『紫外放射の産業界における使用例とその実用測定機器・方法の現状』，その2を『紫外放射の測定と校正技術』として、以下に示す内容で編集した。

1. 4. 1 報告書第1分冊の内容

『紫外放射の産業界における使用例とその実用測定機器・方法の現状』

1. 総 論

2. 産業界における紫外放射の応用と測定器の実情調査

2. 1 環境浄化（気中，流水等）、医療設備等の分野
2. 2 半導体産業の分野
2. 3 印刷・製版産業の分野
2. 4 自然太陽光のUV-B放射の測定について
2. 5 環境評価試験器での紫外線放射測定の分野

- 3. 紫外放射測定器の現状と問題点の提起
 - 3. 1 実用紫外放射照度計の性能調査
 - 3. 2 紫外放射照度計に対する要求仕様
 - 3. 3 要求仕様に対する紫外放射照度計メーカーの対応
 - 3. 4 分光応答度の問題
 - 3. 3 校正の考え方
- 4. 紫外放射測定での誤差要因とその対応
 - 4. 1 紫外放射測定での留意すべき事項
 - 4. 2 至近距離測定での誤差要因
 - 4. 3 標準トレーサビリティ
- 5. まとめ

1. 4. 2 報告書第2分冊の内容

『紫外放射の測定と校正技術』

- 1. 総論
- 2. 254nm常用標準の設定
 - 2. 1 GL-15、GL-10の254nm常用標準放射源としての運用
 - 2. 2 受光器標準による254nm常用標準放射源の値付け
- 3. 連続スペクトル常用標準
 - 3. 1 常用標準用Xeランプの選定について
 - 3. 2 Xeランプの動程特性
 - 3. 3 Xeランプ分光放射照度の値付け
 - 3. 4 分光放射照度測定例
 - 3. 5 ランプハウスと一体化したXeランプ
- 4. 受光器標準
 - 4. 1 シリコンフォトダイオードによる受光器標準
 - 4. 2 国内4機関における分光応答度の値づけの結果
 - 4. 3 分光応答度の絶対的な値
 - 4. 4 受光器による放射標準の動向
- 5. 分光分布と分光応答度測定の手法
 - 5. 1 分光分布の測定
 - 5. 2 分光応答度の測定
 - 5. 3 測定値の処理

6. その他

6.1 365nm放射の値付けについて

6.2 185nm放射の値付けについて

6.3 重水素ランプ

1.5. おわりに

本委員会の調査・研究が紫外放射応用の更なる発展に寄与できることを念願すると共に、本研究に対して絶大なる御協力をいただいた委員各位、実験用の機材を心よく提供いただいたウシオ電機(株)、浜松ホトニクス(株)に厚く御礼申し上げる次第である。

付記 『標準』の意味について

『標準』又は『標準器』(Standard)とは本来、計量法などの規定にもとずいて国、公的機関あるいは国が認定した事業者が、値付けを行ったものに対する呼称である。具体的には例えば日本電気計器検定所で供給する分光放射照度標準電球を指す。しかし、この『標準』では放射照度が弱いこと、産業界の現場で使用するには寿命などの面から不利であることなどの理由から、商品などの実態に合わせて、この『標準』から使用者が値を移した、別種の校正用機材(光源、検出器)が常用されており、現場からはこのようなものの要望が多い。このような校正用の機材を一般に Working Standard と呼んでいるので、本報告書ではそれに相当するものを『常用標準』と呼ぶこととした。しかし、この『常用標準』と云う用語の一般的な適用については更に今後の論議を待ちたい。

(委員長 中川 靖夫)

参考文献

- (1) 東 堯：照学誌 57-4, 196 (1973)
- (2) 中川ほか：照学誌 77-10, 658 (1993)

2. 産業界に於ける紫外放射の応用とその測定の実情調査

2. 1 環境浄化（空気、水等）、医療設備の分野

2. 1. 1 環境浄化

(1) 空気の浄化

空気の浄化はその対象と目的によって清浄度とその内容が異なってくる。例えば、対象が大気汚染の場合であるかクリーンルームの場合であるか、目的が化学的清浄であるか微生物学的清浄であるかによってその清浄度とその内容が異なってくる。ここでは、UV-C領域（主波長：184.9nm と 253.7nm）を放射する低圧水銀ランプによる空気の浄化について、主としてその対象を室内空気の浄化、目的を微生物学的清浄とする応用分野を紹介する。

(a) 殺菌

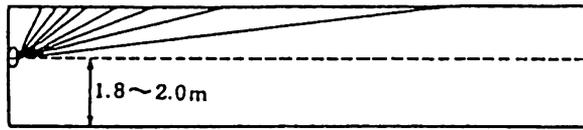
食品の腐敗・変敗や院内感染症はその環境中の空気を媒介とした微生物汚染に起因する 경우가多く、冷暖房機や高性能フィルタ（HEPAフィルタ）などの空調設備の普及にともない、手術室、半導体工場、製薬工場や食品工場など室内空気の微生物学的清浄度を必要とする対象範囲が広がってきた。しかし、空気中には多種・多様の微生物が浮遊しているため、HEPAフィルタを使用した空調設備でも限界があり、実際の室内環境とその微生物汚染制御レベルも一様ではない。そのため対象範囲とその微生物学的制御レベルに合った空気殺菌処理が必要となり、紫外放射を応用した種々の空気殺菌装置が開発され使用されている。紫外放射を応用した空気殺菌装置は自然対流によって運ばれてくる空中浮遊菌を殺菌する殺菌灯具型、室内の空気を循環殺菌するファン内蔵型とダクト内挿入型に大別される。

殺菌灯具型は古くから、食品、製薬、医療などの分野で使用されている。この方法は紫外線が在室者に直接当たらないように床上 1.8～2 m の位置に上向きに取り付けて上層空間を照射し、自然対流で運ばれてきた空中浮遊菌を絶えず殺菌し、落下菌を減少させて目的とする微生物汚染制御レベルに保つのに使用されている。その取り付け状態と殺菌灯具の例を図2.1.1¹⁾と写真2.1.1に示す。さらに、最近オゾンを発生する低圧水銀ランプ（略してオゾン発生ランプと言う）を併用した殺菌灯具が開発され、夜間、在室者がいない間オゾン発生ランプを点灯し昼間は殺菌ランプを点灯することで、より高い効果を得ている。室温 5～10℃の冷蔵庫にランプ電力 65W のオゾン発生ランプと殺菌ランプを併用した殺菌灯具による殺菌効果の例を表 2.1.1²⁾に示す。

ファン内蔵型は室内空気を循環によって殺菌する方法で、その効果は室内空気の清浄度、循環回数、風量、取付位置と場所によって決まる。この方法は強制的に空気を循環するため細菌をまき散らすことが懸念され、比較的清浄度の高い手術室、ICU、新生児室などの院内感染症防止対策に使用されている。この装置は中性能フィルタ、殺菌ランプ、ファンで構成され、風量 50～200 m³ / h で殺菌率 99% の性能を持つ床設置型と壁掛け型がある。最近、オゾン発生ランプと殺菌ランプを併用し、さらにオゾン濃度コントロール機能を組み合わせた装置が開発され、食品工場の微生物汚染制御や食品貯蔵物の鮮度維持（例えば、柑橘類の熟成を促進するエチレングスなどの化学物質の分解）に使用されつつある。



つり下げ式C型



壁掛け形(片面反射付き)

図 2.1.1 吊り下げ型と壁かけ型の取り付け方



つり下げ形



壁掛け形

写真 2.1.1 殺菌灯具

表 2.1.1 オゾン発生ランプ付き吊り下げ型
殺菌灯具の殺菌効果

照射前	
測定点	落下菌数
A	2 4.7
B	1 8.3
C	1 1.3
D	4 5.3
E	7 8.3

注) 野菜室の落下菌数

照射後				
測定点	室名	野菜室(1)	仕込室(2)	鮮魚室(3)
A	(1-1)	0	0	3
	(1-2)	0	0	2
B	(1-3)	0	0	1
	(1-4)	0	0	0
C	(1-5)	2	0	0
	(1-6)	0	0	1
D	(1-7)	0	0	1
	(1-8)	0	0	0
E	(1-9)	1	0	0
	(1-10)	0	0	1
落下菌数 平均値		0.3	0	0.9

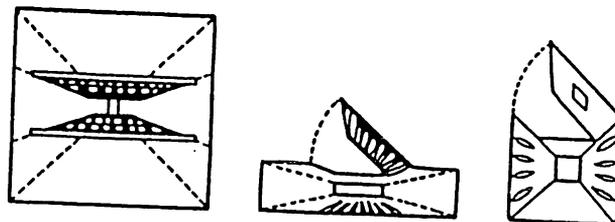
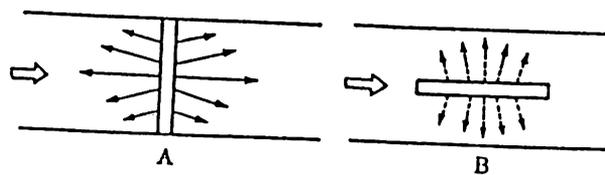


図 2.1.2 殺菌ランプのダクト内取り付け例

空調ダクト内挿入型は既設のダクト内に殺菌ランプを挿入し送風中の空気を殺菌する方法として図2.1.2に示すような例が提案されているが³⁾、つい最近まで我が国において、その事例の研究発表はほとんど見られなかった。最近、中性能フィルタと殺菌ランプを組み合わせた空調ダクト内挿入型について、実用規模（風量 2700 m³ / h）の効果が検証され2、3の新設病院で使用されている。その実験の概略を図2.1.3、その効果を表2.1.2に示す⁴⁾。

(b) 脱臭・殺菌

衆知のように、石英ガラス管で構成される低圧水銀ランプからは253.7nmの紫外放射（略してUVR 254と言う）の他に184.9nmの紫外放射（略してUVR 185と言う）が放射される。UVR 185と空気中の酸素との反応によってオゾンが生成され、次にUVR 254とオゾンとの反応によってラジカル酸素が生成される。オゾンとラジカル酸素はフッ素に次いで強い酸化力を有している⁵⁾、と共にこれらの紫外放射の持つ光エネルギーは表2.1.3に示すように多くの有機化合物の原子間結合エネルギーより大きい⁶⁾。一方、常温領域使用で高分解性能を有する光励起触媒やオゾン分解触媒と反応面積が大きく圧損の少ない構造の担持体が開発されている。

近年、食文化と生活様式の多様化や空調設備の普及に伴い、室内環境空間の臭いへの関心が高まっている。しかし、臭いは多成分の臭い物質であり、そのしきい値が大きく異なることや嗅覚感度に個人差があるため、単一の装置・方法では十分な脱臭は難しい。その有効な脱臭装置として、上記したオゾン発生ランプの性能と触媒の性能とを組み合わせた脱臭装置の開発が進められており、その例として装置の概略を図2.1.4、脱臭効果を表2.1.4と図2.1.5に示す⁷⁾。

(2) 水の浄化

水は生命の存在に不可欠であると共に、食品、製薬、医療、電子産業など、およそ水に無縁の産業はあり得ない。しかし、湖沼、河川、地下水などの水資源は汚染化、枯渇化の方向にあり、水道水の塩素消毒によるトリハロメタンなどの発癌性物質の生成、廃水の放流水の塩素消毒による魚介類や水生植物の生命に影響を及ぼす塩基性有機化合物の生成などの例に見られるように、化学的な水処理方法の弊害が指摘されている。

一方、水の浄化は比較的純度の高い原水の水質向上、廃水二次処理水の殺菌、有害物質の分解に大別される。ここでは、UV-C領域を放射する低圧水銀ランプによる水の浄化として、原水の水質向上と廃水二次処理水の殺菌への応用例を紹介する。

(a) 原水の水質向上

湖沼や河川の水質汚染化による地下水の水質低下にともなって、日本酒やビールなどの酒の仕込み水に使用される井戸水は造水装置によって処理しなければならない状況にある。さらに、水資源の枯渇化にともなって、遊泳プール水や温泉水を循環使用する例が増加している。これらの有効な水質向上対策に紫外放射を応用した種々の水処理装置が開発され使用されている。紫外放射を応用した水処理装置はUVR 185 およびUVR 254 を放射するオ

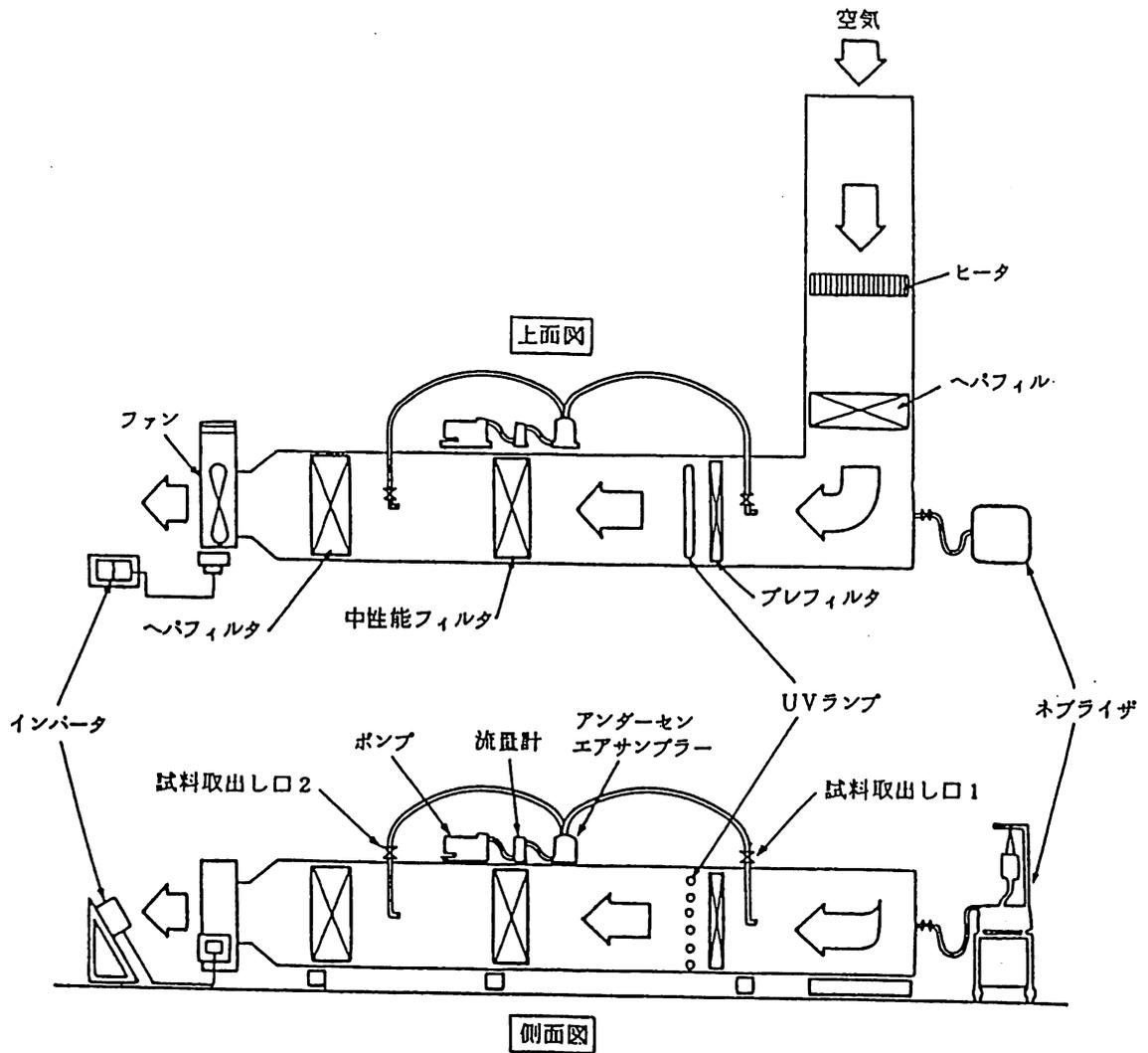


図 2.1.3 室内空気循環殺菌実験装置のフロー

表 2.1.2 中性能フィルタと殺菌ランプ併用による殺菌効果

単位 (個)

		風速 1 m/sec			風速 2 m/sec		
		初期菌	中性能 フィルタ	殺菌灯 +中性能 フィルタ	初期菌	中性能 フィルタ	殺菌灯 +中性能 フィルタ
検出 菌 数	S-1	49.5	2.7	0	22.3	1.3	0
	S-2	52.5	2.0	0	18.0	1.3	0
	S-3	360.5	5.7	0	83.0	1.3	0
	S-4	662.0	131.3	0	423.4	11.3	0
	S-5	436.0	240.0	0	309.0	65.3	0
	S-6	84.0	34.3	0	47.2	15.0	0
合計		1,644.5	416.0	0	902.9	95.5	0

装置内温度26℃

表 2.1.3 化学結合エネルギー

結 合	結合エネルギー (kcal/mol)	結 合	結合エネルギー (kcal/mol)
C - C	83.1	O - O	33.2
C = C	145.1	O = O	117.2
C - H	98.8	O - H	110.6
C - F	105.4	H - F	134.6
C - Cl	78.5	H - Cl	96.9
C - I	51.5	H - N	93.4
C - N	69.7	N ≡ N	225.1
C ≡ N	189.1	Si - O	88.2
C - O	84.0	Si - C	69.3
C = O	173.0	Si - H	73.0

* UN(184.9 nm): 155 kcal/mol
 UN(253.7 nm): 113 kcal/mol

表 2.1.4 混合ガスの脱臭効果

試 薬	流 入 口 側		排 気 口 側	
	ピーク面積 μW×sec	濃 度 ppm (%)	ピーク面積 μW×sec	濃 度 ppm
ジエチルアミン	8618884	18901 (1.89)	0	0
エタノール	2498920	12169 (1.22)	18335	89
キシレン	636017	827 (0.08)	0	0

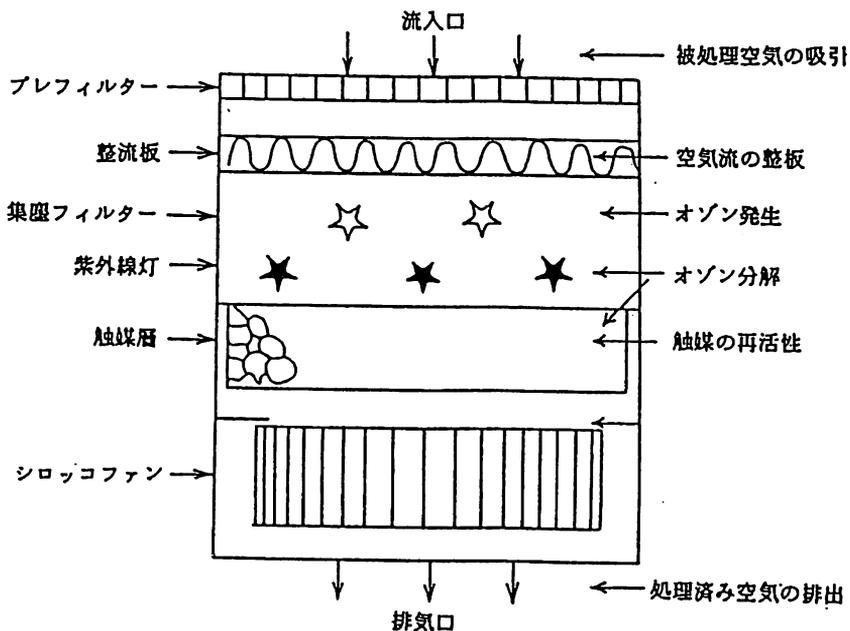


図 2.1.4 脱臭殺菌装置の概略図

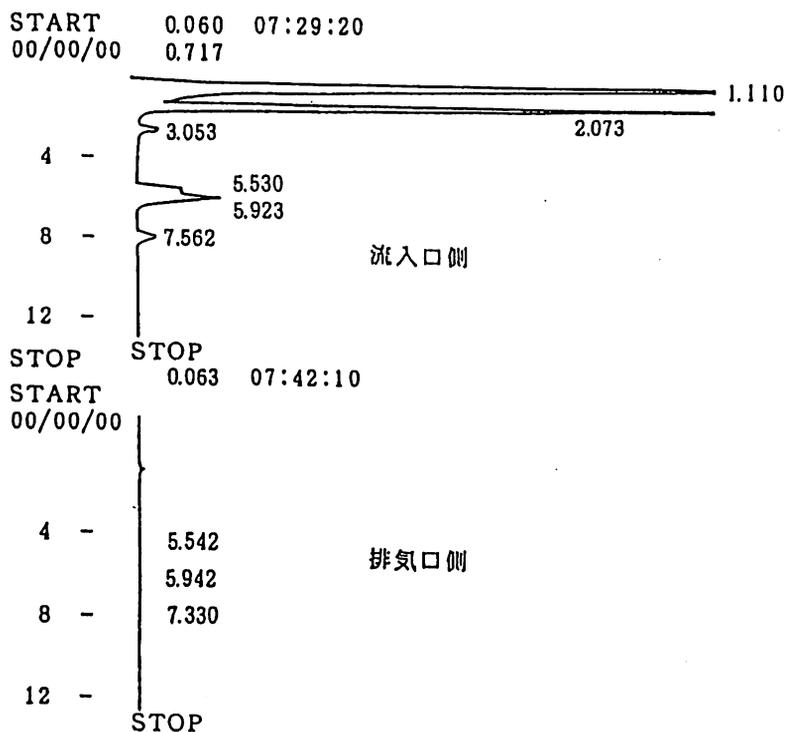


図 2.1.5 混合ガスのクロマトグラフ

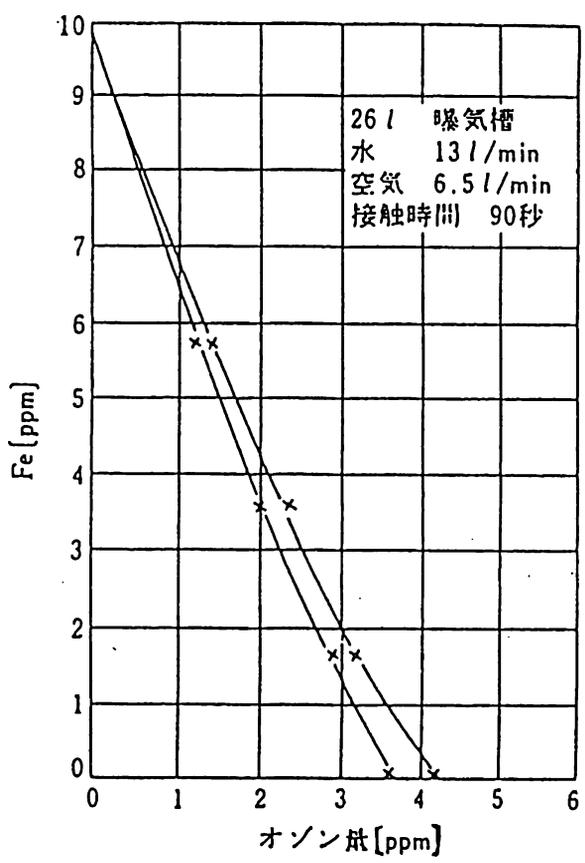


図 2.1.6 オゾンによる Fe^{2+} の酸化除去

ゾン発生ランプを用いた光酸化装置とUVR 254 放射する殺菌ランプを用いた殺菌装置とに大別される。

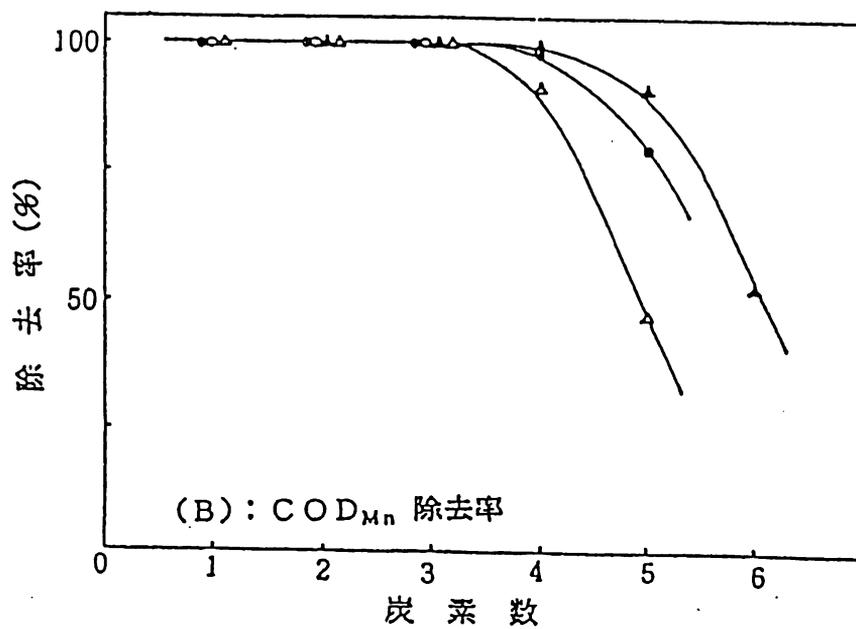
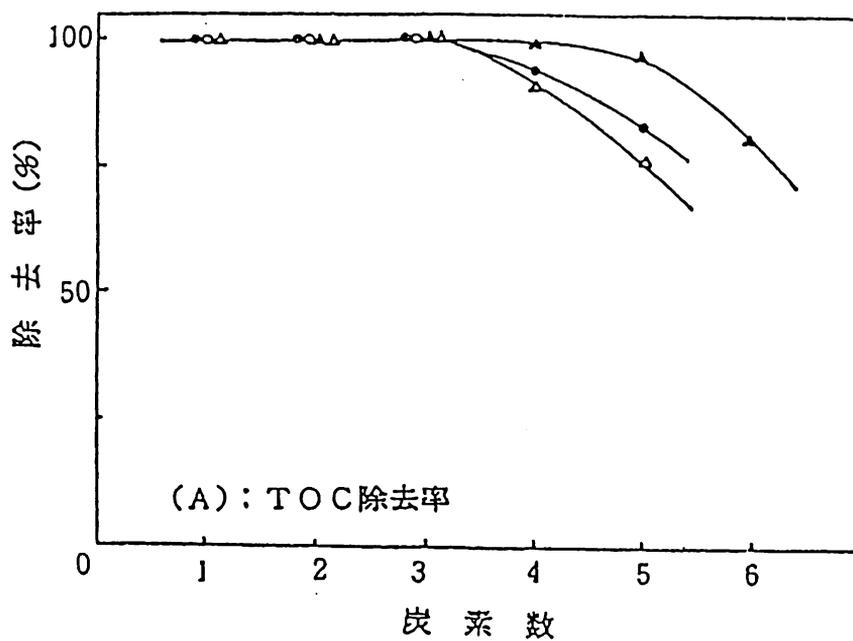
光酸化装置はステンレスタンク、石英外管内にオゾン発生ランプを挿入した二重管ランプとエアープンプで構成される。外管とオゾン発生ランプとの間に上部から空気を流して発生するオゾン空気をタンク内に吹き込み、バブリングさせ、オゾンおよびヒドロキシラジカルと紫外線との酸化反応によって、TOC (Total Organic Carbon…全有機性炭素(水中に含まれる有機物の濃度を炭素量で表したもの))、COD (Chemical Oxygen Demands…化学的酸素要求量(水中に含まれる有機物によって消費される酸化剤の量に対応する酸素量))や金属イオンの低減(図2.1.6、図2.1.7)と殺菌を行う水処理装置である⁹⁾。日本酒の仕込み水質として、細菌数(大腸菌は検出されないこと、一般細菌数 $< 1 / 100 \text{ m l}$)、 Mn^{2+} および $\text{Fe}^{2+} < 0.02 \text{ ppm}$ などの数値が要求され、この水質向上対策に光酸化装置を組み込んだ水処理システムが広くて使用されている。このシステムは光酸化槽、砂ろ過槽、活性炭吸着槽と紫外線殺菌装置で構成される。光酸化槽で Mn^{2+} および Fe^{2+} の沈殿処理と有機物の分解処理を行い、砂ろ過槽と活性炭吸着槽で有機・無機物の吸着除去後にUV殺菌装置で殺菌処理を行う水処理方法である。その例を図2.1.8に示す。

殺菌装置は遊泳プール水の塩素消毒効果の向上および溶存有機物の分解促進や温泉水の化学的変化の少ない殺菌処理など、塩素消毒の補助技術及び代替技術として使用されつつある⁹⁾。遊泳プール水の浄化法には、従来から塩素消毒法が広く使用されているが、塩素消毒は遊泳者の持ち込む有機物、尿素、アンモニアと反応して塩素化合物を生成する。その代表的な物質として強い刺激臭と催涙性のあるクロラミンが挙げられ、それらは紫外線照射によって分解されることが確認されている¹⁰⁾。遊泳プール水に紫外線殺菌装置を併用した処理量 $50 \text{ m}^3 / \text{h}$ のフローを図2.1.9に示す。温泉水の塩素系薬剤やオゾンによる浄化は水質に化学変化を起こし、有効成分が分解されることが懸念される。そこで、砂ろ過器の後に紫外線殺菌装置を設置した浄化法が使用されつつあり、その殺菌効果を図2.1.10に示す。

(b) 廃水二次処理水の殺菌

近年、自然環境の保護と改善の一環として、河川・湖沼の水質レベルの向上や廃水二次処理水の動植物への無害化などの要望が高まっている。その対策として、河川等の公共水域を直接浄化するシステムや下水を水道水なみに高度処理するシステムの開発が国・地方公共団体においても進められており、塩素消毒の代替技術の一つである紫外線殺菌処理がこれらのシステムに組み込まれつつある。すなわち、工場廃水や下水の二次処理水は主に塩素消毒され河川等へ放流されているが、河川の有機物と反応し、トリハロメタンに代表される有害な塩素化合物の生成による発癌性や水棲生物の生命の危惧と生態系のバランスが崩れることなど塩素消毒の弊害が指摘され、その有望な代替技術の一つとして紫外線殺菌処理が注目されている。しかし、我が国の実用例は極めて少ない状況にあるので、米国において大規模に使用されている下水の二次処理水の殺菌について以下に紹介する。

米国では、1970年代後半から1980年代前半の約十年間に亘り、下水や生活排水の二次処理水を対象に塩素消毒の代替技術としての紫外線処理の有効性および経済性等の実用研究



物質: ● … アルコール類, ○ … アルデヒド類,
 △ … カルボン酸類, ▲ … ジカルボン酸類

図 2.1.7 3時間反応後におけるオゾン-紫外線照射法による
 TOCおよびCOD_{Mn}除去に及ぼす炭素数の影響

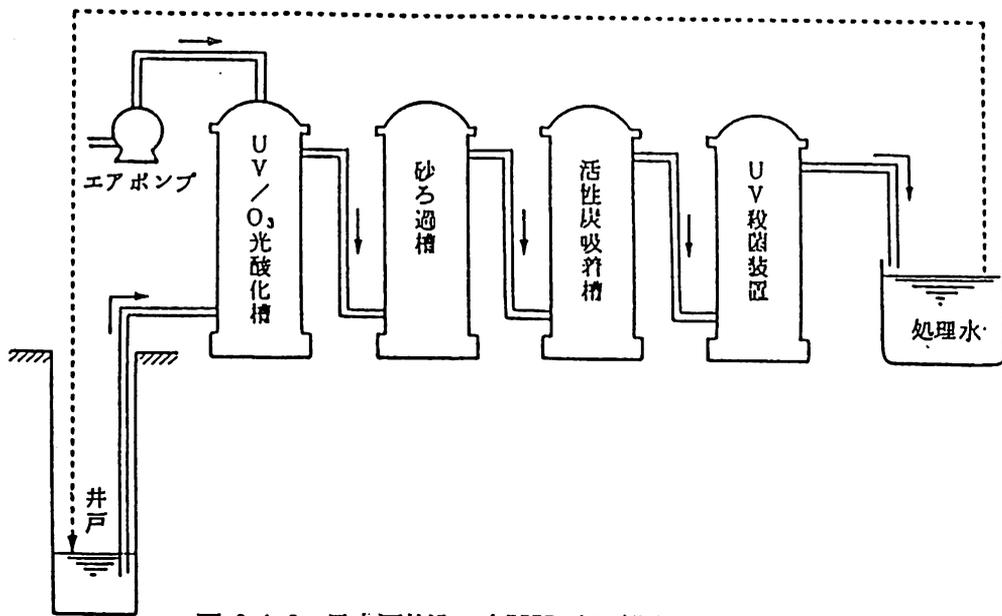


図 2.1.8 日本酒仕込み水UV/O₃処理フロー

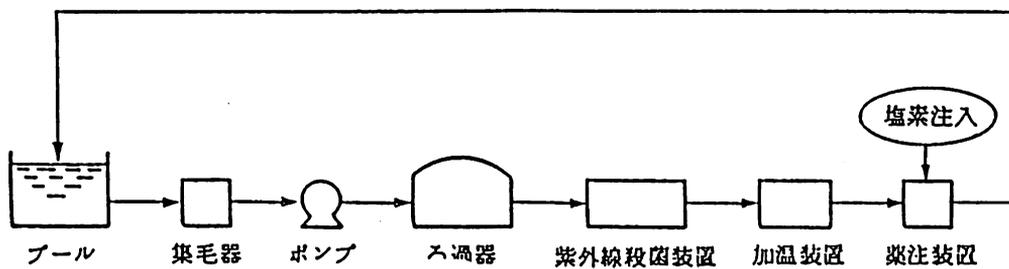


図 2.1.9 遊泳プール水の紫外線殺菌フロー

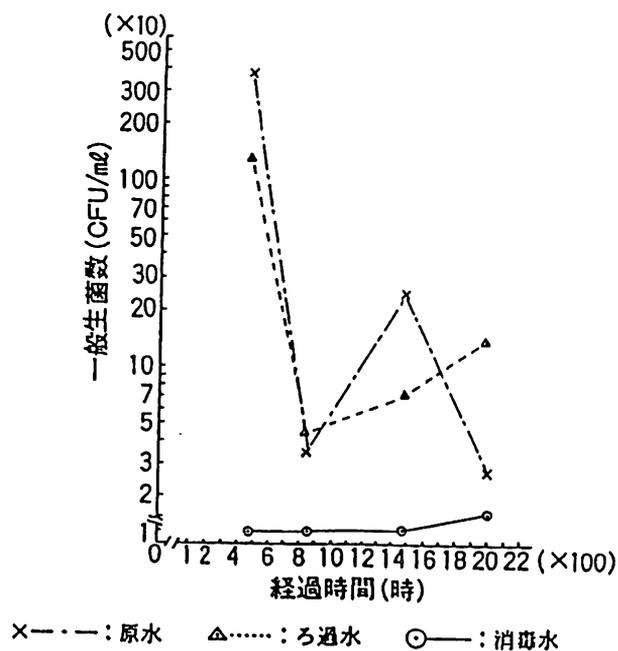


図 2.1.10 温泉循環水の一般細菌数の変動

表 2.1.5 Comparison of capital and operating costs for chlorination, dechlorination, chlorination-dechlorination, ozonation, and ultraviolet disinfection in the U. S. (3)

Disinfection mode	Plant size (10 ³ m ³ /d)			
	3.78	18.9	37.8	378
Capital cost ratios				
Chlorination	2.01	1.76	1.45	0.86
Dechlorination	0.68	0.48	0.36	0.14
Chlorination-dechlorination	2.69	2.24	1.81	1.00
Ozonation by air	9.98	7.46	7.27	6.96
UV (Trojan UV2000 System)	1	1	1	1
Operation cost ratios				
Chlorination	2.77	2.46	2.11	1.47
Dechlorination	1.19	0.90	0.72	0.41
Chlorination-dechlorination	3.96	3.36	2.84	1.88
Ozonation by air	8.67	6.87	6.73	7.05
UV (Trojan UV2000 System)	1	1	1	1

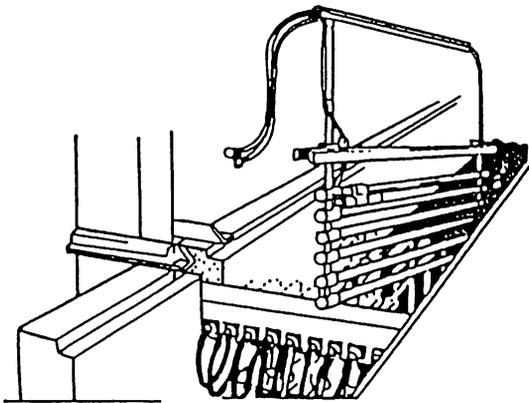


図 2.1.11 殺菌ランプの排水溝への設置例

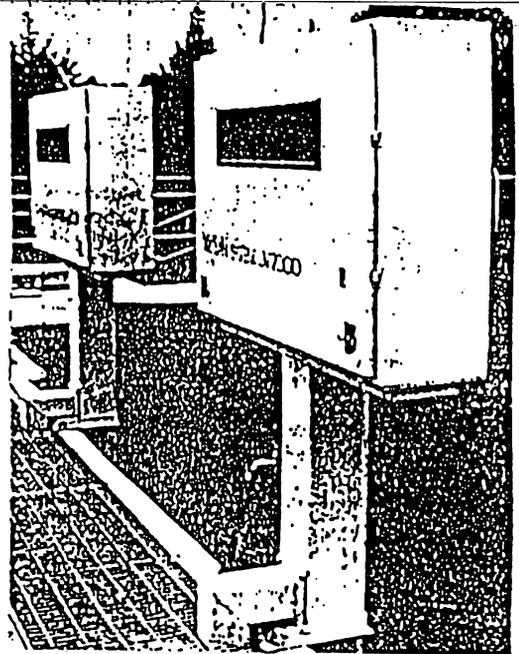


写真 2.1.2 全天候型電源パネルの設置例

が大規模なレベルで実施された。その結果、二次処理水の水質レベル（例えば、BOD およびSSは数10mg / l、UVR 254 の透過率は 60% / cm）においても、99%以上の殺菌効果が得られるとともに塩素化合物や毒性物質の生成がなく、塩素消毒やオゾン消毒に比べ、設備コスト及びメンテナンスコストとも廉価であることが検証され、現在、数百か所の下水処理場で使用されている¹¹⁾。

塩素毒、オゾン消毒と紫外線殺菌の設備コストおよびメンテナンスコストの比較例を表2.1.5¹²⁾ に、紫外線殺菌システムの例を図2.1.11、写真2.1.2¹³⁾ に示す。

2. 1. 2 医 療 設 備

(1) 医 療 用 水

医療用水は主として蒸留装置と逆浸透膜（RO膜）や限外ろ過膜（UF膜）などの膜装置との組み合わせで造水され、造水装置から各部門へ供給するセントラル方式とユースポイントで造水するセクショナル方式の二つの方式で供給されている。しかし、貯水タンク内での細菌の増殖、膜のピンホールやガスケットからのリーク、さらに供給配管の水の滞留部での細菌の増殖や空中浮遊菌の蛇口からの侵入などの問題が指摘されている。

これらの対策として、紫外線殺菌は手術用手洗い水、器材の仕上げ洗浄水、膀胱や腔の洗浄水と消毒薬や人工透析の希釈水など多目的に利用されている。

(a) 手術用手洗い水

手術用手洗い水の造水装置には、蒸留装置と水道水を中空糸フィルターなどで除菌する膜装置がある。前者は滅菌レベルの水質が得られる利点があるが、セントラル方式で供給されているため、蛇口などから一度細菌が侵入すると、配管、貯水タンクなど装置系全体が汚染される。一方、後者は装置が小型・軽量でユースポイントに設置されるなどの利点があるが、膜のピンホールやガスケットからのリーク、停止時のフィルター部での捕獲細菌の増殖などによって水道水以下の水質レベルになる危険がある。

これらの対策として、紫外線殺菌装置を蛇口部又は蛇口のすぐ後に取り付け、蛇口からの細菌汚染の防御と最終取水の微生物学的水質レベルの向上が図られている。蒸留装置の蛇口近くに紫外線殺菌装置を取り付けて一年間無菌状態が維持された例を表2.1.6¹⁴⁾ に、殺菌率 99.999%（対象菌は大腸菌）の性能を有するフィルターと紫外線殺菌器とからなる手術用手洗い水殺菌装置の例を図2.1.12¹⁵⁾ に示す。

(b) 無 菌 純 水

膀胱や腔の洗浄水と消毒薬や人工透析の希釈水の水質には、無菌（1000ml中の細菌数がゼロ）、比抵抗は2MΩ以上で菌体が検出されないこと（パイロジェンフリー、リン物質は2mg/ml以下）などが要求される。これらには、イオン交換装置、逆浸透膜（RO膜）や限外ろ過膜（UF膜）などの分離膜装置と紫外線殺菌装置を組み合わせた無菌純水造水装置が用いられ、微粒子、イオン、有機物、微生物などの不純物を除去している。この無菌純水造水装置のイオン交換樹脂膜や貯水タンク内において、細菌の増殖が懸念されるため、イオン交換装置の後と貯水タンクの循環系の2ヶ所に紫外線殺菌装置が用いられている。そのフローを図2.1.13に示す。

表 2.1.6 手術部手洗い水の細菌検査成績

年 月 日	1 号 器	2 号 器	
55. 5. 17 5. 24 6. 7 6. 14 6. 20 6. 26	貯水槽 → 配管内蒸気殺菌 赤色コロニー多数/1000ml 装置内蒸気殺菌	装置内蒸気殺菌	
		黄白色コロニー多数/1000ml	
		装置内蒸気殺菌	
		黄白色コロニー多数/1000ml	
		装置内蒸気殺菌	
		装置内蒸気殺菌	
3カ月 7. 5 10. 15 10. 17	赤色コロニー9個/500ml 装置内蒸気殺菌	5カ月	
			黄白色コロニー5個/1000ml
			装置内蒸気殺菌
11. 1 11. 13 12. 6	手術室内工事のため休止	2年	
56. 3. 13			黄色コロニー多数/1000ml
装置内蒸気殺菌			
4カ月 7. 18 8. 1	赤色コロニー多数/2500ml 装置内蒸気殺菌		
			装置内蒸気殺菌
6カ月 57. 1. 23 1. 30	赤色コロニー多数/1000ml 装置内蒸気殺菌		
			装置内蒸気殺菌
4カ月 5. 7 5. 21	黄白色コロニー多数/1000ml 装置内蒸気殺菌		
			装置内蒸気殺菌
3カ月 8. 14 8. 16	黄白色コロニー多数/1000ml 装置内蒸気殺菌		
			装置内蒸気殺菌
2カ月 10. 14 10. 22	赤色コロニー多数/1000ml 装置内蒸気殺菌		
			装置内蒸気殺菌

表 2.1.7 大型キャビネット細菌装置の殺菌効果

照射物品	No.	コロニー数(個/12.5cm ²)	
		照射前	照射後
ガウソ	1	0	0
	2	1(かび)	0
	3	1(かび)	0
	4	1	0
	5	6	0
	6	3	1
	7	0	0
	8	1	0
	9	4	0
	10	4	0
	11	4	1
	12	1	0
	計	26	2
スリッパ	1	26	0
	2	6(かび2)	0
	3	7	0
	4	9(かび2)	2
	5	5	0
	6	1	0
	7	0	0
	8	7	0
	9	0	0
	10	0	1
	計	61	3
	統計	87	5

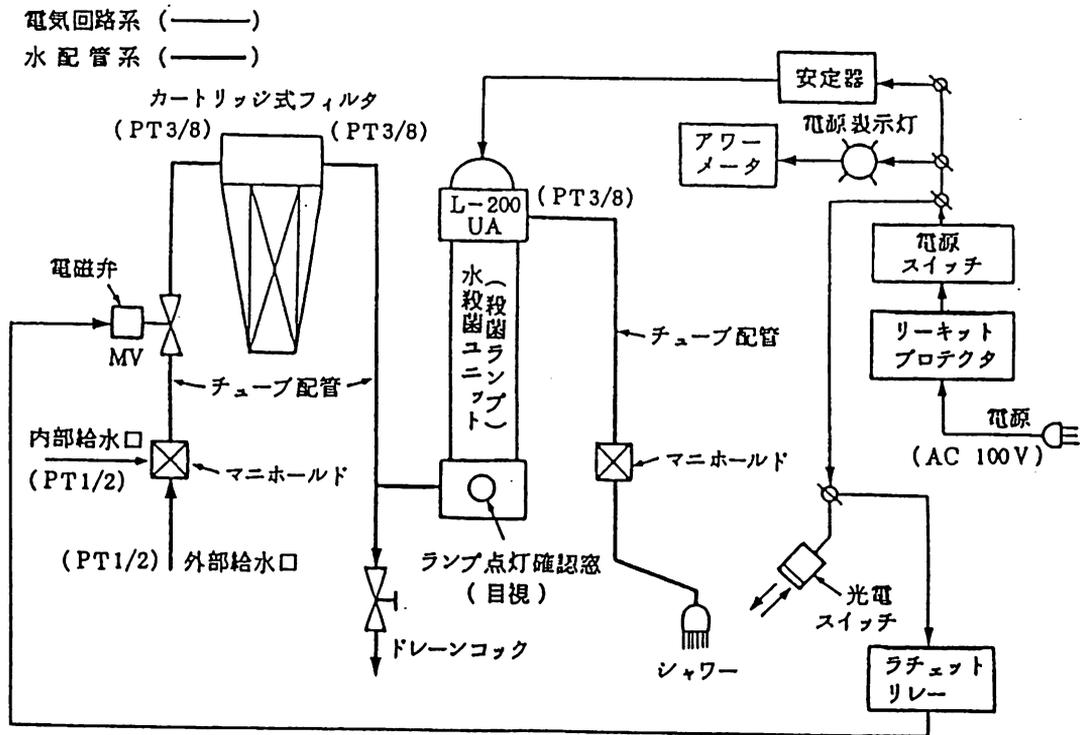


図 2.1.12 手洗い用水殺菌装置のフロー

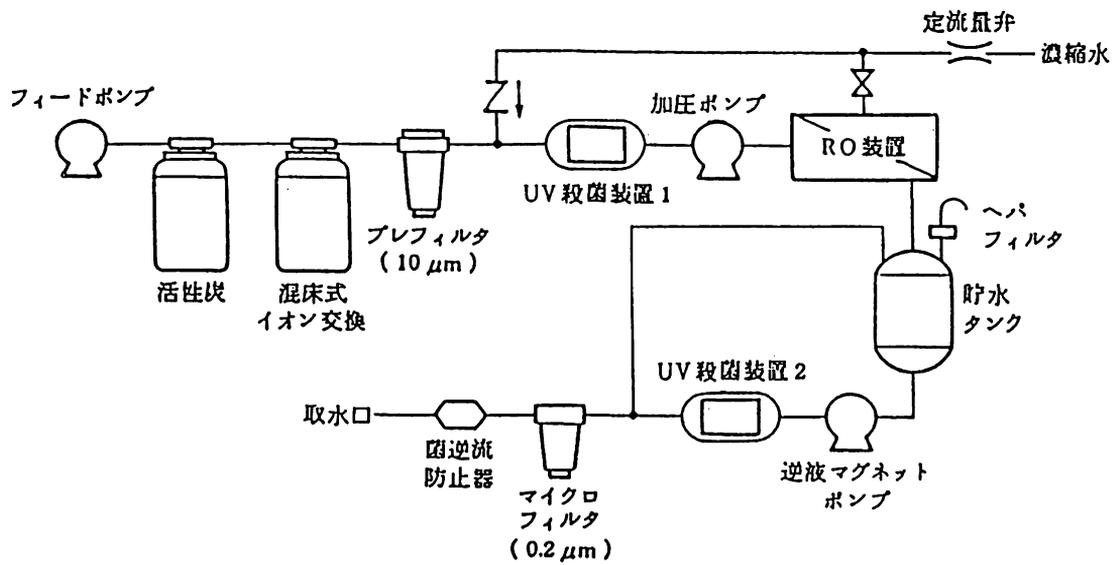


図 2.1.13 RO無菌純水装置のフロー

(2) 院内感染防止

院内感染の経路には、空気や器具・器材を介して感染する間接感染と唾液の飛沫や触手によって感染する直接感染の二つの経路がある。紫外線殺菌は間接感染防止に有効であり、その用途として空気殺菌、室内殺菌と器具・器材の殺菌が挙げられる。

(a) 空気殺菌

今から約30年前、米国で紫外線無菌空気システムと感染率に関する研究・実用化実験が数多く行われ、手術後感染率が顕著に低下したことや空気感染をおこすウイルスに対して99%の不活性化率が得られたことなどの報告があるが^{16, 17)}、広く普及するに至らなかった。その理由としては、空調設備の湿度調節がしにくいことおよび塵埃除去が不十分であること、殺菌線照度が不十分であることなどが考えられる。

現在は、高性能フィルタ(HEPAフィルタ)や超高性能フィルタ(ULPAフィルタ)による空気清浄法が広く利用され、高出力・長寿命の殺菌ランプが容易に入手できるようになっている。

また、最近、紫外線照射がメチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA)の殺菌とB型肝炎ウイルス(HBV)やエイズウイルス(HIV)などのウイルスの不活性化に有効であると報告されている^{18, 19)}。以上のことから、院内感染症の対策として、空調ダクト内挿入型空気殺菌法や殺菌灯具型空気殺菌法が再度検討されている。

空調ダクト内挿入型空気殺菌法の例として、全長8m、直径85mmのステンレススチールダクト、HEPAフィルタからなる実験用空調回路を用いて、菌エアロゾルに対する紫外線の殺菌効果を調べた結果を図2.1.14、図2.1.15に示す²⁰⁾。殺菌灯具型空気殺菌法の例として、内部は鏡面仕上げのステンレス板で作られ、天井面、側面に高出力型の殺菌ランプを多数取り付けられた大型殺菌キャビネットの殺菌効果を表2.1.7に示す²¹⁾。その他に、広く利用されている殺菌灯具型空気殺菌法の例として、クリーンベンチやグローボックスなどの限定空間を殺菌することによって、病原性微生物の取扱上の安全確保および周囲環境からの他の微生物汚染の防止が図られている。

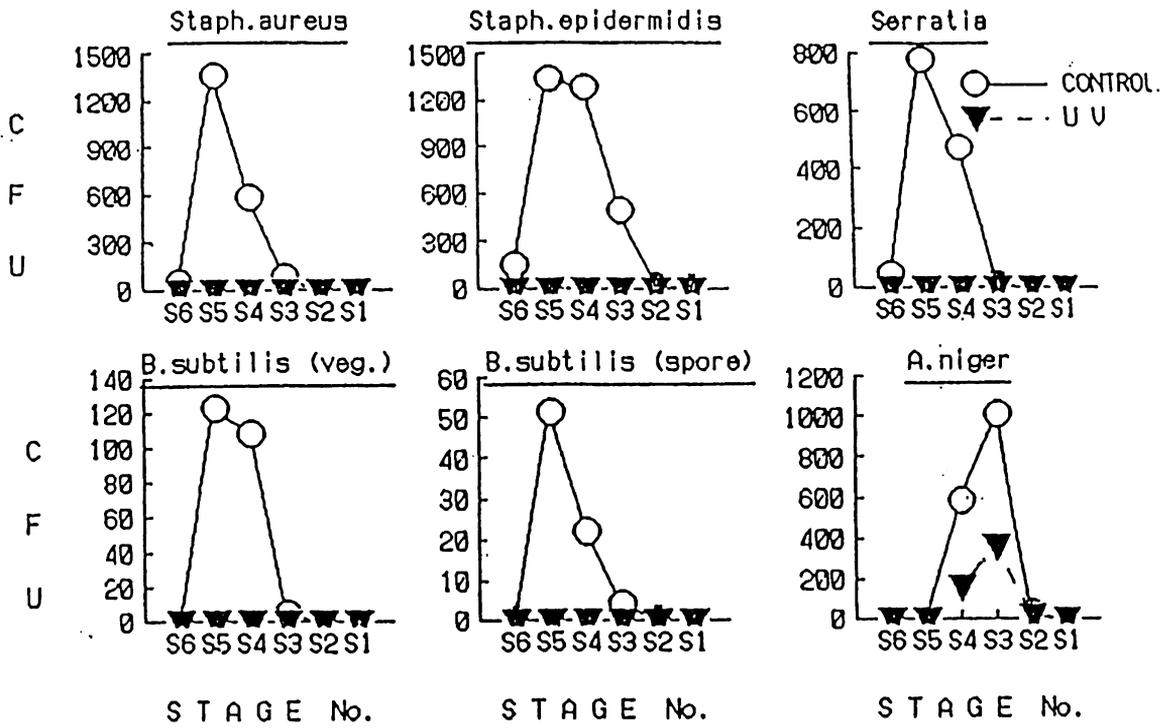
(b) 医療用器具・器材の殺菌

昔から、キャビネット型紫外線殺菌器が滅菌済の医療用具・器材の周囲環境からの微生物汚染対策に利用いられているが、近年、種々の紫外線殺菌機器が院内感染症対策やバイオハザード防止対策に利用されつつある。

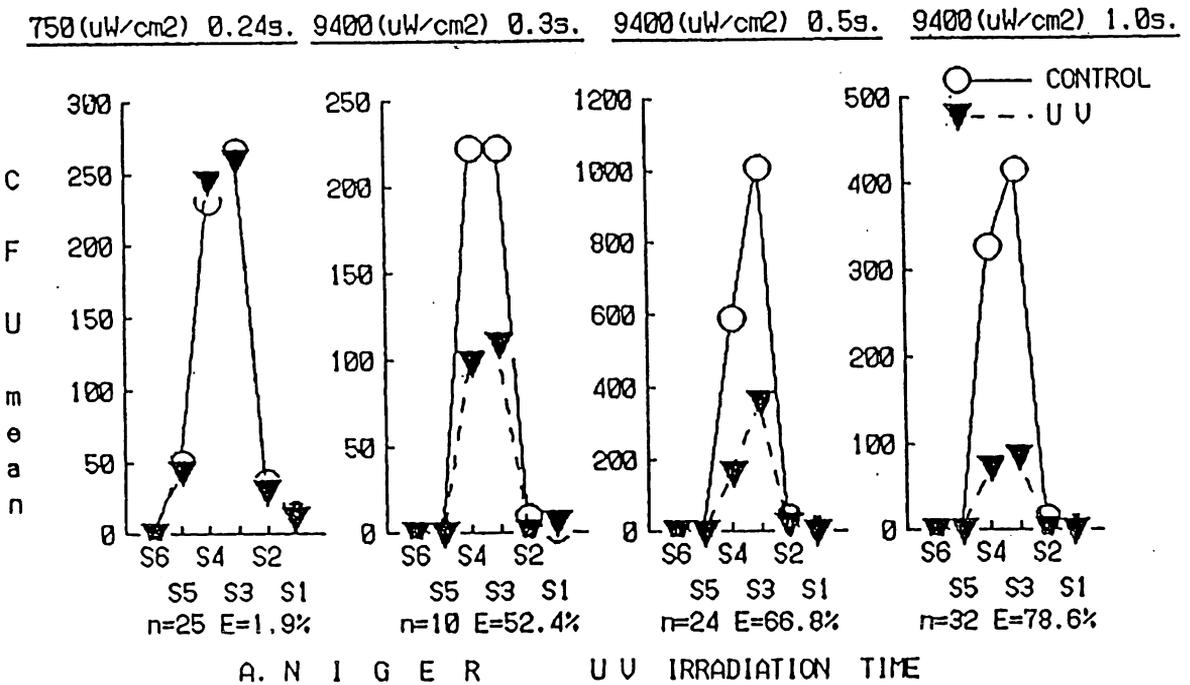
キャビネット型紫外線殺菌器の利用目的には、医療用具・器材の保管と殺菌消毒がある。保管目的には、殺菌線照度は数 $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ で、照射時間は常時照射、または数10分の仕様の殺菌器が用いられている。その例として、内容積約 1m^3 で中央部の殺菌線照度は $700\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の殺菌器の概略を写真2.1.3に示す²²⁾。殺菌消毒目的には、殺菌線照度は数 $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ で、照射時間は数分～数10分の仕様の殺菌器が用いられている。その例として、殺菌線照度 $2000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の医療用消毒器の概略を写真2.1.4、殺菌効果を表2.1.8に示す²³⁾。

その他に、紫外線床面殺菌装置と水モップとの併用による床面の消毒法²⁴⁾や紫外線照射による寝具の消毒法が感染症対策に有効であると報告されている²⁵⁾。

(古海 浩 ニッポ電機)



☒ 2.1.14 UV sterilization efficiency (CFU distribution)



☒ 2.1.15 UV intensity and irradiation time (*A. niger*)

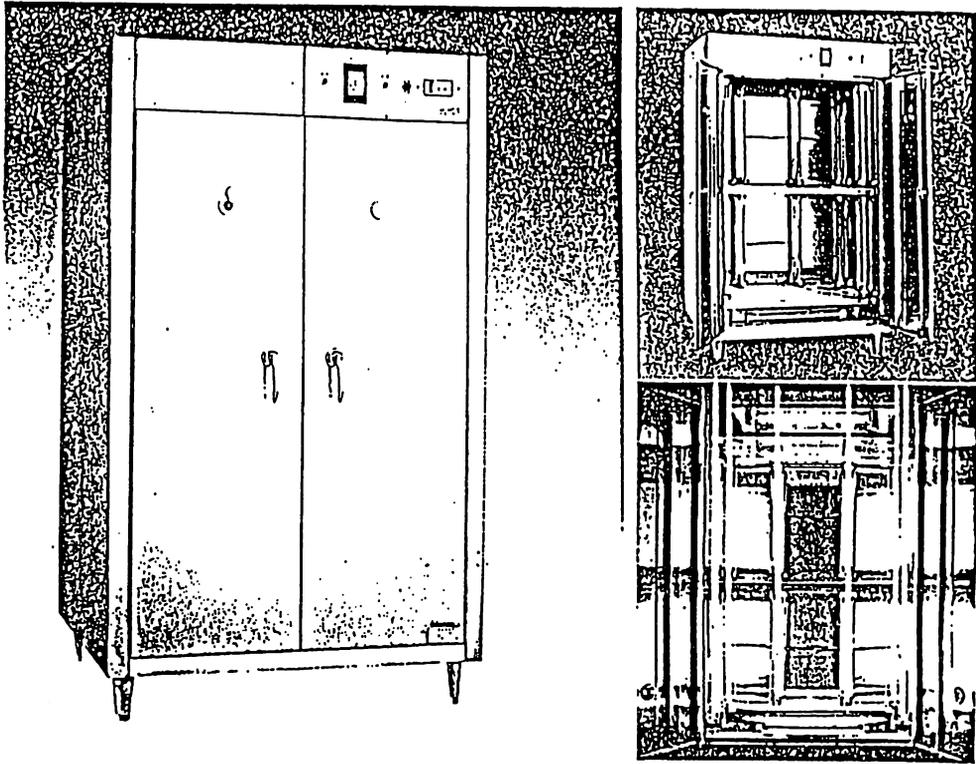


写真 2.1.3 キャビネット型殺菌器

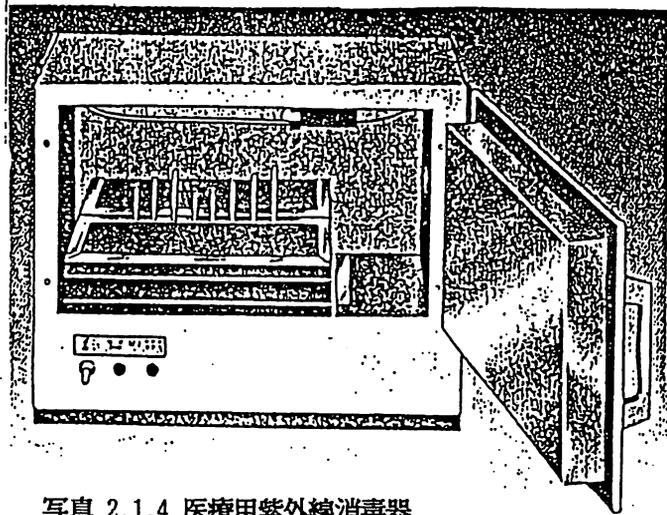


写真 2.1.4 医療用紫外線消毒器

表 2.1.8 医療用消毒器の殺菌効果

菌 種	照射前	照射後
黄色ブドウ球菌	4.12×10^8	0
腸球菌	3.49×10^8	0
枯草菌(栄養型)	4.39×10^8	0
(芽胞型)	1.23×10^8	0
大腸菌	6.76×10^8	0
肺炎桿菌	2.45×10^8	0
セラチア	4.15×10^8	0
緑膿菌	4.23×10^8	0
セパシア	2.56×10^8	0
ブチタ	4.13×10^8	0
蛍光菌	4.38×10^8	0
アシネトバクター	3.15×10^8	0
カンジダアルビカンス	3.15×10^8	0
クリプトコッカスネオホルマンズ	2.36×10^8	0

注) 各種細菌をメンブランフィルタに付着させて室温乾燥後、紫外線を10分間照射

参 考 文 献

- (1) 白石啓文：食品の紫外線殺菌、vol.11、No.4 (1962)
- (2) 古海 浩：紫外線および紫外線とオゾン併用による殺菌、最新技術とその応用、工業技術会、p. 145 (1990)
- (3) Sylvania カタログ資料
- (4) 大石文友ほか：紫外線による空調ダクトの空気殺菌、医用衛生紫外線研究会誌 vol.8、No. 1、p. 26 (1990)
- (5) 電気化学便覧第4版、電気化学協会編、丸善
- (6) 化学便覧基礎編2.、日本化学会編、丸善
- (7) 西村チエ子ほか：光触媒を用いた悪臭脱臭殺菌装置の性能評価、医用衛生紫外線研究会、vol.1.6、No.2、p. 27-28 (1987)
- (8) 高橋信行：オゾンと紫外線の併用による数種の低分子有機化合物の分解、工業用水、p. 22-23 (昭和62年10月号)
- (9) プール技術研究会：紫外線による遊泳プール水の消毒浄化に関する資料、(1991)
- (10) 大垣眞一郎ほか：下水処理における紫外線照射と塩素注入との併用処理、土木学会 第45回年次学術講演会 (1992年3月)
- (11) G.Elliott Whiby ほか：Ultraviolet disinfection of secondary effluent、J.WPCF、vol. 1. 56、No. 7 (1984)
- (12) Barry G.Oliver ほか：Ultraviolet disinfection: an alternative to chlorination、J.WPCF、vol. 1. 48、No. 11 (1976)
- (13) Trojinカタログ資料、Ultraviolet disinfection for packaged plants.
- (14) 上田伊佐雄ほか：手術用手洗い水に対する紫外線殺菌装置の併用経験、医用衛生紫外線研究会誌、vol. 2、No. 2、p. 7 (1983)
- (15) 村山良介ほか：医療における紫外線照射処理、造水技術、vol. 15、No. 1、p. 22 (1989)
- (16) Smith L.R. ほか：Improved ultraviolet radiation: further studies in the control of infection in the operating room、J. Int. Coll. Surg.、vol.42、p. 38-43 (1964)
- (17) Jensen M.M. : Inactivation of airborne viruses by ultraviolet radiation、Appl. Micro. biol.、vol. 12、p. 418-420、(1964)
- (18) 山根 健ほか：MRSAに対する紫外線感受性、医用衛生紫外線研究会誌、vol. 10、No. 1、p. 40-43 (1991)
- (19) 山根 健：ウイルスと紫外線、医用衛生紫外線研究会誌、vol. 10、No. 2、p. 48-52 (1991)
- (20) 中村 宏ほか：実験用空調ダクトにおける紫外線空気殺菌、医用衛生紫外線研究会誌、vol. 5、No. 1、p. 1-12 (1986)
- (21) 村山良介ほか：大型紫外線消毒器につれて、病院設備、vol. 23、No. 2、p. 83-86 (1980)
- (22) ニッポ電機カタログ資料、紫外線殺菌庫

- (23) 古海 浩：応用面から見た殺菌ランプ特性の把え方（2）、医用衛生紫外線研究会誌。vol. 1、No. 2、p. 33-34（1982）
- (24) 西村チエ子ほか：清掃用床面殺菌装置の効果について、医用衛生紫外線研究会誌、vol. 4、No. 1、p. 30-32（1985）
- (25) 村山良介ほか：寝具の消毒に関する研究、高知女子大学紀要、自然科学編、vol. 27、p. 37-49（1979）

2. 2 半導体産業の分野

2. 2. 1 まえがき

各産業界に於いて紫外放射は広く利用されているが、半導体産業に於いても各製造工程で紫外放射が使用されている。ここでは、半導体工場で使用される超純水の製造に於ける紫外線殺菌システムと紫外線酸化システムについてと、I C、L S Iの製造工程に於ける紫外放射の利用¹⁾について記載する。その中で露光工程と紫外放射によるレジスト硬化の工程を例にとり、どのような方法で紫外放射の測定がなされていて、紫外放射の測定に対してどのような問題点があるかについても記載する。

2. 2. 2 超純水の製造に於ける紫外線殺菌システムと紫外線酸化システム

半導体産業は、紫外線殺菌システムと紫外線酸化システムが非常に多く導入されている分野である。メガビット超L S Iの製造で使用する超純水の水質は、ますますグレードアップしており細菌やT O C値（全有機炭素量）に対する要求も極めて厳しい。最新の超純水の水質レベルを表2.2.1に示した。特に細菌は、それ自体有機物であるから、その存在はT O C値の増大や微粒子数の増加となるし、さらに短時間のうちに増殖するおそれがあるので、そのコントロールは非常に重要である。そのため、紫外線殺菌システムは、まさに欠くことのできないプロセスとして数多く活躍してきた。図2.2.1に、半導体工場での代表的な超純水製造フローを示した²⁾。

超純水の製造ラインは、イオン交換樹脂や逆浸透膜（R O膜）あるいは限外ろ過膜（U F膜）などの膜装置との組み合わせで、水中の不純物を順次取り除いていくシステムである。しかし、イオン交換樹脂が、細菌の増殖しやすい環境であること、膜装置も細菌で目づまりなどのトラブルを起こしやすいことから、紫外線殺菌システムが、イオン交換樹脂の後段、および膜装置の前段などで数多く適用されているのである。処理流量は100~200m³/h程度であることが多いが、装置はそれらの条件に十分対応できるようラインナップされている³⁾。

また、水が長時間滞留するタンク内は、菌が非常に増殖しやすい環境であるため、タンクに浸漬型の紫外線殺菌装置を適用すると、より効果的である。

一方、紫外線酸化システムは、低圧紫外線酸化装置と高圧紫外線酸化装置とに大別される。低圧紫外線酸化装置は、184.9nmの紫外線を放射する低圧水銀ランプを用い酸化剤を併用しないシステムであるが、高圧紫外線酸化装置は、253.7nm、365nmの紫外ラインスペクトルを放射する高圧水銀ランプを用い、H₂O₂やオゾンなどの酸化剤を併用してT O Cを分解するシステムである。

紫外線によるT O C分解システムの中で最も早く実用化されたのが、半導体工場の回収処理系に適用されている高圧紫外線酸化システムである。ユースポイントから排出される洗浄排水は、各種の有機溶媒を含んでいるが、排水の規制や原水確保の厳しい状況から、回収して再利用する方向（クローズドシステム化）にある。その中で、排水中のT O Cを分解除去する方法として高圧紫外線酸化装置が導入された。フローの一例を図2.2.1に示してあるが、通常、活性炭やイオン交換樹脂などと組合わせて処理している。回収系のT O C成分は、主に、エタノール、2-プロパノール、アセトンなどの低分子有機物で、濃

表 2.2.1 超純水要求水質の推移

指標	集積度			
	64 Kビット	256 Kビット	1 Mビット	4 Mビット
生菌 (ヶ/ml)	0.5~1以下	0.02~0.1以下	0.01~0.05以下	0.01 以下
TOC (ppm)	0.5~1以下	0.05~0.2以下	0.03~0.1 以下	0.01~0.05以下

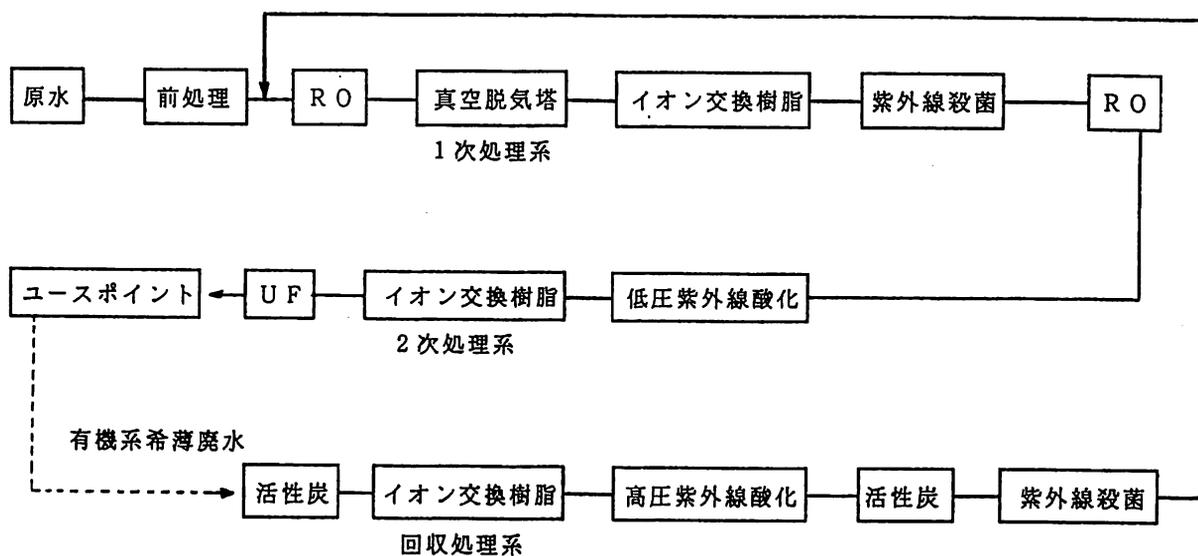


図 2.2.1 超純水製造システムフロー

度は2～3 ppmである場合が多い。上記システムはこれを、0.3～0.5 ppm にまで分解除去しようとするものである。

紫外放射照度としては2～3 kWh/m³ で、ランプは20 kWクラスの大容量のランプが用いられる。処理流量は各工場によって異なるが、50～100 h/m³ 程度のところが多い。なお、酸化剤としては、塩類の発生がないH₂O₂ が使用され、通常、理論必要量の2～3倍添加される。

それに対し、数 ppb 以下のTOC値が要求されるユースポイント直前では、低圧紫外線酸化システムが適用されている。RO膜などの他の方法では、このような低濃度の、特に低分子量の有機物は除去しきれないため、このシステムはまさに画期的な技術として急速に普及した。そのしくみは、酸化剤といえども不純物となり得るものを必要としないので、ユースポイント直前での適用が可能である。図2.2.1にフローの一例を示している。通常20～30 ppb のTOCを上記システムで数 ppb にまで分解除去しようとするものである。このとき、酸化装置の後段には通常イオン交換樹脂を設け、紫外線で分解してできた有機酸などを除去して、より効率良くTOCを低減している。UV殺菌装置に比べると装置1台あたりの処理流量は小さいが、複数台組合せて適用されている³⁾。

2. 2. 3 IC、LSIの製造工程に於ける紫外放射の応用と測定

(1) 半導体工場に於けるIC、LSIの製造工程

半導体工場ではシリコンウェハを加工してIC、LSIを製造している。その工程を図2.2.2に示す。通常シリコンウェハ上に回路を形成する迄を前工程と言い、チップに切る工程(ウェハダイシング工程)以降を後工程と言う。各工程と紫外放射の用途を表2.2.2に示す。前工程の膜形成、光微細加工はフォトリソグラフィと言われていた工程で写真製版の技術を応用してウェハ上に微細パターンを形成している⁴⁾。露光方法は1:5の縮小レンズによるレンズプロジェクション方式(ステッパー)が多く採用されている。焼付け用光源としては1～2 kWクラスの超高圧水銀ランプ(ショートアークランプ)が使用され、露光波長は436nm(gライン)、又は、365nm(iライン)が使用されているが現在では365nmが主流である。例として図2.2.3に一般によく使用されている超高圧水銀ランプの分光分布を示す。

周辺露光というのは、ステッパーで露光を行なう場合ウェハの周辺部は露光されない為塗布されたレジストが現像後も残り搬送等によりレジストが脱落しパーティクルの発生を引き起こす、これを防止する為にウェハの周辺部のみを露光する工程である。光源として200～500 Wクラスの超高圧水銀ランプの光をミラー光学系により集光し光ファイバー、及び、光ファイバー照射部に設けられたレンズ光学系によりウェハの周辺部だけに光を当てるファイバー光源装置⁵⁾が使用されている。露光波長はiライン、hライン、gラインであるがフィルターにより不要な波長をカットして露光する場合もある。この工程はステッパーによる露光の前、又は、後に行なわれている(図2.2.2では露光の前としている)。周辺露光では光ファイバー付き受光器が装置内に組み込まれていて定期的に放射照度の管理がされている。

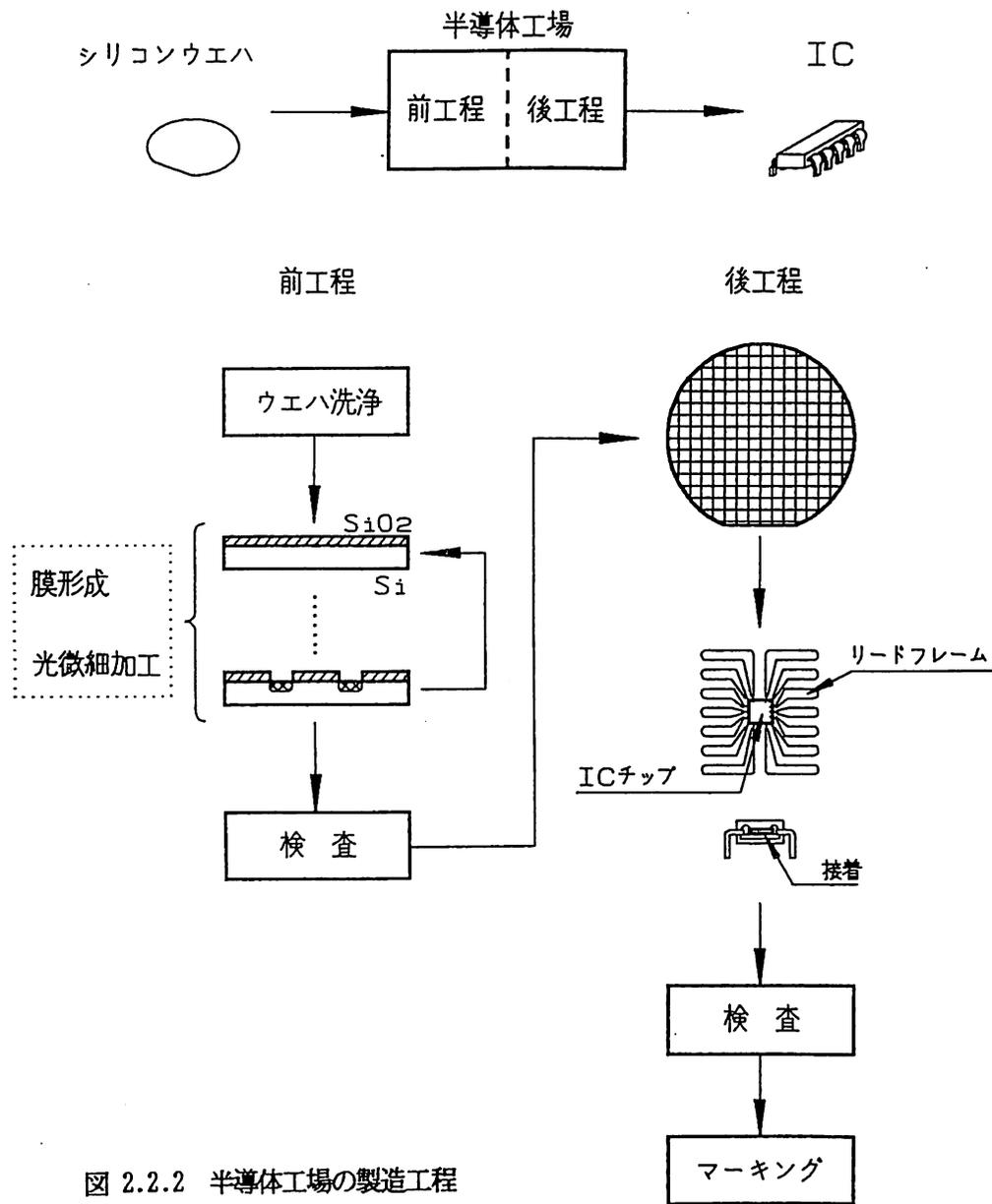


図 2.2.2 半導体工場の製造工程

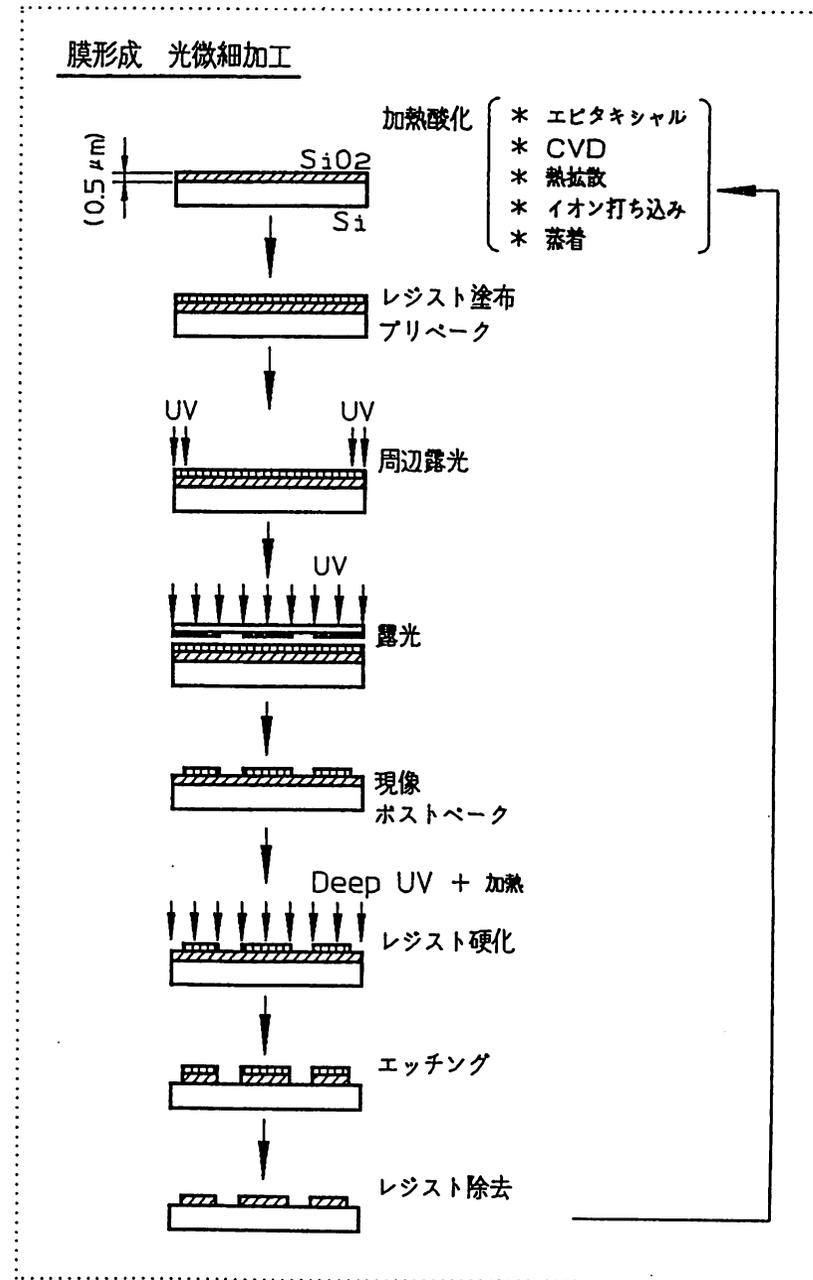


表 2.2.2 各工程と紫外放射の用途

No.	工程	紫外放射の用途	備考
1	洗浄	・光洗浄	DeepUV+O ₃ でSi表面の有機物を酸化 気化させる。
2	膜形成	・チャージ除去 ・光CVD	プラズマCVDの後のチャージ除去。
3	光微細加工	・露光 ・周辺露光 ・レジスト硬化 ・アッシング	ウエハ搬送の際レジストが剥がれゴミ になるのを防ぐ為、あらかじめウエハ 周辺のレジストを除去する。 レジストの耐熱性を上げる為の処理。 DeepUV+O ₃ でレジスト除去を行なう。
4	検査	・チャージ除去	EPROMのメモリークリア。
5	後工程	・UV接着剤硬化 ・粘着テープの粘着力低下 ・UVインキ乾燥	ダイシング後のチップピックアップを 容易にする。

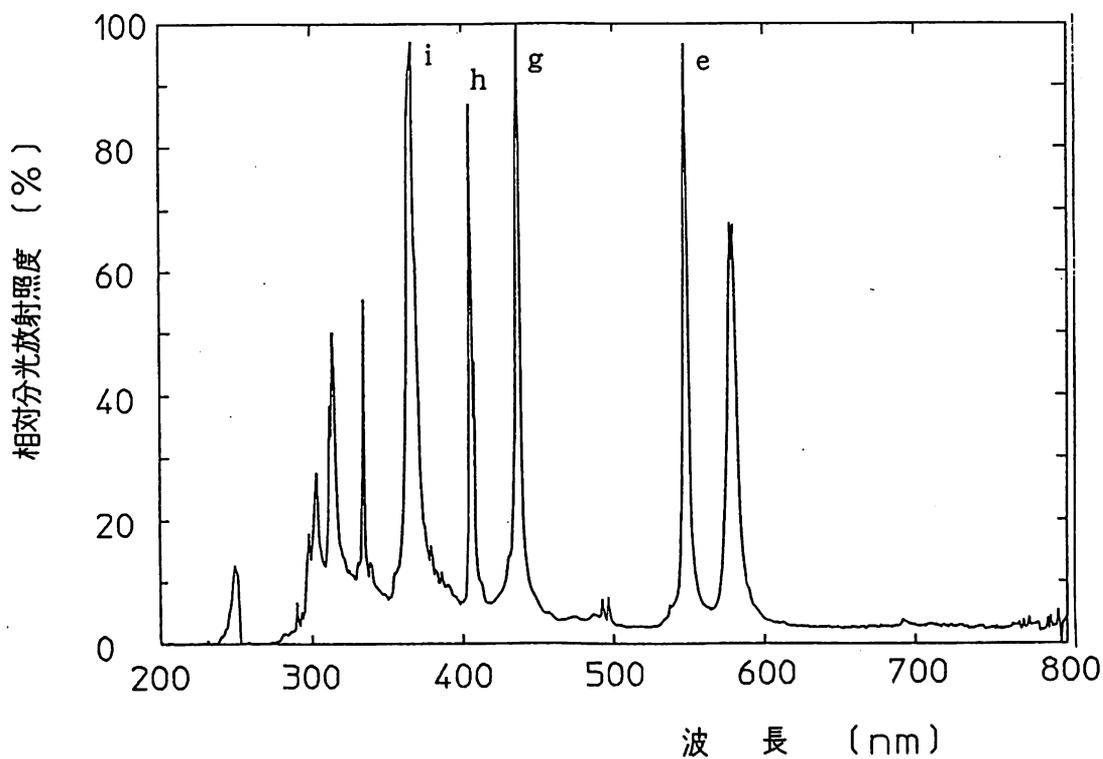


図 2.2.3 超高压水銀ランプ (500W) の分光分布測定例

紫外線によるレジスト硬化の工程はレジストの耐熱性を上げる為の処理で露光を行なった後にロングアーク高圧水銀ランプの Deep UV 光（波長 220～320 nm）をウエハ全面に当てる工程である。この処理を行なうことによりドライエッチングの際、温度上昇によりレジストの形状がくずれてしまうことを防止できる。

加工の微細化が進む中で周辺露光は5～6年前から、紫外放射によるレジスト硬化は約10年前から半導体の製造工程で使用されはじめ現在に至っている。

（2） 露光方法と紫外放射の測定について

現在、使用されている露光方法⁴⁾は

- ①コンタクト／プロキシミティ方式 [図2.2.4 (a)]
- ②ミラープロジェクション方式 [図2.2.4 (b)]⁴⁾
- ③レンズプロジェクション方式 [図2.2.4 (c)]

であり、各々量産の最小線幅は大略 $10\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $0.8\mu\text{m}$ である。主流のメモリー（DRAM）は現在1Mから4M（ $0.8\mu\text{m}$ ）にシフトが進んでおり、16M（ $0.5\mu\text{m}$ ）も生産の本格化を受けて今後急増することが予想される。露光方法は③の方式で、波長はiラインが採用されているが、この方法で64M（ $0.35\mu\text{m}$ ）までは可能であると言われている。各露光方法に於ける露光面での放射特性の現状を表2.2.3に示す。各露光装置には必要な波長の光だけを照射するため光学系に多層膜蒸着を行なったコールドミラーやフィルターが使用されている。露光装置には放射照度を管理する為のモニター受光器が光学系の途中に設けられており積算露光制御を行なうセンサーとして使用されている。モニター受光器の出力値に応じてシャッターの駆動機構を制御し設定した積算露光量の照射ができるしくみになっている。又、1日1回程度、受光器により露光面に於ける放射照度、及び、露光面内の放射照度分布が測定されている。ステッパーの場合装置内にこの受光器が組み込まれていて自動的に測定が行なえるようになっている。これらのモニター受光器や受光器は通常はシリコンフォトダイオードと色ガラスフィルターを組み合わせた物が使用されている。図2.2.5に受光器の構造例を示す。バイアス電圧は0Vで $10\mu\text{A}$ 位の光電流で使用している。受光器の分光応答度特性の例を図2.2.6に示す。応答度はそれぞれ365nm, 405nm, 436nmで値付けをしている。タイプA、Cの場合は主波長が365nm、又は、436nmの場合に使用されている。タイプBの場合は主波長が365nm, 405nm, 436nmの場合に良く使用されている。

（3） 紫外線レジスト硬化工程と紫外放射の測定について

露光工程の後、フォトレジストに Deep UVを照射することにより耐熱性が向上する。これによりドライエッチングの際の高温に耐えることができる。紫外線フォトレジスト硬化装置（UVハードニング）の光学系の例を図2.2.7に示す。4kWの高圧水銀ランプを2灯使用している。光源の分光分布を図2.2.8に示す。露光面に於ける放射の特性は表2.2.3の通りである。モニター受光器は装置内に組み込まれており放射照度の管理に使用されている。

モニター受光器への値付けの手順の一例を次に示す。

- ①分光放射照度標準電球で分光計の校正を行なう。
- ②参照光源の分光放射照度を分光計で測定し 220nm～330nm を積算する。
- ③参照光源で受光器（185nm～320nm に応答度がある）に値付けを行なう。
- ④受光面をウェハ面と同一距離に置いてランプハウスユニットの放射照度を測定する。
- ⑤ランプハウスユニット交換時、内蔵のモニター受光器に値付けする。
- ⑥参照ランプハウスユニットでモニター受光器に値付けする。

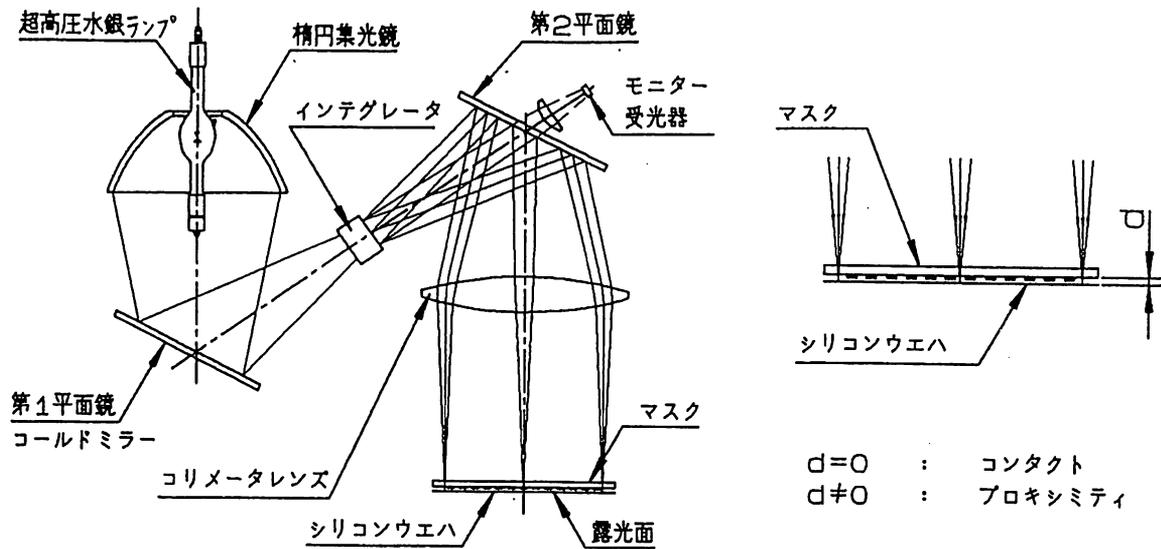
①～④はメーカーで行ない、⑤、⑥はユーザーで行なっている。

（４） 紫外放射の測定に於ける問題点

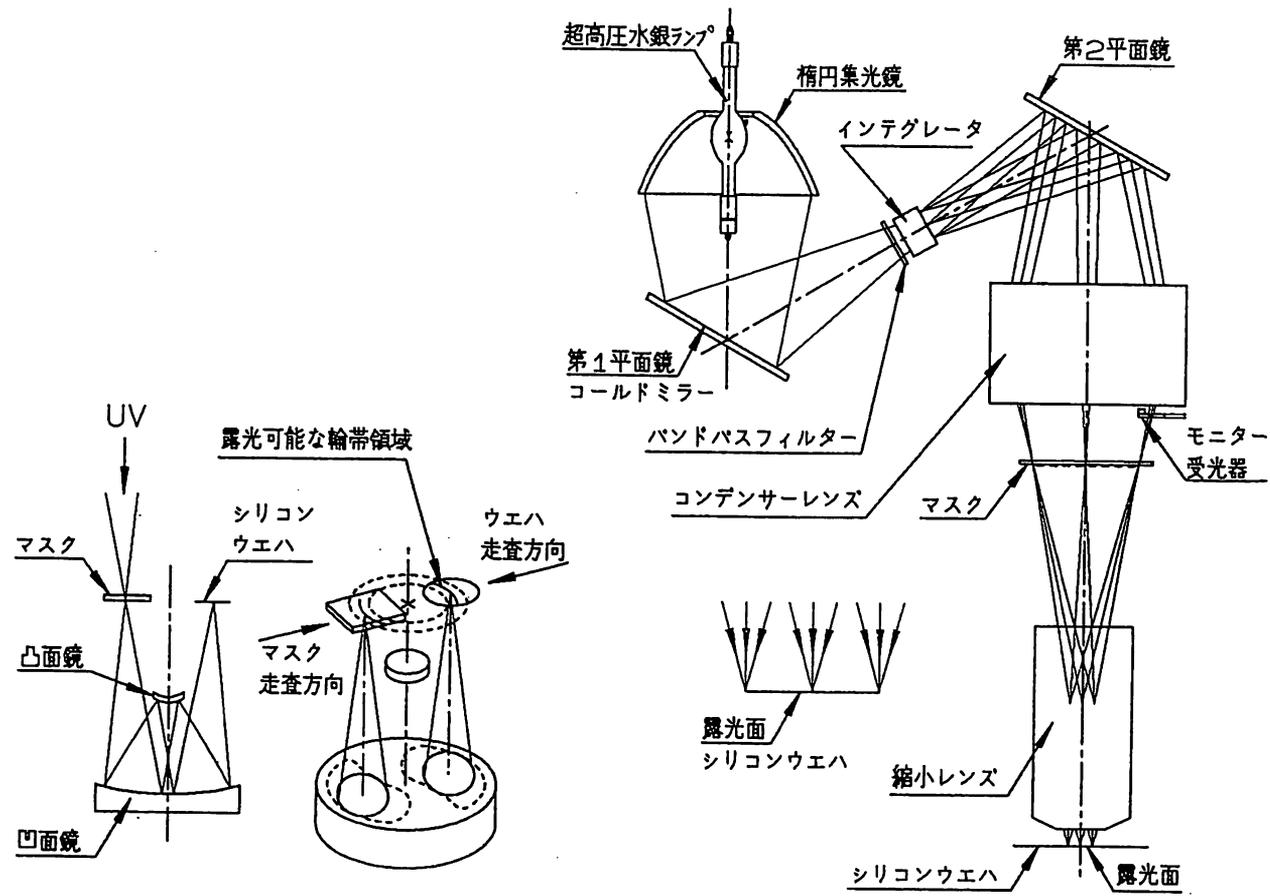
露光工程に於いてはかなり高品質の紫外放射が要求されている（表2.2.3）。多層膜のコールドミラー、及び、フィルターによる波長の選択、高い放射照度、均一性、安定性、主光線がウェハに対し垂直に照射される（主光線の入射角度が $\pm 1^\circ$ 以内）、といった特性が必要とされており、これらの紫外放射の測定に対してもかなり厳しい精度が要求されている。受光器は単色波長で校正されている為、ステッパーのように単色で露光する場合はかなり有効である。又、比較的平行光に近く受光器の入射角度特性が $\text{COS}\theta$ 特性からかなり外れていてもあまり問題とはならない。露光以外のUV照射装置と比較すると測定条件はかなり良いと言える。しかし、ユーザーではモニター受光器、及び、受光器が組み込まれた露光装置をかなりの台数使用しているケースがほとんどであり、これらの装置間で測定バラツキをなくす為に標準となる受光器を用いて定期的に校正が行なわれている。これらの受光器による測定値のバラツキは $\pm 1\%$ 以内を要求されている。

コンタクト／プロキシミティ方式やミラープロジェクション方式で露光装置の主波長が365nm, 405nm, 436nmである場合、受光器の分光応答度は図2.2.6（タイプB）に示したように広く、受光器毎に分光応答度のバラツキがある為、同じタイプの受光器でも、受光器毎に測定値が異なる（超高圧水銀ランプの光で $\pm 5\%$ 位）という問題も生じている。

紫外線フォトレジスト硬化装置（図2.2.7）の場合、高圧水銀ランプの光を直接シリコンウェハに照射する為、照射面は光源の近くに設定されていて 300°C の温度に達する場合もある。又、スペースが限られていて非常に狭い所に放射照度を測定するモニター受光器を設置しなければならないという問題もある。実際には照射面上に受光器をのせることになるので、できるだけ高さを抑えたものが要求されている。このような状態で放射照度、及び、放射照度の照射面内分布を測定しなければならない為、入射角度特性が良く、厳しい環境でも安定して測定できるモニター受光器が求められている。又、受光器を校正する時の放射照度に対し、実際に使用する時の放射照度は相当高い値を測定しなければならないという問題がある。



(a) コンタクト/プロキシミティ方式



(b) ミラープロジェクション方式

(c) レンズプロジェクション方式
 (ステッパー)

図 2.2.4 各種露光方式

表 2.2.3 各露光方式とレジスト硬化装置の放射特性の現状

項目	コンタクト プロキシミティ	ミラー プロジェクション	レンズ プロジェクション	レジスト 硬化装置
光源	ショートアーク 超高圧水銀ランプ	ショートアーク 又はロングアーク 超高圧水銀ランプ	ショートアーク 超高圧水銀ランプ	ロングアーク 高圧水銀ランプ
主波長〔nm〕	365、405、436	365、405、436	365 (又は 436)	220 ~ 320
主要波長域放射 照度〔mW/cm ² 〕	20 ~ 100	200	500 ~ 1000	500 ~ 1000
全放射照度	同上 ~ × 2 倍	同上 × 2 倍	同上	2.2 ~ 4.4 W/cm ²
主光線の入射 角度〔deg.〕	± 1 以内	± 1 以内	± 1 以内	± 50 以内
最大光線入射 角度〔deg.〕	± 1 ~ ± 4	~ ± 5	~ ± 30	~ ± 60
放射照度の 場所むら〔%〕	± 3 以内	± 3 以内	± 1 以内	~ ± 10
放射照度安定度 (5分)〔%〕	± 0.5 以内	± 0.5 以内	± 0.5 以内	± 3 以内

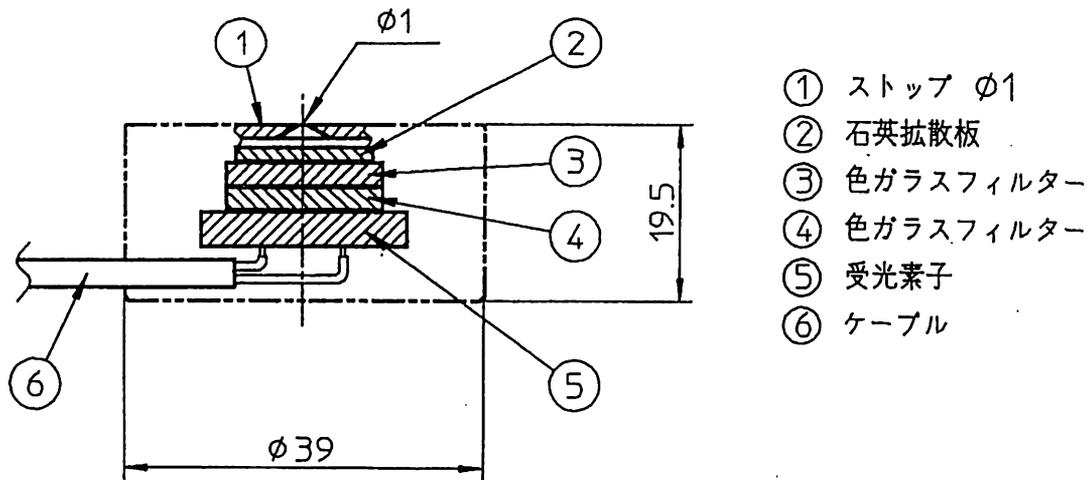


図 2.2.5 受光器の構造の例

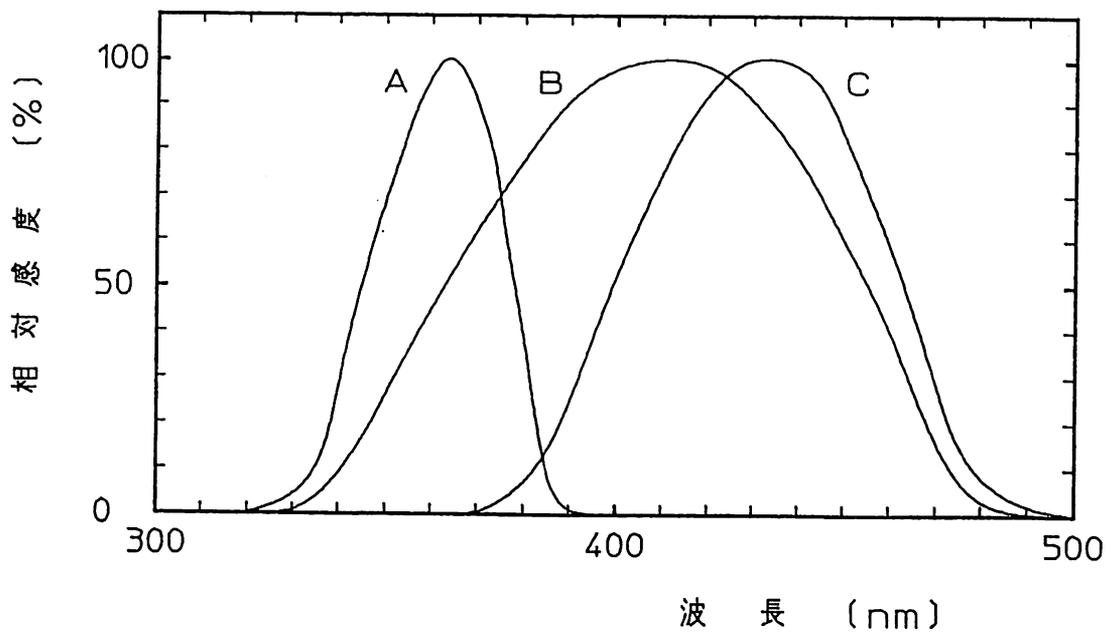


図 2.2.6 受光器の分光応答度特性例

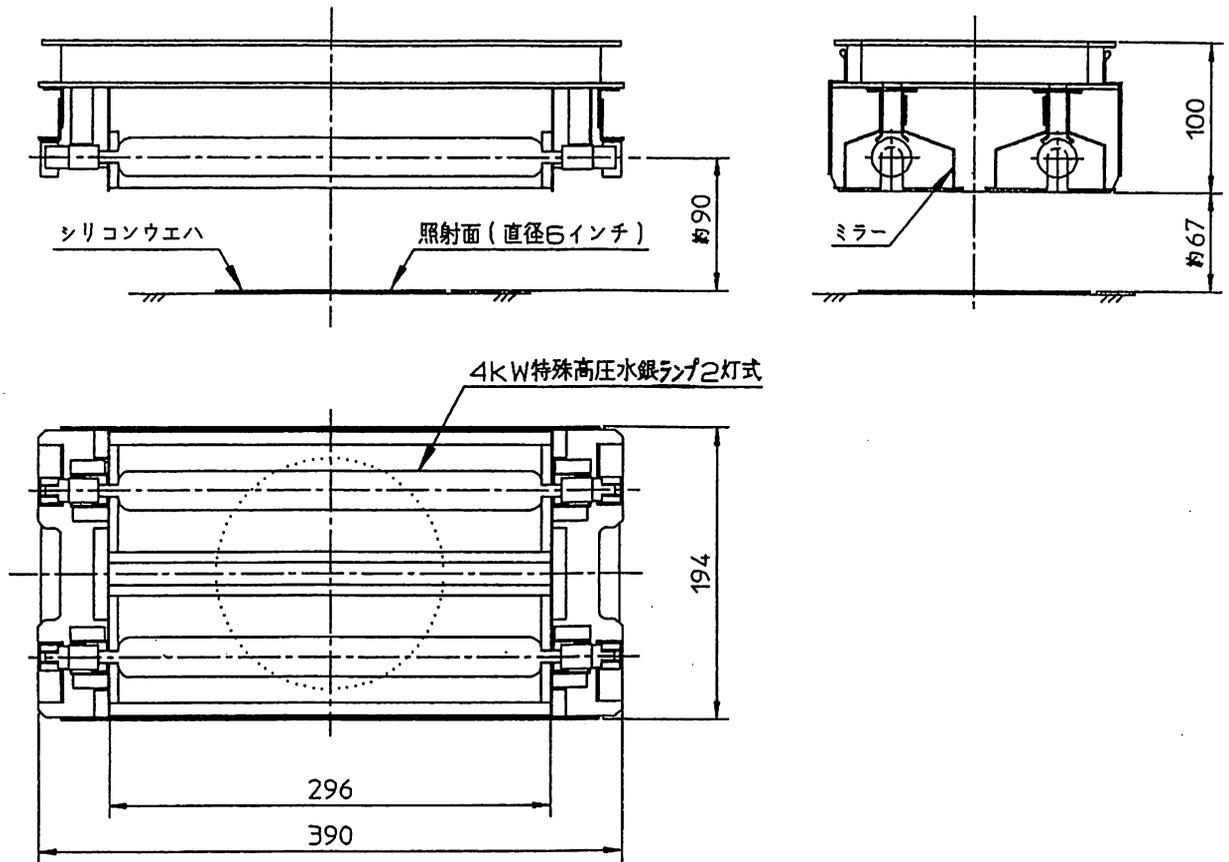


図 2.2.7 紫外線レジスト硬化装置の光学系

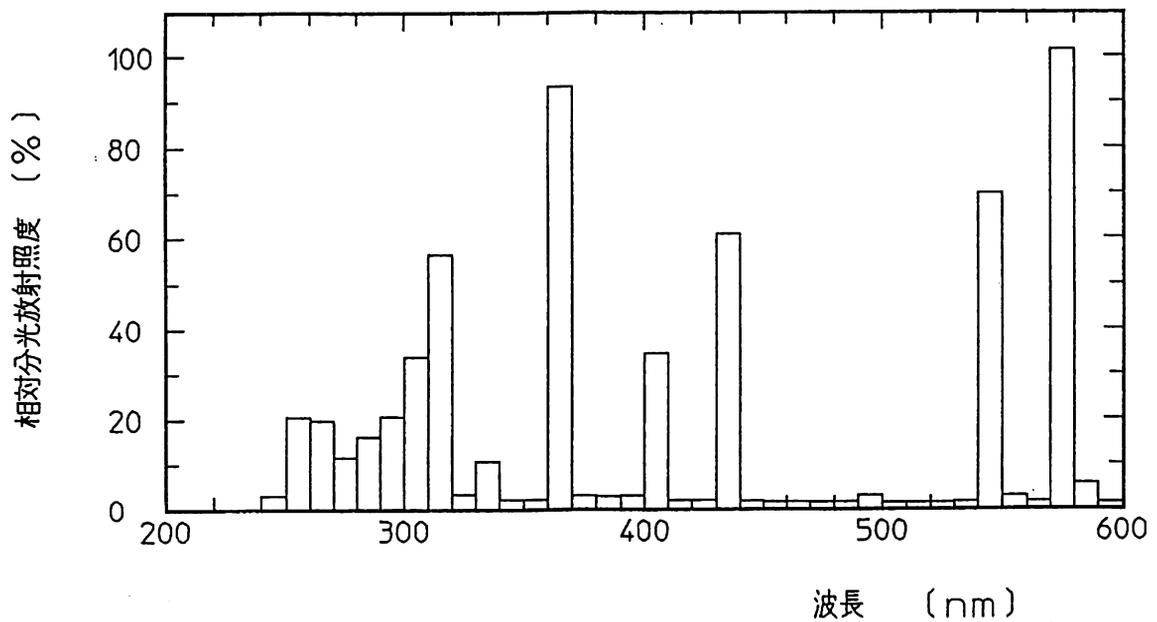


図 2.2.8 高圧水銀ランプ (4 KW) の分光分布測定例

2. 2. 4 まとめ

半導体産業に於いて紫外放射は各工程で広く使用されている。装置内の使用状態はかなり特殊であり、装置に組み込まれたモニター受光器、及び、これらのモニター受光器を校正する為の標準となる受光器、校正方法、等は多くの問題をかかえている。半導体製造に於ける加工の微細化が進む中で放射照度測定に対する要求も厳しくなっているのが現状である。これらの問題点を解決していくことが今後の課題であり、紫外放射測定器の性能向上、校正方法の改良、測定器の使い方の工夫が必要であると考えられる。

(大沢 理・ウシオ電機)

(浦上逸男・千代田工販)

(谷水伸吉・日立製作所)

参 考 文 献

- (1) 「光」が拓く新世代のエレクトロニクス、製品カタログ、ウシオ電機 (1991)
- (2) 今岡孝之：超純水製造プラントに於ける紫外線処理、造水技術、15(1), 28-32(1989)
- (3) 紫外線殺菌装置 総合カタログ、千代田工販 (1994)
- (4) 前田和夫：最新LSIプロセス技術、工業調査会、249-272、(1983)
- (5) 大沢 理：ファイバー光源装置、光アライアンス (日本工業出版)、vol. 2, No. 7, 25-29 (1991)

2. 3 印刷、製版産業の分野

紫外放射を利用した技術は、表面加工（印刷、塗装、接着）、表面処理（改質、洗浄、殺菌）、その他浄化、耐光試験等、種々の分野で広く利用されている。

特に、紫外線硬化樹脂、紫外線照射装置および付帯設備を使用した、いわゆる紫外線硬化システムによる表面加工技術が、産業界で広く導入されている。

紫外線硬化システムは、プレポリマー、モノマー、光重合開始剤、助剤等からなる紫外線硬化樹脂に紫外放射を照射することにより光重合反応がおこり短時間に樹脂が硬化する技術であり、このシステムは従来の加熱硬化方法に比較して多くのメリットがある。

例えば、基本的に無溶剤であるため揮発物が少ない、瞬時硬化であるため生産スピードが高い、常温硬化であるため被照射物の熱ストレスが少ない、省スペースであるため製造ラインに容易に組み込める、高操作性である、エネルギーコストが安い、高品質な塗膜が得られる等が挙げらる。

紫外線硬化システムが日本に導入されたのは、1970年頃からであり、当初の応用分野は木工製品の塗装及び非吸収素材への印刷が主であったが、現在では表2.3.1に示すように広く応用されている。

本稿では、この紫外線硬化システムの構成及び実施例と紫外放射照度測定に関する問題点について紹介する。

2. 3. 1 紫外線硬化システムの構成

UV硬化システムは、紫外線ランプ、照射器、冷却装置、電源装置及び搬送装置などの付帯設備から構成されており、用途別に最も効率の良い組合せでUV硬化装置単独あるいは生産設備組み込みにより使用されている。

(1) 紫外線ランプ

紫外線硬化樹脂の分光応答は、主に200nm～450nmの紫外域及び可視域の一部にあるが、この波長域の中で使用される紫外線ランプが数種類ある。

紫外線硬化システムに使用される代表的な紫外線ランプについて説明する。

(a) 高圧水銀ランプ

高圧水銀ランプの構造及び分光分布を図2.3.1¹⁾に示す。

石英ガラス発光管の中に高純度の水銀と少量の希ガスを封入したもので、薄膜及びクリアー系樹脂等の硬化に広く使用されている。発光管に使用される石英ガラスには、通常の石英と少量の不純物を含ませた石英の2種類があり、後者は200nm以下の波長をカットしてオゾンの発生を少なくすることが目的で使用されているが、実際には300nm以下の紫外線も若干カットされるために硬化能力も低下する。

(b) 超高圧水銀ランプ

超高圧水銀ランプは、水銀とキセノンが封入されており、球状のことが多い。

分光エネルギー分布は、図2.3.2²⁾に示すとうり高圧水銀ランプの輝線スペクトルとは異なり、連続スペクトル部分が増加する。

表 2. 3. 1 紫外線硬化システムの用途

印 刷	—	シール、ラベル印刷 ビジネスフォーム印刷 枚葉印刷 金属印刷 成型品の印刷
コーティング	—	プラスチックのハードコート 木材の塗装 印刷紙のオーバーコート 電線等のオーバーコート 鋼材の防錆コート
接 着	—	プリント基板の接着 ガラス等の接着 リレー、スイッチ端子部の封止 コイル、リード線の固定 液晶ディスプレイの接着封止
レジスト	—	エッチングレジスト ソルダーレジスト
製 版	—	PS版の製版 樹脂凸版の製版
そ の 他	—	アシセサリー等の注型

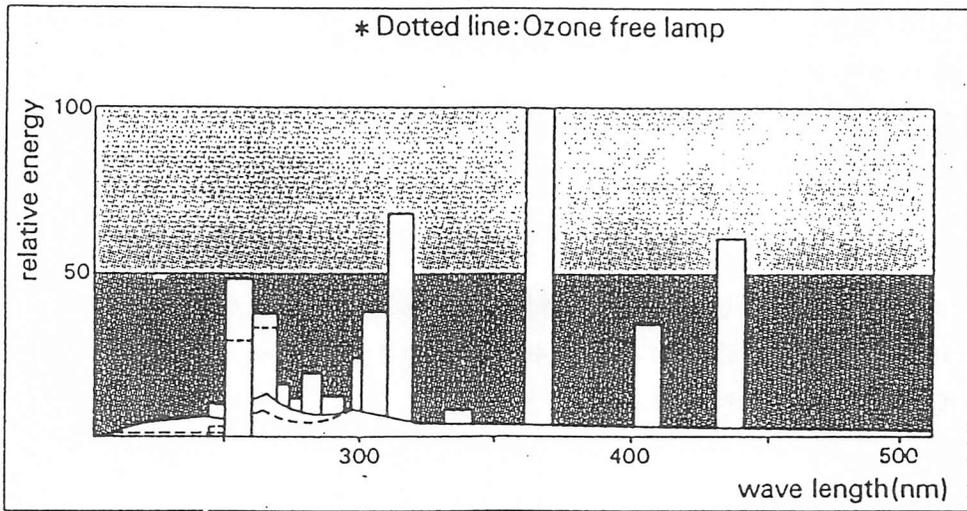


図 2. 3. 1 高圧水銀ランプ分光分布

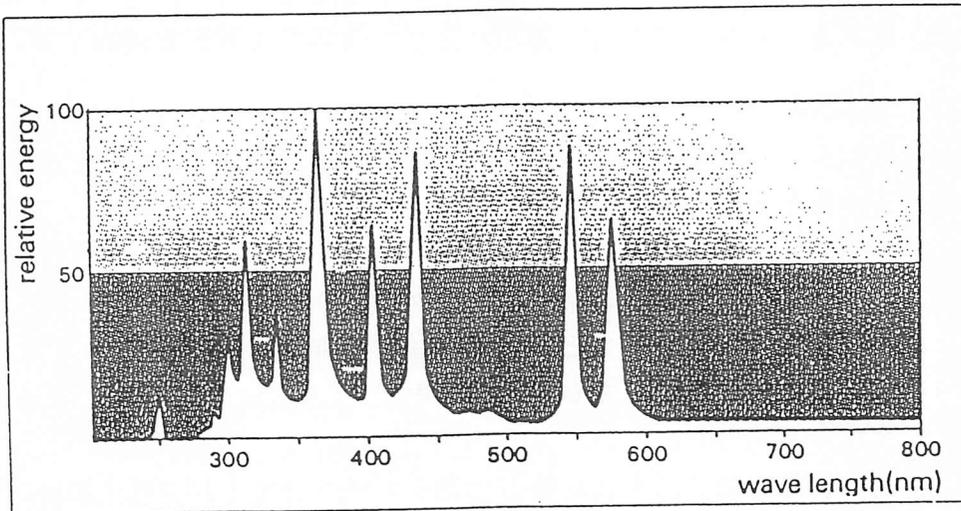


図 2. 3. 2 超高圧水銀ランプ分光分布

このランプは小型で、半導体製造装置のステッパ光源やプリント基板の露光、光ファイバーのライトガイドを有したスポット装置に使用されている。

(c) メタルハライドランプ

メタルハライドランプの構造は高圧水銀ランプと全く同じであるが、発光管の中に封入されている金属が水銀に加えて450nm以下の可視及び紫外放射を効率よく発生するハロゲン化金属を封入したランプで、数種類のメタルハライドランプが使用されている。

図2.3.3²⁾ に分光エネルギー分布の一例を示すが、このランプは250nm～450nmの範囲に連続したスペクトルを有しており、顔料の含まれた比較的厚い塗膜に対して有効である。また、400nm～450nmの範囲にエネルギーを集中させたメタルハライドランプでは、エナメル塗料や製版用として有効である。

(2) 照 射 器

照射器は、内部に紫外線ランプを収納し被照射物に対して有効に紫外放射を照射するもので、反射板、ランプホルダー、ランプ及び反射板の冷却機構、シャッター機構などから構成されている。

(a) 反 射 板

反射板は、紫外線ランプから放射された紫外放射に指向性をもたせて被照射物に有効に照射することを目的としており、高純度アルミ板もしくはガラス成型体に金属化合物を蒸着し、紫外放射だけを反射してUV硬化にほとんど関与しない可視光と赤外放射を後方に透過するコールドミラーが使用されている。図2.3.4²⁾ にその分光反射率を示す。

反射板の形状は、一般的に図2.3.5²⁾ に示すような集光型（楕円面）、平行光型（放物面）があり、各々配光特性が異なる。用途に応じて適切な反射板を選択する。

(b) 冷 却 機 構

冷却機構は図2.3.6²⁾ に示すように空冷式と水冷式に大別されるが、いずれも紫外線ランプ、反射板等の照射器各部を適温に保つことが目的である。

空冷式の照射器は、照射器内を紫外線ランプ1kW当たり1m³/min程度の強制排気を行う。一方、水冷式の照射器は、紫外線ランプの回りに二重管構造の石英水冷ジャケットをかぶせ、反射板上の水冷パイプとともに冷却水を流すことにより紫外線ランプ、反射板等を適温に保つ構造となっているが、照射器内雰囲気温度を下げるため、排気を併用している場合が多い。

水冷式照射器は、空冷式照射器に比較して被照射物の温度上昇を低く抑え、かつ照射器がコンパクトである反面、冷却水やジャケットによる透過率の低下があるため紫外線硬化性能がやや劣る。

(c) シャッター機構

紫外線硬化システムに使用される紫外線ランプは高圧放電灯であり、一旦消灯すると再点灯までに数分を要するために生産効率が悪くなってしまふ。

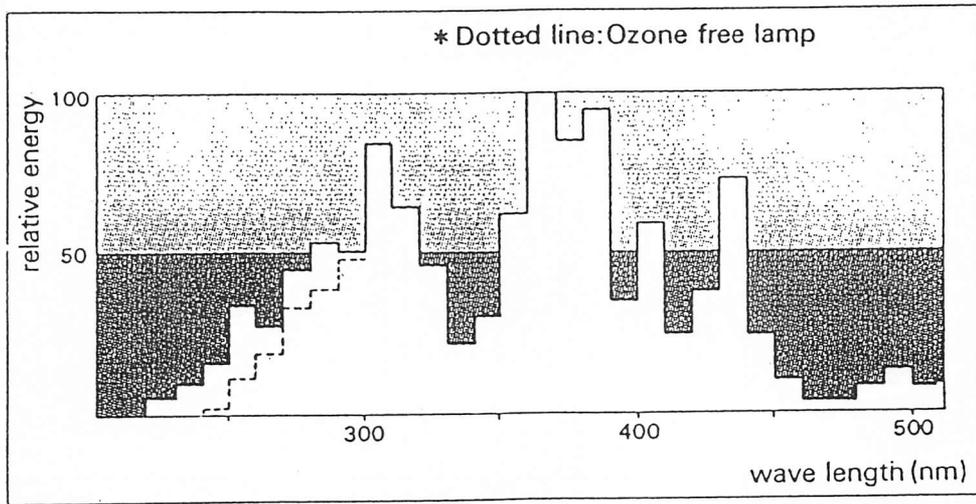


図 2. 3. 3 メタルハライドランプ分光分布

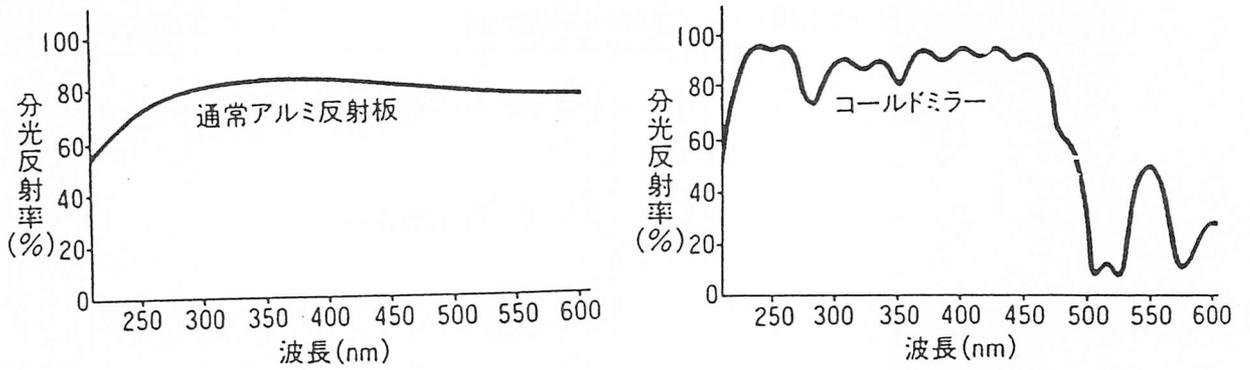


図 2. 3. 4 高純度アルミ板、コールドミラーの分光反射率

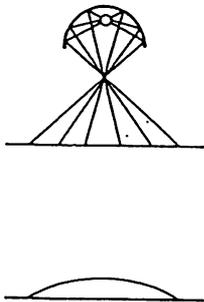
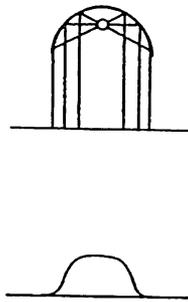
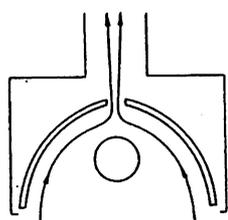
集 光 型		平 行 光 型
集 光 点 使 用	集 光 拡 散 点 使 用	
		
<p>断面形状は楕円面で構成されています。集光点で使用しますと強度の強い紫外線を照射します。集光点よりも離して使用しますと拡散光となり比較的均一に照射されます。</p>		<p>断面形状は放物面で構成されます。被照射面に広い範囲で均一に紫外線が照射されます。</p>

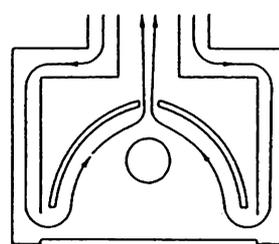
図 2. 3. 5 反射板形状

空冷式

排風式



送排風式



水冷式

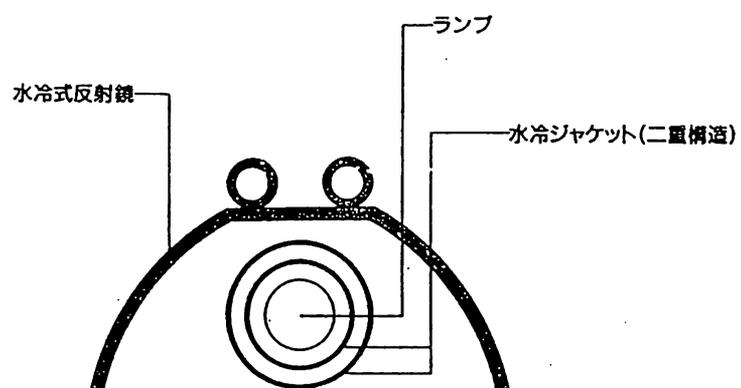


図 2. 3. 6 冷却機構

シャッター機構は紫外線硬化システムの構成上、生産ラインを停止した時に被照射物が照射器下にある場合の焼損防止等を目的としており、紫外線ランプからの放射を遮断する機構である。

近年では瞬時点灯式紫外線ランプが実用化され、シャッター機構が不要なコンパクトなシステムとして、印刷分野の一部に使用されつつある。

(3) 電源装置

電源装置は、電源部と操作部で構成されている。

電源部は、安定器と制御回路からなり、紫外線ランプの点灯、調光、シャッター、冷却装置、その他生産設備との信号による関連機器の制御を行う。安定器は、紫外線ランプを点灯するためには必ず必要であり、原則的には紫外線ランプ1灯に対して1台の安定器が使用される。操作部は、紫外線ランプの点灯、消灯、調光等の操作及び各種表示による監視を行う。

(4) 搬送装置、紫外線照射方法

製版や平行光露光では、定位置照射が主体であり、被照射物を照射器下にセッティングした後、適当時間の露光を行う。

インキ、コーティングなどの硬化では、被照射物をコンベア等の搬送装置にて搬送しながら紫外線を照射する。オフセットインキ等で印刷された片面のみを照射する場合、平面照射方式を採用するが、立体形状の被照射物に塗布されたコーティング等は、複数面に同時に紫外線が照射されるように照射器を配置し、搬送装置も被照射物が回転する機構が必要となる。

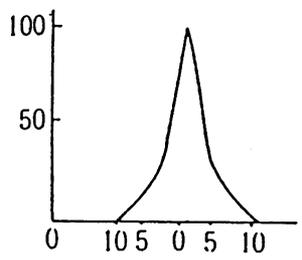
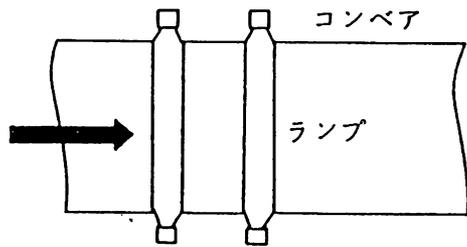
紫外線硬化樹脂は、要求される硬化塗膜を得るために適当な紫外放射の強さ（紫外放射照度）と紫外放射露光量（紫外放射照度×照射時間）が必要となるために、被照射物の形状及び寸法に応じて最適な紫外線ランプの入力、長さ、反射板、照射距離、照射時間（搬送スピード）を選定する。図2.3.7³⁾に紫外線ランプの配置とその配光特性の一例を示す。

2.3.2 紫外放射照度、露光量測定

紫外線硬化システムを導入する際に紫外線照射条件を検討する時、さらに紫外線硬化システムが導入されてからも、ランプ経時変化及び反射板の汚れによる減光が生じるために紫外放射照度、露光量を測定する必要がある。

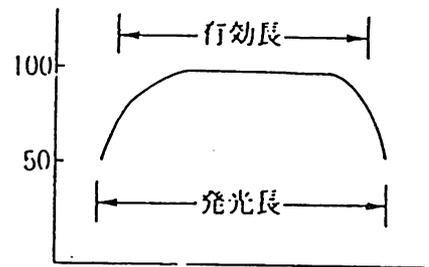
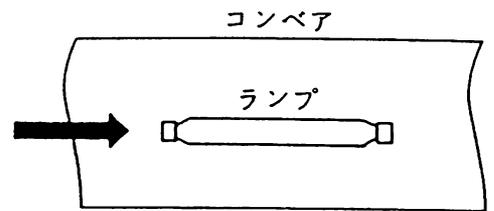
紫外放射照度を測定する際には放射照度計を、紫外放射の露光量を測定する際には光量計もしくは放射照度と露光量が同時に測定できる放射照度計、場合によっては紫外放射量によって色が変わるラベルを用いるが、使用する側からみると各々問題点を抱えているのが現状である。紫外線硬化樹脂に有効な波長域のエネルギーを計測できるのが理想であるが、現実的には樹脂の種類が多くて不可能であり、ある特定の分光応答度を有する放射照度計あるいは露光量計で相対的なエネルギーを計測している。

しかし、紫外放射照度計メーカーにより測定値が異なるため、ユーザーは常に同じメーカーの同一機種種の紫外放射照度計、露光量計を用いて紫外放射照度、露光量を管理してい



ランプの直角方向の
照度分布

(1) 直角配置



ランプの長さ方向の
照射分布

(2) 平行配置

図 2. 3. 7 紫外線ランプの配置と配光

るのが実状である。この差異は、紫外放射照度計、露光量計の分光応答度の相違、斜め入射特性の相違、トレーサビリティの相違、受光器口径の相違等から生じていると思われる。また、用途によって数十 mW/cm^2 ～数千 nW/cm^2 のレンジの紫外放射照度及び数百 mJ/cm^2 ～数千 mJ/cm^2 レンジの紫外放射露光量を測定するので、測定器がカバーしきれないという問題と、このような非常に強い紫外放射の測定を繰り返すことによって、紫外放射および熱から生じる劣化の問題がある。

近年では、紫外放射照度、露光量の自動管理のニーズも多く、紫外放射照度、露光量測定は、紫外線硬化システムの成果に於いて大きなウエイトを占めている。

2. 3. 3 紫外線硬化システム実施例

(1) 印刷関係

(a) シール印刷（凸版またはスクリーン印刷）

シール印刷機にシャッター機構をもった1kW～3kW高圧水銀ランプ、メタルハライドランプの空冷式、水冷式装置が使用されている。被照射物は、最大200mm幅の連続帯状のタック紙であり、紫外線ランプは、被照射物から100mm程度の距離に設置される。

(b) ビジネスフォーム印刷（凸版またはオフセット印刷）

被照射物は連続帯状の紙で用紙幅は400mm～600mmであるため、発光長500mm～750mm、4kW～9kWの高圧水銀ランプ、メタルハライドランプのシャッター機構をもった装置が1～5台使用されている。この場合も紫外線ランプは被照射物から100mm程度の距離に設置される。

(c) 枚葉印刷（オフセット印刷）

アルミフォイル紙、コートボール紙、プラスチックシート等の印刷に使用され、印刷機の印刷ユニット間及びデリバリ部に設置する場合と、印刷機後部にコンベア形で接続する場合がある。一般的には空冷式の高圧水銀ランプもしくはメタルハライドランプを使用し、印刷機の大きさにより発光長750mm～1400mm、9kW～22kWのランプが3～5灯使用されており、大部分はシャッター機構を有している。プラスチックシートの場合、水冷式が使用される。

(d) プラスチック成型品の印刷

成型品の一面のみに印刷する場合と全周に印刷する場合があり、特に全周に印刷する時には成型品全周に紫外線が照射されるように搬送方法、紫外線ランプの配置を検討する必要がある。印刷は、オフセット、スクリーン印刷があり、いずれも水冷式もしくは被照射物の冷却装置を備える。

(2) コーティング関係

(a) 印刷物の表面コーティング

ロールコーター、グラビアコーターなどでコーティングし、発光長1000mm～1250mm、8kW～15kWの空冷式水銀ランプを3～5灯使用した装置が使用されている。

防爆構造や予備加熱装置、印刷物の冷却装置を備えている例が多い。

(b) プラスチック成型品のコーティング

表面のハードコートとして前述の印刷と同様の装置が使用されているが、紫外線ランプは4 kW～6 kWの空冷式高圧水銀ランプが4～8灯の設備が多い。

この場合も紫外放射照射時もしくは照射後に成型品の冷却を行う必要がある。

(c) 木材のコーティング

下塗り、中塗り、上塗りの計3回の塗装、硬化を行う。

床材、壁材、机の天板のような平板は、塗装面が一面であるためコンベア式にて平面照射し、椅子などの木工製品は、全周に紫外線が照射されるように紫外線ランプの配置と搬送方法を検討する。いずれもクリアー系コーティングが多く、発光長 500mm～2200mm、4 kW～18 kWの空冷式高圧水銀ランプを4～8灯使用した設備が多い。

(3) その他

(a) 電子部品の接着、マーキング

プリント基板への接着は、接着剤が着色され、比較的膜厚が厚いためにメタルハライドランプが使用される。2 kW～12 kWのランプを1～3灯使用している。

抵抗器、コンデンサー、半導体などの電子部品のマーキングには、1 kW～4 kW程度の高圧水銀ランプがコンベア形もしくは製造ラインに組み込まれた形で数多く使用されている。

(b) 注 型

装飾用絵皿、アクセサリーの製造において、皿または型材に紫外線硬化樹脂を注入して紫外線を照射する。1 kW～3 kW程度のバッチ式装置が多い。

(c) プリント基板の製造

エッチングレジスト、ソルダーレジスト等に数多く使用されている。超高圧水銀ランプもしくはメタルハライドランプが使用されている。平行露光が多い。

(d) 製 版

製版用として、1～10 kWのメタルハライドランプが使用される。平行露光で、瞬時点灯式ランプを使用している自動装置が多い。

(坂井和宏・岩崎電気)

参 考 文 献

- (1) 岩崎電気 カタログ ULTORAVIOLET PROCESSING SYSTEM
- (2) アイグラフィックス カタログ アイキュアライト
- (3) 加藤清視：紫外線硬化システム、総合技術センター（1988）

2. 3. 4 ホトエッチングの分野

産業界において、ホトエッチングの分野への紫外線の応用は、液晶パネルの電極パターン形成やカラーフィルターパターン形成用の露光装置、プリント配線板の回路パターンやハンダレジスト形成用の露光装置、フォトファブ리케이션用露光装置など非常に多岐にわたっており、ここではその代表的な応用例を記述する。

また、紫外線の測定においても、代表的な測定例を記述する。

(1) プリント配線板への応用例

プリント配線板の製造工程では、銅張積層板から、銅の回路パターンを得る工程に紫外線ランプを内蔵した露光装置が使われている。まずプリント配線板の製造工程の概要、露光装置の概要について記述する。

(a) 両面プリント配線板の製造工程の概略

①銅張積層板

両面板の基板にはガラスエポキシ樹脂の両面に銅箔を接着した積層板が良く用いられる。

②孔明け

電子部品のピンをを通すための孔や、表裏の電氣的導通をとるための孔を明ける。

③銅メッキ

表裏の電氣的導通をとるための銅メッキである。

④ドライフィルムのラミネートまたは感光剤の塗布

銅の回路パターンを形成する際、エッチングレジストの役割をする感光性のドライフィルムを銅張積層板に張りつける。

⑤露光

予め用意してある表用、裏用2枚のマスクパターンフィルムの中に銅張積層板を挟み込み、両者を密着させ、紫外線を用いて露光させます。ネガフィルムの場合は導体の部分は紫外線を透過し感光する。

⑥現像・定着

現像を行うと、感光していない部分はドライフィルムが除去され銅箔が現れる。その後定着を行う。

⑦エッチング

露出している銅箔部分を除去するためにエッチングを行う。またエッチングには塩化第二鉄や塩化第二銅の溶液を用いる。

⑧エッチングレジストの剥離

エッチング終了後、エッチングレジストの剥離を行なうと、銅のパターンが現れる。

⑨この後、半田メッキ、半田レジスト印刷、文字印刷などの工程を経てプリント配線板が作られる。

(b) プリント配線板の露光装置

プリント配線板用露光装置は、大きく分けると手動露光装置と自動露光装置に別れる。

手動露光装置の最も簡単な物は、散乱光源を使ったワークとマスクフィルムの密着型の露光装置で、最も安価で広く普及しており、次にその実例を示す。

手動露光装置には、片面露光装置、両面同時露光装置があるが、図2.3.8に示すような、両面同時露光装置が主流である。その主要な部分は、①上ランプ、②上側反射鏡、③下ランプ、④下側反射鏡、⑤上側焼枠、⑥下側焼枠、⑦筐体、⑧上ランプ用紫外放射光量計、⑨同光量計用受光器、⑩下ランプ用紫外放射量計、⑪同放射量計用受光器、から構成されている。ランプは主として毛細管型超高圧水銀灯が使われ、紫外放射を焼枠面に照射する。焼枠の周囲はアルミニウムで作られており、下枠にはガラス板が、上枠にはマイラフィルムが取り付けられている。このガラスとマイラフィルムの間、ドライフィルムを両面にラミネートした銅張積層板を入れ、積層板の両面をマスクフィルムで挟み込み、焼枠内部を真空にし積層板とマスクフィルムを密着させ露光する。

⑤上側焼枠と⑥下側焼枠はモーターにより駆動され、交互に露光部より出入りする。従って片側焼枠が露光中の時には、他の片側焼枠は露光部の外に出ており、作業者はワークのセットを行う事ができる。

露光量は紫外放射量計で管理し、上側ランプのコントロールは上側光量計、下側ランプのコントロールは下側光量計で行っている。

また、上焼枠上面と下焼枠上面では紫外放射照度の値が異なり、ランプからの距離に近い側の紫外放射照度が高い。この時紫外放射量計は、上下どちらの焼枠の露光かを自分自身で感知し、光量計の感度を調整しながら露光量の管理を行う為、上下どちらの焼枠であっても、適正光量を露光する事ができる。

さらに、精密なプリント配線板の製造にはコリメートされた光学系（平行光源）を用いた紫外放射源が使われており、その光学系を図2.3.9に示す。また、ここで使用される紫外線ランプは超高圧水銀ショートアークランプである。

最近では、インライン型の自動露光装置が主流になりつつあり、自動露光装置においても手動露光装置と同様な「両面同時露光型の装置」や「片面露光 → 反転 → 片面露光型の装置」などがある。また自動露光装置においても高精度なプリント配線板が要求されており、コリメートされた光学系を持った露光装置が主流になりつつある。

また自動露光装置はマスクフィルムとワークの位置合わせを行う為に、画像処理を利用したオートアライメント機構を持った装置が多い。

(2) 液晶用露光装置への応用例

液晶用の露光装置がプリント配線板の露光装置と最も異なる点は、

- ①プリント配線板を主として両面露光であるが、必ず液晶は片面露光である。
- ②プリント配線板を主としてワークとマスクを密着して露光するが多いが、液晶の露光装置ではマスク、ワーク共にガラスを用い100 μ m程度のギャップをもって露光する。

(液晶の露光装置では、マスクとワークが密着する事によりマスクが傷つくのを防ぐ事と、接触によるゴミの発生を防ぐ為にギャップをもって露光する。)

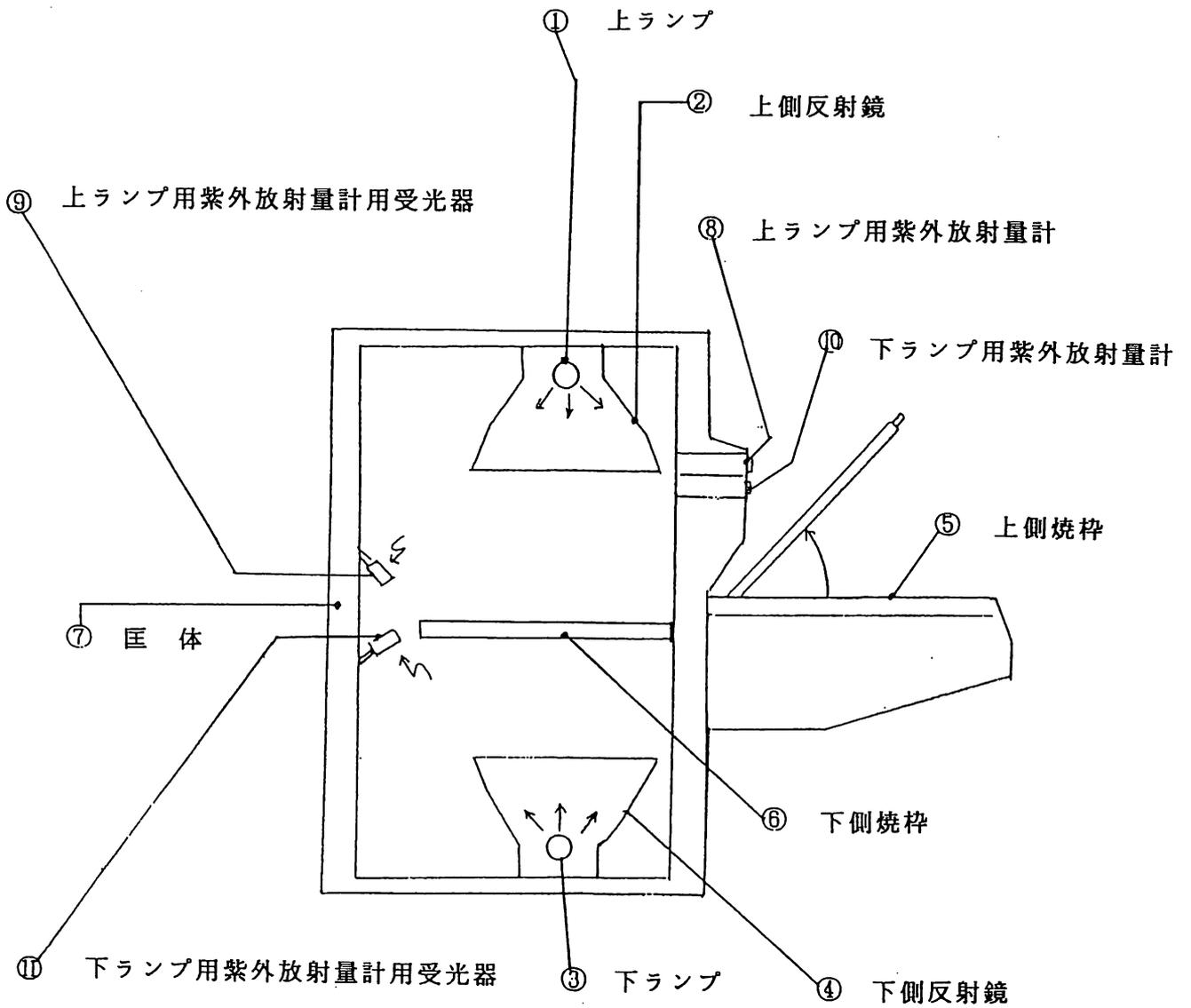


図 2.3.8 プリント配線板用露光装置概念図

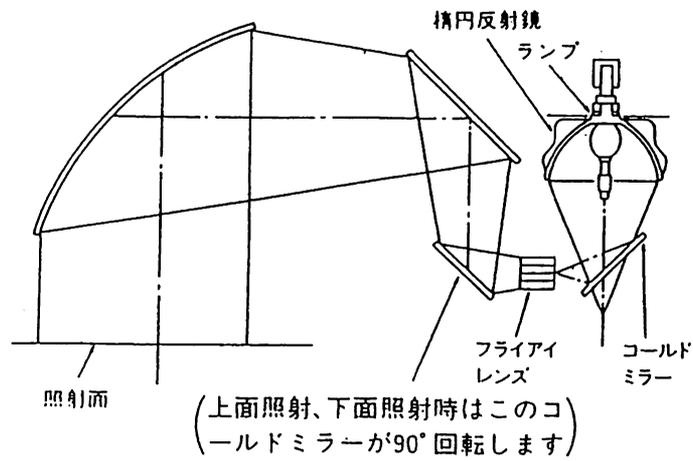


図 2.3.9 平行光光源の概念図

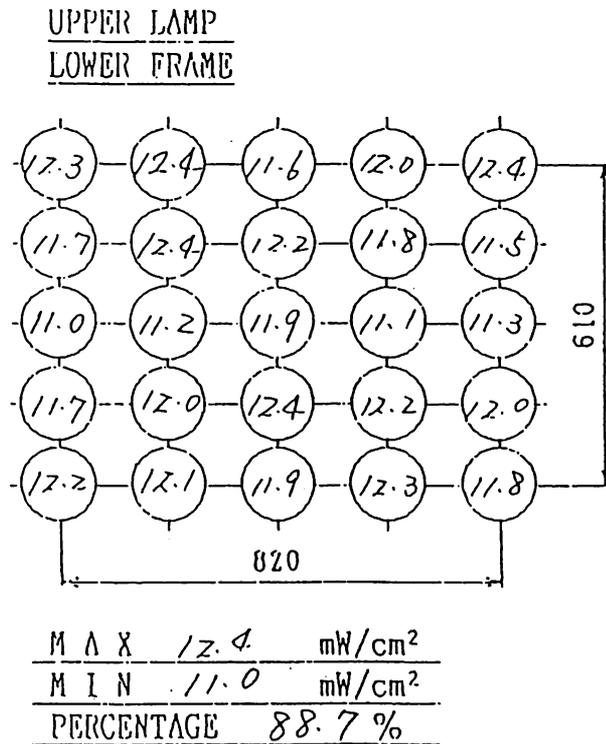


図 2.3.10 照度分布の測定例

③プリント配線板では散乱光源を用いて露光する事があるが、液晶の露光装置ではコーティングされた紫外放射を用いて露光をする。光学系は図 2.3.9と同様である。

(液晶の露光装置はマスクガラスとワークガラスの間でギャップを保った露光を行う為、マスクの下の遮光された部分に、紫外線が回り込むのを防ぐ為である。)

などがある。

実験用や少量生産には手動露光装置、大量生産にはインライン型の自動露光装置が向いている。いずれの場合も多重露光をする場合はマスクパターンとワークパターンの位置を合わせる事が必要になる。手動の露光装置はワークを手動でセットし、マスクとワークの位置合わせを手動で行った後、露光を行い、ワークを取り出し、現像、エッチングする。この場合も露光量の管理には紫外放射光量計を用いる。

インライン型の自動露光装置の工程は、次の様になる。

- ①あらかじめ、ホトレジストが塗られているガラス基板(ワーク)が露光機の露光部に送られ、基準ピンによりワークがプリアライメントされワークステージに固定される。
- ②ワークステージが上昇し、マスクとワークの距離が $100\mu\text{m}$ 程度の距離に近づく。
- ③アライメント用顕微鏡がマスクとワークのアライメントマークを読み取り、画像処理ユニットで画像処理を行い、ワークステージがX-Y- θ に移動し、マスクガラスとワークのアライメントを行う。
- ④紫外放射光量計で管理された露光を行い、露光終了後ワークステージが下がりワークは現像エッチング工程に移動する。

(3) その他の露光装置への応用

その他の露光装置として、マスクガラスとワークの間に投影結像光学系が入っている投影露光装置がある。投影露光装置には半導体の露光で広く使われている縮小投影露光装置や等倍の露光装置がある。その光学系を図 2.3.11 に示す。

投影露光装置の次のような特徴がある。

- ①マスクガラスとワークが完全に離れているため、マスクとワーク共に損傷が無い。
- ②付着性のある感光性物質が付いているワークでも露光が可能である。
- ③解像度・線幅がマスクとワークのギャップにより決定されるわけではないので、凹凸のあるワークでも比較的正確なパターンニングが可能である。
- ④コンタクト露光のようにマスクとワークを密着する必要が無いためタクトタイムが短い。

その他、フォトファブ리케이션と言われる分野にフォトエッチングの技術が応用されている。フォトファブ리케이션の加工は薄い金属板にフォトレジストを塗布し、マスクパターンを密着させ露光、現像、エッチングし、薄い金属板に孔を明ける技術で、「電気かみそりの外刃」、「エンコーダ用スリット」、「リードフレーム」、「カラーブラウン管用シャドウマスク」など様々な分野に応用されている。

(4) 紫外放射測定例

(a) 放射照度分布の測定

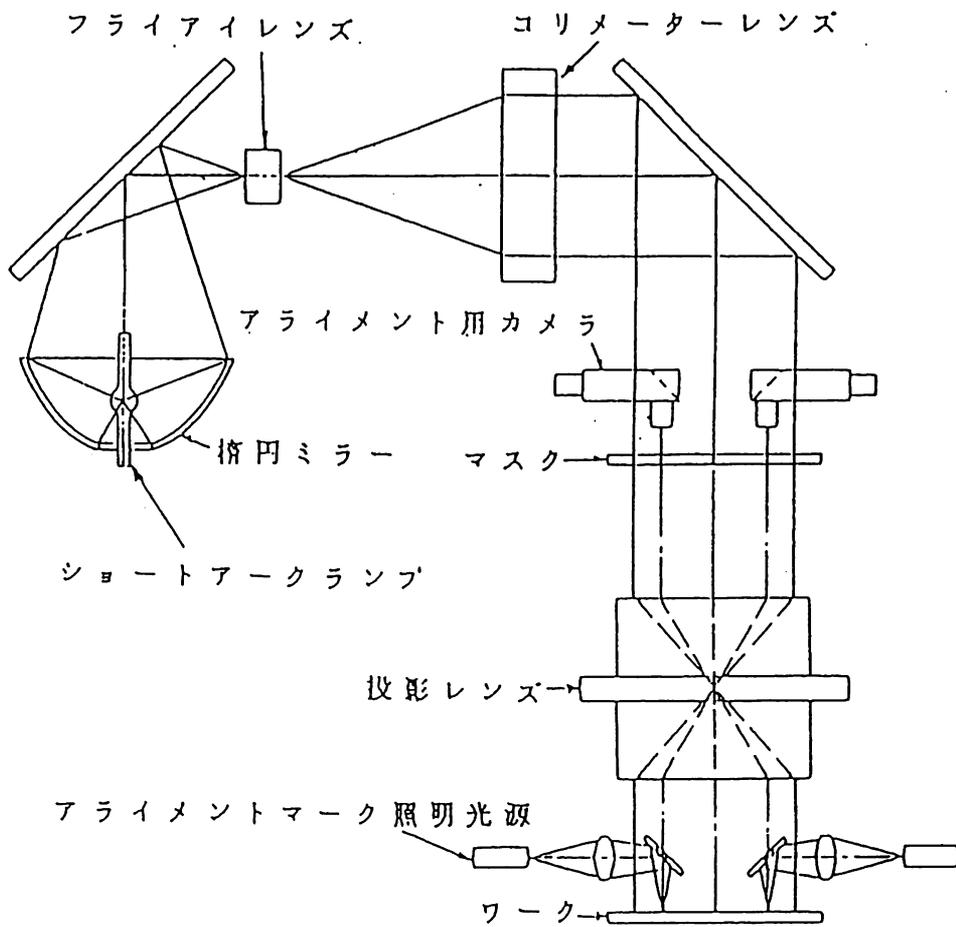


図 2.3.11 投影露光装置の光略図

露光装置においては、露光面に均一に紫外放射が照射される事が、被照射物の品質を保つうえで非常に大切であり、紫外放射照度計を用いて露光面内の照度の「むら」を測定する。また露光面内の放射照度のむらを「放射照度分布」と言う。放射照度分布の測定結果の例を図 2.3.10 に示す。

放射照度分布の測定は紫外放射照度計を用いて行い、まず露光装置のランプを点灯し、露光面の9～25点の放射照度を順次測定する事が多く、その許容範囲は、「紫外放射照度の最小／紫外放射照度の最大」の値が80～90%以上が一般的である。

放射照度分布は、露光装置の出荷検査の時や、ユーザーでの品質管理、特にランプやミラーを交換した後には測定する事が多い。

(b) 放射照度の測定

露光装置においては、ある生産性を維持するために、基準以上の紫外放射が露光面に照射されている事が必要になり、そのため紫外放射照度を1日に1回など、定期的に測定する事が一般的である。この放射照度測定は、紫外線ランプの寿命管理などに利用する。

照射面の放射照度が基準値に達していない原因は、「紫外線ランプの寿命」、「ミラーや他の光学部品の劣化」、「光学系のズレ」などが考えられるので、順次可能性の高い順から検査し、原因を取り除く。

(c) 露光量の管理

露光装置においては、照射面の紫外放射照度は、紫外線ランプやミラーの劣化に伴い落ちてくる。一定時間の露光をする「タイマー」を持った露光装置では、当初適正露光量であったならば、紫外線ランプなどの劣化に伴い露光面の紫外放射照度が低下し、被照射物に照射される露光量が次第に不足してくる。

この問題を自動的に解決するためには、紫外放射量計を内蔵した露光装置が必要になる。紫外放射量計は、紫外放射が照射される「受光器」と「本体部」で構成されている。紫外放射量計の受光器は露光装置の照射面に近い場所に取り付け、本体には、被照射物（感光剤）に必要な放射量を設定する。

このようにして露光管理をおこなえば、例えば照射面の放射照度が1/2になっても、露光時間を2倍にする様な調整を紫外放射量計が自動的に行なってくれ、紫外線ランプなどが劣化しても、被照射物に一定の放射量を照射する事ができる。

当然の事ではあるが、紫外放射量計の受光器に使っている紫外透過フィルターは紫外放射や湿度などにより劣化したり、ごみや埃による汚れにより紫外の透過率が低下し受光器の感度が低下するので、時々受光面を清掃する事やフィルターの劣化を補正する為の校正など適度なメンテナンスが必要になる。

(相原 清・ オーク製作所)

参 考 文 献

- (1) テクスト、エレクトロニクスをリードする配線板
- (2) オーク製作所 技術資料「投影露光装置」
- (3) オーク製作所 両面露光装置「EXM-1090, EXM-1201」カタログ

2. 4 自然太陽光のUV-B放射の測定について

2. 4. 1 自然太陽光のUV-B放射の特徴

自然太陽光に含まれるUV-B（ここでは280～315nm）放射量は、地表に到達する全放射量（日射）の約1%未満と非常に微量である¹⁾。しかし、このUV-B領域にちょうど生物の遺伝情報を司るDNAの吸収があるため、UV-B放射の増加は地球の生態系に大きな影響を与えると考えられて、現在UV-B放射測定は重要視されている。自然太陽光の中に含まれるUV-B放射を測定するための放射計について述べる前に、太陽UV-B放射の特徴をはっきりさせておく。大気の上端に達した太陽放射は、複雑な吸収、散乱過程を経た後地上に到達する。この吸収、散乱を支配する主なパラメータは、オゾンの吸収、空気分子、エアロゾル、雲粒その他の気体分子による吸収と散乱、太陽の高度および地表反射率である。ここではこれ以上深く立ち入らないが、これらが、地表に到達するUV-B放射の分光分布と角度分布に大きな影響を与える。

図2.4.1に典型的な太陽UV-B放射の分光分布を示す。ハッチした部分は太陽天頂角（=90-太陽高度）が0～70度間で変化した場合の全天UV-B放射量の変動範囲である。図2.4.2には、全天UV-B放射量のもう一つの特徴である直達成分と散乱成分の振る舞いの違いを全天日射と比較して示した。直達成分が雲に遮られた場合、全天日射量は大きく減少するが、UV-B放射量の落ち込みは日射に比較すると少ない。この理由は、全天日射は直達成分が大きい役割を演ずるが、全天UV-B放射は散乱成分が主体であることによる。以上UV-B放射の特徴を整理すると、下記の通りとなる。

- (1) 分光分布が大気条件により常に変化すること。
- (2) 角度分布が常に変化すると共に、入射角の範囲が0～90度で大きいこと。
- (3) 太陽UV-B放射は、日射に比較し非常に少ない。

2. 4. 2 自然太陽光中のUV-B放射の測定法と問題点

自然太陽光中のUV-B放射の測定法としては大きく3つに大別される。第1は分光器による測定で、分光放射量と積分した放射量が同時に測定できる。第2はUV-B領域だけを透過する光学フィルターによる測定で、出力はUV-B域の積分放射量として瞬時に得られる。第3は生体反応の作用スペクトルと同じ分光特性を持つ光学フィルターを用いる測定で、出力は生体が受ける作用効果量となる。

第1の測定法の代表例は、ブリューワオゾン分光光度計で、1988年頃から普及し始め、日本国内では、1990年に高層気象台（館野）、1991年に那覇、鹿児島、札幌の各気象台に配置され、連続観測が行われている²⁾。この測定法の利点は、分光測定を行うため、観測されたデータの汎用性が高いことである。すなわち、ある特定の波長域の放射量を求めたい場合は、波長域を積分すればよい。また、作用効果量を算出する場合は、作用スペクトルを観測データに掛け合わせて積分すれば、作用効果量が得られる。しかし、この方法は、波長300nm以下の地表にほとんど到達していない波長の放射量を評価する場合には迷光を十分考慮し、測定結果を評価する必要がある。また時間分解能が比較的低い。気象庁で使用しているブリューワオゾン分光光度計の場合、290～325nmの領域を測定するのに約8分かかる。このため、測定途中に雲などがかかり太陽スペクトルが急激に変化した場合、

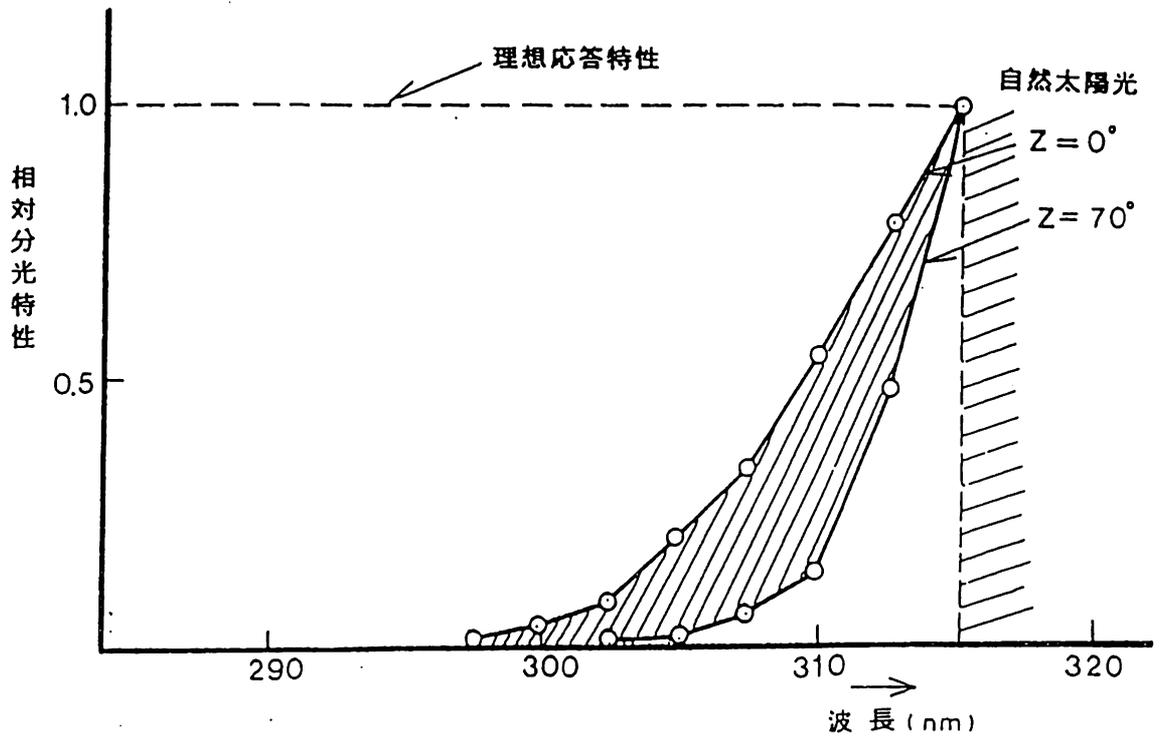


図 2.4.1 自然太陽光と放射計の分光特性

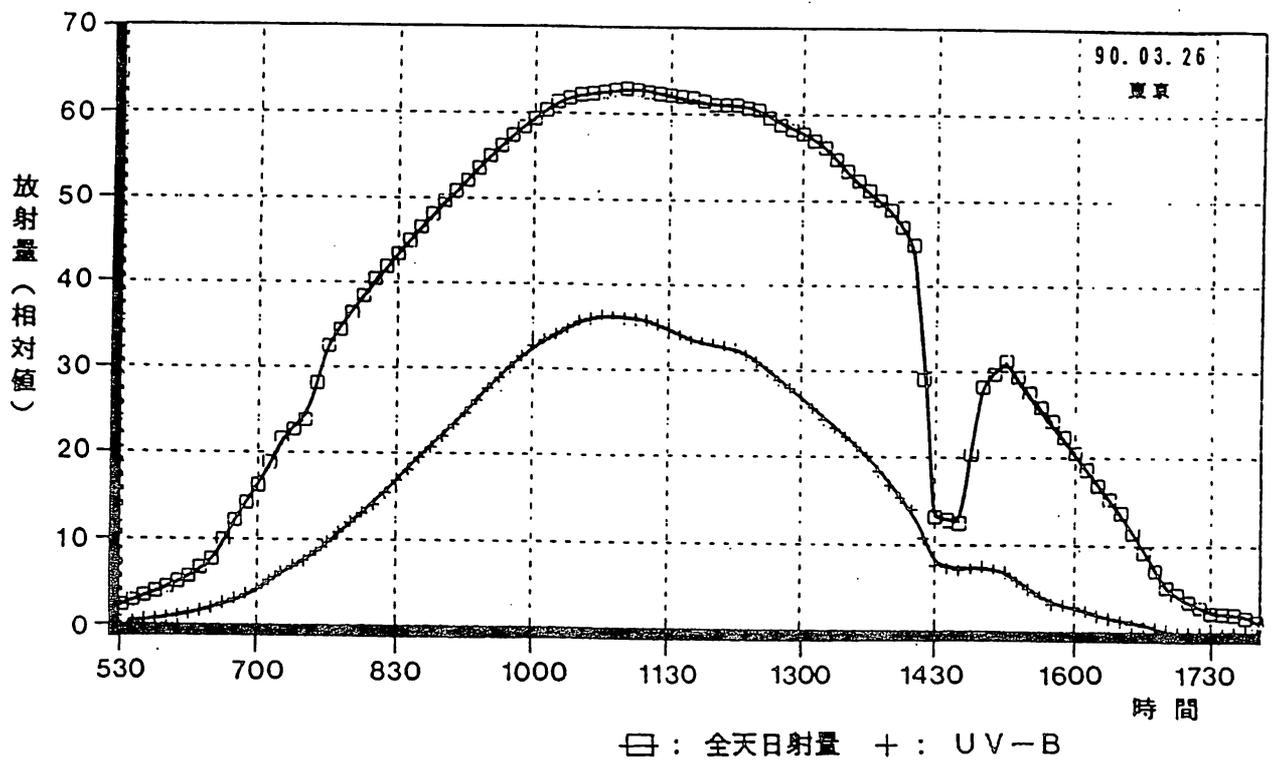


図 2.4.2 全天日射とUV-B放射の違い

その測定値は精度が低下する。また、日合計値は、時間分解能が低いため正確な測定値となりにくい。さらに、購入コスト、維持コストが高いという問題点もある。

第2の測定法の代表例は、東海大と英弘精機で共同開発された放射計³⁾である。この測定法では、時間分解能の高い測定が可能である。第1の方法と比較すると、購入コスト、維持コスト共に低いという利点がある。この方法では、理想的にはUV-B領域でフラットな分光感度特性にする必要がある。しかし、現状では実現されていない。一般に放射計の出力Eと測定される放射量Iは次式で示される。

$$I = K E \quad (1)$$

ここでKは感度定数で、条件によらず一定である必要がある。

いま、放射の分光分布が変化し、放射計の分光応答度も波長により変わるため、Kは下記により示される。

$$K = \int I(\lambda) D(\lambda) d\lambda / \int I(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

ここで、 $I(\lambda)$ は入射する太陽UV-Bの分光分布、 $D(\lambda)$ は放射計の分光応答度である。

式(2)より分かることは、 $I(\lambda)$ が相対的に変化するときKが変わるということである。放射計の設計上、この変化範囲が出来るだけ小さくなるようにするためには、放射計の分光感度のピーク波長を長波長側、すなわち315nmに近い波長にすることが望ましい。しかし、この場合には315nmより長い波長域の放射を取り込むことになる。このため、測定値を瞬時値として取り扱う場合には、感度定数の変化を出来るだけ小さくし、UV-B放射よりも長い波長の混入を避ける必要がある。しかし、日合計値として取り扱う場合は年間を通して測定誤差は+4%から-9%である⁴⁾。

第3の代表例は、Robertson-Berger meter (以下 R-B meter)⁵⁾でヒト皮膚の紅斑作用スペクトルを分光応答度としている。この放射計の出力は作用効果量となるので、第2の例で問題となった感度定数の変化は問題とならない。しかし、作用スペクトルは紅斑一つをとってみても人種、個体差が大きい。この目的を達成するには、測定する作用効果に応じて放射計を用意する必要がある。R-B meterはオゾンによる吸収をほとんど受けないUV-A領域にも感度を持っているため、UV-B放射を的確に測定できないなどの問題点もある⁶⁾。

以上、主な3通りの大陽UV-B放射測定法の特徴と問題点を述べたが、次に三測定法に共通する問題点を挙げる。

大陽UV-B放射測定で最も注意しなければならない点は人工光源用の放射計と異なる対環境特性である。大陽UV-B放射測定用の放射計は基本的には屋外に設置し、連続測定することを前提としている。環境温度一つとってみても、気温は-20~+40℃で変化する。そのため、結露対策、温度補償を十分施す必要がある。さらに、雨などのその他の気象要素にも影響されないで計測できる必要がある。

次の問題点は校正光源である。日本国内で比較的簡単に手に入れられる標準光源としては日本電気計器検定所で値つけられたハロゲン電球がある。しかし、この電球のUV-B

領域の放射照度は大陽UV-B放射強度に比較すると約100分の1以下である。さらに、ハロゲン電球の相対分光放射照度と大陽UV-B放射の相対分光放射照度も大きく異なっている。このため、ハロゲン電球での校正値をそのまま、大陽放射測定の際の校正値として利用することは出来ない。標準大陽スペクトルの例としては JIS C 8911(1989) "二次標準結晶系大陽電池セル" および "CIE Publ. 85⁷⁾" がある。しかし、これらの規定はUV-B放射について定められたものでなく、大陽放射の全波長域について定めたものであり、UV-B放射に関しては精度も分解能も期待できない。自然大陽光のUV-B放射計測基準スペクトルの制定は、今後の重要な課題である。

(三宅行美・英弘精機)

参考文献

- (1) CIE: Recommendations for the integrated irradiance and the spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes. Publ. CIE No. 20.
- (2) 伊藤 他: 地上到達紫外線量の監視技術の開発-オゾン層変化に伴う地上到達紫外線量の変化のスペクトル観測による評価- 気象庁研究時報 43-5 (1991) 213.
- (3) Sasaki, M. et al.: Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance at 35°N latitude in Japan. J. Geomag. Geoelectr. 45 (1993) 473.
- (4) Takeshita, S. et al.: Uncertainty of the measurement of global UV-B radiance using a narrow band filter radiometer. 8th Conference on Atmospheric Radiation, 23-28 January (1994), 199.
- (5) Berger, D. S.: The sunburning ultraviolet meter: Design and performance. Photochem. Photobiol. 24 (1976) 587.
- (6) UNEP/WMO: Scientific assessment of stratospheric ozone (1989).
- (7) CIE: Solar spectral irradiance. Publ. CIE No. 85 (1985).

2. 5 環境評価試験機器での紫外放射測定分野

2. 5. 1 材料の屋外暴露試験および人工促進暴露での測光

材料や製品を屋外で使用する時の劣化状態や使用寿命を推定するために屋外暴露試験や人工促進暴露試験が行われる。材料が有機高分子材料である場合には天候劣化の最大要因は日光と材料の温度であり、一部の材料で湿度や降雨その他の気象条件が影響する。したがって屋外暴露試験では暴露期間中の光と温度の測定が必要であり、人工促進暴露においてはこれらの要因を人工的に一定に保つために測定と制御が必要になる。人工促進暴露光源については以前に照明学会の光化学産業用光源研究調査委員会報告書¹⁾で述べたことがあるので参考にさせていただきたい。現在我が国で商品化されている人工促進暴露光源のうち水冷のメタルハライドランプを使用した人工促進暴露装置はかなりの数の装置が使用されているがまだISOやJISによる標準化審議が行われていない。これについては本稿の2.5.2 別に述べる。

高分子材料が光劣化を起こす波長領域や作用スペクトルはポリマー物質の種類と配合剤の種類によって変化するが大部分は紫外領域であり、耐光性が非常に弱い材料の場合に可視部に伸びている。有機物質の光劣化は日光の立上り波長300nmを境にして劣化反応機構が著しく変わることが多く、300nm以下の短波長成分を含む人工光で暴露すると地上の日光による劣化とは違った劣化を起こす場合が多い。従ってこの辺りの紫外線をUV-Bとして一括して扱うことは出来ない。そして光源にかぶせる短波長紫外線カットフィルタの経時劣化が暴露試料の光劣化の再現性に著しい影響を与えている。そこで紫外線の分光分布のモニターの必要性がきわめて大きくなる。そのような前提のもとで暴露試験での測光（放射測定）の問題点について解説することにしよう。

光劣化速度に直接影響を及ぼす要因である試料の表面温度は、気温に比べて測定が難しく、試料温度と気温との関係は熱伝達の状態によって変化するので、測定方法について多くの問題が残っているがここでは述べない。材料の光劣化度を光の放射照度と試料温度との関数として定量的に計算して材料寿命を推定評価する研究が建築研究所の富板²⁾や日産自動車の渡辺³⁾によって行われている。

(1) ISO TC 61(プラスチック)での暴露試験方法および測光方法の審議状況

暴露試験はプラスチック、繊維、ゴム、塗料、自動車材料など多くの分野で行われているが、ISOではこれらの全分野に共通した暴露試験方法や測光方法の国際標準化審議は行われていない。ISOの各分野のTCの中でもっとも活発に活動しているのがプラスチックのTC 61であるように思われるのでここではTC 61での現状についてだけ述べる。

(a) 屋外暴露での測光

屋外暴露では暴露方法の規格としてISO 877とISO 4607があり、測光については簡単に述べてあるに過ぎない。なお両規格は合併されて新しいISO 877になる。これ以外に屋外暴露での測光方法についての解説書の案が出ている。屋外暴露での放射測定の主体はサーモパイル式日射計による全放射の測定である。気象庁での日射測定は水平面日射であるが、屋外暴露においては暴露台が傾斜させてあるので日射計の受光面も傾斜面で測

定する。

全放射に対する紫外放射の割合は地域や天候によって一定しないが日射計による測定は紫外線測定よりも安定しており、材料劣化との相関性も十分にある。使用する日射計の応答度の値付けは I S O T C 180 で国際標準化されているので日射データの定量的な国際比較が可能である。紫外部の測光での問題点は人工促進暴露の場合と変わらない。

屋外暴露においては受光器の大きさに制限がないのが普通であり、人工促進暴露試験用の受光器に比べて余弦特性の修正や内部の乾燥などが容易であり、使用寿命も長いものが多い。

(b) 人工促進暴露での測光

人工促進暴露法の規格として I S O 4892⁵⁾ があり、別に測光法の技術報告書案⁶⁾ が出ている。技術報告書案は今のところ審議が中断されていて今後の見通しが立たない。ここでは光电測光のみで、熱電式測光は規定されていない。しかし筆者らの実験によると人工促進暴露においても熱電式測光が役に立っている。

人工促進暴露装置の商品は、測光を行うだけのものと測光によってランプのある波長領域の光が一定に保たれるように自動制御するものがある。しかしこの波長領域の決め方については国際標準化されていない。

I S O 4892 は 1980年版が1994年に改正されたばかりであるが、1994年秋の T C 61 東京大会で早速次の改正審議が始まることになっている。これらの国際規格ではキセノンランプ、サンシャインカーボンアークランプ、紫外線蛍光ランプの三種類の光源ごとに暴露方法や測光方法を規定しているが、現実には少しずつ設計思想の異なった既存の暴露試験装置の使用法をそのまままとめてあるだけで、装置が違えば劣化状態も違うので、厳密には標準化してあるとはいいいにくい。なお我が国では工業技術院の方針にしたがってこの I S O 規格を日本語に翻訳してそのまま翻訳 J I S 規格にすることになっている。それ以外に従来の J I S B 7751~7754系の規格がある。

現在 I S O T C 61 において国際的に主流と見なされてきている試験光源はキセノンランプであり、キセノン光源をつけた暴露試験装置の代表的メーカーは我が国のスガ試験機、米国の Atlas Electric Devices Co. およびドイツの Heraeus である。これらの暴露試験装置の測光装置は独立の商品ではなく暴露装置の一部あるいは付属品として販売されているものが使用されている。

(c) 人工促進暴露試験での測光の問題点

i) 人工促進暴露での測光目的

人工促進暴露での測光の目的は I S O 4892 には明確にされていないが、筆者の意見では、大きく分けて次の二つであろう。

(イ) 暴露試料の劣化速度や劣化度と関連付けるために暴露試料が受けた光の放射照度(分光放射照度)や放射露光量(分光放射露光量)を測定する必要がある。以前は暴露時間だけを問題にしていたがこれでは光劣化の再現性が悪い。

(ロ) 人工促進暴露装置の光源が適正に発光しているかどうかをチェックし、必要な場合に放射照度あるいは分光放射照度を一定に自動制御するためにこれらの量を測定モ

ニターする必要がある。

一般に市販の人工促進暴露装置では多数の試料を同時に暴露するので、あらゆる試料が等しい光を受けほぼ同じ温度になるようにするための測定値を光源の周りを回転する試料ラックを持っている。ラックの中心から外れた複数の光源を用いた装置ではラックが回転するにつれてラック上の特定点の放射照度は周期的に変動する。試料の平均放射照度を得たいならば受光器をラックに固定して回転させる必要があるが、受光器の中のバンドパスフィルターが過酷な環境条件にさらされて劣化しやすく、また回転する受光器の電気信号を取り出すのに工夫を要する。

市販暴露装置では多くの場合バンドパスフィルターや光センサーのフォトダイオードは光源から離れた温度の低いところに固定し、ラック内の試料よりも光源に近いところで受光した光を石英の棒や光ファイバーによって受光器に導くかあるいは直接レンズ光学系で受光器に導いている。受光位置がラック上ではないので試料の放射露光量は近似的にしか求められない。ドイツのHeraeus社の製品では三本の光源に対してそれぞれ一つずつ独立の固定受光器を持ち、それぞれの光源を独立に制御していたが、最近ラック上で回転する受光器に変更された。

ii) 各社のキセノン光源暴露装置の測光器の比較

スガ、Atlas、Heraeus、3社の測光器はそれぞれ以下に述べるような違いがある。我が国ではこの3社の製品が広く使われているが、放射照度について値付けの思想や標準が違うので相互の正確な定量的比較が出来ない。

スガとHeraeusとは300nm から400nm の間にブロードな透過帯のある色ガラスフィルターをかけたシリコンフォトダイオードの光電流をはかり、分光分布既知の標準光源の300～400nm 間の放射照度を基準として 300nm～400nm の暴露光源の放射照度を測定し、それによって光源の紫外部の放射照度を一定に制御している。この方式では受光器の感度がゼロに近くなる300nm 付近で起こる光源キセノンランプの紫外線カットフィルターの劣化によっておこる分光分布の変化が正確には捕らえられない。別の分散型分光放射計によって分光放射照度を実測すると、ランプのフィルターが劣化しても350nm 付近が一定に保たれていることがわかる。

一方米国Atlas社の装置では受光器のフィルターとしては340nm 付近に透過の極大を持つ多層膜干渉フィルターを使っており、340nm 付近の分光放射照度を測定し制御している。干渉フィルターには必ず余分な透過を遮断するための黒色のバンドパスフィルターが組合わさっている。ランプの紫外線遮断フィルターが劣化したとき350nm 付近が一定に保たれる。紫外域遮断フィルターの寿命は発光管とフィルターの距離が近い水冷ランプの方が短くて速く劣化し、その分長波長の熱線成分が増加して試料温度と空気温度との差を大きくするであろう。

これらの受光器用バンドパスフィルターは磷酸系のガラスであって、液体の水には強いが気体の水には弱く、高湿度においてはたやすく加水分解を起こして表面の平滑さを失い透過率の減少を起こす。この加水分解の速度は温度上昇に伴ってArrhenius式に従って上昇するであろう。バンドパスフィルターは完全に密封しシリカゲルなどで乾燥状態にして

おく必要がある。光源の近くに受光器を置く場合には冷却の必要も生ずる。干渉フィルター使用の場合バンドパスフィルターと多層膜干渉フィルターとはエポキシ樹脂で接着され、この樹脂が短波長遮断の役を果たしている。当然エポキシ樹脂の紫外線劣化による透過率変化が起こる。受光器の値付けのための標準放射源は、スガ試験機では以前は旧NBSの分光放射照度標準電球を使用していたが、現在は電総研の標準電球（1994年の改正以前の値付け）に変わっているはずである。HeraeusはドイツのPTBの標準ランプを使用しており、日本向けの製品の値付けには直接輸入品でも島津ブランドのOEM製品でもともに日本の標準は使われていない。同様に米国のAtlasからの輸入品はNISTの標準を使っている。ここで分光放射照度標準の値付けの国際標準化が行われなことが問題になるが、今回電総研の値付けが修正されたので日米独三国の暴露試験装置の紫外放射モニターの測定値がより接近するであろう。少なくともこの分野においては日米独三国の分光放射照度標準ランプの平均値を標準にして値付けをするべきである。

(d) 人工促進暴露装置の分光放射照度の測定

人工促進暴露装置は使用中にランプのフィルターガラスの劣化による相対分光分布の変化が無いことが望ましい。この場合には暴露試験装置の照射レベル維持のための紫外線モニターはナロウバンドであってもブロードバンドであっても構わないし測定波長がどこであっても構わない。点灯中のバルブ温度が低い紫外線蛍光ランプはこの例である。しかしキセノンランプではランプのフィルターガラスの温度が高く、ランプの冷却方式によって程度が異なるが、明らかに紫外部から透過率低下が進行する。このような光源においてはフィルター劣化を追跡するために少なくとも長短二つの波長を常時モニターするべきである。短い波長で劣化に必要な紫外放射をモニターし、長い波長で熱線の増加をモニターする。長波長用は熱電タイプのセンサーを使うことが出来る。

現在は暴露試験用キセノンランプの数千時間にわたる分光分布変化の測定例が報告されていないので、今後は断続的に分光放射計による分光放射照度測定を行ってランプフィルターガラスの劣化についての知見を得なければならない。

このような分光測定には普通の分光放射計を使うのが正確であるが、簡単に測定するためには光ファイバー光学系で受光しフォトダイオードアレイを受光センサーとしたポリクロメータータイプのマルチチャンネル分光放射計を使用するのが便利である。現在我が国では大塚電子、ウシオ電気、浜松ホトニクス、島津製作所などから発売されている。これらの装置に使われているフォトダイオードアレイセンサーは応答度が低いので350nm以下の波長を電総研の500Wハロゲンランプで直接値付けすることが難しい。幸いにも本委員会で研究しこの報告書で述べられている150Wショートアークキセノンランプを標準にすることが出来るようになったので350nm以下の領域での使用が可能になった。

(峰松 陽一 芝浦工業大学)

2. 5. 2 環境評価試験機器に於ける紫外放射の応用とその実態及び問題点と放射源

屋外で使用される材料では、その耐候性が重要な性能の一つである。耐光（候）性を調べる方法の中で最も信頼性があるのが屋外暴露試験である。しかし、屋外暴露試験は長い

年月を要するため、各種の促進耐候試験機を使用して性能評価を行っている。

そこで、今回、メタルハライドランプを光源とした促進耐候試験機（以下UVテスターとする）を中心に論じることとする。

（１） UVテスターについて

UVテスターは、従来の促進耐候試験機より、さらに促進性があり、屋外暴露試験との相関性もある試験機として開発されたものである。

（a）発光部

光源には、メタルハライドランプを使用している。このランプは、水銀に加え、鉄、錫のハロゲン化物を封入した一重管式の石英ガラス製高圧放電ランプである。ランプの発光長は、500mm及び1000mmのものがある。

光源の冷却方式は水冷である。石英ガラス製二重管形水冷管に特殊フィルタを内蔵し290nm以下の紫外放射のカットと455nm以上の可視放射のカットを行っている。このフィルタはブルーフィルタといわれる青色の色ガラスである。

反射板は、上記、光源及び水冷管の発光部よりの放射を試料台へ効率よく集め、照度分布を均一にするよう構成されている。また、この反射板は、電解研磨、陽極酸化処理を施した高純度アルミが使用されている。

（b）放射照度測定方法

光源から240mm（機種により数十mmの違いはある）の距離にある試料台上で放射照度の測定を行う。その手順は、まず、照度計の厚さ20mm分試料台を下げ、測定距離を240mmとしてから、光源を点灯させて約5分安定させる。次に、試料台上の有効面積内の測定位置で装置備え付きの照度計にて測定を行う。測定位置であるが、有効面積内の照度は±5%に保たれているため、その範囲内で任意としている。設定値と測定値が異なる場合、照度ボリュームで調整を行う。

放射照度計を長時間、装置内に入れておくと、紫外線や熱の影響を受けるので、測定は数分で行っている。

センサーの構成は、減光フィルタ・拡散板・色ガラスフィルタとセンサーからなりセンサーはシリコンフォトダイオードである。

（c）試験条件

屋外暴露される材料は、光・熱・水などの要因がさまざまに変化する環境におかれている。これに対応するには、装置側でもいろいろな条件が設定できなければならない。よって、UVテスターの試験条件も数が多い。

以下に設定条件をあげる。

i) 試験時間

屋外暴露1年が、何時間に相当するかは、一口では言い切れない。これは、材料によって、また、ii)以降の条件により異なるためである。通常では、屋外暴露1年を50～200時間で使用している。これに、年数を乗じて、試験時間を決める。

ii) サイクル

紫外放射の照射・休止・結露より5種類のサイクルを選ぶことができる。そして、それぞれの時間も設定可能である。材料によって異なる。

iii) ブラックパネル温度

ブラックパネル温度計を使用して、試料温度としている。紫外放射照射時の設定温度には、63℃や83℃が使用されている。

iv) 湿度

紫外放射照射時は、50%RHが多く使用されている。結露時は、ほぼ100%である。

v) 照度

設定放射照度は、50~100mW/cm²である。50~70mW/cm²では、減光フィルタを使用している。

vi) シャワー

紫外放射照射中または、結露前後にシャワーが使用できる。

vii) 冷却方法

試料面の冷却方法は空冷で、風の温度を調整して冷却する(Wタイプ)。

(d) 試験例

UVテスターの試験例を示すことにする。

試料には、ABS樹脂(厚さ1mm)を用いた。屋外暴露試験は、千葉県銚子市で3年間行った。UVテスターの試験条件は、表2.5.1の通りである。評価は、光沢残存率と色差を用いた。光沢残存率と色差の結果をみると、共に、屋外暴露試験とUVテスターが同じ変化をしている(図2.5.1参照)。これは、屋外暴露試験と相関がとれたと言える。他にも数点、同様なものがある。

(e) 装置に於ける問題点

放射照度は、電源電圧により変化がある。また、放射照度測定は、面倒であるとも言われる。この対策として、現在、照度測定の自動化を検討している。

(北川 潤一 岩崎電気)

参考文献

- (1) 光化学産業用光源の技術動向と将来展望(照明学会 光化学産業用光源研究調査委員会報告書) P. 29~32 (March 1991)
- (2) 富板 崇: 高分子学会1989年度高分子の崩壊と安定化討論会予稿集 P. 5, 6 (Nov. , 30, 1989)
- (3) 渡辺 幸雄: 日産技報 16 164-172 (Dec. 1980)
- (4) I S O C D 9370. 3 Guide for the instrumental determination of radiant exposure in weathering tests
- (5) I S O 4892-1994 Plastics: Methods of exposure to laboratory light sources
- (6) I S O D T R (Draft Technical Report の略)
- (7) 電総研ニュース [527] 6 (Dec. 1993)

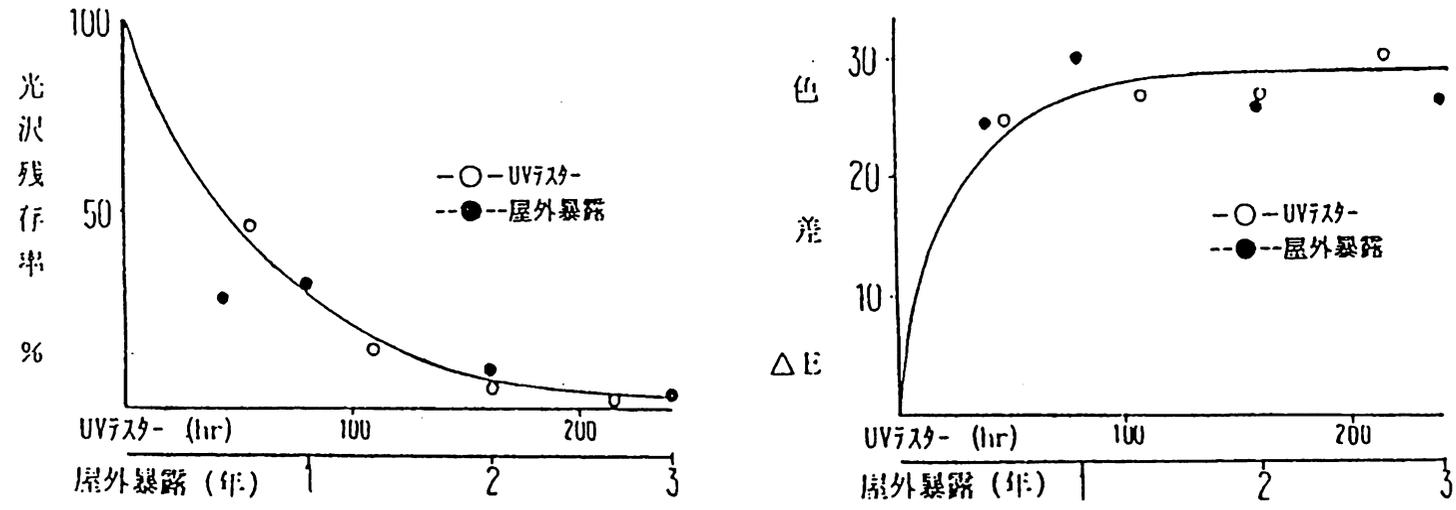


図 2.5.1 色差・光沢残存率変化

表 2.5.1 試験条件

サイクル (hr) 照射／結露	B P 温度 (°C) 照射／結露	湿 度 (%RH) 照射／結露	紫外線照度 (mW/cm ²)	促進倍率 (屋外比)
12／6	63／－	50／100	100	110倍

3. 紫外放射測定機器の現状と問題点の提起

実用紫外放射測定器として各種紫外放射照度計が市販されているが、同じ条件で紫外放射を測定しても機種間でデータが大幅に異なり、取り引き関係での使用においては、両者間で機種を取り決めて使用しているという実態がある。紫外放射照度計がこのような問題を起こす理由としては、

- (1) 分光応答度（分光感度）が標準化されていない。
- (2) 校正の考え方が、各分野ごとに異なる。
- (3) 可視用の照度計に対し、斜入射光特性が劣る。
- (4) ランプに対して至近距離測定を行う場合が多く、斜入射光特性の誤差が総合精度に大きく影響する。
- (5) 分光放射照度標準電球の紫外域のパワーが実用領域の千分の1程度と極端に弱く、高放射照度レベルの校正に困難が生じている。

などの理由が指摘されている¹⁾。

本委員会では、まず現状の認識を行うため、紫外放射照度計の斜入射光特性を実測した。次にアンケート調査を行い、紫外放射照度計に求められる要求仕様を明確にした。さらに、紫外放射照度計メーカ各社で、要求仕様実現の可能性を検討した。

3. 1 実用紫外放射計の性能調査

各委員で、現在所有している紫外放射照度計の斜入射光特性の実測を行った。測定結果を図3.1.1～図3.1.19に示す。これは可視用の照度計に比べて格段に悪い性能である。理由として以下の点があげられる。

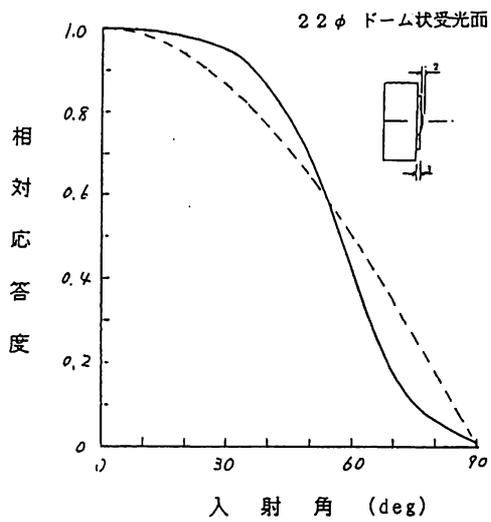
- ①斜入射光特性を犠牲にしても、耐熱性や薄型構造を重視したい。
- ②紫外領域で良好な特性をもつ拡散透過板がない。

3. 2 紫外放射照度計に対する要求仕様

紫外放射照度計に対する要求仕様をアンケート調査によりまとめた。表3.2.1参照。本調査では、耐熱性能や薄型構造がかなり重要視されているが、工業用の紫外照射装置関連のエンジニアからの要求が主であり、医療、生化学など他分野の意見が反映されていない印象はある。

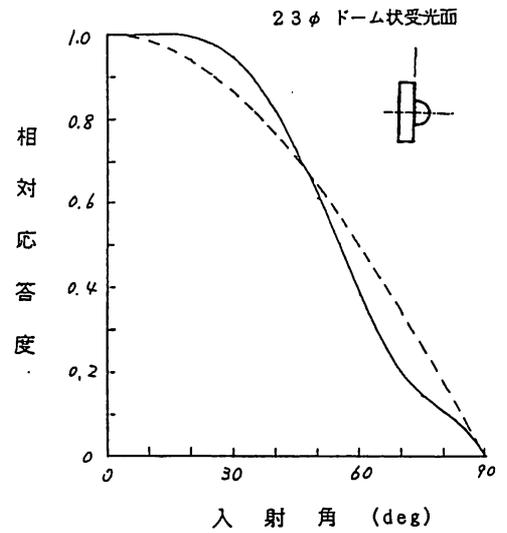
3. 3 要求仕様に対する紫外放射照度計メーカの対応

各社で対応可能性を検討した結果、表3.3.1のような結果となった。受光器ヘッドの厚み1.5mmは極端な要求として、その他の項目については技術的に不可能なことではないとの見解が示された。



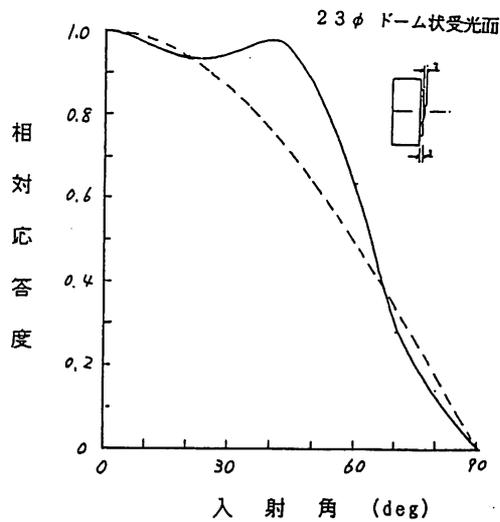
検出器の主要測定波長または範囲 220~390 nm

図 3.1.1



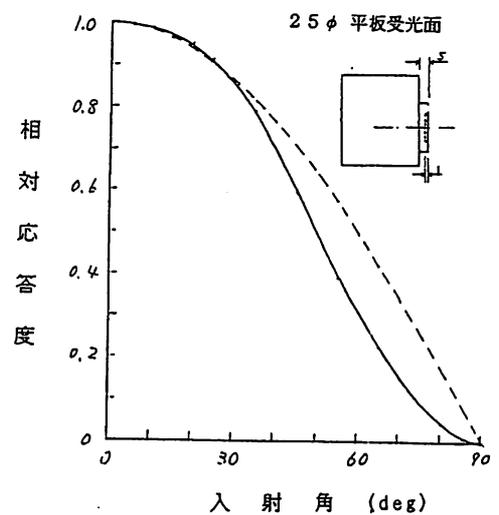
検出器の主要測定波長または範囲 220~390 nm

図 3.1.2



検出器の主要測定波長または範囲 254 nm

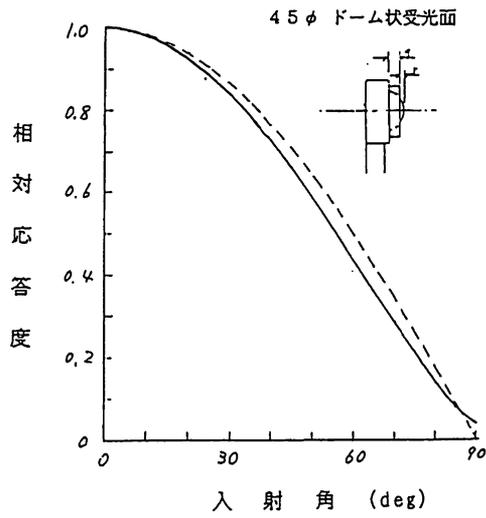
図 3.1.3



検出器の主要測定波長または範囲 200~320 nm

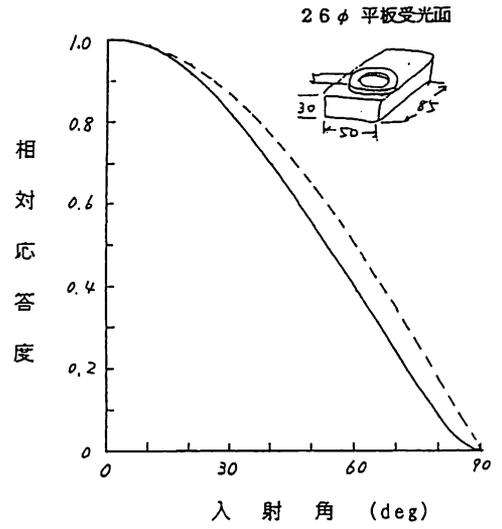
図 3.1.4

斜入射光特性



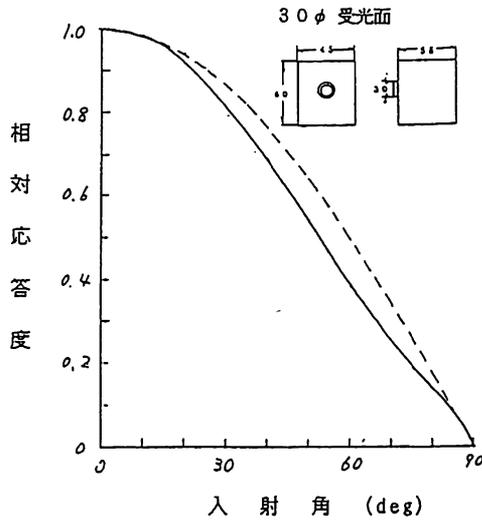
検出器の主要測定波長または範囲 310~400nm

図 3.1.5



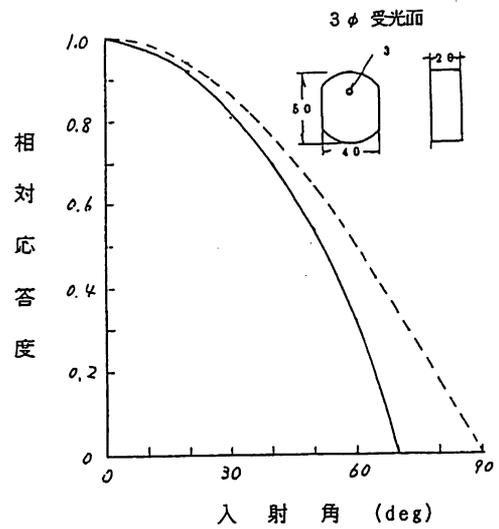
検出器の主要測定波長または範囲 365nm

図 3.1.6



検出器の主要測定波長または範囲 254nm

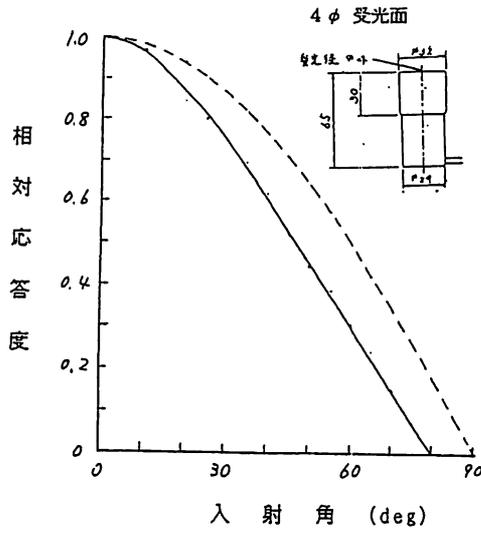
図 3.1.7



検出器の主要測定波長または範囲 365nm

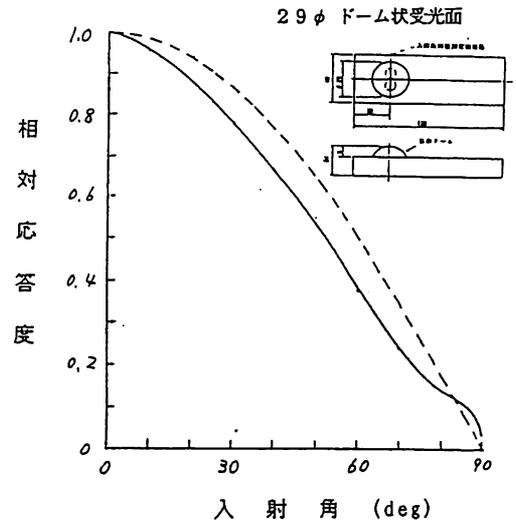
図 3.1.8

斜入射光特性



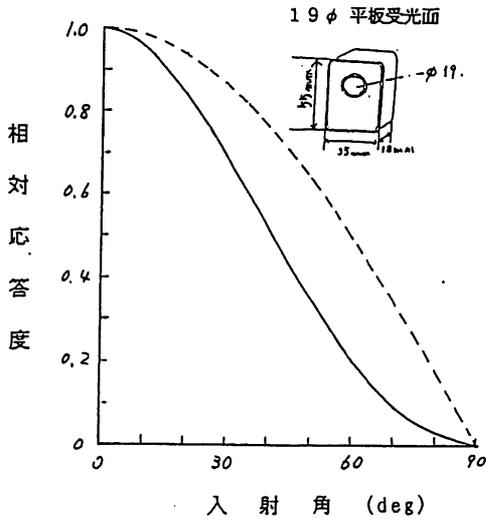
検出器の主要測定波長または範囲 200~320nm

図 3. 1. 9



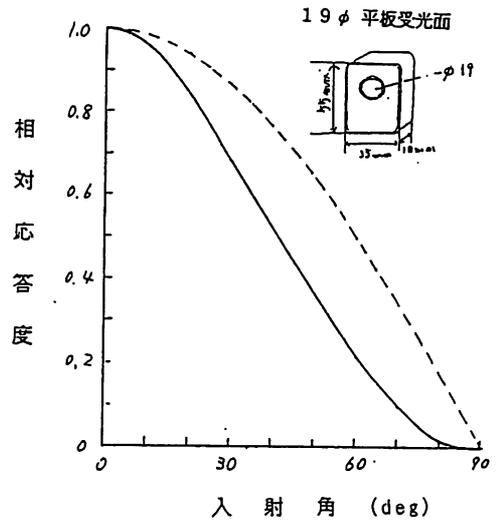
検出器の主要測定波長または範囲 254nm

図 3. 1. 10



検出器の主要測定波長または範囲 320~390nm

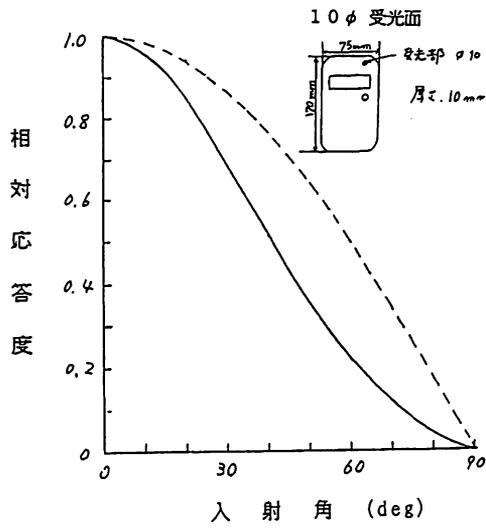
図 3. 1. 11



検出器の主要測定波長または範囲 330~490nm

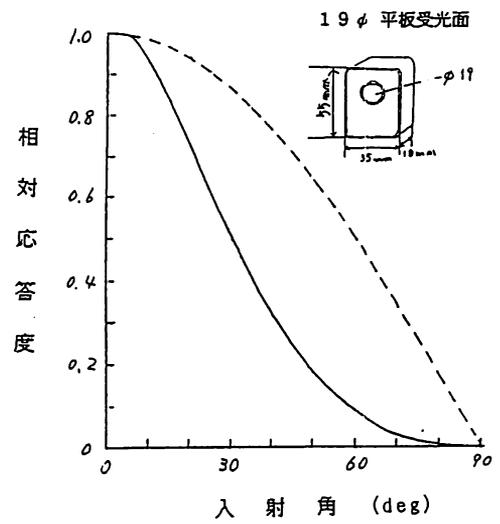
図 3. 1. 12

斜入射光特性



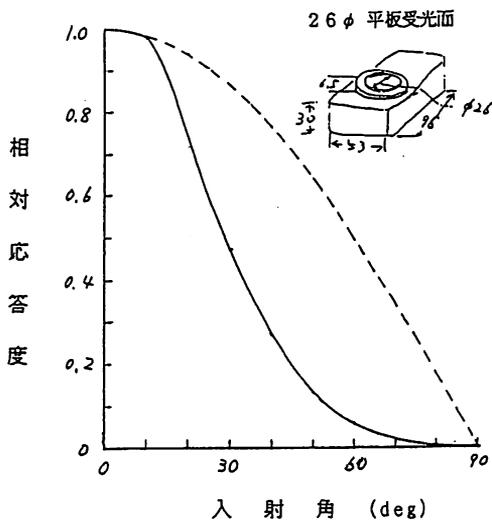
検出器の主要測定波長または範囲 320~390nm

図 3.1.13



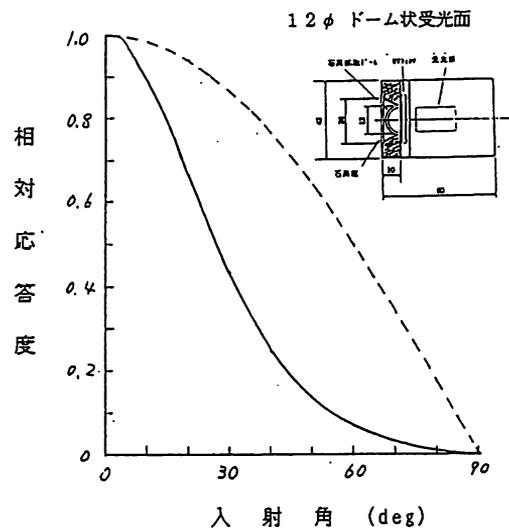
検出器の主要測定波長または範囲 240~270nm

図 3.1.14



出器の主要測定波長または範囲 254.7nm

図 3.1.15



検出器の主要測定波長または範囲 254nm

図 3.1.16

斜入射光特性

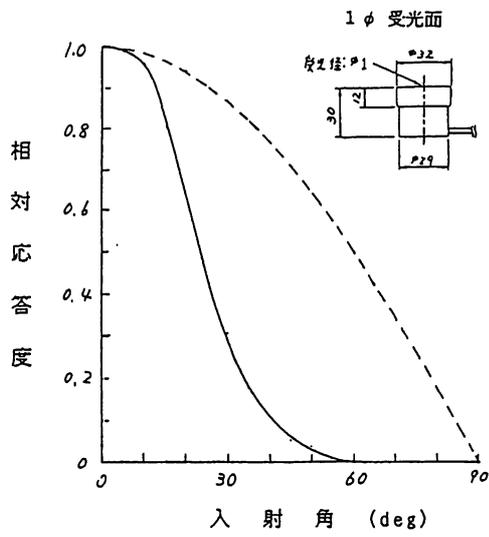


図 3.1.17

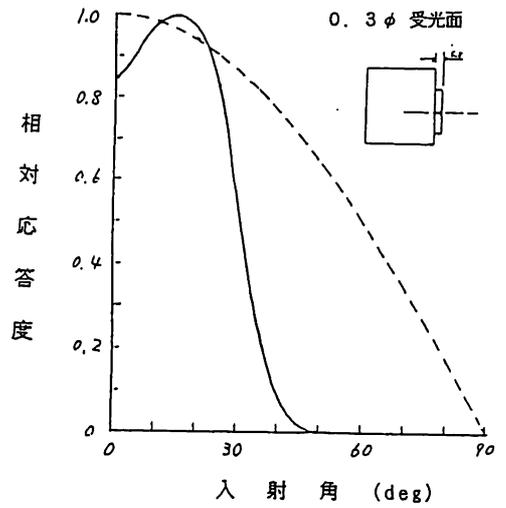


図 3.1.18

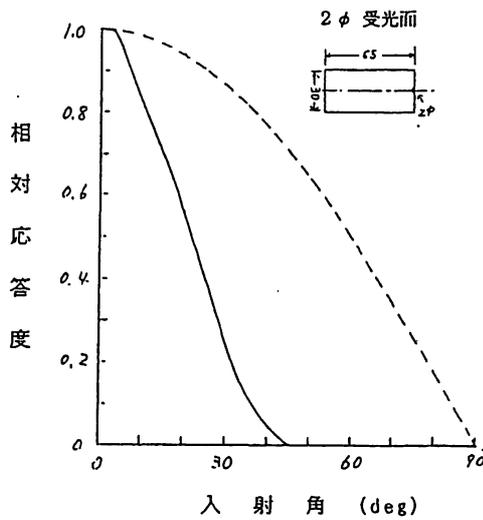


図 3.1.19

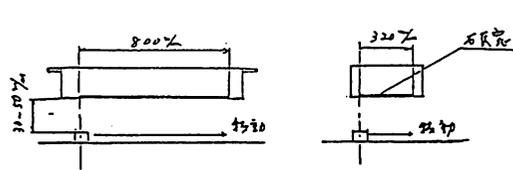
斜入射光特性

表3.2.1 UV用検出器受光部(ヘッド)に要求される入射角特性の調査報告書

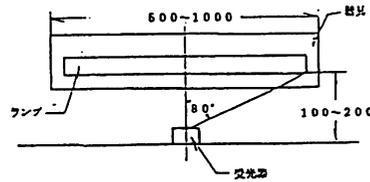
測定対象の装置の用途	水殺菌, 品包装材料の殺菌 食品容器の殺菌 光CVD 光酸化処理	食料用キャップ殺菌 食品容器類の殺菌	UV硬化樹脂の硬化 表面コート	半導体用フォトリソ 硬化装置 フォトリソの耐熱性 の研究	プリンター用マクロ波放電 光源装置のUV測定 および 被照射面強度の測定	焼付装置露光管理 樹脂, 塗料, インキ 等の硬化照度管理	光洗浄	水殺菌
主な使用波長	185 nm 254 nm	254 nm	365 nm	220 ~ 320 nm	330 ~ 400 nm 380 ~ 450 nm	240~270 330~490 320~390 nm	254 nm	254 nm
受光器ヘッドの大きさ (平面寸法, 丸, 四角等)	丸 径 30 ~ 60 mm	縦 横 厚み 60 × 45 × 55 mm	縦 横 厚み 50 × 40 × 20 mm	丸 径 30 mm	四角 35 × 55 mm 受光面 φ20 mm	縦 横 厚み 55 × 35 × 18mm	60×80 mm	55×35 mm 又は 30φ
受光器ヘッドの厚み (底面から受光面までの距離)	10 ~ 50 mm	62 mm	20 mm	10 mm	1.5 mm	16.5mm, 10mm	50 mm	17 mm 又は 65 mm
入射角 (1) 絶対的に入射をとり込みたい角度範囲	0 ~ 80°	70°	80°	0 ~ 75°	0 ~ 38°	15°	20°	80°
入射角 (2) COSθ 特性をほぼ満足したい角度範囲	0 ~ 60°	70°	80°	0 ~ 45°	0 ~ 38°	30°	20°	80°
使用温度範囲	-10 ~ 10 °C	40 °C Max	60 °C	10 ~ 30 °C (水冷)	0 ~ 50 °C	0 ~ 60 °C	30 ~ 60°C	10~60°C
上記温度での測定時間	10~30分	約15分	約1分	約10秒	約15分以内	連続使用可能	1時間	10秒
代表的な装置及び器具についての 測定の位置関係の図	☒ 3.2.1	☒ 3.2.2	☒ 3.2.3	☒ 3.2.4	☒ 3.2.5	☒ 3.2.6	☒ 3.2.7	☒ 3.2.8

[73]

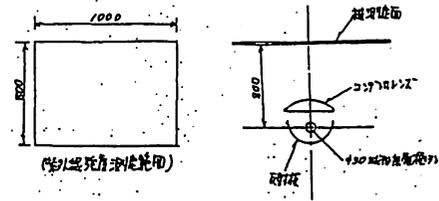
は最も厳しい要求



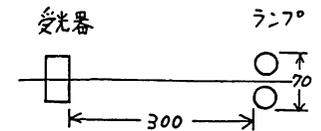
☒ 3.2.1



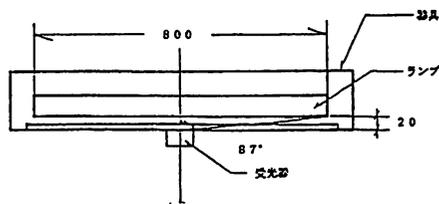
☒ 3.2.3



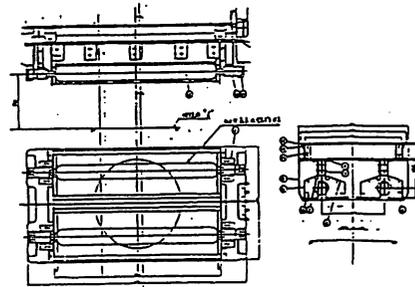
☒ 3.2.5



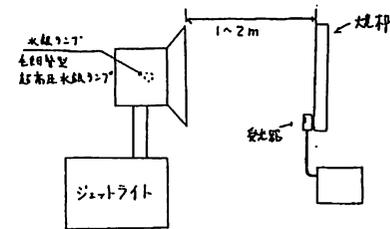
☒ 3.2.7



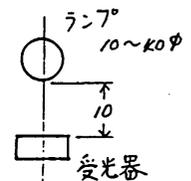
☒ 3.2.2



☒ 3.2.4



☒ 3.2.6



☒ 3.2.8

表 3.3.1 要求仕様に対する実現可能性

項 目	要求仕様	可 能 性			
		A 社	B 社	C 社	D 社
受光器ヘッドの大きさ(mm)	丸型 φ20	可	可	可	可
受光器ヘッドの厚み(mm) (底面から受光面の距離)	1.5	最小 8	最小 8.1	最小 10	最小 10
入射角(1) 絶対的に入射を取り込み たい角度範囲	0 ~ 80°	可	可	可	可
入射角(2) COSθ特性をほぼ満足 したい角度範囲	80°	70° 注 1)	60° 注 2)	60°	60°
使用温度範囲	60℃	可	50℃	可	可
上記温度での測定時間	連続使用可	可	可	可	可

注 1) ただし、受光器ヘッドの厚みは満たせなくなる。

注 2) 受光器ヘッドの厚みが10~15mmは必要。

3.4 分光応答度の問題

現在、紫外放射照度計の分光応答度には規格がない。従って、例えば254nmを測定対象としている紫外放射照度計といっても、その感度波長はE社のものは、波長200~300nm、F社のものは波長240~270nm、G社のものは、波長220~390nmと全く異なる。低圧水銀ランプの254nm輝線の測定においては問題は生じないが、連続発光している光源、例えば高圧水銀ランプやメタルハライドランプなどの測定においては、各社各様の表示値となる。本件は重要な問題であるが、一致した見解には至らなかった。

3.5 校正の考え方

本委員会でXeランプによる分光放射照度常用標準が検討され、電子技術総合研究所からSPD(シリコンホトダイオード)による分光応答度標準が供給される態勢となった。これらを用いれば特定波長の単色放射の放射照度を求めることも可能であるし、連続光源のある波長範囲での放射照度を求めることも可能となる。Xeランプによる紫外パワーの大きい標準が日本電気計器検定所で供給するシステムが確立すれば、紫外パワーの大きい標準についてのトレーサビリティシステムは完成する。しかしながら、紫外放射照度計の校正方法を規定しなくては、機種間の値の一致は望めない。各社の校正方法を調査した結果を表3.5.1に示す。校正の考え方は大きく2種類に別れ、その中でさらに細分化されていることがわかった。

表3.5.1 各社紫外線照度計の仕様比較

メーカー名	型式	測定波長範囲 (nm)	ピーク感度波長 (nm)	校正光源 (ワキウクスタンダード) ランプ名称	輝線/連続	主用途	備考
岩崎電気	UVPZ-2					UV照射装置の照度管理	表示器+365nmセンサー 特別仕様
	254nmセンサー	200 - 300	260	GL-15	輝線		
	365nmセンサー	300 - 400	365	クレスト形水銀灯	〃		
ウシオ電機	UVPF-36	300 - 390	354	〃	〃	UV照射装置の照度管理	薄型・コトレス
	UIT-101					UV露光装置の照度管理	表示器型式
	UIT-102						〃
	UVD-365PD	330 - 390	365	超高圧水銀灯+狭帯域フィルタ	輝線		受光器型式
	UVD-405PD	330 - 490	405	〃	〃		〃
	UVD-436PD	360 - 500	436	〃	〃		〃
英弘精機	MS-210W	280 - 315	305	自然太陽光	連続	気象・環境測定用	
	MS-210D	紅斑スペクトラムに近似		〃		医学・生化学用	
	MS-210A	315 - 400		〃			
オーク製作所	UV-M02					紫外線ランプの照度管理	表示器+3受光器
	UV-25	240 - 270	254	クレスト形水銀灯	輝線		受光器型式
	UV-35	320 - 390	360	〃	〃		〃
	UV-42	330 - 490	420	〃	〃		〃
	UV-350	320 - 390	360	〃	〃	UV照射装置の照度管理	薄型・コトレス
	UV-M30					紫外線ランプの照度管理	表示器+8受光器
	8種の受光器	254, 280, 310, 350 365, 405, 420, 435		クレスト形水銀灯 〃	輝線 〃		
トプコン	UV-185	153 - 203	176	重水素ランプ		UV照射装置の照度管理	真空紫外線用
	UVR-1					紫外線ランプの照度管理	表示器型式
	UVR-25	220 - 390	254	GL-15	輝線		受光器型式
	UVR-36	310 - 400	365	FL20S・BLB	連続		〃
	UVR-40	360 - 480	405	A光源	〃		〃
	UVR-3036/S					医療用紫外線照射装置	表示器+2受光器
	30ヘッド	290 - 320	305	FL20S・E-30	連続	『デルマレイ』の照度	受光器型式
	36ヘッド	310 - 400	365	FL20S・BLB	〃	管理	〃
	UVR-T35	300 - 390	354	クレスト形水銀灯	輝線	UV照射装置の照度管理	薄型・コトレス

※ 本表では、【放射照度】と記すべき部分を【照度】と略記した。

(1) 分光応答のピーク波長で校正する。

分光応答のピーク波長に単色放射が入射した場合に、正しい値が表示されるように校正する方式である。

具体的な手法として以下の方式が紹介された。

- ①殺菌ランプGL-15の254nm輝線を使用。
- ②超高圧水銀ランプと狭帯域干渉フィルタの組合せによる単色放射を使用。
- ③クレフト型水銀灯の各水銀輝線の放射パワーに相対分光応答度(ピーク1)の重みを掛けその積算値を基準とする。クレフト型水銀ランプからの放射は、直接(フィルタを用いることなく)紫外放射照度計に入射させる。

(2) 特定の連続スペクトル光源の放射照度を基準として校正する。

連続スペクトル光源というのは太陽光やブラックライト蛍光ランプのように、各波長で連続発光している光源の意味である。これらの光源のある波長範囲の放射照度を基準として目盛りを付ける。

光源としては、以下のような使用例があった。

- ①連続光源としてブラックライト蛍光ランプを使用する。
- ② " 健康線ランプを使用する。
- ③ " 光度標準電球(標準の光A)を使用する。
- ④ " 太陽光を使用する。

また、波長範囲の考え方にもバリエーションが存在した。

- ①UV-A, UV-B, UV-Cなどの波長区分に従う。
※この波長区分も統一されてはいない。UV-AとUV-Bの境を320nmとするか、315nmとするかは分野ごとに異なる。
- ②紫外放射照度計が感度を有する波長範囲全域
- ③ " 波長範囲の半値幅

各校正方式は、どれが正しいというものではなく、「何を測定するか」によって校正の考え方が複数存在してもやむを得ないことである。紫外放射照度計は放射の工業応用だけではなく、医学、生化学、その他様々な分野で使用されており、校正の考え方を統一することは本委員会では不可能であった。しかしながら、紫外放射照度計メーカー各社の校正の考え方についてまとめることができたのは、大きな前進といえる。

(戸沢 均 トプコン)
(相原 清 オーク製作所)
(大沢 理 ウシオ電機)

参 考 文 献

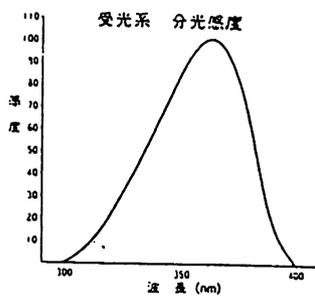
- (1) 戸沢 均：UV測定機器の動向，照学誌，87，3(1993)

付録

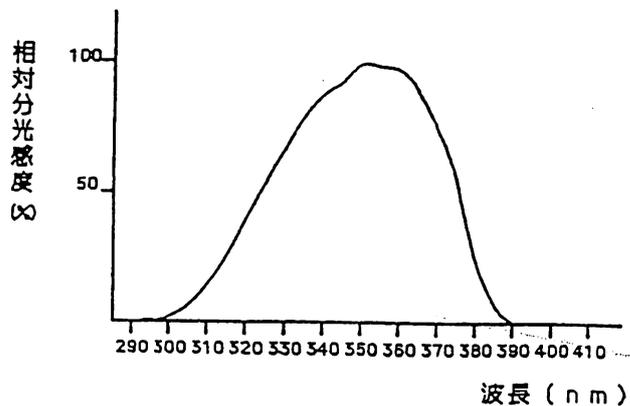
各社紫外線照度計の分光応答度グラフ

本データは各社製品カタログより掲載させていただいた。

岩崎電気

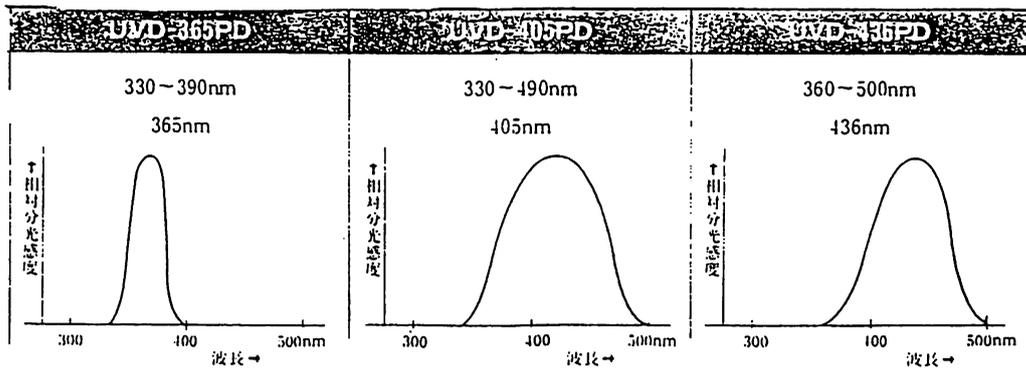


UVPZ-2 (365nm用センサー)



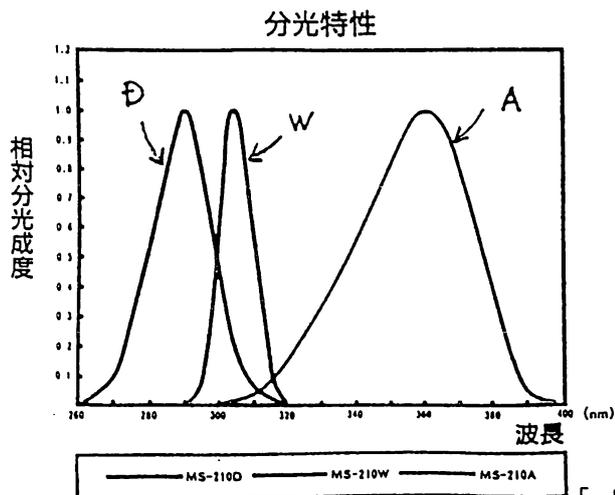
UVPF-36

ウシオ電機

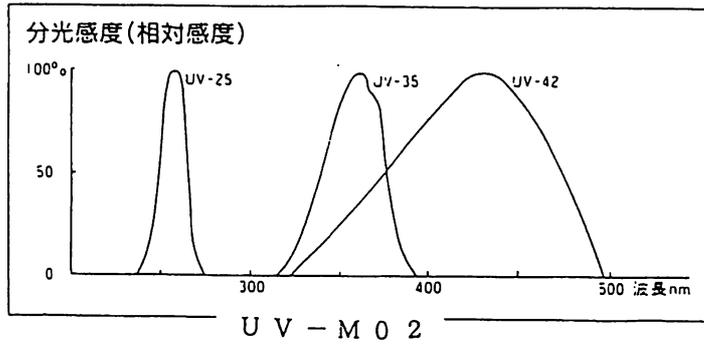


UIT-101, UIT-102

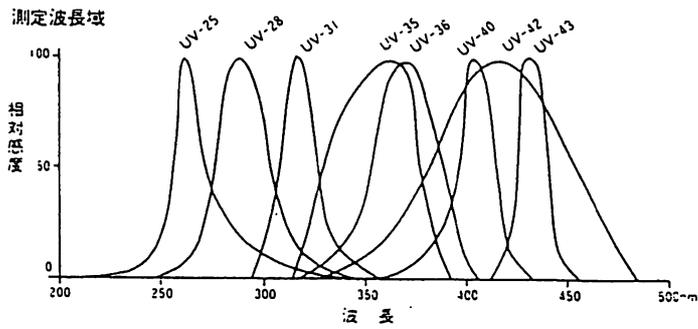
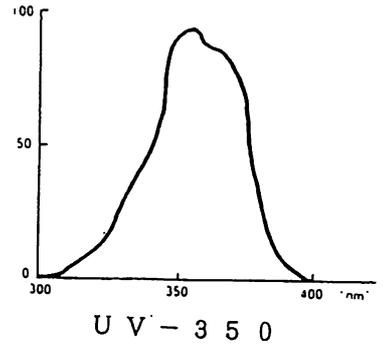
英弘精機



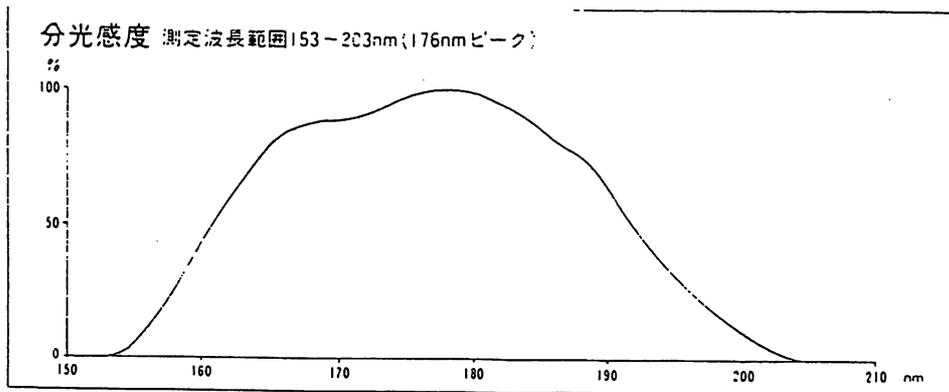
オーク製作所



● 分光感度



UV-M30

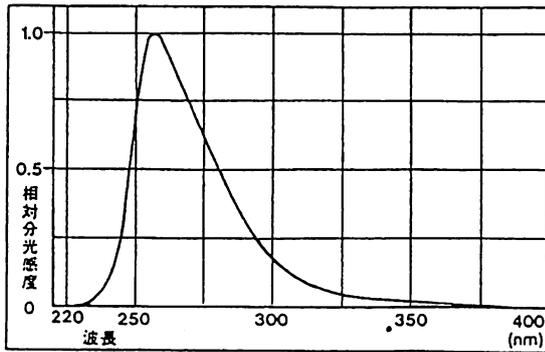


UV-185

トプコン

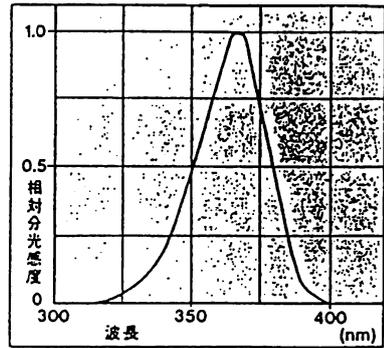
受光器UVR-25

(220~390nm)



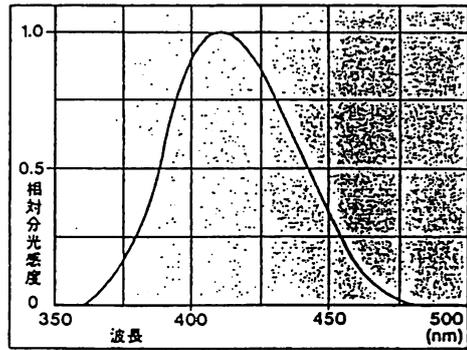
受光器UVR-36

(310~400nm)

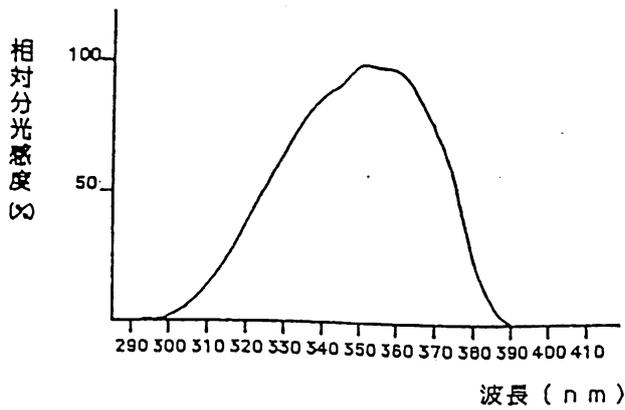


受光器UVR-40

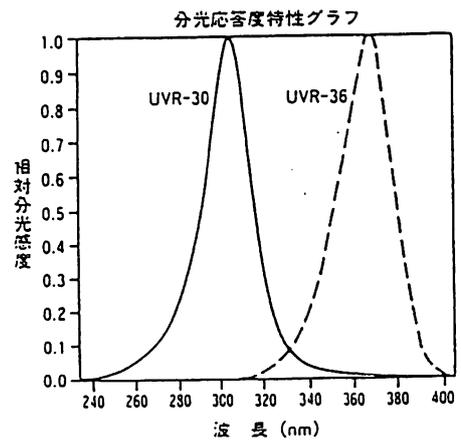
(360~480nm)



UVR-1 シリーズ



UVR-T35



UVR-3036/S

4. 紫外放射測定での誤差要因とその対応

4. 1 紫外放射測定での留意すべき事項

実用的な紫外放射域の測定・評価は、第2章にその代表的な産業界での事例を示したが多種多様な場面で実行されている事がわかる。又、その測定結果もあらゆる場面で報告、活用されている。

しかし、同一産業界或いは、同一事象の研究解析に於いても、測定結果をお互いに共有する事がためられる事もしばしば発生し、注意して活用せねばならないと考えている研究者、技術者は多数おり、何等かの形で統一し研究効率を向上させる。或いは、相互理解できる方法は無いか要望されているのも実情である。

これらは、下記の様な不具合が存在している事が要因となっている。

(1) 紫外放射、或いは紫外域といっても、範囲が広く、固定されていない。

従って、対象とする事象毎に研究者、技術者でその範囲が異なっている。

(2) 紫外放射、或いは紫外域の測定方法が標準化されていない。

(3) 紫外域の放射測定機器が市販され簡単に利用されているが、可視域を測定する照度計と比較して、一部特性に問題があるにもかかわらず、測定の際、測定誤差を評価する配慮が欠けている場合がある。又、照度計（J I S C - 1609）での測定結果と同様の概念で精度、角度が確保されているとして扱われている場合がある。

(4) 上記紫外域の放射測定機器、一般には紫外放射照度計の校正方法並びに校正する際の標準が統一されておらず、計測器として、測定器メーカー間のレベルが合致していない。

(5) 当委員会でのヒアリングにより、実際に使用されている状況調査によれば、紫外放射源（光源）から紫外放射照度計迄の距離が数cmの場合があった。これは紫外放射照度計の入射角特性が不十分な為、測定機器の個体差に起因する誤差を内在している。

(6) 測定環境として、高い温度（湿度）、或いは高いエネルギーが長時間照射される場合があり、紫外放射照度計を劣化させている場合がある。

次に、上記したような不具合を回避して、妥当性客観性のある測定方法について説明する。

先ず、紫外放射の範囲或いは領域について述べる。

第1点として、紫外放射の範囲或いは領域を表現する一つの方法として、UV-A, UV-B, UV-C等で区分する事が使用されている。しかし、この区分は絶対的なもの、或いは各区分の境界にはっきりした障壁があるわけでは無く、便宜的に区分した物である事を認識しておく必要がある。これら区分の波長範囲は、関連する学会、業界で異なっている事も事実であり、注意が必要である。

第2点は、対象としている紫外放射源は、人工光源である放電ランプから太陽光等の自然現象まで広範囲にわたっている。

放電ランプはその種類により、放射している波長範囲が異なる。又同一種類の放電ラン

プ。例えば、メタルハライドランプでは、ランプ発光管の内部に入っている元素、化合物の量などで放射エネルギー分布を変える事も可能である。言い替えると同一型名でも、ランプメーカー間で差が有り得る事になる。

太陽光等の自然放射源の場合は、一般に連続した分布を示している。これらは気象条件（大気条件）により変化している。又連続した分布である事から、明確に波長範囲で区分できる物では無く、測定に際して留意する必要が有る。

第3点は、紫外放射を照射してその効果を発揮させたとき、照射された対象物によりその効果の程度が異なる。従って対象とする事象毎に波長範囲は異なってくるのは当然であり、研究分野毎或いは技術の進歩により差が発生している。この為、あらゆる技術分野を横断して統一的な作用曲線を決定する事は不可能であると考えられる。

以上から、紫外域の測定に際しては、波長範囲を明確にする事が不可欠と言っても過言では無いだろう。

次に測定方法であるが、上述した様に、放射源の種類、照射された対象物によりその効果の程度が異なっている為、研究・技術分野毎に紫外放射による効果曲線が異なっている。

又、測定する幾何学的な条件、即ち放射源からの距離、角度なども多種多様である。この為、現状では統一的な測定方法を固定する事は不可能であろう。今後の研究・技術分野毎に統一的測定方法を決定する事は待つとして、当面、測定に当たっては、幾何学的な条件を可能な限り明確にし測定する事を勧める。

紫外放射照度計は、現在容易に入手する事が出来る。しかし、第3章「紫外放射測定機器の現状と問題点の提起」、特に、表3.5.1で詳述した様に照度計メーカ、あるいは機種毎にその目的とする測定波長範囲、分光応答のピーク波長、校正に使用された標準ランプが異なっている。

この為、測定に当たっては、

①放射源の分光分布が、紫外放射照度計の測定波長範囲を大幅に逸脱していないこと。

測定波長範囲外のエネルギーが大きい場合は、2～3種類の紫外放射照度計を使用し評価する事も検討する事。

②紫外放射照度計の分光応答度、ピーク波長が被照射物の作用曲線が大幅にずれている場合は、その補正を検討する事。

③品種の異なる放射源での強度（効果）比較を行う場合は、放射源の分光分布により補正する事が不可欠であると認識する事。

④上記②③での補正方法は、照度計（JIS C 1609）に可視域相対分光応答度特性試験の数式を変更すれば実行できるが、非常にやっかいで、且つ困難である。放射照度計メーカに相談する事を勧める。

次に、現状の紫外放射照度計の実力であるが、第3.1章、及び、図3.1.1～3.1.19に示した如く、特に斜入射光特性が、可視域の照度計と比較して劣っている事が確認されたところで、紫外放射照度計による測定の現状は、委員会でのヒアリング調査、紫外放射照度計への要望事項アンケート調査結果を総括すると、放射源から紫外放射照度計までの距

離が大変短い場合が多い。極端には数 cm の場合がある。これは、理論的に測定誤差を持つことを意味している。

斜入射光特性と測定距離との関係で発生する測定誤差は次章 4.2 に説明するので、参考として欲しい。

尚、照度計メーカから、今回の委員会活動を通じて検討した結果、この斜入射光特性を改善する事は可能であるとの回答を入手した。実際に一部新機種で改善されており、今後のに照度計メーカの努力を期待している。

紫外域の放射は、金属、ガラス、塗料或いはプラスチック類を変質、劣化させる事は既に衆知されている。この紫外域の放射を測定する目的で作成されている紫外放射照度計も例外では無く、照度計全面に取付けてあるガラスフィルター、受光素子も長時間大エネルギーに晒された場合、特性が変化する。これは温度が高い程顕著である。この様な環境で使用する場合は、測定毎に放射照度計を取り付ける等の工夫が必要である。尚、紫外域の放射エネルギーの強度モニタとして使用する場合は、別にレベル確認用の放射照度計を準備し、定期的に確認する事をお勧めする。

(石野 正敏 東芝ライテック)

4. 2 至近距離測定での誤差要因

4. 2. 1 直管放射源の直下放射照度

紫外域での放射応用の多くは、対象物を放射源の真近に置いて照射を与える。従ってこのようなときには、対象物へ斜め方向から、入射角の大きな放射が多く与えられる。このような状態での照射面の放射照度 E' を求めてみる。

まず、図 4.2.1 のように、照射面上で放射照度を求める点を P として、直管放射源の管端から、 P を通る照射面の法線が放射源とクロスする点 P' までの距離を h_1 , h_2 とする。そして P , P' 間の距離を y , 照射面の管長に沿う方向の距離を x とする。ここで放射源の単位長さ (P 点からみて等価的に点光源と見なせる長さ) 当たりの放射強度を I_1 とすると、放射照度 E は次のようになる。

$$E = I_1 \left(\int_0^{h_1} \frac{1}{y} \cos^2 A \cdot H(A) \cdot S(A) dx + \frac{1}{y} \cos^2 A \cdot H(A) \cdot S(A) dx \right) \textcircled{1}$$

$$\text{但し } A = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

ここで $H(A)$ は放射源の配光特性、 $S(A)$ は照射面の入射角特性 (一般に余弦特性) である。なお、 $H(A)$ 完全拡散光源の場合は $\cos A$ となる。

4. 2. 2 至近距離測定 of 誤差

放射源直近の放射照度測定における誤差原因の主なものは、次の通りである。

- (1) 入射角 ϕ が非常に大きくなるため、放射照度測定器の斜め入射特性が広い範囲で $\cos \phi$ に比例しないと誤差が生ずる。
- (2) 放射照度が非常に高くなるので、検出器の出力が飽和する。
- (3) 測定距離が非常に短くなると、放射源と実際の照射対象までの距離と測定器の受光面までの距離を同じであると見なせなくなる。
- (4) 大出力の放射源に接近するため高温となり、検出素子、フィルタ等の特性が変化する。

この内の (2) と (4) は常識的なことであり、比較的容易に補正できるので、ここでは (1) と (3) について述べる。

まず入射角 ϕ を考えてみると、測定点を直管放射源の中央直下としたときの照射距離 (L) / 管長 (H) と入射角 ϕ の関係は図4.2.2 のようになり、L/H が 0.1 であれば ϕ は約 85° となることが分かる。ここで、使用する放射照度の測定器の入射角特性が、 $\cos \phi$ から外れて例えば、図4.2.3 の A, B のようであると L/H と A, B による指示の関係は図4.2.4 のようになり、 $\cos \phi$ との近似が悪いと非常に大きな誤差が生じる。

次に距離と放射照度の関係は直管の中央直下位置について図4.2.5 のようになる。

(L/H = 1 のときの値を 1.00 とする) 至近距離では、わずかな距離の変動で放射照度は大きく変わり、例えば L/H = 0.1 のとき、L/H 0.01 の変動で (例えば管長 300 mm, 照射距離 30 mm で距離変動 3 mm) で測定誤差は 10% に達する。

この誤差は前述の入射角に対する誤差に加算される。

これらの誤差の量は、前述の①式に実際の数値をいれて計算することができる。この場合の積分は放射源を点光源とみなせる単位長さに分割して区分求積する。従って、放射源からの距離が近くなるのに応じて単位長さを短く (分割数を多く) とる必要がある。

(中川 靖夫 埼玉大学)

図 4.2.1 直管形の放射源からの直射照度の考え方

放射源の単位長さ当たりの放射強度 I_1

放射源の配光の角度特性 $H(\phi)$

受光器の入射の角度特性 $S(\phi)$

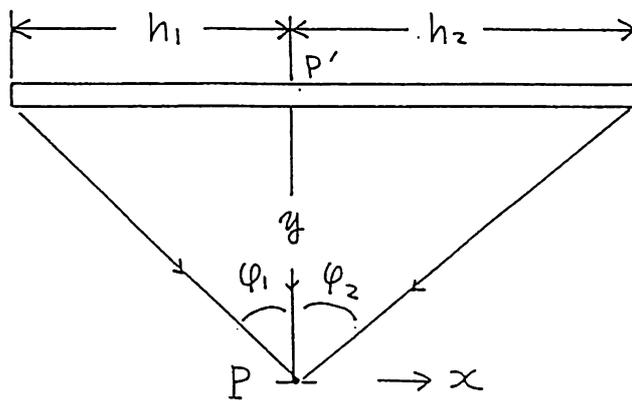


図 4.2.2 入射角 ψ と比距離 L/H の関係

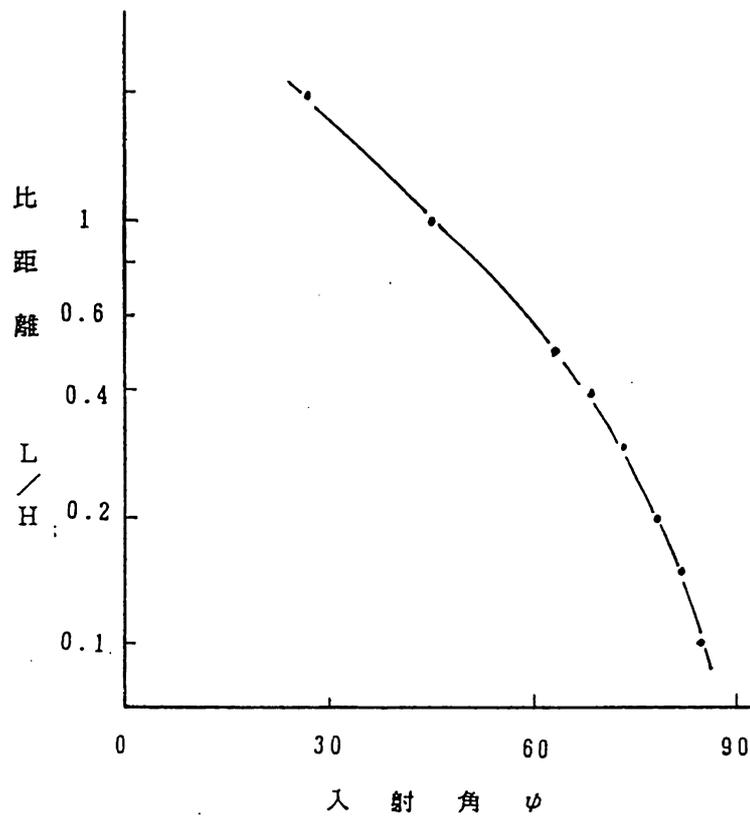


図 4.2.3 紫外放射照度計の入射角特性の例

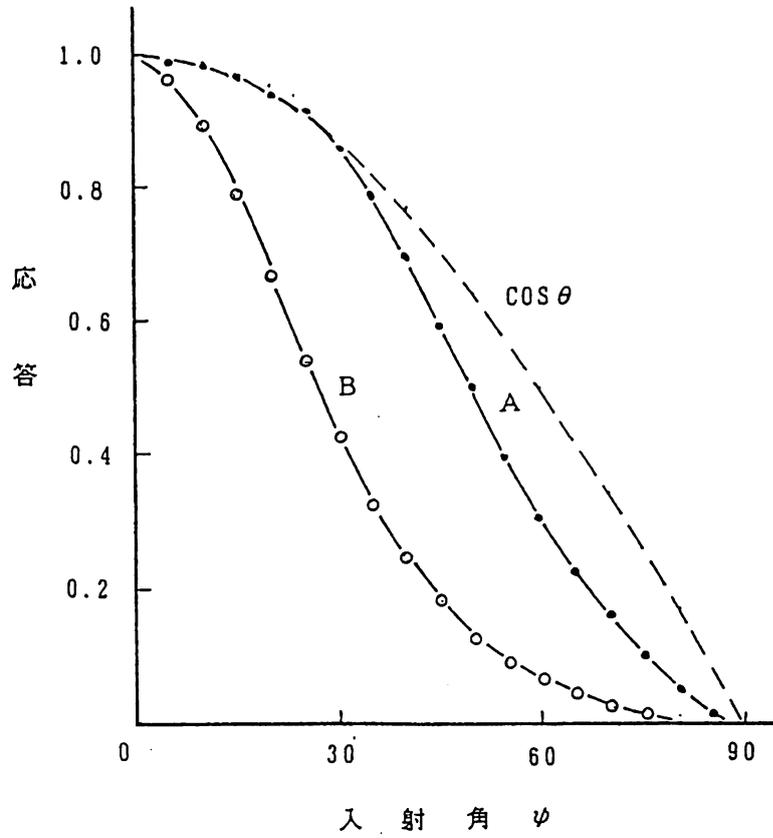


図 4.2.4 入射角が $\cos \psi$ に従わない放射照度計の指示値の例
($\cos \psi$ に従うときを 1 とする)

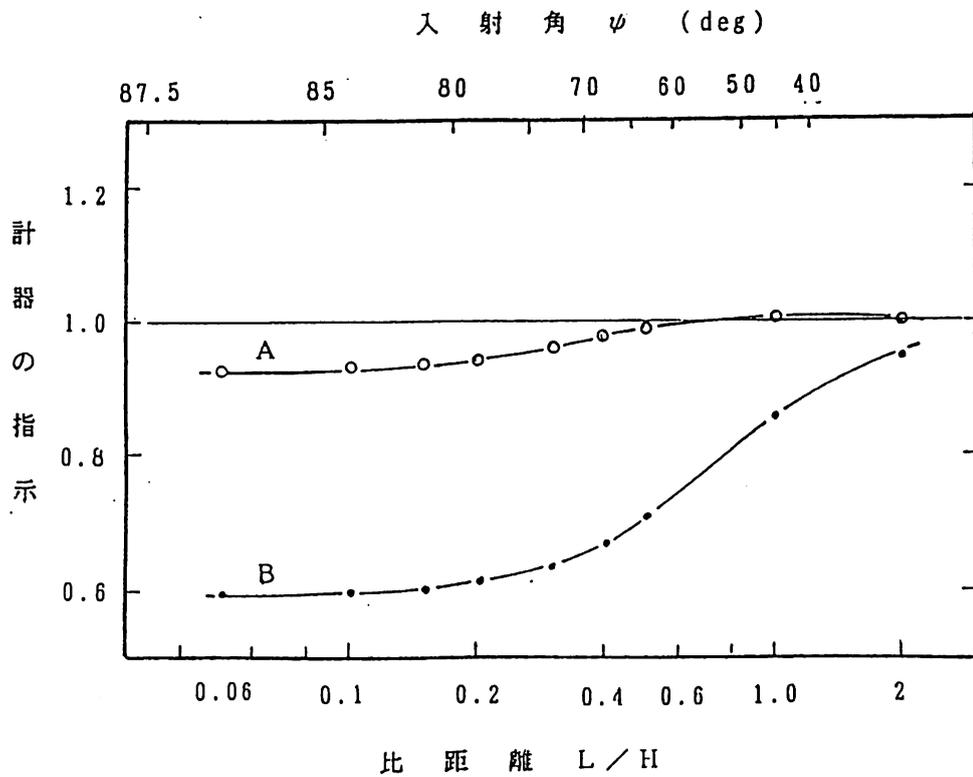
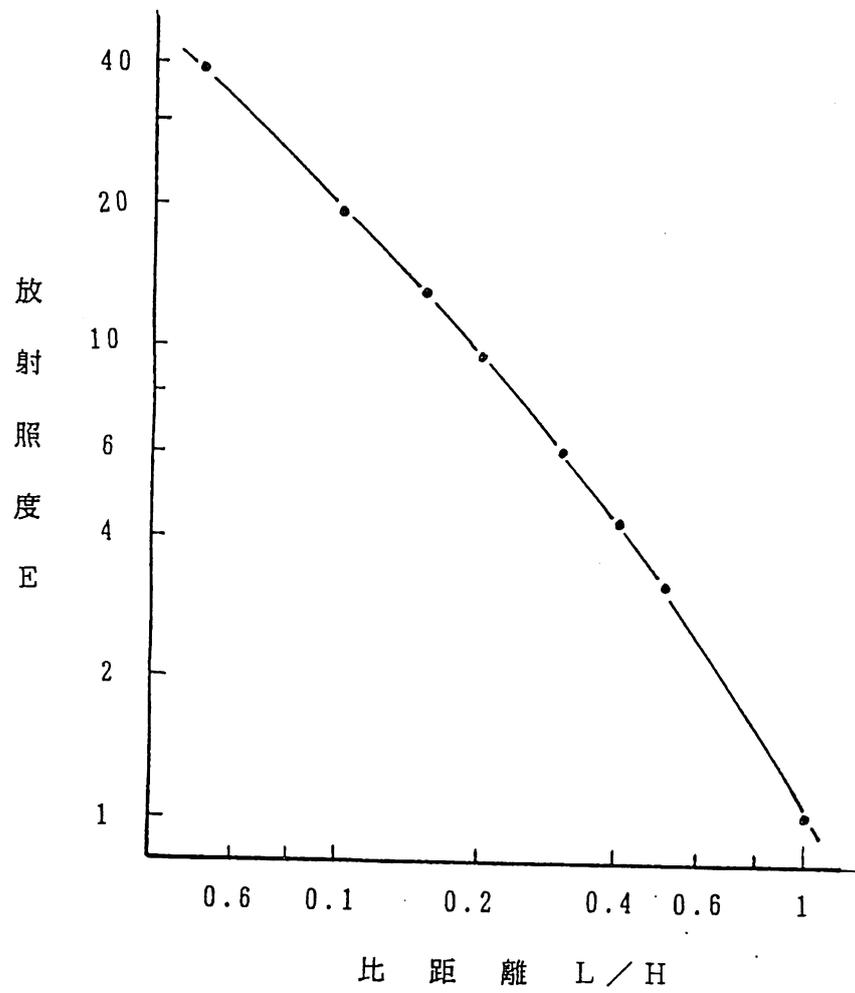


図 4.2.5 比距離（照射距離／管長） L/H と放射照度の関係



4. 3 標準トレーサビリティ

紫外域の放射測定に際して、基本となる標準の値の供給状況、即ち我が国の紫外域の標準のトレーサビリティ体系について述べる。

我が国の可視域から紫外域のエネルギーとしての標準を統括している国家機関は、工業技術院電子技術総合研究所といえる。電子技術総合研究所は、世界各国の国家機関と連携を取りながら、必要な標準値の研究並びに維持管理を実施している。この標準値は、日本電気計器検定所を介して産業界に供給されている。

現在、日本電気計器検定所が公式に供給している標準値は、可視域である光度、光束分布温度等の他に紫外放射に関する標準として、ハロゲン電球による分光放射照度標準がある。しかし、この標準の紫外域での放射照度は非常に弱く、実際に使用する場合、かなり高度な技術と設備が必要になり現場向きとは言えない。

この現状を踏まえ、本委員会では現場向きの標準トレーサビリティを現場サイドまで徹底させるために、紫外放射の放射照度測定方法特別研究委員会報告第2分冊「紫外放射の測定と校正技術」に纏めた如く下記の結論を得た。

- ①紫外域の常用受光器標準の設定のために、実際の分光応答度の値付けの確かさを検証した。
- ②実用254nm 常用標準放射源として、低圧放電灯である殺菌ランプ（GL10,15 など）の値付け方法を規定した。
- ③254nm 以外の常用標準放射源として、150W タイプXeランプが十分実用に耐える事を検証した。

これらの結果を基に、日本電気計器検定所より標準値を供給する、紫外域標準のトレーサビリティ体系を更に完全なものとするために、今後（社）日本電球工業会などの業界団体に働き掛けて行く事にした。

5. ま と め

本委員会では、紫外放射の産業界における実際の使用例ヒアリング調査、紫外放射照度計アンケート調査により、実用測定機器、測定方法の問題点を掘り起こす事が出来た。その結果から、紫外放射照度計メーカーに明確に問題点として提起する事が可能となり、今後の改善方向を見出だす事が出来た。今後を期待したい。

更に市販されている紫外放射照度計の現状レベルを調査する事により、実際の測定の際発生し得る測定誤差も推定する事が出来た。これにより、測定に際しての混乱を多少なりとも縮源出来ると考えている。

最後に、紫外域標準のトレーサビリティ体系を更に完全なものとするために各種テストを行い第2分冊に示した方向性を見出だし得たのは、一重に紫外放射照度計メーカー、実験用基材を心よく提供して頂いたウシオ電機(株)、浜松ホトニクス(株)、及び参加委員の努力の賜物であると考え厚く御礼申し上げる次第である。

(石野 正敏 東芝ライテック)

JIEG-007 a,bセット	「a.紫外放射の産業界における使用例と その実用測定機器・方法の現状 b.紫外放射の標準と校正技術」
税込価格	¥4860 4,950
会員価格	¥3845 3,712