

殺菌灯

1 殺菌灯の基礎

1 紫外放射による殺菌作用

直射日光が強い殺菌力をもつことは古くから知られています。詳しくいえば1877年にDownesらによって紫外放射のもつ殺菌効果が発見され、後にLuckieshらによって紫外放射の波長と殺菌作用の関係が明らかにされました。

CIE(国際照明委員会)では、波長によって、表1のように区分されています。

表1 紫外線の波長区分

UV-A	315nm~400nm
UV-B	280nm~315nm
UV-C	100nm~280nm

紫外放射の波長によって、それぞれの作用効果が異なります。図1に、紫外放射の生物に対する代表的な作用の波長特性を示します。

波長200nm以下の紫外放射は空気中での吸収が大きいため、長い距離を通過しにくくなります。空気中吸収された紫外放射は空気中の酸素分子を分解し、オゾンを生産することになります。

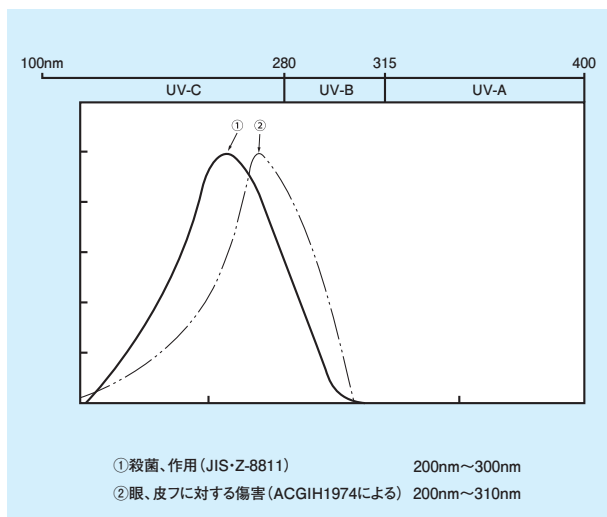


図1 紫外放射による生物への作用の波長特性

また金属に紫外放射が照射されると光電効果により光電子を放出します。この光電子が空気分子や、水分子を電離し、空気をイオン化することが知られています。

紫外放射の波長により、細菌効果は異なります。これを殺菌効果の波長特性または作用関数と呼びます。図2に示すのは現在最も広く用いられている波長特性です。図の縦軸は対数目盛で作用特性の相対値を示し、横軸は波長を示しています。殺菌効果の最大値は約260nmにあり、400nmでは最大値の約0.01%であることを示しています。太陽光には約300nm以上の波長の紫外線が含まれており、この波長域の放射照度が大きいので殺菌効果をもつことになります。

一般に殺菌線とは、殺菌効果をもつ紫外放射を意味しますが、253.7nmの紫外放射が強い殺菌効果をもつことと、殺菌を目的として人工的に効率良く発生しうる紫外放射が253.7nmであることから、殺菌線とは253.7nmの紫外放射を狭義には意味します。ここではこの253.7nmの紫外放射を殺菌線と呼ぶことにします。

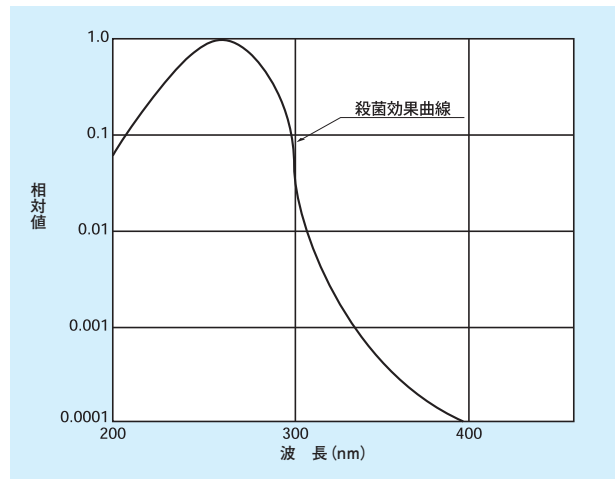


図2 殺菌効果の波長特性

現在一般的に用いられている殺菌方法としては、殺菌線による殺菌、薬物による殺菌、加熱による殺菌などがありますが、それぞれ得失があり、あらゆる場合に無条件に使用できる殺菌方法というものはなく、実際の使用に際しては、目的に合った正しい使い方をすることが大切です。

ところで、可視放射に対して高い透過率や反射率をもっている材料でも、殺菌線に対しては必ずしも同じではありません。表2に各種材料の殺菌線反射率、表3に殺菌線透過率を示します。殺菌線が照射された材料は、吸収した殺菌線の量に応じて変化します。最も顕著な変化は退色、変色で、ついで材質の変化です。化学繊維やプラスチックなどは、表面の状態が変わるとともに機械的強度が低下するなどの現象が起こります。

一般に有機物は殺菌線の影響を受けやすく、無機物は殺菌線に対して堅牢です。例えば、油性塗料で仕上げた壁やビニールタイルなどに長期間殺菌線が照射されると、変退色や表面の状態が変化することがあります。

また、室内空気の殺菌の場合は天井の反射により、在室者に影響を与えないかの検討が必要です。

2 殺菌線の殺菌効果

図2にみられるように殺菌作用は波長253.7nm付近が最も強く、その殺菌力は直射日光にも含まれている波長350nmの紫外放射の約1,600倍にも達します。

殺菌線によって細菌が死滅するメカニズムはまだ十分に明らかになっていませんが、おおよそ次のように考えられています。殺菌作用の波長特性は生物に含まれる核酸物質の紫外放射の吸収特性とよく似た特性を示していること、ならびに細菌の種類が異なってもあまり大きな波長特性のちがいが無いのは、細菌の原形質である核酸(DNA)に作用しているからだと考えられます。

細胞内の核酸に紫外放射が照射され吸収されると、核酸が化学変化を起こし、新陳代謝が障害され、まず増殖能力を失います。更に照射量が多くなると、原形質が破壊されて、死滅するとされています。このような紫外放射の照射と細菌の変質破壊についての詳しい研究もなされています。

紫外放射による殺菌は、菌の種類や生息条件によって効果は異なりますが、各種の菌種に対し有効です。

殺菌線の殺菌力は、菌種、温度、湿度、その他の条件によって異なりますが、それぞれの菌についての殺菌力は、殺菌線量即ち殺菌線照度(W/m^2)×照射時間(秒)によって表すことができます。したがって、一般的に照射時間を2倍にすれば殺菌線照度を1/2にしても同じ殺菌効果が得られます。

表2 殺菌線反射率

材 料 名	殺菌線反射率(%)	※出 典
天井材(白色塗装岩面吸音板)	7	c
ステンレス(SUS304)	31	c
殺菌灯反射板(アルミ)	80	c
白色メラミン塗装板	12	c
アルミニウム蒸着面(ガラス板上)	75~85	a
” 電解研磨	65~75	a
” 研磨	60~89	a
” 生地	40~60	a
ジュラルミン	16	a
白色油性塗料	3~10	a
白色水性塗料	10~35	a
アルミニウム塗料	40~75	a
酸化亜鉛塗料	4~5	a
黒色エナメル	5	a
白色エナメル(焼付)	5~10	a
プラスター(新品)	55~60	a
壁紙(アイボリー)	31	a
壁紙(白)印刷	21~31	a
壁紙(赤)印刷	31	a
壁紙(アイボリー)印刷	26	a
壁紙(茶)印刷	18	a

表3 殺菌線透過率

材 料 名	殺菌線透過率(%)	※出 典
ソーダガラス(窓ガラス)(厚さ4mm)	0	c
結晶石英(厚さ1mm)	99.9	b

※出典

a: J. B. Robinson, Ultra Violet Light and its Application, The S. A. Electrical Review p47 (1967)

b: 原田常雄ほか、殺菌灯(I)、照明学会誌34巻5号、p13(昭25)

c: 当社による測定

この殺菌線照度は、殺菌ランプのW数、照明器具の形状(配光)、照射距離によって異なります。

殺菌線を菌に照射した場合、生存菌数は照射時間に応じて指数関数的に減少します。例えば、生存菌数を10分の1にするのに照射時間が10秒かかったりすると、次の10秒でさらに10分の1になり、合計20秒の照射で100分の1になります。これを式で表すと次のようになります。

$$S = N/N_0 = 10^{(-Et/D)}$$

S : 細菌の残存生菌率

N : 殺菌線の照射後の残存生菌数
(殺菌線の照射培地の生育コロニー数)

N₀ : 殺菌線の照射前の菌数
(殺菌線の「非」照射培地の生育コロニー数)

E : 殺菌線照度(W/m²)

t : 照射時間(sec)

D : 殺菌の種類によって決まる「90%殺菌率」の殺菌線量(J/m²)

よって、殺菌率Pは、

$$P = 1 - S = 1 - 10^{(-Et/D)}$$

となります。

上式を変形し、殺菌率Pを得るために必要な殺菌線量(Q)を求める、Q=Etより、次のようになります。

$$Q = -D \cdot \log(1 - P)$$

殺菌効果は、殺菌線照度E(W/m²)と照射時間t(秒)の積[殺菌線量(J/m²)]で決まり、同じ殺菌効果を得るには、殺菌線量を等しくすればよいといえます。また、殺菌線に対する菌の感受性は、種類と環境条件によって異なり、ふつうD値(菌数を10分の1にする殺菌線量)で表します(表4参照)。

なお、温度・水分・栄養などが十分にあれば、細菌は20分に1回程度分裂すると言われており、あまり長時間かけて所定の殺菌効果を得るようにしても効果は弱いと考えられます。

図3はMRSA(メチチリン耐性黄色ブドウ球菌)に、殺菌線量を変えて照射したときの、48時間培養後の寒天培地のコロニーの状態を示したものです。

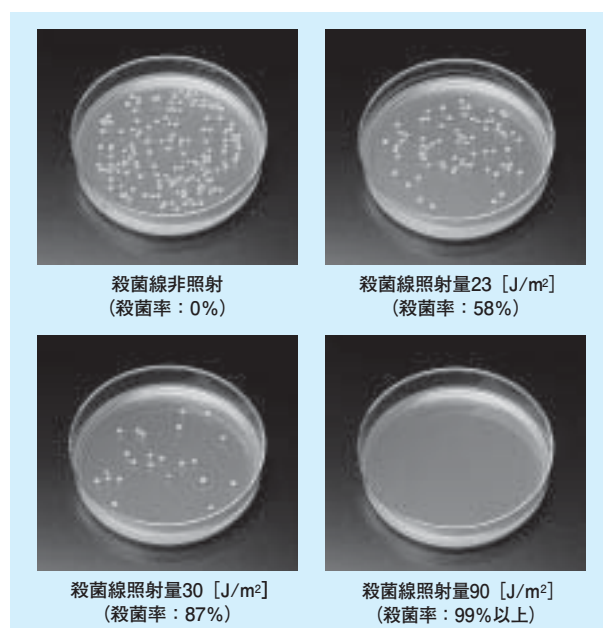


図3 代表的な院内感染菌であるMRSAに対する殺菌線の殺菌効果

3 細菌の種類に対する必要殺菌線量

殺菌線が殺菌作用をもつのは細菌、ビールス、イースト(酵母菌)、カビ、藻類、原生動物、寄生虫類などがあげられます。各種微生物の種類と殺菌率、殺菌線量の関係を表4に示します。一般に、細菌よりもカビの方がD値が大きく(殺菌線に対して強く)、同じ細菌でも乾燥状態より湿った方が、また、空気中の浮遊細菌より寒天培地の方がそれぞれD値が大きくなり、殺菌線耐性が強くなります。

90%の殺菌率をもたらす殺菌線量の2倍の殺菌線量が99%の殺菌率をもたらす、3倍が99.9%、4倍が99.99%の殺菌率をもたらすこととなります。

殺菌灯

表4 各種菌類の殺菌率と殺菌線量

細菌名	※出典	90%殺菌率時の殺菌線量 [J/m ²]	99.9%殺菌率時の殺菌線量 [J/m ²]	
大腸菌(空气中)	e	10.0	30.0	
大腸菌(寒天培地上)※	e	36.0	108.0	
大腸菌(水中)	b	60.0	180.0	
セラチア(空气中)	e	10.3	30.9	
セラチア(寒天培地上)	e	29.6	88.8	
ビールス(空气中)	b	7.5	22.5	
炭疽菌	d	45.2	135.6	
腸炎菌	d	40.0	120.0	
巨大菌(植物形)	d	13.0	39.0	
巨大菌(植物形)	c	37.5	112.5	
巨大菌(芽胞形)	d	27.3	81.9	
巨大菌(芽胞形)	c	7.0	21.0	
パラチスフ菌	d	32.0	96.0	
枯草菌	d	71.0	213.0	
枯草菌(混合形)	c	60.0	180.0	
枯草菌(芽胞形)(寒天培地上)	e	403.0	1,209.0	
枯草菌(芽胞形)(空气中)	e	115.0	345.0	
枯草菌(芽胞形)	d	120.0	360.0	
ジフテリア菌	d	33.7	101.1	
腸チフス菌	d	21.4	64.2	
小球菌カンディダ	d	60.5	181.5	
小球菌ビルトネンシス	c	81.0	243.0	
小球菌スペイロイドス	d	100.0	300.0	
ナイゼリア菌	d	44.0	132.0	
ペトン病菌	d	44.0	132.0	
静常変形菌	d	26.4	79.2	
緑膿菌	d	55.0	165.0	
緑膿菌蛍光形	d	35.0	105.0	
ネズミチフス菌	d	80.0	240.0	
四連球菌	d	24.2	72.6	
四連球菌	c	22.0	66.0	
四連球菌	c	8.3	24.9	
八連球菌(空气中)	e	49.3	147.9	
八連球菌(寒天培地上)	e	184.0	552.0	
八連球菌	d	197.0	591.0	
赤痢菌	d	22.0	66.0	
赤痢菌	d	16.3	48.9	
赤色ラセン菌	d	44.0	132.0	
白色ブドウ球菌	d	18.4	55.2	
白色ブドウ球菌	c	33.0	99.0	
黄色ブドウ球菌	d	26.0	78.0	
黄色ブドウ球菌	c	21.8	65.4	
黄色ブドウ球菌	c	49.5	148.5	
浴血性連鎖球菌	d	21.6	64.8	
乳連鎖球菌	d	61.5	184.5	
緑色連鎖球菌	d	20.0	60.0	
化膿性連鎖球菌	c	21.6	64.8	
唾液連鎖球菌	c	20.0	60.0	
白色連鎖球菌	c	18.4	55.2	
破傷風菌	c	49.0	147.0	
結核菌	c	100.0	300.0	
イースト菌				
サッカロミス、エリブソイデウス	d	60.0	180.0	
サッカロミス、エリブソイデウス	d	80.0	240.0	
サッカロミセス、セレビシエ	d	60.0	180.0	
ビール酵母	d	33.0	99.0	
パン酵母	d	39.0	117.0	
ケーキ酵母	d	60.0	180.0	
かび				
アオカビ	緑	d	130.0	390.0
アオカビ	オリーブ	d	130.0	390.0
アオカビ	オリーブ	d	440.0	1,320.0
コウジカビ	青緑	d	440.0	1,320.0
コウジカビ	黄緑	d	600.0	1,800.0
コウジカビ	黒	d	1,320.0	3,960.0
クモノスカビ	黒	d	1,110.0	3,330.0
ケカビ	灰色	d	170.0	510.0
藻類				
珪藻、緑藻、青藻	a	3,600.0 ~6,000.0	10,800.0 ~18,000.0	

(20℃, RH:35%の空気時)

注) 大腸菌(ATCC43888:0157H7)は標準大腸菌(IFO 3972)にくらべて約50%の殺菌線量で同程度の殺菌効果が得られることがわかっています。
よって、大腸菌の殺菌を目的とする場合は、標準大腸菌の方が殺菌線抵抗性が高いため、この大腸菌の所要殺菌線量を目標値として採用する方が望ましいといえます。(f)

※出典

- a: Philips社殺菌灯資料
- b: Koller Ultraviolet Radiation
- c: S Aydinli, J Krochmann, CIE Journal vol4 No.2, (1985)
- d: The IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition (2000)
- e: 足立ほか、日本防菌防霉学会第15回大会29(昭和63年5月)
- f: 向坂ほか、日本防菌防霉学会第26回年次大会(1999年) p37

4 殺菌線の生物に与える作用

殺菌線は細菌やビールスを殺菌する強い作用を持っていますが、健康な成人でも一定量以上の殺菌線を顔・眼・皮膚などの露出部に受けた場合、好ましくない作用を生じます。特に眼は結膜炎や角膜炎を引き起こしますので、十分な注意が必要です。

JIS Z 8812(有害紫外放射の測定方法)によれば、1日(24時間)を1期間として253.7nmの殺菌線の暴露を受けてもよい許容限界値規準(TLV:Threshold Limit Values)が60J/m²となっています。そのため、殺菌線照度が強くなれば、許容される照射時間は強さに反比例して短くしなければなりません。照射時間と許容殺菌線照度をまとめたものを表5に示します。

表5 殺菌線の許容殺菌線照度

照射時間	許容殺菌線照度
8時間	2mW/m ²
1時間	16mW/m ²
1分	1W/m ²
1秒	60W/m ²

(1) 人間に対する作用

① 目に対する影響

殺菌灯の紫外放射を目に受けると、数時間後に、目が充血して激しい痛みを覚えることがあります。これは、殺菌線によって、角膜炎や結膜炎を起こしたためです。よって、短時間でも点灯している殺菌ランプを直視することは絶対に避けなければなりません。

② 皮膚に対する影響

目の場合と同様、殺菌線の照射を受けた皮膚は、殺菌線量によっては、数時間後に日焼けを起こすことがあります。これは殺菌線の光化学作用によって皮膚内の蛋白質がヒスタミン様の物質に変化し、そのため皮膚内の細胞が膨張して赤くなるものと考えられていますが、このような生物学的な内容についてはまだ十分に解明されていません。成人でも光線過敏症の方など個人差もあり、特に幼児の殺菌線に対する抵抗力は成人の数の1といわれておりますので、注意が必要です。

③ 安全照射量

殺菌灯器具を取り付ける場合、人が直接あるいは間接の殺菌線に照らされないよう十分注意すべきですが、ある程度は避けられない場合があります。たとえば、室内の空気を殺菌するための上部空気を照射する場合に、天井から若干の反射光を受けること等です。

これらの場合、照射量は殺菌線照度と時間との積ですから、殺菌灯器具にごく接近しても照射を受ける時間が短かければ影響が少なく、逆に殺菌線照度が弱くても時間が長ければ大きな影響を受けます。

④ 強い殺菌線を受けるときの対策

殺菌線を直接人体に受けることはできるだけ避けなければなりません。殺菌灯器具の清掃やランプの取り替えのときには、殺菌ランプを消灯しなければならないことはいうまでもありません。しかし、殺菌実験などでやむをえず殺菌線の照射を受ける場合は、短時間であっても、目や皮膚を保護するため、図4のような透明プラスチックカバーでできた「保護マスク」や「ゴム手袋」などを使用しなければなりません。また、腕や足などの露出部はなるべく、長袖・長ズボンを使用する必要があります。



図4 保護マスク

(2) 動植物に与える作用

① ハエ、蚊、ゴキブリ、ネズミ等に対する作用

殺菌線の殺菌効果は、単細胞に近い生物ほど有効であって、蚊やハエ等の比較的大きい、進化した生物は直接的には殺せません。しかし、調理場や台所に殺菌灯を取付けておくと、実際にはハエ、ゴキブリ、ネズミ等がきわめて少なくなることが認められています。これは調理場のゴミ等の腐敗臭がなくなるためと、これらの生物が殺菌灯の紫外放射を嫌うためと考えられています。ゴキブリに対しては殺菌線の照射により、繁殖が抑制されることがわかっています。

② 植物に対する作用

植物は一般に人間よりも環境に敏感であるといわれており、比較的弱い殺菌線照度の場合でも、木の葉がしおれ、遂に枯れてしまうことがあります。特にトマトの若い葉はきわめて弱く、Luckieshの実験によれば、 $400\sim 500\text{J}/\text{m}^2$ では若干の傷害を受け、 $600\text{J}/\text{m}^2$ ではかなり傷害を受けるといわれています。

但し松などの硬い葉はかなり抵抗力が強く、 $12,000\text{J}/\text{m}^2$ (15ワット裸の殺菌ランプから5m離れて200時間)の照射では、ほとんど変化を認めなかったという実験報告があります。

(3) 壁材その他の材料に対する作用

殺菌線は、太陽の紫外放射と同様に壁紙や布地等、種々の物質を退色又は老化させます。したがって直接照射を受ける場所では、この点の注意を要します。この性質を逆に利用して、塗料等の退色試験に用いることも考えられますが、太陽光と分光分布が異なるため、効果の相関関係は不明です。また、各種の有機材料の薄膜や板などは、殺菌線透過用あるいは遮断用に用いられますが、強力な殺菌線に長時間照射されると劣化することがあります。

5 殺菌灯器具の特性と定格

(1) 殺菌灯器具の構造と動作原理

殺菌灯器具の構造と点灯原理は蛍光灯器具とほとんど同じです。図5に示すように、殺菌線を透過する特殊ガラスで管壁が作られており、その内部の両端には電極があります。この電極はタングステンの2重コイルからなり、電子放射物質が塗布されています。管内にはアルゴンガスと少量の水銀が封入されています。

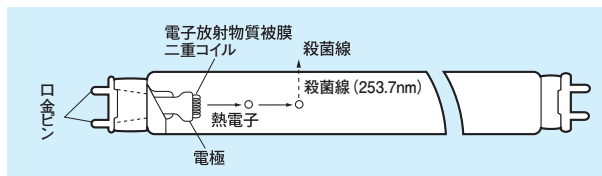


図5 殺菌ランプ

電流が流れると、蒸気状態となってランプ内部に存在する水銀から多量の紫外放射が発生します。この紫外放射は主として253.7nmの波長のものであって、紫外放射透過ガラスを透して外部へ出ます。殺菌ランプと蛍光灯の相違点は、殺菌ランプが紫外放射透過ガラスを用いて、内部で発生した殺菌線をそのまま外部へ取り出しているのに対し、蛍光灯は普通のガラスを用い、内面に蛍光物質を塗って253.7nmの紫外放射を可視放射に転換させた後、外部へ取り出しています。殺菌ランプのガラス管は図6に示すように200～300nmの紫外放射は良く透過しますが、200nm以下の紫外放射はほとんどカットし、オゾンまたはイオンの生成を少なくした特殊な紫外放射透過ガラスを使用しています。

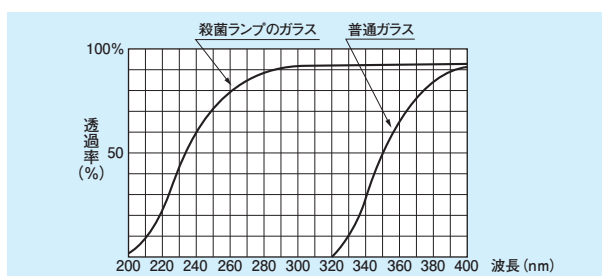


図6 ガラス管の透過率

(2) 殺菌ランプの特性

図7は、パナソニック殺菌ランプの分光分布を示しています。殺菌ランプの主要な放射は、ほとんどが253.7nmで、点灯中、紫色に見えるのは、435.8nm(青紫色)、546.1nm(緑色)、その他若干の可視放射を伴うため、253.7nmの紫外放射は目に見えません。

表6にパナソニック殺菌ランプの定格を示します。

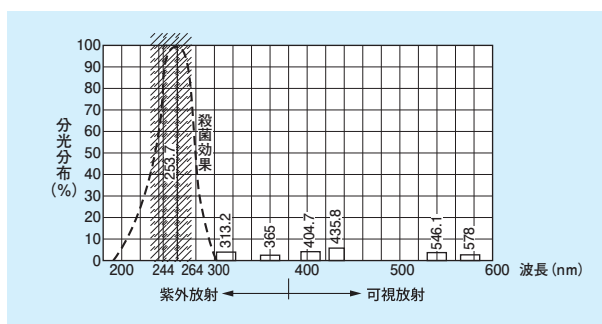


図7 殺菌ランプの分光分布

殺菌灯

表6 パナソニック殺菌ランプの定格

品番	寸法(mm)		口金	定格ランプ電力(W)	初特性		定格寿命(h)	適合点灯管
	ガラス管の径	長さ			ランプ電流(A)	殺菌線出力(W)		
GL-4	15.5	134.5	G5	4	0.162	0.8	4000	FG-7E FG-7P
GL-6	15.5	210.5	G5	6	0.147	1.7	4000	FG-7E FG-7P
GL-8	15.5	287	G5	8	0.170	2.5	4000	FG-7E FG-7P
GL-10	25.5	330	G13	10	0.230	2.7	6000	FG-7E FG-7P
GL-15	25.5	436	G13	15	0.300	4.9	6000	FG-1E FG-1P
GL-20	32.5	580	G13	20	0.360	7.5	8000	FG-1E FG-1P
GL-30	25.5	893	G13	30	0.355	13.4	8000	FG-4P
GL-40	32.5	1198	G13	40	0.415	19.8	8000	FG-4P

注) 専用の器具でご使用ください。

(3) 点灯時間と殺菌線出力の関係

殺菌ランプは点灯するにしたがって図8のように殺菌線出力が減退し、殺菌力も減退します。殺菌線出力が低下した状態では初期の殺菌効果が得られませんので、殺菌ランプは定格出力(100時間点灯後の出力)の80%にまで出力が減退する時間を定格寿命と定めております。したがって、殺菌ランプは、定格寿命時間経過後はたとえ点灯しているものでも交換する必要があります。

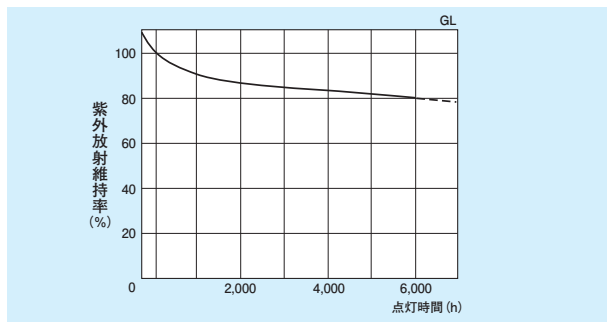


図8 点灯時間と殺菌線出力の関係 (GL-10~15)

(4) 周囲温度と殺菌線出力の関係

殺菌線出力は周囲温度が変化するとかなり大きく変化します。図9に示すように周囲温度が下がると殺菌線出力が低下しますので、低温の場所で使用する場合は注意が必要です。また、風速の大きい場所で使用する場合も同様です。

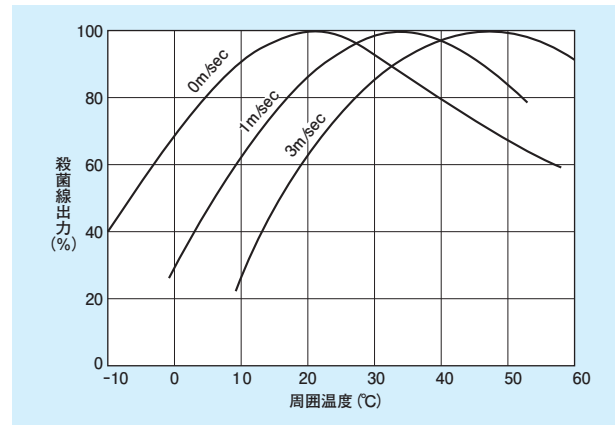


図9 周囲温度、風速による殺菌線出力の変化

6 殺菌灯器具の選定

殺菌灯器具は表7の選定基準に従って選定します。

表7 殺菌灯器具の使用区分

—印:不適用 ○印:使用可能 ×印:使用不可能

使用条件及び器具種類			使用条件	殺菌線遮光方式	
				ファン循環型殺菌装置	間接照射方式 吊り下げ型器具
使用場所	24時間常時点灯	病室 新生児室など	部屋へ殺菌線が出ないタイプの器具を使用すること		
	8時間以内点灯	厨房 臨床検査室 手術室 トイレ 食品工場 薬品工場など	安全条件を満たせば、使用可能 ●1日8時間以内の点灯 ●1日当たり 60J/m ² 以下の殺菌線量		
機器組み込みの殺菌			機器の外へ殺菌線が出ないこと		

※1 間接照射方式の場合、許容限界を満足するには、8時間以内の点灯とし、岩綿吸音板(殺菌線の反射率8%)の天井に、間接照射方式の殺菌灯器具を10m²に1台設置することになります。これより密に取り付けたり、反射率の高い天井に取り付けたり、天井と器具の間隔が短かかったりしますと、許容基準を満たさない場合がありますのでご注意ください。

※2 殺菌灯の使用目的と使用器具が適切な使い方はありません。そのため、人体等に障害を与えたり、殺菌効果を与えることができません。

2 殺菌灯器具の計算方法

1 殺菌線遮光方式による空気殺菌

空気中の浮遊細菌を殺菌するのは、殺菌灯が最も特長を発揮する分野です。殺菌線は空気中で吸収されることが少なく有効に作用します。空気中の細菌やウイルスは、それ自身が単独に空気中を浮遊することは少なく、ほとんどの場合は塵埃に付着したものが、人の移動に伴い、床や着衣から空気中にまき上がって、それらと共に空気中を浮遊します。したがって、空気を殺菌することにより、効果的にこれらの細菌を殺菌することができます。但し、殺菌された空気は殺菌力をもたないため、殺菌線が照射された部分のみの殺菌が可能です。また、殺菌ランプを消灯すれば、殺菌効果はなくなります。病院の病室などのように24時間人がいる場所では、笠なし型や笠付型などの直接照射方式や吊り下げ型や壁付け型の間接照射方式の殺菌灯器具もJIS許容基準を満たさないため使用できません。この場合に使用できるのは、図10に示す殺菌ランプを金属ダクトで覆い、殺菌線が外部に出ない構造とし、室内の空気をファンでダクト内に吸い込み、殺菌ランプの周辺を通過させて殺菌した後、反対側から室内に吹き出す構造(殺菌線遮光方式)の「ファン循環型殺菌装置」が唯一のタイプとなります。

このタイプの諸特性を表8に示します。

表8 ファン循環型殺菌装置の諸特性

器具タイプ	殺菌率ε	循環風量V
ファン循環型(15W1灯)	82.0%	25m ³ /h

ファン循環式殺菌装置を設置した場合、浮遊細菌濃度の時間的な変化(T時間後の細菌濃度C_T)は次式で求めることができます。

$$C_T = C_0 e^{(-\alpha T/R)}$$

$$\alpha = \epsilon n V \quad *e \text{ は自然対数の底 } (e \approx 2.72)$$

C_T: T時間後の細菌濃度(m⁻³)

C₀: 初期細菌濃度(m⁻³)

T: 時間(h)

R: 部屋の容積(k)

ε: 殺菌された空気の殺菌率

n: 台数

V: 殺菌装置の循環風量(k/h)

但し、上記計算式は「細菌の増殖や、自然死はなく、また、空気の流入・流出もない」という理想的な条件のものです。

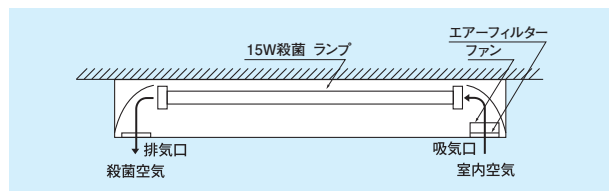


図10 ファン循環型殺菌装置の断面

〈計算例1(工場)〉

JF11950を間口24m、奥行き16m、天井高4mの工場に20台設置した場合の細菌の濃度を計算すると、

$$\begin{aligned} C_T &= C_0 e^{-\alpha T/R} \\ &= C_0 e^{-0.82 \times 20 \times 25 \times T / (24 \times 16 \times 4)} \\ &= C_0 e^{-0.267T} \end{aligned}$$

となります。

これをグラフで表すと図11のようになり、8時間後の細菌濃度が約10%になることがわかります。

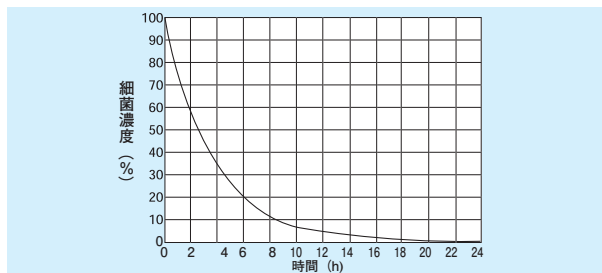


図11 JF11950使用時の浮遊細菌濃度の変化

〈計算例2(病室)〉

JF11950を間口6m、奥行き4.3m、天井高2.6mの病室(4床室)に1台設置した場合の細菌の濃度を計算すると、

$$\begin{aligned} C_T &= C_0 e^{-\alpha T/R} \\ &= C_0 e^{-0.82 \times 1 \times 25 \times T / (6 \times 4.3 \times 2.6)} \\ &= C_0 e^{-0.143T} \end{aligned}$$

となります。

これをグラフで表すと図12のようになり、8時間後の細菌濃度が約10%以下になることがわかります。

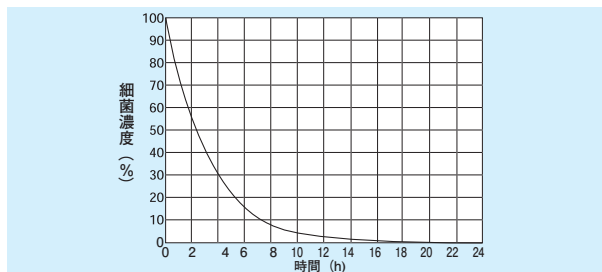


図12 JF11950使用時の浮遊細菌濃度の変化

殺菌灯

2 間接照射方式による空気殺菌

(1) 間接照射方式の殺菌灯器具による殺菌

在室者がいる場合は人体に直接殺菌線が当たらないようにするため、器具の開放部を上方向に向けた間接照射方式とし、器具と天井の間の空気殺菌を行います。上方の空気殺菌が行われれば、その清浄空気と下方の空気が循環混合し、希釈され、室内の浮遊細菌の濃度が低くなります。上下の空気の循環は一般的に毎分1~2回程度行われており、予想以上の効果があります。

(2) 間接照射方式の殺菌灯器具の取り付け

間接照射方式の殺菌灯には、吊り下げ型と壁付け型器具があり、開放部を上向きに取り付けて殺菌します。この場合の使用基準は、「成人が1日8時間以内その室内で作業すること」を前提としています。したがって、小児や皮膚が殺菌線に対して特に感受性の高い人に対する配慮はされていませんので、これらの場合の使用は注意が必要です。

① 設置基準

安全上の理由により、吊り下げ型器具又は壁付け型器具は10m²以下1台以下となるように設置します。更に、タイマーなどを使用して点灯時間は1日最大8時間とします。

② 殺菌効果の予測

殺菌された空気が室内を循環した場合の室内の浮遊細菌の濃度(T時間後の細菌濃度C_T)は次式で求めることができます。但し、細菌の増殖、自然死、室外との空気の流出・流入などはないものと仮定します。

$$C_T = C_0 e^{(-\alpha T/R)} \quad *e \text{ は自然対数の底 } (e \approx 2.72)$$

$$\alpha = \varepsilon n V$$

C₀ : 初期細菌濃度 (m⁻³)

T : 時間 (h)

R : 部屋の容積 (k)

ε : 殺菌された空気の殺菌率

n : 台数

V : 単位時間内に殺菌される空気の総量 (k)

吊り下げ型器具の殺菌エリアは、器具を頂点とする四角錐のエリアになります。空气中を浮遊している細菌は自然対流でこの殺菌エリアに入ったときに殺菌されますので、この四角錐の体積と単位時間内に四角錐を通過する空気の循環回数を掛けたものが単位時間内に殺菌される空気の総量Vになります。よってVの計算式は以下になります。

$$V = (4S \times h \times 1/3) \times N$$

S : 殺菌線が照射される天井面の面積 (m²)

N : 単位時間内に殺菌エリアを通過する空気の循環回数

h : 天井からの吊り下げ距離 (m)

なお、自然対流は1分間に2回程度あるといわれていますので、N=2回×60分と仮定し、図13を参考にVを計算すると、

$$V = 4 \times (1.65 \times 0.5) \times 0.4 \times 1/3 \times 2 \times 60$$

$$= 52.8 \text{ (k)}$$

となります。

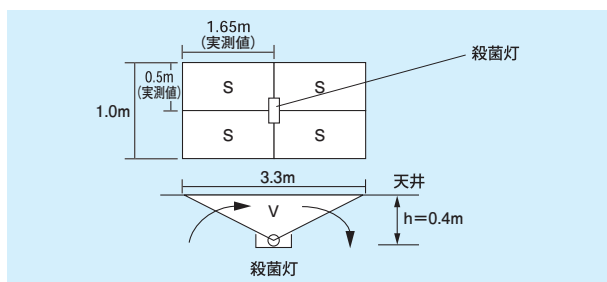


図13 間接照射方式の殺菌灯器具の周辺の空気の流れ

次に、その時の空気の殺菌率は、殺菌線の強さと浮遊細菌がエリア内にあり照射される時間で決まります。自然対流による殺菌率εを求める計算式を以下に示します。

$$\varepsilon = 1 - 10^{(-E t / D)}$$

E : 平均殺菌線照度 (W/m²) 0.1 (実測値)

t : 殺菌時間 (秒) 30 (秒)

D : 90%殺菌するための殺菌線量 (J/m²) (表4参照)

(計算例)

- ・対象となる菌:大腸菌(空气中)
- ・部屋の大きさ:間口6m、奥行4m、高さ2.5m
- ・使用器具:FA01996Z
- ・取り付け台数:2台(10m²に1台設置)
- ・自然対流の周期:2回/1分

まず、殺菌率εを求めます。

殺菌エリア内の平均殺菌線照度Eは実測値より0.1W/m²、浮遊大腸菌を90%殺菌するための殺菌線量Dは表4より10J/m²を用います。

よって

$$\varepsilon = 1 - 10^{(-E t / D)} = 1 - 10^{(-0.1 \times 30 / 10)} = 0.50$$

$$\alpha = \varepsilon n V$$

$$= 0.50 \times 2 \times 52.8$$

$$= 52.8$$

よって、T時間後の室内の浮遊細菌濃度C_Tは

$$C_T = C_0 e^{-\alpha T / R}$$

$$= C_0 e^{-52.8 \times T / (6 \times 4 \times 2.5)}$$

$$= C_0 e^{-0.88 T}$$

となります。

これをグラフで表すと図14のようになり、8時間後の細菌濃度がほぼゼロになることがわかります。

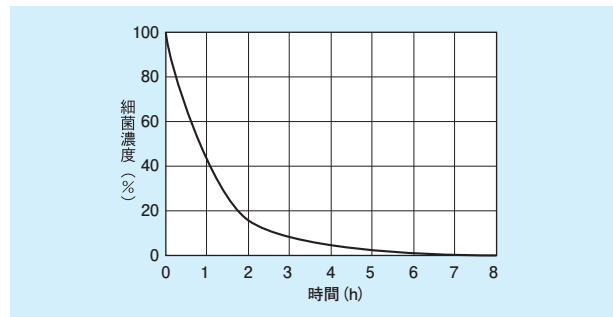
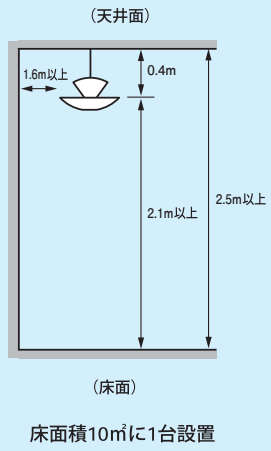
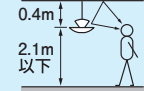
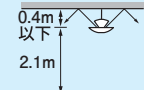

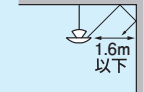
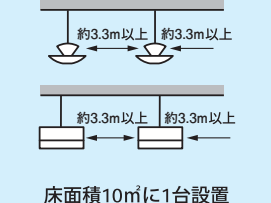
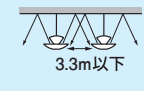
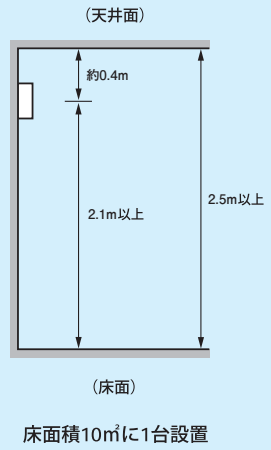
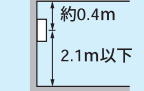
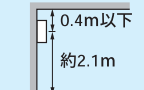

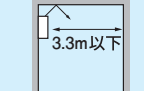
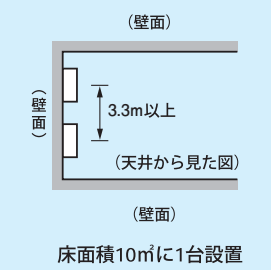
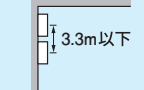


図14 FA01996Z使用時の浮遊細菌濃度の変化

表9 間接照射方式の殺菌灯器具の取付方法

		適切な設置基準	不適切な設置方法	
吊り下げ型	取付位置	 <p>(天井面)</p> <p>1.6m以上</p> <p>0.4m</p> <p>2.1m以上</p> <p>2.5m以上</p> <p>(床面)</p> <p>床面積10㎡に1台設置</p>	<p>床上2.1m以上の高さに設置。</p>	 <p>0.4m</p> <p>2.1m以下</p> <p>床上2.1m以下の高さに設置。器具からの直接照射や天井面からの反射が増加し危険です。</p>
			<p>器具付属のチェーン・パイプを使用する。</p>	 <p>0.4m以下</p> <p>2.1m</p> <p>器具付属のチェーン・パイプを短くする。殺菌効果の低下とともに天井面からの反射光が増加し危険です。</p>
			<p>天井材が岩綿吸音板のフラット天井に設置。</p>	 <p>傾斜天井 他</p> <p>傾斜天井・凹凸天井・岩綿吸音板よりも反射率の高い天井材の場所への設置。思わぬ反射が起こる場合があります危険です。</p>
			<p>壁面との距離が1.6m以上に設置。</p>	 <p>1.6m以下</p> <p>壁面との距離が1.6m以下に設置。壁面からの反射光により危険です。</p>
取付間隔	 <p>約3.3m以上</p> <p>約3.3m以上</p> <p>約3.3m以上</p> <p>約3.3m以上</p> <p>床面積10㎡に1台設置</p>	<p>取付間隔が断面方向: 3.3m以上に設置。 長手方向: 3.3以上に設置。</p>	 <p>3.3m以下</p> <p>取付間隔が断面方向に3.3m以下に設置。天井からの反射光が増加し危険です。</p>	
壁直付・壁埋込型	取付位置	 <p>(天井面)</p> <p>約0.4m</p> <p>2.1m以上</p> <p>2.5m以上</p> <p>(床面)</p> <p>床面積10㎡に1台設置</p>	<p>床上2.1m以上の高さに設置。</p>	 <p>約0.4m</p> <p>2.1m以下</p> <p>床上2.1m以下の高さに設置。器具からの直接照射や天井面からの反射光が増加し危険です。</p>
			<p>天井面からの距離が0.4m以上に設置。</p>	 <p>0.4m以下</p> <p>約2.1m</p> <p>天井面からの距離が0.4m以下に設置。殺菌効果の低下とともに天井面からの反射光が増加し危険です。</p>
			<p>天井材が岩綿吸音板のフラット天井に設置。</p>	 <p>傾斜天井 他</p> <p>傾斜天井・凹凸天井・岩綿吸音板よりも反射率の高い天井材の場所への設置。思わぬ反射が起こる場合があります危険です。</p>
			<p>壁面との距離が3.3m以上に設置。</p>	 <p>3.3m以下</p> <p>壁面との距離が3.3m以下に設置。壁面からの反射光により危険です。</p>
取付間隔	 <p>(壁面)</p> <p>3.3m以上</p> <p>(天井から見た図)</p> <p>(壁面)</p> <p>床面積10㎡に1台設置</p>	<p>取付間隔が3.3m以上に設置。</p>	 <p>3.3m以下</p> <p>取付間隔が3.3m以下に設置。天井面からの反射光が増加し危険です。</p>	

[参考文献]

- 1) Luckiesh, M: Application of Germicidal, Erythral and Infrared Energy (1946)
- 2) Lewis R. Koller: Ultraviolet Radiation (1952)
- 3) 足立ほか: 気相中における紫外線の抗菌作用に関する研究 (第1報), 防菌防黴学会誌, pp15-21 (昭62)
- 4) 向阪ほか: 薬剤耐性度の異なるMRSA の殺菌線に対する感受性, 照明学会全国大会, p311 (平8)
- 5) 向阪ほか: 大腸菌O157 の殺菌線抵抗性について, 照明学会全国大会, p254 (平12)
- 6) 日本保安用品協会: 作業環境における物理的因子の閾限度値、セーフティダイジェスト36-3, p91 (1990)
- 7) J.B.Robinson: Ultra Violet Light and its Application, The S. A. Electrical Review pp44-49 (1967)
- 8) 原田常雄ほか: 殺菌灯 (I), 照明学会誌34巻5号, pp169-174 (昭25)
- 9) 岡本紀久: コキブリの卵鞘形成に対する紫外線の阻害効果 (I), 衛生動物学会誌, 35巻1号, pp77-86 (1984)
- 10) IES Lighting Handbook Ninth Edition., pp5-17~5-21 (2000)