

直射照度の計算

1 点光源による直射照度

点光源による、ある面上のP点における直射水平面照度 E_h は、図1から

$$E_h = \frac{I_\theta}{l^2} \cos \theta$$

I_θ : θ 方向の光度 (cd)

l : 光源からP点までの距離 (m)

θ : 入射角

で表わされます。また法線照度、鉛直面照度は下式のようになります。

(1) 法線照度

ある点と光源とを結ぶ直線の照度で、

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{I_\theta}{l^2} = \frac{I_\theta}{h^2 + d^2} = \frac{I_\theta}{h^2 + h^2 \tan^2 \theta} \\ &= \frac{I_\theta}{h^2 (1 + \tan^2 \theta)} = \frac{I_\theta}{h^2} \cos^2 \theta \end{aligned}$$

(2) 水平面照度

ある点を含む水平面上の面に垂直方向の照度で、例えば机上面の照度などがこれに相当します。ほとんどの照度はこの水平面照度値で示しています。

$$E_h = \frac{I_\theta}{h^2} \cos^3 \theta$$

(3) 鉛直面照度

ある点を含む鉛直面上の面に垂直方向の照度です。

$$\begin{aligned} E_{vo} &= \frac{I_\theta}{l^2} \cos (90^\circ - \theta) = \frac{I_\theta}{l^2} \sin \theta \\ &= \frac{I_\theta}{h^2} \sin \theta \cdot \cos^2 \theta \end{aligned}$$

$$E_v = E_{vo} \cos \psi = \frac{I_\theta}{h^2} \sin \theta \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos \psi$$

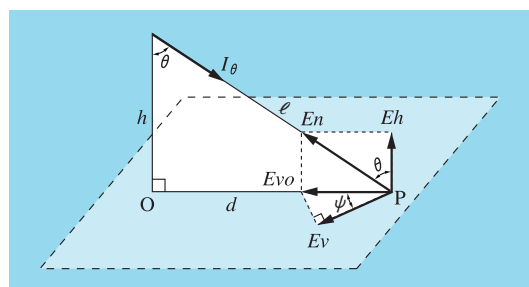


図1 点光源による直射照度計算

2 直線光源による直射照度

l を光源の長さ、 I を単位長さ当たりの光度(直角な方向の光度)とし、光源の微小長さを $d\ell$ とすれば、この $d\ell$ のP方向への光度 $I_\theta = I \cos \theta d\ell$ で、これによる軸方向への法線照度は図2から

$$dE_n = I_\theta \cos \theta / r^2 = I \cos^2 \theta d\ell / r^2$$

となり、光源全体 l による照度は

$$\begin{aligned} E_n &= \int_0^a I \cos^2 \theta d\theta / p = \frac{I}{2p} \left[\theta + \frac{\sin 2\theta}{2p} \right]_0^a \\ &= \frac{I}{2p} \left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) = \frac{I}{2p} (\alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \end{aligned}$$

また、 $E_h = E_n \cdot \cos \delta$

$$E_x = E_n \cdot \sin \delta$$

E_n を h 、 d 、 l で表わせば

$$E_n = \frac{I}{2} \left\{ \frac{l}{h^2 + d^2 + l^2} + \frac{1}{\sqrt{h^2 + d^2}} \tan^{-1} \frac{l}{\sqrt{h^2 + d^2}} \right\}$$

$$E_h = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} \cdot E_n$$

$$E_x = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} \cdot E_n$$

となります。

次に、 $d\ell$ による照度 E_y は、

$$dE_y = I \cos \theta \cdot \cos \theta \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) d\ell / r^2 \text{で光源長 } l \text{ による}$$

照度は、図3から

$$\begin{aligned} E_y &= \int_0^a I \cos \theta \sin \theta d\theta / p \\ &= \frac{I}{2p} \left[-\frac{\cos 2\theta}{2} \right]_0^a = \frac{I}{2p} \cdot \sin^2 \theta \alpha = \frac{I}{2p} \cdot \frac{l^2}{p^2 + l^2} \end{aligned}$$

$$\textcircled{1} E_h = E_{h1} - E_{h2}$$

$$E_x = E_{x1} - E_{x2}$$

$$E_y = E_{y1} - E_{y2}$$

$$\textcircled{2} E_h = E_{h1} + E_{h2}$$

$$E_x = E_{x1} + E_{x2}$$

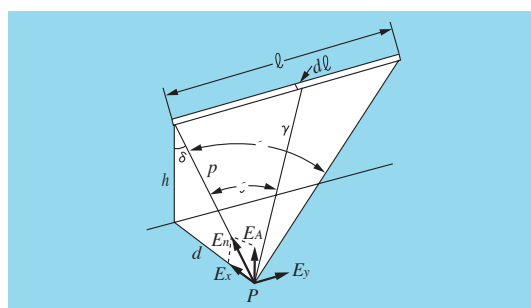


図2 計算点が光源端を含む平面上にある場合

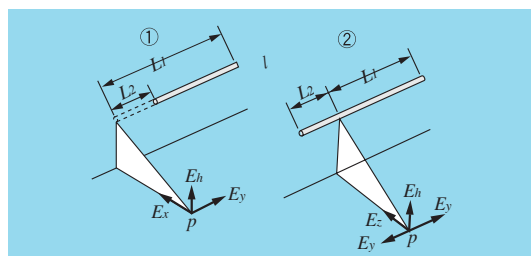


図3 計算点が光源端を含む平面上にない場合

〔計算例〕

40W白色蛍光ランプの一端から $h=3\text{m}$ 、 $d=1\text{m}$ の点の水辺面照度はいくらになるか？(図4参照)

ただし、管の長さは 1.2m で、管に垂直な方向の光度は 300cd とする。

〔解〕

①まず、単位長さ当たりの光度は

$$I = 300 / 1.2 = 250 (\text{cd/m})$$

となり、法線照度 E_n は

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{I}{2} \left\{ \frac{l}{h^2 + d^2 + l^2} + \frac{1}{\sqrt{h^2 + d^2}} \times \tan^{-1} \frac{l}{\sqrt{h^2 + d^2}} \right\} \\ &= \frac{250}{2} \left\{ \frac{1.2}{3^2 + 1^2 + 1.2^2} + \frac{1}{\sqrt{3^2 + 1^2}} \times \right. \\ &\quad \left. \tan^{-1} \frac{1.2}{\sqrt{3^2 + 1^2}} \right\} \\ &= \frac{250}{2} (0.104 + 0.12) = 28 \text{ lx} \end{aligned}$$

となります。

②次に水平面照度 E_h は

$$\begin{aligned} E_h &= \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} E_n \\ &= \frac{3}{\sqrt{3^2 + 1^2}} \times 28 \div 27 \text{ lx} \end{aligned}$$

となります。

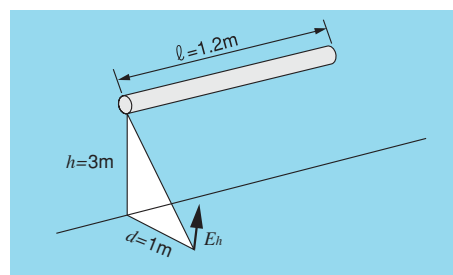


図4 光源と計算点の位置関係

3 金属ルーバ天井の照度計算

金属ルーバ天井照明による室内の平均照度は、いろいろな要素に影響され、それらの要素分析に未解決の点があり、なお計算理論を基礎にした実際的な研究が必要とされます。ここでは、まだ解決していない点を仮定し、参考的に説明します。

図5は照明率計算の流れを示しています。大別して6個のステップからなっています。最終的な照明率Uが求められれば、これを用いて前述の光束法の式(P45参照)から、室内の平均照度が求められます。

説明のために、図6にルーバ天井室の断面を示し、各部の名称と記号を図のように考えました。

(1) ルーバ上面の照明率Ua

天井ふところを一つの室と考え、ルーバ上面の照明率Uaを照明率表から引用します。光源としては、蛍光灯のトラフまたは反射笠が使用されることが多いと思いますので、これらの照明率のうち、該当する室指数と反射率の組合せの値となります。

室指数算出の器具高さは図6のhとします。反射率pa、pbは天井ふところ内のそれぞれ天井と壁の値とします。pcは、ルーバが大部分開口していますので、かなり低い値と考えられますが、一応10%と仮定して、照明率を引用しUaを求めます。

(2) ルーバの透過率T

ルーバの代表的な例として図7-(a) 平行ルーバと図7-(b) 格子ルーバがあります。これらの透過率Tについては、黒沢涼之助博士の理論的研究があり、その計算結果¹⁾を使用します。やはりルーバのマス目を一つの室と考え、ルーバ上面の天井から拡散光が入射するとき、壁面(ルーバの羽根)の相互反射を計算して導かれます。ルーバの羽根の反射率と保護角で透過率が変わるので、これらを変数として図7-(a)に平行ルーバの場合、図7-(b)に格子ルーバの場合を示します。

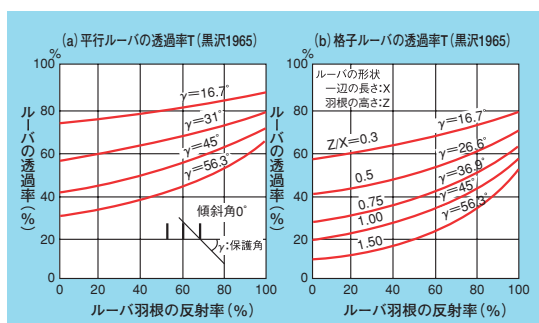


図7 格子ルーバの透過率T(黒沢1965)

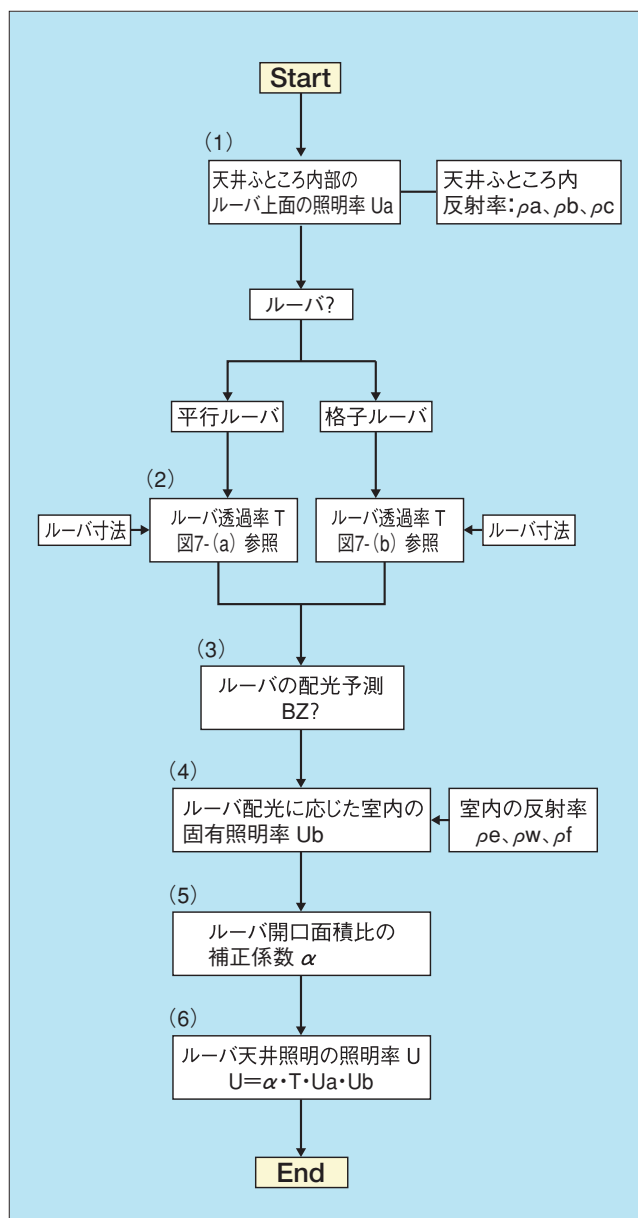


図5 ルーバ天井照明の照明率計算の流れ

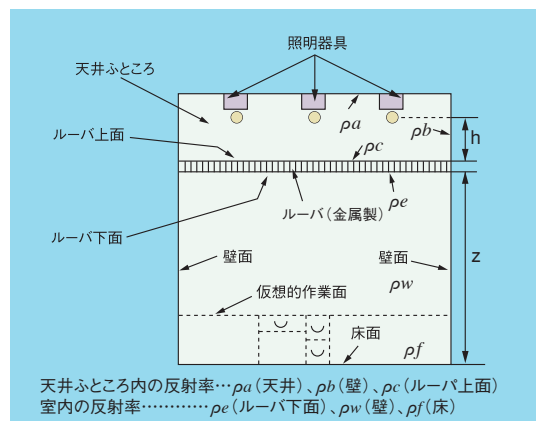


図6 ルーバ天井室の断面の例

(3) ルーバの配光予測

ルーバの配光は、実際に測定して求め、その結果を英国照明学会で定めている配光のBZ分類²⁾と照合し、BZ番号を求めます。

BZ分類(British Zonal Classification)とは、照明器具の配光を図8に示すような10種類の配光の形に分けることで、その特長は下方にのみ配光のみを規定し、表1のような数式で表わしたことです。ルーバ天井照明ではまさに下方にのみ光が出ますので、この用途によく合うわけです。

図8をによると、BZ番号の小さい配光ほど直下の光度が高く、形としては先細になっています。

さて、ルーバの配光は、その形状と羽根の仕上の違いによって変わり実測しないとわからないのですが、実測できない場合およその目安を得るために、平行ルーバの場合は、BZ4と仮定し、格子ルーバは小木曽、黒沢両博士の研究から引用することにします。

図9は格子ルーバの形及び仕上げによる配光の違い³⁾を示しています。

欄内の数字は上段には図7-(b) (P51参照)によるルーバの透過率を、下段にはBZ分類番号を記載しました。

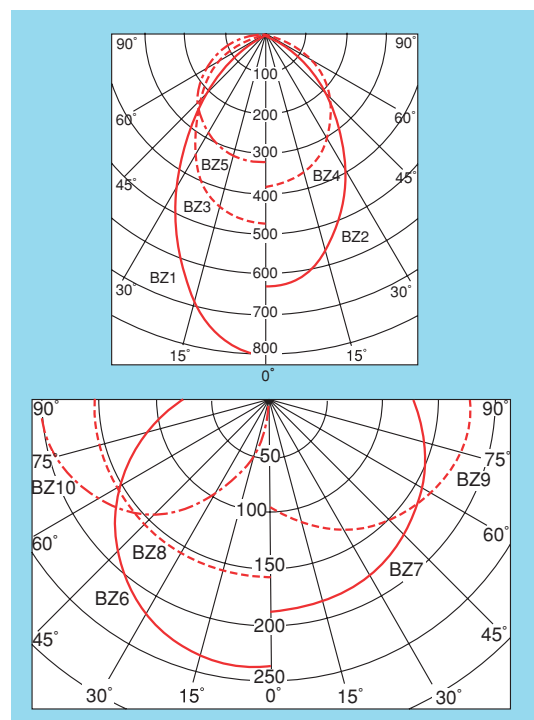


図8 BZ分類に基づく配光
(注.下半球が1,000 lmになるように描いてあります)

表1 配光のBZ分類

クラス	公 式
BZ 1	$I \propto \cos^4 \theta$
BZ 2	$I \propto \cos^3 \theta$
BZ 3	$I \propto \cos^2 \theta$
BZ 4	$I \propto \cos^{1.5} \theta$
BZ 5	$I \propto \cos \theta$
BZ 6	$I \propto (1+2\cos \theta)$
BZ 7	$I \propto (2+\cos \theta)$
BZ 8	$I \text{ constant}$
BZ 9	$I \propto (1+\sin \theta)$
BZ10	$I \propto \sin \theta$

仕上げの反射率		保護角					
		90%	80%	70%	60%	50%	0%
26.6°		66	62	58	55	52	42
		3	3	3	3	2	1
36.9°		57	52	47	43	40	28
		3	3	3	3	2	1
45°		51	45	39	35	31	20
		3	3	3	3	2	1
51.3°		47	39	34	29	26	15
		3	3	3	2	2	1
56.3°		43	35	29	25	21	11
		3	3	3	2	2	1

図9 格子ルーバの形及び仕上げによる配光の違い

(4) ルーバの配光と固有照明率Ub

表2に各配光に対する固有照明率を示します。これは前記の当社照明率計算方法(CIET方式)に基づいて行っております。金属ルーバでは、ほぼBZ1~BZ4のいずれかの配光になると思われるのでBZ5以上は記載しませんでした。

(5) ルーバ開口面積比

金属ルーバでは羽根の厚みに相当する部分は、光を通さないでこの影響を加味します。今まで述べてきたところでは、ルーバの羽根の厚みを無視してきました。その意味で、これを補正係数とし α で示します。(図10)。

(6) ルーバ天井照明の照明率U

ルーバ天井照明の照明率Uは、以上述べましたUa、T、Ub、 α の積として、およその推定ができます。

$$U = \alpha \cdot T \cdot U_a \cdot U_b$$

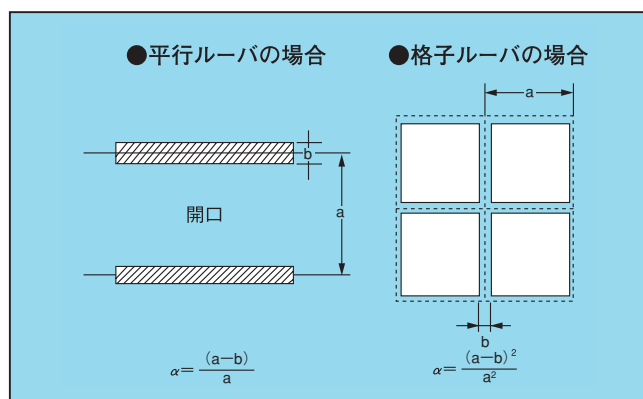


図10 ルーバの開口面積比(補正係数 α)

表2 ルーバ天井照明の固有照明率表(Ub)

BZ分類	反射率(%)	ルーバ下面	30				10				0	
			壁	50		30		50		30		0
				床	30	10	30	10	30	10	30	10
BZ 1	室指数	0.60	0.65	0.63	0.60	0.59	0.64	0.62	0.60	0.59	0.55	
		0.80	0.77	0.74	0.72	0.70	0.75	0.73	0.71	0.70	0.66	
		1.00	0.81	0.78	0.77	0.75	0.79	0.77	0.75	0.74	0.70	
		1.25	0.86	0.83	0.82	0.79	0.84	0.81	0.80	0.79	0.75	
		1.50	0.90	0.86	0.86	0.83	0.87	0.84	0.83	0.82	0.79	
		2.00	0.95	0.90	0.91	0.88	0.91	0.89	0.89	0.87	0.84	
		2.50	0.98	0.93	0.94	0.91	0.94	0.91	0.91	0.89	0.87	
		3.00	0.99	0.94	0.97	0.93	0.95	0.93	0.93	0.91	0.89	
		4.00	1.02	0.97	1.00	0.95	0.97	0.95	0.96	0.94	0.92	
		5.00	1.04	0.98	1.02	0.97	0.98	0.96	0.97	0.95	0.93	
10.00	1.07	1.00	1.06	1.00	1.01	0.99	1.00	0.98	0.97			
BZ 2	室指数	0.60	0.59	0.58	0.54	0.53	0.58	0.57	0.53	0.52	0.48	
		0.80	0.71	0.69	0.66	0.64	0.69	0.68	0.65	0.64	0.59	
		1.00	0.76	0.73	0.71	0.69	0.74	0.72	0.70	0.69	0.64	
		1.25	0.82	0.79	0.77	0.75	0.80	0.77	0.75	0.74	0.70	
		1.50	0.86	0.82	0.81	0.79	0.83	0.81	0.79	0.78	0.74	
		2.00	0.92	0.88	0.88	0.85	0.89	0.86	0.85	0.84	0.80	
		2.50	0.95	0.91	0.92	0.88	0.91	0.89	0.89	0.87	0.84	
		3.00	0.98	0.93	0.95	0.91	0.93	0.91	0.91	0.89	0.86	
		4.00	1.01	0.95	0.98	0.94	0.96	0.94	0.94	0.92	0.90	
		5.00	1.03	0.97	1.01	0.96	0.97	0.95	0.96	0.94	0.92	
10.00	1.06	1.00	1.05	0.99	1.00	0.98	1.00	0.98	0.96			
BZ 3	室指数	0.60	0.52	0.50	0.46	0.45	0.51	0.50	0.45	0.45	0.40	
		0.80	0.64	0.61	0.58	0.56	0.62	0.60	0.57	0.56	0.51	
		1.00	0.70	0.67	0.64	0.62	0.67	0.66	0.62	0.61	0.56	
		1.25	0.76	0.73	0.70	0.68	0.73	0.71	0.69	0.68	0.63	
		1.50	0.80	0.77	0.75	0.73	0.78	0.75	0.73	0.72	0.67	
		2.00	0.88	0.83	0.83	0.80	0.84	0.82	0.80	0.79	0.75	
		2.50	0.91	0.87	0.88	0.84	0.87	0.85	0.84	0.83	0.79	
		3.00	0.94	0.90	0.91	0.87	0.90	0.88	0.87	0.86	0.82	
		4.00	0.98	0.93	0.95	0.91	0.93	0.91	0.91	0.89	0.87	
		5.00	1.00	0.95	0.98	0.93	0.95	0.93	0.93	0.92	0.89	
10.00	1.05	0.99	1.04	0.98	0.99	0.97	0.98	0.96	0.95			
BZ 4	室指数	0.60	0.48	0.46	0.41	0.41	0.47	0.45	0.41	0.40	0.35	
		0.80	0.59	0.57	0.53	0.51	0.57	0.56	0.52	0.51	0.45	
		1.00	0.65	0.63	0.59	0.57	0.63	0.61	0.58	0.57	0.51	
		1.25	0.72	0.69	0.66	0.64	0.69	0.67	0.64	0.63	0.58	
		1.50	0.77	0.73	0.71	0.69	0.74	0.72	0.69	0.68	0.63	
		2.00	0.84	0.80	0.79	0.76	0.81	0.79	0.77	0.75	0.71	
		2.50	0.89	0.84	0.84	0.81	0.85	0.82	0.81	0.80	0.75	
		3.00	0.92	0.87	0.88	0.84	0.88	0.85	0.84	0.83	0.79	
		4.00	0.96	0.91	0.93	0.89	0.91	0.89	0.89	0.87	0.84	
		5.00	0.99	0.93	0.96	0.91	0.94	0.91	0.92	0.90	0.87	
10.00	1.04	0.98	1.03	0.97	0.98	0.96	0.97	0.95	0.93			

参考文献

- 1) 黒沢涼之助：照明学会誌、56-2(1972)
- 2) 英国I.E.S. Technical Report No.2 The calculation of Coefficients of Utilization, The British Zonal Method 1962.
- 3) 小木曾定彰、黒沢涼之助：ルーバ照明について、照明学会誌、36-10(1952)