

# 照明による発生熱の計算法

## 1 照明による発生熱の課題と対策

室内居住者の視的條件を改善するため、照明設備は日進月歩の発展をたどり、光源の発達と経済力の向上、作業内容の精密化に伴って、作業場は高照度になってきています。

このように高照度になってきますと、照明による発生熱が増え、居住者の快適さや冷房負荷の増大等に問題が生じますので、空調照明器具の活用など、照明発生熱をうまく処理して居住性を損なわないと同時に、省エネルギーに有効活用しなければなりません。そのためまず、照明による発生熱量を求め、次にその発生熱による器具内温度の上昇と、器具内温度を一定に保つための所要換気量を求め、さらに照明によって照らされている被照射物の温度上昇や人体の受ける温熱感について求めてみます。

## 2 照明による発生熱量

### 1 白熱灯による発生熱量

発生熱量は、1W当り0.86kcal/hですから、たとえば白熱電球100Wを1個、1時間点灯したとしますと、  
 $100W \times 1h \times 0.86kcal/W \cdot h = 86kcal$   
 の発生熱量があることになります。

### 2 蛍光灯やHID光源の照明による発生熱量

蛍光灯やHID光源では、ランプによる発生熱量の他に、ランプを安定に点灯維持させる安定器で消費される熱量も加わります。たとえば、蛍光灯40W2灯(100Vグロー式PS型低力率安定器使用)を1時間使用しますと、ランプと安定器の両方による使用電力は90Wとなり、  
 $90W \times 1h \times 0.86kcal/W \cdot h = 77.4kcal$   
 の照明熱量が発生することになります。

### 3 LEDによる発生熱量

LEDによる発生熱量の他に、LEDを点灯させる電源装置で消費される熱量も加わります。たとえば、LED250形(HID35形相当)照射角30°のスポットライトを1時間使用しますと、ランプと電源装置の両方による使用電力は35.3W\*となり、  
 $35.3W \times 1h \times 0.86kcal/W \cdot h = 30.4kcal$   
 の照明熱量が発生することになります。(※2013年の値)

## 3 発生熱量による温度上昇

### 1 熱計算に使用する公式

(a)  $Q = A \times K \times \Delta t$  ..... [公式1]

- Q : 発生熱量 (kcal/h)
- A : 表面積 (m<sup>2</sup>)
- K : 熱貫流率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- Δt : 温度差 (°C)

(b)  $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \sum \frac{t}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}}$  ..... [公式2]

- K : 熱貫流率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- λ : 熱伝導率 (kcal/m・h・°C)
- t : 厚さ(m)
- α<sub>o</sub> : 外壁の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- α<sub>i</sub> : 内壁の熱伝達率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- C : 空隙の熱伝導率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)

(c)  $Q = C_p \times G \times \Delta t = 0.29 \times V \times \Delta t$  ..... [公式3]

- Q : 発生熱量 (kcal/h)
- C<sub>p</sub> : 空気の定圧比率 ..... 0.24kcal/kg・°C
- G : 空気の重量 (kg) } 空気の比重量は
- V : 空気の容量 (m<sup>3</sup>) } 1.2kg/m<sup>3</sup>
- Δt : 温度差 (°C) } G = 1.2V

## 2 熱伝導率(α<sub>o</sub>, α<sub>i</sub>) (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)

外壁の熱伝達率(α<sub>o</sub>)は通常風速3m/secの場合の値、20を使用。また、内壁の熱伝達率(α<sub>i</sub>)は無風の場合の値8を使用する。

表1 建築の熱計算に用いるαの値

構造体の表面の位置	熱伝導率α <sub>o</sub> or α <sub>i</sub> (kcal/m <sup>2</sup> ・h・°C)	熱伝達抵抗 R <sub>1</sub> or R <sub>0</sub>	備考
外 壁 内側	8	0.13	
外 壁 外側	20	0.05	風速3m/sec
ろく屋根 上側	(上向熱流) 20	0.05	風速3m/sec
ろく屋根 下側	( " ) 10	0.10	
床 上側	(下向熱流) 6	0.17	垂直壁に対し25%削減
床 下側	( " ) 6	0.17	
天 井 上側	(上向熱流) 10	0.10	垂直壁に対し25%割増
天 井 下側	( " ) 10	0.10	

注) 熱伝達抵抗  $R = \frac{1}{\alpha}$

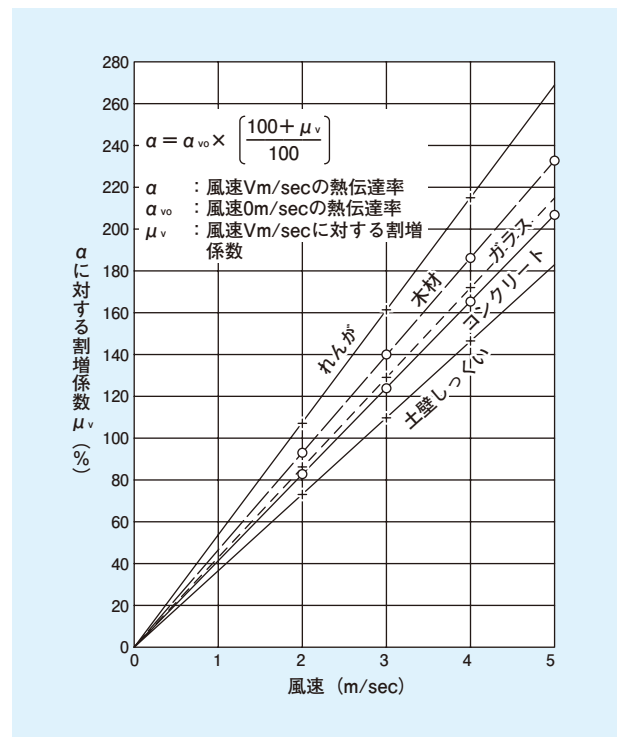


図1 熱伝達率αと風速Vとの関係 無風とみなしうる場合の値に対する割増率(割増率は西藤一郎の資料による)

例 コンクリート壁でv=5m/secの場合 μ<sub>v</sub>=208

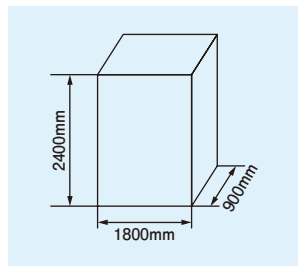
$\therefore \alpha = 8 \times \frac{100 + 208}{100} = 8 \times 3.08 \approx 25$

屋上コンクリートスラブ(天井)の表面における上向熱流の場合 α=25×1.25≈31とします。

表2 熱伝導率[λ] (kcal/m・h・°C)

熱伝導率λ(kcal/m・h・°C)				本表のλは特記以外は温度20°Cの値			
種類	名称	λ	比重(kg/m <sup>3</sup> )	種類	名称	λ	比重(kg/m <sup>3</sup> )
金 属	鋼(炭素0.5%以下)	46	7,830	建 築 材 料	普通レンガ	0.47	1,660
	鋼(炭素1.0%)	37	7,800		タイル	1.1	2,400
	銅	332	8,960		板ガラス	0.68	2,540
	アルミニウム	196	2,700		まつ	0.15	480
	鉛	30	11,370		すぎ	0.11	330
	青銅(砲金)	22	8,670		ひのき	0.089	344
	黄銅(真ちゅう)	52	8,710		ラワン	0.15	470
液 体	水	0.515	998		合板(厚4mm)	0.14	551
	ブライン(CaCl <sub>2</sub> ) (0°C)	0.654	1,296		アスファルト	0.63	2,230
	トランス油	0.1071	866		アスファルトルーフィング	0.093	1,020
気 体	空 気	0.0221	1,166	リノリウム	0.16	1,190	
	飽和蒸気(100°C)	0.0207	0.598	アスファルトタイル	0.28	1,830	
建 築 材 料	花こう岩	3.0	2,810	保 温 材	石綿板	0.24	1,150
	大谷石	1.2	1,900		せっこうボード	0.12	863
	コンクリート	1.4	2,200		たたみ	0.055	229
	振動つめコンクリート	1.9	2,400		牛毛フェルト(厚10mm)	0.11	183
	軽量コンクリート(炭がら)	0.72	1,780		岩綿板(厚25mm)	0.053	330
	軽量コンクリート(抗火石砂利)	0.59	1,720		ガラス綿保温材(厚25mm)	0.035	300
	軽量ブロック(実質部)	0.44	1,380		炭化コルク板(50mm)	0.044	240
	モルタル	1.2	2,020		木毛セメント板(25mm)	0.086	420
	石綿セメント板	1.1	1,680		フォームポリスチレン	0.030	30
	土	0.54	1,890		ビニールスポンジ	0.037	103
材 料	砂	0.42	1,700	けいそう土	0.081	455	
	砂利	0.53	1,850	岩綿	0.038	200	
	土壁(仕上)	0.59	1,280	ガラス綿	0.036	200	
	しっくい	0.64	1,320	モルトプレレン(ポリウレタンフォーム)	0.033	80	
	プラスタ	0.44	1,940	コーポライト(硬質ゴム発泡体)	0.031	100	

〔例〕 水銀灯400W一般高効率安定器(100V)32台を、屋外の鋼板製ボックス内に設置した場合、ボックス内の温度上昇を求めます。



- (条件)
- 鋼板製ボックス
  - 0.8mm鋼板で換気口はない
  - 鋼板の熱伝導率(λ)
  - λ=46(kcal/m・h・°C)
  - 安定器の電力損40W/1台
  - 外気温度 30(°C)

● 内部発生熱(Q)

$$Q=40(W) \times 32(台) \times 0.8(6kcal/W \cdot h) = 1,100(kcal/h)$$

● 表面積(A)

$$A=(2.4 \times 0.9 \times 2) + (2.4 \times 1.8 \times 2) + (1.8 \times 0.9 \times 2) = 16.2(m^2)$$

● 熱貫流率(K)は〔公式2〕より

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{t}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0.0008}{46} + \frac{1}{10}} = 6.67(kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$$

ここで外壁の熱伝達率(α<sub>o</sub>)は風速3m/sec の値20を使用し、内壁の熱伝達率(α<sub>i</sub>)は無風ですが、表面状態から考えて10を使用します。

● ボックス内部の温度上昇(Δt)は〔公式1〕より

$$\Delta t = \frac{Q}{A \times K} = \frac{1,100}{16.2 \times 6.67} = 10.2(^\circ C)$$

温度上昇が10.2°Cでは、外気温が30°Cの場合、内部温度は30+10.2=40.2°Cとなります。この場合、外気温だけを考慮しており、ボックスが日射を受けると表面温度は夏期では45°C~50°Cに達します。また、日陰においても、実際には輻射熱の影響で外気温より高い値となることに注意してください。

#### 4 発生熱量による温度上昇を防ぐための必要換気量

〔例〕 幅180cm、高さ90cm、奥行50cmの3mm厚のガラス製ショーケース内に40W蛍光灯2灯を使用した場合、ショーケース内部の温度上昇は何度か、また、ショーケース内の空気を換気して一定温度上昇(1°C以内)に維持するために必要とする換気量を求めます。

- 40W1灯用安定器の電力損は10Wとする
- ガラスの熱伝導率 …… 0.68(kcal/m・h・°C)
- 外部熱伝導率 …… 10(kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- 内部熱伝導率 …… 8(kcal/m<sup>2</sup>・h・°C)
- 内部発生熱(Q)

$$\left. \begin{array}{l} (\text{ランプ}) 40W \times 2 = 80W \\ (\text{安定器}) 10W \times 2 = 20W \end{array} \right\} \text{計} 100W$$

$$Q = 100(W) \times 0.86(kcal/W \cdot h) = 86(kcal/h)$$

● 表面積(A)

$$A = [(1.8 + 0.5) \times 0.9 \times 2] + (1.8 \times 0.5 \times 2) = 5.94(m^2)$$

● 熱貫流率(K)は〔公式2〕より

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{t}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.003}{0.68} + \frac{1}{8}} = 4.36(kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$$

● 温度上昇(Δt)は〔公式1〕より

$$\Delta t = \frac{Q}{A \times K} = \frac{86}{5.94 \times 4.36} = 3.32(^\circ C)$$

● 換気風量(V)は、〔公式1〕と〔公式3〕より

$$Q = A \times K \times \Delta t + 0.29 \times V \times \Delta t$$

$$Q = (A \times K + 0.29V) \times \Delta t$$

$$86 = \{(5.94 \times 4.36) + (0.29 \times V)\} \times 1$$

$$= 25.90 + 0.29V$$

$$\therefore V = 207.24(m^3)$$

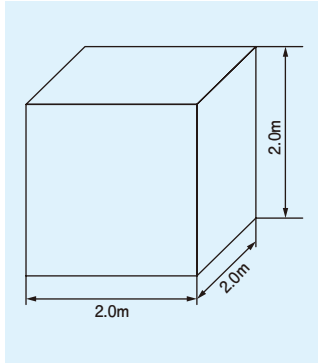
以上、ショーケース内部では、約3°Cの温度上昇となります。また内部の温度上昇を1°Cに維持するためには、毎時200m<sup>3</sup>の換気が必要です。

# 照明による発生熱の計算法

## 5 照明発生熱量を利用した暖房

次に照明による発生熱量だけで、室内を暖房する時の必要照明電力を求めてみますと、

[例]コンクリートブロックのポンプ室内を照明熱で凍結を防ぐためには何Wのランプが必要か？ ただし、扉およびガラスからの熱損失はないものとする。



(条件)

- 外気温度  $-10^{\circ}\text{C}$
- ポンプ室内温度  $0^{\circ}\text{C}$
- コンクリートの厚さは20cmとし熱伝導率  $\lambda=1.4$  (kcal/m $\cdot$ h $\cdot^{\circ}\text{C}$ )
- 外壁の熱伝導率  $\alpha_o=20$  (kcal/m $^2$  $\cdot$ h $\cdot^{\circ}\text{C}$ )
- 内壁の熱伝導率  $\alpha_i=8$  (kcal/m $^2$  $\cdot$ h $\cdot^{\circ}\text{C}$ )

### ●表面積(A)

$$A=2\text{m}\times 2\text{m}\times 6=24(\text{m}^2)$$

### ●熱貫流率(K)は、[公式2]より

$$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_o}+\frac{1}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_i}}=\frac{1}{\frac{1}{20}+\frac{0.2}{1.4}+\frac{1}{8}}=3.15(\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$$

### ●室内を $0^{\circ}\text{C}$ (温度差 $10^{\circ}\text{C}$ )に維持するための熱量(Q)は[公式1]より

$$Q=A\times K\times \Delta t=24\times 3.15\times 10=756.0(\text{kcal}/\text{h})$$

照明のW数は

$$W=\frac{Q}{0.86}=\frac{756.0}{0.86}\doteq 879.1(\text{W})$$

となります。

## 6 照明による被照射物の温度上昇

### 1 温度上昇の計算方法

#### (1) 放射照度と放射強度

放射照度とは、明るさの感じ方とは関係なく、被照射物の単位面積あたりに入射する放射エネルギー量を表すもので、単位はW/m $^2$

また、ランプの放射強度を表現する場合は、1(lx)当りの放射照度(単位はmW/m $^2$  $\cdot$ lx)で表わします。

#### (2) 放射照度と温度上昇

放射エネルギーを受けている物体の温度上昇は、放射照度、物体表面の吸収率、放射率、物体の比率、質量、全表面積、周囲温度、風速など多くの要因によって決まりますので、理論的な計算で求めるのは困難です。したがって、放射照度と温度上昇の関係は実験的に求めるのが最も一般的な方法です。

表3に示すものは、室内で無風条件のもとで100mm $\times$ 100mmの大きさの試料を床から20cmはなして水平に保持し、真上方向から白熱電球で照射したときの表面の温度上昇を実測した結果をもとに、各種光源の場合の温度上昇を計算したものです。

### (3) 温度上昇の計算方法

光源Aの放射強度を $\alpha_A$ (mW/m $^2$  $\cdot$ lx)とし、

物体Xに光源Aで照射したときの

物体Xの表面の照度  $E_{AX}$  (lx)

物体Xの表面の温度上昇  $T_{AX}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

としますと、以上3つの値より物体Xを $1^{\circ}\text{C}$ 上昇させる放射照度 $\beta$ (mW/m $^2$  $\cdot^{\circ}\text{C}$ )を求めますと、

$$\beta=\frac{\alpha_A\times E_{AX}}{T_{AX}}(\text{mW}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$$

となります。

次に、光源Bを物体Xに $E_{BX}$ (lx)で照明したときの物体Xの表面の温度上昇 $T_{BX}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )を計算しますと、

(ただし、光源Bの放射強度は既知数)  
 $\alpha_B$ (mW/m $^2$  $\cdot$ lx)とします。

$$T_{BX}=\frac{\alpha_B\times E_{BX}}{\beta}(\text{C})$$

となります。

## 2 温度上昇の計算例

### (1) メラミン樹脂化粧板の場合

表3より、ハイビーム電球(B S 100V 80W)で、メラミン樹脂化粧板黒に1,000 lxで照明した場合の温度上昇が $2.6^{\circ}\text{C}$ となると、同様の条件でダイクールミラーとミニハロゲン電球(JD 110V 85W $\cdot$ N/E)を用いて1,000 lxで照明したときの温度上昇を計算します。

ハイビームの放射強度 39(mW/m $^2$  $\cdot$ lx)

ダイクールの放射強度 11(mW/m $^2$  $\cdot$ lx)となっていますので、

メラミン樹脂化粧板黒が $1^{\circ}\text{C}$ 上昇する放射照度は

$$\beta=\frac{39\times 1,000}{2.6}\doteq 15,000(\text{mW}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$$

$$=15\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C} \text{ となりますから、}$$

ダイクールミラー1,000 lxで照明したときの温度上昇は

$$T=\frac{11\times 1,000}{15,000}=0.733\cdots\doteq 0.7(^{\circ}\text{C}) \text{ です。}$$

表3 各種光源による被照射物の温度上昇例

	太陽光直射	蛍光灯 FL40S-W	一般 白熱電球 Lw100V 100W	ハイビーム 電球 BS100V 80W	ミニハロゲン 電球 JD100V 150W/E	ミニハロゲン 電球 マルチレイア JD110V 130W-N/E	ダイクールミラー +ミニハロゲン電球 マルチレイア (DH-10)JD110V 85W-N/E	LED 広角30° 35W 1600lm	
放射強度 mW/m <sup>2</sup> ・lx	10	10	57	39	56	45	11	4	
メラミン 樹脂化粧板照度	1,000lxの 温度上昇	0.7	0.7	3.8	2.6	3.7	3.0	0.7	0.27
	1℃上昇の 照度	1,520	1,520	260	390	265	330	1,350	3,730
メラミン 樹脂化粧板照度	1,000lxの 温度上昇	0.5	0.5	3.1	2.1	3.1	2.4	0.6	0.21
	1℃上昇の 照度	1,900	1,900	320	480	340	420	1,730	4,710
銅板 0.8mm	1,000lxの 温度上昇	0.5	0.5	2.7	1.9	2.7	2.1	0.5	0.19
	1℃上昇の 照度	2,120	2,120	370	540	375	470	1,910	5,200
ウール厚手黒	1,000lxの 温度上昇	0.3	0.3	2.0	1.3	2.0	1.6	0.4	0.13
	1℃上昇の 照度	2,950	2,950	510	760	525	655	2,670	7,410
ペンタゲル白	1,000lxの 温度上昇	0.2	0.2	1.0	0.7	1.0	0.8	0.2	0.07
	1℃上昇の 照度	5,600	5,600	1,000	1,420	1,000	1,245	5,090	13,530
1m直下の 照度	※1 —	※2 340lx	※3 120lx	※4 6,500lx	※5 7,215lx	※5 7,215lx	※6 15,800lx	※6 3,560lx	

- (※1) 太陽光直射は、約10万lx。
- (※2) 蛍光灯はランプ単体の場合の照度。
- (※3) 一般白熱電球はランプ単体の場合の照度。
- (※4) ハイビーム電球は集光形(ビーム角12°)。
- (※5) マルチレイア・ミニハロゲン電球は、ビーム角20°の場合の照度。
- (※6) ダイクールミラーは、ビーム角10°の場合の照度。

(2) 油絵の絵具面の場合

一般に絵画などの美術品では、最適保存条件として気温20℃前後、相対湿度40~60%がよいとされています。

いま、20℃、60%の表面温度の条件のものが10℃の温度上昇を受ければ、30℃、34%となり、適正保存条件からはずれず。10℃の温度上昇をもたらす放射照度は、黒色の絵具面で約170W/m<sup>2</sup>となりますので、黒色の絵具面の温度上昇が10℃となる照度を計算しますと、表4のとおりとなります。

表4 黒色の絵具面が10℃温度上昇する照度

光源	一般 白熱電球 Lw100V 100W	ハイビーム 電球 BS100V 80W	ミニハロゲン 電球 JD100V 150W/E	ミニハロゲン電球 マルチレイア JD110V 130W-N/E	ダイクールミラー +ミニハロゲン電球 マルチレイア JD110V85W-N/E	LED 広角30° 35W 1600lm	
放射照度	17,000lx	3,000lx	4,400lx	3,035lx	3,780lx	15,450lx	42,610lx

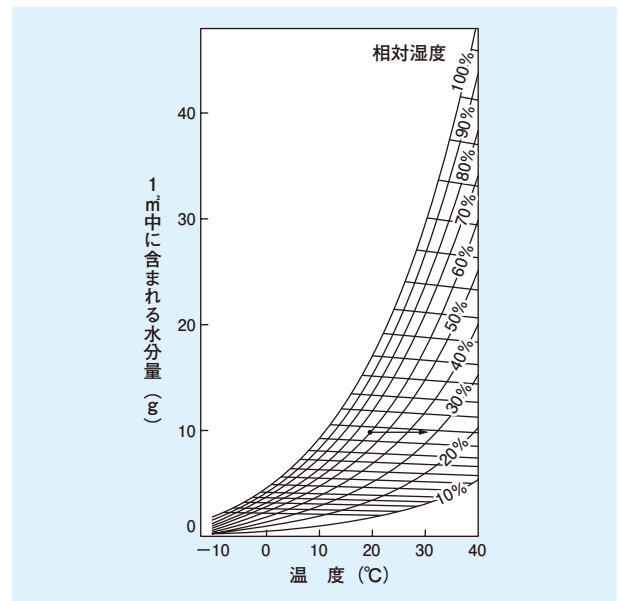


図2 相対湿度と水分量の関係

7 放射エネルギーと人体の温熱感

赤外線が人体に及ぼす作用としては、放射エネルギーを熱として与え、一定量以上の放射エネルギーを皮膚表面が受けると、皮膚表面において温熱感として知覚されます。

● 照明の場における放射照度の限界

放射エネルギーによって人体に温熱感を生じますが、実際には、放射エネルギーを受ける人体のおかれた気温や風速によって温熱効果が異なります。

照明施設として不快にならない範囲は、室温12~20℃の範囲で実験したデータ(表6)によりますと、50~70W/m<sup>2</sup>となります。しかし、空調の行われている室内では70W/m<sup>2</sup>でも、それほど大きな問題を生じないと思われれます。

表5 放射照度70W/m<sup>2</sup>をもたらす照度

光源	一般 白熱電球 Lw100V 100W	ハイビーム 電球 BS100V 80W	ミニハロゲン 電球 JD100V 150W/E	ミニハロゲン電球 マルチレイア JD110V 130W-N/E	ダイクールミラー +ミニハロゲン電球 マルチレイア JD110V85W-N/E	LED 広角30° 35W 1600lm	
放射照度	7,000lx	1,200lx	1,800lx	1,250lx	1,555lx	6,360lx	17,440lx

表6 人体と放射照度の関係<sup>3)</sup>

条件	放射照度 [W/m <sup>2</sup> ]
人体が感じうる放射照度	10~20
照明施設として不快にならない放射照度	50~70
室内における暖房	125~250
作業場などの大きな室内の暖房	250~375
屋外における暖房	250~500
特に寒い屋外における暖房	1,000
連続照射に耐えられる放射照度	2,000
連続照射に耐えられる放射照度(光源2800K)	2,500
1.4μ以上の放射を除いた電球からの連続した照射に耐えられる放射照度	4,500
2秒以内しか耐えられない放射照度	5,000

※室温12~20℃の範囲で行われた実験

[参考文献]

- 1) 日本建築学会編：建築設計資料集1、丸善
- 2) 井上宇市:空気調和ハンドブック、丸善
- 3) 森田政明、山田修：照明による温度上昇についての二・三の考察  
National Technical Report Vol.23 No.4(1977)。