

# 照明の熱計算

## 1 照明器具からの熱

### (1) 熱とは

- ①エネルギーの単位：エネルギー（仕事）の形態は、機械的なもの、電気的なもの、熱的なもの、化学的なものなど様々ですが、単位は、J（ジュール）を共通に使用します。1Jは、1N（ニュートン）の力が作用して1m動くときのエネルギーに相当します。
- ②パワー：単位時間あたりのエネルギーをパワー（仕事率）といい、単位は、W（ワット）を使用します。1Wは、1s（秒）間に1J（ジュール）の仕事をするパワーに相当します。電気製品の消費電力などを表す指標として広く用いられています。
- ③熱エネルギー：熱もエネルギーの一種です。①に記載の通り、単位は、J（ジュール）を用います。
- ④熱パワー：熱パワー（仕事率）も、②に記載の通り単位は、W（ワット）を用います。

例えばFHF32×2灯用埋込器具の消費電力は65Wです。このうち30%程度は可視放射に変換されますが、可視放射は被照射物に吸収されることで、最終的に消費電力はすべて熱となります。

・消費電力65Wの内訳

ランプ電力 29.5W×2=59W

安定器の電力損失 6W

・照明による熱の発生 65W

#### ◆従来の単位

従来は、熱エネルギーにcal（カロリー）、熱の仕事率にkcal/h（毎時キロカロリー）等の単位を使ってきましたが、現在は、計量法によって国際単位系（SI単位）を使うことが定められており、栄養学などに関連する場合を除きcalの単位は使用できません。必要な場合は、次の関係式で換算ができます。

1 cal=4.18605 J

1kW=860 kcal/h

### (2) 照明による熱の発生の計算例

照明による熱の発生は、照明器具の消費電力の値を用いて計算します。1,000 lm当たりの発熱量を比較すると、蛍光ランプ（FHF32）を基準とすると、白熱電球は約7倍、水銀ランプは約1.9倍、メタルハライドランプ（400W）は約0.96倍、高圧ナトリウムランプは約0.82倍、電球形LEDランプは約0.88倍です。

### (3) 各種光源の消費電力のゆくえ

白熱電球、放電灯など、それぞれの消費電力のゆくえを表1、2に示します。

表1 消費電力のゆくえ（白熱電球）

種類	ランプ 入力(W)	放射束(W)				熱※ (W)
		紫外	可視光	近赤外	計	
白熱電球 60W (二重コイル)	60 (100%)	0 (0%)	5.6 (9%)	43 (72%)	49 (82%)	11 (19%)
ミニクリプトンランプ 54W	54 (100%)	0 (0%)	5.4 (10%)	41 (76%)	46 (86%)	8 (14%)

※熱は、対流、伝導、熱放射の合計を表す

表2 消費電力のゆくえ（放電灯・LEDなど）

種類	ランプ 入力(W)	放射束(W)				熱※ (W)	安定器 損失(W)
		紫外	可視光	近赤外	計		
高周波専用蛍光 ランプ(昼白色)32W	32 (100%)	0.2 (0.6%)	11 (34%)	0 (0%)	11.2 (35%)	20.8 (65%)	3
水銀ランプ 400W	400 (100%)	8 (2%)	64 (16%)	58 (15%)	130 (33%)	270 (68%)	23
メタルハライド ランプ400W	400 (100%)	13 (3%)	95 (24%)	116 (29%)	224 (56%)	176 (44%)	23
高圧ナトリウム ランプ360W	360 (100%)	1 (0.2%)	108 (30%)	87 (24%)	196 (54%)	164 (46%)	28
電球形LEDランプ (昼白色)7.3W	7.3 (100%)	0.0 (0%)	2.5 (35%)	0.02 (0.2%)	2.5 (35%)	4.8 (65%)	ランプ入 力を含む

※熱は、対流、伝導、熱放射の合計を表す

#### (4) 照明器具の熱配分

照明器具が発生する熱は、図1のように、室内側Qdと天井プレナム側Quに配分されます。

$$Qd + Qu = \text{全照明熱(W)}$$

図1の器具(A)、(B)の熱配分について計算した例を表3～5に示します。

なお計算の条件は以下のとおりです。

●放射束(紫外、可視、赤外)は、器具効率に従い室内側と天井プレナム側に配分します。

下面開放形器具であれば、反射板がアルミの鏡面または梨地、あるいは白色塗装でも、おおむね適用できます。

しかし、前面カバーに赤外線カットのフィルターなどが用いられている場合には適用できないので、放射束の下方成分を別に求める必要があります。

●対流・伝導熱は、天井プレナム側の熱とします。

●安定器損失は、天井プレナム側の熱とします。

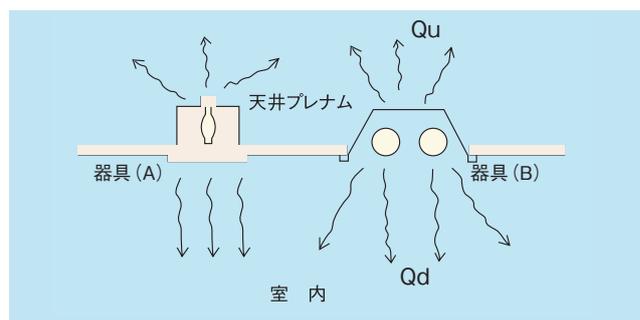


図1 照明器具の熱配分

表3 照明器具の消費電力

	ランプ		器具効率	消費電力
器具(A)	MF400-L-J2/BU	埋込形、ルーバ付(金属)	60%	423W
器具(B)	FHF32×2	埋込下面開放形	87%	65W

表4 熱配分計算結果(器具A)

	室内側 (W)	天井プレナム側 (W)
紫外放射	$400W \times 0.03 \times 0.6 = 7.2$	$400W \times 0.03 \times 0.4 = 4.8$
可視放射	$400W \times 0.24 \times 0.6 = 57.6$	$400W \times 0.24 \times 0.4 = 38.4$
赤外放射	$400W \times 0.29 \times 0.6 = 69.6$	$400W \times 0.29 \times 0.4 = 46.4$
熱*	0	$400W \times 0.44 = 176$
安定器損失	0	23
合計(比率)	134.4 (32%)	288.6 (68%)

※熱は、対流、伝導、熱放射の合計を表す

表5 熱配分計算結果(器具B)

	室内側 (W)	天井プレナム側 (W)
紫外放射	$59W \times 0.006 \times 0.87 = 0.3$	$59W \times 0.006 \times 0.13 = 0.0$
可視放射	$59W \times 0.34 \times 0.87 = 17.5$	$59W \times 0.34 \times 0.13 = 2.6$
赤外放射	0.0	0.0
熱*		$59W \times 0.65 = 38.4$
安定器損失		6.0
合計(比率)	17.8 (28%)	47 (73%)

※熱は、対流、伝導、熱放射の合計を表す

## (5) LED 照明器具の熱配分の例

LED ダウンライト器具における熱の配分を一例として図 2 に示します。

LED 照明器具の消費電力： $W_{total}$  (20W)

電源ユニットの消費電力： $W_1$

LED ユニットの消費電力： $W_2$

可視光のパワー： $W_{light}$  (全光束：2500lm)

LED ユニットの熱損失： $W_3$

$W_{total} = W_1 + W_2 = W_1 + (W_{light} + W_3)$  となるが、

$W_{total} = 20W$  に対して、 $W_1 = 3W$ 、 $W_{light} = 8W$ 、

$W_3 = 9W$  程度の配分となります。

LED の可視光はその分光分布によって異なりますが、光放射の視感度 (1W の LED 白色光が何 lm となるか) は概ね 300 ~ 340lm/W であり<sup>1)</sup>、ここでは 313lm/W という値を用いました。

可視光の  $W_{light}$  は部屋の照明には有効利用されませんが、最終的には床や壁で吸収されて熱となり  $Q_d$  の一部となります。電源ユニット損失の  $W_1$  が  $Q_u$  の一部となります。残った LED ユニットの熱損失  $W_3$  の行方は一概には決められませんが、典型的には 8 割程度はヒートシンクに熱伝導し天井側で消費される熱となり、残りの熱の内の一部が熱放射として室内側に向かうと考えられます。よって、 $W_3$  の内、約 8W が  $Q_u$  に組み込まれ、約 1W (以下) の熱が  $Q_d$  に組み込まれると見なされます。

したがって、本例では、 $Q_u \doteq 11W$ 、 $Q_d \doteq 9W$  となります。LED の発光効率が向上すると、全消費電力に対して可視光に変換される割合が増えるので、全体の熱損失は低下しますが、 $Q_d$  の比率は高くなります。

## 参考文献

- (1) 国峰尚樹監修:「最新熱設計手法と放熱対策技術」、  
(シーエムシー出版、2011)p.125

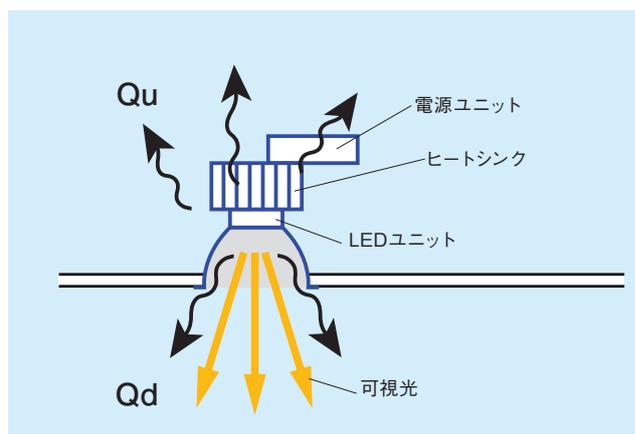


図2 LEDダウンライト器具の模式図

## (6) 安定器の収納箱

標準安定器の周囲温度は40℃を基準に設計されています。従って収納箱へ入れても収納箱内の温度を40℃以下にすることが必要です。

安定器相互の間隔を狭くするほど熱の輻射の影響を受けて双方の安定器の温度が高くなりますから、100mm以上離して配置することが必要です。安定器が上・下に配置される場合には下の安定器の熱が上の安定器を暖めるので千鳥配置にする方が良く、しかも横(水平)取付けより、縦(垂直)に取付けの方が熱放散が良いので縦取付(口出線下向き)千鳥配置を原則とします。

なお、収納箱内外面には塗装を施しますと放熱の効果が上がります。安定器収納箱の寸法を求めることは容易ではありませんが、概略下記により求められます。

- ① 収納箱の外気温度を $t_r$ (℃)
- ② 収納箱の放熱面積を $S$ ( $m^2$ ) (図2参照)但し $S$ は、  
収納箱が建屋の壁や地面に接する部分は除きます (図3参照)。
- ③ 安定器の電力損失の合計を $W$ (W)但し、  
電力損失=(入力電力-ランプ電力)
- ④ 放熱孔の総面積を $S'r$ ( $m^2$ ) (図4参照)
- ⑤ 収納箱の許容温度上昇値を

$$\Delta t \text{ (℃)} : \Delta t \leq 40 - t_r \text{ 外気温度を選ぶ} \cdots A$$

### ⑥ 計算式

(a) 放熱孔なしのとき( $S'r=0$ )

$$S = \frac{W \times 1.1}{6.4 \Delta t} \text{ (} m^2 \text{)} \text{ 又は } \Delta t = \frac{W \times 1.1}{6.4 S} \text{ (} K \text{)}$$

上式の分子にかかる1.1は、バラツキをみた安全係数です。また、分母にかかる6.4は、収納箱各面の熱通過率( $W / (m^2 \cdot K)$ )です。

(b) 放熱孔ありのとき( $S'r \neq 0$ )

$$S = \frac{1}{6.4} \left( \frac{W \times 1.1}{\Delta t} - 251 S'r \right) + S'r \text{ (} m^2 \text{)}$$

上記式より

$$S'r = \left( \frac{W \times 1.1}{6.4 \Delta t} - S \right) \times \frac{6.4}{245} \text{ (} m^2 \text{)}$$

なお放熱孔は、図4上側の図に示すように、安定器収納箱の天面と底面に近い位置に、バランスよく配置することが効果的です。

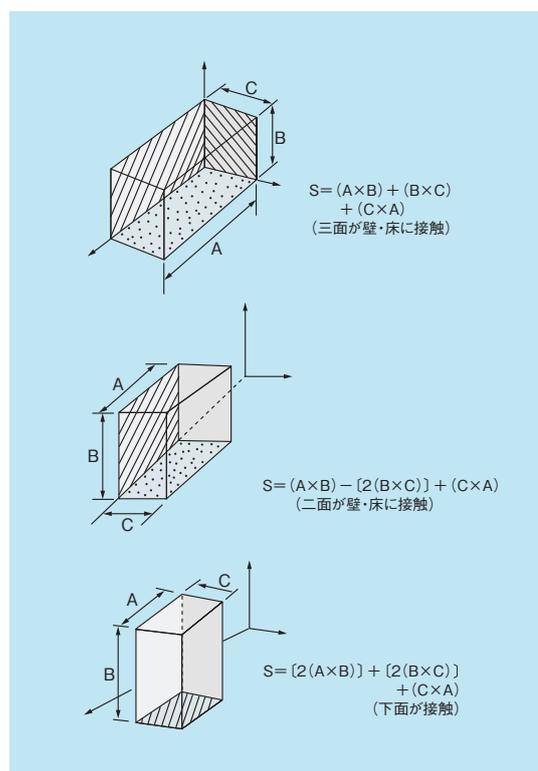


図3 放射面積 $S$ のとり方

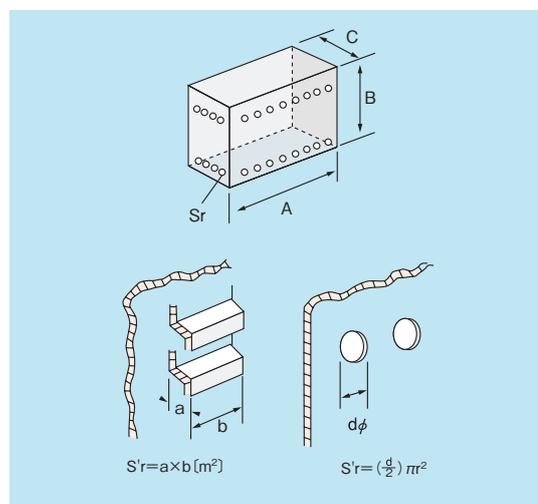


図4 放射孔 $S'r$ のとり方

(7) 照明器具の温度上昇

照明器具を点灯すると、器具内温度は時間とともに上昇し、一定時間後にある温度で安定します。その時の器具内の温度上昇は以下の式で示されます(図5参照)。

$$t = \frac{Q}{\sum_1^6 (h_n \cdot S_n)} + t_r$$

ここに

$t_r$  : 周辺温度 (°C)

$t$  : 器具内温度 (°C)

$h_1 \sim h_5$  : 灯体の各面の熱通過率 (W/(m<sup>2</sup>·K)) (表6参照) ※1

$h_6$  : 前面カバーの熱通過率 (W/(m<sup>2</sup>·K)) (表6参照) ※1

$Q$  : 照明器具内で発生する熱 (W) ※2

$S_1 \sim S_5$  : 灯体の各面の表面積 (m<sup>2</sup>)

$S_6$  : 前面カバーの表面積 (m<sup>2</sup>)

※1: 熱通過率の単位にあるK(ケルビン)は、絶対温度又は温度差を表す単位であり、ここでは温度差を表します。温度差の値は、°C(摂氏度)の差と同じ値です。

※2: 照明器具内で発生する熱は、照明器具の消費電力から、放射束として器具の外部に飛び去る成分を差し引くことで求められます。

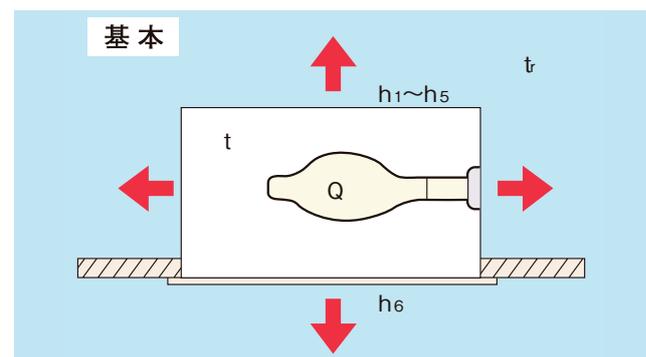


図5 照明器具の温度上昇

表6 各種材料の熱通過率

材質	厚さ(mm)	熱透過率h(W/m <sup>2</sup> ·K)
金属	5以下	6.4
ガラス	5以下	6.2
木材	10~20	3.1
プラスチック	5以下	5.5
石膏ボード天井材	12	4.2
コンクリート	75	4.9
	100	4.6
	200	3.5

表7 放射照度を求める係数 (K)

ランプの種類	K (W/lm)
白熱電球 60W (Tc=2800K)	0.058
ミニクリプトンランプ 54W (Tc=2800K)	0.057
スタジオ用ハロゲン電球1000W (Tc=3050K)	0.039
蛍光ランプ 昼白色 FHF32EX-N	0.003
水銀ランプ	0.006
メタルハライドランプ	0.005
高圧ナトリウムランプ	0.004
電球形LEDランプ	0.003

(8) 照明器具からの放射熱

〈各種光源による放射照度〉

被照面は、照明器具からの放射エネルギーを受けて温度が上昇します。

そのときの放射照度 (W/m<sup>2</sup>) は、下記の式により推定します。

$$\text{放射照度 } R (\text{W} / \text{m}^2) = K \times \text{照度 } E (\text{lx})$$

この計算のための係数Kは表7のとおりとなっています。表7を見てわかるようにKが大きければ大きいほど、同じ照度でも放射照度は高く熱を感じやすくなっております。なお、図6に主な放射照度の概数を示します。

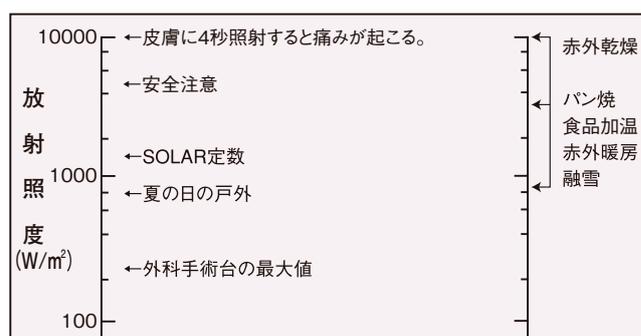


図6 主な放射照度の概数