

高天井照明器具の効率に関する検討 — 器具側面に傾斜をつけた場合 —

日大生産工（院） ○佐藤 一樹
日大生産工 内田 暁、大谷 義彦

1. はじめに

現在、工場など高天井の室内空間では HID ランプ用照明器具が使われている。これらの照明器具は、数多く設置されていることからその一つ一つの照明器具の効率を良くすることが求められている。

そこで、本研究はランプと反射笠によって生じる被照面の照度分布をモンテカルロ法¹⁾により求め、ランプから放射された光束を、できるだけ損失することなく作業面に照射できる照明器具の形状を開発することを目的としている。

本報告では、直方体の反射笠と器具側面に傾斜をつけた反射笠で、反射笠の寸法、笠内の光源の位置の条件を変え、効率についての比較、検討を行った。

2. 計算の概要¹⁾

2.1 計算の流れ

モンテカルロ法とは乱数を用いた統計的計算手法の総称である。この方法を用いた照度計算は、光源から放射される光束を多数の粒子の集合として取り扱い、その各粒子の飛行軌跡を模擬するものである。

はじめに、反射笠、作業面の寸法、光源から放射する粒子数、反射率などを任意で与える。光源から放射される粒子の飛行方向は鉛直角 θ_s 、水平角 ϕ_s で与え、これらを乱数により決定する。

また、粒子が反射笠や作業面に入射した場合の反射、吸収の判別も乱数により決定する。すべての粒子が放射され、吸収されるまで計算を繰り返す。

2.2 HIDランプを模擬した配光

図1に、今回検討に用いた光源の鉛直方向での配光分布を示す。●は実際に高天井の工場などで HID ランプとして使われている光源の配光分布²⁾、○は式(1)に従い模擬した配光分布を表している。

$$I_{\theta} = I_0 \sin \theta \quad (1)$$

ただし、 θ は鉛直角

I_0 は鉛直角 0° 方向の光度

I_{θ} は鉛直角 θ 方向の光度

両者は比較のために、鉛直角 90° の値を基準とする相対値により示した。

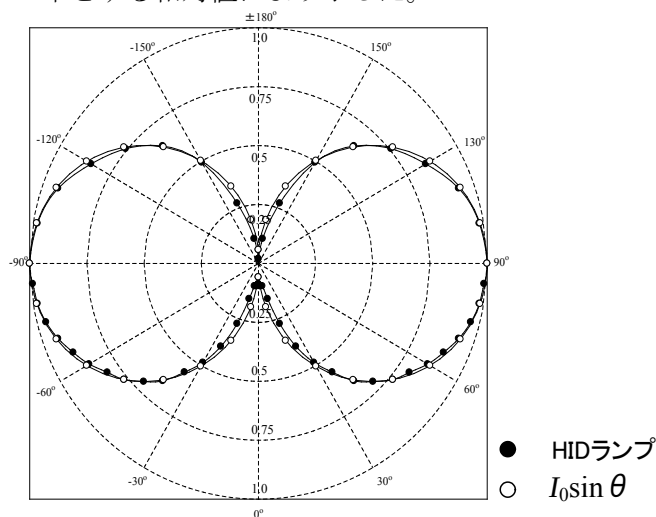


図1 配光分布(鉛直方向)

Examination on luminaire efficiency for high ceiling
— In the case of luminaire having an inclination —
Kazuki SATO , Akira UCHIDA and Yoshihiko OHTANI

両者を比較した結果、平均誤差が 0.03 と低いので、ほぼ一致していると見なした。今後は式(1)を HID ランプの鉛直方向の配光を模擬する式として使用することとした。

2.3 放射方向と乱数について

下半球の全放射光束は、式(1)を対称配光と考えて式(2)のようになる。

$$F(\theta) = 2\pi \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_{\theta} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \quad (2)$$

一様乱数 ξ と対応させ正規化すると、鉛直角 θ_s との関係は式(3)で与えられる。

$$\xi = \frac{1}{\pi} \left(\theta_s - \frac{1}{2} \sin 2\theta_s \right) \quad (3)$$

対称配光であることから、水平角方向の放射角 ϕ_s は一様乱数 ξ より式(4)で与えられる。

$$\phi_s = 2\pi\xi \quad (4)$$

3. 計算結果

3.1 計算条件³⁾

図 2 に反射笠の寸法と照射範囲を示す。

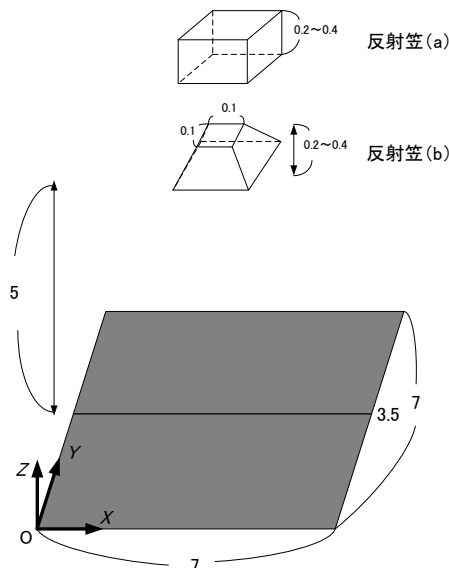


図 2 反射笠の寸法と照射範囲 (単位 : m)

計算において床面左手前隅を原点 O とし、XYZ 直角座標系を設定した。

反射笠は(a)と(b)を用いた。反射笠(a)は形状を直方体とし、反射笠(b)は側面に傾斜をつけ

ている。今回は、この二つの笠の深さを 0.2m ~0.4m の間で変化させた場合、また光源の位置を笠の天井板から 0.1m~0.3m まで変化させた場合の計算を行った。

また工場の高さは 5m を想定し、一辺が 7m の正方形部分を反射笠 1 台の照射範囲とする。

3.2 反射笠の深さを変化させた場合

図 3 は反射笠の深さが 0.2m の場合の $Y=3.5$ における粒子分布である。● は反射笠(a)の場合、○ は反射笠(b)の場合である。

X 座標における中心部では、二つの反射笠の粒子数がほぼ同じ値で分布しているが、中心部から離れた部分では傾斜をつけた反射笠(b)の方が粒子数が多く分布しているのがわかる。

図 4 に反射笠が 0.3[m]のときの粒子分布を示す。

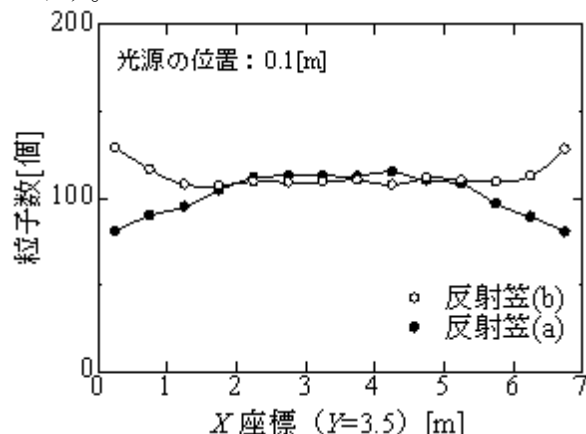


図 3 反射笠の深さ 0.2[m]のときの粒子分布

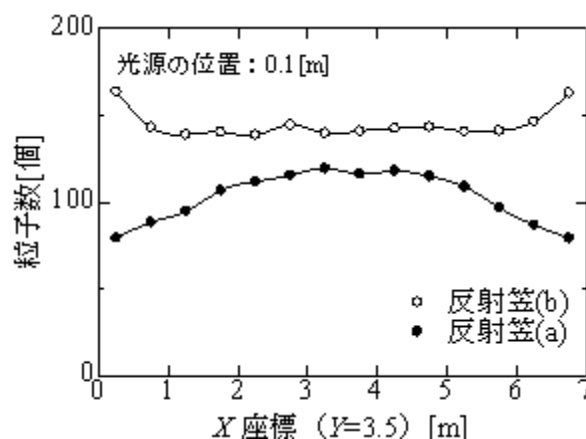


図 4 反射笠の深さ 0.3[m]のときの粒子分布

X 座標上では傾斜をつけた反射笠(b)の方が(a)に比べ粒子数が多く分布しており、笠の深さが 0.2m のときよりも多く入射していることがわかる。

3.3 光源の位置を変化させた場合

図 5 に光源の位置が 0.2m のときの $Y=3.5$ における粒子分布を示す。 X 座標において中心部から離れた部分では、反射笠(b)の方が粒子数が多く分布しているのがわかる。

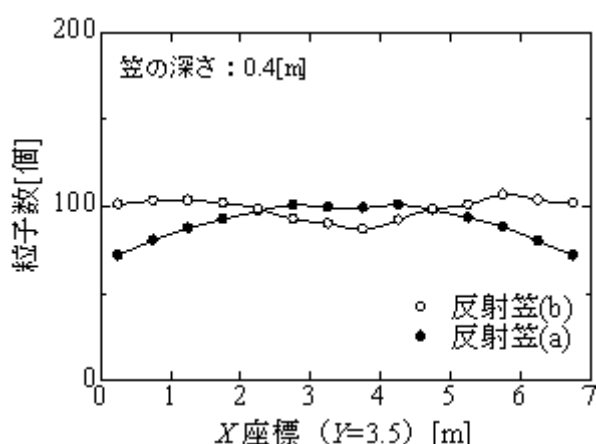


図 5 光源の位置 0.2[m]のときの粒子分布

図 6 に光源の位置が 0.3[m]のときの $Y=3.5$ における粒子分布を示す。反射笠(b)の方が(a)に比べ、 X 座標上で粒子数が多く分布しているが、光源が反射笠の開口面に近いため両者とも反射笠の影響をあまり受けず、同様の粒子分布になっていることがわかる。

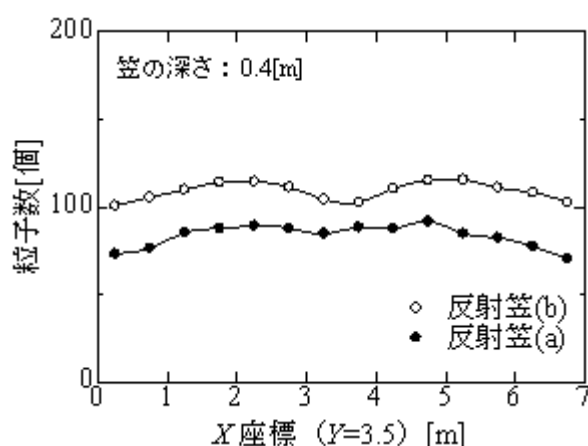


図 6 光源の位置 0.3[m]のときの粒子分布

これらの結果から、傾斜をつけた反射笠(b)を用いると X 座標上の中心部より端の部分の方に粒子数が多く分布することがわかり、傾斜をつけた反射笠(b)を用いた方が反射笠(a)を用いたときよりも X 座標上全体において多く被照面上に粒子数が入射することがわかった。

3.4 照明率について

照明率とは光源の光束の何%が作業面に達するかを示す割合をいい⁴⁾、光源から放射された全粒子数に対する被照面上の面素に入射した粒子数の比で求めることができる。すなわち、反射笠の効率と照明率は関係していると考え、今回は設定した図 2 の寸法から、照明率 0.3 以上が望ましいとした⁵⁾。

図 7 に、笠の深さを変化させたときの照明率について示す。笠の深さが 0.3m のとき、照明率が最も高くなった。これは反射笠の深さが浅いと、放射された粒子が設定した被照面の外側に多く入射してしまい、深すぎると笠内で放射された粒子が吸収されてしまうことが原因だと考えられる。

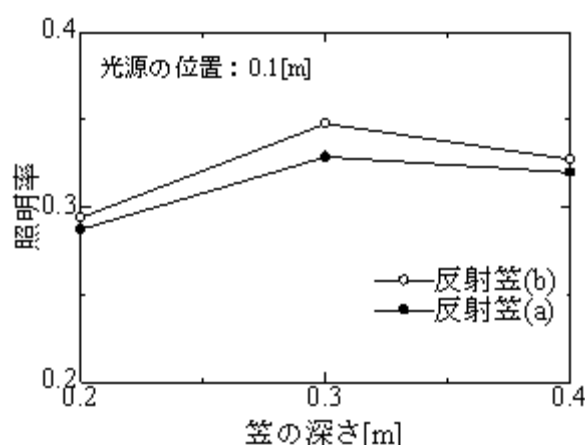


図 7 笠の深さに対する照明率

図 8 に、光源の位置を変化させたときの照明率について示す。光源の位置が高くなるにつれて、照明率が減少しているのがわかる。これは光源の位置が低くなるにつれ、器具の

開口面に光源が近づいていくため、反射の影響をあまり受けず、放射された粒子が設定した被照面の外側に多く入射してしまうのが原因だと考えられる。

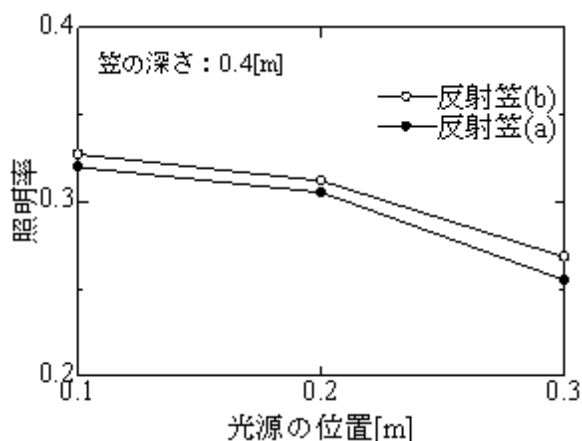


図 8 光源の位置に対する照明率

3.4 傾斜角と照明率について

図 9 に側面から反射笠を見た場合の傾斜の変化を示す。直方体の形状のときの傾斜を 0° とし、傾斜を 10° から 80° まで図のように変化させる。このとき笠の深さと光源の位置は、今回の結果で照明率が最も高かった笠の深さ 0.3m 、光源の位置 0.1m を用いて計算を行うこととする。

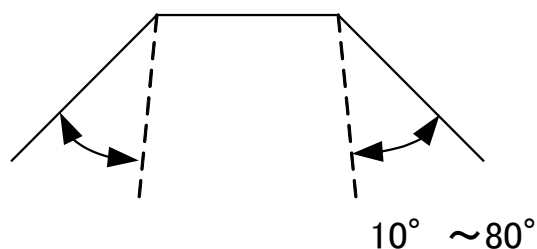


図 9 反射笠の傾斜の変化

図 10 に反射笠の側面を傾けた角度に対する照明率を示す。角度が 10° のとき照明率は最も低い 0.27 となり、 30° のとき照明率は最大の 0.36 となる。それよりも角度を大きくし傾けていくと照明率はゆるやかに減少していき、 80° で照明率は 0.32 になることがわかる。

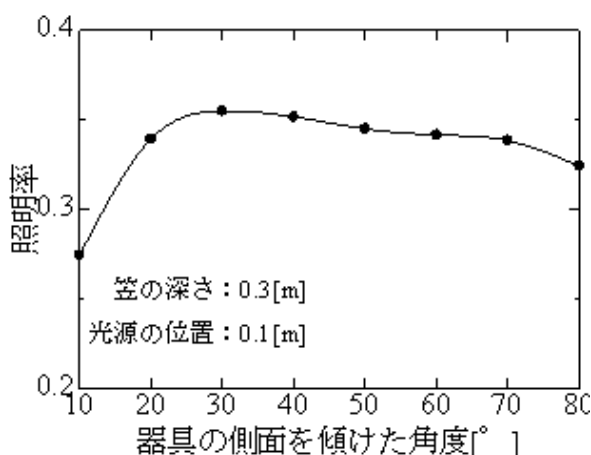


図 10 反射笠の傾斜に対する照明率

4. おわりに

本報告では、直方体の形状の器具、傾斜のある形状の反射笠を用いて、反射笠の寸法、笠内の光源の位置の条件を変え、粒子分布、照明率についての比較、検討を行った。

その結果、側面に傾斜をつけた反射笠が直方体の反射笠よりも笠の深さや光源の位置などの条件を変えたとき、粒子分布と照明率で上回ることがわかった。また傾斜をつけた反射笠を用いた場合、照明率では笠の深さが $0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$ 、かつ光源の位置が $0.1\text{m} \sim 0.2\text{m}$ のとき照明率 0.3 を満たすことがわかった。

一方、反射笠の傾斜を変化させた場合、角度が 30° のとき照明率が最も高い 0.36 となり、角度が $20^\circ \sim 80^\circ$ のとき 0.3 を満たすことがわかった。

今後は、反射笠側面を曲面とした場合について、引き続き効率についての検討を行っていく。

参考文献

- 1) 大谷ほか：「直方体模型室における影の特性について」, 電気設備学会誌, Vol.17, No.8, pp.779~803(1997)
- 2) 岩崎電気：「ランプ配光図」, 図番 REP08119S5.
- 3) 池田ほか：「光技術と照明設計」, オーム社, pp.207~209(2004)
- 4) 照明学会編：「大学課程 照明工学(新版)」, オーム社, p.116(1997)
- 5) 照明学会編：「これからの工場照明」, 照明学会, pp.18~19(1988)