

半円筒面照度と室内面の反射の関係について

○日大生産工 内田 暁

1. はじめに

3次元における可視光の振る舞いとして光の場や空間照度(平均球面照度, 半球面照度, 平均円筒面照度, 半円筒面照度)の考え方が提案されており, スポーツ競技におけるフライボールの認識や, 人の顔のモデリングなどの立体物の視認性を含んだ照明設計の研究に適用できる^{1)~8)}.

このような背景から空間照度の一つである半円筒面照度について, 六面照度計に基づく近似的な算出方法に関する検討を行ってきた^{9)~11)}. しかしながら, 空間照度に関する研究は反射のない場面で取り組まれていることがほとんどであり, 室内面の反射が空間照度(半円筒面照度)に与える影響は明らかとなっていない.

そこで本論では, 室内面に反射率を有する場合の半円筒面照度について, シミュレーション結果から検討を行ったので報告する.

2. 半円筒面照度

2.1 空間照度の理論に基づく計算方法

図1に相互反射のない場合の, 単一の点光源と照射対象である微小の半円筒物体との幾何学的関係を示す. 照射対象である半円筒物体の背面の中心で X 軸, Y 軸, Z 軸が交差し, 半円筒物体の正面(水平角が 0°)を X 軸が貫いている.

図1において, θ が Z 軸に対する光源の鉛直角, ϕ が X 軸に対する光源の水平角, E_n が照射対象中心部での法線照度であるとき, 半円筒面照度 E_{sc} は式(1)で求められる^{5)~7)}.

$$E_{sc} = \frac{E_n \sin \theta (1 + \cos \phi)}{\pi} \quad (1)$$

2.2 六面照度計に基づく近似的な計算方法

図2に六面照度計の概要を示す. 水平2方向($z+$, $z-$)また鉛直4方向($x+$, $x-$, $y+$, $y-$)にそれぞれ照度センサの受光部を向け, 計6方向の照度値から各種空間照度を近似的に算出することができ, 半円筒面照度 E'_{sc} については式(2)に示すとおりとなる. なお, 式(2)における E_0 は光源と対象物の照射面の幾何学的関係から, $E_{x+}-E_{x-}$ または $E_{y+}-E_{y-}$ のいずれかで求められる^{6), 7)}.

$$E'_{sc} = \frac{E_{x+} + E_{x-} + E_{y+} + E_{y-}}{4} + \frac{E_0}{\pi} \quad (2)$$

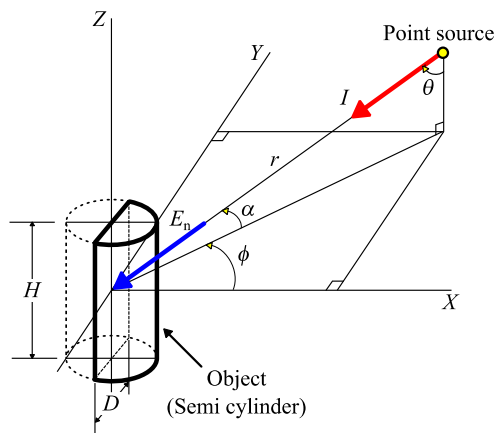


図1 点光源と照射対象との幾何学的関係

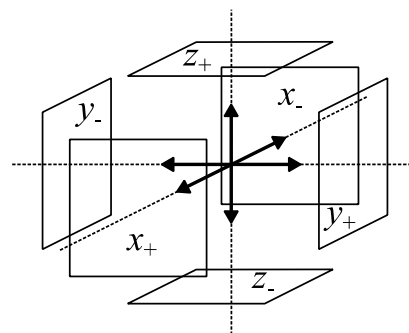


図2 六面照度計の概要

3. 模型室の設定

図3に検討に用いた模型室の概要を示す. 計算において床面左手前隅を原点 O とする XYZ 直角座標を設定した. 模型室の寸法は幅4 m, 奥行き4 m, 高さ3 mである¹²⁾. 受光点の位置は $(X, Y, Z) = (2.0, 2.0, 1.5)$ とし, 半円筒面照度の照射面を X 軸の正方向となるように設定した.

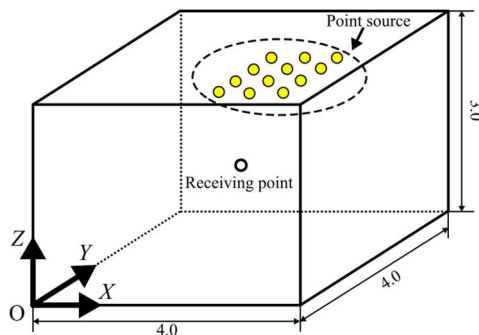


図3 模型室の概要(単位: m)

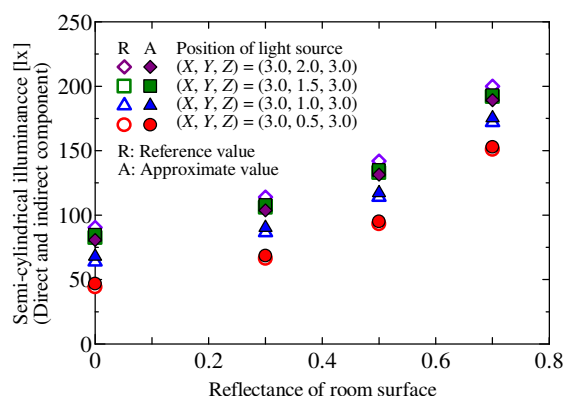
光源の形状は点とし、模型室の天井面 ($Z=3.0$) において、 $X=2.5 \sim 3.5$ 、 $Y=2.0 \sim 3.5$ の範囲内、計 12 個所のいずれかに設置した。光源の配光は均等拡散とし、鉛直直下方向の光度は 1000 cd である。

室内面の反射率はすべての面が 0, 0.3, 0.5, 0.7 とした。反射特性は均等拡散である。

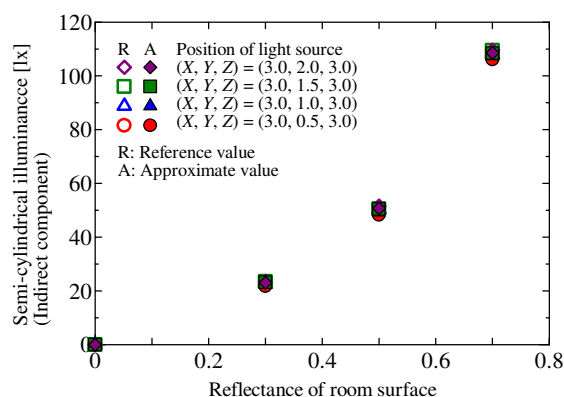
4. 結果および検討

シミュレーションには DIALux evo を使用した¹³⁾。結果の一例として、図 4 に光源の X 座標を 3.0 の場合の、室内面の反射率に対する半円筒面照度を示す。(a) は全照度 (直接成分と間接成分)、(b) は間接照度 (間接成分) である。また、参照値は DIALux evo より得られた半円筒面照度、近似値は式(2)により求めた半円筒面照度である。

図 4(a) より Y 座標の値が増加、すなわち光源が受光点に近づくとも参照値と近似値の誤差が増加する傾向にあり、誤差率の平均値は 4.2 % 以内となった。一方で、図 4(b) より半円筒面照度の間接照度は、光源の位置よりも室内面の反射率の変化が影響を及ぼしており¹⁴⁾、参照値と近似値の差は最大で 1.1 lx であった。



(a) 全照度 (直接成分 + 間接成分)



(b) 間接照度 (間接成分)

図 4 反射率に対する半円筒面照度

なお、他の光源の位置における特性についても、図 4(a)(b) と同様の傾向であった。

5. おわりに

本論では、室内面に反射率を有する場合の半円筒面照度について、シミュレーションにより検討を行った。その結果、半円筒面照度の参照値に対する六面照度計に基づいた近似値の誤差率は 4.2 % 以内であり、室内面の反射率の変化が間接照度に影響を及ぼすことがそれぞれ明らかとなった。

今後は室内面の反射率の組み合わせが異なる場合について、同様の検討を行う予定である。

参考文献

- (1) Cuttle, C. : Lighting patterns and the flow of light, Lighting Research and Technology, 3-3, pp. 171 ~ 189 (1971)
- (2) Cuttle, C. : Cubic illumination, Lighting Research and Technology, 29-1, pp. 1 ~ 14 (1997)
- (3) 佐々木ほか: 照明空間における照明ベクトルと光束密度, 照明学会誌, 63-7, pp. 379 ~ 386 (1979)
- (4) 川上: 表情の識別と半円筒面照度の関係, 照明学会誌, 70-6, pp. 282 ~ 287 (1986)
- (5) 佐々木: スポーツ施設における空間の照度, 照明学会誌, 75-4, pp. 181 ~ 187 (1991)
- (6) 川上: スポーツ照明の設計, 水平面照度は万全か?, 照明学会誌, 75-5, pp. 250 ~ 253 (1991)
- (7) 高橋: 照明の判断基準としての半円筒面照度および半球面照度, 照明学会誌, 72-1, pp. 33 ~ 34 (1988)
- (8) 中村, 中西: 視環境評価の指標の簡易測定法に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 181 ~ 182 (1981)
- (9) 内田: 多数回の試行による近似的な方法で計算された半円筒面照度の検討, 日本大学生産工学部第 55 回学術講演会講演概要, pp. 317 ~ 318 (2022)
- (10) 内田: 多数回の試行による近似的な方法で計算された複数の光源からの半円筒面照度の検討, 日本大学生産工学部第 56 回学術講演会講演概要, pp. 225 ~ 226 (2023)
- (11) 内田: 仮想の照度センサを利用した半円筒面照度の近似計算について, 2024 年度 (第 42 回) 電気設備学会全国大会, pp. 437 ~ 438 (2024)
- (12) CIE Technical Report (CIE 171) : Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs (2006)
- (13) DIALux Homepage : <https://www.dialux.com/en-GB/>
- (14) Cuttle, C. : Lighting design –a perception-based approach–, Routledge, pp. 75 ~ 81, 99 ~ 103 (2014)