

## 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といった照明設計の研究に適用できる<sup>1)~7)</sup>.

空間照度を測定する場合, 受光部を工夫した特殊な仕様の照度計が必要となるため, 六面照度計の考え方に基づいて近似的に測定する方法があるが, 本来の空間照度の値に対して誤差が生じる<sup>8)</sup>. このような背景から, 空間照度の近似的な計算結果の誤差について多数回の試行により検討が行われている<sup>9)~12)</sup>.

本論では複数の光源から照射された場合の半円筒面照度について, 理論的な方法に対する近似的な方法で得られた計算値を, 多数回の試行により比較ならびに検討を行った.

### 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に単一の点光源と照射対象である微小の半円筒面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 $0^\circ$ )をX軸が貫いている. また, 相互反射のない場(直接照度のみ)としている.

図1において,  $\theta$ がZ軸に対する光源の鉛直角,  $\phi$ 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<sup>5)~7)</sup>.

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

#### 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( $z_+$ ,  $z_-$ )ならびに鉛直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方向の照度の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<sup>4),5)</sup>.

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

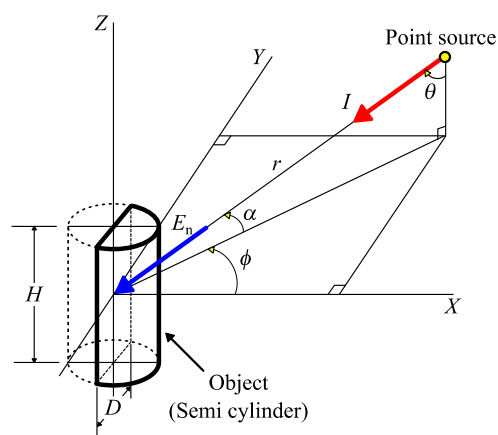


図1 点光源と照射対象との幾何学的関係

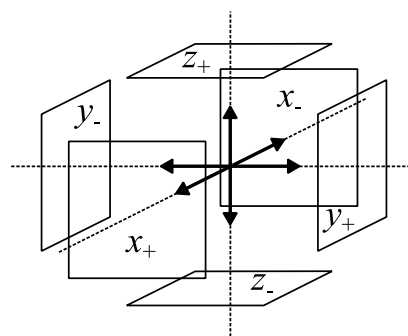


図2 六面照度計の概要

### 3. 計算の設定

図1に示す法線照度  $E_n$ , 鉛直角  $\theta$ , 水平角  $\phi$ の値が得られれば, 式(1)から半円筒面照度の参考値  $E_{sc}$ (以後, 参考値と称する), 式(2)から半円筒面照度の近似値  $E'_{sc}$ (以後, 近似値と称する)をそれぞれ計算することができる. 法線照度  $E_n$ は受光点方向への光源からの光度  $I$ , 光源と受光点との距離  $r$ により逆二乗の法則で算出される<sup>13)</sup>. また  $E_{x_+}$ ,  $E_{x_-}$ ,  $E_{y_+}$ ,  $E_{y_-}$ についても,  $E_n$ の鉛直成分により求めることができる<sup>13)</sup>.

本研究では相互反射のない場面での単一の光源について, 乱数を発生させて図1における多数の光度  $I$ , 鉛直角  $\theta$ , 水平角  $\phi$ の組み合わせを設定した後, 式(1)による参考値および式(2)による

近似値を求め、両者の結果を比較する<sup>9)~12)</sup>。検討にあたり光源の光度  $I$  は  $0 \sim 1000$  [cd] の範囲、光源と受光点との距離は  $1$  [m] 一定とした。水平角  $\theta$  は半円筒物体の背面と一致する  $\pi$  [rad] に近づくと式(2)において  $E'_{sc} < 0$  となることから  $0 \sim 2\pi/3$  [rad] の範囲とし、鉛直角  $\theta$  は  $0 \sim \pi/2$  [rad] の範囲とした<sup>4)</sup>。光源の数は  $1 \sim 8$  の範囲とし、複数の光源による半円筒面照度は重ね合わせにより算出した。

計算で使用した疑似乱数は、周期や一様性を満足している Mersenne Twister であり、試行回数は  $1000$  回とした<sup>14)</sup>。

#### 4. 結果および検討

図3に光源の数をパラメータとした半円筒面照度の参考値に対する近似値の特性を、図4に試行回数に対する近似値の誤差率の特性をそれぞれ示す。

図3~4より、光源の数が増加すると参考値に対する近似値の誤差率の範囲は  $-21.5 \sim 14.6\%$  から  $-12.8 \sim 7.2\%$  に、平均は  $6.6\%$  から  $2.6\%$  に

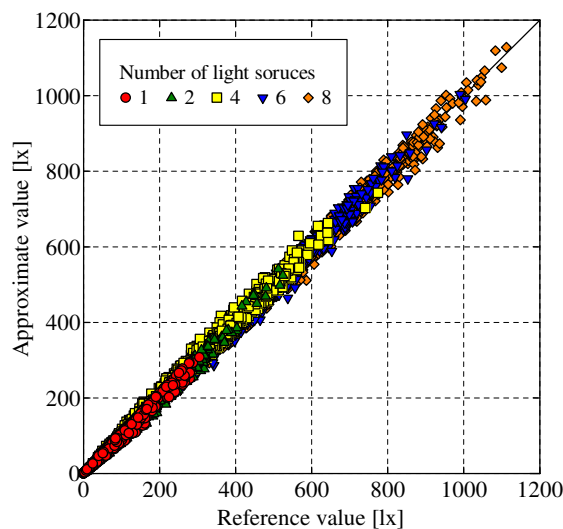


図3 半円筒面照度の参考値に対する近似値

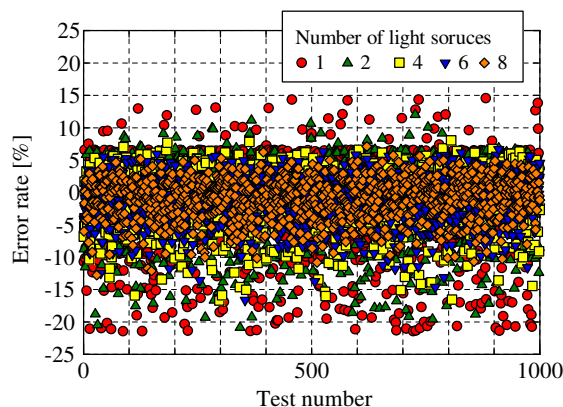


図4 試行回数に対する近似値の誤差率

それぞれ減少する。また、誤差率のばらつきとして標準偏差を求めたところ、光源の数の増加により  $4.99$  から  $2.16$  へと減少することを確認した。

#### 5. おわりに

本論では多数回の試行により近似的な方法で求めた、複数の光源から照射された半円筒面照度について検討を行った。その結果、今回検討した条件において参考値と近似値との関係を明らかにすることができ、光源が増加することで近似値の誤差率が減少することを確認した。

今後は半円筒面照度の近似的な計算結果の精度を向上させる方法を検討する予定である。

#### 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) Mangkuto, R. A. : A comparison of three approaches for determining scalar illuminance from cubic illuminance data, Lighting Research and Technology, 51-4, pp. 625 ~ 641 (2019)
- (10) Mangkuto, R. A. and Revantino: Parallax errors in cubic illuminance measurement, Lighting Research and Technology, 52-7, pp. 915 ~ 936 (2020)
- (11) Mangkuto, R. A.: Uncertainty analysis of cylindrical illuminance approximation, LEUKOS, 16-4, pp. 267 ~ 278 (2020)
- (12) 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)
- (13) (一社)照明学会: 照明工学, オーム社, pp. 98 ~ 99 (2012)
- (14) Mersenne Twister Home Page : <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/m-mat/MT/mt.html> (2023年10月6日閲覧)