タスク・アンビエント照明における
影の中の照度変化に関する研究
—アンビエント光源の位置および大きさの検討—

正会員 内 田 暁 (日本大学) 専門会員 大 谷 義 彦 (日本大学)

Variations in Illuminance Caused by Shadows
under Task Ambient Lighting
—Considering the Position and Size of Ambient Light—

Member Akira Uchida (Nihon University) and Fellow Member Yoshihiko Ohtani (Nihon University)

ABSTRACT

Shadows cast over a work area can be a significant obstacle to work. Shadows are thus an important factor in designing comfortable work environments.

The problems caused by shadows produced by a globe as a shadow caster combined with task ambient lighting in a room were modeled. The variations of the illuminance and the shadow factor were obtained and examined for various positions and sizes of an ambient light with a Lambertian surface, with the position of the shadow caster taken as a parameter.

The most suitable position for the ambient light was found to be the center of the ceiling, and the most suitable size for it was found to be $0.6 \times 0.6 - 1.0 \times 1.0$ [m²].

KEYWORDS : task ambient lighting, illuminance, shadow

1. 緒言

快適な視環境を有するオフィス照明を設計するに当たり、設置される照明器具の位置と大きさは作業目的や作業形態などによって様々である。しかし、設置される照明器具の位置や大きさが変化することで、作業空間の雰囲気はもちろんのこと、作業面上の照度分布が大きく変化するものと思われる。

一方で、日常作業を行う場所において作業面上に生じる影は邪魔なものであり、作業などを行う妨げとなることが少なくない。よって影の問題は、快適な照明環境を実現する上で照明設計を行う際にあらかじめ考慮すべき重要な要素と考えられる¹⁾。特に、タスク・アンビエント照明方式²⁾³⁾を用いた場合、タスク光源とアンビエント光源の二種類の照明方式を使用し、雑音の遮断、準個室化などの理由によりパーティションを採用する場合が多いということから影が生じ、作業面の照度分布が複雑になると考えられる。よって、光源の位置および大きさに対する、机上面の照度分布および影の状態の関係を詳細に把握する必要がある。

そこで、より良い視作業環境を提供するため光源の位置と大きさを明らかにする目的から、本論では既報⁴⁾⁵⁾で述べた照度計算法を用いて、タスク・アンビエント照明を施した室内空間において、

人間の頭部を想定した遮光球を設置し、天井面に設置された均等拡散性配光を有するアンビエント光源の位置および大きさを変化させた場合の作業面上に生じる影の中の照度変化を検討した。さらにこの照度計算結果から、2次元の測光量による「影の深さ」を用いて、作業面上に生じる影の状態について検討を行った。

2. 照度計算の概要

モンテカルロ法を用いた照度計算⁵⁾⁶⁾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、各粒子の飛行軌跡を模擬するものである。その際、光源および反射配光における粒子の方向や、室内面における粒子の反射および吸収の判別は乱数により決定される。

2.1 放射方向の決定

図1に矩形室内の天井面に設置した点光源から放射された粒子の飛行軌跡の模擬を示す。光源からの放射と室内面における反射が均等拡散性配光に従う場合、粒子の飛行する方向を示す鉛直角 θ 、水平角 ϕ と、一様乱数 ξ ($0 \leq \xi \leq 1$) との関係は式(1)、式(2)によって表すことができる⁵⁾⁶⁾。

$\theta = \sin^{-1} \sqrt{\xi}$ (1)

$\phi = 2\pi\xi$ (2)

なお本論では面光源を用いているので、点光源の集合として取り扱った。

本論文の一部は平成10年度照明学会東京支部大会および平成10年度電気設備学会全国大会で内田暁が講演した。

2.2 室内面における反射および吸収判別

室内面の反射率を ρ とした場合、一様乱数 ξ による粒子の反射および吸収の判別は式(3)で表すことができる。

$$\left. \begin{array}{l} \xi \leq \rho \text{ ならば反射} \\ \xi > \rho \text{ ならば吸収} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

2.3 照度値への変換

照度 E は、図1に示すような室内面を細分割して得た各面素に入射する粒子数に比例するものとして取り扱うことができ、式(4)で求められる。

$$E = \frac{\Phi}{N_0} \frac{N}{A} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

Φ : 光源の全光束、 N : 各面素への入射粒子数、

N_0 : 光源の全放射粒子数、 A : 一面素の面積

3. 遮光物体による照度の低下

図2に計算に使用した模型室の概要を示す。模型室の床面の左手前隅を原点 O とし、 XY 平面が床面と天井面に平行となるよう

な XYZ 直角座標系を設定した。また、室内面は床面 S_1 、天井面 S_2 、壁面が $S_3 \sim S_6$ の計6面で構成されている。

模型室の寸法は、間口、奥行きが5.0 [m]、高さが2.5 [m] である。天井面には、任意の大きさの均等拡散性配光を有する正方形アンビエント光源を設置した。設置位置としては、図3に示すように対角線上に中心座標として7点を考えた。

この模型室内部に、図4に示すような幅1.0 [m]、奥行き

図1 粒子の軌跡と面素の説明
Fig.1 Explanation about the locus of the locus of the particle and the element.

図2 模型室の概要
Fig.2 The schematic of the model room.

図3 アンビエント光源の位置
Fig.3 Position of the ambient light.

図4 L 型状机, パーティションおよびタスク光源の概要
Fig.4 The schematic of the L shaped desk, the partition and the task light.

0.8 [m]、高さが0.75 [m] のL形状机に、幅1.0 [m]、高さが0.65 [m] のパーティションを取り付け、さらにL形状機の机上面から高さ0.65 [m] の位置に、タスク光源である発光部が幅0.5 [m]、奥行き0.1 [m] の均等拡散性矩形光源を机上面と平行となるように取り付けたものを、机上面の中心が模型室床面中央部と一致するように設置した。

光源から放射される初期光束発散度は、タスク・アンビエント照明に関する文献²⁾³⁾や定義、また作業面における必要照度などを考慮し、タスク光源を20000 [lm/m²]、アンビエント光源を5000 [lm/m²] とした。

反射率は、床面を30 [%]、天井面を70 [%]、壁面を50 [%] とし、L形状机、パーティションはそれぞれ30 [%] とした。なお、これらの反射特性はすべて均等拡散性を有するものとしている。作業面上に影を生じさせるための遮光物体は、人間の頭部を想定し半径0.1 [m] の球体とした。また反射率は0 [%] とし、これを室内空間の任意の位置に設置できるようにしている。

遮光球によって机上面に生じた影の中の照度変化を知るために、遮光球の高さ、アンビエント光源の位置、アンビエント光源の大きさを変化させて検討を行った。影の中の照度ということで机上面における最小照度に着目し、遮光球の高さ Z_g をパラメータとして最小照度曲線を描いたのが図5である。図5(a)はアンビエント光源の大きさを1.0×1.0 [m²] 一定とし、横軸を図3に示したアンビエント光源の中心位置としたものである。図5(b)はアンビエント光源の中心位置を点A4の $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$ 一定とし、横軸をアンビエント光源の大きさとしたものである。

なお、遮光球の高さを床0.9 [m] ~1.3 [m] の範囲にしたのは、作業面を考慮した照明設計において、着席時の目の高さである1.2 [m] を基準にしたためである。

図5(a), (b)共に、 $Z_g = 0.9$ [m] において最小照度は5 [lx] ~110 [lx] と低い値となっている。これは、光源、遮光球そして被照面との幾何学的関係から、机上面において遮光球がタスク光源からの光と、アンビエント光源からの光を遮る部分为重なるためである。 $Z_g = 1.0$ [m] 以上となると、机上面において遮光球がタスク光源からの光とアンビエント光源からの光を遮る部分が異なるため、ほぼ同じ特性となる。

図5(a)では、アンビエント光源が天井面中心、すなわち点A4の $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$ に位置するとき、最小照度値は20 [lx] ~470 [lx] と広い範囲で変化することが読み取れる。一方、最小照度値が狭い範囲で変化をするのは、点A1の $(X_s, Y_s, Z_s) = (1.0, 1.0, 2.5)$ に位置するときで110 [lx] ~230 [lx] である。また、図5(a)が点A4を境目として対称的な特性にならないのは、点A5直下にタスク光源およびパーティションが設置されているためであると考えられる。点A1と点A7の最小照度値の差を算出したところ平均で80 [lx] となり、また点A2と点A6では120 [lx] となった。これらのことから、作業面近辺に設置したパーティションが遮光球による照度の低下に影響を及ぼすことがわかった。

図5(b)では、アンビエント光源が大きくなると最小照度の変化する幅が広がる。例えば、アンビエント光源の大きさが0.3×0.3 [m²] のとき、最小照度は5 [lx] ~160 [lx] の範囲であるのに対し、1.8×1.8 [m²] のときは70 [lx] ~850 [lx] の範囲となっている。これらのことから最小照度の範囲は、前述のアンビエント光源の位置を変化させた場合と比べ、アンビエント光源の大

(a)アンビエント光源の位置を変化させた場合 (アンビエント光源の大きさ: 1.0×1.0 [m²])

(a) In the case of varied position of the ambient light (The size of ambient light is 1.0×1.0 [m²]).

(b)アンビエント光源の大きさを変化させた場合 (アンビエント光源の位置: A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$)

(b) In the case of varied size of the ambient light (The position of the ambient light is A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$).

図5 最小照度曲線 (単位: [lx]) (遮光球の水平位置 $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$ 一定)

Fig.5 Minimum illuminance curves (unit: [lx]) (The position of the shadow caster is $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$).

きさの変化に依存しやすいことがわかった。また、遮光球の高さが $Z_g = 1.1$ [m] 以上となると、アンビエント光源の大きさに対する最小照度の関係はほとんど変化していない。

着席時の目の高さである $Z_g = 1.2$ [m] に着目すると、図5(a)より最小照度が最も高い値を示すアンビエント光源の位置は点A4であり、図5(b)よりアンビエント光源の大きさは今回検討した条件では1.8×1.8 [m²] であった。

4. 机上面の影の特性

図5で示した最小照度曲線からでは、遮光球により生じた影の中の照度を知ることはできるものの、机上面に生じている影の状態を把握することはできない。そこで、本章では「影の深さ」を用いて定量的に検討を進めることとした。「影の深さ」は、2次元の測光量による「影によって失われた照度と、影の無いときの照度の比」で定義される。すなわち、影の深さを S とし、影の中の照度を E_s 、同じ点で影の無いときの照度を E_0 とすると、

$$S = \frac{E_0 - E_s}{E_0} \dots\dots\dots (5)$$

で与えられる⁷⁾。したがって本影の場合では $S = 1.0$ 、半影で $1.0 > S > 0.0$ 、そして影の全く生じていない範囲で $S = 0.0$ となる。

一例として、図6に大きさが 1.0×1.0 [m²] のアンビエント光源を天井面の中心位置である点A4の(X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5)に設置した場合の机上面の等照度曲線および等しい影の深さ曲線を示す。(a)は、遮光球を設置しない場合の等照度曲線、(b)は遮光球を(X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0)の位置に設置した場合の等照度曲線、(c)は(a)、(b)より求めた等しい影の深さ曲線である。

図6(a)は影の生じていない場合の等照度曲線であり、タスク光源の直下を中心とし、壁面S₆から壁面S₅に向かって照度が減少するという傾向が描かれている。図6(b)は遮光物体を設置することで影が生じた場合の等照度曲線であり、図6(a)比較して乱されている部分を見ることにより影の範囲を推測できるが、図6(c)の等しい影の深さ曲線によれば、影の生じているところと生じてい

(a)遮光球を設置しない場合の机上面等照度曲線 (単位: [lx])
(a) The iso-illuminance contours on the desk surface when the shadow caster is not set (unit: [lx]).

(b)遮光球を設置した場合の机上面等照度曲線 (単位: [lx])
(b) The iso-illuminance contours on the desk surface when the shadow caster is set (unit: [lx]).

(c)遮光球を設置した場合の机上面の等しい影の深さ曲線
(c) The iso-shadow factor contours on the desk surface when the shadow caster is set.

図6 等照度曲線と等しい影の深さ曲線の一例 (アンビエント光源の大きさ: 1.0×1.0 [m²], アンビエント光源の位置: A4(X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5), 遮光球の位置: (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0))

Fig. 6 Examples of the iso-illuminance contours and the iso-shadow factor contours (The size of the ambient light is 1.0×1.0 [m²], the position of the ambient light is A4 (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5) and the position of the shadow caster is (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0)).

ないところの区別が明確であり、また生じている影に対して定量的な検討が可能であることがわかる。

4.1 アンビエント光源の位置を変化させた場合

図7に大きさが 1.0×1.0 [m²] のアンビエント光源を設置した場合の、机上面における等しい影の深さ曲線を示す。(a)はアンビエント光源の中心位置が点A1の(X_s, Y_s, Z_s)=(1.0, 1.0, 2.5)の場合、(b)は点A7の(X_s, Y_s, Z_s)=(4.0, 4.0, 2.5)の場合である。なお、遮光球の中心位置は(X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0)である。また、表1にアンビエント光源の位置に対する机上面の最大影の深さおよび影の深さ0.1以上の面積の割合を示す。ここで「影の深さ0.1以上の面積の割合」とは、机上面において影の深さが0.1以上の面積の総和の、机上面全体の面積に対する比として算出したものである。

図7および表1より、アンビエント光源の位置により、最大影の深さおよび影の深さの範囲が変化することを示しているので、

(a)アンビエント光源の位置: A1 (X_s, Y_s, Z_s)=(1.0, 1.0, 2.5)の場合
(a) In the case of the ambient light with the position of A1 (X_s, Y_s, Z_s)=(1.0, 1.0, 2.5).

(b)アンビエント光源の位置: A7 (X_s, Y_s, Z_s)=(4.0, 4.0, 2.5)の場合
(b) In the case of the ambient light with the position of A7 (X_s, Y_s, Z_s)=(4.0, 4.0, 2.5).

図7 等しい影の深さ曲線 (アンビエント光源の大きさ: 1.0×1.0 [m²], 遮光球の位置 (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0))

Fig. 7 The iso-shadow factor contours (The size of the ambient light is 1.0×1.0 [m²] and the position of the shadow caster is (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0)).

表1 アンビエント光源の位置に対する最大影の深さならびに影の深さ0.1以上の範囲 (アンビエント光源の大きさ: 1.0×1.0 [m²], 遮光球の位置 (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0))

Table 1 The maximum shadow factor and the ratio of the areas surrounded by 0.1 of the shadow factor, corresponded to the position of the ambient light (The size of the ambient light is 1.0×1.0 [m²] and the position of the shadow caster is (X_g, Y_g, Z_g)=(2.5, 2.5, 1.0)).

アンビエント光源の位置	A1	A7
最大影の深さ	0.69	0.81
影の深さ0.1以上の面積の割合[%]	24.5	26.5

本論では机上面に生じる影の特性として、最大影の深さならびに影の深さ $S=0.1$ を越える範囲に注目し、検討を行うこととした。なお、影の範囲として $S=0.1$ を目安にしたのは、P. Moon が述べた「もし影を避け得ない場合でも、照度の変化は10%以下を限度とすべきである」との言葉⁹⁾に基づいたからである。

図7に示すような曲線から、前述の「最大影の深さ」ならびに「影の深さ0.1以上の面積の割合」を読み取り、検討を行った。影の面積において図7(a)に示すように影の深さ0.1以上の区域が2ヶ所ある場合はそれらの合計をとることとし、また影の深さ0.1以上の区域が机上面から外れている部分については無視することとした。また、模型室の設定は、特に断らない限り3.1節に示した通りとしている。

4.1.1 最大影の深さ

図8は、図3で示したアンビエント光源の中心位置（大きさは 1.0×1.0 [m²]）に対する最大影の深さ曲線である。(a)はアンビエント光源のみの場合、(b)はタスク・アンビエント照明の場合であり、いずれも遮光球の高さ Z_g をパラメータとしている。

図8(a)では $Z_g=1.2$ [m]、 1.3 [m] において最大影の深さが大きく減少しているが、これは本来の最大影の深さである位置が机上面から外れるためである。また、影の深さが0.9以上となるのは、アンビエント光源の位置が点A3～点A6、かつ遮光球の高さが $Z_g=0.9$ [m]、 1.0 [m] であることがわかる。アンビエント光源の中心位置の点A4を境目として対称的な分布を描かないのは、

図8 最大影の深さ曲線（アンビエント光源の大きさ： 1.0×1.0 [m²]、遮光球の水平位置： $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$ 一定）

Fig.8 Maximum shadow factor curves (The size of the ambient light is 1.0×1.0 [m²] and the position of the shadow caster is $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$).

点A5直下に設置されたタスク光源およびパーティションによるものであると考えられる。

図8(b)では、 $Z_g=0.9$ [m] において最大影の深さは0.82～0.98と高い値となっている。これは、遮光球がタスク光源からの光とアンビエント光源からの光を遮る部分が重なっているためである。 $Z_g=1.0$ [m] 以上では、遮光球がタスク光源からの光とアンビエント光源からの光を遮る部分が異なり、またタスク光源によって生じた影はアンビエント光源からの光によって緩和され、アンビエント光源によって生じた影はタスク光源からの光によって緩和されるため、最大影の深さは減少している。また、影の深さが0.9以上となるのは、アンビエント光源の位置にはほとんど依存せず、遮光球の高さが $Z_g=0.9$ [m] のときであることがわかる。

着席時の目の高さである $Z_g=1.2$ [m] に着目すると、図8(a)よりアンビエント光源のみの場合では、どのアンビエント光源の位置でも最大影の深さは0.5以上となるが、図8(b)よりタスク・アンビエント照明を採用すると、どのアンビエント光源の位置でも最大影の深さは0.4未満となり、特にアンビエント光源の位置が点A1～点A4では0.3未満の値となる。

最大影の深さの平均を求めたところ、アンビエント光源のみの場合では0.73、タスク・アンビエント照明の場合では0.51であった。このことから、アンビエント光源の位置に関わらず、タスク光源を採用することで最大影の深さを減少できることがわかった。

4.1.2 影の生ずる範囲

図9は、図3で示したアンビエント光源の中心位置（大きさは 1.0×1.0 [m²]）に対する影の深さ0.1以上の面積の割合曲線である。(a)はアンビエント光源のみの場合、(b)はタスク・アンビエント照明の場合であり、いずれも遮光球の高さ Z_g をパラメータとしている。

図9(a)、(b)共に、 $Z_g=1.2$ [m]、 1.3 [m] で大きく特性が変化している。これは、タスク光源、遮光球そして被照面との幾何学的関係によるものであり、タスク光源と遮光球によって生じる影は机上面に存在せず、アンビエント光源と遮光球によって生じた影のみとなるからである。

図9(a)のアンビエント光源のみの場合においては、点A4を境にして点A1～点A3に比べ、パーティションを設置した点A5～点A7の影の範囲が0.5 [%]～14 [%] 広がっている。このことから、遮光球による影の範囲は、アンビエント光源からの光がパーティションに遮光されることで広がることをわかる。

図9(b)より、タスク・アンビエント照明を採用することで、アンビエント光源の位置によらず、遮光球の高さが $Z_g=1.0$ [m]、 1.1 [m] では影の面積の割合は20 [%]～27 [%] となっている。また、遮光球の高さが $Z_g=1.2$ [m] から 1.3 [m] と高くなるに従って影の面積の割合が減少するのは、作業面を机上面に限定することで影が机上面から外れることが原因であると考えられる。もしも無限の範囲の机上面を想定するならば、影の面積はそのまま増大することになる。

着席時の目の高さである $Z_g=1.2$ [m] に着目すると、図9(a)よりアンビエント光源のみの場合では6 [%]～27 [%] の範囲で変化するが、図9(b)よりタスク・アンビエント照明を採用することで4 [%]～22 [%] の範囲で変化する、特にアンビエント光源の位置が点A1～点A4では15 [%] 未満の値となる。

影の深さが0.1以上の面積の割合の平均を求めたところ、アンビエント光源のみの場合、タスク・アンビエント照明の場合ともに

(a) アンビエント光源のみの場合
(a) In the case of only the ambient light.

(b) タスク・アンビエント照明の場合
(b) In the case of task ambient lighting.

図9 影の深さ0.1以上の面積の割合曲線 (アンビエント光源の大きさ: 1.0×1.0 [m²], 遮光球の水平位置: $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$ 一定)
Fig. 9 Curves of the ratio of the areas surrounded by 0.1 of the shadow factor to those of the desk surface (The size of the ambient light is 1.0×1.0 [m²] and the position of the shadow caster is $(X_g, Y_g) = (2.5, 2.5)$).

17 [%] とほぼ等しい結果となった。しかし、影の深さ0.1以上の面積の割合の最大値を求めたところ、アンビエント光源のみの場合では31 [%], タスク・アンビエント照明の場合では27 [%] であることから、タスク光源を採用することで影の生ずる範囲を減少できることがわかった。

4.2 アンビエント光源の大きさを変化させた場合

図10に、アンビエント光源を天井面の中心位置である点A4の $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$ に設置した場合の等しい影の深さ曲線を示す。(a)はアンビエント光源の大きさが 0.3×0.3 [m²] の場合、(b)は 1.8×1.8 [m²] の場合である。また、表2にアンビエント光源の大きさに対する、机上面の最大影の深さ、および影の深さ0.1以上の面積の割合を示す。

図10および表2より、アンビエント光源の大きさが変化することで、最大影の深さ、および影の深さの範囲が変化することがわかる。そこで前節同様に、「最大影の深さ」ならびに「影の深さ0.1以上の面積の割合」を読み取り、検討を行った。

4.2.1 最大影の深さ

図11は、アンビエント光源の大きさ (中心位置は点A4の $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$) に対する最大影の深さ曲線である。(a)はアンビエント光源のみの場合、(b)はタスク・アンビエント照明の場合であり、いずれも遮光球の高さ Z_g をパラメータとしている。

図11(a), (b)共に、 $Z_g = 0.9$ [m] では最大影の深さは $0.96 \sim 0.98$

(a) アンビエント光源の大きさ: 0.3×0.3 [m²] の場合
(a) In the case of the ambient light with the size of 0.3×0.3 [m²].

(b) アンビエント光源の大きさ: 1.8×1.8 [m²] の場合
(b) In the case of the ambient light with the size of 1.8×1.8 [m²].

図10 等しい影の深さ曲線 (アンビエント光源の位置: A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$, 遮光球の位置: $(X_g, Y_g, Z_g) = (2.5, 2.5, 1.0)$)
Fig.10 The iso-shadow factor contours (The position of the ambient light is A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$ and the position of the shadow caster is $(X_g, Y_g, Z_g) = (2.5, 2.5, 1.0)$).

表2 アンビエント光源の大きさに対する最大影の深さならびに影の深さ0.1以上の範囲 (アンビエント光源の位置: A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$, 遮光球の位置: $(X_g, Y_g, Z_g) = (2.5, 2.5, 1.0)$)

Table 2 The maximum shadow factor and the ratio of the areas surrounded by 0.1 of the shadow factor, corresponded to the size of the ambient light (The position of the ambient light is A4 $(X_s, Y_s, Z_s) = (2.5, 2.5, 2.5)$ and the position of the shadow caster is $(X_g, Y_g, Z_g) = (2.5, 2.5, 1.0)$).

アンビエント光源の大きさ	0.3×0.3 [m ²]	1.8×1.8 [m ²]
最大影の深さ	0.90	0.53
影の深さ0.1以上の面積の割合 [%]	25.0	21.0

と高い値となっている。これは、4.1.1項で述べたようにタスク光源によって生じる影とアンビエント光源によって生じる影が重なるためである。 $Z_g = 1.0$ [m] 以上では、タスク光源によって生じた影はアンビエント光源からの光によって、アンビエント光源によって生じた影はタスク光源からの光によってお互いに緩和されるので、最大影の深さは減少している。

図11(a)より、アンビエント光源の大きさが 0.3×0.3 [m²] の場合、最大影の深さは $0.95 \sim 0.97$ の狭い範囲でほとんど変化しないが、 1.8×1.8 [m²] の場合では $0.21 \sim 0.96$ の広い範囲の変化となる。また、最大影の深さが 0.3 未満となるのは、アンビエント光源の大きさが 1.2×1.2 [m²] 以上である。

図11(b)より、タスク・アンビエント照明の場合では、アンビエント光源の大きさが 0.3×0.3 [m²] と小さい場合、最大影の深さは $0.13 \sim 0.99$ の範囲となり、 1.8×1.8 [m²] では $0.14 \sim 0.96$ となることから、アンビエント光源の大きさに依存せず広い範囲とな

(a)アンビエント光源のみの場合
(a) In the case of only the ambient light.

(b)タスク・アンビエント照明の場合
(b) In the case of task ambient lighting.

図11 最大影の深さ曲線 (アンビエント光源の位置: A4 (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5), 遮光球の水平位置: (X_g, Y_g)=(2.5, 2.5)一定)

Fig.11 Maximum shadow factor curves (The position of the ambient light is A4 (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5) and the position of the shadow caster is (X_g, Y_g)=(2.5, 2.5)).

る。これは、タスク光源からの光によってアンビエント光源と遮光球による影を緩和することができるが、タスク光源と遮光球による影も生じてしまうため、最大影の深さの値を取る範囲が広がってしまうものと考えられる。図11(a)のアンビエント光源のみの場合では、アンビエント光源の大きさが 1.5×1.5 [m²] 以上で最大影の深さが0.3未満となることを考えると、タスク光源を採用することで、アンビエント光源が小さい場合でも最大影の深さを和らげることが可能と考えられる。

着席時の目の高さである $Z_g=1.2$ [m] に着目すると、図11(a)よりアンビエント光源のみの場合では、アンビエント光源の大きさが 1.5×1.5 [m²] 以上で最大影の深さが0.3未満となるが、図11(b)よりタスク・アンビエント照明の場合では、アンビエント光源の大きさに関わらず最大影の深さは0.3未満となる。

最大影の深さの平均を求めたところ、アンビエント光源のみの場合では0.71、タスク・アンビエント照明の場合では0.50であることから、アンビエント光源の大きさに関わらず、タスク光源を採用することで最大影の深さを減少できることがわかった。

4.2.2 影の生ずる範囲

図12は、アンビエント光源の大きさ (中心位置は点 A4 の (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5)) に対する影の深さ0.1以上の面積の割合曲線である。(a)はアンビエント光源のみの場合、(b)はタスク・アンビエント照明の場合であり、いずれも遮光球の高さ Z_g をパラメータとしている。

図12(a)より、アンビエント光源の大きさが 0.3×0.3 [m²] では

(a)アンビエント光源のみの場合
(a) In the case of only the ambient light.

(b)タスク・アンビエント照明の場合
(b) In the case of task ambient lighting.

図12 影の深さ0.1以上の面積の割合曲線 (アンビエント光源の位置: A4 (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5), 遮光球の水平位置: (X_g, Y_g)=(2.5, 2.5)一定)

Fig.12 Curves of the ratio of the areas surrounded by 0.1 of the shadow factor to those of the desk surface (The position of the ambient light is A4 (X_s, Y_s, Z_s)=(2.5, 2.5, 2.5) and the position of the shadow caster is (X_g, Y_g)=(2.5, 2.5)).

影の深さ0.1以上の面積の割合が6 [%] ~15 [%] の範囲で変化し、 1.8×1.8 [m²] では12 [%] ~34 [%] の範囲で変化している。これによりアンビエント光源が大きくなると、影の深さ0.1以上の面積の割合も増加することが明らかとなる。ただし $Z_g=1.3$ [m] では、 1.8×1.8 [m²] において影の深さ0.1以上の面積の割合が減少している。これは、面積の割合を求める基準を影の深さ0.1以上としているためであり、もしも基準となる影の深さを低く設定すれば、影の深さの面積の割合は増加することになる。

図12(b)のタスク・アンビエント照明では、 $Z_g=1.2$ [m], 1.3 [m] で大きく特性が変化している。これは、4.1.2項でも述べたように、タスク光源、遮光球そして被照面との幾何学的関係から、 $Z_g=1.2$ [m], 1.3 [m] ではタスク光源と遮光球によって生じる影が机上面に存在せず、アンビエント光源と遮光球によって生じた影のみとなるからである。また、アンビエント光源の大きさに関わらず遮光球の高さが $Z_g=0.9$ [m] ~ 1.1 [m] の範囲において、影の深さ0.1以上の面積の割合が15 [%] ~27 [%] を占める。

着席時の目の高さである $Z_g=1.2$ [m] に着目すると、図12(a)よりアンビエント光源のみの場合では11 [%] ~34 [%] の範囲で変化するが、図12(b)よりタスク光源を採用することで7 [%] ~21 [%] の範囲で変化し、特にアンビエント光源の大きさが 0.3×0.3 [m²] ~ 1.0×1.0 [m²] では15 [%] 未満の値となる。

影の深さが0.1以上の面積の割合の平均を求めたところ、アンビエント光源のみの場合、タスク・アンビエント照明の場合ともに18 [%] となり、ほとんど変化しない結果となった。しかし、影の深さ0.1以上の面積の割合の最大値を求めたところ、アンビエント光源のみの場合では38 [%]、タスク・アンビエント照明の場合では27 [%] であることから、タスク光源を採用することで、影の生ずる範囲を減少できることがわかった。

5. 結言

オフィス照明方式の一つであるタスク・アンビエント照明において、均等拡散性配光を有する正方形アンビエント光源の位置および大きさを変化させた場合の作業面上に生じる影に着目し、モンテカルロ法を用いた照度計算から作業面の照度分布を求めることを試み、さらに「影の深さ」を用いて作業面上の影の特性を求めて、二三の検討を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- (1) 遮光球による照度の低下、すなわち最小照度は、アンビエント光源の大きさに依存しやすく、 1.8×1.8 [m²] のとき最大で70 [lx] ~ 850 [lx] の範囲で変化する。また、アンビエント光源の位置を隅角部へ変化させた場合、パーティションによってさらに光は遮られ、最小照度は減少する。
- (2) 最大影の深さは、アンビエント光源の位置の変化にはあまり依存せず、遮光球の高さに依存しやすい。しかし、パーティションが設置されることで、最大影の深さをとる範囲は広がる。また、影の深さ0.1以上の面積の割合についても、アンビエント光源の位置の変化に関わらず、遮光球の高さ $Z_g = 1.0$ [m] ~ 1.1 [m] の間で20 [%] ~ 27 [%] の値をとる。
- (3) アンビエント光源の大きさが大きくなると、最大影の深さは減少する傾向が見られる。また、影の深さ0.1以上の面積の割合は、アンビエント光源の大きさに関わらず、遮光球の高さ $Z_g = 0.9$ [m] ~ 1.1 [m] の範囲で15 [%] ~ 27 [%] の値をとる。
- (4) タスク光源を採用することで、アンビエント光源のみの場合と比べ、最大影の深さを減少させることができる。また、影の深さ0.1以上の面積の割合について、平均値はほとんど変化しないものの、最大値を減少させることができる。これらのことから、タスク光源を用いることで机上面に生じる影を緩和できるものと考えられる。よって、タスク・アンビエント照明が影を減少させるために有効であることが示された。
- (5) 着席時の目の高さである $Z_g = 1.2$ [m] に着目した場合、今回検討した条件において、最大影の深さが0.3未満、かつ影の深さ0.1以上の面積の割合が15 [%] 未満を満足するために、望ましいアンビエント光源の位置は点A3もしくは点A4で、大きさは 0.6×0.6 [m²] ~ 1.0×1.0 [m²] であることがわかった。

実際の照明設計においては、作業面の必要照度、および影の状態の判断だけでなく、空間の雰囲気も考慮すべきであるので、三次元的測光量の導入についても検討する必要があるものと思われる。

本報告では均等拡散性配光を有する単一のアンビエント光源の場合についてであったが、今後はアンビエント光源を複数個設置

した場合、また配光特性を変化させた場合についても検討を行う予定である。

参 考 文 献

- (1) P. Moon and D. E. Spencer: "Lighting design", Addison-Wesley Press, pp.306-326 (1948).
- (2) 斎藤ほか: 「タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会報告書」, 照明学会, pp.3-5 (1995).
- (3) 松島, 田淵: 「タスク・アンビエント照明の基本的な考え方」, 松下電工技報, 第47号, pp.52-56 (1994).
- (4) 内田, 大谷: 「タスク・アンビエント照明における影の中の照度計算についての検討」, 照学誌, 81-5, pp.449-452 (1997).
- (5) 内田, 大谷: 「タスク・アンビエント照明における影の特性についての基礎的検討」, 照学誌, 82-8A, pp.580-587 (1998).
- (6) 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, 17-8, pp.799-808 (1997).
- (7) K. Nordan: "Shadow and Diffusion in Illuminating Engineering", Sir Isaac Sons, Ltd., London, pp.3-5 (1948).
- (8) P. Moon: "Scientific Basis of Illuminating Engineering", Dover Publications, Inc., New York, pp.507-514 (1936).

(受付日1999年3月30日/採録日1999年8月26日)

うちだ あきら
内田 暁 (正会員)

日本大学生産工学部電気工学科

昭和46年7月12日生まれ。平成9年3月日本大学大学院生産工学研究科博士前期課程電気工学専攻修了。平成9年4月同勤務。現在日本大学助手。主にタスク・アンビエント照明における影の特性に関する研究に従事。平成11年照明学会研究奨励賞受賞。電気学会、電気設備学会、日本照明委員会会員。

おおたに よしひこ
大谷 義彦 (専門会員)

日本大学生産工学部電気工学科

昭和15年3月26日生まれ。昭和37年3月日本大学経営工学科電気工学専攻卒業。昭和37年4月同勤務。現在日本大学教授。工学博士。影の中の照度計算、画像処理装置による照明の評価などの研究に従事。平成9年照明学会賞受賞。電気学会、日本建築学会、電気設備学会会員。日本照明委員会副会長。