

影を考慮した面光源による照度の計算とその表示法

西田 友是* 正会員 中前 栄八郎**

Calculation and Display of Illuminance for Flat Surface Sources Taking Account of Shadows

Tomoyuki Nishita

(Faculty of Engineering, Fukuyama University)

Eihachiro Nakamae (Member)

(Faculty of Engineering, Hiroshima University)

ABSTRACT

In lighting design, shadows are one of the important elements to be considered. This paper proposes a method of illuminance calculation in consideration of shadows caused by several objects (approximated by convex polyhedra) and flat surface sources having arbitrary shapes (approximated by convex polygons). This paper also discusses the depiction method of the calculated illuminance by using the perspective viewed from an arbitrary position.

The advanced points of this paper are as follows:

- (1) Obtaining volumes of penumbræ and umbrae, and calculating the shadow boundaries on each illuminated face prior to illuminance calculation, shorten the computation time.
- (2) Applying to contour integration method for the visible segments of the source's boundary when viewed from the calculating point and for the visible segments of the contour line of polyhedra simplify the calculation of the illuminance in the penumbræ caused by several polyhedra.
- (3) Even though the shape of the light source is basically treated as a convex polygon, using the hypothetical sources or the cover face beneath the source makes it possible to deal with a concave polygon source (including holes).
- (4) The illuminance values are displayed on the perspective image viewed from an arbitrary position, then even laymen can discuss the psychological effects and can easily grasp the distribution of illuminance.

1. はじめに

各種の照明設計において、影は考慮すべき重要な要素である。影は弊害と効用と両者を合わせもっている。すなわち、影は作業面を暗くし、また極端な明暗は作業者の疲労を促進させ、作業の安全上からも好ましくない。一方、適当な影は物体の実体感や奥行き感を増し、特に室内の照明設計上、重要な働きをする。前者に対しては、照度設計の数値データだけでも、ある程度の検討が可能であるが、後者に関しては心理的効果を含めた検討の必要性から、人間が眺めたものと同じような画像で出力されることがきわめて望ましい。筆者らはすでに配光曲線をもった点光源または線光源により照射される物体について、カラー陰影透視図法により

表示する方法を開発し、明視性だけでなく物の見え方などの検討を可能にした¹⁾²⁾。

影を考慮した面光源の照度計算については、すでに研究されているが³⁾、光源あるいは影を生じさせる物体の形状が単純なもの(光源が正方形で、物体が円板)に限定されており、かつ物体数も一つに限定されている。しかし、実際の照明設計に適用するには種々の形状の光源や物体を取り扱うことができ、また任意の位置に存在する複数個の物体による影を考慮する必要がある。

本論文では、任意の形状(凸多角形で近似)の完全拡散面光源を対象とし、複数個の物体(凸多面体の集合)により生じる影を考慮した照度計算法を提案する。すなわち、半影や本影を生じさせる空間の決定法、影(特に半影)の領域中での照度計算法について論じる。また計算機による出力例を示して提案手法の有効性を示す。

* 福山大学工学部電子電気工学科

** 広島大学工学部第二類(電気系)

本論文の一部は、昭和57年度照明学会全国大会にて発表したものである。

2. 影を考慮した照度計算

影を考慮した照度計算を効率よく行なうには、各点の照度計算の前に、照度計算をしようとする被照面上の影の有無と被照面上の半影および本影の領域をあらかじめ求めておくことが有効である。ここで半影の領域とは光源の一部の光が照射する領域であり、本影の領域は光が全く当たらない領域をいう。

そこで面光源と任意の物体による影の空間を明らかにし、その空間を用いて被照面上の影を求める方法を提案し、影中の照度計算法について論じる。

2.1 準備

(1) 物体を構成する面は、物体外部からみて右回りの頂点列で定義され、その法線ベクトルは物体外部を向くものとする。

(2) 面と任意の点との位置関係を判定する関数F、および面と物体（または面）との位置関係を判定する関数Hを次のように定義する。

頂点 $P_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ により構成される n 多角形の面 S_f と任意の点 $Q (X, Y, Z)$ との関係は次式で判定される*。

$$F_{S_f}(Q) = (P_1 - P_2) \times (P_3 - P_2) \cdot (Q - P_1) \\ = a_f \cdot X + b_f \cdot Y + c_f \cdot Z + d_f \dots \dots \dots (1)$$

ここで (a_f, b_f, c_f) は面 S_f の法線ベクトルである。面 S_f の法線ベクトルが向いている側の半空間を正領域、他の半空間を負領域とすると、 Q は $F_{S_f}(Q) > 0$ のとき正領域に存在し、 $F_{S_f}(Q) < 0$ のとき負領域に存在し、 $F_{S_f}(Q) = 0$ のとき面 S_f を含む平面上に存在する。

次に、頂点 $P_k (k=1, 2, \dots, n)$ によりなる物体 V (または面 S) を考えると、 H は次式により定義される。

$$H(S_f, V) = \begin{cases} 1 : F_{S_f}(P_k) \geq 0 \text{ for all } P_k \in V \\ -1 : F_{S_f}(P_k) \leq 0 \text{ for all } P_k \in V \dots \dots \dots (2) \\ 0 : \text{else} \end{cases}$$

ここで、 $H(S_f, V)$ が 1, -1, 0 はそれぞれ、 V が S_f の正領域に存在することを、 S_f の負領域に存在することを、また S_f を含む平面と交差することを意味する。

(3) 光源は m 個の頂点よりなる凸多角形とし、光の照射する方向は面の負領域側とする。すなわち、被照点からみて光源の構成頂点は必ず左回りとなる。

(4) 物体の輪郭線とは、ある点 Q から凸多面体 V を眺めた際の輪郭であり次のように定義する。 V の構成面のうち Q を正領域とする面と Q を負領域とする面との稜線のつながりであり、 Q 点から見て右回りの頂点列で定義する（輪郭線の求め方は文献⁴⁾ 参照）。なお輪郭線は Q 点から見て必ず凸多角形となる。

(5) 影の処理および照度計算を容易にするため、被照面と面光源との位置関係により、物体構成面を以下のように分類する。

頂点 $Q_l (l=1, 2, \dots, m)$ よりなる面光源 S_e に対する面 S_f を、(2)式を用いて次の3種類に分類する。

$$\left. \begin{aligned} \text{タイプ a} : H(S_f, S_e) = 1, H(S_e, S_f) \neq -1 \\ \text{タイプ b} : H(S_f, S_e) = 0, H(S_e, S_f) \neq -1 \\ \text{タイプ c} : H(S_f, S_e) = -1 \text{ または } H(S_e, S_f) = -1 \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ここで、タイプ a の面は、光源の全領域の光によりその面の全部

または一部が照射される面であり、タイプ b の面は、光源の一部の領域の光により、その面の全部または一部が照射される面であり、またタイプ c の面は、光が全く当たらない陰の面である。したがって、タイプ c の面は陰なので照度計算をする必要はなく、タイプ a および b の面は、他の物体による影を考慮して照度計算を行なう必要がある。またタイプ b の面は S_f を含む平面で光源を切断したもの (S_f に対して正領域側) を、計算上の新たな光源とみなして照度計算を行えばよい。

2.2 影を生じる空間

面光源の構成頂点 Q_l から見た任意の凸多面体 V の輪郭線を C_l とし、 V の構成頂点 $P_k (k=1, 2, \dots, n; n$ は頂点数) のうち、 C_l を構成する頂点を $P_{l,i} (i=1, 2, \dots, n_l; n_l$ は輪郭線構成頂点数) と記述することにする。ここで C_l は Q_l から見て右回りの凸多角形となる。

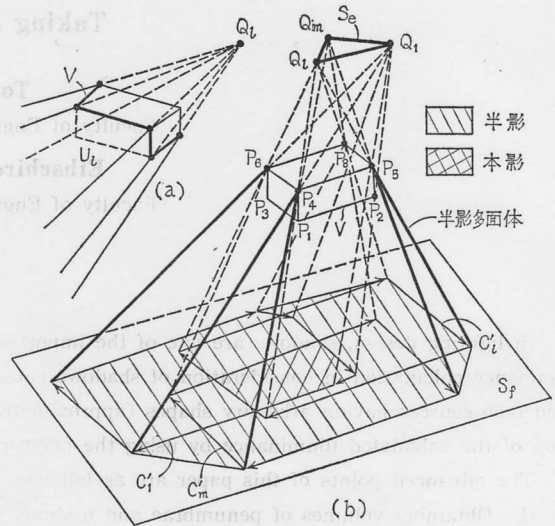


図1 半影および本影の領域

図1に示すように、 C_l を平面 S_f に投影した輪郭線 C'_l を考える。本影はすべての $C'_l (l=1, 2, \dots, m)$ に囲まれた共通部分の凸多角形であり、半影の領域はすべての $C'_l (l=1, 2, \dots, m)$ を囲む最小の凸多角形で、かつ本影以外の部分である。この考え方を三次元空間上に拡張して考える。

いま、光源の一頂点 Q_l と凸多面体 V による影の空間 U_l を考える。この U_l は、 C_l の隣接頂点 $P_{l,i}, P_{l,i+1} (i=1, 2, \dots, n_l; n_l+1=1)$ と Q_l を含む平面（法線ベクトルは U_l の外部を向くものとする）、および V の構成面中で法線ベクトルが Q_l を向くもの（すなわち、その面の正領域に Q_l が存在するもの）により囲まれる空間（閉じてない凸空間）である。

次に、面光源 S_e と凸多面体 V による影の空間を考える。本影を生じさせる空間はすべての $U_l (l=1, 2, \dots, m)$ の共通部分であり、これを本影多面体と呼ぶ。またすべての $U_l (l=1, 2, \dots, m)$ を囲む最小の凸多面体を半影多面体とすると、半影を生じさせる空間は半影多面体内で本影多面体以外の部分である。

光源 S_e の正領域に凸多面体 V が存在する場合 ($H(S_e, V) = 1$) は、 V に光が全く当たらないので、影を生じる空間は定義できない。この場合を除き影を生じる空間は次のように決定される。

光源の一頂点 Q_l と凸多面体 V の稜線よりなる面を \hat{S} 、 V の一頂点と光源の稜線よりなる面を S 、また V の構成面を \hat{S} の記号で示すと、半影多面体および本影を構成する面はそれぞれ \hat{S}, S, \hat{S}

* ベクトル P_2P_1 と P_2P_3 との外積により面の法線ベクトルが求まり、面上の一点 (この場合 P_1) から点 Q へのベクトルと面の法線ベクトルとの内積の符号により Q が面のどちら側の半空間に属するか判定できる。なお、(1)式の a_f, b_f, c_f, d_f は S_f を含む面の方程式の係数に等しい。

面のうち表1を満たす面である。ただし $H(S_e, V)=0$ のときは、面光源 S_e を含む平面が V と交差する。この場合には、 V の一部にしか光が当たらない。したがって、この場合は表1により得られる半影多面体および本影多面体のうち、 S_e の負領域となる空間だけをそれぞれ半影多面体および本影多面体とする。

表1 半影多面体および本影多面体を構成する面

面の種類	半影多面体	本影多面体
\hat{S}	$H(\hat{S}, V)=-1, H(\hat{S}, S_e)=1$	$H(\hat{S}, V)=-1, H(\hat{S}, S_e)=-1$
\bar{S}	$H(\bar{S}, V)=-1$	
\check{S}	$H(\check{S}, S_e)=1$	$H(\check{S}, S_e)=-1$

ここで、 $H(\hat{S}, V)=-1$ を満たす面は、光源の一頂点 Q_i から V を見た際の V の輪郭線を構成する稜線と、 Q_i により構成される面である。したがって、まず光源の各頂点に対する輪郭線を求め、それらの輪郭線と光源の各頂点よりなる多角錐を考え、その中から $H(\hat{S}, S_e)=1$ となる面を抽出すれば、半影多面体の構成面が求まる。また、 $H(\hat{S}, S_e)=-1$ となる面を抽出すれば本影多面体の構成面が得られる。一方、 $H(\bar{S}, V)=-1$ を満たす面は、 V の一頂点 P_k から光源 S_e を見た際の S_e の輪郭線の構成線分 $Q_i Q_{i+1}$ と P_k よりなる面、かつ Q_i から V を見た際の V の輪郭線と、 Q_{i+1} から V を見た際の V の輪郭線との共通頂点が P_k となる面である ($H(S_e, V)=-1$ の場合、この面は必ず m 個存在する)。したがって、 $H(\bar{S}, V)=-1$ の条件をチェックしなくても、二つの輪郭線の共通頂点を抽出すればよい。

また \check{S} で表1を満たす面は、前述の面の分類 (3式参照) を利用して求まる。すなわち、半影多面体の構成面はタイプ a の面に、本影多面体の構成面はタイプ a とタイプ b の面に対応する。

2.3 面上の影の領域

光源や物体は任意の位置に存在する。したがって、まずどの物体による影が計算しようとする被照面上に生じるかを求める必要がある。これは前述の半影多面体および本影多面体を用いて知ることができる。すなわち、これらの多面体と一部でも交差する面上には影が生じる。

半影多面体は必ず本影多面体を包含しているから、まず半影多面体と面との交差判定を行なう。交差する場合には少なくとも半影の領域が存在する。この場合には、さらに本影多面体と面との交差判定を行ない、本影の領域が存在するかどうかを調べる。なお影の存否の判定の必要な面は、前述のタイプ a および b の面 (3式参照) である。

光源 S_e と凸多面体による影が、被照面 S_f 上に落ちるか否かの判定法について述べる。

光源 S_e と凸多面体 V による半影多面体を \bar{U} とし、 \bar{U} の構成面を $\bar{S}_p (p=1, 2, \dots)$ とすると、次の(4)、(5)、(6)式が同時に成立する場合にだけ S_f 上に影を生じる可能性がある。

$$H(S_e, V) \neq 1 \dots\dots\dots(4)$$

$$H(S_f, V) \neq -1 \dots\dots\dots(5)$$

$$H(\bar{S}_p, S_f) \neq 1 \text{ for all } \bar{S}_p \in \bar{U} \dots\dots\dots(6)$$

ここで、(4)式は V に光が当たる可能性があることを、(5)式は S_f の負領域に存在する凸多面体による影は存在しないことを、(6)式は半影多面体と S_f が交差する可能性があることを示している。

半影の領域は、半影多面体と面との交差部分として求まる。この影の領域の境界を構成する頂点は、表1中の \bar{S}, \hat{S} に属す面同志の交線 (たとえば、図1中の $Q_1 Q_4, Q_1 Q_6$ などを含む直線) と面 S_f との交点として簡単に求まる。

2.4 照度計算

まず、単一光源の場合について、どの物体によっても影にされない点の照度と、一つ以上の物体によって影となる領域中の照度計算について述べる。その後、光源が複数の場合の照度についての検討を加える。なお光源は完全拡散面と考え、照度 (直射照度だけ) の計算は境界積分法を用いる。

(1) 影のない領域の照度計算

図2に示すように、輝度 L の m 角形光源を考える。この場合、面 S_f 上の被照点 P の照度は次式により求めることができる^{5)*}。

$$E = \frac{L}{2} \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot \cos \delta_i \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 β_i は PQ_i, PQ_{i+1} の張る角、 δ_i は P, Q_i, Q_{i+1} よりなる三角形と被照面となす角である。なお $\cos \delta_i$ は P, Q_i, Q_{i+1} よりなる面の法線ベクトルと S_f の法線ベクトルの内積で求まる。

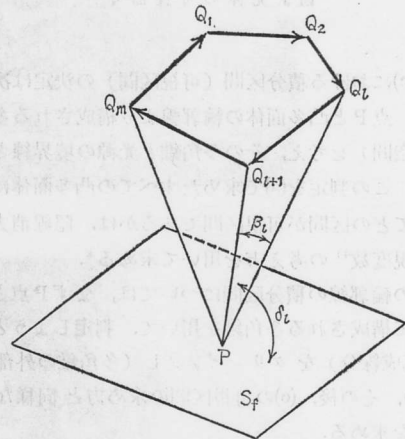


図2 境界積分法による照度計算

被照面 S_f が前述のタイプ b の面 (3式参照) の場合には、 S_f を含む平面で光源を切断し、 S_f の正領域側の光源を新たな計算上の光源とみなして(7)式を適用する。

(2) 影の領域内の照度計算

本影については簡単に照度が求まる。すなわち複数の物体による影を考える場合、被照点が少なくとも一つの凸多面体による本影中に含まれるなら、その点の照度は0である。

一方、半影中の照度はやや複雑となる。半影は被照点 P から光源を見た際、光源の一部が物体により隠される場合に生じる。したがって、点 P から見た際の光源の可視部分を新たに計算上の光源とみなして(7)式を適用する必要がある。

複数の物体により生じた半影中の照度は、以下の手順により求めることができる。

- (a) 点 P を半影の領域に含むすべての凸多面体を求める。
- (b) 点 P からそれらの凸多面体を見た際の、その輪郭線を求める。
- (c) 点 P から見た際の光源の境界の可視区間 (たとえば、図3中の $Q_i Q_{i+1}$) について左回りに境界積分を行なう。
- (d) 各凸多面体の輪郭線のうち、光源の領域内で他の凸多面体の輪郭線に囲まれていない区間 (たとえば、図3中の $P_i P_{i+1}$) について右回りに境界積分を行なう。

以上の(c)、(d)における境界積分値の総和を求めると、閉じた領域 (図中の斜線部) を積分したことに等しくなり、点 P の照度が

* 処理時間を短縮するためには、光源が被照面に平行な場合、傾く場合、垂直な場合に分類し、文獻⁶⁾の方法を用いると効率が良い。

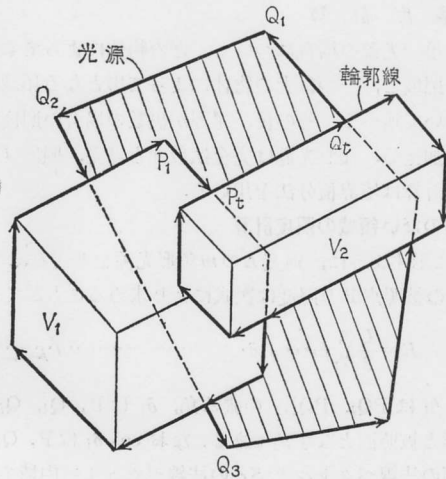


図3 光源の可視部分

求まる。

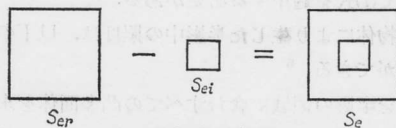
ここで、(c)における積分区間(可視区間)の決定は次の方法により求める。点Pと凸多面体の輪郭線より構成される多角錐(底面のない凸空間)を考え、その多角錐と光源の境界線との交差判定を行なう。この判定を(a)で求めたすべての凸多面体について行なう。そしてどの区間が可視区間であるかは、隠線消去法で用いられる不可視度数⁴⁾の考え方をを用いて求める*。

また、(d)の輪郭線の積分区間については、まずP点と光源の境界線によって構成される多角錐を用いて、判定しようとする線分(輪郭線の構成線分)をクリッピングし(多角錐の外部の線分を切り捨てる)、その後、(c)の可視区間の求め方と同様な方法により積分区間を求める。

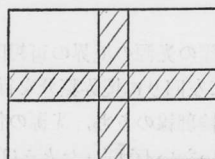
(3) 複数光源および凹多角形光源に対する照度

複線光源に対しては、当然ながら各光源に対する照度の和を求めればよい。一方、凹多角形の光源の場合は次の三つのいずれかの方法により処理する。第一の方法としては、凹多角形は必ず凸多角形の集合として表現できるので、複数個の凸多角形光源に分割し、それぞれによる照度の和として求める。第二の方法としては、仮想的な虚の光源を考え凸多角形の光源を虚の凸多角形の光源でくり抜くことにより凹多角形の光源を実現する。すなわち図4(a)に示すように、光源 S_{er} による照度から光源 S_{ei} による照度を減じることにより凹多角形の光源による照度が得られる。

第三の方法は、図4の S_{ei} に相当する遮へい板を S_{er} の直下に



(a) 虚の光源



(b) 光源の複数化

図4 凹多角形光源および複数光源

* 簡単にいえば、判定しようとする線分に沿って進み、輪郭線に進入する交点では不可視度数に1を加え、輪郭線から脱出する交点では不可視度数を1減じると、不可視度数が0の部分が可視区間となる。

置く方法である。この方法を用いることにより複数光源を単一光源として処理できる場合もある。すなわち図4(b)のように遮へい板(図中斜線部)を置くことにより、複数光源(たとえば4光源)とすることができる。

3. 透視図表現法

照度計算の結果は、照明設計の結果をより直観的に理解しやすくするために透視図で表現する。ここで透視図は、任意の位置から見た被照体をカラー陰影表示するものである。この透視図は、見つめている点(注視点)、観察者の目の位置(視点)、視野角を与えることにより求められる。また見えない面を消去し、可視面だけを表示する隠面消去処理が必要であるが、これには文献⁷⁾の方法を用いる。

透視図上の各点の照度は、透視面をテレビと同様に上から下へと走査し、走査線上の各点について照度を求め、一走査線分の計算が終わるとカラーディスプレイ装置に表示する。

以下に、透視図表現の手順を示す。

(a) 物体データ、視点、注視点、視野角および光源の入力。

(b) 各物体の頂点を透視面上へ座標変換し、透視面上で互いに交差する物体については前後関係を求める。

(c) 各物体の可視面について、光源との位置関係に基づいて面を分類し(2.1節参照)、影を求める必要がある面か、全く光の当たらない面かを求める。

(d) 各物体について、半影および本影を生じさせる空間を求める(2.2節参照)。

(e) 各物体の可視面について、その面上に影を落とす物体を抽出し、面上の影の領域を求める(2.3節参照)。影の境界を構成する頂点は透視面上の座標系に変換し、その頂点列を記憶する。

(f) 透視面上を上から下へと走査し、各走査線ごとに可視面上の影の区間を求め各点の照度計算を行なう。この際、透視面上の各点の照度を求めるには、ステップ(e)で求めた影の領域と走査線との交点から、走査線上の影の区間(本影、半影について)を求め、この影の区間を利用して計算点に影を落とす物体を知る方法を用いる。なおグラフィックディスプレイ装置に出力する情報は、R、G、B各色成分の値(たとえば、最高256レベル)である。したがって、求めた照度にその面の色(R、G、Bの各成分の反射係数で定義)を乗じたものを色情報(輝度に相当)として出力する。

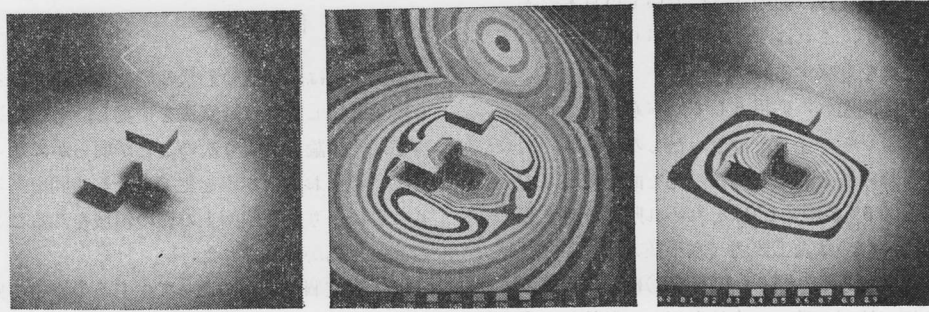
ここで、視点の位置が変化する場合(b)~(f)を繰り返し、ある視点から見た際の光源の位置が変化する場合、(c)~(f)を繰り返す。

4. 適用例

図5に提案手法の適用例を示す。

図5(a)~(c)は、単純な形状の物体と傾いた長方形光源により生じる影を考慮した照度計算の結果である。(b)は各点の照度値を把握しやすくするため、色分けされた等照度分布ベルトを透視図上に重畳して表示したものである(等照度分布ベルトの表示法は文献¹⁾を参照)。また(c)は影の深さ³⁾⁸⁾(影によって失われた照度と影のないときの照度の比)を示している。この影の深さの表示により半影(0<影の深さ<1)と本影(影の深さ=1)の領域が容易に区別でき、半影の程度もはっきり知ることができる。

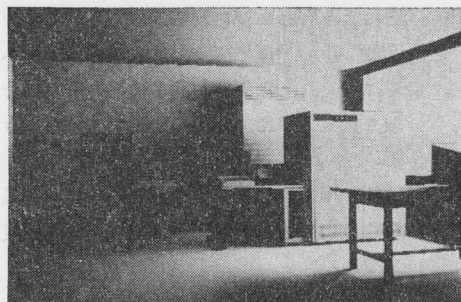
なお照度分布、影の深さを示す画像下部の色見本の照度、影の深



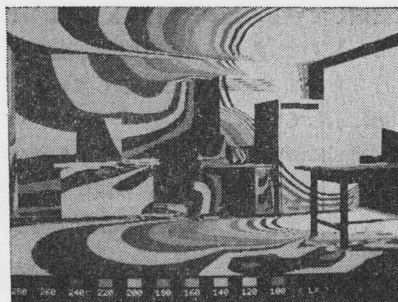
(a)

(b)

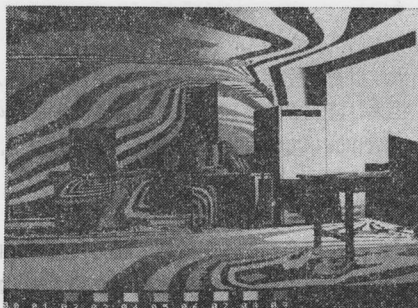
(c)



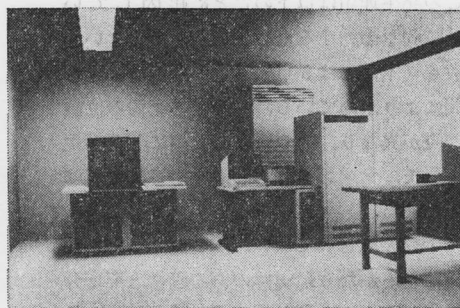
(d)



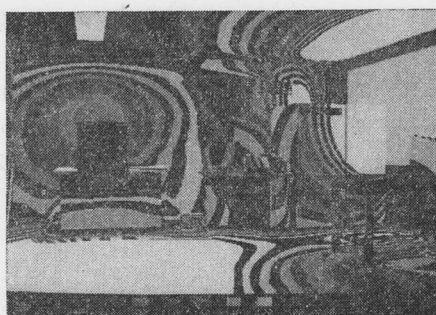
(e)



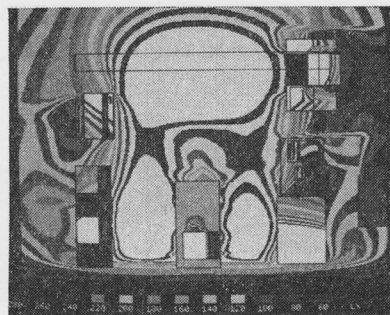
(f)



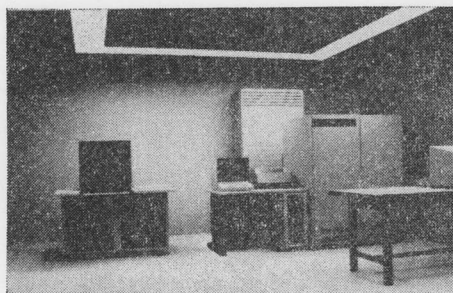
(g)



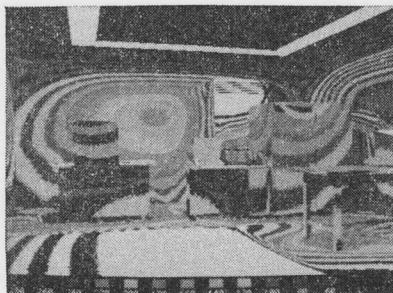
(h)



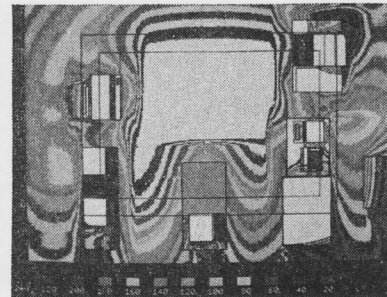
(i)



(j)



(k)



(l)

図5 適用例

さは共に最小値を示す(たとえば、影の深さにおいて色見本の赤色の下に0.0と示してあるが、これは赤色の領域が0.0~0.05の影の深さを示していることを意味する)。

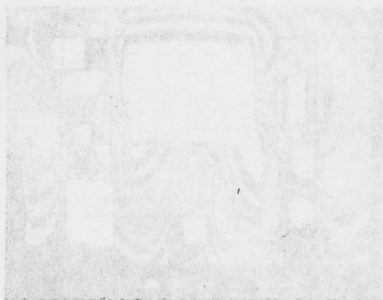
図5(d)~(l)は、実際問題への応用として、本適用例を計算した計算機室の照明シミュレーションを行なったものである。図5(d)~(f)は、採光計算の例として窓からの光を面光源として処理した例である。また図5(e), (f)はそれぞれ照度分布と影の深さを示す。図5(g)~(i)は人工照明(水平長方形光源)と採光照明を組み合わせた例である。図5(j)~(l)は凹の形状の光源の例であり、2.4(3)で述べた第二の方法を用いて計算したものである。すなわちサイズの大きい長方形光源とサイズの小さい虚の光源を組み合わせて処理している。なお、図5(h), (k)は透視図上に照度分布を示したものであり、(i), (l)は作業面の照度、および部屋全体の照度分布を知るため平面図で示している。なお光源の位置も平面図上に示している。

計算機室の透視図は、平面図において左上のコーナーからシステムコンソール付近を眺めたものであり、床上の影の観察を妨げる手前のラインプリンタと、端末ディスプレイ装置は便宜上表示していない。

複数光源の場合(特に、図5(k), (l)の等照度ベルトの境界部に微小なゆらぎを生じている。この程度のゆらぎは実用上差し支えないものであるが、この発生理由は以下のことに起因している。本計算例では、計算時間を節約するため照度変化の大きい面や影の境界部を除き、数点(本例では5点)おきに照度計算を行ない、中間点は線形補間により求めている。そのため光源の位置に依存してサンプリング点が異なり、その合成した値に誤差が生じるためである。したがって、サンプリング間隔を小さくすればこの現象は消滅するものである。

本稿は白黒表示なので十分表現されていないが、これらの例で明白のように、半影の効果によるかなり現実感のある画像と照度分布図により、照明の知識がない人でも容易に照明効果について検討することが可能となった。

なお、本計算に使用した計算機およびカラーグラフィック装置はTOSBAC DS-600、およびグラフィカM508(512×512画素、R, G, B各256レベル)である。



5. おわりに

本論文では、任意の形状の完全拡散面光源と複数個の物体による影を考慮した照度計算法を提案し、その結果の表現法について論じた。本論文により次のことが明らかになった。

(1) 半影および本影を生じさせる空間をあらかじめ計算しておくことにより、被照面上の影の領域を知ることができ、照度計算の高能率化が達成された。

(2) 複数個の物体によって生じる半影中の照度計算は、被照点から見た際の光源の境界の可視区間、および光源の領域内に存在する物体の輪郭線の可視区間に対して、境界積分法を適用することにより容易に得られる。

(3) 虚の光源の概念の導入または、遮へい平板を光源のすぐ近くに置くことにより、凹多角形(穴のあいたものを含む)の光源も取り扱えるので、任意の形状の光源を取り扱うことが可能である。

(4) 照度計算の結果を任意の位置から眺めた透視図として表現できるので、心理的效果の検討および照度分布の直観的な把握ができる。

なお、今後の課題としては影を考慮した間接照度の計算方法、および光源が多面体光源の場合の照度計算法の開発があげられる。

本研究において、プログラムの作成などで協力いただいた福山大学計算機室藤井克典氏、データ作成に協力いただいた広島大学生大林隆司君に感謝します。なお、本研究の一部は放送文化基金(昭和56年度・前期)の援助によるものであることを付記する。

参考文献

- (1) 西田, 中前: 照学誌 66-4 (昭57) 150
- (2) 西田, 中前: 情報処理学会論文誌 23-4 (昭57) 373
- (3) 大谷, 藤原: 照学誌 64-4 (昭55) 183
- (4) 中前, 西田: 情報処理 13-4 (昭47) 239
- (5) 照明学会編: 照明ハンドブック (昭53) 291
- (6) 神坂: 照学誌 66-4 (昭57) 107
- (7) 西田, 中前: 情報処理 15-1 (昭49) 18
- (8) 藤原, 大谷: 照学誌 58-2 (昭49) 49

(受付1983年4月28日)