

複数光源による照度分布のカラー透視図表現法

西田 友是* 正会員 中前 栄八郎**

A Color Perspective Expression of Illuminance Distribution Illuminated by Multi-point Sources

Tomoyuki Nishita

(Faculty of Engineering, Fukuyama University)

Eihachiro Nakamae (Member)

(Faculty of Engineering, Hiroshima University)

ABSTRACT

This paper proposes the following two techniques for lighting design; color-shaded perspectives of three dimensional objects, which are lighted up with several different types of light sources, and isolux diagrams, which are expressed by color belts consisting of different colors depending on illuminance levels, overlapped with the perspectives.

The advanced points of this paper are as follows:

Firstly, displaying perspectives observed from arbitrary viewpoints, designers can easily examine luminous intensity, color, and arrangement of light sources in order to search the optimal lighting effects; that is, the designers can closely watch the whole or local views by moving their viewpoint and center of vision. Secondly, by overlapping an isolux diagram with color belts and the perspectives, the designers can easily grasp the illuminance distribution of every part.

Futhermore, by picking an arbitrary part from the picture, extending it into the whole size, and subdividing each isolux belt, the designers can get more precise data.

1. ま え が き

最近、計算機援助による建築物の設計が盛んに行なわれるようになってきた。これと合わせて照明設計についても計算機がよく利用されている。しかし屋内および屋外の照明効果について、任意の位置から見たカラー陰影表示による透視図が描かれれば、照明の状態を直観的に理解することができ、最適な照度分布を得るための光源の種類（光度、配光曲線、色）、および配置などの検討が容易となりきわめて有効であろう。

照度計算の結果を視覚的に表現する方法として、ラインプリンタ、X-Yプロッタ、またはCRTに等照度曲線を表示する方法^{1)~3)}が開発されているが、これらは一つの作業面上の分布を表示するもので、部屋全体の照度分布の様子までは透視図のように直観的には表現できない。明視性だけでなく、快適性、物の見え方などの環境をも含めて検討をするには、実際に人間の目に見える様子、すなわち透視図の形で表現することが有効である。しかしこのカラー表示された透視図だけでは、各部の照度を数値的に

把握することができない。そこで、この透視図上に照度分布を重ねて表示すれば照明設計は有効であろう。

本論文では、複数の異色の光源により照らし出された被照体の透視図をカラーCRT上に陰影を付けて表示し、その照明効果を検討する方法、およびその透視図上に色分けされたベルト状の等照度分布曲線を表示し、最適な照度分布を検討する方法を提案する。

物体を透視図上に表示する問題⁴⁾においては、他の物体に隠れて見えない部分を消去して表示する問題があるが、本論文では、基本的には筆者らがすでに開発している平行光線による三次元物体の濃淡表示⁵⁾（モノカラー）の考え方を使用する。

この手法は、被照体を凸多面体の集合として取り扱い、その凸多面体の輪郭線を用いることにより、影の処理を効率的に行なう方法である。なお本論文における照度計算には、任意の色の軸対称点光源の直射照度について求め、正反射は考慮せず、また相互反射については計算せず適当な定数を与えるものとする。

2. 準備および定義

文献(6)と重複するものがあるが、次章以降の説明を容易にするため、次の準備と定義を与える。

* 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55年度電気学会全国大会にて発表したものである。

(1) 被 照 体

本論文で取り扱う被照体は、凸多面体（凸平面も含む）の集合であり、各頂点の三次元座標および各面を構成する頂点番号で与える。ただし、面は物体外部から見て右回りの頂点番号列で与え、面の法線ベクトルは物体外部を向くものとする。

(2) 物 体 の 色

物体の構成面は完全拡散面とし、面の色は赤色光、緑色光、青色光に対する反射率 $C(\rho_r, \rho_g, \rho_b)$ により与える。

(3) 光 源

光源は軸対称光源とし、光中心の座標、各色成分の光度 (I_r, I_g, I_b)、灯軸の方向および配光特性により与える。

(4) 面 の 向 き

面の法線ベクトルが、視点（または光源）を向いているものを視点（または光源）に対する表の面、その他の面を裏の面とする。

(5) 輪郭線および輪郭面

表と裏の面との稜線を輪郭線分、そのつながりを輪郭線とする。輪郭線は表の面の頂点番号に従うことにより、視点（または光源）から見て右回りの凸多角形となる。また、視点（または光源）と輪郭線分により構成される面を輪郭面とする。

(6) 視 野

視野は図1に示しような四角錐の内部とし、注視点（見つめる点）、視点および水平・垂直方向の視野角 (θ_x, θ_y) により与えられる。この底面をもたず、かつ閉じてない空間を視野ピラミッドと呼ぶ。

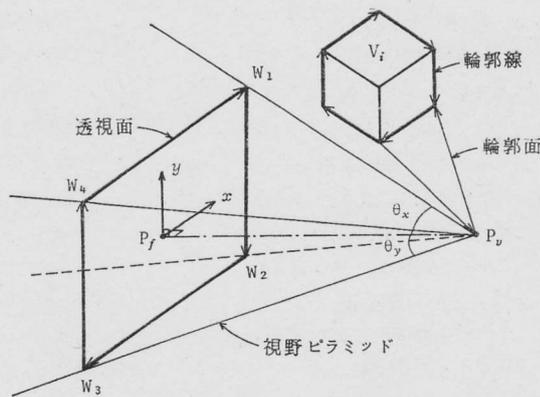


図1 視野ピラミッドと凸多面体の関係

(7) 透 視 面

二つの透視面を用いる。すなわち視点 P_v に対しては、注視点 P_f を含み、視線 $P_v P_f$ に垂直な平面とし、点光源に対しては、指向点（灯軸上の一点）を含み灯軸に垂直な平面とする。

(8) 陰 影

物体自身によりさえぎられて、光の当たらない面を陰の面、他の物体により光をさえぎられる部分を影と呼ぶ。

(9) 凸多面体の分類

視点（または光源）に対して、すべての頂点が前方（付2式の分母が正）にあるものを前方物体、すべての頂点が後方にあるものを後方物体、両方にまたがるものを一部後方物体と呼ぶ。

3. 影の計算および被照体のカラー透視図表示法

被照体を任意の位置から見た場合の透視図に、陰影を付けて表示する方法について述べる。

この透視画像を得るためには、視野内の各面の照度計算の前に影を求める処理および可視面を求める処理が必要である。影および面の可視性に関しては次の性質がある。

(1) 対象とする面が、陰の面か否かは光源に対するその面の向きにより決まる。また、見える可能性のある面か否かは視点に対する向きにより決定される。

(2) 凸多面体同志が重なって一部が隠されるか否かは、視点に対する凸多面体の輪郭線同志が交差するか否かで決まる。

(3) 凸多面体上に影を生じるか否かは、光源に対する凸多面体の輪郭線同志が交差するかどうかで決まる。その影の領域は光源に近いほうの凸多面体の輪郭線により決定される。

(4) 表示する凸多面体（影を含む）は、視野内のものだけではないが、影を生じさせる凸多面体は視野外のものも含まれる。

以上の性質を利用し、被照体の陰影表示を次の手順により行う。

(1) 物体、視点、注視点、光源など必要なデータを入力する。

(2) 視野内の凸多面体を抽出し、その各頂点を透視面上へ座標変換（付1, 2式参照）する。

(3) 視点に対する輪郭線を用いて凸多面体同志の交差判定を行ない、交差するものについては視点に対する前後関係を求める。

(4) 影を求める処理に必要な凸多面体を抽出し、陰となる面を求め（付3式参照）、その各頂点を光源に対する透視面上へ座標変換する。

(5) 光源に対する輪郭線を用いて凸多面体同志の交差判定を行ない、交差するものについてはその影の領域を求める。

(5) 視点に対する透視面上を、テレビの走査と同様に上から下へと走査する。その際、各走査線上の凸多面体を抽出し隠面消去を行ない、可視面上の領域を求める。次に走査線上の各点の照度および表示する色を求め CRT へ出力する。

ここで(4)、(5)の処理は光源数だけ繰り返される。(2)は(4)と、また(3)は(5)のほぼ同様な考え方で処理できるから、本論文では(4)~(6)の処理について説明する。

3.1 影の求め方

視点に対する透視面と同様に、光源に対しても仮想的な透視面を考え、その透視面上に投影された凸多面体の輪郭線同志が交差しているか否かにより影の有無が判定できる。しかし点光源を考える場合には、平行光線と異なり、すべての頂点が光源に対する透視面に投影できるとは限らない。すなわち光源より後方の頂点を含む凸多面体（後方物体および一部後方物体）については、三次元空間上で輪郭線同志の交差判定をする必要がある。

この影を求める処理は、凸多面体数の二乗に比例する判定回数が必要であり、凸多面体数が大きくなると処理時間も膨大となる。以下にこの判定回数を減少させる方法を述べ、次に影の求め方について述べる。

3.1.1 影を求める処理に必要な物体の抽出

前述の性質(4)で述べたように、影の表示を要する物体は視野内のものに限られるが、影を生じさせる物体は視野外のものも含まれる。一方、視野内の被照体でも、ある光源に対する照度がきわめて低い場合がある。すなわち光源は一般に反射がさなどによりその投光範囲が限られているものが多い。また照度の逆二乗則により光源からある程度遠い被照面の照度はきわめて低くなる。したがって、このような光源に対する影響を無視しても差し支えない領域が存在する。そのような領域内の被照面に対しては、これ

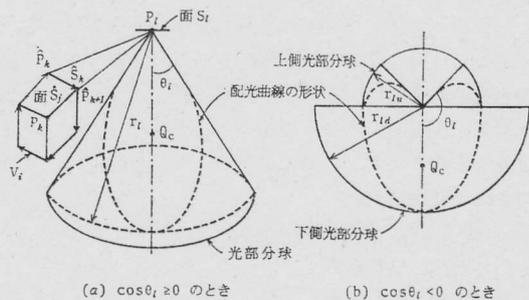


図2 光部分球と配光曲線

らの光源に対する被照面の照度計算、およびこの光をさえぎる物体による影の計算は不要である。この計算の不要な領域は、図2中の点線で示す光源の配光曲線に比例した大きさをもつ空間以外であるが、処理を簡単にするため、図2に示すような光部分球を考える。この光部分球は光中心 P_i 、指向点 Q_c 、ビームの開き θ_i 、および光の到達距離 r_i (最大光度およびディスプレイ装置の表現できる輝度レベルの能力により決定される) により決まる。 $\theta_i > 90^\circ$ の場合は上下の光の差を考慮し、それぞれ、半径 r_{lu} および r_{ld} の上下二つの光部分球として取り扱う (図(b)参照)。

一部でも、光部分球に含まれる凸多面体は影を生じる可能性がある。以下にこの抽出方法を述べる。

図2に示すように、 P_i を含み、灯軸 $P_i Q_c$ を法線ベクトルとする面を S_i 、凸多面体の構成頂点を P_k 、その中で輪郭線を構成する頂点を \hat{P}_k 、 $[P_i, \hat{P}_k, \hat{P}_{k+1}]$ により構成される輪郭面を \hat{S}_k 、 P_i に対する V_i 中の表の面を \hat{S}_j とし、付3式を用いると、 $\cos \theta_i \geq 0$ の場合、次の2条件のいずれも満たさない凸多面体を抽出する。

(1) 少なくとも、1個の \hat{S}_k に対して $F\hat{S}_k(Q_c)/r_c > \sin \theta_i$ であるか、またはすべての P_k に対して $F\hat{S}_i(P_k) \leq 0$ である。

(2) $F\hat{S}_j(P_k) > r_i$ となる \hat{S}_j が少なくとも1個存在する。また、 $\cos \theta_i < 0$ の場合、次の2条件のいずれも満たさない凸多面体を抽出する。

(1) すべての P_k に対して $F\hat{S}_i(P_k)/r_k < \cos \theta_i$ である。

(2) すべての P_k に対して $F\hat{S}_i(P_k) \leq 0$ なら、 $F\hat{S}_j(P_i) > 0$ となる \hat{S}_j が少なくとも1個存在する。それ以外なら $F\hat{S}_j(P_i) > r_{ia}$ となる \hat{S}_j が少なくとも1個存在する。

ただし、 r_c 、 r_k はそれぞれ P_i と Q_c 、 P_i と P_k との距離である。

一部でも視野ピラミッド内に含まれる凸多面体は、3.1.2 で述べる輪郭線同志の交差判定を用いて求められる。すなわち図1に示すように、面 $[W_1, W_2, W_3, W_4]$ と凸多面体 V_i のそれぞれの輪郭線同志について交差判定を行ない、交差するものと包含関係にあるものを抽出する。

上述の処理により、影を求めるための判定回数は以下のように減少する。全凸多面体数を n_0 、視野ピラミッド内にあり、かつ光部分球に含まれる凸多面体数を n_p 、視野ピラミッド外にあり、かつ光部分球内にある凸多面体数を n_l とすると、判定回数は $n_0(n_0-1)/2$ から $n_p(n_p-1)/2 + n_p \cdot n_l$ に減少する。

3.1.2 影を生じる物体の抽出および影の領域の計算

前方物体同志により生じる影は、透視面上に投影された輪郭線同志の交差判定により求まるが (文献(5)参照)、それ以外の物体同志による影は、以下に示す方法により、三次元空間で求める必要がある。この場合は、(1)対象となる2個の凸多面体について、

光源 P_i と各輪郭構成頂点を結ぶことにより得られる底面をもたない多角錐を構成し、この多角錐同志が交差するか否かを判定し、(2)交差する場合には、二つの凸多面体の光源 P_i に対する前後関係を求める、(3)遠方の凸多面体上に生ずる影の領域を求める。以下それぞれについて詳述する。

(1) 光源 P_i に対する輪郭線同志の交差判定

図3に示すように凸多面体 V_A および V_B が存在する場合、それぞれの輪郭線を $L_A[\hat{P}_1, \hat{P}_i, \hat{P}_{i+1}, \dots, \hat{P}_n]$ 、 $L_B[\hat{P}_1, \dots, \hat{P}_j, \hat{P}_{j+1}, \dots, \hat{P}_m]$ 、また、 $[P_i, \hat{P}_i, \hat{P}_{i+1}]$ 、 $[P_i, \hat{P}_j, \hat{P}_{j+1}]$ から成る輪郭面をそれぞれ \hat{S}_i 、 \hat{S}_j とすると、(付3)式を用い次の関係が成立する。

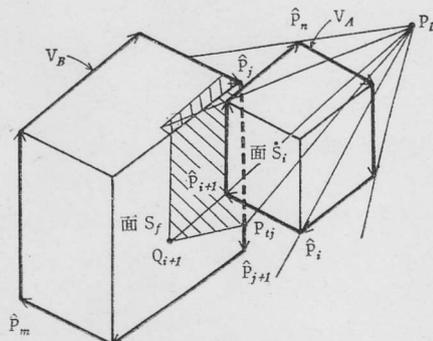


図3 影の領域

(a) すべての $\hat{P}_j (j=1 \dots m)$ に対して、 $F\hat{S}_i(\hat{P}_j) \geq 0$ となる \hat{S}_i が存在すれば V_A と V_B は独立である。

(b) すべての $\hat{P}_j (j=1 \dots m)$ 、 $\hat{S}_i (i=1 \dots n)$ に対して $F\hat{S}_i(\hat{P}_j) \leq 0$ なら V_A は V_B を囲む。

(c) $F\hat{S}_i(\hat{P}_j) \cdot F\hat{S}_i(\hat{P}_{j+1}) < 0$ 、 $F\hat{S}_j(\hat{P}_i) \cdot F\hat{S}_j(\hat{P}_{i+1}) < 0$ なら P_i から見た線分 $[\hat{P}_i, \hat{P}_{i+1}]$ と線分 $[\hat{P}_j, \hat{P}_{j+1}]$ は交差する。ここで、(a)、(b)については V_A と V_B の関係を入れ替えた $F\hat{S}_j(\hat{P}_i)$ についても同様に適用でき、また(c)の場合の線分 $[\hat{P}_j, \hat{P}_{j+1}]$ 上の交点 P_{ij} は、面 \hat{S}_i と線分 $[\hat{P}_j, \hat{P}_{j+1}]$ との交点であるから次式により求まる。

$$P_{ii} = \hat{P}_j + (\hat{P}_{j+1} - \hat{P}_j) \frac{F\hat{S}_i(\hat{P}_j)}{(F\hat{S}_i(\hat{P}_j) - F\hat{S}_i(\hat{P}_{j+1}))} \dots \dots \dots (1)$$

(2) 凸多面体の光源に対する前後関係

上述の(1)式を用いて行なう。すなわち輪郭線同志 $[\hat{P}_i, \hat{P}_{i+1}]$ を含む表の面を \hat{S}_i とすると、 $F\hat{S}_i(P_{ij})$ が正なら V_B が手前で、負なら V_A が手前であり、0なら改めて他の交点を用いて判定する。

(3) 影の領域の計算

光源に対して遠方になる凸多面体の構成面のうち、影を生じる面は文献(6)の方法により求まる。したがって面上の影の領域を以下の方法により求める。たとえば、凸多面体 V_A が面 S_f 上に影を落とす場合 (図3参照)、影の領域は V_A の輪郭構成頂点を面 S_f 上に投影した点によって囲まれる部分と、面 S_f との共通部分である。なお、 \hat{P}_{i+1} が面 S_f 上に投影された点を Q_{i+1} とすると、 Q_{i+1} は面 S_f と直線 P_i, \hat{P}_{i+1} との交点であるから、(1)式により求めることができる。

3.2 走査線上の表示面および影の抽出

透視面上の各点 (ディスプレイ上の画素に対応する点) の照度を求めるには、まず各点に対応する物体の表示面を知る必要があり、また同時にこれらの各点がどの光源に対して影になるかを知る必要がある。透視面上の x 軸に平行な走査線を考えると、各走

走査線上の表示面および影の抽出は次の手順で行なう。(1)走査線上に存在する凸多面体の表の面と走査線との交差判定, (2)各画素に対応する可視面の抽出, (3)各画素に対応する面上に影を落とす光源の抽出。以下にこれらの処理について述べる。

(1) 走査線上の面の抽出

走査線と面との交差判定は, 視点に対する前方物体の面(または面上の影)については文献(6)の方法により行なえるが, 一部後方物体の面については, 以下に示す走査線と視点を含む面を考え三次元空間上で処理する必要がある。すなわち頂点 $[P_1, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_n]$ で構成される面 S , および $[P_v, P_L, P_R]$ で構成される走査面 S_p を考えると(図4参照), 線分 $[P_i, P_{i+1}]$ と面 S_p が交差する条件は次式で与えられる。

$$F_{S_p}(P_i) \cdot F_{S_p}(P_{i+1}) < 0 \dots\dots\dots(2)$$

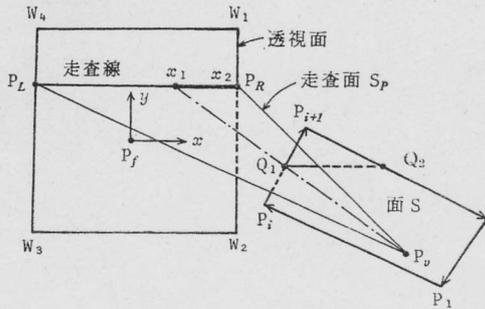


図4 三次元空間上での走査

面 S と走査面 S_p が交差する場合, 面 S_p と交差する線分は, 凸多角形の性質から必ず2個存在する。それぞれの交点を Q_1, Q_2 , とすると, 線分 (Q_1, Q_2) を視野ピラミッドによりクリッピングし, 透視変換を行えば走査線上の交点が求まる。

(2) 各画素に対応する可視面の抽出

走査線上の画素数(本論文では512)と等しい記憶容量をもつ列テーブルLS1を準備する。次に前述の面と走査線との交点およびすでに求めている凸多面体の視点に対する前後関係を用い, 次の方法により走査線上の各画素の表示面を決定する。すなわち, 視点から遠い凸多面体から順に, それぞれ凸多面体の表の面の面番号をその面が占める画素の位置に記憶する。最も手前の凸多面体までこの操作を終了したとき, LS1に記憶されている面番号は各画素における表示面となる。

(3) 各画素に影を落とす光源の抽出

走査線と影の領域との交差判定は, (1)の走査線上の面の抽出と同様な方法で求まる。また, 各画素に対応する面がどの光源に対して影になるかは, テーブルLS1と同サイズのテーブルLS2を用いて簡単に求まる。すなわち, まずテーブルLS2をゼロクリアする。次に1番目の光源に対するある凸多面体の影の領域と走査線との交点 x_1, x_2 を求め, テーブルLS2の x_1 から x_2 に対応する番地のそれぞれの1ビット目を1とする。この処理を走査線上に存在する可視面上のすべての影について行なえば, 最終的には各画素に対応する点に影を落とす光源が求まる。ただし, この方法によって処理できる光源数は1語を構成するビット数以下である。

3.3 照度および表示する色の計算

3.3.1 照度計算

LS1およびLS2テーブルにより, 走査線上の各画素の可視面およびその面を照らす光源がわかるから, 以下の方法により面の

照度を求めることができる。

走査線上の各点ごとに照度計算を行なうと時間を要するので, 照度変化の大きい可能性のある部分, すなわち, 面と面との境界(LS1テーブルを用いて判別できる), および面上の影の境界(LS2テーブルを用いて判別できる)を除いては, 一定間隔の画素ごとに照度計算を行ない, その中間点は線形補間により求める。

走査線上の任意の点Pの照度を求めるには, まず点Pを三次元空間上へ逆透視変換する必要がある。いま注視点 $P_f(X_f, Y_f, Z_f)$, 点Pの透視面上の座標系における座標を $P(x, y)$, 点Pの属す被照面を S , 点Pを三次元空間上へ逆透視変換した点を $Q(X_q, Y_q, Z_q)$, (付1)式の透視変換行列を A とすると, 透視面上の三次元座標 Q' (Q を透視面上へ投影した点)は,

$$Q' = A^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_f \\ Y_f \\ Z_f \end{pmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

により求まる。 Q は被照面 S と直線 $P_v Q'$ との交点であるから, Q は(1)式より求まる(図5参照)。

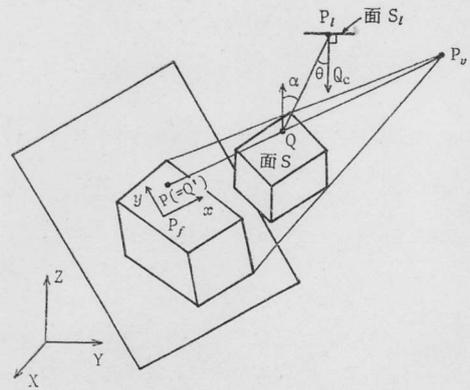


図5 逆透視変換および照度計算

したがって, 光源 P_l に対する点Pの照度 $E_l(E_{l,r}, E_{l,g}, E_{l,b})$ は, 光度 $I_l(I_{l,r}, I_{l,g}, I_{l,b})$, P_l と Q との距離 r , 被照面 S の法線ベクトルと光線のなす角を α とすると, (付3)式を用いて次式により得られる。

$$E_l = I_l \cos \alpha / r^2 = I_l \cdot F_s(P_l) / r^3 \dots\dots\dots(4)$$

ところで, (4)式の光度 I_l は一般に配光特性をもっている。したがって, 配光特性の与え方により次の二とおりの方法で任意の鉛直角 θ に対する I_l を決定することができる。

(1) 計算式で表現できる配光特性の場合

よく利用される配光曲線(たとえばBZ分類⁷⁾)に対する光度 I_l は, 一般に $\sec \theta$ の関数で表現できる(たとえばBZ6なら, $I_l(\cos \theta) = (1 + 2 \cos \theta) I_0$)。ここで $\cos \theta$ は次式により簡単に求まる。

$$\cos \theta = \frac{(Q - P_l) \cdot (Q_c - P_l)}{|Q - P_l| |Q_c - P_l|} = \frac{F_{sl}(Q)}{r} \dots\dots\dots(5)$$

(2) 任意の配光特性の場合

任意の曲線をもつ配光特性に対しては, 10° ごとのデータを入力し, その中間の角の光度を線形補間により求まる。すなわち 10° ごとに与えられた角 $\theta_i(\theta_i = 0, 10^\circ, \dots, 180^\circ)$ を考え, $\cos \theta_i$ および, $1/(\cos \theta_{i+1} - \cos \theta_i)$ のルックアップテーブルを準備すると, $\cos \theta_i \geq \cos \theta > \cos \theta_{i+1}$ で表わされる任意の $\cos \theta$ に対する光度 $I_l(\cos \theta)$ は, 次式により求まる。

$$I_i(\cos \theta) = I_i(\cos \theta_i) + (I_i(\cos \theta_{i+1}) - I_i(\cos \theta_i)) \frac{(\cos \theta - \cos \theta_i)}{(\cos \theta_{i+1} - \cos \theta_i)} \dots \dots \dots (6)$$

3.3.2 表示する色の計算

各光源による点Pの直射照度の総和を E (E_r, E_g, E_b) とすると、CRT 上に表示する点Pの色 D (D_r, D_g, D_b) は次式により与えられる。

$$D = k (E + H) C^T \dots \dots \dots (7)$$

ここで、 H (H_r, H_g, H_b) は間接照度*、また k は表示装置の輝度レベル (本論文では 256 レベルのものを用いた) と整合させるための係数である。

4. 等照度曲線の表示

前章までに述べた透視図による陰影表示は写実的で、光源の光度、色、配光曲線および被照面の色などの設計には便利であるが、各部分の照度を数値的に把握することはできない。この問題は透視図上に照度分布を表示することにより解決できる。照度分布をこの透視図に記入する方法としては次の三つが考えられる。

(1) 透視図上に等照度曲線 (線画) を記入する方法

この方法は次の欠点がある。すなわち一般に透視図上には種々の被照体が散在するため、等照度曲線は地図における等高線のように連続な曲線とはならず不連続となる。したがって、各曲線部分に照度値を記入する必要があるが図が複雑となる。特にカラー CRT 上でこれを行なうときは、画素数から生ずる表示上の限界がある。

(2) 照度レベルにより透視図を色分けする方法

照度レベルにより色分けされた等照度曲線を用いて、透視図の全面を描く方法である。しかし、この方法では全面が等照度曲線によって塗りつぶされるので、どの被照体の照度を示しているのか判別しにくい。

(3) ベルト状に表現した等照度曲線と透視面を重畳する方法

(2)と類似した方法であるが、等照度曲線をベルト状に表現し透視図上に重畳することにより、原画の透視図と照度を示すベルトが交互に表示される方法である。これにより各部の照度を容易に知ることができる。

本論文では(3)を用い、照度に従って虹色に変化させ、画面下部の色パターンの照度値を参照する方法を採用する。以下にこの等照度曲線の色の決定法について述べる。

表示する等照度曲線の照度値の最小値を E_{min} 、最大値を E_{max} 、その表示幅を ΔE 、ある点Pの照度値を E (光度を各色成分に分解して与えられているから、 E は E の成分の和とする)、 $[]$ を整数化を意味するガウス記号とすると、点Pの色は、次式が奇数な

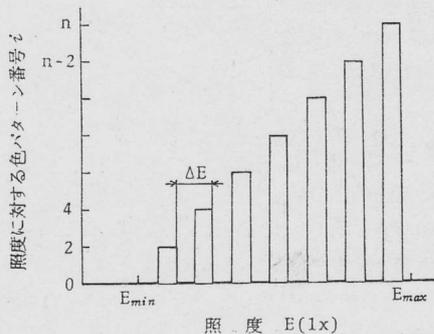


図 6 照度と表示する色との関係

* 本論文の適用例では、影中の物体が認識できる程度の適当な値を与えた。

ら透視図をそのまま表示し、偶数なら等照度曲線の色 (i に割当てられた色) を表示する。

$$i = [2 (\min(E, E_{max}) - E_{min}) / \Delta E] + 1 \dots \dots \dots (7)$$

すなわち、図 6 に示すように、 $E_{min} + (i-1) \Delta E$ から $E_{min} + (i-1/2) \Delta E$ の範囲の E では透視図が表示され、 $E_{min} + (i-1/2) \Delta E$ から $E_{min} + i \Delta E$ の範囲の E では、 i に割当てられた色を表示する。なお適用例の図 7 の画面下部の色見本に対する照度値は $E_{min} + (i-1/2) \Delta E$ を示している。

透視図作成時に各点の面番号、および照度をディスクにファイルし等照度曲線を求めるときこれを利用する。この方式は次の利点をもっている。すなわち照度の再計算が不要となるので、特に指定した被照面、指定した照度範囲の照度分布、またはより詳細に照度レベルを示す細分化された等照度ベルト曲線を、会話形式で即座に得ることができる。

5. 適用例

図 7 に適用例を示す。図 7 (a)~(d) は室内照明への応用例である。(a)、(c) はそれぞれ配光特性の異なる光源による照明例であり、光源の位置は図中の配光曲線の座標軸の原点である。(b) は (a) の透視図にベルト状の等照度分布曲線を書き込んだ図である。また (d) は、(c) の透視図を等照度分布曲線で全面を塗りつぶした例である。(b) と (d) を比べることにより、本論文で採用した (b) の手法が有用であることが判明する。

図 7 (e)~(h) は建物の屋外照明への応用例である。光源は玄関、通用口、芝生照明灯 (2 個) の 4 光源で、それぞれの光源は蛍光灯、白熱電灯、水銀灯に類似した色を用い、配光特性は、芝生照明灯には文献(7)(p.330) の C_3 を、その他には C_4 を用いた。また窓の光は光源ではなく単に明るさをもつ図柄として処理している。

図 7 (g)、(h) は建物に接近して観察した例で、玄関の光源の光度を (e) より低くしたものである。

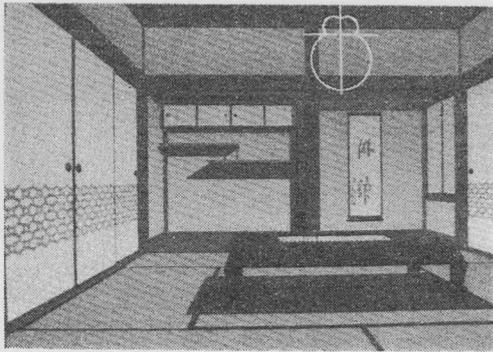
これらの例で示したように、照明空間内の任意の位置から見た画像が得られ、しかも直観的に照度分布を知ることができる。なお表示装置としては、ラスタースキャン形ディスプレイ (512×512画素、R、G、B 各 256 輝度レベル) を使用し、計算機は OKI-TAC システム 40/50 を使用した。

6. あとがき

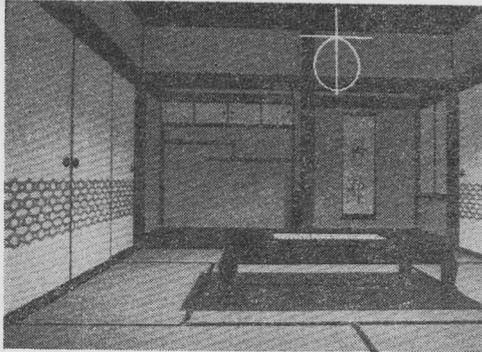
照明設計の結果 (照明器具の種類、配光曲線および配置) を直観的に表現するためのカラー透視図法、ならびに等照度分布曲線の表示について述べた。本稿は白黒なので十分表現できないが、かなりリアルな画像を得ることができる。本手法は次の特徴をもつ。

(1) 任意の視点から見た透視図をカラー表示することにより、従来の照明設計では困難であった物の見え方、感じ方まで表現できるから、照明設計者は容易に光源の明るさ、色および配置について観察ができ、最適な照明効果を見いだすために有効に利用することができる。

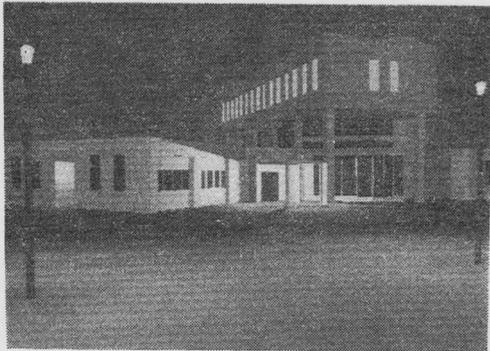
(2) 等照度分布曲線をベルト状に表現し、これを透視図に重畳して表示することにより、各部の照度を容易に把握することができる。なお視点を定めることにより全体または局所的な照度分布の観察が可能であり、また全体図の中から部分図を取り出し、表示照度レベルを細分化することにより、表示精度を上げることが



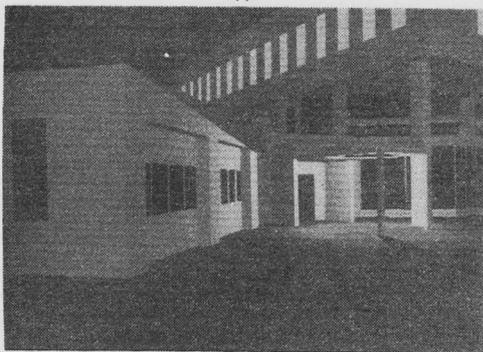
(a)



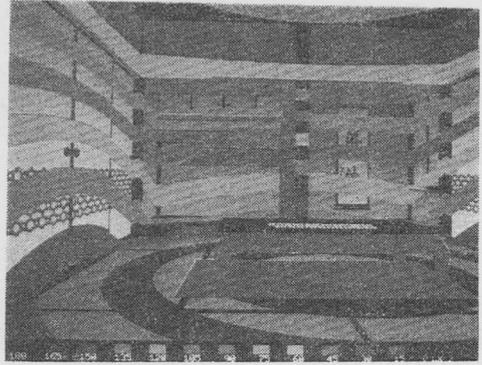
(c)



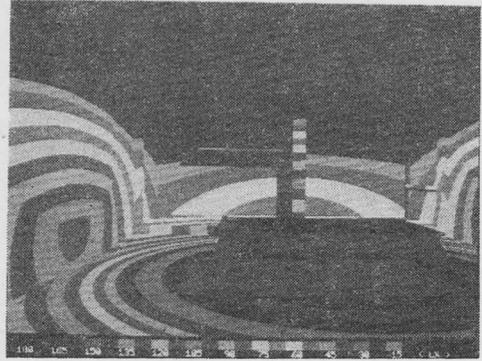
(e)



(g)



(b)



(d)



(f)



(h)

図7 適用例

できる。

(3) 従来の照明計算では、影を生じる物体のない理想的な室内(または屋外)を想定して、ある作業面上の照度分布の検討がなされているが、本手法は複雑な形状の被照体の影を考慮することができ、実際の照度分布を求めることができる。

(4) 本手法は、演色性の検討、航空進入灯の見え方、道路照明の見え方の検討など広範な応用が期待できる。

本論文では、照明設計の表示方法を主に議論したが、より現実

的なシステムとするためには、今後、採光計算、相互反射の計算、平均照度の計算などを考慮する必要がある。

参考文献

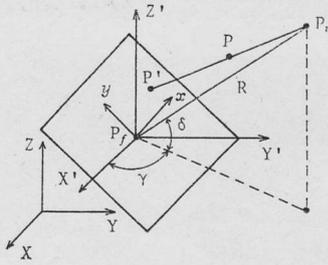
- (1) 高橋, 石野ほか: 照学誌 54 (昭45) 697
- (2) 飲塚, 石野: 照学誌 58 (昭49) 546
- (3) 斉藤, 安倍: 照学誌 65 (昭56) 17
- (4) F. C. Crow: Computer Graphics 11-2 (1977)

- (5) 中前, 西田: 情報処理 13-4 (昭47) 239
- (6) 西田, 中前: 情報処理 15-1 (昭49) 18
- (7) 照明学会編: 照明ハンドブック, オーム社 (昭53) 282

付 録

(1) 透視変換

三次元上の点P (X_p, Y_p, Z_p) を透視面上へ投影し, その点をP' とすると, 透視面上の座標系で表わしたP' (x_p, y_p) は次式となる (付図 1 参照).



付図 1 透視変換

$$\begin{pmatrix} X'_p \\ Y'_p \\ Z'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ -\cos \gamma \cdot \sin \delta & -\sin \gamma \cdot \sin \delta & \cos \delta \\ \cos \gamma \cdot \cos \delta & \sin \gamma \cdot \cos \delta & \sin \delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_p - X_f \\ Y_p - Y_f \\ Z_p - Z_f \end{pmatrix} \dots\dots\dots (付 1)$$

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} = \frac{R}{R - Z'_p} \begin{pmatrix} X'_p \\ Y'_p \end{pmatrix} \dots\dots\dots (付 2)$$

ここで, P_f(X_f, Y_f, Z_f) を注視点, 絶対座標系 (X, Y, Z) に平行で, P_f を原点とする座標系を (X', Y', Z') とすると, R は視点 P_o と P_f との距離, γ および δ はそれぞれ P_oP_f と X'Z' 平面となす角および X'Y' 平面となす角であり, 透視面上の座標系は P_f を原点とし x 軸が水平となる直交座標系である. また光源に関する座標変換に対しても注視点を指向点, 視点を光中心と考えることにより, 上述の式を適用できる.

(2) 面の向きの判定 (陰の面の判定)

光源に対する面Sの向きの判定は, 頂点 [P₁, P₂, P₃...] から成る面Sを考える場合, 面Sの法線ベクトルが光源 P_l(X_l, Y_l, Z_l) の方向を向いているか否かは, 次式の符号により与えられる. すなわち, F_S(P_l) が負, またはゼロならその面は陰の面である.

$$F_S(P_l) = \frac{(\mathbf{P}_l - \mathbf{P}_1) \cdot (\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_2) \times (\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_2)}{|(\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_2) \times (\mathbf{P}_3 - \mathbf{P}_2)|}$$

$$= -\frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} X_l & Y_l & Z_l & 1 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & Z_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= a_S X_l + b_S Y_l + c_S Z_l + d_S \dots\dots\dots (付 3)$$

ここで,

$$\Delta = \sqrt{\begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 & 1 \\ Y_2 & Z_2 & 1 \\ Y_3 & Z_3 & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} X_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Z_2 & 1 \\ X_3 & Z_3 & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \end{vmatrix}^2}$$

であり, (a_S, b_S, c_S) は面Sの法線ベクトルである.

(受付1981年4月28日, 再受付1981年12月10日)