HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	遮光布によるアトリウムの光・熱環境調整手法の検討 ： その5 アトリウムのシミュレーション
Author(s)	森, 太郎; 酒井, 義幸; 絵内, 正道 他
Description	2002年度大会（北陸）学術講演梗概集
Citation	大会学術講演梗概集. 計画系, 2002(D-1), 347-348
Issue Date	2002-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50427
Rights	日本建築学会. 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである.
Type	journal article
File Information	GKKK2002-D1_347-348.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Architectural Institute of Japan

40169

日本建築学会大会学術講演梗概集
（北　陸）2002年８月

遮光布によるアトリウムの光・熱環境調整手法の検討
その５　アトリウムのシミュレーション

正会員　○森　太郎＊＊
正会員　酒井義幸＊
正会員　絵内正道＊＊
正会員　羽山広文＊＊

遮光布　モンテカルロ法　アトリウム
フォンモデル

１はじめに

本報では，前報[1]で実施した布の計算モデルを使用し，アトリウム内の日射分布をモンテカルロ法を用いて計算する．アトリウムに光学特性が異なる数種類の布を長さと形態を変えて設置した場合の壁面の日射受熱量分布の違いを比較する．

２計算概要

本報のシミュレーションでは，モンテカルロ法を使用する．光を発射点：$Ray(n).P$ とベクトル：$Ray(n).V$ とエネルギー $Ray(n).E$ を持つ光子束：$Ray(n)$ として考える．$Ray(n)$ は，最初に天蓋ガラス面から発射し，アトリウム内の壁・布・ガラスを三角形要素に分割した：$Elm_T(i,j)$ との衝突点：$Inct_P$ を探索する．その後，$Inct_P$ で，反射・透過・吸収のいずれかの現象が生じさせ（現象の決定も乱数によって決める）．反射もしくは，透過現象の場合，入射点が発射点となり，新たなエネルギーとベクトルを持つ：$Ray(n)$ が生成され，重み付けを行った確率分布（確率密度関数）で，Ray_{Num} 本，空間内に再発射される．透過，反射，吸収は繰り返し行われ，$Ray(n)$ は，自分自身の持つエネルギーが失っていく．その値がある程度まで小さくなると，$Ray(n)$ は消滅し，探索を終了する．　それぞれの $Elm_T(i,j)$ の日射吸収率・日射反射率・日射透過率は，入射角と材料を引数とするFunctionで定義されており，$Elm_T(i,j)$ が得る日射吸収量：$Gain(i,j)$ は，$Material(\theta,Material).Ab$ と $Ray(n).E$ の積で表される．

３確率密度関数

通常，日射受熱量を決める際には，発射点と入射点との形態係数を求める必要がある．しかし，モンテカルロ法を使用することで，発射されるベクトルを発射点の発射特性

$$Ray(n).P = (x_1, y_1, z_1)$$
$$Ray(n).V = (l_1, m_1, n_1)$$
$$Ray(n).E = Enegy$$
$$Ray(n+1).P = Inct_P$$
$$Ray(n+1).V = (l_2, m_2, n_2)$$
$$Ray(n+1).E = Ray(n).E * Material(\theta, Material).Ab / Ray_{Num}$$

図１　Ray(n)からRay(n+1)の生成

表１　モンテカルロ法を使用する際の確率密度関数[2)3)]

・Lambert Modelの場合：すべての $Ray(n)$ の射出方向分布がLambertの余弦則に従うようにすればよい．その射出方向の方位角を θ，鉛直角を η とすると，θ 方向の射出角度は，$R1$ を用いて次のように表される．

$$R1 = \theta / 2\pi \qquad ①$$

η 方向の微小立体角 $d\varphi$ 内の面積 dA から射出される放射エネルギーは $I \cdot dA \cdot d\varphi \cos\eta$ と表され，また微小立体角は次のように表される．

$$d\varphi = rd\eta(r\sin\eta)d\theta / r^2 = \sin\eta \cdot d\theta \cdot d\eta \qquad ②$$

よって，dA から射出され $\eta \sim \eta + d\eta$ の間の入る放射エネルギーは，次のようになる．

$$dE\cos\eta \cdot d\eta \cdot dA = I \cdot dA \cdot \cos\eta \cdot \sin\eta \int_0^{2\pi} d\theta = 2\pi \cdot I \cdot dA \cdot \cos\eta \cdot \sin\eta \cdot d\eta \qquad ③$$

ここで，面積 から上半球方向に射出される全放射エネルギーは，$E = \pi \cdot I$ であるから，

$$E \cdot dA = \pi \cdot I \cdot dA \qquad ④$$

と与えられる，$\eta \sim \eta + d\eta$ の間に入る確率を式③を式④で除して，

$$f(\eta)d\eta = \frac{2\pi \cdot I \cdot dA \cdot \cos\eta \cdot \sin\eta}{\pi \cdot I \cdot dA} = 2\cos\eta \cdot \sin\eta \cdot d\eta \qquad ⑤$$

この式を０から η まで積分したものが乱数 $R2$ を用いて置き換えられるので，

$$R_2 = \int_0^{\eta} 2\cos\eta \cdot \sin\eta \cdot d\eta = 1 - \cos^2\eta \qquad ⑥$$

よって式①と式⑦よりLambert Modelの射出方向 は，乱数 ， を用いて次の用に表される．

$$\theta = 2\pi R_1 \qquad ⑦$$

$$\eta = \cos^{-1}\sqrt{1 - R_2} \qquad ⑧$$

・Phong Modelの場合：Phong Modelの場合，η 方向の微小立体角 $d\varphi$ 内の面積 dA から射出される放射エネルギーは $I \cdot dA \cdot d\varphi \cdot \cos^n\eta$ と表される．nはPhong Modelの係数である．微小立体角は，Lambert Modelと変わらないので，dA から射出され $\eta \sim \eta + d\eta$ 間の入る放射エネルギーは，次のようになる．

$$dE\cos^n\eta \cdot d\eta \cdot dA = I \cdot dA \cdot \cos^n\eta \cdot \sin\eta \int_0^{2\pi} d\theta = 2\pi \cdot I \cdot dA \cdot \cos^n\eta \cdot \sin\eta \cdot d\eta \qquad ⑨$$

ここで，面積 から上半球に射出される全放射エネルギーは，Phong Modelの場合，次式のようにに表される．

$$E = 2\pi I / (n+1) \qquad ⑩$$

よって $\eta \sim \eta + d\eta$ に入る確率を式⑨を式⑩で除して，

$$R_2 = (n+1)\int_0^{2\pi} \cos^n\eta \cdot \sin\eta d\eta = (n+1)\left[-\frac{\cos^{n+1}}{(n+1)}\right]_0^{\eta} = 1 - \cos^{n+1}\eta \qquad ⑪$$

この式を０から　まで積分したものが乱数R2を用いて置き換えられるので，

$$\theta = 2\pi R_1 \qquad ⑫$$

$$\eta = \cos^{-1}(1 - R_2)^{1/(n+1)} \qquad ⑬$$

Control on the thermal and day-light environment in atrium space　　MORI Taro et.al
Part 5 Simulation of solar gain on the wall serface in atrium space by using monte calro method

NII-Electronic Library Service

（確率密度関数）に基づいて重み付けを行うことより，形態による制限を無視することが可能になる．[2),3)]

今回のシミュレーションでは，微小三角形：$Elm_T(i,j)$ は，布，ガラス，内壁面のいずれかである．よって，$Elm_T(i,j)$ の $Inct_P$ からの再発射は，完全拡散分布をする場合（Lambert Model）と指向性をもつ分布をする場合（Phong Model）の２種類に分けられる．それぞれの確率密度関数は０～１までの乱数 $R1$, $R2$ を使って，表１のように表現が可能である．図２のW1は放射面と入射面が平行な場合で，D/H=0.5，B/H=0.5の時の計算結果である．この場合の形態係数の値は0.24であり，lambertモデルで計算した場合（0.2385），n=1で計算した場合（0.2427）ともに，誤差はわずかである．phongの係数nが増えると放射の分布形が細い楕円に変化し，正面の壁に入射する確率が増えていくのがわかる．

４アトリウムの解析

解析条件を表２に，遮光布の設置パターンを表３に示す．

・Case2とCase3について：Case1と比較すると，２×２ｍの布の垂直遮光であるCase2とCase3は，全体的に日射受熱量が減少した．Case2とCase3は同じ遮光形態であるが，遮光布を設置している高さ８ｍ～10ｍでは，日射受熱量に差が生じ，Case2の日射受熱量の方が多かった．この差は，Case2は遮光布として日射反射率が高いWhite-Aを利用しているため，布面での日射反射成分が，この付近の壁面へ入射したことが原因として考えられる．

・Case4とCase5について：他のCaseと比較すると，２×２ｍの布の水平遮光であるCase4とCase5は，高さ６ｍ以下では，最も日射受熱量が少なかった．解析日時である8/1の13：00の札幌の太陽高度は，約62°である．そのため，遮光面積は水平に布を設置している場合が最も多く，アトリウム下部の日射受熱量を減少させることができたと考えられる．遮光布としてWhite-Aを利用しているCase4は，他のCaseと比較すると，布を設置した８ｍ以上の日射受熱量が最も多かった．この原因は，日射反射性が高いWhite-Aが，反射板となり，布周辺の壁面へ入射量が多くなったためと考えられる．Blue-Aを利用しているCase5では，布面に入射した日射をほとんどを吸収するため頂部の日射受熱量が，多くならなかった．

・Case6とCase7について：Case1と比較すると，２×４ｍの布の垂直遮光であるCase6とCase7は，遮光布の下端である高さ６ｍ以下で，日射受熱量が少なくなった．また，高さ６ｍ以下で，Case2,3よりもCase6,7の方が日射受熱量が多くなった．これは，長い布を設置したため，多重反射がおこりやすくなり，壁面への入射量が多くなったと考えられる．８ｍ以上では，Case1よりも日射受熱量は，多くなった．布の反射の影響と考えられる．

床面の日射受熱量は，布を設置していないCase1が多く，水平遮光であるCase4,5が少なかった．水平遮光は，床面にできる影の面積が最も多くなるので，直接床面に届く日射量が一番少なくなる．そのためCase4,5は，床面の日射受熱量が少なくなったと考えられる．また日射反射率の高い布を設置した場合，布面での拡散反射成分によって，アトリウム頂部の日射受熱量が多くなる傾向があった．

５まとめ

前報のモデル化結果を元に，アトリウムの日射受熱量分布を計算した．今後はこのモデルをマクロモデルによる温度計算に適用するつもりである．

【参考文献】

1）酒井・森他：遮光布によるアトリウムの光・熱環境調整手法の検討：日本建築学会学術講演梗概集

2）津田孝夫：モンテカルロ法とシミュレーション：培風館

3）谷口・工藤他：パソコン活用のモンテカルロ法による放射伝熱解析：コロナ社

表２　解析条件

(1) 解析対象アトリウム
・天蓋にガラス面を有する中井戸型アトリウム・札幌市のアトリウムを想定：北緯43°
・南北方向：10m
・東西方向：10m
・高さ：10m
・構成壁面は，ひとつの三角形要素の面積が0.5㎡になるように分割した．
(2) 解析日時
・8/1　13：00～
(3) 使用する遮光布
・Fabee，Planosolの２種類
(4) 遮光布の大きさ
・2*2m(W*H)，2*4m(W*H)の２パターン
(5) 遮光形態
・床面に対して垂直に布を設置する垂直遮光：10ｍ地点から懸架
・床面に対して水平に布を設置する水平遮光：８ｍ地点に設置
(6) エネルギーの大きさ
・ガラスを透過した法線面直達日射量を1000W/㎡とした．

表３　遮光布の設置パターン

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
遮光布	布なし	White-A	Blue-A	White-A	Blue-A	White-A	Blue-A
布の大きさ		2*2m	2*2m	2*2m	2*2m	2*4m	2*4m
遮光形態		垂直遮光	垂直遮光	水平遮光	水平遮光	垂直遮光	垂直遮光

図２　Ray(n)からRay(n+1)の生成

図３　計算結果

＊久米設計㈱

＊＊北海道大学大学院工学研究科

*Kume sekkei Co. Ltd.

**Graduate School of Eng. Hokkaido Univ.

NII-Electronic Library Service