

# 3DCG による昼光導光システム Light-shelf の 諸特性解析に関する研究

日大生産工（院）      ○阿部国博  
日大生産工      山家哲雄・大谷義彦

## 1. はじめに

地球環境保全、エコロジー思想の台頭など、自然エネルギーの有効利用が必須課題となっている。採光設計・計画の分野でも、昼光を積極的に利用する機運が高まり、種々の「昼光導光システム」の研究開発が執り行われている。特に「Light-shelf」ライトシェルフは、低設備コスト、直射日光の遮蔽効果、間接光による和らかな光環境の演出などの多くの利点が挙げられている。しかしながら曇天時や夜間においてその利用効果が望めないなどの問題点もある。

本研究は、3DCG(照明計算)、画像処理、画像解析、視覚心理の評価実験などによる「ライトシェルフ」Light-shelfの諸特性解析と新たな有効利用法による応用研究」を行うことを目的としている。

今回は 3DCG によるライトシェルフの導光特性の基礎解析を行った。

## 2. 地球温暖化問題と昼光の有効性<sup>(3)\*3\*4</sup>

現在世界では環境汚染が進んでいる。「地球温暖化」もそのひとつで、温暖化の主な原因は、エネルギー使用時の化石燃料の過剰消費、それによる大量に放出されている温室効果ガスである。

温室効果ガスは大気中に極微量存在しており、大気中の濃度が増加したことにより、地球の平均気温が過去 100 年で 0.4~0.8℃上昇している。地球温暖化は気温や水温を変化させ、海面上昇や異常気象を増進させる可能性があり、気候に多大な影響が予測されるため、生態系にも被害が出ると考えられる。

20 世紀半ば以降に観測された地球平均気温の上昇は、人為的な温室効果ガス増加が原因である可能性が 90%以上である、という観測結果が出ており、温暖化対策として温室効果ガスを削減する事が急務である事は疑いようもない。

温室効果ガスを削減する方法としては、自然エネルギー利用が挙げられる。現在、自然エネルギーの有効利用は必須課題であり、採光設計・計画の分野でも昼光を積極的に利用する機運が高まっている。それによりもたらされる効果は二つある。

一つは人工照明用エネルギー消費量の削減という物理的な効果。昼間の明るさを室内に取り入れ、人工照明の利用を減らすことにより、照明エネルギーを削減できる。更に昼光照明による人工照明の消灯・減光は照明発熱による冷房負荷を削減することも期待できるが、過度な昼光導光は室内の冷房用エネルギーの増加を招くことになるので、温熱環境とのバランスが大切である。

もう一つは在室者の快適性の向上という心理・生

理的な効果で、これはどのような光環境を作るかというデザイン的な要素である。昼光には、室内に居ながらにして、屋外に居る感覚を与える効果があり、自然を感じ取らせることができる。さらに、自然光は連続スペクトル光であるため、全ての色を自然に見せる事ができるとともに、人間の生体リズムを整える効果もある。省エネルギーばかりでなく快適性向上の観点からも導入を検討する意味がある。

しかし快適性ばかりを追求してエネルギー量を増大させる事は、公共性のある建築物では望ましくない、両方を考慮しデザインすることが重要である。どのような効果を達成したいか、どのような光環境を実現したいかが昼光利用の目的である。

## 3. 本研究の目的と特徴<sup>(4)</sup>

本研究はライトシェルフに関する定量的な諸特性解析を執り行うこと、ライトシェルフを昼光導光以外の目的で有効利用する事が目的であり、そのために 3DCG ソフトや画像処理ソフトによる評価実験などを行い、効率よくエネルギーを削減できるかを検証する。正確なシミュレーションが行えれば、より短期間にプロジェクトが進行し、新たな利用法により温暖化問題に対応しやすくなると考える。

今回、本研究で注目したのはオフィスビルの照明エネルギーである。オフィスビルの照明エネルギーは全消費エネルギーの 25~35%を占めており、さらに照明からの発熱量は冷房によって除去しなければならないため、冷房付加の大きい最近の業務用建築にとっては、照明エネルギーの削減は、相乗的に省エネルギー効果を高めることができる。

図 2.1 にオフィスビルのエネルギー消費割合を示した。

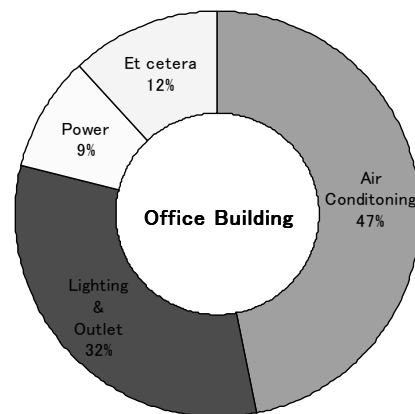


Fig. 2.1 The percentage of the used energy in the general building<sup>(4)\*3</sup>

#### 4. 昼光導光システム-Light shelf- について<sup>(1)(3)</sup>

ライトシェルフとは窓の中程に水平の反射板を設けて、直射日光を天井面に反射させることで室内を明るくする、固定型の昼光制御装置である。日中において特に効果を発揮する人工照明用エネルギー消費量の削減を目的とした昼光導光システム。

ライトシェルフより上方の窓を上部窓（採光窓）、下方の窓を下部窓（景観窓）、窓外に突き出した反射板を外庇、室内側に伸びた反射板の内庇と言う。ライトシェルフで反射した直射日光は、上部窓を透過し天井面を照らすため、直射日光による温室効果を抑制することができる。また下部窓では直射日光がライトシェルフにより遮蔽され、庇と同じ役目を担うので、グレア減少の効果がある。なお外庇、内庇共に反射率を維持するために、定期的な清掃が必要である。

図 4.1 にライトシェルフの採光イメージを示す。

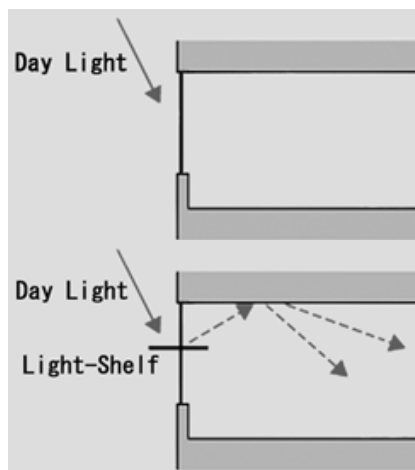


Fig. 4.1 The lighting image of the Light-Shelf

ライトシェルフは庇の長さや季節、時間、反射面の素材、室内、天井の傾斜角、窓との相対的な位置関係などによって昼光照明効果（人工照明用電力の削減）係数が大きく変化するため、それらを考慮に入れ設計を行う必要がある。なおライトシェルフ自体の傾斜角を変えても係数に与える影響は小さい。これは、ライトシェルフの上部窓面、下部窓面からの日射熱取得量の和と透過日光の和がライトシェルフの傾斜角に関係なく、殆ど一定であるためである。

外庇の長さは建築面積に算入され、建物外観のデザインに大きく影響する。内庇は室内側に突出しているため、階高が十分でない場合は邪魔な感じがする。これらの短所のため、外庇か内庇のどちらかを省略することもあるが、その場合もライトシェルフと呼ばれる。

内庇が無い場合、上部窓からのグレアを防ぐために、上部窓に拡散性の透過材を用いることがあるが、直射日光を拡散させることで、室内のどこから見てもグレアになる場合も生じる。上部窓には、ブラインドやルーバーを用いるほうが望ましいと言われている。

#### 5. 3DCG による昼光導光シミュレーション

##### 5.1 モデル室の空間設計<sup>(2)</sup>

昼光導光シミュレーションを行なうにあたり、モデル室を設計した。部屋の単位に core を使用し、1 core を 6.4m（間口）×6.4m（奥行き）×3m（高さ）とし設計を行なう。本シミュレーションで使用するモデル室は、東京都新庁舎に実際にある会議室を参考にし、12.8m（間口）×9.6m（奥行き）×3m（高さ）の 3core とした。部屋高さ 3m の内訳は、ライトシェルフの厚さを 0.1m とし、壁高さを 0.8m、下部窓高さを 1.4m、上部窓高さを 0.7m である。

なお、解析時に比較対象としてライトシェルフを取り付けないモデル室も設計したが、取り付けたモデル室と同様に、壁高さを 0.8m、下部窓高さを 1.4m、上部窓高さを 0.7m である。

表 5.1 にモデル室の基本寸法を、図 5.1 にシミュレーションで使用する会議室の平面図を示す。

Table 5.1 Key dimensions of the model room

| Size          | Frontage (m) | Depth (m) | Altitude (m) |
|---------------|--------------|-----------|--------------|
| 1core (4grid) | 6.4          | 6.4       | 3            |
| 1grid         | 3.2          | 3.2       | 3            |

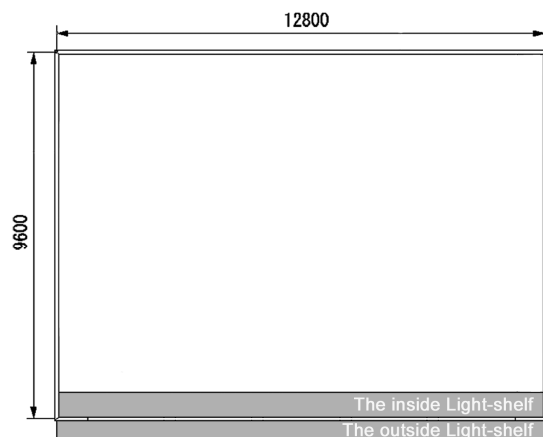


Fig. 5.1 The ground plan of the model room

##### 5.2 各種シミュレーション諸条件<sup>\*1\*5</sup>

ライトシェルフを設置するにあたり、ライトシェルフの長さを決める必要がある。必要ライトシェルフ長さの計算方式は

$$I = \frac{y \cos(A - A_v)}{\tan H} \dots \dots \dots (5.1)$$

とした。

なお、太陽方位角 A [deg]、窓の方位角 A<sub>v</sub> [deg] (A - A<sub>v</sub> は窓から見た太陽の方位である)、太陽高度 H [deg]、庇長 l [mm] である。太陽方位角 A は観測点 0 と太陽を結ぶ直線の地平面への投影線と正南方向のなす角であり、太陽高度 H は太陽方位角方向の太陽と地平面のなす角である。南中時は太陽方位角 A = 0 [deg] であり、正南から西（午後）は+（プラス）、東（午前）は-（マイナス）の符号をつける。なお、日の出、日没の時刻は太陽

高度  $H=0[\text{deg}]$ である。

ある地点（緯度  $\phi$ ）のある日（太陽赤緯  $\delta$ ）のある時刻（時角  $t$ ）（真太陽時）の太陽高度  $H$  と太陽方位角  $A$  は、三角法の公式により与えられる。

5.1 式は時刻別に室内に入る直射光を完全に遮へいする事ができるライトシェルフの長さを算出する事ができる、直射光を遮へいするライトシェルフの長さ  $l$  の算出方法である。

表 5.2 に太陽位置とそれに対する必要庇の長さの計算結果を示す。

計算条件は東京（東経  $139^{\circ} 74'$ 、北緯  $35^{\circ} 66'$ ）、春・秋分（2008 年 3 月 21 日、2008 年 9 月 23 日）、窓高さ 0.7m、窓の方位角 0deg、計測時間は一般のオフィスにおける始業時間が 9 時前後であるため、8 時から 18 時とした。因みに太陽赤緯とは、天球上の太陽位置から赤道までの角距離の事である。春・秋分は  $0^{\circ}$ 、冬至は  $-23^{\circ} 27'$ 、夏至が  $+23^{\circ} 27'$  となっている。

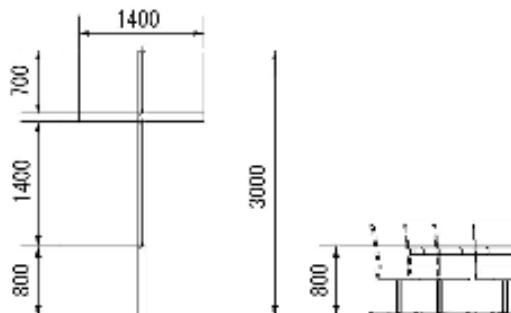
**Table. 5.2 The necessary length of the Light-shelf**

| Time | Sun altitude<br>$H$ [deg] | Sun direction<br>$A$ [deg] | Length<br>$l$ [mm] |
|------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| 8    | 26.1                      | -69.3                      | 833.718            |
| 9    | 37.0                      | -57.1                      | 722.678            |
| 10   | 46.3                      | -41.3                      | 653.231            |
| 11   | 52.5                      | -20.2                      | 604.160            |
| 12   | 54.2                      | 4.9                        | 574.694            |
| 13   | 50.6                      | 28.9                       | 621.699            |
| 14   | 43.0                      | 47.9                       | 676.951            |
| 15   | 33.0                      | 62.2                       | 755.035            |
| 16   | 21.8                      | 73.4                       | 895.582            |
| 17   | 9.9                       | 82.9                       | 1347.820           |
| 18   | -1.6                      | 91.7                       | -4134.425          |

4 章で述べたようにライトシェルフはさまざまな要因により昼光照明効果係数が変化する。

本シミュレーションは基本ライトシェルフの解析行なうため、ライトシェルフ、天井面に傾斜をつけず、凹凸等の特殊な仕上げを行なわない。ライトシェルフ本体の寸法は 12.8m（幅） $\times$  1.4m（長さ outside : 0.7m、inside : 0.7m） $\times$  0.1m（厚さ）、白色の光沢板（反射率：90%）とした。

図 5.2 に以上の結果からの会議室側面図を示す。



**Fig. 5.2 The side plan of the model room**

### 5.3 解析方法<sup>(5)</sup>

解析には 3DCG ソフトウェアを使用する。光環境のシミュレーションを、ラジオシティ法、レイトレ

ーシング法により表現（計算）し、照明器具や昼光による絶対照度、絶対輝度も本ソフトウェア単体で表現できる。

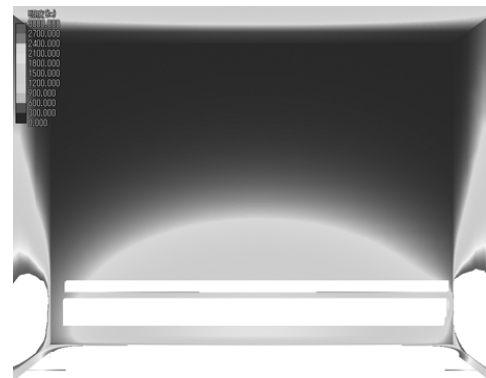
設計したモデル室にライトシェルフを取り付けたものと、そうでないものとを 3DCG で起こし、それぞれ床面、作業面での照明計算を行う。春・秋分、夏至、冬至において同様に照明計算を行い、それぞれの照度を求め、ライトシェルフの有・無、季節による変化を解析する。

## 6. 昼光導光特性の解析<sup>(6)</sup>

### 6.1 ライトシェルフの有無による導光特性解析

ライトシェルフを取り付けたモデル室と、取り付けしていないモデル室のそれぞれについて、春・秋分（2008 年 3 月 20 日および 9 月 23 日）の 12 時における室内の明るさを比較し、ライトシェルフの有無による導光特性を解析する。

図 6.1 にライトシェルフを取り付けた室内床面の照度分布図を、図 6.2 にライトシェルフを取り付けていない室内床面の照度分布図を示す。



**Fig. 6.1 Illuminance Distribution (Without Light-shelf The spring and autumnal equinox 12:00 Fine)**



**Fig. 6.2 Illuminance Distribution (With Light-shelf The spring and autumnal equinox 12:00 Fine)**

図 6.1 と図 6.2 を比較すると、窓面側の照度はライトシェルフを取り付けていないモデル室のほうが高く、扉側の照度はライトシェルフが有る無しにかかわらず、変化が殆ど無かった。しかし、ライトシェルフを取り付けなかったモデル室は昼光が直接入射

しているためグレアが激しく、不快感を与えてしまうため、ブラインドを取り付けるなどの対処をする必要がある。それにより室内の照度が落ちるため、ライトシェルフを取り付けたモデル室のほうが、直射光によるグレアが少なく快適な室環境であると言える。

図 6.1 と図 6.2 における二つの部屋の中央に幅 8m × 奥行 6m × 高さ 0.8m の擬似的な作業面を設置し同様のシミュレーションを行った結果、ライトシェルフを取り付けなかったモデル室の作業面平均照度は約 500lx、取り付けしたモデル室の作業面平均照度は約 650lx であった。

## 6.2 季節による導光特性解析

ライトシェルフを取り付けたモデル室において、夏至（6月21日）、冬至（12月21日）、春・秋分それぞれの12時における、室内の照度を比較し、ライトシェルフの効率を解析する。

図 6.3 に夏至の照度分布図を、図 6.4 に冬至の照度分布図を示す。春・秋分の照度分布図は図 6.2 と同図である。



Fig. 6.3 Illuminance Distribution  
(With Light-shelf The summer solstice  
12:00 Fine)

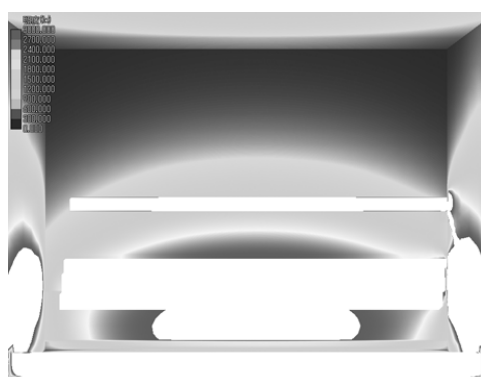


Fig. 6.4 Illuminance Distribution  
(With Light-shelf The winter solstice  
12:00 Fine)

春・秋分、夏至、冬至を比較すると、全体的な照度は冬至のモデル室が最も高いが、ライトシェルフから日光が漏れているため、グレアが発生してしまった。逆に夏至は、ライトシェルフで日光が遮断できたためグレアは発生しなかった。しかし照度が

春・秋分、冬至と比較して低く、これらより季節ごとにある程度の照度を保つためには何らかの工夫をする必要があると考える。

図 6.3 と図 6.4 においても、部屋の中央に幅 8m × 奥行 6m × 高さ 0.8m の擬似的な作業面を設置し同様のシミュレーションを行った。夏至のモデル室の作業面平均照度は約 310lx、冬至の作業面平均照度は約 960lx であった。

## 7. 問題点と検討課題

ライトシェルフを使うことで室奥まで日光を導くことはできたが、本来のオフィスの執務室や会議室の作業面では 700~1000lx 程度の照度が必要であり、ライトシェルフだけによる照明には照度が不足していることが分かった。そのため、タスク光を利用し擬似的なタスクアンビエント照明を行うことで、消費エネルギーを削減しつつ快適なオフィス空間を演出できると考える。

今回の解析に用いたライトシェルフは春・秋分の太陽高度を基準に設計していたため、夏至、冬至においては導光が不十分、もしくは過度であった。今後はこれを解消するために、ライトシェルフの形状や数を変化させ解析を取り進める予定である。

## 8. おわりに

以上のように、自然エネルギーの有効利用が急務である現在、日光を利用した省エネルギーを実践する為、3DCG ソフトウェアを利用してライトシェルフを取り付けたオフィス空間の設計を行った。

実在するオフィスの一室をモデルとし、多様な環境下で空間の照度計算を行い、空間の省エネルギー性、快適性の面から導光特性を解析した。

## 《参考文献》

- (1) 社団法人日本建築学会 編：『昼光照明デザインガイドー自然光を楽しむ建築のためにー』、社団法人日本建築学会、pp43-86 (2007)
- (2) 彰国社 著：『東京都新庁舎』、彰国社、pp. 85-120 (1992)
- (3) 岡 建雄 著：『わかりやすい グリーンオフィスの設計』、株式会社オーム社、pp31-32 (2000)
- (4) 株式会社 NDS 編：『工場・ビル・施設における省エネルギー診断と具体的対策』、株式会社 NDS、pp62-123 (2000)
- (5) M・オーロック 著：『3次元コンピュータ・アニメーションの原理』、株式会社トッパン、pp81-92 (1997)
- (6) 阿部国博, 山家哲雄, 大谷義彦：『昼光導光特性解析における簡易 3DCG の可能性』、平成 20 年度照明学会全国大会講演論文集、pp. 85 (2008)

## 《参照 URL》

- \*1 国立天文台 こよみの計算：  
<http://www.nao.ac.jp/koyomi/koyomix/koyomix.html>
- \*2 国土交通省 官公庁施設のページ：  
<http://www.mlit.go.jp/gobuild/toppage.htm/>
- \*3 経済産業省 資源エネルギー庁：  
<http://www.enecho.meti.go.jp/index.htm/>
- \*4 フリー百科事典 Wikipedia：  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>
- \*5 東海大学 情報デザイン工学部：  
<http://www.yc.ycc.u-tokai.ac.jp/nd/iwatalab/HP/2005/yoyogi/Y.Sakamoto.pdf/>