

# 昼光導光システム-Light shelf-の 夜間における有効利用法と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、間接光によるやわ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雨天時、および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。

一連の本研究では、昼光導光システム (ライトシェルフ-Light shelf) について、3DCG (照明計算)、画像処理、画像解析を活用し、昼光導光特性の効率改善を目的とした基礎研究、および悪天候時や夜間時におけるライトシェルフの有効利用法に関する応用提案を行った。今回はライトシェルフの夜間における有効利用法の提案とその特性解析結果について報告する。

## 2. 自然エネルギーの利用と昼光の有効性

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、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。

昼光を有効利用することによって得られる効果は、大きく分けて二つある。一つ目は、昼光を室内に効果的に採り入れ、人工照明用エネルギーの消費量の削減という物理的な効果である。ただし、無頓着で過度な昼光の導光は、室内の冷房用エネルギー負荷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。

二つ目は、デザイン的な要素で、在室者の快適性の向上という心理・生理的な効果である。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、昼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ことができるとともに、人間の生体リズムを整える効果がある。

## 3. 夜間における有効利用法

ライトシェルフとは、図 3.1 に示すように、窓の上部中程に地面と水平、もしくは角度を持たせた反射板を設けて、直射日光をシェルフ上面部で反射させて、窓近傍の天井面に効果的に導光し、さらに天井面の二次反射光を室奥に導光する、固定型の昼光導光制御装置である。晴れた日の採光昼間において

特に効果を発揮し、人工照明用エネルギー消費量の削減に効果を発揮する。

ライトシェルフにより導光される昼光は、二次反射光であるため、直射日光による温室効果を抑制することができる。さらに下部の採光窓では、直射日光を遮蔽する。

ライトシェルフは、室外部と室内部の庇の長さ、形状、反射面の素材、室天井面の傾斜角度など、採光窓との相対的な位置関係によって決まる物理的要因と、季節、天候、時間などの自然環境的要因によって、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た採光設計・計画を行う必要がある。

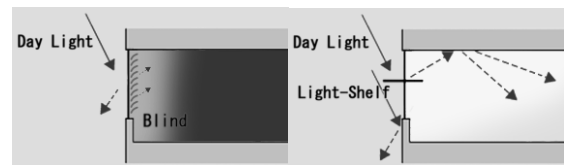


Fig.3.1 The lighting image of the Light-Shelf

提案するライトシェルフは、室外部と室内部の両方に、地面、床面と平行な水平庇が突き出した標準的な構造である。その特徴は、室内部に設置されるライトシェルフの上面部に面発光をする高効率な平板状の有機 EL 光源を組み込んだ機構を有していることである。

新提案する本ライトシェルフで期待できる改善特性としては、曇天時や雨天時、日没後から夜間時における「建築化照明」としての照明効果 (例えば、優しく快適な環境光の確保) などが挙げられる。

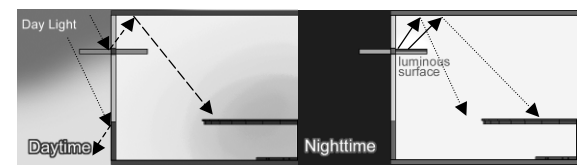


Fig.3.2 The lighting image of daytime and night

## 4. 光環境シミュレーション

### 4.1 ライトシェルフの設計

採光設計・計画にあたり、室外部と室内部のライトシェルフの長さを決める必要がある。設計式は、

$$a = \tan^{-1} \left( \frac{\tan H}{\cos A} \right) \dots \dots \dots (4.1)$$

Study on the Effective Use Plan and Characteristics Analysis of  
the Daylight Guide System ·Light shelf· at Nighttime  
Kunihiro ABE, Tetsuo YAMAYA and Yoshihiko OHTANI

$$L_1 = \frac{h_1}{\tan a} - l \dots \dots \dots (4.2)$$

$$L_2 = \frac{h_2}{\tan a} \dots \dots \dots (4.3)$$

ただし、  
 $L_1$ [m] : 室外部のライトシェルフ (外底) の長さ  
 $L_2$ [m] : 室内部のライトシェルフ (内底) の長さ  
 $L$  [m] : ライトシェルフ長さ ( $L_1+L_2$ )  
 $\alpha$  [deg] : プロファイル角  
 $h_1$ [m] : 上部採光窓の高さ  
 $h_2$ [m] : 下部窓高さ  
 $A$ [deg] : 太陽方位角  
 $H$ [deg] : 太陽高度  
 $l$ [m] : 直射光が入射する距離

である。  
 (4.1)式は、図 4.1 に示すプロファイル角  $\alpha$  を求める計算式であり、(4.2)式は、室外部のライトシェルフ、(4.3)式は、室内部のライトシェルフの長さ  $L_1$  と  $L_2$  それぞれ求める計算式である。時刻別に室内に入る直射光を完全に遮蔽するシェルフの長さを算出することができる。

表 4.1 に、ライトシェルフの長さ  $L_1$  と  $L_2$  のそれぞれの算定結果を示す。

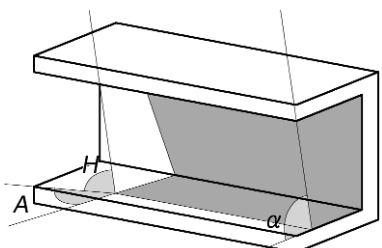


Fig.4.1 View of profile angle

表 4.1 において、南中時は太陽方位角  $A=0$ [deg] であり、符号は正南から西 (午後) の範囲では+ (プラス)、東 (午前) の範囲では- (マイナス) となる。なお、日の出および日没の時刻では、太陽高度  $H=0$ [deg] である。

計算条件は、東京の位置 (東経  $139^\circ 74'$ 、北緯  $35^\circ 66'$ )、春分 (2008 年 3 月 21 日)、秋分 (2008 年 9 月 23 日)、上部採光窓の高さ  $h_1$  を 0.7m、シミュレーションする時間帯は、採光昼間の時間帯 (夏至: 5:30~18:00 冬至: 8:00~16:00) を基準とし、夜間における解析等を考慮し 8時から 19時までとした。

表 4.1 より、ライトシェルフの寸法は、12.8m (幅)  $\times$  1.6m (長さ outside: 1.0m, inside: 0.6m)  $\times$  0.1m (厚さ)、光沢のある白色 (反射率: 90%) の水平板とした。

室内部のライトシェルフ上面部には、有機 EL 光源を組み込み、曇天時や雨天時、および夜間に、建築化照明として機能させる構造を有している。有機 EL 光源の寸法は、室内部のライトシェルフと同じ 12.8m (幅)  $\times$  0.6m (長さ)、発光輝度を  $2000\text{cd/m}^2$  (最高値) とした。

なお、採光時における有機 EL 光源の保護のため、

スライド式カバーで覆う構造とした。

Table.4.1 The necessary length of the Light-shelf

Time	Sun altitude	Sun direction	Profile angle	Inside length	Outside length	All length
T	H[deg]	A[deg]	$\alpha$ [deg]	$L_1$ [m]	$L_2$ [m]	$L$ [m]
8	26.1	-69.3	54.188	0.505	1.010	1.515
9	37.0	-57.1	54.215	0.505	1.009	1.514
10	46.3	-41.3	54.325	0.503	1.005	1.508
11	52.5	-20.2	54.241	0.504	1.008	1.512
12	54.2	4.6	54.288	0.503	1.006	1.510
13	50.6	28.9	54.280	0.503	1.007	1.510
14	43.0	47.9	54.286	0.503	1.007	1.510
15	33.0	62.2	54.315	0.503	1.005	1.508
16	21.8	73.4	54.463	0.500	1.000	1.500
17	9.9	82.9	54.694	0.496	0.991	1.487
18	-1.6	91.7	43.276	0.743	1.487	2.230
19	-14.4	100.6	54.381	0.502	1.003	1.505

#### 4.2 モデル室の空間設計

ライトシェルフの導光特性、夜間時の諸特性解析を行うにあたり、図 4.2 および図 4.3 に示すモデル室を設計した。部屋の基本寸法は、12.8m (間口)  $\times$  9.6m (奥行)  $\times$  3.0m (高さ) である。

窓構造は、2.2m(幅) $\times$ 1.4m(高さ)の腰窓を 5 面に加え、腰窓上部にライトシェルフのための 11.2m(幅) $\times$ 0.7m(高さ)の採光窓をそれぞれ設けた。

同モデル室の天井構造は、ライトシェルフによる導光特性の効率向上を図るために、傾斜角  $\theta$  が設けられている傾斜天井とした。さらに室内の光環境を整える環境光を効果的に得るために、有機 EL 光源を組み込んだコーブタイプの建築化照明を、両壁面に設けてある。

人工照明は、照明効果の比較検討用として、器具 1 台に 40W 直管型蛍光ランプを 2 本取り付けられた  $\bigcirc\bigcirc$  型照明器具を、計 48 台を天井面に均等配置 (6 行  $\times$  4 列) した。

さらに、部屋中央部の床上 0.85m の位置には、8.0m (幅)  $\times$  6.0m (奥行) の作業面を配置した。

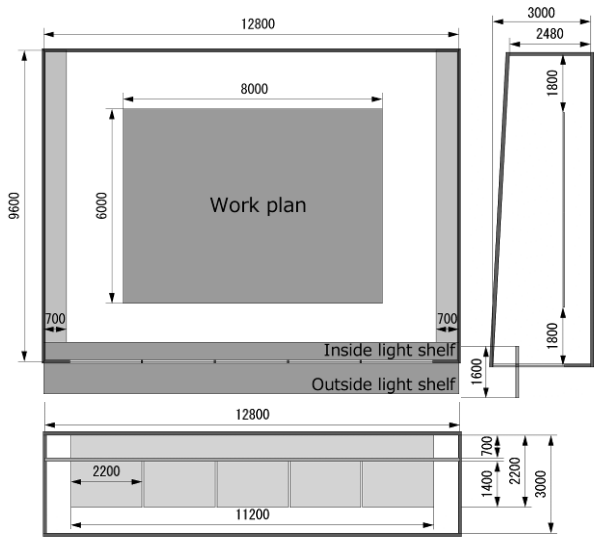


Fig.4.2 Orthographic view of the model room

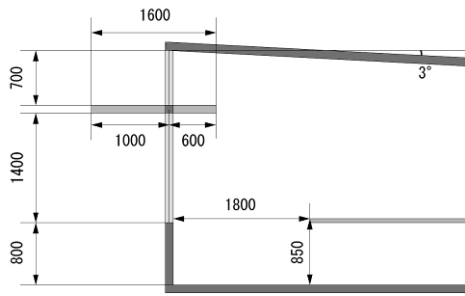


Fig.4.3 The side plan of the model room

### 4.3 解析方法

シミュレーションには、ラジオンティ法とレイトレーシング法を用いて、春・秋分時、採光設計昼間の時間帯におけるそれぞれの光環境の照明計算を行った。作業面上の平均照度の算定は、四点法を使用した。さらに、曇天時、夜間において、ライトシェルフに取り付けた有機 EL 光源の発光特性、天井の傾斜角度、環境光を得るための補助光源である建築化照明の点灯特性による諸特性解析もシミュレーションした。

## 5. 夜間における諸特性解析

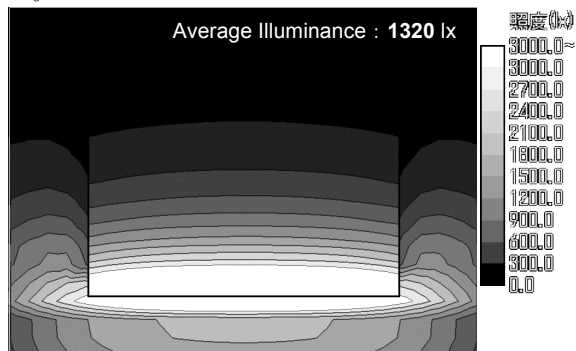
### 5.1 採光設計昼間の諸特性

ライトシェルフを取り付けたモデル室において、春・秋分（2008年3月20日および9月23日）の正午における晴天時および曇天時の光環境特性を比較し、導光特性を解析した。

図 5.1 に晴天時、図 5.2 に曇天時の照度分布図(水平天井、傾斜角  $\theta = 0^\circ$ )、図 5.3 に傾斜天井(傾斜角  $\theta = 3^\circ$ )、晴天時の照度分布図をそれぞれ示す。図 5.4 に 8 時から 19 時までの平均照度特性を、それぞれ示す。

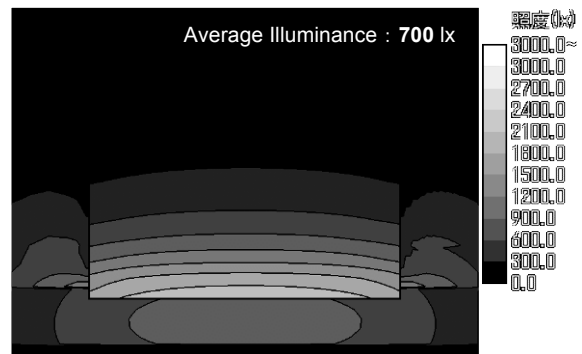
図 5.1 と図 5.2 より、ライトシェルフの曇天時の導光特性は、晴天時に比べ、平均照度が約 47% 程度減少してしまい、特に室奥部において効果的な導光特性が得られないことが確認できる。図 5.4 によれば、曇天時は採光設計昼間の時間帯における作業面上の平均照度が全般的に降下することが分かり、晴天時の利用が有効であることを確認することができる。

次に図 5.1 と図 5.3 より、一般的な水平天井(傾斜角  $\theta = 0^\circ$ ) に比べ、天井面を傾斜させた傾斜天井(傾斜角  $\theta = 3^\circ$ )の方が、平均照度が約 30% 程度増し、室奥部への導光特性が効果的に向上することが分かった。



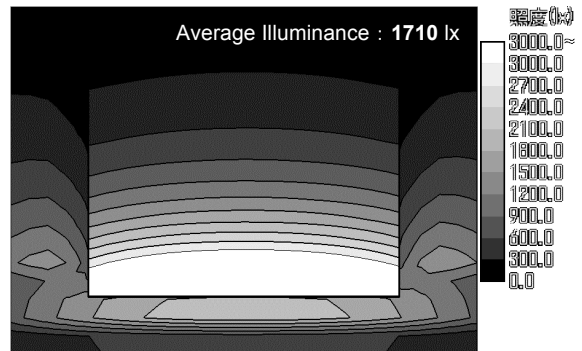
(The spring and autumnal equinox, 12:00, Fine)

Fig.5.1 Illuminance distribution



(The spring and autumnal equinox, 12:00, Cloudy)

Fig.5.2 Illuminance distribution



(The spring and autumnal equinox, 12:00, Fine,  $3^\circ$ )

Fig.5.3 Illuminance distribution

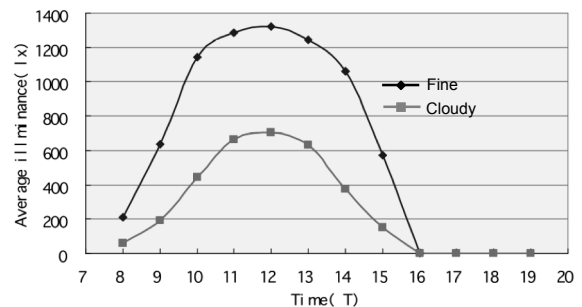


Fig.5.4 Characteristic of the work plane average illuminance

### 5.2 夜間の諸特性

本節では、昼光による採光が望めない、採光設計昼間以後の夜間の時間帯(21 時)における本システムの有効性を検証した。

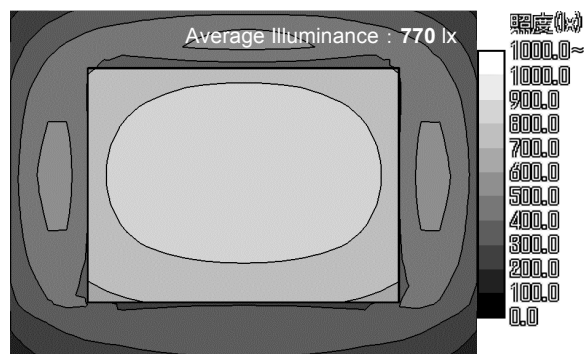
図 5.5 は、下面開放型照明器具(40W 直管型蛍光灯  $\times$  48 本)を使用、作業面の設計照度を 700lx とし、光束法に基づき照明設計を行った場合、図 5.6 は、室内部のライトシェルフ上面部の有機 EL 光源のみを、発光輝度  $2000\text{cl/m}^2$  で点灯させた場合、図 5.7 は、参考例として両サイドの建築化照明(有機 EL 光源の発光輝度  $1500\text{cl/m}^2$ )のみを点灯した場合、図 5.8 は、室内部のライトシェルフ(有機 EL 光源の発光輝度  $1000\text{cl/m}^2$ )および両サイドの建築化照明(有機 EL 光源の発光輝度  $1000\text{cl/m}^2$ )を点灯した場合の照度分布図を、それぞれ示す。なお、天井面の傾斜角  $\theta = 0^\circ$  である。

図 5.6 より、室内部のライトシェルフ上部部に有機 EL 光源を組み込み、夜間に点灯し建築化照明とする本システムでは、作業面の照度変化が緩やかな光環境を得ることができていることが分かった。

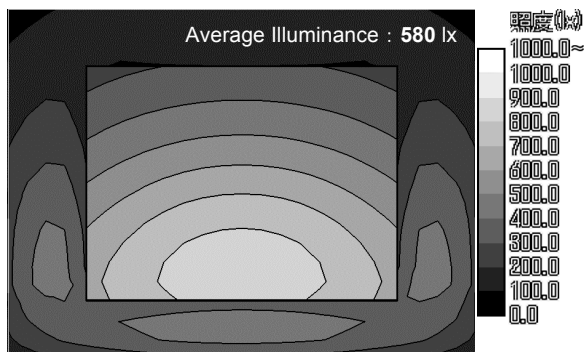
しかし、室内部のライトシェルフの点灯では、作業面の設計照度 700lx を満足することができないことも分かった。

そこで、両サイドの建築化照明と併用することにより、その平均照度も 680lx レベルとなり、概ね設計照度を満足する光環境を確保することができ、本システムの有効性を確認した。

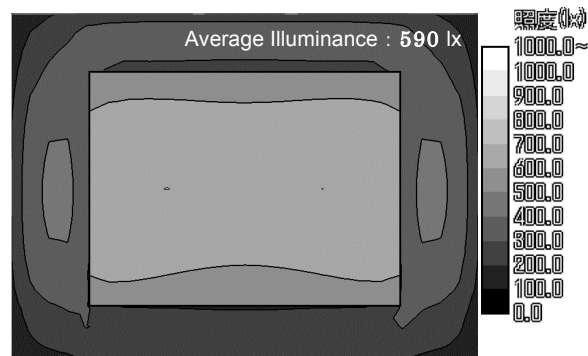
さらに、図 5.8 より、室奥部の 1/3 程度の範囲に設置した人工照明(6 行×4 列)を制御点灯して併用すれば、より良い均質な光環境を確保することができるものと推察する。



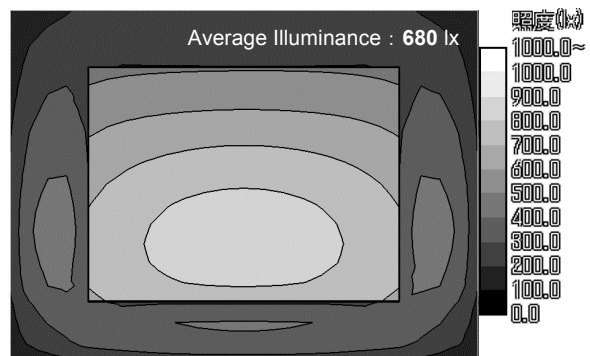
(21:00, Turn on the artificial lighting)  
Fig.5.5 Illuminance distribution



(21:00, Emission of Light-shelf)  
Fig.5.6 Illuminance distribution



(21:00, Turn on the structural lighting)  
Fig.5.7 Illuminance distribution



(21:00, Turn on the structural lighting,  
Emission of Light-shelf)  
Fig.5.8 Illuminance distribution

### 5.3 アンビエント照明の省エネ性

アンビエント照明とはオフィス照明方式の一つで、設計基準照度を低くした環境照明のことである。省エネルギー効果が高く 300~400lx 程度の明るさの照明とすることが重要であるため、本システムで提案する室内部のライトシェルフの点灯と、一般照明を合わせた併用照明方式により、良質な環境光を確保することができるものと考えられる。実際の事務机等には、スタント照明器具を局所照明（タスク照明）と組み合わせることで、実務に必要な照明を得ることができる。

なお、現在の有機 EL 光源の発光効率、蛍光ランプとほぼ同値であり、将来的には消費電力が蛍光ランプの 1/3 程度まで下がることが期待されている。

さらに、有機 EL 光源の発光スペクトルは、蛍光ランプと比較してより自然光に近く、視対象物を昼間に近い色合いで見ることができ、演色性、快適性の両面でも優位性がある。

### 6. 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、日光を有効利用した省エネルギーを実践するため、ライトシェルフを取り付けたオフィス空間の光環境の諸特性を検討した。

その結果、室内部のライトシェルフに組み込んだ有機 EL 光源を点灯する本システムでは、曇天時や雨天時、および夜間において、良質な光環境を確保することができることを検証し、本システムの有効性を立証した。

### 《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-自然光を楽しむ建築のために-』、社団法人日本建築学会、pp. 43-86 (2007)
- (2) 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)
- (3) 阿部国博, 山家哲雄, 大谷義彦：「3DCG による昼光導光システム Light-shelf の諸特性解析」、第 41 回日本大学生産工学部学術講演会講演概要集、pp. 131-134 (2008)
- (4) 阿部国博, 山家哲雄, 大谷義彦：「ライトシェルフシステムの夜間における有効利用計画に関する研究」、平成 21 年度照明学会全国大会講演論文集、pp. 84 (2009)