

ライトシェルフによる昼光利用時の室内光環境評価に関する研究 —対比較実験及びライティング・シミュレーションによる検討—

2007541003 穴見 まど香

白石研究室

昼光, 実測, DIALux, 光環境, 省エネルギー

1. はじめに

地球環境問題が顕在化した昨今、建築設計における省エネルギー性への配慮は重要検討課題となっており、特に各種自然エネルギー利用技術を導入した設計手法に関心が寄せられている。その中でもエネルギー変換を伴わず比較的容易に活用できる技術の一つとして昼光利用の機運が高まっている。しかし、自然エネルギー共通の課題として、昼光は天候や大気の状態に左右され、室内への安定供給が難しく、また、夏季における昼光の室内への導入は冷房負荷の増大も懸念される。よって、設計段階では、精緻な解析によるアプローチに加え、光環境のみならず温熱・空気環境の双方を一体的に捉える研究も重要と考えられる。

本研究は、設計段階を想定した昼光利用時の室内環境の総合評価研究の一環として位置付け、まずオフィスビルにおいて昼光利用装置としてライトシェルフ(以下:LS)を導入した際の室内光環境評価を行った。詳細には、ブラインドの有無による一対比較実験により室内光環境の差異を把握すると共に、精度検証を踏まえてDIALuxを用いたライティング・シミュレーションにより補完的な検討を行った。

2. 実測概要

2-1 建物概要 実測対象は、南面にLSが既設されている北九州市学術研究都市における技術開発交流センター(写真1,2)とし、3階の南面に位置する2室で一



写真1 建物外観

延床面積	5607.89m ²
建築面積	2594.17m ²
竣工年	平成20年
建築構造	S造
階数	地上4階

表1 建物概要



写真2 ライトシェルフ

設置場所	窓面外側
窓面方位	南
設置角度	+8.5°
寸法	3.0×0.95m
材質	テフロン(白)

表2 LS概要

対比較の測定を行った。

2-2 実測ケース 本実測では、①既設のLSのみの実験室(LS,写真3)と②LSに加えブラインド(ケース名



写真3 室ケース LS

写真4 室ケース LS+B

表3 実測ケース

Case	室 LS		室 LS+B		備考
	ブラインド ^{注1)}	人工照明 ^{注2)}	ブラインド ^{注1)}	人工照明 ^{注2)}	
1-1	×	OFF	○	OFF	ブラインド効果
1-2	×	OFF	○ (操作有)	OFF	ブラインド操作の効果
2-1	×	ON	○	ON	ブラインド+照明の効果
2-2	×	ON	○ (操作有)	ON	ブラインド操作+照明の効果

注1) 操作なし: 上窓はスラット上向き、下窓はスラット下向きに固定。

操作あり: 12時以降に下窓ブラインドのみ開放。

注2) 人工照明 ON の場合、机上面照度が750 lx以上で消灯、それ以下で点灯。

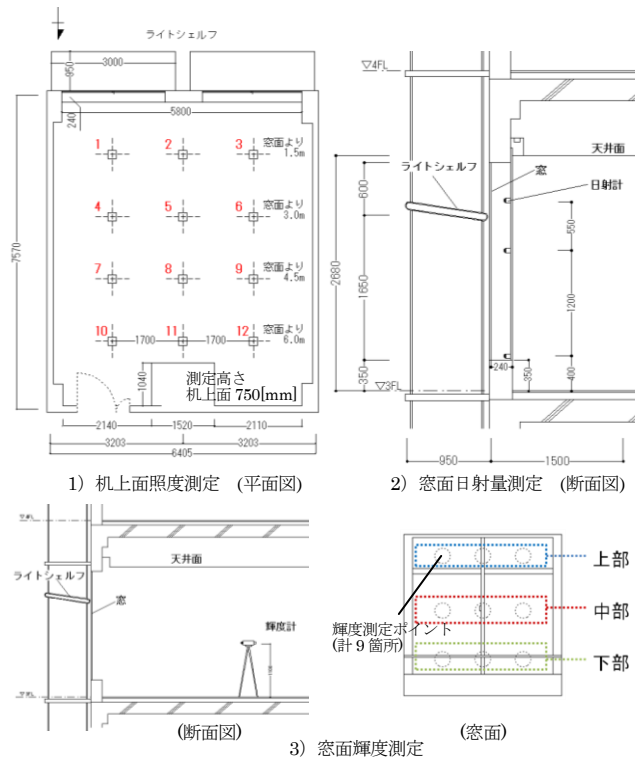


図1 測定位置

Evaluation of Indoor Lighting Environment using Daylight with Lightshelf

—Investigation by Comparative Measurement and Lighting Simulation—

ANAMI Madoka

では、B と表記)による日射遮蔽を併用した実験室 (LS+B,写真 4)の 2 室を用い、既設の LS 及びブラインドの有無に加え、その他の検討要因として、ブラインド操作及び人工照明の有無に関して、計 4 ケースの実測を行った(表 3)。ブラインドの操作条件を表 3 中の注 1 に示す。また、昼光利用による人工照明のエネルギー消費削減効果も検証するため、各ケースで人工照明の点灯実験も行っている(表 3 中の注 2 に示す)。室内環境は、両室ともに設定温度を 26℃として冷房を行い、機械換気は OFF とした。2010 年 9 月 25 日~9 月 30 日の 6 日間の測定を行った。

2-3 測定項目 光環境として①机上面照度、②輝度分布、温熱環境として③室内上下温度分布及び PMV、④室内側鉛直日射量(窓面)、⑤熱画像の測定を行った(図 1)。本梗概では、光環境の測定結果のみを報告する。

3. 実測結果

3-1 水平面の机上面照度 図 2 に窓面から室内にかけての照度の測定結果を示す。Case1-1 の LS では、窓際の照度が突出して高く、窓際から室内にかけての照度変化が著しい。一方、LS+B では、窓際の過剰照度はブラインドの遮蔽効果により大幅に低減された。しかし、室内部分の照度は一日を通して基準である 750[lx]を下回っていた。また、Case1-2 では、ブラインドを上下操作することによって、午前中に LS 下から侵入する直射光を遮蔽し、午後間の間接光の導入を図ることによって、10 時における値が 16 時よりも低くなった。10 時の差異を除くと、両者に顕著な差は生じな

かった。

3-2 窓面の輝度分布 窓面の上部、中部、下部の輝度の各平均値を図 3 にそれぞれ示す。全体的な傾向として、窓上部における輝度が最も高くなり、時間変化を見ると、10 時をピークに減少していた。このため、午前中の遮蔽が重要であることが分かった。

Case1-1 の結果を比較すると、ブラインドを併用することで上部及び中部の輝度が緩和されていることが確認できる。下部においては、その差異はほとんど見受けられなかった。同様に Case1-2 では、下窓のブラインドを開放することで、その時間における中部の輝度は増加するが、ピーク時を含む遮蔽時間帯では、輝度が極端に低下した。

3-3 昼光利用による照明電力削減量 昼光による照明の電力消費の削減効果を図 4 に示す。Case2-1 及び Case2-2 における人工照明を導入した実測データを使用し、各時刻の使用照明台数にランプ消費電力を乗じた値の総和を照明の電力消費量とした。なお、両ケースは同じ日に実測を行っていないため、厳密な比較はできない。このため、算出値は目安として示す。なお、実験室は露出 32[W]/2 点灯型の照明器具が 8 台設置されており、対象時間は 8 時~18 時とした。

照明電力の削減は、LS で 57.5%、LS+B(操作有)で 50.0%、LS+B で 22.5%となった。エネルギー削減効果は、LS が最も大きかった。ただし、前述の光環境を考慮すると、輝度を抑制しつつ、十分な机上面照度が確保でき、LS 同等に照明電力の削減が可能な LS+B

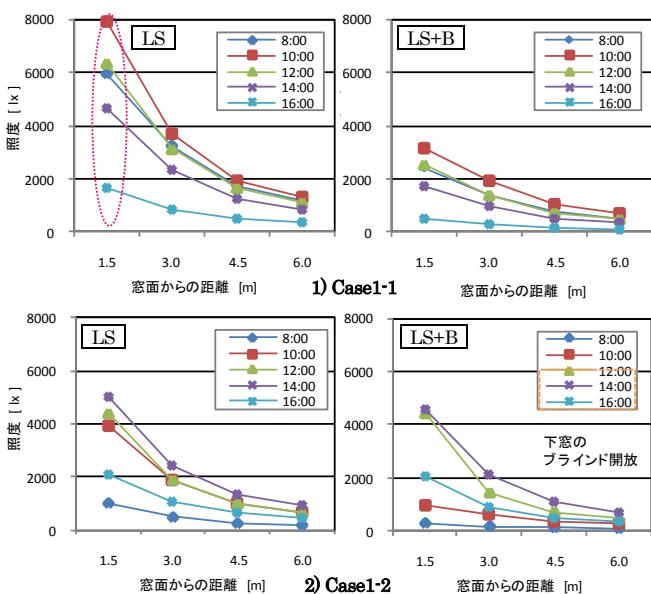


図 2 照度の測定結果

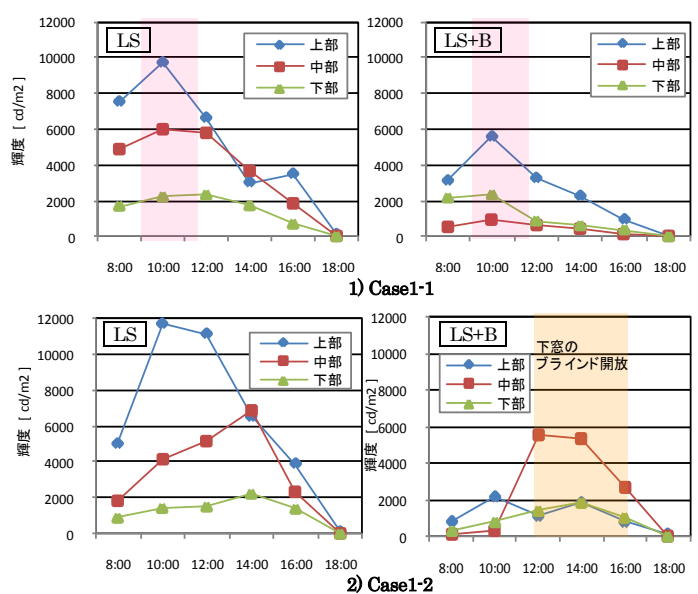


図 3 輝度の測定結果

が総合的に望ましいと推察される。

4. ライティング・シミュレーションの概要

実測により LS 導入時の室内光環境の把握を行ったが、測定結果のみで室内光環境の詳細を把握するのは難しい。特に季節別における差異や LS 導入の有無の検討に関しては実測では行っていない。ここではライティング・シミュレーションソフトウェアとして DIALux を使い、実測空間を対象としてより詳細な検討を行う。

4-1 解析手法の概要 DIALux では、室内表面を小さな面要素に分割し、それぞれの面要素のラジオシティ（放射・吸収される光エネルギーの割合）を求めて、光の拡散や相互反射を計算する手法（ラジオシティ法）を採用している。同手法では、反射光も考慮されており、より実現象に近いシミュレーションが可能である。

4-2 解析モデル 図5及び図6に DIALux を用いて作成した解析モデルを示す。図面及び実測に基づき、部材の反射率等を設定した(表4,5)。

5. 解析結果

5-1 予測精度の検証 シミュレーションの予測精度検証のため、実測との比較を行った。図7に Case1-1 の照度の実測値と予測値の比較結果を示す。なお、窓からの距離ごとの RMSE 値を合わせて示す。室ケース LS では、1.5m の測定値で RMSE=9875.2[lx]と大きな差が生じ、窓からの距離が離れるに連れ RMSE 値が小さくなった。一方、室ケース LS+B では、距離による差はあまり生じていない。窓際の差異に関しては、直射光の測定誤差もしくは予測精度が影響しているものと考えられる。また、DIALux には、壁の厚みの概念がないため、サッシ詳細部等の反射が再現されていないことによる影響も考えられる。以上より、窓面近傍の光環境の予測精度に関しては、若干課題が残るが今後の検討課題と位置付けている。しかし、窓際を除くその他の測定位置の結果は概ね一致しているため、設計段階における光環境評価ツールとしては十分適用可能であると考えられる。

5-2 不快グレア評価(PGSV) 窓側の室内中央における日光利用に伴うグレアの評価を(1)式の PGSV (Predicted Glare Sensation Vote)により行う。窓面をグレア源とし、 L_s には実測で得られたデータを用い、 L_b については、DIALux で出力された値を用いた。実

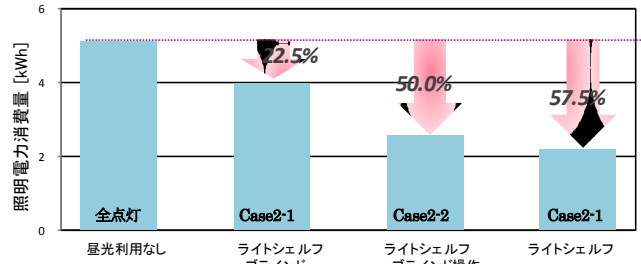


図4 日光による照明の電力消費削減効果

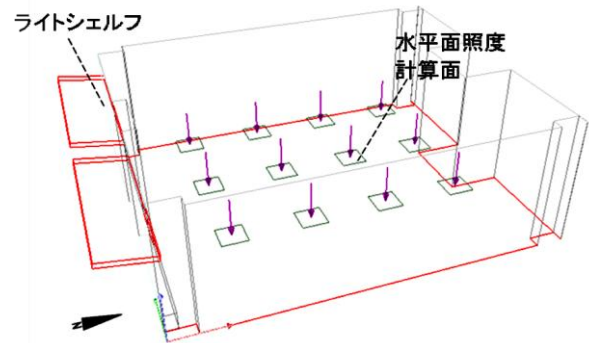


図5 実験室の解析モデル

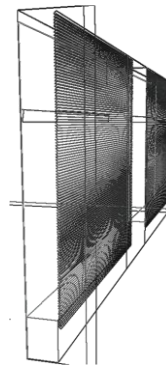


図6 ブラインドモデル

表4 解析条件

窓	反射率 10%, 透過率 90%
外部地面	反射率 30%
反射率	天井 70% (粗さ 50%), 壁 60% (粗さ 20%), 床 20% (粗さ 30%), ライトシェルフ 90%
所在地	北九州 (N 33°53, E 130°52)
天空モデル	Clear Sky (CIE), 直射光含む

表5 ブラインド条件

スラット角	ライトシェルフ上部 50° ライトシェルフ下部 -50°
反射率	60%
色	白色

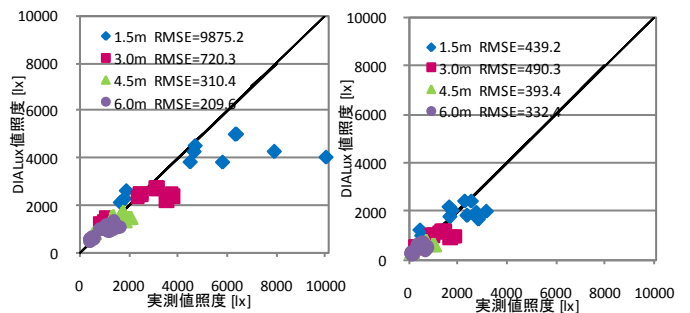


図7 実測値と DIALux 値の比較 (Case1-1)

測結果より、輝度分布が見られたので、窓全体の評価に加え、それぞれの位置における PGSV 値も算出した。図8に Case1-1 における窓面の PGSV 値の結果を示す。PGSV 値は 0 以上でまぶしさを感じて、基本的には -0.5 (まぶしさを感じない) を示すことが望ましいとされる。LS 導入時の PGSV 値は窓上部ほど高くなり、下部はまぶしさを感じないことが伺える。ブラインド

を併用すると、午前中に僅かにグレアが生じる程度に PGSV 値は解消され、窓全体のまぶしさは上部に起因すると言える。

$$PGSV = \log_{10} \frac{L_s^{3.2} \cdot \omega^{0.64}}{L_b^{0.61-0.79 \log_{10} \omega}} - 8.2 \quad \dots\dots(1)$$

L_s : グレア源の輝度 [cd/m²]

L_b : 背景輝度 [cd/m²]

ω : グレア源の立体角 [sr]

5-3 LS 導入の有無による机上面照度の差異 LS が既設された室で実測を行ったため、シミュレーションにより LS 導入の効果を検証する。LS 導入により、室中央の机上面(750mm)照度は約 10%増加することが分かった(図 9)。一例として、14 時における天井面照度分布の結果を図 10 に示す。LS により、窓際の照度が大きくなっていることが確認できる。また、室内は照度変化が緩和されており、LS によって、室内まで拡散反射光が効果的に供給されている。この天井面での照度分布が机上面にも反映されている。

5-4 夏季・冬季における室内照度分布 実測は中間期の測定のみであったため、ここでは夏季(8 月)及び冬季(1 月)のシミュレーションを行い、中間期との比較検討を行った。図 11 は各シーズンの 14 時における室内照度分布である。冬季は日光により、室内においても 750[lx]以上の照度が確保できる。また、室内では季節の移り変わりによる差異は緩やかである。一方、窓際の高い照度分布は、季節による差異が大きい。夏季は太陽高度が高いため、中間期よりも分布が窓際に移動するが、冬季は高照度が室中央まで生じる。これは、太陽高度が低い冬季では、ライトシェルフ下からの直達日射の侵入が増大するためと推測される。

以上より、冬季は全体的に室内照度が上がるが、高照度の分布域も拡大するため、夏季の方が安定した光環境が形成されると言える。

6. まとめ

ライトシェルフによる日光利用時の光環境の特性を実測とシミュレーションにより把握した。室内照度は LS のみでは、窓際から室内にかけての変化が著しいが、ブラインドを併用することで緩和される。また、窓面輝度は上下に分布が生じ、上部における輝度が最も高くなるため、PGSV 値は窓上部ほど高くなり、下部はまぶしさの要因になっていないことが分かった。

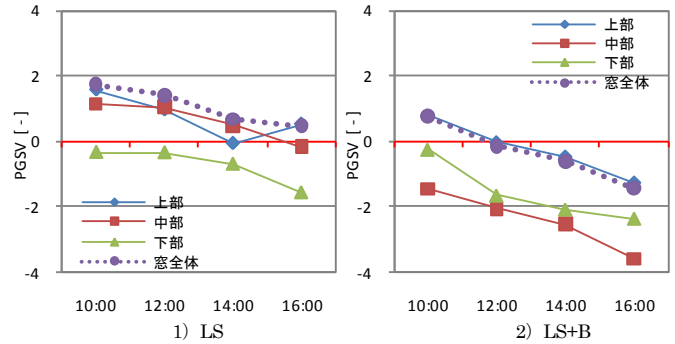


図 8 PGSV 値 (Case1-1)

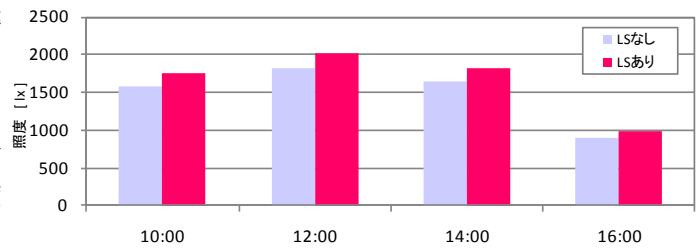


図 9 ライトシェルフの有無による机上面照度 (室中央)

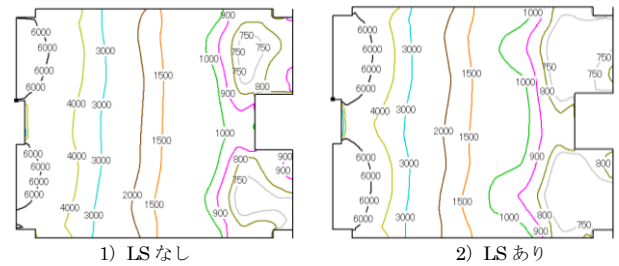


図 10 天井面照度分布

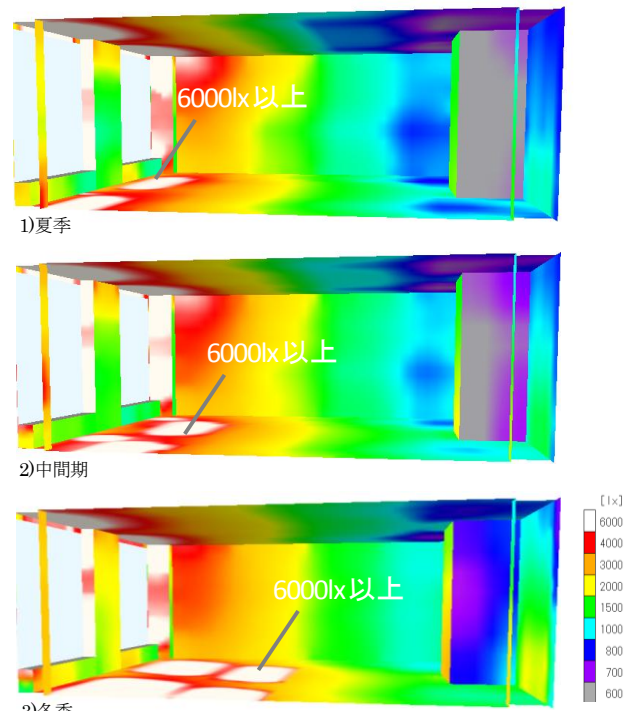


図 11 各シーズンの室内照度分布

【参考文献】

- 1) DIALux : <http://dialux.com/>
- 2) Tokura M, Iwata T and Syukuya M: Experimental study on discomfort glare caused by windows Part3-Development of a method for evaluating discomfort glare from a large light source-, J Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, (1996)
- 3) 日本建築学会 : 昼光照明デザインガイド, 2007
- 4) 松浦邦男, 高橋大式 : 建築環境工学 I - 日照・光・音 -, 2001