

# 最近の事務所照明設計理論 PSALI について

松下電器産業㈱照明研究所\*

松田宗太郎・田淵義彦

## 1. まえがき

最近の屋内照明の進歩発展は誠に目覚ましいものがあり、マルチハロゲン灯やグレアレス器具を含む各種新光源や器具が次々と開発されている。これら照明資材を有効適切に施設し、優良な視環境を構成して初めて照明の恩恵に浴することができるので、このような視環境を構成するための照明設計理論が非常に重要であり、この設計理論の分野においても多くの進歩が見られる。

これらの設計理論の研究のうち最近 PSALI ということが話題になっている。PSALI とは Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interiors の略で、日本では昼間人工照明あるいは常時補助人工照明と訳されている。1963年にウィーンで行なわれた国際照明委員会以後<sup>1)</sup>、その重要性は世界的に認められ、我国でも研究が行なわれているが、特に関西においては照明学会と建築学会の専門家の密接な協力のもとに積極的な研究が行なわれている<sup>2)</sup>。PSALI は今後の人工照明のあり方に対して極めて大きな意義と影響を持つと考えられているので、その概要を紹介する。

## 2. PSALI の概念

従来“照明とは暗いところを照らすためのもの”であって照明といえば夜のものであった。ところが光源、照明器具および照明技術の発達などにより、今や、“照明とは夜だけのものではない”あるいは“昼間こそ照明が重要である”。という時代になってきた。すなわち、地下室などのように昼光のほとんど入らない室ではもちろん、一般の事務室や工場など窓から昼光の相当入ってくる室でも、昼間の作業時間に電灯をつけるのが普通になってきた。

ところが、このような室の照明設計を行なうに当り、従来は窓から昼光の入ってこない状態を仮定して、すなわち夜間を想定して照明計算を行ない、照明器具の台数や配置を定めていた。ところが現実には、普通のビルやオフィスでは、作業時間は昼間の方が夜間よりはるかに

長く、人工照明も昼間の方が一層重要であることになる。従って照明設計は夜間よりもむしろ昼間を主体として行なうべきである。なぜならば昼間は夜間用の人工照明に昼光がプラスされるので、より明るくなるからさらに良い照明になるはずだと考えられやすいが、実際には明るい窓外の景色を見て目の順応が高くなることにより、室内は夜の場合より暗く見え、夜間は快適な照明状態になるよう設計された室でも、昼間は均衡を欠いて不適当になっている場合が多い。従って自然昼光の採光と、融合協調するための根底から改訂した新しい人工照明設計理論が必要となってきた。

この人工照明の性格は、

(i) 推奨必要照度たとえば J.I.S. 照度基準を満たすため、採光設計による昼光のみでは得られない不足を補う。

(ii) 照度絶対値の不足を補うに止まらず、窓外の明るい空を見ることによって目の順応が高まり、室内が主観的に暗くなることを防ぐため人工照明により室内表面の輝度を高める。

ことと言える。

(i)については、昼間の人工照明の必要量はその室に対する推奨照度基準により定まる値に対して、採光設計によって得られる昼光を差し引いたものとなる。しかし最近の良い照明施設では人工照明の照度も高くなり、しかも大い昼間も点灯されているので、この(i)の条についてはそれほど考慮を払う必要はなくなってきた。

しかし、PSALI の問題で重要なのは(ii)の問題であり、目の順応を考慮すれば“屋外が明るいときほど、室内の人工照明を明るくしなければならぬ。”ということである。

このようなことは、第1図(a)、(b)に示す事務室照明の比較写真でよく理解されることと思われる。(a)は人工照明を点灯した場合、(b)は人工照明を消灯した場合を示す。人工照明を消灯した場合は、室内の人物やものの表面がうす暗く見え、シルエットになって不快になる。最近では人工照明を全く用いないといった極端なことは行なわれず、通常は人工照明を点灯しているが、人工照明の用い方が不十分であったり不完全であったりすればやはり(b)のような状態に近くなることは免れ得ない。この写真

\* 大阪府門真市門真1,005

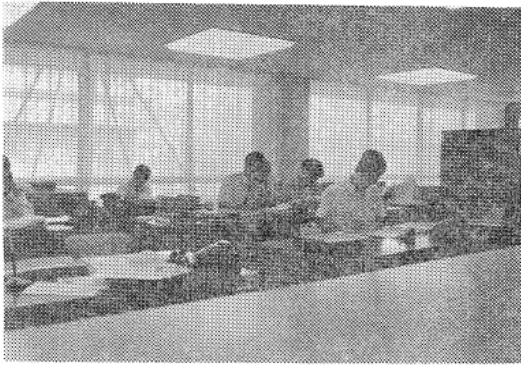


図 1 (a)

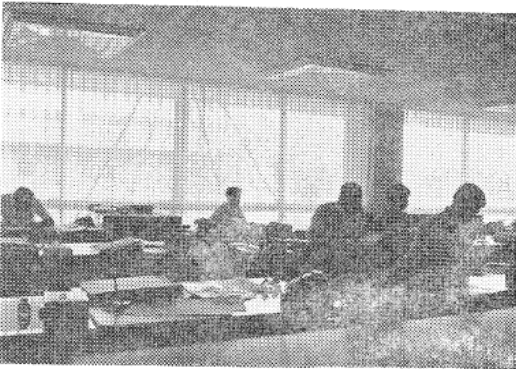


図 1 (b)

図 1 昼間の事務室

- (a) 人工照明 ( $1,000\text{ lx}$ ) を加えた場合  
 (b) 昼光のみの場合. 人物や仕器がシルエットになり不快である.

からも昼間の人工照明の重要性が容易に理解される。そして今後さらに考慮すべきことは単に夜間用の照明施設を昼間にも点灯するというに止まらず、最も自然な、かつ合理的、経済的な昼間用の人工照明が必要であるということになる。

ところで、窓から空が見えたり、昼光が差し込むことにより障害が起こっているならば、最初から窓のないビルを作ったり、窓をブラインドなどで完全に塞ぐことが考えられる。しかし、デパートやその他特殊な建物は別として普通のビルなどではその中で仕事をする人の感情を考えれば、窓のない、あるいは窓を塞いで外の景色の見えない室で一日中仕事をするとは何か隔離されたような閉鎖感を生じ、労務管理的な立場からも決して好ましいものではないと思われる。従って一般のビルや事務室では、できるだけ窓外の景色の見える状態で気持ちよく仕事ができるようにする必要があると言える。

以上が PSALI の基本的考え方であるが、具体的設計法の研究は各国ともやや難行しているきらいがあった。また要請される設計条件についても、天候状態や、主として経済条件を含む国情の差などで種々のギャップがあった。たとえば、PSALI の提唱されたイギリスでは天空輝度の標準値を  $500\text{ f-L}$  ( $1,700\text{ cd/m}^2$ ) としているが、これは C, I, E, 標準曇天空の輝度であり、イギリスを含めた北西ヨーロッパの天候状態が直射日光の少ない曇天の多いことをうかがわせる。一方日本では年間の半数日以上が晴れており、晴れた日の天空輝度は  $10,000\text{ cd/m}^2$  以上になることがしばしばあるので、日本の天候条件、経済状態に即応した設計法が必要となる。以下に、この設計法の最新の研究の一端を例題で紹介したい。

### 3. PSALI 設計に必要な輝度と照度の条件

PSALI の基本的考え方は“昼間に窓の明るい室において、窓が視野内に入る状態のとき、窓以外の室内の各面が暗く感じられるので、これを防ぐこと。”といえる。具体的アプローチとして、まず施設すべき人工照明の必要条件を明らかにすることから始めたい。

図 2 は、室の断面で、室の奥に座って窓の方向を見ている場合のようすを示す。窓に近い面とは、窓が設けられている壁面や、机上面すなわち事務室における作業面が考えられる。さてこれらの面を見ているとき、視線近くに明るい窓があると、これらの面が暗く感じられるのは次のように解釈される。

図 3 は、ある面を見ている場合、視線近くに高輝度の光源のある状態を模式的に示している。このような場合は、高輝度の光源により目の中心窩上に光幕を生じ、これが見ている対象の上に重なって、見かけの明るさを減ずるものと考えられる。すなわち、対象面輝度を  $L_0$ 、光幕輝度を  $L_1$  とすれば、見かけの明るさはもとの明る

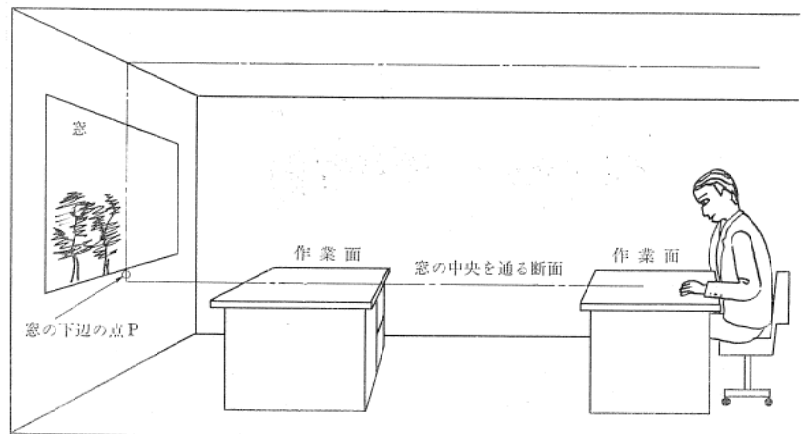


図 2 室の奥で窓方向を向いて座った場合の模式図

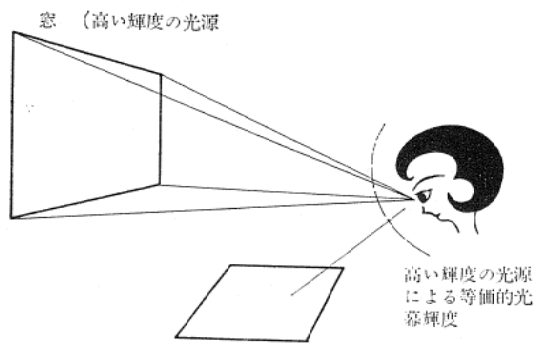


図3 窓(高い輝度の光源)によって目の中心窩に生ずる等価的光幕輝度

さから近似的には

$$\frac{L_0}{L_0 + L_v} (< L_0)$$

に低下すると考えられる。

また光幕輝度は、Moon と Spencer の導びいた式、すなわち視線から角  $\theta$  離れたところにある光源の微小部分による目の上の法線照度を  $dE_G(lx)$  としたときの、目の中心窩上の光幕輝度を与える実験式<sup>3)</sup>

$$L_v = \frac{9.6 \times 10^{-3}}{\pi} \iint \frac{dE_G}{\theta^2} \quad (cd/m^2) \dots \dots (1)$$

により求める。

これは中心窩外にある光源によって中心窩上に生ずる光幕輝度を与える。

さて、対象面に必要な輝度は、実験<sup>4)</sup>によれば、対象面輝度が光幕輝度と同等以上あることが下限、4倍以上あれば不満足ながら妥協しうるとされている。従って対象面輝度は光幕輝度の1~4倍以上あることが必要となる。ここで、できるだけ対象面輝度を高くするため高い照度を施すことは最良ではあるが経済的側面も無視することはできないので、対象面の重要さと経済性を加味して適当な倍数を選定するのが妥当と思われる。

光幕輝度の何倍の対象面輝度を与えるかの係数を“対光幕輝度比  $k_v$ ”と名づけ、表1に示した。

表1 対光幕輝度比( $k_v$ )

対象面の重要さ	対光幕輝度比( $k_v$ )
普通の面(壁など)	1
やや重要な面(作業など)	2
重要な面	4

さて図2に戻って、室内の各面を見ているときの窓によって生ずる光幕輝度を算出する必要がある。光幕輝度は、高輝度の光源が視線に近いほど大きいから、窓による光幕輝度が大きくなるのは、窓の正面で窓の中央を通

る断面上に座った場合で、しかもこの断面に沿った各方向を見ている場合である。その他の場所に座った場合、あるいは、窓側でない壁面を見ている場合などは、当然窓は視線より離れるか、見込む立体角が小さくなり、影響を受ける度合は小さくなる。従って2図において、一点鎖線で示した線上の各点を見たときの光幕輝度を求め、これに比例した照度を与えればよいことになる。すなわち、窓の設置された壁面についていえば窓に限りなく近い点、すなわち窓の下辺の点Pを見ている場合の光幕輝度が最大で、この値に比例した壁面照度が必要である。さて作業面照度は、原則的には、光幕輝度に比例した分布にすべきであるが、窓際では相当の昼光が差し込むので、施すべき人工照明はこれを差し引いた値となる。

これを箇条書きにすると、

- (i) 室内奥部で窓の中央を通る断面上に座って、この断面に沿った各方向を見た場合の、窓面による光幕輝度を求める。
- (ii) 各対象面に対して、その面の重要さと経済的側面考慮して適当な対光幕輝度比  $k_v$  を選ぶ。
- (iii) 対光幕輝度比  $k_v$  と光幕輝度の積が必要輝度となる。
- (iv) 必要輝度が求まったらその面の反射率で割り必要照度を算出する。(完全拡散面と仮定)
- (v) 昼光率と窓輝度の積により昼光照度を求め、必要照度から差し引けば、施設すべき人工照明の照度すなわち PSALI 設計照度となる。

#### 4. PSALI 設計法の例題

図4は側窓採光の事務室の例を示す。床面は10×10m,

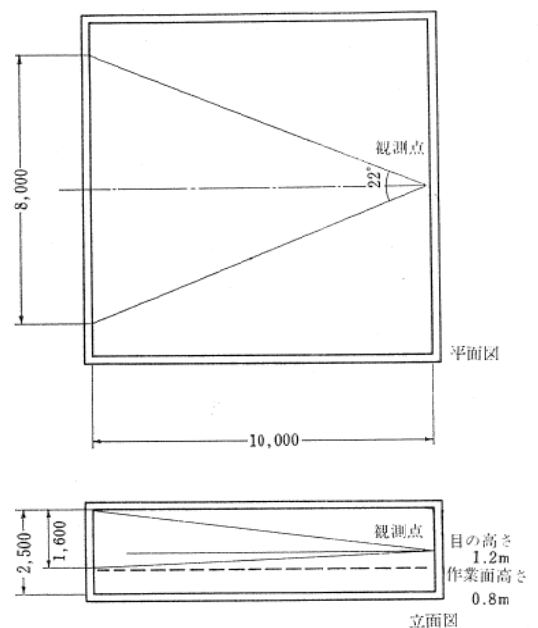


図4 側窓採光の事務室の例

天井高さは2.5mとし、窓は巾8m、高さ1.6mで天井まで開いているとする。これはPSALI的には条件の悪い例と考えられる。

(i) 光幕輝度

光幕輝度を求めるための窓の輝度の値としては、見はらしのよいビルでは低高度の天空の輝度を採用する。この値は、厳密にはその設計の際ごとに決定する必要があるが、ここでは晴れた日を考え、 $10,000 \text{ cd/m}^2$ として設計を進めた。この値は、室内に差し込んでいる自然昼光による照度を求める場合にも必要となる。

以下、窓の設けられている壁面と、作業面についてそれぞれ述べる。

(a) 窓の設置された壁面

窓の近くの壁面は、細かい質感がわかることは必要でないが、窓がまぶしく感じられない程度に明るくすることが必要と考えられる。従って光幕輝度と同等程度になるよう設計するものとする。この場合計算によれば光幕輝度が最大となる窓下辺の中央の点Pを見た場合の光幕輝度は  $200 \text{ cd/m}^2$  となる。壁面は比較的明るい塗装を施すこととして、反射率を70%とすれば必要壁面照度(鉛直面)  $E_w$  は次式より求められる。

$$\frac{0.70E_w}{\pi} = 200 \quad (\text{cd/m}^2)$$

$$\therefore E_w \cong 900 \quad (lx)$$

従って壁面照度は  $900 \text{ lx}$  以上になるよう設計すればよいことになる。このように窓のまぶしさを減少させるために昼間には壁面照明用器具を点灯することが望ましい。

(b) 作業面

作業面は机上面とし、机上に置かれている事務室器、印刷物などを一括して水平面として取り扱うことにする。さて作業面反射率は机上面のみでなく拡げられた印刷物などを含み、一概には決め難いが、机上面など極端に反射率の低い場合、すなわち4%程度の黒色である場合を除いて、やや濃い色の印刷物などを含めて30%程度と見積り、この程度以上の反射率のものがうす暗くならないことを設計目標とした。

さて作業面上の各方向を見ている場合の光幕輝度分布を図5に示してある。ただし窓の輝度は  $10,000 \text{ cd/m}^2$ とした。次に作業面に与える輝度は光幕輝度に比例し、その面の重要性和経済的制約により1~4倍の輝度にすればよいことは前述した。従ってこの範囲内の希望する段階を選択するものとして、それぞれ光幕輝度の1倍、2倍、4倍の作業面輝度を与えるに必要なPSALI設計照度を計算してみる。

図6はそれぞれ上述の光幕輝度の1倍、2倍、4倍を

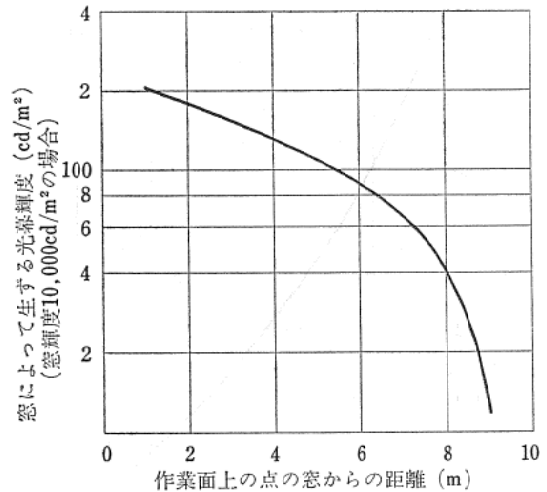


図5 作業面上の各点に対する光幕輝度  
座る位置は室の最奥で窓の中心を通る断面上とし  
作業面の点はこの断面と作業面の交わる各点とする。

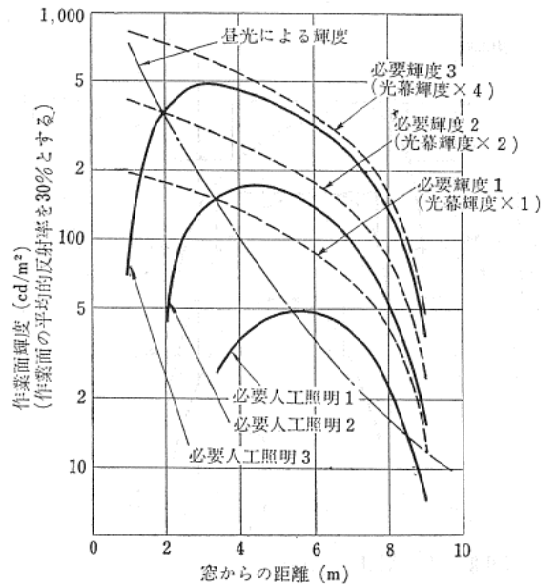


図6 作業面に与えるべき人工照明の輝度

- 昼光による輝度
- ..... 理論的必要輝度
- 人工照明の輝度

要求条件として破線で示してある。一方、窓際では昼光による輝度を差し引くことができるから、図7に示す昼光率曲線より、窓輝度を  $10,000 \text{ cd/m}^2$ 、作業面を反射率30%の拡散反射面として、昼光による輝度を求め、図6に一点鎖線で示した。従ってそれぞれの対光幕輝度比の場合について必要な輝度からこれを差し引いたものが、人工照明によって施すべき輝度でこれを実線で示した。この輝度値を反射率30%で割れば必要な人工照明の照度が求まる。これを図8に破線で示す。これはPSALIの理論的必要照度といえるものである。実際の設計にあた

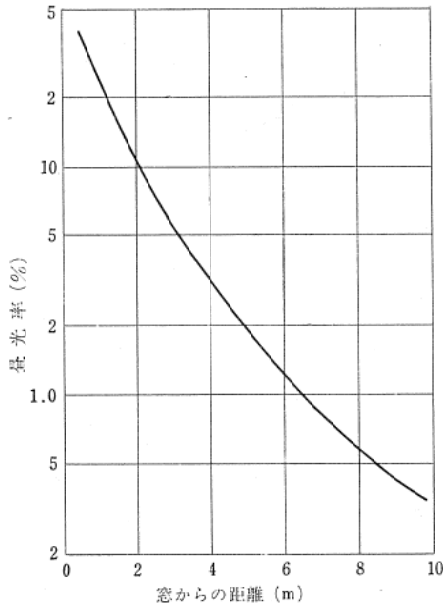


図7 作業面上の点（窓の中央を通る断面上）の昼光率

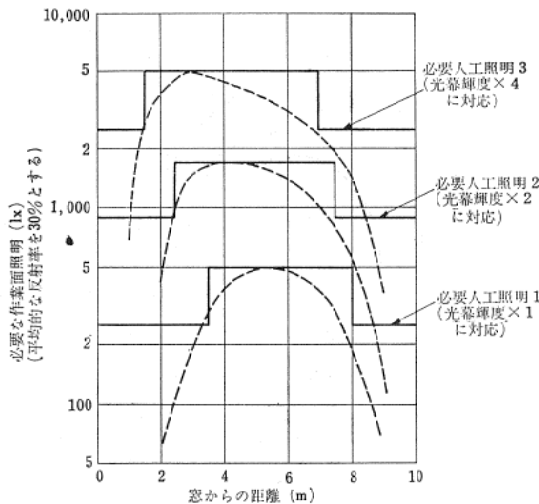


図8 PSALI 設計照度  
 - - - PSALI の理論的必要照度  
 ——— 実際設計照度

つては照度分布はこの曲線のように厳密に変化させる必要はないので、実線で示したような段階的な照度を設計目標とすればよい。窓際と奥壁付近の帯状区間に対して照度を中央部の $\frac{1}{2}$ としたのは、むやみに周辺部の照度を低下させた場合、窓方向を見ている場合の PSALI 設計としては合格しても、その他の方向を見ている場合に照明の不均一が感じられたり、作業面上の照度が低下しすぎたりするのは好ましくないからである。

### 5. むすび

以上、PSALI 設計の簡単な例について記述した。実際設計においては、現行の事務所推奨照度も考慮して、中央部を 1,000~2,000 lx として、その周辺を $\frac{1}{2}$ とす

る設計が望ましいものと考えられる。従って、全般照明設備は、窓際と奥壁付近の両区域においては中央部の半数でよいことになる。しかも夜間および曇天時は、中央部の照明も半数に減灯して周辺部と同じ照度にまで下げられることになる。このように PSALI は、視覚的、輝度分布的に非常に良好な照明を昼夜にわたって保証し、しかも照明の設備と運用ともに経済的であるという大きな特長をもっている。これは今後推奨照度基準が向上し、多くの照明施設が必要となるに伴い、ますます経済的な効果を発揮していくものと考えられる。

以上、簡単な例について PSALI 設計法の概念と実際的一端を述べた。終りに本研究を進めるに当たり、終始ご指導頂いている当社照明研究所岡田喜義所長に深謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) R. G. Hopkinson et. al.: Integrated Daylight and Artificial Light in Interiors, C.I.E. Vienna p-63.12 (1963)
- 2) 照明学会関西支部昼間人工照明研究委員会：昼間人工照明の理論と設計の概念, 照学誌 52 710 (昭43年)
- 3) P. Moon, D. E. Spencer: The Specification of Foveal Adadtation, J.O.S.A. 33, 444 (1943)
- 4) 松田・田淵 昭和43年照明学会全国大会

### 補遺 天空輝度について

従来、自然光による採光設計では人工照明なしでも作業に必要な照度を保証することに主眼が置かれていたため年間を通じての通常天候での実用上の最低天空輝度が設計の根拠となっていた。特に北西ヨーロッパでは直射日光の少ない曇天空が多いとされ、このような状態でも作業照度が得られることを目標として、採光設計の基本天空輝度として曇天空輝度 500 f-L (1,700 cd/m<sup>2</sup>) すなわち CIE 標準曇天空が採用されていた。ところが PSALI の基本的考え方は“窓の外が明るいときほど室内が相対的に暗く感じられないように人工照明を施す”ということにあるので、当然窓の輝度は室内人工照明の値を決めるため大きな影響がある。窓の輝度として、みはらしのよいビルでは低い高度の天空輝度を採用してよいと思われる。

さて実際の PSALI 設備は天空輝度がいくら高くなっても応じられるだけの設備を設ければよい照明になるが、やや経済的でないことになる。従って作業時間を通じての天空輝度の各段階ごとの発生頻度を統計的に把握し、天空輝度が通常の数より著しく高くなる場合はベネシアンブラインドを下げるのもやむを得ないといった柔軟な運用が望ましいものと考えられる。従来天空輝度の測定データはあまり多くないので、当社照明研究所では天空輝度の連続測定を行ない PSALI 設計のための基礎的データを集積している。

図9は当社中央研究所屋上の総ガラス張りのタワーで、ここに東西南北各方向に高度10°、開口5°の遮光筒式輝度計受光部が設置されている。

図10は室内にある連続測方の記録計部を示す。  
図11は1日の測定記録の例を示す。

日時 昭和43年9月20日  
天候 晴れ

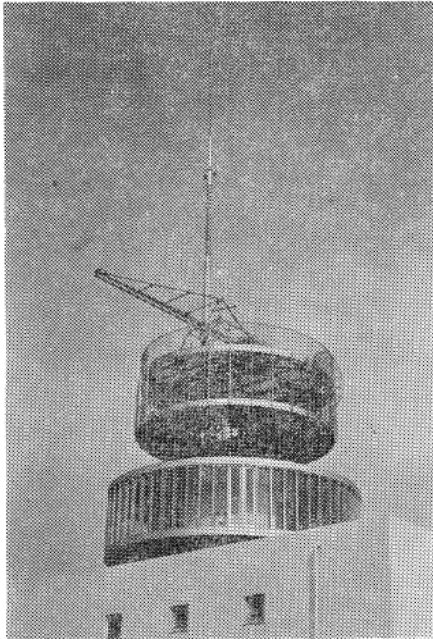


図9 天空輝度連続測定装置の遮光筒式輝度計受光部を設置した屋上タワー部

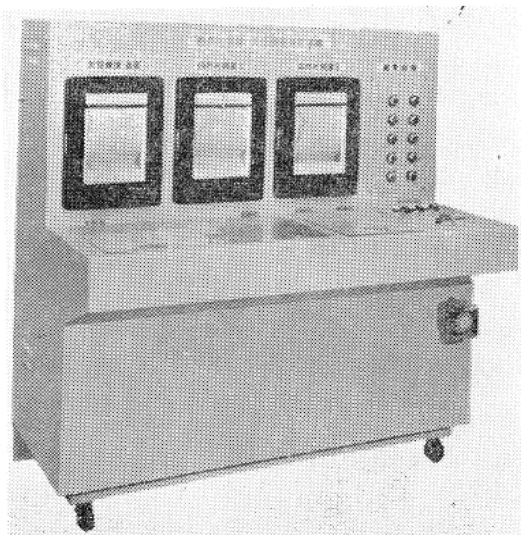


図10 天空輝度連続測定装置の記録部

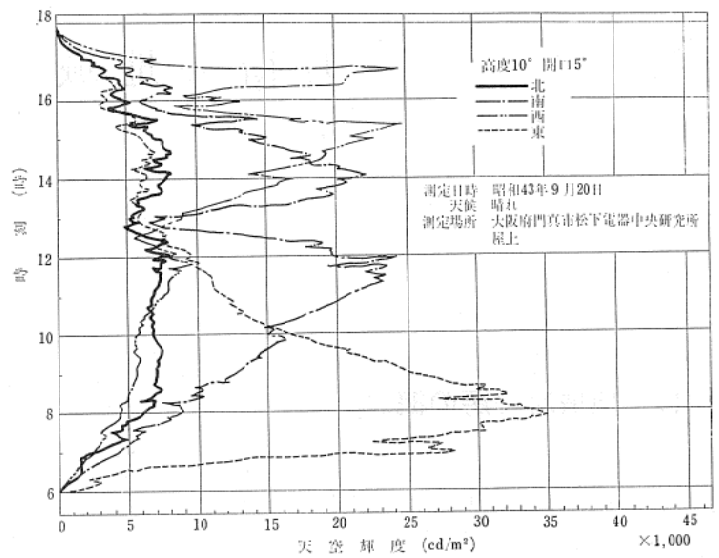


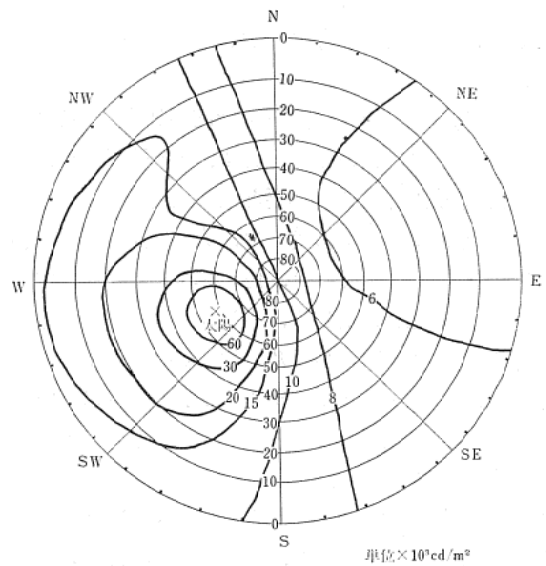
図11 天空輝度の連続測定値の例

晴れた日の天空輝度は太陽近傍を除いてはほぼ10,000 cd/m<sup>2</sup>としておけば安全側である。

また参考のため、天空輝度分布の測定例を図12に示す。

日時 昭和43年7月18日 14時8分～26分  
天候 晴れ

これによれば天空輝度は、太陽位置、すなわち季節や時刻および天候状態により大きく影響される。



測定日時 1966年7月18日 14時8分～26分  
天候 晴れ

測定場所 大阪府門真市松下電器中央研究所屋上  
測定器 松下電器照明研究所製直流輝度計

図12 天空輝度分布測定例