

空気調和 衛生工学

空気調和・衛生工学会

SHASE

*The Society of Heating,
Air-Conditioning and
Sanitary Engineers of Japan*

<http://www.shasej.org>

8

2011
Vol.85 no.8

特集

次世代照明による省エネルギー



空気調和 衛生工学

目次



平成23年8月
第85巻第8号

編集委員会 (50音順)

委員長 (理事)	梅宮典子	
副委員長 (理事)	石神哲史	
委員	秋元孝之	新 邦夫
	池田利幸	石井秀一
	板田武士	伊東民雄
	今中一博	伊與 亨
	小川昌幸	奥宮正哉
	金子英幸	片山一憲
	川井幹夫	木内雄二
	岸本洋喜	北山広樹
	木虎久隆	金 政秀
	桑原亮一	河野仁志
	斎藤一彦	坂倉 淳
	佐々木洋二	佐藤秀幸
	杉山龍朗	鈴木正美
	高橋幹雄	竹井 宏
	竹田喜一	田中 実
	長野克則	永山 隆
	芳賀陽一	日置潤一
	平山照康	三浦靖弘
	南 裕介	明珍邦彦
	宮井信雄	村田圭介
	矢野 弘	山田宰史
	柚本 玲	和田弘志

発行人 杉山 敦
発行所 社団法人空気調和・衛生工学会

印刷製本 文唱堂印刷(株)
表紙デザイン (有)ティーキューブ
カット
トレース マヤデザイン
用紙 (株)西武洋紙店
丸住製紙(株)
北越製紙(株)

広告取扱 (株)中 外

本文用紙は、古紙配合率55%の再生
パルプ用紙を使用しております。

巻頭 会 告

579 第85期を迎えて

特集/次世代照明による省エネルギー

- 587 省エネルギーと快適性を目的とした次世代照明/岩田利枝
593 光環境計画の動向/篠島隆司
601 ブラインド制御システム/井上 隆
611 太陽光採光システム
小林 光・菅原圭子・市原真希・山本 出
619 LED照明機器の動向/岩井 彌

講座

- 空調設備の試運転調整(5)
627 サブシステム(3)試運転調整/排煙および制御系
梶屋孝次・齊藤義明・田中毅弘

海外文献紹介

- 635 寸法予測の表計算ソフト:垂直地熱ポアホール領域
新村浩一 訳

委員会報告

- 643 建物の内部発熱・使われ方に関する実態調査と熱負荷・システムシミュレーション/長井達夫
649 省エネルギー指針の追補, 指針の効果推定および事例調査
奥宮正哉

竣工設備概要データシート

- 655 富士ゼロックス R&D スクエア(空調)
656 つくば市新庁舎(空調)
658 (財)神戸マリナーズ厚生会神戸厚生会病院(本館)(空調・衛生)
660 (財)神戸マリナーズ厚生会神戸厚生会病院(別館)(空調・衛生)
662 ホテルエルセラーン大阪(空調・衛生)
664 葵タワー(空調・衛生)
666 和光大学 E 棟新築工事(空調・衛生)
669 ダイハツ秋葉原ビル(空調・衛生)
671 神戸旧居留地 25 番館(空調・衛生・排水)

673 会 報

675 広告目次

(社)空気調和・衛生工学会ホームページアドレス
<http://www.shasej.org/>

省エネルギーと快適性を目的とした次世代照明

岩田利枝 東海大学 正会員

キーワード：昼光照明 (Daylighting), 高効率ランプ (High Efficiency Lamp), 必要照度 (Required Illuminance), タスク・アンビエント (Task-Ambient), 輝度分布 (Luminance Distribution), 人体影響 (Health Effect)

本稿では省エネルギーと快適性を旨とする次世代オフィス照明の概要について述べた。高生産性オフィス照明の手法としては、昼光照明、高効率ランプ・器具、適正位置の適性照度、視覚特性・心理の応用、生体リズム影響の考慮、屋外上方光束の削減があげられ、これらについてまとめた。

はじめに

現在のオフィス照明には、“消費エネルギー削減”と“生産性の向上”の両方が強く求められている。

これまでであれば、ここに“地球温暖化の主要因とされるCO₂レベルを安定させるには、建築分野におけるエネルギー由来のCO₂を77%減少させなければならない。”と記述してその絶対的背景を示したうえで、“日本では、パッシブ建築、自然エネルギーの利用、高効率熱源、高効率照明、太陽光発電などの積み重ねによってZero Energy Building実現の可能性があることが試算されている。”と“各分野の努力による可能性”を強調した。

しかし、3月11日の東北地方太平洋沖地震、それに伴う大規模な電力不足が、多くのものを激変させた。とにかく待たなして節電せざるを得ない状況となった。照明分野では当然“むだな電気は消そう”の中、オフィスでは部分消灯や器具から一部の蛍光灯を取り外すなど、減灯体制になった。また、各店舗や駅なども一斉に減灯を行い、東京タワーをはじめライトアップも自粛、屋外照明も必要最低限以外は消灯という事態となった。

比較的早く暗い環境に慣れたように思う。しかし、オフィスでは本来の機能を損なっては経済に支障をきたし、本末転倒になる。冷房期の供給電力の不足は深刻だが、クールビズの冷房28度も、作業能率を低下させると指摘されていた。期間中、オフィス1m²あたり約1万3000円の損失が出るという試算も示された。このようにやみくもなエネルギー削減によって生産性が損なわれることに対する危惧も強い²⁾。

1. 照明の省エネルギーの基本的手法

オフィス照明の省エネルギーの基本的手法として、以下のようなものがあげられる。



写真-1 減灯状況(都内の私鉄の駅)
合計41灯ある蛍光灯のうち点灯していたのは8灯だけ。
しかし床上1mの水平面照度は250~300lxだった。

写真-1 減灯状況(都内の私鉄の駅)

- 1) 極力(できれば昼間はすべて)自然光で照明する。
- 2) ランプおよび器具の高効率化
- 3) 必要などころに必要な量の光(細かい制御)
- 4) 視覚・心理の考慮・利用
- 5) ヒトの生体特性の考慮・利用
- 6) 夜間屋外への上方光束の削減

これらは相互に関連しあっている。1), 2)は建築と照明のハード側の問題、3)は制御も含むが、実は人間の特性4), 5)を利用して成り立つ。そして、結果が執務者(安全、快適、健康、さらに生産性など)に与える影響を考慮した最適解が求められる。本特集も、これら全体が含まれるような構成になっているので、詳細や具体的な例は他稿に任せるとして、本稿では一般事項について述べる。

2. 昼光照明

まず、Zero Energy Lightingとして考えられるのは昼光照明だが、思うように採り入れられない場合も多い。CASBEE³⁾では昼光利用設備については、“昼光利用設備がない”、“1種類ある”、“2種類以上ある、または高度な機能を有する”でそれぞれレベル3から5となる(レベル1, 2はない)。“高度な機能”については、“光を集める機能と光を室奥へ導く機能の両方を有するものなど”と記さ

れており、集光部、導光部に装置を有するものと考えられる。しかし、集光と導光はひたすら効率を上げることを考えればよいが、放光部は室内環境に直接かわり意外と難しい。まぶしさや照度分布など、一般照明と同様の配慮が必要になる。また、建物条件にもよるが、設備を用いて“昼光照明”といえるほどの光を採り入れるには、直射日光の利用が必要となる。直射日光を安定して得るためには、太陽位置に合わせられる可動部が必要となってくるが、装置規模やメンテナンスなどが効果に見合っているかを考えなければいけない。昼光利用は、できるだけ単純な形でされるのが望ましい。

昼光制御は、レベル1：“何もない”から、2：“スクリーン、オーニング、ひさしによりグレアを制御”，3：“ブラインドによりグレアを制御，もしくはスクリーン，オーニング，ひさしのうち2種類を組み合わせるグレアを制御”，4：“ブラインドに，スクリーン，オーニング，ひさしのうち1種類以上を組み合わせるグレアを制御”，5：“自動制御ブラインドによりグレアを制御”となっている。装置をつければつけるほどレベルが上がるというレベル設定は首をかしげてしまうが，いずれ改良されると思われる。現在は，自動制御ブラインドが最も効果的で進歩も著しい(詳細は井上氏の原稿を読んでほしい)。

3. ランプ、器具の高効率化

照明分野ではLED照明の普及により，CO₂削減の目途がたったような論調も多かったが⁴⁾，私自身もそれにのせられ本誌2009年1月号“異見のページ”に“CO₂排出を1990年比6%削減することは可能か”に対し“何とかできる(照明関連は電球型蛍光ランプやLEDで，計算上はちょっと強気です)”などと書いている。たしかに白熱電球を置き換えるという計算であれば，かなりの省エネルギーが見込めた。しかし，地震に伴う節電の前でも，他分野が頑張ったため相対的に照明分野も光源の置き換えだけでは十分とはいえなくなり，より大幅な削減の達成が求められるようになっていた。また，器具を変えずにランプだけ変えるやり方には無理があり，計算通りの省エネルギーとはならない場合もあった。LEDについては成熟期に入ってきたので，今後はより特性を生かす方向に行くと考えられる(LEDや新光源については後に具体例が述べられている)。

4. 必要な量，必要なところ

上記のように，ハードには限界があり，照度レベルの直視や執務内容・形態などを把握していかなければ，省エネルギーと快適性の達成はかなわない。

表-1 CASBEE 2010 版 照度³⁾

レベル1	[照度]<300 lx
レベル2	300 lx ≤ [照度] < 500 lx, または 1 000 lx ≤ [照度]
レベル3	500 lx ≤ [照度] < 750 lx
レベル4	全般照明方式の場合で，照度が750 lx以上1 000 lx未満。タスク・アンビエント照明方式もしくはこれに準ずる照明方式の場合で，タスク照度が750 lx以上1 000 lx未満，アンビエント照度がタスク照度の1/3以上2/3以下。
レベル5	タスク・アンビエント照明方式もしくはこれに準ずる照明方式の場合で，タスク照度が750 lx以上1 000 lx未満，アンビエント照度がタスク照度の1/3以上2/3以下，かつ壁面の鉛直面照度もしくは天井面の水平面照度が100 lx以上

表-2 CASBEE 2008 版 照度⁶⁾

レベル1	[照度]<500 lx
レベル2	500 lx ≤ [照度] < 600 lx
レベル3	600 lx ≤ [照度] < 750 lx または 1 500 lx ≤ [照度]
レベル4	750 lx ≤ [照度] < 1 000 lx
レベル5	1 000 lx ≤ [照度] < 1 500 lx

4.1 必要照度

JIS Z 9125“屋内作業場の照明基準”はISO 8995(CIE S 008 E 2001)を翻訳し技術的内容を変更して作成した規格だが，この“変更部分”が興味深い。事務所に関しては“維持照度 E_m ”“UGR 制限値 UGR_L ”“平均演色評価数の最小値”が定められているが，日本のJISでは“執務室 750 lx, 19(UGR), 80(Ra)”が付け加えられる形になっている。基になったISOでは，基本的に作業で照度が区分されており，ファイリング，コピー，配布などが300 lx，文書作成，タイプ，閲読，データ処理が500 lx，CADワークステーションが500 lxとなっている。“750 lx”という値は日本が“実状を加味して”加えたものなので，これがそのままJIS Z 9110“照明基準総則”の“執務室 750 lx”になっている。国際基準に合わせるはずだったが，実際には1.5倍の照度を用いていることになっている。

一方，CASBEEではオフィスに対し表-1のようにレベルが決められている。レベル4，5での照度が750 lx以上1 000 lx未満でJISよりさらに高い値を示している。しかし，2008年版(表-2)と比較すると全体に照度が下がってきている。2008年では1 500 lx以上は評価が下がるが，おおむね照度が高ければ高いほどよいということになっていた。

4.2 照明制御

CASBEEでは“照明制御は，点灯・消灯，調光によって室内の明るさ，色温度，照明位置を制御できる度合いのことを意味している。”としているが，レベル1が“制御区画

が分かれていない、かつ、照明制御盤・器具などで調整できない”、レベル3が“4作業単位で照明制御できる、または、照明制御盤・器具などで調整できる”で、レベル5が“1作業単位で照明制御でき、かつ、端末・リモコンなどで調整できる、または、自動照明制御ができる”となっている。制御の細かさについては制御範囲だけで、調光や調色の自由度などにはふれていない。

照明制御により室内の明るさ、色温度、その分布などを変化させることは、エネルギーを削減するだけではなく上手に行えば快適性を向上させることもできる。当然、省エネルギーについては細かい制御ほど効果が大きくなるが、制御範囲以外のゾーンへの影響なども考慮しなければならない。近年、他の範囲への考慮も含めた自動分散制御も提案されている⁷⁾が、対象位置それぞれの制御は可能でも、全体の視環境の配慮に問題が残されている。

4.3 タスク・アンビエント照明

CASBEE 2010年版⁸⁾の変更に見られるように、タスク・アンビエント照明が推奨されている。必要作業面照度をタスク照明で確保し、アンビエント照明(全般照明)による照度を低減することができるため、全体として照明用電力消費量を削減することができ、在席率の低い場合などはさらに省エネルギーとなる。この手法自体は新しくなく、1996年に照明学会全国大会でシンポジウム“タスク・アンビエント照明(TAL)の設計はどのようにあるべきか”が組まれているが、その後思っていたほど普及しなかった。この理由として斎藤は“関連する研究論文やオーソライズされた設計基準がまったくなかった”、“執務者に不均一照明に対する抵抗感が強かった”ということあげている^{8),9)}、当時の研究の知見として、“机上面作業、思考作業、VDT作業、会話などの行為によって好まれる照度比が異なる。アンビエント照度は300 lxは必要である。タスク照明からの照度/アンビエント照明からの照度(T/A比)は0.5~2程度”とまとめられる¹⁰⁾。CASBEE(表-1)のタスク照度とはタスクエリアの照度のことなので、おおむね研究結果と整合している。

4.4 パーソナル制御(調光、調色)

タスク・アンビエントの省エネルギー以外の面として、パーソナル制御による満足度の向上があげられる。特に、タスク照明の調光機能(段調光を含む)は個人差や作業内容に対応でき、個人の要求を満たすことができる。タスク照明の調光の影響を、アンビエント照明による照度400 lx、タスク照明による照度300 lxの条件下で調べた結果、疲労感の自覚症状や作業成績では差がなかったが、自己評価による知的生産性には、満足度、作業のしやすさ、作業性に与える影響において、タスク照明調光可条件が調光不可条件に対して有意に高い値となったことが報告されてい

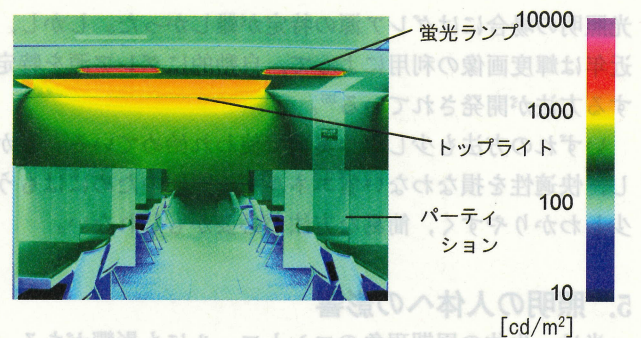


写真-2 輝度分布図

る¹¹⁾。また、アンビエント照明照度370 lxの条件下でタスク照明を好みの照度・色温度にしたほうが昼白色でタスク照明照度470 lxより、自己申告作業効率が有意に高くなったという報告もある¹²⁾。これらの研究では、光環境の質そのものより“パーソナル制御”による心理的満足度の影響が大きいようだ。また、結果としても作業成績そのものより自己評価による生産性や主観評価に影響が現れている。ただし、光の色の個人制御に対しての要求は見られていない。光色は時刻や求められる雰囲気の影響が大きいので、被験者実験が短時間であることやこれまでオフィスにおいて光色を意識してこなかったことが影響しているのかもしれない。

4.5 輝度分布を用いた新しい光環境評価指標

光環境評価において“人の目への実刺激として、照度ではなく輝度を用いるべき”ということは長くいわれてきたが、輝度は多点で視方向があるため、通常はより簡単な照度が用いられることのほうが多かった。しかし、最近はデジタルカメラの画像から輝度分布画像(写真-2)を作成することにより、その輝度分布を用いた“見え方”の評価指標が幾つか提案されている。例えば、色モード境界輝度を基にした空間の明るさ感指標 Feu が提案されている¹³⁾。色モード境界輝度とは、光源色(自発光)に見える場合と物体色(反射光)に見える場合の間にあって、物体色に見える場合の上限輝度になる(Feuの詳細については、本特集後半を参照)。この指標により、机上面照度だけでは評価できない“空間の明るさ感”を予測することができる。

また、輝度分布に空間周波数によるフィルタをかけて分解し、それぞれに人の感度をかけて合成するという手順で、見え方を数値化する方法が提案されている¹⁴⁾。この方法では、各点の明るさ尺度値(NB値)を算出したり、明るさ画像、視認性画像、グレア画像などを出力することができる。この方法を用いれば、分布(照度分布あるいは輝度分布)の影響を考慮した各位置の明るさ感が予測できる。不快グレアについては従来から輝度を用いていたが、昼

光照明の場合にはグレア源の特定が難しかった。しかし、近年は輝度画像の利用によって、自動的にグレア源を特定する方法が開発されている¹⁵⁾。

いずれの方法も少しずつ実務で使われ始めている。しかし、快適性を損なわない省エネルギー照明のためにはもう少しわかりやすく、簡易な方法が必要かもしれない。

5. 照明の人体への影響

光は、生体の周期現象のコントロールにも影響がある。哺乳類における体内時計の中核は、視床下部の視交叉上核 (Suprachiasmatic Nucleus: SCN) に存在する。SCN に光情報を伝達する細胞として、哺乳類の網膜には桿体と錐体以外に内因的光感受性神経節細胞 (Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells; ipRGCs) という光受容細胞が存在することが示された。

松果体からのメラトニン分泌も概日リズムを持ち、昼間は抑制され夜間の2時～3時に最大となるが、これも光によって抑制されることが知られている。Brainardらは、メラトニン分泌抑制の作用スペクトルのピークは、446～477 nmにあると報告している¹⁶⁾。研究によって作用スペクトルは若干異なるが、いずれの結果も明所視における分光視感効率のピーク波長555 nmよりも短波長側にあることを示している(図-1)。

ドイツ工業規格 DIN では、光の生理学的影響の評価係数を暫定規格として制定している¹⁷⁾。これは筆者が示した考え方¹⁸⁾とほぼ同じもので、分光視感効率を相対分光メラトニン分泌抑制感度(メラトニン抑制作用スペクトル)で置き換えて光束と同様の算出を行い、これをさらに光束で割って、同じ明るさを得た場合のメラトニン抑制影響として示している。各波長に対して、作用スペクトルの加法性や光照射のタイミングによる違いなど、まだ未解明な部分も多く、推論の域を脱してはいないが、ドイツ規格欧州標準化や国際標準化への影響力が大きいので、今後の展開が注目される¹⁷⁾。

人工的な光によってさまざまな恩恵を受ける一方、疫学、医学関係の研究の中には、電気照明が自然の明暗サイクルを破壊するのではないかという懸念がある²⁰⁾。不眠による慢性的な疾病や乳がん²¹⁾、夜間のメラトニン分泌抑制による腫瘍の成長²²⁾、不規則な昼夜サイクルによるがん・心臓血管の病気・糖尿病・肥満のリスク増大^{23), 24)}といった報告がされている。

現在の白色 LED 照明(5 500 K 青色 LED+黄色蛍光体のタイプ)は図-1のように460 nm 付近にピークを持ち、これはメラトニン抑制の作用スペクトルのピークに近い。このことから、生体への影響の大きさが心配された²⁵⁾。計算上は通常の生活では他の光源と大きな差が生じるほどの影

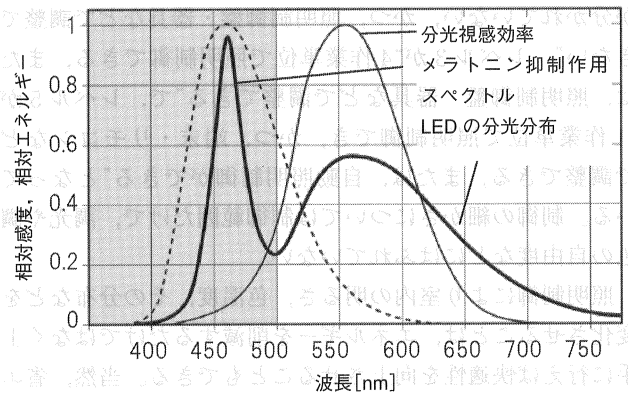


図-1 分光視感効率、メラトニン抑制作用スペクトルとLEDの分光分布¹⁹⁾(グレイの部分はIDAが制限すべきとしている範囲)

響ではないともいわれているが²⁶⁾、十分な検討の前に普及が先行してしまったという反省も必要であろう。

6. 夜間屋外への上方光束の削減

夜間、天空など不必要な場所を照らす光は、エネルギーの浪費と光害をもたらす。地上から上方に向けられた光(上方光束)は、雲がない場合は照明用電力を宇宙に捨てることに、雲がある場合は光を不要なところにばらまくことになり、まったく省エネルギーと快適性に逆行する。屋外照明器具の改良により一時期減少した上方光束が、近年再び増加の傾向にあった。²⁷⁾しかし、現在、首都圏の上方光束は激減しており、本稿ではこれについては書くことがなくなった。妙なりバンドが起らないようにするために、今も“必要な場所は照らす”ことが必要である。

おわりに

震災後の“暗い東京”には意外なほど早く慣れた。“やればできる”に任せた感があり、研究者としてはかなり無力さを感じた(“照度は落とせる”ともっといえばよかった)。

そもそもLED照明の急速な普及を見ながら、研究や評価、基準がまったく追いついていないと痛感していた。もちろん、“(質の悪い)新しい照明”が暴走しないように慎重な姿勢を示すことも大切だが、視環境研究は全体的に保守的すぎる傾向がある。被験者実験を繰り返しても、“慣れた環境”が“よい環境”になっているためになかなか新しい環境の提案に至らない。もっと実務者が参考にしたと思う研究成果やさらには新しいアイデアが湧くような研究成果を上げられるようにしなければいけない。もう少し積極的に勇気を持って提案していくべきだと考えている。

参考文献

- 1) 高口洋人：ゼロ・エネルギー・ビルディングを支える建築技術 主旨説明，日本建築学会関東支部シンポジウム資料(2010)
- 2) 例えば 西原ほか：冷房設定温度 28℃ 環境における知的生産性評価，日本建築学会大会梗概集 D-II(2006)，pp.447～450
- 3) CASBEE 新築(簡易版)建築環境総合性能評価システム，評価マニュアル 2010 年版，日本サステナブル建築協会編集，IBEC 発行(2010)
- 4) 例えば 下出澄夫：LED 照明の最新技術動向と照明器具への展開，第 24 回日本照明委員会大会講演予稿集(2008)，pp.9～20
- 5) JIS Z 9125，日本規格協会
- 6) CASBEE 新築(簡易版)建築環境総合性能評価システム，評価マニュアル 2008 年版，日本サステナブル建築協会編集，IBEC 発行(2008)
- 7) 三木光範ほか：LED 知的照明システム・輻射空調システムを導入した“低炭素型実証オフィス”の運用実績(その 3，4)，日本建築学会 D-1(2010)，pp.541～544
- 8) 斎藤 満：タスク・アンビエント照明の必要性和最近の動向，照明学会全国大会講演論文集，29(1996)，pp.363～364
- 9) 斎藤 満：タスク・アンビエント照明システム(特集 省エネ照明における最新動向(2))，IBEC，30-5(2010)，pp.34～37
- 10) 例えば，稲沼ほか：オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式の適応性に関する実証的研究，日本建築学会計画系論文集，548(2001)，pp.9～15
- 11) 西川ほか：タスク照明の個人制御が知的生産性に与える影響に関する研究，日本建築学会環境系論文集，603(2006)，pp.101～109
- 12) 中林ほか：タスク・アンビエント照明に関する基礎検討(その 1，2)，日本建築学会大会梗概集 D-1(2011)
- 13) 篠田・山口：色モード境界輝度による視環境の明るさ評価，照明学会誌，93-12，pp.879～884
- 14) 中村芳樹：輝度画像と“見え方”，照明学会誌，93-12，pp.879～884
- 15) T. Iwata and W. Osterhaus：Assessment of Discomfort Glare in Daylit Offices Using Luminance Distribution Images, Proc. of CIE Conference Lighting Quality & Energy Efficiency(2010)，pp.174～180
- 16) G.C. Brainard et.al.：Action spectrum for melatonin regulation in human evidence for a novel circadian photoreceptor, The Journal of Neuroscience, 21-16(2001)，pp.6405～6412
- 17) 望月悦子：視環境と居住者の生理・心理，空気調和・衛生工学，85-1(2011)，pp.41～48
- 18) 久保田真由・岩田利枝：生体リズムを考慮した光環境評価，日本建築学会環境系論文集，596(2005)，pp.15～20
- 19) International Dark-Sky Association (IDA) Press Release (2009-10)
- 20) R.G. Stevens：Light-at-night, circadian disruption and breast cancer：Assessment of existing evidence, International Journal of Epidemiology, 38-4(2009)，pp.963～970
- 21) D.E. Blask：Melatonin, sleep disturbance and cancer risk, Sleep Medicine Reviews, 13-4(2009)，pp.257～264
- 22) D. Blask, et al.：Putting cancer to sleep at night：The neuroendocrine/circadian melatonin signal, Endocrine, 27-2(2005)，pp.179～188
- 23) Filipiski, et al.：Disruption of circadian coordination and malignant growth, Cancer Causes and Control, 17-4(2006)，pp.509～514
- 24) L. Fu and C.C. Lee：The circadian clock：Pacemaker and tumor suppressor, Nature Reviews Cancer, 3-5(2003)，pp.350～361
- 25) 小谷朋子：LED のあかり～照明ソフトの観点から，照明学会誌，94-6(2010)，pp.342～344
- 26) M.G. Figueiro, et al.：Does architectural lighting contribute to breast cancer?, Journal of Carcinogenesis, 5-1(2006)

Lighting in Next Generation to Achieve Energy Saving and Comfortable Environment

Toshie Iwata*

Synopsis This paper presents aspects of future office lighting which aims at both energy saving and comfortable visual environments. The strategies to reduce energy consumption in office lighting for higher productivity are: effective daylighting, increase in efficacy of lamp or lighting fixtures, adequate illuminance for adequate area, use of human visual and psychological properties, considering effects of light on human circadian rhythm and reducing outside upward flux. An outline of those strategies is described

(Received April 10, 2011)

* Tokai University, Member



岩田利枝 いわたとしえ
昭和 30 年生まれ/出身地 東京/最終学歴 早稲田
大学大学院博士課程単位修了/学位 博士(工学)

光環境計画の動向

篠島隆司 (株)竹中工務店 正会員

キーワード：光環境計画(Light Environmental Planning), 省エネルギー(Energy-Saveing), パッシブ制御(Passive Control)

我が国の温室効果ガス排出量削減にとって、建物のCO₂排出量削減が重要な課題である中、環境負荷をいかに低減するかをテーマとした建築が増えている。光環境計画においても、高効率照明やLEDなど次世代照明の導入、照明制御など、設備システムにおける省エネルギー手法の採用に加え、近年ではパッシブな環境制御機能を取り入れ、外光などの自然エネルギーを有効活用しようとした計画も多くなっている。

本稿においては、これらに取り組んでいる最新の事例を紹介し、光環境計画の動向について述べる。

はじめに

環境負荷の低減は重要な課題であるが、オフィスビルにおける知的生産性や、商業施設における楽しさ、賑わいなどを低減しないようにする必要がある。

例えば、オフィスでの開放感と眺望を確保するためのガラスカーテンウォールに空調負荷低減と採光を目的とした外装ルーバーを設けたり、建物内部に光を取り入れる光庭の採用により、良質なワークプレイスと省エネルギーを両立させる取組みが行われている。また、商業施設においても、従来より明るさを抑え省エネルギーを図りながらも、照明手法の工夫によりデザイン性と消費エネルギー削減の両立を図った事例がある。これらの事例を、実績もふまえて紹介する。

1. 高効率・高品質なワークプレイスと光環境の構築

オフィスビルにおける高効率・高品質なワークプレイスの構築、高レベルの環境品質保持と環境負荷低減の両立を追求した竹中工務店新社屋における、光環境計画について概説する。

1.1 竹中工務店新社屋の光環境計画の概要

一般的なオフィスビルでは、昼光導入を大きな窓面から行い、天井照明の自動調光を組み合わせることで省エネルギー化を図ろうとするものが多かった。しかし、大きなガラス窓面は、窓際付近の温熱環境を悪化させたり、グレア源となって視環境を損ねる場合もある。また、窓際付近では、屋外と室内の輝度対比が大きい場合は室内を暗く感

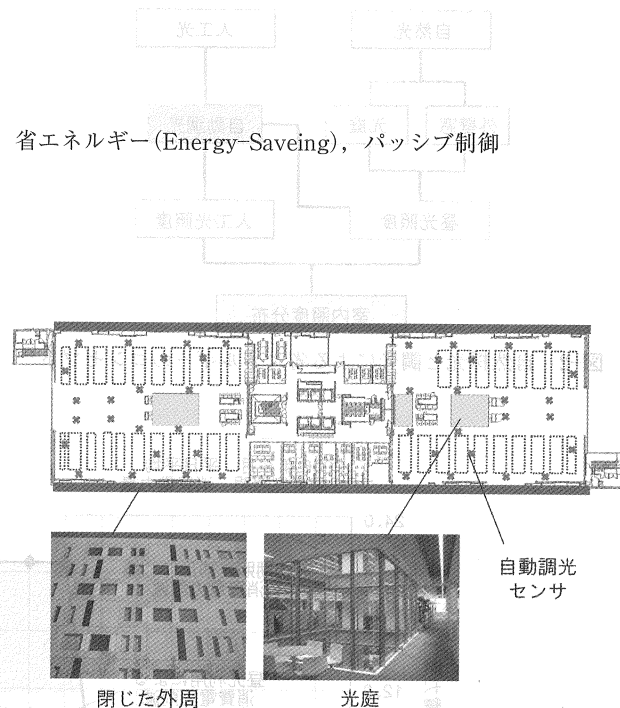


図-1 ファサード(外部環境)と光庭(内部空間)

じ、かえって天井照明の出力が増加してしまう場合もあることがわかっている¹⁾。そこで、本建物ではファサードの窓面を小さくし、建物内部の光庭から昼光導入を行っている(図-1)。建物の中心に3箇所ある光庭の導入により、日中から日暮れ、夜まで自然光の変化、降雨や降雪の状態などの気象変化を常に見ることができる。また、上下左右の透視性は社屋の空間全体を結びつけ、創造的発想をさらに活性化させて、建物全体のワーカーの生産性が向上することを期待している。

オフィス内は従来の均質な環境ではなく、むしろミーティングエリアでは自然を感じやすい環境の場を、執務エリアではワークに集中しやすい均質な光、温熱環境の場をつくること、そしてワークプレイス全体が快適な環境であるとワーカーに感じさせるような空間をつくることを目標とした。

ワークプレイスの光を補うのが人工照明である。昼光制御、初期照度補正を自動的にを行いながら、執務やミーティングに適切な照度制御を行っている。この人工照明の調光と自然光利用とを組み合わせることで消費エネルギーの低減を狙っている(図-2)。

このほか、アクティブな自然光利用として、光庭の一つに太陽光集光装置を設置しており、日中は比較的安定した自然光をエントランスに導いている。

本建物では、上記以外にも空調での環境負荷低減技術、BEMSからのフィードバックによる運転最適化などにより、一般のオフィスビルに比べ、建物全体のCO₂排出

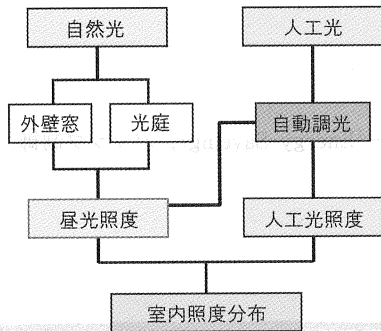


図-2 自然採光と調光による省エネルギーのコンセプト

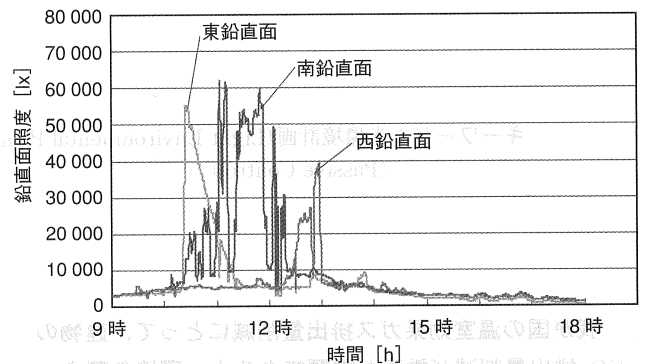


図-3 光庭鉛直面照度 (2005/8/29)

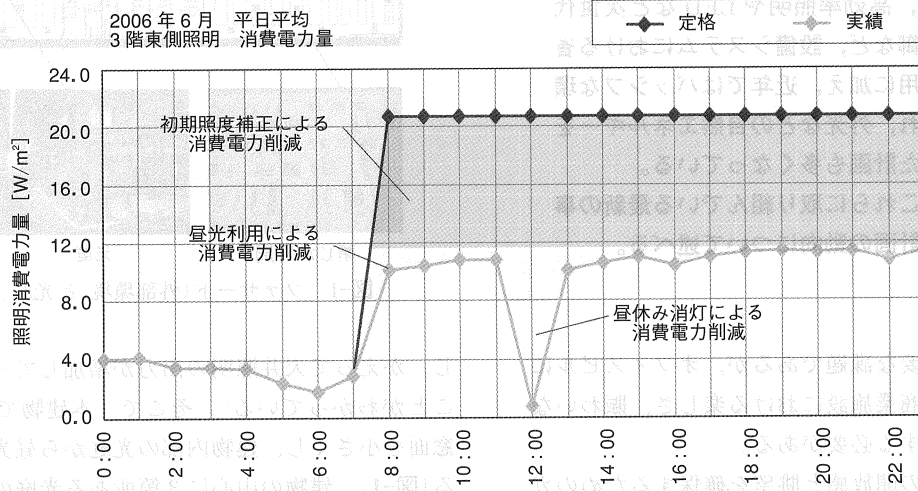


図-4 照明消費電力時刻別推移

量、一次エネルギー消費量とも50%の削減を実現している。

1.2 光環境の実態調査²⁾

(1) 室内光環境(光庭の効果)の測定結果

光環境における夏期の実測を4階(地上7階建て)の南側オフィスにて行った。光庭鉛直面照度の経時変化を図-3に示す。西面では10:30頃、南面では11:30頃、東面では13:00頃に光庭鉛直面の照度が高くなっており、南面では最大約60,000 lxとなっていた。10:30~13:00の間の太陽高度は58~63°であり、直射日光が直接光庭鉛直面に入射するのは、建物最上部から19mの範囲内である。4階の光庭鉛直面には、直射日光の直接成分と上層階の光庭での反射成分が入射し、鉛直面照度が高くなっていったと考えられる。

光庭の鉛直面照度が最も高かった日と光庭を遮へいた日の水平面照度の測定結果を比較すると、光庭が遮へいされた状態では、時間によらず、水平面照度がほぼ一定となっていた。光庭が開放された状態では、光庭から約3mの範囲内で、東側で10:00、西側で13:30の水平面照度が高くなっていった。光庭鉛直面照度が高い時間帯には、光

庭から3m程度の範囲で昼光が導入されることが確認された。

(2) 自然採光による照明エネルギー削減効果

図-4に、基準階における消費電力量の時刻推移を示した。昼間の消費電力量が夜間よりも若干抑制されているのは、昼光利用により制御されているためである。

照明器具には、高効率HF32W型および高効率HF16W型器具を使用し照明センサにより、机上面で650 lx、室内平均で600 lxを確保する計画としている。単位面積あたりの消費電力量は最大11.4 W/m²である。定格での単位面積あたりの消費電力量は20.7 W/m²であり、約45%出力を絞った状態で運用を行っている。さらに、夜間の点灯率を下げるため、10.8m×5.4m単位での照明リモコンスイッチを導入している。

(3) 執務者アンケート調査

実測を行った4階南側オフィスの執務者72人(回収率47%)のアンケート結果を示す。

図-5に、4F南側オフィスの各執務者の空間の開放感(-1:閉鎖的~+1:開放的)と快適性(-3:不快~+3:快適)の関係を、光庭の状態別に示す。開放感が高いほ

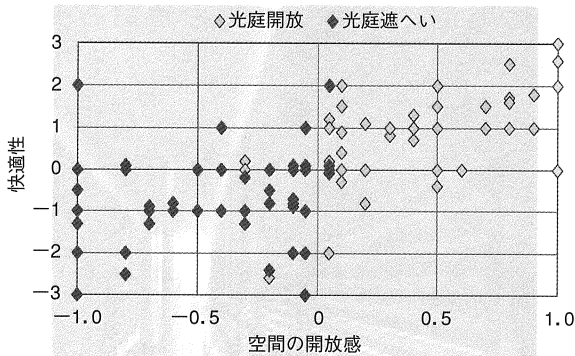


図-5 空間の解放感と快適感の関係

ど、室内環境に対する快適感も高く、また光庭が開放されている状態のほうが遮へいされた状態よりも、有意に開放感が高いことが示された。

実測やアンケートにより、光庭による執務スペース内部までの日光導入効果は少ないものの、執務者は光庭から自然光の影響を感じており、光庭によって開放感を得ていることがわかった。

(4) 光庭・開放系ミーティングエリアとプロダクティビティ(WPP)の関係

オフィス空間の大きな特徴である光庭と開放性に誘発されるコミュニケーションの活性化が、WPPにどう影響しているのかを評価した。

光庭の快適性を平均以上とする割合は98%を超え、WPPが向上とする評価者は3割近く、低下させると評価する者は皆無であった。また、光庭によってコミュニケーションを平均以上に活性化させるとする意見が9割以上、WPP向上につながるという割合も6割以上をしめ、開放的空間構成が知的生産活動に良い影響を与えることを示唆する結果が得られた。

2. オフィスビルでの外装ルーバによる環境制御効果

2.1 オフィスビルでの外装の役割

環境負荷低減という視点で見ただけの場合、外装はあるときは建物の内外を隔てて内部の環境を守り、あるときは光と空気の通り道として積極的に機能することを求められる。一方で開放感と眺望を確保するため、多くの建物でガラスカーテンウォールが採用され、遮へい物を最小限にすることが望まれている。そこで、眺望をある程度確保しながら日射を適切にコントロールすることを目的として、外装に設置された固定ルーバと可動ルーバの事例を紹介する。

2.2 高層オフィスビルにおける外部固定ルーバの効果³⁾

建物の南北両端に、コミュニケーション誘発の場として2層の吹抜けを設けていることを特徴とした高層オフィスビ

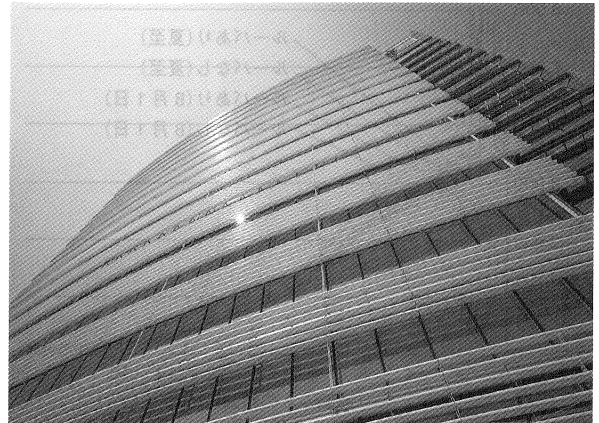


写真-1 外装外観写真(外部固定ルーバ)

ルの事例である。この吹抜け空間には、居住者に対して外部とのつながり感を持たせながらある程度良好な温熱環境を構築するため、内外の接点にパッシブに環境を制御するルーバを設置している(写真-1)。ルーバにより、屋内居住域に対し十分かつムラの少ない照度を確保しつつ、冷房負荷の原因となる日射熱取得を効果的に抑制できることをねらいとしている。

ルーバ設置に際しての考え方は、下記の通りである。

- 1) 眺望をなるべく阻害しないよう居住者の視線を妨げにくい高さにする。
- 2) 日射に由来する冷房負荷を削減するため、太陽の方位・高度から春分・秋分間には直達日射が入らないようルーバの奥行き、ピッチを設定する。
- 3) 外部空間に対しガラス面の反射光を低減し、光害を抑制する。
- 4) 断熱性能を考慮して、南面にはLow-Eガラスが採用されている。

(1) シミュレーションによる予測評価

ルーバ設置の効果を確認するため、室空間の光環境をシミュレーションにより検証した。ここでは、南側吹抜け空間を対象として計算した結果を示す。外界条件は夏至および8月1日の南中時、いずれも標準晴天とし、ルーバ設置の有無により計算した。

机上面照度と窓面からの距離との関係を図-6に示す。窓面から7m程度までの部分ではルーバ有無の差は大きいですが、それよりも室内の部分ではその差は小さい。ルーバ設置によって照度は全体に下がっているものの著しく高照度となる部分が少なく、ムラも小さくなっており、居住環境としてはより良好になっていると解釈できる。ルーバがない場合、南中高度(夏至78°、8月1日72°)に相応して窓面付近に直達日射が入る。床面では直達光が当たる部分は10000lx以上、それ以外の部分もペリメータ近傍10m程度まで1000lx以上となり、ルーバのある

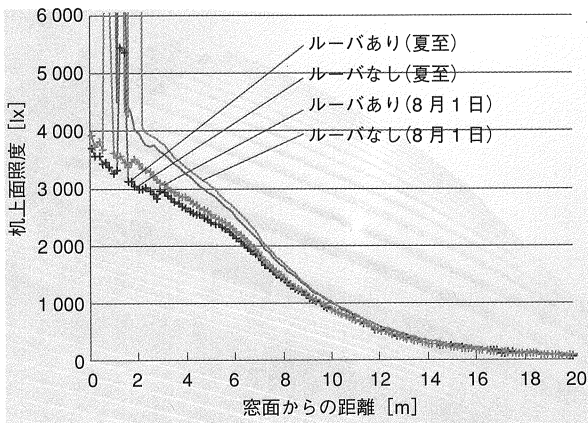


図-6 机上面照度分布

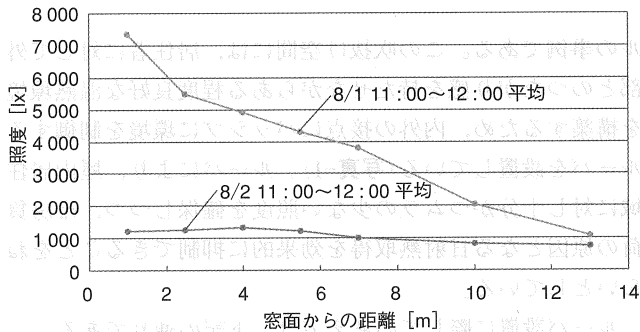


図-7 窓面からの距離と照度との関係

場合に比べ照度は全体が高い。8月1日を夏至と比較すると、太陽高度が低い分だけ屋内に日射が入りやすく、照度は全体に高くなる。

(2) 光環境の実測評価

光環境の測定を真夏に行っており、南側吹抜けの測定結果を示す。

晴天日では、窓面のごく近傍で日中 8000 lx に達していた。窓面から 7m 付近まではほぼ常時 1000 lx 以上が保たれ、正午前後は 4000~5000 lx になる。通常の事務作業を行うには高すぎる照度であるが、この空間がコミュニケーションを活性化させるため、一時的に滞在する意図でつくられていることを考慮すると、日サイクルの視環境変化を感じ、居住者の体内時計を維持する効果が期待される環境はむしろ好ましいと考えられる。

窓面からの距離と照度との関係を図-7に示す。南中時刻に近く、外界条件の比較的安定していた 11:00~12:00 を代表時間とし、その時間平均値を算出した。曇天代表日は晴天代表日に比べると照度が全体に下がっているが、日中の照度は窓面から 13m でも 800 lx 程度となっている。室奥は主に天空光の影響を受けているものと推定され、曇天であってもある程度の照度を確保することができると考えられる。ルーバの効果は、日射熱取得率の低減にも寄与できてい



写真-2 バルコニー内部(外部可動ルーバ)

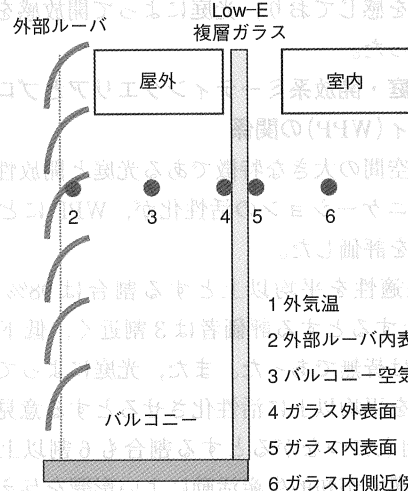


図-8 温度測定点

る。日射熱取得率は晴天・曇天で 0.27, 0.29 程度となり、ルーバがない状態を想定した場合の 0.47 と比較して十分に低減しており、外ルーバが日射熱負荷削減のために効果的に機能していることが実証できた。

2.3 外部可動ルーバシステムの効果⁴⁾

窓ガラスの外部に可動ルーバを設置するシステムは、高性能ファサード(ダブルスキンやエアフローウィンドウなど)と比較しても、夏期の日射遮へい性能が高いとされる。ここでは、ガラスを用いた東面外装に設けられた屋外バルコニー(W=1.2m)の外側に電動外部ルーバを設置し、日射遮へいを行っているオフィスビルの事例を紹介する。窓ガラスは断熱性の高い Low-E 複層ガラスを採用している。写真-2に、バルコニー内部写真を、図-8に、外装システムの概略図と温度測定点を示す。導入した外部ルーバは自動制御機構により、水平(傾斜角 0°)、中間

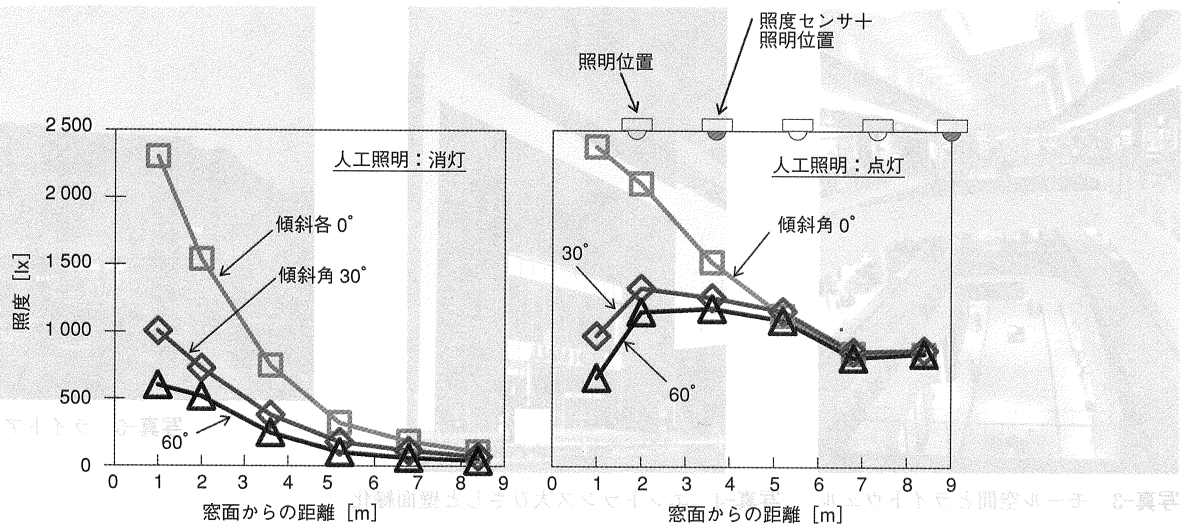


図-9 外部ルーバ傾斜角ごとの室内照度

(30°), 遮光(60°)の3段階に制御可能であり, 直達日射を遮へいする角度に制御されている。東鉛直面日射量 120 W/m^2 を基準値として晴曇判断を行い, 曇天時には傾斜角を水平としている。また, 夜間および休業日には遮光(傾斜角 60°)としている。

(1) 光環境の実測評価

本建物の室内光環境を検証するため, 夏期 9:30~11:10 に人工照明を点灯・消灯した条件下で, 外部ルーバの傾斜角を変えて照度ならびに輝度分布計測を行った。照度は室奥方向に6点, パーティションに合わせてFL+1.15mの高さで, 1分間隔で自動計測した。照明はHF 32W 蛍光灯を設置しており, 昼光センサで 700 lx を目標に自動調光している。なお, 測定時は直達日射がなく, 曇天であった。

図-9は, 外部ルーバ傾斜角ごとの室内作業面照度を, 照明が点灯している場合と消灯している場合で比較したものである。横軸を窓面からの距離, 縦軸を作業面照度としてグラフ化している。人工照明消灯時には, 窓面に近いエリアでルーバ傾斜角により大きな照度差が生じているが, 窓面からの距離が5m以上の地点では照度の差は小さい。人工照亮点灯時の結果からも, 窓面からの距離5m以遠では昼光の影響を受けにくく, ルーバ傾斜角によらず, 人工照明により照度がほぼ一定に制御されていることがわかった。

窓面ではルーバ傾斜角を水平に近づけると, 輝度比, グレアとも大きくなる。外部ルーバは日射遮へい性能が高いことも確認できているが, 直達日射の遮へいのみならず, 不快グレアの発生抑制にも留意したルーバの傾斜角制御が必要であると考えられる。

3. 大規模商業施設における光環境の取組み⁹⁾

大規模商業施設のような多くのエネルギーを消費していた建物においても, 近年消費エネルギー削減策が導入されてきており, 光環境面でもさまざまな取組みをしている建物が出てきている。従来, 商業施設に来られる顧客に, より明るい空間を提供するという観点から, 事務所ビルなどに比べて明るい照明計画を行うことが多かった。ここでは, “エコショッピングモール”を目指した大規模商業施設において, 従来の概念を覆して, 雰囲気を生かし明るさ感のメリハリをつけた, 新しい照明手法によりデザイン性と消費エネルギー削減の両立を行った事例を紹介する。

3.1 内部空間での照明手法

照明消費エネルギーを削減するには, 照度を落とすのが容易な方法であるが, 暗い雰囲気になってしまうと商空間としての魅力がなくなってしまう。魅力ある商空間とは, 空間の快適性やゆったり感, わくわく感があり, 繰り返し訪れたい場所, 居心地のよい場所と位置づけられる。本建物の照明手法は, この空間的魅力に加え, ユニバーサルデザイン, エコストア, 安全・安心の要素を統合して展開した。そこでキーワードを, ①外光利用, ②照度, ③色温度, ④デザイン性, ⑤省エネルギー, ⑤メンテナンス性とし, 光環境計画を行った。

内部空間では, まず, 照度を抑え照明の消費電力を削減することで, 空調負荷も低減でき, 建物全体のエネルギー消費量を大幅に削減する計画とした。照度を抑えるにあたり, 照度のメリハリ, 明るさ感, 色温度をキーワードとして計画した。従来は, 照度 $800\sim 1000 \text{ lx}$ で色温度は 4200 K 程度(白色)が多かったが, 今回はモール部を平均照度 500 lx , 色温度を 3500 K (温白色)とし, 飲食部分を平均照度 350 lx で温度を 3000 K (電球色)として温かみのある空間となるよう計画した。



写真-3 モール空間とライトウェル

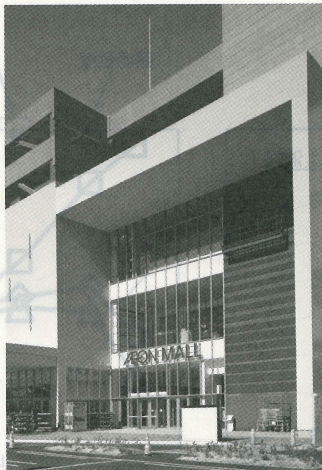


写真-4 エントランス大ひさしと壁面緑化



写真-5 ライトアップ

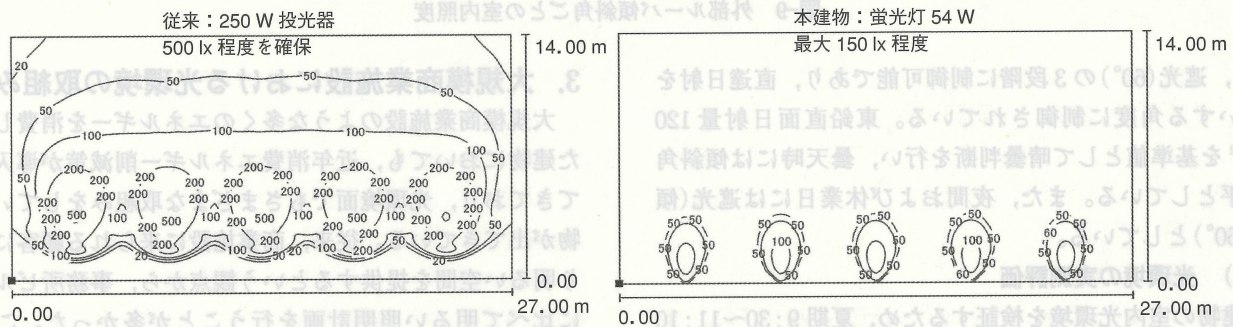


図-10 従来と本建物のライトアップの照度比較

また、照度を抑えても暗い印象を与えないよう天井をライトアップして輝度を確保し、明るさ感を高めるとともに、モールでは70Wのスポット照明を部分的に配して床面照度を3000lx程度まで高めてメリハリをつけ、変化にとんだ魅力ある空間となるよう工夫した(写真-3)。

一方で、吹抜け部のライトウェルからは自然光を取り入れて、外部とのつながりを明るさで印象づける計画とした。逆にエントランスのカーテンウォールからは内部のにぎわいが外部にしみだすようにして、緑化壁とともに豊かな中間領域をつくりだすよう配慮している(写真-4)。

照明器具については、モール部の照明の大部分を占めるダウンライトを高効率・高演色・長寿命のセラミックメタルハライドライトに統一した。大型化(100W)・照度低減による台数削減、長寿命化によりランプ交換の頻度を減らすとともに、大部分は床面から点検できるように配置してメンテナンス性を高めている(一部吹抜け部のランプ交換が困難な場所にはLEDダウンライトを採用)。

以上のような計画により、モール部全体ではライトアップを含めても、従来と比較し消費電力の35%削減を図ることができた。

3.2 外部空間での照明手法

外部空間においては、従来投光器により壁面ライトアッ



写真-6 LEDによる可変演出照明

プを行っている事例が多いが、本建物では、高効率の蛍光灯を用い、建物をひさし上からやわらかく光らせて、建物をぼんやり浮かび上がらせるようにした。建物のライトアップは蛍光灯により行い、外壁面にフィンを取り付け、表情の工夫を行った(写真-5)。壁面照度は、図-10のように、従来の平均500lx程度から最大150lxへと落とし、従来と比較し消費電力の73%削減を図ることができた。さらに、商業施設としての賑わいを出すため、LED照明により刻々と色に変化する演出照明を行っている(写真-

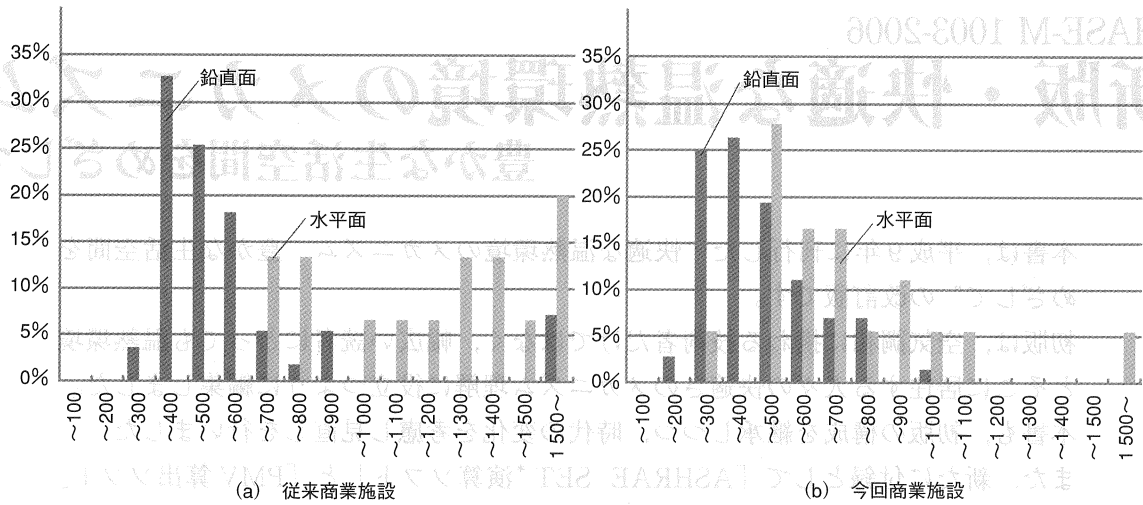


図-11 水平面・鉛直面照度比較

6)。

3.3 内部空間における実測評価

モール内水平面・鉛直面照度測定を行い、従来商業施設との比較を行った。実測は、昼光の入る16時の測定とした。

図-11にモール1階での、水平面・鉛直面照度の比較を示す。従来、商業施設の水平面照度分布は本建物に比べてかなり高い側に偏っているが、鉛直面照度はその傾向が小さく、平均で比較した場合、ほとんど変わらなかった。鉛直面照度への影響は店舗の照明が大きく、本建物では、モール全体の中で店舗が強調される傾向があり、モール床面の照度のメリハリも合わせ変化のある空間となった。

また、本建物のライトウェル下通路での水平面照度は、昼間が500lxに対し、夜間では300lxと外光の影響が大きく現れたが、鉛直面照度への外光の影響は小さく、店舗の照明に主に支配されていた。

従来の明るい施設は、楽しい雰囲気を作り出すことに役立っているとは考えられるが、今回のように、デザインを工夫したうえで照度を抑え、テナントが際立つことで賑わいを演出し、省エネルギーを図る照明手法もこれからの商業施設で多くなっていくのではないと思われる。

おわりに

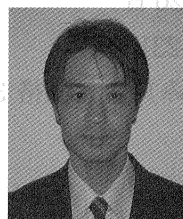
本稿では、最新の光環境計画の事例を実績をふまえ紹介したが、今回紹介した事例はその一部であり、他にもパッシブ制御を取り入れた建物や、全館LED照明とした建物も出てきている。照明器具のさらなる高効率化やタスク・

アンビエント照明の普及など、人工照明における省エネルギー化はもとより、今後はいかに外光などの自然エネルギーを、空調負荷にならないよう有効に取り入れ利用できるかといった技術が求められると考えられる。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学会便覧第12版(1995)，3巻 p.31
- 2) 草 宇銘ほか：オフィスにおける光庭の昼光導入および快適性に対する効果，照明学会大会学術講演論文集(2006)
- 3) 黒木友裕ほか：高層オフィスビルのパッシブな環境制御機能に関する研究(第4報) 外装ルーバによる環境制御効果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2010-9)，pp.1395~1398
- 4) 徳村朋子ほか：放射環境を考慮したオフィス空調に関する研究(第5報)外部ルーバとペリメータの放射環境に関する検証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2009-9)，pp.437~440
- 5) 篠島隆司ほか：“第3回サステナブル建築賞”受賞作品紹介，イオンモール草津，IBEC(2010-5)，pp.48~51

(2011/5/20 原稿受理)



篠島隆司 しのじまたかし
昭和39年生まれ/出身地 大阪府/最終学歴 同志社大学大学院機械工学専攻/資格 建築設備士，電気主任技術者/その他 空気調和・衛生工学会技術振興賞第11回第15回，第3回サステナブル建築賞審査会奨励賞

ブラインド制御システム

井上 隆 東京理科大学 正会員

キーワード：日射遮へい(Solar-Shading)，自動制御ブラインド(Automatic Control Blind)，昼光利用(Day-lighting)

筆者らは、オフィスビルのエネルギー消費の大きな割合を占める空調と照明の省エネルギーの観点から、ブラインド自動制御と照明制御のあるべき姿について検討を重ねてきた。これらによる省エネルギー推進のため、活動の成果を学会規格としてもまとめている。適切なブラインド制御による日射遮へいと昼光利用の両立は、今般の大震災に端を発した電力需給の逼迫への対応としても極めて有効であるが、短期的側面のみならず省エネルギーや温暖化対策として本来あるべき方策であり、長期的視点からも推奨されるべきものと考えられる。

はじめに

近年建築において窓など透明部位はより大きくなりつつあり、ここで用いられるブラインドは冷暖房・照明の省エネルギーのうえでも、室内の温熱環境、光・視環境を確保するうえでも重要性を増している。エアフロー型窓、ダブルスキン、外ブラインドなど高度なファサードシステムにおいても日射を遮へいする役割を担っているのはブラインドである。しかし、通常の手動や単なる電動のブラインドでは、その多くが必ずしも適切に使用されていないのが実情である¹⁾。この解決策として、自動制御ブラインドを導入することで初めて、時々刻々変化する太陽位置や日射の強さなどに応じた、適切な遮へいによる冷房負荷削減、熱・光環境の確保、昼光導入・照明制御システムとの組合せによる照明電力削減、さらには眺望・開放感の確保など大きな効果が期待できる。

筆者らは適切な自動制御ブラインド導入を支援し、省エネルギーと快適な熱・光環境の両立を図るべく、自動制御ブラインドに関する情報を収集・整理し、オフィスビルなど窓周り設計への適用に向けた学会マニュアル“SHASE-M 1008-2009 省エネルギーと快適な熱・光環境の両立を図る自動制御ブラインドの仕様と解説”²⁾を作成した。

ここでは、本マニュアルの内容に触れつつ、具体的に自動制御を行うに際して必要となる、日射しきい値、制御時間間隔などの各設定が及ぼす影響についての検討結果、さらには季節・時刻・天候など外の光環境の変化を室内に反映させる制御、周辺建物の影・反射についても対応できる個別制御などについても紹介する。

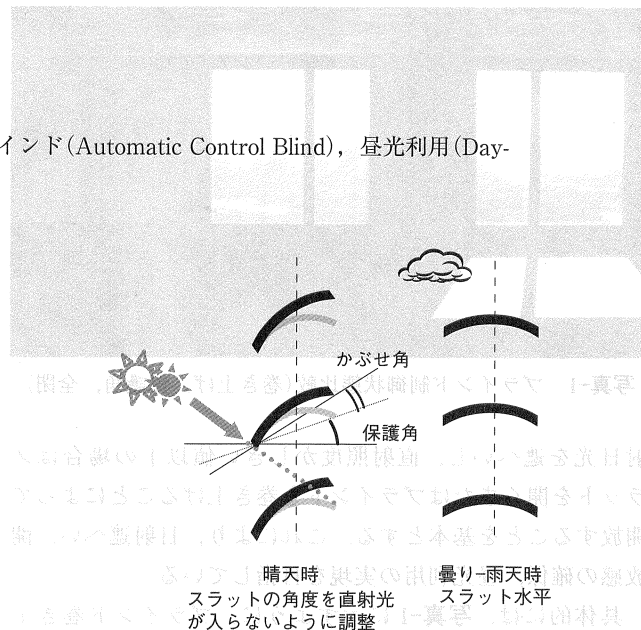


図-1 ブラインド制御方法

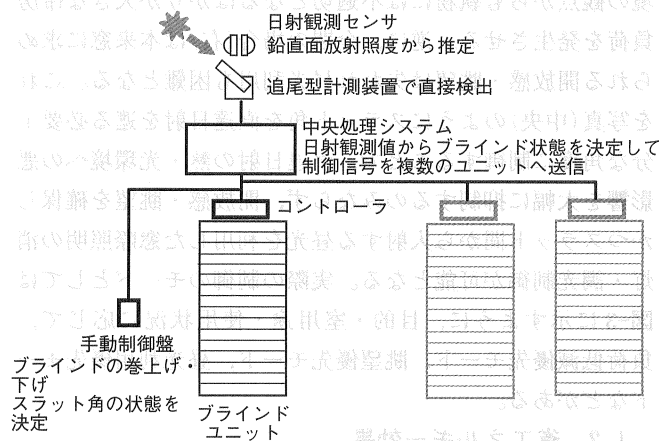


図-2 自動制御ブラインドシステム図

1. ブラインド自動制御システム概要

自動制御ブラインドとは、時々刻々と変化する太陽位置や日射の強さ、時刻・季節スケジュール、などに応じ、図-1のようにスラット角変更や巻上げ・巻下げ(昇降)を自動的にコントロールするものである。典型的なシステム構成は、図-2に示すように、建物屋上などに設置する直射日光を検出するセンサ、その検出値に基づいてブラインドの状態を決定して制御信号を送信する中央処理システム、中央処理システムおよび手動操作盤からの制御信号に基づいてブラインドを動作させるコントローラ、ブラインドユニット本体、などから構成される。

1.1 制御方法

自動制御においては、図-1に示すように、(法線面)直射照度がしきい値以上の場合はスラット角度を直射日光が室内へ透過しない必要十分な角度(以下“保護角”)として直



写真-1 ブラインド制御状態比較(巻き上げ, 保護角, 全閉)

射日光を遮へいし、直射照度がしきい値以下の場合にはブラットを開くまたはブラインドを巻き上げることによって開放することを基本とする。これにより、日射遮へい、開放感の確保、日光利用の実現を目指している。

具体的には、写真-1に示すように、ブラインド巻き上げの場合(左)は直達日射が室内に入射し、光環境、温熱環境の観点からも執務には不適切となるばかりか大きな冷房負荷を発生させる。逆に、全閉の場合(右)は本来窓に求められる開放感・眺望は失われ日光利用も困難となる。これを写真(中央)のようにスラット角を直達日射を遮る必要十分な角度に制御することで、直達日射の熱・光環境への悪影響を大幅に抑制するのみならず、開放感・眺望を確保しつつスラット間から入射する日光を利用した窓際照明の消灯・調光制御が可能となる。実際の制御のモードとしては図-3に示すように、目的・室用途・使用状況に応じて、負荷低減優先モード、眺望優先モード、日光利用優先モードなどがある。

1.2 省エネルギー効果

空調負荷や温熱環境については、ブラインドが室内外のいずれに設置されているのか、あるいはエアフロー型窓、ダブルスキンなど高性能な窓システムの中で用いられているのかによって効果は大きく異なる。高性能な窓システムにおいても実際に日射を遮へいするのはブラインドであり、自動制御を行って初めてその所期の性能が発揮されるわけで、その重要性はより大きいと位置づけられる。適切に制御された場合の空調負荷、温熱環境に及ぼす効果については本学会でも数多く報告されている^{3)~5)}など。

保護角制御を行っている建物西面におけるスラット角度変化とスラット間から入射する光束およびその上下比の時刻推移実測例を図-4に示す。保護角制御により直射光は遮りつつも多くの光束が導入され、かつ日光利用しやすい天井面に反射する上向き成分が比較的大きいことが読み取れる。このような実態を反映して、照明電力に及ぼす影響については、ブラインド自動制御を行っているオフィス建物の実績値として、おおむね20~50%の日光利用照明制

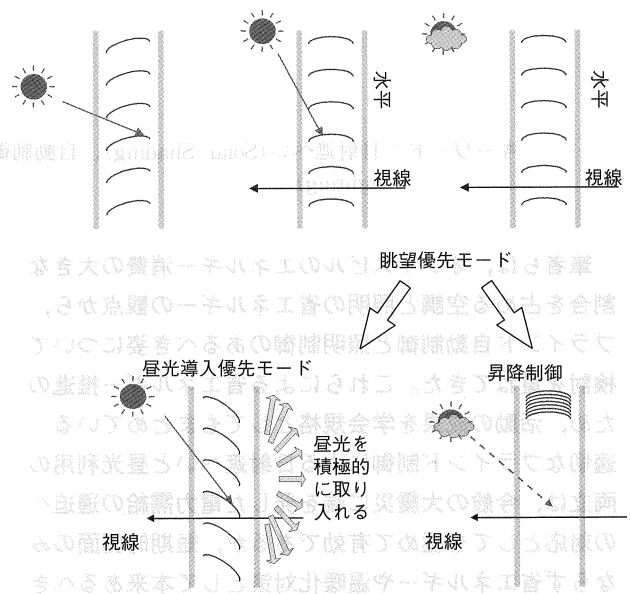
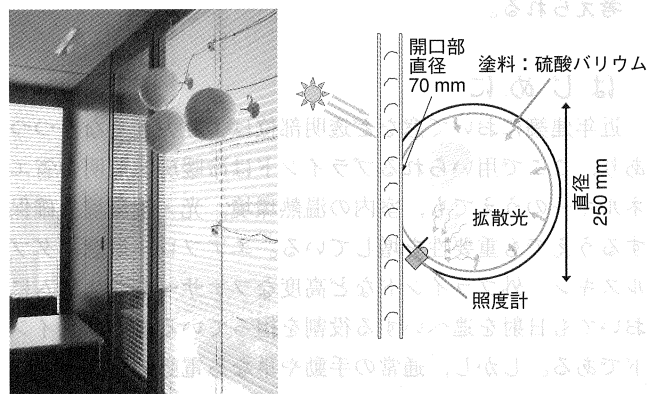


図-3 ブラインド制御モード例



ブラインド透過光現場計測

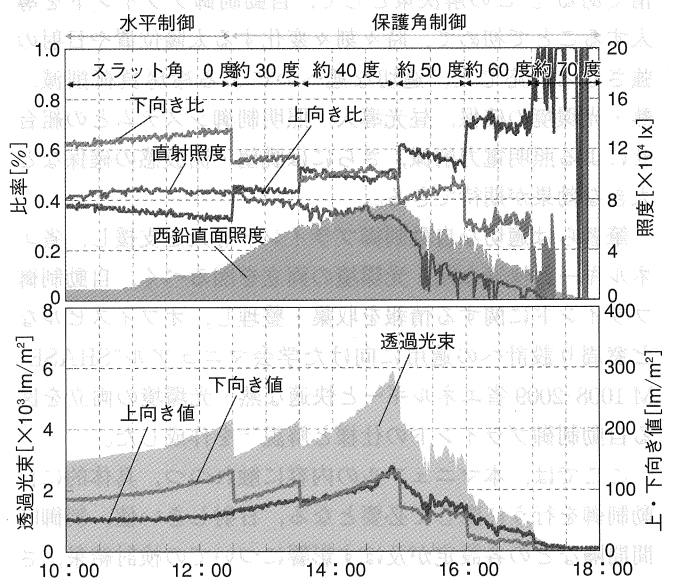


図-4 ブラインド制御下の窓面透過光束と上下比の推移 (西面; 晴天日)

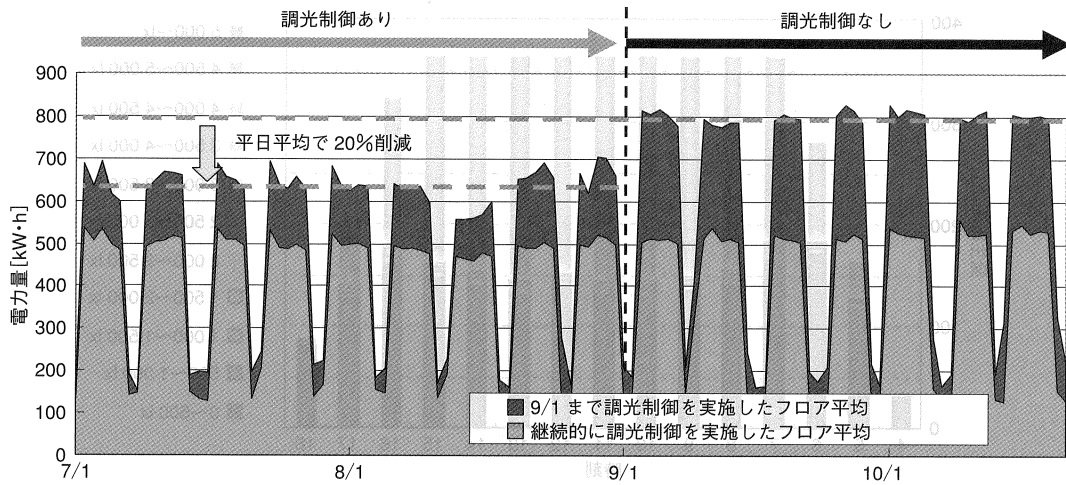


図-5 ブラインド制御下における昼光利用照明制御の効果

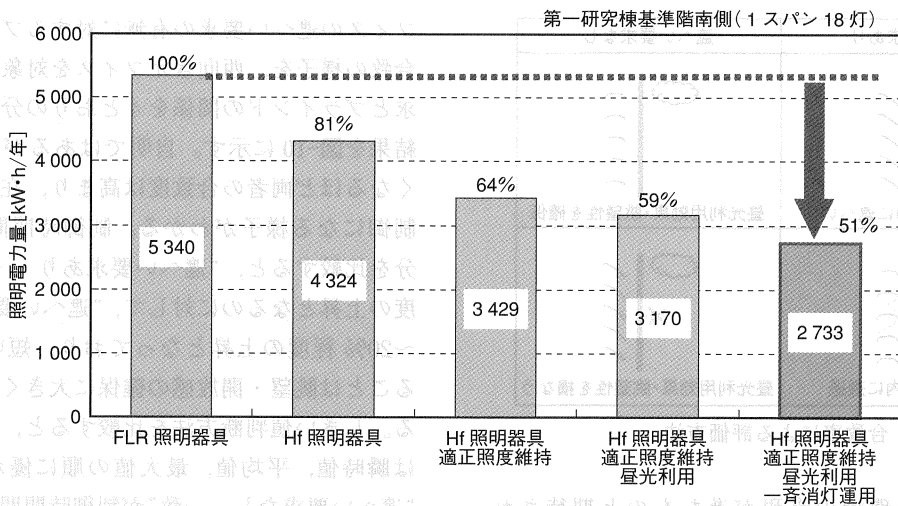


図-6 昼光利用照明制御による照明電力の削減

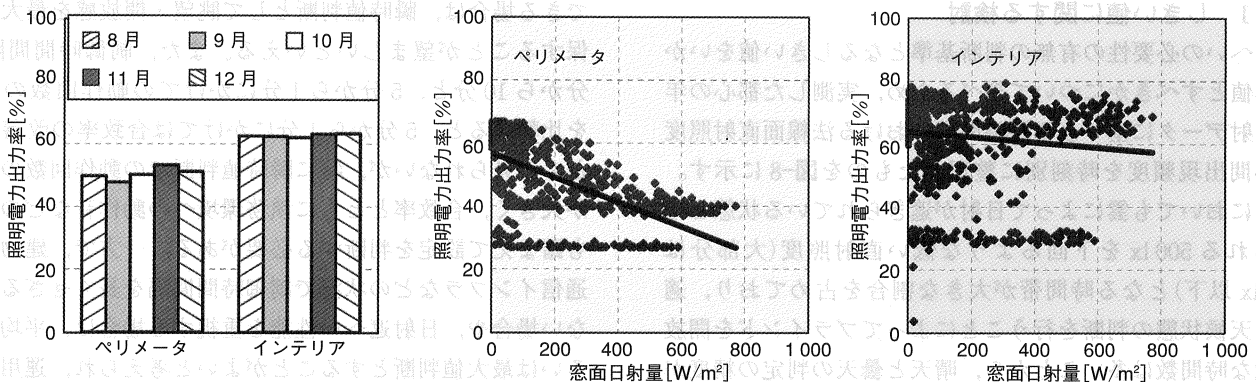


図-7 ペリメータとインテリアにおける窓面日射量と照明電力出力率の相関(8~12月)

御の効果を確認している(図-5~7)。この照明電力の減少はそのまま、発熱の減少として冷房負荷の削減に寄与することになる。後述のように、タスク・アンビエント照明システムで全般照度の水準を低く抑える場合は、さらに大きな省エネルギー効果が期待できるものと考えられる。

2. 各制御パラメータの及ぼす影響

これら自動制御ブラインドの導入・普及と並行して、制御モード、制御時間間隔、しきい値など制御方法が、空調・照明エネルギー消費、温熱・光環境、開放感・眺望など、心理面まで含めた快適性などにいかなる影響を及ぼすかについての情報が整理・提供されることで、省エネ

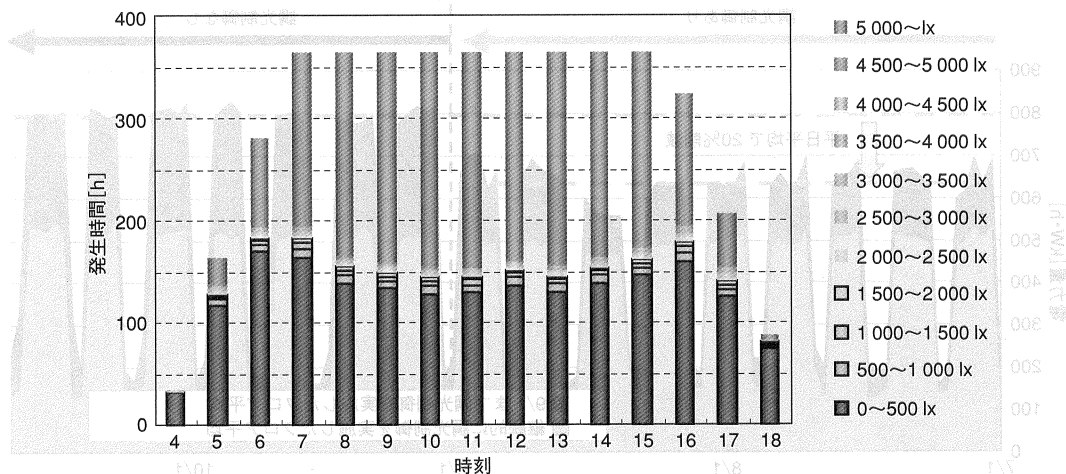


図-8 日照時間帯における法線面直射照度の年間出現頻度(2007年東京)

	遮へい要求あり	遮へい要求なし
一致	<p>直射光を適切に遮へい</p>	<p>日光利用効果・眺望性を確保</p>
不一致	<p>直射光が室内に透過</p>	<p>日光利用効果・眺望性を損なう</p>

図-9 合致率による評価方法

ギーと快適な熱・光環境の実現が進むものと期待される⁶⁾。

2.1 しきい値に関する検討

遮へいの必要性の有無の判断基準となるしきい値をいかなる値とすべきかについて調べるため、実測した都心の年間日射データに基づき日照時間帯における法線面直射照度の年間出現頻度を時刻別に整理したものを図-8に示す。日中においても雲によって日射が遮ぎられている状態と考えられる500 lxを下回るような低い直射照度(大部分は200 lx以下)となる時間帯が大きな割合を占めており、適切な天候状態の判断を行うことによってブラインドを開放可能な時間数は多いことから、晴天と曇天の判定の精度が重要となることが示唆される。ここで、オフィスビルにおけるブラインド使用実態の調査結果¹⁾および被験者実験結果よりブラインド開閉操作のしきい値は法線面透過日射量で十数 W/m²程度、法線面直射照度で約1000~2000 lx程度と推定されるが、図-8よりこの範囲の頻度は大きくないことがわかる。

2.2 制御時間間隔の影響

さらに、ブラインドの制御時間間隔の影響について、オ

フィスの遮へい要求の有無に対するブラインド制御結果の合致の様子を、西向きオフィスを対象として、在室者の要求とブラインドの関係を4とおりの分類(図-9)で整理した結果を図-10に示す。自明ではあるが、制御時間間隔が短くなるほど両者の合致度は高まり、在室者の要望に沿った制御になる様子がわかる。制御時間間隔30分に対して1分を比較すると、“遮へい要求あり・一致”は最大で5%程度の上昇となるのに対して、“遮へい要求なし・一致”は10~20%程度の上昇となっており、短い時間間隔で制御することは眺望・開放感の確保に大きく寄与することがわかる。しきい値判断方法を比較すると、全体の合致率としては瞬時値、平均値、最大値の順に優れており、瞬時値は“遮へい要求なし・一致”が制御時間間隔を短くすることによって大幅に増加している。したがって、時間間隔を短くできる場合は、瞬時値判断として眺望・開放感を最大限確保することが望ましいといえる。また、制御時間間隔30分から10分と、5分から1分にかけての動作回数の変化を比較すると、5分から1分にかけては合致率の改善はほとんど見られないが、特に瞬時値判断での動作回数の変化が大きく、合致率とともに執務環境への動作音などの影響も踏まえて設定を判断する必要がある。一方で、建物内の通信インフラなどの状況で制御時間間隔を長くせざるを得ない場合や、日射遮へい性能を重視する場合は、平均値あるいは最大値判断とすることがよいと考えられ、運用方針によって適切な設定方法は異なってくる様子がわかる。

2.3 割り込み制御

一定時間間隔ごとにブラインドを制御する方法では、特に制御時間間隔が大きくなる場合、その間に生じる急な日射の入射などに対応できない。そこで、制御周期に関係なく急な変化に対応して、遮へい動作を行う“割り込み制御”の効果についても検討を行った。割り込み制御に関する設定要素としては、制御を行う判断基準となる直射照度(以

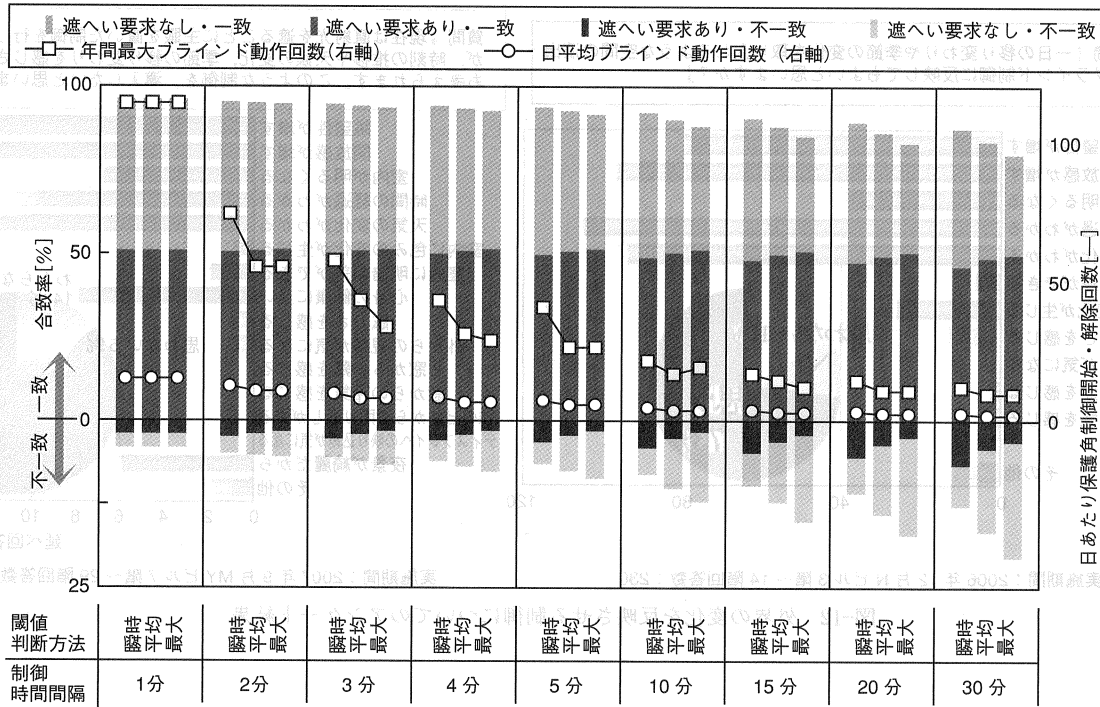


図-10 しきい値判断方法および制御時間間隔による合致率の比較

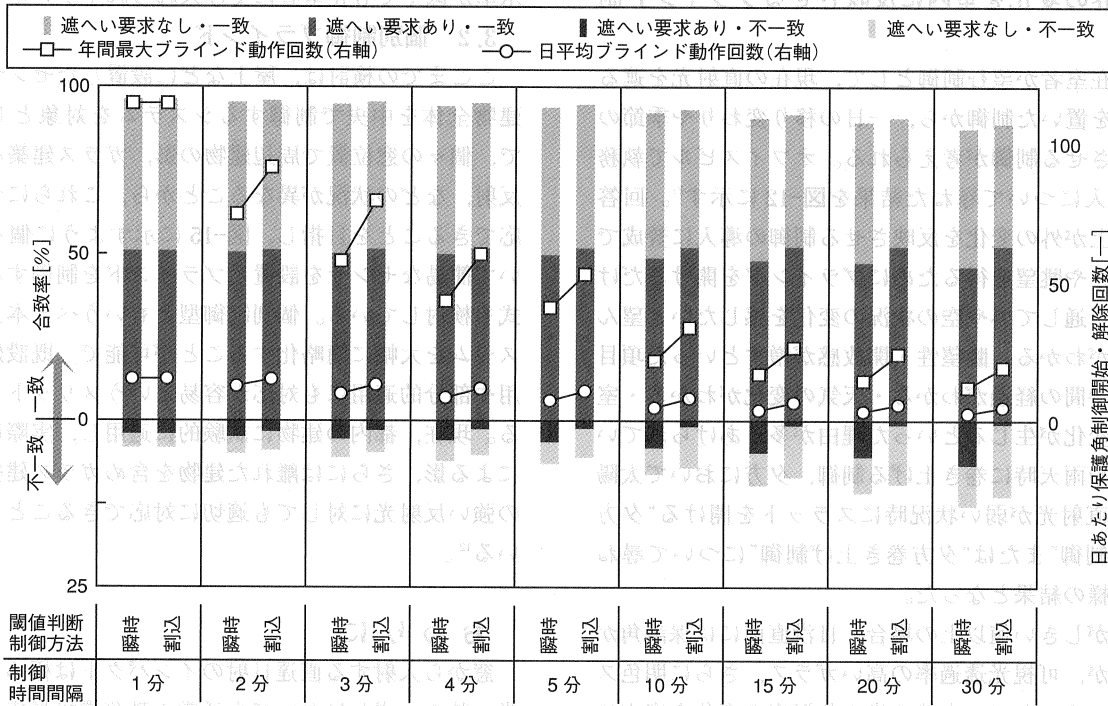


図-11 割り込み制御有無による合致率の比較

下、割り込みしきい値)、しきい値を超える直射照度の許容継続時間(以下、割り込み判断時間)があげられる。割り込み制御を行うことによって、室内へ直射日光が侵入する時間を、割り込み判断時間以内に抑えることができる。図-11に割り込みしきい値を1500lx、割り込み判断時間を1分と設定した場合の、割り込み制御時の合致率および

動作回数の制御時間間隔による変化を、図-11における瞬時値判断の結果と併せて示す。割り込み制御は制御時間間隔が大きい場合でも“遮へい要求あり”に対する合致率を高めることが可能であり、割り込み制御での制御時間間隔15分は、通常の瞬時値制御における5分と同等の合致率であり、動作回数を半減できることがわかる。

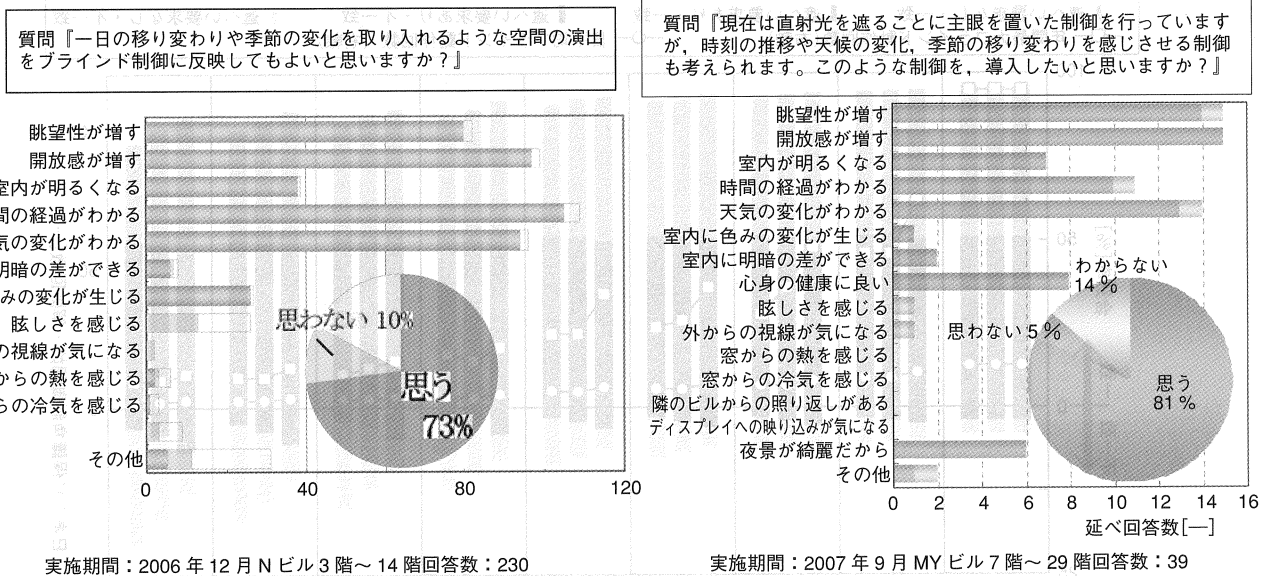


図-12 外界の変化を反映させる制御についてのアンケート結果

3. ブラインド制御のさらなる改善

3.1 外界の変化を室内に反映させるブラインド制御

さらに、在室者が望む制御として、現在の直射光を遮ることに主眼を置いた制御から、一日の移り変わりや季節の変化を反映させる制御が考えられる。オフィスビルで執務者にその導入について尋ねた結果を図-12に示す⁷⁾。回答者の7割以上が外の変化を反映させる制御の導入に賛成であり、明るさや眺望を得るためにブラインドを開けるだけでなく、窓を通して外や空の状況の変化を感じたいと望んでいることがわかる。眺望性・開放感が増すとといった項目とともに、時間の経過がわかる・天気の変化がわかる・室内に色みの変化が生じるといった理由が多くあげられている。曇天日や雨天時に巻き上げる制御、夕方において太陽高度が低く直射光が弱い状況時にスラットを開ける“夕方スラット開制御”または“夕方巻き上げ制御”について尋ねた場合も同様の結果となった。

直射照度がしきい値以上の場合、日没直前には保護角が大きくなるが、可視光透過率の高いガラス、さらに明色スラットを用いることで、自然の光の色温度の変化を室内に伝えることは十分可能である。二次元色彩輝度計を用いた実験結果を図-13に示す⁷⁾。

また、外界の色温度の変化は、直射光が自動制御ブラインドで遮へいされ、かつ机上面が設定照度になるよう照明制御されている状態においても、在室者が実感できる水準であることを被験者実験により確認している(図-14)¹¹⁾。

この場合、タスク・アンビエント照明方式のように、全般照明の設定照度を低く抑えるほうが外界の自然の光の変

化を室内に反映しやすく¹²⁾、また色温度が低いほうが照度水準が低くても在室者に受け入れられやすいとされる。

3.2 個別制御ブラインド

ここまでの検討は、屋上などに設置したセンサを用いて建物全体を中央で制御するシステムを対象とした。一方で、個々の窓位置で周辺建物の影、ガラス建築などからの反射、などの状況が異なることから、これらについても対応できることを目指し、図-15に示すように個々の窓において簡易なセンサを設置しブラインドを制御するという方式も検討している。個別制御型ともいべき本方式は、システムを大幅に簡略化することが可能で、既設建物への適用や部分的適用にも対応が容易というメリットを併せ有する。現在、都内の建物に試験的に適用し、実際に周辺建物による影、さらには離れた建物を含めガラス建築などからの強い反射光に対しても適切に対応できることを確認している¹²⁾。

おわりに

窓から入射する直達日射のインパクトは極めて大きく、光・熱のいずれにおいても通常の執務環境形成の観点からは遮へいせざるを得ない。しきい値を超える直達日射を遮へいた上で、眺望・視界、開放感の確保、さらにスラット間から入射する昼光を活用し室内の光環境形成を図る、という一連の流れ、さらには季節・時刻・天候に応じ時々刻々と変化する太陽位置・日射強度への的確な対応を考えると、ブラインド自動制御の重要性は明白と思われる。2009年度から本学会が事務局となり2年にわたり実施された国土交通省・建築基準整備促進事業¹³⁾の中でも照明の省エネ

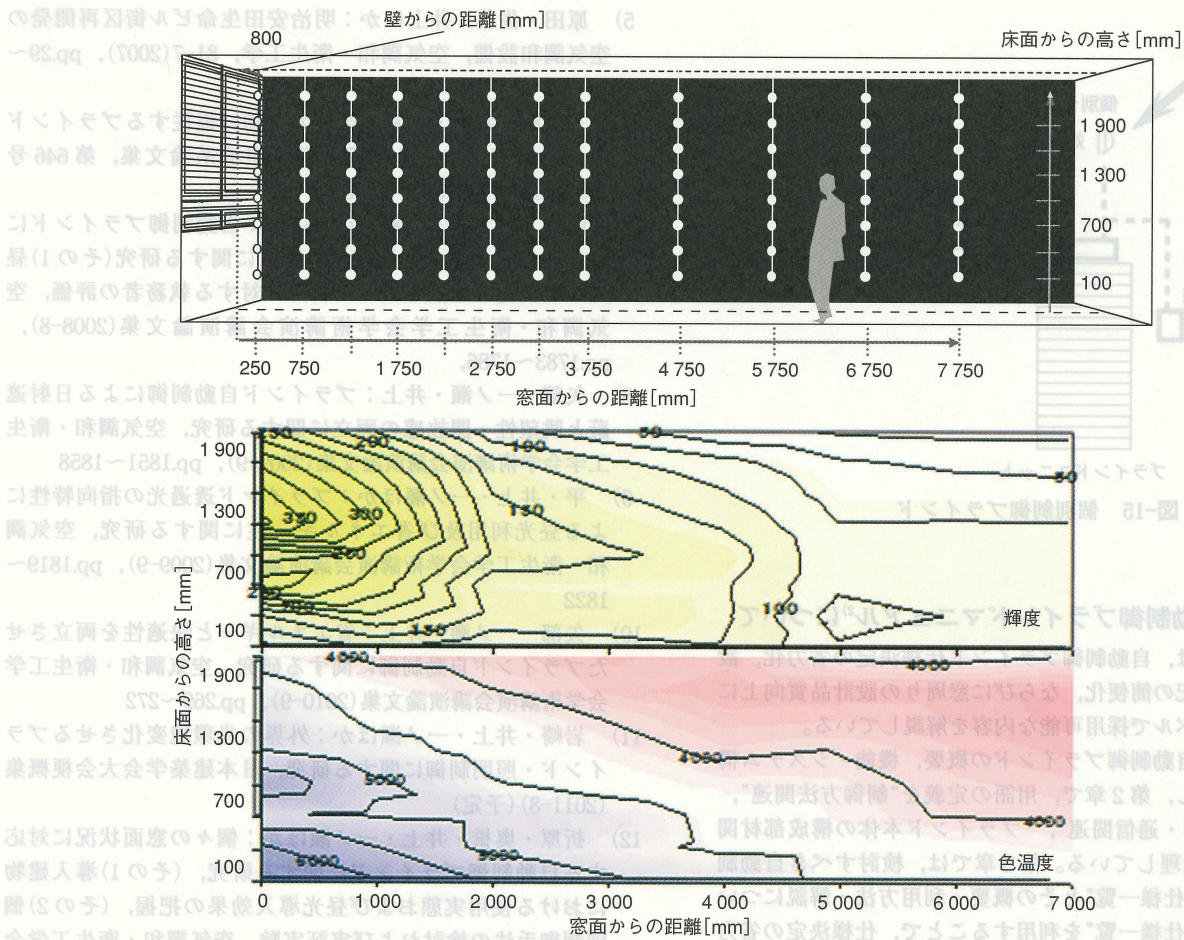


図-13 自然光導入に伴う室内における輝度および色温度の空間分布

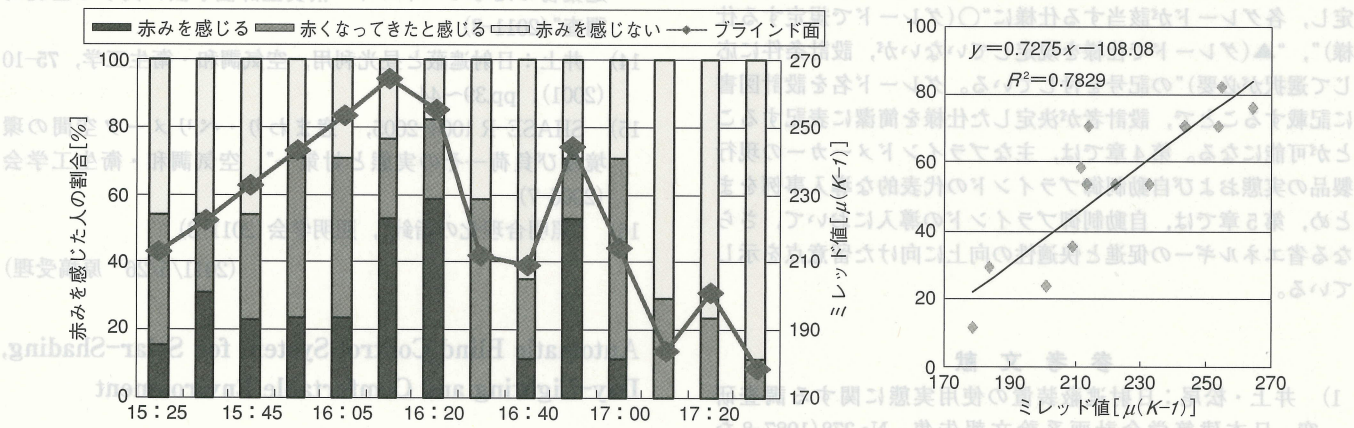
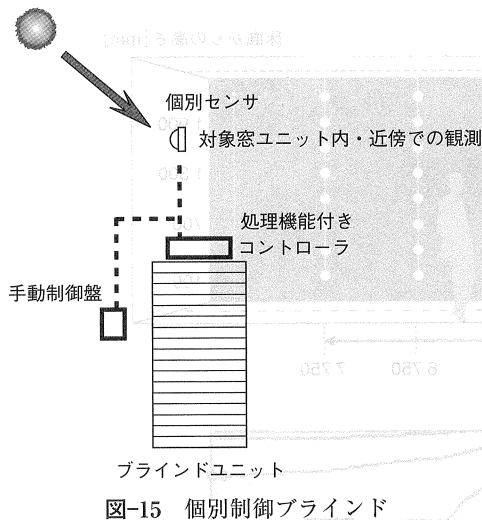


図-14 室内の色味の変化と在室者の感覚の対応

ルギー手法について、昼光利用とタスク・アンビエント照明方式の効果が特に大きいことを実測に基づき報告した。適切な昼光利用にはブラインド自動制御が不可欠で、またタスク・アンビエント方式との関係では、本稿3.で触れたように、全般照明の設定照度を大幅に下げること自然光利用の余地は大きく広がること、自然の光の色味の変化

も内部に反映しやすくなることを報告している。我々もその環境の中で進化してきたことに思いを巡らすと、自覚の有無を超えて自然光の持つ意味は特別であり、ブラインド自動制御を活用することで、これをより広範に享受しつつ省エネルギー化を推進することが可能になるものと期待される。



〔参考〕自動制御ブラインドマニュアル²⁾について

本マニュアルは、自動制御ブラインド仕様決定の省力化、設計図書の仕様表記の簡便化、ならびに窓周りの設計品質向上に向けた、実務レベルで採用可能な内容を解説している。

第1章では、自動制御ブラインドの概要、機能・システム構成について説明し、第2章で、用語の定義を“制御方法関連”、“自動制御の機器・通信関連”、“ブラインド本体の構成部材関連”に分類して整理している。第3章では、検討すべき自動制御ブラインドの“仕様一覧”とその概要・利用方法・解説について示している。“仕様一覧”を利用することで、仕様決定の省力化、設計図書の仕様表記の簡便化が期待できる。また、“仕様一覧”では、設計者が仕様を決定する際の参考・目安として、設計図書などへの表記を前提に三つのグレード(A, B, C)を規定し、各グレードが該当する仕様に“○(グレードで規定する仕様)”, “▲(グレードで仕様を規定していないが、設計条件に応じて選択が必要)”の記号を付している。グレード名を設計図書に記載することで、設計者が決定した仕様を簡潔に表記することが可能になる。第4章では、主なブラインドメーカーの現行製品の実態および自動制御ブラインドの代表的な導入事例をまとめ、第5章では、自動制御ブラインドの導入において、さらなる省エネルギーの促進と快適性の向上に向けた留意点を示している。

参考文献

- 1) 井上・松尾：日射遮蔽装置の使用実態に関する調査研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.378(1987-8など)，pp.10～18
- 2) SHASE-M 1008-2009“省エネルギーと快適な熱・光環境の両立を図る自動制御ブラインドの仕様と解説”(2009-10)，空気調和・衛生工学会
- 3) 鈴木・射場本・井上ほか：東京電力技術開発センター，空気調和・衛生工学，79-10(2005)，pp.71～76
- 4) 野原・川瀬・井上ほか：日建設計東京ビルの空気調和・衛生工学設備，空気調和・衛生工学，80-10(2006)，pp.35～40

- 5) 原田・佐藤・井上ほか：明治安田生命ビル街区再開発の空気調和設備，空気調和・衛生工学，81-7(2007)，pp.29～34
 - 6) 一ノ瀬・井上・田宮：気象の変動に追従するブラインドの自動制御手法，日本建築学会環境系論文集，第646号(2009-12)，pp.1339～1345
 - 7) 田宮・井上・一ノ瀬・正田ほか：自動制御ブラインドによる省エネルギーと快適性の両立に関する研究(その1)昼光の色変化に主眼をおいた制御に対する執務者の評価，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2008-8)，pp.1783～1786，
 - 8) 矢部・一ノ瀬・井上：ブラインド自動制御による日射遮蔽と眺望性・開放感の両立に関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2009-9)，pp.1851～1858
 - 9) 平・井上・一ノ瀬ほか：ブラインド透過光の指向特性による昼光利用及び省エネルギー性に関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2009-9)，pp.1819～1822
 - 10) 矢部・一ノ瀬・井上：省エネルギーと快適性を両立させたブラインド自動制御に関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2010-9)，pp.269～272
 - 11) 岩崎・井上・一ノ瀬ほか：外界の光環境変化させるブラインド・照明制御に関する研究，日本建築学会大会梗概集(2011-8)(予定)
 - 12) 折原・奥橋・井上・一ノ瀬ほか：個々の窓面状況に対応する自動制御ブラインドに関する研究，(その1)導入建物における使用実態および昼光導入効果の把握，(その2)個別制御手法の検討および実証実験，空気調和・衛生工学会大会梗概(2011-9)(予定)
 - 13) 国土交通省 平成22年度建築基準整備促進事業“業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する基礎的調査”(2011-3)
 - 14) 井上：日射遮蔽と昼光利用，空気調和・衛生工学，75-10(2001)，pp.39～44
 - 15) SHASE-R 1004-2005，“窓まわり・ペリメータ空間の環境及び負荷—その実態と対策—”，空気調和・衛生工学会(2006-7)
 - 16) “照明合理化の指針”，照明学会(2011-3)
- (2011/5/26 原稿受理)

Automatic Blind Control System for Solar-Shading, Day-Lighting and Comfortable Environment

Takashi Inoue*

Synopsis From the viewpoint of solar shading and day-lighting and comfortable thermal/visual environment, blinds are expected to play an exclusively important role. In order to realize an appropriate control of blinds, automatic control is considered to be essential.

* Tokyo University of Science, Member

SHASE-M(マニエリ)介紹

The influence of various factors such as the threshold value of solar radiation, the interval time, and sensing method etc. on the automatic blind control was analyzed.

Based on the results, the desirable control of automatic blinds for office buildings and stand-alone type automatic blinds system were introduced.

(Received May 26, 2011)



井上 隆 いのうえたかし
昭和29年生まれ/出身地 富山県/最終学歴 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了/専門 建築環境工学/学位 工学博士/空気調和・衛生工学会賞(技術賞, 論文賞), 建築省エネルギー賞, 日本照明賞, 環境・設備デザイン賞, PLEABestPaperAward など受賞, SHASE 技術フェロー

SHASE-S (スタンダード) 空気調和・衛生工学会規格

SHASE-S 112-2009

冷暖房熱負荷簡易計算法

目的/事務所/住宅/その他の建物

解説

- ・平成21年改定
- ・A4判 26頁
- ・定価889円 会員価格800円(消費税込)

当学会ホームページ(<http://www.shasej.org/>)にて、PDFファイルのダウンロード販売を行っております。詳細は、ホームページ“発行図書案内”をご覧ください。

太陽光採光システム

小林 光・菅原圭子・市原真希 大成建設(株) 正会員
 山本 出 (有)環コラボレイトデザイン

キーワード：太陽光採光システム (Daylighting System), 太陽追尾装置 (Solar Trucker, Heliostat), 省エネルギー (Energy Saving)

本稿では、省エネルギーと空間の環境改善などを目的として、太陽光採光を計画する際に配慮すべき事柄について簡単にまとめる。また、筆者らが取り組む太陽追尾装置を用いる超高層建築を対象とした太陽光採光システムの開発・適用事例を通じ、採光計画の実際について紹介する。太陽光採光システムは建築設計とともに計画される設備で、建築と設備の中間的な領域に属する技術である。照明計画との関係が密接であるばかりでなく、計画によっては空調負荷への配慮も重要である。実際に計画を行う際に役立つ内容とするように努めた。

はじめに

太陽光による光環境づくりや省エネルギーを目的とした、積極的な自然光利用の事例が増えている。従来は、窓面からの自然光利用が中心であったが、近年では、採光・導光システムを用いて太陽光を積極的に屋内に取り入れる事例が増えてきている^{1)~3), ほか}。これらの事例では、建築空間に実現しようとする光環境に合わせ、さまざまな太陽光採光システムが適用されている。採光システムにはそれぞれに特徴があり、採光計画にあたっては、システムを理解するとともに、採光の目的を整理し、太陽光の特徴をイメージしておくことによりよい計画ができる。

本稿では、筆者らが考える太陽光採光に関する基本的な事柄について述べるとともに、実施案件に開発・適用した太陽光採光システムについて紹介する。

1. 太陽光採光に関する基本的な事柄

1.1 太陽光利用の目的

建築空間における太陽光利用の目的には、大きく次にあげる二つが考えられる。一つは省エネルギーなどを目的とした明かりとりであり、もう一つは光という自然を建物内に導入することによる室内環境の向上である。前者は照明電力の削減を目指して、屋外が明るいときには照明をなるべく消そうという発想であり、多くの場合窓を通して室内に光を採り入れる。採光は執務空間の照明の一部となるので、時間や天候に大きく左右されないことが望ましい。

後者は、屋外の光をそのまま建物内に取り入れること

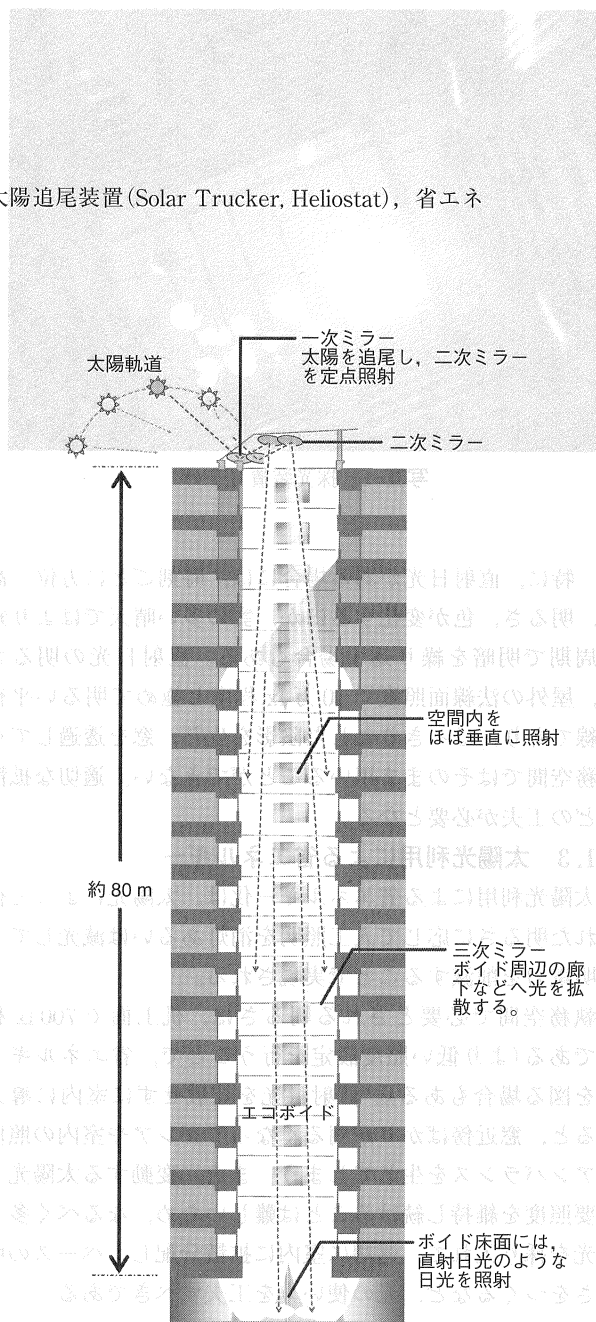


図-1 超高層建築を対象とした太陽光採光システム

で、空間の雰囲気や活気、知的生産性の向上などを目指しており、採光量や色のある程度の変化がむしろ喜ばれる場合も多い。その効果は定量的にとらえることは難しいものの、直感的には大変イメージしやすい。自然光の持つ季節や時刻による周期的な変化が、生物としてのヒトの体調やリズムを整え、緊張を緩和し知的生産性の向上に寄与することも報告されている⁴⁾。

1.2 太陽光と人工光の違い

採光を計画するうえで、その光源である太陽光について、人工光との違いを理解しておくことが重要である。光源としてとらえた場合、太陽光は常に変動する光源であ



写真-1 採光装置見上げ

る。特に、直射日光がある場合には、時刻ごとに方位、高度、明るさ、色が変化するほか、雲の多い晴天ではより短い周期で明暗を繰り返す場合もある。直射日光の明るさは、屋外の法線面照度で10万lx程度と極めて明るい平行光線であり、はっきりとした陰影を生じ、窓を透過しても執務空間ではそのまま用いることができない。適切な拡散などの工夫が必要となる。

1.3 太陽光利用による省エネルギー

太陽光利用による省エネルギー化は、太陽光によって得られた明るさに応じて人工照明を消灯あるいは減光して、照明電力を削減することで実現される。

執務空間で必要とされる明るさは、机上面で700lx程度である(より低い照度設定を行うことで、省エネルギー化を図る場合もある)。直射日光を拡散せずに室内に導入すると、窓近傍ばかりが明るくなってグレアや室内の照度のアンバランスを生じてしまう。また、変動する太陽光で必要照度を維持し続けることは難しいため、なるべく多くの光を採り入れて、適切に室内に拡散分配し、ベースの明るさをつくるなど、光の使い方を工夫すべきである。

設計時には室内のどこで、どれだけ消灯可能か検討し、明るいときには適切に消灯できるように照明の点灯区分を分け、さらに自動制御を併用することで確実な省エネルギー化が期待される。明るさに応じて調光(減光)を行う場合には、照明器具により減光時の発光効率が100%点灯時を下回る場合もあるため、省エネルギーの観点からいえば、LED照明のように光量と消費電力のリニアリティがよい器具を使うことが望ましい。

1.4 空調負荷への配慮

屋内で太陽光を利用する場合には、照明電力の削減とともに、冷房負荷についても配慮する必要がある。太陽光の光と熱のバランスを人工照明の発光効率と同様に計算すると、屋外でもおおむね100lm/W〔式(1)〕であり、太陽光

はHf蛍光灯と同等となり、熱的に“効率のよい光源”であることがわかる。

〔太陽光の法線面における光と熱のバランス〕

太陽光の法線面照度：10万lx(=lm/m²)

太陽光のエネルギー：1000W/m²

(1000W/m²=可視光500W/m²+赤外線500W/m²)

屋外での発光効率：

$$100000\text{lm/m}^2 \div 1000\text{W/m}^2 = 100\text{lm/W} \quad \dots\dots (1)$$

ただし、人工照明の発熱の多くが器具からの対流による放熱であるのに対し、太陽光のエネルギーの半分を占める赤外線は可視光とともに受照面に達するため、体感温度を上げる要因になりやすい。太陽光の場合、光を屋内に導く過程でガラスを透過する際に赤外線がカットされる。通常のフロートガラスでも可視光に比べて赤外線は多くカットできるが、Low-Eガラスを用いた場合には、さらに選択的にカットできるため可視光と熱のバランスを大きく改善できる。しかしながら、いくら熱的に効率のよい光でも強過ぎれば不利になるため、適切な拡散分配はここでも有効となる。すなわち、太陽光は使い次第で人工照明よりも効率のよい優れた光源になる。太陽光を適切に採り入れ、適切な明るさで分配し、その分だけ人工照明を消灯あるいは減光すれば、冷房負荷はむしろ減少する可能性がある。

1.5 採光場所と採光システム

窓面採光においては、建築的に設けたライトシェルフや、スラット角度を調整したブラインドなどが用いられる。また、レーザーカットパネルなどの特殊な透明ひさしや特殊な断面形状のルーバーなどさまざまな採光用のデバイスの研究がなされている⁵⁾。窓面は採光可能な面積が大きく、省エネルギー化に有効である。パッシブな太陽光採光システムでは、光ダクトやライトチューブなど、直射日光の当たる位置で採光し、高反射性のダクト状の導光部を介して建物内に光を導くシステムが普及している。これらはパッシブゆえに、太陽の方位などで明るさの変化はあるものの、稼働にエネルギーを必要としない優れたシステムで、特に光りの搬送距離が短い場合に効果が高い。

アクティブな太陽光採光システムでは、太陽追尾式の採光装置を用いて太陽方位や高度の変化に応じて採光する。特徴の異なる幾つかの装置が実用化されている^{6),7)}。

筆者らは、アクティブな採光装置を建築空間と一体で用いる採光システムを開発している。その目的やコンセプトに合った太陽追尾式採光装置と空間の開発を含めたトータルな開発を目指している。以下に、筆者らが超高層建築のために開発、適用した太陽光採光システムを紹介する。

2. 超高層対応型太陽光採光システムの概要

筆者らは、これまで主に中層建築のポイド空間を対象としたシステムを開発^{8)~10)}してきたが、より採光に対するニーズの高い高層建築のポイド空間にも対応できるシステムを開発した(以降、“本システム”と称する)。

2.1 高層建築における太陽光採光と開発の目的

高層建築のポイド空間は、いわば深井戸型の縦穴であり、最も日差しが期待できる夏至の南中時であっても、中層階付近より下には太陽光が届かないケースが多い。また、夏至であっても、朝・夕には太陽の傾きによりほとんど採光が期待できない。本システムは、このような高層～超高層ポイドの下層階に①太陽光を導入し、空間をより快適で活気のあるものとする、②ポイド内に均質に太陽光を分配し、ポイド空間とその周辺空間に採光すること、などを目指して開発したものである。表-1に、開発のコンセプトを示す。

2.2 本システムの構成

図-1に、システム構成の概要を示す。ポイド空間の頂部に設置する、①太陽追尾型採光装置(一次ミラー)、②導光ミラー(二次ミラー)、を用いて太陽光を取り入れ、ポイド内に分配する。ポイド空間の壁面に設置する、③放光ミラー(三次ミラー)を用いることで、ポイド内を均質に明るくして、周辺の空間に昼光を導入する。以下に、実際の超高層建築(みなとみらいセンタービル：以降Mビル、写真-2)に適用した採光装置を例に、その概要を説明する。

(1) 太陽追尾型採光装置(一次ミラー)

Mビルのポイド空間は換気と採光を兼用し、3階のオフィスロビーから屋上トップライトに至る高さ80mの空間で、エコポイドと称する。トップライト内に、高層建築への適用を前提に開発した一次ミラー装置16基を設置した(図-2, 3, 写真-3)。一次ミラーと二次ミラーは1対1で対応し、一次ミラーは太陽を追尾し、常に太陽光を二次ミラーへ定点照射する。Mビルでは、1日の採光量が大きく変化しないように一次ミラーと二次ミラーの位置関係を決定している。複数の一次ミラーは、2本のシャフトで連結され、その端部にあるモータによって一括して駆動する構成とした(図-3)。個別にカバーのない装置で、夜間にはミラーを垂直に保持(待機モード)して、なるべく埃がたまらないように制御している。

高層建築では光を照射する距離が長くなるため、鏡面や駆動装置の精度が重要となる。鏡面は一次、二次ミラーともに1200φの円形で、アルミハニカムコアを内部構造とする歪みや振れのない鏡面を製作した。鏡面をオールアルミ製とすることでトップライト内の熱による変形に配慮した。ミラー表面には、太陽熱発電などに用いられる屋外用の光輝板を採用した。太陽追尾制御は、GPSによって取

表-1 開発コンセプト

- 1) 超高層建築に適用可能な構成と精度を持つシステム
- 2) 空間内に均質な明るさを作る放光の実現
- 3) 採光空間を無駄なく活用(トップライトを邪魔しない)
- 4) 天空光のように目に優しい光(太陽光を適切に分配)
- 5) 建築との融合、一体化
- 6) シンプルな機構でロングライフな装置
- 7) メンテナンスの容易なシステム(LCCを抑える)



建物名称：みなとみらいセンタービル
 事業主：オリックス不動産(株)、大和ハウス工業(株)、
 (株)ケン・コーポレーション
 所在地：横浜市西区みなとみらい地区
 主要用途：事務所・店舗・駐車場 延べ床面積：95,220 m²
 階数：地上21F、地下2F 建物高さ：98.2m

写真-2 Mビル外観写真

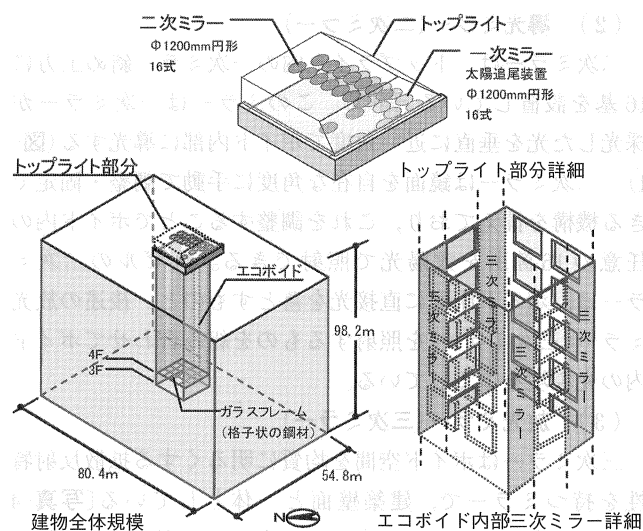


図-2 Mビル建物および採光システムの模式図

得する正確な現地時刻を用いた計算制御を採用している。太陽の運行に応じて自動で断続的に行うミラー角度調整は、そのディファレンシャルを適切に小さくし、ポイド床

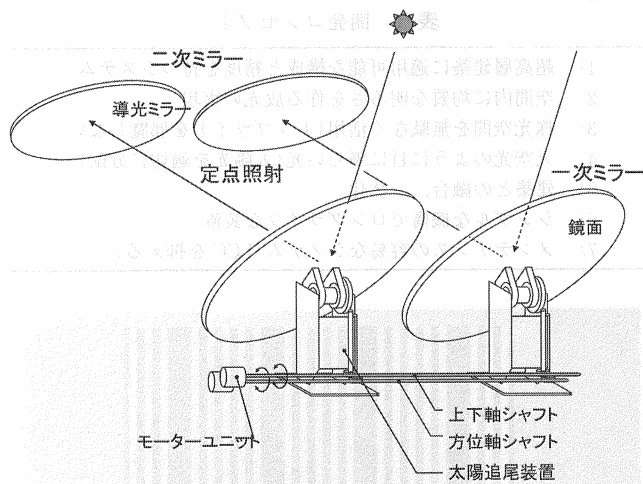


図-3 一次・二次ミラー概要

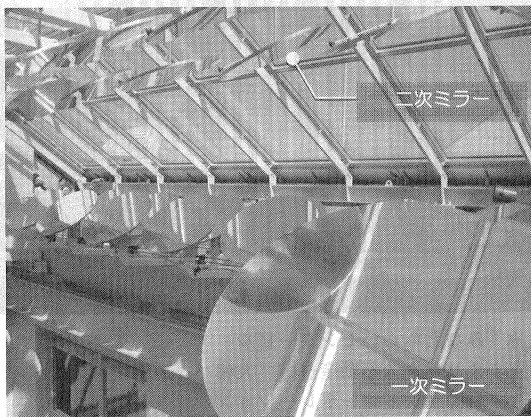


写真-3 一次ミラー(下)と二次ミラー(上)

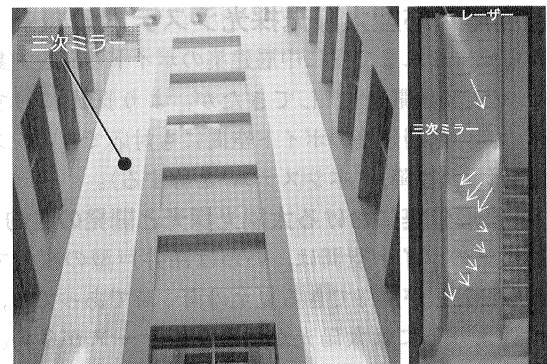
面でも追尾動作による光のゆれを不快に感じないように配慮している。

(2) 導光ミラー(二次ミラー)

二次ミラーは、トップライト内の一次ミラー斜め上方に16基を設置している(図-3)。このミラーは一次ミラーが採光した光を垂直に近い角度でボイド内部に導光する(図-1)。二次ミラーは鏡面を自在な角度に手で調整・固定できる機構を備えており、これを調整することでボイド内の任意の16箇所を太陽光で照射できる。Mビルの二次ミラーは、ボイド床面に直接光を落とすものと、後述の放光ミラー(三次ミラー)を照射するものを組み合わせてボイド内の光環境をつくっている。

(3) 放光ミラー(三次ミラー)

三次ミラーはボイド空間を均質に明るくする拡散反射特性を持つミラーで、建築壁面と一体としている(写真-4(a))。二次ミラーからの光は、三次ミラー面に対して浅い角度の平行光線で入射する。三次ミラーには、平行光線をボイド内にバランスよく拡散させつつ、適切に下方へ反射させる機能が求められる。微小な凹凸を持った金属反射材を空間に合わせて適切に加工して用いている。三次ミラー



(a) Mビルボイド内 (b) 簡易実験

写真-4 三次ミラー



ボイドから射し込む光をセンサーにて感知し、設定値を上回れば廊下の照明を消灯する。

写真-5 ボイド周辺廊下

によりボイド全体に光を分配し、周辺廊下に昼光による明るさを形成する(写真-4(b))。

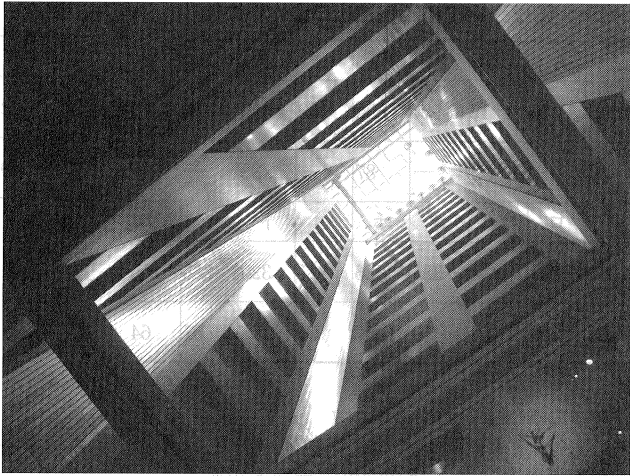
2.3 昼光センサによる消灯制御

Mビルでは、ボイドより入射する光は三次ミラーの効果によって十分に拡散しており、周辺廊下においてカーペット敷きの床面よりも、むしろ壁や天井を照らす光が空間の明るさ感に貢献している。晴天時にボイドに接する窓から射し込む光をセンシングし、ボイド周辺廊下の天井照明を消灯する制御を行っている(写真-5)。制御対象とする空間が執務空間ではないため、精密な机上面照度制御を必要としないことや、廊下の床面照度の計測が必ずしも廊下の明るさ感を代表しないため、ボイド内の明るさを窓越しにセンシングすることで制御する方式としている。昼光が及ぶエリアの消灯で、ボイド周りでは15%程度の照明負荷の削減が期待される。

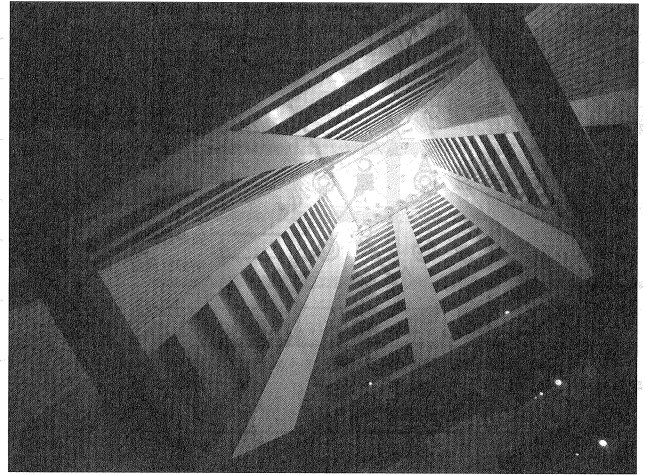
3. 太陽光採光システム適用の効果

3.1 計測および採光状況の概要

2010年5月中旬にMビルのボイド部において、照度計測と採光状況の確認を行った。晴天日に太陽光採光システ

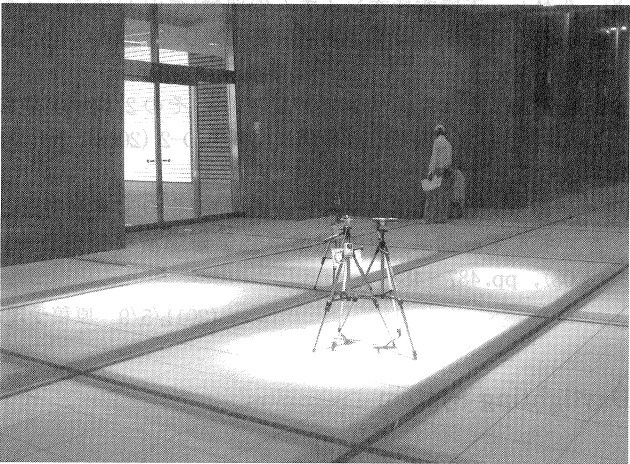


(a) 採光あり

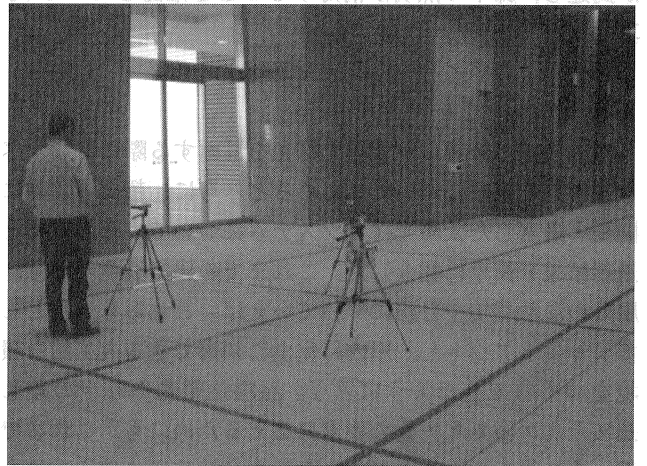


(b) 採光なし

写真-6 エコボイド内見上げの状況比較



(a) 採光あり



(b) 採光なし

写真-7 3階床面の状況比較

ムを稼働させた場合“採光あり”と稼働させない場合^(註1)“採光なし”を比較^(註2)し、本システムの太陽光採光の効果を確認した。

測定および状況撮影の時刻は、夏至に近い太陽高度の高い時期の測定となるため、直射日光がボイド奥まで射し込む時間帯(10~14時頃)を避けて実施した。ここでは、エコボイド底部床面(3階床面)について結果を掲載する。

3.2 採光状況

写真-6, 7に、エコボイド内と3階床面における“採光あり”と“採光なし”の様子を示す。

写真-6は、エコボイド内を底部(3階)から見上げた状況を示す。“採光あり”、“採光なし”ともに、最上部の明るさは同様であるが、“採光あり”では二次ミラーから照射された光が三次ミラーに当たり、エコボイド下部まで光が到達している。

写真-7は、3階床レベルの状況を示す。“採光なし”は、全体に暗くなっている。“採光あり”は二次ミラーから直接

照射された光が明るく確認できるほか、直接照射されない位置においても、三次ミラーを経由した拡散光が床面に到達し、“採光なし”に比べて全体に床面が明るくなっている様子がわかる。

3.3 照度測定による効果の確認

3階床面照度の測定点を図-4に示す。“採光あり”の際に床面にできる影や二次ミラーからの直接照射による光など、床面の明暗に応じて測定を行った。

表-2に3階床面照度の測定結果を示す。“採光あり”では全測定点の平均値が2400 lx以上となったのに対し、“採光なし”は、70 lx以下であった。本測定では採光システムを用いることにより、単純平均で30倍以上の照度差が生じる結果となった。“採光あり”の場合、ガラスフレームの影部分(測定点イ~リ)で200 lx以上の照度を確保しており、トップライトからの最遠端(80 m先)にも拡散光が到達していることが確認できる。測定値すべてが100 lxを下回る“採光なし”の状況に比べ、床面全体が明るくなっ

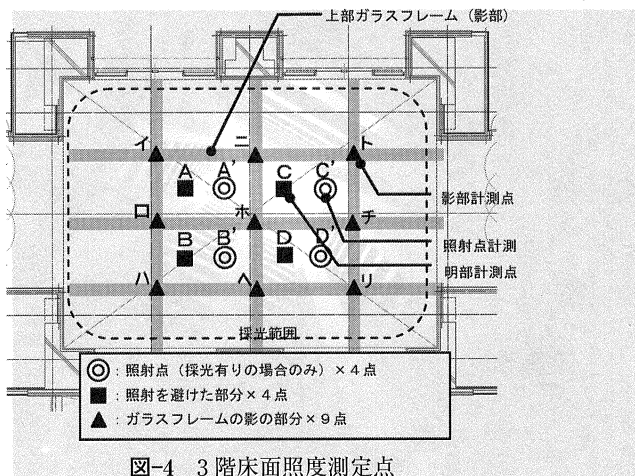


図-4 3階床面照度測定点

ていることが確認できる。同様にボイド内各階にも拡散光が到達し、廊下の照明が消灯することを確認している(写真-5)。

おわりに

本稿では、筆者らが太陽光採光を計画する際に留意すべきと考える事項についてまとめるとともに、超高層建築に開発・適用した太陽光採光システムについて、その概要と適用結果を簡単に紹介した。これまでの建築環境計画は、屋外の温熱環境や日照についていえば、これらを外乱としてシャットアウトし、屋内に完全に制御できる人工的な環境をつくってきたように思う。温暖化問題や昨今の差し迫った省エネルギー化の要求に応えるためにも、これまで培った知見を生かしながら、身近な自然を巧く使う方法を確立していくことが必要と思われる。

注 記

- 注1) 一次ミラー16枚すべてを制御的に“待機モード”とし、一次、二次ミラーが太陽光を採光しない状態とした。三次ミラーによる反射効果は残る状態。
- 注2) “採光あり”、“採光なし”測定は、同日の日中に連続して実施した。測定値は同時刻の屋外照度を用いて直接比較できるように換算している。

参 考 文 献

- 1) 小林：太陽光採光システムの概要と適用事例，建築設備士，41-4(2009)，pp.13~16，建築設備技術者協会
- 2) 海宝ら：光ダクトシステムの現状と展開，日本建築学会学術講演梗概集 D-1，環境工学 I(2007)，pp.423~426
- 3) James Steele：Genzyme Center (2004)，FMO Publishers
- 4) 伊香賀ら：午前中の昼光照明利用が生理量及び知的生産性に与える影響の検討-その1，その2，日本建築学会学術講演梗概集 D-2，環境工学，II (2010)，pp.1255~1258
- 5) IEA SHC Task 21：Daylighting in buildings (2000)，In-

表-2 3階床面照度計測値 単位[lx]

測定点	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'	平均 ¹⁾	
採光あり	2710	3940	11410	11950	3630	669	4465	477	採光あり 2462	
採光なし	84	—	82	—	87	—	88	—	採光なし 69	
測定点	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	チ	リ	全測定点を平均した値
採光あり	354	307	218	384	326	227	320	268	205	全測定点を平均した値
採光なし	63	59	61	59	62	59	65	67	64	

ternational Energy Agency

- 6) (社)日本建築学会：昼光照明デザインガイド—自然光を楽しむ建築のために(2007)，技報堂出版
- 7) 太陽光採光システム協議会 WEB，<http://www.sun.or.jp/>
- 8) 小林ら：太陽光採光システムの開発(その1)採光システムの概要，日本建築学会学術講演梗概集 D-2 (2008)，pp.483~484
- 9) 藤井ら：太陽光採光システムの開発(その2)模型実験による検討，日本建築学会学術講演梗概集 D-2 (2008)，pp.485~486
- 10) 伊藤ら：太陽光採光システムの開発(その3)実測調査と省エネルギー効果，日本建築学会学術講演梗概集 D-2 (2008)，pp.487~488

(2011/5/9 原稿受理)

Daylighting System

Hikalu Kobayashi^{*1}，Keiko Sugawara^{*1}
Maki Ichihara^{*1}，Izuru Yamamoto^{*2}

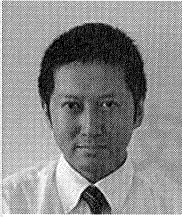
Synopsis At first, we describe the matters which should be considered when we design a building with daylighting system for the purpose of energy saving and environmental enhancement. Then, we introduce an actual condition of daylighting system using an example of high rise building which uses our original daylighting system including solar trucker. Daylighting system is equipment planned with architectural design, and the technology belongs to intermediate area of architectural planning and M&E planning. The consideration to air conditioning load is also important as well as architectural design and lighting plan. We tried to make this content useful for actual planning.

(Received May 9, 2011)

*1 Taisei Corporation, Member

*2 Kan Collaborate Design Inc.

SHASE-S (スタンダード) 空気調和・衛生工学会規格



小林 光 こばやしひかる
昭和43年生まれ/出身地 長野県/最終学歴 東京
大学大学院工学系研究科/資格 一級建築士, 設備
設計一級建築士/学位 博士(工学)



市原真希 いちはらまき
昭和44年生まれ/出身地 岩手県/最終学歴 日本
大学理工学部建築学科



菅原圭子 すがわらけいこ
昭和45年生まれ/出身地 東京都/最終学歴 法政
大学大学院工学研究科/学位 修士



山本 出 やまもといずる
昭和36年生まれ/出身地 新潟県/最終学歴 武蔵
野美術大学造形学部建築学科/専門 建築設計(現在
は主に光環境の設計)/資格 一級建築士, 設備設計
一級建築士

目次

SHASE-S (スタンダード) 空気調和・衛生工学会規格

SHASE-S 115-2010

室内換気効率の現場測定法・同解説

適用範囲／用語及び定義／規準化居住域濃度／対象空間と測定法の適応／測定機器及び周辺装置／定常濃度に基づく規準化居住域濃度の測定法／空気齢に基づく算出法／報告書の作成

付属書 解説

- ・平成22年改定
- ・A4判 25頁
- ・定価1,550円 会員価格1,394円(消費税込)

当学会ホームページ(<http://www.shasej.org/>)にて、PDFファイルのダウンロード販売を行っております。詳細は、ホームページ“発行図書案内”をご覧ください。

LED 照明機器の動向

岩井 彌 パナソニック電工(株)

キーワード：LED(Light Emitting Diode)、省エネルギー(Energy Saving)、照明設計(Lighting Design)、効率(Efficiency)、空間の明るさ感(Sensation of Space Brightness)、演色性(Color Rendering)

本報では、省エネルギーを実現する光源として広く知られているLEDの発光原理を述べるとともに、従来光源とは発光原理が根本的に異なるLEDを光源とした照明器具の特徴と動向を解説する。さらに、これらLED照明器具を採用した際の照明設計において注意しなければならない点も述べる。

はじめに

従来、主として蛍光灯やHIDランプ(高輝度放電ランプ：High Intensity Discharge Lamp)を光源とする照明器具が採用されていた全般照明の領域にも、LED(発光ダイオード：Light Emitting Diode)を光源とする照明器具(以下、LED照明器具と記す)が当たり前のように採用されるようになってきた。

交通信号灯をLEDに変更することによる省エネルギー効果が知られるようになって以後、地球環境保全の必要性が叫ばれるようになったこともあり、いつからか、“LED照明=省エネルギー”が世の中の常識のようにとらえられている。

加えて今、東日本大震災による節電の流れである。LED照明が注目されるのは当然のことといえよう。

しかし、このLED照明、従来照明の特性とあまり変わらないのであれば、それほど大きな問題とはならないのであるが、従来光源とは発光原理が根本的に異なるがゆえに、照明器具としての特性も従来光源の器具とは異なる点が多く、その特性を知らずして照明設計に取り組み、完成した空間が、設計段階には想定もしなかった暗い空間となり、省エネルギーにはならなかった例や、雰囲気の良い空間になってしまった例など失敗するケースも出てきているのである。

そのような失敗事例が何件か出てきたため、“LED照明を信用できない”という誤解も一方で発生してしまった。LED特有の特性をしっかりと把握して、適切な器具の選択と照明設計をすれば、LED照明器具を採用しても、何ら問題なく、快適な照明空間の実現は可能である。

本報では、LED照明を中心に照明機器の動向を述べるとともに、LED照明に代表される次世代照明を採用した際の照明設計において注意しなければならない点も述べて

いきたいと思う。

1. LEDの発光原理

図-1に示すように、人工光源の発光原理は、熱放射とルミネセンスに大別することができる。

物体を高温に熱すると、その結晶の熱振動が活発になり、エネルギーを放射する。物体が低温のうちは、放射されるエネルギーのほとんどが赤外線であるが、高温になると相対的に短波長のエネルギーの放射が増え、可視光を含む連続スペクトルを生じる。白熱ランプの発光は、この熱放射による発光である。

一方で、熱放射以外の放射を総称してルミネセンスと呼ぶ。ルミネセンスの発光にはまず、放電により原子や分子が励起されて発光する放電発光がある。HIDランプはこの放電発光により発光する光源である。蛍光灯は、放電された電子がガラス管内の水銀原子と衝突して紫外線を発し、ガラス管の内側に塗布された蛍光体が紫外線を受けて励起し可視光を発光する。したがって、蛍光灯の場合、紫外線を発光するまでは放電発光(低圧放電)であるが、可視光を発光する原理は蛍光体が励起されて発光するフォトルミネセンスによる発光である。

それらの従来光源の発光原理に対し、LEDや有機EL(Electro-Luminescence)の発光は、電界により励起されて発光する電界発光による発光に分類される。

LEDは、P型半導体(+：Positive 正孔が多い半導体)とN型半導体(-：Negative 電子が多い半導体)が結合されたPN接合を基本構造としている。LEDに順方向の電圧をかけると、LEDの中を電子と正孔が移動し電流が流れ、移動の途中で電子と正孔がぶつかるると結合(この現象を再結合という)し、再結合された状態では、電子と正孔がもともと持っていたエネルギーよりも小さなエネルギーになるため、そのときに生じた余分なエネルギーが光のエネルギーに変換され発光する(図-2)。これがLEDの発光原理である。

有機ELも、LEDと同じ発光原理で、電子と正孔の再結合により発光する。そして、有機半導体を用いていることから、有機ELは、OLED(Organic Light-Emitting Diode)とも呼ばれている。

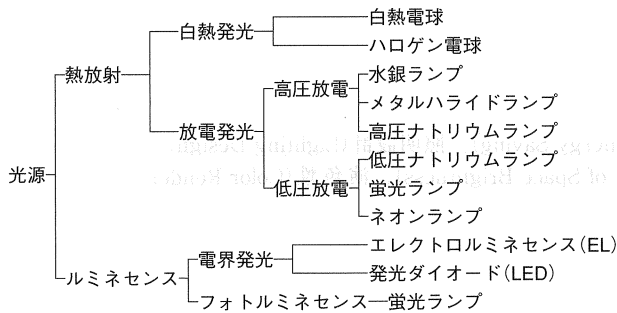
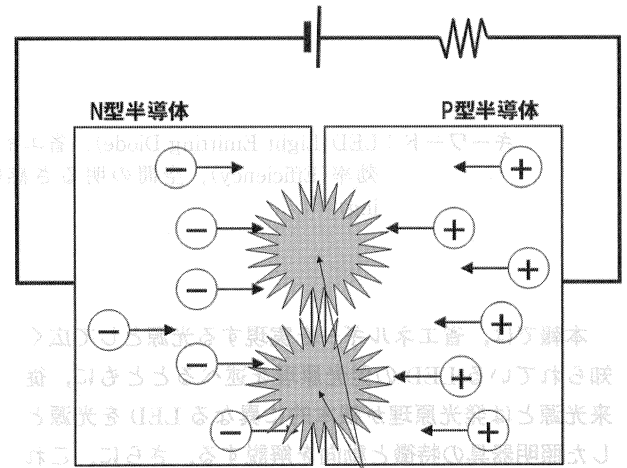


図-1 発光原理から見た光源の分類



電気エネルギーが光に変わります

図-2 LEDの発光原理

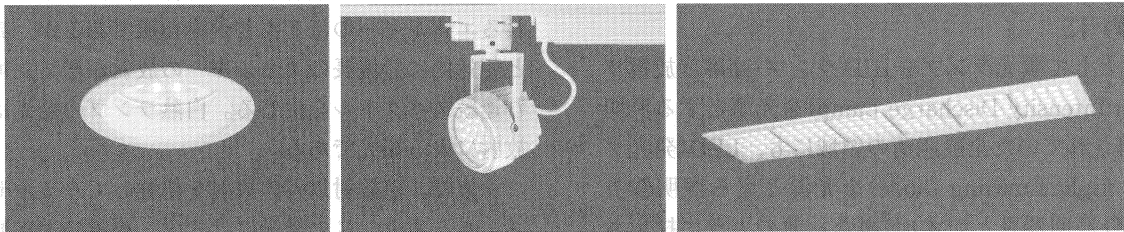


図-3 器具一体型LED照明器具

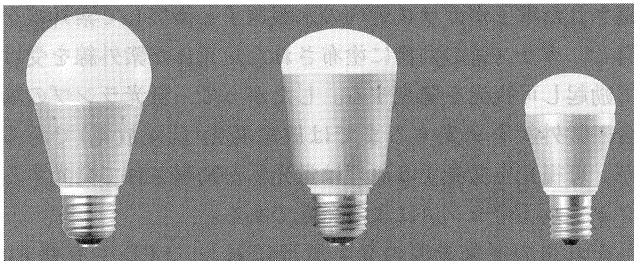


図-4 電球形LEDランプ

以上述べてきたように、LEDや有機ELは、従来の光源とはまったく異なる発光原理で発光するのである。

2. LED照明器具の種類


従来光源の発光原理とはまったく異なって発光するLEDではあるが、照明器具の側面から見ると、従来照明の代替えという感が拭えない。LEDならではの照明器具といえるものは、まだまだ普及していないのである。

LEDが全般照明へ普及するきっかけをつくった照明器具は、図-3左に示すLEDダウンライトである。廊下やトイレなどの空間は、後述する演色性において、それほど高い演色性を必要としないだろうという仮説から、演色性よりも発光効率を重視し、さらには値頃感ある価格設定で器具を開発した結果、急速な普及につながった。

このLEDダウンライトの普及をきっかけにして、LEDスポットライト(図-3中)や、LEDベースライト(図-3右)などが開発され、LED照明の普及が急速に加速した。普及してくると、今度は、コスト、発光効率、演色性など、従来光源で重要視されていたスペックでより高いものが市場から求められるようになる。現在、各メーカーは、これらスペックをより高めることを目指して、LED器具の開発に日々努力をしているのである。

LEDが全般照明にも使えることがわかると、従来からある器具の交換用ランプとしてLEDを採用する動きが出てくる。蛍光ランプが普及した後、電球形蛍光ランプが開発された状況とまったく同じで、白熱電球の標準的な口形に対応する電球形LEDランプ(図-4)が開発されるようになった。電球形蛍光ランプの小型化にあたっては、点灯回路の小型化が課題であったが、電球形LEDランプの小型化における課題は、電源回路の小型化と熱対策である。“LEDは熱を発しない”が常識のようにいわれているので、熱対策は意外と思われるかも知れない。確かにLEDから発せられる光そのものには白熱電球に見られる赤外放射がないため、光はほとんど熱を持たないのであるが、電流を流したLEDチップ自体は熱を放つ。LEDは電流を流せば流すほど、より多くの光を放つことができる一方で、より多くの熱を放ち、チップや器具を燃焼させることもあ

表-1 日本電球工業会規格 JEL 801 で規定されている L 形口金付直管形 LED ランプ (LDL 40) システムの仕様

ランプの全光束	2 300 lm 以上 (N 色)	ランプ電圧	95 V (最大) ~ 45 V (最小)
演色性 (Ra)	80 以上	最大ランプ電力	33.3 W
配光	120° 以内の光束が 70% 未満	口金	L16 
ランプ電流 [mA]	DC 350		

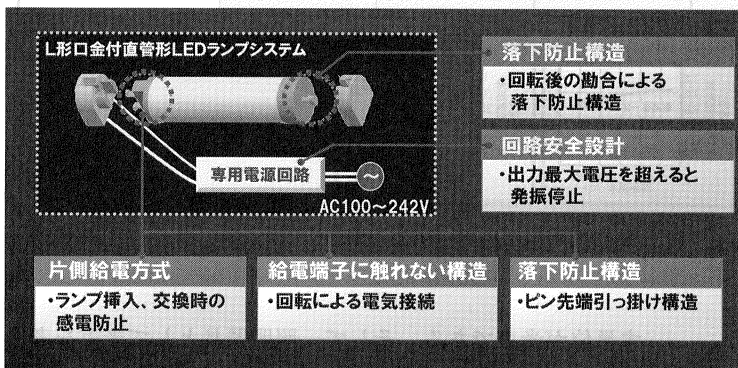


図-5 L 形口金付直管形 LED ランプシステムの構造

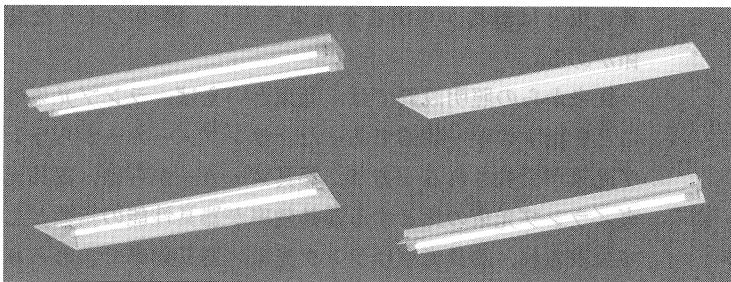


図-6 L 形口金付直管形 LED ランプ搭載照明器具

る。また、後述するように、チップの周囲温度が高温になると、発光効率の低下にもつながる。したがって、LED も従来照明と同様、熱対策が必要であり、現在では、高度な放熱技術により、図-4 の右図に示すような小型の E 17 の口金にも対応する電球形 LED ランプの開発に成功している。

電球形 LED ランプの普及により、マンションの廊下などにも、従来型のランプ口金と反射板で構成された照明器具に白熱電球や電球形蛍光ランプではなく、電球形 LED ランプが取り付けられるようになってきた。ここまで普及してくると、今度は、直管形蛍光ランプの代替品としての LED という流れも必然的に生まれてくる。白熱電球や電球形蛍光ランプ、そして、電球形 LED ランプで使われている口金は、電気的には、電源と光源とを連結させる役目の口金である。すなわち、電気の流れとしては、電源→口金→点灯回路→ランプということになる。したがって、ランプ側に点灯回路を持たせることで点灯させることができる。しかし、直管形蛍光ランプの口金は、蛍光ランプを放電発光させるための口金である。電気の流れも、電源→点灯

回路→口金→ランプと口金の位置づけが、電球形 LED ランプで使われている口金とは大きく異なる。そのため、そのまま直管形蛍光ランプの口金と、LED の点灯回路とを直結することはできない。点灯できないだけでなく、感電や火災などの危険にもつながる。

以上のことから、日本電球工業会では、直管形 LED ランプシステムの規格を策定した¹⁾。規格で規定されているランプの仕様を表-1 に示す。本規格の最大の特徴は、従来からの直管形蛍光ランプの G 13 口金とは互換性のない L 16 形口金を採用し、間違っても LED ランプを従来器具の口金には取り付けられないようにしている点にある。そして、この規格で定められている直管形 LED ランプシステムの構造を図-5 に、本規格に準拠した直管形 LED ランプを搭載した照明器具の例を図-6 にそれぞれ示す。

従来光源の寿命は、反射板や点灯回路などにより構成される照明器具の寿命より短いため、光源の寿命が達したときには、光源を交換することで器具を使い続けることができる。そのために、器具に口金を設けて光源を交換できるようにしたのである。ところが LED の寿命は、器具寿命とほぼ変わらないため、基本的に、光源の交換をする必要はない。さらには、光源と器具とを分離することは、後述する器具効率の面からも不利であり、リニューアルなどで従来器具を有効活用する場合を除いては、図-3 に示している LED 光源と器具が一体化している照明器具を採用するべきである。

3. LED の発光効率

1999 年に高輝度青色 LED が開発され、蛍光体との組合せで白色を得られるようになってから、白色 LED の技術開発は急速に進んでいる。

光源から発せられる光の総量を表すものが光束であり、単位は [lm (ルーメン)] である。そして、その光束をいかに少ないエネルギーで実現させるのかを表したのが 1 W あたりの光束を示す発光効率 [lm/W] であり、光源の省エネルギー性能の指標として広く用いられている (図-7)。白熱電球の [lm/W] は、効率がよいとされるハロゲン電球でも 20 lm/W である。蛍光ランプは電球形で約 70 lm/W、

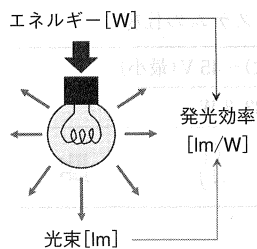


図-7 lm/W の概念図

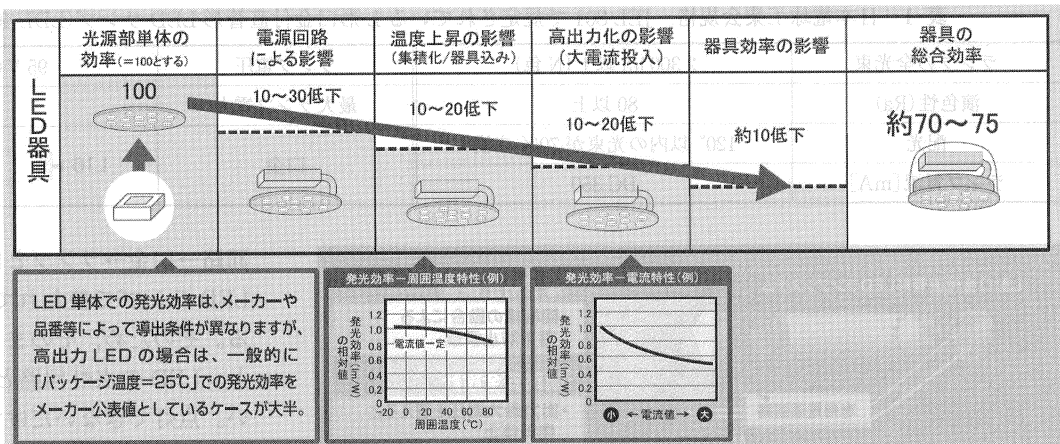
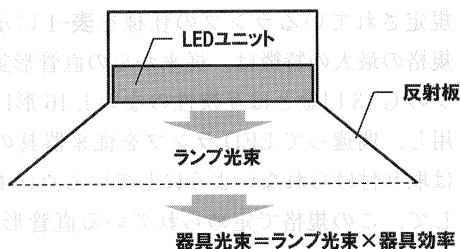
図-8 LED 照明器具の各段階での発光効率³⁾

図-9 ランプ光束と器具光束の関係

発光効率のよい蛍光灯で、100 lm/W 前後である。

そのような従来光源の発光効率の現状値に対して、メディアでは、100 lm/W を超える LED が開発されたとの発表が数多くなされ、LED 照明推進協議会 (JLEDS) が報告する白色 LED の発光効率の技術ロードマップ²⁾でも、2008 年には発光効率が 100 lm/W を超え、2015 年頃に 150 lm/W に達することが見込まれている。

確かに、以上述べてきた数字だけを見れば、LED の発光効率はすでに 100 lm/W を優に超え、蛍光灯よりも省エネルギーな光源であるとの印象を持ってしまうのは仕方がないことであろう。

しかし、LED の発光効率は、さまざまな条件の違いで変化する。そのために、図-8 に示すように、LED 光源部単体の発光効率を 100 とした場合、最終的に照明器具となったときの発光効率は一般的に 70~75 となってしまうことに注意する必要がある³⁾。LED の発光効率の向上訴求を目的とした公表の多くは、LED 単体の発光効率である場合が多く、しかもパッケージ温度が 25℃ での発光効率を公表値としているケースが多いのである。先に紹介した JLEDS のロードマップで示されている発光効率も同様である。

4. LED の光束

先にも述べたように、光源から発せられる光の総量を表

す単位が光束である。そして、照明器具として光束を考えると、ランプ光束と器具光束が存在する。

文字通り、ランプ光束とはランプから出る全光束を、器具光束とは器具から出る全光束を表し、図-9 のような関係がある。

従来からの照明設計では、光束といえば、ランプ光束のことを指すのが一般的であった。ランプメーカーからランプ光束が公表される一方で、器具メーカーからは、器具光束/ランプ光束の比とする器具効率が器具性能の指標として公表され、器具光束はランプ光束×器具効率で求められるようにしていたのである。

しかし、LED の場合、ランプ寿命のほうが器具(電源などの電気部品)寿命よりも長いこともあって、構造的に器具と LED が分離できないものが多い。この場合、従来のランプに相当する LED ユニットの光束、すなわち、ランプ光束を測定することができないので、器具光束で考えることになる。いずれにしても、ランプ光束と器具光束、両方の表示が存在するので、計算の際には確認する必要がある。なお、器具効率が 100% と表示されている場合の光束は、器具光束を表していることになる。

5. LED 照明の明るさ

LED 照明は、一般的に白熱電球や蛍光灯などの従来光源に比べて、指向性が強いので、器具直下の明るい LED 照明器具が広く普及している。現在の照明設計は、床面照度や机上面照度などの水平面照度に基づき行われることが主流であることから、このタイプの器具に対して十分な照度が取れていることを訴求しているケースも見られるが、実際には、直下方向に光束を集中させているため、壁面方向への光が不足し、空間に対して感じる明るさの感覚(以後、空間の明るさ感と記す)は不足する場合がある。しかし、最近では光学設計技術の進歩により、従来器具と遜色

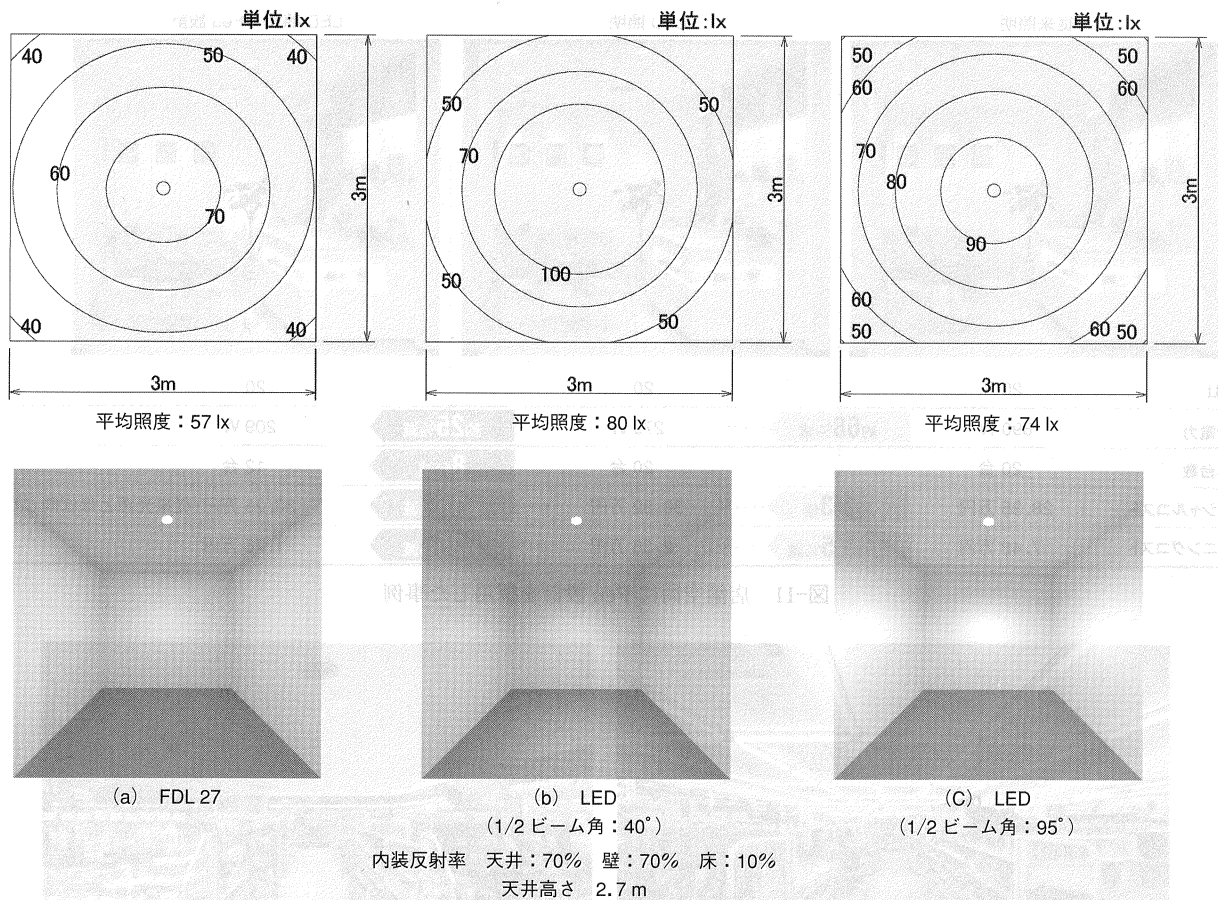


図-10 各種照明器具による床面の照度分布と空間の輝度分布の比較

のない光の広がりを持った器具も登場している。図-10は、27 W コンパクト形蛍光ランプのダウンライトと同等の器具光束のLEDダウンライトによる床面の照度分布と空間の輝度分布(部屋端中央から1.5 m高さの視点で空間を観察したとして計算)を比較したものである。床面の照度だけで判断すると、(b)のビーム角40°タイプが最も明るいですが、空間の輝度分布で比較すると、(c)のビーム角95°タイプが最も明るい。

このように、LED照明器具には、さまざまな配光のものが存在しているので、水平面照度だけで明るさを判断して照明設計を行うには注意が必要である。照度以外の光環境を評価する方法として、現在、さまざまな方法が提案されている⁴⁾。例えば、空間の明るさ感の評価指標の一つとして筆者が提案しているFeu⁵⁾により、図-10の各空間を評価すると、(a)はFeu 4.7、(b)はFeu 4.4、(b)Feu 5.4となる。照度だけに頼るのではなく、複数の評価軸を駆使した照明設計の重要性が、LED照明器具の台頭により、ますます高まってきたといえる。

ここでFeuに関して、さらに説明を加えたいと思う。図-10に代表されるように、現在の設計指標の主流となっている水平面照度で判断すると、空間の明るさ感を間違っ

て評価してしまうということが多々あり、その解決策が求められていた。そこで筆者らは、“空間の明るさ感”を照度よりも高精度で予測するとともに、数値で定量的に表現することのできる設計指標の開発が重要であると考えた。そして、山口・篠田が開発した色モード境界輝度法⁶⁾に注目して、空間の明るさ感評価指標Feu⁷⁾を開発した。Feuはフランス語で“火”や“炎”の意味で“フー”と発音される。また、Feuの算出法などの詳細に関しては、参考文献5)を参照されたい。

図-11に、Feu設計を採用して、空間の明るさ感を維持して省エネルギーを実現した事例を示す。図-11の照明プランはすべてFeu 20の店舗空間であるが、左図の白熱ランプと蛍光ランプによる従来照明プランに対し、そのままLEDに置き換えたのが中図のプランである。冒頭でも述べたように、すでに白熱ランプに対して4倍以上の発光効率を有するLEDであるため、LEDに置き換えただけでも図-11のプランで約68%の消費電力削減に成功をしている。ここで、Feu設計を採用して、空間の明るさ感同等を維持しながら、器具台数を減らし、さらに25%の消費電力削減(合計で約76%の削減)に成功したのが、右図のプランである。このように効率の高いハードに変更するだけ

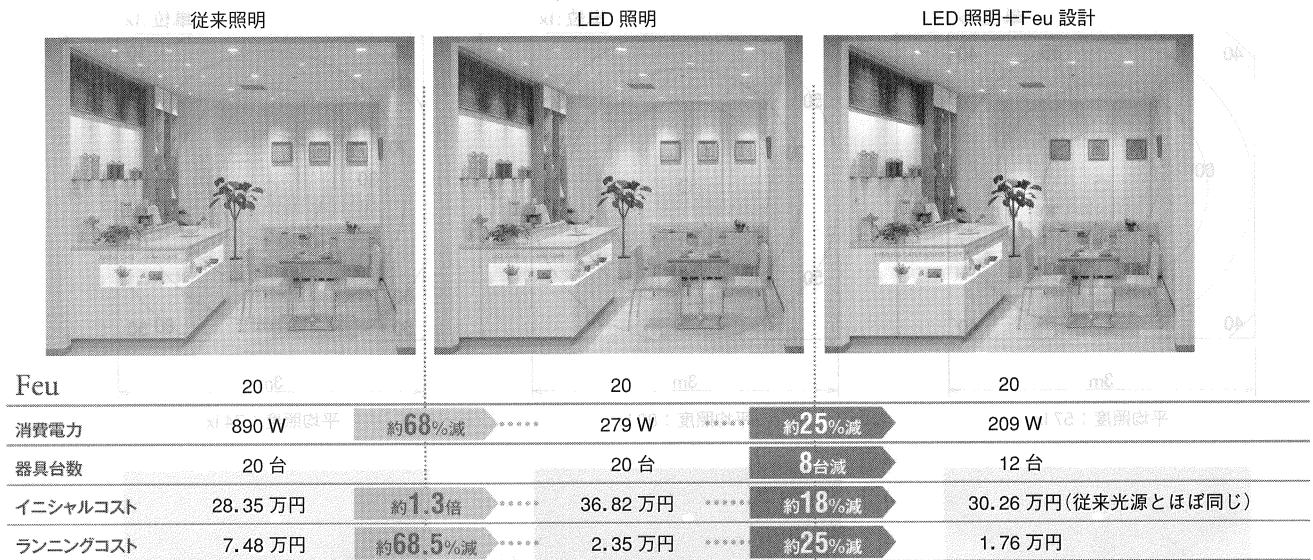


図-11 店舗空間に Feu 設計を採用した事例



改装前	改装後
昼白色蛍光灯照明器具	電球色 LED ダウンライト
Feu 60 1500 lx 明るすぎる空間	温白色 LED ユニバーサルダウンライト
照明の消費電力 3102 W	Feu 30 1200 lx 落ち着いた空間
	照明の消費電力 2590 W

図-12 適切な明るさ感を実現したコンビニエンスストアの事例

でなく、Feu 設計に代表される設計の工夫で、快適性を維持しながら、大幅な省エネルギーを実現することができるのである。

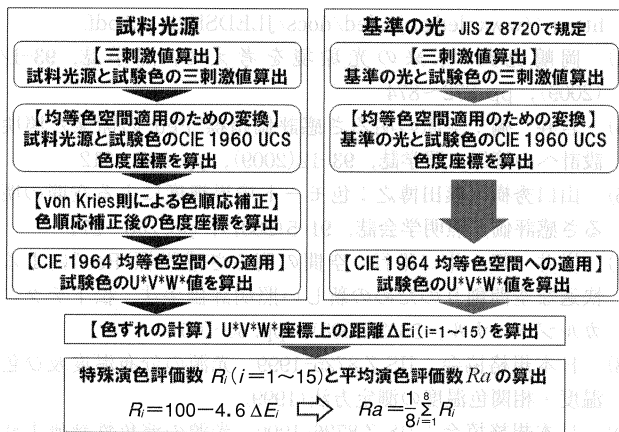
図-12に示した事例は、明る過ぎるとされていた空間を適切な明るさ感にすることで、省エネルギーを実現したコンビニエンスストアの事例である。図-11の事例が Feu 20 であることからわかるように、店舗空間の明るさ感は一般的に Feu 20 前後であるところ、コンビニエンスストアが明るめの空間とはいえ、図-12の事例は、改装前は Feu 60 もあり、明らかに明る過ぎる空間となっていた。そこで、被験者実験から明らかにした適切なコンビニエンスストアの明るさ感である Feu 30 を目標に、蛍光灯を光源とするダウンライトよりも効率のよい LED のダウンライト照明を入れることで、省エネルギーでありながら、落ち着いた雰囲気の良い空間の演出に成功をしている。ここ

で、Feu という設計指標がなかったら、明る過ぎる空間とわかっているとしても、どれぐらいの明るさ感まで落としてよいものか不安を抱えながら設計をしていたに違いない。Feu は、顧客が抱える明るさに対する不安を解消することで、結果として省エネルギーを実現する設計指標でもあることを図-12の事例は示している。

6. LED 照明と色

6.1 色温度と相関色温度, Duv

人工照明で用いられる光源のすべてが、黒体放射の温度上昇により発光する色と一致すれば、光源の光色を色温度 [K] で表現することができるが、実際にはそうではない。黒体放射の温度上昇により発光する色の軌跡は黒体放射軌跡と呼ばれるが、黒体軌跡上の色で発光するランプは、自然光と同じ発光メカニズムの熱放射で光を発する白熱ラン

図-13 演色評価数の計算の流れ⁹⁾

プの一部だけである。蛍光ランプや HID ランプはもちろんのこと、特に LED の光色は、黒体放射軌跡上の色になることは少ない。そこで、黒体放射軌跡上にはない光色には相関色温度 [K] を適用する。

相関色温度を適用しているということは、黒体放射軌跡上の色とは異なる色で照明していることを意味し、その黒体放射軌跡上の色からの色差は duv 、または $Duv (=1000 duv)$ で表現される⁹⁾。同じ 3000 K と示されている光源なのに、LED や蛍光ランプが白熱ランプと異なった光色に見えるのは、 Duv の値が異なっていることが要因であることが多い。 Duv がプラスであれば緑がかった光色、マイナスであればピンクがかった色に知覚される。LED 照明の光色は相関色温度だけでなく、 duv や Duv の値にも注意をする必要がある。

6.2 演色性

対象光源の色の見えが、基準光源下での色の見えにいかにかに忠実かを表す指標として、演色評価数が広く用いられている。JIS⁹⁾ で採用されている演色評価数の計算の流れを図-13 に示す。JIS では、演色評価数を求める対象光源を“試料光源”、基準光源を“基準の光”と呼んでいる。また、演色評価数の計算には、表-2 に示されている 15 種類の試験色を用いて行われる。

そして、試験色 i に対して計算される演色評価数 R_i は次式により計算される。

$$R_i = 100 - 4.6 \Delta E_i \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $\Delta E_i (i=1\sim 15)$ は、CIE 1960 均等色空間における色差であり、CIE 1960 uv 色度座標上での基準光源下の色度と試験光源下の色度との差である。これら 15 種類の試験色に対して計算された R_i のうち、平均演色評価数 R_a は、 $R_1\sim R_8$ に対する演色評価数の平均値であり、次式で示される。

表-2 演色評価数の計算に用いられる試験色

R_i	近似的マンセル記号 (色相 明度/彩度)	昼光下の色の見かけ
R_1	7.5 R 6/4	Light grayish red
R_2	5 Y 6/4	Dark grayish yellow
R_3	5 GY 6/8	Strong yellow green
R_4	2.5 G 6/6	Moderate yellowish green
R_5	10 BG 6/4	Light bluish green
R_6	5 PB 6/8	Light blue
R_7	2.5 P 6/8	Light violet
R_8	10 P 6/8	Light reddish purple
R_9	4.5 R 4/13	Strong red
R_{10}	5 Y 8/10	Strong yellow
R_{11}	4.5 G 5/8	Strong green
R_{12}	3 PB 3/11	Strong blue
R_{13}	5 YR 8/4	Light yellowish pink (human complexion)
R_{14}	5 GY 4/4	Moderate olive green (leaf green)
R_{15}	1 YR 6/4	日本人の肌色 (JIS のみでの規格)

$$R_a = \Sigma R_i / 8 \quad \dots\dots (2)$$

今年改正された JIS Z 9110「照明基準総則」¹⁰⁾でも、この平均演色評価数 R_a が加えられており、例えば、事務所の執務空間の場合は $R_a 80$ 以上と明記されている。

ここで、同じ相関色温度の光源間でなければ、演色評価数の比較はできないことに注意する必要がある。JIS で採用されている演色評価数は、同じ相関色温度の基準光源 (自然光) の下で観察したときの色の見えに、いかに忠実であるのかを示した指標であるので、異なる相関色温度間の光源の比較はできないのである (図-14)。

また、平均演色評価数 R_a は、8 種類の試験色に対して計算された各演色評価数の平均値であることにも注意しなければならない。例えば、現在一般的に普及している青色発光 LED に黄色蛍光体を用いて白色化させた白色 LED の場合、平均演色評価数 R_a が 80 以上であっても、試験色 R_9 (赤) に対する演色評価数は、他の試験色に対する演色評価数に比べて極端に低いことが知られている。逆に、平均演色評価数 R_a の値が低くとも、 R_9 に対する演色評価数が R_a 以上の高い値となる光源も LED には存在する¹¹⁾。必要に応じて、例えば、日本人の肌色の見えを対象にするのであれば R_{15} に注目するなど、他の各試験色に対する演色評価数にも注目する必要がある。

おわりに

LED 照明器具を採用した際の照明設計における注意点

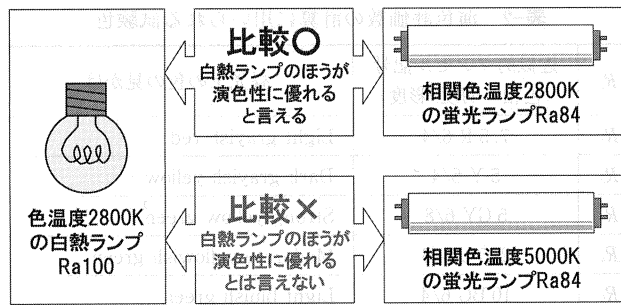


図-14 演色評価数の比較可否

は、以上述べてきた内容だけにとどまらず、他にも幾つか存在する。不快グレア(不快なまぶしさ)の問題もその一つである。LED照明器具の場合、高い効率を求めるがために発光面に並んだLEDの各粒が高い輝度で知覚されるなど、器具発光面の輝度均一性が著しく低いものがある。このようなLED照明器具には、JIS照度基準総則¹⁰⁾で平均演色評価数 R_a とともに所要要件として加えられた空間グレア指標UGRを適用することができない¹²⁾。従来光源とは異なる特性を持つLEDであるがゆえ、このUGRに見られるように、従来照明器具に対して開発された設計指標を適用できないケースがあることも、LEDを扱う際の注意点である。

LED照明器具を用いて、狙いとする照明空間を実現するためには、LED特有の特性をしっかりと把握したうえで、採用するLED照明器具を見極め、設計指標を適切に活用して照明設計に取り組む必要がある。その際には、本報で述べてきた注意点を参考にさせていただいたら幸いである。

また、現在のLED照明器具の多くが、従来からある照明器具を踏襲したタイプのものである。LEDならではの特徴を生かした従来光源では実現することができなかった新しいタイプの照明器具の台頭を今後、期待して止まない。

参考文献

- 1) 日本電球工業会：JEL 801 L形口金付直管形LEDランプシステム(一般照明用)(2010)
- 2) LED照明推進協議会：白色LEDの技術ロードマップ, JLEDS Technical Report, 2(2008)
- 3) 特定非営利活動法人LED照明推進協議会ホームページ,

http://www.led.or.jp/led/docs/JLEDSH_20_p3.pdf

- 4) 岡嶋克典：未来の光環境を考える, 照学誌, 93-12(2009), pp.872~874
- 5) 岩井 彌：空間の明るさ感評価指標“Feu”の開発と照明設計への適用, 照学誌, 93-12(2009), pp.907~912
- 6) 山口秀樹・篠田博之：色モード境界輝度による空間の明るさ感評価, 照明学会誌, 91-5(2007), pp.266~271
- 7) 岩井 彌：井口雅行：空間の明るさ感指標“Feu”による快適な空間創りのための新しい照明評価手法, 松下テクニカルジャーナル, 53-2(2008), pp.64~66
- 8) 日本規格協会：JIS Z 8725-1999 光源の分布温度及び色温度・相関色温度の測定方法(1999)
- 9) 日本規格協会：JIS Z 8726-1990 光源の演色性評価方法(1990)
- 10) 日本規格協会：JIS Z 9110-2010 照明基準総則(2010)
- 11) Y. Ohno: “Color Rendering and Luminous Efficacy of White LED Spectra,” Proc. SPIE Fourth International Conference on Solid State lighting, 5530(2004), pp. 88~98, Denver, CO
- 12) H. Takahashi and Y. Kobayashi, et al.: Position Index for the Matrix Light Source, J. Light & Vis. Env., 31-3(2007), pp. 128~132

(2011/6/7 原稿受理)

Trends of LED Lighting Luminaires

Wataru Iwai*

Synopsis Now, LED are known as a light source to achieve energy saving. In this report, I described that the principle of light emission of LED and the characteristics and trends of LED luminaires. In addition, The consideration points of lighting design using LED luminaires are also described.

(Received June 7, 2011)

* Panasonic Electric Works Co., Ltd.



岩井 彌 いわいわたる
最終学歴 千葉大学大学院工学研究科画像工学専攻修士課程修了/専門 照明ソフト技術の開発/その他色彩学会理事, 照明学会専門会員のほか, 日本照明委員会, 建築学会, 電気設備学会, 視覚学会各会員。