JIER-075

「照明合理化の指針」

改定研究報告書

2003年3月

社団法人　照　明　学　会

「照明合理化の指針」改定研究調査委員会

委員構成

委員長	宿谷昌則	武蔵工業大学
幹事	岩田利枝	東海大学
	淺田秀男	東京理科大学
	戸倉三和子	独立行政法人建築研究所（2002年4月から）
委員	斎藤満	株式会社大林組
	吉田貢	鹿島建設株式会社
	見本光雄	株式会社久米設計
	武藤耕	大成建設株式会社
	前田聡	清水建設株式会社
	河野匡志	東京電力株式会社
	海宝幸一	株式会社日建設計
	岩井彌	松下電工株式会社
	魚住拓司	岩崎電気株式会社
オブザーバー	大場奈緒子	東海大学大学院（当時）

順不同・敬称略

はじめに

「照明合理化の指針」改訂研究調査委員会では、1981 年に照明学会 技術指針として作成された「照明合理化の指針」が、約 20 年を経た今日では、今後のあるべき光環境や照明デザインの方向を指し示すものとは必ずしもなっていないとの認識に基づき、2001 年 9 月初旬から 2003 年 3 月下旬までの間 合計 10 回にわたって、その改訂を目指して照明のあり方について集中的に議論した。この報告書はその結果を纏めたものである。

報告書の内容は、“現在はこのようなランプや照明の計画方法があるから、それらにしたがって、照明システムをこのように計画・設計・運用したらよい……”といったものにはなっていない。むしろ、照明の計画・設計の現状と問題点を浮き彫りにした上で、エクセルギーの観点から照明とはどのようにして成り立っているか、また、ヒトの生理・心理に及ぼす照明の影響・効果などを整理した。〈理に適う〉すなわち合理的な照明とは何かは、そのような道筋を辿ることで明らかになっていくはずだと考えたからである。

この報告書が、照明の大切さについて認識を新たにするためのプラットホーム（基盤）を提供することができ、照明合理化の新たな指針　を与えることになれば幸いである。

（宿谷昌則）

「照明合理化の指針」改定研究調査委員会　報告書　目次

第１章　照明の計画・設計・運用のこれまで

1-1　『照明の合理化の指針』改訂の背景　（斎藤）
1-1-1　石油不足対応型省エネルギーから地球温暖化防止対応型省エネルギーへの転換と指針改訂の要請　1
1-1-2　照明設備の省エネ法上の取り扱い　2

1-2　計画・設計・運用の現状
1-2-1　設計作業とチームデザイン　（吉田）　4
1-2-2　設計の各段階と照明計画　（吉田）　4
1-2-3　省エネルギーに配慮した照明計画・照明制御システム　（見本・武藤）　6
1-2-4　照明設計における現状の問題点　（吉田）　9
1-2-5　ビルにおける照明エネルギーの使用実態　（前田）　10
1-2-6　最近のビルにおける照明関連の動向について　（前田）　11
1-2-7　照明が発生する環境負荷について　（前田）　13
1-2-8　日射遮蔽と昼光利用の組み合わせ制御の事例　（河野）　14
1-2-9　昼光利用システムの事例　（海宝）　17

第２章　照明システムはどのようにして成り立っているか

2-1　人工照明は昼光照明と電灯照明から成る　（宿谷）　23

2-2　昼光照明・電灯照明のエクセルギー消費パターン　（淺田）　25
2-2-1　エネルギー保存とエクセルギー消費　26
2-2-2　光のエクセルギー　27
2-2-3　照明におけるエクセルギー投入と消費の流れ　28
2-2-4　昼光照明・電灯照明と暖冷房システムの年間エクセルギー消費パターン　30
2-2-5　まとめ　32

第３章　ヒトと照明環境

3-1　自然光とヒト
3-1-1　ヒトの体内時計と光　（岩田）　33
3-1-2　サーカディアンリズムの形成　（宿谷）　34
3-1-3　自然光の変動と暴露光の変動　（岩田）　36
3-1-4　太陽の光とヒトの目　（戸倉）　37
3-1-5　低色温度、低照度の照明　（戸倉）　38
3-1-6　併用照明における電灯照明　（岩田）　39
3-1-7　生得性と後得性　（宿谷）　40

3-2　ヒトの明るさ感に基づく電灯照明　（岩井）

3-2-1　水平面照度重視設計からの脱皮　42
3-2-2　省エネ効果が期待できる新しい照明方法　44
3-2-3　省エネ実現のための今後の課題　46

第４章　電灯光と屋外環境

4-1　光害への取り組み　（魚住）
4-1-1　光害と社会的背景　49
4-1-2　屋外照明の実態調査　50
4-1-3　環境省／光害対策ガイドライン　51
4-1-4　光害対策モデル事例　52
4-1-5　まとめと今後の課題　53

4-2　ビルからの漏れ光の実態　（大場）
4-2-1　実態調査の目的　54
4-2-2　調査方法　54
4-2-3　調査結果　55
4-2-4　漏れ光予測方法　56
4-2-5　実測値と計算値　56
4-2-6　ビルからの漏れ光影響の大きさ　57
4-2-7　結論　57

4-3　歩行空間の照明　（戸倉）　58

第５章　光環境教育への提言　（宿谷・岩田・淺田・戸倉）　59

第１章　照明の計画・設計・運用のこれまで

1-1 『照明合理化の指針』改訂の背景

1-1-1 石油不足対応型省エネルギーから地球温暖化防止対応型省エネルギーへの転換と指針改訂の要請

現『照明合理化の指針』（照明学会・技術指針 JIEG-002）が作成されたのは 1981 年である。第一次石油危機発生から８年後、第二次石油危機発生から２年後のことである。

当指針は、冒頭で「エネルギー危機が叫ばれるたびごとに、目立つ照明が常に目のかたきのように思われることは、照明に携わる学者、技術者または使用者にとって全く心外のことである。」として、「安易に廊下灯を間引きするが如き、愚直で危険な方法などは絶対に採らせないようにしたいものであり、非合理的な照明はこれを排除して、合理的な照明環境を作るための努力が最も大切であるとの認識のもとに、具体的な場合について論じ、その合理化された照明とはかくあるべしとするものを示すことは、わが照明学会の使命であることを固く持して、本指針を作ることとした。」と、その目的を述べている。

しかし、当指針が作成されて早 20 有余年、この間には電子安定器や Hf 蛍光灯器具のような非常に高効率な照明用機器が開発されたり、各種のセンサや制御技術などが開発・導入されてきた。これらの詳細は次節を参照されたい。

また、1979 年には「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（略称：省エネ法）が制定され、1993 年に「建築物に係るエネルギーの使用の合理化に資するよう努めなければならない」建築設備の一つに照明設備が加えられた。そして、2002 年には、主として民生用建築物のさらなる省エネルギー化を目的とした大幅な改正が行われ、2003 年４月から施行されることとなった。

このような最近の国の積極的な省エネルギー施策は、第一次・第二次石油危機のときのような、石油の量的不足に対応するものではなく、もっぱら「地球環境問題」の側面から打ち出されたものである。

「地球環境問題」とは、オゾン層の破壊、地球温暖化、森林破壊、酸性雨、海洋汚染、廃棄物の他の国への越境移動、砂漠化など、多くの問題の総称であるが、このうち現在最も深刻で対策・解決が急がれているのが「地球温暖化」問題である。

「地球温暖化」は、エネルギー消費等に伴って排出される二酸化炭素（CO_2）のような温室効果ガスが、大気中に増えることにより、地球の気温が上昇していく現象である。これにより、高地では氷河の解凍による水害の発生、低地では海面上昇による水没など、生活上重大な問題が発生している。

「地球温暖化」防止のためには、CO_2、メタン、一酸化二窒素、オゾン、ハイドロフルオロカーボン（HFC）、パーフルオロカーボン（PFC）、六フッ化硫黄（SF_6）などの温室効果ガスの排出を抑制しなければならない。わけても CO_2 の排出の抑制が最も効果がある。

このような状況を踏まえ、気候変動枠組条約（気候変動に関する国際連合枠組条約）が 1992 年６月にブラジルのリオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて、署名が開始され、1994 年３月に発効した。この条約の究極の目的は、「気候系に危険な人為的影響を与えることを防止する水準において、大気中の温室効果ガス濃度の安定化を達成すること」である。

条約の発効を受けて、第一回締約国会議が 1995 年にベルリンで開催されたのを皮切りに、第三回（COP3）が 1997 年に京都で開催された。ここで採択された議定書では、2008 年から 2012 年の間に 1990 年比、先進国平均で５.２％、我が国は６％温室効果ガスを削減するとされた。このため、政府は 1998 年に「地球温暖化対策推進大綱」を決定し、2002 年３月にはこれを見直し、更に効果的な対策を含めた新しい「地球温暖化対策推進大綱」を決定した。

しかし、我が国の 2000 年度の温室効果ガス排出量は、1990 年比で８％程度増えており、前述の

６％削減を達成するためには今後非常な努力を要することになる。このような状況が現在我が国で、「省エネルギー」が緊急の課題と目されている大きな理由である。

以上のように、省エネルギーの要求を取り巻く状況が変化してきたことも受け、2000年度に学会の「学会技術基準及び照明関連JISの企画委員会」より、光環境研究専門部会に対し、現指針の改訂の必要性について諮問があった。これを受けて、光環境研究専門部会で審議された結果、上述のような背景等を鑑み、改訂すべき旨答申が行われ、今回の新しい指針（案）の作成に至った。

（斎藤満）

1-1-2 照明設備の省エネ法上の取り扱い

省エネ法は、第１章総則、第２章工場に係る措置等、第３章建築物に係る措置、第４章機械器具に係る措置、第５章雑則、第６章罰則、の６章で構成されている。

このうち「建築物に係る措置」において、2003年４月以降は住宅を除く2,000㎡以上の全ての建築物において、照明設備の省エネルギー措置が求められることになった。

また、「機械器具に係る措置」において、年間の生産量・輸入量が指定数量以上の特定機器の一つとして「蛍光ランプのみを主光源とする照明器具」が指定され、性能向上の努力義務が課せられている。

これは、現在メーカー各社で製品化されている照明器具のうち、最も優れている照明器具の性能水準（lm/W）を勘案して目標値とし（トップランナー方式）、この目標値を達成できないメーカーに対しては、目標を達成すべき旨の勧告と、これに従わないときはメーカー名等が公表されることがある、とされている。

以上のように、現指針作成時と異なり、現在では法律によって照明設備・照明器具の「縛り」（規制）が行われていることも、今改訂の大きな理由の一つといえる。

なお、国はエネルギー使用の合理化のため、2003年１月10日付けの経済産業省告示第四号によって、新しい「工場又は事業場におけるエネルギーの使用の合理化に関する事業者の判断基準」を定めている。参考にこのなかで言及されている照明分野の項目を紹介しておく。

Ｉエネルギー使用上の合理化の基準

①管理

照明設備については、日本工業規格Z9110照度基準及びこれに準ずる規格に規定するところにより管理標準を設定して使用すること。また、適宜調光による減光又は消灯を行うことにより、過剰又は不要な照明をなくすこと。

②計測及び記録

照明設備については、照明を施す作業場等の照

度の計測及び記録に関する管理標準を設定し、これに基づき定期的に計測し、その結果を記録すること。

③保守及び点検

照明設備については、照明器具及び光源の清掃並びに光源の交換等保守及び点検に関する管理標準を設定し、これに基づき定期的に保守及び点検を行うこと。

④新設にあたっての措置

照明設備を新設する場合には、次に掲げる事項等の措置を講じることにより、建築物判断基準中、照明設備に関する事項を踏まえ、エネルギーの効率的利用を実施すること。

・電子回路式安定器（インバーター）を点灯回路に使用した蛍光ランプ（Hf蛍光ランプ）等省エネルギー型設備を考慮すること。
・ＨＩＤランプ等効率の高いランプを使用した照明器具等省エネルギー型設備を考慮すること。
・清掃、光源の交換等の保守が容易な照明器具を選択するとともに、その設置場所、設置方法等についても保守性を考慮すること。
・照明器具の選択には、光源の発光効率だけでなく、点灯回路や照明器具の効率及び被照明場所への照射効率も含めた総合的な照明効率を考慮すること。
・昼光を使用することができる場所の照明設備の回路は、他の照明設備と別回路にすることを考慮すること。

Ⅱエネルギーの使用の合理化の目標及び計画的に取り組むべき措置

照明設備に関しては、次に掲げる措置、建築物判断基準（照明設備に係るエネルギーの効率的利用に関する事項に限る。）を踏まえた措置等による照明設備のエネルギーの効率的利用の実施について検討すること。

①照明設備については、昼間は昼光を利用することができ、また、照明設備を施した当初や光源を交換した直後は高い照度を適正に補正し省電力を図ることができるようにするため、減光が可能な照明器具の選択や照明自動制御装置の採用を検討すること。

②照明は、不必要な場所及び時間帯の消灯又は減光のため、人体感知装置の設置、時計装置（タイマー）の利用等について検討すること。

（斎藤満）

1-2 計画・設計・運用の現状

1-2-1 設計作業とチームデザイン

設計作業は、全体計画のとりまとめを行うリーダ（一般的には建築デザイナー）を中心とした、構造設計者、機械設備設計者、電気設備設計者、インテリアデザイナー、ランドスケープデザイナーが必要に応じてチームを組む。建築デザイナーは、建築全般に渡りデザインを実現するため、照明器具、照明方式を実質的に指示することが多い。デザイナーの持つ決定権は、非常に大きく、プロジェクトの方向性から詳細のディテールにまでいたる。

商業建築やホールなどの特殊建築では、照明デザインイメージを具体的な照明計画に仕上げる照明コンサルタントや電気設備設計者等の技術エンジニアが必要となる。

一般的なオフィス建築においても、エントランスや外構、ライトアップへ照明コンサルタントが参加する場合があるが、基準階などの執務エリア部分の一般照明は、電気設備設計者が比較検討し提案することが多い。

また、商業建築、オフィスビルに限らず、どのような建築でも、積算・契約・施工に必要とする照明設計図書の作図作業そのものは、電気設備設計者の担当となる。

（吉田貢）

1-2-2 設計の各段階と照明計画

設計の流れを図 1-2-1 に示す。

プロジェクトにおける設計作業と各進捗状況において、照明計画がどのように取り上げられ、検討されているかを以下に記載する。

（ア）企画設計段階

計画に対する基本的な検討時期であり、この段階では、事業計画の判断材料が必要とされる。この段階では、チームデザインは本格的には稼動しておらず、建築デザイナーを中心とするデザインチームが少数で対応することが多い。主に法的な実現性や事業の有効性、実現した場合のイメージを検証するために行われるため、歴史的な背景や過去の事例、顧客ニーズを元に、具体的な提案資料を作成する。照明計画に対して、具体的に言及されることは少ない。

（イ）基本計画段階

企画設計において提示された大きなコンセプトを元に、さらに、多方面にわたる設計方針をまとめる。企画設計と一連の作業として行われることも多い。建築計画上の基本となる外観や基本プランニングはこの時点で検討されるため、適用可能な省エネルギー技術の整理と適用の可能性を探る。その結果は、建築プラン、外装計画として反映される。近年、環境に対する配慮が一般的となり、システム選定においても充分配慮することがもとめられている。

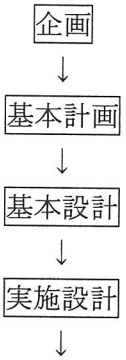


図 1-2-1　設計の流れ

建築関係5団体（社団法人　日本建築士会連合会、日本建築士事務所協会連合会、日本建築家協会、建築業協会、日本建築学会）は、2000年6月に「地球環境・建築憲章」を宣言している。この中に記載される項目は、建築コンセプトに対するキーワードとして参考にされることが多い。表-1-2-1に同運用指針に記載されているキーワードを示す。

本来であれば、この時点で合理的な照明設計の為に、オフィス全体の視環境に関する検討が積極的に行われるべきであるが、常に変更される建築プランや外装（窓の大きさ）に合わせ、昼光を含めた空間シミュレーションを繰り返すことは、大変な設計労力を費やすため、現実的には行われていない。

天井照明のシステムと制御に関する経済性、運用性の検討をふまえ、基本的な方針が決定されるのもこの時点である。

（ウ）基本設計段階

基本計画にもとづき具体的な詳細検討を繰り返す段階である。オフィスエリアにおける照明計画の重要なファクターである省エネルギー効果についても、再度詳細検討が行われる。

窓周りのシステムやオフィスの設計条件も整理されるため、各種条件を元に最終的な設計仕様としてまとめられる。

この段階で重要なことは、実際の作図に向けて、詳細が決定されることである。

最近の技術の進歩は速く、半年、1年後には格段に進歩している技術も考えられる。しかし、設計工程から見て、竣工時の技術を先取りすることは難しく、この基本設計時点で実用化されている技術を盛り込むのが一般的な設計手法である。

（エ）実施設計段階

積算、施工に必要な設計図書を作成する段階である。実際に、実現可能な設計図としてまとめるため、メーカ等の各分野の専門技術者から情報収集をかさね、図面を作成していく。また、性能表示の難しい設備機器に関しては、実際の製品を図面に記載することも多い。

設計段階で作成した計算書、シミュレーション結果は、設計品質の管理上も重要な書類として管理され、顧客の要求があれば、設計の妥当性を示す証拠として提示しなければならない。つまり、ここで作成される計算書やシミュレーションは、重要さにおいては、設計図書と同等の位置付けとなる。

表1-2-1　地球環境・建築憲章　運用指針（抜粋）

1．長寿命 ＜住民参加による合意形成＞ ＜新しい価値の形成＞ ＜建築を維持する社会システム＞ ＜維持保全しやすい建築の構築＞ ＜変化に対応する柔軟な建築＞ ＜高い耐久性と更新の容易性＞ ＜長寿命を実現する法制度の改革＞
2．自然共生 ＜自然生態系を育む環境の構築＞ ＜都市部の自然回復、維持、拡大＞ ＜建築の環境影響への配慮＞
3．省エネルギー ＜地域の気候にあった建築計画＞ ＜省エネルギーシステムの開発と定着＞ ＜建設時のエネルギー削減＞ ＜地域エネルギーシステムの構築＞ ＜自然エネルギーの活用に対応した都市の空間構成＞ ＜省エネルギーに寄与する交通のための都市空間＞ ＜省エネルギー意識の普及・定着＞
4．省資源・循環 ＜環境負荷の小さい材料の採用＞ ＜再使用・再生利用の促進＞ ＜木質構造および材料の適用拡大＞ ＜建設副産物の流通促進による廃棄物の削減＞ ＜生活意識の変革と行動への期待＞
5．継承 ＜良き建築文化の継承＞ ＜魅力ある街づくり＞ ＜子どもの良好な成育を促す環境整備＞ ＜継承のための情報の整備＞

（オ）施工段階

施工段階では、契約図書に基づいて施工が行われる。設計図書は全ての基本となるため、そのとおり施工されることが求められるが、実際には、コスト調整による施工者からの要求、顧客による変更要求、設計の未成熟による調整が日常的に行われるため、施工図作成段階で再度検討が行われることが多い。

この時点では、施工業者、採用メーカが決定されるため、関係者による施工方法を含めた詳細検討が加えられる。

設計監理者は、施工の進捗状況に合わせて、内容を調整した上で施工計画を承認し、施工者はそれを施工する。この時点で、設計図書に記載された性能の発揮が保証されていなければならない。竣工時には、コミッショニングとして、各機器の調整を行う。測定データを記録したうえで性能が発揮できていることを証明し、引渡しを行い施工完了となる。

（カ）竣工後（アフターケア）段階

竣工引渡し後、各シーズンを経て、効果を確認する場合もある。使用勝手は、常に変化するため、当初予想された効果が得られない場合もある。設計者がアフターケアを行うことで、効果的な解決策を探り、適正な運用が可能となる。

（吉田貢）

1-2-3 省エネルギーに配慮した照明計画・照明制御システム

照明計画において、まず快適環境を作ることが重要である一方で、イニシャル・ランニングコストを抑えることも必要である。この方法として、計画時においては、高効率のランプ・照明器具の選定、自然光を採り入る照明手法の採用、運用時においては、中央監視からのスケジュール制御、入退出制御との連動、各種センサーでの制御を行うことなどが挙げられる。

a) 省エネルギーに配慮した照明計画

照明計画の設計手法においては、以下の要素を検討し進めていくが、各要素毎に省エネルギーについて考慮する必要がある。

・光源・ランプ・照明器具の選定
・照明方法の選定
・建築空間の確認（昼光利用含む）
・昼光を利用した照明計画手法について
・照明制御システムの選定
・人体感知センサー・光センサーによる制御
・タイムスケジュール制御
・昼光センサーによる照明制御
・パターン制御
・初期・適正照度補正センサーによる照明制御
・高機能集中点滅制御

光源には、光束・効率・寿命・演色性・色温度・輝度等いろいろな特性がある。使用目的にあわせていろいろな特性から適正なランプを選択する。効率の良いランプほど省エネルギー性が良いわけではなく寿命を考慮し、イニシャルコストとランニングコストを考えて選択する。またランプに適した照明器具を組み合わせて総合的に効率の良い器具を採用する。

白色薄膜塗装電球は、従来の白熱電球より 5% ほど省電力で同じ明るさを出す電球である。クリプトン電球はクリプトンガスを封入し従来の電球より長寿命で小型な電球である。ハロゲン電球は一般の白熱電球より高価であるが小形で高効率、長寿命で、さらに反射膜、ミラー付は高効率である。白熱電球で共通することは価格が安く、点滅

に強いのが特徴である。

蛍光ランプは白熱電球に比べ5倍以上の効率があり寿命が長く省エネルギー光源としては最も普及している。一般蛍光ランプに比べ高周波点灯形ランプ（Hf蛍光ランプ）は約1.5倍の光束が得られ最も省エネルギー性が良いランプである。ガラス管を2重、4重に折り曲げた小形の蛍光ランプで照明器具の小形化に対応したランプも最近普及している。

水銀ランプは高光束が得られ長寿命で、HIDランプの中では安価である。メタルハライドランプは高効率形、高演色形、兼用形など色々な特徴を持ったランプで水銀ランプに比べランプ効率、演色性に優れるが寿命の点では劣る。高圧ナトリウムランプは白色光源の中では最も効率が良い。低圧ナトリウムランプは黄色の単色光で演色性は悪いが各種光源中最も効率が高い。

省エネルギーランプ･安定器の採用はもちろん、設置する場所の環境条件、使用目的、照明方式、器具の配光曲線、器具配置、照度分布等を考慮し器具の選択を行うことが重要である。

白熱灯器具は空間を演出する住宅・商業施設の一部に利用されており、省エネルギーと利便性を考慮したセンサー付器具も発売されている。

蛍光灯器具は住宅・事務所ビルなど多くの施設に一般的に使用されていて、数多くの種類が発売され目的に合わせて利用することが大切である。

HID器具は高天井の空間（体育館・アトリュウム・工場等）、街路・屋外広場等に使用される。

照度基準（JIS Z9110）で各施設別・部屋の種類別に照度基準が示されている。使用目的により適正な照度を範囲内から選定し照度の設定を行う。保守率・照明率・部屋の反射率・室指数により照度計算を行い設定照度に近づけることが省エネルギーに配慮した計画である。

蛍光灯・HIDランプの安定器を磁気回路式から電子式安定器により省エネルギーが図られるので電子式安定器を使用した器具の採用が重要である。

照明の方式には全般照明、局部照明、両方式の併用方式に分けられる。全般照明方式は一般的な方式でエネルギーを最も消費する方式である。局部方式は必要部分にのみ照明する方式で効率的な照明方式であり施設､用途によっては適している。併用方式はタスクアンビエント照明といわれ両方の特徴を生かした照明方式である。

省エネルギー法に照明のCEC（CEC/L）があり、計画している建物の照明の消費エネルギー量を建物の標準的照明の年間電力消費量（仮想照明消費エネルギー量)で除した数値(照明エネルギー係数）が一定の数値以下になるように要求されている。

昼光を利用した照明計画としては、以下の方法が考えられる。

・ライトシェルフ

建物の庇の上面で太陽光を反射させ採光窓を通して室内の奥まで自然光を導入し人工照明のエネルギーをセーブし省エネルギーを図る。

・光ファイバー昼光導入装置

太陽光を光コレクターというレンズで集光し光ファイバーを使い、照明したい場所まで光ファイバーを布設し太陽光を室内に導入する方法。複数のコレクターを太陽の軌道方向に設置する方法と太陽を追尾する方法がある。実用的な照度を得るためにはかなり大きな設備となる。

・太陽光追尾式光導入装置

太陽光反射追尾装置は太陽を自動的に追尾し常に必要な角度で太陽光を照明したい所へ自然光を導入する装置である。太陽光の入らない大型ビルの中庭などに太陽光を導入する場合に利用される。

・光ダクト採光方式

太陽光反射追尾装置と同様に、反射鏡を動かしながら太陽光を一定の方向に向けてレンズで集光し平行光線とし細いダクト内を通して室内に光を導入する装置である。

b)　省エネルギーに配慮した照明制御システム

照明のエネルギーをセーブするための方法として時間による制御、明るさによる制御が考えられる。制御するシステムの費用とセーブされる電気料金により省エネルギーシステムの採用を決めることが望ましい。以下に省エネルギーに配慮した照明制御システムを述べる。

・人体感知センサー・光センサーによる制御

トイレ洗面所等で人体感知センサーにより人の存在を検知し照明器具を一定時間点灯し人がいなくなると消灯する制御で消し忘れによる電力を節減する。外灯等光センサーにより暗くなると自動的に点灯し、明るくなると自動的に消灯する制御で電力の節減を図る。

・タイムスケジュール制御

オフィスの事務空間等昼の休憩時間があらかじめ決められている部分に対して照明をあらかじめ設定された時間で制御することにより電力の節約をおこなう。タイムスケジュール制御は、大規模な施設においては、かなりの電力節減になり、また外灯においては光センサーとの組み合わせで電力の制御をおこない節減を図る。

・昼光センサーによる照明制御

事務空間の窓側においては、自然光により照度が得られる。この自然光を利用して照明器具からの光を昼光センサーで調光制御し事務室の照度を均一にし、電力を節減する。

・パターン制御

体育館のアリーナ部分の競技方法により明るさのパターンと照明の点滅パターンをあらかじめきめておき使用する競技により選択制御し電力の節減を図る。

・初期・適正照度補正センサーによる照明制御

オフィスの事務空間等の照度は、竣工当初設定されている照度以上に照度が出ている。これは、ランプの経年変化による光束低下、年とともに器具の汚れによる効率低下を考慮した保守率を加味した結果で、センサーにより照明器具の明るさを調光制御で設定された必要照度に下げることにより電力の節減を図る。

・高機能集中点滅制御

大規模な施設において、初期・適正照度補正センサーによる制御、タイムスケジュール制御と入退出管理、中央監視設備を統合した点滅制御により多くの電力節減を図る。

（見本光雄）

c)　新しい光源

私たちが色々な建造物及び屋外等の照明設計を行う場合、その空間の必要とされる　明るさ、目的に応じた雰囲気などを考慮し、様様な照明器具から選定を行っているが、近年の技術進歩又は地球環境負荷軽減の観点から、より高効率、より長寿命、より省エネルギーに沿った新光源が開発されつつある。その概要及び用途を述べる。

1)可視光発光ダイオード

（LED：Light Emitting Diode）

電流を流すと発光する半導体素子の一種で、物質そのものが電流にて発光する為、素子そのものは半永久的な寿命がある。

特徴として、

・長寿命でありメンテナンスフリーが期待できる。（約 40000h 以上）

・指向性が高い。

・発熱量が少なく、低消費電力である。

・コンパクトで器具が薄くできる。

・超高輝度白色ＬＥＤが開発された。

照明用途として

・ダウンライト、フットライト、間接照明、階段手すりライト

2)無電極ランプ

電磁波で発光し、電極やフィラメントなどを持たない為、従来の電球や蛍光灯の様に点滅による消耗がなく長寿命である。

特徴として

・高効率で長寿命である。（約 40000～60000h）

・瞬時点灯、瞬時再点灯が可能である。

・高演色である。

照明用途としては

・外壁照明、外構照明、橋梁照明

3)光ファイバーシステム

光源ボックスに光ファイバーをつなぎ、ファイバーの中を伝達させ、ファイバーの先端から光を出すタイプと、ファイバー自体を光らせるタイプがある。

特徴として

・発光部は感電の恐れがない。

・光に熱、紫外線をほとんど含まない。

・電源部と発光部は離す事ができ、ランプ交換の困難な場所に最適
・ファイバーが長くなると光の減衰が多く、効率が悪い。
・発光部は損傷ない限り使用可（寿命　光源6000～12000h）

照明用途として

・水まわり、外構、高所、光源装置が制限される場所
・電気を持ち込めない場所
・美術館、博物館、デザイン照明

4)ライトチューブ（Light Tube）

光を特殊フィルムを張った筒状の中を通し、筒を均一に発光させる。

特徴として

・光に熱、紫外線をほとんど含まない。
・光源交換のみのメンテナンスで良い。
・チューブの長さに制限がある。
・発光部は損傷ない限り使用可（寿命　光源6000～12000h）

照明用途として

・階段・エスカレーター照明、道路看板照明、モニュメント照明
・理美容院照明、熱を嫌う食品店

（武藤耕）

1-2-4 照明設計における現状の問題点

一般的なオフィスビルにおける照明設計が抱える問題点を簡単に記述する。

まず第一に、中小規模のオフィスでの照明設計では、外壁デザイン（窓形状）や室内ボリューム、室内色彩、外部周辺環境、方位等さまざまな要素を総合的に判断する必要があるにもかかわらず、総合的な検討がほとんど行われない点である。これは、必要性の認識が低い上に、設計作業効率から割愛される問題もある。

また、設計照度以外に、指標が社会的に認知された指標がなく、顧客に対する快適な視環境空間の客観的な説明の困難さがあげられる。さらに、照明設計のコンセプトは「省エネルギー＝省ランニングコスト」が中心であり、快適性や業務の生産性向上からのアプローチはほとんどと取り上げられる事は無いのが現状である。

第二に、照明設計エンジニアの不足があげられる。実際に、照明設計を行う電気設備設計者は、受変電設備から、コンピュータネットワークまで幅広い分野の設計を担当している。一連の設計行為の中で、照明設計にかかわることの出来る時間は限られており、現実的に充分対応できていないのが現実である。

各担当者は、限られた時間と環境の中で、知恵を絞り、工夫を重ねることで、さまざまな試みを行っている。

参考文献

1）社団法人　日本建築士会連合会，日本建築士事務所協会連合会，日本建築家協会，建築業協会，日本建築学会：地球環境・建築憲章 2000 年 6 月

（吉田貢）

1-2-5 ビルにおける照明エネルギーの使用実態

照明の省エネルギー、合理化等を考える前に、そもそも建物で消費される照明を含むエネルギー消費量とは一体どの程度のものなのだろうか、また、建物の建設、運用、解体の建物の生涯運用を通してのエネルギー消費の割合はどれほどのものだろうか、各種調査報告の内容をもとに確認して見たいと思う。

まず、第一に 1990 年における我国の建設、運用、廃棄にいたるライフサイクルで排出する二酸化炭素排出量の内訳（図 1-2-2）から見ると、約 1/3 が建設関連分野での排出ということになり＝全電気エネルギー消費の約 1/3 が建築分野での消費と考えられる。

また、図 1-2-3 に一般事務所ビルの例であるが、建設、運用、解体迄のライフサイクル CO_2（$LCCO_2$）の試算内訳を示す。これを見ると、約 6 割以上が建物運用に係わるエネルギーであることが報告されており、このことから、建物の省エネルギー化がエネルギー消費量の削減及びひいては、環境負荷の削減に結びつく大きな要因の一つとして挙げられる。

次に、建物での照明関連でのエネルギー消費量とはどの程度のものなのだろうか、建物の消費エネルギーは当然ながら、その用途、使用勝手、設備システム等により大きく異なると考えられる。図 1-2-4 に国内の照明による消費エネルギー比率を、図 1-2-5 にその用途別比率を示す。

図より、照明でのエネルギー消費は約 16%程度でかつビル系の施設ではそのうちの約 42%を使用していることになる。

図 1-2-6 にビル系施設のうち事務所、百貨店、学校、ホテル、病院の各建物の用途別エネルギーの消費の内訳の比較例を示す。これらの施設のう

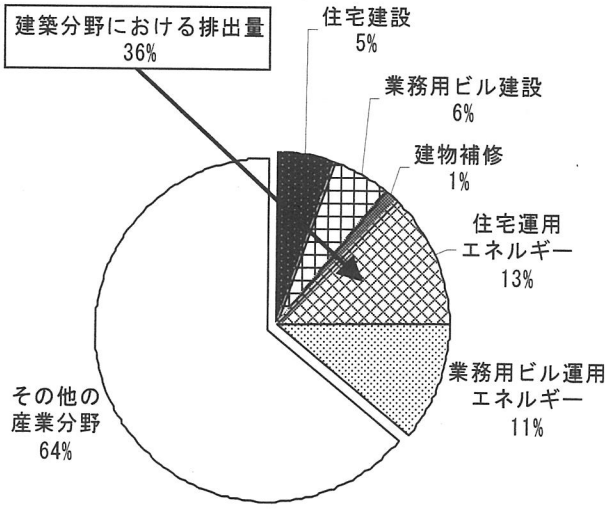


図 1-2-2 1990 年度 CO_2 排出量内訳
（総排出量 12 億 t-CO_2）1990 年推計値[3]

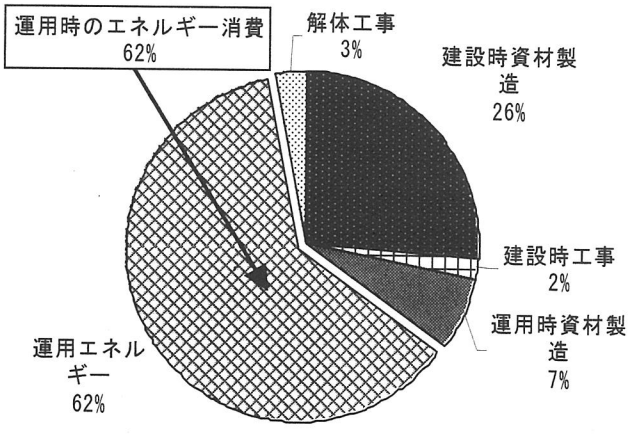


図 1-2-3 事務所ビルにおける $LCCO_2$（35 年）試算例[4]

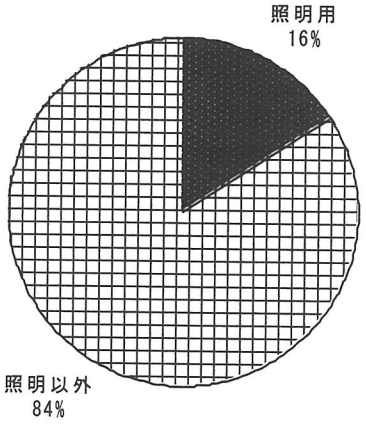


図 1-2-4 国内の照明用エネルギー消費比率[5]

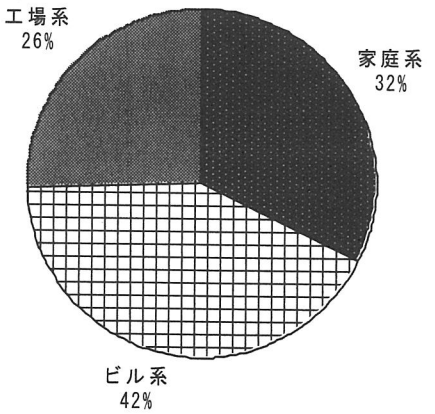


図 1-2-5 用途別照明用電力消費割合[5]

ち照明、コンセント関連の消費電力比率が高いのは、事務所、百貨店、学校であり各用途とも照明関連部負荷が全体の約 30%以上を占めていることが判る。

以上の様にこれらの施設においてはとくに照明の合理化、省エネルギー化が、全消費エネルギーに対して少なからず影響をもたらすことがわかる。

参考文献

1）村上正吾：建築における省エネルギー，電気設備学会誌，2001 年 12 月号

2）東芝ライテック(株)ホームページ
http://www.tlt.co.jp/tlt/info/kankyo/

3）伊香賀俊治：空気調和・衛生設備の環境負荷対策削減マニュアル第 I 編，p.3，（社）空気調和・衛生工学会，2001 年 3 月

4）石黒邦道他：$LCCO_2$による事務所ビルの試算その 1・2，日本建築学会学術講演会，1995 年

5）照明学会，平成 9 年 3 月，環境保全と照明システム，表 2.2 よりグラフ化

6）各建築物別のエネルギー消費量などの調査結果，㈳空気調和・衛生工学会，第 58 巻 11 号

7）民生部門エネルギー消費実態調査，平成 4 年 3 月，（社）日本エネルギー経済研究所エネルギー計量センター

（前田聡）

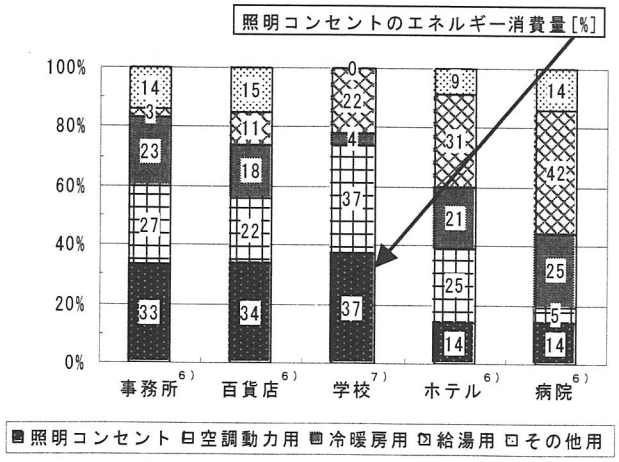


図 1-2-6 各用途建物のエネルギー消費比率

1-2-6 最近のビルにおける照明関連の動向について

昨今の環境問題や省エネルギーに関する社会的認識の高まりから、ビルにおける照明方式、照度、消費エネルギーあるいは、照明の質などについて、何らかの変化が起きているのだろうか？このことの手がかりとして、2002 年 3 月の（社）照明学会の“オフィスの照明の実態”と称する研究調査委員会報告書を参考に確認して見たいと思う。

照明学会のビルディング実態調査は、過去に昭和 36 年（1961）、40 年(1965)、48 年(1973)、55 年(1980)、平成 4 年(1992)、13 年（2001）の計 5 回、各回により調査件数の差はあるが合計 1225 件の調査を行なっている。また、最新の平成 13 年の調査は、自社、貸ビルを含め 252 件の調査結果をふまえてものとなっている。

まず照明器具形態については、昭和 36 年当時は露出型器具（吊下型を含む）が主体であったものが、現在は埋込型器具主体に変り、かつルーバー器具の割合も増えてきている状況である。ただ明るいから、質を求める照明方式に変遷して来ていることが判る。（図 1-2-7 参照）

次に照度レベルについてはどうだろうか？ 昨今の環境、省エネ時代の大号令のなか照度レベルも上昇傾向に歯止めがかかっていないだろうか、図 1-2-8 に過去 5 回の初期水平面照度平均値の変遷と照明電力密度の変遷を示す。 図 1-2-9 には、前回調査時との設計照度レベルの割合を比較したものである。結果は、残念ながら照度レベルは年々上昇して来ている。ただ、照明の電力負荷密度に

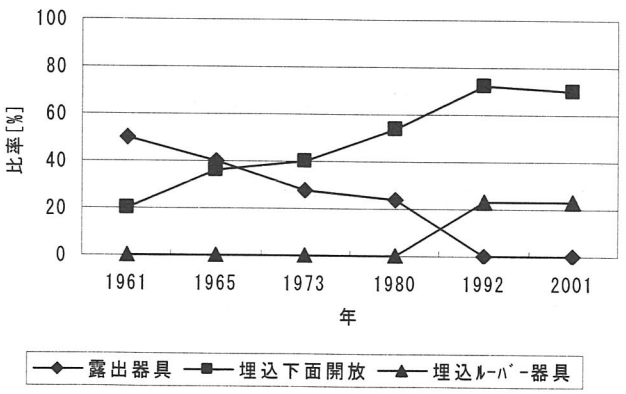


図 1-2-7 照明器具使用割合の推移

ついては、調査開始以来始めて下がっている。照度レベルが前回より上がっているのに、電力負荷密度は下がっており、照明環境の快適化が望まれる一方で、地球温暖化防止に配慮した省エネルギーの意識が非常に高まっており、その結果として、Hf管などの効率の高い照明管球及び電子式安定器を始めとする高効率器具が順次開発され、さらには照明制御システム等が普及された結果と思われる。

電力負荷密度の減少の一因を担った、照明制御システムの採用状況を延面積別に示したものを、図 1-2-10 に示す。この結果を見ると規模の大きい方から採用率が高くなっていることが判る。これは、省エネ法の改正や社会的意識の高まりにより、大規模ビルにおける消費エネルギーの削減が、より必須要因になって来たことがあげられるであろう。また、自社、貸ビル別で見ると、自社ビルが50%強の照明制御システムの採用であるのに対して、貸ビルは30%強にとどまっている。これは、自社ビルの方が運用エネルギー削減意欲及び、社会に対しての環境に関する企業ポリシーのアピールと言う観点から照明制御システムに対するニーズが高いのではないだろうか。ちなみに、照明制御システムの制御内容としては、スケジュール制御、昼光制御、適正照度調整、人感センサ制御などであるが、いずれも規模の大きい方が採用率が高くなっている。

同様に照明器具の設置工法についても、延面積が大きくなるほどシステム天井の採用率が高くなっている。(延面積 30,000 ㎡以上では 92%がシステム天井を採用)

また、本調査報告の中にはタスクアンビエント照明（天井の全般照明に対して、各机の近傍で必要な照度をとる照明方式）採用率についても調査されている。　省エネ機運が高まるにつれ、高照度均一照明に対し、タスクアンビエント照明などが対抗馬としてあげられるが、その採用率は２％程度にとどまっており、ほとんど普及していないことがわかる。

残念ながら、我国ではなかなか馴染まないのが実情の様である。

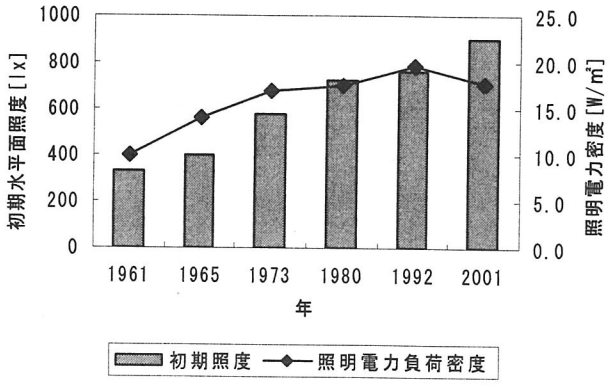


図 1-2-8 初期照度と電力負荷密度の平均値の推移

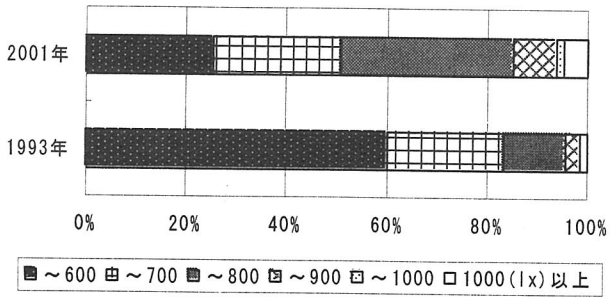


図 1-2-9 設計照度の割合（前回調査との比較）の比較

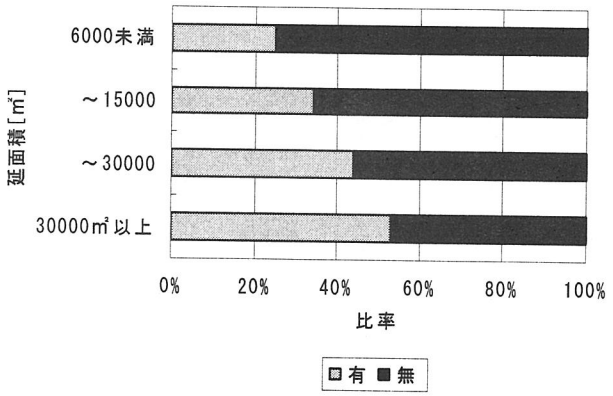


図 1-2-10延面積別の照明制御システム採用状況

参考文献

1）照明学会：“オフィス照明の実態”研究調査委員会報告書，JIER-070，2002 年３月

（前田聡）

1-2-7 照明が発生する環境負荷について

照明のランプならびに器具において発生する環境負荷にはどの様なものがあるのだろうか？環境負荷とは一般的に温暖化、大気汚染、酸性雨、水質汚染、有害性、資源消費、固形廃棄物、エネルギー消費などが上げられる。その排出割合等は、製造から廃棄に至るライフサイクルアセスメント（LCA）の検証、算出により求めることができる。照明器具類の製造から廃棄に至るまでの環境負荷はどの様に排出されるのか、図 1-2-11 は、白熱ランプと同程度の明るさの蛍光灯ランプの生涯における温暖化ガス（CO_2）の排出量の比較例である。図 1-2-12 は事務所等の事業所で使用される蛍光灯器具の鉄芯型安定器の器具と省エネ型の電子式インバーター安定器の器具との温暖化ガスの排出量の比較例を示す。

上記のグラフから、ランプ、器具とも温暖化ガスの排出量の 90%以上は使用時のエネルギー消費により放出される為、白熱灯より蛍光灯、効率の低い安定器より省エネ型の電子安定器の方が

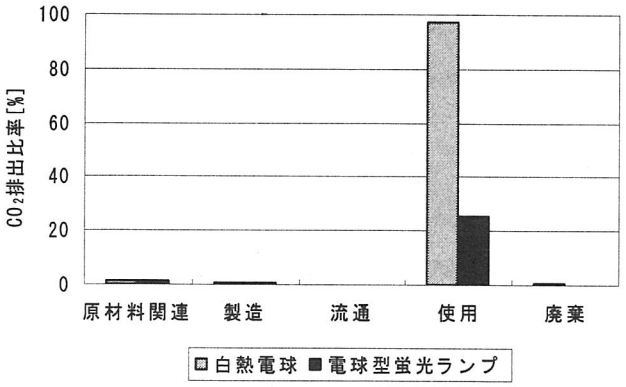


図 1-2-11 ランプの LCA での環境負荷比較例（CO_2）[4]

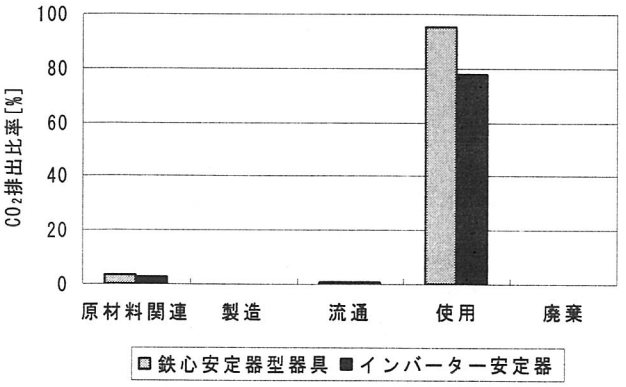


図 1-2-12 蛍光灯器具の器具別環境負荷の比較例（CO_2）[4]

CO_2 の排出量がそのエネルギー消費量に比例して少なくなることが判る。図 1-2-13 は、図 1-2-12 と同様の鉄芯型安定器の器具と省エネ型の電子式 Hf インバーター安定器の器具において、温暖化のみならず環境負荷全般について相互比較したものである。

図 1-2-13 から、消費エネルギーの少ない器具は、他の環境負荷要因についてもより少なくなることがわかる。

照明における環境負荷を低減するためには器具ならびにランプ類のライフサイクルを充分に考える必要がある、まずその大部分を担う使用時のエネルギー消費の削減が大命題となり、建物設計者、使用者の双方において、以下の配慮が必要である。

設計者、使用者において、

1)省エネルギーに配慮した照明計画
2)適正な照度レベルの設定
3)効率の良い照明器具、管球の選定
4)照明制御システムの採用
5)自然光等の有効利用
6)省エネルギーに配慮した照明点滅運用
7)器具類の清掃による効率改善、適切な保守

などの配慮が必要となる。

また、その比率は少ないとはいえ製造時ならびに廃棄時における環境負荷の低減も今後は充分に配慮する必要がある。

製造、流通時には、製造メーカーがその設計段階から、

1)器具、ランプの効率化の追求
2)ランプの長寿命化

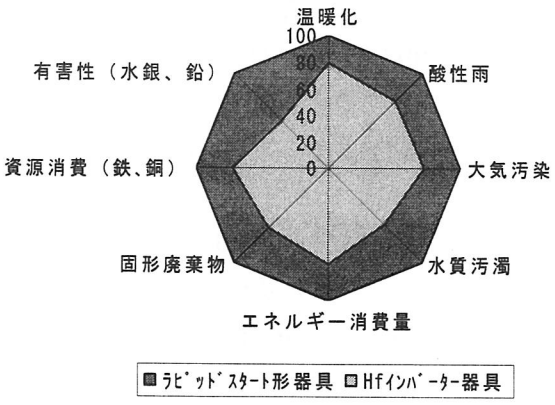


図 1-2-13 蛍光灯器具での環境負荷相互比較例[3]

3)使用材料の削減、小型、軽量化（廃棄時にも環境負荷低減に有効となる。）
4)解体容易な構造の検討
5)有害物質の低減（水銀、鉛、六価クロムなど）
6)流通段階における梱包材等の削減、再利用化
7)流通の合理化

などにより、製造時の環境負荷の削減を図ることができる。

廃棄時においては、原料のリサイクルを目的として、自治体や適正な廃棄物処理業社により、
1)適切な管球回収方法の検討
2)構成材料の分別
3)有害物質の回収（主に水銀）
4)より多くの再資源化（金属、ガラス、金属水銀、蛍光粉など）

などを確実に実施する必要がある。現状リサイクルされる蛍光灯は廃棄蛍光灯全体の 10%程度とされ大半は埋め立て処分されているのが実情である。今後はこの比率を上げ循環型社会を構築することによって更なる環境負荷の低減につなげる必要がある。

思えば 1879 年にエジソンが炭素電球を発明して以来約 120 年が経過している訳であるが、その間の照明における飛躍的な技術進歩により、蛍光灯照明では当時の約 100 倍、放電灯では 150 倍近い効率のものも開発され省エネルギーに貢献している。今後の照明分野においては環境負荷を低減する為の技術革新に全力を傾ける必要があるだろう。

参考文献

1）四ツ柳眞彦他：照明器具における LCA，照明学会誌，1998 年 10 月号
2）椎野徹他：白熱電球，蛍光ランプの LCA への取組，照明学会誌，1998 年 10 月号
3）照明学会：共生のあかり-地球温暖化防止と省エネルギーのために，1999 年 3 月
4）東芝ライテック（株）ホームページ
http://www.tlt.co.jp/tlt/info/kankyo/

（前田聡）

1-2-8 日射遮蔽と昼光利用の組み合わせ制御の事例

窓・ガラス壁面などの透明部位では、開放感・眺望・採光など光の観点からの要求と、温熱環境・空調負荷など熱の観点からの要求が交錯する。特に熱と光の両面でいかに日射の制御（日射遮蔽と導入・活用）を行うかは、環境計画上も省エネルギー上も極めて重要な課題である。ここでは、日射遮蔽と昼光利用を適切に行う窓システム、昼光利用照明制御システムに採用により、快適環境と省エネルギーの実現を図った事例を紹介する。

a) 概要

建物規模
建物用途　事務所
竣工年月　1996 年 8 月
地下 1 階、地上 11 階
延床面積 28,481 ㎡

この建物の基準階南面には、優れた日射遮蔽性能を有するベンチレーション窓に羽根角・昇降の制御を行う自動制御ブラインドを内蔵し、さらに窓近傍の照明を広いレンジで連続調光が可能なシステムとし、これらを一体のシステムとして構築・制御している[1)～8)]。

具体的には、図 1-2-14 に示すように、下記①～④のステップで制御し、執務者の視環境と温熱環境の満足度を維持しながら、照明用エネルギー及び冷房負荷の大幅な削減を可能にしている。
①日射に関する情報の把握（建物屋上で計測）
②ブラインドの状態(羽根角及び昇降)を決定
③昼光による照度分布を算定
④窓近傍の照明器具の消灯・調光状態の決定

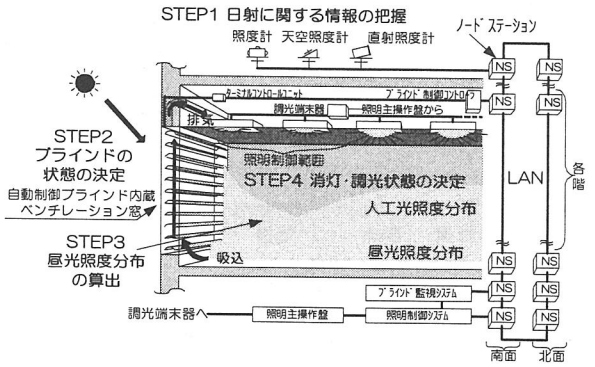


図 1-2-14システム概要

計画･設計に際し、窓際の調光方法、照明制御範囲、など、システム全体の詳細検討を経て導入している。調光方法については、執務者の視環境の不連続な変化を回避し、快適性を損なわないために、広い範囲で Hf 型照明器具を用いた連続調光制御を行っている。また、照明制御範囲については、制御範囲とその効果やオフィスの使用形態を考慮して、窓際から２列目までの照明を制御範囲としている（図 1-2-15)。さらに、ランプ点灯初期から寿命時までの照度を常に一定に制御する適正照度維持制御を含め、システム全体として大幅な削減効果が得られることを確認している[9)～11)]。

b)　熱と光の制御動作状況

システムの制御動作状況について、冬期の晴天日の一例を図 1-2-16 に示す。日中、ブラインドにより日射遮蔽を行っているが、なお十分な入射光があるために、１列目を消灯し２列目も午前中最低階調が続くなど､照明出力を低く制御している。また午後からは、外界照度の変動に対応した調光を行い、日没には屋外照度値やブラインド制御動作状況に応じて、徐々に出力を上げるなど、適切な制御を行っている様子がわかる｡窓際の照度は、屋外照度に応じて変動しているが、この一を含め机上面照度は、一日を通じて設定値（750 ルクス）を確保している。

c)　照明制御とランプの交換率

竣工以来、本建物の蛍光ランプ交換本数を継続的に記録してきている｡照明制御しない列に比べ、照明制御範囲である窓際２列目までの交換本数は極端に少なくなっている。中でも特に１列目は、昼光を積極的に活用して消灯する時間が長いこともあり、全フロアでみても、２列目の交換本数に比べ非常に少なくなっている。

d)　照明制御による削減効果

本建物の照明制御の経年削減効果を図 1-2-17 に示す。代表スパンの照明用電力量の実測値を基に、点灯時間（勤務時間帯、休日を除く）と器具消費電力などからＦＬＲ照明器具､Ｈｆ照明器具、Ｈｆ照明器具＋適正照度維持制御についての消費電力量を算出している。

ＦＬＲ照明器具の消費電力量を 100%とすると、各年度とも、点灯時間や日照時間などの差はあるものの､ほぼ 50%と大幅な省エネルギー効果が得られている様子がわかる。

e)　運用による削減効果

この建物は、図 1-2-18 のように１スパン 18 灯の照明が配置されている。照明一斉消灯の放送を

図 1-2-15オフィス内観写真

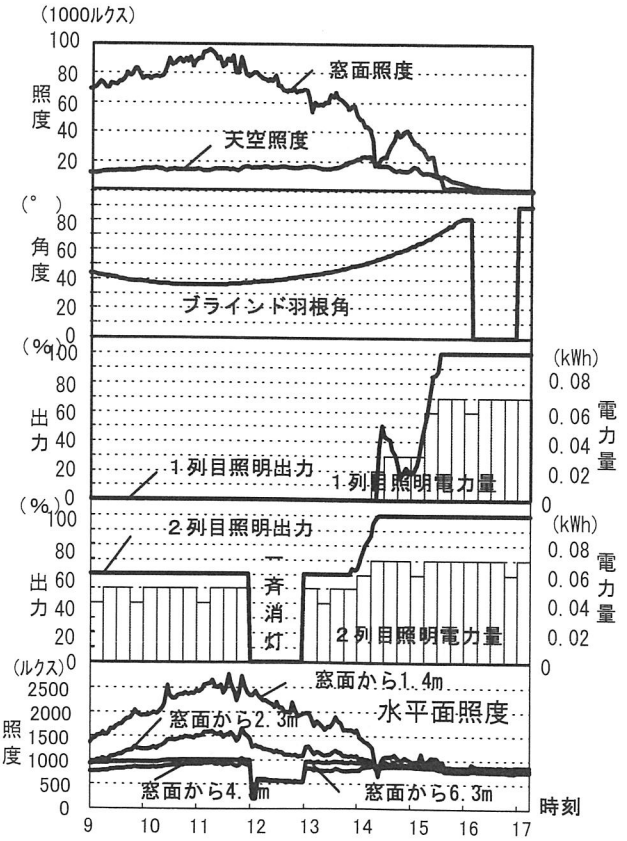
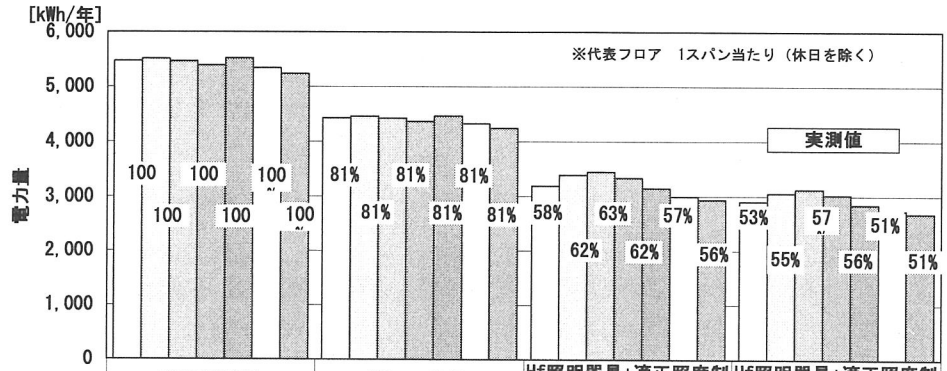


図 1-2-16システムの動作制御状況



	FLR照明器具	Hf照明器具	Hf照明器具+適正照度制御	Hf照明器具+適正照度制御+昼光利用制御
□95年度	5,469	4,428	3,189	2,906
□96年度	5,509	4,461	3,390	3,052
□97年度	5,464	4,424	3,443	3,125
▨98年度	5,387	4,362	3,331	3,019
▨99年度	5,517	4,467	3,151	2,840
□2000年度	5,340	4,324	2,992	2,733
▨2001年度	5,238	4,241	2,934	2,680

図 1-2-17照明制御の経年削減効果

行った後に、昼間（12:00～13:00）は全消灯、夜間（19:00 と 22:00 の２回）は通路部分を除き消灯する。消灯以降は執務者が自らリモコンで必要箇所を点灯し、離席・帰宅時リモコンにて消灯を行う運用を行っている。これにより、Ｈｆ照明器具、適正照度維持制御、昼光利用制御の効果に加え、さらに約５％の削減効果が得られることを確認している。

参考文献

1）井上・松尾ほか：昼光利用の空調付加計算法，照明コントロールを伴うオフィスビルの空調付加計算(その 1～3)，建築学会大会学術講演梗概集，p.511-516，1979

2）井上ほか：昼光利用による人工照明制御に関する研究，空気調和・衛生工学会学術論文集，1992～1993

3）射場本・井上・松尾ほか：窓の熱的性能評価に関する研究(その 1～7)，建築学会大会学術講演梗概集，1983～1986

4）射場本・井上・松尾ほか：ベンチレーション窓の熱的性能に関する研究，空気調和・衛生工学会学術論文集，1985～1988

5）井上：窓内通気による日射遮蔽効果，熱・空気複合系のモデリング，建築学会第 19 回熱シンポジウム，pp.87～92，1989

6）井上ほか：窓システムおよび昼光利用照明制御の組合せ制御に関する実証的研究，空気調和・衛生工学会学術論文集，1995～1996

7）井上・松尾：日射遮蔽装置の使用実態に関する研究調査，日本建築学会論文報告集，第 378 号，pp.10～18，1987

8）T. Inoue et. al.：The Development of an Optimal Control System for Window Shading Devices based on investigation in Office Buildings, ASHRAE Transactions, 94-2, pp.1034～1049

9）井上・山川ほか：窓システム及び昼光利用照

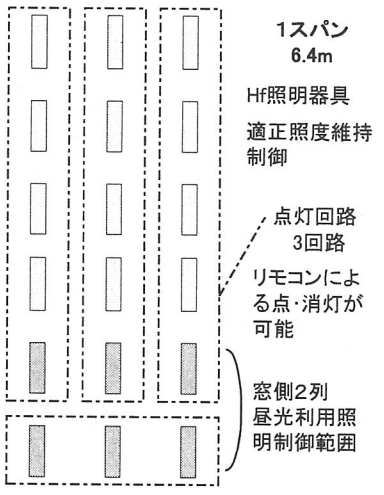


図 1-2-18照明器具の配置

明制御の組合せ制御に関する実証的研究(その 4)，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.1245～1248，1999
10) 井上・射場本・佐々木ほか：オフィスビルにおける窓・自然光利用システムに関する研究，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp.1249～1252，1999
11) 井上・河野ほか：窓システム及び昼光利用照明制御の組合せ制御に関する実証的研究(その 5～その 7)，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2000～2001

（河野匡志）

1-2-9 昼光利用システムの事例

a) 光ダクトシステム

(1) 昼光利用の留意点と光ダクト

コンピュータやコピーなどのＯＡ機器は電気がなければその利便性を享受できないが、光は日中であれば自然光により豊富に得られる。オフィスの大半がこのような自然光の得られる時間帯に利用されることを考えれば、これを室内照明に利用することで、多大な省エネルギー効果を得ることが可能となる。

また、電力エネルギー消費のピークが日中、正午前後であることを考えると、最も太陽光の強くなる時間帯で最も多くの照明電力削減が可能となる昼光利用が、都市部の電力消費ピークをカットし、電力負荷の平準化に有効となる。

従来の昼光利用手法として窓、トップライトがある。窓採光は奥行きの浅い部屋では大きな省エネ効果が期待できるが、オフィスビルに見られるような奥行きの深い部屋では窓側の限られた範囲のみの採光となってしまい、窓側は明るすぎ、室奥は暗いということになる場合が多い。また、窓から太陽の直射光が入る場合にはブラインドなどで光を遮ることが必要になり、この場合には昼光の利用が困難となってしまう。トップライトは必要な部分に開口を設けることにより任意の部分に自然光を取り入れることが可能となるが、2 階以上の建物では最上階のみの採光となってしまう。

また、自然光は季節、時刻や天候により常に変動しており、この変動をそのまま取り込むと室内の照度が常に変化する。物を読んだり書いたりするような作業においては、この変動は障害となる。

光ダクトシステムは壁面の開口から取り込んだ自然光を高効率の光伝送ダクトによって室奥まで運び、室内全体を均一に照明するシステムで、室内への効率の高い採光を行うと同時に、自然採光の欠点を補う機能を備えている。

(2) 光ダクトのしくみ

図 1-2-19 に光ダクトシステムの概念図を示す。光ダクトシステムは採光部分、導光部分、照射部分の３つの部分から構成されており、各部分は以

下のような特徴をもっている。

i)　採光部分

出来るだけ効率よく太陽光を取り込むとともに、曇天時には太陽直射ではなく、天空の光を効率良く取り込むことが必要となる。また、反射板形状は建物の建設される地域の緯度、気象状況、方位、周囲の状況等の考慮して、その建物に最適な形状とすることが必要となる。このために、効率の高いシステムを構築するためには、標準気象データ（主要都市の１０年間の毎時刻の気象データを統計処理したもの、空気調和衛生学会）等を利用し、コンピュータ・シミュレーション等により、年間を通じて最も採光効果の上がる形状を決定することが必要となる。

コスト、メンテナンスの点を考慮すると、動力による可動部分は極力なくす。

ii)　導光部分

導光部分は、採光部分で取り込んだ自然光を効率よく照射部分に運ぶ機能を持っており、この部分には、できるだけ高反射率かつ、耐久性の高い鏡面を用いることが必要となる。また、導光距離が長い場合には反射回数が多くなるため、反射表面にコーティングが施されている場合にはその分光反射特性に留意する必要がある。偏った特性を持つ反射材料では室奥に対して変色した光が導かれる場合がある。

iii)　照射部分

照射部分は導光部により運ばれた自然光により室内を照明する部分で、自然光を効率良く放射すると同時に、自然光の変動を補正する役割をもっている。明るさセンサー等を利用して、昼光の変動に対し人工照明器具を自動的に調光することで、省エネルギーを実現すると同時に室内を常時一定の明るさに保つことが可能となる。

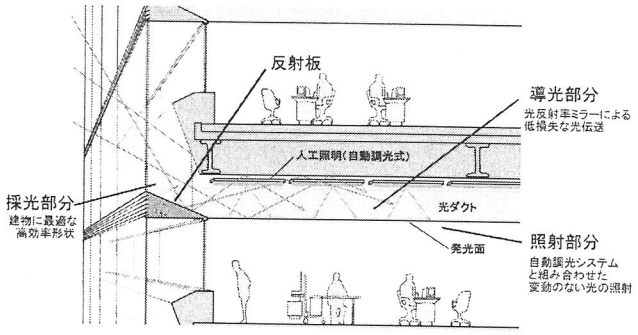


図 1-2-19光ダクトシステム概念図

(3)　光ダクトの事例

i)　地下空間への昼光導入

以下の３点を目的として、地下駐車場待合ロビー及び中央管理室に約 850mm 角の光ダクトを設置した。図 1-2-20 に概要図を示す。

・省エネルギー

一般的に常時人工照明を点灯して居室としての機能を維持する地下空間において光ダクトにより自然光を導入することで照明電力を大幅に削減する。

・安全性

待合ロビー、中央管理室等、常時人がいる場所に対し停電時、バッテリー、非常用発電器などのバックアップとなる。

・人や植物にやさしい光環境

蛍光灯比較して、自然光と同等の光質をもつ光ダクトにより、自然で健康的な光環境を創り出す。

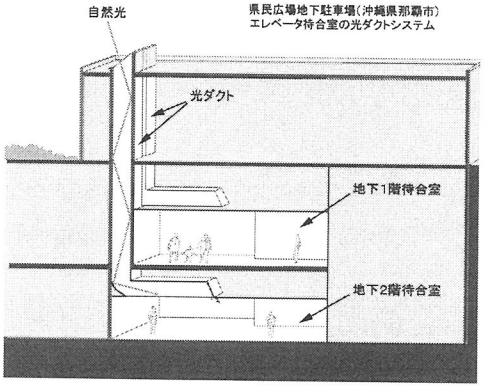


図 1-2-20地下空間への昼光導入事例概要図

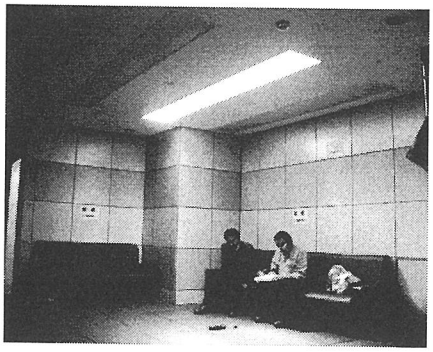


図 1-2-21昼光を導入した地下空間

ii)　集合住宅のコア部への昼光導入

トイレ、浴室、洗面等、窓開口の設置が困難なコア周り諸室への自然採光を行うことで、健康的な光環境を得るために、８階及び７階分の２本のダクト（1705mm×1275mm）を、図 1-2-22 に示すように１フロア２世帯のトイレ、洗面、浴室が配置されたコア部分に設け、各室への採光を確保している。

ダクト長さは８階部分用が約 22m、７階部分用が 19m。（図 1-2-23）

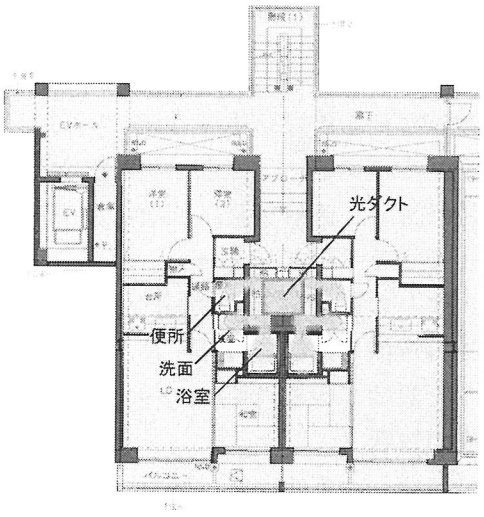


図 1-2-22集合住宅のコア部への昼光導入事例

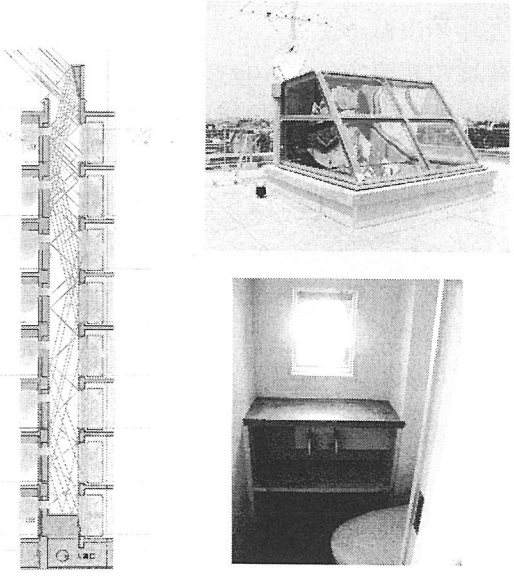


図 1-2-23光ダクト断面図および採光部、トイレ

iii)　オフィスビルの執務空間への昼光導入

基準階執務室天井内に幅 1,100mm、高さ 400mm の光ダクトを 3,200mm ピッチで設置、晴天時には窓面採光との併用で全消灯が可能となる。（図 1-2-24，1-2-25，1-2-26）

b)　ライトシェルフ

(1)　ライトシェルフに求められる機能

建築空間において窓面より昼光を導入する場合、光を文字や写真を見るための機能的な光と、空間の雰囲気を作り出す環境的な光に分類することが必要となる。機能的な光についてはむらの少ない安定した光（照度）が適しているが、環境のための光としては、空間の明るさ感や開放感といった、感覚的な快適性が重要となってきる。自然採光によって得られる光は光量や天候の変動などの問題から、機能のための光としては難点が多いものの、開放感や明るさ感など、環境のための光として極めて優れた特徴をもっており、このような特性を生かすことが窓による昼光利用を成功させるポイ

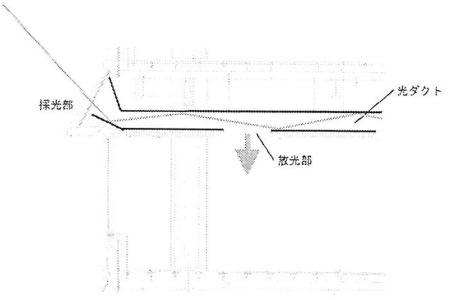


図 1-2-24採光部断面図

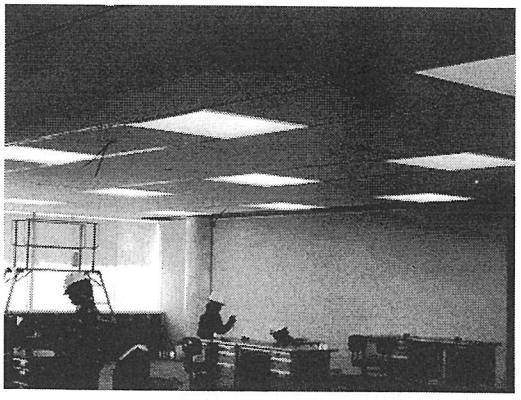


図 1-2-25照明器具と一体化された放光部

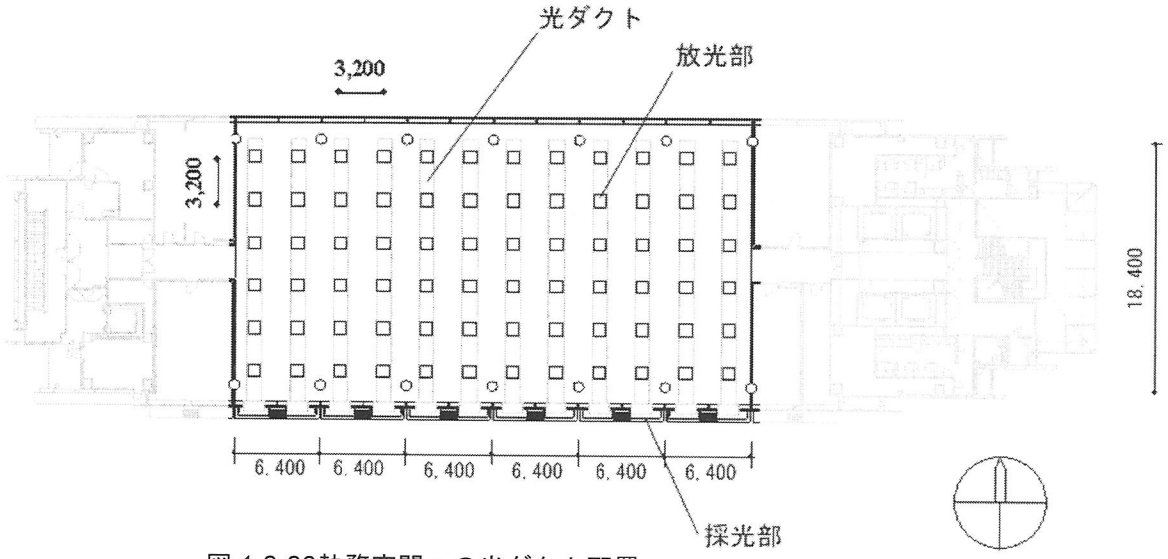


図 1-2-26執務空間への光ダクト配置

ントとなる。

自然の変化をそのまま取り込んだ場合、その変動の大きさや変化の速さは室内環境に悪影響を及ぼすことも多く、建築的工夫や設備的工夫により変動の緩和をはかることが必要不可欠となる。すなわち、庇による太陽直射の遮蔽、拡散ガラスの適用などにより、外部環境の変化を緩和して室内に取り込むことが大切であり、開口方位、位置、形状、内装材の色、反射特性についての十分な検討が必要となる。

(2) ライトシェルフの事例

庇は太陽直射を遮蔽するために多く採用される手法である。比較的緯度の高い地域で有効となるが、開口の方位によってその有効性が変化するため、庇高さ、出寸法を決定する場合、太陽高度と庇方位との関係を考慮することが大切である。

窓中段に庇を設ける中庇(以降ライトシェルフ)は、庇下を透明窓に、庇上部を拡散窓にすることで、開放感と、直射遮蔽、拡散採光をバランスよく実現できる手法である。

上方よりの採光を実現するために、開口部の高さを充分確保した斜め天井とし、中段にライトシェルフを設けている。(図 1-2-27、図 1-2-28)

(3) 庇の形状

庇は建物立地条件により最適形状を決めることが大切である。図 1-2-29 は庇出による年間採光効果の変化をプロットしたものである。建設地の緯度が低い那覇の場合、庇出／窓高さは 1.2 程度でピークとなり、それ以上庇寸法を大きくとっても採光効果が低下することが分かる。これに対し、高緯度の札幌では 0.5 程度までは効果が上がるがそれ以上では、効果の伸びが鈍くなる。

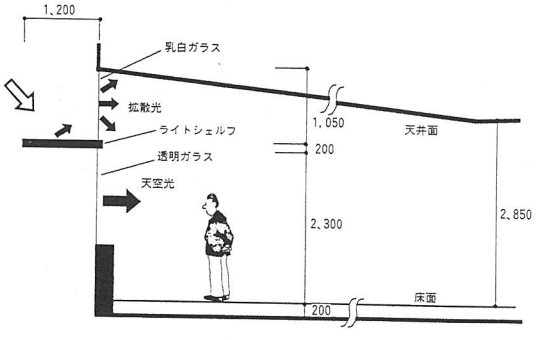


図 1-2-27南面の開口部断面事例

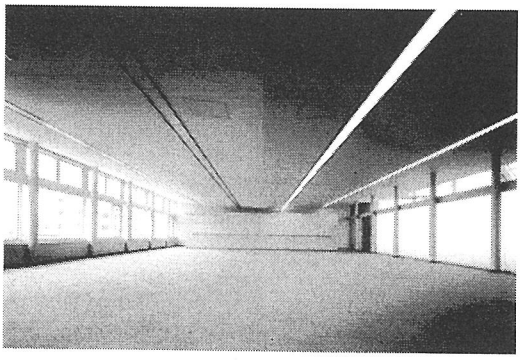


図 1-2-28ライトシェルフによる南面採光と北面採光の併用による両面採光空間

図 1-2-30 は開口の方位による年間採光効果の変化をプロットしたものである。開口の方位による庇形状の最適値の変化がわかる。

窓方位によっては、垂直庇が有効となる場合もある。特に南面開口に対する西日対策には有効となる手法であり、水平庇との併用で日中の太陽直射の侵入を長時間遮蔽することが可能となる。(図 1-2-31)

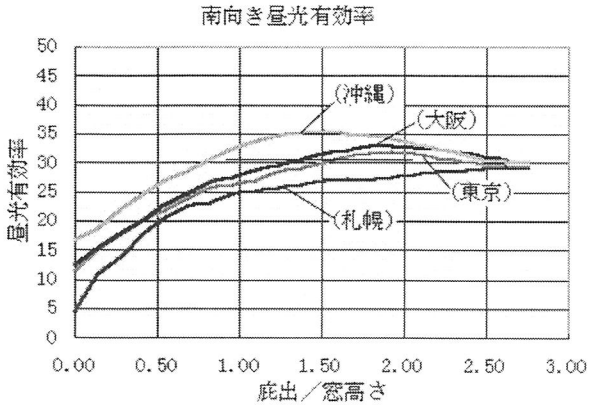


図 1-2-29緯度の違いによる庇効果の変化

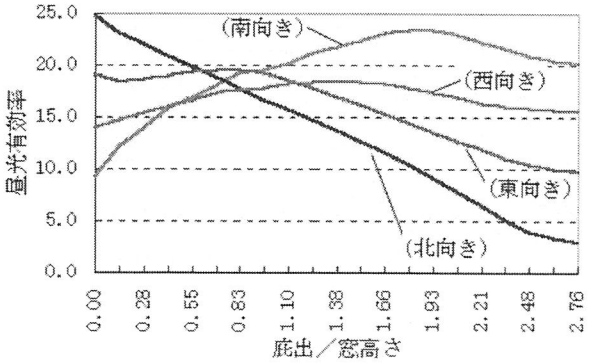


図 1-2-30窓の方位の違いによる庇効果の変化

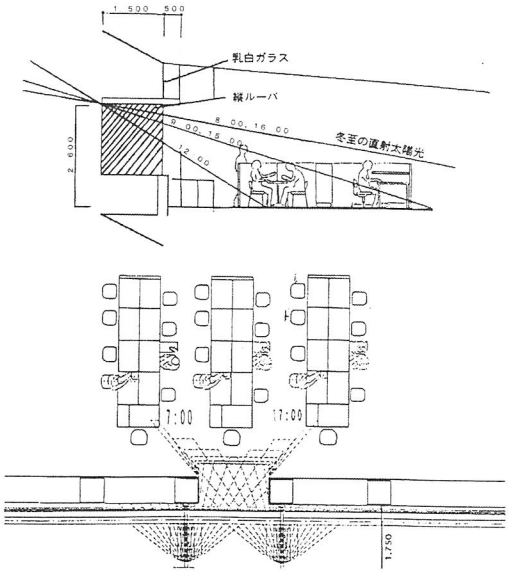


図 1-2-31垂直庇による太陽直射光の遮蔽

(4) 無駄な人工光を抑制するための自動調光システム

図 1-2-32 のように天井面に明るさセンサーを設置し、床、机面よりの反射光が常に一定となるよう人工照明を自動的に調光するシステムであり、昼光利用時に、外部より取り込んだ光を省エネルギーにつなげるために有効な手法となる。

従来の昼光利用手法においては、日中の採光可能な時間帯においては、利用者が照明の消灯を行うケースが多く、最適な省エネルギー効果が得にくい状況にあったが、このような自動化システムの導入により、利用者に負担をかけずに最適な省エネ運転が可能となる。

(海宝幸一)

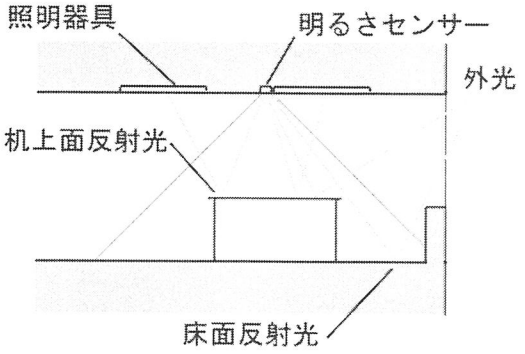


図 1-2-32明るさセンサーによる机上面の明るさ検知

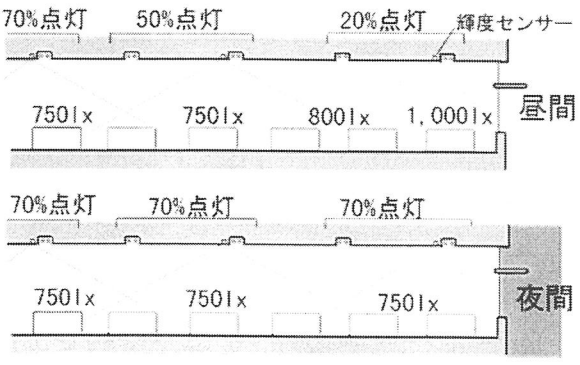


図 1-2-33明るさセンサーを利用した自動調光システム

第２章　照明システムはどのようにして成り立っているか

2-1 人工照明は昼光照明と電灯照明からなる

「照明」とは読んで字のごとく「照らし、ほどよく明るくすること」である。照らすことは、光源と、照らされる対象の双方の関係で成立する。その関係によって、人が明るいと感じるか、暗いと感じるか。それは、人の視覚から認知・行動に到る一連の過程によって決まる。“明るすぎる”という知覚・認知は、ほどよく明るくしようという行動を生み、その逆に“暗すぎる”という認知は、やはりほどよく明るくしようという行動を生むだろう。本節では、照明の「照らすこと」の大まかな成り立ちを整理する。

人の居住する空間は、大きく分けて、建築環境空間と、その外側に位置する都市・地域環境空間とから成ると考えられる。人は誰でも例外なく1日 24 時間をサイクルとして生活しているが、この 24 時間のうち何時間ほどを建築環境空間で過ごしているかを考えてみると、どんなに短くても 12 時間ほど、平均的には 20 時間以上であることに気づく。

現代人の多くは都市に住む。都市では、建築環境の外部空間も、例えば足下にアスファルト道路面、右手には住宅外壁面、左手には事務所建築の外壁面……というように多くの人工物によって構成されている。唯一の例外は、「空」である。昼間の建築外部空間は、太陽から地表に直接やって来る直射日光と、大気で散乱した後にやって来る天空光によって照らされる。これは人の手にはよらないから、「天然照明」と呼ぶに相応しい。天然照明の対極に位置するのが、人の手による照明、すなわち「人工照明」である。

人の手によって、建築環境内外の空間にどのように光をもたらすかは、光源に何を用いるかによって分類できるだろう。人工照明の第一に、窓などを利用して直射日光や天空光を建築内部空間に取り入れて行なう「昼光照明」を挙げよう。昼光照明は、かつては「採光」と呼ばれた。「自然照明」と呼ばれたこともある。

人工照明がすなわち電灯照明である、との認識が一般的になって久しいが、これは正確でない。窓をどこに設けるか、窓ガラスにどんな材料を用いるか、日除け（ベネシャンブラインド・庇・サンスクリーンなど）を窓ガラスの外側に設けるか、それとも内側に設けるか、日除けの素材に何を用いるか、太陽の動きに応じて住まい手が日除けをどのようにコントロールできるようにするか……などは、人が計画・設計することなくして実現しない。したがって、昼光照明は、電灯照明と並列する人工照明の一つである。

図 2-1-1 に示すように、人工照明という大きな概念枠の中に昼光照明と電灯照明があるとして考えよう。この図の横軸に示されているアクティブとパッシブとは、アクティブ型技術か、それともパッシブ型技術かを示している。アクティブ型技術とは、化石燃料や原子核燃料の使用を前提とした動力（電力）利用技術、パッシブ型技術とは、身近の自然にある様々なポテンシャルを活用する技術である。照明について考えれば、前者は電灯照明システム、後者は昼光照明システムがそれぞれ対応する。

縦軸は、間接照明か直接照明である。昼光照明がうまく働く場合は概して、天井面や壁面がほどよく照らされる。したがって、昼光照明を表わす楕円は、どちらかと言うと、縦軸の上方（間接照

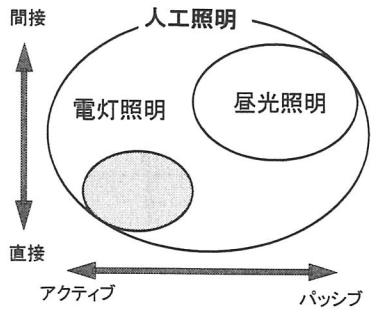


図 2-1-1 人工照明は昼光照明と電灯照明から成る。現代における建築環境の多くは、アクティブ型の直接照明（灰色の楕円部分）が行なわれている。

明の方）に位置させてある。

更に、（図 2-1-1 に示してはいないが）アクティブかパッシブかの横軸と、間接化直接かの縦軸の双方に直交するもう一つの軸として均一か不均一かの軸を考えることができる。

現在の多くの事務所建築や学校建築では、アクティブ型の直接照明が行なわれている。また、均一な照度を目標としている場合が多い。パッシブ型技術（昼光照明）とアクティブ型技術（電灯照明）の融合や、間接と直接のほどよい組み合わせ、不均一な照明に対して積極的な価値を見出す必要がある。それは、（次節に述べる）エクセルギーのできる限り小さな消費によって実現されるはずである。暖房や冷房などについて、小さなエクセルギー消費がむしろ快適性をもたらすことが明らかにされつつあることは、照明についても同様なことが成り立つ可能性を示唆する[3) 4)]。

表 2-1-1 は照明システムの成り立ちを一覧にしたものである[1) 2)]。左側から光源に投入される「エクセルギー源」、「光源」、光源と照明対象の間に位置する「光のコントロール」装置が示してある。人工照明システムは種類が違っても、その計画・設計・運用に当たって考えるべき事柄は共通する。どの照明システムでもエクセルギーが投入されて光源が働き、光源と照明対象の間にある媒体が光に変化を与える。

なお、人工照明の中にその他として示したロウソクを用いた照明も立派な人工照明の一つであることを付記しておきたい。

参考文献

1）宿谷昌則：自然共生建築を求めて，鹿島出版会，1999 年，p.109

2）宿谷昌則：昼光照明という人工照明—「エクセルギー」と「からだ」の視点から—，太陽エネルギー，2000 年、No.6，pp.9-15

3）宿谷昌則：エクセルギーの見方・考え方と自然共生建築，日本建築学会 環境工学委員会 熱小委員会　第 32 回熱シンポジウム「持続可能な社会における熱・光・空気のデザインと技術」—バイオクリマティックデザインの現在—，2002 年 11 月、pp.51-57

4）IEA-ECBCS-Annex37, Low Exergy Systems for Heating and Cooling in Buildings, http://www.vtt.fi/rte/projects/annex37.

（宿谷昌則）

表 2-1-1 照明システムの分類

照明システム		エクセルギー源（現象）	光源	光のコントロール（光の変化要因）
●天然照明		太陽（核融合）	太陽（直射日光） 空（天空光）	地球の自転・公転、雲
●人工照明	○昼光照明	太陽（核融合）	太陽（直射日光） 空（天空光）	窓・日除け・天井・壁
	○電灯照明	火力発電（化石燃料の燃焼） 水力発電（雨水の貯留・落下） 原子力発電（核分裂）	蛍光灯・白熱灯ほか	照明器具・天井・壁
	○その他	火（植物油・動物油の燃焼）	ロウソクほか	行灯など

2-2 昼光照明・電灯照明のエクセルギー消費パターン

人工照明によって室内空間を明るく保つためには、光という「資源」を持続的に投入し続け、それを「消費」し続けなければならない。照明システムに限らず、建築の光・温熱環境などの維持や、その中に住む人間の活動は、外部からエネルギーや物質を「資源」として取り込み、それらの資源性を「消費」し、その結果生じた廃熱や廃物を周囲環境に「廃棄」することで成り立っている。建築や都市を持続可能なものとしていくためには、建築や都市を貫く資源から廃熱・廃物の「流れ」を、地球にもともと備わっているそれとうまく調和するようにデザインすることが重要なのである。

建築照明の分野では、光のもつ資源性を、人間の目の放射エネルギーに対する感度を基準にした「光束」や、「照度」「輝度」などを用いて表している。照明のために光のもつ資源性を消費することは、「光束を消費する」と言えなくもなさそうだが、そのような表現は見たことがない。仮に「光束を消費する」というような表現が許されたとしても、この「消費」と、例えば電灯照明器具で光を作る際に「消費」される電力の資源性とは直接比べられない。

そこで、ここでは、熱力学のエネルギー保存則と、エントロピー増大則とから導きだされる「エクセルギー」という量を用いることにする。エクセルギーとは、平たく言えばエネルギーや物質の「資源性」と、それらの「消費」とを明確に表現できる量である。

以下では、まず、エクセルギーの視点から電力や光・熱の資源性の違いを示し、それら資源性の「消費」を、蛍光管を例に説明する。次に、直射日光や天空光、電灯光はどれくらいのエクセルギーを持っているのか、また、これら昼光や電灯光のエクセルギーが室空間に放たれたのち、どのようにして「消費」されるのかについて具体的な計算例を用いて紹介する。最後に、昼光照明に応じて電灯を調光する事務所建築を対象に、照明・空調システム全体のエクセルギー消費過程を求めた結果を紹介し、エクセルギー消費の「流れ」をデザインすることはどのようなことなのかについて述べる。

（淺田秀男）

2-2-1 エネルギー保存とエクセルギー消費

図 2-2-1 は、40W 蛍光管 1 本当たりのエネルギー収支を模式的に示したものである[1)]。

40W の電力が蛍光管内部に投入され、9W が光（0.38～0.78 μm の波長域の放射エネルギー）として、31W が熱のエネルギーとして蛍光管表面から放たれる。ただし、熱のエネルギーとは、蛍光管表面からの長波長放射と対流による熱伝達の和のことである。図 1 を見ると入るエネルギーの値と、出るエネルギーの合計値とは全く同じである。エネルギーは「消費」されるのはなく、蛍光管内外を通過するだけである。蛍光管から出る熱のエネルギー（31 W）は、光のそれ（9 W）より約 3.5 倍も大きい。これを見る限り、蛍光管は光を放つ照明器具というよりは、熱を放つことを主目的とする電気ヒーターのように見える。

次に、蛍光管のエクセルギーの収支を求めた結果を図 2 に示そう[2)]。エクセルギーの計算では、計算対象にとっての環境温度が必要になるが、ここでは環境を蛍光管周囲の空気とし、その温度を 293 K（20℃）としている。ここでひとつ注意しておきたいことがある。建築照明の分野で「光」という用語は、放射エネルギーに人間の目の視感度を考慮した「光束」や「照度」「輝度」などの感覚物理量を指すが、エクセルギーの計算では「光」を視感度を加味していない放射エネルギーそのものとして扱う。したがって、以下では「電灯光」や「昼光」と記した場合でも、視感度を考慮していない放射エネルギーそのものを指すことにする。

まず、蛍光管に入る電力に含まれるエクセルギーは 40W で、これは電力そのものと等しい。図 1 に示した蛍光管から放たれる 9W の光のエネルギーに含まれるエクセルギーは、7W である。また、31W の熱エネルギーに含まれるエクセルギーは、蛍光管の表面温度を 323 K（50℃）とすると、4W となる。ここで、蛍光管に入るエクセルギー40W と、出るエクセルギー11W (=7+4) との差の 29W は、蛍光管内部で電力から光を作るために消費されるエクセルギーである。29W のエクセルギー消費は、蛍光管内部での放電現象や蛍光の発生の一連のプロセスによるものである。結局、蛍光管は、投入エクセルギーの約 73%を管内部で消費し、投入エクセルギーの約 18%を光として放つ機器なのである。また、蛍光管から光として放たれるエクセルギーは、熱のそれの 1.7 倍である。エクセルギーの観点から見ることで、蛍光管は光を放つことを主目的とする「照明器具」であることが確認できる。

蛍光管をひとつのシステムとし、図 2-2-2 に示したエクセルギーの出入りの収支を一般式で表現すると以下のようになる。

[入るエクセルギー]－[消費されるエクセルギー]＝[溜まるエクセルギー]＋[出るエクセルギー](1)

ただし、図 2-2-2 の例では「溜まるエクセルギー」の項はゼロである。

照明システムや暖冷房システムなど、エネルギーが投入されて働くシステムでは必ず、式(1)で表現されるエクセルギー収支が成り立つ。

（淺田秀男）

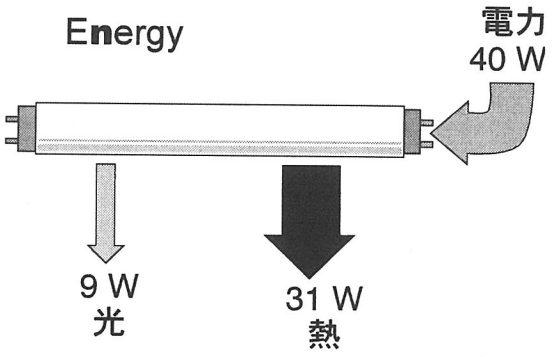


図 2-2-1 40W 白色蛍光灯のエネルギー収支

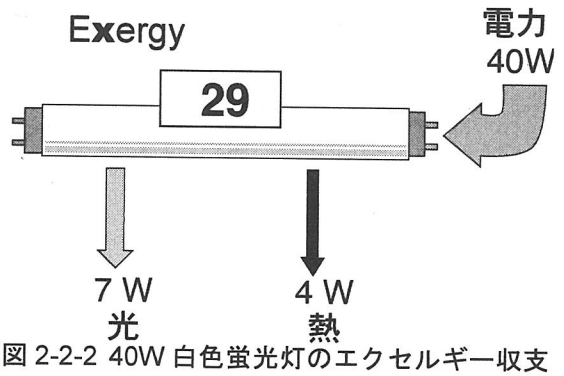


図 2-2-2 40W 白色蛍光灯のエクセルギー収支
矢印はエクセルギー流、□内の数値はエクセルギー消費

2-2-2 光のエクセルギー

図 2-2-1 と 2-2-2 より、蛍光管から放たれる電灯光の放射エネルギーに対するエクセルギーの割合を求めると約 80%（=7÷9）である。一方、蛍光管表面から放たれる熱のエネルギーに対するエクセルギーの割合は約 12 %（=4÷31）である。電灯光の 80%という割合は、このような熱のエクセルギーと比べると相当に高いのである。

それでは、昼光、すなわち直射日光と天空光のエクセルギーについて考えてみよう。なお、直射日光と天空光についても、視感度を考慮しないこと明確にするため「直達日射」「天空日射」と記す。

直達日射と天空日射との違いは、前者が直進性を持つ平行光線で、後者が大気中の水分や塵の分子により拡散して方向がばらばらなった光線であることだ。エネルギーの視点では、日射量が等しければ直達日射と天空日射とが持つ資源性に違いは無いように見える。しかし、例えば、晴天で直達日射がある状況であれば、凸レンズで光を集めると紙の表面を焦がすことができるが、曇天で天空日射しかない状況ではそのようなことはできない。このような日常的な経験からも両者の資源性は同じでないことは容易に想像できる。

それでは、エクセルギーを用いて直達日射と天空日射の資源性の違いを比べてみよう。図 2-2-3 は、直達日射および天空日射のエネルギーとエクセルギーの関係である[3)]。

横軸は日射エネルギー[W/m²]、縦軸は日射エクセルギー[W/m²]である。例えば、横軸の日射エネルギー600 W/m² のところから上に見ていって直達日射の線とぶつかる所の縦軸のエクセルギーの値を見ると約 580 W/m² である。一方、天空日射の線とぶつかる所の縦軸の値は約 460 W/m² と直達日射のそれより小さい。つまり、日射エネルギーが同じであっても直達日射は平行光線なので、天空日射より資源性が高いのである。天空日射は散乱（拡散）により、エクセルギーの一部を消費してしまっているとも言える。

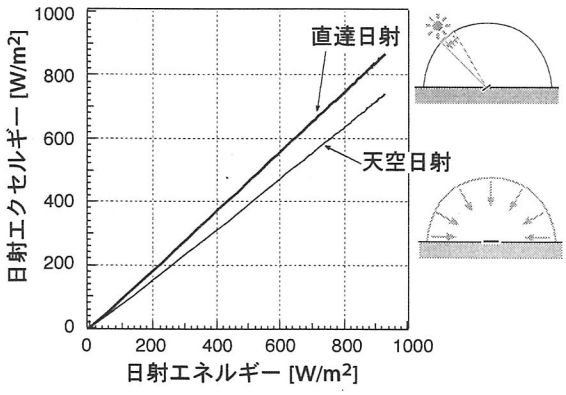


図 2-2-3 直達日射、天空日射のエネルギーとエクセルギー

直達日射・天空日射と電灯光の放射エネルギーに対するエクセルギーの割合を見てみると、表 1 のようになる。表中の電灯光は、図 2-2-1 と図 2-2-2 に示した蛍光管から放たれる光である。天空日射と電灯光の割合がともに約 80%なのは、両者とも拡散光だからである。表 1 の結果は、可視域の放射を主成分とする放射エネルギー、すなわち光は、エネルギーに対するエクセルギーの割合が 80%を超える非常に資源性の高いエネルギーであることを示している。

（淺田秀男）

表 2-2-1 放射エネルギーに対するエクセルギーの割合

直達日射	天空日射	電灯光
90%	80%	83%

2-2-3 照明におけるエクセルギー投入と消費の流れ

エクセルギーは、エネルギーの移動や形態変化などの現象に伴い、その現象が起きている部位や機器で消費される。

窓面から室内に入る昼光や、電灯から放たれた電灯光は、いずれ壁の内表面で吸収されて熱になる。室内の廃熱は結局のところ、すべて建物周囲の環境へと流れていく。照明では、このような建物を貫く日射や電力のエネルギーの、熱エネルギーへの形態変化を伴うエネルギーの流れがある。

図 2-2-4 は、昼光や電灯光で照明を行なう室で起きているエネルギー移動・形態変化の現象の例である。このような現象が起きている部位や機器をそれぞれサブシステムとし、照明システムをいくつかのサブシステムの集合体として捉えると、サブシステムのそれぞれについて式(1)に示したエクセルギー収支式が成り立ち、サブシステムごとのエクセルギー消費が求められる。

a) 昼光照明

片側採光の部屋で昼光照明を行なった場合、日射のエクセルギーがどのように消費されるのかを示そう。図 2-2-5 は、ある時刻における日射エクセルギーの投入・消費過程である[3)]。比較のため、窓面が透明ガラスの場合（細線）と、熱線反射ガラスの場合（太線）の結果を示した。対象室は間口・奥行ともに 5m、天井高 2.6m、窓面積が 8.5m² の室である。外気温は 10℃、窓以外の部分は完全に断熱されており室温は理想的に 20℃に保たれていると仮定した。室温を一定に保つためには空調機を用いて室内の廃熱を外気に捨てる必要があるが、簡単の為、ここでは空調機内部でのエクセルギー消費は含めない。

窓面には冬期の晴天日に相当する日射（直達日射が 500W/m²、天空日射が 50W/m²、窓面全体で約 4600W）が当たっている。横軸はエクセルギーが消費される部位で、括弧内はその部位で起きている現象である。縦軸はエクセルギー[W]である。

透明ガラス（細線）と熱線反射ガラス（太線）の左端の起点はともに 4300W である。これは、はじめに窓面に入射した日射のエクセルギーで、そこから横軸右方向に行くに従い、それぞれの部位で斜めの段差になった分だけエクセルギーが消費される。細線と太線の右端の終端は、どちらもエクセルギーがゼロとなっている。つまり、どちらのガラスの場合も、はじめに窓面に入射した日射のエクセルギーは、最終的にすべて消費されるのである。

透明ガラスと熱線反射の場合とで違っているのは、その途中、つまり日射エクセルギーがすべて消費されるまでの道筋（流れ）である。最も大きく違っているのは「窓（吸収）」の項での日射エクセルギー消費である。細線で示した透明ガラスの場合、「窓（反射）」「窓（吸収）」「窓（拡散）」の

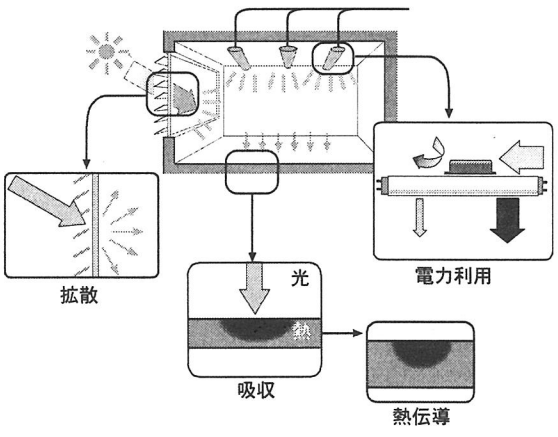


図 2-2-4 照明を行う部屋で起きているエネルギー移動・形態変化の例

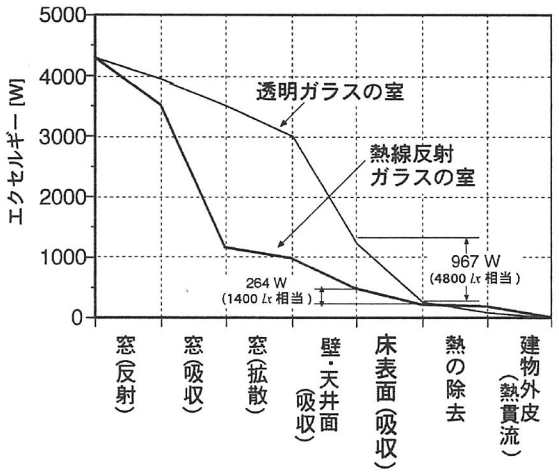


図 2-2-5 昼光照明を行う室のエクセルギー投入・消費過程（細線：透明ガラス、太線：熱線反射ガラス）

それぞれの項での日射エクセルギー消費が小さく、過度の日射エクセルギーが室内に透過している。これは、透明ガラスの日射透過率が高いからである。

一方、太線で示した熱線反射ガラスの場合、窓面に吸収される日射が大きいので「窓（吸収）」での日射エクセルギー消費が透明ガラスと比べて著しく大きくなっている。そのため、室内に入る日射エクセルギーが適度に小さくなり、「窓（拡散）」項の左側に示した約 1000 W の日射エクセルギーだけが透過している。このことにより、床面での平均照度は約 1400 *lx* と比較的適正な照度となっている。つまり、熱線反射ガラスはガラス面で積極的に日射エクセルギーを消費し、過大な日射エクセルギーが透過し入射することを防いでいるのである。このようにして室内に入った日射エクセルギーは、最終的に室内のどこかの面に吸収され、光（放射）から熱に形態変化する。この熱の持つエクセルギーが「床表面（吸収）」項の右側の約 300Wである。これは、日射が、はじめに放射として窓面に入射したときの 7%程度のエクセルギーである。つまり、太陽**光**が太陽**熱**になると、はじめに持っていたエクセルギーの 90%以上が消費されてしまうのである。

昼光照明は、結局はすべて消費されてしまう日射エクセルギーの、消費されるまでの「流れ」を、照明という目的に合う流れに変える技術なのである。

b)　電灯照明

次に、図 2-2-1、2-2-2 に示した蛍光管を組み込んだ電灯照明器具を用いて、図 2-2-5 と同様な部屋を照明する場合を考えてみる。電灯を使って照明するためには、蛍光管を取り付ける照明器具本体、照明器具に投入する電力を発電する発電所が必要である。そこで、「電灯照明システム」を、「発電所」「（電灯照明器具の）安定器」「（電灯照明器具の）蛍光管」「床面（受照面）」「周壁面（床面以外の室内表面）」「建物外皮」の 6 つのサブシステムで構成されているとする。この「電灯照明システム」のある時刻におけるエクセルギー投入・消費過程を図 2-2-6 に示す[2)]。

図 2-2-6 の横軸はエクセルギーが消費される機器または部位で、縦軸はエクセルギー流で単位は[W]である。図中の太線は、壁や床の平均反射率が約 0.3 と一般的な「標準反射率室」の場合である。床表面で 500lx の明るさを得るために、電灯照明器具が 8 台天井に設置してある。それぞれの器具には蛍光管が 2 本ずつ組み込まれているので、合計 16 本である。

まず、太線に着目して横軸の「床面」の項を見ると、「床面」の項の上の斜め線の左端が、床面に入射する電灯光のエクセルギーで、約 65W である。この電灯光のエクセルギーは床面を照らしたのち、すべて床面に吸収される熱になるとする。この熱の持つエクセルギーは、「床面」の項の斜め線の右端で、約 27 W である。両者の差 38 W (=65−27)は、床面を「照明」することで消費されたエクセルギーである。同様なエクセルギー投入・消費は、「壁・天井面」でも起きている。

電灯光のエクセルギーを作るために、電灯照明器具内部の「蛍光管」で 512 W、「安定器」で 136 W の電力のエクセルギーが消費されている。これらの電力を発電するために「発電所」には約 2000 W の天然ガスのエクセルギーが投入され、そのうちの約 1200 W が発電所内部で消費されている。太線の右端の終端は、「建物」の項でゼロになっている。これは、始めに発電所に投入した天然ガス

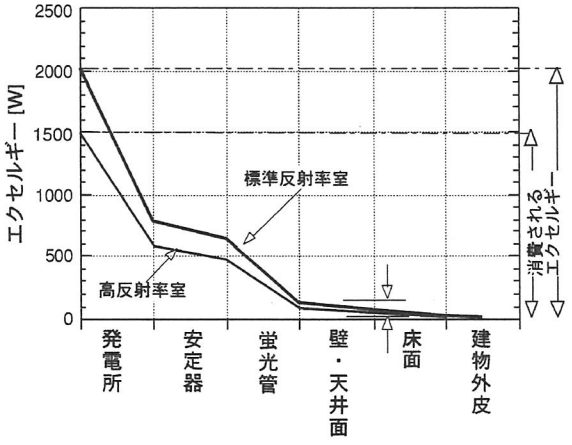


図 2-2-6 電灯照明を行う質のエクセルギー投入・消費過程（室内表面反射率が標準の室と高い室の場合）

のエクセルギーは、最終的にすべて消費されることを示している。発電所に投入したエクセルギーに対して、床面を照明するために消費された電灯光エクセルギーの割合を見てみると約 2 %（=38÷2000）である。電灯による照明には、このような多大なエクセルギー消費の上に成り立っている。

それでは、部屋表面がもうすこし明るい色（反射率が高い表面）で平均反射率が約 0.6 と比較的高い「高反射率室」の場合を見てみよう（細線）。この部屋の場合、電灯照明器具 6 台（蛍光管が合計 12 本）で約 500lx の床面照度が得られる。発電所に投入されるエクセルギーは約 1500 W と、太線の場合より 500 W 小さくなっている。

以上のことは、部屋の内表面の反射率を工夫し、室空間に放たれた電灯光エクセルギーが消費され尽くすまでの「流れ」を変えることは、蛍光灯の効率を上げるのと同じような効果、つまり、より少ない電力で同等の明るさを得られる可能性があることを示している。

（淺田秀男）

2-2-4 昼光照明・電灯照明と暖冷房システムの年間エクセルギー消費パターン

室内の光環境と熱環境を損ねないように昼光照明を行なうには、窓面に適当な庇や日除けを設けたり、昼光に応じて電灯を調光制御したりするなどして昼光照明と電灯照明をうまく調和させる必要がある。また、昼光および電灯照明の結果生じる廃熱は、暖冷房負荷と密接に関係するので、照明システムと暖冷房システムとをひとつの建築環境システムと捉えて総合的に評価することが重要である。ここでは、事務所建築の一室で、昼光に応じて電灯を調光制御し、ヒートポンプによる暖冷房を行なう場合について、照明と暖冷房の双方に係わるエクセルギー消費過程を求めた結果を示そう[4]。

図 2-2-7 は、昼光に応じた電灯の調光の有無が、昼光照明・電灯照明・暖冷房および発電所から成る建築環境システム全体のエクセルギー消費に及ぼす影響を年間にわたって明らかにした一例である。室は、東京に建つ間口・奥行がともに 8 m、天井高が 2.6 m の事務所建築の一室で、南面に幅 7 m×高さ 1.7 m の窓を持つ。窓面は、複層ガラスと室外側の水平ブラインドとで構成されている。

横軸はエクセルギーが消費される部位または機

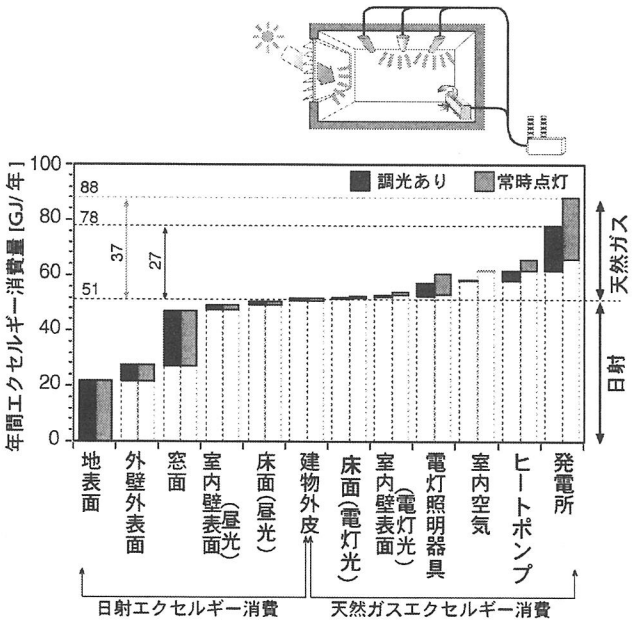


図 2-2-7 昼光に応じた電灯照明調光ありと常時点灯の場合の年間エクセルギー消費

器、縦軸はエクセルギー消費の年積算値 [GJ/年] である。黒塗りの四角が昼光に応じて電灯を調光制御した場合（以下、調光あり）、網掛けの四角が電灯を調光せず常時点灯した場合（以下、常時点灯）である。網掛けまたは黒塗りの長方形部分が、横軸の各部位・機器でのエクセルギー消費量を示している。網掛けで示した常時点灯の場合に着目すると、例えば、「窓面」でのエクセルギー消費は約 20 GJ/年 である。一方、網掛け部分の下にある点線で囲まれた長方形部分は、横軸の左から右方向へとエクセルギー消費を積算したものである。「窓面」網掛け下の点線部分は 28 GJ/年である。これは、「地表面」でのエクセルギー消費（22 GJ/年）と、「外壁外表面」のそれ（6 GJ/年）との和である。

左縦軸の右側に示した 88 GJ/年と 78 GJ/年は、日射と天然ガスとを合わせた全エクセルギー消費量である。前者が常時点灯、調光ありの場合で、調光ありの方が小さい。これら全エクセルギー消費のうち、天然ガスを源とするエクセルギー消費の分は、縦矢印で示した 37 GJ/年と 27 GJ/年の部分である。37 が常時点灯、27 が調光ありの場合で、調光有りの方が小さい。結局、昼光に応じた電灯の調光は、照明システムのみならず、暖冷房を含むシステム全体のエクセルギー消費削減に寄与するのである。

全エクセルギー消費から、天然ガスエクセルギー消費の分を引いた残りが、日射エクセルギー消費である。日射エクセルギー消費量は、常時点灯および調光ありの双方ともに 51 GJ/年（図中央の点線より下の部分）である。これは、窓面および外壁面に入射する日射エクセルギーが双方ともに同じだからである。

それでは、エクセルギーがどの部位・機器でどれだけ消費されているのかその詳細を見てみよう。「地表面」から「建物外皮」までの各部位における日射エクセルギー消費は、常時点灯と調光ありとでまったく同じ値である。これは、日射エクセルギーの消費が、窓システムと室形状のみによって決まることを意味している。「電灯照明器具」は「ヒートポンプ」と比べると、常時点灯の場合の約 2 倍、調光ありの場合でも約 1.4 倍ものエクセルギーを消費している。これら電灯照明器具やヒートポンプに供給する電力を発電している「発電所」でのエクセルギー消費は、常時点灯の場合も調光ありの場合も、天然ガスのエクセルギー消費量全体の約 60%を占めている。電力はこのような多大なエクセルギー消費の上で発電されているのだから、電灯照明器具を調光制御して「電灯照明器具」でのエクセルギー消費を小さくすることは、「発電所」の大きなエクセルギー消費削減につながるのである。

結局、昼光に応じた電灯の調光は、「電灯照明器具」でのエクセルギー消費の削減とともに、「ヒートポンプ」ひいては「発電所」でのエクセルギー消費削減をもたらしている。

図 2-2-7 では、外付けブラインドを仮定した。しかし、一般的な事務所建築ではブラインドは室内側に設置されている。それでは、昼光に応じて電灯を調光制御するとして、ブラインドが室内側にある場合（内付けブラインド）と、屋外側にある場合（外付けブラインド）とでは、エクセルギー消費過程がどのように違うのかを求めた結果を図 2-2-8 に示そう。

今度は網掛け長方形が内付けブラインドの場合、

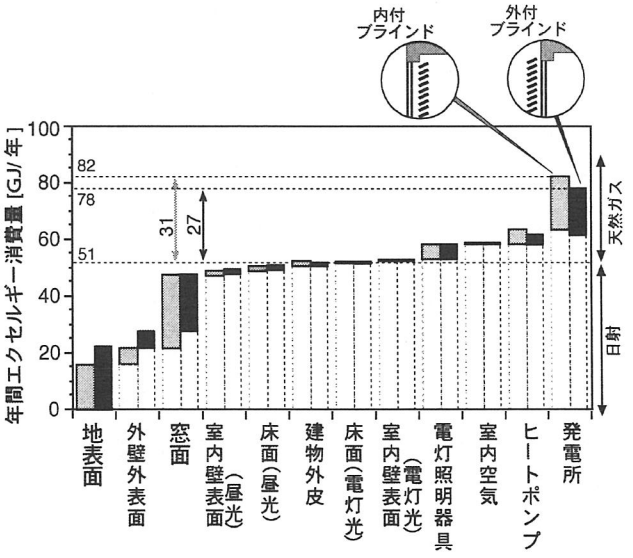


図 2-2-8 内付けブラインドと外付けブラインドの場合の年間エクセルギー消費（昼光に応じた電灯照明の調光あり

黒塗り長方形が外付けブラインドの場合である。外付けブラインドの結果は、図 2-2-7 のそれと同じものである。図中央に点線で示した日射を源とするエクセルギー消費は、内付けと外付けとも約 51 GJ/年と合計量は同じだが、消費される場所の内訳が異なっている。具体的には、「地表面」では外付けブラインドの方が大きく、「窓面」では外付けブラインドの方が小さくなっている。つまり、日射エクセルギーが消費され尽くすまでの「流れ」が、内付けブラインドと外付けブラインドとで違っているのだ。この「流れ」の違いがどこに影響を及ぼしているかというと、「ヒートポンプ」と「発電所」だ。外付けブラインドの場合で「窓面」での日射エクセルギー消費が小さいのは、窓面に入射した日射の多くが窓面を反射し、地表面でそのエクセルギーが消費されているからである。

一方、内付けブラインドの場合、多くの日射エクセルギーが「窓面」で消費されている。この日射エクセルギー消費の大部分は室内側にあるブラインド・スラット面で起きているので、消費の結果生じた熱のエクセルギーは室空間内で消費されることになる。このことから「ヒートポンプ」は、外付けブラインドの場合より多くの熱を除去しなければならないため、エクセルギー消費が大きくなり、ひいてはヒートポンプに投入される電力を発電する「発電所」のエクセルギー消費もしている。

外付けブラインドの年間の天然ガスエクセルギー消費量（27 GJ/年）は、内付けブラインドのそれ（31 GJ/年）より 4 GJ/年小さい。これは、「電灯照明器具」での年間エクセルギー消費量（内付け・外付けともに 5 GJ/年）の約 80%にも相当する。つまり、ブラインドを内付けから外付けに変えて、日射エクセルギー消費の「流れ」を変えるだけでも、電灯・暖冷房システムで消費される化石燃料（天然ガス）のエクセルギー消費量を削減できる可能性があることを示している。

（淺田秀男）

2-2-5 まとめ

ここでは、照明に関わるエネルギーの利用を、熱力学の観点から見た結果を紹介した。エネルギーにエントロピーの概念を加えたエクセルギーという量を導入すると、日射や電力、化石燃料、光、熱などの質の異なる形態のエネルギーの資源性の違いを明確に表現でき、これらの利用をすべて「エクセルギー消費」として統一的に表現できる。このことにより、昼光照明は、結局はすべて消費されてしまう日射エクセルギー消費の「流れ」を、窓や日除けなどの建築的工夫をすることにより、照明という目的に合う流れに変える技術であることを示した。また、昼光に応じた電灯の調光は、電灯照明器具でのエクセルギー消費を著しく削減するとともに、ヒートポンプと発電所でのエクセルギー消費の削減をもたらすこと、ブラインドを内付けから外付けに変えて日射エクセルギーが消費され尽くすまでの「流れ」を積極的に変えることは、電灯・暖冷房システムでの化石燃料を源とするエクセルギー消費の削減につながることを示した。

参考文献

1）木村建一：建築設備基礎理論演習，学献社，p. 385，1987 年。

2）浅田秀男，宿谷昌則： Exergy-Entropy Process of Electric Lighting Systems Using Fluorescent Lamps，日本建築学会計画系論文報告集　第 483 号，pp. 91-100，1996 年 5 月

3）淺田秀男，宿谷昌則：昼光照明のエントロピー・エクセルギー解析，日本建築学会計画系論文報告集，pp. 43-50，1994 年 7 月

4）Asada, H. and Shukuya, M. , Numerical Analysis of Annual Exergy Consumption for Daylighting, Electric-Lighting, and Space Heating/Cooling System, Sixth International IBPSA Conference (BS '99), Kyoto Japan, September 1999.

（淺田秀男）

第３章　ヒトと照明環境

3-1 自然光とヒト

3-1-1 ヒトの体内時計と光

光とヒトの関わりは、ものを見せるというだけではない。光は生体の周期現象のコントロールにも影響がある。ここでは、光とヒトの生体リズムについて述べ、照明のあり方を考える。

生体の周期現象（概日リズム＝サーカディアンリズム）とは、人間をはじめとする生物においてさまざまな生体機能が約１日を周期として変動する現象をさし、これは体内時計によるものと考えられている[1)]。たとえば睡眠は１日に一回繰り返される生体リズムの一つであるが、光などの外界の手がかりがまったくない状況に隔離されたりすると、24時間より長い周期になる（これは自由継続リズム（フリーランリズム）と呼ばれている）[2)]。通常、ヒトがこのような周期ではなく 24 時間の周期をとるのは、地球の自転に基づいた 24 時間周期の環境に生体リズムを同調させているからである。このとき光が大きな役割を果たす。

従来は、リズムを同調させる環境因子（同調因子）として、社会的な接触など光以外の因子が重要とされていたが、最近では主たる同調因子はむしろ光であることが示されている[3)]。例えば睡眠・覚醒リズムは光以外の因子（強制的なスケジュールなど)によって同調させることもできるが、生理的な周期はこれが難しいと言われる。例えば松果体から分泌されるメラトニンの血中濃度や深部体温変化が光以外の因子によって同調するには、長い日数を要する。逆に高照度照射の影響は、睡眠・覚醒リズムより、メラトニンリズム、体温リズムの方に早く現れることがわかっている。メラトニン分泌の低下、体温の上昇は覚醒度の上昇となる。

このように、睡眠・覚醒リズムそのものが光に同調するのではなく、まずメラトニン等のサーカディアンリズムが光同調し、その二次的結果として睡眠・覚醒リズムが同調すると考えられるようになってきた。

さらに、生体リズムに影響を及ぼす可視光の波長範囲に関しても研究も行われている[4)]。そこではメラトニンの分泌抑制には 446～477nm の波長が効果的であると報告されている。視感度が最も高い 550 nm より波長が短い側であり、青っぽい光ということになる。すなわち、松果体の光に対する感度は照度の基になっている 550 nm を最大感度とする視感度とは異なっており、照度値だけではその影響を示すことは難しい。照度値にかかわらず、松果体の感度が高い波長域が十分含まれている場合に、メラトニンの抑制→睡眠の後退を引き起こすことになる。昼間にこの波長域の光を十分浴び、逆に就寝前はこの波長域は避けるようにした方がよいといえる。昼光は波長分布に偏りがなく、446～477nm の光も十分含んでおり、昼間に浴びるには適している。逆に夜間の照明には青っぽい光は生体リズムの上から好ましくないだろう。

実際に医療現場では、生体リズムの同調の不良による病気の一つである睡眠障害の治療に高照度光が用いられている。高照度光療法と呼ばれ、一般に患者に 2500lx 以上の光を、昼間に約 2 時間ほど照射するという方法で行われている。この場合、市販されている高照度光療法器というものを用いることが多い。原理的には昼間の光がメラトニン分泌を抑制し、夜間のメラトニン分泌を推進するということを利用して、メラトニンの分泌の低下により覚醒度をあげるというものだが、まだ、波長域や浴びる時間などについては厳密に規定されていない。

光に対する感度に個人差があるので人によって効果は異なる。が、高照度光は実際の医療現場で用いられ、生体リズム不調の治療に有効なことは証明されている。

参考文献

１）亀井雄一他：睡眠相後退症候群，臨床精神医学 26（3），1997 年，pp315-322

２）大田龍朗：16.睡眠相後退症候群，II 睡眠・覚

醒関連症候群，臨床精神医学増刊号，1994年，pp.99-108
3）本間研一他：自然睡眠、臨床脳波 No.6，2000年，pp.9-15
4）G.C.Brainard et.al.：Action spectrum for melatonin regulation in humnan evidence for a novel circadian photoreceptor, The Journal of Neuroscience, 21(16), 2001, pp.6405-6412

（岩田利枝）

3-1-2 サーカディアンリズムの形成

前項に述べられているように、ヒトの体内にはサーカディアンリズムがあるが、ヒトにはもともと 25 時間弱の体内時計があって、それに昼光による 24 時間の体内時計が重なってサーカディアンリズムが形成されている。そのことを示して、建築の窓が持つ役割、昼光照明の果たす役割を確認しておきたい。

ここでは、乳児の体内時計について Kleitman（1953)が観察記録した結果を参考にして考える。図 3-1-1 は、文献１） 2）に示されたもので、生後 11 日目に始まって 182 日目に至るまでの間、ある乳児が一日のうちで目をいつ覚まし、いつ眠っているのかを示している。横軸は、午前零時から翌日の午前零時までの一日 24 時間を表し、縦軸は、上方から下方にむかって生後の経過週数を表す。図中にある各横線が眠っている時間帯を表す。空いている部分は起きている時間帯を、そ

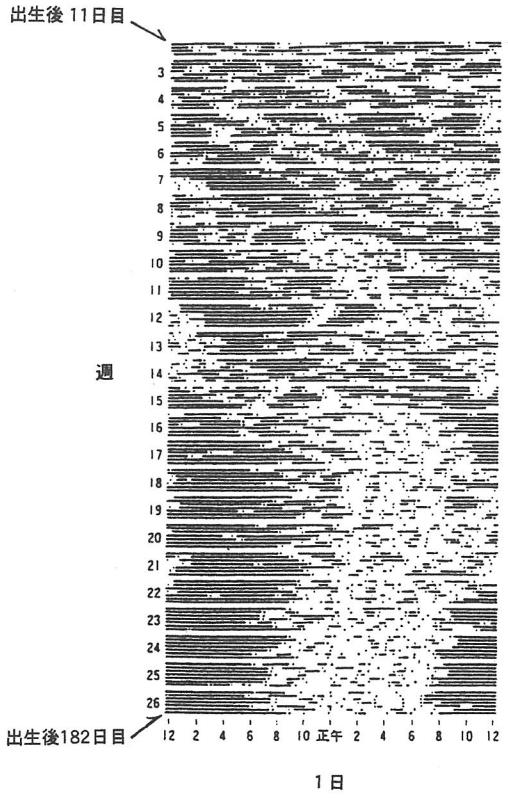


図 3-1-1 ある乳児の起きている時間帯と眠っている時間帯が生後 11 日目から 182 日目に至るまでの間にどう変化するかを記録した例（Kleitman, 1953）[1) 2)]

の中にある点々は授乳時を表す。

図の全体に独特のパターンが見られる。3 週目から 15 週目ぐらいまでを見ると、右下斜めに下がっていく帯状のパターンがある。16 週目以後は右下斜め方向のパターンがなくなり、昼間は目を覚まし夜間は眠るという私たち大人と同じようなパターンになっている。3 週目から 15 週目は約 25 時間周期、16 週目以後は 24 時間周期である。

ヒトはみな、受精卵から始まって誕生に至るまでの 10 ヶ月間を光の届かない母胎という環境空間で生活する。この 10 ヶ月間は、海岸に見られる潮の干満と同様に、月の日周運動の影響を色濃く受けて、約 25 時間を周期とする一つの体内時計をつくり上げる。しかし、乳児は、誕生とともに昼光を浴び始めると、24 時間という太陽の日周運動に次第に同調するようになり、誕生から 16 週ほどで 25 時間周期の体内時計は、見かけの上では消える。

大人が窓のない室で電灯だけにたよって光を得て、好きなときに起き、好きなときに眠るといった生活をすると、生活時間周期は、24 時間ではなく、多くの場合 25 時間になるという。これは、月の日周運動の影響が消えることなく、私たちのからだの奥深くに刻み込まれている証だろう。

地球上に現れた最初の生命は、太陽光の届かない地熱で高温な深海の底で発生したらしい[3)]。それ以来、多細胞生物が発生展開していよいよ陸に上がるようになるまでの間、生命は、月の日周運動の影響を色濃く受けたはずである。そのことが遺伝情報の一つとしてヒトのからだに記憶されているために、以上のような現象が起きると考えられる。

陰陽二つの体内時計は、いずれも私たちヒトのからだが自然の一部であり、生命進化のプロセスを記憶していることをよく物語っている。私たちヒトは、窓から得られる自然光によって照明される建築環境空間で生活することで、陽の体内時計に正しく時を刻ませる。このことは、窓の、そして天然光源を利用する照明－昼光照明－の第一義的な意味である。

参考文献

1）三木成夫:内臓のはたらきと子どものこころ，築地書館，1982 年，p.194

2）千葉喜彦・高橋清久編：時間生物学ハンドブック，朝倉書店，1991 年，p.261

3）Dyson, F., Origin of Life, Revised Edition, Cambridge University Press, 1999, pp.32-35

4）宿谷昌則：自然エクセルギー利用と窓，太陽エネルギー，Vol.27 No.5，2001 年，pp.21-27

（宿谷昌則）

3-1-3 自然光の変動と暴露光の変動

室内環境は外部と比較して「安定した環境」「一定な環境」が求められている。熱的には冬は暖かく、夏は涼しくなるように、光的には昼は外より暗く、夜は明るくなるように調節されている。しかし自然に変動があるのは当然のことで、前述のように人体にも変動がある。

現代人は平均的には 20 時間以上建築環境空間で過ごしており、過度な一定調整はむしろ「生体リズム」を損なう恐れもあるといえる。治療に高照度光が用いられることが注目を集める一方、日頃の健康的な光の浴び方は忘れられがちで、むしろ治療が必要となる方向に進んでいるようである。

昼光の変動として図 3-1-2 に全天照度の変動を月別平均値で示す。日の出とともに上昇し、正午付近で最大となり、さらに日没まで緩やかに下降する。月（季節）によって日の出、日没の時刻が異なり、最大照度も異なる。これ対して現代人が

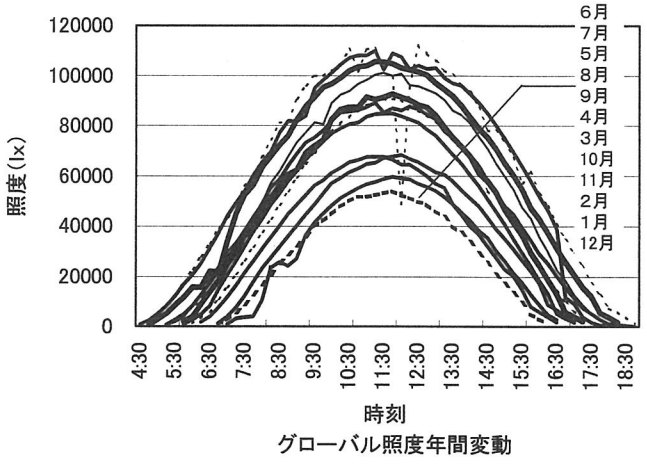


図 3-1-2 グローバル照度の変動

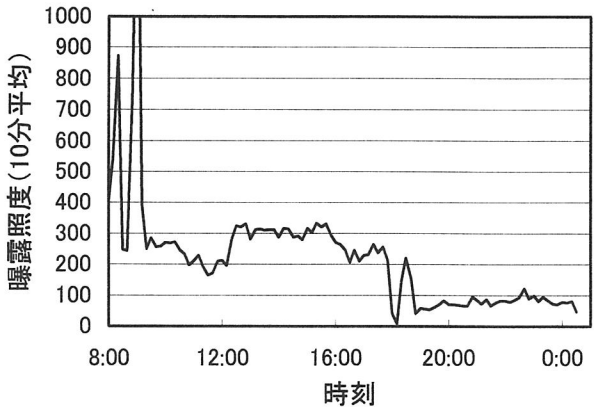


図 3-1-3 ヒトの目に入る照度の変動

浴びる光の変動を調査すると、学生、オフィスワーカーではほとんどの場合、図 3-1-3 に示すような結果となった[1)]。一定の照度範囲での細かい変動と、場所の移動による変化の影響が大きく、昼光の変動に従うような 1 日の大きな変化は見られない。室内で過ごす時間は昼光を利用しない限り一定の照度となり、特に作業空間ではこの傾向が強いためである。

図 3-1-4 に示したのは、日本（北緯 35 度）の大学院生（オープンオフィスの研究室）とオランダ（北緯 52 度）の大学院生（セミプライベート（2 名 1 室）オフィス）2 名ずつの平均値（1 月の 3 日間平均）である。窓近くに作業面をもつセミプライベートオフィスの場合、昼光の影響の受け方が大きい。また、オランダでは夜間の住宅の照度が暗いことが、この図からも伺える。

図 3-1-5 には調査した 11 名の 1 週間ずつの平均値の昼間（起床から日没）と夜間（日没から就寝）までの照度の比を示す。6 名が昼は夜の 2～4 倍、5 名が 4～8 倍の平均照度となっている。昼間の平

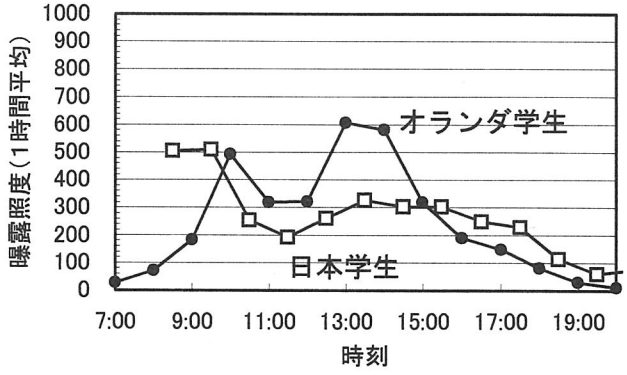


図 3-1-4 照度の変動（日本人学生とオランダ人学生の比較

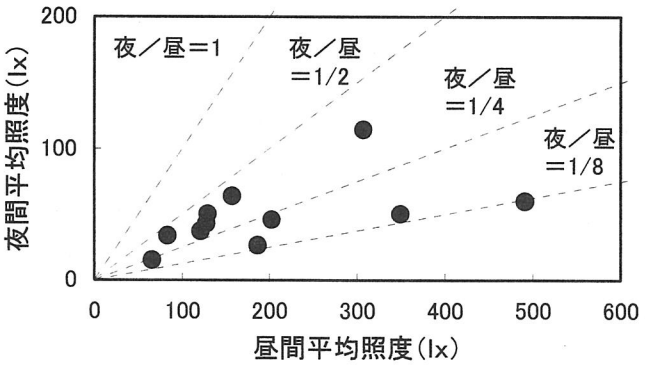


図 3-1-5 昼間照度と夜間照度

均照度が夜間の4倍以下の場合、夜間のメラトニンが抑制傾向になるという研究結果もあり[2]、この結果をそのまま当てはめれば半数の人が夜間のメラトニン分泌が不十分になっている可能性があることになる。

光に対する感度の個人差と浴びた光の分光分布による影響もあるので一概に断定できないが、昼光利用とともに夜間照度を抑えるということは、省エネルギー面だけでなく、ヒトの健康面から見ても合理的なことだということができであろう。

参考文献

1）T. Iwata: Field investigation on the exposed illuminance in daily life, Lux Europa, 2001, pp.325-328

2）T. Morita et al.: Influence of the amount of light received during the day and night times on the circadian rhythm of melatonin secretion in women living diurnally, Biological Rhythm Research in Press

（岩田利枝）

3-1-4 太陽の光とヒトの目

電灯照明が発明されておよそ百年、私たち現代人はすっかりそれに慣れてしまっているように見える。夜間、電灯照明の下で活動し、昼間、窓を閉ざし眠る人もいる。しかし、本当にそれで良いのだろうか？

私たち人類が地球に生まれて数百万年、その間、太陽が放出するエネルギーはほとんど変化していないが、地球の自転・公転により、また、大気などの条件により、地表に到達する太陽の光は時々刻々変化している。この変化が作業効率を低下させるとされ、変化のない電灯照明が重視される時期もあった。

しかし、現在の交流配電システムで点灯される電灯照明の出力はヒトには知覚できない速さで変化している。この知覚できない明るさの変化に長時間曝されたヒトが、どんな影響を受けるのかについては明らかになっていない。電灯照明の変化は、ヒトが慣れ親しんできた太陽の光の変化と異なり、目に見えた影響が現れないため、見過ごされている可能性がないとは言い切れない。

乳幼児を薄暗い寝室で寝かせた場合、真っ暗な寝室に寝かせた場合に比べ、将来、近視になる確率が高いという研究結果がある。昼は明るい太陽の光の下で遊び、夜は真っ暗な場所で眠ることが、目の健全な発達に重要であるということが示唆されているのではないだろうか。

目は光のエネルギーを知覚することでモノを見ている。地球上でのあらゆる光の根源は太陽であり、ヒトはその多くの時間を太陽の光の下で過ごしてきた。ヒトに限らず、生物の目が進化の過程で目指してきたのは、太陽の光の下で対象とするモノをより良く見ることであった。ヒトの目が対象とするモノとは、樹木の葉陰で実る赤い実、水の中を泳ぐ魚などであったろう。つまり、ヒトの目は太陽の光の下でその性能をもっともよく発揮できるようにできている。

欧米人に比べ、日本人は白っぽい光を好むということはよく言われているが、これには欧米に比べて、日本の太陽の光の色温度が高いことが一因にあるのではないかとの指摘がある。科学的な根

拠はないが、目の進化の過程を考えると、十分に可能性がある。

現在の電灯照明の分光エネルギーは太陽の光の分光エネルギーとは異なり、また、明るさ、色温度の変化の仕方も異なる。電灯で照明された室内で過ごす時間が長くなっている現代、太陽の光に照明された木々や水面のかがやきを見ることは、精神的にリラックスするためばかりでなく、目の機能を健全に保つためにも必要なのではないだろうか。

参考文献

1）照明学会研究調査報告書：人間の生理・行動に対する光放射の作用・効果に関する研究，照明学会，1999 年

2）中島龍興：照明[あかり]の設計　住空間の Lighting Design，建築資料研究社，2000 年

3）小町谷朝生：眼の不思議世界－視の五億年を考える－，人文書院，1997 年

4）エレイン・モーガン（望月弘子訳）：進化の傷あと，どうぶつ社，1999 年

（戸倉三和子）

3-1-5 低色温度、低照度の照明

照明の明るさは自律神経の活動に影響を与える。照度が高くなるほど交感神経が亢進し覚醒度が高まる[1)]。したがって、昼間オフィスなどで活動するために、高色温度、高照度、高均斉度の照明にすることは生産性を高めるのには効果があるかもしれない。住宅内では明視性が必要とされる行為も行われるため、高照度を得るための照明も必要だが、緊張を緩和し、リラックスするための低色温度、低照度の照明環境を作れるようにすることも重要となる。

自律神経の活動に照明の色温度の影響が顕著であるという研究報告がいくつかあるが、いずれも、低色温度照明では交感神経の活動水準が低く、ストレスが低減し、高色温度照明では精神的緊張が高まる傾向があるとしている[1)]。これは、地球上で昼間活動し、夜間休息する動物にとって、太陽の光の変化と合致している。高色温度、高照度で変化のない電灯照明の下に長時間滞在することは、精神的緊張を長時間持続させることになる。

日本人は大きな開口から拡散入射する光（例えば、障子を通して入る光）に慣れているので、均一な明るさのほうが好まれ、欧米のような不均一な明るさを作る照明手法はなじまないといわれている。しかし、現在の住宅内で室内が均一に明るくなる照明手法が好まれるのは、その照明の色温度に原因があるのではないだろうか。

1940 年に国内で実用化された最初の蛍光ランプは、現在の蛍光ランプに比べれば演色性が悪かったが、白熱ランプより明るく、色温度が高かったため、太陽の光に似ている（当時の光源色は「天然昼光色」と表示されていた[2)]ようだ）ように感じられ、広く受け入れられたのではないだろうか。しかし、高色温度照明の場合、低照度では陰鬱な感じになることは、今ではよく知られている。そのため、高色温度でも不快と感じない照度が必要とされ、住宅でも均一に明るくするようになったのではないだろうか。

また、現在よく用いられている天井からの照明は直下の水平面照度を高めるには効果的であるが、後の節でも述べるように、室内の明るさ感を高め

るためには必ずしも効果的であるとは言えない。その結果、より出力の大きい照明器具が必要とされる。

オフィスのような昼間作業をするための空間では、作業に必要な明るさを確保し、空間の明るさを得るという観点から照明の設計を行う必要があるが、水平面をまんべんなく明るくする必要はない。また、住宅においては、視作業を行う場合には必要な明るさを得ることができるが、視作業を行わない場合には、低色温度、低照度で陰鬱に感じない空間を作ることができるように設計されるべきであろう。

低色温度、低照度の照明により、交感神経の活動を抑えることで、眠りに入りやすい状態にすることは、より良い睡眠を得るためにも効果的ではないだろうか。

参考文献

1）日本生理人類学会居住環境評価研究部会編著:生理人類学から見た環境の科学, 彰国社, 2000 年

2）深津正・中島龍興・面出薫・近田玲子：あかりと照明の科学, 彰国社, 1988 年

（戸倉三和子）

3-1-6 併用照明における電灯照明

昼光利用は省エネルギーの点だけでなく心理的生理的にも利点が多い。欠点は量的な不安定にある。室内に取り込まれる昼光の量は天候によるので日によって異なり、また時刻によって異なる。そのためオフィス、教室などの作業空間では作業に必要な照度を昼光だけで得られない場合電灯照明で補わなければならない。

しかし、昼光と電灯照明を併用は量的に足し合わせればよいというほど簡単ではない。この原因は昼光と電灯照明として一般にオフィスなどで用いられる蛍光灯との、光源としての違いによる部分が大きい。

まず蛍光灯と昼光では分光分布が異なる。図 3-1-6 に一例を示すが、色温度が等しくても、波長の分布としては一致しない。また、昼光は時刻、天候によってその色温度が異なり、正午（太陽高度が最も高くなるとき）色温度が最も高くなり、朝と夕方に低くなる（赤味を増す）。

さらに輝度の違いがある。蛍光灯は普通管面で 8000cd/m² 程度の輝度があり、Hf ではもっと高くなる。通常この輝度に慣れてしまっているので、蛍光灯の管面が見えないようなルーバー付きの照明器具では照度が十分でも薄暗く感じることが多い。さらに蛍光灯の管面の輝度が従来なれている輝度より低いと違和感を覚え、やはり薄暗いと感じてしまうようだ。一方窓面では 2000cd/m² 程度でもまぶしさを引き起こすとされている。このよ

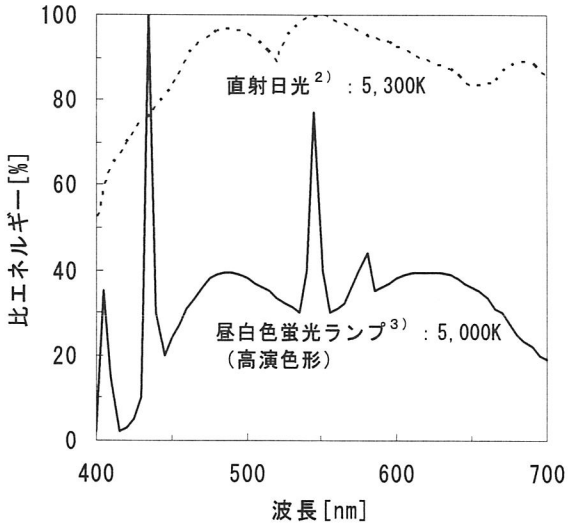


図 3-1-6 直射日光[2] と蛍光ランプ[3] の分光分布

うに、窓面と蛍光灯では光源として、面光源と線光源としての違いがあり、求められる輝度、まぶしさの限界となる輝度が異なる。

さらに側窓からの光と天井照明からの光ではその方向が異なる。横からの光である昼光の不足を上からの光である天井の電灯照明で補おうとすると、鉛直面照度と水平面照度の比を大きく変化させることになる。水平面一定の電灯照明制御は、鉛直面／水平面の照度比は大きく変動させる制御になることが示されている[1)]。

昼光と電灯の併用照明では、在室者の快適性を損なわないためにはこれらを十分考慮する必要がある。方法として、蛍光灯の管面を見せない（電灯照明を間接照明とする）、昼光で天井を照らす、ことが考えられる。また昼光をタスク・アンビエント照明のアンビエント照明として用いて、作業面の必要照度の確保には別にタスク照明を用いるという方法が挙げられる。いずれにせよ、昼光を無視して設計した電灯照明で併用照明を行うことは難しく、今後昼光との併用照明用の照明器具、設計が開発されることが望まれる。

参考文献

1）織間(畑尾)，岩田，宿谷，木村：昼光の変動に応じた電灯照明制御が在室者の快適性に与える影響，日本建築学会計画系論文集第 486 号，pp.9-16，1996

2）乾正雄：建築設計講座　照明と視環境，理工図書，1978，より作成

3）東芝ライテック　ランプカタログ，2002，より作成

（岩田利枝）

3-1-7 生得性と後得性

生得性は「生まれながらにして」、後得性は「誕生後の経験を通じて」という意味である。生得は先天・先験、後得は後天・経験と言い換えてもよい。

ヒトに限らず様々な生命現象には生得的な現象と後得的な現象がある。ヒトの明るさ感も例外ではないと考えられる。

表 3-1-1 は、7 人の被験者（A・B・C・D・E・G・H）に、自宅と自宅以外（学校やアルバイト先）での光環境で昼光が入る状況と電灯を使用する状況についてヒアリング調査を行なった結果を整理したものである。

被験者 A・C・H は比較的よく昼光が入る状況で生活している。被験者 E は自宅でも自宅以外でも昼光が入る状況はほとんどなく、電灯を使用する場合が多い。被験者 B・D・G は、他の被験者と比べて昼光と電灯を併用して生活していると言える。

図 3-1-7 は、これら 7 人の被験者について、ある日の夕刻から翌日の午前中の暴露照度の積算値[lx･s]を測定した結果である。図中に示す夜間とは、18:30（日没）から翌朝 5:10（日出）のことで、日中とは、5:10 から被験者が外出するまでのことである。前者には昼光が含まれず、後者には昼光と電灯光の双方が含まれていることになる。被験者 A・C・G・H は、暴露照度の全積算値に対し

表 3-1-1 被験者 7 人の自宅・自宅外における光環境に関するヒアリング結果

☼ 昼光が入る状況　⏚ 電灯を使用する状況

	日中 天気の悪いとき	日中 食事のとき	自分が一番多くいる場所	自宅以外
A	☼	☼	☼	☼
C	☼	☼	☼	☼ ⏚
H	☼	☼ ⏚	☼	☼ ⏚
E	⏚	⏚	⏚	⏚
B	☼ ⏚	☼ ⏚	☼ ⏚	☼ ⏚
D	☼ ⏚	☼ ⏚	☼ ⏚	☼ ⏚
G	☼ ⏚	☼	☼ ⏚	☼ ⏚

て日中の積算値の割合が 70～90%で、被験者 B・D・E に比べて大きい。

図 3-1-7 に示した暴露照度の結果は、表 3-1-1 に示したヒアリング結果と整合性がある。A・C・H は、E や B・D・G に比べて明らかに昼光を好むと言える。

これら被験者に様々な光環境条件を与え、その際に光環境を調整するとしたら、どのような行動を取りたいかを申告してもらうと、例えば、被験者 A は電灯光のみによる光環境で明るさ感が「少し暗い」のに「このままでよい」、C は「ほどよく明るい」のに「カーテンを開けたい」、H は「少し明るすぎる」のに「カーテンを開けたい」となった。

また、昼光と電灯の双方で形成された光環境で、E は「ほどよく明るい」のに「廊下に行きたい」、G は「カーテンを閉めたい」などとなった。

これらは、光環境を調整しようとする行動とそれに対応する明るさ感は、日ごろ暴露されている光環境についての記憶と照らし合わせて生じることを示していると考えられる。言い換えると、明るさ感の後得性、すなわち後得的明るさ感が存在したのではないかと考えられる。

一般に、人の明るさ感は一定不変で、それを条件として光環境の計画・設計・運用が行なわれているが、実は光環境が人の明るさ感を変化させる、すなわちフィードバックがかかる。このことは、光環境教育の重要性を示唆しており、また、できるだけ小さなエクセルギー消費で快適な光環境をどのようにして形成したらよいかを考える上でたいへんに示唆的である。

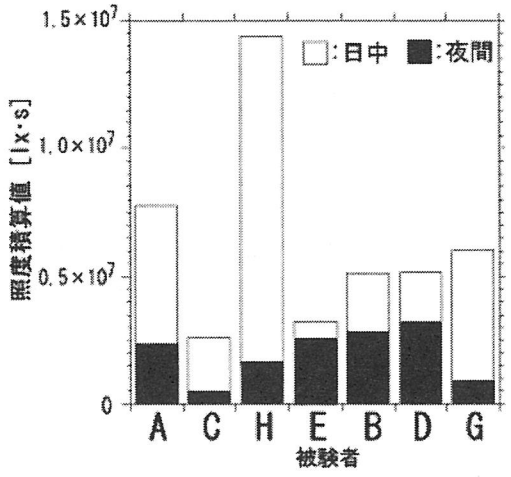


図 3-1-7 被験者 7 人のある日における暴露照度

参考文献

1）若月貴訓, 竹内亜沙美, 直井隆行, 宿谷昌則：光環境調整行動に与える後得的明るさ感の研究（その 1．30 秒実験・20 分実験と明るさ感の生得性・後得性), 日本建築学会大会学術講演梗概集 2002 年 8 月, pp.627-628

2）直井隆行, 竹内亜沙美, 若月貴訓, 宿谷昌則：光環境調整行動に与える後得的明るさ感の研究（その 2．後得的明るさ感と光環境体験の蓄積), 日本建築学会大会学術講演梗概集 2002 年 8 月, pp.629-630

3）直井隆行, 若月貴訓, 竹内亜沙美, 宿谷昌則：後得的明るさ感に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, 2003 年 7 月, pp.55-60

（宿谷昌則）

3-2 ヒトの明るさ感に基づく電灯照明

3-2-1 水平面照度重視設計からの脱皮

現在の照明設計の拠り所となっているのは、床面照度や机上面照度などの水平面照度である。JISからも「照度基準」[1]が出されており、各部位別に所要照度が示されている。対象とする空間に対して必要な明るさを確保するためには、このJIS「照度基準」に示されている所要照度（以後、JIS所要照度と呼ぶ）以上の平均水平面照度となるように照明設計を行うというのが、今の一般的な照明設計の姿である。

このJIS所要照度は、厳密に言えば、対象とする視作業を行うために必要な照度を示したものである。例えば、事務所の執務室であれば、詳細な視作業が要求されることから、詳細な視作業を行うのに必要な机上面照度750～1500[lx]が所要照度となる。従って本来なら、視作業を行う机上面以外の部位には750～1500[lx]という照度は必要ない。もし、机上面での作業以外に想定される視作業として、他の人との対話と歩行移動がある事務所であれば、視作業を行う机上面において所要照度750～1500[lx]を確保さえできれば、あとは、対話に必要な人の顔の様子が分かる鉛直面所要照度300～750[lx]（事務所受付に対するJIS所要照度）の確保と、歩行移動に必要な床面照度100～200[lx]（事務所廊下に対するJIS所要照度）の確保ができれば、その事務所内で行う視作業に支障をきたさない照明設計となるはずである。

しかし、実際の設計の場においては、上記のような様々な状況を想定した上で詳細な設計をするということはなかなかできることではない。特に照明設計が検討されるようになった当時においては、現在のようにコンピュータにより簡単に照明器具の位置を決めるという計算は容易ではなかった。よって、例えば、事務所であるのならば、事務所内で行われるであろう各視作業に必要な照度を包括する照度750～1500[lx]で全般を均一に照明するという照明方法を採用することで、各視作業に必要な照度を確保し、しかも容易に照明設計を行うことができる。この照明設計方法では、各視作業に必要な照度は充分確保されているため、好き嫌いはあっても、少なくとも視作業に支障をきたすというようなクレームは発生しないので照明設計者は安心を得ることができる。

以上が、平均水平面照度がJIS所要照度以上の照度となるように照明設計を行う現在の照明設計方法の一般化した背景であると推測する。

しかし、以上の平均水平面照度に基づく照明設計方法が一般化し普及することにより、照明設計が平均水平面照度設計を重視しすぎる傾向になり、現在においては、大きく二つの問題が生じている。

一つは、空間の明るさ感＝水平面照度という間違った知見の浸透である。ここで言う「空間の明るさ感」とは空間全体に対する明るさの印象と定義されるものである[2]。我々が空間の照明環境を評価する際には、先にも述べたように、その空間の中での視作業に必要な光、例えば、歩くのに必要な光、机上での書類を読むのに必要な光などの視作業に対する照明の評価をすると共に、空間全体の印象も評価している。照明器具の選定ポイントにおいて「明るさ」に対する感心は高く、空間が「暗い」と感じられる照明はクレームにつながる。従って、各視作業に対する明るさのみならず、空間全体に対する明るさの印象である空間の明るさ感の確保もまた重要な照明設計要件だと言える。

しかし、視作業の明かりだけでなく、この空間の明るさ感に対しても平均水平面照度を重視してしまうのが現在の一般的な照明設計の現状であり、問題である。すなわち、平均水平面照度がJIS所要照度を満たさないと、その空間は「暗い」という間違った認識を世の中が持つようになってしまったのである。より少ないエネルギーで必要な明るさ感が確保できるように設計されていても、平均水平面照度がJIS所要照度を満たしていなければ、その設計は受け入れてもらえないのが現状である。これでは省エネを実現することのできる新しい照明方法の発展は期待できない。

実際に、空間の明るさ感は平均水平面照度だけでは決まらないことが岩井ら[2]やBean[3]によって報告されている。空間の明るさ感は、部屋全体に対して感じる明るさのことであるから、床面や

机上面だけでなく壁面なども注視して判断される感覚である。従って、水平面照度だけで空間の明るさ感を評価することはできないはずである。

岩井らは、住宅居間空間に設置された天井直付け形照明器具とダウンライトの組み合わせによる12 種類の照明条件と空間の明るさ感との関係を心理評価実験から求めた[2)]。この実験から得られた部屋の平均床面照度に相当する床面平均輝度と空間の明るさ感との関係を図 3-2-1 に、正面壁領域の平均輝度と空間の明るさ感との関係を図 3-2-2 にそれぞれ示す。これら実験結果は、空間の明るさ感は平均床面照度では決まらず、正面壁の平均輝度を用いたほうが精度良く空間の明るさ感を説明できることを示している。すなわち、空間の明るさ感＝水平面照度と言う知見は、省エネに反する間違った知見なのである。

もう一つの問題は、視作業の明るさのみならず空間の明るさ感に対してまでも、平均水平面照度のみで評価が行われるようになってしまったことから、高い平均水平面照度を与える照明＝高い価値という間違った価値が浸透してしまっていることである。図 3-2-3 に示すように、平均水平面照度という一つの軸で照明が評価されている現状では、高い平均水平面照度を与える照明＝高い価値という省エネに反する間違った価値の提供をしてしまう危険性が高い。このような価値の中で、省エネを考えるのであれば、lm/W 向上技術を駆使して、同じ平均水平面照度をより省エネで実現させるか、または、センサ技術を駆使して不必要な部位に対する照明を消すか余剰照度を削減させるかの照明方法しか省エネを検討することができない。

しかし、ここで例えば、図 3-2-2 の結果に示された壁面輝度という新たな軸を加えて評価することになれば、図 3-2-4 に示す空間の明るさ感の例に示すように、同じ空間の明るさ感を得る照明方法を、水平面照度と壁面照度による多数の組合せ

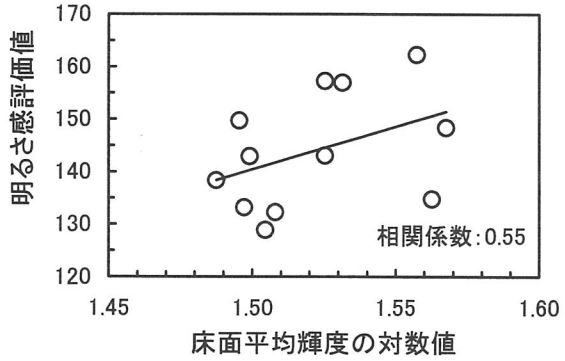


図 3-2-1 床面平均輝度の対数値と明るさ感評価値との関係

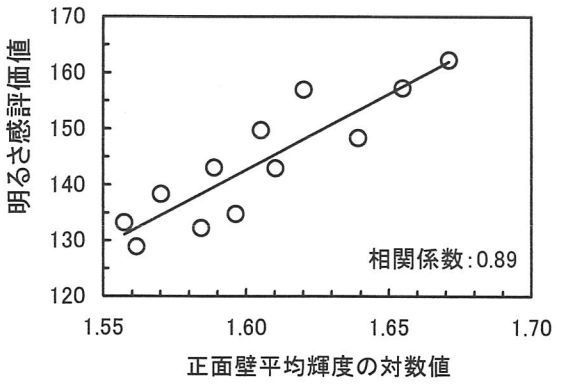


図 3-2-2 正面壁平均輝度の対数値と明るさ感評価値との関係

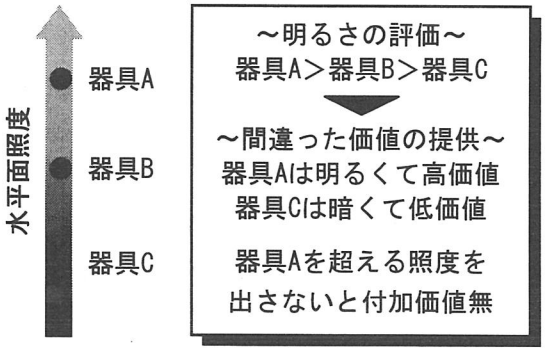


図 3-2-3 平均水平面照度とは別の評価軸を加えて照明を評価する場合

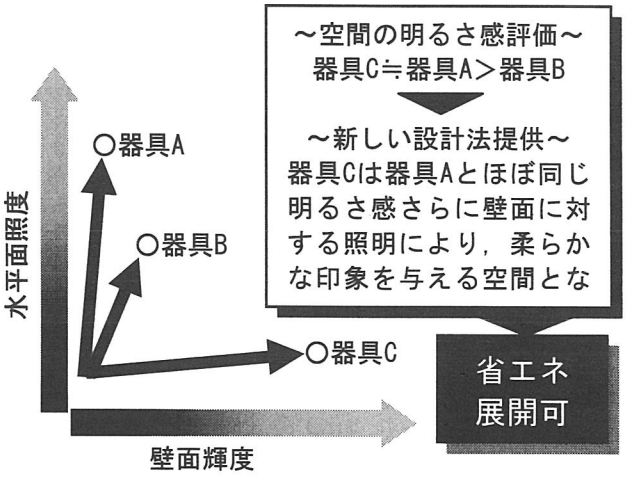


図 3-2-4 平均水平面照度とは別の評価軸を加えて照明を評価する場合

の中から選択することができる。

この場合、机上での視作業を重視するのであれば、水平面照度重視での空間の明るさ感確保の照明方法を採用し、壁面への照明により空間を柔らかくする雰囲気を演出したいのであれば、壁面輝度重視での空間の明るさ感確保の照明方法を採用するというような選択の余地が増え、設計のバリエーションが増える。水平面照度重視設計以外の照明設計法の適用可能性が増えることで、従来からの省エネ照明手段である lm/W 技術の適用による省エネ方法以外の方法の採用可能性が増えてくるのである。

作業性や安全性を考えた場合には、床面照度や机上面照度などの水平面照度での検討が必要となるため、平均水平面照度に基づく照明設計方法そのものを否定するつもりはない。しかし、以上述べてきたように、平均水平面照度重視の現状の照明設計方法では、かなりの制約の中で省エネを実現するための照明方法を考えていかなければならなくなる。従って、省エネ実現のためには、平均水平面照度重視の現在の照明設計方法からの脱皮は、今後実現しなければならない必要不可欠な課題であると提言したい。

参考文献

1）JIS Z9110-1979「照度基準」.

2）岩井彌，齋藤良徳，墨貞宏，阪口敏彦：住宅居間の明るさ感－ダウンライトを設置した場合－，照明学会誌，83-2，pp.81-86，1999

3）A. R. Bean : Impression of Brightness of Object and Interiors, Lighting Research and Technology, 9-2, pp.103-1066, 1977

（岩井彌）

3-2-2 省エネ効果が期待できる新しい照明方法

従来からの省エネ照明方法は、lm/W 向上技術に基づく方法が主であったと言える。光源に関わる技術と点灯回路に関わる技術の向上で、同じ W 数でもより多くの光束の出せる構成の器具が省エネ照明を実現する器具とうたわれてきた。また、反射板の高反射率化や反射板設計技術の向上により器具効率を上げ、実際に器具から発せられる光束に対する lm/W の高い器具もまた省エネとうたわれた。

さらに最近では、センサ技術と調光制御技術の向上により、照度を検知するセンサを用いて、昼光が入射する等で必要以上の照度になった部位の照度を必要な照度にまで下げたりする方法や、人感センサを用いて、人のいない部位の照明を消灯させることで省エネを実現する方法が具現化されている。

前項でも述べたように、これらの省エネ方法は、現在主流となっている平均水平面照度重視の流れの中で検討されてきた方法であり、必要な平均水平面照度をいかに少ないワット数で確保するのかという観点から出てきた省エネ方法である。従って例えば、必要な空間の明るさ感を得るために、空間の明るさ感に強く影響を与える壁面を効果的に照明して、空間全体としては、必要な空間の明るさ感をより少ない総ワット数で実現できたというような照明方法側からの工夫による省エネ方法は、今までほとんど提案されていないのが現状である。

表 3-2-1 は、照明方法側からの工夫により省エネが実現できることを示した実験結果である。この実験では、72W 環状蛍光ランプを光源とする天

表 3-2-1 72W シーリングライトにより照明された空間と 40W シーリングライト＋13W ダウンライト×2 灯により照明された空間の明るさ感評価比較

照明方法	明るさ感評価値
72WCLのみ	100
40WCL＋鏡面反射板13WDL	97
40WCL＋白色反射板13WDL	104
40WCL＋斜め天井用13WDL	107

井直付け形照明器具が天井中央に設置された8畳洋室（基準空間）と、40W環状蛍光ランプを光源とする天井直付け形照明器具が天井中央に設置され、13Wコンパクト型蛍光ランプを光源とするダウンライトが部屋奥の天井壁側に2灯配置された8畳洋室（評価空間）とを並列に並べ、被験者はそれらの部屋の外から、これら2つの空間に対する空間の明るさ感を比較する評価を行っている。空間の明るさ感の比較は、基準空間の明るさ感を100とした時の、評価空間の明るさ感を数字で答えさせるマグニチュード推定法により評価させた。表3-2-1に示すように、空間の明るさ感評価は3種類のダウンライトに対して行った。被験者は13名であり、表3-2-1に示されている明るさ感評価値は、これら13名の被験者に対する平均値である。

表3-2-1に示す実験結果では、基準空間の明るさ感に対して、鏡面反射板を有するダウンライトを設置した空間がわずかに低い明るさ感で評価されているという結果になったものの、他の条件である白色拡散反射板を有したダウンライトの条件や斜め天井用のダウンライトを平天井に用いることでより壁面への照明を強くした条件においては、基準空間よりも、より高い明るさ感が得られていると被験者に評価されている。ここで基準空間の総光束が7200lmであるのに対して、評価空間の総光束は5400lmである。すなわち、白色拡散反射板ダウンライトの条件と斜め天井用ダウンライトの条件では、基準空間よりも25%少ない光束で、より高い空間の明るさ感が得られていることになる。もし、ここで基準空間と標準空間が共に同じlm/Wの器具構成であれば、25%のW数減で同じ空間の明るさ感が得られることになる。すなわち、25%の省エネが、1室多灯による効率的な壁面への照明により実現できる可能性を表3-2-1の結果は示しているのである。

同様の照明方法の工夫により省エネが期待できることを示す報告は明るさ感を扱った過去の研究でいくつか見られる。三波長型蛍光ランプにより照明された空間の明るさ感を調査した研究報告では、三波長蛍光ランプにより照明された空間は、従来型蛍光ランプに比べて最大30%少ない水平面照度で、従来型蛍光ランプにより照明された空間と同じ明るさ感が得られると報告されている[1)2)]。また、明石らは、「輝く発光部」が空間に存在すると、それら「輝く発光部」が存在しない空間に対して、最大30%少ない水平面照度で同じ明るさ感が得られると報告している[3)]。このことは、同じlm/Wの点灯回路とランプの構成であったとしても、光源の分光組成や器具の配光を変えることで、30%もの省エネが達成できることを示している。すなわち、以上の一連の結果は、lm/Wの向上がなくても、照明方法の工夫だけで30%の省エネが実現できる可能性を示しているのである。

参考文献

1）金谷末子，吉瀬英雄：光源の色温度・演色性が室内の所要照度に及ぼす影響，National Technical Report，23-4，pp.584-594，1977

2）淵田隆義，富永守，秋山順悦，河本康太郎，森礼於：3波長帯形けい光ランプの照明効果，照明学会誌，65-10，pp.526-533，1981

3）Y. Akashi, Y. Tanabe, I. Akashi, K. Mukai：Effect of Sparkling luminous elements on the overall brightness impression: A pilot study, Lighting Research and Technology, 32-1, pp.19-26, 2000

（岩井彌）

3-2-3 省エネ実現のための今後の課題

以上述べてきたように、lm/W の向上がなくとも、すなわち、従来と変わらない光源と点灯回路の構成によるハードであっても、照明方法の工夫により 30%の省エネを実現することは可能である。また、この照明方法の工夫による省エネを実現させるためには、3-2-1 項でも述べた、平均水平面照度重視の照明設計法からの脱皮が必要不可欠である。なぜなら、照明方法の工夫による省エネ照明方法では、そのほとんどの平均水平面照度は、従来照明方法に比べて低い照度となる可能性が高いからである。この水平面照度重視の照明設計からの脱皮をはかるためには、平均水平面照度だけでは空間の明るさ感は予測できないという事実を明確に示すと共に、平均水平面照度よりも高い精度で予測できる明るさ感評価技術の確立が必要である。「空間の明るさ感は平均水平面照度よりもこの新しい明るさ感評価値を信じたほうが安全である」を明確に示すことができれば、平均水平面照度にこだわることなく、その新しい明るさ感評価値に基づき照明設計が行われるようになるであろう。

明るさ感評価技術の確立に関わる研究は数多く報告されている。空間の明るさ感に強く影響を与える要因を明らかにした研究報告としては、視点を通る水平線を中心とする上下 20° の範囲の平均輝度が空間の明るさ感と相関が高いという結果があり[1)]、視野内に光源のきらめきを配置することで空間の明るさ感が向上するという報告[2)]や、空間の明るさ感を効果的に高める器具発光部輝度の存在[3)]、室の隅角部や壁面の輝度が空間の明るさ感に強く影響を与える報告[4)]などがある。また、複雑な視野上の視対象の明るさ感（ここでの明るさ感は明確な視対象に対する明るさの感覚のことを指す）を輝度分布から予測する方法を用いて、空間の輝度分布画像を明るさ感画像に変換して、その明るさ感画像から空間の明るさ感を予測する評価方法も、まだ研究中の段階ではあるが、提案されている[5)]。

人は照明された空間を観察する時、素早く、かつ自然に、空間内の各対象物そのものの明るさと、その対象物を照明している光の強さを無意識に分離して認識する特性[6)]を持っている。これらの中で照明と関連の深い光の強さの認識は、古崎が「照明印象」という言葉を用い心理量として扱っている[7)]。そして、この人間の照明に対する認識の特性に注目した空間の明るさ感に関する報告もいくつか報告されている。空間の明るさ感は、照明印象の影響を強く受け、その知覚量が大きいほど明るさ感は高くなるという仮説から、空間内装の反射率の影響を予測した報告[8)]や、照明印象とは異なるが、同じ照明に対する認識の程度を示した「空間の光量感」と空間の明るさ感とが高い相関を示したことから[9)]、空間の光量感を認識する輝度分布は拡散的な光によって満たされた空間の輝度分布であるという仮説を立て、この拡散的な光によって満たされた仮想の輝度分布の実際の空間の輝度分布に対する当てはめにより明るさ感を定量的に評価できるという報告[10)]、人間が照明状況を認識することを「照明認識視空間」を大脳に形成すると表現し、その照明認識視空間の大きさを測定する方法を開発し、その方法により測定された照明認識視空間の大きさで空間の明るさ感を評価するという報告[11)]などの、人間の認識に基づく空間の明るさ感評価方法も提案されている。

以上述べてきたように、空間の明るさ感評価技術の開発は、複雑な視野を対象とし、人間の認識による影響も関わっていて非常に複雑な課題を含んでいるものの、着実に進展をしており、将来的に確立が期待できる。

さらに平均水平面照度重視の照明設計からの脱皮を図るためには、平均水平面照度を下げることによる価値を明確に示す必要がある。平均水平面照度を高めるということは高い照度で均一に空間を照らすということである。つまり、この時の人間の眼は高い輝度に順応していることになる。人間は明るさの変化に敏感であるから、高い輝度に眼が順応している場合、その部屋の外の廊下や隣の部屋の「暗さ」に対しては非常に敏感になるという結果を産み、「暗い」のは好ましくないので、廊下や隣の部屋も均一で高い照度で照明したいと言う欲求を生む。この現象を住宅に当てはめると、

最終的には家中のあらゆる空間が均一で高照度に照明しなければ満足されないという結果となり、それが屋外の照明にまで波及してしまうという可能性も出てくる。つまり、均一に明るく照明するということは、反「省エネ」の悪循環を生じるのである。以上の理由により、光源を白熱電球から蛍光ランプに交換することは必ずしも省エネにはつながらないという提言も報告されている[12]。

省エネを考えていくためには、以上の観点から見てみても、平均水平面照度重視の考え方からの脱皮は必要不可欠である。このためには、平均水平面照度を下げることによる価値を創出していく必要がある。平均水平面照度を下げるということは、照度全体を下げるだけでなく、空間の照明を不均一に照明するということも含まれる。過去に報告されているオフィス空間でのタスク&アンビエント照明[13]やパーソナル&アンビエント照明[14]は、最低限必要な照度で空間全体を照明し、視作業に必要な明かりをデスクスタンドなどのタスクの明かりにより視作業の所要照度を確保するという方法であり、不均一な照明により、省エネを実現した照明方法である。このタスク&アンビエントの考えは、住宅においても適用していくべきであると言う提言もある[12]。住宅内をすべて水平面照度 5〜30[lx]レベルでベースライティングし、例えば、読書時には読書灯を点灯させるなど必要に応じて、部分照明をするという照明方法である。このような方法により人の眼は必要最小限の明るさに順応しているため、隣の部屋が暗いということはなくなり、先ほど述べた反省エネの悪循環に陥ることはなくなる。また、5〜30[lx]レベルの照明は、自然に入眠できるための寝る前の明るさとしても適切である[15]。従って、生活全体を考えると 5〜30[lx]レベルでのベースライティングは快適な照明でもある。

以上の方法は、新しい技術を特に必要とすることなく、容易に実現可能である。快適な照明と省エネの両立は、意外にも簡単な方法で実現させることが可能である。このことに早く世の中を気づかせ、平均水平面照度重視へと向いている世の中のベクトルの向きを変えていくことが今省エネのために求められている課題であると言えよう。

参考文献

1）D. L. Loe, K. P. Mansfield and E. Rowlands：Appearance of Lit Environment and Its Relevance in Lighting Design: Experimental Study, Lighting Research and Technology, 26-3, pp.119-133, 1994

2）Y. Akashi, Y. Tanabe, I. Akashi, K. Mukai：Effect of Sparkling luminous elements on the overall brightness impression: A pilot study, Lighting Research and Technology, 32-1, pp.19-26, 2000

3）齋藤良徳，岩井彌：発光部輝度が空間の明るさ感に与える影響，照明学会第 26 回東京支部大会，p.18，1998

4）岩井彌，齋藤良徳，墨貞宏，阪口敏彦：住宅居間の明るさ感－ダウンライトを設置した場合－，照明学会誌，83-2，pp.81-86，1999

5）中村芳樹：明るさと明るさ感，照明学会誌，86-10，pp.746-753，2002

6）池田光男，金子文香：照明認識視空間への初期視覚情報の影響－明度と彩度の場合－，照明学会誌，80-5，pp.319-324，1996

7）古崎愛子：無彩色の心理的属性をめぐって，心理学評論，22-2，pp.160-181，1979

8）岩井彌，齋藤良徳：住宅居間の明るさ感－壁面反射率と明るさ感との関係－，照明学会全国大会講演論文集，p.136，2000

9）石田泰一郎，荻内康雄：空間の明るさ感の心理的決定要因－光源の強さ感と空間の光量感－，照明学会誌，84-8A，pp.473-479，2000

10）荻内康雄，石田泰一郎：仮想輝度分布法による空間の明るさ感の物理的な評価法－均等各三面の場合－，照明学会誌，84-8A，pp.529-533，2000

11）山口秀樹，篠田博之，池田光男：照明認識視空間の明るさサイズの測定による実環境における空間の明るさ感の評価，照明学会誌，86-11，pp.830-836，2002

12）河原武儀：正しいあかりの省エネ，住まいと

電化，2001年7月号，pp.53-54.
13）P. L. Shellko and H. G. Williams：The Integration of task and ambient lighting in office furniture, Lighting Design and Application, 6-9, pp.14-23, 1976
14）明石，向，坂上，田辺：省エネルギーと快適性との両立を目指したオフィス照明システムーパーソナル&アンビエント照明方式の実用化ー，National Technical Report，43-2，pp.84-94，1997
15）小山恵美：入眠を促進する光の環境，第6回日本睡眠環境学会大会報告集，pp.38-43，1997

（岩井彌）

4-1 光害への取り組み

4-1-1 光害と社会的背景

光害とは「良好な照明環境の形成が、漏れ光によって阻害されている状況又はそれによる悪影響」と定義される。屋外照明設備からの漏れ光問題が国際的に大きく取り上げられたのは、1988年の CIE(国際照明委員会)と IAU(国際天文学連合)とが開催したシンポジウムが最初とされ、そのシンポジウムで人工衛星から見た地球の写真によって日本が世界で一番明るい国として非難されたようである。

光害は周囲環境に様々な悪影響を及ぼす。その例としては図 4-1-1 に示すように、夜空が漏れ光の増大による天文観測の妨げ、ウミガメの産卵などの野生動物への影響、イネの生育障害などの農作物への影響、まぶしさによる交通機関や住民の安眠妨害の影響、など多岐に及ぶ。これら悪影響を及ぼす光のうち、照明器具から照射される光で、その目的とする照明範囲以外に照射される光を漏れ光と言い、照明器具水平面から上に照射される光を上方光束と呼ぶ（図 4-1-2)。

照明器具から漏れる光といっても様々である。街路灯、防犯灯、ライトアップなどで使用される投光器、看板灯、自動販売機、他にはビルの窓などから漏れる光もある。これらの比率は明らかになってはいないが、目的以外の範囲に照射される光は生態系へ影響を与えるだけでなく、エネルギーの無駄遣いであることは間違いない。京都会議（COP3）に代表されるように、環境負荷の低減がキーワードとして叫ばれるなかで、これら光害の抑制が CO_2 の削減に資することにも繋がるとし、様々な調査研究や取り組みが行われるようになった。

（魚住拓司）

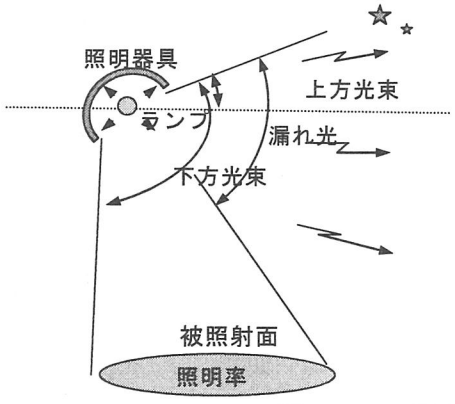


図 4-1-2 用語とその関係

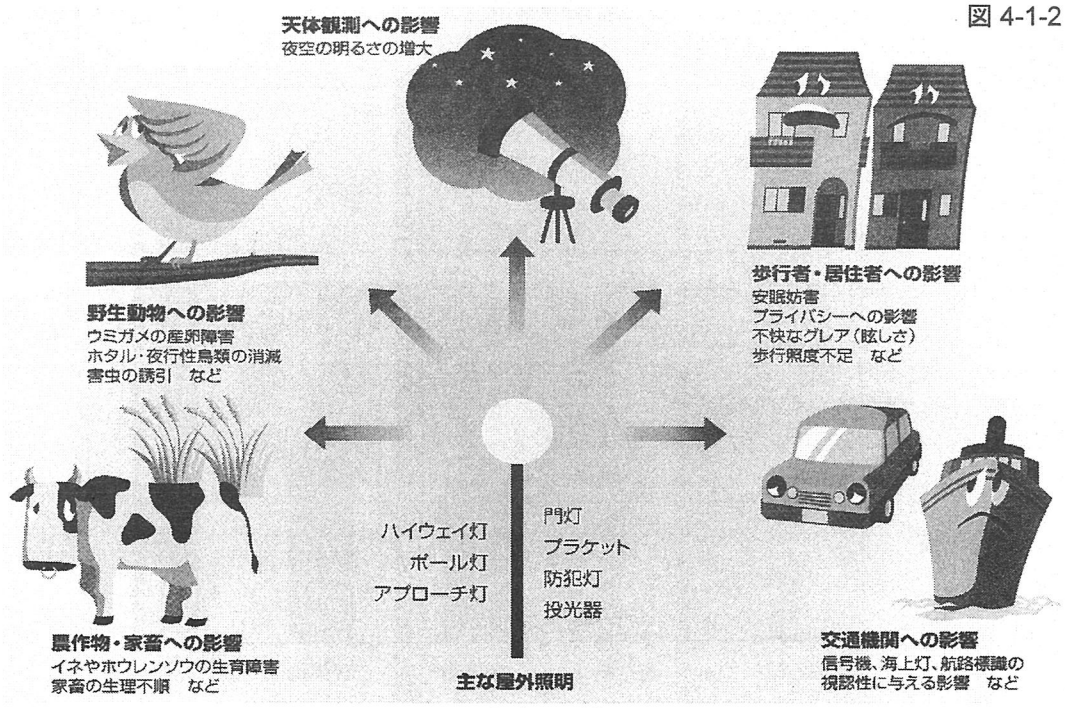


図 4-1-1 光害の種類

4-1-2 屋外照明の実態調査

照明学会は我が国の光害の実態として、環境庁大気保全局（現環境省）などの協力を得て、一般屋外照明設備（屋外スポーツ施設を除く）と内照式看板を対象に、主に上方光束に関する調査１）を行った。期間は 1996 年 1 月～8 月で対象地区は次の 7 地区である。

U国立公園集団施設地区	（約 78.0ha）
東京都内S地区住居地域	（約 10.6ha）
同商業地域	（約 5.8ha）
埼玉県K地区郊外地域	（約 14.2ha）
同田園地域	（約 17.6ha）
愛知県N地区都心商業地域	（約 7.9ha）
同業務地域	（約 15.0ha）

この調査によれば、屋外スポーツ施設や建築物からの漏れ光を除いた場合の上方光束の構成は、その大半がポール灯、HID 投光器、内照式看板で占められている（図 4-1-3）。照明器具１台当たりの上方光束比の平均値は、HID 投光器の 39.3%、ポール灯の 21.8%、内照式看板の 21.1%が大きく、ハイウエイ灯では 2.5%と小さかった。

単位面積当りの上方光束（図 4-1-4）は、都心部と商業地区で多く、K 地域が 0.33lm/㎡であるのに対し、N 商業地区では 28.8lm/㎡であり、約 86 倍の光束密度であると推定される。

参考文献

１）㈳照明学会　照明光の環境への影響特別研究委員会：屋外照明などの国内実態に関する調査，平成 9 年

（魚住拓司）

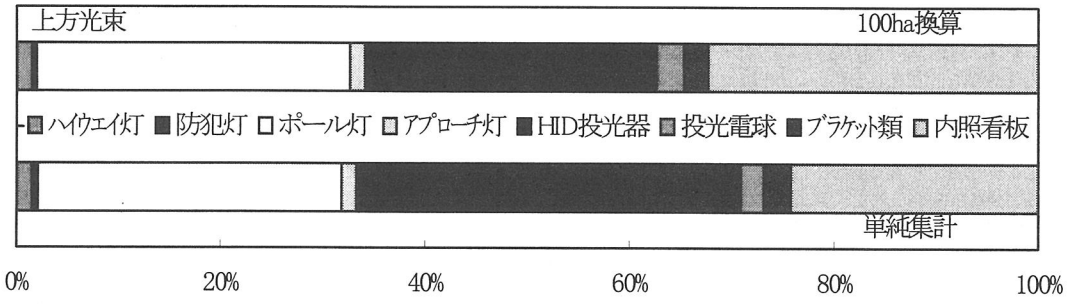


図 4-1-3 上方光束の構成

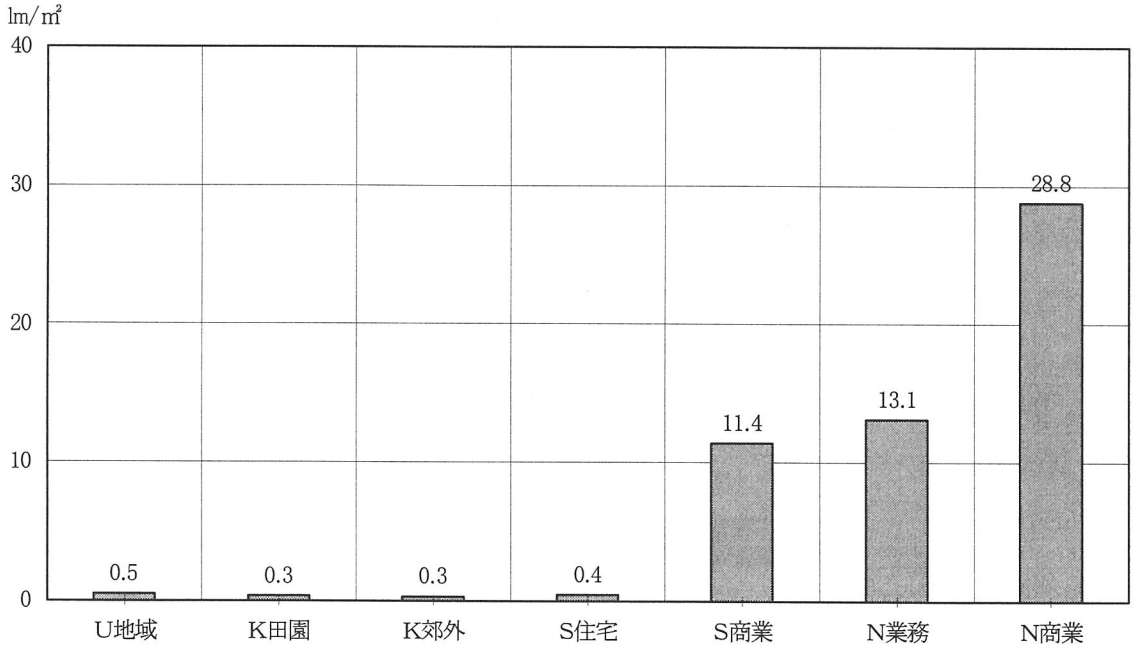


図 4-1-4 地区別の単位面積当たりの上方光束

4-1-3 環境省／光害対策ガイドライン

環境省は実態調査の結果を受けて、1998 年 3 月、不適切な照明による天体観測、動植物の生育などへの影響を防止し、良好な照明環境（望ましい光の環境）の実現を図り、地球温暖化防止などを目的に「光害対策ガイドライン」を策定した[1)]。

このガイドラインでは、自然公園、郊外、都市中心部など地域特性に応じた表 4-1-1 に示す 4 つの照明環境の類型を設定し、各地方自治体に対して、これらの類型を踏まえて「地域照明環境計画」を策定するよう提案している。その上で、照明機器メーカー、施設整備者、広告物設置者などの関係者が照明環境の類型に即して適切な対応ができるように、「街路照明器具のガイド」、「屋外照明等設置チェックリスト」及び「広告物等のガイド」の 3 つの詳細な屋外照明のガイドラインを提示した。

光害対策ガイドラインは、屋外照明にかかわる大気生活環境保全上の問題に対して、行政、製品の供給者、照明環境設計者、照明設置者、照明使用者並びに地域住民が取組むべき課題を抽出するとともに、技術的・制度的指針を示すものである。

a) 街路照明器具のガイド

街路照明器具のガイドでは、省エネルギー面から高照明率と総合効率の下限値とを推奨し、漏れ光・障害光面からは上方光束比とグレアを規定している。

(1) 照明率

照明率が高くなるような設置、高い照明率を確保するための機器開発を推奨する。

(2) 上方光束比

街路照明器具の選定は、環境類型によって使い分け、表 4-1-2 の上方光束比の性能を有する器具を推奨する。上方光束比とは，ランプ光束(ランプから照射される光の量)に対する上方光束の比率である。数値が小さいほど光がよく制御されており、例えば照明器具水平面から上方向への光が一切ない場合は 0%となる。

(3) グレア

グレアは既存の JIS・技術指針に準拠する。街路灯などは照明学会・技術指針「歩行者のための屋外公共照明基準」における「グレア制限」の項

表 4-1-2 上方光束比の推奨

類型	「あんしん」の街路照明器具	「たのしみ」の街路照明器具	
		短期的目標における推奨基準	行政による整備の推奨基準
照明環境Ⅰ あんぜん	0%		
照明環境Ⅱ あんしん	0～5%		
照明環境Ⅲ やすらぎ		0～15%	0～15%
照明環境Ⅳ たのしみ		0～20%	

表 4-1-1 照明環境の類型

類型	照明環境関連イメージ	夜空のイメージ	各照明環境の達成イメージ
照明環境Ⅰ	あんぜん	星降る里	・主として自然環境への影響が大きいところ ・屋外照明密度：小 ・障害光の可能な限りの低減
照明環境Ⅱ	あんしん	天の川	・集落、郊外住宅地 ・道路、街路灯が主（屋外照明密度：小） ・障害光に対する厳密な配慮が必要
照明環境Ⅲ	やすらぎ	北斗七星	・都市部住宅地 ・屋外照明密度：中 ・適切な照明設置を進める
照明環境Ⅳ	たのしみ		・都市中心部、繁華街 ・屋外照明密度：大 ・適切な照明設置を進める

目に従う。なお、HIDランプを使用する場合には、器具の透過材を通して、歩行者の目に光源が入らないように配慮する。

(4) 総合効率（安定器損を含む）

街路照明器具で使用するランプは、Wに応じて以下の総合効率を満たしているものを推奨する。総合効率とは、ランプ光束を消費電力(W)で割ったものであり、数値が大きいほど少ない電力で、ある量の光を照射していることになる。代表的なHID ランプの一つである水銀ランプは以下の総合効率を下回っており、このガイドラインでは推奨されない。HIDランプの中でも高圧ナトリウムランプやメタルハライドランプは、水銀ランプに比べて高効率であり、推奨値を大きく上回っている。

ランプ入力 200W 以上 ： 60 lm/W

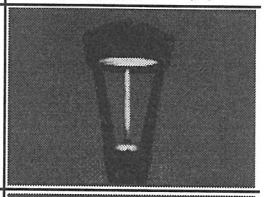
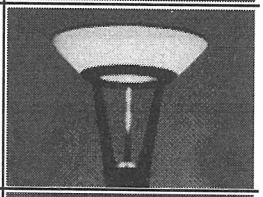
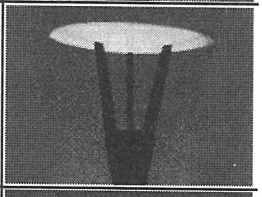
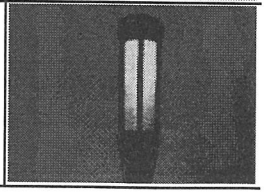
ランプ入力 200W 未満 ： 50 lm/W

参考文献

1）環境省：光害対策ガイドライン，平成 10 年

（魚住拓司）

表 4-1-3 光害対策用街路照明器具の例

類型	上方光束比	照明器具の例
照明環境Ⅰ	0%	
照明環境Ⅱ	0%～5%	
照明環境Ⅲ	0%～15%	
照明環境Ⅳ	0%～20%	

4-1-4 光害対策モデル事例

環境省は平成 10 年度、光害対策ガイドラインの普及を図ることを目的に、「地域照明環境計画」を策定するモデル事業を、名古屋市（愛知県）、鹿嶋市（茨城県）、筑紫野市（福岡県）、東栄町（愛知県）、輝北町（鹿児島県）及び衣川村（岩手県）の 6 自治体で実施した[3)]。実施内容は、これらの自治体に以前から設置されていた表 4-1-4 左図の丸グローブタイプの街路灯から、右図の「光害対策ガイドライン」に沿った照明器具に改修し、改修による省エネなどの効果を定量的に評価するものである。その結果の一例を表 4-1-5 に示す。

この結果が示すように街路灯の上方光束を抑制し、効率の高いランプと組み合わせるだけでも、大幅な省エネルギー化が図れることがわかる。

参考文献

1）環境庁大気保全局：地域照明環境計画策定マニュアル，平成 12 年

（魚住拓司）

表 4-1-4 モデル事業の街路灯の例

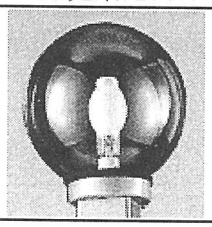
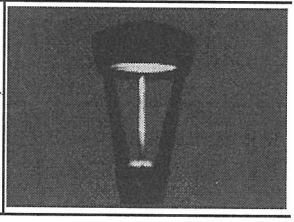
改修前 上方光束比50%	改修後 上方光束比3.7%
	

表 4-1-5 改修による効果

評価項目		改修前	改修後	効果
もれ光	上方光束比[%]	50.0	3.7	93%削減
	上方光束[lm]	11,000	370	97%削減
	近隣ビルの壁面輝度[cd/m^2]	1.0	0.09	91%削減
グレア	照明器具の輝度[cd/m^2]	9,540	790	1/12に削減
照明効果	路面の照度[lx]	1.4	7.3	5.9lx増加
省エネ	入力電力[W]	435	185	57%削減
	総合効率[lm/W]	50.6	54.1	7%増加
	年間電力費[円]	40,020	17,020	57%削減

4-1-5 まとめと今後の課題

本稿では光害の概要、その実態、国の施策、モデル事業による省エネ効果、について紹介した。光害対策によって、大幅な省エネルギー効果はもちろんのこと、人間を含めた動植物の生活に非常に有益であることがお分かりいただけたと思う。

しかし、街中を歩いてみると未だに上方光束を十分に制限していない街路照明器具が多く設置されているのが現状である。これは光害対策ガイドラインが世の中に出てからまだ日が浅く、国、自治体、ユーザー、設計者、施主などにその知識が十分に浸透していないのが原因の一つではないだろうか。川上[1)]は、照明器具を供給する側の照明設計者にも意識や制度上の問題があるとし、例えば欧米においては照明設計について、デザインから効率まで総合的に判断し、最終決定する「照明環境設計者」の地位が確立されている。日本においても、光害防止を含めて、総合的に判断できる人材が今後さらに求められ、公的な資格制度や、教育・研修制度の確立などを実施していく必要があるとしている。また村松ら[2)]はコンジョイント分析という手法を用いて、人々の光害に対する経済的価値観と他の価値観との関係を分析し、結果として人々が光害に対して投資しても良いとする金額が、他の投資と比較して低いことを明らかにした。これは我々日本人の照明に対する価値観が相対的に低いこと、言い換えれば照明に関する教育や啓蒙が不十分であることを示している。

これらの問題点を解決し、人と地球にやさしい光環境を創造するためにも本照明合理化の指針がその一助となれば幸いである。

参考文献

1）川上：光害問題に関する国内外の動向，第 17 回日本照明委員会大会講演予稿集，㈳日本照明委員会，平成 13 年

2）村松ら：光害に関する経済的価値，照明学会誌，第 85 巻，第 2 号，(社)照明学会，平成 13 年

（魚住拓司）

4-2 ビルからの漏れ光の実態

4-2-1 実態調査の目的

これまでに述べてきたように、光害の問題としては屋外照明器具が重視され、ガイドラインも器具に対する規制が主体である。光害に関する調査では、ライトアップ用の投光器が上方光束の多い器具として取り上げられている[1)]。また、天空輝度の測定では、ライトダウン時の天空輝度はライトアップ時の約65%となり、ライトダウンは効果的であることが示されている[2)]。しかし、光害の原因は屋外照明器具だけではない。航空写真で日本の夜景をみると、道路照明の影響はほとんど無いにも関わらず、都市周辺の明るさが目立つ。これはライトアップなどの屋外照明だけでなく、ビルの窓面から放たれる光の影響も無視できないためと考えられる。

ビルからの漏れ光が天空へ与える影響を直接確認する事は難しいが、建物の窓面からは、室内の光が屋外に向けて上へも下へも放出されている。よって仮に窓を完全拡散面と仮定した場合、地表面に受けるのと同じだけ上方にも光を放出していることになり、地表面での照度測定により上方へ放出する漏れ光の大きさを知ることができる。

本節では実際にビルがどのくらい光を放出しているのかを把握するため、都心の公園において夜間の調査（照度測定、輝度測定、写真測光）を行った。あわせてシミュレーションを行い、ビルからの漏れ光影響の大きさを明らかにした。これらの結果から、今後の光害対策の一手法として、ビルからの漏れ光低減が提案される。

参考文献

1）川上幸二他：屋外照明の実態調査—屋外照明設備の実態調査—　平成8年度照明学会全国大会第30回全国大会梗概集　p.293

2）飯塚哲英他：屋外照明の実態調査—市街地のあかりと夜空の明るさ関連調査，平成8年度照明学会第30回全国大会梗概集 pp.294-295

4-2-2 調査方法

ビルからの漏れ光調査は、2002年10月8日にH公園にて行った。公園内の約100×50mの花壇では、街路灯は周囲に設置されているが中央部も明るい。影のできる方向により花壇正面にあるビルから漏れてくる光に照らされていると推測された。公園に光を放出していると考えられたビルA、B、Cと測定位置の関係を図4-2-1に示す。測定項目を表4-2-1に示す。測定に使用した機器は輝度計（ミノルタ製 LS-100）、照度計（ミノルタ製 T-10M）、デジタルカメラ（Nikon CoolPIX 5000）、カメラ用魚眼レンズ（Nikon FC-E8）である。

（大場奈緒子）

表4-2-1 測定項目

項目		測定点	時刻
窓面輝度		ビルA、B、Cの各9点	18:30
水平面照度分布		図1　15ポイント	18:30
照度時間変動		図1　a、b	18：30 19：15 20：00 20：30
写真測光	水平面	図1　a、b	
	鉛直面	図1　a、b	
写真測光点照度	水平面	図1　a、b	
	鉛直面	図1　a、b	

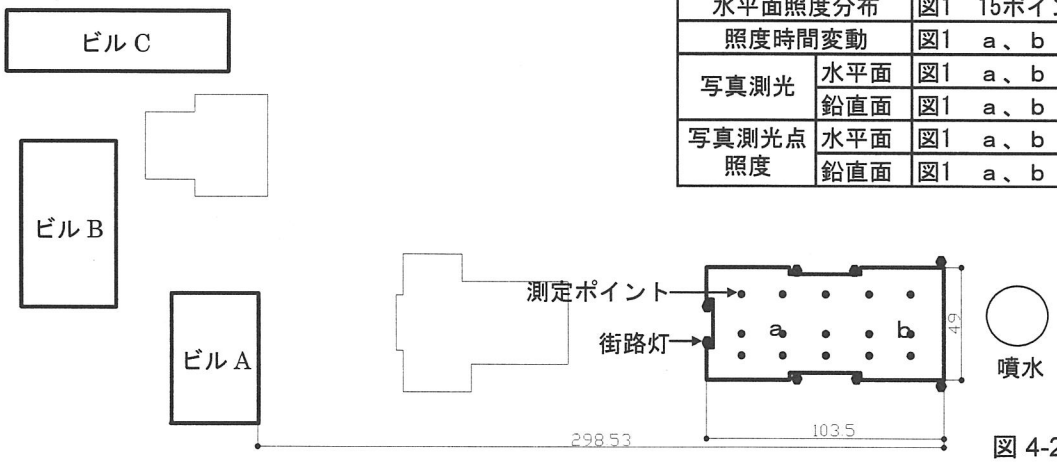


図4-2-1 配置図

4-2-3 調査結果

a) 窓面輝度

輝度計により測定したビルの窓面輝度は、ビルAで100～250cd/m²、ビルBで30～140 cd/m²、ビルCで100～170 cd/m²であった。各建物とも窓面による輝度の違いがあった。これは、同じ室内でも点灯部分と消灯部分があり、この影響が大きかったことによる。

b) 照度

18時30分の公園花壇内照度分布を図4-2-2に示す。花壇内における照度は2～3.5lxで、分布はビル側と噴水側において低く、中心で高い結果を得た。ビル側が低くなったのは、測定点とビルとの間にある建物や、木などの障害物により、ビル窓面からの影響が少なかったことによる。

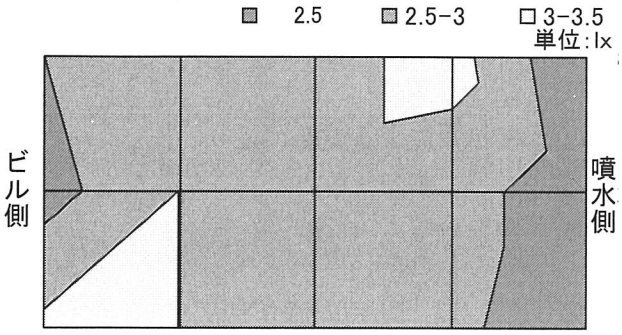


図 4-2-2 照度分布

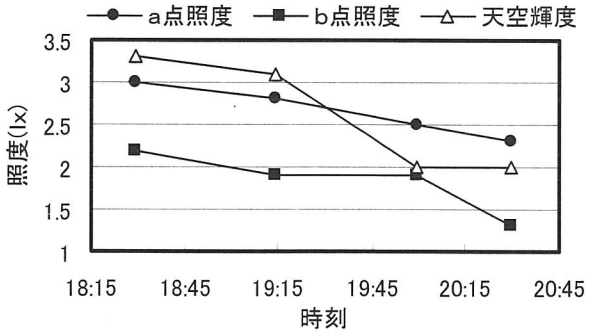


図 4-2-3 照度、輝度時間変動

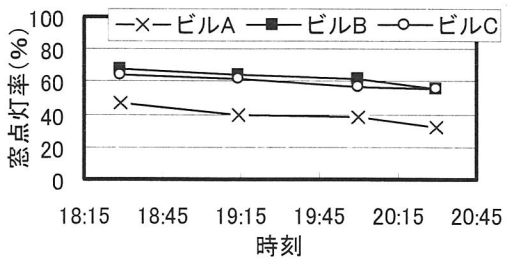


図 4-2-4 ビルの点灯率時間変動

同じ測定点での照度、輝度の時間変動を、図4-2-3に示す。図4-2-4に示すように時刻経過と共にビルの点灯窓が減るが、これに伴いa、b点とも照度が低くなっていった。これより測定位置では照明点灯による影響を受けていることがわかる。また天空輝度も点灯窓の減少と共に低くなった。このことは、ビルの照明点灯は天空へも影響を与えている事を示唆している。

c) 写真測光によるビル、天空、街路灯別の照度

写真測光からの照度算出は式(1)を用いて計算した。輝度は写真の階調値から計算し、立体角投射率は写真の点灯窓部分、街路灯部分、天空部分の面積から求めた。

$$E=\pi \Sigma Li\cdot\phi i \qquad \cdots\cdot(1)$$

ここで、 E=照度

Li=各部分の輝度

ϕi=各部分の立体角投射率

18：30のb点の鉛直面、水平面の測光写真（絞り2.8、シャッタースピード1/2）を図4-2-5、4-2-6に示す。漏れ光が大きいと考えられるビルは図4-2-5では中心に、図4-2-6では中心下部である。他のビルに比べて明るい。

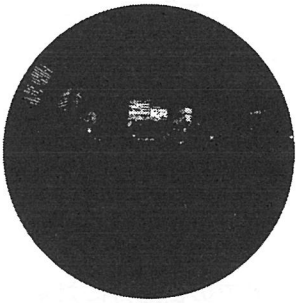


図 4-2-5 写真測光：点b（鉛直面撮影写真）

図 4-2-6 写真測光：点b（水平面撮影写真）

b 点において算出したビルからの漏れ光、天空反射、街路灯からの水平面照度はそれぞれ全体の28～35%、48～57%、15～17%で天空照度が一番多く、次にビル漏れ光による照度であった。街路灯からの照度に対するビルからの漏れ光、天空反射の時刻変動を図 4-2-7 に示す。点灯窓減少と共に、漏れ光が減少していることがわかる。天空の反射分は天空の状態によって異なる。天空状態の違いによる合計照度（漏れ光＋天空）の変化範囲の推定を図中網掛け部で示した。

（大場奈緒子）

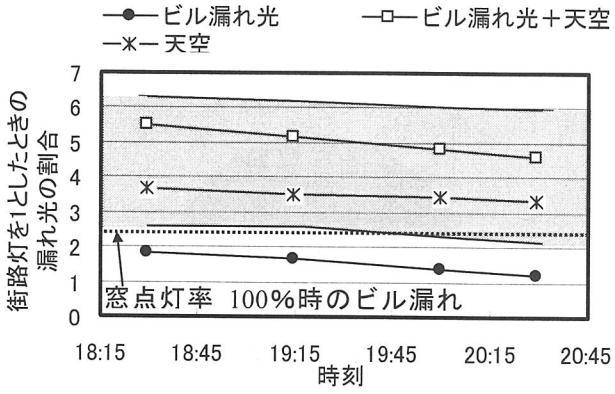


図 4-2-7 写真測光での街路灯に対する漏れ光照度

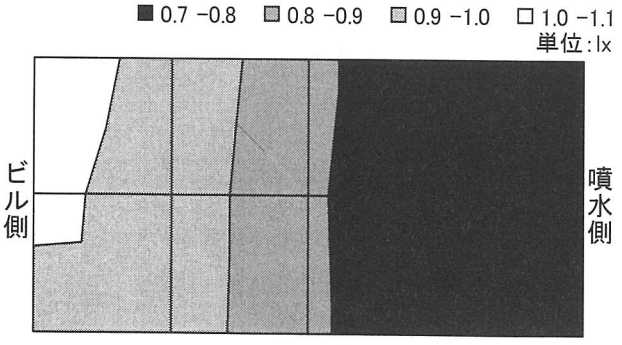


図 4-2-8 計算によるビル漏れ光照度分布

4-2-4 漏れ光予測方法

ビルからの漏れ光分のみを取りだし、また漏れ光を計算で予測できる様にする為、計算値と実測値の比較・検討を行った。

a) ビルからの漏れ光シミュレーション

あらかじめビルと照度測定場所との位置関係、建物立面図より窓の位置と大きさを確認して立体角投射率を求め、窓面の光束発散度を乗じて測定点におけるビルからの漏れ光照度とした。天井光源からの直接分は光天井と仮定し、面対面の立体角投射率を用いて窓面に入射する光束を求めた。また間接分は作業面照度を算出し、反射率を乗じて窓面に入射する光束を求めた。直接分と間接分の光束の計を壁面積で除して窓面光束発散度とした。

b) 街路灯からの照度計算

街路灯の配光データよりシミュレーションにて算出した。

c) 天空拡散による照度

前述の写真測光を用いて、写真による天空輝度と立体角投射率から算出した。

4-2-5 実測値と計算値

ビルからの漏れ光シミュレーション値、街路灯の照度計算値、天空照度計算値を合計、実測値との比較を行った結果、約 18%の誤差があった。原因としては各測定点における見える窓が正確に取れなかったことや、照度計が正確に水平を取れなかったこと等が考えられる。しかし、漏れ光計算値と写真測光からの漏れ光の照度に、有意な差はなかった。測定点における 18:30 のビル漏れ光の照度分布を図 4-2-8 に示す。

（大場奈緒子）

4-2-6 ビルからの漏れ光影響の大きさ

図 4-2-7 よりビルからの漏れ光は、天空輝度にも大きく影響を与えていることがわかる。その影響の大きさは天空の状態（反射率）にもよるが、ビルからの漏れ光は窓からの直接分に天空反射を加えた照度と考えられる。実測照度に対するビルからの漏れ光と天空が占める照度の割合を図 4-2-9 に示す。実測照度の 60～100%をビルからの漏れ光(天空を含む)が占めていることがわかった。

また、窓外へ捨てられる光束から捨てている電力を求めた。全照明電力に対し、5%前後を捨てていることになった。また 1 時間当たりの捨てている電力を蛍光灯の本数で示したものを図 4-2-10 に示す。ビルAのように床面積 1500m²、30 階建て程度の建物では 40W 蛍光灯 900 本分の電力を捨てていることになる。1 日 3 時間点灯した場合、3 ビルは年間で蛍光灯 1968467 本分の電力を捨てることになる。

（大場奈緒子）

4-2-7 結論

光害は現在まで照明器具の上方光束によるものと考えられていたが、本説ではビルからの漏れ光実測により、ビル窓面からの光放出も大きく影響を与えていることを示した。高層ビルが立ち並ぶ現在、ビルからの漏れ光対策の検討が必要なことが示唆された。例えば、ブラインドを閉めた場合を想定して漏れ光シミュレーションを行うと、現在の漏れ光の 1/10 程度になる。また夜間照度を何割か落とした場合、照度を落とした分かそれ以上の漏れ光低減が見込まれる。このようにして今後、ビル室内の夜間照度や、夜間の窓のあり方について検討する必要がある。

（大場奈緒子）

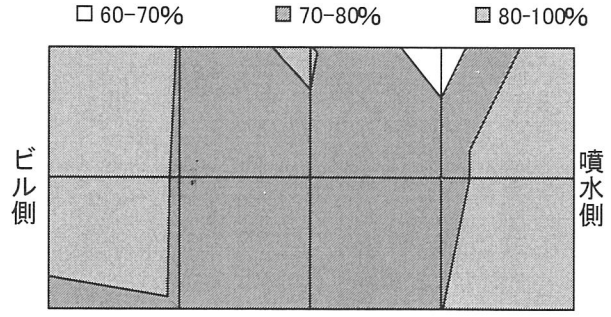


図 4-2-9 実測照度のビルからの漏れ光が占める割合

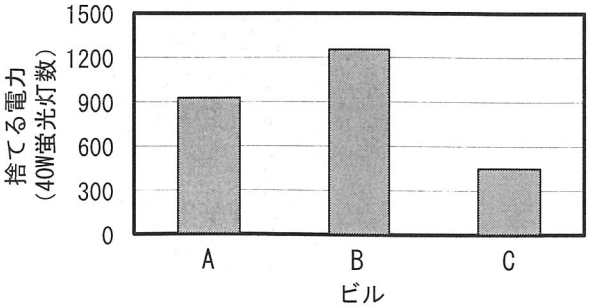


図 4-2-10 1 時間あたりの捨てる電力(40W 蛍光灯数)

4-3 歩行空間の照明

夜間、道を歩いていたり、自動車を運転したりしていて最も目に付くものはなんだろう。道路や歩道を照明する器具より、明るく目立つもの。それは自動販売機やコンビニエンスストアではないだろうか？

自動販売機もコンビニエンスストアも自己の存在を際立たせるために、自ら発光しているかに見える。もちろん、どちらも商品をより見やすくするために明るく照明しているのであるが、夜間、暗い道に浮かび上がるそれらは、発光体のように感じられる。図 4-3-1 は自動販売機から約 4.5m 離れた場所からデジタルカメラで撮影した画像（絞り：F5.3、シャッタースピード：1s）である。画面の左右にある道路灯と同程度の明るさがあることがわかる。

ところで、歩行空間の照明基準は平均水平面照度だけでなく、最小鉛直面照度も規定されている。歩行者の足元の安全に必要な路面の明るさだけでなく、防犯という観点から、他の歩行者の様子がわかることが求められている。最近の歩行空間の照明には、ポール灯などのような上から路面を照明するものだけでなく、低位置で路面と歩行者を照明するものがある。このようなヒューマンスケールの照明は、空間に親しみやすさや温かみを与えるだけでなく、防犯上も有効であると考えられる。

自動販売機は商品を照明しているが、同時に歩行者（購入者）も照明している。筆者が測定した自動販売機の場合、販売機から約 30cm 離れた場所に立った購入者の顔面照度は 300lx を越えていた。したがって、歩行空間における鉛直面照度の向上に寄与するところは大きいと考えられる。また、ショーウインドウにはポール灯などの照明にはない安心感を与える効果があるという。自動販売機にもこのような効果が期待できないだろうか。景観や光害を考慮し、歩行空間の照明としての機能を持った自動販売機なら、利用したくなるかもしれない。自動販売機の電力消費量は大きく、単なる照明器具としては甚だ効率が悪いが、自動販売機の存在を考慮することで、照明器具の点灯を削減することができれば、有効利用といえないだろうか？

最近、人感センサー付の玄関灯や門灯を設置する住宅がある。訪問者や帰宅者を迎えると同時に、侵入者を知らせる効果があり、省エネルギーにもなる。このような技術を歩行空間の照明に応用できないだろうか。歩行者にとっては数 10 メートル先の様子がわかるように照明を点灯させるが、通過後しばらくしたら出力を小さくすることで、電力量が削減できると考えられる。また、他の歩行者の位置もわかりやすいので、防犯の面からも効果が期待できると思われる

参考文献

1）日本建築学会編：光と色の環境デザイン，オーム社，2001 年

2）面出薫：照明探偵団，鹿島出版会，1993 年

（戸倉三和子）

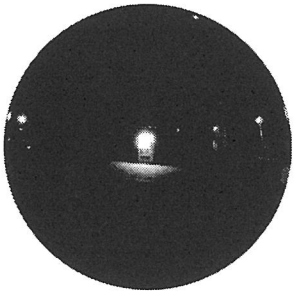


図 4-3-1 自動販売機とその周辺

第５章　光環境教育への提言

今から22年前の1981年に「照明合理化の指針」が作成された。1-1に述べたように、この指針は、1973年と1979年の2回にわたって起きた“石油危機”とよばれる社会現象によって浮かび上がった省エネルギー（省エクセルギー）の要請に対応するものであった。

その後、1980年代の後半から1990年代後半へかけては、地球環境問題の存在が多くの人々に認識されるようになり、照明の省エクセルギーは、特に地球温暖化防止のために要請されるようになった。

“エネルギー使用上の合理化の基準”における照明関連項目では、照明効率のよい電灯照明システムの計画・設計を行なうこと、昼光照明と電灯照明の融合したシステムを構築すること、電灯照明のスケジュール制御・人感制御の運用を行なうことなどが取り上げられている。

この報告書では、まず「照明合理化の指針」作成後の約20年の間に現れた照明の計画・設計・運用の仕方について概観し、電灯照明の効率向上、昼光照明と電灯照明の併用技術、昼光照明の採用事例などが現れていることを確認した。また、現在の電灯照明によるエネルギー使用量や環境負荷についても示した。

次いで、「消費」とは何かを定量的に明示的に表現できるエクセルギー概念によって照明システムの成り立ちを記述し、電灯照明が極めて大きなエクセルギー消費の上に成り立っていること、昼光照明も日射エクセルギーの消費によって行なわれること、昼光照明のしかけは日射エクセルギー消費の道筋を照明のために変えるものであることなどを示した。

さらに、光とヒトの生理・心理の関係を概観した。光がサーカディアンリズム形成に重要な役割を果たしていることを示し、照明はヒトの視覚に関わることだけを目的に計画されるべきではないことを述べた。また、ヒトの明るさ感とそれに基づく光環境調整行動が昼光照明によく暴露されているか、それとも電灯照明によく暴露されているかによってかなり異なることを示し、ヒトの明るさ感を重視した電灯照明では、小さなエクセルギー消費でも十分な快適性が得られる光環境が実現可能であることなどを紹介した。

また、屋外の電灯照明による光害だけでなく、建築内部の光環境形成に用いられている電灯光が、夜間には屋外環境を不必要に照明してしまっている実態を紹介し、エクセルギーの浪費が起きていることを示した。

以上述べてきたことは、主として、照明計画や照明設計に携わる人々、すなわち専門家の間で認識を深めていくべき事柄である。今後の照明合理化は、一つには専門家の意識の変容があって始めて実現していくものと考えられる。できるだけ小さなエクセルギー消費でよりよい光環境を形成できるような提案ができることが専門家の役割である。その方向を目指した照明の専門家教育が重要と考えられる。

ハードウェアの効率向上など技術革新は照明合理化に欠かせないが、それ以上に欠かせないのは、このような技術や昼光利用によって実現すべき光環境の具体的なイメージを専門家の間で作り上げ共有して、専門家の意識を徐々に変容させていくことである。多くの専門家を抱える学会として、このような方向へ向けての情報提供を積極的に行なっていくべきではないだろうか。

たとえ専門家の意識が十分に高くても、それだけで良い設計ができるとは限らない。専門家は非専門家からの依頼で光環境計画を行ない、照明システムの設計・建設を行なう。したがって、非専門家がどのような光環境を望んでいるかが専門家に少なからず影響を与える。そこで、専門家の意識向上のための教育とともに、今ひとつ考えていかなくてはならないのは、非専門家の教育である。

非専門家は、それまでに自分の経験を通して知っている光環境のイメージに基づいて専門家に

対して依頼を行なうから、専門家と非専門家は、長い時間のスパンを考えると、互いにフィードフォアード（あるいはフィードバック）し合う関係にある。現状では、残念ながらこのフィードフォアードが「豊かな光環境」を形成する方向には進んでいない。

「豊かな光環境」に対するイメージ形成の鍵を握っているのは、実のところ非専門家である。このことを広く知ってもらえるような「光環境教育」方法の開発と実践とを学会として考えること、そして、学校教育に限らず、様々な教育機会をとらえて「豊かな光環境」について考えることも「合理化」を実現していくための方法だろう。

参考文献

1）森一顕，荒嶽慎，斉藤雅也，宿谷昌則：建築環境に対する子供の意識形成に関するワークショップによる研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.491-494，2000年9月

2）大森栄佳，斉藤雅也，三井所清史，宿谷昌則：熱環境体験小型模型を用いる住環境教育の方法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.453-456，2001年9月

3）大森栄佳，宿谷昌則：光環境をテーマにした住環境教育の方法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2003年9月

4）宿谷昌則：住環境教育とその研究の試み，日本建築学会大会 環境工学部門・地球環境部門研究協議会資料集「地球環境時代における住環境教育のあり方―環境工学研究者はいかに貢献できるか―」，pp.23-26，2002年8月

（宿谷昌則・岩田利枝・戸倉三和子・浅田秀男）