

明るさ感と省エネを両立した新たな 照明設計手法の提案

岡 滉¹・小谷 寛之¹

¹大臣官房官庁営繕部 設備・環境課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-2)

事務庁舎等の建築物において消費されるエネルギーのうち、照明設備によって消費されるエネルギーは多くの割合を占めており、建築物の省エネを図る上で、照明設備の省エネは必要不可欠である。そこで、事務室において人が在席しているか不在かを検知し、調光を行うことで、省エネを図ることができる手法（以下、在/不在制御とする）に着目して検討を行った。

本論文では、官庁施設において在/不在制御を導入するにあたり、不在エリアを減光することで生じる不快感及び空間の明るさ感について考察し、それらを考慮した在/不在制御の設計手法の提案及び、在/不在制御による省エネ効果に関する検討結果を述べる。

キーワード 照明設備、在/不在制御、微動検知人感センサ、省エネルギー、建築物、政府実行計画

1. はじめに

我が国では、消費エネルギー量の低減及び温室効果ガスの排出量削減を目標に、様々な施策を展開している。「第5次エネルギー基本計画」（平成30年7月閣議決定）では、「2020年までに国を含めた新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）を実現することを目指す。」とされており、「政府がその事務及び事業に関し温室効果ガスの排出の抑制等のため実行すべき措置について定める計画」（平成28年5月閣議決定）においては、「2013年度を基準として、政府の事務及び事業に伴い直接的及び間接的に排出される温室効果ガスの総排出量を2030年度までに40%削減することを目標とする。」とされている。これらの計画を遵守するためには、建築物のより一層の省エネの推進を図る必要がある。

事務庁舎等のオフィスビルにおいて、照明設備は全体の約25%もの消費エネルギーを占めており^{1) 2)}、建築物の省エネルギーを図る上で、照明設備の省エネは必要不可欠である。そのため、従来より明るさセンサによる昼光利用制御、初期照度補正制御、プログラムタイマ制御など、様々な手法を用いて照明設備の制御を行うことで、省エネに寄与する取組が図られている。近年では、在/不在制御と呼ばれる制御手法が、主に民間にて先進的に採用されるケースが見られている。

(1) 事務室における照明機能について

事務室における照明設備の目的は、大きく分けて次の2つが考えられる。

- ・作業領域において対象を正しく、明瞭に見えるようにする（作業領域における必要照度の確保）

- ・周囲の環境や状況を把握でき、適度な明るさの印象が得られるようにする（空間の明るさ感の確保）

上記の目的のもと、従来より官庁施設の事務室における照明設計においては、机上作業で必要とされる照度を目標として室全体を均一に照らす、全般照明方式によって設計が行われている。全般照明方式では、完成後のレイアウト変更等によらず、室の至る部分で机上作業に必要な照度を確保でき、空間の明るさ感も十分に満足できる一方で、通路部分や、人が不在となっている部分など、高い照度を必要としない部分においても必要な箇所と同等に明るく照らしていることから、省エネの観点からは、削減の余地があると考えられる。

現状では、省エネのため、高い照度が必要とされない箇所の蛍光灯ランプをはずしたり、スイッチによって消灯するなど、運用段階において対応を図られている場合もあるが、空間の明るさについて考慮されていない場合が多く、官庁施設としての機能及び快適性が損なわれている懸念がある。

また、天井に設置してある照明器具（アンビエント照明）は必要最低限の明るさとし、各机にタスク照明を設置することで作業領域の照度を確保する、タスク・アンビエント照明方式もあるが、省エネ効果が大きい反面、タスク照明のオンオフの煩雑さや、タスク照明のまぶしさ、周囲の空間の明るさ感の不足により暗く陰鬱な印象を与えてしまうことなどから、これまであまり普及していない状況にある³⁾。

(2) 在/不在制御について

前述のタスク・アンビエント照明方式に代わる照明制御手法として、近年民間にて先進的に導入が図られている制御手法に、事務室における在/不在制御がある。事

務室における在/不在制御とは、人が在席しているか、不在（離席）かをセンサを用いて自動で検知し、在席時は机上面での作業が可能となるための明るさを確保するとともに、不在時は空間の明るさを確保できる最低限度まで減光を行うことによって、機能性・快適性を保ちつつ、照明設備のエネルギー消費量を必要最小限に抑える手法である。図1に在/不在制御のイメージ図を示す。

当該制御手法は一見したところ、トイレや廊下等で主に利用される人感センサによる制御と混同されがちであるが、トイレ等で用いられる人感センサでは、人の細かい動きが検知できないため、デスクワークをメインとする事務室においては、採用は難しい。そこで在/不在制御では、赤外線又は画像認識により、人の細かな動きまで検知可能な人感センサ（微動検知人感センサ）を用いることにより制御を行う。

在/不在制御は、一部の民間にて試験的に導入が図られている一方で、在/不在制御を導入した場合の明るさ感や快適性を踏まえた設計手法については提唱されていない。

そこで、本論文ではこの在/不在制御に着目し、官庁施設の事務室において在/不在制御を採用するにあたり、検討が必要とされる空間の明るさ感の確保や、執務者が不快と感じる要素及びその対処法について言及するとともに、官庁施設における在/不在制御の設計手法の提案並びに省エネ効果に関する検討結果を述べる。

2. 在/不在制御下における適切な照明環境の確保

事務室において在/不在制御を行う場合、不在エリアの減光を行うため、制御の設定次第では執務者にとって適切ではない照明環境となってしまう恐れがある。

具体的には、不在エリアの調光設定が低すぎる場合、室内の明るさにムラができてしまうことや、空間の明るさが不足してしまうことが考えられる。以下において、これらの懸念事項について考察する。

(1) 明暗のムラ及び明るさの急激な変化について

在/不在制御を行う場合、執務者の不快感につながると考えられる事項として、不在エリアの照明を減光することによる明るさのムラが考えられる。例えば、不在検知時に消灯をするような調光設定とした場合、在エリアと不在エリアの明るさの差が激しく、不快感へとつながる。既往研究においては、作業エリアの照度に比べ、周

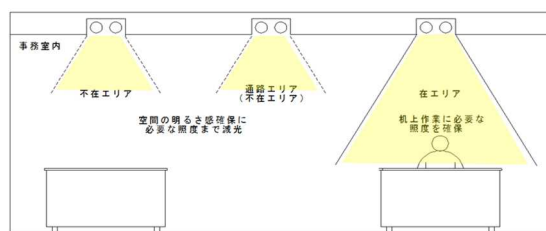


図1 在/不在制御のイメージ図

辺エリアの照度をある程度暗い照度（1/3程度）とした方が、作業者の精神的な疲労が低いことが述べられている⁴⁾。他、タスクアンビエント照明方式における机上面照度と周辺照度の許容範囲に関する検討も行われている⁵⁾。また、国際標準化機構(ISO)や国際照明委員会

(CIE)は、適切な作業領域周辺の輝度として、作業面輝度（作業面から人の目に入る光の量）の1/3以上とすることが望ましいとされている。これらを踏まえ、官庁施設において在/不在制御を用いる場合、不在時（不在エリア）の設定照度は、在席時（在エリア）の設定照度に比べ、1/3以上の照度を確保できるような制御設定とすることが望ましいと考えられる。

その他の懸念事項として、不在から在、または在から不在に切り替わる場合に、調光が急激に行われると周囲の執務者にとって不快感につながることがあげられる。この対処法として、在・不在が切り替わる場合に、一定時間かけて少しずつ調光を行うような調光設定として、急激な明るさの変化を避ける事が望ましい。

(2) 空間の明るさ感の確保について

1. (1)で述べたとおり、適切な照明環境の確保を行うためには、作業領域において必要な照度を確保するだけでなく、空間の明るさを確保し、適度な明るさの印象が得られるように配慮する必要がある。作業領域において必要な明るさは、机上面の平均照度をもとに規定されており⁶⁾、机上面の平均照度が一定の範囲内となるように、照明器具種別を選定、配置することによって担保される。しかし、空間の明るさ感はいくまで人の感性に基づくものであり、定量的に計測することが困難である上、評価範囲が空間全体に及ぶため、空間の光の量や空間の見え方を正確に表すことは非常に難しく、十分に解明されているとはいいがたい⁷⁾。また、既往研究において、空間の明るさ感に関する研究は多く発表されているが、そこで用いられている指標の多くは、高度なシミュレーション等を必要とし、一般的な設計段階で用いることができるような指標となっていない。そこで、官庁施設の事務室において許容される空間の明るさ感を評価するとともに、それを満たしながら、設計段階で容易に計算が行えるような適切な指標の設定を行うため、実際に在/不在制御を導入した施設において、照明の点灯パターンを変えて、輝度、照度等の測定及び照明環境に関するアンケート調査及びその考察を行った。

(a) 空間の明るさ感に関する調査概要

空間の明るさ感と輝度・照度等の指標との関係を検討し、明るさ感を確保するために必要な条件を整理するため、既存庁舎の一室において、照明の点灯パターンを変えて、8つの点灯パターンを用意し、それぞれについて輝度、照度等の測定及び明るさ感についてのアンケート調査を行った。点灯パターンの選定にあたっては、測定点直下の明るさ、測定点周辺の明るさ、壁面付近の明る

さについて違いが出るよう、在設定の点灯（机上面照度 750lx）、不在設定の点灯（机上面照度 300lx）、消灯の3段階を用いて、測定者直上、測定者周辺、壁際の照明の設定を行った。図2にその測定風景及び調査対象の室の平面図を、図3に点灯パターンの一覧を示す。

またアンケート調査では、観測者がそれぞれの点灯パターンの状況で、測定位置に立ち、マークシート様式を用いて、主に空間の快適性、明るさの程度、執務をする上での明るさの適切さなどの項目について、それぞれ4～7段階で評価を行った。

(b)空間の明るさ感に関する調査結果及びその考察

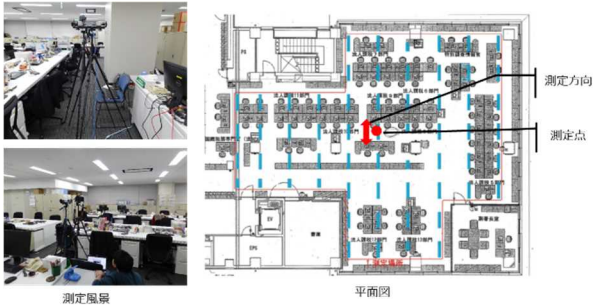


図2 測定風景及び調査対象平面図

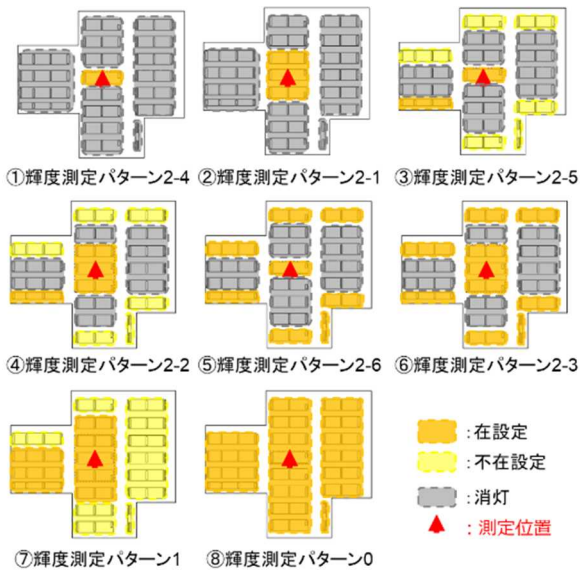


図3 照明点灯パターン一覧

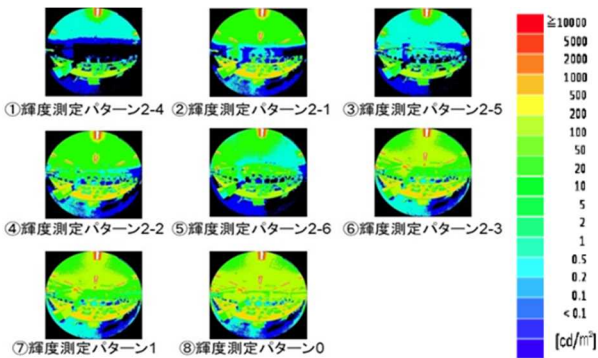


図4 輝度分布図

各照明点灯パターンに対する輝度分布図を図4に示す。さらに、視野全体、壁面、天井面における算術平均輝度及び幾何平均輝度を算出したものを表1に示す。

なお、表1での180度視野の値は、測定者の向き（図3における上方向）において、水平、垂直ともに180度の領域における平均値を表し、誘導視野の値は、識別能力は低い、空間座標系に視覚情報が影響を及ぼす領域（水平100°、垂直85°の領域）⁸⁾における平均値を表す。

また、表1では、測定結果で算出された輝度分布図から、光源（1000cd/m²以上を光源輝度とした）を除外した場合と、含んだ場合それぞれの値を算出している。

表1をもとに、180度視野、誘導視野それぞれについて、各平均輝度の高い順に並べ直し、グラフ化を行ったものを図5、図6に示す。

図5、図6より、光源を除外した場合はおおそ線形に並んでいる一方で、光源を含む場合は、線形性が損なわれており、他の平均輝度との乖離が大きいため、明るさ感の検討においては光源を除外した値で検討を行うことが望ましいと考えられる。また、光源を除外した場合は、幾何平均と算術平均による違い、及び、180度視野と誘導視野による違いはほとんどみられない。

表1 輝度測定結果

パターン	180度視野									
	全体		光源除外		壁面		天井面		光源除外	
	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]
2-4	9.4	62.4	9.1	17.3	3.2	3.6	13.2	124.3	12.3	21.4
2-1	23.0	99.7	22.0	37.8	9.4	11.6	35.5	186.3	32.3	45.1
2-5	13.7	65.8	13.2	21.5	13.0	14.9	18.4	127.0	17.1	25.9
2-2	27.6	104.6	26.4	41.9	20.2	22.9	41.2	192.4	37.5	49.4
2-6	18.6	73.6	18.0	28.0	29.1	34.6	25.2	136.1	23.5	32.1
2-3	33.1	112.2	31.7	48.3	36.9	42.4	48.7	201.2	44.2	55.5
1	40.0	124.0	38.2	57.0	40.7	47.7	60.3	219.1	54.7	66.5
0	45.3	131.6	43.2	64.3	66.3	73.3	68.3	226.7	61.8	73.3

パターン	誘導視野									
	全体		光源除外		壁面		天井面		光源除外	
	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]	幾何平均 [cd/m ²]	算術平均 [cd/m ²]
2-4	8.7	15.9	8.7	15.9	3.7	4.0	6.9	7.7	6.9	7.7
2-1	28.0	87.0	27.0	45.9	12.3	14.3	30.2	172.7	26.9	40.5
2-5	15.5	22.3	15.5	21.8	14.6	16.1	12.8	16.2	12.8	14.5
2-2	36.2	94.2	34.9	51.8	24.6	26.3	38.8	183.9	34.5	47.6
2-6	24.0	33.4	23.9	31.0	32.4	37.0	21.5	31.2	21.2	23.5
2-3	46.3	105.1	44.7	61.0	43.2	47.0	49.9	198.6	44.4	56.5
1	56.7	125.8	54.4	73.9	46.0	54.4	68.2	241.1	59.7	74.1
0	67.1	136.5	64.2	83.1	68.5	76.8	81.2	255.8	70.9	84.2

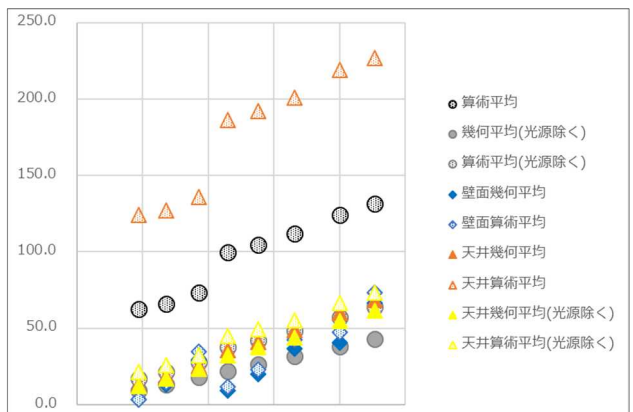


図5 180度視野における各パターンの平均輝度

上記を踏まえ、明るさ感の検討においては、180度視野において、光源を除外した場合の算術平均輝度を用いて詳細な検討を行うこととした。

続いて、アンケートの調査結果について図7に示す。

図7より、まぶしさの項目を除き、各評価項目はほぼ同じ傾向を示しており、各項目の相関は極めて高いことが分かった。

また、まぶしさについては全パターンにおいて、気にならないレベルの評価がされており、空間の明るさ感の検討においては、考慮する必要性は低いと考えられる。

以上より、アンケート調査結果のうち、照明環境の快適性に着目をして、検討を行うこととし、180度視野において光源除外した場合の算術平均輝度と照明環境の快適性の関係性を示したグラフを図8～図10に示す。

図8～図10はそれぞれ、視野全体の平均輝度、天井面の平均輝度、壁面の平均輝度を横軸にとり、照明環境の快適性のアンケート結果を縦軸にとったものである。図8～図10より、各面及び視野全体の平均輝度はどれも概ね照明環境の快適性との当てはまりは良いことが確認できる。中でも、図10の壁面の算術平均輝度の当てはまりが良い事が分かる。また図10に示すとおり、グ

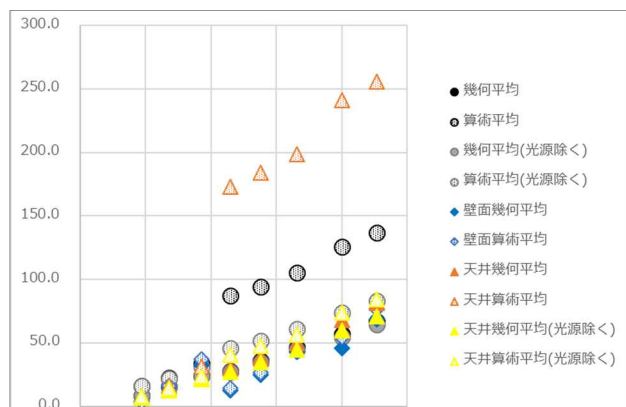


図6 誘導視野における各パターンの平均輝度

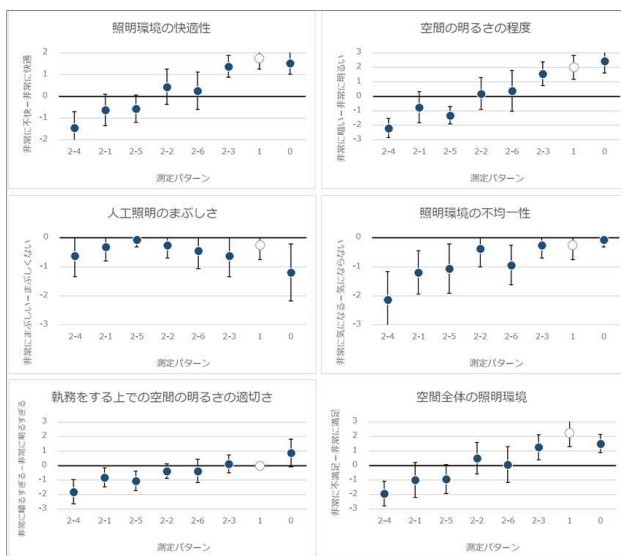


図7 アンケート調査結果

ラフにおいて対数近似曲線をとって、アンケート結果が普通となる点との交点をみたとところ、平均輝度は19.1cd/m²となった。

そこで、さらに踏み込んだ検討として、各点灯パターンにおいて、輝度が20cd/m²を超えている壁面面積の割合の算出を行い、横軸に面積割合を、縦軸に各アンケート評価結果をとった場合のグラフを図11に示す。

図11より、輝度が20cd/m²を超えている壁面面積の割合もアンケート結果との相関は良好であることが分かる。また、アンケート結果が普通となる点と近似直線の交点をとった場合、約50%の点となり、壁面の輝度が20cd/m²を超えている面積割合が50%以上あることで空

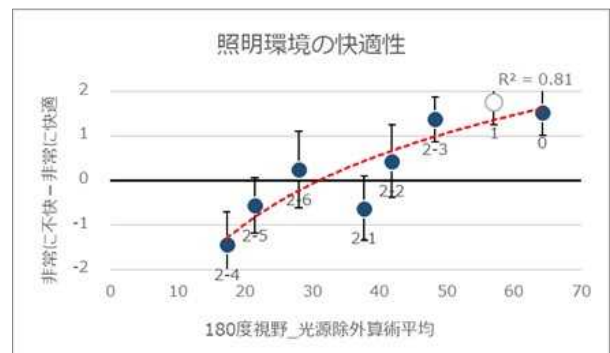


図8 照明環境の快適性と視野全体の平均輝度との関係

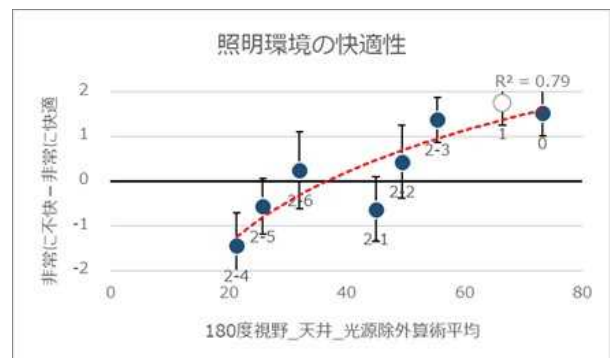


図9 照明環境の快適性と天井面の平均輝度との関係

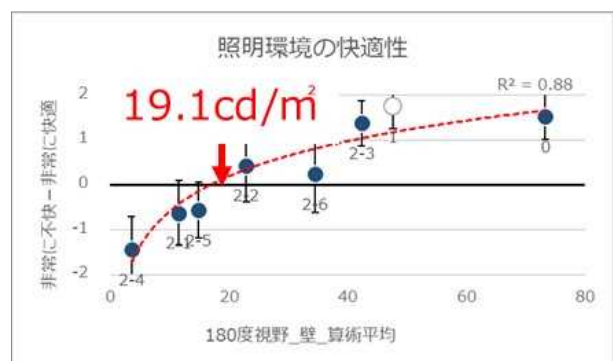


図10 照明環境の快適性と壁面の平均輝度との関係

間の明るさ感を確保できると考えられる。

なお、照明の配置が均等配置をとられており、輝度分布のばらつきが少ない場合、輝度が $20\text{cd}/\text{m}^2$ を超える面積が 50% 以上あることと、平均輝度が $20\text{cd}/\text{m}^2$ となることは、ほぼ同じ条件となる。よって、照明が均等配置の場合、机上検討において明るさ感を確保するために用いる指標としては、どちらを用いても良いと考えられる。

また、今回検討を行ったのは中規模の事務室であり、大部屋となった場合、視野内を占める壁面の割合が減少し、天井面の割合が増加することから、部屋の規模によらず明るさ感を確保するためには、天井面に関する程度の平均輝度を満足する必要がある。天井面の輝度は、照明器具の配光特性上、壁面よりも輝度の確保が困難であり、かつ、人の誘導視野の上方領域が狭いことを考慮し、 $15\text{cd}/\text{m}^2$ 以上確保する事が望ましいと考えられる。

3. 在/不在制御を用いた照明設計手法について

前述において、明るさ感を確保するための指標として、壁面、天井面の輝度について検討を行ったが、従来より、事務室における照明設計ではレイアウト及び用途に合わせて、作業面（事務室においては机上面）の平均照度が設定照度を満たすよう、照明器具の選定や配置を行っており、壁面及び天井面の輝度（または照度）に関する算出は行っていない。そこで、新たに壁面輝度、天井面輝度を用いて設計を行うにあたり、こういった手法によって壁面輝度、天井面輝度を算出するか検討が必要である。

本章では、前章で述べた天井面輝度、壁面輝度を設計段階にて机上検討を行うための手法が複数あることを示し、それぞれ比較検討した後、手法の 1 つである光束法を用いた算出について紹介する。

(1) 壁面輝度、天井面輝度の机上検討手法

設計段階（机上計算）において、照明器具の種別及び配置等から壁面輝度、天井面輝度を算出するための手法は、主に、シミュレーションによる算出、逐点法による算出、光束法による算出が挙げられる。

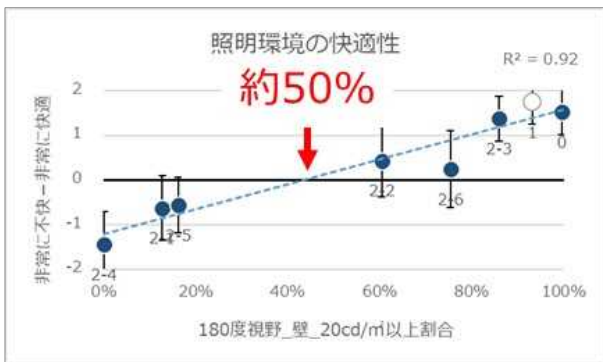


図 11 輝度が $20\text{cd}/\text{m}^2$ を超えている壁面面積の割合と照明環境の快適性の関係

(a) シミュレーションによる算出

輝度を算出するための手法の一つとして、専用のソフトウェアを用いてシミュレーションを行う手法がある。

メリットとしては、壁面、天井面の平均輝度だけでなく、輝度の分布まで再現・算出が可能となるため、任意の点による輝度や、輝度が一定以上となる面積の割合まで求める事が可能となり、精度も高いことが挙げられる。

一方で、デメリットとしては、専用のソフトウェアが必要となるため、当該ソフトウェアの入手の必要があり、かつ、利用には一定の習熟が必要であることから、万人に利用可能な手法とは言いがたい。

当該手法は、今後 BIM 等による設計が普及し、輝度に関するシミュレーションが容易となった場合、主流となり得る手法だと考えられる。

(b) 逐点法による算出

手計算により輝度を算出することができる手法として、逐点法による算出がある。これは器具 1 台毎に対象点に対する輝度を算出し、全ての器具の寄与分を足し合わせることによって、算出を行う手法である。

メリットとしては、対象の点の輝度を算出可能であるため、輝度の分布等を確認することができる事が挙げられる。逐点法による算出イメージを図 12 に示す。

一方で、デメリットとして、全ての器具に対して、対象の点に対する輝度をそれぞれ算出する必要があり、かつ、算出においては逐次照明器具の配光特性を確認して入力しなければならないため、事務室等の照明器具台数が多い室においては、計算が非常に煩雑である事が挙げられる。また、輝度の算出を行いたい点が増えれば増える分だけ、計算の手間も同様に増えるため、精度と計算の手間がトレードオフの関係となる。

以上より、逐点法による算出は、ある点における輝度を確認したい場合には有用であるが、平均輝度の算出や、多数の点における輝度を算出したい場合は計算の手間が膨大となり、不向きであるといえる。

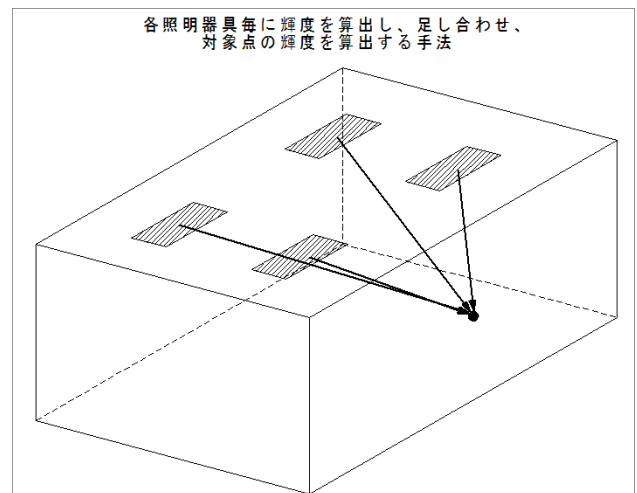


図 12 逐点法による算出イメージ

(c) 光束法による算出

同様に手計算により輝度の算出が可能な手法として、光束法による算出がある。本手法は、固有照明率（照明器具から出た光束が対象面に入射する割合）を利用して、全ての照明器具の影響を平均化し、対象面の輝度を算出する手法である。光束法による算出イメージを図13に示す。従来より行われている照明設計においても、机上面の固有照明率を用いることで、光束法によって机上面の平均照度を算出し、それが一定の値を超えていることを確認する手法で設計が行われており、机上面照度を算出する上で最もよく利用されている手法である⁹⁾。壁面および天井面の固有照明率を算出することにより、机上面と同様に、壁面、天井面の照度及び輝度が算出可能となる。一方で、光束法では前述の逐点法と異なり、対象点における輝度の算出は不可能であり、対象面における平均輝度の算出しかできないことに留意が必要である。

本手法のメリットとしては、全ての照明器具の光束を平均化して算出を行うため、逐点法のように器具の台数が増えることにより計算の手間が増えることがなく、簡単に計算が行えるということが挙げられる。

デメリットとしては、照明器具の光束を平均化する過程で照明器具の位置関係等は無視されているため、照明器具が均等に配置されていない場合、実状と計算結果に乖離が生まれてしまうことや、面の平均輝度の算出しかできないため、輝度の分布については確認することができない、といった点が挙げられる。

前述で検討を行った空間の明るさ感の指標では、照明器具が均等配置されることを前提とした場合、壁面及び天井面の平均輝度が一定の値を上回っているか確認できればよいため、輝度を算出する手法としては、光束法が最も適していると考えられる。

(2) 光束法による壁面及び天井面の平均輝度の算出

本項では、前項において、最も適しているとした光束

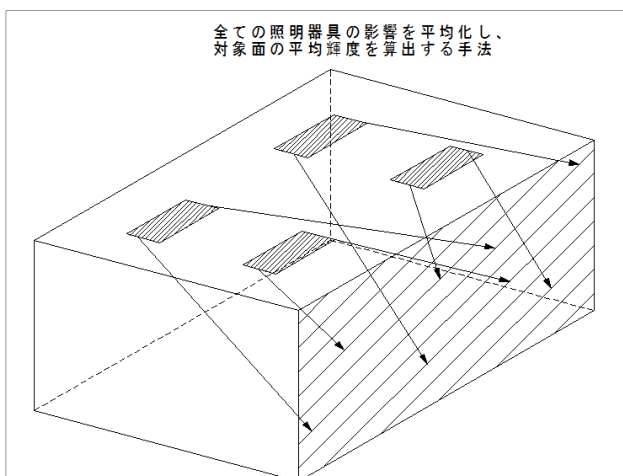


図13 光束法による算出イメージ

法を用いて壁面及び天井面の平均輝度を算出する課程について述べる。

まず、対象面（天井面又は壁面）における平均輝度 L と平均照度 E の関係は次式(1a)による。

$$L = \frac{\rho}{\pi} \cdot E \quad (1a)$$

ρ : 対象面における反射率

さらに、対象面における平均照度 E と固有照明率 U の関係は次式(1b)による。

$$E = \frac{F \cdot M \cdot N \cdot U}{S} \quad (1b)$$

S : 対象面の面積

F : 器具光束

M : 保守率

N : 器具数

従来の机上面の平均照度の計算においては、机上面の固有照明率を表形式にして整理し、式(1b)に代入を行う事で、机上面の平均照度を算出し、設計を行っている。

一方で、天井面及び壁面の平均輝度の算出においては、それぞれの固有照明率から算出する必要があるため、次式(1c)により、天井面、壁面の固有照明率を算出する必要がある¹⁰⁾。

ここで、天井面、壁面、床面の固有照明率をそれぞれ、 u_1 、 u_2 、 u_3 とした。

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{K}{2}(1-\alpha)\rho_2 & -\alpha\rho_3 \\ 1-\rho_1 & 1-\rho_2 & 1-\rho_3 \\ -\alpha\rho_1 & -\frac{K}{2}(1-\alpha)\rho_2 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u_{10} \\ 1 \\ u_{30} \end{pmatrix} \quad (1c)$$

K : 室指数

α : 天井面の床面に対する形態係数

u_{10} : 天井面の直射照明率

u_{30} : 床面の直射照明率

式(1c)における天井面の直射照明率は、器具の上方光束比と同等であり、床面の直射照明率と同様に、メーカーから器具毎に公開されているため、式(1c)を用いて、天井面及び壁面の固有照明率は四則演算にて計算を行うことが可能である。

(3) 在/不在制御を用いた照明設計手法のまとめ

本項では、前項までで述べた官庁施設における在/不在制御を用いた照明設計手法の総括を行う。

まず、在/不在制御の有無にかかわらず、作業領域における必要照度を確保するため、机上事務作業で必要と

される照度を目標として、従来の全般照明方式と同様の手法で照明器具種別の選定及び配置を行う。

次に、在/不在制御を行う場合、不在エリアの調光を行う事で、空間の明るさ感が不足する可能性があるため、全ての照明器具が不在時調光率で点灯している場合（明るさが最低の場合）において、壁面及び天井面の平均輝度を光束法を用いて算出し、それぞれ $20\text{cd}/\text{m}^2$ 、 $15\text{cd}/\text{m}^2$ を満たすよう、不在時調光率の設定を行う。

また、在/不在制御の制御範囲については、対象室の執務形態やレイアウト等を加味して設定を行うとともに、急激な明るさの変化が行われないよう、点灯保持時間を設けるとともに、少しずつ調光を行う機能（調光フェード機能）や通り抜け制御機能等の採用を検討する。

以上により、官庁施設において必要な明るさが損なわれず、執務者の不快とならないような、照明の在/不在制御の設計が行われると考える。

4. 在/不在制御による省エネルギー効果の推定

本章では、事務室において在/不在制御を用いて照明制御を行った場合の省エネ効果の推定手法及び在/不在制御を実際に導入した施設における省エネ効果の実測結果について述べる。

(1) 在/不在制御による省エネ効果の推定について

在/不在制御を導入した場合の省エネ効果を推定する手法はいくつか考えられるが、ここでは制御範囲の人員密度等に基づき不在となる時間の割合を算出する手法¹¹⁾

について紹介する。

同手法は、執務者の離席時間を何らかのモデル（確率密度関数等）により与えてやり、センサの制御範囲毎の平均在席人数及び点灯保持時間から、1日のうち、センサが不在と検知する時間の割合を算出し、そこに不在時調光率をかけてやることによって、省エネ効果を導く手法である。センサの制御範囲を大きくとればとるほど、センサの台数は減少する分、制御範囲毎の平均在籍人数が多くなるため、省エネ効果は減少する。また、点灯保持時間を短くすればするほど、短い打合せやトイレ等の離席も検知し、調光を行うため省エネ効果が高くなるが、短くしすぎると、頻繁に調光が行われるため、執務者にとって不快となる要因となってしまうため、留意が必要である。これらの関係性イメージを図14に示す。

(2) 在/不在制御による省エネ効果の検証

在/不在制御を試験的に導入した施設において、電力消費量を計測し、在/不在制御がない場合の電力消費量（全照明器具が750LXを目標として点灯時の電力消費量）を机上算出した値と比較を行う事で、在/不在制御による省エネ効果の検証を行った。

(a) 検証対象

電力消費量の計測を行った施設や制御設定等については、次の通り。

- ・計測対象施設：東京都内の税務署
- ・計測対象室：在/不在制御を導入した事務室
- ・在席人数：32人
- ・計測対象面積：約 200m^2
- ・調光設定：在時 750LX、不在時 300LX

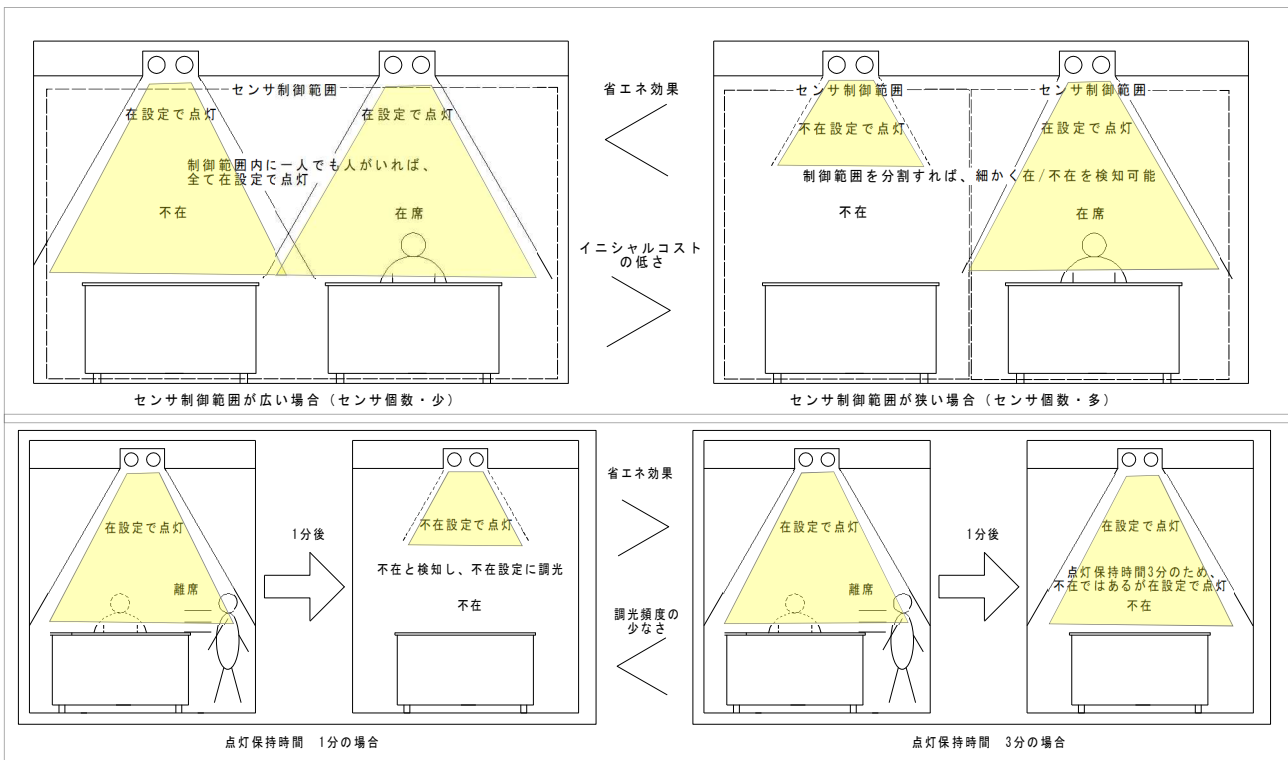


図14 センサ制御範囲及び点灯保持時間の省エネ効果との関係性イメージ

- ・点灯保持時間：30秒
- ・制御設定：検知範囲 1.8m×1.8m かつ、検知範囲で在席が検知された場合、周囲 8 灯を含む 5.4m×5.4m の範囲が在時設定で点灯
- ・計測期間：1 週間（午前 8:30～午後 20:00）
- ・計測項目：電力消費量、在席率、器具の調光率
なお昼休み時間中は、スイッチによる消灯などを行っているため、計測期間から除外を行っている。

さらに、当該施設では明るさセンサも設けられており、昼光利用も図られているが、測定期間中はブラインドを常にしめることで、昼光利用による影響はないものと仮定した。

(b) 検証結果及び考察

計測された結果は以下の通りとなった。

- ・1日あたりの電力消費量：7.57kWh
- ・在席率：47%
- ・調光率：約 55%（在時）、約 22%（不在時）

また、在/不在制御を行わなかった場合の電力消費量について次の通り、算出を行った。

在/不在制御を行わなかった場合、全ての照明器具が 750LX 設定で点灯すると考える。この場合、在/不在制御を行った場合の在時の調光率によって常に全ての照明器具が点灯していると考えられる。計測において、在時の調光率を測定した結果、55%で点灯していたため、これを照明器具の消費電力の合計にかけることによって、在/不在制御を行わなかった場合の消費電力が算出でき、照明器具の消費電力の合計は 1.46kW であった。よって、 $1.46\text{kW} \times 0.55 = 0.803\text{kW}$ が在/不在制御を行わなかった場合の消費電力となる。これに、1日の測定時間である 10.5h をかけることで、1日あたりの電力消費量が算出でき、 $0.803\text{kW} \times 10.5\text{h} = 8.43\text{kWh}$ が得られる。

以上より、当該施設における在/不在制御による省エネ効果は、 $1 - (7.57\text{kWh} / 8.43\text{kWh}) = 10.2\%$ の効果があることが確認できた。

今回計測対象とした施設では、検知範囲で在であると検知した際に、周囲の範囲を含めて広い範囲の照明器具が在設定で点灯するような制御設定（1つの検知範囲に対して、9台の照明器具を調光制御）となっているが、検知範囲あたりの調光を行う照明器具の台数を減らすことによって、より大きな省エネ効果を得られることが期待できる。

5. おわりに

本論文では、明るさと省エネを両立した照明環境を確保すべく、官庁施設において在/不在制御を導入するにあたり、不在エリアを減光することで生じる不快感及び空間の明るさ感について考察し、それらを考慮した官庁施設における在/不在制御の設計手法の提案及び、実際に在/不在制御を導入した施設での省エネ効果の検証結果について述べた。

今後、在/不在制御に関して得られた知見を官庁営繕部の所掌する技術基準類等に反映させ、より良い官庁施設の整備及び省エネルギーの推進に努めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 太田 昭彦, 浅野 勝弘他 “地方中核都市における環境配慮型中規模オフィスに関する研究 (第7報) 2017年度一次エネルギー消費量実績及び用途別エネルギー消費量分析” 平成30年度大会 (名古屋) 学術講演論文集, 2017
- 2) 一般社団法人 省エネルギーセンター “オフィスビルの省エネルギー” ECCJ, 1996-2020
- 3) 中村 芳樹 “オフィスの光環境の調査と実験” 照学誌, 1990
- 4) 明石 行生, 金谷 末子他 “作業者の集中度と周辺照度/作業面照度の比との関係” 照明学会誌, 1996
- 5) 田淵 義彦, 中村 肇他 “事務所で局部照明を併用する場合の好ましい照度バランスに関する研究” 照明学会誌, 1991
- 6) 日本工業規格 “照明基準総則” JIS Z 9110, 2010
- 7) 高 乗佑, 古賀 誉章他 “輝度のばらつきを考慮した空間の明るさ感の予測に関する基礎的研究” 照明学会誌, 2013
- 8) 畑田 豊彦 “情報受容と視野特性の計測” 人間工学誌, 1993
- 9) 野口 公喜, 西村 唯史他 “LED 照明に対する照明設計法” 照明学会誌, 2011
- 10) 日本工業規格 “屋内照明器具の照明率表計算方法” JIS C 8030, 2014
- 11) 一般社団法人 住宅性能評価・表示協会 “在室検知制御 (下限調光方式) の係数の算出方法に関する任意評定ガイドライン”, 2020