タスク・アンビエント照明方式を用いたオフィス照明の明るさ感向上に関する研究

専門会員 小谷 朋子 (東芝ライテック株式会社) 専門会員 中村 芳樹 (東京工業大学)
専門会員 金谷 末子 (株式会社ビジュアル・テクノロジー研究所)
専門会員 三木 保弘 (国土交通省国土技術政策総合研究所)

Study about Increasing Brightness using Task-ambient Lighting in Offices

Fellow Member **Tomoko Kotani** (Toshiba Lighting & Technology Corporation)
Fellow Member **Yoshiki Nakamura** (Tokyo Institute of Technology)
Fellow Member **Sueko Kanaya** (Visual Technology Laboratory Inc.) and
Fellow Member **Yasuhiro Miki** (National Institute for Land and Infrastructure Management)

ABSTRACT

We conducted subjective experiments to determine an ideal method for achieving both energy saving and comfort in office lighting. The experiments were conducted in an actual office under 48 conditions of lighting and furniture, such as different average illuminance, lighted areas, reflectance, and height of partitions, and added wall-washers. Luminance images were captured from the subject's viewpoint, and converted into brightness images based on the Nakamura method. We then analyzed the relationship between the perceived brightness and the brightness images. In the results, the subjective evaluation value of the brightness of the room strongly correlated with the average values of the brightness scale of vertical components, such as a wall or partition, calculated from the brightness images. This suggests that we can reduce the electricity consumption of lighting and achieve higher perceived brightness without losing comfort by raising the brightness of the vertical components in the field of view.

KEYWORDS : office lighting, task and ambient lighting, energy saving, brightness, visual comfort, luminance distribution

1. はじめに

地球温暖化による影響が顕在化している現在、オフィスなどの業務用ビルではさまざまな省エネルギー対策が講じられている。省エネルギーセンターの資料¹⁾によると、レントラブル比(延べ床面積に対する貸室部分の割合)60%以上で熱源ありのオフィスビルでは、全体の消費電力量に対する照明設備の消費電力量の割合は21.3%であり、オフィス照明の省エネルギー対策はきわめて重要な課題であるといえる。

オフィスにおける主な作業は視作業であり、従来からオフィスの照明設計は明視性を確保するために作業領域における照度を確保する設計が行われている。一般的に日本ではオープンオフィスが多いことから、室全体を均一に明るく照明する全般照明方式が主流であり、作業面における平均照度はJIS²⁾にあるとおり維持照度を750[lx]として設計されることが多い。全般照明方式は、竣工後のレイアウトによらず作業領域における照度を確保できる反面、高い照度が必要でないエリアまで明るくしていると考えられることから、照明による省エネルギーを考えていく上で、必要なエリアのみ必要

な明るさを与えて省エネルギーを図ることが可能なタスク・アンビエント照明方式が注目されは始めている。

タスク・アンビエント照明は、アンビエント照明によって必要最小限の照度を確保し、作業領域にはタスク照明を付加して視作業に必要な照度を確保する照明方式である。1970年代のオイルショックを契機に省エネルギーを図る照明手法の一つとしてタスク・アンビエント照明が取り入れられた。1995年には照明学会から「タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会報告書」³⁾が発行され、タスク・アンビエント照明方式にした場合、モデルケースでは全般照明方式と比較して最大43%の省エネルギーが期待できることが報告された。しかしながら、2002年に発行されたオフィス照明の実態調査研究調査報告書⁴⁾によると、調査されたオフィスビルでタスク・アンビエント照明方式が採用されていたのは全体の2%程度であり、普及しているとは言えない。全般照明方式と比べてタスク・アンビエント照明方式では大幅な省エネルギーが図れるにも関わらず、これまで普及してこなかったのは、アンビエント照明の照度を下げているために暗く陰鬱な印象を与えていることによると考えられている⁵⁾。

オフィスにおけるタスク・アンビエント照明に関する既往研究は、室内の照度分布が不均一になることから、アンビエント照度とタスク照度の比の許容範囲を中心に検討されている。田淵ら⁶⁾は、パーティションのない実大実験室における照度調整実験を通して、作業面照度に対する周辺の机上面や壁面の許容照度を求めている。望月ら⁷⁾は、行為によって好まれる照明環境が異なり、均一な全般照明よりも周辺照度をやや低くして机上面照度を高めた方が満足感を得やすいことを報告している。稲沼ら⁸⁾⁹⁾は、パーティションの有無および反射率の違いがタスク・アンビエント照明の快適性にどのような影響があるかを検討した。また、明石ら¹⁰⁾¹¹⁾は作業に対する集中度が高くなる周辺照度と作業面照度の比を検討した。小林ら¹²⁾は昼光を導入したオフィスにおいて執務者の視野内における明るさ評価を実施し、パーティションがあるオフィスでは執務者の机上面近傍の明るさが重要であり、オープンオフィスでは天井や壁面等執務者から遠い位置の明るさを満たす必要があることを報告した。

以上より、オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式は、全般照明方式に比べて省エネルギーを図ることが可能であるが、これまで普及に至らなかったのは暗く陰鬱な印象が執務者の不満につながったことによると考えられる。これは、照度ではなく見た目の明るさに配慮した省エネルギー手法がそもそも確立していないことに加え、必要ないと考えられる周辺の照度の適切な消灯・調光方法についてこれまで検討されていないことが一つの要因と言える。一方、空間から受ける明るさ感には視野内の輝度分布が影響していることが明らかにされ、中村らは輝度分布の変化と明るさ知覚の関係を解析することにより、複雑な対比の状況を定量的に表現するコントラスト・プロファイル法を開発し、輝度分布を明るさ画像に変換する手法を開発した¹³⁾¹⁵⁾。本報では、オフィス作業における明視性を確保するだけでなく、十分な明るさ感を得ることができる照明設計手法を確立することを目的として、中村らが開発した明るさ知覚の研究を利用し、昼光を遮蔽した実大オフィス空間における主観評価実験の結果を報告する。オフィスは昼間の執務が基本であるが、昼光が入ると輝度分布が複雑になることから、ここではタスク・アンビエント照明と明るさ感の関係をみる上で基本となる夜間を想定して昼光を遮蔽した。パーティション等の仕子の配置と明るさを考慮しながら、タスク・アンビエント照明および全般照明のエリア制御を含めた様々な輝度分布を持つ照明環境の主観評価と、輝度分布画像を明るさ知覚の分布として定量化した明るさ画像の対応を解析することにより、省エネルギーと明るさ感向上を両立するための効果的な照明方法について検討する。

2. 実大オフィス空間における快適性に関する主観評価実験

2.1 実験環境

実験場所は東京都中央区にあるテナントビルの会議室で、部屋の大きさは幅約 7.5m、奥行き約 15m、高さ 2.6m である。全般照明は、40W 普通形蛍光灯・昼光色の 3 灯用埋込下面開放器具 21 台を利用した。会議室の平面図と照明器具レイアウトを図 1 に示す。会議室の窓には昼光を遮蔽する目的で仮設の壁を設置し、さらに廊下を想定した空間を作るために会議室の手前部分にも壁を設置した。その結果、執務室を想定した実験エリアの大きさは幅 6.9m、奥行き 11.5m とした。

執務を想定した被験者位置は、実験エリアを奥エリアと手前エリアに分けて手前エリアのほぼ中央に机と椅子を設置し、被験者位置(B)とした。机の横にはコミュニケーションを想定してマネキンを置いた。照明と仕子の実験条件は、全般照明を表 1 および図 2 に

示す通り 4 条件とし、各条件において照明器具と仕子を付加した。

図 1 実験環境の全体図

Fig.1 Conditions of the experimental environment.

表 1 全般照明の条件と平均作業面照度

Table 1 Conditions and the average illuminance on the working plane of general lighting.

	平均作業面照度 [lx]	
	手前エリア	奥エリア
実験 1	730	
実験 2	730	消灯
実験 3	175	消灯
実験 4	175

図 2 全般照明の点灯状態

Fig.2 Conditions of general lighting.

天井の照明器具による平均作業面照度は、一般的なオフィスの明るさと、150～200[lx]程度の低照度の2種類とした。3本のランプのうち中央の1本を外して2本点灯させ、平均作業面照度が730[lx]の条件を一般的なオフィスの明るさとした。低照度を実現するため、3本のランプのうち両側の2本を抜いて中央の1本のみ点灯し、さらに透過率12.5%のNDフィルタ（リーフィルタ#211）をランプの下半分に巻き、平均作業面照度を175[lx]とした。全般照明の照明器具の状態を表2に示す。175[lx]は、労働安全衛生規則¹⁶⁾に定められている「普通の作業」で定められている150[lx]以上という照度基準を少し上回る照度である。作業領域の照度を確保するために手元にタスク灯を設置した。

また、省エネルギーを目的としたエリア制御を想定し、手前エリアを点灯して奥エリアを消灯するという条件を加えた。

手前エリアと奥エリアはちょうど執務室の中央で分割し、照明器具はそれぞれ3×3の9台ずつとした。実験エリアの天井に設置されていた照明器具の配線上、奥エリアと手前エリアを別々に点灯・消灯することができなかったため、奥エリアの消灯は、照明器具の大きさに合わせてカットしたスチレンボードで器具開口部を塞いだ。また、最も奥の3台は仮設の壁に近接していたため、常時スチレンボードで遮蔽した。

表2 全般照明の蛍光ランプの状態

Table 2 Conditions of the fluorescent lamps of general lighting.

実験番号	手前エリア	奥エリア
実験1
実験2		遮蔽
実験3		遮蔽
実験4

NDフィルタ

付加した照明器具と什器は、ウォールウォッシャー、アッパライイト、ロールスクリーン、パーティションの距離2種類、布地2種類、パーティションを照らす照明のON-OFF、パーティションの高さ2種類とし、図1に示す位置に設置した。実験パターンは表3の通り合計48パターンとした。

表3 実験パターンの概要

Table 3 Patterns of the experiments.

実験パターン	実験1	実験2	実験3	実験4
什器なし	1-1	2-1	3-1	4-1
ロールスクリーン	—	2-2	3-2	4-2
ウォールウォッシャー	—	2-3	3-3	4-3
アッパースタンド	—	2-4	3-4	—
パーティション遠灰 OFF	—	2-5	3-5	4-5
“ 遠灰 ON	—	2-6	3-6	4-6
“ 遠白 OFF	—	2-7	3-7	4-7
“ 遠白 ON	—	2-8	3-8	4-8
“ 近高灰 OFF	—	2-9	3-9	4-9
“ 近高灰 ON	—	2-10	3-10	4-10
“ 近低灰 OFF	—	2-11	3-11	4-11
“ 近低灰 ON	—	2-12	3-12	4-12
“ 近高白 OFF	—	2-13	3-13	4-13
“ 近高白 ON	—	2-14	3-14	4-14
“ 近低白 OFF	—	2-15	3-15	4-15
“ 近低白 ON	—	2-16	3-16	4-16

2.2 実験パターンの詳細

被験者周辺の環境は、オフィス作業を想定し、手前エリアの中央に机（幅1.2m×奥行き0.7m×高さ0.7m）と椅子を置き、机の上にはモバイルパソコンとA4サイズの紙の資料（文字のフォント：MS P 明朝 10.5ポイント）を配置した。全般照明が175[lx]の実験2、3では、左側に蛍光灯のタスク灯と、調光実験用の白熱電球のタスク灯を配置した。机上の様子を図3に示す。机の端にはパーティションを照明するためのFHF32W、1灯用の片反射笠器具と調光器を置き、机の右には顔の見え方を評価するためのマネキンを置いた。

図3 被験者周辺の環境（机上のPC、資料、タスク灯）

Fig.3 The condition around the subject (PC, task light and printed paper on the desk).

次に、付加した照明と什器について説明する。奥の壁面をウォールウォッシャーで照明するため、仮設の壁から0.7mの位置に長さ2mの配線ダクトレールを2本天井に取り付け、T5直管蛍光灯ランプFHF54Wを2灯搭載したウォールウォッシャー器具（コイズミ照明製・ASN 940 535）を2台設置した。

また、天井の輝度を高める条件として、アッパライイトを2台用意して奥エリアの天井を照明した。使用した照明器具はコンパクト蛍光灯ランプFML27Wを搭載したコイズミ照明製のスタンド（ATN 660 007）で、高さは1.6mとした。さらに、奥エリアを消灯した場合に視野内の輝度を高めるため、執務室中央部の天井に幅1.5mのロールスクリーン（ニチベイ製・フェスタ N5566）を3台設置した。ロールスクリーン下面が床面から1.4mの高さとなるよう設定したが、実験条件により最大5cmのばらつきがあった。

パーティションによる明るさ感向上の効果を確認するため、被験者の机の前と、部屋の中央からやや奥にパーティションがある状況を設定した。パーティションは、高さ変更を容易にするため自立式のプロジェクタ用スクリーンに、一般的にパーティションに使用されているグレーの布と白い布を掛けて、2種類の反射率を想定した。パーティションの実験条件を図4に示す。被験者から遠いパーティションは幅1.4mと1.8mのパーティションを比べ、被験者に近いパーティションは幅1.8mのパーティションを使用した。近くのパーティションは高さ1.32mとし、高さ1.7mに設定した遠くのパーティションと視角が等しくなるよう設定した。また、左右の視角を合わせるため近くのパーティションの左右の端に幅28センチの濃いグレーの布を掛けた。高さ1.12mのパーティションは低いパーティションを想定した。布の反射率

はミノルタ色彩計 xy・DC+反射率アタッチメント(キセノンフラッシュ光源による 45°入射/0°受光の幾何学的条件)にて測定した結果、白:85.2%, グレー:28.5%, 濃いグレー:7.2%であった。また、パーティションの輝度が高い条件を実現するため、パーティションの手前の机にパーティションを照らす照明器具を設置した。照明器具は FHF32W1 灯用の片反射笠器具を遠くのパーティション用に2台、近くのパーティション用に1台使用し、1%~100%まで調光可能な調光器を接続した。遠くのパーティション用にはパーティションから約1m離れた位置に長机を置き、照明器具を2台並べてパーティションに照射したが、天井への光漏れを防ぐため、スチレンボードを遮光板として照明器具の上に置いた。照明器具は100%点灯とした。近くのパーティションを照らす照明器具は、被験者の机の前方に設置し、照明器具の調光率は71%とした。

図4 被験者とパーティションの位置関係
Fig.4 Position of the subject and partitions.

廊下から執務室内部を見たときの明るさの評価において、廊下の照明環境の違いが評価に影響を及ぼすかどうかを確認するため、手前側に立てた仮設の壁によって執務室と廊下を分離し、廊下の照明をスポットライトと天井照明の2種類とした。それぞれの照明環境を図5に示す。スポットライトは、仮設の壁から0.7mの位置に長さ2mの配線ダクトレールを2本設置し、電球形蛍光灯ランプ100Wタイプ昼白色(EFD21EN)を装着したスポットライト(コイズミ照明製・ASN 640 006)を4台取り付け、壁に向けて照射して間接照明とした。

図5 廊下の照明環境
Fig.5 Lighting conditions of the corridor.

天井照明は、FLR40W3 灯用の埋込下面開放器具3台のうち、両側の2台を遮蔽し、中央の照明器具のランプを2本取り外して1本のみ点灯した。間仕切り上部が開口であったため、日光が入る状態であった。このときの高さ0.8mにおける廊下中央部の平均照度は、スポットライトが24[lx]、天井照明が139[lx]であった。以下、スポットライトの廊下を暗い廊下、天井照明の廊下を明るい廊下と記す。

2.3 評価方法

被験者は女性5名、男性9名の計14名で、年代別では20代6名、30代3名、40代4名、50代1名であった。実験は日光が入らない夜を想定したため、被験者には、「現在は夜で、残業をしているという想定で回答してください」と教示した。各実験とも3~4名の被験者が同時に参加したが、評価は1人ずつ行った。評価項目は廊下から見た評価4項目と机の位置における8項目の合計12項目で、評価は9段階とし、中央を「どちらでもない」、両端を「非常に」とした。評価項目を表4に示す。

表4 主観評価項目

Table 4 Items of the subjective evaluation.

	評価位置	評価項目	形容詞
①	A (廊下)	見た目の明るさ	明るいー暗い
②	"	快活性の印象	快活なー陰鬱な
③	B (机)	見た目の明るさ	明るいー暗い
④	"	快活性の印象	快活なー陰鬱な
⑤	"	安心感	安心なー不安な
⑥	"	好ましさ	好きー嫌い
⑦	"	机上の資料の読みやすさ	読みやすいー読みにくい
⑧	"	モニタの文字の読みやすさ	読みやすいー読みにくい
⑨	"	マネキンの顔の表情の見やすさ	表情が見やすいー表情が見えにくい
⑩	"	オフィスの明るさとして適切かどうか	適切であるー不適切である
⑪	A (廊下)	見た目の明るさ	明るいー暗い
⑫	"	快活性の印象	快活なー陰鬱な

次に実験の手順を示す。被験者は全員、廊下の椅子に座ってスポットライトの間接照明に約2分間順応し、その後一人ずつ図1のAの位置に立って執務室内を観察し、見た目の明るさと快活性の印象について評価した。

位置Aから見た評価を終えた被験者は執務室に入り、最初の被験者は図1のBの位置の椅子に座って評価を開始した。椅子に座って評価する項目は、見た目の明るさと快活性の印象、安心感、好ましさ、机上の資料の読みやすさ、モニタの文字の読みやすさ、マネキンの顔の表情の見やすさ、オフィスの明るさとして適切かどうか、の8項目である。その他の被験者は後ろの椅子に座って評価の順番を待ち、執務室の明るさに順応した。被験者は一人ずつ順に机の前の椅子に座って評価を行い、評価が終了すると執務室を出て廊下に移動した。被験者が執務室から廊下に移動する前に廊下の照明をスポットライトから天井照明に変更した。

執務室の平均作業面照度が低照度の条件(実験3、4)では、蛍光灯のタスク灯を点灯した状態で評価した。使用したタスク灯は3M製フィルターライトで、ランプはFML27EX-Nとし

た．椅子に座った評価の最後に、必要なタスク灯の照度が周辺環境の影響を受けるかどうか客観的なデータを取得するため、蛍光ランプのタスク灯の代わりに白熱電球のタスク灯を用い、タスク灯の明るさを机上の資料を読むのに最適な明るさに調光させた．白熱電球のタスク灯は、0～100%調光が可能な 60W 昼光ランプを取り付けたヤザワ製スタンドを使用した．調光の際には、蛍光ランプのタスク灯を消灯し、白熱電球のタスク灯を消灯状態から最適な明るさに調整させた．明るさが足りない場合はタスク灯を近づけても良いことを被験者に教示した．明るさの調整後、被験者が座った状態で資料位置の照度を計測した．

すべての被験者が廊下に移動した後、再び図 1 の A の位置に立って廊下から執務室を観察し、見た目の明るさと快活性の印象の評価を行った．この一連の評価を実験条件の数だけ繰り返した．

2.4 主観評価の実験結果

(1) 廊下から見た評価

廊下から見た評価は、別の場所から執務室に来て照明環境を観察した場合を想定した．見た目の明るさと快活性の印象は相関が高く、暗い廊下から見た評価では相関係数が 0.96、明るい廊下から見た評価では相関係数が 0.97 であった．図 6 に暗い廊下からの見た目の明るさ、図 7 に暗い廊下からの快活性の印象、図 8 に明るい廊下からの見た目の明るさ、図 9 に暗い廊下からの快活性の印象を示す．主観評価値は全被験者の平均値を用いた．見た目の明るさと快活性の印象の評価が高かった実験パターンは、ウォールウォッシャーとパーティションに照明を照射したパターンであった．特に白いパーティションに照明を照射したパターンの評価が高く、視野内に輝度が高い面があることにより明るい印象を受けたと考えられる．

執務室の全般照明による違いは、平均作業面照度 730[lx]で奥エリアを消灯した実験 2 と、平均作業面照度 175[lx]の低照度で手前・奥エリアとも点灯した実験 4 の評価は共に良好で、低照度で奥エリアを消灯した実験 3 の評価が低い傾向が見られた．

暗い廊下と明るい廊下で同じ執務室を見た場合の見た目の明るさと快活性の印象の評価は、チューキーマの多重比較の結果、廊下の明るさによる有意な差が認められるパターンは見られなかった．

図 6 暗い廊下からの見た目の明るさ

Fig.6 Brightness of the appearance of the room from the dark corridor.

図 7 暗い廊下からの快活性の印象

Fig.7 Impression of the activeness of the room from the dark corridor.

図 8 明るい廊下からの見た目の明るさ

Fig.8 Brightness of the appearance of the room from the bright corridor.

図 9 明るい廊下からの快活性の印象

Fig.9 Impression of the activeness of the room from the bright corridor.

(2) 執務室内における評価

執務室で実施した8つの評価項目間の相関係数を表5に示す。見た目の明るさと快活性の印象、安心感と好ましさ、安心感とオフィスの明るさとして適切かどうか、好ましさとオフィスの明るさとして適切かどうかの項目間の相関係数は0.9を超え、強い相関が見られた。

表5 主観評価項目の相関係数

Table 5 Coefficient of correlation between evaluating items.

	③見た目の明るさ	④快活性の印象	⑤安心感	⑥好ましさ	⑦机上の資料の読みやすさ	⑧モニターの文字の読みやすさ	⑨マネキンの顔の表情の見えやすさ	⑩オフィスの明るさとして適切かどうか
③見た目の明るさ	-	-	-	-	-	-	-	-
④快活性の印象	0.96	-	-	-	-	-	-	-
⑤安心感	0.74	0.83	-	-	-	-	-	-
⑥好ましさ	0.65	0.74	0.96	-	-	-	-	-
⑦机上の資料の読みやすさ	0.60	0.63	0.65	0.63	-	-	-	-
⑧モニターの文字の読みやすさ	-0.29	-0.20	0.06	0.17	0.09	-	-	-
⑨マネキンの顔の表情の見えやすさ	0.76	0.68	0.52	0.43	0.42	-0.60	-	-
⑩オフィスの明るさとして適切かどうか	0.68	0.77	0.93	0.91	0.59	0.07	0.57	-

見た目の明るさと快活性の印象の評価結果を図10、図11に示す。パーティション等の仕器がない条件では、全般照明の違いを比較すると実験1・1の評価が最も高く、次が実験4・1であり、奥エリアを消灯した実験2・1と実験3・1が同等の低い評価であった。評価が高かったパターンは、廊下から見た結果と同様、ウォールウォッシャーを点灯したパターンと、パーティションに照明を照射したパターンであった。全体の傾向は、実験2と実験4の評価は比較的似ており、実験3の評価が低い傾向が見られるが、実験3においてもパーティションに照明を照射することにより実験1・1よりも高い評価を得られるパターンが見られた。

図10 見た目の明るさ

Fig.10 Brightness of the appearance of the room.

図11 快活性の印象

Fig.11 Impression of the activeness of the room.

安心感、好ましさとオフィスの明るさとして適切かどうかの評価結果を図12～図14に示す。これら3項目の評価は似ており、ウォールウォッシャーを付加したパターンと、遠くのパーティションでは白いパーティション、近くのパーティションではグレーのパーティションに照明を付加したパターンの評価が高かった。全般照明による違いを見ると、実験3の評価が全体的に低い傾向がある。

オフィスの明るさとして適切かどうかの評価は、チューキーの多重比較の結果、全般照明による違いはパーティション等がない実験1・1と実験3・1の間のみ、危険率5%で有意差が認められた。実験1・1、2・1と4・1の評価間に有意差が認められないことから、全般照明による平均作業面照度が175[lx]と低照度であっても、730[lx]の評価と差があるとは言えないことがわかる。

図12 安心感の評価

Fig.12 Ease or unease.

図 13 好ましさの評価

Fig.13 Preference.

図 15 机上の資料の読みやすさの評価

Fig.15 Readability of letters on the printed paper.

図 14 オフィスの明るさとして適切かどうかの評価

Fig.14 Appropriateness of the brightness as an office.

文字の読みやすさは、オフィス作業における重要な要素である。机上の資料の読みやすさは、図 15 より全般照明や実験パターンによる差が他の評価項目に比べて小さく、チューキの多重比較の結果、有意差のある実験パターンが認められなかった。よって机上の資料の読みやすさは周辺環境の影響を受けにくいと考えられる。机上の資料の読みやすさの評価と机上面照度の関係を図 16 に示す。机上面照度は約 650~850[lx]まで幅があったが、読みやすさの評価には大きなばらつきが見られない。この結果より、机上の資料の読みやすさは周辺の照明環境により影響を受けにくく、資料面の照度がある程度確保されていれば、照明方式によらず机上の資料の読みやすさは変化しないと考えられる。

図 16 机上の資料の読みやすさと机上面照度の関係

Fig.16 Relationship between the readability of letters on the printed paper and the illuminance on the desk.

最近のオフィス作業はパソコンの使用が一般的であり、作業時の視線が鉛直方向から水平方向に変化している。図 17 より、モニタの文字の読みやすさは、実験パターンによる差が他の評価項目に比べて小さく、低照度の実験 3、4の方が実験 1、2よりも評価が高い傾向が見られた。評価が低いパターンは近くの高い白のパーティションに照明を照射した条件であり、モニタの背景として輝度が高いエリアが生じ、相対的にモニタが暗く感じられたためであると考えられる。

図 17 モニタの文字の読みやすさの評価

Fig.17 Readability of letters on the PC display.

マネキンの顔の表情の見やすさは、図 18 よりパーティションに照明を照射したパターンと全般照明の照度が高い実験 1, 2 の評価が高く、パーティションからの反射光がマネキンの顔の照度を高めていることが影響していると考えられる。マネキンの顔の位置の鉛直面照度とマネキンの顔の表情の見えやすさの関係を図 19 に示す。実験 3, 4 では鉛直面照度が 120~290[lx]であったが良好な評価が得られたパターンがあり、また実験 2 では鉛直面照度が 500[lx]程度得られていても実験 3, 4 に比べて評価が低いパターンがあることから、顔の表情の見えやすさは鉛直面照度だけでなく周辺の明るさに影響を受けていると考えられる。

図 18 マネキンの顔の表情の見えやすさの評価

Fig.18 Easiness to see mannequin's face.

図 19 マネキンの顔の表情の見えやすさの評価と鉛直面照度の関係

Fig.19 Relationship between the easiness to see mannequin's face and the illuminance at the mannequin's face.

実験 3 と 4 では、机上の資料を読むのに最適な明るさにタスク灯を調光させ、机上面の照度を測定した。各パターンの机上面照度を全被験者について平均した値を図 20 に示す。パーティションがない条件では実験 3 よりも実験 4 で机上面照度を高く設定する傾向が見られる。また、パーティションがある条件では、パーティションを照明しないパターンよりも照明しているパターンで机上面照度を高く設定する傾向が見られる。これは、最適な机上面照度が視野内の輝度分布に影響を受け、視野内に輝度が高い部分があると手元を明るく設定する傾向があると考えられる。

図 20 机上の資料を読むのに最適な机上面照度

Fig.20 Appropriate illuminance to read the printed paper on the desk.

3. 明るさ画像と主観評価の関係

3.1 被験者の眼前照度と見た目の明るさの関係

眼前照度と見た目の明るさとの関係をプロットしたグラフを図 21 に示す。全般照明が明るい実験 1, 2 は低照度条件の実験 3, 4 よりも眼前照度は高いが、低照度条件でも見た目の明るさが明るいという評価を得られていることがわかる。眼前照度は、

視野内の光源や物体から目に入る光の総量と考えられることから、見た目の明るさの評価は眼前照度では評価できず、輝度分布を用いて輝度対比や順応を考慮した明るさ知覚を検討する必要があると考えられる。

図 21 見た目の明るさと被験者の眼前照度の関係

Fig.21 Relationship between brightness of the appearance of the room and the illuminance at the subject's eye.

3.2 輝度画像の作成と明るさ画像への変換

視野内の輝度分布による明るさ知覚を検討するため、中村らが構築したウェーブレット変換を使用した輝度画像→明るさ画像の変換システムを利用した¹⁵⁾¹⁷⁾。明るさ画像は、輝度画像をウェーブレット分解し、分解のレベルに応じて明るさ知覚の係数を考慮してウェーブレット合成することにより得られ、明るさ画像の各ピクセルが明るさ知覚に対応した明るさ尺度値を持っている。明るさ尺度値は1から13の数値で表され、13が「非常に明るい」、1が「非常に暗い」、7が「どちらでもない」という明るさの尺度を表している。

輝度画像の作成にはLuminocam 広角タイプ(構造計画研究所製)を用いた。Luminocam は輝度分布測定ソフトウェアと USB カメラのセットで、露出を変えて撮影した5枚の画像から作成した輝度画像をLuminoskechで読み込むことにより、明るさ画像に変換できる。Luminocam 広角タイプの解像度(明るさ画像解析用)は横1036×縦765で、視角は横103.6度×縦76.5度である。輝度分布測定のための画像撮影は、被験者の視点(高さ1.15m)からの撮影と、廊下から見た部屋の撮影を実施した。Luminocam ではカメラの露出を変えて5枚の画像を撮影し、輝度値を合成した。

3.3 明るさ画像と見た目の明るさおよび快活性の印象との関係

執務室の椅子から見た評価のうち、見た目の明るさおよび快活性の印象において、実験パターン1-1と同等以上の評価が得られた実験パターンについて分析を行った。見た目の明るさと快活性の印象評価において、各実験パターンから実験パターン1-1の評価値を減じた数値を表6に示す。見た目の明るさと快活性の印象では多少差異が認められるが、実験パターン1-1よりも評価が高かったパターンは、ウォールウォッシャーを点灯したパターンと、パーティションに照明を付加したパターンと、実験2で白いパーティションに照明を付加しないパターンであることがわかる。

表 6 実験パターン1-1との評価値の差

Table 6 Differences of the evaluation of brightness of the appearance between the pattern 1-1 and the other patterns.

(各パターンの評価値)－ (実験1-1の評価値)	③見た目の 明るさ	④快活性 の印象
2-3 ウォールウォッシャー	0.21	0.43
3-3 ウォールウォッシャー	-0.07	0.29
4-3 ウォールウォッシャー	0.71	0.93
2-7 遠白OFF	0.07	0.36
2-8 遠白ON	0.79	0.71
3-8 遠白ON	0.29	0.14
4-8 遠白ON	0.93	0.50
2-10 近高灰ON	0.29	0.00
3-10 近高灰ON	0.43	-0.07
4-10 近高灰ON	0.71	0.36
2-12 近低灰ON	0.07	0.00
3-12 近低灰ON	0.07	-0.29
4-12 近低灰ON	0.36	0.00
2-13 近高白OFF	0.00	0.00
2-14 近高白ON	1.36	0.50
3-14 近高白ON	1.00	0.71
4-14 近高白ON	1.57	0.93
2-16 近低白ON	1.00	0.50
3-16 近低白ON	0.79	0.79
4-16 近低白ON	1.07	0.43

図22に実験1-1の明るさ画像、図23に実験2～4のうちウォールウォッシャーを点灯したパターン、遠くの白いパーティションに照明を照射したパターン、近くの高くて白いパーティションに照明を照射したパターンの明るさ画像を示す。図22、図23より、見た目の明るさおよび快活性の印象の評価が1-1よりも高かった実験パターンは、被験者の正面に明るい鉛直面が存在していることがわかる。

図 22 実験1-1の明るさ画像

Fig.21 The brightness image of the pattern 1-1.

図 23 実験1-1よりも明るいと評価された実験パターンの明るさ画像(ウォールウォッシャー(左)遠白ON(中)近高白ON(右))

Fig.23 Brightness images of the patterns evaluated brighter than the pattern of 1-1.

そこで、被験者に対向する鉛直面として奥壁面、パーティション、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値を求めた。それぞれの明るさ尺度値の平均値を求めたエリアは図 24 に示す斜線部分である。奥壁面、パーティション、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値および画像から求めた各要素の面積率の一覧を表 7 に示す。ウォールウォッシャーを点灯した場合の奥壁面の明るさ尺度値の平均値を求めたところ、1・1 が 7.0 であるのに対し、2・3 では 7.7、3・3 では 7.8、4・3 では 7.7 であった。また、パーティションがある実験パターンについて、パーティションの明るさ尺度値の平均値を求めた。1・1 よりも見た目の明るさおよび快活性の印象において評価が高かったパターンのパーティションの明るさ尺度値の平均値はいずれも 7.7 以上であった。また、パーティション、奥壁面、ロールスクリーンがそれぞれ画像内に占める面積率は 5%~9.4% であった。

図 24 明るさ尺度値の平均を計算したエリア（奥壁面（左）遠パーティション（中）近パーティション（右））

Fig.24 Areas that calculated the average values of the brightness scale.

表 7 奥壁面、パーティション、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値と面積率

Table 7 Average values of the brightness scale and area sizes (%).

実験パターン	実験1	実験2	実験3	実験4	エリア	画像内の面積率 (%)
なし	7.0	5.9	4.7	5.9	奥壁面	6.61
ロールスクリーン	-	7.7	6.8	6.9	ロールスクリーン	9.56
ウォールウォッシャー	-	7.7	7.8	7.7	奥壁面	6.61
アップバースタンド	-	6.1	5.3	5.4	"	6.61
遠灰OFF	-	6.5	5.6	-	パーティション	5.09
遠灰ON	-	7.4	7.4	7.4	"	5.09
遠白OFF	-	7.8	6.9	6.7	"	5.09
遠白ON	-	8.8	8.8	8.6	"	5.09
近高灰OFF	-	6.5	5.6	5.4	"	9.44
近高灰ON	-	7.9	8.1	7.9	"	9.44
近低灰OFF	-	6.5	5.6	5.4	"	6.42
近低灰ON	-	8.1	8.3	8.1	"	6.42
近高白OFF	-	7.7	6.8	6.7	"	9.44
近高白ON	-	9.1	9.3	9.1	"	9.44
近低白OFF	-	7.7	6.9	6.6	"	6.42
近低白ON	-	9.3	9.5	9.3	"	6.42

全パターンにおける見た目の明るさとパーティション、奥壁面、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均の関係を図 25 に示す。回帰直線の相関係数は 0.9 を超えており、見た目の明るさは、視野内に設定した鉛直面の明るさ尺度値の平均を用いてほぼ表現することが可能であると考えられる。

また、見た目の明るさと各要素の明るさ尺度値の平均の関係を、パーティションと奥壁面に分けてプロットしたグラフを図 26 に示す。回帰直線はいずれも 0.9 以上の高い相関が見られた。今回の実験では、回帰直線より実験パターン 1・1 の見た目の明るさの評価（6.1）と同等以上の評価を得るためには、パーティションの明るさ尺度値を 7.8 以上にすればよいことがわかる。パーティションを使用しない場合は、サンプルが少ないものの、同様に実験パターン 1・1 と同等以上の見た目の明るさを得るためには、奥壁面の明るさ尺度値の平均を 7.4 以上にすればよいと考えられる。

見た目の明るさとパーティション、奥壁面、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値の関係

図 25 見た目の明るさと各要素の明るさ尺度値の平均値の関係

Fig.25 Relationship between the brightness of the appearance of the room and the average values of the brightness scale of the vertical elements.

図 26 見た目の明るさとパーティション（左）、奥壁面（右）の明るさ尺度値の平均値の関係

Fig.26 Relationship between the brightness of the appearance of the room and the average values of the brightness scale of partitions (left) and the opposite wall (right).

図 27 にオフィスの明るさとして適切かどうかの評価とパーティション、奥壁面、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値の関係を示す。パーティション、奥壁面、ロールスクリーンの明るさ尺度値の平均値が高いほど見た目の明るさは高いが、明るさ尺度値の平均が 9 を超えるとオフィスの明るさとして適切かどうかの評価が低下していることがわかる。評価が下がるパターンは、実験 2, 3, 4 と近く白いパーティションに照明を照射したパターンであった。以上より、視野内に明るいパーティションを付加する場合、パーティションの明るさ尺度値の平均値を 7.8 から 9 の間とすれば、オフィスとして適切と評価される見た目の明るさを確保できることを示している。

図 27 オフィスの明るさとして適切かどうかと各要素の明るさ尺度値の平均値の関係

Fig.27 Relationship between the appropriateness of the brightness as an office and the average values of the brightness scale of the vertical elements.

3.4 照明の消費電力

省エネルギーと快適性を両立した照明環境を検討するため、各実験パターンの照明の消費電力を概算した。実験パターンごとに使用した照明器具、ランプと消費電力の一覧表を表 8 に示す。全般照明による消費電力は、平均作業面照度の比 (175[lx]/730[lx]) で計算し、低照度条件のタスク灯は 1 台(21W)で計算した。図 28 に示す消費電力と見た目の明るさの関係より、低照度条件では少ない消費電力で見た目の明るさの評価が高いパターンが存在しており、ウォールウォッシャーやパーティションなど明るい鉛直面を視野内に作成することにより、見た目の明るさを向上させながら、全般照明方式よりも省エネルギーが実現できる可能性を見いだすことができた。ただし、今回の実験では執務しているのは被験者 1 名という想定であったが、執務する人数や位置、時間帯などを考慮しながら照明方式を検討する必要がある。

表 8 実験パターンごとの照明器具の消費電力 (W)

Table 8 Electric power consumptions of all luminaires of each experimental pattern.

実験パターンごとの消費電力 (W)	実験1	実験2	実験3	実験4
なし	975	585	161	255
ロールスクリーン	—	585	161	255
ウォールウォッシャー	—	781	357	451
アッパースタンド	—	649	225	—
遠灰OFF	—	585	161	255
遠灰ON	—	683	259	353
遠白OFF	—	585	161	255
遠白ON	—	683	259	353
近高灰OFF	—	585	161	255
近高灰ON	—	620	196	290
近低灰OFF	—	585	161	255
近低灰ON	—	620	196	290
近高白OFF	—	585	161	255
近高白ON	—	620	196	290
近低白OFF	—	585	161	255
近低白ON	—	620	196	290

図 28 消費電力と見た目の明るさの関係

Fig.28 Relationship of the electric power consumption and the brightness of the appearance of the room.

4. 結論

一般に、タスク・アンビエント照明方式は、アンビエントの照度を下げ、必要な作業エリアはタスク灯で照明するため、全般照明方式に比べて省エネルギーとなるが、暗い印象を与えてきたことにより普及に至らなかった。本研究では、什器やウォールウォッシャー等を使用して様々な輝度分布を持つ空間を再現し、主観評価実験を行った結果、見た目の明るさが空間の明るさ感を表していると考えられ、タスク・アンビエント照明方式ではアンビエント照度が 175[lx]であっても、視野内に明るい壁面やパーティションを配置することにより、平均 730[lx]の全般照明方式以上の明るさ感が得られることが確認できた。タスク・アンビエント照明方式を採用したオフィスでは、パーティションや壁面の明るさ尺度値の平均をそれぞれ 7.8, 7.4 以上とすることにより適切な照明環境を実現できる可能性を見いだすことができた。ただし、パーティションの明るさ尺度値の平均が 9 を超えると明るすぎると感じられ、オフィスとして明るさが適切かどうかの評価が低下する傾向が見られた。

また、空間から受ける明るさ感は、被験者の眼に入る光の総量を表す眼前照度や輝度分布の絶対値だけでは評価できず、輝度対比や順応を考慮する必要があると考えられる。今回の実験では、明るさ画像を用いた解析により、空間の明るさ感は視野内に設定した鉛直面の明るさ尺度値の平均を用いて表現できることがわかった。

明るさ感以外の評価では、アンビエントの照度を下げてもタスク灯により作業領域の照度が確保されていれば、紙資料の文字の読みやすさは良好であり、モニタの文字の読みやすさや人の表情の見えやすさについても良好な評価を得られることがわかった。

今回は実測した輝度分布から明るさ画像を求めたが、照明シミュレーションによって得られた輝度分布データを明るさ画像に変換することにより、照明設計の段階で明るさ感を予測することが可能となる。従来の照度を基にした照明設計に加え、空間の明るさ感を考慮する場合には、照明シミュレーションを用いて輝度を基に設計することが重要である。

今後の課題として、作業人数が増えた場合の適切な照明環境と消費電力の関係や、鉛直面の適切な明るさ、均斉度の検討、昼間の時間帯における昼光の考慮などが挙げられる。また、全般照明

用の器具について、今回は全般照明の照度を下げるために下半分のみNDフィルタを用いたが、間接照明のような効果を生じたため、照明器具を調光した場合や全般照明の灯数を減らして175lxとする場合とは照明器具の見え方が異なっていた。今回の評価にグレアに関する項目は含めなかったが、奥エリアが消灯の条件では、室内の輝度に対して相対的にランプの輝度が高くなりグレアを感じたという意見があった。今後は、白色LEDを用いた照明器具が普及しつつあるが、蛍光灯よりも光源の輝度が高い器具が多く見受けられることから、グレアに関しても検討する必要がある。

なお、本実験は建築環境・省エネルギー機構に設置された「省エネルギーと快適性を両立するオフィス照明検討会」において実施した。委員の皆様には実験場所やオフィス什器、照明器具等をご提供いただくと共に様々なご指導、アドバイスをいただいた。また、実験は東京工業大学総合理工学部人間環境システム専攻中村研究室の青木俊樹君、川井田智美さん、笹川拓也君、白井寛人君、鈴木暁君の協力を得て実施した。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- (1)省エネルギーセンター「オフィスの省エネルギー」。
- (2)日本規格協会, JIS Z 9110 照明基準総則。
- (3)照明学会, タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会報告書(1995)。
- (4)照明学会, オフィス照明の実態調査研究調査報告(2002)。
- (5)中村芳樹: オフィスの光環境の調査と実験, 照学誌, 74-1, pp.17-23 (1990)。
- (6)田淵義彦, 中村肇, 松島公嗣, 別府秀紀: 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, 照学誌, 75-6, pp.11-12(1991)。
- (7)望月菜穂子, 宇治川正人, 平手小太郎, 安岡正人: オフィスにおける行動と好まれる照明 タスク・アンビエント照明の問題点と可能性, 日本建築学会計画系論文集, 第479号, pp.27-33(1996)。
- (8)稲沼實, 渡部耕次, 坪田祐二, 坂田克彦, 武田仁: オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式の適応性に関する実証的研究, 日本建築学会計画系論文集, 第548号, pp.9-15(2001)。
- (9)稲沼實, 渡部耕次, 山川和美, 岩田利枝, 武田仁: オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式のパーティションの相違による光環境の快適性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第522号, pp.1-7(2002)。
- (10)明石行生, 金谷末子, 八木昭宏: 作業者の集中度と周辺照度/作業面照度の比との関係, 照学誌, 80-8A, pp.540-549(1996)。
- (11)坂上美香, 明石行生, 梅野千絵, 八木昭宏: 作業者の集中度と照明環境との関係について, 照学誌, 81-5, pp.385-391(1997)。
- (12)小林茂雄, 中村芳樹, 乾正雄, 佐藤仁人: 昼光を導入したオフィスにおける執務者視野内の明るさ評価, 日本建築学会計画系論文集, 第497号, pp.7-14(1997)。
- (13)中村芳樹, 江川光徳: 均一背景をもつ視対象の明るさ知覚 -輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その1)-, 照学誌, 88-2, pp.77-84(2004)。
- (14)中村芳樹, 江川光徳: コントラスト・プロファイルを用いた明るさ知覚の予測 -輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その2)-, 照学誌, 89-5, pp.230-235(2005)。
- (15)中村芳樹: ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換-輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その3)-, 照学誌, 90-2, pp.97-101(2006)。

(16)労働安全衛生規則, 第六〇四条。

(17)藤野雅史, 中村芳樹, 井上修作, 岩井彌: 照明設計ツールとしての輝度・明るさ変換システムの構築, 日本建築学会環境系論文集, No.597, pp.13-17(2005)。

(受付日 2011年1月6日/採録日 2011年8月4日)

小谷 朋子 (専門会員)

東芝ライテック (株)

〒237-8510 神奈川県横須賀市船越町 1-201-1
1969年生まれ。1991年東京大学工学部建築学科卒業。現在、東芝ライテック(株)研究開発センターにて、光環境の設計・評価技術に関する研究に従事。日本照明委員会理事。

中村 芳樹 (専門会員)

東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻

〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

1956年生まれ。1986年東京工業大学大学院修士課程社会開発工学専攻修了。東京工業大学大学院助手を経て、現在同大学院准教授。博士(工学)。専門は視環境評価, 環境心理学。日本建築学会, 日本照明委員会, 日本色彩学会, 人間-環境学会(MERA)会員。

金谷 末子 (専門会員)

(株) ビジュアル・テクノロジー研究所

〒158-0097 東京都世田谷区用賀 4-11-20-202

1962年3月同志社大学工学部電気工学科卒, 同年4月松下電器産業株式会社に入社, 照明研究所に配属, 1998年金沢工業大学教授を経て, 現在, (株) ビジュアル・テクノロジー研究所代表取締役社長, 金沢工業大学客員教授。博士(工学)。

三木 保弘 (専門会員)

国土交通省国土技術政策総合研究所

〒305-0802 茨城県つくば市立原 1

1970年生まれ。1998年千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了, 2000年建設省建築研究所研究員。2001年より国土交通省国土技術政策総合研究所主任研究官。博士(工学)。日本照明委員会, 日本建築学会, 空気調和衛生工学会会員。