

Ⅲ. 照明システムの開発動向-4.

知的照明システム

三木 光範 同志社大学 理工学部インテリジェント情報工学科 教授

1. はじめに

オフィスにおける照明環境は、これまで机上面照度750ルクスというJIS基準が適用され、調光制御がない多くのオフィスでは、照明器具の保守率を考慮して、ランプが新しい状態では1,000ルクスを超える机上面照度となり、一方、調光する場合でも、オフィス全体が均一に750ルクスになるように制御されてきた。

しかしながら、均一な照度よりもワーカーが選択する照度の方が仕事の効率や照明環境の満足度が高くなるという研究結果¹⁾もあり、著者らも個別照度こそがよりよい照明環境となると考えてきた。ここでは、照明環境におけるワーカー毎の個別照度や個別色温度の重要性と有効性を述べた後、タスク・アンビエント照明ではなく、天井照明を用いて個別照度と個別色温度を実現する知的照明システムについて述べ、最後に知的照明システムの導入事例について述べる。

2. 個別照度の有効性

Boyceらは「個別の照明制御：仕事の効率、雰囲気、そして照度」という論文²⁾の中で、天井に蛍光灯照明がある3つの小部屋を用いて照度と執務のし易さについて検討した結果を述べている。蛍光灯の色温度は3,500Kで、部屋1と2は照度が調節可能(1~100%)であり、部屋1の最大照度は1210 lx、部屋2の最大照度は600 lx、そして部屋3では照度は固定であり、500 lxとした。1日の執務時間は7.5時間、被験者は18名(男10、女8)であり、年齢は21~57(平均31)才であった。

この実験の結果、部屋1と2では、各被験者は自由

に照度を変化させ、その変化の中央値は被験者によって100ルクスから1,200ルクスまで大きな開きがあった。また、知的生産性や主観的評価では、固定照度の部屋3ではその評価は最低となり、部屋1では最高となった。「この照明の下で働くのはうれしい(Happy)」という質問では、-5~+5までの評価に関して、部屋1では3.06、部屋2では2.00、そして部屋3では-0.03であり、照度の変異性と、その変化幅が大きいほど、著しく高い評価となっていることがわかる。さらに、消費エネルギーは部屋1および2では調光制御なしでは3.03kWh/dayおよび1.55kWh/dayであるが、調光した場合には、それぞれ1.76kWh/dayおよび1.00kWh/dayとなり、42%と35%の省エネルギー効果となっている。

これらの結果から次のことが明らかとなった。すなわち：

1. オフィスでの固定照度より低い照度を好むワーカーがいることで、省エネルギーに繋がる。
2. 仕事に最適な照度を選択することで、仕事の効率が上がる。
3. 個人が照度を選択できることで、満足感が増加し、モチベーションが上がる。

これらの結論は非常に重要である。なぜなら、照明を個別照度にする、省エネルギーで何かを犠牲にするのではなく、仕事の効率と環境の満足度が上がり、その上、大幅な省エネルギーに繋がるからである。

著者らは個別照度のみならず個別色温度の同時提供こそが良好な執務環境となると考え、NEDO技術開発機構の事前調査研究・開発プロジェクトにおいて、10名の学部生および大学院生を対象に、実執務空間に個

別照度と個別色温度を実現する仮設天井照明を設置し、約2ヶ月にわたって、個人が選好する照度と色温度の結果を得た。図1はその実験場所の見取り図であり、図2は実験風景を示したものである。

各被験者は、コンピュータ上で照度と色温度を自由に設定できる。この実験システムでは色温度4,500Kの白色蛍光灯と、色温度2,800Kの電球色蛍光灯を各被験者の頭上約1.3mのところ設置し、それらの蛍光灯の光度を調節することで設定した照度と色温度を実現させる。照度に関しては各机上面に照度センサー

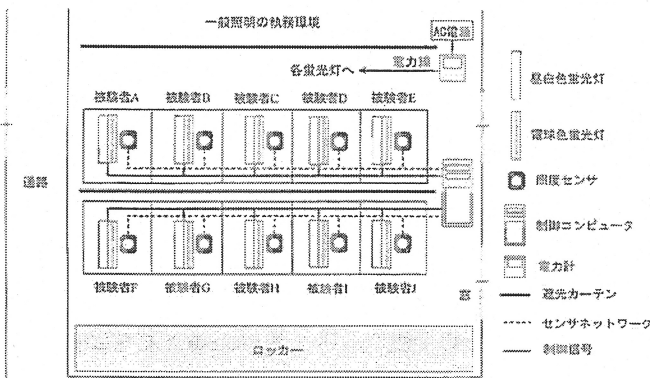


図1 実験場所の見取り図

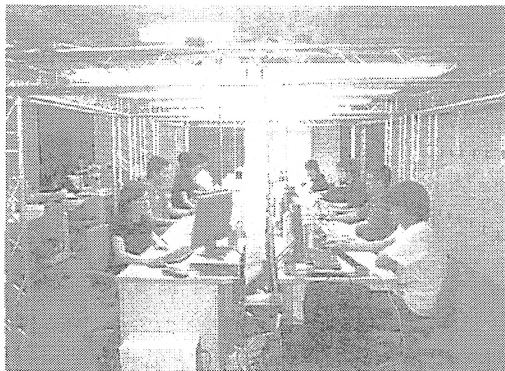


図2 実験風景

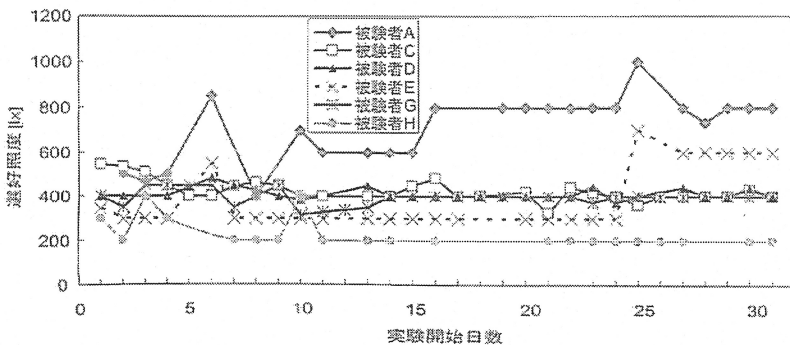


図3 選好照度の履歴（重複を避けるため10名のうち6名のみ示す）

を設置し、近傍の照明の光も考慮して照度を設置値に合わせる制御を行うが、色温度に関しては頭上の照明からの光の色温度だけを制御した。このため、色温度に関しては近傍の照明からの影響により200K程度の誤差が生じる場合がある。

この実験装置を用いて各被験者には、執務に最適な照度と色温度を試行錯誤で探索してもらった。その結果を図3および4に示す。ここでは、1日のうちで最も長い時間設定された照度と色温度を、それぞれ選好照度および選好色温度と称する。

図3から、被験者が執務に最適と感じて選好した照度は200ルクスから800ルクスまで広範囲にわたっており、Boyceらの結果とよく合う。また、Boyceらは色温度については3,500Kの固定色温度照明環境であったが、図4から、執務に最適と感じる色温度に関しても個人差は大きく、3,100~4,500Kまで広い範囲にわたっており、一定の色温度は執務には最適とは感じられないことがわかった。これらのことから、執務に最適と個人が判断する照度と色温度は、個人の好みや仕事の内容などに依存して大きく変化することがわかる。

著者らの実験では主観的評価は行ったが、知的生産性に関する客観的評価は行っていない。しかしながら、Boyceらの知的生産性に関する評価を考えると、著者らが示した選好照度と選好色温度の照明環境でも、一定照度・色温度環境と比較して知的生産性は高くなると思われる。なぜなら、この実験では「快適な環境になるように」という目標を各個人に与えたのではなく、「最も執務の効率があがるように」という目標を与えて照度と色温度を試行錯誤的に発見してもらったからであり、かつ、Boyceらの結果では満足度と知的生産性は比例して上昇しているからである。

これに対して「主観的評価と客観的評価は異なる可能性がある」という反論も可能である。しかしながら、短期的にはそれらが異なるとしても、長期的な試行錯誤においては、被験者同士の情報交換もあり、「主観的評価と客観的評価は近づく」と思われる。さらに言えば、知的生産性は少し高くなって自分好まない環境で仕事を続ける

ことは精神衛生上良いことだとは思えない。もちろん、主観的評価と客観的評価が大きく異なる可能性があるなら客観的評価は極めて重要であることは言うまでもない。

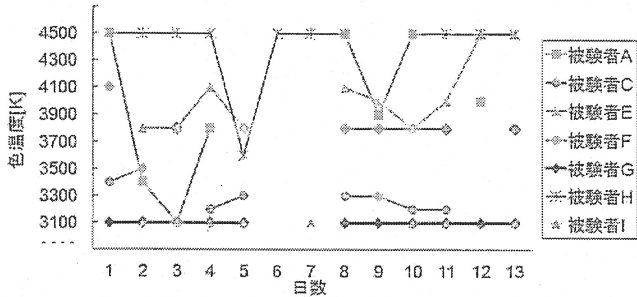


図4 選好色温度の履歴 (重複を避けるため10名のうち7名のみ示す)

3. 知的照明システム

著者らが研究・開発している知的照明システムは、図5のように、マイクロプロセッサと人工知能ソフトウェアを組み込んだ照明器具と、照度センサー、電力計、およびそれらを接続するネットワークから構成されている。

各照度センサーに目標照度値を設定すると、各照明は各照度センサーの目標照度と現在照度、電力計で計測される消費電力を基に最適化問題を解き、最適な光度を出力する。詳しくは文献²⁾を参照されたい。

各照明の動作原理を簡単に説明すると次のようになる。すなわち、各照明は現在の光度を一定の範囲でラ

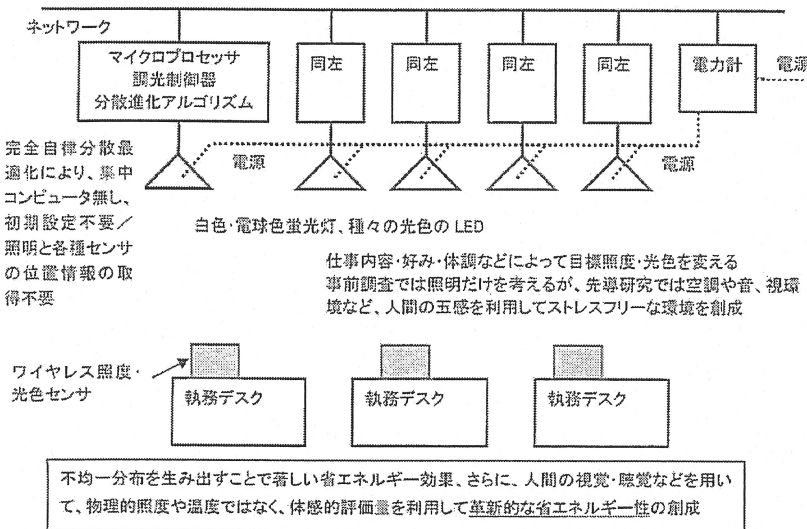


図5 知的照明システムの構成図

ンダムに変更する。この光度の変更は人間の目に感じない範囲で行う。このとき、各照度センサーはすべての照明のランダムな光度変化を受けて複雑に変化するが、各照明の中で、当該照明の光度変化と、各照度センサーで測定される照度変化の回帰分析を行うと、一つの照明が各照度センサーに及ぼす影響度を動的に評価することができる。この影響度を高い・中程度・低いという水準に分類し、それに応じて図6に示すような光度変化幅を与える。ここで示した変化の幅は、ランダムに変更する光度の最大値を示す。図中の数字は相対的な比率であり、実験においては光のちらつきを人間が感じないように、比率1は最大光度の5%程度に調節している。

ある照明から見て影響度の高い照度センサーはその照明の近くに存在する照度センサーであり、その照度センサーの目標照度が現在照度より

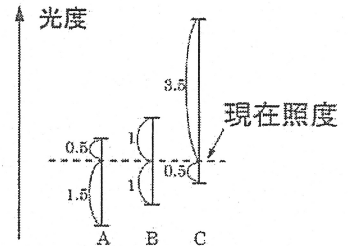


図6 光度変化の範囲 (A: 減光型、B: 中立的型、C: 増光型)

低いなら、その照明の光度をランダムに変化させながらトレンドとしては増加するようにする。これが図6の増光型変化となる。一方、影響度の高い照度センサーの現在照度が目標照度より高い場合には、その照明の光度をランダムに変化させながらトレンドとしては減少するようにする。これが図6の減光型変化となる。影響度の度合いと目標照度と現在照度の差からこれらの変化を複雑に組み合わせて用いることで、複数の照明が複数の照度センサーの目標照度を満足させることができる。

4. 知的照明システムの省エネルギー性能

知的照明システムを用いると各ワーカー毎に個別の照度が提供でき、均一な設定照度より低い照度を好むワーカーが多いと消費電力は減少し、逆に、

高い照度を好むワーカーが多いと消費電力は増加する。

図7は図2に示した知的照明システムにおける照度と消費電力を計測したものである。この結果から、イ

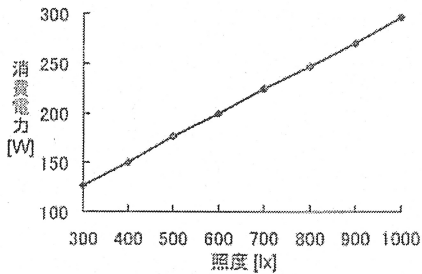
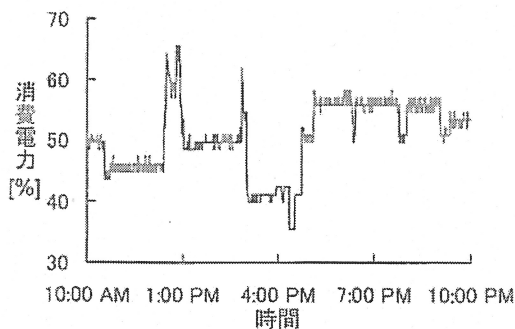


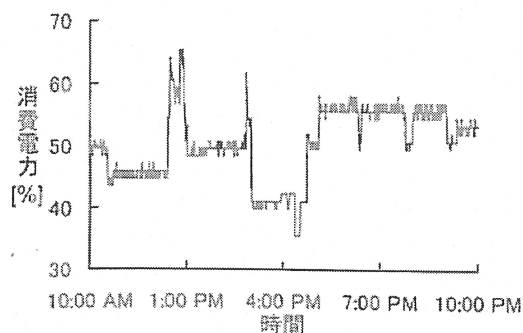
図7 実現照度と消費電力

ンバーター調光の蛍光灯器具では光度を減少させれば、発光効率は多少悪化するが、消費エネルギーは線形的に減少するため、平均照度が減少すればその分だけ省エネルギーに繋がることがわかる。

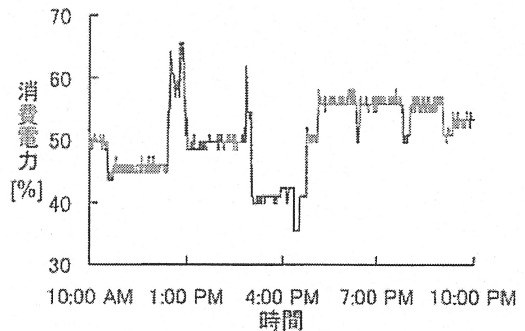
図8は図2に示した知的照明システムを用いて行った2ヶ月の実験におけるある1日の消費電力の履歴を示したものであり、それぞれ消費電力が高い、中程度、および低い日の一例である。なお、ここでは机上面照度が800ルクスを基準照度とし、そのときの消費電力を100%とした。JIS基準ではオフィスの照度は机上面照度750ルクス以上となっているが、実際のオフィスではこの照度基準をかなり超えており、ここではその



(a) 消費電力が高い1日



(b) 消費電力が中程度の1日



(c) 消費電力が低い1日

図8 消費電力の履歴

ことも考慮して電力量算出の基準照度を机上面800ルクスとした。この値を高くすれば知的照明システムの消費電力は減少し、低くすれば増加する。800ルクスという基準は一般的なオフィスの照度を考えると十分低い値であると考えている。

これらの結果から、この実験では、知的照明システムの省エネルギー性能は40~50%であると考えられることができる。

5. おわりに

現在、知的照明システムはコクヨ株式会社品川オフィス (2008年11月設置)、三菱地所株式会社大手町ビルディング都市計画事業室 (2009年4月設置)、同ビル管理企画部 (5月設置)、および三菱地所株式会社新丸ビルエコツエエリア (10月設置) に導入され、実オフィスでの実証実験が行われている。現在、詳細なデータを分析しているが、たとえば都市計画事業室では平均照度は500ルクス程度になっており、消費電力も導入前と比較して約40%減少となっている。これらの詳細については次の機会に報告したい。なお、すでに導入された知的照明システムのプレスリリースなどはウェブで「知的照明」のキーワードで検索すると入手可能である。

参考文献

- 1) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, and S. Noel Simpson, Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance, Journal of the Illuminating Engineering Society, pp. 131-142, 2000.
- 2) 三木光範、「知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム」、人工知能学会誌, 22(3) pp.399-410, 2007.