

実執務環境における照度および色温度を個別制御する知的照明システムの構築

三木 光範^{*1} ○加來 史也^{*2}
廣安 知之^{*3} 吉見 真聡^{*4}
田中 慎吾^{*2} 吉形 允晴^{*2}

キーワード：照明制御 最適化 照度 色温度

1. はじめに

近年、オフィス環境を改善することによって、オフィスワーカーの知的生産性の向上を求める声が高まっている。知的生産性の向上のためには、適切な明るさを提供することによる照明環境の改善が有効であるという報告がなされている¹⁾。そこで我々は、任意の場所にユーザの要求する明るさ（照度）を提供する知的照明システムを提案している²⁾。

照明環境の要素には、照度以外にも輝度や光の色などがあるが、特に光の色（色温度）の改善による知的生産性の向上が注目を集めている³⁾。そこで、さらなる知的生産性の向上のために、個別照度および個別色温度環境の実現を目指す。

本報告では、個別照度を提供する知的照明システムに色温度制御機構を組み込むことで、実執務環境において任意の場所にユーザの要求する照度および色温度を提供するシステムについて述べる。そして、動作実験によってシステムの有効性を検証する。

2. 照度を個別制御する知的照明システム

照度を個別制御する知的照明システムは、ネットワークに接続したマイクロプロセッサを搭載した照明器具、照度センサ、および電力計から構成される。各照明に搭載されたマイクロプロセッサが、照度センサからの照度情報、および電力計からの電力情報を基に、最適化アルゴリズムを用いて、照明の点灯の強さ（光度）を制御する。これにより、任意の場所にユーザの要求する照度を提供する²⁾。

3. 実執務環境における照度と色温度を個別制御する知的照明システムの構築

3.1 構築環境

本システムは、2章で述べた照度を個別制御する知的照

明システムに加え、電球色蛍光灯とその制御装置を用いることで、実執務環境において被験者の要求する照度および色温度を実現するシステムである。このシステムを同志社大学内の学生の執務スペースの一部に構築した。本システムの領域は3.4m×5.7mを占め、その中で10名の被験者が所定の位置で執務を行っている。図1にシステムを構築した環境を示す。

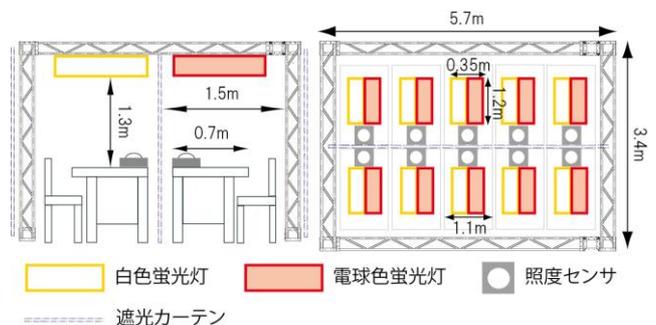


図1 構築環境

図1に示すように、各被験者の机上面から1.3m上に白色蛍光灯（色温度4500[K]）および電球色蛍光灯（色温度2800[K]）を1灯ずつ設置し、各被験者の机上面に照度センサを設置した。また、付近の一般照明による影響を小さくするために、実験領域の側面部に遮光カーテンを設置した。さらに、対向する照明からの光が、被験者の目に直接入らないように実験領域の中央部にも同様の遮光カーテンを設置した。

以上の環境において、被験者の要求に応じて照度および色温度を制御するシステムを構築した。

3.2 システムの構成

構築システムのハードウェア構成は、システム制御用PCが2台、光度の制御が可能な白色蛍光灯および電球色蛍光灯が各10灯、調光インタフェース（10チャンネル）が2台、照度センサが10台、およびA/D変換器が1台である。以上の機器の接続を図2に示す。

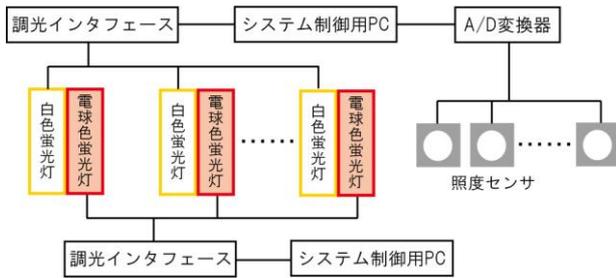


図2 システムの構成

各照明の光度を制御するために、各照明を調光インタフェースに接続した。調光インタフェースは、Pulse Width Modulation (PWM) 方式に基づいて、パルス波の Duty 比を 256 段階に変化させて、各照明へ送信する装置である。Duty 比が高いパルス波を送信すると照明が明るく点灯し、Duty 比が低いパルス波を送信すると照明が暗く点灯する。そこで、システム制御用 PC と調光インタフェースを接続することで、システム制御用 PC から各照明の光度を制御する。なお、調光インタフェースはチャンネルごとに独立して Duty 比を変化させることができるため、各照明の光度を個別に制御することが可能となる。

また、2章で述べたように知的照明システムの制御には、照度情報および電力情報が必要となる。照度情報の取得のために、各照度センサをシステム制御用 PC に接続した。ただし、使用した照度センサはアナログ信号で照度情報を出力するため、A/D 変換器を介してデジタル信号に変換した後に、システム制御用 PC に送信する。一方、電力情報の取得は、リアルタイムに電力情報をネットワークで取得できる機器が入手できなかったため、電力量と比例関係にある各照明の光度の和を基に推定した。各照明の光度はシステム制御用 PC が管理しているため、電力計を用いるよりも効率的にシステムを動作させることが可能である。ただし、蛍光灯ごとの光度と電力量の校正曲線を基に推定した電力量を、照明台数分加算することで、より正確な電力量の推定が可能となる。

3.3 構築システムの制御

構築システムでは、目標色温度に基づいて電球色蛍光灯の制御を行い、目標照度に基づいて白色蛍光灯の制御を行う。それぞれが独立して制御を行い、それぞれの目標を実現することで、目標照度および目標色温度を同時に実現す

る。

3.3.1 色温度制御

予備実験において、白色蛍光灯および電球色蛍光灯の光度を 150 [cd] 刻みで変化させ、照度および色温度を測定した。実験結果を図3に示す。

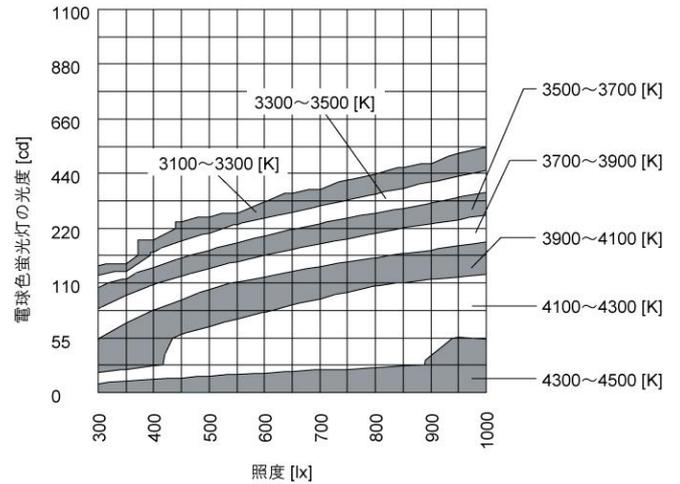


図3 色温度の分布

図3を基に、目標照度が実現された際に目標色温度が実現するように、電球色蛍光灯の光度を被験者が設定する。設定した光度で電球色照明が点灯することにより、目標照度が実現すると同時に目標色温度も実現される。

3.3.2 照度制御

他の照明や外光などによる影響と併せて、システム制御用 PC が白色蛍光灯の光度を自動的に制御することで、目標照度を実現する。

白色蛍光灯の制御には、相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient : ANA/CC)⁴⁾を利用する。ANA/CC は山登り法(Hill Climbing : HC)をベースに、照明制御用に改良したものである。ANA/CC では、光度変化と照度変化との相関関係を基に、照明と照度センサの概略的な位置を動的に学習し、位置関係に基づいて次光度および目的関数を適応的に決定し、目標照度との差および消費電力量を最小化する⁴⁾。

4. システムの検証実験

以下の2つの観点から構築システムの検証を行った。

- ・ 同一の目標を設定した際に、すべての被験者に目標とする照度および色温度が提供できるか (検証実験1)
- ・ 異なる被験者の要求に応じた照度および色温度を提供できるか (検証実験2)

なお本章では、各被験者の座席をAからJまでのアルファベットで呼称する。図3に座席とアルファベットの対応付けを示す。

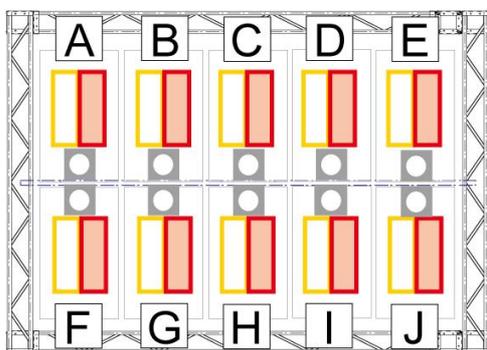


図3 実験環境

4.1 検証実験1

すべての被験者が均一の目標照度および色温度を設定した際に、図3に示したA点～J点の照度および色温度を測定し、すべての被験者に目標を提供できるかを検証する。その際の目標照度は3パターン設定した。目標設定を表1に示す。

表1 目標設定

	目標照度 [lx]	目標色温度 [K]
目標パターンA	400	3500
目標パターンB	600	3500
目標パターンC	800	3500

表2に、それぞれの目標パターンを設定した際のA～J点における実現照度およびその誤差を示す。

表2 実現照度とその誤差 (単位: lx)

	目標パターンA	目標パターンB	目標パターンC
A点	433 (+33)	579 (-21)	798 (-2)
B点	402 (+2)	599 (-1)	786 (-15)
C点	414 (+14)	620 (+20)	783 (-17)
D点	376 (-24)	629 (+29)	792 (-8)
E点	362 (-38)	586 (-14)	795 (-5)
F点	391 (-9)	577 (-23)	809 (+9)
G点	416 (+16)	619 (+19)	802 (+2)
H点	436 (+36)	609 (+9)	807 (+7)
I点	445 (+45)	611 (+11)	800 (±0)
J点	408 (+8)	591 (-9)	833 (+33)
平均	423 (+23)	616 (+16)	810 (+10)
最大	445 (+45)	629 (+29)	833 (+33)

表2に示すように、すべての被験者の目標照度がほぼ実現できたことが確認できる。また、目標照度と実現照度との差が最も大きかったのは、目標パターンAにおけるI点の45 [lx]であった。しかし、50 [lx]程度の照度差を人は感知できない⁵⁾ため、この照度差は許容できると考えられる。以上のことから、同一の目標照度を設定した場合、すべての被験者に対して要求された照度が実現できることがわかった。

同様に表3に、実現色温度およびその誤差を示す。

表3 目標色温度とその誤差 (単位: K)

	目標パターンA	目標パターンB	目標パターンC
A点	3798 (+298)	3814 (+314)	3839 (+339)
B点	3522 (+22)	3529 (+29)	3516 (+16)
C点	3515 (+15)	3544 (+44)	3507 (+7)
D点	3522 (+22)	3587 (+87)	3539(+39)
E点	3583 (+83)	3633 (+133)	3638 (+138)
F点	3786 (+286)	3848 (+348)	3864 (+364)
G点	3541(+41)	3582 (+82)	3593 (+93)
H点	3417 (-83)	3476 (-24)	3553 (+53)
I点	3485 (-15)	3442 (-58)	3514 (+14)
J点	3548 (+48)	3502 (+2)	3497(-3)
平均	3591 (+91)	3612 (+112)	3407(+107)
最大	3798 (+298)	3814 (+314)	3864 (+364)

表3に示すように、照度と比べて実現色温度との誤差

は大きくなった。特に、A点およびF点はすべての目標パターンにおいて 286[K]~364[K]以上の誤差が生じている。これは、A点およびF点の付近にある一般照明（色温度 4500[K]）の影響を受けてしまい、目標色温度との誤差が大きくなっているためであると考えられる。しかし、A点およびF点を除いた場合の色温度差は 100 [K]程度である。我々の予備実験により、100 [K]程度の色温度差を人は感知できないことが明らかになったため、この色温度差は許容できると考えられる。

以上のことから、A点およびF点は目標色温度との誤差が若干目立つものの、それ以外は要求された色温度を提供していることが確認できる。

4.2 検証実験 2

異なる領域に異なる目標照度および異なる目標色温度を設定した際の、照度の収束状況、および色温度の収束状況を検証する。

図4に示すように、B点、G点、およびI点に設置された照度センサの目標を表3に示すように設定した。

表3：目標設定

	目標照度 [lx]	目標色温度 [K]
B点	400	4000
G点	600	3500
I点	800	3000

表3に示した目標設定で、構築システムを稼働させた際の照度履歴を図5に示す。横軸は時間[秒]、縦軸は照度[lx]を表す。

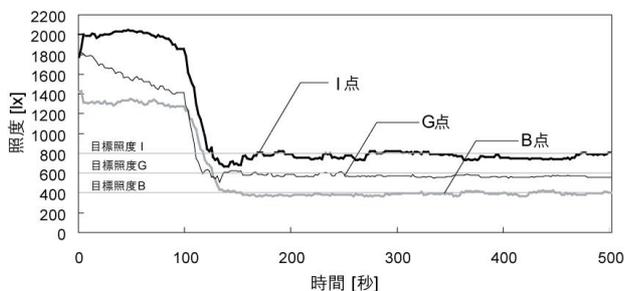


図5：照度履歴

図5に示したように、どの点においても 120 秒程度の時間で目標照度を実現している事が確認できる。

同様に色温度履歴を図6に示す。横軸は時間[秒]、縦軸は色温度[K]を表す。

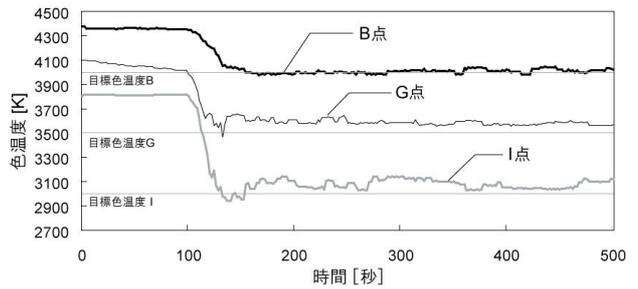


図6：色温度履歴

図6に示したように、どの点においても 150 秒程度の探索時間で目標色温度を実現している事が確認できる。

以上の実験結果から、構築システムが任意の場所に異なる照度および色温度を提供し、複数の被験者が要求する様々な光環境を同時に提供できることを確認できた。

構築したシステムを用い、各被験者が好む照度および色温度を選択する実験を長期間行うことで、執務に最適な照度および色温度傾向が明らかになると考えられる。

[参考文献]

- 1) 橋本哲ら, 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究, 空気調和・衛生工学会論文集 No.93, pp67-76, 2004.4
- 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, Vol.22, No3, pp399-410, 2007
- 3) 大林史明ら, オフィスワークのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験の評価, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, Vol.1, No.1322, pp.151-156, 2006
- 4) 今里和弘, 三木光範ら, 知的照明のための適応的近傍アルゴリズム, 情報処理学会研究報告, p.49-52, 2005
- 5) 鹿倉智明ら, オフィス照明環境における明るさ変動近くに関する研究, 情報処理学会研究報告, p.49-52, 2005

- *1 同志社大学理工学部 教授 工博
- *2 同志社大学 大学院生
- *3 同志社大学生命医科学部 教授 工博
- *4 同志社大学生命医科学部 助教 工博