

照度および色温度を連動制御することで 照度センサのみで個別の照明環境を実現する知的照明システム

An Intelligent Lighting System Providing Individual Lighting Environment
Only Using Illuminance Sensors by Illuminance and Color Temperature Linked Control

川島 梨沙*¹ 三木 光範*² 町田 啓悟*¹ 松本 大樹*¹ 間 博人*²
Risa Kawashima Mitsunori Miki Keigo Machida Taiki Matsumoto Hiroto Aida

*¹同志社大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

The authors have conducted research into an Intelligent Lighting System in order to achieve the illuminance and color temperature required by each office worker with low power consumption by using a chroma meter. However, as these chroma meters are very expensive compared to illuminance sensors, it is not easy to introduce them into offices. Moreover, setting the color temperature was burden on the users. Hence, we proposed a new method to achieve individual lighting environment in the Intelligent Lighting System by illuminance and color temperature linked control without using a chroma meter.

In the proposed method, we determined the color temperature, which is preferred in general, depending on the illuminance required by each user. By extracting lightings near the illuminance sensor accurately, and turning on these lights in required color temperature, it realized the user's requested lighting environment.

1. はじめに

近年、オフィス環境における執務者の知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっている [1]。執務者に最適な照度および色温度を提供することは、照明環境改善の観点から有効であると報告されている [2]。

そこで著者らは、個々の執務者の要求に応じた照度および色温度を提供する知的照明システムを提案した [3]。知的照明システムは実オフィスに導入しており、色彩照度計が高価であるという理由から、照度センサのみを用いている。ここでは、色温度の制御は執務者が照明ごとに手動で設定を行っており、これは執務者の手間と言える。また、執務者が照度および色温度を選択する際、照度に対してどのような色温度を設定すべきか分からず、その照度に適した色温度を選択することは、執務者の負担となっている。

そこで、色彩照度計を用いずに、執務者が設定した目標照度に応じ、その照度に対して一般的に望ましいとされる色温度を提供する新たな照明制御手法を提案する。これにより、色彩照度計は不要となり、目標色温度を設定する操作を簡略化することで、オフィスにおける執務者の快適性の向上を目指す。

2. 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムとは、指定した場所に執務者が要求した照度および色温度を省電力で提供する照明システムである [3]。調光が可能な複数の照明機器、複数の色彩照度計、制御装置、および電力計を1つのネットワークに接続することで構成される。Fig.1 に知的照明システムの構成を示す。

各照明に設置された制御装置が色彩照度計から得られる照度情報、色温度情報、そして電力計から得られる消費電力情報を基に、最適化手法を用いて照明の明るさ（光度）を変化させる。これを繰り返すことによって、執務者が要求する照度（以下、目標照度）と色温度（以下、目標色温度）を実現する。

連絡先: 川島 梨沙, 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, rkawashima@mikilab.doshisha.ac.jp

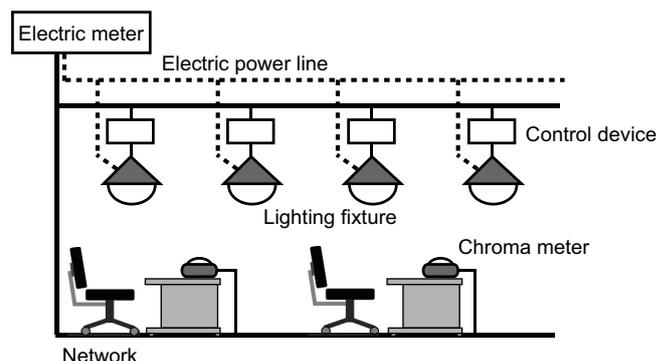


図 1: 知的照明システムの構成

2.2 回帰係数を用いた照明制御アルゴリズム

知的照明システムの制御は、Simulated Annealing (SA) を基盤とした制御アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を用いる。ANA/RC では、設計変数を各照明の光度とし、探索毎に各照明の光度を執務者に感知されない範囲でランダムに変化させ、最適な点灯パターンの探索を行う。そして、照度を目標照度、色温度を目標色温度に近づけるといった制約条件の下、消費電力の最小化を図る。

また、知的照明システムでは、最適な点灯パターンの探索を探索する過程において各照明の光度を変化させる。このときの各照明の光度変化量と各照度センサの照度変化量を基に回帰分析を行うことで、回帰係数から各照明における各照度センサの照度/光度影響度合い（以下、照度/光度影響度係数）を推定する。照度センサに近い照明は、その照度センサに与える影響が大きいため回帰係数も大きくなり、逆に照度センサから離れている照明は、回帰係数が小さくなる。

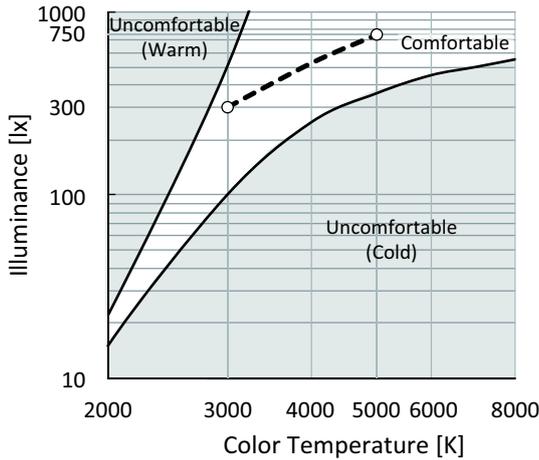


図 2: クループフ曲線による照度および色温度の快適領域

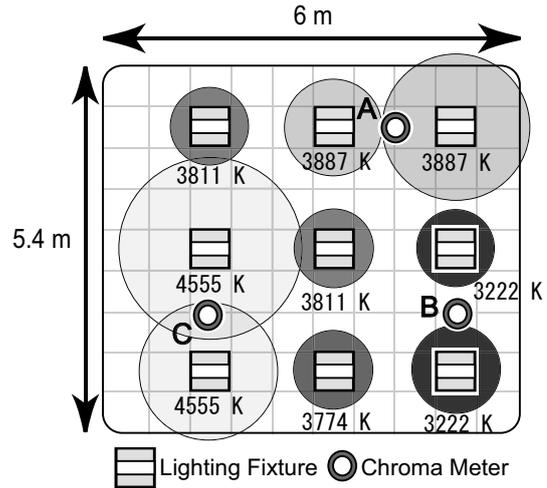


図 3: 実験環境における各照明の色温度分布

3. 色彩照度計を用いず、指定した照度に応じた色温度を提供する照明制御手法

3.1 指定した照度に応じて色温度を自動決定する手法

照度・色温度の関係についての研究は既に行われており、色温度の低い室内では落ち着いた暖かい雰囲気になり低照度が適しているのに対して、色温度が高い室内では照度が低いと陰気な雰囲気になるため高照度が適切であると報告されている [4]。よって、提案手法では低照度が要求された場合は低色温度、高照度が要求された場合は高色温度となるよう、各執務者の目標照度に応じて目標色温度を自動設定することで、色温度設定の操作を簡略化する。Fig.2 に提案手法の概念図を示す。なお、一般的なオフィスで求められる照度は 300 lx ~ 750 lx 程度、色温度は 3000 K ~ 5000 K 程度である。そこで、提案手法では 300 lx が要求された場合は 3000 K、750 lx が要求された場合は 5000 K とし、その間の照度および色温度の関係を Fig.2 で示す波線で結ぶことで、目標照度に応じた色温度の対応付けを行う。

3.2 照度/光度影響度係数を用いた照明制御手法

提案手法は、照度/光度影響度係数を基に照度センサに近い照明を抽出し、それを目標照度に応じた色温度で点灯する。また、抽出した照明が複数の照度センサに近い照明である場合、対応する照度センサの目標色温度から平均ミレッド値を算出し、その色温度で照明を点灯する。ミレッドとは色温度の逆数を表した値（逆色温度）であり、色温度は人間の視覚色認識と比例関係を持たないため、色差を求める場合にはミレッドが用いられる。提案手法では、複数の照度センサに設定された目標色温度を考慮し、その色差の平均値を取った平均ミレッド値で、複数の照度センサに近い照明を点灯する。

4. 検証実験

4.1 実験概要

提案手法の有効性を示すため、検証実験を行った。実験室は、5.4 m × 6.0 m × 2.5 m の空間であり、実験の際には壁面からの反射光による外乱を避けるため暗幕を設けた。また、2700 ~ 5400 K、26 ~ 2040 cd まで調光可能な SHARP 社製 LED 照明を 9 灯およびコニカミノルタ社製色彩照度計 (CL-200) 3 台を Fig.3 のように設置した。検証実験では、照度センサ間の距離を照明配置間隔の約 2 倍程度開けて検証を行

い、色温度の実現性を明らかにする。なお、色彩照度センサから得られる色温度情報は、提案手法における色温度の実現性を確認するためにのみ用いる。

各照明の初期状態を最大点灯光度とし検証を行う。なお、昼白色照明と電球色照明を最大点灯光度で点灯したときの色温度は約 3800 K となる。また、センサ A、B、C の目標照度をそれぞれ 500 lx、350 lx、650 lx とした。

4.2 実験結果

照度および色温度の実現性において検証する。提案手法を用い、照度および色温度が共に安定した 400 秒時の照明の点灯光度と色温度を、Fig.3 に示す。各照明を中心とした円の大きさが各照明の鉛直下方向の光度を示し、円の色が濃くなるにつれ色温度は低くなるとした。また、各照明の真下に各照明の色温度を記した。

センサ A、B、C に設定された目標照度から、Fig.2 の関係図を用いることで、目標色温度はそれぞれ 3222 K、3889 K、4556 K となった。提案手法の点灯パターンを示す Fig.3 では、照度センサに近い照明が対応する照度センサの目標色温度で点灯するのを確認した。

目標照度および目標色温度の実現性について検証する。照明制御が安定する 200 秒から 400 秒までの間、全センサにおける目標照度と実測照度の平均誤差は 12 lx であった。おおよそ 50 lx 程度の照度差は人の目では検知できないため、誤差は十分に小さいと考える。また、目標色温度と実測色温度の平均誤差は 102 K であった。5.5 ミレッド程度の色温度差は人の目で感知できないため、全センサのうち 2 つがこの条件を満たす結果となった。

参考文献

- [1] Olli Seppanen, William J. Fisk: A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control, Proceedings of ASHRAE, 2005.
- [2] Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson: Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, pp.131-142, Winter 2000.
- [3] 芦辺麻衣, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムにおける照度と色温度の個別分散制御. 情報処理学会研究報告. BIO, バイオ情報学, Vol. 2008, No. 126, pp. 69-72, 2008.
- [4] A.A.Kruithof, Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review 6, pp.65-96, 1941.