

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

芦辺 麻衣子[†], 三木 光範^{††}, 廣安 知之[‡]

[†] 同志社大学大学院 ^{††} 同志社大学工学部 [‡] 同志社大学生命医科学部

本研究では、オフィスにおける照明環境の照度と色温度を個人毎に設定した目標値に収束させる個別分散制御システムの開発を行う。制御アルゴリズムとして、山登り法 (Hill Climbing : HC) という汎用最適化手法に設計変数の近傍設計メカニズムを用い、照度の相違と色温度の相違から高色温度照明と低色温度照明の光度変化に関し、5種類の近傍を適応的に用いる方法を提案する。昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯を用いた実験により、照度と色温度が設定した目標値に収束することを確認した。

Autonomous Distributed Control of Illuminance and Color Temperature in Intelligent Lighting System

Maiko ASHIBE[†], Mitsunori MIKI^{††}, and Tomoyuki HIROYASU[‡]

[†] Graduate School of Engineering, Doshisha University

^{††} Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University

[‡] Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

In this research, we develop an intelligent lighting system which provides individual illuminance and color temperature for lighting environment in the office. The proposed control algorithm is based on the "Hill Climbing(HC)" optimization method and uses an adaptive neighborhood design of five types for controlling the luminance of high and low color temperature lighting fixtures. The experiment using natural white color and lamp color fluorescent lamps showed the effectiveness of the proposed method.

1 はじめに

近年、オフィスにおいて、オフィスワーカーの知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっている¹⁾。知的生産性に及ぼすオフィス環境の影響に関する研究は既に多く行われており、オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている^{2, 3)}。オフィス環境の中でも照明環境に着目した研究では、人間の生体リズムに応じて、照明の明るさを変えることにより知的生産性を向上できることが報告されている³⁾。また、オフィスワーカーの仕事内容などによって求められる光の明るさは異なるという研究結果も報告されている⁴⁾。このような背景から、著者らは個々のオフィスワーカーの要求に応じた光の明るさを提供する知的照明システムの研究を行っている⁵⁾。知的照明システムは、任意の場所に任意の明るさを提供できる自律分散型の照明システムである。この知的照明システムは、既に実機による動作実験が行われ、その高い性能と実用性が検証されている。

照明環境の要因には、全体の照度(明るさ)以

外に、照度分布、輝度、輝度分布、演色性、および色温度などが存在する。本研究では、照度だけでなく色温度にも着目し、知的照明システムにおいて照度と色温度の個別分散制御を新たに提案する。オフィスワーカー毎に異なる照度および色温度を提供することによって、今までの照度のみをコントロールする知的照明システムに比べ、個々の状況に応じた光環境をより細やかに提供することができる。それにより、オフィスワーカーの知的生産性、創造性、および快適性の更なる向上が期待できる。なお、色温度については次章にて詳しく述べる。

2 色温度

2.1 色温度とは

完全黒体を加熱するとその温度により、特定の光が放射される。その完全黒体の温度をその光の色温度と呼ぶ。単位はK(ケルビン)である。色温度が低いほど赤みが、高いほど青みのある光色となる。蛍光灯は、日本工業規格によって「昼光色(5700~7100 K)」、「昼白色(4600~5500 K)」、「白

色 (3800～4500 K)」、「温白色 (3250～3800 K)」, および「電球色 (2600～3250 K)」の5種類に区別されている。一般的なオフィスでは、色温度 5000 K の昼白色蛍光灯が使用されている場合が多い。

2.2 色温度が人間に及ぼす影響

色温度が人間に与える影響に関して様々な研究が行われている。Kruithof⁶⁾ は低色温度の室内では落ち着いた暖かい雰囲気となり、低照度が適切であるのに対し、低照度・高色温度の室内では寒々とした陰気な雰囲気となり高照度が適切であると報告している。また、照明の色温度を低くすることによって、くつろぎに関して相対的に満足度を得ることができる⁷⁾。反対に高色温度の照明が人間に与える影響に関しても研究が行われている。PHILIPS 社が色温度 17000 K の照明 (ActiViva 蛍光灯) を工場やオフィスに導入し、実験を行ったところ、記憶が良くなったり、集中力が高まったり、より注意深くなる事で、仕事のパフォーマンスが向上するという効果を得ている⁸⁾。

これらのことから、オフィスワーカー個人によっても仕事内容や状況、気分などにより、要求する照度と色温度は異なると考えることができる。

本研究では、オフィスの照明環境において、照度と色温度を個別分散制御する知的照明システムを提案する。

3 照度と色温度を個別分散制御する知的照明システム

3.1 システムの概要

知的照明システムとは、複数の照明器具をネットワークに接続し、それぞれの照明器具の協調動作によってユーザの要求を満たすシステムである⁵⁾。知的照明システムでは、ユーザが照度センサに目標照度を設定するだけで、照明やセンサの位置情報を必要とすることなく、自動的に有効な照明を判断し、適切な場所に適切な照度を提供することができる。このシステムでは、これまで照度の個別分散制御を行ってきた。本研究では、照度のみならず色温度も個別分散制御するため、図 1 に示すように、色温度が異なる 2 種類の蛍光灯 (高色温度蛍光灯, 低色温度蛍光灯) を使い、それらの蛍光灯を分散制御することにより、複数の場所に異なる照度と色温度を提供できるようにする。また、従来の知的照明システムでは、照度センサを用いていたが、ここでは照度と色温度が計測できる色彩照度センサを用いる。

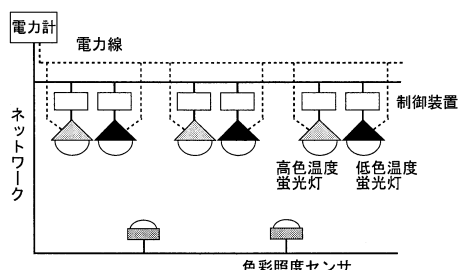


図 1: システムの構成

3.2 制御アルゴリズム

知的照明システムでは、制御装置を搭載した照明器具が集中制御器を持たずに、自律的な光度調節を行う自律分散制御アルゴリズムを用いている。このアルゴリズムは、山登り法 (Hill Climbing : HC) という汎用最適化手法に設計変数の近傍設計メカニズムを組み込んだ、適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient : ANA/CC)⁵⁾ である。以下に、制御アルゴリズムについて説明する。

1. 全ての照明を初期光度で点灯させ、目標照度および目標色温度を設定する。
2. 各センサの照度、色温度、および電力量を取得し、目標照度との差、目標色温度との差、および電力量から目的関数値を計算する。
3. 各照明が相関係数を用いて設定された 5 種類の近傍 (次光度生成範囲) から 1 つを選択し、その生成範囲内でランダムに次光度を生成し、次光度で点灯する。
4. 各センサから現在の照度および色温度を取得し、各照明において光度履歴および照度履歴から相関係数を計算する。
5. 次状態の目的関数値を計算する。目的関数値が良好な場合、その光度を確定しステップ 2 へ戻る。目的関数値が悪化した場合、与えた光度変化量をキャンセルし、ステップ 2 へ戻る。

本アルゴリズムの目的関数を式 (1) に示す。制御装置を搭載した各照明器具は他の照明器具の情報を得ることなく、ネットワークに流れる照度情報、色温度情報、および使用電力量に基づき、自身の動作に対する有効性を学習する。そして、知的照明システム全体で照度および色温度の制約条件を満たしつつ、使用電力量の最小化が行えるような光度を決定する。

$$f = P + w_1 \sum_{j=1}^n L_j + w_2 \sum_{j=1}^n T_j \quad (1)$$

$$L_j = R_j (Lc_j - Lt_j)^2$$

$$T_j = (Tc_j - Tt_j)^2$$

$$R_j = \begin{cases} r_j & r_j \geq \text{Threshold} \\ 0 & r_j < \text{Threshold} \end{cases}$$

n : 色彩照度センサの数, m : 照明器具の数
 w_1, w_2 : 重み, r : 相関係数, P : 使用電力量
 Lc : 現在照度, Lt : 目標照度
 Tc : 現在色温度, Tt : 目標色温度

3.3 相関係数

照明制御アルゴリズムにおいて、目標照度および目標色温度を満たし、かつ省電力である良好な状態へと短時間で収束させるには、照明とセンサの位置関係の把握が効果的である。その位置関係を自律的に学習する方法として有効なのが、照明の光度とセンサの照度との間にある相関関係である。図 2 の左に示す位置関係において、相関を計算しながら HC で探索を行った場合、相関係数の履歴は右図のようになる。照明 1 はセンサとの相関が高く、照明 2 および 3 は低くなる。この情報を次光度生成時に利用することにより、最適な点灯パターンを実現している。

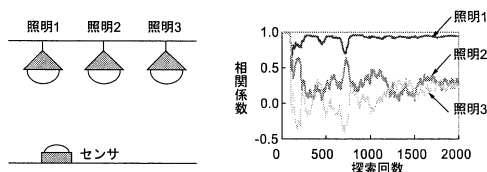


図 2: 照明と照度センサの相関

3.4 近傍設計

本アルゴリズムで照明のランダムな増減光には図 3 に示す 5 種類の近傍を用いて行う。それぞれ、A, (E) は急速に光度を下げる (上げる) ことを重視した近傍である。また、C は定常状態における光度の調節を行うために上下均等な幅で次光度を生成するための近傍である。また、B, D はこれらの中間的な性質を持つ近傍である。図 3 中の数値は照明の全点灯 (100%点灯) に対する比率を示しており、これらは実験的に求めた最良値である。

照度情報および色温度情報を基に近傍設計のルールに従って 5 種類の近傍の中から適切な近傍を選

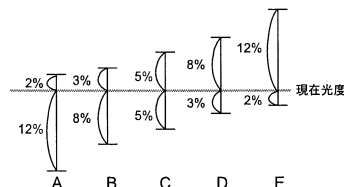


図 3: 5 種類の近傍

択する。本アルゴリズムで使用する近傍設計のルールを図 4 に示す。なお、図 4 における原点がセンサに与えられた目標照度および目標色温度となる。また、目標照度 ± 100 lx, 目標色温度 ± 50 K の範囲を収束したとみなす範囲 (収束範囲) とする。収束範囲は、人間が同じ照度や色温度に感じる誤差範囲である。高色温度の照明では、光度を上げると照度が増加し、かつ色温度も増加する。一方、低色温度の照明では、光度を上げると照度は増加するが、色温度は減少する。このため、照度と色温度に関して、目標値に収束している、下回っている、および上回っているという 3 つの状態が存在し、図 4 のように全部で $3 \times 3 = 9$ 種類の状況が存在する。これらの各領域において、高色温度照明と低色温度照明が用いる近傍は異なる。

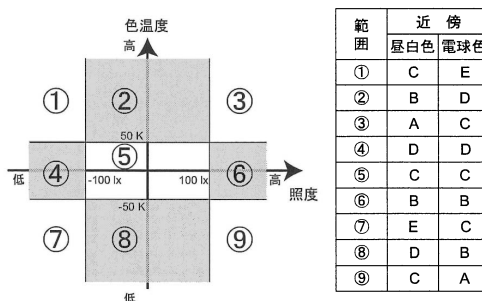


図 4: 近傍設計のルール

以上のように、各照明の性質と各センサの状況を考慮し、各照明の次光度を生成することで、高速な収束が促進されるとともに、目標値に対して細やかな収束を実現することができると考えられる。なお、照明が複数の照度センサの影響下に存在する場合、相関係数の高いセンサの照度および色温度情報を優先して、近傍決定を行う。

4 動作実験

4.1 実験概要

構築した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の動作実験を行い、その有効性

の検証を行う。実験環境を上から見た図を図 5 に示す。使用する機器は、インバータ制御可能な色温度 4900 K の昼白色蛍光灯 10 灯、色温度 2800 K の電球色蛍光灯 10 灯、および移動可能な色彩照度センサ 2 台である。各センサに与えた目標値は、センサ A に 1100 lx、3800 K、センサ B に 1300 lx、3200 K である。

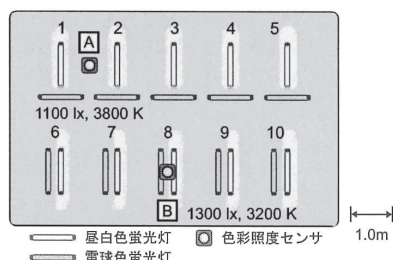


図 5: 実験環境

4.2 実験結果

図 6 に照度の、図 7 に色温度の実験結果を示す。実験結果より、2 つのセンサの照度および色温度が目標値にほぼ収束している。この実験結果より、本システムを利用することによって任意の場所に任意の照度と色温度を個別分散制御できることが確認できた。

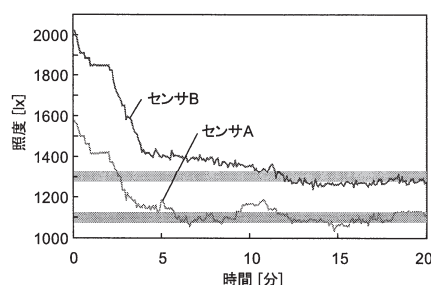


図 6: 照度履歴

5 まとめ

本研究では、オフィスにおいて各オフィスワークの要求に応じて、個別分散的に好ましい照度と色温度を容易に提供する知的照明システムを提案し、実システムを構築した。動作実験より、複数の場所に異なる場所に異なる照度と色温度を持つ照明環境を実現することができた。なお、本研究では色彩照度センサが目標の照明環境を十分満たすことができる実験環境を考えた。しかし、色彩照度センサ同士の距離が近い場合、光の相互干渉により必要な照明環境を満足させることができ

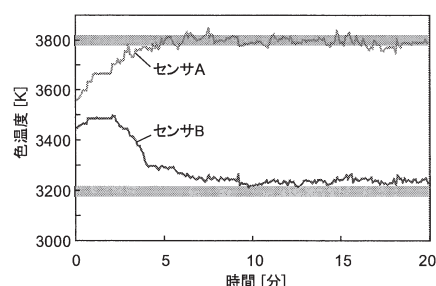


図 7: 色温度履歴

ないため、色彩照度センサと色彩照度センサの最短距離や実現できる照度値と色温度値について検討しなければならない。

参考文献

- 1) 経済産業省.「クリエイティブ・オフィス推進運動実行委員会」の開催について.
<http://www.meti.go.jp/press/20070615008/20070615008.html>.
- 2) 小林弘造, 北村規明, 清田修, 岡卓史, 西原直枝, 田辺新一. 執務空間の温熱環境が知的生産性に与える影響—コールセンターの長時間実測—. 日本建築学会学術講演梗概集, pp.451-454, 2006.
- 3) 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子, 河内美佐, 下田宏他. 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的評価. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, 2006.
- 4) Peter R. Boyce and Neil H. Eklund and S. Noel Simpson. Individual Lighting Control : Task Performance, Mood, and Illuminance. JOURNAL of the Illuminating Engineering Society. pp.131-142, Winter 2000.
- 5) 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, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007
- 6) Kruithof, A. A. Tubular luminescence lamps for general illumination. Philips Tech.Review, Vol.6, pp.65-96, 1941
- 7) 石田享子, 井上容子. くつろぎ空間に求める雰囲気と明るさに関する研究 第2報 一壁面の色とランプの色温度について—. 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.13-16, 2001.
- 8) PHILIPS. ActiViva club. http://www.lighting.philips.com/gl_en/activiva