

数理計画法を用いて執務者の個別照度・色温度を提供する知的照明システム - 照度・色温度シミュレータを用いた個別照度および個別色温度の実現 -

上南 遼平

Ryohei JONAN

1 はじめに

我々は、オフィスにおいて執務者が要求する照度と色温度を、執務者ごとに個別に実現する知的照明システムの研究・開発を行っている。執務者が要求する照度のみを提供する知的照明システムは既に実オフィスに導入されており、その有効性を示した。我々は照度と色温度の両方を提供可能な知的照明システムを実オフィスに導入することを検討しているが、これまで最大で照明 9 灯、執務者 3 名を想定した検証までしか行っていない。

本研究では、実オフィス規模の照明環境を想定した検証を行い、従来の確率的山登り法を基礎とする手法が目標照度および目標色温度実現に要する時間を検証し、従来手法の課題を示す。さらに、実オフィス規模の照明環境でも短時間で目標照度と目標色温度を実現するために、確率的山登り法に寄らない新たな照明制御手法を提案する。これにより、実オフィスに対する照度と色温度の両方を提供する知的照明システムの導入に寄与する。

2 実オフィス規模の照明環境における目標照度と目標色温度実現に要する時間の検証

照度のみを提供する知的照明システムを実際に導入した照明台数が 24 灯、執務者数が 13 名の環境を想定し、シミュレーションを行う。照明には昼白色光源と電球色光源から構成される SHARP 社製 LED 照明を想定した。シミュレーションにおける照度値は逐点法を用いて算出し、色温度は昼白色光源による照度と電球色光源による照度の比率から算出する¹⁾。実現可能な目標照度と目標色温度のパターンを 100 パターン用意し、各パターンで 100 回、計 10000 回の検証を行い、全ての目標照度と目標色温度実現に要する時間を検証する。

13 人すべての執務者の目標照度および目標色温度実現に要した時間の各パターンの平均時間の平均値、各パターンの最大時間の平均値、各パターンの最小時間の平均値を Table 1 に示す。Table 1 より、想定した環境

では目標照度および目標色温度の実現に平均で 672 秒 (336 ステップ) 必要であることが分かる。我々は、知的照明システムを実オフィスに導入する際、執務者に不快感を与えずに目標照度を実現できる時間を、導入先オフィスで利用者対話しながら繰り返し実験を行って決定しており、想定した環境では 300 秒を採用している。Table 1 より、目標照度および目標色温度実現に要する時間は許容時間例である 300 秒と比較して、124% 大きいことが分かる。よって、より短時間で目標照度と目標色温度を実現する手法が必要である。

3 オフィス規模に依らず短時間で目標照度および目標色温度を実現する照明制御手法

提案手法では、知的照明システムの制御装置上で数理計画法を用いて照明光度の最適化を行う。制御装置上で最適化を行い導出した各照明の光度で、照明を点灯させ、短時間で目標照度および目標色温度を実現する。

照度と色温度の両方を提供する知的照明システムの目的関数は設計変数である照明の光度で定式化可能であるが、その場合、解空間が非凸の非線形空間となり問題が複雑である。一方で、目的関数が凸性を持つ問題は、大域的最適解の導出が保証されている手法が存在する。そこで、この問題を凸性を持つ問題に変換することを検討する。色温度は昼白色光源による照度と電球色光源による照度の比率で決定するため、設定された目標色温度から目標照度における昼白色照度と電球色照度の割合がわかる。そこで、設定された目標色温度を基に、式 (1) に示すように、目標照度を昼白色光源による目標照度 (目標昼白色照度) と電球色光源による目標照度 (目標電球色照度) に分割する。

$$It = Itn + Iti \quad (1)$$

It : 目標照度 [lx], Itn : 目標昼白色照度 [lx],

Iti : 目標電球色照度 [lx]

そして、昼白色光源の光度を設計変数として、目標昼白色照度を満たしつつ消費電力を最小化する問題と、電球色光源の光度を設計変数とし、目標電球色照度を満たしつつ消費電力を最小化する問題の 2 つの最適化問題を解く。目的関数を式 (2) と式 (3) に示す。式 (2) と式

Table 1 目標照度および目標色温度実現に要する時間

平均値 [s]	最大値 [s]	最小値 [s]
672	1820	302

(3) に示す目的関数は、照明台数分の設計変数を持つ、多変数二次関数であり単峰性である。目的関数における第一項の消費電力と、第二項の照度と目標照度の差の2乗で構成されている。この目的関数は、非線形計画法の中でも比較の実装が容易な最急降下法を用いて解く。

$$fn = \sum_{i=1}^m (\alpha Ln_i + \beta) + w \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m R_{ij} Ln_i - Itn_j \right)^2 \quad (2)$$

$$fi = \sum_{i=1}^m (\alpha Li_i + \beta) + w \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m R_{ij} Li_i - Iti_j \right)^2 \quad (3)$$

i : 照明番号, m : 照明数, α : 係数 [W/cd], β : 定数,
 w : 重み, Ln_i : 照明 i の昼白色光源の光度 [cd],
 Li_i : 照明 i の電球色光源の光度 [cd], j : 地点番号,
 n : 地点数, Icn_j : 地点 j の昼白色照度 [lx],
 Ici_j : 地点 j の電球色照度 [lx],
 Itn_j : 地点 j における目標昼白色照度 [lx],
 Iti_j : 地点 j における目標電球色照度 [lx],
 R_{ij} : 照明 i の地点 j に対する照度/光度影響度係数

制御装置上で最急降下法を用いて式 (2) と式 (3) に示す目的関数を解き、導出した光度で各照明の昼白色光源と電球色光源を点灯することで、従来より短時間で目標照度と目標色温度を実現する。

4 提案手法の有効性検証実験

提案手法の有効性を示すために、従来の確率的山登り法による手法と数値計画法による提案手法を用いて照度および色温度収束実験を行う。実験室は、6.0 m × 5.4 m × 2.5 m の空間であり、照明9灯と色彩照度計 A, B, C の計3台を設置した。照明には、2章の検証実験で想定した SHARP 社製 LED 照明を用いた。また、色彩照度計は照度および色温度に関して JIS の AA 級に準拠しているコニカミノルタ社製の色彩照度計 (CL-200A) を用いた。初期状態は、すべての照明が最大点灯光度で点灯している状態とし、そこから知的照明システムを2000秒 (1000ステップ) 動作させる。色彩照度計 A, B, C の目標照度および目標色温度は、300 lx および 3000 K, 500 lx および 4000 K, 700 lx および 5000 K とした。

実験開始から2000秒経過後の照明の点灯パターンを Fig. 1 に示す。両手法において、色彩照度計付近の照明が高光度で点灯し、省電力な点灯パターンを実現できていることが分かる。

次に、色温度履歴を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。Fig. 2 において、照明制御が安定する400秒から500秒間の目標色温度との平均誤差は色彩照度計 A, B, C で、それぞれ 32 K, 23 K, および 43 K であり、Fig. 3 において、それぞれ 22 K, 2 K, および 7 K であった。5.5

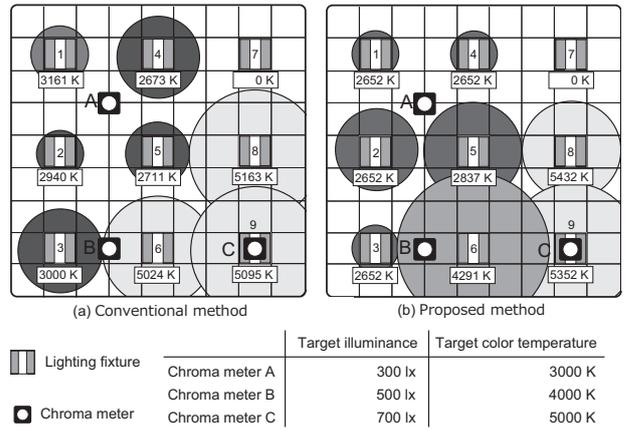


Fig. 1 照明の点灯パターン

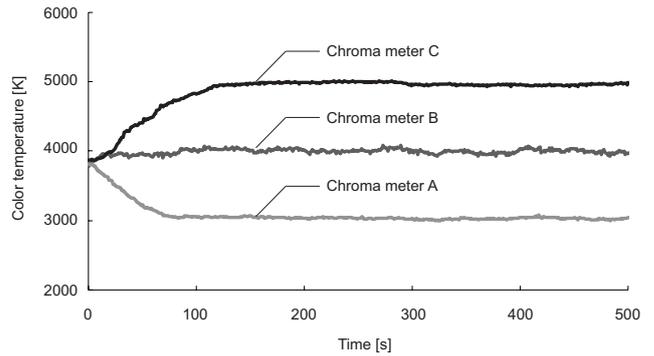


Fig. 2 従来手法を用いた場合の色温度履歴

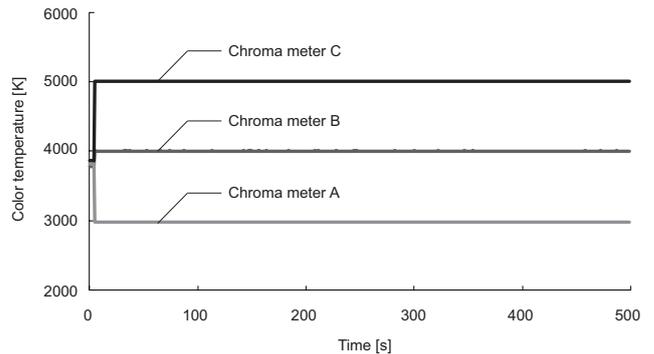


Fig. 3 提案手法を用いた場合の色温度履歴

K^{-1} 程度の逆色温度差であれば人の目では認識されないことが分かっており、色彩照度計 A は 50 K, B は 88 K, そして C は 138 K 以内であれば、その誤差は十分に小さいと考える。よって、両手法におけるすべての色彩照度計の計測色温度は、この条件を満たす結果となった。さらに、従来手法は目標色温度の実現に約 150 秒ほど要しているの対して、提案手法は目標色温度を約 5 秒ほどで実現している。照度においても同様の結果が得られた。よって、提案手法を組み込んだ知的照明システムは実オフィスにおいて有効であると考えている。

参考文献

- 1) Ryohei Jonan, Mitsunori Miki, Shinya Dainaka, Sota Nakahara, and Hiroto Aida. Implementation to provide individual illuminance and color temperature in an intelligent lighting system by estimating the color temperature. p. 200, 2016.