

知的照明システムにおける照度実現可能範囲の数理計画法による推定と可視化 Estimation and Visualization of the Realizable range of Illuminance by Mathematical Programming in an Intelligent Lighting System

山口 周平*
Shuhei YAMAGUCHI

三木 光範*
Mitsunori MIKI

上南 遼平†
Ryohei JONAN

間 博人*
Hiroto AIDA

1. はじめに

我々はオフィスにおける執務者の快適性向上と消費電力の削減を両立する知的照明システムの研究を行っている¹⁾。知的照明システムは照度センサがある場所に、執務者が個別に要求する目標照度を最小の消費電力で個別に提供する。知的照明システムは実験室での検証実験の後、実用化に向けて複数のオフィスに導入し実証実験を行い、その有用性を検証してきた。実証実験の結果、知的照明システムにおいて全ての執務者の目標照度を満たすことが困難な状況が存在し、執務者がストレスを感じる可能性があった。また、少しでも照度を自身の目標照度に近づけるために目標照度を実現困難な値を要求する場合があります。そこで、本研究では実現可能な目標照度の範囲を数理計画法を用いて推定し、その範囲を可視化する手法を提案する。これにより、執務者が実現可能な目標照度を判断することができ、執務者のストレスが軽減される。また、実現可能範囲外の照度が要求されることを防ぐ。

2. 知的照明システム

2.1. 知的照明システムの概要

知的照明システムは、複数の調光可能な照明器具、照明制御装置、複数の照度センサ、および電力計を一つのネットワークに接続することで構成する。知的照明システムの制御アルゴリズムとして、Simulated Annealingを基礎とした回帰係数に基づく近傍設計を組み込んだ適応的
近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient : ANA/RC) を提案した²⁾。照明制御装置は、各照明光度を人の目に感知されない変化幅内でランダムに微小変化させる。そして、照度センサから得られる照度情報、電力計から得られる電力情報を基に現在の照明の点灯パターンの有効性を評価する。照明の点灯パターンの微小な変更と、有効性の評価を繰り返すことで、執務者が要求する目標照度を実現する。

2.2. 目標照度を実現できない状況

知的照明システムを導入した実オフィスにおいて近接する座席で大きな照度差が発生する場合、目標照度を実現することができなかった。このとき、少しでも希望する照度に現在照度を近づけるために必要以上に大きい、あるいは小さい目標照度を要求する執務者が存在した。これに伴い、周囲の照明が増光、または減光し周囲の執

務者の執務に影響を及ぼす。このように、実現困難な照度が要求されることを防ぐためには、自分が要求できる照度の範囲を執務者が理解していることが望ましい。そこで、本研究では実現可能な照度の範囲を推定し、執務者に提示する手法を提案する。これにより執務者は自分が要求できる照度の範囲を知ることができる。その結果、実現できない照度が要求されることを防ぎ、周囲の執務者のストレスを軽減する。また、周囲の執務者の目標照度を表示することにより実現可能範囲が小さいことに対する執務者のストレスを軽減する。

3. 数理計画法を用いた実現可能な目標照度範囲の推定と可視化

3.1. 実現可能な目標照度範囲の推定

照明と照度センサの照度には線形関係があり、複数の照明による照度センサの照度は式1で表すことができる。これより、任意の照明の点灯パターンにおける各照度センサの照度が推定できる。

$$I = \sum_{i=1}^n R_i \times L_i \quad (1)$$

I : 照度 [lx], R : 影響度 [lx/cd]

L : 光度 [cd], n : 照明台数

知的照明システムでは導入時に各照度センサに対する各照明の影響度を計測する。式1に基づき、知的照明システムの制御をシミュレーションする。本研究では数理計画法により照明の点灯パターンを計算し、実現可能範囲の推定を行う。今回は数理計画法として知的照明システムを最適化問題として定式化した目的関数に対して最急降下法を用いた。以下に、実現可能範囲の推定アルゴリズムの流れを示す。

1. 範囲を求める執務者の目標照度を最小値に設定
2. 照度シミュレーションを行い収束状態の照度を計算
3. 全ての執務者の目標照度と現在の照度の差が± 50 lx以内であるかを判断
4. 全ての執務者の目標照度が実現可能な場合、設定した目標照度を範囲の下限(上限)に設定し、再試行
実現不可能な場合、範囲を求める執務者の目標照度を変更後、再試行

3.2. 実現可能な目標照度範囲の可視化

Fig.1に作成した2つの知的照明システムのUIを示す。[a]は、目標照度と現在照度のみを表示するUIで、[b]はそれらに加え、実現可能範囲及び周辺の執務者の目標照度を表示するUIである。実現可能範囲の最小値と最大値は推定した値を表示している。執務者は目標照度

* 同志社大学理工学部

† 同志社大学大学院



[a] 実現可能範囲を表示しないUI
 [b] 実現可能範囲を表示するUI
 Fig.1 作成した知的照明システムのUI

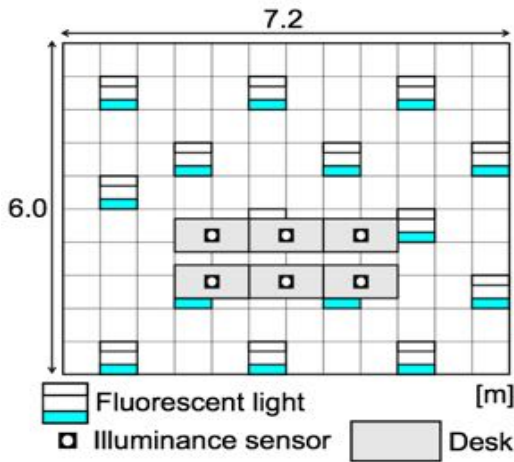


Fig.2 実験環境図

をプルダウンメニューから選択し、送信ボタンを押すことで希望の照度を要求することができる。周辺状況は、Fig.2に示す座席を表現した表を執務者に提示する。

4. 検証実験

4.1. 実現可能範囲の精度検証

Fig.2に示す環境で、実現可能範囲の精度を検証する実験を行った。実験は執務者5人が着席し、照度が収束している状態で6人目の執務者が実現可能範囲の最小値と最大値を目標照度とした場合の実現照度を確認した。また、実現可能範囲外の目標照度を要求した場合の実現照度を確認した。5人の執務者が300 lxを目標照度としている低照度の環境での結果をTable1、5人の執務者が700 lxを目標照度としている高照度の環境での結果をTable2に示す。いずれの環境でも最小値と最大値での実測照度は目標照度との差が±50 lx以内であり目標照度を満たしている。一方、範囲外の値を目標照度とした場合は目標照度と実測照度との差が±50 lxを超えており、目標照度を満たしていない。したがって、実現可能範囲が正しく求められていることが分かった。

4.2. 可視化によるストレス軽減効果の検証

Fig.2の環境で可視化についての有効性を検証する実験を行った。被験者はFig.1に示したUIをそれぞれ使用する。この実験の目的は、照度の実現可能範囲をUIに実装し、被験者が可視化の有効性を感じるかどうかを検証

Table1 低照度環境における精度検証結果
 (実現可能範囲：250～450 [lx])

要求照度 [lx]	実測照度 [lx]
200	262
250 (最小値)	278
450 (最大値)	402
700	437

Table2 高照度環境における精度検証結果
 (実現可能範囲：600～750 [lx])

要求照度 [lx]	実測照度 [lx]
300	560
600 (最小値)	571
750 (最大値)	728
900	688

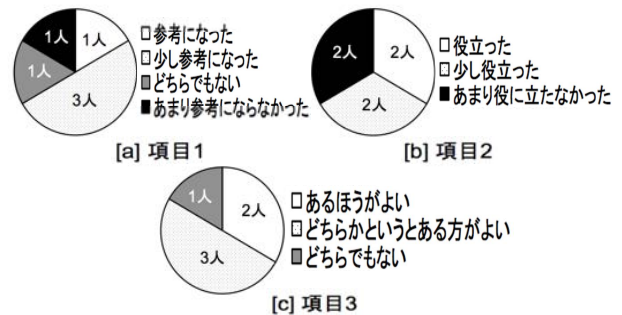


Fig.3 アンケート結果

することである。被験者は20代前半の男女6名とし、実験終了後に以下の項目についてアンケートを行った。

- 項目1 目標照度の実現範囲は参考になったか
- 項目2 周辺状況ボタンは役立ったか
- 項目3 実現可能範囲の表示はあるほうがいいのか

アンケートの結果をFig.3に示す。項目1の結果から6人中4人の執務者が照度の実現可能範囲が参考になったという回答が得られた。また、項目2の結果から周辺状況の表示により、6人中4人の執務者が自分の実現可能範囲に対する理解が促進された。そして、項目3の結果より6人のうち5人の執務者が、実現可能範囲が表示される[b]の方のUIを使用したいと感じたことが分かった。したがって、知的照明システムにおいて実現可能範囲の可視化及び周辺状況の提示は執務者のストレス軽減に有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 三木 光範, 加来 史也, 廣安 知之, 吉見 真聡, 田中 慎吾, 谷澤 淳一, 西本 龍生, 実オフィス環境における任意の場所にユーザが要求する照度を提供する知的照明システムの構築, 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J94-D, No. 4, pp. 637-645, 2011
- 2) S. Tanaka, M. Miki, T. Hiroyasu, M. Yoshikata, An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces, Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern, Vol. 2, pp. 941-947, 2009