

オフィスにおける個別照度を実現する知的照明システムのための空間最適化

三木 光範*1 ○秋田 雅俊*2
廣安 知之*3 吉見 真聡*4

キーワード：オフィス環境，最適化，光環境，照明制御，照明配置，座席配置

1. はじめに

我々は個別に明るさ（照度）を提供することで知的生産性の向上と消費電力量の削減を実現する知的照明システムの研究を行っている¹⁾。このシステムは基礎実験の結果、ユーザの要求照度を満たし、高い省エネルギーを実現できることが確認されており、実用化に向けて実環境における検証実験が進められている^{2,3)}。

しかし、現在の知的照明システムでは、隣接するユーザ同士が大きく異なる照度を要求する場合など、要求する照度の分布が物理的に実現できない場合がある。そこで、本研究では高さの変更が可能な照明器具を用い、その照明器具の高さを最適化することで、様々な照度を望むユーザの要求を同時に満たす手法について提案する。また、照明器具の高さの最適化だけでなく、同様の目的を達成するためにユーザの座席配置の最適化を行うことを提案し、その効果をシミュレーションにより検証する。

2. 知的照明システム

2.1 知的照明システムの構成要素

知的照明システムとは、複数の照明器具がそれぞれ独立して照明の明るさ（光度）を調節することによってユーザの要求照度を実現するシステムである。

知的照明システムは、複数の調光可能な照明、それに付属した調光制御装置、複数の移動可能な照度センサおよび電力計を1つのネットワークに接続することで構成される。各照明機器に搭載された制御装置には自律分散最適化アルゴリズムが組み込まれているため、全体として自律分散型のシステムとして動作することが可能である。図1に知的照明システムの構成を示す。

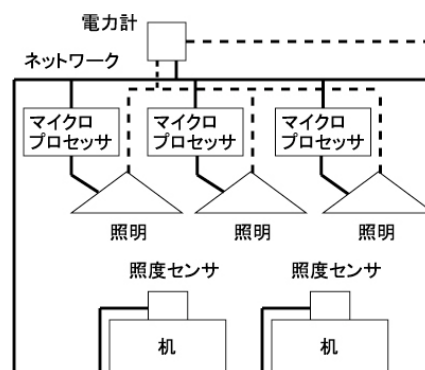


図1 知的照明システムの構成

2.2 知的照明システムの制御アルゴリズム

知的照明システムでは、各ユーザの机の上に置かれた照度センサに対して目標とする照度（目標照度）を入力する。そして、照明が自律分散アルゴリズムを用いて制御を行う。そのため、集中管理機構なしに各知的照明が自律的に光度の調節を行うことが可能である。ネットワークに流れる照度情報に基づき、各制御装置が最適化アルゴリズムを用い自律的に制御を行うことで最適な点灯パターンを実現する。

2.3 目標照度の達成について

知的照明システムでは、照明器具の配置とユーザの座席が固定された場合、ユーザの要求照度は下限値として満足させる。そのため、要求する照度の分布によっては目標照度よりも照度が高くなる場合がある。この問題を解決するには照明器具の高さを可変とする、もしくはユーザの座席配置を変更する必要がある。

3. 個別照度実現のための照明器具の高さの最適化

3.1 制御アルゴリズム

第2.3節で述べた課題の解決方法として、高さを変更可能な照明器具を用い、各照明の高さを最適化することで、これまで実現できなかった要求照度を最小のエネルギー

で実現する手法を提案する。以下に、照明器具の高さの最適化を行うための制御アルゴリズムを示す。

1. 知的照明システムで照度を収束させ、これ以上物理的に照度を収束できない状態での目的関数値を求める。
 2. 全ての照明の高さをランダムに変更する。
 3. 照明の高さを変更した状態において、知的照明システムで照明の光度の最適化を行う。
 4. 再度目的関数値を求め、値が良好になっている場合は照明の高さを維持し、改悪した場合は移動前の照明の高さへ戻す。
5. 2~4の操作を繰り返し、全てのユーザの要求照度が実現された、もしくは一定回数以上処理を繰り返し行った場合に終了する。

本アルゴリズムで用いる目的関数を式 (1) に示す。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n (L_{t_i} - L_{c_i})^2 \quad (1)$$

P : 消費電力量, w : 重み, n : 照度センサの数,

L_t : 目標照度, L_c : 現在照度

目的関数は消費電力量 P と目標照度と現在照度の差からなる。また、重み w を調節することで、消費電力量の削減と照度の実現のどちらかを優先するかを決定する。

3.2 システムの評価実験

提案するアルゴリズムの有効性を検証するために、シミュレーションにより評価実験を行う。なお、照度が収束したと判断する基準は、現在の照度と目標照度の差が ± 50 lx以内である場合とする。これは、人間は50 lx程度の照度差を認知できないとされているためである⁴⁾。

本実験では、白色蛍光灯15灯の環境下で、3名のユーザのうち1名が非常に高い照度を要求した状況を想定する。知的照明システムを動作させた状態を図2に示す。この状態では床から照明までの高さは均一で250 cmとする。図2では、左上の場所においてユーザが1200 lxの高い照度を要求しているため、その照度を実現しようとし、全ての照明が高い光度で点灯するが、それでも1200 lxの要求を満たすことができない。また、他の場所に関しては、要求照度との差が大きくなっている。次に、照明器具の高さ

の最適化を行った状態を図3に示す。

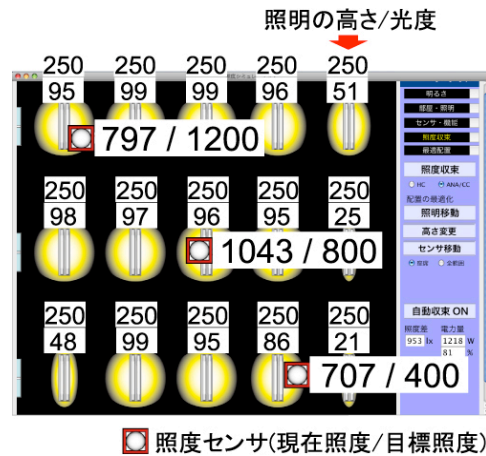


図2 極端に高い照度を要求した場合



図3 照明器具の高さを最適化した場合

図3より、照明器具の高さを最適化することで、全ユーザの目標照度を満足できることが分かる。その際、高い照度を要求したユーザに最も近い照明の高さは250 cmから150 cmと大幅に変化した。このように、照明器具の高さを下げることで、これまで実現できなかった大きな照度差の実現と最大照度を高めることができた。以上より、照明器具の高さの変更による最適化は、図2や図3のように一部のユーザが高い照度を要求した場合に有効であることが分かった。

4. 個別照度の精密な実現のための座席最適化

4.1 制御アルゴリズム

第2.3節で述べた課題の解決方法として、ユー

ザの最適座席配置を考えることで、これまで実現できなかった要求照度を最小のエネルギーで実現する手法を提案する。以下に、ユーザの座席配置の最適化を行うための制御アルゴリズムを示す。

1. 知的照明システムで照度を収束させ、これ以上物理的に照度を収束できない状態で目的関数値を求める。
2. 全てのユーザをランダムに移動する。
3. ユーザが移動した状態において、知的照明システムで照明の光度の最適化を行う。
4. 再度目的関数値を求め、目的関数値が良好になっている場合はその座席配置を維持し、改悪した場合は移動前の座席配置へ戻す。
5. 2~4の操作を繰り返し、全てのユーザの要求照度が実現された、もしくは一定回数以上処理を繰り返した場合には終了する。

本アルゴリズムで用いる目的関数には、照明器具の高さの最適化と同様で式 (1) を用いる。

4.2 システムの評価実験

提案するアルゴリズムの有効性を検証するために、シミュレーションにより評価実験を行う。照度が収束したと判断する基準は、現在の照度が目標照度の ± 50 lx 以内になった場合とする。

本実験では、9名が1つの部屋に入室し、着席することを想定して実験を行う。その際、ユーザはランダムに着席する場合と提示された最適な座席配置に着席する場合との結果を比較する。ユーザの要求する照度は、400 lx から800 lx の間でランダムな値とする。ユーザが自由に着席する場合の結果を図 3-(a) に、提示された最適な座席配置に従って着席する場合の結果を図 3-(b) に示す。

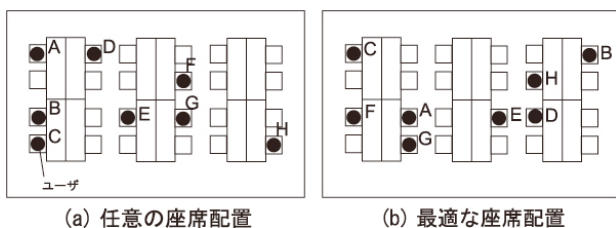


図3 任意の座席配置および最適な座席配置

また、図 3-(b) のように最適な座席へ着席した場合に、

要求照度と実現照度の差が大きい順に4名の目標照度と実現照度の様子を図4に示す。

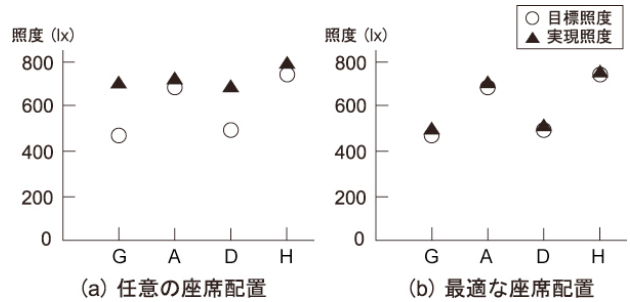


図4 ユーザの目標照度および実現照度

図 3-(a) のようにユーザが自由に着席した場合、9名中4名のユーザの要求照度しか満たすことができず、照明の消費電力量は全点灯時の70%となった。それに対して、最適配置に着席した図 3-(b) の場合、全てのユーザの要求照度を満たすことができ、照明の消費電力量は56%となった。また、図4のように、各ユーザの要求照度を高い精度で満たすことができた。

5. 新規ユーザの要求照度を満たす最適座席の提示

5.1 制御アルゴリズム

部屋に新たなユーザ（新規ユーザ）が入室する際、既存の光環境を可能な限り維持しつつ、新規ユーザの要求照度を最小のエネルギーで実現する最適座席を提示する方法について述べる。まず、既存の光環境を変更せずに新規ユーザの要求照度を満たす手法の流れを示す。

1. シミュレーション上で空席の座席において、1名の新規ユーザが着席したと仮定する。
2. 新規ユーザの要求照度が満足されているかどうかを判断する。満たすことができているならば、その場所を新規ユーザの座席として提示して、処理を終了する。
3. 新規ユーザの要求照度が満足されていない場合、新規ユーザは空いている別の座席の中からランダムに選択した座席に着席したと仮定する。
4. 2~3を繰り返し、全座席を探索しても要求する照度が実現できない場合は以下の処理を行う。
5. シミュレーション上で空席の座席において、1名の新規ユーザが着席したと仮定する。
6. 新規ユーザが着席したと仮定した状態で、知的

照明システムによる照明の光度の最適化を行う。

7. 既存ユーザおよび新規ユーザの要求する照度を満たしているかどうかを判断する。満たすことができているならば、その場所を新規ユーザの座席として記憶する。その際、新規ユーザが着席した場合の予想消費電力量も同時に記憶する。

8. 新規ユーザの要求する照度が満足されていなかった場合、新規ユーザは空いている別の座席の中からランダムに選択した座席に着席したと仮定する。

1～4までの処理で、光度の最適化を行わなくても新規ユーザの要求照度を満たす座席を提示することができる。しかし、照明の光度を変更せずに要求照度を満たす座席はユーザの要求照度によっては提示できる数に限りがあるため、5以降の処理を行うことで、周りの照明環境を変更し、新規ユーザの要求照度を最小のエネルギーで実現する座席を提示する。そうすることで、光度の最適化を含めて新規ユーザの要求照度を満たすことのできる座席選択の幅を広げることが可能となる。

5.2 システムの評価実験

新規ユーザの最適な座席を提案するシミュレーション結果について述べる。3名のユーザが既に在席している状態に、新規ユーザの最適座席を提案するアルゴリズムを適応させた結果を図5-(a)に示す。なお、本論文は最適座席だけでなく、要求照度を満たす全ての座席を表示する。

既存ユーザは◎印、照明の光度を変更せずに要求照度を満たす座席は●印、照明の光度を変更することで要求照度を満たす座席は▲印で示す。実際に提示された座席の1つに新規ユーザが着席した状態を図5-(b)に示す。

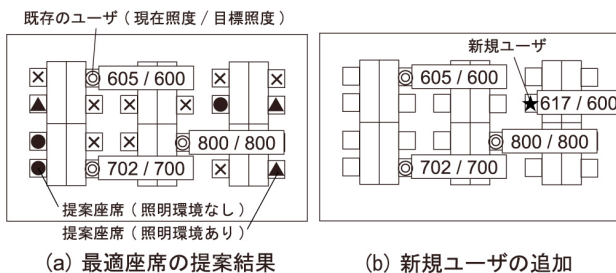


図5 新規ユーザへの最適な座席配置の提案

図5-(b)では、新規ユーザは照明環境を変更せずに要求

照度を満たす●印の座席に着席した。そのため、現在の照明環境を変化することなく、最小のエネルギーで全てのユーザの要求照度を満たすことができた。

6. まとめ

本研究では、隣接するユーザ同士が大きく異なる照度を要求するなど、望まれる照度の分布が物理的に実現できない場合に高さ可変型の照明器具を用い、その照明器具の高さを最適化する、あるいはユーザの座席配置の最適化を行うことで、これまで実現できなかったユーザの要求照度を実現するための手法を提案した。そして、提案する手法をシミュレーションに組み込み、評価実験を行うことで、提案手法がユーザの目標照度をこれまで以上に高い精度で実現するほか、さらなるエネルギー削減が可能となった。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) コクヨニュースリリース
<http://www.kokuyo.co.jp/press/news/20081118-889.html>
- 3) 照度・色温度可変型照明制御「知的照明システム」の実証実験を開始
<http://www.mec.co.jp/j/news/pdf/mec090331.pdf>
- 4) 鹿倉智明, 森永宏之, 中村芳樹. オフィス照明環境における明るさ変動知覚に関する研究. J.II lum.Engng.Inst.Jpn, Vol. 85, No. 5, pp. 346~351, 2001.

- *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 同志社大学理工学部 助教 工博