

# 知的照明システムのための照明および照度センサ配置の最適化シミュレータ

秋田 雅俊

## 1 はじめに

本研究室では、任意の場所に任意の照度を提供することで知的生産性の向上や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。現在、実験室における基礎実験の結果、ユーザの要求を満たし、省エネルギーを実現できることが確認されている<sup>1)</sup>。今後、知的照明システムの実用化にあたって、実際のオフィスを想定した準備が必要となる。

実オフィスではこれまでの実験環境とは異なる様々な状況が生じると予想され、そのような状況で知的照明システムがどのような動作をするのかを事前に検討する必要がある。また、知的照明システムがより細やかな照度分布を可能にするための照明および照度センサの配置を知ることが大切である。

本報告では、知的照明システムのための照明および照度センサの配置の最適化を行うシミュレータを作成し、その動作確認を行う。

## 2 実環境の照度情報を用いた照度算出

従来の照度計算手法である逐点法や光束法<sup>2)</sup>では、照明の放射特性や外光の影響を考慮に入れていない。

そこで、実環境の照度情報を用いて照度算出を行うことで、逐点法や光束法以上に実環境に近い環境でのシミュレーションを行うことを考える。

### 2.1 水平面に対する照明の放射特性

照明には様々な種類があり、照明によって同じ形状でも異なる放射特性を持つ。そのため、照明によって放つ光の方向と強さが違うという特徴を提案シミュレータでは反映させる。まず、水平面に対する照明の放射特性を計算する方法について述べる。

事前に、Fig. 1-a のように、照明の中心から直下 1m を中心点とする半径 1m の円上に 15° 間隔で照度センサを設置し、照度の計測を行う。その照度を基に、距離の二乗に比例して減光していくという光の性質を利用し、任意の場所の照度を計算する。全ての照明に対して同様の計算を行い、それぞれの照度を合算した値を求める場所の照度とする。

実験室で使用している照明の、水平面に対する照度の分布の結果を Fig. 2 に示す。なお、照明からの破線の長さはその方向に対する照度の大きさと比例している。

このように、光源からの距離が等しい点での照度の計測であるにも関わらず、照度の分布は正円を描いていない。これは照明の放射特性による影響であり、照明の放射特性が照度に与える影響はとて大きいことがわかる。

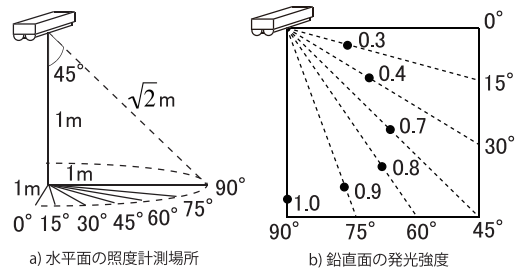


Fig.1 照明の放射特性 (出典：自作)

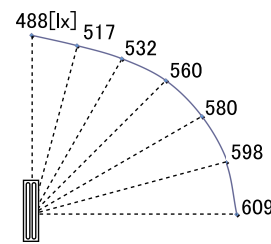


Fig.2 水平面上の角度による照度分布 (出典：自作)

### 2.2 鉛直面に対する照明の放射特性

先に述べた放射角毎の照度は、鉛直面に対して 45° の角度に放つ光の強さとなっている。しかし、照明の鉛直面に対する角度毎に放つ光の強さは異なるため、鉛直面に対する放射特性を考慮する必要がある。計算には、Fig. 1-b のように、照明が角度毎に放つ光の強さを線分の長さで表した図を用いる。この図は照明器具毎に与えられる配光曲線を参考に作成することができる。

照度を求める際は、Fig. 1-a で求めた水平面の照度に Fig. 1-b から分かる発光強度を乗算することで、任意の場所の照度を算出する。

## 3 目標照度実現のための機器配置の最適化

### 3.1 照度制御による照度収束

提案シミュレータでは、照度制御による照度収束をシミュレートできる。照度収束に用いる最適化手法には、山登り法 (Hill Climbing : HC)<sup>3)</sup> もしくは相関係数を用いた適応的の近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient : ANA/CC)<sup>4)</sup> を選択することが可能である。

しかし、従来の照度制御による照度収束だけでは、隣り合ったユーザが異なる照度を要求する場合など、物理的に要求照度を実現することが不可能な場合が存在する。その対策として、機器配置の最適化を考える。次節以降では、その手法について述べる。

### 3.2 照明の水平移動による照度収束

提案シミュレータでは、照明を水平移動させることによって、より細やかな照度分布を可能にするを考える。以下に具体的な方法を述べる。

まず、照度収束だけでは要求照度が満たせない状態での目的関数値を求める。目的関数には式 (1) を用いる。

$$f = \sum_{i=1}^n |Lt_i - Lc_i| \quad (1)$$

$n, i$ : 照度センサの数および指標

$Lt$ : 目標照度,  $Lc$ : 現在の照度

次に、照度センサは固定で、他の照明を超えない範囲内で全ての照明をランダムに少しだけ移動させ、その状態で HC あるいは ANA/CC による照度収束を行う。そして、再び式 (1) から目的関数値を求め、目的関数値が改良された場合はその照明配置を採用し、改悪した場合は 1step 前の照明配置に戻す。それを繰り返すことで要求照度を満たすための照明配置を求める。

### 3.3 照明の鉛直移動による照度収束

次に、照明を鉛直移動させることで、より細やかな照度分布を可能にするを考える。この方法は一部のユーザが非常に高い照度を要求した場合に有効である。以下に具体的な手法を示す。

まず、照度収束だけでは要求照度が満たせない状態での目的関数値を求める。目的関数には式 (1) を用いる。次に、照明の位置および照度センサは固定で、全ての照明の高さを近傍範囲内で変化させる。近傍については後述する。そして、その状態で HC あるいは ANA/CC による照度収束を行い、式 (2) によって目的関数値を求める。

$$f = \sum_{i=1}^n |Lt_i - Lc_i| + \sum_{j=1}^m (Hc_j - Hb_j) \quad (2)$$

$n, i$ : 照度センサの数および指標

$m, j$ : 照明の数および指標

$Hc$ : 現在の照明の高さ

$Hb$ : 1step 前の照明の高さ

$Lt$ : 目標照度,  $Lc$ : 現在の照度

目的関数の計算に、目標照度と現在の照度の差以外に照明の高さの変更量も含めることで、照明の高さの変更量をできるだけ少なく抑えるようにしている。目的関数値が改良された場合はその照明の高さを採用し、改悪した場合は 1step 前の照明の高さに戻す。それを繰り返すことで要求照度を満たすための照明の高さを求める。

次に、照明の高さの近傍を決定する方法について説明する。各照明は逐次的に照明の光度を変化させ、その光度変化量と照度変化量を基に相関係数を求めることで、照明と照度センサの位置関係を概略的に把握することができる<sup>4)</sup>。その結果を用いて、照明の高さの近傍幅を Fig. 3 のように定める。

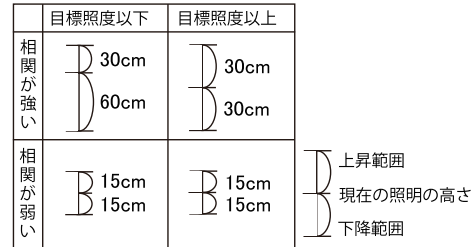


Fig.3 照明の高さ変更近傍幅 (出典：自作)

照明と照度センサの間に強い相関があり、かつ現在の照度が目標照度に対して大きく下回っている場合、高さ変更の幅を下降優先に設定する。反対に、相関が弱い場合には高さ変更の幅を狭めるように設定している。このような近傍に設定することで、明るさが必要な場所では照明が低く設置され、光度を抑えて要求照度を満たすことができる。

### 3.4 照度センサ移動による照度収束

次に照明の位置を固定にし、ユーザが照度センサを持って移動することで、全てのユーザの要求照度を満たす最適な配置を求めるを考える。この方法は要求照度が異なるユーザが大勢いる場合に有効である。以下に具体的な手法を示す。

まず、照度収束だけでは要求照度が満たせない状態での目的関数値を求める。目的関数には式 (1) を用いる。

次に、全ての照度センサを、それぞれ設定した範囲内でランダムに移動させ、その状態で HC あるいは ANA/CC による照度収束を行う。そして、再び式 (1) から目的関数値を求め、目的関数値が改良された場合はその照度センサ配置を採用し、改悪した場合は 1step 前の照度センサ配置に戻す。それを繰り返すことで要求照度を満たすための照度センサ配置を求めることができる。

ただし、照度センサの移動による照度収束では、低照度を要求するユーザが高照度を要求するユーザに挟まれて抜け出せない場合など、局所解に陥る確率が高い。そのため、次配置を決定する照度センサ移動の近傍幅を適切に設定する必要がある。提案シミュレータでは、照度センサの目標照度と現在の照度の差が大きい場合、差が少ない場合に比べて、照度センサ移動の近傍幅を 3 倍に拡大している。

## 4 提案シミュレータの動作確認

提案シミュレータの動作を確認するための収束実験を、実験室環境を模倣して行った。全ての照度センサの目標照度と現在の照度の差が 50[lx] 以内になることが収束の条件とした。これは、一般的に 50[lx] 程度の照度変化は、人間の目では認識できないためである。

Fig. 4 は本シミュレータの起動画面であり、左画面に対象とした部屋の状況、右画面に操作ボタンが表示される。各照明の上には照明の高さと光度値を示す値が表示し、照度センサの右側には現在の照度および目標照度を表

示している。

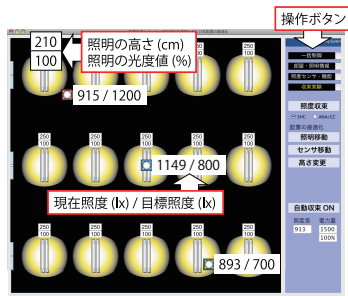


Fig.4 シミュレータの初期画面 (出典：自作)

#### 4.1 照明の水平移動を用いた収束実験

照明の水平移動による実験結果について述べる。従来の照度収束による最適化を行った状態を Fig. 5-a に示す。現状では、右上のユーザの目標照度 600[lx] に対して、現在照度が 678[lx] であるため、要求する照度を満たせていない。この状態から、照明の水平移動を用いた最適化を行った状態を Fig. 5-b に示す。

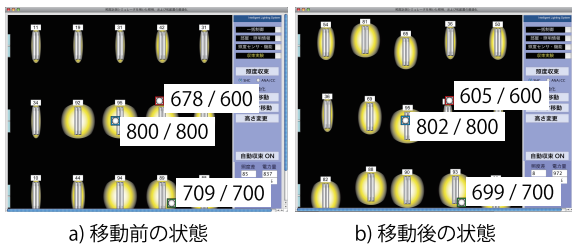


Fig.5 照明の水平移動を用いた収束結果 (出典：自作)

照明の水平移動を用いた最適化を行った結果、照明が Fig. 5 のような配置に移動することで、先程のユーザの現在照度が 605[lx] に収束し、全ユーザの目標照度を満たすことができた。

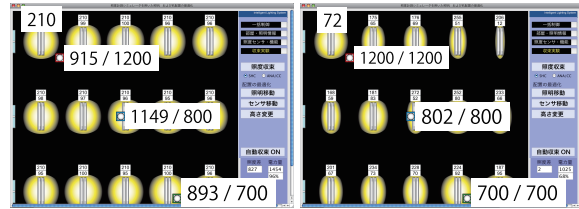
#### 4.2 照明の鉛直移動を用いた収束実験

照明の鉛直移動による実験結果について述べる。本実験では、3名のユーザのうち、1名のユーザが非常に高い目標照度を設定した状況を想定して行った。従来の照度収束を行った状態が Fig. 6-a である。現状では、左上のユーザの目標照度が非常に高いため、その影響で全ユーザの要求を満たせていない。この状態から、照明の鉛直移動による最適化を行った状態を Fig. 6-b に示す。

照明の鉛直移動を用いた最適化を行うことで、高い照度を求めたユーザ付近の照明の高さが低くなった。特に、最も近い照明の高さは 210cm から 72cm まで下がっている。照明の高さを下げることで、全てのユーザの要求を満たすことができた。

#### 4.3 照度センサ移動を用いた収束実験

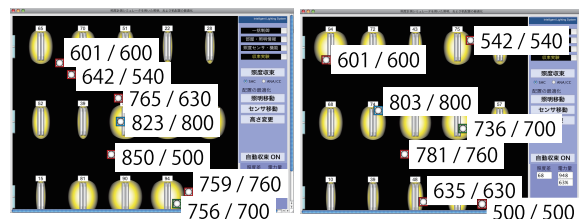
照度センサの移動による実験結果について述べる。本実験では、目標照度の異なる 7人のユーザを想定して実験を行った。従来の照度収束を行った状態が Fig. 7-a で



a) 移動前の状態 b) 移動後の状態

Fig.6 照明の鉛直移動を用いた収束結果 (出典：自作)

ある。照度収束だけでは過半数以上のユーザに対して要求する照度を満たすことができなかった。このとき、7人の目標照度と現在照度の差の合計値は 668[lx] であった。この状態から、照度センサ移動を用いた最適化を行った状態を Fig. 7-b に示す。



a) 移動前の状態 b) 移動後の状態

Fig.7 照明センサ移動を用いた収束結果 (出典：自作)

照度センサを移動させることで、差の合計値は 68[lx] まで抑えることができた。現在照度が目標照度から最も離れたユーザでも差は 36[lx] であり、全てのユーザの要求を満たすことができた。

## 5 まとめと今後の展望

実環境の照度情報を用いた照度算出を基に、従来の照度収束手法をシミュレータで実現できるようにした。また、従来の照度収束だけでは満たせない要求に対して、照明および照度センサの移動によって要求を満たす方法を考案し、シミュレータに組み込んだ。実験室の環境を模倣して動作確認を行ったところ、共に要求を満たす環境を提案することに成功した。

今後の課題としては、光度制御と照度制御を同時に起動した場合の知的照明システムの動作について検討する。

### 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，2007.
- 2) 照明学会．照明ハンドブック．オーム社 (2003).
- 3) 今里 和弘．知的照明システムのアーキテクチャおよび制御方式の有効性の検証．同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻修士論文，2004.
- 4) 米澤 基．知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム．同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻修士論文，2005.