

照度/光度影響度係数に設ける閾値の変化による知的照明システムの動作検証

町田 啓悟

Keigo MACHIDA

1 はじめに

近年、オフィス環境が執務者に及ぼす影響に関する研究が広く行われており、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ことが報告されている¹⁾。中でも、オフィスの照明環境に注目した研究では、執務に最適な明るさ（照度）を提供することが執務者の知的生産性の向上につながることを報告されている。このような背景から、我々は、執務に最適な照度を個別に提供することが可能な知的照明システムを提案している²⁾。

2 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムとは、任意の場所に執務者の要求する照度を最小の消費電力で実現する照明制御システムである。知的照明システムでは、執務者の机ごとに照度センサを設置し、それらから得られる照度値を基に各照明の光度を制御する。このとき、照度センサに対して影響の大きい照明をより強く点灯させることで、消費電力を抑えつつ執務者の要求する照度を満たすことができる。これを実現するため、知的照明システムでは、照度センサに対する各照明の影響度合いを照明制御に用いている。

2.2 光度と照度の関係

照度センサから得られる照度値と照明の光度の関係は式 (1) で表すことができる。式 (1) における R は、照度センサに及ぼす各照明の影響度合いを説明する指標である。照明環境およびオフィス内のレイアウトが変化しない限り、 R は定数とみなすことができる。以降では、照度センサと照明の因果関係を示した定数 R を照度/光度影響度係数と呼ぶ。

$$E = RI \quad (1)$$

E : 照度 [lx], I : 光度 [cd], R : 照度/光度影響度係数 [lx/cd]

2.3 知的照明システムの制御

知的照明システムでは、各照明の照度/光度影響度係数に対して閾値を設けることで、各照明の光度を照度/光度影響度係数の大きさに応じて制御する。例えば、室内の照明をある照度センサに対して影響がある、あるいは影響がないの 2 つに分別する場合、原理的な照明制御アルゴリズムは以下になる。

1. 各照明の照度/光度影響度係数に任意の閾値を設け、照度センサに対して影響のある照明と影響のない照明に分別する。
2. 照度センサの照度状況および影響の有無に応じて、

Table 1 に示すルールに従い、各照明の光度変化の方向付けを行う。

3. 各照明の光度を変化させ、消費電力ならびに変化後の照度センサの照度を評価する。評価が改善していた場合、受理、改悪していた場合元の光度に戻す。
4. 2 および 3 を繰り返す。

既に、この制御アルゴリズムを応用した照明制御アルゴリズムとして、著者らは ANA/CC や ANA/RC³⁾ を提案している。しかしながら、いずれも閾値の数や閾値の値などのパラメータが、制御アルゴリズムの動作に対してどのような影響を与えるかについて深く検討されていない。そこで、本研究では、まず閾値が 1 つの場合について、閾値の大小が知的照明システムの動作に与える影響を検証する。

3 閾値に関する照度収束実験

3.1 検証実験の概要

一般的なオフィス環境において、照度/光度影響度係数は $0.00 \sim 0.40 \text{ lx/cd}$ 程度となるため、この範囲において閾値を 0.01 lx/cd 刻みに変化させたときの知的照明システムの照度収束性および消費電力について検証実験を行った。検証実験はシミュレーション環境で行い、照明環境として縦 $7 \times$ 横 7 の照明が 1.8 m 間隔で格子状に設置されたオフィスを想定した。シミュレーション環境における照明器具は、シャープ製 LED (最大点灯光度 1400 cd) を模擬しており、最小点灯光度は、最大点灯光度の 20% である 280 cd とした。また、机上面から照明までの高さは一般的なオフィスを想定し、 1.7 m としている。次に、照度センサの配置に関しては、Fig. 1 に示すように配置間隔が広い場合を想定した。なお Fig. 1 に示す 6 台の照度センサに設定した目標照度は Table 2 に示す通りである。これらの実験環境において、照明の初期点灯光度が最小の場合と最大の場合において照度収束実験を行った。

3.2 照度センサの配置間隔が広い場合での実験結果

はじめに、各照明の初期点灯光度を最大点灯光度に設定した場合について述べる。照度センサ B および C の照度履歴を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。また、消費電力

Table1

	目標 < 現在	目標 = 現在	目標 > 現在
関係なし	減光	減光	減光
関係あり	減光	中立	増光

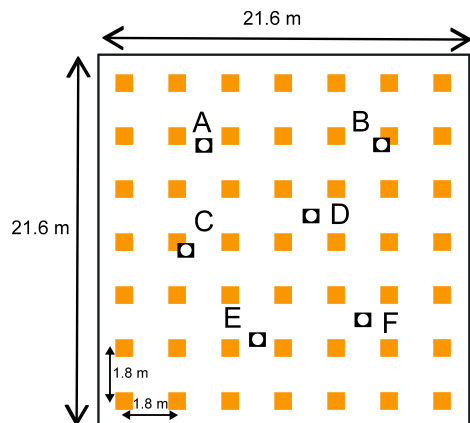


Fig.1 実験環境 1(照度センサの間隔が広い配置)

の履歴を Fig. 4 に示す. Fig. 3 の結果から, 閾値を 0.10 lx/cd 以上に設定した場合は閾値 0.10 未満の場合に比べて照度を満たすまでの時間が短いことが分かる. しかし Fig. 2 から, 閾値を 0.10 lx/cd 以上に設定した場合に目標照度である 750 lx を満たしていないことが確認できた. これらの理由は, 閾値を高く設定するほど, 照度センサに対して影響を及ぼさないと判断する照明が増え, それらの照明が減光近傍を採択するためである. また, 同様の理由のため消費電力に関しても, Fig. 4 から閾値を高くするほど消費電力の最適化も早くなることが確認できた.

次に初期点灯光度を最小点灯から始めたときの照度センサ F の照度履歴を Fig. 5 に示す. また消費電力の履歴を Fig. 6 に示す. Fig. 5 から, 閾値を 0.15 lx/cd 以上に設定した場合を除き, 目標照度の 750 lx へ収束していることが分かる. また, 閾値を低くするほど, 照度を満たすために要する時間が短くなっている. これは, 閾値を低くするほど, 照度センサに対して影響を及ぼすと判断する照明が増え, それらの照明が照度センサの照度を満たそうと, 増光近傍を選択するためである. 消費電力に関しても閾値の設定が強く影響しており, Fig. 6 から, 閾値を 0.15 lx/cd 以上に設定した場合を除き閾値が低いほど増光近傍を選択する照明が増えるため消費電力の最適化に, より多くの時間を要していることが分かる. なお, 閾値を 0.15 lx cd に設定した場合は, 消費電力が著しく低い結果となったが, これは照度/光度影響度係数が閾値を超える照明の台数が少ないためである.

Table2

	目標照度 [lx]
照度センサ A	500
照度センサ B	750
照度センサ C	300
照度センサ D	500
照度センサ E	300
照度センサ F	750

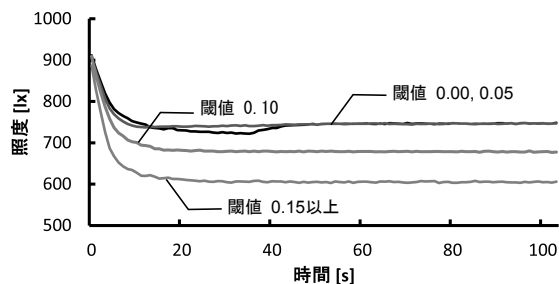


Fig.2 照度センサ B の照度履歴 (初期点灯光度を最大値から開始)

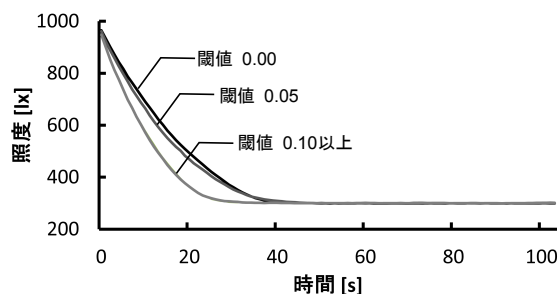


Fig.3 照度センサ C の照度履歴 (初期点灯光度を最大値から開始)

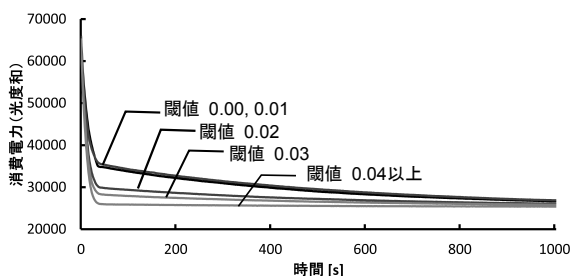


Fig.4 消費電力履歴 (初期点灯光度を最大値から開始)

3.3 照度センサの配置間隔が狭い状況での照度収束

Fig. 7 に示す実験環境で行った照度収束実験の結果について述べる. 照度センサ G および H における 3000 秒後の照度値を Table 3 に示す. また, 照明の点灯パターンに関して, 閾値を 0.01 lx/cd に設定した場合を Fig. 8 に, 閾値を 0.05 lx/cd に設定した場合を Fig. 9 に示す. 閾値 0.01 の知的照明の光度分布を Fig. 8, 閾値 0.05 の光度分布を Fig. 9 に示す.

Table 3 の結果より, 実現できた照度と目標照度との差を比較したとき, 照度センサ H に対し, 閾値 0.05 lx/cd

Table3

	照度 [lx]	
	照度センサ G	照度センサ H
閾値 0.01	415	632
閾値 0.05	440	584

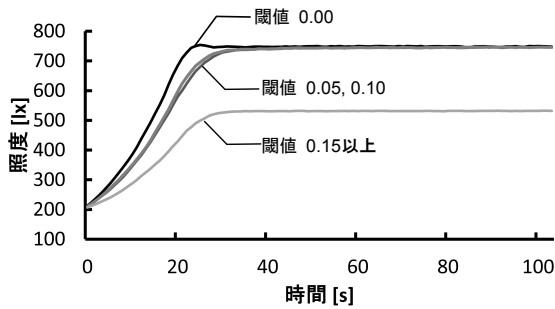


Fig.5 照度センサ F の照度履歴（初期点灯光度を最小値から開始）

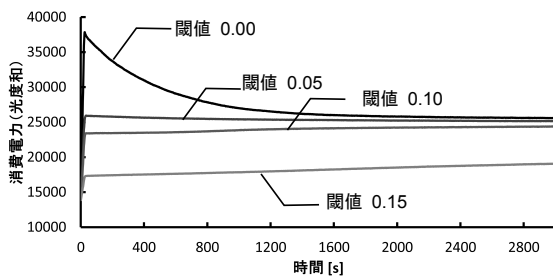


Fig.6 消費電力履歴（初期点灯光度を最小値から開始）

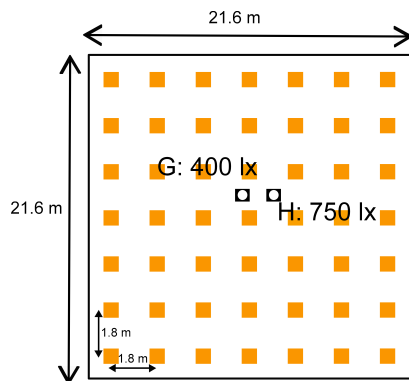


Fig.7 実験環境 2 (照度センサの間隔が狭い配置)

のとき 100 lx 以上の差がでているのに対し、閾値 0.01 lx のときは差が 68 lx にとどまっている。また、照度センサ G に関し、閾値 0.05 lx/cd のとき 40 lx の差に対し、閾値 0.01 lx のときは差が 15 lx となっている。このように、どちらの照度センサに対しても閾値を低くした場合の方が、目標照度との差がより少なくなる。

これは、閾値を低くしたとき、Fig. 8 の光度分布のように、目標照度の高い照度センサの周りの照明を大きく点けることで、照度を満たそうとしているのに対し、閾値を高くした場合、影響を及ぼすと判定される照明が少なくなり、Fig. ??に示すように近い照明のみを使用し、照度を満たそうとするためだと考えられる。このことから、閾値が小さい場合、Fig. 8 の環境のように照度センサが近い位置に配置され、目標照度に差があるとき有効であると考えられる。

4 検証実験のまとめ・考察

本研究では、現在経験的に決めている知的照明システムの閾値に関し、閾値の変化が知的照明システムに与え

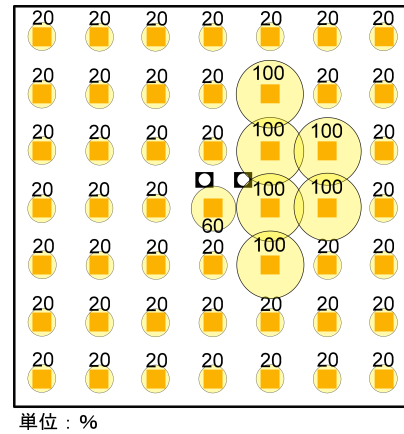


Fig.8 閾値 0.01 lx/cd のときの光度分布

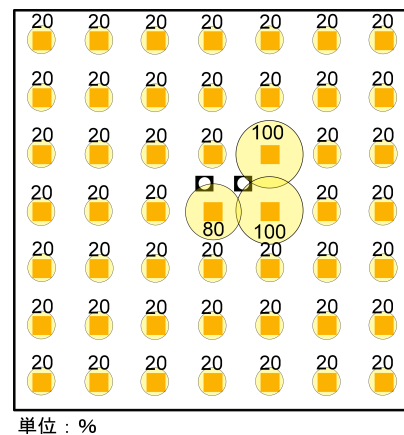


Fig.9 閾値 0.05 lx/cd のときの光度分布

る影響を検証した。検証によって、閾値を1つ用いる場合において、閾値が高いほど、消費電力の収束ならびに光度を下げる必要があるときの照度収束が早く、閾値を低くするほど光度を上げる場合の照度収束が早く、かつ、隣り合う近くの照明の目標照度に差があるときに有効であるが分かった。閾値の高低はトレードオフの関係になるため、知的照明の作成者はどちらを優先させるかにより閾値を決定する必要がある。

今後の展望として閾値を2つに増やした場合の知的照明システムの動作を検証する。閾値を増やすことにより、照度センサと照明の関係を、遠い、近い、中間の3つに分類することができる。これにより、照明光度の変化の方向付けをより細かく決定することが可能となる。

参考文献

- 1) 大林史明. オフィスワークの生産性向上のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験の評価. ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2006.
- 2) 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. 人工知能学会誌, 2007.
- 3) Miki M, Hiroyasu T, Imazato K. *Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness*. ProcIEEE CIS, pp.520?525. 2004.