

輝度を考慮した知的照明システムの基礎的検証

Basic validation of intelligent lighting system considering the brightness

松本 大樹*¹ 三木 光範*² 川島 梨沙*¹ 上南 遼平*¹ 間 博人*²
Taiki Matsumoto Mitsunori Miki Risa Kawashima Ryohei Jonan Hiroto Aida

*¹同志社大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

The authors, each office who is doing the research of intelligent lighting system that achieved with lowest power consumption of the brightness that was desired. In the field of office lighting design has become an important design brightness, the authors proposed a lighting control algorithm considers the screen brightness. However, in actual offices, it is not easy to use the luminance meter for office everyone. Therefore, without using a luminance meter, we propose a lighting control method for providing a light environment in accordance with the screen brightness watching the office's.

1. はじめに

近年、オフィスでは省エネルギー性の向上に注目が集まっている。また、オフィス環境を改善することにより、執務者の知的生産性の向上、創造性の向上、およびストレスの軽減などが報告されている。[1] 我々はオフィスの光環境改善を目的とし、各照明の明るさ（光度）を変化させることによって各執務者が希望した明るさ（照度）を個別に実現する知的照明システムの研究を行っている [2]。知的照明システムは照度センサのある場所に、執務者が希望する明るさを、最小の消費電力で個別に提供するシステムである。知的照明システムは東京都内数カ所のオフィスでの実証実験が行われ、消費電力の大幅な削減が確認された [3] [4]。その理由の一つとして、JIS 照度基準に代表されるように、規格化されたものの多くが照度に基づいているからである [5]。しかし、照度は人の視点位置によらない光量であるため、実際に目で見た明るさの分布とは大きく異なる [6]。しかし、近年では執務者の PC 作業の増加に伴い、執務者は PC のディスプレイから発せられる輝度の影響を強く受けると考えられるため、照度だけでなく、直接目に入る輝度が非常に重要となる。そのため、現在ではより細かな照明設計を行うために、照度設計から輝度設計へと移行している [7]。知的照明システムにおいても輝度を考慮した制御を行うことで、執務者の快適性向上が期待できる。ディスプレイの輝度は作業内容や執務環境により大きく変化する。さらに PC のディスプレイ輝度と執務者が作業しやすいと感じる照度は関係があるため [8]、執務者と作業内容に合わせた細かな制御が必要である。そこで、輝度計やカメラを用いて、視野内輝度分布を基に執務者が快適に感じる照度を提供する照明制御手法を提案した [8]。この手法によりディスプレイ輝度に応じた光環境を提供することができる。しかし、輝度計測の専用機器は点輝度計で 1 台約 10~30 万円、面輝度計で 1 台約 300 万円と高価である。また、デジタルカメラや Web カメラのような撮影機器を用いた輝度計測はプライバシーやセキュリティ、設置場所の観点からオフィスでは好まれない。そのためオフィスでは執

連絡先: 松本 大樹, 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, smatsushita@mikilab.doshisha.ac.jp

務者一人一人に輝度計測機器を用いることは容易ではない。

そこで本研究では、PC ディスプレイの輝度を輝度計測装置を用いずに、ディスプレイ上の RGB 値とバックライトの段階から算出することで、ディスプレイ輝度に応じて執務者が選好する照度を提供する照明制御手法を提案する。輝度計測機器を用いない手法によって、システム導入の容易性を向上させることを狙う。

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照明器具、照明制御装置、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。各照明の明るさ（光度）を変化させることによって執務者の要求する照度を提供し、かつ省電力な状況を実現するシステムである。各照明には学習判断する制御装置が備えられており、照度センサから照度情報、および電力センサからの電力センサからの消費電力情報に基づき、自律的に照明を制御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。

各執務者は照度センサを 1 つずつ所持しており、目標照度を各照度センサに設定する。照度とは光によって照らされている任意の場所の明るさを表す。単位はルクス [lx] を用いる。学習判断を行う各照明制御装置は、他の照明制御装置からの情報を得ること無く、ネットワークに流れる照度情報、及び使用電力量の情報を取得する。そして、照度センサごとにユーザの設定した目標照度を実現するように制御を行う。これにより、照度センサを設置した場所にユーザが要求する照度を提供することが可能である。さらに、不必要な照明の光度を抑えることで、消費電力の削減効果が期待できる。

3. 知的照明システムの制御

知的照明システムは、消費電力を最小化しながら最適な点灯パターンを提供する照明制御アルゴリズムとして、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient, 以下 ANA/RC) を採用している [9]。ANA/RC とは、汎用的最適化手法である確率的山登り法をベースに、Simulated Annealing (SA) を

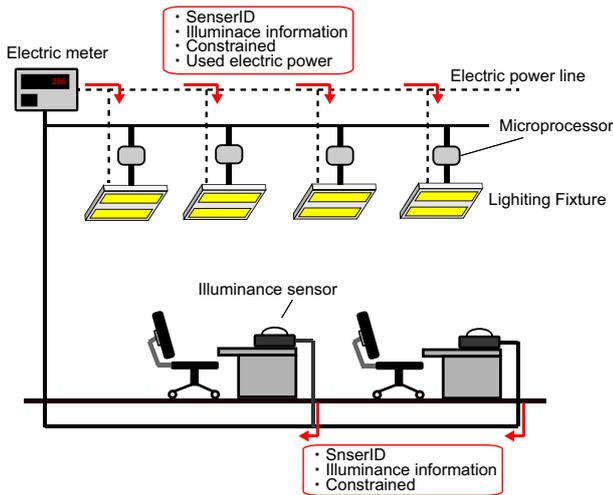


図 1: 知的照明システムの構成

照明制御用に改良したものである。ANA/RC では、各照明が照度センサへの影響を学習し、状況に応じて照明光度を変化させることで、最適な点灯パターンへと素早く推移する。以下に ANA/RC の制御の流れを示す。

- (1) 照明を初期光度で点灯
- (2) 照度センサの照度情報、および電力計の電力情報を取得
- (3) 目的関数に基づき、評価値を計算
- (4) 次光度を執務者に感知されない範囲でランダムに生成し、その光度で点灯
- (5) 各照度センサの照度情報、および電力計の電力情報を取得
- (6) 目的関数に基づき、次光度の評価値を計算
- (7) 評価値が改善されている場合、次光度を採用。改悪した場合は棄却し、前光度に戻す
- (8) (2) へ戻る

以上の項目 (2) から項目 (7) までを 1 ステップ (約 2 秒) とし、繰り返し処理を行う。

次に、ANA/RC における目的関数について述べる。知的照明システムの目的は、各執務者の希望する照度を実現し、消費電力を最小にすることである。そこで式 (1) のように目的関数を定式化する。

$$f = P + \omega \times \sum_{i=1}^n g_i \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & \sqrt{Ic_i - It_i} > 0 \\ (Ic_i - It_i)^2 & (Ic_i - It_i) \leq 0 \end{cases}$$

P : 消費電力 [W], ω : 重み [W/lx]
 n : 照度センサの数, Ic_i : 現在の照度 [lx]
 It_i : 目標照度 [lx]

式 (1) に示す目的関数は、消費電力量 P と照度制約 g_i から構成され、照明ごとに計算する。重み ω を変化させることで目標照度の実現と省エネルギーの実現のどちらを優先するか決定する。 g_i は目標照度を下回った際に加算される値であり、目標照度と現在照度の差の 2 乗を用いる。式 (1) を最小化する

る点灯パターンを ANA/RC を用いて探索することで、執務者の目標照度を満たしながら、消費電力量 P を最も削減できる点灯パターンを実現する。

4. 輝度設計の重要性

近年の PC 作業増加に伴い、オフィスの照明設計において照度設計だけでなく輝度設計も重要になっている [6]。輝度とは、ある方向から見た発光面の輝きのことである [6]。例えば、PC 画面の輝度は画面が発する光のことであり、書籍の輝度は紙の反射光である。また光が人の目に入った時に不快感や物の見づらさを感じる眩しさの指標としてグレアがある。オフィス環境を改善することにより、執務者の心身の負担を軽減し、執務者が支障なく執務を行うことができるよう、不快なグレア感を生じさせないような照明設計が必要である [10]。そのため、明るさやグレアの評価を含め、執務者の目に入る輝度を考慮した照明設計が重要である [7]。

5. 執務者の視野内輝度を考慮した知的照明システム

著者らはこれまでに、執務時に人の視界の大半を占めるディスプレイの輝度と執務者が作業しやすいと感じる照度の関係を検証した [8]。例えば、ディスプレイの輝度が高い場合、机上面照度は高い方が好まれる傾向がある。また適切な照度でない場合、画面が見えにくかったり、疲労や不快感を感じる。特に、ディスプレイ輝度によって作業しやすいと感じる照度は執務者によって異なるため、ディスプレイ輝度に合わせた細かな照度制御が必要である。そこで、輝度計測機器やカメラを用いて、視野内輝度分布を計測し、作業中の PC ディスプレイ輝度に応じて、執務者が快適に感じる照度を提供する照明制御手法を提案した [8]。

しかしながら、輝度計測の専用機器は点輝度計で 1 台約 10 ~ 30 万円、面輝度計で 1 台約 300 万円と高価である。また、デジタルカメラや Web カメラのような撮影機器を用いた輝度計測方法はプライバシーやセキュリティ、設置場所の観点からオフィスでは好まれない。そのためオフィスでは執務者一人一人に対して輝度計測機器を割り当てることは容易ではない。そこで本研究では、輝度計測機器を用いずに、ディスプレイの RGB 値とバックライトの明るさから輝度を算出する方法を提案する。また、ディスプレイ輝度と執務者が選好する照度との関係を検証し、輝度計測機器を用いずに、ディスプレイ輝度に応じた選好照度を提供する知的照明システムを提案する。

6. ディスプレイ輝度算出手法の概要

PC のバックライトの段階とディスプレイに表示された RGB 値から輝度値を算出する方法を提案する。そこで、バックライトの明るさと画面の色の対応付けを行い、輝度との関係を計測するための検証実験を行なった。

7. ディスプレイ輝度と RGB 値の関係

R(赤), G(緑), B(青) の各色 (0~255) を 30 ずつ変化させた画像をディスプレイに表示し、各バックライトの段階について輝度値を計測した。また、計測時にはディスプレイ輝度を安定させるため、バックライトの段階を変更させてから 30 分経過後に輝度値を計測した。なお、輝度計測機器にはコニカミノルタ社製輝度計 LS-100 を用いた。本実験では、7.2 m × 6.0

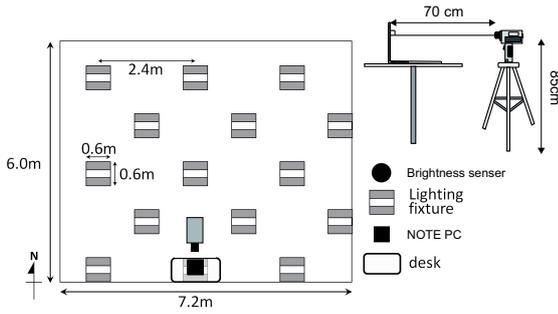


図 2: 実験環境

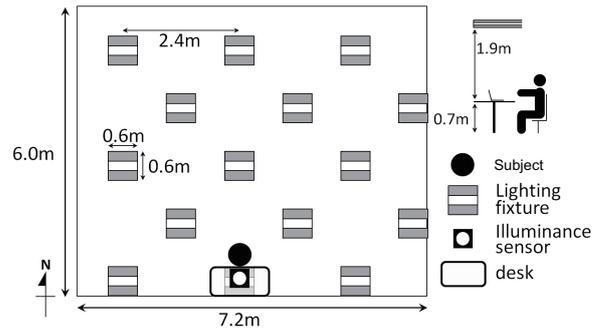


図 4: 実験環境 (平面図)

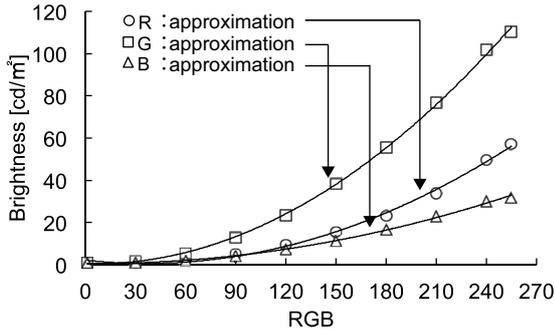


図 3: 輝度と RGB 値の近似曲線 (バックライト 20 段階目)

m の実験室を使用し、ディスプレイに対して 90 度に輝度計測機器を設置した。また、バックライトの明るさが音が小さい 0 段階から音が大きい 20 段階に調光可能である Panasonic 社製ノート PC Let's note CF-W5 を用いた。実験環境を図 2 に示す。

ディスプレイのバックライトの段階を 20 段階目に設定し、RGB を変化させた時の輝度計測結果を図 3 に示す。また、この計測結果から輝度を算出する近似曲線を求める。

図 3 のような輝度と RGB 値の関係図を全てのバックライトの段階で得た。そのため、図 3 から、RGB 値がいかなる場合であっても、RGB 値に対する輝度値を推定することが可能である。

8. 画面輝度と選好照度の関係

8.1 実験概要

算出したディスプレイ輝度に応じて照明の光度を変化させ、執務者の選好する照度を提供することで、執務者が快適に感じる光環境を実現することができる。そこで、執務者が最も快適に PC 作業を行うことができる照度 (選好照度) を求めるため、被験者実験を行う。調光可能な白色蛍光灯 15 灯を用いて、机上面に 250 lx から 950 lx まで提供できる実験環境を構築した。机の高さと入室時の部屋の照度は新 JIS 規格により推奨されている 70 cm, 750 lx とした [11]。実験環境を図 4 に示す。

9. ディスプレイ輝度と選好照度の検証

被験者は目に疾患がない 20 代前半の男女 10 名で実験を行った。被験者は画面に表示されている文章を読みながら、手元にあるキーボードの上下矢印キーを操作することで、部屋全体の照明の明るさを調節することができる。調整の基準は、「主観的にディスプレイが最も見やすく、長時間の作業を想定しても疲れにくいと思われる最適明るさ」とした。ディスプレイの

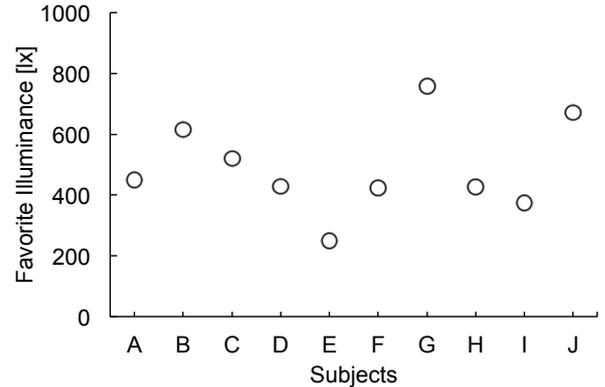


図 5: 選好照度の個人差 (10 段階目)

バックライトの明るさは、1, 5, 10, 15, 20 段階目の 5 段階で行なった。

図 5 にバックライトが 10 段階目の場合の選好照度計測実験の結果を示す。

図 5 より、あるディスプレイ輝度において、作業しやすいと感じる照度に個人差があることがわかる。

また、5 名の被験者に注目した。図 6 に 5 名の被験者で 5 回計測した結果を示す。

この結果より、同じ被験者で同じ輝度であっても、日や体調により選好する照度は異なるということがわかった。また、図 7 に被験者の選好照度と画面輝度の関係を示す。

これらより、輝度が低い際には選好照度に大きな変化は見られなかったが、輝度が高い際には大きなばらつきが見られた。そこで、本提案手法では、被験者の選好照度と画面輝度を対応づけたグラフに近似線を用いる。以下に選好照度を算出する近似線の一般式を示す。

$$I_t = a * L_d^2 + b * L_d + c \quad (2)$$

$$I_t = 0.02 * L_d^2 + 6.49L_d + 262.33 \quad (3)$$

I_t : 選好照度, L_d : ディスプレイの輝度, a, b, c : 定数

この式より、執務者が選好する照度を求める。この照度を知的照明システムを用いて執務者に提供することで、ディスプレイ輝度に応じた光環境を提供することができる。そして、各執務者が画面輝度に応じた選好照度を提供することが、オフィスの光環境改善に有効であると考えられる。

10. 提案手法の検証実験

10.1 実験概要

図 4 のような実験環境を構築し、提案した手法を用いた実験をおこなう。まず、照明 15 灯 100 % 点灯状態から開始し、

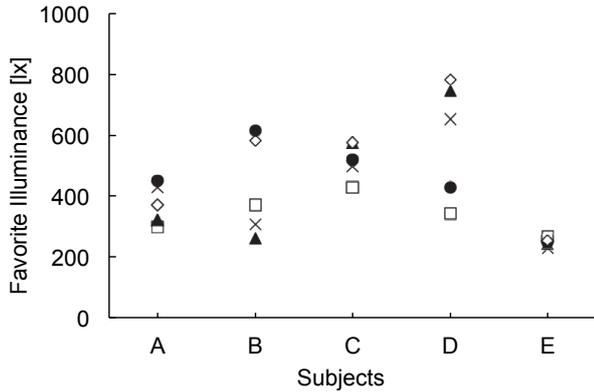


図 6: 5名の選好照度の個人差 (10段階目)

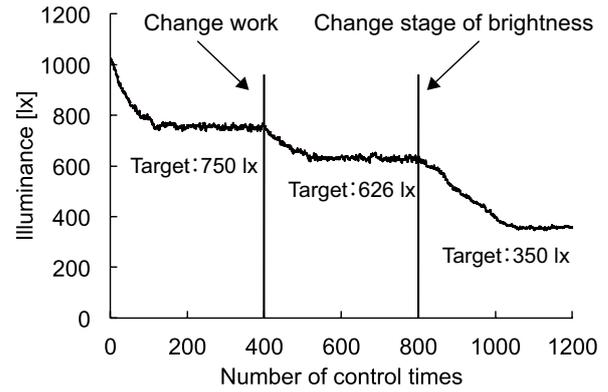


図 8: 机上面照度履歴

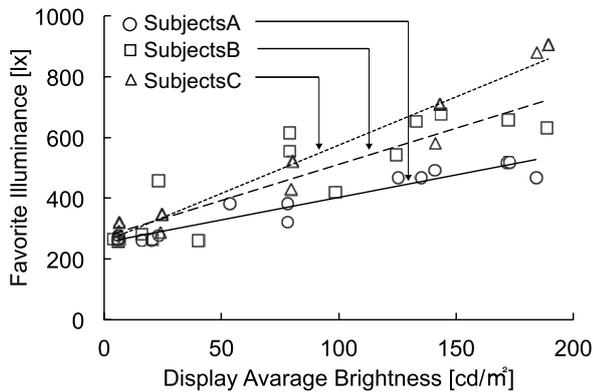


図 7: 画面輝度と選好照度の関係

バックライトの明るさは 20 段階目に設定した。このとき、7 節よりディスプレイ輝度を算出する。そして 9 節の (2) 式から目標照度を求める。現在のディスプレイ輝度から目標照度を 750 lx とし、照度収束を行う。動作開始から 200 ステップ後 (約 400 秒後) に作業内容を変更する。作業内容を変更に伴い、目標照度は算出式 (1) から 626 lx となる。さらに、200 ステップ後 (約 400 秒後) にバックライトの段階を 15 段階目に変更し、その時のディスプレイ輝度から目標照度を 350 lx と変更する。ディスプレイ輝度の変化に応じて照明の光度が変更され、目標照度を実現できるか検証を行った。ここで、1 ステップは 2 秒である。

10.2 実験結果

照度履歴を図 8 に示す。図 8 より、バックライトの明るさによってディスプレイの輝度に変化すると、目標照度が自動で変更され、照度が一定値に収束することが確認できた。この結果から、執務者がディスプレイ輝度を変動させた場合に、ディスプレイ輝度に応じて、執務者の選好する照度を実現可能か検証を行った。以上の結果より、輝度計測装置を用いずに輝度値を算出することができた。さらに、執務者に合わせた光環境を提供することができる。

11. まとめ

近年のオフィス照明設計では照度だけでなく輝度の設計も重要となってきており、知的照明システムにおいても輝度を考慮した照明制御を行うことで、執務者の快適性をさらに向上させることができると考えられる。そこで、輝度計測機器を用いて PC ディスプレイの輝度を計測し、輝度に応じた選好照度の提供を行う知的照明システムを提案した [8]。

しかしながら、実オフィスに導入する際に、輝度計測機器を執務者一人一人に用いることは容易ではない。そこで、本研究では、ディスプレイの RGB 値とバックライトの明るさから輝度を算出する手法を提案した。この手法により、輝度計測機器を用いずに PC ディスプレイの輝度を算出することができ、システム導入の容易性を向上させることを狙う。また、輝度に応じた選好照度を提供するために、執務者の選好する照度と輝度の関係を求めた。この関係から、執務者の選好する照度を知的照明システムを用いて執務者に提供することで、ディスプレイ輝度に応じた光環境を提供することができると思われる。

今後は、検証実験を重ねた後、既に知的照明システムが導入されている実オフィスに対して導入し、実証実験を行うことを予定している。

参考文献

- [1] 大林史明, 富田和宏, 服部瑠子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和. オフィスワーカーのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価. 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, Vol. 22, No. 3, pp. 399-410, 2007.
- [3] 小野景子, 三木光範, 吉見真聡, 西本龍生, 近江哲也, 足立宏, 秋田雅俊, 笠原佳浩. Led 照明を用いた知的照明システムの実オフィスへの導入. 電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌), pp. 321-327, 2011.
- [4] 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 (情報・システム基礎). 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, pp. 637-645, 2011.
- [5] 岩井わたる. 照明設計における照度, 輝度, 明るさ, 空間の明るさ感. 照明学会誌, pp. 346-349.
- [6] 松下進. よくわかる最新照明の基本と仕組み. How-nual 図解入門: Visual Guide Book. 秀和システム, 2008.
- [7] 中村芳樹. 照度設計から輝度設計へ: 照明設計における cg 画像の利用研究調査報告 (年報ズームアップ). 照明学会誌, Vol. 90, No. 8, pp. 537-541, 2006.
- [8] 三木光範, 池上久典, 江見明彦, 吉井拓郎, 東陽平. 執務者の視野内輝度分布を考慮した知的照明システム”, journal=.
- [9] 小野景子, 三木光範, 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. 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌 = The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. C, A publication of Electronics, Information and System Society, vol.130, no.5, pp. 750-757, May.
- [10] 厚生労働省: 「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」.
- [11] JIS. JISZ9110:照明基準総則, 2011.
- [12] 中村 芳樹 鹿倉 智明. 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. 照明学会誌, pp. 346-351, may 2001.