

タスク・アンビエント照明における机上面均斉度を改善する アンビエント照明個別制御シミュレーション

Simulation of lighting system for improving uniformity of illuminance
on the task and ambient lighting

三木 光範*¹ 村上 和有基*² 榊原 佑樹*²
Mitsunori Miki Kazuyuki Murakami Yuki Sakakibara

*¹同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

*²同志社大学 大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

There is a possibility that uniformity of illuminance on desk using task light is bad on task and ambient lighting. Worker are affected by adverse effect when they work at the workspace of a worse uniformity of illuminance. So, we propose a lighting system to improve the uniformity of illuminance using a task light. We simulate various lighting system using task light to validate efficacy of the proposed method. As a result, we found that the effectiveness of the proposed method, improved uniformity of the desk surface is possible.

1. はじめに

近年、社会的に CO₂ 排出削減が進められている。また、東日本大震災による影響によって節電への意識が高まり、さらなる省エネルギーの実現が求められるようになった。省エネルギーの実現は様々な場面で進められており、オフィスにおいても重要である。オフィスで消費する電力を削減する方法として照明方式の変更が考えられる。近年、省エネルギーを実現できる照明方式としてタスク・アンビエント照明方式が注目されている。タスク・アンビエント照明方式は、室内全体を照らす天井照明と執務者に個別の明るさを提供するタスクライトを併用する。タスクライトは天井照明より消費電力が小さいため、天井照明と併用することで執務者が求める明るさを低電力で提供できる。

タスクライトに注目すると、近年省電力性の良さから LED を光源に用いたタスクライトの導入が進んでいる。しかし、省電力性の良い LED は光の指向性が高い傾向にあるため、タスクライトで照らされた机上面に光のムラが発生する可能性がある。この光のムラの評価指標として均斉度がある。均斉度が悪い机上面で作業を行うと執務者に疲労、集中度および知的生産性などへの影響があることが報告されている [1][2][3]。

一方、著者らはオフィス環境におけるワーカの知的生産性の向上と省エネルギーを目的とした分散制御照明システム（以下、知的照明システム）の研究および開発を行っている。知的照明システムは、照度センサから得られたデータおよび消費電力を用いて自律的に最適な点灯パターンを探索、実現する。また、タスク・アンビエント照明方式における先行研究より、タスク・アンビエント照明方式の天井照明を適切に制御することで、机上面均斉度を改善できることが分かった。そこで、机上面の均斉度を取得し知的照明システムの制御に組み込むことで、机上面均斉度の改善が可能であると考えた。本研究では知的照明システムの制御手法を用い、タスク・アンビエント照明方式における机上面均斉度を改善する照明制御手法を提案する。

2. タスク・アンビエント照明方式と均斉度

2.1 タスク・アンビエント照明方式

タスク・アンビエント照明方式は、部屋全体を照らす天井照明と各執務者の手を照らすタスクライトを併用する。タスクライトの特徴として省電力性が高い点がある。タスクライトの光源は天井照明の光源よりも執務者の近くに存在する。そのため、タスクライトは天井照明よりも小さな電力で執務者に明るさを提供できる。タスクライトを天井照明と併用することで、天井照明の提供する明るさを抑えることが可能になり、消費電力の大きい天井照明が消費する電力を削減できる。結果として、執務者に提供する明るさを変えることなく、照明全体が消費する電力の削減が可能になる。また、タスクライトは容易に様々な調節が可能になっていて、執務者が好みに応じた調節が可能になっている。執務者によって、好む照度や色温度が異なることが報告されている [4]。各執務者毎に好まれる執務環境を提供することが望ましいが、一般的な天井照明だけで個人に応じた環境を提供することは困難である。一方、タスクライトは一般的な天井照明と異なり、個人が容易に光源位置、明るさ等を調節できる。そのため、タスクライトを天井照明と併用することで各執務者に応じた環境を提供しやすくなる。

タスク・アンビエント照明方式における課題点も存在する。近年、LED を用いた照明器具が普及している。LED を用いた照明器具は、低電力で長寿命という特徴がある。また、LED の光は指向性が高いという特徴があり、LED の点光源を並べただけの照明器具では、光が拡散しにくい。そのため、照射面との距離が近いタスクライトに LED を用いた場合、光が拡散しにくく、机上面に光のムラが出やすくなる。光のムラの評価指標として、均斉度がある。

2.2 均斉度

均斉度とは、照らされている面の照度*¹分布を評価する指標である。均斉度は、式 1 で評価される [5]。

$$E = I_m / I_a \quad (1)$$

E : 均斉度 I_m : 最小照度 I_a : 平均照度

連絡先: 村上 和有基, 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, kmurakami@mikilab.doshisha.ac.jp

*¹ 照度: 平面上の物体に照射された光の明るさを表す心理物理量。単位はルクス [lx]

式1から分かるように、均斉度はある面の平均照度に対する最小照度の比で表される。式1における平均照度は式2を用いて算出する。

$$I_a = (\sum I_s + 2 \sum I_h + 4 \sum I_n) / (4MN) \quad (2)$$

I_a : 平均照度, M : 縦辺の数, N : 横辺の数
 I_s : 隅点照度, I_h : 辺点照度, I_n : 内点照度

前節で述べた机上面均斉度が悪い環境では、執務者に様々な影響があることが報告されており、机上面均斉度を考慮する必要が出てくる。執務時の机上面均斉度は0.7以上が推奨されている[6]。そのため、机上面の照度分布を取得し、取得した情報に応じて天井照明を制御することで、机上面均斉度0.7以上を実現する照明システムの提案を行う。提案する照明システムの制御手法として、著者らが開発および研究している知的照明システムの制御手法を用いる。知的照明システムについては次章で述べる。

3. 知的照明システム

3.1 概要

知的照明システムは任意の場所に任意の明るさを提供する照明システムである。このシステムは、調光可能な複数の照明機器、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し構成している。

各照明機器に制御装置を搭載し、制御装置が各照度センサからの照度情報および電力計から消費電力情報を取得する。これらの情報を基に最適化手法を用い制御装置が天井照明の明るさを制御することで、低消費電力で執務者が要求する明るさを実現する。

3.2 目的関数

知的照明システムは、目標とする位置の照度を目標とする照度以上にし、天井照明が消費する電力を最小化することを目的としている。この目的を定式化し、知的照明システムの目的関数として用いている。知的照明システムの目的関数を式3に示す。

$$f = P + W \sum_{i=1}^n g_i \quad (3)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (I_{c_i} - I_{t_i}) \geq 0 \\ (I_{c_i} - I_{t_i})^2 & (I_{c_i} - I_{t_i}) < 0 \end{cases}$$

n : 照度センサの数 W : 重み

P : 消費電力 I_c : 現在照度 I_t : 目標照度

設計変数を天井照明の光度*2とし、式3の目的関数 f を最小化する。目的関数 f は消費電力 P と、現在の照度 I_c と目標照度 I_t の照度差を表す g_i からなる。知的照明システムのネットワークにつながっている照度センサや電力計から得られる情報を用いて式3を評価する。 g_i は現在の照度が目標照度を下回った場合にのみ加算する照度ペナルティ項となっている。

知的照明システムは、天井照明の光度をランダムに変更させ、変更後の照度値と消費電力を用いて目的関数を評価する。目的関数の値が前の点灯パターンの時に評価した値よりも悪化した場合、点灯パターンが悪くなったと判定し、直前の点灯

パターンに戻す。そして、再び照明の光度をランダムに変更して目的関数の評価を行い、直前の点灯パターンと比較し判定を行う。この一連の動作を繰り返していくことで、最適な点灯パターンを実現する。

4. 机上面均斉度を改善する照明制御手法

タスク・アンビエント照明方式の机上面均斉度を改善する方法として、知的照明システムの目的関数に着目した。知的照明システムは、消費電力および目標照度と現在照度との差を評価対象としている。そこで、対称面の複数点照度から算出される均斉度を消費電力や照度差と同様に評価対象にする。つまり、知的照明システムの評価対象に机上面均斉度を追加することによって、机上面均斉度改善を試みる。そのため、知的照明システムの目的関数である式3に机上面均斉度を評価する項を追加する。目的関数を変更することによって、最適な天井照明の点灯パターンを探索する時に、机上面均斉度が悪化しない点灯パターンを維持できる。提案手法で用いる目的関数を式4に示す。

$$f = P + W_1 \sum_{i=1}^n g_i + W_2 \sum_{j=1}^m h_j \quad (4)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (I_{c_i} - I_{t_i}) \geq 0 \\ (I_{c_i} - I_{t_i})^2 & (I_{c_i} - I_{t_i}) < 0 \end{cases}$$

$$h_j = \begin{cases} 0 & (I_{m_j} - 0.7I_{a_j}) \geq 0 \\ (I_{m_j} - 0.7I_{a_j})^2 & (I_{m_j} - 0.7I_{a_j}) < 0 \end{cases}$$

n : 照度センサ数, m : 執務者数

P : 消費電力, I_c : 現在照度, I_t : 目標照度

W_1 : 重み1, W_2 : 重み2

I_m : 対象面最小照度, I_a : 対象面平均照度

5. 提案手法の有効性検証

5.1 実験概要

提案手法の有効性を検証するため、タスクライトを用いる様々な照明方式をシミュレーションし比較を行った。比較対象とした照明方式を以下に示す。

1. タスクライトのみ
2. タスクライトと一律天井照明を併用
3. タスクライトと既存の知的照明システムを併用
4. タスクライトと提案する照明システムを併用

1のシミュレーションは、天井照明を全て消灯し、タスクライトのみで執務者に明るさを提供した場合をシミュレーションしたものである。2のシミュレーションは、現在のオフィスにおいて一般的である一律天井照明のみの環境にタスクライトを導入し併用した場合をシミュレーションしたものである。3と4のシミュレーションは、著者らが開発および研究している知的照明システムとタスクライトを併用した場合をシミュレーションしたものである。3のシミュレーションは現在の消費電力と照度差を考慮する知的照明システムと併用した場合である。4のシミュレーションは本稿で提案する均斉度を考慮する照明システムと併用した場合である。

照度の算出方法について述べる。天井照明による机上面照度分布は逐点法[7]により算出する。逐点法の式を5に示す。

*2 光度:光源からある方向に放射された単位立体角あたりの光の明るさを表す心理物理量。単位はカンデラ [cd]

$$I = \sum_{j=1}^n \frac{\cos^3 \theta_i}{h_i^2} L_i \quad (5)$$

n : 照明台数 I : 照度 [lx] L_i : 光度 [cd]
 h_i : 照明と照度センサの鉛直距離 [m]
 θ_i : 照明と照度センサのなす鉛直角

5は、光源の位置と照度を算出する位置、光源の光度を用いてある場所に提供される照度を算出するものである。タスクライトによる机上面照度分布は点光源を用いてタスクライトの光源を模擬し、天井照明と同様に逐点法を用いて算出する。

今回は、全てのシミュレーションにおいて執務者が要求する照度を一律 850 lx とした。1と2のシミュレーションは、天井照明を制御せず、タスクライトを調光し目標照度を実現する。3と4のシミュレーションにおいてタスクライトは一定の照度を提供し、天井照明を調光し目標照度を実現する。2のシミュレーションにおいて、一律天井照明が対象空間に与える照度は平均 300 lx とした。タスクライトの光源位置は、1から4のシミュレーションにおいて統一する。しかし、執務者毎に光源位置が異なる場合を検証するため、同一シミュレーションにおいて、異なる光源位置のタスクライトを定義した。

対象とする机上面の領域は、縦 0.6 m、横 1.2 m とし、直上の天井との距離は 1.9 m とする。執務領域の違いを考慮するため、机上面全体、新聞紙見開きサイズ、A2 サイズの領域を参考に作業領域を定義した。各領域を順に机上面全体、大執務領域、小執務領域と呼称する。机上面照度取得点およびタスクライト光源位置を 1 に示す。

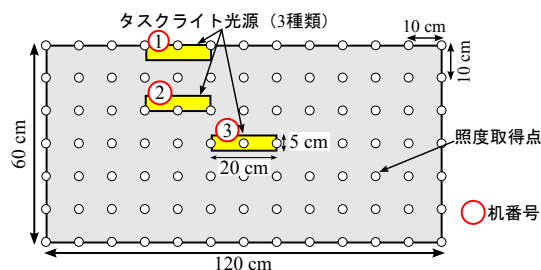


図 1: 机上面照度取得点およびタスクライト光源位置

シミュレーションの対象空間を図 2 に示す。この対象空間はオフィス環境を参考に構築した。天井照明として蛍光灯を 15 灯用い、均斉度を評価する机上面を 3 つ定義した。

図 2 で机に割り振られた番号と図 1 で光源に割り振られている番号は対応している。2 における机番号 1 の机上面には、1 における机番号 1 の光源位置が定義されている。

5.2 シミュレーション結果

机上面照度のシミュレーション結果を述べる。照度の収束判定は、人が違いを認知しない照度差であるおよそ ± 50 lx の範囲内の照度を実現しているかどうかとした。今回のシミュレーションでは、どのシミュレーション、どの机上面においても目標として設定した照度付近への収束を確認した。

机上面全体を対象領域とした場合の均斉度シミュレーション結果を図 3 に示す。図 3 の破線は執務時の机上面均斉度の推奨値である 0.7 の値を示す。

図 3 より、タスクライトのみの場合は机上面均斉度が悪く、執務者への影響が懸念される。タスクライトと天井照明を併用すると、タスクライトのみの場合と比べ、均斉度改善が見られ

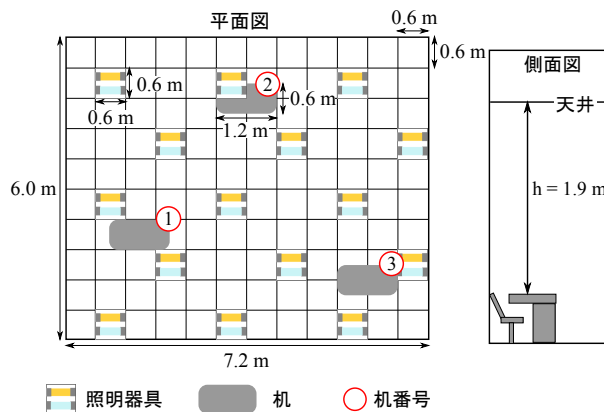


図 2: シミュレーション空間平面図

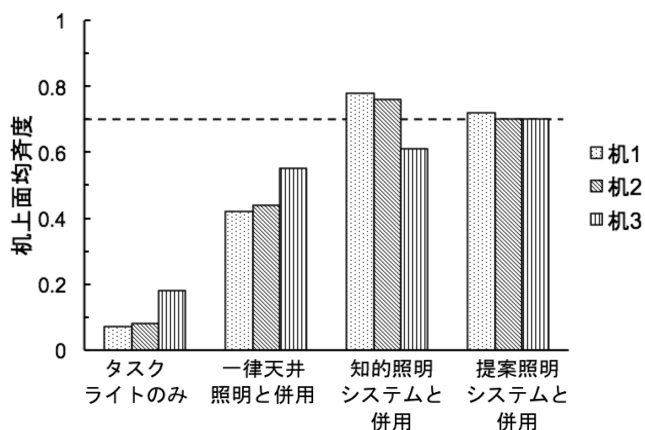


図 3: 机上面均斉度シミュレーション結果

るか推奨値である 0.7 を満たす場合が少ない。知的照明システムと併用した場合は、ほとんどの場合で均斉度が良いという結果だったが、一部推奨値を満たさない机上面が存在した。提案照明システムとタスクライトを併用した場合は、全ての机上面において推奨値を満たしている。よって、提案手法によって机上面均斉度が改善できた。

シミュレーション結果から提案する照明システムをタスクライトと用いることにより、机上面均斉度を改善しながら目標とする照度を実現できることが分かった。よって、提案手法が有効であることが分かる。

参考文献

- [1] 坂上美香, 明石行生, 梅野千絵, 八木昭宏. 作業者の集中度と照明環境との関係について. 照明学会誌, Vol. 81-5, pp. 385-390, 1997.
- [2] 永井久, 安陪稔. 目の疲労から見たタスク・アンビエント照明. 照明学会誌, Vol. 80-Appendix, pp. 374-375, 1996.
- [3] 西川雅弥, 西原直枝, 田辺新一. 800 lx と 3 lx の机上面照度が知的生産性に与える影響に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論文集, No. 73-625, pp. 349-353, 2008.
- [4] 平手 小太郎 安岡 正人望月 菜穂子. オフィスにおける行動と好まれる照明タスク・アンビエント照明の問題点と可能性. 日本建築学会計画系論文集, Vol. 479, pp. 17-25, 1996.
- [5] 日本工業規格 jis c 7612-1985 照度測定方法.
- [6] CIE. Lighting of indoor workplace. CIE S 008/E-2001, p.4(2001).
- [7] 照明学会. 照明ハンドブック. 2003.