

天井取付型配光角・配向方向可変照明を用いた タスク・アンビエント照明方式

森本 陸

Riku MORIMOTO

1 はじめに

近年、オフィスで省エネルギー化が進んでおり、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、執務者に個別の明るさを提供するタスクライトと室内全体を照らす天井照明（アンビエント照明）を併用する。つまり、アンビエントとして必要な明るさを確保し、作業対象に対しては不足している照度を作業対象の近接からタスクライトにより照射する。そのため、必要なところへ必要な量の光を効率的に照射できるため省エネとなる¹⁾。

しかし、机上面に設置されたスタンド型タスクライトを使用すると、デスクとタスクライトの距離が近く、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²⁾。

そこで、タスクライトに調光可能かつ配光角・配向方向が変更可能な天井取付型照明を用い、タスクライトとアンビエント照明を適切に制御することで、机上面均斉度を改善可能であると考えた。一方、著者らはオフィス環境における執務者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し実現する。以上より、本研究では天井取付型照明と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

執務者には好みの照明環境があり、各執務者が業務に合わせて自由にタスクライトの点灯率や配向方向を調整可能であれば、視対象の見え方や満足度も向上する。このように、タスク・アンビエント照明方式にはフレキシビリティと省エネの観点で大きな利点が存在するが、一方で課題点も存在する。一般的にタスク・アンビエント照明方式では、机上面に設置するタイプのスタンド型タスクライトを使用する。しかし、スタンド型タスクライトはデスクとの距離が近く、机上面に光のムラが出やすくなってしまふ。この光のムラの評価指標として均斉度がある。均斉度とは、照らされている面の照度分布を評価する指標である。均斉度は、式 (1) で評価される³⁾。

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

E : 均斉度, I_m : 最小照度 [lx], I_a : 平均照度 [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。

$$I_a = \frac{1}{4MN} \left(\sum E_c + 2 \times \sum E_s + 4 \times \sum E_i \right) \quad (2)$$

I_a : 平均照度 [lx], M : 縦辺の数, N : 横辺の数
 E_c : 隅点照度 [lx], E_s : 辺点照度 [lx], E_i : 内点照度 [lx]

前節で述べた机上面の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。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。

3 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で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、机上面均斉度の改善を試みる。目的関数を変更することによって、最適な天井照明（アンビエント照明）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 (3) に示す。

$$f = P + w_1 \sum_{i=1}^n g_i + w_2 \sum_{j=1}^m h_j \quad (3)$$

$$g_j = (Ic_i - It_i)^2$$

$$h_j = \begin{cases} 0 & (Im_j - 0.7Ia_j) \geq 0 \\ (Im_j - 0.7Ia_j)^2 & (Im_j - 0.7Ia_j) < 0 \end{cases}$$

n : 照度センサ数, m : 執務者, P : 消費電力 [W],
 Ic : 現在照度 [lx], It : 目標照度 [lx], w_1 : 重み (照度差),
 w_2 : 重み (均斉度), Im : 最小照度 [lx], Ia : 平均照度 [lx]

4 提案手法の有効性検証

4.1 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. スタンド型タスクライトと一律天井照明を併用
2. スタンド型タスクライトと既存の知的照明システムを併用
3. スタンド型タスクライトと提案する知的照明システムを併用
4. 天井取付型タスクライト (SALIOT) と提案する知的照明システムを併用

1 のシミュレーションは、現在のオフィスにおいて一般的な一律点灯した天井照明の環境に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。2~4 のシミュレーションは、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。2 のシミュレーションでは、スタンド型タスクライトと現在の消費電力と照度差を考慮する従来手法の知的照明システムを併用した場合である。3 のシミュレーションでは、スタンド型タスクライトと本稿で提案する均斉度を考慮する照明システムを併用した場合である。4 のシミュレーションでは、配光角・配向方向可変照明である SALIOT を天井取付型タスクライトとして使用し、さらに本稿で提案する均斉度を考慮する照明システムを併用した場合である。これらのシミュレーションにおける照度の算出方法は逐点法を用い、図 1 に示す実験環境でシミュレーションを行った。また、1 のシミュレーションでは各デスクの机上面照度を一般的なオフィスの採用されている照度と同様の 750 lx とする。このとき、一律天井照明はタスク・アンビエント照明を採用している一般的なオフィス同様、机上面に 300 lx 程度の照度を与えるものとし、タスクライトを調光することで目標照度を実現した。次に 2~4 のシミュレーションでは、各デスクの机上面照度を 300, 500, 700 lx のいずれかとし、全 6 パターンを 100 回ずつ、計 600 回のシミュレーションを行った。このとき、タスクライトは机上面に一定の照度を提供するものとし、天井照明を調光することで目標照度を実現するものとする。

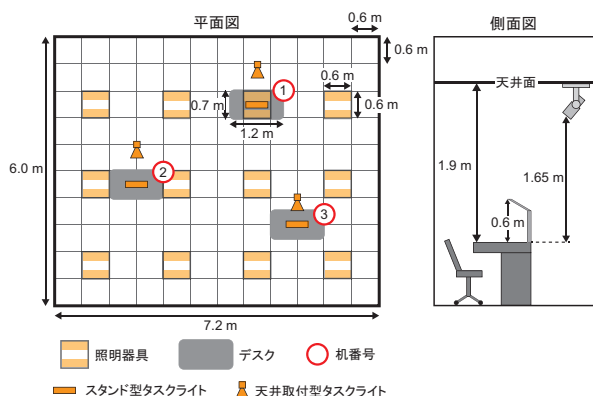


Fig.1 シミュレーション空間平面図

4.2 シミュレーション結果

図 1 に示した環境で、机上面全体を対象領域とした場合の机上面均斉度に関するシミュレーション結果を図 2 に示す。図 2 の破線は執務時の机上面均斉度の許容下限値である 0.7 の値を示す。執務者の目標照度の収束判定は、人が認知できない照度差であるおよそ ± 50 lx の範囲内の照度を実現したかどうかとした。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。図 2 より、スタンド型タスクライトと一律天井照明を併用した場合とスタンド型タスクライトと従来手法の知的照明システムを併用した場合には、JIS が定める均斉度の許容下限値である 0.7 を満たす結果がほとんど見られなかった。一方、スタンド型タスクライトと提案手法の知的照明システムを併用した場合は、一律天井照明方式と従来手法の知的照明システムに比べて、多くのデスクにおいて均斉度の改善が見られた。しかし、均斉度の許容下限値である 0.7 を満たさないデスクが全体の 8 割程度存在した。また、天井取付型タスクライトと提案手法の知的照明システムを併用した場合は、均斉度の許容下限値である 0.7 を満たさないデスクが全体の 1 割程度存在したが、他のシミュレーション結果と比べて、机上面均斉度は大きく改善した。以上のことから、提案する知的照明システムを天井取付型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。

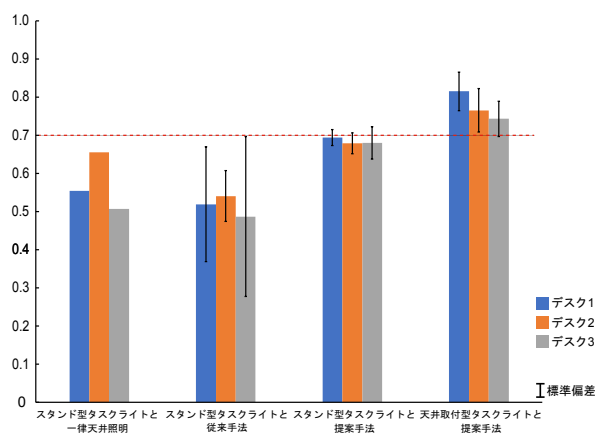


Fig.2 机上面均斉に関するシミュレーション結果

5 結論と今後の展望

本実験から、タスク・アンビエント照明方式を採用した環境下で、提案手法を用いることで机上面均斉度を向上させることができた。また、スタンド型タスクライトよりも天井設置型タスクライトの方が、机上面均斉度を向上させるのに有効であることが分かった。しかし、シミュレーション結果では、SALIOT の配光角を変更する機能がほとんど採用されていないため、今後は設置コストやオフィス空間の見栄えの面も考慮し、天井に設置可能で配向方向を変更可能なユニバーサルダウンライトの使用を検討していきたい。

参考文献

- 1) Panasonic, 照明設計資料, タスク・アンビエント照明
<http://www2.panasonic.biz/lis/lighting/plam/knowledge/document/0203.html#anchor_9>
(参照 2019-08-24).
- 2) JIS Z 9110-2010, 照明基準総則
- 3) JIS C 7612-1985, 照度測定方法