

照度および色温度を制約条件とした平均演色評価数の最大化

藤本 祥平

1 はじめに

最近、省エネルギーかつ長寿命な LED に注目が集まっている。しかし LED は価格によって光の特性が大きく異なり、また LED で省エネルギーを実現しようとする演色性が悪くなる傾向がある。一方でオフィスの光環境では照度および色温度を変化させることで知的生産性が向上し、より快適な環境を創造できることが報告されている¹⁾。しかし、照度および色温度に加え演色性にも着目した研究は行われていない。演色性も向上させることでさらに快適性の高い空間を創造できると考えられる。

そこで、本研究では色温度および照度を維持したまま演色性を向上させる照明制御手法を提案する。すなわち LED を用いて色温度および照度を制約条件とし、部屋の演色性を向上させる照明制御手法を提案する。

2 演色性、色温度および照度

人が物体を見る時、その物体の色の見え方は光源によって異なる。このような物体の色の見え方に及ぼす光源の特性のことを演色性という。演色性が高いほど、自然光で照らされたときの色に近く見える。演色性の評価方法として、JIS が定量的に定めた評価方法がある²⁾。この評価方法では 15 種類の異なる試験色を用いて評価を行う。15 種類の試験色に評価を行う光源で物体を照らした場合の見え方と、その光源と等しい色温度の基準光源で物体を照らしたときの色の見え方を比較し、その色のずれの大きさを表そうとする方法である。このずれの大きさを色差といい、色差を用いてテスト光源の演色性を評価する。色差が大きいほど演色性は悪くなり、色差が小さいほど演色性は高くなる。

演色性の評価で用いる試験色のうち、1 から 8 の試験色での測定光源と基準光源で照らした場合のそれぞれの色差を平均したものを平均演色評価数という。平均演色評価数は測定光源が基準光源に近いほど 100 に近づく。そのため、平均演色評価数を高くすることで演色性が高くなり、より快適な環境になると考えられる。

色温度とは光の色を定量的な数値で表現する尺度であり、照明の光の色と同じスペクトルの光を完全黒体が放射する際のその黒体の温度 K (ケルビン) を用いて光の色を表す。ここで黒体とは、外部からの光を吸収し、かつ放射することが可能な物体で、吸収と放射が釣り合った平衡状態になっているものである。温度と発する光の色の特性が完全に一致し、温度を決めれば色が定まる物体である。この黒体が発する色と同じに見えるときの温度を色温度という。色温度は低いほど赤みがかった色に、高いほど青白い色である。

照度とは単位面積当たりの光の量をあらわしたもので

あり、単位は lx (ルクス) を用いる。一般的なオフィスの照度は 750 lx~1000 lx である。

本研究では色温度および照度を維持したまま演色性を向上させる照明制御手法を提案する。色温度と照度の制御だけでなく、演色性を向上させることでより快適な環境になるのではないかと考えられる。

3 数理計画法を用いた制御手法

3.1 照明制御手法の検討

平均演色評価数の最大化は、与えられた制約条件付きの最適化問題として捉えることができる。すなわち、照度一定、色温度一定という制約条件のもとで、目的関数である平均演色評価数を最大化するという最適化問題である。最適化問題を解く手法には、数理計画法や進化的最適化法がある。進化的最適化法は環境条件の変化については強いが、今回は条件を決めて一つの問題を解けば良いので数理計画法を用いる。しかし、平均演色評価数および色温度は関数として表すことはできず、実験データとしてでしか得ることができない。そのため実験的に勾配ベクトルを求める必要がある。そこで提案制御手法では SHARP 製フルカラー LED を用いることを想定し、赤、緑、青および黄色の信号値 (以下 RGBY) を微量変化させることで、各設計変数に関する勾配を算出する数値微分を用いる。例えば赤に関する勾配を算出する場合、赤の信号値を微量増加させた場合と微量減少させた場合との平均演色評価数の値を比較し、降下方向の決定を行う。

以上のことから、数理計画法を用いて、照度および色温度を制約条件とした平均演色評価数最大化の照明制御手法を提案する。

3.2 平均演色評価数を最大化するアルゴリズム

数理計画法には様々な手法が存在するが、ここでは 1 階微分を用いる簡便な手法であり、目的関数の勾配が最も大きい方向に探索を進める最急降下法を用いる。以下に最急降下法を用いた制御アルゴリズムの流れを示す。

1. 初期点灯状態の照度、色温度および平均演色評価数を取得する。
2. RGBY の信号値をそれぞれ微量変化させ勾配ベクトルを算出し、降下方向を決定する。
3. 降下方向にそれぞれの信号値を変化させ、変化後の照度、色温度および平均演色評価数を取得する。
4. 照度の制約条件の処理を行う。制約条件を満たしている場合は次へ進む。初期点灯照度よりも現在照度が高い場合、勾配がマイナスの方向の信号値を下げる。反対に初期点灯照度よりも現在照度が低い場合、勾配がプラスの方向の信号値を上げる。これらの処

理を制約条件を満たすまで行う。全体の信号値を下げるのではなく、信号値の勾配を考慮することで、より速い収束が実現可能である。

- 色温度の制約条件の処理を行う。制約条件を満たしている場合は次へ進む。初期点灯色温度よりも現在色温度が高い場合、赤と黄色の信号値を上げ、青と緑の信号値を下げる。反対に初期点灯色温度よりも現在色温度が低い場合、赤と黄色の信号値を下げる、青と緑の信号値を上げる。これらの処理を制約条件を満たすまで行う。
- 目的関数である平均演色評価数の値が増加している場合は現在の信号値を受理する。3~6の処理を3回繰り返し、2へ戻る。

以上の動作を繰り返すことで平均演色評価数を向上させる。

4 検証実験

4.1 実験環境

照度および色温度を制約条件として、平均演色評価数向上するか検証を行う。実験では RGBY から成るフルカラー LED 照明 (SHARP 製特別試作品) を用いた。また照度および色温度は色彩照度系から取得し、平均演色評価数はオーシャンフォトニクス製の分光分析器を用いてデータを取得した。実験環境の平面図を Fig.1 に示す。

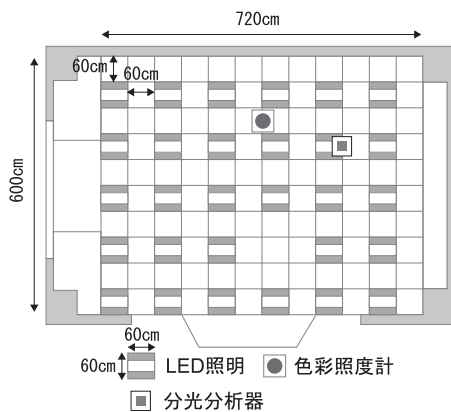


Fig.1 実験環境 (平面図)

なお、実験は外光の影響を受けないようにするために、窓のない空間で行った。

4.2 提案制御手法の有効性の検証

初期状態が照度 1000 lx、色温度 4000 K、平均演色評価数 35 の状態の検証を行う。人間は ± 50 lx 以内の範囲であれば明るさの変化を感じにくいことから初期点灯照度の ± 50 lx を解の受理範囲とした。また、色温度に関しても、人間の視覚で誤差が認識できるのは 5 ミレッド程度であることから、今回はその条件を満たす初期点灯色温度の ± 50 K を解の受理範囲とした³⁾。平均演色評価数の推移を Fig.2 に、色温度の推移を Fig.3 に、照度の推移を Fig.4 に示す。なお 1 ステップに要する時間は 10 秒である。

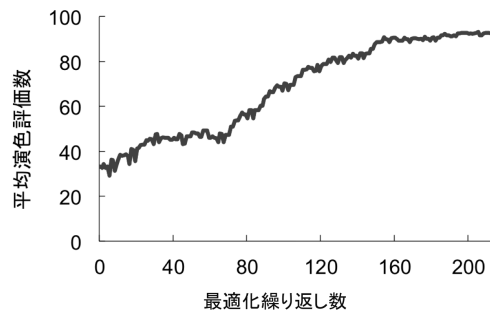


Fig.2 平均演色評価数変化

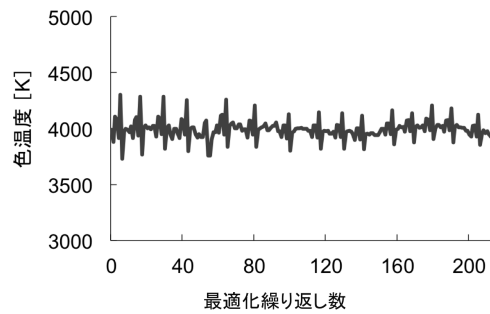


Fig.3 色温度変化

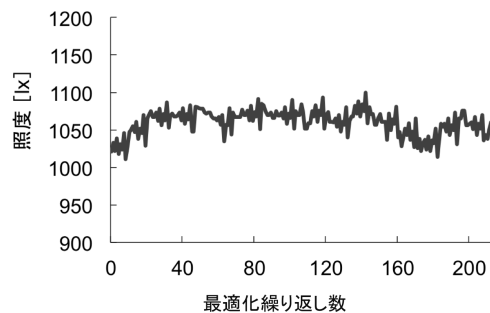


Fig.4 照度変化

図 2 から平均演色評価数が 93 まで向上し、演色性が高くなっていることがわかる。また図 3 および図 4 より色温度と照度の制約条件も満たしていることがわかる。色温度の変化が生じている箇所は、勾配ベクトルを取得する際に、信号値を変化させているためである。この制御手法を用いることで、照度および色温度を維持したまま演色性を向上させることができ、より快適性の高い照明環境を創造することが可能となる。

参考文献

- 三木 光範, 小野 景子, 吉見 真聡, 西本 龍生, 近江 哲夫, 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, 131, 321-327, 2011
- 光源の光色と演色性, <http://www2.panasonic.biz/es/lighting/plam/knowledge/pdf/0107.pdf>
- 太田登, 色彩工学, 東京電機大学出版局, 第 2 版, 2001