

照度と光色を個別分散制御する照明システム

A lighting system based on individual distributed control of the illuminance and the color appearance

同志社大学工学部 三木 光範, 廣安 知之, ○芦辺 麻衣子

Mitsunori MIKI, Tomoyuki HIROYASU, ○Maiko ASHIBE, Doshisha University

Abstract: In recent years, demands for an office environment that improves intellectual productivity have increased. In our previous researches, we proposed an intelligent lighting system which provides the necessary illuminance to desired locations. However, in this research, we propose a lighting system which provides the target color of the light. We constructed a lighting system based on this concept with individual distributed control of color and illuminance of each light.

1 はじめに

近年, オフィスなどにおいて, オフィスワーカーの快適性や健康性ならびに知的生産性の向上を求める声が高まっている. また, 光環境を改善することで知的生産性の向上が図れることが報告されている^[1]. このような背景から, 我々は, ユーザの要求に応じて任意の場所に任意の明るさを提供できる次世代の照明システムである知的照明システムを提案している^[2]. また, 光の明るさだけでなく, 光の色の変化が人間の心理に影響を及ぼすことも報告されている^[3]. 光の色も変えることにより, さらなる知的生産性の向上を図ることを考える.

本研究では, 任意の場所に任意の光の色と明るさである雰囲気を提供するシステム(以下, 雰囲気制御システム)を構築することを目的とする. 調色が知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験を行い, その結果に基づき, 自律分散型雰囲気制御システムの提案を行う.

2 知的照明システム

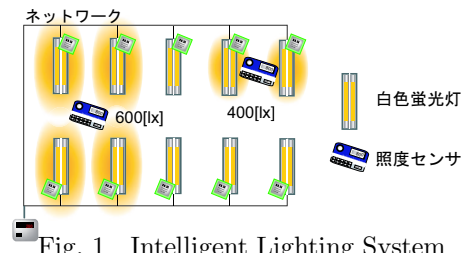
2.1 知的照明システムの構成要素

知的照明システムとは, 複数の照明器具をネットワークに接続し, それぞれの照明器具の協調動作によってユーザの要求を満たすシステムである^[2].

知的照明システムは, 複数の知的照明機器と複数の移動可能な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. 知的照明機器とは, 光度の調節(調光)が可能な照明とその明るさを制御する装置(照明制御装置)からなる. すなわち, 各照明機器にそれぞれ制御装置が搭載されていることになり, そのため自律分散型のシステムとして動作することが可能である. Fig. 1に知的照明システムの概念を示す.

2.2 知的照明システムの制御アルゴリズム

知的照明システムでは自律分散制御アルゴリズムを用いてシステムの制御を行う. すなわち, 集中管理機構なしに各知的照明が自律的に光度の調節を行う. ネットワー



クに流れる照度情報に基づき, 各制御装置が最適化アルゴリズムを用い自律的に制御することによって最適な点灯パターンを実現している. 現在用いられている照明制御アルゴリズムは相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム(Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient: ANA/CC)^[4]であり, 確率的山登り法(Stochastic Hill Climbing: SHC)という汎用最適化手法をベースに照明制御用に相関係数に基づく設計変数の近傍設計メカニズムを組み込んでいる.

3 調色の重要性

知的生産性は, Parsonsらにより「活動により得られる, ある組織の目標に対する作業効率」と定義されている^[5]. オフィスにおける知的生産性の向上を図る研究が既に数多く行われており, 知的生産性とオフィスワーカーをとりまく環境との関係が検討されている.

本研究では, 知的生産性を形成する環境のうち, 物理的環境, その中でも光環境に着目し, 光環境を改善することで知的生産性の向上を目指す. 光環境は, 照明の明るさや色, または太陽光などにより形成されている. 照明の明るさや色と知的生産性に関する検討は行われており, 生体リズムを考慮して照明の明るさや色を変化させることで, 知的生産性が向上する^[1]. また, 照明の色温度を低くすることによって, 相対的にくつろぎに関して満足度を得ることができる^[3]. 以上の報告より, 例えば, オフィス環境においてユーザが朝に出勤して仕事を始める際には, 通常の蛍光灯の白い光に少し青色の光を入れることでユーザを爽やかな気分にし, 仕事への意欲をか

き立て、また昼休みなど休憩時には、オレンジ色などの暖色系の光を加えることで、リラックス効果があると考えられる。このように、光色を変えることにより、ストレスの軽減や創造性の向上も期待できると考えられる。

4 雰囲気制御システムの構築

4.1 RGB 蛍光灯による雰囲気制御システムの概念

ユーザが指定した場所に指定した色の光を提供し、室内の雰囲気を制御する雰囲気制御システムを構築する。光源に接続された制御装置をユーザが操作し、複数の光源の光度を調節することによって、雰囲気制御を実現する。Fig. 2 に雰囲気制御システムの概念図を示す。光源としては、RGB 蛍光灯を用いる。

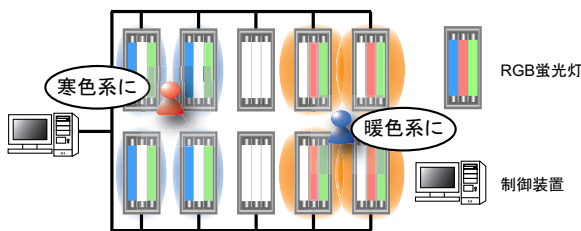


Fig. 2 Atmosphere control system

4.2 RGB 蛍光灯による雰囲気制御システムの構成

RGB 蛍光灯による雰囲気制御システムのハードウェア構成は、インバータ制御可能な RGB 蛍光灯 15 台 (R, G, B 各 1 本ずつセットで 1 台)、インバータ制御器 15 台、および制御装置 16 台からなる。これら全てのハードウェアを 1 つのネットワークに接続することで構成される。なお、ここでの制御装置からの制御信号の流れは、集中制御方式に基づくものであり、分散制御方式については、後に述べる。

これらの機器をすべてネットワークに接続することで、雰囲気制御システムを構築し、動作確認を行った。また、制御装置に与えた光度に応じて、各 RGB 蛍光灯の光度が正しく変化することが確認できた。

5 雰囲気制御システムを用いた被験者実験

5.1 実験目的

調色と知的生産性との関係を検証するため、調色による感性評価実験を行う。調色には、本研究で構築した RGB 蛍光灯による雰囲気制御システムを用いる。

5.2 実験概要

被験者は、特に目に疾病のない大学生 10 名 (20 代前半、男女各 5 名) である。同志社大学香知館 119 室にて、光色が異なる環境で加算作業を行った。

疲労感を評価する「自覚症しらべ」、人の働きぶりを評価する検査である「内田クレペリン検査」、および主観的

評価であるアンケートを実施し、作業効率、疲労感、および主観的評価を検討する。

5.3 実験環境

実験環境は、以下の 5 つである。

- 白色光 (白色蛍光灯のみを点灯, 机上面照度 150[lx])
- 赤色光 (R 蛍光灯のみを点灯, 机上面照度 150[lx])
- 緑色光 (G 蛍光灯のみを点灯, 机上面照度 150[lx])
- 青色光 (B 蛍光灯のみを点灯, 机上面照度 150[lx])
- 電球色光 (電球色蛍光灯のみを点灯, 机上面照度 150[lx])

5.4 実施項目

本実験では、多数ある知的生産性を図る指標のうち、以下の 3 つの項目について検証を行う。3 つの実施項目について詳細を述べる。

- 自覚症しらべ
「自覚症しらべ」は、日本産業衛生学会が作成した疲労の主観的測定方法である。「自覚症しらべ」は、知的生産性を求める実験で疲労感を測定する手法として多く用いられている。「自覚症しらべ」を用いることで、疲労感を評価する。
- 内田クレペリン検査
「内田クレペリン検査」は、人の「働きぶり」を評価する検査である。並んだ 2 つの数字を足し、その結果の 1 の位のみ 2 つの数字の間に書くという加算方法である。「内田クレペリン検査」を用いることで、作業効率を評価する。
- アンケート
被験者の主観的評価値を得るためのアンケートである。アンケート項目を以下に示す。

5 つの照明環境から選んで丸を付けてください。
(1) 計算がはかどったのはどの環境か?
(2) 文字が見やすかったのはどの環境か?
(3) 計算をして疲れなかったのはどの環境か?

なお、(1) は計算の速度、(2) は視認性、(3) は疲労感を評価することができる。

5.5 実験手順

各照明環境において 10 分間、光環境に順応させたのち、「内田クレペリン検査」(1 分間) を 5 回行った。各作業の間には 30 秒間の休憩を取った。そして、各環境の加算作業前および作業後に「自覚症しらべ」を行った。なお、各環境での実験間には白色光で 5 分間のリセット時間を設けた。アンケートは実験の最後に行った。また、習熟効果や疲労を考慮し、5 環境を被験者ごとに異なる順序で実験を行っている。

5.6 実験結果

5.6.1 作業効率

作業効率として、加算作業の被験者全員の平均正答数を用いる。本実験では、各環境において計5回の加算作業を行ったが、習熟効果と疲労の観点から1回目と5回目の結果を除いた計3回分の結果を用いる。Fig. 3に加算作業の合計正答数の平均を示す。

Fig. 3より、いずれの環境でも作業効率における有意な差は見られなかった。

5.6.2 疲労感

疲労感の指標として自覚症しらべによる被験者全員の合計数における、各環境の加算作業前後の疲労感の増加数を用いる。Fig. 4に疲労感の増加数を示す。

Fig. 4より、疲労感の増加数は、赤色光、青色光、緑色光、白色光、電球色光の順で高かった。また、赤色光は他の環境と比べて有意に疲労感の増加数が高くなる環境であることがわかった。(p < 0.05)

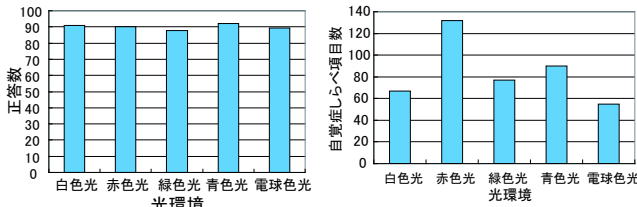


Fig. 3 Number of questions answered correctly

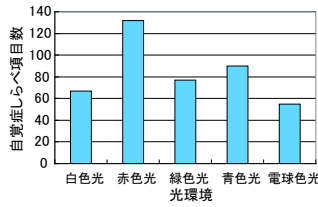


Fig. 4 Number of increased fatigue

5.6.3 主観的評価

主観的評価として、アンケートの結果を用いる。その結果を Fig. 5 に示す。

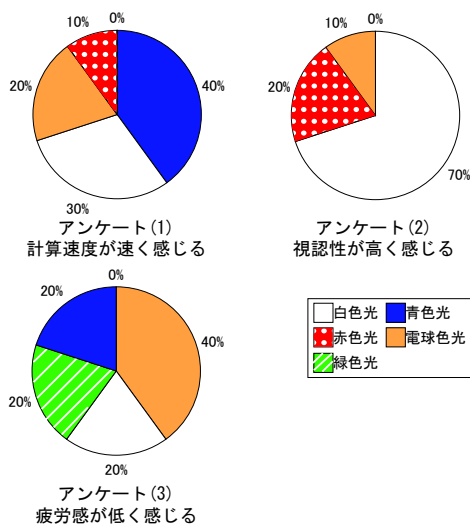


Fig. 5 Result of questionnaire

Fig. 5の(1)および(3)より、計算速度や疲労感のアン

ケートに関しては有意な差が見られなかった。Fig. 5の(2)より、白色光は、他の環境と比べて有意に視認性が高い環境であると言える。(p < 0.05) また、Fig. 5の(1)および(3)に関しては、有意な差は見られなかったが、被験者それぞれの疲労感などの光色に対する感じ方は異なることがわかった。

5.7 考察

上記に述べた3つの実施項目による結果をまとめる。赤色光は、疲労感を感じる環境であり、白色光は、視認性が高い色環境であることがわかった。また、光色に対する人の感じ方は、異なることがわかった。したがって、次章では個人の要求に対応して、個別分散的に光色を提供する自律分散型雰囲気制御システムを提案する。

6 自律分散型雰囲気制御システムの構築

6.1 概要

本研究では、各RGB蛍光灯に搭載された制御装置によって自律分散的に制御を行う自律分散型雰囲気制御システムを構築する。Fig. 6に示すように、複数の調光可能な照明、照明を調光する制御装置、および複数の移動可能な色彩照度センサを1つのネットワークに接続することで構成される。

照明システムを最適化問題と捉え、最適化アルゴリズムを用いることで、ユーザが要求する目標照度および目標色を実現する。

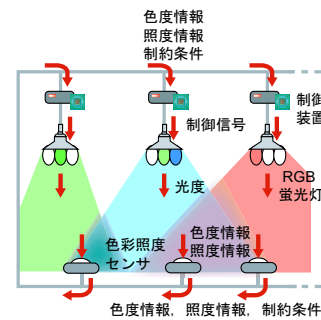


Fig. 6 Autonomous distributed atmosphere control

6.2 制御アルゴリズム

制御アルゴリズムとして、確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing: SHC) を用いる。以下に制御アルゴリズムについて説明する。

1. 初期設定を行う。全ての蛍光灯を初期光度で点灯させ、目標照度および目標色を設定する。
2. 制御装置は、目標色から目標色度を算出し、現在照度と目標照度の差、および現在色度と目標色度の差から目的関数値を計算する。

3. 次光度を近傍内に生成する．なお，近傍とは次光度を生成する範囲のことである．
4. 次状態の照度と目標照度，および次状態の色度と目標色度の差から目的関数値を計算する．目的関数値が良好になっている場合，その状態および目的関数値を受理しその解へと遷移する．そうでない場合は，1ステップ前の値を基準とする近傍内に新たに次状態を生成する．
5. 3~4の動作を繰り返す行う．

本アルゴリズムの目的関数を式(1)に示す．なお，この目的関数値は各知的照明機器にそれぞれ与えられるものであり，各知的照明機器が自律分散的にこの目的関数の最小化を行うことで，システム全体の最適化を図る．本目的関数は，照度の差と色度の差の和で構成される．色度は，UCS色度座標値(u' , v')である．

$$f = \sum_{i=1}^n [|Lt_i - Lc_i| + w\{(ut_i - uc_i)^2 + (vt_i - vc_i)^2\}] \quad (1)$$

n : 照度センサの数, w : 重み, Lc : 現在の照度
 Lt : 目標照度, uc, vc : 現在の色度, ut, vt : 目標色度

7 自律分散型雰囲気制御システムの動作実験

7.1 実験概要

構築した自律分散型雰囲気制御システムの動作実験を行い，その有効性の検証を行う．実験環境を Fig. 1 に，パラメータ設定を Table 1 に示す．なお，目標色は，赤，緑，青，紫，シアン，オレンジの6種類とし，それぞれの目標色の色度は予備実験により測定した色度を用いることとした．

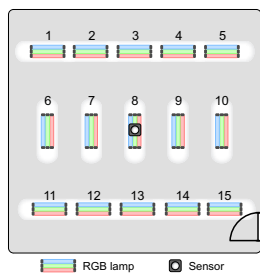


Fig. 7 Experiment environment

7.2 実験結果および考察

ここでは，目標色を赤 ($u'=0.303$, $v'=0.486$) とした時の実験結果のみを述べる．Fig. 8 および，Fig. 9 に，照度履歴および色度履歴を示す．Fig. 8, Fig. 9 より，照度および色度が目標値に収束していることが確認できる．また，同様に他の目標色での実験においても収束することが確認できた．

Table 1 Parameters

蛍光灯の数	15
色彩照度センサの数	1
目標照度 [lx]	410
目標色	赤, 緑, 青, 紫, シアン, オレンジ
近傍 [%]	5
初期光度 [%]	100
重み	1000

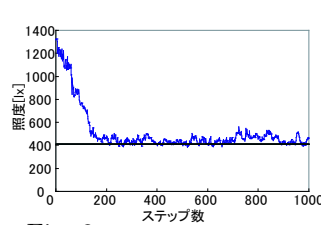


Fig. 8 Illuminance history

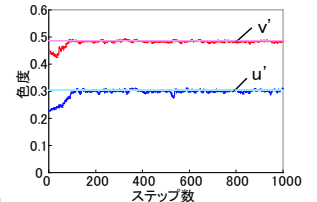


Fig. 9 Color appearance history

8 まとめ

本研究では，任意の場所に任意の雰囲気を提供する，RGB 蛍光灯を用いた雰囲気制御システムを構築した．感性実験より，調色は疲労感に影響を与えることが分かった．また，個人の要求に応じて個別分散的に雰囲気を容易に提供できる，RGB 蛍光灯による自律分散型雰囲気制御システムを提案し，構築した．動作実験より，目標とする雰囲気を提供できたが，収束時間，目標色の設定などの課題が存在し，さらなるシステムの改良が必要である．

参考文献

- [1] 大林史明ら，オフィスワークの生産性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, 2006.
- [2] M,Miki,T.Hiroyasu,K.Imazato, Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness, Proc. IEEE CIS, 520-525. 2004.
- [3] 石田享子, 井上容子, くつろぎ空間に求める雰囲気と明るさに関する研究 第2報 - 壁面の色とランプの色温度について-, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.13-16. 2001.
- [4] Miki M, Hiroyasu T, Imazato K, Yonezawa M, Intelligent Lighting Control using Correlation Coefficient between Luminance and Illuminance, Proc IASTED Intelligent Systems and Control, Vol.497, No.078, pp.31-36, 2005.
- [5] Parsons,K, Human Thermal Environment, London, UK, Taylor & Francis, pp.199-217, 1993.