

# 人の動作に基づく照明制御 Lighting control based on motion of human

同志社大学工学部 三木 光範, 廣安 知之, 木田 清香

Mitsunori MIKI, Tomoyuki HIROYASU, Kiyoka KIDA, Doshisha University

**Abstract:** In our previous researches, we proposed an intelligent lighting system which provides the necessary illuminance to desired locations. In this research, We constructed a new lighting control system which is using the momentum and biological information of the use of an aerobike. In addition, We experimented to verify the effectiveness of those systems.

## 1 はじめに

近年, 様々な機器やシステムにおいて, システム自身が使用者や環境を感知し, 環境に最も適した制御を行うことで人間の負荷を軽減する知的化が行われている [1].

そのような中, これまで遅れていた照明システムにおいても知的化が進んでおり, 三木らは知的照明システムの研究を行っている [2]. 知的照明システムでは, 移動可能な照度センサに要求照度を設定するだけで, 各照明が自律的に動作し, 任意の場所に任意の明るさを提供することができる. これにより, 無駄な点灯を少なくし省エネルギーを図ると同時に個別照度を実現し, オフィス環境における知的生産性の向上を目指している.

一方, 近年光色が生体に与える影響が注目されており, 三木らは光色を制御する調色用照明システムの開発を進めている [3]. このように, オフィス環境において個別の照度や光色を利用する試みなど, これまで均一の照度や単一の照明光 (白色光) が良いとされてきた照明環境が大きく変わろうとしている.

本研究では, 光色が生体に与える影響を調査し, トレーニング等の運動時において光色が与える影響について検討する. そして, その影響を考慮した照明制御を提案する.

## 2 知的照明システムとは

### 2.1 知的照明システムの概要

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. 知的照明システムでは, ユーザが照度センサに目標照度を設定するだけで, 照明や照度センサの位置情報を必要とすることなく, 自動的に有効な照明を判断し, 適切な場所に適切な照度を提供することができる.

### 2.2 知的照明システムの概念に基づく調色照明システム

調色照明システムは, 光色が生体に与える影響に注目し, 照度コントロールに加えて, RGB3色の照明を用いて光色を制御する. 調色照明システムでは, 任意の場所に任意の色を提供することを目的として, 自律分散制御アルゴリズムにより部屋の雰囲気制御する.

調色照明システムは, 知的照明システムの概念に基づき, 制御装置を搭載した複数の照明器具と複数の移動可能な照度センサおよび電力計をネットワークに接続することで構成される. なお, 調色照明システムでは, 各照明器具がRGBの3種類の照明からなり, 各照明を制御することにより調色を行う. 調色照明システムでは, ユーザは各色彩照度計に目標とする色 (目標色) を設定するだけであり, システムが自律的な制御により, 任意の場所に任意の色を提供する. このように調色照明システムでは, ユーザの要求した色の光を提供するなど, 照度と光色を同時に制御することでオフィス環境における雰囲気を変化させ, 光が生体に及ぼす影響をオフィス環境に取り入れる. これにより知的生産性の向上を目指している.

このように光色の変化は, 知的生産性に影響を与えるだけでなく, 人間の多くの活動に大きな影響を及ぼすことが予想できる. 本論文では, 人間の活動の一つである運動に着目し, 光色が与える影響について調査を行う. そして, 調色照明システムの機能を用いることで, 運動に最適な光環境について検討する.

## 3 光色が運動時の生体に及ぼす影響の検証

### 3.1 光色が生体に及ぼす影響

これまでに, 光色が生体に及ぼす影響に関する研究は, 数多く行われている [4]. 光色による生体への影響は, 既往研究によって結果が異なるが, その影響は生理的影響と心理的影響の2つに大分される. 以下にそれぞれの影響について得られている知見を示す.

- 生理的影響
  - 赤色系では血圧が上昇し, 脈拍も速くなる
  - 青色系では血圧が低下し, 脈拍も遅くなる
- 心理的影響
  - 赤色光では時間が過大評価され, 緑や青色光では時間が過小評価される
  - 暖色系では体感温度が上昇, 寒色系では降下する

### 3.2 運動時において光環境が及ぼす影響の検証実験

本実験では, 運動時においても, 3.1節で挙げた光色の及ぼす影響と同様の影響があるかを検証する. 実験は, 調色照明システムを用いることで雰囲気の異なる光環境を

作り出し、それぞれの光環境下において運動を行うものとする。なお、運動にはジム等で利用されるエアロバイクを用いる。Fig. 1 に本実験で用いるエアロバイクを示す。

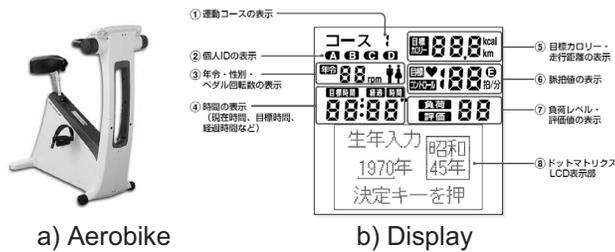


Fig. 1 Aerobike ai

Fig. 1 のエアロバイクは COMBI WELLNESS 社製であり、PC と接続することにより 1 分間当たりのペダル回転数やイヤーセンサで取得する脈拍などのデータがリアルタイムで取得することができる。また、ユーザの性別、年齢を登録し、ペダルの負荷レベルを設定したり、目標消費カロリー、目標心拍数を設定したりすることで、個人に合わせたトレーニングを行うことができる。これらの情報は全て Fig. 1-b の表示パネルにより確認できる。

運動は、エアロバイクを用いて 9 分間行うものとし、時間の経過と共に 3 段階で負荷レベルを上げる。そして、9 分の運動後には、負荷レベルを徐々に下げ、脈拍を調整させるクールダウンを 1 分間行う。実験では、運動の際の脈拍を計測することにより生理的影響があるのかを検証する。また、運動後にアンケートを実施し、アンケート結果に基づき心理的影響についても検証を行う。これにより、光環境が生体に与える影響を検証する。

なお、被験者は健康な大学生 10 名で、実験の手順は被験者によってランダムに決定する。

### 3.3 実験結果および考察

Fig. 2 に被験者 A, B の脈拍の履歴を、Fig. 3 に実験後に全ての被験者に対して行ったアンケートの結果を示す。

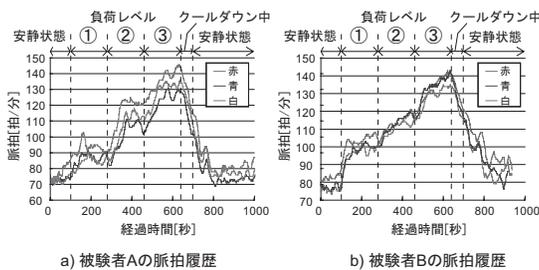


Fig. 2 History of pulse

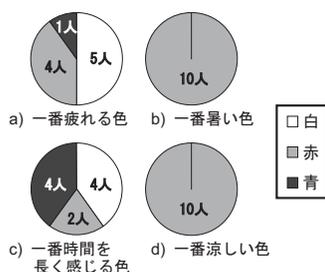


Fig. 3 Result of questionnaire

まず、生理的影響について述べる。Fig. 2-a より、被験者 A では、すべての光色において脈拍の変化履歴はほぼ等しいが、その値が赤色、白色、青色の順に高いことが分かる。なお、この被験者 A の実験順序は、赤色、青色、白色であり、実験の疲れが脈拍の変化に影響しているとは考えにくい。この結果より、被験者 A に関しては、3.1 節で述べた光色の影響が確認できる。一方、Fig. 2-b より、被験者 B は、運動中の各光色において脈拍の履歴が重なっており、色による差が見受けられない。

そこで、光色の影響を安静時の脈拍で比較する。しかし、光色の感じ方や脈拍のピーク値には、個人差や生体リズムによる時間的要因が影響すると考えられる。そのため、時間的要因によるピーク値の変動に影響をされないように、脈拍の変化率に着目する。具体的には、特に脈拍の変化が顕著になる箇所の変化率を最小二乗法により算出し、光色によって差があるのかどうか検証する。

Table 1 に被験者 10 名の安静時の脈拍を光色別に示す。

Table 1 Pulse in rest

被験者	白	赤	青
A	71	78	70
B	74	78	78
C	71	78	67
D	72	74	72
E	83	72	74
F	71	60	70
G	72	74	71
H	70	69	70
I	59	60	64
J	65	70	64

Table 1 より、安静時の脈拍において、赤色が白色の場合より高くなった被験者は 7 名であり、青色が白色より低くなった被験者は 8 名であった。この結果より、7 割以上の被験者において赤色で脈拍が上昇し、反対に青色で脈拍が減少していることが確認できる。これより、少なからず光色による生理的影響があることが考えられる。

次に、脈拍の変化率について検証を行う。脈拍の変化率の判定は以下の 2 箇所で行う。

1. 2 段階目の負荷レベル (Fig. 2 の ) 開始直後 1 分間運動開始後の状態であるペダル負荷が 2 段階目では、脈拍を上げ、有酸素運動状態にする必要があるため、白色と赤色の場合の脈の変化率について考える。履歴の比較は白色を基準とし、白色と赤色の 2 通りで行う。Table 2 (運動負荷 2nd) にその比較を示す。

2. クールダウン中の 1 分間

脈を減少させ、体と気持ちを落ち着かせるクールダウンにおいては、白色と赤色の場合の脈の変化率について考える。なお、履歴の比較は白色を基準とし、白色と青色の比較を行う。Table 2 (クールダウン) にその比較を示す。

Table 2 (運動負荷 2nd) より、脈拍の履歴において傾き (増加率) が白色光より赤色光の方が大きい被験者は 10 名

Table 2 Rate of pulse change

被験者	運動負荷 2nd		クールダウン	
	白	赤	白	青
A	0.27	0.41	-0.48	-0.55
B	0.23	0.12	-0.39	-0.34
C	0.27	0.21	-0.55	-0.44
D	0.13	0.18	-0.38	-0.43
E	0.21	0.11	-0.26	-0.50
F	0.23	0.32	-0.38	-0.42
G	0.13	0.37	-0.38	-0.42
H	0.32	0.11	-0.26	-0.34
I	0.40	0.37	-0.36	-0.42
J	0.33	0.31	-0.56	-0.58

中4名であり、この結果から、赤色光が被験者の脈拍の上昇を促すとは判断できない。これは第3.1節で挙げた暖色系の色の生理的影響とは異なる結果である。次に、Table 2(クールダウン)より、脈拍の履歴において傾き(減少率)が白色光より青色光の方が大きい被験者は10名中8名であり、青色光には、被験者の脈拍の減少を促す効果の可能性が確認できる。これは第3.1節で挙げた寒色系の色の生理的影響と一致する結果である。

次に、心理的影響について述べる。Fig. 3-aより、一番疲れる色の回答では、白、赤の順に多いことが確認でき、青色光では疲れを感じる被験者が少ないことが確認できる。また、Fig. 3-bとFig. 3-dの結果から、全ての被験者が最も暖かく感じる色は赤、涼しく感じる色は青と回答したことが確認できる。この結果より、光色の心理的影響である体感温度の差異は優位であることが確認できる。また、Fig. 3-cの結果より、被験者によって時間の感じ方が異なることが確認でき、光色による時間的感覚の差を示す回答を得られず個人差があることが確認できる。

以上より、光色の変化が生体に及ぼす影響の実験において、次のことが確認できた。

- 生理的な影響
  - 赤色光には、脈拍の上昇を促す可能性がある。
  - 青色光には、脈拍の下降を促す可能性がある。
- 心理的な影響
  - 赤色光には、体感的に暖かく感じさせる効果。
  - 青色光には、体感的に涼しく感じさせる効果。
  - 青色光は、疲れを感じにくいという効果。

#### 4 生体情報を用いた照明コントロール

第3節で光色が運動時の生体に及ぼす影響について検証を行った結果、生理的な影響としては脈拍の上昇や下降を促す効果があることが分かり、心理的な影響においては、体感的に大きな影響を確認することができた。そのため、それらの影響が大いに関係すると思われる運動において、光色を制御し生体への影響をコントロールすることは、効率的な運動を行うために効果的だと考えられる。

そこで、運動者に対して心理的な作用を与えるような照明制御を検討し、運動時の状態を表す指標の一つである生体情報を用いて、光度や光色を制御する照明制御システムを提案する。提案システムでは、照明を情報伝達

のツールとして捉え、照明制御により効率的な運動を行えるように運動者に運動状態を通知する。なお、その副次的な効果として、光色が与える生理的な影響を期待する。

#### 4.1 提案システムの概要

提案システムでは、赤、青、白の3色の照明を用いて、運動者の運動状態に応じて、照明の光度、および光色を制御する。これにより、トレーニングなどの運動において運動効果の向上、疲労度の軽減、モチベーションの維持、継続性を旨とする。なお、一般に効率的な運動を行うためには、ある程度以上の脈拍を保ちつつ運動を行う有酸素運動が良いとされている。このため、提案システムでは、生体情報の一つである脈拍を運動の優劣を測る指標(運動状態)として扱い、脈拍により照明制御を行う。なお運動状態の判断は、式(1)、および式(2)に基づき行う。

$$\text{男性：最高心拍数} = 220 - \text{年齢} \quad (1)$$

$$\text{女性：最高心拍数} = 210 - \text{年齢} \quad (2)$$

ここで、最高心拍数とは、運動強度を高めてもそれ以上心拍数が高まらない上限のことをいい、一般的に式(1)により算出される<sup>[5]</sup>。本システムでは、最高心拍数の60~70%を最適な脈拍値、すなわち最も効率的な運動状態である有酸素運動と定義する。

提案システムでは、運動者の脈拍がこの最適な脈拍値になるよう、光色の効果を考慮した照明制御を行う。具体的には、運動状態が常に有酸素運動状態を保てるように照明の光度、および光色を制御することにより、運動者に運動状態の通知を行い、ある程度以上の脈拍を保つ有酸素運動を促す。このように提案システムでは、システムから運動者へ、照明制御による情報伝達により運動状態の通知を行う。これにより、運動者へ「脈拍値のコントロール命令」をメッセージとして伝え、トレーニングを行う運動者が照明のフィードバックにより自身の運動状態を把握しながら、常に運動状態を有酸素運動に保ちながら運動が行えるようにする。なお、本システムでは、照明制御を行う際に、照明による情報伝達を行うと共に、光色が与える生理的な影響も考慮する。

#### 4.2 提案システムの照明制御

提案システムでは、Fig. 1のイヤースンサから取得した脈拍により運動状態の判断を行い、運動状態に応じて照明の光度および光色を制御する。以下に照明制御の詳細について述べる。

##### ● 運動量による光度制御

有酸素運動時には一定のペースで運動を続ける必要がある。そこで、最適なペダル回転数を1分間に60回転と定め、その基準に近づくほど白色蛍光灯の光度が高くなるよう設定する。つまり、ペダルを早く漕ぎすぎても遅く漕ぎすぎても部屋が暗くなる。

以上のような光度制御を行うことにより、運動者

が自身の運動ペースを視覚的に意識させることが可能である。これにより、効果的な運動を行うための適切な運動量で運動するよう心掛けるといった効果が期待できる。また運動効果の向上だけでなく、適切な運動量がキープできないと減光するため、ゲームのような感覚を持たせることができ、運動へ対するモチベーション向上を図れると考えられる。

● 脈拍による光色制御

運動者の脈拍が最高心拍数の 30 % 未満であれば、赤色蛍光灯のみを 100 % の光度で点灯させ、運動者の脈拍が 30 ~ 55 % 内にあれば、光度を 100 ~ 60 % の間でリニアに対応した比率で点灯させる。また、脈拍が最高脈拍値の 60 ~ 70 % の場合は、白色蛍光灯のみを点灯させる。脈拍がこの値を越えれば、脈拍が上がり過ぎて過剰な運動状態にあるため、ただちに脈拍を下げるよう青色の蛍光灯を 100 % で点灯する。

以上のような運動状態と対応した光色制御を行うことにより、脈拍が低すぎる、あるいは高すぎるといった運動状態を運動者に通知する情報伝達、およびフィードバックの役割を持つ。また、脈拍が低い場合には脈拍を上げ、高い場合には、脈拍を下げるという副次的な効果を促す。

4.3 評価実験

本実験では、提案システムを用いた評価実験を行い、運動時における照明制御の有効性を検証する。実験は、照明制御のない従来通りのトレーニングと提案システムを利用したトレーニングの 2 種類のトレーニングを行う。なお、被験者は健康な大学生 14 名で、運動後、アンケートを実施する。また、実験前に実験に関する簡単な説明、および注意を行う。説明した内容は、「トレーニングを行う際には、最適な運動状態があること」、「表示パネル等を用いることで運動状態を意識すること」、「提案システムの概要」である。

4.4 実験結果および考察

Fig. 4 にアンケートの結果を示す。

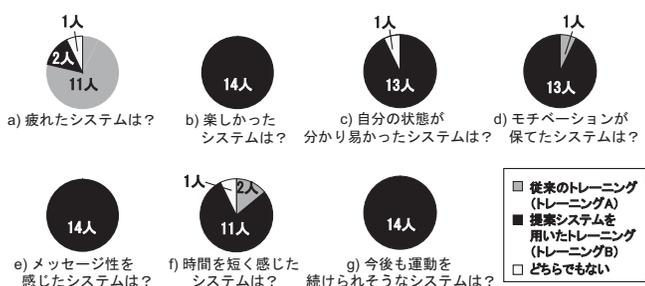


Fig. 4 Result of questionnaire in assessment ex.

Fig. 4-a より、疲労度に関しては従来トレーニングが 11 名と多く、白色では疲れやすいことがわかる。また、Fig. 4-b,c,d,e より、全ての質問項目において提案システムの方が良い結果を得ており、モチベーションの維持が

図れたことが確認できる。また、アンケートの自由記述から得られた結果を以下に示す。

● 従来トレーニング

- ただペダルを漕ぐだけなので、疲れを感じる
- とても淡白な印象があり、変化がなく単調
- 表示ディスプレイがあるが、常に見ているわけではないので自分の状態を認識しづらい
- 数値だけを見てもどれが自分に良い運動状態なのかわからない

● 提案システムを用いたトレーニング

- 部屋の色が変わると単純な作業を繰り返しているという感覚が少し和らぐ
- クールダウンの青い光が気持ちよく感じた
- 自分の状態が把握でき、面白く運動ができた
- 今の運動状態が良い状態であると分かると、頑張ろうという意識が持てた

5 まとめ

本報告では、運動時において光色が生体に及ぼす影響を調査し、その結果を元に効率的な運動が行えるように照明制御を行うシステムを検討した。運動時における影響は、心理的影響、および生理的影響について検証を行い、心理的影響では、赤色光は暖かい、青色光は涼しいという印象を与えており、赤色光、青色光のいずれもが体感温度に影響を与えることが分かった。また、生理的影響では、青色光に脈拍を下げる効果があることを確認できた。これらの光色が生体に与える影響を用い、運動効果の向上、疲労度の軽減などを旨とし、生体情報を用いた照明制御システムを提案し、その有効性を検証した。その結果、従来のトレーニングより高い評価を得た。

参考文献

- [1] M.Miki, T.Kawaoka. Design of intelligent artifacts:a fundamental aspects. *Proc.JSME Inter-national Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97)*, 1997.
- [2] Miki M Imazato K, Hiroyasu T. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. *Proc IEEE CIS*, pp. 520-525, 2004.
- [3] 三木光範, 廣安知之, 日和悟. 多目的シミュレーテッドアニメーリングを用いた知的LED照明システム. 情報処理学会 第 67 回全国大会 講演論文集, 2005.
- [4] Robert Gerard. Differential effects of colored lights on psychophysiological functions. p. 340, 1958.
- [5] P. O. Astrand and Irma Ryhming. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol*, Vol. 7, No. 2, pp. 218-221, 1954.