

# プロダクティビティ改善のための照明制御に関する実験研究

榎本 健治\*<sup>1</sup> 近藤 佑樹\*<sup>1</sup> 下田 宏\*<sup>1</sup> 石井 裕剛\*<sup>1</sup>  
大林 史明\*<sup>2</sup> 岩川 幹生\*<sup>2</sup> 寺野 真明\*<sup>2</sup>

## An Experimental Study on a Light Control for Improvement of Productivity

Kenji Enomoto\*<sup>1</sup> Yuki Kondo\*<sup>1</sup> Hiroshi Shimoda\*<sup>1</sup> Hirotake Ishii\*<sup>1</sup>  
Fumiaki Obayashi\*<sup>2</sup> Mikio Iwakawa\*<sup>2</sup> and Masaaki Terano\*<sup>2</sup>

**Abstract** – In order to verify the effect of a new light control which is expected to adjust workers' circadian rhythm on office productivity objectively and quantitatively, a large scale experiment has been conducted, where three task tests of CPTOP and their relevant simulation office tasks were given to 15 subjects who have experience working as an actual office worker. As a result, while the improvement of productivity for the proposed light control method against the conventional one was 1.87% to 5.49% depending on office tasks, little shown was improvement on CPTOP.

**Keywords** : Productivity, Circadian Rhythm, Performance, Light control

### 1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする環境問題への早急な対策の必要性、さらには企業のコスト削減の推進から省エネルギーに向けた取り組みが積極的に行われている。その例として、軽装することにより空調の設定温度を 28 に引き上げるクールビズが大きな話題となった。このような取り組みは単なるエネルギー消費削減のみを考慮したものであり、そうした環境下で働くオフィスワーカーにとっては不快となる場合があり、オフィス環境の悪化は生産性低下を招き、労働時間の増加につながっている可能性がある。労働時間が増加すれば、却ってエネルギー消費量の増大につながる可能性がある。したがって、オフィスでの省エネルギー対策としてオフィス環境の改善が必要であると言える。

オフィスの環境を改善するためには、適切に生産性を評価する必要があるが、オフィスでの作業は単純労働から創造性を必要とするものまで様々な能力を必要としているため、生産性の客観的な評価が困難である。そのため、オフィス環境改善はその費用対効果を評価できないことから副次的扱いとされていることが多いのが実情である。したがって、オフィスワーカーの生産性を客観的、かつ定量的に評価するプロダクティビティ指標の確立、及びその指標を基にしたオフィス環境改善が必要である。

本研究では、人の生体リズムを改善することにより作業効率を上げ、結果的に労働時間の減少を促すこと

から省エネルギーを目指す。そこで、オフィス照明環境に着目し、生体リズム改善が期待されるとして開発された照明制御による効果を客観的、かつ定量的に評価する指標を提案する。さらに被験者実験を実施し、この照明制御による改善効果を検証した。

### 2. 生体リズムを考慮した照明制御法

#### 2.1 生体リズムと光

現在オフィスでは物が適正に見えるかという観点から机上面照度が 750lx 程度に設定されている場合が多い。しかし、生体リズムという点においては、この照度は適切であるとは言えない。一般に生体リズムを調整するためには午前中に数千 lx 程度の光を数時間浴びることが必要であるとされている<sup>[1]</sup>。そのため、750lx 程度の照明環境では光照射が不十分であり、生体リズム調整効果は小さい。

#### 2.2 照明制御システム

2.1 項で述べたことを踏まえて、図 1 に示すような照度変化を与えるバランス型照明制御法が開発された<sup>[2]</sup>。

まず午前中に数千 lx の高照度光を浴びることにより生体リズムの調整を促す。さらに、昼食時に照度を 300lx 程度までさげることにより昼食時の仮眠を促進し、この時間帯での省エネルギーを目指す。午後から再び高照度光を 1 時間程度浴びることによりねむけを防止し、覚醒度の維持へとつながり、短期的にパフォーマンスの向上が期待される。しかし、高照度光を終日浴びれば、覚醒度の維持が期待されるが、常に緊張状態を強いられる。そのため、長時間浴び続けることにより疲労が蓄積し長期的にはパフォーマンスが低下す

\*1: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

\*2: 松下電工株式会社

\*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

\*2: Matsushita Electric Work, Ltd

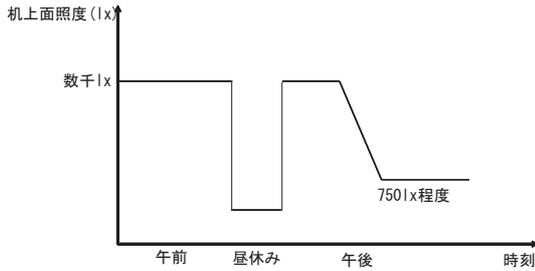


図1 生体リズムを考慮したバランス型照明制御  
Fig.1 Light control for circadian rhythm.

ると考えられ、午後1時間程度の時間をかけて少しずつ照度を750lx程度まで低下させることでそれを防ぐ。

### 3. プロダクティビティ評価指標の提案

一般に、プロダクティビティを評価する観点として以下の3つが挙げられる。

- 作業パフォーマンスによる評価
- 主観評価
- 生理的指標による評価

本研究では、これら3項目による評価指標を提案する。

#### 3.1 パフォーマンスによる評価指標の研究

著者らは、オフィスワークのプロダクティビティを評価する指標としてCPTOP(Cognitive Performance Test for Office Productivity)を開発してきた[3]。昨年度までに、CPTOPの習熟効果、難易度の補正を行い[5]、2.2で述べた照明効果を被験者実験により検証した[2]。その結果、照明効果によりパフォーマンスが向上するという結果を得た。しかし、CPTOPタスクの中には、定量的評価が困難なタスクが含まれていること、照明以外の環境要因が大きく働いていることが問題となった。

#### 3.2 パフォーマンスによる評価指標の提案

そこで本研究では、昨年度までの研究において、CPTOPの中から定量的評価が容易であり、且つ難易度が均一となるよう問題作成が行われるため、難易度のばらつきによるパフォーマンスに与える影響は小さいとされた「認知速度」、「時分割」、「情報秩序化」の3能力に着目する。それぞれの能力とその説明を表1に示す。しかし、CPTOPが実際のオフィスワークとの間の相関性が不明であるため、CPTOPのみによる評価からではオフィスワークのプロダクティビティ改善を示すことにはならない。そこで、これら3能力を頻繁に用いるオフィスワークの代表例として「伝票チェック作業」、「スケジュール調整作業」、「伝票分類作業」が挙げられる。本研究では、これらの作業を模擬したオフィスワークを新たに作成した。ここでは作成したオフィスワークについて述べる。

表1 本研究で着目する3能力

Table 1 Three abilities selected in this study.

能力名	能力の説明
認知速度	文字、数字、物体、絵、パターンをすばやく正確に比較する能力
時分割	2つ以上の行為や情報源の間で行ったり来たりを効果的に切り替える能力
情報秩序化	物の配置など決められた法則に正確に従う能力

### (1) 認知速度

#### 伝票チェック作業

認知速度能力を用いた作業としてオフィスで日常的に行われている作業の代表例が伝票処理作業である。そこで、本研究では伝票の誤りを調べるタスクを考案した。このタスクは図2に示すパソコンのディスプレイに表示される伝票と図3に示す紙の伝票とを見比べて誤りがないかをチェックする作業を行う。伝票を自動生成することで難易度を一定に保ち、またその処理枚数から定量的評価が容易である。



図2 伝票チェック作業画面  
Fig.2 Display image of check task.



図3 紙伝票  
Fig.3 Paper check.

## (2) 時分割

### スケジュール調整作業

時分割能力を用いた一般的なオフィスワークとして会議のスケジュール多重調整を考案した。これは図4に示す画面上に表示される時間帯から条件に該当する時間帯のみをすべて見つけ出す作業であり、1つのスケジュール調整を行っている際にランダムに割り込まれるもう1つのスケジュール調整を同時に行う。割り込みスケジュール調整も本スケジュール調整と同じ作業である。メモ等を禁止することにより割り込みスケジュール調整を行っていない間、割り込み前に行っていたスケジュール調整の情報を記憶しておく必要があるため、割り込みがある場合におけるスケジュール調整のパフォーマンスを時分割能力の評価指標として評価する。

【会議設定依頼】

【条件画面】

あなたはA氏からG氏の7人が参加する会議のスケジュールを設定しなければなりません。以下はA氏からG氏の7人の都合の悪い時間帯です。これを基に、7人中6人以上が参加できる時間帯候補をすべて挙げてください。  
(ただし、水曜日、土曜日、日曜日には会議の候補時間帯を設定できません)

A氏	: 火10:00-12:00	木15:00-17:00	火15:00-17:00	金13:00-15:00
B氏	: 火15:00-17:00	木10:00-12:00	火13:00-15:00	木13:00-15:00
C氏	: 金13:00-15:00	木15:00-17:00	月10:00-12:00	木13:00-15:00
D氏	: 金10:00-12:00	火13:00-15:00	火10:00-12:00	月15:00-17:00
E氏	: 火13:00-15:00	月10:00-12:00	木15:00-17:00	木13:00-15:00
F氏	: 月15:00-17:00	金10:00-12:00	木15:00-17:00	金13:00-15:00
G氏	: 木10:00-12:00	木13:00-15:00	火13:00-15:00	火10:00-12:00

回答する

図4 スケジュール調整作業画面

Fig. 4 Display image of schedule task.

## (3) 情報秩序化

### 伝票分類

情報秩序化能力を用いるオフィスワークとして伝票を分類する作業が挙げられる。一般にオフィスでは金額、日付、目的等で伝票は分けることが多い。そこで、図3に示す伝票チェック作業で用いた紙伝票を与えられた条件にしたがって分類するタスクを考案した。これは伝票を1枚ずつ与えられた表の該当する枠にチェックを入れるという作業である。タスク終了後にあらかじめ記されている伝票番号を記入してもらうことで分類枚数は容易に定量的に評価できる。

### 3.3 主観評価

主観的に快適性と疲労を評価する方法として日本産業衛生学会産業疲労研究会による自覚症しらべ<sup>[6]</sup>による評価が一般的に行われている。これは25項目の質問に関して5段階で回答し、各質問項目に対して5

群(ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感)に分類する。各群の合計値あるいは平均値から疲労度を評価する。本研究では、これを用いて主観評価を行う。

さらに、生体リズムの調整による睡眠の質や目覚めの良さ、覚醒度を自覚症しらべと同様に5段階で回答し評価する。

### 3.4 生理的指標による評価

本研究では、フリッカー測定による疲労の評価を提案する。フリッカー測定は短時間による測定が可能であり、測定そのものに対する精神的な負荷は小さい。したがって、照明環境の違いが作業の疲労度に与える影響を正確に評価することが可能と考えられる。

## 4. プロダクティビティ評価実験

### 4.1 実験の目的

提案した指標を用いてバランス型照明制御環境と一般的な照明環境の違いによるパフォーマンスの変化を定量的に評価するために被験者実験を行った。

### 4.2 実験環境

実験は照度制御の可能な実験室にて行った。この実験室は1つの部屋を天井に机上面照度を300lxから3500lx以上まで制御することが可能な照明装置を設置した実験室と机上面照度が750lx一定である実験室に分かれている。これらの2室の間にそれぞれの装着された照明以外の光による照度の変化が出ないように仕切が設けられた。さらに2室ともにカーテンにより外光によって照度の変化が起きないようにした。図5に実験の様子を示す。

本実験に用いた照明は2室ともに色温度5500K 昼白色のすべて同じものを使用し、平均演色評価数(Ra)は84である。平均演色評価数(Ra)とは基準光の各色彩に対して対象となる照明装置の再現度を表す演色性の指数の1つである。基準光は色温度ごとに異なっている。Raはその基準光から規定された8種類の試験色に対して色ずれの平均値から算出され、すべての色彩において基準光に等しい時を100とする<sup>[7]</sup>。一般にオフィスでは80以上90以下のRaが良質な照明とされ、演色性は執務者の作業効率や疲労にも影響を及ぼすとされている。

さらに、室温は2室ともに温度を測定し、平均25となるようにエアコンで温度調整をした。換気量は換気扇を設置し、CO2濃度を測定することでそれぞれの被験者グループが実験期間中一定となるように調整した。また、騒音は騒音計により測定し、一般に静かなオフィス程度であるとされる55dB前後とした。これにより照明条件以外の実験環境を統一した。



図 5 実験の様子

Fig. 5 A scene of experiment.

### 4.3 実験手順

実験は2006年11月1日から2006年12月22日までの期間の中から土曜日と日曜日を除く18日間行った。今回の実験では被験者を3グループに分け、1グループ目を被験者Aから被験者Eの5名、2グループ目を被験者Fから被験者Jまでの5名、3グループ目を被験者Kから被験者Pまでの6名に分けて行った。1グループ目が11月1日、2グループ目が11月15日、3グループ目が11月29日から実験を開始した。すべてのグループの実験期間は表2のように1週目3日間を練習期間として標準条件で作業を行い、2週目を標準条件1週目（以下標準条件I）、3週目をバランス型照明環境（以下高照明条件）、4週目を標準条件2週目（以下標準条件II）とした。

表 2 実験の日程

Table 2 Schedule of experiment

	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日
標準条件			練習日	練習日	練習日
標準条件 I	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
高照明条件	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
標準条件 II	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目

各実験日においてCPTOPとオフィスタスク各3タスク計6タスクを1セットとし、表6に示すように1日に午前1セット、午後2セットの計3セット行った。朝到着後と各セットの作業終了後にフリッカー計測、主観評価を行った。スケジュール調整では、十分な量の割り込みスケジュール作業を行うために他のタスクに比べて長時間に設定した。

### 4.4 被験者

被験者はパソコン操作に支障がなく、健康な男性11名、女性4名の計15名である。各被験者の属性を表3に示す。表に示された平均就寝時刻、平均睡眠時間は実験前に行ったアンケートによる。また、実験日の前日にあたる日曜日から木曜日までは夜更かし、過度の飲酒をしないように教示した。

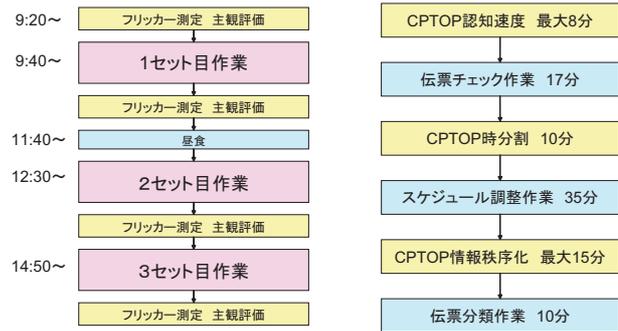


図 6 1日の流れと1セットの作業順序

Fig. 6 Order of works in a day and in a set of tasks.

表 3 被験者一覧

Table 3 Subjects.

	性別	年齢	平均就寝時刻	平均睡眠時間 [h]
被験者 A	男性	42	12:00 AM	6.5
被験者 B	男性	55	12:00 AM	7
被験者 C	男性	31	3:00 AM	4.5
被験者 D	男性	40	11:00 PM	8
被験者 E	男性	33	1:00 AM	6.5
被験者 F	男性	30	12:00 AM	7
被験者 G	男性	44	12:00 AM	6
被験者 H	男性	37	1:00 AM	6
被験者 I	男性	28	1:00 AM	7
被験者 J	女性	41	1:00 AM	5.5
被験者 K	女性	31	12:00 AM	6.5
被験者 L	女性	47	12:00 AM	7.5
被験者 M	男性	53	11:00 PM	7
被験者 N	男性	42	11:00 PM	5
被験者 O	女性	30	12:00 AM	7

### 4.5 実験結果

#### (1) 作業パフォーマンス

本実験では、一つのオフィス空間における照明効果を評価するために全被験者の平均値をパフォーマンスとする。

評価対象として高照明条件5日間のパフォーマンスによる評価が考えられるが、1日目は土曜日と日曜日を挟むためタスクを遂行する手順を忘却することによるパフォーマンスの低下の影響が大きくなると考えられるため適切ではない。そこで、1日目を除いた4日間を評価対象として考えられるが、生体リズムの調整は長期的な高照度光の照射により実現されるので、生体リズムの調整が期待される4、5日目の平均を高照明条件のパフォーマンスとする。標準条件は標準条件、標準条件 すべての期間の平均をパフォーマンスとする。

しかし、パフォーマンスを比較するためには、繰り返し行うことによる習熟効果を取り除く必要がある。そこで、1回の試行毎に一定の改善率である上限値に近づくと仮定し、式(1)に示すような習熟曲線を標準

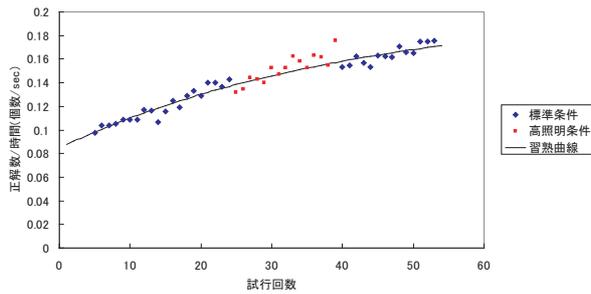


図7 伝票チェック作業の習熟曲線  
Fig.7 Learning curve of check task.

条件のパフォーマンスから導出し、求めた習熟曲線の理論値  $k$  と試行回数における理論値の比をパフォーマンス実測値にかけることにより補正する。

$$y = k - ab^x \quad (1)$$

ここで、 $k$  は習熟が完了したときのパフォーマンス、 $a$  は習熟度を表す定数、 $b$  は改善率を表す定数、 $x$  は試行回数を表す。図7では伝票チェック作業の習熟曲線を示す。パフォーマンスは各タスク上記の方法で補正をかけ、単位時間あたりの正解数（伝票分類では分類数）とし、表4に標準条件に対する高照明条件の比（変化率）を示す。

表4 パフォーマンスの変化率  
Table 4 Variations of performance on each task.

	変化率
CPTOP 認知速度	-0.32%
伝票チェック	4.47%
CPTOP 時分割	0.98%
全スケジュール	1.87%
割り込み有りスケジュール	4.20%
CPTOP 情報秩序化	0.82%
伝票分類	5.49%

表4からオフィスタスク3タスクでは数%程度のパフォーマンス向上が見られ、照明による効果が見られたと考えられる。しかし、CPTOP3タスクでは変化率が1%以下となり、照明環境によるパフォーマンスの変化はあまり見られなかったが、被験者Cに関してはパフォーマンス向上が顕著であった。

さらに、時間経過によるパフォーマンス変化を求めることが可能な伝票チェック作業に関して、1分毎にその正解数を求めた。例として、パフォーマンスが大きく向上した被験者Cについて図8に示す。

#### (2) 主観評価とフリッカー測定

生体リズムが調整されることにより睡眠の改善が見られる。そこで自覚症しらべの5群（ねむけ感、不安定感、不快感、だるさ感、ぼやけ感）の中から、ねむけ感により照明効果を評価したが、その効果は見られ

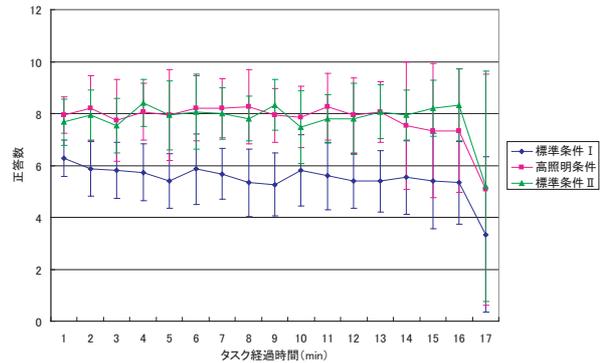


図8 伝票チェックの時系列解析  
Fig.8 Time series of check task on subject C.

なかった。また、睡眠の質、めざめの良さ、覚醒度に関する主観評価、さらにはフリッカー測定からも照明環境の違いによる差は見られなかった。

#### 4.6 実験結果の考察

作業パフォーマンスでは、オフィスタスクでは照明による向上が見られたが、CPTOPでは改善効果はあまり見られなかった。

その原因として認知負荷が挙げられる。本研究で新たに提案したオフィスタスクはCPTOPに比べて認知負荷が高いと考えられる。CPTOP認知速度は、4つの表示される図形を見比べ、見本と同じ図形を探し出すだけの作業のため被験者に与える認知負荷は小さいとされる。しかし、スケジュール調整作業は、与えられた28時間帯から該当する時間帯をすべて見つけ出し、それを解答するまでその情報を記憶しなければならない。さらに、割り込みスケジュール調整では、元のスケジュール調整の情報を記憶しておく必要がしながら別のスケジュール調整作業を行うため、他のタスクにくらべて認知負荷が高い。認知負荷が高いタスクでは、その遂行に高い覚醒度が求められるため、パフォーマンスの変化率が大きくなったと考えられる。被験者Cは表3で示したように睡眠時間が短く、生体リズムの乱れが他の被験者に比べ大きく、その改善効果が大きくなったと考えられる。

また、タイムプレッシャーがパフォーマンスに影響を与える要因として挙げられる。CPTOP各タスクでは1問あたりの制限時間が設けられている。時分割タスクは制限時間は設けられていないが、爆弾と電球の切り替え作業の間に数値入力を同時に行う作業であるため、切り替え作業を行うまでの間に数値入力をする必要がある。したがって、制限時間が設けられているのと同様である。一方で、オフィスタスクはすべて制限時間は設定していないため、被験者が自分のペースで作業を行うことができる。このタスクを迅速に行わな

ければいけないというタイムプレッシャーがCPTOPパフォーマンスを引き上げ、照明環境の違いによる差を小さくした可能性がある。

作業を長時間のタスクでは、すべての作業時間で作業に注意を向けることは不可能であるため、作業中の注意の調整がパフォーマンスに影響を与えらるが、パフォーマンスの向上が見られた被験者Cに関して、図8で示したように時間経過によるパフォーマンスの変化は、照明条件による違いは見られないため、作業時間がパフォーマンスの変化に与える影響は小さいと考えられる。他の被験者についても同様の傾向が見られ、伝票チェック作業では長時間作業をすることとパフォーマンスの変化の関係性は低い。

生体リズムの調整を評価する主観評価では、照明環境の違いによる影響は見られなかった。これは、実験期間中に睡眠時間を確保するよう教示したために、高照度条件による生体リズムの調整を確認できなかったと考えられる。

フリッカー測定では、覚醒効果と同時に高照度光が強いストレス、疲労感を与えているために照明効果が確認されなかったと考えられる。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、プロダクティビティ改善が期待される照明制御の効果を定量的に評価するために、CPTOP11種類の能力から評価指標として客観性が高く、定量的評価が容易な3能力のみに着目した。さらに、それらの能力に対応するオフィスタスクを作成し、被験者実験から照明効果を評価した。その結果、オフィスタスクからはパフォーマンスの向上が見られたが、CPTOPからは照明環境によるパフォーマンスの違いはあまり見られなかった。これはタスクの認知負荷やタイムプレッシャーが大きく影響しているためと考えられる。また、主観評価、フリッカー測定から生体リズムの改善からは作業パフォーマンス向上を裏付けることはできなかった。

今後は、認知負荷やタイムプレッシャーがパフォーマンスに与える影響を評価する実験を実施し、タスクの改良を行い、さらには生体リズムを客観的に評価する生理指標の確立を目指していく予定である。

## 参考文献

- [1] M.Rea, M.Figuero and J.Bullough: Circadian Photobiology: an Emerging Framework for Lighting Practice and Research, Lighting research & technology, Vol.34, No.3, pp.177-190,(2002).
- [2] 大林, 富田, 服部, 河内, 下田, 石井, 寺野, 吉川: オフィスワークのプロダクティビティ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).

- [3] 服部, 河内, 大林, 寺野, 福島, 伊藤, 下田, 吉川: オフィスワークのプロダクティビティ評価手法に関する基礎実験研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005,(2005).
- [4] Edwin A. Fleishman, Maureen E. Reilly: Handbook of Human Abilities, Consulting Psychologists Press, pp.1-37,(1992).
- [5] 下田, 服部, 富田, 河内, 石井, 大林, 寺野, 吉川: オフィスワークのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - プロダクティビティ評価法 CPTOPの開発 - ; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006,(2006).
- [6] 日本産業衛生学会産業疲労研究会ホームページ, <http://square.umin.ac.jp/of/>, 2007年7月2日現在.
- [7] 社団法人照明学会ホームページ, <http://www.ieij.or.jp/index.html>, 2007年7月2日現在.