

オフィスワーカー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

大林史明*1, 富田和宏*2, 服部瑤子*3, 河内美佐*1,
下田宏 *4, 石井裕剛*4, 寺野真明*1, 吉川榮和*4

A Study on Environmental Control Method to Improve Productivity of Office Workers -Development of an Illumination Control Method and its Experimental Evaluation

Fumiaki Obayashi, Kazuhiro Tomita, Youko Hattori, Misa Kawauchi,
Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Masaaki Terano, Hidekazu Yoshikawa

Abstract – New Office Lighting System for the health and productivity of office worker has been developed. This lighting system maintains workers' circadian rhythm and controls arousal levels during office work. In order to verify its effect on office productivity, a laboratory experiment for 3 weeks has been carried out, and performance test for office productivity “CPTOP” was given during clerical works. As a result, the productivity score has been improved by 9% through the new lighting system. Furthermore, in order to establish the effect by proof, a demonstration experiment has been carried out. The new lighting system has been installed in an actual account department in a company, and their business efficiency has been measured. In consequence, their operating effectiveness has been improved over ten-odd percent.

Keywords: Productivity, Office, Lighting Control, Circadian Rhythm, Performance, QOL

1. はじめに

最近の健康・快適志向への関心の高まりは顕著で、個人で享受できる健康器具や環境改善機器などは非常な隆盛を呈している。しかし一方、オフィスや公共施設等、多くの人が1日のうちのかなりの時間を過ごすスペースでは、設備導入者と利益享受者が異なることや費用対効果の視点で検討されがちであることから、利用者の視点に立った快適性設備の導入は未だほぼなされていないのが実情である。しかしながらオフィス等における健康・快適性への取り組みは、トータルQOL(Quality of Life)の視点からは非常に重要であり、こうした“ひとにやさしい”技術がオフィスやパブリックスペースに広く導入される訴求力が求められている。そのため、健康・快適性というエンドユーザ側の指標を、その費用対効果の明確化という経営側の指標で捉えなおす取り組みを推進している。オフィス向け指標としては、健康・快適性技術の導入によるオフィスワーカーの生産性向上度を評価する「オフィスプロダクティビティ」指標を設定し、またそ

の客観・定量評価技術の開発を行っている^{[1][2]}。またさらにそうした視点を踏まえ、最適なオフィス環境実現のために、環境影響評価と環境制御技術の開発を行っている^[3]。本研究ではオフィス向け照明制御システムの開発とその有効性評価を行う。

2. オフィス快適性の効果定量化 —プロダクティビティ評価手法

一般に、企業では人件費が大きな割合を占め、オフィス環境の改善によりワーカーのプロダクティビティ(生産性)が向上すれば、その金銭的メリットは大きい^[4]。しかし、オフィスワーカーの作業効率を評価する手法は確立されておらず、その評価手法の確立が求められていた。そこで、オフィスワーカーのプロダクティビティを定量的かつ客観的に評価するため、プロダクティビティ指標の設定と、その評価手法となるオフィスワークの知的能力を反映するパフォーマンステスト CPTOP (Cognitive Performance Tests for Office Productivity) を開発した^[1]。

この指標は様々なオフィスワークに求められる要素能力に対し、各種環境条件下において個々人の要素能力の発揮度をパフォーマンスとして計測するもので、それらの総合からオフィスプロダクティビティを評価するものである(式1)。

*1: 松下電工株式会社

*2: 現在、トヨタ自動車株式会社

*3: 現在、株式会社パロマ

*4: 京都大学大学院 エネルギー科学研究科

*1: Matsushita Electric Works, Ltd.

*2: Present, Toyota Motor Corporation

*3: Present, Paloma Company, Ltd.

*4: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

$$\text{Office Productivity} = \sum_{i=1, j=1}^{I, J} (P_{ij} \times W_{ij}) \quad (1)$$

P_{ij} : Score of Performance Test of Elementary Ability
 W_{ij} : Weight of Elementary Ability
 i : Occupation
 j : Elementary Ability

また CPTOP は、フィールド調査を通じて抽出された^[5]重要度の高い 11 種の要素能力に対するパフォーマンスを個々に評価するシステムである。またこれは職種毎に評価する要素能力やその重み付けを変えることで、様々なフィールドでの使用や要因分析に対応している。

ある環境や機器のプロダクティビティ影響評価を行うには、基準となる環境下におけるオフィスワーカーのプロダクティビティスコアと、対象環境下における同スコアとを比較することで、改善効果を検証する。

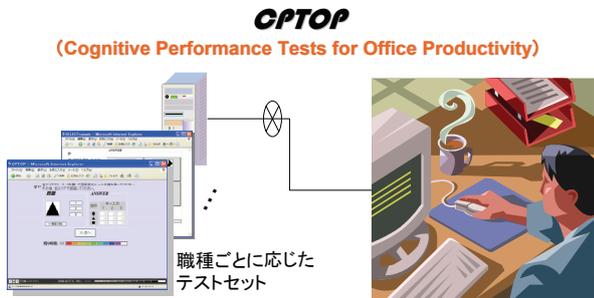


図1 CPTOP (Cognitive Performance Tests for Office Productivity)

本研究ではこのプロダクティビティ評価手法を用いて、開発する照明制御システムの有効性評価を行う。

3. オフィス照明制御システム

3.1 オフィスにおける照明環境の課題

従来、オフィスの照明は一定であることが「適切」であると考えられていることが多かった。また、明るさは、視作業を効率的に行える最低限の照度を確保することを第一の目的として設計されてきた。これは、現在の照明が視認性や眼精疲労など、光による視神経へのストレスの解消を対象として行われてきたためである。そのため、一般のオフィスビルでは物が適正に見えるか、といった観点から、机上面照度を 750lx 程度に設定されている。

しかしこれは、オフィスワーカーの健康や執務遂行の観点から考えると、必ずしも適切な照明環境とはいえない。

まず生体リズムの調整という観点からは、午前中に数千 lx 程度の光を 2,3 時間程度浴びることが必要と言われているが、現在のオフィス照明環境では生体リズムの調整効果は得られない。生体リズムと生活リズムを同調させて良質の睡眠を得ることが活動時の高い覚醒レベルにつながるが、逆に、活動時に高い覚醒レベルを維持すれば、良質の睡眠が得られやすくなることも明らかにされている。これは生体リズムの不調、睡眠質の低下や覚醒レベルの低下などによりオフィスワーカーのプロダクティ

ビティを減少させている可能性が考えられる。

また、短期的な執務遂行の観点からも、覚醒効果が得られないことは作業効率の低下などが懸念され、プロダクティビティを減少させている可能性が考えられる。

これらのことから、オフィスの生産性およびオフィスワーカーの健康に配慮した照明環境の実現が必要と考えられる。

3.2 オフィス向け照明制御手法の検討

ここでオフィスに最適な照明環境の実現のために、オフィスワーカーの作業性と健康性を両立し、プロダクティビティ向上効果が高いと期待される照明制御手法を検討する。

まず、生体リズムの改善のみを目的とした場合、図 2 のような照明制御が考えられる。これは、午前中に 1000lx 以上の高照度光を照射することによって受光量不足を補い、体内時計をリセットして正しい生体リズムのサイクルに戻すものである。またさらに、残業時間である夕方の 18 時程度以降にメラトニン抑制効果の強い青色波長の領域を避けた低色温度の照明とすれば、視認性を保ったまま夜間の良質な睡眠に向けての環境を整えることができる。

この照明制御法では、生体リズムの観点からは十分な効果が期待できるが、オフィス用の照明システムとして考えた場合、午後の照明制御にさらに作業効率を改善する余地があると思われる。

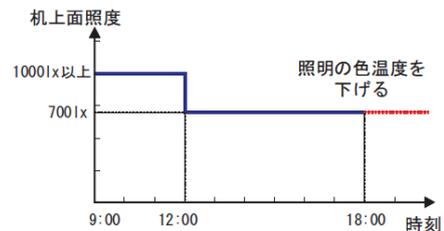


図2 生体リズム改善のための照明制御パターン

一方、オフィス作業中の作業効率の向上のみを目的とした場合、図 3 のような照明制御が考えられる。これは、勤務時間中は常に 1000lx 以上の高照度光を照射し、覚醒レベルを高く保つことを目的としている。

この照明制御法では、覚醒レベルが常に高く保たれ、作業効率が向上することが期待されるが、常に緊張状態を強いられるため、疲労が蓄積し、長期的に見た場合パフォーマンスが低下することが懸念される。

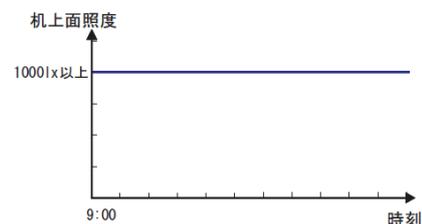


図3 作業効率向上のための照明制御パターン

覚醒レベルの向上と疲労による長期的な影響の軽減の両立を目指した場合、図4のようなバランス型の照明制御が考えられる。これは前述の作業効率向上型と同様、午後にも1000lx以上の高照度光を照射するが、主に昼食後の眠気解消を目的とし、1時間程度の照射後徐々に照度を下げていき、通常のオフィスの設定照度である700lxにする。また、昼の休憩時間中は照度を500lx程度まで下げること、エネルギー消費の削減になるとともに、仮眠を促すことで、午後の眠気防止のための高照度光の照射による効果を高めることができると考えられる。

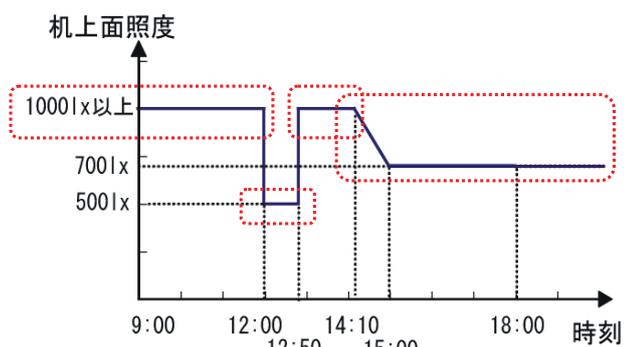


図4 プロダクティビティ調光アルゴリズム

この照明制御法では、生体リズムを改善することによって中・長期的に疲労や疾病を低減するとともに、特に覚醒度の低下する昼食後の眠気を防止することで短期的にもパフォーマンスが向上することが期待される。

本研究では今後、オフィスワークの作業性と健康性を両立しプロダクティビティ向上効果が最も高いと期待される、このバランス型の照明制御パターンについて検討する。

4. 照明制御システムのプロダクティビティ評価

提案した照明制御法の有効性をプロダクティビティの観点から評価するために、CPTOP を用いて被験者実験によって定量的に評価する。また同時に、1000 lx 以上としていた照明制御の最高照度を異なる値で比較することで、より適切な照明制御法を検討する。

4.1 実験方法

ここでは、図4のアルゴリズムをベースに、最高照度(机上面)の値を、標準的なオフィスの推奨照度の2倍である1400 lx (照明条件1)と3倍である2100 lx(照明条件2)になるよう制御した二つの条件を用意する。また、それらとの比較のため、机上面照度を標準的なオフィスの推奨照度である700 lx で一定に制御した条件(標準条件)を用意する。

被験者はオフィスワークの経験があり、健康な男女6名(平均年齢27.7歳:22歳~36歳)である。各被験者の属性を表1に示す。表中の平均就寝時刻、平均睡眠時間はともに、実験前に行った普段の生活習慣に関するア

ンケートへの回答である。被験者には実験参加に当たって、十分な説明をした上で了解を得た。また、実験期間中の日曜午後から金曜午後までの間は飲酒、夜更かしを禁止し、毎日6時間以上の睡眠をとるよう教示した。

表1 評価実験の被験者属性

	性別	年齢	平均就寝時刻	平均睡眠時間
被験者A	男性	22歳	AM2~3時	8~10時間
被験者B	女性	28歳	AM2~3時	8時間
被験者C	女性	36歳	AM0時	6時間
被験者D	女性	26歳	AM0時	6時間
被験者E	女性	27歳	AM1~2時	9時間
被験者F	女性	27歳	AM0時	6時間

実験は照度コントロールの可能な実験室で行った。実験室の俯瞰図と実験中の様子を図5、図6に示す。照度は天井に設置された12枚の照明パネル(図5中、白四角形)及び補助の二つの丸形シーリングライト(図5中、白八角形)により500~2,000lxまでの範囲で調節可能となっている。なお、本実験室は建物内に敷設された実験室であり、室内左方の窓から外光を模擬した人工光を取り入れることで、さらに照度を上げることも可能となっている。

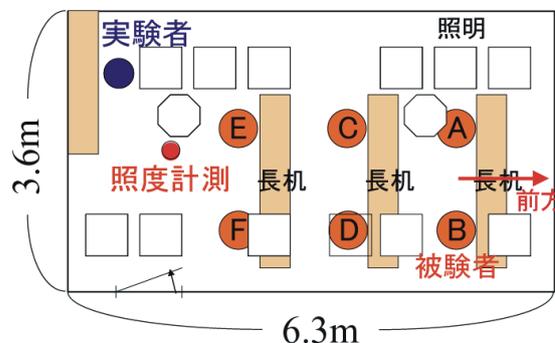


図5 実験室俯瞰図



図6 実験の様子

本実験では照明制御の効果を評価するために、CPTOP

によるプロダクティビティ評価を行い、また主観の面からも、疲労感測定のため日本産業衛生学会産業疲労研究会の自覚症状調べ⁶⁾を用い、疲労感等の評価を行う。また図5中の照度計測点において、被験者の机上面の高さに設置した照度計によって実際の照度を測定する。実際に測定した照度を図7に示す。

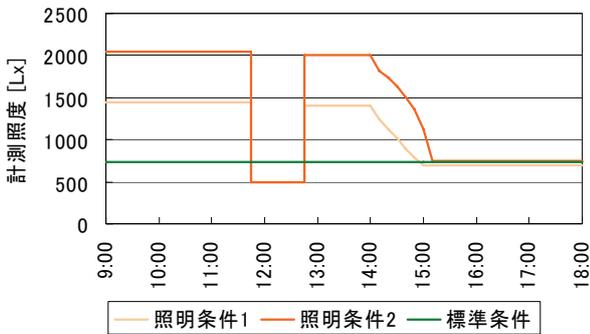


図7 各調光アルゴリズムの照度実測値

実験は図8に示す日程の通り、2005年12月5日から12月22日までの土曜日と日曜日を除いた14日間行った。このうち、1週目の月曜日はそれまでの被験者それぞれの環境の違いをリセットするため標準条件とし、照明条件の影響をリセットするために間に標準条件を挟み、照明条件1 - 標準条件 - 照明条件2の順で1週間ずつ実験を行った。実験手順を図9に示す。1日を午前、昼食後、夕方の3つに分け、それぞれにおいて初めに自覚症しらべを行い、1時間程度通常のオフィス業務を模擬した作業を行った後、CPTOPを実施する。

CPTOPは口頭理解、書面理解、口頭表現、文書表現、記憶、数学的推論、演繹的推理、帰納的推理、情報秩序化、認知速度、時分割の順で1セットとし、1セット約60分となるようにした。ただし、このうち口頭表現に関してはシステムの問題により結果が正常に取得できず、解析の対象から外した。また、各条件1日目、4日目以外は午前中のCPTOPの代わりにオフィス業務の模擬作業を実施する。この模擬作業は負荷として与えるもので、解析の対象とはしない。



図8 実験スケジュール



図9 1日の実験手順

4.2 実験結果

CPTOPの全被験者の平均得点を図10に示す。なおここでは各被験者ごとに、タスクごとの全日程での平均点を基準として100点とすることで正規化を行っている。

このCPTOPの結果から照明条件2においては、1日目～4日目までの全ての日で標準条件より有意に高得点となっており、また、照明条件2の4日間の間でも1日目と比較して3日目 ($p < 0.05$)、4日目 ($p < 0.01$)と有意に得点が向上しており、照明によってパフォーマンスが向上していると考えられる。一方で、照明条件1では、標準条件の得点との間に有意差は無く、高照度光は1400 lx程度では効果が無く、2100 lx程度から効果を現す事が示唆される。

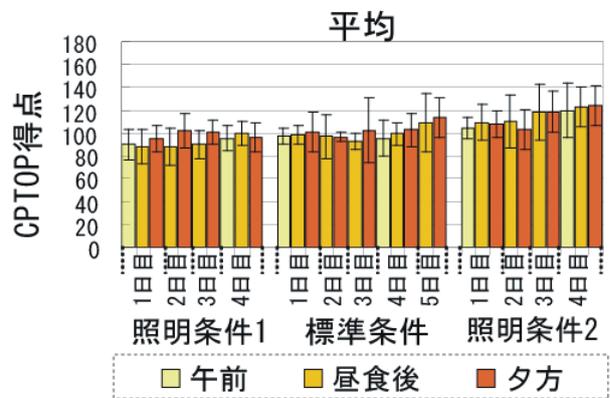


図10 全被験者の平均CPTOP得点

一方、自覚症状調べにおいては、疲労感訴えの総合得点では、図11に示すように、照明条件2の3日目を除く3日間において標準条件よりも総合的な疲労の訴えが有意に低く、照明が何らかの影響を及ぼしている事が示唆された。

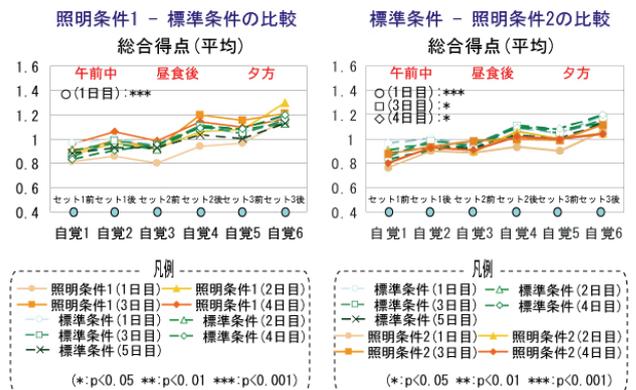


図11 自覚症しらべ訴え得点の平均 (総合得点)

4.3 考察

本実験の目的は照明制御アルゴリズムのプロダクティビティからの定量的な評価である。評価ポイントである、

照明実験 2 と標準条件の 4 日目において、仮説平均との差異を設定して検定を行ったところ、表 2 に示すように仮説平均との差異を 9 ポイントとして、照明条件 2 で標準条件よりも有意に高得点となった ($p < 0.001$)。CPTOP の得点は 100 を基準としており、この結果より、2100 lx で図 4 のプロダクティビティ照明制御を 4 日間行えば、9%のパフォーマンス向上が見込めると考えられる。

表 2 照明条件 2 と標準条件の評価結果比較

	照明条件 2 の CPTOP 得点	標準条件の CPTOP 得点
平均	122.5	99.5
分散	246.7	30.8
観測数	18	18
ピアソン相関		0.47
仮説平均との差異		9.00
自由度		17.00
t		4.25
P(T ≤ t) 片側		0.0003
t 境界値 片側		1.74
P(T ≤ t) 両側		0.0005
t 境界値 両側		2.11

このことから、本照明制御手法は、オフィスプロダクティビティに対し、大きな効果を現すものと考えられる。しかしながら、実際のオフィスに適用した際の効果が未検証であるため、次に実オフィスでの実証実験を行う。

5. 照明制御システムのオフィス実証評価

4 節の実験の結果から、実験室においてはプロダクティビティ向上のための照明制御法に一定の効果が見られた。そこで、この照明の効果が実際のオフィスワークにおいても有効であるかどうかを実証評価する。

5.1 実験方法

本実験では通常業務を行っているオフィスにおける実証実験であるため、種々の制約を考慮し、以下のような実験方法とした。

実験は、A 社経理部門（通常のオフィス）のワンフロアにおいて、その一部に図 12 に示すように、天井に机上面照度を 300 lx ~ 4000 lx の範囲で制御可能な照明装置を設置した空間で行った。今回の実験では図 4 のプロダクティビティ調光アルゴリズムをベースに、効果が顕著に現れるように、最高照度を 3500 lx と高めに設定した（照明条件）。また比較のため机上面照度をオフィスの標準の照度設定である 700 lx 一定とした標準条件を用意し、照明条件の前後に実施した（標準条件(前半)、標準条件(後半)）。照明条件の各日において、図 12 の各照度

計測ポイントで記録した照度を図 14 に示す。

効果計測のためには、オフィス業務での実作業量を測定する。被験者に任意の一時間程度の時間を選んでもらい、経理処理作業の伝票処理枚数を計測し、1 分間あたりの伝票の処理枚数を実作業量とする。経理処理作業は紙の伝票から必要なデータを抽出し電子データとして記録するとともに、伝票の整合性をチェックし、問題があれば作成者に問い合わせするという作業である。

実験は 2005 年 11 月下旬～2006 年 1 月上旬にかけて行った。この期間中で被験者が平均的な作業量である日を選択し、実験日とする。ただし、照明条件に関しては、照明による生体リズムへの影響を計測するために、連続して実施する必要がある。このため、事前に極端な作業が入らないと考えられる日として、12/12(月)、12/13(火)、12/15(木)、12/16(金)の 4 日間を選択し、その 4 日間を含む 1 週間を照明条件実施期間とする。その前後約 3 週間を標準条件の実験期間とし、その中から 3 日間ずつを各被験者が実験日として選択する。

被験者は普段から経理処理作業に従事する 20～30 代の男性 1 名、女性 5 名の計 6 名である。各被験者の属性を表 3 に示す。

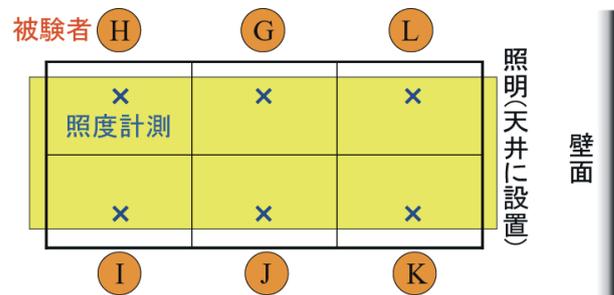


図 12 実証実験場所の俯瞰図



図 13 実証実験の様子

表 3 実証実験の被験者属性

	性別	年齢
被験者 G	女性	20 代
被験者 H	女性	20 代
被験者 I	女性	20 代
被験者 J	女性	20 代
被験者 K	女性	20 代
被験者 L	男性	30 代

本実験では実際のオフィスにおいて実業務中に行った計測であるため、種々の制約から厳密な意味でのコントロール実験ではない。しかしながら理想的な環境下ではない実際の現場で一定の有効性が確認された意義は大きいと考えられる。今後、様々なフィールドでのより詳細な検証も進めたいと考えている。

6. まとめ

本研究では、オフィスプロダクティビティの観点から、オフィス向け照明制御技術の開発を行った。オフィスワーカーの健康・快適性と執務性の両立を狙った照明制御手法を開発した。本照明システムの有効性確認のための実験評価を行い、9%のプロダクティビティ向上効果が確認された。また、同照明システムを実際のオフィスに適用した実証実験を行ったところ、10 数%程度の業務効率向上効果が確認され、オフィスワーカーのプロダクティビティ向上に一定の効果があることが確認された。

今後、さらにエビデンスの充実や各種要因分析なども進めていく予定である。

参考文献

- [1] 下田, 服部, 富田, 河内, 石井, 大林, 寺野, 吉川: オフィスワーカー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).
- [2] Obayashi, F., et al.: Objective Measurement Method for Productivity and Investigation on Environmental Factor; HCI2005, CD-ROM, (2005).
- [3] 富田, 服部, 大林, 岩川, 寺野, 下田, 吉川: オフィスワーカーのプロダクティビティを改善するための照明制御法の研究; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.451-454 (2005).
- [4] 寺野, 橋本, 杉浦, 中村, 川瀬, 近藤: 室内環境改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究 (第 1 報~第 4 報), 空気調和・衛生工学会学会学術講演会公演論文集,(2003).
- [5] 伊藤, 下田, 吉川, 大林: プロダクティビティの定量的評価に向けたオフィスワーカーの知的作業分類のための調査; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.441-446 (2005).
- [6] 日本産業衛生学会・産業疲労研究会編集委員会編: 産業疲労ハンドブック, 労働基準調査会,(1988).
- [7] 野口, 井上, 阪口: 日中における高照度光照射の覚醒作用, 日本生理人類学会誌, Vol.6, 特別号(1), pp.114-115, (2001).

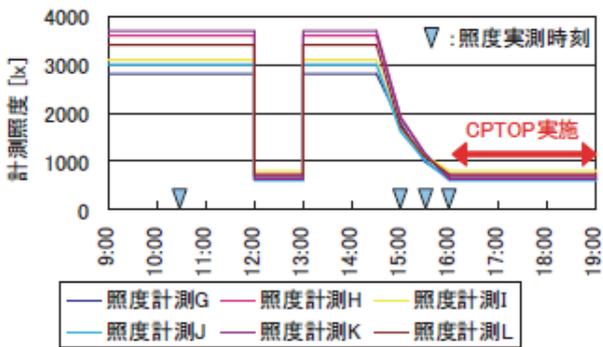


図 14 被験者ごとの机上面照度の実測値

5.2 実験結果と考察

各被験者の経理処理作業における実作業量を図 15 に示す。6 名の被験者のうち被験者 4 名において、照明条件の作業量が標準条件前半、後半の作業量より有意に高くなっており、照明によりパフォーマンスが向上していることが示唆されている。またこの効果は表 4 に示すように、10 数%程度のパフォーマンス向上効果が見込まれる。

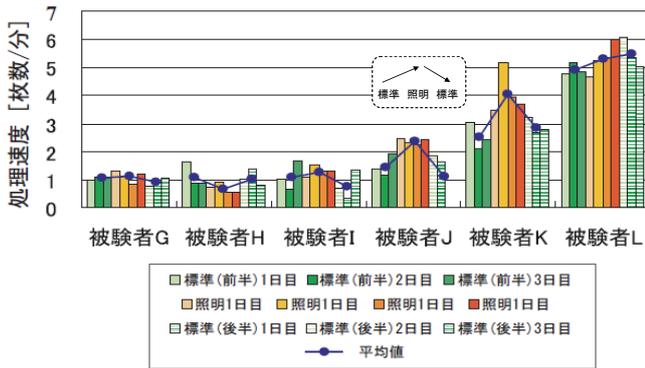


図 15 経理処理作業の実作業量

表 4 経理処理作業量 条件毎比較

照明時／標準(照明前)	照明時／標準(照明後)	照明時／標準時平均
1.180	1.211	1.184