

## 実務中の光環境制御が覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響 —ステップ状の照度上昇変化が及ぼす影響の照度間および光源間比較—

○澤井浩子\*<sup>1</sup> 松田恵里\*<sup>2</sup> 松原明央\*<sup>3</sup> 渡守武和音\*<sup>3</sup>  
宮井早希\*<sup>4</sup> 塩尻佳子\*<sup>5</sup> 小山恵美\*<sup>6</sup>

キーワード：光環境制御 覚醒度 パフォーマンス 照度 分光分布 オフィス

### 1. 研究の背景

ヒトの生体リズムとして、日中に覚醒度が低下する時間帯が存在し、パフォーマンスの低下をともなう<sup>[1]</sup>。しかし、仮眠<sup>[2]</sup>や日中の光曝露<sup>[3]</sup>により覚醒度およびパフォーマンスを改善することができる。本研究では、パフォーマンス発揮の土台となる生理状態として覚醒度に着目し<sup>[4]</sup>、現代の知識情報化社会でパフォーマンスの低下を防ぐため、オフィス光環境における覚醒度維持向上策を検討した。

### 2. 昨年度までの研究結果概要<sup>[5]</sup>および本研究の目的

オフィス光環境における覚醒度維持向上策として、昨年度に第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウムで論文発表した研究では、光環境制御のうち照度制御が、午後の時間帯における覚醒度およびパフォーマンスに与える影響を実験的に調べることを目的とし実施した。

光環境制御条件の照度は、実オフィスの照度範囲内とし、定常 500 lx、定常 1500 lx、非定常調光制御（定常 500 lx 6 分間、その後 1500 lx 6 分間、その後 500 lx に 8 分間かけて緩徐低下させるという 20 分周期の制御を繰り返す、変化条件）において、昼白色蛍光ランプを用い実験を実施した。

その結果、変化条件は 500 lx 条件よりも実務中盤の主観的覚醒度が有意に高く、心拍変動の HF 成分量が有意に少なかった。しかし、1500 lx 条件では、500 lx 条件との有意な生理的主観的覚醒度の差がみとめられなかった。よって、変化条件では、覚醒度が低くなる時間帯において、500 lx 条件よりも覚醒度を維持できたと考えられる。

3 条件における平均照度は 500 lx 条件 < 変化条件 (1000 lx 程度) < 1500 lx 条件であるが、変化条件では 500 lx 条件からの照度増大に加え、照度変化という一過性の刺激が覚醒度に影響を及ぼした可能性がある。しかし、照度上昇の瞬間における生体信号指標変動傾向は明確になっていない。そこで、照度上昇変化が生体へ及ぼす影響を調査し、昨年度

の結果について原因を検証する必要がある。また、覚醒度を維持向上し、作業に支障をきたさず、生理的主観的に適した照度変化レベルを明らかにする必要がある。

近年、省電力化の観点から、LED が急速に普及し、また、オフィス空間において、全般照明の間引き点灯や照度を下げる検討がなされている。普及している一般的な白色 LED（青色励起光+黄色蛍光体）は、従来光源である白熱電球や蛍光ランプとは異なる分光分布を持つ。そして、白色 LED は生体への非視覚的作用の分光感度ピークである 460 nm 付近に励起光ピークを持つため<sup>[6]</sup>、生体への影響が従来光源とは異なる可能性がある。また、省電力化の必要性から、オフィス光環境における照度低下の許容性についても検討が必要であると考えられる。

よって本研究では、光環境制御のうち照度制御に着目し、ステップ状の照度上昇変化が実務中の覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そして、実験光源は、昨年度に検討した蛍光ランプに LED を加え、昨年度よりも低照度のベース照度を用い、照度間および光源間の比較検討をおこなった。

### 3. 実験方法

#### 3.1 対象

健康若年成人男性 8 名 (23±1 歳) を対象とした。本実験は、京都工芸繊維大学内に設置された倫理委員会の承認を得て実施した。全ての被験者に対し、睡眠障害や眠気を伴う薬の使用がないことを確認した。また、実験の目的・方法を説明した上で、文書による同意を得て、適切な報酬を支払った。

#### 3.2 実験条件

照度間比較として、昼白色蛍光ランプを用い、照度上昇レベルを変えた 4 条件を設定した (表 1)。また、光源間比較として、昼白色蛍光ランプおよび昼白色 LED を用い、分光分布の異なる 2 条件を設定した (表 1)。

照度の最低値は、昨年度までのベース照度である 500 lx 以下、労働安全衛生規則第 604 条普通の作業における基準値である 150 lx 以上、かつ、事前評価において課題実施に支障が出ないレベルであると判断した 250 lx とした。最大値は、照度レベルによる生体反応の変化量を確認するため、実用範囲内かつ視作業必要要件の高照度とし、JISZ9110/2010 超精密な視作業要件である 2000 lx とした。定常光の全般照明空間において、局部照明の照度を制御し、各条件の机上面照度を調整した。

表 1 実験条件

比較条件	条件名	光源	机上面照度設定値
照度間比較	250 lx	3波長形 昼白色蛍光ランプ	定常250 lx
	500 lx		→500 lx
	1000 lx		→1000 lx
	2000 lx		→2000 lx
光源間比較	蛍光ランプ	3波長形 昼白色蛍光ランプ	ベース 250lx →500 lx
	LED		

※ 照度間比較の 500 lx 条件と光源間比較の蛍光ランプ条件は同じ

### 3.3 実験手順

2011 年 10 月～2012 年 3 月に実験をおこなった。京都工芸繊維大学内の生体計測実験室において、13～17 時の時間帯に計測を実施した。各被験者は 1 日 1 条件として全条件を実施し、順序効果を避けるため、各条件をランダムとした。実験 1 日目は練習日とし、解析から除外している。本実験の 1 週間前から実験最終日まで、普段の就寝起床時刻での生活統制をおこない（およそ就寝 1 時、起床 8 時）、睡眠日誌による就寝起床時刻の記録を課した。実験日の起床後から過度な運動、飲酒を禁止し、実験開始 2 時間前から喫煙を禁止した。被験者は、実験日の 11:30 に実験室に到着し、各自が用意した昼食を摂った。実験期間をとおして昼食の量と内容をそろえるよう指示し、昼食時のカフェイン摂取を禁止した。実験中の服装は、T シャツ、Y シャツ（無地白色）、長ズボン、靴下である。

各条件下において、30 分間の評価セットを 7 回（合計 3.5 時間）実施した。各評価セットの内容は、実務課題（A：文字並び替え課題，B：数字記憶課題，C：塗り絵課題），主観評価（Visual Analog Scale; VAS）<sup>注 1)</sup>，生理的覚醒度評価（Alpha Attenuation Test; AAT）<sup>注 2)</sup>である。評価セット実施前に、実験開始直後の生理状態を安定させ、状態を確認するため、ビジランスタスク（読書），VAS，AAT を実施した。実務課題 A および B は被験者間で実施順序を入れ替え、被験者内では統一とした。

計測項目は、脳波、心電図、室温、VAS、AAT（1set＝閉眼開眼各 1 分×3 回）である。脳波は、国際 10/20 法で定められた C3、C4、O1、O2、F7、F8、T5、T6、Fz、Pz、Fp1、Fp2 である。脳波計測

には(株)デジテックス研究所製多用途生体アンプ Polymate AP1132 と ACT 生体電極(Au\*1)，照度測定には KONICA MINOLTA 社製照度計 T-10M を使用した。

全条件とも 250 lx 下にてセット 1 をおこない、その後 3 時間各条件下にてセット 2～7 を実施した（図 1）。照度変化の瞬間における生理状態を計測するため、セット 1 の AAT とセット 2 の安静開眼は連続でおこない、照度変化前と後にそれぞれ安静開眼状態が 1 分間続くようにした。

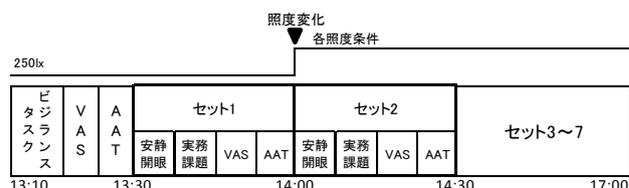


図 1 実験スケジュール

### 3.4 照明装置および照度制御方法

光源として、昼白色蛍光ランプ (Panasonic 社製 FLR20S・EX-N/M) 4 本，昼白色 LED (LedEngin 社製 LZC-00MD40) 3 個を使用し、蛍光ランプ用および LED 用の照明装置を各 1 台作成した。各光源の分光分布 (500 lx 時、光源下 20cm から計測) を図 2 に示す。照度は蛍光ランプをパルス制御，LED を電流制御により調整した。照度および照度変化の制御は、LabVIEW (NATIONAL INSTRUMENTS 社製) でおこなった。照明装置は床面から高さ 146cm，机上面から高さ 76cm の位置に設置し、蛍光ランプと LED で装置外形は同じである（図 3）。蛍光ランプ使用時のみ実験開始 2 時間前に点灯し、照度を安定させた。LED 装置は発熱により発光効率が低下するため、放熱板およびファンを照明装置内部に設置した。

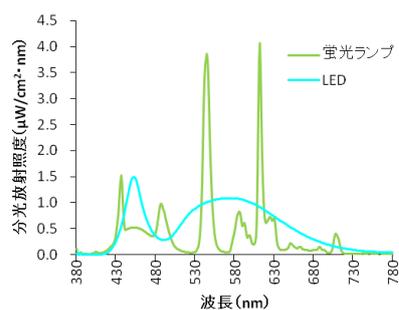


図 2 光源分光分布



図 3 実験風景

### 3.5 実務課題

実務作業の負荷を課し、また、パフォーマンスを評価をするため、3 種類の実務課題を設定した。

A) 文字並び替え課題：動植物、日用品など 3 文字から 6 文字の一般的な単語（日本語）を用い、ランダムに並び替えた状態から、正しい文字列に直す課題。収束的思考（問題解決的思考）を要する課題として設定。

B) 数字記憶課題：用紙に記載された 7 桁の数字

を一度に記憶し、別紙に書き写す課題。覚醒度を反映しやすいとされる短気記憶課題として設定。  
 C) 塗り絵課題：幾何学模様にて、デザインテーマを決めて色を塗る課題。発散的思考（創造性）を要する課題として設定。

### 3.6 解析方法

解析対象は、各条件 8 名である。心拍変動は Complex Demodulation Method、脳波は高速フーリエ変換により周波数解析をおこなった。照度間比較には反復測定一元配置分散分析、照度変化前後比較および光源間比較には対応のある t 検定を実施した。分散分析で有意な差がみとめられた項目は、対応のある t 検定（信頼区間の調整には Bonferroni の方法を適用）を実施した。心拍変動および脳波解析には NoruPro Light Systems 製の生体信号解析ソフトを、検定には IBM SPSS Statistics 20 を使用した。

## 4. 結果

### 4.1 照度間比較

#### 4.1.1 照度変化の瞬間

照度条件間比較として、照度変化前 20 秒（図 4、5 の時系列は照度変化前 60 秒から表示）および変化後 60 秒間における 20 秒ごとの値について解析した。また、条件内の時系列比較として、照度変化前 20 秒に対し、変化後 20 秒ごとの変化を解析した。

条件間比較において、250 lx 条件では 2000 lx 条件よりも、照度変化後 20 秒間の  $01\alpha$  波成分量（開眼中少ないほど覚醒方向）が有意に多かった（ $p=0.019$ ，図 4）。心拍変動 HF 成分量（少ないほど緊張方向）では有意な差はみとめられなかった（図 5）。

時系列比較において、1000 lx 条件では変化後 20 秒間の  $01\alpha$  波成分量が有意に減少した（ $p=0.001$ ，図 4）。また、1000 lx 条件では変化後 20 秒間の HF 成分量が減少する傾向であり（ $p=0.062$ ，図 5），2000 lx 条件では変化後 40 秒間の値が有意に減少した（20 秒間： $p=0.010$ ，40 秒間： $p=0.013$ ，図 5）。

また、各条件のベース照度時、 $\alpha$  波、HF 成分量とも、ばらつきが大きい傾向がみられた（図 4、5）。

\*\*： $p<0.01$ ，\*： $p<0.05$ ，†： $p<0.1$

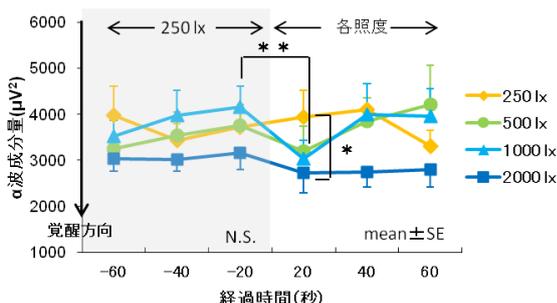


図 4  $01\alpha$  波成分推移

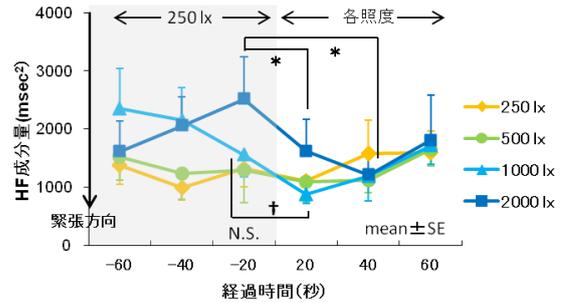


図 5 HF 成分推移

#### 4.1.2 照度変化前後

条件間比較として、照度変化前（セット 1）および変化後（セット 2）について解析した。また、条件内の時系列比較として、照度変化前後について解析した。

条件間比較において、どの指標にも有意な差はみとめられなかった。

時系列比較において、照度変化のあった 500、1000、2000 lx 条件では、変化後に主観的眠気が減少する傾向であり（順に  $p=0.003$ ， $p=0.064$ ， $p=0.024$ ，図 6），主観的目覚め感が上昇する傾向であった（順に  $p=0.030$ ， $p=0.054$ ， $p=0.007$ ，図 7）。また、500 lx 条件では、変化後に全般的情動<sup>注3)</sup>が上昇傾向であり（ $p=0.095$ ），500、2000 lx 条件では、変化後に全般的活力<sup>注4)</sup>が有意に上昇した（順に  $p=0.027$ ， $p=0.040$ ）。実務課題について、2000 lx 条件では、変化後に課題 B 解答数が有意に増加し（ $p=0.021$ ，図 8），500 lx 条件では、変化後に課題 C のデザインをよく考えられるようになった傾向であった（ $p=0.050$ ，図 9）。生理指標では、有意な差はみとめられなかった。

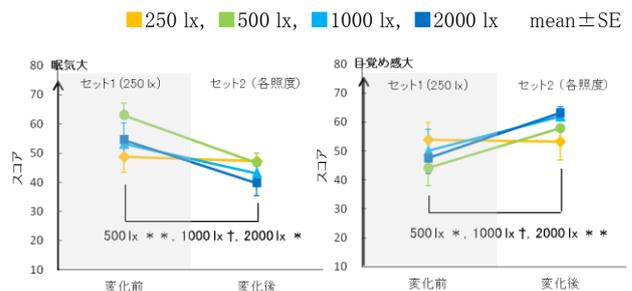


図 6 眠気

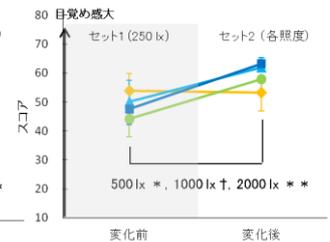


図 7 目覚め感

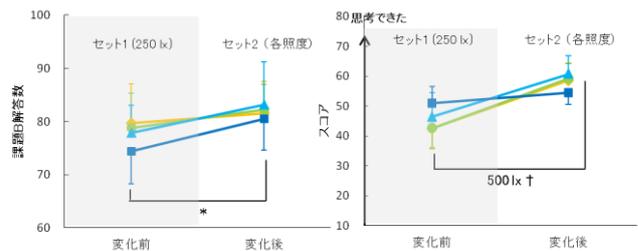


図 8 課題 B 解答数

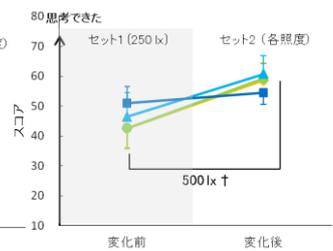


図 9 課題 C 思考

## 4.2 光源間比較

### 4.2.1 照度変化の瞬間

条件間比較において、01  $\alpha$  波、HF 成分量では有意な差はみとめられなかった。

LED 条件の時系列比較では、変化 40 秒後に 01  $\alpha$  波成分量が減少する傾向であった ( $p=0.052$ , 図 10). HF 成分量では、有意な差はみとめられなかった (図 11).

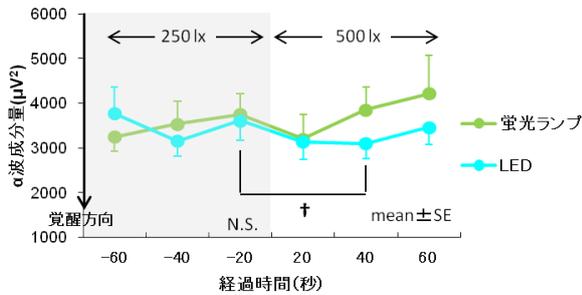


図 10 01  $\alpha$  波成分推移

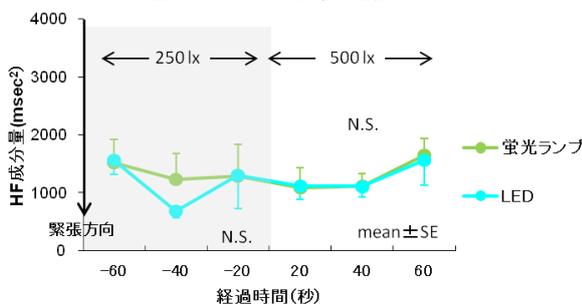


図 11 HF 成分推移

### 4.2.2 照度変化前後

条件間比較において、蛍光ランプ条件では LED 条件よりも、照度変化の前、後ともに、眠気が強く (変化前  $p=0.001$ , 後  $p=0.022$ , 図 12), 目覚め感が弱い傾向であった (変化前  $p=0.060$ , 後  $p=0.014$ , 図 13). よって、主観的覚醒度は、照度変化前 (250 lx) の時点で光源間の差が現れていた。また、蛍光ランプ条件では LED 条件よりも、照度変化前の全般的活力が低く ( $p=0.037$ ), 照度変化後の緊張感が低かった ( $p=0.047$ , 図 14).

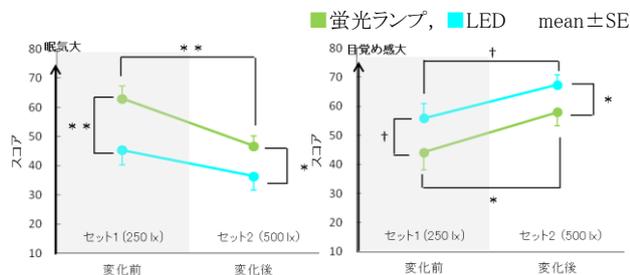


図 12 眠気

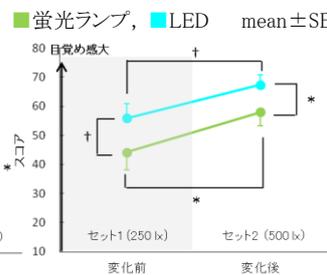


図 13 目覚め感

LED 条件の時系列比較では、変化後に目覚め感 ( $p=0.061$ , 図 13), 疲労感 ( $p=0.021$ , 図 15) が増大傾向であった。実務課題について、LED 条件では、変化後に課題 A 解答数が有意に減少し ( $p=0.001$ ,

図 16), 課題 C のデザイン出来に対する満足度が向上した ( $p=0.029$ , 図 17). 生理指標では、有意な差はみとめられなかった。

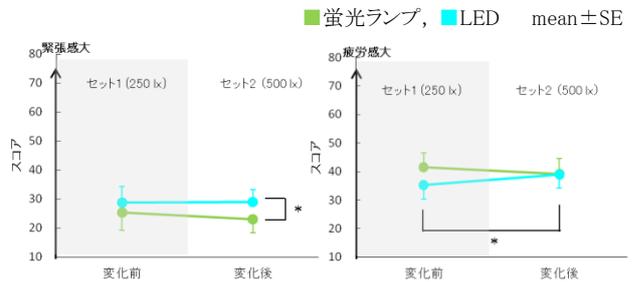


図 14 緊張感

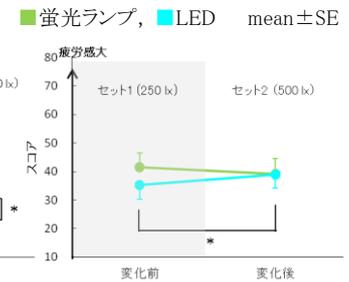


図 15 疲労感

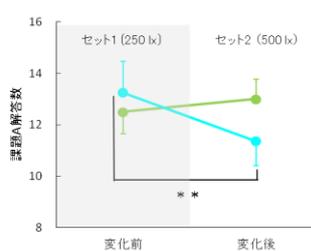


図 16 課題 A 解答数

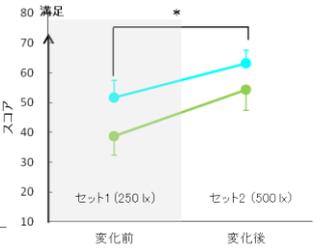


図 17 課題 C 満足度

## 5. 考察

照度間比較の結果より、照度変化の瞬間について、1000 lx 条件では照度変化後に安静開眼中の  $\alpha$  波および HF 成分量が減少したため (図 4, 5), 生理的覚醒度は上昇し、緊張方向に変化したと考えられる。また、2000 lx 条件では、照度変化直後において、250 lx 条件よりも  $\alpha$  波成分量が少なく (図 4), 変化後に HF 成分量が減少したため (図 5), 生理的覚醒度は維持され、緊張方向に変化したと考えられる。

照度による覚醒度への影響度を比較すると、HF 成分量について、2000 lx 条件は 1000 lx 条件よりも HF 成分を抑制した時間が長く (図 5), 生理的影響が強いと考えられる。さらに、500 lx 条件では、図 4 から  $\alpha$  波成分の抑制がみとめられるが、定常条件である 250 lx と同様に照度変化前後で有意な差はみとめられなかった。照度変化前後の主観的覚醒度について、条件間に有意な差はみとめられなかったが、照度変化のある全条件で向上した (図 6, 7).

よって、生理的主観的覚醒度を向上するためには、蛍光ランプ 250 lx をベース照度とした場合、500 lx では充分とはいえず、500 lx から 1000 lx の間での閾値は不明であるが、1000 lx 以下への照度増大で影響がみとめられると考えられる。また、ベース照度 250 lx では覚醒度が不安定な傾向がみられた (図 4, 5). 今後ベース照度を上げる際、本結果におけるベース照度と照度上昇量の比により、ベース照度に応じた照度変化量を設定できるのではないかと考える。

光源間比較の結果より、蛍光ランプの 500 lx 条

件では照度変化後に $\alpha$ 波成分の減少はみとめられなかったが、LED 条件では減少がみとめられた(図 10)。よって、同照度、同程度の相関色温度である光源でも、光源の分光分布が異なると生体への影響が異なり、LED は蛍光ランプよりも生理的覚醒度を向上する可能性が示された。今回用いた光源 2 種類では、非視覚的作用に影響すると報告されている短波長成分に大差なかったが、LED は蛍光ランプよりも演色性で劣っていた。演色性による主観評価への影響差異や、分光分布形状による生体への影響差異があったのではないかと考えられる。

光源間比較における照度変化前後比較の結果より、照度変化前の主観的覚醒度において、光源間に有意な差がみとめられた(図 12, 13)。照度変化前は、各光源 250 lx の光におよそ 1 時間曝露した状態である。250 lx 程度でも光源の分光分布が異なると主観評価への影響が異なり、LED では蛍光ランプよりも主観的覚醒度が向上する可能性が示された。

しかし、LED は、照度変化後の状態として蛍光ランプよりも緊張感が高く(図 14)、照度変化後に疲労感が増大し(図 15)、必ずしも課題成績が良好ではなかった(図 16)。LED では過覚醒になっていた可能性がある。よって、LED の分光分布を調整することにより、蛍光ランプに劣る演色性などの視覚的作用を改善し、適度な覚醒状態を維持できるようにすることが必要であると考えられる。

照度間比較および光源間比較の結果より、蛍光ランプ 1000 lx 以上、LED 500 lx では、照度変化によって生理的覚醒度が一時的に向上した。変化のおよそ 30 分後では、照度間および光源間の有意な生理的差異はみとめられず、主観的覚醒度は、照度変化のある全条件において変化後に向上していた。よって、照度変化による生理的影響は一時的であったが、その後の主観評価に影響を及ぼした可能性も考えられる。

実務課題に関して、照度変化前後において課題成績に有意な差があらわれた項目があったが、生理状態や主観評価と課題成績において一貫した傾向がみとめられず、照度変化がパフォーマンスに及ぼす影響は明確にならなかった。

## 6. 結論

本研究では、光環境制御のうち照度制御に着目し、ステップ状の照度上昇変化が実務中の覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。そして、照度が変化する瞬間において、ベース照度を 250 lx とし、蛍光ランプ 500 lx を超え 1000 lx 以下、LED 500 lx 程度の照度上昇により、生理的主観的覚醒度が一時的に向上する可能性が示唆された。よって、昨年度の照度変化を繰り返

すという変化条件において、覚醒度を維持できた原因として、照度上昇変化により生理的主観的覚醒度が上昇したことが考えられる。

今回、パフォーマンスに関しては一貫した傾向がみとめられなかったが、パフォーマンス発揮の土台となる生理的覚醒度が一時的に上昇することにより、主観状態が向上し、さらにはパフォーマンス向上につながる可能性があると考えられる。

そして、同照度、同程度の相関色温度条件において、LED では蛍光ランプよりも生理的主観的覚醒度が向上する傾向があるが、緊張感、疲労感の評価結果が劣っており、過覚醒になる傾向が示唆された。今後、LED において、同程度の相関色温度でも様々な分光分布パターンを示すため、適度な覚醒度を維持し、かつ生理的主観的に適した照度・分光分布の検討をすることで、実務中のパフォーマンス維持向上を図ることができると考えられる。

## 7. 謝辞

本研究の一部は、平成 23 年度科学研究費補助金基盤研究(C) 課題番号 22615023 により実施した。

### [注釈]

注 1) 100mm の水平線分の両側に対の形容詞を配置し、水平線上に垂線を引き、左端からの長さをその時点における心理量スコアとする方法である。

#### 質問内容

・目覚め感、眠気、意欲の喪失感、疲労感、幸福感、悲哀感、緊張感  
まったくない/非常にある

・塗り絵課題について、色の配置・模様等のデザインを  
まったく考えられなかった/非常によく考えられた

・塗り絵課題について、色の配置・模様等のデザインの出来に  
まったく満足していない/非常に満足している

注 2) 座位安静状態で閉眼と開眼と繰り返し、反復することによって生じる $\alpha$ 波出現量の変動を定量化し、生理的な覚醒度の指標とする方法である。

注 3) 主観評価(VAS)の情動に関わる質問項目を総合したもの

式) 全般的情動 = (幸福感 - 悲哀感 + 落ち着き - 緊張感 + 200) / 4

注 4) 主観評価(VAS)の活力に関わる質問項目を総合したもの

式) 全般的活力 = (目覚め感 - 眠気 - 意欲の喪失感 - 疲労感 + 300) / 4

### [参考文献]

- [1] Van Dongen H, Dinges D.F. Principle and Practice of Sleep Medicine third edition; Circadian Rhythms in Fatigue, Alertness, and Performance. SAUNDERS. 2000:391-399
- [2] Hayashi M, Watanabe M, Hori T. The effects of a 20 min nap in the mid-afternoon on mood, performance and EEG activity. Clinical Neurophysiology.1999; 110:272-279
- [3] Phipps-Nelson J, Redman JR, Dijk DJ, et al. Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. Sleep. 2003; 26(6): 695-700
- [4] Moore-Ede M. THE TWENTY FOUR HOUR SOCIETY. Addison-Wesley Publishing Company. 1993:44-50
- [5] 澤井浩子, 塩尻佳子, 八田和洋, 渡守武和音, 上野敬介, 小山恵美. 実務中の光環境制御が覚醒度およびパフォーマンスに及ぼす影響の予備的研究, 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2011:31-36
- [6] Brainard G. C, Hanifin J.P, Greeson J.M et al. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. The Journal of Neuroscience. 2001; 21(16):6405-6412

\* 1 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 博士後期課程

\* 2 京都工芸繊維大学工芸学部(現: 機滋賀富士通ソフトウェア)

\* 3 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 博士前期課程

\* 4 京都工芸繊維大学工芸学部

\* 5 京都工芸繊維大学工芸学部(現: 機遠藤照明)

\* 6 京都工芸繊維大学大学院デザイン経営工学部門 准教授 工学博士

# Effects of diurnal light control on the alertness and performance during the working task ; compared between illuminance and light sources at a moment of increasing light intensity

OSAWAI Hiroko\*<sup>1</sup> MATSUDA Eri\*<sup>2</sup> MATSUBARA Akio\*<sup>3</sup> TOMOTAKE Kazune\*<sup>3</sup>  
MIYAI Saki\*<sup>4</sup> SHIOJIRI Yoshiko\*<sup>5</sup> KOYAMA Emi\*<sup>6</sup>

Keywords : light control, alertness, performance, illuminance, spectral distribution, office

## Introduction

Human biological circasemidian rhythm causes depression of daytime alertness and performance. Nap or bright light exposure can improve the daytime alertness and performance. This study focused on a light environment in the modern information knowledge society to improve daytime performance based on alertness as a physiological state. Our previous study showed a lighting control which changes the light intensity automatically was supposed to improve daytime alertness during a post lunch dip. But the moment effect of increasing light intensity was not examined. Thus the purpose of this study is to examine the moment effects of increasing light intensity on alertness and performance.

## Methods

Subjects are healthy 8 students (male, age 23±1). Subjects participated in five experimental condition; one control condition; fluorescent lamp constant 250 lx, three increasing light intensity conditions; fluorescent lamp constant 500, 1000, 2000 lx after constant 250 lx of fluorescent lamp, and one LED increasing light intensity condition; constant 500 lx after constant 250 lx of LED. Tasks and evaluations were performed for almost four hours at daytime. EEG alpha band power, ECG HF power on a moment of increasing light intensity was examined. And the scores of visual analog scale (VAS) for the subjective rating, coefficients of alpha attenuation test (AAT) for the evaluation of the physiological alertness, and the scores of performance test before and after increasing light intensity were compared.

## Results

EEG alpha band power was inhibited on a moment of increasing light intensity by 1000 lx, 2000 lx, and LED condition. ECG HF power was decreased on a moment of increasing light intensity by 1000 lx and 2000 lx condition. And the HF decreased duration of 2000 lx condition was longer than that of 1000 lx. Subjective alertness of all light-increasing conditions at post-increasing was significantly higher than that at pre-increasing. Task scores show no clear relationship with physiological state or subjective state. Subjective fatigue of LED increased and subjective tension of LED at post-increasing was higher than that of fluorescent lamp.

## Conclusion

The results suggest that increasing light intensity brings effects on physiological and subjective alertness. Around 1000 lx or less of fluorescent lamp and around 500 lx or less of LED may be the threshold of increasing physiological alert from the base illuminance of 250 lx. And the effects of LED on alertness are higher than that of fluorescent lamp, but LED has negative effects on subjective states. LED might cause a hyperarousal state even in the ordinary illuminance level. Thus LED needs to reduce the negative effects by adjusting not only the correlated color temperature but also the spectral distribution. Then daytime performance based on physiological state and subjective state can be improved.

---

\*1 Graduate Student of Doctoral program, Kyoto Institute of Technology

\*2 Undergraduate Student, Kyoto Institute of Technology (Presently, Shiga Fujitsu Software limited)

\*3 Graduate Student, Kyoto Institute of Technology

\*4 Undergraduate Student, Kyoto Institute of Technology

\*5 Undergraduate Student, Kyoto Institute of Technology (Presently, Endo Lighting corp.)

\*6 Associate Prof., Dept. of Design Engineering and Management, Kyoto Institute of Technology, D. Eng.