

照明方法による快適な療養環境構築の可能性についての検討

横江 彩

Study on the possibility of constructing a comfortable medical care environment by lighting method

Aya Yokoe

In this research, we conducted laboratory experiments and demonstration experiments using subjects. In laboratory experiments we set up two light sources: the first with an LED and the other with OLED. The subjects' brain waves, number of blinks, nasal skin temperature, and brain waves were measured for evaluation of their physiological responses to the lighting source. SD method was used as psychological responses. From the physiological response analysis, some subjects had higher $\alpha / \alpha + \beta$ under OLED than under LED. The results of the SD method were reported to have some differences between the two lighting sources. We conducted an actual survey to evaluate OLED at hospital. Heart rate was used as a physiological response, and SD method was used as psychological response. Heart rate did not differ according to lighting source, but using OLED was more psychologically better than LED.

Keywords : OLED, LED, Subjective experiments, Brain waves, LF/HF, SD method

1. はじめに

施設環境の構築では、温熱環境、光環境、音環境が大きな因子となる。さらに、昼夜の区別なく稼働している療養環境においては、環境を変動させる等により概日リズムを整えることで、より安全で快適な施設環境が構築可能であると考えられる。これまで、主に光環境について、LED 照明を用いて色温度変化によりサーカディアンリズムを整える研究^{1)~4)}が多々なされてきた。しかし、LED 照明は太陽光とは異なる波長を持っていることから、療養環境に適しているとはいいがたい。他方、有機 EL 照明は太陽光の波長成分に近いスペクトルを持つため、従来の照明よりも自然な見え方をする。これまで有機 EL については、平面 LED 照明（面発光型照明）との比較により、有機 EL 照明に「あたたかい」と「やわらかい」といった快適性に関する項目で多くの優位性が認められた⁵⁾。本研究では、快適な療養環境を構築するための第一ステップとして、照明方法による人への影響を探ることを目的としている。ここでの“人”とは、患者、医療従事者、付添人といった病院に滞在する様々な立場の人を指す。病院では、環境が複雑に変化すること、対象者が絞りにくいこと、などにより照明方法そのものの影響を測ることが難しい。そこで、まず、対象を若年健常者に絞り、実験室実験にて有機 EL 照明下における若年健常

者の生理・心理反応について探った．次に，対象を病院の医療従事者（看護師）とし，病院において有機 EL を用いた場合の生理・心理的な影響から実空間に設置した場合の有効性について検討した．

2. 研究概要

2.1. 研究方法

実験室実験は 2018 年 7～11 月に行った．実験室実験では，LED と有機 EL 照明を用いた．実験は，照明を見る実験（実験 1）と照明下で作業する実験（実験 2）の 2 種類行った．実験 1 は図 1 に示す評価ボックスに LED，有機 EL 照明を設置し，被験者に照明ごとに空間の評価をさせた．開眼閉眼の安静状態の後，5 分間照明を見させた．実験前後に顔面温度，アンケートを行い，脳波と瞬き回数は随時計測した．実験 2 は，LED 照明と有機 EL 照明下で単純計算と記憶課題をさせた．開眼閉眼の安静状態の後，20 分間の作業をさせた．実験 1 同様，実験前後に顔面温度，アンケートを行い，脳波と瞬き回数は随時計測した．表 1 に示す測定項目は，生理反応として脳波，瞬き回数，顔面温度，心理評価として SD 法を用いたアンケート（図 2 参照）であった．実験プロトコルは図 3，4 に示す．あいち小児保健医療総合センター 32 病棟での実測調査は 2018 年 12 月 5 日～12 月 28 日（土日、祝日を除く）に行った．病院では，経管栄養準備室の窓ガラスに，遮光フィルムを貼り光の影響を受けない空間を作り有機 EL を設置した（図 5 参照）．照度は実験室実験 1 の評価ボックスと同じ照度に設定した．ユニット 4 床・ナースステーション・一般病室・点滴室には既設の LED 照明を用いた．日勤，夜勤看護師を主な対象とし，有機 EL を設置した経管栄養準備室とその他室（主に 4 床室）にて退室時に主観評価を行い，4 床室を主な勤務場所とする看護師 1 名には生理量として心拍計測を行った．また，全看護師を対象に行動記録をつけてもらい，勤務終了時にストレス評価（図 6 参照）を行った．

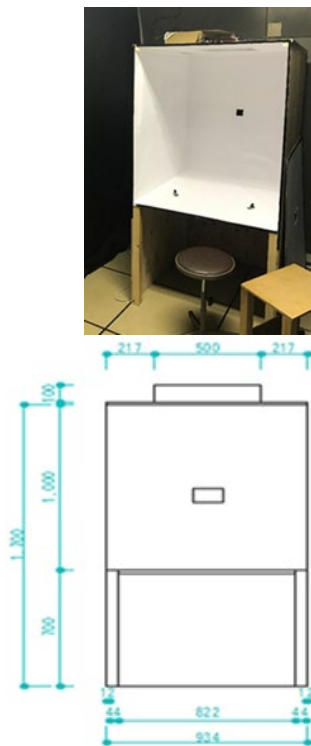


Figure1. Evaluation box

	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Dark								Bright
Restlessly								Relax
Uncomfortable								Comfortable
Dull								Light
Glaring								Not Glaring
Tired								Not tired
Unacceptable								Acceptable
Hard								Soft
Unsafe								Safe
Distracted								Concentrated
Cold								Warm
Blurred								Clear
Strict								Easy
Unsatisfactory								Satisfactory
Artificial								Natural
Dislike								Like
Small (Near)								Spacious (Distant)
Noisy								Hushed
Hard to work								Easy to work

Figure2. SD method

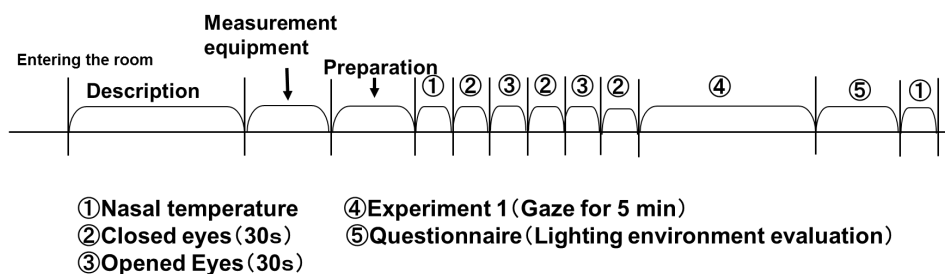


Figure3. Experimental protocol (Exp.1)

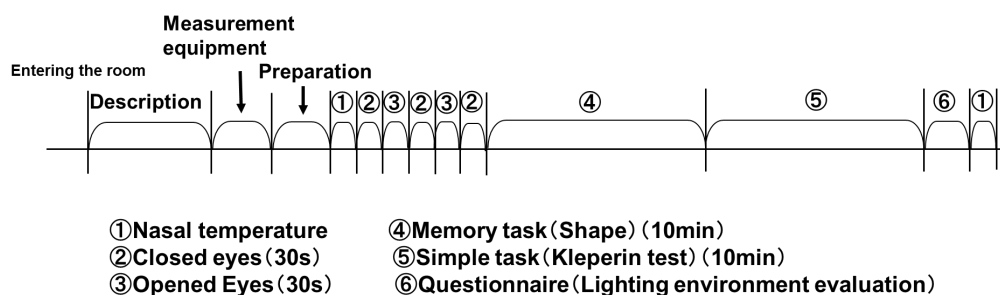


Figure4. Experimental protocol (Exp.2)

Table1. Measurement parameters

	Item	Measuring equipment
Physical responses	Temperature/Humidity	Thermo recorder
	Illumination	Illumination sensor
Physiological responses	Brain wave	Electroencephalograph
	Heart rate variability	Heart rate monitor
	Number of blinks	Count by video shooting
	Nasal temperature	Thermo camera
Psychological responses	Questionnaire	SD method
Workability	Klepelin test / Memory task	-



Figure5. Installed OLED

				記入日	月	日
				勤務帯	☐ 日勤	☐ 夜勤
				性別	☐ 男	☐ 女
				年齢	歳	
ACHMC版 ストレスアンケート						
以下の項目について、今日の勤務時の気持ちや行動状態をお答えください						
	全く違う	いくらかそう	まあそう	その通り	10=全く違う	予定/臨床外業務なし
					11=いくらかそう	—
					2=まあそう	—
					3=その通り	予定/臨床外業務あり
例 疲れている	0	1	2	3		
ア 怒りっぽくなる	0	1	2	3		
イ 悲しい気分だ	0	1	2	3		
ウ 何となく心配だ	0	1	2	3		
エ 怒りを感じる	0	1	2	3		
オ 泣きたい気分だ	0	1	2	3		
カ 感情を抑えられない	0	1	2	3		
キ ぐちゃぐちゃになる	0	1	2	3		
ク 不愉快だ	0	1	2	3		
ケ 気持ちが沈んでいる	0	1	2	3		
コ いらいらする	0	1	2	3		
サ いろいろなことに自信がない	0	1	2	3		
シ 何もかもいやだと思	0	1	2	3		
ス よくないことを考える	0	1	2	3		
セ 話や行動がまとまらない	0	1	2	3		
ソ すぐきめて欲しい	0	1	2	3		
タ 根拠がない	0	1	2	3		
チ ひとりでいたい気分だ	0	1	2	3		
ツ 何かに集中できない	0	1	2	3		
テ 仕事後に楽しい予定がある	なし	-	-	あり		
ト 1週間以内に楽しい予定がある	なし	-	-	あり		
ナ 研究など臨床以外の仕事もある	なし	-	-	あり		

Figure6. Questionnaire about stress (ACHMC ver.)

2.2. 分析方法

2.2.1. 実験室実験

本実験では2種類の実験を行った。実験1は覗き穴から照明環境を見る実験、実験2は異なる照明環境下で記憶課題と単純課題を行う実験、であった。実験では生理量として、脳波、瞬き回数、鼻温度を計測した。

脳波について、健常成人の覚醒、閉眼、安静時脳波は α 波と β 波から成り、基礎波としての α 波に β 波が混入する。開眼、計算などの精神作業で α 波が消え、 β 波に置き変わる。 α 波より周波数が低い徐波は δ 波(0.5~4Hz未満)と θ 波(4~8Hz未満)であり、覚醒状態にある正常成人の安静閉眼時には、ほとんど出現しないとされている⁶⁾。本実験では開眼にて照明環境を見る、あるいは作業を行うため、脳波の分析には、 $\alpha/(\alpha+\beta)$ を用いた。なお、平均値を用いて分析を行った。実験1では5分間凝視のうち実験終わりから2分30秒の数値を平均した。実験2では各作業時間10分のうち、終わりから5分間の数値を平均した。

心拍数について、 $HF/(LF+HF)$ を用いて分析した。この値が高いほど副交感神経が交感神経より優位である。実験1のみ、5分間の凝視中の $HF/(LF+HF)$ を平均した。

瞬き回数には、諸説あるが、作業負荷の高低、ストレスの有無によっても変化するといわれている。瞬き回数が多いと集中力がなくストレスが溜まりやすい。回数が少ないと集中できていてストレスがあまり溜まらないと考えられる。評価ボックス内にビデオカメラを設置し、実験1では5分間の凝視中、実験2は各作業10分間の瞬き回数をカウントした。

鼻温度は、鼻温度、鼻部皮膚温度は自律神経系の反応、特に、交感神経活動を良く反映する。自律神経は、交感神経と副交感神経から成り立っており、例えば、緊張やストレスを感じているときには交感神経が活発になり、リラックスしているときや眠い時は副交感神経が活発になる。鼻周辺には交換神経支配下にあるAVAが集中しており、自律神経の活性や抑制に起因する血流量の変化が直接反映されるといわれている。したがって、鼻部周辺の皮膚温度を測定することにより交感神経の亢進・抑制を間接的に評価することができると考えられる。実験開始前とすべての実験が終わった後にサーモカメラにて撮影した熱画像から鼻温度を算出し、その差を求めた。

作業量については、記憶課題では2次元の図形を記憶し3次元で考えた後2次元に戻して回答させた。単純課題は数字の足し算であるクレペリンテストを行った。それぞれ誤答率で分析を行った。

2.2.2. 実測調査

対象をあいち小児保健医療総合センター32病棟勤務の日勤・遅出・夜勤看護師とし、全看護師に対して行動記録表をつけてもらった。日勤・夜勤ともに4床室を主要な勤務場所とする看護師1名は心拍計の装着を依頼し、行動記録表から各室の滞在時間を追い、有機ELを設置した経管影響準備室滞在時の心拍数、既設LEDを用いて照明を行っている他室滞在時の心拍数を抽出し分析した。

3. 結果

3.1. 実験室実験

3.1.1. 物理量

有機ELおよびLEDを用いた評価ボックス内の照度分布を図7に示す。有機EL、LEDともに、照明器具設置直下では750lx程度、照明器具から最も離れた位置である作業台の奥では400lxであった。作業を行うと想定される範囲では、有機ELとLED共に600lx~750lxの範囲を計測し、JIS Z9110-2011

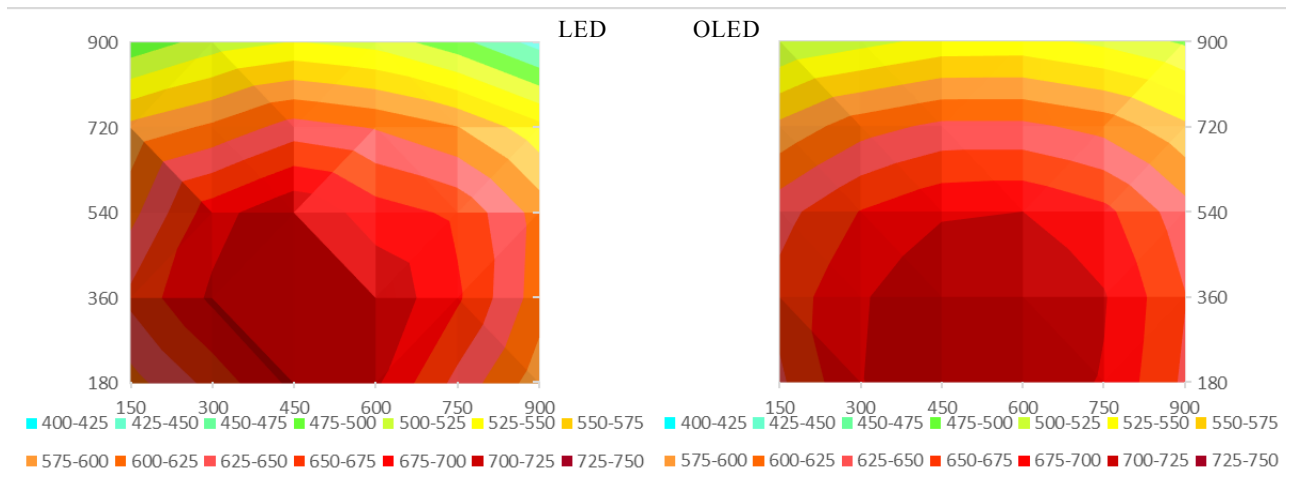


Figure7. Illumination distribution

の推奨照度の範囲であったことを確認した。

色温度は、有機 EL では平均 4077.6 ± 21.2 (K) で JIS の規格区分、白色 (3800~4500) の範囲を確認した。

LED では、 4918.4 ± 30.1 (K) JIS の規格区分、昼白色 (4600~5500) の範囲を確認した。

演色評価数では、有機 EL は平均 92.8 ± 0.7 , LED は平均 87.1 ± 0.8 を確認し高い演色性を持っている。

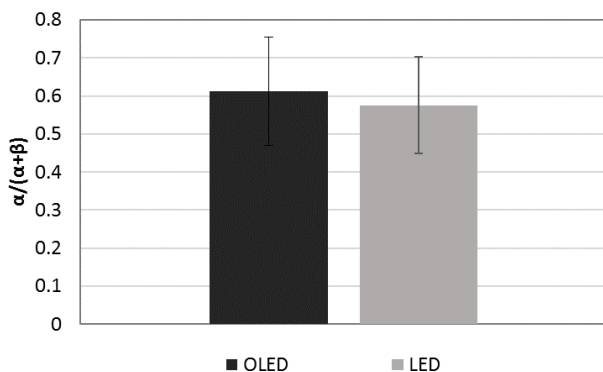
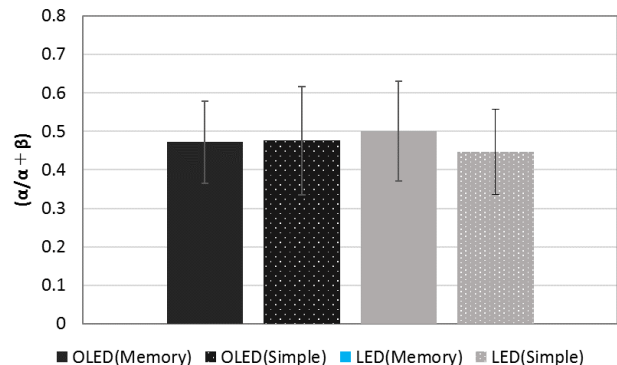
覗き穴の色温度・演色評価数は、有機 EL では、色温度 4052 (K), 演色評価数 89 であった。LED では、色温度 4926 (K), 演色評価数 92 という計測結果になった。

3.1.2. 生理量

脳波の結果を図 8, 9 に示す。実験 1 の開眼閉眼終了後、5 分間凝視のうち終わりから 2 分 30 秒間の数値を取得しグラフ化したものを図 8 に示す。実験 1 の結果から、有機 EL 照明を用いた条件において LED 照明を用いた条件より α 波が多く含まれていることが分かった。数値が高いほど安静時に多く出る α 波の割合が高いことから緊張状態が少ないと考えられる。続いて作業を行った実験 2 の結果を図 9 に示す。有機 EL および LED を用いた条件間での $\alpha / (\alpha + \beta)$ に大きな差異は見られなかった。

実験 1 の心拍数の結果を図 10 に示す。結果から、条件間で心拍数心拍の $HF/(LF+HF)$ では、LED のほうが $HF/(LF+HF)$ のばらつきがみられたものの、有機 EL と LED 条件下において値に差はなかった。

瞬き回数は、実験 1 では個人差はあるが比較的有機 EL より LED の方が瞬き回数が多い被験者が多数という結果となった。実験 2 では個人差はあるが比較的有機 EL より LED の方が瞬き回数が多い被験者

Figure8. $\alpha / (\alpha + \beta)$ of Exp.1Figure9. $\alpha / (\alpha + \beta)$ of Exp.2

照明方法による快適な療養環境構築の可能性についての検討

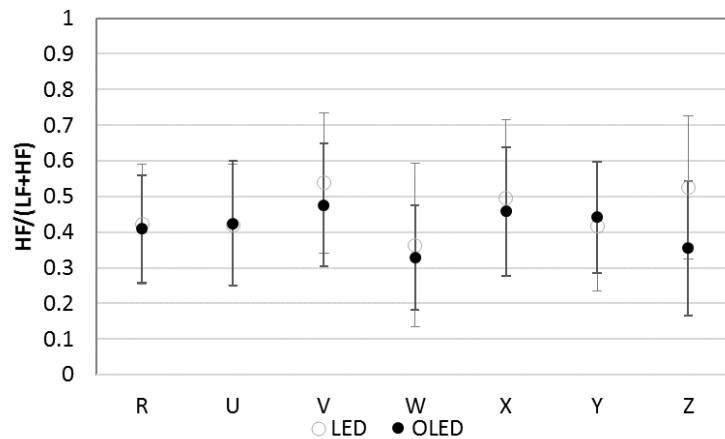


Figure10. HF/(LF+HF) of Exp.1 and 2

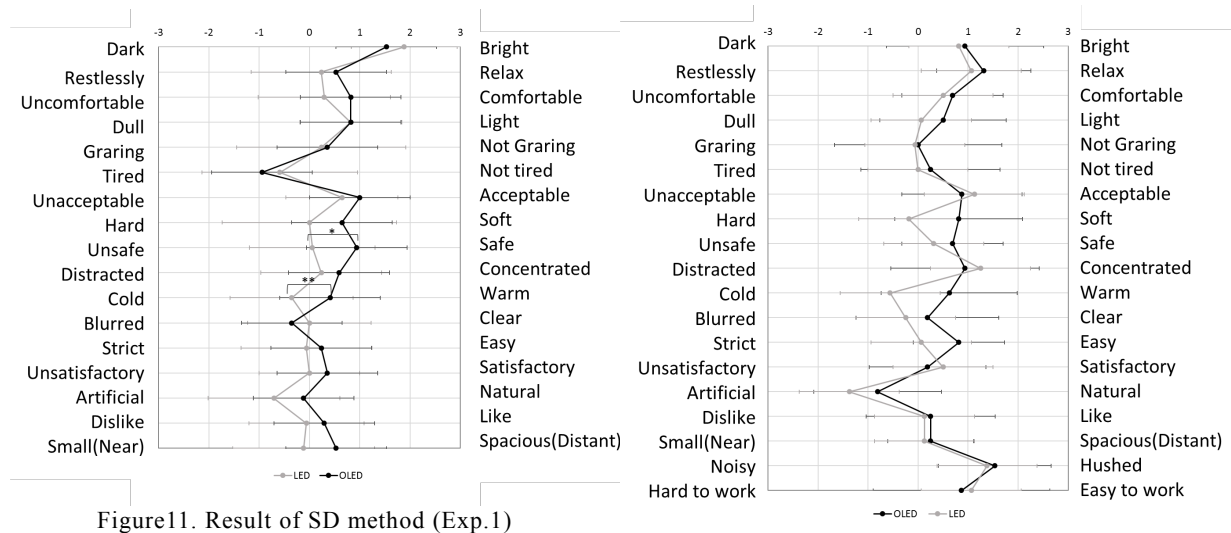


Figure11. Result of SD method (Exp.1)

Figure12. Result of SD method (Exp.2)

が多数であった。

鼻温度は、実験 1 では有機 EL を用いた条件よりも、LED を用いた条件において実験後に鼻温度が低くなる被験者が多かった。作業を行った実験 2 でも同様の傾向であり、有機 EL を用いた照明条件下において LED よりも交感神経が優位であった可能性が示唆された。

3.1.3. 心理量

実験 1 の SD 評価の結果を図 11 に示す。結果はすべての被験者の平均値を表している。LED はマイナス側の評価が多いのに対して、有機 EL はプラス側の評価が多いことがわかった。特に「快適な」「やさしい」「安心な」「温かい」「やさしい」「自然な」といった項目で、有機 EL の方が LED よりも評価が高いことが分かった。「安心な」で 5% ($t=0.04$, $p<0.05$), 「温かい」で 10% の有意差が出た ($t=0.06$, $p<0.1$)。

作業を行った実験 2 では、有機 EL の方が LED よりも「やさしい」「あたたかい」「やさしい」の項目で比較的良好な結果を得られたが、有意な差は見られなかった (図 12 参照)。

3.2. 実測調査

実際に有機 EL を用いた環境下における生理・心理反応を探るために、あいち小児保健医療総合セン

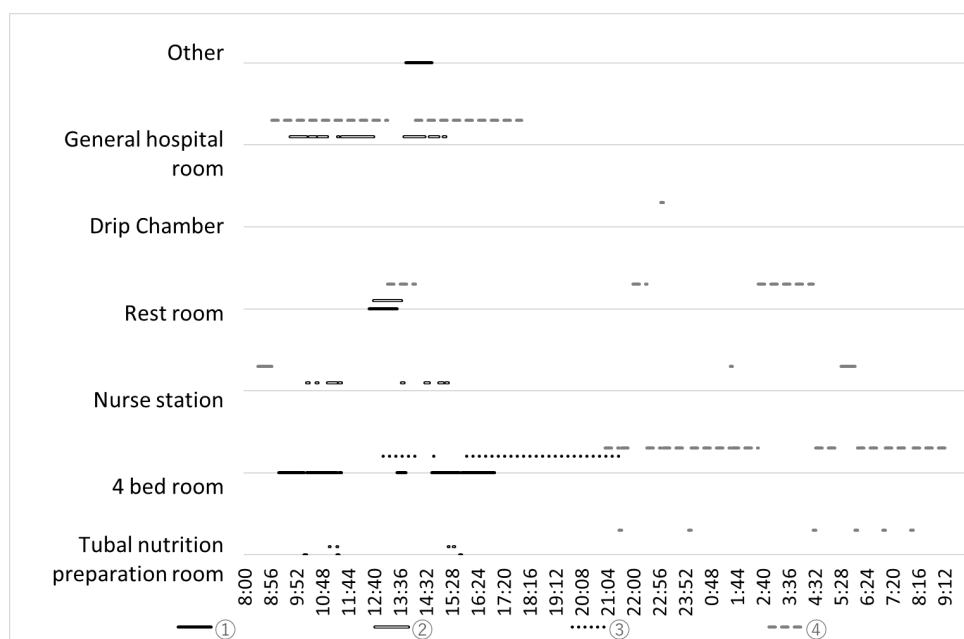


Figure13. Behavior record of nurse (12/21)

ターにて実測調査を行った。以下にあいち小児保健医療総合センターの概要を示す。

・施設種別：小児専門医療機関 ・竣工年：平成 13 年 ・年間延べ患者数：95,633 人（2017 年度）・一日平均患者数 390 人（2017 年度）

実測の日時は 2018 年 12 月 5 日～12 月 28 日（土日，祝日，14 日を除く）で行った。対象はあいち小児保健医療総合センター 32 病棟勤務の日勤・遅出・夜勤看護師であった。

3.2.1. 物理量

実測期間中の温湿度は、有機 EL（を設置した経管栄養準備室では、平均温度 $22.6 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ ，平均湿度 $43.5 \pm 6.6\%\text{RH}$ であった。LED（天井埋込型 40 形）を用いた 4 床ユニットは、平均温度 $24.3 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ ，平均湿度 $39.2 \pm 7.1\%\text{RH}$ ，ナースステーションは、平均温度 $24.8 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ ，平均湿度 $36.9 \pm 6.6\%\text{RH}$ であった。各室温度および湿度の変化幅は少ないが、経管栄養準備室の温度は他の室よりも 2°C 程度低い結果であった。

照度は床上 1.2m の作業域にて 850lx に統一し、色温度は有機 EL3000K，LED は 5000K であった。

3.2.2. 看護師の繁閑

繁閑を探るために行動調査票を記載してもらった。全ての看護師に記載してもらった行動記録表から 2018 年 12 月 5 日～12 月 28 日（土日，祝日を除く）の中で最も看護師の室間の移動が多く忙しいと推測できる日を図 13 に示した（12 月 21 日）。図 13 から日勤の看護師は様々な場合に移動している事がわかる。各室の滞在時間は数十分程度であり、短時間で移動する様子がみて取れる。夜勤の対象看護師は、大半の時間を 4 床で過ごしていた。短い時間ではあるがナースステーション，4 床，一般病棟にも移動していることがわかる。日勤に比べると移動回数は少なかった。活動量計のデータからも、日勤は常に軽作業を行っており、時間帯によっては 4.0met を超えていた。夜勤は途中仮眠をしているため動いていない時があるが、安静時と動いているときの幅が大きく、これは人数が少ないことが原因として考えられる。

3.2.3. ストレス評価

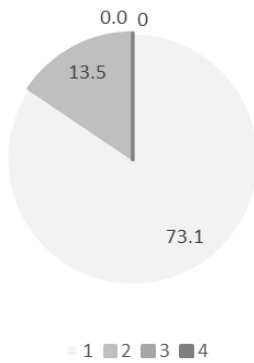


Figure14. Stress evaluation (Day, 10-20)

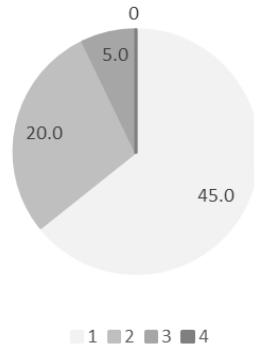


Figure15. Stress evaluation (Day, 30-50)

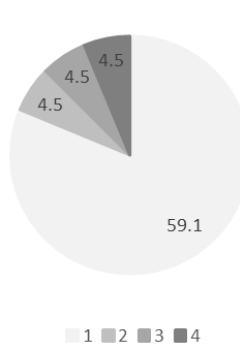


Figure16. Stress evaluation (Night, 10-20)

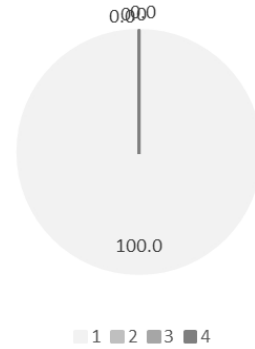


Figure17. Stress evaluation (Night, 30-50)

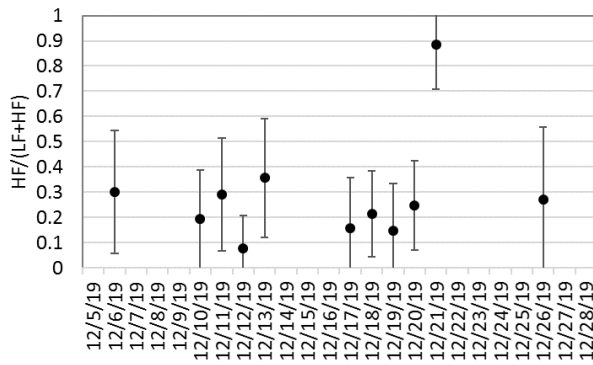


Figure18. HF/(LF+HF) (OLED)

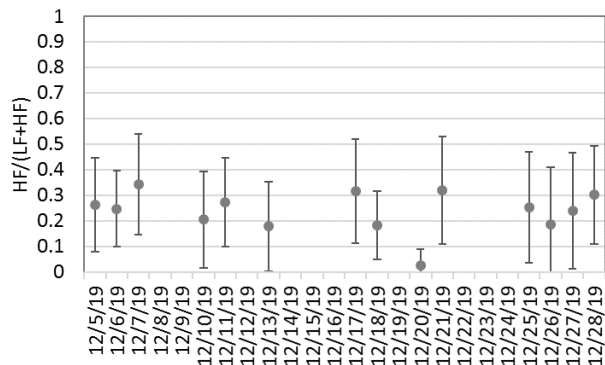


Figure19. HF/(LF+HF) (LED)

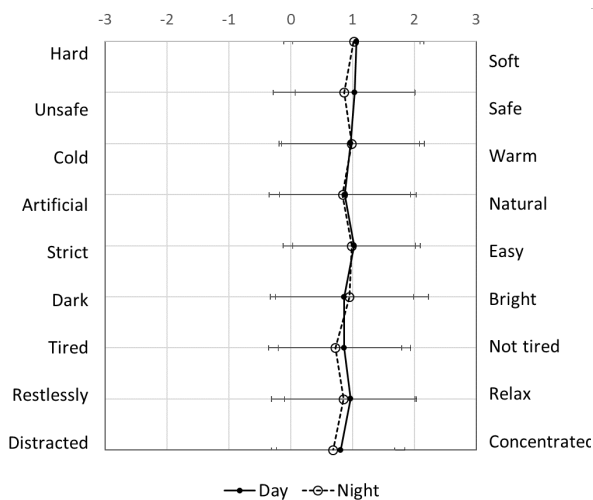


Figure20. Result of SD method (OLED)

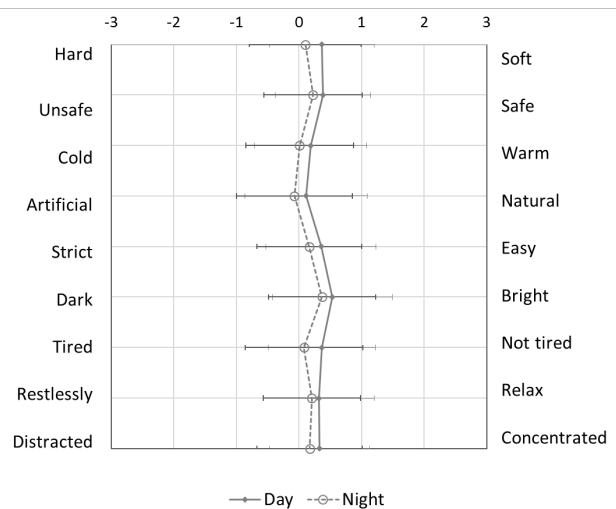


Figure21. Result of SD method (LED)

ストレス評価は「抑うつ・不安」「不機嫌・怒り」「無気力」を点数付け、合計得点から4段階評価を行った（1:弱い、2:普通、3:やや高い、4:高い）。

日勤の看護師はストレス反応では、30～50代ではストレス反応の程度が10～20代よりも高かった（図

14, 15 参照). このストレスは, 「不機嫌・怒り」「無気力」の項目に起因していた. 夜勤の対象看護師は, 10~20 代は『やや高い』や『高い』ストレスを感じていた (図 16 参照). 項目は「抑うつ・不安」「不機嫌・怒り」「無気力」の全項目であった. 他方 30~50 代は母数が少ないがストレスを感じていなかった (図 17 参照). 10~20 代のストレスには, 行動記録表および活動量の結果にもあるように人数が少ないことに起因する可能性もある.

3.2.4. 生理量

心拍数の結果を示す. 図 18 には日勤および夜勤の看護師で有機 EL を設置した経管栄養準備室に入室していた際の HF/(LF+HF) を示す. 日勤の 12 月 21 日に 0.9 ± 0.17 という高い値を示した以外は, 0.1~0.4 の範囲にあった. 他方, 図 19 には LED を用いた日勤及び夜勤の看護師でナースステーションに入室していた際の心拍数を示す. 日勤の 12 月 21 日に 0.8 ± 0.3 という高い値を示した以外は, 0.1~0.6 の範囲にあった.

有機 EL と LED の心拍数を比較してみると多少のばらつきがあるものの, 両照明条件下において差異はほとんどみられなかった. ただし, 経管栄養準備室に入室している時間が短かったことを考慮する必要がある.

3.2.5. 心理量

図 20, 21 に示す照明のアンケートでは, LED を用いた照明条件下における各項目の平均値は有機 EL よりも 0.5~0.9 程度低い値となった. 日勤では「やわらかい」で 5% ($t=0.03$, $p<0.05$), 「温かい」($t=0.08$, $p<0.1$) 「やさしい」($t=0.09$, $p<0.1$) で 10% 有意に有機 EL を評価した. 夜勤では全項目で有意に有機 EL を評価した ($p<0.05$). 日勤では LED 照明条件下では太陽光の影響を無視できないため, 夜間の結果から照明の心理的影響を評価することが望ましいと考えられる. 今回の結果より, 有機 EL を用いることで心理的には良い評価が得られることが分かった.

温熱環境のアンケートの平均値は, 有機 EL よりも 0.3 程度低く, 「涼しい」「寒い」側の申告値であった. 3.2.1 物理量の結果からは, 有機 EL を設置している経管栄養準備室の方が平均で 2°C ほど温度が低かったことから, 垣鏑ら ⁷⁾ が報告しているように, 短時間の暴露では高色温度の方が温冷感反応が大となるという結果と合致していた.

4. まとめ

4.1. 実験室実験

対象を見るのみの実験 1 では, 脳波における α 含有率が有機 EL にて LED よりも多かった. 心理的には「快適な」「やわらかい」「安心な」「温かい」「やさしい」「自然な」といった項目で, 有機 EL の方が LED よりも評価が高く, 「安心な」で 5% ($t=0.04$, $p<0.05$), 「温かい」で 10% の有意差が出た ($t=0.06$, $p<0.1$).

一方, 作業を伴う実験 2 では, 脳波における α 含有率は両照明条件下で差異はなかった. 心理的には有機 EL の方が LED よりも「やわらかい」「あたたかい」「やさしい」の項目で比較的良好な結果を得られたが, 有意な差は見られなかった.

以上より, 純粋に照明を見る状態では, 有機 EL 照明は LED 照明を用いた場合よりも α 波含有率が高くなり, 心理的にも有意に良い評価が得られた. 作業を伴うと, 照明方法による生理・心理的差は減少する傾向にあることが分かった.

4.2. 病院実験

実際に病院現場に有機 EL を入れる効果を検証した。まず、看護師の繁暇とストレスを探ったところ、日勤の 30~50 代ではストレス反応の程度が 10~20 代よりも高く、夜勤は 10~20 代は『やや高い』や『高い』ストレスを感じていたが、30~50 代は母数が少ないがストレスを感じていなかった。これらのストレスは移動や人数によって生じている可能性があることが分かった。

照明条件による生理・心理的差異は、心拍数では両照明条件下で差異はなかったが、有機 EL 設置の室での滞在時間が短いことも考慮する必要がある。心理的には、特に夜間では全項目において有機 EL の方が高い評価を得た。

以上より、実際にストレスを伴う作業を行う実空間において、少なくとも心理的には有機 EL 照明を用いることでストレスが軽減される可能性が示唆された。

謝辞

本研究は中部大学総合工学研究所 平成 30 年度プロジェクト 3 の援助を受け遂行されたものであり、ここに謝意を表します。なお、実験に際しご協力いただいたあいち小児保健医療総合センターの加藤医師をはじめ看護師の皆様には記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Robert, L. S.; Dennis, A.; R. Robert, A.; Mary, A.C.; Kenneth, P. W., Jr; Michael V. V. and Irina V., Z. 2007.Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part I, Basic Principles,Shift Work and Jet Lag Disorders. Sleep, Vol.30, Issue 11, 1460-1483, 2007
- 2) Robert, L. S.; Dennis, A.; R. Robert, A.; Mary, A.C.; Kenneth, P. W., Jr; Michael V. V. and Irina V., Z. 2007.Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part II, Advanced Sleep Phase Disorder, Delayed Sleep Phase Disorder, Free-Running Disorder, and Irregular Sleep-Wake Rhythm. Sleep, Vol.30, Issue 11: 1484-1501, 2007
- 3) 戸田直宏:サーカディアンリズムへの光の影響, 照明学会誌, 91(10), 655-658, 2007
- 4) 高橋祐樹ら:サーカディアンリズムを考慮したオフィスの温熱環境制御が執務者の深部体温とその他生理・心理・作業効率に与える影響, 日本建築学会環境系論文集 第 76 号, 335-343, 2011
- 5) 横山亮一ら:有機 EL 照明下での空間の印象: LED 照明との比較, 映像情報メディア学会技術報告 36.52(0), 29-32, 2012
- 6) 市川忠彦著:脳波の旅への誘い, 聖和書店
- 7) 垣鍔直, 茂吉雅典, 中村肇, 稲垣宅造, 堀越哲美:心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組合せに関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 第 532 号, 87-92, 2000