

平成22年5月6日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760394
 研究課題名（和文）LED照明による視覚疲労
 —快適な一般照明としての使用法確立に向けて—
 研究課題名（英文）Visual Fatigue Caused by LED Lighting
 -Toward Establishment of Comfortable General Lighting-
 研究代表者
 望月 悦子 (MOCHIZUKI ETSUKO)
 千葉工業大学・工学部・助教
 研究者番号：80458629

研究成果の概要（和文）：

従来、一般照明用光源として使用されてきた蛍光灯とLEDとを比較し、オフィスでのVDT作業による視覚疲労に与える影響、および集合住宅占有部廊下の視環境を評価した。

VDT作業による視覚疲労は、二種類の生理指標ならびに主観申告により評価したが、いずれの光源種類、照度条件でも有意差はなかった。

集合住宅占有部廊下の視環境については、明るさ感、明るさむら、まぶしさとも、蛍光灯とLEDとで有意な差はなかった。

研究成果の概要（英文）：

Effects on visual fatigue caused by VDT works in office space lit by LEDs and visual environment of corridor space in private area of apartment houses lit by LEDs were evaluated comparing with those by fluorescent lamps which were used as usual general lighting.

Visual fatigue caused by VDT works was evaluated by two different kinds of physiological index and subjective evaluation. The results showed there was no significant difference between different kinds of the light source with different levels of the illuminance. Also it was identified that there was no significant difference between brightness sensation, non-uniformity of the brightness and glare sensation in the corridor space lit by LEDs and those lit by fluorescent lamps.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：建築環境工学

科研費の分科・細目：光・視環境

キーワード：LED、分光分布、一般照明、オフィス、住宅、疲労、視環境評価、被験者実験

1. 研究開始当初の背景

各産業分野において省エネルギーの要請

が強まる中、照明用エネルギーの削減も例外ではない。オフィスでは、全消費エネルギー

の約 25%を照明用エネルギーが占めると言われ、住宅での CO₂ 排出量のうち、照明によるものは約 11%と言われている。照明用消費電力の削減手法が喫緊に求められている。

照明用エネルギーの削減には消灯が第一であるが、日中でも天井照明が点灯されている場合も多い。消灯が不可能な場合には、少なくとも人工光源の点灯による電力消費の削減に努める必要がある。最近では新規光源の開発も進み、中でも LED は長寿命の光源として一般照明としての利用が着目されている。平成 21 年 4 月に施行された「エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律（改正省エネ法）」では、LED 型ランプの使用がポイント法で評価されるようになっている。

2. 研究の目的

白色 LED の実現により、省エネルギーの観点から LED の一般照明としての利用が期待されてはいるものの、従来の一般照明用光源とは異なる配光特性、分光分布が視環境へ与える影響についてはあまり検証されていない。

(1) VDT 作業を行うオフィス空間において、LED 照明が視覚疲労に与える影響を検証することを目的とし被験者実験を行った。「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」に基づき、一連続作業時間が 1 時間程度の作業における視覚疲労について、オフィスにおいて現在、一般照明用光源として広く使用されている蛍光灯と、新規光源の代表例として LED を取り上げ、比較検証した。

(2) 住宅の一般照明として LED を用いる際、LED の「小型」「狭角配光」といった特徴が、グレアや明るさむらに与える影響が懸念される。そこで、集合住宅専有部の廊下に各種光源を用いた場合の照度測定ならびに被験者実験を行い、住宅照明の光源として従来一般的に使用されてきた白熱電球、電球型蛍光灯に LED が代替可能か否か、視環境を比較評価した。

3. 研究方法

(1) オフィスにおける VDT 作業による視覚疲労に LED 照明が与える影響

被験者実験は、図 1 に示す大きさの等しい二つの実験室にて行った。実験室内の壁面と天井面は白色の壁紙（反射率約 75%）、床面は灰色のタイルカーペット（反射率約 30%）で仕上げ、各実験室とも天井面 6 箇所に照明器具を均等に配置した。実験室 A には 45 W ツイン型昼白色蛍光灯（相関色温度 4200 K）、実験室 B には昼白色 LED（相関色温度 4100 K）と電球色 LED（相関色温度 2900 K）の二種類を隣接させて配置した。両実験室とも、天井面に見える発光面の大きさは同じとし、前面をトレーシングペーパーで覆って被験者の目に直接光源が見えないようにした。実験室 A の蛍光灯は出力 40~100%で調光可能と

なっており、ND フィルターを併用して照度を設定した。実験室 B の二種類の LED は、個別に出力 0~100%で連続調光が可能であった。

光源の種類 3 条件と机上面照度 2 条件の組み合わせ計 6 条件について評価を行った。被験者は各条件を三回ずつ、述べ 18 条件を体験した。被験者は一日 3 回実験に参加し、6 日間で全ての実験を終了する。被験者には、実験期間中の睡眠時間は、十分確保し、ほぼ同時間に統一するよう教示した。

被験者はまず始めに実験手順の説明を受けた後、実験開始後 5 分間、実験室内にて机上面を注視しながら滞在し、室内の環境に順応した。室内環境に十分順応した後、目の視覚疲労の状態を表す指標として、VDT 作業前の焦点調節応答時間（以後 ART と記す）と臨

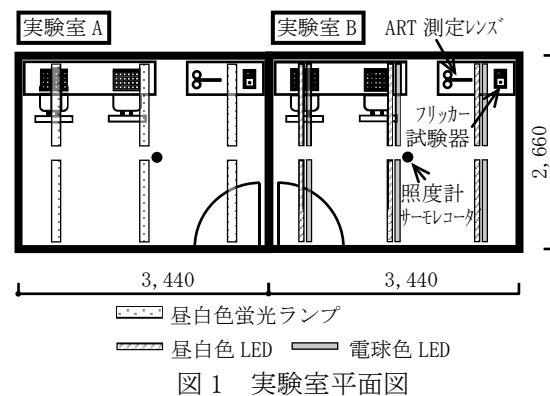


図 1 実験室平面図

表 1 被験者の評価項目

	質問	内容	評価方法
光環境	①	作業空間の光環境として快適か?	快/不快
	②	作業空間としての明るさ	非常に明るい ~非常に暗い
	③	室全体のまぶしさ	非常にまぶしい ~まぶしくない
疲労に関する自覚症状	(1)	疲れを感じたか?	はい/いいえ
	(2)	行ったり来たか?	
	(3)	集中力は持続したか?	
	(4)	最初と比べて終盤、ミスタイプが多くなったか?	
	(5)	目が疲れたか?	
	(6)	目が痛んだか?	
	(7)	まぶたがピクピクしたか?	
	(8)	目が乾いたか?	
	(9)	視野内がぼやけて見えただか?	
	(10)	ピントが合いづらかったか?	
	(11)	視力が落ちたように感じたか?	
	(12)	パソコンの画面がまぶしかったか?	
	(13)	キーボードや机上面からディスプレイに目を移すとき、見えにくかったか?	
	(14)	PC 文字二重に見えたか?	
	(15)	首や肩が凝ったか?	
(16)	腰が痛んだか?		
(17)	腕や手が痛んだり、しびれたか?		
(18)	頭痛がしたか?		

界融合頻度（以後 CFF と記す）を測定、実験室内の光環境について評価した。

その後、VDT 作業を想定した作業として、文章作成作業を 15 分間、乗算作業を 10 分間、タイピング作業を 20 分間、計 45 分間連続で作業を行った。一連の作業終了後に、再び ART、CFF を測定、実験室内の光環境ならびに疲労に関する自覚症状を申告した。表 1 に、実験室内光環境の評価項目、ならびに疲労に関する自覚症状の評価項目を示す。室内の明るさは 7 段階（非常に明るい/明るい/やや明るい/どちらでもない/やや暗い/暗い/非常に暗い）、室全体のまぶしさは 4 段階（非常にまぶしい/まぶしい/ややまぶしい/まぶしくない）で評価した。疲労に関する自覚症状については、自覚症状調べならびに VDT 作業者の視覚負担に関する自覚症状の訴え項目を参考に、目や肉体、精神疲労に関する 18 項目について評価させた。

実験中の実験室内の温度・湿度は、室中央の床上高さ 0.5 m にサーモレコーダ (ESPEC RS-12) を設置し、1 分間隔で連続測定、水平面照度は、室中央の床上高さ 0.7 m に照度計 (KONICA MINOLTA T-10M) を設置、データロガー (江藤電気 (株) Thermic-2300A) に出力し、1 分間隔で連続測定した。

(2) 集合住宅占有部の廊下における LED 照明による視環境評価

被験者実験は、図 2 に示す実験室にて行った。実験室内には、幅の等しい廊下を 3 本設置した。廊下 A のみ天井高は 2.5 m、廊下 B・C の天井高は 2.1 m となっている。天井照明は、600 mm 間隔の任意の位置で点灯可能である。開口部は暗幕で遮蔽し、日光が入射しないようにした。壁面反射率は約 90%、床面反射率は約 53%であった。天井照明の光源は 4 種類（白熱電球、蛍光灯、LED2 種類）とし、光源点灯位置は 1200 mm、1800 mm、2400 mm の 3 条件とした。

被験者には、若齢者 20 名（平均 22.2 歳）、中高齢者 19 名（平均 56.2 歳）を用いた。被験者は、床面照度約 30 lx（住宅廊下における JIS 照度基準）に設定された前室にて待機し、実験者の指示に従って指定された廊下に入室した。評価は、基準条件（廊下 B）に対する各廊下の光環境の一対比較、ならびに各廊下の光環境の絶対評価の二つの方法で行った。被験者が入室する際には天井照明を常時点灯させた。

一対比較では、まず初めに基準廊下 B を一往復し、比較廊下 A または C に入室、一往復後に移動廊下を通過して申告用紙記入場所にて評価結果を記入した。基準条件は、白熱電球を 1800 mm 間隔で点灯させた条件とした。

絶対評価では、指定されたいずれかの廊下に入室、通過後、申告用紙記入場所にて評価結果を記入した。

若齢被験者は全 30 条件（一対比較 6 条件、絶対評価 24 条件）、中高齢被験者は全 18 条件（一対比較 6 条件、絶対評価 12 条件）について実験を行った。

4. 研究成果

(1) オフィスにおける VDT 作業による視覚疲労に LED 照明が与える影響

① 被験者が実験中に曝露された照明環境

図 3 に実験に用いた各光源、各実験室の机上面ならびに作業用パソコンの CRT 画面における分光分布を示す。机上面における分光分布は標準白色板からの反射光の分光分布を、

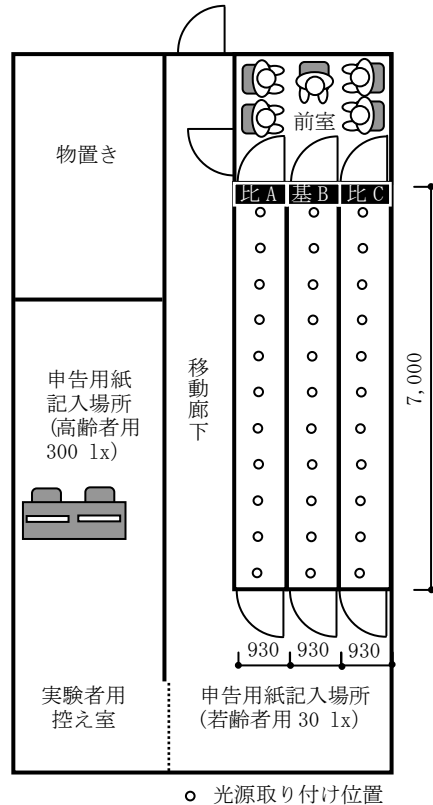


図 2 実験室平面図

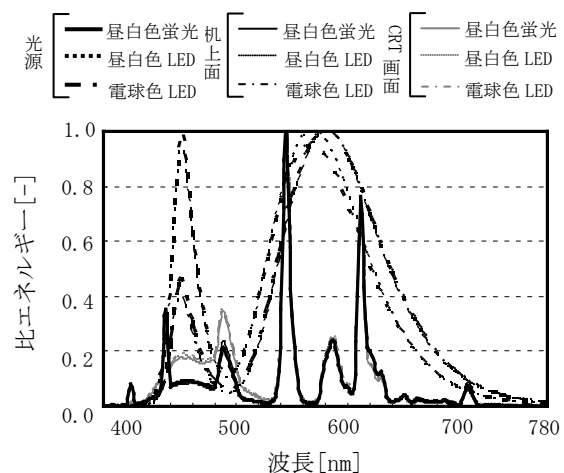


図 3 机と CRT 画面の分光分布 (机上面照度 700 lx 設定)

CRT 画面における分光分布は画面を白色に設定し、画面から発する光の分光分布をそれぞれ分光光度計（JETI 社、Specbos1201）を用いて測定した。光源の分光分布は、光源を直接分光光度計で測定した。机上面の分光分布は、光源の分光分布に近似しているが、CRT 画面については自発光のため、光源条件によらず分光分布はほぼ等しくなっている。また、昼白色 LED と電球色 LED について見ると、500 nm 付近よりも長波長の領域については、両者の分光分布は類似しているが、450 nm にピークをもつ短波長域については、電球色 LED は昼白色 LED の半分程度の出力となっている。

② 焦点調節応答時間 ART

図 4 に、各条件延べ 18 回の実験で測定した ART の中央値（エラーバーは、最大値と最小値を表す）を示す。一回の実験の結果には、被験者が測定した 11~42 回目 of ART のうち、焦点が遠点から近点に移動した際の ART16 回分のデータの中央値を代表値として用いた。被験者ごとに ART の値に差はあるが、概ね作業後の ART が作業前よりも長くなる傾向を示した。

図 5 に、VDT 作業前後での ART 変化率（作業後中央値-作業前中央値/作業前中央値）を示す。分散分析の結果、ART 変化率に個人差はなかった。電球色 LED の場合を除き、机上面照度 350 lx の方が 700 lx よりも ART 変化率が大きくなっており、低照度の方が視覚疲労が大きくなる傾向が示唆された。Wilcoxon の符号付順位検定の結果、作業後の ART については、昼白色蛍光ランプの 350 lx と 700 lx の間で、ART 変化率については、机上面照度 700 lx の場合の昼白色 LED と電球色 LED の間にのみ、有意差 ($p < 0.05$) が確認された。

③ 臨界融合頻度 CFF

CFF についても ART と同様に、一回の実験で測定される CFF の中央値（被験者が 5 回測定した CFF のうち、2~4 回目の中央値）を代表値として解析に用いた。図 6 に、各条件延べ 18 回の実験で測定された CFF の中央値（エラーバーは、最大値と最小値を表す）を示す。いずれの条件でも、VDT 作業後の CFF は作業前よりも低くなっていた。

図 7 に、VDT 作業前後での CFF 変化率（作業後中央値-作業前中央値/作業前中央値）を示す。分散分析の結果、CFF 変化率に個人差はなかった。電球色 LED の場合を除いて、机上面照度 700 lx の方が 350 lx よりも CFF 変化率が負の値で小さくなっており、ART 変化率の結果とは逆に、高照度の方が視覚疲労が大きくなる傾向が示唆された。しかし、Wilcoxon の符号付順位検定の結果、各条件間で CFF の値、変化率ともに有意差は確認されなかった。

④ 実験室内光環境の主観評価

図 8 に、実験室の作業空間の光環境として

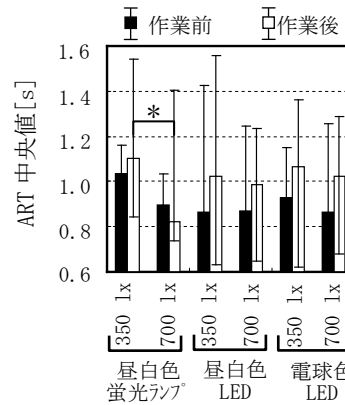


図 4 ART 中央値

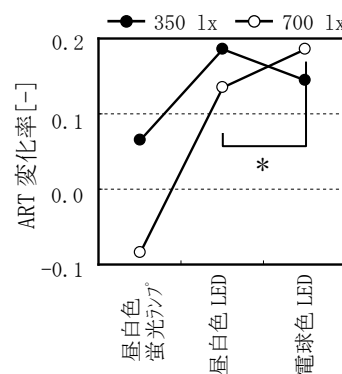


図 5 ART 変化率

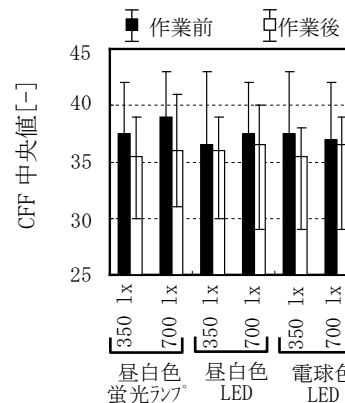


図 6 CFF 中央値

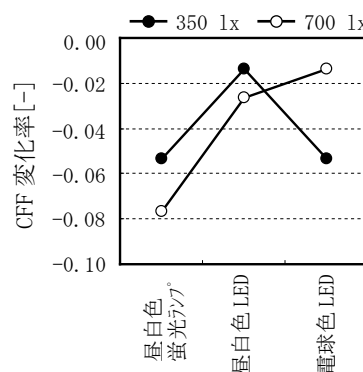


図 7 CFF 変化率

の快適性、ならびに作業空間としての明るさ評価の結果を示す。作業前後で評価結果は類似していたため、ここでは作業後の評価結果のみを示す。電球色 LED を除き、机上面照度 350 lx の場合よりも 700 lx の場合の方が作業空間として快適と評価されており、机上面照度 700 lx 設定時では、全被験者が作業空間の光環境として快適と評価していた。一方、電球色 LED については、どちらの机上面照度でも約 3 割の被験者が作業空間の光環境として不快と評価していた。

実験室内の明るさについては、図 8 に示す通り、机上面照度 350 lx 設定時では、各光源とも 6~7 割の被験者が作業空間の明るさとして「やや暗い」「暗い」と評価していた。机上面照度 700 lx 設定時では、実験室を「明るい」「やや明るい」と評価した被験者は、昼白色蛍光ランプ、昼白色 LED の場合は約 60% であったが、電球色 LED の場合は 40% 未満であった。

⑤ 照明光源の違いによる疲労主観評価

被験者が作業後の疲労に関して、表 1 に示した 18 項目を評価した結果、訴え率が 50% 以上となったのは、(1) 疲れ、(3) 作業中の集中力の持続、(5) 目の疲れ、(8) 目の乾き、(15) 首や肩の凝りの 5 項目であった。図 9 に以上の 5 項目に対する訴え数を示す。訴え数は、各項目に対する「はい」の回答数である。(1) 疲れ、(5) 目の疲れについては、昼白色蛍光ランプと昼白色 LED の場合で、机上面照度 700 lx の方が 350 lx よりも訴え数が少なくなっているが、電球色 LED の場合は、700 lx の方が 350 lx よりも訴え数が多くなっていた。(8) 目の乾きに関しては、どの光源も机上面照度 350 lx の方が 700 lx よりも訴え数が多く、(15) 首や肩の凝りに関しては、どの光源も机上面照度 700 lx の方が 350 lx よりも訴え数が多くなっていた。(3) 作業中の集中力の持続については、各光源で評価傾向が異なっていた。

疲れ、作業中の集中力の持続は、精神疲労と肉体疲労を総合的に評価する項目と捉えられる。一方、目の疲れ、目の乾き、首や肩の凝りは、肉体疲労に関する症状を評価する項目と捉えられるが、疲れや作業中の集中力の持続の評価結果と、目の疲れ、目の乾き、首や肩の凝りの評価結果の間に相関関係は見られなかった。

(2) 集合住宅占有部の廊下における LED 照明による視環境評価

① 被験者が実験中に曝露された照明環境

図 10 に実験に用いた各光源の分光分布 (JETI 社、Specbos1201 で測定) を示す。LED はどちらも 450 nm 付近にピーク波長をもつ青色 LED に蛍光体を組み合わせたものである。

図 11 に一例として、1800 mm 間隔で光源を点灯した際の床面照度分布を示す。廊下中心

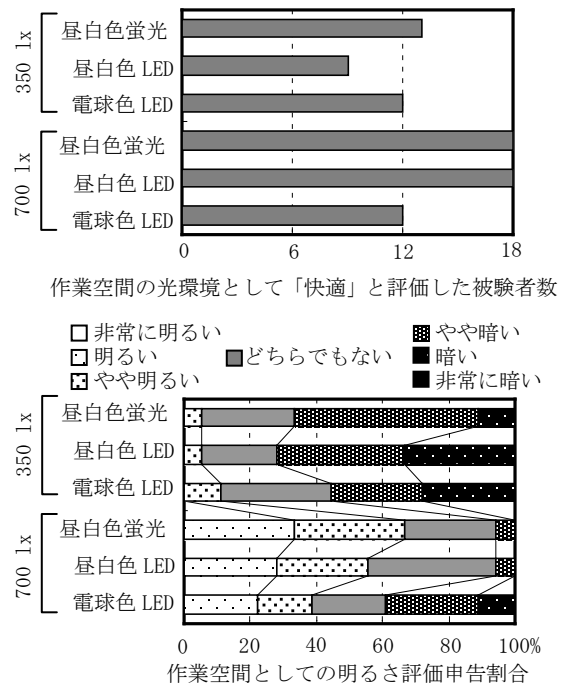


図 8 実験室内の光環境主観評価 (作業後)

- (1) 疲れを感じたか? □ (3) 集中力持続したか?
- (5) 目が疲れたか? ○ (8) 目が乾いたか?
- ▲ (15) 首や肩が凝ったか?

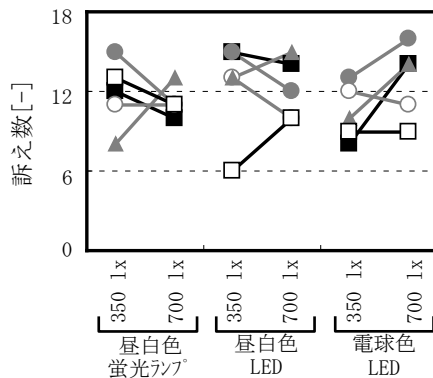


図 9 疲労に関する訴え (訴え率 50%以上の項目のみ)

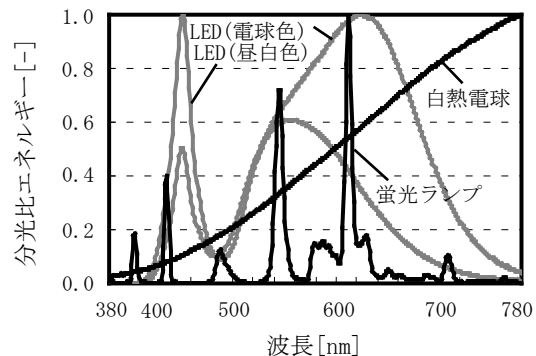


図 10 実測に使用した光源の分光分布

線上と端部とで照度の差はほとんどなく、いずれの光源でも床面はほぼ均一に照射されていることがわかる。

② 明るさ感評価結果

図 12 に被験者の目の位置の鉛直面平均照度と絶対評価による明るさ感申告の 50 パーセント値の関係を示す。若齢者、中高齢者とも、鉛直面照度が高くなるにつれ明るさ感は高くなっている。若齢者は、蛍光灯、LED(電球色)で明るさ感がやや低く、LED(昼白色)でやや高くなっている。一方、中高齢者は、白熱電球の明るさ感申告値が最も高かったが、光源による明るさ感の違いはほとんどなかった。またいずれの光源についても、中高齢者の方が若齢者よりも明るさ感申告値が高かった。

③ 明るさのむら評価結果

白熱電球、蛍光灯の場合は、明るさむらを感じた被験者はなく、LED(昼白色)の場合も明るさむらを感じた被験者はいたが、不快を感じた被験者はいなかった。しかしLED(電球色)の場合は、床面に明るさむらを感じた被験者は 10~20%程度あり、特に中高齢者は、明るさむらを感じた場合は、全員が不快に感じていた。

④ まぶしさ評価結果

中高齢者はどの条件に対してもほとんどまぶしさを感じていなかった。若齢者については、点灯間隔 1200 mm の場合、いずれの光源でも 2 割以上の被験者がまぶしさを感じていた。点灯間隔 1800 mm 以下では、白熱電球でまぶしさを感じた被験者が最も多く、明るさのムラが不快とされた LED(電球色)については、まぶしさを感じた被験者はほとんどいなかった。

(3) まとめ

オフィスにおける 1 時間程度の VDT 作業では、LED による視覚疲労と蛍光灯による視覚疲労とで有意な差は確認されなかった。

集合住宅廊下での LED、白熱電球、蛍光灯による視環境評価についても、明確な違いは見られなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 望月悦子、木村洋、分光分布の違いが視覚疲労に与える影響- LEDと蛍光灯下のVDT作業による視覚疲労の比較-、日本建築学会環境系論文集、査読有、第 75 巻、第 647 号、2010、35-41

[学会発表] (計 3 件)

- ① 望月悦子、集合住宅専有部におけるLED照明に関する研究、日本建築学会大会、2010年9月11日、富山大学(富山県)
- ② 望月悦子、VDT作業時の視覚疲労評価-分光分布が視覚疲労に与える影響-、日本建築学会大会、2009年8月29日、東北

白熱電球 — 中心 — 端部 蛍光灯[®] — 中心 — 端部
LED(電球) — 中心 — 端部 LED(昼白) — 中心 — 端部

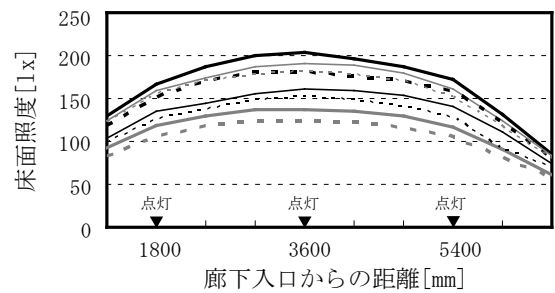


図 11 床面照度分布(天井高 2.1 m)

○ 白熱電球 □ 蛍光灯[®] × LED(電球色) ▲ LED(昼白色)

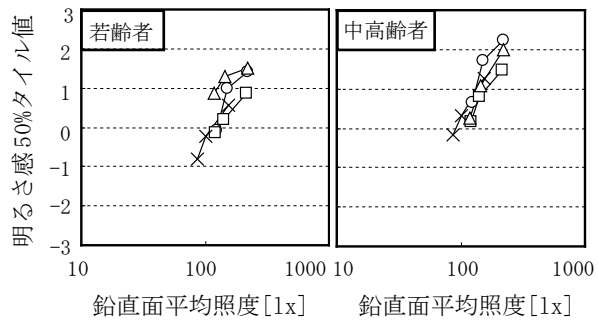


図 12 明るさ感申告(絶対評価)

学院大学(宮城県)

- ③ Etsuko MOCHIZUKI, Subjective experiment on visual fatigue caused by LEDs, Light and Lighting conference, 2009年5月29日, ブダペスト(ハンガリー)

[その他]

ホームページ等

<http://citabceplight.web.officelive.com/default.aspx>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月悦子(MOCHIZUKI ETSUKO)
千葉工業大学・工学部・助教
研究者番号: 80458629