

# LED 照明環境における光色のあり方に関する基礎的研究

主査 平手 小太郎\*1

委員 宗方 淳\*2, 吉澤 望\*3, 江 欣 宸\*4, 李 東 起\*4

本研究は LED 照明による色光環境下での作業において、適正照度を探り、疲労・疲労感、作業効率、快適性、可読性、明瞭性などの検討により、適切な光色を提案することを目的としている。実験 1 の適正照度実験では、調整法を用いて被験者に照度を調節させ、95%信頼空間を求め、各色光照明での作業に対する適正照度を導いた。実験 2 の疲労感実験では、疲労をフリッカー値、近点距離、視力で、疲労感を自覚症状調べで評価し、また各種作業の作業効率、さらに快適性と可読性、明瞭性を評定尺度法により評価させ、実験を行った。その結果、総合的に判断して、純度が高くなると否となるが、白色よりは多少色味（緑色を除く）がある淡い光色が良と評価されることが分かり、これらの光色を作業に適切な光色として提案した。

キーワード：1)光色，2)LED 照明，3)色光環境，4)疲労，5)作業効率，6)快適性，7)可読性，8)明瞭性

## A FUNDAMENTAL STUDY ON LIGHT COLORS OF LED LIGHTING ENVIRONMENT

Ch. Kotaroh Hirate

Mem. Jun Munakata, Nozomu Yoshizawa, Hsin chen Chiang, Dong gi Lee

The aim of this study is to suggest proper illumination and light colors for working in an LED lighting environment. During the first experiment, 500 [lx] was recommended by calculating 95% confidence interval of suitable illumination. During the second experiment, flicker value, distance of near point, visual acuity, and self-conscious fatigue were used for evaluating fatigue, comfort, readability and intelligibility. Results showed that colors with high purity were unsuitable for working and pale light colors with a little saturation except green are more suitable than white light color.

### 1. はじめに

近年、照明技術の発展に伴い、長寿命・省電力・省スペースを持つ LED 照明がますます重要視されてきている。青色ダイオードが実用化されて以来、赤・青・緑の光の三原色が揃い、それぞれの光量の制御から様々な光色が出来るようになり、完全放射体をベースとした電球色と白色で構成された従来の照明環境は大きく変わる可能性が高いと考えられる。今後はこの様な色光が照明光として使用されることも予測され、LED を主とする照明環境で光色のあり方が重要な課題の一つになることは間違いない。

これまでの光色の心理的影響についてはグレア感と明るさ感<sup>1)2)3)4)</sup>、また光色と照度との関係による影響について、快適性<sup>5)6)</sup>、室内雰囲気<sup>7)8)</sup>、作業行為<sup>9)</sup>、疲労感<sup>10)</sup>などの観点での研究が行われている。ただ従来の光色に関する研究で使われていた光色は、多くが完全放射体軌跡に沿ったものであり、より鮮やかな光色に着目した研究<sup>3)4)10)11)</sup>であっても、完全放射体軌跡から若干離れた程度で、LED 光源で実現可能なより鮮やかな光色の範囲について検討されたものはまだ少ないのが現状である。

よって本研究の先行研究として、LED 光色の主要光色 6 色（赤，緑，青，黄，シアン，マゼンタ）の純色を基本とした光色系列に対する色味と不快感の評価実験を行い、刺激閾を含め色味の評価段階および不快感の評価段階に関する一連の結果を CIE 1931 xy 色度図上に表現し系統的にまとめるという予備的検討を行い、色味を感じても不快ではない光色が存在していると確認できた<sup>12)</sup>。これらの成果をもとに、本研究では、不快と感じない範囲から光色を選択し、LED 照明による色光環境下での作業において、適正照度を探り、疲労・疲労感、作業効率、快適性、可読性、明瞭性などの検討により、適切な光色を提案することを目的としている。

### 2. 実験 1—適正照度実験

#### 2.1 実験概要

日本工業規格の照度基準によると、精密な作業を行う事務室に作業面照度は 750～2000 [lx]<sup>13)</sup>、一般作業を行う事務室に作業面照度は 300～750 [lx]が必要と定められている。一方照明学会編の屋内照明基準によると、普通の視作業には照度範囲 300～750 [lx]<sup>14)</sup>とされている。しかし今までの照度基準は完全放射体軌跡に準ずる光で定

\*1 東京大学・教授

\*2 千葉大学・准教授

\*3 関東学院大学・准教授

\*4 東京大学大学院博士課程

めたもので、色光照明に対応できるかどうかまだ不明瞭である。よって、本研究は色光環境での作業に適切な照度を探るのを目的とする。

筆者らの先行研究では、LED 照明の光色が純色に近づくほど作業における「不快感を感じる」程度が増加し、色味を感じても作業における「不快感を感じない」範囲が存在することが確認された<sup>12)</sup>。また「不快と感じる」光色にも読書に対する照度の許容範囲があると想定し、本実験ではより鮮やかな光色を実験光色に設定した。

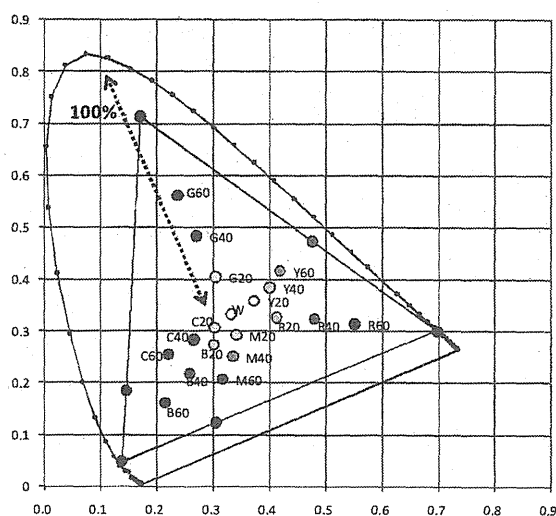


図 2-1 CIE 色度図にプロットした実験光色

表 2-1 実験光色の xy 色度値

| CIE 1931 XYZ 表色系 |       |       | CIE 1931 XYZ 表色系 |       |       |
|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| 光色               | x 値   | y 値   | 光色               | x 値   | y 値   |
| W                | 0.333 | 0.334 | -                | -     | -     |
| R20              | 0.413 | 0.327 | Y20              | 0.373 | 0.358 |
| R40              | 0.481 | 0.323 | Y40              | 0.401 | 0.385 |
| R60              | 0.552 | 0.314 | Y60              | 0.419 | 0.417 |
| G20              | 0.305 | 0.405 | C20              | 0.303 | 0.307 |
| G40              | 0.271 | 0.484 | C40              | 0.266 | 0.283 |
| G60              | 0.237 | 0.562 | C60              | 0.221 | 0.255 |
| B20              | 0.302 | 0.274 | M20              | 0.341 | 0.293 |
| B40              | 0.260 | 0.219 | M40              | 0.335 | 0.251 |
| B60              | 0.216 | 0.162 | M60              | 0.318 | 0.207 |

\* [R:赤, G:緑, B:青, Y:黄, C:シアン, M:マゼンタ;  
20:純度 20%, 40:純度 40%, 60:純度 60%]

実験光色は、LED 光源の三原色(赤・緑・青)とその補色(黄・シアン・マゼンタ)の 6 色相を基本とし、標準白色(W)から照明器具が発する各色相の最大純度の主波長色を 100%としたときの、それぞれ刺激純度 20%、40%、60%した 3 段階の色に、標準白色を加えた計 19 光色とした。本報での光色の表示は R: 赤, G: 緑, B: 青, Y: 黄, C: シアン, M: マゼンタ, 20: 純度 20%, 40: 純

度 40%, 60: 純度 60%としている。表 2-1 は実験に用いた光色の xy 色度値で、図 2-1 は実験光色の CIE 色度図にプロットした図である。

実験場所は東京大学工学部 1 号館地下 1 階光環境実験室で、色覚が正常な 20 代から 30 代の学生 22 名(男性 13 名, 女性 9 名)を被験者とした。評価項目(評定尺度)は文字を読む作業に対しての適正照度及び照度の許容範囲(上限値, 下限値), 適正照度での不快感(感じない・やや感じる・感じる・非常に感じる), 色味の変化(感じる・感じない)とした。実験日時は 2008 年 11 月 14 日から 11 月 26 日の期間である。

## 2.2 実験対象空間

本実験使用した LED 光源は DC24V 50W 高輝度 LED 光源(Color Kinetics 社:BL-003-6-WH) 1 台で、コンピューターで制御を行った。また光源の下にトレーシングペーパーを半円筒状に装着し、ムラがでないように工夫した。

実験装置は図 2-2 のように LED 照明を上部に取り付けた装置(W:600mm×D:300mm×H:600mm)を製作し、その内部を実験空間とした。実験装置の底面にモノクロ印刷資料(実験説明用紙)を 1 枚おいて、被験者は資料を見ながら照度を調光する。被験者の目から資料への距離を 45cm に一定に保てるように椅子の高さを調節した。

照度は水平面照度と鉛直面照度を測定した。水平面の測定点は置いた資料の上側、鉛直面の測定点は右側の板の下側である。

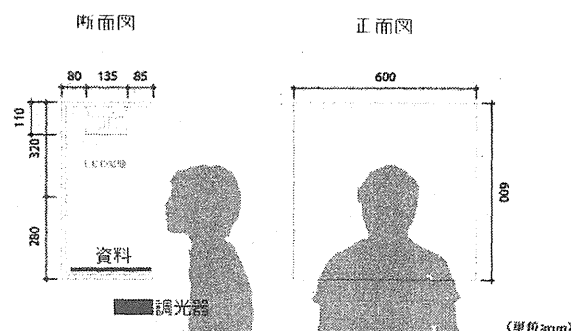


図 2-2 適正照度実験装置

## 2.3 実験手順

本実験で測定したのは、ある光色の場面で「文字を読む」という作業を行う際の適正照度と照度の許容範囲の上限値と下限値である。被験者は実験箱の中に置いてある資料を見て、自分がその色光環境の下で作業している場面を想定し、教示に指定された通りに調整法により調光する。調整法とは被験者に刺激を連続に与え、被験者が刺激の変化を観察しつつ調整を進める方法であり、調整する際は上昇系列と下降系列を使用し、一般的には得られた両結果を平均する。しかし適正照度、上限値、下

照度について、それぞれ上昇と下降系列を1回ずつ行った場合、実験の時間は長くなり、被験者の負担が大きくなる。そこで、本実験では、図2-3に示したように、各光色0 [lx]から①適正照度、②上限値、③適正照度、④下限値、⑤適正照度の順序で調光させるという方法を用いた。

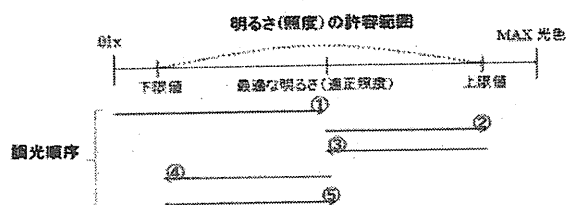


図 2-3 調光順序

## 2.4 実験結果

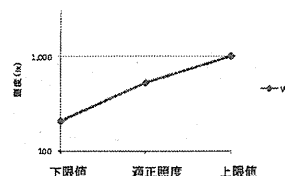
適正照度実験では被験者に下限値と上限値を一人1回ずつ、適正照度を1人3回ずつ調光させた、22人の平均値を表2-2に示す。下限値の結果で最も低いのはR60の145.4 [lx]、最も高いのはG20の223.0 [lx]であった。適正照度の中で最も低いのはR60の332.9 [lx]、最も高いのはC60の574.4 [lx]であった。上限値の中で最も低いのはR60の670.5 [lx]、最も高いのはC60の1097.1 [lx]であった。図2-4に示すように、黄色とシアンを除けば、純度が高いほど、求められる照度が高くなるという傾向が見られた。黄色とシアンは逆に純度60%の照度が最も低い結果が得られた。

適正照度での不快感評価結果を図2-5に示す。光色別に「不快と感じない」を評価した人数から見ると、人数の多い順からC20(22人)>W=B20=M20(21人)>Y20(20人)>C40(19人)>Y40(18人)>R20(16人)>G20=B40(14人)>M40(12人)>Y60(11人)>C60(7人)>R40=G40=B60=M60(4人)>R60=G60(1人)である。単色の結果から見ると、光色それぞれは純度60の色が最も不快と感じられたことになる。光色別でみると、特徴的なものは、非常に不快と感じた人が最も多いのは赤60の7人であり、またシアン20で被験者全員が不快と感じない」と評価している。

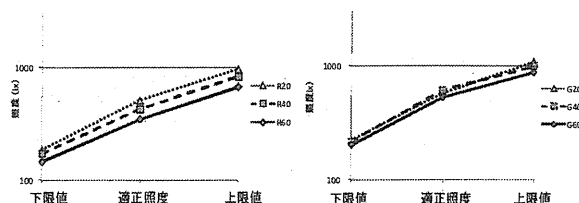
すべての光色で比較的高照度あるいは低照度に調光した被験者がいたため、実験結果の照度については、個人差を排除するために、被験者ごとに各色光における照度調整値と各自の白色光照度における調整値の比率を指標として使用した。結果を図2-6に示す。結果としては、R20、R40、R60の三つの測定値はすべて白色光より低かった。同じ赤味があるマゼンタも同じ傾向が示された。また色味が濃い光色での照度測定値は白色光と比べて低いという傾向が見られたが、C60では高い照度が得られた。

表 2-2 作業に対しての下限値・適正照度・上限値の平均値

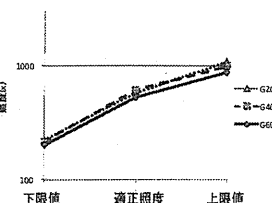
| 光色  | 下限値   | 適正照度  | 上限値    |
|-----|-------|-------|--------|
| W   | 208.1 | 494.9 | 1007.4 |
| R20 | 186.1 | 474.2 | 964.6  |
| R40 | 172.7 | 394.5 | 826.7  |
| R60 | 145.4 | 332.9 | 670.5  |
| G20 | 223.0 | 516.8 | 1079.9 |
| G40 | 217.5 | 562.9 | 982.3  |
| G60 | 202.7 | 480.3 | 874.0  |
| B20 | 173.3 | 468.9 | 1030.8 |
| B40 | 180.5 | 442.4 | 938.5  |
| B60 | 181.6 | 425.1 | 815.3  |
| Y20 | 183.8 | 461.5 | 960.4  |
| Y40 | 203.1 | 514.9 | 1025.8 |
| Y60 | 207.5 | 493.3 | 976.1  |
| C20 | 180.6 | 432.5 | 977.6  |
| C40 | 199.9 | 493.6 | 1006.9 |
| C60 | 217.0 | 574.4 | 1097.1 |
| M20 | 151.9 | 434.2 | 1006.3 |
| M40 | 151.7 | 436.6 | 948.1  |
| M60 | 133.4 | 354.1 | 727.8  |



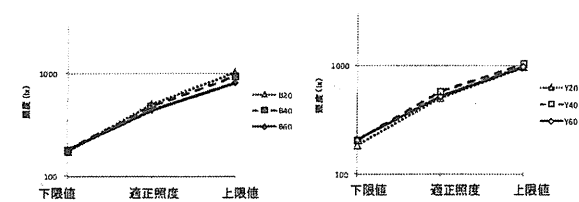
a. 白色(W)



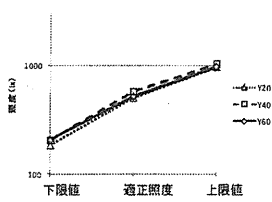
b. 赤色光(R)



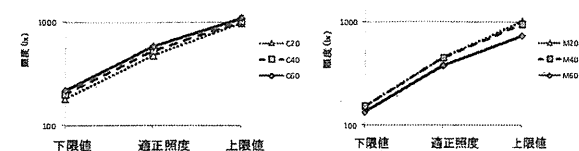
c. 緑色光(G)



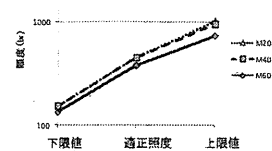
d. 青色光(B)



e. 黄色光(Y)



f. シアン光(C)



g. マゼンタ光(M)

図 2-4 作業に対しての下限値・適正照度・上限値の平均値

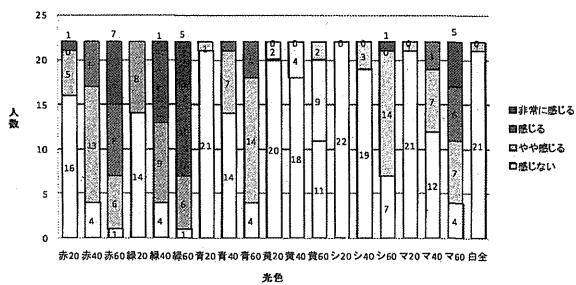


図 2-5 適正照度での不快感評価

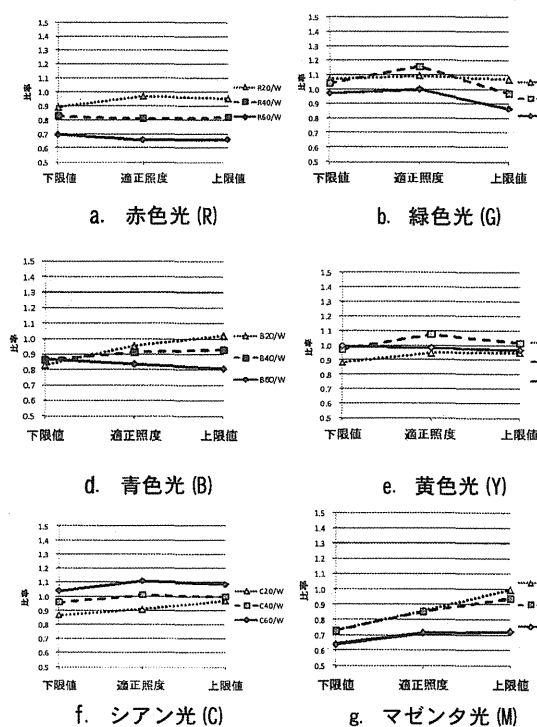


図 2-6 白色光照度との比率

次に各光色の適正照度の95%信頼区間を求めた、結果を表2-3に示す。最小値で最も高いのはG40の423.1 [lx]、最も低いのはR60の240.2 [lx]であった。最大値で最も高いのはC60の729.8 [lx]、最も低いのはG40の423.1 [lx]であった。日本工業規格照度基準によると、一般作業を行う事務室での作業面照度は300～750 [lx]であり、照明学会編の屋内照明基準によると、普通の視作業での照度範囲300～750 [lx]である。よって、既存の基準と本実験の結果を勘案し、本研究では推奨照度500 [lx]を設定した。本実験で得られた適正照度の95%信頼区間から見ると、M60を除き、この500 [lx]はすべての光色の信頼区間範囲に入っている。また、図2-7は作業に対しての上限値・適正照度・下限値の平均値及び適正照度の95%信頼区間を示した図である

照度の下限値・適正照度・上限値に対し、光色と被験者を因子とした二元配置分散分析を行った。その結果を表2-4に示す。すべての項目に有意差が見られた。またTukeyのHSD検定を行った結果、適正照度ではC60とG40がAグループとしてR60と有意に異なる。上限値ではC60・G20・M20・B20がAグループとしてR60と有意に異なる結果が得られた(図2-8)。

表 2-3 適正照度平均値の95%信頼区間

| 光色  | 最小値   | 最大値   |
|-----|-------|-------|
| W   | 359.3 | 630.4 |
| R20 | 350.9 | 597.4 |
| R40 | 284.7 | 504.3 |
| R60 | 240.2 | 425.6 |
| G20 | 394.4 | 639.1 |
| G40 | 423.1 | 702.7 |
| G60 | 354.7 | 605.9 |
| B20 | 348.0 | 589.7 |
| B40 | 333.0 | 551.8 |
| B60 | 312.3 | 538.0 |
| Y20 | 339.6 | 583.4 |
| Y40 | 378.5 | 651.3 |
| Y60 | 367.6 | 619.0 |
| C20 | 322.9 | 542.1 |
| C40 | 362.2 | 625.1 |
| C60 | 419.1 | 729.8 |
| M20 | 305.7 | 562.6 |
| M40 | 326.8 | 546.4 |
| M60 | 256.0 | 452.3 |

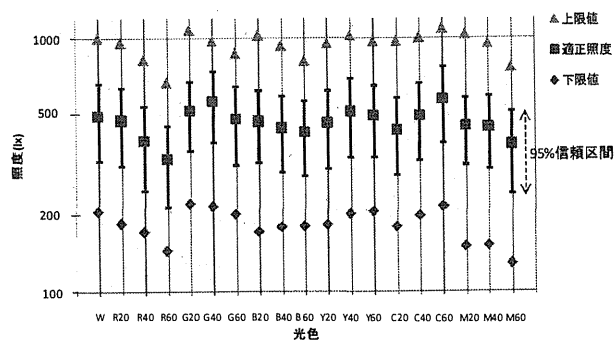


図 2-7 作業に対しての照度上限値・適正照度・下限値

表 2-4 光色と被験者による照度の二元配置分散分析

|      | 要因  | 自由度 | 平方和          | F 値   | p 値     |
|------|-----|-----|--------------|-------|---------|
| 下限値  | 光色  | 18  | 280585.25    | 1.78  | 0.03*   |
| 下限値  | 被験者 | 21  | 9710518.65   | 52.71 | <0.01** |
| 適正照度 | 光色  | 18  | 1390881.93   | 2.27  | <0.01** |
| 適正照度 | 被験者 | 21  | 34174699.00  | 47.78 | <0.01** |
| 上限値  | 光色  | 18  | 4794860.72   | 2.40  | <0.01** |
| 上限値  | 被験者 | 21  | 106864635.00 | 45.92 | <0.01** |

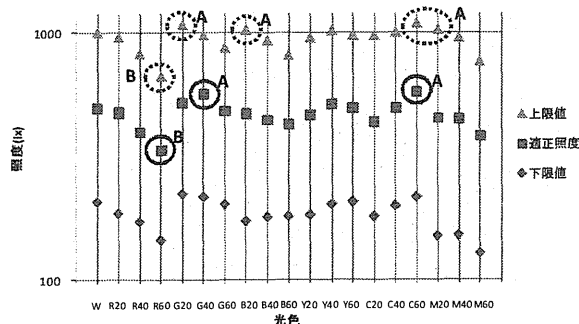


図 2-8 上限値・適正照度・下限値の平均値  
[\*グループ A と B は Tukey の HSD 検定によって有意差がある]

### 3. 実験 2—疲労・疲労感実験

#### 3.1 実験概要

予備実験と実験 1 の結果に基づき、光色の純度が高ければ高いほど不快を感じやすくなることが確認された。また各色で純度 3 段階の光色を設定した場合、1 つの光色に要する実験時間が長くなり、被験者への負担が大きくなる。そこで、実験 2 では、実験光色を LED 光源の三原色(赤・緑・青)とその補色(黄・シアン・マゼンタ)の 6 色相につき、それぞれ刺激純度 20%, 40% の 2 段階とし、標準白色を加え、実験の光色数を 13 光色とした。実験場所は東京大学工学部 1 号館地下 1 階光環境実験室で、色覚が正常な 20 代から 30 代の学生 10 名(男性 5 名、女性 5 名)を被験者とした。実験日時は 2009 年 4 月 14 日から 2009 年 4 月 30 日の期間で行った、照度は、実験 1—適正照度実験の結果で得られた 500 [lx] を使用することにした。

評価項目は 1) 疲労(生理データ): 視力, フリッカー値, 近点距離, 2) 作業効率, 3) 疲労感(自覚症状調べ), 4) 評定尺度法(RS 法)による質問項目: 色味, 快適性, 可読性, 明瞭性, である。

##### 1) 疲労(生理データ)

①視力: 視機能全般の疲労指標。近距離用標準精密視力表(日本点眼薬研究所製)を用いて、視距離 75cm で視力を測定した。

②フリッカー値: 精神性疲労指標。労研デジタルフリッカー値測定器: 柴田化学社の RDF-1 を用いて測定した。

③近点距離(近点距離計: 調節性疲労指標。KOWA 社の NP アコモドメーターを用いて測定した。

##### 2) 作業効率

数字検索による下線引き作業を被験者に行わせ、その正答率を作業効率とした。文字は 12 ポイント、字体は Century とした。

##### 3) 疲労感(自覚症状調べ)

自覚症状調べ調査票(日本産業衛生学会)を用いて疲労感の心理指標とする。ねむけ感, 不安定感, 不快感, だるさ感, ぼやけ感を構成する計 25 項目からなる。

#### 4) 評定尺度法(RS 法)

- ①色味: 「色味がある—色味がない」
- ②快適性: 「快適な—不快な」
- ③可読性: 「非常に読みやすい—非常に読みにくい」
- ④明瞭性: 「文字がはっきりしている—文字がぼんやりしている」

各評価語を 5 段階で評定する。

### 3.2 実験対象空間

本実験で使用した LED 光源は実験 1 と同様とし、実験空間は OA 家具のデスク

(W:1200mm×D:750mm×H:700mm)とパーティション 2 枚(H:1800mm×D:750mm)を用いて現実に近い作業空間を作った(図 3-1)。内面は白紙で均一に仕上げた。

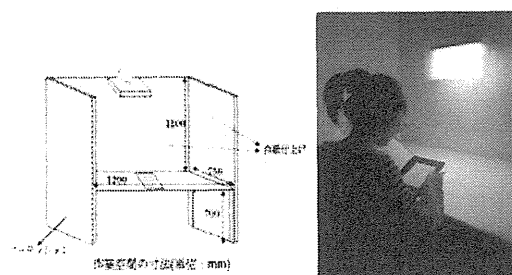


図 3-1 作業空間

### 3.3 実験手順

被験者に対しては、各実験光色の実験開始前に 1 分間暗順応を行わせた後、フリッカー値、近点距離、視力の生理データを測定し、自覚症状調べ調査票に記入させた。その準備が終了した後、本実験として 10 分間の作業を行わせる。作業の終了後、再度、自覚症状調べ調査票と評定尺度法の各項目を評定し、視力、フリッカー値、近点距離を測定する。

次の実験光色が始まる前には 10 分間暗順応をさせ、以上の手順を繰り返す(図 3-2)。光色間の順序効果の防止

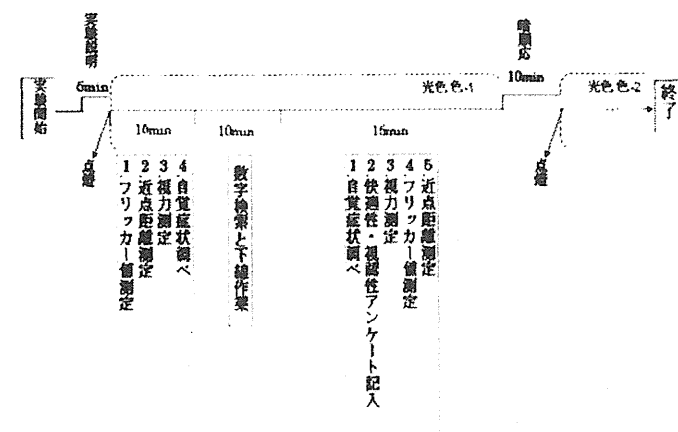


図 3-2 実験の流れ

と被験者の負担を考慮し、1人の被験者に対する実験は、1日最大、同じ光色の純度2段階までとし、計7回に分けて実験を行うこととした。また作業の順序効果を防ぐため光色の順番をランダムで提示するよう実験を配置した。

### 3.4 実験結果

#### 1) 生理データの結果

本実験では、フリッカー値、近点距離、視力を疲労に係わる生理データとして実験を行った。図3-3に作業前後のフリッカー値の変化状況を示す。フリッカー値は精神性疲労の指標の一つであり、作業後の減少は、精神性疲労が増加したこと示す。結果から見ると、G40のみ作業後フリッカー値が上昇し、これはやや濃い緑色が精神的に負担を与えていることを示している。一方R20は作業後のフリッカー値が最も上昇した色であり、赤色は精神的な疲労を低減する効果があると考えられる。図3-4に作業前後の近点距離の変化状況を示す。近点距離は調節性疲労の指標の一つであり、作業後に増加した場合、調節力に疲労を与えているものとされている。結果はG20のみ上昇した、これは淡い緑色が調節力に疲労を与えていることを示している。図3-5に作業前後の視力の変化を示す。視力についてはR20, R40, G20, G40, Y40, C40が作業後に増加し、W, B20, B40, Y20, M20が作業後に減少している。またM40は変化なしという結果が得られた。その中で最も減少したのはWであり、本実験では、白色光での作業は視機能の低下をもたらすと考えられる。

フリッカー値、近点距離と視力に対し、光色と被験者と作業前後を因子とした三元配置分散分析を行った。結果を表3-1に示す。ほぼ全部の要因に有意差があったが、近点距離に対する光色と作業前後の交互作用と、視力に対する作業前後だけに有意差が見られなかった。またフリッカー値前後差(後-前)、近点距離前後差(後-前)と視力比(後/前)に対して、光色と被験者を因子とした二元配置分散分析の結果では、近点距離前後差に対する光色に有意差が見られなかった(表3-2)。

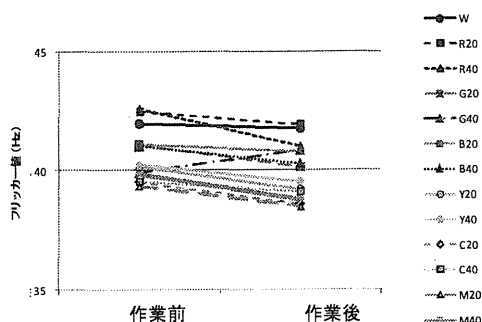


図3-3 作業前後フリッカー値

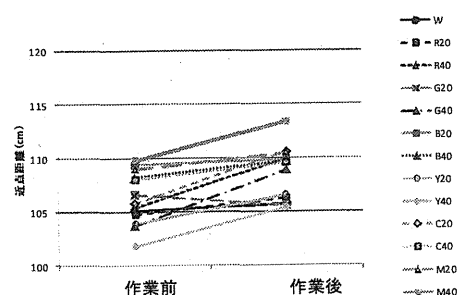


図3-4 作業前後近点距離

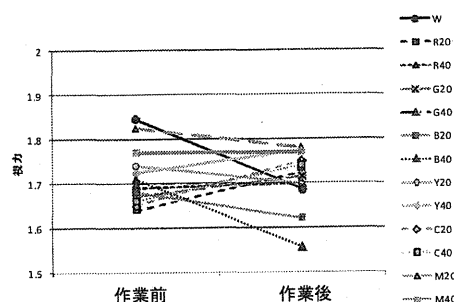


図3-5 作業前後視力

表3-1 作業前後・光色・被験者による生理データの分散分析

|        | 要因       | 自由度 | 平方和       | F 値      |
|--------|----------|-----|-----------|----------|
| フリッカー値 | 被験者      | 9   | 1596.08   | 229.13** |
| フリッカー値 | 光色       | 12  | 295.58    | 31.82**  |
| フリッカー値 | 作業前後     | 1   | 25.99     | 33.58**  |
| フリッカー値 | 被験者×光色   | 108 | 794.70    | 9.51**   |
| フリッカー値 | 被験者×作業前後 | 9   | 17.23     | 2.47*    |
| フリッカー値 | 光色×作業前後  | 12  | 21.30     | 2.29*    |
|        | 誤差       | 108 | 83.59     | 0.77**   |
| 近点距離   | 被験者      | 9   | 245642.54 | 986.53** |
| 近点距離   | 光色       | 12  | 1253.40   | 3.78**   |
| 近点距離   | 作業前後     | 1   | 362.50    | 13.10**  |
| 近点距離   | 被験者×光色   | 108 | 18032.91  | 6.04**   |
| 近点距離   | 被験者×作業前後 | 9   | 2138.70   | 8.59**   |
| 近点距離   | 光色×作業前後  | 12  | 214.35    | 0.65     |
|        | 誤差       | 108 | 2987.95   | 27.67**  |
| 視力     | 被験者      | 9   | 21.65     | 217.03** |
| 視力     | 光色       | 12  | 0.56      | 4.21**   |
| 視力     | 作業前後     | 1   | 0.00      | 0.28     |
| 視力     | 被験者×光色   | 108 | 3.73      | 3.11**   |
| 視力     | 被験者×作業前後 | 9   | 0.14      | 1.41*    |
| 視力     | 光色×作業前後  | 12  | 0.42      | 3.18**   |
|        | 誤差       | 108 | 1.20      | 0.01**   |

表3-2 光色と被験者による生理データ前後差の分散分析

|                | 要因  | 自由度 | 平方和      | F 値    |
|----------------|-----|-----|----------|--------|
| フリッカー値前後差(後-前) | 被験者 | 9   | 34.46123 | 2.47*  |
| フリッカー値前後差(後-前) | 光色  | 12  | 42.60431 | 2.29*  |
| 近点距離前後差(後-前)   | 被験者 | 9   | 4277.392 | 8.59** |
| 近点距離前後差(後-前)   | 光色  | 12  | 428.7077 | 0.65   |
| 視力比(後/前)       | 被験者 | 9   | 0.174019 | 2.61** |
| 視力比(後/前)       | 光色  | 12  | 0.249938 | 2.81** |

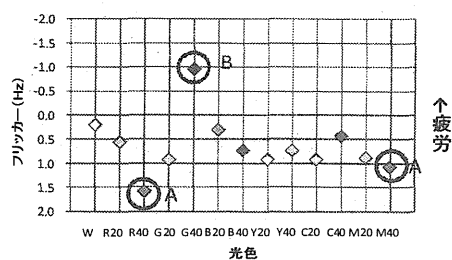


図 3-6 光色別のフリッカー値 (後-前)

[\*グループ A と B は Tukey の HSD 検定によって有意差がある]

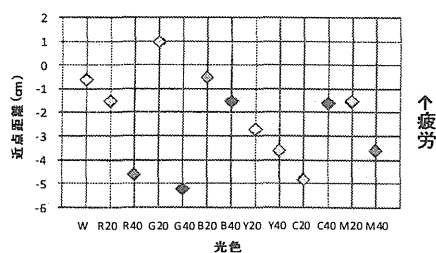


図 3-7 光色別の近点距離 (後-前)

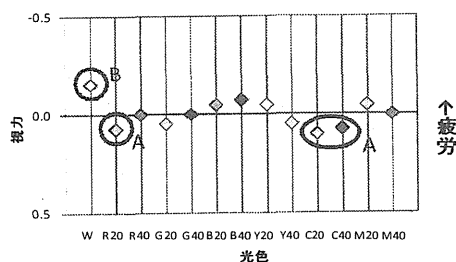


図 3-8 光色別の視力比 (後/前)

[\*グループ A と B は Tukey の HSD 検定によって有意差がある]

さらに Tukey の HSD 検定によると、フリッカー値では R40 と M40 のグループ(A)と G40(B)に有意差が認められた。作業後最も疲労をもたらした光色は G40 となった(図 3-6)。近点距離の結果は光色による有意差が得られなかったが、作業後最も調節性疲労をもたらした光色は G20 であった(図 3-7)。視力は W と B40 のグループ(A)と C20(B)に有意差が見られ(図 3-8)、作業後最も視機能の低下をもたらした光色は W となった。これらは前述の結果と整合している。

## 2) 作業効率の結果

本実験で行った作業は数字検索による下線引き作業である。紙面に数字 3, 8, 5 の組み合わせがあり、383 あるいは 353 のように 2 つの 3 の間に 1 つの 5 または 8 をはさんだ 3 数字の組み合わせを検索し、後ろの 3 に下

線を引くという作業である(図 3-9)、作業効率はこの作業の正答率である。

本実験は一回の実験時間を短縮するため、一回の実験は 1 色相、最大 2 色まで行う設定にした。なお、本分析に限り被験者数は 6 名<sup>注 1)</sup>とした。その結果、光色による作業効率の有意差が見られなかったが(表 3-3)、最も作業効率が低かったのは Y20 である(図 3-10)。

5383583538538353835538338355383353835385385358353835  
8835853583358353835383538353835383538353853835388353835  
38835835383835383538353858538538353835383538535383538  
353835383538835383538353883583538383538353858538538353  
83538353883583538383538353858538538353835835383538  
3538353835383538353883538353883583538383538353858538

図 3-9 作業は数字検索と下線作業の解答の一部抜粋

表 3-3 作業効率の光色差

|      | 要因  | 自由度 | 平方和  | F 値  | p 値     |
|------|-----|-----|------|------|---------|
| 作業効率 | 光色  | 12  | 0.00 | 1.01 | 0.45    |
| 作業効率 | 被験者 | 5   | 0.01 | 7.43 | <0.01** |

[\*被験者 6 名<sup>注 1)</sup>]

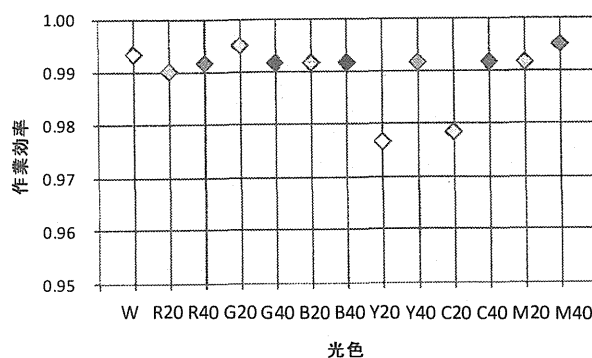


図 3-10 光色別の作業効率 [\*被験者 6 名<sup>注 1)</sup>]

## 3) 自覚症状調べ調査票の結果

自覚症状調べ調査票のスコアに対し、作業前後を因子として分散分析を行った結果、5 群とも合計点数で作業前後に有意差が見られた(表 3-4)。また光色と被験者による自覚症状調べ調査票スコア前後差の二元配置分散分析を行った結果、各群と合計とも有意差が見られなかったが(表 3-5)、図 3-11 に示すように、前後の差が最も大きく、この場合、最も疲労感をもたらしやすい光色は R40 だった。

## 4) 評定尺度法の結果

本実験では、色味、快適性、可読性、明瞭性を評定尺度

表 3-4 自覚症状調べ調査票の作業前後差

| 群別    | 自覚症状調べ評価項目    | 平方和    | F 値     |
|-------|---------------|--------|---------|
| I 群   | 10-あくびが出る     | 0.87   | 1.15    |
|       | 13-ねむい        | 2.80   | 3.05    |
|       | 14-やる気がとぼしい   | 3.02   | 9.84**  |
|       | 17-全身がだるい     | 3.70   | 10.53** |
|       | 21-横になりたい     | 5.27   | 8.51**  |
| II 群  | ねむけ感合計        | 73.25  | 7.88**  |
|       | 2-いらいらする      | 3.02   | 8.31**  |
|       | 5-おちつかない気分だ   | 1.54   | 4.46**  |
|       | 15-不安な感じがする   | 0.25   | 2.10    |
|       | 18-ゆううつな気分だ   | 0.14   | 1.33    |
| III 群 | 20-考えがまとまりにくい | 3.94   | 9.38**  |
|       | 不安定感合計        | 33.98  | 8.88**  |
|       | 1-頭がおもい       | 6.47   | 12.46** |
|       | 4-気分がわるい      | 2.40   | 9.60**  |
|       | 6-頭がいたい       | 10.00  | 20.33** |
| IV 群  | 9-頭がぼんやりする    | 7.11   | 14.68** |
|       | 12-めまいがする     | 5.55   | 18.60** |
|       | 不快感合計         | 150.78 | 24.15** |
|       | 8-肩がこる        | 31.85  | 35.93** |
|       | 11-手や指がいたい    | 7.79   | 24.29** |
| V 群   | 19-腕がだるい      | 13.39  | 23.75** |
|       | 23-腰がいたい      | 2.03   | 7.05**  |
|       | 25-足がだるい      | 1.70   | 8.58**  |
|       | だるさ感合計        | 219.70 | 28.55** |
|       | 3-目がかわる       | 27.14  | 28.58** |
| V 群   | 7-目がいたい       | 29.78  | 33.94** |
|       | 16-ものがぼやける    | 11.22  | 18.91** |
|       | 22-目がつかれる     | 53.55  | 58.19** |
|       | 24-目がしょぼつく    | 35.45  | 41.27** |
|       | ぼやけ感合計        | 744.62 | 46.27** |

表 3-5 光色と被験者による自覚症状調べの二元配置分散分析

|             | 要因  | 自由度 | 平方和  | F 値     |
|-------------|-----|-----|------|---------|
| ねむけ感合計(後-前) | 被験者 | 9   | 241  | 13.84** |
| ねむけ感合計(後-前) | 光色  | 12  | 26   | 1.13    |
| 不安定感合計(後-前) | 被験者 | 9   | 175  | 15.08** |
| 不安定感合計(後-前) | 光色  | 12  | 16   | 1.02    |
| 不快感合計(後-前)  | 被験者 | 9   | 452  | 29.66** |
| 不快感合計(後-前)  | 光色  | 12  | 26   | 1.26    |
| だるさ感合計(後-前) | 被験者 | 9   | 548  | 55.83** |
| だるさ感合計(後-前) | 光色  | 12  | 8    | 0.64    |
| ぼやけ感合計(後-前) | 被験者 | 9   | 812  | 22.80** |
| ぼやけ感合計(後-前) | 光色  | 12  | 35   | 0.73    |
| 自覚症状前後差合計   | 被験者 | 9   | 8989 | 59.67** |
| 自覚症状前後差合計   | 光色  | 12  | 191  | 0.95    |

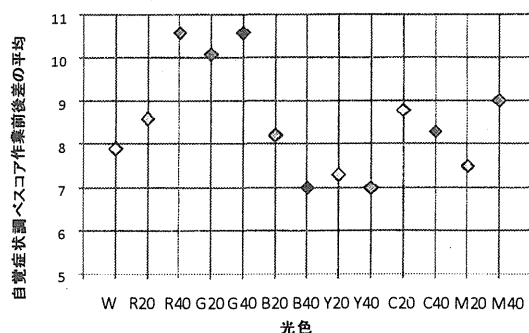


図 3-11 自覚症状調べ作業前後差の平均

法で評価した、その結果、色味と快適さには、光色で有意差が見られたが、可読性、明瞭性には有意差が見られなかった(表 3-6)。

表 3-6 評価の光色別差

|     | 要因  | 自由度 | 平方和    | F 値     |
|-----|-----|-----|--------|---------|
| 色味  | 光色  | 12  | 81.12  | 4.90**  |
| 色味  | 被験者 | 9   | 97.72  | 7.88**  |
| 快適性 | 光色  | 12  | 31.92  | 1.89    |
| 快適性 | 被験者 | 9   | 94.18  | 7.45**  |
| 可読性 | 光色  | 12  | 24.00  | 1.19    |
| 可読性 | 被験者 | 9   | 107.11 | 7.07**  |
| 明瞭性 | 光色  | 12  | 27.72  | 1.77    |
| 明瞭性 | 被験者 | 9   | 183.15 | 15.55** |

色味の結果、Tukey の HSD 検定によって R40, G40(A) と W(B)は有意に異なることが確認された(図 3-12)、すなわち、G40 と R40 が最も色味を感じられた光色、W は最も色味を感じられなかった光色となった。

快適性は光色で有意差が見られたが( $p < 0.05$ )、Tukey の HSD 検定ではグループに分けることはできなかった。最も不快と感じられた光色は R40 で、最も不快ではない光色は B20 であった(図 3-13)。

快適性については、Tukey の HSD 検定によるとすべての光色が同一グループになったが、各光色ペアで Student の t 検定を行った結果、B40 と R40 は 1% 有意であり、W と R40, Y20 と R40, Y40 と R40, B20 と M40, B20 と G20 は 5% 有意であった(表 3-7)。

可読性の評価の結果では、各光色ペアで Student の t 検定を行った結果、最も読みやすい光色 B20 と最も読みにくい光色は G40 は 5% 有意であった(図 3-14)。一方、明瞭性評価の結果では、最も読みやすい光色は B20、最も読みにくい光色は G40 であった(図 3-15)。

表 3-7 評価尺度結果の光色ペアの student の t 検定

| 評価項目 | 光色ペア |     | 差   | 差の標準誤差 | t 値    |
|------|------|-----|-----|--------|--------|
| 快適性  | B20  | R40 | 1.7 | 0.65   | 0.01** |
|      | W    | R40 | 1.5 | 0.65   | 0.02*  |
|      | Y20  | R40 | 1.4 | 0.65   | 0.03*  |
|      | Y40  | R40 | 1.3 | 0.65   | 0.05*  |
|      | B20  | M40 | 1.3 | 0.65   | 0.05*  |
|      | B20  | G20 | 1.3 | 0.65   | 0.05*  |
| 可読性  | B20  | G40 | 1.6 | 0.70   | 0.02*  |

## 5) 因子分析

生理データ、作業効率、自覚症状調べ、評価尺度法を用いて疲労・疲労感実験を行った。結果として、それぞれの項目毎に得られた光色の結果には違いが見られた。よって、評価項目間の関係性を確認するため、実験データに因子分析を行った。主因子法で、Varimax 回転を行い、固有値が 1 以上の 4 因子を抽出した。この因子分析



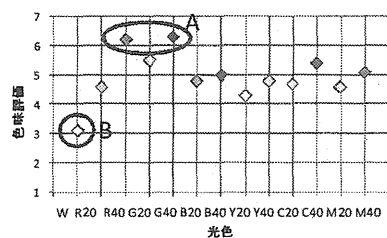


図 3-12 光色別の色味評価

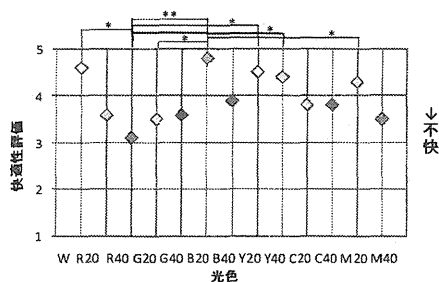


図 3-13 光色別の快適性評価

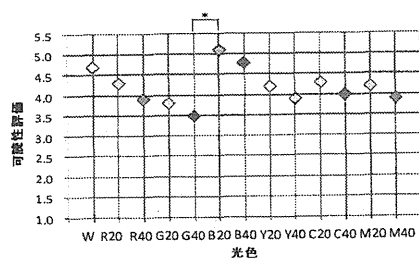


図 3-14 光色別の可読性評価

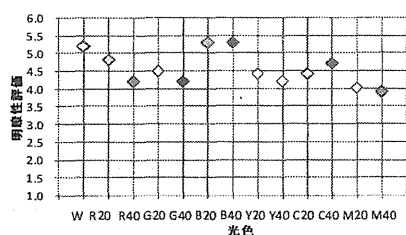


図 3-15 光色別の明瞭性評価

の結果を表 3-8 に示す。因子 1 は「作業効率と自覚症状調べ混合」、因子 2 は「快適性+可読性+明瞭性混合」、因子 3 は「近点距離+色味混合」、因子 4 は「フリッカー値+視力混合」の因子となった。それぞれの評価項目の多少の関連性が明らかになった。なお図は省略するが、累積寄与率が 80 以上とした場合の結果は 6 因子に分けられ、因子としては、「自覚症状調べ単独」、「快適性+可読性+明瞭性混合」、「近点距離単独」、「作業効率+視力混合」「色味単独」「フリッカー値単独」と各評価項目の独立性が高くなっている。よって、本実験で行われた

評価項目は総じて独自で検討することが可能と判断した。

表 3-8 因子分析 (4 因子)

|                | 因子 1  | 因子 2  | 因子 3  | 因子 4  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 作業効率           | -0.56 | -0.14 | -0.05 | 0.16  |
| フリッカー値前後差(後-前) | -0.02 | 0.08  | 0.07  | 0.67  |
| 近点距離前後差(後-前)   | -0.16 | 0.12  | 0.79  | 0.15  |
| 視力前後差(後-前)     | -0.03 | -0.14 | -0.11 | 0.78  |
| 色味             | -0.02 | 0.15  | -0.72 | 0.17  |
| 快適性            | -0.16 | 0.83  | -0.13 | -0.13 |
| 可読性            | -0.08 | 0.90  | -0.04 | -0.05 |
| 明瞭性            | -0.01 | 0.87  | -0.10 | 0.11  |
| ねむけ感合計(後-前)    | 0.81  | 0.03  | -0.18 | -0.04 |
| 不安定感合計(後-前)    | 0.81  | -0.10 | 0.05  | 0.16  |
| 不快感合計(後-前)     | 0.88  | -0.13 | -0.01 | 0.06  |
| だるさ感合計(後-前)    | 0.64  | -0.46 | -0.12 | -0.02 |
| ばやけ感合計(後-前)    | 0.76  | -0.29 | -0.12 | -0.10 |
| 寄与率            | 26.59 | 20.53 | 9.60  | 9.28  |
| 累積寄与率          | 26.59 | 47.13 | 56.73 | 66.01 |

#### 4. 考察

実験 1, 実験 2 における全評価項目に対し、判断基準注 2)を設定し、光色別に作業への良否を表 4-1 にまとめた。記号としては、◎：良、○：やや良、△：やや否、×：否とした。光色別で検討すると、白色は快適性が高く、フリッカー値の結果から見ると精神性疲労が高い色であり、視力も低下する結果が得られた。淡い赤色(R20)では精神性疲労が減少する傾向が見られ、視力も上昇する傾向が見られた。やや濃い赤色(R40)では、快適性は低く疲労感も高いが、反対に精神性疲労を低減する効果が見られた。淡い緑色(G20)では、快適性が低い(やや不快)光色となる。また調節性疲労を起こしやすい光色であるが、精神性疲労を低減する効果、視力を上昇させる効果と作業効率を上昇させる効果がある傾向が見られた。やや濃い緑色(G40)では、可読性が低く(読みにくい)、精神性疲労を低下する結果が得られた。また調節性疲労を低下させ視力を上昇させる傾向も見られた。淡い青色(B20)では快適性が高く、可読性も高かった(読みやすい)。やや濃い青色(B40)では、視力を低下させる傾向があったが、精神性疲労の低減、疲労感の低減、可読性、明瞭性が高い傾向が見られた。淡い黄色(Y20)は快適性が高く、精神性疲労を低減する傾向、また視力と作業効率を低下させる傾向が見られた。やや濃い黄色(Y40)では、精神性疲労を低減する傾向、また視力を上昇させる効果と疲労感を起こしにくい傾向が見られた。淡いシアン(C20)では、視力を上昇させる効果、精神性疲労を減少させる傾向も見られた。作業効率は低下する傾向が見られた。やや濃いシアン(C40)には精神性疲労を低減する傾向と視力を向上させる傾向が見られた。淡いマゼンタ(M20)では、精神性疲労を減少させ、作業効

率を上昇させる傾向が見られた。やや濃いマゼンタ(M40)では、快適性が低い(不快)傾向や、可読性も低い(読みづらい)傾向があるが、精神性疲労を低減する効果が見られた、また視力を低下させる傾向が見られた。

黄色、青色、シアンは、総じて赤、マゼンタ、緑より完全放射体軌跡に近い光色と言える。快適性、自覚症状調べ、可読性、明瞭性の結果によると、黄色、青色、シアンは、比較的高評価だったが、視力、作業効率、フリッカー値の結果では、逆に赤、マゼンタ、緑のほうが高評価だった。このように、心理的評価と生理的評価とは異なる面があることが示された。

表 4-1 において、各評価項目の中で1つでも◎、○と評価された光色から、各評価項目の中で×と判定された光色あるいは△が2つ以上ある光色を除くという条件に符合した光色は B20, Y40, M20, C40, C20, R20 であった。これらの光色をよって総合的に判断すると、純度が高くなると否となるが、白色よりは多少色味(緑色を除く)がある淡い光色が良と評価されていることが分かる。すなわち総じて緑色の成分が否と評価されることが示唆された。

よって本研究では、これらの光色を作業に適切な光色として提案する。

表 4-1 実験結果による光色の良否

| 光色  | 快適性                    |                        | 疲労感            |          |    |                                     | 作業効率 | 可読性               | 明瞭性               |
|-----|------------------------|------------------------|----------------|----------|----|-------------------------------------|------|-------------------|-------------------|
|     | 実験 1<br>(RS 法<br>4 段階) | 実験 2<br>(RS 法<br>5 段階) | フリ<br>ッカ<br>ー値 | 近点<br>距離 | 視力 | 自覚<br>症状<br>調べ<br>(RS<br>法 5<br>段階) | -    | (RS<br>法 5<br>段階) | (RS<br>法 5<br>段階) |
| W   | ◎                      | ○                      | △              |          | ×  |                                     |      |                   |                   |
| R20 | ○                      |                        | ○              |          | ○  |                                     |      |                   |                   |
| R40 |                        | ×                      | ◎              |          | ○  | △                                   |      |                   |                   |
| R60 | ×                      | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |
| G20 | ○                      | △                      | ○              | △        | ○  |                                     | ○    |                   |                   |
| G40 |                        |                        | ×              | ○        | △  | △                                   |      | ×                 |                   |
| G60 | △                      | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |
| B20 | ◎                      | ◎                      |                |          | △  |                                     |      | ◎                 | ○                 |
| B40 | ○                      |                        | ○              |          | ×  | ○                                   |      |                   | ○                 |
| B60 |                        | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |
| Y20 | ◎                      | ○                      | ○              |          | △  |                                     | △    |                   |                   |
| Y40 | ○                      | ○                      | ○              |          | ○  | ○                                   |      |                   |                   |
| Y60 | ○                      | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |
| C20 | ◎                      |                        | ○              |          | ◎  |                                     | △    |                   |                   |
| C40 | ◎                      |                        | ○              |          | ○  |                                     |      |                   |                   |
| C60 |                        | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |
| M20 | ◎                      |                        | ○              |          | △  |                                     | ○    |                   |                   |
| M40 | ○                      | △                      | ◎              |          | △  |                                     |      |                   | △                 |
| M60 | △                      | -                      | -              | -        | -  | -                                   | -    | -                 | -                 |

◎：良，○：やや良，△：やや否，×：否

## 5. 補足実験-LED と蛍光ランプとの色味比較

実験 1, 実験 2 では、LED 光源を対象に光色のあり方を検討してきたが、補足実験として、LED 光源の光色と従来からの光源の光色の比較を行った。従来からある光源の中で多様な光色が用意されているのは蛍光ランプであり、また実験の手続き上、発生熱がある白熱電球は比較対象と設定しにくいという条件を勘案し、LED 光源と蛍光ランプの光色との比較実験を行った。

### 5.1 実験概要

実験は、東京大学工学部 1 号館建築専攻視環境実験室で、平成 21 年 6 月 3 日～6 月 17 日の期間に実施した。被験者は 20 代～30 代の大学院生 18 名(女性 7 名、男性 11 名)を対象とした。実験室の環境は、色と外部の光の影響を避けるため、白色の遮光カーテンで囲まれた空間(2.7m×2.7 m)の中に 2 個の実験箱を置いて実験を行った。室温、騒音、湿度はほぼ一定に維持するように調整した。実験装置は実験箱(600mm×300mm×600mm)2 個を製作して、それぞれの実験箱の内部の上に光源を設置した。また、本実験では、抽象的な空間での感じ方を把握するため、実験箱の内部を覗く際の距離感をなくすように箱の内部に白色度 85%以上の白色ケント紙を半円形に曲げて装着した(図 5-1)。

実験で用いられる光源については、蛍光ランプは 3 波長形蛍光ランプの 3 色(昼光色 FL10EX-L-B, 昼白色, FL10EX-N-A, 電球色 FL10EX-D-A, 日立製), LED 照明は、DC24V 50W 高輝度 LED 光源(COLOR KINETICS 社, BL-003-WH)で、コンピュータで制御できるように設置した。

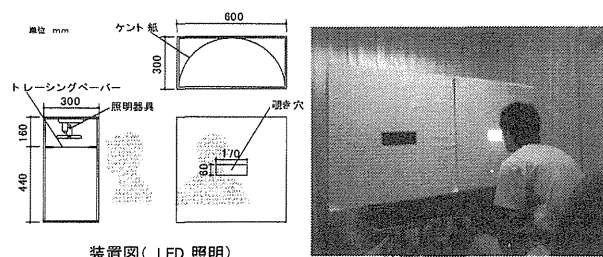


図 5-1 実験 1 の実験用装置と実験風景

### 5.2 実験設定

実験条件は、蛍光ランプの各色温度から測定(MINOLTA 色彩照度計 CL-200)した xy 値、色温度、照度をパソコン制御により LED 照明と合わせた(表 5-1)。実験の手順としては、最初に実験の説明をし、環境適応後、1 分観察と 1 分休息を 6 回繰り返し行った。光色の提示順序はランダムにした。また、色味、まぶしさ、目の疲労感、熱の評価項目に対して、順序尺度による 4 段階の評価語(感じない～非常に感じる)を設定した。

表 5-1 蛍光ランプと LED 照明の測定値

| 光源    | 光色の種類 | xy 値  |       | 色温度 (K) | 照度 (lx) |
|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
|       |       | x     | y     |         |         |
| 蛍光ランプ | 昼光色   | 0.340 | 0.361 | 5354    | 1250    |
|       | 昼白色   | 0.367 | 0.376 | 4426    | 1200    |
|       | 電球色   | 0.451 | 0.407 | 2860    | 1210    |
| LED   | 昼光色近似 | 0.341 | 0.361 | 5383    | 1250    |
|       | 昼白色近似 | 0.367 | 0.377 | 4434    | 1200    |
|       | 電球色近似 | 0.451 | 0.407 | 2851    | 1200    |

### 5.3 実験結果

各評価項目に対して、光色別、色温度別に評価値の平均を求めてまとめた結果を図 5-2 に示す。また、蛍光ランプと LED 照明のデータに対して t 検定を行った。その結果、まぶしさ、目の疲労感、熱に対して、両光源の平均値はほぼ等しく有意差（有意水準 5%）は認められなかった。しかし、色味の項目では昼光色と昼白色の場合に、有意差（有意水準 5%）が認められた。

この結果によると、色味の場合に白色系の光色に対して LED 光源の方で少し色味を感じているが、総じて被験者は光源の違う蛍光ランプと LED 光源に対して、その差をあまり感じていないと考えられる。

0：感じない 1：やや感じる 2：感じる 3：非常に感じる

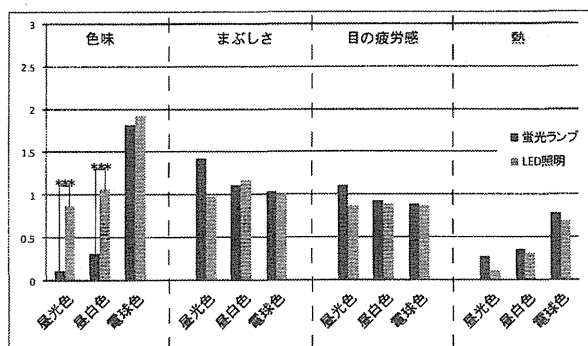


図 5-2 光源別、色温度別の評価結果の比較

### 5.4 考察

補足実験の結果、LED 光源と蛍光ランプとの差はほとんどなく、「4. 考察」については LED 光源だけでなく、蛍光ランプを含めた従来型光源に対しても適用可能だと考えられる。

#### <注>

注1) 1 回の実験は 1 色相、最大 2 色まで行う設定で、光色間の影響(補色の影響など)はないと判断し、当初の被験者 4 名の実験光色順序はすべて同じとした。ただ、作業効率については、慣れにより、順序効果が発生し、4 名とも最初に行った光色 W での作業効率が最も低かった。よって、作業効率の結果については 4 名を除いて検討した。

注2) 評価項目に対し、光色と被験者による二元配置分散分析を

行う。二元配置分散分析に 5% 有意差ありの場合、Tukey の HSD 検定を行う。二元配置分散分析に 5% 有意差なしの場合、t 検定を行う。また Tukey の HSD 検定の結果、5% 有意差なしの場合も t 検定を行う。Tukey の HSD 検定で 5% 有意差ありの場合、および Tukey の HSD 検定で 5% 有意差なしだが、t 検定で 5% 有意差ありの場合、有意に評価が高かった光色群を◎、有意に評価が低かった光色群を×、と評定した。さらに◎あるいは×と判定された光色に対して 5% 有意差ありの光色で、評価が高かった光色を○、評価が低かった光色を△、と評定した。二元配置分散分析で 5% 有意差なしだが、t 検定で 5% 有意差ありの場合、有意に評価が高かった光色群を◎、有意に評価が低かった光色群を×、と評定した。二元配置分散分析、および t 検定で 5% 有意差なしの場合は、最も評価が高かった光色を○、最も評価が低かった光色を△、と評定した。なおこの手順は必ずしも一般的なものではないが、各光色の評価結果を明快にすること、および判断基準としての統一性を優先させ、以上のような検定の組み合わせによる手続きを導入した。

#### <参考文献>

- 1) 尹仁, 堀越哲美, 宮本征一: 蛍光ランプの異なる色温度が明るさ知覚に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, No. 489, pp. 11-16, 1996.11
- 2) 尹仁, 堀越哲美, 宮本征一, 加藤伯彦, 水谷章夫: 異なる光源から発する光の分光分布と輝度レベルの変化が明るさ知覚に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, No. 500, pp. 9-14, 1997.10
- 3) 謝明輝, 宗方淳, 平手小太郎: 光色の違いが明るさ感に与える影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 588, pp. 15-20, 2005.2
- 4) 謝明輝, 宗方淳, 平手小太郎: 光色の違いがグレア感の評価と許容度に与える影響に関する研究, 照明学会誌, Vol. 89, pp. 788-793, 2005.11
- 5) 堀越哲美, 大嶺美帆: 色温度と照度による明るさの快適範囲の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 395-396, 1997.7
- 6) 武田紀子, 堀越哲美, 田中稲子, 鈴木健次, 長野和雄: 照度と色温度による室内光環境の快適範囲の検討: 既報実験データのとりまとめ, D-1, 環境工学 I, pp. 513-514, 2007.7
- 7) 中村肇, 唐沢宜: 照度・色温度と雰囲気気の好ましさの関係, 照明学会誌, Vol. 81, pp. 687-694, 1997.8
- 8) 高橋啓介: 照明の色温度と照度とが室内環境評価に及ぼす効果, 医療福祉研究, Vol. 2, pp. 30-36, 2006
- 9) 村上幸, 秋月有紀, 井上容子: 読書における適正照度に関する検討(その 4): 色温度の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 335-336, 1998.07
- 10) 清水規裕, 斎藤友幸, 福本一朗: 色光環境制御による精神疲労低減効果の研究, 長岡技術科学大学研究報告, vol. 25, pp. 87-91, 2003.02
- 11) 佃光史, 福多佳子, 田村明弘: 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 環境工学 I, pp. 237-238, 2006.07
- 12) 李東起, 江欣宸, 平手小太郎: 建築空間における LED 照明の光色が色味と不快感に与える影響も関する基礎的研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 639, pp. 11-16, 2009.5
- 13) 日本工業規格: JISZ9110-1979 照度基準
- 14) 照明学会編: 照明ハンドブック, オーム社, 2006
- 15) Navvab, M.: A comparison of visual performance under high

and low color temperature fluorescent lamps, Proceedings of 2000 IESNA Annual Conference, pp. 359-366, 2000

- 16) 坂座真忠明, 小崎智照, 安河内朗: 異なる色光が瞳孔の反応に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, vol. 9, pp.40-41, 2004.10
- 17) 李花子, 勝浦哲夫, 岩永光一, 下村義弘, 東洋邦, 一條隆: 単波長の光曝露に対する生理反応, 日本生理人類学会誌 Vol.13 No.2, pp.75-83, 2008.05
- 18) Morita T, Tokura H.: The influence of different wavelengths of light on human biological rhythms, Applied human science, vol. 17, No. 3, pp. 91-6, 1998.03
- 19) 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, Vol. 91, No. 10, pp. 655-658, 2007.10