

複数の小光源によるまぶしさと不快感に関する研究

中村 怜衣那

1. はじめに

現在、省エネ意識の高まりや技術の進歩により LED 照明の普及が進んでいる。LED 素子は非常に小さく、一般照明として LED を使用するためには複数の LED を集積して配列する必要がある。高輝度な小光源である LED で構成されたこのような光源は従来の均一な輝度をもつ光源と異なるため、不快グレアが生じることが懸念されている。しかし、従来のグレア評価指標である UGR には適用範囲があり、非常に小さい光源や輝度分布が不均一の光源に対しては適用できない¹⁾。そこで、複数の小光源によるまぶしさや不快感の特性を明らかにすることが必要である。

LED による不快グレアに関する既往の研究で、LED 素子を配列した光源は均一輝度光源と比べてグレアを感じやすいことがわかっているが、素子の間隔や配置の違いによるグレアへの影響は明らかにされていない。

そのため本研究では、複数の小光源によるグレアの特性を調べることを目的とし、小光源の密度、配置、集合全体の大きさを変化させた 3 つの実験を行った。また、実験で得られたデータと UGR による予測値の比較を行い、その適用性を検討した。

2. 実験 1：小光源の密度と不快グレア評価の関係

実験 1 ではマトリクス状に均等に配列した小光源の密度とグレア評価の関係を調べた。

2-1. 実験装置

実験は九州大学構内の暗室に実験装置を作成して行った。図 1 に実験装置を示す。被験者と光源の間に $600 \times 710 \times 600$ mm の箱を設置した。箱の被験者側の面には観測用の窓を、光源側の面には 250×250 mm の光源用の窓を設けた。観測距離は 710 mm である。光源側の窓には穴を開けたイラストレーションボードにトレーシングペーパーを貼ったものを外側から設置し、後ろから 150 W のメタルハライドランプで照射することにより小光源とした。箱内部の輝度は LED 電球によって約 16 cd/m^2 に設定した。

2-2. 実験条件

図 2 に実験で用いる小光源を示す。穴の直径は 3 mm

で、中心間隔は 20 mm、10 mm、5 mm の 3 種類とする。T.Kasahara らの実験において直視と 10° でグレア感に大きな差が生じたため、光源全体の大きさを上下 10° 視野とした²⁾。明るさの条件は表 1 に示す 16 条件である。小光源の間隔が狭いほど小光源全体から得られる光量が増加してしまうため、眼前照度が同一になるようにトレーシングペーパーの枚数で小光源の輝度を設定した。よって同一眼前照度の場合、光源間隔が小さいほど 1 点の輝度は小さくなる。小光源 1 点の輝度を表 2 に示す。光源の色温度はトレーシングペーパーの枚数により変動し、約 3450 K ~ 3700 K であった。

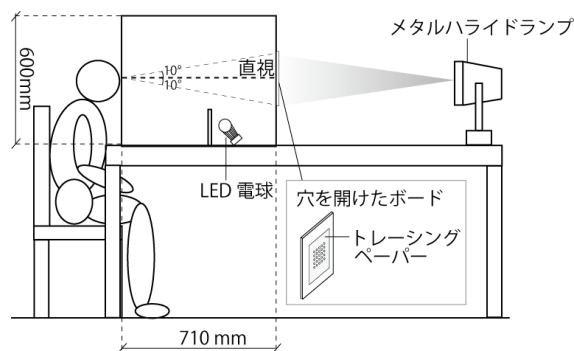


図 1 実験装置

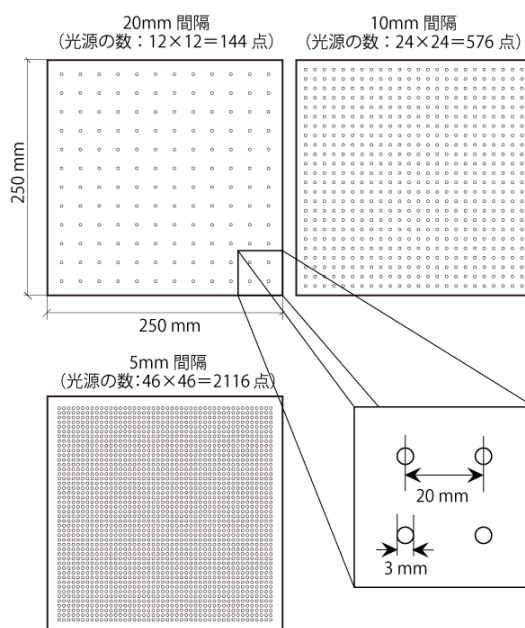


図 2 実験 1 における光源配置

表 1 眼前照度

間隔	眼前照度 [lx]								
20mm	50	60	80	100	170				
10mm			80	100	170	270	560		
5mm				100	170	270	560	970	2000

表 2 小光源 1 点の輝度

間隔	1 点の輝度 [$\times 10^3 \text{cd/m}^2$]								
20mm	10	15	24	53	115				
10mm			6.2	10	24	53	115		
5mm				2.3	4.1	8.5	22	53	115

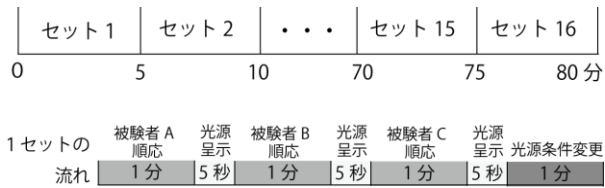


図 3 実験手順

2-3. 実験手順

図 3 に実験手順を示す。1 回の実験の被験者は 3 名である。被験者は観測用の窓から箱内部をのぞき、光源呈示位置の中心を注視し内部の輝度に 1 分間順応する。順応後、テスト光を 5 秒間呈示する。呈示後、次の被験者に交代し、一人目の被験者は他の被験者の観測中に光源の評価を行う。1 つの条件が終わったら次の条件の観測を行う。16 種類の光源はランダムに呈示する。不快グレア評価は、「まぶしさ」、「不快さ」について 4 段階のカテゴリ尺度で回答させ、中間の回答も可能とした。なお、「まぶしさ」は光源の純粋なまぶしさの程度を、「不快さ」は光源のまぶしさと密度に対する不快の程度を回答させた。

被験者は 21 歳から 22 歳の男性 5 名、女性 4 名の計 9 名である。視力に関しては、コンタクトレンズ着用者は 4 名、眼鏡着用者は 2 名、裸眼は 3 名であった。

2-4. 実験結果

実験後に尺度に 0~3 の数値を与えて小数点第 1 位まで読みとった。図 4 にまぶしさ、図 5 に不快さの評価値の被験者間平均と眼前照度の対数との関係を示す。眼前照度が増加するとまぶしさ、不快さとも増加した。ただし、光源間隔が異なっても眼前照度が同一であればグレアの評価は同程度になることが示された。

まぶしさと不快さについて相関分析を行った結果を図 6 に示す。相関係数は 0.98 であり、t 検定を行ったところ有意であった ($p < 0.05$)。まぶしさが増すと不快さも増し、両者には強い相関があるといえる。

次に、1 点の輝度の対数とまぶしさ評価との関係を図 7 に示す。1 点の輝度の増加によるまぶしさの増加の程度は光源間隔によらず等しくなった。しかし、例えば間隔 5mm において「まぶしい」と感じる輝度でも、間隔 20mm においては「ややまぶしい」評価に止まる。これにより、複数の小光源によるグレアは 1 点の輝度よりも光源全体の光量に大きく影響を受けることが示された。

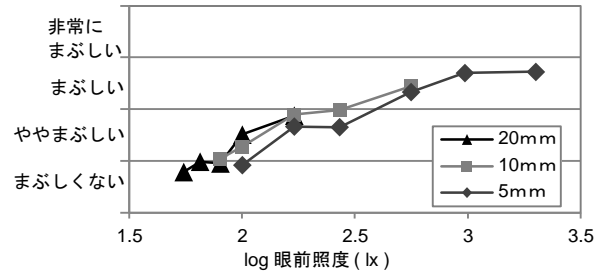


図 4 眼前照度とまぶしさとの関係

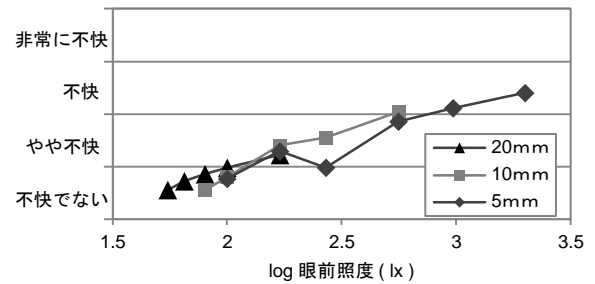


図 5 眼前照度と不快さとの関係

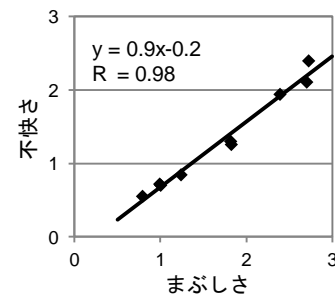


図 6 まぶしさと不快さの関係

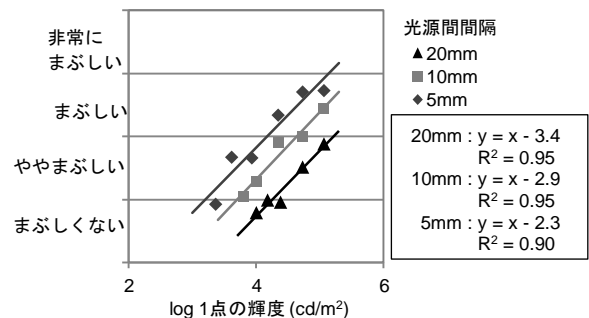


図 7 1 点の輝度とまぶしさの関係

3. 実験2：小光源の配置と不快グレア評価の関係

実験2では小光源の数を変えずに配置を変えることで平均輝度が等しく輝度分布が異なる光源を作成し、不快グレア評価との関係を調べた。

3-1. 実験条件

図8に実験で使用する小光源の配置パターンを示す。穴の数は実験1で用いた光源間隔10mmの場合と同じであるため、同一眼前照度において1点の輝度及び平均輝度はほぼ等しくなる。各パターンにつき眼前照度270 lxと80 lxの2条件行い、1点の輝度はそれぞれ53000 cd/m²、6200 cd/m²であった。実験装置及び手順、評価尺度、被験者は実験1と同じである。

3-2. 実験結果

図9にまぶしさの評価値の被験者間平均と眼前照度との関係を示す。同一眼前照度の場合、各パターンのグレア評価に差異はみられなかった。不快さでも同様の結果を示した。これにより、小光源の配置及び輝度分布の違いによるグレアの程度への影響はほとんどなく、実験1と同様に光量の影響が大きいことがわかった。

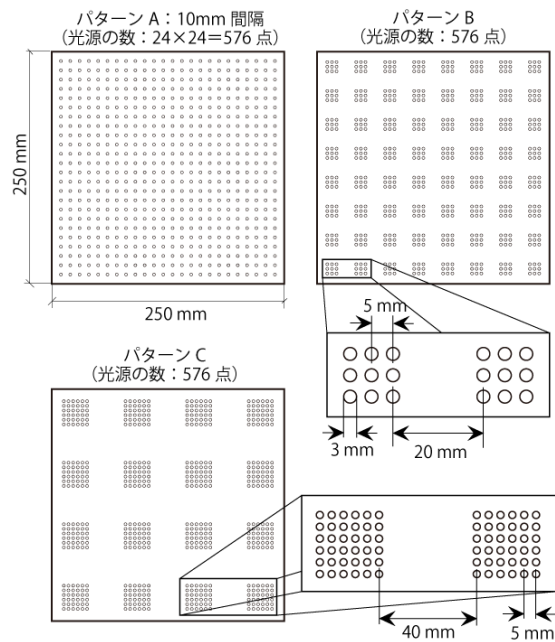


図8 実験2における光源配置

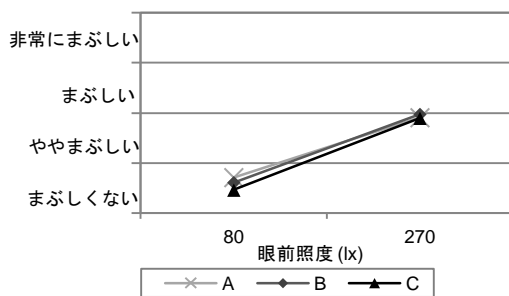


図9 光源の配置とまぶしさの関係

4. 実験3：小光源の集合面積と不快グレア評価の関係

実験3では小光源の間隔を変えずに小光源の数及び集合の大きさが異なる光源を作成し、不快グレア評価との関係を調べた。

4-1. 実験条件

図10に実験で使用する小光源を示す。実験1で用いた10mm間隔のボードの穴を隠すことで光源の数及び全体の面積を小さくした。眼前照度は実験1と同じく80、100、170、270、560 lxの5条件とした。各眼前照度での小光源1点の輝度を表3に示す。実験装置及び手順、評価尺度は実験1と同じである。被験者は実験1、2の被験者9名のうち男性4名、女性2名の計6名を用いた。視力に関しては、コンタクトレンズ着用者が2名、眼鏡着用者が1名、裸眼が3名であった。

4-2. 実験結果

図11にまぶしさの評価値の被験者間平均と眼前照度の関係を示す。実験1における間隔10mmの評価値も併せて示した。実験1、2と同様に光量による影響が大きいことが示された。不快さも同様の結果となった。

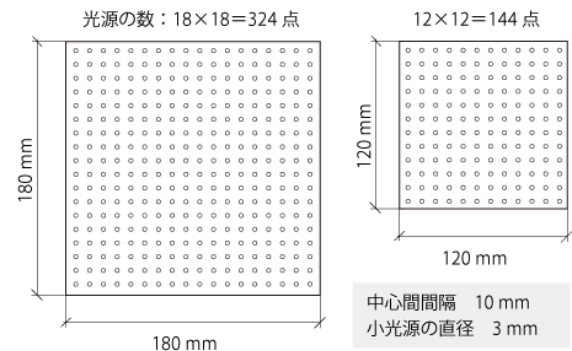


図10 実験3における光源配置

表3 小光源1点の輝度 (実験3)

光源の種類	1点の輝度 (cd/m ²)				
	80 lx	100 lx	170 lx	270 lx	560 lx
18×18個	5800	11000	26000	72000	202000
12×12個	12000	18000	56000	130000	315000

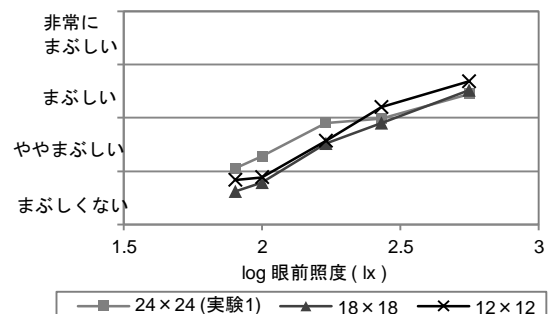


図11 光源全体の大きさとまぶしさの関係

5. 考察

実験 1 及び 3 の結果に対する従来のグレア評価式の適用性を検討する。実験結果から小光源の間隔や大きさによるグレア感への影響は見られないため、小光源の集合を 1 つのグレア光源とみなして考える。この時実験 1 における光源の立体角は 0.12 sr、実験 3 において光源の数が 18×18 個のとき 0.06 sr、12×12 個のとき 0.03 sr である。

実験 1 の光源は屋内照明における不快グレア評価の国際的な指標である UGR の適用範囲より大きい。そこで、金らが提案した不均一な輝度分布をもつ大光源からの不快グレア評価式への適用性を検討する³⁾。金らによる提案式を以下に示す。

$$V = \log \frac{L^{2.6} \cdot \omega}{L_b^{0.1} \cdot P^{2.6}} - 5.9$$

ここで、V はグレア評価値、L はグレア光源の平均輝度 [cd/m²]、 ω はグレア光源の立体角 [sr]、L_b は背景輝度 [cd/m²]、P はポジションインデックスである。グレア光源の平均輝度は以下の式により求めた。

$$L = \frac{L_1 \cdot S \cdot n}{A} \quad \dots (1)$$

ここで、L₁ は小光源 1 点の輝度 [cd/m²]、S は小光源 1 点の面積 [m²]、n は小光源の数、A は小光源全体が占める面積 [m²] である。

実験 3 の光源は UGR の適用範囲内であるため、UGR による評価値と比較する。UGR は以下の式で求める。

$$UGR = 8 \log \frac{0.25 L_s^2 \cdot \omega}{L_b \cdot P^2}$$

ここで、L_s はグレア光源の発光部分の輝度 [cd/m²] であり、ここでは(1)式で求めた平均輝度を用いた。なお、金らの式や UGR の評価尺度は実験で用いた尺度と異なるため、実験値を各尺度に変換して比較した。UGR の尺度は日本人を対象としたものを用いた。

結果を図 12 に示す。従来のグレア評価式による予測値と実験値は一致しなかった。しかし、光源全体の平均輝度と評価値の関係は光源間隔や光源全体の大きさの違いによらず良く似た傾向を示している。

LED 照明による不快グレアに関する既往の研究で、輝度分布の異なる光源によるグレアの程度を予測する輝度の指標がいくつか提案されている。原らは輝度分布光源の「等価光源輝度」を同じ不快グレアを与える均一輝度光源の輝度として提案している⁴⁾。しかし、これを算出するには輝度分布が異なる光源ごとに主観評価実験を行わなければならない。田代らは「有効グレア輝度」を提案しているが、これを算出するには独

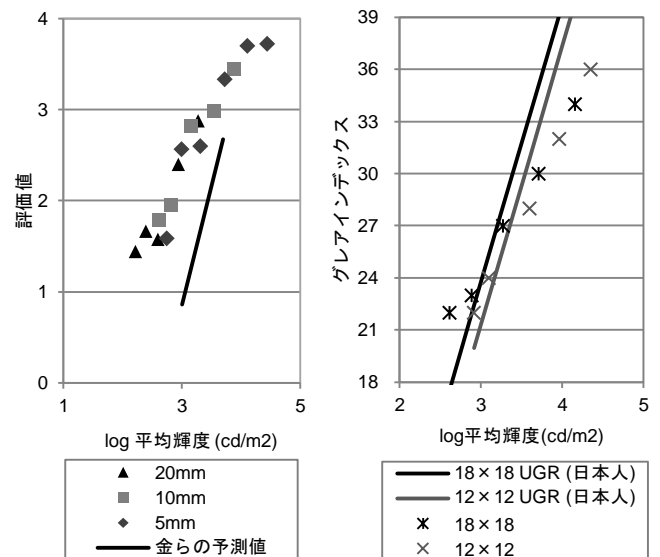


図 12 従来のグレア評価式による予測値と実験値

自の画像データによる処理が必要である⁵⁾。今回の実験結果では、輝度分布の違いによらず、小光源の集合全体を 1 つの光源とみなした場合の平均輝度によりグレアの程度を簡易に予測できる可能性が示された。

6. まとめ

複数の小光源によるグレアの特性について、本研究で得られた知見を以下にまとめる。

同一眼前照度であれば光源の密度や輝度分布、小光源の集合全体の大きさの違いはグレア評価にほとんど影響しない。小光源 1 点の輝度よりも全体の光量に強く影響を受けることがわかった。

実験値と従来のグレア評価式の適用性はないが、小光源の集合を 1 つの光源とみなし平均輝度を算出することでグレアの程度を評価できる可能性を示した。

謝辞

本研究は科学研究費補助金の基盤研究(B) (課題番号 24360237) による。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) UGR の研究調査委員会 : CIE グレア評価法 UGR の研究調査報告書, 社団法人照明学会, pp.4-9 (1999)
- 2) T.Kasahara, D.Aizawa, T.Irikura, T.Moriyama, M.Toda and M.Iwamoto : Discomfort glare caused by white LED light sources, *Journal of Light & Visual Environment*, 30-2, pp.95-103 (2006)
- 3) 金源雨, 古賀靖子, 原昌康 : 窓による不快グレア評価法の開発その 2 不均一な大光源からの不快グレアの評価式, *照明学会誌*, 91-2, pp.69-77 (2007)
- 4) 原直也, 長谷川早苗 : LED 素子を配列した光源の不快グレアに関する研究, *照明学会誌*, 96-2, pp.81-88 (2012)
- 5) 田代知範, 他 : 輝度分布の異なる白色 LED 光源の不快グレア評価, *照学全大*, 第 45 回 (2012)