LED 照明実現に向けた視覚的ストレスの 視点からの研究事例

An Approach toward Practical Lighting by LEDs through Visual Stress Researches

1956年生，ヨーク大学
（カナダ国）大学院博
士課程（実験心理学）
修了，現在，千葉大学
工学部デザイン工学科
教授（デザイン心理
学），Ph.D.

正会員 日比野 治雄
Haruo Hibino

◀キーワード：視知覚，心理物理学，LED，マグニチュード推定法

1. はじめに

照明の歴史を振り返れば，白熱電球および蛍光灯が，電気による人工的照明環境における主役の座に長らく君臨し続けていることがわかる。しかし，白色 LED の登場により，そのような状況も変化し，今後の21世紀における照明環境は大きく変容して行くことが予想されるのである¹⁾。つまり，近い将来には，白熱電球や蛍光灯に替わり，白色 LED が照明として広く使用されるような状況が整って行くものと考えられる。したがって，21世紀は照明の歴史において，大きな転換点となることが予測されるのである。

ただし，これまで LED は照明用光源として用いられたことはないため，その実用化に当たっては，LED 照明の内包する様々な影響について十分に調査をする必要があると考えられる。そのような動向を踏まえ，筆者の研究室では，LED を照明用光源として使用する場合に発生する可能性のある視覚的ストレス²⁾〔visual stress：視覚刺激によって生じる不快感（visual discomfort）全般をいう〕をはじめとする心理的影響について検討を加えてきた³⁾⁴⁾。本稿では，その研究を例として取り上げ，視知覚に対する心理物理学のアプローチという視点から解説を加えることにする。

2. LED の配置パターンが視覚へ及ぼす影響

現在のところ，白色 LED1個あたりの光束は1～2 lm 程度であるため，一般照明として LED を適用するためには，多数の LED を集積化して高出力を得る必要がある。そのため，LED を集積化して使用することにより，高輝度の点光源の規則的なパターンが形成されることになる。これまでの研究²⁾から，規則的な明暗パターンは視覚的ストレスを誘発する可能性が指摘されている。多くの人間が曝される照明においては，その安全性が何よりも重要な条件であるので，照明の環境適合性評価は必須である。そこで，このような目的のために，筆者の研究室では心理物理学的手法を用いて，LED 素子を様々なパターンに2次元配置した LED 集積光源における視覚的ストレスの評価実験を行い，その心理的影響について検証したのである³⁾⁴⁾。

2.1 方法および手段

これまで筆者の研究室では，様々な刺激によって誘発

	マトリクス	ストライプ状	チェッカー状
5mm pitch	3600個		3600個
10mm pitch	900個	1800個	
20mm pitch		900個	
40mm pitch		450個	

図1 用いられた刺激パターンの種類

される視覚的ストレスに関する研究を行ってきた^{3)～5)}。その過程から，視覚的ストレスの測定にはマグニチュード推定法^{6)～9)}（method of magnitude estimation）を用いることが効果的であることが明らかになっている^{3)～5)}。そこで，本稿で述べる LED 集積光源における視覚的ストレスの評価実験においてもこの方法を用いた。

本稿で紹介する実験では，LED 素子を図1に示すように2次元配置した6種類の刺激パターンを用いて測定を行った。これらは表面実装型白色 LED（型番：NSSW100/日亜化学工業製・2×3 mm・指向特性110°）をマトリクス状に配置した刺激パターン2種類（水平および垂直方向5 mm ピッチおよび10mm ピッチ），ストライプ状に配置した刺激パターン3種類（水平方向10mm ピッチ，20mm ピッチ，および40mm ピッチ），チェッカー状に配置した刺激パターン1種類（5 mm ピッチのマトリクス状刺激パターンの縦列を1列おきに2.5mm 下方にずらした刺激パターン）の合計6種類の刺激パターンであった。また，その6種類の刺激パターンは，それぞれ LED 素子1個あたりのピーク輝度レベルを2段階（700および2800cd/m²）に変化させた。したがって，提示刺激は全部で12種類であった。

ここで注目すべき点は，5 mm ピッチのマトリクス状刺激パターンと5 mm ピッチのチェッカー状刺激パ

ターンがLED素子数3600個で等しく、同様に10mmピッチのマトリクス状刺激パターンと20mmピッチのストライプ状刺激パターンがLED素子数900個で等しくなっていることである。つまり、もしこれらの刺激パターン間での測定値に差が得られたとすれば、その差は正に刺激パターンの2次元配置の相違を反映したものであると考えられるからである。

各刺激はホルダーに取り付けられ、カメラ用三脚（HANSA社製 Elevator Tripod Luster 3300）に固定した。ホルダーは、全体が450×450mmの正方形の大きさで、中心に310×310mmの正方形の穴が開けてあり、そこから刺激パターンが提示された（LED基板、ホルダーは、共に白色に着色されていた）。一方、標準刺激としては、8Wのインバータ式冷陰極蛍光ランプが2本入った面発光光源（フジカラー製カラーイルミネータープロ B4：輝度1500cd/m²、相関色温度約5000K）を450×450mmの白色ホルダー中央部250×250mmの位置に固定した均一な面光源刺激を用いた。

実験室内は遮光してあるが、さらに被験者を900×900×1800mmの観察用ブースに入れ、判断時のみ刺激を提示するようにした。なお、観察距離は刺激パターン、標準刺激ともに1200mmで一定とした。観察用ブースには刺激パターン、標準刺激の両方向ともに300×300mmの開閉可能な窓を設けており、この窓から被験者に顔をあご台で固定した状態で刺激を観察させた。

被験者は、矯正視力を含め全員が正常視力を有する千葉大学工学部の学生11名であった（被験者の安全のため、あらかじめ光過敏性でんかんや片頭痛の症状を持たないことを確認した）。

上記の通り、本実験では、マグニチュード推定法^{6)~9)}を用いて、サンプル刺激から受ける心理的效果の大きさの尺度化を行ったのである。被験者には、標準刺激から受ける心理的效果の大きさを100とし、それを基準として各刺激パターンから受ける心理的效果の大きさを判断するように教示したのである。各刺激パターンはランダムな順序で2秒間提示し、その際の測定項目は「まぶしさ」、「不快感」、「快適性」の3種とした。また、各刺激パターンに対して4回の測定を行った。

2.2 結果

本稿では、本実験の結果の中でも、視知覚特性の観点から特に興味深い結果に焦点を絞って述べることにしよう。

それはまずLED素子数がともに3600個で等しい5mmピッチのマトリクス状刺激パターンと5mmピッチのチェッカー状刺激パターンにおける結果である。これらの刺激はLED素子数が等しく、LED素子の空間的配置のみが異なっているため、その結果にはLED素子の空間的配置の影響が直接反映されることが考えられるので

図2 5 mm ピッチ刺激パターンに対する「不快感」の測定結果

ある。これら2種の刺激パターンでは、「まぶしさ」および「快適性」の測定においては、ピーク輝度レベルが高い方が「まぶしさ」の評定値が高く、「快適性」の評定値が低くなるという輝度レベルの影響は見られたものの、LED素子の空間的配置の影響は見られなかった。一方、図2に示すように、「不快感」の測定においては、ピーク輝度レベル2800cd/m²の場合に、5mmピッチのマトリクス状刺激パターン（●）と5mmピッチのチェッカー状刺激パターン（■）とで、その評定値に有意差が得られたのである（ $F=12.056, p<0.008$ ）。これは非常に興味深い結果である。なぜなら、上記の通り、これらの評定値の相違をもたらしたのはLEDの空間的配置の要因しかありえないと考えられるからである。

しかしながら、LED素子数が900個で等しい10mmピッチのマトリクス状刺激パターンと20mmピッチのストライプ状刺激パターンでは、5mmピッチの刺激パターンの場合ほど明確な相違は得られなかった（現在、この点については分析中である）。

これまでの研究では、純粋に刺激の空間的配置の要因のみによって生じたと考えられる視覚的ストレスの相違を得た結果は、健常者を被験者にした実験においては、全く報告されていなかったものである。したがって、本研究はLEDの空間的配置の要因による視覚的ストレスが存在しうることを明らかにした初めての研究であり、非常に大きな意義を持つと考えられる。さらに、この結果は、LED光源を実際に照明として応用する場合についての重要な示唆を含んでいると考えられる。

3. 心理物理学のアプローチの意義

照明の主要な目的は、光の量や質を制御することによって、人間の様々な視覚的活動を支援および補助する

図3 (a) 5 mm ピッチのマトリクス状刺激パターンと
(b) 5 mm ピッチのチェッカー状刺激パターンの模式図

ことであるといえよう。したがって、照明研究においては人間の視知覚特性について検討を加えることは非常に重要であると考えられる。その意味で、視覚的な刺激の物理的特性を変化させ、その変化に対する様々な反応の変化から視覚の特性について探究する心理物理学のアプローチは、大きな役割を果たすことが期待されている。

そこで、本稿では、照明研究における心理物理学のアプローチの実例として、LEDを照明用光源として使用する場合に発生する可能性のある視覚的ストレスに関する実験例を紹介した。その実験では、LEDの素子数が同じで、かつそのピーク輝度レベルも等しい場合でも、LED素子の空間的配列の相違によって視覚的ストレスの強度が変化するという結果が得られたのである。つまり、水平および垂直方向にともに均一にLED素子が配置されたマトリクス形状（図3(a)参照）よりも、配置を垂直方向に1列おきに半ピッチだけずらしたチェッカー・ボード状（図3(b)参照）の配列の方が視覚的ストレスを弱めるという傾向が見られたのである。

LED光源を照明として応用する場合には、多数のLED素子を高密度で集積する必要がある。そのため、最も単純で効率的な配列パターンは、マトリクス状パターンであると考えられる。ところが、LEDの空間的配列による視覚的ストレスの影響を考慮すると、単位面積当たりの集積素子数は変わらないにもかかわらず、チェッカー・ボード状パターンの方が、マトリクス状パターンよりも優れていると考えられるのである。つまり、本実験の結果からは、人間により優しいLEDの空間的配列パターンはチェッカー・ボード状パターンであると結論付けられるのである。

4. 今後の展望

LEDを照明として使用するには、本稿で扱ったLEDの空間的配列による視覚的ストレスの問題以外にも、高効率化・高出力化・低価格化などの様々な問題が残っている（たとえば、今後の技術的な進歩によって、LED素子の1個あたりの光量が増大した場合にも、本稿で紹介したような結果が敷衍しうるか否かという点は今後の大きな検討課題である）。しかし、新しい光源が人間の生活、環境に適応するか否かは人間の生理・心理的側面に関わる重要な問題を含んでいるので、初期の段階からLED応用の可能性を心理的側面から検証する試みは非常に重要なものであると考えられる。新しい光源を実用化するに際しては、半導体工学、発光素子工学、照明工学などの分野に加え、光源の質的側面を改善していくために心理学や感性工学、インテリア・デザインなどの様々な分野の研究者・技術者の連携が必要である。本稿で紹介したような心理物理学のアプローチが、LED光源の実用化のための一端を担い、近い将来LEDが私たちの生活を明るく照らし出すことを期待したい。

本研究は「高効率電光変換化合物半導体開発（21世紀のあかり計画）」の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構および（財）金属系材料研究開発センターから委託を受けて行われたものである。

参考文献

- (1) Taguchi, M.: The 21st Century Lighting National Project, Extended Abstracts of the International Symposium on The Light for the 21st Century, pp.12-13 (2002).
- (2) Wilkins, A.J.: "Visual Stress", Oxford University Press (1995).
- (3) 日比野, 白井, 山田: LED集積光源が及ぼす視覚的ストレスの影響—視覚的ストレスの心理物理学的測定—, 照学全大, 207 (2001.9).
- (4) 日比野, 伊吹, 山田: LED集積光源が及ぼす視覚的ストレスの影響—視覚的ストレスの心理物理学的測定 (II) —, 照学全大, 213 (2002.8).
- (5) Hibino, H. and Sano, Y.: Cognitive Factors Related to the Pokemon Mass Seizure Incident in Japan, Perception, 28 Supplement, 94 (1999).
- (6) Stevens, S. S.: The Surprising Simplicity of Sensory Metrics, American Psychologist, 17, pp.29-39 (1962).
- (7) Stevens, S. S.: "Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects", John Wiley (1975).
- (8) 大山 (編): 実験心理学, 東京大学出版会 (1984).
- (9) 市川 (編): 心理学測定法への招待, サイエンス社 (1991).