

PHILIPS

LED

白皮書
飛利浦
舒視光 LED



*專為眼睛舒適而設計。請閱讀本白皮書，了解閃爍、頻閃和其他舒視光準則。請造訪 philips.com/eyecomfort，以取得產品詳細資料。

簡介

如今，光線品質已成為照明領域的關鍵差異指標。一般來說，光的品質是指在視覺感受方面，和與人及環境的互動和依賴性。

LEDification 使我們能讓客戶感受到燈光的空間、光譜和暫留品質，以便做出明智的選擇。全球照明領域領導廠商 Signify 透過將對使用者需求、照明應用知識和科學見解的深入認識整合在一起，持續將其產品最佳化。

Signify 已建立一個名為舒視光 (EyeComfort) 的商標，用在某些 LED 燈和 LED 燈具上，這些產品必須滿足下列領域的特定標準：



閃爍



調光



頻閃效應



可調色



光生物安全性



演色性



眩光



音頻噪音

本白皮書*列出這些標準，並提出最佳化照明的重要性。

「選擇適合的照明非常重要。」

「我們日常使用的照明類型會影響我們的生活品質。例如，控制一天之中的燈光顏色和強度可以改善我們的睡眠模式，這對身心健康至關重要。相較之下，不良的人工照明會對生活品質造成有害影響，導致睡眠模式混亂、眼睛不適，甚至頭痛。因此選擇適合的照明很重要。」



倫敦大學學院眼科學院教授
Andrew Stockman

目錄

飛利浦 LED 舒視光標準和科學背景	4
閃爍和頻閃效應	5
光生物安全性	7
眩光	8
調光	10
可調色	11
演色性	12
音頻噪音	13
參考資料	14



飛利浦 LED 舒視光 標準和 科學背景

Signify 在 2019 年進行的全球市場研究指出，視力的重要性隨著年齡增長而增加 [1]。但是，在維護個人福祉方面，有 66.6% 的人不會照顧自己的眼睛或定期進行眼部檢查。

符合舒視光標準的飛利浦 LED 燈是按照一組與舒適度有關的標準進行測量：閃爍、眩光、頻閃效應、光生物安全性、調光能力、可調色和演色性。這些標準可能影響您眼睛的舒適度。就像更換燈泡一樣簡單。



閃爍和頻閃效應

閃爍和頻閃效應屬「**光暫留假影 (TLA)**」。TLA 是光源產生的亮度或光譜的暫留變化，從而引發視覺感知中的不良變化。**閃爍是即使觀察者靜止時也能察覺到的視覺波動**。換句話說，閃爍就是室內光線出現惱人的暫留波動。

頻閃效應也是由光源的暫留變化所引起。由於頻閃效應不連續地照亮在環境中移動的物體，因而導致連續運動的不自然中斷。

「閃爍是室內光線出現惱人的快速波動，頻閃效應是連續運動的不自然中斷。」 [2018 年 Signify 舒視光白皮書]

波動可能來自多種來源，包括：

- 主電路干擾
- 與控制器 (例如，調光器) 的互動
- 外部來源 (例如，微波) 造成的輸入訊號干擾
- 電子驅動器的設計內建波動。

目前已知有方法可抑制 LED 光線輸出波動，同時減低多餘 TLA 的能見度。不過，這些方法雖然降低成本及效率，亦耗用更多實際空間，同時縮短 LED 產品的使用壽命 [3]。

直到最近，業界一直運用閃爍指數 (FI) 及調變深度來評估閃爍與頻閃效應的能見度。但是，這些方法皆無法準確預測使用者實際觀感或體驗 [2,3,4]。

閃爍與頻閃效應的能見度受調變深度、頻率、波形及負載循環影響。因此，業界根據人類視覺系統 (HVS) 開發出科學模型，參照人類視覺感知處理視覺訊號的方式而設計。HVS 是從眼睛到大腦的神經系統的一部分，使我們能感知世界。

P_{st}^{LM} 是較有效測量閃爍的 TLA 測量方式，SVM 則適用於頻閃效應 [2,3]。這些測量方式均獲歐洲照明協會 (Lighting Europe) [4] 及美國電器製造商協會 (NEMA) [5] 的支援，並用於評估飛利浦品牌 Signify 舒視光 LED 照明。目前正積極研究改善 TLA 測量方式。



閃爍和頻閃效應

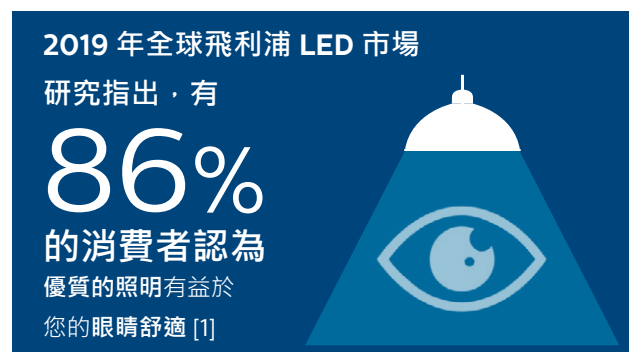
一般而言，能見度閾值的定義是觀察者 **50% 時間** 可偵測到的水準 [3]。這是指一個人有 50% 時間可看到視覺現象 (例如閃爍)，而在另外 50% 時間卻看不到。因此，能見度是偶然的。如上所述，無可見閃爍現象的定義為 $P_{Lm} \leq 1.0$ ，並根據國際電工委員會 (IEC 61000-4-15) 61000-4-15 [53] 和 NEMA 77-2017 [54] 所訂。PstLM 的測量則係根據 IEC TR 61547-1 第 2 版 [52]。

為何需要關心閃爍與頻閃效應？

產生閃爍與頻閃效應的照明產品，屬低品質照明 [6-15]。TLA 不僅令人厭煩，更對整體舒適度及視覺表現構成影響。具體而言，可見的 TLA 會：

- 降低視覺工作表現
- 導致雙眼不適 (眼睛疲勞)
- 增加頭痛次數
- 增加雙眼疲勞
- 令人心煩躁

研究亦顯示，可見閃爍在特定情況下更會導致癲癇發作 [6-15]。飛利浦品牌 Signify 舒視光 LED 產品專為降低可見閃爍與頻閃效應而設計。





光生物安全性

藍光危害

視光譜組成、強度及雙眼接觸時間而定，藍光危害會對視網膜構成光化學傷害。國際電工委員會 (IEC) 開發出評估光生物安全性的標準 [17]。

將光源分為 4 個風險級別 (0 = 無風險，3 = 高風險) [17]：

- 風險群組 0： 來源不會構成光生物危害
- 風險群組 1： 來源在一般使用下不會構成光生物危害
- 風險群組 2： 因使用者會對強光或高熱不適作出保護性反應，因此來源不會構成危害
- 風險群組 3： 即使僅短暫接觸，來源仍會構成危害

媒體一般有所誤解，認為 LED 照明的藍光波長比例較高，因此較容易構成藍光危害。國際照明協會 (Global Lighting Association) 為此進行過全面的研究及測量，將不同照明技術的光譜內容與上述標準比較，並彙整眾多科學家的重要研究成果 [16]：

- 就藍光危害而言，LED 燈與相同色溫的白熾燈及螢光燈等傳統技術沒有區別。
- 比較 LED 改裝產品及其旨在取代的傳統產品，證實兩者的風險程度相近，同屬輕微範圍。

- 據 IEC 定義，LED 光源 (燈或系統) 及燈具屬風險群組 0 或 1，可供消費者使用。

「針對光生物安全性，飛利浦 LED 與相同色溫的傳統白熾燈泡沒有區別。它們不包含大量短波長光，這些光可能導致藍光危害並完全符合安全標準。」 [16]

紫外線

消費者適用的 LED 光源不會在任何光譜紫外線 (UV) 部分中產生能量，因此在光譜部分中不會造成傷害。

紅外線

有別於白熾燈及鹵素燈，LED 幾乎不會發射任何紅外線輻射 (IR) [17]。而紅外線輻射強度不足以令消費者適用的 LED 光源構成風險 [18]。光學安全性係依據國際標準及準則評定 [17,18]。飛利浦品牌 Signify 舒視光 LED 產品全都獲評為無風險類別 (RG0) 或低風險類別 (RG1)，表示在正常條件下使用這些 LED 產品並不會構成光生物危害，且燈具本身已不會構成光生物危害。



眩光

「在舒適照明中，眩光是最關鍵的不滿因素之一。有些 LED 燈看起來帶有眩光，可能會導致視覺不適甚至頭痛。」

倫敦大學學院眼科學院教授
Andrew Stockman

眩光分為兩種：失能眩光及不適眩光。失能眩光是指因觀察者視野中出現眩光光源而降低視覺表現。不適眩光是指由強光光源所致的不適感，會導致使用者本能地看向遠離明亮光源的地方或難以看清。不適感取決於光源亮度、光源範圍、光源於視野中的位置、背景光、活動類型及接觸強光的時間長短等多項參數。多年來，研究人員一直試圖量化視覺不適感。

室內工作場所 (專業環境) 眩光評估一般使用統一眩光指數 (UGR) 測量方式進行。在 LED 照明設計中，經常使用具有高亮度對比度的非均勻或像素化燈具。研究指出，像素化燈具比具有相同平均亮度的均勻燈具產生更高的不適眩光 (故 UGR 值亦相同) [19-35]，這代表目前 UGR 在部分情況下不適用於非均勻光線。

研究目前 UGR 的適用性並找出更好的方式來預測不適眩光，皆為值得研究的主題。其他描述眩光的可能替代方式，是以模擬人類視覺系統 (HVS) 的視網膜接受域為基礎，並將此模型應用於室內亮度圖，以評估不適眩光 [34]。此方法與 TLA 測量方式類似，同樣以模擬人類視覺系統為基礎。

2019 年全球飛利浦 LED 研究發現，超過 50% 的人每天在人造光下待了

 8 小時 (58%) 以上 [1]



消費者燈具目前並無眩光測量方式，因此無法量化眩光。此外，燈泡所構成的感知眩光也取決於應用方式。裸露燈泡置於靠近觀察者的桌子上，並位處視平線，其所構成的眩光會比室內角落燈罩下的同款燈泡較強。



眩光

一般而言，眩光由高亮度、高對比度及光源尺寸結合所構成。防眩光措施應針對上述任一原因：降低亮度、降低對比度或縮小光源尺寸。

飛利浦品牌 **Signify LED** 照明產品系列的燈具分為具有及不具有眩光控制兩款。具有眩光控制的燈具在燈泡頂部加入漫射材質及/或像素化網眼遮罩，在相同光通量及類似環境中，觀感上比不具有眩光控制的燈具眩光較少。儘管到目前為止，對於燈泡的眩光控制或減少措施標準尚無科學共識，但仍需要對此主題進行進一步的科學研究。Signify 認為，根據其經驗和專業知識，上述控制和減少燈泡眩光的措施是最有效的措施。



調光

LED 產品的調光功能定義如下：**能根據個人喜好變更燈光強度。**

「LED 產品的調光功能可助您在各式環境下都營造出完美氛圍或工作照明效果。」

倫敦大學學院眼科學院教授
Andrew Stockman

使用者選用人工調光照明的原因有幾個：

- 第一，使用者想改變環境氛圍（例如，從昏暗溫馨改為明亮活力）。
- 第二，使用者想依據不同活動或室外燈光亮度來調整一天中的燈光亮度。

例如，到了傍晚，可調暗燈光亮度，以減低昏暗環境與 LED 燈之間的對比度，藉此減少眩光。調光功能還可用於節能。

若調光功能使用不當，可能構成不適或不理想效果，例如低調光等級的可見閃爍、燈光轉換不穩、最小燈光亮度過高 [3]。

這些問題源自 LED 驅動電路、主電路電壓變化、其他主電路連接負載及調光器互動等。如飛利浦舒視光 LED 所使用的智慧型電子設計可解決深度調光問題，抑制各燈光亮度上的重複及/或不規則可見變化。

飛利浦品牌 Signify 舒視光 LED 調光產品系列可在預設設定中提供分級調光功能 (SceneSwitch)，或在整個強度範圍中持續調光。

飛利浦 LED 在 2019 年進行的全球研究顯示如下：

77%

的消費者

認為家中採光良好可以提高
日常生產力 [1]





可調色

以顏色和強度控制可調色照明。可調色 LED 照明分為以下三類：

- **暖調調光**：可模仿白熾燈調光行為（例如，CCT 於調光時從 2700K 下調至 2200K）
- **可調白光**：可變更白光的溫暖度（例如，2700K 至 6500K）
- **可調顏色**：可變更照明的顏色 (RGB)

與傳統白色 LED 燈調光相比，白熾燈泡調光可產生截然不同的燈光體驗。白熾燈在調光時會降低溫度，因此可發出更多紅調白光（色溫較低）。相較之下，LED 晶粒的色溫在調光期間並無大幅變化。因此，白熾燈泡能為您送上強度與色溫變化；而 LED 調光就只能帶來強度變化。

使用者普遍喜歡低亮度的暖調設定，以營造悅目溫馨氛圍 [45]，但這點會因不同地區而異。部分飛利浦 Signify 舒視光 LED 可提供暖光調光功能，結合兩種不同的 LED (2200K 及 2700K)，可模仿白熾燈的調光行為。暖光功能有兩種變化：分級調光功能有固定色溫設定和流暢的暖光，可在全段亮度範圍 (2700K-2200K) 調光時，連續變更色溫。

除了營造不同的氛圍效果外，調光功能亦可結合相關色溫 (CCT) 變更，對維持使用者的晝夜規律有好處。人類的生理時鐘讓我們知道何時睡醒、何時入睡。而光線強度及光譜正是控制上述反應的兩項參數 [46]。有一項指導原則，就是照明應模仿環境中的自然變化。

帶有大量藍光/青色光的高強度光線會令我們感覺清醒，警覺性高；而帶有少量藍光的低強度光線則會刺激人體釋放名為「褪黑激素」的睡眠激素，令我們昏昏欲睡 [46]。研究顯示，帶有強藍光元素的明亮燈光適用於早晨，有助喚醒使用者；這種燈光卻不適用於傍晚，因其會抑制褪黑激素產生，令人難以入睡。為確保生物節律不受干擾，傍晚最好營造昏暗暖調的 CCT 環境 [46]。

飛利浦品牌 Signify 舒視光 LED 具有暖光調光功能，既可營造不同氛圍，亦有助於維持晝夜規律。

「良好的照明模仿具有相似連續光譜的自然日照，該光譜使用與自然日光相當的方式激發不同的感光體。這可以使用色溫和強度不同的燈來實現。」

倫敦大學學院眼科學院教授
Andrew Stockman



演色性

色彩品質與使用者在特定應用下對顏色的主觀偏好及欣賞相關，而白色光源的色彩品質對空間、物體及人物外表皆有影響。

若色彩品質欠佳，則會減低照明空間、物體或人物的視覺辨別能力及準確顯像度 [50]。例如，燈光的演色性和/或色彩飽和低，人物肌膚色調、植物及食物都會顯得黯淡無光或未飽和。

「白色光源的演色性定義如下，發光體對物體色彩外觀的影響，是透過使用者在有意識或潛意識下，將由參照發光體照亮的物體色彩外觀與之相比而判斷。」 [47]

一般演色性指數 (CRI) 及平均演色評價指數 (Ra) 用於測量及註明光源的演色能力，以 CIE 1974 一套八個指定中度飽和色彩測試樣本 (TCS) 為根據。演色性指數 100 表示測試光源下的演色性與參照光源下的演色性相同 (參照光源為 CCT<5000K 的白熾燈)。

使用者偏好並非始終搭配較高演色性指數值，因此較高演色性指數的光源有時並非最受歡迎。色彩飽和度 (鮮明度；尤以紅色飽和度為甚) 對於使用者偏好影響深遠 [48,49,50]。使用者一般偏好過度飽和的光線，因物體看上去會更色彩豐富，而對於肌膚色調外觀的偏好則因不同文化而異。

在特定應用情況下，演色性指數及色彩飽和度必須達到平衡。

飛利浦舒視光 LED 致力改善辨色力，透過高演色性指數，使用具有良好色彩品質特性的 LED 來提升美感，像是讓家中的家具以高清和真實色彩出現。



音頻噪音

LED 可能產生可聞噪音，亦即令人討厭的嗡嗡聲，尤其是用於深度調光等級時。產生的電壓及電流會在元件之間形成機械共振，發出令人煩躁不安且不舒適的聲響。為此，Energy Star (由提倡能源效率的美國環保署和美國能源部實施的計畫) 對可聞噪音等級亦有規範。

根據 Energy Star 可聞噪音規定，燈具於 **1 公尺距離內不得發出超過 24 dBA 的噪音** [51]。此關值對用於寂靜客廳 (約 20 dBA) 或靠近使用者擺放的燈具 (閱讀燈、床頭燈) 規範不足。

參考資料

- [1] YouGov research on behalf of Signify, May 7th-20th 2019 amongst 1000+ adults each in US, Czech Republic, Argentina, Poland, China, Mexico, Indonesia and Germany
- [2] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels & Ingrid Heynderickx (2017): Quantifying the Visibility of Periodic Flicker, LEUKOS, DOI: 10.1080/15502724.2016.1269607
- [3] IEC CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models, September 2016: http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf.
- [4] https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope_-_position_paper_-_flicker_and_stroboscopic_effect_-_final.pdf
- [5] http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_au_=i5VMrMH4n4J8p7jb
- [6] Wilkins, A., Veitch, J., Lehman, B. 2010. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. In 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 171–78.
- [7] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo, and T. Troscianko, “Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting,” LEUKOS, vol. 1, pp. 27–46, 2005.
- [8] Veitch, J. A., and S. L. McColl, “Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort,” Lighting Research and Technology, vol. 27, p. 243, 1995.
- [9] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. and Bedocs, L. (1989) Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. Lighting Research and Technology, 21(1), 11-18.
- [10] Arnold Wilkins, Brad Lehman. Biological effects and health hazards from flicker, including flicker that is too rapid to see. 2/15/10, IEEE Standard P1789. <http://grouper.ieee.org/groups/1789>.
- [11] J. D. Bullough, K. S. Hickcox, T. R. Klein and N. Narendran, “Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort,” Lighting Research and Technology, vol. 43, p. 337–348, 2011.
- [12] Harding, G. F. A., and P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy. London: Mac Keith Press, 1994.
- [13] Binnie, C. D., R. A. de Korte, and T. Wisman, “Fluorescent lighting and epilepsy,” Epilepsia, vol. 20, pp. 725–727, 1979.
- [14] Harding, G. F. A., and P. F. Harding, “Photosensitive epilepsy and image safety,” Applied Ergonomics, 16 Oct. 2008.
- [15] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, and A. Wilkins, “Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group,” Epilepsia, vol. 46, pp. 1426–1441, Sep. 2005.
- [16] Global Lighting Association: Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources
- [17] IEC 62471:2006, Photobiological safety of lamps and lamp systems
- [18] IEC TR 62778, Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources
- [19] Eberbach, K. (1974). Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. Lichttechnik 6, p. 283–286.
- [20] Waters, C.E., Mistrick, R.G., Bernecker, C.A. (1995): Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance. In: Journal of the Illuminating Engineering Society 24 (2), p. 73–85.
- [21] Kasahara, T., Aizawa, D., Irikura, T., Moriyama, T., Toda, M., Iwamoto, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source. In: Journal of Light and Visual Environment 30 (2), p. 49–57.

參考資料

- [22] Takashi, H., Irikura, T., Moriyama, T., Toda, M., Iwamoto, M. (2007): Discomfort glare and annoyance caused by white LED lamps Proceedings of the 26th Session of the CIE, Beijing, China, p. D1- 80–D1-83
- [23] Lee, CH.-M., Kim, H., Choi, D.-S. (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. In: CIE (Hg.): Proceedings of the 26th Session of the CIE, Beijing, China, p. D3-33–D3-36
- [24] Jung, S.-G., Cho, Y.-I., Kim, H. (2009): A Study of UGR for Non-Uniform Luminance Source. Proceedings of Lux Europa 2009, Istanbul, Turkey, p. 553–558.
- [25] Kim, W., Kim, J.T. (2010): The scope of the glare light source of the window with non-uniform luminance distribution, Proceedings of 3rd International Symposium on Sustainable Healthy Buildings, Seoul, Korea, p. 253–271
- [26] Tashiro T., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T., Ayama, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, p. 583–588.
- [27] Bullough, J.D. (2011): Luminance versus luminous intensity as metric for discomfort glare. SAE International, DOI: 10.4271/2011-01-0111.
- [28] Bullough, J.D., Sweater Hickcox, K. (2012): Interactions among light source luminance, illuminance and size on discomfort glare. SAE International, DOI: 10.4271/201201-0269
- [29] Hara, N., Hasegawa, S. (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan 96 (2), p. 81–88.
- [30] Erdem, L., Trampert, K., Neumann, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. Proceedings of Balkan Light 2012, Belgrade, p. 213–220.
- [31] Ayama, M., Tashiro, T., Kawonabe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T. (2013): Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements, Proceedings of the CIE Centenary Conference, Paris, France, p. 119–122
- [32] Geerdinck, L.M., Van Gheluwe, J.R., Vissenberg, M.C.J.M. (2014): Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting, Journal of Environmental Psychology, 39, p. 5–13
- [33] Funke, C., Schierz, CH. (2015): Extension of the Unified Glare Rating Formula for NonUniform LED Luminaires. Proceedings of 28th session of the CIE, Manchester, UK, p. 1471– 1480
- [34] Donners, M.A.H., Vissenberg, M.C.J.M., Geerdinck, L.M., Van Den Broek-Cools, J.H.F., Buddemeijer-Lock, A. (2015): A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications. Proceedings of 28th Session of the CIE, Manchester, UK, p. 1602–1611
- [35] Yang, Y., Luo, M.R., Ma, S.N. (2016): Assessing glare. Part 2: Modifying Unified Glare Rating for uniform and non-uniform LED luminaires. Lighting Research & Technology, 2016
- [36] Takahashi, H., Kobayashi, Y, Onda, S., Irikura, T. (2007): Position Index for the Matrix Light Source. In: Journal of Light and Visual Environment 31 (3), p. 128–133.
- [37] Hara, N. (2016): Visual characteristics for evaluating the discomfort glare – relationship between the position, size, array of the LED chips, and BCD on the discomfort glare. Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, Melbourne, Australia, p. 704–707.
- [38] Yang, Y., Ma, S.N., Lou, M.R., Liu, X.Y. (2015): Discomfort glare by non-uniform white LED matrices. Proceedings of the 28th Session of the CIE, Manchester, UK, p. 393–399.
- [39] Chen, M.K, Chou, C.J., Chen H.S. (2016): Assessment of glare rating from non-uniform light sources. Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, Melbourne, Australia, p. 697– 703.
- [40] Tashiro T., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T., Ayama, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, p. 583–588. South Africa, p. 583–588.

參考資料

- [41] Scheir, G.H., Hanselaer, P., Bracke, P., Deconinck, G., Rykaert, W.R. (2015): Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. *Building and Environment* 84 (2015), p. 60–67.
- [42] Škoda, J., Sumec, S., Baxant, P., Krbal, M., Parma, M. (2015): Measurement of discomfort glare through luminance analyser, *Proceedings of the 28th Session of the CIE, Manchester, UK*, p. 1373–1381.
- [43] Koga, S., Higashi, H., Kotani, T. (2013): The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place. The modification of G-classification using luminance distribution of luminous parts, *Proceedings of the CIE Centenary Conference, Paris, France*, p. 657–662.
- [44] Yang, Y., Ma, S.N., Luo, M.R. (2016): Glare model for non-uniform white LED luminaires. *Proceedings of CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”*, Melbourne, Australia, p. 451–456.
- [45] Seuntjens, P.J.H. & Vogels, Ingrid. (2008). Atmosphere creation: The relation between atmosphere and light characteristics. *Proceedings from the 6th Conference on Design and Emotion 2008*.
- [46] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*. 2001;21:6405–6412.
- [47] CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
- [48] Teunissen C, van der Heijden FHF, Poort SHM, de Beer E. Characterising user preference for white LED light sources with CIE color rendering index combined with a relative gamut area index. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 461–480.
- [49] Royer, MP, Wilkerson, A, Wei, M, Houser, K, Davis, R. Human perceptions of color rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 992–1014.
- [50] Tang, X & Teunissen, Kees. The appreciation of LED-based white light sources by Dutch and Chinese people in three application areas. *Lighting Research & Technology* (2018)
- [51] Energy Star, Energy Star Program Requirements for Lamps (light bulbs), Eligibility criteria version 1.1.
- [52] IEC TR 61547-1:2017, Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method, edition 2.
- [53] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications.
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria

