

## 知識物件上傳表

- 一、計畫名稱：公部門用電效率管理計畫（2/4）
- 二、上傳主題：空間設計因子對作業面照度與照明功率密度之影響
- 三、提報機構：財團法人台灣產業服務基金會
- 四、提報時間：2022 年 12 月 08 日
- 五、報告內容

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 國內 <input type="checkbox"/> 2. 國外
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 能源政策（包含政策工具及碳交易、碳稅等） <input type="checkbox"/> 2. 石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3. 電力及煤碳（包含電力供應、輸配、煤炭、核能等） <input type="checkbox"/> 4. 新及再生能源 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 節約能源（包含工業、住商、運輸等部） <input checked="" type="checkbox"/> 6. 其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1. 能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 能源安全 <input type="checkbox"/> 3. 能源供需 <input type="checkbox"/> 4. 能源環境 <input type="checkbox"/> 5. 能源價格 <input type="checkbox"/> 6. 能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 能源科技 <input type="checkbox"/> 8. 能源產業 <input checked="" type="checkbox"/> 9. 能源措施 <input type="checkbox"/> 10. 能源推廣 <input checked="" type="checkbox"/> 11. 能源統計 <input type="checkbox"/> 12. 國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言（策略、政策、措施、法規） <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析（先進技術或方法、策略、政策、措施、法規） <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>建築之照明節能技術可分為照明燈具本身之發光效率提升以及藉由室內空間之照明系統設計以達在同樣維持作業面照度下，以減少燈具數量進而達節能之目的。本研究之目的在於探討建築空間內有關影響作業面照度與照明功率密度 Lighting Power Density (LPD)之設計因子，並量化其影響程度，盼將量化之結果作為空間設計者進行室內照明設計規劃與燈具配置上之參考，以達照明節能之目的。研究顯示「室內淨高」、「燈具間距」、「單根燈管之光源流明數」、「周壁反射率」等因子對作業面照度之貢獻度分別為 2.1%、48.1%、33.6%與 16.2%。此外，本研究參考我國現行建築能效標示評估法之分級，提出辦公空間 LPD 之八等級分級評估尺度，以達近零碳建築之水準時其 LPD 在有、無 OA(office automation 辦公自動化)隔屏下其 LPD 需分別低於 6.6 與 5.7 W/m<sup>2</sup>。本研究並建議在綠建築評估上，有、無 OA 隔屏下其 LPD 基準可分別降為 9.2 與 8.0 W/m<sup>2</sup>，以反應照明技術之進步並鼓勵在合理應有之照度水準下進行照明節能設計。</p>

照明用電量約佔建築全年用電的二至三成，為達淨零碳排建築目的下，照明節能之重要性僅次於空調系統之節能。我國的辦公室作業面照度規範依 101 年版的 CNS 12112 (CNS, 1987) 所建議，就一般辦公空間而言(精細工作除外)其照度標準應介於 300-750 lx 之間，一般通用型辦公空間以維持作業面 500 lx 為基準，該規範針對不同的室內作業或活動種類提供應維持照度的參考，而無涉照明節能之評估。在判斷照明設計是否節能上，針對不同照明空間採用照明功率密度 LPD (Lighting Power Density，簡稱 LPD) 來訂定照明節能規範(ASHRAE, 2013)以進一步評估照明設計之節能與否。LPD 之意義為單一空間內單位樓地板面積下之照明光源總額定功率，由於不同的空間使用機能所需之作業面照度亦不盡相同，因此 LPD 也與空間之使用型態有關。LPD 指標普遍應用在規範室內空間於設計階段之照明節能效果，任元會在 2008 年的評論報告提出 LPD 限值做為評估空間節能是最基本的方式(任元會 2008)，在照明設計上不超過限值是基本要求，但因 LPD 會隨空間大小而變動，故不應以限值計算所需光源之數量，這樣將違反節能之本意。也因此我國之綠建築規範內針對照明節能雖亦以 LPD 作為評估，但亦加入了空間淨高之修正與放寬。我國綠建築亦以 LPD 作為評估指標，以辦公空間為例現行之 LPD 基準為 15 W/m<sup>2</sup> (林憲德等, 2020)，該基準係基於傳統螢光燈下在足以維持作業面照度之前提下而訂立，然而近年來 LED 光源技術成熟，光源發光效率更佳且應用日漸普及下，LPD 之基準門檻亦須隨之調整，以反應照明節能技術之進步。表 1 彙整了國際間以 LPD 作為辦公空間照明節能評估之基準值，顯示我國綠建築評估以 15 W/m<sup>2</sup> 為基準是較為寬鬆之規定，對比於美國的 8.5 W/m<sup>2</sup> 或新加坡的 12 W/m<sup>2</sup> 皆高出許多，約相當於中國對於高檔豪華辦公室之標準。在今日 LED 照明技術進步以及具有更高發光效率之光源出現下，我國對於辦公空間之 LPD 基準，其實尚有下列修訂之空間以反應照明科技之進步。

表 1 國際間對於辦公空間 LPD 限值之標準彙整表

空間類型	LPD 限值	參考規範標準
辦公室、會議室、行政空間、視聽室	15 W/m <sup>2</sup>	內政部建築研究所綠建築評估手冊基本型 2019 年第三版 (林憲德等 2019)
辦公室	8.5 W/m <sup>2</sup>	美國採暖、製冷與空調工程師學會 ASHRAE Standard 90.1-2016 (ASHRAE 2016)
辦公室、會議室、閱讀空間、電腦使用空間	12 W/m <sup>2</sup>	新加坡標準、生產力與創新局 SS 530:2014 建築服務與設備能源節約標準
普通辦公室	9 W/m <sup>2</sup>	中國住房和城鄉建設部 GB 50034-2013 建築照明設計標準
高檔辦公室、設計室	15 W/m <sup>2</sup>	
會議室	9 W/m <sup>2</sup>	
服務大廳	11 W/m <sup>2</sup>	

本研究以全因子模擬實驗方法，透過空間照度模擬之方式，找出影響室內作業面照度之關鍵空間設計影響因子，建立照度預測模式，進而應用所建立之照度預測模式透過大量之不同空間設計因子組合模擬下，建立在不同作業面照度需求下合理之照明 LPD 分佈，並據以建立我國新的特定空間 LPD 基準，以作為未來我國綠建築在照明節能規範修訂下之參考。

根據一篇探討辦公室舒適節能照明之評估模式研究報告中，著作者應用了 DIALux evo 軟體作為主要探討作業面輔助照明在對照明品質、舒適度與節能間之關係(周鼎金 2018)。除了針對人工光源之模擬用途外，同樣的軟體亦被應用於評估住宅的採光性能研究中(周鼎金 2018)，可見 DIALux evo 亦能針對開窗引入晝光以模擬在晝光與人工光源混合照明下之環境與作業面照度之分析。而近年來，另一篇碩士論文之研究也同樣採用了 DIALux evo 軟體，進行探討辦公空間照明用電密度基準(易昌廷 2020)。其結果表明，以平均照度 500lx 時為例，採用 T8 螢光燈之照明用電密度介於 10.98~15 W/m<sup>2</sup> 之間，平均為 12.98 W/m<sup>2</sup>，T5 燈管則介於 8.51~11.7 W/m<sup>2</sup> 之間，平均為 10.06 W/m<sup>2</sup>，而 LED 燈源則介於 7.8~9.06 W/m<sup>2</sup> 之間，平均為 8.45 W/m<sup>2</sup>。此結果則可為本計畫提出擬定辦公空間之照明密度基準之重要參考。

從國外文獻中亦有 DIALux 作為照明分析之應用，如應用於評估室內環境中日光的利用並分析節能的潛力(Asif Ul Haq, Islam et al. 2020)；或應用於模擬辦公室光環境，通過改變光源的參數和燈的位置，以達到更節能、更舒適的最佳光線環境(Sun, Liu et al. 2020)；亦有針對同一空間使用專業照明儀進行平均照度和均勻性的比較分析，且證實使用 DIALux 模擬與真實之照度情況的準確性很高(Scarżyński and Rutkowska 2020)。此外在不同的領域裡，亦有不乏以 DIALux 作為照明之分析工作，比如應用於 LED 路燈之研究(張慶南, 蕭弘清 et al. 2013)；或應用於有機固態照明(OLED)之研究(張謙允 2015)；亦有作為戶外燈具造成環境光害之分析如(周鼎金 2019)與(趙又嬋 2011)等，足見該軟體已發展成熟且成為可供作為學術研究照度分析之工具。因此，本研究在探討空間設計因子對照度之影響分析，即採用 DIALux evo 軟體進行作業面照度之模擬。

為了探討在不同設計因子組合下各辦公空間之可能 LPD 分布，本研究進一步假設建築市場上常見之空間照明設計情況，應用蒙地卡羅方法進行大量之照度模擬，並計算每一空間之 LPD，同時以市面上燈具之發光效率介於 90~160 lm/W 下，建立共 2000 組(500 lx 與 750 lx 作業面照度需求之樣本各 1000 組)相異之空間照度設計案例，在所有案例之作業面照度皆可達 500 lx 水準之前提下，逐一反推求各案例之 LPD 值。最終其 LPD 之分布如圖 1 所示，模擬結果整體大至呈稍微右偏型態之對數常態分布，在作業面照度達 500 lx 時其 LPD 之最大值為 14.85 W/m<sup>2</sup>、最小值為 5.29 W/m<sup>2</sup>、平均為 9.35 W/m<sup>2</sup>、中位數為 9.16 W/m<sup>2</sup>、標準差為 1.91 W/m<sup>2</sup>；而當作業面照度達 750 lx 時其 LPD 之最大值為 19.18 W/m<sup>2</sup>、最小值為 7.12 W/m<sup>2</sup>、平均為 12.50 W/m<sup>2</sup>、中位數為 12.25 W/m<sup>2</sup>、標準差為 2.56 W/m<sup>2</sup>。同時整理各百分位下相對應之 LPD 數值如表 2 以為參考。

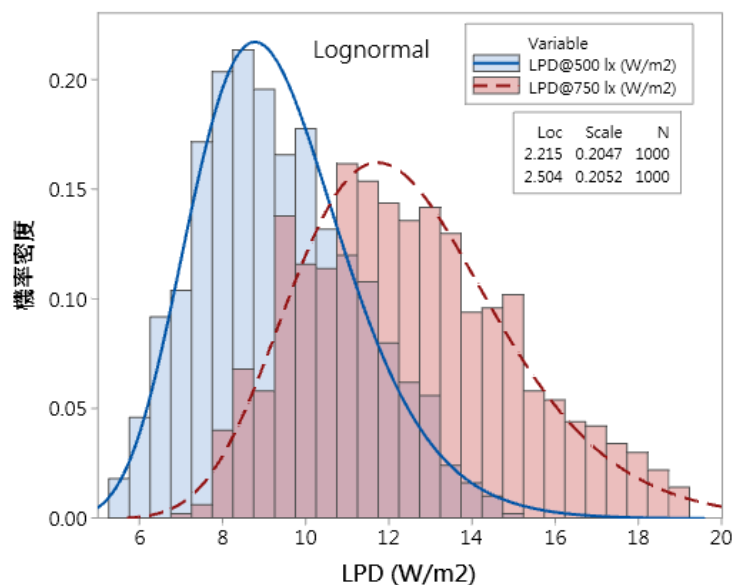


圖 1 蒙地卡羅模擬下空間 LPD 之機率密度分布

表 2 各百分位下之 LPD 參考

百分位	20%	40%	60%	80%
<b>LPD@500 lx</b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>7.67</b>	<b>8.62</b>	<b>9.70</b>	<b>10.88</b>
<b>LPD@750 lx</b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>10.12</b>	<b>11.57</b>	<b>12.99</b>	<b>14.54</b>

● 提出照明功率密度基準之建議

依本研究在 500 lx 與 750 lx 作業面照度需求下各 1000 組之模擬結果，其所有案例之 LPD 累積分布曲線如圖 2 所示，圖中較粗的曲線為以對數常態分布擬合後的連續累積分布，而較細者代表 2 組各 1000 個模擬樣本之離散型累積分布。圖中各自之二條分布曲線相當接近，顯示擬合情況非常適配。因此，大致上可依第 80 百分位作為建議之 LED 照明設計時 LPD 之門檻，意即 500 lx 與 750 lx 作業面照度需求下，可分別以  $LPD=10.88$  與  $14.54 \text{ W/m}^2$  或大致以  $11$  與  $15 \text{ W/m}^2$  為基準。換言之，對比現行綠建築之照明節能評估內辦公空間以  $15 \text{ W/m}^2$  為基準，在今日照明燈具發光效率較過往相對較佳之情況，其作業面照度可能趨近於 750 lx。因此，其基準尚有下修之空間以避免照度過量。

但由於模擬案例之照明設計有節能者也包括較不節能之設計案例以盡量真實反應實際案場之現況，因此在擬定辦公空間之 LPD 基準時，為避免照明設計過量本研究以作業面照度達 500 lx 之需求下。此外，依過去之研究顯示，當作業面安裝了辦公桌隔間板(OA 隔屏)後，其隔屏將影響桌面之照度使得作業面照度降低，其照明功率密度建議須再提高 12~19%以符合同樣的作業面照度水準(謝明燁與易昌廷，2021)。因此，其 LPD 基準值可再放寬以彌補 OA 辦公家具隔屏所造成之照度損失。

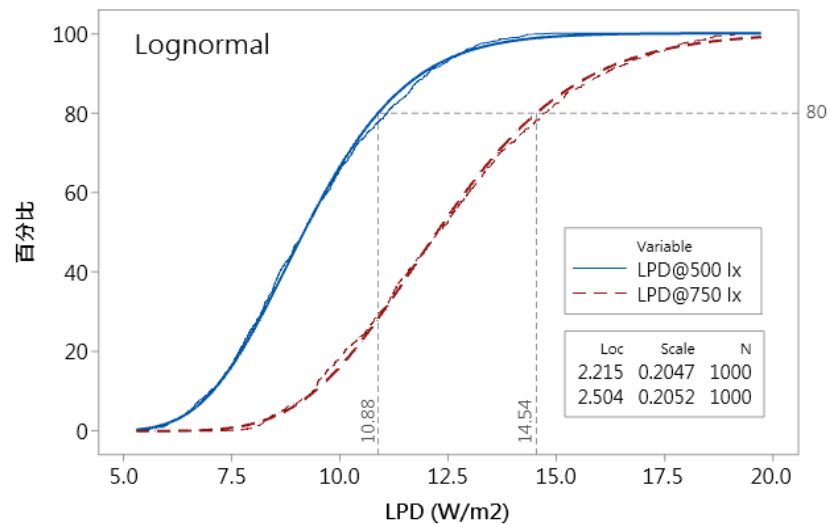


圖 2 所有模擬案例之 LPD 累積分布

本研究探討主要影響辦公空間作業面照度之四個關鍵設計因子，透過室內照度模擬之方式量化其對作業面照度之影響性以為空間照明設計之參考，並建立一般通用辦公空間簡易之照度預測模式。此外，再利用所建立之照度預測模式，在考量作業面照度可達 500 lx 之視覺舒適標準下，應用蒙地卡羅方法大量模擬我國市面上常見之照明設計組合，以建立本土辦公空間之可能 LPD 分布。透過所建立之分布並參考現行我國建築能效分級評估，建立八等級之 LPD 分級尺標，以為未來照明節能設計評估分級之目的，並提出綠建築照明節能評估時 LPD 基準之建議。以下彙整本研究之具體結論：

1. 影響作業面照度之四個關鍵因素依其影響程度，依序為「燈具間距」、「單根燈管之光源流明數」、「周壁反射率」與「室內淨高」，其量化之貢獻度分別為 48.1%、33.6%、16.2% 與 2.1%。
2. 本研究透過上述四個關鍵因子，建立通用辦公空間簡易之作業面照度預測模式，可作為空間照明節能設計之初步評估用途。
3. 本研究針對 500 lx 與 750 lx 不同之作業面照度需求下，應用蒙地卡羅方法大量模擬可能之 LPD 後，其分布皆呈現屬於偏右之對數常態分布，其第 80 百分位之 LPD 分別為 10.88 與 14.54 W/m<sup>2</sup>。可分別作為照明設計時之最低門檻標準。
4. 本研究基於作業面照度可達 500 lx 水準下完成建立八個等級之 LPD 分級評估尺標，並建議在綠建築照明節能評估上依辦公空間內是否有 OA 隔屏，LPD 之評估基準調整為 8.0 W/m<sup>2</sup> (無 OA 隔屏) 與 9.2 W/m<sup>2</sup> (有 OA 隔屏)。
5. 為契合國家 2050 淨零碳排政策，本研究提出為達近零碳建築水準，建議 LPD 基準可訂為 5.7 W/m<sup>2</sup> (無 OA 隔屏) 與 6.6 W/m<sup>2</sup> (有 OA 隔屏)，以誘導在不犧牲合理之作業面照度下，鼓勵極致之辦公空間照明節能設計手法。

資料來源：

- [1] Matheus Soares Geraldi \*, Veronica Martins Gnecco, Antonio Barzan Neto, Barbara ´ Augusta de Mafra Martins, Enedir Ghisi, Michele Fossati, Ana Paula Melo, Roberto Lamberts Evaluating the impact of the shape of school reference buildings on bottom-up energy benchmarking (2021)
- [2] Joseph C. Lam and Sam C. M. Hui, Sensitivity Analysis of Energy Performance of Oddice Buildings, Building and Environment, Vol. 31, p.27-39(1996)
- [3] A. K. Athienitis, A computer method for systematic sensitivity analysis of building thermal

networks. Building and Environment, Vol. 24, p.163-168(1989).

[4]H. Buchberg, Sensitivity of room thermal response to inside radiation exchange and surface conductance, Building Science, Vol. 6, p.133-149(1971).

[5]H. Buchberg, Sensitivity of the thermal response of buildings to perturbations in the climate. Building Science 4, p.43-31(1969).

[6]PH C.LAM and SAM C. M. HUI, sensitivity Analysis of Energy Performance of Office Buildings. Building and Environment Vol. 31, No. 1. p. 27-39(1996).

[7]ammarata, A. Fichera and L. Marletta, Sensitivity analysis for room thermal response. International journal of Energy Research, Vol. 17, p.709-718(1993).

[8]J. Lomas and H. Eppel, Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. Energy and Buildings, Vol. 19, p21-44(1992).

[9]李魁鵬\*、陳相輪\*、朱錫文，”辦公大樓之耗能因子敏感度分析”，(2007)