

我國LED智慧照明示範推廣

郭玉萍^{1*} 林士凱² 朱素琴³

摘要

面臨能源枯竭危機，節能議題持續發酵，隨著LED照明技術突破，照明節能措施陸續展開，透過燈具汰換可達到大於五成的節能效果，但卻無法有效紓解尖峰用電壓力，若能導入智慧照明技術，除可再節省電力外，亦可發揮抑制尖峰用電之效益，紓解現今電力備用容量吃緊之困境。經濟部能源局自2015年起推動LED智慧照明示範計畫，補助對象為大專校院與各鄉(鎮、市、區)公所，藉由示範計畫之執行，推廣先進智慧照明技術，建立智慧照明示範場域，協助LED照明廠商克服發展瓶頸，開發關鍵零組件、高值化燈具與智慧系統，達節能減碳與產業發展之雙重目的。本文主要介紹近年來我國LED智慧照明示範計畫推廣案例，了解技術發展與施行績效，並剖析未來大量推動所需克服問題。

關鍵詞：發光二極體，照明用電密度，智慧照明

1. 前言

經濟部能源局為達節能減碳之政策目的，推動各項節能政策，在照明節能方面更不餘遺力，自2009年起開始推動LED路燈設置，以高效率LED路燈汰換低效率水銀路燈，透過小批量示範計畫，持續改善LED路燈實務裝置所面臨問題，逐步擴大裝置規模，陸續推出『全臺設置LED路燈計畫』與『水銀路燈落日計畫』，大量將全臺水銀路燈換裝為LED路燈，藉由各縣市參與推動，自2008年至2017年累積全臺LED路燈設置量超過120萬盞，LED路燈一年節省電量可達10億度電，節電率達70%。在戶外LED照明節能卓越效益帶動下，啟動LED室內照明節能，並搭配物聯網與智慧控制，LED智慧照明節電開啟LED照明新藍海。

有鑑於智慧控制技術多元發展，期透過

示範場域建置，實地了解智慧照明控制節電成效，並追蹤智慧照明施作與使用所面臨問題，藉由小型示範計畫執行，蒐集需待解決課題，逐步解決各項障礙，加速智慧照明普及化。

2. 推廣規劃

關於室內照明，照明用電密度(Lighting Power Density以下簡稱LPD；單位W/m²)為節約能源策略之一，以美國ASHRAE/IES 90.1規範為例，透過逐步提升LPD要求，可達照明用電量降低之目的。表1為ASHRAE/IES 90.1各年度版次LPD基準比較，根據統計傳統照明用電密度可達20 W/m²，ASHRAE/IES 90.1 2016年版要求，圖書館照明用電密度為8.4 W/m²，辦公室照明用電密度為8.5 W/m²，初估其照明節電潛力逾50%。依圖書館節能技術手冊內之2011

¹工業技術研究院綠能與環境研究所 專案經理

²工研院綠能所 資深工程師

³工研院綠能所 副工程師

*通訊作者電話: 03-5916363, E-mail: ritakuo@itri.org.tw

收到日期: 2018年05月31日

修正日期: 2018年07月06日

接受日期: 2018年07月24日

表1 ASHRAE/IES 90.1整體建築之照明功率密度基準比較表

建築形式	可容許之最大照明功率密度(單位: W/m ²) 根據ASHRAE/IES 90.1 Standard (1989年-2016年)				
	1989年	1999年/2001年	2004年/2007年	2010年	2016年
宿舍	12.4	16.1	10.8	6.6	6.6
運動中心	22.3	15.1	10.8	9.5	7.0
健身房	22.3	18.3	11.8	10.8	7.3
醫療診所	15.5	17.2	10.8	9.4	8.8
醫院	15.5	17.2	12.9	13.0	11.3
旅館	12.4	18.3	10.8	10.8	8.1
圖書館	13.9	16.1	14.0	12.7	8.4
電影劇院	22.3	17.2	12.9	8.9	8.9
複合式家庭	12.4	10.8	7.5	6.5	7.3
博物館	22.3	17.2	11.8	11.4	11.4
辦公室	13.6	14.0	10.8	9.7	8.5
停車車庫	11.1	3.2	3.2	2.7	1.6
警察/消防局	15.5	14.0	10.8	10.3	8.6
郵局	15.5	17.2	11.8	9.4	7.2
零售商店	24.2	20.5	16.1	15.1	11.4
學校/大學	13.9	16.1	12.9	10.7	9.8
體育競技場	22.3	16.1	11.8	8.4	9.4
大會堂	15.5	15.1	11.8	9.9	8.6

資料來源：本研究整理。

年度節約能源網路填報資料庫，針對172家圖書館用電情形分析，我國大專院校圖書館電能使用分布，空調耗能占47%、照明占25%，學期間使用時數略高於寒暑假，年平均用電時數4,500小時，尖離峰使用人數變化大，若採用先進智慧照明控制，對節能減碳實有莫大效益。且圖書館係一室內照明多元應用之綜合體，含多種照明功能需求，須兼顧一般照明(走道、大廳)、立面照明(圖書櫃、書報櫃)與重點照明(閱讀區、自習區、視聽區)，運用智慧化滿足各區域需求，後續可依功能複製到其他室內類似場域(圖書館節能技術手冊，2012)。

智慧照明係智慧家庭之一環，藉由智慧家庭技術發展，提升生活便利與品質，智慧照明具有極大潛在市場，期透過示範場域建置，促進產業與學界合作，積極投入智慧照明節能技術研發，並培育大學人才。故2015年度起經

濟部能源局啟動室內智慧照明計畫，先試行大學校院圖書館之智慧照明系統建置，將圖書館內螢光燈具汰換為高效率LED燈具，並搭配智慧照明控制系統，期藉由室內照明多元應用場域，提高節能效益及室內照明品質，整合所屬系所教授，運用智慧照明技術進行示範場域之照明系統智慧節能規劃設計，並要求完成後該場域範圍之照明用電密度應低於10 W/m²。

2015年度工研院綠能所推動「大學校院圖書館智慧照明研究示範計畫」，計有八校完成圖書館智慧照明工程，分別為景文科技大學、中興大學、大葉大學、中華科技大學、亞洲大學、環球科技大學、明道大學、崑山科技大學等，計畫實施前平均LPD為14 W/m²，實施後平均LPD降至6.7 W/m²，平均節省約52%的照明用電。場域建置完成後，獲師生一致好評，不僅達預期節電目標，照明品質亦獲有效改善，

尤其裝設LED平板燈具之場域，師生滿意度極高，且由後續LED燈具失效率統計分析，LED平板型燈具失效率低於LED燈管型燈具，考量照明品質與使用壽命等因素，鎖定LED平板燈具作為下階段示範計畫之使用燈具，並由工研院綠能所制定『智慧高效率照明系統技術規範』，嚴格要求參與計畫之燈具產品須符合技術規範要求，以符合高效率、低眩光、無藍光危害等指標，通過嚴謹檢驗規範，確保執行品質與採購公平性。

有鑑於大學校院執行成效頗佳，2016年度工研院綠能所接續規劃辦理「發光二極體先進照明推廣補助計畫」，規劃推動各鄉(鎮、市、區)公所辦公室空間智慧照明節能補助，為達節能減碳及創新照明節能應用之目標，持續藉由LPD限制及智慧照明控制規格要求，以高效率低眩光發光二極體照明燈具進行鄉(鎮、市、區)公所之室內照明節能示範建置，盼能促進先

進照明技術與產品應用，帶動綠能產業發展。截至今(2018)年度，各鄉(鎮、市、區)公所之室內照明節能示範已執行至第三年度，配合LED照明研發生產技術之發展，逐年檢討、修正技術規範，詳如表2所示，藉由技術規範與示範計畫引導廠商投入更高品質產品開發。另我國室內照明能源使用因燈具效率及照度設計不當，照明用電密度高，透過示範計畫研議LPD規範，設定LPD指標，促進照明設計合理化。

3. 執行成效

3.1 大學校院圖書館智慧照明研究示範計畫

2015年度以圖書館為智慧照明研究示範場域，大學校院須整合所屬系所教授，運用智慧照明技術進行圖書館之照明系統智慧節能規劃

表2 各鄉(鎮、市、區)公所示範計畫之技術指標分析比較

年度	2016年度	2017年度	2018年度
LPD	< 10 W/m ²	< 7 W/m ²	< 5 W/m ²
發光效率	≥ 100 lm/W	≥ 120 lm/W	≥ 140 lm/W
燈具型式	高效率、低眩光	同左	同左
光通量	2,500 ~ 3,000 lm	2,500 ~ 3,500 lm	同左
調光	非必備	必備	同左
控制方式	同時具備有線(DALI或1-10V)及無線(ZigBee或WIFI) 註：DALI - Digital Addressable Lighting Interface	有線(1-10V、PWM、DALI、PLC)或無線(ZigBee、WIFI、Bluetooth) 註：PWM - Pulse Width Modulation PLC - Programmable Logic Controller	同左
智慧功能	至少須具有任兩項：時序控制、人員感知控制、晝光照明調光、情境照明設定/呼叫。	須具時序控制功能，並兼備人員感知控制、晝光照明調光、場景照明設定/呼叫等其中一項以上。	同左
能源統計	必備能源管理統計功能	必備能源管理統計功能，最大時間間隔為15分鐘	同左
閃爍	無	標示	閃爍指數≤ 0.02 閃爍百分比≤ 2%

資料來源：本研究整理。

設計，含照明智慧控制或資通訊創新技術設計開發、節能照明產品、改善工程設計等，綜整八所大學建置場域，其成效與功能如下：

- (1) 整合智慧控制與高效率燈具(符合節能標章能效基準)，八校完成圖書館智慧照明工程後，平均照明用電密度從 14 W/m^2 降至 6.7 W/m^2 以下，節電率達52%。
- (2) 中興大學圖書館3F視聽室採用LED平板燈具，搭配使用DALI數位定址燈光系統，依需要設定四種情境模式，含全開、全關、簡報模式及影片模式，如表3與圖1所示。增設情境照明控制功能，使用網頁式之線上監控系統，管理者可隨時得知現場資訊，並能進行遠端遙控。
- (3) 兩所大學(景文科大、環球科大)建置智慧查書系統，配合智慧指引燈建立查書導引系統，並可結合手機APP操作，具創新性與便利性，如圖2所示。



圖1 具情境設定之視聽室
圖片來源：本研究攝於中興大學圖書館。

- (4) 景文科技大學建置監控中心，為一套複合性控制整合系統，包含智慧照明控制、無線定位求救、安全監控系統、節電及省水系統，如圖3所示。
- (5) 崑山大學建置能源管理系統，具備智慧排程、日光節約、場景配合、在位控制排程、個人專屬控制及智能用電量管理六大功能，

表3 視聽室各區域情境模式設定情形

情境模式 \ 區域	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4
簡報模式	0%	30%	30%	40%
影片模式	0%	10%	10%	10%
全亮	100%	100%	100%	100%
全暗	0%	0%	0%	0%

資料來源：本研究整理。



a. 環球科技大學圖書館



b. 景文科技大學圖書館

圖2 具指引燈號之智慧查書系統
圖片來源：本研究攝製。



圖3 監控中心具複合性控制整合系統
圖片來源：本研究攝於景文科技大學。

如圖4所示。建置照明能源管理系統與線上照明用電監控，持續記錄照明系統之耗電量及用電分析，可作為後續相關設備調整及能源管理之依據。

- (6) 增設個人用電管理(環球科大、中華科大)，以插卡方式達到照明節電效果，如圖5所示。
- (7) 靠窗區增設晝光感應控制模組，自然光與人工光進行互相調節作用。
- (8) 於非必要區域裝設紅外線感應或微波感應器，大幅減少照明用電量。



圖4 館員使用平板電腦登入能源管理系統
圖片來源：本研究攝於崑山科技大學。



a. 環球科技大學圖書館



b. 中華科技大學圖書館

圖5 插卡式之個人用電管理系統
圖片來源：本研究攝製。

(9) 可依時間或季節等不同因素，調整所需照明環境參數，並可由智慧手機偵測照明控制系統。

3.2 鄉(鎮、市、區)公所LED先進照明推廣補助計畫

2016年度與2017年度共完成62個公所示範場域建置，2018年度計64公所獲得優先補助，規劃於今(2018)年底完成場域建置，本計畫逐年提升LED燈具發光效率、降低示範區域LPD要求值，以達引導高效率產品開發之目的，綜整2015~2018年度執行成果，照明用電密度改善結果，如圖6所示。預估2018年度LPD可降

至 3.9 W/m^2 ，遠低於國際指標(10 W/m^2)，以高效率LED平板燈具取代傳統T8 螢光燈具，示範場域中之最佳節電率可達78%。一般示範場域內之燈具多數已使用一段時間，室內照明效果不佳、照度偏低、具眩光，計畫執行後不僅獲極佳之節能效益，並提升室內空間照度，且因採用低眩光平板燈具，有效消除照明燈具之眩光，計畫執行前、後之照明比較如圖7所示，建置場域涵蓋各公所所屬辦公大樓、圖書館、視聽室及活動中心等區域，如圖8所示。

各鄉(鎮、市、區)公所場域建置智慧照明，自2016年起已邁入第三年，經過實地使用操作與意見回饋，持續改善智慧控制功能與設



圖6 LED室內智慧照明示範計畫LPD變化趨勢
註：2018年度為計畫書預估值
資料來源：本研究整理。



圖7 改善前後照明效果比較
圖片來源：本研究攝於新竹縣寶山鄉公所。



圖8 公所示範場域類型

圖片來源：本研究攝於 a. 雲林縣虎尾圖書館、b. 宜蘭縣蘇澳鎮公所、c. 新北市林口區公所與 d. 新北市汐止區公所。

置手法，以提升使用者便利性與滿意度，建置完成之成效與功能如下：

- (1) 以高效率LED平板燈汰換螢光燈具，2016年度示範場域平均LPD從 13.4 W/m^2 降至 5.2 W/m^2 ，節電率達62%；2017年度示範場域平均LPD從 12.2 W/m^2 降至 4.8 W/m^2 ，節電率達61%；2018年度示範場域預定平均LPD從 11.4 W/m^2 降至 3.9 W/m^2 ，節電率達66%。
- (2) 建置照明能源管理系統，可達照明用電監控目的，持續記錄照明系統之耗電量及用電分析，最小紀錄時間間距為15分鐘，作為後續相關設備調整及能源管理依據，經此系統可了解照明使用習慣與用電量，對契約用電之掌控與調配有所助益。
- (3) 2017年度起均採用可調光燈具，使用者可依實際使用需求調降初始空間照度，可避免新燈具之光輸出較高，造成照度瞬間提升，亦
- (4) 場域內靠窗區增設晝光感應控制模組，讓自然光與人工光進行互相調節作用。
- (5) 於非必要或非長時間使用之區域，如倉庫、茶水間、廁所、儲藏室等區域，裝設紅外線感應器或微波感應器，大幅減少照明用電量，提升使用便利性。
- (6) 於會議室、禮堂等非一般辦公區域，增設情境照明控制功能，使用網頁式之線上監控系統，管理者可隨時得知現場資訊，並能進行遠端遙控。
- (7) 透過智慧控制系統提供時序控制功能，依既定排程進行燈具開、關或調光控制，且可將行事曆功能納入時序控制，增加時序排程靈活度。

經各鄉(鎮、市、區)公所示範場域建置，

讓民眾親身體驗LED燈具之節能、舒適與智慧化效果，不僅消弭先前對LED燈具感覺刺眼之疑慮，更帶動全民參與LED照明節電運動。工研院綠能所2017年度調查統計，2016年我國照明明用電約229.3億度電，照明明用電占全國總用電量9%；在我國室內照明部分，直管螢光燈燈具用電占65%，其用電量居冠，使用對象以服務為主，白天為其主要使用時間，故已列為下一階段重點節能政策目標，並經智慧照明控制技術，達抑制尖峰用電之效，預估室內照明全面LED化，其年度節電量可達近百億度電(經濟部能源局2016年能源統計手冊，2017)。

在LED示範計畫推行之始，LED照明節能成效雖獲極高肯定，但部分人士對LED燈具之光生物安全仍有些許疑慮，為免消費端之不安全感，要求示範場域所使用燈具，都須進行光生物安全性與藍光危害檢測，採用CNS 15592 (IEC 62471)與IEC/TR 62778標準進行燈具試驗，燈具須符合「無危害」等級，再透過實地場域之建置，讓消費大眾實地體驗LED平板燈具之照明效果，消弭對LED燈具藍光危害之疑慮(國家標準CNS 15592，2018)。

大自然之太陽光廣義的定義是來自太陽所有頻譜的電磁輻射，其中包括紅外線、可見光(visible light)及紫外線，可見光係電磁波譜中

人眼可感受到的波長範圍(一般介於390 nm到700 nm)，涵蓋紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等光色，藍光是白光之必然成份。參考國家標準CNS 15592，藍光危害(Blue light hazard, BLH)為因暴露於波長主要介於400 nm至500 nm間之輻射，而造成視網膜傷害之光化學潛勢。藍光危害形成之三個主要因素為：光頻譜分布、光強度、曝光時間(國家標準CNS 15592，2018)。

藍光對視力之危害含藍光強度、暴露時間及表面輝度等因素，美國能源部(Department of Energy, DOE)於2013年發布「固態照明技術概要書」(DOE, 2013)，2014年發布技術報告「True Colors」(DOE, 2014a)，說明LED照明的安全性，色溫可做為評量光源之指標，低色溫的暖光藍光含量低，而高色溫燈具其藍光含量較高，惟相同色溫下，LED與傳統光源兩者的藍光危害程度並無差異，各類光源之色溫與藍光危害效能關係圖參考圖9，圖10說明光源之色溫、照度與藍光危害等級關係圖，在圖面中藍色線左下方灰色區域，屬RG0無風險與RG1低度風險等級，在圖面中藍色線右上方白色區域，屬中度風險RG2與RG3高度風險等級。不當使用方法或採用不合格產品，可能會因眼睛過度暴露於波長約400 nm到480 nm藍光下，導致視網膜受損(DOE, 2013；DOE, 2014a；DOE,

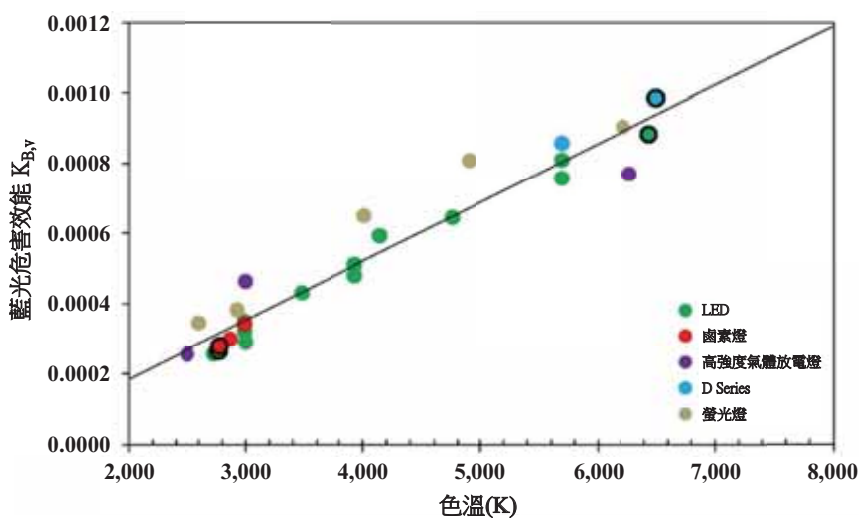


圖9 各類光源之色溫與藍光危害效能關係圖
圖片來源：DOE, 2013。

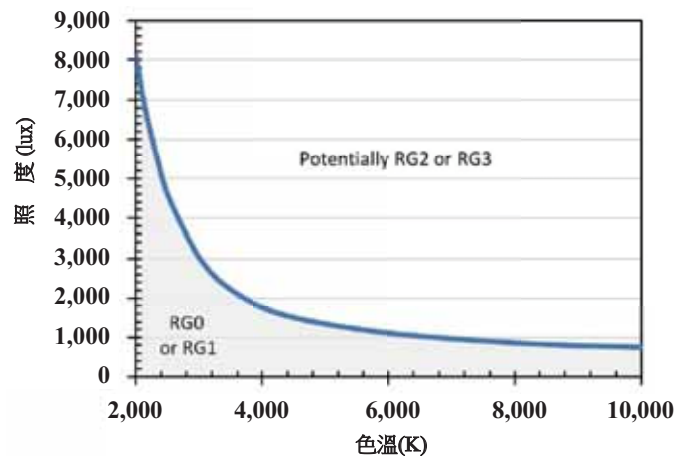


圖10 光源之色溫、照度與藍光危害等級關係圖
圖片來源：DOE, 2013。

2014b)。

日常生活中所使用之光源(如太陽光、日光燈、白熾燈、鹵素燈及LED燈等)，其光譜均涵蓋藍光範圍，爰無需對藍光過度恐慌，惟須注意使用燈具時應避免長時間近距離直視光源，以免傷害視力。生活周遭除照明光源，更須關注3C產品螢幕藍光，若長使用時間或近距離直視，對視力的傷害更大於一般照明。眼科醫生建議，如覺得刺眼就是一種警訊，包括螢幕在內，應設法降低光的強度，選用合格產品與正確使用習慣將是維護視力健康之不二法則。

4. 結 語

LED智慧照明示範計畫施行3年，已獲消費端高度肯定，透過示範計畫推動，不但引導產品技術提升，更藉由實際場域之使用回饋，讓智慧照明系統之設計更趨完善。然智慧照明控制系統之設置費用偏高，在電價偏低情況下，造成回收年限長，不利普及化推動。且智慧控制技術多元，國際通用包含DALI、WIFI、ZigBee、PLC、Bluetooth等，各類技術間相容性低，後續可能須面臨維護或升級之困擾。為有效推動LED智慧照明技術及因應通訊技術快速發展，成本降低與規格化將是智慧照明需面臨之課題。

致 謝

本研究由經濟部能源局研究機構能源科技專案「LED照明與系統節能技術研發計畫」支持，特此致謝。

參考文獻

1. 國家標準CNS 15592。 http://www.cnsonline.com.tw/?locale=zh_TW，資料擷取於2018年5月。
2. 經濟部能源局2016年能源統計手冊，2017。
3. 圖書館節能技術手冊，2012年12月，p6。
4. DOE, 2013. DOE SOLID-STATE LIGHTING TECHNOLOGY FACT SHEET “Optical Safety of LEDs”, June 2013, pp.3-4.
5. DOE, 2014a. DOE SOLID-STATE LIGHTING Technical Report “TRUE COLORS”, October 2014, p8.
6. DOE, 2014b. DOE Publishes Technical Brief Clarifying Misconceptions about Safety of LED Lighting <https://www.energy.gov/eere/ssl/articles/doe-publishes-technical-brief-clarifying-misconceptions-about-safety-led-lighting>，資料擷取於2018年5月。

The Smart Lighting Demonstration Project in Taiwan

Yu-Ping Kuo^{1*} Shih-Kai Lin² Su-Chin Ju³

ABSTRACT

The energy conservation issue is getting important due to the energy depletion crisis approached. The energy saving action is being taken along with the technology progressing of LED. Replacing of conventional lighting products with LED lighting may reduce over 50% of lighting energy consumption, but may not decrease the peak electricity demand. BOE of Taiwan keeps leading LED intelligent lighting demonstration projects, such as the projects for libraries in colleges and the following projects for township government offices. The proposed projects is trying to introduce the smart lighting technology to the market. Therefore, not only more energy consumption could be saved compared with mere LED retrofit , but also the power consumption could be balanced during the peak time and off-peak time. This article introduced recent cases of LED intelligent lighting demonstration, and meanwhile studied the performance of the projects and the technologies adopted in those cases. Besides, the barriers for popularizing the intelligent lighting technology were indicated in this article as well. This article indicates the results and some examples in this project, technology progress and the remarks about the problems that might happen in massive implementation of the smart lighting in near future.

Keywords: Light Emitting Diode (LED), Lighting Power Density (LPD), Intelligent Lighting

¹Project Manager, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

²Senior Engineer, GEL, ITRI.

³Associate Engineer, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-5916363, E-mail: ritakuo@itri.org.tw

Received Date: May 31, 2018

Revised Date: July 6, 2018

Accepted Date: July 24, 2018