

# LED 汽車晝行燈的照明設計與雛型實測

## Lighting Design and Prototype Measurement for LED Vehicle Daytime Running Light

劉源昌、陳世寬、賴豈俊、謝育展

Yuan Chang Liou, Shin-Kuan Chen, Li-Chun Lai, Yu-Jhan Sie

本文目的是探討各種光束分布角度不同的 LED 應用於 ECE R87 汽車晝行燈的照明設計與雛型配光實測比較，分別使用 direct emission 與非對稱反射面的設計方式，並藉由 ASAP 光學設計分析軟體來模擬配光，模擬結果顯示 direct emission 方式僅適合光束分布角度小 (視角 20–30 度) 的 LED，而反射面設計方式可適合各種光束分布角度的 LED。雛型方面，選取 Cree-XPC LED 搭配反射面來製作鋁模，經配光實測證實與設計結果近似，而且僅需 1 顆市售 Cree-XPC LED (最低流明數需求 80 lm、耗電量僅需 1 瓦)，即可符合 ECE R87 的配光規範，可見非對稱反射面設計方式之實用性。

The lighting design and the prototype light pattern measurement for ECE R87 vehicle daytime running light with the different LED is studied in this paper. The design methods by the direct emission and the asymmetric reflector are adopted for the optical design, respectively; while, the ASAP software is used for the light pattern simulation and analysis. The results show that the design method is only suitable for small angle LED by the direct emission while it works for all kind of LED by the asymmetric reflector. The prototype is manufactured for the reflector with the Cree-xpc LED and its light pattern measurement is similar to the simulation results. Since only one LED, minimum value 80 lm and 1 watt, is needed to pass the ECE R87 regulation, that the design method by the the asymmetric reflector is proven to be practical.

### 一、前言

晝行燈 (daytime running light, DRL) 顧名思義就是車輛在白天行駛時開啟的車燈，歐盟明令 2011 年起新車必須配置「晝行燈」，讓行進中的汽車更容易被看見，減少事故發生的機率。「晝行

燈」的緣由<sup>(1-3)</sup> 為近年來全球汽車數目成長驚人，但是交通狀況則是每況愈下，意外事故亦是逐年增加，為此加拿大和部分北歐國家規定車輛白天行駛時必須開大燈，沒想到確實有效地減少交通死亡事故；據研究顯示，白天行車開亮前燈，可引起對向來車注意並提高警覺，不但減少車禍，並降低車禍

死亡率。漸漸地，白天開燈的規定從北歐往南擴散，連歐盟執委會 (European Commission) 亦認為汽車日間照明設備對道路安全相當重要。據歐盟執委會表示，在白天開著前燈的車輛，能及早且更容易被行人、自行車、摩托車及汽車駕駛發現，若強制要求汽車配備 DRL 相關設備，應可使交通事故傷亡數字減少，並減少車輛正面相撞的機率。因此歐盟要求自 2011 年起，所有小轎車、小貨車的新車型都必須配備「晝行燈自動照明系統」，而其他貨車、巴士則是自 2012 年起也需配備。

「晝行燈自動照明系統」在引擎啟動時便自動開啟，天黑後，當駕駛手動開啟一般近光燈時，晝行燈便隨之熄滅。根據車燈系統的設計，開啟大燈後，包括尾燈、儀表板等燈光也都會亮，耗電量約需 200–300 瓦，若規定白天需開啟大燈，無形中便浪費許多能源；但若採用晝行燈的設計，只開啟一種功能，耗電量僅需 30 瓦，約只有一般近光燈消耗能量的 25–30%。DRL 的設計需求為壽命長、低能源消耗、體積小、不會造成來車與行人眩光、亮度也不需要太強，若使用傳統的光源，則會很浪費電能，對於汽車燃油的消耗也會增加，就與車輛要減少二氧化碳排放量的要求背道而馳。LED 因為有環保、體積小、耗電量少、啟動快與壽命長等優點，成為目前最適合用於晝行燈之光源，由此可見 LED 應用於汽車晝行燈的照明設計也是一個重要的研究方向。

關於汽車晝行燈照明設計的研究已有一些文獻<sup>(4-17)</sup>，1997 年最早設計採用鹵素燈泡<sup>(4-8, 12)</sup>，直到 2005 年的研究開始採用 LED 當光源<sup>(9)</sup>，美國車燈大廠 North American Lighting<sup>(9)</sup> 首先使用 Lambertian LED 搭配不同焦距的拋物面作一系列探討來決定反射面開口大小與縱深，接下來搭配三種反射面設計：多重拋物面 (faceted parabola)、平滑拋物面 (smooth parabola) 與階梯式 CPC 面 (stepped CPC)，模擬光度圖與雛型配光圖。2006 年美國車燈大廠 North American Lighting<sup>(10)</sup> 接續提出雙 CPC 面 (dual CPC) 與波浪狀的 CPC 面 (CPC with wave optics) 設計方式。德國車燈大廠 Hella<sup>(11)</sup> 分別採用燈泡與 LED 搭配多重反射面的設計方式。國內期刊論文僅有一篇研究<sup>(17)</sup>：光源採用 5 ×

5 mm SMD LED、拋物反射面搭配陣列透鏡、燈具口徑為 40 平方公分、光源需要 100 流明。由上述文獻回顧可知，文獻一般僅採用一種 LED，由於 LED 的發光強度變化取決於 LED 的封裝方式，如內建微透鏡將可改變不同視角與相對發光強度的分布關係，以因應用途需求而強化發光指向性 (集中) 或擴散 (分散)。此外，LED 在汽車市場上運用仍屬於初期開發階段，產品標準化的程度低，而各國生產的 LED 形式很多種，因此各種形式 LED 應用於晝行燈的配光設計上效果如何？是一個值得探討的課題。

本文中參考文獻 17 採用陣列透鏡燈殼來達到擴散光形，而現在車燈外觀造型上流行採用無花紋的透明燈殼，因此晝行燈所需的照明配光任務完全交由反射鏡面來達成，而反射鏡面一般有多重曲面與平滑曲面，其中多重曲面的反射鏡片數較多，使得模具製作之人工拋光需較高的技術與成本，所以本文採用平滑曲面，以減少設計時程與模具加工難度。此外，上述文獻雖有採用平滑曲面設計方式，但是其採用平滑拋物面導致配光為軸對稱<sup>(9)</sup>，對於非對稱分布的 ECE R87 照明規範而言，光源利用效率有提升的空間，因此本文採用非對稱反射面設計來提高光源利用率。

本文的目的是針對於各種光形分布角度的 LED 應用於汽車晝行燈配光上的設計與分析，並將搭配兩種設計方式：direct emission 與非對稱反射面，比較各種 LED 之最低流明數需求及探討適合採用的 LED，最後選出一個反射面製作出雛型，並藉由配光實測與原設計做光形上定性之比較與測試光度值之定量比對。

## 二、ECE R87 晝行燈配光規範與 LED 的選用

歐盟 ECE R87 動力驅動車輛晝行燈認證之一致性條款，「晝行燈」意指安裝於車輛前方之燈具 (如圖 1 所示)，用來使車輛於白天行駛時更容易被察覺。其標準光度分布表如圖 2 所示，水平角度為左右 20 度、垂直角度為水平線上 10 度、水平線下 5 度，共有 20 個測試點最小值要求，沿參考軸方



(a)



(b)

圖 1. 汽車晝行燈。

向之光度值應不小於 400 cd，而且自所有觀察方向量得之光度應不超過 1200 cd。此外，發光顏色規定必須發白色光。其中 cd 指光度，定義為單位立體角內的光通量大小。

LED 選用方面，本文將僅針對 LED 的光束分布角度之不同為主要考量 (在此先不考慮 LED 的發光顏色是否為晝行燈要求的白色)，挑選光束分布角度從最小到最大的 LED 來探討。本文選用的 LED 如表 1 及圖 3 所示，Nichia 的砲彈型 LED 產品 NSPW500BS2 的光束分布角度最小，視角 20 度；其次是 Lumileds 的食人魚型 LED 產品中

表 1. 本文選用的 LED 之相關資料。

LED 光型	砲彈型 LED	食人魚型 LED		Batwing	Lambertian	Side Emitting
LED 廠商與型號	Nichia-NSPW500BS2	Lumileds-SnapLED HPWS-Fx	Lumileds-SnapLED HPWS-Tx	Lumileds-BD01	Cree-XPC	Lumileds-FD01
視角	20	30	85	110	110	200

視角 (viewing angle) =  $2\theta_{1/2}$   
 $\theta_{1/2}$  : off axis angle at 50% relative intensity

H \ V	-20°	-10°	-5°	0°	5°	10°	20°
10°			80	80	80		
5°	40	80		280		80	40
0°	100	280	360	400	360	280	100
-5°	40	80		280		80	40

圖 2. ECE R87 晝行燈標準光度分布表 (光度要求最小值)。

SnapLED 150 系列型號為 HPWS-Fx、HPWS-Tx，視角分別為 30、85 度；角度最大的是 Batwing 與 Lambertian 光形分布，視角為 110 度；再加上 side emitting 側向發光型式的 LED。此外，本文採用 ASAP 光機設計分析軟體來協助設計與分析本文照明光學設計，藉由光線追跡計算於雛型製作前驗證配光設計。

### 三、Direct Emission 方式

首先，以 direct emission 也就是僅使用 LED 光源直接照射的光形，而不搭配反射面或透鏡等光學元件設計來配光，此方式使用上僅需決定符合法規配光要求之最低流明數需求即可，所以相當簡易並具有最小的燈具縱深等優點，也是當作反射面設計方式的對照。經過 ASAP 光機設計分析軟體一系列模擬後，得到配光結果呈現同心圓分布如圖 4 所示、各種 LED 最低流明數需求介於 150–1210，如表 2 所示、與各測試點設計值與法規要求比較，如表 3 所示。其中 Nichia LED 與 SnapLED (型號 HPWS-Fx)，最低流明數需求分別僅 150 與 160，遠低於其他 LED。分析其原因為這兩顆 LED 的光束分布在 30 度以上，已趨近於 0；而且視角

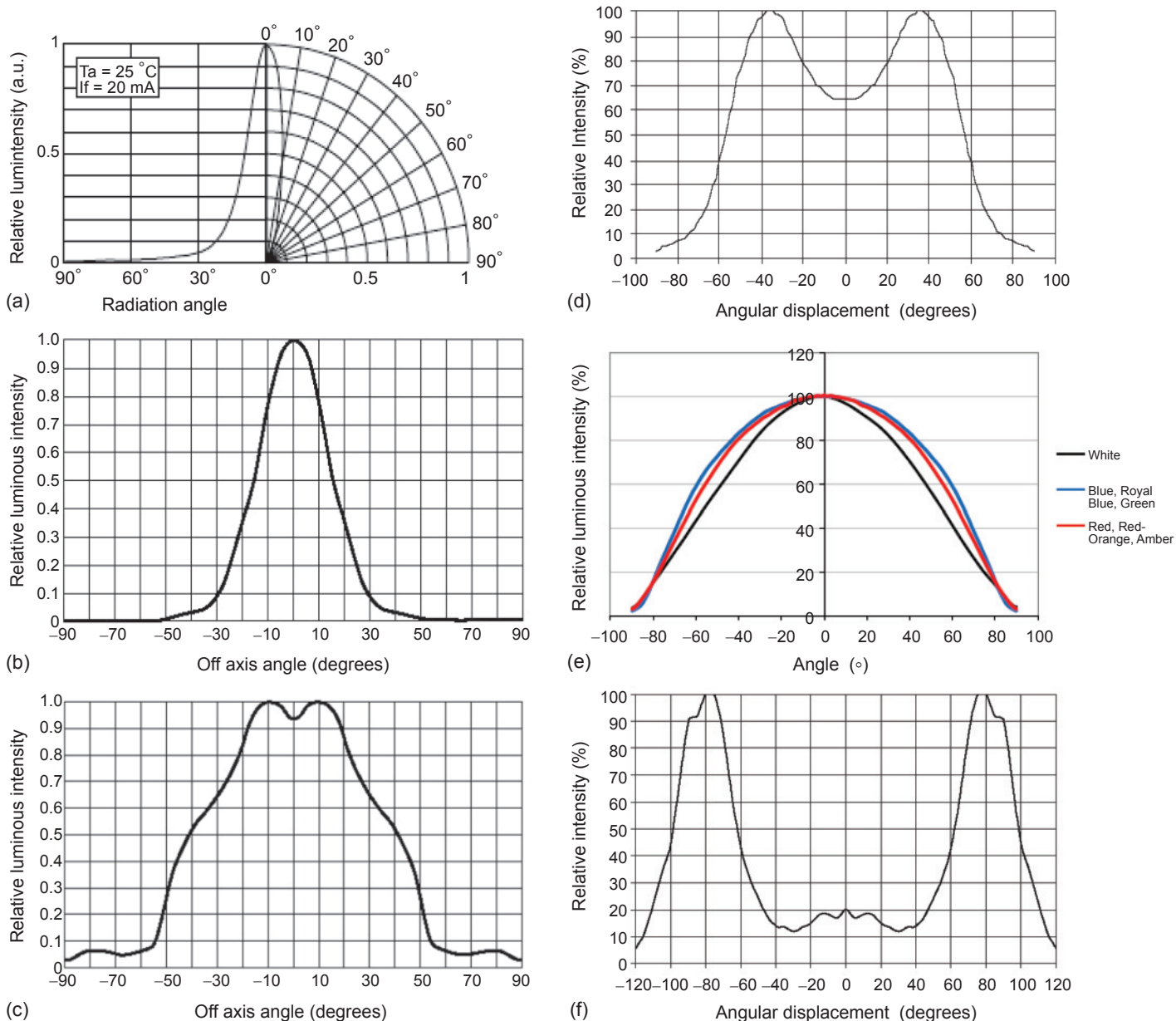


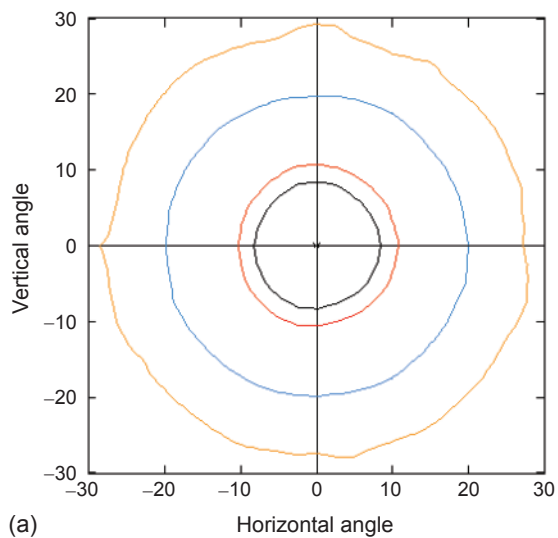
圖 3. 本文選用 LED 之光型，(a) Nichia 型號 NSPW500BS2、(b) SnapLED 型號 HPWS-Fx、(c) SnapLED 型號 HPWS-Tx、(d) Batwing、(e) Lambertian 與 (f) Side Emitting。

為 20–30 度，亦即光束分布大部分集中於晝行燈的最遠配光點 20 度內，因此配光結果如圖 4(a) 與 (b) 所示，100 cd 等光度分布亦恰好略超過 20 度。其他 LED 之視角皆為 85 度以上，因此配光結果如圖 4(c)–(e) 所示，100 cd 等光度分布介於 50–70 度，亦即光束分布超過法規要求的配光最遠測試點 20 度甚多，最低流明數需求介於 620–1210，約為前兩例的 4 倍以上。可見在本文探討的 LED 中適合應用於晝行燈 direct emission 方式的光源，

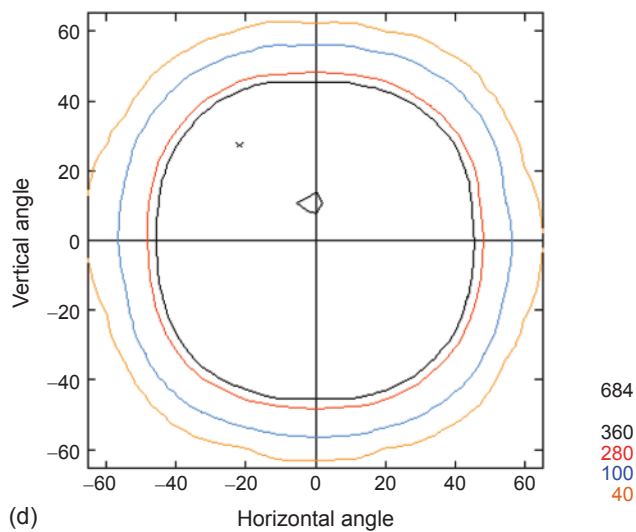
僅 Nichia (型號 NSPW500BS2) 與 SnapLED (型號 HPWS-Fx) 這兩顆 LED，最低流明數需求分別為 150 與 160。

#### 四、反射面的設計方式

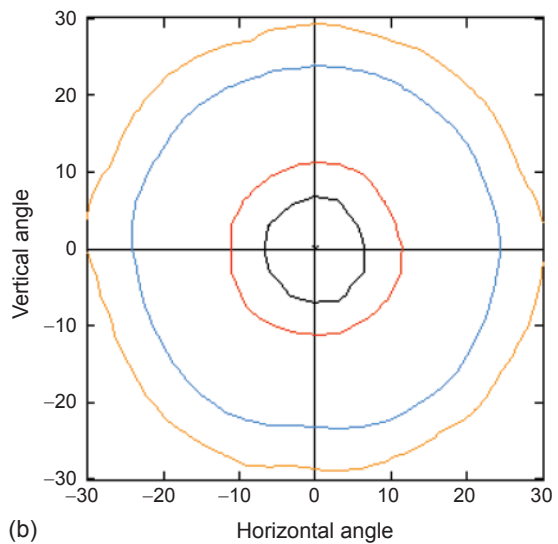
由前文分析可知，LED 晝行燈的設計若採用 direct emission 方式，僅適合光束分布角度小 (視角 20–30 度) 的 LED，對於光束分布角度大的



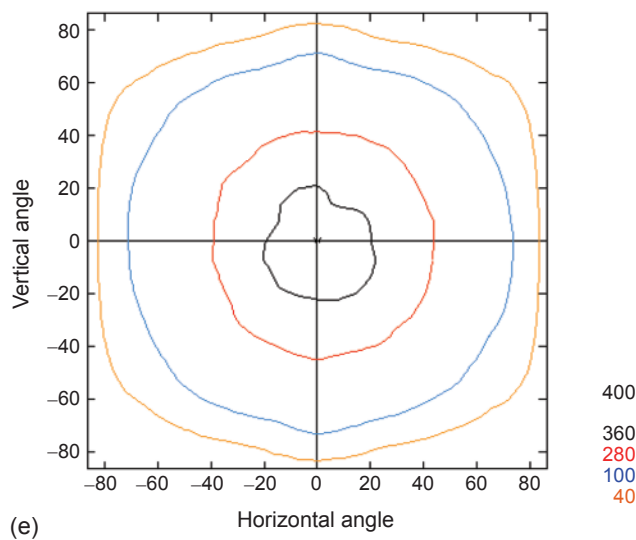
(a)



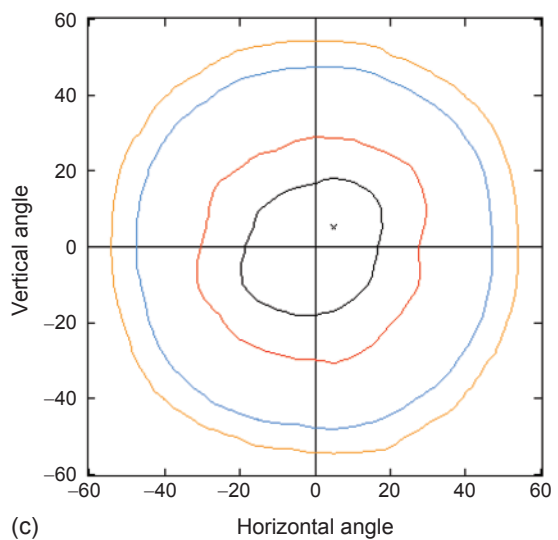
(d)



(b)



(e)



(c)

圖 4.

Direct emission 方式之配光結果，(a) Nichia 型號 NSPW500BS2 LED、(b) SnapLED 型號 HPWS-Fx、(c) SnapLED 型號 HPWS-Tx、(d) Batwing LED 與 (e) Lambertian LED。

LED 光型	砲彈型 LED	食人魚型 LED		Batwing	Lambertian	Side Emitting
LED 型號	NSPW500BS2	SnapLED HPWS-Fx	SnapLED HPWS-Tx	BD01	XPC	FD01
Direct emission	150	160	620	1210	1149	
反射面設計方式	82	107	100	182	80	90

表 2. 各種 LED 最低流明數需求。

測試點	H				5 U/D			10 U	
	V	5 R/L	10 R/L	20 R/L	V	10 R/L	20 R/L	V	5 R/L
法規要求最小值 (cd)	400	360	280	100	280	80	40	80	80
NSPW500BS LED 設計值	569	488	303	100	485	263	90	302	259
SnapLED HPWS-Fx 設計值	402	375	305	151	378	276	144	307	284
SnapLED HPWS-Tx 設計值	400	402	395	331	398	408	342	391	408
Batwing LED 設計值	400	393	388	407	370	389	422	353	376
Lambertian LED 設計值	400	400	394	362	396	384	359	386	376

表 3. Direct emission 方式的設計值與法規要求比較。

LED，其超過 20 度以上的光束不在配光區域，形同浪費，導致光源利用效率低，因此本節嘗試採用反射面的設計方式，對於 LED 左右超過 20 度、上下超過 10 度以上的光束，希望藉由反射面設計，使光線方向調整回配光區域內，以提高光源利用效率。

反射面採用非對稱的曲面設計方程式<sup>(18)</sup>：

$$Z = \frac{r^2}{2R} + c(\theta) \times \frac{r^4}{8R^3} \quad (1)$$

$$c(\theta) = c_x \cos^2 \theta + c_y \sin^2 \theta \quad (2)$$

其中  $r$  為徑向、 $Z$  為光軸方向、 $R$  為曲率半徑， $c(\theta)$  為可隨光軸截面上之角度  $\theta$  而改變的配光調整係數，決定反射鏡的光形範圍，當  $c(\theta) = 0$  為拋物面，當  $c(\theta) < 0$  為近似雙曲面，而當  $c(\theta) > 0$  為近似球面。此反射鏡面能同時產生平行、聚集及／或擴散之配光分布的能力，可兼具拋物／橢圓鏡面與

拋物／雙曲鏡面之雙重配光特性。此外，當  $\theta = 0$  度表示水平位置， $c(\theta) = c_x$ ； $\theta = 90$  度時表示垂直位置， $c(\theta) = c_y$ 。當設定  $c_x = c_y$ ，反射面呈現軸對稱型式，因此產生之配光亦將是軸對稱的光形。當  $c_x \neq c_y$ ，在水平方向與垂直方向光線分布的聚散效應不同，因而可設計出非對稱的光形。

反射面反射率設定為 82%，經過一系列模擬設計，各種 LED 搭配反射面與產生之配光結果分別如圖 5 至圖 10 所示，各種 LED 的最低流明數需求如表 2 所示，各測試點設計值與法規要求比較如表 4 所示。由於反射面為非對稱，因此配光結果亦大致呈現左右 20 度、上下 10 度之非對稱的光形分布，證實反射鏡面設計可將 LED 左右超過 20 度以上、上下超過 10 度以上的光束方向調整回配光區域內，使得光源之各方向的光束皆能充分運用，因此最低流明數需求降至 80—182 lm，皆比 direct emission 方式降低許多。降幅最大的光源是 Lambertian LED，高達 14 倍之多，由於其光束

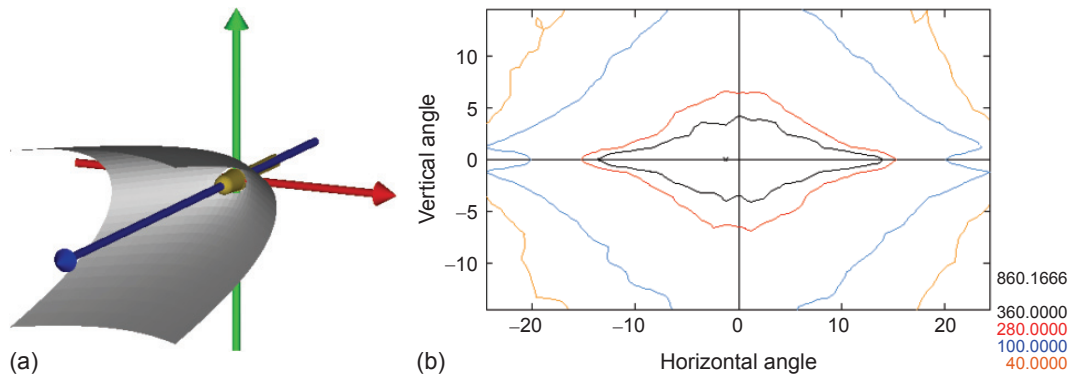


圖 5. Nichia LED 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

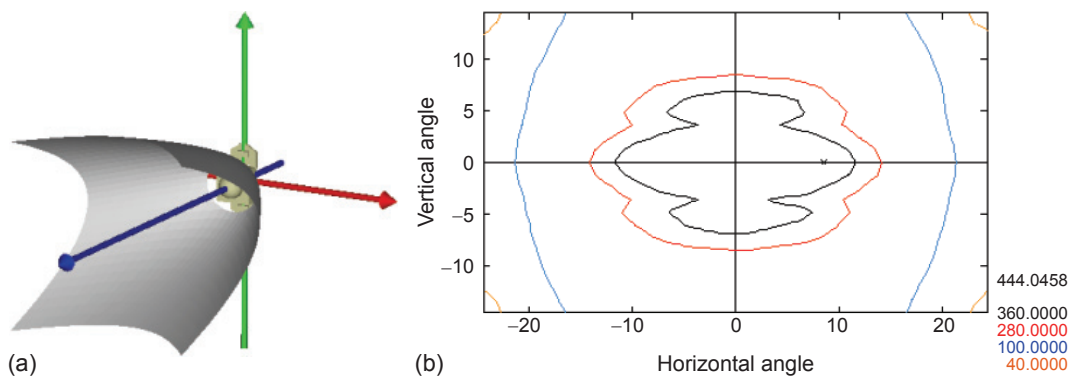


圖 6. SnapLED 型號 HPWS-Fx 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

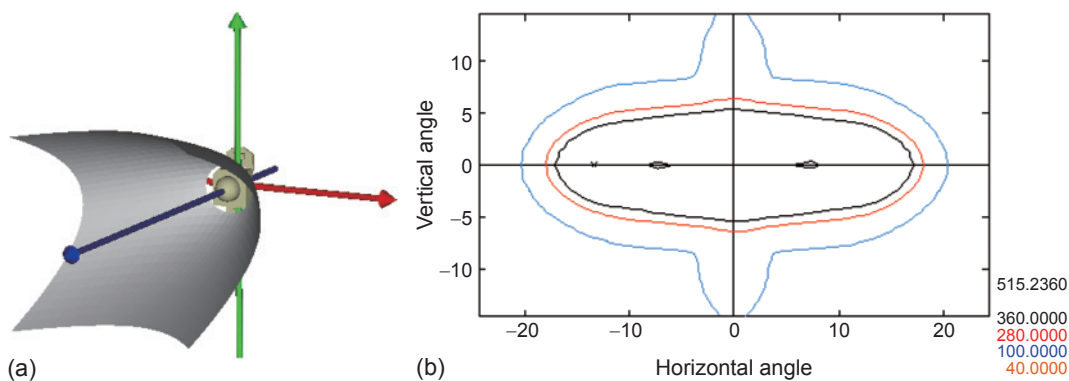


圖 7. SnapLED 型號 HPWS-Tx 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

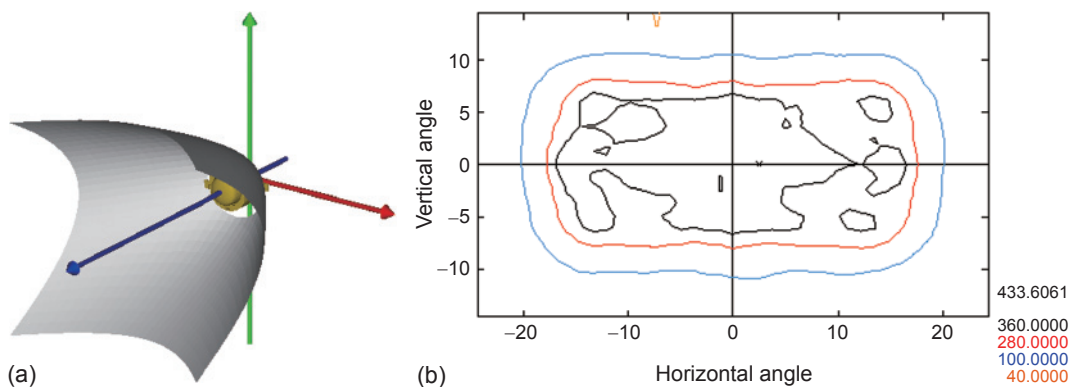


圖 8. Batwing LED 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

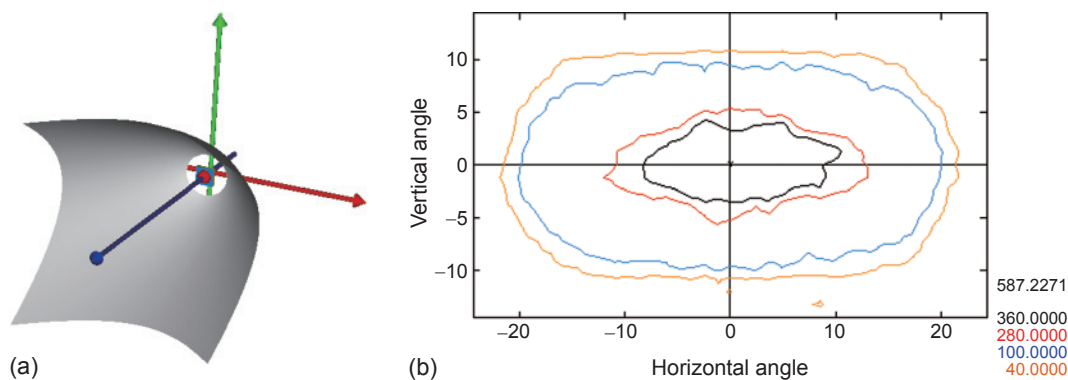


圖 9. Lambertian LED 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

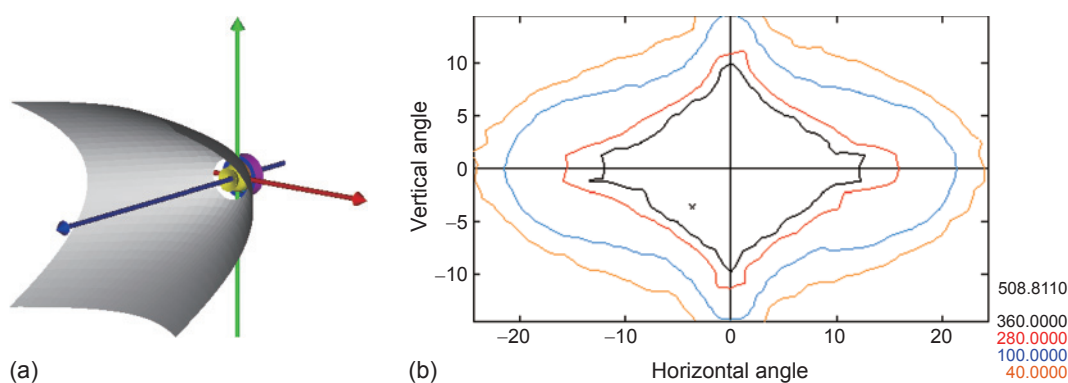


圖 10. Side Emitting LED 搭配反射鏡面，(a) LED 加上反射鏡面與 (b) 配光結果。

測試點	H				5 U/D			10 U	
	V	5 R/L	10 R/L	20 R/L	V	10 R/L	20 R/L	V	5 R/L
法規要求最小值 (cd)	400	360	280	100	280	80	40	80	80
NSPW500BS LED 設計值	819	775	528	102	331	184	66	163	145
Snap LED HPWS-Fx 設計值	401	418	415	128	391	394	102	229	200
Snap LED HPWS-Tx 設計值	400	365	409	124	386	301	40	137	81
Batwing LED 設計值	400	405	370	105	390	339	87	124	110
Lambertian LED 設計值	597	557	335	101	300	150	44	75	82
Side Emitting LED 設計值	445	393	420	148	398	197	57	349	81

表 4. 反射面方式的設計值與法規要求的比較。

分布角度相當寬廣 (視角為 110 度)，雖然不適合當做 direct emission 方式的光源，卻可經由適當的反射面設計改善其光束分布太過發散的缺點，達到有效運用光源各方向的光束，使得收光效率提升得最明顯。降幅次之的光源是 Batwing 與 SnapLED (型

號 HPWS-Tx LED)，有 6 倍的降幅，其餘 LED 的降幅也有 1.5 倍，由此可見反射面的設計方式，可使 LED 最低流明數需求降低。另外，side emitting LED 主要光束方向為側向發光，朝前之光束比例很低，因此在 direct emission 方式時並未採用，



圖 11.  
配光儀。

本節嘗試採用得知最低流明數需求僅需 90 lm，可見反射面的設計方式可適合各種光束分布角度的 LED。

## 五、雜型配光實測

配光實測是藉由配光儀 (goniometer or goniophotometer)，(如圖 11 所示) 量測雜型光形各測試點／線／區域之光度數據。國際照明學會 (CIE) 制定了三種規定光強度分布之角度座標系統，以 A、B 與 C 表示，汽車規範通常用 A 系統形式，此角度表示法以正前方為垂直 0 度及水平 0 度。由於 Lambertian 光型 Cree-XPC LED 最低流明數需求僅 80 lm，因此選此類 LED 搭配反射面來製作雜型。Cree-XPC LED 搭配反射面由原設計單一曲面，經過鋁模 CAD 圖形，至最後鋁模雜型製作完成如圖 12 所示。雜形實測光形與原設計光形之比較如圖 13 所示，首先，定性上比較，光形分布外觀與亮暗情形在定性上十分相似，接下來定量比較，各測試點雜型實測值與設計值比較如表 5 所示，雖有少數幾點略有差異，但大致上呈現近似，由此可證實本設計結果的可靠性。此外，當 LED 流明數設定為 80 以上時，即可符合 ECE R87 晝行燈的配光規範，而目前市售 Cree-XPC LED 皆超過 80 lm，意即 1 顆 LED 耗電量僅需 1 瓦即可，可見本文所介紹非對稱反射面設計方式之實用性。

## 六、結論

1. direct emission 方式：產生的配光為同心圓的分布，最低流明數需求介於 620–1210，僅適合光束分布角度小 (視角 20–30 度) 的 LED。
2. 反射面的設計方式：產生的配光為左右 20 度、上下 10 度之非對稱的光形分布，最低流明數需求為 90–182 lm，可適合各種光束分布角度的 LED。
3. 雜型配光實測證實無論在光形分布或各測試點光度大小皆與原設計結果近似。

## 參考文獻

1. 鄭光廷, 鹵素燈泡對 LED 晝行燈操作溫度之影響, 財團法人車輛研究測試中心 (2010).
2. 李錦燦, 許日滔, 大白天開車也要開燈, 財團法人車輛研究測試中心 (2008).
3. 車輛中心成功促成 LED 晝行燈 SBIR 產業研發聯盟, 財團法人車輛研究測試中心 (2008).
4. SAE Technical paper 970908: Daytime Running Lamps With Low Power Consumption.
5. SAE Technical paper 980322: Development of Pwm Drl With Low Rf Emissions and Low Heat.
6. SAE Technical paper 2000-01-0435: Daytime Running Lamps - Different Ways of Realization.
7. SAE Technical paper 2001-06-0044: Daytime Running Lights (Drls)-A North American Success Story
8. SAE Technical paper 2003-01-2072: Daytime Running Lamps (Drls) for Pedestrian Protection.

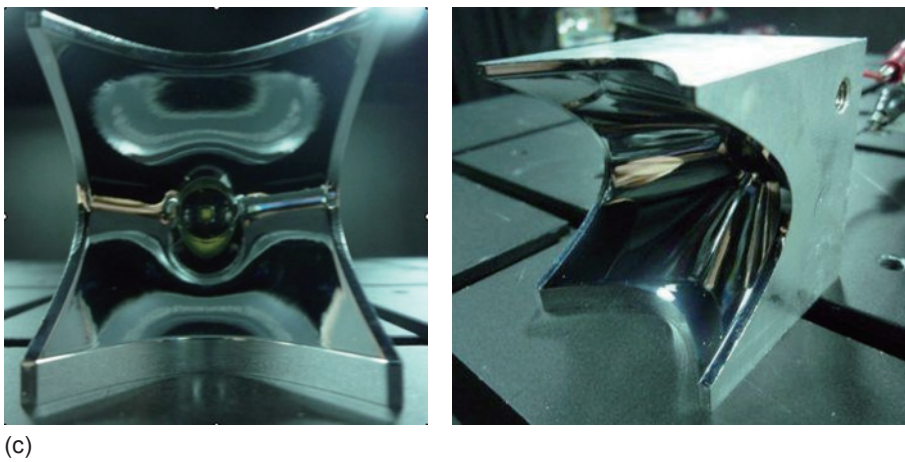
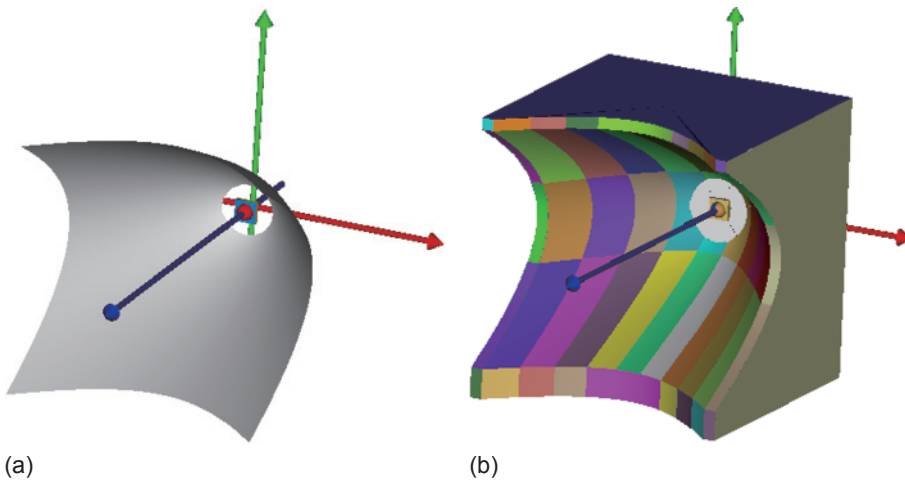


圖12. Cree-XPC LED 搭配反射面，(a) 原設計單一曲面、(b) 鋁模 CAD 圖形與 (c) 鋁模雛型。

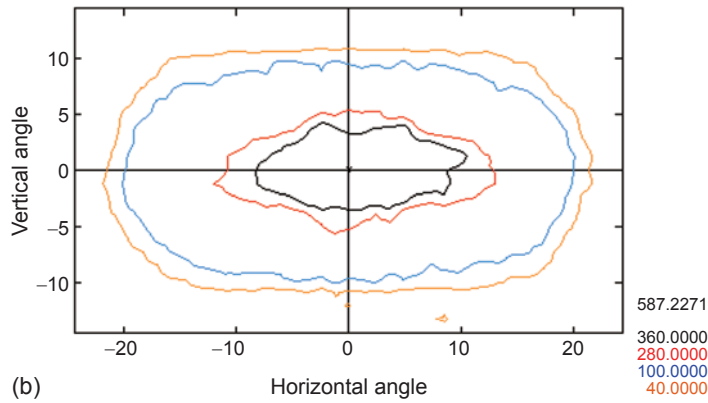


圖13. 雛型實測光形與原設計光形之比較，(a) 雛型實測光形與 (b) 原設計光形。

測試點	H				5 U/D			10 U	
	V	5 R/L	10 R/L	20 R/L	V	10 R/L	20 R/L	V	5 R/L
法規要求最小值 (cd)	400	360	280	100	280	80	40	80	80
Cree-XPC LED 設計值	597	557	335	101	300	150	44	75	82
雛型實測值	687	537	320	92	277	188	40	76	97

表5. 雛型實測值與設計值比較。

9. SAE Technical paper 2005-01-0865: Usage of High Flux White Leds for Drl and Front Turn Signal Lighting.
10. SAE Technical paper 2006-01-0286: CPC-Type Reflector Designs for LED DRL and Front Turn Signal Lighting.
11. SAE Technical paper 2006-01-0716: Front Signal Image of Vehicles - Potential for Safety and Styling.
12. SAE Technical paper 2008-01-0487: Performance Parameters for Multi-Filament Halogen Lamps.
13. SAE Technical paper 2008-21-0048: Low Energy Automotive Lighting.
14. SAE Technical paper 2009-01-0059: LEDs: Lighting Solutions to Reduce Vehicle Power Consumption.
15. SAE Technical paper 2009-01-0253: Future Lighting Technology: Improved Safety Features versus Consumer Expectations.
16. SAE Technical paper 2011-01-0116: LED Solutions for Mainstream Penetration in Automotive Lighting.
17. 姜雅惠, LED 光形設計與應用, 工業材料, **239**, 145 (2006).
18. 劉源昌, 三維非對稱反射鏡的新式設計, 光學工程季刊, **91**, 37 (2005).



劉源昌先生為國立成功大學航太博士，現任中州科技大學電機與能源科技系教授。

Yuan Chang Liou received his Ph.D. in aeronautics and astronautics from

National Cheng Kung University. He is currently a professor in the Department of Electrical Engineering and Energy Technology at Chung Chou University of Science and Technology.



陳世寬先生為國立中正大學電機博士，現任中州科技大學電機與能源科技系副教授。

Shin-Kuan Chen received his Ph.D. in electrical engineering from National Chung Cheng University. He is currently an associate professor in the Department of Electrical Engineering and Energy Technology at Chung Chou University of Science and Technology.



賴崑俊先生為國立雲林科技大學工科博士，現任中州科技大學電機與能源科技系助理教授。

Li-Chun Lai received his Ph.D. in engineering science and technology from National Yunlin University of Science and Technology. He is currently an assistant professor in the Department of Electrical Engineering and Energy Technology at Chung Chou University of Science and Technology.



謝育展先生為中州科技大學電機與能源科技系大學部學生。

Yu-Jhan Sie is currently a student in the Department of Electrical Engineering and Energy Technology at Chung Chou University of Science and Technology.