

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

新式 HCPV 太陽電池模組散熱機制研究與系統最佳化設計
New HCPV Solar Cell System Cooling Technology and System
Optimization Design

計畫編號：1002001INER043

受委託機關(構)：國立交通大學

計畫主持人：潘瑞文助理教授

聯絡電話：(06)303-2121#57756

E-mail address：juiwenpan@gmail.com

核研所聯絡人員：梁逸平

報告日期：100 年 11 月 17 日

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	4
參、主要發現與結論.....	17
肆、參考文獻.....	20

中文摘要

我們提出一個想法，使用非涅爾透鏡加上二次光學元件來達到高倍率及高接受角。在整個太陽能聚光型系統中，我們先設計一聚光鏡，此聚光鏡只有折射稜鏡的陣列，可以讓太陽能均勻集中。然後，我們要建立一個二次光學元件模型，以增加太陽能聚光鏡的收光能力，並提高太陽能電池的發電效率。我們改變二次元件的高度以及傾斜度(即為底面與斜面夾角)，去找出符合高效率與最大的可接受角的二次元件規格。最後，我們所找到最好的二次元件高度為 15mm、收光角度為 122.5 度、底面面積為 5.5mmx5.5mm、而所使用的材質為鋁。

Abstract

We proposed a novel ideal to reach the high concentration ratio and high accepted angle for a Fresnel lens with second optical element. For the solar concentrator system, we first designed a concentrator. This concentrator consisted of micro prism array. The micro prism structure can concentrate the sun light. For the next step , we design a novel second optical element to increase the accepted angle and optical efficiency for this system . The height and the incline angle of the second optical element are the design parameters. We try to optimize the two parameter to reach the the highest efficiency and largest accepted angle for second optical elements. The final dimension for the secondary optical element is 15 mm X 5.5 mm X 5.5 mm. The incline angle is 122.5 degrees. The material of secondary optical element is Al.

壹、計畫緣起與目的

太陽能聚光鏡是一種讓太陽光能聚集到電池表面上以達到更有效率應用的光學系統。傳統的太陽能聚光鏡大多都主要是在讓太陽光能夠在經過透鏡折射或反射之後，能夠盡量的匯聚到電池的接受面上，以達到高傳輸效率，來有效的利用太陽光，可是並沒有考慮到電池接受面上能量均勻分布的效果，這樣很容易使得電池接受面可能有某處能量過於集中而發生過熱等不好的效應。

有別於傳統的設計都盡量將能量集中到太陽能電池表面上，但卻忽略了能量過於集中對於太陽能電池的影響，為了避免光過度集中在太陽能電池的某些區塊上，長時間可能會對太陽能電池造成局部損傷，因此設計出此折射式菲涅爾透鏡[1]加上二次元件。此菲涅爾透鏡有許多優點，例如：無全反射的區域、較淺的深度、容易製造。高倍率及高均勻度是兩個重要的參數在太陽能聚光模組的運用上。因為高倍率可以減少太陽能電池的面積也就是成本，而高均勻是可以增加太陽能電池的轉換效率且不會傷害太陽能電池。

另外，聚光型太陽能電池必須要在位於透鏡焦點附近時才能發揮功能，為了搭配使用太陽追蹤系統，我們要提高聚光鏡的可接受角[2]，來收集更多角度的光，所以使用一個最佳設計的二次光學元件以增加收光能力並提升效率及達到高接受角的聚光系統。

貳、研究方法與過程

我們所使用的 Fresnel lens 一開始是藉由一個平凸透鏡去切除不需要的相位而減少體積，但此作法有兩個的缺點:第一個缺點是在低於 F-number 時有很嚴重的球差，因此若需要消除球差，我們必須先去利用高階的非球面係數去優化一個平凸透鏡達到低球差的情況，如此一來才能達到較好的聚焦情形。第二個缺點是製造上不易製造，在製造 Fresnel lens 的加工時，我們必須提供 Fresnel lens 的點座標給廠商加工，但傳統的平凸透鏡微結構是一個非球面的曲線，所以若是給的點座標不夠精細時，會使設計上與製造出來的 Fresnel lens 會有很大的公差。後來，我們藉由方程式設計 Fresnel lens，並使用 MATLAB 建立擬此模型[3]。

在此設計了三種不同聚焦的方式(圖 1)，主要原因是藉由每個 pitch 斜邊的斜率，來使得光線可以經由 Snell law 造成光線偏折，打到 receiver 上，但每個 pitch 只能有一個斜率，所以不同位置的光線，所造成的斜率是不同的，因此有不同的聚焦情形。

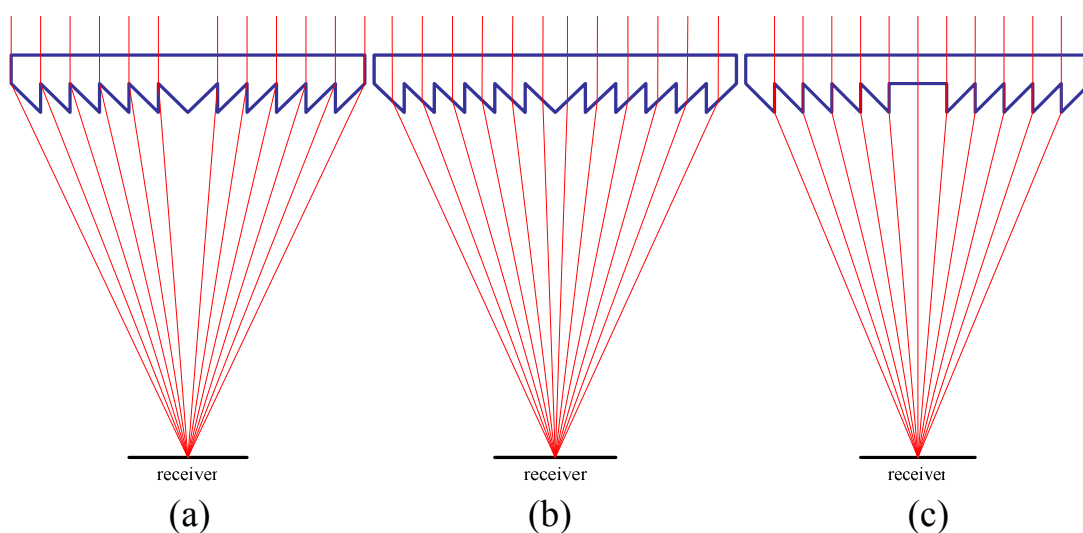


圖 1 (a)每個 pitch 中最外邊的光線所決定的斜率，能使最右邊的光線聚焦到 receiver 的中心。(b)每個 pitch 中的中心光線所決定的斜率，能使中心的光線聚焦到 receiver 的中心。(c)每個 pitch 中最內邊的光線所決定的斜率，能使最左邊的光線聚焦到 receiver 的中心，因為是最左邊的光線聚焦到 receiver，所以最中心的 pitch 斜率為 0，這是和前兩個較不同的地方。

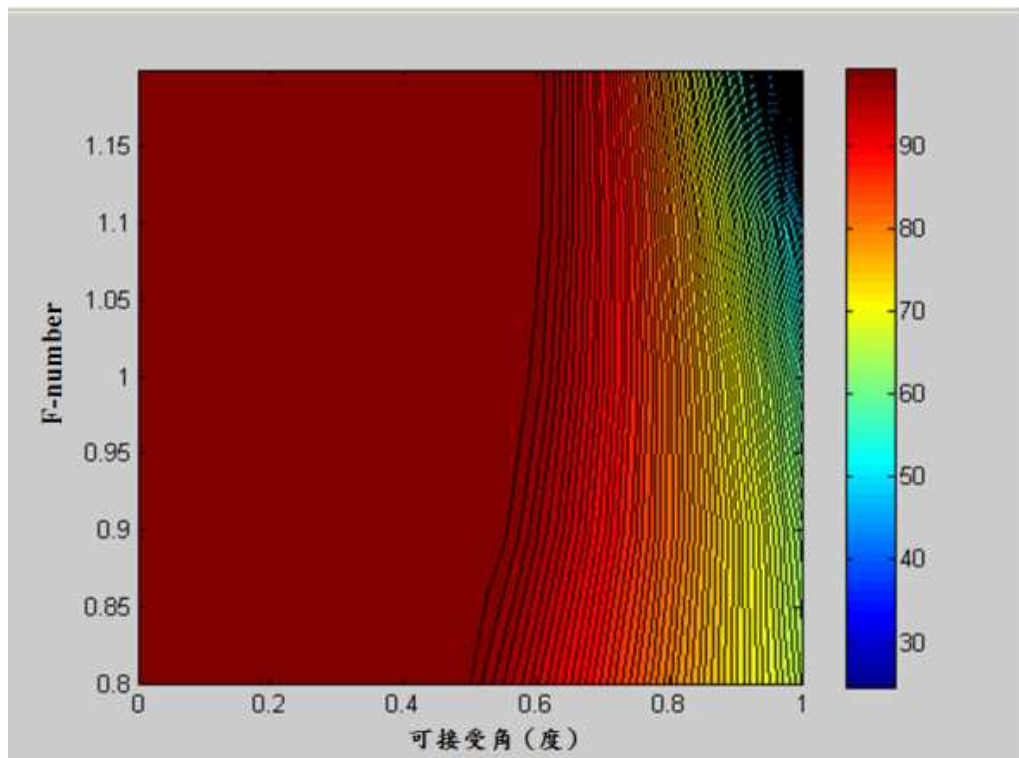
使用 Light Tools[4]去模擬四種設計 Fresnel lens 方法的結果，如表 2。從表中可以看到第二種的設計方法是最好的，雖然第一種和第三種的設計均勻度大於第二種，可是並無很大的差距，可是可接受角卻遠遠小於第二種設計。傳統的設計和第二種設計再均勻度和可接受角差不多，可是在深度方面遠遠大於第二種，對於製造上是很困難的，所以我們選擇第二種為我們做均勻化的設計方式。

表 2 各式 Fresnel lens 其均勻度、可接受角度與 pitch 深度

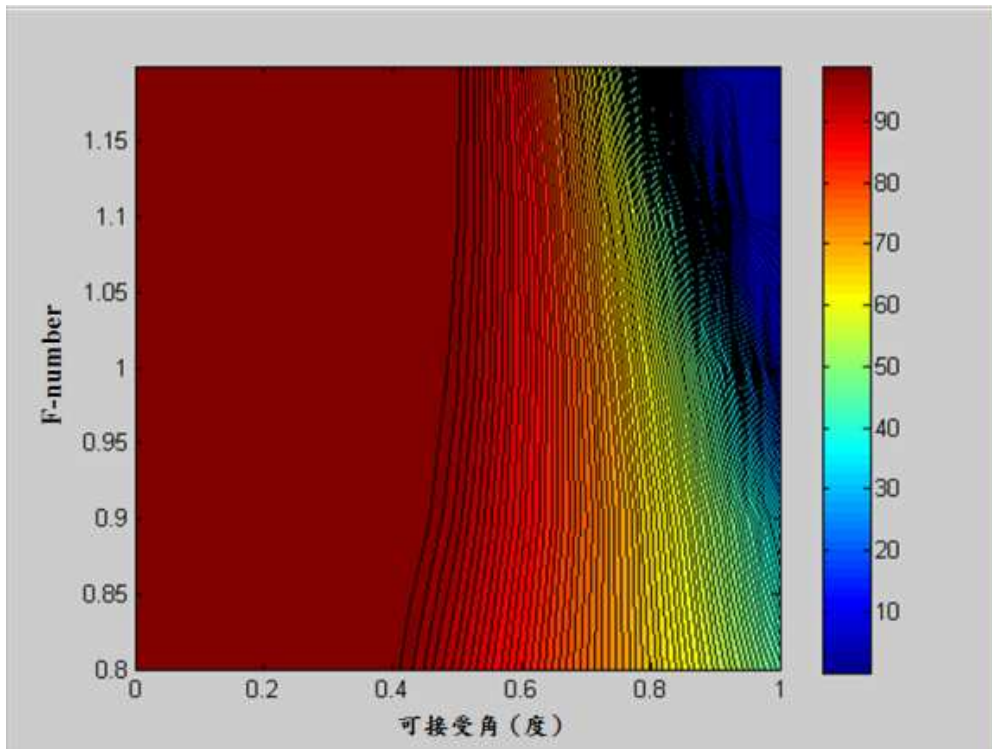
	傳統	第一種	第二種	第三種
均勻度(a.u.)	0.148	0.319	0.152	0.387
可接受角(度)	0.45	0.21	0.45	0.19
在F-number為1時Pitch的深度	~3.17	~0.27	~0.27	~0.27

在多數的 HCPV 系統中，Fresnel lens 的倍率大約都在 500 倍~800 倍。我們模擬在不同倍率時候，F-number 對應的可接受角關係(如圖 2)，可以知道在同一倍率下時，F-number 越小時，可接受

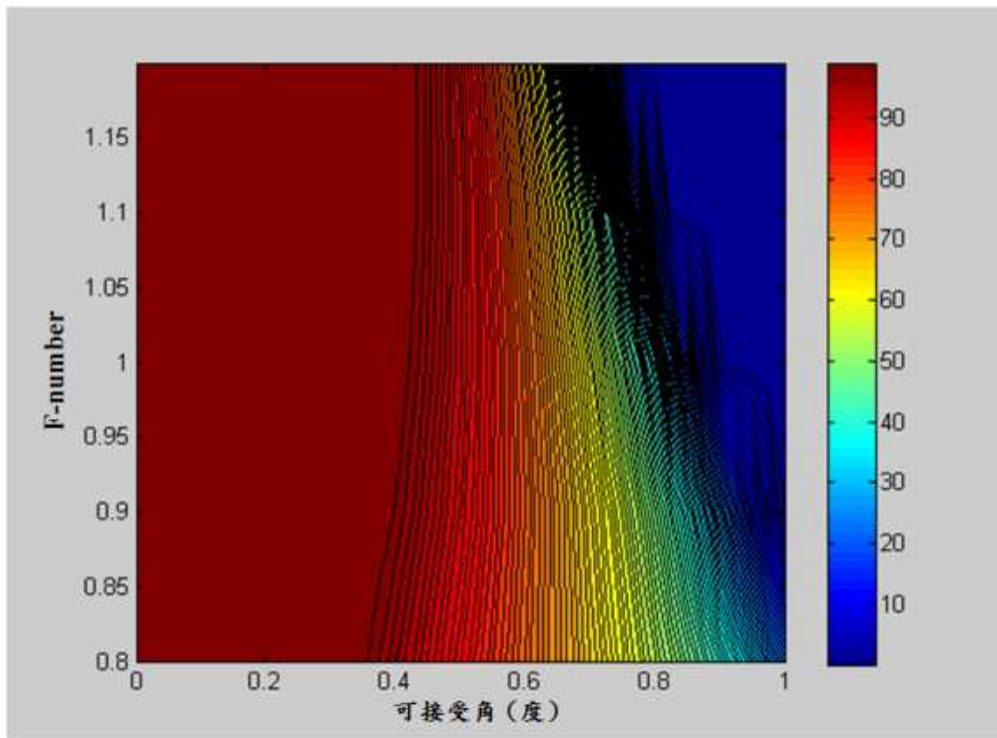
角也越小，因為光線要偏折的角度越大，所以光線為傾斜入射時，容易造成能量的損失，故可接受角較小。也可以知道在同一個 F-number 時，倍率越大，可接受角就越小，因為倍率越大時，最外圍的光線也需要偏折較大的角度，因此可接受角較小。在這個計畫中的設計規格，我們將倍率提升到 1018 倍、焦距為 198mm、pitch 的寬度為 0.3mm、F-number 為 1、receiver 面積為 5.5mm*5.5mm。完整的數據如表 3，在此計畫裡的 Fresnel lens 都是照此表裡的規格所設計的。



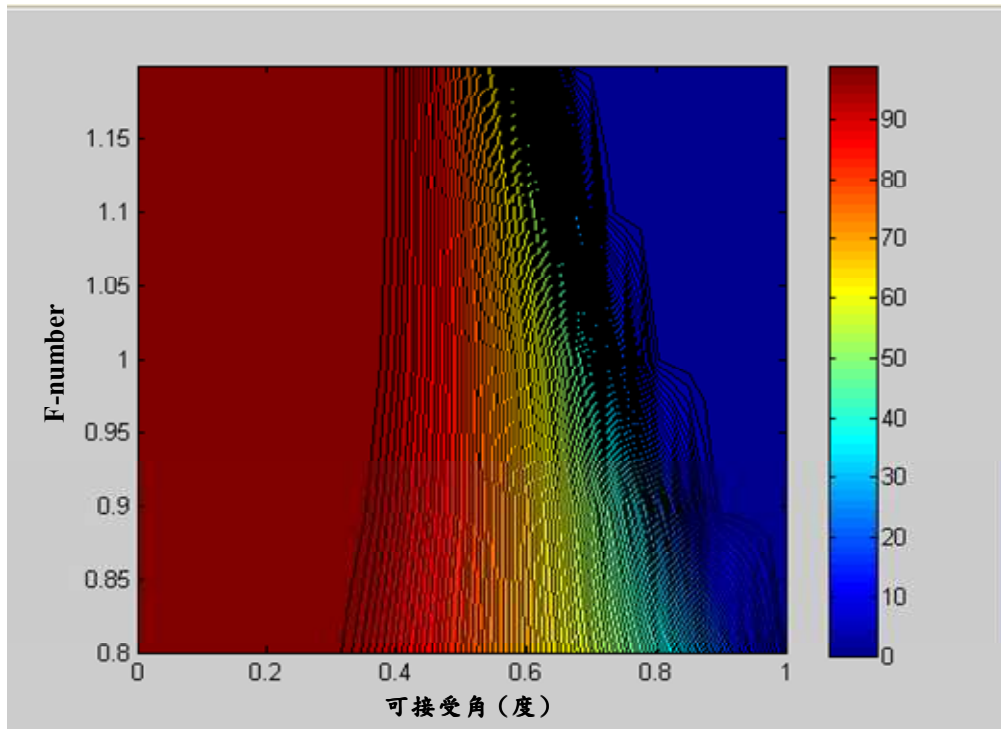
(a)倍率400



(b)倍率600



(c)倍率800



(d)倍率1000

圖 2 在不同倍率時候，F-number 對應的可接受角關係 (a)倍率 400、(b)倍率 600、(c)倍率 800 與(d)倍率 1000

表 3 設計規格

倍率	X 1018
焦距 (F)	198 mm
Pitch寬度	0.3 mm
F-number	1
Receiver面積	5.5mm*5.5mm

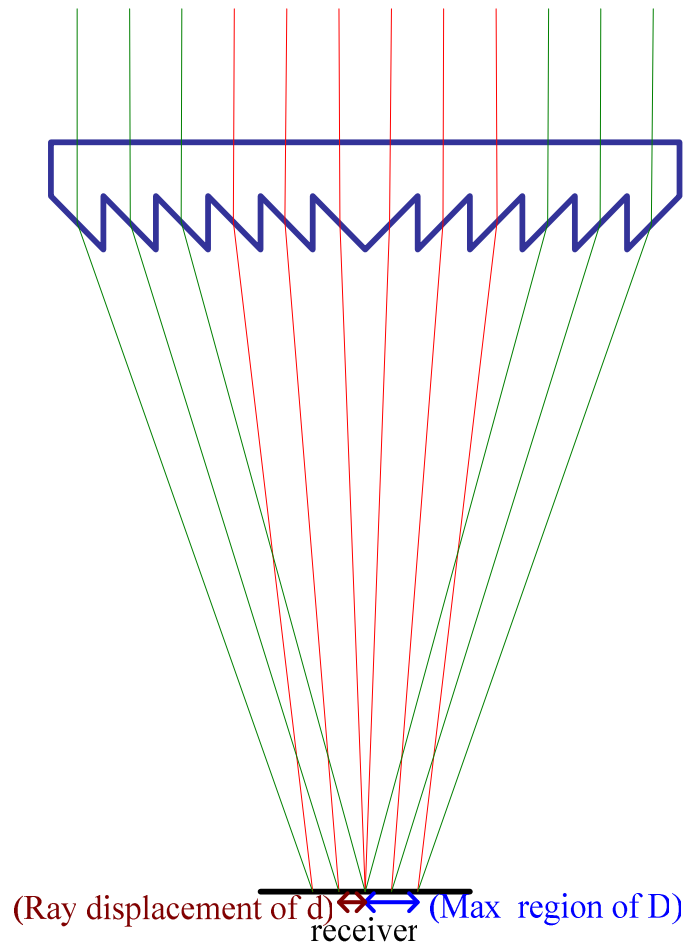


圖 3 能量均勻分布的方法

為了使我們的 Fresnel lens 均勻度更高，我們要先決定可以位移的最大的範圍，也就是要先決定 max region of D 的大小。從圖 4 中可以知道當均勻度上升時，可接受角同時下降，所以均勻度及可接受角成反比。但可接受角和均勻度都是很重要的參數在聚光鏡中，因此我們為了取其平衡，我們取兩個中間的交點，就是 max region of D 為 1.6mm 時，此時均勻度為 3.023、可接受角為 0.365 度。所以 1.6mm 為我們可以聚焦到最大的範圍。

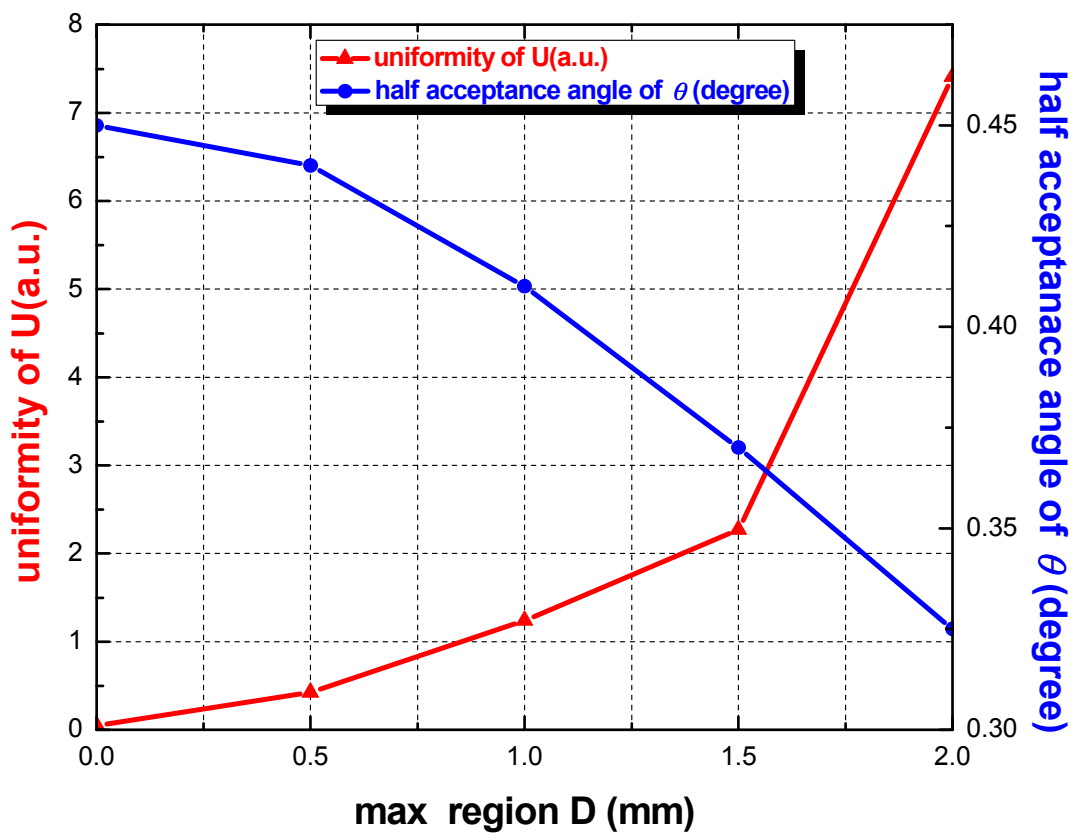


圖4 均勻度、可接受角和max region of D的關係

第二步，我們要決定每個 pitch 之間聚焦的距離，也就是決定 ray displacement of d 的大小。在固定 max region of D 為 1.6mm 時，去改變 ray displacement of d 的大小，可以改變其均勻度。從圖 5 中可以得知，可接受角和均勻度成反比，可是可接受角也必須大於太陽光的發散角 0.275 度。在每一個 pitch 所對應的 receiver 的位置為一對一且沒有重複位置時，此時的均勻度最大，此點均勻度為 14.6、可接受角為 0.305 度，同時也大於 0.275 度，所以在此結果為最佳的設計。

在此均勻度的 FWHM 為 1.4mm。我們第一步就已經先決定可以位移的範圍為 1.6mm，所以能量分布只能在 1.6mm 內，若 FWHM 越接近 1.6mm 代表其能量是完全均勻的，我們做到 1.4mm 很接近 1.6mm，代表已經很接近完美的均勻。在均勻化後，均勻度大幅的提升，能量分布如圖 6。其 FWHM 也從 0.3mm 變大為 1.4mm。因此可以知道此方法可以大幅增加均勻度和 FWHM 的範圍。

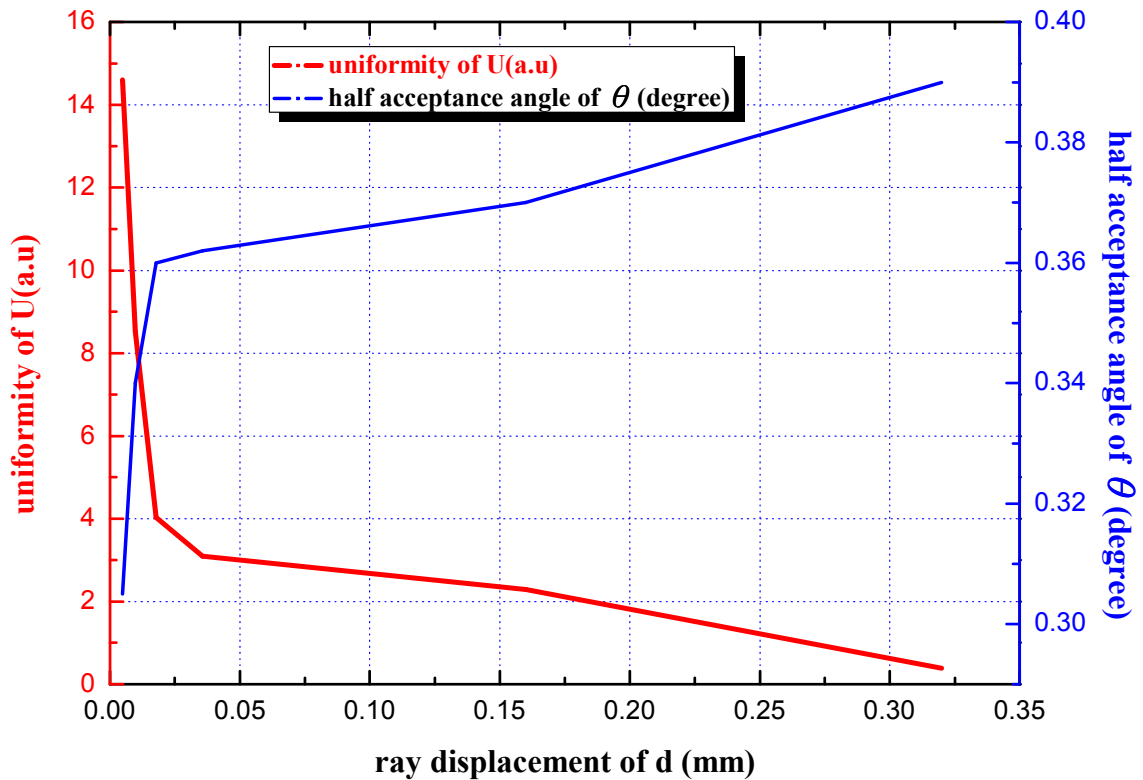


圖5 在不同的ray displacement of d的均勻度及可接受角

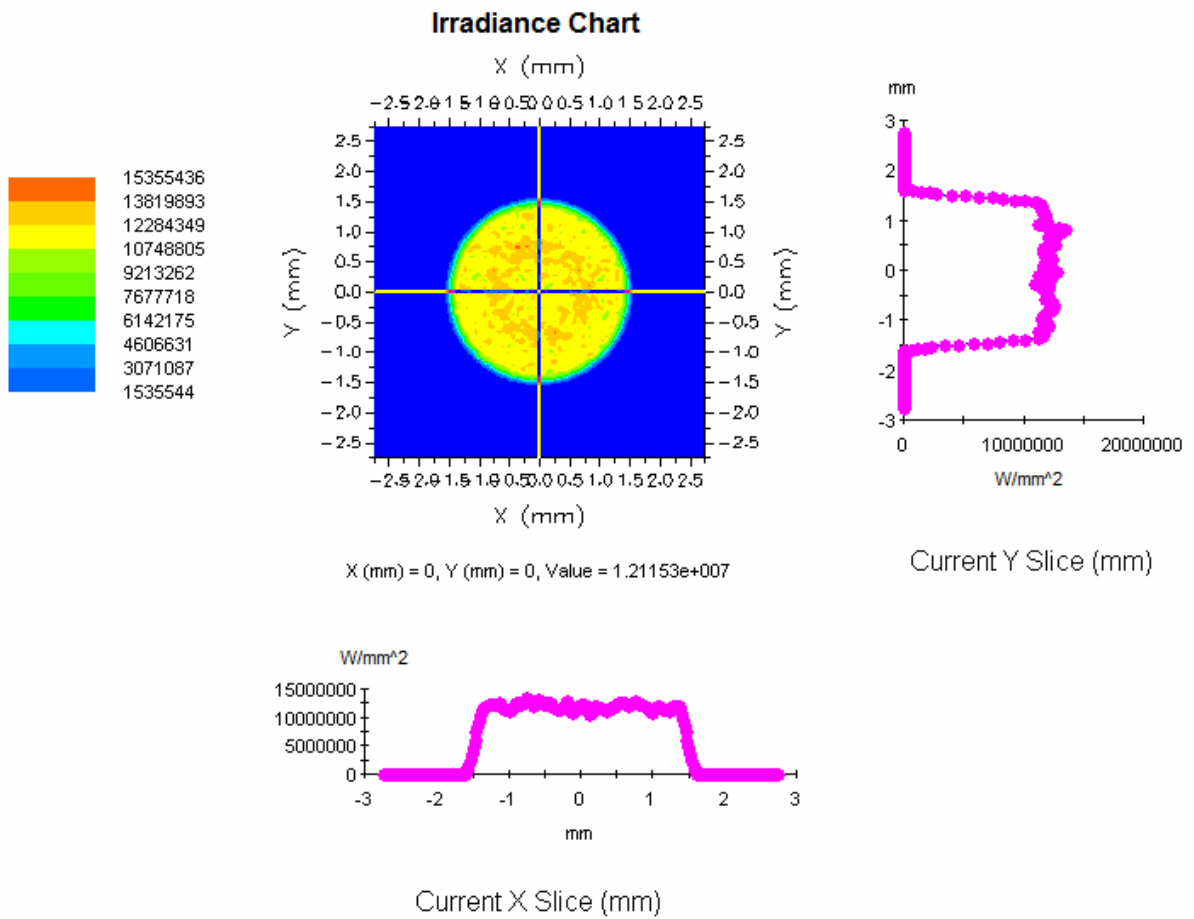


圖6 最佳均勻度的能量分布

為了找到一個高收光率的二次光學元件，我們所使用的二次光學元件為方錐形的光管，底部的面積配合 receiver 大小而改變，在這裡我們所設計的 receiver 為 5.5mmx5.5mm，為了要找到一個高收光率的二次光學元件，我們利用軟體分析我們所設計的結構 (圖 7)。

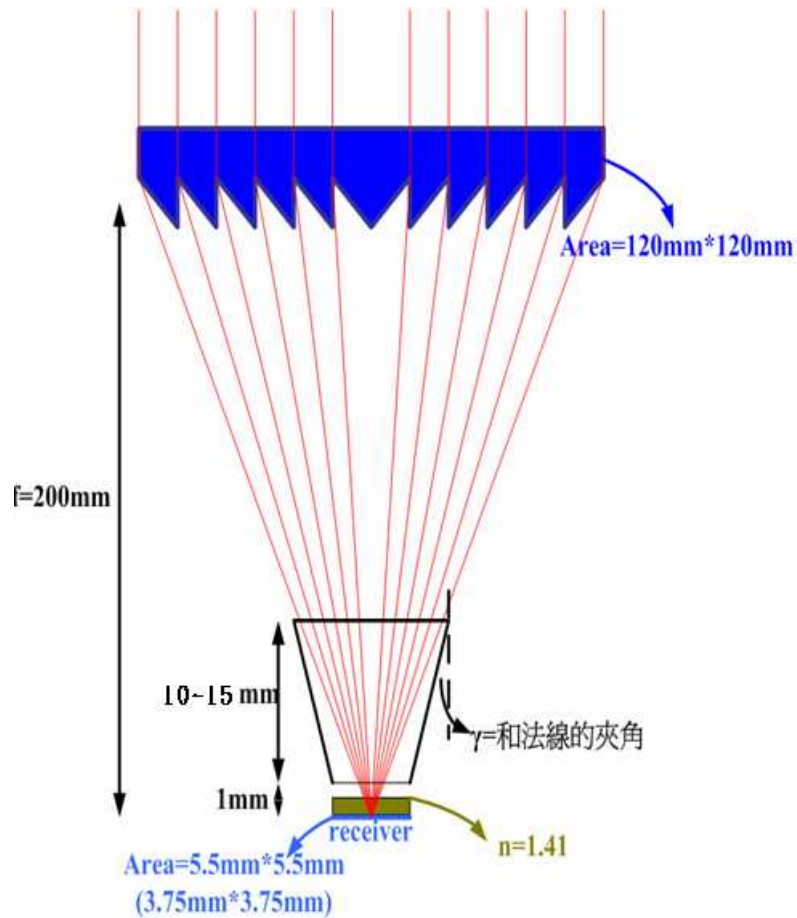


圖7 高收光率的二次光學元件設計結構

我們在 Light Tools 中，設計 receiver 面積為 $5.5\text{mm} \times 5.5\text{mm}$ ，去模擬改變 SOE 大小與傾斜角度 γ ，由圖 8(a)及(b)可以分別知道：

(1)當 $\text{SOE}=10\text{mm}$ 時，在 $\gamma=20$ 度有最大效率 83.083% ，在 $\gamma=40$ 度有最大可接受角 0.2925 度，綜合前面 2 項，可以知道在 $\gamma=40$ 度的可接受角大於 $\gamma=20$ 度，但效率卻是差不多的，因此我們取 $\gamma=40$ 為我們的最佳設計。

(2)當 $\text{SOE}=15\text{mm}$ 時，在 $\gamma=17.5$ 度有最大效率 83.14% ，在 $\gamma=32.5$ 度有最大可接受角 0.2929 度，綜合前面 2 項，可以知道在 $\gamma=32.5$ 度的可接受角大於 $\gamma=17.5$ 度，但效率卻是差不多的，因此我們取 $\gamma=32.5$ 度為我們最佳的設計。

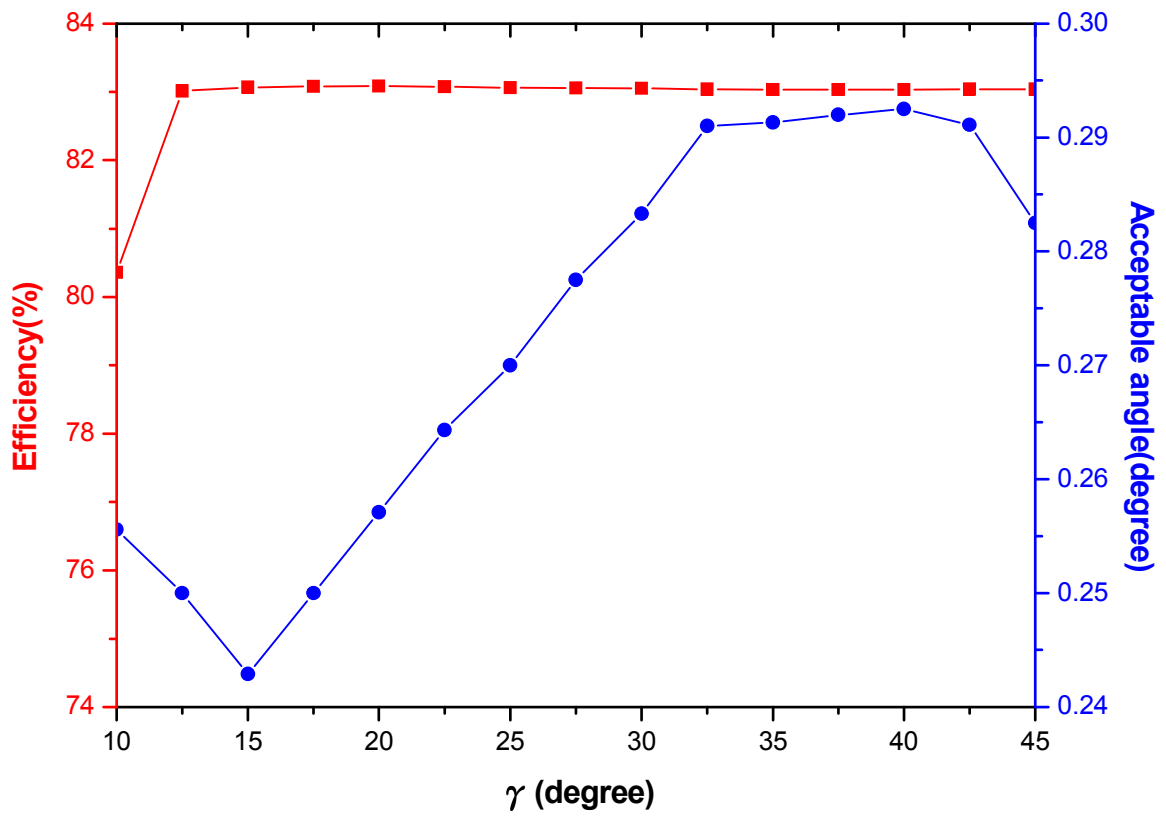


圖 8 (a) SOE=10mm 的傾斜角度 γ 與效率即可接受角之關係圖

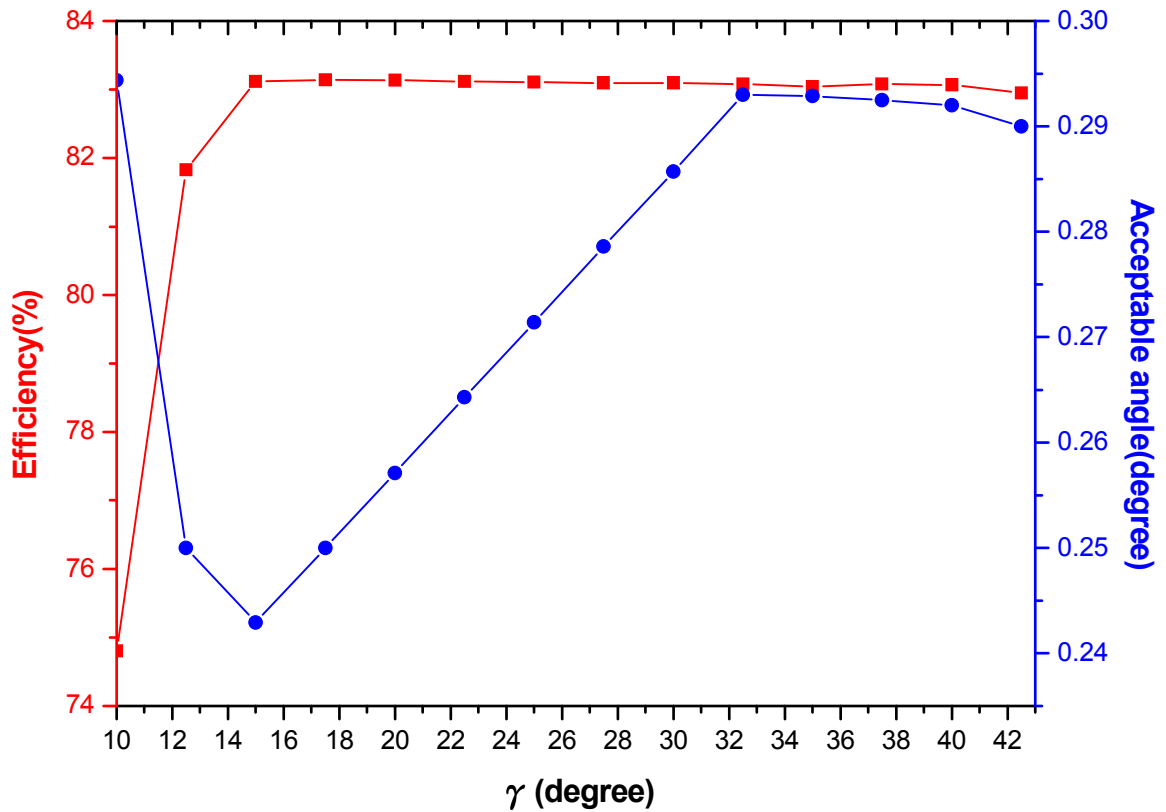


圖 8 (b) SOE=15mm 傾斜角度 γ 與效率即可接受角之關係圖

綜合以上兩點我們所得到的二次光學元件規格的結果，如表 4。從表中可以看到 SOE=15mm 和 SOE=10mm 比較可接受角並無很大的差距，效率卻略大一點，因此，最後選擇 SOE=15mm、傾斜角度 $\gamma=32.5$ 度(即收光角度為 122.5 度)。

表 4 二次元件設計規格

Fresnel lens area	S.O.E. (mm)	效率(%)	可接受角 (degree)	γ 值 (degree)
5.5x5.5(mm) Rectangular	10	83.037	0.2925	40
	15	83.08	0.293	32.5

參、主要發現與結論

照著我們的設計結果，我們也找了一個類似的 Fresnel lens 做比較，比較結果如表 5。從表中我們可以做到遠大於一般 Fresnel lens 和現有市面上量產產品的倍率，和均勻度也遠大於其設計。我們的設計中只有折射區，並沒有全反射的區域，因此我們的製造上也容易許多。

表5 二個參考資料和我們最佳設計的規格比較[5,6]

	Reference [5]	FLATCON modules [6]	此論文的最 佳設計
聚光倍率	314	500	1018
設計型式	折射型複合式 (有折射區和全反射 區)	折射型 (只有折射區)	折射型 (只有折射 區)
F-number(F/#)	0.5	1.677	1
焦距 (mm)	60	75	198
均勻度	不均勻	不均勻	均勻(14.6)
可接受角(度)	0.78	0.6	0.305

我們設計出能將大面積的太陽光聚焦到小面積的太陽能電池且能量均勻分布的 1018x 聚光鏡，也做了一系列的模擬與探討。在一剛開始的設計我們先選擇能做到最小的 F-number，藉由公式的推導，但因為在大倍率時可接受角必須大於 0.275 度，所以我們選擇了 F-number 為 1，作為往後的設計規格，第一步希望能將聚

光鏡能做到更大可接受角，但能量也更集中，所以我們將四種設計方法做一個統整比較後，選擇其中最大接受角且 pitch 深度較淺的設計方式，做為下一步均勻化的設計方式。接著第二步希望做出一個最均勻化的設計，在此步驟也有二個步驟，首先我們先找出可以顧及均勻度和可接受角的情況時，選擇一個能量可以最大的位移範圍，接著在做每個 pitch 可以位移的間距，找出其最好的均勻度，但此均勻度的情況下也必須大於可接受 0.275 度，最佳均勻度的情況是當 pitch 的位移為一對一對應的位置時，也符合大於 0.275 度的可接受角。均勻度也從 0.152 上升為 14.6，FWHM 也從 0.3mm 上升為 1.4mm，從這兩個參數上可以看到我們對於均勻度有大幅的提升、改進。

由於經過二次光學元件後，會降低整體光學系統的效率。因此為了減少太陽光入射能量的損失，此二次元件用來均勻能量的分布及增加可接受角[7, 8]，所以二次光學元件的最佳化設計是非常重要的。在這裡的二次光學元件的模型中，我們設計出能增加收光效率，以及可達到最大可接受角的 SOE，使用的 Fresnel lens 為方型而 receiver 大小為 5.5mmx5.5mm，改變了我們的參數: SOE 大小 10mm、15mm 與傾斜角度 γ ，找出可以同時滿足高效率與高接受角的情況。在此規格的聚光鏡下，並考慮太陽光譜，且 Secondary Optical Element 為 15mm，此時 $\gamma = 32.5$ 度為最佳結果，Efficiency=83.08%，Acceptable angle=0.293 度。若考慮 Secondary Optical Element 為 10mm，此時 $\gamma = 40$ 度為最佳設計結果，Efficiency=83.037%，Acceptable angle=0.2925 度。最後，選擇一個較適合的規格 SOE 大小為 15mm、傾斜角度 $\gamma = 32.5$ 度(即收光角

度為 122.5 度)，而其所對應的效率為 83.08%、可接受角為 0.293 度。

肆、參考文獻

1. M. Hernández, A. Cvetkovic, P. Benítez, J. C. Miñano, “High-performance Köhler concentrators with uniform irradiance on solar cell,” Proc. SPIE **7059**,705908 (2008).
2. http://www.kson.com.tw/chinese/study_23-6.htm
3. MathWorks ,<http://www.mathworks.com/>
4. Optical Research Associates,” <http://www.opticalres.com/>
5. P. Benítez , J. C. Miñano , P. Zamora, R. Mohedano, A. Cvetkovic, M. Buljan, J. Chaves, M. Hernández, “High performance Fresnel-based photovoltaic concentrator,” Opt. Express **18**(S1),A25-A40 (2010)
6. A.W. Bett,F. Dimroth, S. W. Glunz, A. Mohr,G. Willeke, Proc. 19th European Photovoltaic Solar Energy pp.244-2491 (2004)
7. P. Benítez , J. C. Miñano , P. Zamora, R. Mohedano, A. Cvetkovic, M. Buljan, J. Chaves, M. Hernández, “High performance Fresnel-based photovoltaic concentrator,” Opt. Express **18**(S1),A25-A40 (2010)
8. M. Victoria, C. Domínguez, I. Antón, and G. Sala, “Comparative analysis of different secondary optical elements for aspheric primary lenses,” Opt. Express **17**(8), 6487–6492 (2009)