

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030811

太陽電池在靜止平面與移動載具之最佳儲能研究

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國三 蔡樂 國三 陳宇彤	指導老師： 蔡名峯 韓顏吉
--------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：太陽電池、載具儲能、太陽軌跡

摘要

本研究探討太陽電池在平面與載具之創新儲能應用，使太陽電池以簡單的方法得到最大的吸收能量。首先，利用 **Stellarium** 天文軟體，完成太陽電池最佳方位角與仰角的計算方式，使太陽電池能夠保持在最佳方位。然後，依據光學反射原理，提出全新的鏡面最佳轉角定理，使得鏡面反射之轉角得以迅速精確計算。並藉由引入 GPS 衛星定位功能，將此太陽電池能量追綜方法，由靜態的地面應用，推展到動態的載具應用。本研究成功將此技術應用於移動載具，達成載具最大能量儲存之目標。最後，經由平面與載具之太陽電池實驗結果顯示，利用本文提出的創新研究，與單純平放太陽電池之儲能作法比較，若能將反射鏡或者太陽電池隨時對準最佳方位角與仰角，可以獲得多出 20%~50% 的免費能量！

壹、研究動機

在上理化課時，理化老師提到太陽能是最乾淨的能源，如何有效的利用太陽能是現今社會所面臨到的重要課題。後來在上地科課時，地科老師使我們知道太陽繞地球運行的情形，我們不禁思考，如果太陽能板能隨著太陽位置而轉動，使否能有效提高太陽能的利用，或者是利用鏡面反射的方式，提高太陽能量的收集是否可行？

在尋找相關資源後發現，我們可以利用國小時的天文星象課程，老師教導的 **Stellarium** 免費天文軟體，可以得知任何地點任何時間的太陽方位角與仰角。而且我們發現到目前為止並沒有裝置在載具的動態太陽能追蹤系統，且在加裝反射鏡後，也沒有標準且快速的最佳動態轉角計算方式，因此本組想利用此次科展的機會，來找出反射鏡面最佳轉角定理，以增強太陽電池之能量吸收。

貳、研究目的

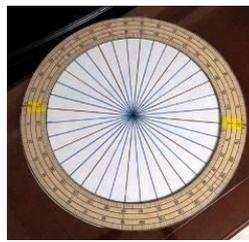
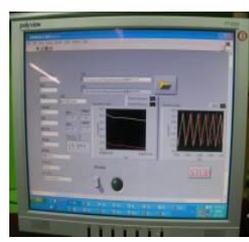
- 一、探討太陽電池吸收能量之計算方法。
- 二、探討太陽方位角與仰角對於太陽電池吸收能量之影響。
- 三、**Stellarium** 免費天文軟體於太陽能量吸收之應用。
- 四、**創新研究**~太陽方位角與仰角對於太陽電池吸收能量之關係式。
- 五、探討鏡面反射於太陽電池之應用。

六、**創新關係式**~推導鏡面最佳轉角定理。

七、探討太陽方位與仰角在平面與載具儲能之應用。

八、**創新應用**~鏡面最佳轉角定理在平面與載具儲能之應用。

參、研究設備及器材

				
電流錶	電壓錶	自製鏡子旋轉架	太陽電池	風扇
				
紅外線溫度計	翻拍架 (固定電燈)	仰角量角器	自製太陽 方位量角器	自製太陽電池 立體旋轉架
				
時鐘	指北針	鉛酸電池	實驗小車	電燈
				
電源供應器	長電源線	短電源線	照度計	電腦

肆、研究過程或方法

一、研究原理

(一) 太陽電池能量之計算

1. 太陽電池結構

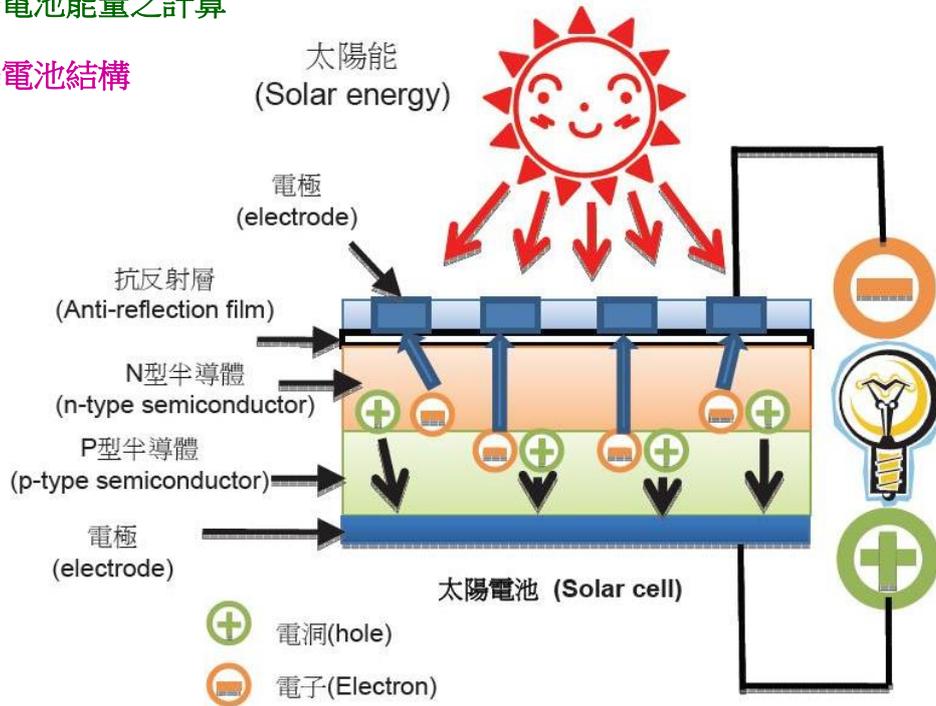


圖 1 太陽電池結構示意圖

說明：太陽能電池吸收陽光透過 p 型半導體及 n 型半導體產生電子(負極)及電洞(正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降並產生直流電，再經由導線傳輸至負載。

2. 電功率與電能計算

本研究將太陽能量經由太陽電池吸收，轉為電能儲存在電池中。其電功率與電能之計算，我們利用圖 2 之作法，將太陽電池之正極串聯接上一個電流表與鉛酸電池，然後接回太陽電池的負極，藉由電流表可以得到電流數據 I 。另外，鉛酸電並聯接上一個電壓表，已得到電池之電壓讀數 V 。如此，太陽電池吸收電功率 P 為

$$P = I \times V \quad (1)$$

其中，電壓的單位為伏特(V)，電流的單位為安培(A)，電功率的單位為瓦特(W)。

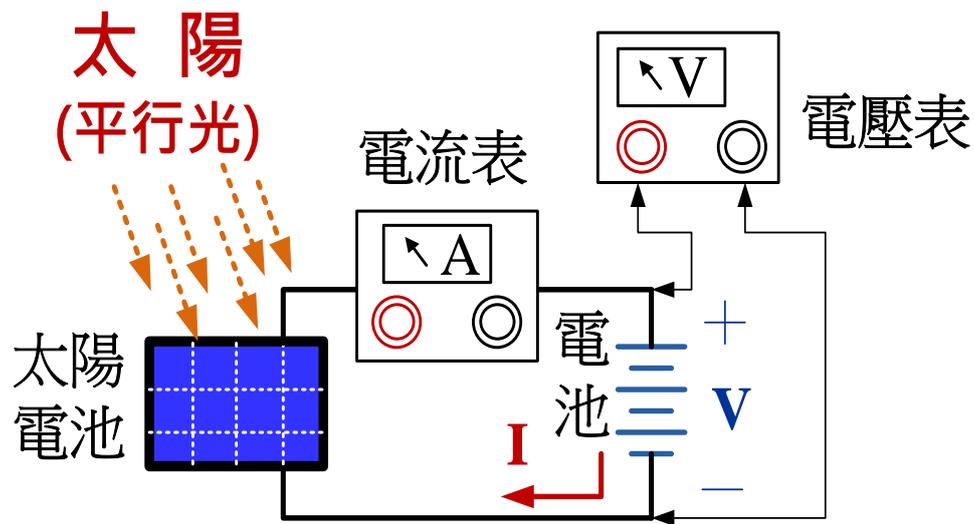


圖 2 太陽電池電功率與電能計算之設計電路示意圖

說明：本研究將太陽能量經由太陽電池吸收，轉為電能儲存在電池中。其電功率與電能之計算，將太陽電池之正極串聯接上一個電流表與鉛酸電池，然後接回太陽電池的負極，藉由電流表可以得到電流數據 I 。另外，鉛酸電池並聯接上一個電壓表，已得到電池之電壓讀數 V 。

另外，記錄太陽電池吸收能量之時間 t (sec)，可以計算電能 E

$$E = P \times t = I \times V \times t \quad (2)$$

上式中，電能的單位為焦耳(J)，或者可以是瓦秒(Ws)。

3. 本研究使用的太陽電池

本研究採用單晶 2.5W 太陽能板，如圖 3 所示，其規格如下：



最大功率電壓：7V
 最大功率電流：357mA
 開路電壓：8.4V
 短路電流：376mA
 外觀尺寸：156mm*147mm*4mm

圖 3 本研究使用的太陽電池

(二) 利用 Stellarium 天文軟體研究太陽電池最大能量吸收

1. 太陽方位角與仰角對於太陽電池吸收能量之影響

如何利用有效而且便宜的方法，計算太陽之方位及仰角，再換算出太陽能接收單元對準太陽之最佳角度，是一個太陽能相關的重要研究。

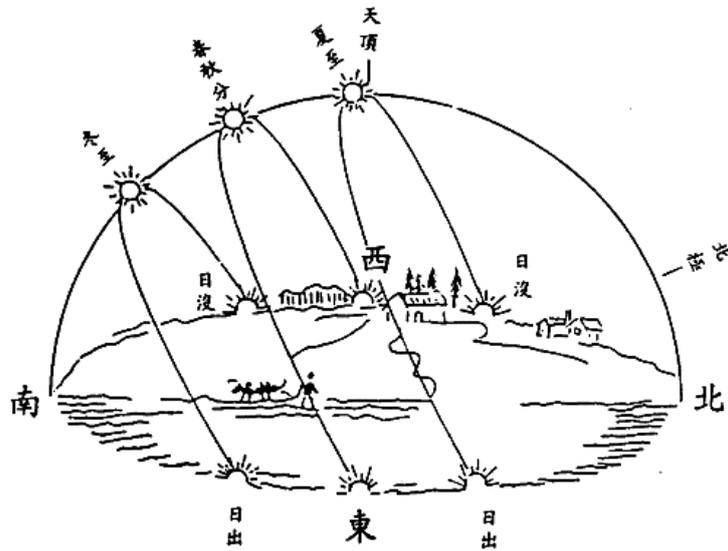


圖4台灣四季太陽仰角與方位角示意圖

說明：台灣四季太陽仰角與方位概圖如上圖所示。如果能夠善加利用與研究，就可以設計有效而且便宜的太陽能最佳追蹤系統，以增加 36% 的太陽能量吸收。

2. Stellarium 免費天文軟體於太陽能量吸收之應用



圖 5 Stellarium 天文軟體

Stellarium 是一個開放原始碼的免費星圖軟體，如圖 5 所示，收錄超過 6 萬顆星體資訊，包含各種星座、星雲與真實銀河效果，以擬真化的方式模擬出在野外觀測星空的大氣、光線變化與日出、日落、流星、星光閃爍、日蝕、月蝕...等模擬畫面。畫面的左上角會依照不同項目詳細標示出星等、赤經/赤緯、時角、方位角、光譜型、距離與視差...等等各式資訊。利用 **Stellarium** 天文軟體可以得知任何時間任何地點的太陽方位角與仰角。

參考中央氣象局資料或者台灣四季太陽仰角與方位概圖，只能得到基本訊息，無法得到精確的太陽仰角與方位，而且，本研究希望能應用在世界任何角落，由於地球科學的不斷進步，我們應該善用 **Stellarium** 天文軟體進行儲能探討研究。

3. 研究太陽電池最佳方位角

首先，應用太陽方位計算太陽電池之最佳方位角，參考太陽方位角與太陽電池關係圖，如圖 6 所示。利用 Stellarium 天文軟體可以得知任何時間任何地點的太陽方位角，可以輕鬆得到太陽電池最佳方位角，如圖中 $\angle A$ 或 $\angle B$ 。

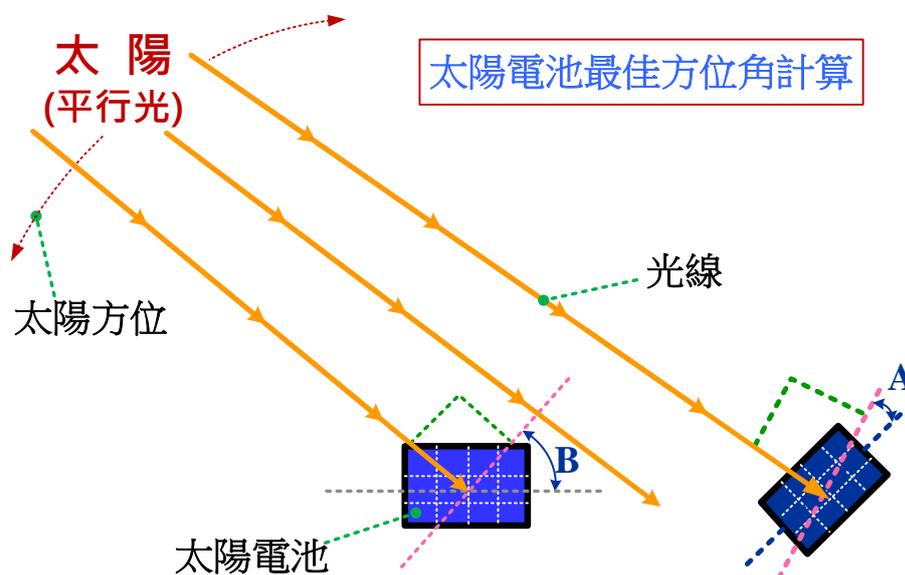


圖 6 太陽方位角與太陽電池關係示意圖

說明：利用 Stellarium 天文軟體可以得知任何時間任何地點的太陽方位角，可以輕鬆得到太陽電池最佳方位角，如圖中 $\angle A$ 或 $\angle B$ 。

4. 研究太陽電池最佳仰角

完成太陽電池最佳方位角推演後，接下來推論太陽仰角對於太陽電池之最佳轉角關係式推導。首先，參考太陽仰角與太陽電池關係圖，如圖7所示， $\angle A$ 為太陽電池對水平面之角度，為一已知角度。

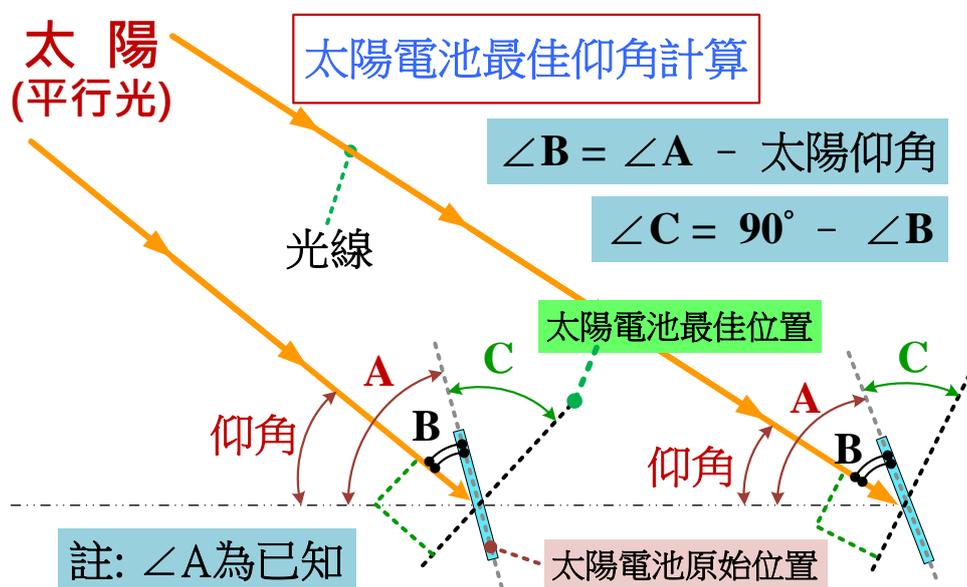


圖 7 太陽仰角與太陽電池關係示意圖

說明： $\angle A$ 為太陽電池對水平面之角度，為一已知角度。利用Stellarium天文軟體可以得知任何時間任何地點的太陽仰角，作如下計算得知 $\angle B$ 之值:

$$\angle B = \angle A - \text{太陽仰角} \quad (3)$$

因為太陽電池之最佳位置為與太陽光線垂直，於是利用下式算出太陽電池最佳仰角關係式

$$\text{太陽電池最佳仰角} = \angle C = 90^\circ - \angle B \quad (4)$$

(三) 鏡面反射於太陽電池之應用

1. 太陽能之能量吸收增強方法

- (1) **串疊型電池：**主要設計為將多層不同能隙的太陽能電池串疊在一起，來達到吸收效率最佳化的結構設計。原理為利用不同材料吸收的太陽光譜不一樣，來組合出可以高效率吸收各波長的太陽光的結構，使得太陽光的轉換率提高。
- (2) **折射聚光結構：**利用兩片光學鏡片來提高其單位面積光強度的結構，首先第一片平

面鏡先將光聚集，再通過第二片平面鏡。第二片鏡片主要目的為使聚集的光可以均勻的打在太陽能電池上，不要過於集中一點。

- (3) **反射聚光結構**：利用反射鏡將光集中在太陽能電池上，來提高其單位面積光強度的結構。
- (4) **長光路法**：利用特別設計的結構，使太陽光進入太陽能電池後不易出去，以延長吸收光的時間，進而增加太陽光電池的轉換率。

2. 光的反射定律

為了增強太陽能發電之效率,可將光的反射原理應用在太陽能板的增能吸收上，光波傳到兩種不同介質的交界面時，有部分光自界面射回原介質中的現象，稱為光的反射，光的反射定律參考圖8。

(1) 光的反射定律

- (a) 入射線與反射線各在法線的異側，但三者共平面。
- (b) 反射角等於入射角。

(2) 光徑的可逆性

由於入射角等於反射角，故當反射線改為入射線時，則入射線即為其反射線。

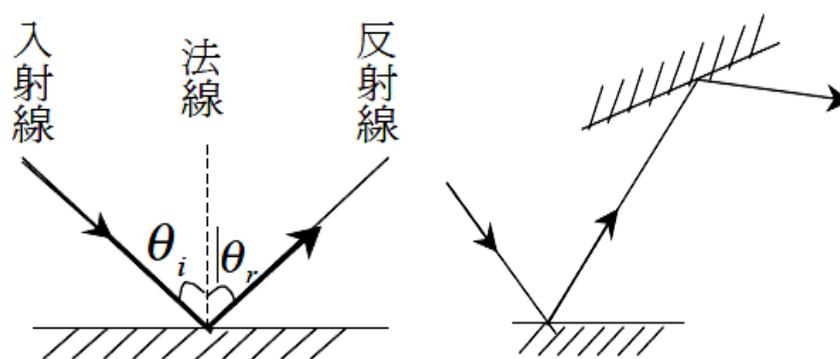


圖8 光的反射定律示意圖

(四) 太陽方位與仰角在載具儲能之應用

1. GPS 衛星定位原理

由太空中已知軌道之衛星位置到地面或空中需要測定位置之點位間的距離量 (range) 是 GPS 所需之基本觀測量，若由衛星所傳送之訊號(signal) 可以不間斷的由時間同步之接收儀加以記錄，則其間之距離量即可經由該訊號傳送之時間段乘上電磁波之速度而予以有效的決定。

GPS 定位系統係由三個主要運作的單元加以組成，它們分別是太空單元(space segment)、控制單元(control segment)及使用者單元(user segment)。依據 GPS 衛星的軌道分佈，其由 24 顆衛星所組成，運行之高度約為 20,200 公里，分別分佈在六個傾角為 55° 、每一恆星日二次週期之軌道面上。該系統並於 1995 年 4 月 27 日起正式宣佈其已達一特定水準之民用定位服務。在太空單元中，GPS 衛星已完成全球性之覆蓋率，並在 15° 之高度角以上已達任何時刻皆有至少四顆衛星觀測量之標準。

GPS 已經實際應用在很多領域：

- (1) 精確定時廣泛應用在天文臺、通信系統基站、電視臺中。
- (2) 工程施工道路、橋樑、隧道的施工中大量採用 GPS 設備進行工程測量。
- (3) 勘探測繪野外勘探及城區規劃中都有用到。
- (4) 土地探測例如：森林區、山坡地違規開發查報工作。
- (5) 製圖電子地圖之製作及粗略地形圖之製作。
- (6) 導航：武器導航：精確制導飛彈、巡弋飛彈、載具導航、船舶導航、飛機導航。
- (7) 定位載具防盜系統、手機防盜、電子地圖定位、兒童及特殊人群防走失。

2. 利用 STELLARIUM 軟體與 GPS 系統進行動態太陽能能量儲存

如何運用前面的關係式算出太陽的最佳轉角，步驟如下：

- (1) 先利用 GPS 系統確定載具所在地點。
- (2) 再利用 STELLARIUM 軟體知道此時此地的方位角和仰角。
- (3) 運用前面的關係式算出太陽電池的最佳轉角，使它產出最大的能量並進行太陽能能量儲存。

3. 創新研究~鏡面最佳轉角定理

本節推論一個創新的重要定理：鏡面最佳轉角定理，進行鏡面最佳轉角 $\angle D$ 之推導。首先，參考太陽仰角和鏡子與太陽電池關係圖，如圖9所示。假設未旋轉前的鏡面原始角度垂直於水平面。利用Stellarium天文軟體可以得知任何時間任何地點的太陽仰角，作如下計算得知 $\angle A$ 之值。

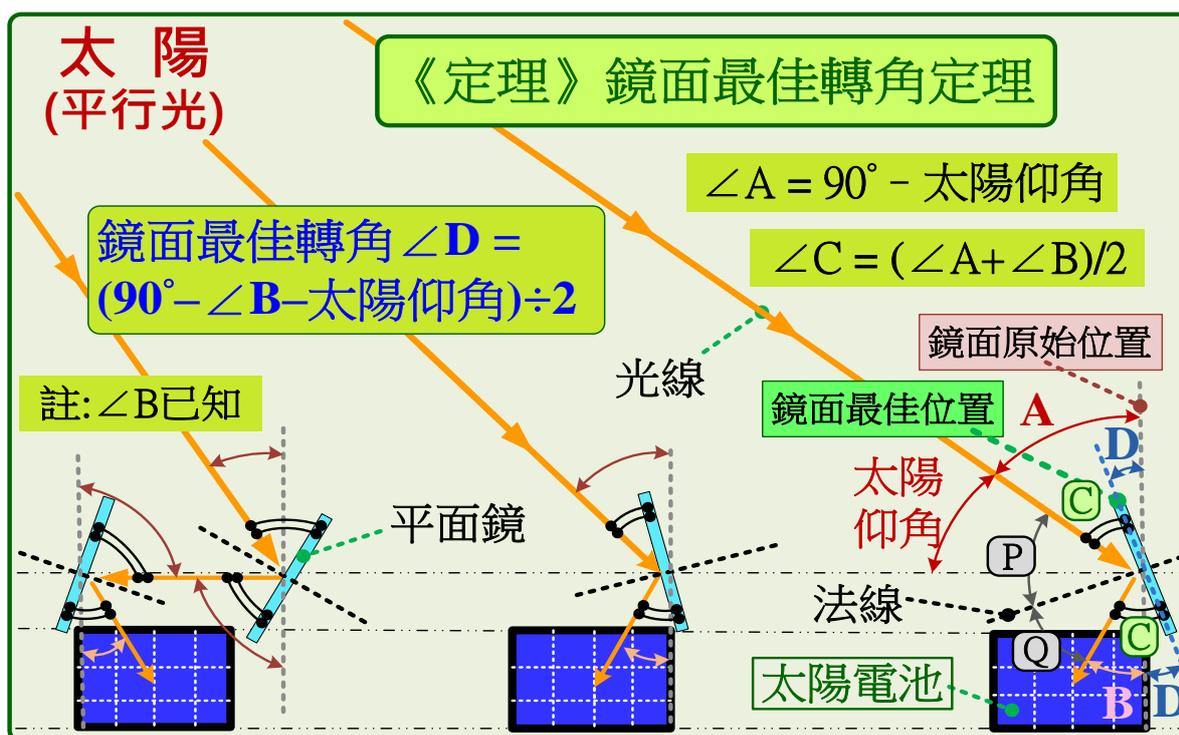


圖9太陽仰角和鏡子與太陽電池關係示意圖

$$\angle A = 90^\circ - \text{太陽仰角} \quad (5)$$

根據光的反射定律得知，光的入射角 $\angle P$ 等於反射角 $\angle Q$ ，所以

$$\angle C = 90^\circ - \angle P = 90^\circ - \angle Q \quad (6)$$

現在，希望鏡面由原本的垂直角度轉到鏡面最佳轉角 $\angle D$ ，因為 $\angle A$ 已經利用(5)算出，所以

$$\angle D = \angle A - \angle C \quad (7)$$

另外，鏡子與太陽電池位置為已知，所以，垂直線與鏡面反射線 $\angle B$ 是已知的。利用已知的 $\angle B$ ，參考圖9，可以得到

$$\angle D = \angle C - \angle B \quad (8)$$

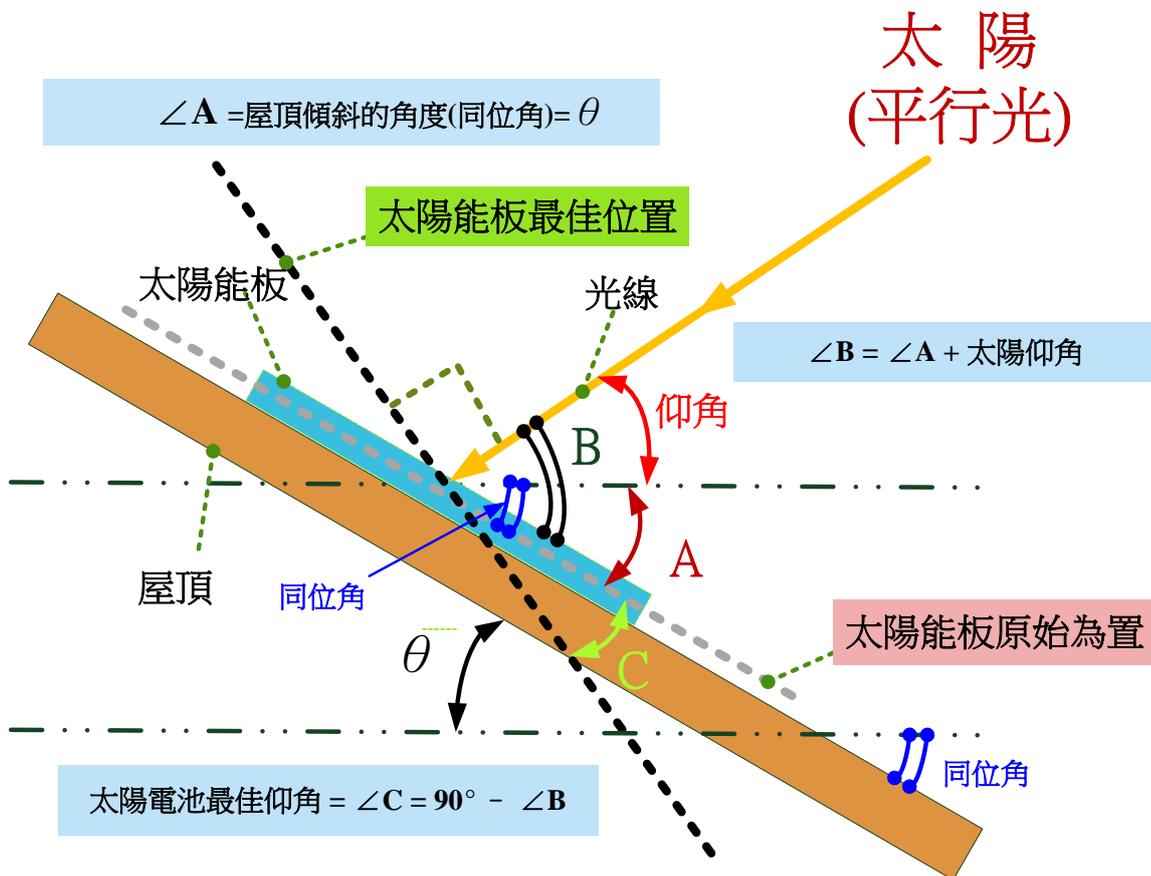
將式(7)與式(8)聯立，消去 $\angle C$ ，得到鏡面最佳轉角關係式

$$\angle D = (90^\circ - \angle B - \text{太陽仰角}) \div 2 \quad (9)$$

最後根據式(9)鏡面最佳轉角關係式，以及參考圖9，很容易得知以下兩個最後的結論

- (a) 當 $\angle D$ 為正值，代表鏡面必須逆時針旋轉。
- (b) 當 $\angle D$ 為負值，代表鏡面必須順時針旋轉。

太陽能板置於非水平平面之角度計算



$$\angle A = \text{屋頂傾斜的角度(同位角)} = \theta \quad (10)$$

$$\angle B = \angle A + \text{太陽仰角} \quad (11)$$

$$\text{太陽電池最佳仰角} = \angle C = 90^\circ - \angle B \quad (12)$$

4. 創新應用~鏡面反射於太陽電池最大能量吸收關係式在載具儲能之應用

在載具之應用方面，探討太陽電池在鏡面的反射下如何所產生免費最大能量。運用 STELLARIUM 軟體與 GPS 系統算出最佳轉角，由靜態的地面應用，推展到動態的載具應用，可以利用前一節所推演的鏡面最佳轉角關係式，應用在載具之儲能。將此技術應用於載具內部，儲存太陽給予的免費能量，達成載具最大能量儲存之目標，其作法如圖 10 所示。

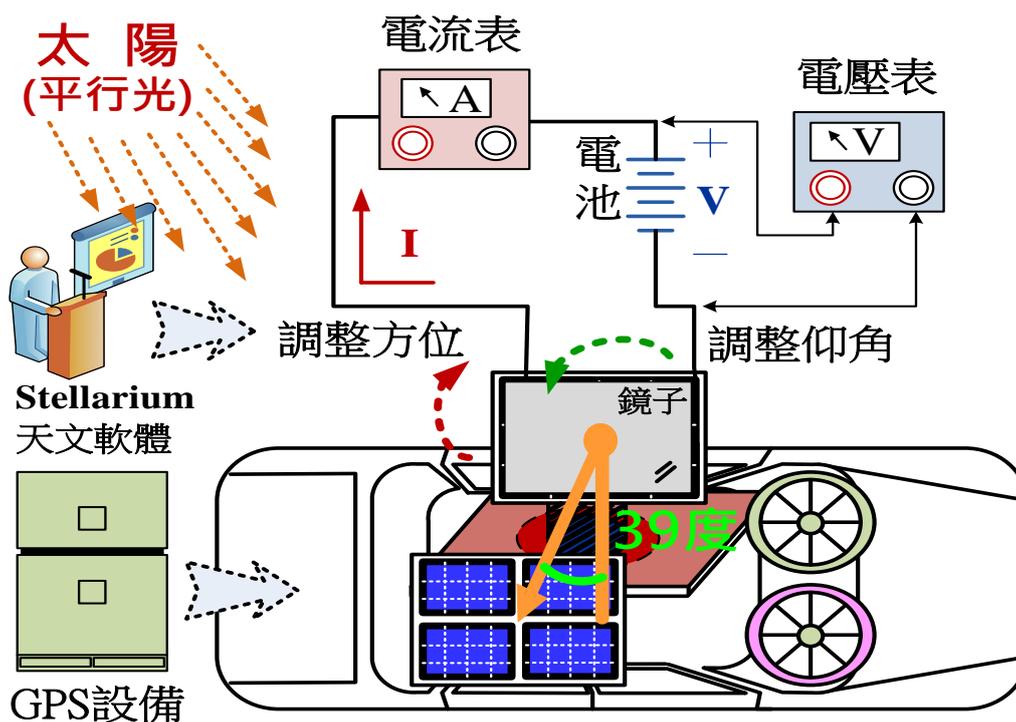


圖 10 鏡面反射於太陽電池最大能量吸收關係式在載具儲能之示意圖

二、研究過程

(一) 實驗與研究一：太陽電池吸收能量之計算與驗證

1. 太陽電池電功率與電能計算之實驗設計

首先進行太陽電池吸收能量之基本實驗，了解太陽電池特性，計算電功率與電能。

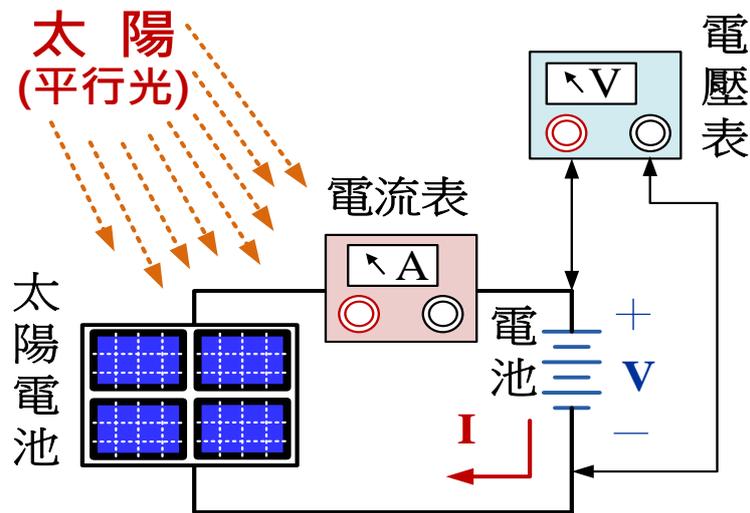


圖 11 電功率與電能實驗示意圖

實驗設計如圖 11 所示，以鉛酸電池儲存電能，並以電流錶與電壓錶記錄之，如此可利用前面研究方法的式(1)與式(2)計算得到電功率與電能。

圖 12 為太陽電池實驗準備工作，將四片太陽電池以串聯方式接線，以提高其產生電壓，以免電壓過低無法儲存能量。圖 12 的左圖與右圖分別為串聯連接後的太陽電池正面與反面照片。



圖 12 (左)實驗用太陽電池 (右)四片太陽電池串連接線

2. 太陽電池電功率與電能計算之室內模擬

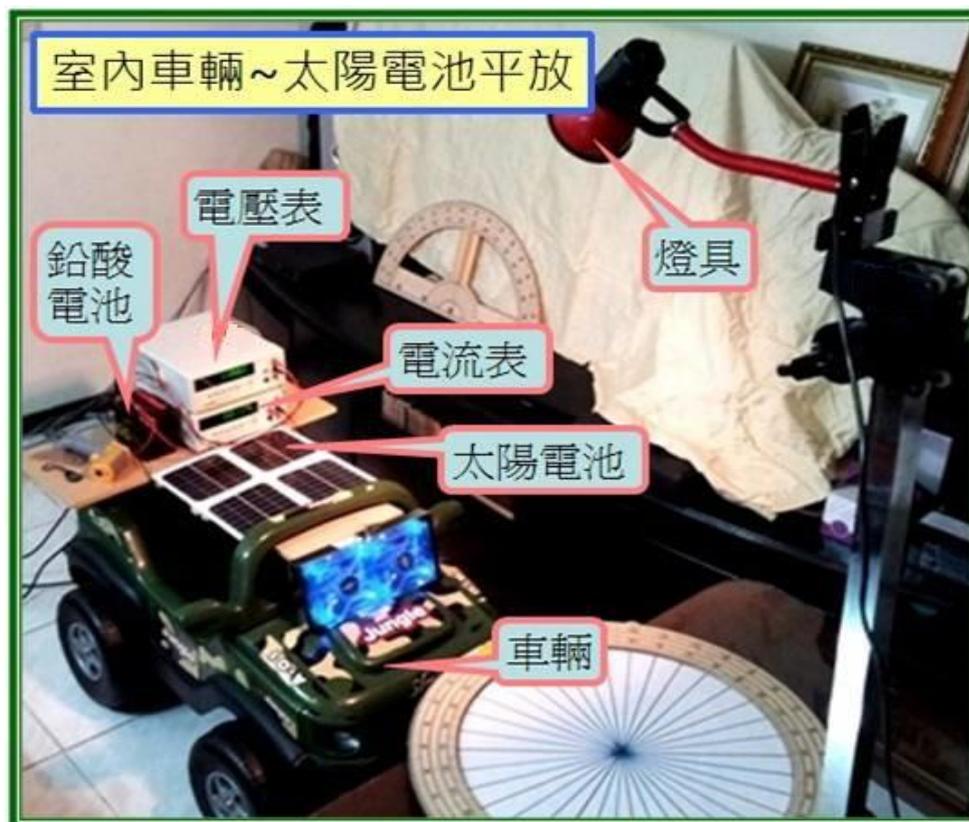


圖 13 電功率與電能計算之室內模擬

首先依照如圖 11 所示的電功率與電能實驗設計，先進行室內模擬以作為室外實作準備。如圖 13 所示的鉛酸電池儲存電能，並以電流表與電壓表記錄之，在室內模擬時使用一個 60W 燈泡作為太陽光之模擬，為了逼真模擬，以上器具都擺在一部小吉普車上進行實驗。

3. 太陽電池電功率與電能計算之室外實作

如圖 13 的室內模擬成功後，根據前述圖 11 的實驗設計，在室外進行實驗，如下圖 14 所示，除了主要的鉛酸電池、電流錶與電壓錶以外，加入照度計以了解電能與照度之關係，並且加入時鐘確實計算時間，確保電能計算之正確，電功率與電能是利用前面研究方法的式(1)與式(2)計算得到。



圖 14 電功率與電能計算之室外實作

(二) 實驗與研究二：方位與仰角對太陽電池能量吸收之實驗

1. 太陽方位與仰角之意義

利用地球科學的知識、圖 4 的台灣四季太陽仰角與方位圖、圖 5 的 Stellarium 天文軟體，我們可以知道任何地點、任何時間的太陽仰角與方位角，就可以設計有效而且便宜的太陽能最大能量儲存系統。



圖 15 自製太陽電池方位與仰角調整架

實驗需要一個可以作立體旋轉的基座，以便將太陽電池放在上面，使得太陽電池的方位與仰角可以為任何最佳狀況而旋轉。也就是說，可以獨立調整其方位角，也可以獨立調整其仰角。如圖 15 所示，我們利用筆記型電腦的底部旋轉座以及梳妝鏡，自製上述所需的太陽電池方位與仰角立體調整座。自製完成此旋轉座後，可以使得太陽電池作左右擺動，以及上下轉動，以符合實驗需求。

2. 基於方位與仰角對太陽電池吸收能量之實驗設計

經由前面關係式的推導，設計一連串的實驗設計。首先利用 Stellarium 軟體來確定此時此地的仰角與方位角，藉由圖 6 的太陽方位角與太陽電池關係圖，得到太陽電池最佳方位角。然後，利用圖 7 的太陽仰角與太陽電池關係圖以及式 (3) 與式 (4) 算出太陽電池的最佳仰角，如此可以得到最大的太陽能量吸收。

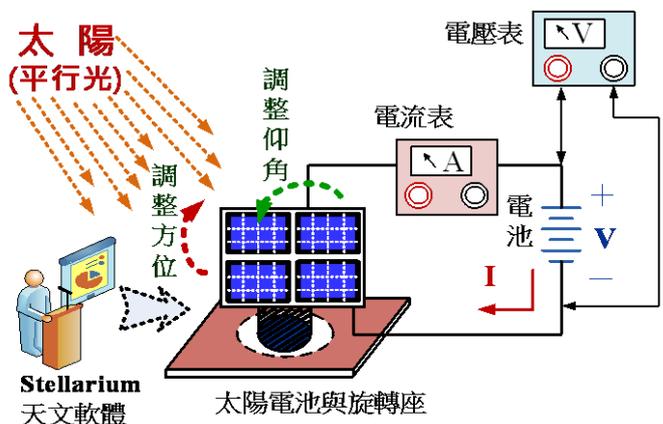


圖 16 利用 Stellarium 天文軟體的太陽能最佳追蹤方法示意圖

$$\text{式 3: } \angle B = \angle A - \text{太陽仰角}$$

$$\text{式 4: 太陽電池最佳仰角} = \angle C = 90^\circ - \angle B$$

為了完成實驗，我們設計了如圖 16 的架構，以利用 Stellarium 天文軟體得到追蹤太陽之目的。

3. 太陽電池最佳轉角之室內模擬

然後進行**室內模擬**，依照如圖 16 所示的太陽能最佳追蹤系統實驗設計，完成圖 17 所示的**太陽電池最佳轉角之室內模擬**。首先利用 Stellarium 天文軟體得到太陽的仰角與方位角，然後使用式 (3) 與式 (4) 算出太陽電池的最佳仰角。再來，如圖 17 所示，使用大型木製量角器量測太陽電池最佳仰角，接下來以自製的方位角量角器量測太陽電池最佳方位角，並以圖 16 的自製太陽電池方位與仰角調整架調整之。

4. 太陽電池最佳轉角之室外實驗

室內模擬成功後，根據前述圖 16 的太陽能最佳追蹤方法架構，在室外進行實驗，如圖 18 所示，並且依照圖 17 所示的室內模擬，利用 Stellarium 天文軟體得到太陽的仰角與方位角，然後使用式 (3) 與式 (4) 算出太陽電池的最佳仰角，以及利用調整架調整之，來進行室外實作，如此順利將太陽能量存入鉛酸電池中。

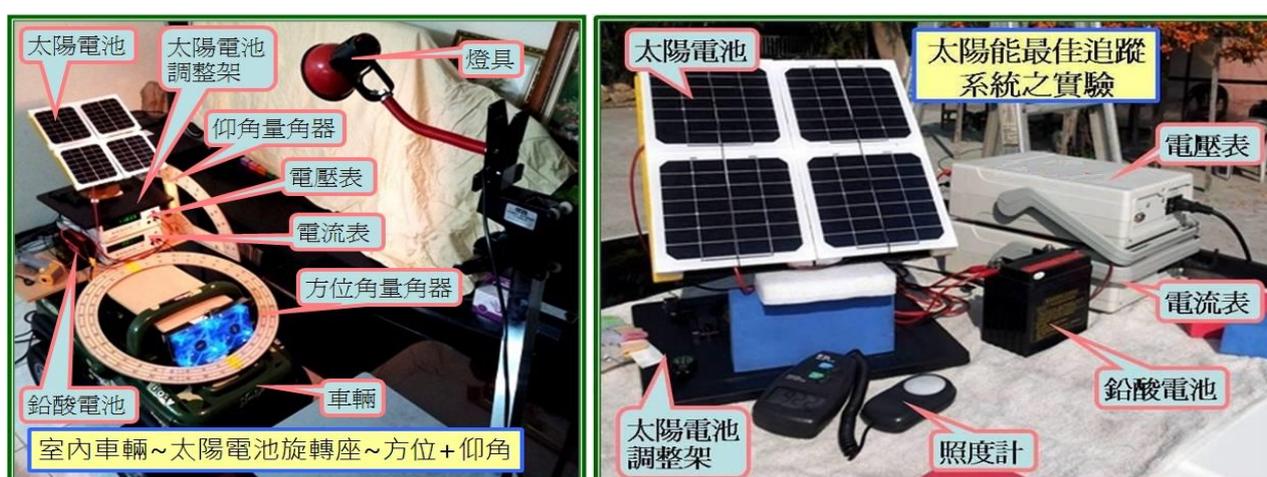


圖 17 太陽電池最佳轉角之室內模擬圖 18 太陽電池最佳轉角之室外實作

(三) 實驗與研究三：太陽電池在平面與載具儲能創新研究之實驗

1. 自製鏡面反射旋轉架與散熱風扇

上述的實驗是假設太陽電池置放於地面或大樓樓頂的固定靜態位置。而本研究所提出得創新研究，**有一個重點是討論如果太陽電池置放位置是動態的，也就是說太陽電池是隨時經常在移動的**，那麼，很顯然以上所說的方法雖然已經用理論及實驗驗證其正確性，但是，卻完全無法使用在動態移動的太陽電池應用中！所以，太陽電池在平面與載具儲能之應用，必須利用前面所提出的創新定理：**鏡面最佳轉角定理**。

另外，這裡將導入簡單低廉的鏡子，利用反射原理增強吸收的太陽能量，這裡也討論實驗的設計規劃，並且進行實作驗證之。

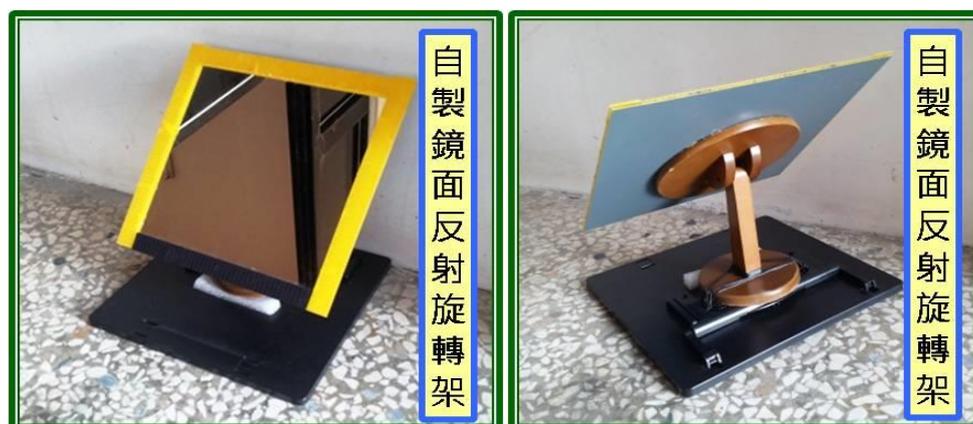


圖 19 自製鏡面反射旋轉架(利用梳妝鏡與電腦旋轉座)。

為了完成實驗，首先自製一個立體鏡面反射旋轉架，如圖 19 所示自製完成此旋轉座後，可以使得反射鏡作左右擺動，以及上下轉動，以符合實驗需求。

2. 鏡面反射之基本實驗

首先進行基本實驗，證明鏡面反射之功效。如圖 20 所示是利用單片鏡子的反射實驗，這裡利用前面圖 9 說明的太陽仰角和鏡子與太陽電池關係圖，以及利用創新的鏡面最佳轉角定理~關係式(9)，計算出鏡面最佳轉角。

以類似於關係式(9)的原理，如圖 21 所示是利用雙片鏡子的反射實驗，顯然會使吸收能量效果更優。



圖 20 最佳鏡面方位與仰角實驗~單片鏡子 圖 21 最佳鏡面方位與仰角實驗~雙片鏡子

$$\text{關係式 9: } \angle D = (90^\circ - \angle B - \text{太陽仰角}) \div 2$$

3. 太陽電池在載具儲能創新研究之室內模擬與室外實作

圖 22 為太陽電池在載具節能創新研究之實驗設計，底下將利用**鏡面最佳轉角定理**，計算出鏡面最佳轉角。

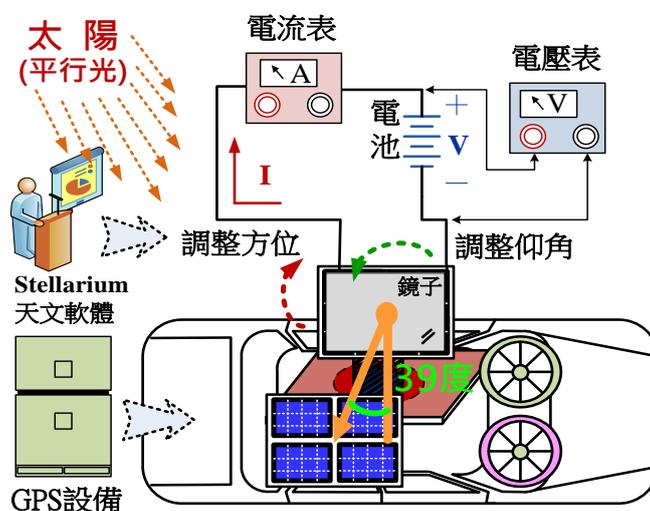


圖 22 太陽電池在載具儲能創新研究之實驗設計示意圖

$$\text{關係式 9: } \angle D = (90^\circ - \angle B - \text{太陽仰角}) \div 2$$

圖 23 為載具儲能增加一組反射鏡，以進一步增加載具儲能效益，說明如下。運用 STELLARIUM 軟體與 GPS 系統算出最佳轉角，這裡利用前面圖 9 說明的太陽仰角和鏡子與太陽電池關係圖，以及利用創新的**鏡面最佳轉角定理~關係式(9)**，計算出鏡面最佳轉角，實現載具最大儲能之應用。



圖 23 太陽電池在載具儲能創新研究之室內模擬

圖 23 進行室內模擬操作，成功後進行實際戶外之載具儲能實驗，如圖 24 所示，實驗結果顯示效果良好。

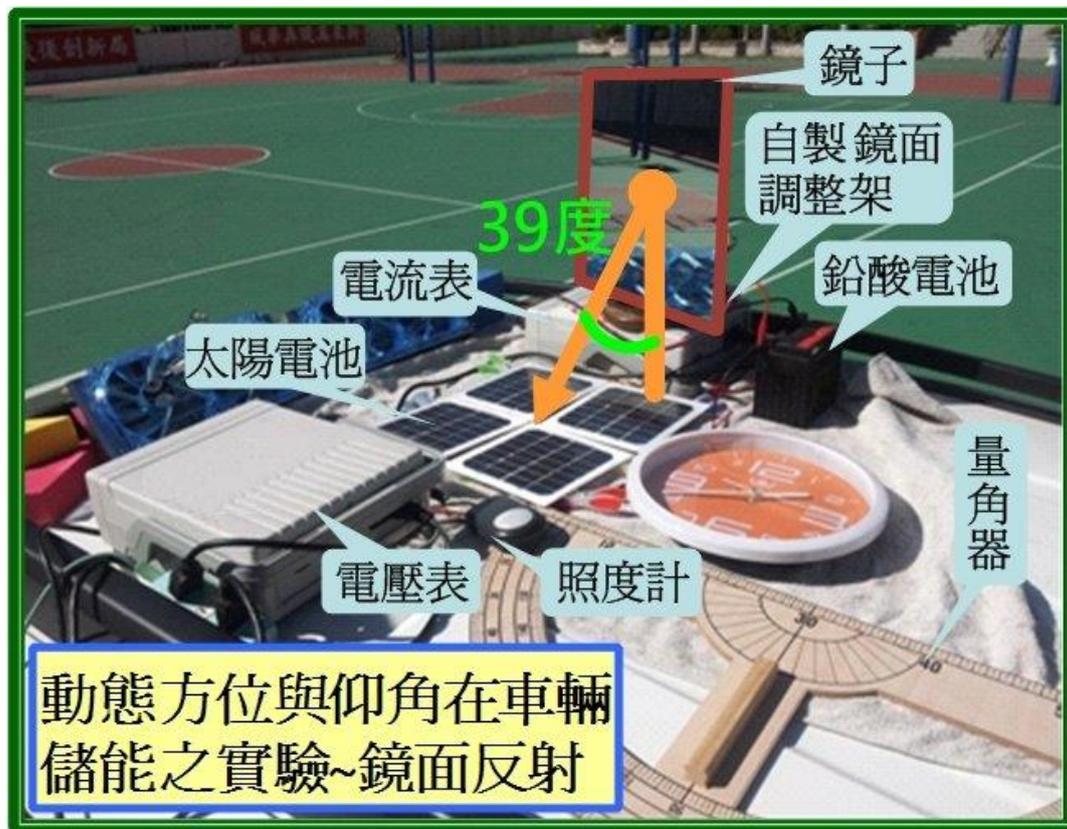


圖 24 鏡面反射動態方位與仰角之載具儲能實驗

伍、研究結果

一、太陽電池電功率與電能計算實驗

依據前面所探討的研究原理與研究過程，進行各項實驗。圖 25-1 以及圖 25-2 為其太陽電池電功率與電能計算實驗架構設計與實驗照片，此實驗是 2015/2/4 在台灣南部進行實驗，當日從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，利用前面所述的各項設備，每隔 15 分鐘記錄一次數據，進行順利，記錄完整數據利用微軟公司 Excel 作圖，結果如下圖 26 之各項曲線，實驗結果與各項曲線之意義與討論，將在下一部分描述。

因為南部的天氣比較穩定，所以 2015/2/4 的實驗是在台灣南部進行。

受限於實驗器材，這三個不同的實驗並非同一天進行，由照度計數據可以看出，70% 的照度約在 100000Lux，所以，實驗數據是客觀合理的。

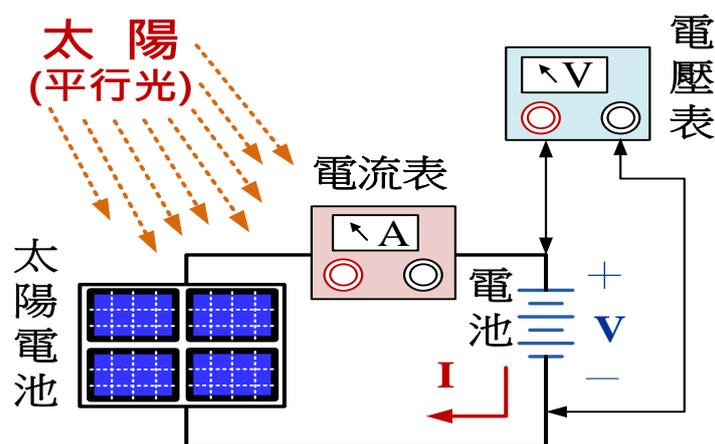


圖 25-1 太陽電池電功率與電能計算實驗架構設計示意圖



圖 25-2 太陽電池電功率與電能計算實驗照片

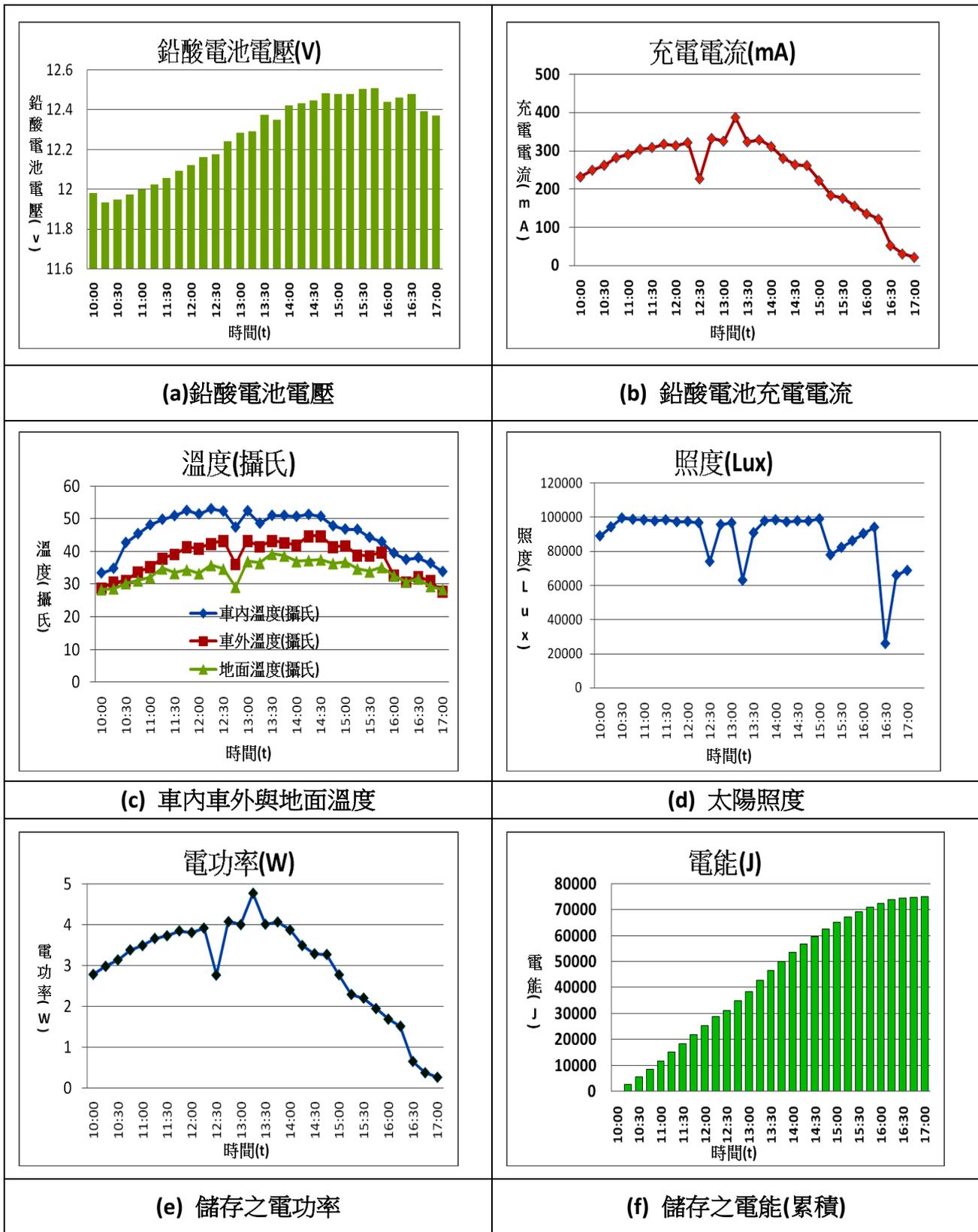


圖 26 太陽電池電功率與電能計算實驗結果

說明:此實驗是 2015/2/4 在台灣南部進行實驗，當日從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，利用前面所述的各項設備，每隔 15 分鐘記錄一次數據，進行順利，記錄完整數據利用微軟公司 Excel 作圖。因為南部的

天氣比較穩定，所以 2015/2/4 的實驗是在台灣南部進行。

二、動態方位與仰角在載具儲能之實驗

接下來描述動態方位與仰角在載具儲能之實驗，如圖 27-1 以及圖 27-2，此實驗是 2015/2/1 在台灣南部進行實驗，當日從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，利用前面所述的各項設備，每隔 15 分鐘記錄一次數據，記錄完整數據利用微軟公司 Excel 作圖，如下圖 28。

因為南部的天氣比較穩定，所以 2015/2/1 的實驗是在台灣南部進行。

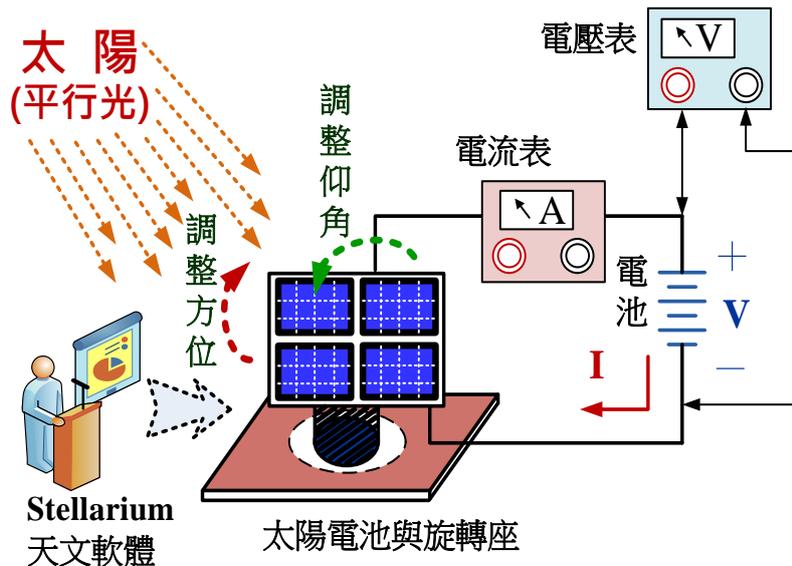
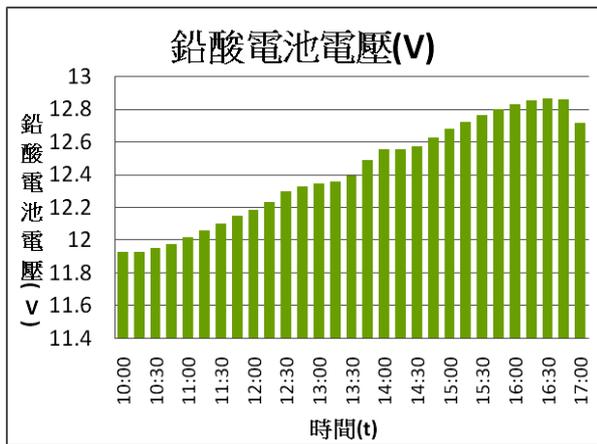


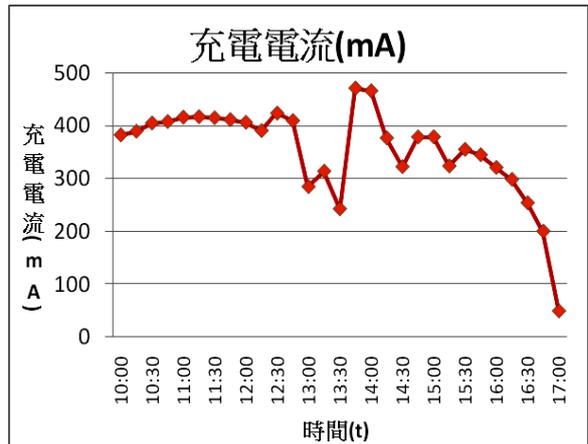
圖 27-1 動態方位與仰角在載具儲能之實驗架構設計示意圖



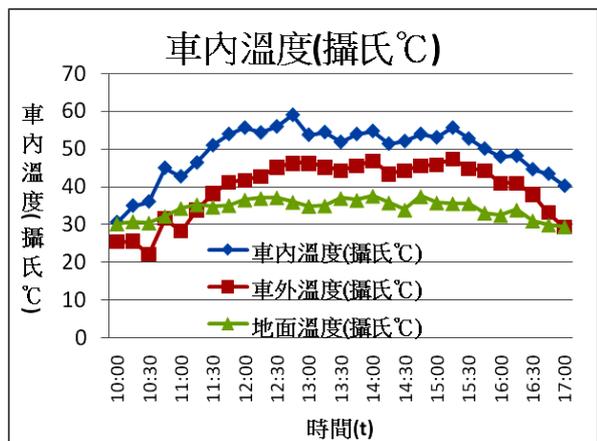
圖 27-2 動態方位與仰角在載具儲能之實驗照片



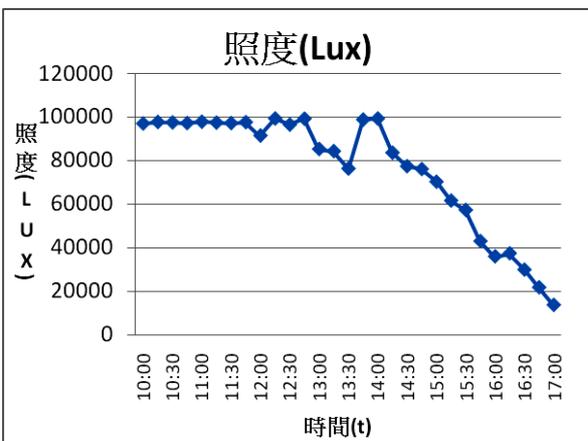
(a) 鉛酸電池電壓



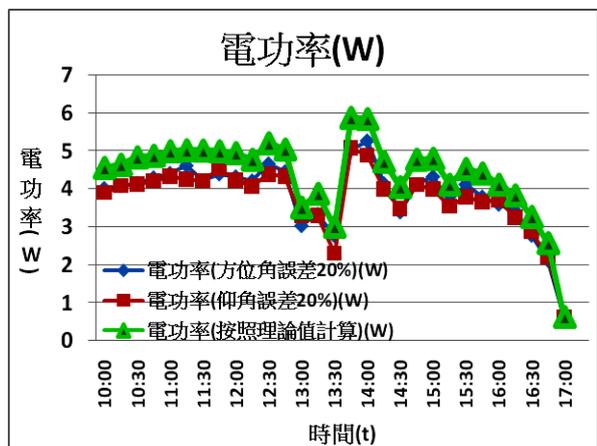
(b) 鉛酸電池充電電流



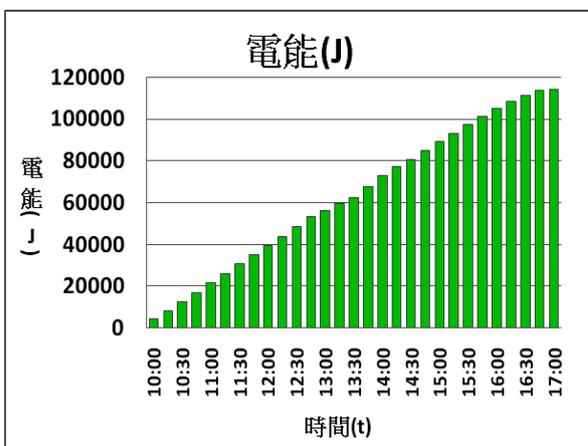
(c) 車內車外與地面溫度



(d) 太陽照度



(e) 儲存之電功率



(f) 儲存之電能(累積)

圖 28 動態方位與仰角在載具儲能之實驗結果

說明：此實驗是 2015/2/1 在台灣南部進行實驗，當日從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，利用前面所述的各項設備，每隔 15 分鐘記錄一次數據，記錄完整數據利用微軟公司 Excel 作圖。因為南部的天氣比較穩定，所以 2015/2/1 的實驗是在台灣南部進行。

三、鏡面反射最大能量吸收之載具儲能實驗

依據前面所探討的研究原理與研究過程，進行鏡面反射最大能量吸收之載具儲能實驗，圖 29 為實驗架構，圖 30 為實驗照片，此實驗是 2015/1/25 在台灣中部進行實驗，當日從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，每隔 15 分鐘記錄一次數據，進行順利。數據利用微軟公司 Excel 繪圖，結果如下圖 31 之各項曲線，實驗結果與各項曲線之意義與討論，將在下一部分描述。

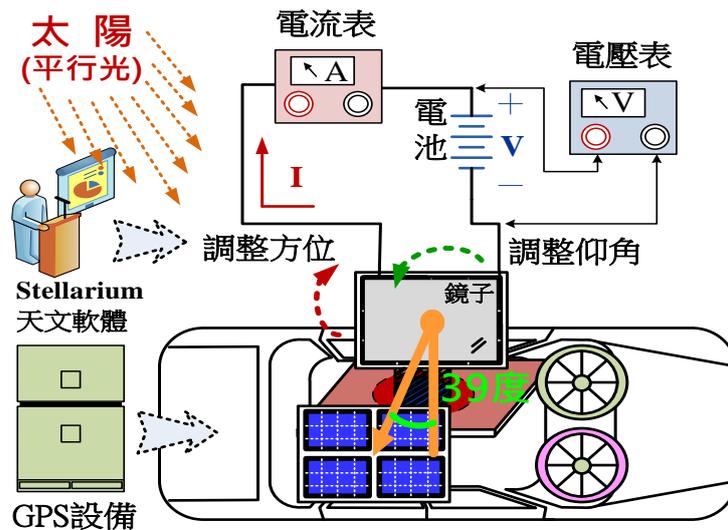


圖 29-1 鏡面反射最大能量吸收之載具儲能實驗之架構設計示意圖

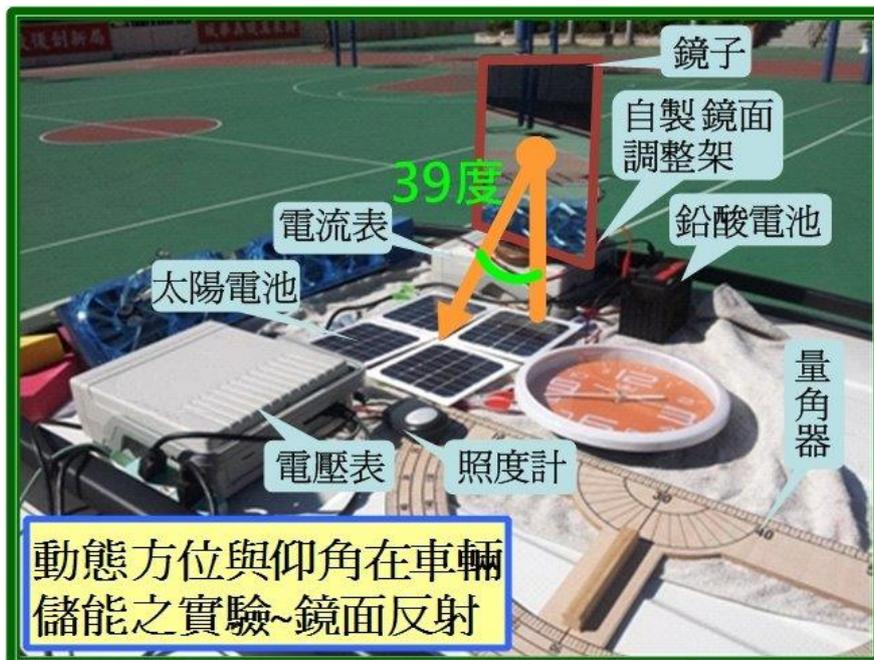
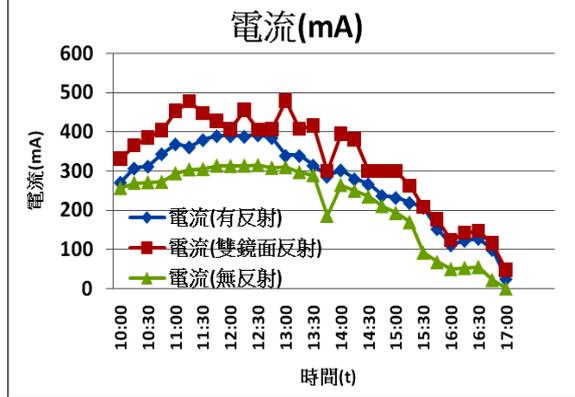


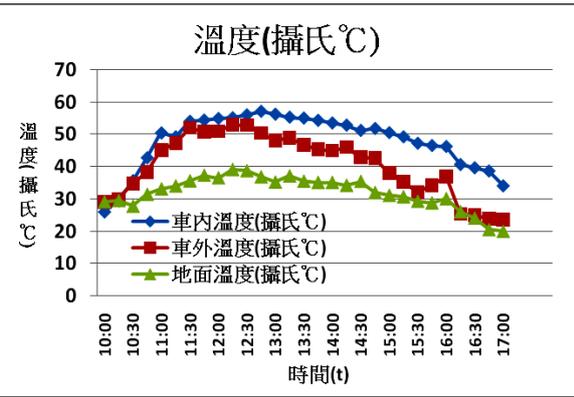
圖 29-2 鏡面反射最大能量吸收之載具儲能實驗之實驗照片



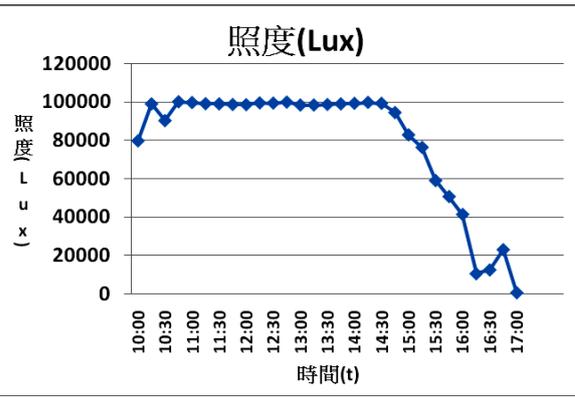
(a) 鉛酸電池電壓



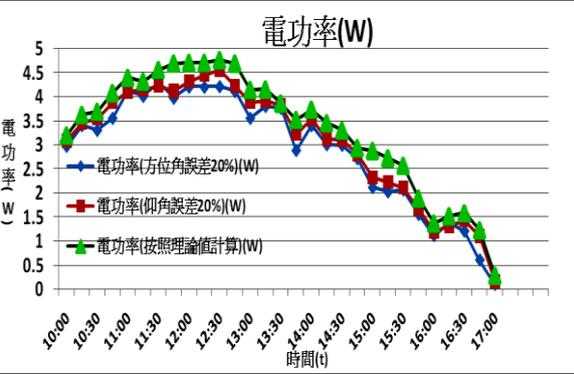
(b) 鉛酸電池充電電流



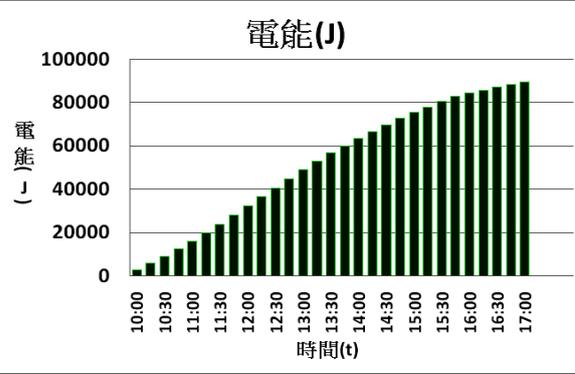
(c) 車內車外與地面溫度



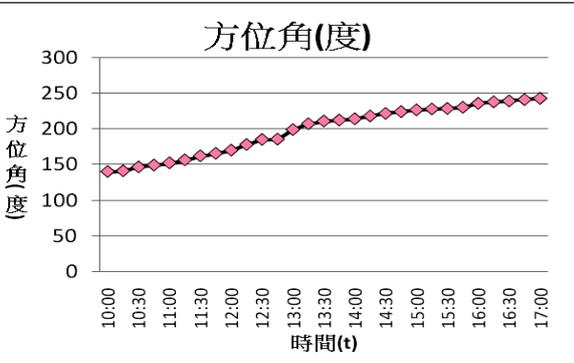
(d) 太陽照度



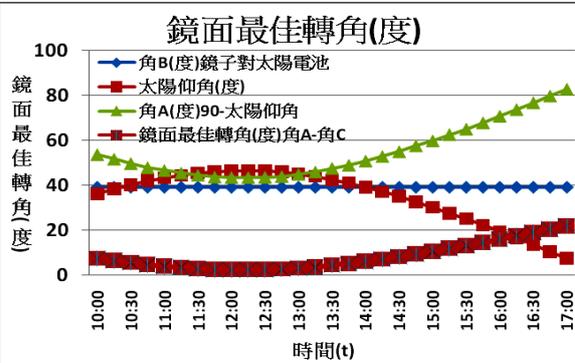
(e) 儲存之電功率



(f) 儲存之電能(累積)



(g) 鏡面最佳方位角



(h) 鏡面最佳轉角

圖 30 鏡面反射最大能量吸收之載具儲能實驗結果

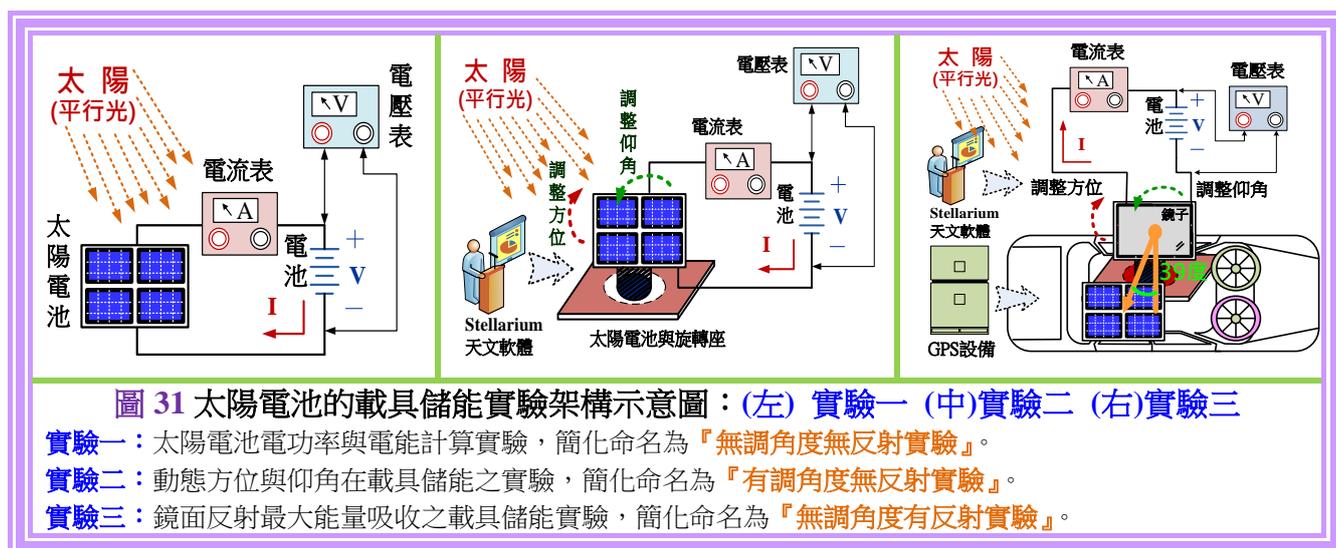
陸、討論

依據上面的理論推演、實驗作法，以及實驗結果討論之。為方便說明，把實驗名稱簡化：

實驗一：太陽電池電功率與電能計算實驗，簡化命名為『無調角度無反射實驗』。

實驗二：動態方位與仰角在平面與載具節能之實驗，簡化命名為『有調角度無反射實驗』。

實驗三：鏡面反射最大能量吸收之載具節能實驗，簡化命名為『無調角度有反射實驗』。



這三種實驗的架構，如圖 31 所示。實驗用載具是**休旅車**，所有設備放置車頂已進行實驗，如圖 32 所示。



圖 32 實驗載具是休旅車，設備放置車頂進行實驗

首先，完成如表一的三種實驗結果的統計數據，考慮前面圖 25、圖 27，以及圖 29 的實驗背景，還有圖 26、圖 28，以及圖 30 的實驗結果數據與曲線，將其數據分別以實驗背景、鉛酸電池電壓高低、鉛酸電池電流平均、太陽照度平均值、吸收功率平均值，以及吸收電能累計說明如下：

表一三種實驗結果的統計數據

實驗 實驗作法 數據	實驗一： 『無調角度 無反射實驗』	實驗二： 『有調角度 無反射實驗』	實驗三： 『無調角度 有反射實驗』。	說明
實驗期間	2015/02/04 10:00~17:00	2015/02/01 10:00~17:00	2015/01/25 10:00~17:00	每次實驗都是進行七個小時。
鉛酸電池 電壓高低	低點 11.934V 高點 12.506V 增加 0.572V	低點 11.923V 高點 12.863V 增加 0.940V	低點 11.841V 高點 12.539V 增加 0.698V	『增加』意指鉛酸電池增加的電壓。
鉛酸電池 電流平均	242.105mA	353.537mA	無鏡面 215.937mA 單鏡面 273.222mA 雙鏡面 325.181mA	實驗三在量測電流時，分別以無鏡面反射、單鏡面反射，以及雙鏡面反射之狀況量測之。
太陽照度 平均值	88752Lux	76382Lux	79332Lux	取平均值。
吸收功率 平均值	2.963W	4.376W (按照理論方法) 3.836W (方位誤差 20%) 3.756W (仰角誤差 20%)	3.332W (按照理論方法) 2.925W (方位誤差 20%) 3.076W (仰角誤差 20%)	取平均值。
吸收電能 累計	74977 J	114205 J	89572 J	計算電能累計值，以得知總共獲取多少能量。
雲層狀況	12:30~13:00 稍有雲層	12:45~13:15 稍有雲層	16:15~17:00 稍有雲層	這些時間稍有雲層，但不影響實驗之正確。
實驗參考	圖 25 實驗設計 圖 26 實驗結果	圖 27 實驗設計 圖 28 實驗結果	圖 29 實驗設計 圖 30 實驗結果	參考相關圖片，以了解實驗之背景與結果。

- 一、**實驗背景**：三個實驗都是選取冬日晴朗無雲的高溫狀況下進行，每次都是進行七個小時，從早上 10 點開始實驗，直到下午 5 點為止，利用前面所述的各項設備，每隔 15 分鐘記錄一次數據。實驗一是 2015/2/4 在台灣南部進行，實驗二是 2015/2/1 在台灣南部進行，實驗三是 2015/1/25 在台灣中部進行。因為南部的天氣比較穩定，所以其中兩天的實驗是在台灣南部進行。受限於實驗器材，這三個不同的實驗並非同一天進行，由照度計數據可以看出，80%的照度約在 100000Lux，所以，實驗數據是客觀合理的。
- 二、**鉛酸電池電壓高低**：將實驗期間的最高鉛酸電池電壓減去初始鉛酸電池電壓，得到其電壓增值。此數值以大到小排列為：**實驗二(0.940V) > 實驗三(0.698V) > 實驗一(0.572V)**。
- 三、**鉛酸電池電流平均**：將實驗期間每一段時間(每隔 15 分鐘)的鉛酸電池電流累加，得到太陽電池對於鉛酸電池充電電流的平均值，可以了解太陽光強度，以及不同實驗設計的電流大小。此數值以大到小排列為：**實驗二(353.537mA) > 實驗三(325.181mA) > 實驗一(242.105mA)**。
- 四、**太陽照度平均值**：太陽照度是一個相關於太陽能量大小的參考值，**實驗一(88752Lux) > 實驗三(79332Lux) > 實驗二(76382Lux)**。
- 五、**吸收功率平均值**：每隔 15 分鐘記錄鉛酸電池所吸收的電功率平均值，了解吸收功率強弱。利用式(1)計算電功率，實驗的結果是**實驗二(4.376W) > 實驗一(2.963W)**，以及**實驗三(3.332W) > 實驗一(2.963W)**，證明實驗三與實驗二都優於實驗一。另外，由實驗二與實驗三結果證明，當方位角或者仰角有誤差時，吸收功率明顯下降，證明理論的推演正確！在實驗二中，按照理論方法得到平均功率 4.376W 為最佳，方位誤差 20%時得到平均功率 3.836W，仰角誤差 20%時得到平均功率 3.756W。在實驗三中，按照理論方法得到平均功率 3.332W 為最佳，方位誤差 20%時得到平均功率 2.925W，仰角誤差 20%時得到平均功率 3.076W。**實驗證明當方位角以及仰角完全按照本文理論計算時，可以得到最大功率！**
- 六、**吸收電能累計**：吸收電能已累計方式呈現，以了解三種實驗總共可以得到多少免費能量，所以，這是最重要的數據，可以得知這個創新研究方法，是否忠實反應其結果。利用式(2)

計算電能，實驗結果顯示**實驗三(89572J) > 實驗一(74977J)**，將此實驗三數據除以實驗一數據得到 $89572/74977=1.195$ ，顯示實驗三比實驗一多出 **19.5%**的免費能量。然後，**實驗二(114205J) > 實驗一(74977J)**，將此實驗二數據除以實驗一數據得到 $114205/74977=1.523$ ，顯示實驗二比實驗一多出 **52.3%**的免費能量！

七、經由以上實驗與討論結果，已經證明如下事實：

- (一) 將**太陽能電池裝設於車輛確實可以儲存可觀的免費能量**。
- (二) 利用**簡單低廉的太陽角度追蹤與反射鏡面方法大幅提高儲能效果**。
- (三) 由於**太陽角度追蹤與反射鏡面方法**，都可以**大幅增加免費能量**。
- (四)**當方位角以及仰角完全按照本文理論計算時，可以得到最大功率與最大能量！**

柒、結論

本研究已經成功提出一個太陽電池在平面與載具儲能之創新應用，使得太陽電池以簡單低廉的方法得到最大的吸收能量。**這個創新方法利用 Stellarium 免費天文軟體以及引入 GPS 衛星定位功能，將此太陽電池能量追蹤方法，由靜態的地面應用，推展到動態的載具應用。**

- 一、本研究已經完成太陽電池最佳方位角與仰角的計算關係式，以及提出鏡面反射增強儲能之計算關係式，使得太陽電池與反射鏡子能夠隨時到達正確的位置。
- 二、本研究已經成功將太陽電池的靜態儲能方法，擴展到應用於載具的動態儲能。
- 三、本研究不但提出此創新儲能辦法，而且也經由室外完整的實驗證明本法的明確功效。載具實驗結果顯示，如果加裝太陽電池而沒有追蹤太陽軌跡，已經可以明確得到免費能量。
- 四、與單純平放太陽電池之儲能作法比較，如果加裝反射鏡面，應用本文全新推論的鏡面最佳轉角定理，可以多出 **20%**的免費能量。
- 五、如果利用 Stellarium 天文軟體以及引入 GPS 衛星定位功能，將太陽電池隨時對準最佳方位角與仰角，更可以獲得多出 **52%**的免費能量！

- 六、由於**太陽角度追蹤與反射鏡面方法**，都可以大幅增加**免費能量儲存**成效，**建議同時使用這兩種方法，可以得到最佳結果！**
- 七、實驗結果顯示，**當方位角以及仰角按照本文推論的最佳轉角定理計算時，可以得到最大功率與最大能量！**

捌、參考資料及其他

- 一、王鑫，1996，科學圖書館系列 8：地球，台北市：圖文出版社。
- 二、黃惠良，1996，科學圖書館系列 16：太陽能，台北市：圖文出版社。
- 三、曹昭陽等，2011，太陽電池工作原理、技術與系統應用，台北市：五南出版社。
- 四、<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/astronomy/cdata/season.htm>，中央氣象局。
- 五、<http://www.stellarium.org/wiki/index.php/>，Stellarium 天文軟體官網。
- 六、<http://www.digitimes.com.tw/tw/dt/n/shwnws.asp>，科技商情：太陽能電池應用技術新趨勢。
- 七、<http://tnaweb.org.tw/Information/news-more.asp?Btfim2yJfKTCaLZug24Tyx==>，工研院材化所李昭仁：太陽熱能發電聚光類型之概述。
- 八、中華民國第 48 屆中小學科展高中組生活與應用科：太陽公公好歹麥走！！
- 九、中華民國第 50 屆中小學科展國中組物理科：太陽—請賜我無窮的能量。
- 十、中華民國第 50 屆中小學科展高職機械組：以菲涅爾透鏡改善太陽能板發電功率探討。
- 十一、中華民國第 51 屆中小學科展國小組地球科學科：太陽打從西邊出來？地球與金星上太陽在空中位置變化的情形。
- 十二、中華民國第 51 屆中小學科展國中組生活與應用科：抓得住太陽的水透鏡。
- 十三、自然與生活科技，翰林版：
 - 2 上 4-2 光的反射和鏡面 P. 88~93
 - 3 上 3-4 能量守恆定律 P. 81~84 7-1 太陽在天空中位置的變化 P. 215~218
 - 3 下 1-1 電流的熱效應電功率 P. 8~14 5-2 日常生活中的發電方式 P. 149~153

【評語】 030811

1. 本作品在太陽電池與平面靜止態之工作原理陳述詳實。書面與口頭報告亦皆仔細到位。
2. 本作品若能在移動載具及最佳儲能研究上，深入探討，以使文題相契，則成果之顯著性將更高。