

中華民國第 65 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(一)

探究精神獎

032815

太陽能，電來電往

學校名稱：財團法人新竹縣私立康乃爾國民中小學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 國一 吳奕霈 | 施宗霖 |
| 國一 邱妍潔 | |

關鍵詞：太陽能電池、反射、發電功率

摘要

探討雙面太陽能電池較傳統單面太陽能電池之發電效益差異，分析太陽光在不同材質地板的反射與散射，太陽能板安裝角度與方位，對於發電量的影響。雙面太陽能電池可以增益11%至37.5%發電量；等同降低37.5%發電成本。台灣位於北半球，考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應與所在位置的緯度相近，並搭配白色表面粗糙之高反射和高散射地板，獲得最大發電量。單面太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，發電量降低約50%；如果改成雙面太陽能電池，不但可以增加總發電量，亦可以將差異縮小至30%以下。如果因為建築物限制，只能選擇不是朝南安裝，或是不能選擇最佳安裝角度，雙面太陽能電池可以減少這些不利因素的影響。

壹、前言

一、研究動機

近年來，經常看到電價調漲的新聞，也常常看到極端氣候的報導，讓我們對於再生能源產生興趣，我們便開始好奇為什麼沒有環保又便宜的能源呢？也就是這個念頭使我們開始研究再生能源，參閱相關資料，台灣日照強，適合發展太陽能光電，讓我們產生如何提高太陽能發電的興趣。

台灣面臨著缺電的危機，省電和利用綠能發電也就變得非常重要，因此政府開始推廣太陽能發電，但是太陽能電池的發電效率低（光電轉換效率約 15-20%），需要廣大的土地才可以產生足夠的電力，因此大家著重於光電轉換效率的提升，但也伴隨著電池製造成本增加，要讓太陽能電池更普及，發電成本是必須考量的重要因素。

住在城市裡，高樓大廈林立，太陽能板可以照到的陽光非常珍貴，因此產生第一個實驗，利用環境散射或反射光來增加太陽能電池發電量的想法，雙面太陽能電池是利用非直射光的最佳解法。因此我們想找出那些材質可以用來反射光並使太陽能板發電量增加。我們想研究不同材質反射光後哪一種能產生較多的電。台灣位在北回歸線，因此如果要讓太陽能發電的更有效率，通常會朝南傾斜 23.5 度安裝，但在城市中，不一定可以找到傳統單面太陽能電池最佳發電的安裝角度與方位，因此第二和第三個實驗是在探討太陽能板角度與方位問題，看看雙面太陽能電池是否可以減少因為角度與方位產生照光不足，發電效能低的問題。

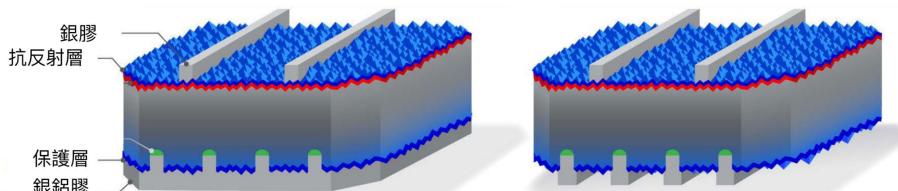


圖 1.1 單面太陽電池結構；雙面太陽電池結構。(引自 Bifacial PV System Performance: Separating Fact from Fiction)

二、研究目的：

- (一) 探討太陽光在不同材質地板的反射光對於發電量的影響。
- (二) 探討改變太陽能板安裝角度對於發電量的影響。
- (三) 探討改變太陽能板安裝方位對於發電量的影響。

三、文獻回顧：

太陽能發電優點很多，無汙染排放且屬於可再生能源，如果在光照充足的地方，太陽能發電系統來源就非常穩定，可靠性高；此外，太陽能發電也是環保能源、對環境無汙染，且長期成本較低。

「太陽光能」是靠太陽能板直接將特定頻率的光能轉換成電能。太陽能板以 P 型與 N 型半導體材料接合構成正極與負極。當太陽光照射時，陽光的能量會使半導體材料內的正、負電荷分離，並分別往正（P 型）極、負（N 型）極方向移動，進而在兩極之間產生電位差，以導線接通兩極後即產生電流。電池表面銀白色的金屬導線是銀膠，如圖 1.1 所示，作為電池的電極，太陽能電池照光電荷分離時，會透過電極將電流輸出，較粗的銀膠電阻較小，所以傳導熱損失也較小，但相對的覆蓋面積較大，會遮擋陽光被太陽能電池吸收，降低發電效率；因此研究人員會最佳化銀膠的高度和寬度來提高太陽能電池光電轉換效率。

影響太陽能板發電效率的幾個主要原因：(1)季節變化：夏季比冬季日照時間長；(2)地理位置：靠近赤道的地區通常比高緯度地區擁有更多的日照時間；(3)日照角度和方向：太陽能板的安裝角度和方向會直接影響發電量。一般來說，太陽能板日照面積越大，可產生的電能也越多。

傳統太陽能電池，正面網印銀膠柵線，背面網印整面銀鋁膠，作為電池的電極，此結構的電池都是單面照光發電；近幾年，為了讓太陽能電池可以吸收最多太陽光，因此很多研究機構改良背面電極結構，採用與正面相同設計，使得電池變成雙面照光發電太陽能電池。

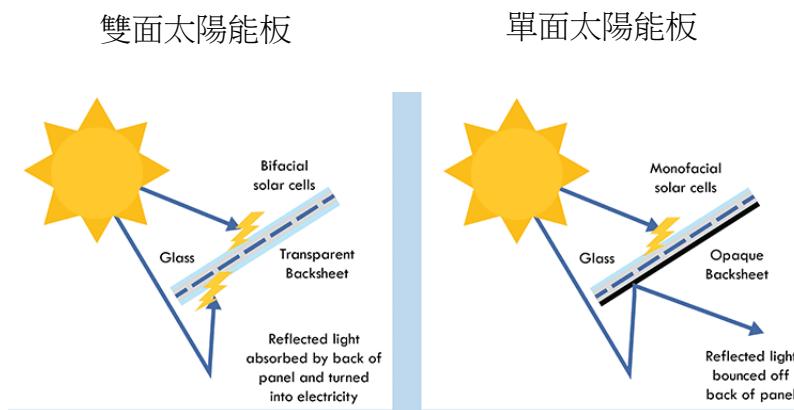


圖 1.2 單面太陽能板和雙面太陽能板照光示意圖 (引自 What Are Bifacial Solar Panels?)

Understanding the Benefits and Applications)

第 64 屆科展作品 - 太陽能板發電效益之研究：這篇文獻主要在探討學校的太陽能板是否有效益，學校的太陽能板皆是傾斜 6 度且按屋頂的面向方位架設。實驗發現光強度越強，電壓電流越大，在可見光範圍內，光的波長對發電效益並無顯著影響。接著設計不同傾斜角度、面向方位對太陽能板發電的影響，發現最佳傾斜角度是讓太陽可以直射太陽能板；由自製太陽能板旋轉裝置，發現轉動的比固定面向南方傾斜 30 度的發電功率大。學校太陽能板安裝的優先考量為無遮蔽物，在北部夏季的發電功率最佳，夏季時傾斜角度很小，面向方位對太陽能板的發電功率影響不大，傾斜還可以排水以及清除灰塵。

第 63 屆科展作品 - 一兼二顧~摸蛤蜊兼洗褲之太陽能強效裝置：這篇文獻主要在探討由於太陽能光電板的溫度每上升 1°C 會使發電功率下降約 0.35~0.5%。在台灣夏天高溫炎熱，導致發電功率下降許多。其開發了一組太陽能板散熱系統，透過適當的管路設計導引冷水，不僅有效地降低太陽能板的溫度，避免其光電轉換效率下降，更同時得到溫熱的用水。經由本研究使用小型的太陽能板搭配金屬管製作散熱模組來評估，若以 0.1L/min 的流速，可將流過的水至少升溫 10°C，若能放大到 20 坪屋頂所能安裝的太陽能板面積，可產生約 3528 公升、40°C 的溫熱水，足以提供標準家庭一日之用水，並且由實驗證明本研究設計的散熱模組，可實際將太陽能板進行降溫，改善輸出發電功率的下降百分比達 20%。

第 63 屆科展作品 - 「增」光「擠」熱拚綠能 - 探討太陽能板發電效能提升及應用：這篇文獻主要在探討溫度、灰塵、仰角對太陽能板發電效能的影響，並比較不同散熱方式的差異。利用空氣冷卻方式，在不同數量的散熱片及散熱膏下，得知散熱面積對發電效能影響最大；有灰塵或仰角變化時，太陽能板的輸出功率仍然隨溫度升高而降低；自製簡易水冷裝置，以改善太陽能板因溫升而效能降低的問題，研究顯示正面水冷方式兼具清洗灰塵及散熱功效，背面水冷方式有效提升太陽能板發電效能及回收熱水，戶外日照實驗，太陽能板輸出功率增加約 12%，回收熱水效率約 32.2%。薄型大面積的水冷板，搭配溫控型的間歇性強制水冷及軌道式清潔系統，會是較佳設計組合，應用在屋頂太陽能板，可達到提升發電量，回收熱水及屋頂隔熱的功效。

第 61 屆科展作品 - 追光者：看到校園屋頂的太陽能板，只能朝著單一方向接收陽光，但太陽會依據時間而改變移動路徑。若太陽能板能隨著日照路徑移動，則能增加日照時間與發電效果。其研究利用雲端試算表計算太陽角度與方位，再利用物聯網開發板操控馬達與液壓機構，調整太陽能板裝置的角度與方位，以達到自動追日的效果。

上述的科展文獻都在致力於提升太陽能板的發電效益，可以透過方位、角度、追光、散熱...等方式來提升太陽能發電量，但也必須搭配追日系統或是冷卻裝置，可能會導致成本

增加或維修困難。雙面太陽能電池不需要額外的系統裝置，可以透過背面的發電來增加太陽能板的發電效益，背面也不容易累積灰塵，影響發電，有機會降低發電成本。

貳、研究設備及器材

實驗材料：

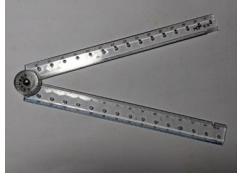
| 太陽能電池 | 三用電表 | 照度計 | 指北針 |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 水平儀 | 線材 | 支架 | 折尺 |
|  |  |  |  |

圖 2.1 實驗材料(作者拍攝)

市售太陽能電池有單面太陽能電池與雙面太陽能電池，如果使用雙面太陽能電池，量測的電壓與電流無法區分是正面還是反面貢獻的輸出，無法取得反面因為太陽光反射產生電能之貢獻；因此本實驗將兩片單面太陽能電池組裝，並將兩個電池的正面都朝外，形成雙面太陽能電池，這樣可以分別量測正面和反面的太陽能電池輸出功率，如圖 2.1 所示。



圖 2.2 (1)單面太陽板正反面; (2)將兩個單面太陽能板相疊，正面都朝外；(3)結合成為雙面太陽能板，可以獨立量測其輸出功率。(作者拍攝)

參、實驗過程與步驟

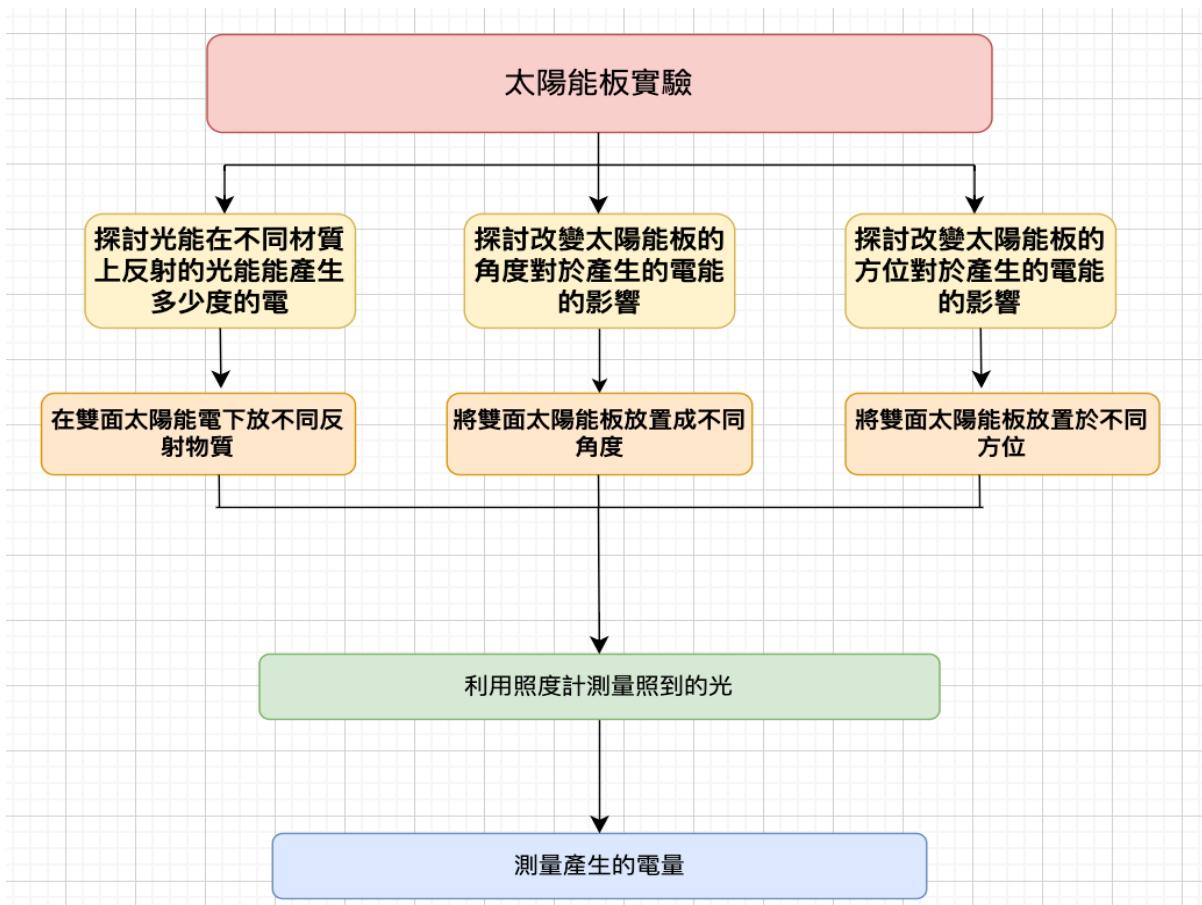


圖 3.1 實驗過程與步驟(作者自繪)

一、實驗器材架設與步驟：

步驟一：架設支架，使用水平儀調整水平，使用指北針確認方位，使用折尺確認頃斜角度（可控制 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 度）。

步驟二：使用照度計量測照度。

步驟三：利用三用電表量測太陽能電池正面和反面輸出之電壓及電流。

步驟四：實驗紀錄表格如下所示：

時間：_____ 日期：_____ 位置：_____

地板：_____ 方位：_____ 照度：_____

| | | 0 度 | 15 度 | 30 度 | 45 度 | 60 度 | 75 度 | 90 度 |
|----|--------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 正面 | 電壓(伏特) | | | | | | | |
| | 電流(安培) | | | | | | | |
| 反面 | 電壓(伏特) | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|--------|--|--|--|--|--|--|
| | 電流(安培) | | | | | | |
|--|--------|--|--|--|--|--|--|

步驟五：計算與分析結果。輸出功率(瓦)=電壓(伏特)X電流(安培)

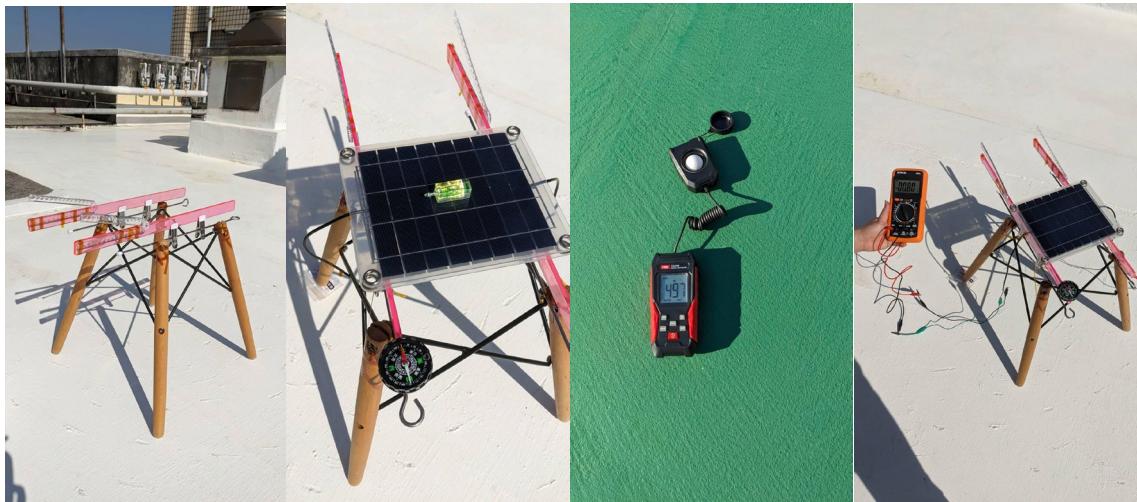


圖 3.2 太陽能板實驗過程示意圖(作者拍攝)

二、實驗一：探討太陽光在不同材質地板的反射光對於發電量的影響

步驟：選擇不同地板，探討不同材質與不同顏色地板的影響；水泥地最常見且表面平整，PU 具有顆粒是否增加反射與散射光；草皮可以綠化，是否有足夠反射光。

| 位置 | 竹東住家頂樓 | 交大停車場 | 交大操場 |
|----|--------|-------|------|
| 地板 | 白色油漆 | 柏油地板 | 綠色草皮 |
| 照片 | | | |

圖 3.3 地板材質(作者拍攝)

| 位置 | 交大操場 | 交大操場 | 交大排球場 | 交大排球場 |
|----|----------|----------|-------|-------|
| 地板 | PU 跑道(紅) | PU 跑道(綠) | 藍色水泥 | 綠色水泥 |
| 照片 | | | | |

圖 3.4 地板材質(作者拍攝)

三、實驗二：探討改變太陽能板安裝角度對於發電量的影響

步驟: 架設太陽能板，使用折尺調整不同角度（控制 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 度），探討不同角度對發電量的影響。

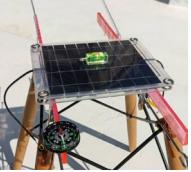
| | 0 度 | 15 度 | 30 度 | 45 度 |
|----|---|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |  |

圖 3.5 太陽能板安裝角度(作者拍攝)

| | 60 度 | 75 度 | 90 度 |
|----|---|---|--|
| 照片 |  |  |  |

圖 3.6 太陽能板安裝角度(作者拍攝)

四、實驗三：探討改變太陽能板安裝方位對於發電量的影響

步驟：改變太陽能板面的方位（東，西，南，北），探討不同方位對發電量的影響。

肆、研究結果

一、實驗一結果分析：

因為標準太陽光模擬器設備昂貴，因此本實驗使用戶外陽光做為光源，天氣對實驗結果影響很大，因此我們選擇一天無雲的天氣進行量測，但是太陽東升西落，不同時間點，太陽的角度和強度不同，因此必須探討不同時間點對於實驗結果的影響。表 4.1是這次實驗的主要時間與地點，到了下午陽光強度漸漸變弱，圖 4.1將輸出功率對照度作圖，可以發現不同角度下，輸出功率都和照度成正比，因此我們可以將照度均一化，依照比例調整照度均為 10200 CF，可以看出輸出功率接近，但還有一點差異，主要可能是照度量測與時間的影響產生的差異。

表 4.1 不同時間與地點，正面太陽電能池輸出功率（瓦）。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度 [CF] | 0 度 | 15 度 | 30 度 | 45 度 | 60 度 | 75 度 | 90 度 |
|------|-------|--------|--------------|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 | 3.77 | 4.35 | 5.00 | 5.24 | 5.06 | 4.72 | 4.37 |
| 1/30 | 14:20 | 交大停車場 | 柏油地板 | 南 | 7980 | 2.84 | 3.30 | 3.74 | 3.82 | 3.66 | 3.25 | 2.66 |
| 1/30 | 14:39 | 交大操場 | 綠色草皮 | 南 | 8050 | 2.75 | 3.05 | 3.40 | 3.42 | 3.37 | 2.92 | 2.30 |
| 1/30 | 14:53 | 交大操場 | PU 跑道 (紅) | 南 | 7060 | 2.48 | 2.91 | 3.25 | 3.44 | 3.28 | 2.94 | 2.56 |
| 1/30 | 15:03 | 交大操場 | PU 跑道 (綠) | 南 | 6320 | 2.30 | 2.70 | 2.94 | 3.03 | 2.91 | 2.51 | 1.92 |
| 1/30 | 15:18 | 交大排球場 | 藍色水泥 | 南 | 5840 | 2.10 | 2.41 | 2.65 | 2.74 | 2.64 | 2.38 | 1.99 |
| 1/30 | 15:30 | 交大排球場 | 綠色水泥 | 南 | 4970 | 1.87 | 2.08 | 2.37 | 2.41 | 2.36 | 2.01 | 1.61 |

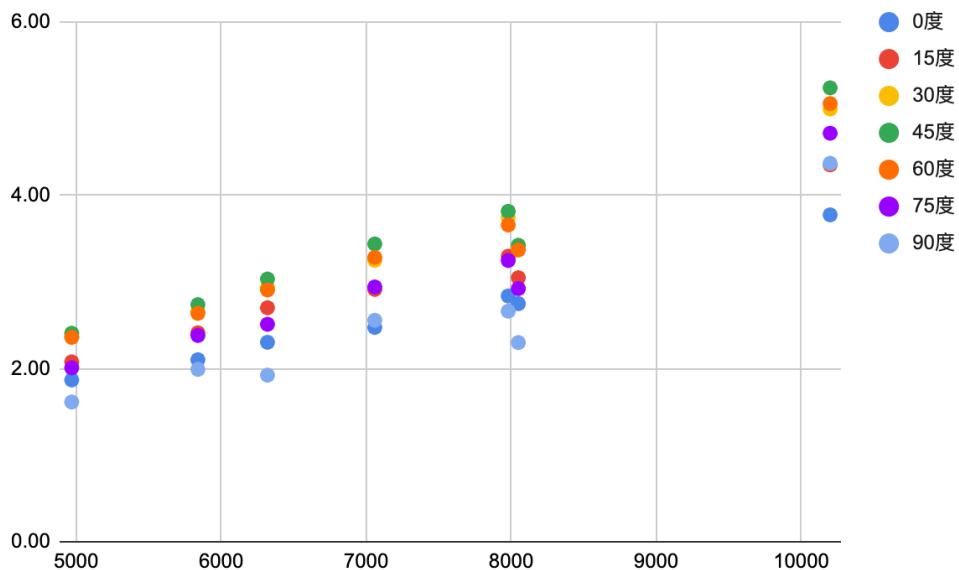


圖 4.1 正面太陽能電池在不同照度下的功率輸出(作者自繪)

表 4.2 將表 4.1 照度均一化，不同時間與地點，正面太陽能電池輸出功率（瓦）。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度 [CF] | 0 度 | 15 度 | 30 度 | 45 度 | 60 度 | 75 度 | 90 度 |
|------|-------|--------|--------------|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 1020 0 | 3.77 | 4.35 | 5.00 | 5.24 | 5.06 | 4.72 | 4.37 |
| 1/30 | 14:20 | 交大停車場 | 柏油地板 | 南 | 1020 0 | 3.63 | 4.21 | 4.79 | 4.88 | 4.68 | 4.15 | 3.40 |
| 1/30 | 14:39 | 交大操場 | 綠色草皮 | 南 | 1020 0 | 3.48 | 3.86 | 4.31 | 4.34 | 4.27 | 3.70 | 2.91 |
| 1/30 | 14:53 | 交大操場 | PU 跑道 (紅) | 南 | 1020 0 | 3.58 | 4.21 | 4.70 | 4.97 | 4.74 | 4.25 | 3.69 |
| 1/30 | 15:03 | 交大操場 | PU 跑道 (綠) | 南 | 1020 0 | 3.72 | 4.36 | 4.74 | 4.90 | 4.69 | 4.05 | 3.10 |
| 1/30 | 15:18 | 交大排球場 | 藍色水泥 | 南 | 1020 0 | 3.67 | 4.21 | 4.64 | 4.78 | 4.61 | 4.16 | 3.48 |
| 1/30 | 15:30 | 交大排球場 | 綠色水泥 | 南 | 1020 0 | 3.83 | 4.26 | 4.86 | 4.94 | 4.84 | 4.12 | 3.31 |

圖 4.2 為不同地板，太陽能電池正面與反面輸出功率，將照度均一化，正面輸出功率接近，但是反面卻沒有明顯接近，是因為正面主要受太陽直射（照度）影響，反面受反射和散射影響，不同材質地板反射和散射不同，此為反面輸出功率的主要差異。

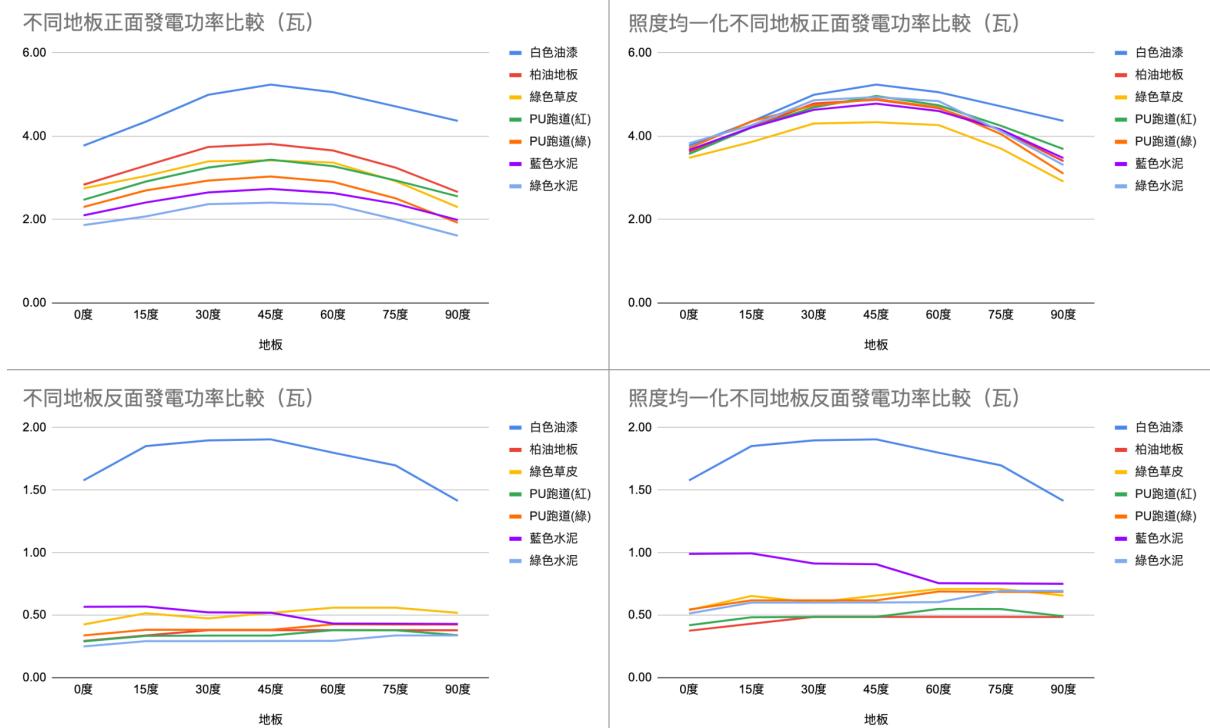


圖 4.2 不同地板，太陽能電池正面與反面輸出功率與均一化輸出功率。(作者自繪)

將不同地板，反面發電功率除以正面發電功率，得到反面增益佔比，如圖 4.3 所示，最高為白色油漆地板，反面增益佔比介於 32%-43%，將 0 度到 90 度平均的反面增益佔比為 37.5%，如圖 4.4 所示；反面增益佔排序為：白色油漆(37.5%)>藍色水泥(20.8%)>綠色草皮(17.1%)>綠色 PU 跑道(15.5%)

>綠色水泥(14.6%)>紅色 PU 跑道(11.6%)>柏油地板(11.0%)。光擁有不同的波長，當光線照在不透光的物體上時，此時物體的表面反射特性將決定哪些光會被吸收，哪些光會被反射，即形成物體的表面色。黑色的表面幾乎不會反射，白色的表面幾乎反射所有色光。此實驗雖然是不同材質，但可以看出反面發電功率增益為白色>藍色>綠色>紅色>黑灰色(柏油)，此現象或許跟太陽光不同波段強度分布有關，需進一步探討。另外，比較都是綠色不同材質地板，反面發電功率增益為草皮>PU 跑道>水泥，這可能與表面粗糙度有關係，表面越粗糙，會增加光線的散射，加上反射，增加反面整體的入光量。綜合顏色與表面粗糙度兩因素，選擇白色表面粗糙的地板，可以提高反面發電功率增益。

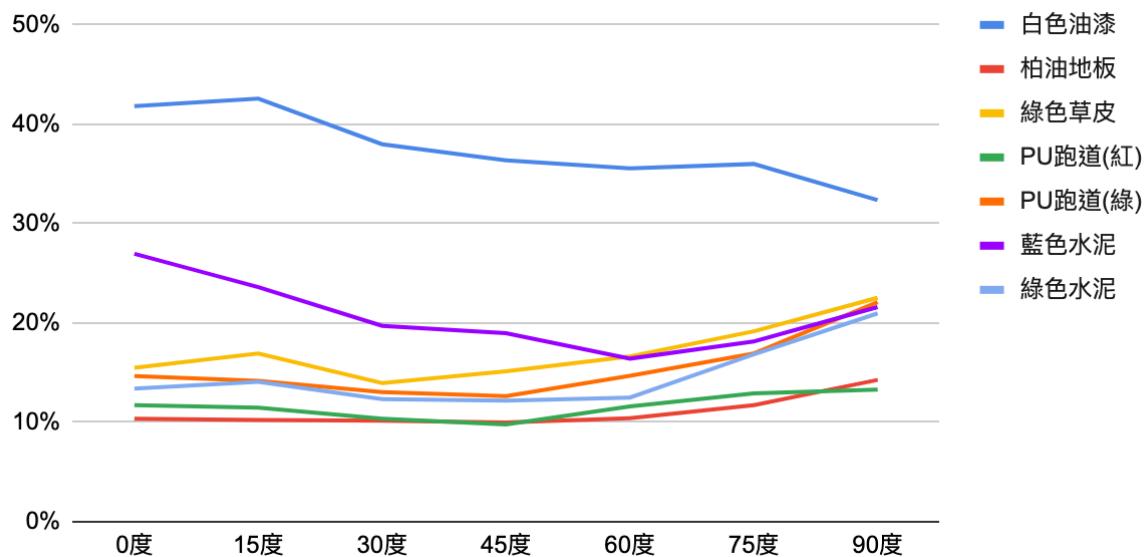


圖 4.3 不同地板反面發電功率增益(反面發電功率/正面發電功率)比較。(作者自繪)

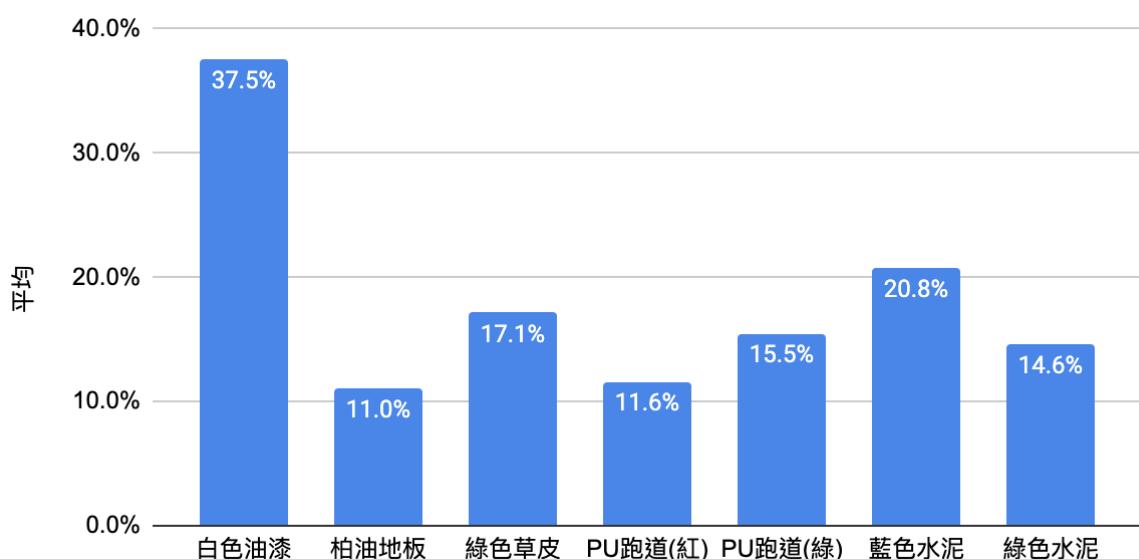


圖 4.4 不同地板，不同角度反面發電功率平均增益比較。(作者自繪)

二、實驗二結果分析：

探討改變太陽能板的角度對於發電量的影響，表 4.1為不同時間與地點，正面太陽能電池輸出功率，可以看出，無論哪個材質的地板，朝南的太陽能電池，正面輸出功率都是 45 度最高。表 4.3 和 圖 4.5 正面和反面太陽能電池輸出功率總和，也是 45 度輸出功率最高。

圖 4.6 為臺灣四季太陽仰角與方位角示意圖。每當春分秋分時，這時太陽出於正東，沒於正西。春分後，太陽沿黃道北移，夏至時到達最北，即北回歸線上，這時太陽出於東偏北方，沒於西偏北方；秋分後，太陽沿黃道南移，冬至時到達最南，即南回歸線上，這時太陽出於東偏南方，沒於西偏南方。本實驗於 2025/1/30 進行，查詢中央氣象局網站，當日太陽

仰角朝南 48 度，太陽電池朝南 42 度架設會垂直入射，發電功率最大，與本實驗觀察結果相符合。因此若考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應為與所在緯度相近。

表 4.3 不同時間與地點，正面和反面太陽能電池輸出功率總和（瓦）。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度 [CF] | 0 度 | 15 度 | 30 度 | 45 度 | 60 度 | 75 度 | 90 度 |
|------|-------|--------|--------------|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 | 5.35 | 6.21 | 6.90 | 7.15 | 6.86 | 6.42 | 5.78 |
| 1/30 | 14:20 | 交大停車場 | 柏油地板 | 南 | 7980 | 3.13 | 3.63 | 4.13 | 4.20 | 4.04 | 3.63 | 3.04 |
| 1/30 | 14:39 | 交大操場 | 綠色草皮 | 南 | 8050 | 3.18 | 3.56 | 3.87 | 3.94 | 3.93 | 3.48 | 2.82 |
| 1/30 | 14:53 | 交大操場 | PU 跑道 (紅) | 南 | 7060 | 2.77 | 3.25 | 3.59 | 3.78 | 3.66 | 3.32 | 2.90 |
| 1/30 | 15:03 | 交大操場 | PU 跑道 (綠) | 南 | 6320 | 2.64 | 3.09 | 3.32 | 3.42 | 3.33 | 2.94 | 2.35 |
| 1/30 | 15:18 | 交大排球場 | 藍色水泥 | 南 | 5840 | 2.67 | 2.98 | 3.18 | 3.26 | 3.07 | 2.81 | 2.42 |
| 1/30 | 15:30 | 交大排球場 | 綠色水泥 | 南 | 4970 | 2.12 | 2.37 | 2.66 | 2.70 | 2.65 | 2.35 | 1.95 |

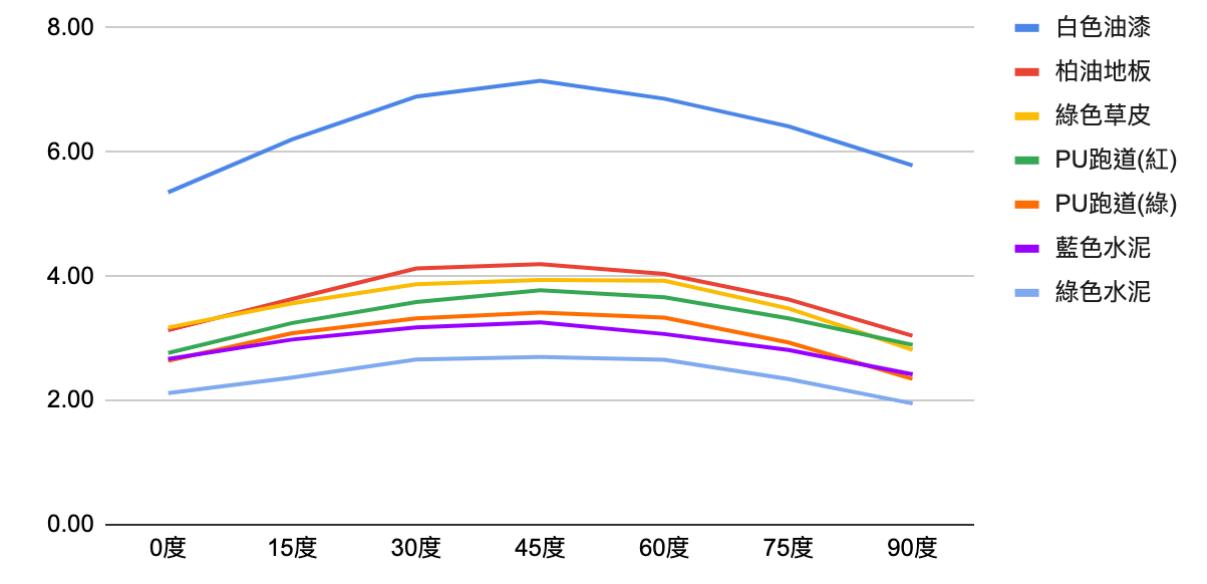


圖 4.5 不同角度，正面和反面太陽能電池輸出功率總和（瓦）。(作者自繪)

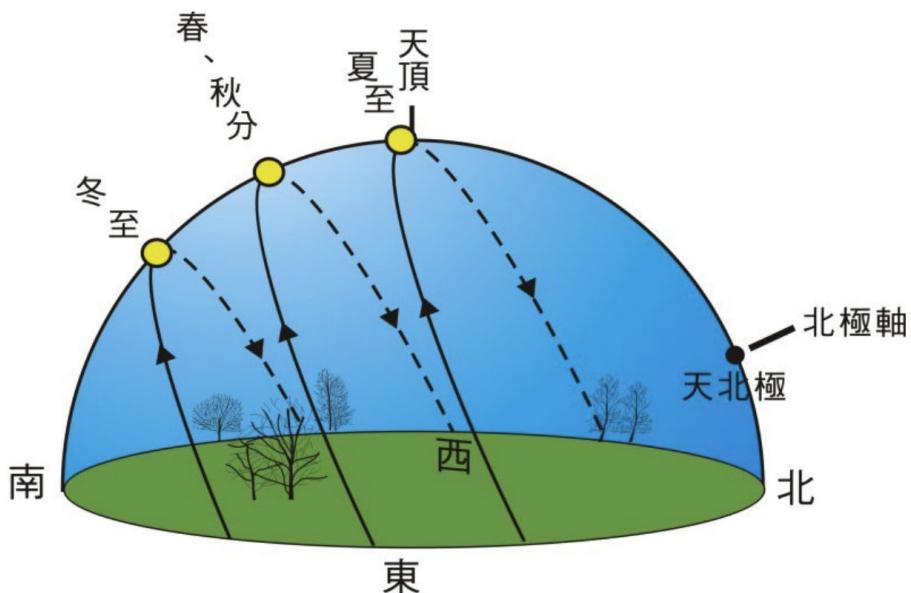


圖 4.6 臺灣四季太陽仰角與方位角。(圖片來源：交通部中央氣象署，臺灣四季太陽仰角與方位角)

三、實驗三結果分析：

探討改變太陽能電池方位對於產生電能的影響，實驗在相同位置，白色油漆地板，不同方位條件如表 4.4 所示，實驗時間約在中午，照度有些許不同，為了方便比較，接下來的探討，會將照度均一化成 10200CF，來進行分析。

表 4.4 不同時間與地點，正面太陽能電池輸出功。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度[CF] |
|------|-------|--------|------|----|--------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 |
| 1/30 | 11:30 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 東 | 10270 |
| 1/30 | 11:46 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 北 | 10550 |
| 1/30 | 12:03 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 西 | 10400 |

將不同方位不同角度正面與反面太陽能電池輸出功率作圖，如圖 4.7 所示。正面輸出功率最大為朝南，最小為朝北，朝東與朝西差不多。反面的輸出功率表現與正面相反，朝北最大，朝南最小。將正面與反面輸出功率相加，得到總輸出功率，如圖 4.8 所示，在 0 度時，東西南北的總輸出功率差不多，隨著角度增加開始產生差異，朝南和朝北最大差異在 45 度，朝南與朝東或朝西最大的差異在 75 度至 90 度。

將不同方位所有角度輸出功率的平均作圖比較，如圖 4.9所示，朝南的總發電功率為 6.38 瓦，另外三個方向約為 4.5 瓦，沒有明顯差異。圖 4.10將朝南均一化為 100%，不同方位太陽能電池輸平均相對出功率比較，正面為 100% 時，朝北相對發電功率只有 42%；反面為 100% 時，朝北相對發電功率為 156%，但是因為反射和散射光線沒有直射光線強，所以正反面總和朝南為 100% 時，朝北相對發電功率只有 72%。朝東和朝西，兩者表現差異不大，正反面總和相對發電功率也是 72%。

由圖 4.10可以看出，如果是單面（正面）太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，輸出功率約有 50% 的差異；如果是雙面太陽電池，不但可以提高輸出功率（增加總發電量），亦可以將差異縮小至 30% 以下。

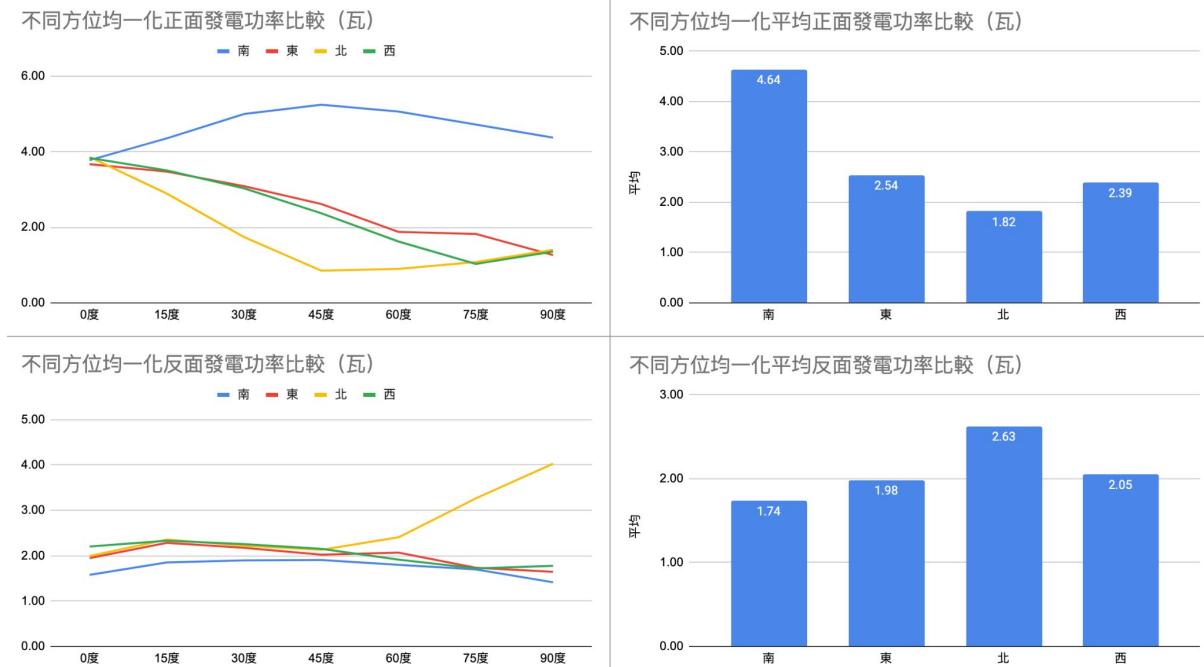


圖 4.7 不同方位不同角度正面與反面太陽能電池輸出功率（瓦）。(作者自繪)

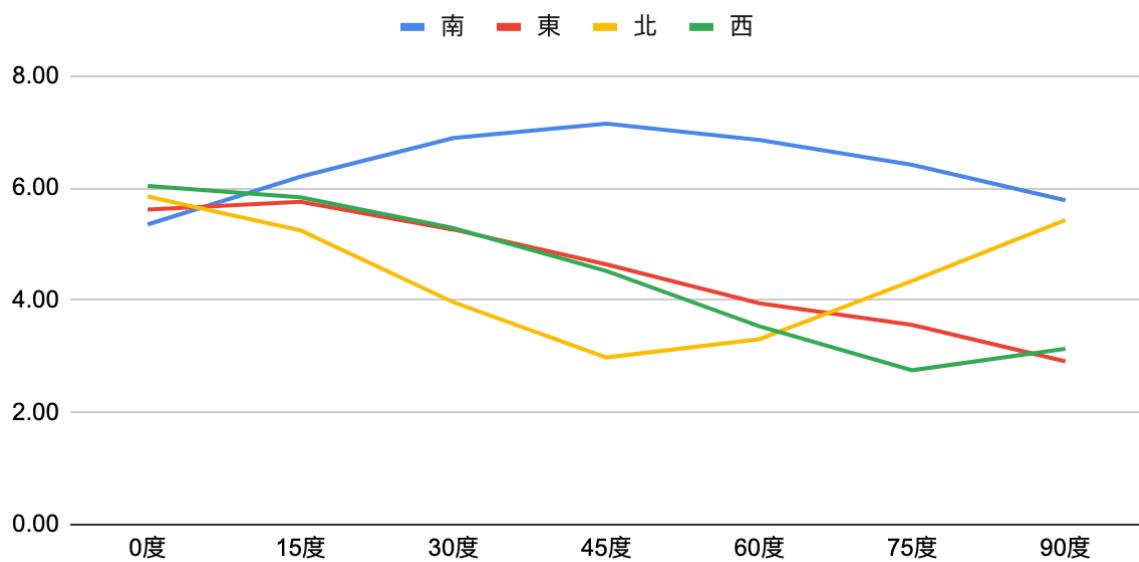


圖 4.8 不同方位不同角度正面+反面太陽能電池輸出功（瓦）。(作者自繪)

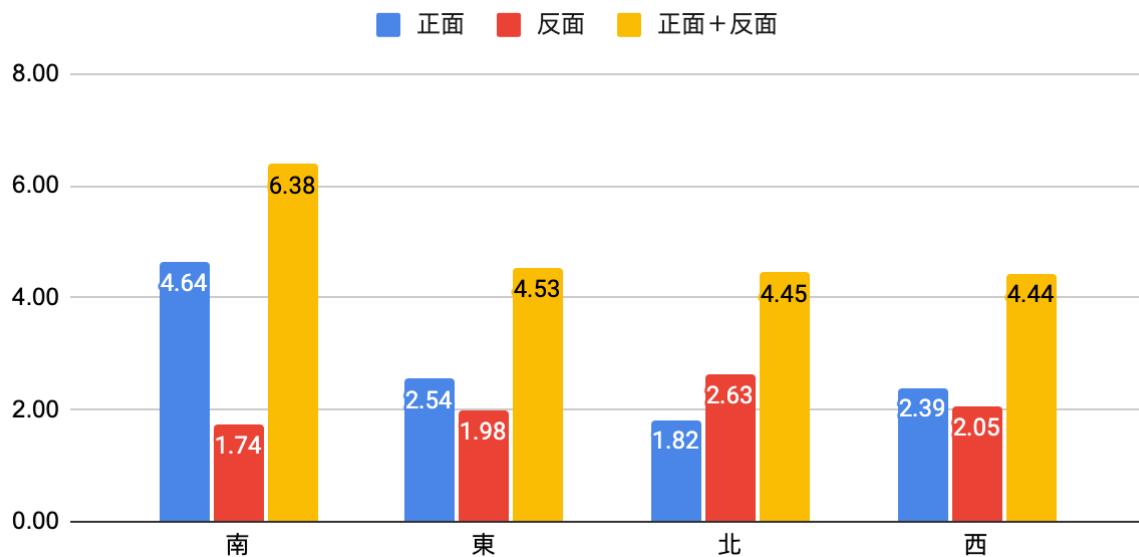


圖 4.9 不同方位太陽能電池輸平均出功率比較（瓦）。(作者自繪)

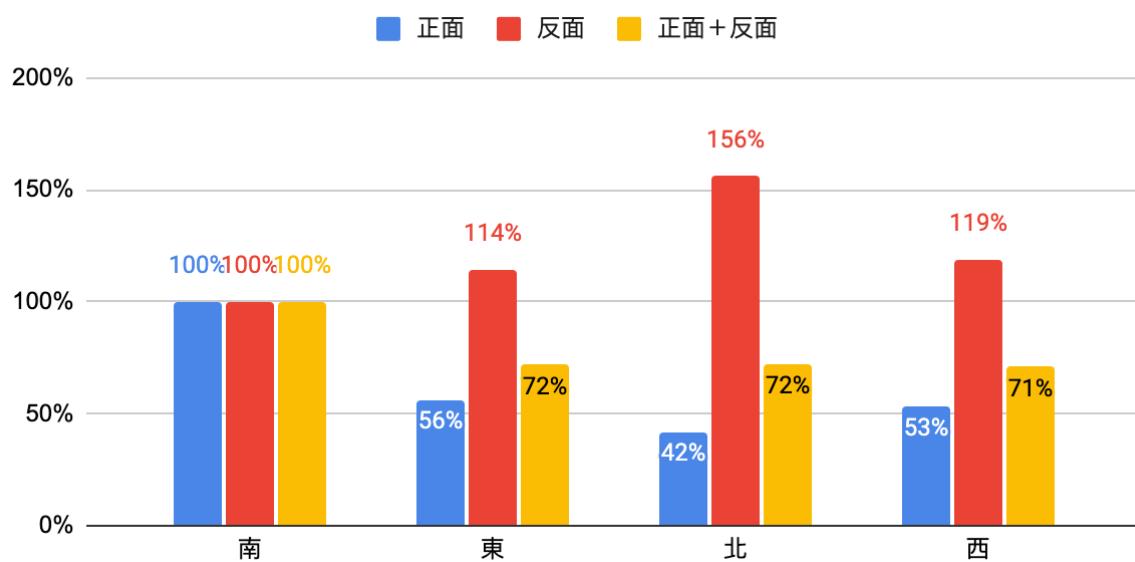


圖 4.10 將朝南均一化為 100%，不同方位太陽能電池輸平均相對出功率比較。(作者自繪)

伍、討論:

一、實驗一結果討論：

由實驗結果來看，反面增益排序為：白色油漆(37.5%)>藍色水泥(20.8%)>綠色草皮(17.1%)>綠色 PU 跑道(15.5%)>綠色水泥(14.6%)>紅色 PU 跑道(11.6%)>柏油地板(11.0%)。光擁有不同的波長，當光線照在不透光的物體上時，此時物體的表面反射特性將決定哪些光會被吸收，哪些光會被反射。黑色的表面幾乎不會反射，白色的表面幾乎反射所有色光。此實驗雖然是不同材質，但可以看出反面發電功率增益為白色>藍色>綠色>紅色>黑灰色(柏油)，此現象或許跟太陽光不同波段強度分布有關，需進一步探討。另外，比較都是綠色不同材質地板，反面發電功率增益為草皮>PU 跑道>水泥，這可能與表面粗糙度有關係，表面越粗糙，會增加光線的散射，加上反射，增加反面整體的入光量。綜合顏色與表面粗糙度兩因素，選擇白色表面粗糙的地板，可以提高反面發電功率增益。

以此實驗推論，將單面太陽電池改成雙面太陽電池，朝南安裝於白色油漆地板，將提高 37.5%的發電量，也就是發電成本可以降低 37.5%。

二、實驗二結果討論：

臺灣四季太陽仰角與方位角不同。每當春分秋分時，這時太陽出於正東，沒於正西。春分後，太陽沿黃道北移，夏至時到達最北，即北回歸線上，這時太陽出於東偏北方，沒於西偏北方；秋分後，太陽沿黃道南移，冬至時到達最南，即南回歸線上，這時太陽出於東偏南方，沒於西偏南方。本實驗於 2025/1/30 進行，查詢中央氣象局網站，當日太陽仰角朝南 48 度，太陽電池朝南 42 度架設會垂直入射，發電功率最大，與本實驗觀察結果相符合。因此若考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應為與所在位置緯度相近。

三、實驗三結果討論：

由實驗得到的結果是面向南邊較好。台灣位於北半球，所以如果要盡可能讓太陽直射太陽能板，就應該要面向南方，反之如果位於南半球，則太陽能電池就應該朝向北方才能發揮最好的效果。將朝南均一化為 100%，不同方位太陽能電池輸平均相對出功率比較，正面為 100%時，朝北相對發電功率只有 42%；反面為 100%時，朝北相對發電功率為 156%，但是因為反射或散射光線沒有直射光線強，所以正反面總和朝南為 100%時，朝北相對發電功率只有 72%。朝東和朝西，兩者表現差異不大，正反面總和相對發電功率也是 72%。

如果是單面（正面）太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，輸出功率約有 50%的差異；如果是雙面太陽能電池，不但可以提高輸出功率（增加總發電量），亦可以將差異縮小至 30%以下。

陸、結論：

- 一、雙面太陽能電池的發電功率，依據不同材質地板對太陽光的反射與散射量，可以增益 11% 至 37.5%；選擇白色表面粗糙的地板，可以大幅提高反面發電功率增益。以此實驗推論，將單面太陽能電池改成雙面太陽能電池，朝南安裝於白色油漆地板，將提高 37.5%的發電量，也就是發電成本可以將低 37.5%。
- 二、台灣位於北半球，太陽能電池朝南架設，讓陽光垂直入射，發電功率最大；因此若考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應為與所在位置緯度相近。
- 三、單面（正面）太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，輸出功率約有 50%的差異；如果改成雙面太陽能電池，不但可以提高輸出功率（增加總發電量），亦可以將差異縮小至 30%以下。
- 四、我們得出的結論是如果要裝設太陽能板，特別是在寸土寸金的都市安裝，選擇雙面太陽能電池，加上高反射與散射的地板，可以獲得更多的發電量，降低發電成本。如果因為建築物限制，只能選擇不是朝南安裝，或是不能選擇最佳安裝角度，雙面太陽能電池可以降低這些不利因數的影響。降低太陽能發電成本是此技術可否普及的關鍵，全年發電量最高的系統值得進一步研究。

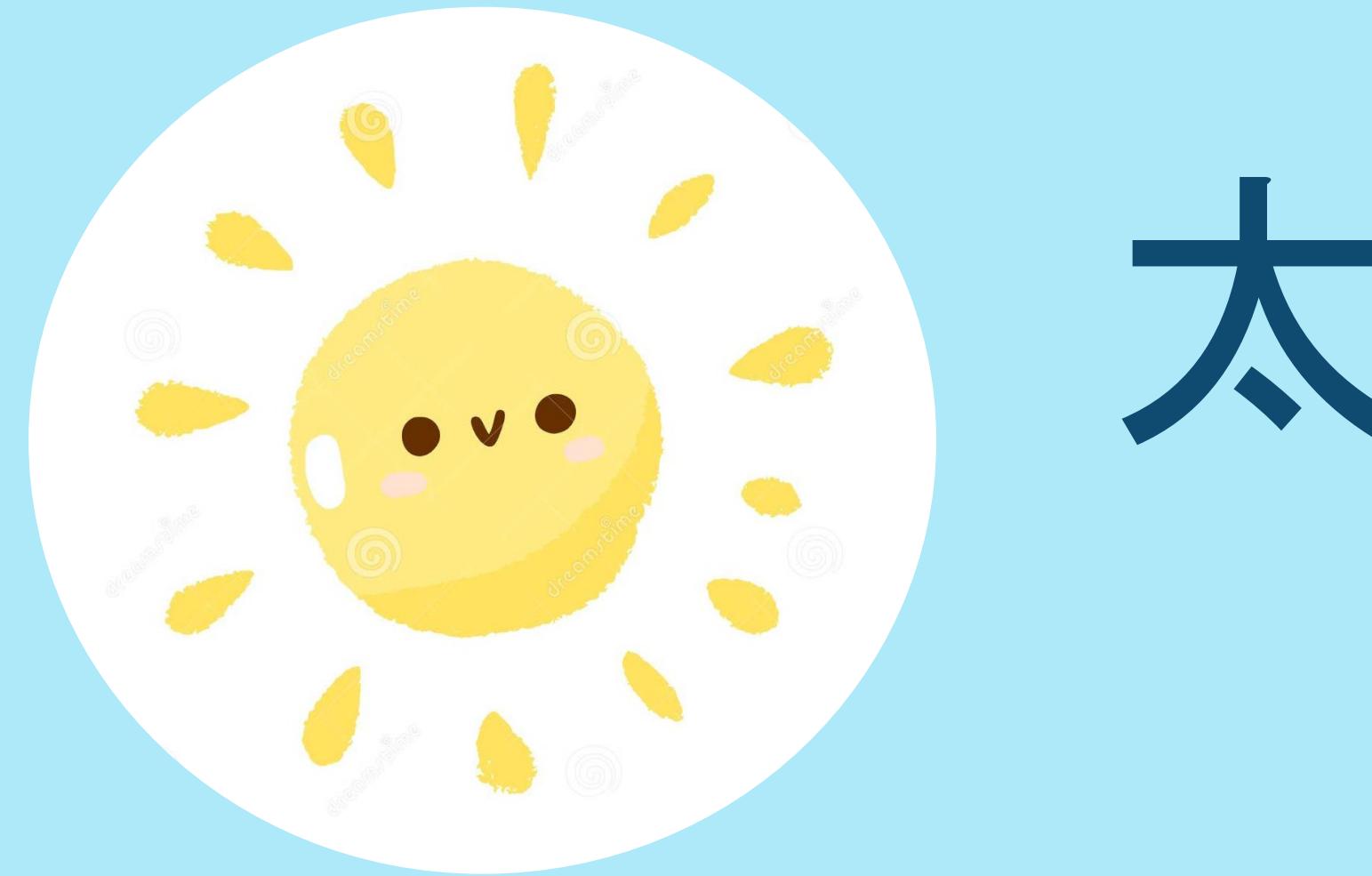
柒、文獻探討：

1. ePortfolio 系統. (n.d.) 。太陽能電池原理來源。國立高雄科技大學。取自
<http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/user/T/H/T098000033-2011051112715.pdf>
2. 中央氣象署. (n.d.) 。臺灣四季太陽仰角與方位角。交通部中央氣象署。取自
<https://www.cwa.gov.tw/Data/astronomy/season.pdf>
3. 中央氣象署. (n.d.) 。每日天文現象。交通部中央氣象署。取自
https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/astronomy_day.html
4. Learn Energy. (n.d.) 。太陽電池技術發展與應用：馬偉揚 · 簡仁富 · 研究員。取自
<https://speakerdeck.com/learnenergy2/tai-yang-dian-chi-ji-shu-fa-zhan-yu-ying-yong-ma-wei-yang-jian-ren-fu-yan-jiu-yuan?slide=24>
5. Prospire 科技股份有限公司. (n.d.) 。太陽光模擬器、老化、光催。取自
<http://www.prospire.com.tw/?solar-simulator-%E5%A4%AA%E9%99%BD%E5%85%89%E6%A8%A1%E6%93%AC%E5%99%A8%E3%80%81%E8%80%81%E5%8C%96%E3%80%81%E5%85%89%E5%82%AC,67>
6. 茂迪股份有限公司. (n.d.) 。太陽能電池。取自 <https://www.motech.com.tw/cells.php>
7. 台灣太陽光電產業協會. (n.d.) 。關於協會。取自 <https://www.tpvia.org.tw/>
8. Deline, C., Ayala Peláez, S., Marion, B., Sekulic, B., Woodhouse, M., & Stein, J. (2019) 。Bifacial PV system performance: Separating fact from fiction 。Sandia National Laboratories. 取自
<https://docs.nrel.gov/docs/fy19osti/74090.pdf>
9. Wolf, S. (2019) 。What are bifacial solar panels? Understanding the benefits and applications 。Paradise Solar Energy. 取自 <https://www.paradesolarenergy.com/blog/what-are-bifacial-solar-panels>

【評語】032815

探討雙面與單面太陽能板的發電效益差異，並發現雙面太陽能板可增益最多三成的發電量，運用反面板收集地板散射光的創意構想獨特，建議未來研究可以強化實驗控制的嚴謹度，尤其探討安裝高度的變因，因散射光強度與安裝高度有關，另外建議進一步探討雙面太陽能板在成本、安裝空間、維護等實際部署面的限制與可行性，讓這樣的研究更完整。

作品海報



太陽能，電來電往



摘要Abstract

探討雙面太陽能電池較傳統單面太陽能電池之發電效益差異，分析太陽光在不同材質地板的反射與散射，太陽能板安裝角度與方位，對於發電量的影響。雙面太陽能電池可以增益1%至37.5%發電量；等同降低37.5%發電成本。台灣位於北半球，考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應與所在位置的緯度相近，並搭配白色表面粗糙之高反射和高散射地板，獲得最大發電量。單面太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，發電量降低約50%；雙面太陽能電池可以增加總發電量、將差異縮小至30%以下、和減少建築物限制等這些不利因素的影響。

研究動機Motivation

隨著科技的發展，高樓大廈越來越多。近年來，台灣一直面臨著缺電的危機

- 利用綠能發電也就變得非常重要，但是要廣大的土地才可以產生足夠的電力
- 伴隨著電池製造成本增加
- 利用環境散射或反射光來增加太陽能電池發電量的想法，雙面太陽能電池是利用非直射光的最佳解法
- 為了讓太陽能電池可以吸收最多太陽光，使電池變成雙面照光發電太陽能電池。

歷屆作品探討與創新

★第64屆：太陽能板若設置成可以隨太陽直射角度調整，發電效果會明顯優於固定式。

★第63屆：太陽能板的溫度每上升 1°C 會使發電功率下降約 0.35~0.5%，主要是因為陽能板的溫度係數是負值，在高溫下太陽能電池的效率會下降，因此他們設計了水冷散熱模組，不只降溫、還能同時提供家庭用熱水，不但節能，還能利用在日常生活中。

★根據網上的歷屆作品，曾有作品探討追光加上反射鏡來增加雙面太陽能板的發電量

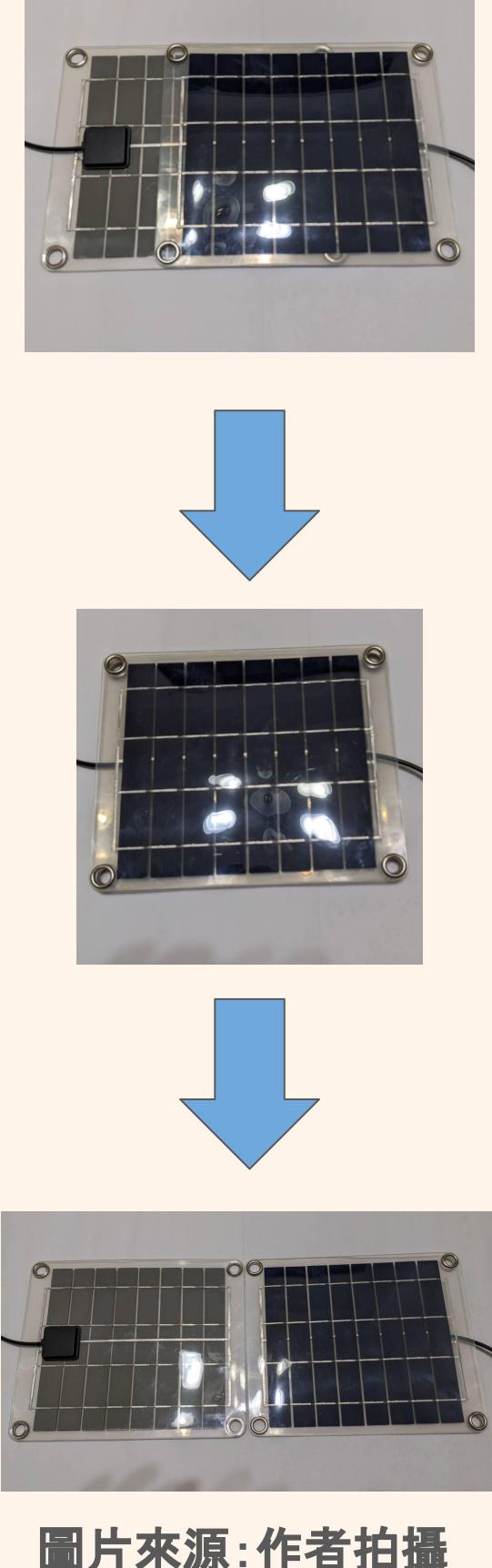
而本實驗的創新之處就是利用地板的反射來增加太陽能板背面發電量，不需要額外複雜的系統，同樣可以增加發電量，太陽能板背面也不容易累積灰塵

這些研究雖然有效提升發電量，但都需要額外的設備與維護，例如馬達、水管、清潔裝置等。這些不但增加了建置成本，也會讓系統的維修與管理更複雜。

研究目的Purpose

- 目的 一 探討太陽光在不同材質地板的反射光對於發電量的影響。
- 目的二 探討改變太陽能板安裝角度對於發電量的影響。
- 目的三 探討改變太陽能板安裝方位對於發電量的影響。

實驗原理Principle



圖片來源：作者拍攝

因市售太陽能電池的電壓與電流無法區分是正面還是反面貢獻的輸出(反射產生電能之貢獻)；因此本實驗將兩片單面太陽能電池組裝，並將兩個電池的正面都朝外，形成雙面太陽能電池，這樣可以分別量測正面和反面的太陽能電池輸出功率，進而進行之後的實驗步驟。

實驗器材Material

| 材料名稱： | 太陽能電池 | 三用電表 | 照度計 | 指北針 | 水平儀 | 線材 | 折尺 | 支架 |
|-------|-----------|-----------------|---------|------|------------------|---------------|-----------|---------|
| 圖片： | | | | | | | | |
| 用途： | 將太陽光轉變成電能 | 測量太陽能電池轉變的電流和電壓 | 測量太陽光強度 | 確認方位 | 確認太陽能電池以及支架是否有水平 | 連接太陽能電池以及三用電表 | 調整太陽能電池角度 | 支撐太陽能電池 |

實驗器材架設與步驟

步驟一：架設支架，使用水平儀調整水平，使用指北針確認方位，使用折尺確認傾斜角度（可控制0, 15, 30, 45, 60, 75, 90度）。

步驟二：使用照度計量測照度。

步驟三：利用三用電表量測太陽能電池正面和反面輸出之電壓及電流。

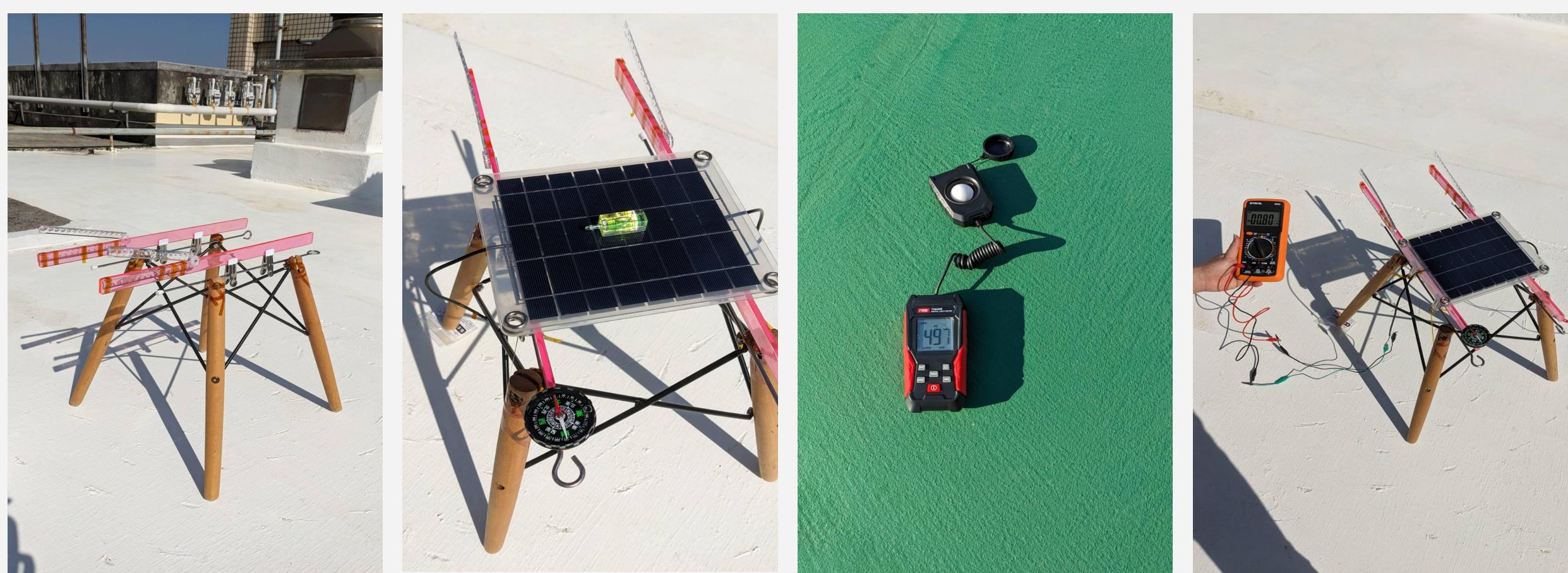
步驟四：實驗紀錄表格如右所示：

時間：_____ 日期：_____ 位置：_____
地板：_____ 方位：_____ 照度：_____

步驟五：計算與分析結果。

輸出功率(瓦) = 電壓(伏特) × 電流(安培)

| | | 0度 | 15度 | 30度 | 45度 | 60度 | 75度 | 90度 |
|----|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 正面 | 電壓(伏特) | | | | | | | |
| | 電流(安培) | | | | | | | |
| 反面 | 電壓(伏特) | | | | | | | |
| | 電流(安培) | | | | | | | |



圖片來源：作者拍攝

方法Method 1

實驗一

探討太陽光在不同材質地板的反射光對於發電量的影響

步驟：選擇不同地板，探討不同材質與不同顏色地板的影響；水泥地最常見且表面平整，PU具有顆粒是否增加反射與散射光；草皮可以綠化，是否有足夠反射光。

| 位置 | 竹東住家頂樓 | 交大停車場 | 交大操場 | 交大操場 | 交大操場 | 交大排球場 | 交大排球場 |
|----|--------|-------|------|---------|---------|-------|-------|
| 地板 | 白色油漆 | 柏油地板 | 綠色草皮 | PU跑道(紅) | PU跑道(綠) | 藍色水泥 | 綠色水泥 |
| 照片 | | | | | | | |

圖片來源：作者拍攝 / 表格來源：作者繪製

本實驗使用戶外陽光做為光源，我們選擇一天無雲的天氣進行量測，但是不同時間點，太陽的角度和強度不同，因此必須探討不同時間點對於實驗結果的影響。

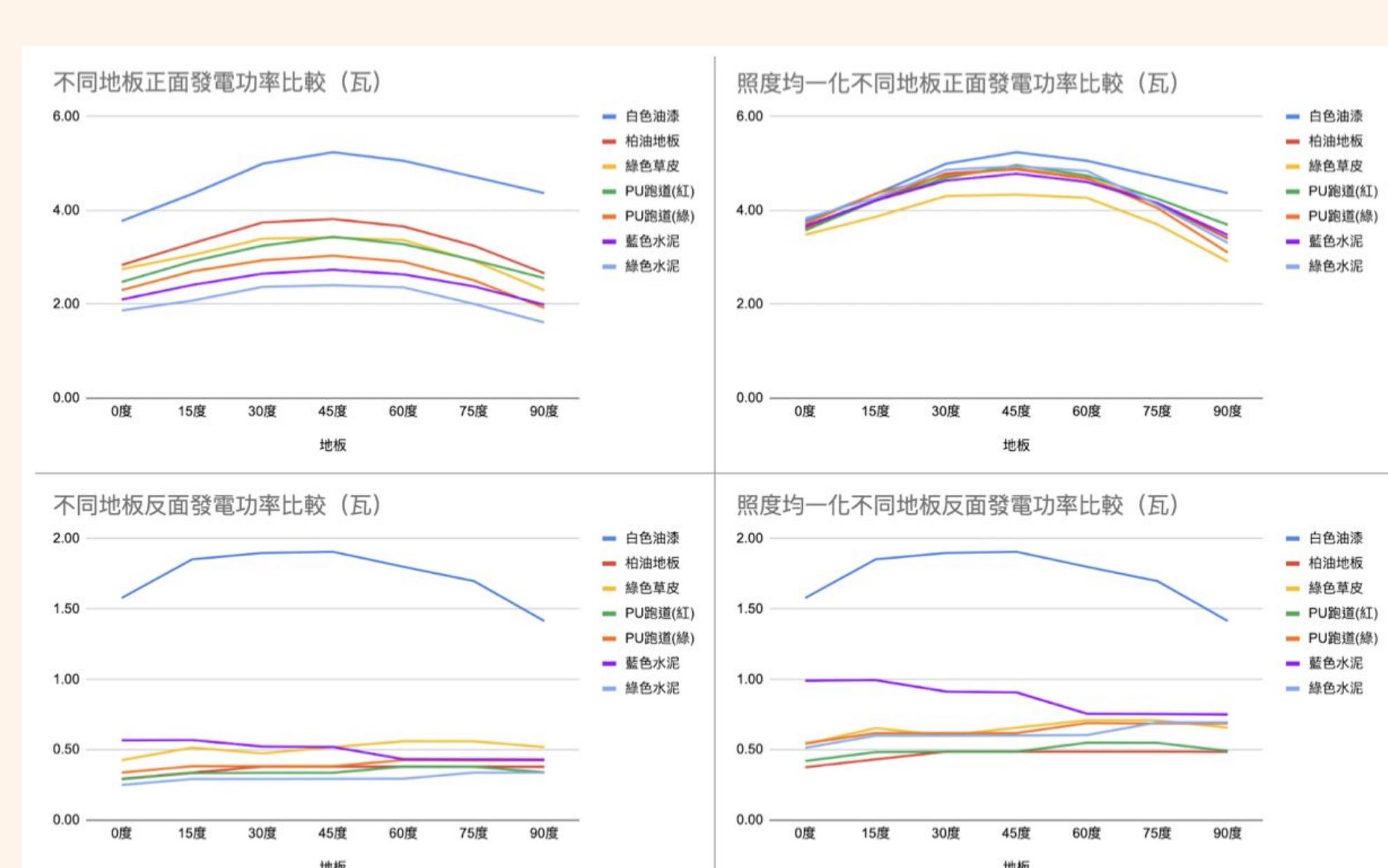
| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度[CF] | 0度 | 15度 | 30度 | 45度 | 60度 | 75度 | 90度 |
|------|------|--------|---------|----|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1/30 | 11:0 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 | 3.77 | 4.35 | 5.00 | 5.24 | 5.06 | 4.72 | 4.37 |
| | 14:2 | | | | 7980 | 2.84 | 3.30 | 3.74 | 3.82 | 3.66 | 3.25 | 2.66 |
| 1/30 | 14:3 | 交大操場 | 綠色草皮 | 南 | 8050 | 2.75 | 3.05 | 3.40 | 3.42 | 3.37 | 2.92 | 2.30 |
| | 14:5 | | | | 7060 | 2.48 | 2.91 | 3.25 | 3.44 | 3.28 | 2.94 | 2.56 |
| 1/30 | 15:0 | 交大操場 | PU跑道(紅) | 南 | 6320 | 2.30 | 2.70 | 2.94 | 3.03 | 2.91 | 2.51 | 1.92 |
| | 15:1 | | | | 5840 | 2.10 | 2.41 | 2.65 | 2.74 | 2.64 | 2.38 | 1.99 |
| 1/30 | 15:3 | 交大排球場 | 藍色水泥 | 南 | 4970 | 1.87 | 2.08 | 2.37 | 2.41 | 2.36 | 2.01 | 1.61 |

不同時間與地點，正面太陽電能池輸出功率

表格來源：作者繪製

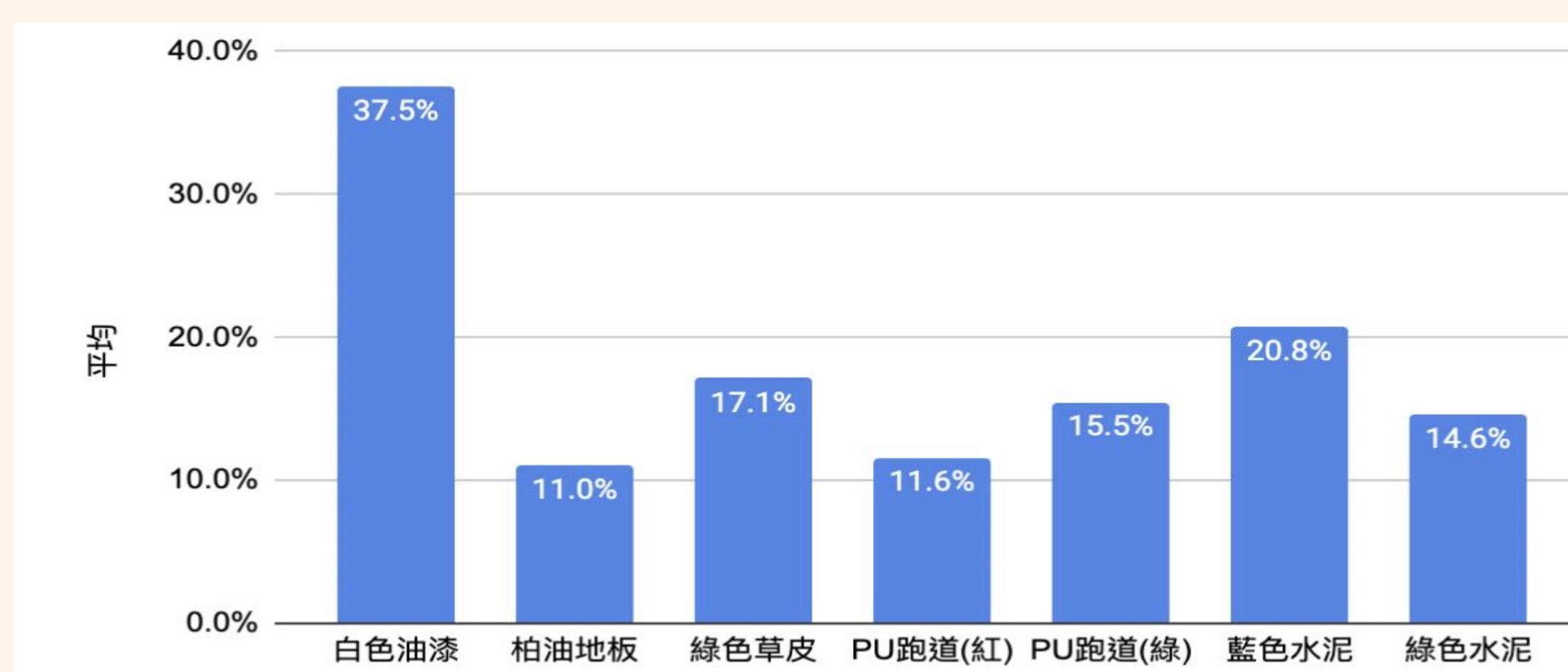
結果 Result 1

★ 不同地板材質反射和散射不同會有明顯差異，太陽能電池正面輸出功率接近；反面沒有明顯接近。最高為白色油漆地板，反面增益佔比介於32%-43%，將0度到90度平均的反面增益佔比為37.5%柏油地板(11.0%)。



★ 發電量最佳的白色油漆與發電量最低的柏油路就差了26.5%左右

★ 反面增益佔排序為：白色油漆>藍色水泥>綠色草皮>綠色PU跑道>綠色水泥>紅色PU跑道>柏油地板



★ 反面發電功率或許跟太陽光不同波段強度分布有關

★ 比較都是綠色的不同材質地板，反面發電功率增益為草皮>PU跑道>水泥，這可能與表面粗糙度有關係，表面越粗糙，會增加光線的散射。

★ 選擇白色表面粗糙的地板，可以提高反面發電功率增益。

方法Method 2

實驗二

探討改變太陽能板的角度對於發電量的影響

步驟:架設太陽能板，使用折尺調整不同角度(控制0, 15, 30, 45, 60, 75, 90度)，探討不同角度對發電量的影響。

圖片來源:作者拍攝 / 表格來源:作者繪製

| 角度 | 0度 | 15度 | 30度 | 45度 | 60度 | 75度 | 90度 |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 照片 | | | | | | | |

本實驗於2025/1/30進行，當日太陽仰角朝南48度，太陽電池朝南42度架設會垂直入射，發電功率最大。

方法Method 3

實驗三

探討改變太陽能板安裝方位對於發電量的影響

步驟:改變太陽能板面的方位(東，西，南，北)，探討不同方位對發電量的影響。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度[CF] |
|------|-------|--------|------|----|--------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 |
| 1/30 | 11:30 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 東 | 10270 |
| 1/30 | 11:46 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 北 | 10550 |
| 1/30 | 12:03 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 西 | 10400 |

表格來源:作者繪製

討論Discussion

★ 不同材質:反面發電功率增益為白色>藍色>綠色>紅色>黑灰色(柏油)

都是綠色不同材質地板，反面發電功率增益為草皮>PU跑道>水泥

綜合顏色與表面粗糙度兩因素，選擇白色表面粗糙的地板，可以提高反面發電功率增益。

★ 本實驗當日太陽仰角朝南48度，太陽電池朝南42度架設會垂直入射，發電功率最大，與本實驗觀察結果相符合。因此若考量整年最大發電量，應朝南安裝，安裝角度應為與所在位置緯度相近。

★ 如果是單面(正面)太陽能電池，朝北或東或西安裝，與朝南安裝比較，輸出功率約有50%的差異；如果是雙面太陽能電池，不但可以提高輸出功率(增加總發電量)，亦可以將差異縮小至30%以下。

結論 Conclusion

- 將單面太陽能電池改成雙面太陽能電池，朝南安裝於白色油漆地板，依據本實驗結果將可提高37.5%的發電量，也就是發電成本可以降低37.5%。
- 台灣位於北半球，太陽能電池應朝南安裝，安裝角度應為與所在位置緯度相近。
- 如果要裝設太陽能板，特別是在寸土寸金的都市安裝，選擇雙面太陽能電池，加上高反射與散射的地板，可以獲得更多的發電量，降低發電成本。
- 降低太陽能發電成本是此技術可否普及的關鍵，整年發電量最高的系統值得未來進一步研究。

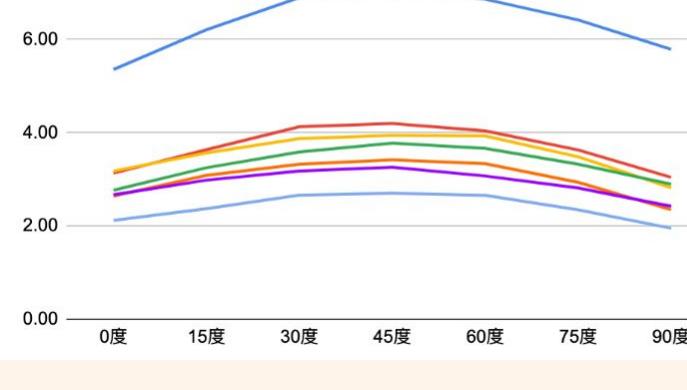
結果 Result 2

★ 不同時間與地點，正面太陽能電池輸出功率，可以看出，無論哪個材質的地板，朝南的太陽能電池，正面輸出功率都是45度最高。

| 日期 | 時間 | 位置 | 地板 | 方位 | 照度[CF] | 0度 | 15度 | 30度 | 45度 | 60度 | 75度 | 90度 |
|------|-------|--------|---------|----|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1/30 | 11:04 | 竹東住家頂樓 | 白色油漆 | 南 | 10200 | 5.35 | 6.21 | 6.90 | 7.15 | 6.86 | 6.42 | 5.78 |
| 1/30 | 14:20 | 交大停車場 | 柏油地板 | 南 | 7980 | 3.13 | 3.63 | 4.13 | 4.20 | 4.04 | 3.63 | 3.04 |
| 1/30 | 14:39 | 交大操場 | 綠色草皮 | 南 | 8050 | 3.18 | 3.56 | 3.87 | 3.94 | 3.93 | 3.48 | 2.82 |
| 1/30 | 14:53 | 交大操場 | PU跑道(紅) | 南 | 7060 | 2.77 | 3.25 | 3.59 | 3.78 | 3.66 | 3.32 | 2.90 |
| 1/30 | 15:03 | 交大操場 | PU跑道(綠) | 南 | 6320 | 2.64 | 3.09 | 3.32 | 3.42 | 3.33 | 2.94 | 2.35 |
| 1/30 | 15:18 | 交大排球場 | 藍色水泥 | 南 | 5840 | 2.67 | 2.98 | 3.18 | 3.26 | 3.07 | 2.81 | 2.42 |
| 1/30 | 15:30 | 交大排球場 | 綠色水泥 | 南 | 4970 | 2.12 | 2.37 | 2.66 | 2.70 | 2.65 | 2.35 | 1.95 |

表格來源:作者繪製

★ 正面和反面太陽能電池輸出功率總和，也是45度輸出功率最高。

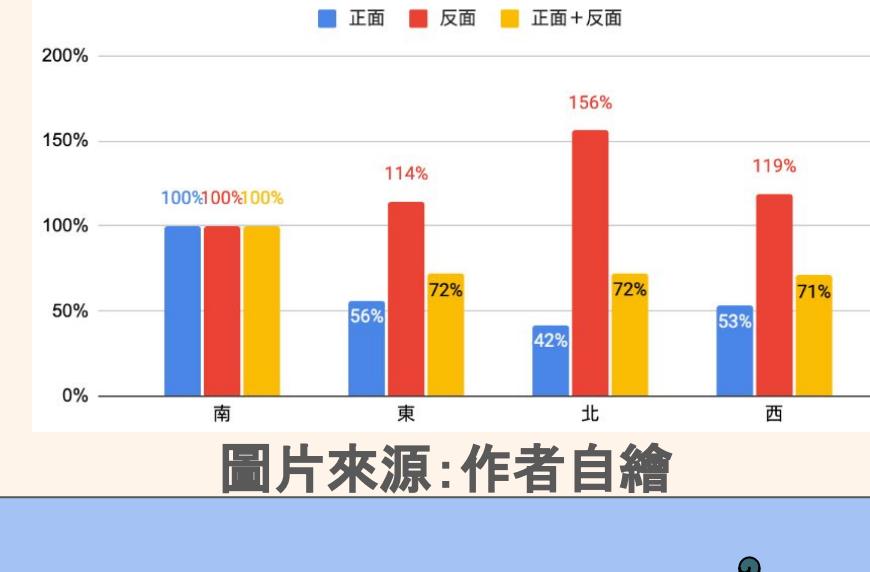


圖片來源:作者自繪

若考量整年最大發電量，安裝角度應為與所在緯度相近。

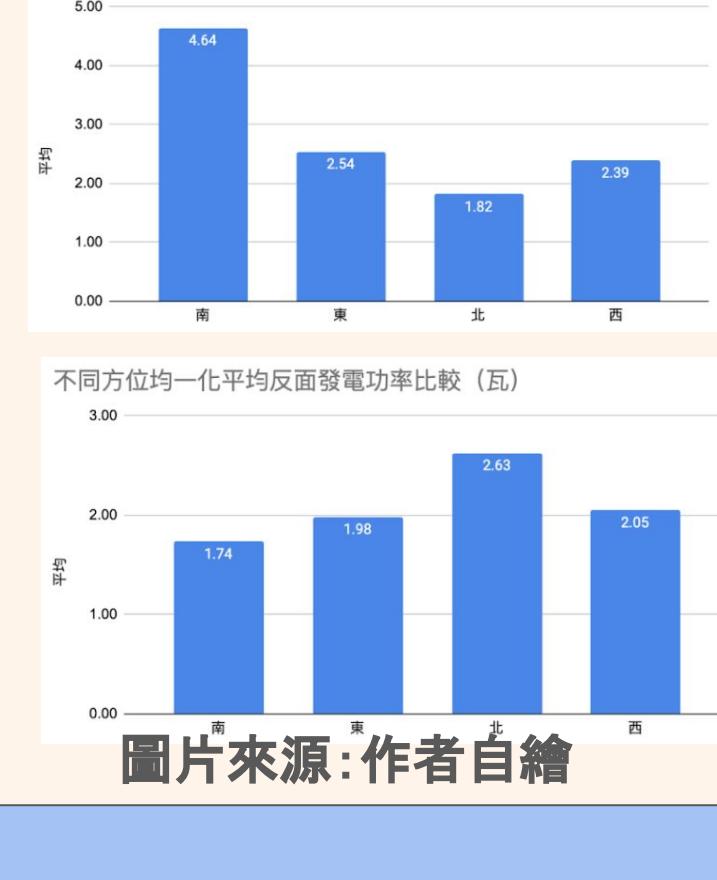
結果 Result 3

★ 如果是單面(正面)太陽能電池，其他方位與朝南安裝比較，輸出功率約有50%的差異；但雙面太陽電池能提高輸出功率(增加總發電量)，亦可以將差異縮小至30%以下。



圖片來源:作者自繪

★ 隨著角度增加開始產生差異，朝南和朝北最大差異在45度，朝南與朝東或朝西最大的差異在75度至90度。



圖片來源:作者自繪

參考資料 References

1. 太陽能電池原理來源

<http://eportfollio.lib.knsu.edu.tw/user/T/H/T098000033-20105112715.pdf>

<https://www.cwagov.tw/Data/astromony/season.pdf>

https://www.cwagov.tw/V8/C/K/astromony_day.html

2. 太陽電池技術發展與應用

<https://speakerdeck.com/learnenergy2/tai-yang-dian-chi-jishu-fa-zhan-yu-ying-yong-ma-wei-yang-jian-ren-fu-yan-jiu-yuan?slide=24>

3. 太陽光模擬器

<http://www.prospre.com.tw/?solar-simulator-%E5%A4%AA%E9%99%BD%E5%85%89%E6%A8%A1%E6%93%AC%E5%99%A8%E3%80%81%E8%80%81%E5%8C%96%E3%80%81%E5%85%89%E5%82%AC,G7>

4. 臺灣四季太陽仰角與方位角

<https://www.cwagov.tw/Data/astromony/season.pdf>

5. 交通部中央氣象署每日天文現象

https://www.cwagov.tw/V8/C/K/astromony_day.html

6. 茂迪太陽能電池

<https://www.motech.com.tw/cells.php>

7. 臺灣太陽光電產業協會

<https://www.tpvia.org.tw/>