

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030503

追光少女-運用市售創客玩具，自製太陽光源追蹤器的可行性探討

學校名稱： 桃園市立觀音國民中學

作者：

國二 廖云僑

國二 陳品妍

指導老師：

宋威德

關鍵詞： 太陽追蹤、光敏電阻、機械手臂

追光少女-運用市售創客玩具，自製太陽光源追蹤器的可行性探討

摘要

本研究探討改良 meArm 機械手臂，自製不易傾倒、效能追蹤及發電效率三特質之太陽光源追蹤器的可行性，期待結合太陽軌跡運行模式與光敏電阻降低轉向電能消耗。我們探討感測器、太陽能板及周圍環境如何影響發電效率。以高亮度 LED 燈模擬太陽，數位萬用表測量電流及電壓，藉以判斷發電效率。總整超過 49 種太陽光源追蹤器配置及超過 441 筆實驗記錄，結果顯示：環境溫度 25°C 以下，太陽能板用塑膠片覆蓋，並以廚房紙巾清潔；配置 3 個離太陽能板高度 0cm，透明膠帶遮蓋的光敏電阻，發電效率最佳。**本研究成功運用市售創客玩具自製太陽光源追蹤器。應用於非中午時段的戶外，可較固定式太陽能板增加約 20~40% 的發電量**，期待藉此激盪人們關注提升太陽能發電效率的方式。

壹、前言

一、研究動機

地理課查詢學校衛星圖時，見證到學校樓頂架設有密集的太陽能板。最近，運動場更是設置太陽能燈，可以在白天接收太陽能量、儲存，並於傍晚開始照亮校園。我們驚覺，原來太陽能已經是我們生活中重要的再生能源之一。

雖然太陽能發電是台灣近年來極度仰賴的再生能源，但單位發電價格卻略高。無論風力發電、水力發電或火力發電等，都比太陽能發電的單位成本便宜許多。根據經濟部能源署的躉購費率，每度太陽能發電約在 3.8~5.8 元間，高於風力、水力及生質能等常用再生能源，每度電約在 2.1~4.9 元間。

於是，我們決定以開發可自行追蹤太陽方位的裝置為目標。我們瞭解，**地球自轉與公轉會造成太陽視運動變化，而太陽在不同時間點的仰角與方位角，對太陽能板的能量接受效率有決定性影響**。於是，我們決定以自然科學課程的科學方法實作，希望運用資訊科技課程的光敏電阻，結合生活科技課程學的 meArm 機械手臂，試著製作光源追蹤器，並進一步探討如何有效使用太陽能板，以**尋求透過使用方式改善，提升太陽能板發電效率的可行性**。

二、研究目的(圖 1)

(一) 研究一、改良市售 meArm 機械手臂，使其可以作為自製太陽光源追蹤器的穩定底盤

1. 改變 meArm 機械手臂前端，使其提升支撐太陽能板與光敏電阻的穩定度。
2. 改變 meArm 機械手臂的驅動馬達，提升轉動效能。
3. 改變 meArm 機械手臂的底座配重，提升轉動時的穩定度。

(二) 研究二、太陽的視軌跡能被簡潔呈現嗎？以作者就讀學校為例

1. 我們能運用日期、時間推斷所在地的太陽仰角嗎？
2. 我們能運用日期、時間推斷所在地的太陽方位角嗎？

(三) 研究三、調整自製太陽光源追蹤器的光敏電阻配置，會影響發電效率嗎？

1. 自製太陽光源追蹤器配置不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎？
2. 自製太陽光源追蹤器配置不同離太陽能板高度的光敏電阻，對發電量有影響嗎？
3. 自製太陽光源追蹤器配置的光敏電阻，以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？

(四) 研究四、調整自製太陽光源追蹤器的太陽能板配置，會影響發電效率嗎？

1. 自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？
2. 自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，遭遇不同的表面髒污時，對發電量有影響嗎？
3. 自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，以不同方式清潔表面髒污，對發電量有影響嗎？

(五) 研究五、調整自製太陽光源追蹤器的所在環境，會影響發電效率嗎？

1. 自製太陽光源追蹤器處在不同雲層厚度的環境條件，對發電量有影響嗎？
2. 自製太陽光源追蹤器處在不同溫度的環境條件，對發電量有影響嗎？

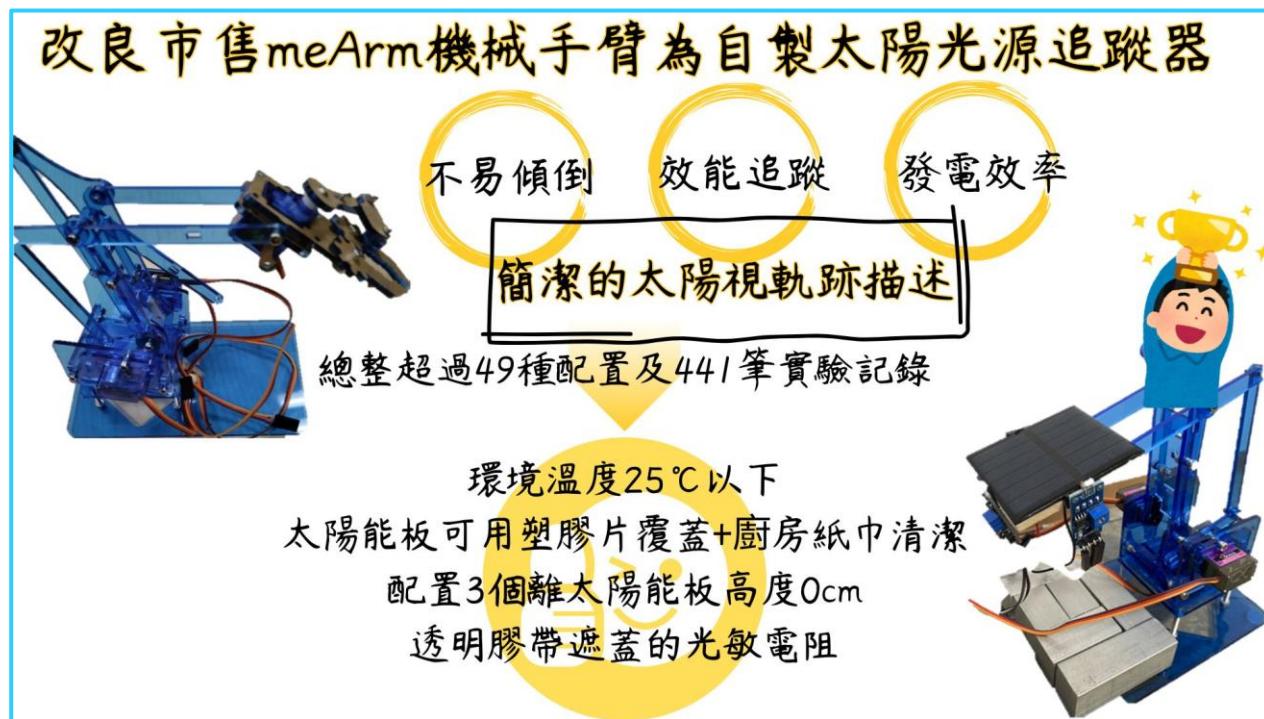


圖 1、「追光少女」研究目的架構圖

三、文獻回顧：

(一) 太陽光入射角度差異，會影響單位面積的能量分配

太陽光入射太陽能板的角度差異會影響太陽能板的能量接收效率(圖 2)。台灣常運用基座傾斜設計，提升能量運用效率。根據晴鈦朗光電網頁資料，台灣北部的太陽能板，大多採面正南向、 25° 仰角裝設，以提升全年日照利用率。但，固定傾角的方式無法即時反應每日與季節變化所造成的太陽光入射角偏差。

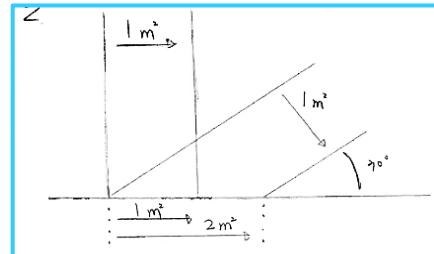


圖 2、太陽光入射太陽能板的角度差異，會使單位面積的能量分配有明顯的差別。

→我們想開發一個根據更詳細資訊，主動調整基座傾斜，追蹤光線的太陽光源追蹤器。

(二) 到達地面的太陽輻射可分成直射輻射、散輻射與反射輻射；直射輻射是主要的追蹤目標

一天中，每個地區可以見到太陽的時間，會受區域、季節、地形及天氣等因素影響，而有發電量不穩定的狀況。到達地面的太陽輻射可分為三個主要部分，直射輻射(來自太陽的直接光束，未經散射或反射)、散輻射(由大氣中的氣體分子、塵埃、水汽或雲端對陽光的散射所剩下的漫射光)與反射輻射(來自地板、雲端或其他物質)。我們想要建構具有發電效率的太陽光源追蹤器，便需要追蹤來自太陽直接光束的直射輻射。

→若能結合當地太陽軌跡，追蹤太陽的直射輻射，有機會建構良好的太陽光源追蹤器。

(三) 因為地球公轉，同個地點，在不同日期、不同季節的正午時間，會有不同的太陽仰角

因為地球繞行太陽公轉，春分、秋分正午，太陽直射赤道；夏至正午，直射北回歸線；冬至正午，則直射南回歸線。以作者就讀學校所在 25°N 為例，夏至正午太陽仰角約 88.5° ；春分、秋分正午太陽仰角約 65° ；冬至正午太陽仰角則僅約 41.5° ，表 1。

表 1、同個地點，不同季節的正午時間，會有不同的太陽仰角表(紅色箭頭代表太陽入射光)

夏至正午	春分、秋分正午	冬至正午
 太陽入射光離頭頂約 1.5° ，此時太陽仰角約 88.5° 。	 太陽入射光離頭頂約 25° ，此時太陽仰角約 65° 。	 太陽入射光離頭頂約 48.5° ，此時太陽仰角約 41.5° 。

→同一地點，不同日期的正午時間，太陽仰角即有所差異，固定式太陽能板難適用所有時間

(四) 因為地球自轉，同個地點，在同一天的不同時間，會有不同的太陽仰角

地球自轉，造成地球上看到太陽東升西落。每天日出、日落，太陽在仰角 0° ，正午時，則如前一點所敘述，會有所差別。冬至正午太陽仰角僅約 41.5° ，夏至正午則可達約 88.5° 。太陽的仰角，幾乎無時無刻都在改變，我們想分析數據，最好能找出公式，以便根據季節、時間和地點，設計自製太陽光源追蹤器的初始角度和轉動範圍，避免每次重新全範圍搜索。

→我們想利用太陽軌跡數據，改變太陽能板傾斜方向，建構能調整基準的太陽光源追蹤器。

(五) 太陽光源追蹤器必須能夠移動其太陽能板擺放方位，也必須能夠移動其太陽能板仰角

我們參考前人作品，第 48 屆全國科展作品-照過來！看我為太陽能板擺 POSE。裏頭提及「太陽能板擺放方位分別在早晚的時間對太陽能板的發電量影響力較大；調整太陽能板仰角則是在正午前後 2 個小時的時間影響力較大」。我們有了想法，自製太陽光源追蹤器必須要能夠移動其太陽能板擺放方位，也必須能夠移動其太陽能板仰角。

→使用的市售創客玩具，meArm 機械手臂，既能水平方向旋轉，也可調整太陽能板仰角。

(六) 美國亞利桑那州和新墨西哥州運用天文演算法及光感測器設置追光裝置

美國亞利桑那州和新墨西哥州有不下 10 個電廠設置追光裝置。大部分運用天文演算法控制追日系統；少部分小型追日系統則以光感測器控制。因為追光裝置運轉需要活動空間，亞利桑那州與新墨西哥州設置太陽能板時，在每塊太陽能板間設計有間距(4~9 公尺不等)，以最大化整體發電效益：避開陰影遮蔽、確保系統冷卻與維護方便。商業運用以天文演算法最為常見，但也有結合天文演算與光感測器控制的混合式控制法。

→我們可以藉由機械手臂，結合太陽視軌跡、光敏電阻及太陽能板，自製太陽光源追蹤器。

(七) 光電效應指金屬被光照射後，釋放光電子；大於低限頻率的光越強，產生越多光電子

光電效應是指光線照射金屬表面後，釋放電子的物理現象，被釋放的電子稱為光電子。不同金屬材質，會有不同的低限頻率，入射光頻率(會影響其色光)只要大於低限頻率，就能在照射金屬表面時，產生光電子；而且，大於低限頻率的入射光，強度越強(也就是越亮)，能產生越多光電子。

→光敏電阻及太陽能板的基本原理是光電效應，入射光頻率超過低限頻率時，才有光電子。

(八) 光敏電阻能感測環境光線，調節電阻，進而能作為光強度的檢測工具

我們使用的光敏電阻是 CdS (硫化鎘) 光敏電阻，其主要感測的波長範圍約為 400 至 700 奈米，對綠光 (約 540 奈米) 特別敏感。當光線照射半導體材料，電子會從固定的價帶激發到自由的導帶。自由電子數量增加時，導電率便提升、電阻降低。所以，環境光線強度越強，光敏電阻的電阻值越小；反之，如果環境光線強度較弱，光敏電阻之電阻值會增加。光敏電阻受環境光線影響，改變電阻值大小的特性，常用於檢測光照強度，作為電路開關。

→我們運用光敏電阻判斷環境光線較亮的區塊，使自製太陽光源追蹤器能準確追蹤陽光。

(九) 可見光與近紅外光佔超過 90% 地球表面接收太陽輻射的總能量

我們整合美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)網頁與維基百科，地球表面接收太陽輻射的能量分布，可見光(400 - 700 奈米)約佔 42.3%，近紅外光(700 - 1400 奈米)約佔 49.4%。

→我們運用感測波長範圍為 400 至 700 奈米的 Cds 光敏電阻，可以有效追蹤地表太陽輻射。

(十) 在自製實驗場域中，我們需要找到高光度、高穩定性與光譜全面的燈源以模擬太陽

若直接在戶外進行實驗，容易受當下雲層遮蔽等環境因素影響，因此，我們打算在室內模擬太陽光源。模擬太陽光源，需要考慮以下條件：光譜分佈、光強度、穩定性和發熱量。

我們整理可能模擬太陽的光源種類，就光譜分布、亮度與須注意事項進行比較，表 2。

表 2、可能模擬太陽的光源種類，光譜、亮度、應用與須注意事項比較表

	光譜	亮度	應用	須注意事項
氬氣燈	近太陽光譜包含紫外線到紅外線的連續波段	高光強度，模擬戶外陽光	太陽能電池或光譜分析	1.成本高，且需要穩壓電源 2.需散熱系統
金鹵燈	可見光及部分紫外線	提供穩定光強	植物生長燈和室內光學實驗	光譜含不必要的紫外線
石英鹵素燈	可見光和近紅外光	模擬清晨或傍晚	光學加熱和光伏測試	效率低、發熱量大
高亮度 LED	近日光，缺少紅、紫外線	高光強度，可調整光度	可模擬太陽光(波長段自 400nm 至 750nm)	需一次使用多顆 LED
太陽燈	模擬太陽光	高光強度，可調整光度	測試光伏電池的標準設備	價格昂貴

→我們將以波長段自 400nm 至 750nm 的高亮度白光 LED 燈，建構模擬太陽的實驗環境。

(十一) 晶矽型太陽能板能吸收可見光與近紅外光，藉由光電效應，將光能轉變成電能 (圖 3)

我們使用的晶矽型太陽能板的吸收光譜涵蓋約 300 至 1100 奈米的範圍，其中對可見光及近紅外光吸收效率最高。太陽能板吸收光能，轉變成電能輸出的原理是：半導體材料在光照下，正負電荷分離，分別往正極 (P 型，電洞) 與負極 (N 型，電子) 移動，形成電壓差，再經由導線將電流傳輸至外部負載。

太陽能板的外層結構也對發電效率有顯著影響。

目前，市售太陽能板外封裝層通常採用強化玻璃或 EVA (乙烯-醋酸乙烯酯) 材料。尤其，EVA 材料對可見光與近紅外光有高穿透率，卻能阻擋紫外光穿透，有助於保護內部結構。不過，太陽能板長期在戶外曝曬，灰塵、雨水等碎片與其穩定發電與老化速率也頗有關聯。

→晶矽型太陽能板吸收光譜能同時涵蓋地表接收的太陽輻射與模擬太陽的高亮度 LED 燈。

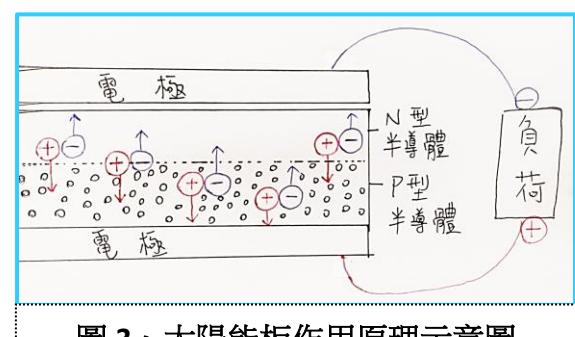
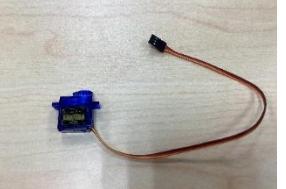


圖 3、太陽能板作用原理示意圖

貳、研究設備及器材

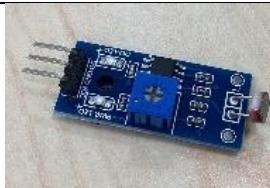
一、製作 meArm 機械手臂材料(表 3)

表 3、製作 meArm 機械手臂材料表

			
meArm 機械手臂板	螺絲及螺帽	180°馬達	底座配重金屬

二、自製太陽光源追蹤器材料(表 4)

表 4、自製太陽光源追蹤器材料表

			
太陽能板	光敏電阻	木頭膠水	木板

三、模擬實驗環境所需材料(表 5)

表 5、模擬實驗環境所需材料表

			
各式遮光罩材質	各式髒汙與清潔道具	吹風機	紅外線式溫度計

四、執行 Arduino 程式所需材料(表 6)

表 6、執行 Arduino 程式所需材料表

			
筆記型電腦	Arduino Uno 板及 Arduino Uno 拓展板	連接線及杜邦線	電池盒套件

參、研究過程或方法

一、研究背景

地球自轉與公轉，使太陽在不同時間所呈現的仰角與方位角具有規律性的動態變化。

固定式太陽能板，會因為太陽軌跡視運動，使光線接收角度變化，進而影響發電效率。我們希望組裝並改良 meArm 機械手臂，使其可以乘載太陽能板及光敏電阻，並結合既有的太陽仰角與方位角數據，建構太陽光源追蹤器，讓陽光能常態性以接近垂直入射太陽能板。我們試圖探討感測器(光敏電阻)、太陽能板本身的物理狀態及環境條件等因素如何影響發電電流量與電壓量，進而推論自製太陽光源追蹤器在實務運用中的發電效率與應用潛力。

二、研究設計

(一) 操縱變因

我們希望自製太陽光源追蹤器具有不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質。於是，我們分別改變機械手臂外觀結構、光敏電阻、太陽能板與環境等。**我們先從外觀、馬達型號與底座配重改良市售 meArm 機械手臂，使其有穩定的底盤**，能承載太陽能板與光敏電阻。而後，**我們探討光敏電阻的配置模式、遮光罩類別、太陽能板的遮光罩類別、表面清潔方式及雲層厚度、溫度等周圍環境因素，對發電效率的影響**，試圖結合太陽仰角與方位角數據，找出具有不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質的最佳化自製太陽光源追蹤器，圖 4。

特質	不易 傾倒	效能追蹤		高發電效率				
		光敏電阻	太陽能板	環境				
實驗 設計	機械 手臂	數量	離板 高度	遮光罩	表面 髒污	清潔 方法	雲層 厚度	環境 溫度
		1個	0cm	氣球、雙面膠		衛生紙	1cm	20 °C
	馬達	2個	0.5cm	布膠帶、CD套		濕紙巾	2cm	25 °C
		3個	1cm	護貝紙、L夾	灰塵	酒精擦	3cm	30 °C
	底座 重量	4個	1.5cm	塑膠片	樹葉	廚房紙巾	4cm	35 °C
			2cm	無痕膠帶				40 °C
			2.5cm	透明膠帶				45 °C
				透明資料夾				50 °C

圖 4、「追光少女」研究變因設計圖

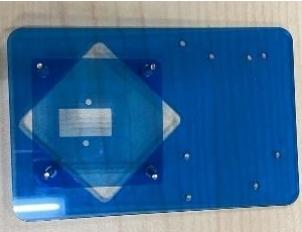
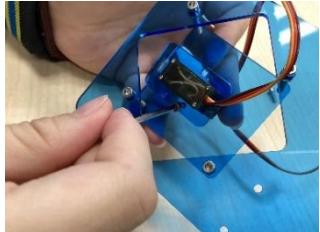
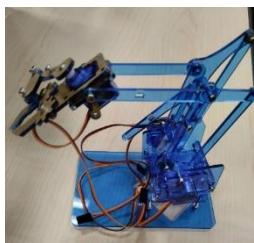
(二) 應變變因

我們先提升機械手臂的穩定度，以避免傾倒；接著，**我們以數位萬用表量測太陽能板發電電流量與電壓量，以推估其光敏電阻之追蹤效能及太陽能板的發電效率**。

三、組裝市售 meArm 機械手臂

我們購買市售創客玩具，meArm 機械手臂，並自行組裝，步驟如表 7。

表 7、組裝市售 meArm 機械手臂步驟表

1. 用螺絲固定底座壓克力片 	2.鎖上底座的馬達 	3.用螺絲固定機身壓克力片 
4.裝上機身兩邊的馬達 	5. 用螺絲固定手臂壓克力片 	6.用六角扳手鎖緊所有螺絲 

四、研究一(改良市售 meArm 機械手臂，使其可以作為自製太陽光源追蹤器的穩定底盤)

(一) 觀察及背景知識

- 市售 meArm 機械手臂乘載太陽能板，我們認為套件裡的夾子，支撐力道略不足，且不易旋轉太陽能板至我們所需的方向。我們想自行切割合適面積的木板，乘載太陽能板。
- 市售 meArm 機械手臂原先附的馬達是全塑膠製的 SG90 馬達，我們認為無論驅動力或耐用程度都不如出力軸為金屬製的 MG90 馬達。
- 市售 meArm 機械手臂底座與上方機構同為壓克力板材質，容易在旋轉時傾倒，加上太陽能板後，更不易維持重心。我們打算以金屬塊增加底座配重，使穩定旋轉，避免傾倒。

(二) 研究假設

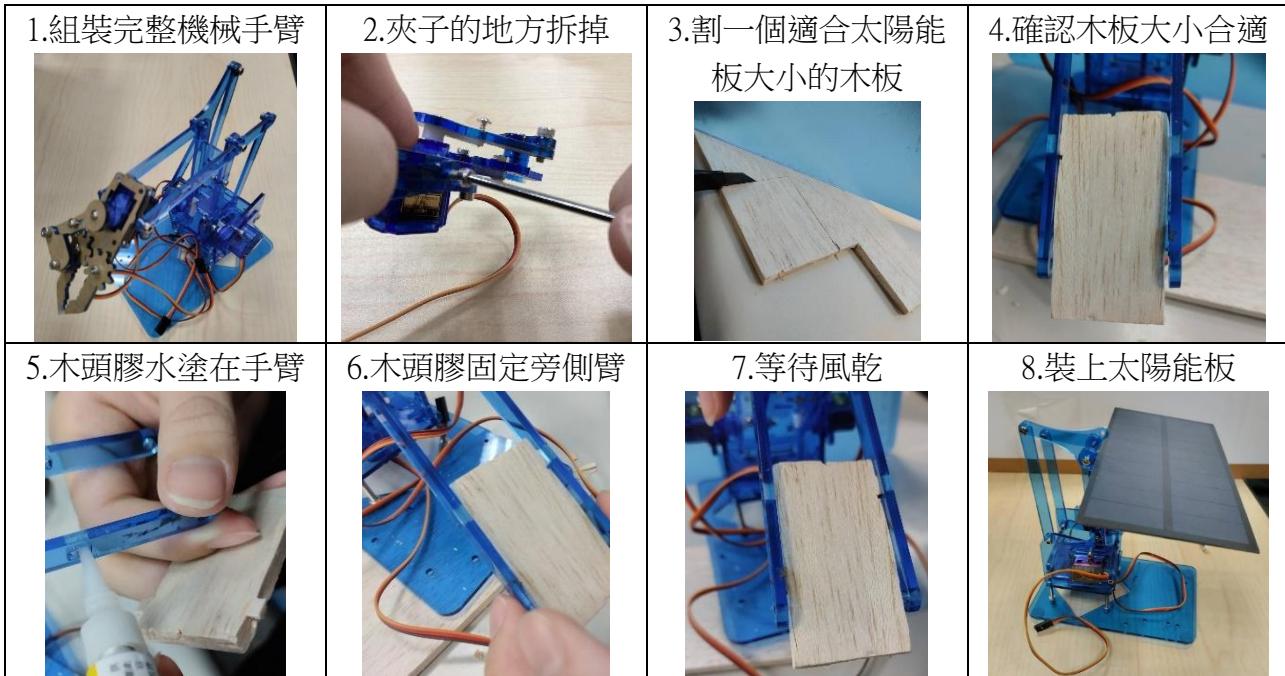
- 以自行切割木板乘載太陽能板的自製太陽光源追蹤器，能提升支撐物件的穩定度。
- 運用金屬製出力軸 MG90 馬達的自製太陽光源追蹤器，能提升其轉動效能。
- 以鋁塊增加底板配重的自製太陽光源追蹤器，能提升轉動時的穩定度。

(三) 實驗設計

1. 改變 meArm 機械手臂前端，使其提升支撐太陽能板與光敏電阻的穩定度。

我們將 meArm 機械手臂前端夾子改成能乘載太陽能板與光敏電阻的平台。我們先切割合適面積的飛機木板，並用泡棉膠墊高，使太陽能板附著其上，如表 8。(後續研究進行時，除太陽能板須藉由此平台乘載，光敏電阻也一同乘載於上。)

表 8、改變 meArm 機械手臂前端，使其提升支撐太陽能板與光敏電阻的穩定度步驟表



2. 改變 meArm 機械手臂的驅動馬達，提升轉動效能。

市售 meArm 機械手臂附的是 SG90 馬達，塑膠製因此容易壞掉，所以我們換上更加耐用且馬力也充足的金屬製出力軸 MG90 馬達，如表 9。

表 9、改變 meArm 機械手臂的驅動馬達，提升轉動效能步驟表



3. 改變 meArm 機械手臂的底座配重，提升轉動時的穩定度。

我們使用鋁塊增加 meArm 機械手臂底板配重。最一開始，是以熱融膠試圖固定鋁塊在底座壓克力板上，但，熱熔膠很快冷卻的性質，導致兩者間很難黏合。因此，我們後來改以金屬用膠帶，在 meArm 機械手臂底板貼上鋁塊，如表 10。

表 10、改變 meArm 機械手臂的底座配重，提升轉動時的穩定度步驟表



五、研究二(太陽的視軌跡能被簡潔呈現嗎？以作者就讀學校為例)的太陽視軌跡資料蒐集

我們想探索從學校觀察太陽的視軌跡，是否能被簡潔呈現。我們運用 www.suncalc.org 網站，調整經緯度至學校所在位置，接著便能調整年份與日期，逐一記錄當時太陽的仰角及方位角，並運用 excel 分析軌跡公式。如表 11。

表 11 由第二作者自 sunclac 網站及 excel 軟體截圖

表 11、找出作者就讀學校所在地簡潔呈現太陽視軌跡公式步驟表

1. 進入 sunclac 網站	2. 紀錄作者就讀學校所在地 每天 09:00、12:00 及 15:00 的 太陽方位角及太陽仰角	3. 運用 excel 分析軌跡																																																																																										
	<p>Altitude: 35.96° Azimuth: 130.33°</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">仰角</th> <th colspan="3">方位角</th> </tr> <tr> <th>09:00</th> <th>12:00</th> <th>15:00</th> <th>09:00</th> <th>12:00</th> <th>15:00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2024.1.01</td> <td>25.39</td> <td>41.93</td> <td>24.85</td> <td>134.41</td> <td>180.53</td> <td>226.22</td> </tr> <tr> <td>2024.1.02</td> <td>25.37</td> <td>42.01</td> <td>24.98</td> <td>134.26</td> <td>180.38</td> <td>226.2</td> </tr> <tr> <td>2024.1.03</td> <td>25.36</td> <td>42.1</td> <td>25.12</td> <td>134.1</td> <td>180.24</td> <td>226.19</td> </tr> <tr> <td>2024.1.04</td> <td>25.36</td> <td>42.2</td> <td>25.27</td> <td>133.84</td> <td>180.1</td> <td>226.19</td> </tr> <tr> <td>2024.1.05</td> <td>25.35</td> <td>42.3</td> <td>25.41</td> <td>133.78</td> <td>179.96</td> <td>226.19</td> </tr> <tr> <td>2024.1.06</td> <td>25.35</td> <td>42.42</td> <td>25.57</td> <td>133.61</td> <td>179.82</td> <td>226.2</td> </tr> <tr> <td>2024.1.07</td> <td>25.37</td> <td>42.53</td> <td>25.72</td> <td>133.44</td> <td>179.68</td> <td>226.21</td> </tr> <tr> <td>2024.1.08</td> <td>25.38</td> <td>42.66</td> <td>25.88</td> <td>133.26</td> <td>179.54</td> <td>226.23</td> </tr> <tr> <td>2024.1.09</td> <td>25.41</td> <td>42.79</td> <td>26.05</td> <td>133.08</td> <td>179.41</td> <td>226.26</td> </tr> <tr> <td>2024.1.10</td> <td>25.44</td> <td>42.93</td> <td>26.22</td> <td>132.9</td> <td>179.27</td> <td>226.3</td> </tr> <tr> <td>2024.1.11</td> <td>25.47</td> <td>43.08</td> <td>26.39</td> <td>132.71</td> <td>179.14</td> <td>226.34</td> </tr> </tbody> </table>		仰角			方位角			09:00	12:00	15:00	09:00	12:00	15:00	2024.1.01	25.39	41.93	24.85	134.41	180.53	226.22	2024.1.02	25.37	42.01	24.98	134.26	180.38	226.2	2024.1.03	25.36	42.1	25.12	134.1	180.24	226.19	2024.1.04	25.36	42.2	25.27	133.84	180.1	226.19	2024.1.05	25.35	42.3	25.41	133.78	179.96	226.19	2024.1.06	25.35	42.42	25.57	133.61	179.82	226.2	2024.1.07	25.37	42.53	25.72	133.44	179.68	226.21	2024.1.08	25.38	42.66	25.88	133.26	179.54	226.23	2024.1.09	25.41	42.79	26.05	133.08	179.41	226.26	2024.1.10	25.44	42.93	26.22	132.9	179.27	226.3	2024.1.11	25.47	43.08	26.39	132.71	179.14	226.34
	仰角			方位角																																																																																								
	09:00	12:00	15:00	09:00	12:00	15:00																																																																																						
2024.1.01	25.39	41.93	24.85	134.41	180.53	226.22																																																																																						
2024.1.02	25.37	42.01	24.98	134.26	180.38	226.2																																																																																						
2024.1.03	25.36	42.1	25.12	134.1	180.24	226.19																																																																																						
2024.1.04	25.36	42.2	25.27	133.84	180.1	226.19																																																																																						
2024.1.05	25.35	42.3	25.41	133.78	179.96	226.19																																																																																						
2024.1.06	25.35	42.42	25.57	133.61	179.82	226.2																																																																																						
2024.1.07	25.37	42.53	25.72	133.44	179.68	226.21																																																																																						
2024.1.08	25.38	42.66	25.88	133.26	179.54	226.23																																																																																						
2024.1.09	25.41	42.79	26.05	133.08	179.41	226.26																																																																																						
2024.1.10	25.44	42.93	26.22	132.9	179.27	226.3																																																																																						
2024.1.11	25.47	43.08	26.39	132.71	179.14	226.34																																																																																						

六、研究三至研究五共同的實驗準備

(一) 製作研究三至研究五共同使用的實驗進行場域：

表 12 步驟表由第二作者拍攝

我們以 PVC 硬質塑膠水管搭建實驗環境，用 T 型接頭及塑膠繩固定 8 個角，在正立方體的實驗環境中，做好環境亮度控制變因，找出對光源追蹤效果最好的自製追蹤器，如表 12。

表 12、研究三至研究五共同使用的實驗進行場域製作步驟表

1. T 型接頭裡面塗 pvc 膠水	2.T 型接頭接水管成正方形	3.垂直管置入正方形 4 個角

4.以塑膠繩固定垂直管	5.重複步驟 2，再組正方形	6.把正方形接在垂直管上， 用塑膠繩固定

(二)研究三至研究五共同使用的硬體及電路架構圖：

1.硬體架構圖(圖 5)



圖 5、硬體架構圖

2.電路架構圖(圖 6)

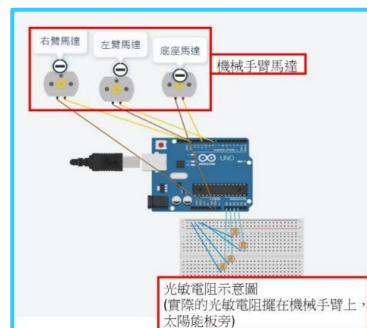


圖 6、電路架構圖

硬體及電路架構圖由第二作者拍攝及製作

(三) 研究三至研究五共同使用的Arduino程式碼(因版面有限，僅呈現重要迴圈之一部分):

1. 自製太陽光源追蹤器所使用的Arduino程式碼運作流程圖(圖7)

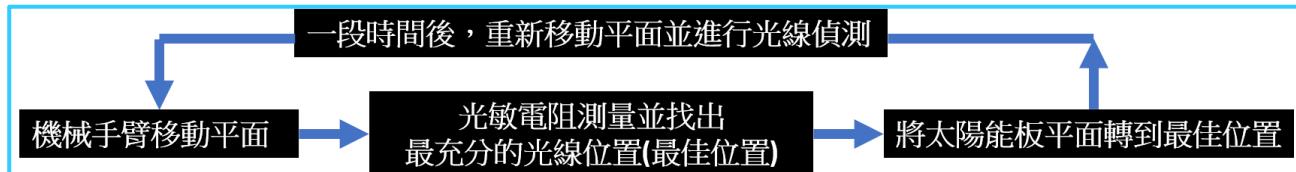


圖7、自製太陽光源追蹤器所使用的Arduino程式碼運作流程圖

2. 自製太陽光源追蹤器所使用的Arduino程式碼重要迴圈部分摘錄(表13)

表13、自製太陽光源追蹤器所使用的Arduino程式碼重要迴圈部分摘錄表

機械手臂移動平面	光敏電阻測量並找出最充分的光線位置(最佳位置)	太陽能板平面轉到最佳位置
<pre> void initial(){ myservo_left.write(90); myservo_right.write(90); myservo_mid.write(90); } void point_10{ //右下 myservo_mid.write(0); myservo_left.write(40); myservo_right.write(130); /* for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) { myservo_mid.write(pos); //40 delay(15); } for (pos = 90; pos <= 130; pos += 1) { myservo_left.write(130-pos); myservo_right.write(pos); delay(15); }*/ } </pre>	<p>共有6個點，依上述語法，以光敏電阻偵測光線大小</p> <p>依以下語法，排序6個點的光敏電阻光線偵測大小</p> <pre> if(state == 0){ point_10; delay(2000); compareAvg[0] = getsensorValue(); delay(1000); point_20; delay(2000); compareAvg[1] = getsensorValue(); delay(1000); } </pre>	<pre> for(int i = 0; i < 6; i++){ if(compareAvg[i] > maxValue){ maxValue = compareAvg[i]; save_i = i; } } if(save_i == 0){ point_10; delay(1000000); } else if(save_i == 1){ point_20; delay(1000000); } else if(save_i == 2){ point_30; delay(1000000); } else if(save_i == 3){ point_40(); delay(1000000); } 依上述語法，太陽能板平面轉到6個點中光線最佳位置 </pre>

(四) 研究三至研究五共同使用的實驗進行場域說明(圖 8、圖 9)

我們以 1 公尺長 PVC 硬塑膠水管搭建成實驗場域。我們在 A 點上方架設高亮度 LED 燈，以模擬太陽照射太陽能板，B、C、D 點則是實驗進行中，自製太陽光源追蹤器擺放位置。
會讓自製太陽光源追蹤器分別於 B、C、D 三點輪流偵測，是為了模擬清晨、正午、黃昏等不同照射角度之日光，以減少評估發電效率時的誤差。



圖 8、實驗進行場域實體圖

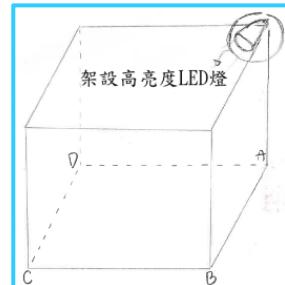


圖 9、實驗進行場域示意及說明圖

(五) 研究三至研究五共同使用的實驗進行步驟(表 14)

表 14、研究三至研究五共同使用的實驗進行步驟表

追日裝置放在 b. c. 或 d. 其中一點	開啟高亮度 LED 燈	啟動自製追日裝置	分別記錄電流與電壓

(六) 研究三至研究五共同使用的，測量太陽能板電能產生輸出量的方式(表 15)

表 15、研究三至研究五共同使用的，測量太陽能板電能產生輸出量的方式表

將數位萬用表接上太陽能板	測量電流值(單位 μ A 或 mA)	測量電壓值(單位為 V)

七、研究三(調整自製太陽光源追蹤器的光敏電阻配置，會影響發電效率嗎？)

(一) 觀察及背景知識

本研究使用 CdS (硫化鎵) 光敏電阻，偵測光譜涵蓋整個人眼可見光範圍，且其對波長為 540 奈米的綠光最敏感，與人眼感光特性相近。真實環境的光譜，可見光與太陽能板吸收峰段的近紅外光，存在高度相關性，以可見光波段為基礎的追蹤系統可以有效追蹤太陽方位並提高整體發電效率。綜合以上，我們知道光敏電阻可以作為有效的光照方向感測器，提升自製太陽光源追蹤器的靈敏度。我們想測試光敏電阻的數量及擺放方式，及光敏電阻若安置在室外，遭灰塵、塑膠片等遮蔽物覆蓋，發電效率是否被影響。

(二) 研究假設

1. 自製太陽光源追蹤器配置的光敏電阻數量越多，發電效率越佳。
2. 自製太陽光源追蹤器配置的光敏電阻離太陽能板高度差越近，發電效率越佳。
3. 自製太陽光源追蹤器配置的光敏電阻沒有遮蔽物時，發電效率最佳。

(三) 實驗設計

1. 「不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎？」實驗，在自製太陽光源追蹤器的太陽能板平面上，分別安置(1) 1 個、(2) 2 個、(3) 3 個及 (4) 4 個離太陽能板高度 2.5cm 且無遮光罩遮蓋的光敏電阻，表 16。
2. 「不同離太陽能板高度的光敏電阻，對發電量有影響嗎？」實驗，在自製太陽光源追蹤器的太陽能板平面上，分別安置有 3 個離太陽能板高度 (1) 0cm、(2) 0.5cm、(3) 1cm、(4) 1.5cm、(5) 2cm 及 (6) 2.5cm 且無遮光罩遮蓋的光敏電阻，表 17。
3. 「以不同材質遮光罩遮蓋的光敏電阻，對發電量有影響嗎？」在自製太陽光源追蹤器的太陽能板平面上，分別安置有 3 個離太陽能板高度 0cm，且遭 (1) 氣球、(2) 雙面膠、(3) 布膠帶、(4) CD 套、(5) 泡泡紙、(6) 護貝紙、(7) 無痕膠帶、(8) 塑膠片、(9) L 夾、(10) 透明膠帶 及 (11) 透明資料夾遮蓋的光敏電阻，表 18。

表 16、「配置不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎？」實驗設計表

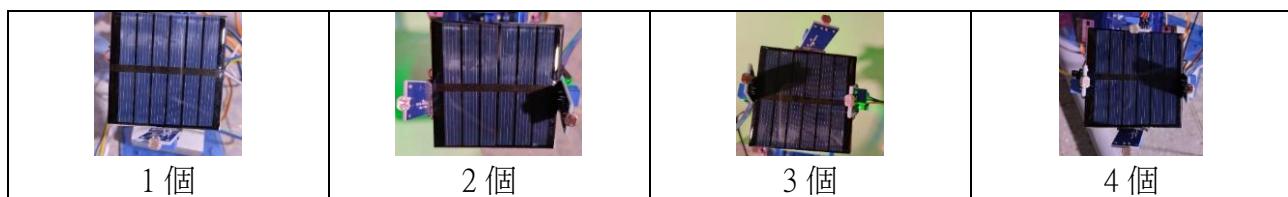


表 17、「配置不同離太陽能板高度的光敏電阻，對發電量有影響嗎？」實驗設計表

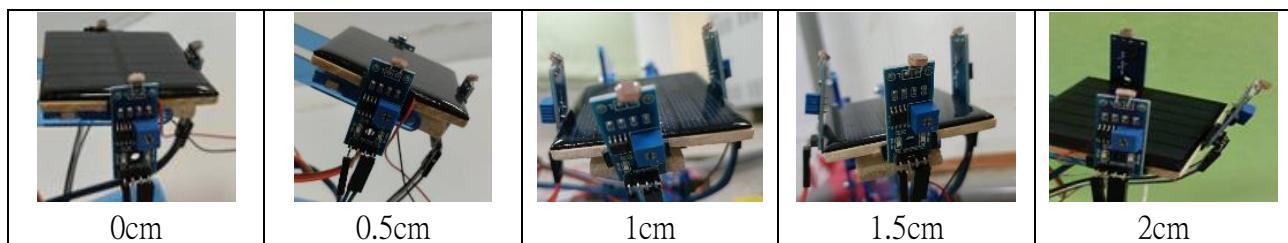
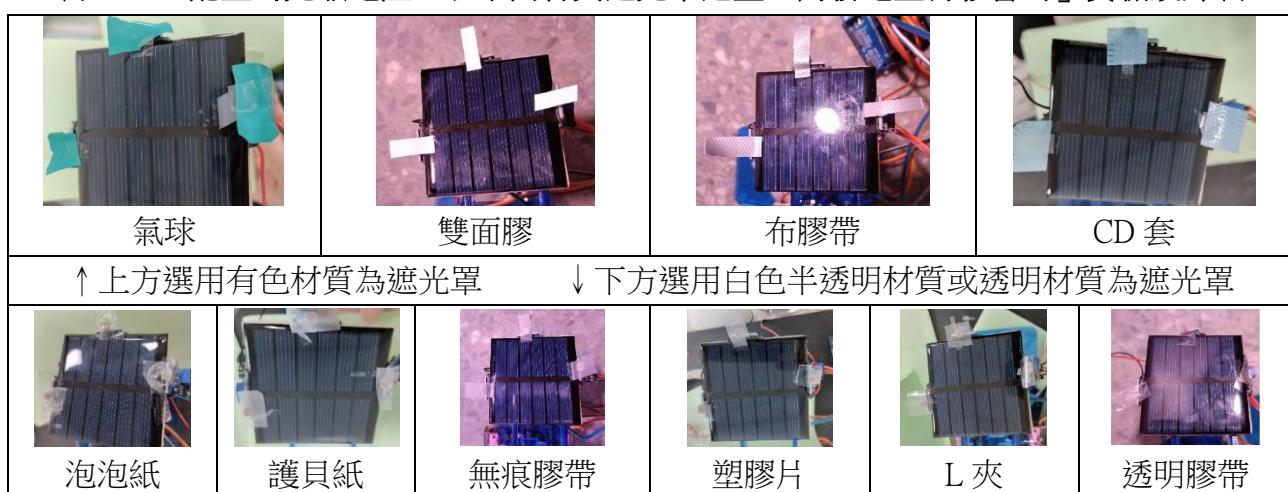


表 18、「配置的光敏電阻，以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？」實驗設計表



八、研究四(調整自製太陽光源追蹤器的太陽能板配置，會影響發電效率嗎？)

(一) 觀察及背景知識

本研究使用晶矽型太陽能板，吸收光譜波長區間約 300 至 1100 奈米，大約是可見光至紅外光的範圍；然而，超過 1100 奈米的波段，不易被晶矽型太陽能板接收，進而影響其發電效率。又，我們使用的太陽能板外層主要由 EVA(乙烯-醋酸乙烯酯)封裝，EVA 材料對可見光和近紅外光具有高透光性，能保護晶矽，並且不減損光線有效穿透。

環境中，風雨、灰塵或碎片都可能堆積在太陽能板表面，遮蔽光線，而降低發電效率。我們想測試太陽能板外，再加上一層防護層，並且定期清潔與維護，是否能維持太陽能板的發電效能與結構穩定性。

(二) 研究假設

- 1.自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，沒有被遮光物質遮住時，發電效果最好。
- 2.自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，在乾淨無髒污時，發電效果最好。
- 3.自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，用濕紙巾擦拭後，發電效果最好。

(三) 實驗設計

- 1.「太陽能板以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？」實驗，在自製太陽光源追蹤器，分別設計遭 (1) 氣球、(2)雙面膠、(3)布膠帶、(4) CD 套、(5) 護貝紙、(6)無痕膠帶、(7) 塑膠片、(8)L 夾、(9)透明膠帶 及 (10)透明資料夾遮蓋的太陽能板，表 19。
- 2.「太陽能板遭遇不同的表面髒污時，對發電量有影響嗎？」實驗，在自製太陽光源追蹤器，分別設計有 (1) 灰塵 及 (2) 樹葉 的太陽能板 髢汙形式，表 20。
- 3.「太陽能板以不同清潔方式清潔表面髒污，對發電量有影響嗎？」，在自製太陽光源追蹤器的太陽能板抹上灰塵後，再分別以 (1) 衛生紙、(2) 濕紙巾、(3) 酒精擦及 (4) 廚房紙巾清潔表面髒污，表 21。

表 19、「太陽能板以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？」實驗設計表

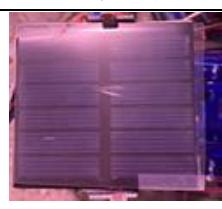
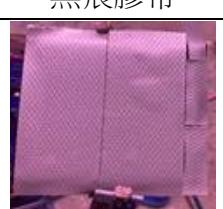
			←左側為透明材質或白色半透明材質
			↓下方為有色材質
			
			

表 20、「太陽能板遭遇不同的表面髒污時，對發電量有影響嗎？」實驗設計表

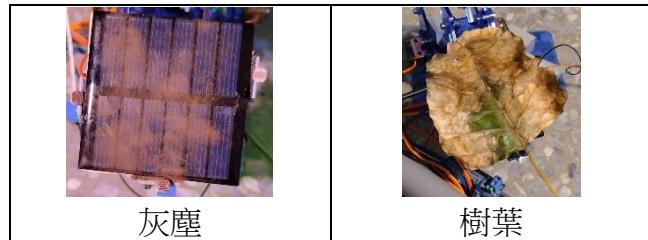


表 21、「太陽能板以不同清潔方式清潔表面髒污，對發電量有影響嗎？」實驗設計表



九、研究五(調整自製太陽光源追蹤器的所在環境，會影響發電效率嗎？)

(一) 觀察及背景知識

每天的天氣因素，都可能影響到太陽能板的發電量。我們想以棉花模擬雲層對太陽光的遮蔽效果；雖然棉花由植物纖維組成，而雲朵主要由大氣中懸浮的微小水滴構成，但棉花的纖維結構，能產生類似的漫射效果，提供相對穩定的遮光模擬。另外，我們打算以吹風機製造溫度差異，比較不同所在環境對太陽能板發電量的影響。

(二) 研究假設

- 1.自製太陽光源追蹤器所處環境，雲層厚度越薄，發電效果越好。
- 2.自製太陽光源追蹤器所處環境，溫度越高，發電效果越好。

(三) 實驗設計

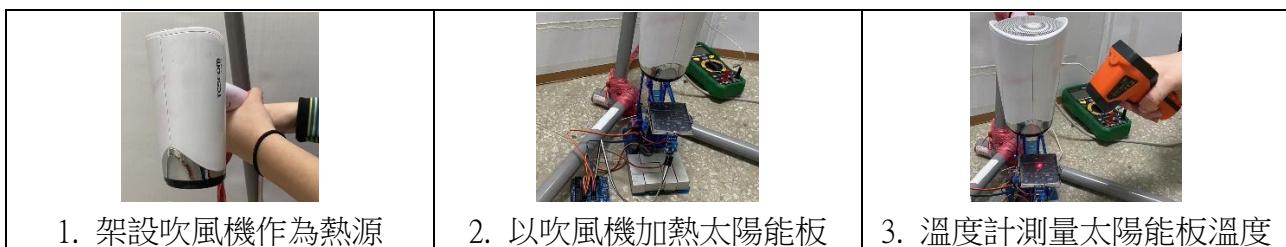
1.「不同雲層厚度的環境條件，對發電量有影響嗎？」在模擬太陽的高亮度 LED 燈上，分別鋪上厚度(1) 1cm、(2) 2cm、(3) 3cm 及(4) 4cm 的棉花，表 22。

2.「不同溫度的環境條件，對發電量有影響嗎？」實驗中，分別以吹風機向太陽能板加溫，製造(1) 20°C、(2) 25°C、(3) 30°C、(4) 35°C、(5) 40°C、(6) 45°C 及(7) 50°C 表面溫度，表 23。

表 22、「不同雲層厚度的環境條件，對發電量有影響嗎？」實驗設計表



表 23、「不同溫度的環境條件，對發電量有影響嗎？」實驗設計表



肆、研究結果

研究一(改良市售 meArm 機械手臂，使其可以作為自製太陽光源追蹤器的穩定底盤)

研究一企圖配置出具有高穩定度且不易傾倒的自製太陽光源追蹤器。

本研究先切割合適面積的飛機木板，並用泡棉膠墊高，使太陽能板附著其上，將 meArm 機械手臂前端夾子改成能乘載太陽能板與光敏電阻的平台。馬達換上更加耐用且馬力也充足的金屬製出力軸 MG90 馬達。最後，使用金屬用膠帶固定鋁塊在底座壓克力板上。**成功改良市售 meArm 機械手臂為具穩定度且不易傾倒的載體，建構自製太陽光源追蹤器**，圖 10。

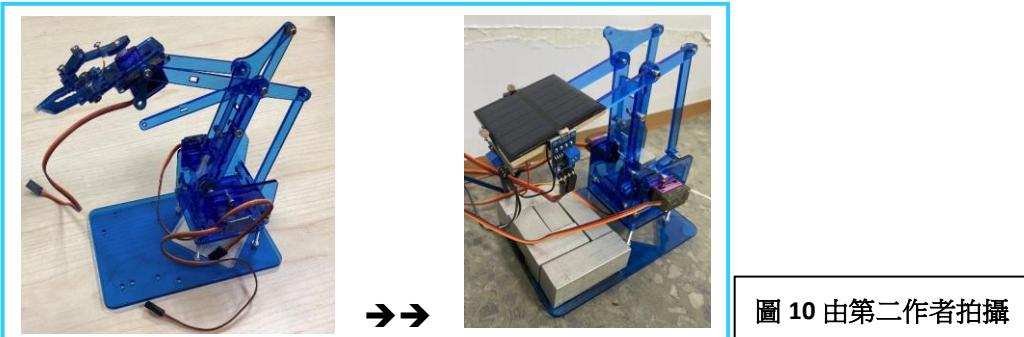


圖 10 由第二作者拍攝

圖 10、本研究成功改良市售 meArm 機械手臂，建構自製太陽光源追蹤器

研究二、太陽的視軌跡能被簡潔呈現嗎？以作者就讀學校為例

研究二企圖找出運用所在地、日期及時間推論太陽運行仰角及方位角的簡潔方式。

我們整理 suncalc 網頁上的數據，並將 2024 全年，每天特定時間，我們學校太陽的仰角及方位角整理成圖 11、圖 12。(正北方為方位角 0°、正東方為方位角 90°，依此類推。)

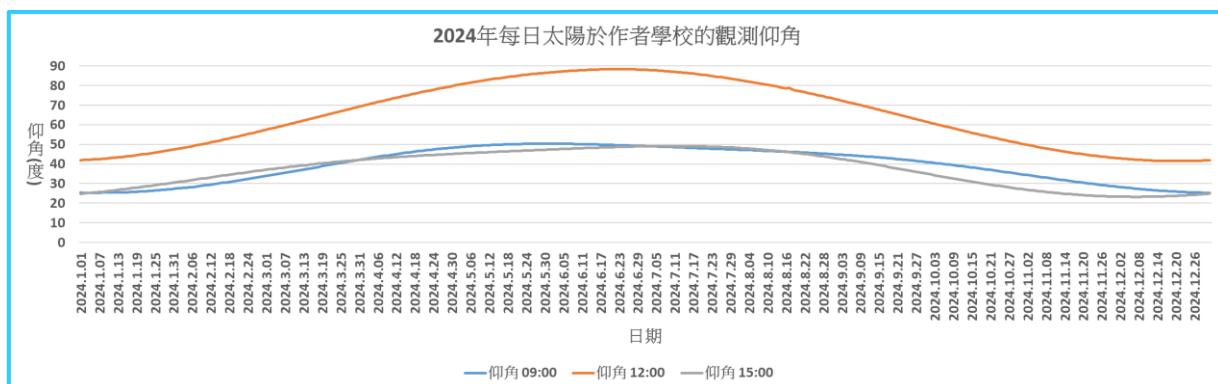


圖 11、2024 年每日太陽於作者學校的觀測仰角圖

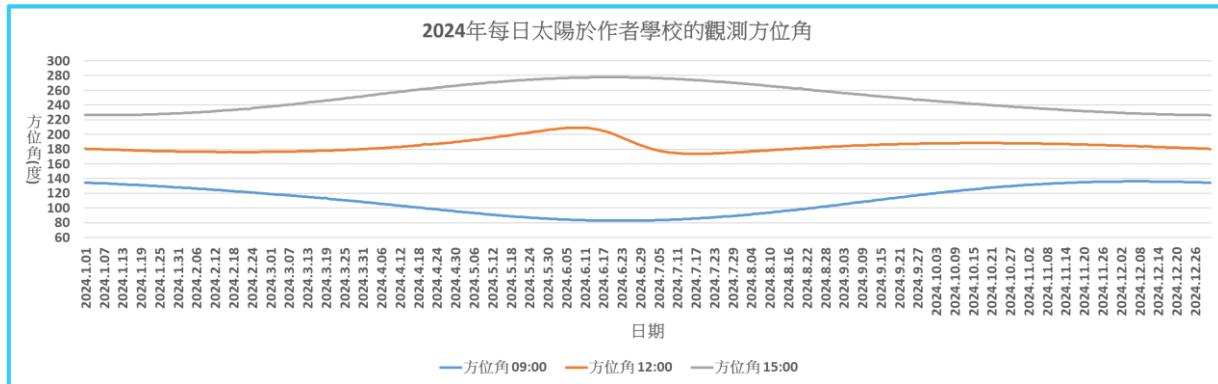


圖 12、2024 年每日太陽於作者學校的觀測方位角圖

我們發現，圖 11、圖 12 大多數曲線類似二次函數，但又非完美的對稱曲線(除方位角 12:00 在 4 月底至 6 月底間，有略微偏西，其餘日期皆逼近正南方的方位角 180°)。又，我們試圖以 excel 預測函數趨勢線，無論以二次、三次或四次函數模式，趨勢線都會在兩個端點明顯偏離實際數據；**直到使用五次函數預測趨勢線，才會有較高的判定係數(R 平方值)。**
但，五次函數作趨勢線，已不符合我們想簡潔呈現太陽仰角與方位角的初衷。

於是，我們思考：數據分析方式可能未能貼切天球上太陽真實的運行軌跡，導致趨勢線預測偏離。我們回想，太陽在春分、秋分正午直射赤道；夏至正午直射北回歸線、冬至正午直射南回歸線。**因此，我們調整春分（2024 年 3 月 22 日）為觀測資料起始點**，將 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 21 日間的數據，放置於 2024 年 12 月 31 日的數據之後。**希望較貼近天球上太陽的真實運行模式：以赤道為中心線，向南、北週而復始**，期待貼近年度視運動的數據分析方式，能獲得較簡單的函數，來描述太陽仰角及方位角等軌跡參數(圖 13、圖 14)。

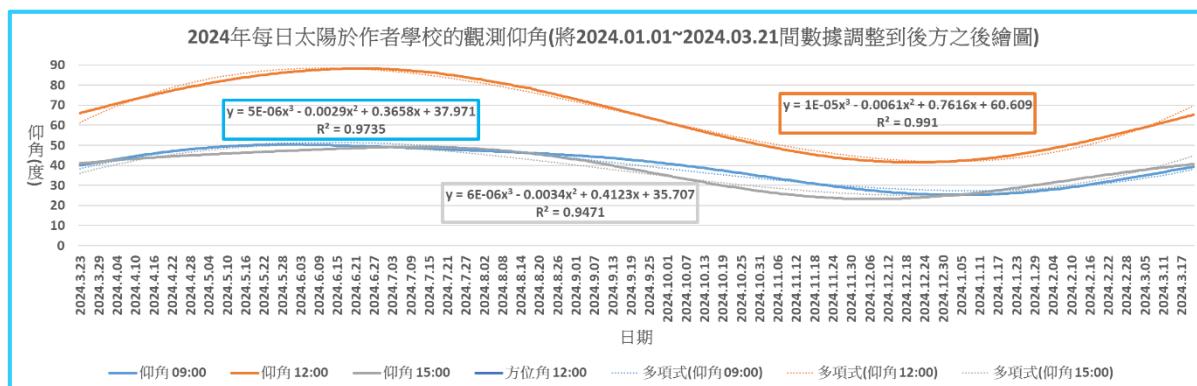


圖 13、2024 年每日太陽於作者學校的觀測仰角圖(以 2024 年 3 月 22 日為繪製起始點)

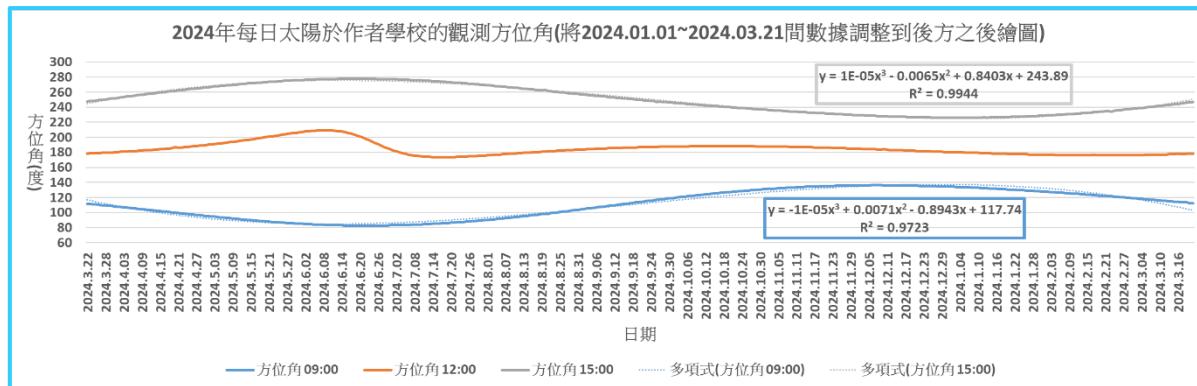


圖 14、2024 年每日太陽於作者學校的觀測方位角圖(以 2024 年 3 月 22 日為繪製起始點)

觀察圖 13 與圖 14，發現除了方位角 12:00 在 4 月底至 6 月底間，有略微偏西，因此導致數據線不是一條可以三次函數作為趨勢線預測的曲線外，其餘仰角與方位角曲線皆能以三次函數進行趨勢線預測，且判定係數(R 平方值)皆能超過 0.94，具有高度相關性。

三次函數曲線具有兩次轉折點的特性，使我們能精確且簡潔地描述太陽仰角及方位角隨時間的動態變化，使自製太陽光源追蹤器能有效地依據太陽位置進行角度調整。

我們將試著結合仰角與方位角的預測趨勢線與研究三至五的自製太陽光源追蹤器研究。

研究三、調整自製太陽光源追蹤器的光敏電阻配置，會影響發電效率嗎？

研究三企圖配置出具有高度追蹤效能的自製太陽光源追蹤器。我們探討太陽光源追蹤器在哪些光源感測器(即光敏電阻)配置條件下，能提高追蹤效能，進而提升發電效率。

(一) 自製太陽光源追蹤器配置不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器配置不同數量光敏電阻對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置 1 個、2 個、3 個及 4 個光敏電阻，發現皆能達到 1.6V 以上的發電電壓量。而且又以配置 3 個光敏電阻時，有最佳的發電電流量。(圖 15、圖 16)。

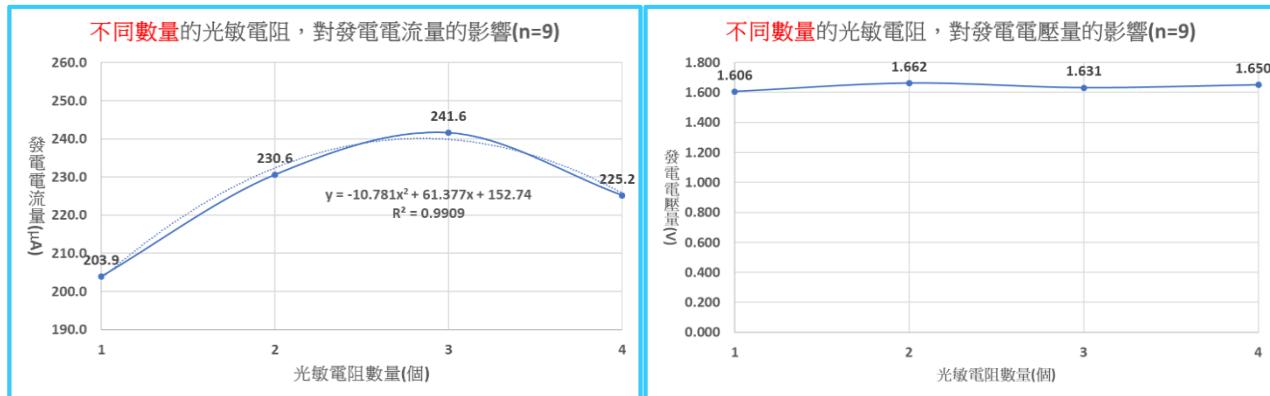


圖 15、不同數量光敏電阻的電流影響

圖 16、不同數量光敏電阻的電壓影響

(二) 自製太陽光源追蹤器配置不同離太陽能板高度的光敏電阻，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器配置不同離太陽能板高度的光敏電阻對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置 0cm、0.5cm、1cm、1.5cm、2cm 與 2.5cm 光敏電阻，發現皆能達到 1.6V 以上的發電電壓量。而且，光敏電阻在距離太陽能板 0cm 至 1cm 間，發電電流量差異不大，距離太陽能板 1.5cm 以上，則發電電流量開始顯著下降(圖 17、圖 18)。

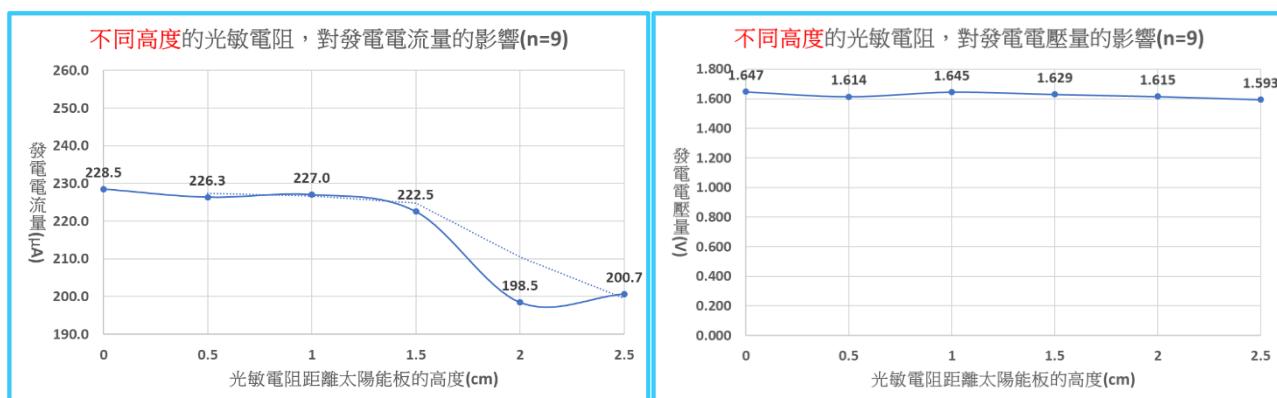


圖 17、不同高度光敏電阻的電流影響

圖 18、不同高度光敏電阻的電壓影響

綜合研究三-(一)(自製太陽光源追蹤器配置不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎?)與研究三-(二)(自製太陽光源追蹤器配置不同離太陽能板高度光敏電阻，對發電量有影響嗎?)，我們接下來的實驗，會在自製太陽光源追蹤器的太陽能板平面上，安置 3 個離太陽能板高度 0cm 的光敏電阻進行。

(三) 自製太陽光源追蹤器配置的光敏電阻，以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器配置不同材質遮光罩的光敏電阻，對發電電流與電壓量的影響。我們分別以有色材質(氣球、雙面膠、布膠帶、CD套)、半透明材質(泡泡紙、護貝紙、無痕膠帶)及透明材質(塑膠片、L夾、透明膠帶及透明資料夾)遮蓋光敏電阻。

我們發現，除氣球作光敏電阻遮光罩時，發電電壓量平均為 1.578V 外，其餘皆能達到 1.6V 以上的發電電壓量，圖 20。

我們發現，**塑膠片及透明膠帶作為光敏電阻遮光罩時，發電電流量能達約 $252.4 \mu A$ ，在我們測試的 11 種遮光罩材質中，能達到最高的追蹤效率，圖 19。**

不過，**追蹤效率與光敏電阻的遮光罩材質是否有色、半透明或透明沒有絕對關聯性。**

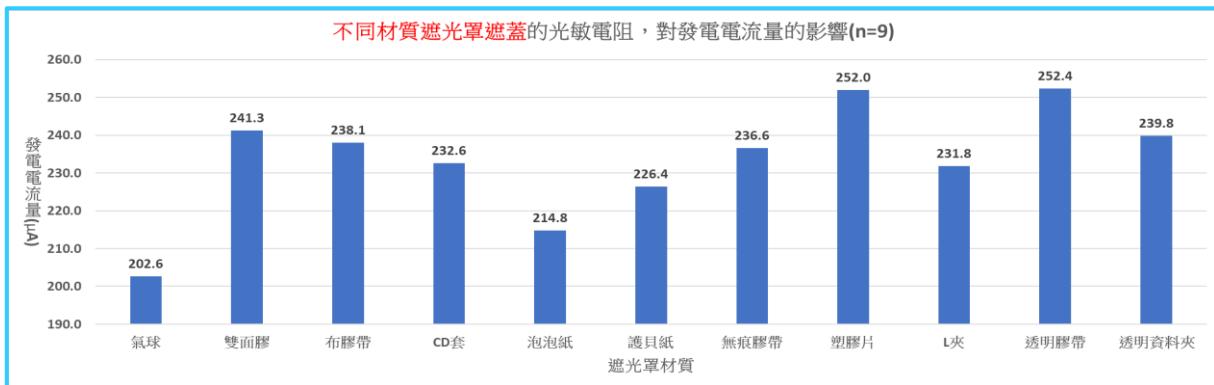


圖 19、不同材質遮光罩遮蓋光敏電阻的電流影響

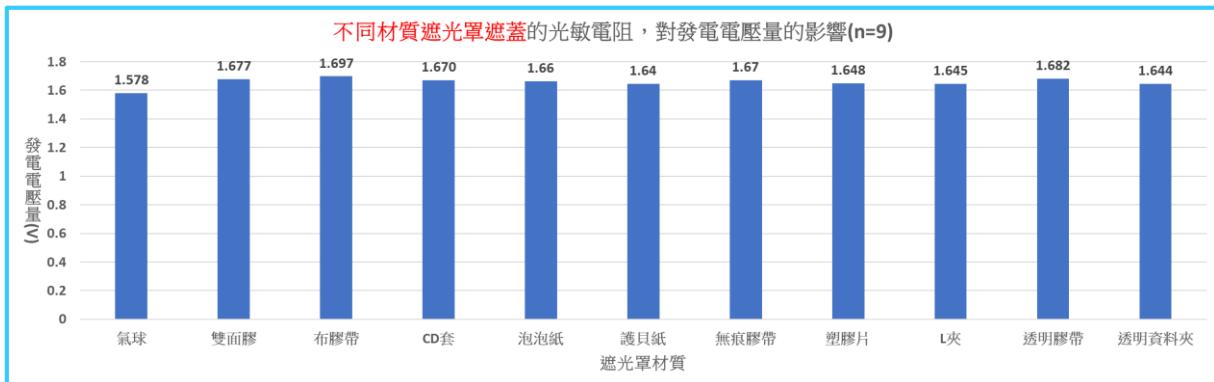


圖 20、不同材質遮光罩遮蓋光敏電阻的電壓影響

研究三企圖配置出具有高度追蹤效能的自製太陽光源追蹤器。我們發現太陽光源追蹤器在配置 3 個光源感測器(光敏電阻)，且離太陽能板高度 0cm 條件下，能提高追蹤效能；遮光罩材質是否有色、半透明或透明與追蹤效率沒有絕對關聯性，但塑膠片與透明膠帶材質不會減損太陽光源追蹤器的發電效率。

研究四、調整自製太陽光源追蹤器的太陽能板配置，會影響發電效率嗎？

研究四企圖配置出具有高發電效率的自製太陽光源追蹤器。本研究討論不涉及太陽能板的材料、結構等，而是希望找出最適合的太陽能板遮光罩材質與清潔方式，提升發電效率。

(一)自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，以不同材質遮光罩遮蓋，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器配置不同材質遮光罩的太陽能板，對發電電流與電壓量的影響。我們分別以有色材質(氣球、雙面膠、布膠帶、CD套)、半透明材質(護貝紙、無痕膠帶)及透明材質(塑膠片、L夾、透明膠帶及透明資料夾)遮蓋太陽能板。

我們發現，有色材質作太陽能板遮光罩，無法達到常態性 1.6V 以上發電電壓，圖 22。

我們發現，無論以半透明或透明材質作太陽能板遮光罩，發電電流量約在 $193.4 \mu A$ 至 $222.7 \mu A$ 間，無法達常態性的 $250 \mu A$ 左右，圖 21；發電電壓量也略受影響，大部分在 $1.58V$ 上下，略低於常態性的 $1.6V$ 以上發電電壓。

綜合以上，在我們測試的 10 種遮光罩材質中，塑膠片作為太陽能板遮光罩能達到約 $222.7 \mu A$ 的發電電流量，在遮光罩遮蓋前提下，具有最高的追蹤效率。

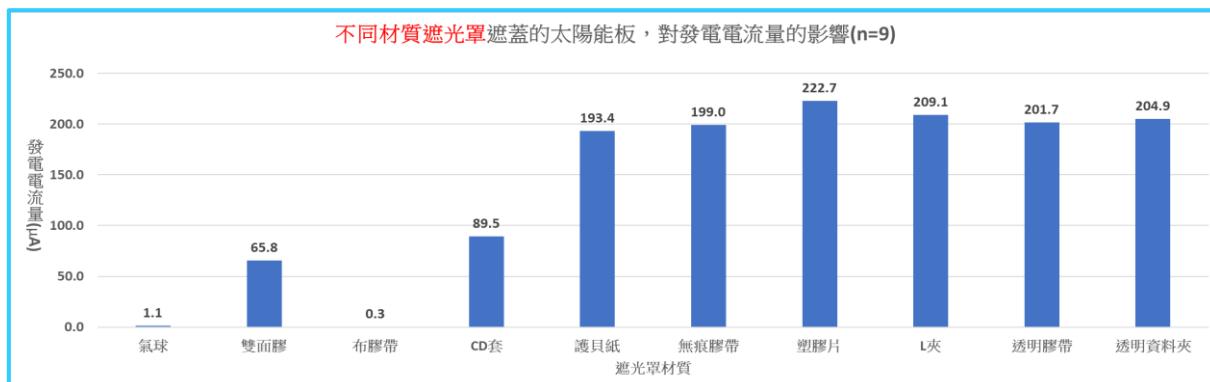


圖 21、不同材質遮光罩遮蓋太陽能板的電流影響

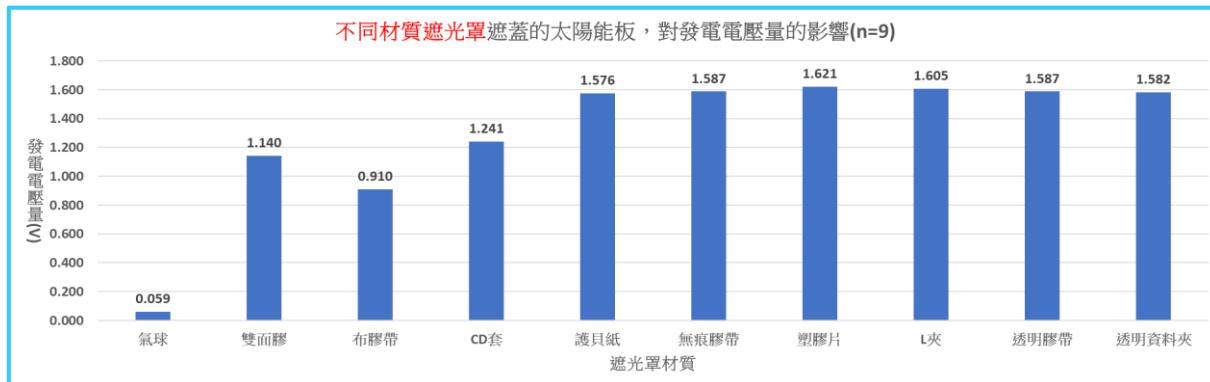


圖 22、不同材質遮光罩遮蓋太陽能板的電壓影響

(二)自製太陽光源追蹤器配置的太陽能板，遭遇不同的表面髒污時，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器的太陽能板，遭遇不同表面髒污對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置遭灰塵髒汙與受樹葉遮蓋的太陽能板，發現受樹葉遮蓋的太陽能板，無法達到常態性的 1.6V 以上發電電壓量。

遭灰塵髒污影響的太陽能板，雖能達到 1.6V 以上的發電電壓量，但僅能達約 $185.2 \mu A$ 的發電電流量，無法達常態性的 $250 \mu A$ 左右(圖 23、圖 24)。



圖 23、不同表面髒污太陽能板的電流影響

圖 24、不同表面髒污太陽能板的電壓影響

(三)自製太陽光源追蹤器配置太陽能板，以不同清潔方式清潔表面髒污，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器的太陽能板，以不同方式清潔表面髒污對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置以衛生紙、濕紙巾、酒精擦與廚房紙巾清潔的太陽能板，發現皆能達到 1.6V 以上的發電電壓量，圖 26。

廚房紙巾清潔表面髒污後的太陽能板，能達約 $240.6 \mu A$ 發電電流量，與常態性的 $250 \mu A$ 左右差異不大。若太陽能板表面髒污狀況下，以廚房紙巾材質進行表面清潔，不失為一個好方法，圖 25。

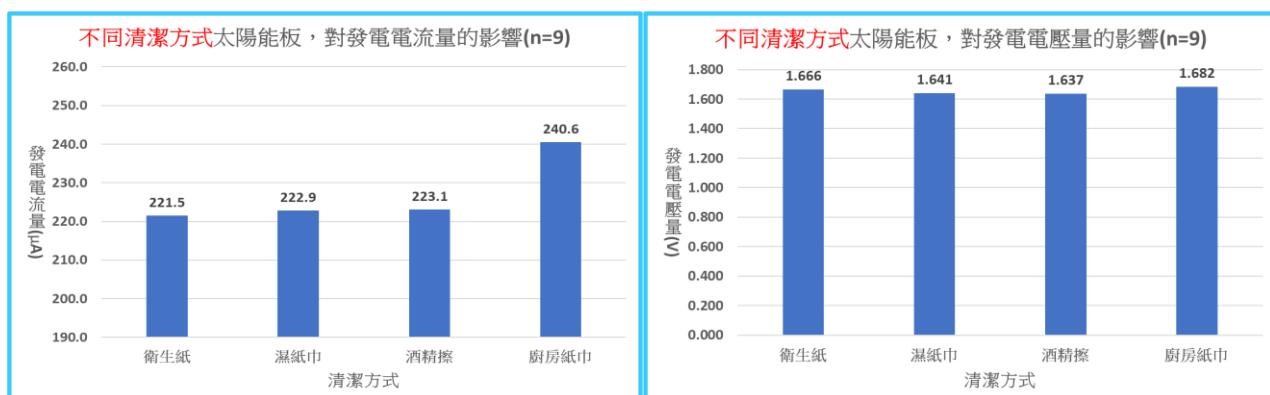


圖 25、不同清潔方式太陽能板的電流影響

圖 26、不同清潔方式太陽能板的電壓影響

研究五、調整自製太陽光源追蹤器的所在環境，會影響發電效率嗎？

(一)自製太陽光源追蹤器處在不同雲層厚度的環境條件，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器的太陽能板，不同雲層厚度條件對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置平均值 1cm、2cm、3cm 及 4cm 的雲層厚度，發現發電電流量約在 31.2 μA 至 79.7 μA 間，無法達常態性的 250 μA 左右，圖 27。

發電電壓量也因雲層厚度而有明顯的差別。模擬雲層的棉花厚度在 1cm 至 3cm 時，發電電壓量降低至 1.0V 至 1.2V 間，無法達常態性的 1.6V 左右；且當棉花厚度達 4cm 時，發電電壓量更下降至 0.9V 以下，圖 28。

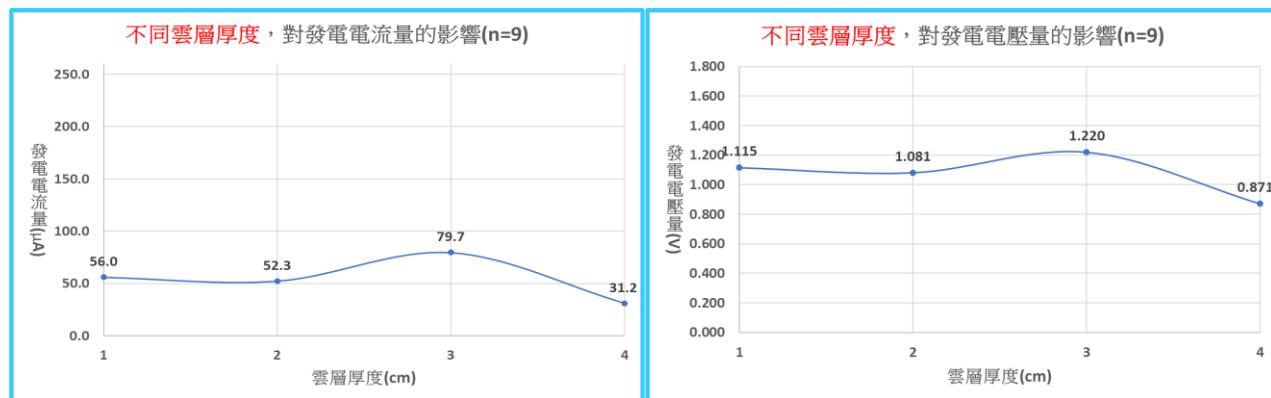


圖 27、不同雲層厚度的電流影響

圖 28、不同雲層厚度的電壓影響

(二)自製太陽光源追蹤器處在不同溫度的環境條件，對發電量有影響嗎？

本研究比較自製太陽光源追蹤器的太陽能板，不同溫度條件下對發電電流量與電壓量的影響。我們分別配置 20°C、25°C、30°C、35°C、40°C、45°C 及 50°C 表面溫度，發現表面溫度在 20°C~25°C 時，發電電流量約為 243 μA ，與常態性 250 μA 左右差異不大，些微發電電流量差別，應來自實驗裝置中，吹風機遮擋了部分光線，圖 29。

但表面溫度在 30°C 時，發電電流量突然發生明顯下降，且在 30°C~50°C 間，發電電流量又差異不大。不過，隨著表面溫度增加，發電電壓量有逐漸遞減的趨勢，20°C 時，還能有約 1.624V 的發電電壓量，但表面溫度 50°C 時，則僅剩平均 1.007V 的發電電壓量，圖 30。

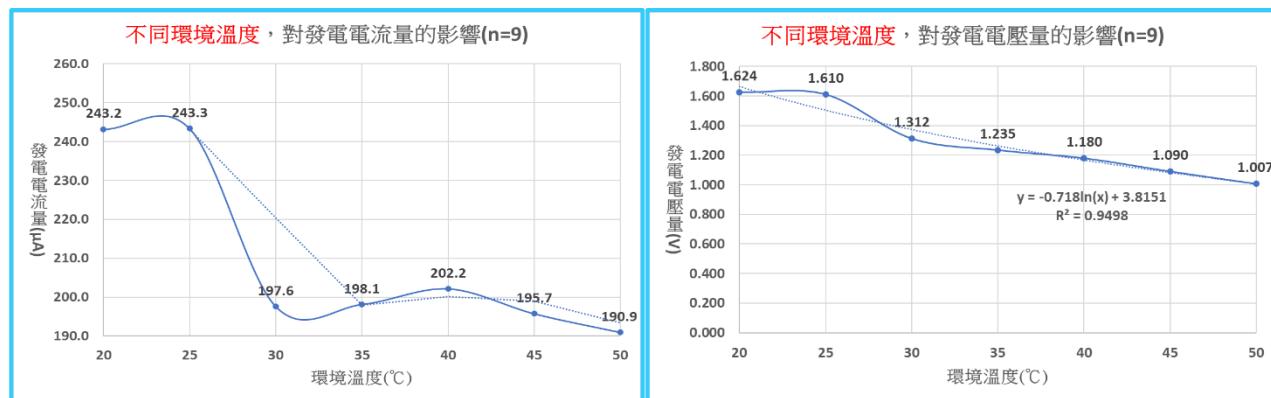


圖 29、不同環境溫度的電流影響

圖 30、不同環境溫度的電壓影響

伍、討論

一、尚未進行自製太陽光源追蹤器製作前，我們有先進行試圖瞭解光敏電阻特性的前導實驗

尚未結合光敏電阻與太陽能板時，我們想先瞭解光敏電阻的特性。我們自製一個能判斷光源射入方向的儀器(俯拍如圖 31)。

發現，**四個光敏電阻放置在四個邊，個別偵測光線強弱，以判斷光源射入方向時，無論有無額外的木色遮光板，都能達到顯著的判斷方向效果**。於是，我們想詳細瞭解光敏電阻的數量或其配置模式，是否能提升自製太陽光源追蹤器的追蹤效能。

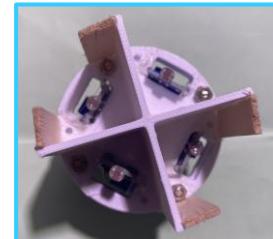


圖 31、偵測儀器俯拍圖

研究一、改良市售 meArm 機械手臂，使其可以作為自製太陽光源追蹤器的穩定底盤

二、更換馬達型號以求輸出效果更佳時，舵機臂也需一起調整，兩者間才能配合運作

為了讓我們的自製太陽光源追蹤器能有理想的旋轉效果，我們決定將原本的 SG90 馬達更換為金屬出力軸的 MG90 馬達，以求輸出效果更佳。改裝過程我們發現，不同型號馬達的舵機臂沒辦法共用，所以**我們必須將舵機臂跟著馬達一起調整，待馬達與舵機臂兩者間可以配合運作後，再安裝上自製太陽光源追蹤器的底部馬達**，開始進行實驗。

三、配重使用的鋁塊難以緊密黏貼在底座壓克力板上，直至以金屬用膠帶解決

實驗途中我們發現，自製太陽光源追蹤器運轉的時候，會因為底部配重過輕，導致歪掉或向前傾倒，讓實驗產生明顯的誤差。我們原本使用熱熔膠固定鋁塊在自製太陽光源追蹤器的底座壓克力板上，但熱熔膠反而跟著鋁塊一起脫落，沒有辦法成功穩固鋁塊。**鋁是金屬，表面較光滑，附著性不高。最後，我們改以金屬用膠帶**，成功在底座貼上增加重量的鋁塊。

研究二、太陽的視軌跡能被簡潔呈現嗎？以作者就讀學校為例

四、我們發現 2024 年初的仰角及方位角數據接在 2024 年尾的數據後方，能出現平滑曲線

我們原先將 2024 全年的太陽仰角及方位角數據直接製圖，進行 excel 函數趨勢線預測。但，未能符合簡潔呈現太陽仰角與方位角的初衷。**於是我們調整數據分析方式，使其更貼切天球上太陽軌跡的真實運行模式：「以赤道為中心，往北往南、週而復始」。**

我們決定以春分日期作為圖形繪製起始點，將 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 21 日間的數據，直接放置於 2024 年 12 月 31 日的數據之後。意外發現，曲線的平滑程度超乎預期。資料蒐集後發現，**太陽在天球上回到相同一點所經歷的時間稱為回歸年，平均是 365.24 天，也難怪，繞了 365 個日子後，太陽能以近似 365 個日子前的運行模式運行著。**

資料重新排序後，我們發現以**具備兩次轉折點的三次函數描繪太陽仰角與方位角隨時間變化的曲線，最能對應一天中太陽視軌跡的階段性變化：上午時段仰角緩升、正午前後增幅趨緩、午後則開始遞減且下降速率逐漸加快**。提供設計自製太陽光源追蹤器的實用依據。

五、地球在橢圓公轉軌道上非以等速率運行，造成時間均差，追蹤器須配對真實的軌跡函數

地球繞太陽的公轉運行軌道近似橢圓形。根據克卜勒行星運動第二定律(等面積定律)，當太陽直射地球南半球時，地球在近日點，公轉運行速度較快；而當太陽直射地球北半球，地球在遠日點，公轉速度較慢。**橢圓形軌道使公轉不斷改變速率，導致太陽每天視運動速率不均等，造成「太陽日正當中的時間」與「標準時間 12:00」出現落差，便是造成時間均差（Equation of Time）的原因之一。**因此，即便上午 9 點與下午 3 點在時間上與 12:00 對稱，太陽的方位角與仰角變化略不對稱，提醒我們自製太陽光源蹤器必須配對真實的軌跡函數，更能提升其在應用上的參考價值。

六、方位角 12:00 曲線在四月底至六月底間不平整，進而發現夏季正午太陽方位角移動迅速

我們發現，正午 12:00 時，太陽所在方位角幾乎都在 180° 左右(逼近正南方)，但四月底至六月底間(夏季)，太陽在正午 12:00 的方位角卻略微偏西(尤其 6 月 9 日，達到 209.22°)。我們更細節觀察 suncalc 網站提供的方位角數據，發現 6 月 9 日 11:55，太陽方位角 180.08° ；然而，5 分鐘內，方位角已經向西變化近 30° ，幅度相當劇烈。我們推論，這是由於**夏季正午前後，太陽仰角接近天頂，其在地平線上的投影變化明顯所致**。進一步文獻搜尋，發現 Nasa 在 1982 年《TDA Progress Report》上的一篇文章"**Rates of Solar Angles for Two-Axis Concentrators**"提及：「較低緯度地區的太陽方位角，正午時變化較快，而在日出和日落時變化較慢。」我們的觀察發現，與以上所述有類似的結論。

研究三、調整自製太陽光源追蹤器的光敏電阻配置，會影響發電效率嗎？

七、在光敏電阻離太陽能板不同高度的實驗，我們發現光敏電阻可能滑落，並試圖改善

自製太陽光源追蹤器運轉後，光敏電阻會有些微滑落，並造成高度誤差的情況。因此，我們每重做一筆數據，會再進行一次高度測量，力求減少實驗誤差。我們同時也思考，如何改善光敏電阻會滑落的問題，於是我們更換成黏性更強且適合凹凸面使用的膠。如果未來，自製太陽光源追蹤器的機構要更完善發展，也會嘗試將光敏電阻直接透過螺絲等工具鎖上。

八、以透明膠帶遮蓋後，光敏電阻反而有更精準追蹤效能，可能和高分子長鏈方向有關

我們一開始預期，光敏電阻沒有被任何遮蓋物遮蓋時，會有最好的追蹤效能。實驗結果卻顯示，以透明塑膠片或透明膠帶作為光敏電阻遮蓋物的發電電流量最大，甚至比光敏電阻沒有遮蓋物時更好，顯見貼上透明塑膠片或透明膠帶後，自製太陽光源追蹤器能更精準追蹤光源方向。第 49 屆全國科展高中組物理科作品-維納斯的惡作劇-偏光形成的色彩現象對膠帶的特質做描述：**透明膠帶是由長鏈狀高分子構成，長鏈方向的折射率與垂直方向折射率不同**(雙折射-方向不同具有兩種折射率)。我們企圖實證具偏光特質的長鏈高分子塑膠貼光敏電阻上時，太陽光源追蹤器能更有效判斷光線入射方向。我們實際透過膠帶看燈光，發現當燈光射入眼球方向，垂直膠帶面時，視線可以清楚看到燈光；但，**當燈光入射眼球方向與膠帶面未完全垂直時，則會有部分反光的現象**。

研究四、調整自製太陽光源追蹤器的太陽能板配置，會影響發電效率嗎？

九、為抵擋灰塵、雨水或其他衝擊，需選擇封裝材質，但實驗過程仍有「形狀」問題待克服

我們探討不同遮光罩材質遮蓋的太陽能板，發電效能是否會有所影響，是為了模擬實際情境中延長太陽能板使用壽命而加裝的額外防護層，可抵擋灰塵、雨水或其他衝擊。**晶矽型太陽能板吸收光譜範圍涵蓋約 300 至 1100 奈米，對可見光與近紅外光的吸收效率最高，遮光罩須能使這些波段的光線穿透，才不會影響發電效能。** EVA 材質（乙烯-醋酸乙烯酯）廣泛應用於太陽能板封裝，正是因為其能保護晶矽晶片，又不妨礙可見光與近紅外光穿透。

實作測試階段，發現遮蓋物的形狀會影響其安裝難度。例如：氣球不像其他覆蓋物能夠平整緊貼在太陽能板表面，經過多次嘗試後，我們決定只保留氣球的上半部分，並且以弧形覆蓋的方式固定氣球，確保其測試結果能用於應用及比較。

研究五、調整自製太陽光源追蹤器的所在環境，會影響發電效率嗎？

十、我們不易有效掌握每個截面的棉花厚度，但控制模擬雲朵的棉花體積，減少實驗誤差

我們希望以棉花模擬雲層，瞭解不同雲層遮蔽狀態下，自製太陽光源追蹤器的發電效率如何？常見雲層種類可分為積雲、層雲與捲雲。棉花的外觀與積雲相似，外型蓬鬆，因此，我們推論其最能模擬自然環境中，遮蔽能力中等的積雲。

然而，想要準確掌握棉花厚度是有困難的，所以我們使用容器，**先確定好我們要抓取的棉花體積，再將棉花黏貼固定到高亮度 LED 燈上，使用尺測量棉花層平均厚度是否符合我們的需要，減少厚度不準確的誤差**(但我們仍無法有效掌握每個截面的雲朵厚度)。

不過，**不同雲層種類有不同的光線穿透度，例如：捲雲的光線穿透度高**。於是我們思考是否存在更適合的透光特性模擬材料。「毛玻璃」(亦稱磨砂玻璃)具有散射與透光效果，能模擬較均勻的雲層遮蔽狀態。此外，半透明纖維材料(具蓬鬆與較高透明度)、可產生折射與擴散效果的透明矽膠或可多層堆疊的薄紗布(呈現不同雲層厚度與立體感)都是可以用於建構模擬更多樣的雲層條件，幫助我們更精準探討雲層厚度與種類對發電效率的影響。

統整討論、應用自製太陽光源追蹤器於 3 月的戶外情境，較固定式太陽能板有較好發電效率

十一、自製太陽光源追蹤器戶外應用，能準確追蹤太陽位置

(一) 統整研究比較自製追蹤器與固定式的發電效能(圖 32)

我們實際在 3 月，將最佳化的自製太陽光源追蹤器應用於約北緯 25°的戶外。**最佳化自製太陽光源追蹤器為實驗組；面朝正南向、25°仰角的太陽能板為對照組**；數位萬用表量測太陽能板的發電電流量與發電電壓量，以推估其發電效率。

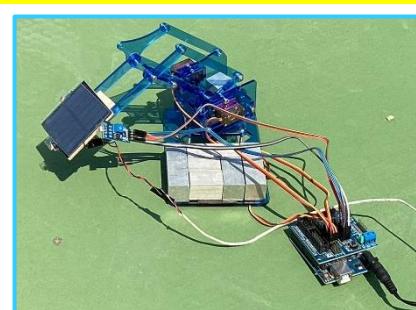


圖 32、戶外應用最佳化的自製太陽光源追蹤器

(二) 統整研究發現，在非中午時段，自製太陽光源追蹤器普遍能達到約 20~40%的效能提升

1. 根據圖 33，接近中午時，發電電流量有提高的趨勢；而自製太陽光源追蹤器的發電效能，普遍優於固定式太陽能板。
2. 根據圖 34，自製太陽光源追蹤器在非中午時段，具有較顯著的發電效能優勢。所能提升的發電電流量百分比，因時而異，但在**非中午時段，普遍能達到約 20~40%的效能提升**。
3. 綜合圖 33 與圖 34，**非中午時段，太陽光照強烈時(如：3 月 21 日 09:10)**，自製太陽光源追蹤器甚至能相較固定式太陽能板提升超過 60%的發電電流量。

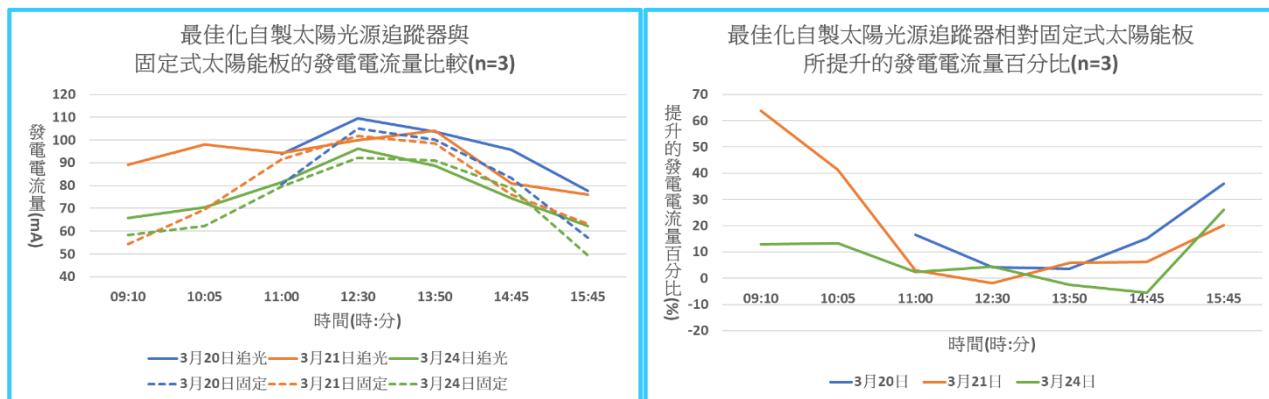


圖 33、太陽光源追蹤器與固定式太陽能板的發電電流量比較圖

圖 34、太陽光源追蹤器相對固定太陽能板所提升的發電電流量百分比圖

(三) 統整研究證實改變太陽能板使用方式，可以提升發電效率；若能結合太陽視軌跡數據與光敏電阻即時追蹤，將有機會更進一步提升太陽能板的發電效能。

當我們以高亮度 LED 燈模擬太陽光進行研究時，我們心中滿滿的困惑，究竟光源追蹤所增加的發電量，是否能超過追蹤器轉向所需的電；**實際應用於戶外時，同一片太陽能板發電電流量提升約 500 倍(從實驗室情境的微安培單位至真實情境的毫安培單位)**，我們意識到，如果我們能有更多時間進行後續研究，是有機會解決內心困惑的，大致朝三個方向：

1. 為提升太陽能板發電效能，我們計畫**延伸研究三至研究五對光敏電阻數量與配置、遮蔽情境的模擬，以及太陽能板遮蓋材質的選擇與搭配進行進一步探討**。我們希望能在不變動太陽能板本體材質的前提下，找出提升發電效率的有效使用方式。期待透過使用方式改善，讓我們的自製太陽光源追蹤器更具應用價值。
2. 我們希望分析更完整的太陽軌跡參數，以減少自製太陽光源追蹤器轉向運作過程的電能耗損。**若追蹤器能更清楚預測太陽在特定季節與時間的移動軌跡與角度變化，就能在較小的光源搜尋範圍內快速定位最強的亮度位置**，減少不必要的轉向次數與幅度，降低伺服馬達的耗電量，更能延長追蹤系統的使用壽命。
3. 圖 33 與圖 34 顯示，中午時段，自製太陽光源追蹤器相較固定式太陽能板沒有顯著的發電效能優勢。因此我們**規劃此時段，直接讓太陽能板固定朝南，減少伺服馬達不必要的轉動；其餘時間，則讓自製太陽光源追蹤器依太陽視軌跡函數進行追蹤，並依據實際光源方向，適度修正**，以同時兼顧追蹤效能與系統發電穩定性。

(四) 我們認為運用市售創客玩具自製太陽光源追蹤器具可行性，且具進一步探討的價值

根據圖 34，自製太陽光源追蹤器在非中午時段，普遍能達約 20~40%效能提升。而且，非中午時段，太陽光照強烈時，更有機會提升超過 60%的發電電流量，搭配儲電裝置及中午時段太陽能板直接固定朝南的使用方式，是存在極高可能性補償甚至超越轉動所需的電能。這表示我們調整市售創客玩具，就有機會製作出發電效能大於轉動所需電能的光源追蹤器。顯示**如果能瞭解更細節的太陽視軌跡函數(我們只追蹤 2024 一年的視軌跡)，能具備更省電的轉動裝置(我們使用市售創客玩具作載體)，及更精準追蹤技術(我們使用一般光敏電阻)，將有機會透過調整使用方式，顯著提升太陽能板的發電量，展現光源追蹤器的經濟價值。**

十二、本研究自製太陽光源追蹤器，期待結合視軌跡與光源追蹤，調整使用方式提升發電量

我們以開發可自行追蹤太陽方位的裝置為目標，尋求透過使用方式改善，提升太陽能板發電效率的可行性。前人科展作品探討的內容，與本研究進一步補充的內容對照如表 24。

表 24、前人科展作品探討的相關內容，與本研究進一步補充的內容對照表

前人科展作品探討的相關內容	本研究進一步補充
【全國科展國中組第 55 屆作品】 《陽仰得意-探討太陽能板擺設最佳角度》 運用仰角與方位角分析太陽方位，並利用太陽仰角、方位角數據的推理運算，找出架設太陽能板的最佳角度。	我們以春分為資料起始點，找出三次函數最能精確且簡潔地描述太陽仰角及方位角隨時間的動態變化。三次函數具兩次轉折點的特性，恰巧呼應太陽在天球上，以赤道為中心，南北週而復始運行。
【全國科展國中組第 59 屆作品】 《真的是 23.5 度嗎？以天文及氣象資料探討固定型太陽能板最佳架設傾斜角》 依據太陽運動軌跡和氣候資料，找出固定式太陽能板最佳架設角度，不一定是 23.5°，且業者實際架設太陽能板角度多小於 10°。	我們同時尋找自製太陽光源追蹤器的可行性及期待結合天文資料，調整太陽光源追蹤器的運行模式。
【全國科展國中組第 55 屆作品】 《太陽運動軌跡與太陽能板最高效益探討》 用藍晒及指南針找整年的太陽移動軌跡，及太陽能板在直射與斜射的發電量不同。陽光直射的太陽能板發電量，比斜射多 31 倍。 夏季近中午高度角最高，軌跡變化最劇烈。	我們改良市售創客玩具，使太陽能板常態性與太陽入射光線保持垂直成為可能。並期待能應用視軌跡數據在自製太陽光源追蹤器，降低機構來回次數的電能消耗。

陸、結論

太陽能發電是台灣近年來極度仰賴的再生能源，但單位的發電價格卻略高，根據經濟部能源署躉購費率，每度太陽能發電約 3.8~5.8 元間，相較風力、水力及生質能等再生能源，每度電的發電成本約 2.1~4.9 元間，價格略高。

我們以開發自製太陽光源追蹤器為目標，企圖透過改善使用方式，提升太陽能板發電效率。我們瞭解，**地球自轉與公轉會造成太陽視運動變化，而太陽在不同時間點的仰角與方位角，對固定式太陽能板的能量接受效率有決定性影響**。我們試圖運用市售 meArm 機械手臂，建構使太陽光入射角度常態性與太陽能板保持垂直的自製太陽光源追蹤器。

我們希望**自製太陽光源追蹤器具有不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質**。於是，我們先改善**自製太陽光源追蹤器的底盤穩定度**，而後以太陽仰角、方位角兩項參數建構軌跡運行模式，成功以三次函數描述學校在不同日期觀測太陽的仰角與方位角，**有望讓自製太陽光源追蹤器能依太陽視軌跡函數進行追蹤，在小範圍裡搜尋最適合的實際光源照射方向，以減少自製太陽光源追蹤器的轉向次數與轉向幅度，降低電能消耗**。

我們以 PVC 硬質水管建構邊長一公尺的正方體實驗場域，以固定光度的高亮度 LED 燈模擬太陽，並以數位萬用表測量太陽能板發出的電流及電壓，藉以判斷發電效率。總整超過 49 種太陽光源追蹤器配置及超過 441 筆實驗記錄，結果顯示：

本研究自製的太陽光源追蹤器，於 25°C 以下的環境溫度，太陽能板可用塑膠片覆蓋，並以廚房紙巾清潔；配置 3 個離太陽能板高度 0cm，以透明膠帶作遮光罩的光敏電阻時，發電效率最佳。

綜合以上，本研究自製太陽光源追蹤器具不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質。3 月進行戶外應用時，**發現自製太陽光源追蹤器於非中午時段，具顯著提升發電量的優勢，普遍比固定式太陽能板提升約 20~40% 的發電效率**。建議使用混合模式：中午時段太陽能板固定朝正南向 25°，非中午時段，則讓太陽能板進行光源追蹤。本研究調整市售創客玩具，成功製作太陽光源追蹤器，期待藉此激盪人們關注提升太陽能發電效率的方式。

柒、參考文獻資料

一、論文、期刊與科展作品說明書：

1. GL55 Series Photoresistor. (2005). CdS Photoresistor Manual, GL55 Series, 1 – 5.
https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf?utm_source=chatgpt.com
2. C.S. Yung and F.L. Lansing (1982, May and June). Rates of Solar Angles for Two-Axis Concentrators. TDA Progress Report,Nasa. 42-70.
3. 許栢豪等，王永富指導 (2009)，太陽能光控節能窗簾，中華民國第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
4. 單開民，陳怡文等指導 (2007)，太陽幫我拉窗簾-環保自動窗簾，中華民國第 47 屆中小學科展展覽會作品說明書。
5. 翁瑋鴻，陳文億等指導 (2006)，超效！太陽能板！中華民國第 46 屆中小學科展展覽會作品說明書。
6. 陳羿瑋等，吳柏菱等指導 (2008)，照過來！看我為太陽能板擺 POSE，中華民國第 48 屆中小學科展展覽會作品說明書。
7. 張玲軒等，林新財指導(2009)，維納斯的惡作劇-偏光形成的色彩現象，中華民國第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
8. 譚丞傑等，黃瓊儀等指導 (2015)，太陽運動軌跡與太陽能板最高效益探討，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。
9. 李聞碩等，張道民等指導 (2020)，真的是 23.5 度嗎？以天文及氣象資料探討固定型太陽能板最佳架設傾斜角，中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
10. 吳柏慶等，余瑞虔等指導 (2015)，陽仰得意-探討太陽能板擺設最佳角度，中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、網路資料：

1. 陳明德 (2016, June)，太陽能光電系統介紹，財團法人環境與發展基金會。
<https://www.edf.org.tw/Documents/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E5%85%89%E9%9B%BB%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E4%BB%8B%E7%B4%B9.pdf>
2. 經濟部能源署(2025)。《113 年度再生能源電能躉購費率》。
https://www.moeaea.gov.tw/ECW/main/Law/wHandEditorFile.ashx?file_id=13110。
3. 施沛宏(2023)。《2022 年再生能源電力成本報告》。工業技術研究院。
<https://km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=Reference&n=7ac03fae025545e69a3b0eff667b6e1f.pdf>。
4. 台灣電力公司(2025)。《各種發電方式之發電成本》。
<https://www.taipower.com.tw/2289/2363/2373/2375/10359/normalPost>。
5. 經濟部能源署(2024)。《112 年發電概況》。
https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=14437。
6. Graham Jones(1955-2025)。What Is the Equation of Time?
<https://www.timeanddate.com/astronomy/equation-of-time.html>
7. 關旻宗等(2023, July)太陽電池封裝材料技術發展趨勢(下)
https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=11229&utm_source=chatgpt.com

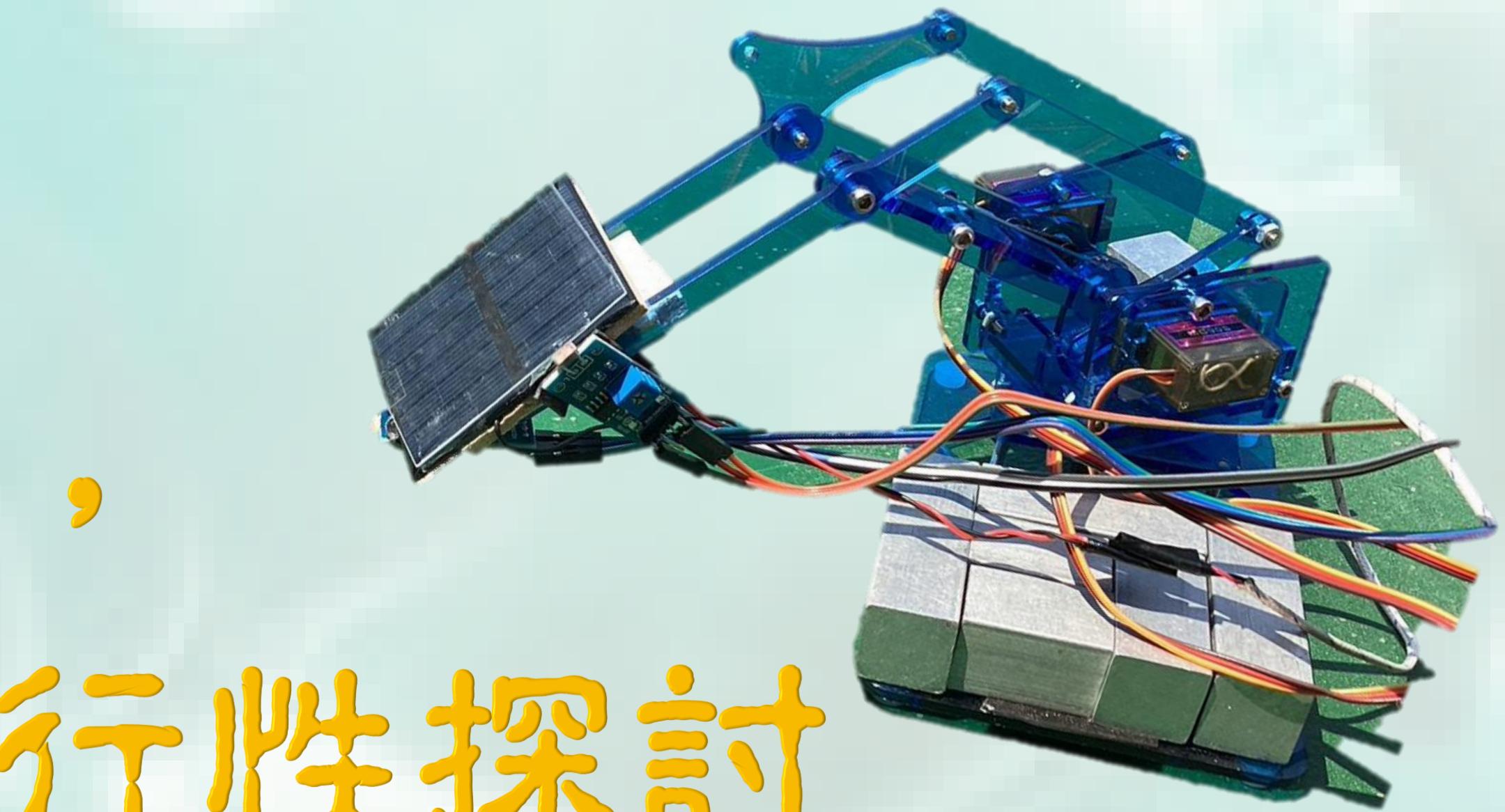
【評語】030503

本研究為永續相關題材，希望藉由設計機械手臂追蹤太陽（輸入太陽軌跡運行）來增加太陽能的發電效率。此研究具手動實作與設計思維，海報具有清晰圖表與圖例，團隊展示海報時清楚簡潔，回答切中綱要，研究成果可能對永續綠能有所貢獻，值得稱許。

作品海報

追光少女

運用市售創客玩具，
自製太陽光源追蹤器的可行性探討



摘要

本研究探討改良meArm機械手臂，自製不易傾倒、效能追蹤及發電效率三特質之太陽光源追蹤器的可行性，期待結合太陽軌跡運行模式與光敏電阻降低轉向電能消耗。我們探討感測器、太陽能板及周圍環境如何影響發電效率。以高亮度LED燈模擬太陽，數位萬用表測量電流及電壓，藉以判斷發電效率。總整超過49種太陽光源追蹤器配置及超過441筆實驗記錄，結果顯示：環境溫度25°C以下，太陽能板用塑膠片覆蓋，並以廚房紙巾清潔；配置3個離太陽能板高度0cm，透明膠帶遮蓋的光敏電阻，發電效率最佳。本研究成功運用市售創客玩具自製太陽光源追蹤器。應用於非中午時段的戶外，可較固定式太陽能板增加約20~40%的發電量，期待藉此激盪人們關注提升太陽能發電效率的方式。

研究動機

太陽能發電是台灣近年來極度仰賴的再生能源，但單位發電價格卻略高。無論風力發電、水力發電或火力發電等，都比太陽能發電的單位成本便宜許多。經濟部能源署的躉購費率，每度太陽能發電約在3.8~5.8元間，高於風力、水力及生質能等常用再生能源，每度電約在2.1~4.9元間。

於是，我們決定以開發可自行追蹤太陽方位的裝置為目標。我們瞭解，**地球自轉與公轉會造成太陽視運動變化，太陽在不同時間點的仰角與方位角，對太陽能板的能量接受效率有決定性影響**。於是，我們決定以科學方法實作，希望運用資訊科技課程的光敏電阻，結合生活科技課程學的meArm機械手臂，製作光源追蹤器，並進一步探討**如何有效使用太陽能板，以尋求透過使用方式改善，提升太陽能板發電效率的可行性**。

研究設計

結合太陽視軌跡與感測器，降低轉向電能消耗

特質	不易傾倒	效能追蹤		高發電效率				
改變標的	機械手臂	光敏電阻		太陽能板		環境		
實驗設計	手臂前端 馬達 底座 重量	數量 1個 2個 3個 4個	離板高度 0cm 0.5cm 1cm 1.5cm 2cm 2.5cm	遮光罩 氣球、雙面膠 布膠帶、CD套 護貝紙、L夾 塑膠片 無痕膠帶 透明膠帶 透明資料夾	表面 髒污 灰塵 樹葉	清潔 方法 衛生紙 濕紙巾 酒精擦 廚房紙巾	雲層 厚度 1cm 2cm 3cm 4cm	環境 溫度 20°C 25°C 30°C 35°C 40°C 45°C 50°C

文獻回顧

- (一) 太陽光入射角度差異，影響單位面積的能量分配
- (二) 到達地面的太陽輻射可分成直射輻射、散輻射與反射輻射；直射輻射是主要的追蹤目標
- (三) 因為地球公轉，同個地點不同季節的正午，會有不同的太陽仰角→**固定式太陽能板難適用所有時間**。
- (四) 因為地球自轉，同地點同一天的不同時間，會有不同的太陽仰角→**建構能調整基準的太陽光源追蹤器**。
- (五) 太陽光源追蹤器必須能移動其太陽能板擺放方位，也必須能夠移動其太陽能板仰角→**使用市售創客玩具**。
- (六) 美國亞利桑那州和新墨西哥州運用天文演算法及光感測器設置追光裝置
- (七) 光電效應指金屬被光照射後，釋放光電子；大於低限頻率的光越強，產生越多光電子。
- (八) 光敏電阻能感測環境光線，作為光強度檢測工具
- (九) 太陽對地球的輻射，可見光與近紅外光佔超過90%
- (十) 自製實驗場域中，我們需找到高光度、高穩定性與光譜全面的燈源模擬太陽→**高亮度白光LED燈最適合**。
- (十一) 晶矽型太陽能板能吸收可見光與近紅外光，藉光電效應，將光能轉變成電能。

研究設備及器材

(一) 製作meArm機械手臂材料

meArm機械手臂板、螺絲、180°馬達、底座配重金屬

(二) 自製太陽光源追蹤器材料

太陽能板、光敏電阻、木頭膠水、木板

(三) 模擬實驗環境所需材料

PVC硬水管、水管接頭與塑膠繩、高亮度LED燈、棉花(模擬雲層)、紅外線式溫度計、吹風機、各式遮光罩材質、各式髒汙與清潔道具、

(四) 執行Arduino程式所需材料

筆記型電腦、Arduino Uno板、Arduino Uno拓展板、連接線、杜邦線、電池盒套件

研究一、改良meArm機械手臂，使其可做為自製太陽光源追蹤器

(一) 觀察及背景知識

1. 套件的夾子，支撐力道略不足，不易旋轉太陽能板至我們所需的方向→**自行切割合適面積的木板**
2. 機械手臂附的馬達是全塑膠製的SG90馬達，無論驅動力或耐用程度都不如出力軸為金屬製的MG90馬達。
3. 機械手臂容易在旋轉時傾倒，加上太陽能板後，更不易維持重心→**以金屬塊增加底座配重，使穩定旋轉**。

(二) 研究假設

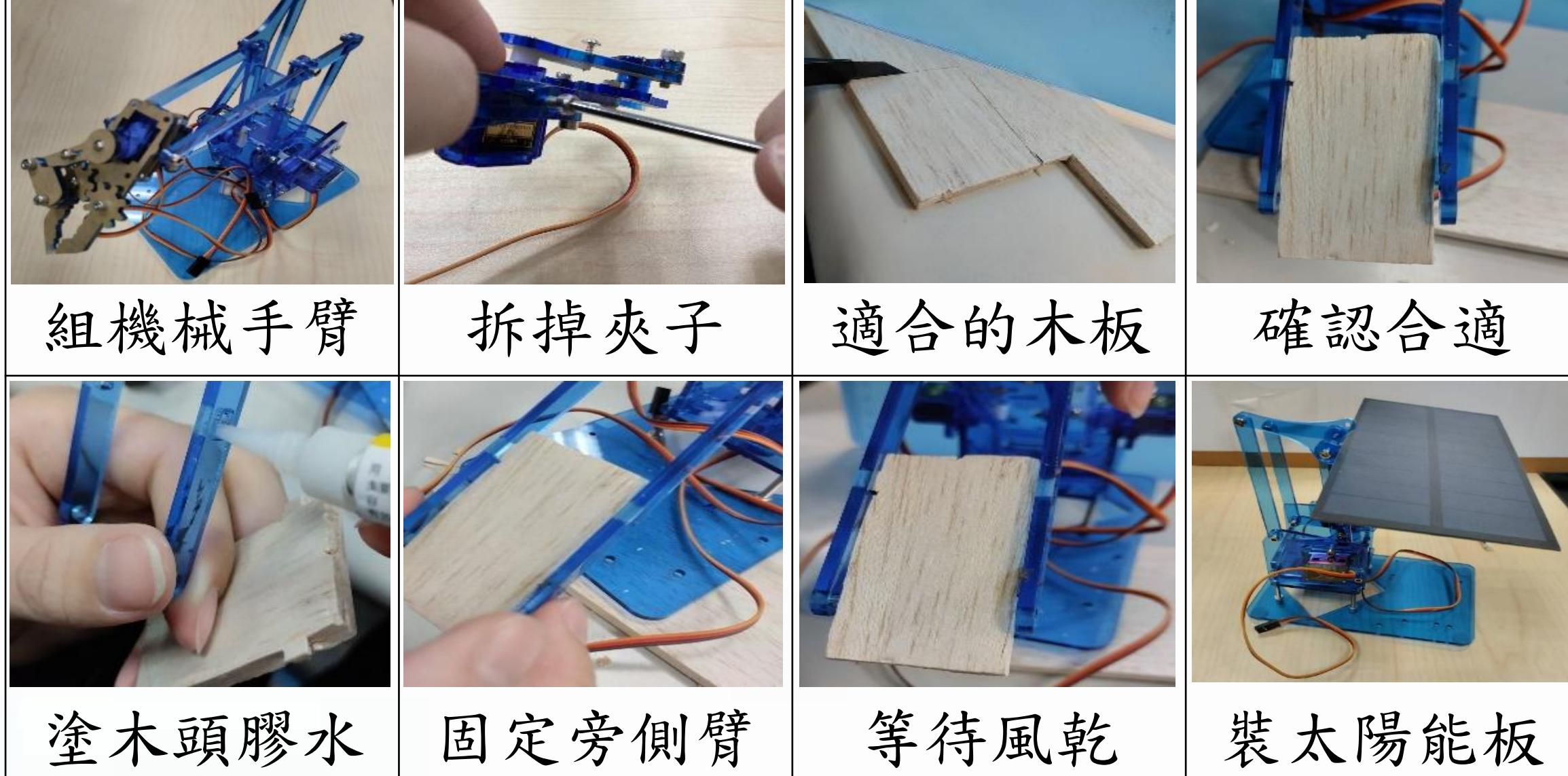
1. 自行切割木板乘載太陽能板能提升支撐物件穩定度。
2. 運用金屬製出力軸MG90馬達能提升其轉動效能。
3. 以鋁塊增加底板配重能提升轉動時的穩定度。

(三) 實驗設計與進行步驟

1. 組裝市售meArm機械手臂



2. 改變meArm機械手臂前端，提升支撐穩定度

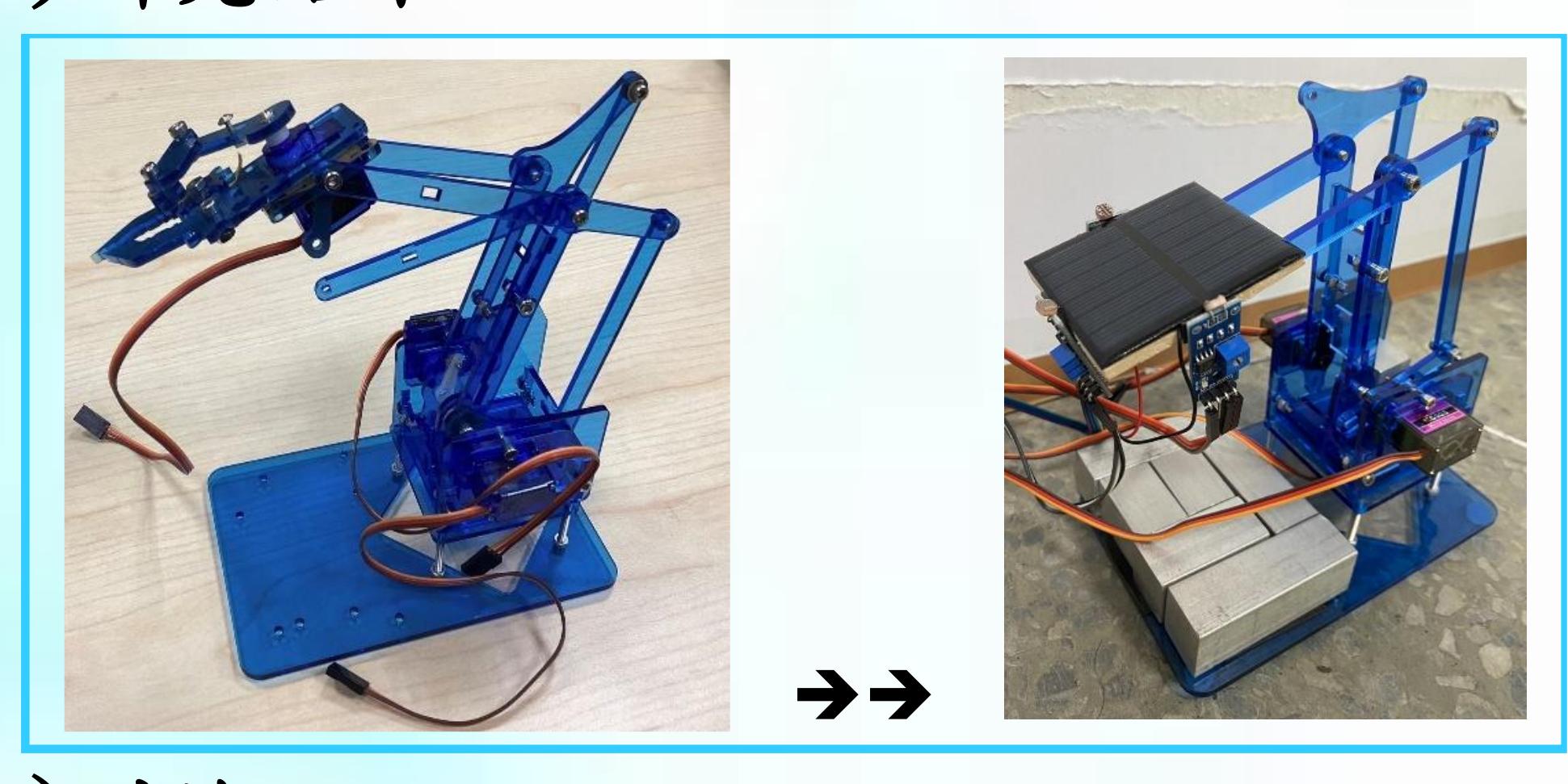


3. 改變meArm機械手臂驅動馬達，提升轉動效能



4. 改變meArm機械手臂底座配重，提升轉動穩定度

(四) 研究結果



(五) 討論

1. 更換馬達型號以求輸出效果更佳時，舵機臂也需要一起調整，兩者間才能配合運作。
2. 配重使用的鋁塊難以緊密黏貼在底座壓克力板上，直至以金屬用膠帶解決。

本件作品比較表格及數據圖表由第一作者製作。

本件作品圖片由第二作者拍攝。

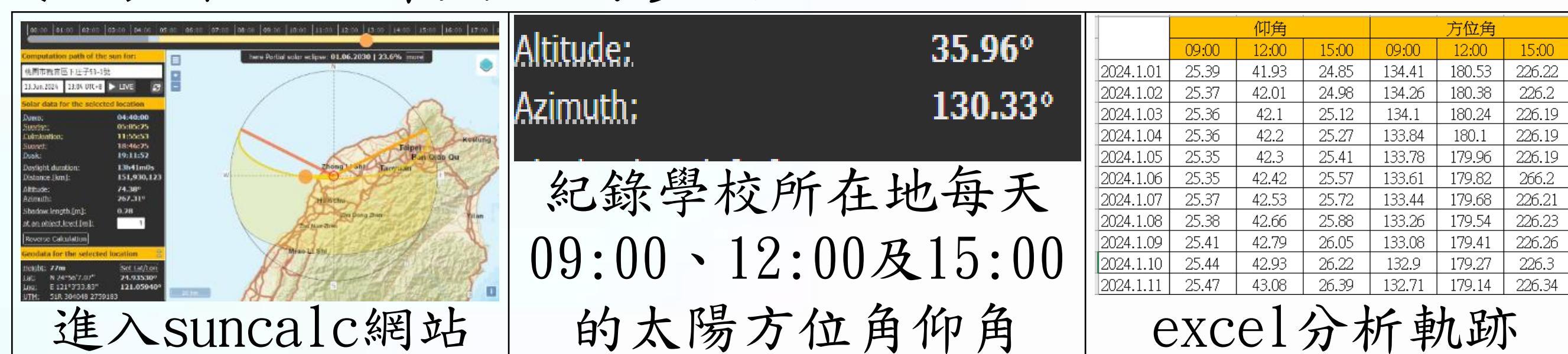
研究二、太陽視軌跡能被簡潔呈現嗎？

(以作者就讀學校為例)

(一) 觀察及背景知識

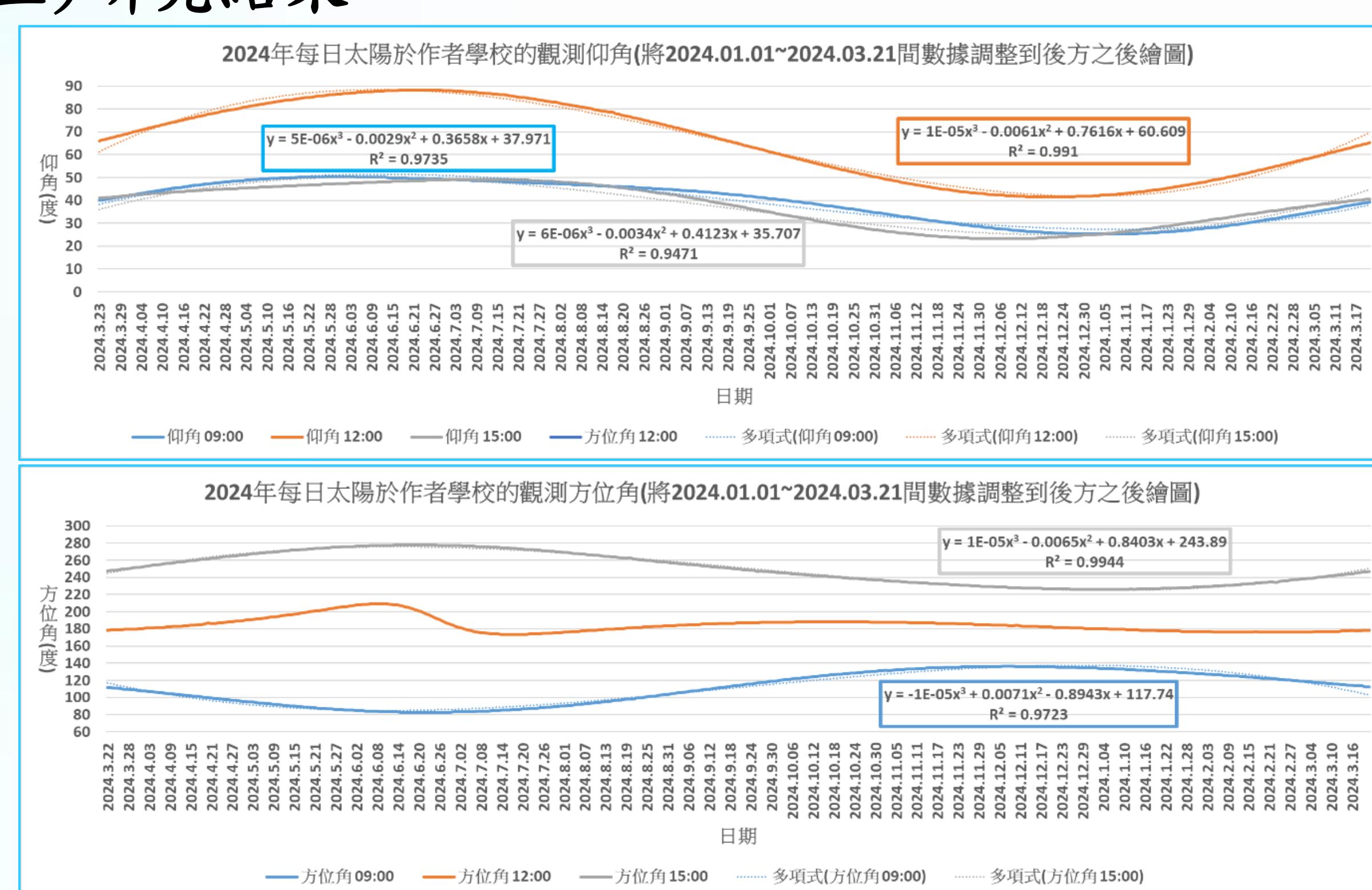
自製太陽光源追蹤器如果每次都進行全範圍的搜索與偵測，會大幅增加轉向的次數與幅度，進而消耗較多電能。

(二) 研究設計與進行步驟



excel分析軌跡

(三) 研究結果

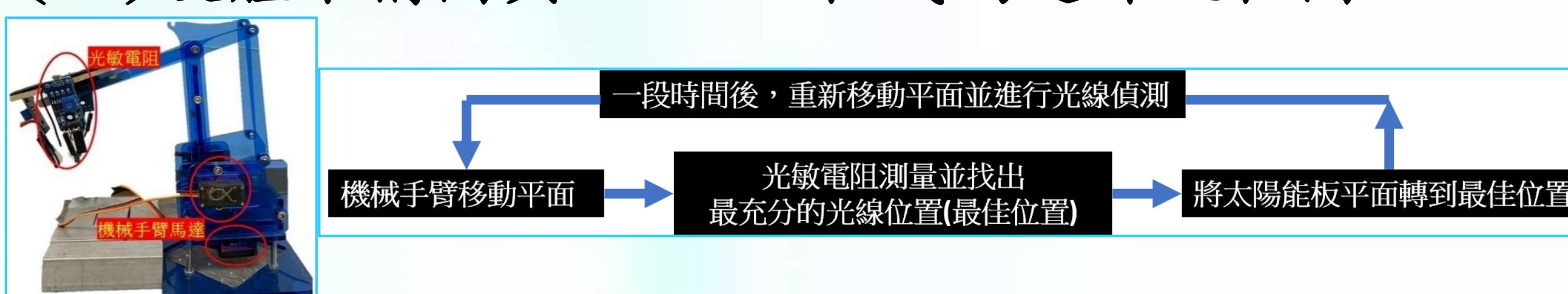


(四) 討論

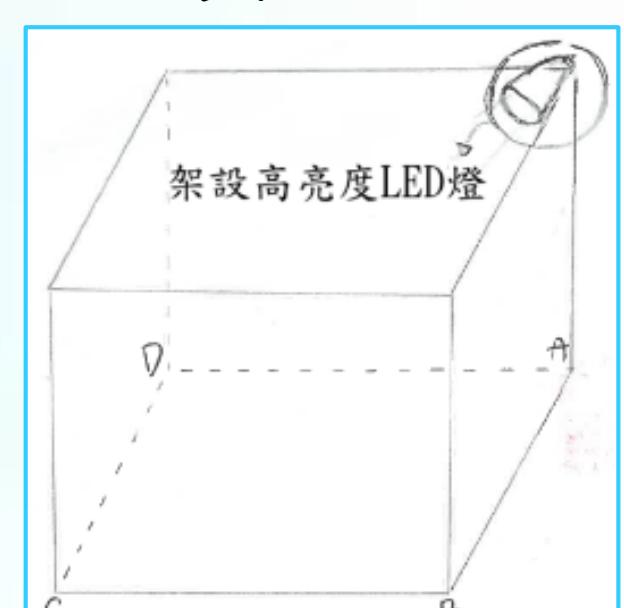
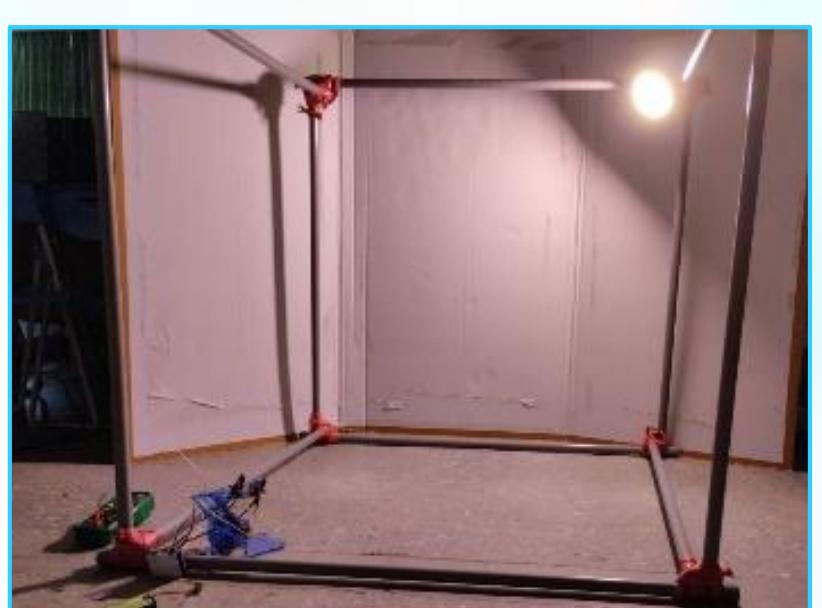
- 我們發現2024年初的仰角及方位角數據接在2024年尾的數據後方，能出現平滑曲線→一個回歸年平均是365.24天
- 地球在橢圓公轉軌道上非以等速率運行，造成時間均差，追蹤器須配對真實的軌跡函數→9點與15點仰角變化略不對稱
- 方位角12:00曲線在四月底至六月底間不平整，進而發現夏季正午太陽方位角移動迅速→太陽仰角影響地平線上的投影

研究三至研究五共同的實驗準備

(一) 硬體架構圖與Arduino程式碼運作流程圖



(二) 研究三至研究五共同使用的實驗進行場域說明



(四) 研究三至研究五共同使用的實驗進行步驟



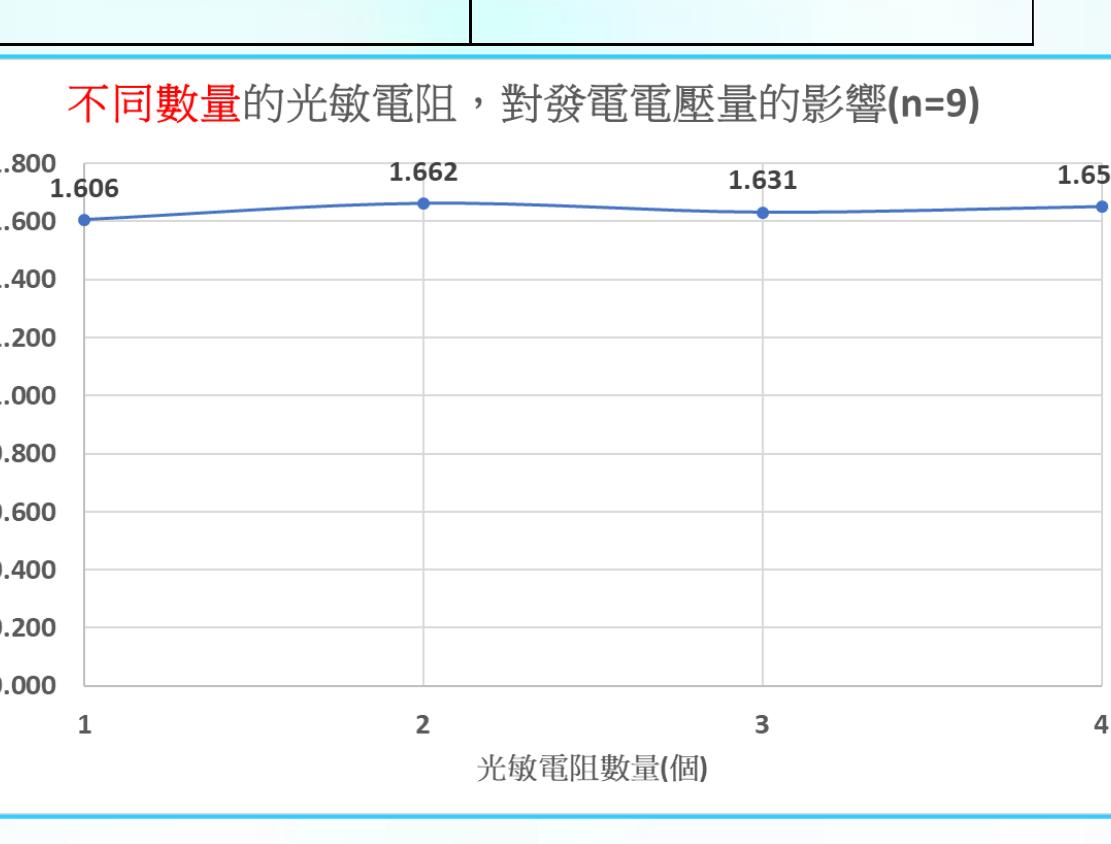
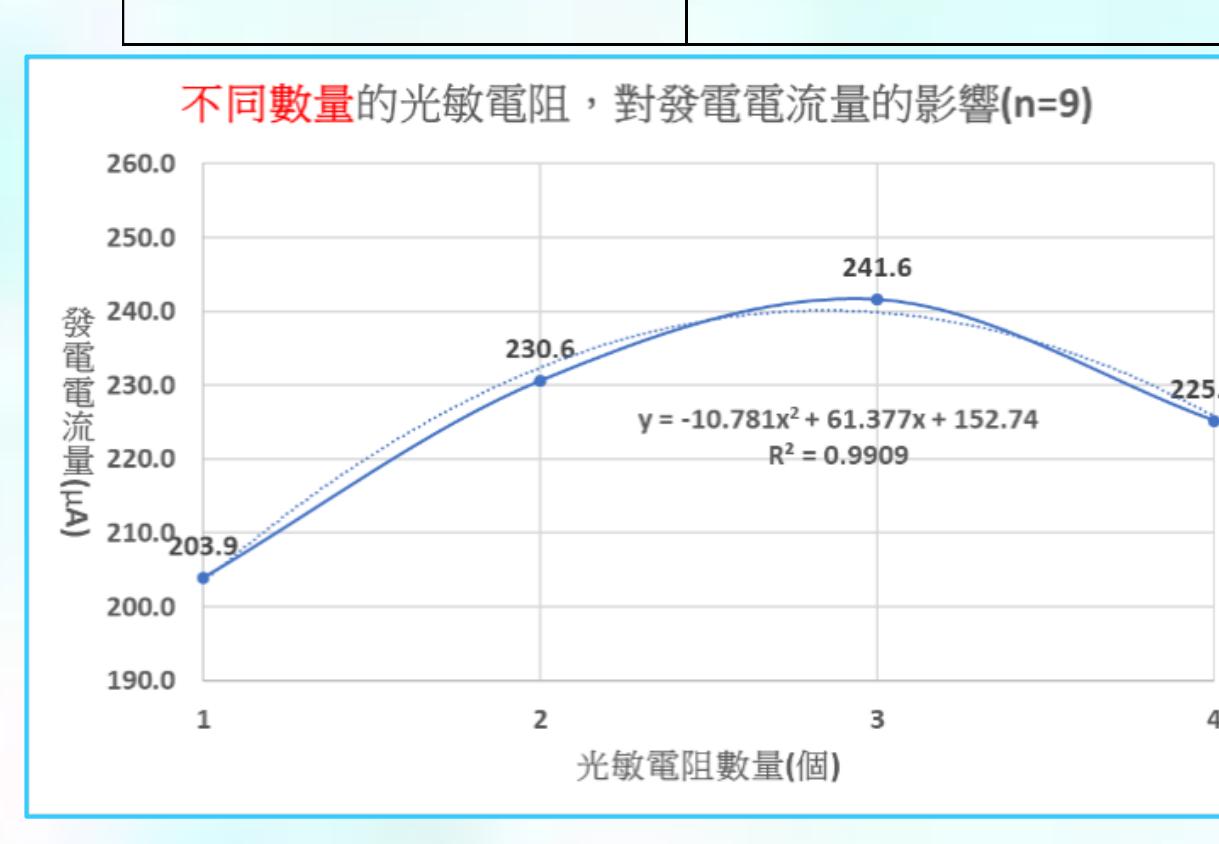
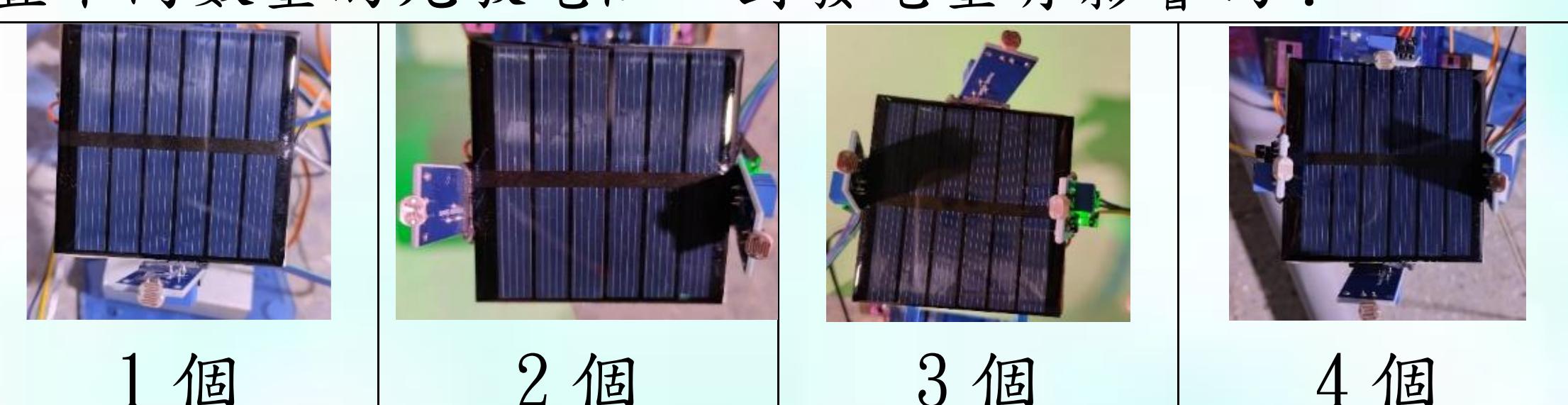
研究三、調整自製太陽光源追蹤器的光敏電阻配置，會影響發電效率嗎？

(一) 觀察及背景知識

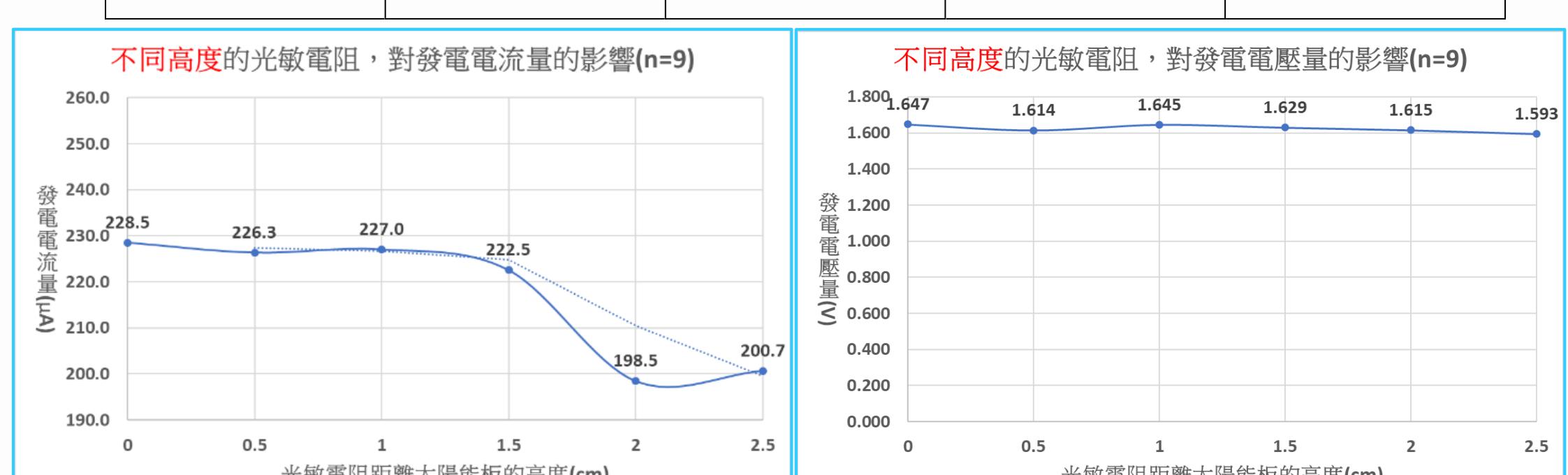
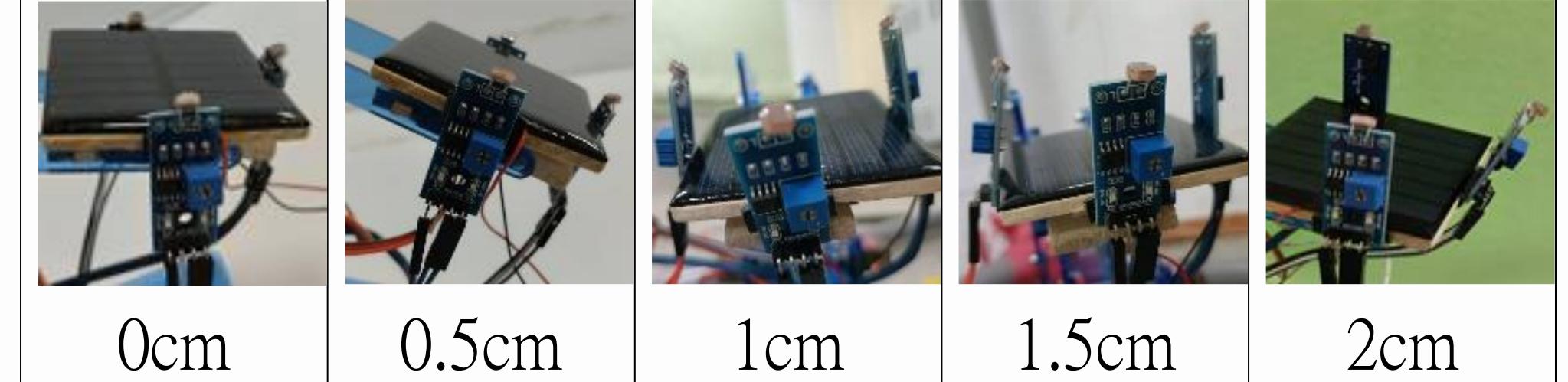
CdS (硫化鎵) 光敏電阻，偵測光譜涵蓋人眼可見光範圍，且其對波長為540奈米的綠光最敏感，與人眼感光特性相近。

(二) 研究假設、實驗設計與研究結果

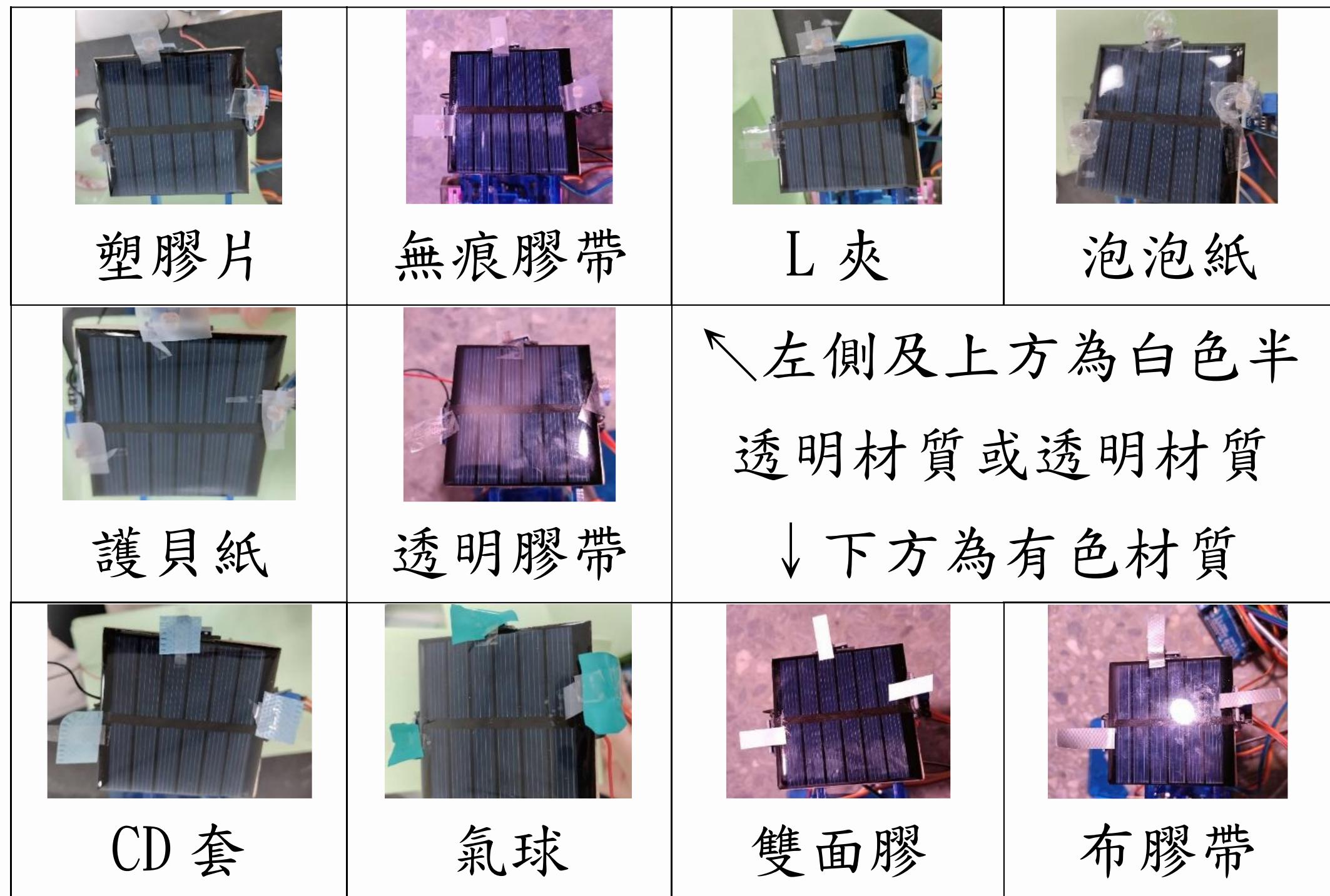
1. 配置不同數量的光敏電阻，對發電量有影響嗎？



2. 配置不同離太陽能板高度的光敏電阻，對發電量有影響嗎？



3. 配置不同遮光罩材質的光敏電阻，對發電量有影響嗎？



(三) 討論

- 在光敏電阻離太陽能板不同高度的實驗，我們發現光敏電阻可能滑落→每重作一筆數據，進行高度測量，力求減少實驗誤差
- 以透明膠帶遮蓋後，光敏電阻反而有更精準追蹤效能，可能和高分子長鏈方向有關→折射率差異使更有效追蹤垂直方向光源

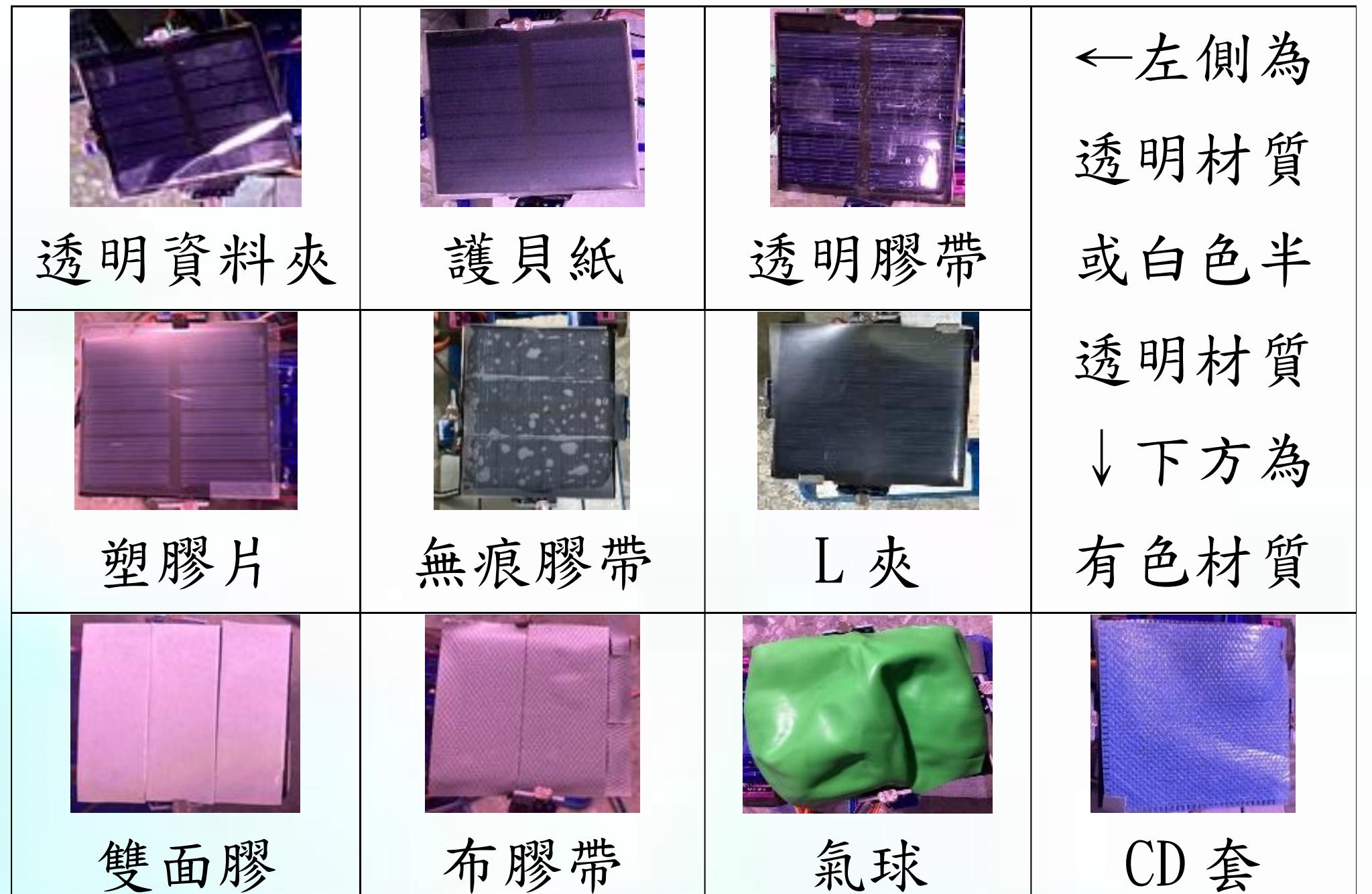
研究四、調整自製太陽光源追蹤器的太陽能板配置，會影響發電效率嗎？

(一) 觀察及背景知識

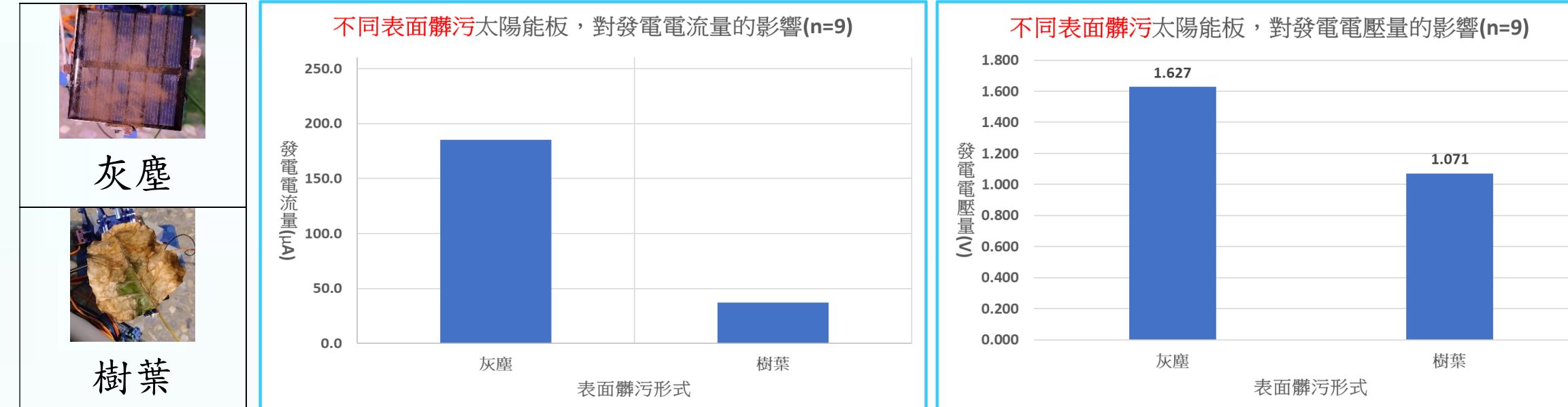
晶矽型太陽能板，吸收光譜波長區間約300至1100奈米，大約是可見光至紅外光的範圍。又，我們使用太陽能板外層主要由**EVA(乙烯-醋酸乙烯酯)**封裝，EVA材料對可見光和近紅外光具高透光性，能保護晶矽，並且不減損光線有效穿透。

(二) 研究假設、實驗設計與研究結果

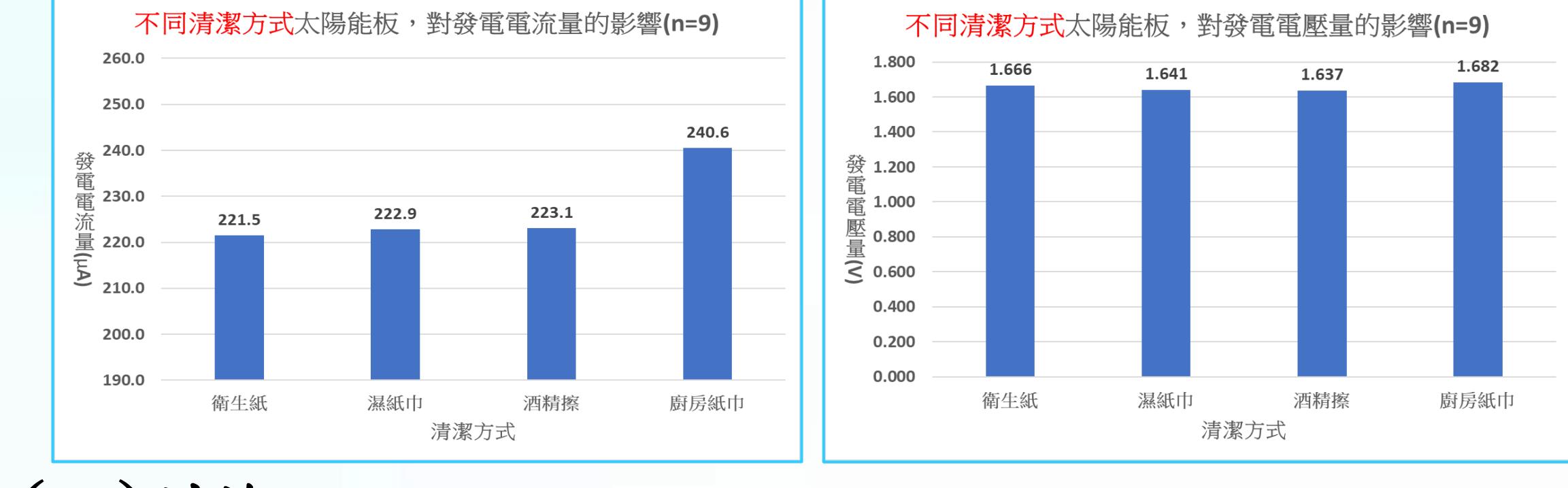
1. 配置不同遮光罩材質的太陽能板，對發電量有影響嗎？



2. 遭遇不同表面髒污的太陽能板，對發電量有影響嗎？



3. 不同方式清潔太陽能板表面髒污，發電量有影響嗎？



(三) 討論

1. 為抵擋灰塵、雨水或其他衝擊，需選擇封裝材質，但仍有「形狀」問題待克服→遮光罩須能穿透這些波段

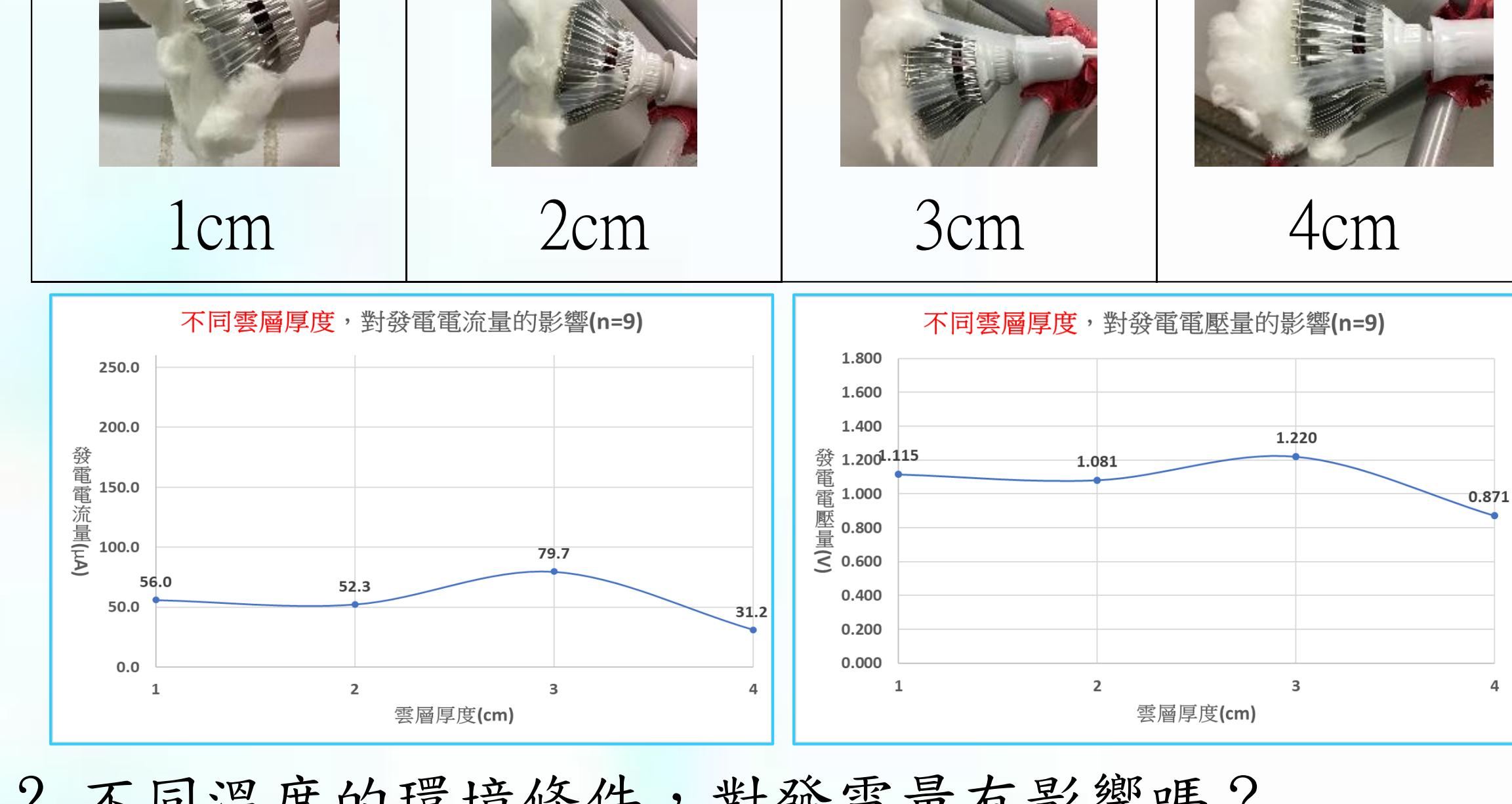
研究五、自製太陽光源追蹤器的所在環境，會影響發電效率嗎？

(一) 觀察及背景知識

我們想以棉花模擬雲層對太陽光的遮蔽效果；雖然雲朵主要由大氣中懸浮的微小水滴構成，但**棉花的纖維結構，能產生類似的漫射效果**，提供穩定的遮光模擬。

(二) 研究假設、實驗設計與研究結果

1. 不同雲層厚度的環境條件，對發電量有影響嗎？



2. 不同溫度的環境條件，對發電量有影響嗎？



(三) 討論

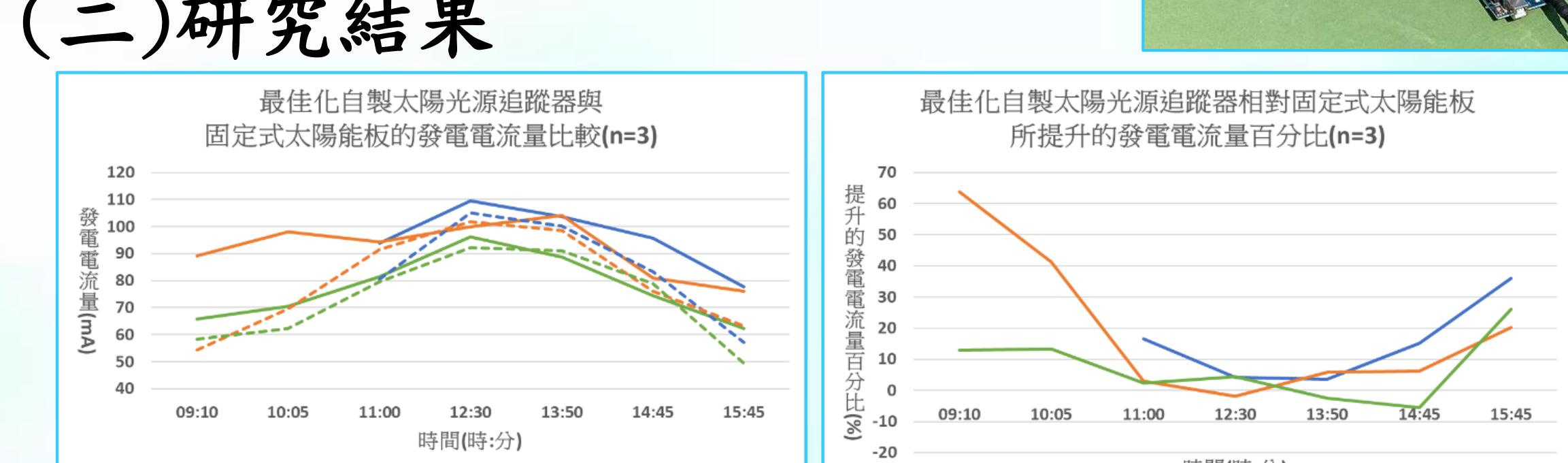
1. 我們不易有效掌握每個截面的棉花厚度，但控制模擬雲朵的棉花體積，減少實驗誤差

統整研究、自製太陽光源追縱器於戶外表現，較固定式太陽板好

(一) 研究設計

實驗組→最佳化自製太陽光源追蹤器
對照組→正南向、 25° 仰角的太陽能板

(二) 研究結果

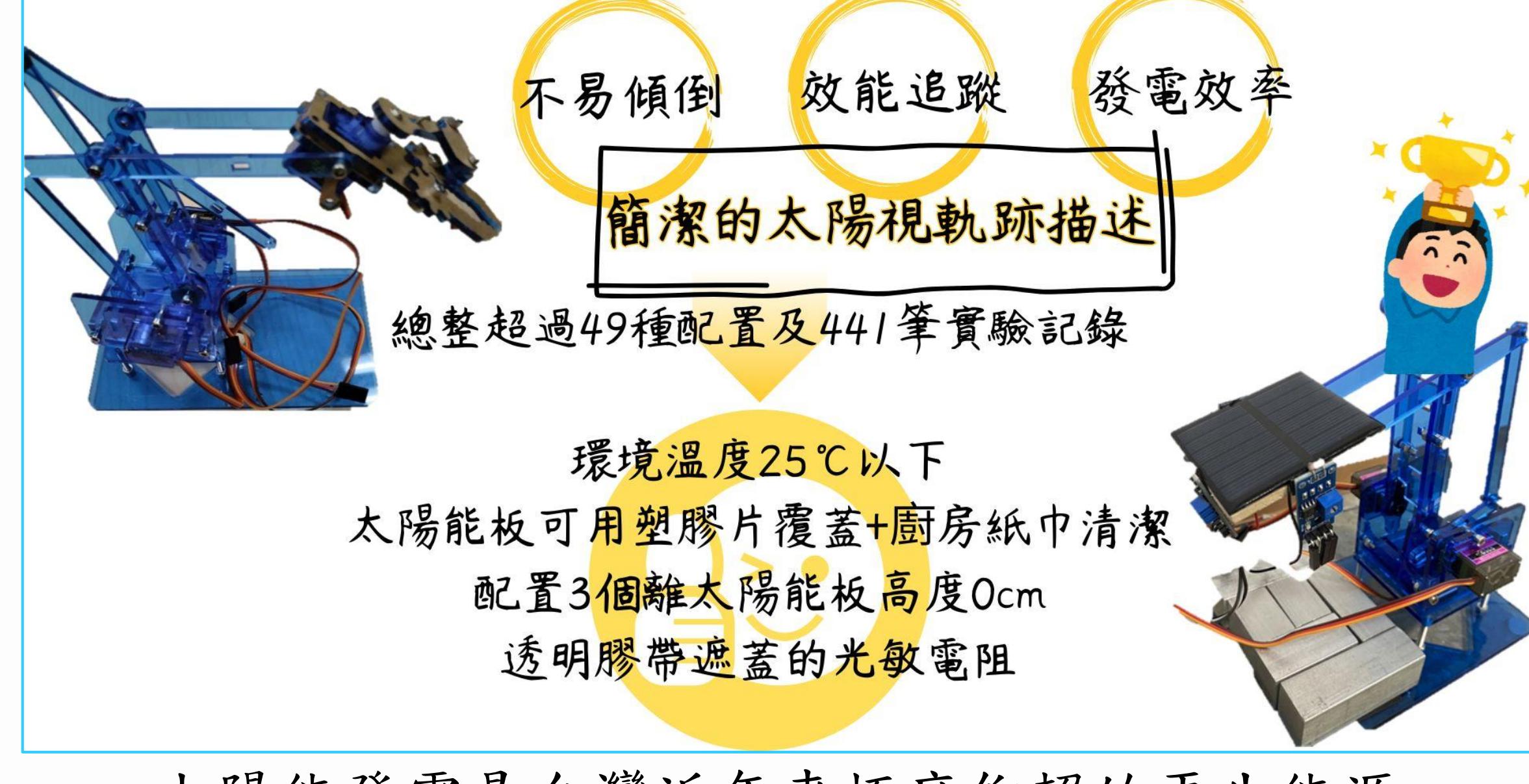


(三) 統整研究之啟發

統整研究證實改變太陽能板使用方式，可以提升發電效率；若能結合太陽視軌跡數據與光敏電阻即時追蹤，將有機會更進一步提升太陽能板的發電效能。

結論

改良市售meArm機械手臂為自製太陽光源追蹤器



太陽能發電是台灣近年來極度仰賴的再生能源，但單位的發電價格卻略高，經濟部能源署躉購費率，每度太陽能發電約3.8~5.8元間，相較風力、水力及生質能等再生能源，每度成本約2.1~4.9元，價格略高。

我們開發自製太陽光源追蹤器，企圖透過改善使用方式，提升太陽能板發電效率。我們瞭解，**地球自轉與公轉會造成太陽視運動變化，而太陽不同時間的仰角與方位角，對固定式太陽能板的能量接受效率有決定性影響**。我們試圖運用市售meArm機械手臂，建構使太陽光入射角度常態性與太陽能板保持垂直的自製太陽光源追蹤器。

我們希望**自製太陽光源追蹤器具有不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質**。於是，我們先改善**自製太陽光源追蹤器的底盤穩定度**，而後以太陽仰角、方位角兩項參數建構軌跡運行模式，成功以三次函數描述學校在不同日期觀測太陽的仰角與方位角，**有望讓自製太陽光源追蹤器能依太陽視軌跡函數進行追蹤，小範圍搜尋光源照射方向，減少自製太陽光源追蹤器的轉向次數與轉向幅度，降低電能消耗**。

我們以PVC硬質水管建構邊長一公尺的正方體實驗場域，以固定光度的高亮度LED燈模擬太陽，並以數位萬用表測量太陽能板發出的電流及電壓，以判斷發電效率。總整超過49種太陽光源追蹤器配置及超過441筆實驗記錄，結果顯示：

本研究自製的太陽光源追蹤器，於25°C以下環境溫度，太陽能板可用塑膠片覆蓋，並以廚房紙巾清潔；配置3個離太陽能板高度0cm，以透明膠帶作遮光罩的光敏電阻時，發電效率最佳。

綜合以上，本研究自製太陽光源追蹤器具不易傾倒、效能追蹤及高發電效率三個特質。3月進行戶外應用時，發現自製太陽光源追蹤器於非中午時段，具顯著提升發電量的優勢，普遍比固定式太陽能板提升約20~40%的發電效率。建議使用混合模式：中午時段太陽能板固定朝正南向25°，非中午時段，讓太陽能板進行光源追蹤。本研究調整市售創客玩具，成功製作太陽光源追蹤器，期待藉此激盪人們關注提升太陽能發電效率的方式。

參考文獻資料

一、論文、期刊與科展作品說明書：

- GL55 Series Photoresistor. (2005). CdS Photoresistor Manual, GL55 Series, 1 - 5. https://www.kth.se/social/files/54ef17dbf27654753f437c56/GL5537.pdf?utm_source=chatgpt.com
- C. S. Yung and F. L. Lansing (1982, May and June). Rates of Solar Angles for Two-Axis Concentrators. TDA Progress Report, Nasa. 42-70.
- 許栢豪等, 王永富指導 (2009), 太陽能光控節能窗簾, 中華民國第49屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 單開民, 陳怡文等指導 (2007), 太陽幫我拉窗簾-環保自動窗簾, 中華民國第47屆中小學科展展覽會作品說明書。
- 翁瑋鴻, 陳文億等指導 (2006), 超效！太陽能板！中華民國第46屆中小學科展展覽會作品說明書。
- 陳羿璋等, 吳柏菱等指導 (2008), 照過來！看我為太陽能板擺POSE, 中華民國第48屆中小學科展展覽會作品說明書。
- 張玲軒等, 林新財指導 (2009), 維納斯的惡作劇-偏光形成的色彩現象, 中華民國第49屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 譚丞傑等, 黃瓊儀等指導 (2015), 太陽運動軌跡與太陽能板最高效益探討, 中華民國第55屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 李聞碩等, 張道民等指導 (2020), 真的是23.5度嗎？以天文及氣象資料探討固定型太陽能板最佳架設傾斜角, 中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 吳柏慶等, 余瑞虔等指導 (2015), 陽仰得意-探討太陽能板擺設最佳角度, 中華民國第55屆中小學科學展覽會作品說明書。

二、網路資料：

- 陳明德 (2016, June), 太陽能光電系統介紹，財團法人環境與發展基金會。<https://www.edf.org.tw/Documents/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD%E5%85%89%9B%BB%E7%B3%BB%E7%8B%F1%E4%BB%8B%E7%B4%B9.pdf>
- 經濟部能源署 (2025)。《113年度再生能源電能躉購費率》。https://www.moeaea.gov.tw/ECW/main/Law/wHandEditorFile.ashx?file_id=13110
- 施沛宏 (2023)。《2022年再生能源電力成本報告》。工業技術研究院。<https://km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=Reference&n=7ac03fae025545e69a3b0eff667b6elf.pdf>
- 台灣電力公司 (2025)。《各種發電方式之發電成本》。<https://www.taipower.com.tw/2289/2363/2373/2375/10359/normalPost>
- 經濟部能源署 (2024)。《112年發電概況》。https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=14437
- Graham Jones (1955-2025). What Is the Equation of Time?<https://www.timeanddate.com/astronomy/equation-of-time.html>
- 關曼宗等 (2023, July)。太陽電池封裝材料技術發展趨勢 (下)。https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=1129&utm_source=chatgpt.com