

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第一名

080825

光電拔河罩得住--指針感應拉鋸電流的追日系統

學校名稱：臺北市士林區天母國民小學

作者： 小五 陳昊廷 小五 莊予睿 小五 高旭亨	指導老師： 羅文杰 洪怡靜
---	-----------------------------

關鍵詞：光源追蹤、光電板、太陽光

得獎感言

相信自己、堅持創意

我們是第一次參加科展，能從校內到市展，一路過關斬將榮獲特優，最後挺進到全國展時才眼界大開，驚覺不像當初所想的簡單。直到頒獎當天，突然聽到「第一名天母國小」的歡呼聲時，我們卻還沒回過神來，腦中不斷的掠過這半年多來做科展的點點滴滴.....

在因緣際會下，中年級的導師洪怡靜老師，帶領我們參與由自然科羅文杰老師所組成的科展團隊。每次，我們都會和不同組，甚至是國、高中的學長、姐，分組做各自的實驗，有時也會跨組互相幫忙，同時學習許多經驗。這時，獲悉太陽追蹤器的發想，其實早在三年前就曾嘗試將兩塊太陽能板，以同極對接的方式相連，當兩片太陽能板光照產生差異，便可在內部產生拉鋸性的電流，利用這種特性，結合光致變色片成功設計出「紫外線偵測器」。

今年我們延續這概念，想應用在太陽追蹤上，原以為很理想，不過，一開始就被羅老師澆了一盆冷水，他認為如果只是在原有的設計上增加精密度，將不會有太大的創意。於是，我們收集相關設計後發現，有的是固定兩片光電板夾角，或透過特定形狀遮罩來控制進光量，但都會受限於靈敏度無法精準追蹤，除非加裝電子 IC 感應輔助，這就須要透過電腦來控制，會不斷的耗電。因此必須要有突破性的做法，才能凸顯我們作品的創意。

接著，在兩位老師的指導下，展開長達半年的摸索，為了要找出精確的數據，經常要反覆做了十幾次實驗，才能從穩定的數據中，歸納最佳的規格。實驗過程雖然辛苦，但是現在回想起這些實驗的變項間，都有相互影響的關聯，這些奇妙的發現，讓我們首次感到有當科學家的 Fu。此外，很難想像連實驗工具與追蹤器材，老師都要求我們自己設計製作，原本我們感到相當疑惑，因為這樣很耗時間，後來在參加市展面對評審「拷問」時，我們竟然能流暢的說出背後設計的原理，當天甚至靈光乍現，進而想出更多創意改良的應用呢！

不過，即使順利進入國展，追蹤器最終版也完成，老師依舊不斷要求找出作品設計的缺失並擬定因應的對策，應該是希望我們在反覆除錯過程中，不要放棄任何可能的機會，直到複審後，我們終於印證「機會總是留給準備好的人」，順利獲得評審一致的好評和青睞。

由半年多以來的科展歷練，讓我們深刻體會到「成果」往往是和「態度」相互影響的，因為很多研究剛開始的時候往往是不起眼的，但在過程中會因為投入的態度而有關鍵的進展，甚至還可能會逆轉比賽結果。感謝兩位老師的費心指導，「全國第一名」的成果，絕不是奇蹟降臨，而是我們「相信自己、堅持創意」的努力結果啊！



團隊成員與指導老師在 57 屆全國科展時合影



自製太陽追蹤器機電組裝與運作整合測試



自製太陽追蹤器實際測試追蹤效能與誤差

摘要

將兩片太陽能板同極對接並改變光照條件，以產生不對稱的光線後，便能在太陽能板之間產生拉鋸性的電流，設計追日旋轉系統：

- 1.利用斜口遮罩外觀配合光柵板的疏密與長度，便能與光線強度產生幾何的關係
- 2.四片兩組(前+後、左+右)光電板，可產生拉鋸電流來控制二維立體的追蹤馬達
- 3.以雙向指針電表作為追蹤控制的切換開關，靈敏度遠優於微型馬達的啟動電阻
- 4.電表開關可控制外部電源啟動追蹤馬達，或切換將光電板發電回充至外部電源

以上組合設計，產生高靈敏度的追蹤效果可適用在平行光(太陽光)與非平行光(散射光)。實測發現：在日照 10000Lux 以上，光線偏斜 10° 以內就能感應產生追蹤效果且誤差在 $\pm 3^\circ$ 以內，相當靈敏且精確。

壹、研究動機

有一天原本是想利用兩塊太陽能板來增加太陽能車的動力，結果車子反而不能動，正當檢查線路時不知怎麼回事，當擋住一塊太陽能板時，車子竟然前進了，可是要是擋住另一塊時，車子卻是後退的，看來電路一定有問題。仔細檢查後發現是把原本應該串連的太陽能板接成同極相連了，難怪會互相抵消。不過有趣的是，要是輪流遮擋其中一塊太陽能板時，車子便會前進與後退，這個發現反而引起我的興趣，想起三年級曾學過光的有趣遊戲，於是我們便提議，這種利用光照不均勻時就能產生動力，直到光照平衡才停止的原理，要是能應用在太陽光的追蹤設計上，一定會很有實用性。

貳、研究目的

- 一、探討利用太陽能板進行光源追蹤能力的設計。
- 二、探討影響太陽能板光源追蹤性能的變項。
- 三、歸納光源追蹤變項間的相互影響。
- 四、利用變項間的相互影響提升光源追蹤的效能。
- 五、利用太陽能板光源追蹤的特性設計實用的應用工具。

參、研究設備及器材

一、太陽能板追蹤實驗組

(一)角度法追蹤實驗：太陽能板、壓克力支撐架、量角器、鹵素燈

(二)遮罩法追蹤實驗：太陽能板、壓克力支撐架、量角器、黑色厚紙板、鹵素燈

二、雙軸太陽追蹤器

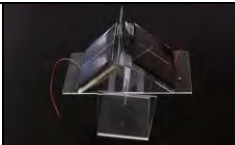
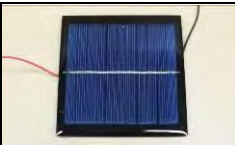
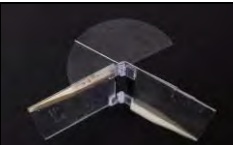
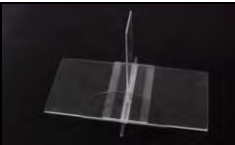

(一)雙軸旋轉追蹤架構：旋轉追蹤框架、傾斜追蹤板、太陽能板座、追蹤遮罩、旋轉台基座

(二)雙軸旋轉追蹤機電：太陽能板、減速馬達、馬達固定座、轉向齒輪、雙向指針形電表、電池座、電流切換開關

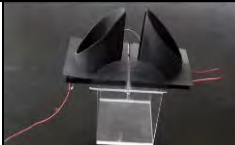
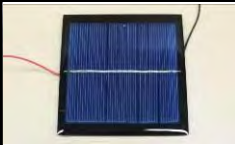


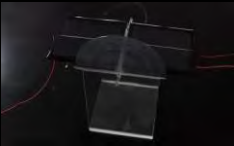
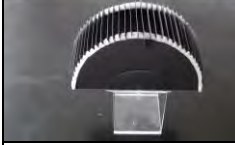
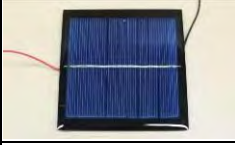

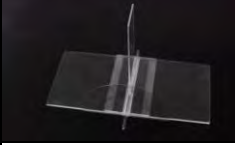
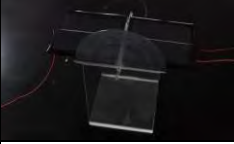
三、實驗儀器：三用電表、光照計、鹵素燈、量角器、太陽位置觀測器

四、研究器材照片




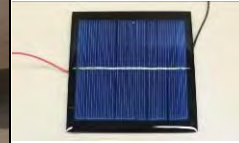




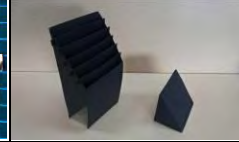
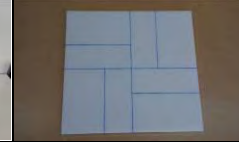




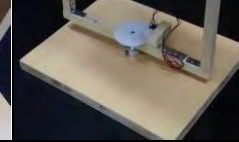
(一)角度法追蹤實驗器材

光電板夾角追蹤					
	完成組裝	太陽能板	夾角調整座	支撐架	傾角調整座





(二)遮罩法追蹤實驗

煙囪形遮罩追蹤					
	完成組裝	太陽能板	煙囪斜度遮罩	煙囪高度遮罩	傾角調整座
半圓形遮罩追蹤					
	完成組裝	太陽能板	半圓形遮罩	支撐架	傾角調整座

(三)雙軸定向傾斜追蹤

機電部分					
	減速馬達	塑膠齒輪	馬達固定座	太陽能板	電池盒
線路控制					
	電表開關	雙向迴路控制	銅片	追蹤遮罩	遮罩固定板
追蹤架構					
	傾斜追蹤架	旋轉追蹤架	追蹤固定架	傳動齒輪	追蹤台底座

(四)實驗儀器

				
	三用電表	鹵素燈	光照計	太陽角度觀測器

肆、研究過程與方法

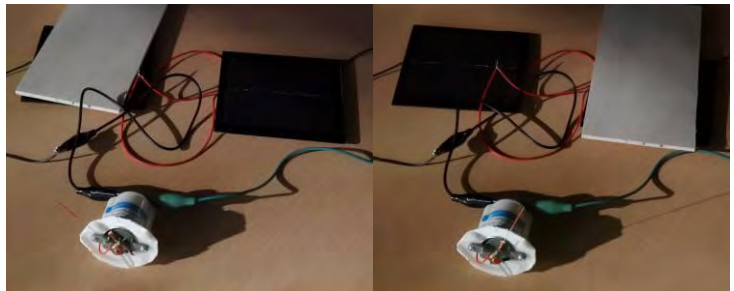
一、器材製作流程與實驗定義

(一)組裝實驗所需的太陽能板：

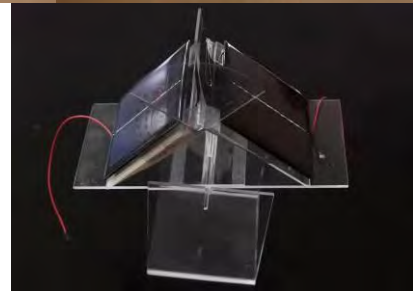
- 1.將兩塊太陽能板以反串聯的方式連接，並接上三用電表後，以鹵素燈(500W)照射測試。
- 2.為確定光線是否直射，便以 10cm 長的木條豎立在太陽能板四周，調整鹵素燈高度，直到影子消失。



- 3.當兩片太陽能板同時照光時，電壓、電流皆為零，但當輪流遮住其中一塊時，電壓、電流呈現強度相同但正負相反的結果。



(二)設計太陽光照角度模擬架：利用翹翹板改裝模擬各種光照角度，同時避免受光角度改變時產生距離的改變。



(三)組裝光電板夾角支撐架：將兩塊要測試的太陽能板，固定在可調整不同夾角的支撐架上，並用量角器測量夾角。

(四)設計光電板遮罩：

- 1.斜口煙囪形遮罩：將兩片太陽能板平放，在上方放置以黑色厚紙板製成的不同半徑、高度與煙囪口斜度的遮罩。
- 2.半圓光柵形遮罩：將兩片太陽能板平放，在上方放置以黑色厚紙板製成的不同光柵開口寬度與間隔的遮罩。



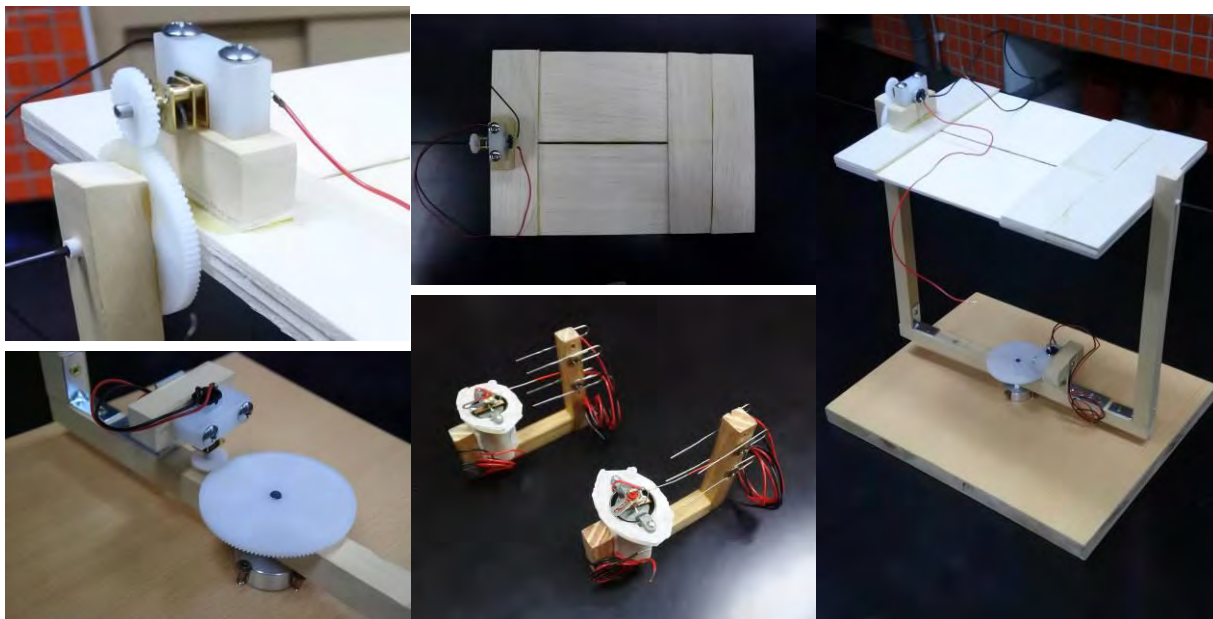
(五)設計追蹤結構：

- 1.電路與機械結構設計：將兩片太陽能板以反串連的電路連接，並蓋上最佳化的太陽追蹤遮罩後，串聯一顆改裝過的電表，並將指針設計成一個雙切開關，來控制減速馬達的轉動方向，此時便可根據兩片太陽能板電流的差異，讓左、右擺動的電表指針來控制馬達正、反的轉向。



2.雙軸追蹤機械設計：將電表改裝後的微電流控制開關連上減速馬達，便能帶動裝有齒輪轉向控制設計的太陽能板追蹤基座，如此便完成太陽追蹤機電結構的基本設計。

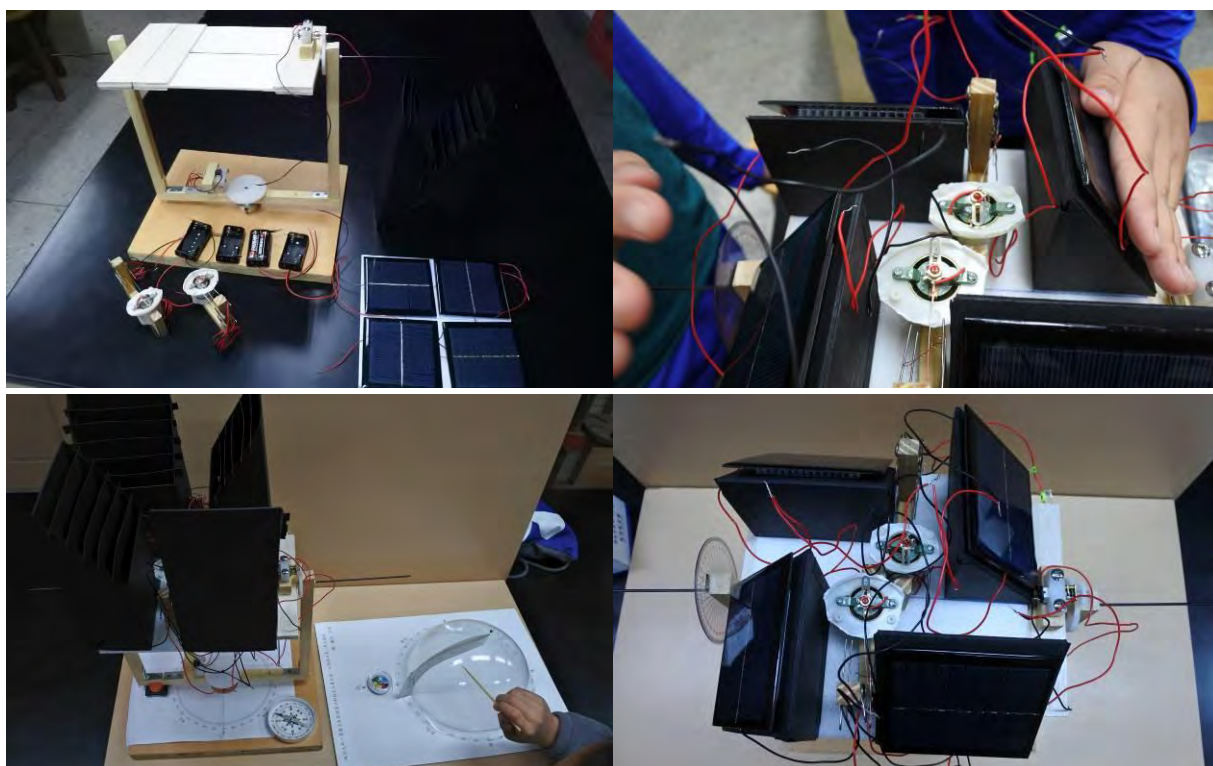
3.將兩套以太陽能板、光罩、微電流控制開關所組成的光源追蹤電路模組，以 90 度方向(橫向 VS 縱向)排列，並固定在裝有齒輪轉向(縱向)控制、減速馬達與電源的太陽能板追蹤基座上，再將此追蹤基座架設在另一個同樣具有轉向(橫向)控制、減速馬達與電源設計的轉軸上，如此便完成雙軸轉追蹤的機電結構設計。



雙軸追蹤減速馬達

電表改裝電流感應器

雙向追蹤結構



二、變項探討與實驗設計

(一)光照強度對太陽能板發電的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 10~150cm 距離，每隔 10cm 記錄鹵素燈的光線強度對太陽能板所產生的發電量。

記錄：光度、電壓、電流

分析：比較光線強度與太陽能板發電的關係。

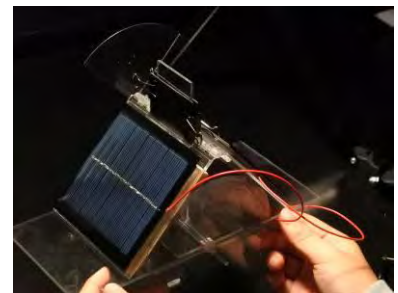


(二)太陽能板夾角對不同角度光線發電的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 50cm 距離，分別調整兩片太陽能板夾角對鹵素燈受光角度並記錄太陽能板的發電量。

記錄：太陽能板夾角、光照角度、電壓、電流

分析：由發電量分析光照角度與兩片太陽能板夾角間的關係。



(三)斜口煙囪形遮罩高寬比對不同角度光線發電的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 50cm 距離，分別調整 1:1、1:2、2:1 長寬比的斜口煙囪形遮罩，記錄鹵素燈不同光照角度下太陽能板的發電量。

記錄：斜口煙囪形遮罩高寬比、光照角度、電壓、電流

分析：由發電量分析光照角度與遮罩高寬比之間的關係。



(四)斜口煙囪形遮罩煙囪底高度對不同角度光線發電的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 50cm 距離，分別調整 0cm、3.5cm、7cm、10.5cm 的煙囪底部高度，記錄鹵素燈不同光照角度下太陽能板的發電量。

記錄：煙囪形遮罩底部高度、光照角度、電壓、電流

分析：由發電量分析光照角度與遮罩斜口角度之間的關係。

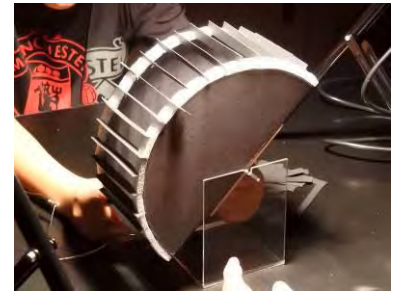


(五)半圓形遮罩**光柵間隔寬度**對不同角度光線**發電**的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 50cm 距離，分別調整半圓形遮罩的光柵間隔寬度 0.5cm、1cm、1.5cm，記錄鹵素燈不同光照角度下太陽能板的發電量。

記錄：半圓形遮罩光柵開口寬度、光照角度、電壓、電流

分析：由發電量分析光照角度與遮罩斜口角度之間的關係。



(六)半圓形遮罩**光柵隔板長度**對不同角度光線**發電**的影響

操作：以 500W 鹵素燈在 50cm 距離，分別調整半圓形遮罩的光柵隔板長度 1cm、2cm、3cm，記錄鹵素燈不同光照角度下太陽能板的發電量。

記錄：半圓形遮罩光柵開口間隔、光照角度、電壓、電流

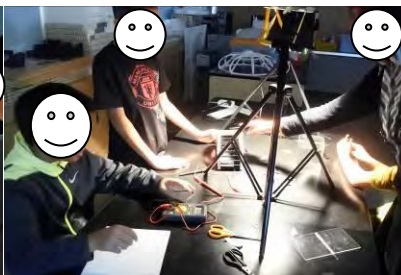
分析：由發電量分析光照角度與遮罩斜口角度之間的關係。



三、實驗操作過程



太陽能板夾角實驗



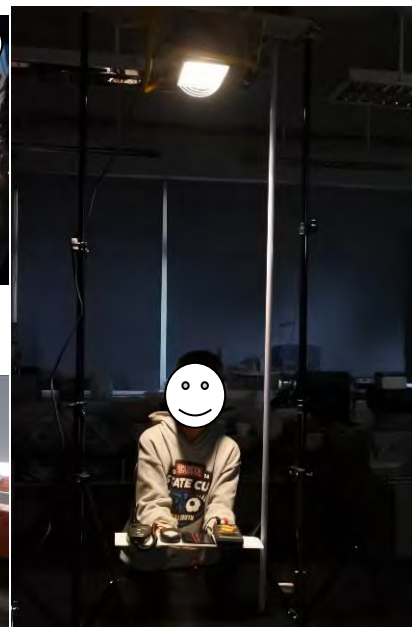
半圓遮罩實驗



斜口煙囪遮罩實驗(之二)



斜口煙囪遮罩實驗(之一)



光照距離發電實驗

伍、研究結果

實驗一：光照強度對太陽能板發電的影響

結果：不同距離的光照強度對太陽能板發電的結果，如下表：

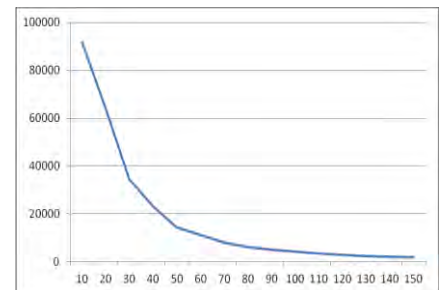
表：光照強度對太陽能板的發電效果

距離 cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
光照強度	91850	63900	34350	23050	14375	11215	7835	6180	5035	4145	3400	2860	2440	2080	1781	
發電	電壓	6.17	6.13	6.05	6	5.89	5.83	5.75	5.67	5.6	5.53	5.4	5.35	5.28	5.21	5.1
	電流	0.38	0.23	0.16	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	功率	2.345	1.410	0.968	0.660	0.353	0.233	0.173	0.113	0.112	0.055	0.054	0.054	0.053	0.052	0.051

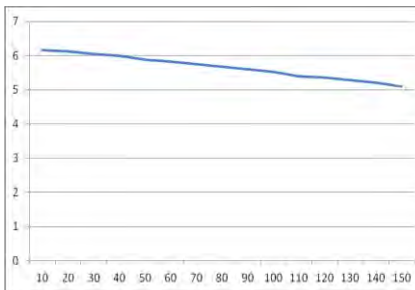
發現：

單位：光照強度(Lux)、電壓(V)、電流(A)

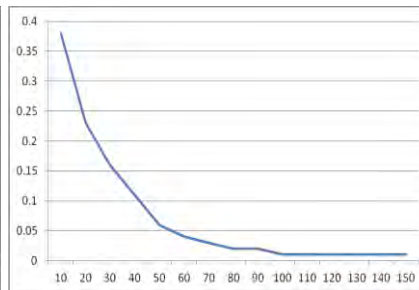
1. 距離越遠、光照強度越弱，發電量也越低。
2. 距離越近、光照越強，但高溫反而會使發電量下降。
3. 發電電壓(6.17V→5.1V)降幅比電流(0.38A→0.01A)少。
4. 光照強度對發電的電流影響要比電壓明顯。
5. 光照強度在距離 20~60cm 間急速下降。



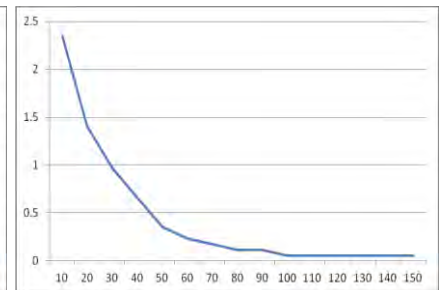
圖：不同距離平均照度



圖：不同光照距離發電電壓



圖：不同光照距離發電電流



圖：不同光照距離發電功率

思考：由光照距離可看出會對光照強度(越遠越弱)、直射角度(越近越斜)、升溫幅度(越近越熱)等因素會造成相互影響，因此決定適合實驗操作的光照距離相當重要。在考量距離不要太遠(>70cm)，使光度下降太多(<7835Lux)；太近(<20cm)，光度雖強(63900Lux)，但可能遇到光線無法平行直射影響角度追蹤實驗，及溫度過熱影響太陽能板發電實驗結果，評估後決定以 50cm 作為後續實驗的標準光照距離。

實驗二：太陽能板夾角對不同角度光線發電的影響

結果：不同的光照角度對太陽能板發電的結果，如下表：

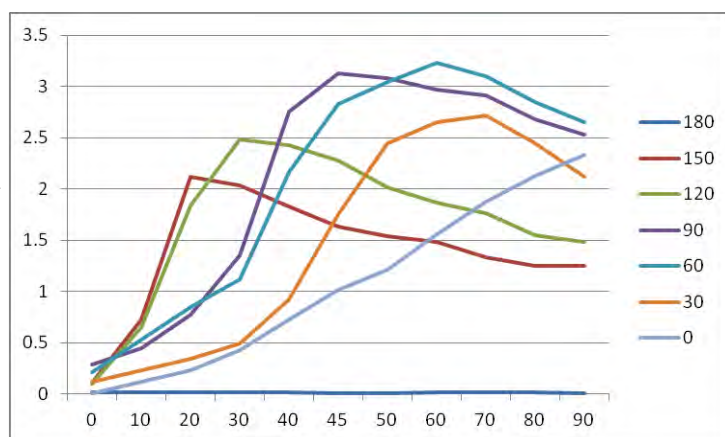
表：兩片太陽能板夾角在各種光照角度下的發電效果

光照傾斜度	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
180	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
150	0.11	0.73	2.12	2.03	1.83	1.63	1.54	1.48	1.33	1.25	1.25
120	0.1	0.65	1.84	2.48	2.43	2.28	2.02	1.87	1.76	1.55	1.48
90	0.29	0.45	0.77	1.35	2.75	3.13	3.08	2.97	2.91	2.68	2.53
60	0.21	0.53	0.85	1.12	2.17	2.83	3.04	3.23	3.1	2.85	2.65
30	0.12	0.23	0.34	0.49	0.92	1.75	2.45	2.65	2.72	2.45	2.12
0	0.01	0.12	0.23	0.43	0.73	1.02	1.21	1.56	1.88	2.13	2.33

發現：

單位：電壓(V)

- 1.夾角 180°時對各角度光照沒反應。
- 2.60°→150°：夾角越大，最高發電差距會下降(3.23V→2.12V)；最大發電光照傾斜度也下降(60°→20°)。
- 3.60°→0°：夾角越小，最高發電差距會下降(3.23V→2.33V)；最大發電光照傾斜度則上升(60°→90°)。



圖：太陽能板各夾角在不同光照角度的發電量

- 4.夾角 0°：最高發電量(2.33V)與最大發電光照傾角(90°)，呈現與光照角度等比例關係。

思考：

- 1.兩片太陽能板夾角會影響最大發電的光照傾角與發電量考量太陽追蹤的需求：斜射時發電要高，才能帶動馬達對準太陽，等到直射對準時，發電量要下降才不會跑掉。
- 2.若要提高追蹤靈敏度，就要在一開始偏離直射時(0°→20°)的發電量要高，不要等到斜射明顯時(45°→70°)才產生最大的發電量。
- 3.靈敏度高(<20°)，最大發電量低(2.12V)，但靈敏度低(45°→70°)，最大發電量則高(3.23V)
- 4.考量夾角從 90°→120°時，雖然有提高靈敏度(45°→30°)但最大發電量卻會急速下降。(3.13V→2.84V)，評估後決定將兩片太陽能板理想的追蹤夾角定在 75°。

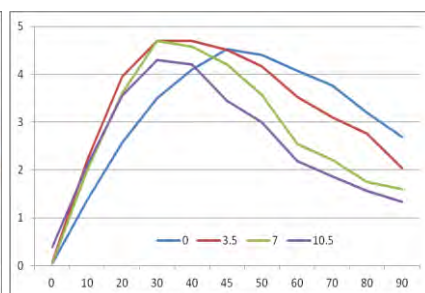
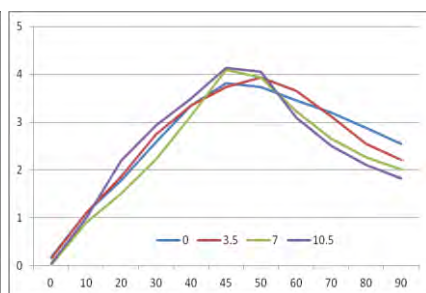
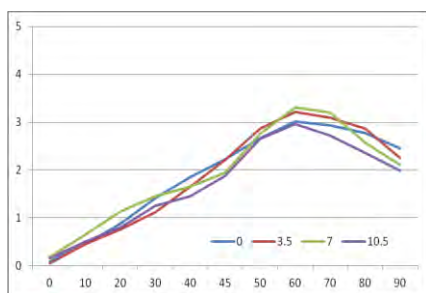
實驗三：斜口煙囪形遮罩高寬比對不同角度光線發電的影響

結果：不同光照角度對太陽能板遮罩高寬比發電結果，如下表：

表：不同高寬比的斜口煙囪形遮罩在各種光照角度下的發電效果

	光照傾斜度		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
	高寬比	高度											
光 罩 高 寬 比	0.5:1	0	0.09	0.45	0.88	1.41	1.85	2.23	2.67	3.01	2.93	2.77	2.45
	0.5:1	3.5	0.05	0.45	0.76	1.12	1.65	2.21	2.87	3.21	3.1	2.87	2.25
	0.5:1	7	0.19	0.65	1.13	1.45	1.65	1.95	2.76	3.31	3.2	2.57	2.1
	0.5:1	10.5	0.16	0.5	0.8	1.25	1.45	1.88	2.65	2.96	2.72	2.36	1.98
	平均		0.12	0.51	0.89	1.31	1.65	2.07	2.74	3.12	2.99	2.64	2.20
	1:1	0	0.19	1.1	1.78	2.58	3.35	3.81	3.73	3.45	3.2	2.88	2.55
	1:1	3.5	0.16	1.11	1.87	2.75	3.35	3.73	3.94	3.66	3.12	2.55	2.21
	1:1	7	0.02	0.9	1.5	2.23	3.13	4.09	3.94	3.23	2.65	2.27	2.01
	1:1	10.5	0.05	1	2.2	2.93	3.5	4.14	4.06	3.1	2.5	2.1	1.82
	平均		0.11	1.03	1.84	2.62	3.33	3.94	3.92	3.36	2.87	2.45	2.15
1.5:1	0	0.05	1.38	2.57	3.5	4.1	4.52	4.41	4.07	3.76	3.2	2.69	
1.5:1	3.5	0.08	2.21	3.95	4.69	4.7	4.51	4.16	3.53	3.1	2.75	2.04	
1.5:1	7	0.06	2	3.6	4.69	4.58	4.21	3.56	2.54	2.21	1.75	1.6	
1.5:1	10.5	0.39	2.1	3.55	4.3	4.2	3.45	3	2.19	1.87	1.56	1.34	
平均		0.15	1.92	3.42	4.30	4.40	4.17	3.78	3.08	2.74	2.32	1.92	

單位：電壓(V)、高寬比(遮罩斜口高度：遮罩直徑)、高度(遮罩加高 cm)



圖：高寬比 0.5：1 的發電量

圖：高寬比 1：1 的發電量

圖：高寬比 1.5：1 的發電量

發現：

- 1.高寬比越大(1.5:1)，最高發電差距會上升(3.12V→4.4V)，同時最大發電光照傾斜角度也會下降(60°→40°)。
- 2.高寬比較高(1.5:1)，改變底部高度對最大發電差距的影響，要比高寬比低(0.5:1)的明顯。

思考：由高寬比最大發電量的趨勢預估，高寬比再增加對最高發電量的提升有限，而且過大高寬比的斜口煙囪也會對追蹤運作造成影響。同時，相同高寬比的斜口煙囪，在改變底部高度後，發現也會改變最大發電差距與最大光照的傾斜角度，思考是否也能透過改變斜口煙囪底部的高度，來提高發電量和對光照反應角度的靈敏度？

實驗四：斜口煙囪形遮罩煙囪底部高度對不同角度光線發電的影響

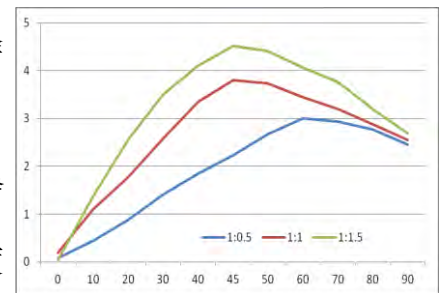
結果：不同光照角度對太陽能板遮罩高度發電結果，如下表：

表：不同高度的斜口煙囪形遮罩在各種光照角度下的發電效果

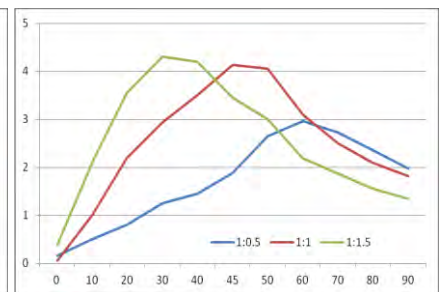
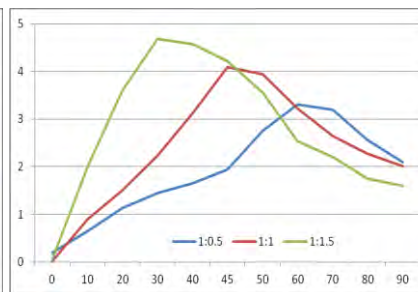
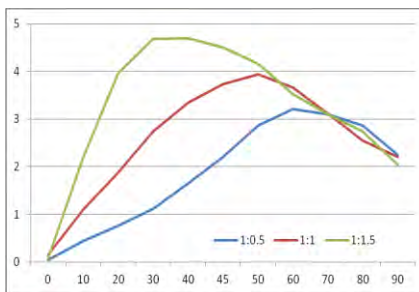
	光照傾斜度		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
	高度	高寬比											
光 罩 高 度	0	0.5:1	0.09	0.45	0.88	1.41	1.85	2.23	2.67	3.01	2.93	2.77	2.45
	0	1:1	0.19	1.1	1.78	2.58	3.35	3.81	3.73	3.45	3.2	2.88	2.55
	0	1.5:1	0.05	1.38	2.57	3.5	4.1	4.52	4.41	4.07	3.76	3.2	2.69
	平	均	0.11	0.98	1.74	2.50	3.10	3.52	3.60	3.51	3.30	2.95	2.56
	3.5	0.5:1	0.05	0.45	0.76	1.12	1.65	2.21	2.87	3.21	3.1	2.87	2.25
	3.5	1:1	0.16	1.11	1.87	2.75	3.35	3.73	3.94	3.66	3.12	2.55	2.21
	3.5	1.5:1	0.08	2.21	3.95	4.69	4.7	4.51	4.16	3.53	3.1	2.75	2.04
	平	均	0.10	1.26	2.19	2.85	3.23	3.48	3.66	3.47	3.11	2.72	2.17
	7	0.5:1	0.19	0.65	1.13	1.45	1.65	1.95	2.76	3.31	3.2	2.57	2.1
	7	1:1	0.02	0.9	1.5	2.23	3.13	4.09	3.94	3.23	2.65	2.27	2.01
	7	1.5:1	0.06	2	3.6	4.69	4.58	4.21	3.56	2.54	2.21	1.75	1.6
	平	均	0.09	1.18	2.08	2.79	3.12	3.42	3.42	3.03	2.69	2.20	1.90
	10.5	0.5:1	0.05	1	2.2	2.93	3.5	4.14	4.06	3.1	2.5	2.1	1.82
	10.5	1:1	0.16	0.5	0.8	1.25	1.45	1.88	2.65	2.96	2.72	2.36	1.98
	10.5	1.5:1	0.39	2.1	3.55	4.3	4.2	3.45	3	2.19	1.87	1.56	1.34
	平	均	0.20	1.20	2.18	2.83	3.05	3.16	3.24	2.75	2.36	2.01	1.71

發現： 單位：電壓(V)、高寬比(遮罩斜口高度：遮罩直徑)、高度(遮罩加高 cm)

1. 遮罩底部高度越高(0→10.5cm)，最高發電差距會下降(3.6V→3.24V)，最大發電光照傾斜角度則不變(50°)。
2. 底部高度越高(10.5cm)，加大高寬比(0.5→1.5)對最大發電差距與最大發電光照傾斜角度的影響，要比底部高度低(0cm)的明顯。



圖：底部高度 0cm 的發電量



圖：底部高度 3.5cm 的發電量

圖：底部高度 7cm 的發電量

圖：底部高度 10.5cm 的發電量

思考：利用斜口遮罩對光照傾角，產生發電差距來進行追蹤，效似乎不比透過兩片太陽能板夾角要差，所以要是針對過濾不同光照角度來設計半圓形的遮罩，效果是否會比斜口的煙囪形遮罩要好呢？

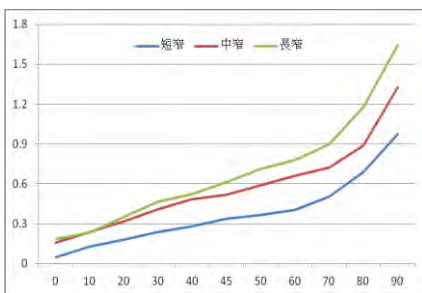
實驗五：半圓形遮罩光柵間隔寬度對不同角度光線發電的影響

結果：不同光照角度對半圓遮罩光柵寬度發電結果，如下表：

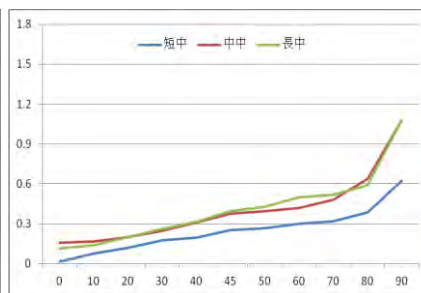
表：不同光柵寬度的半圓形遮罩在各種光照角度下的發電效果

	光照傾斜度		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
	間隔	長度											
光柵間隔寬度	0.5	1	0.048	0.128	0.184	0.238	0.28	0.338	0.368	0.404	0.504	0.69	0.974
	0.5	2	0.158	0.238	0.318	0.408	0.485	0.519	0.589	0.662	0.722	0.89	1.326
	0.5	3	0.187	0.236	0.352	0.466	0.522	0.615	0.712	0.781	0.901	1.18	1.642
	平均		0.13	0.20	0.28	0.37	0.43	0.49	0.56	0.62	0.71	0.92	1.31
光柵間隔寬度	1	1	0.015	0.078	0.12	0.177	0.197	0.252	0.267	0.301	0.321	0.386	0.622
	1	2	0.159	0.169	0.202	0.25	0.312	0.375	0.395	0.42	0.48	0.638	1.079
	1	3	0.117	0.137	0.201	0.263	0.317	0.395	0.428	0.501	0.521	0.588	1.078
	平均		0.10	0.13	0.17	0.23	0.28	0.34	0.36	0.41	0.44	0.54	0.93
光柵間隔寬度	1.5	1	0.03	0.064	0.11	0.156	0.177	0.22	0.23	0.258	0.288	0.342	0.482
	1.5	2	0.124	0.143	0.177	0.183	0.214	0.228	0.275	0.317	0.358	0.432	0.694
	1.5	3	0.013	0.033	0.043	0.084	0.14	0.231	0.267	0.288	0.422	0.609	1.402
	平均		0.06	0.08	0.11	0.14	0.18	0.23	0.26	0.29	0.36	0.46	0.86

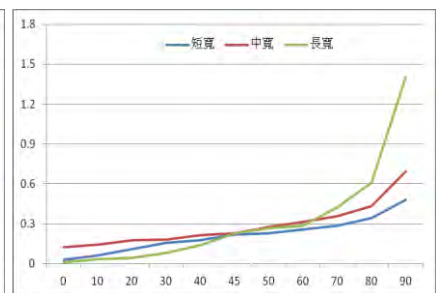
單位：電壓(V)、長度(cm)、間隔(cm)



間隔寬度 0.5cm 的發電量



間隔寬度 1cm 的發電量



間隔寬度 1.5cm 的發電量

發現：

- 1.光柵間隔越寬(0.5→1.5cm)，最高發電差距會下降(1.31V→0.86V)，最大發電光照傾斜角度則增加到 90°。
- 2.在最佳間隔寬度(0.5cm)下，當光照傾斜度由 60°到 90°時，最大發電差距會有明顯呈現倍數的提升(0.62V→1.31V)。

思考：當光照傾斜度由 60 到 90 時，最大發電差距會急速升高，顯然透過縮小間隔無法有效在光照一開始偏移時就產生最大發電差距，這樣就無法提高對光線追蹤的靈敏度，因此若想要提升最大的發電差距，是否可以透過加長光柵隔板的長度來過濾掉不必要的偏斜光線？

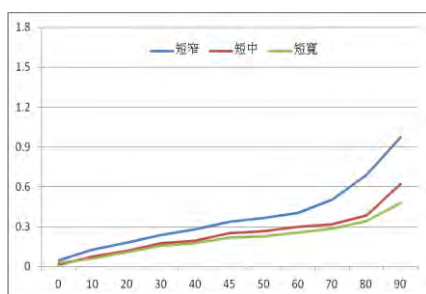
實驗六：半圓形遮罩光柵隔板長度對不同角度光線發電的影響

結果：不同光照角度對半圓遮罩光柵間隔發電結果，如下表：

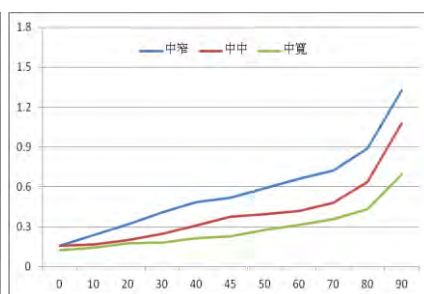
表：不同光柵間隔的半圓形遮罩在各種光照角度下的發電效果

	光照傾斜度		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
	長度	間隔											
光柵 隔板 長度	1	0.5	0.048	0.128	0.184	0.238	0.28	0.338	0.368	0.404	0.504	0.69	0.974
		1	0.015	0.078	0.12	0.177	0.197	0.252	0.267	0.301	0.321	0.386	0.622
		1.5	0.03	0.064	0.11	0.156	0.177	0.22	0.23	0.258	0.288	0.342	0.482
		平均	0.03	0.09	0.14	0.19	0.22	0.27	0.29	0.32	0.37	0.47	0.69
	2	0.5	0.158	0.238	0.318	0.408	0.485	0.519	0.589	0.662	0.722	0.89	1.326
		1	0.159	0.169	0.202	0.25	0.312	0.375	0.395	0.42	0.48	0.638	1.079
		1.5	0.124	0.143	0.177	0.183	0.214	0.228	0.275	0.317	0.358	0.432	0.694
		平均	0.15	0.18	0.23	0.28	0.34	0.37	0.42	0.47	0.52	0.65	1.03
	3	0.5	0.187	0.236	0.352	0.466	0.522	0.615	0.712	0.781	0.901	1.18	1.642
		1	0.117	0.137	0.201	0.263	0.317	0.395	0.428	0.501	0.521	0.588	1.078
		1.5	0.013	0.033	0.043	0.084	0.14	0.231	0.267	0.288	0.422	0.609	1.402
		平均	0.11	0.14	0.20	0.27	0.33	0.41	0.47	0.52	0.61	0.79	1.37

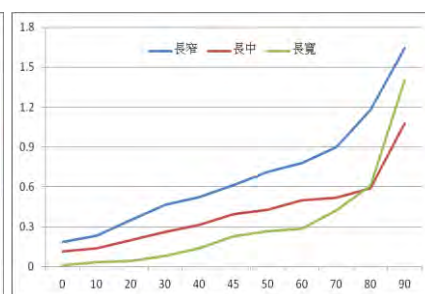
單位：電壓(V)、長度(cm)、長度(cm)



隔板長度 0.5cm 的發電量



隔板長度 1cm 的發電量



隔板長度 1.5cm 的發電量

發現：

- 1.光柵隔板長度越長(1→3cm)，最高發電差距會上升(0.69V→1.37V)，最大發電光照傾斜角度也會增加到 90°。
- 2.增加光柵隔板長度(1→3cm)對提升最大發電差距的影響(0.69V→1.37V)，要比縮小光柵間隔寬度(1.5→0.5cm)的效果(0.86V→1.31V)明顯。

思考：利用半圓遮罩來進行追蹤，在一開始光線偏移時靈敏度不高，要等到光線偏移角度到 90°，最大發電差距才會升高，雖然可以透過增加光柵隔板長度來增加最大發電差距，依舊無法解決光線偏移時追蹤靈敏度的問題。是否能整合兩片太陽能板夾角與斜口煙囪遮罩的特點，來製作出符合追蹤需求的設計？

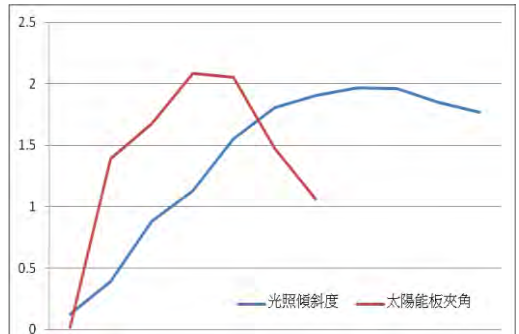
陸、討 論

討論一：歸納影響太陽能板與追蹤變項間的相互影響

一、歸納兩塊太陽能板夾角對光線的追蹤效果

- (一)夾角越大，最大發電量的光照傾角越小。
- (二)最大發電的光照角度越小，太陽追蹤的靈敏度就越高。
- (三)太陽能板夾角太大或太小，最大發電的量都會下降。
- (四)考量靈敏度與最大發電量，決定太陽能板夾角為 75° 。

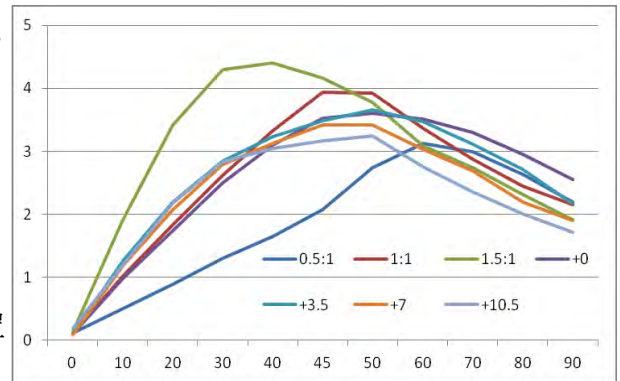
太陽能板夾角與光照傾斜度的關係



光照傾斜角	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
光電板夾角	180	150	120	90	60	30	0				

二、歸納斜口煙囪遮罩的高寬比與底部高度對太陽能板光線的追蹤效果

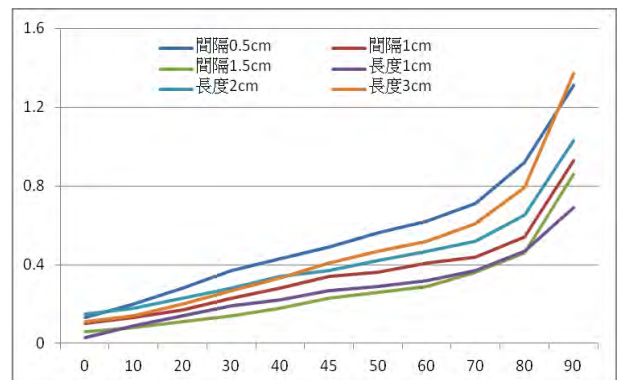
- (一)高寬比越大，最大發電的光照傾角越小。
- (二)高寬比越大，最大發電量也越高。
- (三)底部越高，最大發電的光照傾角不變。
- (四)底部越高，最大發電量會降低。
- (五)考量靈敏度與最大發電量，決定煙囪遮罩高寬比為 1.5 : 1、底部高度為 0cm。



斜口遮罩高寬比與底部高度的相互影響

三、歸納半圓形遮罩的光柵板間隔與長度對太陽能板光線追蹤的效果

- (一)光柵間隔越寬，最大發電光照傾角不變。
- (二)光柵間隔越寬，最大發電量則下降。
- (三)光柵板越長，最大發電光照傾角不變。
- (四)光柵板越長，最大發電量也越高。
- (五)光照傾斜角越大，最大發電量也越高。
- (六)考量靈敏度與最大發電量，決定遮罩光柵間隔為 1cm、板子長度為 3cm。



半圓遮罩光柵板間隔與長度的相互影響

討論二：利用發現設計能追蹤太陽光線的裝置

一、利用歸納發現設計出最佳化太陽能板夾角與遮罩

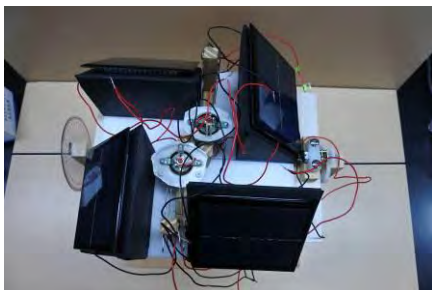
(一)比較追蹤方式的優缺點：整理實驗發現利用太陽能板夾角與遮罩各有優缺點，但若把三者的優點合併的話，應該可以找出理想的追蹤組合來。

	優點	缺點	修正方式
太陽能板夾角追蹤	最大光照發電角度大，靈敏度高	背光面可能漏光影響追蹤靈敏度	利用遮罩過濾受光與背光面所需的光線
斜口煙囪遮罩追蹤	斜口高寬比越大，靈敏度會比夾角追蹤高。	靈敏度與斜口高寬比成正比，造成體積過大，會影響追蹤運作。	1.煙囪改成方形增加光照面。 2.降低煙囪底部高度。 3.加大斜口高寬比。
半圓光柵遮罩追蹤	調整光柵板的間隔與長度，可有效過濾所需的追蹤光線。	靈敏度隨光照斜度成正比，影響追蹤靈敏度。	1.將半圓外觀改成內凹形。 2.縮短光柵板間隔。 3.增加光柵板長度。

(二)確定太陽能板追蹤變項組合：比較三種太陽追蹤方式的優缺點後，歸納出設計方向

種類規格	1	2	3	4
太陽能板	夾角 75°			
遮罩	形狀：方形斜口	排列：斜口內凹	斜口高寬比：(1.5 : 1)	底部高度：0cm
光柵板	間隔：1cm	長度：3cm		

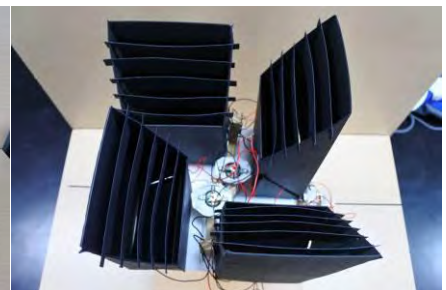
(三)太陽能板追蹤設計過程



太陽能板夾角固定座



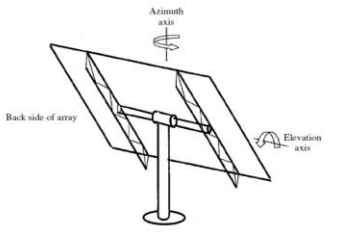
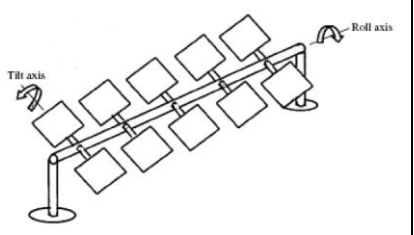
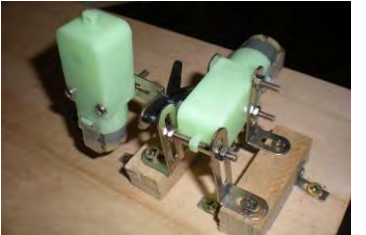
太陽能板光線過濾遮罩



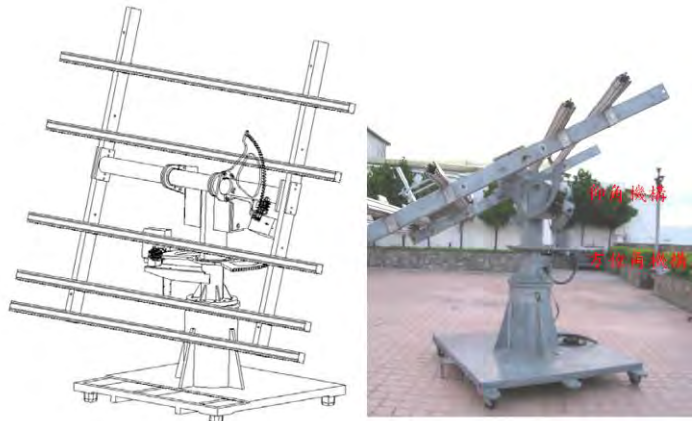
完成太陽能板追蹤設計

二、設計二維追蹤的機械結構

(一)整理二維追蹤機械結構：整理查閱有關二維追蹤機械結構後比較，如下表：

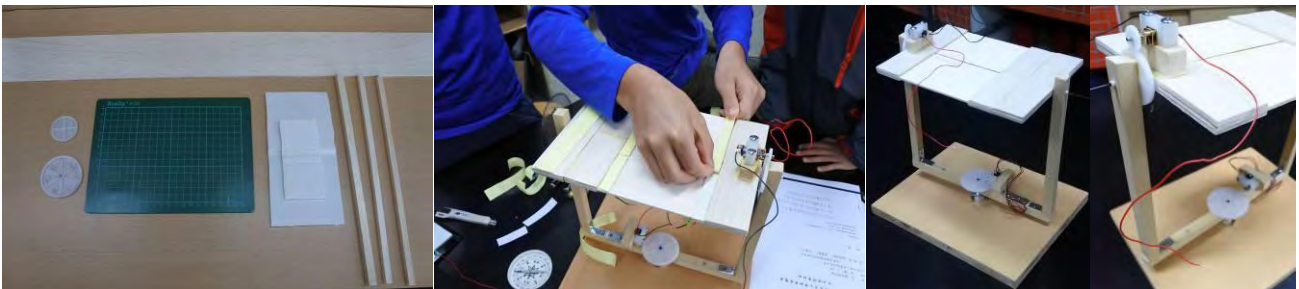
種類	軸心套疊轉動	扭力管式	懸臂套疊轉動
圖樣			
優點	所需的平衡配重少，不會造成追蹤動力耗損。	1.所需的平衡配重少，不會造成追蹤動力耗損。 2.可同時架設多組追蹤構造。	將兩個相同的單軸追蹤結構相互重疊，製作上比較簡單。
缺點	追蹤軸向不同，機械結構也會不一樣。	1.追蹤軸向不同，機械結構也會不一樣 2.結構較複雜，製作難度高。	一軸透過懸臂支撐，另一軸為平衡配重會造成較大的動力耗損。

(二)決定追蹤機械結構：為了方便能夠自己組裝，考量製作的難度及追蹤效能，於是我們採用第一種，將雙軸的軸心以套疊的方式來做為二維追蹤的基本構造。



雙軸追日架構藍本

(三)材料試作過程：根據架構藍本，加上手邊現有的工具與材料，有木條、飛機木板及玩具塑膠齒輪等，於是便展開打造我們的追日夢...



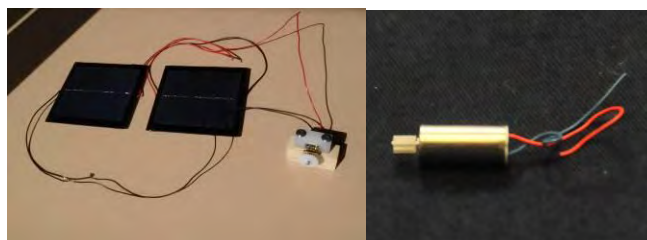
收集手邊現有的工具及材料

製作與完成二維追蹤的機械結構

三、配合二維轉向特性，設計追蹤的機械與電路控制

(一)測試太陽能板與馬達的追蹤組合

由於要有一定的電量才能讓馬達開始轉動，若單以一片太陽能板來帶動馬達發現都沒問題，但是要讓兩片太陽能板，以產生光照的差異使馬達轉動，



太陽能專用馬達

微型馬達

從所需的最低馬達轉動電量，發現就會產生所謂的追蹤靈敏度的問題，於是便朝小型的微型馬達試看看。

可是問題又來了，即使換成靈敏度高的微小馬達，發現即使開始轉動，但微弱的電量，加上微型馬達推力小，應該不足以帶動整個追蹤的機械結構，於是再朝改換減速馬達嘗試看看。



減速馬達

但即使如此，還是有追蹤靈敏度的問題，無法達到精確的即時追蹤效果，原因如下：

- 1.要能有足夠的電力追蹤：單靠太陽能板的光照差異所產生的電流應該是很難達到，必須要透過額外的電源供應才行。
- 2.微電流感應裝置：若要達到提高靈敏度，必須要能對微量電流產生反應的馬達或開關。

因此改朝思考：透過能偵測微量電流的開關感應，並能切換外部電源電流方向，來控制馬達轉動的方向，進行即時追蹤。

(二)設計追蹤電路

由於實驗太陽能板發電量時，我們是利用電表來測量微量的電流，因此便靈機一動想到，既然電表能偵測到微量電流，那麼要是換成利用指針式電表的指針，作為



雙向指針型電表(改裝前、後)

感應微量電流方向的開關，不就可以達到我們想要的需求了嗎？

為了能配合指針做為控制雙向電流的開關，於是我們便將迴紋針折成左右各兩根的迴路，並將銅片貼在電表的指針上，再將電表接上用來感應兩邊光線差異的兩片太陽能板。當指針感應到不同方向的電流強度，產生左右擺盪，這時銅片接觸左右其中一側，連通兩根迴紋針所連城的迴路時，便觸動了外部電流，並來帶動馬達運轉，便能達到高感度的即時追蹤效果。

在接通電路初步測試時發現，即使沒有照太陽，在室內以手輪流在兩片太陽能板上來回遮光，指針依舊能靈敏的產生左右擺盪，證明我們設計的構想確實可行。

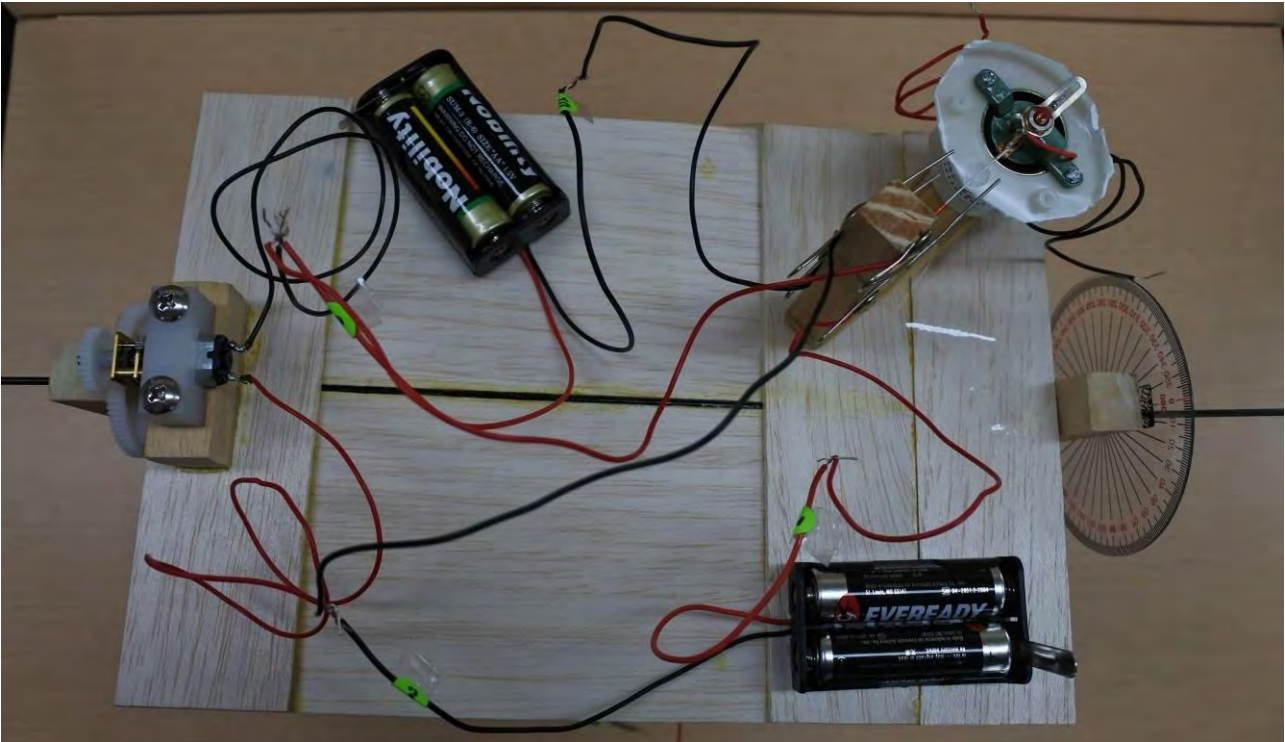
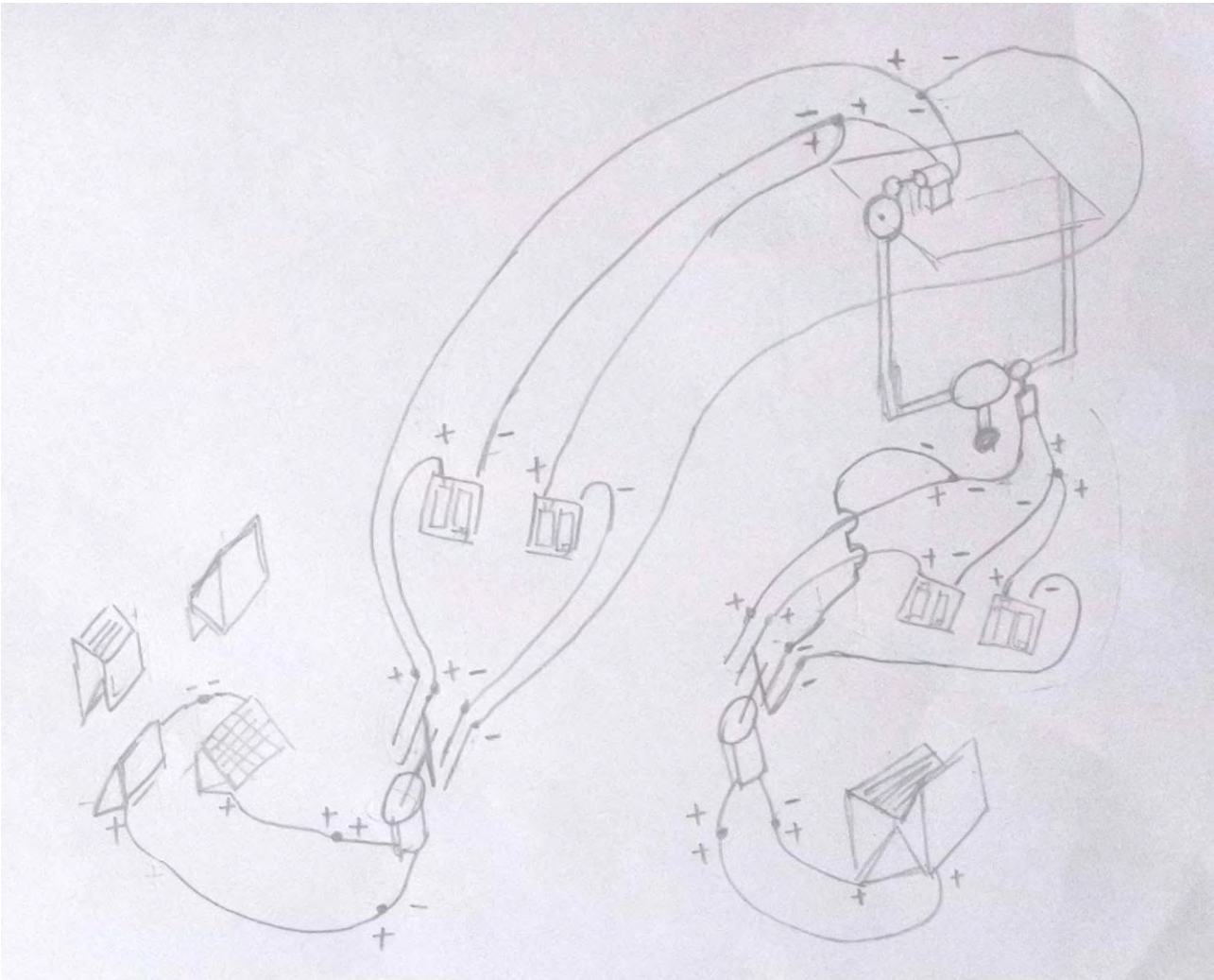


改裝指針電表為偵測器 遮左邊光電板指針偏左轉 遮右邊光電板指針偏右轉

(三)設計原理運作說明

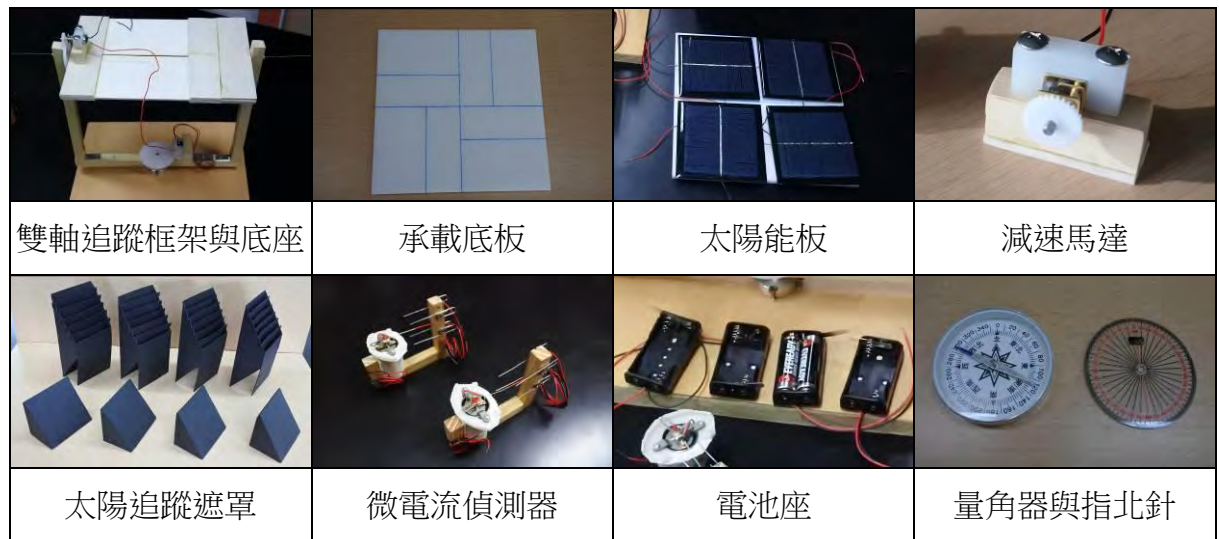
<p>1.將兩片太陽能板以反串聯方式連接後再串聯在指針式電表。</p>	<p>2.將銅片或銅線貼在指針式電表的指針上。</p>	<p>3.將四根迴紋針摺成左、右兩套作為雙向迴路的切換開關。</p>	<p>4.由電池串聯追蹤用的減速馬達，便形成第一組迴路。</p>
<p>5.第二組迴路再由另一套電池，以相反的電流方向並聯在同一顆減速馬達上。</p>	<p>6.指針擺盪帶動銅片接通一側迴路時，便能接通一組電池，使馬達轉動。</p>	<p>7.指針擺盪接通另一側迴路時，接通另一方向電流的電池，使馬達產生反向轉動。</p>	<p>8.如此便能達到推力大、靈敏度高的追蹤效果。</p>

(四)太陽追蹤電路設計圖

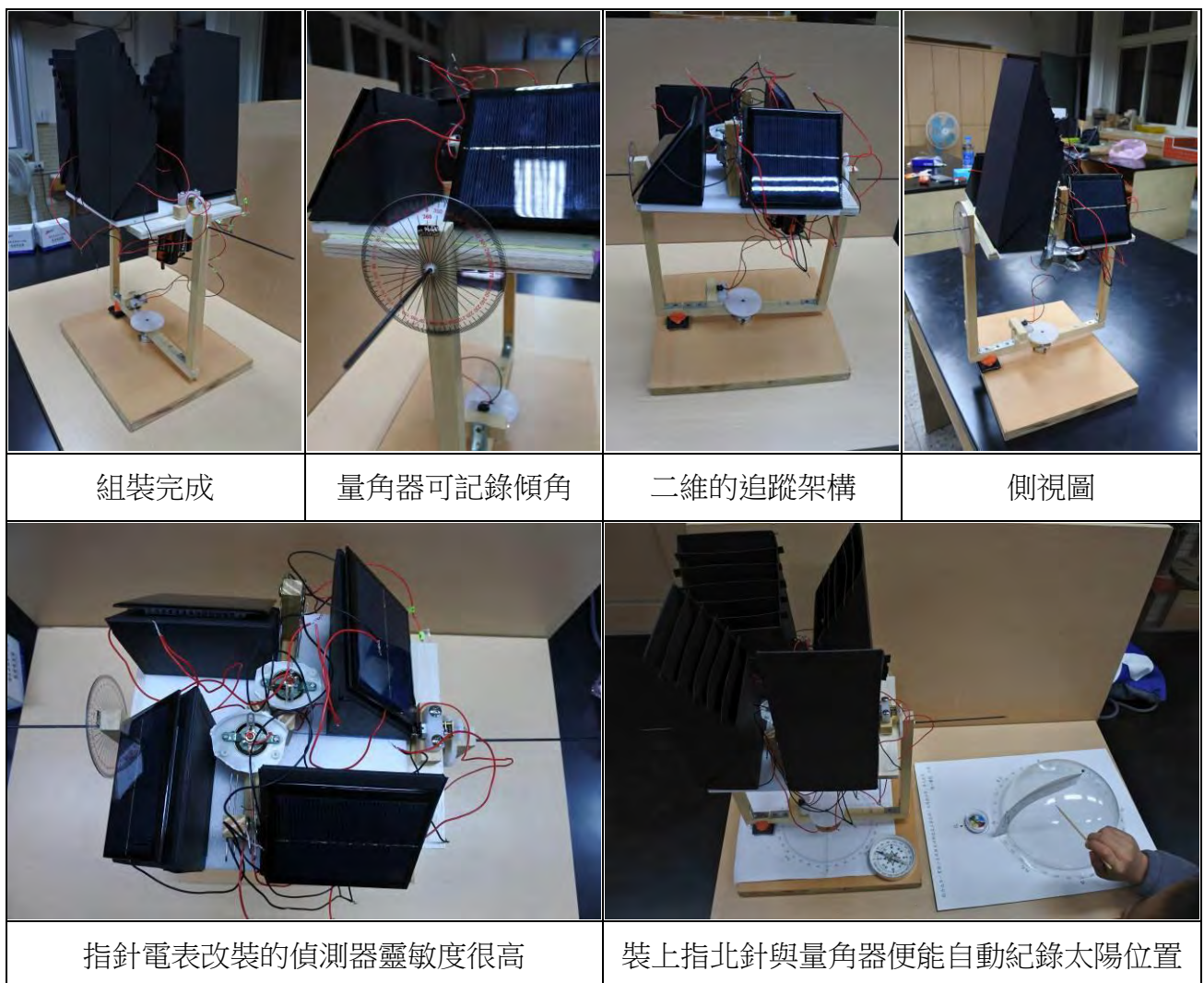


四、自製的太陽追蹤裝置

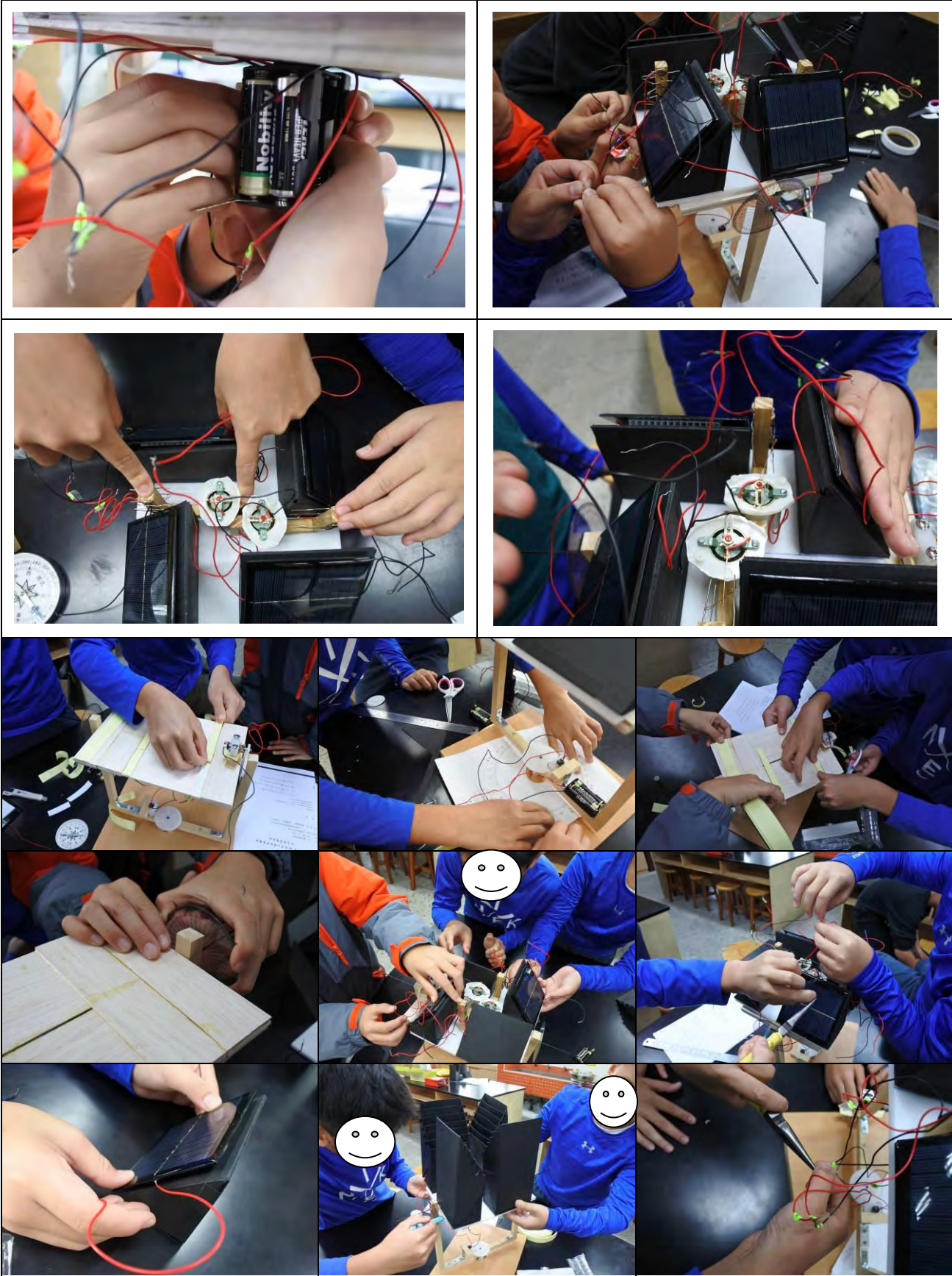
(一)組裝自製的太陽追蹤裝置



(二)完成自製的太陽追蹤裝置



(三)自製太陽追蹤器過程



討論三：自製太陽追蹤器實測效能

一、目的：追蹤效果測試

二、思考：既然設計的太陽追蹤器能感應光線，那麼要如何證明它**實際的效果**呢？

三、方式

(一)啟動追蹤靈敏度測試方法

1.做法：利用改變鹵素燈照射距離調整光照強度(1000Lux~10000Lux)，並分別改變照射角度(90°~0°)，測量追蹤器啟動時與光線的偏折角度。

2.測試結果：

Lux\角度	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
1000			✓	✓	✓					
3000			✓	✓	✓	✓				
6000		✓	✓	✓	✓	✓				
9000		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
12000		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

3.測試發現：

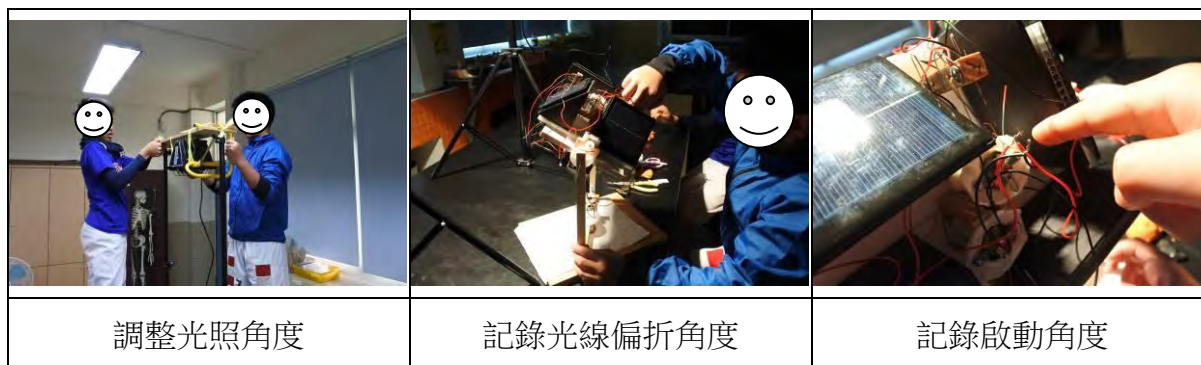
(1)光照強度越強(12000Lux)，啟動追蹤的靈敏度越好(<10°)。

(2)低光照強度(<3000Lux)時，啟動追蹤的靈敏度依舊可以維持在 20°以內。

(3)光照角度過大(50°~70°)，啟動追蹤的靈敏度反而會降低，而且光照越弱情況越明顯，

(4)太陽光線平均的強度都在 10000Lux 以上，所以由實驗預估在實際測試時啟動追蹤的靈敏度應該會提高到±3°以內。

(5)測試時發現雖然光線偏折到一定的角度才會啟動追蹤，但追蹤結束後是否就能與正對光線呢？因此有必要再進行追蹤精確度的測試。



(二)精確度測試方法

1.做法：利用改變鹵素燈照射距離調整光照強度(1000Lux~10000Lux)，並與追蹤器固定維持 30°的照射角度，測量追蹤器結束追蹤時與光線間的偏折角度。

2.測試結果：

角度\ Lux	1000	3000	6000	9000	12000
追蹤起始角度	30°	30°	30°	30°	30°
追蹤結束角度	13	18	24	26	27

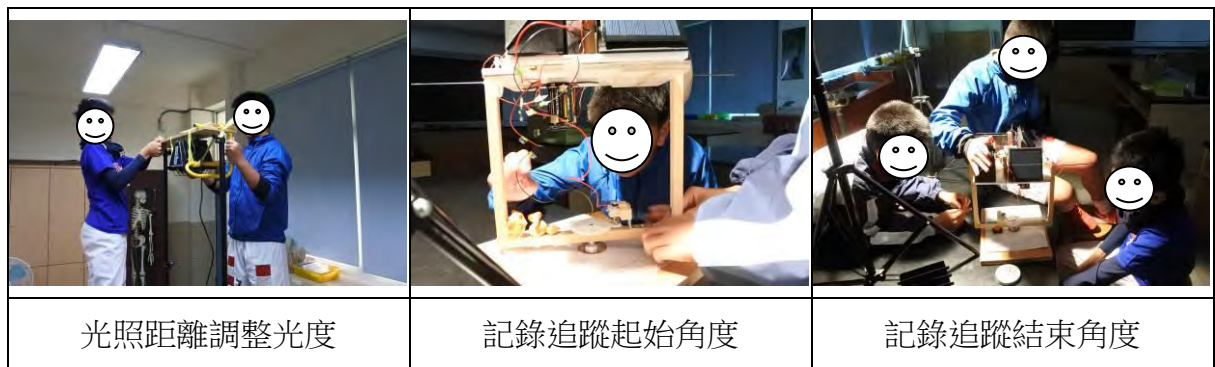
3.測試發現：

(1)光照強度越強(12000Lux)，結束追蹤時的誤差越低(3°)。

(2)低光照強度(<3000Lux)時，結束追蹤時的誤差則提高到 12°以上。

(3)太陽光線平均的強度都在 10000Lux 以上，所以由實驗預估在實際測試時，追蹤的誤差應該會降低到 3°以內。

(4)測試時發現在低光線下的靈敏度與精確度都會降低，所以若在戶外實測太陽追蹤的效果，應該也會受到現場的光線條件所影響。



(三)實際追蹤太陽測試

1.做法：

(1)將量角器與指北針分別固定在太陽追蹤器的兩個轉軸上，平放在平坦的地面後，將追蹤器上的指北針對準北方後開始進行實驗。

(2)每隔一小時先以光照計測量光線強度後，再以太陽觀測器觀測並記錄太陽位置。

(3)比對觀測器測量結果與太陽追蹤器之間的誤差。

2.測試結果：日期(3/1，am8:00~pm5:00)

	測量時間		光照強度	追蹤器追蹤		觀測器測量		誤差	
	時	分		高度角	方位角	高度角	方位角	高度角	方位角
1	8	15	45200	26	115	23	110	-3	-5
2	9	20	54500	31	134	36	122	5	-12
3	10	16	53800	43	135	47	132	4	-3
4	11	12	64200	54	155	56	152	2	-3
5	12	15	75700	61	183	59	181	-2	-2
6	13	08	85300	54	202	56	204	2	2
7	14	12	63600	51	224	47	227	-4	3
8	15	16	55300	39	245	36	240	-3	-5
9	16	14	34700	20	253	24	249	4	-4
10	17	10	21500	16	262	11	256	-5	-6

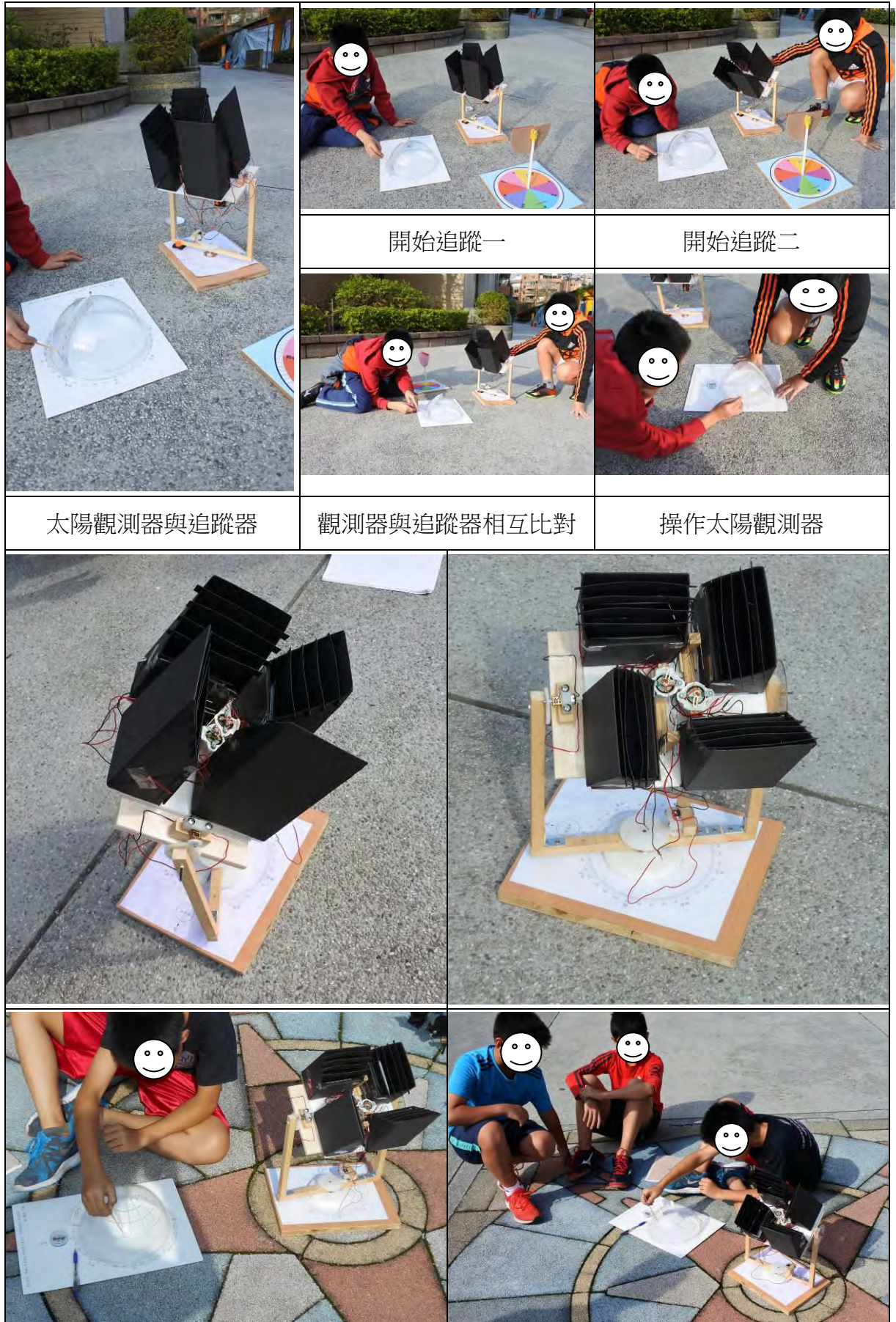
3.測試發現：

- (1)有太陽時從追蹤器追蹤的靈敏度會大幅提高，幾乎沒有誤差。
- (2)在操作太陽觀測器時本身也會有誤差，所以兩者的差距若在 $\pm 1^\circ$ 以內的話，便視為兩者結果一致。

4.改良建議：

- (1)微電流感應銅片會受到風力的影響而造成追蹤失準，但當風停止後追蹤又會回復正常，所以應將感應器圍阻起來，避免受到風的干擾。
- (2)由於太陽能板在追蹤後便暫無作用，但依舊還在持續發電中，而真的需要追蹤時卻又要用到外部的電源，如此一來便會降低追蹤的價值。因此可以設計定時開關，設定時間一到進行追蹤，定位後切換成可以儲存太陽能板所發的電，等需要追蹤時，又可轉成使用先前所發的電，如此便可以完全使用所發的電來追蹤，除提高發電量外，又可儲存多餘的電，達到真正環保高效的目的是。
- (3)當最後追蹤結束時追蹤器是朝太陽落下的方向，但與隔天太陽升起的方向不同無法自動回復，應該設法設計一個當太陽在相反方向且超出光線偵測的感應範圍時，能自動回復到到面相太陽的角度。
- (4)在遮罩位置的平台，除遮罩外還有太陽能板，而另一側只有電池盒用來平衡配重，當追蹤到高角度時，重量不平均，會產生馬達較大的負載，同時也容易損壞齒輪。

5.實測過程



柒、結 論

一、利用改變兩片太陽能板夾角、斜口煙囪式遮罩、半圓光柵式遮罩等方式所產生不對稱的光線，的確可以讓電流產生拉鋸，利用這種拉鋸的電流，配合自製的微電流感應開關，便能控制外部電流來帶動馬達轉動方向，進而成功設計出太陽追蹤的裝置。

二、追蹤遮罩設計發現

(一)太陽能板夾角實驗

- 1.最大發電的光照角度越小，太陽追蹤的靈敏度就越高。
- 2.太陽能板夾角太大或太小，最大發電的量都會下降。

(二)斜口煙囪遮罩實驗

- 1.高寬比越大，最大發電量越高且發電的光照傾角越小。
- 2.底部越高，最大發電量會降低但發電的光照傾角不變。

(三)半圓光柵遮罩實驗

- 1.光柵間隔越寬，最大發電量會降低但發電光照傾角不變。
- 2.光柵板越長，最大發電量會提高但發電光照傾角不變。
- 3.光照傾斜角越大，最大發電量也越高。

三、追蹤機械設計發現

(一)提高太陽追蹤的靈敏度，除了可以透過太陽能板夾角與遮罩，加大太陽能板內的拉鋸電流外，還可以透過微型馬達、減速齒輪與提高追蹤座的平衡配重來達成。

(二)即使用電流量最小的馬達，依舊需要最低的啟動電量，如此便會產生追蹤靈敏度與誤差，再加上過小的馬達，即使加上減速齒輪也不一定能帶動追蹤的機械結構運轉。

(三)追蹤馬達無法直接利用太陽能板內的拉鋸微量電流來運轉，因為會降低靈敏度，也不一定帶得動，因此必須利用指針式電表改裝偵測微量電流，並控制外部電源電流方向讓馬達產生追蹤運轉。

(四)為了避免太陽能板發電只做追蹤用途，可在電池盒上加裝充電與追蹤的切換開關，當追蹤完成後可切換成儲存太陽能板所發的電，如此便可使用所發的電來追蹤且不影響靈敏度，除提高發電量外，又可儲存多餘的電，達到真正環保高效的目的。

四、自製太陽追蹤器實測發現

(一)在有日照(>10000Lux)的情況下可進行靈敏(光照偏斜 10° 以內就可以產生追蹤)且精準(追蹤完成定位誤差在 $\pm 3^\circ$ 以內)的追蹤。

(二)追蹤的靈敏度會隨光照的強度所影響，但我們自製的追蹤器即使在低光照(<3000 Lux)，依舊具有追蹤的效果。

五、研究的重要性

(一)首次結合「調整太陽能板角度」與「濾光遮罩」，過濾特定角度太陽光線的方式，來提高兩塊追蹤用太陽能板內的拉鋸電流的強度，進行追蹤。

(二)利用報廢的指針電錶改裝，作為偵測微量拉鋸電流的感應開關，不僅可提高追蹤靈敏度又能廢物利用，相當環保。

六、未來發展

(一)所設計的太陽追蹤器可以應用在所有需要與太陽保持同步的需求，如：自動調整窗簾、聚光反射鏡、太陽能板追蹤等。

(二)利用遮罩進行追蹤效果的確比以往的研究要好，但遮罩的體積較大，需要較多的配重平衡，因此未來研究其他能減少體積又可達到相同效果的追蹤遮罩。

七、心得感想：經過了這次的實驗，我們大家都學到了不少新的科學知識，像是：電路設計的原理、如何利用課堂所學的簡單機械原理來製作雙軸追蹤的機械構造，和如何使用測電流的儀器等等。雖然實驗過程中常遇到一些不如意的事情，像是：數據的趨勢和預期的不同或是很奇怪，但經過第二次的檢查後，我們終於找出合理又符合科學的數據。我們完成實驗後都開心的歡呼終於完成了！經歷了這次的實驗，我們相信如果我們繼續努力，一定能夠再發明出更好且更實用的環保用品！

捌、參考資料

喬薇、簡毓萱(2014)：雙軸控制太陽位置追蹤器之研製。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會。

吳玉祥、張凱嵐(2014)：雙軸太陽能追日器系統設計。中國科學技術大學學報 Vol.58-2014.01。

孫意涵、謝佳岑、閔子庭、楊宇翔(2016)：真的全自動-全球免設定日光追蹤系統！。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。

【評語】 080825

本研究的實用性強，尤其是利用斜口遮罩外觀配合光柵板的疏密與長度，便能與光線強度產生幾何的關係，尤其是進行跟太陽有關的科學專題研究實驗時，最需要有一套追日系統，所以光

2007-2009 台灣追日系統的專利申請就有 24 件，其中都是利用太陽的熱能以熱脹冷縮的方式，或是如同本實驗以陽光光能差的方式進行，因為這樣的主題吸引人，研究的人非常多，研究者參考相關資料調整「太陽能板角度」與「濾光遮罩」繼續研發，能手繪設計圖並實作出來對國小學生來說是一大挑戰，且能觀察變項相互影響提高效率，於烈日下進行實驗，相當辛苦。

追蹤所需的電能耗能應該也大，因為要移動如此巨大的儀器，對於永續環境也可以增加思考點，如降低追日系統的總重量或是減少耗能等。

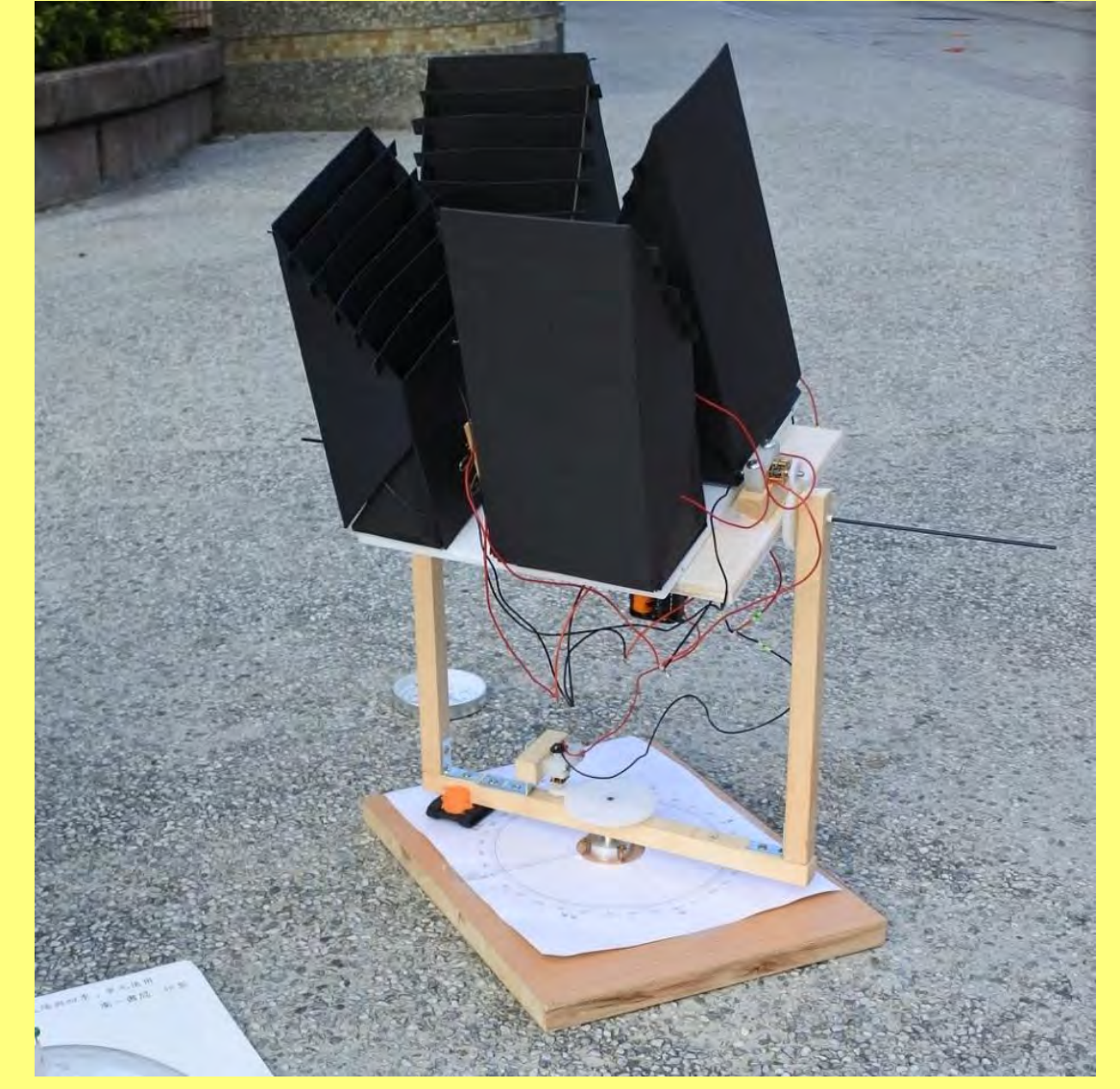
作品海報

摘要

將兩片太陽能板同極對接並改變光照條件，以產生不對稱的光線後，便能在太陽能板之間產生**拉鋸性的電流**，設計追日旋轉系統：

- 1.斜口遮罩配合光柵板的疏密與長度，便能與**光線強度**產生幾何關係。
- 2.四片兩組(前後、左右)光電板，可產生**拉鋸電流**控制**二維追蹤**馬達。
- 3.指針電表作為追蹤控制切換開關，靈敏度優於微型馬達的啟動電阻。
- 4.電表開關控制電源啟動追蹤馬達，或將光電板發電回充至外部電源。

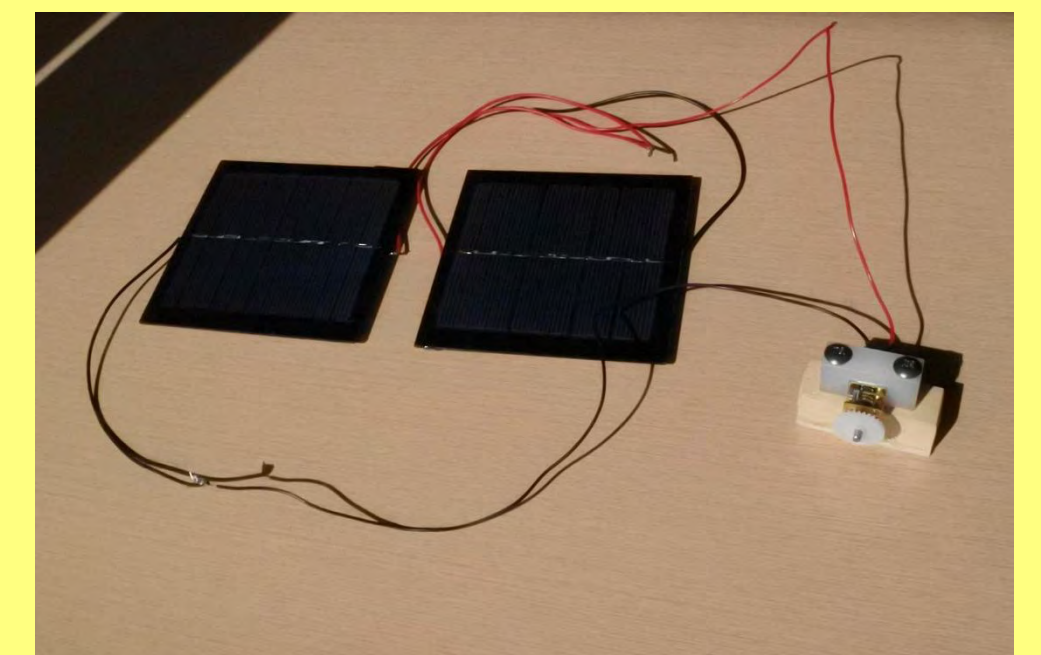
以上組合產生高感度追蹤，適用**平行光(太陽光)**與**非平行光(散射光)**。實測發現：在日照**10000Lux**以上，光線偏斜**10°**以內就能感應產生追蹤效果且誤差在**±3°**以內，相當靈敏且精確。



關鍵詞：光源追蹤、光電板、太陽光

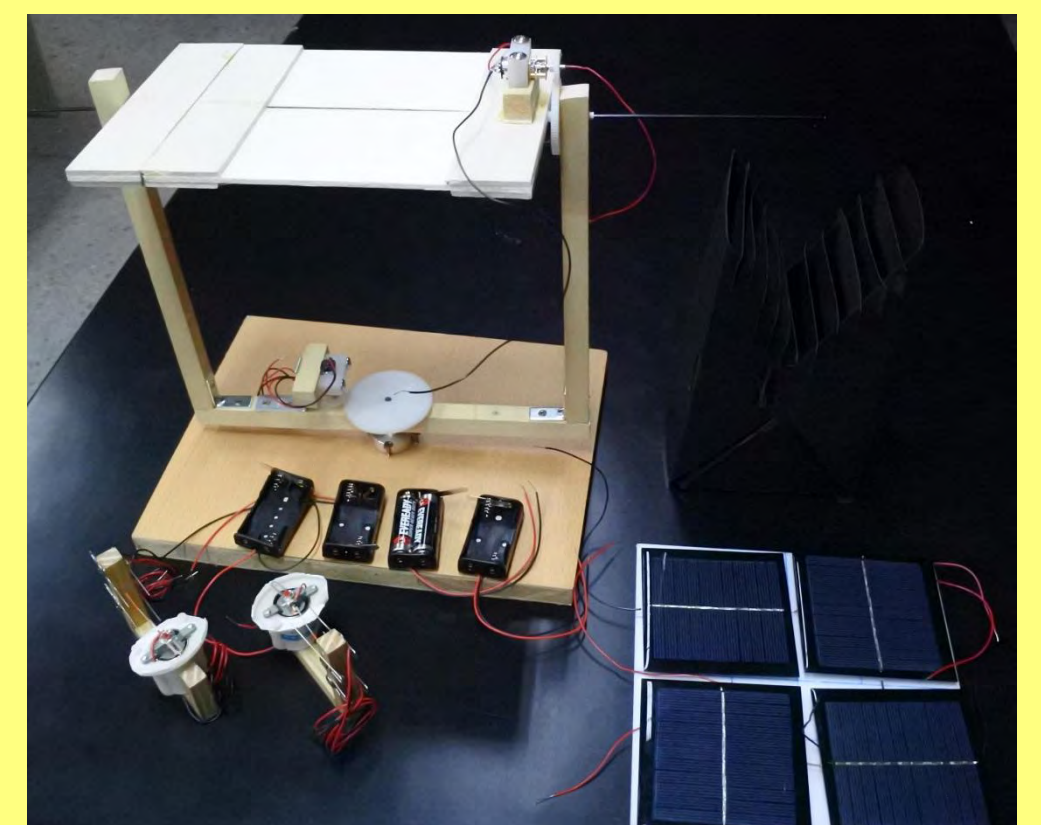
壹、研究動機

原本利用兩塊太陽能板增加動力，結果車子不能動，檢查線路時當輪流擋住兩塊太陽能板，車子竟能前進後退。檢查後發現太陽能板接成同極相連而互相抵消。這個發現反而引起我的興趣，想起三年級曾學過光的有趣遊戲，於是我們便提議，這種利用**光照不均勻時就能產生動力**，直到**光照平衡才停止**的原理，要是能應用在**太陽光的追蹤**設計上，一定會很有實用性。



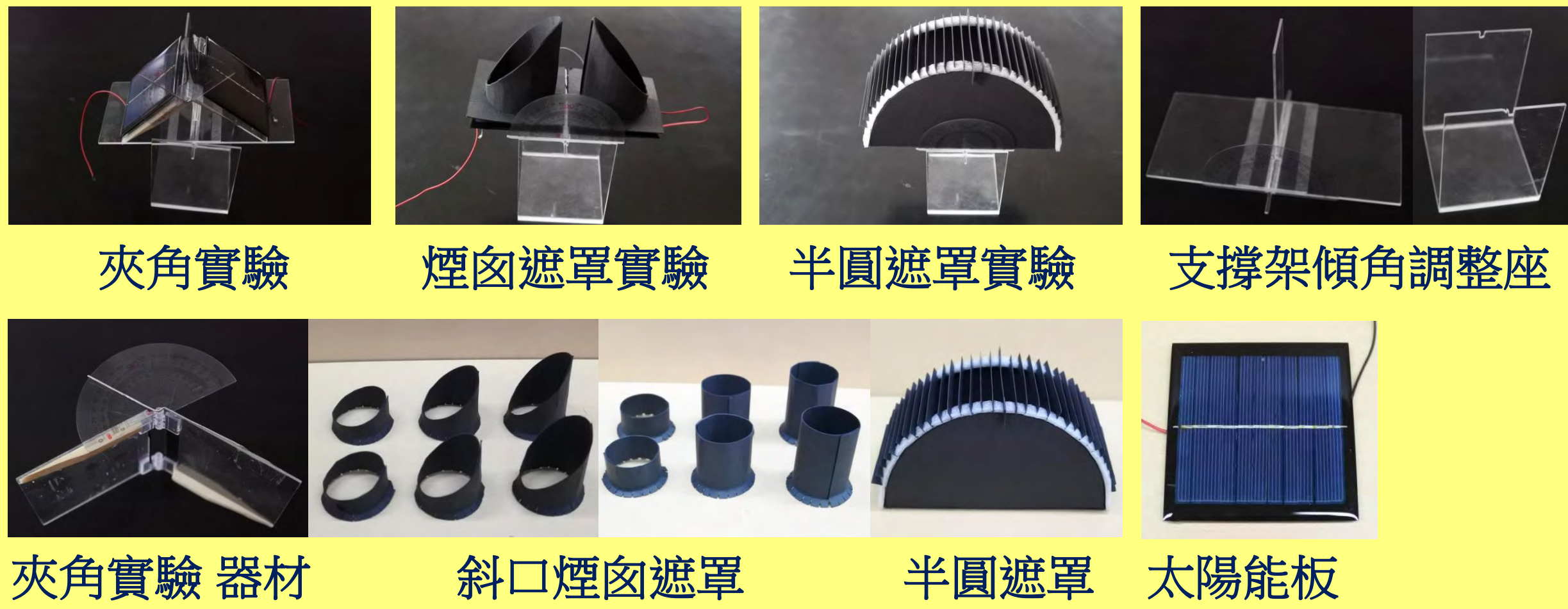
貳、研究目的

- 一、探討利用太陽能板進行光源追蹤能力的設計。
- 二、探討影響太陽能板光源追蹤性能的變項。
- 三、歸納光源追蹤變項間的相互影響。
- 四、利用變項間的相互影響提升光源追蹤的效能。
- 五、利用太陽能板光源追蹤的特性設計實用的應用工具。



參、研究設備及器材

一、自製追蹤實驗器材

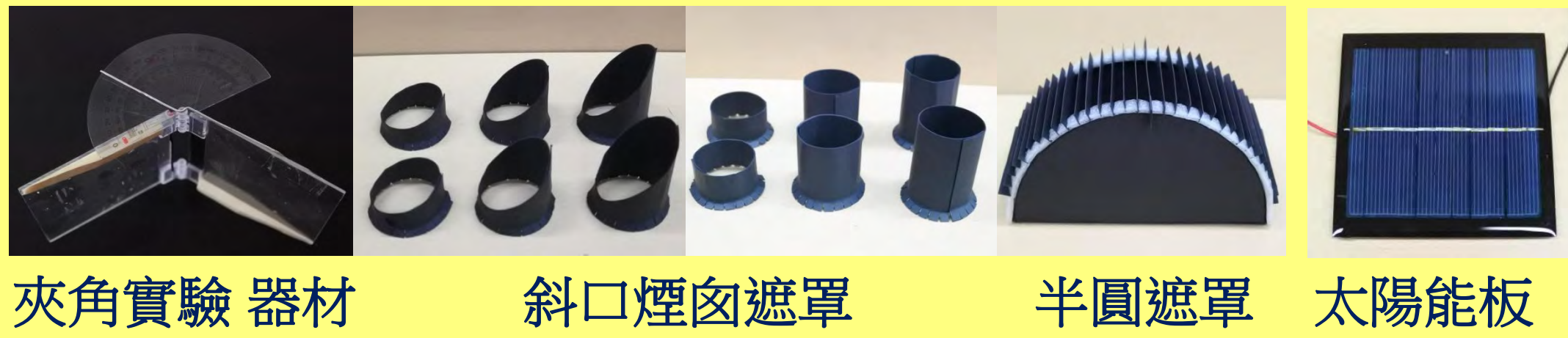


夾角實驗

煙囪遮罩實驗

半圓遮罩實驗

支撐架傾角調整座



夾角實驗 器材

斜口煙囪遮罩

半圓遮罩

太陽能板

二、實驗儀器



三用電表

鹵素燈

光照計

太陽角度觀測器

三、自製太陽追蹤裝置



機械結構

光電板感應

指南針遮罩

電池馬達

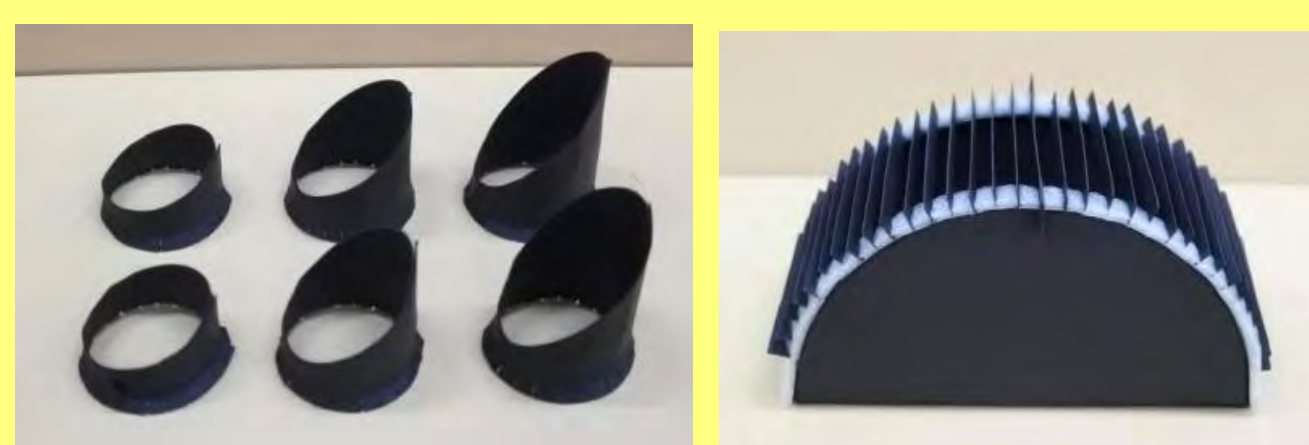
感應切換開關

太陽追蹤器外觀

肆、研究過程與方法

一、器材設計與製作

- 1.組裝實驗所需的太陽能板：
 - (1)將太陽能板以**同極對接**，接上電表後以鹵素燈測試。
 - (2)兩片同時照光，電流為**零**，輪流遮時，電流呈**反向**結果。
- 2.設計太陽光照角度模擬架：
 - (1)組裝光電板夾角**支撐架**
 - (2)設計**光電板遮罩**
 - a.**斜口煙囪**形遮罩
 - b.**半圓光柵**形遮罩



3.實驗操作過程



半圓遮罩實驗

太陽能板夾角實驗

光照距離發電實驗

二、實驗變項設計

- 1.光照強度對太陽能板發電的影響
方法：鹵素燈在**10~150cm**距離，記錄光線強度對光電板的發電量。
- 2.光電板夾角對光線角度發電的影響
方法：調整兩片太陽能板**夾角**與**受光角度**並記錄太陽能板的發電量。
- 3.遮罩高寬比對光線角度的發電影響
方法：比較**1:1**、**1:2**、**2:1**高寬比遮罩照光時太陽能板的發電量。
- 4.遮罩高度對光線角度的發電影響
方法：比較**0**、**3.5**、**7**、**10.5cm**底部**高度**遮罩照光時太陽能板的發電量。
- 5.半圓遮罩光柵間隔對發電的影響
方法：比較**0.5**、**1**、**1.5cm**間隔寬度遮罩照光時太陽能板的發電量。
- 6.半圓遮罩光柵板長度對發電的影響
方法：比較**1**、**2**、**3cm**隔板**長度**遮罩照光時太陽能板的發電量。

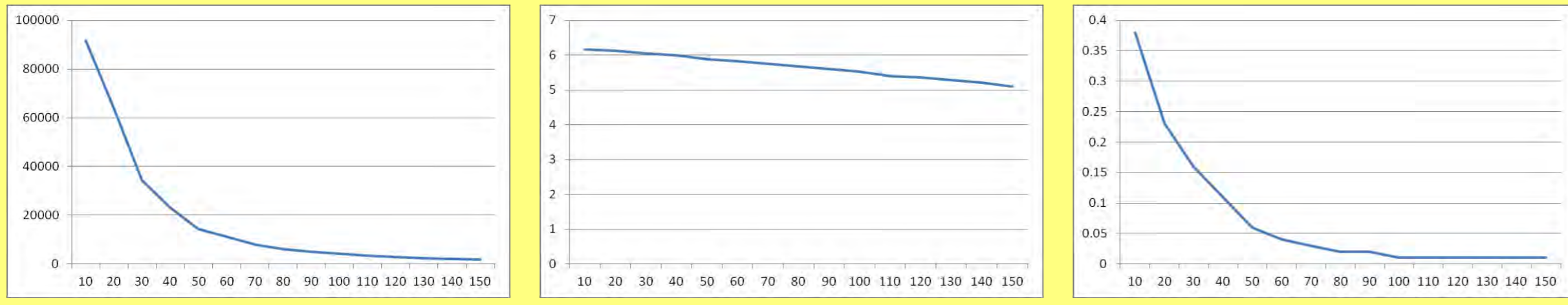


伍、研究結果

實驗一：光照強度對太陽能板發電的影響

結果：

1. 距離越遠(近)、光照強度越弱(強)，發電量也越低(高)。
2. 發電電壓(6.17V→5.1V)降幅比電流(0.38A→0.01A)少。
3. 光照強度對發電的電流影響要比電壓明顯。

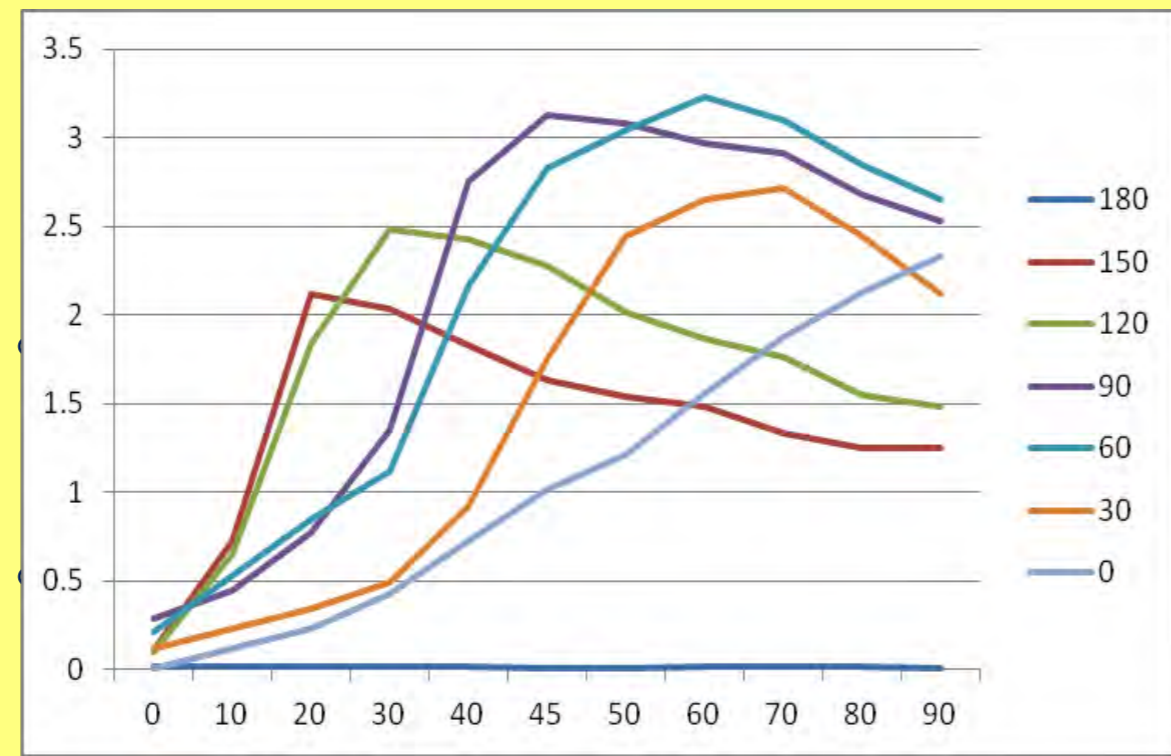


不同光照距離下的光度(左)、發電電壓(中)、發電電流(右)的變化比較

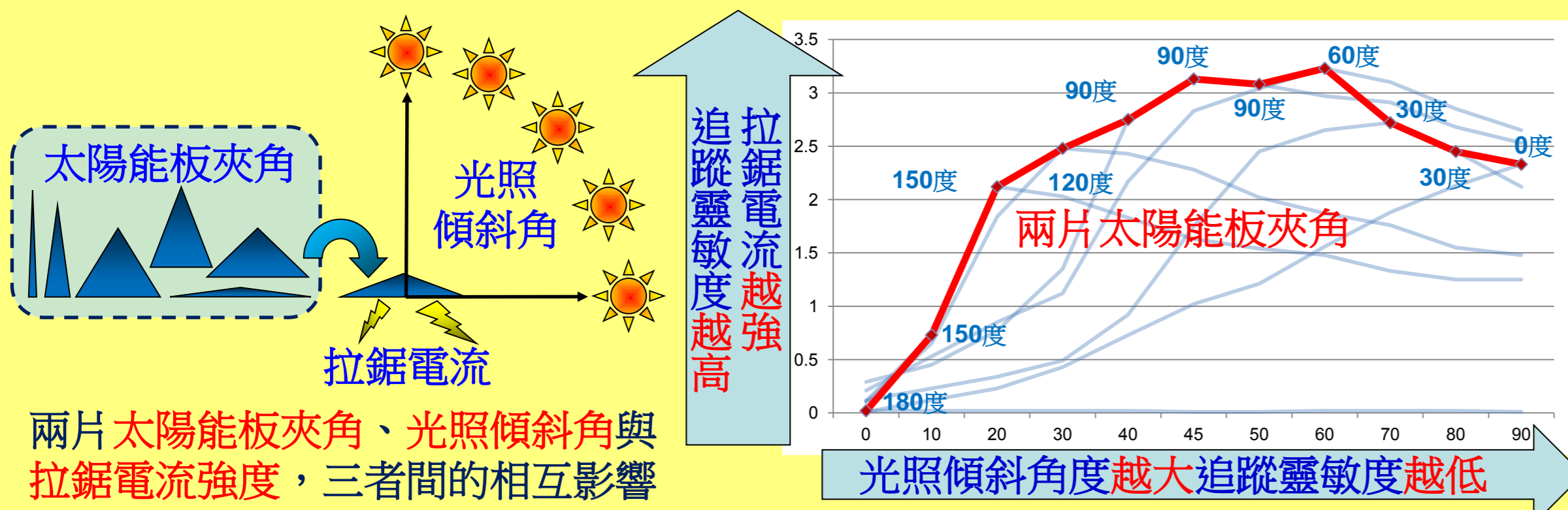
實驗二：太陽能板夾角對不同角度光線發電的影響

結果：

1. 180°時各角度光照沒反應。
2. 60°→150°：最高發電差距與最大發電光照傾斜度下降
3. 60°→0°：最高發電差距下降而最大發電光照傾斜度上升
4. 夾角0°：最高發電量與最大發電光照傾角等比例關係。太陽能板各夾角在不同光照角度的發電量
5. 靈敏度高(<20°)，最大發電量低(2.12V)，但靈敏度低(45°→70°)，最大發電量則高(3.23V)。



太陽能板各夾角在不同光照角度的發電量

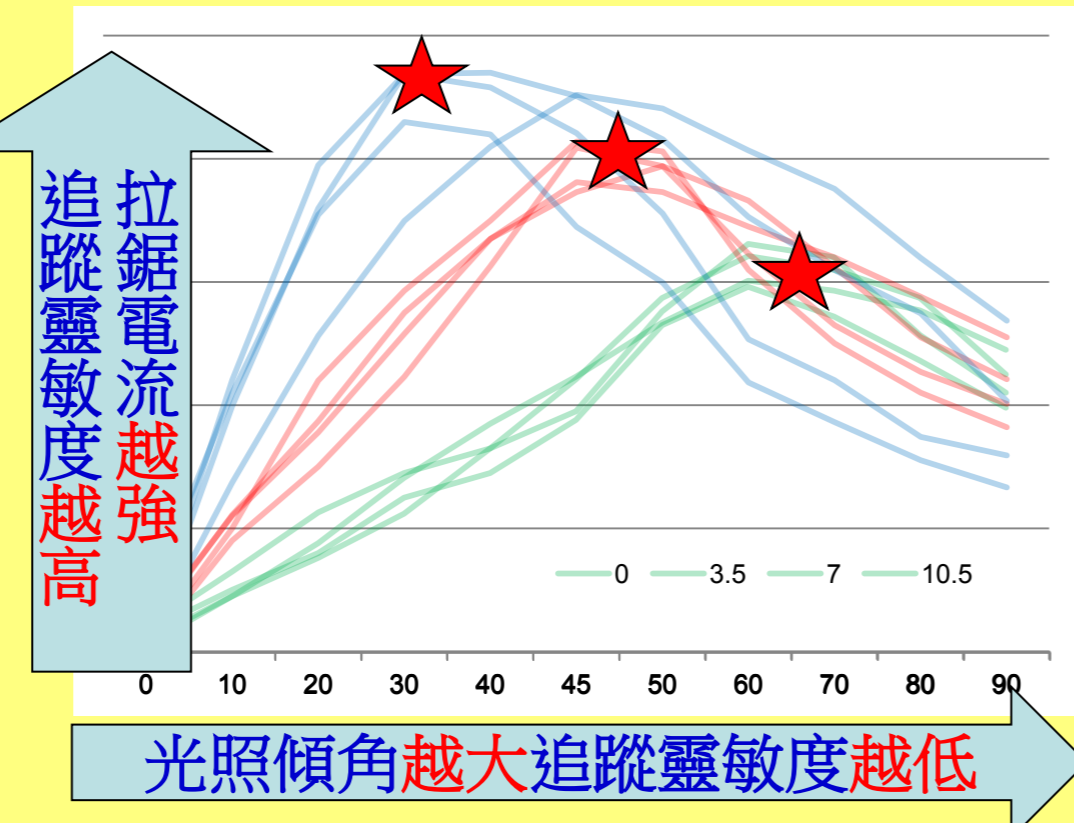


兩片太陽能板夾角、光照傾斜角與拉鋸電流強度，三者間的相互影響

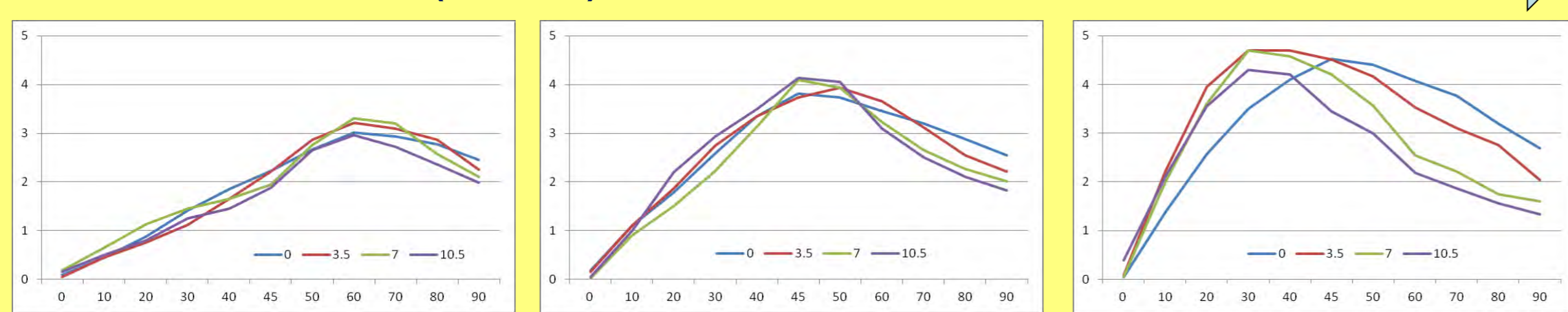
實驗三：斜口煙囪形遮罩高寬比對不同角度光線發電影響

結果：

1. 高寬比越大(1.5:1)，最高發電差距會上升(3.12V→4.4V)，同時最大發電光照傾斜角度也會下降(60°→40°)。
2. 高寬比較高(1.5:1)，改變底部高度對最大發電差距的影響，要比高寬比低(0.5:1)的明顯。



光照傾斜角度越大追蹤靈敏度越低

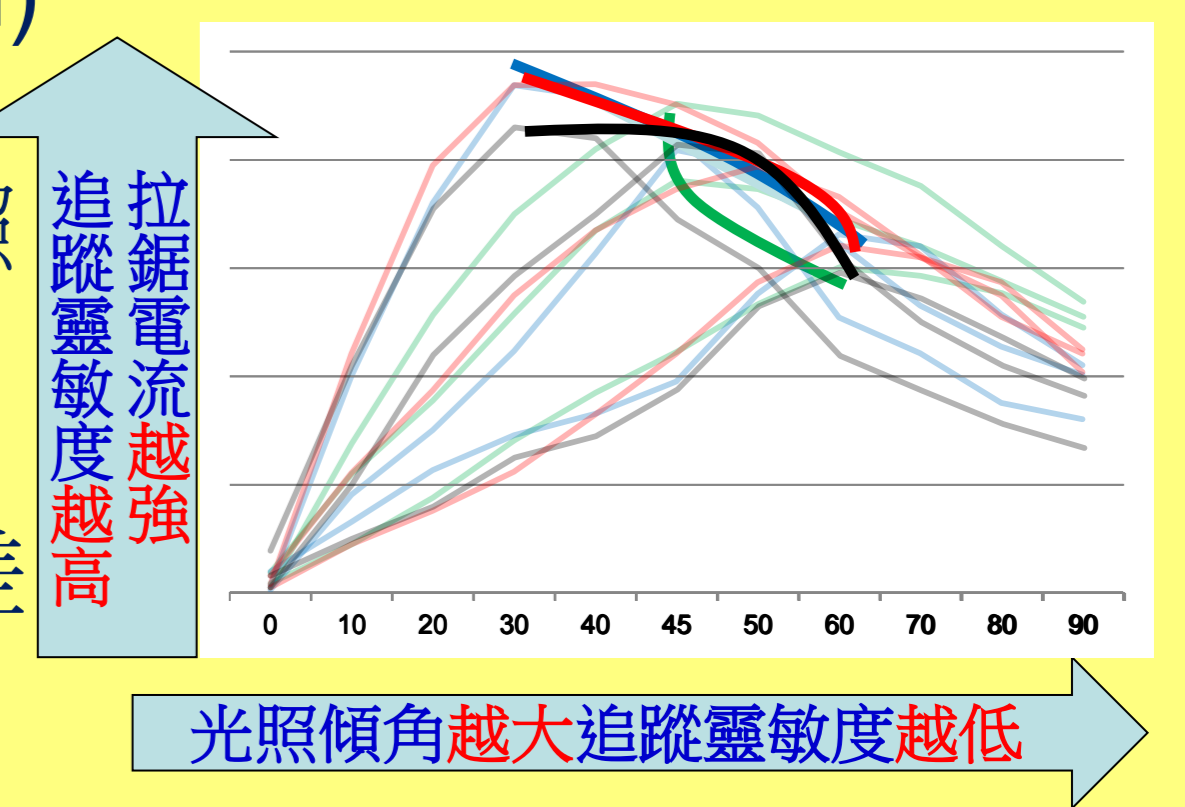


不同高寬比 0.5:1(左)、1:1(中)、1.5:1(右)的發電量

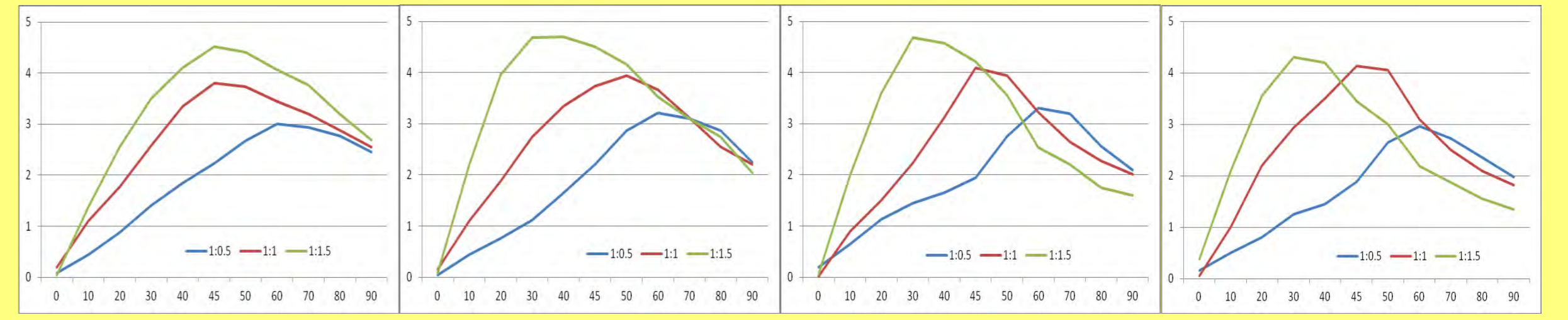
實驗四：斜口煙囪遮罩底部高度對不同角度光線發電影響

結果：

1. 遮罩底部高度越高(0→10.5cm)，最高發電差距會下降(3.6V→3.24V)，最大發電光照傾斜角度則不變(50°)。
2. 底部高度越高(10.5cm)，加大高寬比(0.5→1.5)對最大發電差距與最大發電光照傾斜角度影響，比底部高度低(0cm)明顯。



光照傾斜角度越大追蹤靈敏度越低

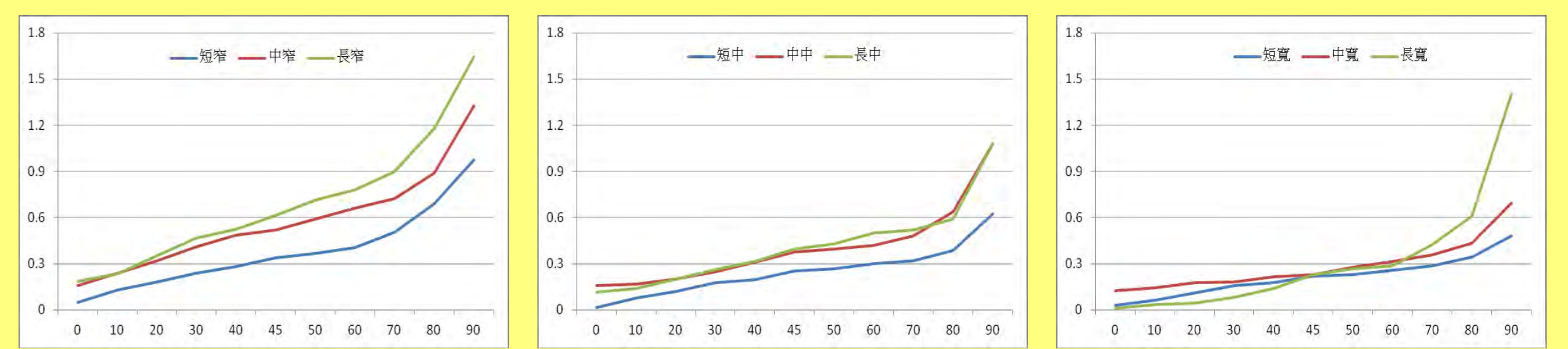


不同底部高度0cm、3.5cm、7cm、10.5cm(由左至右)的發電量

實驗五：半圓遮罩光柵間隔寬度對不同角度光線發電影響

結果：

1. 光柵間隔越寬(0.5→1.5cm)，最高發電差距會下降(1.31V→0.86V)，最大發電光照傾斜角度則增加到90°。
2. 在最佳間隔寬度(0.5cm)下，當光照傾斜度由60°到90°時，最大發電差距會有明顯呈現倍數的提升(0.62V→1.31V)。

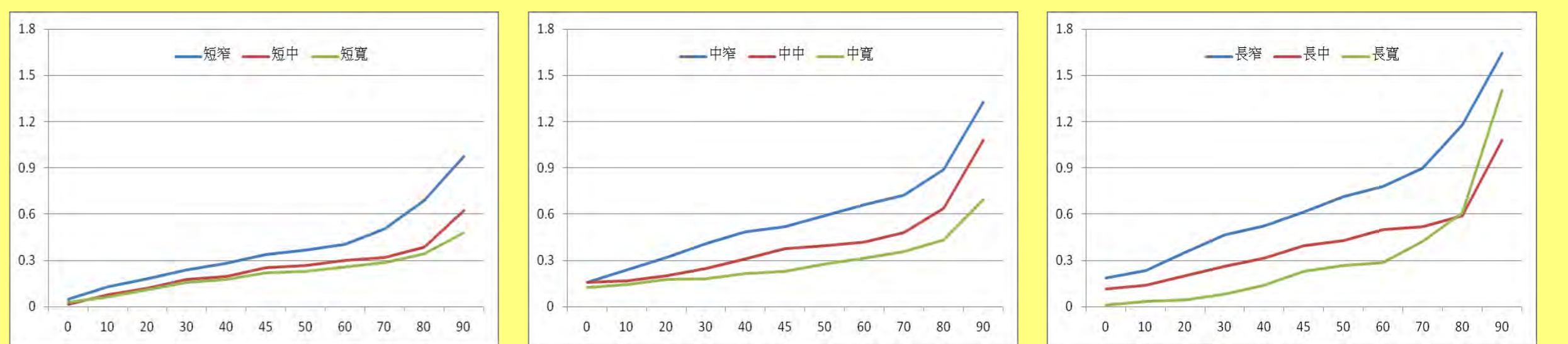


不同間隔寬度0.5cm(左)、1cm(中)、1.5cm(右)的發電量

實驗六：半圓遮罩光柵隔板長度對不同角度光線發電影響

結果：

1. 光柵隔板長度越長(1→3cm)，最高發電差距會上升(0.69V→1.37V)，最大發電光照傾斜角度也會增加到90°。
2. 增加光柵隔板長度(1→3cm)對提升最大發電差距的影響(0.69V→1.37V)，要比縮小光柵間隔寬度(1.5→0.5cm)的效果(0.86V→1.31V)明顯。



不同隔板長度1cm(左)、2cm(中)、3cm(右)的發電量

陸、討論

討論一：歸納影響太陽能板與追蹤變項間的相互影響

一、歸納兩塊太陽能板夾角對光線的追蹤效果

- (一) 夾角越大，最大發電量的光照傾角越小。
- (二) 最大發電的光照角度越小，太陽追蹤的靈敏度就越高。
- (三) 太陽能板夾角太大或太小，最大發電的量都會下降。

二、歸納斜口煙囪遮罩的高寬比與底部高度的追蹤效果

- (一) 高寬比越大，最大發電光照傾角越小但發電量則升高。
- (二) 底部越高，最大發電的光照傾角不變但發電量則降低。

三、歸納半圓形遮罩的光柵板間隔與長度的追蹤效果

- (一) 間隔越寬，最大發電光照傾角不變但發電量則降低。
- (二) 隔板越長，最大發電光照傾角不變但發電量則升高。
- (三) 光照傾斜角越大，最大發電量也越高。

討論二：利用發現設計能追蹤太陽光線的裝置

一、歸納最佳化太陽能板夾角與遮罩：

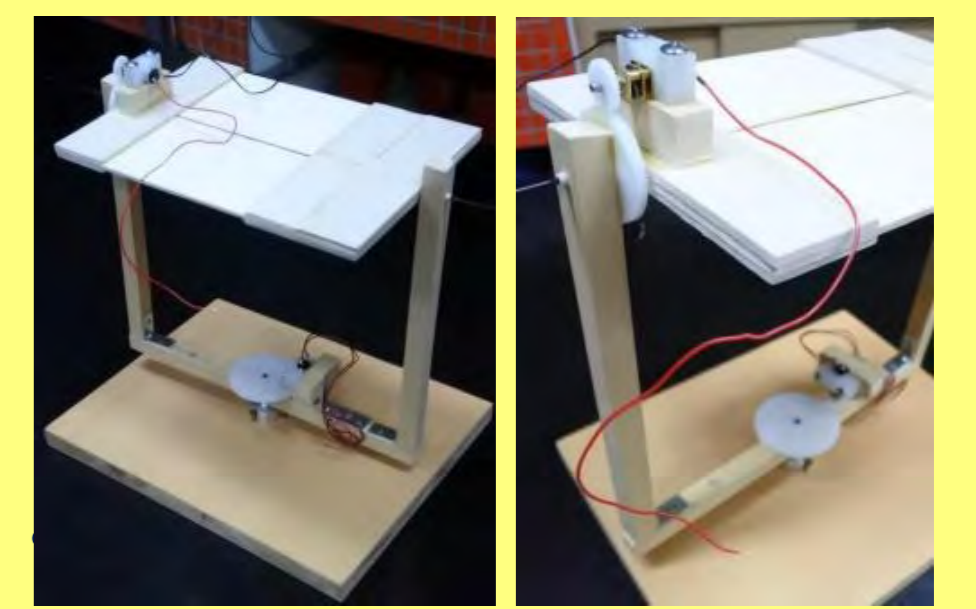
考量靈敏度與最大發電量，決定太陽能板夾角為75°、煙囪遮罩高寬比1.5:1、底部高度為0cm、遮罩光柵間隔1cm、長度3cm。



二、設計二維追蹤的機械結構

三、設計追蹤的機械與電路控制

- (一) 透過偵測微量電流開關感應，切換外部電源電流方向，控制馬達轉動方向，達到精確即時的追蹤
- (二) 設計追蹤電路：即使在室內以手輪流在兩片太陽能板上遮光，指針依舊能靈敏左右擺盪，證明我們設計的構想確實可行。

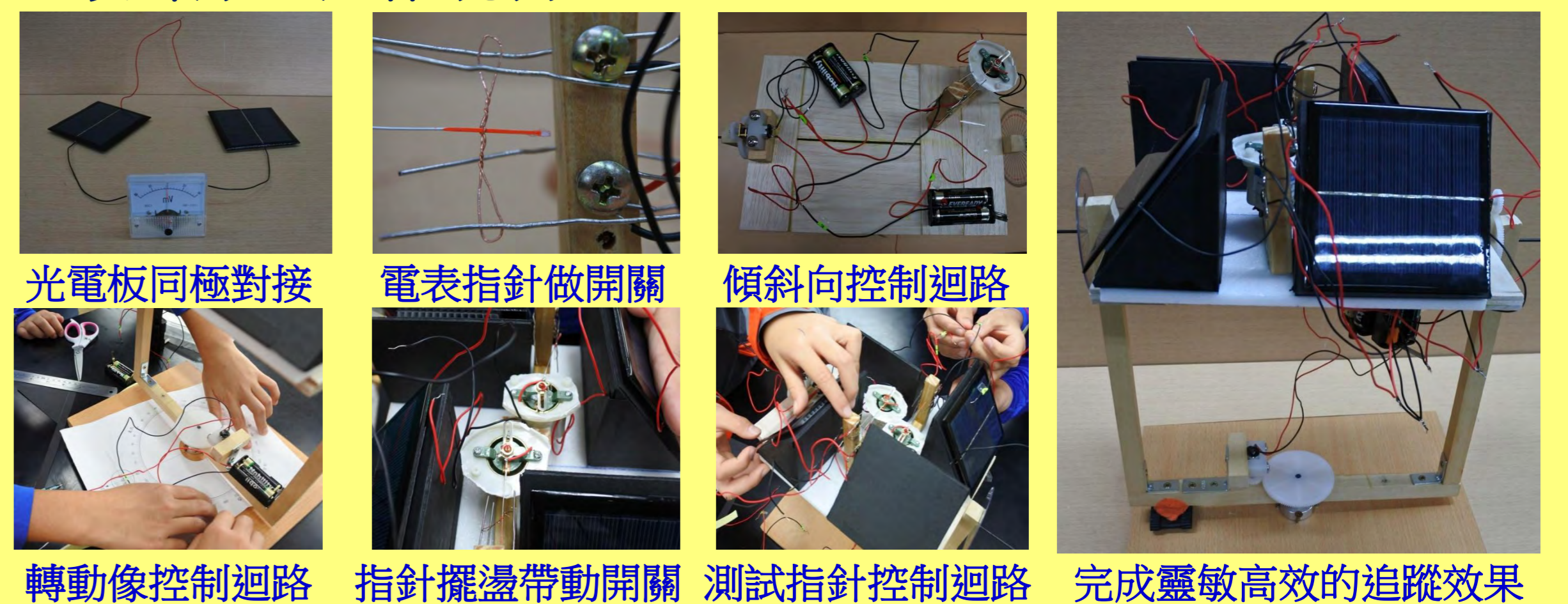


二維追蹤的機械結構



遮左邊光電板指針偏左轉，遮右邊則偏右轉 改裝電表為偵測器

四、設計原理運作說明



光電板同極對接 電表指針做開關 傾斜向控制迴路 轉動像控制迴路 指針擺盪帶動開關 測試指針控制迴路 完成靈敏高效的追蹤效果

五、自製的太陽追蹤裝置



討論三：自製太陽追蹤器實測效能

一、追蹤靈敏度測試發現：改變光照強度並改變照射角度，測量追蹤器啟動時與光線的偏折角度。

- 1.光照強度越強(12000Lux)，啟動追蹤的靈敏度越好。
- 2.低光照強度(<3000Lux)時，靈敏度維持在20°以內。
- 3.光照角過大(50°~70°)靈敏度降低且光照越弱越明顯。

二、追蹤精確度測試發現：改變光照強度並固定維持30°的照射角，測量結束追蹤時與光線間的偏折角度。

- 1.光照越強(12000Lux)，結束追蹤時的誤差越低(3°)。
- 2.光照越弱(<3000Lux)時，追蹤誤差提高到12°以上。
- 3.實驗預估戶外實測追蹤效果會受到現場光線影響。

三、實際太陽追蹤測試：將追蹤器對準北方平放，每隔一小時測量光線強度，再以觀測器記錄太陽位置並比對與追蹤器間的誤差。

- 1.有太陽時追蹤靈敏度會大幅提高，幾乎沒有誤差。
- 2.考量操作誤差，當兩者差距在±1°以內便視為一致。

表：靈敏度測試結果

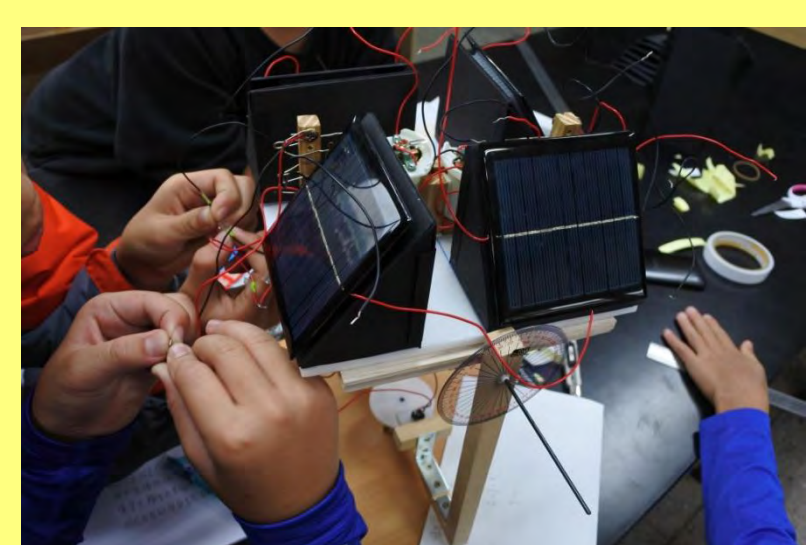
Lux\角度	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
1000			✓	✓	✓					
3000			✓	✓	✓	✓				
6000		✓	✓	✓	✓	✓				
9000		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
12000		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

表：精確度測試結果

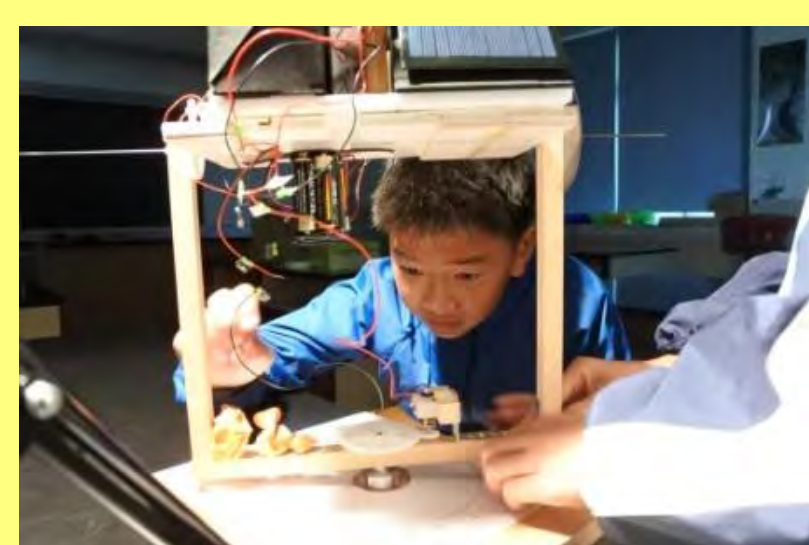
角度\ Lux	1000	3000	6000	9000	12000
追蹤起始角度	30°	30°	30°	30°	30°
追蹤結束角度	13	18	24	26	27

表：太陽追蹤實測結果

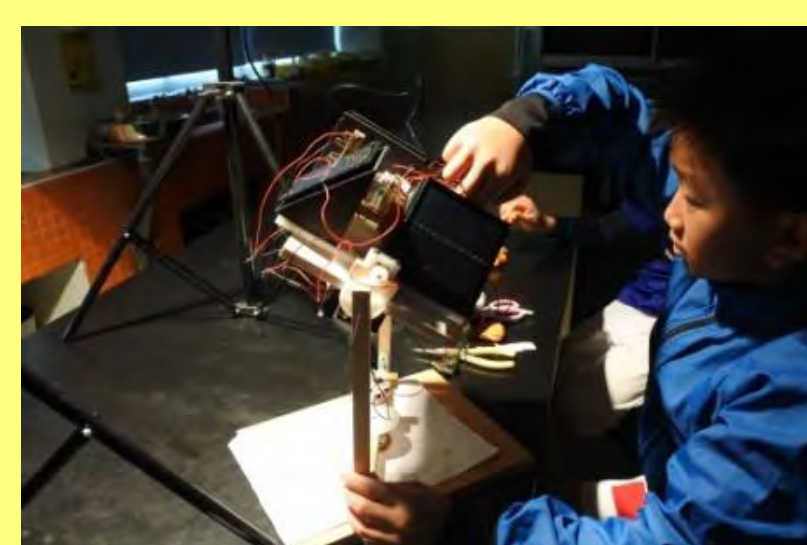
時間	時分	光照	追蹤器追蹤		觀測器測量		誤差	
			高度角	方位角	高度角	方位角	高度角	方位角
1	8 15	45200	26	115	23	110	-3	-5
2	9 20	54500	31	134	36	122	5	-12
3	10 16	53800	43	135	47	132	4	-3
4	11 12	64200	54	155	56	152	2	-3
5	12 15	75700	61	183	59	181	-2	-2
6	13 08	85300	54	202	56	204	2	2
7	14 12	63600	51	224	47	227	-4	3
8	15 16	55300	39	245	36	240	-3	-5
9	16 14	34700	20	253	24	249	4	-4
10	17 10	21500	16	262	11	256	-5	-6



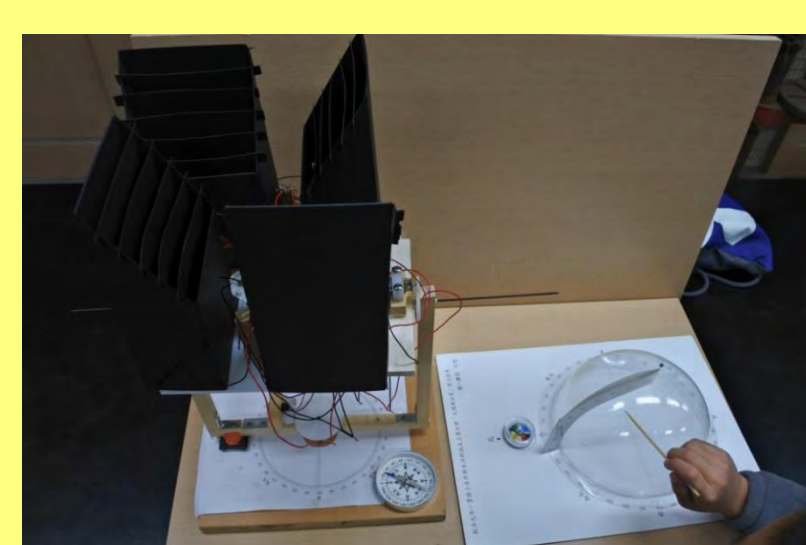
組裝太陽追蹤器電路



安裝二維追蹤機械結構



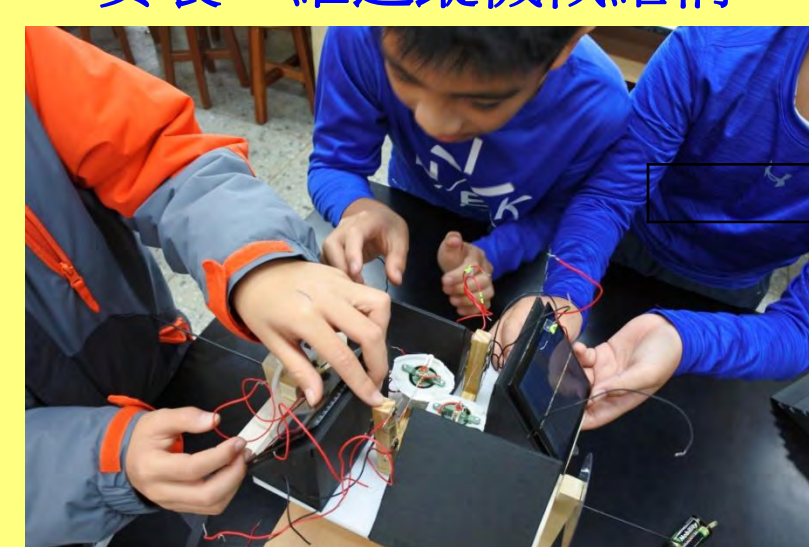
追蹤靈敏度測試



太陽追蹤器與觀測器



組裝太陽追蹤器遮罩



安裝微電流感應關



追蹤精確度測試



太陽追蹤實際測試



太陽追蹤實測器材

柒、結 論

一、利用改變太陽能板夾角、斜口煙囪遮罩、半圓光柵遮罩等方式所產生不對稱光線，的確可讓電流產生拉鋸，配合自製微電流感應開關，便能控制外部電流帶動馬達轉向，成功設計出太陽追蹤的裝置。

二、追蹤遮罩設計發現

(一)太陽能板夾角實驗

- 1.最大發電的光照角度越小，太陽追蹤的靈敏度就越高。
- 2.太陽能板夾角太大或太小，最大發電的量都會下降。

(二)斜口煙囪遮罩實驗

- 1.高寬比越大，最大發電量越高且發電的光照傾角越小。
- 2.底部越高，最大發電量會降低但發電的光照傾角不變。

(三)半圓光柵遮罩實驗

- 1.光柵間隔越寬，最大發電量會降低但發電光照傾角不變。
- 2.光柵板越長，最大發電量會提高但發電光照傾角不變。
- 3.光照傾斜角越大，最大發電量也越高。

三、追蹤機械設計發現

(一)提高太陽追蹤的靈敏度，還可以透過微型馬達、減速齒輪與提高追蹤座的平衡配重來達成。

(二)小馬達依舊要最低啟動電量，如此便會產生靈敏度與誤差，加上過小馬達，也不能帶動機械運轉。

(三)追蹤馬達無法直接利用太陽能板的拉鋸微量電流運轉，必須利用電表改裝偵測微量電流控制外部電源方向讓馬達產生追蹤運轉。

(四)避免太陽能板只做追蹤用途，可在電池盒上加裝充電與追蹤的切換開關，完成追蹤後切換成儲存太陽能板所發的電，便可使用發的電來追蹤且不影響靈敏度，除提高發電量又可儲存多餘的電。

四、自製太陽追蹤器實測發現

(一)有日照(>10000Lux)下可進行靈敏(光照偏斜10°以內可追蹤)且精準(追蹤完成誤差±3°以內)的追蹤。

(二)追蹤靈敏度會隨光照的強度所影響，但我們自製追蹤器即使在低光照(<3000 Lux)依舊具追蹤效果。

五、未來發展

(一)可以應用在所有需要與太陽保持同步的需求，如：自動調整窗簾、聚光反射鏡、太陽能板追蹤等。

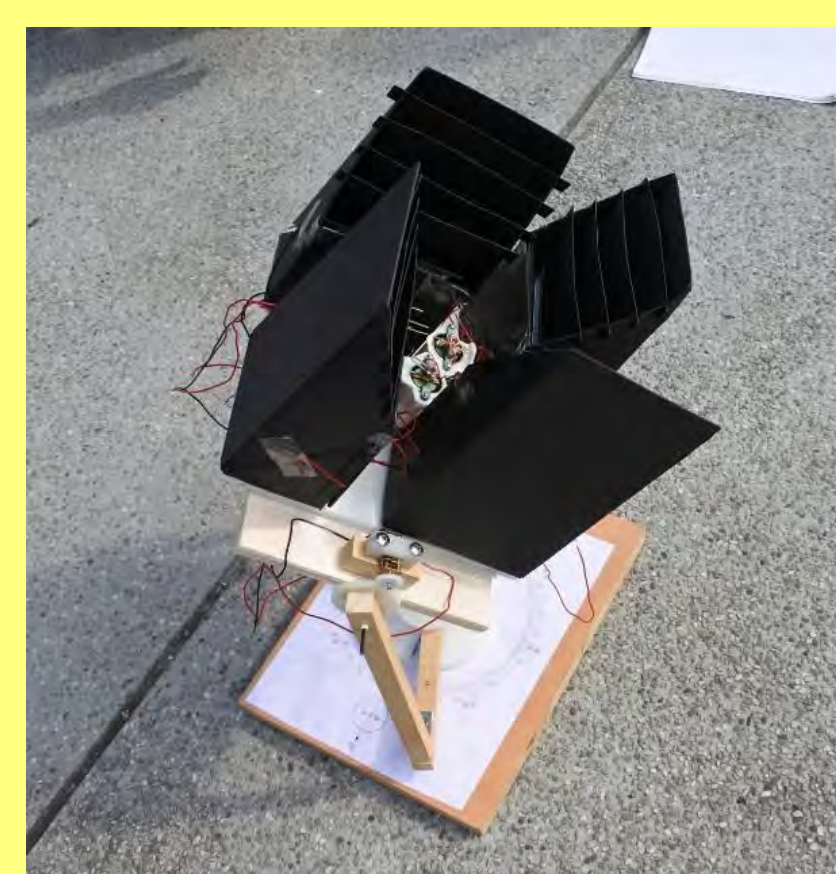
(二)利用遮罩進行追蹤效果比以往研究好，但體積大需配重平衡，未來研究減少體積的追蹤遮罩。

參考資料

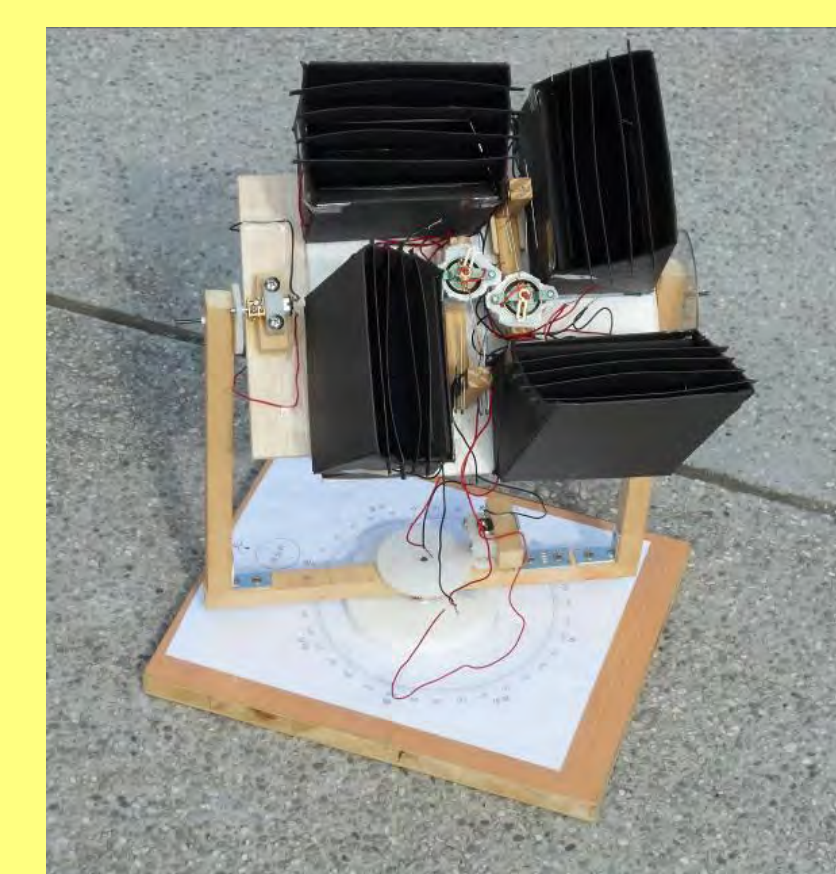
喬薇、簡毓萱(2014)：雙軸控制太陽位置追蹤器之研製。中華民國第54屆中小學科學展覽會。

吳玉祥、張凱嵐(2014)：雙軸太陽能追日器系統設計。中國科學技術大學學報Vol.58-2014.01。

孫意涵、謝佳岑、閔子庭、楊宇翔(2016)：真的全自動-全球免設定日光追蹤系統！。中華民國第56屆中小學科學展覽會。



太陽追蹤實際測試角度一



太陽追蹤實際測試角度二