

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科
佳作

051909

探討太陽能板對環境的熱影響與其不同條件下
之發電效率

學校名稱： 國立臺南第一高級中學

作者： 高二 陳冠璽 高二 許庭睿	指導老師： 施怡如 黃建彰
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 太陽能板、熱島效應、發電效率

摘要

本研究探討太陽能板對環境溫度的影響，希望找出能兼顧發電效率與降低熱影響之大樓頂太陽能板架設方式。我們測量太陽能板與水泥地不同時間的溫度，以瞭解在相同的光照環境，兩者的溫度差異，進而推知不同時期，兩者對環境釋放的熱輻射差異。另外，我們也發現太陽能板的背板溫度較高之因，主要是吸收下方水泥地的熱輻射與散熱不易導致，並進而發現，若單純只考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，應在法規限制下盡可能架高太陽能板。為了解太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係，我們分別在無風環境、受正面風、側面風以及背面風吹拂下進行測量，發現在背面風的吹拂下，太陽能板溫度會較低，發電效率較好。

壹、前言

一、動機

太陽能發電是臺灣重要的再生能源來源，自 2023 年 9 月至 2024 年 8 月為止，太陽能發電量比例占我國總發電量約 5.1%，在低碳能源中僅次於核能發電(5.6%)。在臺灣，許多建築物的屋頂有架設太陽能板，在我們學校的建築物頂樓也不例外。然而，近期有輿論及研究指出，架設太陽能板可能會造成環境氣溫上升。美國馬里蘭大學 (University of Maryland) 一篇刊登於 *Scientific Reports* 的研究指出，地面型太陽能板發電場在夜間溫度平均會比荒地高出 3~4°C，推測會造成熱島效應，若太陽能板的架設真的會造成熱島效應的發生，對遍布著許多太陽能板的都市造成的熱影響累積量將相當可觀，不容忽視。但我們在搜尋相關資料時，發現也有研究說明架設太陽能板會造成冷島效應(張博深, 2010)。因此我們希望利用校內既有的太陽能板以及自行架設的實驗裝置來探討大樓頂不同擺放方式的太陽能板，其溫度與水泥地之溫度差異、發電效率與對環境氣溫的影響，希望能找到兼顧太陽能板發電效率，與降低其對環境氣溫的熱影響之最佳太陽能板擺放方式。

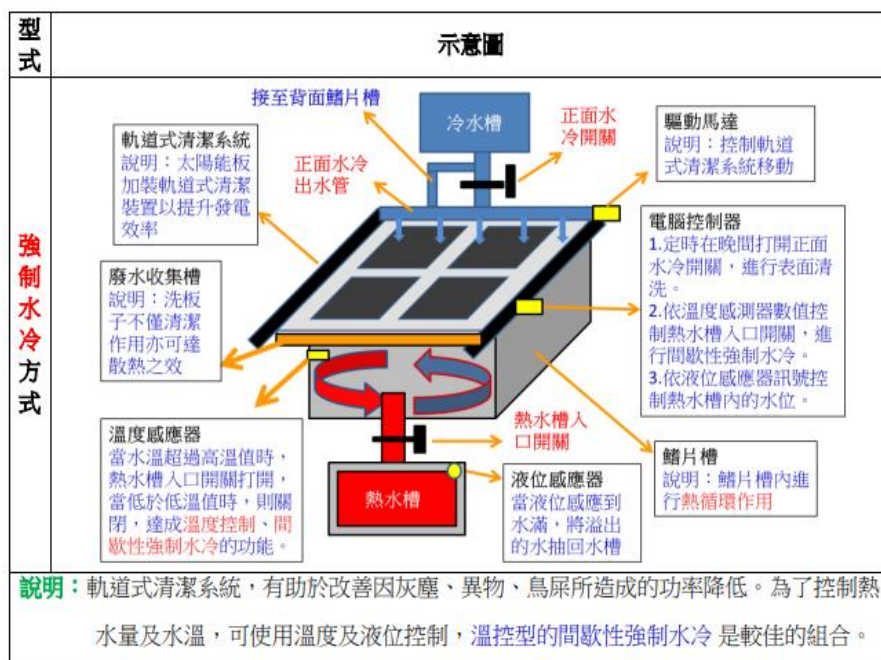
二、目的

- (一) 測量不同時期太陽能板與水泥地之溫度。
- (二) 探討太陽能板正板與背板溫度差異之原因。
- (三) 探討太陽能板架設高度對太陽能板背板溫度之影響。
- (四) 探討太陽能板的架設對環境氣溫的影響。
- (五) 測量太陽能板與水泥地對太陽輻射吸收率。
- (六) 探討無風狀態，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係。
- (七) 探討不同風向，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係。

三、文獻回顧

(一)「增」光「擠」熱拚綠能 ——探討太陽能板發電效能提升及應用

- 1、太陽能板的輸出電壓、電流和功率隨溫度升高而下降。
- 2、有灰塵的情況下，太陽能板的輸出功率比起無灰塵的情況下都要來的低。
- 3、不同仰角下，太陽能板的輸出功率，依序為仰角 $30^{\circ} > 15^{\circ} > 0^{\circ}$ 。
- 4、太陽能板輸出功率與溫度成反比關係。
- 5、8片散熱鰭片時，可以維持較高的輸出功率；無散熱鰭片時，會有較低的輸出功率。
- 6、利用散熱片進行背面水熱對流時，太陽能板的輸出功率比無冷卻散熱狀態時還大。
- 7、背面強制水冷對提升太陽能板輸出功率效果顯著。
- 8、散熱片位置及散熱面積對太陽能板發電效能的影響也非常重要。



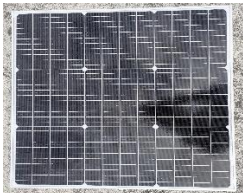












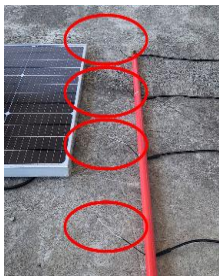

▲圖 1 水冷裝置示意圖（引自陳柏驊等，2015）

(二)「觸」水「浮」「能」-探討漂浮太陽能板之效能提升

- 1、加上水冷裝置後，致冷晶片的發電效率增加。
- 2、發現單層壓克力透光效果最佳，單層玻璃隔熱效果最好。
- 3、太陽能板正面、背面溫度，皆會隨時間增加而增加，而且背面溫度上升的幅度較大。
- 4、隨著時間增加，電壓逐漸下降，電流有上升的趨勢，但電功率仍然有下降趨勢。
- 5、太陽能板溫度降低後，電壓有上升的趨勢。
- 6、加裝致冷晶片模組後，測得太陽能板的電壓、電流皆有增加。

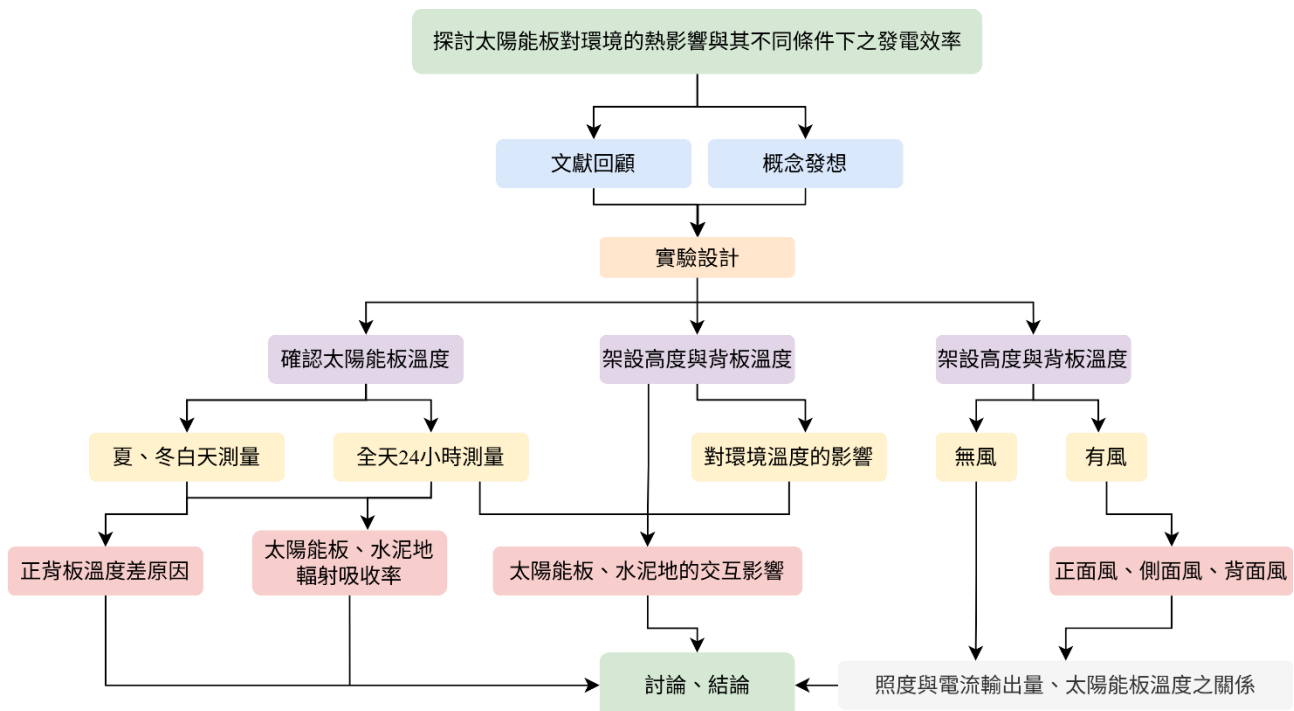
(三) 上述作品皆使用了水冷等方法使太陽能板在發電時溫度不致上升過高，且使用鹵素燈等燈具充當陽光，但其隱含著尺度與現實相關程度及成本過高之問題，因其使用的模型為小型實驗裝置，可能無法完全類推至更大尺度，且若採用其散熱方法，現今所架設的太陽能板可能需要全數汰換，短時間運用到現實的難度較高。因此我們的研究希望在現實環境中測量，直接利用太陽光照射太陽能板，且單純透過改變太陽能板架設面向或高度等變因來瞭解太陽能板溫度會如何改變，以期能更符合真實狀況。

貳、研究設備及器材

太陽能板 60W 18V (590*570*25mm)	三用電表	照度計	二氧化碳濃度/溼度計	溫度計(labquest)
				
▲圖 2 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 3 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 4 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 5 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 6 (本圖片由作者親自拍攝)
紅外線溫度計 (表面溫度)	風速計	量角器	捲尺	課桌椅、支架
				
▲圖 7 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 8 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 9 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 10 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 11 (本圖片由作者親自拍攝)
工業風扇	梯子	擋風紙箱	溫度探針架 (環境氣溫)	黏貼工具
				
▲圖 12 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 13 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 14 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 15 (本圖片由作者親自拍攝)	▲圖 16 (本圖片由作者親自拍攝)

參、研究過程與方法

一、研究架構圖



▲ 圖 17 (本圖片由作者親自製作)

二、實驗方法

(一)實驗一：測量不同時期太陽能板與水泥地之溫度

為了確認太陽能板與大樓頂樓水泥地之溫度差異，我們決定測量太陽能板與水泥地在不同時間的溫度。

1、測量地點：校園建築物頂樓。

2、實驗方法：

(1)如圖 18 所示，使用紅外線溫度計測量校園內架設的太陽能板上方(正板)、太陽能板下方(背板)及未遮蔽之水泥地，自 9:00 至 15:00 每隔半小時的溫度(夏季白天-2 每隔一小時測量一次)，並繪製成圖表，分析不同時間點，校園中太陽能板正板、太陽能板背板及未遮蔽之水泥地溫度高低關係。

(2)如圖 19 所示，自行架設太陽能板，測量太陽能板上方(正板)、太陽能板下方(背板)、太陽能板下方水泥地及未遮蔽之水泥地，自 3:00 至隔天 2:00 共 24 小時每隔一小時的溫度，並將數據繪製成圖表，分析不同時間點，自行架設的太陽能板正板、太陽能板背板、太陽能板下方水泥地及未被遮蔽之水泥地的溫度高低關係。

3、實驗示意圖：



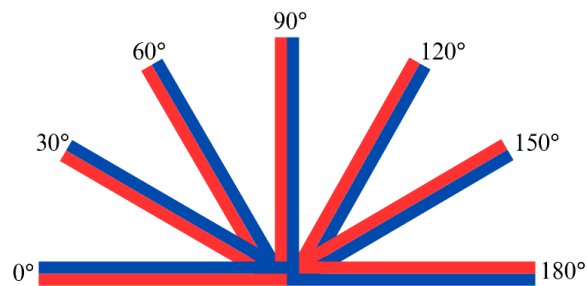
▲圖 18 (本圖片由作者親自拍攝)



▲圖 19 (本圖片由作者親自拍攝)

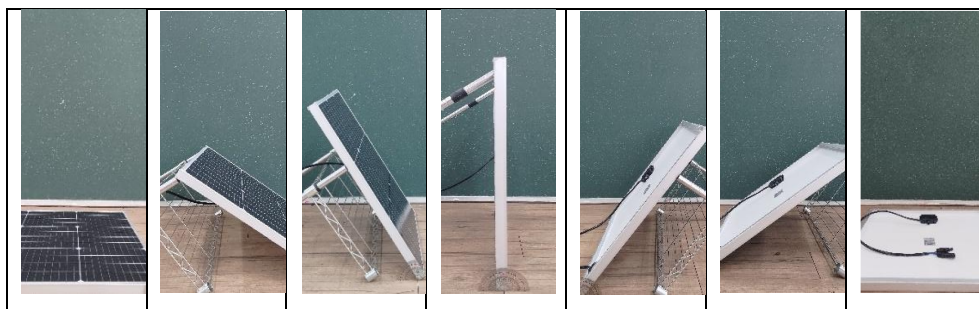
(二)實驗二：探討太陽能板正板與背板溫度差異之原因

- 1、測量時間：12:00~13:00。
- 2、測量地點：校園建築物頂樓及校園草地。
- 3、實驗方法：透過測量不同太陽能板與地板夾角之正板與背板的溫度。我們設太陽能板背板與地面夾角為 θ ，使用紅外線溫度計測量 θ 為 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 120° 、 150° 、 180° 時，太陽能板正、背板溫度。為了控制實驗準確性，我們選擇晴朗無雲的中午時刻測量，使太陽光照度與環境氣溫不會變化過多。每種角度設置之實驗裝置先讓陽光照射 5 分鐘後，再進行溫度測量。
- 4、實驗裝置圖：



註：紅色為太陽能板背板，藍色為太陽能板正板

▲圖 20 (本圖片由作者親自製作)



▲圖 21 (本圖片由作者親自拍攝)

(三)實驗三：探討太陽能板架設高度對太陽能板背板溫度之影響

我們想知道太陽能板的架設高度，是否會影響太陽能板背板溫度。

- 1、實測時間：12:00~13:00
- 2、實測地點：校園建築物頂樓。
- 3、實驗裝置：



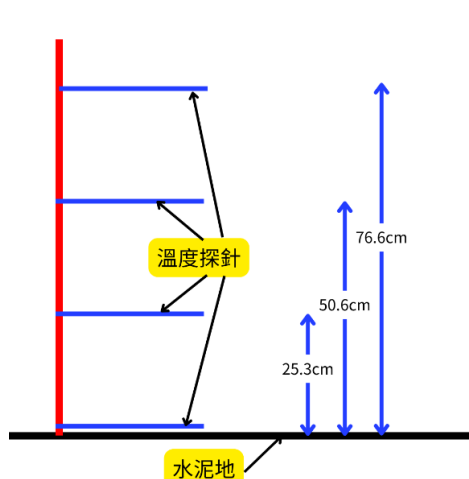
▲圖 22 (本圖片由作者親自拍攝)

- 4、實驗方法：我們將兩片太陽能板置於陰影處，讓正、背板都先降溫到相同溫度 (24.3℃)，接著使用梯子將一片太陽能板架高至距離水泥地 145.7cm、用椅子將另一片太陽能板架高至距離水泥地 46.1cm (如圖 22)，並且每兩分鐘測量背板溫度及其正下方水泥地的溫度，繪製出溫度變化折線圖。

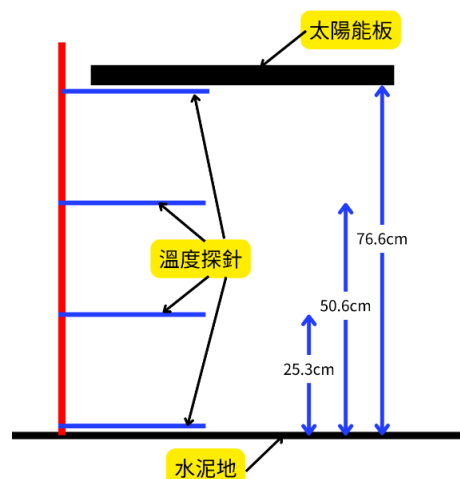
(四)實驗四：探討太陽能板的架設對環境氣溫的影響

我們想量測太陽能板與水泥地對環境氣溫的影響，但由於風會干擾測量數據，故我們自製四方遮蔽之擋風紙箱。

- 1、測量地點：校園建築物頂樓。
- 2、裝置示意圖：



▲圖 23 (本圖片由作者親自製作)



▲圖 24 (本圖片由作者親自製作)

3、實驗方法：

- (1)將擋風紙箱立於無遮蔽之水泥地上，並如圖 23 所示，測量不同高度之大氣溫度。
- (2)利用梯子架高太陽能板至距地 76.6 公分，並用擋風紙箱遮住太陽能板下方，並如圖 24 所示，測量不同高度之大氣溫度。

(五)實驗五：測量太陽能板與水泥地對太陽輻射吸收率

- 1、測量時間：12:00~13:00。
- 2、測量地點：校園建築物頂樓。
- 3、實驗方法：

- (1)我們使用照度計測量太陽光照度、太陽能板反射照度及水泥地反射照度。
- (2)反照率公式：

$$\frac{\text{太陽能板(或水泥地)反射照度}}{\text{太陽光照度}}$$

太陽光照度：如圖 25，將照度計朝上擺放，測量太陽輻射量。

太陽能板反射照度：如圖 26，將照度計面向太陽能板，測量被太陽能板反射之輻射量。

水泥地反射照度：如圖 27，將照度計面向水泥地，測量被水泥地反射之輻射量。

- (3)求得每筆數據之反照率，進行平均後得平均反照率。
- (4)物體對太陽輻射吸收率=1 - 平均反照率。

4、實驗示意圖：



▲ 圖 25

(本圖片由作者親自拍攝)



▲ 圖 26

(本圖片由作者親自拍攝)



▲ 圖 27

(本圖片由作者親自拍攝)

(六)實驗六：探討無風狀態，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係

- 1、實驗時間：12:00~13:00。
- 2、實驗地點：校園建築物頂樓。

3、實驗裝置圖：



▲圖 28

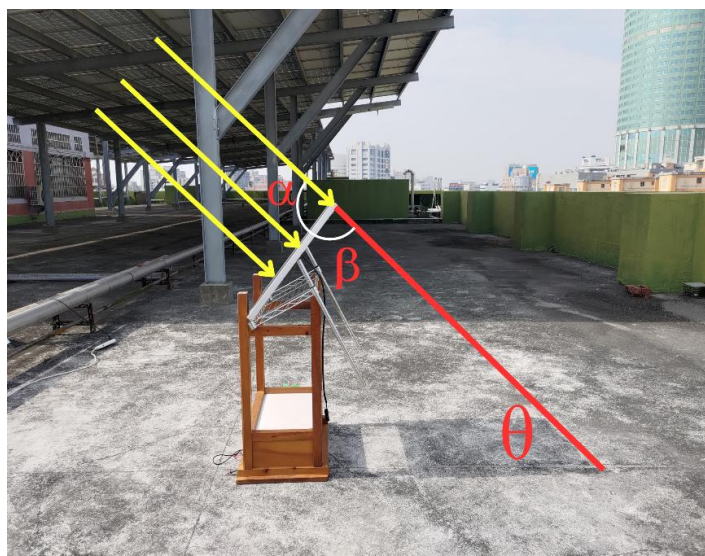
(本圖片由作者親自拍攝)



▲圖 29

(本圖片由作者親自拍攝)

4、確認太陽能板受太陽直射方法：



▲圖 30 (本圖片由作者親自拍攝及製作)

(1)連接太陽能板上端與其陰影，與地面夾角 θ 即為太陽仰角。

(2)當太陽直射太陽能板面時，圖中 $\alpha = \beta = 90^\circ$ 。

(3)使用棉線固定於太陽能板上端，將棉線另一端拉至其陰影末端，以量角器測量棉線與太陽能板板面夾角(β 角)。

(4)調整板面傾斜程度使 β 角為 90° 。

5、利用我們的實驗裝置與設備進行測量時，我們發現「電壓」的變化量遠不及「電流」明顯，因此選擇以電流作為分析對象，以推估發電效率。

(七)實驗七：探討不同風向，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係

- 1、實測時間：12:00~13:00。
- 2、實測地點：校園建築物頂樓。
- 3、實驗裝置圖：



▲圖 31：正面風



▲圖 32：側面風



▲圖 33：背面風

(本圖片由作者親自拍攝) (本圖片由作者親自拍攝) (本圖片由作者親自拍攝)

4、實驗方法：

- (1) 實驗七-甲：依據實驗六的架設方式架設太陽能板，調整電風扇與太陽能板距離，使太陽能板接受到 3m/s 之風速，分別測量太陽能板受電風扇吹正面風、背面風、側面風的太陽光照度與電流。
- (2) 由以上數據繪製圖表，比較太陽能板受正面風、側面風及背面風，其發電效率的差異。
- (3) 實驗七-乙：為了瞭解不同風向對太陽能板正、背板溫度的影響，我們同時架設兩組電風扇-太陽能板之裝置，在同時間、地點、環境及照度下繪製其正、背板溫度變化關係，藉此比較三種風向吹拂下，太陽能板正、背板溫度高低關係。

- 5、測量方法改進：在測量實驗七-甲，不同風向下太陽能板的電流對照度的關係時，我們原先將照度計置於地面，水平擺放，卻發現不同時期測得的各次實驗數據關係不定。經由多次檢討過後，我們將照度計改為平行太陽能板擺放，成功得到穩定的數據關係且各次實驗的相關性結果均相同，推測原因為，若將照度計置於地面，將導致照度計顯示之照度與太陽能板實際接收的照度不同。當太陽仰角在實驗過程中些微改變時，實驗結果就會產生誤差。

肆、實驗結果

一、實驗一：測量不同時期太陽能板與水泥地之溫度

- (一)夏季白天(校園內架設之太陽能板)：以下將太陽能板上簡稱為正板、未遮蔽之水泥地簡稱為未遮蔽水泥、太陽能板下方簡稱為背板，溫度單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

時間	背板	未遮蔽水泥	正板
09:00	37.6	35.4	30.4
09:30	41	38.9	36.2
10:00	47	42.6	40.1
10:30	49.8	45.3	42.7
11:00	48.7	45.4	39.3
11:30	50.9	49.1	44.4
12:00	50.3	48.9	42.8
12:30	45.6	46.4	39.1
13:00	52.2	50.7	46.4
13:30	41.8	45.1	37.2
14:00	41.2	41	36.8
14:30	44.1	44.1	37.6
15:00	40.2	44.8	36

▲表 1：夏季白天-1

時間	背板	未遮蔽水泥	正板
09:00	41.68	41.64	39.98
10:00	56.64	51	50.74
11:00	56.44	53.1	46.24
12:00	58.82	60.34	52.32
13:00	53.24	54.96	47.36
14:00	44.28	51.6	40.44
15:00	42.28	49.22	40.86

▲表 2：夏季白天-2

(二)冬季白天(校園內架設之太陽能板)：以下將太陽能板上方簡稱為正板、未遮蔽之水泥地簡稱為未遮蔽水泥、太陽能板下方簡稱為背板，溫度單位為℃。

時間	背板	未遮蔽水泥	正板
09:00	27.7	19.5	19.4
09:30	30.5	21.2	19.6
10:00	36.1	25.5	22.6
10:30	38.9	28.2	26.2
11:00	43.6	33.4	28.9
11:30	45.5	36	30.9
12:00	47	38.5	32
12:30	45.9	37.1	33.6
13:00	44.9	40.9	32
13:30	46.2	40.7	34.3
14:00	43.8	40.3	30.9
14:30	41.5	41.9	32.1
15:00	42	38.9	27.4

▲表 3：冬季白天-1

時間	背板	未遮蔽水泥	正板
09:00	37.6	27	22.1
09:30	43.7	31.9	27.5
10:00	49.8	34.8	31.4
10:30	55.3	38.8	35.6
11:00	56.3	41.7	36.8
11:30	52	42.9	36.7
12:00	53.8	46.4	40.1
12:30	51.3	45.5	34.5
13:00	47.4	43.6	35.5
13:30	49.9	45	35.1
14:00	49.7	46.7	37
14:30	43.7	44	29.8
15:00	40.9	42	26.2

▲表 4：冬季白天-2

(三)全天-二十四小時(自行架設之太陽能板)：溫度單位為℃。

時間	背板	未遮蔽之水泥地	正板	太陽能板下方水泥地
03:00	14.6	17.3	13.5	18.4
04:00	14.1	17	10.3	18.3
05:00	13.5	16.2	12.5	17.3
06:00	13.2	14.9	10	15.8
07:00	16.1	16.1	14.9	17.1
08:00	32.7	19.4	31.4	21.8
09:00	48.4	29.1	46.1	33
10:00	54.8	35.9	45.9	40.3
11:00	56.6	40.9	52.3	42.9

12:00	58.1	45.3	50.8	50.5
13:00	56.9	46.8	47.6	47.6
14:00	55.5	46	45.4	48.5
15:00	46.7	43.7	44.1	43.9
16:00	39.6	39.5	37.8	39.4
17:00	27.2	29	25.8	27.5
18:00	21	24.9	20.7	24.8
19:00	18.5	22.6	17	22.9
20:00	17.4	21.8	17.2	21.5
21:00	17.5	21.6	17.3	21.2
22:00	17.4	20.9	12.7	21.2
23:00	17.6	20.8	12.7	20.55
00:00	16.6	19.8	8.9	20.9
01:00	16.7	19.9	8.7	20.7
02:00	16.5	19.1	14.8	20.7

▲表 5：全天-二十四小時(自行架設之太陽能板)

二、實驗二：探討太陽能板正板與背板溫度差異之原因

角度	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
太陽能板正板	25.1	25.8	25.4	25.2	24.0	24.5	24.8
太陽能板背板	27.4	26.2	25.9	25.2	23.7	24.0	23.4
正板-背板	-2.3	-0.4	-0.5	0	0.3	0.5	1.4

▲表 6：水泥地上不同角度太陽能板上正背板溫度(°C)

角度	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
太陽能板正板	35.3	34.5	31.0	28.6	27.8	27.1	27.0
太陽能板背板	36.3	34.8	31.2	28.6	27.3	24.4	24.0
正板-背板	-1.0	-0.3	-0.2	0	0.5	2.7	3.0

▲表 7：草地上不同角度太陽能板正背板溫度(°C)

三、實驗三：探討太陽能板架設高度對太陽能板背板溫度之影響

持續時間	太陽能板下方	未遮蔽之水泥地
0	24.3	41.1
2	35.3	40.4
4	40.8	42.4
6	42.5	40.6
8	43.2	42
10	42.5	42.8
12	41.8	42.2
14	43.2	42.1
16	45.9	43.9
18	48.2	42.2
20	50.8	43.7

▲表 8：距地 145.7cm 太陽能板背板與未遮蔽之水泥地溫度(°C)

持續時間	太陽能板下方	未遮蔽之水泥地
0	24.3	41.1
2	35.8	42.4
4	40.8	43.2
6	44.4	43
8	46.2	43.3
10	43.8	43.1
12	43.6	42.9
14	44.9	42.1
16	47.7	43.1
18	51.7	44.2
20	52.8	45.5

▲表 9：距地 46.1cm 太陽能板背板與未遮蔽之水泥地溫度(°C)

四、實驗四：探討太陽能板的架設對環境氣溫的影響

編號 1 為距地 76.6 公分處的溫度探針，編號 2 為距地 50.6 公分處的溫度探針，編號 3 為距地 25.3 公分處的探針，而編號 4 為距地 0 公分處的探針。

編號	溫度			
水泥地溫度	40.6	40.5	41.1	38.2
1	30.3	29.1	31.2	29.4
2	30.4	29.3	31.3	29.5
3	30.5	29.5	31.5	30
4	33.7	31.5	33.7	32.1

▲表 10：未遮蔽之水泥地上方的環境不同高度之溫度(°C)

編號	溫度						
1	34.6	35.7	36	35.6	35.4	36.2	34.4
2	33	34.7	34.5	34.4	34.8	34.6	32.4
3	31.4	33.9	34.4	33.9	32.7	32.4	31.7
4	32	34.4	34.8	34.6	32.9	32.9	32.1

▲表 11：太陽能板與水泥地之間的環境不同高度之溫度(°C)

五、實驗五：測量太陽能板與水泥地對太陽輻射吸收率

編號	太陽光照度	太陽能板反射照度	水泥地反射照度	太陽能板反照率	水泥地反照率
1	18250	2850	3752	0.156164	0.205589
2	20130	3094	4619	0.153701	0.229459
3	24510	3744	5185	0.152754	0.211546
4	24018	3701	5316	0.153696	0.220764
5	22980	3385	5312	0.147302	0.231158

6	25380	3688	5874	0.145311	0.231442
7	24340	3600	5681	0.147905	0.233402
8	22820	3396	5555	0.148817	0.243427
9	22800	3486	5462	0.152895	0.239561
平均反射率				0.150949	0.227372

▲表 12：太陽能板與水泥地反射率(照度單位 lux)

六、實驗六：探討無風狀態，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係

照度	溫度	照度	溫度	照度	溫度	照度	溫度
69440	50.8	67840	52.8	51500	45.6	88470	61.3
71240	50.8	66440	53	52050	45.5	88220	61.1
72340	51.1	65850	53	52240	46.2	88220	61
72310	51.7	65940	49	52550	45.8	88030	61.2
72300	51.9	65810	48.9	53440	45	87880	61.1
72170	51.7	65870	48.2	54290	44.4	87610	60.8
72190	52.1	66090	47.7	54970	46	87480	60.5
71020	52.6	65980	48.3	89550	61.7	87400	60.5
71140	53.1	65850	48.4	89670	61.7	87270	60.5
70700	53.8	65880	48.3	89830	62	87200	60.5
70210	53.3	665950	48.3	89820	62.3	87070	60.5
69870	53	64740	48.1	89710	62.3	87010	60.4
69550	52.7	64720	48.8	89460	62.1	86840	60.3
68860	52.7	50790	45.4	89190	61.8	86680	60.3
68710	52.7	51570	45.1	89090	62.1		
68440	52.7	51550	45.6	88850	61.3		

▲表 13：不同時刻太陽能板背板溫度(°C)與太陽照度(lux)

照度	電流	照度	電流	照度	電流
50790	1.925	69440	2.63	70700	2.65
51590	1.961	71240	2.68	70210	2.63
51550	1.961	72340	2.72	69870	2.62
51500	1.961	72310	2.71	69550	2.61
52050	1.982	65850	2.49	68860	2.59
52240	1.988	72300	2.71	68710	2.58
52550	1.999	72170	2.71	68440	2.57
53440	2.029	72190	2.7	67840	2.55
54290	2.052	71020	2.66	66440	2.5
54970	2.075	71140	2.67		

▲表 14：不同時刻太陽能板電流(A)與太陽照度(lux)

七、實驗七：探討不同風向，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係

正面風									
電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度
3.103	95490	2.852	86720	0.796	24680	2.217	67240	3.043	94480
3.097	95180	3.055	93050	0.85	25680	2.27	68360	3.041	94980
3.084	94750	3.107	94430	0.88	27410	2.253	67520	3.037	94750
3.093	94850	3.089	93700	0.872	26870	2.366	61290	3.037	93370
2.47	84050	1.578	44690	1.203	37900	2.489	74840	3.04	94060
1.869	60290	1.763	54910	1.861	56480	2.561	77690	3.039	94120
3.122	95490	2.011	61960	2.831	82920	2.457	74420	3.036	94190
2.663	79790	2.211	67530	2.577	84460	2.406	73250	3.035	99010
2.197	72400	2.104	62550	1.699	50500	2.264	69930	3.035	94030
2.968	90880	2.909	88230	1.803	53060	2.379	71860	3.036	94040
3.039	92960	3.004	91090	1.933	57000	2.421	73100	3.032	93560
2.945	90100	3.167	96920	1.982	59200	2.49	75850	3.036	94060
2.694	81400	1.774	60510	2.062	61530	3.044	94390	3.04	94420
2.625	78730	3.098	94410	2.076	62870	3.045	94740	3.043	94220
1.952	60540	2.417	66620	2.098	62900	3.046	94090	3.039	94280
2.673	82230	0.722	22040	2.303	69580	3.044	94080	3.037	94320

▲表 15：不同時刻太陽能板電流(A)與太陽照度(lux)

側面風									
電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度
3.17	95490	3.155	94430	2.602	78800	3.031	93380	3.03	93530
3.163	95180	3.132	93700	2.967	88200	3.029	93690	3.027	93580
3.146	94750	3.007	94800	3.325	101800	3.03	93450	3.026	93980
3.154	94850	2.839	86400	3.258	99400	3.031	93790	3.029	94720
3.184	95490	2.996	89400	2.839	86000	3.032	94130		
2.665	79790	3.233	98900	2.365	71510	3.036	94060		
2.396	72400	3.218	97500	2.229	68790	3.036	94360		
3.028	90880	3.32	98000	2.256	68420	3.034	93600		
3.094	92960	3.139	96800	2.153	66050	3.028	94100		
2.988	90100	3.157	95500	2.253	69870	3.029	94290		
2.714	81400	3.318	98200	2.168	64970	3.03	93320		
2.686	78730	2.993	89900	2.151	64760	3.029	93790		
2.06	60540	3.056	91700	2.231	68090	3.021	94120		
2.715	82230	3.546	104600	2.344	71130	3.022	93760		
2.891	86720	2.97	89000	2.491	73380	3.02	93570		
3.103	93050	2.825	88900	2.969	86310	3.024	93640		

▲表 16：不同時刻太陽能板電流(A)與太陽照度(lux)

背面風									
電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度	電流	照度
1.572	44690	2.13	56480	2.892	92900	2.063	63600	3.031	92660
1.752	54910	2.73	82920	2.95	90900	3.021	92440	3.034	93140
1.994	61960	2.779	84460	2.778	87000	3.02	93120	3.032	93330
2.213	67530	2.833	88150	3.189	94500	3.024	92680	3.036	93170
1.897	62550	3.202	98840	3.338	102200	3.02	92620	3.041	92630
2.921	88230	2.968	94690	2.5	78500	3.02	92640		
3.024	91090	2.823	87620	2.699	82300	3.029	92270		
3.235	96920	2.9	91310	2.436	74810	3.021	93270		
2.154	60510	3.132	97330	2.123	65480	3.02	92660		
3.148	94410	2.782	87850	2.092	64110	3.024	92140		
0.664	22040	2.727	85110	2.176	66590	3.016	92250		
0.752	24680	2.811	87800	2.156	66150	3.015	92620		
0.772	25680	2.938	91900	2.283	70210	3.018	92490		
0.838	27410	3.036	94420	2.402	76480	3.029	92140		
0.83	26870	3.224	98830	2.136	66410	3.022	92610		
1.214	37900	3.2	99100	2.246	63460	3.036	92550		

▲表 17：不同風向太陽能板電流(A)與太陽照度(lux)

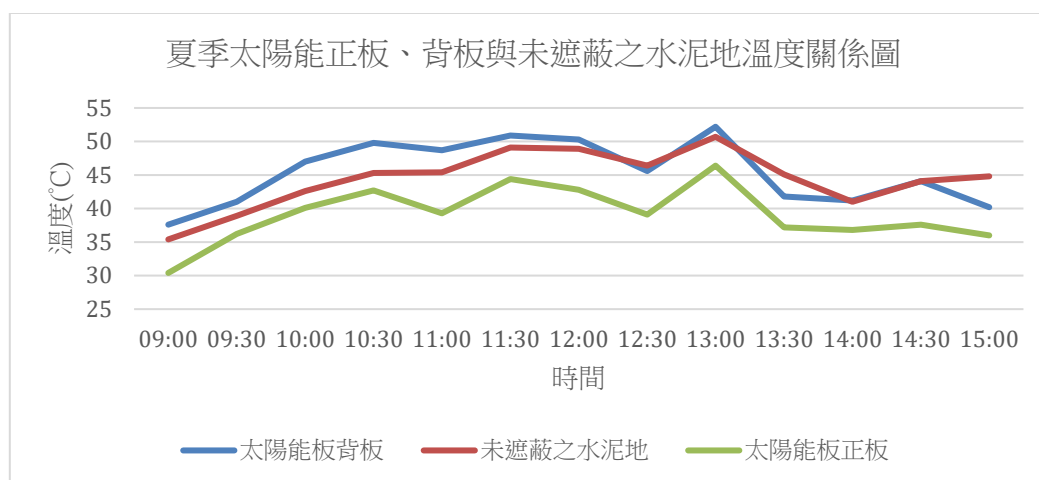
次序	背風正板	正風正板	背風背板	正風背板	次序	正風正板	側風正板	正風背板	側風背板
1	44.8	48.2	49.5	52.9	1	47.9	50.2	49.1	52.5
2	49.2	50.5	50.7	52.4	2	47.5	49.2	48.5	52.1
3	49.3	50.9	49.8	54.3	3	46.6	50.3	50.3	52.5
4	48.3	49.1	49.5	53.7	4	48.7	52.3	50.7	54.4
5	48.3	51.7	49.5	54.6	5	48.3	51.9	51.1	55.2
6	47.7	48.5	48.3	54.5	6	48.2	52.3	51.9	53.7
7	47.9	49.3	49.9	54.1	7	47.9	51.3	51.9	55.3
8	47.4	52.1	49.4	54.5	8	49.3	52.7	52.9	54.1

▲表 18 不同風向太陽能板正、背板溫度(°C)▲表 19 不同風向太陽能板正、背板溫度(°C)

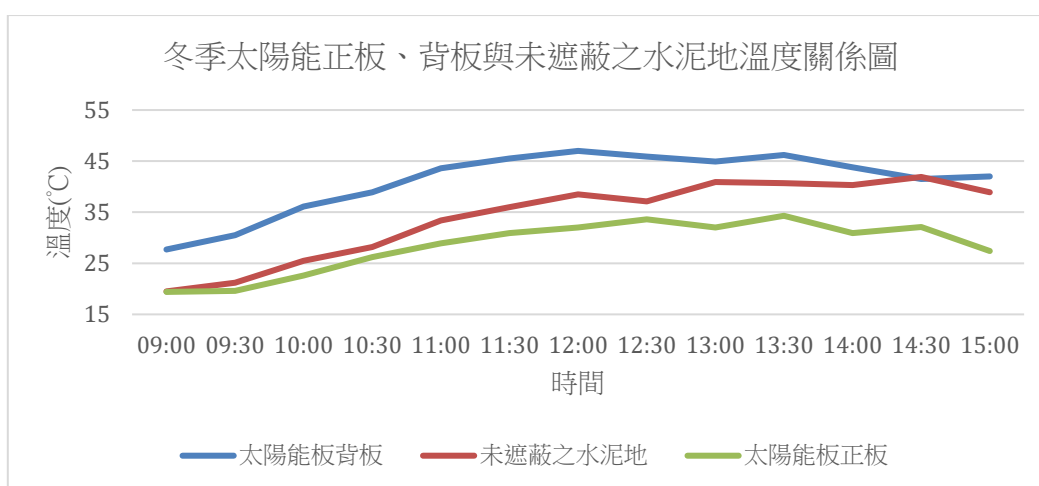
說明：表 18、19 均是從風吹拂 5 分鐘後開始量測。

伍、討論

一、測量不同時期太陽能板與水泥地之溫度



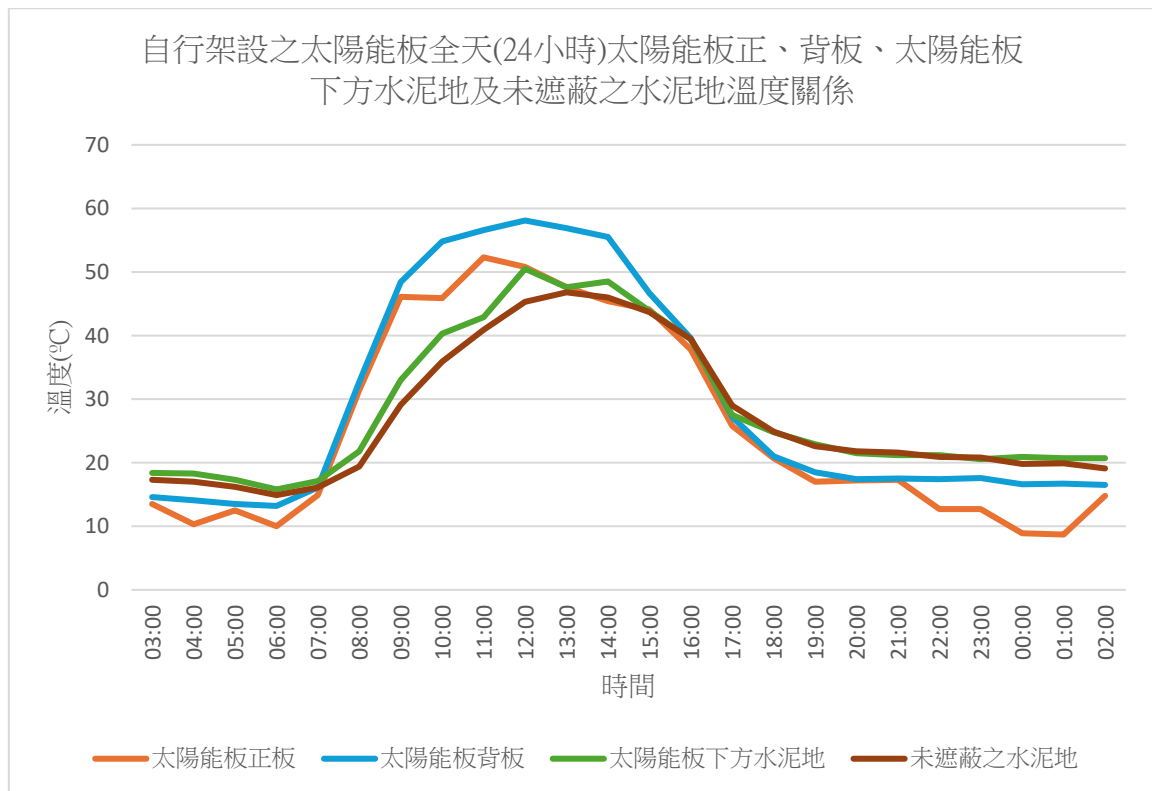
▲ 圖 34 (本圖片由作者親自製作)



▲ 圖 35 (本圖片由作者親自製作)

(一) 根據圖 34 與圖 35：

- 1、太陽能板下方(背板)溫度均較太陽能板上(正板)溫度高，且溫度變化趨勢相似。
- 2、我們發現「背板」的溫度在夏天、冬天的上午時間皆較「未遮蔽之水泥地」溫度高，而夏天下午期間溫度互有高低，而冬天則大部分時間仍為背板溫度高於未遮蔽之水泥地。
- 3、總結我們發現，太陽能板背板在夏天上午、冬天整天的溫度會高於水泥地。根據斯特凡-波茲曼定律(Stefan-Boltzmann law)，黑體的單位面積輻射功率會正比於其絕對溫度的四次方($E_b = \sigma T^4$)，因此我們可知太陽能板背板對大氣輻射的熱量在這段時間內會高於水泥地。



▲ 圖 36 (本圖片由作者親自製作)

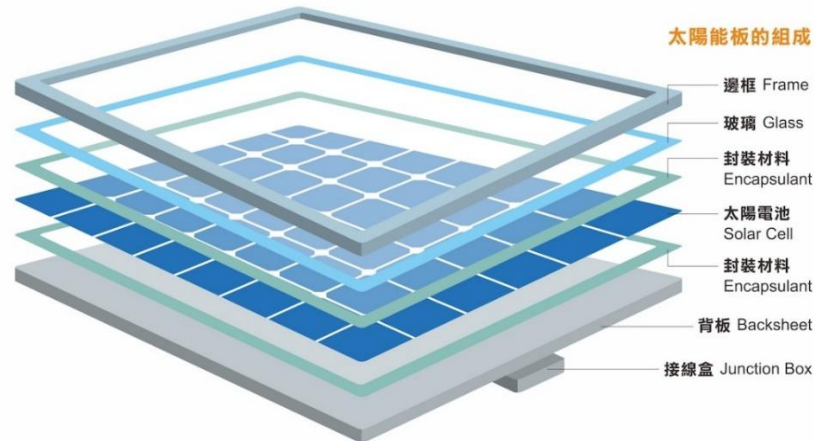
(二) 根據圖 36：

- 1、夜晚相對於白天，太陽能板與水泥地的溫度變動相對較小。
- 2、我們從實驗結果可得知，太陽能板一整天的溫度變化較水泥地多，我們在測量的過程也發現太陽能板的正板溫度受太陽光照量的變化速度最快。
- 3、在夜晚，水泥地的溫度(不論是太陽能板下方水泥地或未遮蔽之水泥地)皆較太陽能板正板、背板的溫度高；而在白天的大部分時間，太陽能板正板、背板的溫度會比水泥地的溫度高。
- 4、從實驗結果可發現，雖然太陽能板在白天，對環境大氣放出的熱量比水泥地高，但在夜晚則相反。
- 5、我們在圖中觀察到，太陽能板下方水泥地的溫度在大部分時間會高於未受遮蔽之水泥地的溫度，推測是因為此次實驗過程，太陽能板下方的水泥地大部分時間都未處在上方太陽能板的陰影中，導致太陽能板下方水泥地除了接受到太陽光輻射外，同時也接收其上方太陽能板的輻射熱，等於有兩個熱量來源。
- 6、上方第 5 點結果有別於我們學校頂樓的大面積太陽能板之下方水泥地之白天溫度，由於下方水泥地在太陽高仰角時大多籠罩在其上方太陽能板的陰影處，因此溫度均遠低於未遮蔽之水泥地溫度，當早晨與黃昏太陽仰角較低時，由於光照量較低，因此就算此時太陽能板下方水泥地有部分被太陽光照射到，但能吸

到的輻射量也較低，因此與未遮蔽之水泥地沒有顯著溫差。所以大樓頂在架設太陽能板時，太陽能板的架設面積與架設高度，會影響其下方建築物水泥地籠罩在陰影處的面積，進而影響大樓頂水泥地的溫度。

(三) 有關於太陽能板背板較太陽能板正板溫度高的原因，我們有 2 點推測：

- 1、太陽能板正背板材質不同，線材集中於背板造成廢熱累積，如圖 37，太陽能電池將光能轉換後，會由背板的接線盒將電能輸出。



▲圖 37 太陽能板的組成（引自地球公民基金會，2019）

- 2、環境因素如散熱不佳、水泥地輻射使得太陽能板背板溫度較高。

(四) 延伸探討：我們為了釐清哪個原因使得太陽能板背板溫度較正板高，所以我們設計了實驗二。

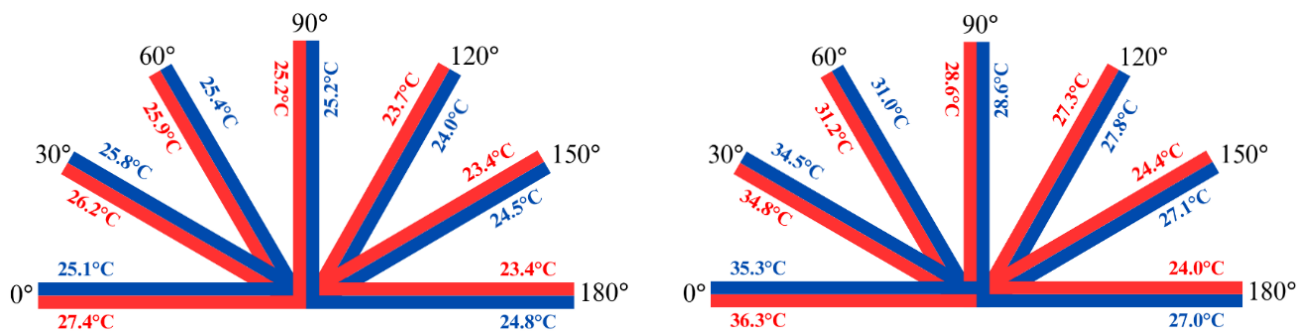
二、探討太陽能板正板與背板溫度差異之原因

(一) 由圖 38 可以發現，不管是正板還是背板，只要是靠近地面的那一面，溫度都會比接受太陽照射的那一面還要來的高。我們推測有以下兩個原因：

- 1、靠近水泥地的那一面相比於上側，接受來自於地面的熱輻射較多，使得溫度較高。
- 2、靠近水泥地一面散熱不易，使得溫度較另一面還來得高。

(二) 正板朝上時的正、背板溫度皆較背板朝上時高，推測原因為自行架設之太陽能板正板為黑色，背板為白色，因黑色較白色易吸收輻射，故造成此現象。

(三) 這個實驗不論在水泥地(圖 38)或草地上(圖 39)進行，均有相同的結果。



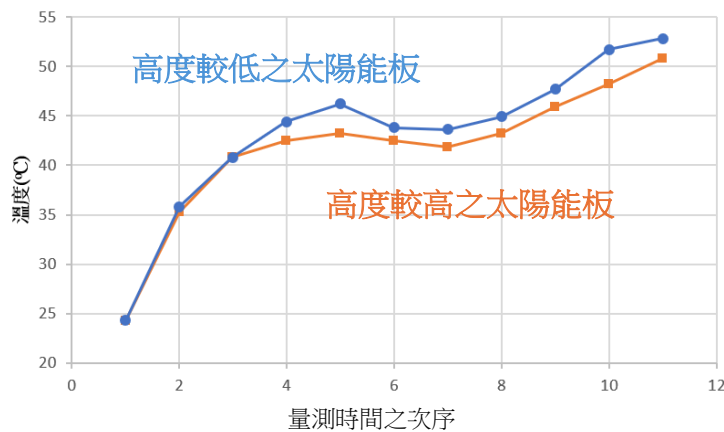
註：紅色為背板，藍色為正板

▲圖 38 水泥地上之正、背板溫度
(本圖片由作者親自製作)

▲圖 39 草地上之正、背板溫度
(本圖片由作者親自製作)

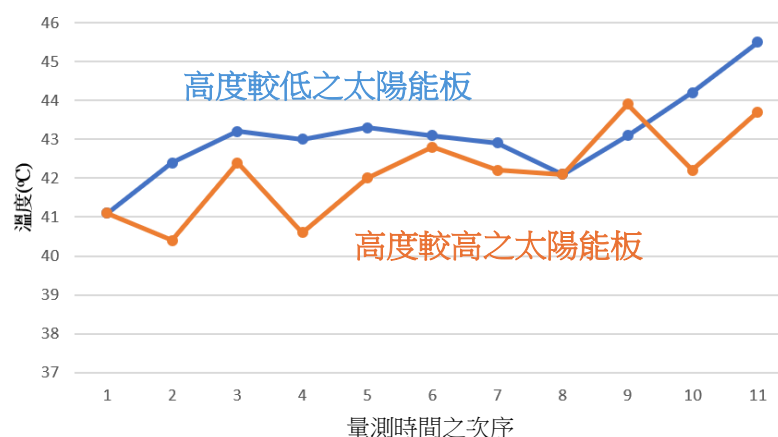
三、探討太陽能板架設高度對太陽能板背板溫度之影響

(一) 高、低兩太陽能板背板溫度變化如圖 40，我們發現架設比較低的太陽能板的背板溫度皆較架設較高的太陽能板背板溫度高，且變化趨勢相同。



▲圖 40 不同太陽能板架設高度，太陽能板背板之溫度 (本圖片由作者親自製作)

(二) 我們推測造成架設較低的太陽能板背板溫度較高的原因，是其吸收較多來自下方水泥地的熱輻射。由於單位面積接收到的輻射量與距離的平方成反比，所以較低的太陽能板可接收到較多的輻射量，這也是架設較低的太陽能板下方水泥地溫度較高的原因，如圖 41 所示，因為更容易吸收到彼此放出來的輻射。

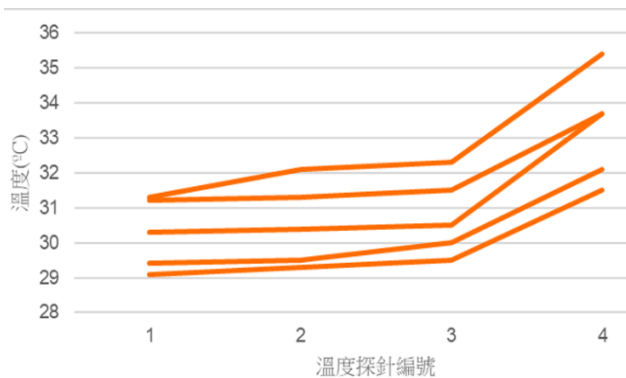


▲圖 41 不同太陽能板架設高度，其下方水泥地之溫度 (本圖片由作者親自製作)

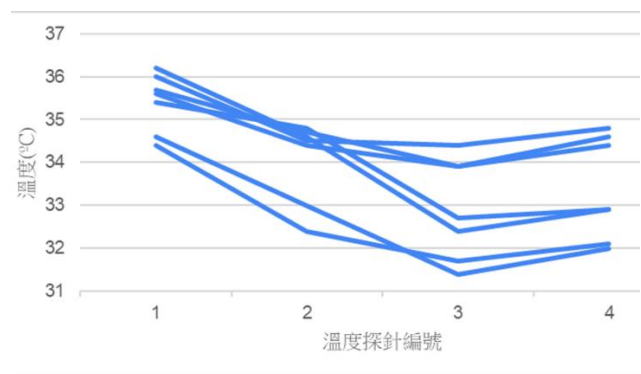
(三)經由我們的實驗結果可知，當太陽能板架設高度較高時，不論是太陽能板背板或其下方水泥地，溫度均會較低，這樣的架設方式對環境所放出的熱輻射會較少。根據《設置再生能源設施免請領雜項執照標準》第五條，太陽能板架設高度應自屋頂面或露臺面起算四點五公尺以下，因此若單純考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，若要降低兩者溫度，應在此法規限制下盡可能架高太陽能板。

四、探討太陽能板的架設對環境氣溫的影響

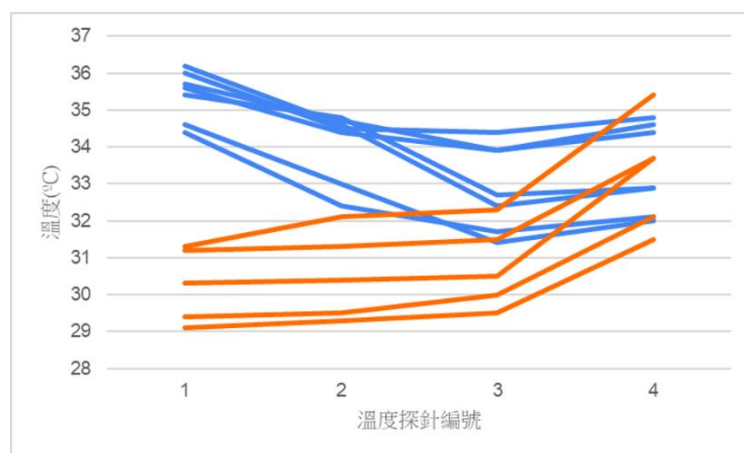
編號 1 為距地 76.6 公分處的溫度探針，編號 2 為距地 50.6 公分處的溫度探針，編號 3 為距地 25.3 公分處的探針，而編號 4 為距地 0 公分處的探針。



▲圖 42 未遮蔽之水泥地上方氣溫
(本圖片由作者親自製作)



▲圖 43 上方有架設太陽能板之氣溫
(本圖片由作者親自製作)



註：橘線表示未遮蔽之水泥地上方氣溫，藍線表示上方有架設太陽能板之氣溫

▲圖 44 綜合比較 (本圖片由作者親自製作)

(一) 根據圖 42，當水泥地上未架設太陽能板時，氣溫隨著高度上升而遞減，最靠近水泥地的氣溫最高，一開始隨著高度上升，氣溫的下降率較快，在 3 號探針後，氣溫

下降速率減緩。會有此變化，推測是因為空氣是熱的不良導體，所以經由傳導將下方的熱往上傳導的量很少，因此靠近水泥地的大氣雖然很熱，但其上方的氣溫上升主要會來自於接收水泥地的熱輻射，而單位面積接收到的輻射量會與距離平方成反比，所以遠離水泥地這個熱源後，接收到其輻射量會較少，因此氣溫上升速率較慢。由於水氣是地表附近含量最高的溫室氣體，由此也可推知，大氣中的水氣含量多寡會影響水泥地上方的氣溫。

(二) 根據圖 43，當水泥地上有架設太陽能板時，最靠近太陽能板背板的環境氣溫最高(1 號探針)，推測是因為太陽能板的背板溫度高於水泥地，而 2 號探針與 4 號探針比，溫度互有高低，以平均值來看，2 號會高於 4 號，而最低溫出現在 3 號探針，若以熱量的三種傳遞方式來探討：

- 1、傳導：當熱源溫度愈高，接近該熱源的氣溫也會愈高。
- 2、輻射：物體放出的熱輻射正比於其表面溫度的四次方。且單位面積接收到的輻射量會與距離平方成反比，所以太陽能板放出的熱輻射較高。
- 3、熱對流：熱空氣不易下沉，在無風狀態下，熱空氣較易停留在較高溫的太陽能板下方。

綜合上方 3 點原因，使得靠近太陽能板的兩根溫度探針測得的氣溫較高，而遠離兩熱源之間的 3 號探針測得的氣溫則較低。

(三) 將圖 42 及 43 綜合比較，繪製圖 44。由圖中可發現，當水泥地上方有架設太陽能板時，靠近地面的 4 號探針與 3 號探針的溫度差會比沒有架設太陽能板時小，1 號與 2 號探針測得的氣溫也較高，可推測當有架設太陽能板時，太陽能板與水泥地會吸收彼此放出來的熱輻射，同時之間的大氣也吸收兩個方向的熱源，因此氣溫會較高。

(四) 綜合上述，在本次時間及實驗所架設的高度範圍內，有架設太陽能電板的平均環境氣溫會高於沒有架設太陽能電板的平均環境氣溫。

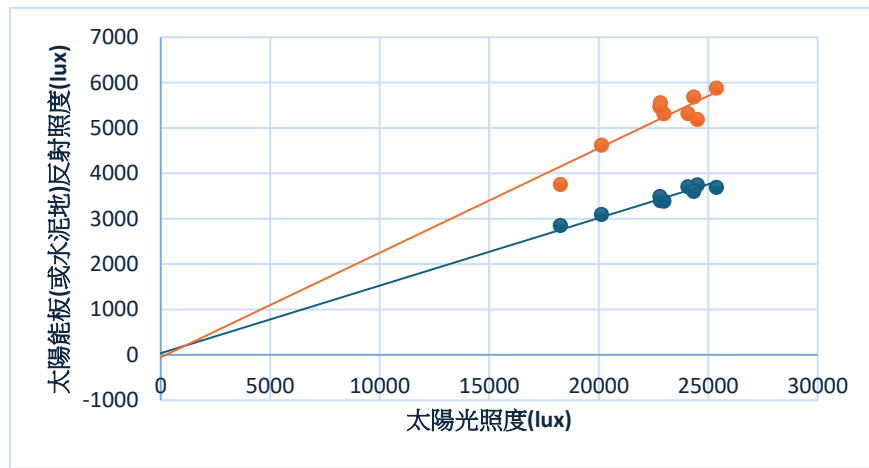
(五) 綜合討論：

- 1、我們根據實驗一的圖 36，可發現在進行全天 24 小時測量時，太陽能板下方的水泥地溫度在大部分時間，都會高於未遮蔽之水泥地，而在實驗三中我們也發現，架設較低的太陽能板，其背板溫度及下方水泥地溫度皆會較高。綜合上述兩個結果與本實驗結果，我們推測其原因皆是太陽能板及水泥地吸收彼此放出來的熱輻射導致。

2、若要減緩太陽能板與其下方水泥地之熱輻射加熱彼此，可將太陽能板架高，但從實驗一的圖 36 卻也發現，若太陽能板下方的水泥地未處於太陽能板的陰影處時，因同時又有太陽輻射的加熱，其溫度會較高，而太陽能板架的愈高，表示其下方的水泥地未處於陰影處的時間會愈長，這個增溫機制，與前方提到的增溫機制，我們尚未設計實驗釐清這兩者對環境大氣溫度的影響，這是我們未來要研究的方向，我們希望透過更多次與多樣的環境氣溫測量實驗，釐清不同的太陽能電板架設方式，與其對不同環境的氣溫影響。

五、測量太陽能板與水泥地對太陽輻射吸收率

(一)我們將反射照度置於縱坐標，太陽光照度為橫坐標作出太陽能板及水泥地反射照度對太陽光照度的關係圖：

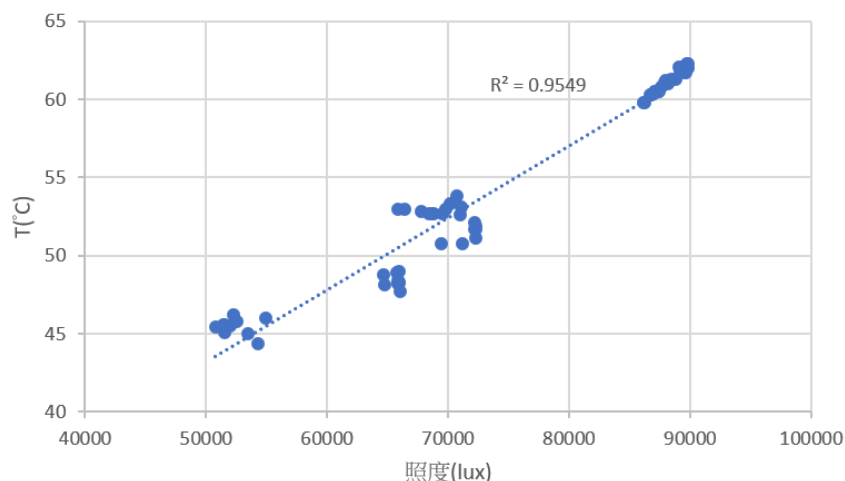


註：橘線表示水泥地，藍線表示太陽能板

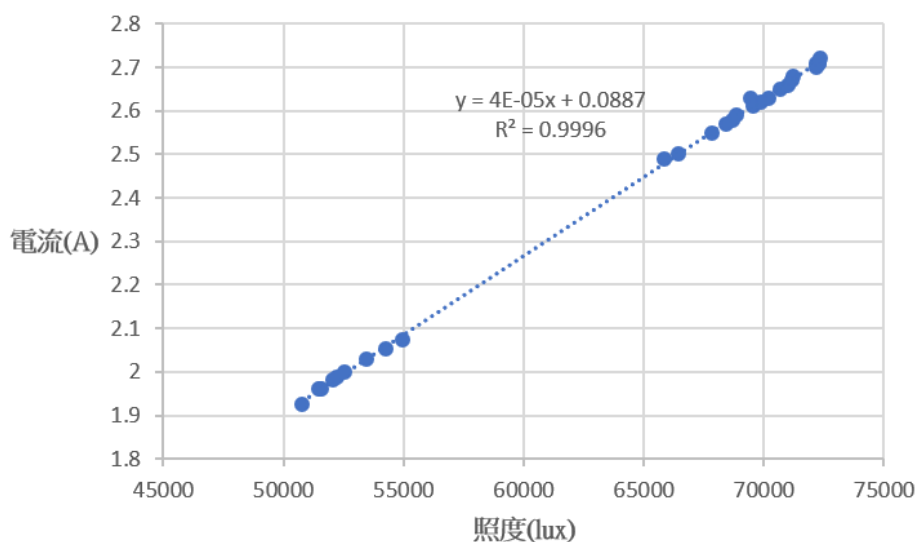
▲圖 45 (本圖片由作者親自製作)

- (二)根據圖 45 可發現，不論是太陽能板或水泥地的反射照度數據，其對太陽光照度的迴歸直線皆呈高度正相關。
- (三)不論太陽能板或水泥地反射照度對太陽光照度的迴歸直線皆大致通過原點，可藉此驗證實驗準確性，因為當太陽光照度為 0 時，反射照度必為 0。
- (四)太陽能板平均反照率 0.151，低於水泥地 0.227，可推知太陽能板對太陽輻射的吸收率較水泥地高。
- (五)由本實驗得知，水泥地對太陽輻射吸收率低於太陽能板，但我們由實驗一可知夏季中午過後水泥地溫度可能高過太陽能板背板，由此可知，太陽能板吸收的太陽輻射，部分轉換成電能，導致這段時間，太陽能板對環境相對於水泥地反而是一個冷效應，所以太陽能板將太陽能轉換成電能的效率，會影響太陽能板的溫度，進而改變其對環境的氣溫的影響為增溫或降溫。

六、探討無風狀態，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係



▲圖 46 太陽照度與太陽能板背板溫度之關係 (本圖片由作者親自製作)

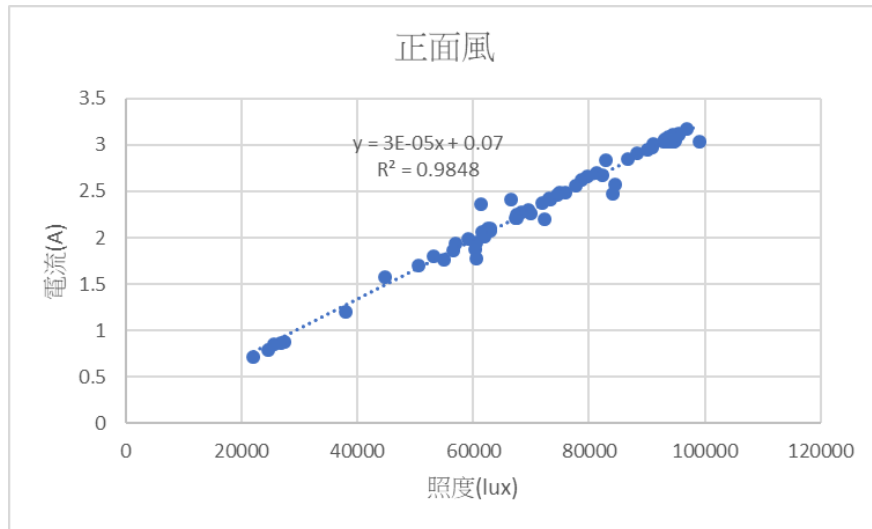


▲圖 47 太陽照度與太陽能板輸出電流之關係 (本圖片由作者親自製作)

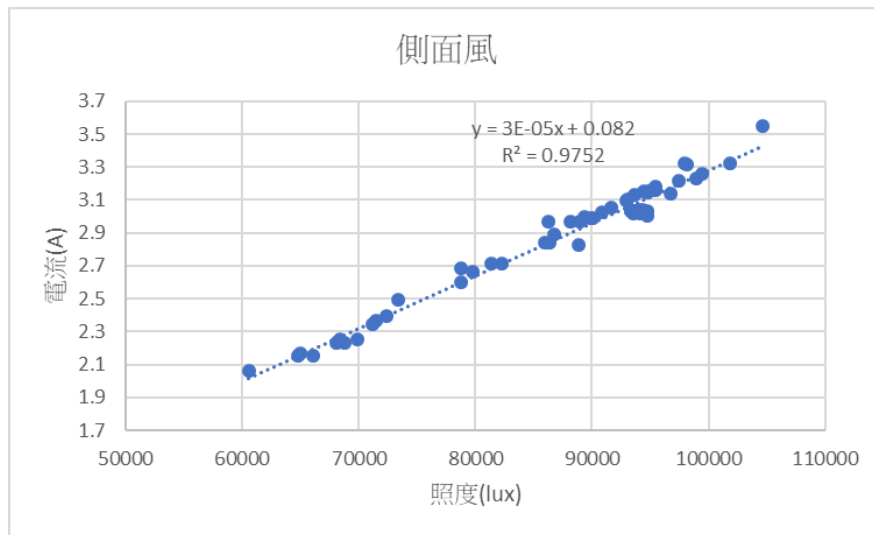
- (一) 不論是太陽能板溫度對照度關係圖(圖 46)還是太陽能板輸出電流對照度關係圖(圖 47)，皆呈線性關係且高度正相關。
- (二) 在太陽能板溫度對照度關係圖中，斜率為 4.60×10^{-4} ，代表照度每上升 10000(lux) 時，溫度上升 4.60°C 。
- (三) 在太陽能板電流對照度關係圖中，斜率為 3.63×10^{-5} ，代表照度每上升 10000(lux) 時，電流上升 0.363A。
- (四) 太陽照度越高，太陽能板背板溫度越高，太陽能板輸出的電流也越高。

七、探討不同風向，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係

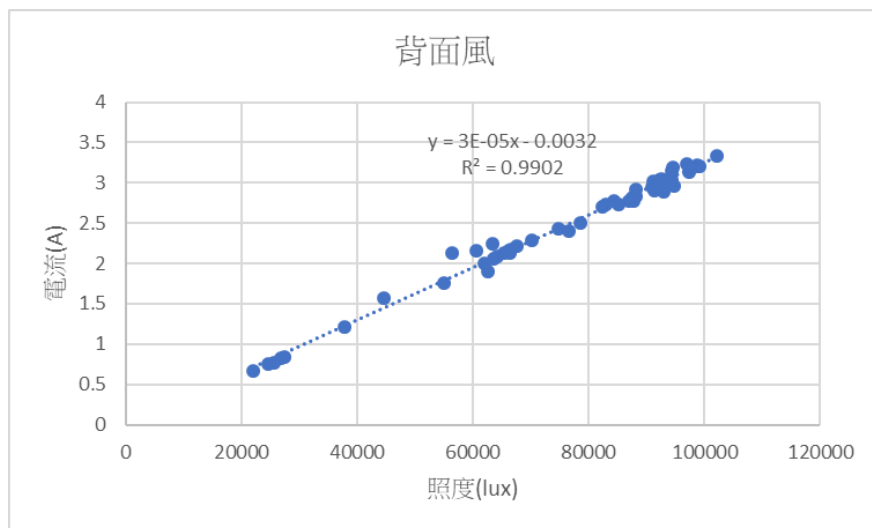
- (一) 實驗七-甲：



▲圖 48 正面風吹拂下，太陽能板輸出的電流與照度之關係(本圖片由作者親自製作)



▲圖 49 側面風吹拂下，太陽能板輸出的電流與照度之關係(本圖片由作者親自製作)



▲圖 50 背面風吹拂下，太陽能板輸出的電流與照度之關係(本圖片由作者親自製作)

1、根據圖 48、49、50，不論太陽能板受正面風、側面風或背面風，其電流對照

度關係皆為高度正相關，而其斜率相差不大，分別為：

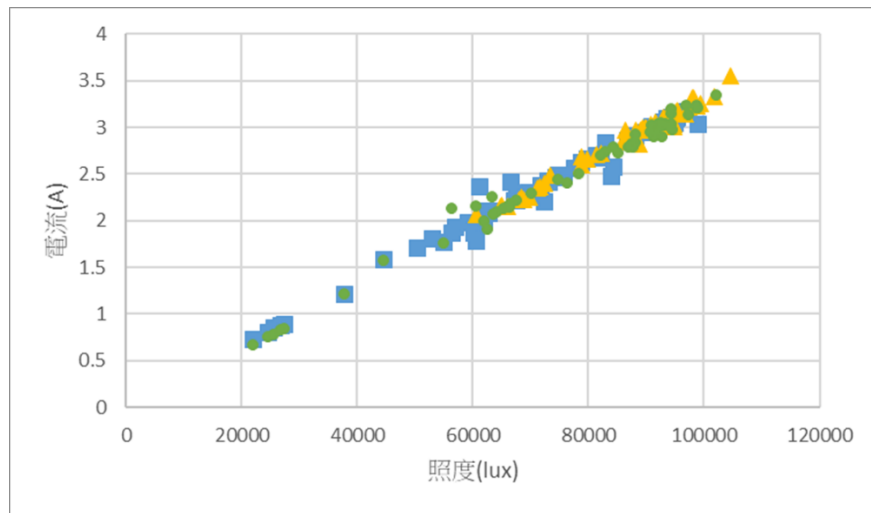
正面風： 3.22×10^{-5}

側面風： 3.27×10^{-5}

背面風： 3.29×10^{-5}

且其迴歸直線大致通過原點，尚算準確。

- 2、若將三種風向之結果置於同一張圖表比較，如圖 51，可發現三種風向大約在同一趨勢線，因此我們推論風向的不同並不會造成太陽能板輸出的電流有明顯的差異。

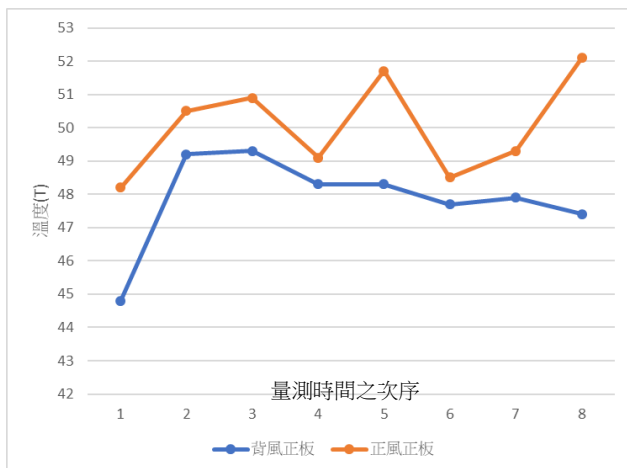


■：正面風 ▲：側面風 ●：背面風

▲圖 51 不同方向吹拂下，太陽能板輸出的電流比較

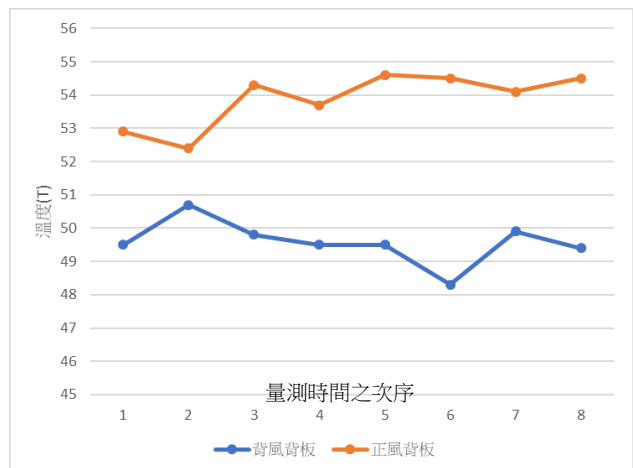
(本圖片由作者親自製作)

(二) 實驗七-乙：



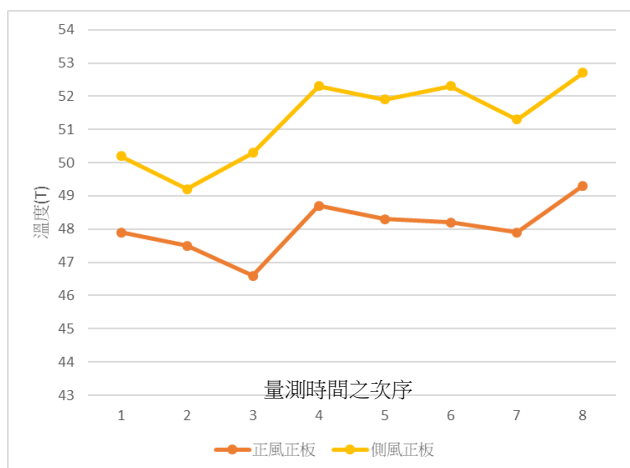
▲圖 52：正、背風正板溫度比較

(本圖片由作者親自製作)

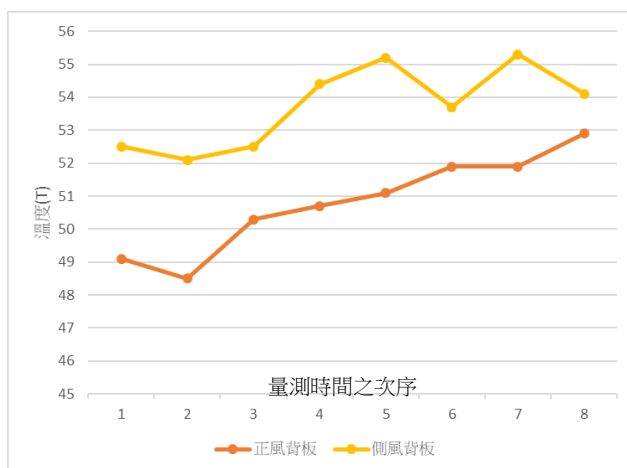


▲圖 53：正、背風背板溫度比較

(本圖片由作者親自製作)



▲圖 54：正、側風正板溫度比較
(本圖片由作者親自製作)



▲圖 55：正、側風背板溫度比較
(本圖片由作者親自製作)

- 1、根據圖 52~55，透過正面風、背面風以及正面風、側面風的比較，我們發現不論是正板或背板溫度，其溫度關係皆為背面風<正面風<側面風。
- 2、我們的實驗結果顯示，側面風的降溫效果最差，我們參考文獻發現當面板垂直受風面積愈大，可有效破壞熱邊界層，太陽能板降溫效果愈好，再者，熱交換表面沿風流方向的長度越短，對流熱傳係數越高，降溫效果愈好(Weiwei Hu,2021)，我們推測，當太陽能板受側面風吹拂時，其垂直受風面積最小，且風流方向的長度最長，幾乎等於整個太陽能板的寬度，所以降溫效果最差。
- 3、背面風吹拂太陽能板可導致溫度最低的原因，我們推測由本研究中可發現太陽能板背板溫度受到下方水泥地熱輻射加熱，與散熱不易，溫度較高，因此當太陽能板受背面風吹拂時，可不斷帶來較低溫的空氣，降低熱空氣對背板的熱輻射，且可迫使原太陽能板下方的熱空氣被強制帶走，加速太陽能板下方的散熱，使得太陽能板整體溫度下降，因而我們測得的正板溫度與背板溫度均是背面風吹拂下較低。
- 4、由於我們找不到國內關於風向對太陽能板的降溫之研究，後來我們查詢國外論文，關於正面風與背面風這兩個風向對太陽能板的發電效率之影響相關的研究時發現，有研究結果與我們一致，背面風優於正面風(Sebastian Valeriu Hudisteanu,2022)，但是也有相反的結果，正面風優於背面風(Maryam Mehdi,2023)，我們發現這些差異主要來自太陽能板的先天散熱設計、太陽能板的架設位置與方式，由於我們的實驗是單一一塊太陽能板被風吹拂，較不會有風被阻擋的情形，情況較單純，當太陽能板架設支架與成群架設導致背面風吹

拂太陽能板時會部分受阻，就會影響背面風吹拂太陽能板整體的降溫效率。所以在架設太陽能電板時應考慮當地盛行風向、架設位置實際最常受風方向、與架設方式有無遮蔽最佳散熱管道，方能獲得最佳太陽能板散熱架設方式，以提高發電效率，並降低太陽能板對環境的熱影響。

- 5、根據許多研究文獻資料顯示，當太陽能板溫度下降，能有效提高太陽能板發電效率，但本實驗經由測量發現，即使太陽能板受不同風向吹拂，會有溫度上的差異，但不同風向吹拂下的太陽能板輸出的電流量的差異並不顯著，我們參考文獻發現，太陽能板的輸出功率受溫度影響，主要是溫度降低，會使得太陽能板的開路電壓升高導致，短路電流受溫度影響較小(Valeriu-Sebastian Hudis teanu,2024)，而太陽能板輸出的電流主要受太陽輻射量的多寡影響。
 - 6、由於太陽能板的功率輸出($P=V \times I$)同時受到電流及電壓影響，但受限於我們的設備與實驗方法，我們在不同照度下，測得之電壓差距不大且精確度不高，所以無法獲得精確的電壓數據，這也是我們未來努力的目標。所以依文獻中所得結果，同樣照度下，溫度愈低，太陽能板輸出的電壓愈高，以及結合我們所測得的結果，同樣照度下，不同風向導致的輸出電流差異不大，推得，在我們的實驗條件下，太陽能板的發電效率由高至低依序為背面風>正面風>側面風。
- (三) 由本研究發現，實際架設太陽能板除了需考量當地緯度、有無建物遮蔽等影響太陽能板接收到太陽輻射量的多寡因素，為了兼顧太陽能板的發電效率與降低對環境的熱影響，也需考量架設位置的風向，以達最佳散熱方式。以台南為例，太陽位於高仰角位置時，大部分位於偏南方天空，5~9 月雖太陽仰角較高，但這些月份也是台南的主要雨季，所以平均每月平均日照時數 10 月至隔年 4 月為 176.6 小時/月，5~9 月為 189.7 小時/月(資料來自中央氣象署氣候統計)。若是台南在四方未受物體遮蔽風向的狀態下，偏北風的時間較長，其次是偏南風。綜合考量下，我們建議太陽能板可面向南方架設，不但可以接收偏南方的日照，也可使太陽能板較長時間受背面風吹拂，以達最佳降溫效果，在夏季較高溫的狀況下，太陽能板面南架設，吹正面風的組合，降溫效果也不會太差。

陸、結論

- 一、根據實驗一的結果，太陽能板背板在白天大部分時間(冬季尤為明顯)，其溫度(或熱輻射量)會高於未遮蔽之水泥地溫度。
- 二、根據實驗一全天 24 小時的測量中，白天大部分時間太陽能板溫度高於水泥地，而夜晚

則是水泥地溫度高於太陽能板。

- 三、根據實驗一全天 24 小時的測量中，在大部分時間太陽能板下方水泥地溫度皆會高於未遮蔽之水泥地，推測原因為其同時受到上方太陽能板與太陽輻射兩個熱源加熱。
- 四、根據實驗二，太陽能板背板溫度高於太陽能板正板溫度之原因主要為其接收來自下方水泥地熱輻射與散熱不佳導致。
- 五、根據實驗三，當太陽能板架設高度較低時，太陽能板背板以及其下方水泥地溫度會較高，推測原因為水泥地與太陽能板吸收彼此放出來的熱輻射導致，符合距離熱源愈近，物體單位面積接收到來自熱源的輻射量愈高之原理。
- 六、根據實驗三，太陽能板背板溫度與其下方水泥地之溫度在距地較高時溫度均較低，因此假設只考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，若要降低兩者溫度，減少對環境的熱影響，應在法規限制下盡可能架高太陽能板。
- 七、根據實驗四，若水泥地上方未架設太陽能板，最靠近水泥地之環境氣溫會最高，且降溫速率會隨高度增加而遞減，因為空氣接收到來自地表輻射量會與距離平方成反比。
- 八、根據實驗四，若水泥地上方有架設太陽能板，最靠近太陽能板背板的氣溫最高，其次是靠近太陽能板的次高探針所在氣溫，而遠離兩熱源之間的氣溫則較低。已知太陽能板背板溫度高於水泥地，因此可知熱源溫度愈高，接近該熱源的氣溫也會愈高，且熱空氣不易下沉，會導致上方的氣溫較高。
- 九、根據實驗四，當水泥地上方有架設太陽能板時，4 號與 3 號探針的溫度差會比沒有架設太陽能板時小，1、2 號探針測得的氣溫也較高，可推測當有架設太陽能板時，太陽能板與水泥地會吸收彼此放出來的熱輻射，同時被兩者之間的大氣吸收，故氣溫會較高。並且，在本實驗條件與範圍下，有架設太陽能板的平均環境氣溫會高於沒有架設太陽能板的平均環境氣溫。
- 十、根據實驗一，在進行全天 24 小時測量時，太陽能板下方的水泥地溫度在大部分時間，會高於未遮蔽之水泥地，而根據實驗三，架設較低的太陽能板，其背板溫度及下方水泥地溫度皆會較高。綜合上述兩個結果與實驗四，我們推測其原因皆是太陽能板及水泥地吸收彼此放出來的熱輻射導致。
- 十一、根據實驗五，太陽能板反照率(0.151)小於水泥地反照率(0.227)，因此太陽能板對於太陽輻射的吸收率大於水泥地對於太陽輻射的吸收率。
- 十二、根據實驗五，水泥地對太陽輻射吸收率低於太陽能板，但我們由實驗一可知夏季中午過後水泥地溫度可能高過太陽能板背板，可知太陽能板吸收的太陽輻射，部分轉換成電能，導致這段時間，太陽能板對環境相對於水泥地釋放出的熱輻射較少

- 十三、根據實驗六，太陽能板在無風時，溫度對照度及溫度對電流的迴歸直線皆呈高度正相關，照度每上升 10000(lux)，電流上升 0.363A，溫度上升 4.60℃。
- 十四、根據實驗七，當太陽能板受風時，太陽能板產生電流對照度的迴歸直線呈高度正相關，且三種風向電流對照度關係的迴歸直線皆大致通過原點，並且產生電流量相近。
- 十五、根據實驗七，不論是太陽能板正板或背板，其溫度高低關係皆為受背面風<正面風<側面風。
- 十六、由實驗七可知，太陽能板受背面風吹拂時，其降溫效果最好，使得發電效率理論上會最高。由於台南較長時間受偏北風吹拂且太陽位於高仰角時位置常在偏南方天空，若在四方無遮蔽環境，可將太陽能板面向南方架設以達到兼顧發電效率以及降低熱影響的目的，然而實際架設仍須考量各種因素，以達兼顧日照量與散熱效率。

柒、參考文獻資料

- 一、Wikipedia contributors. (n.d.). Stefan–Boltzmann law. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law
- 二、Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2010). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34(1), 23–29.
- 三、Taha, H. (2013). Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms. *Atmospheric Environment*, 80, 140–148.
- 四、Li, D., & Bou-Zeid, E. (2014). Solar panels reduce both global warming and urban heat island. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104002.
- 五、Barron-Gafford, G.A., Minor, R.L., Allen, N.A., Cronin, A.D., Brooks, A.E., & Pavao-Zuckerman, M.A. (2016). The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific Reports*, 6, 35070.
- 六、U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Urban Heat Islands: Causes, Impacts, & Mitigation*.
- 七、Rasheed, A., Wang, L., Li, L., & Javed, M. F. (2021). Experimental research on the convective heat transfer and flow resistance performance of photovoltaic modules. *Processes*, 9(4), 642.
- 八、Pan, Y., Chen, H., Su, C., & Lin, C. (2022). Effects of photovoltaic panels on rooftop temperature and energy saving in humid subtropical climate. *Applied Sciences*, 12(18), 9665.
- 九、Hudisteanu, S. V., Turcanu, F. E., Chereches, N.-C., Popovici, C.-G., Verdes, M., Ancas, D.-A., & Hudisteanu, I. (2022). Effect of wind direction and velocity on PV panels cooling with perforated heat sinks. *Applied Sciences*, 12(19), 9665.
- 十、Hudisteanu, V.-S., Chereches, N.-C., Turcanu, F.-E., Hudisteanu, I., & Romila, C. (2024). Impact of temperature on the efficiency of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels: A comprehensive experimental analysis for sustainable energy solutions. *Sustainability*, 16(23), 10566.
- 十一、Mehdi, M., Ammari, N., Merrouni, A. A., Benazzouz, A., & Dahmani, M. (2023). Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic

- power plants in desert locations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 103038.
- 十二、Mehdi, M., Ammari, N., Alami Merrouni, A., Benazzouz, A., & Dahmani, M. (2023). Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic power plants in desert locations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 103038.
- 十三、余嘉裕 (2004)。大氣熱力學 (第六版)。中國文化大學大氣科學系辦公室出版。
- 十四、沈君宜、陳君庭、周炯彤、黃盈熒。(2008)。太陽『矽』希望-太陽電池的研究 (作品說明書)。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會。
- 十五、李秉謙、李明燦。(2012)。魔鏡 (作品說明書)。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。
- 十六、陳柏驊。(2015)。「增」光「擠」熱拚綠能——探討太陽能板發電效能提升及應用 (作品說明書)。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會。
- 十七、地球公民基金會 (Citizen of the Earth, Taiwan)。(2019 年 9 月 1 日)。戴上手套，拆解太陽能板。作者：李根政、蔡卉荀、李翰林。取自 <https://www.cet-taiwan.org/node/3563>
- 十八、張博深 (Po-Shen Chang)。(2020)。屋頂型光伏太陽能板對局部環流與對流潛在的影響 (碩士論文，國立臺灣大學)。國立臺灣大學機構典藏。
- 十九、張愷庭、林若晴、林浩宇 (2020)。「熱島」往藍海之路 (作品說明書)。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會。
- 二十、劉書廷、陳宥霖、張冠錡 (2021)。「觸」水「浮」「能」-探討漂浮太陽能板之效能提升 (作品說明書)。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 二十一、吳昱德、吳泰澄。(2021)。太陽能光熱分離複合發電的探討 (作品說明書)。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會。
- 二十二、經濟部 (2024)。設置再生能源設施免請領雜項執照標準。
<https://law.moea.gov.tw/LawContent.aspx?id=FL054007>

【評語】 051909

作者研究探討太陽能板對環境溫度的影響，希望找出能兼顧發電效率與降低熱影響之大樓頂太陽能板架設方式。他們測量太陽能板與水泥地不同時間的溫度，以瞭解在相同的光照環境，兩者的溫度差異，進而推知不同時期，兩者對環境釋放的熱輻射差異。另外，也發現太陽能板的背板溫度較高之因，主要是吸收下方水泥地的熱輻射與散熱不易導致，並進而發現，若單純只考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，應在法規限制下盡可能架高太陽能板。為了解太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係，分別在無風環境、受正面風、側面風以及背面風吹拂下進行測量，發現在背面風的吹拂下，太陽能板溫度會較低，發電效率較好。

研究實驗可選定既有大面積和小面積太陽能板場域，以為驗證參考比對。

在文獻回顧的章節中，所引用的內容應該說明文章的出處，否則容易讓讀者以為是 AI 生成的內容。太陽輻射容易因為觀測實驗當日的雲量而影響發電量，為增加數據的可信度，建議觀測記錄中應該增加一項說明，敘述當日的雲遮狀況。結論部份建議

彙整報告中各項的觀測分析結果後，再以分段分類的方式分別論述，並摘錄其重點結論，以方便讀者閱讀，也比較容易理解整體的內容。

作品海報

探討太陽能板對環境的 **熱** 影響

與其不同條件下之發電效率



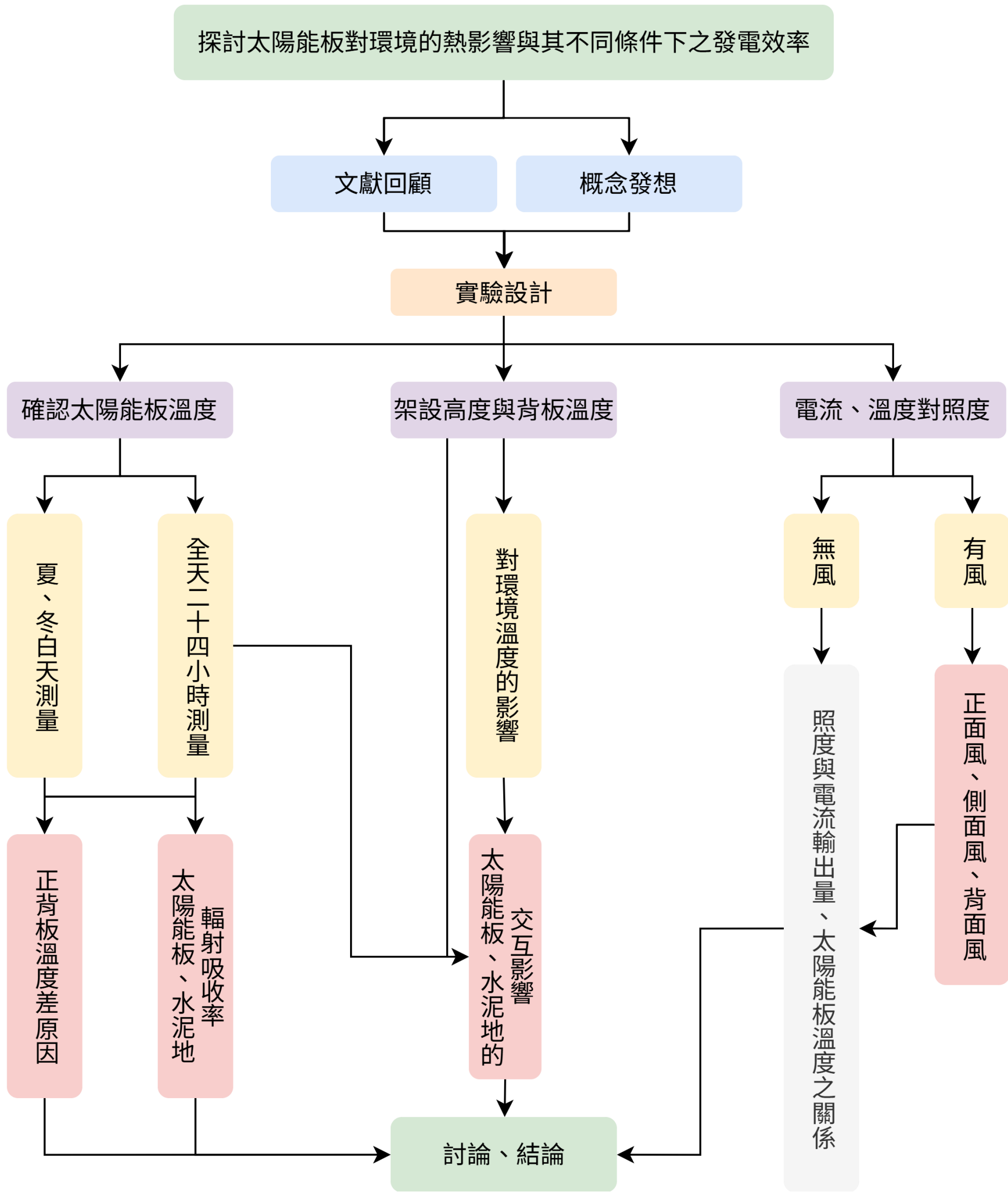
摘要

本研究探討太陽能板對環境溫度的影響，希望找出能兼顧發電效率與降低熱影響之大樓頂太陽能板架設方式。我們測量太陽能板與水泥地不同時間的溫度，以瞭解在相同的光照環境，兩者的溫度差異，進而推知不同時期，兩者對環境釋放的熱輻射差異。另外，我們也發現太陽能板的背板溫度較高之因，主要是吸收下方水泥地的熱輻射與散熱不易導致，並進而發現，若單純只考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，應在法規限制下盡可能架高太陽能板。為了解太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係，我們分別在無風環境、受正面風、側面風以及背面風吹拂下進行測量，發現在背面風的吹拂下，太陽能板溫度會較低，發電效率較好。

壹、研究動機

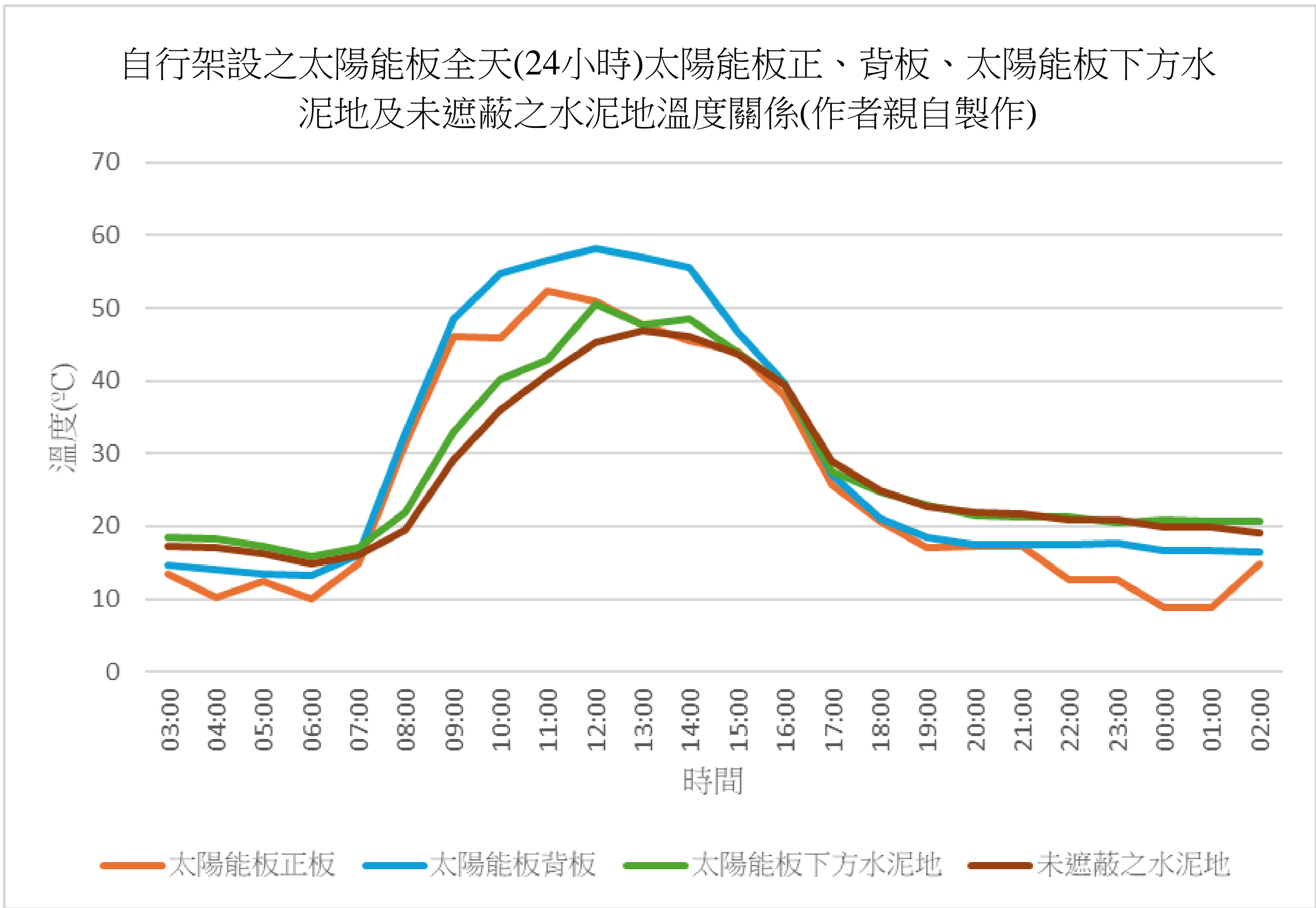
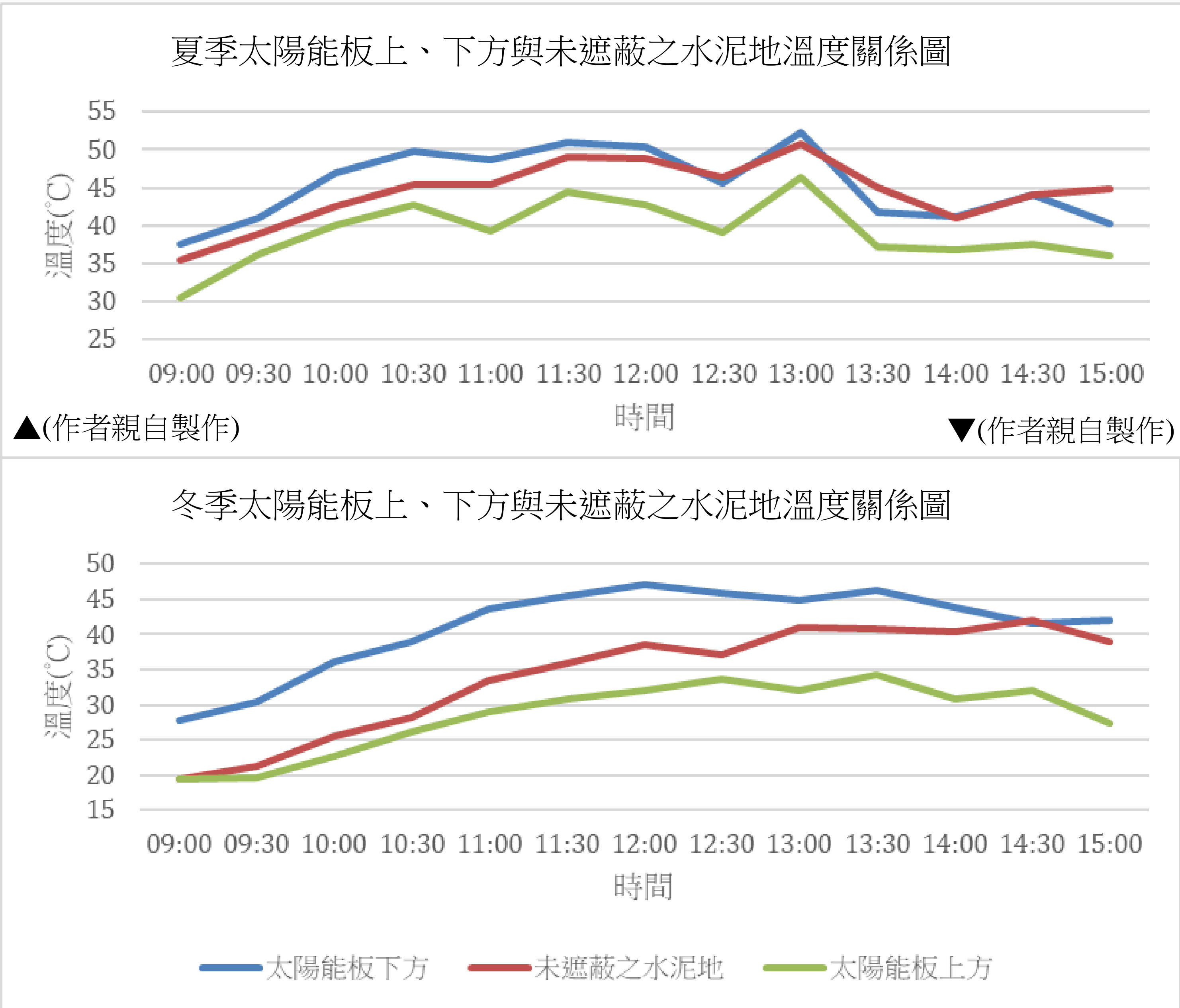
臺灣太陽能發電是重要的再生能源，2023 年 9 月至 2024 年 8 月占總發電量約 5.1%，僅次於核能發電(5.6%)。在台灣，許多建物皆裝設太陽能板。然而，近期研究指出，太陽能板可能導致環境溫度上升。美國馬里蘭大學研究顯示，地面型太陽能發電場夜間溫度比荒地高 3~4℃，推測會引發熱島效應。若此影響屬實，對遍布太陽能板都市熱影響累積量將不容忽視。但我們發現也有研究說明架設太陽能板會造成冷島效應，因此，我們希望透過校內既有的太陽能板並自行架設實驗裝置，探討太陽能板擺放方式與太陽能板溫度、發電效率與環境氣溫之關係，進而找出不但能使太陽能板發電效率高，與降低其對環境氣溫的熱影響之最佳太陽能板擺放方式。

貳、研究流程圖 ▼(作者親自製作)



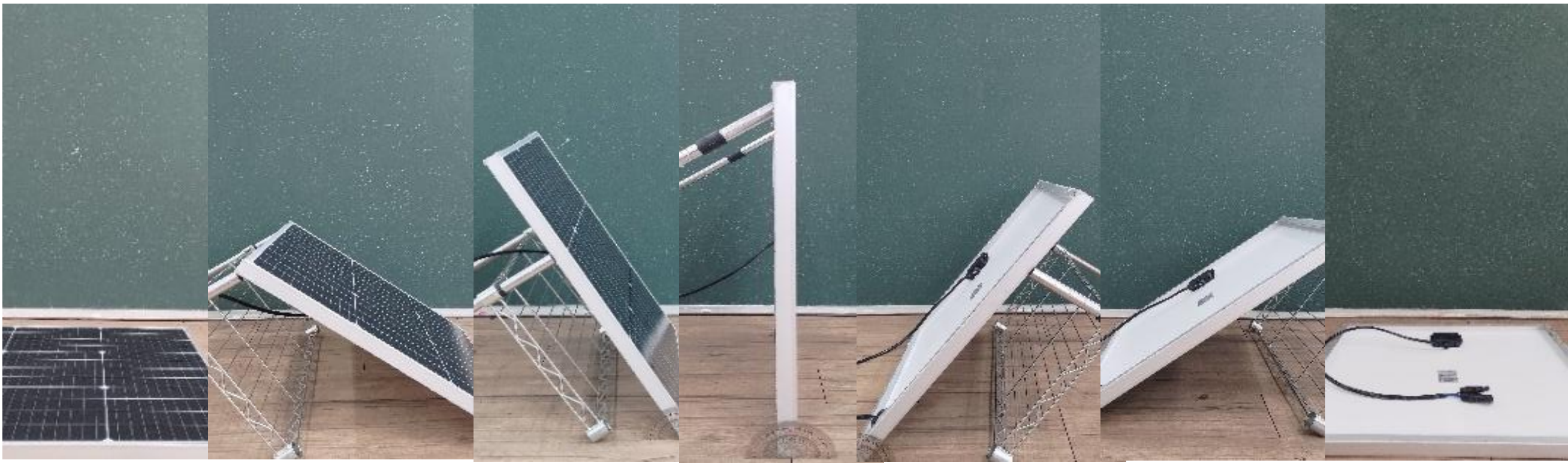
參、研究結果

實驗一：測量不同時期太陽能板與水泥地之溫度



- 一. 太陽能板背板在白天大部分時間(冬季尤為明顯)，其溫度(或熱輻射量)會高於未遮蔽之水泥地溫度。
- 二. 全天24小時的測量中，白天大部分時間太陽能板溫度高於水泥地，而夜晚則是水泥地溫度高於太陽能板。
- 三. 全天24小時的測量中，在大部分時間太陽能板下方水泥地溫度皆會高於未遮蔽之水泥地，推測原因為其同時受到上方太陽能板與太陽輻射兩個熱源加熱。

實驗二：探討太陽能板正板與背板溫度差異之原因



▲實驗二示意圖(作者親自拍攝)

角度	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
太陽能板正板	25.1	25.8	25.4	25.2	24.0	24.5	24.8
太陽能板背板	27.4	26.2	25.9	25.2	23.7	24.0	23.4
正板-背板	-2.3	-0.4	-0.5	0	0.3	0.5	1.4

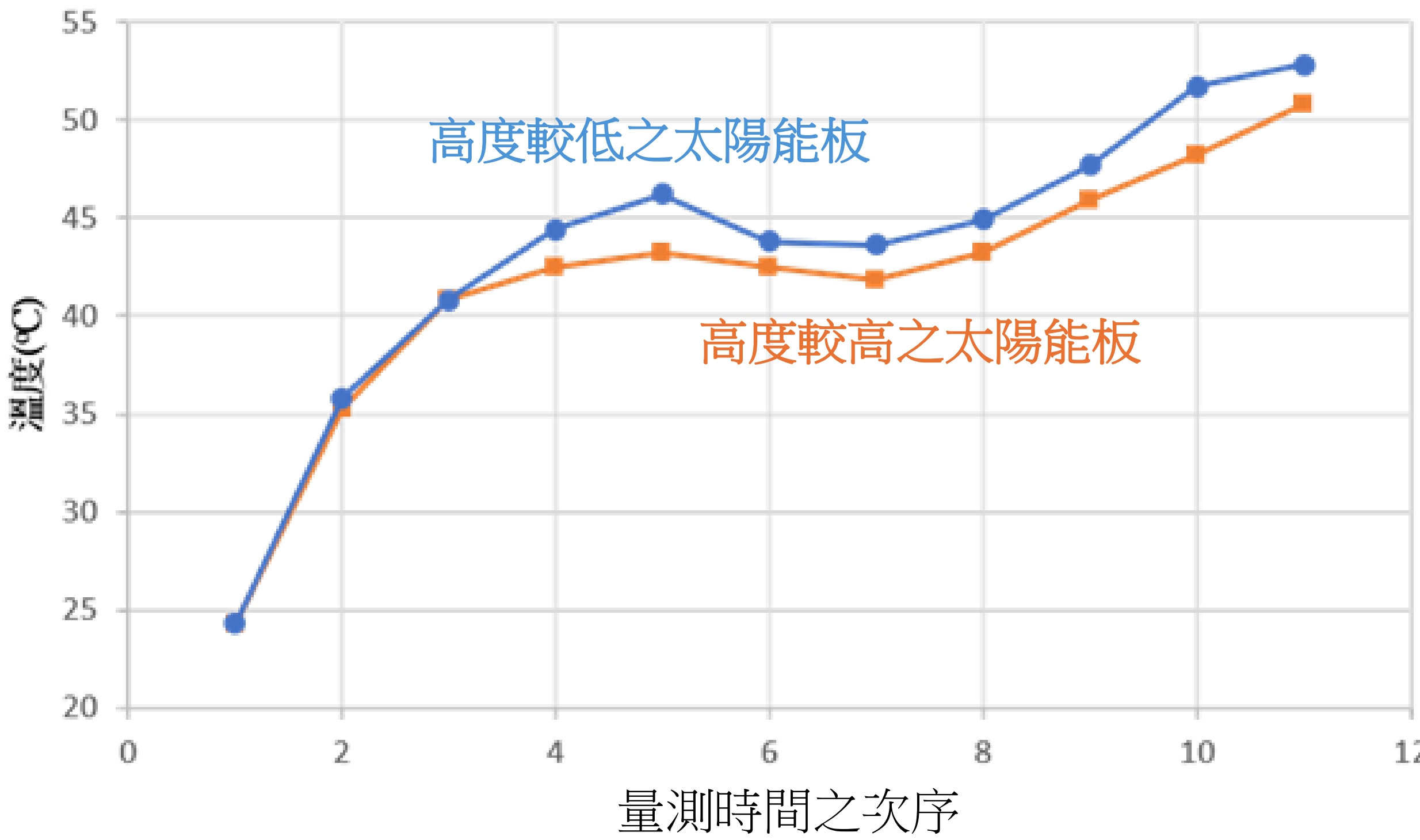
▲不同角度下正背板溫度(以水泥地為例)(作者親自製作)

一. 不管是正板還是背板，只要是靠近地面的一面，溫度都會比接受太陽照射的那一面還要來的高。我們推測有以下兩個原因：

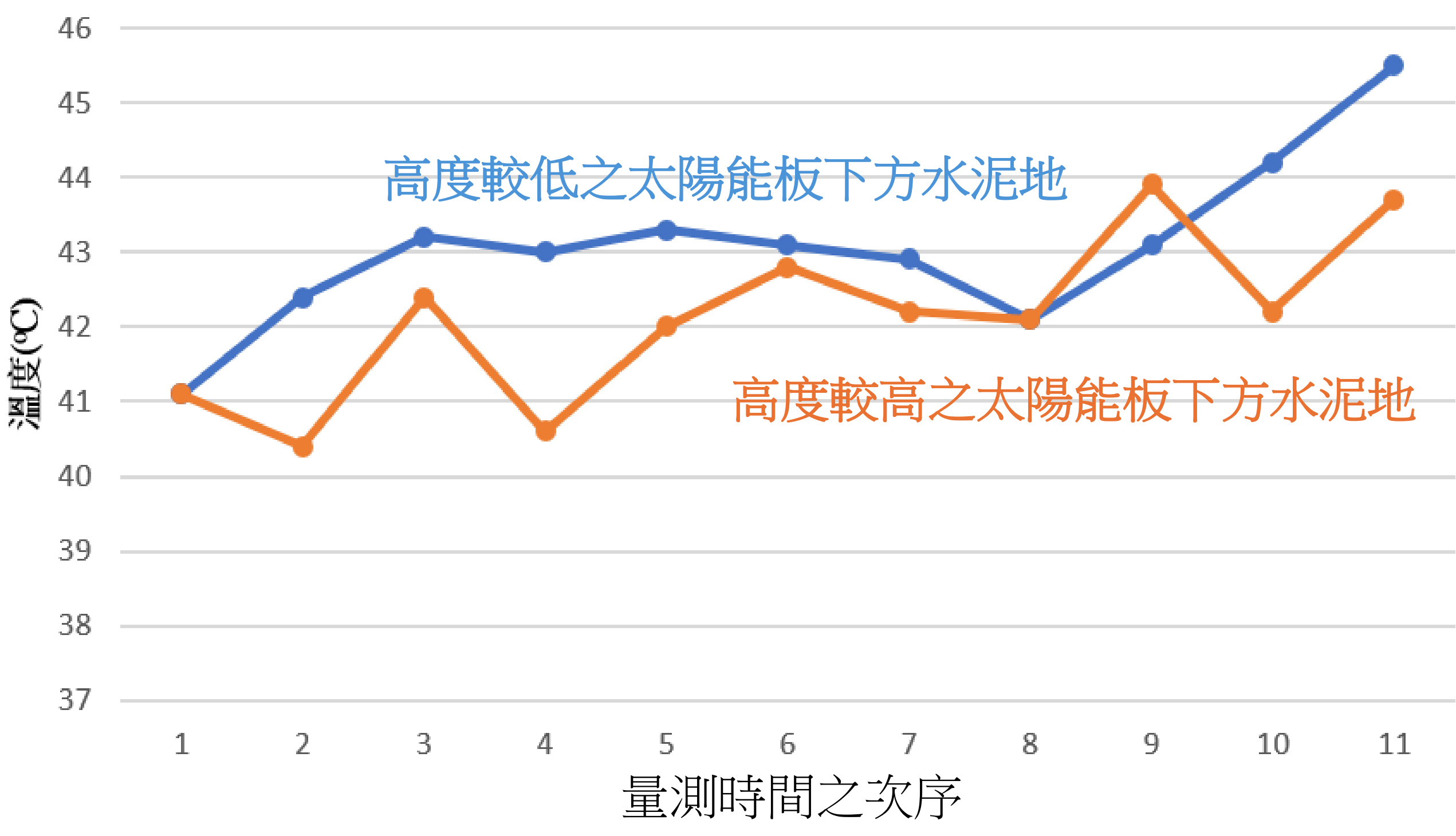
1. 靠近水泥地的那一面接收來自於地面的熱輻射與地面反射的太陽輻射較多，而溫度較高。
2. 靠近水泥地一面散熱不易，且吸收反射的太陽輻射，使得溫度較另一面還來得高。

二. 不論在水泥地或草地上進行，均有相同的結果。

實驗三：探討太陽能板架設高度對太陽能板背板溫度之影響



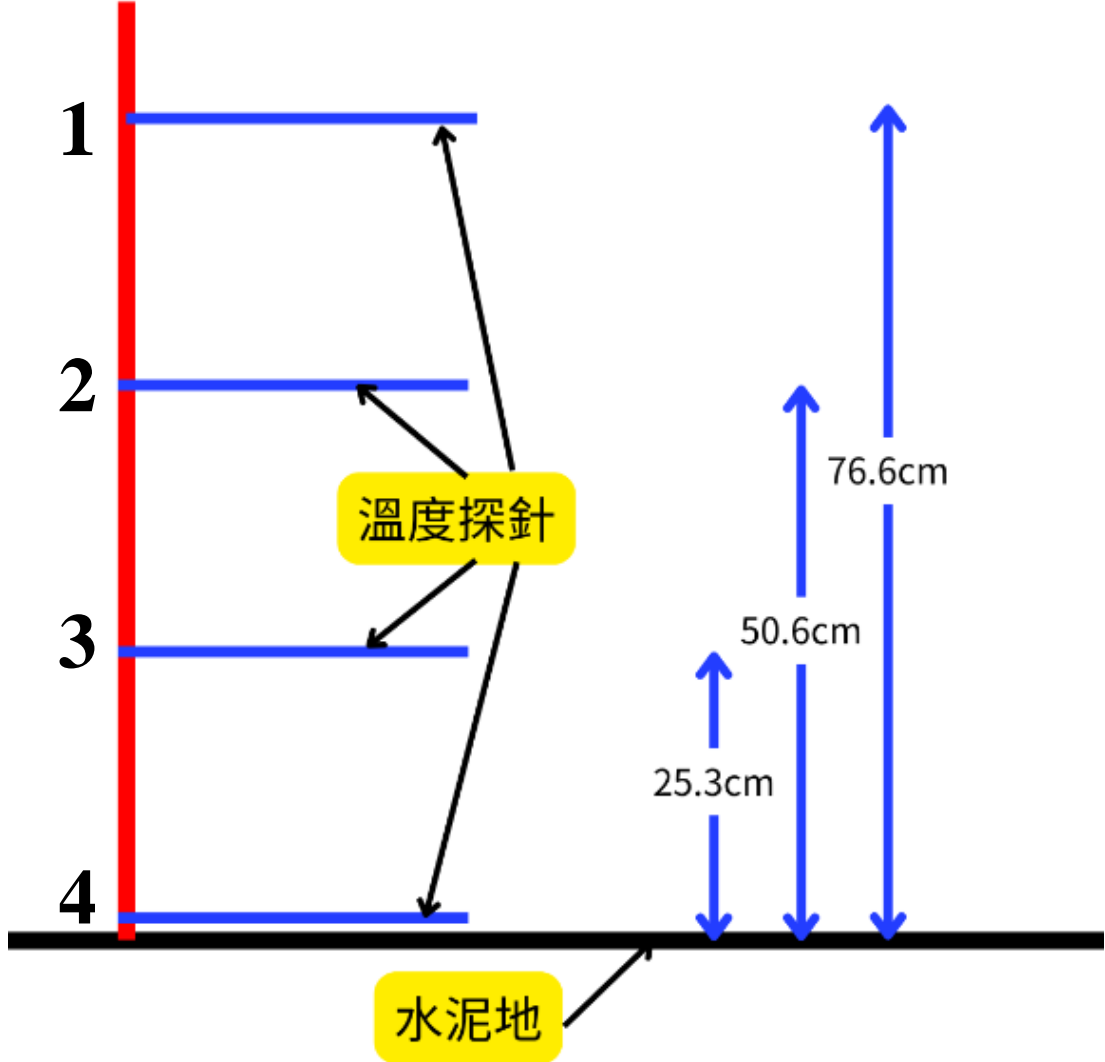
▲不同太陽能板架設高度，太陽能板背板之溫度 (作者親自製作)



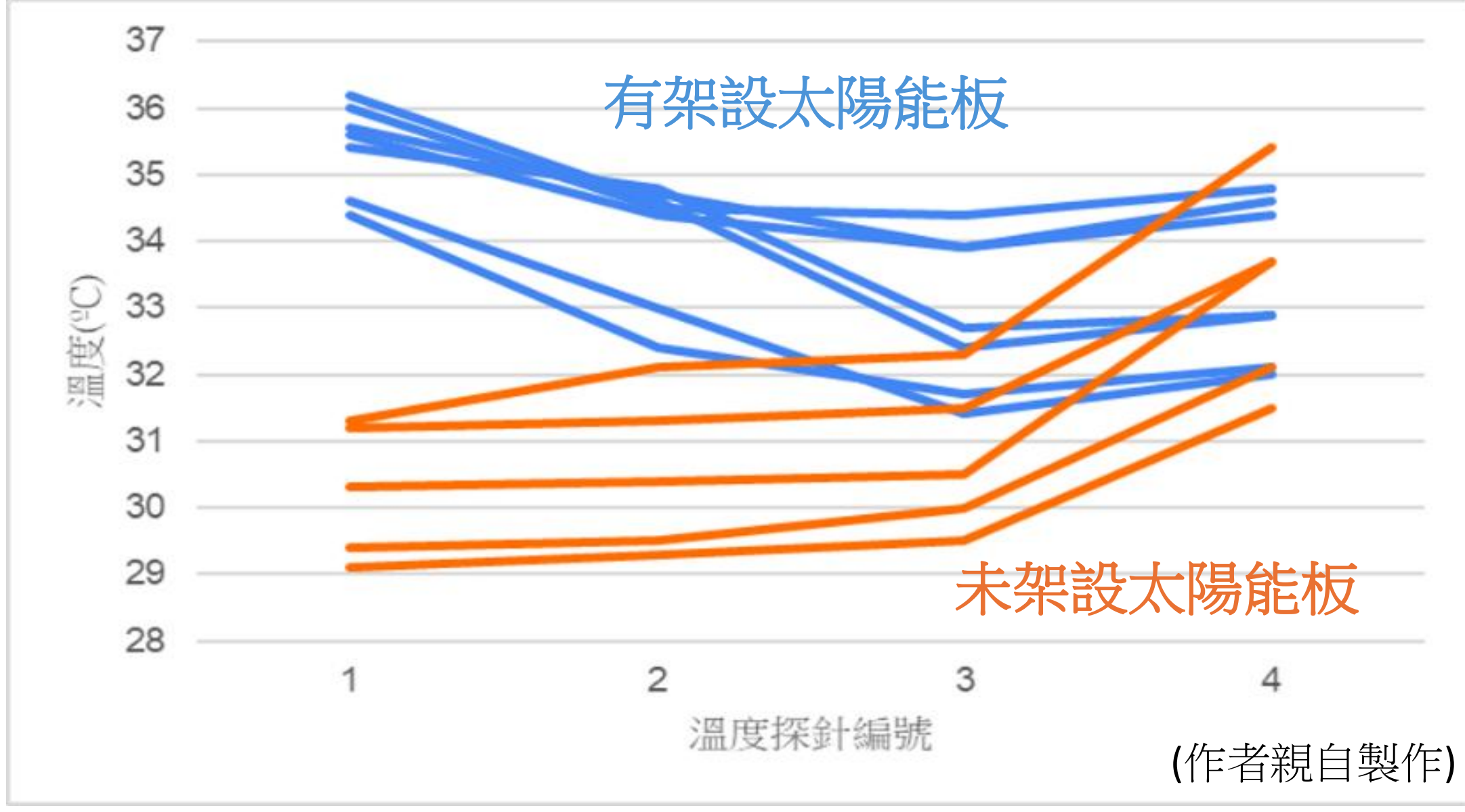
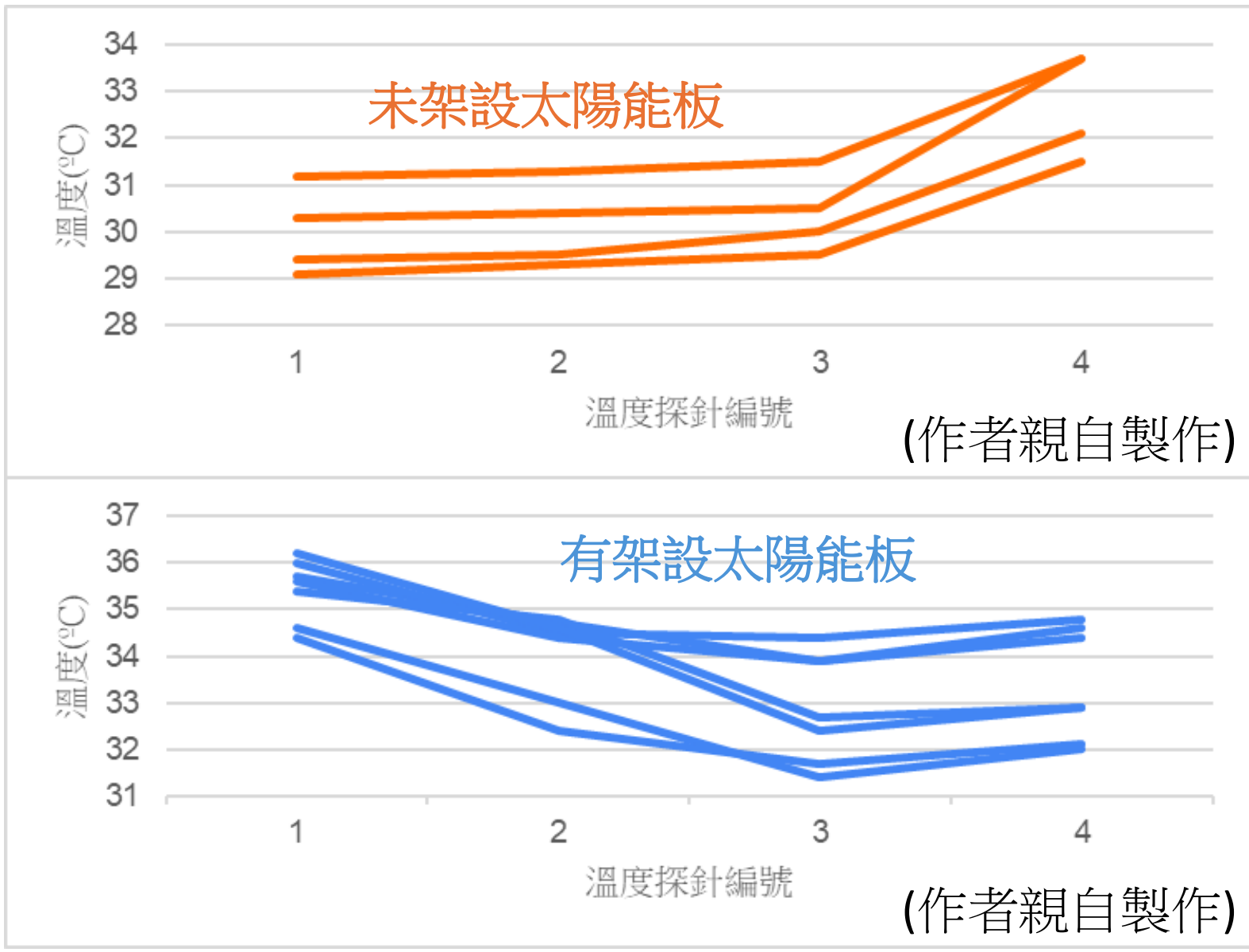
▲不同太陽能板架設高度，太陽能板下方水泥地之溫度 (作者親自製作)

一. 當太陽能板架設高度較高時，不論是太陽能板背板或其下方水泥地，溫度均會較低，對環境所放出的熱輻射會較少。

實驗四：探討太陽能板的架設對環境氣溫的影響



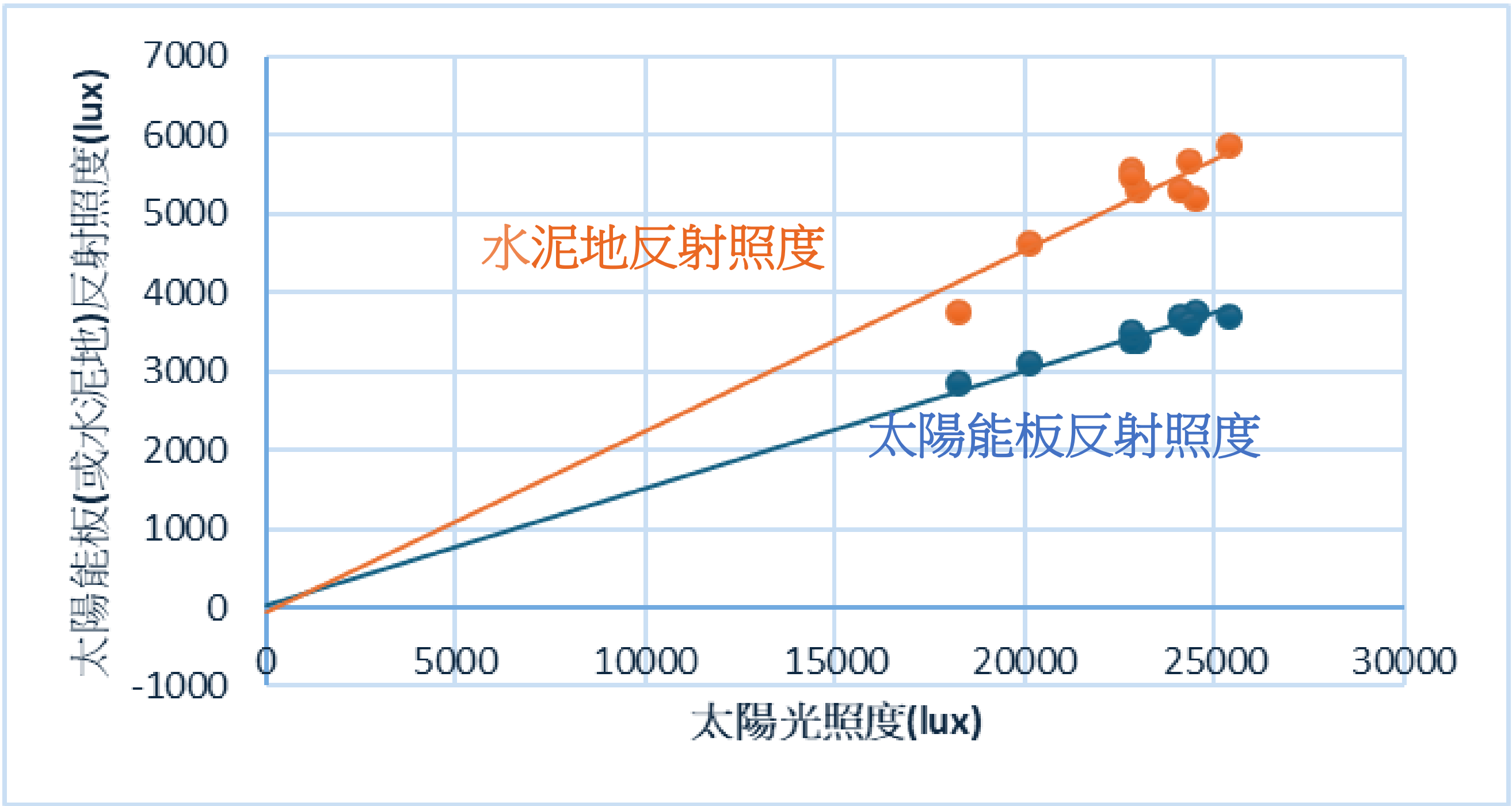
▲未架設太陽能板裝置(作者親自製作)



- 一. 若水泥地上方未架設太陽能板，最靠近水泥地之環境氣溫會最高，且降溫速率會隨高度增加而遞減，因為空氣接收到來自地表輻射量會與距離平方成反比。
- 二. 若水泥地上方有架設太陽能板，最靠近太陽能板背板的氣溫最高，其次是靠近太陽能板的次高探針所在氣溫，而遠離兩熱源之間的氣溫則較低。已知太陽能板背板溫度高於水泥地，因此可知熱源溫度愈高，接近該熱源的氣溫也會愈高。
- 三. 當水泥地上方有架設太陽能板時，4號與3號探針的溫度差會比沒有架設太陽能板時小，1、2號探針測得的氣溫也較高，可推測當有架設太陽能板時，太陽能板與水泥地會吸收彼此放出來的熱輻射，同時被兩者之間的大氣吸收，故氣溫會較高。並且，在本實驗條件與範圍下，有架設太陽能板的平均環境氣溫會高於沒有架設太陽能板的平均環境氣溫。

實驗五：測量太陽能板與水泥地對太陽輻射吸收率

▼太陽能板、水泥地反射照度對太陽光照度圖(作者親自製作)

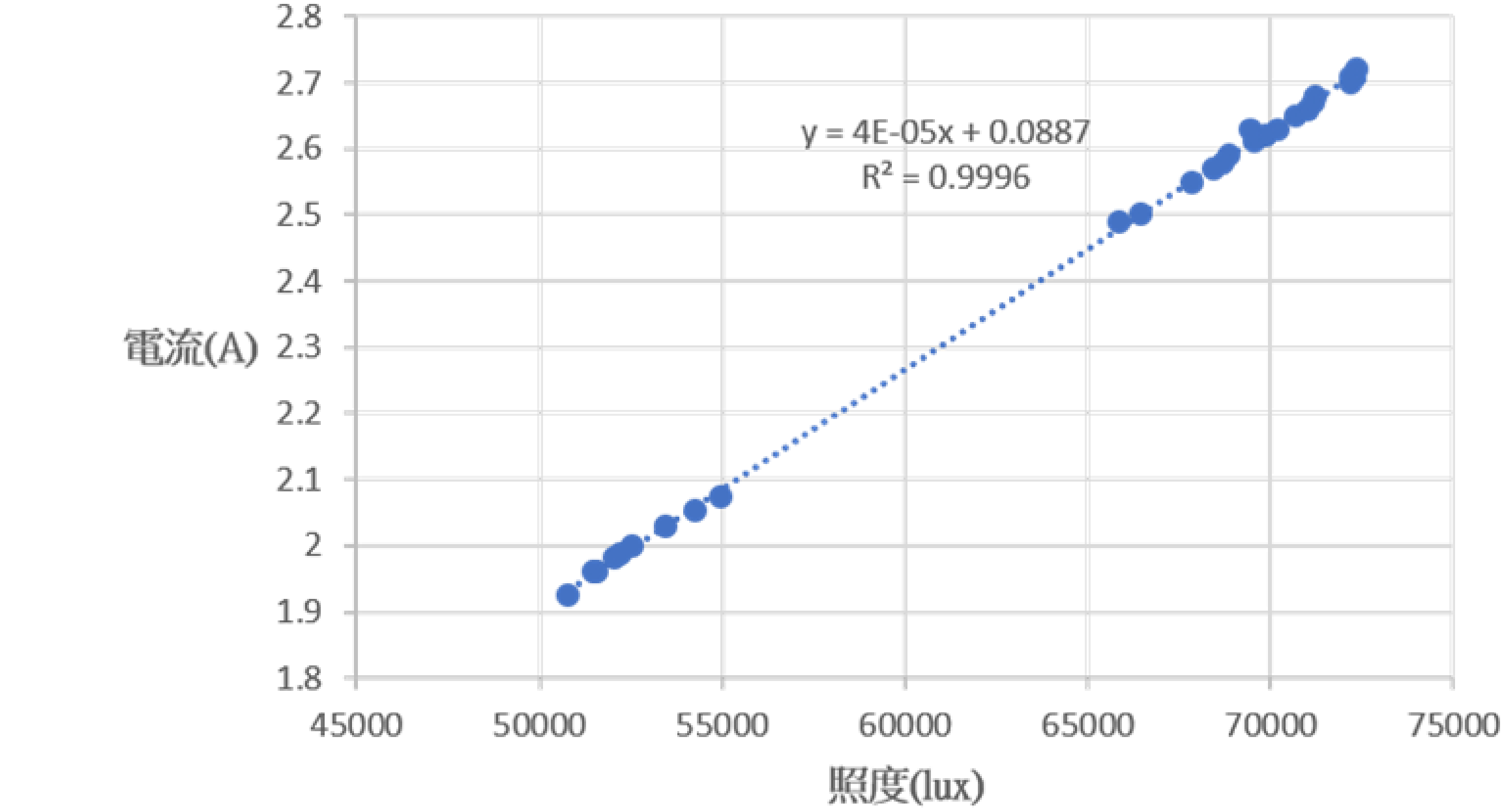


▼太陽能板與水泥地反照率(作者親自製作)

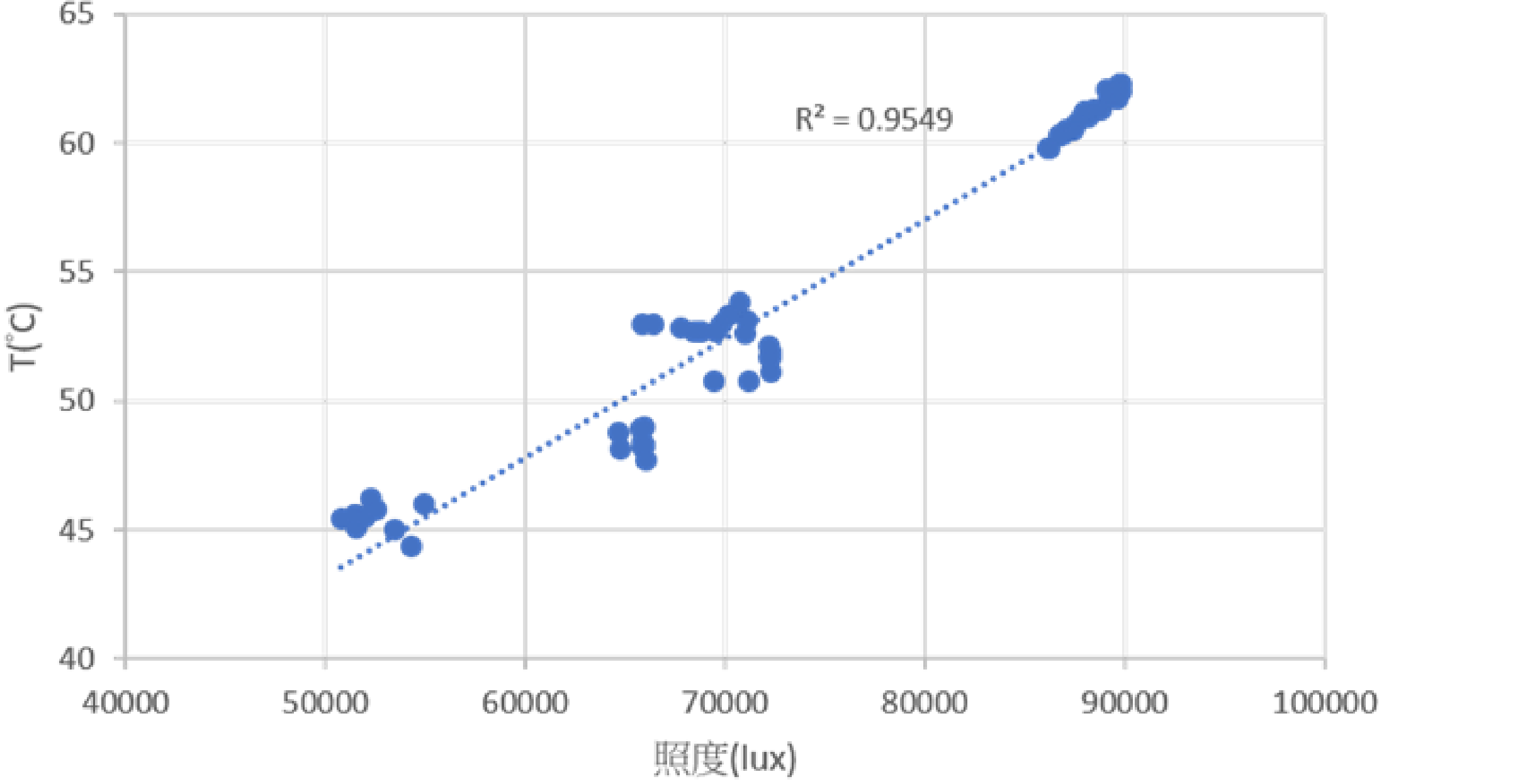
編號	太陽光照度	太陽能板反射照度	水泥地反射照度	太陽能板反照率	水泥地反照率
1	18250	2850	3752	0.156164	0.205589
2	20130	3094	4619	0.153701	0.229459
3	24510	3744	5185	0.152754	0.211546
4	24018	3701	5316	0.153696	0.220764
5	22980	3385	5312	0.147302	0.231158
6	25380	3688	5874	0.145311	0.231442
7	24340	3600	5681	0.147905	0.233402
8	22820	3396	5555	0.148817	0.243427
9	22800	3486	5462	0.152895	0.239561
平均反照率				0.150949	0.227372

一. 太陽能板平均反照率0.151，低於水泥地0.227，可推知太陽能板對太陽輻射的吸收率較水泥地高。

實驗六：探討無風狀態，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係



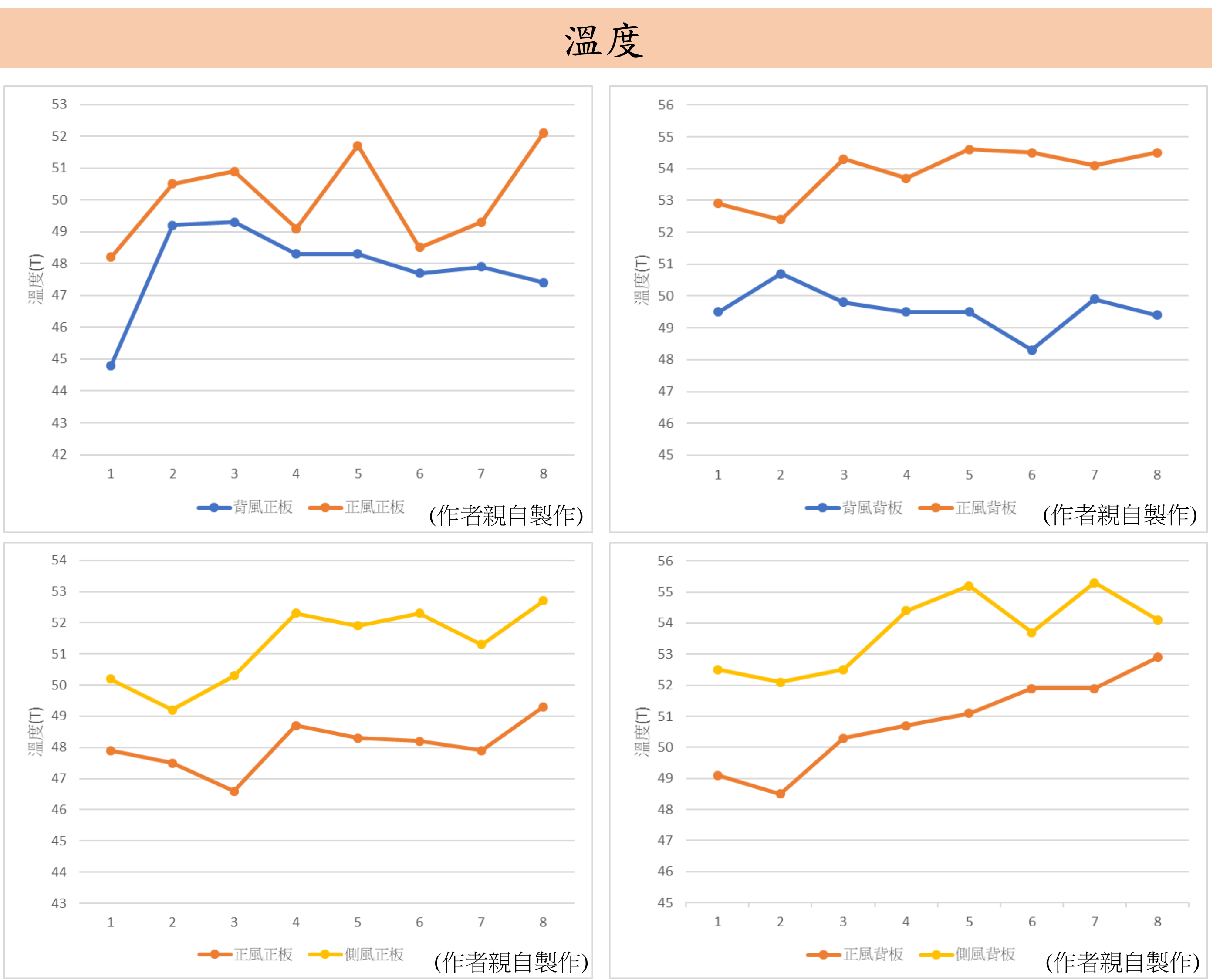
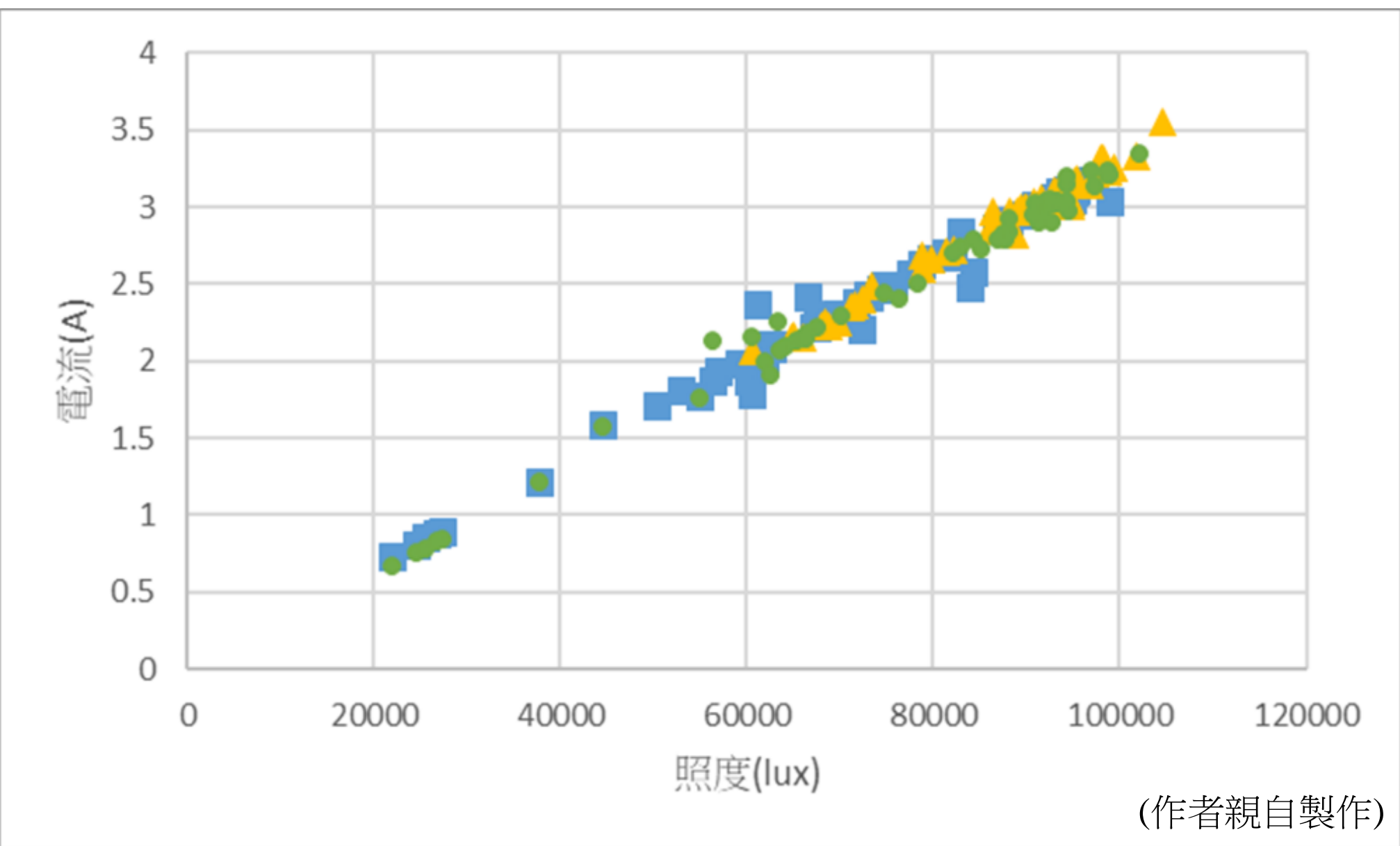
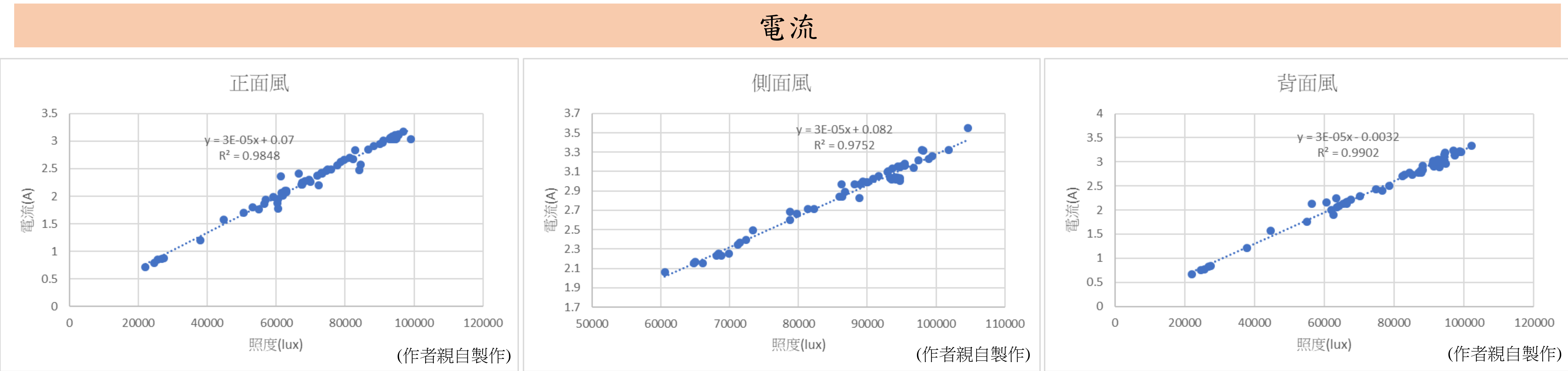
▲無風時太陽能板電流對太陽照度(作者親自製作)



▲無風時太陽能板溫度對太陽照度(作者親自製作)

一. 太陽能板在無風時，電流對照度及溫度對照度的迴歸直線皆呈高度正相關，照度每上升10000(lux)，電流上升0.363A，溫度上升4.60℃。

實驗七：探討不同風向，太陽照度與太陽能板溫度、發電效率之關係



一. 不論是正板或背板溫度，其溫度關係皆為背面風<正面風<側面風。

二. 側面風的降溫效果最差，參考文獻後發現面板垂直受風面積愈大，可破壞熱邊界層，且表面沿風流方向的長度越短，降溫效果愈好，當受側面風時，垂直受風面積最小、風流方向的長度最長，所以降溫效果最差。

三. 背面風降溫效果最好，我們推測太陽能板背板溫度受到下方水泥地熱輻射加熱，與散熱不易，溫度較高，因此受背面風吹拂時，可不斷帶來較低溫的空氣，並使板下的熱空氣被帶走，加速散熱，使整體降溫效果最好。

四. 不同風向造成的電流量差異不明顯，查找文獻後發現，溫度主要影響的是開路電壓而非短路電流，但受限於實驗儀器無法測得明顯的電壓變化，但由上述溫度的結論仍可推知發電效率高低依序為背面風>正面風>側面風。

肆、結論

一. 根據《設置再生能源設施免請領雜項執照標準》第五條，太陽能板架設高度應自屋頂面或露臺面起算四點五公尺以下，因此若單純考慮太陽能板與其下方水泥地受彼此熱輻射加熱的影響因素，若要降低兩者溫度，應在此法規限制下盡可能架高太陽能板。

二. 本研究發現，實際架設太陽能板除了需考量當地緯度、有無建物遮蔽等影響太陽能板接收到太陽輻射量的多寡因素，為了兼顧太陽能板的發電效率與降低對環境的熱影響，也需考量架設位置的風向，以達最佳散熱方式。以台南為例，太陽位於高仰角位置時，大部分位於偏南方天空，5~9月雖太陽仰角較高，但這些月份也是台南的主要雨季，所以平均每月平均日照時數10月至隔年4月為176.6小時/月，5~9月為189.7小時/月。若是台南在四方未受物體遮蔽風向的狀態下，偏北風的時間較長，其次是偏南風。綜合考量下，我們建議太陽能板可面向南方架設，不但可以接收偏南方的日照，也可使太陽能板較長時間受背面風吹拂，以達最佳降溫效果，在夏季較高溫的狀況下，太陽能板面南架設，吹正面風的組合，降溫效果也不會太差。

伍、參考文獻資料

Wikipedia contributors. (n.d.). Stefan-Boltzmann law. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law

Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2010). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34(1), 23–29.

Taha, H. (2013). Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms. *Atmospheric Environment*, 80, 140–148.

Li, D., & Bou-Zeid, E. (2014). Solar panels reduce both global warming and urban heat island. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104002.

Barron-Gafford, G.A., Minor, R.L., Allen, N.A., Cronin, A.D., Brooks, A.E., & Pavao-Zuckerman, M.A. (2016). The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific Reports*, 6, 35070.

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Urban Heat Islands: Causes, Impacts, & Mitigation*.

Rasheed, A., Wang, L., Li, L., & Javed, M. F. (2021). Experimental research on the convective heat transfer and flow resistance performance of photovoltaic modules. *Processes*, 9(4), 642.

Pan, Y., Chen, H., Su, C., & Lin, C. (2022). Effects of photovoltaic panels on rooftop temperature and energy saving in humid subtropical climate. *Applied Sciences*, 12(18), 9665.

Hudisteanu, S. V., Turcanu, F. E., Chereches, N.-C., Popovici, C.-G., Verdes, M., Ancas, D.-A., & Hudisteanu, I. (2022). Effect of wind direction and velocity on PV panels cooling with perforated heat sinks. *Applied Sciences*, 12(19), 9665.

Hudisteanu, V.-S., Chereches, N.-C., Turcanu, F.-E., Hudisteanu, I., & Romila, C. (2024). Impact of temperature on the efficiency of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels: A comprehensive experimental analysis for sustainable energy solutions. *Sustainability*, 16(23), 10566.

Mehdi, M., Ammari, N., Merrouni, A. A., Benazzouz, A., & Dahmani, M. (2023). Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic power plants in desert locations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 103038.

Mehdi, M., Ammari, N., Alami Merrouni, A., Benazzouz, A., & Dahmani, M. (2023). Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic power plants in desert locations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 103038.

余嘉裕 (2004)。大氣熱力學 (第六版)。中國文化大學大氣科學系辦公室出版。

沈君宜、陳君庭、周炯彤、黃盈雯。(2008)。太陽「砂」希望-太陽電池的研究 (作品說明書)。中華民國第48屆中小學科學展覽會。

李秉謙、李明燦。(2012)。魔鏡 (作品說明書)。中華民國第52屆中小學科學展覽會。

陳柏驊。(2015)。「增」光「撙」熱採綠能——探討太陽能板發電效能提升及應用 (作品說明書)。中華民國第55屆中小學科學展覽會。

地球公民基金會 (Citizen of the Earth, Taiwan)。(2019年9月1日)。戴上手套，拆解太陽能板。作者：李根政、蔡卉荀、李翰林。取自 <https://www.cet-taiwan.org/node/3563>

張博深 (Po-Shen Chang)。(2020)。屋頂型光伏太陽能板對局部環流與對流潛在的影響 (碩士論文，國立臺灣大學)。國立臺灣大學機構典藏。

張愷庭、林若晴、林浩宇 (2020)。「熱島」往藍海之路 (作品說明書)。中華民國第60屆中小學科學展覽會。

劉書廷、陳有霖、張冠鈞 (2021)。「觸」水「浮」「能」-探討漂浮太陽能板之效能提升 (作品說明書)。中華民國第61屆中小學科學展覽會。

吳昱德、吳季澄。(2021)。太陽能光熱分離複合發電的探討 (作品說明書)。中華民國第61屆中小學科學展覽會。

經濟部 (2024)。設置再生能源設施免請領雜項執照標準。 <https://law.moea.gov.tw/LawContent.aspx?id=FL054007>