

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

032812

窗戶在開與不開之間

學校名稱：臺南市立下營國民中學

作者： 國二 姜柏均 國二 馮緯崙 國二 姜孝侑	指導老師： 楊孟勳 周育信
---	-----------------------------

關鍵詞：光照、百葉窗、太陽能發電

摘要

本研究主要探討如何改善日照造成室內居住悶熱不適的方法，經各項相關實驗後，進一步設計出由 arduino 控制之低耗能環境舒適系統裝置。

首先，先針對不開窗之室內環境如何降低居住不適性進行實驗探討，根據實驗結果發現將窗戶貼上具反光效果之隔熱紙效果最佳；然後，針對開窗之室內環境如何降低居住不適性，發現百葉窗扇葉寬度越小、夾角越大且具反光效果時，室內溫度升高較緩慢而透光率也越高；接著，探討在室內其他壁面增設通風口及主動吸排風裝置之可行性；最後，根據以上研究結果，設計出低耗能環境舒適系統裝置。

壹、研究動機

一、陽光與汗水的對決

教室裡每天從早上第一節課開始，陽光就以非常刺眼的姿態從窗戶照射進來，一直到下午快放學才稍有減弱，為了遮住陽光整天教室裡必須緊密地拉上窗簾，深怕窗簾上稍有一絲絲縫隙讓陽光透進來，就會有人因刺眼的光發出哀號，因此，為了避免窗簾飄動露出縫隙，窗戶也必須關緊並夾好窗簾，但是，這樣一來沒有流通的空氣再加上陽光的熾熱，整間教室一整天變得好熱好熱！即使在教室坐著不動，青春的汗水還是不爭氣地不斷流出，使得整間教室裡瀰漫著一股令人窒息的汗臭味。

二、是神隊友還是豬隊友？

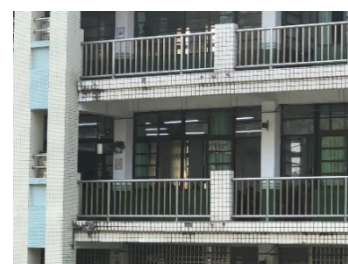
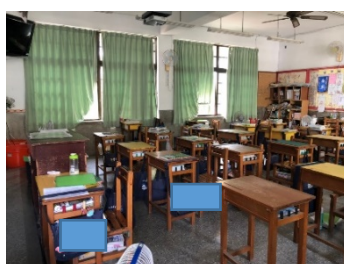
在這樣的情況下，教室裡搬來越來越多台的電風扇，電風扇隊友們嗡嗡努力吹出悶熱的風，目前教室裡雖有 14 台風扇（如表 1-1-1 所示），但還是有人覺得教室很熱，自備攜帶型電風扇供個人使用！

表 1-1-1 教室內電風扇裝置



此外，為了補足窗簾緊密拉上後的教室照明，教室裡所有的燈整天都必須開著才夠亮（如圖 1-1-2），但，開燈又讓人感覺燥熱了起來。

表 1-1-2 教室內照明情形



從以上兩方面的了解，不禁令人開始思索究竟有沒有比目前的做法更好的解決方法，可以同時隔絕過多的陽光但又保持良好的通風、營造舒適的生活環境呢？

貳、研究目的

- 一、了解不開窗情況下各種降低不適性方法的可行性。
- 二、了解開窗情況下各種降低不適性方法的可行性。
- 三、了解設置壁面通風口之可行性研究。
- 四、開發低耗能之環境舒適系統裝置。

參、研究設備及器材

一、研究器材（如表 3-1 實驗器材一覽表）

Arduino 板 uno R3	光強度傳感器 GY-30	舵機 SG-90 與自製舵機轉盤	RTC 時鐘模塊 DS1307
溫溼度感測器 DHT11	溫度感測器 DS18B20	太陽能板及行動電源	DC 穩壓電路
ESP01 模組	雨滴感測模組	5V 風扇	隔熱貼膜
飛利浦紅外線燈	白熾燈與 E27 燈座	角鋼	壓克力板、密集板

二、實驗設備（如表 3-2 實驗設備一覽表）

電腦 (含 arduino 1.8.5)	自製環境模擬裝置 (註一)	3D 列印機	雷射切割機
-------------------------	------------------	--------	-------

(註一) 自製環境模擬裝置說明：

裝置圖

分成 A 至 I 等 9 個網格進行溫濕度與照度的測量

程式語法 (部分省略)

```

1090310average
1 #include <Wire.h>
2 #include <RH750.h>
3 #include "DHT.h"
4 #define dhtPin 8 // 讀取 DHT11 Data
5 #define dhtType DHT11 // 應用 DHT11
6 DHT dht(dhtPin, dhtType); // initialize DHT sensor
7 RH750 lightMeter;
8 #include <SoftwareSerial.h>
9 SoftwareSerial esp8266(4,5); // esp8266 的 TX 接到 pin4, RX 接到 pin5
10
11 String apiKey = "T7BVG0811MQ0E29"; // **內輸入 ThingSpeak 的 write API Key
12 String ssid = "SYJMaker_2_40"; // **內輸入 wifi 基地台的名稱
13 String password = "syjh6891105"; // **內輸入 wifi 基地台的密碼
14
15 boolean DEBUG = true;
16 void showResponse(int waitTime)
17 { long t=millis();
18   char c;
19   while (!waitTime || millis() < t)
20     if (esp8266.available())
21       c=esp8266.read();
22     if (DEBUG) Serial.println(c);

```

```

1090310average | Arduino 1.8.5
99 Serial.println("temp="+String((t1)*0.1));
100 Serial.println("humidity="+String(h)*0.1);
101
102
103 thingSpeak*write(t,h,t,lux); // 自己增加或減少要上傳的數據項目
104
105 delay(20000); // thingspeak 需要 20 秒以上才能更新
106
107 }
108 Serial.println("溫度: ");
109 Serial.println(h);
110 Serial.println("濕度: ");
111 Serial.println("照度: ");
112 Serial.println(t);
113 Serial.println("PM2.5");
114 Serial.println("華氏溫度: ");
115 Serial.println(f);
116 Serial.println("PM10");
117 delay(5000); // 延時 5 秒
118 }
119
120

```

肆、研究過程或方法

- 一、發展研究架構
- 二、文獻探討

三、不開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究。

四、開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究。

五、設置壁面通風口之可行性研究。

六、開發低耗能之環境舒適系統裝置。

伍、研究結果與討論

一、建立研究架構

經過一連串的资料查找後，設計本次研究的基本架構，並且隨實驗討論的進行隨時修正架構，以下是我們這次研究的整體研究架構。

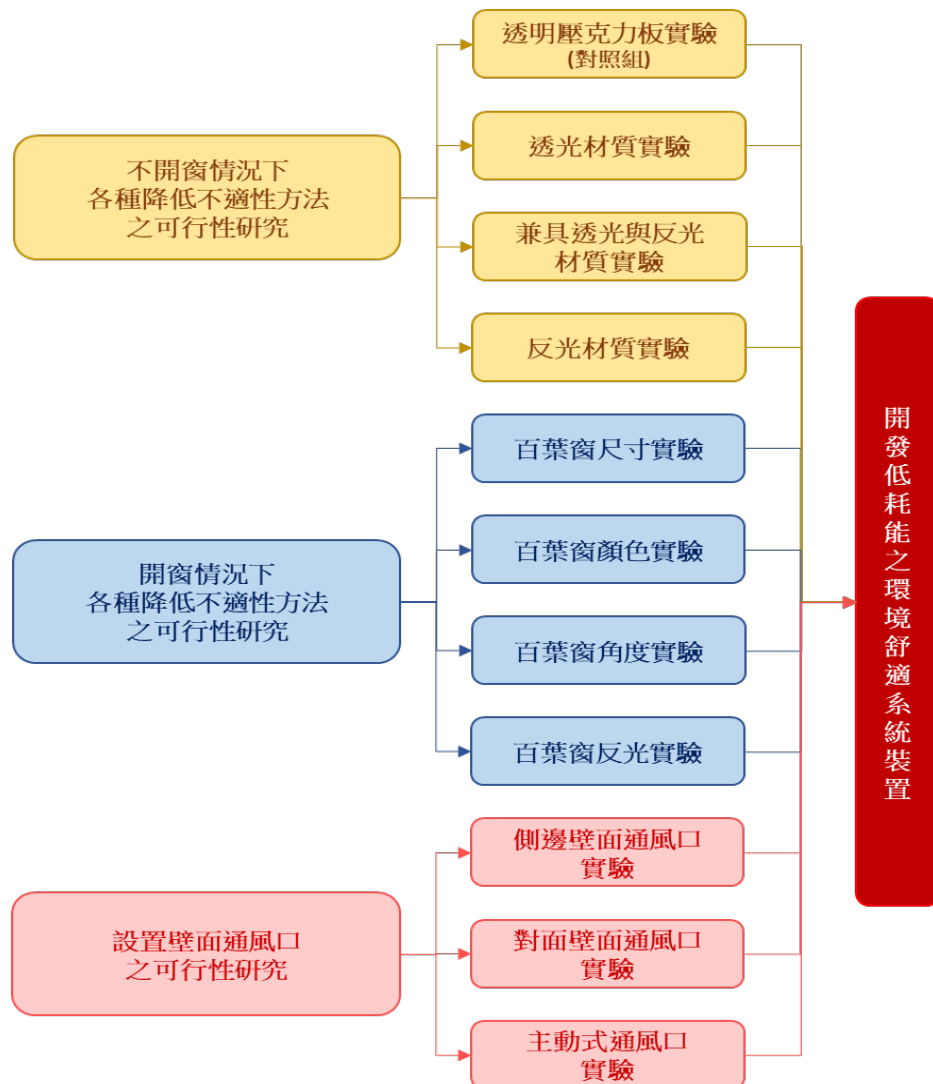


圖 5-1-1 研究架構圖

二、文獻探討

(一) 日照研究

1. 臺灣四季太陽仰角與方位角：(資料來源：中央氣象局)

地球繞日運轉，憑肉眼直覺所見，好像太陽在天球上周年視行。視行 1 周的軌跡，叫做黃道，因地軸傾斜，黃道與赤道相交大約 23.4 度。每當春分秋分時，太陽經過黃道赤道交點，這時太陽出於正東，沒於正西。春分後，太陽沿黃道北移，夏至時到達最北，即北回歸線上，這時太陽出於東偏北方，沒於西偏北方；秋分後，太陽沿黃道南移，冬至時到達最南，即南回歸線上，這時太陽出於東偏南方，沒於西偏南方。太陽南來北往，從春分點到夏至點，經秋分點到冬至點，再回春分點，等於 1 年，也叫做「回歸年」，是地球上四季寒暑的原因。

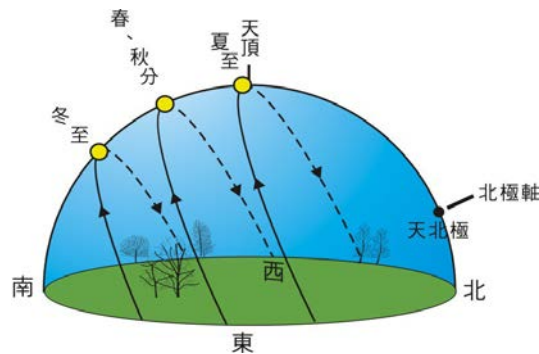


圖 5-2-1 北緯 25 度太陽出沒仰角及方位圖

圖 5-2-1 中天北極的仰角即觀測者所在地的緯度，當太陽由地平升起後，太陽的方位角與仰角隨時間而改變。另外，由於太陽在過中天時，是一天當中仰角最高的時候，但過中天的時刻並不一定正好在正午 12 時，所以太陽過中天時之仰角與方位角於表 5-2-1 中列出。

圖 5-2-1 臺南（東經 120°12'，北緯 23°00'）四季太陽仰角與方位角

季節	時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
春分	仰角		12.3	25.9	39.2	51.6	61.9	67.1	67.0	63.7	54.2	42.1	28.9	15.3	1.6
	方位		95.3	101.9	110.2	122.3	142.5	180.0	175.8	211.4	234.3	247.7	256.6	263.5	269.5
夏至	仰角	8.7	21.7	35.1	48.6	62.2	76.0	89.6	89.5	76.5	62.7	49.1	35.5	22.2	9.2
	方位	68.2	72.8	76.7	80.1	83.0	85.2	0.0	28.6	274.8	276.9	279.8	283.2	287.1	291.7
秋分	仰角	1.9	15.7	29.3	42.4	54.5	63.9	67.1	67.0	61.7	51.3	38.8	25.5	11.9	
	方位	90.6	96.7	103.6	112.6	126.2	149.4	180.0	185.3	218.2	238.1	250.1	258.3	264.9	
冬至	仰角		4.2	16.0	26.7	35.5	41.5	43.6	43.6	41.1	34.8	25.8	15.0	3.1	
	方位		117.7	124.8	134.1	146.5	162.3	180.0	180.8	199.2	214.7	226.8	235.9	242.9	

2. 歷年台灣日照變化研究：(資料來源：自行整理)

(1) 全天日射量：係指全天太陽輻射能量的數值，單位 kW/(m²·天，圖 5-2-2 為自行整理之歷年台灣全天日射量變化圖，從圖上可知歷年日射量有增高趨勢。

(2) 日照時數：一地實際受日光照射的時間；當熱通量密度超過 120 瓦特/平方公尺，視為該地實際日照時數，圖 5-2-3 為自行整理之歷年台灣日照時數變化圖，從圖上可知歷年日射量有減少趨勢。

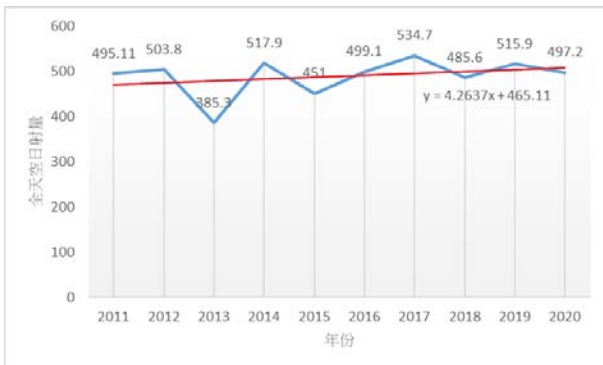


圖 5-2-2 歷年台灣全天日射量變化圖



圖 5-2-3 歷年台灣日照時數變化圖

(二) 太陽能發電

1. 太陽能發電方式：電效應(利用光電池直接將日光轉為電流)、熱效應(利用集熱板加熱提高水溫)與化學效應(利用太陽光電解水，獲得氫氣作為發電燃料)。

2. 太陽能電池介紹：

(1) 原理：

應用半導體的光伏效應。光伏效應一般是指當光子射入具有 PN 接面的二極體元件後，會在二極體的兩端電極可以產生輸出功率的電壓值，這個過程主要包含的是光子射到半導體內產生電子-電洞對、電子與電洞因為 PN 界面所形成的內建電場作用下而分離、電子與電洞各自朝著相反方向運動，並且由兩端電極來輸出至負載，在迴路上形成光電流。

(2) 影響發電效率因素：

A. 太陽能板可吸收的日照強度：太陽輻射強度、灰塵、仰角、方位角、太陽能板的表面反射與折射等。

B. 溫度：太陽能電池理想的溫度是 25 °C，熱會導致電池電壓減小，雖然短路

電流稍有上升但輸出的電力功率會減少，每種模組的溫度係數均不同，至少每增加 1°C 效能會減少 0.3~0.5%。

- (3) 晶圓型與非晶矽太陽能電池僅能吸收光波長在 400~700nm 之可見光範圍內，碲化鎘與 CIGS 等薄膜型吸光範圍除了可見光範圍，尚可涵蓋波長在 700~1,200nm 之間的紅外光區域，故一天內吸光後可發電之時間較長。

(三) 隔熱貼膜

- 1.原理：太陽光的組成大致可分為紅外線 53%、可見光 44% 與紫外線 3% 三種，其中會產生高溫的部分只有前兩者，因此若想減少室內溫度升高幅度，就須先將紅外線與可見光阻擋在外。

隔熱貼膜是由多層不同物質構成，主要可分為 PET 膜、金屬反射塗層、有機染色塗層、防劃傷層及黏貼劑塗層等，通常可分為將熱量吸收，或是直接將太陽光反射回去等兩種方式。

- 2.本研究使用台南 Pandarla 公司生產之各式窗戶隔熱貼膜進行實驗設計，其相關資料如下圖 5-2-4：

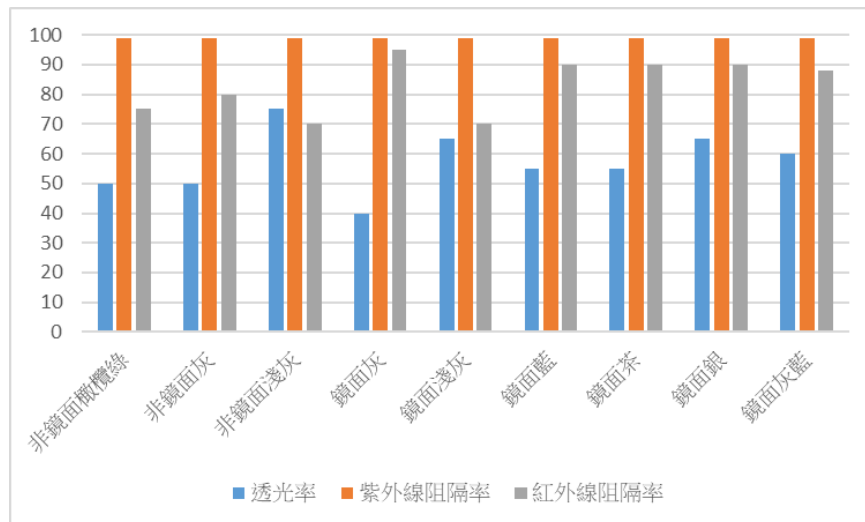


圖 5-2-4 台南 Pandarla 公司生產之隔熱貼膜穿透率比較圖

(四) 光學原理

- 1.光的直進性：光在真空中或組織均勻的介質中，沿直線進行。
- 2.光的折射：從一種介質斜向進入另一種不同的介質時，光的前進方向會改變，這種現象稱為光的折射。

3.光的反射：光波傳到兩種不同介質的交界面時，有部分光自界面射回原介質中的現象，稱為光的反射，其中平行光於各種面鏡的反射情形如表 5-2-2 整理。

表 5-2-2 平行光於各種面鏡的反射現象

凸面鏡	平面鏡	凹面鏡

(五) 歷屆科學展覽相關研究

翻查並整理近十年全國科學展覽會中關於太陽光照之相關研究，如下表 5-2-2 所示，發現相關研究可分為兩種方向，一為削減(或遮蔽)太陽光照，另一種則利用太陽光照，追求有效率之發電方式，但是，削減方式太浪費難得到來的太陽能量，一味地利用又常造成架設太陽能板區域光照不足的窘境，因此，本次科學研究企圖結合兩者之優點，並補足缺點，營造舒適健康自然的適居環境。

表 5-2-2 歷年科學展覽會相關研究彙整

太陽能處理方式	研究主題	研究內容
削減式	“光”鍵隔熱 — 揭開隔熱紙的神秘面紗	研究不同隔熱紙之穿透光譜，定量分析溫度變化與穿透光譜的關係。
利用式	增光擠熱拚綠能 — 探討太陽能板發電效能提升及應用	探討溫度、灰塵、仰角對太陽能板發電效能的影響，並比較不同散熱方式的差異。
	雙軸控制太陽位置追蹤器之研製	進行太陽能板與光源距離實驗及光照強度實驗，並藉由實驗印證太陽位置追蹤器可提高太陽能板之發電效率。
	太陽運動軌跡與太陽能板最高效益探討	依據研究數據以簡易的材料(時鐘、發條)、方式來設計較簡單的「追日」系統，使太陽光的使用更有效率。
	陽仰得意-探討太陽能板擺設最佳角度	針對太陽能的分布與太陽能板的最佳吸收角度進行研究。

三、不開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究

本部份研究希望了解在不開窗的情況下，是否能找出可行的隔絕光照又不會造成悶熱的方法，可做為改善教室環境的參考。

(一) 透明壓克力板實驗(對照組)

1.提出問題：以透明的壓克力板作為窗戶材質之對照組，研究不開窗之自然採光下，室內光照度與溫溼度將會如何變化？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

濕度(humidity, H)：指空氣中水蒸氣的含量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的濕度。

3.研究步驟：

(1)利用自製照度感測器置於教室窗戶旁第一排位置，自早上 10 點至下午 3 點於此期間偵測照度，從 arduino 電腦軟體之序列埠監控視窗中讀取照度數值後，進行平均，獲取一日平均照度 L_1 數值。

表 5-3-1 教室環境照度偵測實作



(2)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之透明壓克力板後，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室一日平均照度 L_1 相同數值後進行照光實驗。

(3)從 arduino 電腦軟體之序列埠監控視窗中讀取溫度 T 與濕度 H 等數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值以作為本次所有實驗之對照組使用。

4.研究結果：

(1)測得教室早上 10 點至下午 3 點之照度變化情形如下圖 5-3-1，經計算後獲得教室一日平均照度 $L_1=2111\text{lux}$ 。

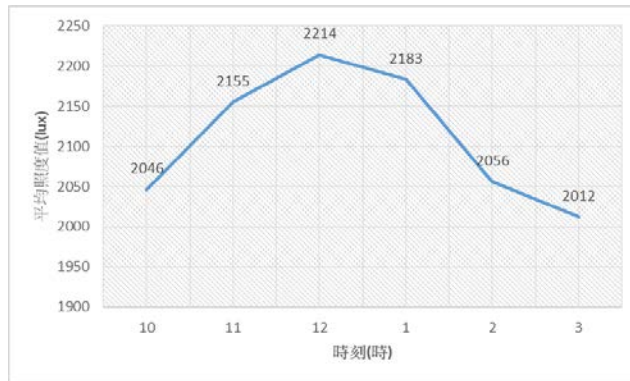


圖 5-3-1 教室早上 10 點至下午 3 點之照度變化圖

(2)自製環境模擬裝置以照度 $L_1=2111\text{lux}$ 進行對照組模擬實驗，測得之溫度與濕度變化如下圖 5-3-2、圖 5-3-3 所示。

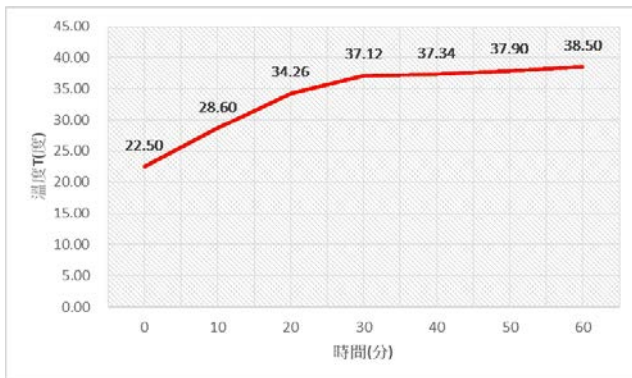


圖 5-3-2 透明壓克力窗照光後溫度變化

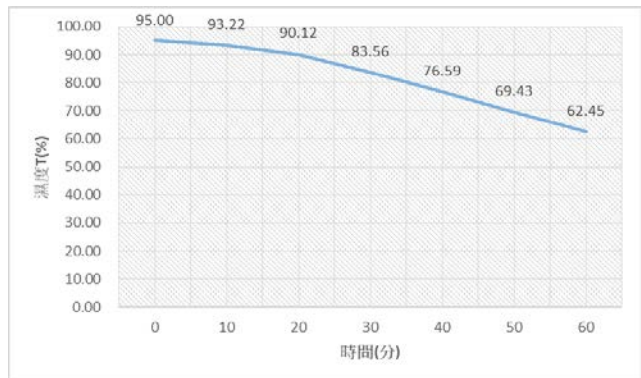


圖 5-3-3 透明壓克力窗照光後濕度變化

5.研究討論：

- (1)本實驗為對照組實驗，係為了模擬在教室裡不適的環境，在教室裡測得之一日平均照度值為 2111lux ，與建議之居家一般照度($300\sim 500\text{ lux}$)比較，差距極大。
- (2)根據模擬實驗 1 小時後結果，發現在持續照光下，溫度一開始升高極快，後來雖漸漸趨緩，但值得注意的是溫度居然高達 38.5°C (1 小時溫度差達 16°C)，顯示密閉環境中熱量不斷累積，將使環境溫度不斷升高至人體無法負荷的困境。

(3)但是，根據我們習得的熱量公式 $H = m s \Delta T$ (H 為提供之熱量， m 代表空氣質量， s 代表空氣比熱， ΔT 代表溫度變化)，當 $m s$ 為定值時， H 與 ΔT 為正比關係；當熱源為穩定供熱時，加熱時間 t 與 ΔT 應為正比關係，亦即加熱時間 t 與 T 應呈現斜直線關係圖，與圖 5-3-1 實驗結果有差異，因此進一步的資料查找與分析，討論如下：

A.空氣比熱 s 隨溫度變化發生改變，非為定值。

B.壓克力窗照光升溫後，亦對室內環境進行放熱，發生二次熱傳現象。

(4)根據模擬實驗 1 小時後結果，發現在持續照光下，濕度一開始慢慢下降，後來迅速下降，推測在高溫的環境中水分蒸發速率變快，使室內環境變得乾熱。

(二) 透光材質實驗

1.提出問題：不同顏色的透光材質貼膜是否有助於減緩強烈光照對環境的改變？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

濕度(humidity, H)：指空氣中水蒸氣的含量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的濕度。

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置之窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之透明壓克力板(上面貼有透光霧面隔熱膜)後，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，進行 1 小時照光實驗。

(2)從 arduino 電腦軟體之序列埠監控視窗中讀取照度 L 、溫度 T 與濕度 H 等數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值以作為本次實驗分析用。

(3)分別更換非鏡面淺灰、非鏡面灰、非鏡面橄欖綠等隔熱貼膜，重複進行步驟(1)至(2)之實驗操作。

4.研究結果：照度值如表 5-3-2，溫度與濕度變化如下圖 5-3-4、圖 5-3-5 所示。

表 5-3-2 不同顏色的透光材質貼膜透光率實驗結果

	對照組	透光霧面	非鏡面淺灰	非鏡面灰	非鏡面橄欖綠
照度(lux)	2111	1834	1568	1076	1064
透光率(%)		86.88	74.28	50.97	50.40

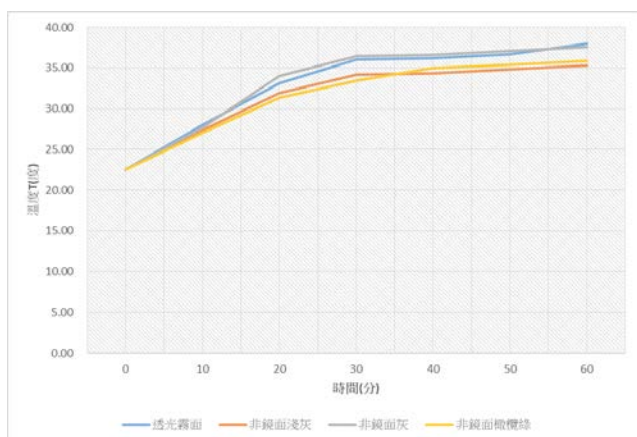


圖 5-3-4 透光隔熱貼膜照光後溫度變化

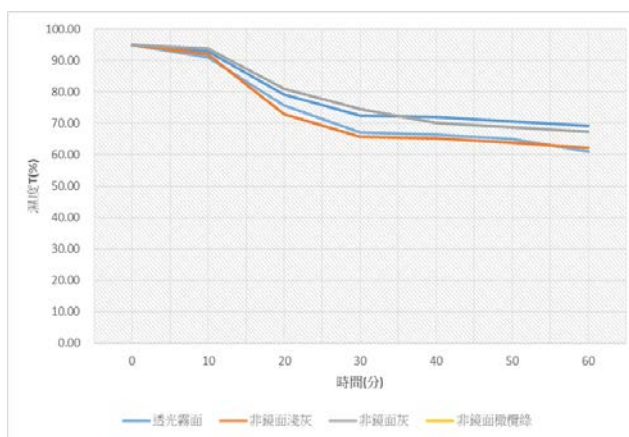


圖 5-3-5 透光隔熱貼膜照光後濕度變化

5.研究討論：

- (1)根據透光率計算結果，以非鏡面橄欖綠隔熱貼膜的遮光效果最佳，其次是非鏡面灰隔熱貼膜、非鏡面淺灰隔熱貼膜，以透光霧面隔熱貼膜的遮光效果最差。
- (2)分別計算各種透明隔熱貼膜照光前後溫度差，發現以非鏡面淺灰的溫度差最少，其次是非鏡面橄欖綠隔熱貼膜、非鏡面灰隔熱貼膜，以透光霧面隔熱貼膜的溫度差最多。
- (3)由以上兩部份實驗結果發現，不同隔熱貼膜之透光率排序與溫度差排序並不相同，顯示透光率與溫度並非有絕對的關係，因此，進一步做資料的查找發現造成溫度上升的因素以紅外線為主，因此，將隔熱貼膜照光前後溫度差之排序與本次使用之隔熱貼膜公司提供之紅外線阻隔率之排序比較，發現排序符合。

表 5-3-3 不同顏色的透光材質貼膜排序比較表

紅外線阻隔率排序 (高至低)	非鏡面淺灰	非鏡面橄欖綠	非鏡面灰	透光霧面
溫度差(低至高)	非鏡面淺灰	非鏡面橄欖綠	非鏡面灰	透光霧面

(4)此外，進行探究實驗，將自製環境模擬裝置的光照來源由原本的白熾燈泡(850W)依據文獻探討中紅外線所占比例(53%)進行燈泡瓦數換算後，更換紅外線燈泡(450W)進行實驗，實驗結果與白熾燈泡比較如下圖 5-3-6(以非鏡面淺灰為例)，發現實驗數值差距不大(紅外線照射下溫度差略小)，故證實想要讓室內變得舒適不熱，必須選用對紅外線有效遮蔽的隔熱材質，而非遮光率高之材質。

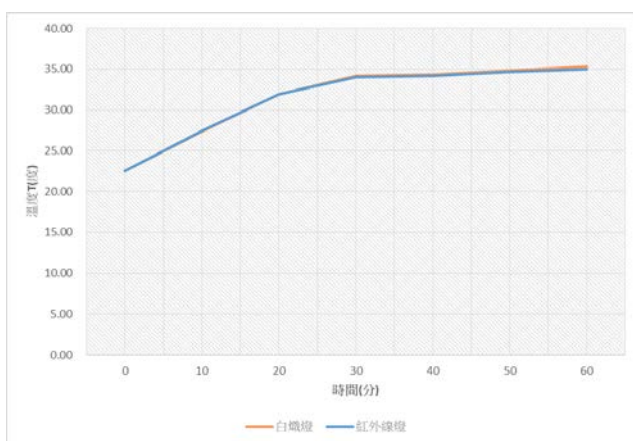


圖 5-3-6 非鏡面淺灰隔熱貼膜照光(白熾燈、紅外線燈)後溫度變化圖

(三) 兼具透光與反光材質實驗

1.提出問題：不同顏色的兼具透光與反光材質貼膜是否有助於減緩強烈光照對環境的改變？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位°C。

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置之窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之透明壓克力板(上面貼有鏡面灰隔熱膜)後，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，進行 1 小時照光實驗。

(2)從 arduino 電腦軟體之序列埠監控視窗中讀取照度與溫度 T 等數值，將 9 個網

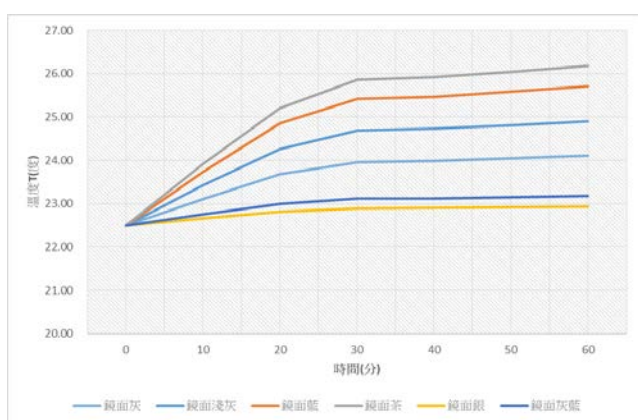
格讀取之數值取平均值以作為本次實驗分析用。

(3)分別更換鏡面淺灰、鏡面藍、鏡面茶、鏡面銀、鏡面灰藍等隔熱貼膜，重複進行步驟(1)至(2)之實驗操作。

4.研究結果：照度值如表 5-3-4，溫度變化如下圖 5-3-7 所示。

表 5-3-4 不同顏色的兼具透光與反光材質貼膜透光率實驗結果

	對照組	鏡面灰	鏡面淺灰	鏡面藍	鏡面茶	鏡面銀	鏡面灰藍
照度(lux)	2111	850	1380	1169	1170	1346	1340
透光率(%)		40.27	65.37	55.38	55.42	63.76	63.48



材質	鏡面灰	鏡面淺灰	鏡面藍	鏡面茶	鏡面銀	鏡面灰藍
溫度差(°C)	1.60	2.40	3.20	3.68	0.43	0.67

圖 5-3-7 兼具透光與反光材質隔熱貼膜照光後溫度變化

5.研究討論：

(1)從表 5-3-4 發現兼具透光與反光材質之透光率為 40.27-65.37，與透光材質之透光率 50.40-86.88 比較，發現具反光效果的材質遮光效果較佳，其中又以鏡面藍遮光效果最好。

(2)其次，根據溫度差大小分析，可以發現以鏡面銀對於紅外線遮蔽(或反射)效果最佳。

(四) 反光材質實驗

1.提出問題：完全反光貼膜(鋁箔紙)是否有助於減緩強烈光照對環境的改變？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置之窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之透明壓克力板(上面貼有鋁箔紙)後，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗。

(2)從 arduino 電腦軟體之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 等數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值以作為本次實驗分析用。

4.研究結果：溫度變化如下圖 5-3-8 所示，其中高低溫溫度差為 0.36°C 。

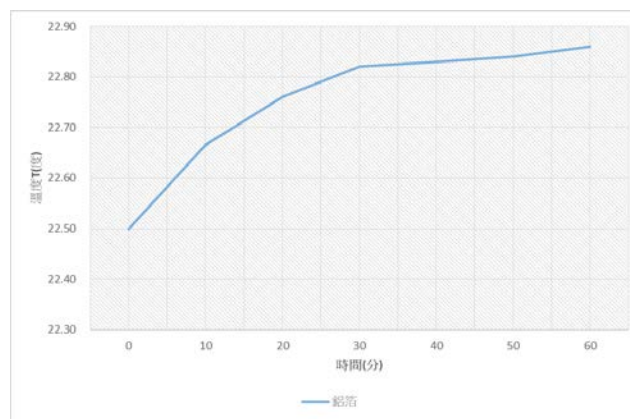


圖 5-3-8 反光材質隔熱貼膜照光後溫度變化

5.研究討論：

根據溫度差大小分析，可以發現鋁箔對於紅外線遮蔽(或反射)效果較非鏡面與鏡面隔熱膜佳，但是將完全不透光。

表 5-3-5 小組團隊研究照片



四、開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究

本次研究希望可以了解開窗(百葉窗)後照光與溫度變化情形，試圖找出可行的適量隔絕光照又不會造成悶熱的方法，可做為改善教室環境的參考。

(一) 百葉窗尺寸實驗

1.提出問題：百葉窗扇葉的大小是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.研究步驟：

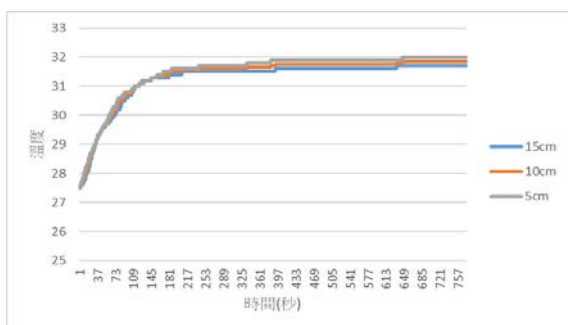
(1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 15 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，進行 1 小時照光實驗。

(2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值作為實驗分析用。

(3)分別更換寬度 10 公分與 5 公分之黑色塑膠板，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

4.研究結果：照度值如表 5-4-1，溫度變化如下圖 5-4-1 所示。

	對照組	5 公分黑色	10 公分黑色	15 公分黑色
照度(lux)	2111	7.9	7.7	7.2
透光率(%)		0.37	0.36	0.34



黑色扇葉	15cm	10cm	5cm
溫度差	4.20	4.35	4.50

圖 5-4-1 不同寬度黑色百葉窗之溫度變化

5.研究討論：

- (1)從表 5-4-1 發現夾角 30 度黑色百葉窗扇葉的透光率與隔熱膜(透光和反光材質)透光率比較，非常地低。
- (2)其次，根據溫度差大小分析，發現升溫情形亦較隔熱膜(反光材質)高。
- (3)這樣的結果超乎預期，原本以為開了窗讓空氣流通將可降低室溫，結果竟是如此，經過討論，發現是否與黑色物體吸收熱輻射效能佳有關？因此，設計下一個針對顏色的探究實驗進行實作與分析。

(二) 百葉窗顏色實驗

1.提出問題：百葉窗扇葉的顏色是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

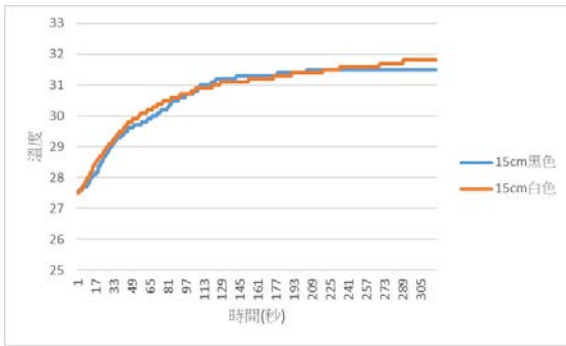
3.研究步驟：

- (1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 15 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，進行 1 小時照光實驗。
- (2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值作為實驗分析用。
- (3)更換寬度 15 公分之白色塑膠板，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

4.研究結果：照度值如表 5-4-2，溫度變化如下圖 5-4-2 所示。

表 5-4-2 照度值

	對照組	15 公分白色	15 公分黑色
照度(lux)	2111	5.2	7.2
透光率(%)		0.24	0.34



	15cm 黑色 扇葉	15cm 白色 扇葉
溫度差	4.00	3.30

圖 5-4-2 溫度變化

5.研究討論：

- (1)從表 5-4-2 發現夾角 30 度 15 公分寬白色百葉窗扇葉的透光率比夾角 30 度 15 公分寬黑色百葉窗扇葉更低。
- (2)其次，根據溫度差大小分析，發現白色升溫情形較黑色生溫情形低。
- (3)根據實驗結果，透光率低並非本次科學實驗想要獲得的結果，因此，進一步進行百葉窗角度實驗。

(三) 百葉窗角度實驗

1.提出問題：百葉窗扇葉的角度是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位°C。

3.研究步驟：

- (1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 15 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，進行 1 小時照光實驗。
- (2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值作為實驗分析用。
- (3)推動粗吸管，改變使塑膠板與鉛錘線夾角為 45 度與 60 度，重複進行步驟(1)

至(2)之實驗。

(4)更換黑色塑膠板(寬度 5 公分)後，重複進行步驟(1)至(3)。

4.研究結果：

15 公分黑色塑膠板不同角度下照度值如表 5-4-3，溫度變化如下圖 5-4-3 所示。

5 公分黑色塑膠板不同角度下照度值如表 5-4-4，溫度變化如下圖 5-4-4 所示。

表 5-4-3 照度值

5cm 黑色	對照組	30 度	45 度	60 度
照度(lux)	2111	7.2	8.7	14.5
透光率(%)		0.34	0.41	0.69

表 5-4-4 照度值

15cm 黑色	對照組	30 度	45 度	60 度
照度(lux)	2111	7.9	8.7	10.4
透光率(%)		0.37	0.41	0.49

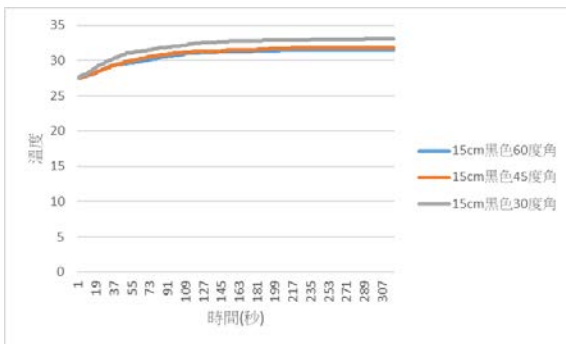


圖 5-4-3 15 公分黑色扇葉不同角度時溫度變化

黑色 15 公分 扇葉	30 度角	45 度角	60 度角
溫度差	5.60	4.30	4.00

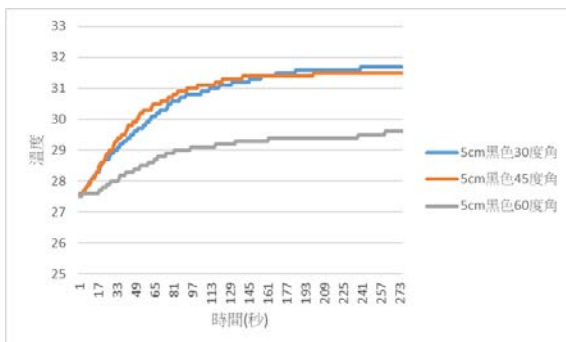


圖 5-4-4 5 公分黑色扇葉不同角度時溫度變化

黑色 5 公分 扇葉	30 度角	45 度角	60 度角
溫度差	4.20	4.00	2.10

5.研究討論：

(1)從表 5-4-3 與表 5-4-4 比較後，發現扇葉越小，夾角越大時，黑色百葉窗扇葉的透光率變高；其次，根據溫度差大小分析，發現同樣的現象，扇葉越小，夾角越大時，黑色百葉窗扇葉的溫度差變小。

(2)根據以上實驗結果，發現當百葉窗扇葉越小，夾角越大時，越符合我們對生活環境舒適度的需求-有良好的透光率、不會快速升高的室內溫度。

(四) 百葉窗反光實驗

1.提出問題：百葉窗扇葉反光能力是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

2.定義：

照度(Illuminance, L)：指每單位面積所接收到的光通量，單位是勒克斯(lux)。

透光率(transmittance, t)：指(光線透過透明或半透明體光通量/入射光通量)*100%

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位℃。

3.研究步驟：

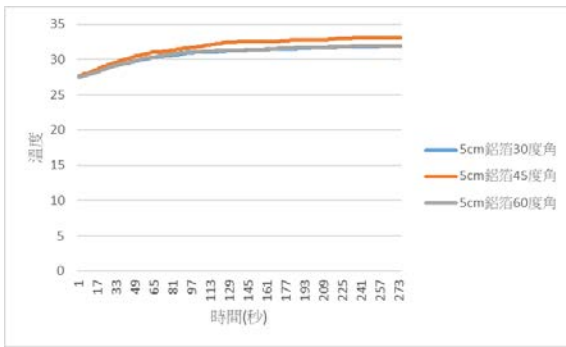
(1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之貼有鋁箔塑膠板(寬度 5 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同數值後，開始進行照光實驗 1 小時。

(2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，將 9 個網格讀取之數值取平均值作為實驗分析用。

(3)推動粗吸管，改變使塑膠板與鉛錘線夾角為 45 度與 60 度，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

4.研究結果：5 公分上覆鋁箔之塑膠板不同角度下照度值如表 5-4-5，溫度變化如下圖 5-4-5 所示。

5cm 鋁箔	對照組	30 度	45 度	60 度
照度(lux)	2111	75.8	80.4	96.9
透光率(%)		3.59	3.80	4.59



鋁箔 5公分 扇葉	30度角	45度角	60度角
溫度差	3.80	2.20	2.10

圖 5-4-5 5 公分上覆鋁箔扇葉不同角度時溫度變化

5.研究討論：

發現當百葉窗扇葉越小，夾角越大時且覆以反光鋁箔包材時越符合我們對生活環境舒適度的需求-有更加良好的透光率、不會快速升高的室內溫度。

表 5-4-6 小組團隊研究照片



根據以上兩部分的研究資料，發現當百葉窗扇葉越小，夾角越大時且覆以反光鋁箔包材時越符合我們對生活環境舒適度的需求-有更加良好的透光率、不會快速升高的室內溫度，且為了尋求更好的透光率，將百葉窗扇葉之鋁箔改成兼具反光與透光之隔熱紙(根據實驗，以鏡面銀效果最佳)將有更好的效果。

五、設置壁面通風口之可行性研究

本部份研究希望了解在開窗的情況下，倘若在壁面增加通風口是否能進一步促進室內空氣流動，使室內溫度更舒適；因此，將自製環境模擬裝置之壁面分成側邊與窗戶正對面兩個部分進行研究設計，並進一步研究加裝主動式排風扇之環境改善成效。

(一) 側邊壁面通風口實驗

1.提出問題：側邊壁面設置通風口後，是否能減少室內溫度上升幅度？

2.定義：

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

壁面區域分配(area, A)：區域分配依對稱性分成 A1 與 A2 兩區，如下圖 5-5-1。

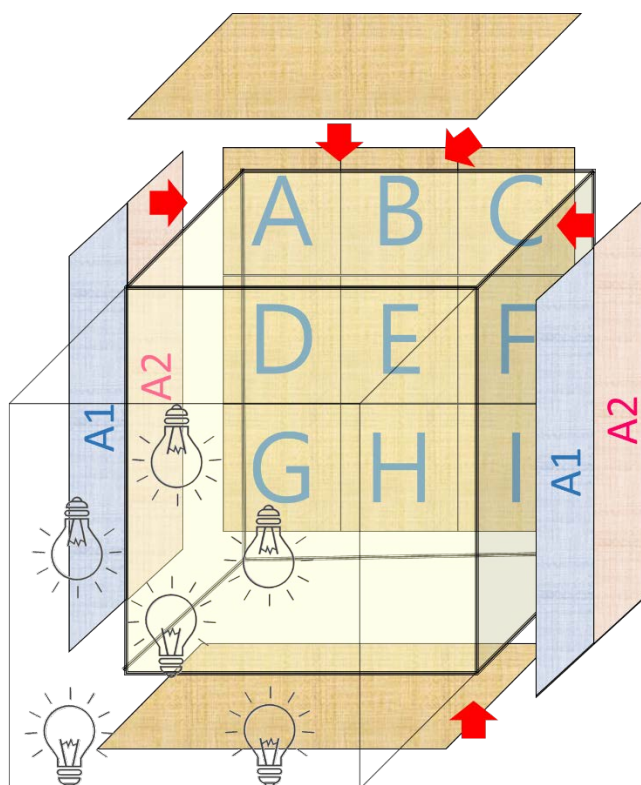


圖 5-5-1 側邊壁面區域分配圖

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 5 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，在 A1 區下方開

啟 5 公分寬之通風口，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗 1 小時。

(2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，讀取 9 個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。

(3)將通風口上移至 A1 區域中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

(4)更換實驗區域為 A2 區域後，重複進行步驟(1)至(4)。

4.研究結果與討論：

(1)根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9 個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在 0.25°C 至 0.93°C 間，如下表 5-5-1。

表 5-5-1 不同區域 9 網格點之溫度差測量結果

通風口位置	A1		A2	
	溫差最小值 $^{\circ}\text{C}$	溫差最大值 $^{\circ}\text{C}$	溫差最小值 $^{\circ}\text{C}$	溫差最大值 $^{\circ}\text{C}$
上	3.47	4.25	2.19	2.44
中	3.51	4.44	3.15	3.47
下	4.02	4.51	4.06	4.32

(2)計算不同區域 9 個網格數據值之平均溫度差，如下圖 5-5-2，發現以 A2 上方通風口之溫度差最小，而不論是 A1 或 A2 區之下方通風口均與對照值接近，通風口位置上移均有助於降溫，實驗結果與熱對流原理符合。

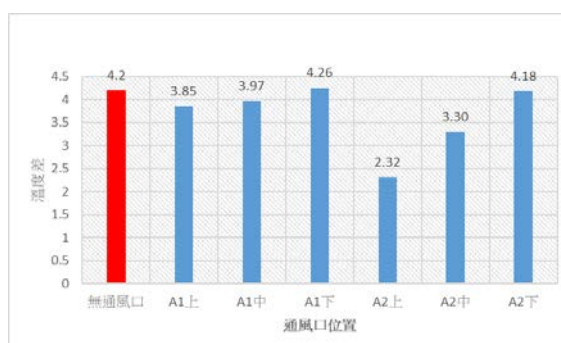


圖 5-5-2 通風口位置與溫度差 $^{\circ}\text{C}$ 關係圖

(二) 對面壁面通風口實驗

1.提出問題：對面壁面設置通風口後，是否能減少室內溫度上升幅度？

2.定義：

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模

擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 5 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，在對面壁面下方開啟 5 公分寬之通風口，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗 1 小時。

(2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，讀取 9 個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。

(3)將通風口上移至壁面中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

4.研究結果與討論：

(1)根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9 個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在 0.32°C 至 0.61°C 間，如下表 5-5-2。

表 5-5-2 對面壁面不同區域 9 網格點之溫度差測量結果

通風口位置	溫差最小值 $^{\circ}\text{C}$	溫差最大值 $^{\circ}\text{C}$
上	1.62	2.25
中	3.12	3.47
下	3.88	4.22

(2)計算不同區域 9 個網格數據值之平均溫度差，如下圖 5-5-3，發現通風口位置上移均有助於降溫，且即使是下方之通風口，與對照值比較仍有些微減少，實驗結果與熱對流原理符合。

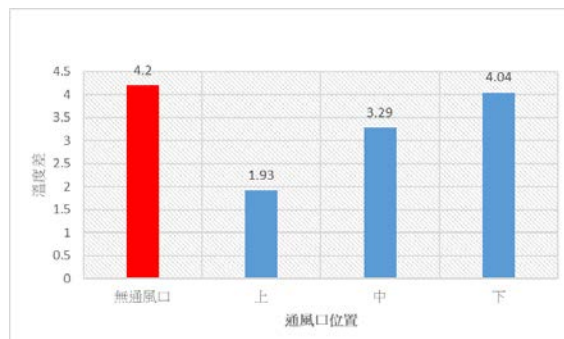


圖 5-5-3 對面壁面通風口位置與溫度差 $^{\circ}\text{C}$ 關係圖

(三) 主動式通風口實驗

1.提出問題：對面壁面通風口增設排風扇是否能減少室內溫度上升幅度？

2.定義：

溫度(temperature, T)：指表示物體冷熱程度的物理量，在本實驗中指自製環境模擬裝置照光後內部壁板上自製感測器測到的溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.研究步驟：

(1)在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度 0.5cm 之黑色塑膠板(寬度 5 公分)後，利用粗吸管(直徑 1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角 30 度，在對面壁面上方開啟 5 公分寬之通風口，並裝設 40mm*40mm 之小型散熱風扇，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度 L_1 相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗 1 小時。

(2)從 arduino 之序列埠監控視窗中讀取照度 L 與溫度 T 數值，讀取 9 個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。

(3)將通風口上移至壁面中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

4.研究結果與討論：

(1)根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9 個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在 0.46°C 至 0.59°C 間，如下表 5-5-3。

表 5-5-3 對面壁面加裝排風扇不同區域 9 網格點之溫度差測量結果

通風口位置	溫差最小值 $^{\circ}\text{C}$	溫差最大值 $^{\circ}\text{C}$
上	0.52	0.98
中	2.53	3.12
下	2.80	3.26

(2)計算不同區域 9 個網格數據值之平均溫度差，如下圖 5-5-4，發現加裝排風扇更有助於降溫。

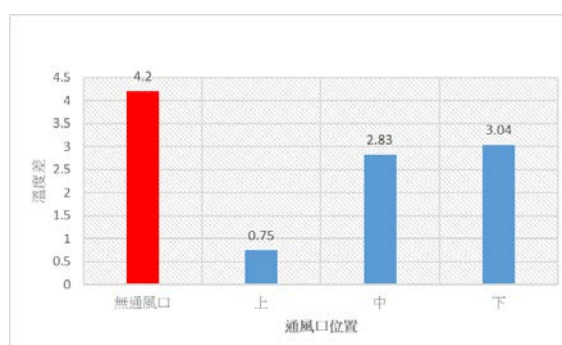


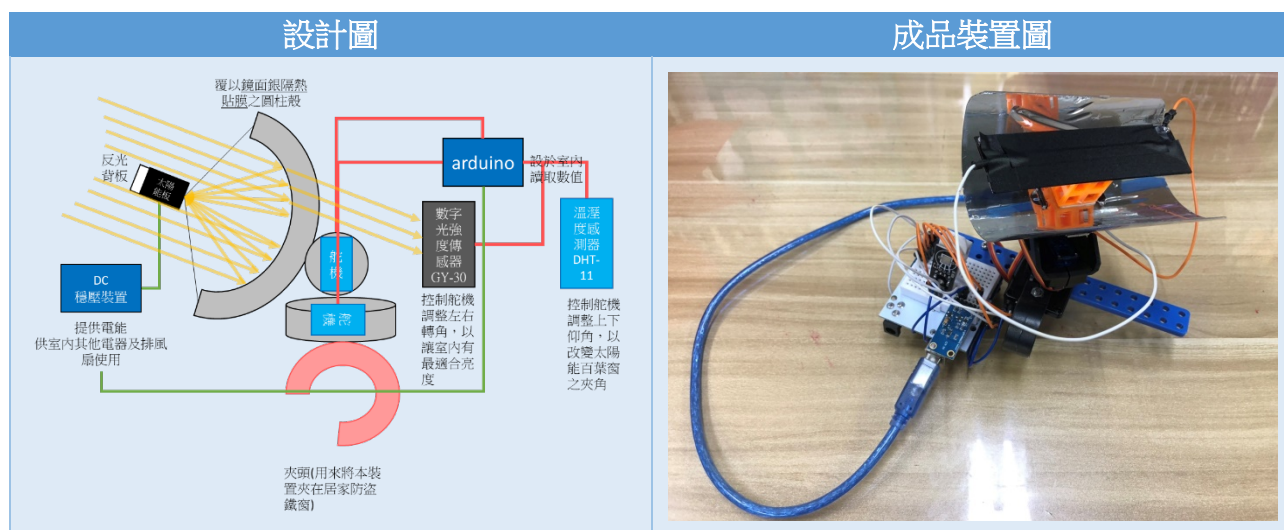
圖 5-5-4 對面壁面通風口加裝排風扇位置與溫度差 $^{\circ}\text{C}$ 關係圖

根據以上對於不同區域位置設置通風口及主動式通風口的實驗結果，發現當通風口位置設置在窗戶對面、上方且增設排氣風扇將可使溫度上升現象減緩，可使室內環境舒適提升。

六、開發低耗能之環境舒適系統裝置

根據以上三部分的研究資料，開始進行設計由 arduino 控制之低耗能環境舒適系統裝置之設計與實作，歷經多次討論與修改後設計出系統的運作流程，分別進行說明。

(一) 第一版設計



成效分析：

1. 成品過於笨重，旋轉時易搖晃失去平衡，呈現不穩定狀態。
2. 利用圓形夾頭無法穩定地夾住鐵窗，需要修正。
3. 程式設計之感測器為每秒偵測 1 次，並控制舵機之運轉；系統實際運作發現過於耗電，太陽能板產生之電能不足，須外加電源始能順利運作，更無法提供電能給排風扇等其他電器裝置。

```

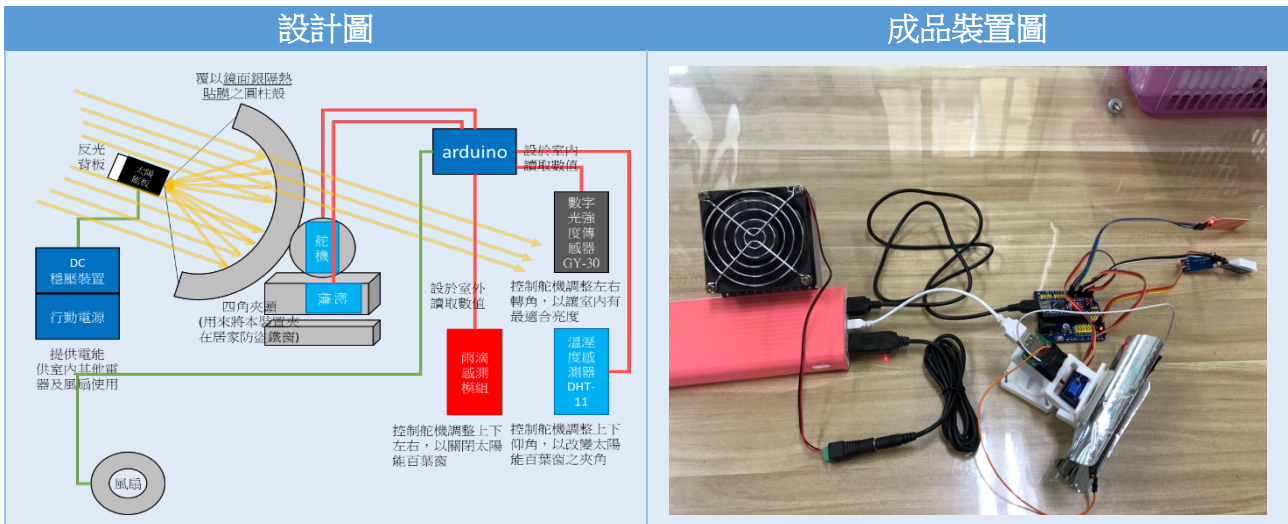
0313AVERAGE | Arduino 1.8.5
名稱 編譯 上傳 工具 說明
0313AVERAGE
1 #include <Servo.h>
2 Servo myservo; // 定義舵機對象
3 unsigned char val;
4 void setup()
5 {
6   myservo.attach(9); // 定義舵機接口
7 }
8 void loop()
9 {
10  // 舵機正旋轉
11  for(i=0; i<180; i++)
12  {
13    myservo.write(i); // 設置舵機旋轉的角度
14    delay(10);
15  }
16  // 舵機逆旋轉
17  for(i=180; i>0; i--)
18  {
19    myservo.write(i); // 設置舵機旋轉的角度
20    delay(10);
21  }
22 }

```

修正方案：

1. 利用 tinkercad 軟體繪製重新設計系統支架，利用 3D 列印印出支架，並更改夾頭，底座四角以螺絲控制夾頭的鬆緊程度，並將 arduino uno 與麵包板以 arduino nano 及擴展板取代。
2. 系統中加入 RTC 時鐘模塊控制 arduino 開關，並加長程式設計之時間間隔，以減少電能之損耗；並加入行動電源儲存電能，此外，加上雨滴感測模組協助於下雨天關閉窗戶，並利用 ESP01 模組傳送至手機。

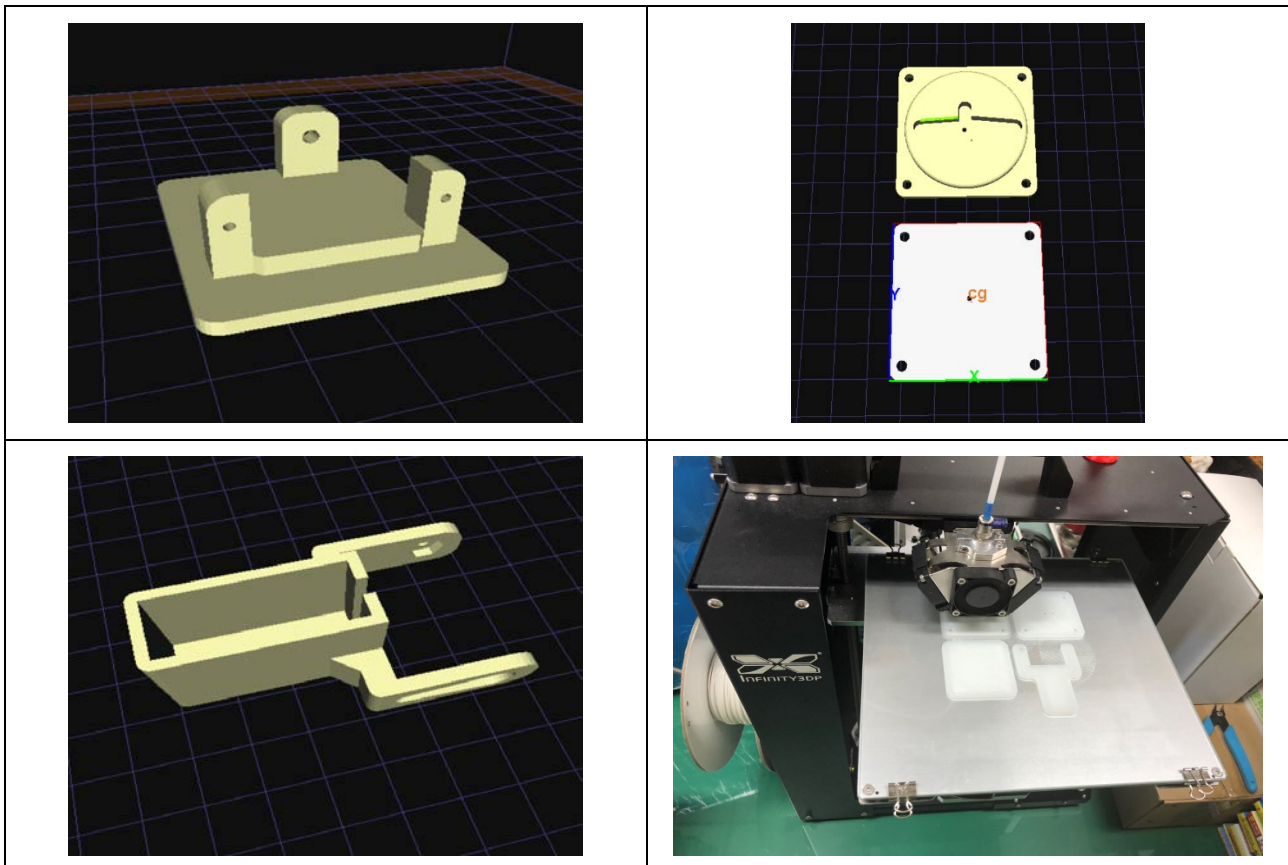
(二) 第二版設計



成效分析：

1. 成品於運作時穩定，不會因舵機轉動而搖晃。
2. 經過程式與時間控制改善後，除了可以提供系統穩定運作外，亦可讓風扇正常運轉。
3. 在自製環境模擬裝置中進行實測 1 小時之後，可以有效地使室內溫度維持原本的溫度。

表 5-6-1 修正支架，並以 3D 列印



陸、結論與建議

- 一、教室測得之太陽照度平均值為 2111lux，與居家建議照度(300-500 lux)比較，差距極大。
- 二、持續照光下，室內溫度一開始將迅速升高，後來雖漸漸趨緩，但值得注意的是 1 小時溫度差可能達 16°C，對於人類的生命安全極具挑戰。
- 三、持續照光下，室內濕度一開始慢慢下降，後來迅速下降，推測在較高溫的環境中水分蒸發速率變快，將使室內環境變得又乾又熱。
- 四、透光率與室內溫度並非有絕對的關係，造成溫度上升的因素以紅外線為主，因此，想要讓室內變得舒適不熱，必須選用對紅外線有效遮蔽的隔熱材質。
- 五、兼具反光與透光效果的材質遮光效果較透光材質遮光效果佳，此外，以鏡面銀對於紅外線遮蔽(或反射)效果最佳。
- 六、以鋁箔(不透光)對於紅外線遮蔽(或反射)效果較非鏡面與鏡面隔熱膜佳，但是室內環境將完全沒有光照。
- 七、當百葉窗扇葉越小，夾角越大時且覆以反光鋁箔包材時越符合我們對生活環境舒適度的需求-有更加良好的透光率、不會快速升高的室內溫度。
- 八、不同區域位置設置通風口及主動式通風口的實驗結果，發現當通風口位置設置在窗戶對面、上方且增設排氣風扇將可使溫度上升現象減緩，可使室內環境舒適提升。
- 九、自行開發之環境舒適系統裝置所使用之能源由太陽能自給自足，未使用其他外加能源，為低耗能之系統裝置，且能有效地降低室內溫度，值得推廣使用。

柒、參考資料及其他

1. 林易德 (2016)，導光百葉窗與遮光百葉對室內光熱環境及能源效應評估，台灣科技大學建築系碩士論文。
2. 黃泰源等 (2009)，綠色節能一百葉角度對室內溫度之影響，中華民國第 49 屆中小學科學展覽會說明書。
3. 林英智等 (2019)，國中自然與生活科技課本第三冊，康軒文教。

【評語】 032812

該作品探討開窗及不開窗條件下降低不適性之可能性與效能，在氣候日益暖化的今日，研究有其意義，有相當實驗支持其結論，但是較少理論解釋與討論，而且部分實驗以模擬環境進行，或與實際室內環境因在材料、光源等、或有風造成氣流強弱、室內外溫溼度對人的舒適度感受的影響均有相當差異，所得之結果可能會有所差異。建議作者在上述方面持續改善。

壹、研究動機

一、陽光與汗水的對決

刺眼的陽光每天從早上第一節課一直到下午快放學才稍有減弱，為了遮住陽光必須緊密地拉上窗簾，但是，這樣一來沒有流通的空氣再加上陽光的熾熱，教室變得好熱好熱！即使坐著不動，汗水還是不斷流出，使教室裡瀰漫著令人窒息的汗臭味。

二、是神隊友還是豬隊友？

在這樣的情況下增加了許多的風扇(14台風扇仍增加中)，還有人自備攜帶型風扇！此外，為了補足窗簾拉上後的教室照明，所有的燈整天都必須打開，但，開燈又讓人感覺燥熱了起來。

從以上兩方面的了解，令人開始思索究竟有沒有更好的解決方法，可以同時隔絕過多陽光但又保持良好通風、營造舒適生活環境呢？



貳、研究目的

- 一、了解不開窗情況下各種降低不適性方法的可行性。
- 二、了解開窗情況下各種降低不適性方法的可行性。
- 三、了解設置壁面通風口之可行性研究。
- 四、開發低耗能之環境舒適系統裝置。

肆、研究過程



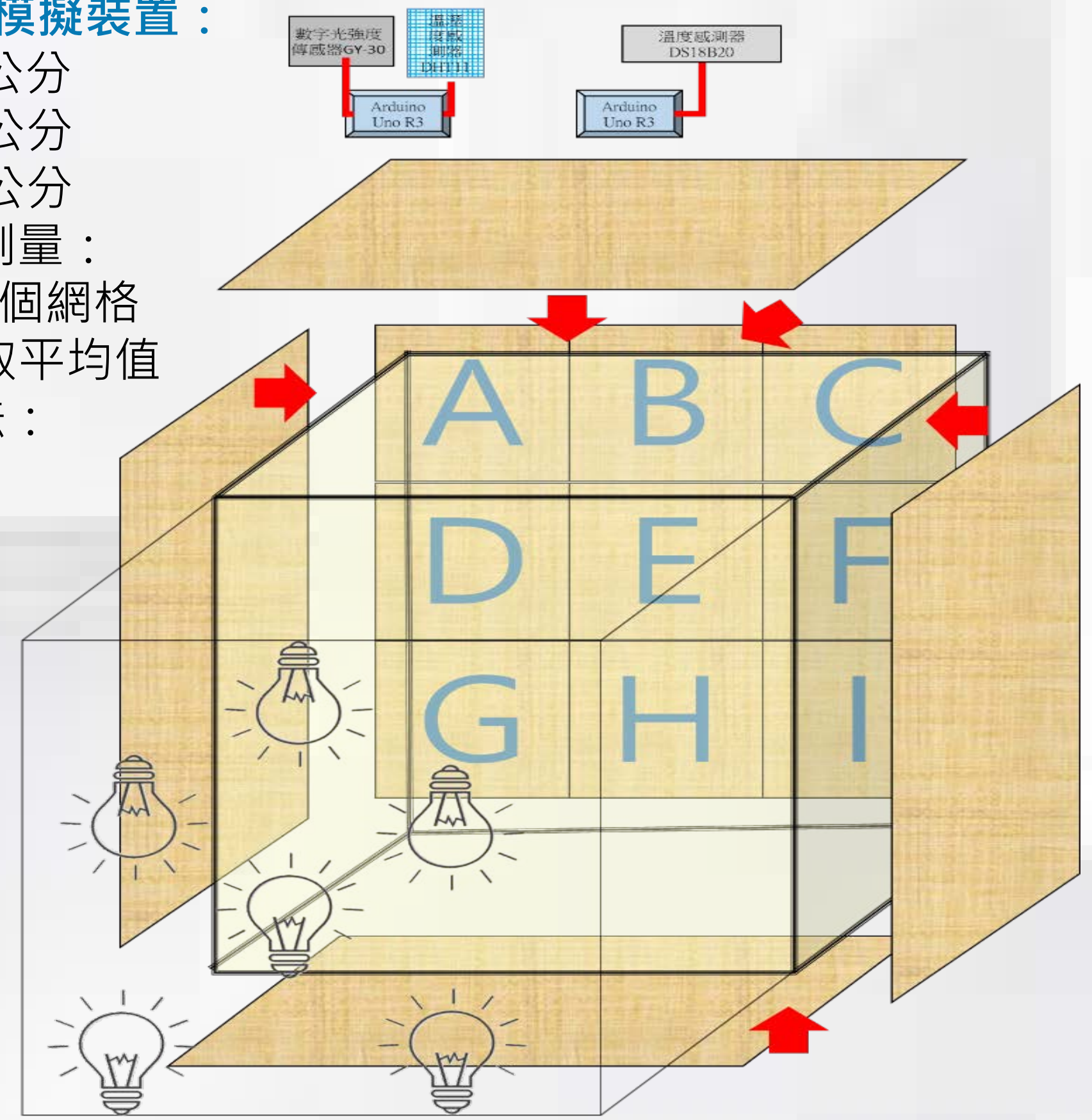
參、研究器材與設備

Arduino板uno R3	光強度傳感器 GY-30	舵機SG-90與自製舵機轉盤	RTC時鐘模塊 DS1307
溫溼度感測器 DHT11	溫度感測器 DS18B20	太陽能板及行動電源	DC穩壓電路
ESP01模組	雨滴感測模組	5V風扇	隔熱貼膜
飛利浦紅外線燈	白熾燈 E27燈座	角鋼	壓克力板、密集板
電腦(含arduino 1.8.5)	自製環境模擬裝置(註一)	3D列印機	雷射切割機



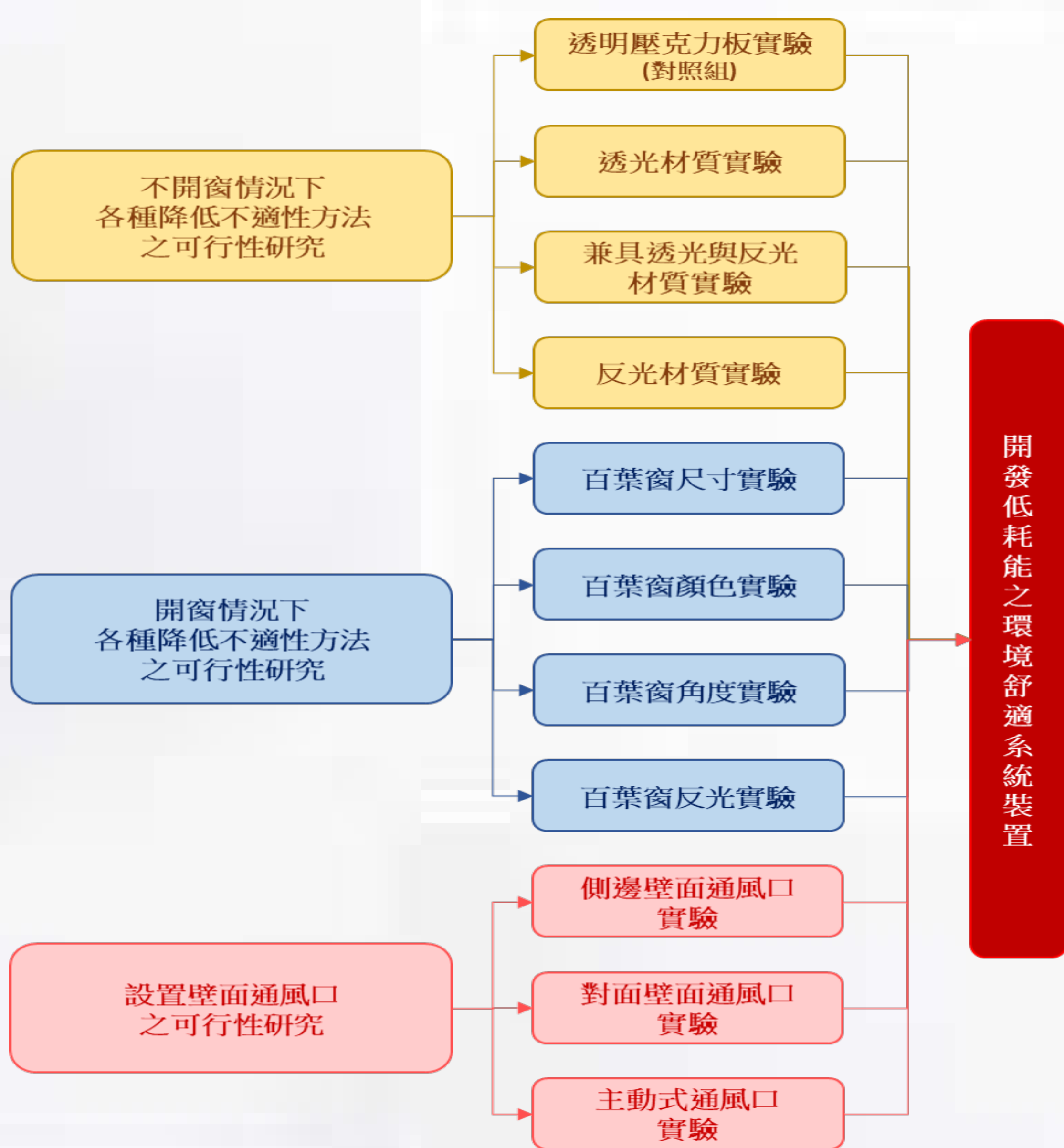
(註一)自製環境模擬裝置：

- (1)尺寸：長70公分 寬60公分 高50公分
- (2)照度與溫度測量：分成A至I等9個網格進行測量後取平均值
- (3)Arduino語法：



伍、研究結果與討論

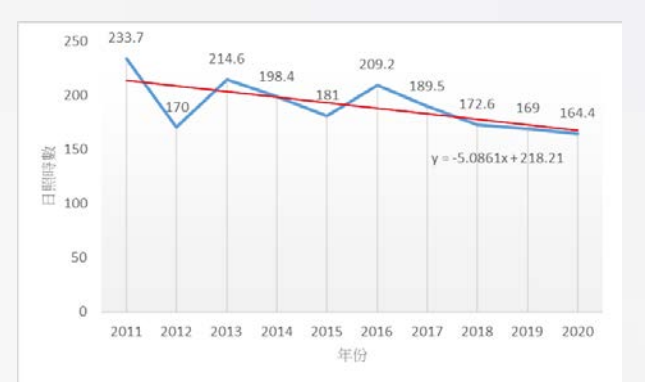
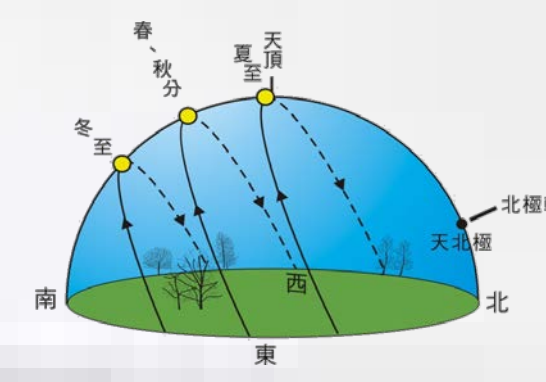
第一部份：發展研究架構



第二部份：文獻探討

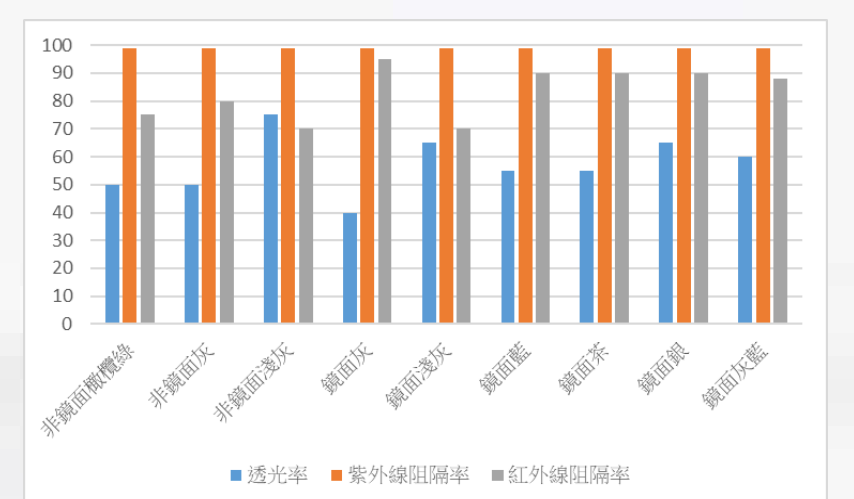
(一) 日照研究

臺灣四季太陽仰角與方位角隨時間產生變化，且根據歷年台灣日照變化研究發現每日日射量有增高趨勢而每日日照時數卻有減少現象，顯示日照刺眼程度將更加明顯。



(二) 太陽能發電

利用光電池直接將日光轉為電流，碲化鎘與CIGS等薄膜型吸光範圍除了可見光範圍，尚可涵蓋波長在700~1,200nm之間的紅外光區域，故一天內吸光後可發電之時間較長。

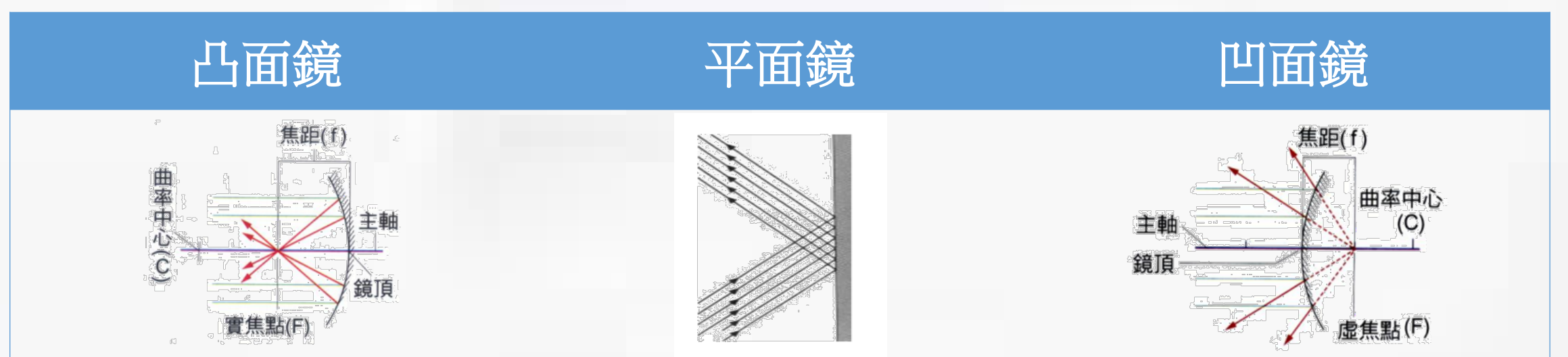


(三) 隔熱貼膜

本研究使用台南Pandarla公司生產之窗戶隔熱貼膜進行實驗設計，相關資料如右圖。

(四) 光學原理

光波傳到兩種不同介質的交界面時，有部分光自界面射回原介質中的現象，稱為光的反射，其中平行光於各種面鏡的反射情形如下表。



第三部份：不開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究

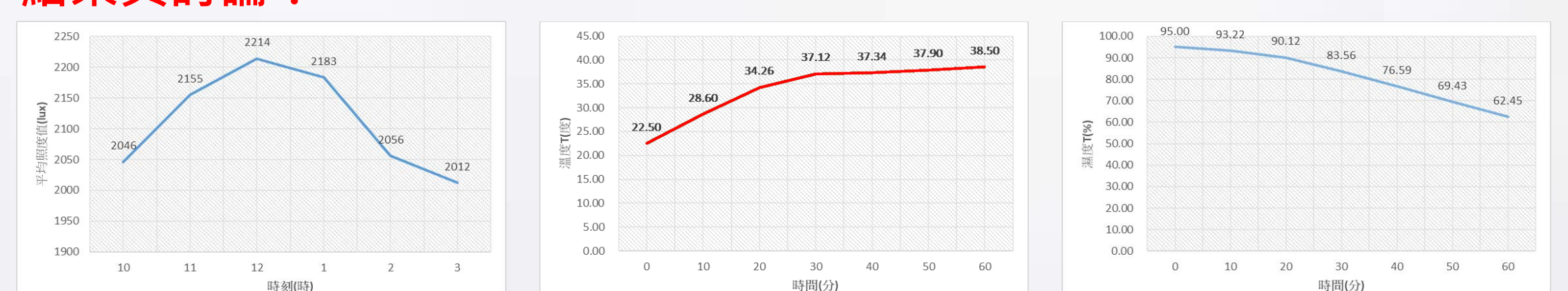
(一) 透明壓克力板實驗(對照組)

問題：以透明的壓克力板作為窗戶材質之對照組，研究不開窗之自然採光下，室內光照度與溫溼度將會如何變化？

步驟：

- 1.利用自製照度感測器置於教室窗戶旁第一排位置讀取照度以獲取一日平均照度數值。
- 2.在自製環境模擬裝置裝上厚度0.5cm之透明壓克力板，調整燈泡電源至照度與教室照度相同後，進行照光實驗。
- 3.讀取9個網格點之溫度與濕度之數值取平均值，作為對照組使用。

結果與討論：



持續照光下溫度一開始升高極快，顯示密閉環境中熱量累積使環境溫度上升，在照光20分鐘後升溫速度減緩，在照光30分鐘後升溫速度再減緩，但最終仍使環境溫度升高至高達38.5°C(1小時溫度差達16°C)。

(二) 透光材質實驗

問題：不同顏色透光材質貼膜是否有助減緩強烈光照對環境改變？

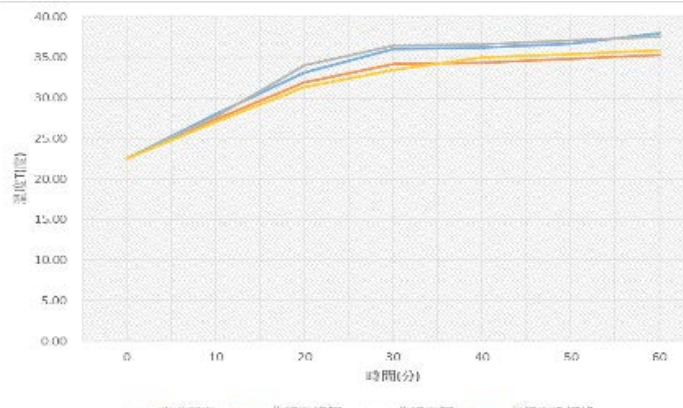
步驟：

1. 在自製環境模擬裝置裝上厚度0.5cm之透明壓克力板(貼有透光霧面隔熱膜)後，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取9個網格點之溫度與濕度之數值取平均值，作為本次實驗分析用。
3. 更換非鏡面淺灰、非鏡面灰、非鏡面橄欖綠等貼膜，重複實驗。

結果與討論：

1. 非鏡面橄欖綠隔熱貼膜的遮光效果最佳、非鏡面淺灰隔熱貼膜的溫度差最少，遮光與溫度差似乎不見直接關係。

對照組	透光霧面	非鏡面淺灰	非鏡面灰	非鏡面橄欖綠	
照度 (lux)	2111	1834	1568	1076	1064
透光率(%)	86.88	74.28	50.97	50.40	



2. 進一步討論照光20、30與60分鐘不同貼膜之減少升溫百分比(%)，如下表。

時間(分鐘)	透光霧面	非鏡面淺灰	非鏡面灰	非鏡面橄欖綠
20	3.43	6.87	0.76	8.58
30	3.02	7.88	1.86	9.85
60	1.30	8.31	2.33	6.83

3. 經過紅外線燈實驗與討論後發現造成溫度上升因素以一開始與可見光有顯著關係，但時間一長，則以紅外線為主要影響因素，因此，想要讓室內變得舒適不熱，必須選用對紅外線有效遮蔽的隔熱材質。

(三) 兼具透光與反光材質實驗、(四) 反光材質實驗

問題：不同的兼具透光與反光材質貼膜是否有助於減緩強烈光照對環境的改變？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置裝上厚度0.5cm之透明壓克力板(上面貼有鏡面灰隔熱膜)後，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取9個網格點之溫度與濕度之數值取平均值，作為本次實驗分析用。
3. 更換鏡面淺灰、鏡面藍、鏡面茶、鏡面銀、鏡面灰藍等貼膜及鋁箔，重複實驗。

結果與討論：

討論照光20、30與60分鐘不同貼膜之減少升溫百分比(%)，如下表。

時間(分鐘)	鏡面灰	鏡面淺灰	鏡面藍	鏡面茶	鏡面銀	鏡面灰藍	鋁箔
20	30.89	29.18	27.46	26.43	33.40	32.88	33.57
30	35.45	33.48	31.51	30.33	38.32	37.73	38.52
60	37.40	35.32	33.25	32.00	40.44	39.81	40.62



鋁箔與鏡面銀貼膜均有較高的減少升溫百分比，且優於透光貼膜，考量室內仍需有良好的照明，故採用鏡面銀貼膜作為本次研究使用之貼膜材料。

第四部份：開窗情況下各種降低不適性方法之可行性研究

(一) 百葉窗尺寸實驗

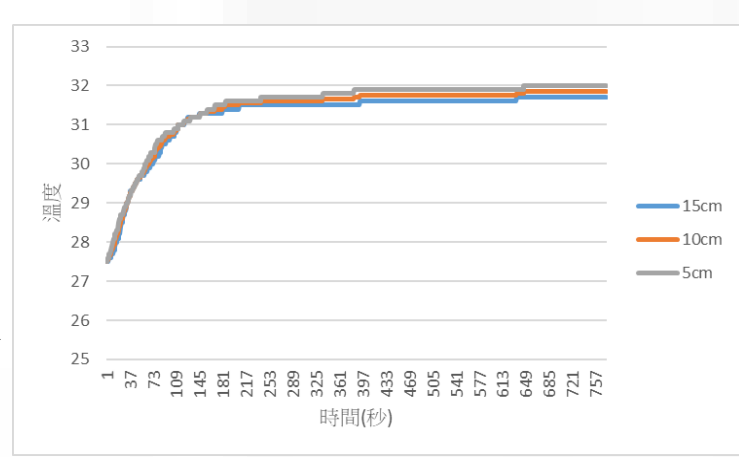
問題：百葉窗扇葉大小是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度15公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取9個網格點之溫度數值取平均值，作為本次實驗分析用。
3. 分別更換寬度10公分與5公分之黑色塑膠板，重複實驗。

結果與討論：

1. 夾角30度黑色百葉窗扇葉的透光率較隔熱膜透光率低。
2. 將溫度變化情形繪製成曲線圖，發現升溫情形迅速，且扇葉大小並無顯著差異。
3. 原以為開窗空氣流通可降低室溫，結果竟不如預期，討論後考慮是否與不同顏色物體吸收熱輻射效能有關？故設計顏色的探究實驗進行實作與分析。



(二) 百葉窗顏色實驗

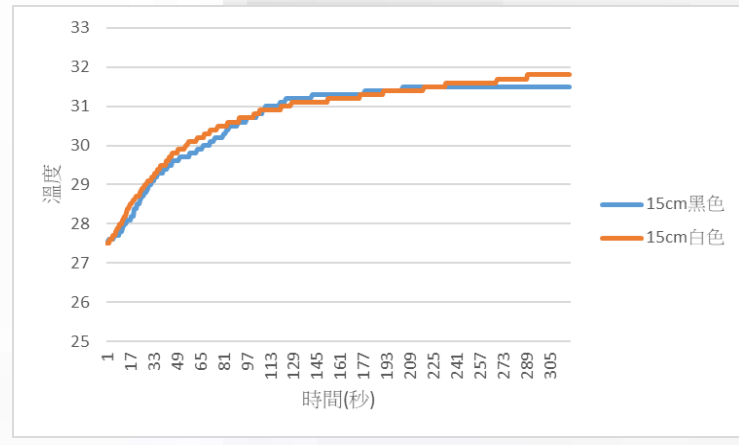
問題：百葉窗扇葉的顏色是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度15公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取9個網格點之溫度數值取平均值，作為本次實驗分析用。
3. 更換寬度15公分之白色塑膠板，重複實驗。

結果與討論：

在觀察溫度不再顯著變化後，將(末溫-初溫)進行溫度差大小討論，發現白色塑膠板升溫情形較黑色塑膠板升溫情形低，但差距<1°C。



(三) 百葉窗角度實驗

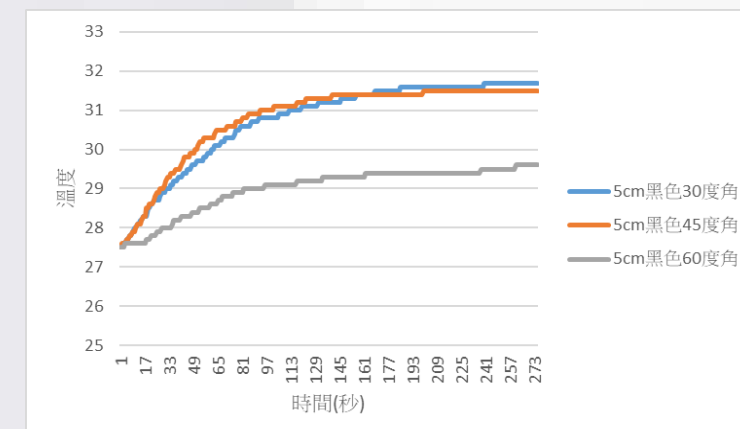
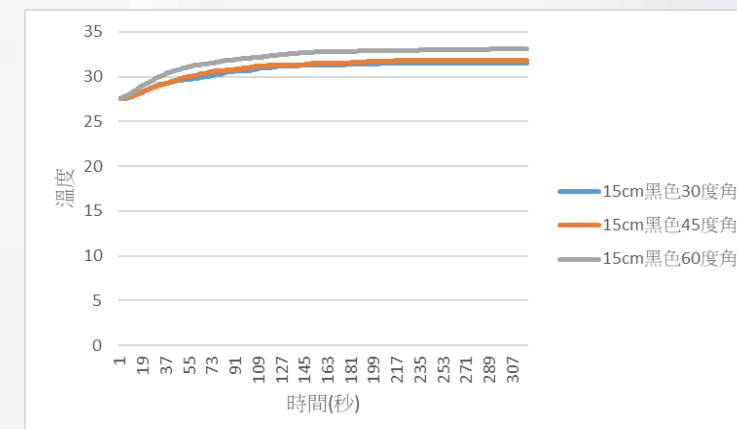
問題：百葉窗扇葉的角度是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度15公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取溫度數值，作為本次實驗分析用。
3. 推動粗吸管，改變使塑膠板與鉛錘線夾角為45度與60度，重複實驗。
4. 更換黑色塑膠板(寬度5公分)後，重複進行上述實驗。

結果與討論：

當百葉窗扇葉越小，夾角越大時，越符合我們對生活環境舒適度的需求 - 有良好的透光率、不會快速升高的室內溫度。



(四) 百葉窗反光實驗

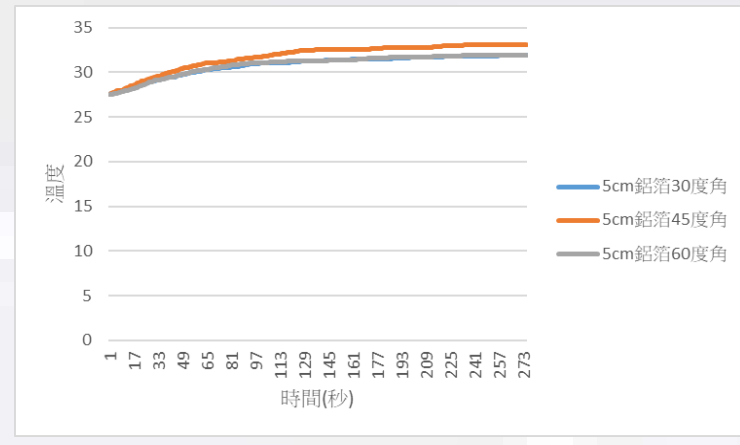
問題：百葉窗扇葉反光能力是否會影響遮光效果與室內溫度變化？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之貼有鋁箔塑膠板(寬度5公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，開啟並調整燈泡電源後進行照光實驗。
2. 讀取照度與溫度等數值，作為本次實驗分析用。
3. 推動粗吸管，改變使塑膠板與鉛錘線夾角為45度與60度，重複實驗。

結果與討論：

當百葉窗扇葉越小，夾角越大時且覆以反光鋁箔包材時，升高溫度較少，且溫度變化曲線較平緩。



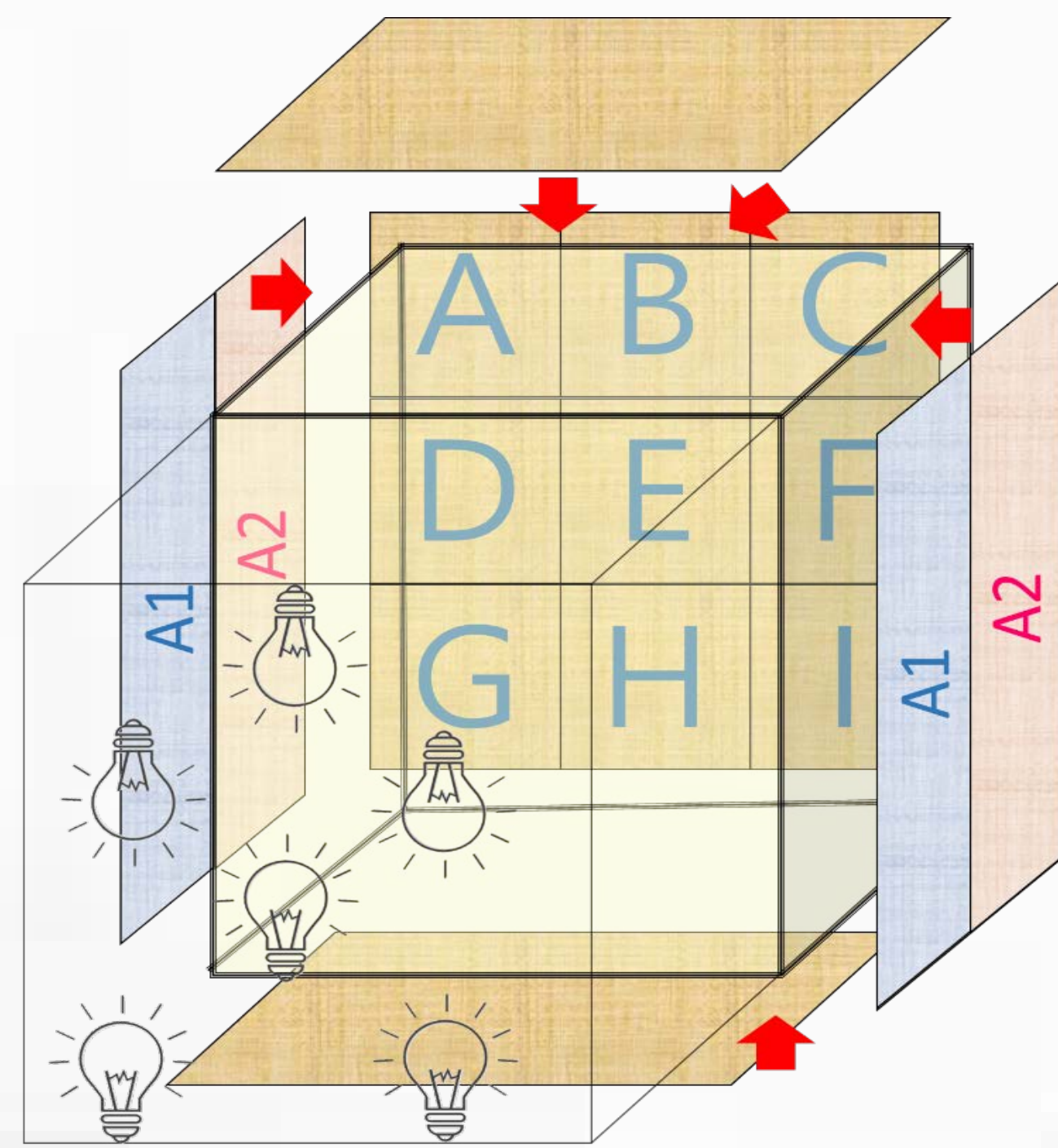
第五部份：設置壁面通風口之可行性研究

(一) 側邊壁面通風口實驗

問題：側邊壁面設置通風口後，是否能減少室內溫度上升幅度？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度5公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，在A1區下方開啟5公分寬之通風口，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度L1相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗1小時。
2. 從arduino之序列埠監控視窗中讀取照度L與溫度T數值，讀取9個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。
3. 將通風口上移至A1區域中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。
4. 更換實驗區域為A2區域後，重複進行步驟(1)至(4)。

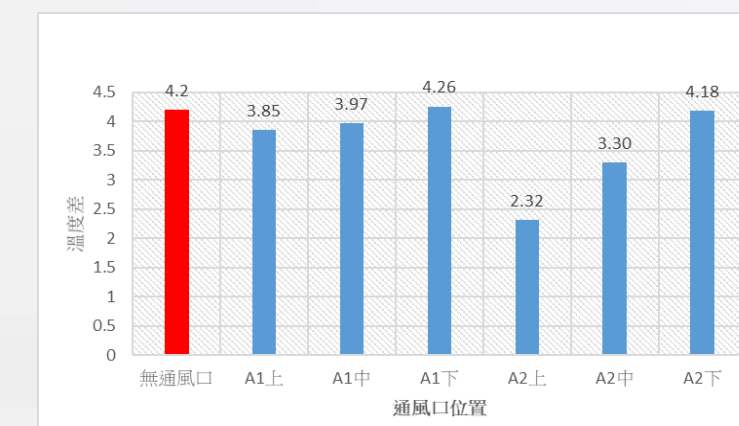


結果與討論：

1. 根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在0.25°C至0.93°C間，如下表。

通風口位置	A1		A2	
	溫差最小值°C	溫差最大值°C	溫差最小值°C	溫差最大值°C
上	3.47	4.25	2.19	2.44
中	3.51	4.44	3.15	3.47
下	4.02	4.51	4.06	4.32

2. 計算不同區域9個網格數據值之平均溫度差，發現以A2上方通風口之溫度差最小，而不論是A1或A2區之下方通風口均與對照值接近，通風口位置上移均有助於降溫，實驗結果與熱對流原理符合。



(二) 對面壁面通風口實驗

問題：對面壁面設置通風口後，是否能減少室內溫度上升幅度？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度5公分)後，利

用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，在對面壁面下方開啟5公分寬之通風口，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度L1相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗1小時。

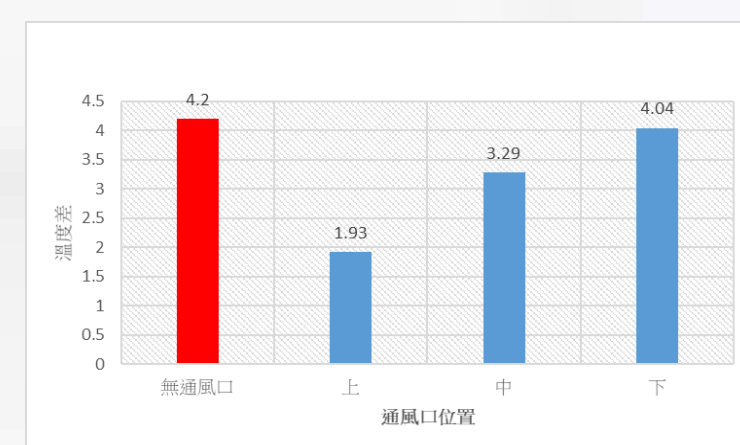
2. 從arduino之序列埠監控視窗中讀取照度L與溫度T數值，讀取9個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。
3. 將通風口上移至壁面中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

結果與討論：

1. 根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在0.32°C至0.61°C間，如下表。

通風口位置	溫差最小值°C	溫差最大值°C
上	1.62	2.25
中	3.12	3.47
下	3.88	4.22

2. 計算不同區域9個網格數據值之平均溫度差，發現通風口位置上移均有助於降溫，且即使是下方之通風口，與對照值比較仍有些微減少，實驗結果與熱對流原理符合。



(三) 主動式通風口實驗

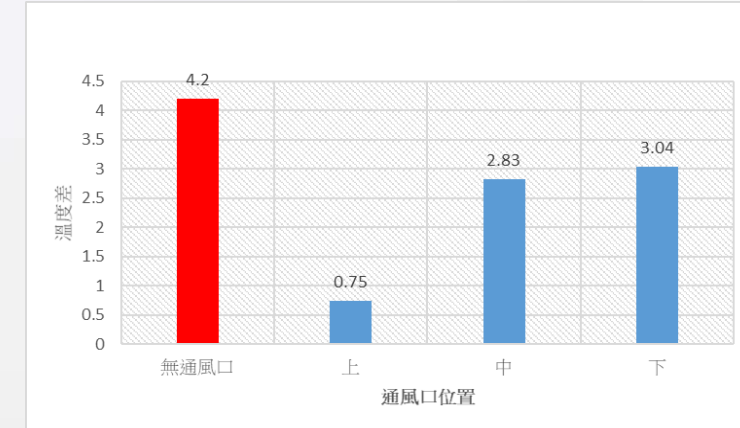
問題：對面壁面通風口增設排風扇是否能減少室內溫度上升幅度？

步驟：

1. 在自製環境模擬裝置窗戶位置裝上厚度0.5cm之黑色塑膠板(寬度5公分)後，利用粗吸管(直徑1.2mm)支撐，使塑膠板與鉛錘線夾角30度，在對面壁面上方開啟5公分寬之通風口，並裝設40mm*40mm之小型散熱風扇，開啟並調整燈泡電源至照度偵測到與教室照度L1相同之數值後，開始對裝置進行照光實驗1小時。
2. 從arduino之序列埠監控視窗中讀取照度L與溫度T數值，讀取9個網格之數值及計算平均值作為實驗分析用。
3. 將通風口上移至壁面中央與上方，重複進行步驟(1)至(2)之實驗。

結果與討論：

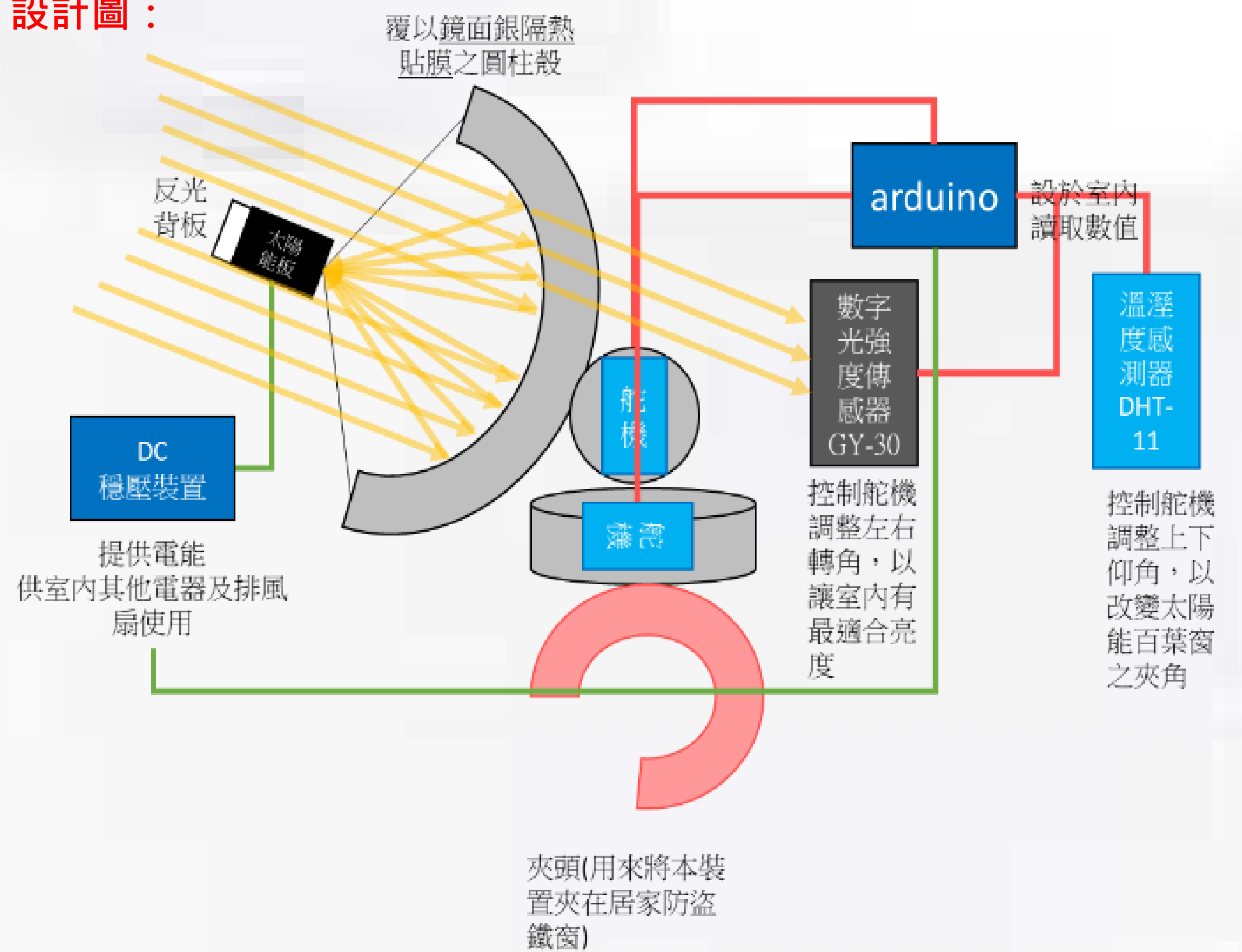
1. 根據實驗數據結果，發現不同通風口位置，9個網格數據值均有不同的數值分布，溫差最大值與溫差最小值之間差距在0.46°C至0.59°C間。
2. 計算不同區域9個網格數據值之平均溫度差，發現加裝排風扇更有助於降溫。



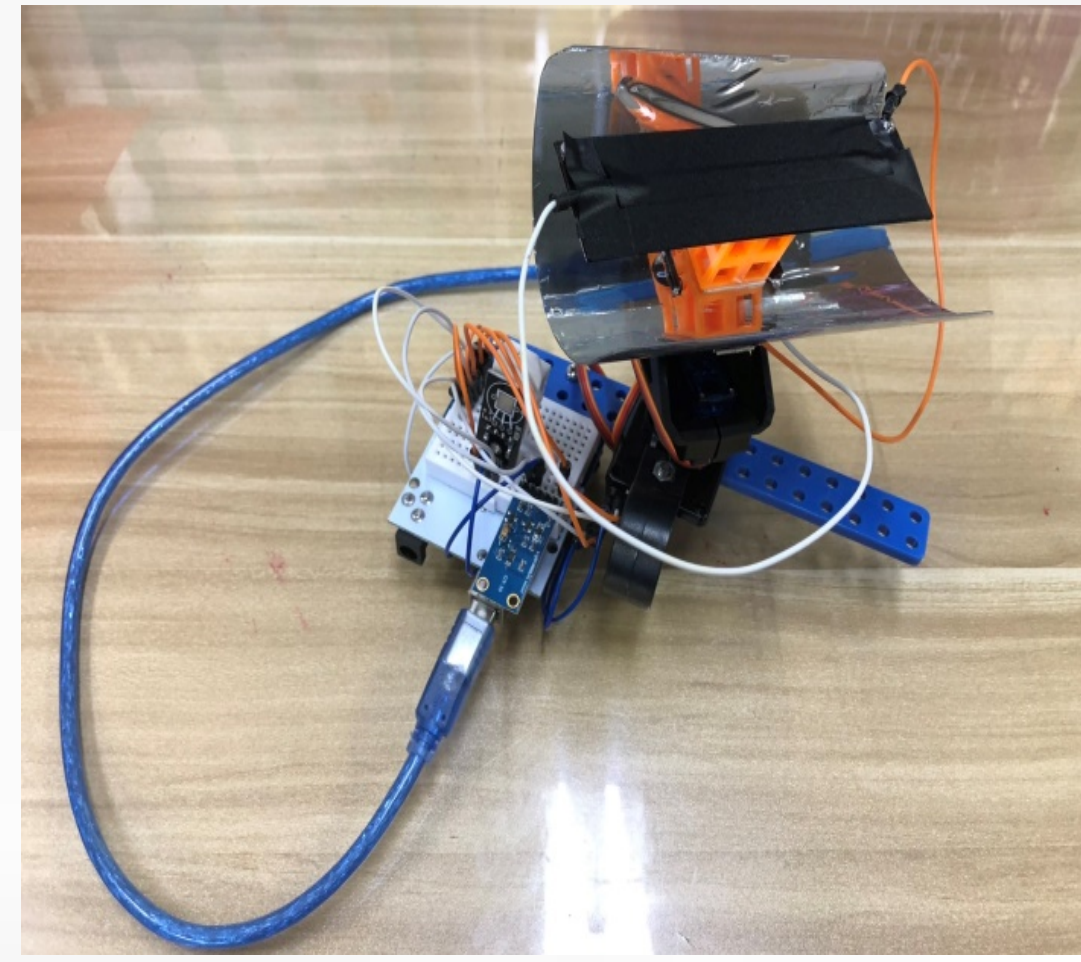
第六部分：開發低耗能之環境舒適系統裝置

(一) 第一版設計

設計圖：



成品裝置圖：

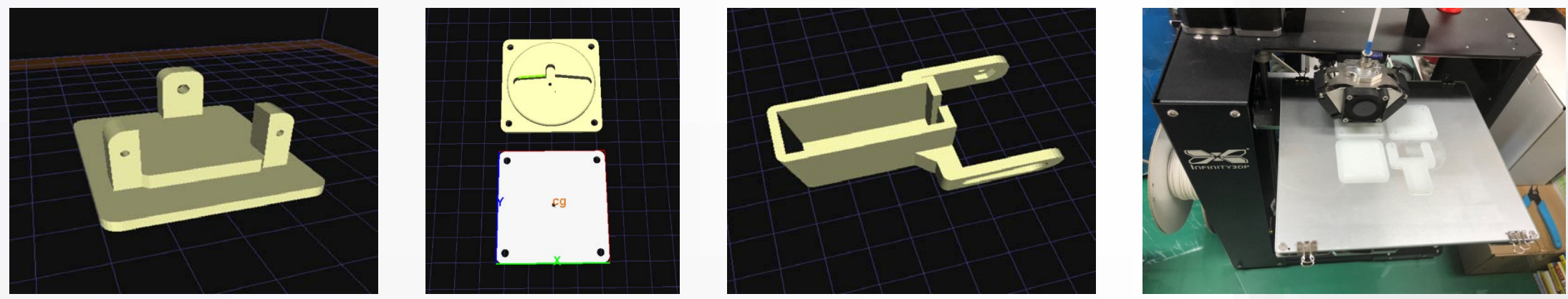


成效分析：

1. 成品過於笨重，旋轉時易搖晃失去平衡，呈現不穩定狀態。
2. 利用圓形夾頭無法穩定地夾住鐵窗，需要修正。
3. 程式設計之感測器為每秒偵測1次，並控制舵機之運轉，以免舵機出現失去控制的情況；系統實際運作發現過於耗電，太陽能板產生之電能不足，須外加電源始能順利運作，更無法提供電能給排風扇等其他電器裝置。

修正方案：

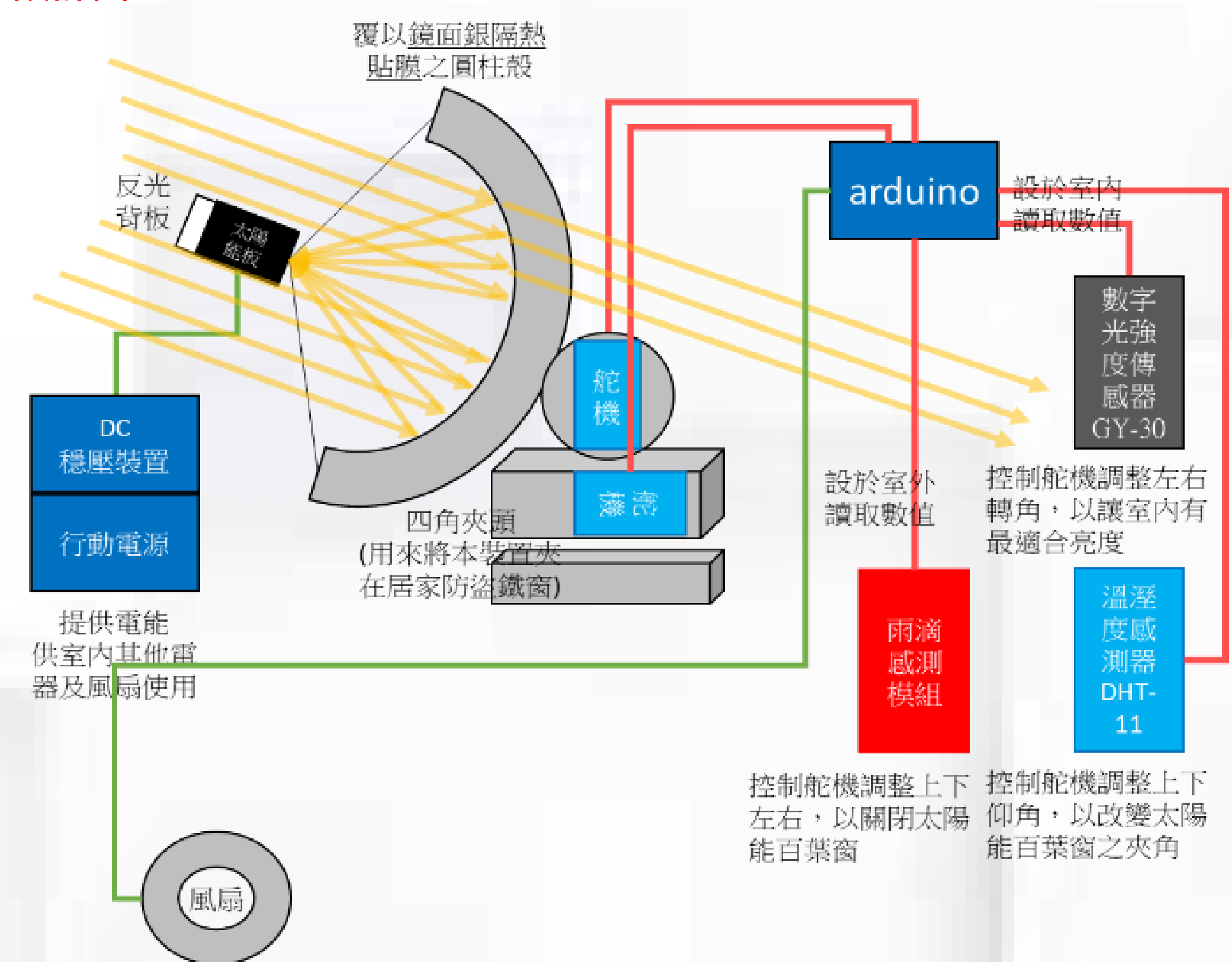
1. 利用tinkercad軟體繪製重新設計系統支架，利用3D列印出支架，並更改夾頭，底座四角以螺絲控制夾頭的鬆緊程度，並將arduino uno與麵包板以arduino nano及擴展板取代。



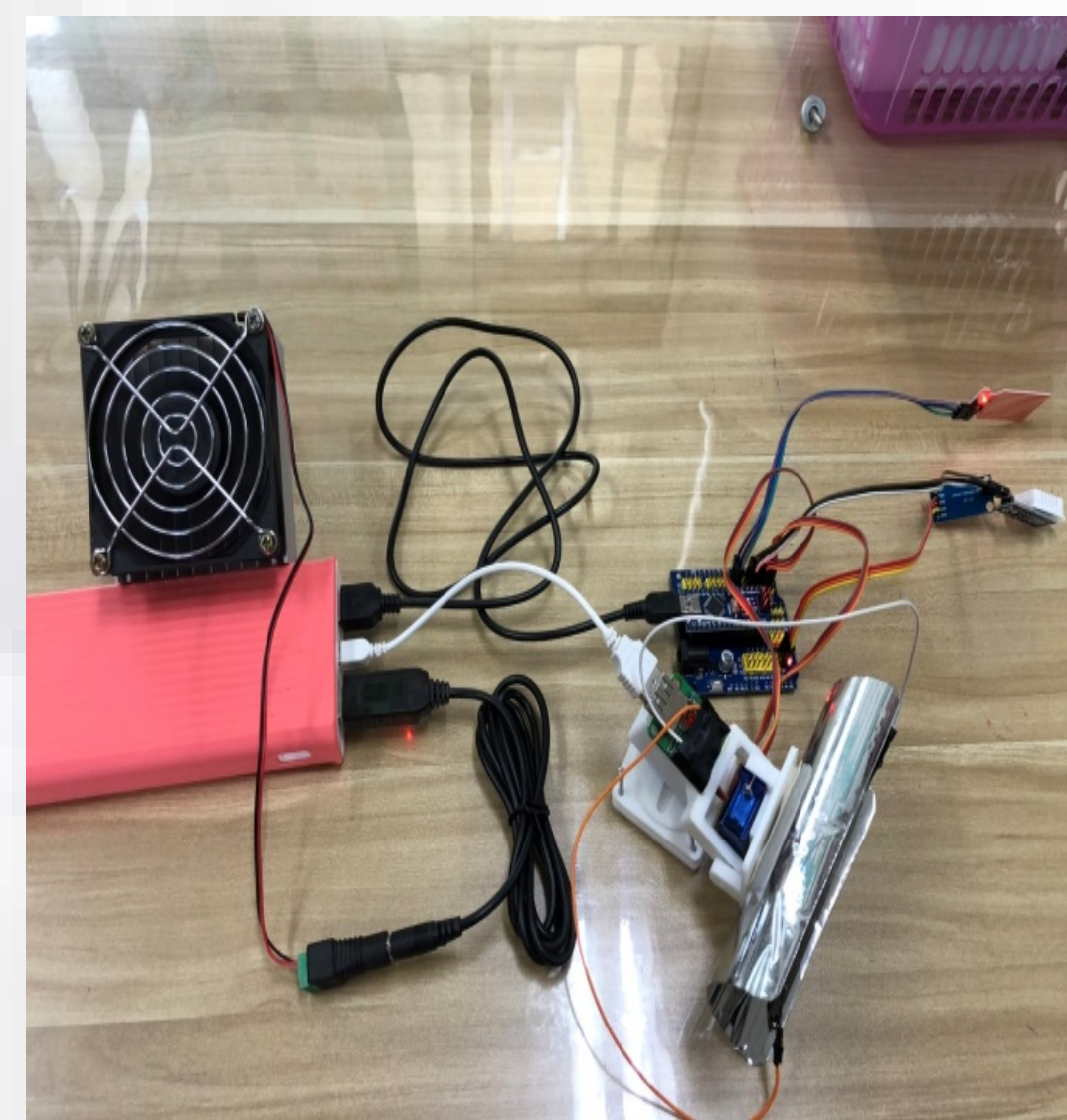
2. 系統中加入RTC時鐘模塊控制arduino開關，並加長程式設計之時間間隔為30分鐘，以減少電能之損耗；並加入行動電源儲存電能，此外，加上雨滴感測模組於雨天關閉，並利用ESP01模組傳訊至手機。

(二) 第二版設計

設計圖：



成品裝置圖：



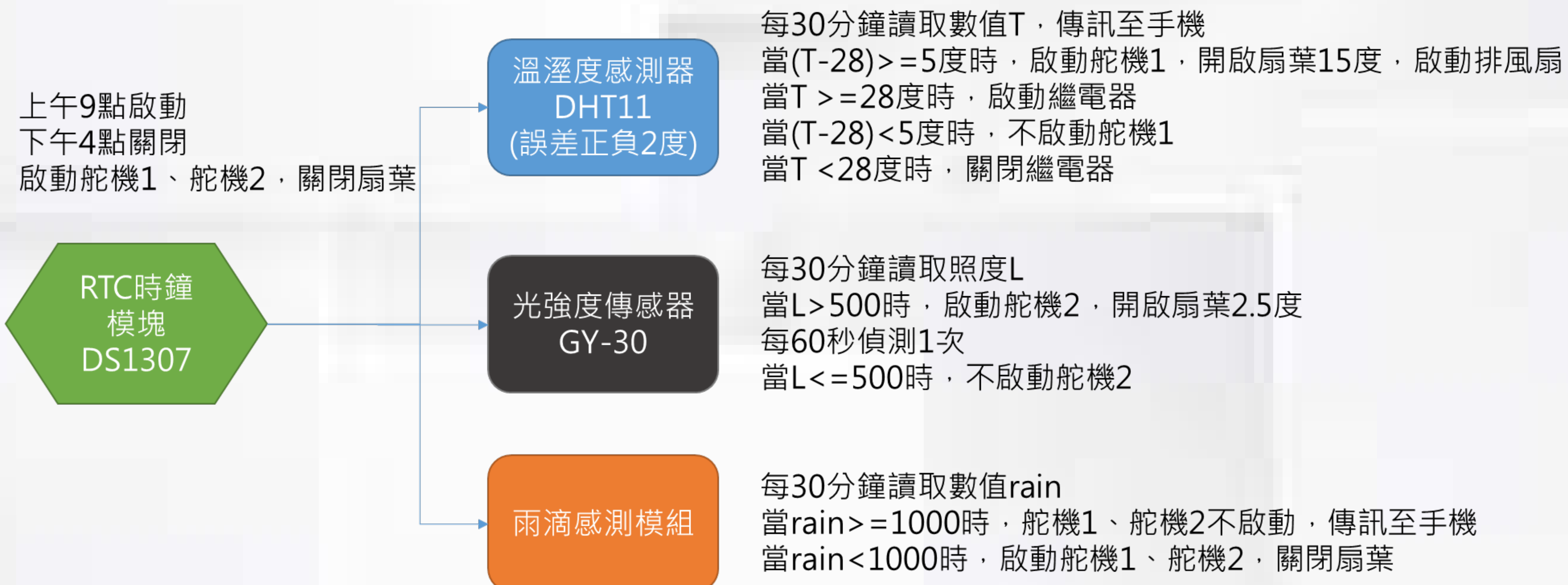
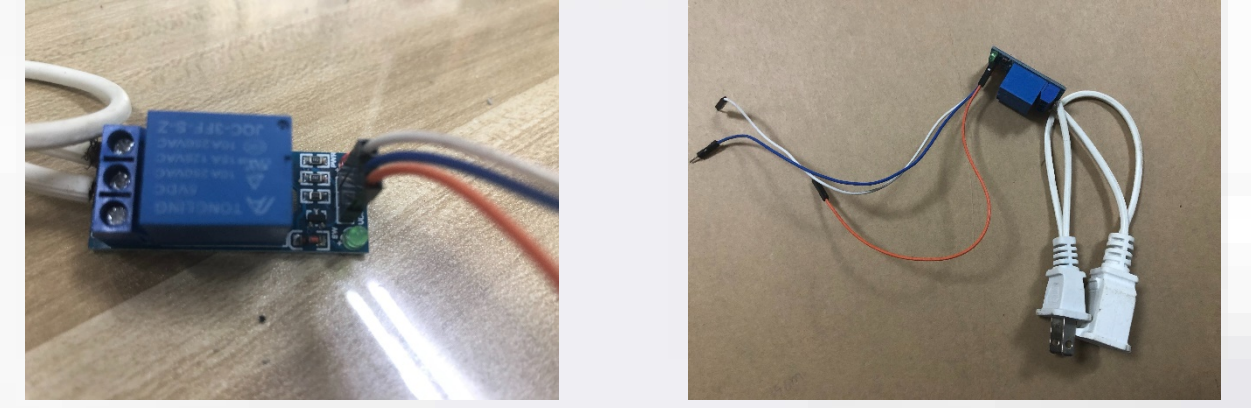
成效分析：

1. 成品於運作時穩定，不會因舵機轉動而搖晃。
2. 經過程式與時間控制改善後，除了可以提供系統穩定運作外，亦可讓排風扇正常運轉。
3. 在自製環境模擬裝置中進行實測1小時之後，可以有效地使室內溫度維持原本的溫度。
4. 本次實驗裝置雖可在照光環境下使室內(環境模擬裝置)維持1小時不升溫，但目前氣溫均已呈現高溫狀況，即使不升溫，亦令人感到不適。

修正方案：

因應目前環境溫度呈現高溫炎熱狀況，即使可控制不升溫，仍有「降溫」的需求，因此在系統中加入繼電器控制插座供電，當室溫持續呈現高溫時，啟動冷機(冷氣機等降溫裝置)。

利用單路繼電器，接上插座，製作成arduino可控制之電器110伏特插座。



陸、結論

- 一、教室測得之太陽照度平均值為2111lux，與居家建議照度(300-500 lux)比較，差距極大。
- 二、持續照光下，室內溫度一開始將迅速升高，後來雖漸漸趨緩，但值得注意的是1小時溫度差可能達16°C，對於人類的生命安全極具挑戰。
- 三、持續照光下，室內濕度一開始慢慢下降，後來迅速下降，推測在較高溫的環境中水分蒸發速率變快，將使室內環境變得又乾又熱。
- 四、透光率與室內溫度並非有絕對的關係，造成溫度上升的因素以紅外線為主，因此，想要讓室內變得舒適不熱，必須選用對紅外線有效遮蔽的隔熱材質。
- 五、兼具反光與透光效果的材質遮光效果較透光材質遮光效果佳，此外，以鏡面銀對於紅外線遮蔽(或反射)效果最佳。
- 六、以鋁箔(不透光)對於紅外線遮蔽(或反射)效果較非鏡面與鏡面隔熱膜佳，但是室內環境將完全沒有光照。
- 七、當百葉窗扇葉越小，夾角越大時且覆以反光鋁箔包材時越符合我們對生活環境舒適度的需求-有更加良好的透光率、不會快速升高的室內溫度。
- 八、不同區域位置設置通風口及主動式通風口的實驗結果，發現當通風口位置設置在窗戶對面、上方且增設排氣風扇將可使溫度上升現象減緩，可使室內環境舒適提升。
- 九、自行開發之環境舒適系統裝置所使用之能源由太陽能自給自足，未使用其他外加能源，為低耗能之系統裝置，且能有效地降低室內溫度，值得推廣使用。

柒、參考資料

1. 林易德 (2016)，導光百葉窗與遮光百葉對室內光熱環境及能源效應評估，台灣科技大學建築系碩士論文。
2. 黃泰源等 (2009)，綠色節能—百葉角度對室內溫度之影響，中華民國第49屆中小學科學展覽會說明書。
3. 林英智等 (2019)，國中自然與生活科技課本第三冊，康軒文教。