

# 屏東縣第64屆國中小學科學展 覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)

組 別：國小組

作品名稱：校園碳盤查及以Arduino系統進行校園環境數據紀錄的可

行性探討

關 鍵 詞：碳盤查、Arduino系統、校園環境數據紀錄（三個）

編號：A8026

製作說明：

1. 說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
2. 編號：由承辦學校統一編列。
3. 封面編排由參展作者自行設計。

## 作品名稱：校園碳盤查及以Arduino系統進行校園環境數據紀錄的可行性探討

### 摘要（300字以內含標點符號）

在校園碳盤查方面，學校最主要的碳排放來源為電力的使用、生活廢水的排放、割草機等器械所使用的汽油、冷氣機與冰箱使用的冷媒替換等來源為主。而樹木的栽植、太陽能光電(再生能源)模組的設置是主要的負碳排放源；而建築物通風遮陽的改善及燈具(電器)的汰換是可行的減碳作為。

透過智慧化環境感測器的組裝、Thingspeak帳號註冊及聯網測試、最後以辦公室環境進行智慧化環境感測器實測等一連串的實際操作之後，我們發現確實可以Arduino系統整合的環境感測器，來建立一套智慧化聯網的校園環境偵測系統，大數據的蒐集環境數據，讓我們對學校校園的微氣候環境更加了解。

### 壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

#### 【研究動機】

由於學校申請了「教育部112年智慧化氣候友善校園先導型計畫」計畫內需要對學校以111年作為基準進行碳盤查；另外，還希望以智慧化方式記錄學校氣候數據，以作為學校未來校舍及校園環境改善的依據，所以老師找了我們幾位同學，從暑假開始便安排時間到學校測量及蒐集數據來進行校園碳盤查。另外，還請大同高中的利○龍老師到學校指導我們組裝環境監測器，來進行校園環境的溫、濕度偵測與紀錄，希望能夠建立一套可用的模式來進行學校溫濕度環境監測。本研究與教材的關聯為翰林版社會五上第四單元人與環境互動發展。

#### 【文獻回顧】

全球已有超過130個國家，宣布在2050年達成「淨零碳排」。歐盟也將在2026年正式實施「碳邊境調整機制」（CBAM）。在強調淨零、負碳排的時代裡，碳足跡、碳中和、碳盤查等，都成了現今重要的課題，所有企業在2050年前，都需要積極面對「碳中和」的問題，而「碳中和」的第一步就是「碳盤查」。

根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）的定義，淨零排放（Net Zero）指的是在特定一段時間內，全球人為造成的溫室氣體排放量，扣除人為移除的量等於零。也就是「淨零排放」指的不是不排

放，而是盡力讓人為造成的溫室氣體排放極小化。除此之外，再透過負碳技術、森林碳匯等方式抵消，來達到淨零排放。

而學校要如何在這個時代潮流裡了解自身的定位，所以我們想透過校園的碳盤查活動，讓全體師生共同瞭解學校有哪些碳排放，我們是否可以透過一些減碳、負碳的作為，來達到「淨零碳排」的目標。

### 【研究目的】

- 一、建立以111年度為基準之校園碳盤查數據。
- 二、建立智慧化校園環境偵測系統的可行性探討。

## 貳、研究設備及器材

- 一、碳盤查：學校基本資料、電費單、冷氣標示、皮尺、購油支出憑證等。
- 二、智慧化環境感測器建置：部件如下：DHT22溫溼度感測器、IR光遮斷傳感器、OLED液晶顯示器，I2C介面、MicroSD模組(使用VSPI(相當於spi3)連接pins)、可連網電腦。

## 參、研究過程或方法

### 【主題一】、建立以111年度為基準之校園碳盤查數據。

我們對學校過往的資料，以蒐集、整理、歸納、加總的方法，將各項資料以人工方式加以匯總；其次，學校現有的設備及植栽數量與面積，則是以實際操作測量或清點登錄的方式加以匯總。所需要的資料項目如下：

- 一、校園碳盤查基本資料：以111年度為基準的學校資料。
- 二、固定式排放源：燃料使用(燃料油、天然氣、液化石油氣、汽油、柴油)。
- 三、移動式排放源：燃料使用(車用汽油、柴油、煤油、潤滑油)。
- 四、逸散性排放源：汗水排放源(日常用水使用)、滅火器與冷媒排放源(二氧化碳滅火器填充、冷媒填充)。
- 五、能源間接排放源：外購電力。
- 六、負碳排放源或減碳作為：
  - (一) 再生能源：(風力發電、太陽能發電)。
  - (二) 生態固碳：(綠色碳匯)。
  - (三) 設備節能：(汰換節能電器)。
- 七、先前已完成減碳作為或策略：建築物或省電電器替換。

我們採用台東大學陳○皓副教授所提供的Excel表單來進行盤查數據輸入與碳排放當量計算。

## 【主題二】、建立智慧化校園環境偵測系統的可行性探討。

先前學校在進行教室或學校環境溫度及濕度盤查時，多是利用簡易型數位溫濕度計，用人工方式來進行溫溼度數值紀錄，由於需配合上下課時間來進行量測，紀錄時間間距不固定，且採樣的時間點較少，以此所繪得的圖表較為粗略。今年，學校特別聘請大同高中利○龍老師到學校指導我們組裝以Arduino系統整合的環境感測器，並期待透過Thingspeak帳號註冊將智慧化環境感測器數據進行雲端存儲，以利後續資料下載與分析之用。實驗操作的內容如下：

- 一、智慧化環境感測器組裝：由大同高中所協助購買的電子材料及雷雕外殼組件來進行環境感測器組裝。
- 二、智慧化環境感測器Thingspeak帳號註冊及聯網測試：首先以學校google信箱至 <https://thingspeak.com/> 網站申請一個免費教學用帳戶，其中每一帳號可以連結四組感測器進行線上數據紀錄，並測試以此方式來進行校園環境數據偵測、蒐集與記錄的可行性。
- 三、以辦公室環境進行智慧化環境感測器實測：分別在辦公室的室內及室外各找2個地方放置環境感測器，並於早上上學開始記錄蒐集資料，一直到放學後離開學校，並將數據由網站上下載，並以此製圖分析比較。

## 肆、研究結果

### 【主題一】、建立以111年度為基準之校園碳盤查數據。

#### 一、校園碳盤查基本資料：

|   |                 |       |
|---|-----------------|-------|
| 1 | 碳盤查基準年          | 111年  |
| 2 | 全校教職員工人員總數      | 16    |
| 3 | 學生總人數           | 60    |
| 4 | 建築物總樓地板面積(平方公尺) | 3539  |
| 5 | 太陽能光電板每年發電效益(度) | 24770 |

#### 二、固定式排放源：燃料使用(燃料油、天然氣、液化石油氣、汽油、柴油)。

學校目前僅有的一台汽油發電機為學校的固定式排放源，每年約加20公升汽油，碳排放當量為0.0459公噸CO<sub>2</sub>e/年。

三、移動式排放源：燃料使用(車用汽油、柴油、煤油、潤滑油)。



每年約加36公升汽油，碳排放當量為0.0850公噸CO<sub>2</sub>e/年。

四、逸散性排放源：汗水排放源(日常用水使用)、滅火器與冷媒排放源(二氧化碳滅火器填充、冷媒填充)。

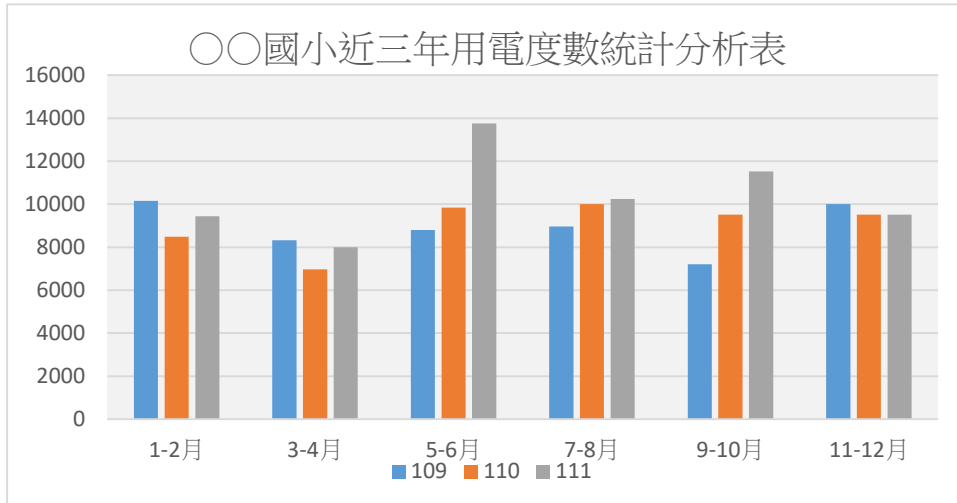


| 逸散性排放源(汗水排放源)*   |       |                            |                          |                              |        |                       |
|--|-------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|-----------------------|
| *計算公式：汗水排放碳排放當量計算=(各項人員)排放量加總  |       |                            |                          | 汗水排放碳排放當量                    | 5.2552 | 公噸CO <sub>2</sub> e/年 |
| *計算公式：CH <sub>4</sub> 溫室氣體排放係數=(0.6 X 200)/1000000000 X (上班/上課天數) X (每人每天停留時間 X 15.625) X (85/100) |       |                            |                          |                              |        |                       |
| *計算公式：排放量計算=人數 X CH <sub>4</sub> 溫室氣體排放係數 X CH <sub>4</sub> 的GWP值25                                |       |                            |                          |                              |        |                       |
| 人員類別   | 人數(人) | 每人每年上班/上課天數(天/每人每天停留時間(小時) | CH <sub>4</sub> 溫室氣體排放係數 | 排放量計算(公噸CO <sub>2</sub> e/年) |        |                       |
| 平日日間使用學生<br>(請填寫平日日間部學生人數，若該學生因為住宿生，則歸類於住宿)  | 60    | 200                        | 7                        | 0.0022                       | 3.3469 |                       |
| 平日夜間使用學生<br>(請填寫平日進修/夜間部/放學後留校課輔之學生人數)   | 38    | 200                        | 2.5                      | 0.0008                       | 0.7570 |                       |
| 假日使用學生<br>(請填寫假日進修部/進行課外活動之學生人數)   | 0     | 0                          | 0                        | 0.0000                       | 0.0000 |                       |
| 住宿人數<br>(請填寫教職員及學生住宿人數)  | 0     | 0                          | 0                        | 0.0000                       | 0.0000 |                       |
| 平日日間員工<br>(請填寫教職員及計畫專責人員平日日間使用人數)  | 16    | 258                        | 7                        | 0.0029                       | 1.1513 |                       |

碳排放當量為5.2552公噸CO<sub>2</sub>e/年。

五、能源間接排放源：外購電力。

| 月份     | 109   | 110   | 111   |
|--------|-------|-------|-------|
| 1-2月   | 10160 | 8480  | 9440  |
| 3-4月   | 8320  | 6960  | 8000  |
| 5-6月   | 8800  | 9840  | 13760 |
| 7-8月   | 8960  | 10000 | 10240 |
| 9-10月  | 7200  | 9520  | 11520 |
| 11-12月 | 10000 | 9520  | 9520  |



學校外購電力之碳排放當量為30.9276公噸CO<sub>2</sub>e/年。

六、負碳排放源或減碳作為：

(一) 再生能源：(風力發電、太陽能發電)。



學校太陽能板111年度實際發電度數為24770度，減少碳排放當量12.2612公噸CO<sub>2</sub>e/年。

(二) 生態固碳：(綠色碳匯)。





教師帶領學生進行學校植栽樹冠面積測量

### 校園樹木盤查

| 樹木名稱     | 直徑    | 半徑   | 圓面積    | 棵數 | 合計      |
|----------|-------|------|--------|----|---------|
| 桃花心木     | 10.1  | 5.05 | 80.12  | 2  | 160.24  |
| 鳳凰木      | 12.1  | 6.05 | 114.99 | 1  | 114.99  |
| 雞蛋花      | 7.68  | 3.84 | 46.32  | 2  | 92.65   |
| 欖仁樹      | 11.46 | 5.73 | 103.15 | 2  | 206.30  |
| 樟樹       | 16.18 | 8.09 | 205.61 | 2  | 411.22  |
| 麵包樹      | 11.46 | 5.73 | 103.15 | 6  | 618.89  |
| 陰香       | 5     | 2.5  | 19.63  | 1  | 19.63   |
| 錫蘭橄欖     | 7     | 3.5  | 38.48  | 1  | 38.48   |
| 艷紫荊      | 8     | 4    | 50.27  | 2  | 100.53  |
| 闊葉大喬木總面積 |       |      |        |    | 1762.93 |
| 樹木名稱     | 直徑    | 半徑   | 圓面積    | 棵數 | 合計      |
| 肖楠       | 3     | 1.5  | 7.07   | 2  | 14.14   |
| 龍柏       | 6     | 3    | 28.27  | 2  | 56.55   |
| 針葉小喬木總面積 |       |      |        |    | 70.69   |

全校所有樹木栽植每年的生態固碳當量為3.8578公噸CO<sub>2</sub>e/年。

(三) 設備節能：(汰換節能電器)。

七、先前已完成減碳作為或策略：

1. 改善門窗，加裝鋁百葉窗，增加通風效率，以使用冷氣候的用電度數來看，每年約可節省360度電，負的碳排放當量為0.1782公噸CO<sub>2</sub>e/年。

2. 將全校T5燈管，全面汰換為LED燈管。

汰換前： $(28/1000)*8*148=33.152$ 度/天  $33.152$ 度/天\*200天=6630.4度

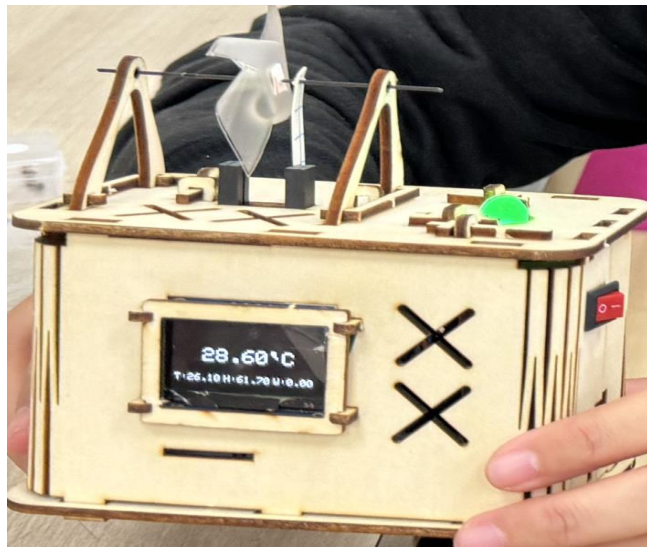
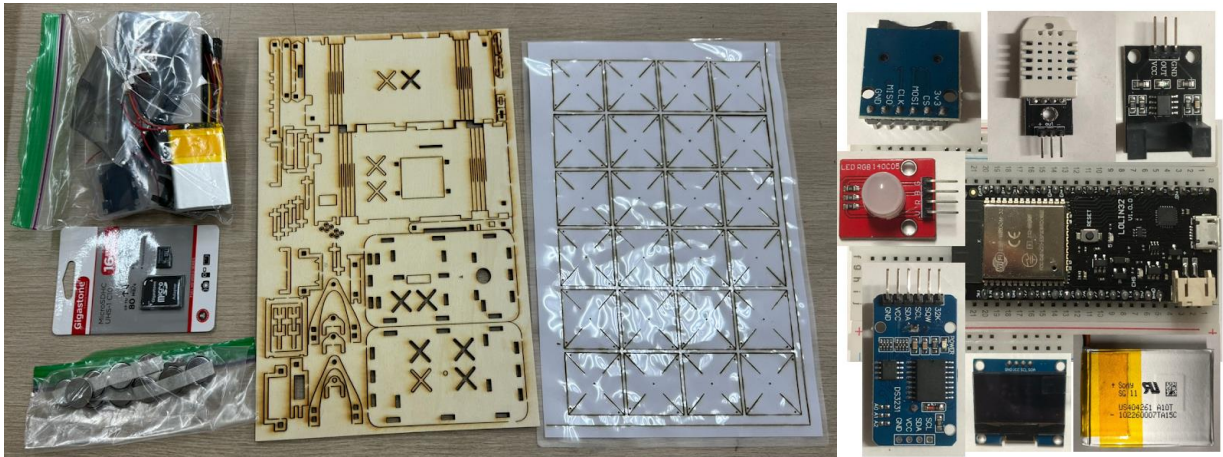
汰換後： $(19/1000)*8*148=22.496$ 度/天  $22.496$ 度/天\*200天=4499.2度

汰換前後約可節省2131.2度電，設備節能減少的碳排放當量為

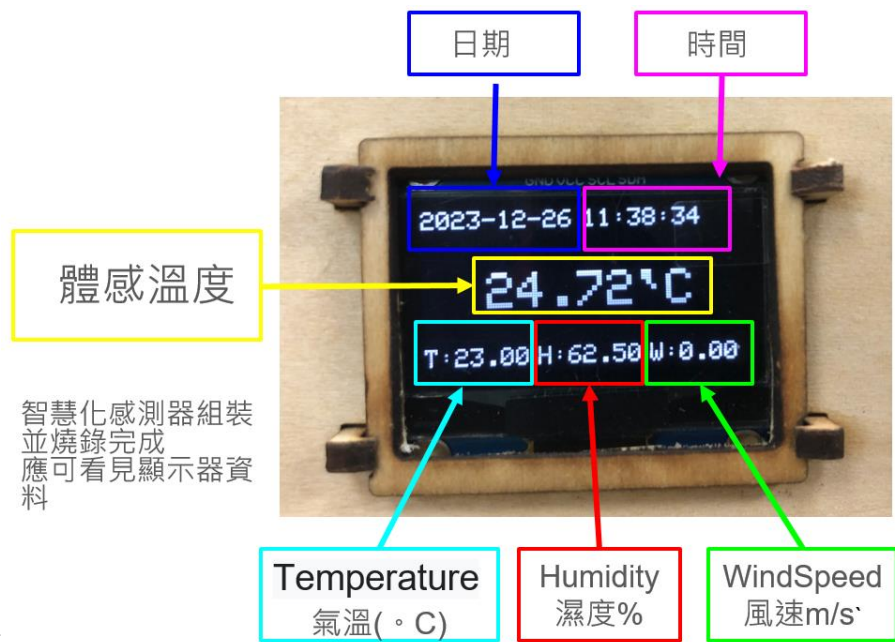
1.0549公噸CO<sub>2</sub>e/年。

## 【主題二】、建立智慧化校園環境偵測系統的可行性探討。

### 一、智慧化環境感測器組裝：材料組件如下



組裝成品如右圖



智慧化感測器組裝  
並燒錄完成  
應可看見顯示器資料

LED顯示



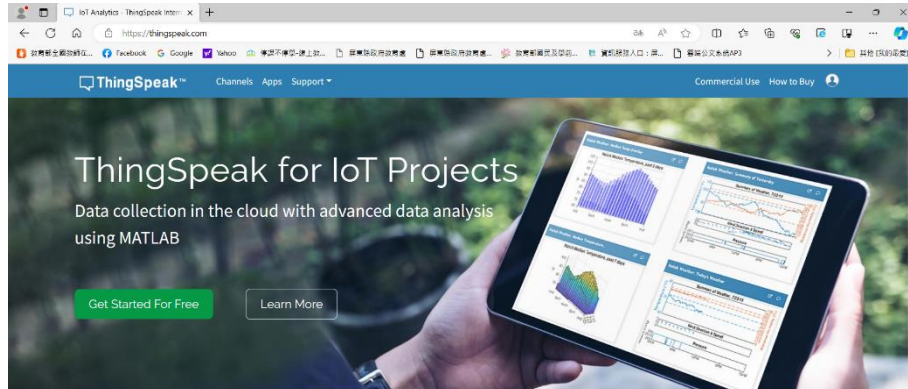
其中，體感溫度是以下列公式來計算：

$$\text{R. G. Steadman的體感溫度} = (1.04 \times \text{溫度}) + (0.2 \times \text{水氣壓}) - (0.65 \times \text{風速}) - 2.7$$

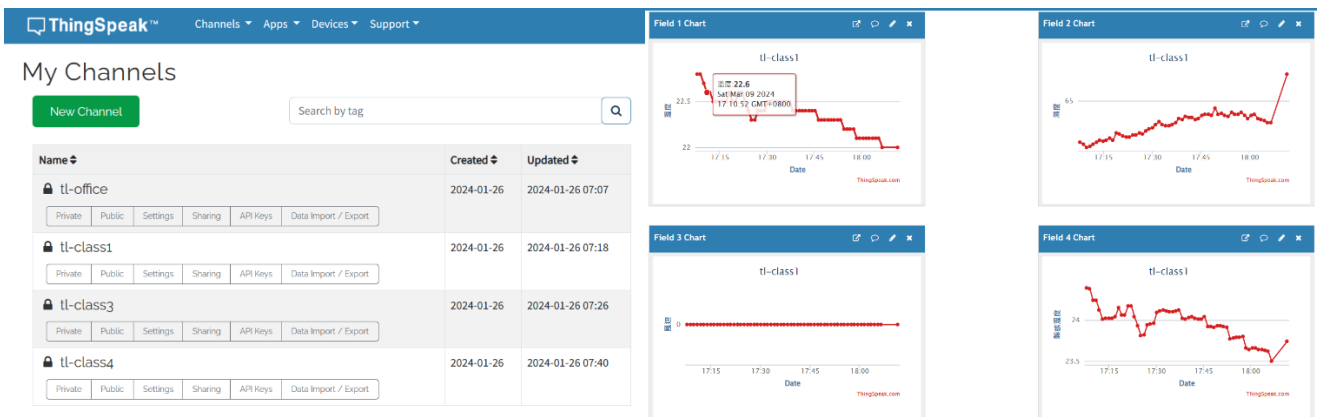
其中的水氣壓 =  $(\text{相對濕度} / 100) \times 6.105 \times \exp[(17.27 \times \text{溫度}) / (237.7 + \text{溫度})]$

## 二、智慧化環境感測器Thingspeak帳號註冊及聯網測試

首先以學校google信箱至 <https://thingspeak.com/> 網站申請一免費教學用帳號，每一帳號可以連結四組感測器進行線上數據紀錄，每分鐘可以記錄一筆資料。



實際帳號設定完後的網站頁面及實際紀錄之數據繪圖如下：



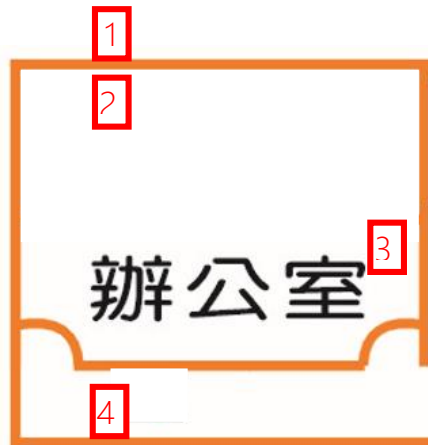
由於感測器是置於室內偵測，所以風扇並未轉動，所以沒有風速的數據。另外，亦可以將網站上的數據，以CSV檔案的格式下載(如下表)。由於數據量龐大，所以無法在結果裡全部呈現。

由實際網站的操作與紀錄可以知道，用環境偵測器來進行校園環境數據的蒐集與紀錄，是可行的方式。

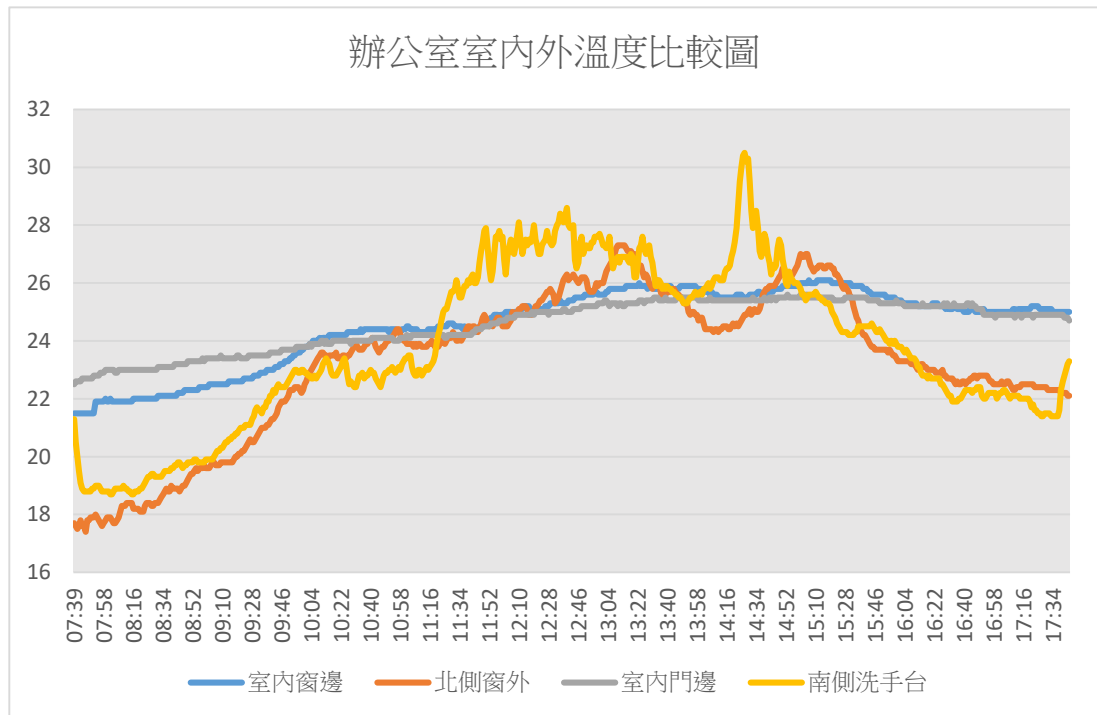
|    | A          | B     | C        | D    | E    | F    | G     |
|----|------------|-------|----------|------|------|------|-------|
| 1  | created_at | 時間    | entry_id | 溫度   | 濕度   | 風速   | 體感溫度  |
| 2  | 2024-03-0  | 07:39 | 1        | 21.5 | 62   | 0    | 22.83 |
| 3  | 2024-03-0  | 07:40 | 2        | 21.5 | 61.9 | 0    | 22.83 |
| 4  | 2024-03-0  | 07:41 | 3        | 21.5 | 62   | 0    | 22.83 |
| 5  | 2024-03-0  | 07:42 | 4        | 21.5 | 61.9 | 0    | 22.83 |
| 6  | 2024-03-0  | 07:43 | 5        | 21.5 | 61.8 | 0    | 22.82 |
| 7  | 2024-03-0  | 07:44 | 6        | 21.5 | 61.6 | 0    | 22.81 |
| 8  | 2024-03-0  | 07:45 | 7        | 21.5 | 61.6 | 0    | 22.81 |
| 9  | 2024-03-0  | 07:46 | 8        | 21.5 | 61.5 | 0    | 22.82 |
| 10 | 2024-03-0  | 07:47 | 9        | 21.5 | 61.5 | 0    | 22.81 |
| 11 | 2024-03-0  | 07:48 | 10       | 21.5 | 61.5 | 0    | 22.8  |
| 12 | 2024-03-0  | 07:49 | 11       | 21.5 | 61.4 | 0    | 22.8  |
| 13 | 2024-03-0  | 07:50 | 12       | 21.5 | 61.5 | 0    | 22.8  |
| 14 | 2024-03-0  | 07:51 | 13       | 21.5 | 61.5 | 0.02 | 22.8  |
| 15 | 2024-03-0  | 07:52 | 14       | 21.9 | 62   | 0    | 23.24 |
| 16 | 2024-03-0  | 07:53 | 15       | 21.9 | 61   | 0    | 23.29 |

### 三、以辦公室環境進行智慧化環境感測器實測

將四組環境感測器分別放置於四個不同地方，位置圖標示如下：



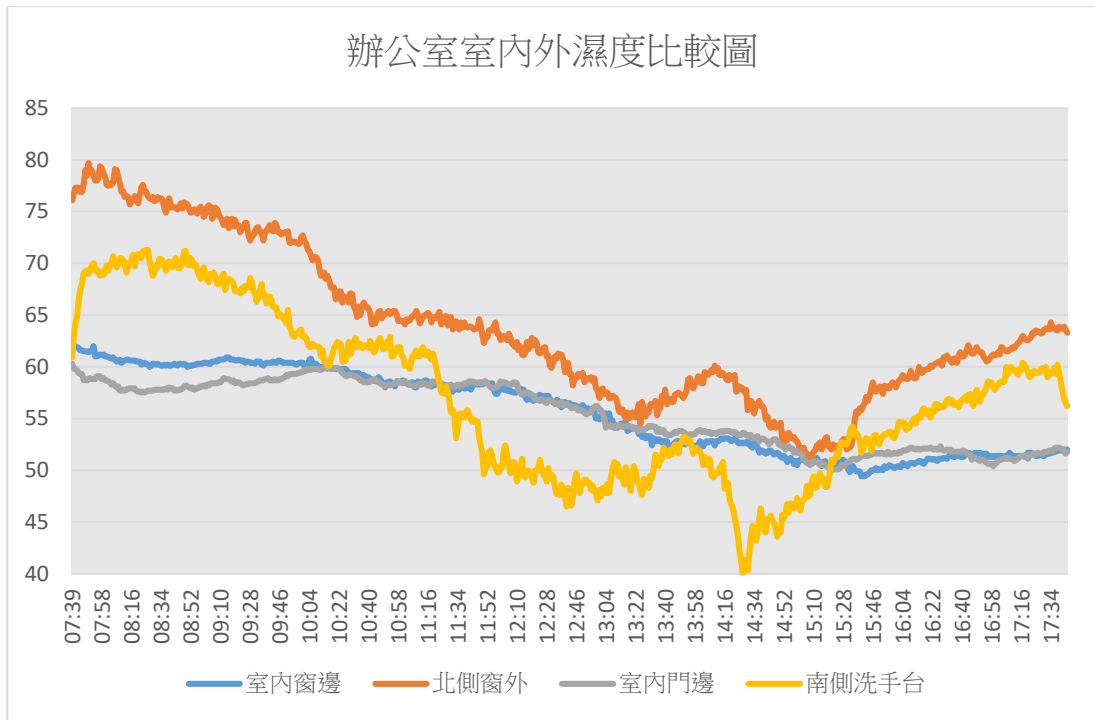
(一)、辦公室內外側溫度比較：



由上面的比較圖我們可以看出：

1. 辦公室內的溫度波動較小，辦公室外的溫度則容易受太陽照射與否影響，溫度變化起伏較大。
2. 從早上10點左右到下午3點半左右，辦公室內外的溫度主要受太陽照射的影響，有明顯的升溫；在此時段前後，室外溫度則受輻射冷卻的影響，降溫快速。

(二)辦公室內外濕度比較：



由上面的比較圖我們可以看出：

1. 辦公室內外的濕度比較圖我們可以看出，同樣是室內溼度波動較小，室外的溼度則容易受太陽照射的影響，且與溫度成反比例，也就是溫度越高，濕度越低。
2. 由於測量時有季節性的東北季風吹拂，所以辦公室北側的溼度幾乎整天都較辦公室南側的溼度低。

## 伍、討論

【主題一】、建立以111年度為基準之校園碳盤查數據。

我們將各項數據整理換算後，得到下面的排放數量及其比例表：

| 各類型排放源排放比例                      | 固定式排放源     | 移動式排放源   | 逸散性排放源    | 能源間接排放源 | 其他間接排放 | 總碳排放量       |
|---------------------------------|------------|----------|-----------|---------|--------|-------------|
| 碳排放量<br>(公噸CO <sub>2</sub> e/年) | 0.04587186 | 0.085006 | 5.2552313 | 30.9276 | 0      | 36.31370912 |
| 占總排放量比例 (%)                     | 0.13%      | 0.23%    | 14.47%    | 85.17%  | 0.00%  | 100.00%     |

而學校的負碳及減碳作為可以減少的碳排如下(單位公噸CO<sub>2</sub>e/年)：

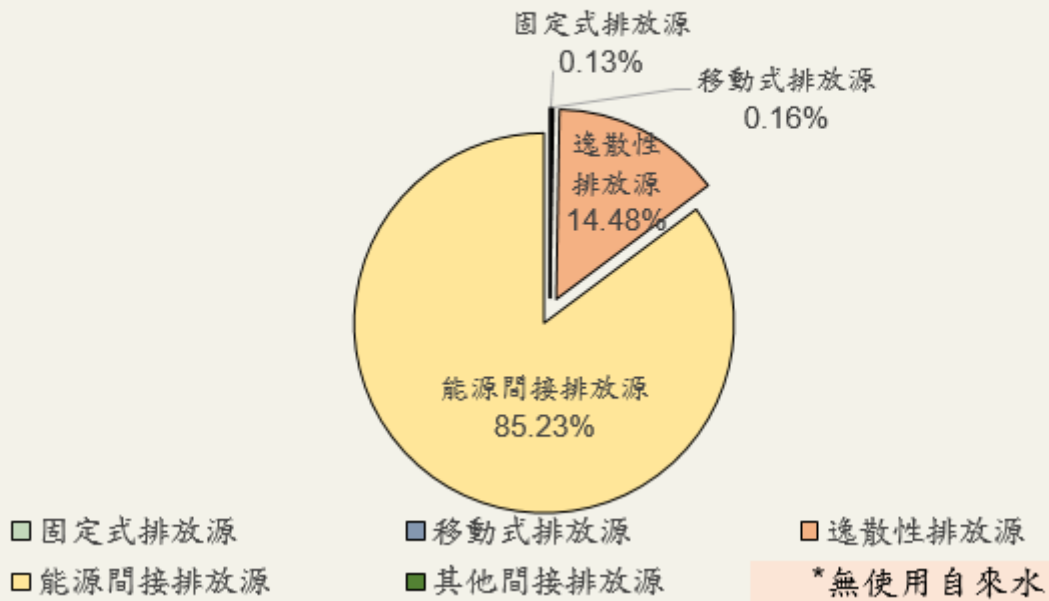
| 負碳排放源及減碳作為/策略 |          |
|---------------|----------|
| 負碳排放源         | 減碳作為/策略  |
| 16.118918     | 1.233144 |

我們更可以將各項數據製圖整理如下：



屏東縣○○國小

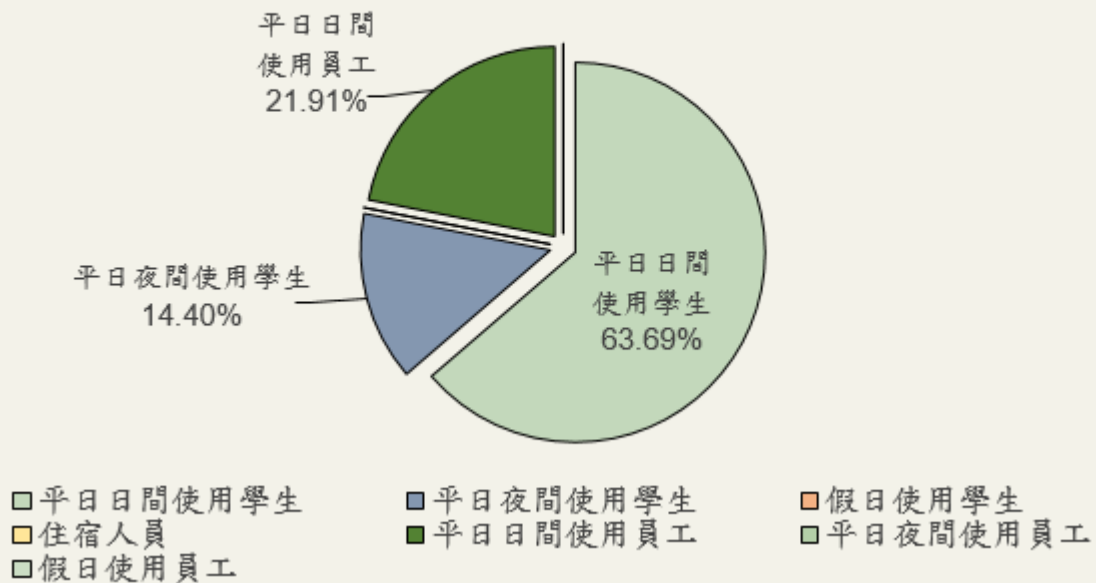
### 各類型排放源排放比例



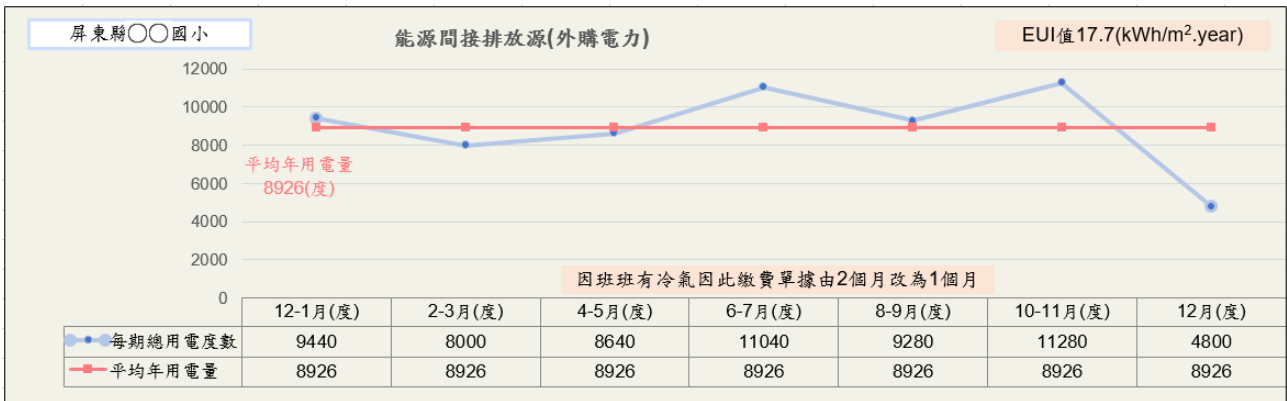
由上面的圖中我們可以看出，學校最主要的碳排放還是以用電產生的碳排放佔85.23%，其次是逸散性排放源-生活污水及冷氣冷媒填充所造成的碳排，佔14.48%。

屏東縣○○國小

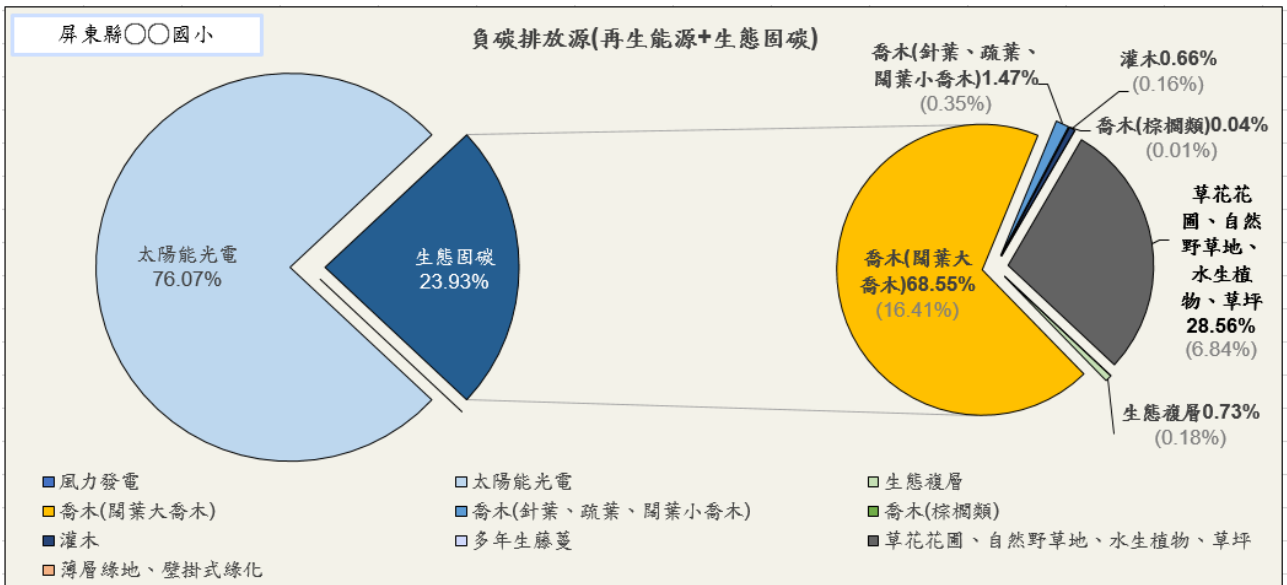
### 逸散性排放源(汗水排放碳排放當量)



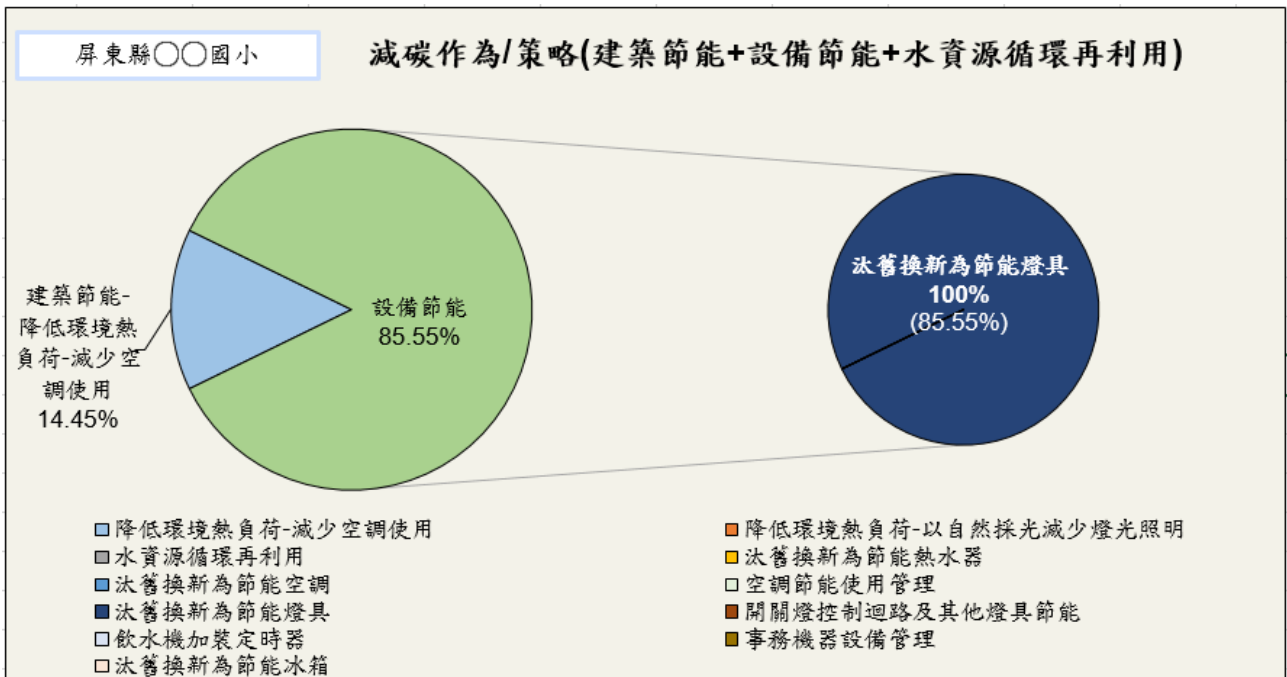
由上面的圖中我們可以看出，學校最主要的逸散性排放源還是以污水排放為主。



學校外購電力之碳排放當量為30.9276公噸CO<sub>2</sub>e/年。



學校的負碳排放源主要是太陽能光電系統，佔76.07%，其次為生態固碳佔23.93%；111年度全年負碳排放當量16.1190公噸CO<sub>2</sub>e/年。



學校的減碳作為主要是汰換節能燈具佔85.55%，而建築節能-改善教室通風減少冷氣空調使用佔14.45%；111年度全年減少碳排放當量1.2331公噸CO<sub>2</sub>e/年。

由上述結果我們可以知道，學校最主要的碳排放來源為電力的使用、生活廢水的排放、割草機等器械所使用的汽油、冷氣機與冰箱使用的冷媒替換等來源為主。

而樹木的栽植、太陽能光電(再生能源)模組的設置是主要的負碳排放源；而建築物通風遮陽的改善及燈具(電器)的汰換是可行的減碳作為。

## 【主題二】、建立智慧化校園環境偵測系統的可行性探討。

我們透過智慧化環境感測器的組裝、Thingspeak帳號註冊及聯網測試、最後以辦公室環境進行智慧化環境感測器實測等一連串的實際操作之後，我們發現確實可以建立一套智慧化聯網的校園環境偵測系統，大數據的蒐集環境數據，讓我們對學校校園的微氣候環境更加了解。

但是我們也發現了一些未來需要克服的問題：

1. 免費的Thingspeak帳號註冊有限制性，例如：只能連接四台感測器、網域空間受限無法無限制的儲存數據資料須定期下載數據。
2. 蒐集的數據雖然龐大完整，但是缺少自動化統計分析軟體，需要以人力方式來分析方能成為有用的資料。
3. 環境感測器為木頭及電子零組件構成，並不具抗候性-不能防水、防塵等，因此其擺放位置僅能於室內或能遮雨的處所，限制其使用範圍。

## 陸、結論

### 【主題一】、建立以111年度為基準之校園碳盤查數據。

1. 由操作結果我們可以知道，學校最主要的碳排放來源為電力的使用、生活廢水的排放、割草機等器械所使用的汽油、冷氣機與冰箱使用的冷媒替換等來源為主。。
2. 樹木的栽植、太陽能光電(再生能源)模組的設置是主要的負碳排放源。
3. 建築物通風遮陽的改善及燈具(電器)的汰換是可行的減碳作為。

### 【主題二】、建立智慧化校園環境偵測系統的可行性探討。

1. 本次所組裝以Arduino系統整合的環境感測器，確實可以用來進行校園溫、濕度等環境資料的偵測。
2. 註冊的免費Thingspeak帳號，確實可以提供四組環境感測器，以

聯網方式，將偵測數據上傳雲端，進行大規模的數據紀錄。

3. 以辦公室環境來進行實際測驗分析，我們可以明顯看到室內、外環境，一整天的溫度及濕度差異變化。也確認未來在校園內設置使用是可行的模組系統。

## 柒、參考資料及其他

經濟部工業局產業節能減碳資訊網

<https://ghg.tgpf.org.tw/CVHome/>

經濟部產發署產業節能減碳資訊網

<https://ghg.tgpf.org.tw/CVResources/>

ESG遠見永續共好網站

<https://esg.gvm.com.tw/article/7375>