

中華民國第 65 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(一)

佳作

082807

有抱「負」的魔術箱

學校名稱： 高雄市鼓山區壽山國民小學

作者：	指導老師：
小五 蔡宏熙	蔡昀臻

關鍵詞： 負離子、等離子、空氣清淨機

摘要

本研究的目標是做出空氣清淨器來改善空氣品質，我們利用防霾紗網及活性碳濾棉自製濾網，並透過等離子產生器將等離子注入空氣濾網內部進而過濾懸浮微粒、甲醛及總揮發氣體(TVOC)等有害物體，透過實際在前鎮漁港、台電南部發電廠、左營區某國中、林園區大林發電廠實地測試清淨機的清淨成效如下：

改善率			
	PM2.5	PM1.0	PM10
前鎮漁港	33%	28%	31%
台電南部發電廠	29%	23%	28%
大義國中	30%	22%	26%
大林發電廠	59%	58%	55%

我們也自製壓克力觀察箱，從中探討等離子、負離子及水霧清除TVOC、懸浮微粒的成效，並透過HEPA濾網、活性碳濾棉、各種紗網、熔噴不織布等濾材來進行過濾實驗並找出較佳的組合，從而製作出環保又經濟的空氣濾網。期望空氣清淨機可以成為教室的標配，讓大家在安全的室內環境中學習。

壹、 前言

一、 研究動機

在一次課程活動中，我們爬到壽山的制高點鳥瞰整個高雄市，然而我們發現整個城市壟罩在一片霧茫茫的空氣中，當下我們才發現自己居住的城市原來空氣品質是這麼糟糕。

高雄的空氣污染是眾所周知的問題，因為高雄市一直是一個工業區，石化、鋼鐵、電力等高污染性工業都設置在這邊，根據112年高雄市環境保護統計年報[1]我們知道高雄市的人口將近274萬人，機動車輛有304萬7914輛，工廠有7943家。由此可知，高雄市有這麼多人口是生活在高汙染環境下。

研究了歷屆科展的參考文獻和各種空氣清淨機的介紹，我們發現空氣清淨的技術有許多種，最後我們決定研究使用負離子、等離子跟各種空氣濾材來改善室內空氣的品質。我們想要藉由這個研究來了解空氣中的有害物質有哪些，最後自製空氣清淨機來改善室內的空氣品質，希望能在短時間內沒辦法減少汙染源頭的情況下，讓我們可以更健康安全的生活，減少因為空氣汙染對身體造成的危害。

二、 研究目的

1. 認識空氣中的危害因子。
2. 探討負離子及等離子消除空氣污染的成效。
3. 探討各種濾網對危害因子的過濾效果。
4. 自製空氣清淨機，並且探討改善的成效。

三、文獻回顧

根據文獻[2]環境部空氣品質監測網的資料我們得知：

空氣汙染的來源主要分為兩種：

1. 自然界的釋出	2. 人類活動的製造
自然界的釋出包括沙塵暴、火山活動、海鹽飛沫、森林火災、地殼岩石風化等自然現象所引起產生。	可分為固定源(工業污染)、移動源(機動車輛污染)、逸散源(營建與農業污染)與其他(餐飲與金紙燃燒等)。

如下圖所示：



而我們主要面臨到的汙染源，都是人類活動所製造出來的，我們看了參考文獻室內空氣品質改善技術簡介[3]、室內空氣品質改善策略-活性碳濾網空氣清淨機、沸石加活性碳濾網空氣清淨機、植栽(虎尾蘭)的效果探討[4]、空氣中的隱形殺手PM2.5[5]和我很小但是我很恐怖～高雄pm2.5細懸浮微粒影響之因素與口罩防治空氣汙染之探討[6]等文獻，我們認識到空氣中的危害因子主要分為四大類：

(一)、粒狀汙染物：

空氣裡有許多小灰塵，像是懸浮微粒PM10(粒徑小於等於10微米)和PM2.5(粒徑小於等於2.5微米)，它們小到我們看不見，還可能帶著一些微生物。這些灰塵會隨著我們的呼吸進到肺裡，讓喉嚨不舒服，甚至影響健康。如果吸太多，可能會讓我們咳嗽、呼吸困難，長時間下來還會傷害身體。

(二)、生物汙染物：

主要為微生物，像是細菌、黴菌、病毒和寄生蟲。它們到處存在，有些會讓人過敏、感冒或生病，甚至可能產生毒性，如果這些東西進到我們的身體裡，就可能會引發嚴重的疾病，甚至對生命造成威脅。

(三)、揮發性有機物：

包含總揮發性有機化合物(TVOC)、甲醛(HCHO)。大多數揮發性有機物質具皮膚或呼吸道刺激性，有些則對中樞神經有影響，會引起眼睛、呼吸道不適，甚至頭痛、暈眩、疲勞、視力失常等症狀，而有多種物質已被證實為致癌物質。甲醛濃度高時甚至會有刺鼻的氣味，容易刺激眼部及呼吸道器官。

(四)、其他氣狀污染物：

空氣中還有一些氣體會影響我們的健康，例如二氧化碳、一氧化碳和臭氧。

- 二氧化碳 (CO_2)：如果空氣中的二氧化碳太多，會讓人覺得呼吸困難、頭痛、昏昏欲睡，甚至會影響反應速度，讓人感到疲倦。如果發生在學校或辦公室，可能會讓學生無法專心，或讓上班族的工作效率變差。
- 一氧化碳 (CO)：這是一種很危險的氣體，會和血液裡的血紅素結合，讓血液沒辦法帶氧氣到身體各個地方。如果吸入太多，會讓人缺氧，產生頭暈、頭痛、呼吸困難，甚至可能導致中毒。如果長時間接觸，還會讓人頻尿、口渴、體重減輕、失眠、脾氣變差等。
- 臭氧 (O_3)：臭氧是一種刺激性氣體，會讓眼睛刺痛、喉嚨癢癢的，還可能引起咳嗽和胸悶。對氣喘或有呼吸道疾病的人來說，臭氧會讓他們的症狀變得更嚴重，影響健康。

根據「室內空氣品質管理法」室內空氣品質標準值如下表：

污染物種類	標準值		
	量測時間	標準值	單位
二氧化碳(CO_2)	8 小時值	1000	ppm
一氧化碳(CO)	8 小時值	9	ppm
甲醛(HCHO)	1 小時值	0.08	ppm
總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種苯類及烯類之總和)	1 小時值	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m^3
真菌(Fungi)	最高值	1000	CFU/m^3
		但 I/O Ratio ≤ 1.3	
粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮微粒(PM_{10})	24 小時值	75	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之懸浮微粒($\text{PM}_{2.5}$)	24 小時值	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
臭氧(O_3)	8 小時值	0.06	ppm

從上表中，我們認識空氣中危害因子的標準值，我們希望以上表的數據作為空氣清淨的標準。為了設計實驗，我們研究探討改善空氣品質相關的歷屆科展作品，像是：

- 「眼不見為淨？」自製空氣淨化 裝置在學習環境運用之探究[7]：作者使用水霧、紗網和空氣清淨機的濾網來改善空氣品質，其中水霧除了有除塵的能力，也有降溫的效果。
- 自製空氣清淨機[8]：作者使用HEPA濾網、靜電濾網、熔噴不織布，在這個作品中我們得到啟發，我們規劃可以使用負離子配合細目紗網來測試探討看看是不是也能有靜電濾網的效果。
- 自製空氣過濾箱-探討空氣濾材組合對懸浮微粒阻隔之影響[9]：作者製作壓克力箱觀察實驗並使用靜電棉、活性碳、HEPA濾網阻隔懸浮微粒。
- 不「負」眾望—負離子應用於改善空污之研究[10]：探討負離子改善空汙的效率，並在文中了解到負離子產生的過程中可能會產生臭氧，為了確認實驗的安全性，我們也規劃了臭氧的檢查實驗。

- 參考市售空氣清淨機：我們得知除了負離子之外，還有等離子技術，從參考文獻[11]我們知道等離子殺菌的工作原理是利用正高壓及負高壓電離空氣產生大量的正離子及負離子。

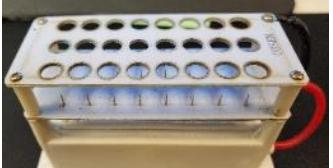
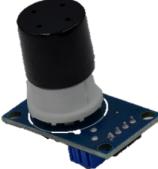
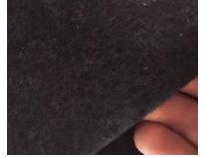
閱讀研究了上面的相關作品及文獻後，我們瞭解清淨空氣主要的處理技術如下：

- 濾網：濾網是最常見也是最經典的清淨方式，也是大部分人最信任的的清淨方式。大家經常聽到空氣清淨機標榜HEPA濾網是代表濾網的等級，由低到高為1-17，市面上空氣清淨機最常使用為HEPA11~13等級的濾網，只要看到HEPA濾網，就代表能過濾99.7% 0.3微米的髒污。
- 負離子：負離子是利用離子正負相吸的原理，將正離子的灰塵等懸浮微粒吸附而淨化空氣。
- 等離子：正離子與負離子進行正負電荷中和的瞬間產生巨大的能量釋放，從而導致其周圍細菌結構改變使細菌死亡，實現殺菌的作用。與臭氧殺菌時必須在無人的空間裡進行不同，正離子與負離子本身是空氣成份中的一部分，因此等離子發生器在對空氣進行淨化殺菌的同時允許在有人的空間裡進行，對人體無副作用。
- 臭氧：具有強大的氧化能力，能夠有效殺菌且清淨速度非常的快，藉由氧化還原反應生成最乾淨的氧氣。不過臭氧也因為它強大的氧化能力，人體若不小心吸入後，會對身體造成危害。
- 靜電集塵：靜電集塵的原理是透過電極線釋放的高壓電，讓吸進機器的空氣中微粒帶正電，接著空氣繼續飄到帶負電荷的集塵板上，正負相吸，細菌、髒汙就附著在上面。

最後我們將實驗設計如下：

1. 製作壓克力觀察箱，並透過水霧來模擬觀察懸浮微粒的運動特性。
2. 使用市售的空氣品質偵測器來偵測懸浮微粒、甲醛、揮發性氣體等危害物質的濃度。
3. 利用市售的負離子、等離子和水霧產生器來產生負離子、等離子及水霧，藉此來探討改善空氣品質的成效。
4. 使用活性碳濾棉、HEPA濾網、口罩(熔噴不織布)、防霾紗網作為濾材來探討改善空氣品質的效果。
5. 根據以上的實驗結果，找出最佳的組合去製作一台空氣清淨機，並探討空氣清淨的成效。

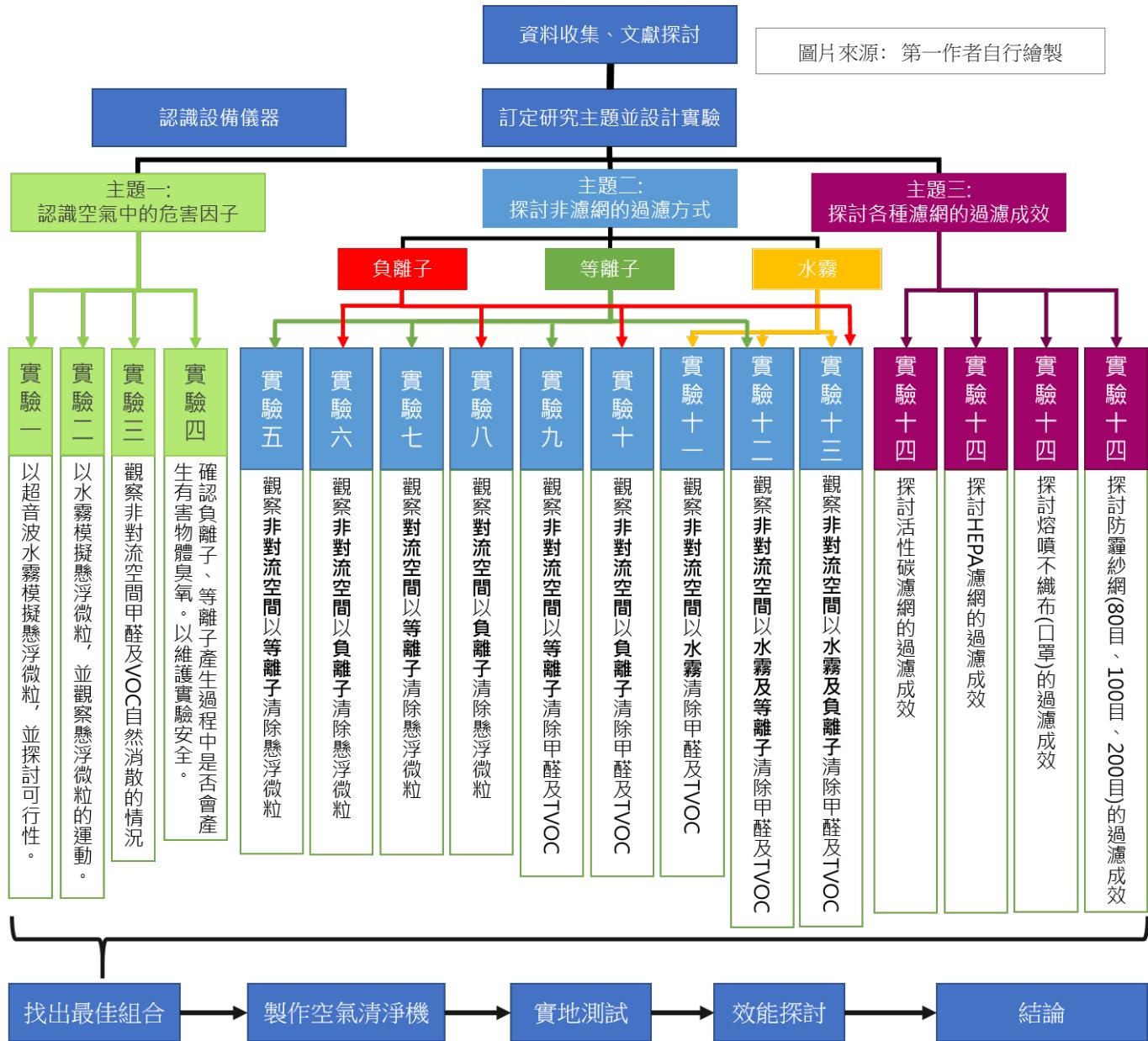
貳、研究設備備及器材

		
七合一空氣感測器	水霧產生器	負離子產生器
		
空氣檢測器模組	風速計	等離子產生器
		
功率控制模組	12V 電源供應器	臭氧產生器
		
5V 繼電器	MCU 控制板	12V 轉 5V 變壓器
		
熱熔槍及膠條	12V 燈條	烙鐵工具組
		
臭氧偵測器	12V 風扇	壓克力箱 (25cmx25cmx25cm)
		
HEPA 濾網	防霾紗網	活性碳濾網
設備及器材照片皆由第一作者拍攝		

參、 研究過程或方法

我們自製壓克力觀察箱，並設計各種實驗來觀察探討以各種方式清除有害物質。

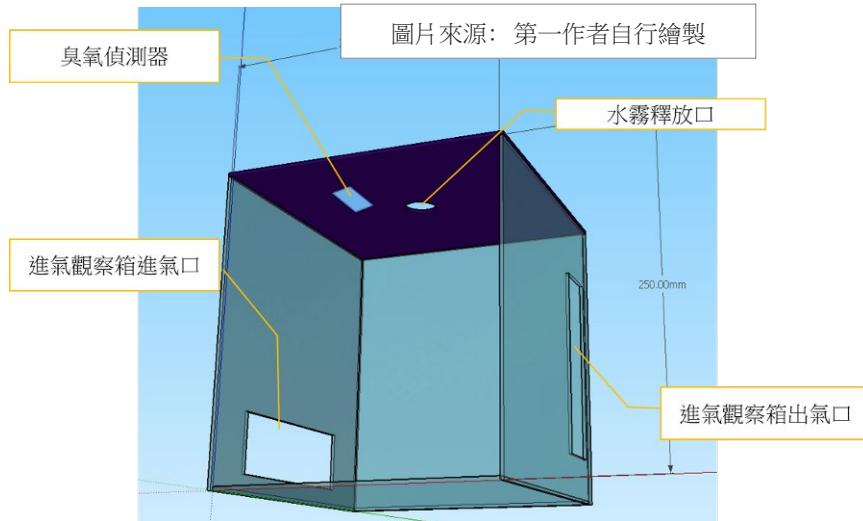
研究方法的架構如下圖：



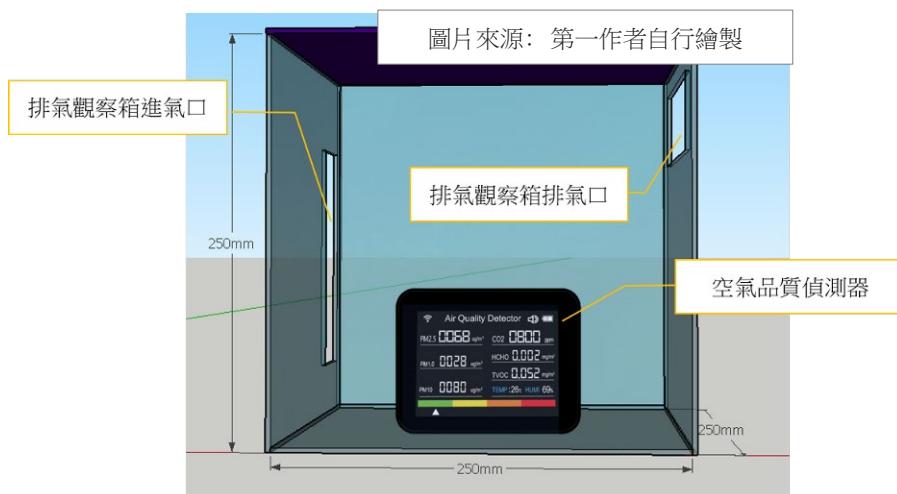
一、 製作壓克力觀察箱架構：

我們製作兩個壓克力觀察箱，一個是進氣觀察箱，作為汙染源放置觀察箱，另外一個為排氣觀察箱，負責過濾後空氣的偵測與觀察。

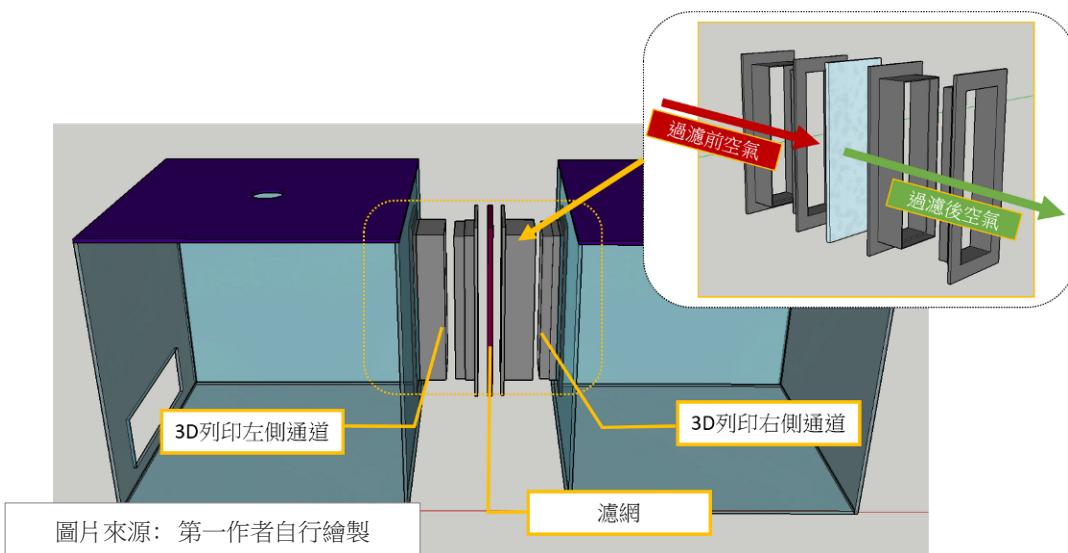
在進氣觀察箱兩側挖孔，左側為進氣孔，我們在這一側安裝進氣風扇，右側為排氣孔，這個排氣孔會連結到排氣觀察箱。我們在上方挖一個小洞，水霧可由這個地方釋放，另外我們要在這個箱子裝設臭氧偵測器，負責偵測檢查負離子或等離子在產生時是否產生臭氧，以確保實驗安全，如下圖所示：



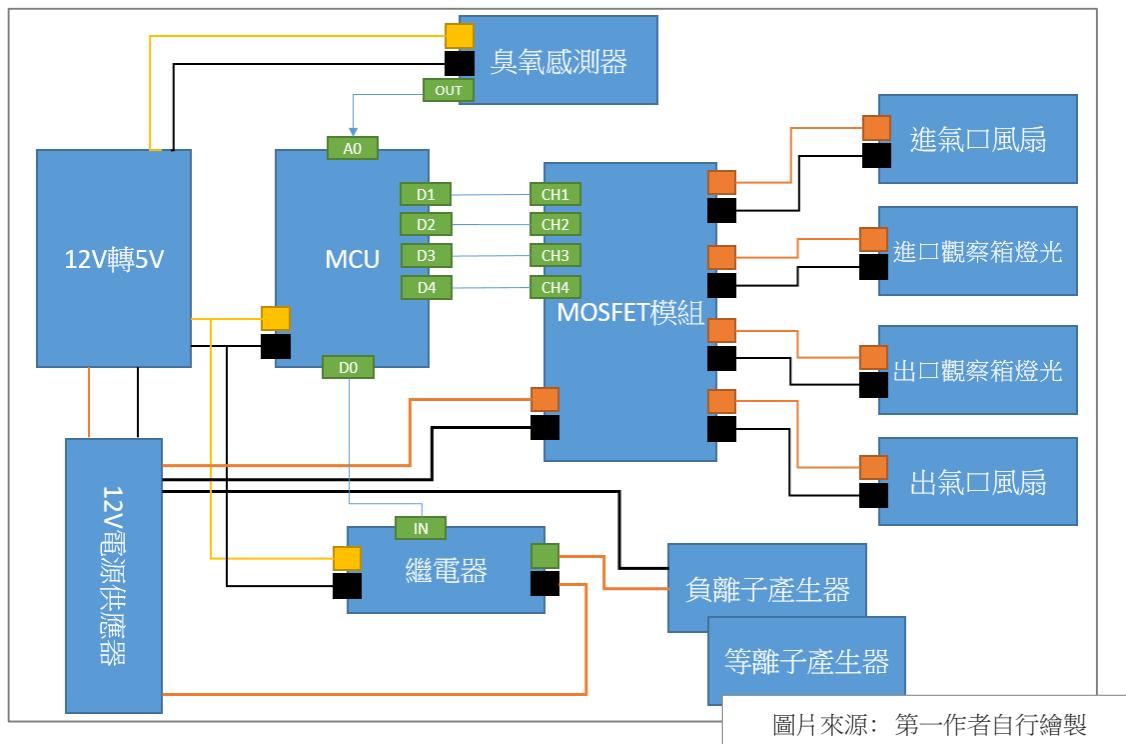
排氣觀察箱在左側挖一個洞做為進氣口，右側挖一個洞做為排氣口，並在排氣口安裝風扇，將空氣排出，上蓋則安裝LED燈。在這個觀察箱中我們會放置空氣品質感測器觀察過濾後的空氣品質。如下圖所示：



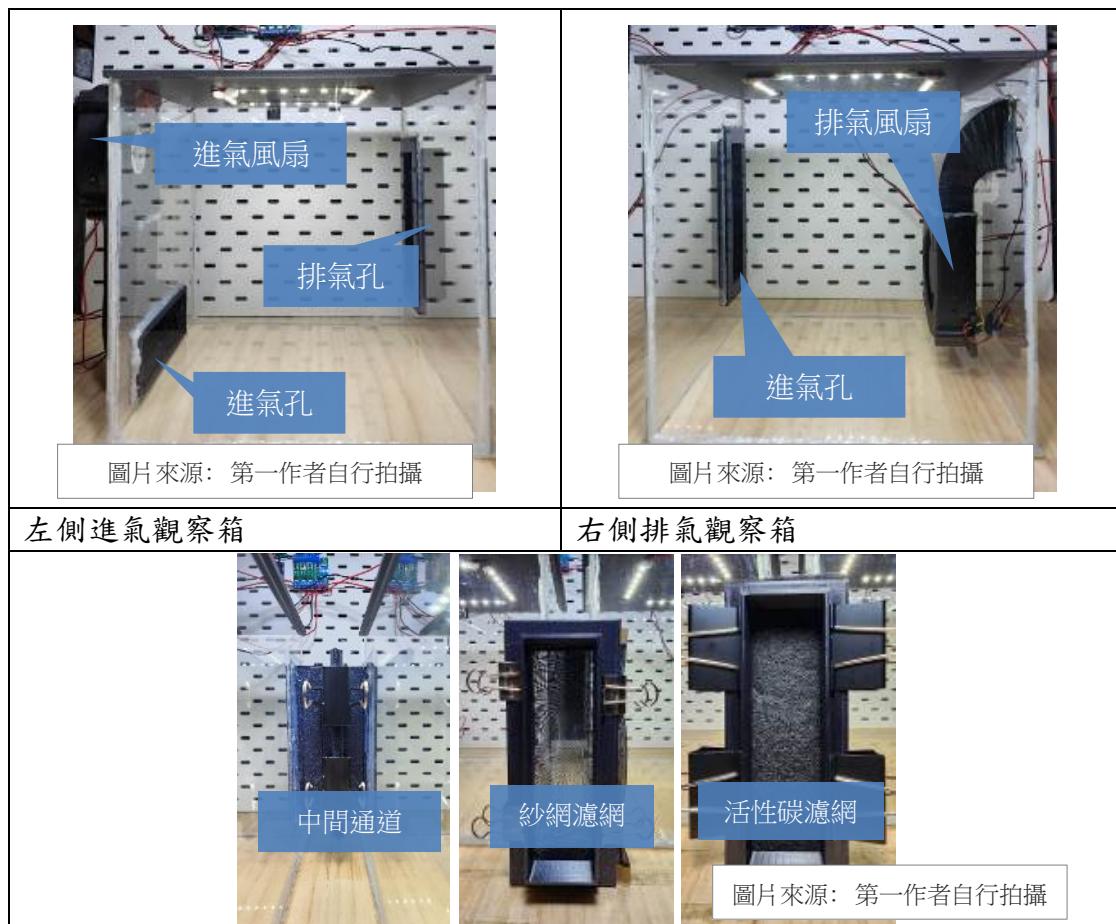
在兩個觀察箱中間，我們利用3D列印製作一個通道，並且設計在通道中間製作一個可以利用長尾夾夾住濾材的裝置，藉此作為濾網過濾汙染物，上蓋則安裝LED燈便於觀察。如下圖所示：



同時，我們使用了功率控制模組(MOSFET模組)來控制12V LED燈條及12V風扇，並利用ESP8266控制板來送出PWM控制訊號，藉此控制風量跟燈光的強弱。最後，我們利用繼電器去控制負離子產生器及等離子產生器。我們設計電路架構如下圖：



完成的觀察箱如下圖：



中間通道及濾網



上視圖

圖片來源：第一作者自行拍攝



正視圖

圖片來源：第一作者自行拍攝

二、 實驗過程：

(一)、懸浮微粒清除實驗

實驗一：以水霧模擬懸浮微粒

實驗方法	堵住觀察箱的出氣口及進氣口，在箱子中放置空氣感測器，並在上方釋放水霧，觀察感測器懸浮微粒的數值是否有變化
操縱變因	釋放水霧
應變變因	PM2.5、PM1.0、PM10 濃度
觀察結果	釋放水霧後，懸浮微粒的濃度都有上升，證明超音波水霧的粒徑極細微，可以被感測器偵測為懸浮微粒，我們還發現水霧很輕，會在空氣中懸浮。

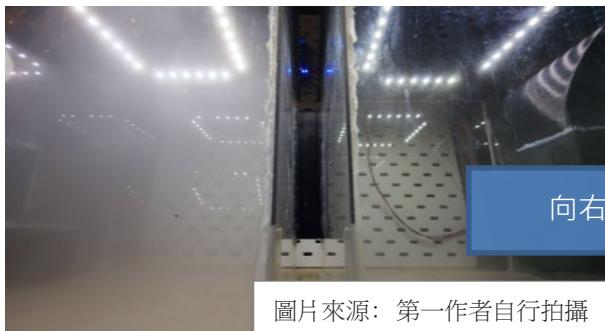
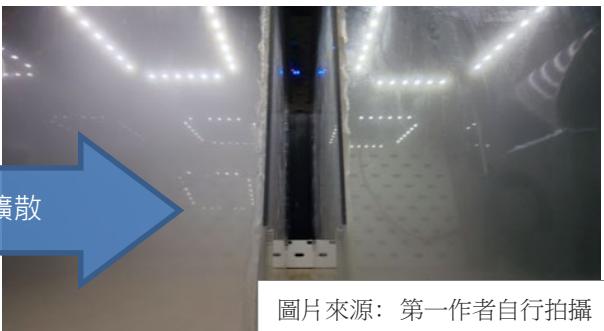
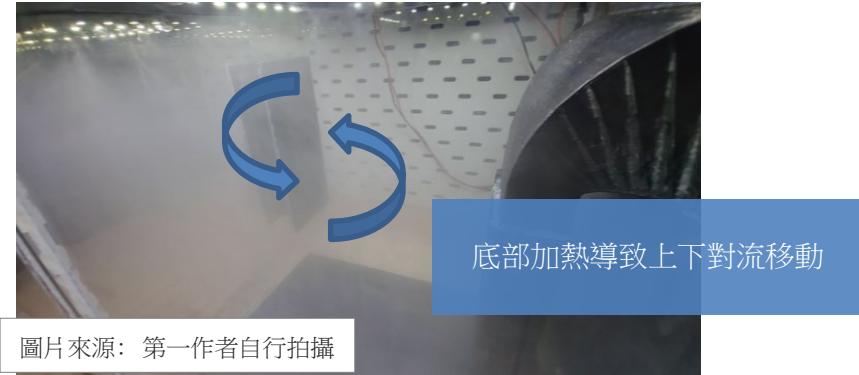
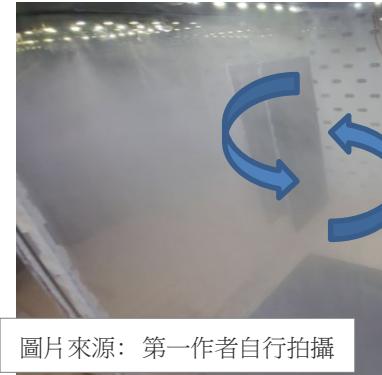


懸浮微粒數值上升

圖片來源：第一作者自行拍攝



圖片來源：第一作者自行拍攝

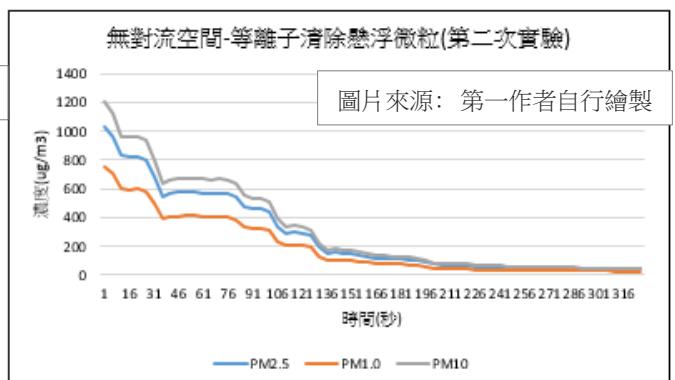
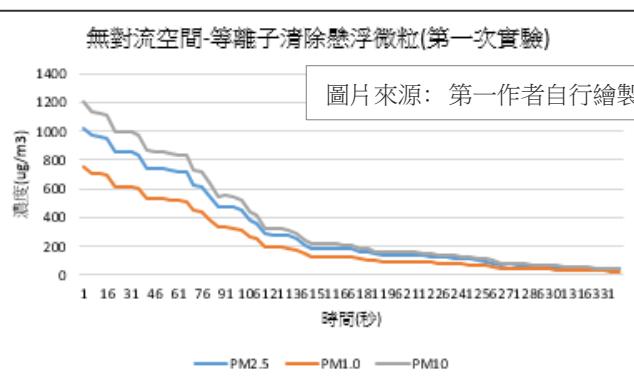
實驗二：以水霧模擬懸浮微粒觀察懸浮微粒的特性	
實驗方法	打開左右觀察箱中間的通道使其連通，在右側觀察箱下方放置加熱墊： 1. 首先在左側觀察箱釋放水霧，觀察水霧的流動變化。 2. 當水霧佈滿右側觀察箱時使加熱墊通電，讓右側觀察箱底部溫度上升，觀察水霧在觀察箱中的情形。 3. 停止加熱，待水霧穩定後開啟排氣風扇，觀察水霧在觀察箱中的情形。
操縱變因	溫度、風速
應變變因	水霧
觀察結果	1. 釋放水霧後，左側水霧會漸漸變多，然後開始擴散到右邊觀察箱，水霧會從底部慢慢變高，看起來水霧有重量。 2. 當水霧佈滿右側觀察箱後，開始加熱，我們發現水霧會開始上下移動，所以水霧會因為溫度變化產生對流而上升下降。 3. 當開啟排氣風扇後，水霧會開始往右側移動，因此水霧的移動除了會往濃度低的地方擴散之外，還隨著風進行水平移動。
 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>圖片來源：第一作者自行拍攝</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>圖片來源：第一作者自行拍攝</p> </div> </div>	
 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  <p>圖片來源：第一作者自行拍攝</p> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p>底部加熱導致上下對流移動</p> </div> </div>	

實驗四：檢查負離子產生器是否會產生臭氧	
實驗方法	堵住左側觀察箱，分別將負離子產生器、等離子產生器、臭氧產生器通電五分鐘，並觀察臭氧感測器的數值
應變變因	臭氧
觀察結果	因為臭氧對身體有害，為了維護實驗安全，我們必須確定使用等離子產生器跟負離子產生器是否會產生臭氧，開啟等離子產生器跟負離子產生器五分鐘後，感測器並未偵測到臭氧，而為了確認臭氧感測器是否真的有作用，我們開啟臭氧產生器後，偵測器有偵測到臭氧濃度。這個實驗讓我們可以更放心的做後續的實驗。



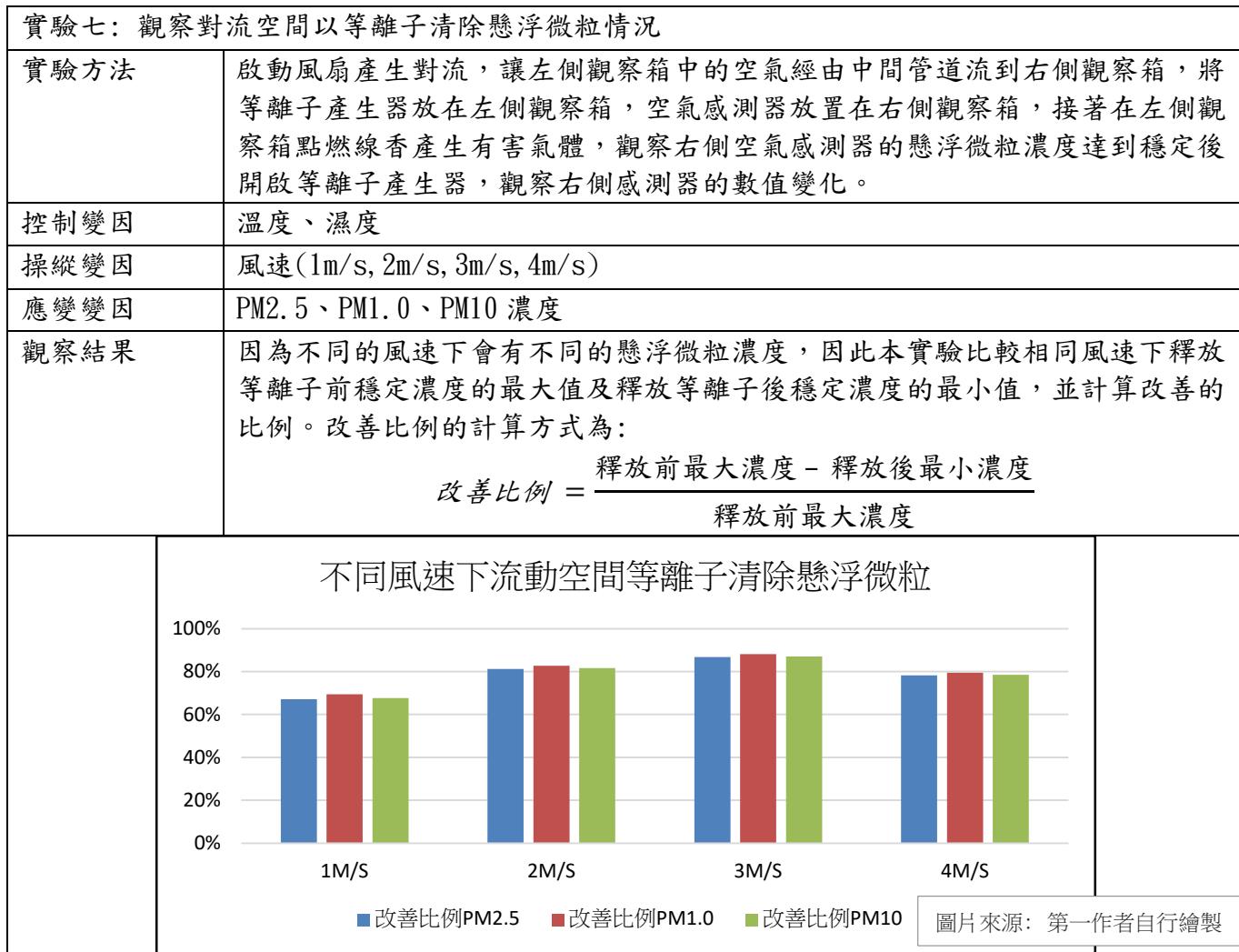
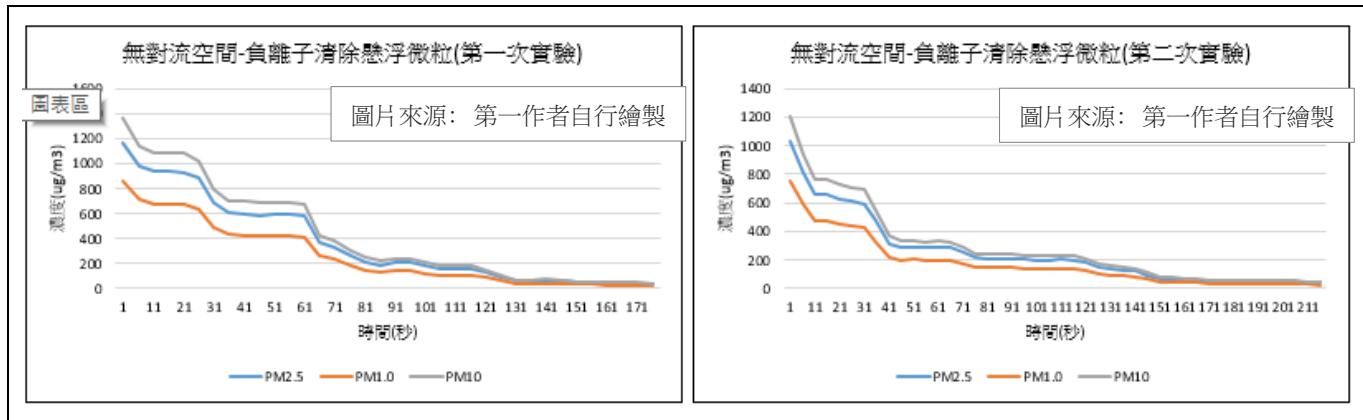
實驗五：觀察非對流空間以等離子清除懸浮微粒

實驗方法	在觀察箱中點燃線香，並堵住出氣口及進氣口，並觀察空氣感測器的數值，當懸浮微粒 PM2.5 濃度到達 1000ppm，則開始啟動等離子產生器，並觀察變化結果，每 5 秒記錄一次懸浮微粒數值。
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	釋放等離子
應變變因	PM2.5、PM1.0、PM10 濃度
觀察結果	我們發現等離子對懸浮微粒有清除的效果，觀察箱中的感測器讀數有逐漸下降。



實驗六：觀察非對流空間以負離子清除懸浮微粒

實驗方法	在觀察箱中點燃線香，並堵住出氣口及進氣口，並觀察空氣感測器的數值，當懸浮微粒 PM2.5 濃度到達 1000ppm，則開始啟動負離子產生器，並觀察變化結果，每 5 秒記錄一次懸浮微粒數值。
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	釋放負離子
應變變因	PM2.5、PM1.0、PM10 濃度
觀察結果	我們發現負離子對懸浮微粒有清除的效果，觀察箱中的感測器讀數有逐漸下降。而且下降的速度比等離子稍微快一點。



實驗八：觀察對流空間以負離子清除懸浮微粒情況

實驗方法	啟動風扇產生對流，讓左側觀察箱中的空氣經由中間管道流到右側觀察箱，將負離子產生器放在左側觀察箱，空氣感測器放置在右側觀察箱，接著在左側觀察箱點燃線香產生有害氣體，觀察右側空氣感測器的懸浮微粒濃度達到穩定後開啟負離子產生器，觀察右側感測器的數值變化
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	風速(1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s)
應變變因	PM2.5、PM1.0、PM10 濃度

觀察結果	本實驗比較相同風速下釋放等離子前穩定濃度的最大值及釋放等離子後穩定濃度的最小值，並計算改善的比例。改善比例的計算方式為： 改善比例 = (釋放前最大濃度 - 釋放後最小濃度) / 釋放前最大濃度																				
	<p style="text-align: center;">不同風速下流動空間負離子清除懸浮微粒</p> <table border="1"> <caption>Data from Figure: Improvement Ratio (%) vs Wind Speed (m/s)</caption> <thead> <tr> <th>Wind Speed (m/s)</th> <th>改善比例PM2.5 (%)</th> <th>改善比例PM1.0 (%)</th> <th>改善比例PM10 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1M/S</td> <td>~30</td> <td>~30</td> <td>~30</td> </tr> <tr> <td>2M/S</td> <td>~95</td> <td>~95</td> <td>~95</td> </tr> <tr> <td>3M/S</td> <td>~90</td> <td>~90</td> <td>~90</td> </tr> <tr> <td>4M/S</td> <td>~85</td> <td>~85</td> <td>~85</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">圖片來源：第一作者自行繪製</p>	Wind Speed (m/s)	改善比例PM2.5 (%)	改善比例PM1.0 (%)	改善比例PM10 (%)	1M/S	~30	~30	~30	2M/S	~95	~95	~95	3M/S	~90	~90	~90	4M/S	~85	~85	~85
Wind Speed (m/s)	改善比例PM2.5 (%)	改善比例PM1.0 (%)	改善比例PM10 (%)																		
1M/S	~30	~30	~30																		
2M/S	~95	~95	~95																		
3M/S	~90	~90	~90																		
4M/S	~85	~85	~85																		

(二)、甲醛及VOC危害因子清除實驗

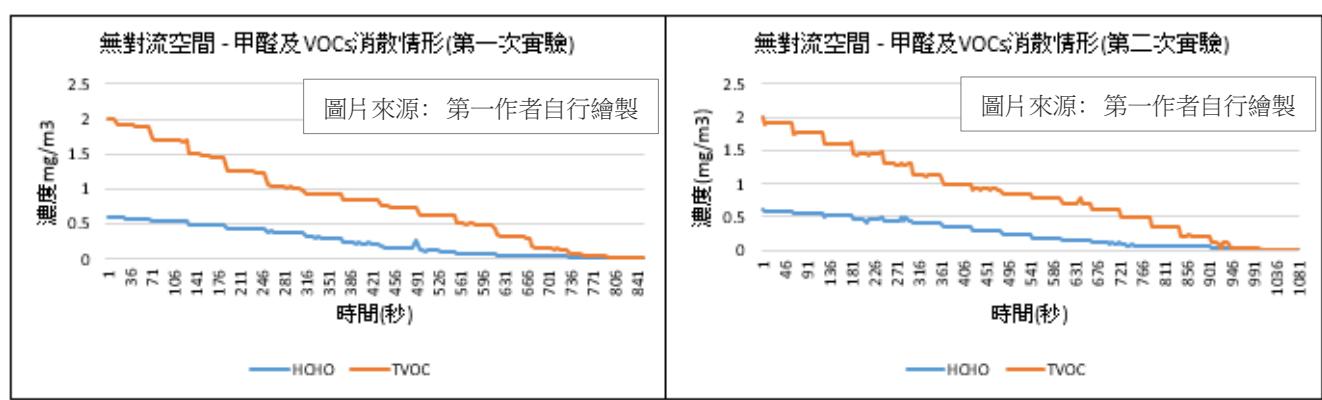
實驗方法：

保持觀察箱進氣孔開著，並封住出氣口，模擬在沒有對流的空間點燃線香(如右圖所示)，並觀察空氣感測器的數值，直到甲醛到達 $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ 以及TVOC達到 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 並保持數值穩定後，進行實驗：



圖片來源：第一作者自行拍攝

實驗三：觀察非對流空間甲醛及 VOC 自然消散的情況	
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	無(自然消散)
應變變因	甲醛濃度及 TVOC 濃度
觀察結果	第一次觀察結果花了 841 秒有害物質才回歸到背景值，第二次花了 1081 秒回到背景值，由此可知，在不通風的室內空間裡，有害物質消散需要花費大量時間。因此在空氣危害因子的環境下，如廟宇、二手菸害環境、施工工地都需要注意保持通風良好。



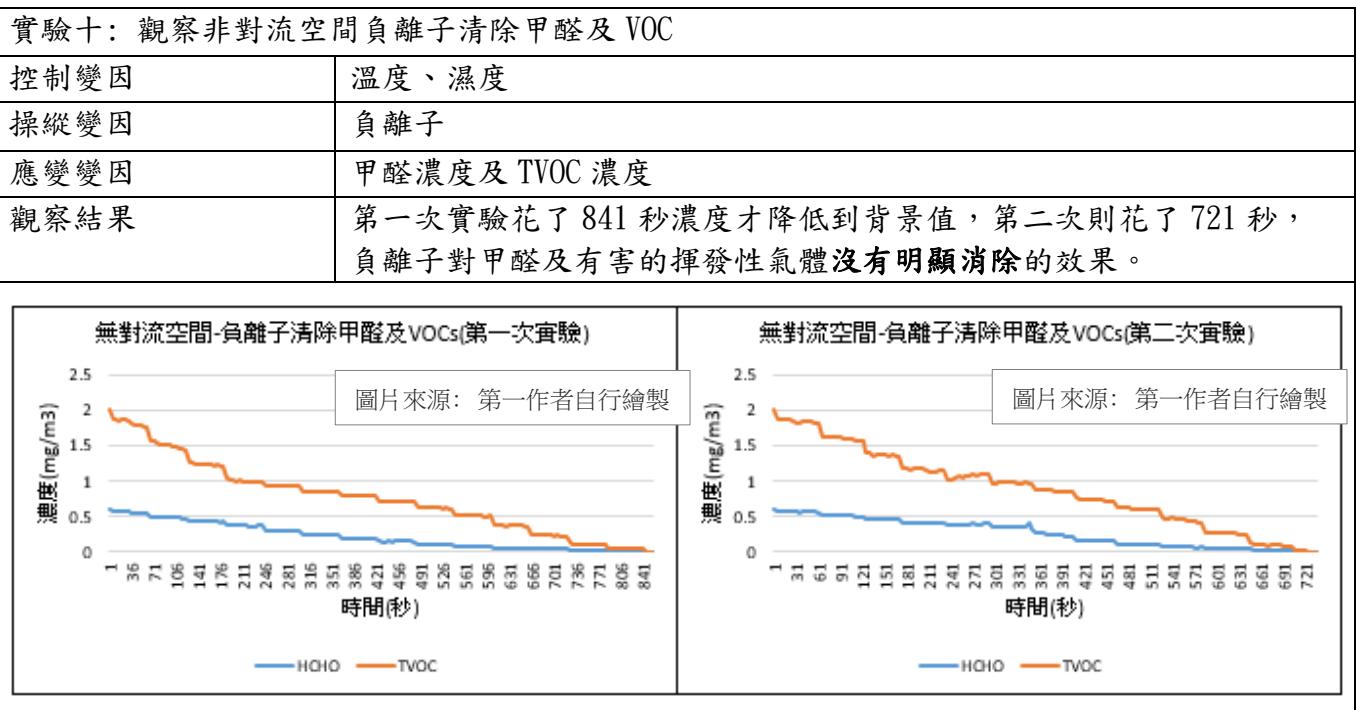
實驗九：觀察非對流空間等離子清除甲醛及 VOC	
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	等離子
應變變因	甲醛濃度及 TVOC 濃度
觀察結果	兩次結果非常相近，都在三分鐘內就快速將有害物質消除到背景值，可見等離子對甲醛及有害的揮發性氣體確實有消除的功效。

無對流空間-等離子清除甲醛及 VOCs(第一次實驗)

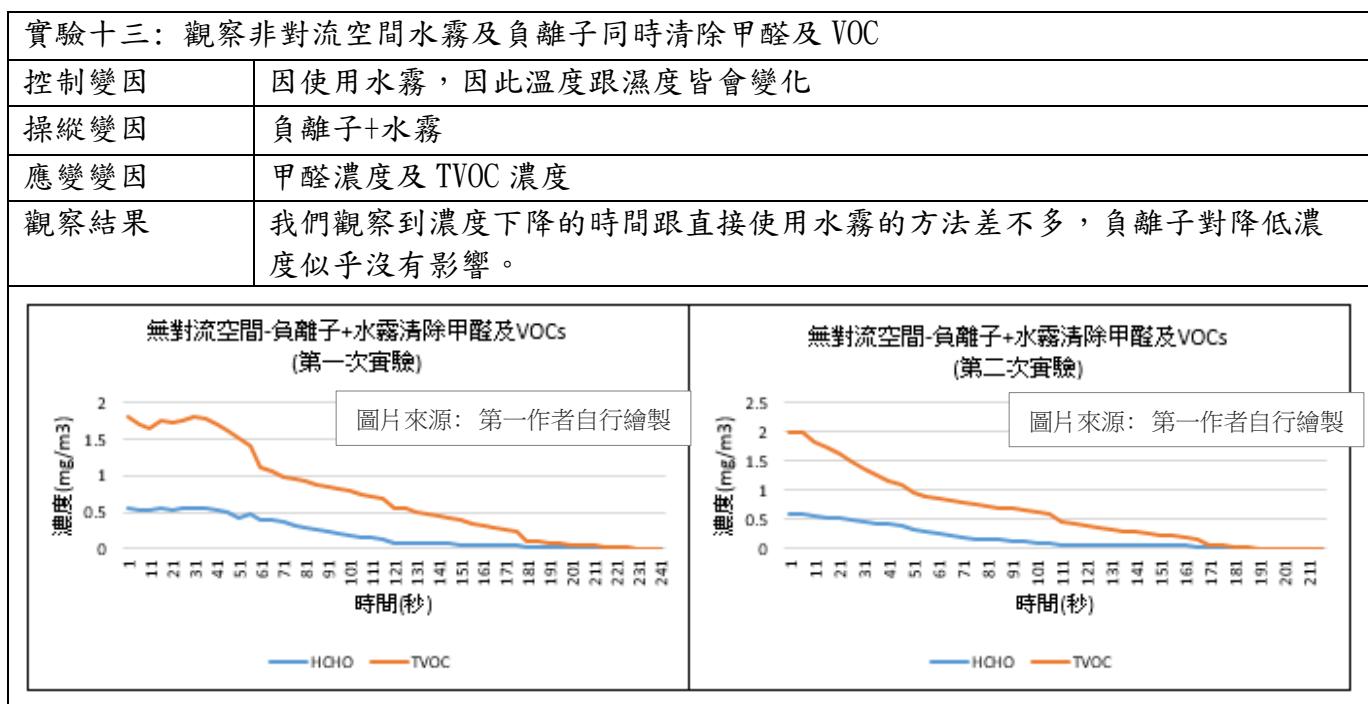
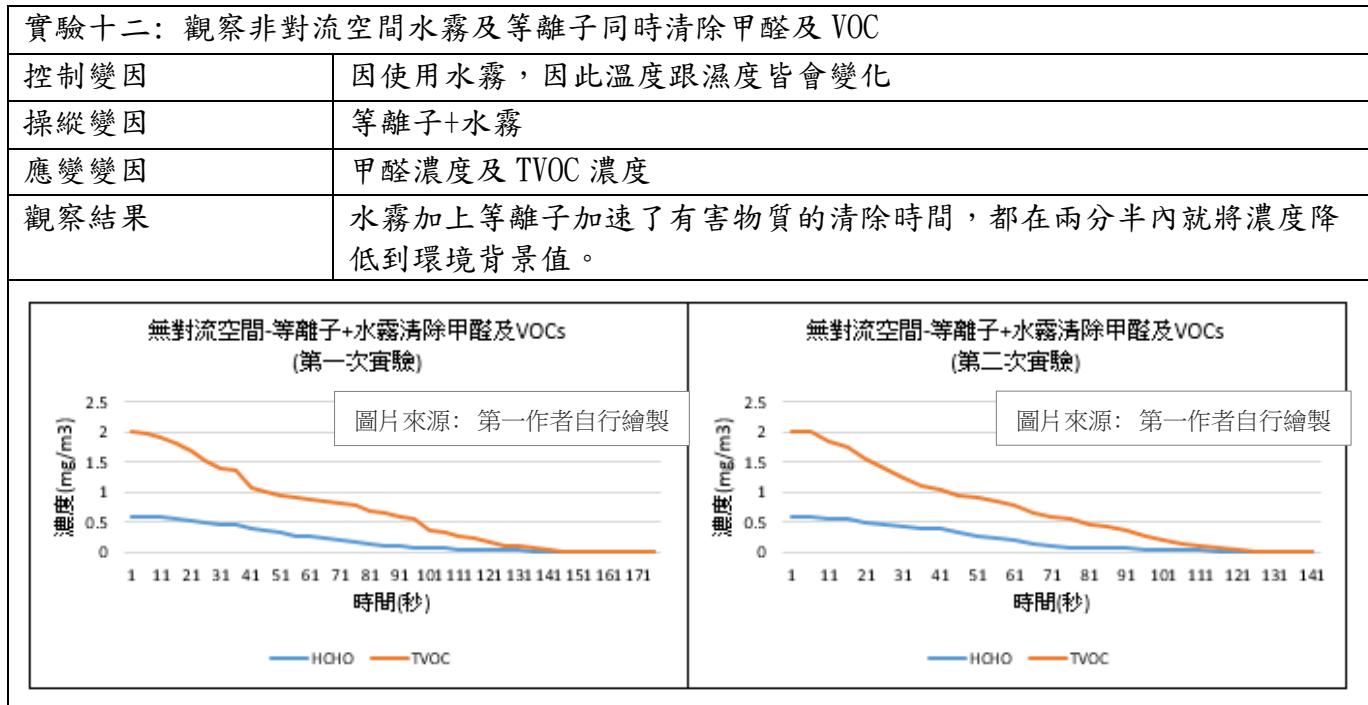
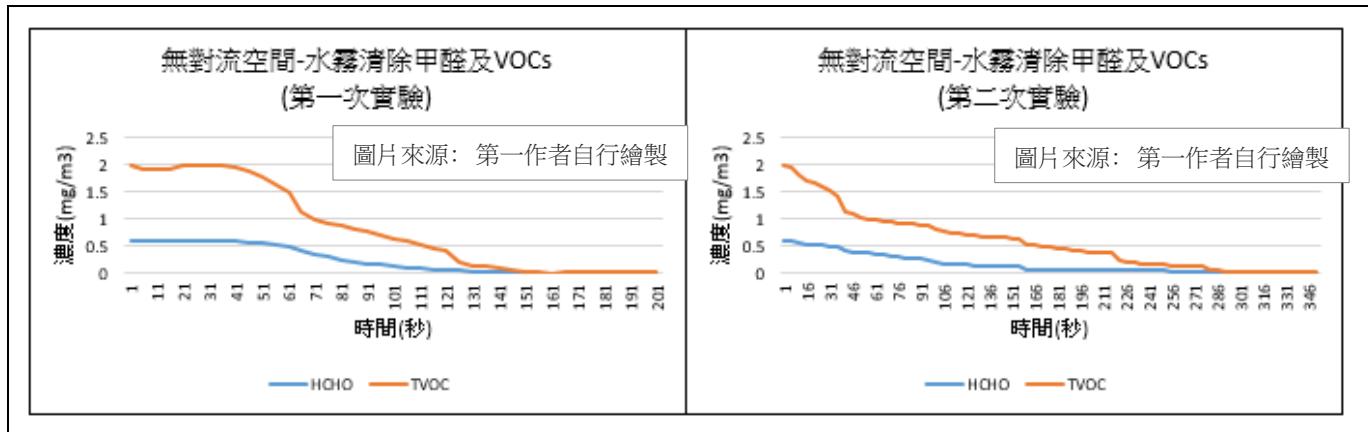
圖片來源：第一作者自行繪製

無對流空間-等離子清除甲醛及 VOCs(第二次實驗)

圖片來源：第一作者自行繪製



實驗十一：觀察非對流空間水霧清除甲醛及 VOC	
控制變因	因使用水霧，因此溫度跟濕度皆會變化
操縱變因	水霧
應變變因	甲醛濃度及 TVOC 濃度
觀察結果	第一次實驗花了 201 秒降低到背景值，第二次實驗花了 286 秒將有害物質消除到背景值，可見水霧也能消除對甲醛及有害的揮發性氣體。

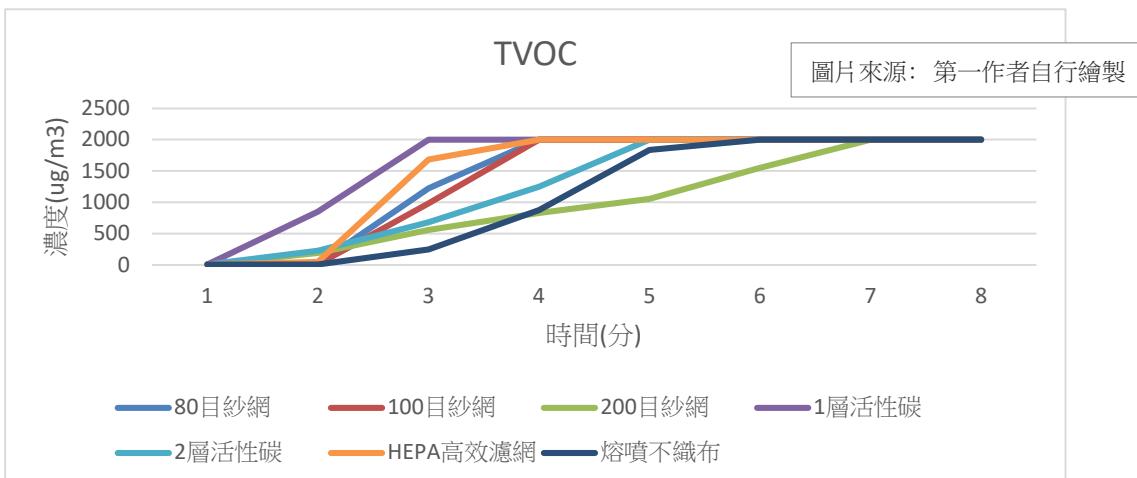


(三)、濾網實驗

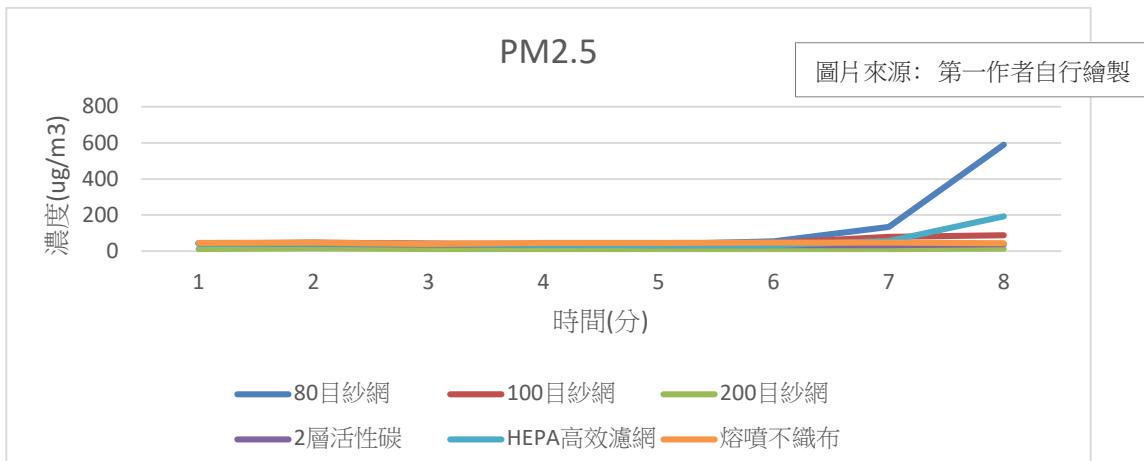
實驗十四：探討濾材對有害物質的隔絕效果

實驗方法	將濾材夾在中央通道中，將空氣感測器放在右側觀察箱，並在左側觀察箱點燃線香，觀察八分鐘內右側觀察箱感測器的數值。因為感測器的偵測濃度上限 TVOC 為 2000mg/m ³ ，因此 TVOC 的數值上限為 2000，實驗數據的實際值應該會更高。
控制變因	溫度、濕度
操縱變因	濾材種類:80 目紗網、100 目紗網、200 目紗網、1 層活性碳濾網、2 層活性碳濾網、HEPA 高效率網、口罩(熔噴不織布)
應變變因	懸浮微粒 PM2.5、TVOC 濃度
觀察結果	

觀察實驗各種濾材對於 TVOC 的結果如下圖所示:我們發現所有的濾材皆不能阻隔總揮發性氣體，每種不同的材質皆只能程度上延緩 TVOC 通過濾材，因此需要借助等離子技術去分解清除這種有害氣體，其中我們發現 200 目紗網對於延緩 TVOC 通過的效果最好，其次是熔噴不織布(口罩)，兩層活性碳濾網的效果也不錯，比較意外的是 HEPA 高效濾網的隔絕效果並不理想，從數據中，我們認為 200 目紗網跟活性碳濾網是製作濾網較佳的選擇。原因是因為紗網是可以清潔後重複利用，而活性碳濾網的價格不貴，這樣的組合不只符合我們的需求，也較為經濟環保。



觀察實驗各種濾材對於 TVOC 的結果如下圖所示:我們發現，除了 80 目紗網無法有效阻隔 PM2.5 以外，其餘濾材皆有不錯的表現。



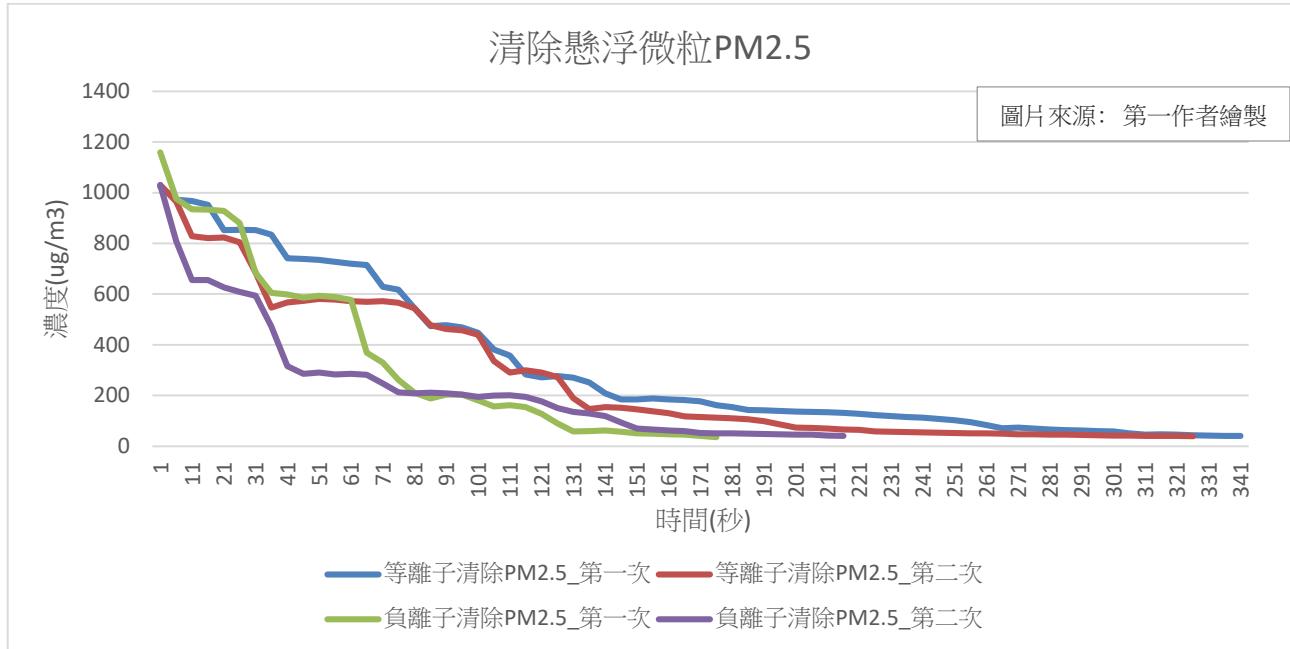
綜合上面的觀察結果，我們認為以兩層活性碳濾網及 200 目紗網來製作濾網最為合適。

肆、研究結果

一、實驗結果

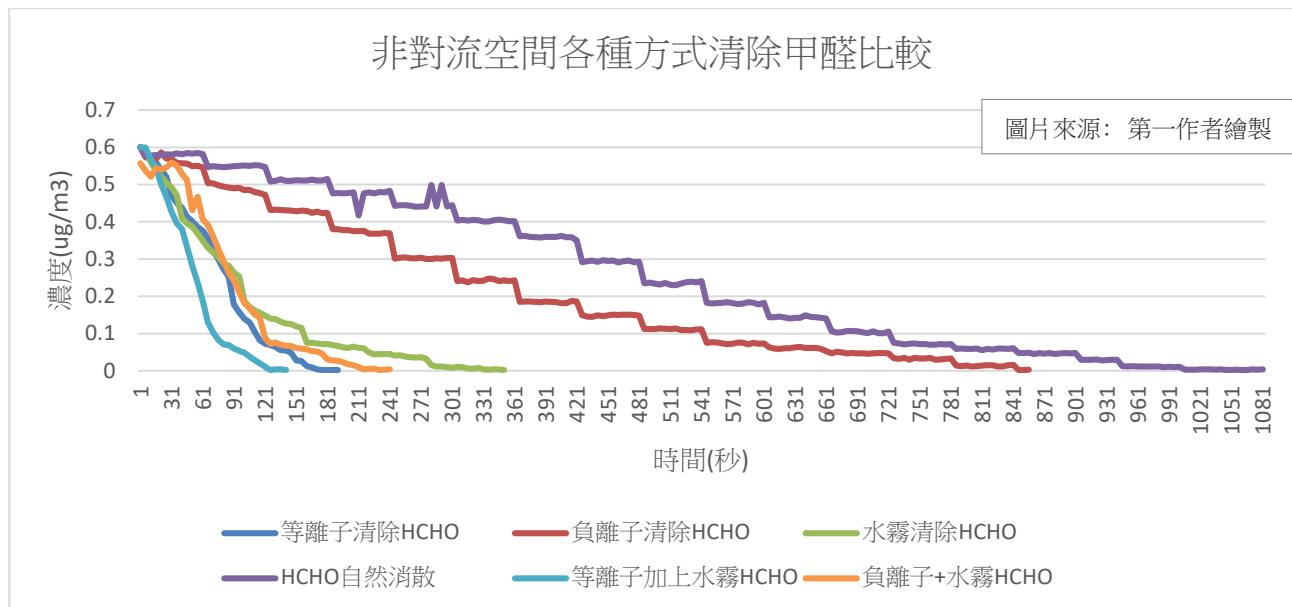
在主題二：探討非濾網的過濾方式實驗中，我們針對等離子、負離子及水霧進行清除空氣中懸浮微粒、甲醛及TVOC的研究，根據實驗的結果：

清除懸浮微粒部分，依據**實驗五、實驗六**的數據資料我們得到下圖：



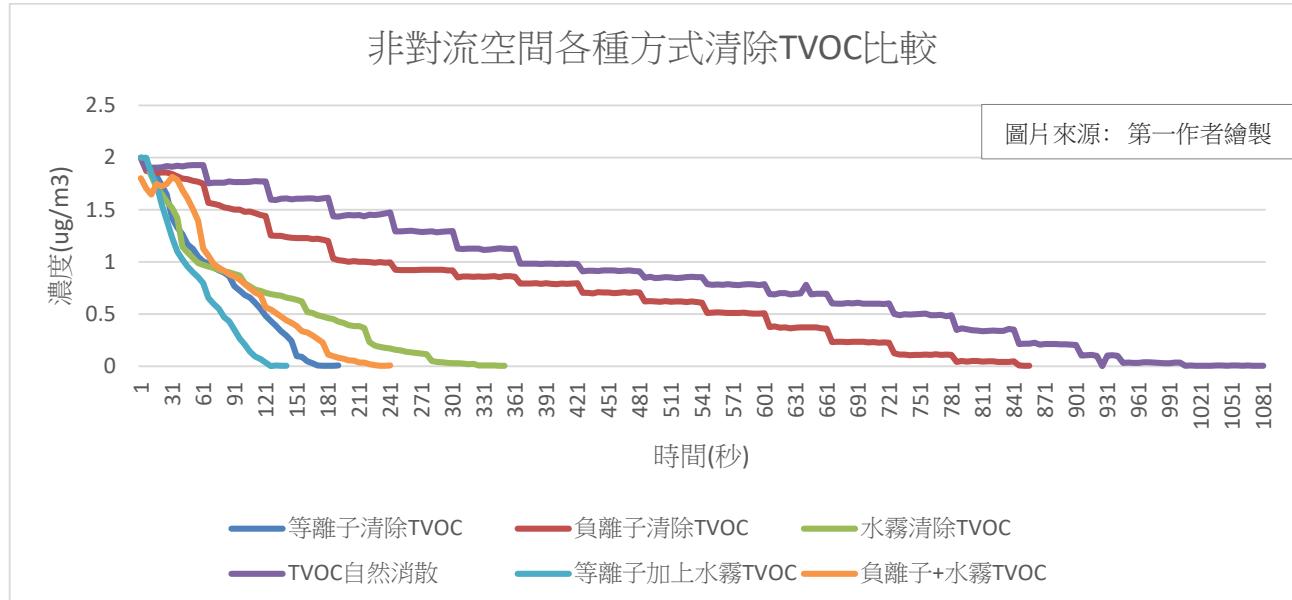
由圖中我們可以得知，兩次測試實驗中負離子在處理懸浮微粒的能力較等離子清除懸浮微粒來的好。

清除甲醛(HCHO)及總揮發氣體(TVOC)的部分，依據**實驗三、實驗九、實驗十、實驗十一、實驗十二及實驗十三**的數據資料，我們得到下圖：



非對流空間各種方式清除TVOC比較

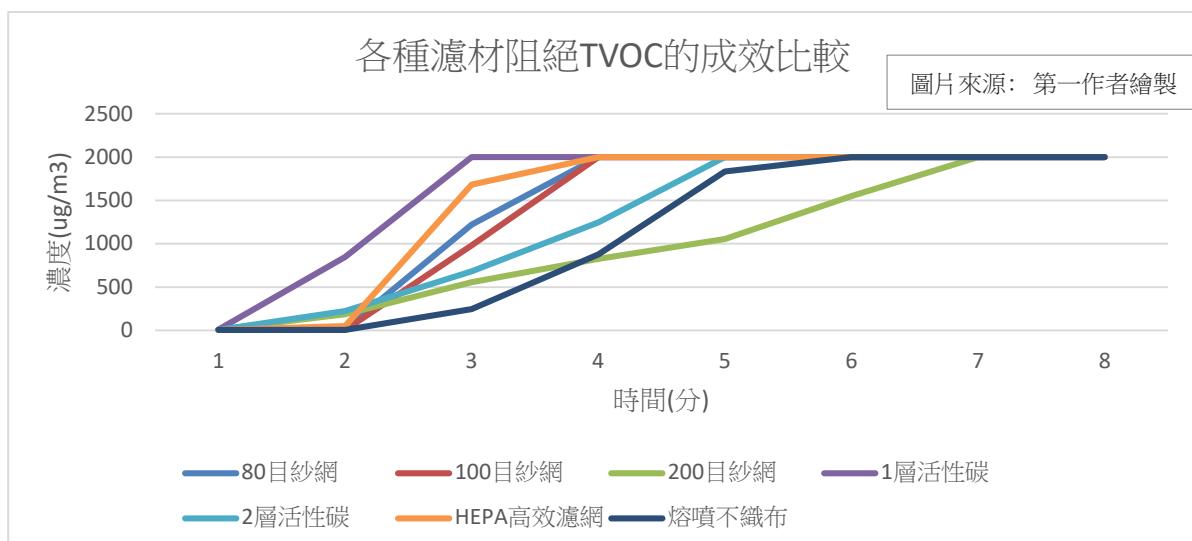
圖片來源：第一作者繪製



從上圖中我們得知以等離子加上水霧作為過濾方式去清除甲醛跟揮發性氣體的效果最好，其次是單獨使用等離子，從圖表中我們也觀察到負離子似乎能提升水霧清除有害氣體的效果，使用水霧清除揮發性氣體也有不錯的效果，而單獨使用負離子針對清除揮發性氣體的效果並不大。

從以上結論，我們認為在非濾材的部分，使用等離子是一個比較好的選擇，因為除了可以消除懸浮微粒之外，也可以清除總揮發性氣體TVOC。

在主題三：探討各種濾材的過濾成效部分，在實驗十四中，我們得知大部分的濾材對懸浮微粒的阻絕效果都不錯，但針對TVOC揮發性氣體而言，都只有延遲穿透的功能，並無法全面隔絕揮發性氣體，如下圖：

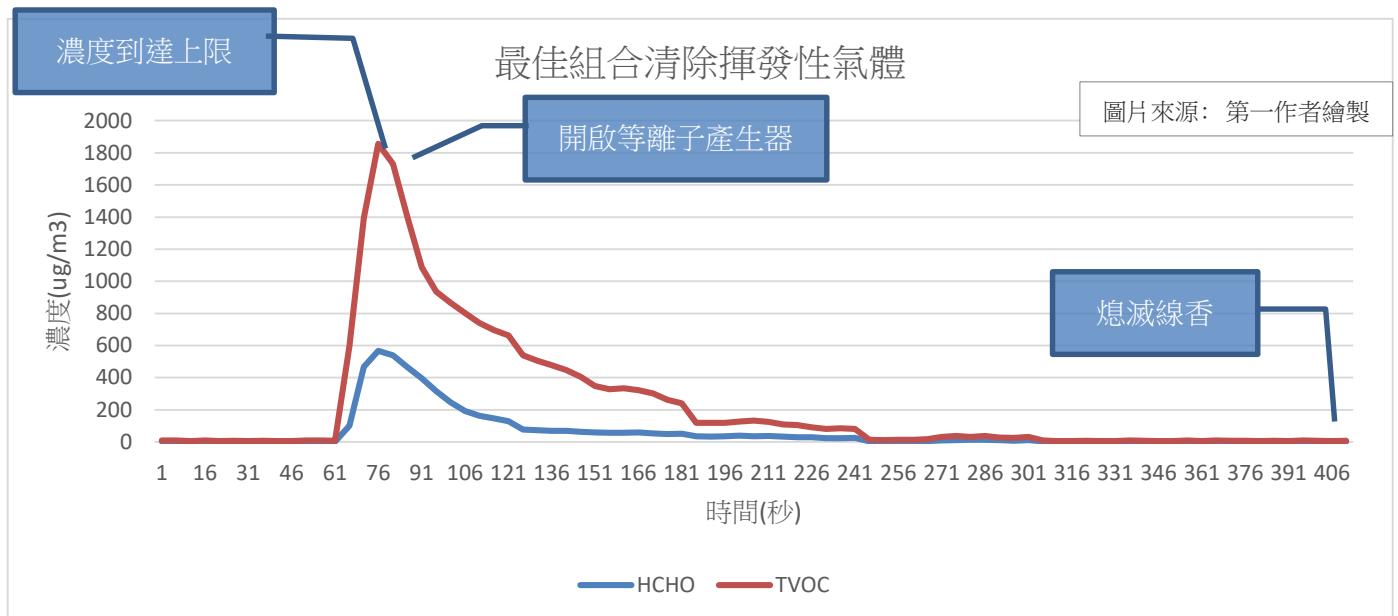
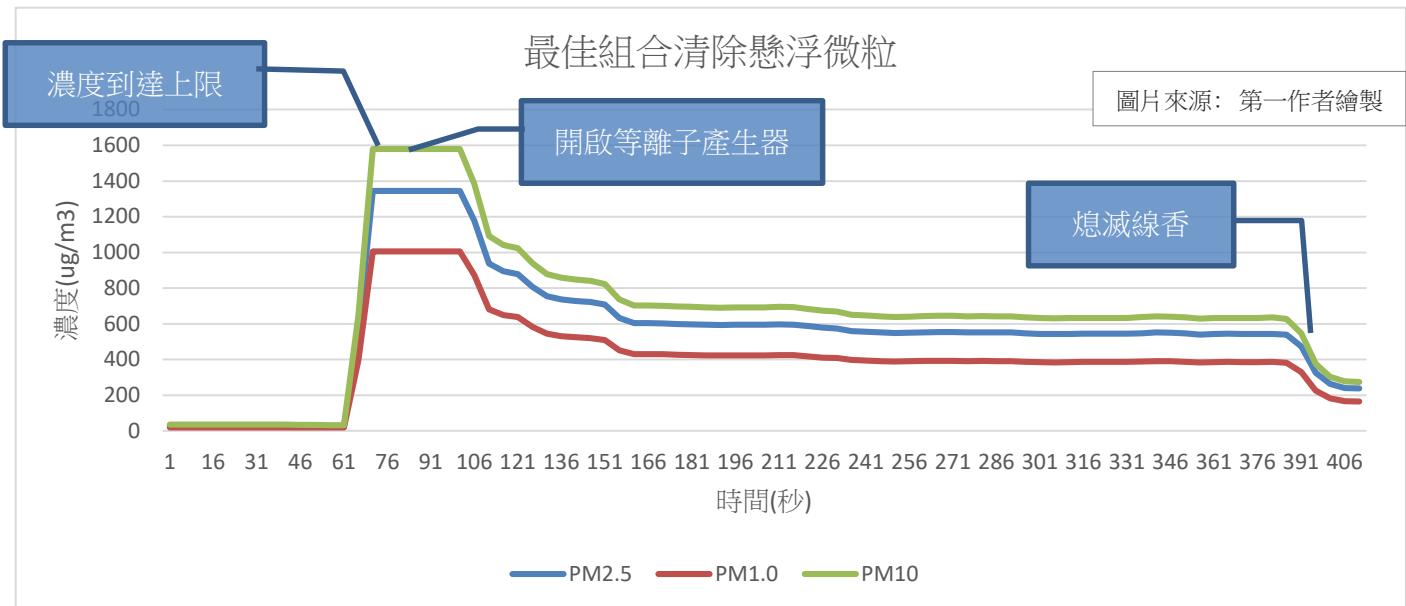


由圖中可以發現，各種濾材實驗下，TVOC濃度都會上升到感測器可偵測的濃度上限(2000 ug/m³)

，只是時間早晚的差別，如果要符合我們的研究目標達到經濟又環保的目的，活性碳濾網及200目紗網是較佳的選擇。

從研究主題二及研究主題三得到的結論，我們使用等離子產生器配合兩層活性碳濾網及200目紗網進行清除懸浮微粒及揮發性氣體的實驗：

我們在左側觀察箱點燃線香，直到濃度到達感測器可偵測上限，接著我們調整右側觀察箱出风口風扇維持風速為3m/s，同時啟動等離子產生器，觀察在對流狀態下，等離子結合我們找到的濾材最佳組合，清除懸浮微粒及揮發性氣體的效果，依據實驗數據(數據紀錄在實驗日誌)得到下圖：

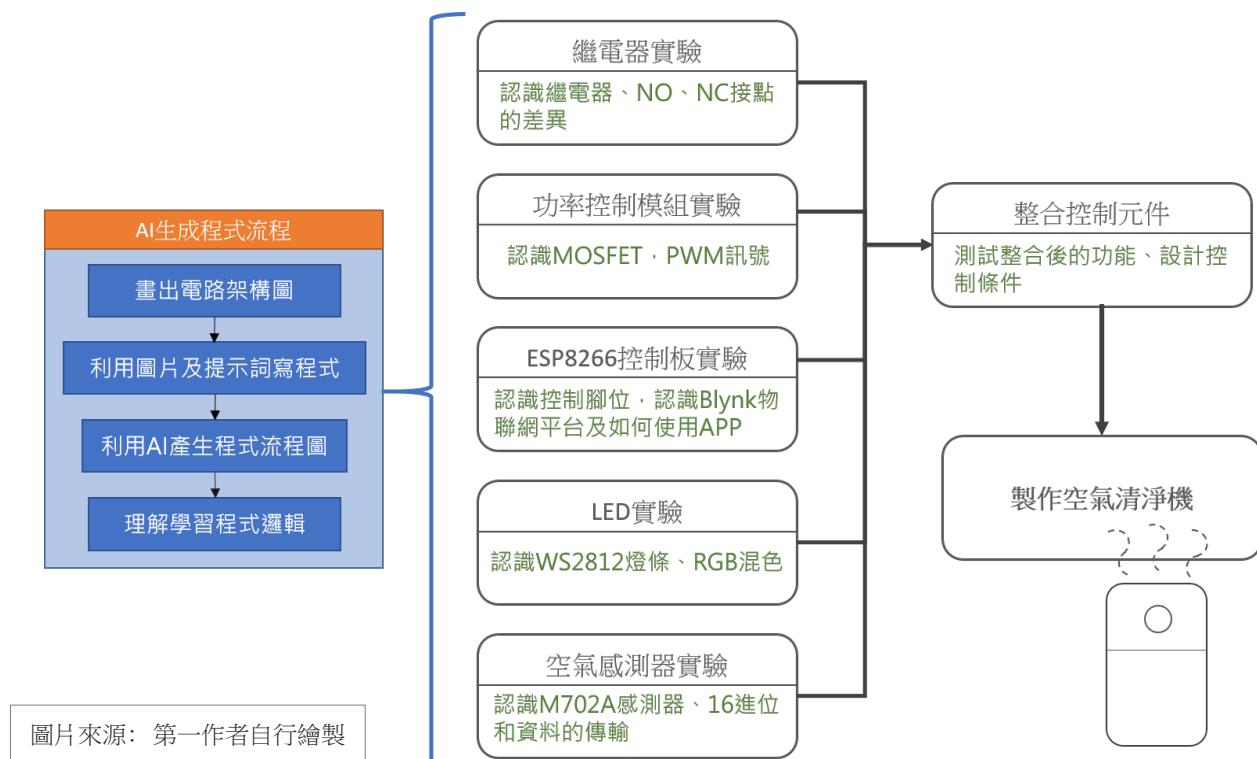


由上圖我們可以得知，等離子產生器配合兩層活性碳濾網及200目紗網能有效清除揮發性氣體，清除懸浮微粒也有不錯的效果。

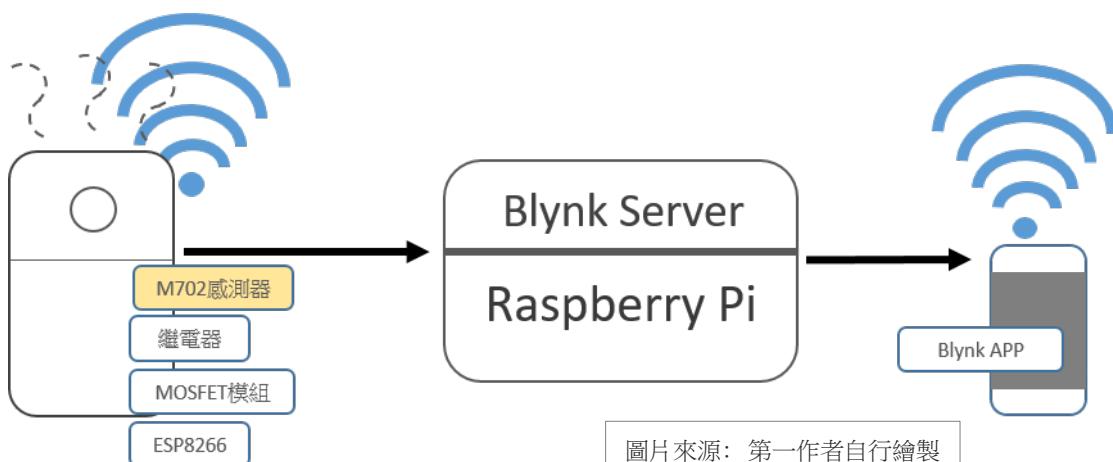
二、製作空氣清淨機

透過上述的實驗結果，我們決定使用等離子產生器配合兩層活性碳濾網及200目紗網來淨化空氣。在開始製作空氣清淨機前，我們先透過實驗認識各種控制元件，但撰寫程式對尚無基礎的我們而言太過困難。一開始我們是希望可以透過電腦老師協助，後來身為工程師的爸爸建議可以使用生成式AI來撰寫程式，並從中學習程式運作的邏輯，或許無法完全理解程式語法，但是可以讓AI生成解釋說明，幫助我們理解運作的邏輯。

最後我們決定透過cursor AI來撰寫arduino程式及註解說明，接著再透過Napkin AI這個服務來產生圖像化的流程圖，幫助我們理解程式內容。我們進行實驗的架構如下圖：



透過上面的實驗架構，我們認識了各種元件，並且透過AI完成了空氣清淨機的控制程式，透過生成式AI，我們可以在沒有能力自行撰寫程式的條件下，也可以做出可以正確執行的程式，而透過圖像化的流程圖，讓我們也對程式執行控制的流程有了深刻的認識。最後我們完成了空氣清淨機的控制程式，並將實驗的詳細步驟及過程記錄在實驗記錄日誌中。最後完成的空氣清淨機控制架構如下圖：



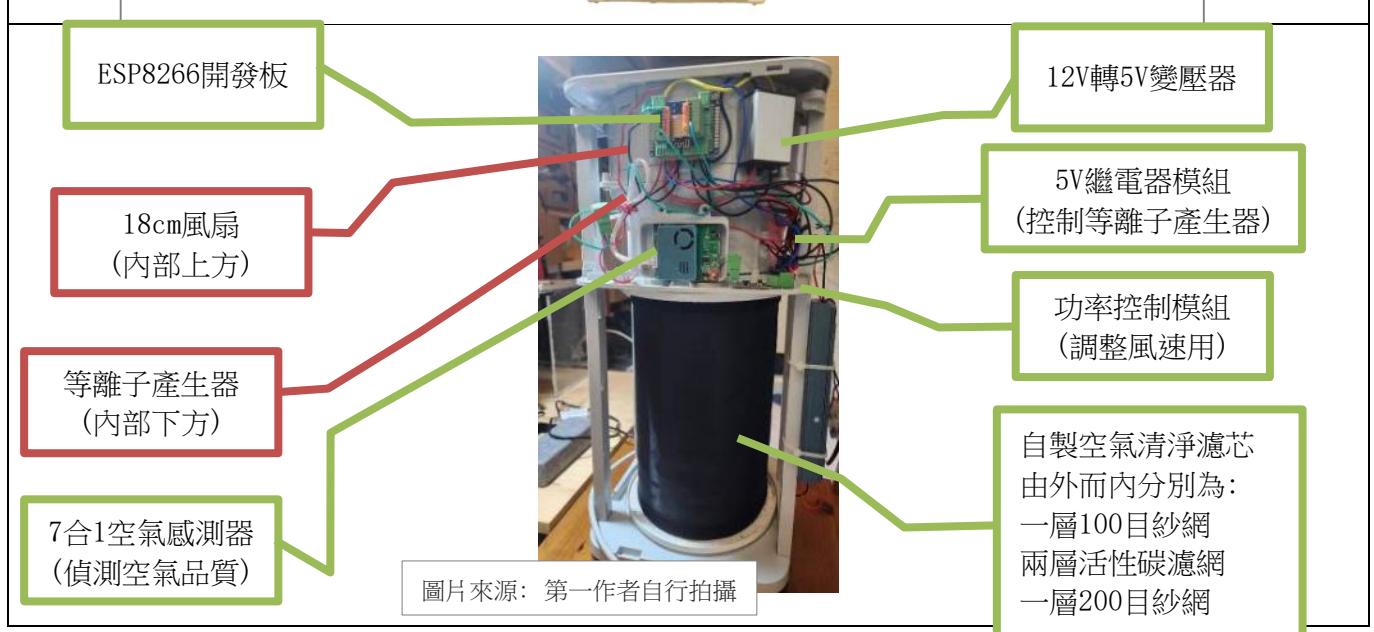
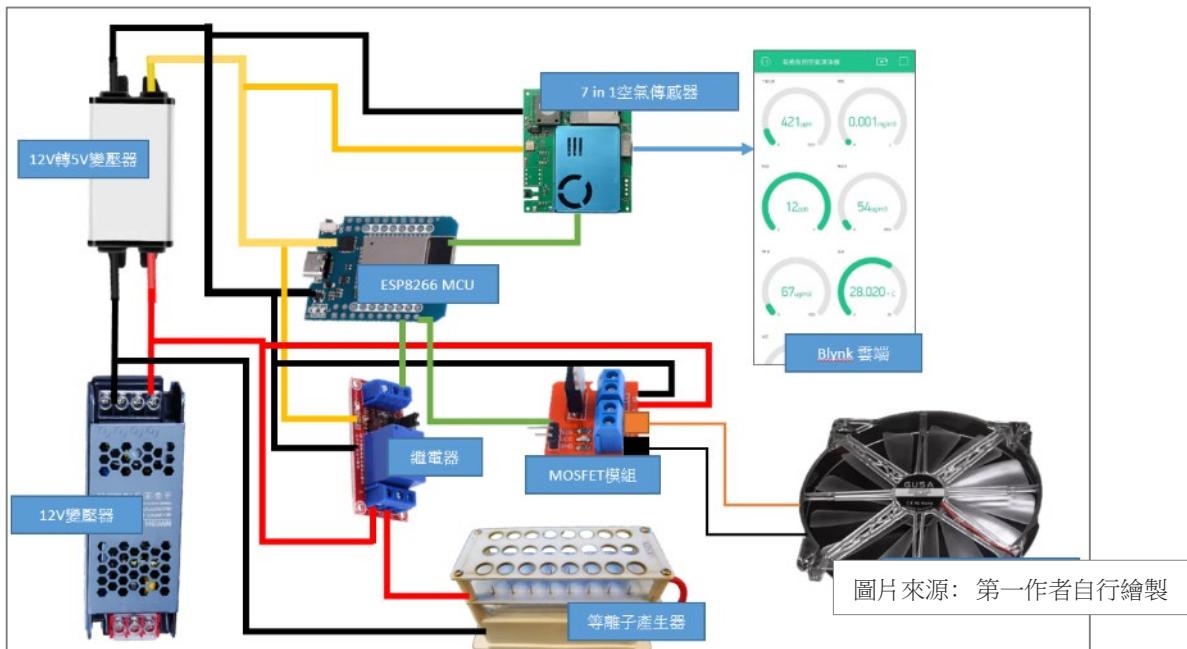
完成程式後，我們開始組裝空氣清淨機。我們找到了一台故障的空氣清淨機回收品，將清淨機的內部零件全部拆掉，只留下骨架，接著我們自製過濾網。從濾材的實驗中，我們發現活性碳能消除甲醛及揮發性氣體且價格便宜，而紗網能過濾懸浮微粒而且能水洗重複利用，和等離子一起清除有害物質有不錯的效果，因此我們決定選用了活性碳濾網、100目紗網、200目紗網作為濾網材料，並在濾網上方放置等離子產生器。



空氣清淨濾網製作



完成後電路架構如下：



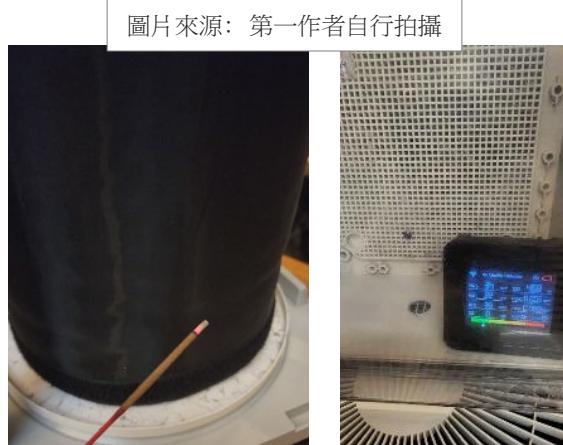
空氣清淨機效果測試

為了能實際測試空氣清淨機的效能，我們做了一個觀察箱，並在觀察箱的上下各開一個直徑 2cm 的孔，如下圖所示：



接著我們將空氣感測器放在觀察箱中，並將觀察箱放在空氣清淨機的出風口，讓清淨後的空氣流入觀察箱的下方進風口，並從上方出風口流出，我們藉由觀察空氣感測器的數值來確認空氣清淨機的效能。

我們在濾網前方點燃線香，保持清淨機排氣風速 3m/s，並觀察經過過濾後的空氣品質狀況，如下圖所示：



經過我們自製的空氣清淨機淨化的空氣結果為 PM_{2.5}: 34 ug/m³、甲醛: 0.003 mg/m³ TVOC: 0.009 mg/m³，有害物質並未明顯上升，我們認為有很好的成效。

另外，我們利用相同的方式分別至台灣電力公司南部發電廠及前鎮漁港進行實地測試：

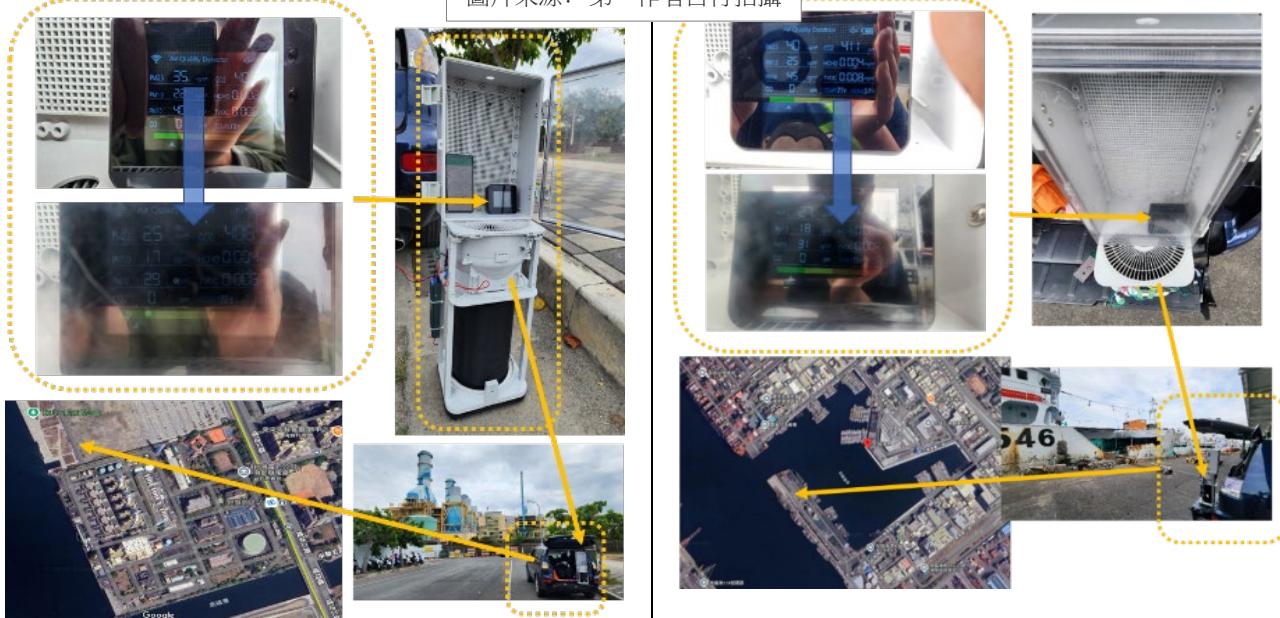
台灣電力公司南部發電廠：

我們在台電南部發電廠的後門外側測試，在測試前我們先量測周圍的空氣品質，發現現場的 PM2.5 為 $35\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM1.0 為 $22\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM10 為 $40\text{ ug}/\text{m}^3$ ，經過十分鐘的測試後，我們發現空氣測試箱的空氣品質改善了，PM2.5 為 $25\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM1.0 為 $17\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM10 為 $29\text{ ug}/\text{m}^3$ 。

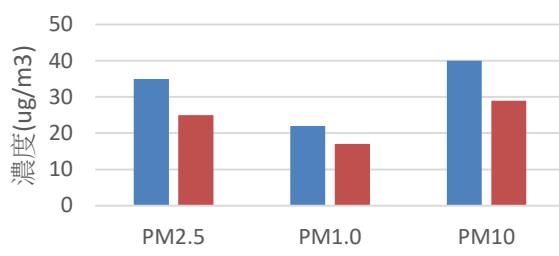
前鎮漁港：

我們在漁港的岸邊測試，測試前我們先量測周圍的空氣品質，現場的 PM2.5 為 $40\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM1.0 為 $25\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM10 為 $45\text{ ug}/\text{m}^3$ ，經過十分鐘的測試後，我們發現空氣測試箱的空氣品質改善為 PM2.5: $27\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM1.0 為 $18\text{ug}/\text{m}^3$ 、PM10 為 $31\text{ ug}/\text{m}^3$ 。

圖片來源：第一作者自行拍攝

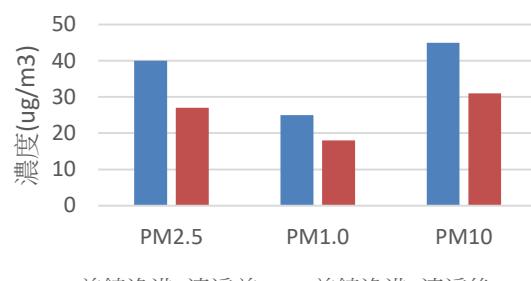


台電南部發電廠實地測試



圖片來源：第一作者自行繪製

前鎮漁港實地測試



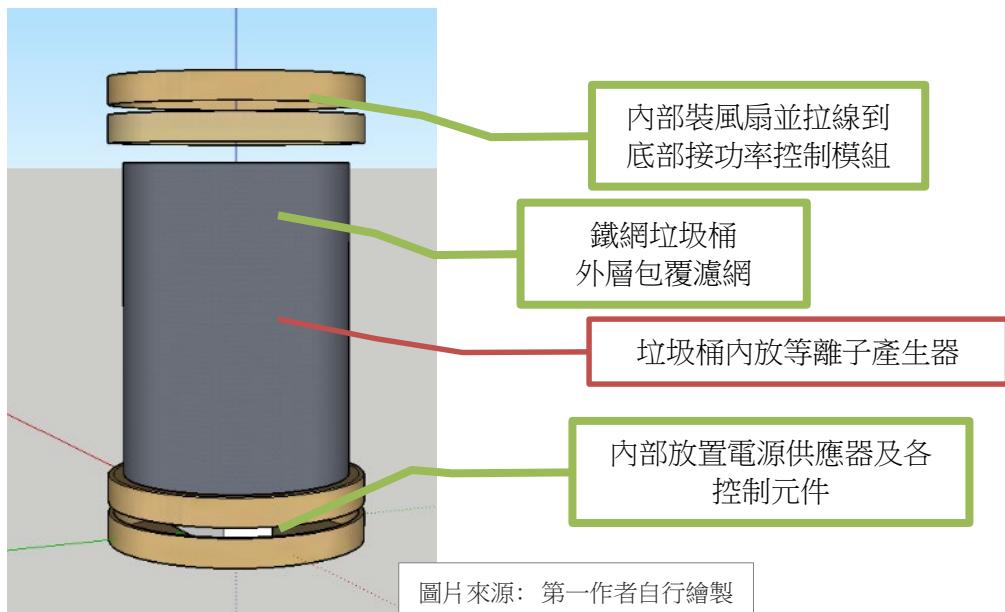
空氣改善率				
	PM2.5	PM1.0	PM10	
前鎮漁港		33%	28%	31%
台電南部發電廠		29%	23%	28%

由上面數據看來，我們的空氣清淨器在兩個實驗場所都能有效改善空氣品質，不過跟實驗結果的改善效率比較起來有一段差距，我們推測是因為實驗當天，空氣品質本來就不差，因此改善效果有限。

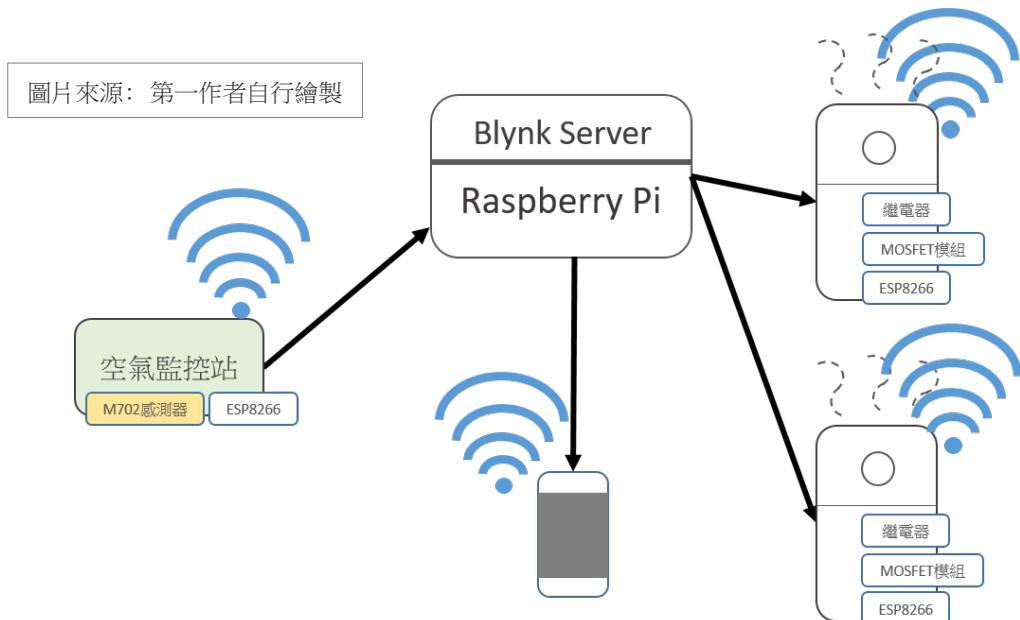
第二代空氣清淨機架構

經過實際測試空氣清淨機後，我們認為這樣的架構確實可以淨化髒空氣，但我們希望可以在經費許可的前提下將空氣清淨機做為學校教室的標準配備。因此我們開始思考該如何更改清淨機的架構，畢竟我們無法找到這麼多廢棄的空氣清淨機。

最後我們想到利用鐵網垃圾桶作為清淨機的主體，並在外面包覆我們自製的空氣濾網，最後在垃圾桶上面加裝風扇，並將控制的相關零件塞到垃圾桶下。最後我們設計出第二版的空氣清淨機，如下圖：



另外，我們這次設計讓空氣感測器變成獨立的空氣感測站，這樣只要將感測器放在走廊，教室內的空氣清淨機就可以依據室外空氣品質預先運作；或者將感測器放在窗邊，這樣空氣清淨機就不會因為室內空氣不良才啟動，而是周邊感測到髒空氣就預先運作。同時，因為空氣感測器是整個空氣清淨中最貴的元件，設計成一對多的架構，也可以降低空氣清淨機的造價，提高未來在學校普及化的機會。整體的系統架構如下圖：



第二代空氣清淨機製作過程



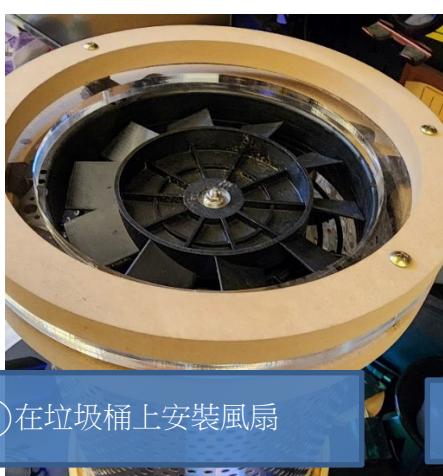
① 在底盤壓克力組裝LED燈條



② 在底座裝上電源供應器並測試變壓器電壓



③ 預先規劃接線方式



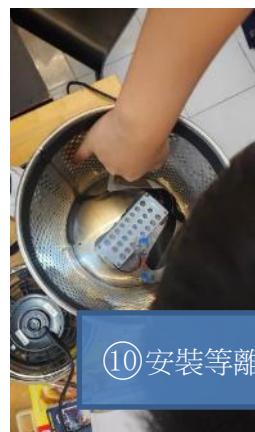
⑤ 在垃圾桶上安裝風扇



⑦ 組合完成通電測試



⑨ 固定濾網



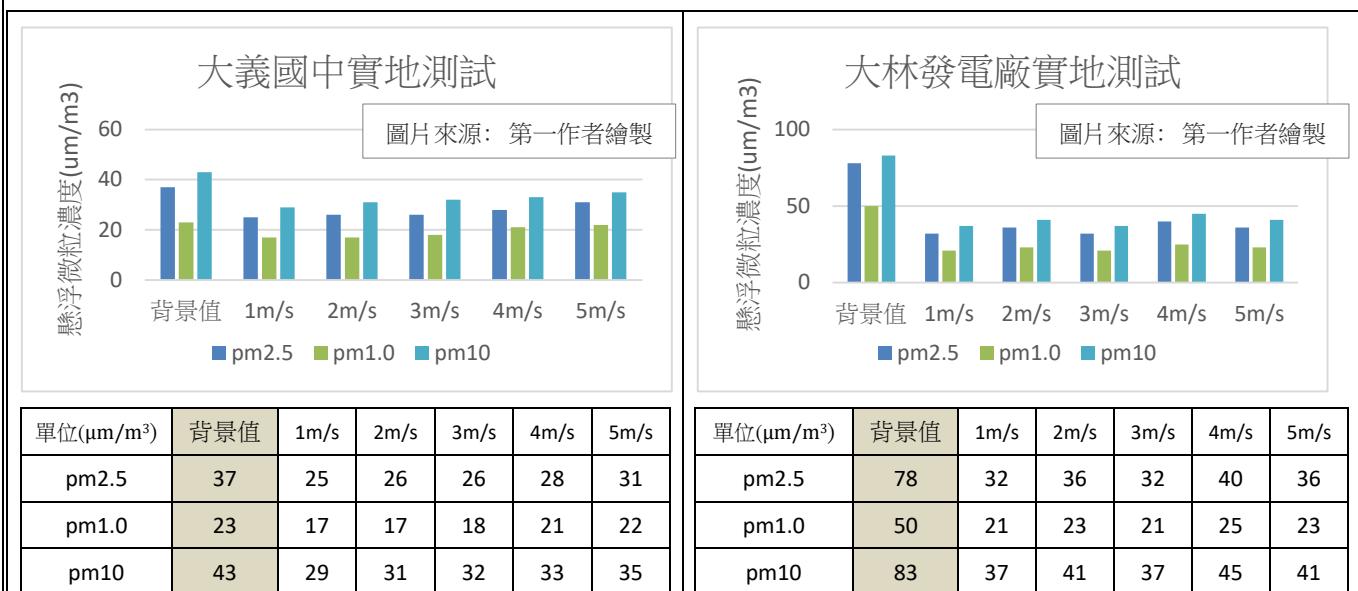
⑩ 安裝等離子產生器

第二次實地測試

為了可以確認空氣清淨機的效率，我們在選定測試地點前先查詢實時空氣質量指數地圖[12]這個網站，我們選了兩個數值偏高的地點，分別是左營區大義國中($65 \mu\text{m}/\text{m}^3$)及林園區大林發電廠($112 \mu\text{m}/\text{m}^3$)。本次實驗我們還探討不同的進氣量(調整風扇風速)對於空氣清淨的功效。

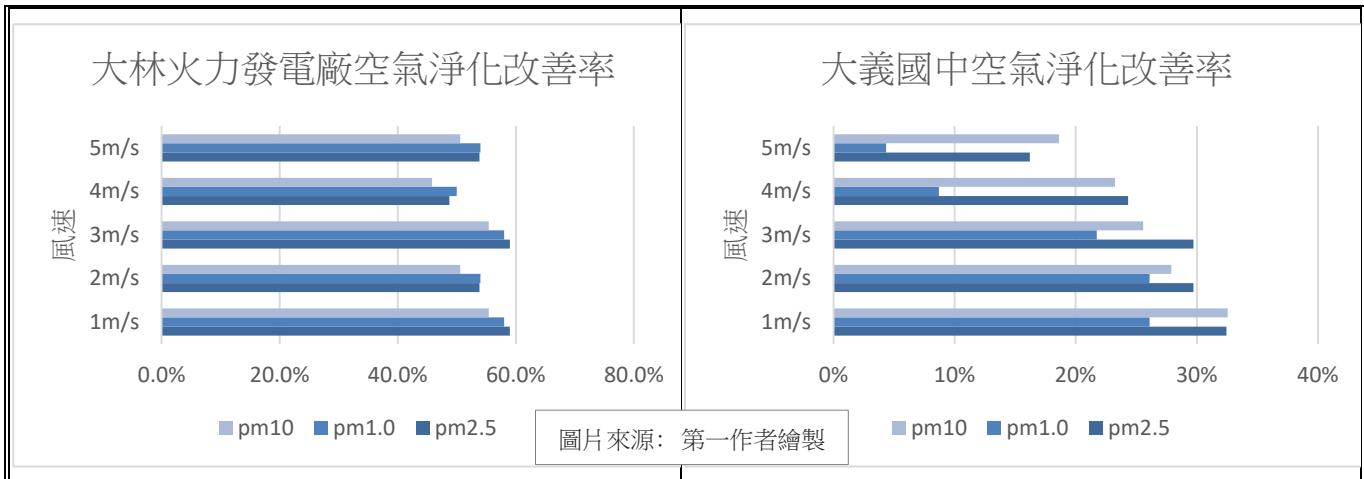


以下是現場實地測試的結果：

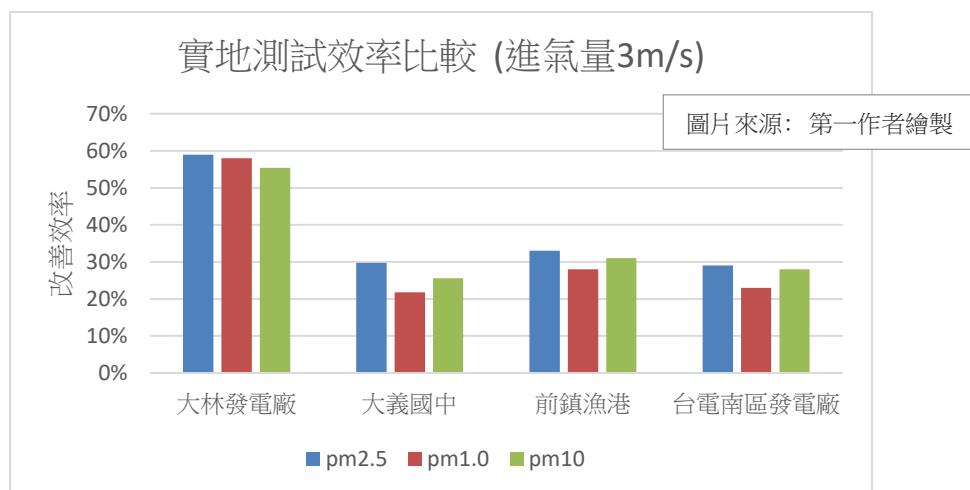


從實地測試的實驗結果中，我們發現網站上的感測數據不見得準確，例如網站上大義國中的 pm2.5 數值為 $65 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ，但是實際上到現場只測到 $37 \mu\text{m}/\text{m}^3$ 。另外我們在各種進氣量下測試空氣清淨機的效能，發現在高汙染背景值的大林火力發電廠的測試效能最好，兩個測試場地改善率如下表：

大林火力發電廠改善率						大義國中改善率					
改善率	1m/s	2m/s	3m/s	4m/s	5m/s	改善率	1m/s	2m/s	3m/s	4m/s	5m/s
pm2.5	59.0%	53.8%	59.0%	48.7%	53.8%	pm2.5	32%	30%	30%	24%	16%
pm1.0	58.0%	54.0%	58.0%	50.0%	54.0%	pm1.0	26%	26%	22%	9%	4%
pm10	55.4%	50.6%	55.4%	45.8%	50.6%	pm10	33%	28%	26%	23%	19%



從上面的數據看來，我們發現進氣量在 3m/s 以下，淨化空氣的改善率較為穩定。另外，在高汙染的環境(如大林火力發電廠)下，空氣淨化的改善率皆高達 50%以上。我們最後比較四個實地測試場地在相同進氣量(3m/s)下的淨化改善率，如下圖：



從上圖中，我們可以發現在低汙染源($40\mu\text{m}/\text{m}^3$ 以下)環境下，兩種空氣清淨機的改善率約有 30%，而高汙染源環境下($117\mu\text{m}/\text{m}^3$) 空氣改善率皆達到 50%以上，我們認為我們的空氣清淨機有不錯的淨化成效。

第二代空氣清淨機因為採取分散式的架構，因此最貴的空氣感測器不必每一個清淨機都安裝，因此材料費可以減少： $663/(1810+663)=26.8\%$ ，製作的材料費如下表：

空氣清淨機材料費(網路購買)		單位:元
電子元件		結構及濾材
等離子產生器	306	垃圾桶
12V 轉 5V 變壓器	59	木托盤 x2
12V 電源供應器	123	密集板木環 x2
NodeMCU D1 mini	46	10mm 壓克力環(含加工)
繼電器	12	10mm 活性碳濾棉(28cm*70cm)
MOSFET 模組	31	防霾紗網 200 目(28cm*70cm)
WS2812(39 顆 LED)	37	防霾紗網 100 目(28cm*70cm)
M702A 空氣感測器	663	12V 風扇
總計:		1810 元

伍、結論

1. 在通風不良的空間內，空氣中的危害因子要消散需要花很長的時間，像是廟宇或者是室內二手菸等環境對於人體健康的危害很大。因此保持通風良好是一件很重要的事情。
2. 懸浮微粒會隨著因溫度上升產生的對流進行垂直面的上下移動，也會隨著風的流動產生水平面的漂移。因此冬天會因對流較差，導致靠近地面空氣品質較差。
3. 懸浮微粒及總揮發性氣體(TVOC)會從濃度高的地方擴散到濃度低的地方。
4. 負離子對於懸浮微粒等細微顆粒有良好的消除能力，但對甲醛及TVOC的效果不大。
5. 等離子對於懸浮微粒的處理能力跟負離子比較起來稍差，但對甲醛及TVOC的清除能力有不錯的效果。
6. 水霧也可以清淨空氣中的揮發性氣體，帶負電的水霧對於清除懸浮微粒應該也有不錯的效果，但因水霧可能被辨識為懸浮微粒等細微顆粒，因此無法實際使用光學的PM2.5感測器測量。
7. 水霧加上等離子對於清淨懸浮微粒及揮發性氣體的能力最佳。
8. 無對流的情況下防霾紗網對於阻絕懸浮微粒是有效果的，但是在有對流的情況下，懸浮微粒一樣可以穿透防霾紗網，因此在開窗的情況下使用防霾紗網我們認為效果有限，需要搭配空氣清淨機才能維持良好的空氣品質。
9. 活性碳濾網在足夠的厚度(本實驗為6mm)下有不錯的阻絕能力，但濾材使用上需要考慮通風量。
10. 大多數的濾材皆可在無對流的環境下阻絕大部分的懸浮微粒，但在有對流的環境下，我們觀察到都有穿透濾材的現象。
11. Cursor AI這個軟體可以讓不懂程式語言的人輕鬆寫出程式，但是仍然需要專業的老師幫忙檢查是否有錯誤。
12. 在這次的研究中，我們認識了空氣中的危害因子以及負離子、等離子這些課本中尚未能學習到的內容。也透過這次的研究，認識了功率控制模組、ESP8266控制板等電子零件。
13. 我們成功自製空氣濾網，並透過生活中的素材完成了自製的空氣清淨機，而且空氣清淨的能力不錯，在低汙染環境下改善率約達30%，而高汙染的環境下改善率達50%以上。

陸、未來展望

本次研究尚有不足的地方，例如：

1. 實地測試的場域只有四個，其中三個測試場地當時空氣品質並不差，只有一個是高汙染環境，我們希望能再多找幾個高污染的地方實地測試空氣清淨機的功效。
2. 實地測試我們只探討懸浮微粒的淨化成效，將來希望進一步找到高揮發性氣體污染的場域(例如廟宇)探討TVOC等揮發性氣體的改善成效。
3. 對於濾材的實驗樣本不夠多，未來我們希望探討更多種濾材，並透過各種組合實驗來找到更佳的濾材組合，藉此製作出更好的空氣濾網。
4. 我們的目標是希望能讓空氣清淨機成為每班的標準配備，我們後來改用通用的材料來製作空氣清淨機，而非使用回收的廢棄清淨機改裝，雖然已經製作完成，但由於時程的關係並未實地應用在教室內進行實際的探討，未來如果有足夠的經費，希望可以多製作幾台第二代空氣清淨機來完成這個計畫。
5. 我們使用線香作為實驗的汙染源，如果可以探討不同的汙染源，或許會更有趣。
6. 未來我們希望能進一步與市售清淨機的清淨成效作比較。

柒、 參考文獻資料

- [1] 112年高雄市環境保護統計年報。高雄市政府環境保護局(中華民國113年 5月出版)。
- [2] 環境部空氣品質監測網，<https://airtw.moenv.gov.tw/>
- [3] 白崢鉅工程師。室內空氣品質改善技術簡介。財團法人台灣產業服務基金會
- [4] 凤山國中，室內空氣品質改善策略-活性碳濾網空氣清淨機、沸石加活性碳濾網空氣清淨機、植栽(虎尾蘭)的效果探討。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [5] 小港高中，空氣中的隱形殺手PM2.5。。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [6] 五福國中，我很小但是我很恐怖~高雄pm2.5細懸浮微粒影響之因素與口罩防治空氣汙染之探討。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [7] 後庄國小，「眼不見為淨？」自製空氣淨化 裝置在學習環境運用之探究。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [8] 中山國中，自製空氣清淨機。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [9] 楠陽國小，自製空氣過濾箱-探討空氣濾材組合對懸浮微粒阻隔之影響。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [10] 高雄中學，不「負」眾望—負離子應用於改善空污之研究。高雄市中小學科學展覽會作品。
- [11] 碩鈞科技股份有限公司，https://www.bitek.com.tw/hot_357684.html
- [12] 實時空氣質量指數地圖，<https://aqicn.org/city/kaohsiung-city/>

【評語】082807

本作品設計了一個實驗箱體，運用負離子、等離子及水霧及濾網裝置，透過實驗分析各種裝置及其組合對於空氣中包括 VOC 與甲醛等有害汙染物的消除成效，並進而根據研究成果設計製作了空氣濾清機。實驗設計有條不紊，結果分析具有良好的邏輯推論，製作的空氣濾清機原型包括了感測及控制元件的整合，並有逐步改良，呈現良好的科技產品研發精神。這個主題發想源自作者從生活經驗中觀察到的空汙議題，貼近環保、健康與人類生活，立意良好。鼓勵作者對於空氣濾清機中的流場設計、汙染物的捕捉與收集等機制透過工程原理系統化地進一步深入優化分析，兼顧空汙消除效益與經濟節能目標，得到最佳化的設計。

作品海報

有抱「負」的魔術相

摘要

本研究探討研究等離子、負離子及水霧清除總揮發性氣體(TVOC)的成效，並透過HEPA濾網、活性碳濾網、不同孔洞紗網、熔噴不織布等濾材來進行實驗找出較佳的濾網組合。我們利用200目防霾紗網及活性碳濾棉自製空氣濾網，並將等離子注入空氣濾網內部，藉此方式過濾懸浮微粒、甲醛及總揮發氣體(TVOC)等有害物體。最後我們做出經濟又環保的空氣清淨器來改善室內的空氣品質。

研究動機

在一次課程活動中，我們在壽山俯瞰高雄市，驚覺整座城市籠罩在混濁空氣中，進而意識到高雄的空氣污染問題相當嚴重。由於高雄是以石化、鋼鐵、電力等重工業為主的城市，加上機動車輛數量龐大，導致空氣品質長期不佳。我們希望透過研究空氣淨化的相關知識製作空氣清淨機，期望在污染源無法立即改善的情況下，減少空氣在室內空間對人體健康的傷害，創造更安全的學習環境。

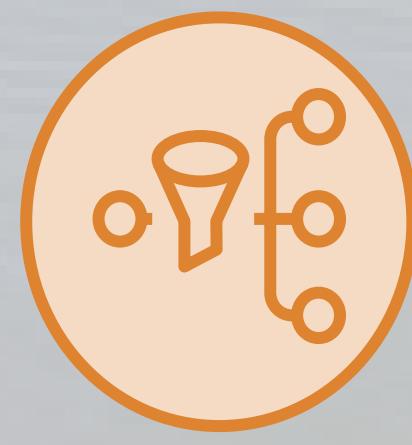
研究目的



認識空氣中的危害因子



探討負離子及等離子消除空氣污染的成效

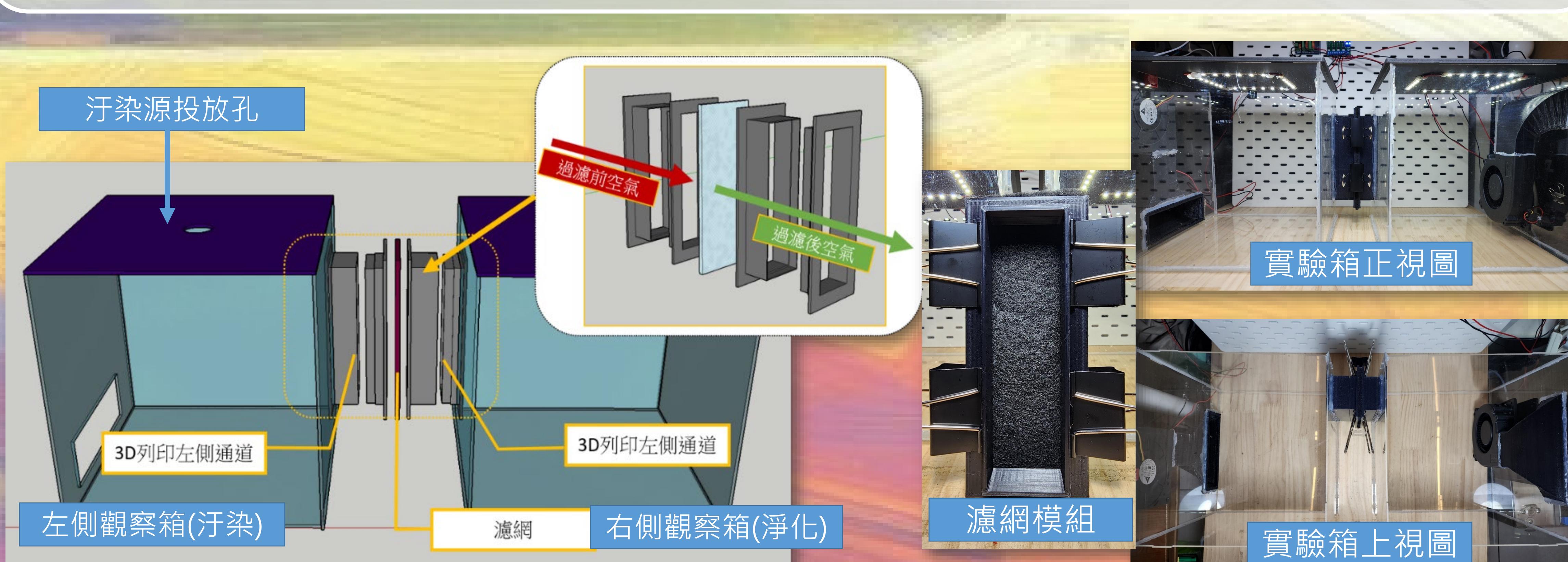


探討各種濾網對危害因子的過濾效果



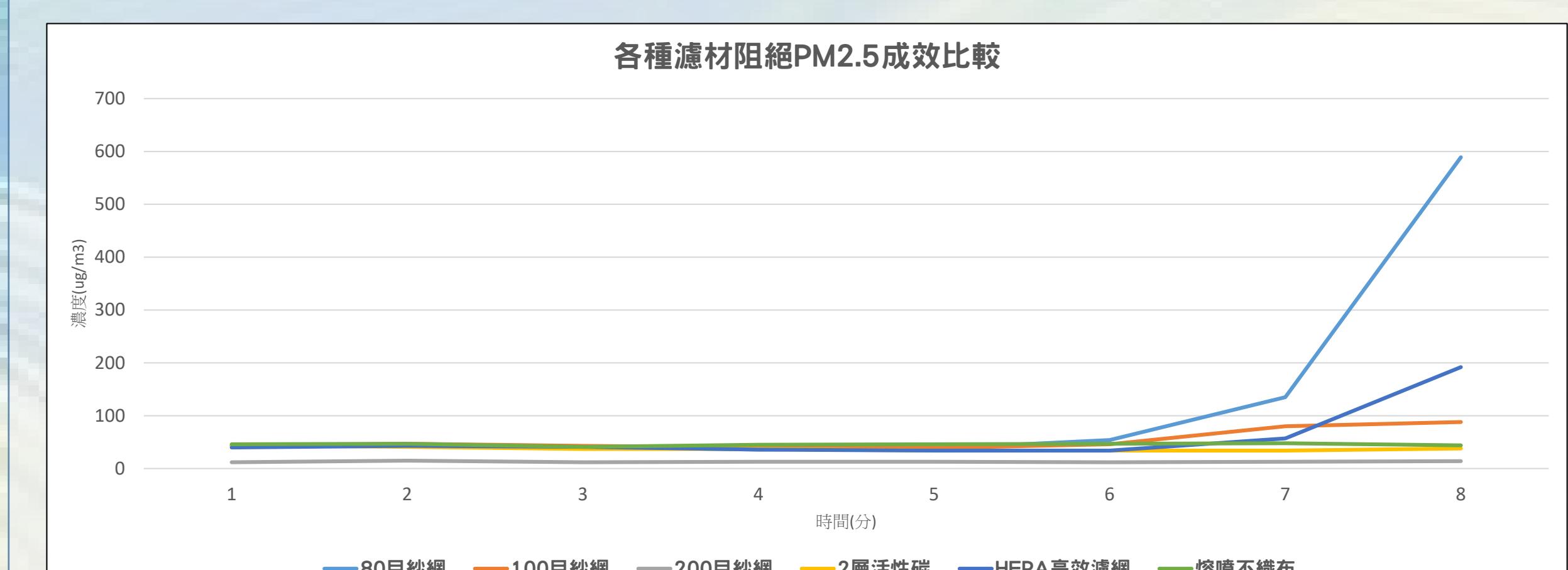
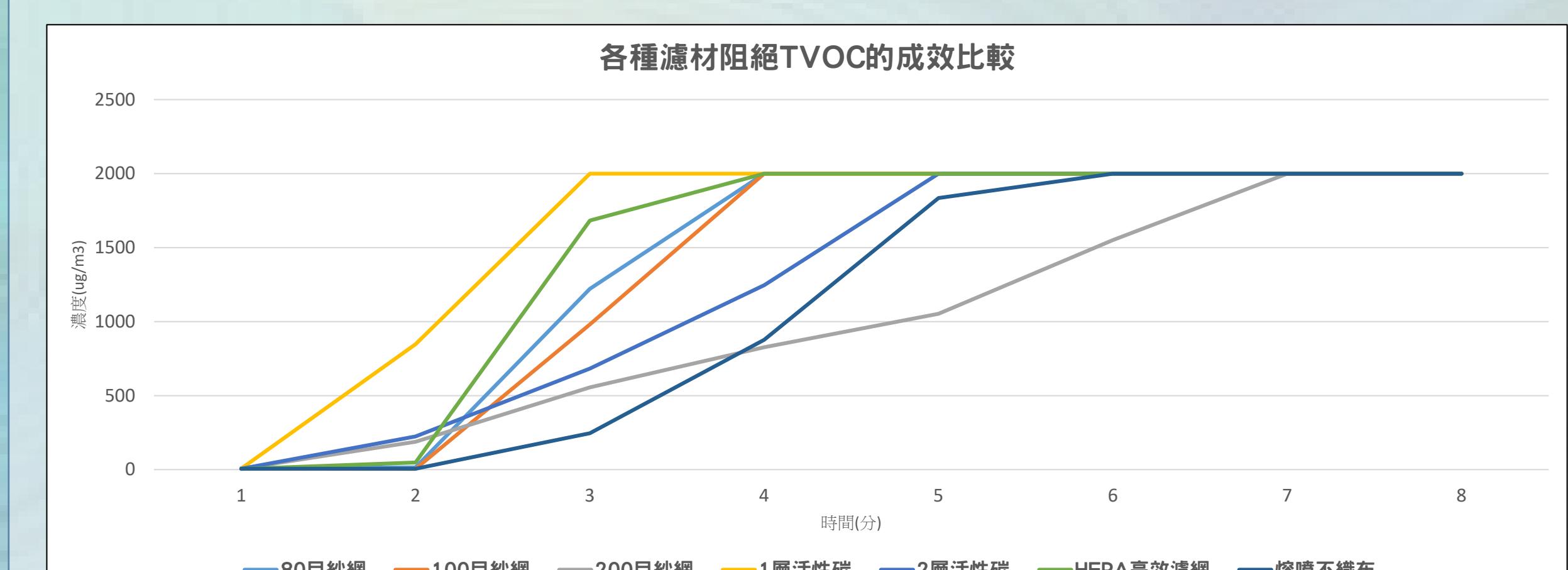
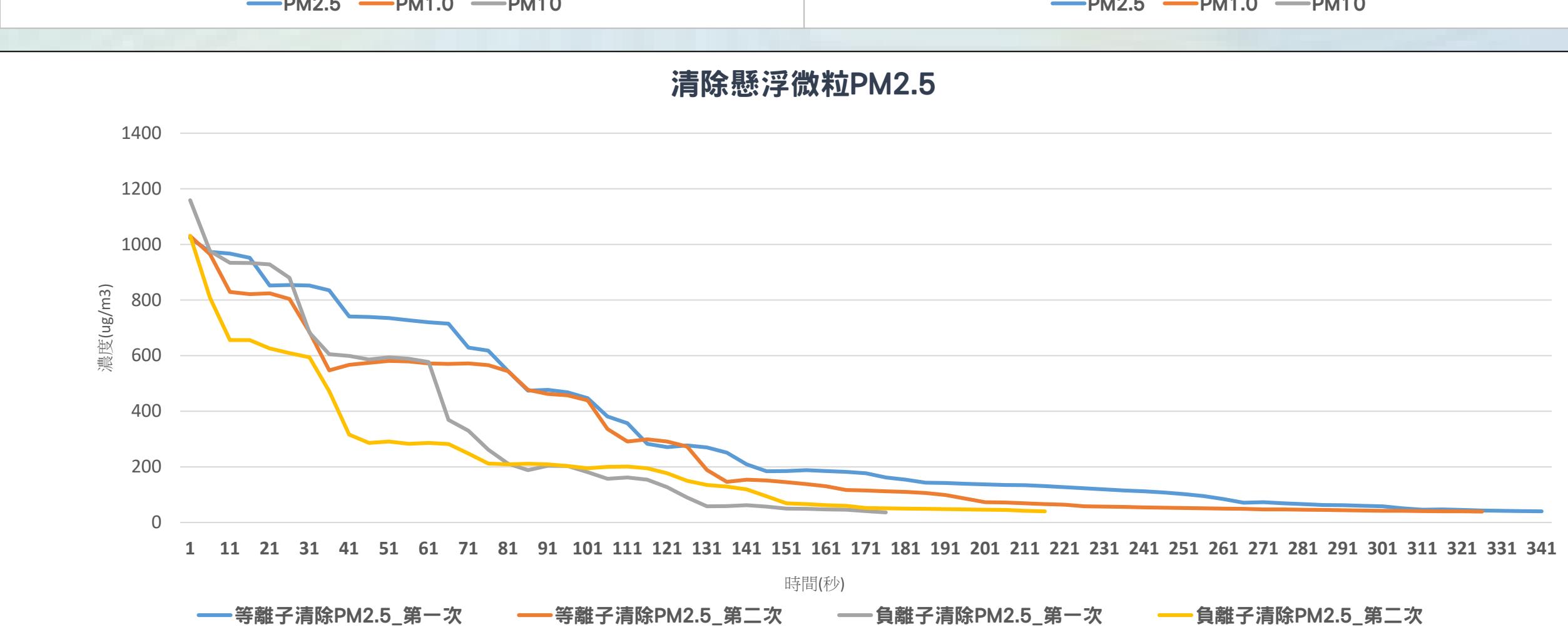
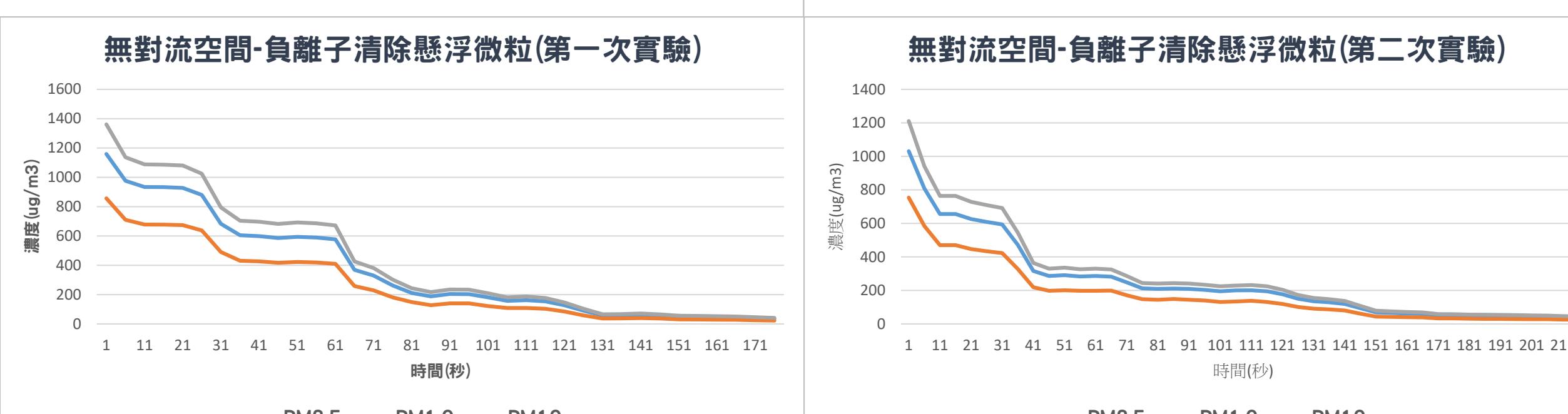
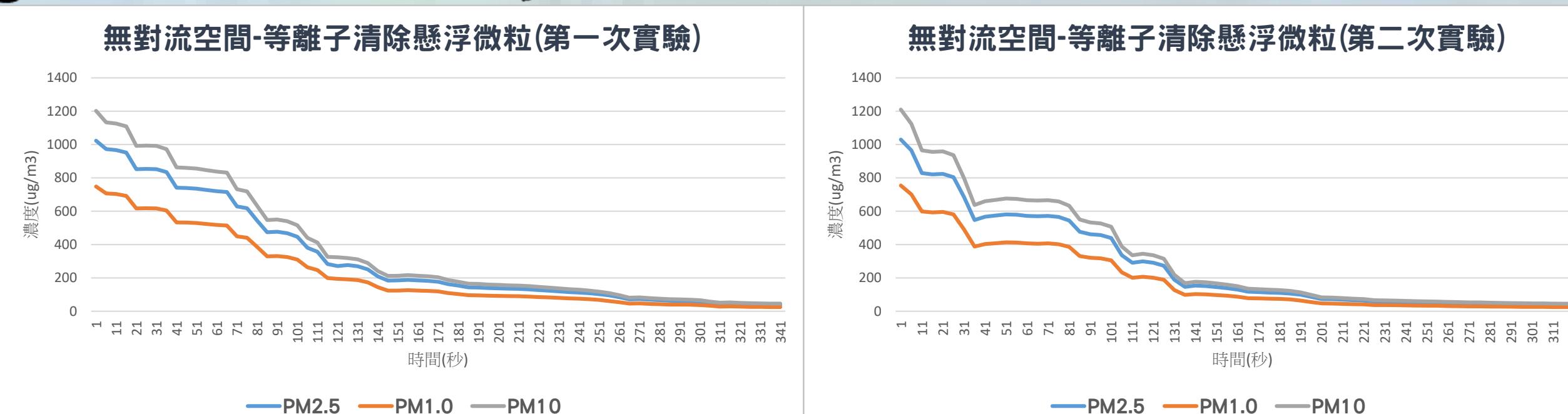
自製空氣清淨機並且探討改善的成效

研究過程

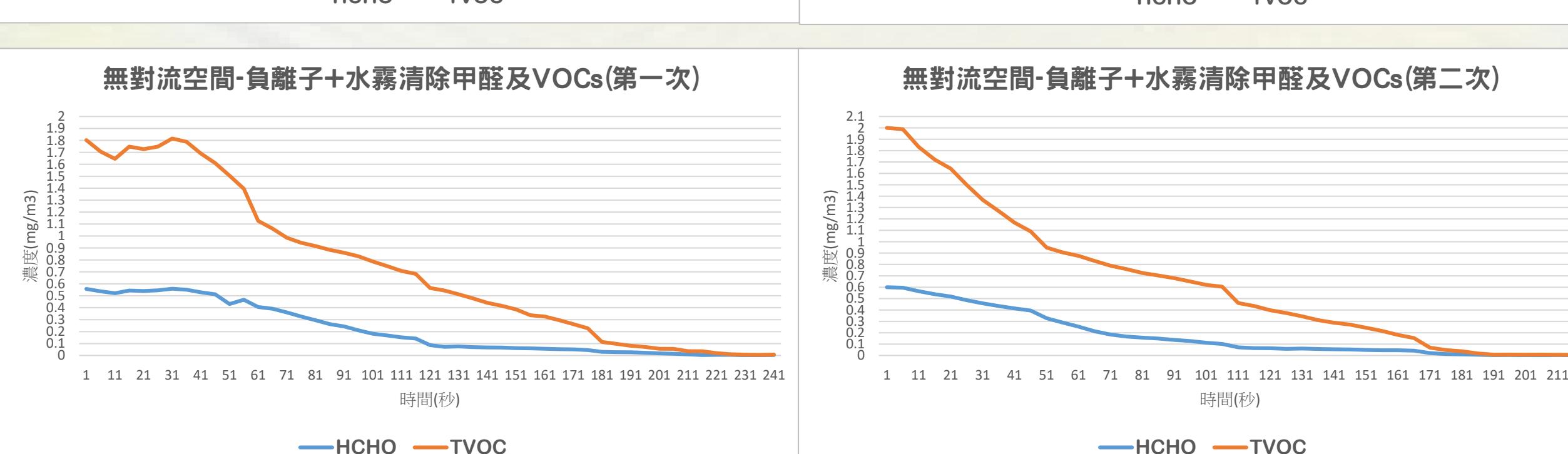
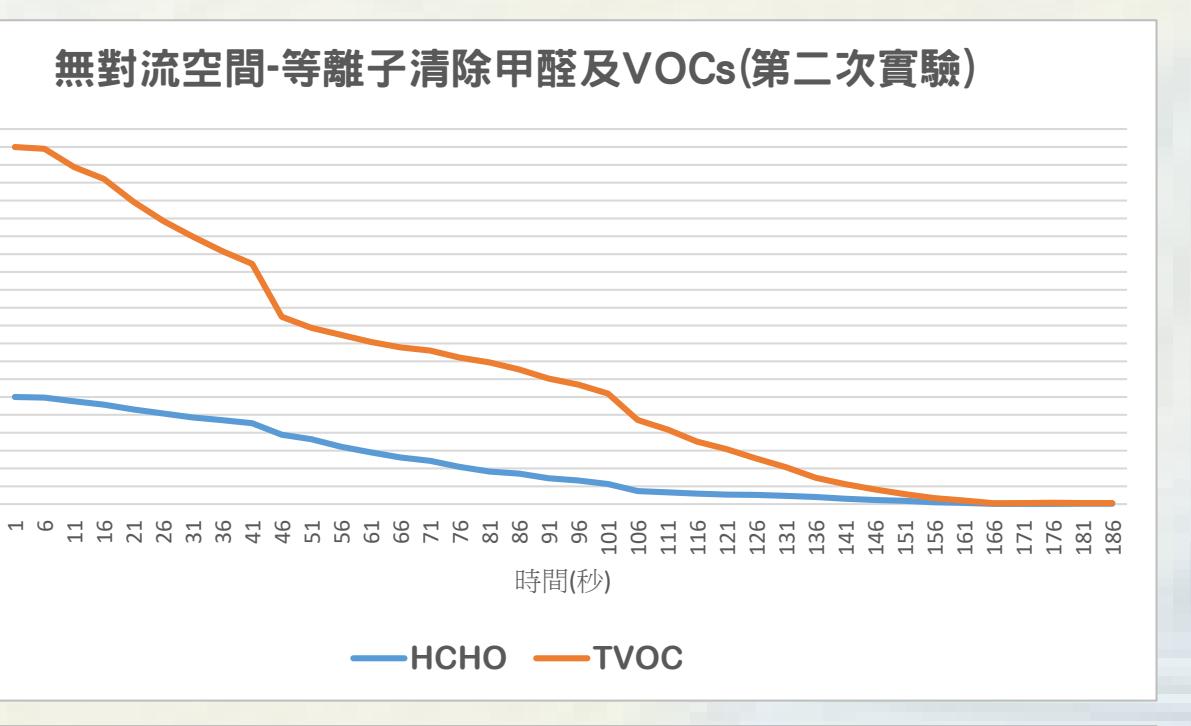
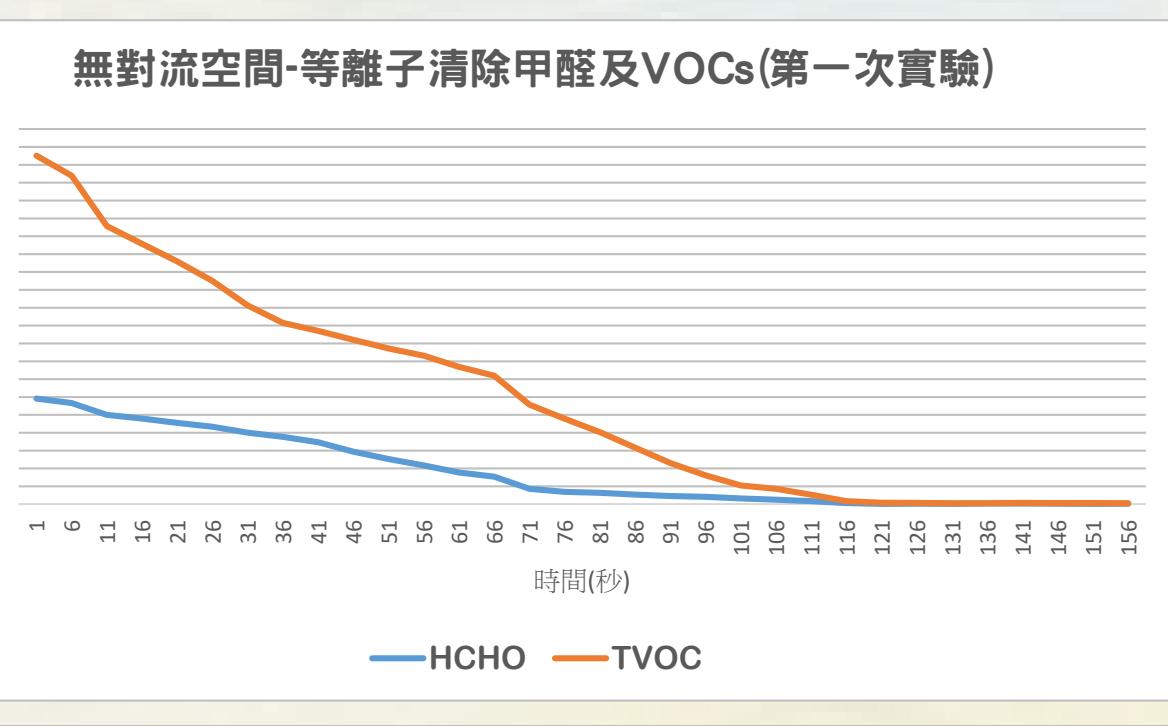
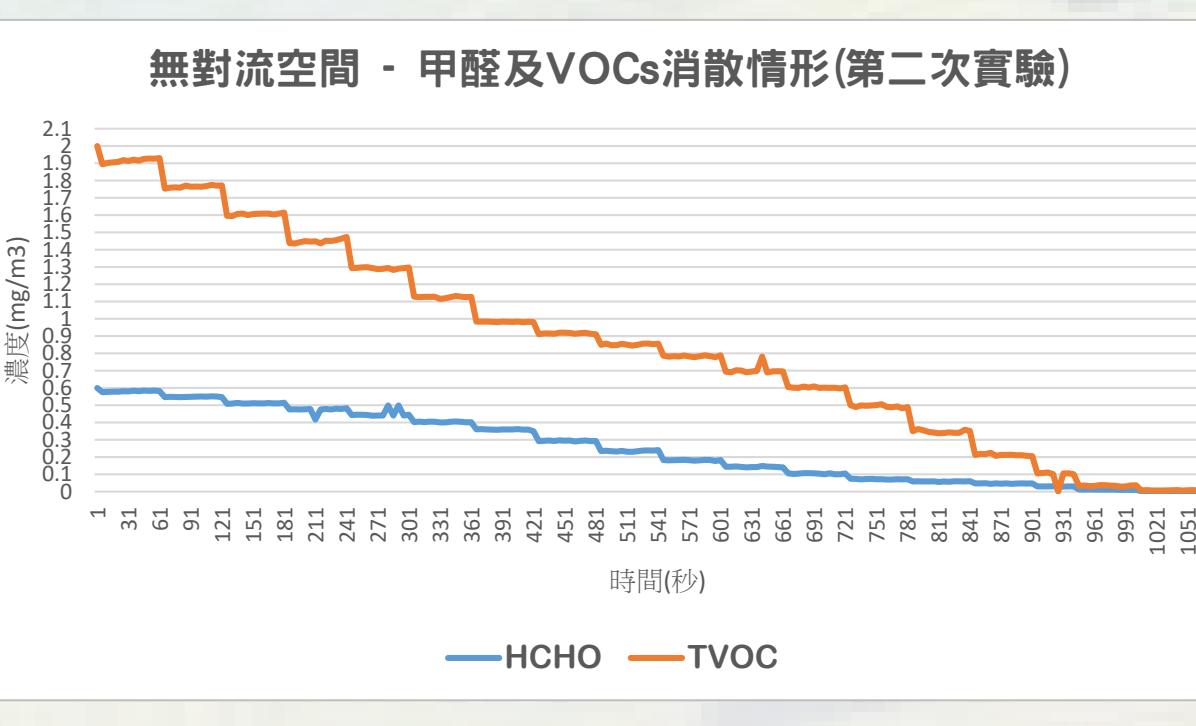
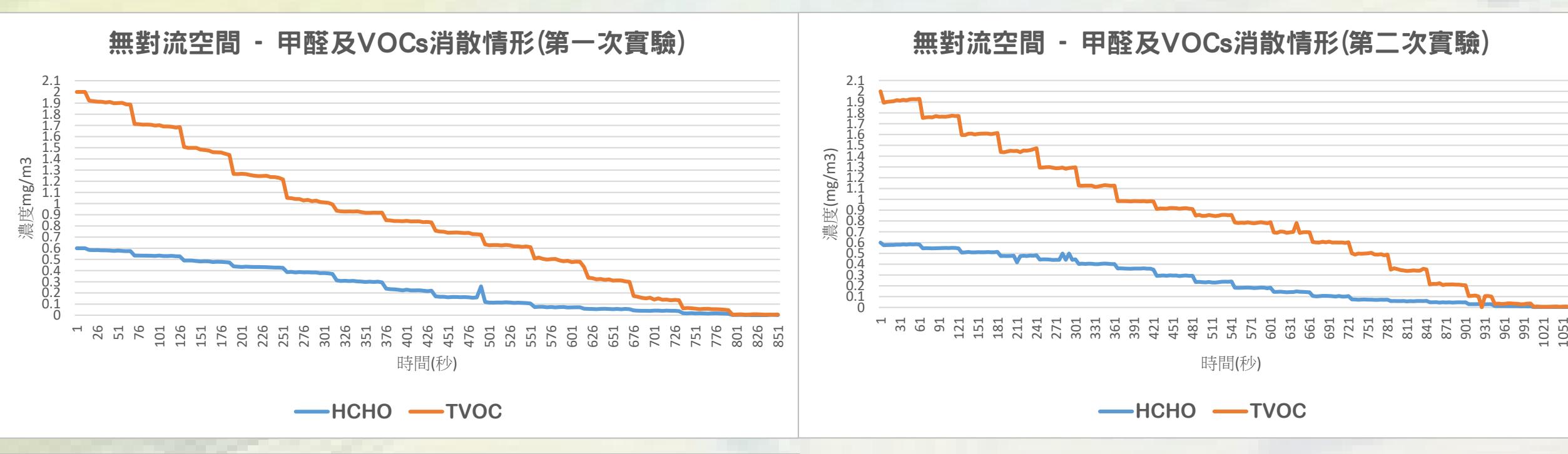


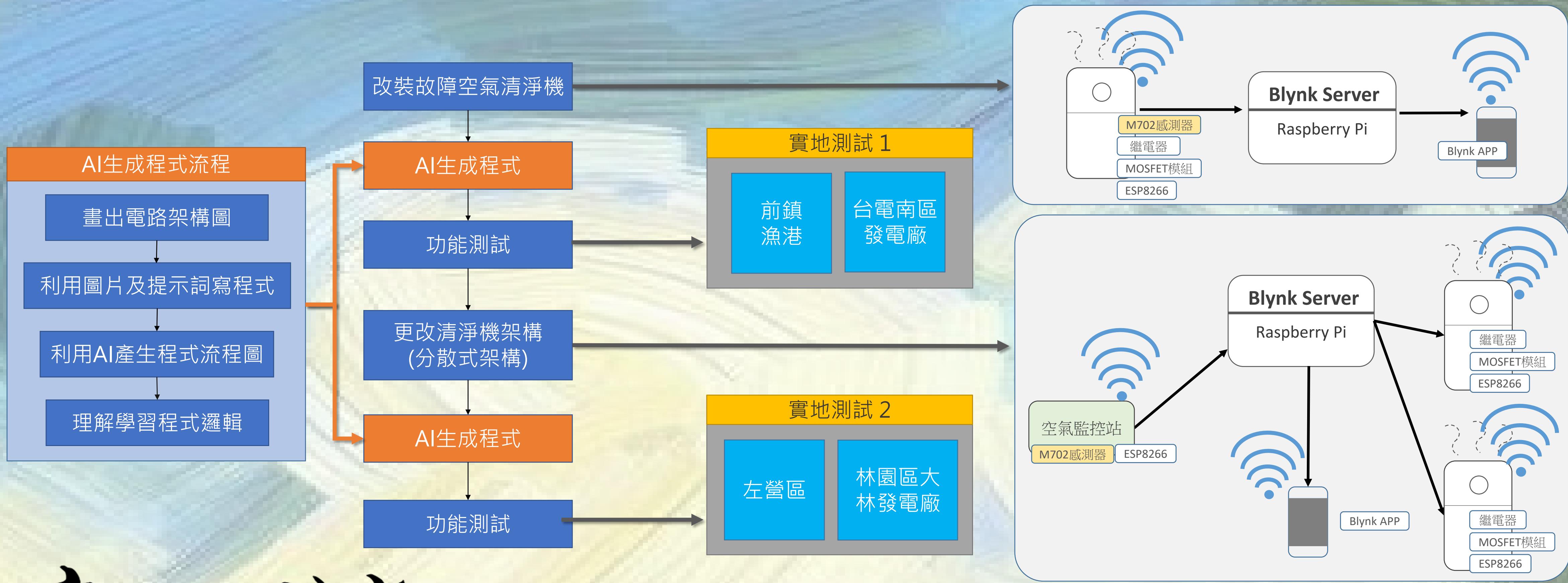
實驗數據一懸浮微粒

實驗數據二濾網效能

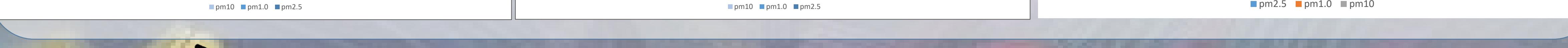
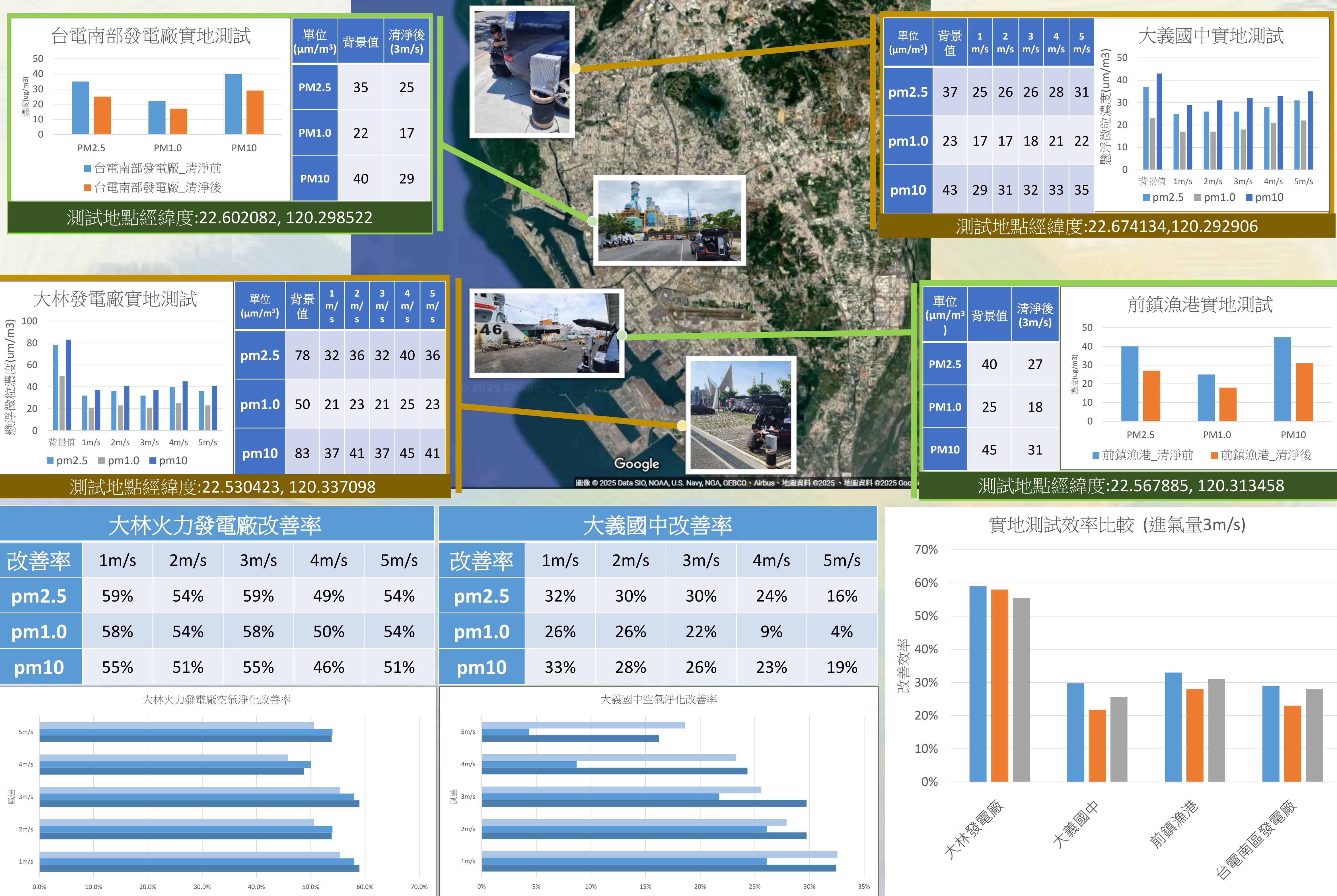


實驗數據一揮發性氣體





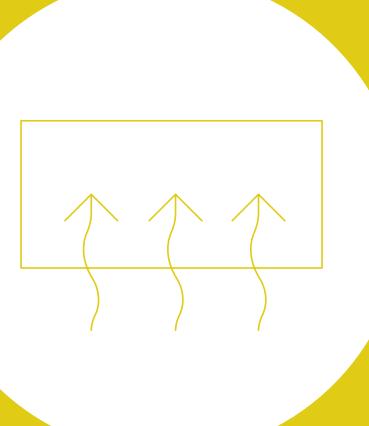
實地測試



結論

懸浮微粒的運動特性

懸浮微粒會隨著空氣對流而產生垂直的移動，也會隨著風的流動產生水平面的漂移。懸浮微粒及總揮發性氣體(TVOC)會從濃度高的地方擴散到濃度低的地方。

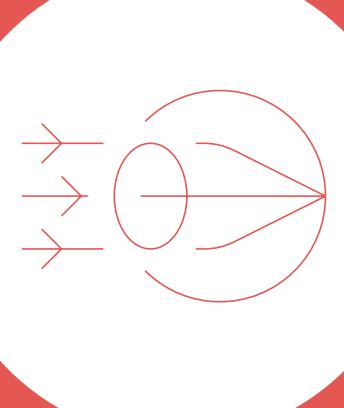


室內通風的重要性

在通風不良的空間內，空氣中的危害因子要消散需要花很長的時間，像是廟宇或者是室內二手菸等環境對於人體健康的危害很大，因此保持通風良好是一件很重要的事情。

等離子對於空氣清潔的效果

等離子對於懸浮微粒也有不錯的處理能力(略遜於負離子)，對甲醛及TVOC的清除能力也有不錯的效果。水霧加上等離子對於清潔懸浮微粒及揮發性氣體的能力最佳。

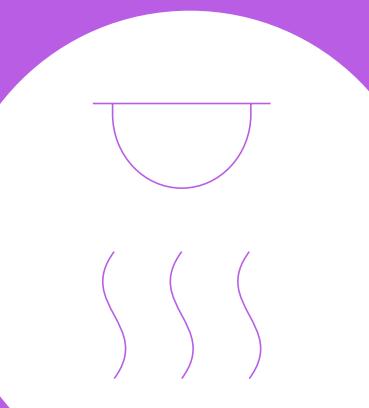


負離子對於空氣清潔的效果

負離子對於懸浮微粒等細微顆粒有良好的消除能力，但對甲醛及TVOC的效果有限。

防霾紗網

無對流情況下防霾紗網對於阻絕懸浮微粒有效果，但是在對流的情況下，懸浮微粒可以穿透防霾紗網，因此僅使用防霾紗網我們認為效果有限，需要搭配空氣清潔機才能維持良好的空氣品質。



水霧清潔成效

水霧也可以清潔空氣中的揮發性氣體，帶負電的水霧對於清除懸浮微粒有不錯的效果，但因水霧粒子可能被誤認為懸浮微粒，因此無法使用光學式的PM2.5感測器測量。

自製空氣清潔機

我們成功自製空氣濾網，並透過生活中的素材完成了自製的空氣清潔機，而且空氣清潔的能力不錯，在低汙染環境下改善率約達30%，而高汙染的環境下改善率達50%以上。



活性碳濾網

活性碳濾網在足夠的厚度(本實驗為6mm)下有不錯的阻絕能力，但濾材使用上需要考慮通風量。