

計畫編號：MOHW110-CDC-C-114-133501

衛生福利部疾病管制署 110 年委託科技研究計畫

計畫名稱：建置室內環境感測監控系統以輔助呼吸道傳染病防治

## 110 年度全程研究報告

執行機構：國立臺灣師範大學 資訊工程學系

計畫主持人：賀耀華

研究人員：賀耀華、蔣宜芳、陳昱如、李佩恩、蘇冠中、  
李昱勳、余榮泰、翁驊成、廖奕泓、朱家緯

執行期間：民國 110 年 1 月 31 日至 110 年 12 月 31 日

研究經費：新臺幣 199 萬元整

## 目錄

封面	P.1
目錄	P.2
壹、摘要	P.4
一、中文摘要	P.4
二、英文摘要 (Abstract)	P.5
貳、本文	P.6
一、前言	P.6
二、計畫之執行與成果	P.6
1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較分析	P.7
2. 雲端分析平台優化	P.20
3. 感測裝置安裝與場測	P.27
4. 大規模推廣評估	P.57
三、結果	P.59
1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較	P.59
2. 雲端分析平台優化	P.67
3. 場域實測與感測裝置資料數據分析	P.70
4. 大規模推廣評估	P.124
四、討論	P.127
1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較分析	P.127
2. 室內空氣品質預測模型	P.128
3. 大規模推廣評估	P.129
五、結論與建議	P.131
1. 感測裝置安裝與場測	P.131
2. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較	P.131
3. 雲端分析平台優化與室內空氣品質預測模型	P.131
4. 大規模推廣評估	P.132
六、重要研究成果及具體建議	P.134

七、參考資料	P.135
八、圖次	P.137
九、表次	P.143
十、附錄：包括研究調查問卷、法規及其他重要資料	P.144
參、經費支用情形	P.145

## 壹、 摘要

### 一、 中文摘要

疫情監測為流感與呼吸道傳染病防治的重要項目，而室內空氣品質量測能忠實反映室內空氣的流動與室內外空氣的循環效果，對於流感與呼吸道傳染病的疫情監測，可以發揮防微杜漸的效果，提供科學化的證據，做為改善室內空氣品質，提升循環效果，降低疫情散播風險等需求的重要依據。在本計畫中，我們從室內空品感測的觀點切入，開發微型的室內空品感測裝置，並且透過有策略的室內布建與感測結果的即時分析，提供智慧疫情監測使用。我們亦引入最新的低功率廣域網路技術，降低系統建置與維運的成本，並且設計一系列的視覺化介面與聊天機器人介面，以使用者觀點出發，量身定做貼心且高可接受度的資訊傳遞平台。最後，我們搭配疾管署的規劃，協助進行一連串的實際場域測試與驗證，並透過實驗的結果與反思，評估未來大規模擴散本計畫成果的可行性與具體規劃。

**關鍵詞：**室內空氣品質、微型感測器、物聯網、雲端平台、疫情監測

## 二、 英文摘要 (Abstract)

Disease surveillance is essential for the control of flu and respiratory infectious diseases, and indoor air quality monitoring has been shown effective in understanding the effectiveness of air flow and circulation indoors, thereby providing a scientific metric to conduct infection monitoring and reduce the risk of infectious diseases. Thus, in this project, we propose to tackle the disease surveillance problem by developing low-cost indoor air quality monitoring devices. By strategic deployment and real-time data analysis, the system is able to yield insightful air circulation information indoors, which can be further explored for smart infection controls. We will integrate the newest low-power wide area networks (LPWAN) technique in the system to reduce the cost in system deployment and maintenance. We will design a series of user-friendly visualization interface and chatbot applications to interact with users and ensure the successful delivery of infection control information. Finally, we will work closely with Taiwan Centers for Disease Control (CDC) and conduct field experiments in the designated scenarios. Based on the evaluation results and feedbacks received throughout this study, we will evaluate the feasibility of the proposed system for disease surveillance, as well as make a concrete plan for large scale deployment in the future.

**Keywords** : Indoor air quality; Low-cost sensors; Internet of Things; Cloud platform; Disease surveillance

## 貳、 本文

### 一、 前言

建置室內環境感測監控系統以輔助呼吸道傳染病防治計畫是衛生福利部疾病管制署委託國立臺灣師範大學的委託研究計畫。由於呼吸道傳染疾病之傳播方式為透過空氣或飛沫傳染，藉由帶有病原體的飛沫微粒懸浮在空氣中，以直接或間接的方式接觸到被感染者，疾病因此得以傳播，而空氣中的懸浮微粒多寡，和室內的換氣及通風狀態有高度相關；為了提升呼吸道傳染疾病的防治，減少空氣及飛沫方式的傳染，本計畫以微型室內環境感測器監控室內換氣及通風狀態，並將室內環境狀態資料由感測器傳回後端雲端平台，再由後端智慧雲端平台作為輔助，達到即時監測及改善室內空氣懸浮微粒濃度。本計劃將參考目前台灣既有的微型細懸浮微粒測站－空氣盒子以及空品物聯網開展計畫的佈建經驗，以台灣各地的護理之家、長照機構以及老人照護中心為佈建場域，將室內換氣及空氣流通狀態與物聯網結合，達到呼吸道傳染疾病的防治。

### 二、 計畫之執行與成果

為有效延續本研究計畫之經驗和成果，強化研究的廣度與深度。本年度希冀延續去年度之計畫，將計畫書內容依照審查意見和第二年的經驗增修，將原訂第三年之研究項目加強。在第三年的計畫，對於研發的感測裝置與市場上相近裝置做比較分析，並透過數據分析進行智慧通風扇遠端操控測試。維護 108 年及 109 年於 20 家人口密集機構或醫院部署的裝置，並繼續擴大布建於 13 家人口密集機構部署與實測，持續協助至少一間以上選定呼吸道傳染病疫情群聚機構緊急布設感測裝置。將環境感測技術與平台原始碼於開放原始碼平台公開，並與疾管署合作將感測器偵測結果產制群聚事件疫調報告所需換氣評估相關文字內容；最後提出整體評估與大規模推廣之可行性。計畫之執行項目，請見表 1。

表 1. 110 年度計畫完成/執行工作項目

月次 工作項目	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月	第 11 月	第 12 月
室內空氣品質感測器與市面產品比較，及智慧通風控制												
雲端分析平台優化												
感測裝置安裝與場測												
大規模推廣評估												
撰寫計畫成果報告												

### 1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較分析

目前市面上監測空氣品質的偵測器種類繁多，而大多的偵測器多以家裡小朋友過敏症狀、上班工作效率、小孩學習力等因素做為改善空氣品質的主要訴求，針對長照機構以流行疾病監測為目的的感測器較少。但為了確認本實驗所運用儀器的精準性、應用性及可擴展性，我們從市面上找到了目前在台灣熱賣的產品 AirRun Q10 空氣品質偵測器及美國知名品牌 AirVisual Pro 進行比較，同時也會在感測器元件上針對市售其他感測元件做分析。在第三章的第一節中有更詳細的分析與比較結果。

#### A. 感測器靈敏度及穩定性

在空氣偵測器中，最重要的便是感測器靈敏度與一致性。本團隊在空氣盒子中使用了中研院環變所和資訊所合作計畫所使用的二氧化碳感測器 SenseAir S8 [1] 作為二氧化碳感測器、SHT31 [19] 作為溫度、濕度(Relative Humidity,

RH)感測器模組、SGP30 [18] 作為總揮發性有機化合物 (Total Volatile Organic Compound, TVOC)感測器模組、G3 PMS3003 [4] 作為懸浮微粒(Particulate Matter, PM) 感測器模組，以及 TCS34725 [20] 作為光感測器。

a. 本空氣盒子與市售空氣感測器之比較

首先我們針對三款室內空氣監測器可偵測的空氣物質進行比較，由表 2 可見本空氣盒子可偵測到的不管是在空氣物質的種類上，還是偵測範圍及精準度上都比其他市售的機器還要優秀。包括 PM 顆粒上，空氣盒子可精準判斷不同直徑的顆粒。而在 CO<sub>2</sub> 上，空氣盒子可偵測的範圍相較中間的空氣品質偵測器也比較大，同時 TVOC 這個與室內疾病高度相關的空氣組成，我們的表現也來得更好。

表 2. 市售空氣偵測器與本團隊空氣盒子的比較

	空氣盒子	AirRun Q10 空氣品質偵測器	AirVisual Pro
PM1.0	0.3~1.0 $\mu m$	無	無
PM2.5	1.0~2.5 $\mu m$	0~500 $\mu g/m^3$	0.3~2.5 $\mu m$
PM10	2.5~10 $\mu m$	無	無
TVOC	0~60 ppm	0~20 ppm	無
溫度	0-90 °C ( $\pm 0.3$ )	0~60°C	14 to 104 °F (-10 to 40 °C)
濕度	0-100% RH ( $\pm 2$ )	0~99% RH	0 - 95%
光感測器	可偵測紅、綠、藍、以及一般光線範圍在 3~10 mm	無	無
CO <sub>2</sub> 感測器	0~10,000 ppm	400~3500 ppm	400~10,000 ppm
價格	TWD \$8,748	TWD \$2,580	TWD \$6,469



### i. 二氧化碳感測器

市售常見的二氧化碳感測器技術有兩種：固態電池與非色散紅外光 (Nondispersive Infrared, NDIR)，大部分的感測器皆是基於這兩種技術再依工作目標與性能進行設計。如漢威電子(Hanwei Electronics)所設計的 MG-811 [2] 便是基於固態電池原理進行測量 CO<sub>2</sub> 濃度，固態電池的設計主要是透過加熱感測器的半導體元件，當溫度足夠時感測器則是一個電池，此時電池暴露在 CO<sub>2</sub> 濃度下便會開始進行化學反應，從而產生電動勢(Electromotive Force, EMF)，而 EMF 的大小通常與 CO<sub>2</sub> 有良好相關性，透過 EMF 即可計算出室內 CO<sub>2</sub> 濃度。

而本空氣盒子的二氧化碳感測器使用 SenseAir S8 [1]，SenseAir S8 感測器所使用的原理是透過非色散紅外光 (NDIR)的方式來進行探測，透過二氧化碳能吸收非色散紅外光的特性在紅外光源和探測器之間進行感測，透過所得到的光強度，以提供有效的二氧化碳測量值。

兩種感測器各有千秋，但因固態電池等感測器需要足夠溫度，因此在運作時會造成機體內部溫度升高，可能會影響其他數值如溫度、濕度，因此在空氣盒子上我們選用了在精準度上也更好以 NDIR 原理所設計的 SenseAir S8。

### ii. 總揮發性有機化合物 (Total Volatile Organic Compound, TVOC) 感測器

TVOC，又名為總揮發性有機化合物，即為揮發性有機物的總稱，TVOC 主要包含了一般的醚、酯、酸外，還包含了對人體有害的烴類、酮、苯系物、有機氯化物等，在南韓的研究[12]就顯示出暴露於高濃度 TVOC 地區可能會增加罹患癌症的風險。TVOC 對人體包含神經、眼睛、呼吸道等危害，顯

示 TVOC 在疾病追蹤上的重要性。而本計劃使用的 TVOC 感測器是 SGP30。SGP30 感測器主要利用的奈米金屬氧化物 (MOx) 顆粒的加熱膜進行偵測，在金屬氧化物顆粒與目標氣體進行化學反應的過程中改變電阻，進而測量出不同 TVOC 氣體的含量。

而市面上的 TVOC 感測器除了 SGP30 外，還有 BME680 及 CCS811，最近的文獻[22]中也指出 SGP30 相較其他市面上產品有更高的準確度。表 3 為文獻所提供的表格，從文獻中的表格來看， $p$ -Value < 0.05 則代表其顯著性，結果顯示 SGP30 在判斷大部分 TVOC 氣體上都有統計上顯著，相較其他品牌的 TVOC 感測器，SGP30 是更好的選擇。

表 3. CCS811、BME680、SGP30 3 種 TVOC 感測器比較表

Chemical	CCS811 Slope $\pm$ 1 SD	CCS811 $p$ -Value	BME680 Slope $\pm$ 1 S.D.	BME680 $p$ -Value	SGP30 Slope $\pm$ 1 S.D.	SGP30 $p$ -Value
Benzene	0.8959		-0.0211		0.2668	
Toluene	-0.5171		-0.016		0.1349	
Ethyl-benzene	-0.10 $\pm$ 0.091	0.293	-0.043 $\pm$ 0.008	$3.8 \times 10^{-5}$	0.069 $\pm$ 0.024	0.026
Xylenes	-0.12 $\pm$ 0.047	0.018	0.023 $\pm$ 0.012	0.063	-0.302 $\pm$ 0.093	0.004
BTEX mix	0.052 $\pm$ 0.026	0.058	0.0042 $\pm$ 0.0045	0.363	0.091 $\pm$ 0.097	0.36
TCE			-0.002 $\pm$ 0.003	0.54	0.112 $\pm$ 0.027	0.0005
PCE			-0.0001 $\pm$ 0.002	0.95	0.016 $\pm$ 0.004	0.0012
CAH mix			-0.0114 $\pm$ 0.004	0.011	0.072 $\pm$ 0.017	0.0008

### iii. 懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 感測器

PM (Particulate Matter)，中文名稱為懸浮微粒，指的是一種懸浮在大氣環境中，混合固態及液態的粒狀空氣污染物。PM 粒徑大小有分別，小於或等於 2.5 微米( $\mu\text{m}$ , 為 1 公尺的百萬分之一)的粒子，就稱為 PM2.5，通稱細懸浮微粒，其單位以微克/立方公尺( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，PM2.5 的直徑還不到人的頭髮絲粗細的 1/28，非常微細。PM2.5 感測器的運作原理是將空氣中微粒導入光學散射原理的感測區域，在未經粒

徑篩選方式下，以光學方式（光散射原理）量測不同粒徑微粒數量，再經轉換為 PM2.5 質量濃度。當光線照射到微粒表面，會有反射、散射等效應，這些效益會因微粒粒徑、形狀及表面粗糙情形而不同，同時也與光的波長有關。而當微粒含有吸水成分（例如硫酸鹽、硝酸鹽等），微粒外形、粒徑會因吸收空氣中水分而改變，進而影響測定結果。

目前市面上常見的四種懸浮微粒感測器，其差別主要在於能感測到的懸浮微粒大小與感測器的工作原理略有不同。其中 Sharp-G [13] 是目前最被廣泛使用於空氣品質感測系統中的感測器，它可以有效偵測直徑小於  $100\ \mu\text{m}$  的懸浮微粒，也因為其高性價比，經常可發現被使用在電子商品如空氣清淨儀器內；Particles Sensor Unit PPD [11] 懸浮微粒感測器則是設計於偵測直徑介於  $1\ \mu\text{m}$  和  $2.5\ \mu\text{m}$  的懸浮微粒，最近的研究也指出 PPD 能依照氣流準確，加上良好的校正模型，可以準確的推估 PM2.5 微粒的濃度。

另一方面，相對於 Sharp-G 與 PPD，Sharp-D [12] 和 G3 [4] 則是使用虛擬衝擊器分離不同大小的懸浮微粒與估計其集中程度。因此，此兩種感測器皆可以測量直徑小於  $10\ \mu\text{m}$ 、 $2.5\ \mu\text{m}$  甚至是小於  $1\ \mu\text{m}$  的細懸浮微粒。而後兩者最主要的不同是在於光源的使用，Sharp-D 使用的是紅外線燈光，G3 使用的是雷射燈光。根據上述的比較，因為 Sharp-D 與 G3 可以直接量測 PM2.5 而不需要後處理，及最近研究指出其可以準確信賴的監測 PM2.5，因此本次計劃使用的 PM 感測器為 G3 PMS3003。

## B. 可擴展性

我們所使用的空氣監測裝置是使用樹莓派（Raspberry Pi 3 Model B+）作為主板，而在樹莓派裡的控制程式則是為

open source，會開放提供給使用者，可以讓使用者根據自己的需求進行監測器內的程式修改或是增加新的感測器，另外也有提供 open data 的部分，可使用客製化 LASS 的後端平台來建置的雲端平台以獲取 open data，此外在盒子的側面有提供各式插槽，如 USB、網路孔以及 SD 卡插槽，以方便將監測器中所監測到的資料提取出來，來去進行進一步較複雜的分析。除了監測裝置內的控制程式之外，我們也計劃將平台的原始碼公開，作為 open source 提供給使用者，目前計畫中的空氣監測裝置通常為大範圍的佈建，而這些資料的部分會統一傳送到平台上，方便整理也較簡單觀看，在未來我們也希望使用者能擁有這樣的服務，可以創建一個自己的平台，將監測到的資料統一存放。

#### a. 控制通風設備

在可擴展性的部分，我們目前的計畫中實行的部分中，由原始的空氣監測裝置的功能，所以我們重新改寫監測器內的程式碼，以及增加新的 sensor，其中的通風設備為電風扇以及冷氣這些有紅外線遙控器可以控制的設備，在未來當室內的空氣品質下降時，為了改善室內空氣品質，空氣監測裝置中新增加的 Infrared (IR) sensor 會發送開啟的紅外線訊號給通風裝置，當監測裝置感測到空氣品質有改善後，將會關閉通風裝置。透過空氣監測裝置來控制通風裝置除了能精確地知道何時需要通風以外還能較為節省能源，不會因為不知道何時需要通風而出現通風裝置開一整天的情形，擴展這個需求後也能幫助節能。

#### b. 增加新的感測器

在上面的部分也有說到目前佈建空氣監測裝置的場域多為護理之家等，以人為主的空間，但在未來使用者也可以根據自己所希望佈建的場域來增加所需要的感測器，以畜牧業為例，通常畜牧業周遭常常會有空氣污染或是臭味的問題，各畜牧業也有在進行一些通風措施，但還是會常看到新聞中會出現週遭臭味的問題，這時就可以在空氣監測裝置中加裝偵測主要臭

味來源的感測器，來進行臭味的管理。

總體而言，我們的空氣監測裝置較 AirRun Q10 感測器以及 AirVisual Pro 而言在可擴展性方面有很大的優勢，因為後兩者都為已經上市的商品，無法再去變更裡面的功能且都沒有 open data 以及 open source 的部分，而我們的空氣監測裝置除了有很大的可擴展空間也有提供使用者各式的資源，可以根據不同的情形給予使用者較高的自由度，這是後面兩者裝置所沒有的部分，也是我們空氣監測裝置較市面上的同類型產品最為不同的一點。

### C. 應用層面

在應用層面上，因為 AirRun Q10 感測器除了直接透過螢幕顯示空氣數值外並沒有其他相關應用，因此接下來的篇幅我們主要介紹本團隊所設計之空氣盒子相關平台，以及訊息推播方式，同時也介紹美國知名品牌 AirVisual Pro 所運行的平台，最後統整進行比較。

#### a. 空氣盒子相關應用介紹

##### i. 雲端分析平台

在雲端分析平台上，本團隊沿用並優化和客製化微型空氣品質感測器(AirBox)的雲端後台系統，因 AirBox 雲端系統為目前已上線運行之雲端系統，考慮其穩定性及開發上的便利性，以加速開發時程，雲端平台示意圖如圖 1。

##### ii. 客製化儀表板

除了積極從事微感測站的佈建外，我們也開發一系列的資料視覺化工具，用圖形化方式呈現資料，幫助資料分析人員了解資料內涵、溝通信息與展現資料的價值。為本計劃開闢專屬線上服務，並新增每台感測器專屬的狀態圖，如圖 2。另外對於資料視覺化的方式，經過多次與使用者討論後，由圖 3 更

新至圖 4 的版本，在顯示即時資料上更能一目瞭然看出當下的室內環境品質(Instant PM2.5)，也能透過折線圖看出歷史資料 (Hourly PM2.5)。

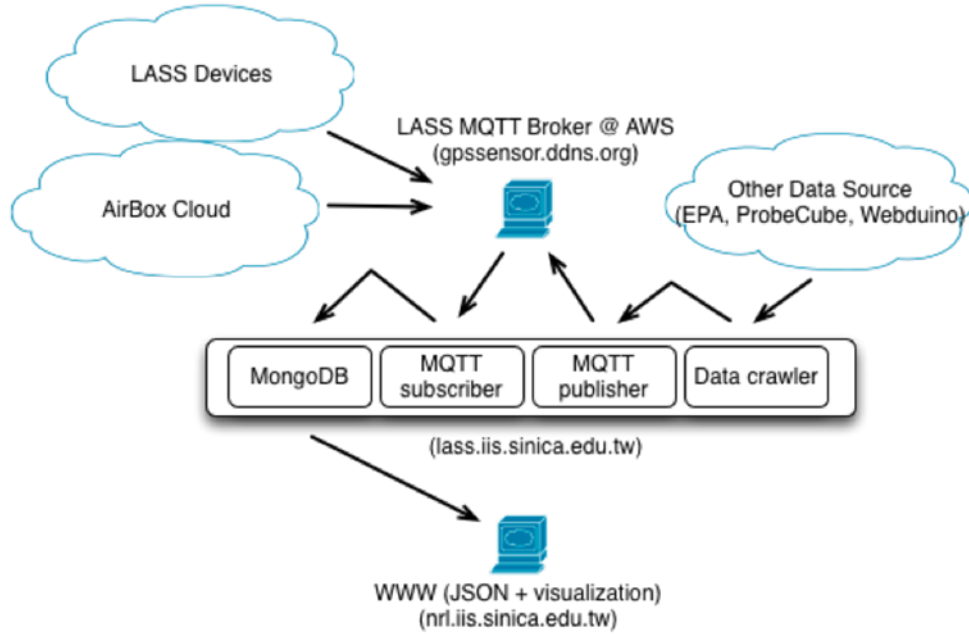


圖1. 雲端平台示意圖

PM2.5 Open Data Portal [Open Data API](#) [Back to list](#)

**AirBox status report: MAPS6-EDU**

Online devices: 114/350 (32.57%)  
 Last update (UTC time): 2021-03-23T07:40:16Z  
[Try Open Data API Now](#)

											Search		
46	NTNU-CDC-132(2020)	B827EB3113CD	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:37:32Z	N/A	N/A
47	NTNU-CDC-131(2020)	B827EBDED42B	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:36:48Z	N/A	N/A
48	NTNU-CDC-130(2020)	B827EB1FB02	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:36:33Z	N/A	N/A
49	NTNU-CDC-129(2020)	B827EB6F3D04	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:38:58Z	N/A	N/A
50	NTNU-CDC-128(2020)	B827EB2A8932	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:39:57Z	N/A	N/A
51	NTNU-CDC-127(2020)	B827EB55186C	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:36:47Z	N/A	N/A
52	NTNU-CDC-126(2020)	B827EB5F2687	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:36:57Z	N/A	N/A
53	NTNU-CDC-125(2020)	B827EBF5D5F1	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:38:16Z	N/A	N/A
54	NTNU-CDC-124(2020)	B827EB6F8C5A	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	<a href="#">[JSON]</a> <a href="#">[CSV]</a>	N/A	-	-	-	-	6.14	2021-03-23T07:38:25Z	N/A	N/A

圖2. 感測器狀態圖表

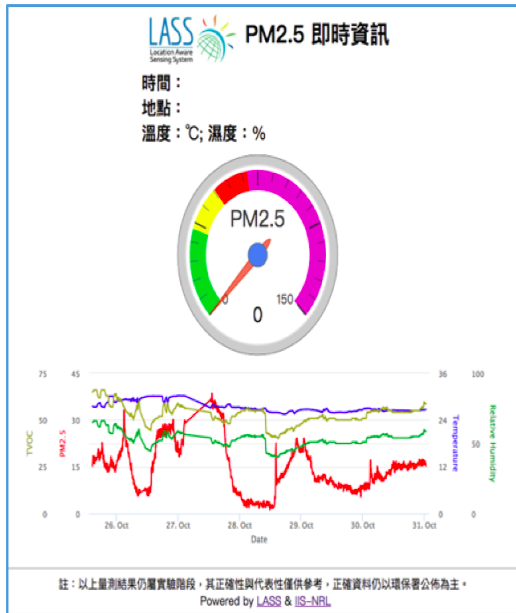


圖3. 客製化儀表板 (舊)

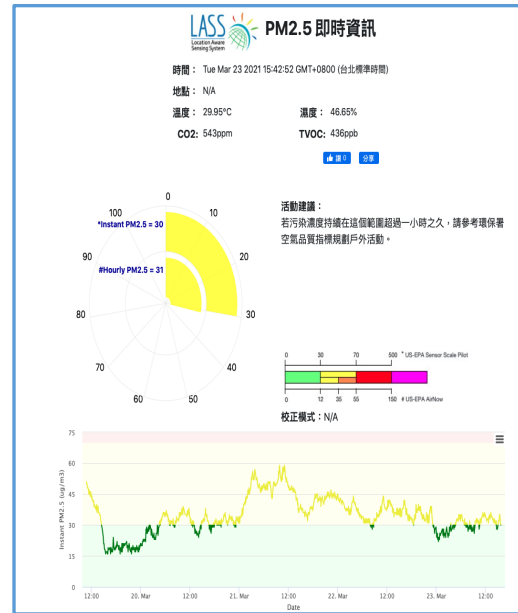


圖4. 客製化儀表板 (新)

### iii. 感測資料分析

根據本計畫空氣盒子的感測資料與測站彼此在實時監控和空間維度上的相似性，發展一系列以歷史統計資料為基礎的異常偵測、污染源偵測、室內站點偵測、鄰近污染源站點偵測等演算法，並將所有運算過後的結果，以及所有空氣盒子的即時感測資料，透過開放資料的形式主動對外釋出。我們根據所得到的即時分析資料，開發異常通報功能，提醒感測裝置使用人進行因應。並且我們利用開發成果所獲得的使用者回饋，進行各項視覺化界面的優化與性能提升，同時開發具備即時性與安全性的應用程式介面，並且針對異常警示演算法進行優化減少誤報，開發具備感測資料與警示通報推播功能的程式。

### iv. 聊天機器人推送感測器量測結果與警訊

在建置聊天機器人上，我們運用了建置的雲端分析平台上提供的可介接各感測資料之應用程式介面。我們以 Line 為介面，同時根據本計畫的室內空氣品質感測器 (IAQ\_TW – Indoor Air Quality monitor) 的

感測資料，開發具備推送感測器量測結果與警示通報推播功能的聊天機器人 (LINE BOT) 程式。沿用並優化和客製化 LASS 的後端平台並透過建置的雲端平台的 Open Data 來獲取每個小時的感測資料，結合另外建置的聊天機器人後端資料庫和服務平台對 LINE 使用者做推播訊息的服務。聊天機器人 LineBot 的介面下方有六大項功能，分別是訂閱功能 (Subscribe)、狀態查詢功能 (Status)、地點查詢功能 (Location)、網頁查詢 (Website、Lass) 和使用幫助功能 (Help)。透過狀態查詢功能，如圖 5 所示，使用者可以看到有取得資訊權限的機構選項，點選機構名稱後即可看到該機構的設備擺放點平面圖、目前上線率以及所有設備目前的狀態。透過這個訊息可以快速的了解目前該機構的所有設備狀態。點選設備名稱後即可看到該區域最新一筆的資料。

訂閱功能可以選擇查看訂閱的機構、訂閱機構、取消訂閱機構、設定推播時間等功能，如圖 6，訂閱之後每日即會在設置的時間點(預設時間為早上八點)收到訂閱機構的設備資訊。而即時佈建的設備也可以在 LINE Bot 中看到即時的資訊，輸入存取碼之後即可以在狀態功能中查詢所有設備的即時資訊。

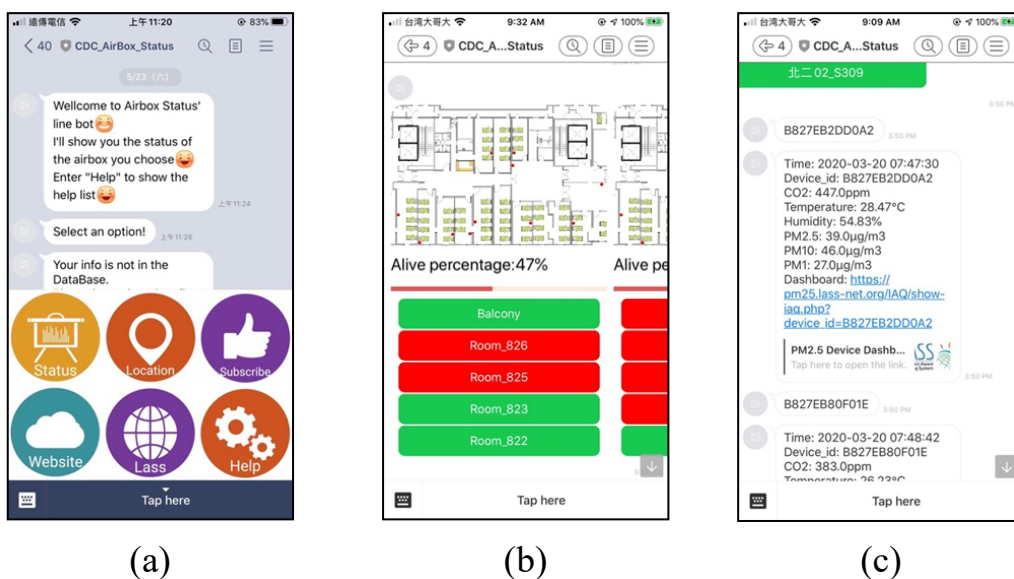


圖5. 聊天機器人 LINE Bot查詢介面



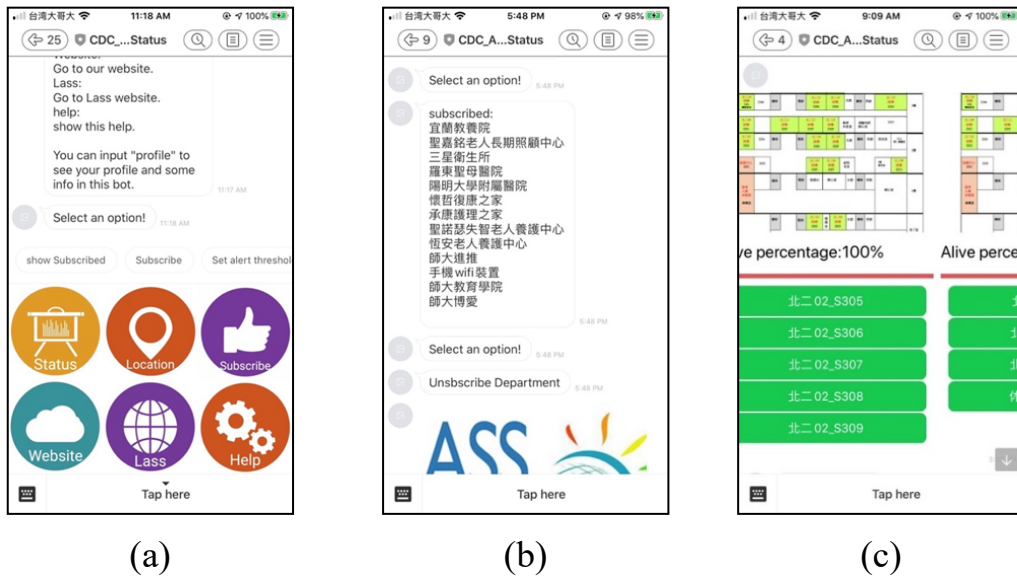


圖6. 聊天機器人 LINE Bot 訂閱介面

## b. AirVisual Pro 相關應用介紹

### i. 機體螢幕顯示

與本團隊重視雲端開發不同，AirVisual Pro 在機體螢幕上的呈現相對比較完整。如圖 7 顯示，AirVisual Pro 在機體上除了顯示電量、網路狀態、時間等一般基本資訊外，也會顯示出當下所測得之即時空氣品質數據，包含二氧化碳、溫度、濕度，同時下方會以長條圖呈現歷史空品數值，讓過去的數據起伏作為使用者的參考。此外，AirVisual Pro 也會根據機體所在地政府所提供的空氣品質數據，給予使用者作為室外空品參考，依此讓使用者可以知道室外與室內差異，並提供戴口罩、關窗防止污染物入內、通風等的健康建議。讓購買此項產品的民眾可以針對空氣污染，可以有正面介入的相關手段，避免污染進一步危害室內安全。另外機體也會呈現出政府所提供的天氣預報、空品預報讓民眾在進行相關的健康活動有所依據，避免在空污嚴重時段出門跑步或騎腳踏車等活動。

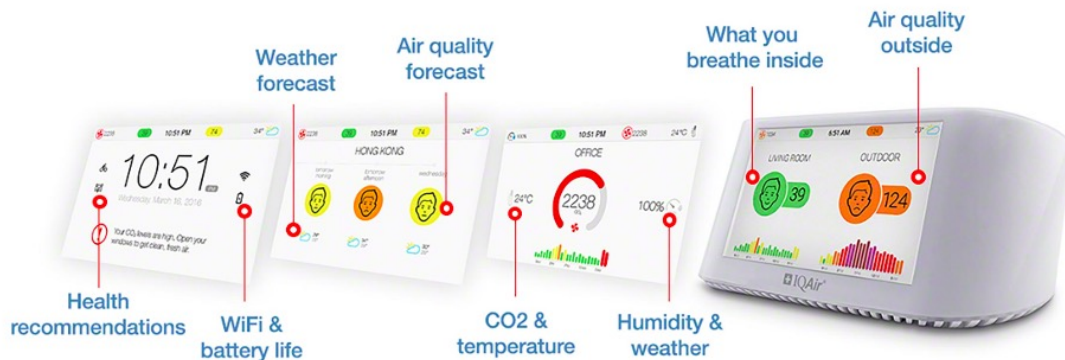


圖7. AirVisual Pro機體顯示介面

## ii. 手機 app 介面

由於此項產品有連網，因此在手機上也有相關 app 可以獲得機體所讀到的空氣數據，如圖 8 顯示。在手機 app 上除了機體所顯示的功能外，在呈現上更多了一些分析數據與呈現的功能。若是使用者在不同空間都有擺設這台機器，那麼在手機上就可以輕鬆看出這些空間在一天中空污嚴重的時間是什麼時候。同時也可以藉由自己行動追蹤，了解當日污染物曝露量為何。同時也可以得到更多的健康建議，再加上該間公司也有販售空氣清淨機，若有購買相關產品則可利用手機控制，讓室內維持在最佳空品的狀態。整體而言，AirVisual Pro 的手機 app 介面在圖表呈現上十分完整。

## iii. 綜合分析

本團隊之空氣盒子與 Airvisual Pro 在應用層面上皆有利用所蒐集到的空氣品質數據進行分析，同時也利用各種圖表提供使用者進行參考，甚至因為空氣盒子可偵測的數據較 Airvisual Pro 多。因此提供的相關數據也比較龐大，讓使用者可以有更多分析的方向。而在手機應用端，Airvisual Pro 提供了多種精美的數據分析圖表，給予使用者參考。而我們主要是透過 LINE Bot 機器人，讓使用者可以自己查詢當下的室內空品資訊。因為本團隊主要使用 LINE Bot

機器人，因此在互動性上可以給予使用者更多的建議，在重要時刻也可以透過推播讓使用者了解室內可能問題有哪些。整體來說，Airvisual Pro 目前是已上線商品，在圖形化介面的表現上十分優秀，但相對的在使用者互動性上我們可進行開發的潛力明顯更高。

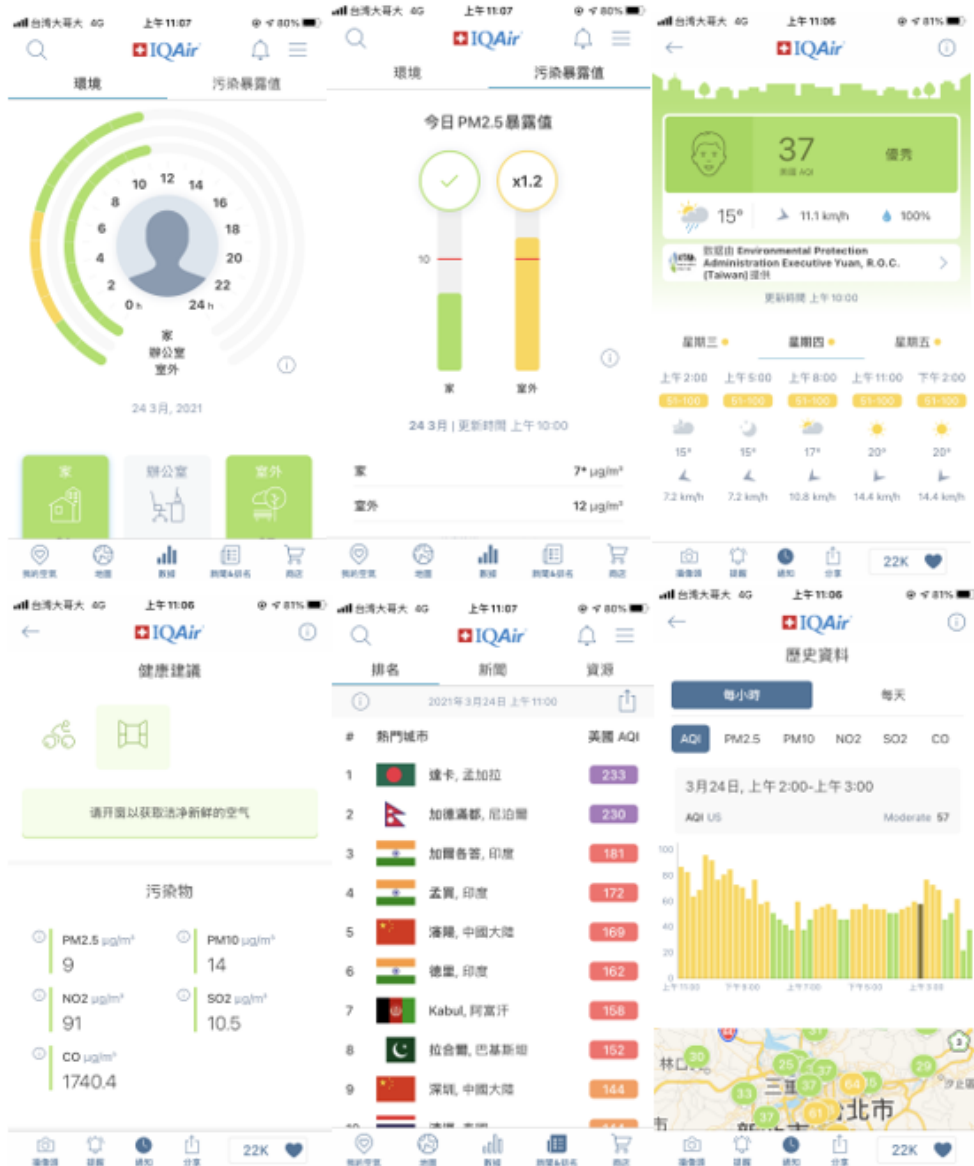


圖8. AirVisual Pro 手機 app 介面

## 2. 雲端分析平台優化

在雲端分析平台上，根據第二年成果與使用者回饋和討論資料視覺化的方式後，我們持續優化和客製化微型空氣品質感測器 (AirBox) 的雲端後台系統。在視覺化應用與即時資訊儀表板上，我們改良警示資訊功能。優化資料網站上，我們新增了功能選單列、安養機構查詢、安養機構的各樓層平面圖等介面，平面圖上放置空氣盒子的地方以紅點標示，若點選圖上的房間，即會跳出該空氣盒子的資訊儀表板。空氣盒子資訊儀表板會顯示即時的 CO<sub>2</sub> 數值、溫度與濕度、PM<sub>2.5</sub> 的濃度等資訊，下方的折線圖可以看出過去 7 天 PM<sub>2.5</sub>、溫度、相對濕度變化。另外我們增加控管使用者權限功能，以確保該安養機構的資料只有相關人士能夠閱覽，保護安養機構隱私。

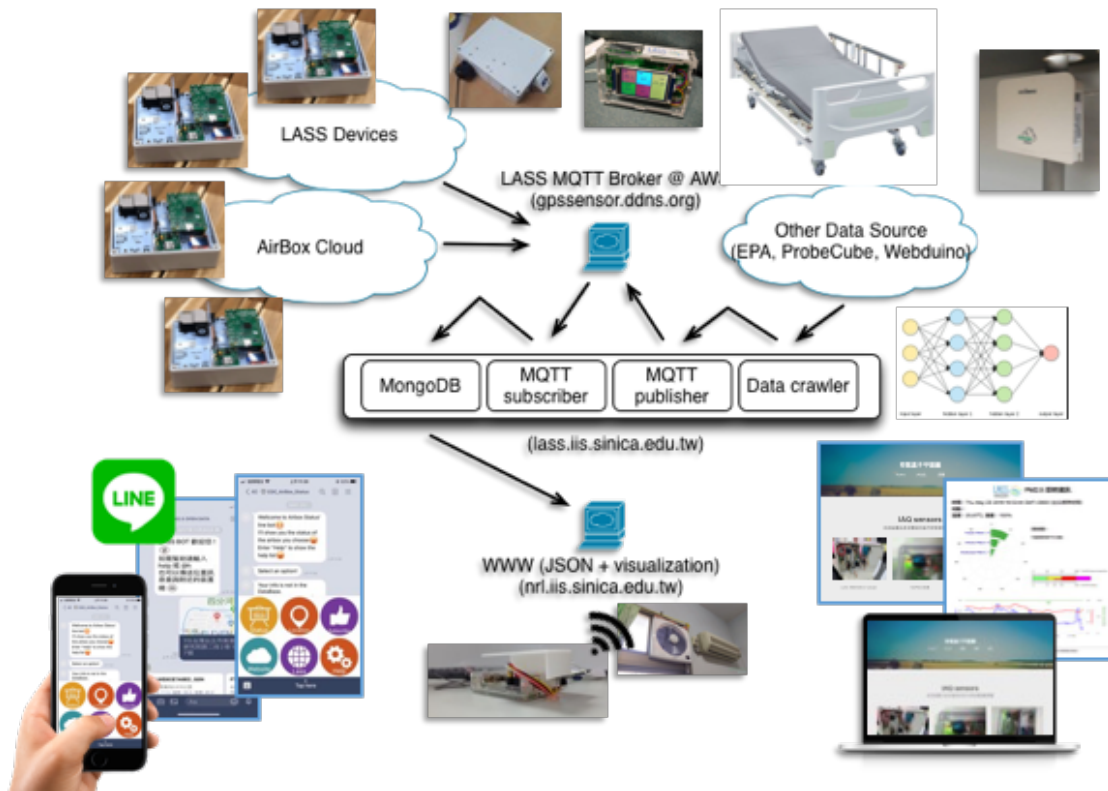


圖9. 優化的雲端分析平台

雲端系統為目前已上線運行之雲端系統，考慮其穩定性及開發上的便利性與彈性。我們的雲端分析平台架在 Amazon Web Services (AWS) Elastic Compute (EC2) 上，運用 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) 協議，結合室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ\_TW)、雲端系統、分

析平台、即時資訊儀表板、聊天機器人、智慧通風等運用功能。優化後的雲端平台示意圖，如圖 9。

#### A. 優化智慧通風扇遠端操控

去年在開發智慧遠端物聯網設備項目中，我們運用了微型室內環境感測器和雲端分析平台上提供的可介接各感測資料之應用程式介面，能夠透過物聯網的方式來控制空調設備。

由於醫療機構不希望有外接或是侵入式的方式介入原有的空調系統，因此我們運用了現有的紅外線無線遙控設備，開發了可接收現有的遙控器紅外線訊號的裝置，運用 Linux Infrared Remote Control (LIRC) 套件和紅外線接收器，錄製遙控器紅外線訊號至智慧遠端物聯網控制遙控器設備的設定檔中。根據該場域的微型室內環境感測器偵測到的數據和設定該數據的最大值設定，例如二氧化碳濃度最大值設定於 1000 ppm，如果高於設定值就發送訊號去啟動冷氣，如果低於設定值就發送訊號去關閉冷氣。

前段提及的都是藉由環境感測器量化的指標來得知目前室內環境的空氣狀況而去調控空調系統，以提升室內空氣循環，改善室內空氣品質，然而，我們注意到了冷氣並不能顯著改善二氧化碳濃度或是 PM2.5 過高的現象，因此我們還需要通風系統。

而我們開發智慧通風扇設備，除了運用原本佈建在各場域中的室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ\_TW)，我們運用了微型室內環境感測器和雲端分析平台上提供的可介接各感測資料之應用程式介面。透過物聯網的方式來控制空調設備，並將智慧通風系統與之結合，來監測到各項即時的指數，如二氧化碳及 PM2.5。我們總共選擇了 2 個跟室內空氣品質感測器 (IAQ\_TW) 同樣的處理器 Raspberry Pi 3 B+ 裝置，一個預先保留未來要將智慧遠端控制設備和室內空氣品質感測器整合準備，另一個

是與繼電器整合，如圖 10。利用繼電器控制通風扇，提供室內外換氣，降低室內二氧化碳濃度與 PM2.5，如圖 11。

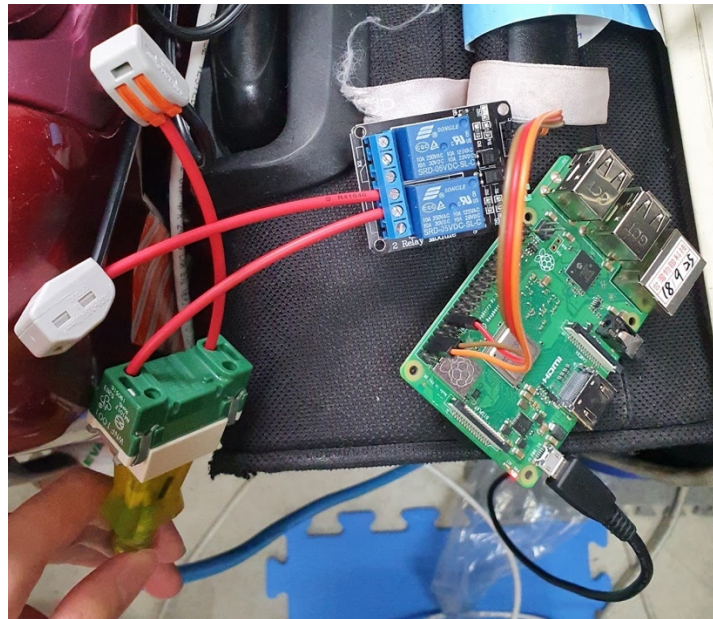


圖10. Raspberry Pi 3 B+裝置及繼電器



圖11. 通風扇設備

延續去年的成果，我們的智慧通風扇設備結合後端雲端分析平台，該智慧遠端控制設備會先從後端伺服器的資料庫取得相關空氣資訊。判斷該場域的二氧化碳濃度或是PM2.5指數是否大於設定的最大值，然後運用紅外線接收器和發射器，接收及發送紅外線訊號，控制相關的空調設備，如圖 12。並且可以透過網路發送訊號至控制通風扇的裝置上，使用繼電器進一步去控制相關的排氣設備，兩者可以交互作用，提供室內外換氣，降低室內二氧化碳濃度與PM2.5，使室內空氣更能有效地達到更高品質。我們藉由環境感測器量化的指標來得知目前室內環境的空氣狀況而調控空調與通風系統，以提升室內空氣環境，提供更舒適的空間。我們更進一步優化智慧遠端物聯網設備控制功能，對雲端分析平台中的空氣數據做資料分析，使用機器學習的技術，運用遞歸神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 的長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM)，通過 LSTM 模型預測室內空氣環境，實現優化室內的空氣品質。在第三章的第二節中有更詳細該模型預測室內空氣環境實測的實驗結果。整體系統架構圖如下圖 13。

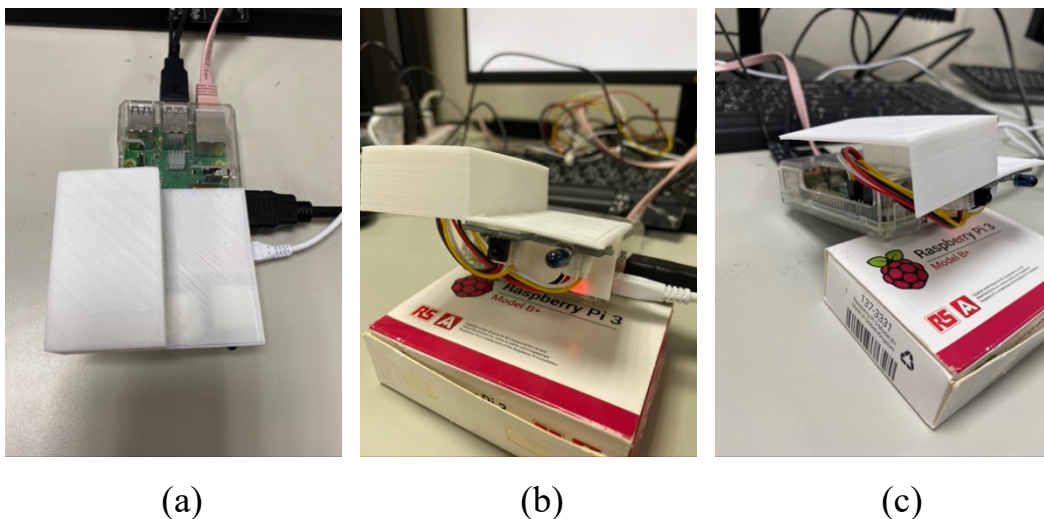


圖12. 智慧遠端控制空調設備

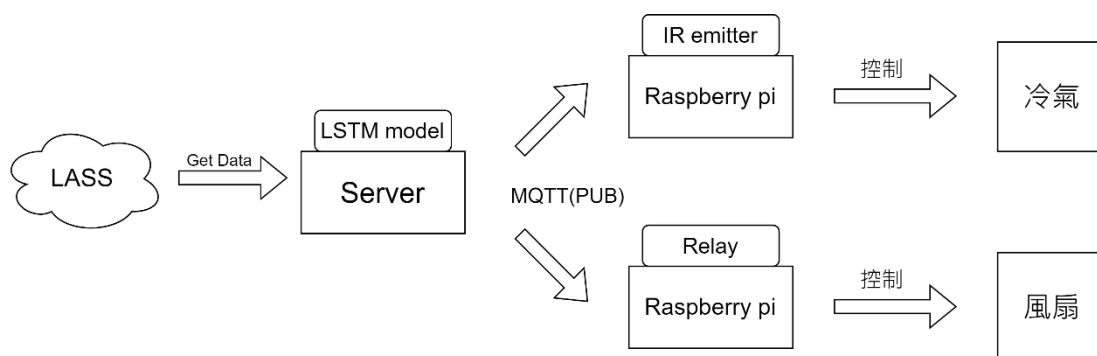


圖13. 智慧控制系統架構圖

## B. 優化聊天機器人(LINE Bot)推送感測器量測結果與警訊

根據各個長照機構的使用者回饋與討論結果後，我們在新版的聊天機器人優化了介面以及新增了功能。首先，在資料查詢部份因應各機構的要求增設了中文介面，如圖 14 (a)，並且同步新增了揮發性有機物 TVOC 的資料。再來，也增加了分享功能，在上面輸入字串後會跳出簡易的教學介紹，以及機器人的 lineID，當然也可以使用 QR code 來加好友，如圖 14 (b)，可以更方便讓各機構的人交接給新進員工，當然每個機構的資料還是得必須先輸入該機構之存取碼 (Token) 後才具有存取該機構權限，確保各機構的資料只有該機構的人可以存取。同時，有機構反應只能在手機裝置上透過點選按鈕來查看資訊的問題，因此新增輸入指令字串來查詢資料的功能，如圖 14 (c)，讓使用者在電腦版上的 LINE 也可進行查詢操作。

再來新增了地點查詢功能 (Location)，通過在手機裝置上點選 location 按鈕，如圖 15，即可分享使用者所在位置，並且將搜尋資料庫中距離使用者位置最接近、且有佈建機器的機構，回傳該機構的位置，如果使用者已經輸入過該機構之存取碼、擁有存取該機構之權限，則將同時呈現該機構的機器資料以供查詢；若沒有權限，則會顯示需要向管理者拿取授權碼，以確保外人不能隨意查看，如圖 16。





圖14. 聊天機器人電腦版使用與介面優化

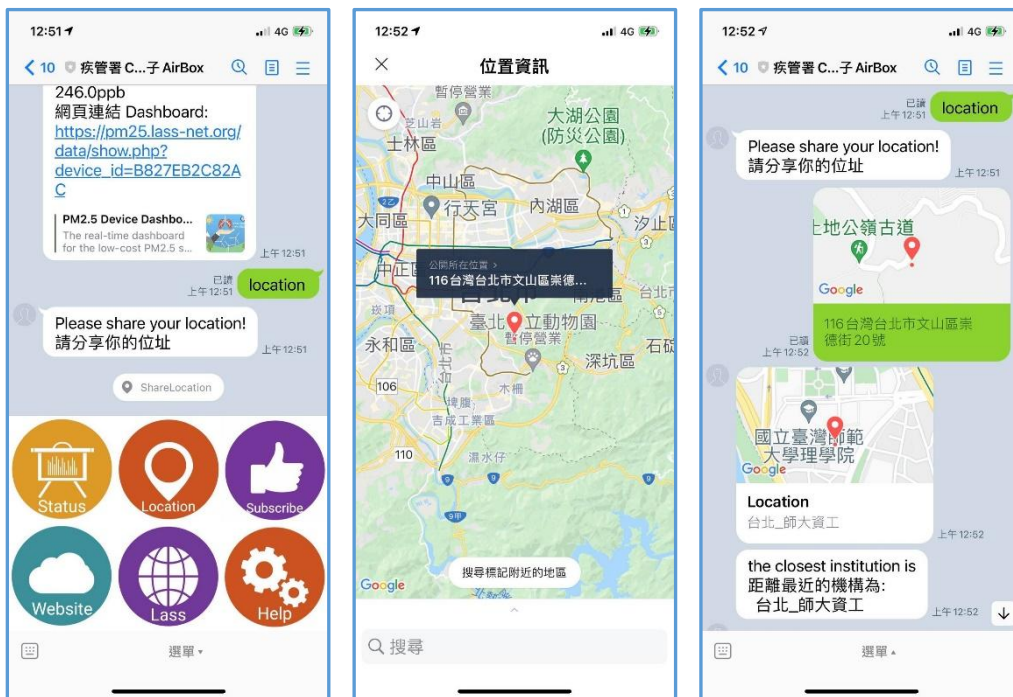


圖15. 手機定位機構地點搜尋功能

接著是機構自己替換機器位置的功能，每個機構都有提出想將機器從其中一間換到另一間的要求，因此為了使用者方便，而增加了換機器位置的功能，首先在按鈕 Help 有說明如何換機器位置，如圖 17，接著再跟管理員取得一次性的 token，輸入後即可更改一次機器位置，由於更換機器位置必須要有該機器的 id，因此只有能存取機構的人才能得到該機構的機器 id，從而進行修改，如圖 18，而在修

改前得先通過管理員來取得更改的 Token，以加強管理使用者權限。

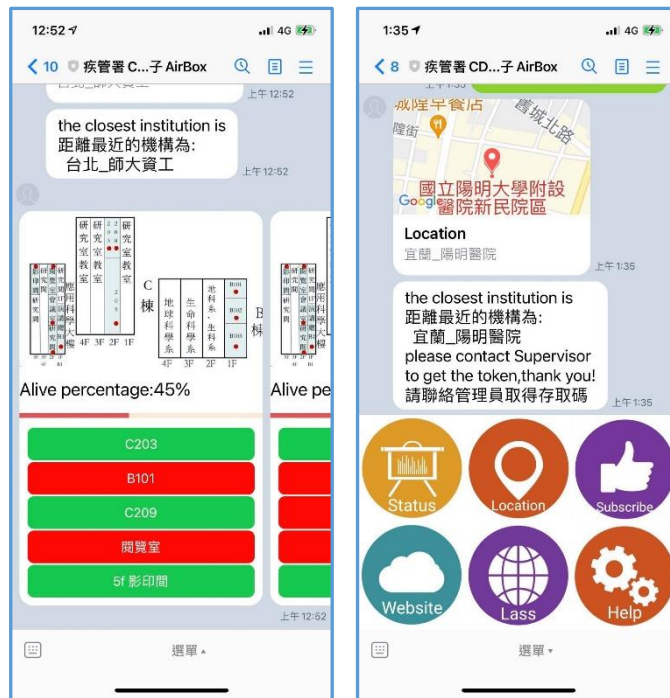


圖16. 定位機構搜尋存取限制



圖17. 更換機器位置解說

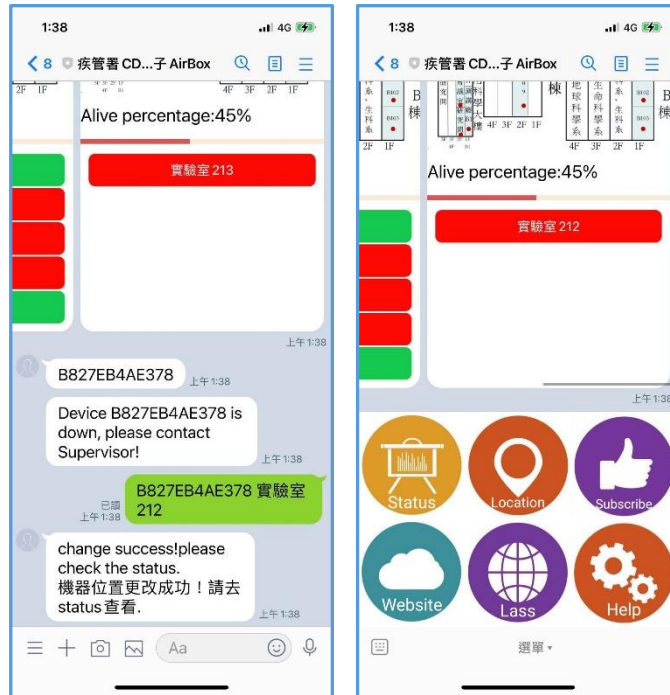


圖18. 實際操作更換

### 3. 感測裝置安裝與場測

在今年感測裝置安裝與場測上，因 COVID-19 疫情並配合疾管署疫情預防之建議，研究團隊也減少出入長照中心，以保護長照中心病患的健康並避免疫情擴散。而各機構因衛福部不同時期的規定，進入機構內者須打完 1 (或 2) 劑疫苗或 PCR 檢測通過，部分機構更進一步規定訪問者需隔離 14 天，才可入內。因此這段期間無法定期至長照中心進行維護與後續的佈建。

但也因 COVID-19 疫情，大眾與各機關開始注重防疫及室內空氣品質的問題，室內空氣品質與流通顯得格外重要。在大型室內集會上，例如國家型考試，通常人潮擁擠，長時間且近距離接觸，具有高度傳播風險，一旦出現疑似個案或群聚事件，將提高防疫難度。例如今年的教師資格考試因應台灣 COVID-19 疫情延至 7 月 17 日，但教師資格考試可能會造成考生們的跨區移動而產生防疫破口，並且考試需要考生們長時間待在同一室內空間，疫情而格外注重這次考試的消毒及室內空氣品質。

而因應衛生福利部指引公眾集會提供之「能否事先掌握參加者資訊」、「活動空間之通風換氣情況」、「活動參

加者之間的距離」、「活動期間參加者為固定位置或不固定位置」、「活動持續時間」及「活動期間可否落實手部衛生及配戴口罩」等6項指標。為了預防群聚感染，我們在教師資格考試期間，在甄試場地內佈建及場域實測，利用空氣盒子和CO<sub>2</sub>即時監測數據來確保考場空氣的流通。我們緊急佈建110學年度教師資格考試的甄試場地（台北考場 - 臺灣師範大學），參加人數約為10,440人。

同時衛生福利部疾病管制署於6月7日公布國內出現首例新型豬流感個案，4月5日自一名住中部5歲女童呼吸道檢體分離出H1N2v流感病毒。因此我們與師大生科系合作對於畜牧業進行實地佈建，並測量農場工作廠房的空氣品質分析廠房的通風情形，了解不同場域的空氣狀況並確保農場工作人員的健康。另外為了確認疾病與空氣品質關係，並介於去年COVID-19疫情，臺灣師範大學在去年3月底一名學生確診和4月初學校出現第二例確診，我們也針對感染危險性較高的臺師大健康中心進行佈建與監測。

表 4. 感測裝置安裝、場測機構和數量

縣市	機構	數量
台北市	臺灣師範大學 教師資格檢定考試 緊急佈建	35
雲林縣	大峰豬場	4
台北市	臺灣師範大學 健康中心	2
台北市	西松國民小學	11
台北市	西松國民小學 附設幼兒園	4
台北市	龍山國中	4
台南市	左鎮區左中社區發展協會	1
台南市	左鎮國中	5
台南市	左鎮國小	1
台南市	左鎮區公所	3
台南市	左鎮圖書館	4
台南市	光榮國小	4
台南市	左鎮榮和里關懷中心	1
台南市	左鎮日間照護中心	1
三個縣市、13家機構、一次緊急布設感測裝置		80

在今年正常佈建的三個縣市，分別為台北市、雲林縣、台南市，部署的 13 家機構為大峰豬場、臺師大健康中心、西松國民小學、西松小學附設幼兒園、龍山國中、左鎮區左中社區發展協會、左鎮國中、左鎮國小、左鎮區公所、左鎮圖書館、光榮國小、左鎮榮和里關懷中心、左鎮日間照護中心。感測裝置安裝、場測機構和數量，請見表 4。除了新的佈建點之外，我們也持續與先前已裝設的機構進行聯繫與維護，以下我們分別針對不同場域進行介紹與說明其狀況。

#### A. 雲林大峰豬場佈建及場域實測

##### a. 佈建：

衛生福利部疾病管制署於 6 月 7 日公布國內出現首例新型豬流感個案，4 月 5 日自一名住中部 5 歲女童呼吸道檢體分離出 H1N2v 流感病毒，經進一步檢驗並進行基因定序為新型豬流感病毒(H1N2v)。而豬流感是豬隻常見的疾病，豬隻染禽流感、人流感和豬流感後，病毒株發生基因變異成為新的病毒。因為感染途徑與人類流感相同，主要透過咳嗽、打噴嚏飛沫傳染。因此我們與師大生科系合作對於畜牧業進行一次實地測量，以了解農場工作廠房的空氣品質並測量廠房的通風情形，以確保農場工作人員的健康。

另外豬場方表示剛出生 12 小時至 3 日的小豬常常會有疾病的發生且致死率極高，想嘗試通過環境管理減少病毒或細菌在環境中增生，以達到預防疾病的發生，以及畜牧業常常會有空氣污染或是臭味的問題，雖然有在進行一些通風措施，但還是會出現週遭臭味的問題，所以也想測量目前廠房的通風情形，看是否有方法去進行改善。

##### b. 佈建地點：

依照不同廠房類型以及豬隻大小分別挑出三間廠房以及一個室外對照組，小豬(2 個禮拜、6 號廠房)圖 19、中豬(9 個禮拜、22 號廠房)圖 20、大豬(5 個半月、30 號廠房)圖 21 以及室外(辦公室外)圖 22，位置分布圖

如圖 23 所示。



圖19. 小豬廠房佈建圖



圖20. 中豬廠房佈建圖



圖21. 大豬廠房佈建圖



圖22. 室外佈建圖



圖23. 雲林大峰豬場佈建位置空拍圖

## B. 臺師大教師資格考試緊急佈建及場域實測

### a. 緊急佈建：

今年的教師資格考試因為臺灣 COVID-19 疫情突然爆發從原定的 6 月 5 日延至 7 月 17 日，雖然 7 月時疫情已逐漸趨緩，但教師資格考試可能會造成考生們的跨區移動而產生防疫破口，並且考試需要考生們長時間待在同一室內空間，因此這次教師資格考試為因應 COVID-19 疫情而格外注重這次考試的消毒及室內空氣品質。我們一直在進行疾病與空氣品質的相關研究，而臺師大作為試場考試試場之一，為獲取更多資訊，我們對 7 月 17 日臺師大教師資格考試進行緊急佈建。

因應嚴重特殊傳染性肺炎疫情，本年度考試首次在全國各縣市計 41 個考(分)區同時進行，臺北、新北各設 5 個分區考場；臺中設 4 個分區考場；桃園、臺南、高雄各設 3 個分區考場；新竹、彰化、嘉義、屏東各設 2 個分區考場；基隆、苗栗、南投、雲林、宜蘭、花蓮、臺東、金門、連江、澎湖各設 1 個分區考場。教育部政務次長蔡清華親自坐鎮應變中心，督導考試進行至考試結束。

### b. 佈建地點：

本次佈建於 7/16 中午時段於試場以及教師休息室佈建檢測裝置共 35 台如圖 24~ 圖 29，並於考試結束後收回。



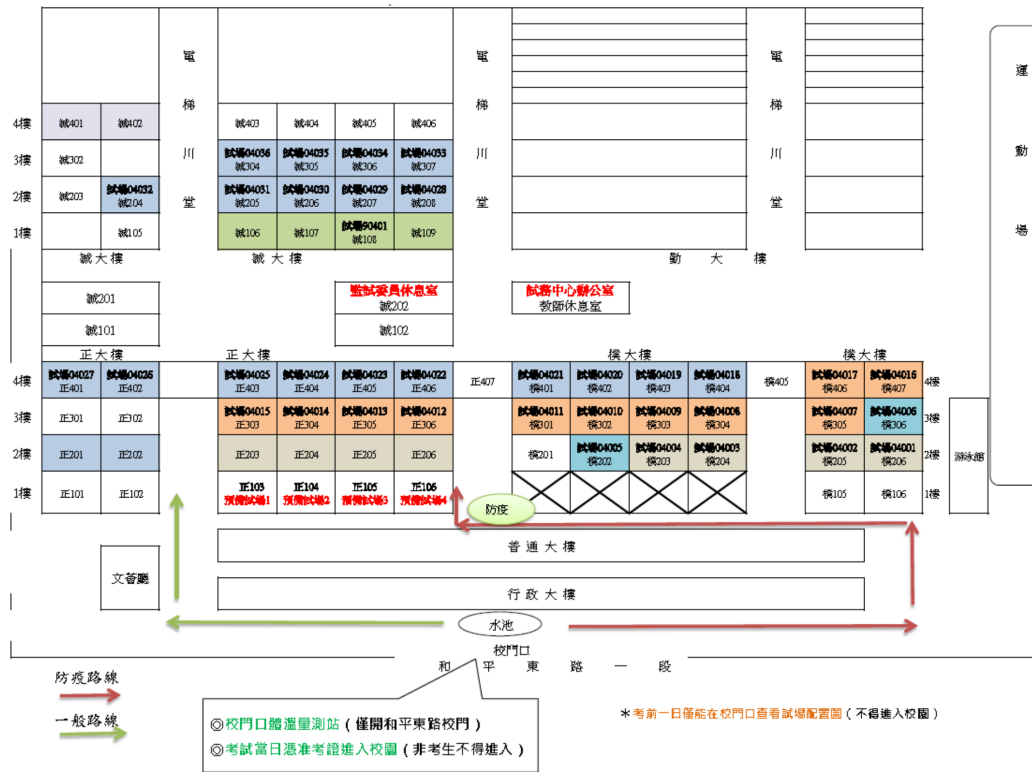


圖24. 臺師大教師資格考試試場平面圖



圖25. 臺師大師資格考試試場



圖26. 教師休息室



圖27. 誠 208 試場



圖28. 正 403 試場



圖29. 樸 401 試場

### C. 臺灣師範大學公館校區健康中心

#### a. 場地特徵：

由於去年 4 月台灣師範大學有 2 名學生確診新冠肺炎，即便校園內做了許多清消措施，但仍有可能受到

疫情侵襲。同時在評估過後，我們認為健康中心是學校多數受傷、生病的學生聚集之處，感染風險也比較高，倘若在此處我們可以掌握更多資訊，或許對疾病控制可以更有效。，因此我們在健康中心放置監測點以監測空氣品質。

b. 佈建：

臺灣師範大學公館校區的健康中心負責理學院內八個系所中的專任師資 176 位，大學部學生 1527 位，研究生 1024 位，博士後研究員 23 人。而位於公館校區的全新宿舍大樓提供約 3 千床位，並預計在 110 年 12 月完工、111 年啟用。因此我們在健康中心放置兩個監測點以監測空氣品質。



圖30. 臺師大公館校區健康中心

D. 臺北市立西松國民小學

a. 場域特徵：

西松國小位於台北市中心，緊鄰交通要道，同時校地周遭有菜市場。學校有普通班 50 班，小學部學生約有 1298 人，校地面積則佔 25242 平方公尺，建築物

面積 21307.97 平方公尺，換算後學生平均佔地面積 8.7 平方公尺。校內有多種多功能教室同時空氣狀態也不盡相同，音樂班教室因為多種樂器擺放不易清潔，同時教室雖大但常開的窗戶不足，整體空氣品質可能較差；美術教室，如圖 31 所示，時常使用多種媒材，加上在繪畫後進行加工的過程可能會影響室內空氣品質，也十分值得觀察；創客教室，如圖 32，備有 3D 列印機，當機器在運作時總是會所散發出大量的粉塵還有令人不適的味道；自然教室，如圖 33，因為進行多種實驗，同時學生上課的時間不如普通班級一樣密集，空氣的波動也比較容易觀察；韻律教室，如圖 34，為體育校隊準備，教室內擺放多種塑膠體育器材，包含跳馬與瑜珈墊等，時常會散發出刺鼻味道。而一般教室內因為疫情期間消毒頻率很高，空氣品質應該也會有所影響。感測器設置的位置大概位於人體坐著的高度，為了避免學生移動或破壞，我們會利用束帶將裝置固定。

b. 佈建：

目前已經在西松國小完成 11 台室內環境感測器，其中有三台在普通教室，包含四五年級分別位於同棟的二三四樓，而藝能科教室也佈建了七台，包含一間美勞教室、創客教室、音樂教室，以及兩間不同的自然教室及體育教室也有佈建，另外室外區域也有佈建一台作為背景測試使用。圖 35 為教室分佈圖，紅色方框為感測器部署的教室，實際感測器的擺設位置及佈建照片如圖 36 所示。



圖31. 西松國小美勞教室



圖32. 西松國小創課教室



圖33. 西松國小自然教室



圖34. 西松國小韻律教室

臺北市松山區西松國民小學110學年度教室配置圖(1100624確定版)

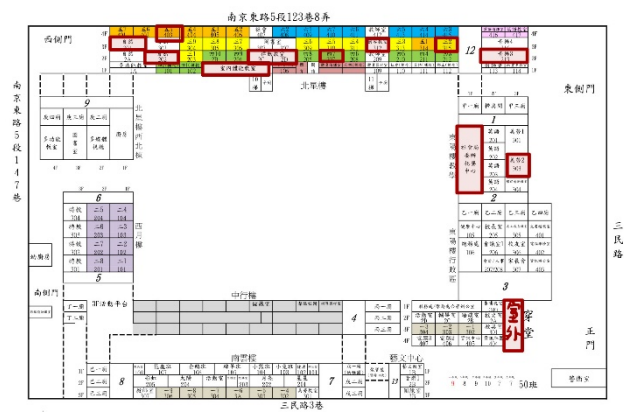


圖35. 西松國小佈建分布圖



圖36. 西松國小佈建

## E. 西松國小附設托嬰中心(社會局委辦)

### a. 場地特徵：

西松國小附設托嬰中心為社會局委辦也稱為台北市松山托嬰中心，共有四個班級其中每班為不同年齡層，有大、中、小以及寶寶這四種類別，由於目前疫情尚未完全結束，托嬰中心在晚上時都會進行一次的全面消毒，小朋友們的玩具及用品也會經常性的消毒，所以場域充斥著消毒水及酒精的味道，另外較特別的為寶寶班，位於最裡面的教室，連接著陽台，所以鍋爐及一些洗衣機等等機械也是放在附近，所以進入這個班級區域時可以感受到空氣有比較不流通，有點悶悶的感覺。

### b. 佈建

我們目前已在托嬰中心完成總計4台室內環境感測器的部屬，在4個不同年齡層的班級各佈建一台裝置，教室環境如圖37～圖40所示，佈建位置如圖41及圖42所示，原本佈建位置是要在小朋友呼吸的高度，但這次依照老師的要求在比較不容易被小朋友碰觸到的位置進行裝置佈建，所以位置會在比較深處或是較小朋友身高而言較高的地方，目前還無法確定是否會對數據產生影響。



圖37. 西松附設托嬰中心大樂班



圖38. 西松附設托嬰中心小樂班



圖39. 西松附設托嬰中心貝貝班



圖40. 西松附設托嬰中心寶寶班



圖41. 西松附設托嬰中心貝貝班佈建



圖42. 西松附設托嬰中心寶寶班佈建

## F. 龍山國中

### a. 場地特徵：

龍山國中跆拳道運動代表隊近年來名聲鵲起，在訓練上分為基礎、進階、比賽訓練階段等。各階段除了分段指導外，也包含品行態度管理、日常生活管理、團體生活管理等事項。在密集訓練及長時間練習下，訓練場的空氣環境狀態便是需要密切觀察的指標。跆拳道教室分兩間各在 2、3 樓，兩間跆拳道教室兩面皆

有窗，為避免小選手受傷，2 樓跆拳道教室地板鋪了塑膠墊，同時牆壁周圍也有軟墊緩衝，而大量運動下會感受到整間教室有些悶；3 樓跆拳道教室相較 2 樓多了更多塑膠練習器具，同時因為大型櫃子的原因也有部分窗戶無法打開，在大量運動下，也有悶的情形。

b. 佈建

我們目前在龍山國中佈建了 4 台空內環境感測器，在 2 樓 3 樓兩間各佈建 2 台，教室環境如圖 43 和圖 44 所示，佈建位置如圖 45 和圖 46 所示，為了能準確測到選手運動時的空氣情況，我們將空氣盒子放置在選手運動的高度，同時佈建於教室兩側以確保空氣監測的準確性。

c. 訊號測試

這次我們使用龍山國中本身的無線網路作為訊號來源，龍山國中 wifi 穩定，同時在佈建時我們有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，以期達到更高的資料回傳率。



圖43. 二樓跆拳道教室



圖44. 三樓跆拳道教室





圖45. 龍山國中二樓跆拳道教室佈建



圖46. 龍山國中三樓跆拳道教室佈建

## G. 左鎮左中發展協會

### a. 場地特徵

左鎮左中發展協會是當地的信仰中心，同時也是當地居民同樂聯絡感情的好去處如圖 47 所示。左鎮左中發展協會位於廟宇內，就如圖 48 般與香爐與神像僅一牆之隔，當地常在此舉辦一些抽獎活動，並進行政府活動宣達，長者會在此聊天聚會並進行活動，同時中午也會在此用餐，而到晚上長者回家，整個空間便趨於平靜。由於當地初一十五會進行廟會活動，此處便是人潮最聚集之處，若是有疾病傳播，也可對空氣數據進行觀察及分析。

### b. 佈建

團隊在左鎮左中發展協會中佈建一台機器(圖 49)，為了收到長者活動的空氣數據，機器放置在長者活動的座位周邊，同時高度與長者坐著的高度相同如圖 50 所示，希望可以透過此觀察在廟宇進行長者活動時，香灰燃燒等物質對健康是否會有影響。

### c. 訊號測試

這次在左中發展協會佈建我們使用的是協會本身的無線網路，但協會本身因地處山區，故當地人表示訊號比較不穩定，我們有特別選擇訊號較好的位置，期望有穩定的資料回傳率，若長期下來不穩定我們會再增設 Wi-Fi Extender 或使用 NB-IoT 讓資料可以穩定傳輸。



圖47. 左中發展協會實際樣貌



圖48. 左中發展協會旁廟宇



圖49. 左中發展協會實際佈建



圖50. 左中發展協會佈建位置

## H. 左鎮國小

### a. 場地特徵

左鎮國小是當地的百年老校 (圖 51)，但因地震的關係，學校經過幾次改建，目前校內設備十分新穎。左鎮國小共有六班，從小學一年級至六年級各年級各一班，一班的學生並不多，約莫 10 位以內，整體來說學生活動的空間開闊，校園周邊樹林環繞，整體空氣品質相當不錯，校內也有多種藝能科教室，電腦教室因擺放電腦窗戶緊閉，是空品相對不好的空間。



圖51. 左鎮國小與實際佈建點

### b. 佈建

在左鎮國小我們主要佈建了 1 台空氣品質偵測機器，主要裝設在小學六年級的教室，因學生最長時間待的地方便是班級內，不同課堂有不同活動空品皆會有數據變化，同時若有學生感染疾病，班級內的空氣盒子也能準確捕捉這些數據，即時確認學生安全，我們也將機器佈建於學生平時活動之處，如圖 51 所示，期待透過室內空氣數據確認該空間的活動狀態，並保障待在室內人們的健康。

### c. 訊號測試

這次我們使用左鎮國小本身的無線網路作為訊號來源，由於 Wi-Fi 來源就在教室門口，加上在佈建時我們有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，因此期望資料回傳率可以有好的表現。

## I. 左鎮國中

### a. 場地特徵

左鎮國中共三班，各年級一班，班上學生大致在 20 到 30 位左右，學校腹地大，學生活動空間開闊空氣清新，但根據學校教師敘述，左鎮在污染源受鋒面，因此常有空氣品質不佳的日子，待日後收到數據之後可以再做觀察。左鎮國中十分重視自造課程，在學校的自造教室中總有許多學生聚集，教室對外開口只有大門，校內老師有擺設空氣清淨機避免學生健康受到影響。

### b. 佈建

為了搜集學生活動的空氣品質，我們在左鎮國中佈建了 5 台空氣盒子，分別佈建在一般教室 3 間，一般教室空間如圖 52 所示，同時也佈建在學校體育館及自造教室。學校體育館環境如圖 53 所示，室內有多台腳踏車及重訓器材，同時整個空間地板鋪設塑膠地墊，整體空間塑膠味比較重，希望可以藉此觀察這樣的空間對空氣品質的影響，進而探討與健康的關係。而自造教室內部如圖 54 所示，大部分的學生在閒暇時間都會到此聚集，因此我們將機器佈建在學生坐著時的高度旁，實際感測器擺設位置如圖 55 所示，佈建照片如圖 56 和圖 57 所示，希望能確實採集到整體空間的數據。

### c. 訊號測試

這次我們使用左鎮國中本身的無線網路作為訊號來源，因左鎮國中在 IoT 課程上有極佳的表現，因此學校網路十分穩定，再加上佈建時我們有特別選擇訊號

較好的位置，避開收訊死角，因此資料回傳率應該不錯。



圖52. 左鎮國中一般教室



圖53. 左鎮國中多功能教室



圖54. 左鎮國中自造教室



圖55. 左鎮國中佈建位置



圖56. 左鎮國中實際佈建(一)



圖57. 左鎮國中實際佈建(二)

## J. 左鎮區公所

### a. 場地特徵

區公所分為兩層，一樓圖 58 是大部分職員工作的區域，整體環境相對擁擠，也擺設許多電腦設備，雖大門敞開且有空調但窗戶並未開啟，以至於空間內的溫度較室外高，空間給人較悶的感受。二樓圖 59 工作人員少很多，辦公室也較少，因此空間稍寬敞一些，但因辦公室位於大樓轉角處不易有風，空氣對流不容易，辦公室又有大型影印機，室內空氣容易受到影響。

### b. 佈建

區公所一樓因空間較大，因此我們在空間左右各佈建一台機器如圖 60 所示，而區公所二樓辦公室空間較

小且位於空氣不流通處，因此我們將機器放置在空間的正中央櫃子處如圖 61 所示，共三台機器整體空間與人數都不太一樣。



圖58. 左鎮區公所一樓



圖59. 左鎮區公所二樓



圖60. 左鎮區公所機器佈建位置



圖61. 左鎮區公所實際佈建

c. 訊號測試

這次我們使用左鎮區公所本身的無線網路作為訊號來源，公所在不同區域都有使用不同熱點，同時在佈建時我們有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，如此一來希望可達到更高的資料回傳率。

K. 左鎮圖書館

a. 場地特徵

當地唯一的圖書館，館內人數不多，定期會舉辦一些藝文活動，圖書館分為 2 層，一樓圖 62 有供長者閱讀報紙區，同時也有供幼兒閱讀童書的區域圖 63，圖書館櫃台也設在一樓為讀者服務。二樓則有自習區及電腦區，提供多樣書籍供讀者借閱。圖書館一樓的大門平時敞開對外開放促進空氣流通，但二樓雖有對外窗但平常不打開，相對一樓應是一個較悶的空間。

b. 佈建

在圖書館我們總共佈建了 4 台機器，佈建位置及實際佈建情況如圖 64 圖 65 所示，一樓我們在書報閱覽間佈建一台機器，閱覽間平時人數較少，但會不定期舉辦藝文活動與特展，活動期間人數都會較多，是人數起伏較大的空間。而一樓另一邊是兒童閱讀室，有多種童書，我們將感測器放置於位置較低的地方，希望可以收集到幼童身高處的空氣。二樓則在電腦區與小說區放置兩台機器，因電腦區是眾多人群聚集處，應可以收集到圖書館熱門時段的人數變化。

c. 訊號測試

這次我們使用左鎮圖書館本身的無線網路作為訊號來源，圖書館訊號在一二樓都十分穩定，同時在佈建時我們有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，因此資料回傳率應該還不錯。





圖62. 左鎮圖書館閱覽室



圖63. 左鎮圖書館兒童閱讀室



圖64. 左鎮圖書館佈建位置



圖65. 左鎮圖書館實際佈建

## L. 光榮國小

### a. 場地勘查

光榮國小為實驗小學，位於左鎮區榮和里，校區緊鄰「臺南左鎮化石園區」，是全國唯一的化石園區學校，學校與博物館能資源共享，以豐富的資源翻轉偏鄉教育，建構獨特學校課程，目前學校班級數為 7 班(普通班 6 班、幼稚班 1 班)，各個年級一班，另設有多功能教室、自然教室、音樂教室等等多間科任教室，對於佈建的教室選擇，校方推薦選擇人數較多及較常使用的教室，故我們選擇了三間教室，分別為老師辦公室、四年級教室以及自然教室，選擇四年級教室是因為這個年級的人數最多，因為各年級教室的空間都比較大所以人數多一點會對於我們收集資料較有利，而自然教室則是學生下課後有課後輔導的學生。

### b. 佈建完成

目前已在光榮國小完成室內環境感測器的部屬，分別為老師辦公室、四年級教室以及自然教室，如圖 66 紅點標示感測器部屬之位置，實際感測器擺設位置如圖 67 ~ 圖 70 所示，佈建圖片如圖 71 ~ 圖 74。

### c. 訊號測試

承接之前的佈建經驗這次所使用的是光榮國小所提供的無線網路，在佈建時有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，以期達到更高的資料回傳率。



圖66. 光榮國小平面圖及相對應位置



圖67. 光榮國小四年級教室

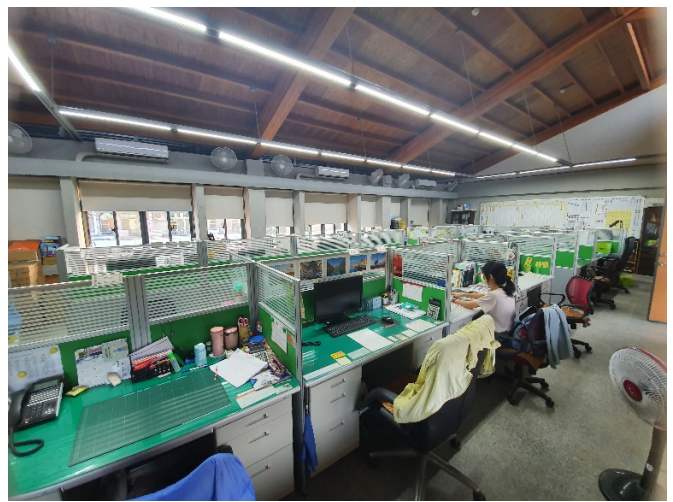


圖68. 光榮國小辦公室



圖69. 四年級實際感測器擺設位置



圖70. 自然教室實際感測器擺設位置



圖71. 四年級實際佈建

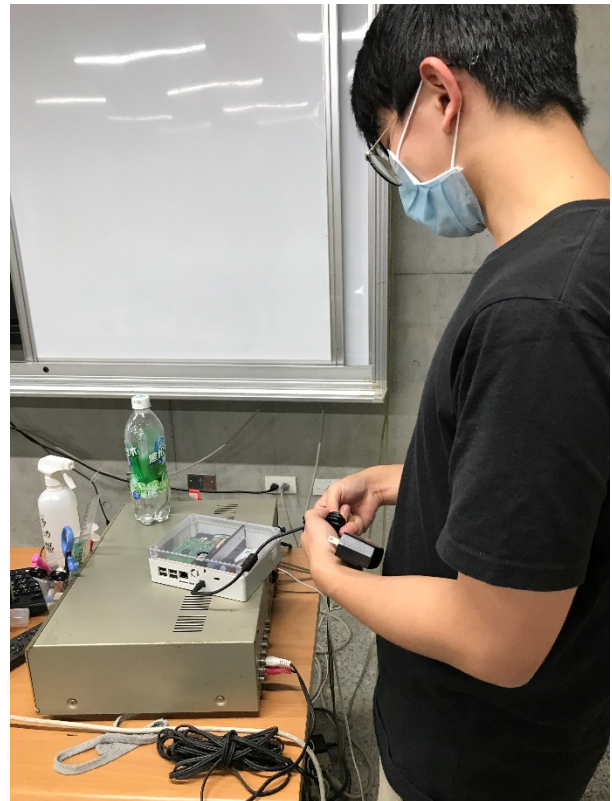


圖72. 自然教室實際佈建

110 學年度		光榮實驗小學 四年甲班 課表					
午別	時間	節次	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
	07:20		迎向朝陽上學去				
	07:40		MSSR 晨光閱讀				
上午	08:00		整潔活動	宣導活動	學生晨會	數學想想	成語教學
	08:30		體能活動	晨光閱讀	說書聯會	晨光閱讀	晨光閱讀
	08:40	1	國語	國語	國語	國語	公民素養
	09:20		謝憲如	謝憲如	謝憲如	謝憲如	謝憲如
	09:30	2	數學	國語	數學	戶外-體能	主題閱讀
	10:10		謝憲如	謝憲如	謝憲如	孫志嘉	謝憲如
	10:30	3	英語(含) 楊凱琪	數學	Fossil	數學	戶外(含) 孫志嘉
	11:10		謝憲如	沈瑞琦	謝憲如	謝憲如	謝憲如
11:20	4	戶外(含) 孫志嘉	英語	英語	英語	本土語	
12:00		謝憲如	趙玉珍	謝憲如	謝憲如	蔡宗和	
12:40		午餐					
13:20		午休					
下午	13:30	5	自然	社會	國三下午 專用	自然	國語
	14:10		凌佩瑜	謝憲如	凌佩瑜	謝憲如	謝憲如
	14:20	6	武術	健康	13:30	自然	社會
	15:00		邱仰文	蔡穎雯	14:20	凌佩瑜	謝憲如
	15:15	7	大家唱起米	英語	14:30	全英	專題研究
	15:55		黃永忠	沈瑞琦	15:20	俞鈺婷	沈瑞琦
	16:00	8			15:30		
	16:40				16:10		

圖73. 四年級課表

110 學年度		光榮實驗小學 自然教室 課表					
午別	時間	節次	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五
	07:20		迎向朝陽上學去				
	07:40		MSSR 晨光閱讀				
上午	08:00		整潔活動	宣導活動	學生晨會	數學想想	成語教學
	08:30		體能活動	晨光閱讀	說書聯會	晨光閱讀	晨光閱讀
	08:40	1					
	09:20						
	09:30	2					
	10:10						
	10:30	3		5甲 自然			5甲 自然
	11:10						
11:20	4		5甲 自然	5甲 自然			
12:00		午餐					
12:40		午休					
下午	13:30	5	4甲 自然	5甲 自然	國三下午 專用	4甲 自然	
	14:10						
	14:20	6	5甲 自然	5甲 自然	13:30	4甲 自然	
	15:00				14:20	4甲 自然	
	15:15	7	5甲 自然	5甲 自然	14:30		
	15:55				15:20		
	16:00	8			15:30		
	16:40				16:10		

圖74. 自然教室課表

## M. 榮和里關懷中心

### a. 場地勘查

為榮和里的社區照顧關懷據點，社區照顧關懷據點是由有意願的村里辦公處及民間團體參與設置，邀請當地民眾擔任志工，提供老人關懷訪視、電話問安諮詢及轉介服務，並視當地需求特性，提供餐飲服務或辦理健康促進活動，每個據點均可提供3項以上的服務，榮和里關懷中心位於臺南左鎮化石園區附近，關懷中心的空間為一大空間，並沒有太多隔間，因為關懷中心的人員大多是長輩們所以如果有長輩不小心感冒，可能會導致空間中的感染風險增加，因此更應該重視室內空氣品質的問題。

### b. 佈建完成

目前已在榮和里關懷中心完成室內環境感測器的部屬，實際感測器擺設位置如圖 75 所示，佈建場域如

圖 76 可以看到有許多志工及長輩在活動。

c. 信號測試

這次所使用的是榮和里關懷中心所提供的無線網路，在佈建時有特別選擇訊號較好的位置，避開收訊死角，以期達到更高的資料回傳率，另外因為志工及長輩們對於空氣盒子較不了解因此有特別跟志工說明。



圖75. 榮和里關懷中心室內實際佈建



圖76. 榮和里關懷中心室內圖

## N. 左鎮日間照護中心

### a. 場地勘查

財團法人高雄市華仁社會福利慈善事業基金會於臺南市左鎮區光和里辦理老人日間照顧中心「左鎮日間照顧中心」，左鎮日間照顧中心秉持健康老人的宗旨，亦為求減緩長輩老化速度，故於每日安排各式活動如彈力球活動、健身操、各式勞作、手作烘焙…等，不僅於此，更因左鎮區多數為高齡且行動不便的長者，因此每週安排治療師至中心進行服務，且於每日下午安排個別性的復能活動，以達到延緩失能之目的，圖 77 為中心室內圖，可以看到空間後方有廚房的設備，但詢問過中心人員後，廚房並不常使用只是會拿來分配食物用，圖 78 為每日課程。

### b. 佈建完成

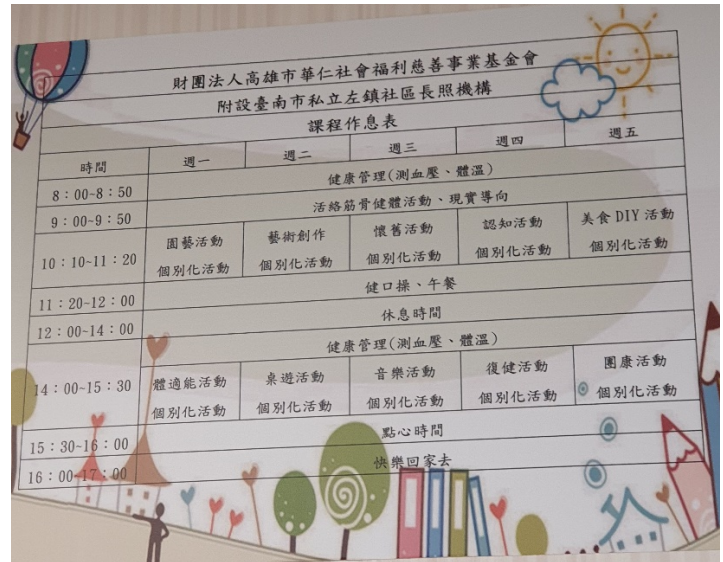
目前已在左鎮日間照顧中心完成室內環境感測器的部屬，實際感測器擺設位置如圖 79 所示，佈建圖片如圖 80。

### c. 訊號測試

這次所使用的是左鎮日間照顧中心所提供的無線網路，但實際測試後訊號有時會比較弱，會需要額外加裝 Wi-Fi Extender 來協助增強訊號，以期達到更高的資料回傳率。



圖77. 左鎮日間照顧中心室內



財團法人高雄市華仁社會福利慈善事業基金會 附設臺南市私立左鎮社區長照機構 課程作息表					
時間	週一	週二	週三	週四	週五
8:00-8:50	健康管理(測血壓、體溫)				
9:00-9:50	活絡筋骨健體活動、現實導向				
10:10-11:20	園藝活動 個別化活動	藝術創作 個別化活動	懷舊活動 個別化活動	認知活動 個別化活動	美食DIY活動 個別化活動
11:20-12:00	健口操、午餐				
12:00-14:00	休息時間				
14:00-15:30	健康管理(測血壓、體溫)				
15:30-16:00	體適能活動 個別化活動	桌遊活動 個別化活動	音樂活動 個別化活動	復健活動 個別化活動	園康活動 個別化活動
16:00-17:00	點心時間 快樂回家去				

圖78. 左鎮日間照顧中心課表



圖79. 左鎮日間照顧中心感測器擺設位置



圖80. 左鎮日間照顧中心實際佈建



#### 4. 大規模推廣評估

計畫執行的三年中，遇到 COVID-19 的大規模傳染，雖對於本計畫執行佈建上造成一些困難，但同時也讓人們對於室內空氣品質達到注意力的高峰。人民對於疾病的恐懼和對傳播途徑的不了解，加上政府對部分醫療場域的限縮與限制，讓計畫初期及中期佈建上確實遇到相當阻礙，但隨著疫情逐漸明朗，疫苗的大規模接種完成，計畫中後期已逐漸接觸到更多場域對於安置空氣盒子意願極高，尤其是容易學生群聚的教育場館及考試中心、使用量大的室內運動場館、民眾頻繁出入的辦公單位以及各地老人及幼童出入的圖書館及室內交誼場館等等，目前都有積極性的推展及非常高的裝置意願。

本計畫原目標為佈建於長照中心等安養或醫療照顧機構，但隨著疫情升溫，呼吸道疾病大規模傳染，人民對於室內空品的要求亦隨之上升，我們需要關注的已經不僅僅是特定醫療或安養機構，而是與民息息相關的每一個日常角落。故此我們建議藉由多元化不同場域的逐步推廣，在民眾對於室內空品高關注度的狀態下，隨著疫情漸趨穩定，正是強大助推本計畫的時機，由本計畫起源我們將可行性場域分為三期：

##### A. 初期大規模推廣

以較多人群聚集及頻繁使用的場所為主，例如各地區學校、各地方辦公場域等等。學校場館不但是各國政府在疫情期間最需要開放的重點場域之一，且由於其人數及場地大小限制，加上滯留時間極長，大量學生及教師皆需在校內共同作息，因此應加強列為初期佈建目標。本計畫在執行期間亦同時發現，學校對學生、家長的責任感強烈，因此對於空氣品質亦十分注意，加上本計畫執行單位特性，接觸各級學校的時候校內意願都相當高。

辦公場域亦為每日民生必經的場所之一，各地方公務單位如區公所、圖書館以及其他辦公空間，由於處理業務為民生必需，無法任意關閉，且人員進出量大，故此類單

位對於疫情期間的室內空品亦相當注重，裝設意願極佳，配合度也高。

## B. 中期大規模推廣

中期階段以人群聚集場域但非必要性設施為目標，包含運動場館、商業設施、甚至普及到其他娛樂性設施。運動場館類因屬性特殊，使用者在呼吸頻率上較普通場域更高，且在口罩規範上更困難，因此建議在第二階段大規模部署。目前已經多個運動場館有高度意願配合，因此類場館對於空氣品質亦相對較為注重，運動人口通常對於自身健康意識較高，對於本計畫的研究理念認同性也相對較高。

商業場域與民眾息息相關，在呼吸道疾病管控中亦是不可或缺的一環，在中期部署上應同步考慮佈建，這類型場域包含畜牧業及養殖場，等在人畜共通傳染病流行期，養殖牲畜的流感亦同時會感染到工作人員甚至帶回家中，因此亦有多所畜牧場針對豬流感、禽鳥繁殖場針對禽流感，都與本計畫洽詢合作可能。

## C. 長期大規模推廣

因疫情而高規格特殊管理、封鎖或半封鎖的場域，例如醫療機構、安養中心、精神照顧機構，此類單位因受政府管控，不但在疫情期間完全關閉場域，且若有疫情爆發所有接觸人員都必須進行隔離檢疫，以致於造成計畫人員佈建上的困難，再加上此類場館佈建上需要更高規格的配電、網路、防火以及特殊裝置以防外力破壞等等，且因疫情關係出入都必須特殊要求，例如：疫苗完整接種、指定天數內的PCR檢測報告等等，故應該在大規模佈建時一併予以考慮，由專人專隊設計配置的器材及線路，並且在政策管理下大規模部署管理。

### 三、 結果

#### 1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較結果

在市場上相近裝置的比較分析，我們比較 AirRun Q10 空氣品質偵測器及 AirVisual Pro，同時也在感測器元件上針對市售其他感測元件做分析。在感測器靈敏度及穩定性的比較分析中，我們針對三款室內空氣監測器可偵測的空氣物質進行比較，結果顯示空氣盒子可偵測到的不管是在空氣物質的種類上，還是偵測範圍及精準度上都比其他市售的機器還要優秀。針對不同感測器模組的比較結果，在 PM 顆粒上，空氣盒子可精準判斷不同直徑的顆粒。而在 CO<sub>2</sub> 上，空氣盒子可偵測的範圍相較中間的空氣品質偵測器也比較大，同時 TVOC 這個與室內疾病高度相關的空氣組成，空氣盒子的表現也來得更好。

接下來本團隊將分別針對各感測器與市售其他感測器的不同感測器模組進行介紹與比較，同時也與市面上其他感測器進行差異性介紹，另外也對感測器的穩定性做了一致性比較，我們將 4 台空氣盒子連續執行 24 小時，放置於相似環境下，藉此檢視 4 台感測器中的變異係數(Coefficient of Variation, CV)，計算變異係數的公式如下：

$$\text{Coefficient of Variation} = \frac{\sigma}{\mu} \quad (\sigma: \text{standard deviation}, \mu: \text{mean})$$

#### A. 二氧化碳感測器

在穩定性的比較中，我們比較市面上的兩種二氧化碳感測器固態電池與非色散紅外光 (NDIR)，大部分的感測器皆是基於這兩種技術再依工作目標與性能進行設計。MG-811 [2] 是基於固態電池原理進行測量 CO<sub>2</sub> 濃度，固態電池的設計主要是透過加熱感測器的半導體元件，當溫度足夠時感測器則是一個電池，此時電池暴露在 CO<sub>2</sub> 濃度下便會開始進行化學反應，從而產生電動勢 (EMF)，而 EMF 的大小通常與 CO<sub>2</sub> 有良好相關性，透過 EMF 即可計算出室內 CO<sub>2</sub> 濃度。另一種是非色散紅外光 (NDIR) 的方式透過二氧化碳能吸收非色散紅外光的特性在紅外光源和探測

器之間進行感測，透過所得到的光強度，以提供有效的二氧化碳測量值。本計劃中空氣盒子的二氧化碳感測器使用 SenseAir S8 [1] 感測器是使用非色散紅外光 (NDIR) 的原理來測量二氧化碳值。

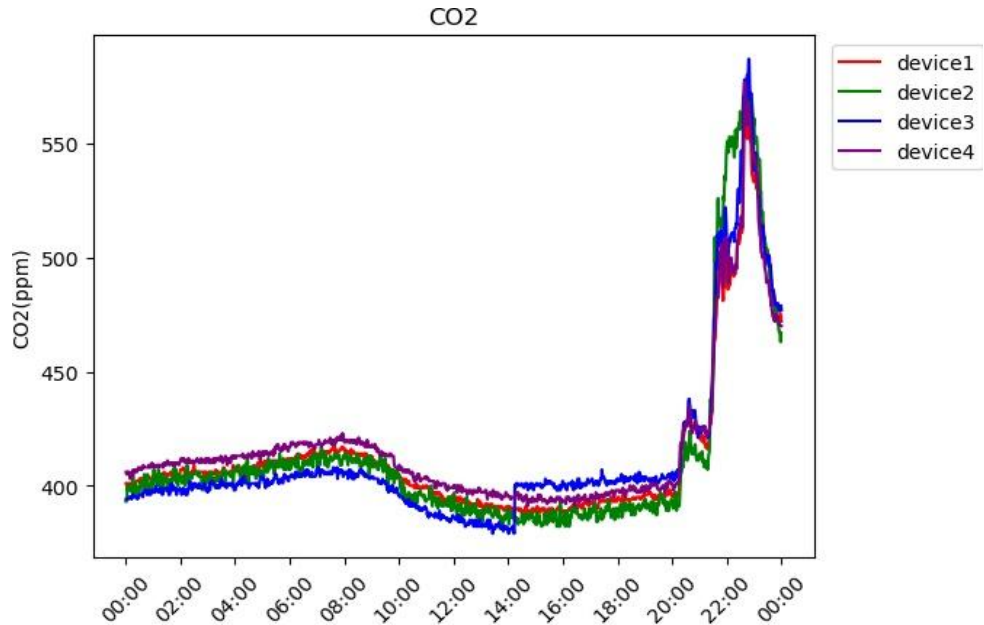


圖 81. 連續 24 小時感測二氧化碳數值

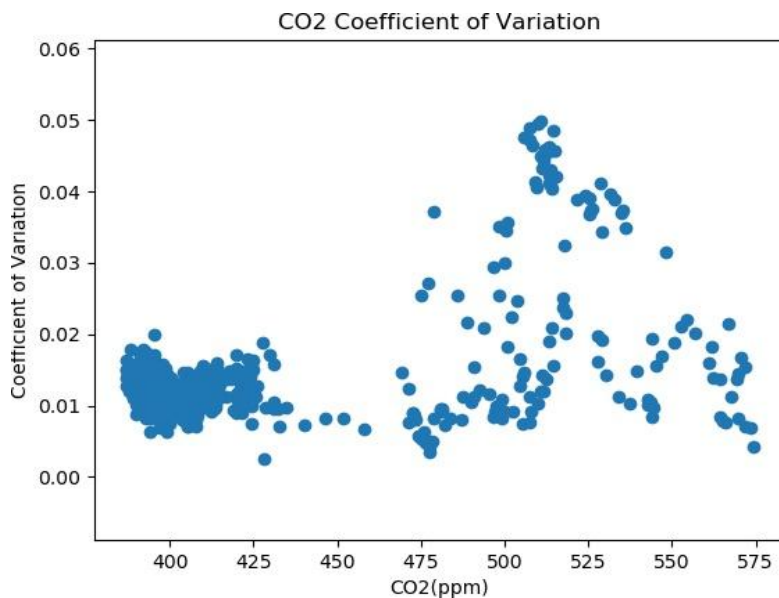


圖 82. 二氧化碳數值一致性比較

而在穩定性上，我們經過 24 小時連續測試後，結果如圖 81、圖 82 所示。在圖 81 中，橫軸為放置一天的時間，縱軸則為 CO<sub>2</sub> 數值，我們可從中看出四台感測器的曲線起伏大致相同，而圖 82 橫軸為二氧化碳值，縱軸為變異係數

(CV)，從中可看出變異係數都低於 0.06，可看出每台感測器之間的數值差異微小。

## B. 總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compound, TVOC) 感測器

本計劃使用的 TVOC 感測器是 SGP30。SGP30 感測器主要利用的奈米金屬氧化物 (MOx) 顆粒的加熱膜進行偵測，在金屬氧化物顆粒與目標氣體進行化學反應的過程中改變電阻，進而測量出不同 TVOC 氣體的含量。我們針對 SGP30 做了穩定性測試，在進行實驗之後，結果如圖 83、圖 84 所示。圖 83、圖 84 分別為連續 24 小時感測 TVOC 數值以及 TVOC 數值一致性比較。在圖 83 中，橫軸為時間，縱軸則是該時間下 TVOC 的數值，從圖中可明顯看出 Device4 的數值相較其他三台的數值有 50 ppb 的位移，因此我們也判斷此台可能在零點時有些許誤差，未來也會以多數機器的平均數值為標準，並對有偏移的機器進行校正。而圖 84 橫軸為 TVOC 值，縱軸為變異係數值(CV)，從圖中可看出變異數值都在 0.5 以下，當 CV 在 1 以下表示不同感測器在相同濃度下所測量的數值差異性很小，因此計畫中使用的 TVOC 感測器的表現仍屬穩定。

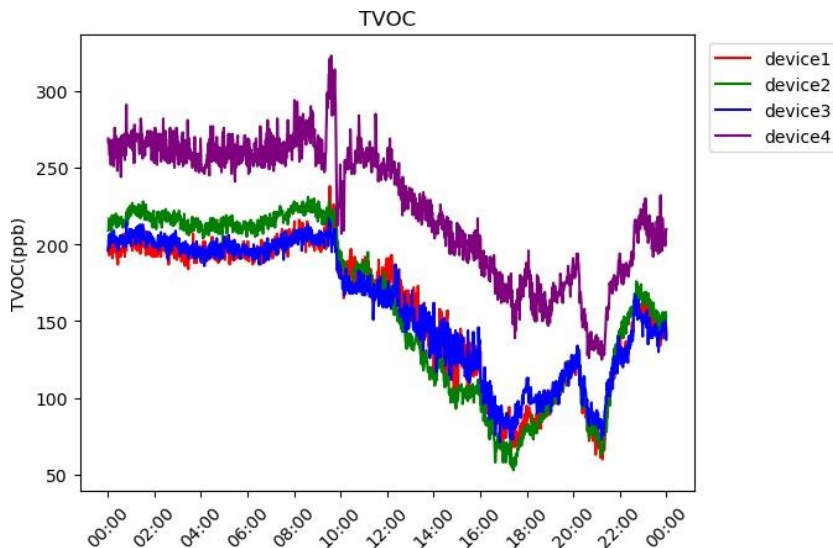


圖83. 24 小時感測 TVOC 數值

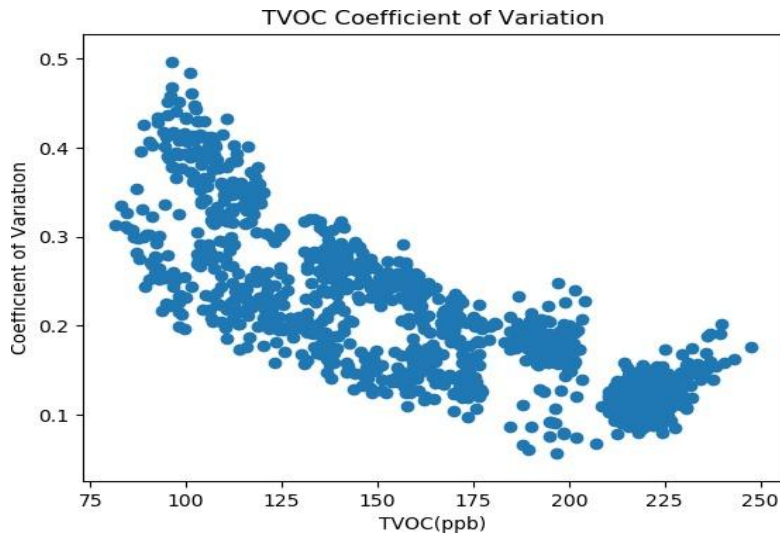


圖84. TVOC 數值一致性比較

另外為了確定 TVOC 感測器能確實檢測到空氣中的揮發性有機氣體，我們準備了兩種具揮發性有機氣體的液體—去漬油(醛類)及酒精(乙醇)作為測試物，從圖 85 中看到，我們在 10 點及 11 點時對 4 台空氣盒子進行實驗，可以看到數值有明確的升高，表示感測器能確實感測到空氣中的 TVOC。而在接近 16 點時，針對其中一台噴灑酒精，能看出 Device4 因為距離污染源更近所以數值飆升的更高而其他三台雖然也有升高但因為距離較遠所以數值沒有 Device4 來得高。

另外醫院常需要消毒器械以確保醫療行為中可能有的感染情形，同時因應最近新冠病毒疫情影響，環境也常有消毒的需求，但過多的使用漂白水可能會對人體特別是醫護人員造成傷害，當醫護人員需要暴露在充斥著高濃度漂白水的環境，容易造成鼻子、喉嚨、眼睛不適，所以我們也對於漂白水進行過一次測試，如圖 86 所示，很可惜的是經過我們的幾次實驗後發現 TVOC 感測器沒辦法感測到漂白水所揮發的氣體，而漂白水主要的揮發氣體為氯氣，未來若要感測漂白水則可考慮加裝氯氣的感測器。

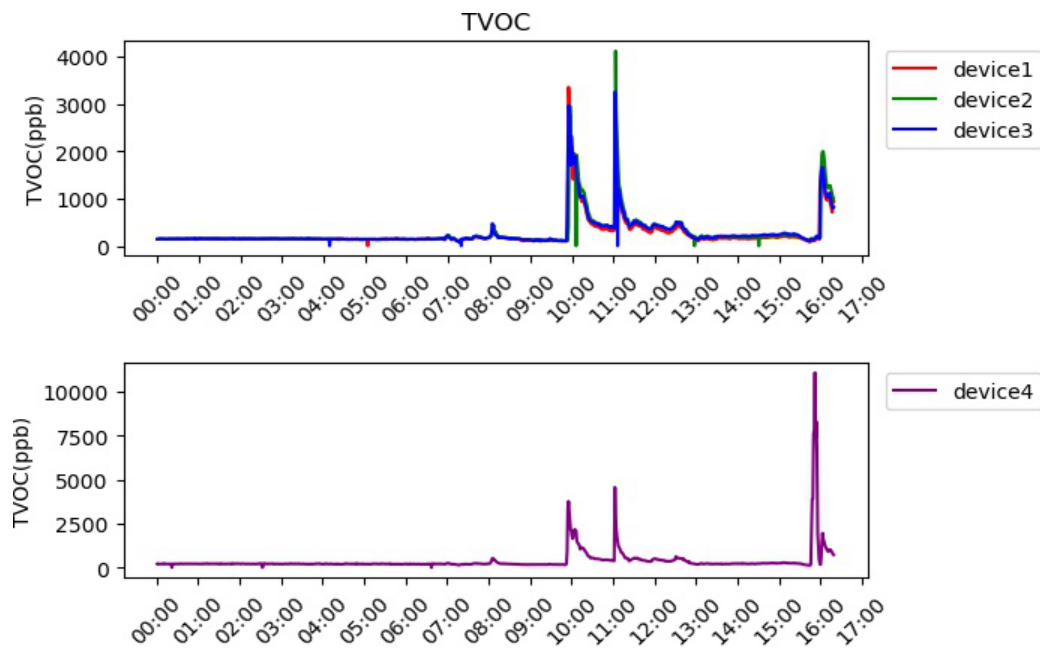


圖85. TVOC 感測器測試數據

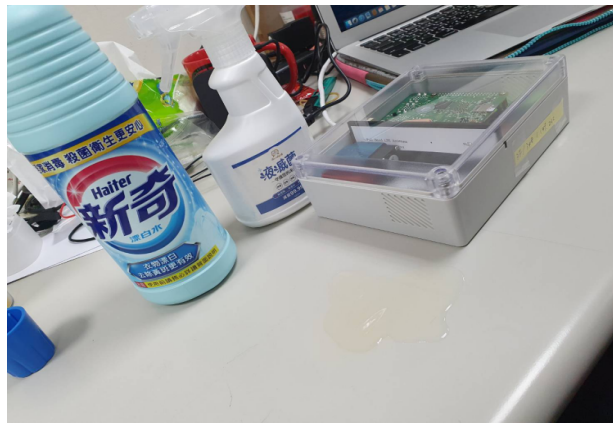


圖86. 漂白水測試狀況

### C. 懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 感測器

本次計劃使用的懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 感測器為 G3 PMS3003。因為 G3 可以測量直徑小於  $10\mu m$ 、 $2.5\mu m$  甚至是小於  $1\mu m$  的細懸浮微粒，並且直接量測出 PM 質量濃度不需要做任何的資料後處理。

經過實驗測試後實驗結果如下，圖 87、圖 89、圖 92 為連續 24 小時感測 PM1.0、PM2.5、PM10 數值，從圖上可看出數值變動劇烈，但主要是因為 PM 值皆為整數，加上數值都較小，因此仍屬正常情況。圖 88、圖 90、圖 92 為 PM1.0、PM2.5、PM10 數值一致性比較，雖然圖上點的

分布較為離散，但其變異係數值(CV)都小於 0.35、0.35、0.5，因此在穩定性上 PM 感測器的表現並不差，不過未來我們也會針對此實驗數據進行校準。

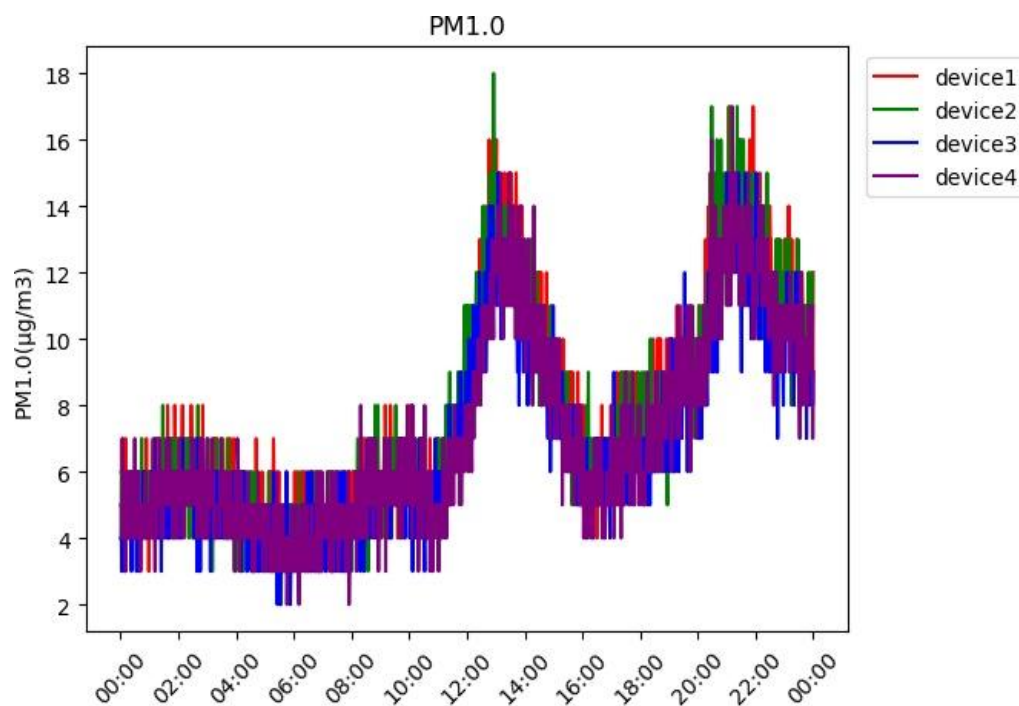


圖87. 連續 24 小時感測 PM1.0 數值

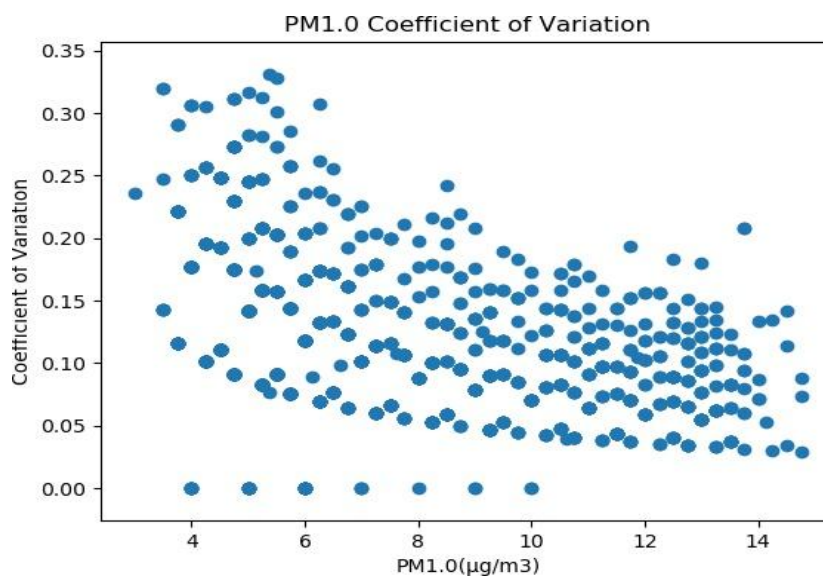


圖88. PM1.0 數值一致性比較



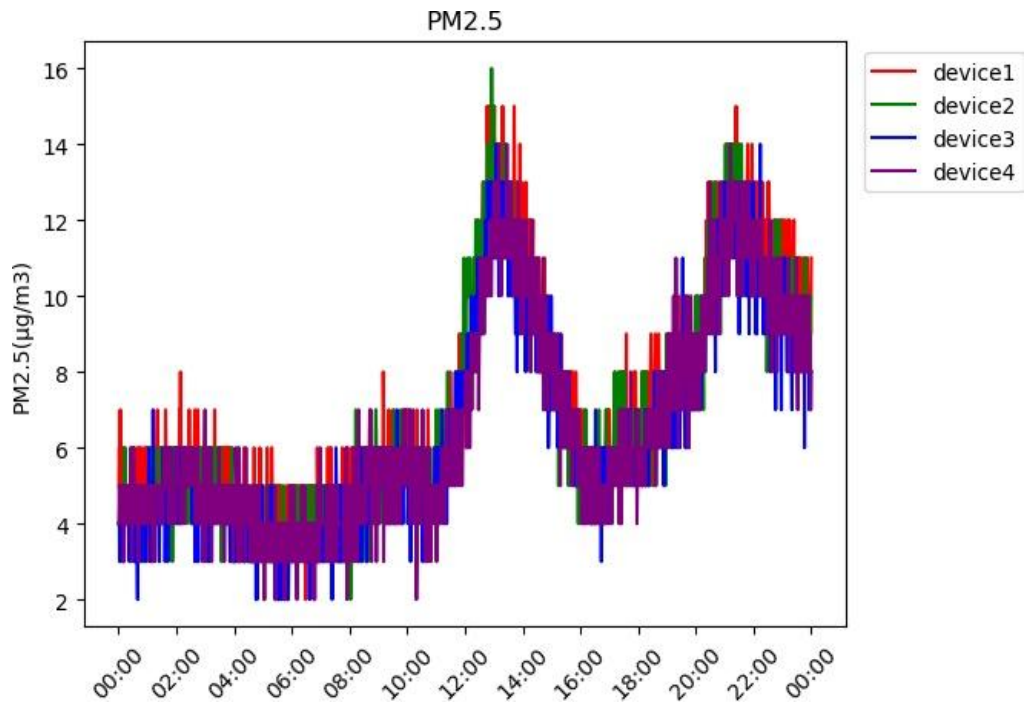


圖89. 連續 24 小時感測 PM2.5 數值

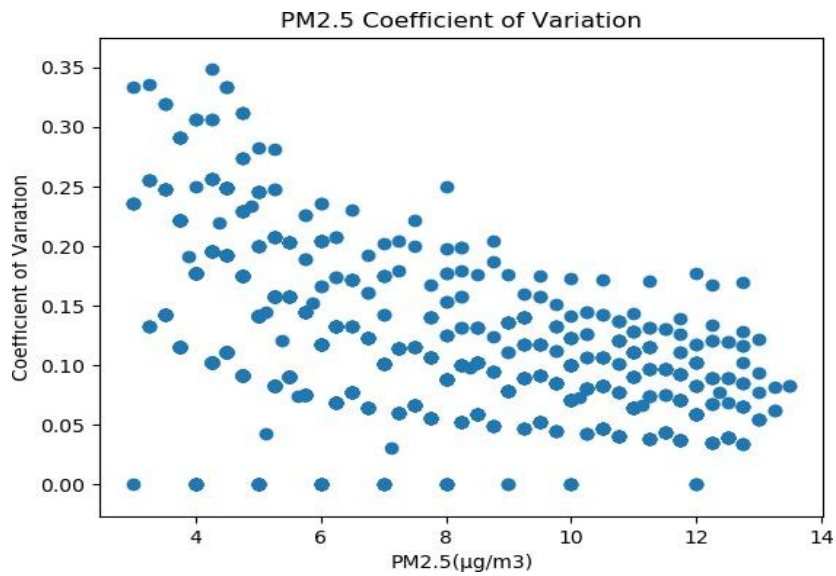


圖90. PM2.5 數值一致性比較

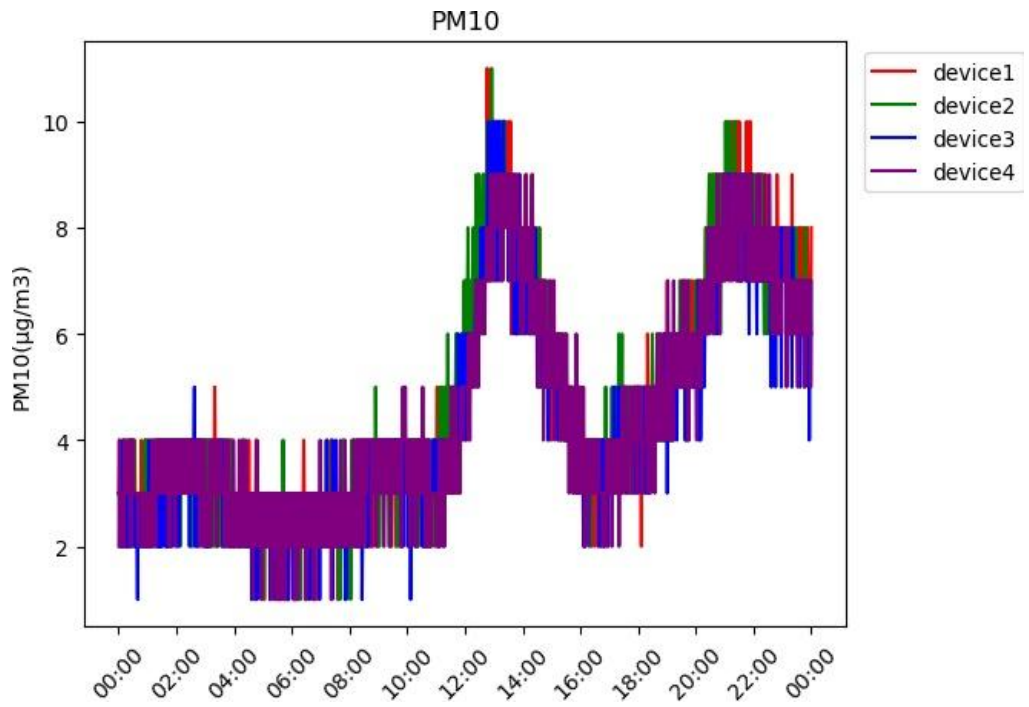


圖91. 連續 24 小時感測 PM10 數值

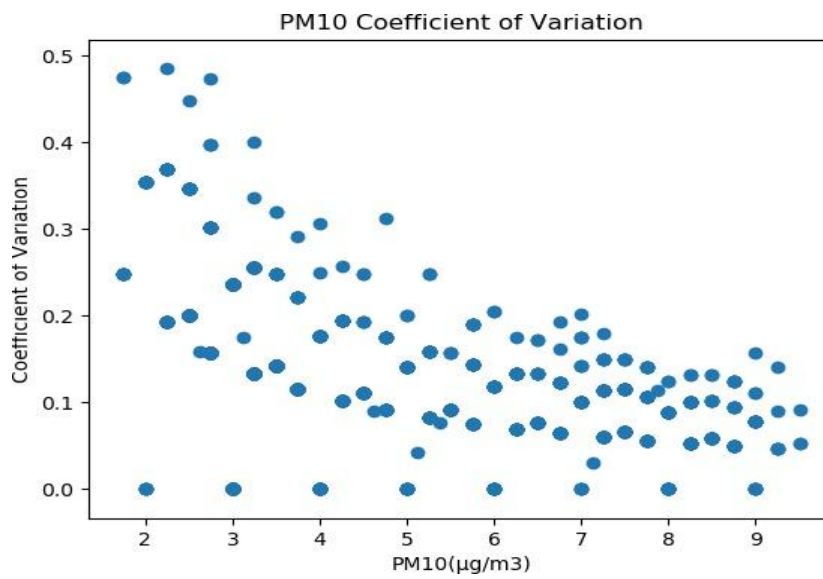


圖92. PM10 數值一致性比較

## 2. 雲端分析平台優化

在雲端分析平台上，根據 109 年成果與使用者回饋和討論資料視覺化的方式後，我們持續優化和客製化微型空氣品質感測器 (AirBox) 的雲端後台系統。雲端分析平台結合室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ\_TW)、雲端系統、分析平台、即時資訊儀表板、聊天機器人、智慧通風等運用功能。

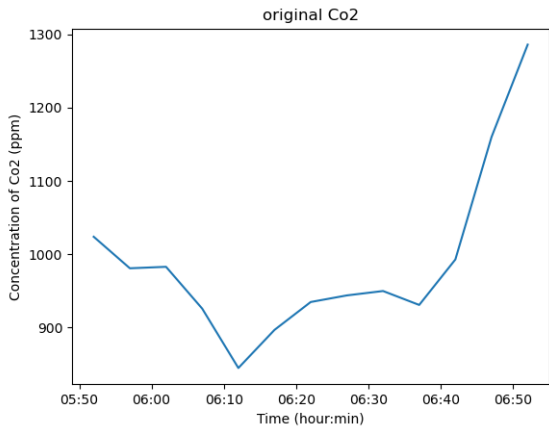
109 年在開發智慧遠端物聯網設備項目中，我們夠透過物聯網的方式來控制空調設備。智慧通風扇結合了智慧遠端控制設備，從後端伺服器的資料庫取得相關空氣資訊，判斷該場域的二氧化碳濃度或是 PM2.5 指數是否大於設定的最大值，運用紅外線接收發器接收及發送紅外線訊號，控制相關的空調設備和通風扇的裝置上，使室內空氣更能有效地達到更高品質。

### A. 優化智慧通風扇遠端操控

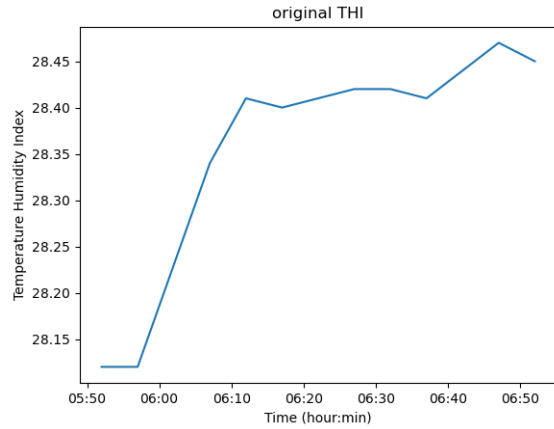
今年我們優化智慧遠端物聯網設備控制功能，對雲端分析平台中的空氣數據做資料分析，使用機器學習的技術，運用遞歸神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 的長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM)，通過 LSTM 模型預測室內空氣環境，實現優化室內的空氣品質，如果模型預測十分鐘後的二氧化碳或者是舒適度指標 (Temperature Humidity Index, THI 值，如表 5) 不符合標準，系統當下就會發送訊號去調控空調與通風設備。例如二氧化碳濃度高低標準值分別設定於 500 ppm、1000 ppm，如果預測結果高於高標準值就發送訊號去啟動通風，反之如果低於低標準值則發送訊號關閉，以節約能源；舒適度指標亦然，將之高低標準值分別設定於 22、26，如果預測結果高於高標準值就發送訊號去啟動空調，反之如果低於低標準值就發送訊號關閉，減少能源浪費，使室內空氣品質能夠一直維持標準。我們在實驗室實測的結果，平時空氣數據，如圖 93。在使用了智慧遠端控制系統後，能夠讓室內空氣品質自動維持標準，如圖 94。

表 5. THI 舒適度指標

人體感覺	非常寒冷	寒冷	稍寒	舒適	悶熱	易中暑
THI 值	$\leq 10$	11 ~ 15	16 ~ 19	20 ~ 26	27 ~ 30	$\geq 31$

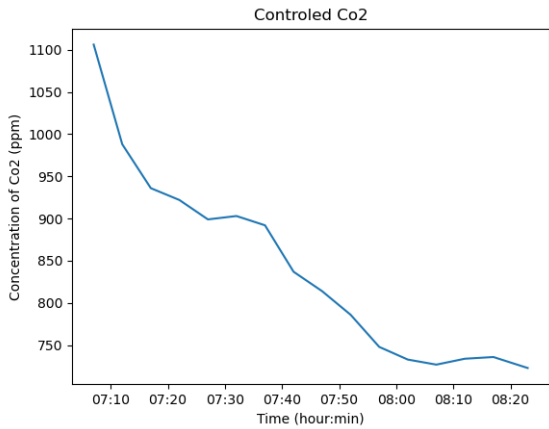


(a) 二氧化碳

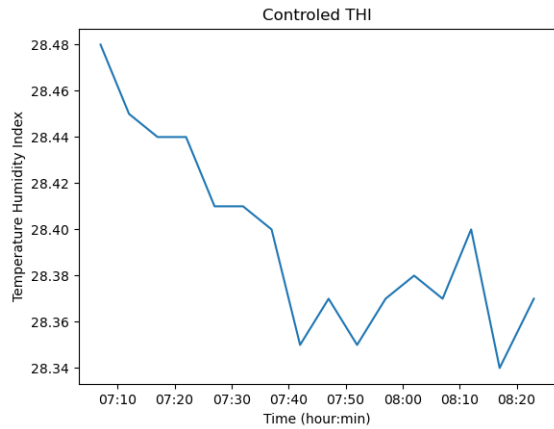


(b) THI 舒適度

圖93. 平時二氧化碳和 THI 空氣數據



(a) 二氧化碳



(b) THI 舒適度

圖94. 智慧遠端控制系統改善後的二氧化碳和 THI 空氣數據

## B. 優化聊天機器人(LINE Bot)推送感測器量測結果與警訊

在優化聊天機器人的方面，在資料查詢部份新增了揮發性有機物 TVOC 的資料。因應各機構的要求，增設了中文介面和分享功能。聊天機器人也新增了內建的簡易教學介紹，以及機器人的 lineID，並可以使用 QR code 來加好友以更方便讓各機構的人交接給新進員工。由於安全性考量，每個機構的資料還是得必須先輸入該機構之存取碼 (Token) 後才具有存取該機構權限，確保各機構的資料只有該機構的人可以存取。同時，為了方便讓使用者在電腦版上的 LINE 也可進行查詢操作，新增輸入指令字串來查詢資料的功能。

在今年我們也新增了地點查詢功能 (Location)，通過在手機裝置上點選 Location 按鈕，即可利用使用者所在位置搜尋資料庫中距離使用者位置最接近、且有佈建機器的機構，回傳該機構的位置，如果使用者已經輸入過該機構之存取碼、擁有存取該機構之權限，則將同時呈現該機構的機器資料以供查詢；若沒有權限，則會顯示需要向管理者拿取授權碼。

為了方便機構替換空氣盒子機器位置從其中一間病房換到另一間病房的需求，而增加了換機器位置的功能，按照 Help 按鈕中的如何換機器位置說明，跟管理員取得一次性的 token，輸入後即可更改一次機器位置，而在修改前得先通過管理員來取得更改的 Token，以加強管理使用者權限。

### 3. 場域實測與感測裝置資料數據分析

因 COVID-19 疫情和政府對部分醫療場域的限縮與限制，在今年感測裝置安裝與場測上，無法定期至長照中心進行維護與如期後續的佈建，讓計畫初期及中期佈建上確實遇到相當阻礙。計畫中後期已逐漸接觸到更多場域對於安置空氣盒子意願極高，尤其是容易學生群聚的教育場館及考試中心、使用量大的室內運動場館、民眾頻繁出入的辦公單位以及各地老人及幼童出入的圖書館及室內交誼場館等等。除了新的佈建點之外，我們也持續與先前已裝設的機構進行聯繫與維護，以下我們分別針對不同場域進行數據收集與結果分析。

#### A. 雲林大峰豬場數據分析

在雲林大峰豬場，我們一共在廠房放置了 4 個小時橫跨早上、中午以及下午三個階段，以下資料依序為溫度、濕度、光度值、PM1.0、PM2.5、PM10、CO<sub>2</sub> 以及 TVOC，將三個不同體型及位置的豬場與室外資料做比對，已看出其中是否有關聯性。

從 PM 圖 98 ~ 圖 100 來看，可以看到在 PM1.0 及 PM2.5 的圖中可以看到不論何種大小的豬場其 PM1.0 及 PM2.5 的濃度都較室外的濃度高，而 PM10 在四個地點的濃度沒有明顯的區分。另外 CO<sub>2</sub> 一般視為通風狀況的一個表徵，可以從圖 101 上看到，三個豬場 CO<sub>2</sub> 濃度都較室外高，而中豬及大豬的濃度又較小豬的高，推測原因為廠房形態的不同，中豬及大豬的廠房為密閉，通風依靠大排風扇，而小豬的廠房則是通風的，只有捲簾布的遮罩，所以濃度較其他兩處低，除此之外在大豬的折線圖上可以看到有三處大起伏，推測原因為在那個時間點排風扇開始運作，而排風扇的運作增加豬場的通風性，而使得 CO<sub>2</sub> 濃度大幅下降。最後在 TVOC 圖 102 上也能看到與 CO<sub>2</sub> 相同的情況。

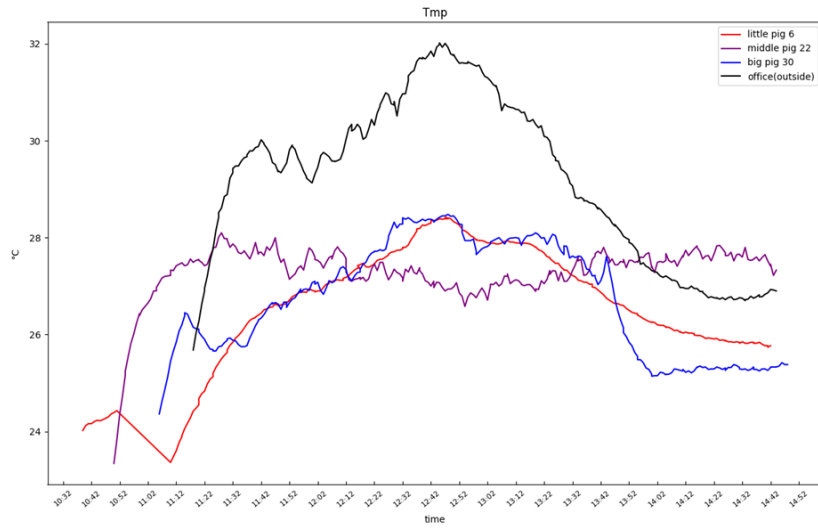


圖95. 雲林大峰豬場溫度

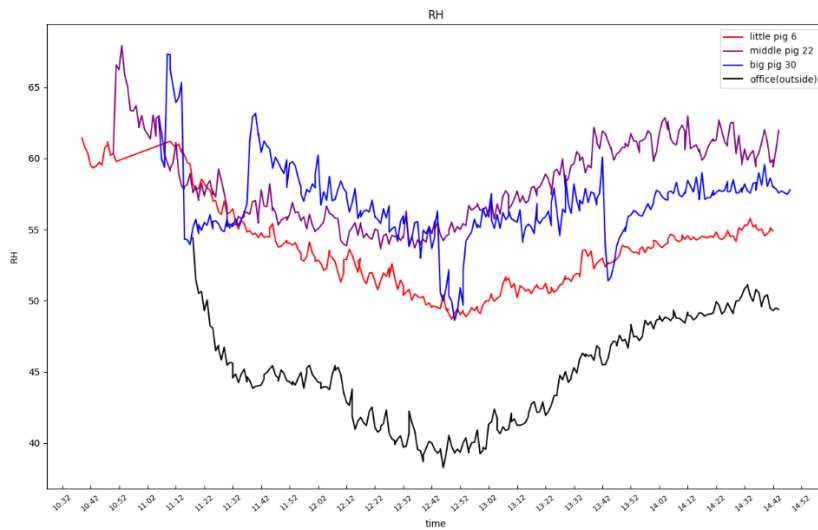


圖96. 雲林大峰豬場濕度

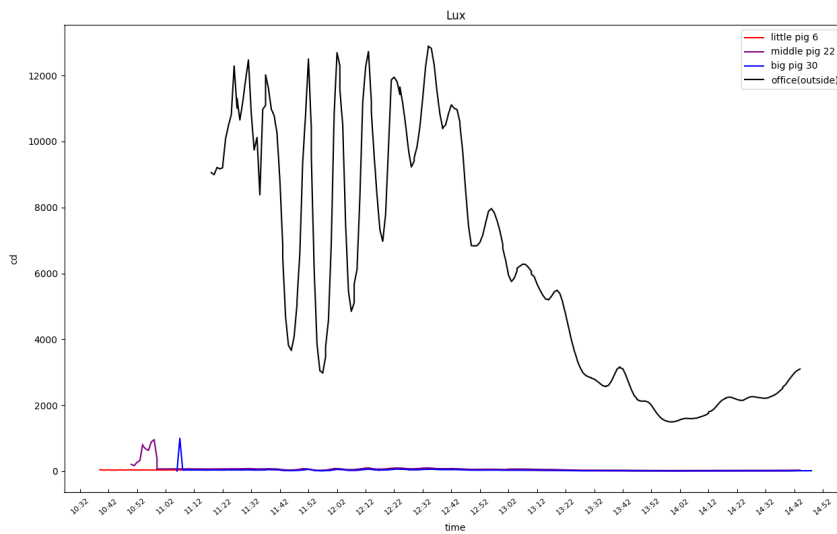


圖97. 雲林大峰豬場光度

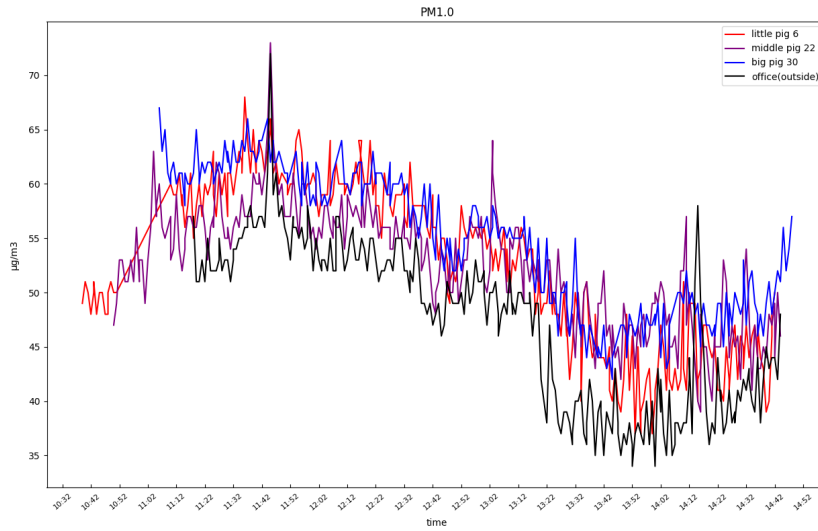


圖98. 雲林大峰豬場 PM1.0

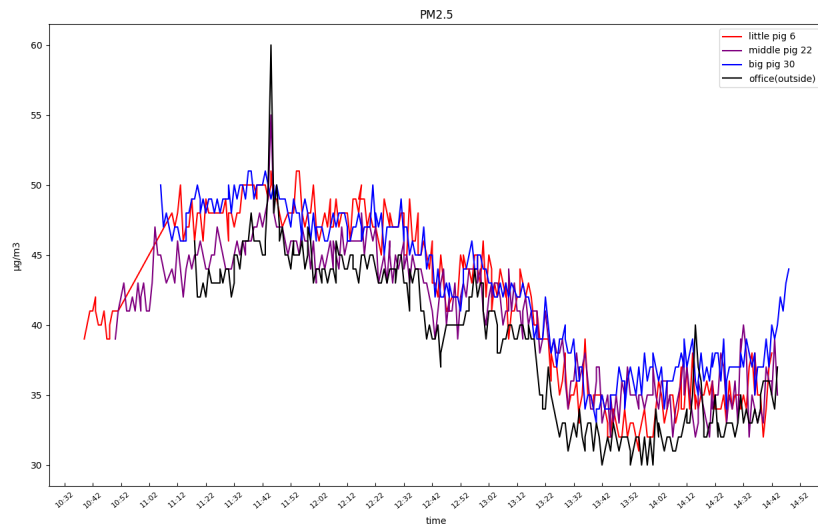


圖99. 雲林大峰豬場 PM2.5

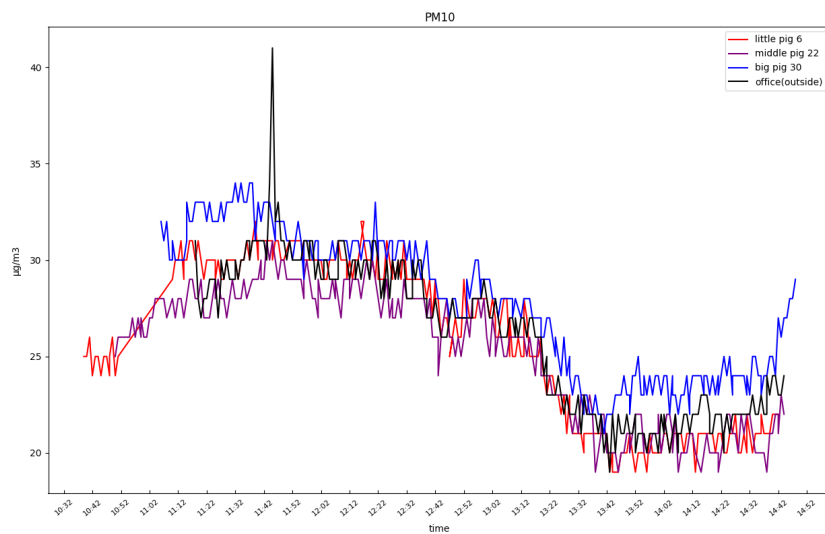


圖100. 雲林大峰豬場 PM10



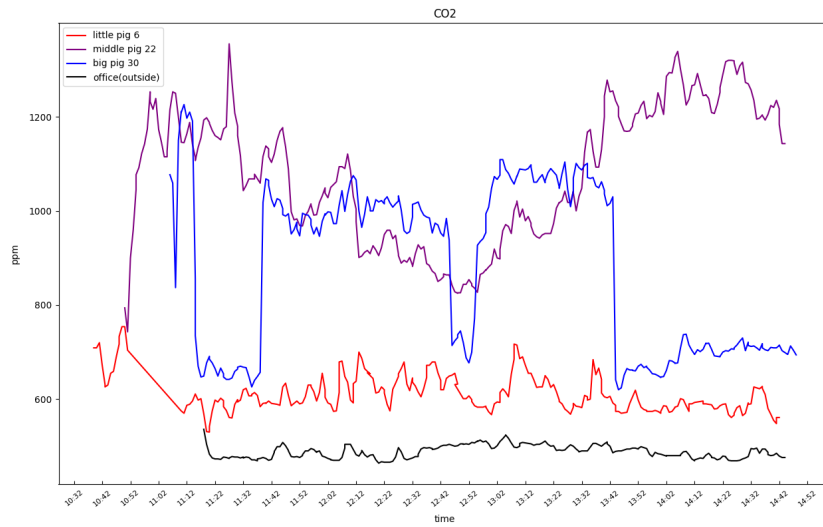


圖101. 雲林大峰豬場 CO<sub>2</sub>

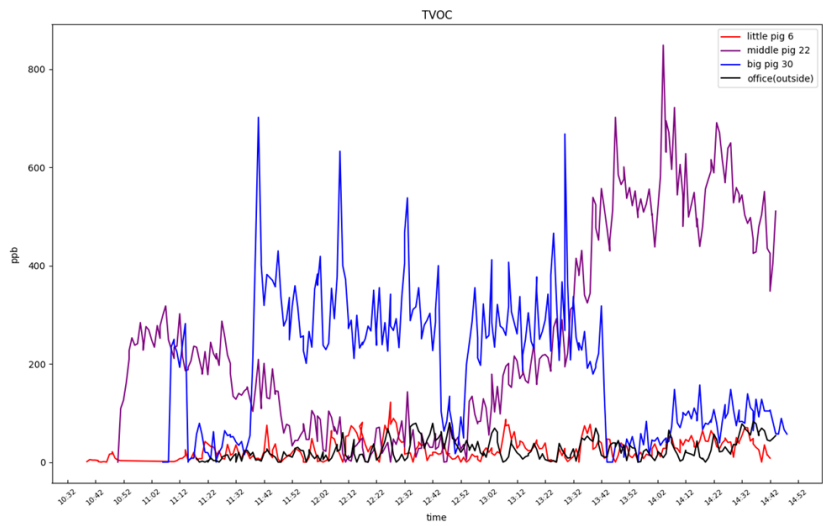


圖102. 雲林大峰豬場 TVOC

## B. 臺師大教師資格考試緊急佈建及場域實測數據分析

我們從 CO<sub>2</sub>、PM 以及 TVOC 三個面向根據表 6 的考試時間表來進行分析，最後將與 109 學年的教師資格考試做比較來找出其差異以驗證防疫措施的有效性。

### a. CO<sub>2</sub> (二氧化碳)

在國內法規中 CO<sub>2</sub> 的標準值為 1000 ppm，普遍認為在人多的地方 CO<sub>2</sub> 濃度也是會上升的，因為人會有 CO<sub>2</sub> 的呼出，因此 CO<sub>2</sub> 也常常被認為是通風狀況的表現，可以從圖 103 中看到在考試進行期間可以看出明顯的起伏，與每間試場的考試日程是吻合的，所以每一次的升降是考生在考場進出，且在考試中達到一個穩定的數值，但可以看到其 CO<sub>2</sub> 濃度也大致維持於 1000 ppm 以下，其中可以從圖 103 看到只有正 403 的 CO<sub>2</sub> 濃度是超出標準值的。

表 6. 考試時間表

考試科目 檢定類科		110年7月17日(星期六)				
		幼兒園	特殊教育學校(班)	國民小學	中等學校	
上午	預備鈴	08:25	預備鈴(鐘)聲響時,應考人可入場			
	第1節	8:30-10:10	國語文能力測驗	國語文能力測驗	國語文能力測驗	國語文能力測驗
	預備鈴	10:40	預備鈴(鐘)聲響時,應考人可入場			
	第2節	10:45-12:05	教育原理與制度	教育原理與制度	教育原理與制度	教育原理與制度
下午	預備鈴	13:15	預備鈴(鐘)聲響時,應考人可入場			
	第3節	13:20-14:40	幼兒發展與輔導	特殊教育學生評量與輔導	兒童發展與輔導	青少年發展與輔導
	預備鈴	15:10	預備鈴(鐘)聲響時,應考人可入場			
	第4節	15:15-16:35	幼兒園課程與教學	特殊教育課程與教學 (身心障礙組) 特殊教育課程與教學 (資賦優異組)	國民小學課程與教學	中等學校課程與教學
	預備鈴	17:05	預備鈴(鐘)聲響時,應考人可入場			
第5節	17:10-18:30			數學能力測驗		

註：考試科目「特殊教育課程與教學」採身心障礙組、資賦優異組分別命題，分成兩類試題考試。

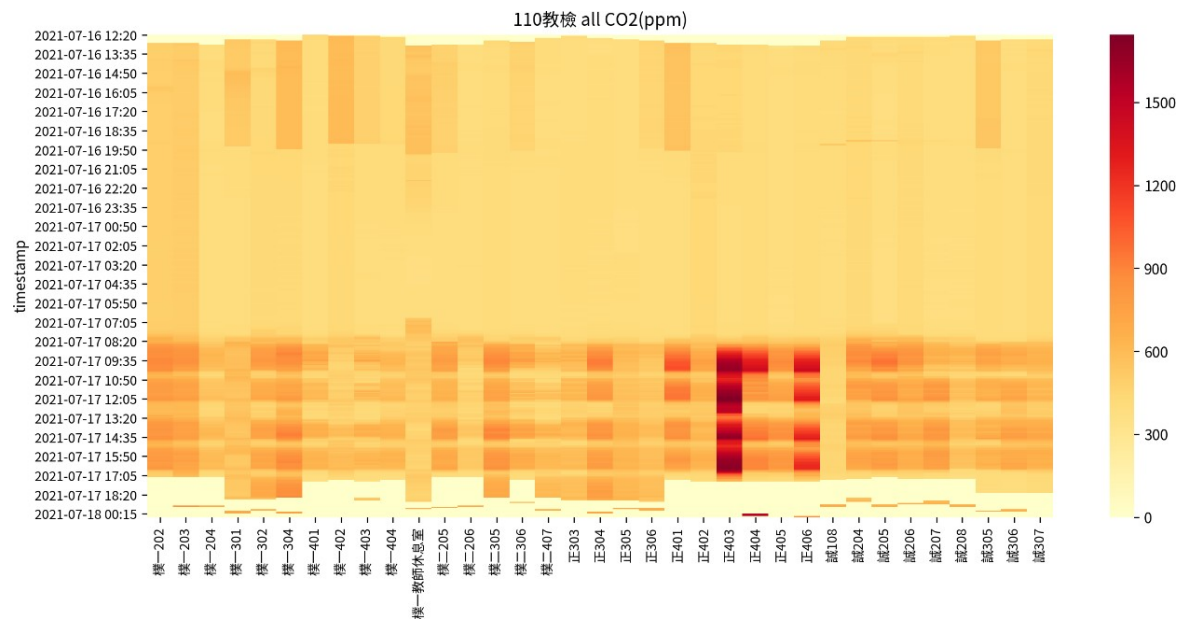


圖103. 110 學年教檢 CO<sub>2</sub>

b. PM (細懸浮微粒)

在國內法規中對位於 PM<sub>2.5</sub> 的標準值為  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  而 PM<sub>10</sub> 的標準值為  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，目前 PM<sub>1.0</sub> 還沒有規範，而我們的檢測裝置對於細懸浮微粒可以偵測的大小為 1.0、2.5 以及 10，從圖 104、圖 105 以及圖 106 中可以看到在 7/16 日晚間 7:30 左右都有明顯升起的狀況，會有起伏的原因推測是因為正在進行考場的消毒，經過我們之前的實驗，進行消毒的噴灑時會有細懸浮微粒的產生，另外在隔日(7/17)考試日當天，可以看到每個考場的細懸浮微粒都有些微的增加，推測原因也是因為有酒精消毒的情形，但不同於之前晚間的消毒是對於整個考場的大範圍消毒，考試期間的消毒可能只是對於人的手部，所以消毒的範圍及用量所造成的起伏並沒有前一天來的多，但也都沒有超出標準值的範圍。

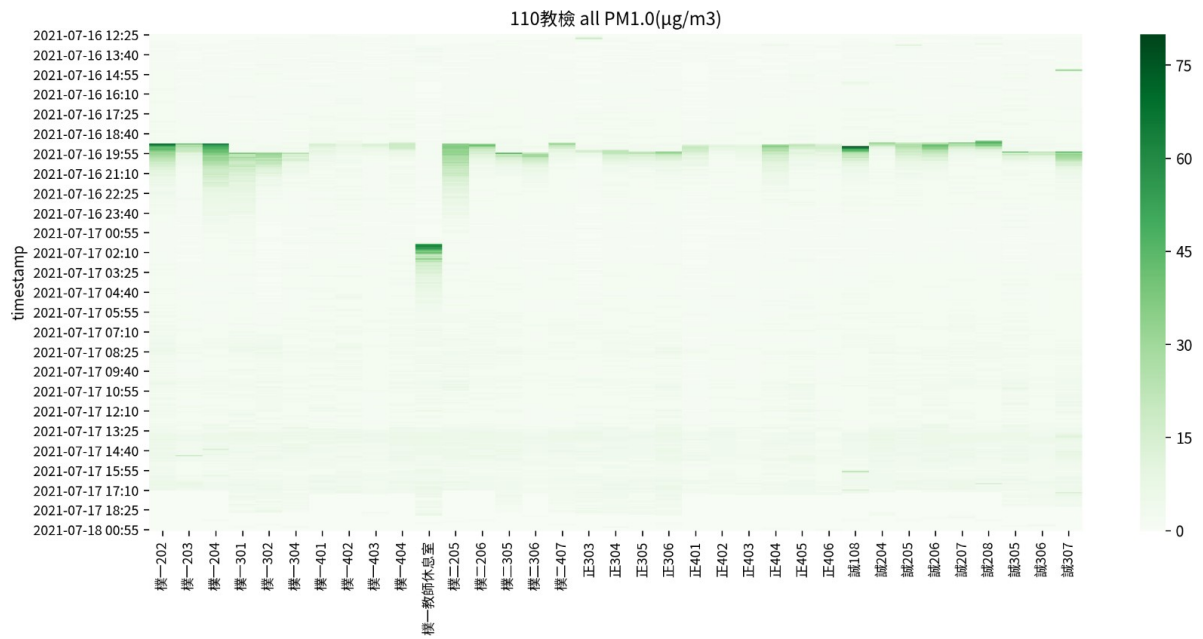


圖 104. 110 學年度教檢 PM1.0

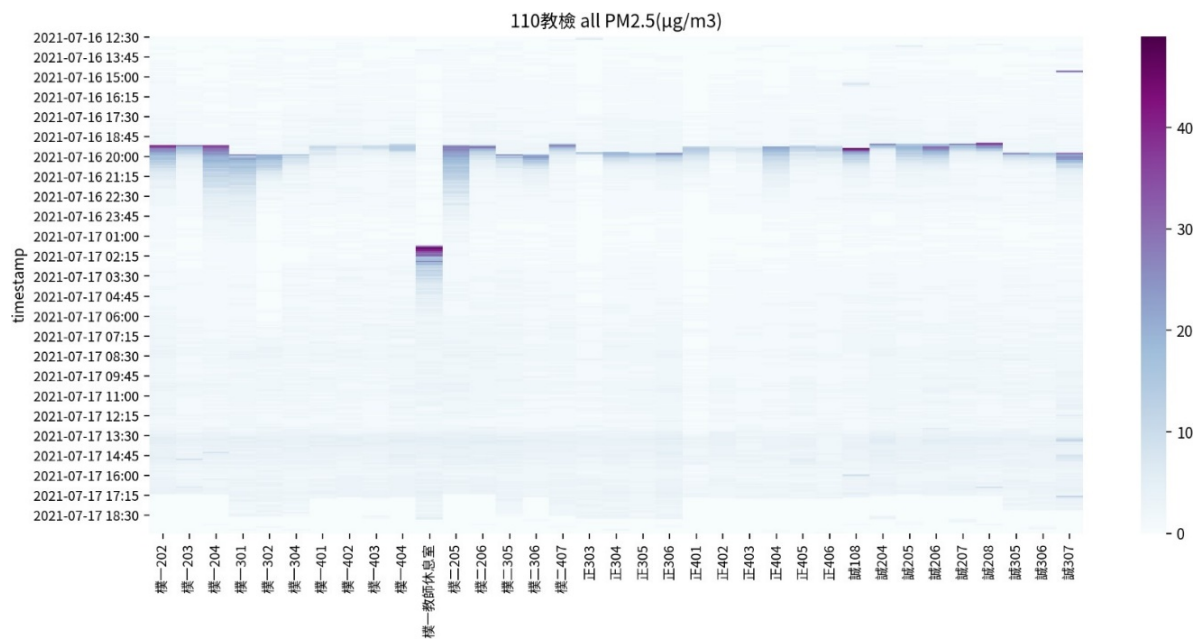


圖 105. 110 學年度教檢 PM2.5

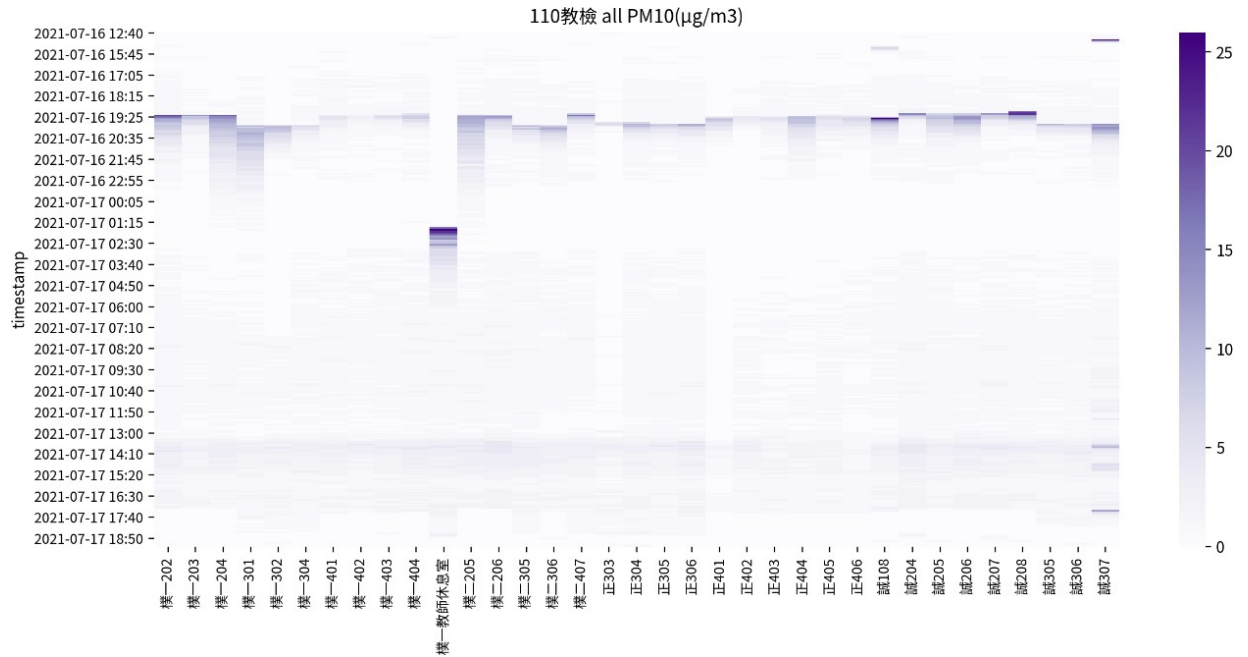


圖106. 110 學年度教檢 PM10

c. TVOC (總揮發性有機化合物)

國內對於 TVOC 的標準值為 560 ppb，但依照我們以往的實驗，與檢測裝置的距離遠近也是影響數值的關鍵因素之一。從圖 107 來看，可以發現在 7/16 晚間的消毒時與細懸浮微粒相同，因為有 TVOC 的揮發可以看到數值的起伏，而在考試期間可以看到 TVOC 有頻繁且劇烈的起伏狀況。影響 TVOC 的升降因素有兩種，一是因為消毒的情形，二則是因為人員的進出。但從圖 107 來看可以觀察到通常最高數值都出現於考生進入考場時，推測是因為進行大量人員的消毒，而之後隨著時間數值有逐漸下降的趨勢，當酒精揮發完成後數值就趨於穩定值。

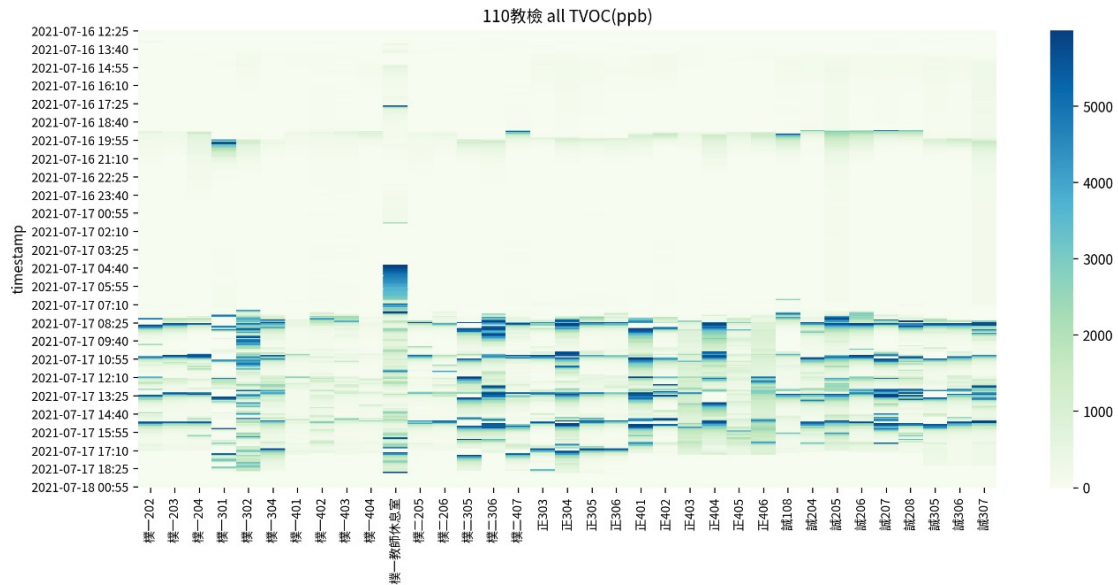


圖107. 110 學年度教檢 TVOC

d. 110 學年度與 109 學年度之比較結果

圖 108~ 圖 112 為 109 學年度教師資格考試的空氣檢測資料，日期為 6/5 至 6/6，佈建時間一樣為 6/5 的中午至 6/6 考試結束，共佈建 23 間試場以及教師休息室及考生休息室，共 25 台機器，我們將資料與今年的空氣資料比較，在不同的時空背景之下會有哪些差距以及相同的地方。

i. 相同之處

可以從 110 學年度與 109 學年度的各項數據圖看出，考試前一天的晚間都會有消毒作業，且在 CO<sub>2</sub> 濃度的部分，可以看到每間試場的濃度升降都有符合試場日程。

ii. 差異之處

因為今年的疫情有較嚴重的趨勢，所以針對各考場也有相應措施，在佈建時就可以看到與去年不同，考場不再是密閉的環境，而是將大部分窗戶都打開，這點在數據上也能看出來。110 學年度的 CO<sub>2</sub> 以及細懸浮微粒的部分數值都較 109 學年度小很多，且大部分都有維持在國家所規定的室內空氣品質

的標準值內。可以看出為了完成這次的考試有增加更多的防疫措施，整間考場的通風情形有大幅度的改善，增加通風率其實也能預防大多數的疾病，此外相較於 109 學年度的數據，110 學年度唯一有增加的數值則是為 TVOC，推測原因為個人消毒需求大幅度的增加，或是有一些考場防疫措施，從圖 107 及圖 112 可以看到數值是沒有改變的。但圖 107 也就是 110 學年度，是每間試場都有較多高數值頻繁的出現，而圖 112 則是只有少數幾間試場有出現高數值，所以可以看出可能為了因應目前疫情較嚴峻的情形，為了保護考生及試務人員，所增加更多的防疫措施。

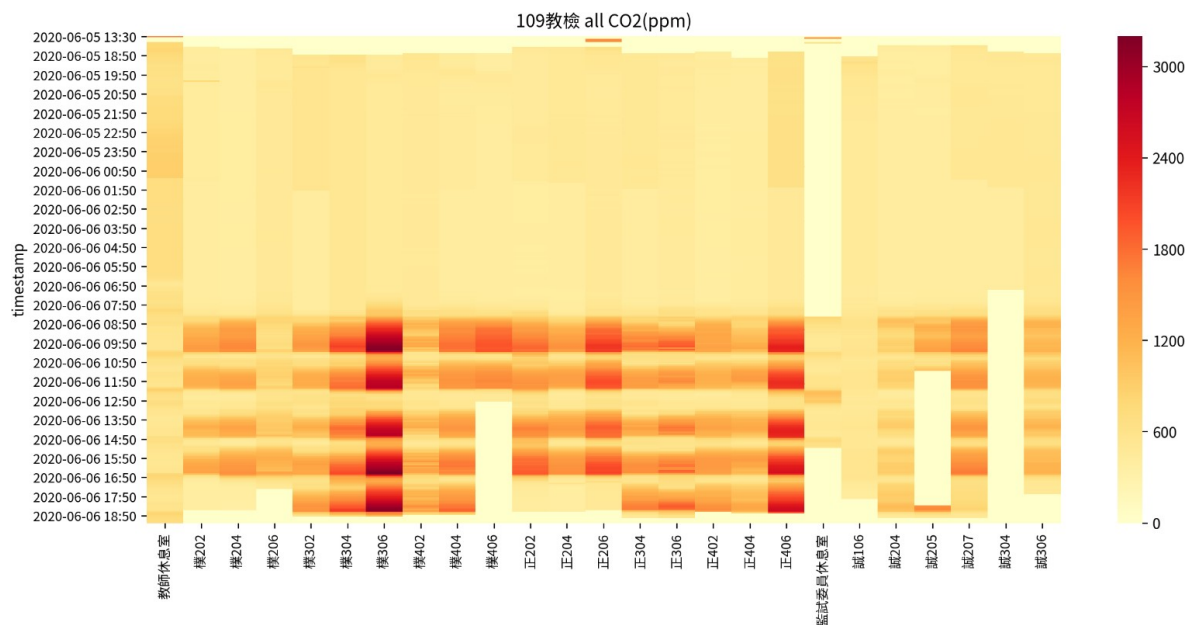


圖108. 109 學年度教檢 CO<sub>2</sub>

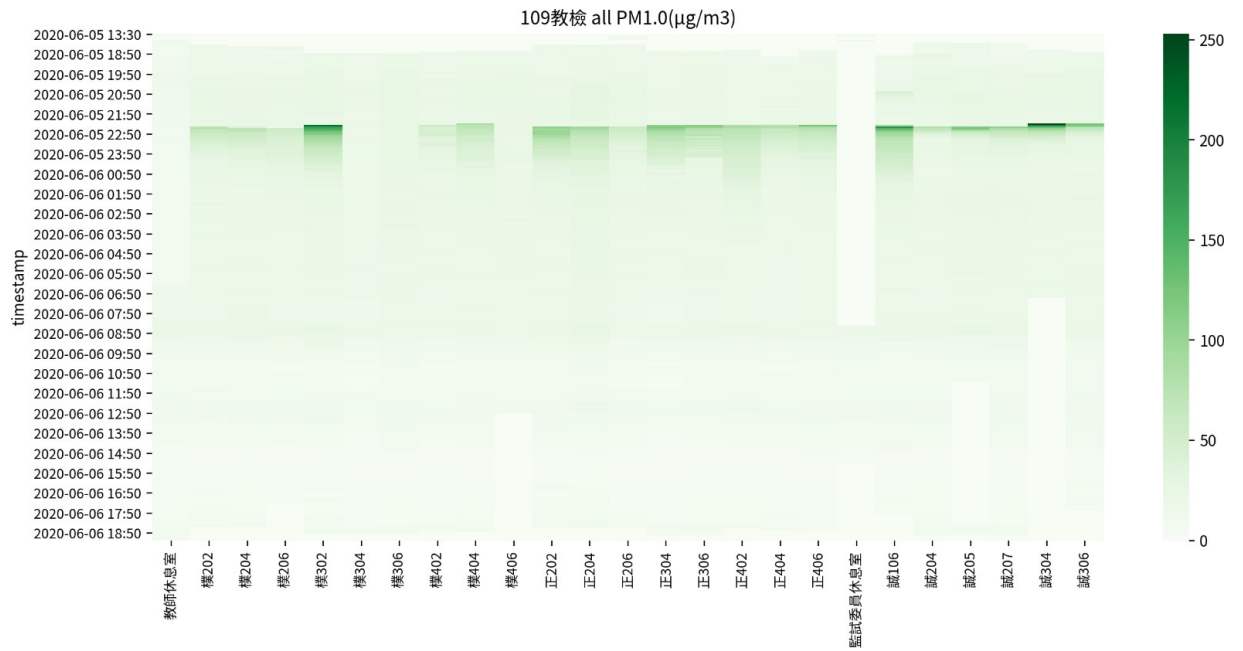


圖109. 109 學年度教檢 PM1.0

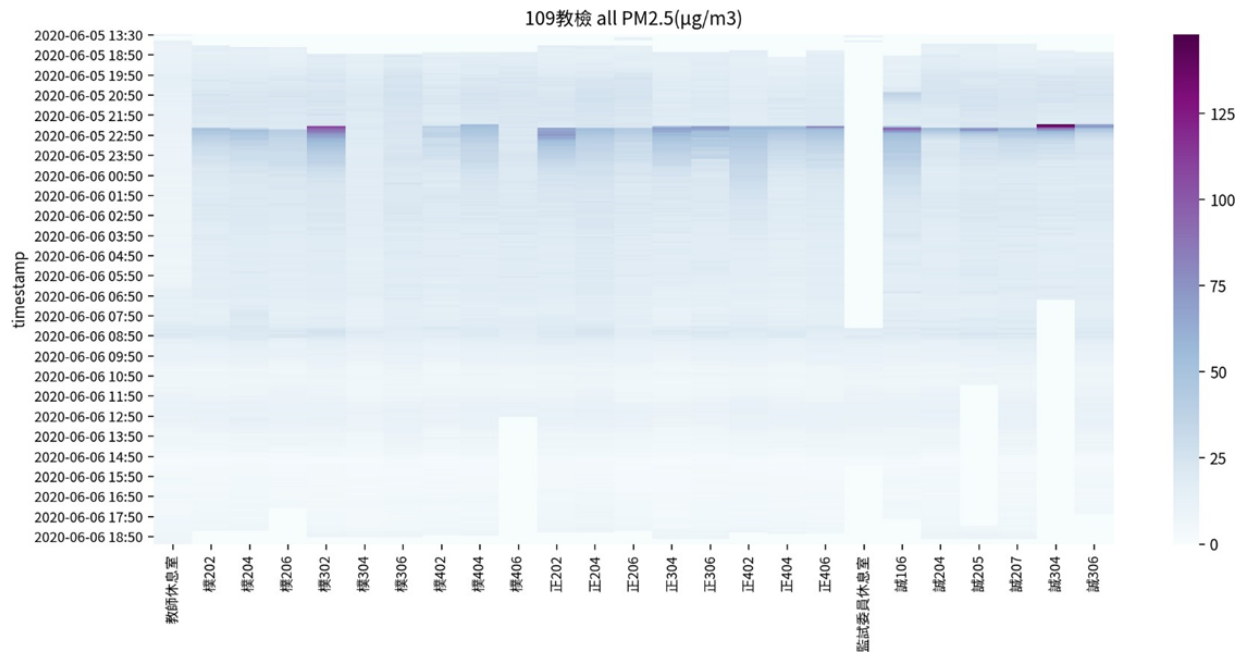


圖110. 109 學年度教檢 PM2.5



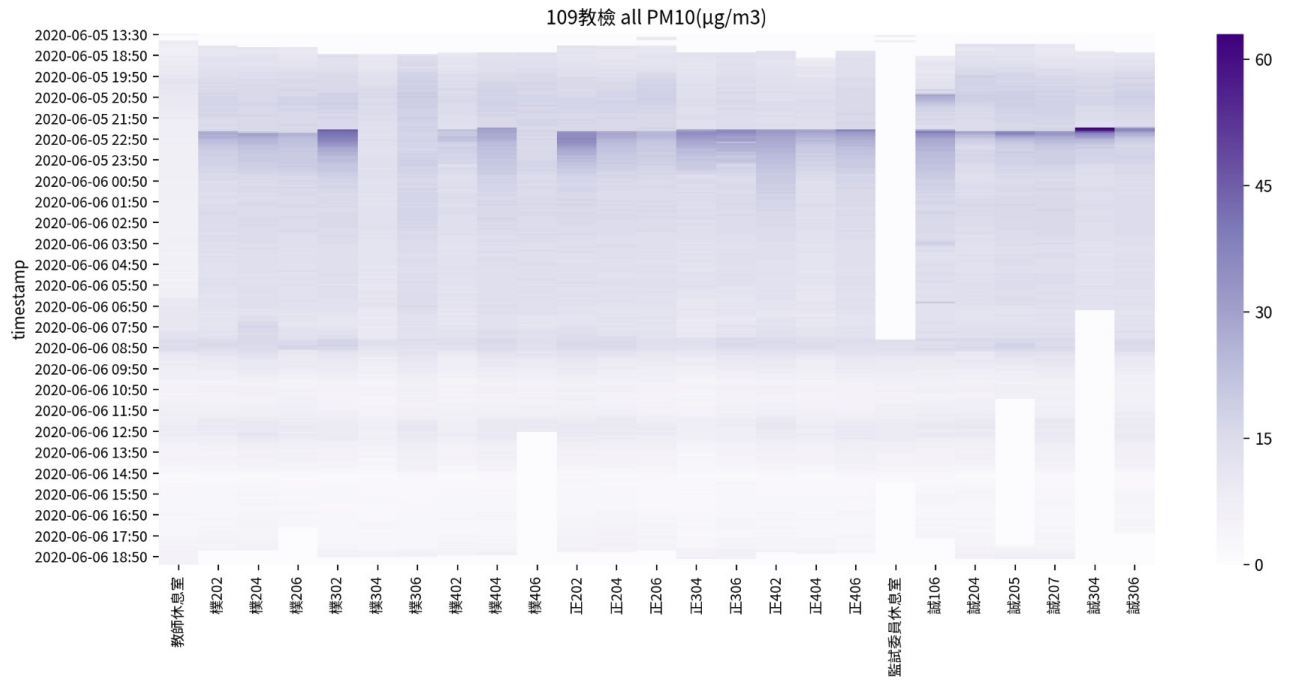


圖111. 109 學年度教檢 PM10

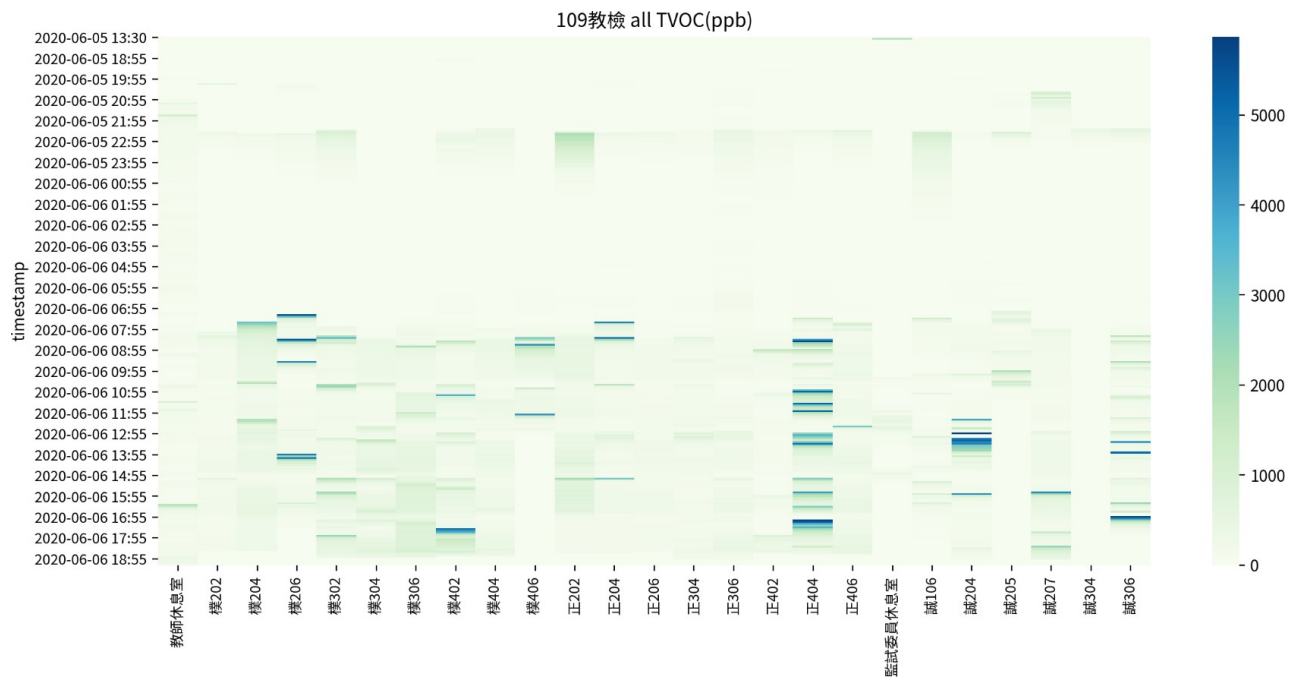


圖112. 109 學年度教檢 TVOC

### C. 臺灣師範大學公館校區健康中心場域實測數據分析

在3月底佈建完成後，我們持續收集健康中心的空氣資料，同時為了比較健康中心與其他教室的空氣品質差異，我們搜集了資訊大樓會議室、會有許多學生聚集的電腦教室理學院C209、C203、健康中心、資訊大樓影印室還有可能會有跨校區學生上課的大階梯教室一起進行比較，以下分別針對這些場域在4月及5月所蒐集到的CO<sub>2</sub>、PM2.5、TVOC以及RH的空氣數據進行分析。

#### a. CO<sub>2</sub>：

圖113、圖114是這些場域的二氧化碳濃度圖，二氧化碳濃度與室內人數有關，從圖113可以明顯看出相較其他場域，健康中心的二氧化碳數值一直保持在法規限制的1000 ppm以下，反而是會議室與C209可能因為密閉的原因，造成CO<sub>2</sub>濃度有飆高的現象。而在5月的圖114也可以明顯看出，18號之後台灣疫情急劇惡化，學校實施遠距教學，由於沒有學生上課，因此所有空間的二氧化碳都保持在差不多的數值，而健康中心則一直都維持在差不多的數據。由此也可以看出健康中心雖是疾病風險高的地方，但待在室內的人數密度並沒有其他教室高，由此降低了疾病擴散的風

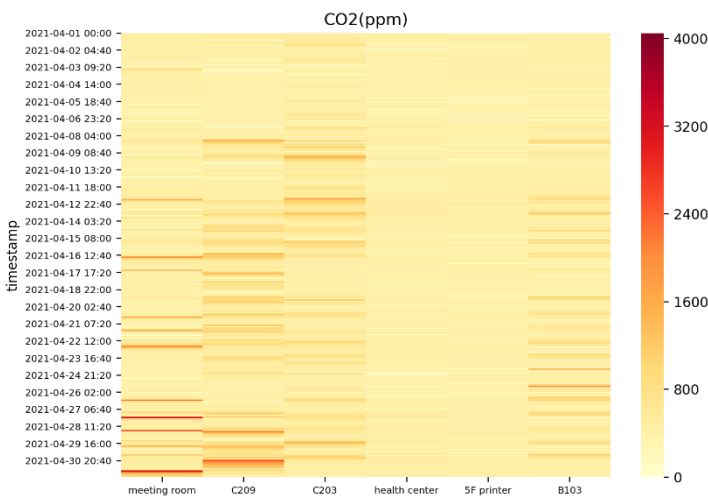


圖113. 健康中心 04 月二氧化碳熱像圖

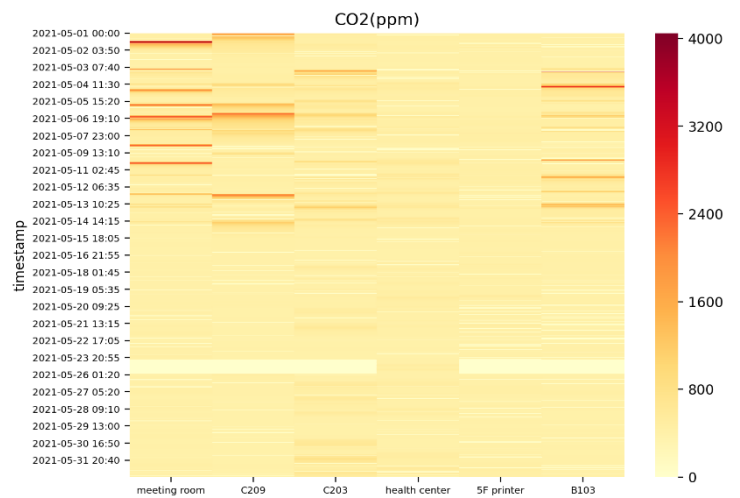


圖114. 健康中心 05 月二氧化碳熱像圖

險。

b. PM2.5 :

由圖 115 中可以看出這幾間教室的 PM2.5 在 4/1/2021 ~ 4/3/2021、4/12/2021 ~ 4/13/2021、4/17/2021 都有明顯升高，而 4/1/2021~4/3/2021 為春假期間，並沒有學生上課、4/17/2021 也是星期六，因此推估可能是外部污染源，造成在這幾個區間有 PM2.5 上升的情況。而圖 116 中可看出，在 5/27/2021 以前 PM2.5 都有明顯起伏，相較其他空間健康中心上升的幅度又稍微多了一些些。總體而言健康中心的 PM2.5 與其他空間的數值差不多，沒有明顯差異。

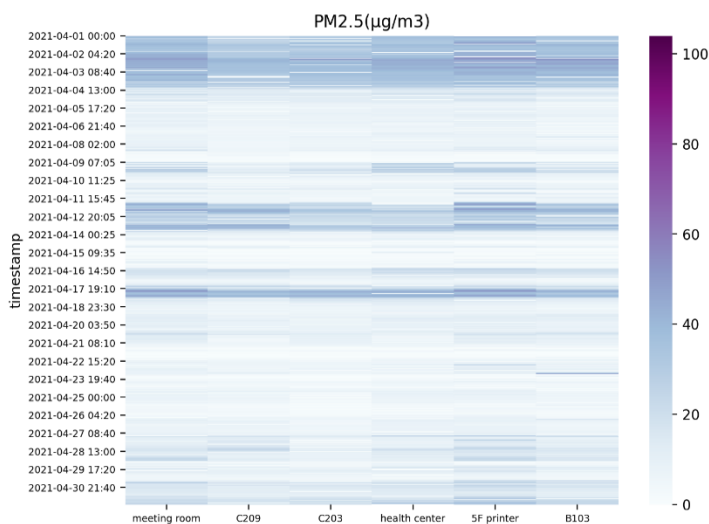


圖115. 健康中心 04 月 PM2.5 熱像圖

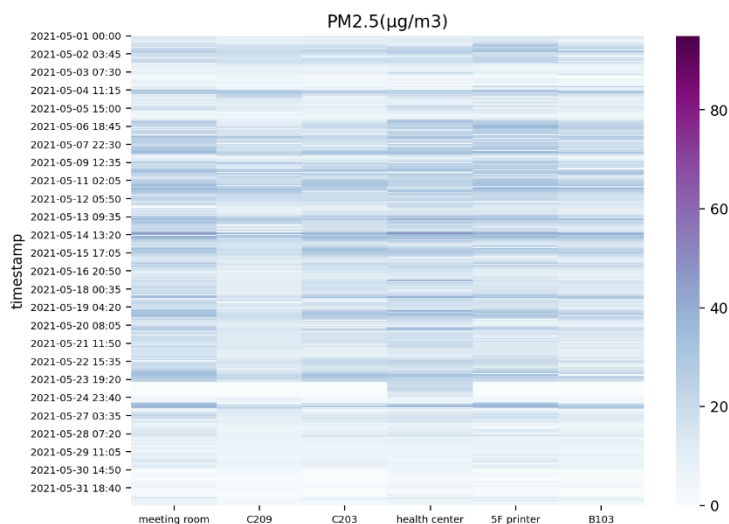


圖116. 健康中心 05 月 PM2.5 熱像圖

c. TVOC :

在圖 117、圖 118 中可看出健康中心的 TVOC 上升頻率是最高的，由於酒精也屬於 TVOC，因此推估健康中心的確有定時噴灑酒精，確保環境清潔，而會議室也有 TVOC 飆升的情況，但結合圖 113、圖 114 來看，TVOC 上升的時間點與 CO<sub>2</sub> 相同，因此不確定是否因人數眾多導致 TVOC 隨之上升，又或者是在會議當中他們有噴灑酒精做好防疫。但整體而言，健康中心的 TVOC 的確比其他的空間頻繁上升。

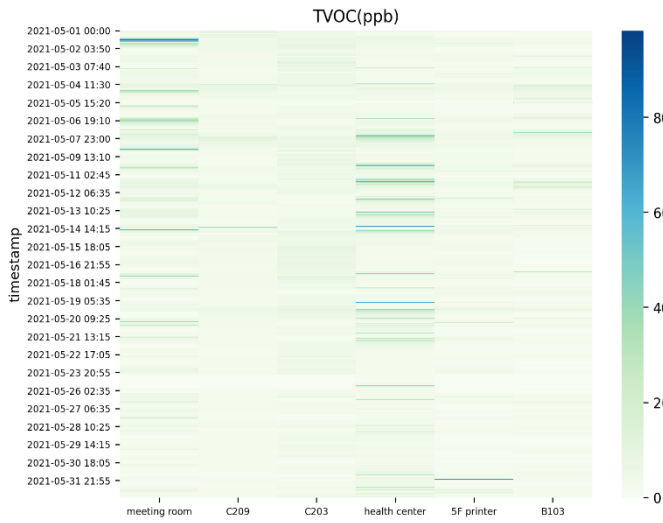


圖117. 健康中心 04 月 TVOC 熱像圖

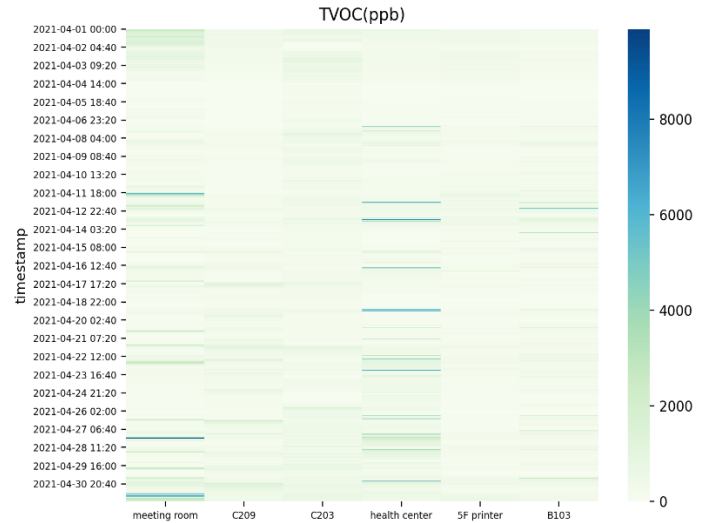


圖118. 健康中心與 05 月 TVOC 熱像圖

d. RH :

圖 119、圖 120 中可看出無論是四月五月健康中心的 RH (濕度) 都較其他空間高，而 C203 與 5 樓影印室都屬於濕度較低的空間。同時從圖中也可以觀察到，即便 5/18/2021 開始放假，大部分空間的濕度都沒有明顯變化，維持在差不多的狀況。

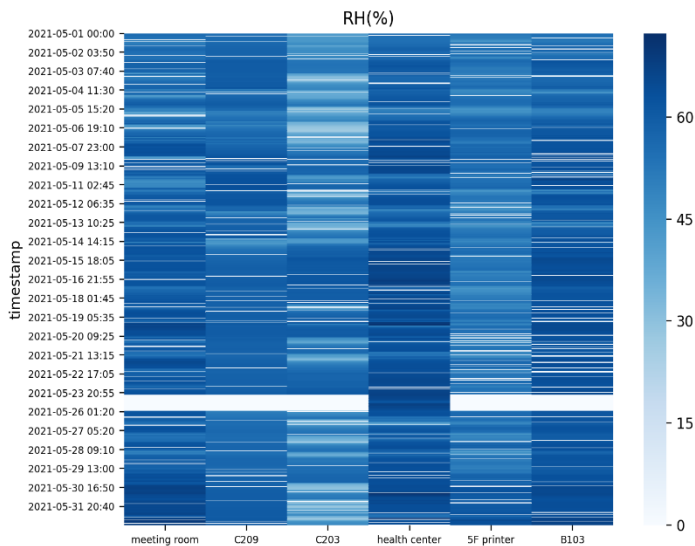


圖119. 健康中 04 月 RH 熱像圖

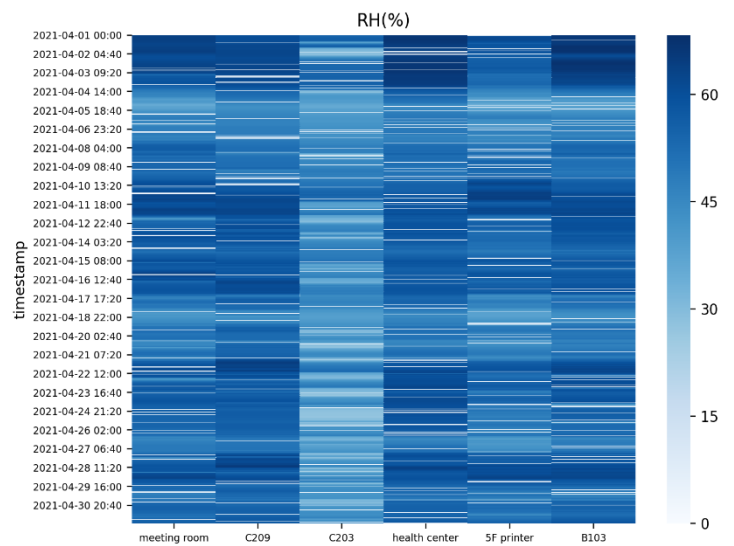


圖120. 健康中 05 月 RH 熱像圖

#### D. 高雄各護理之家及醫院初期場域實測數據分析

如表 7 所示，目前我們在高雄所佈建的空氣盒子之地點，目前以每個月給機構一份月度報告為主，由我們來分析當月資料，看有什麼異常的事件發生，寫在報告內供機構參考，我們將以回復率最高的新立及聖功為主要分析對象。

表 7. 高雄空氣盒子佈建情形

縣市	機構	數量
高雄市	獎卿護理展望基金會護理之家	8
高雄市	佳醫護理之家	8
高雄市	市立民生醫院 附設護理之家	15
高雄市	聖功醫院	5
高雄市	聖功醫院 附設護理之家	9
高雄市	新立護理之家	9

##### a. 佳醫護理之家：

###### i. 場域特徵：

高雄佳醫護理之家在我們去年佈建完成後，陸續開始在針對病房進行翻修，所以有多台機器目前是下線狀態。

###### ii. 場域實測：

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM<sub>2.5</sub>, 及 RH (濕度) 在在不同病房所蒐集到的數據。中間空白處可能因為網路不穩的問題造成資料缺失，而 309、306、312 因資料過少，因此並無納入分析。同時為了分析方便，若是在某個時段所有機器皆有資料遺失的狀況，我們便會跳過不呈現，因此左方的時間軸可能會並不連續。以下我們將針對 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM<sub>2.5</sub>, 及 RH 分別進行介紹。

##### 1. CO<sub>2</sub>:

目前 CO<sub>2</sub> 標準值為 1000 ppm，從右方圖標可看

得出來身紅色的部分為超標，從圖 121 可看出公共區域、307、316 都有超標的現象。而 302 的數值也平均偏高，可以再注意機構的通風狀況。

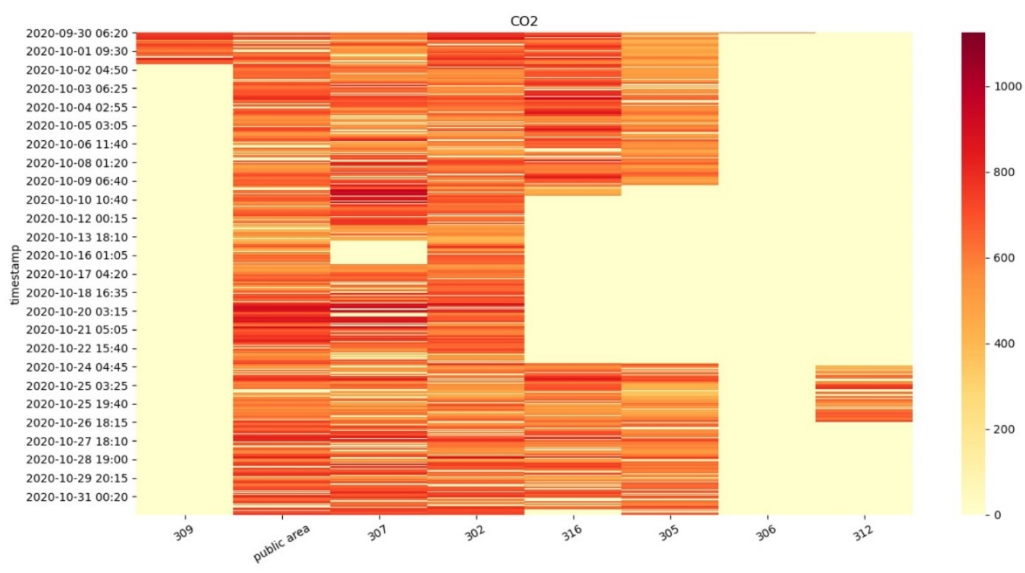


圖121. 佳醫 CO<sub>2</sub> 熱像圖

2. TVOC:

以 TVOC 來說，國內法規中標準值為 560 ppb，從右圖標可看出只要顏色深一階，就會是有超標的情況。從圖 122 來看，整體而言 10/21、26、27 三天所有區域都有 TVOC 飆高的情況，而月初不同病房也有在不同時間點數值快速上升的情形，TVOC 快速上升的原因可能是消毒或是其他因素所引起，之後可再針對此情況進行確認。

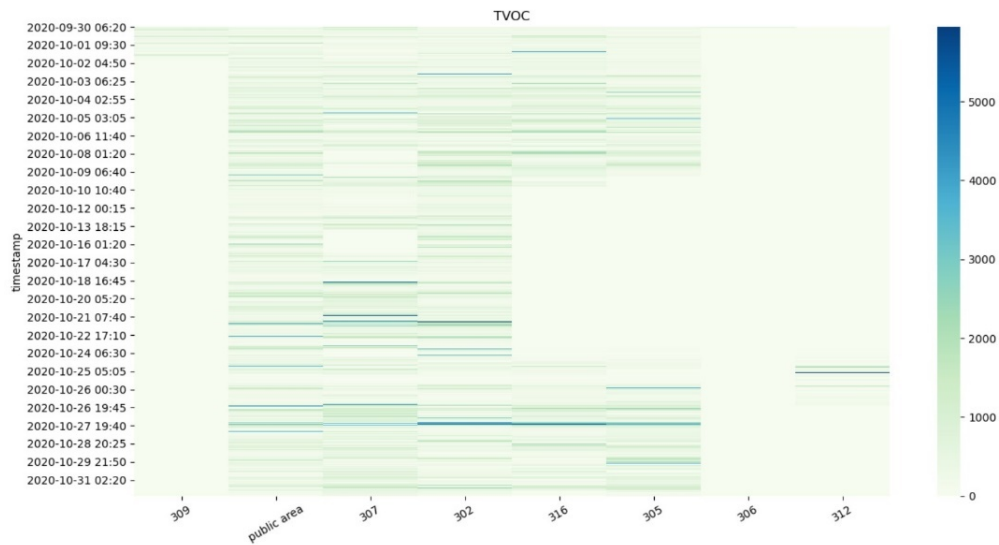


圖122. 佳醫 TVOC 熱像圖

### 3. PM2.5:

在國內法規中室內 PM2.5 標準值為  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，圖 123 右方圖標可看出若是顏色較深的部分則表示數據高於標準值許多。以整體來看，10/4、23、27、29 都有高值出現的時候。而在不同病房中可看出 316 病房出現深色線的頻率較高，可以再多加注意。

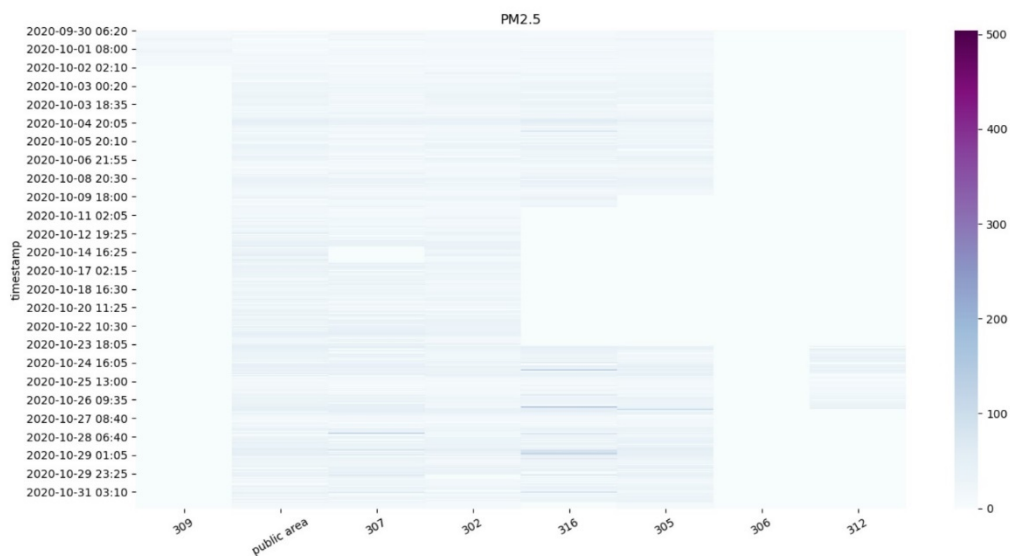


圖123. 佳醫 PM2.5 熱像圖

#### 4. RH:

雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響。由圖 124 可知，305 在月初的數值與其他區域相比濕度較高，而 316 的整體濕度也很高，整個月的最高值也出現在 316 病房內。

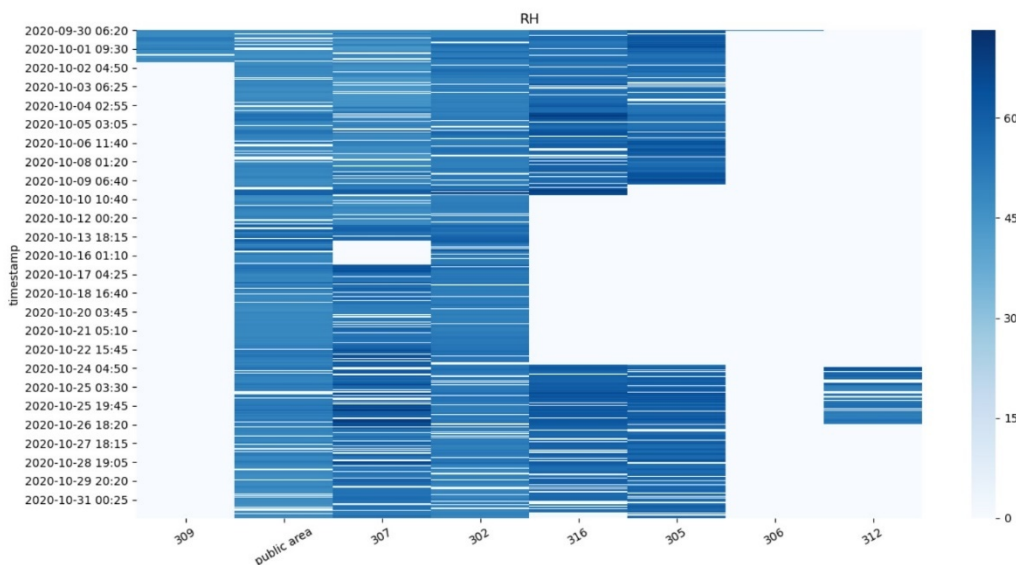


圖124. 佳醫 RH 熱像圖

#### b. 高雄市立民生醫院附設護理之家：

##### i. 場域特徵:

民生醫院附設護理之家位於新建的高齡長照大樓，場域為新大樓預估 TVOC 可能會有偏高的傾向，由於新大樓目前還處於施工狀況，有時會有集體掉線的情形，需要去手動去收集資料，但因為疫情的原因目前還無法去拉資料。

##### ii. 場域實測:

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM2.5, 及 RH (濕度) 在在不同病房所蒐集到的數據。中間空白處可能因



為網路不穩的問題造成資料缺失，415 房因為獲得資料過少，因此不納入分析。同時為了分析方便，若是在某個時段所有機器皆有資料遺失的狀況，我們便會跳過不呈現，因此左方的時間軸可能會並不連續。以下我們將針對 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM<sub>2.5</sub>, 及 RH 分別進行介紹。

### 1. CO<sub>2</sub>:

目前 CO<sub>2</sub> 標準值為 1000 ppm，從圖 125 右邊圖標可知各區域大致都維持在標準值內，惟 410、405 兩間病房的數據會在臨界值浮動，特別是月初的第一個禮拜左右所得到的數據都偏高，之後的數據變回歸正常，是否有房內人數的變動或進行什麼改變未來可以再進行確認。

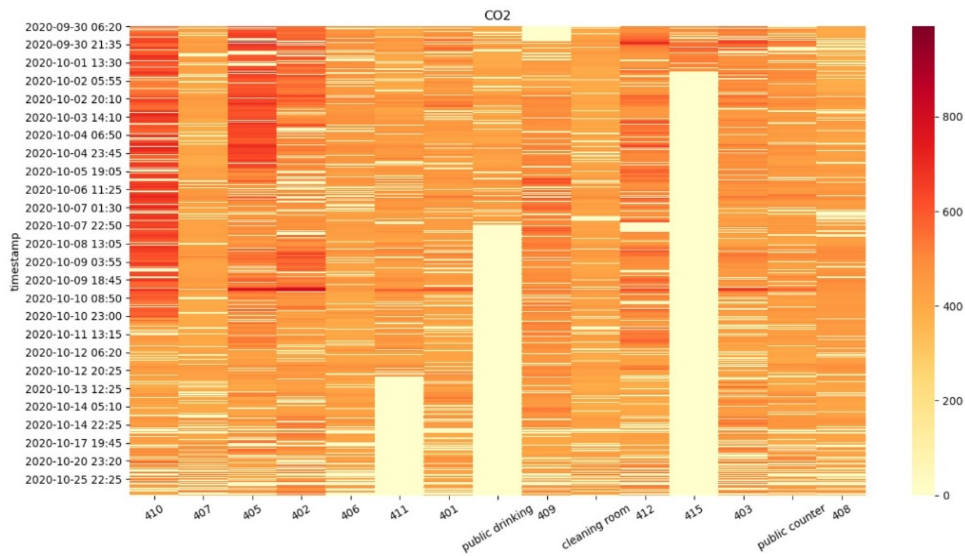


圖125. 民生 CO<sub>2</sub> 熱像圖

### 2. TVOC:

以 TVOC 來說，國內法規中標準值為 560 ppb，從右圖標可看出只要顏色深一階，就會是有超標的情況。從圖 126 來看 405、411、412、401 四間都有較深且密集的藍色線，TVOC 超標可能是因為消毒或是其他因素引起，未來可以再

確認這樣頻繁的數據上升是否與什麼活動相關。

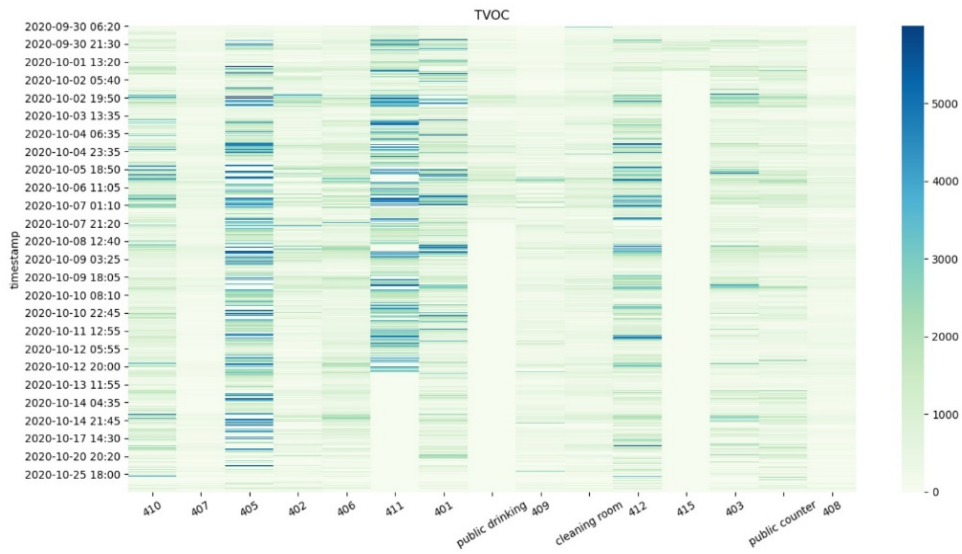


圖126. 民生 TVOC 熱像圖

### 3. PM2.5:

在國內法規中室內 PM2.5 標準值為  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在圖 127 右方圖標可看出若是顏色較深的部分的數據則高於標準值許多。整體來看 10/3、4、12 在各間都有偏高的情形。而從各房間來看，可以注意的是 402 房出現深色線（也就是偏高值）的頻率較高，401、411、410 也有出現高值的情況。

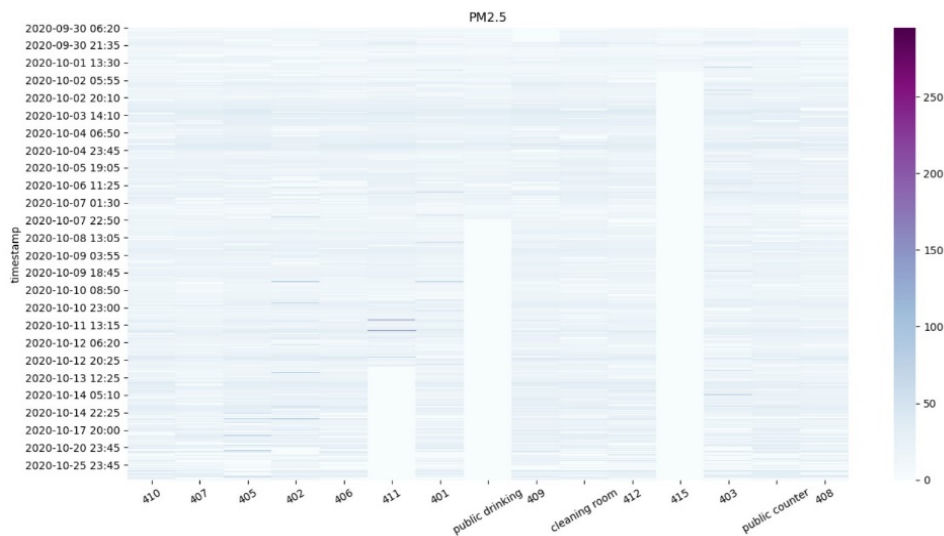


圖127. 民生 PM2.5 熱像圖

#### 4. RH:

雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響。由圖 128 可知，411、412、403 的濕度偏高，與清掃室相比更是高了一些。而 401 的濕度則是所有病房最低的。

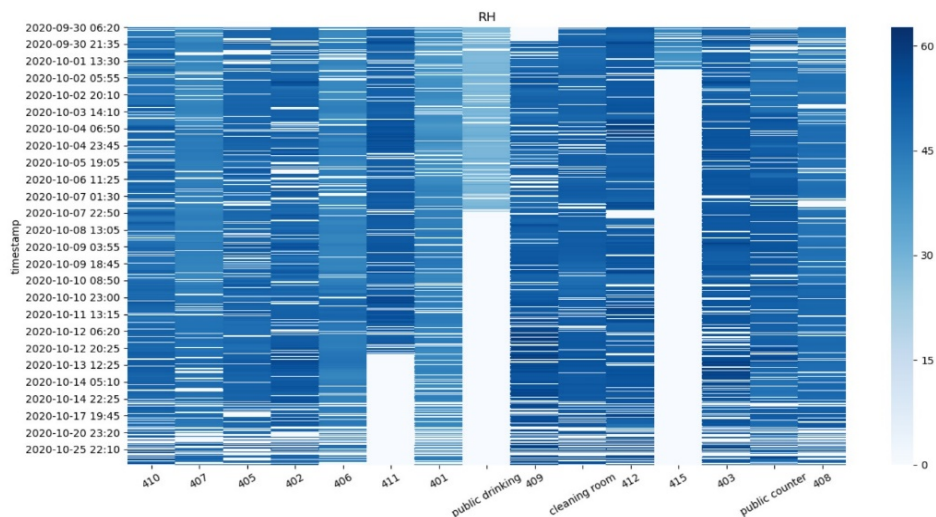


圖128. 民生 RH 熱像圖

#### c. 高雄獎卿護理展望基金會護理之家：

##### i. 場域特徵：

在高雄獎卿護理之家我們所佈建的位置的場域位於2樓及6樓而其中2樓為氣切病房，6樓為一般病房。

## ii. 場域實測:

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM2.5, 及 RH (濕度) 在不同病房所蒐集到的數據。中間空白處可能因為網路不穩的問題造成資料缺失，因此我們主要針對月初、月末的資料進行分析。同時為了分析方便，若是在某個時段所有機器皆有資料遺失的狀況，我們便會跳過不呈現，因此左方的時間軸可能會並不連續。以下我們將針對 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM2.5, 及 RH (濕度) 分別進行介紹。

### 1. CO<sub>2</sub>:

國內法規規定 CO<sub>2</sub> 標準值為 1000 ppm, 依圖 129 中右邊的尺標可看出紅色較深的部分為超過標準值的數據資料。從圖來看，以整體而言，每個區域在月初時室內的數值都偏高，呈現深紅色。特別是 6B、6D、2C 三間房間在月初時皆超過標準值許多，雖然月末數值稍降，但仍有許多時候超標，可能要再注意機構的通風情形。

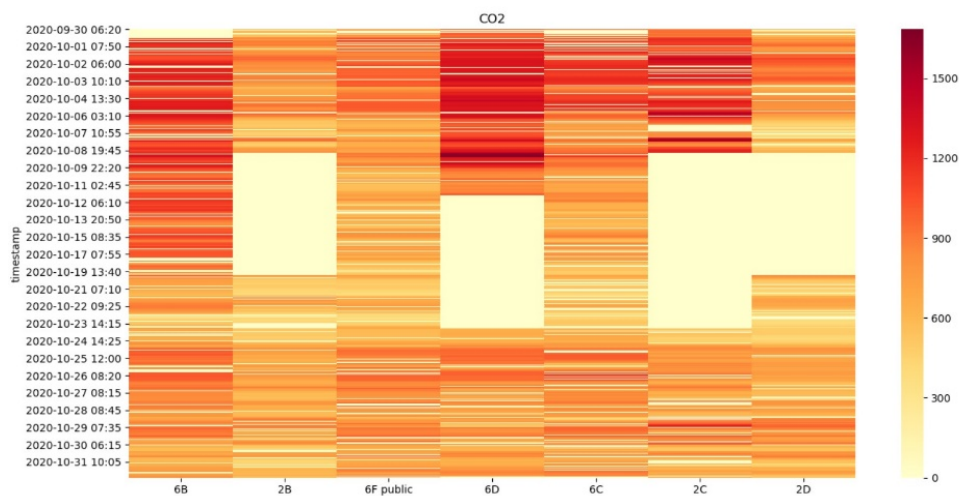


圖129. 獎卿 CO<sub>2</sub> 熱像圖

## 2. TVOC:

以 TVOC 來說，國內法規中標準值為 560 *ppb*，雖然從圖 130 來看整體顏色稍淺，但以右方尺標可看出部分時間的數值會有飆高的情形，最高甚至超過 5000 *ppb*。從圖來看在月初時整體 TVOC 顏色都較深，但 2C、6 樓公共區域深色的情況持續到月底。另外，6B 在月初雖然相較其他間顏色都來得較淺，但整體數據也偏高，可能需要再多加注意。

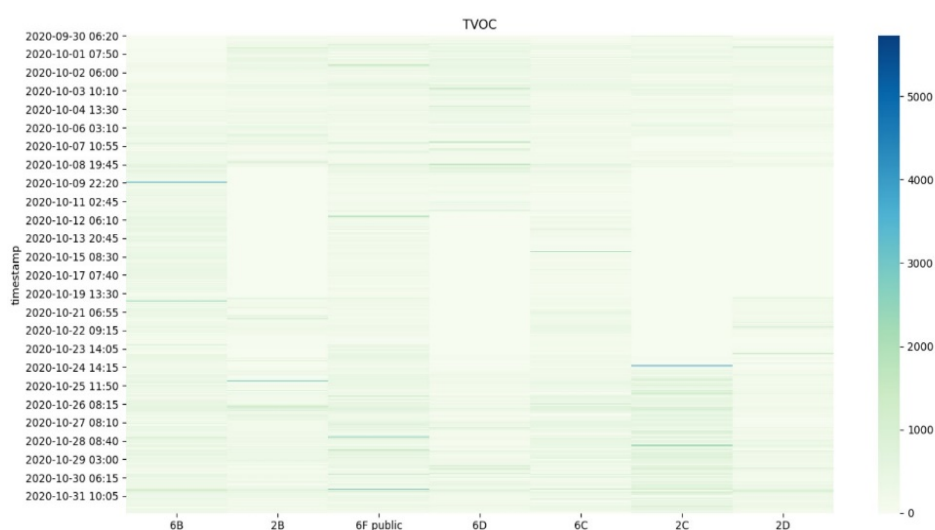


圖130. 獎卿 TVOC 熱像圖

## 3. PM2.5:

在國內法規中室內 PM2.5 標準值為 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由圖 131 右方圖標可看出若是顏色較深的部分的表示數據高於標準值許多。從圖中可明顯看出 2C、2D 兩間病房的 PM2.5 大致每天都會有週期性飆高的情形。而相較之下其他間雖顏色稍淺，但因圖標的第一個分界即為 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，因此有部分時間還是有超標的情形。

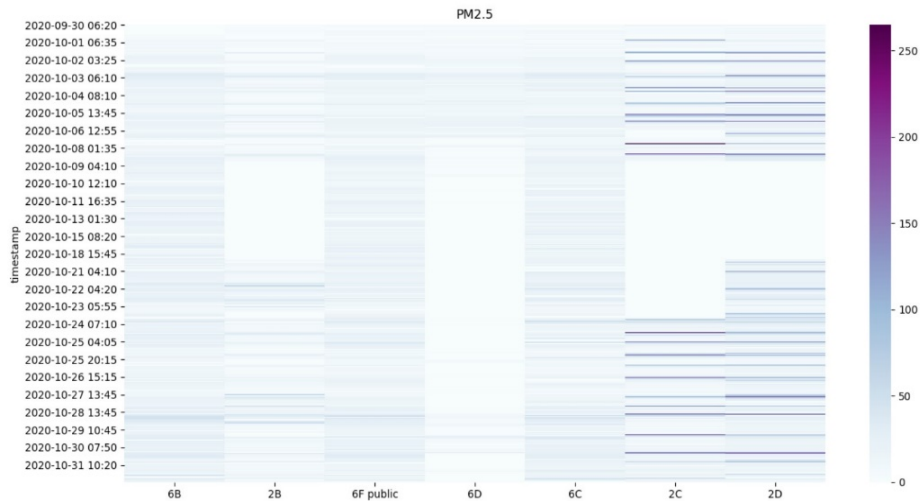


圖131. 獎卿 PM2.5 熱像圖

#### 4. RH (濕度):

雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響。由圖 132 來看 6B 的濕度相較其他房間都有偏高的情況，而 6D、2D 中間因資料缺失不好判斷，但從月初月末來看，整體濕度也有偏高的情形。

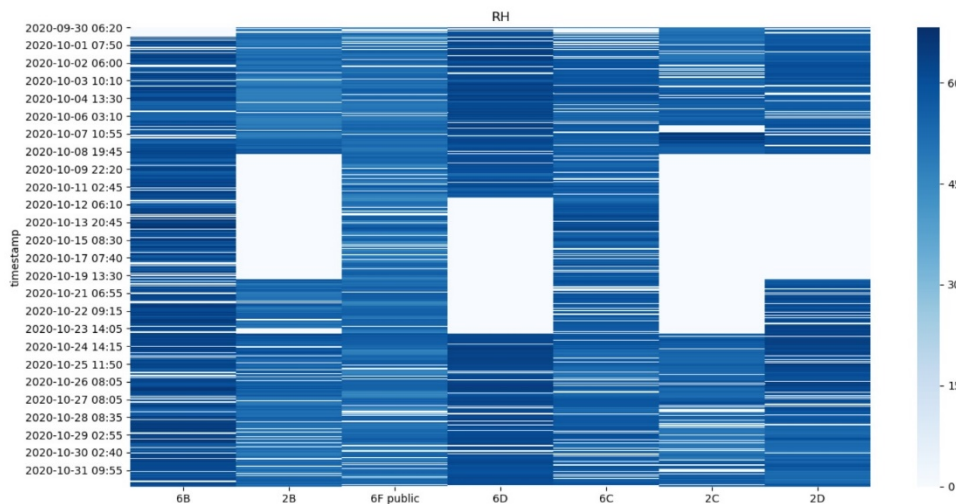


圖132. 獎卿 RH 熱像圖

#### d. 新立護理之家：

##### i. 場域特徵：

新立護理之家總共有兩大活動空間，病房的部分有分為氣切病房以及一般病房，氣切病房集中為一長條型與一般病房有一道門為區隔，全數病房房門都為敞開的狀態，而窗戶較不常開啟。

## ii. 場域實測:

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC , PM<sub>2.5</sub> , 及 RH (濕度) 在不同病房所蒐集到的數據，時間為 20 年 11 月~21 年 02 月。

### 1. CO<sub>2</sub>:

11 月從圖 133 右方尺標來看可得知所有區域的濃度大致都在標準內，不過 507、508 在月初時二氧化碳濃度較高，而 302 在 12~18 號期間的濃度也有出現升高的情形，可以再確認 11 月是否有什麼事件發生造成這樣的情況。同時公共區域包含櫃檯與電視兩處的二氧化碳濃度在整個月來說都有較高的情況，機構可以再注意該區域的通風問題。

12 月從圖 134 右方尺標來看，因尺標間隔相較上次有所減少，表示整體 CO<sub>2</sub> 濃度有下降的情形。而同樣的濃度最高的兩個區域為公共區域的電視及櫃檯區，其他每間病房大致都有濃度起伏的狀況，但都在正常值內。

01 月這個月的 CO<sub>2</sub> 濃度可能有比上個月還高的情形發生。從圖 135 來看整體而言 CO<sub>2</sub> 濃度在 1/14、21 這兩天左右都有上升的情形，而濃度最高的空間依然是公共區域—電視、櫃檯兩個地方，不過值得注意的是 302 在這個月月中的濃度相對也較高。

02 月這個月中，大部分的病房都有在標準內，其中公共區域依然還是濃度稍高，而值得注意的是 302 病房，整個月的數相較於公共區域都比較高，甚至某些時刻還高過公共區域。

總結：公共區域因為為人較多聚集的地方所以 CO<sub>2</sub> 濃度較高，另外 302 病房從 11 月開始就有較高濃度的情形。

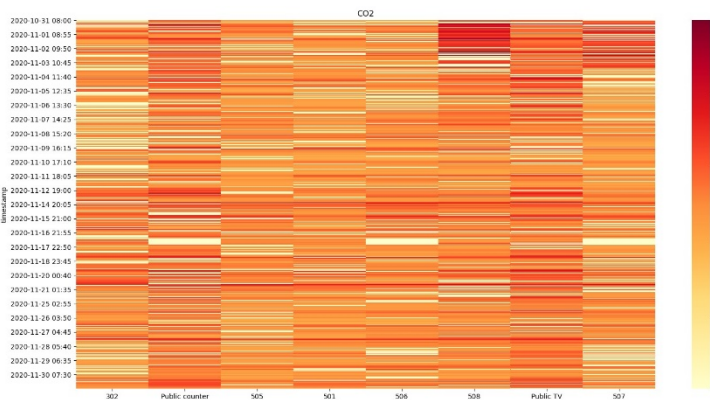


圖133. 新立 11 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

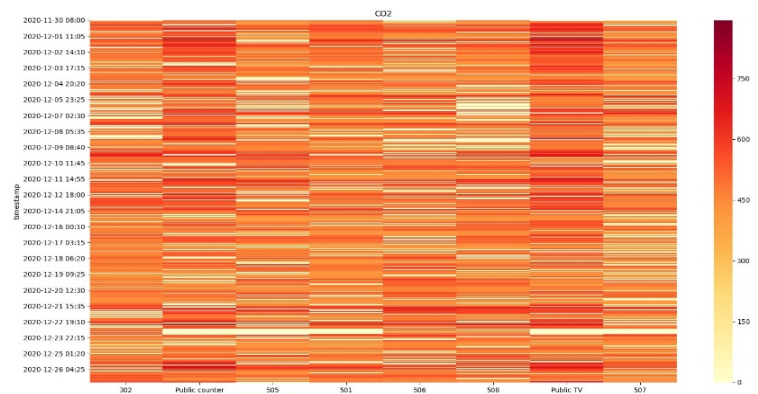


圖134. 新立 12 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

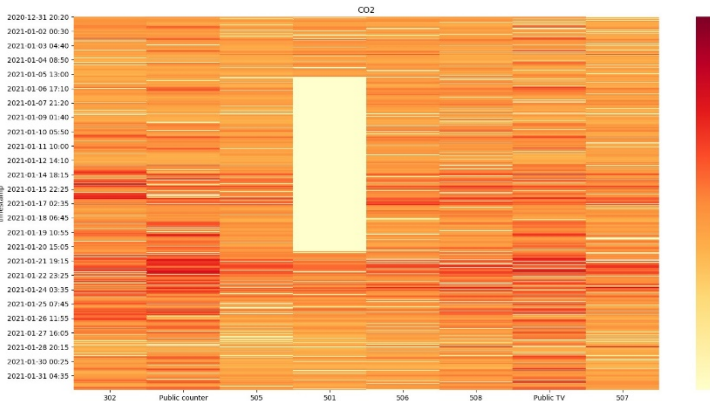


圖135. 新立 01 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

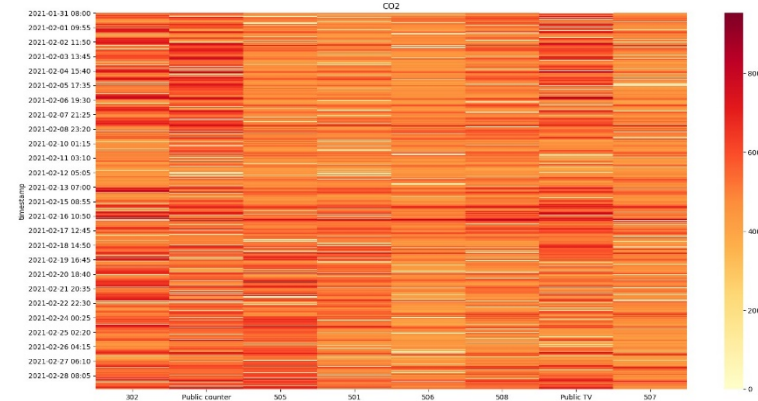


圖136. 新立 02 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖



## 2. TVOC:

11月從圖 137 可看出每間病房都有 TVOC 超標的情形，其中 501 上升的情況最密集，507、302 次之，再來是 506、505、508，而每間病房上升的時間點都有些不同。TVOC 超標可能是因為消毒或是其他因素引起，未來可以再確認這樣頻繁的數據上升是否與什麼活動相關。

12月圖 138 尺標間距與上月報告相同，同樣的較深的藍色線則是有超標的情況。從圖片可以明顯看出 501 TVOC 上升的數據仍然十分頻繁，但其他間病房在次數上或是顏色上，相較於上個月都有比較少或淡的情形。

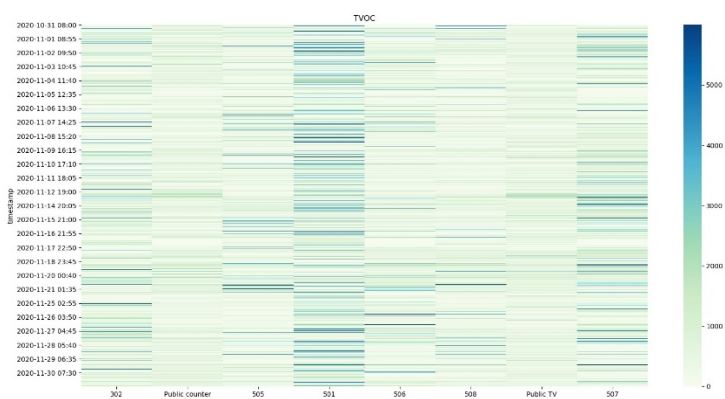


圖137. 新立 11 月 TVOC 熱像圖

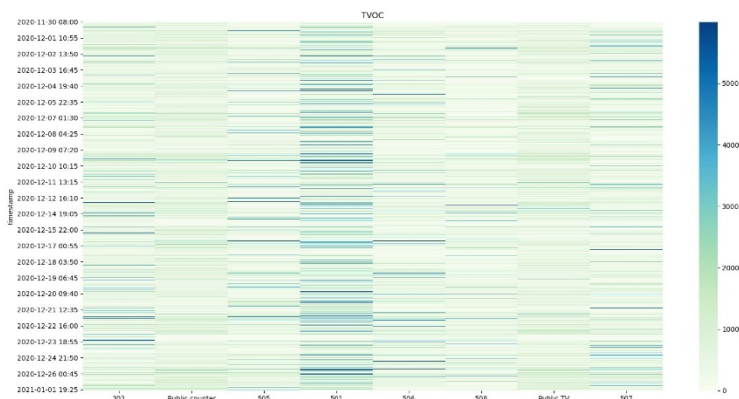


圖138. 新立 12 月 TVOC 熱像圖

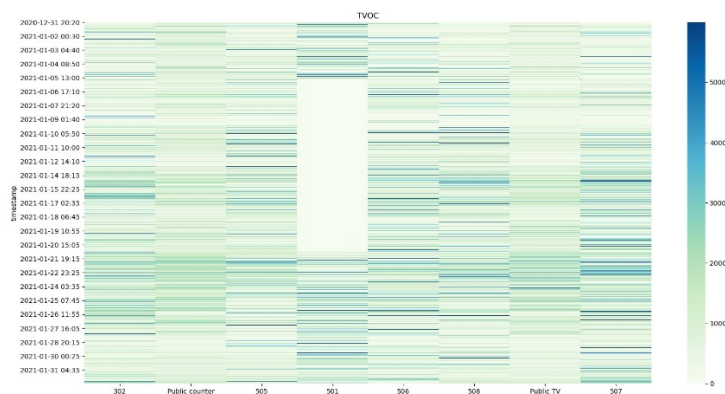


圖139. 新立 01 月 TVOC 熱像圖

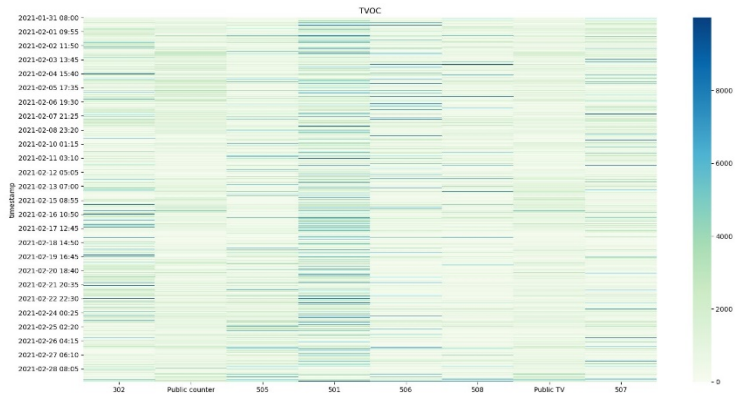


圖140. 新立 02 月 TVOC 熱像圖

01月與上月相比並無差異，圖 139 上較深的藍色線顯示為超標。相較於上月整體顏色稍

淡的情況，這個月 TVOC 超標的情況似乎又與以往相符，而 501 雖因資料缺值導致有部分空白資料，但在現有數據看起來應該濃度上升的情況仍然較頻繁。同樣的其他間病房也有 TVOC 飆升的情況發生，可再稍加注意。

02 月從圖 140 右邊尺邊可看出這個月的 TVOC 平均濃度上升不少，以往最高的是 5000 *ppb*，但這次最高的數值達到 8000 *ppb* 以上，而 501 數值上升的最為明顯，其他間病房雖然上升情形沒有 501 嚴重，但仍然需要注意。TVOC 超標可能是因為消毒或是其他因素引起，未來可以再確認這樣頻繁的數據上升是否與什麼活動相關。

總結：平均 TVOC 偏高，其中又以 501 病房最為嚴重。

### 3. PM2.5:

11 月在國內法規中室內 PM2.5 標準值為 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，從圖 141 右方圖標可知顏色較深的部分則為超標的數據。而在上圖數據可看出 PM2.5 在個房間都有上升的情況。以整體來說，在 21 號之後整體 PM2.5 的顏色較淡，可見其數值有下降，之後可再確認機構是否有進行什麼樣的手段介入。而各房間來說，整月 PM2.5 最高值應該是出現在 505 病房中，而 508 病房在月初時 PM2.5 上升的情況十分頻繁，302 直到 21 號 PM2.5 才有所下降。

12 月相較上個月，本月圖 142 尺標間距有所下降，顯示 PM2.5 的濃度有改善的情形，而值得注意的是，在 12/1、2 兩天以及 9~14 號的這段期間 PM2.5 整體的濃度都有所上升。另外相較其他間 508 室 PM2.5 上升的頻率有更加頻繁的跡象。

01 月從圖 143 右方圖標可看出與上月相比，這月的 PM2.5 濃度較高，若是顏色較深的部分的數據則表示高於標準值許多。從上圖可了解到 PM2.5 濃度在一月初、17、21、27 這幾個時段的濃度整體來說都有比較高的情況。而 508、507 的濃度在一月時相對來說也有濃度較高的情況。

02 月由圖 144 右方圖標更可看出這個月的 PM2.5 又更上升了一些。其中以 508 出現極端值的頻率最高，其他間也有數值零星標高的情形。而整體來說在 10 號以前、15 號、24 號左右都有集體數值上升的情況。

總結:PM2.5 濃度一直有在上升的情形，其中又以 508 病房最為嚴重。

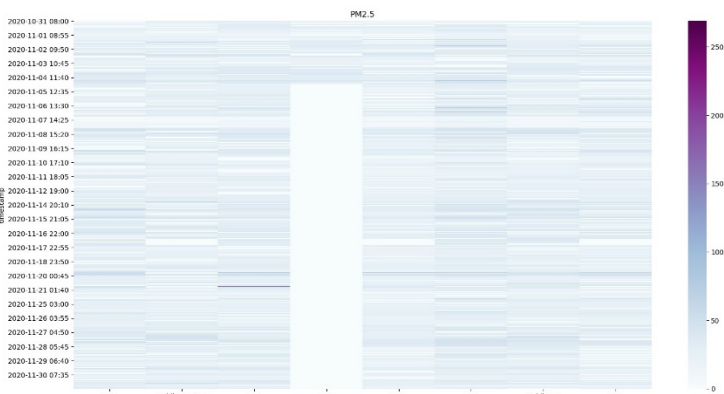


圖141. 新立 11 月 PM2.5 熱像圖



圖142. 新立 12 月 PM2.5 熱像圖

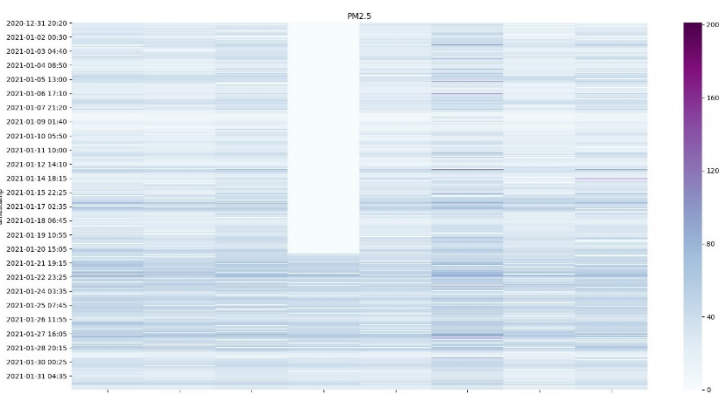


圖143. 新立 01 月 PM2.5 熱像圖

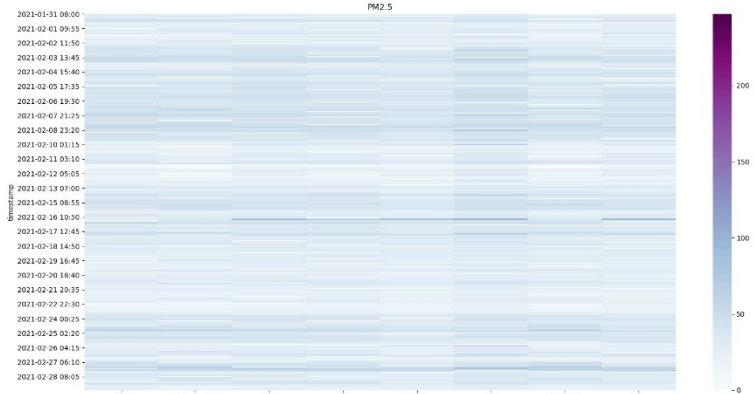


圖144. 新立 02 月 PM2.5 熱像圖

#### 4. RH:

11月雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響，從圖 145 可知 302 濕度偏高。但整體環境中濕度頗為一致。

12月整體來說仍然是 302 的濕度較高，但整體的濕度仍然大致相同。01月在整體來看 1/4~6 及 1/22~28 兩個時段的濕度有明顯上升，而在個別房間來看 302 及公共區域的濕度相較其他間也有偏高的現象。02月整體而言所有空間在 18~22 的期間濕度最低，而在各空間來說 302 的濕度最高。

總結：302 病房的溼度較其他病房而言最高。

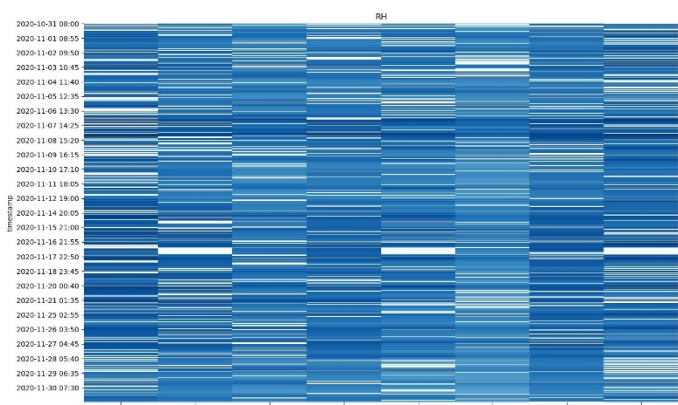


圖145. 新立 11 月 RH 熱像圖

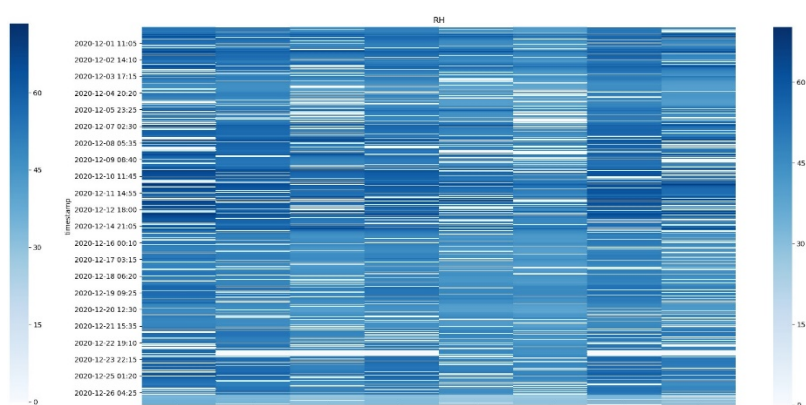


圖146. 新立 12 月 RH 熱像圖

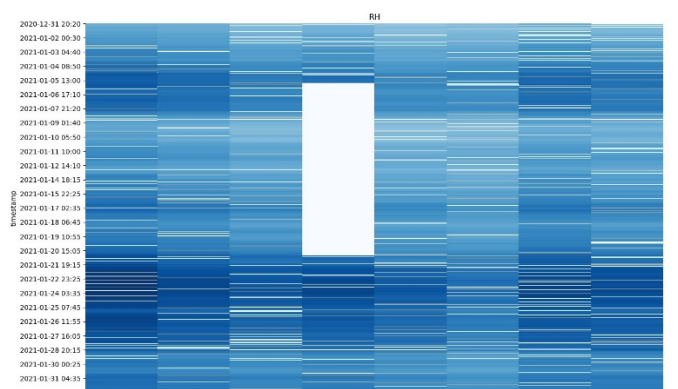


圖147. 新立 01 月 RH 熱像圖

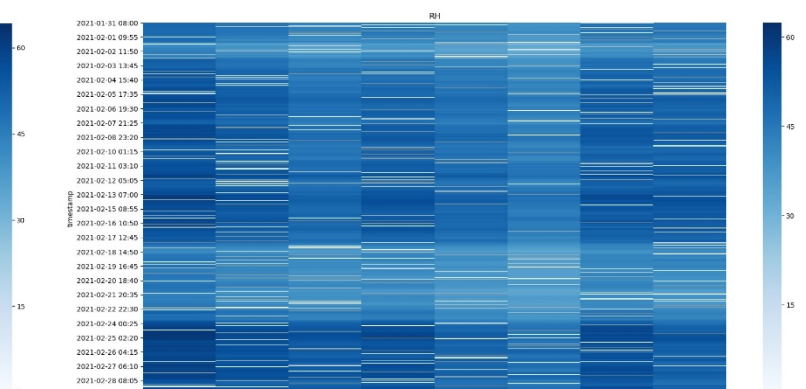


圖148. 新立 02 月 RH 熱像圖

e. 聖功醫院：

i. 場域特徵：

- 手術室：因為目前手術器具在清潔消毒時，可能會有過多的 TVOC 氣體，以及在使用電燒刀時會產生許多煙霧。
- 呼吸照護病房：其中的病人都為需長期依賴呼吸機或是有氣切手術的患者，感測器會部署在人最多的病房中。
- 辦公室：護理人員反映，文書工作者長期處於辦公室中且通常門窗為緊閉狀態。

ii. 場域實測：

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM2.5, 及 RH(濕度) 在不同場域所蒐集到的數據，時間為 20 年 11 月~21 年 01 月。

1. CO<sub>2</sub>:

11 月在國內法規中 CO<sub>2</sub> 標準值為 1000 ppm，從圖 149 右方尺標來看可得知手術室、辦公室 1、辦公室 2 的 CO<sub>2</sub> 濃度都大致在標準內，但可以再注意的是，辦公室 1 的區域 CO<sub>2</sub> 濃度都普遍偏高，部分已超過臨界值，特別是在 11 月初的一個禮拜，整體濃度除了缺值(淺色)的以外，大部分都在標準值徘徊。

12 月與上個月相同的是，從圖 150 右方尺標來看手術室、辦公室 1、辦公室 2 的 CO<sub>2</sub> 濃度都大致在標準內，不過上個月 CO<sub>2</sub> 濃度偏高的情況只有辦公室 1，但這個月辦公室 1、2 的數據都在大致在臨界值，不知是否室內人數有所變動，而造成這樣的改變。

01 月各辦公室大致都維持在標準值內，而辦公室 1、2 在這個月的趨勢大致相同，都以 1~2

天的週期進行循環，最高值也大致都在臨界值附近，可以再注意兩間辦公室的通風情形。

總結：與醫護人員說法相同，辦公室的通風狀況不佳，其餘場域通風狀況都良好。

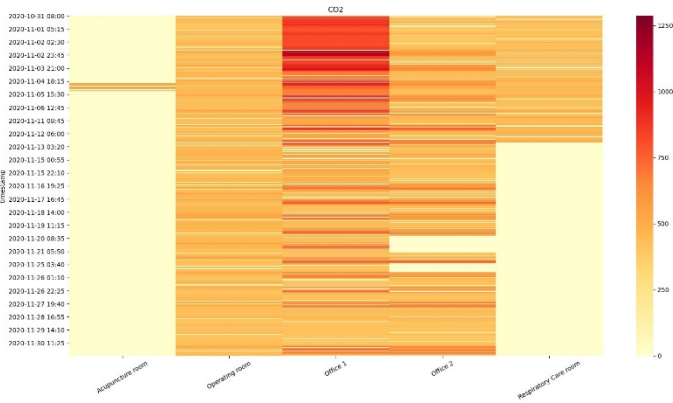


圖149. 聖功醫院 11 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

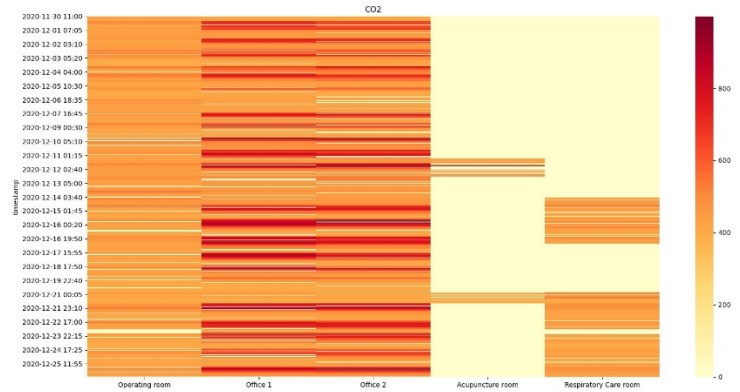


圖150. 聖功醫院 12 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

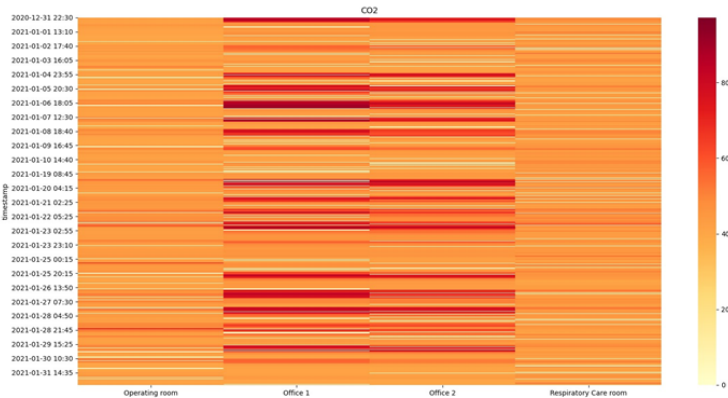


圖151. 聖功醫院 01 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

## 2. TVOC :

11 月在 TVOC 上，國內法規中標準值為 560 *ppb*，因此較深的藍色線則為超標的情況。從圖 152 可看出兩間辦公室 TVOC 飆高的趨勢大致相符。而呼吸照護病房雖只有收到 1 個禮拜的數據，但也有出現 TVOC 上升的情況。另外可以注意手術室的情況，從上圖可明顯看出手術室的 TVOC 遠超過標準值，並且每天會週期性的飆高，TVOC 超標可能是因為消毒或是其他因素引起，未來可以再確認這樣頻繁的數據上升是

否與什麼活動相關。

12 月與上個月相同的是，兩間辦公室 TVOC 上升的趨勢大致相符，但這個月辦公室 2 數值超標的頻率有所提升，特別是在 12/21 ~ 12/23 的期間兩間辦公室的 TVOC 濃度都有超標的情況。而呼吸照護病房相較其他空間仍然有偏高的情況。但最值得注意的的是手術室，在 12 月底的期間濃度飆至 5000 ppb 以上，不確定是否是手術室有進行酒精等有機溶液的消毒，但持續時間達一個禮拜左右，可以再稍作注意。

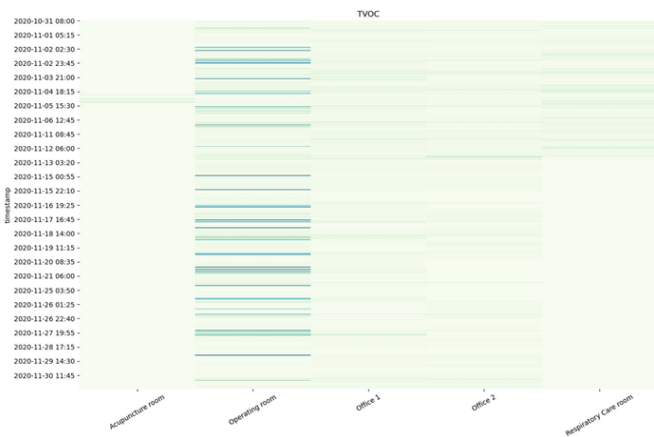


圖152. 聖功醫院 11 月 TVOC 熱像圖

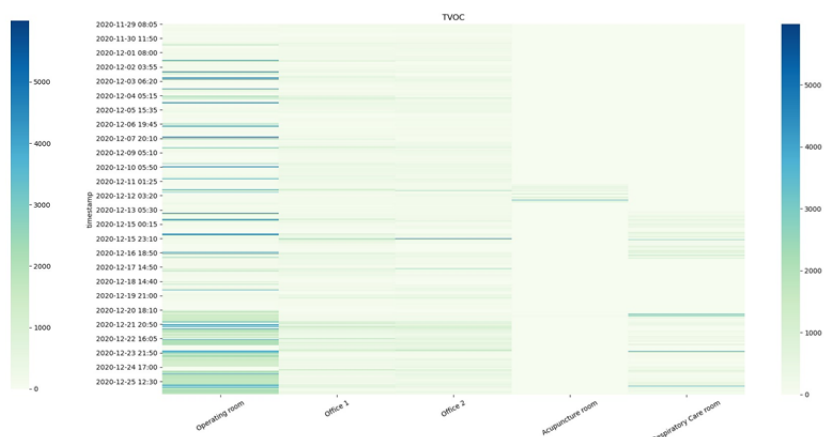


圖153. 聖功醫院 12 月 TVOC 熱像圖

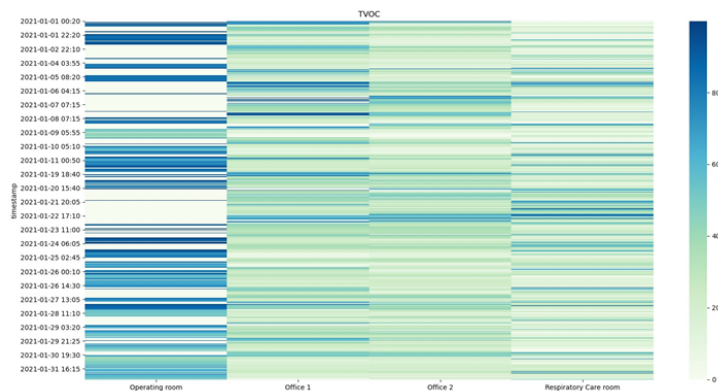


圖154. 聖功醫院 01 月 TVOC 熱像圖

01 月從圖 154 除了手術室外，其他三間數值都算穩定，但在 1/6 ~ 1/8 上兩間辦公室的數值較較高，同時在 1/21 ~ 23 呼吸照護室數據也有上升的情況，最明顯的是手術室，整個月的

TVOC 濃度都過高，可以再稍作注意。

總結：有與醫護人員溝通過，反饋為手術室因為會進行消毒的情形所以 TVOC 較其他高是可預期的，當手術較多時可能就會有 TVOC 平均較高的情形。

### 3. PM2.5：

11 月在國內法規中室內 PM2.5 標準值為  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，從圖 155 右方圖標可知顏色較深的部分則為超標的數據。而在上圖數據呈現中可看到以各房間做比較的話辦公室 1 的 PM2.5 平均來說都比其他間高，同時在辦公室 1 辦公室 2 呼吸照護室中，三者 PM2.5 上升的週期大致都在 2~3 天左右，皆從較淺的低值慢慢上升到較深的高值，可以推估為環境背景值的影響。另外可以注意的是，大部分白色的部分可能是網路不穩等原因造成沒有收到資料，但手術室中機器測量出來的數值就是 0，顯示在手術室中 PM2.5 數值極低並沒有偵測出來。

12 月而在圖 156 中可看出辦公室 1、2 的 PM2.5 數值都有升高的趨勢大致相同在 12/8、11、14 號有明顯超標現象，而在 15、16 號的數值在明顯較低，其他天則以兩到三天為週期進行循環。而手術室也如上個月所呈現的數據機器因為濃度過低，測出的數值為 0。

01 月在圖 157 數據呈現中與前幾個月有明顯不同的是手術室有許多極端值的發生，以往手術室的 PM2.5 幾乎沒有被檢測出來，但在這個月月月初一個禮拜左右的時間 PM2.5 數據卻有異常飆高的情況。

總結：除了手術室以外，其他場域的 PM2.5 大多為環境背景值，而手術室通常的數值應保持為 0。



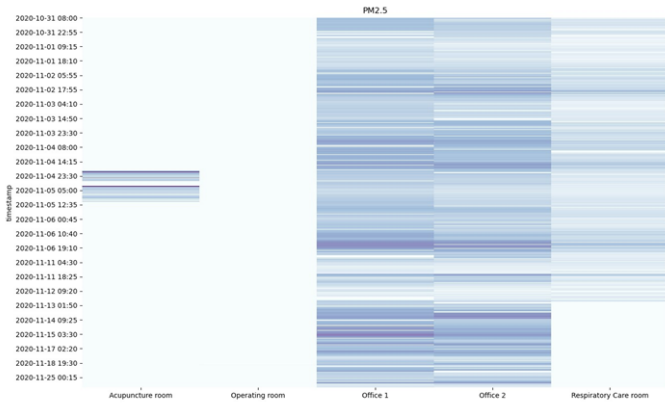


圖155. 聖功醫院 11 月 PM2.5 熱像圖

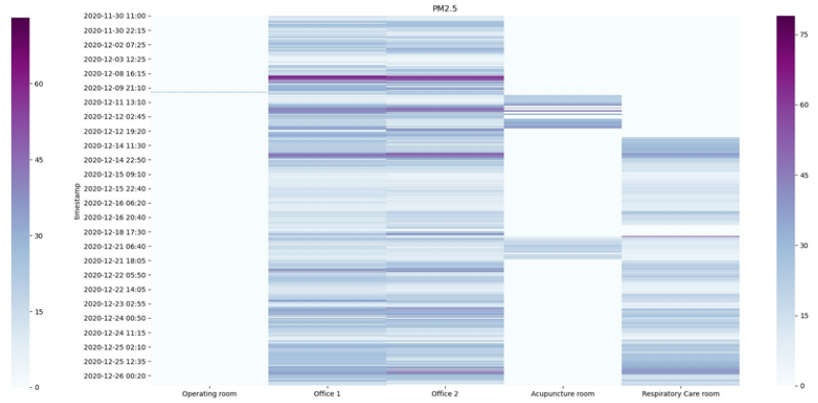


圖156. 聖功醫院 12 月 PM2.5 熱像圖

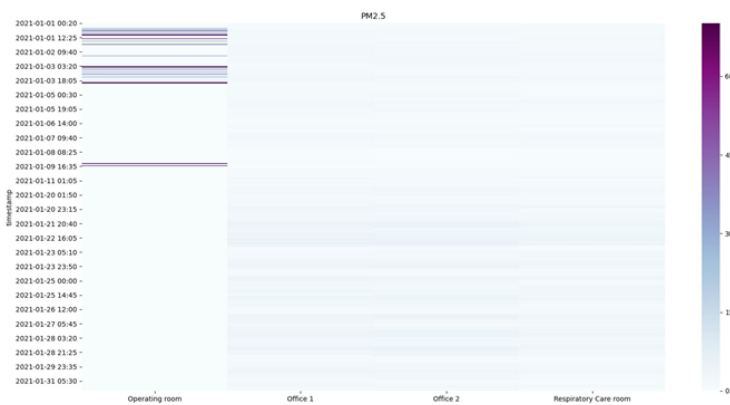


圖157. 聖功醫院 01 月 PM2.5 熱像圖

#### 4. RH :

11 月雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響，從圖 158 可知手術室病房相對其他兩間辦公室的數值都顯得更高，但不確定是不是因為手術進行所需環境溼度特意提升，之後可以再做確認。

12 月如上個月的情况手術室病房相對其他兩間辦公室的數值都偏高，若不是因為手術進行所需環境溼度特意提升，可能就需要再做確認。

01 月由圖 160 可以明顯得知，與上個月相同的是手術室病房相對其他三個空間的數值都顯得更高，而辦公室 2 的濕度則是四間中最低的。

總結：手術室的溼度相對其他場域都來的高，而實際體感也是，手術室相對其他感覺較濕冷。

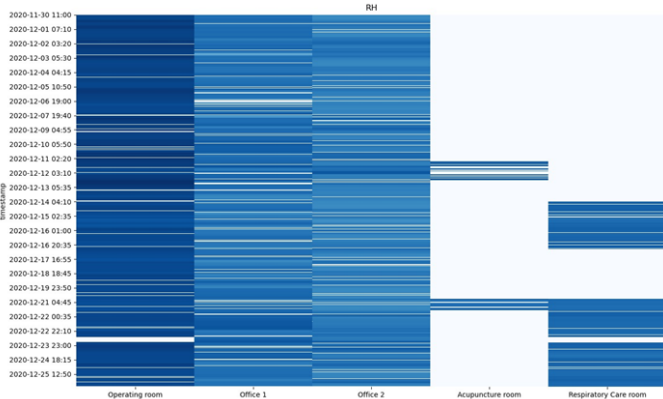


圖158. 聖功醫院 11 月 RH 熱像圖

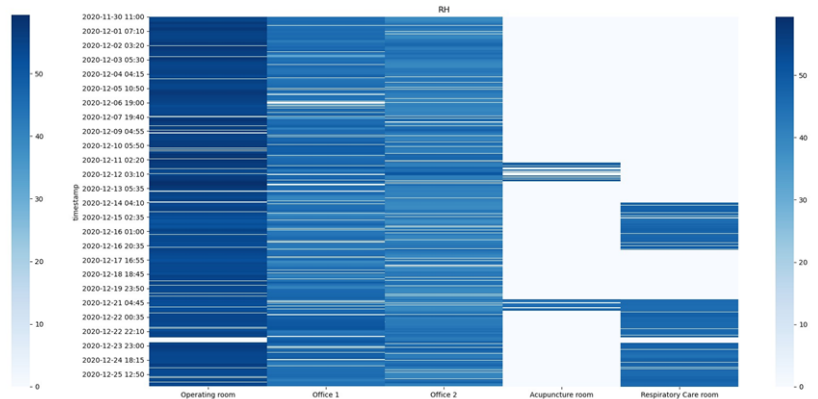


圖159. 聖功醫院 12 月 RH 熱像圖

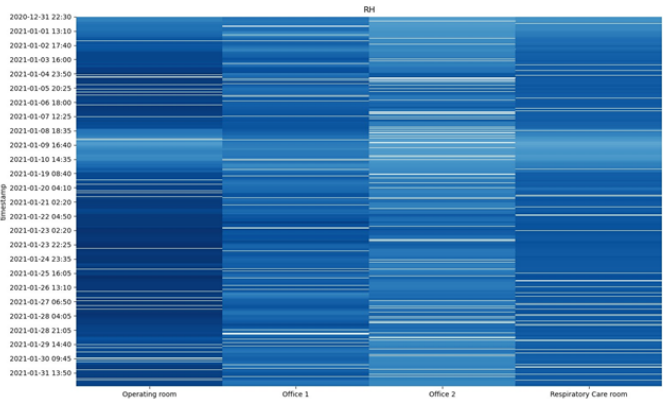


圖160. 聖功醫院 01 月 RH 熱像圖

f. 聖功醫院附設護理之家：

i. 場域特徵：

聖功醫院附設護理之家位於聖功醫院三至五樓，樓層設計為 T 字形，每層都有數間病房以及至少一處的公共區域，三樓有氣切病房區，因為房數眾多對於病房的挑選有特別詢問過護理人員，選擇較易感冒的長者之病房進行感測器設置，另外護理人員反映氣切區空氣感覺較濕冷也希望進行設置，對於感測器的設置位置由於所選擇之病病床之長者時常有抽痰的需求，所以感測器位置上的設置會比較傾向於在兩張病床中間的位置以避免妨礙護理人

員。

## ii. 場域實測:

以熱像圖呈現 CO<sub>2</sub>, TVOC, PM2.5, 及 RH(濕度) 在不同場域所蒐集到的數據, 時間為 21 年 01 月 ~ 21 年 02 月。

### 1. CO<sub>2</sub> :

01 月室內空氣品質 CO<sub>2</sub> 的標準值為 1000 ppm, 所以較紅的部分可視為超標的情形。從圖 161 來看, 1 月 CO<sub>2</sub> 濃度較 12 月來的高(從旁邊的間距來看), 其中又以 2323 室的情況較其他室濃度偏高, 而 2414 室雖然並沒有超標但平均較其他室高一點。

02 月從圖 162 可知 2323 在 CO<sub>2</sub> 數值上整個月都有明顯偏高的現象, 特別在月初的一週及 2 月 22-24 的數值更是明顯。另外在 2311 室的 CO<sub>2</sub> 數值整體也較高, 並且每天都有規律性增減。最後是 TR3 室, 雖然在月中有部分飆高的情況, 但這樣的情形在 228 連假時 CO<sub>2</sub> 濃度也明顯偏高, 可以再稍做注意。

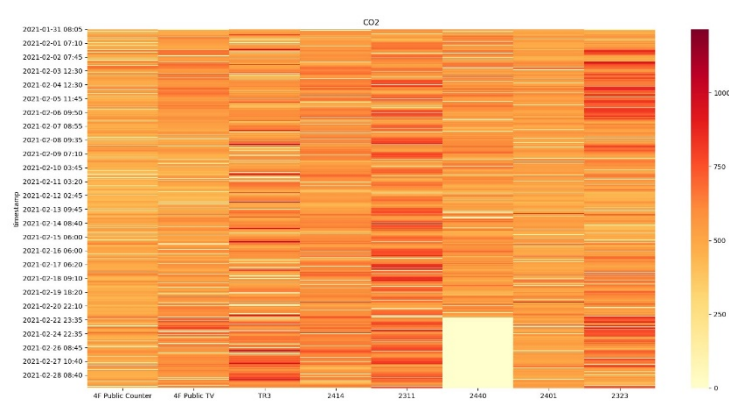
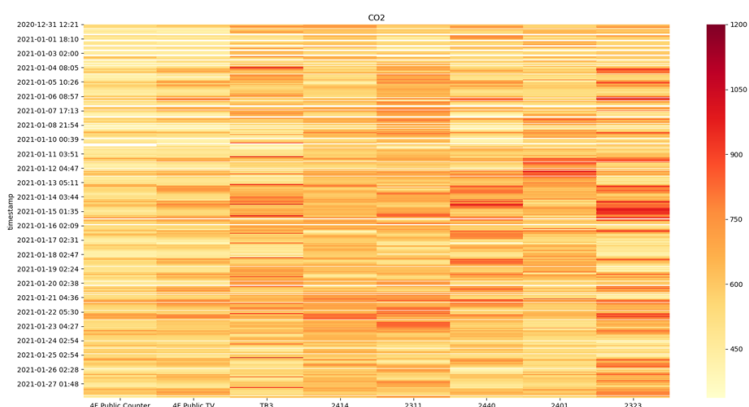


圖161. 聖功護理之家 01 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

圖162. 聖功護理之家 02 月 CO<sub>2</sub> 熱像圖

總結: 聖功護理之家的場域較大我們的佈建數較少比較難看出規律性, 但可以從中找出事件, 其中又以 02 月的 2311 室為例, 報告中

寫的每日規律性增長，後來由醫護人員告知，是有一床長者的看護違反規定定時前來，醫護人員也事後告知報告對於他們的幫助性。

## 2. TVOC :

01月，室內空氣品質 TVOC 的標準值為 560 *ppb*，但根據以往實驗的經驗，消毒以及與機器的遠近也會是影響 TVOC 的一大因素，2401 室的 TVOC 感測器疑似壞掉了數值異常的高所以先排除，有時會再請團隊下去維修。根據圖 163 來看藍色的部分都是非常偏高的情形，可以多注意是否為消毒或是其他活動，總體而言 2414 室、2440 室以及 4 樓公共區域(電視機)的 TVOC 平均偏高。

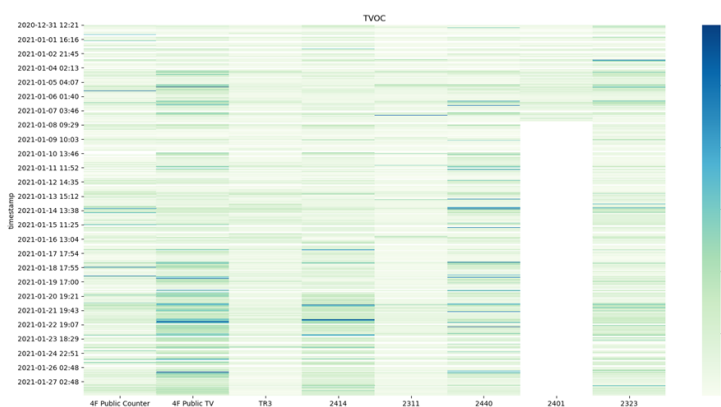


圖163. 聖功護理之家 01 月 TVOC 熱像圖



圖164. 聖功護理之家 02 月 TVOC 熱像圖

02月，如上個月報告所述，因 2401 數值疑似偏高，團隊會再進行維修因此先進行排除。而相較於上月的報告，可以看出 TVOC 的最高濃度，從上個月 5000 *ppb* ~ 6000 *ppb* 到這個月 2500 *ppb* ~ 3000 *ppb* 有了明顯的下降，但從圖上還是可以看出 4 樓公共區域(電視機)及 2414 上都有明顯高濃度。

總結: TVOC 濃度有下降，但 2414 室以及 4 樓公共區域(電視機)濃度都還是較其他偏高。

### 3. PM2.5 :

01月室內空氣品質PM2.5的標準值為 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比較紫的區域為超標。從圖165來看，PM2.5的濃度與11月情況相同，仔細看的話可以看到，每個地方會有在同時段升高的情形，可以看到一條條比較深一點的橫向線，推測原因是室外的PM2.5污染源。其中TR3、2311室以及2323室的PM2.5濃度較其他室來的頻繁升高。

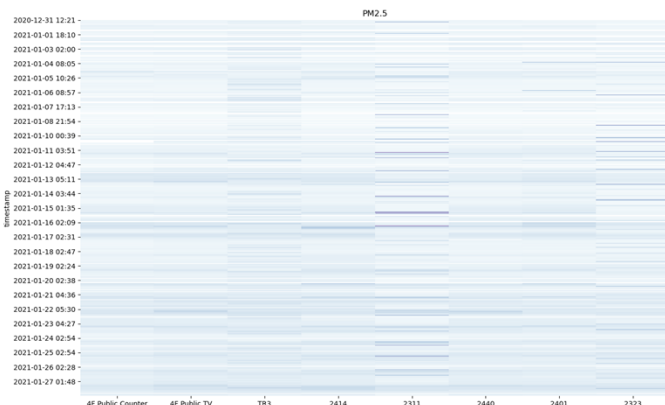


圖165. 聖功護理之家 01月 PM2.5 熱像圖



圖166. 聖功護理之家 02月 PM2.5 熱像圖

02月，從圖166上可以看到在2/9之前的顏色都普遍偏深，但在2/9號之後卻整體較淺，整體PM2.5的數值都有了明顯改善，我們也好奇機構是否有進行什麼樣的措施讓PM2.5的數值有明顯變化。不過在個別數據上，2311室的PM2.5仍然有週期性地飆高的現象。

總結：從01月至02月PM2.5有了明顯的改善，但2311室還是會有飆高的情形。

### 4. RH :

01月濕度的部分雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過高對健康仍有負面影響，可能會增加心血管或呼吸道疾病的罹病風險，因此仍需注意。之前有反映過懷疑氣切區的病房濕度可能較高，就資料來看1月TR3的溼度確實有偏高的狀態，以及2311室及2323室的溼

度相較其他是偏高的情況。

02 月在 TR3 (氣切區病房)、2414、2311 室及 2323 室中可以看到室內濕度普遍偏高。

總結: TR3 氣切區病房如醫護人員所預測, 其濕度確實較高, 應想方法進行改善, 另外 2311 及 2323 室的濕度也普遍偏高。

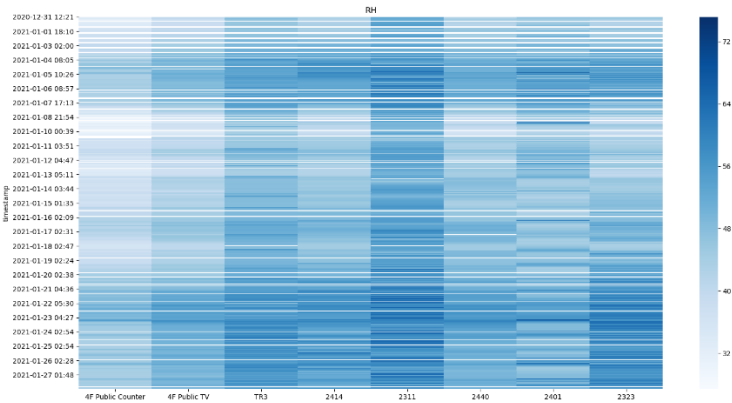


圖167. 聖功護理之家 01 月 RH 熱像圖

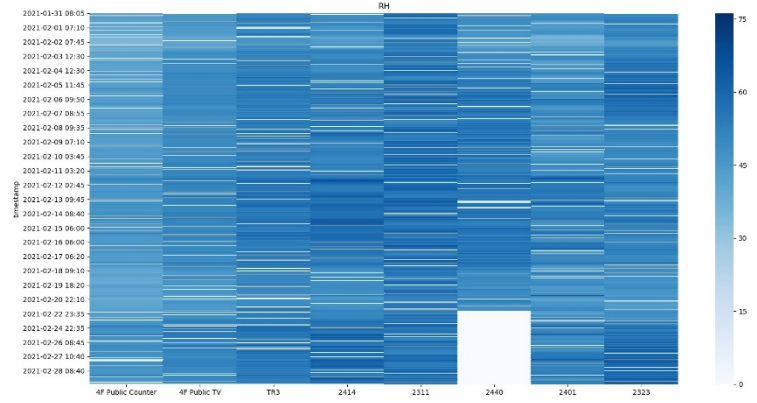


圖168. 聖功護理之家 02 月 RH 熱像圖

## E. 桃園市立內壢國民中學初期場域實測數據分析

### a. 設備維護與更新:

我們在 4/12/2021 進行了室內感測器的巡檢，收集感測資料並維護不正常運作的感測器，有些機器有沒固定好或是網路線被拔除的問題，因此當天也都巡視並確認過。

### b. 室內感測器資料分析：

內壢國中的空氣分析報告分為兩個方面來呈現，首先為總體性，找出是否有全校性的規律，另一個為空間性，看個別空間是否有事件的發生而產生單獨的影響，空間區域的劃分依照圖 169 所標示，分析的時間從 8/1/2020~3/31/2021，選擇分析的指標為 CO<sub>2</sub>、TVOC、PM1.0、PM2.5、PM10 及 RH (濕度)。其中 PM 的部分會與桃園市政府環境保護局的內壢測站資料一同分析，測站與內壢國中的位置如圖 170 所示。



圖 169. 內壢國中平面圖及區域劃分示意圖



圖170. 桃園市政府內壢測站與內壢國中位置圖

### i. CO<sub>2</sub>

目前在內壢國中佈建的裝置位置大多在教室內，作息是固定且人數固定，預期可以看到明顯的規律。實際分析資料後，根據資料的時間區段大致可以將時期劃分為三種：一般課程(夏季)、一般課程(冬季)、暑期課程。

#### 1. 一般課程(夏季)

資料所顯示的時間為 9/1/2020 ~ 9/30/2020 的這段區間圖 171，整體來說 CO<sub>2</sub> 濃度各教室的起伏循環大致相同，都是在上課期間開始後 CO<sub>2</sub> 濃度上升，同時在下課時間下降，而週末期間無起伏，但明顯可看出九月底期間 CO<sub>2</sub> 數值有明顯下降，從超過法規極高的 7500 ppm 下降為適合學生上課的數值 1000 ppm。這樣的原因可能與冷氣有關，因遊藝樓皆有裝設冷氣，加上學生長期待在教室，因此室內 CO<sub>2</sub> 濃度劇烈提升，而在 9 月底因天氣變涼關掉冷氣，開窗戶後整體 CO<sub>2</sub> 濃度變下降與背景值相似。而 CO<sub>2</sub> 濃度較高的區域為 I09、I05、D01、F02、N01、A13、A11 體育館左側這幾個區域。剛好這些都是都有冷氣裝設的教室，推估也是因為開冷氣的原



因造成 CO<sub>2</sub> 濃度較其他教室高。

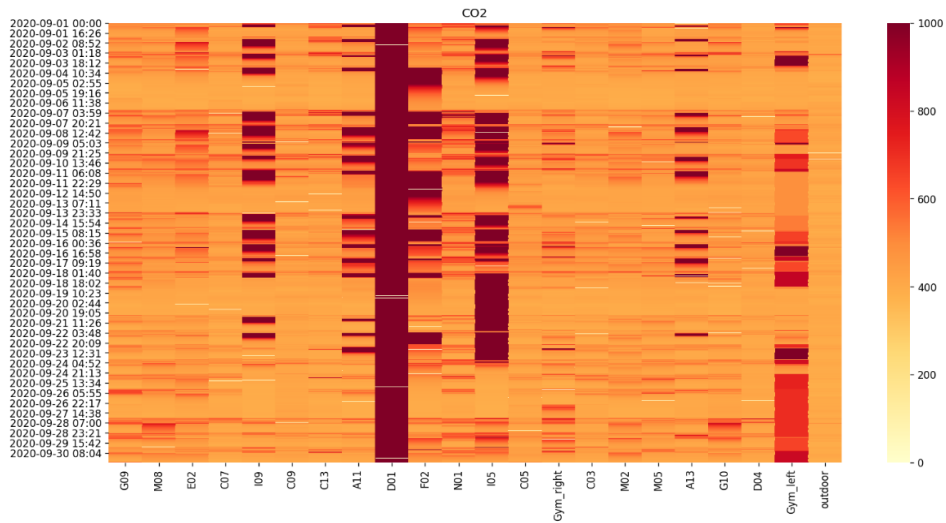


圖171. 內壢國中 9 月份 CO<sub>2</sub>

## 2. 一般課程 (冬季)

冬季時會有兩種情形，第一種可以參考 11/1/2020~11/30/2020 時的資料圖 172，一樣可以看到如夏季時 CO<sub>2</sub> 濃度各教室的起伏循環大致相同，在上課期間 CO<sub>2</sub> 開始濃度上升，同時在下課時下降，而週末期間無起伏，不同的點是在於，因為冬季並沒有開冷氣而是選擇開窗，所以每間教室的變化量看起來沒有像夏季一樣有很大的差異，且大部分教室的 CO<sub>2</sub> 濃度都有維持在 1000 ppm 以內。

第二種則為 12/1/2020~12/31/2020 的情形如圖 173，一樣是有明顯的規律，上課時 CO<sub>2</sub> 濃度上升，而下課後 CO<sub>2</sub> 濃度下降，且能看出周末，但 CO<sub>2</sub> 的濃度卻比 11 月時整體大幅度上升，推測原因為氣溫下降而導致雖然沒有開冷氣但為了防止冷風，所以教室通常處於密閉的情形而造成通風不夠，而這現象是整體性的。

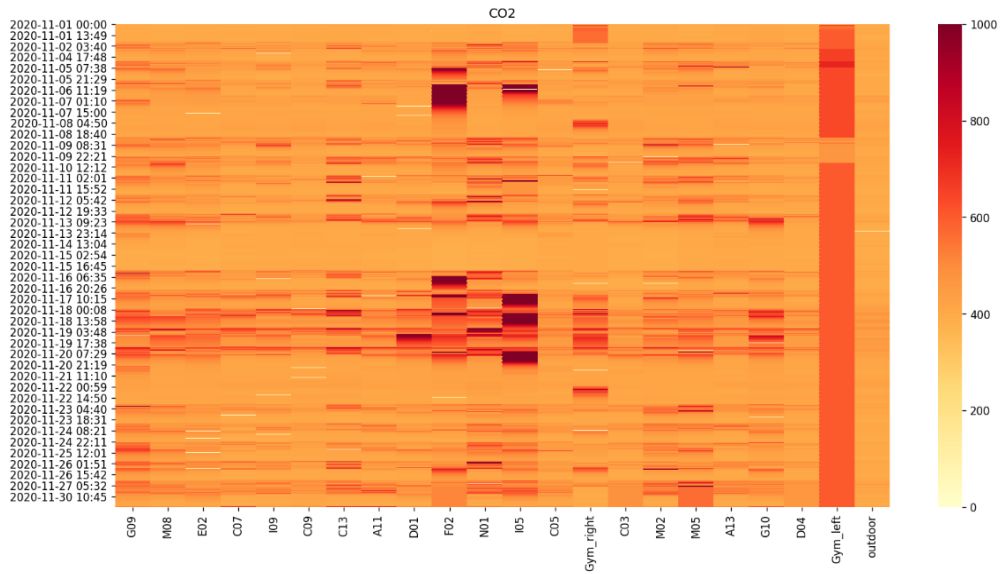


圖172. 內壠國中 11 月份 CO<sub>2</sub>

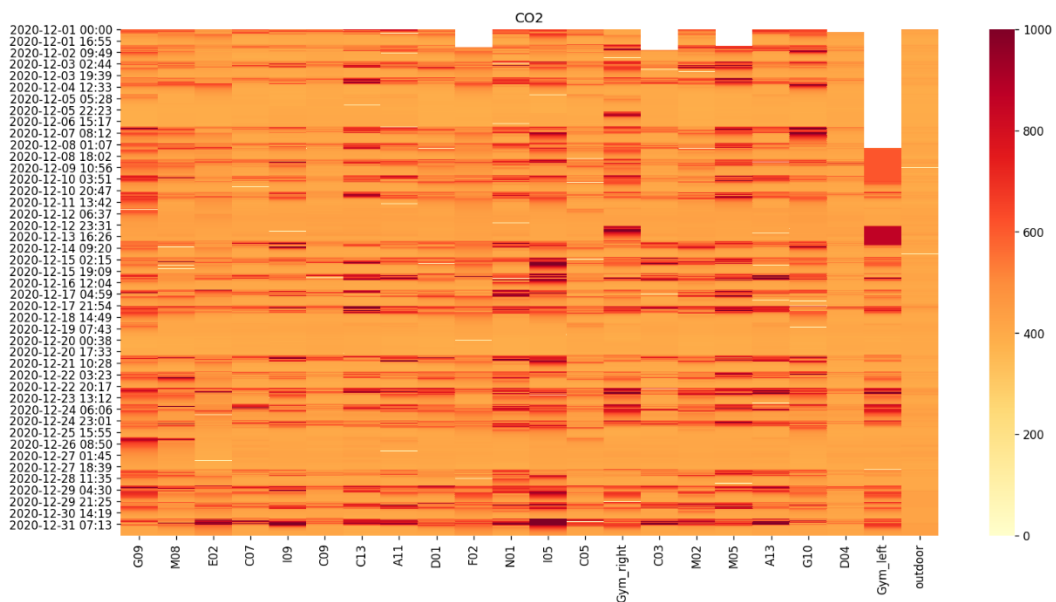


圖173. 內壠國中 12 月份 CO<sub>2</sub>

### 3. 暑期課程

根據內壠國中提供的資料，暑假期間八月份的上課時間是 8/1/2020 ~ 8/15/2020，分為九年級的全天班和其他的半天班，因此從圖 174 可以看出每一間教室到 8/15 都有明顯的每週規律變化。其中濃度明顯較高的教室為 G09、I09、A11、F02、I05、A13，都是九年級的全天班。除了時

間較長外濃度值也明顯高出許多，這很有可能是因為只有九年級的教室有安裝冷氣，窗戶全關閉冷氣的狀況下，室內不通風導致 CO<sub>2</sub> 濃度值累積到 3000 ppm ~ 4000 ppm，反觀其他教室開窗戶通風的 CO<sub>2</sub> 濃度值最高只有到 1000 ppm 左右，即使室內人數差不多，累積的濃度值差異卻非常大。另外，A13 的上課時間多了一個禮拜，從圖上也可以很明顯的看出多了一週的規律變化。

除了上面因氣候因素而出現的整體的變化之外還有觀察到比較特別的變化，內壢國中除了普通班以外還有體育班以及音樂班，而其中我們就觀察到音樂班(G09)可能是因為作息的原因，整體頻率明顯與其他班級並不同，如圖 175 和圖 176，推估是因課程與其他班級相較之下多了許多個別指導、合奏等課程，故 CO<sub>2</sub> 上升頻率差異許多，且這規律並不因為氣候而改變。

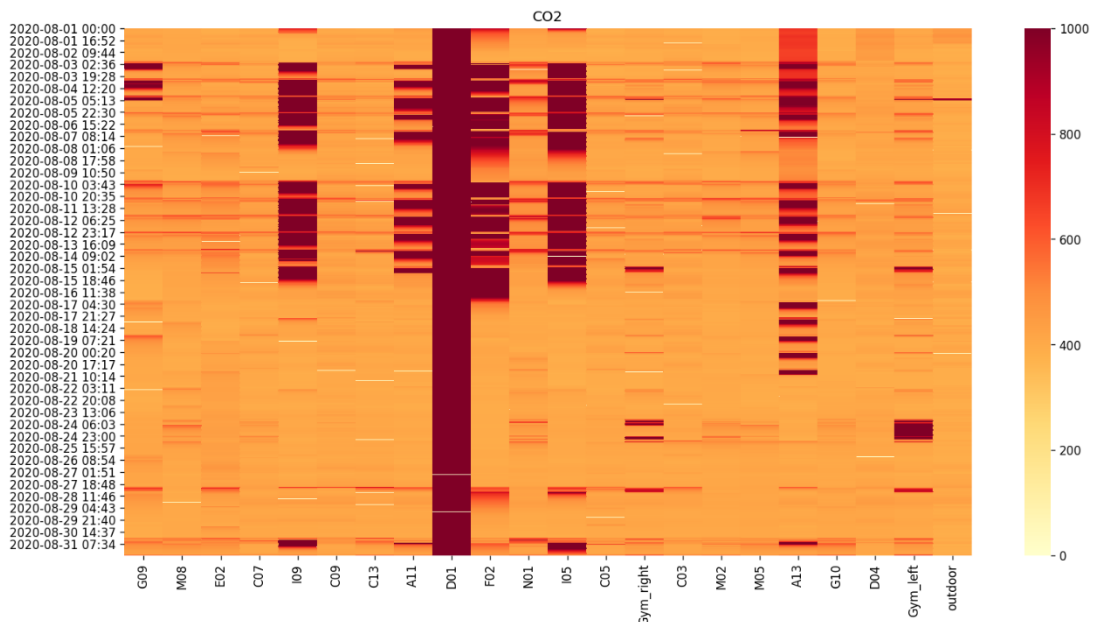


圖174. 內壢國中 8 月份 CO<sub>2</sub>

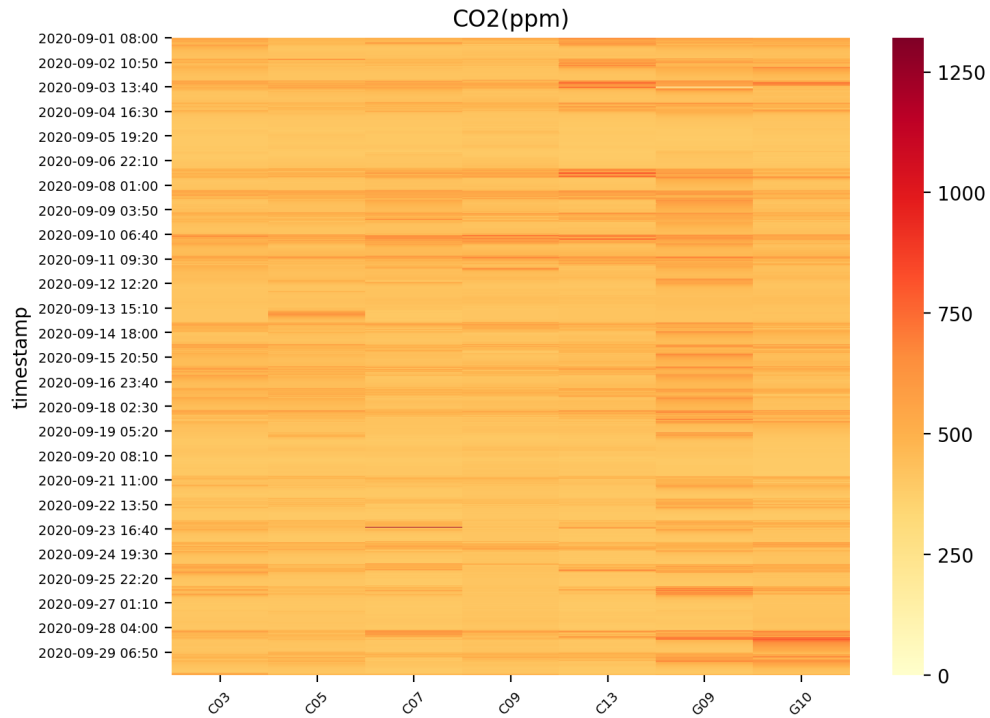


圖175. 9月份的德馨樓+鴻儒樓+博愛樓 CO<sub>2</sub>

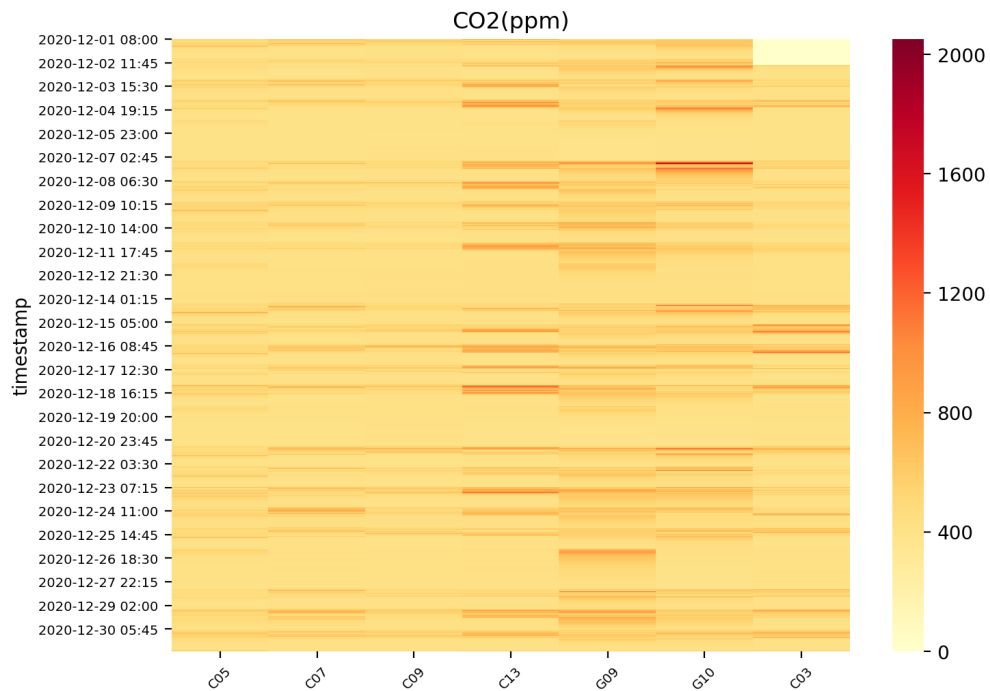


圖176. 12月份的德馨樓+鴻儒樓+博愛樓 CO<sub>2</sub>

ii. PM

因 PM1.0、PM2.5、PM10 起伏趨勢大致相同，因此

我們一併進行討論。將 PM 濃度與內壢測站的資料圖 177 來看的話，可以發現所偵測到的 PM2.5 起伏圖 178 都是與內壢測站相同的，起伏的大小也是相同的，因此可以推測大部分的 PM 來源都是源於室外污染，而在國內法規中室內 PM2.5 標準值為  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而整體校園的 PM2.5 在大部分時間都超過了正常規定的數值。

由資料發現室外污染物對靠近北大門建築物的影響特別明顯，如圖 179、圖 180，推測原因為北大門面向的是一條較寬廣的馬路但建築物大多較低矮，而南大門則是一條小巷且有大樓林立，所以北大門的室外污染物會較南大門來的多。此外 D04 教室為生科教室，教室裡有木工相關器具，所以推測上課時會有使用到，在資料分析時也可以看到 D04 就是有時會相較於所在區域有較高的 PM 濃度，如圖 181。

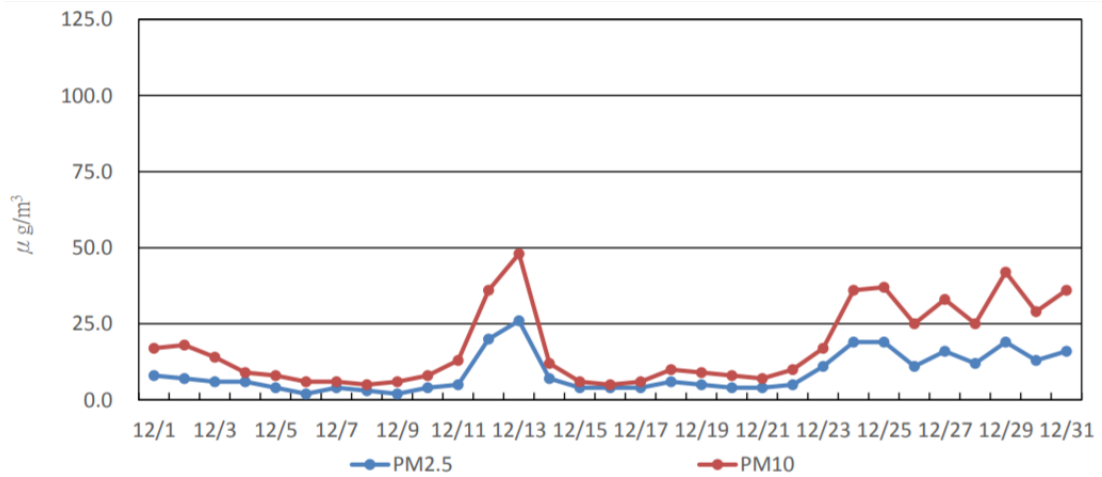


圖177. 內壢測站 12 月份 PM2.5 及 PM10 日平均折線圖

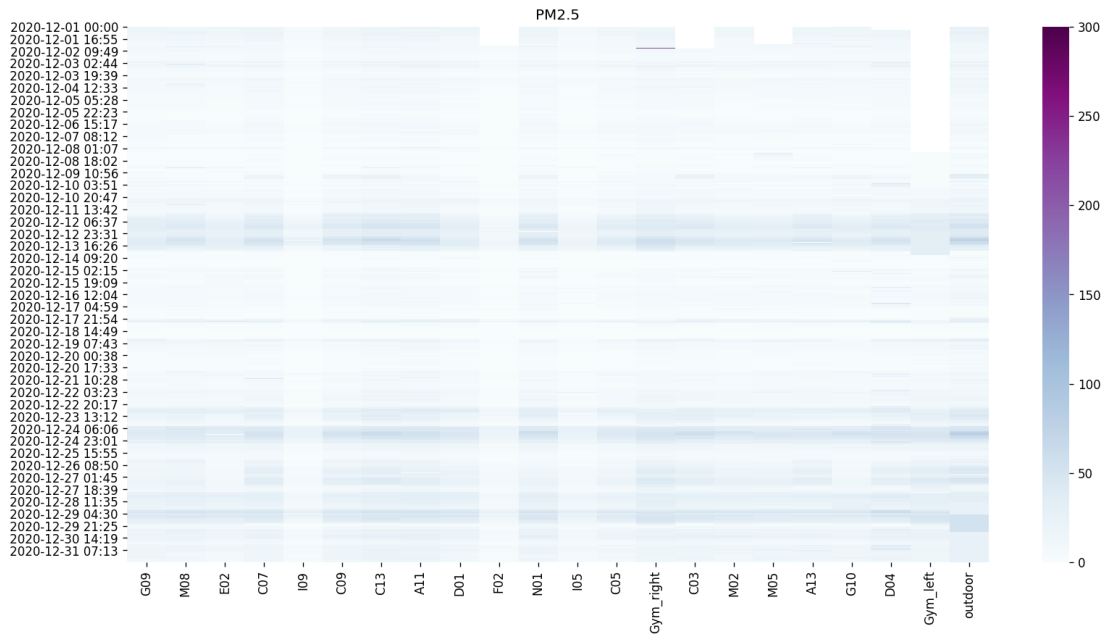


圖178. 內壢國中 12 月份 PM2.5 濃度

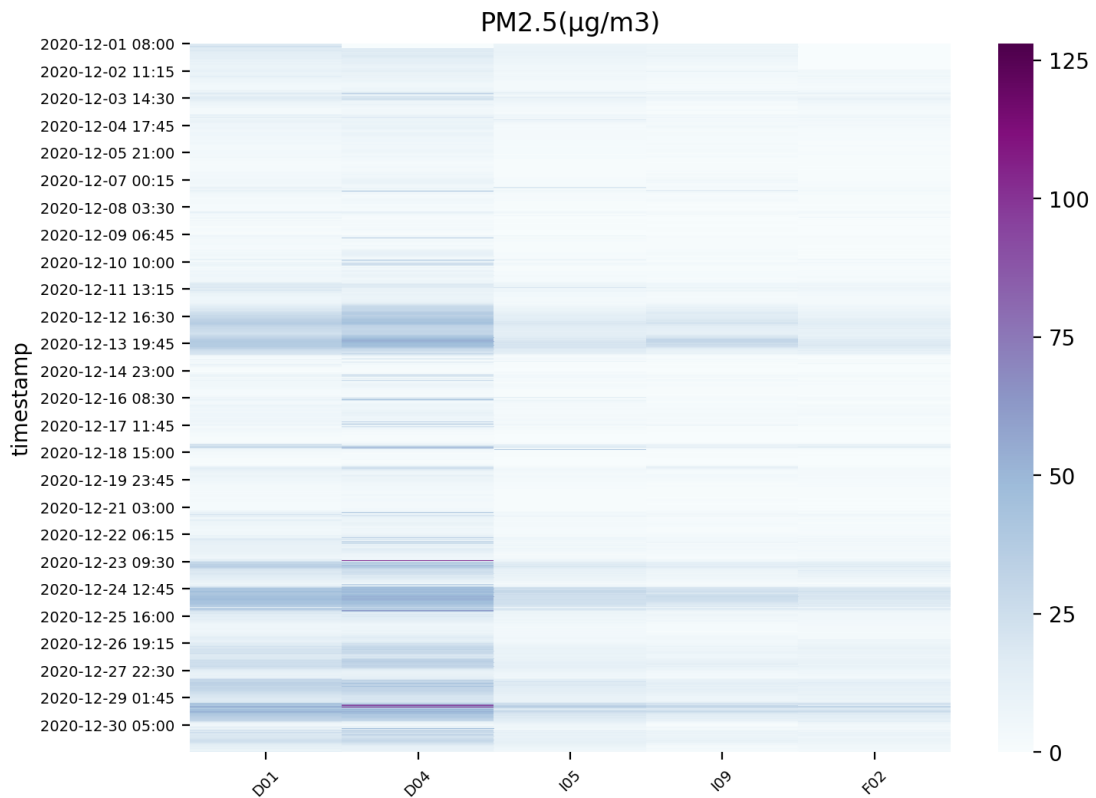


圖179. 內壢國中 12 月份 PM2.5 靠近南大門的教室

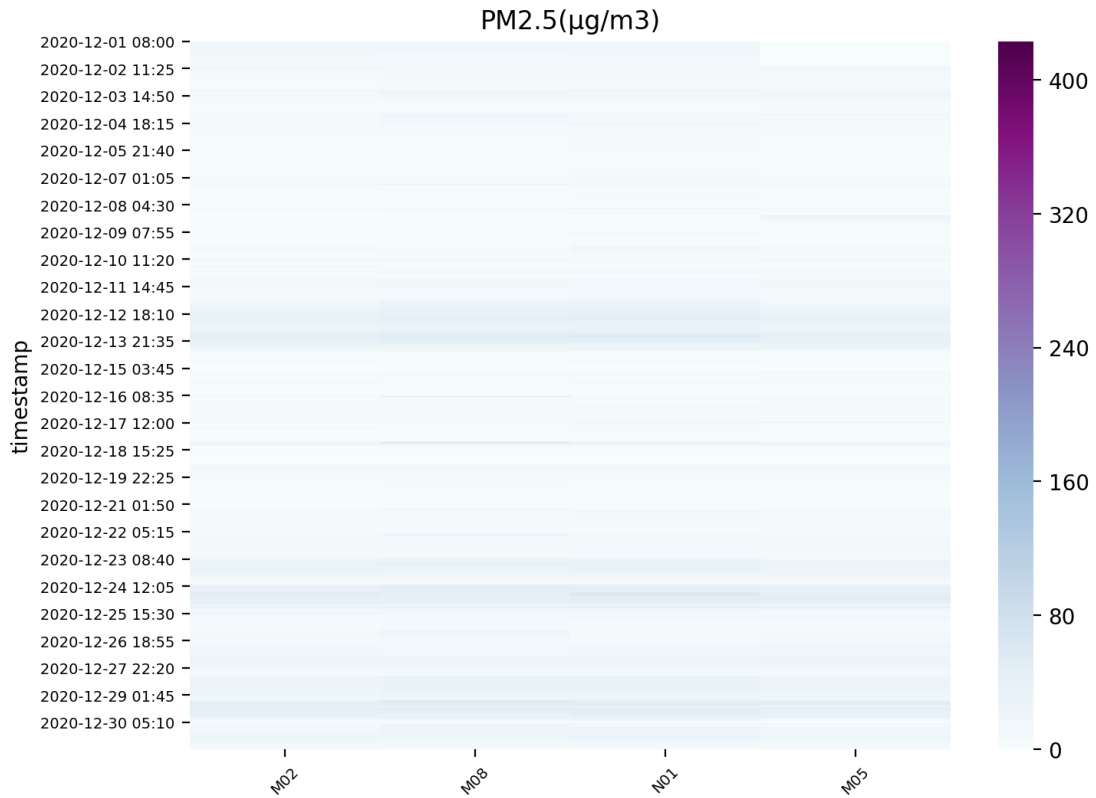


圖180. 內壠國中 12 月份 PM2.5 靠近北大門教室

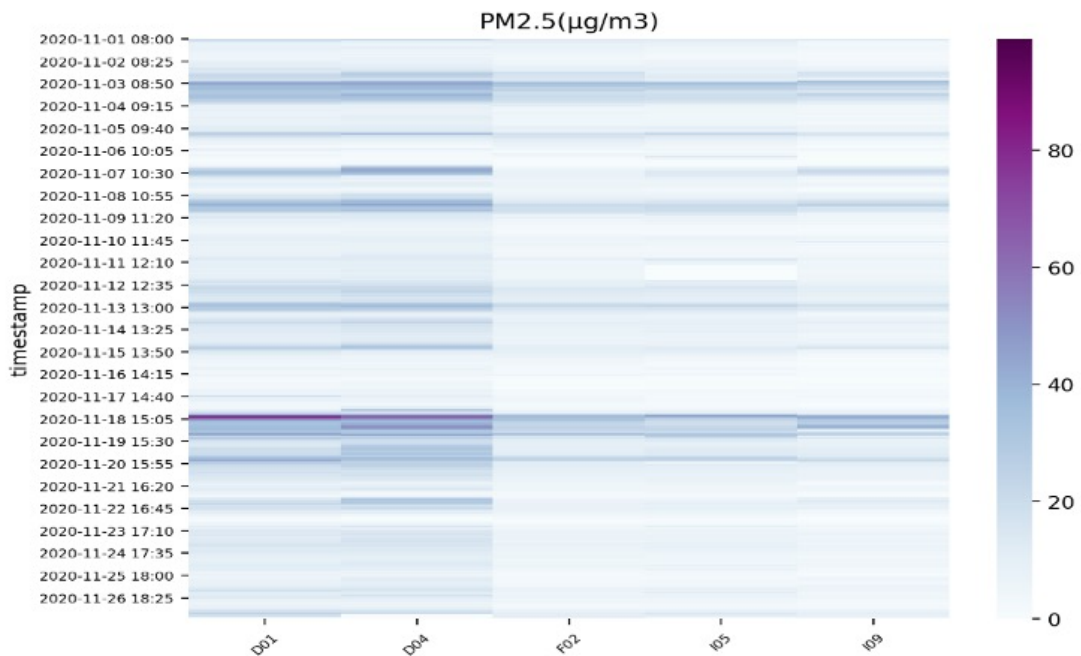


圖181. 內壠國中 11 月份 D04 生科教室各 PM 濃度

### iii. RH

雖國內法規在濕度上並沒有特別的規定，但濕度過

高或過低對健康仍有負面影響，整體來看 I09、D04、A13 與體育館右側的濕度較低，D04 因是生科教室，平常並沒有學生在該間教室進行日常活動，加上有些木工材料，維持溼度乾燥頗為正常。而分區域可觀察到，每張圖的最高值大致相同，濕度較高的區域大致是德馨、鴻儒、博愛樓，位於校園中心，而鄰近南大門的 A11、A13 與位於勤學樓的 M08 濕度較低，如圖 182。

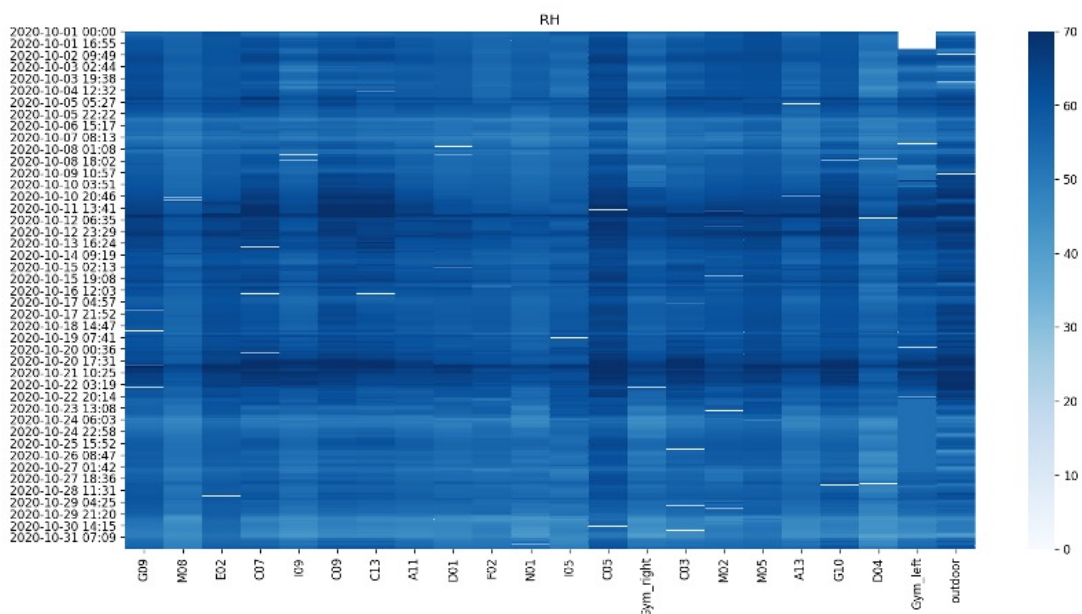


圖182. 內壢國中 10 月份濕度

#### iv. TVOC

通常會影響 TVOC 濃度的因素可能是酒精消毒或者是工業區的室外污染物侵襲，而在國內法規中規定的 TVOC 標準值為 560 *ppb*。從整體的圖中可以看出來，在部分時段的極端值大幅超過正常標準許多。其中 A11、A13、D01、F02、I05、體育館左側相較於其他教室有較多極端值發生，剛好這幾個區域與 CO<sub>2</sub> 濃度較高的區域有所重疊，而這幾個區域都位於校園西側，也就是鄰近工業區的區域，這部分是否有相關性可以再做評估。

根據區域來看，在相同尺標下，遊藝樓、集賢



樓的濃度相較其他教室濃度皆比較高，但在圖中可以明顯看到，D01 TVOC 上升的時段與 F02 有錯開的現象，而且兩間教室上升的情況不隨學生上學時間而起伏，是否仍有我們沒考慮到影響 TVOC 的因素，未來可以針對這部分再做研究。而靠近北大門的教室 TVOC 上升的情況不甚明顯，惟 G09 與 N01 有部分極端值發生，G09 為 929 音樂班，但因旁邊 G10 727 也是音樂班也有樂理、分部、個指等課程，相較之下 G09 的數值有偏高的情況，推論可能是當時擺放的位置鄰近他們的閱讀區域，因此蒐集到的資料會相較其他班級更為放大。而 N01 的班級為 707，鄰近北大門，會有一些不定時的極端值發生，但因發生頻率與 D01、A11 大致相同，或許與室外污染物有部分關係。

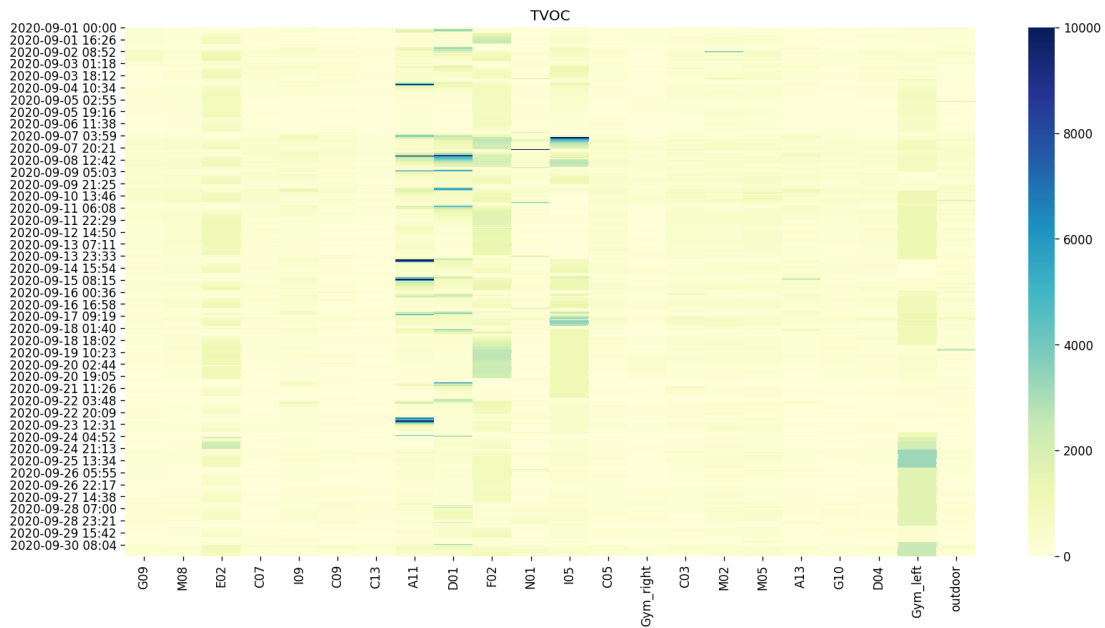


圖183. 內壢國中 9 月份 TVOC

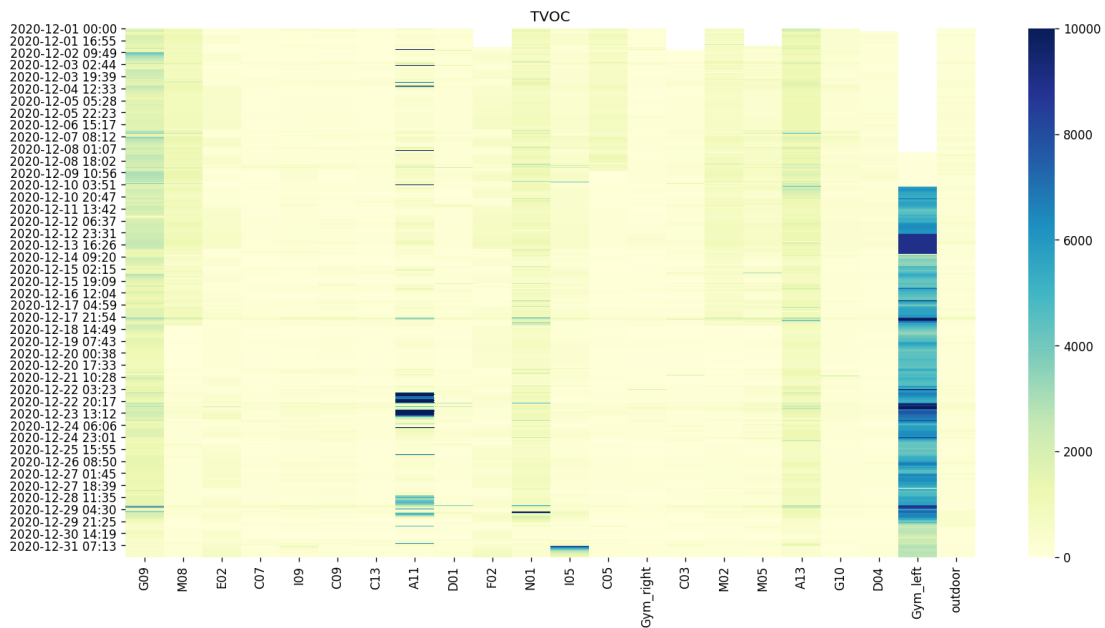


圖184. 內壠國中 12 月份 TVOC

此外關於 TVOC 的部分，佈建時校長有提到體育館的地面是新鋪設的，常常會有刺鼻的味道，對此我們特別畫出折線圖來分析，相較於其他教室是根據上下課時間來變動，體育館則是恰恰相反，會在晚上時慢慢升高，早上體育館開門後下降然後由人進來後在上升到一定濃度後又下降，體育館關閉後又在夜晚持續上升，以此循環，在暑假期間這個規律為更加明顯，而開學後因為開始有上課的情況白天上的情形較不穩定，但還是維持著晚上上升的規律，而體育館左側的 TVOC 有時會較右側來的異常高，推測原因為西側鄰近工業區。從下面圖 185 可以看到非常規律的波形而在 0 時(凌晨)都處於峰值而後半段因為開學了波形就開始有點亂掉，而圖 186 雖然已經沒有規律但 0 時大多也還是在峰值，故可以確定說在夜間的 TVOC 來源有高機率为新鋪設的地面，但其增長的濃度維持在 400 ppb ~ 500 ppb 的區間。

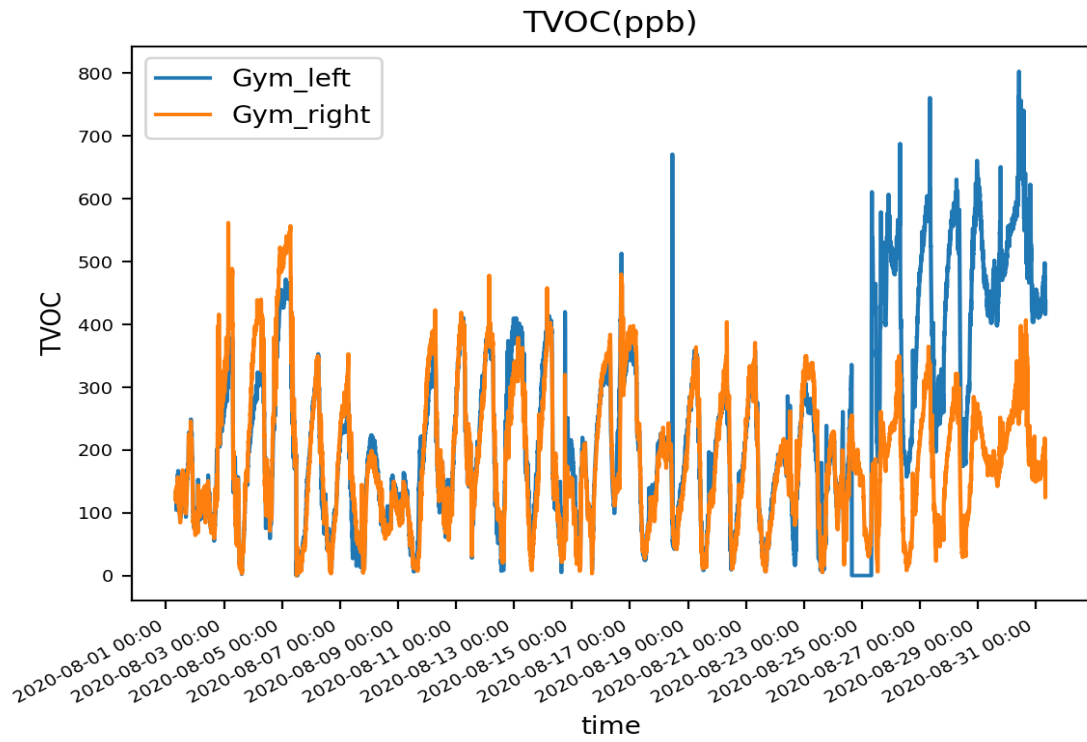


圖185. 內壢國中 8 月份體育館 TVOC

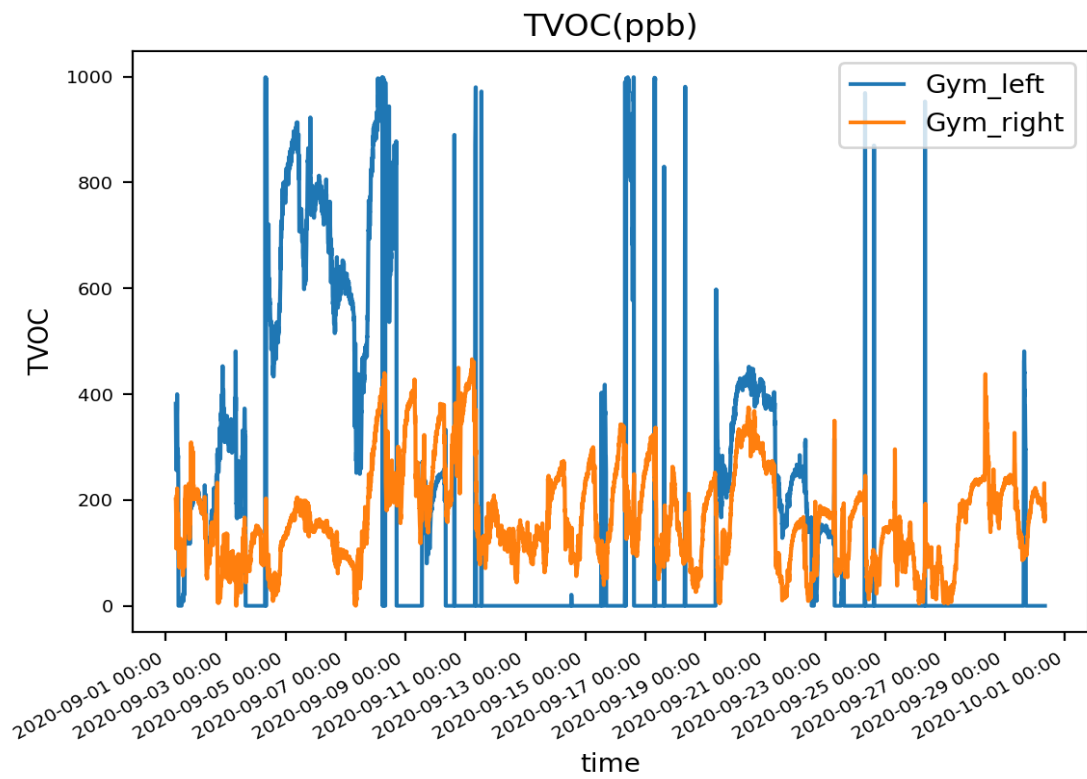


圖186. 內壢國中 9 月份體育館 TVOC

#### 4. 大規模推廣評估

計畫執行的三年中，遇到 COVID-19 的大規模傳染，雖對於本計畫執行佈建上造成一些困難，但同時也讓人們對於室內空氣品質達到注意力的高峰。以下我們整體評估與分析大規模推廣之可行性。

##### A. SWOT 分析

我們先透過 SWOT 分析，如圖 187，來分析四象限：S (Strength) 優勢、W (Weakness) 劣勢、O (Opportunities) 機會與 T (Threats) 威脅。從這四個面向，我們針對空氣品質偵測儀大規模推廣的可行性進行評估。

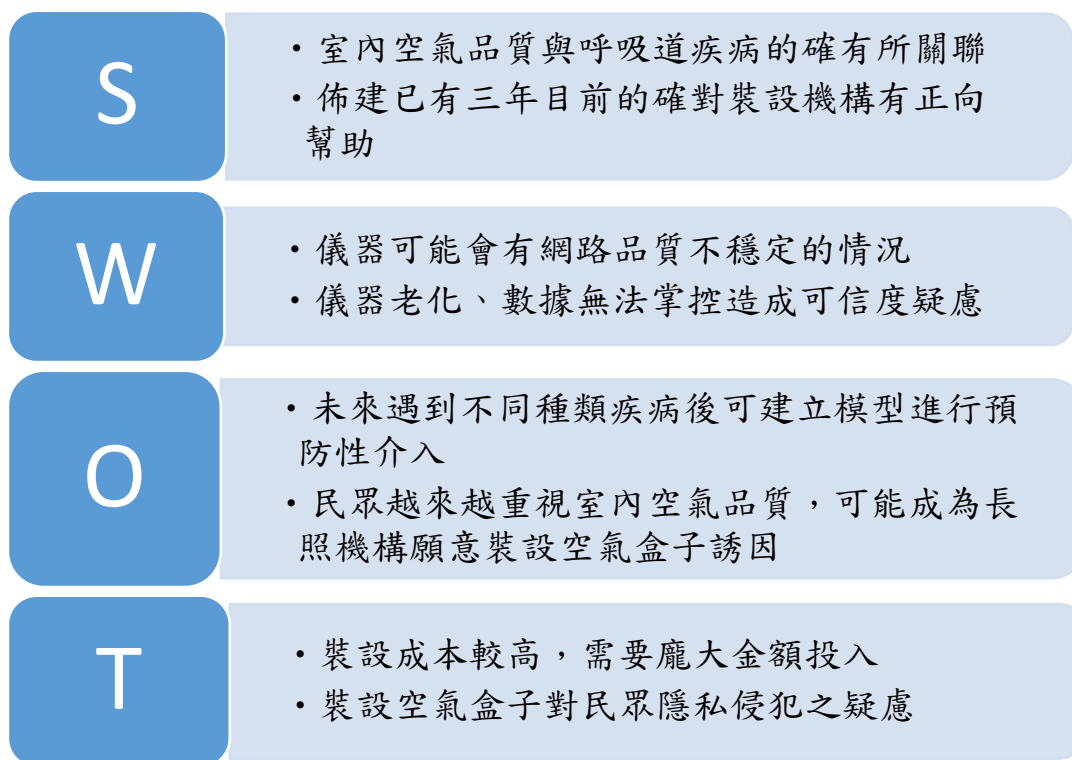


圖187. 大規模推廣之 SWOT 分析

##### B. 佈建所遇到之問題

根據以往佈建的經驗，佈建所需要的東西分為主要三樣，電源、網路以及固定，電源通常會需要從機構或是校園本

身來提供，有時會找不太到空著的插座，所以我們會提供延長線或是補上一對三插座，來解決插座的問題，另外許多機構會擔心是否會因此而增加電費，或是護理之家的延長線及插座需要有較嚴格的規範，因此我們有實際測量以及特別計算過電費的問題以及遵守護理之家的規範。

再來是關於網路的問題，網路可以說是最為重要的一項因素，資料的收集與網路息息相關，但網路也是我們最不可控制的因素，因為都是使用機構自己本身的無線網路，但有些機構本身網路條件就並非非常完整，或是有死角及訊號不夠穩定，有些想佈建的點因為自身沒有全區域的網路就得因此而放棄或是沒法佈在希望的位置，但我們也在努力研究使用 NB-IoT 來克服這部分的問題。

最後就是關於固定的問題，以學校為例，每每佈建時老師就會提醒我們要固定牢固因為學生們很有可能會動手去玩機器而導致意外，所以需要在插座上明確寫上不能拔掉，以及盒子上要有警告標語，還要配合老師的宣導，在學校我們大多是使用束帶或是有些可以釘在牆面上，採取比較不容易拿走得固定法，再來是護理之家及一些醫療機構，佈建時要小心避開一些儀器如抽痰的機器，以防妨礙護工們的工作，另外因為機器上有些光源，為了不影響長輩們的睡眠，固定位置大多也需要跟機構討論過以及固定時要美觀不可以讓機器太突兀，所以大多是使用膠帶或泡棉膠等能固定但之後能調整位置的固定法。

### C. 推廣之可行性

近年來大眾對於室內空氣品質越來越注重，對於自我健康的意識也越來越高，可能是因為這次的疫情讓大家對於空氣與疾病之間的相關性有更深的體悟，所以只要能讓大眾了解，其實推廣還是有可能的，在佈建時有位區公所的人員，就有提到他在自己家中裝設 PM2.5 的感測器，為了維持自己以及全家人的健康所以才選擇裝設地，並且在聽完我們介紹完感測裝置後表示我們的感測器有 CO<sub>2</sub>、PM、TVOC 以及溫濕度，各個方面都有顧及到，區公所的人員

表示對此感興趣，還有詢問價錢大約是多少，所以認為推廣的可行性是有得。

最後就是資料呈現的部分，主體可能還要需要依靠 LINE Bot，畢竟目前在台灣 LINE 的普及率很高，許多長輩也有在使用，且操作方面也不是很難，可以實時獲得資訊，但關於資訊的解讀可能是我們之後需要努力的方向，獲得實時資料之後要做的行為才是最重要的，但我們也有在進行這方面的研究可以在之後再進行整合加入，所以並不需要擔心，因此我們認為對於大規模的推廣是可行的。

#### 四、 討論

##### 1. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較分析

在市場上相近裝置的比較分析上，我們比較了目前在台灣熱賣的產品 AirRun Q10 空氣品質偵測器及美國知名品牌 AirVisual Pro 進行比較，同時也在感測器元件上針對市售其他感測元件做分析。我們以感測器靈敏度及穩定性、可擴展性和應用層面等不同面向來比較。

在感測器靈敏度及穩定性的比較分析中，我們針對三款室內空氣監測器可偵測的空氣物質進行比較，結果顯示空氣盒子可偵測到的不管是在空氣物質的種類上，還是偵測範圍及精準度上都比其他市售的機器還要優秀。針對不同感測器模組的比較結果，在 PM 顆粒上，空氣盒子可精準判斷不同直徑的顆粒。而在 CO<sub>2</sub> 上，空氣盒子可偵測的範圍相較中間的空氣品質偵測器也比較大，同時 TVOC 這個與室內疾病高度相關的空氣組成，空氣盒子的表現也來得更好。

在可擴展性的部分，使用者可以根據不同的需求進行監測器內的程式修改或是增加新的感測器。另外本計畫也有提供資料開放平臺 (Open Data) 的部分，可使用客製化 LASS 的後端平台來建置的雲端平台以獲取 open data。此外在盒子的側面有提供各式插槽，如 USB、網路孔以及 SD 卡插槽，以方便將監測器中所監測到的資料提取出來，來去進行進一步較複雜的分析。除了監測裝置內的控制程式之外，我們也將平台的原始碼公開，作為 open source 提供給使用者，可以創建一個自己的平台，將監測到的資料統一存放。

在應用層面上，部分的感測器直接透過螢幕顯示空氣數值外並沒有其他相關應用。本計畫之空氣盒子與美國知名品牌 AirVisual Pro 在應用層面上皆有利用所蒐集到的空氣品質數據進行分析，同時也利用各種圖表提供使用者進行參考。但是空氣盒子可偵測的數據較 Airvisual Pro 多，因此提供的相關數據也比較龐大，讓使用者可以有更多分析的方向。在手機應用端，

Airvisual Pro 提供了多種精美的數據分析圖表，給予使用者參考。而我們主要是透過 LINE Bot 機器人讓使用者可以自己查詢當下的室內空品資訊，因為本團隊主要使用 LINE Bot 機器人，因此在互動性上可以給予使用者更多的建議，在重要時刻也可以透過推播讓使用者即時了解室內空氣品質可能有哪些問題。整體來說，Airvisual Pro 目前是已上線商品，在圖形化介面的表現上十分優秀，但相對的在使用者互動性上我們可進行開發的潛力明顯更高。

## 2. 室內空氣品質預測模型

去年在桃園市立內壢國中的資料中，我們利用空氣感測裝置所偵測到的環境資訊預測室內人數，利用機器學習其中的支援向量機 (Support Vector Machine, SVM) 模型中做訓練，以二氧化碳做預測室內人數的正確率可以達到 87% 準確率，顯示出二氧化碳與人數之間的高度相關性。而溫濕度與人體活動也有很高的相關性，例如：開關窗、開冷氣等等，因此透過溫溼度的變化去做預測的正確率也達到 86%，在嘗試多種組合後，最佳的條件 (二氧化碳、溫濕度 和 PM1.0) 下預測正確率都有 90% 以上。在二氧化碳、溫溼度和 PM1.0 作為特徵值時，預測正確率最高可達到 95%，因為各個教室的人數變化較大，因此得到的正確率的範圍也較大。

同樣我們也在進修推廣學院的資料中，使用 SVM 預測教室內人數，而進修推廣學院教室內每堂課的人數變化較多，教室大小也有很大的差異，有十幾人的教室到一百多人的演講廳。在二氧化碳、溫溼度和 PM1.0 作為特徵值時，SVM 預測正確率最高可到 95%，因為各個教室的人數變化較大，因此得到的正確率的範圍也較大。

在今年我們對雲端分析平台中的空氣數據做資料分析，使用機器學習的技術，運用遞歸神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 的長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM)，通過 LSTM 模型預測未來室內空氣環境。目前對於室內空氣的模型都是未知的狀態，在過程中也發現了一些問題需要再改進，



首先是模型預測的準確率，有時候誤差會比較大，這可能是與室內人數與各種活動有關。但是由於預測模型的室內環境空氣品質數據是由感測器即時提供，而室內人數與各種活動只能由機構內的護理人員口述以及場地勘察時感受得知，因而影響了模型預測的準確率。而且在各種大小不同，環境也不盡相同的室內空間，模型也需要重新訓練。

當我們收集長期的感測數據後，數據的分析和室內空氣品質預測模型必會提高其準確率，以利於遠端物聯網設備控制相關的設備，例如調控空調與通風系統。因為安全的考量，大多醫療機構不希望有外接或是侵入式的方式介入原有的空調系統或是相關的設備，在開發智慧遠端物聯網設備控制功能上，我們開發了可接收現有的遙控器紅外線訊號的裝置，進一步控制相關的設備。然而如果要大規模佈建遠端物聯網設備控制系統到各種室內空間，系統錄製遙控訊號對於非專業人員來說，會有一定的困難。而自行架設通風設備連接控制系統則較為不便。在大規模佈建時，應該有專人專隊設計配置的器材及設定物聯網設備控制系統，並且由專業的團隊來大規模部署和管理系統。

### 3. 大規模推廣評估

本計畫原目標為佈建於長照中心等安養或醫療照顧機構，但計畫執行的三年中，遇到 COVID-19 的大規模傳染，雖然本計畫執行上在初期及中期佈建上確實遇到相當的困難，但同時也讓人們對於室內空氣品質達到注意力的高峰。計畫中後期已逐漸接觸到更多場域對於安置空氣盒子意願極高，尤其是容易學生群聚的教育場館及考試中心、使用量大的室內運動場館、民眾頻繁出入的辦公單位以及各地老人及幼童出入的圖書館及室內交誼場館等等。因此我們需要關注的已經不僅僅是特定醫療或安養機構，而是與民息息相關的每一個日常角落。在目前民眾對於室內空品高關注度的狀態下，更應積極性的推展。故此我們建議藉由多元化不同場域的逐步推廣，由本計畫起源我們將可行性場域分為三期：初期、中期和長期的大規模推廣。

初期以較多人群聚集及頻繁使用的場所為主，例如各地區

學校、各地方辦公場域等等。學校場館不但是各國政府在疫情期間最需要開放的重點場域之一，且由於其人數及場地大小限制，加上滯留時間極長，大量學生及教師皆需在校內共同作息。而辦公場域亦為每日民生必經的場所之一，各地方公務單位如區公所、圖書館以及其他辦公空間，由於處理業務為民生必需，無法任意關閉，且人員進出量大。因此應加強列為初期佈建目標。本計畫在執行期間亦同時發現，學校對學生、家長的責任感強烈，因此對於空氣品質亦十分注意，裝設意願極佳，配合度也高。

中期階段以人群聚集場域但非必要性設施為目標，包含運動場館、商業設施、甚至普及到其他娛樂性設施。運動場館類因屬性特殊，使用者在呼吸頻率上較普通場域更高，且在口罩規範上更困難，因此建議在第二階段大規模部署。而商業場域與民眾息息相關，這類型場域包含畜牧業及養殖場等，在人畜共通傳染病流行期，養殖牲畜的流感亦同時會感染到工作人員甚至帶回家中的風險，因此建議在中期部署上應同步考慮佈建。

長期階段應以醫療機構、安養中心、精神照顧機構等特殊場域為目標，在疫情期間這類的特殊場域完全關閉，所有接觸人員都必須進行嚴格的隔離檢疫等防疫措施，且因疫情關係出入都必須特殊要求。再加上此類場館佈建上需要更高規格的配電、網路、防火以及特殊裝置以防外力破壞等等都必須特殊要求。故應該在長期的大規模佈建時一併予以考慮，由專人專隊設計配置的器材及線路，並且在政策管理下大規模部署管理。

## 五、 結論與建議

在第三年的計畫中，我們對於環境感測裝置上新增新的感測器做測試，並且持續優化雲端平台、警示資訊、開發智慧遠端物聯網設備控制等新功能。另外我們也持續維護 108 年和 109 年於 20 家人口密集機構或醫院部署的裝置，並繼續擴大布建於 3 縣市、10 家人口密集機構部署與實測，並協助一間呼吸道傳染病疫情群聚機構緊急布設感測裝置，並進行相關評估。

### 1. 感測裝置安裝與場測

本計畫在 108 年度和 109 年度，已對 20 間照護機構進行場勘、佈建和實測。110 年也對另外 13 間公家機構進行佈建，運用我們收集足夠的感測數據後，用大量的數據分析來發展出屬於不同長期照護機構和公共場所的室內空氣預測模型，提前預測空氣品質，以利於遠端物聯網設備控制相關的設備。並輔助呼吸道傳染疾病之防治。

### 2. 研發的感測裝置與市場上相近裝置的比較

在使用上和手機 APP 的方便性，本計畫未來需要跟業界的公司合作，例如 AirVisual Pro 此項產品有連網，並且在手機上也有相關 APP 可以獲得機體所讀到的空氣數據，在手機 app 上除了機體所顯示的功能外，在呈現上更多了一些分析數據與呈現的功能，在手機上就可以看出這些空間在一天中空污嚴重的時間，同時也可以藉由行動追蹤了解當日污染物曝露量，同時也可以得到更多的健康建議，配合該間公司販售的空氣清淨機，則可利用手機控制，讓室內維持在最佳空品的狀態。整體而言，AirVisual Pro 的手機 APP 介面在圖表呈現上十分完整。這是我們值得學習和進步的地方。

### 3. 雲端分析平台優化與室內空氣品質預測模型

在雲端分析平台上，根據 109 年成果與使用者回饋和討論資料視覺化的方式後，我們持續優化和客製化微型空氣品質感測器 (AirBox) 的雲端後台系統。雲端分析平台結合室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ\_TW)、雲端系統、分析

平台、即時資訊儀表板、聊天機器人、智慧通風等運用功能。智慧通風扇結合了智慧遠端控制設備，從後端伺服器的資料庫取得相關空氣資訊，利用雲端分析平台中的空氣數據做資料分析，使用機器學習的技術，運用遞歸神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 的長短期記憶模型 (Long Short-Term Memory, LSTM)，通過 LSTM 模型預測室內空氣環境，判斷該場域的二氧化碳濃度是否大於設定的最大值或是舒適度指標 (THI 值) 不符合標準，運用紅外線接收發器接收及發送紅外線訊號，控制相關的空調設備和通風扇的裝置上，使室內空氣更能有效地達到更高品質。

#### 4. 大規模推廣評估

由本計畫起源我們將可行性場域分為三期：初期、中期和長期的大規模推廣。初期以較多人群聚集及頻繁使用的場所為主，例如各地區學校、各地方辦公場域等等。學校場館是在疫情期間最需要開放的重點場域之一，且由於其人數及場地大小限制，加上滯留時間極長，大量學生及教師皆需在校內共同作息。辦公場域和各地方公務單位如區公所、圖書館以及其他辦公空間，由於處理業務為民生必需，無法任意關閉，且人員進出量大。因此應加強列為初期佈建目標。中期階段以人群聚集場域但非必要性設施為目標，包含運動場館、商業設施、甚至普及到其他娛樂性設施。另外商業場域包含畜牧業及養殖場等與民眾息息相關，因此建議在中期部署上應同步考慮佈建。長期階段應以醫療機構、安養中心、精神照顧機構等特殊場域為目標，在長期的大規模佈建時，由專人專隊設計配置的器材及線路，並且在政策管理下大規模部署管理。

本計畫原目標為佈建於長照中心等安養或醫療照顧機構，但計畫執行的三年中，遇到 COVID-19 的大規模傳染，雖然本計畫執行上在初期及中期佈建上確實遇到相當的困難，但同時也讓人們對於室內空氣品質達到注意力的高峰。計畫中後期已逐漸接觸到更多場域對於安置空氣盒子意願極高，尤其是容易學生群聚的教育場館及考試中心、使用量大的室內運動場館、民眾頻繁出入的辦公單位以及各地老人及幼童出入的圖書館及室內交誼場館等等。因此我們需要關

注的已經不僅僅是特定醫療或安養機構，而是與民息息相關的每一個日常角落。

## 六、 重要研究成果及具體建議

### 衛生福利部疾病管制署委託科技研究計畫

#### 110 年計畫重要研究成果及具體建議

( 本資料須另附 1 份於成果報告中 )

計畫名稱：建置室內環境感測監控系統以輔助呼吸道傳染病防治

主持人：賀耀華 計畫編號：MOHW110-CDC-C-114-133501

#### 1.計畫之新發現或新發明

在第三年的計畫中，延續研發環境感測裝置，新增新的感測器做量測；並持續優化雲端平台、警示資訊，開發智慧遠端物聯網設備控制等新功能。維護 108 年和 109 年於 20 家人口密集機構或醫院部署的裝置，並繼續在 110 年度擴大布建於 3 縣市、13 家人口密集機構部署與實測，並協助一間呼吸道傳染病疫情群聚機構緊急布設感測裝置，並收集大分感測資料作為日後數據分析和相關評估。

#### 2.計畫對民眾具教育宣導之成果

無

#### 3.計畫對醫藥衛生政策之具體建議

透過室內環境感測器，感測室內環境變化，藉由長時間收集的室內空氣品質的數據來幫助場地的規化上，考量不同區域通風的狀況和避免通風不良的區域，提供相關的建議。並藉由大數據的資料分析，建立室內環境的預測模型，期望以此模型及標準建立室內環境換氣之政策。

## 七、 參考資料

- [1] CO<sub>2</sub> sensor SenseAir S8 <http://senseair.senseair.com/products/oem-modules/senseair-s8/>
- [2] CO<sub>2</sub> Gas Sensor MG-811  
<https://www.dfrobot.com.cn/images/upload/File/20160624161519vnwy9p.pdf>
- [3] Coefficient of Variation [https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_of\\_variation](https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_variation)
- [4] G3 PM2.5 Sensor <http://www.plantower.com/content/?94.html>
- [5] Humidity and Temperature sensor HTU21D (CJMCU-HTU21D+BMP180+BH1750FVI Sensory Module)  
<https://www.taiwaniot.com.tw/product/cjmcu-htu21dbmp180bh1750fvi-溫濕度、氣壓、光照感測器-三合一模組-附/>
- [6] Itra-Model Variability [https://airsensortest.blogspot.com/p/blog-page\\_12.html?fbclid=IwAR2fti5-\\_zbhXvhhenqbQm8Bxod3G5WP-QII28Kbo35k1EqOjAwzQHPCZ-0](https://airsensortest.blogspot.com/p/blog-page_12.html?fbclid=IwAR2fti5-_zbhXvhhenqbQm8Bxod3G5WP-QII28Kbo35k1EqOjAwzQHPCZ-0)
- [7] Long Range (LoRa) Network <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>
- [8] Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)  
<https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
- [9] Narrowband Internet of Things (NB-IoT)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband\\_IoT](https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT)
- [10] National Communication Commission Taiwan  
[https://www.ncc.gov.tw/chinese/law\\_detail.aspx?site\\_content\\_sn=3596&law\\_sn=1394&sn\\_f=2636&is\\_history=0](https://www.ncc.gov.tw/chinese/law_detail.aspx?site_content_sn=3596&law_sn=1394&sn_f=2636&is_history=0)
- [11] Particle Sensor Unit PPD  
<https://www.shinyei.co.jp/stc/eng/products/optical/ppd42nj.html>
- [12] Sharp-D sensor <https://www.sharpsde.com/products/optoelectronic-components/model/dn7c3ca007/#productview>
- [13] Sharp-G sensor <https://www.sharpsde.com/products/optoelectronic-components/model/GP2Y1010AU0F/#productview>

- [14] Shuai, J., Kim, S., Ryu, H. et al. Health risk assessment of volatile organic compounds exposure near Daegu dyeing industrial complex in South Korea. BMC Public Health 18, 528 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5454-1>
- [15] Sigfox Technology Overview <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>
- [16] Sigfox 訊號覆蓋範圍  
[https://www.sigfox.com/en/coverage?fbclid=IwAR1KmXPkneBV2O9XpOktbl47P\\_K9dsYSbm3uYmvmYVwMeGSWn1M1f-6PbGk](https://www.sigfox.com/en/coverage?fbclid=IwAR1KmXPkneBV2O9XpOktbl47P_K9dsYSbm3uYmvmYVwMeGSWn1M1f-6PbGk)
- [17] SGS Taiwan - Industrial Calibration & Measurement Lab  
<https://www.sgs.com.tw/zh-tw/our-company/about-sgs/sgs-in-brief/sgs-in-taiwan>
- [18] SGP30- TVOC Sensor  
[https://www.icshop.com.tw/product\\_info.php/products\\_id/26123](https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/26123)
- [19] SHT31- Humidity and Temperature sensor  
[https://www.icshop.com.tw/product\\_info.php/products\\_id/23677](https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/23677)
- [20] TCS34725 - RGB Color Sensor  
[https://www.icshop.com.tw/product\\_info.php/products\\_id/15749](https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/15749)
- [21] WSSFM10R4 <https://partners.sigfox.com/products/sfm10r2>
- [22] Yurko, G., Roostaei, J., Dittrich, T., Xu, L., Ewing, M.T., Zhang, Y., & Shreve, G.S. (2019). Real-Time Sensor Response Characteristics of 3 Commercial Metal Oxide Sensors for Detection of BTEX and Chlorinated Aliphatic Hydrocarbon Organic Vapors.



## 八、圖次

圖 1	雲端平台示意圖	P.14
圖 2	感測器狀態圖表	P.14
圖 3	客製化儀表板 ( 舊 )	P.15
圖 4	客製化儀表板 ( 新 )	P.15
圖 5	聊天機器人 LINE Bot 查詢介面	P.16
圖 6	聊天機器人 LINE Bot 訂閱介面	P.17
圖 7	AirVisual Pro 機體顯示介面	P.18
圖 8	AirVisual Pro 手機 app 介面	P.19
圖 9	優化的雲端分析平台	P.20
圖 10	Raspberry Pi 3 B+裝置及繼電器	P.22
圖 11	通風扇設備	P.22
圖 12	智慧遠端控制空調設備	P.23
圖 13	智慧控制系統架構圖	P.24
圖 14	聊天機器人電腦版使用與介面優化	P.25
圖 15	手機定位機構地點搜尋功能	P.25
圖 16	定位機構搜尋存取限制	P.26
圖 17	更換機器位置解說	P.26
圖 18	實際操作更換	P.27
圖 19	小豬廠房佈建圖	P.30
圖 20	中豬廠房佈建圖	P.30
圖 21	大豬廠房佈建圖	P.31
圖 22	室外佈建圖	P.31
圖 23	雲林大峰豬場佈建位置空拍圖	P.31
圖 24	臺師大教師資格考試試場平面圖	P.33
圖 25	臺師大師資格考試試場	P.33
圖 26	教師休息室	P.34
圖 27	誠 208 試場	P.34
圖 28	正 403 試場	P.34
圖 29	樸 401 試場	P.34
圖 30	臺師大公館校區健康中心	P.35
圖 31	西松國小美勞教室	P.37
圖 32	西松國小創課教室	P.37

圖 33	西松國小自然教室	P.37
圖 34	西松國小韻律教室	P.37
圖 35	西松國小佈建分布圖	P.37
圖 36	西松國小佈建	P.37
圖 37	西松附設托嬰中心大樂班	P.38
圖 38	西松附設托嬰中心小樂班	P.38
圖 39	西松附設托嬰中心貝貝班	P.39
圖 40	西松附設托嬰中心寶寶班	P.39
圖 41	西松附設托嬰中心貝貝班佈建	P.39
圖 42	西松附設托嬰中心寶寶班佈建	P.39
圖 43	二樓跆拳道教室	P.40
圖 44	三樓跆拳道教室	P.40
圖 45	龍山國中二樓跆拳道教室佈建	P.41
圖 46	龍山國中三樓跆拳道教室佈建	P.41
圖 47	左中發展協會實際樣貌	P.42
圖 48	左中發展協會旁廟宇	P.42
圖 49	左中發展協會實際佈建	P.42
圖 50	左中發展協會佈建位置	P.42
圖 51	左鎮國小與實際佈建點	P.43
圖 52	左鎮國中一般教室	P.45
圖 53	左鎮國中多功能教室	P.45
圖 54	左鎮國中自造教室	P.45
圖 55	左鎮國中佈建位置	P.45
圖 56	左鎮國中實際佈建(一)	P.46
圖 57	左鎮國中實際佈建(二)	P.46
圖 58	左鎮區公所一樓	P.47
圖 59	左鎮區公所二樓	P.47
圖 60	左鎮區公所機器佈建位置	P.47
圖 61	左鎮區公所實際佈建	P.47
圖 62	左鎮圖書館閱覽室	P.49
圖 63	左鎮圖書館兒童閱讀室	P.49
圖 64	左鎮圖書館佈建位置	P.49
圖 65	左鎮圖書館實際佈建	P.49
圖 66	光榮國小平面圖及相對應位置	P.51

圖 67	光榮國小四年級教室	P.51
圖 68	光榮國小辦公室	P.51
圖 69	四年級實際感測器擺設位置	P.52
圖 70	自然教室實際感測器擺設位置	P.52
圖 71	四年級實際佈建	P.52
圖 72	自然教室實際佈建	P.52
圖 73	四年級課表	P.53
圖 74	自然教室課表	P.53
圖 75	榮和里關懷中心室內實際佈建	P.54
圖 76	榮和里關懷中心室內圖	P.55
圖 77	左鎮日間照顧中心室內	P.56
圖 78	左鎮日間照顧中心課表	P.56
圖 79	左鎮日間照顧中心感測器擺設位置	P.56
圖 80	左鎮日間照顧中心實際佈建	P.56
圖 81	連續 24 小時感測二氧化碳數值	P.60
圖 82	二氧化碳數值一致性比較	P.60
圖 83	24 小時感測 TVOC 數值	P.61
圖 84	TVOC 數值一致性比較	P.62
圖 85	TVOC 感測器測試數據	P.63
圖 86	漂白水測試狀況	P.63
圖 87	連續 24 小時感測 PM1.0 數值	P.64
圖 88	PM1.0 數值一致性比較	P.64
圖 89	連續 24 小時感測 PM2.5 數值	P.65
圖 90	PM2.5 數值一致性比較	P.65
圖 91	連續 24 小時感測 PM10 數值	P.66
圖 92	PM10 數值一致性比較	P.66
圖 93	平時二氧化碳和 THI 空氣數據	P.68
圖 94	智慧遠端控制系統改善後的二氧化碳和 THI 空氣數據	P.68
圖 95	雲林大峰豬場溫度	P.71
圖 96	雲林大峰豬場濕度	P.71
圖 97	雲林大峰豬場光度	P.71
圖 98	雲林大峰豬場 PM1.0	P.72
圖 99	雲林大峰豬場 PM2.5	P.72
圖 100	雲林大峰豬場 PM10	P.72

圖 101	雲林大峰豬場 CO <sub>2</sub>	P.73
圖 102	雲林大峰豬場 TVOC	P.73
圖 103	110 學年教檢 CO <sub>2</sub>	P.75
圖 104	110 學年度教檢 PM1.0	P.76
圖 105	110 學年度教檢 PM2.5	P.76
圖 106	110 學年度教檢 PM10	P.77
圖 107	110 學年度教檢 TVOC	P.78
圖 108	109 學年度教檢 CO <sub>2</sub>	P.79
圖 109	109 學年度教檢 PM1.0	P.80
圖 110	109 學年度教檢 PM2.5	P.80
圖 111	109 學年度教檢 PM10	P.81
圖 112	109 學年度教檢 TVOC	P.81
圖 113	健康中心 04 月二氧化碳熱像圖	P.82
圖 114	健康中心 05 月二氧化碳熱像圖	P.82
圖 115	健康中心 04 月 PM2.5 熱像圖	P.83
圖 116	健康中心 05 月 PM2.5 熱像圖	P.83
圖 117	健康中心 04 月 TVOC 熱像圖	P.84
圖 118	健康中心與 05 月 TVOC 熱像圖	P.84
圖 119	健康中 04 月 RH 熱像圖	P.84
圖 120	健康中 05 月 RH 熱像圖	P.84
圖 121	佳醫 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.86
圖 122	佳醫 TVOC 熱像圖	P.87
圖 123	佳醫 PM2.5 熱像圖	P.87
圖 124	佳醫 RH 熱像圖	P.88
圖 125	民生 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.89
圖 126	民生 TVOC 熱像圖	P.90
圖 127	民生 PM2.5 熱像圖	P.91
圖 128	民生 RH 熱像圖	P.91
圖 129	獎卿 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.92
圖 130	獎卿 TVOC 熱像圖	P.93
圖 131	獎卿 PM2.5 熱像圖	P.94
圖 132	獎卿 RH 熱像圖	P.94
圖 133	新立 11 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.96
圖 134	新立 12 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖 新立 12 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.96

圖 135	新立 01 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.96
圖 136	新立 02 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.96
圖 137	新立 11 月 TVOC 熱像圖	P.97
圖 138	新立 12 月 TVOC 熱像圖	P.97
圖 139	新立 01 月 TVOC 熱像圖	P.97
圖 140	新立 02 月 TVOC 熱像圖	P.97
圖 141	新立 11 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.99
圖 142	新立 12 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.99
圖 143	新立 01 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.99
圖 144	新立 02 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.99
圖 145	新立 11 月 RH 熱像圖	P.100
圖 146	新立 12 月 RH 熱像圖	P.100
圖 147	新立 01 月 RH 熱像圖	P.100
圖 148	新立 02 月 RH 熱像圖	P.100
圖 149	聖功醫院 11 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.102
圖 150	聖功醫院 12 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.102
圖 151	聖功醫院 01 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.102
圖 152	聖功醫院 11 月 TVOC 熱像圖	P.103
圖 153	聖功醫院 12 月 TVOC 熱像圖	P.103
圖 154	聖功醫院 01 月 TVOC 熱像圖	P.103
圖 155	聖功醫院 11 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.105
圖 156	聖功醫院 12 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.105
圖 157	聖功醫院 01 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.105
圖 158	聖功醫院 11 月 RH 熱像圖	P.106
圖 159	聖功醫院 12 月 RH 熱像圖	P.106
圖 160	聖功醫院 01 月 RH 熱像圖	P.106
圖 161	聖功護理之家 01 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.107
圖 162	聖功護理之家 02 月 CO <sub>2</sub> 熱像圖	P.107
圖 163	聖功護理之家 01 月 TVOC 熱像圖	P.108
圖 164	聖功護理之家 02 月 TVOC 熱像圖	P.108
圖 167	聖功護理之家 01 月 RH 熱像圖	P.110
圖 168	聖功護理之家 02 月 RH 熱像圖	P.110
圖 165	聖功護理之家 01 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.109
圖 166	聖功護理之家 02 月 PM <sub>2.5</sub> 熱像圖	P.109

圖 169	內壢國中平面圖及區域劃分示意圖	P.111
圖 170	桃園市政府內壢測站與內壢國中位置圖	P.112
圖 171	內壢國中 9 月份 CO <sub>2</sub>	P.113
圖 172	內壢國中 11 月份 CO <sub>2</sub>	P.114
圖 173	內壢國中 12 月份 CO <sub>2</sub>	P.114
圖 174	內壢國中 8 月份 CO <sub>2</sub>	P.115
圖 175	9 月份的德馨樓+鴻儒樓+博愛樓 CO <sub>2</sub>	P.116
圖 176	12 月份的德馨樓+鴻儒樓+博愛樓 CO <sub>2</sub>	P.116
圖 177	內壢測站 12 月份 PM <sub>2.5</sub> 及 PM <sub>10</sub> 日平均折線圖	P.117
圖 178	內壢國中 12 月份 PM <sub>2.5</sub> 濃度	P.118
圖 179	內壢國中 12 月份 PM <sub>2.5</sub> 靠近南大門的教室	P.118
圖 180	內壢國中 12 月份 PM <sub>2.5</sub> 靠近北大門教室	P.119
圖 181	內壢國中 11 月份 D04 生科教室各 PM 濃度	P.119
圖 182	內壢國中 10 月份濕度	P.120
圖 183	內壢國中 9 月份 TVOC	P.121
圖 184	內壢國中 12 月份 TVOC	P.122
圖 185	內壢國中 8 月份體育館 TVOC	P.123
圖 186	內壢國中 9 月份體育館 TVOC	P.123
圖 187	大規模推廣之 SWOT 分析	P.124

## 九、 表次

表 1	110 年度計畫完成/執行工作項目	P.7
表 2	市售空氣偵測器與本團隊空氣盒子的比較	P.8
表 3	CCS811、BME680、SGP30 3 種 TVOC 感測器比較表	P.10
表 4	感測裝置安裝、場測機構和數量	P.28
表 5	THI 舒適度指標	P.68
表 6	考試時間表	P.74
表 7	高雄空氣盒子佈建情形	P.85

十、 附錄：包括研究調查問卷、法規及其他重要資料

無



參、 經費支用情形

項 目	本年度核定金額	支 用 狀 況
業務費 (耗材)	\$1,100,457	<p>目前支出:\$589,257</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. NB-IoT 門號 (<math>\\$35 * 11(\text{月}) * 120(\text{台}) = \\$46,200</math>)</li> <li>2. 空氣品質感測器 (MediaTek Smart 7688 開發版、MediaTek Smart 7688 擴充版 2.0、二氧化碳感測器、時鐘模塊、顏色感測器、三合一傳感器模塊、SD 卡、G3 感測器 WISOLSIGFOX RCZ4 模組(量產模組)、NB-IoT 傳輸模組(含天線)、USB 轉接器)等 = \$280,764</li> <li>3. 文具用品及雜支=\$262,293</li> </ol> <p>預計支出:\$511,200</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空氣品質感測器 (MediaTek Smart 7688 開發版、MediaTek Smart 7688 擴充版 2.0、二氧化碳感測器、時鐘模塊、顏色感測器、三合一傳感器模塊、SD 卡、G3 感測器 WISOL SIGFOX RCZ4 模組(量產模組)、NB-IoT 傳輸模組(含天線)、USB 轉接器)等 = \$270,000</li> <li>2. 文具用品及雜支=\$241,200</li> </ol>
人事費	\$699,000	<p>目前支出：\$686,000</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1 - 11 月份 計畫主持人費用 (<math>\\$10,000 * 11 \text{ 個月} = \\$110,000</math>)</li> <li>2. 1 - 7 月份 兼任研究助理薪資(<math>\\$10,000 * 7(\text{月}) * 4(\text{人}) = \\$280,000</math>)</li> <li>3. 7 - 8 月份 兼任研究助理薪資(<math>\\$8,000 * 2(\text{月}) * 6(\text{人}) = \\$96,000</math>)</li> </ol>

		<p>4. 8 - 11 月份兼任研究助理薪資(\$10,000 * 4(月) * 5 (人) = \$200,000)</p> <p>預計支出:\$ 13,000</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 12 月份計畫主持人費用 (\$10,000 * 1 = \$10,000)</li> <li>2. 12 月份兼任研究助理薪資(\$3,000 * 1(月) * 1(人) = \$3,000)</li> </ol>
--	--	---