

計畫編號：MOHW109-CDC-C-114-123601

衛生福利部疾病管制署 109 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

109 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、唐黛玲、鄭暉勳、朱家緯、蘇冠中、
蔣宜芳、李佩恩、陳昱如

執行期間：民國 109 年 1 月 31 日至 109 年 12 月 31 日

研究經費：新臺幣 197 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.7
1. 室內空氣品質感測器優化與新增感測功能	P.7
2. 優化監測結果視覺化應用與即時資訊儀表板	P.9
3. 建置聊天機器人推送感測器量測結果與警訊	P.13
4. 開發智慧遠端物聯網設備控制功能	P.16
5. 感測裝置安裝與場測	P.18
三、結果	P.51
1. 室內空氣品質感測器優化與新增感測功能	P.51
2. 優化監測結果視覺化應用與即時資訊儀表板	P.60
3. 建置聊天機器人推送感測器量測結果與警訊	P.60
4. 開發智慧遠端物聯網設備控制功能	P.61
5. 感測裝置安裝與場測	P.61
四、討論	P.63
1. 資料即時校正	P.63
2. 室內空氣品質流動預測模型	P.63
3. 智慧遠端物聯網設備控制	P.63
4. 室內感測器資料分析	P.64
五、結論與建議	P.66
1. 室內空氣品質預測模型發展空氣流動模型	P.66
2. 室內環境感測器和智慧遠端控制佈建佈建數量評估	P.66

3. 室內環境消毒感測器評估	P.66
4. 室內背景聲音感測	P.66
六、重要研究成果及具體建議	P.68
七、參考資料	P.69
八、圖次	P.71
九、表次	P.74
十、附錄：包括研究調查問卷、法規及其他重要資料。	P.75
參、經費支用情形	P.76

壹、 摘要

一、 中文摘要

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，而室內空氣品質測能忠實內空氣品質，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，我們將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。我們亦將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，並且將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，我們將搭配疾管署的規劃，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 airflow 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 of system deployment and maintenance. We will design a series of user-friendly visualization interfaces and chatbot applications to interact with users and ensure the successful delivery of infection control information. Finally, we will work closely with the 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。本計畫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。

表 1. 109 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 新增感測功能												
雲端分析平台優化												
感測裝置安裝與場測												
撰寫計畫成果報告												

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，在第二年的計畫，對於環境感測裝置上新增新的感測器做測試；持續優化雲端平台、警示資訊，並開發智慧遠端物聯網設備控制等新功能。維護 108 年於 10 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，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，並進行相關評估。計畫之執行項目，請見表 1。

1. 室內空氣品質感測器優化與新增感測功能

在優化室內空氣品質感測器上，處理器已換成運算能力較強大和穩定性較高的樹梅派 3 (Raspberry pi 3) B+ 主板。由於去年 (108 年度) 室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ_TW) 的處理器是用聯發科技公司所開發製造之 LinkIt Smart7688 開發板，但在去年的下半年訂到的最後一批開發板良率非常的低。在考量供貨源、運算能力和穩定性，而換成樹梅派主板。由於電路設計除了針對微型室內感測器做模組縮小化，電路板下半部專為 LinkIt Smart 7688 處理器預留空間來大幅減少感測器體積。因此團隊必須重新設計相關的電路板，因而花了大量的時間與經費在更換新的處理器與開發版上。另外因為更改了設計，硬體廠商也必須重新製作新的電路板。

另外在去年有部分實驗場域，例如羅東聖母醫院、國立陽明大學附設醫院的新民院區/蘭陽院區，醫護人員也希望能監測總揮發性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds, TVOC)，以增加室內環境的安全上的需求，針對 TVOC 的需求，團隊在今年增加 TVOC 感測器。不同版本的空氣盒子零件比較請見表 2。

表 2. 空氣盒子三個版本的零件型號及價格比較

	舊版空氣盒子(SIGFOX)		舊版空氣盒子(NB-IoT)		新版空氣盒子 (Pi 3 B+)	
主板	LinkIt 7688	\$470	LinkIt 7688	\$470	Raspberry Pi 3 Model B+	\$4,800
擴充板	LinkIt 7688 擴充座 v2	\$500	LinkIt 7688 擴充座 v2	\$500	包含在\$4,800 內	\$0
PCB 板		\$88		\$88	包含在\$4,800 內	\$0
PM 感測器	G3 PMS3003	\$750	G3 PMS3003	\$750	G3 PMS3003 (包含在\$4,800 內)	\$0
TVOC	無	\$0	無	\$0	SGP30	\$0
溫度/濕度	HTU21D	\$430	HTU21D	\$430	SHT31	\$0
壓力感測	BMP180 (和 HTU21D 一起)	\$0	BMP180 (和 HTU21D 一起)	\$0	無	\$0
USB-ttl		\$60		\$60	無	\$0
RTC clock	DS3231	\$70	DS3231	\$70	DS3231 (包含在\$4,800 內)	\$0
外殼		\$780		\$780	包含在\$4,800 內	\$0
SD 卡		\$120		\$120	包含在\$4,800 內	\$0
Micro USB 電源線		\$80		\$80	包含在\$4,800 內	\$0
旅行充電器		\$120		\$120	包含在\$4,800 內	\$0
OLED 螢幕		\$270	SSD1306	\$270	SSD1306 (包含在\$4,800 內)	\$0
光感測器	TCS34725	\$310	TCS34725	\$310	TCS34725	\$349
SIGFOX 通訊模組		\$750	無	\$0	無	\$0
NB-IoT 通訊模組	無	\$0	SIM7000E	\$1,400	SIM7000E	\$1,600
CO2 感測器		\$1,934	SensorAir s8	\$1,934	SenseAir s8	\$1,999
總金額		\$6,732		\$7,382		\$8,748

A. 新主板樹梅派 3 (Raspberry pi 3) B+

新舊版空氣盒子的主要差異為使用的主板不同。由於舊版空氣盒子主板使用的 LinkIt 7688，而最後一批訂到的開發板良率非常的低，有穩定性不足的問題。除了出廠良率不好，並有容易當機的問題，當機之後就無法收集到資料，造成資料缺失。

基於主板穩定性的需求，在新版本的空氣盒子我們改為採用樹梅派 3 B+，除了穩定性較高之外，樹梅派也包含 Wi-Fi 模組，在 SIGFOX 或是 NB-IoT 收訊不好時可用來傳輸資料。但是樹梅派在做高運算時溫度較高，因此溫度感測器所偵測到的資料並非真正的室溫。這會是我們在明年計畫中，資料即時校正會是一個研究項目。

B. 增加 TVOC 感測器、移除壓力感測器

針對醫護人員的需求，新版空氣盒子增加 TVOC 感測器來監測總揮發性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds, TVOC) 確保室內環境的安全，在多個研究也有提到 TVOC 會影響到呼吸道健康，這樣未來在分析空氣時除了使用 CO₂ 和 PM_{2.5} 之外，也多了一個要素可以作為參考。另外目前因為在室內空氣品質分析上，比較少用到壓力數值，新版空氣盒子已移除了壓力感測器來降低新增感測器的成本。

2. 優化監測結果視覺化應用與即時資訊儀表板

在雲端分析平台上，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，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。雲端分析平台已架在 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、即時資訊儀表板和聊天機器人等運用功能。

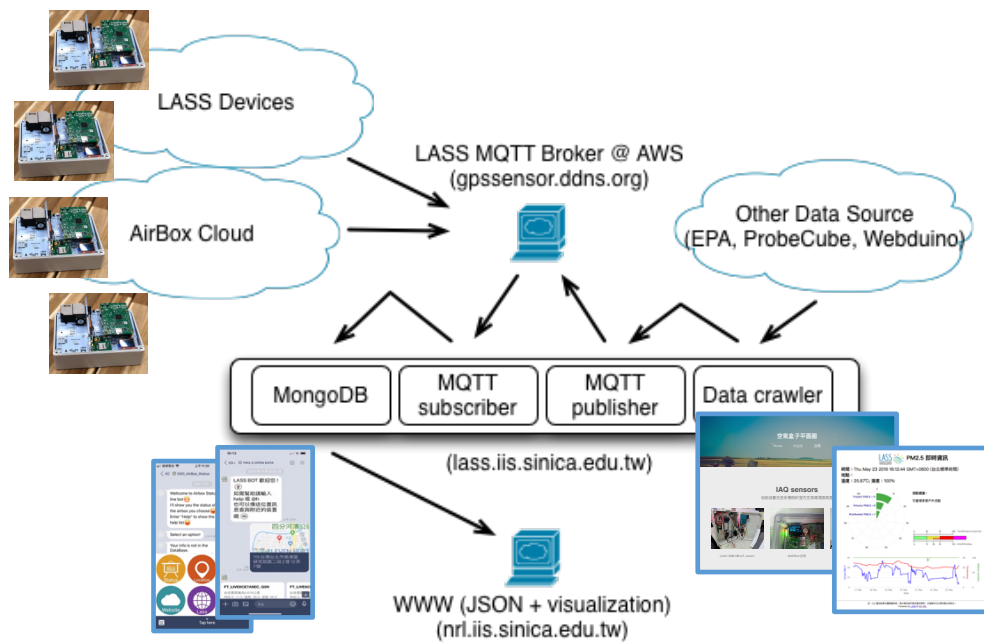


圖 1. 雲端平台示意圖

根據第一年成果與使用者回饋和討論資料視覺化的方式後，我們優化各項視覺化應用與即時資訊儀表板，並且改良警示資訊功能。優化資料網站，如圖 2。在網站上方選單列，將游標移至區域即會自動跳出選單列，如圖 3 所示，可點選想查看的安養機構。在選單列點選完欲查看的安養機構之後，會出現該安養機構的各樓層平面圖，如圖 4 所示。平面圖會將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頁面請參照圖 5，該頁面最上方區塊會顯示溫度與濕度，圓餅圖的部分則是 PM2.5 的濃度，最下方的折線圖可以看出過去 7 天 PM2.5、溫度、相對濕度變化。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。

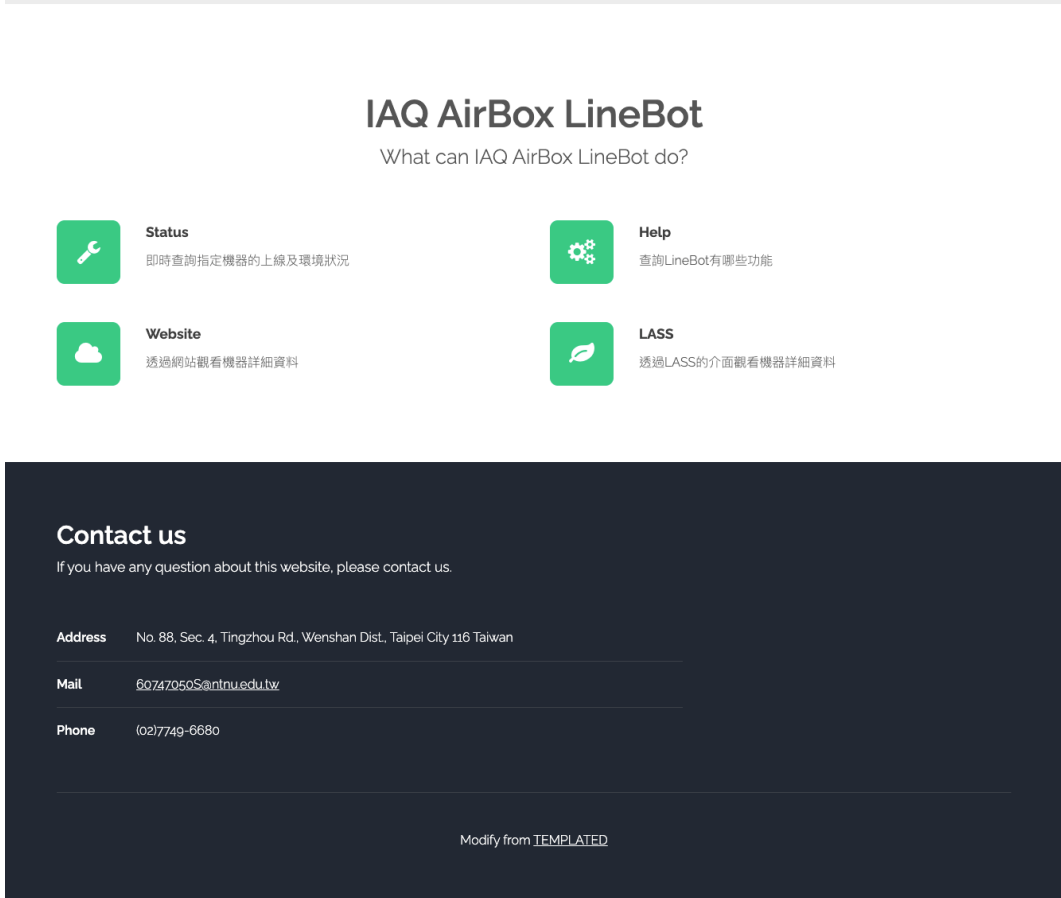
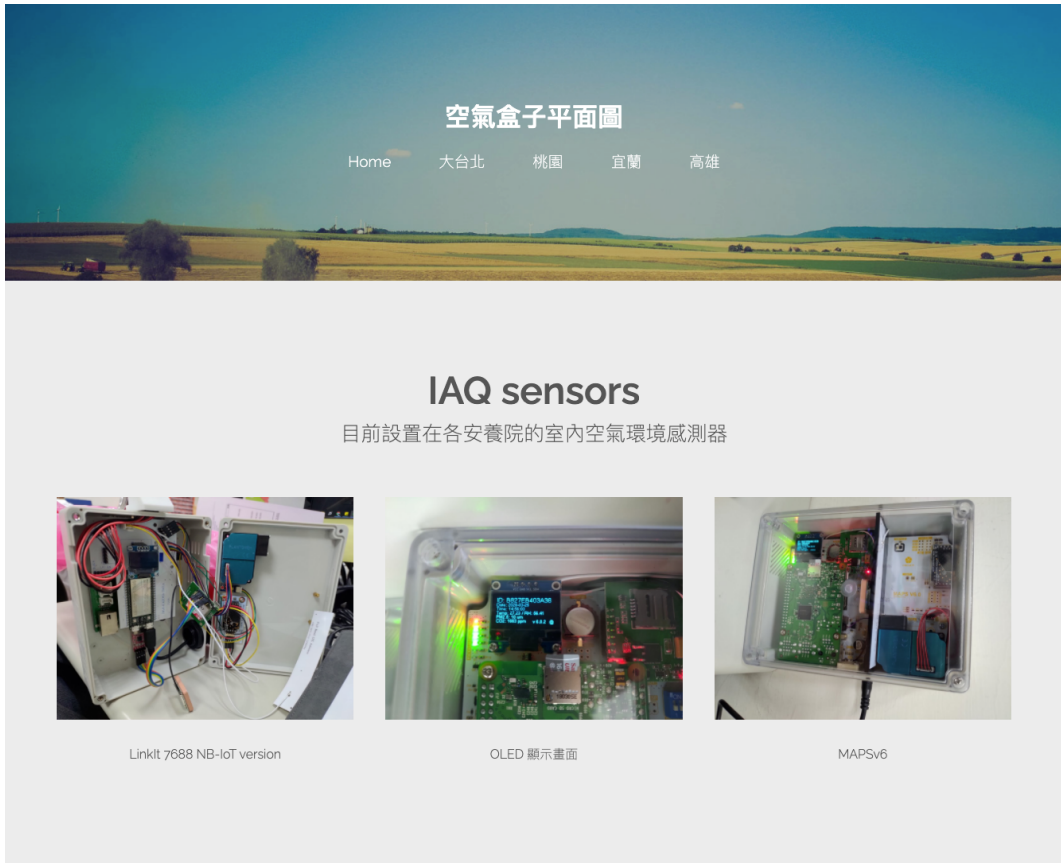


圖 2. 新版空氣盒子資料網站



圖 3. 網站選單列

承康

平面圖

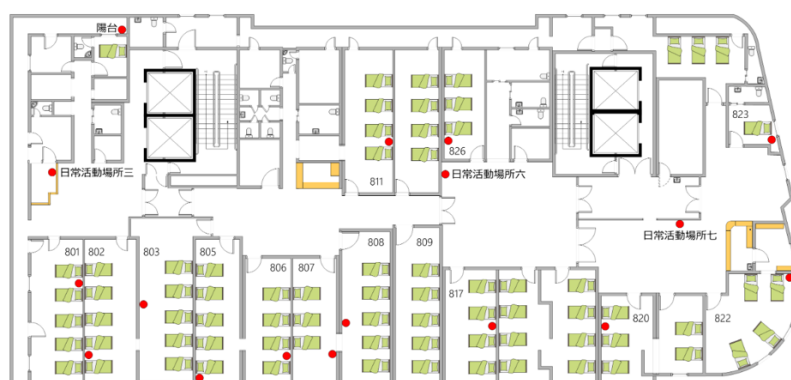


圖 4. 網頁上的安養院平面圖

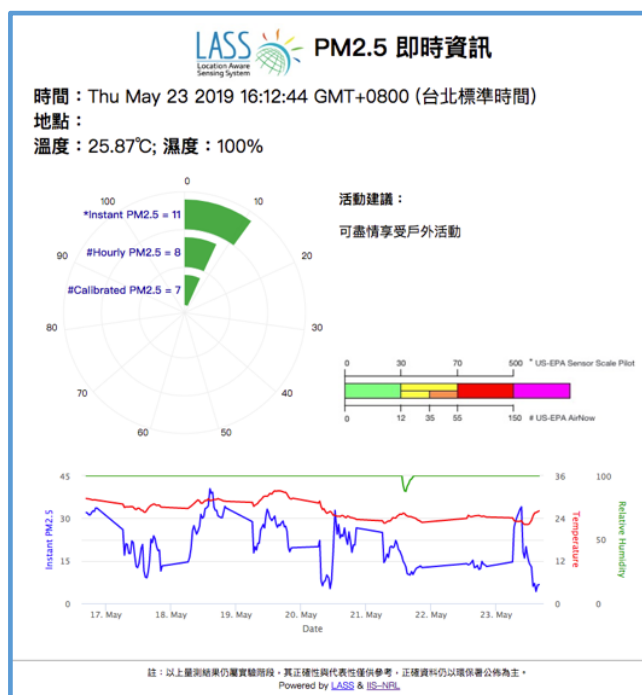


圖 5. 空氣盒子儀表板

3. 建置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。

我們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 Opendata 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。後端資料庫結構分成三個部分，如圖 6 所示。機構資訊 (Center INFO) 儲存包含機構的名稱、設備總數以及地理位置資訊。設備資訊 (Device INFO) 儲存包含其所屬機構名稱、室內位置以及設備狀態資訊。使用者資訊 (User INFO) 則儲存包含使用者名稱、可以存取的機構、訂閱的機構以及推播的時間點。根據使用者提供的訂閱機構和感測器 ID (site ID，如圖 25)，後端平台回復該位置的空氣品質數值，搭配 push 方式，就可以讓 LINE BOT 發送空氣品質數值的訊息。另外，當空氣品質數值超過某門檻值，LINE BOT 也會主動通知使用者達到警示的功能。

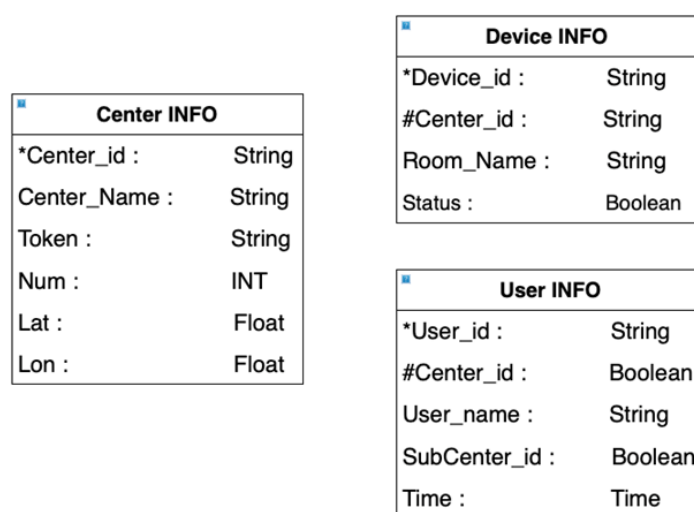


圖 6. LineBot資料庫結構

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)。介面如圖 7(a) 所示。在訂閱功能上，使用者必須先輸入該機構之存取碼 (Token)，輸入之後才具有存取該機構權限，進而使用相關功能，確保各機構的資料只有該機構的人可以存取。

透過狀態查詢功能，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(綠色為 online，紅色為 offline)，如圖 7(b) 所示。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，能夠在平時查看時，快速發現是哪台設備出現問題。而點選設備名稱後即可看到該區域最新一筆(時間為 UTC+0 時區)的資料，其中包含該設備的 ID、CO2 數值、溫濕度、PM 數值和儀表板連結，如圖 7(c) 所示。點選連結可連到該設備的儀表板 (Dashboard, 如圖 5) 的視覺化所有資訊。

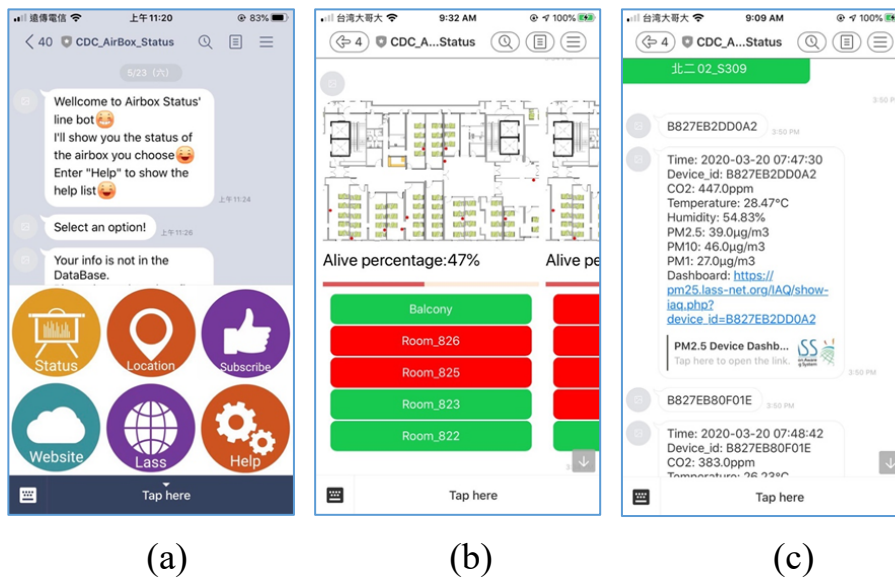
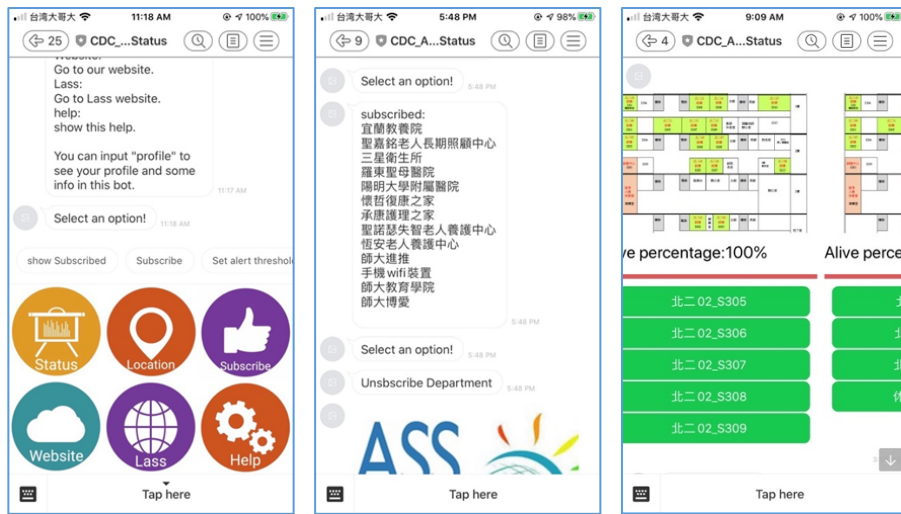


圖 7. 聊天機器人LineBot查詢介面

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 8，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。



(a) (b) (c)

圖 8. 聊天機器人 LineBot 訂閱介面

由於 LINE 的推播訊息免費方案(輕用量)可推播訊息量偏少，且超額時無法增加，如此一來，當有多人一起訂閱機構或是多個設備發生異常，且好幾天發生時，將會很容易地超過免費使用量，首先假設至少 20 人使用此 LINE BOT 的訂閱功能，以一個月 30 天來做計算，基本訊息量為 600 則，還不包括異常行為發生時的推播訊息，就已經高於 LINE 免費的 500 則訊息，以下為 LINE 提供的三項資費比較，透過表 3 可以看到就目前而言，中用量(每月新台幣 840 元)的方案比較適合目前計畫所需。

表 3. Line 推播訊息費用比較表

	輕用量	中用量	高用量
方案費用	NT\$0.00	NT\$840.00	NT\$4200.00
免費訊息則數	500	4000	25000
加購訊息費用(每一則)	不適用	NT\$0.2	NT\$0.15

4. 開發智慧遠端物聯網設備控制功能

在開發智慧遠端物聯網設備控制功能上，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主動排氣與被動排氣設備。以往當我們人體感覺室內空氣有點悶悶的、有異味、溫度過高或是室內人數眾多時，過去需要額外人力監測室內環境及調控設備，像是手動去開啟窗戶或冷氣，以提升室內空氣循環，改善室內空氣品質。

我們開發的智慧遠端物聯網設備，如圖 9。運用佈建在各場域中的室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ_TW)，來監測到各項即時的指數。當中屬二氧化碳最容易因為人數多寡而有影響，在此作為是否通風與否最重要的指標，而 PM2.5 因容易分子較小，容易對呼吸道敏感族群造成呼吸道刺激，也是我們在意的指數之一。

而在開發智慧遠端物聯網設備上，我們選擇跟室內空氣品質感測器 (IAQ_TW) 同樣的處理器 Raspberry Pi 3 B+ 裝置，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。智慧遠端控制設備會先從後端伺服器的資料庫取得相關資訊，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，運用紅外線接收器和發收器，接收及發送紅外線訊號，進一步控制相關的設備。例如二氧化碳濃度最大值設定於 1000ppm，如果高於設定值就發送訊號去啟動冷氣或是通風設備，如果低於設定值就發送訊號去關閉冷氣，流程圖如圖 10。

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，我們的遠端物聯網控制設備利用紅外線發射器發送紅外線訊號去啟動現有的空調系統。

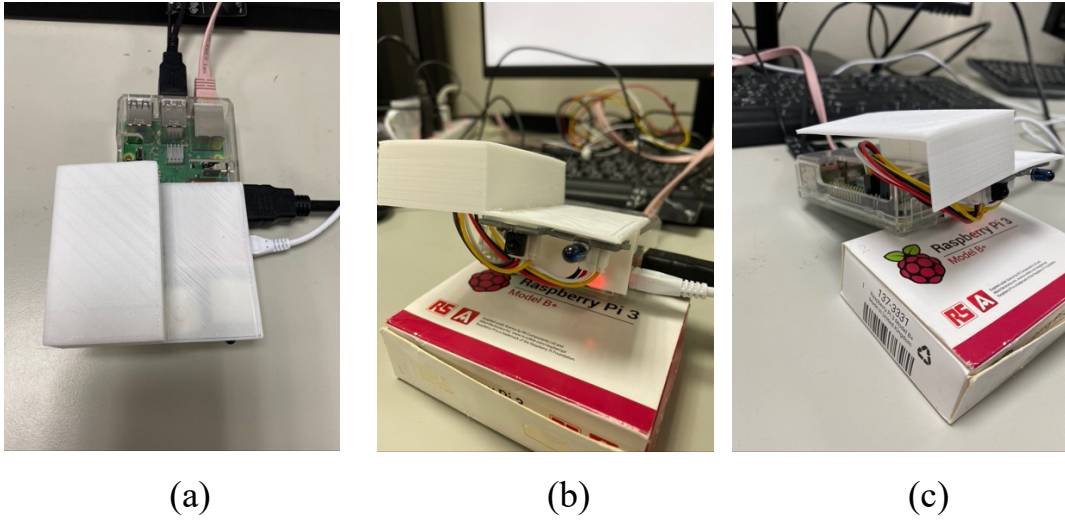


圖 9. 智慧遠端物聯網設備

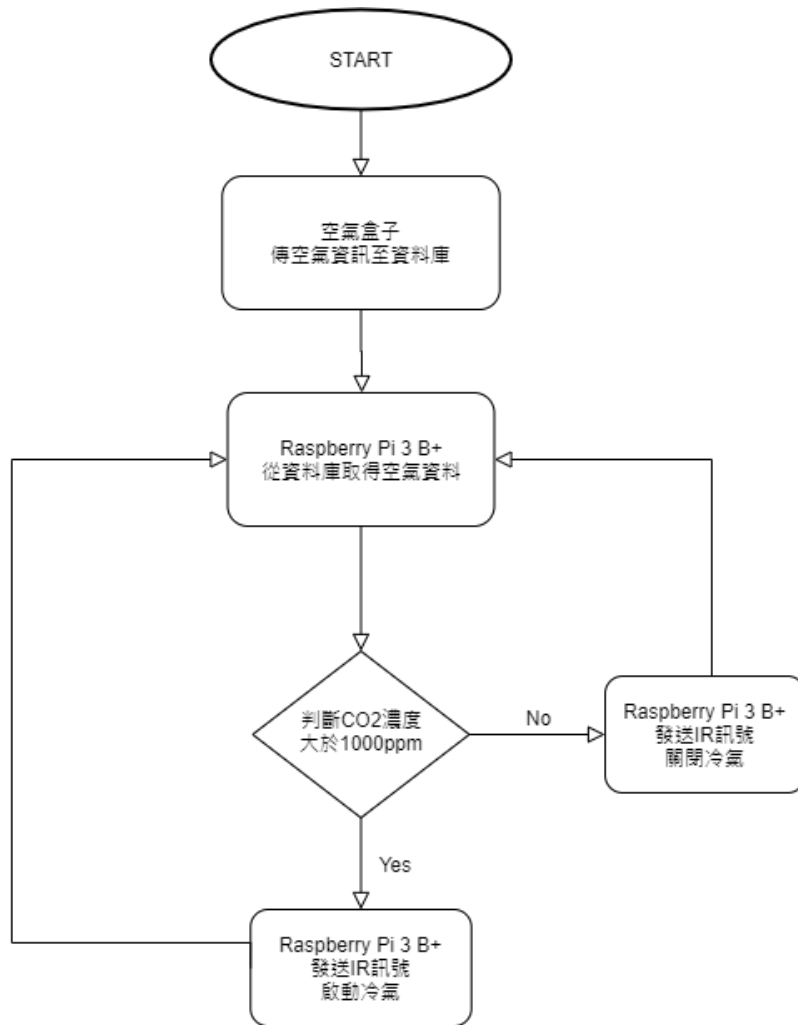


圖 10. 智慧遠端控制流程圖

5. 感測裝置安裝與場測

在今年感測裝置安裝與場測上，我們緊急佈建 109 學年度身心障礙學生升大專校院的甄試場地（臺師大進修推廣學院），參加人數約為兩千多人。在正常佈建的三個縣市，分別為桃園市、高雄市、台北市，部署的 10 家機構為桃園市立內壢國中、國立臺灣師範大學進修推廣學院、國立臺灣師範大學資訊工程學系系館、國立臺灣師範大學林口校區、高雄市立民生醫院、獎卿護理展望基金會護理之家、高雄佳醫護理之家、聖功醫院、聖功醫院附設護理之家、高雄市立民生醫院附設護理之家、新立護理之家。感測裝置安裝、場測機構和數量，請見表 4。

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 身障學生升學考試 緊急佈建	19
桃園市	內壢國中	23
台北市	臺灣師範大學 進修推廣學院	24
台北市	臺灣師範大學 資訊工程學系系館	11
台北市	臺灣師範大學 林口校區	17
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
三個縣市、10 家機構、一次緊急布設感測裝置		148

有介於今年 COVID-19 疫情，部分預計的初期場域實測因此而受影響。而臺灣師範大學也因 3 月底一名學生確診和 4 月初學校出現第二例確診，學校累積 2 例確診達到停課標準。因此校方已停實體課程，在 4 月 6 日至 4 月 24 日採取遠距教學。

今年初到至今這段期間無法定期至長照中心進行定期維護與佈點，硬體廠商也因供應鏈受疫情的影響而無法預期出貨，因此部分場域實測也受到影響，使得我們無法即時去處理空氣盒子機器上的問題。基於保護長照中心病患的健康並配合疾管

署疫情預防之建議，研究團隊也減少出入長照中心避免疫情擴散。

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，在大型室內集會上，室內空氣品質與流通顯得格外重要。為了預防群聚感染，我們有機會在身障學生升學考試期間，演練緊急佈建及場域實測新版的空氣盒子，利用空氣盒子和 CO2 即時監測數據來確保考場空氣的流通。

A. 臺師大進修推廣學院身障學生升學考試緊急佈建及場域實測

- i. 緊急佈建:在 109 年 3 月 20 日至 3 月 23 日期間，師大作為 109 學年度身心障礙學生升大專校院的甄試場地，參加人數包括學生、家長陪考、工作人員等共約兩千多人。除了各種防疫和群聚措施之外，為了配合教育部要求做好考場、等候區、公共區域等通風良好以降低群聚感染的發生，研究團隊緊急佈建以因應要求，在每間試場設置新版的空氣盒子並即時收集和回報各考場的環境數值。3 月 20 日早上，教育部潘文忠部長親自前往師大考場視察，試務人員說明各教室裝設新版的空氣盒子和即時監測 CO2 等數據已確保考場空氣流通，如圖 11。



圖 11. 教育部潘文忠部長視察考場

- ii. 佈建地點：師大圖書館校區教育大樓(教育) 6 間試場與 1 間休息區，如圖 12、博愛大樓(博愛)1 間試場與休息區，如圖 13、以及進修推廣學院(進推) 19 間試

場與休息區，如圖 14。各試場的人數分布，如表 5。

表 5. 試場與人數分布表

考場	人數	考場	人數	考場	人數
進推 002	24	進推 302	8	進推 1F 大廳	不固定
進推 003	24	進推 305	24	博愛 115	30
進推 202	24	進推 306	24	教育 310	21
進推 205	24	進推 307	24	教育 312	24
進推 206	24	進推 308	15	教育 315	24
進推 207	11	進推 309	15	教育 511	29
進推 208	15	進推 310	3	教育 513	不固定
進推 213	10	進推 1101	16	教育 302	17
進推 301	22	進推 1102	16		

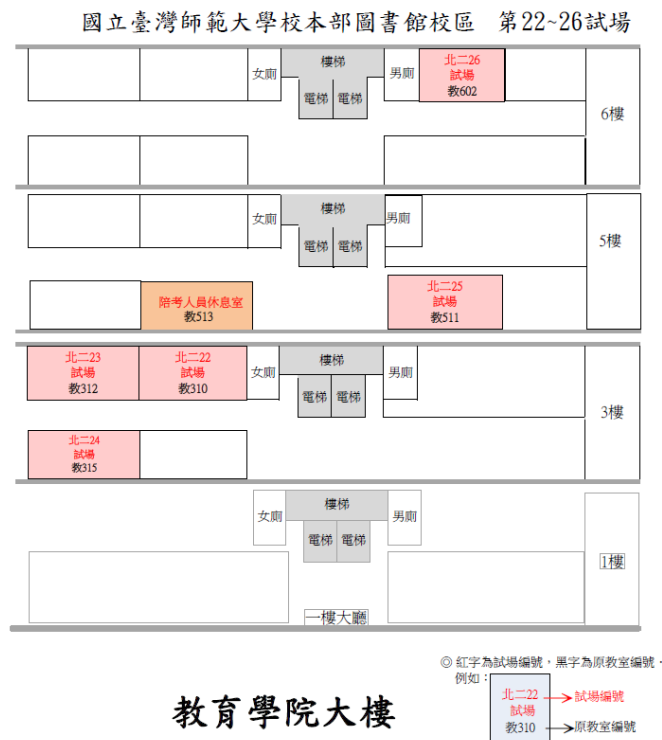
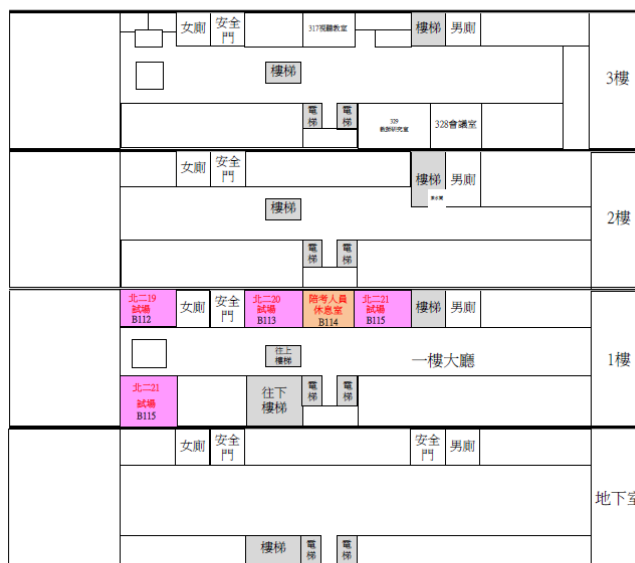


圖 12. 臺師大教育學院大樓試場

國立臺灣師範大學圖書館校區博愛大樓第18-21試場



博愛大樓

◎紅字為試場編號，黑字為原教室編號。
 例如：
 北二18 試場 → 試場編號
 B103 → 原教室編號

圖 13. 臺師大博愛大樓試場

國立臺灣師範大學圖書館校區-進修推廣學院大樓 第1~17、27試場



進修推廣學院大樓

◎紅字為市場編號，黑字為原教室編號。
 例如：
 北二01 試場 → 試場編號
 S002 → 原教室編號

圖 14. 臺師大進修推廣學院大樓試場

iii. 考科時間分布:由於考試時間的分布區段大學組和四技二專時段都一樣，故只放大學組的為例，請見圖 15。

		大 學 組			
		日期	日期	日期	備註
		3月20日 (星期五)	3月21日 (星期六)	3月22日 (星期日)	
時間	科目				
	8:35	第二類組	第三類組	預備鈴 第一類組	
上午	8:40-10:10	數學甲	生物	歷史	9:10截止入場 9:20可以出場
	10:50			預備鈴	
	10:55-12:25	化學	英文	數學乙	11:25截止入場 11:35可以出場
下午	1:45			預備鈴	
	1:50-3:20	物理	國文	地理	2:20截止入場 2:30可以出場

圖 15. 身障生考試大學組考試時間分布

iv. 數據分析：在試場 3 月 20 日至 3 月 22 日(系統時區為 UTC+0，需加 8 小時變成台灣時區)收集的數據，針對的 CO2 濃度變化，我們做以下的分析和討論。

1. 在進推 308 和 309 兩間教室考場的 CO2 濃度變化的比較，同樣在 3 樓，教室在對面和人數相同為 15 人，請見圖 14 和表 5。可以看出兩間教室的 CO2 最高濃度和最低濃度沒有相差太多，兩者的 pattern 也類似請見圖 16 和圖 17。

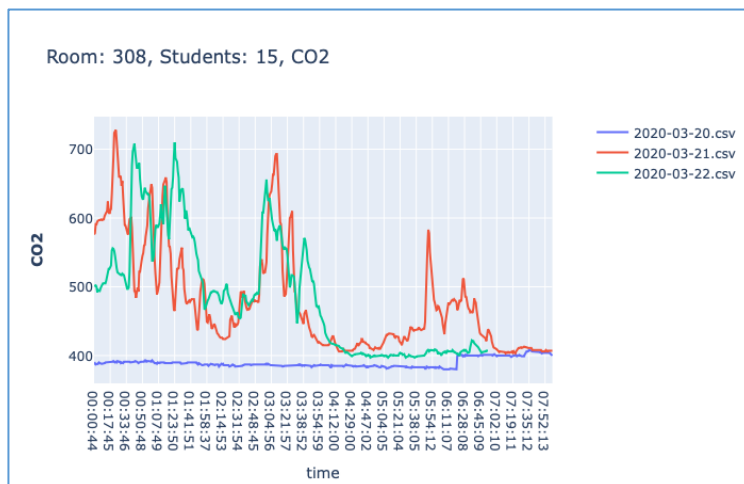


圖 16. 臺師大進推308教室考場的CO2濃度變化

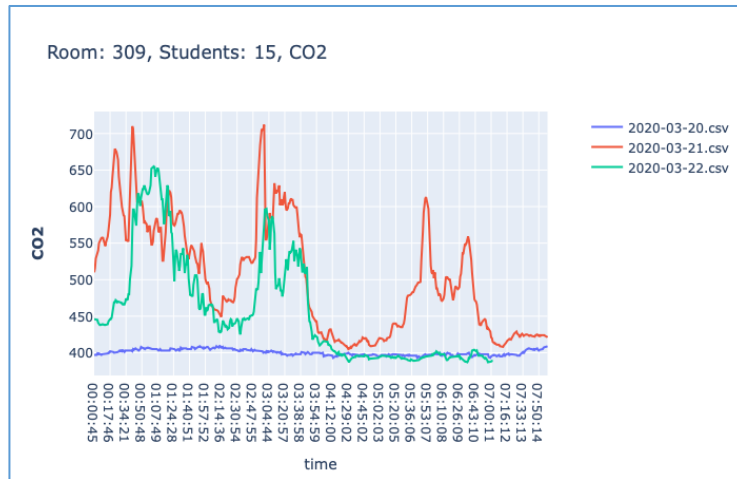


圖 17. 臺師大進推309教室考場的CO2濃度變化

- 在進推 301 和 302 兩間教室考場的 CO2 濃度變化的比較，同樣在 3 樓兩間面對面的教室，但人數不同，分別為 22 人和 8 人，請見圖 14 和表 5。301 的座位是 U 型會議室，302 則是一般教室。因為在對面，兩間教室的 pattern 也有類似的變化。不過由於人數不同，302 教室除了早上 8 點 40 分左右有將近 1000ppm 的 CO2 濃度之外，大多的時間濃度都較 301 教室的濃度低。由於 302 教室的 CO2 濃度升高後，我們的系統立即以 LINE 的方式通知試場人員開窗和風扇，以確保考場空氣流通，302 教室的 CO2 濃度也立刻下降。

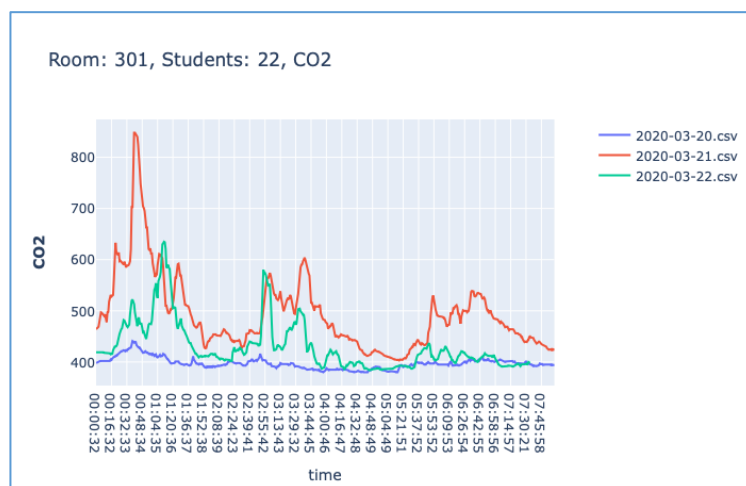


圖 18. 臺師大進推301教室考場的CO2濃度變化

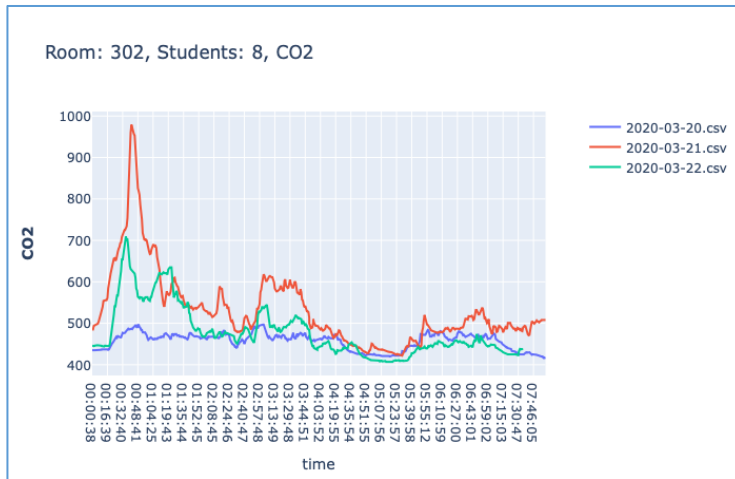


圖 19. 臺師大進推302教室考場的CO2濃度變化

- 在進推 S002 和 306 兩間教室考場的 CO2 濃度變化的比較，兩間教室有相同人數的考生，但位於不同樓層，S002 教室位於地下室，306 教室位於 3 樓。由於 3 月 20 日教室沒有人，因此我們比較 3 月 21 日和 3 月 22 日的 CO2 濃度變化，從 CO2 濃度可以看出 S002 教室位於地下室的环境，CO2 濃度較 3 樓的 306 教室要來的高，請見圖 20 和圖 21。因為地下室的环境較為不通風，因此可以看到在不同樓層的 CO2 濃度 pattern 不一樣。用 CO2 濃度變化的數據，我們幫助考場在規化通風時程上，用數據來建議要考量不同區域通風的狀況和特別注意通風不良的區域。

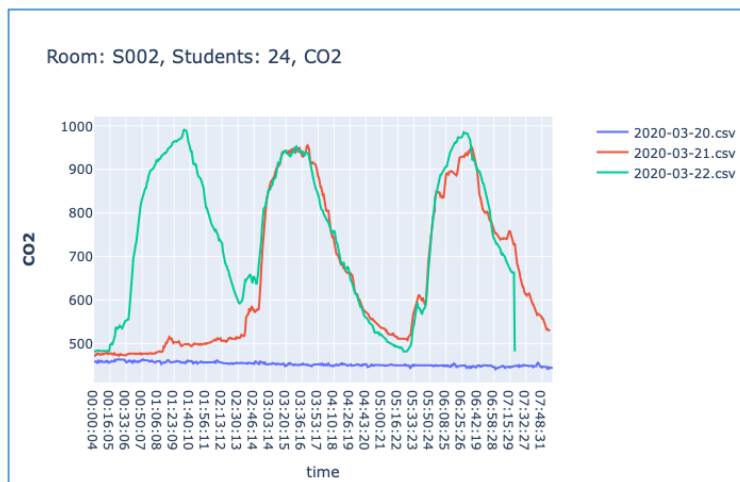


圖 20. 臺師大進推S002教室考場的CO2濃度變化

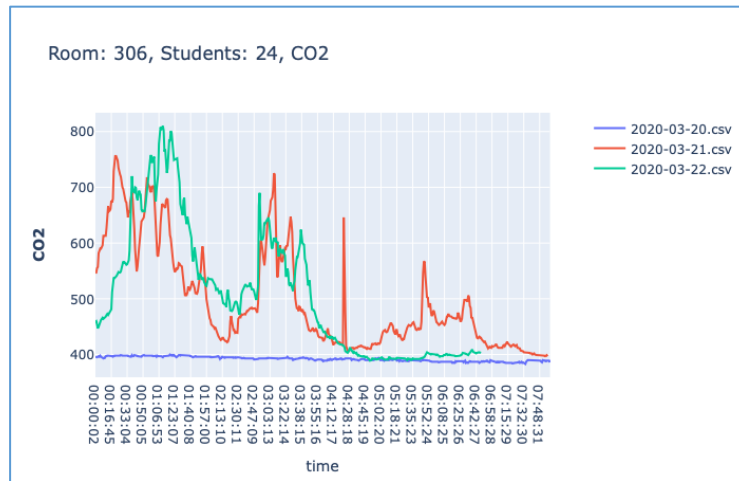


圖 21. 臺師大進推306教室考場的CO2濃度變化

4. 進修推廣學院 1 樓講堂為考生與陪考人員休息區，由於人數沒有固定，只可看出考試日（3 月 21 日、3 月 22 日）的 CO2 濃度較高，如圖 22。中午 12 點左右為午餐時間，考生與陪考人員皆外出用餐，因此 CO2 的濃度較低，且 3 月 20 日則幾乎為環境濃度。

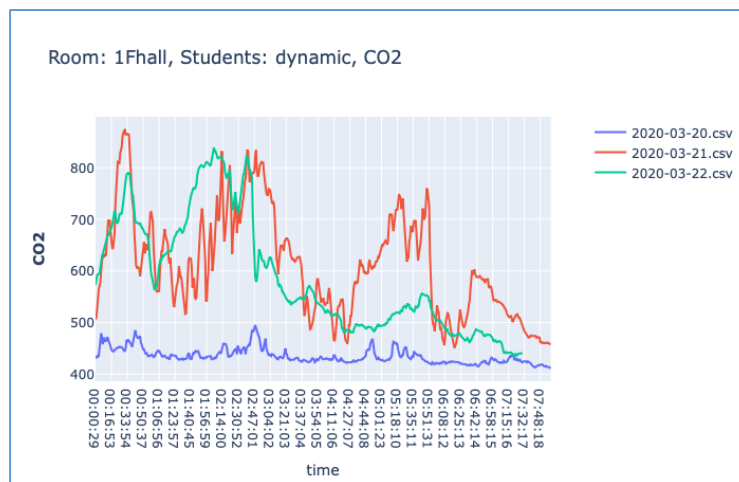


圖 22. 臺師大進推1樓講堂休息區的CO2濃度變化

B. 桃園市立內壢國中

- i. 場地勘察：內壢國中位於中壢工業區附近，周邊有許多金屬、化學、機械工廠，共有 90 個班級、2500 位學生，屬於大型學校規模，校內有體育館、木工教室等空氣較差的室內空間，部分教室有設置冷氣，部分是開窗自然通風，感測裝置的擺設位置大約是人坐在

椅子上的高度，為了避免學生移動或破壞裝置，需特別將裝置固定住。

- ii. 佈建完成：目前已經在內壢國中完成室內環境感測器的部署，分別在 19 個一般教室各部署一台裝置，包括 2 個體育班、2 個音樂班，其中 7 間為冷氣教室，在木工教室、圖書館、室外區域各放置一台裝置，體育館在前方舞台的左右兩側各放置一台，圖 23 為教室分布圖紅點標示感測器部署的教室，實際感測裝置的擺設位置及佈建照片如圖 24 ~ 圖 27。
- iii. 訊號測試：內壢國中每間教室內都有有線網路，校方也提供一個有線網路孔給感測裝置，有線網路的穩定度較高，因此機器在內壢國中的上線率非常高，而室外及體育館內的裝置是使用校內的無線網路做資料傳輸，上線狀況也還算穩定。
- iv. 設備維護與更新：由於裝設在室外的機器上線狀況不穩定，8 月 5 日進行檢查、維護後認為是由於機器放置在較高的位置，因為建築物遮蔽的死角所導致訊號不穩定，其餘機器上線狀況良好。
- v. 室內人數預測：利用空氣感測裝置所偵測到的環境資訊預測室內人數，將 9 月 15 日到 10 月 25 日不同特徵值的資料利用機器學習其中的支援向量機 (Support Vector Machine, SVM) 模型中做訓練，因為教室內的人數變化較單純，因此預測結果相當好，在只用二氧化碳做預測的情況下，正確率就已經有 0.66 ~ 0.87，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有 0.77 ~ 0.86，在嘗試多種組合後，最佳的條件(二氧化碳+溫濕度 +PM1.0) 下預測正確率都有 0.9 以上，之後可以利用人數預測與通風率的結合，及時評估室內通風狀況。

內壢國中教室配置平面圖

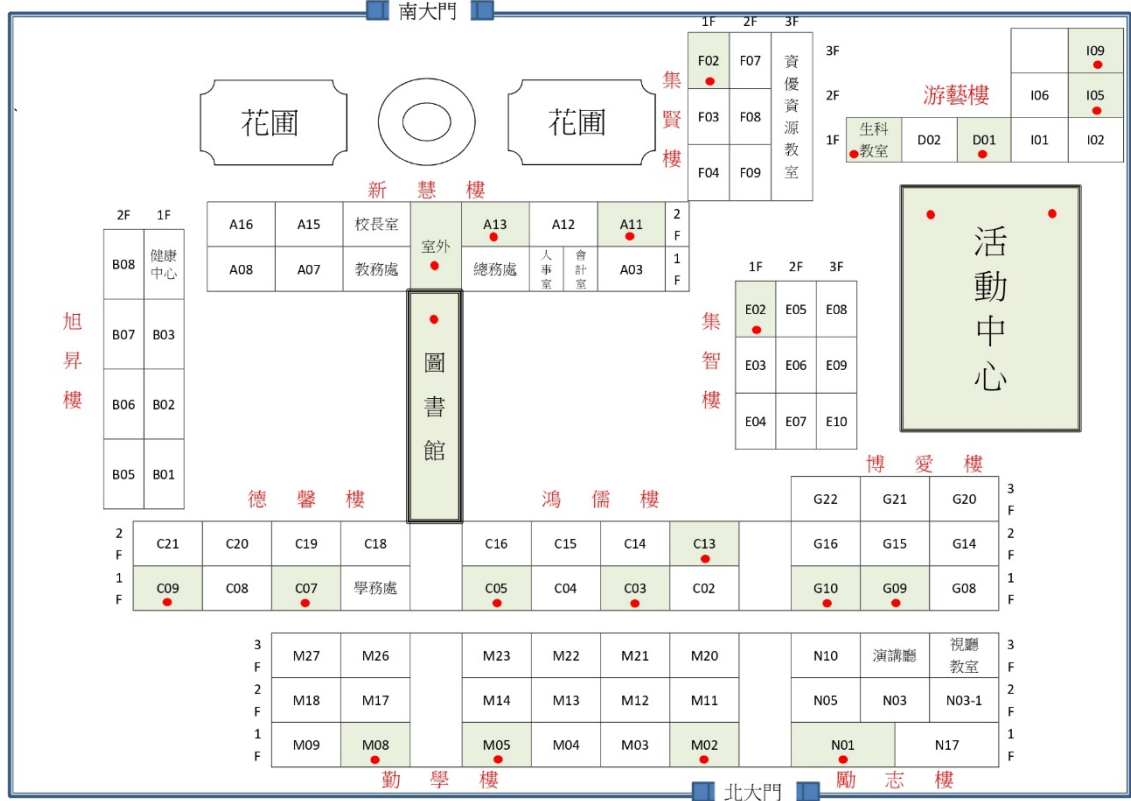


圖 23. 桃園市內壢國中平面圖及感測裝置設置位置



圖 24. 內壢國中F02教室



圖 25. 內壢國中A11教室

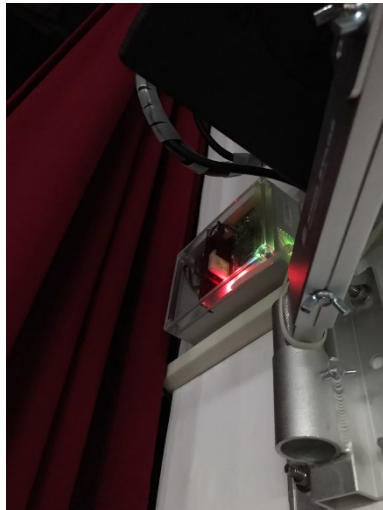


圖 26. 內壢國中活動中心(體育館)



圖 27. 內壢國中佈建照片

C. 臺灣師範大學進修推廣學院

- i. 場地勘察：國立臺灣師範大學因為在新冠肺炎疫情中有出現確診案例，而學校又是多人群聚的室內空間，因此將感測裝置設置在教室內，進修推廣學院全年都有課程在進行，且教室人數較容易確認，因此在暑假時將機器設置在進修推廣學院的教室內。
- ii. 佈建完成：目前已經在進修推廣學院完成室內環境感測器的部署，分別在 18 個一般教室、1 個韻律教室、一樓辦公室以及演講廳共裝設了 24 台室內感測器，如圖 28 ~ 圖 31 紅點標示的部屬位置，實際裝置位置如圖 32 ~ 圖 35。
- iii. 設備維護與更新：8 月 25 日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，因有多次機器被移動的問題，當日也將機器全部固定在牆上。
- iv. 訊號測試：進修推廣學院主要連線方式是透過學校提供的無線網路，因為無線網路在教室內可能會有某些死角，導致訊號不穩定，偶爾會有斷線的情況。
- v. 室內感測器資料分析：進修推廣學院在 8 月份各個教

室都有課程或是其他活動的使用，校方也提供給我們八月份各教室使用人數，相較於內壢國中，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，有十幾人的教室也有一百多人的演講廳，這裡同樣使用 SVM 預測教室內人數，在二氧化碳、溫溼度和 PM1.0 作為特徵值時，預測正確率有 0.79 ~ 0.95，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。之後會再針對這項差異做更多比較分析，也會透過與通風率的結合，及時評估室內通風狀況。

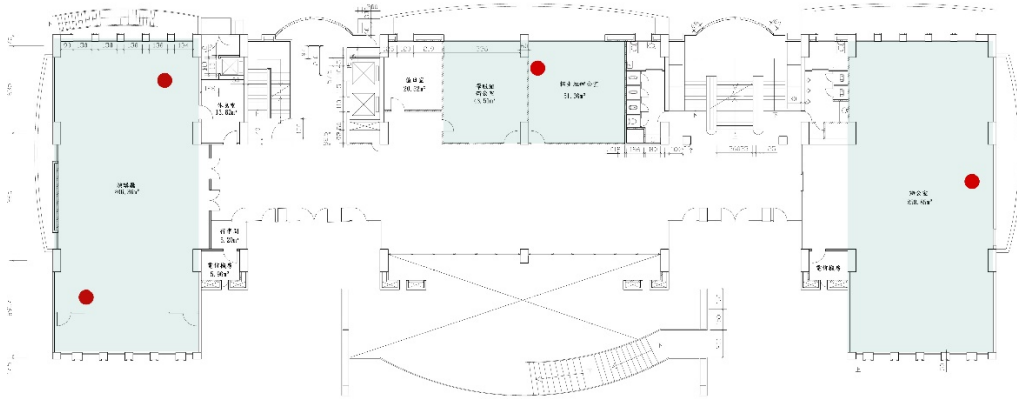


圖 28. 臺師大進修推廣學院1F平面圖及相對應位置

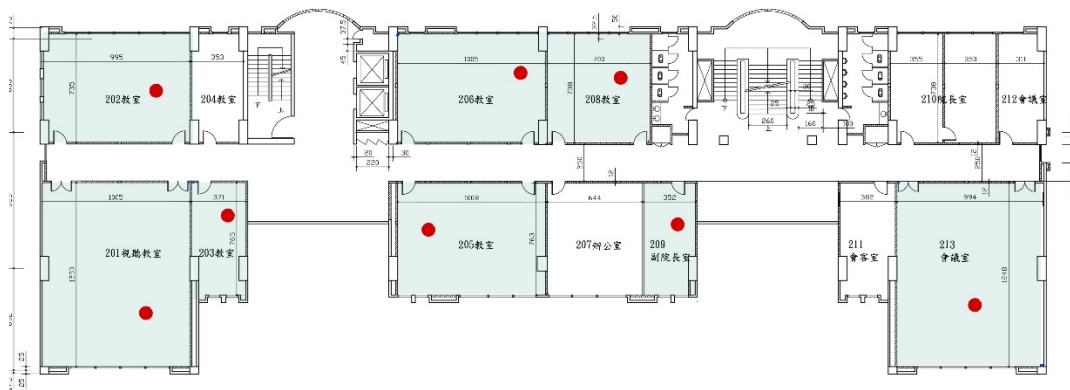


圖 29. 臺師大進修推廣學院2F平面圖及相對應位置

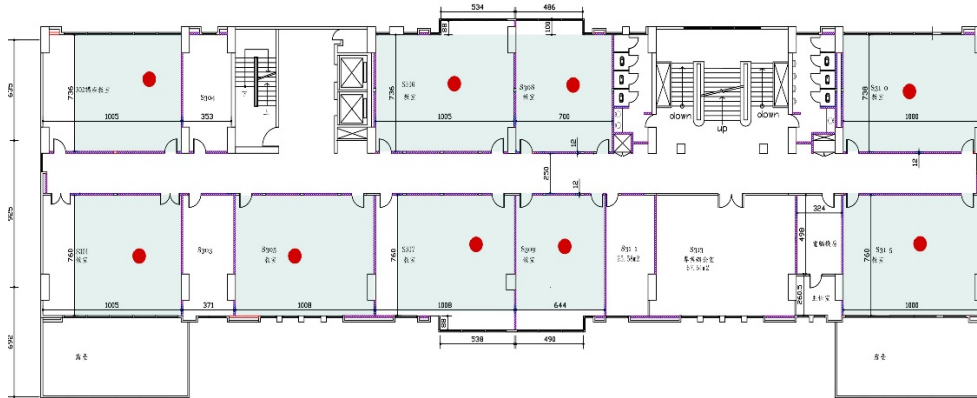


圖 30. 臺師大進修推廣學院3F平面圖及相對應位置

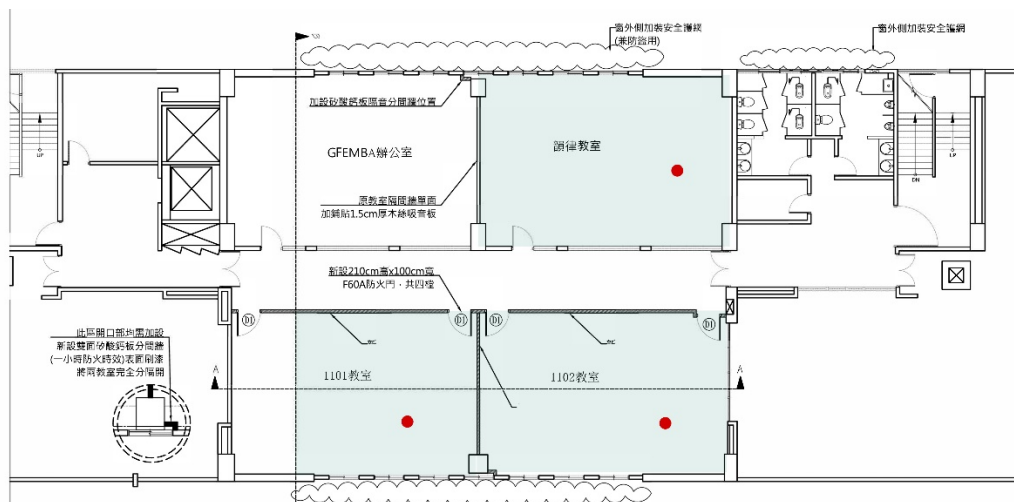


圖 31. 臺師大進修推廣學院11F平面圖及相對應位置

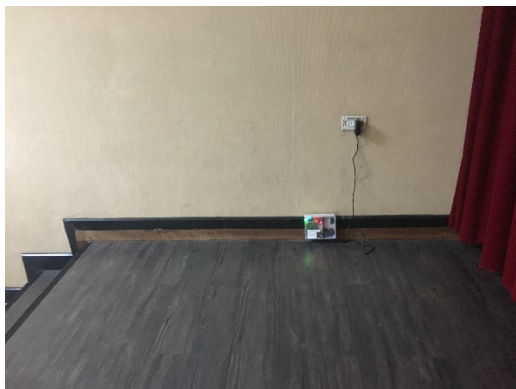


圖 32. 臺師大進修推廣學院演講廳



圖 33. 臺師大進修推廣學院306教室



圖 34. 臺師大進修推廣學院
1102教室



圖 35. 臺師大進修推廣學院韻
律教室

D. 臺灣師範大學資訊工程學系系館

- i. 場地勘察：師範大學資訊工程學系系館位於師大公館校區，在台北市文山區，校內大致有 10 棟大樓組成，其中大多數大學生集中在理學院大樓上課，理學院的教室大多密閉，且各系學生的教室多有重疊，再加上疫情期間師大案例亦在此，因此理學院的大階梯教室是我們選擇佈建感測器的場域之一。而許多研究生則在應用科學大樓內進行研究，因此我們在研究生經常使用的教室進行佈建，包括地下室演講堂、閱覽室、影印間等。而地下室空間雖大，但空氣不流通，大部分時間並不開窗，也不開門。會議廳、閱覽室則是半開放空間，使用時會關門，大部分時間也不開窗，為了比較不同空間的使用情形之空氣狀況，我們也依此進行感測器安裝相關的需求評估。
- ii. 佈建完成：目前已經在師大公館校區(圖 36)完成室內環境感測器的部署，分別在 8 間教室、一間閱覽室、一間影印間、一間會議室部署了總計 11 台室內環境

感測器，如圖 37 中藍點標示感測器部署的位置，實際感測裝置的擺設位置如圖 38 ~ 圖 39 所示。

- iii. 訊號測試：師大公館分部除了部分教室因 AP 位置分佈原因訊號不佳，其餘教室的 Wi-Fi 訊號品質皆良好，因此我們在公館佈建上皆以 Wi-Fi 為主。
- iv. 設備維護與更新：由於公館分部與團隊位置相近，因此在佈建後我們便會時常針對不正常、數值偏移幅度大的機器進行替換以及更新。

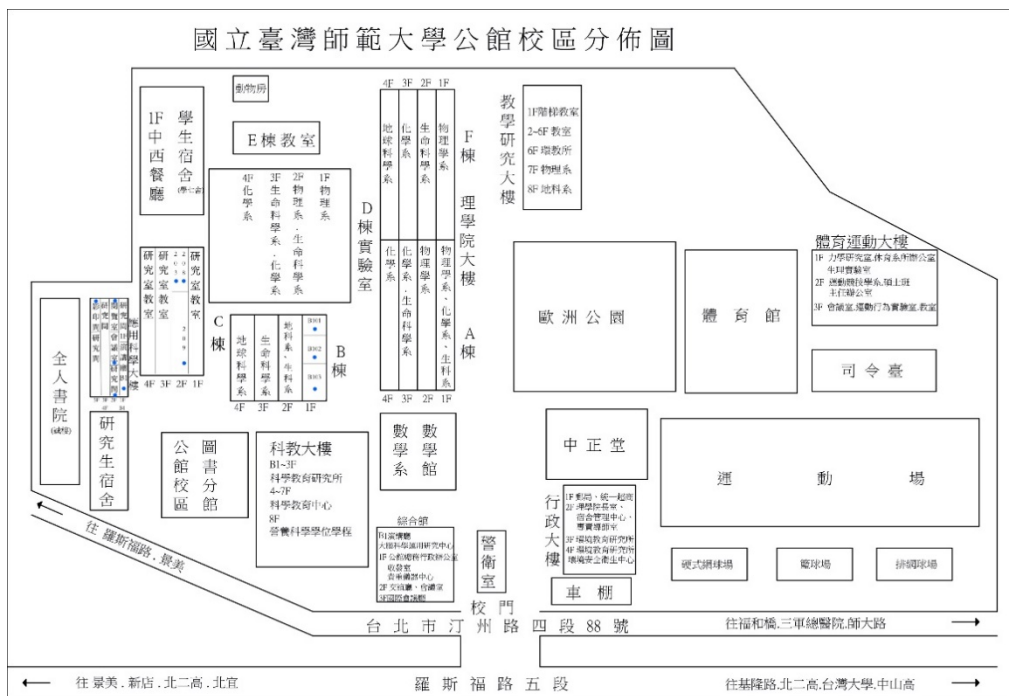


圖 36. 臺師大公館校區平面圖

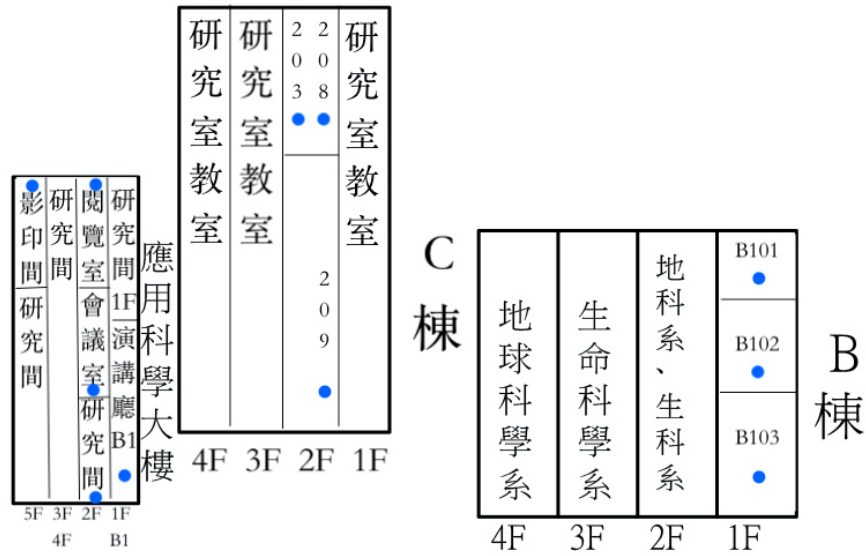


圖 37. 臺師大公館校區空氣品質監測器位置分佈圖

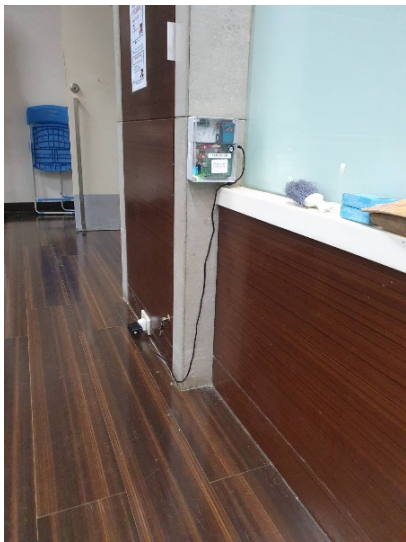


圖 38. 臺師大公館校區 B101 教室佈建位置



圖 39. 臺師大公館校區 C203 教室佈建位置

E. 臺灣師範大學林口校區

- i. 場地勘察：師大林口校區佔地 32 公頃，建物面積 9.15 公頃，是所有校區中擁有最大面積的地區。大部分在林口分佈就讀的學生多為旅居海外的僑生。而林口校區最常被使用的大樓為敬業、樂群樓，僑生多於這兩棟樓進行活動，並進行不同科目的課程教學，因此形

式與一般高中相似，教室使用的密集度極高，而大部分的教室卻較封閉，在上課時門窗會關著，屬於比較密閉的環境。

- ii. 佈建完成：在師大林口校區我們已經完成 17 間室內環境感測器的部署，分別在 15 間一般教室、2 間階梯教室，整體分佈位置如圖 40 中藍點所示，而實際感測裝置的擺設位置如圖 41～圖 42 所示。
- iii. 訊號測試：師大林口分部大部分教室的 Wi-Fi 訊號穩地，除部分教室 Wi-Fi 訊號較弱容易掉封包外，其他都能維持正常傳輸品質。

國立臺灣師範大學僑生先修部 109 學年度第 1 學期教室分配圖

109.09.22 修改



圖 40. 臺師大林口校區空氣品質監測器位置分佈圖



圖 41. 臺師大林口校區階梯教佈
建位置



圖 42. 臺師大林口校區 B213
教室佈建位置

F. 高雄獎卿護理展望基金會護理之家

- i. 場地勘察：高雄獎卿護理之家為一整棟樓的機構，我們主要佈建的場域位於 2 樓及 6 樓，2 樓及 6 樓中病床與病床的空間較寬闊，而病房的門通常是長時間打開、窗戶緊閉，在公共區域的部份則是老人們在休息、吃飯觀賞電視的場所，活動空間較大，可以容納較多的人，不過大門的部分通常是關閉，且窗戶並不會打開。
- ii. 佈建完成：我們目前已經在獎卿護理之家完成總計 8 個室內環境感測器的部署，分別在 6 間病房、兩個公共區域，如圖 43 ~ 圖 44 藍點標示感測器部署的位置，而實際感測裝置的擺設位置如圖 45 ~ 圖 47。
- iii. 訊號測試：獎卿護理之家本身亦有 Wi-Fi，而在實際測試之後發現大部分病房的訊號穩定，因此我們主要以 Wi-Fi 為傳輸媒介。
- iv. 設備維護與更新：我們在佈建之後，在 10/23 有針對

獎卿護理之家的的機器做了近一步的維修與替換，以確保空氣品質資料可以正確且有效的傳輸至研究室。

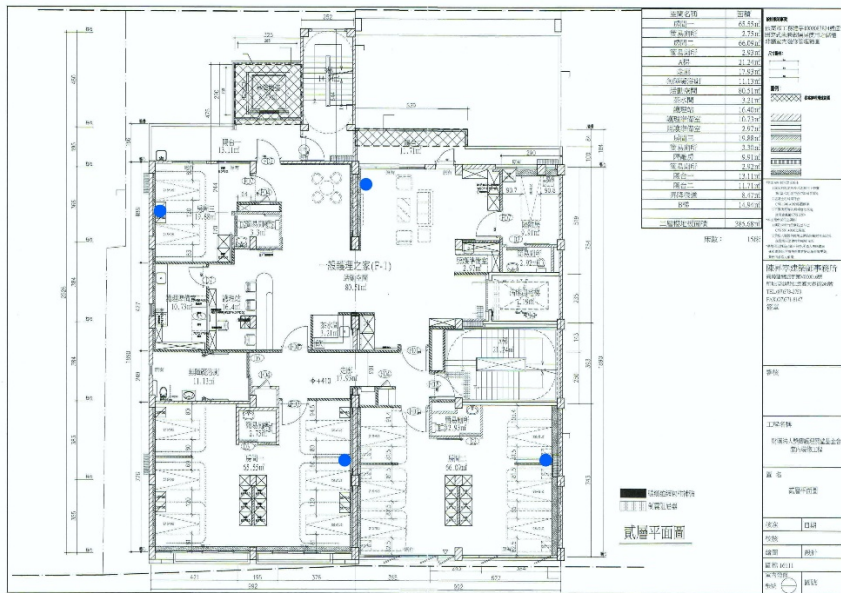


圖 43. 獎卿護理之家 2F 空氣品質監測器位置分布圖

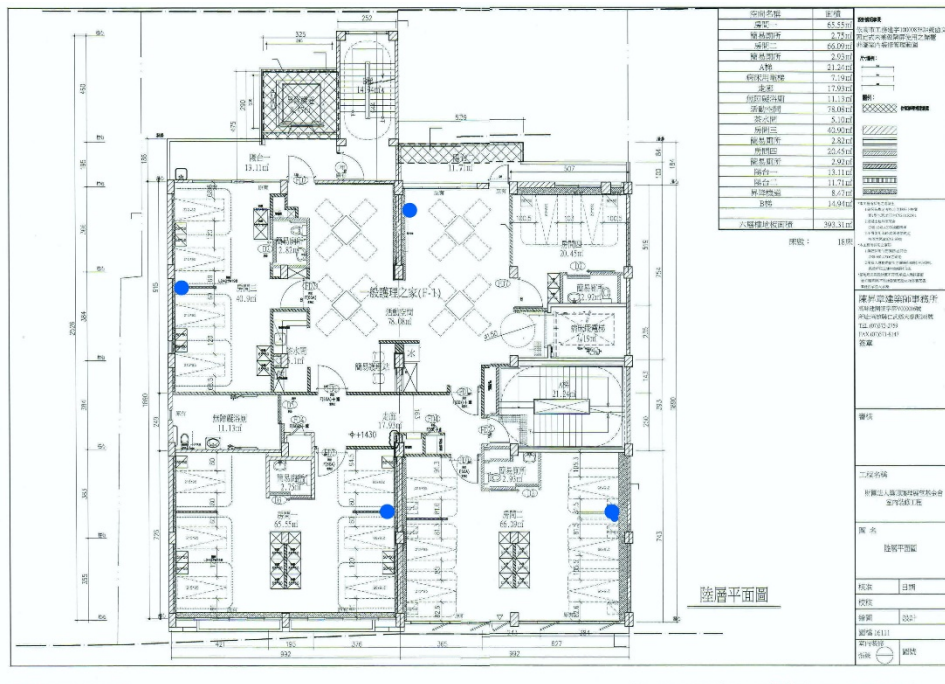


圖 44. 獎卿護理之家 6F 空氣品質監測器位置分布圖



圖 45. 獎卿護理之家 2B 病房佈建位置



圖 46. 獎卿護理之家公共區域
佈建位置



圖 47. 獎卿護理之家 6B 病房
佈建位置

G. 高雄佳醫護理之家

- i. 場地勘察：我們在高雄佳醫護理之家主要佈建區域為三樓病房，三樓居民多為氣切病患，大部分長者無法正常活動，需要輔以輔具以進行移動，而床與床之間的間隔相較較小，門也如一般護理之家一樣不開窗、病房門敞開，而公共區域的部分也與其他護理之家相

比也較小，長輩能活動的空間不大。

- ii. 佈建完成：目前已在高雄佳醫護理之家完成室內環境感測器的部署，分別在 7 間病房、一個公共區域部署了總計 8 台室內環境感測器，如圖 48 中藍點標示位置所示，實際感測裝置的擺設位置則如圖 49~圖 51。
- iii. 訊號測試：高雄佳醫護理之家的 Wi-Fi 穩定，大部分的病房機器都可以透過 API 將資訊傳至網頁上以得到相關資訊。
- iv. 設備維護與更新：在佈建之後，我們於 10/23 有針對佳醫護理之家的機器做了近一步的維修與替換，以確保空氣品質資料可以正確且有效的傳輸至研究室。



圖 48. 佳醫護理之家 3F 空氣品質監測器位置分布圖



圖 49. 佳醫護理之家 312 病房佈建位置



圖 50. 佳醫護理之家公共區域
佈建位置



圖 51. 佳醫護理之家大門口

H. 高雄市立民生醫院附設護理之家

- i. 場地勘察：民生醫院附設護理之家位於新建的高齡長照大樓，場域地形為一大平面樓層，大部分空間較為開放式，有一個公共空間，雖然平時病人沒有四處活動，大部分時間都在病房內，但病房房門都為敞開的

狀態，且病房房間的面積較一般護理之家大且樓道也很寬敞所以預估通風狀況會較良好，但場域為新大樓預估 TVOC 可能會有偏高的傾向，另外場域中有一間清潔消毒室，預測在消毒時會有大量 TVOC 的生成。

ii. 佈建完成：目前已在民生醫院附設護理之家完成室內環境感測器的部屬，分別在 12 個房間，2 個公共區域及 1 個護理站部屬了總計 15 台室內環境感測器，如圖 52 紅點標示感測器部屬的位置，實際感測器的擺設位置如圖 53 ~ 圖 56。

iii. 訊號測試：目前使用的是民生醫院附設護理之家所提供之無線網路，但有幾間病房處於網路死角，會需要額外加裝 Wi-Fi Extender 來協助增強訊號，其餘回傳狀況良好，另外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。

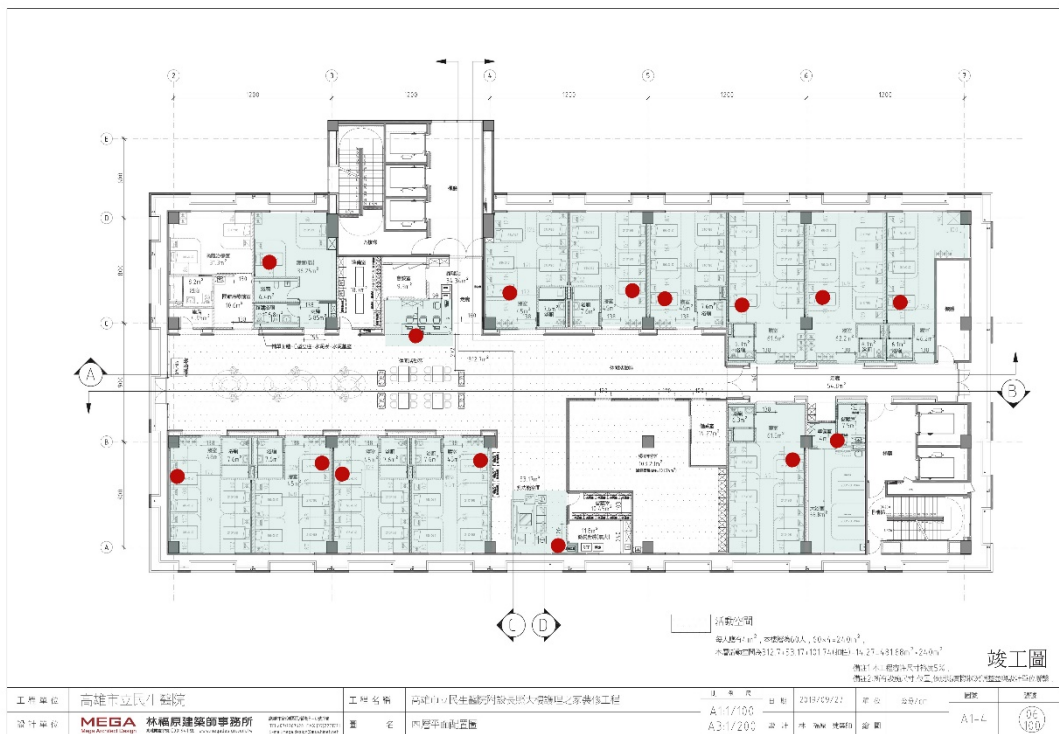


圖 52. 民生醫院附設護理之家 4F 平面圖及相對應位置



圖 53. 民生醫院附設護理之家公共區域



圖 54. 民生醫院附設護理之家護理站



圖 55. 民生醫院附設護理之家 405 病房



圖 56. 民生醫院附設護理之家清潔消毒室

I. 聖功醫院附設護理之家

- i. 場地勘察：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. 佈建完成：目前已在聖功醫院附設護理之家完成室內環境感測器的部署，分別在 3F、4F 部署了總計 9 台室內環境感測器，如圖 57~圖 60 紅點標示感測器部署之位置，實際感測器的擺設位置如圖 61~圖 64。
- iii. 訊號測試：承接民生醫院附設護理之家的部署經驗，目前聖功醫院附設護理之家使用的是聖功醫院所提供無線網路，在佈建時有發生佈建位置處於訊號死角的狀況，進行位置調整後已改善，以期達到更高的資料回傳率。



圖 57. 聖功醫院附設護理之家 3F 平面圖及相對應位置



圖 58. 聖功醫院附設護理之家 3F 氣切區平面圖及相對應位置



圖 59. 聖功醫院附設護理之家 4F 平面圖及相對應位置(A)



圖 60. 聖功醫院附設護理之家4F平面圖及相對應位置(B)

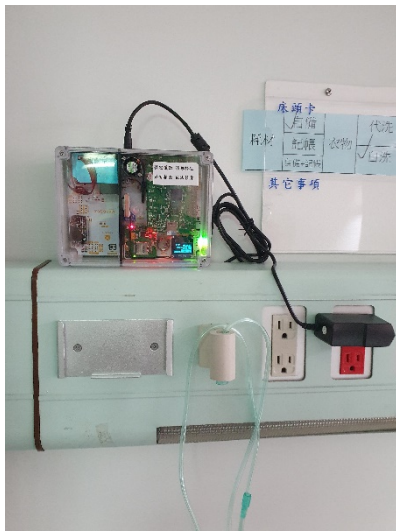


圖 61. 聖功醫院附設護理之家3F一般病房



圖 62. 聖功醫院附設護理之家氣切區

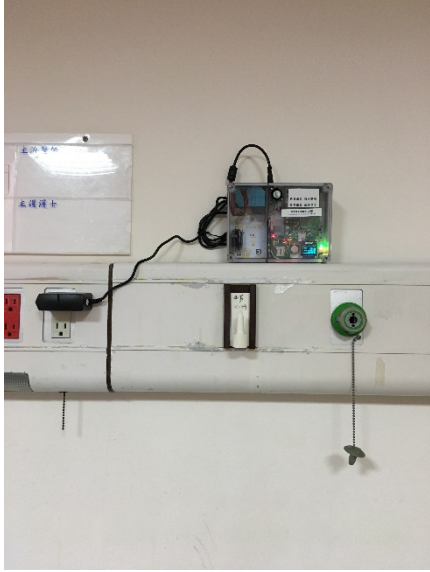


圖 63. 聖功醫院附設護理之家4F一般病房



圖 64. 聖功醫院附設護理之家4F公共區域

J. 聖功醫院

- i. 場地勘察：由於醫院的範圍較大，原本是預計設置在
人潮較多的大廳部分，但依照護理人員的需求而後設
置在其餘的位置，期分別為：
 1. 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。
 2. 中醫診療室：主要所進行的活動為針灸，而針灸
的其中一種為艾灸，需要燒艾草，所以整個復健
室有較多的煙霧，且為關門的情況，室內為 L 字
形，感測器預計會布置在轉角處，以便收集到更
完整的資訊。
 3. 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。
 4. 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. 佈建完成：目前已在聖功醫院完成室內環境感測器的部署，分別為在手術室、中醫診療室、呼吸照護病房各部署一台，以及辦公室兩台，如圖 65~圖 68 紅點標示感測器部署的位置，實際感測器的擺設位置如圖 69~圖 71。
- iii. 訊號測試：同聖功醫院附設護理之家使用的是聖功醫院所提供無線網路，不過相較於護理之家，醫院部分的網路訊號較不穩定，未來可能會再加裝 Wi-Fi Extender 來穩定訊號，更進一步提高資料的回傳率。

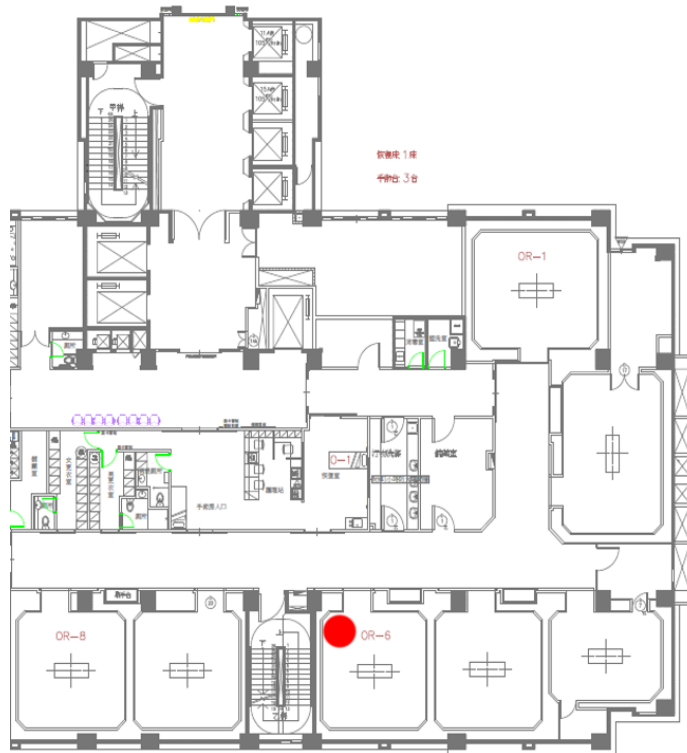


圖 65. 聖功醫院手術室及相對應位置

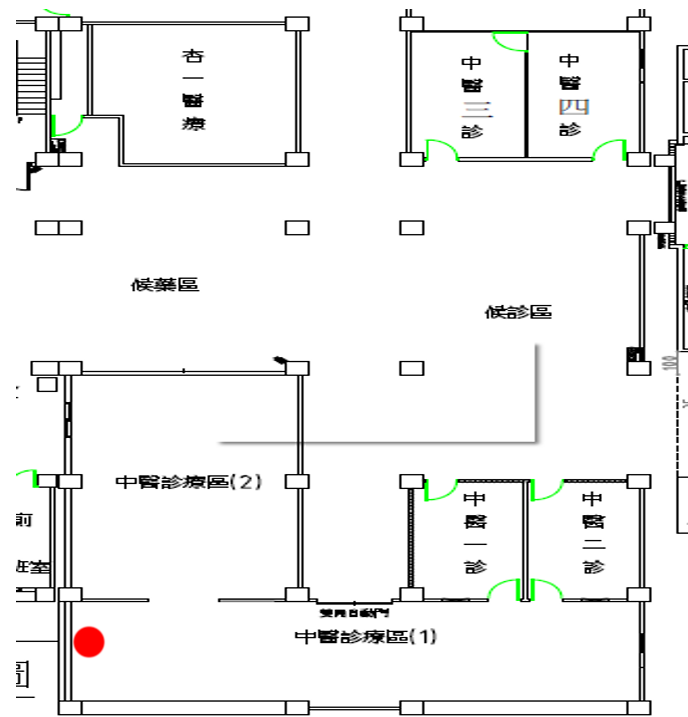


圖 66. 聖功醫院中醫診療室及相對應位置

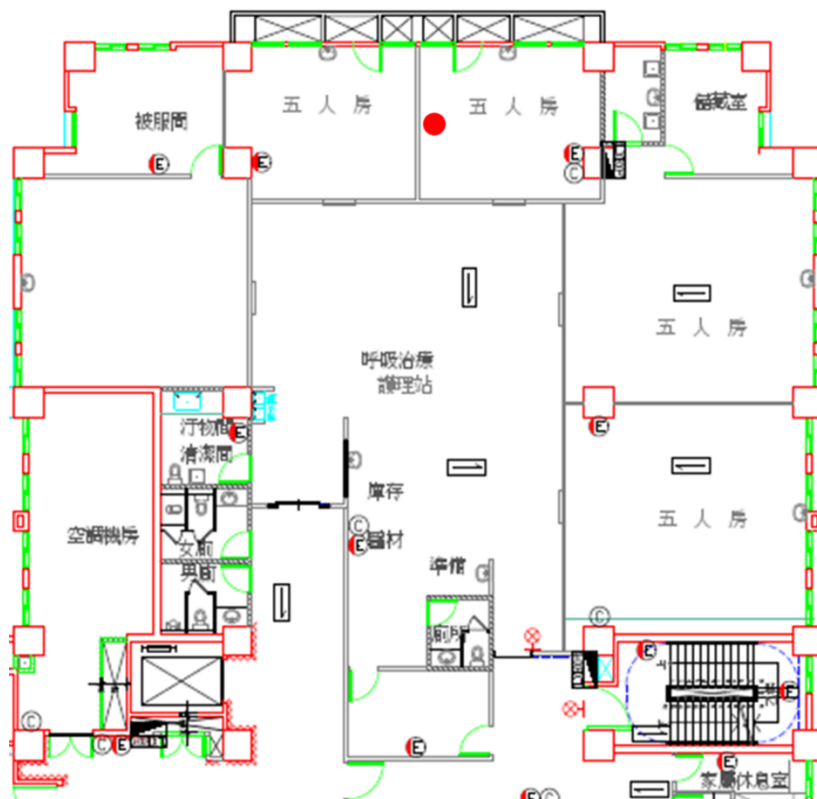


圖 67. 聖功醫院呼吸照護病房及相對應位置



圖 68. 聖功醫院辦公室及相對應位置



圖 69. 聖功醫院中醫診療室



圖 70. 聖功醫院呼吸照護病房



圖 71. 聖功醫院手術室

K. 新立護理之家

- i. 場地勘察：新立護理之家同民生醫院附設護理之家相同為大平面樓層，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，但因為病房數偏多，所以病房間的距離較近，樓道較狹窄。
- ii. 佈建完成：目前已經在新立護理之家完成室內環境感測器的部署，分別在 5 個氣切房間、2 個一般房間以及 2 個公共區域部署了總計 9 台室內環境感測器，如圖 72 紅點標示感測器部署的位置，實際感測裝置的擺設位置如圖 73~圖 75。
- iii. 訊號測試：目前新立護理之家使用的是新立護理之家所提供無線網路，負責人有提到氣切病房後面的訊號有比較不穩的狀況，但目前測試下來情況還算良好，若未來有訊號不穩的情形發生，會加裝 Wi-Fi Extender 來穩定訊號，已保證有更高的資料回傳率。

新立護理之家

130 床平面區域配置圖

比例尺 318 : 1

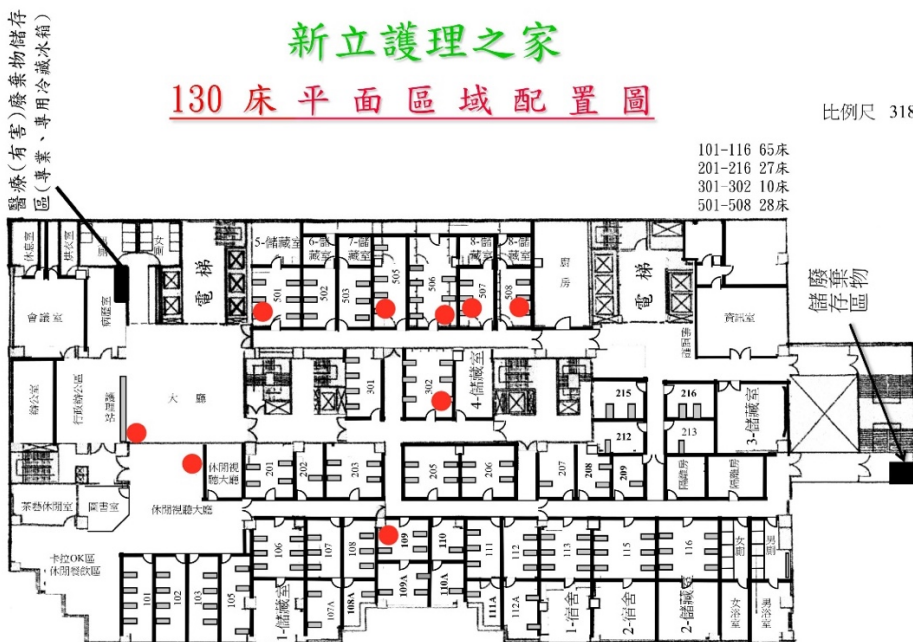


圖 72. 新立護理之家12F平面圖及相對應位置

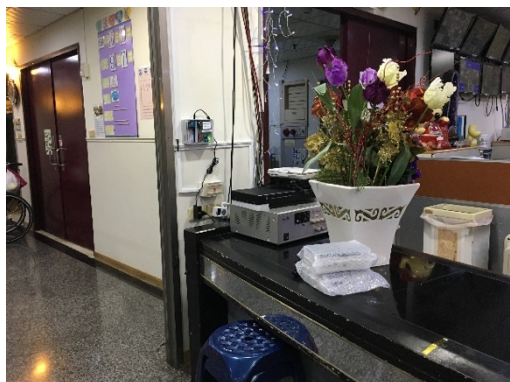


圖 73. 新立護理之家公共區域



圖 74. 新立護理之家氣切病房



圖 75. 新立護理之家一般病房

三、 結果

1. 室內空氣品質感測器優化與新增感測功能

因應去年醫護人員希望能監測總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)，以增加室內環境的安全上的需求，團隊在今年增加 TVOC 感測器在新版的空氣盒子。因為我們在今年也優化室內空氣品質感測器的處理器，已換成運算能力較強大和穩定性較高的樹梅派 3 (Raspberry pi 3) B+ 主板和重新設計相關的電路板，所以我們也將新感應器一併測試感測器的穩定性。

本團隊設計了一系列的實驗，針對本次計畫新建置的室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ_TW) 中所使用的二氧化碳感測器、懸浮微粒(Particulate Matter, PM)感測器、溫度及濕度感測器、光度感測器，以及新加裝的總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compound, TVOC)感測器進行測試。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：

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

以下則針對室內空氣品質感測器(IAQ_TW)中所使用的五種不同感測器實驗結果分別進行分析與討論：

A. 二氧化碳感測器

本次二氧化碳感測器使用 SenseAir S8 [1]，經過 24 小時連續測試後，結果如圖 76、圖 77 所示。在圖 76 中，橫軸為放置一天的時間，縱軸則為 CO2 數值，我們可從圖 76 中看出四台感測器的曲線起伏大致相同，而圖 77 橫軸為二氧化碳值，縱軸為變異係數(CV)，圖 77 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，未來我們也會針對此項結果對其他感測器進行校正。

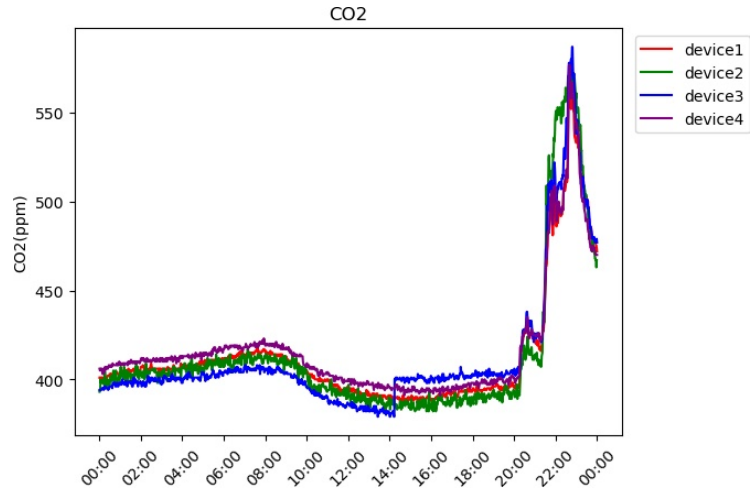


圖 76. 連續24小時感測二氧化碳數值

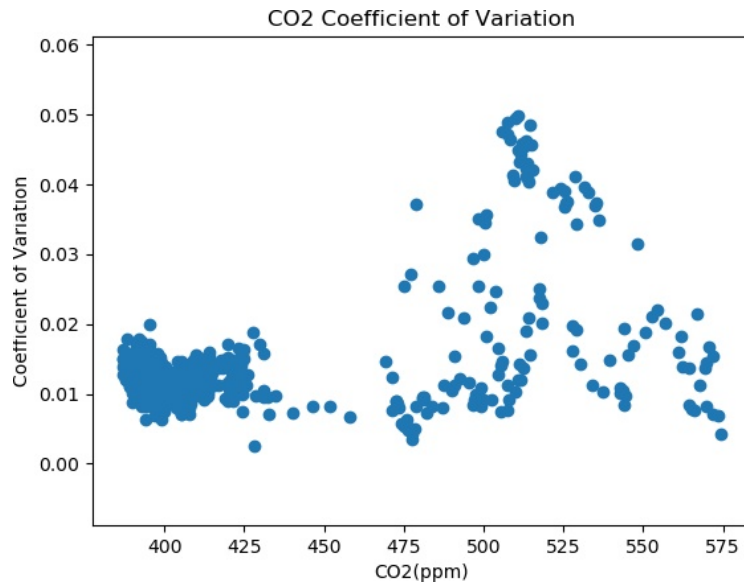


圖 77. 二氧化碳數值一致性比較

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

此次 TVOC 感測器使用 SGP30 [13]，在進行實驗之後，結果如圖 78、圖 79 所示。結果分別為連續 24 小時感測 TVOC 數值以及 TVOC 數值一致性比較。在圖 78 中，橫軸為時間，縱軸則是該時間下 TVOC 的數值，圖 78 中可明顯看出 Device 4 的數值相較其他三台的數值有 50 ppb(parts per billion)的位移，而 1000 ppb = 1 ppm。因此我們也判斷此台可能在零點時有些許誤差，未來會以多數機

器的平均數值為標準，並對有偏移的機器進行校正。而圖 79 橫軸為 TVOC 值，縱軸為變異係數值(Coefficient of Variation, 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，因此此 TVOC 感測器的表現仍屬穩定。

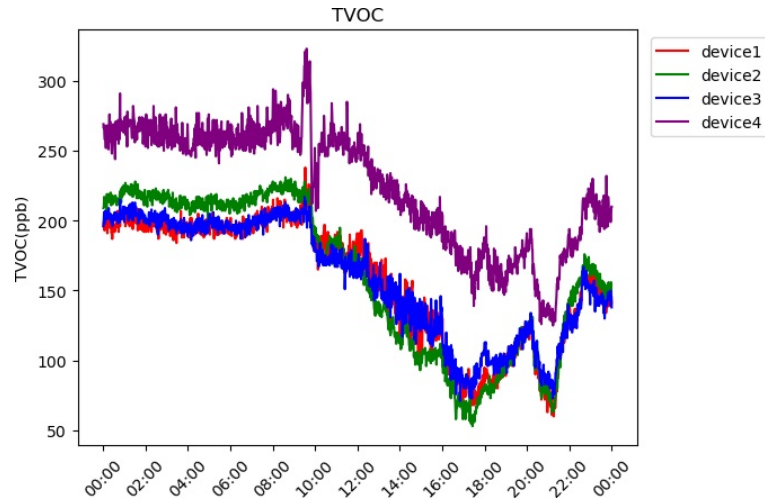


圖 78. 連續24小時感測TVOC數值

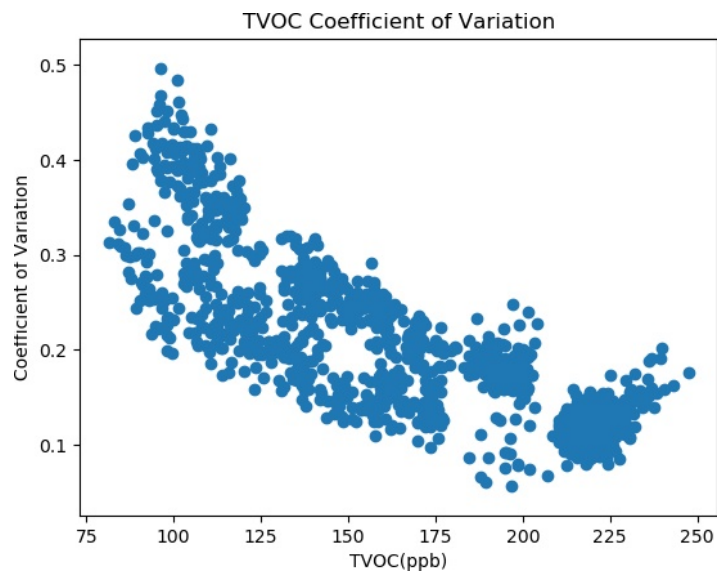


圖 79. TVOC數值一致性比較

另外因為 TVOC 感測器為新加入的感測器，除了檢測穩定性外，我們另外對感測器做額外的實驗。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。我們在 10:00 及 11:00 時對 4 台空氣盒子進行實驗，從圖 80 中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 16:00 時，針對其中一台噴灑酒精，能看出 Device 4 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 Device 4 來得高。

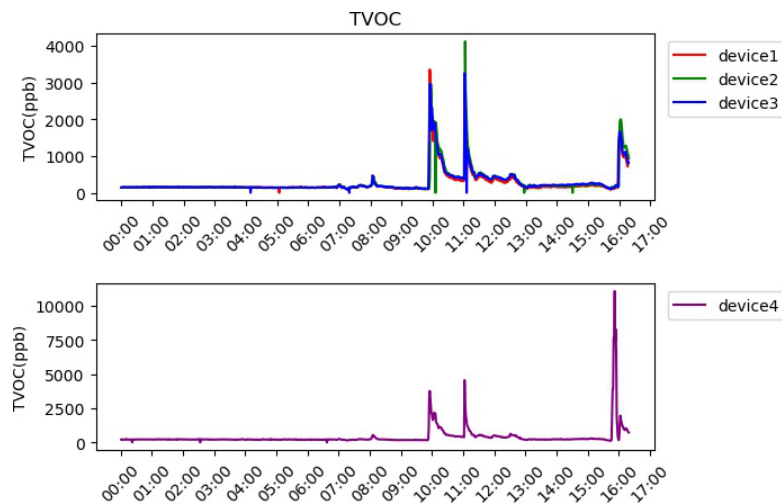


圖 80. TVOC感測器測試數據



圖 81. 漂白水測試狀況

而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。在環境消毒上，除了使用酒精消毒外，另一種常用的消毒劑就是漂白水（氯酸鈉）。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 81 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。

C. 溫度及濕度感測器

此次溫度及濕度感測器使用 SHT31 [14]，經過實驗 24 小時連續測試後，結果如圖 82、圖 83、圖 84、圖 85 所示。圖 82 與圖 84 為連續 24 小時感測溫度與濕度數值，橫軸為放置一天的時間，縱軸則為溫度及濕度數值。圖 82 與圖 84 中顯示出 4 台機器大致趨勢都相同，但因我們在實驗中放置的位置仍有些微的差異，因此判斷在不同的位置有圖 82 與圖 84 這樣的偏移為正常情況。而圖 83 與圖 85 為溫度與濕度數值一致性比較，兩圖可以明顯看出溫度與濕度的變異係數值(Coefficient of Variation, CV)都在 0.035 及 0.06 以下。顯示出不同溫度感測器之間的差異較小，而相對來說較為穩定，在未來我們也會利用此實驗結果對室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ_TW) 進行調校。

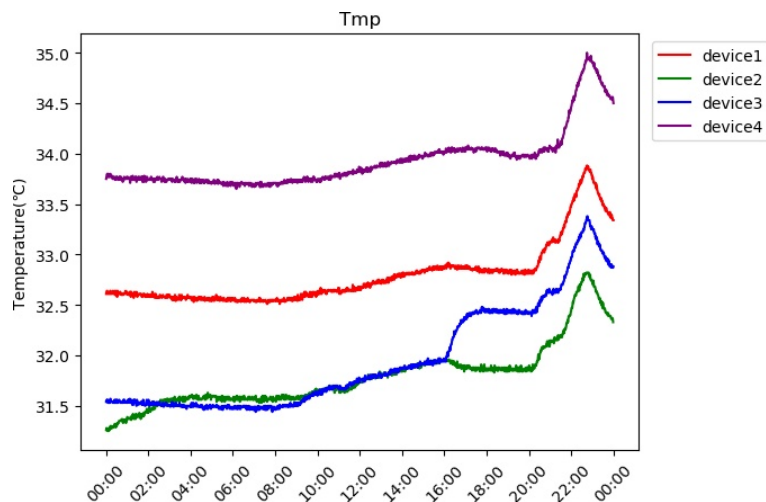


圖 82. 連續24小時感測溫度數值

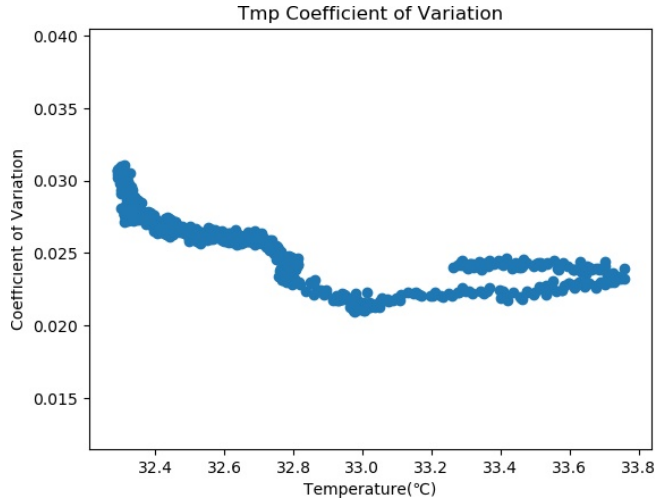


圖 83. 溫度數值一致性比較

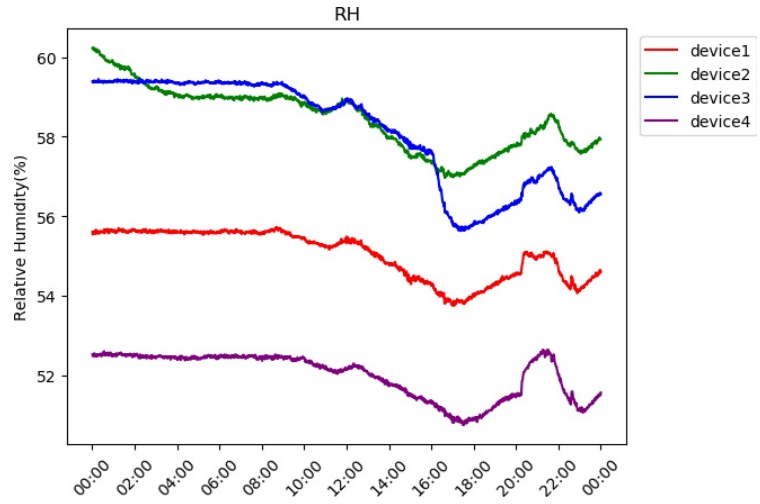


圖 84. 連續24小時感測濕度數值

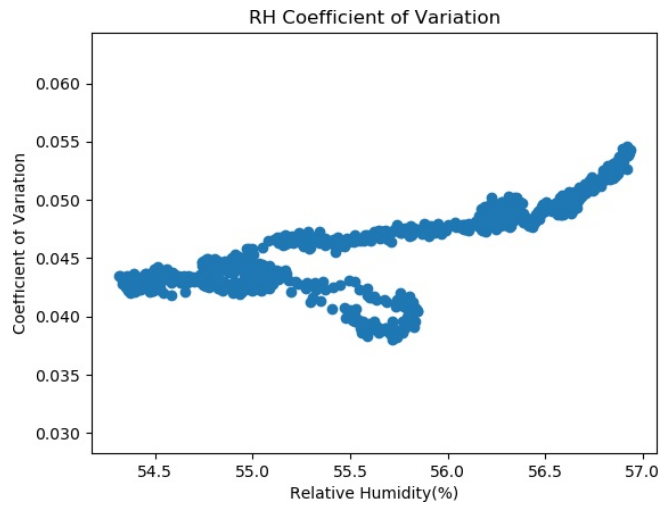


圖 85. 濕度數值一致性比較

D. 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 [3]，經過實驗測試後實驗結果如下，圖 86、圖 88、圖 90 分別為連續 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 87、圖 89、圖 91 分別為 PM1.0、PM2.5、PM10 數值一致性比較，雖然圖上點的變異係數值(CV)分布較為離散，但其數值都小於 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。

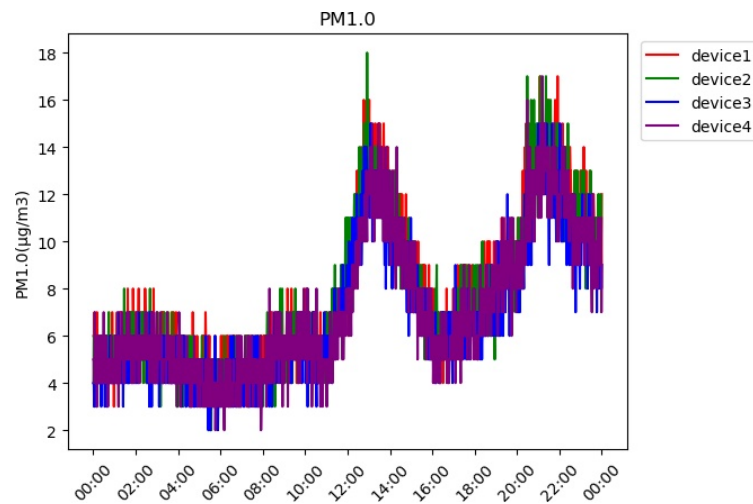


圖 86. 連續24小時感測PM1.0數值

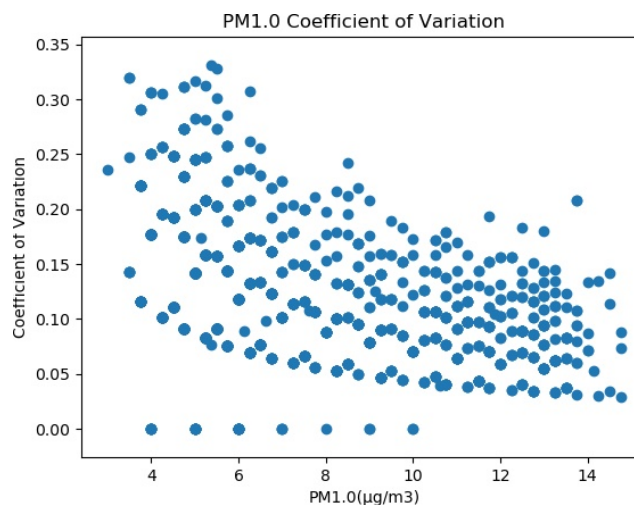


圖 87. PM1.0數值一致性比較

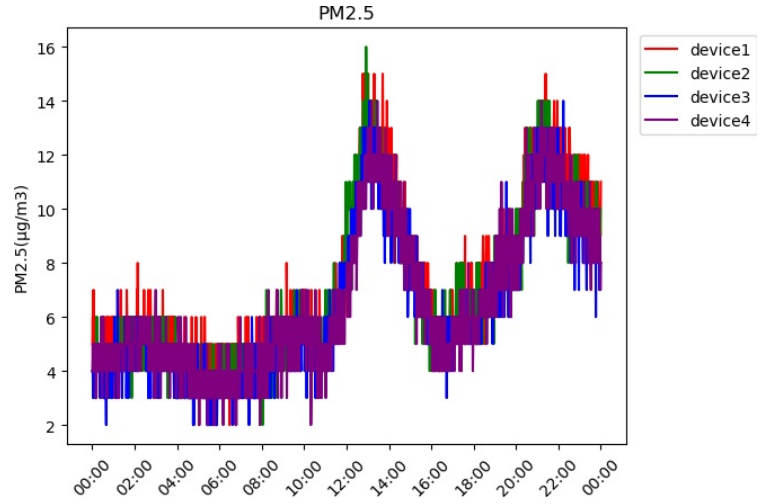


圖 88. 連續24小時感測PM2.5數值

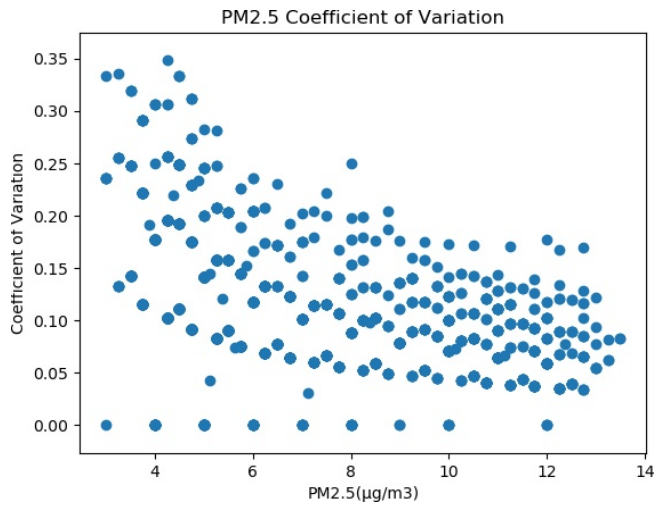


圖 89. PM2.5數值一致性比較

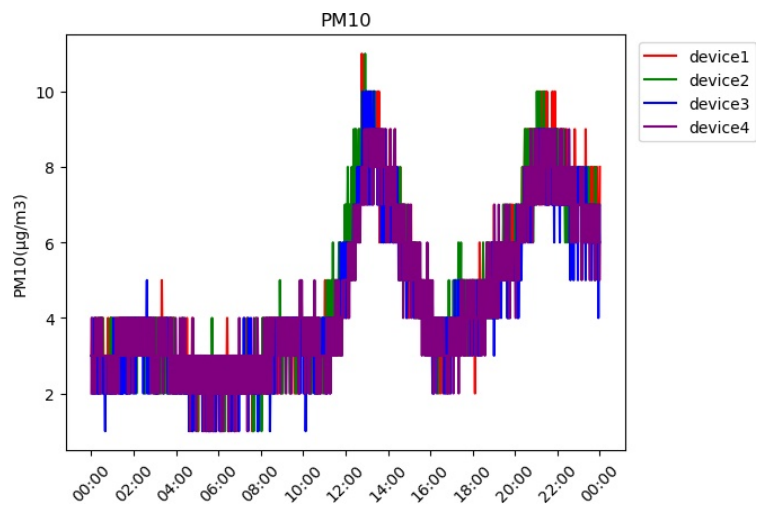


圖 90. 連續24小時感測PM10數值

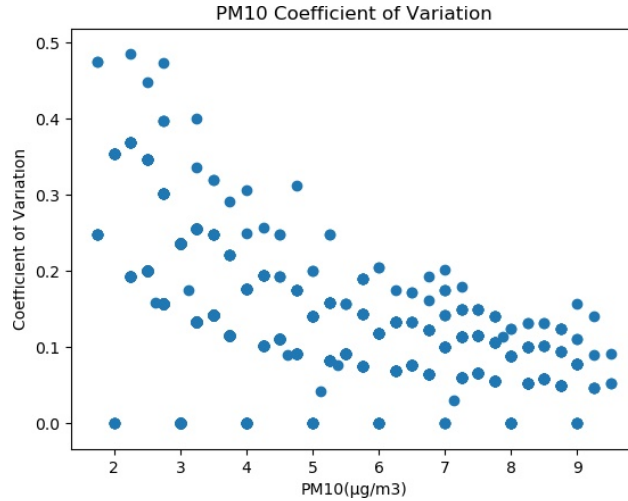


圖 91. PM10數值一致性比較

E. 亮度感測器

在此次計劃中，我們使用的光度感測器為 TCS34725 [15]。實驗結果如圖 92，在 20:00 前的數值四台機器顯示的都相對平穩。在 20:00 我們開燈測試機器的靈敏度，結果顯示機器的數值都急遽升高。在圖上我們也看到 4 台機器升高的幅度不相同，而我們推估為接近光源的距離不同，因此數值不同，在這樣的情況下四台機器亮度的表現數值都有明顯改變而具一致性。

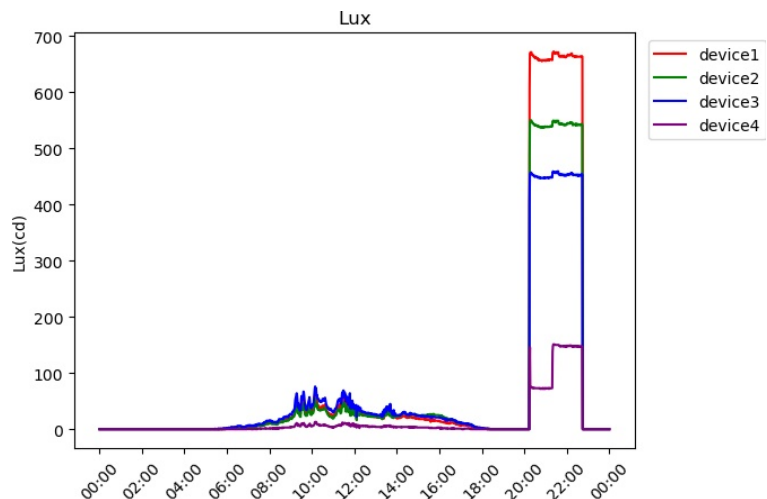


圖 92. 連續24小時感測亮度數值

而在圖 93 中，我們可以看到在光度為 0 的情況下有兩筆資料的變異係數分別在 1.75 及 1.00，在我們確認過發

現，變異係數過大的原因主要是因為測量值較小，其中有一台機器與其他台機器的測量值相差 1 就造成變異數大的結果。而其餘資料的變異係數值都 0.75 以下，因此我們確認本室內空氣品質感測器 (Indoor Air Quality monitor, IAQ_TW) 的亮度感測器表現仍算穩定，未來我們會將光度為 0 的數據分開處理並做為未來調校的參考依據。

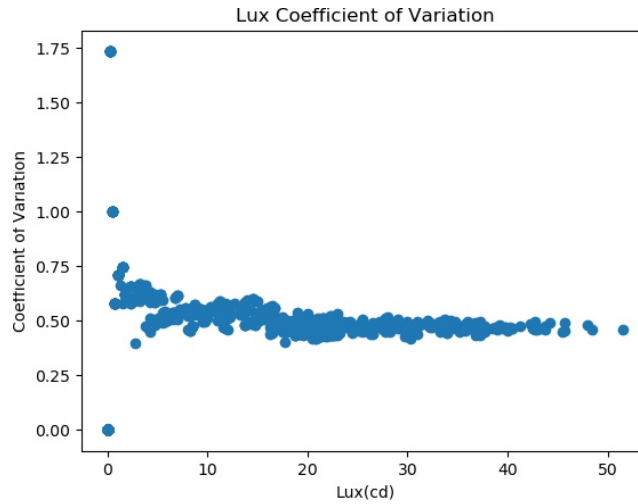


圖 93. 亮度數值一致性比較

2. 優化監測結果視覺化應用與即時資訊儀表板

根據第一年成果與使用者回饋和討論資料視覺化的方式後，我們優化各項視覺化應用與即時資訊儀表板，並且改良警示資訊功能。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 CO2 數值、溫度與濕度、PM2.5 的濃度等資訊，下方的折線圖可以看出過去 7 天 PM2.5、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。

3. 建置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 Opendata 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，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。

4. 開發智慧遠端物聯網設備控制功能

在開發智慧遠端物聯網設備控制功能上，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主動排氣與被動排氣設備。我們運用 Raspberry Pi 3 B+ 裝置，先從後端伺服器的資料庫取得相關資訊，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，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，接收及發送紅外線訊號，進一步控制相關的設備。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，我們的遠端物聯網控制設備利用紅外線發射器發送紅外線訊號去啟動現有的空調系統。

5. 感測裝置安裝與場測

在今年感測裝置安裝與場測上，我們緊急佈建 109 學年度身心障礙學生升大專校院的甄試場地(臺師大進修推廣學院)，參加人數約為兩千多人。而正常佈建的三個縣市分別為桃園市、

高雄市、台北市，部署的 10 家機構為桃園市立內壢國中、國立臺灣師範大學進修推廣學院、國立臺灣師範大學資訊工程學系系館、國立臺灣師範大學林口校區、高雄市立民生醫院、獎卿護理展望基金會護理之家、高雄佳醫護理之家、聖功醫院、聖功醫院附設護理之家、高雄市立民生醫院附設護理之家、新立護理之家。

四、 討論

1. 資料即時校正

基於主板穩定性的需求，在新版本的空氣盒子我們改為採用樹梅派 3 B+，除了穩定性較高之外，樹梅派也包含 Wi-Fi 模組，在 SIGFOX 或是 NB-IoT 收訊不好時可用來傳輸資料。但是樹梅派在做高運算時溫度較高，因此溫度感測器所偵測到的資料並非真正的室溫。除此之外，感測器故障和老化都會導致測量的數據可能有錯誤。因此我們在明年計畫中，資料即時校正會是一個研究項目。

2. 室內空氣品質預測模型

目前對於室內空氣的模型都是未知的狀態，因此室內環境空氣品質數據是由感測器即時提供或是只能由機構內的護理人員口述以及場地勘察時感受得知。當我們收集大量的感測數據後，相關數據的分析和室內空氣品質預測模型會是一個重要的研究項目。希望未來能夠提前預測空氣品質，以利於遠端物聯網設備控制相關的設備。

3. 智慧遠端物聯網設備控制

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。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，我們的遠端物聯網控制設，我們的遠端物聯網控制設備利用紅外線發射器發送紅外線訊號去啟動現有的空調系統。但是並不是所有設備都能利用紅外線訊號來做相關的控制，因此要如何在不侵入現有的設備電源來達到設備控制，將會是我們在明年計劃中要克服的項目。

4. 室內感測器資料分析

在身障學生升學考試緊急佈建及場域實測中，301 和 302 兩間教室考場的 CO₂ 濃度變化的比較，同樣在 3 樓兩間面對面的教室，但人數不同，分別為 22 人和 8 人。301 的座位是 U 型會議室，302 則是一般教室。因為在對面，兩間教室的 pattern 有類似的變化。但由於人數不同，302 教室的 CO₂ 濃度之外，大多的時間濃度都較 301 教室的濃度低。在 302 教室的 CO₂ 濃度升高後，我們的系統立即以 LINE 的方式通知試場人員開窗和風扇讓考場空氣流通，302 教室的 CO₂ 濃度也立刻下降。

另外 S002 和 306 兩間教室考場的 CO₂ 濃度變化上，由於兩間教室有相同人數的考生，但位於不同樓層，S002 教室位於地下室，306 教室位於 3 樓。從 CO₂ 濃度可以看出 S002 教室位於地下室的環境，CO₂ 濃度較 3 樓的 306 教室要來的高。因為地下室的環境較為不通風，因此可以看到在不同樓層的 CO₂ 濃度 pattern 不一樣。用 CO₂ 濃度變化的數據，我們用數據來幫助考場的規化上，要考量不同區域通風的狀況和避免通風不良的區域。

在桃園市立內壢國中的資料中，利用空氣感測裝置所偵測到的環境資訊預測室內人數，將不同特徵值的資料利用機器學習其中的支援向量機(Support Vector Machine, SVM)模型中做訓練，在只用二氧化碳做預測的情況下，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，之後可以利用人數預測與通風率的結合，及時評估室內通風狀況。

進修推廣學院在 8 月份各個教室都有課程或是其他活動的使用，校方也提供給我們八月份各教室使用人數，相較於內壢國中，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，這

裡同樣使用 SVM 預測教室內人數，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。之後會再針對這項差異做更多比較分析，也會透過與通風率的結合，及時評估室內通風狀況。

五、 結論與建議

在第二年的計畫中，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 年於 10 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. 室內空氣品質預測模型

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。明年也預計對另外 10 間照護機構進行佈建，當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. 室內感測器和智慧遠端控制佈建評估

因室內空氣預測模型尚未建立完成，在建置數據分析的資料尚未足夠，以懷哲復康之家為例，A 棟的空氣流通效果較差，雖然已加裝通風設施，但 A 棟的空氣流動較差。而 B 棟空氣流通狀況較好。由資料收集和機構觀察的狀況，我們能夠更準確的佈建感測器的位置和數量已建立更準的空氣預測模型。利用量測之數據做科學化的分析，未來如果碰到空氣流通較不好的照護機構，也會以此模型作為建制室內通風設備之評估依據。

3. 室內環境環境消毒感測器評估

因應最近新冠病毒疫情影響，環境也常有消毒的需求。在環境消毒上，除了使用酒精消毒外，漂白水（氯酸鈉）是另一種常用的消毒劑。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。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。

4. 室內背景聲音感測

因實驗場域皆為照護機構，除了空氣品質的感測外，希望有背景聲音的監測，以增加醫護人員對機構室內環境和狀況的了解，團隊目前也針對背景聲音的需求，正在對室內環境感測器做進一步的討論及研究。

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

109 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：MOHW109-CDC-C-114-123601

1.計畫之新發現或新發明

在第二年的計畫中，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 年於 10 家人口密集機構或醫院部署的裝置，並繼續在 109 年度擴大布建於 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] CO₂ sensor SenseAir S8 <http://senseair.senseair.com/products/oem-modules/senseair-s8/>
- [2] Coefficient of Variation https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_variation
- [3] G3 PM2.5 Sensor <http://www.plantower.com/content/?94.html>
- [4] 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/>
- [5] Itra-Model Variability https://airsensortest.blogspot.com/p/blog-page_12.html?fbclid=IwAR2fti5-_zbhXvhhenqbQm8Bxod3G5WP-QII28Kbo35k1EqOjAwzQHPCZ-0
- [6] Long Range (LoRa) Network <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>
- [7] Low-Power Wide-Area Network (LPWAN)
<https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
- [8] Narrowband Internet of Things (NB-IoT)
https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT
- [9] 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
- [10] Sigfox Technology Overview <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>
- [11] Sigfox 訊號覆蓋範圍
https://www.sigfox.com/en/coverage?fbclid=IwAR1KmXPkneBV2O9XpOktb147P_K9dsYSbm3uYmvmYVwMeGSWn1M1f-6PbGk
- [12] SGS Taiwan - Industrial Calibration & Measurement Lab
<https://www.sgs.com.tw/zh-tw/our-company/about-sgs/sgs-in-brief/sgs-in-taiwan>
- [13] SGP30- TVOC Sensor
https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/26123

[14] SHT31- Humidity and Temperature sensor

https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/23677

[15] TCS34725 - RGB Color Sensor

https://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/15749

[16] WSSFM10R4 <https://partners.sigfox.com/products/sfm10r2>

八、圖次

圖 1	雲端平台示意圖	P.10
圖 2	新版空氣盒子資料網站	P.11
圖 3	網站選單列	P.12
圖 4	網頁上的安養院平面圖	P.12
圖 5	空氣盒子儀表板	P.12
圖 6	LineBot 資料庫結構	P.13
圖 7	聊天機器人 LineBot 查詢介面	P.14
圖 8	聊天機器人 LineBot 訂閱介面	P.15
圖 9	智慧遠端物聯網設備	P.17
圖 10	智慧遠端控制流程圖	P.17
圖 11	教育部潘文忠部長視察考場	P.19
圖 12	臺師大教育學院大樓試場	P.20
圖 13	臺師大博愛大樓試場	P.21
圖 14	臺師大進修推廣學院大樓試場	P.21
圖 15	身障生考試大學組考試時間分布	P.22
圖 16	臺師大進推 308 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.22
圖 17	臺師大進推 309 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.23
圖 18	臺師大進推 301 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.23
圖 19	臺師大進推 302 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.24
圖 20	臺師大進推 S002 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.24
圖 21	臺師大進推 306 教室考場的 CO ₂ 濃度變化	P.25
圖 22	臺師大進推 1 樓講堂休息區的 CO ₂ 濃度變化	P.25
圖 23	桃園市內壢國中平面圖及感測裝置設置位置	P.27
圖 24	內壢國中 F02 教室	P.27
圖 25	內壢國中 A11 教室	P.27
圖 26	內壢國中活動中心(體育館)	P.28
圖 27	內壢國中佈建照片	P.28
圖 28	臺師大進修推廣學院 1F 平面圖及相對應位置	P.29
圖 29	臺師大進修推廣學院 2F 平面圖及相對應位置	P.29
圖 30	臺師大進修推廣學院 3F 平面圖及相對應位置	P.30
圖 31	臺師大進修推廣學院 11F 平面圖及相對應位置	P.30
圖 32	臺師大進修推廣學院演講廳	P.30

圖 33	臺師大進修推廣學院 306 教室	P.30
圖 34	臺師大進修推廣學院 1102 教室	P.31
圖 35	臺師大進修推廣學院韻律教室	P.31
圖 36	臺師大公館校區平面圖	P.32
圖 37	臺師大公館校區空氣品質監測器位置分佈圖	P.33
圖 38	臺師大公館校區 B101 教室佈建位置	P.33
圖 39	臺師大公館校區 C203 教室佈建位置	P.33
圖 40	臺師大林口校區空氣品質監測器位置分佈圖	P.34
圖 41	臺師大林口校區階梯教佈建位置	P.35
圖 42	臺師大林口校區 B213 教室佈建位置	P.35
圖 43	獎卿護理之家 2F 空氣品質監測器位置分布圖	P.36
圖 44	獎卿護理之家 6F 空氣品質監測器位置分布圖	P.36
圖 45	獎卿護理之家 2B 病房佈建位置	P.37
圖 46	獎卿護理之家公共區域佈建位置	P.37
圖 47	獎卿護理之家 6B 病房佈建位置	P.37
圖 48	佳醫護理之家 3F 空氣品質監測器位置分布圖	P.38
圖 49	佳醫護理之家 312 病房佈建位置	P.39
圖 50	佳醫護理之家公共區域佈建位置	P.39
圖 51	佳醫護理之家大門口	P.39
圖 52	民生醫院附設護理之家 4F 平面圖及相對應位置	P.40
圖 53	民生醫院附設護理之家公共區域	P.41
圖 54	民生醫院附設護理之家護理站	P.41
圖 55	民生醫院附設護理之家 405 病房	P.41
圖 56	民生醫院附設護理之家清潔消毒室	P.41
圖 57	聖功醫院附設護理之家 3F 平面圖及相對應位置	P.42
圖 58	聖功醫院附設護理之家 3F 氣切區平面圖及相對應位置	P.43
圖 59	聖功醫院附設護理之家 4F 平面圖及相對應位置(A)	P.43
圖 60	聖功醫院附設護理之家 4F 平面圖及相對應位置(B)	P.44
圖 61	聖功醫院附設護理之家 3F 一般病房	P.44
圖 62	聖功醫院附設護理之家氣切區	P.44
圖 63	聖功醫院附設護理之家 4F 一般病房	P.45
圖 64	聖功醫院附設護理之家 4F 公共區域	P.45
圖 65	聖功醫院手術室及相對應位置	P.46
圖 66	聖功醫院中醫診療室及相對應位置	P.47

圖 67	聖功醫院呼吸照護病房及相對應位置	P.47
圖 68	聖功醫院辦公室及相對應位置	P.48
圖 69	聖功醫院中醫診療室	P.48
圖 70	聖功醫院呼吸照護病房	P.48
圖 71	聖功醫院手術室	P.49
圖 72	新立護理之家 12F 平面圖及相對應位置	P.50
圖 73	新立護理之家公共區域	P.50
圖 74	新立護理之家氣切病房	P.50
圖 75	新立護理之家一般病房	P.50
圖 76	連續 24 小時感測二氧化碳數值	P.52
圖 77	二氧化碳數值一致性比較	P.52
圖 78	連續 24 小時感測 TVOC 數值	P.53
圖 79	TVOC 數值一致性比較	P.53
圖 80	TVOC 感測器測試數據	P.54
圖 81	漂白水測試狀況	P.54
圖 82	連續 24 小時感測溫度數值	P.55
圖 83	溫度數值一致性比較	P.56
圖 84	連續 24 小時感測濕度數值	P.56
圖 85	濕度數值一致性比較	P.56
圖 86	連續 24 小時感測 PM1.0 數值	P.57
圖 87	PM1.0 數值一致性比較	P.57
圖 88	連續 24 小時感測 PM2.5 數值	P.58
圖 89	PM2.5 數值一致性比較	P.58
圖 90	連續 24 小時感測 PM10 數值	P.58
圖 91	PM10 數值一致性比較	P.59
圖 92	連續 24 小時感測亮度數值	P.59
圖 93	亮度數值一致性比較	P.60

九、 表次

表 1	109 年度計畫完成/執行工作項目	P.6
表 2	空氣盒子三個版本的零件型號及價格比較	P.8
表 3	Line 推播訊息費用比較表	P.15
表 4	感測裝置安裝、場測機構和數量	P.18
表 5	試場與人數分布表	P.20

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)	\$1,115,457	<p>目前支出：\$ 708,764</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. NB-IoT 門號 ($\\$35 * 10(\text{月}) * 120(\text{台}) = \\$42,000$) 2. 空氣品質感測器 (MediaTek Smart 7688 開發版、MediaTek Smart 7688 擴充版 2.0、二氧化碳感測器、時鐘模塊、顏色感測器、三合一傳感器模塊、SD 卡、G3 感測器 WISOLSIGFOX RCZ4 模組(量產模組)、NB-IoT 傳輸模組(含天線)、USB 轉接器)等 = \$666,764 <p>預計支出：\$ 406,693</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. NB-IoT 門號 ($\\$35 * 2(\text{月}) * 120(\text{台}) = \\$8,400$) 2. 空氣品質感測器 (MediaTek Smart 7688 開發版、MediaTek Smart 7688 擴充版 2.0、二氧化碳感測器、時鐘模塊、顏色感測器、三合一傳感器模塊、SD 卡、G3 感測器 WISOL SIGFOX RCZ4 模組(量產模組)、NB-IoT 傳輸模組(含天線)、USB 轉接器)等 = \$350,000 3. 文具用品及雜支=\$48,293
人事費	\$536,000	<p>目前支出：\$436,000</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1 - 10 月份計畫主持人費用 ($\\$10,000 * 10$ 個月 = \$100,000) 2. 1 - 8 月份 兼任研究助理薪資($\\$8,000 * 8(\text{月}) * 4(\text{人}) = \\$256,000$) 3. 9 - 10 月份兼任研究助理薪資($\\$10,000 * 2(\text{月}) * 4(\text{人}) = \\$80,000$)

		預計支出：\$ 100,000 1. 11 - 12 月份計畫主持人費用 ($\$10,000 * 2 = \$20,000$) 2. 11 - 12 月份兼任研究助理薪資($\$10,000 * 2(\text{月}) * 4(\text{人}) = \$80,000$)
--	--	---