

計畫編號：MOHW107-CDC-C-114-114701

衛生福利部疾病管制署 107 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

## 107 年度全程研究報告

執行機構：中央研究院

計畫主持人：陳伶志

研究人員：陳伶志、荊輔翔、黃立邦、吳東逸、劉乃慈

執行期間：107 年 5 月 1 日至 107 年 12 月 31 日

研究經費：新臺幣 195 萬元整

## 目 錄

摘 要	P. 5
Abstract	P. 6
本 文	P. 7
一、    前 言	P. 7
二、    材料與方法	P. 8
A. 室內環境品質感測器原型設計	P. 8
B. LPWAN (Sigfox) 量產模組測試	P. 17
C. 雲端分析平台建置	P. 19
D. 場域規劃與實驗	P. 20
三、    結 果	P. 24
四、    討 論	P. 25
五、    結論與建議	P. 26
六、    參考資料	P. 27
經費支用情形	P. 29
審查回覆	P. 29
重要研究成果及具體建議	P. 33
附 錄	P. 34

## 圖 次

圖1.	PM2.5 感測器比較表	P. 10
圖2.	Sharp-D 與 G3 實驗結果曲線圖	P. 10
圖3.	10 台 G3 PM2.5 量測數值一致性比較	P. 11
圖4.	BME280 溫度一致性比較	P. 13
圖5.	BME280 濕度一致性比較	P. 13
圖6.	BME280 氣壓一致性比較	P. 14
圖7.	電路設計圖	P. 15
圖8.	室內空氣品質感測器正面	P. 16
圖9.	室內空氣品質感測器剖面	P. 17
圖10.	Sigfox 量產模組	P. 17
圖11.	SFM10R4 晶片	P. 17
圖12.	Sigfox 訊號覆蓋範圍	P. 18
圖13.	桃園市立圖書館龍潭分館	P. 18
圖14.	桃園市立圖書館龍潭分館實測路徑示意圖	P. 18
圖15.	板橋高中	P. 18
圖16.	板橋高中實測路徑示意圖	P. 18
圖17.	承康護理之家	P. 18
圖18.	承康護理之家實測路徑示意圖	P. 18
圖19.	衛福部基隆醫院護理之家	P. 19
圖20.	衛福部基隆醫院護理之家實測路徑示意圖	P. 19
圖21.	雲端平台示意圖	P. 19
圖22.	感測器狀態圖	P. 20
圖23.	客製化儀表板	P. 20
圖24.	基隆護理之家 2 樓平面圖	P. 21
圖25.	基隆護理之家 3 樓平面圖	P. 21
圖26.	基隆護理之家房間的可用插座	P. 21
圖27.	承康護理之家平面圖	P. 22
圖28.	承康護理之家可用插座	P. 22

圖29.	恆安 1 樓平面圖	P. 22
圖30.	恆安 2 樓平面圖	P. 22
圖31.	恆安 3 樓平面圖	P. 23
圖32.	恆安 5 樓平面圖	P. 23
圖33.	恆安 B1 樓平面圖	P. 23
圖34.	恆安公共區域	P. 23
圖35.	聖諾瑟 1 樓日間病房	P. 23
圖36.	聖諾瑟 2 樓平面圖	P. 23
圖37.	11 台 SenseAir S8 連續 24 小時感測二氧化碳數值	P. 12
圖38.	SenseAir S8 一致性比較	P. 12

## 表 次

表1.	計畫時程表	P. 7
表2.	PM2.5 感測器比較表	P. 9
表3.	SenseAir S8 準確度檢驗結果	P. 12
表4.	LinkIt Smart 7688 與他國產物聯網開發板之比較	P. 15

## 摘要

疫情監測為流感與呼吸道傳染病防治的重要項目，而室內空氣品質測量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，我們將從室內空氣感測的觀點切入，開發微型的室內空氣感測裝置，並且透過有策略的室內佈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；

## Abstract

Infection monitoring 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 infection monitoring 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 interface and Chabot applications to interact with users and ensure the successful delivery of infection control information. Finally, we will work closely with 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 infection monitoring, as well as make a concrete plan for large-scale deployment in the future.

### Key Words:

Indoor air quality; low-cost sensors; Internet of Things; cloud platform; infection monitoring;

# 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中央研究院的委託研究計畫。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。

	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月
室內空氣品質感測器原型設計								
LPWAN (Sigfox)測試								
雲端分析平台建置								
感測裝置安裝與場測								
撰寫計畫成果報告								

表 1：計畫時程表



## 二、 材料與方法

### A. 室內環境品質感測器原型設計

本計畫預定建立之室內環境監測系統，其感測的成功與否，建立在感測器的正常運作之基礎上，感測資料的準確性、各感測器間的一致性皆會影響室內環境監測系統的運作；其次，為感測資料之處理以及傳輸，由於實驗場域為照護機構為主，傳輸訊號及電源使用量需要謹慎考慮；最後，為考量安裝的便利性以及不影響實驗場域原本的作息，中研院團隊在設計室內環境品質感測器時，以輕巧而簡便為終極目標。

#### i. 設計考量

1. 採用 LinkIt Smart 7688[1]作為主處理器，並加上具乙太網路孔的擴充板，用以解決 Sigfox 網路不穩造成資料流失的問題。
2. 以快速部署為目標，強化模組化程式，不會因環境及感測項目不同降低部屬的速度。
3. 遠端系統更新，在具有網路連線的狀態下，裝置可以自行透過網路更新系統，確保執行的程式都在最新的版本，達到 OTA (Over-the-Air)更新的功能。
4. 新增小型 OLED 螢幕，顯示資訊包含裝置名稱、時間、日期、感測數值及網路連線狀態等，方便安裝人員檢查設備是否正確安裝以及感測器狀態是否正常。
5. 新增 RTC 時鐘模組 Real-Time Clock[2]，確保系統時間正確，使感測器在沒有網路連線的狀態下也能保有正確的時間序列資料紀錄。
6. 增加 microSD 卡插槽，確保感測器運作在網路不穩的環境時，感測資料也能被完整記錄下來，即使在沒有網路的環境下也能儲存資料，減少網路環境不穩而造成的資料遺失

ii. PM2.5 感測器選擇

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。

Sensor	Sharp-G	PPD	Sharp-D	G3
Manufacturer	Sharp	Shinyei	Sharp	Plantower
Model	GP2Y1010	PPD42NS	DN7C3CA006	PMS3003
Detectable particle size	<100 $\mu\text{m}$	>1 $\mu\text{m}$ & >2.5 $\mu\text{m}$	<2.5 $\mu\text{m}$	<1 $\mu\text{m}$ & <2.5 $\mu\text{m}$ & <10 $\mu\text{m}$
Detectable particle type	TSP	dust	PM2.5	PM1, PM2.5, PM10
Operating temperature	-10-65 °C	0-45 °C	-10-65 °C	-20-50 °C
Operating humidity	0-99%	0-95%	10-90%	0-99%
Technique	Infrared dispersion	Infrared dispersion	Infrared dispersion	Laser light dispersion
Cost (USD)	~\$6	~\$6	~\$25	~\$28

表 2：PM2.5 感測器比較表

表 1 中列出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[3]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；PPD[4]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[5]和

G3[6]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，因此本計畫在先期研究中，已利用 Sharp-D 與 G3 做詳細的實驗比較。首先我們比對 Sharp-D 與 G3 在實驗室中的精準度，實驗室保持開窗與空氣流通並禁止人員走動，在實驗室內並排放置 Sharp-D 與 G3 進行長達 22 小時的實驗，如下圖 1。

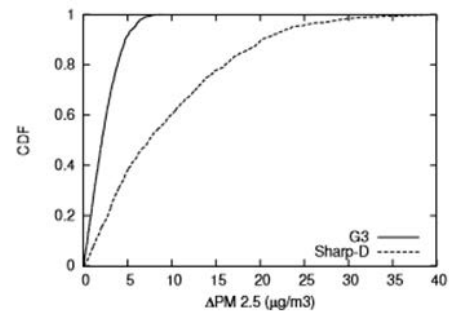
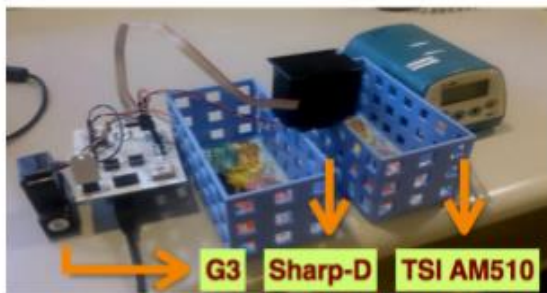


圖 1：並排放置 G3、Sharp-D、TSI AM510 感測器進行實驗

我們透過圖 2 比較 Sharp-D 與 G3 在實驗中累積分配函數的精準度。結果顯示 G3 的表現明顯優於 Sharp-D，以 80% 誤差而言，Sharp-D 的測量誤差低於  $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，然而 G3 的測量誤差則是低於  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。根據上述的結果，我們進一步探究多個 G3 感測器在感測資料上的一致性。我們將 10 台 G3 感測器分別放在台北市中心和雲林縣六輕工廠旁的民宅，各進行 36 小時的實驗。實驗的結果以每 5 分鐘統計一次的方式，算

出其變異係數<sup>1</sup>(Coefficient of Variation, CV)[19]，再將其 5 分鐘的所有量測平均值，依照不同的實驗地點，用不同顏色繪製在圖 3 上。透過圖 3 的顯示，我們可以發現雲林縣的 PM2.5 明顯高於台北市，而且，在所有實驗案例內的 CV 值皆小於 0.4，代表這 10 台 G3 感測器在同樣時間同樣地點所感測的資料分長接近，具備極高的一致性，由此推論出 G3 感測器的表現是精準且穩定的，因此 G3 感測器適用於細懸浮微粒感測。更詳細的驗證及比較可以參考[15]。

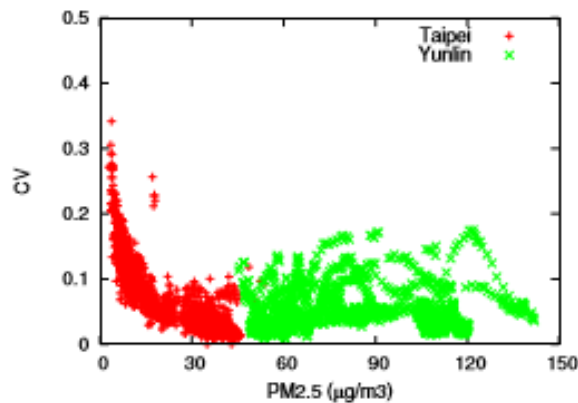


圖 3：10 台 G3 PM2.5 量測數值一致性比較

### iii. 二氧化碳感測器選擇

本計畫採用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[16]作為二氧化碳感測器，為了驗證此感測器的準確度及各感測器間的一致性，在準確度方面，我們將同樣使用此 SenseAir S8 的 Aecl AQD-100 空氣品質顯示板[17]送至國家度量衡標準實驗室[18]進行檢驗，檢驗結果如下表 2，檢驗報告詳如附錄；一致性方面，中研院團隊使用 11 台 SenseAir S8 作了連續 24 小時的一致性比較，比較結果如下圖 37、圖 38，變異係數(Coefficient of Variation, CV)都低於 0.06，另外其模組內變異性<sup>2</sup>(Intra-Model Variability, IMV)[20]為 3.245%，由此實驗的結果，我們可得知各 SenseAir S8 的一致性表現非常好，適用於室內環境感測。

<sup>1</sup> Coefficient of Variation =  $\frac{\sigma}{\mu}$  ( $\sigma$ : standard deviation,  $\mu$ : mean)

<sup>2</sup> I. M. V. =  $\frac{\mu_{highest} - \mu_{lowest}}{\mu_{average}} \times 100\%$  ( $\mu$ : mean)

CO <sub>2</sub> 標準氣體濃度值 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	面板顯示值 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	器差值 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	擴充不確定度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	涵蓋因子
399	393	-6	6	2.02
699	682	-17	8	2.20
995	971	-24	27	2.00
1495	1452	-43	28	2.00
1995	1960	-35	31	2.02

表 3：SenseAir S8 準確度檢驗結果

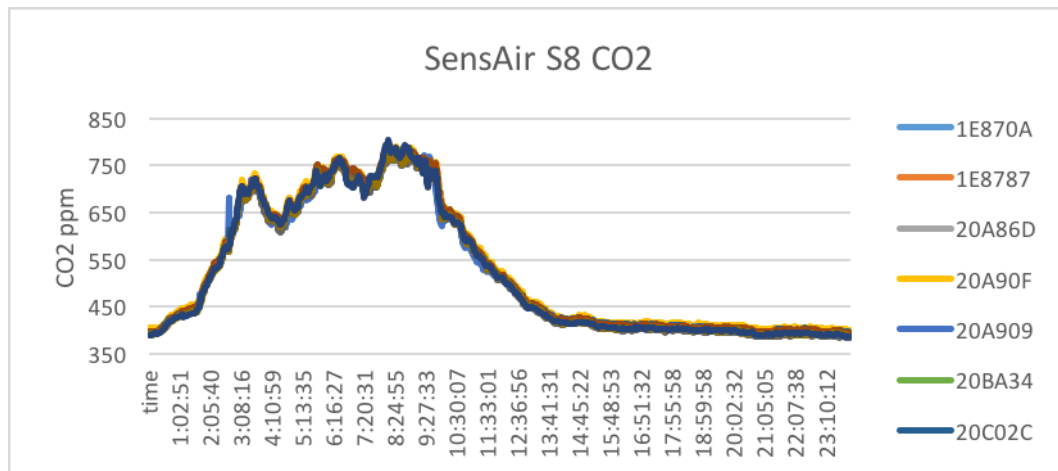


圖 37：11 台 SenseAir S8 連續 24 小時感測二氧化碳數值

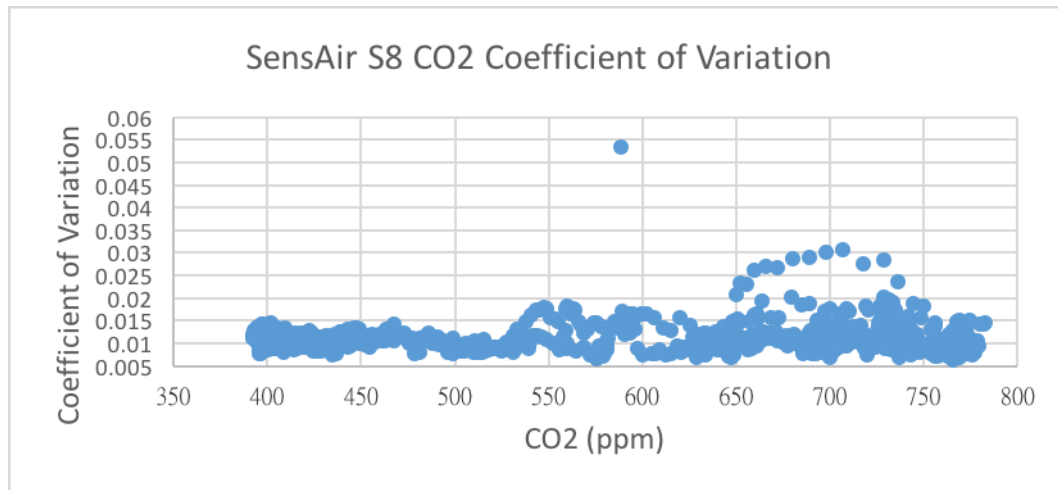


圖 38：SenseAir S8 一致性比較

iv. 溫度及氣壓感測器選擇

此計畫中採用 BME280[7]感測模組，為了驗證每個 BME280 感測晶片量測資料皆保有一致性，我們設計了一系

列的實驗，此實驗使用 10 台 BME280 感測模組進行，分別在不同的時間，同一個環境紀錄其感測的溫度、濕度及壓力資訊，如下圖 4、圖 5 及圖 6 分別為溫度、濕度、氣壓的一致性比較圖，橫軸是溫度、濕度、氣壓值，而縱軸是變異係數 (Coefficient of Variation, CV)，當 CV 值小於 1 時，代表不同裝置所量測的數值之間差異性很小，由下圖 4、圖 5 及圖 6 可看出 BME280 的溫度變異係數 CV 值皆低於 0.04，而濕度的 CV 值皆低於 0.02、氣壓皆低於 0.00055，由此實驗的結果，我們可得知各 BME280 感測晶片的一致性表現非常好，適用於室內環境感測。

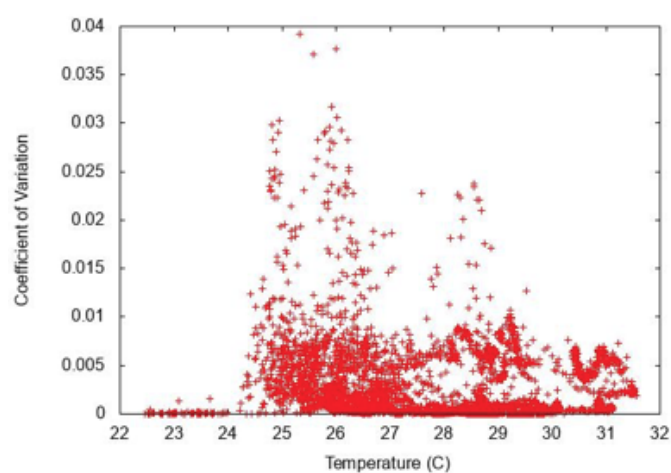


圖 4：BME280 溫度一致性比較

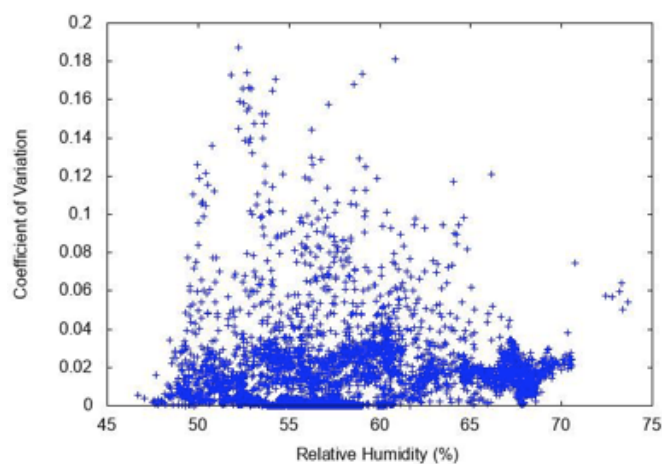


圖 5：BME280 濕度一致性比較

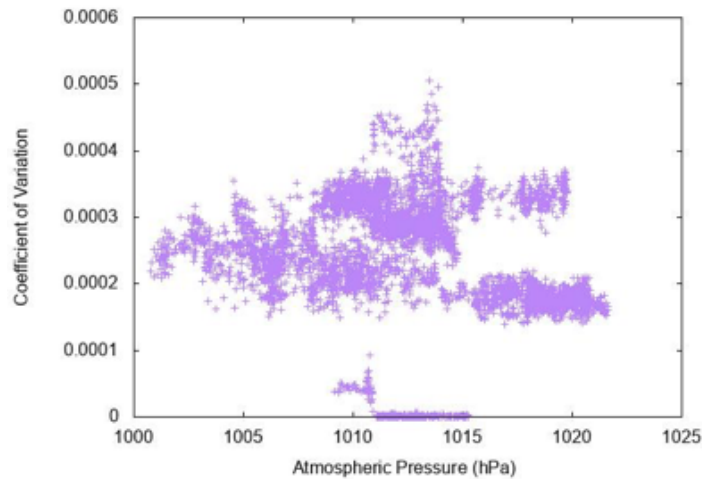


圖 6：BME280 氣壓一致性比較

#### V. 處理器選擇

表3為國產處理器之比較表，我們選用LinkIt Smart7688開發板進行本次專案的系統開發，其主要原因有三：

1. LinkIt Smart 7688為國內企業聯發科技公司所開發製造之開發板，對於各項技術支援在台灣占有地利之便，同時使用LinkIt Smart 7688可兼顧支持國內相關科技產業之發展。
2. 相較於市面上其他國產物聯網開發板，如Ameba RTL8195[8]，LinkIt Smart 7688具備高時脈的運算處理能力，並具備較多的記憶體與儲存空間，更重要的是，其有內建 SD 卡的儲存能力，以及Linux作業系統的支援，具備更優異的運算能力，而且可支援更彈性的使用情境。
3. LinkIt Smart 7688可搭配原廠的擴充卡，支援有線網路的連線設定，以及音源輸入與輸出的功能，具備極高的可擴充性。





## vii. 系統雛形

根據以上的系統評估與規劃，我們在本計畫中以開發簡易的系統模型，以及初步的外殼設計，完成的雛型系統如下圖 8、圖 9 所示。室內空氣品質感測器的 Light Sensor 擺放角度為 45 度，增加垂直擺放室內空氣品質感測器的進光量，可以感測室內光照是否足夠；我們的設計將 G3 PM2.5 感測器風扇的擺放位置朝下，除了可吸入新鮮空氣增加感測空氣的品質外，亦有散熱的功能，可幫助感測器排放多餘的熱能，防止室內空氣品質感測器蓄熱，強化空氣品質感測器運作的效能；在室內空氣品質感測器上加裝 OLED 螢幕，有助於安裝及巡檢人員檢視感測器是否處於正常運作之狀態，並增加感測器檢查的速度及便利性；另外增加 microSD 卡的支援，將空氣品質感測器的感測資料皆保存在本地的 microSD 卡內，以防止網路斷線或是訊號不穩所造成的資料遺失，以確保感測到的寶貴資料的完整性及可用性；室內空氣品質感測器正面部分的 Logo 示意圖可依要求做變更。

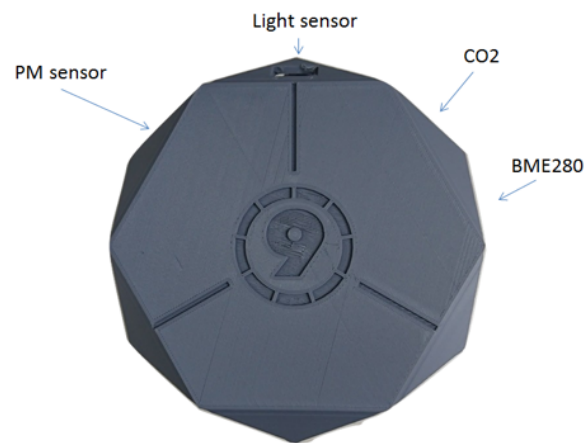


圖8：室內空氣品質感測器正面

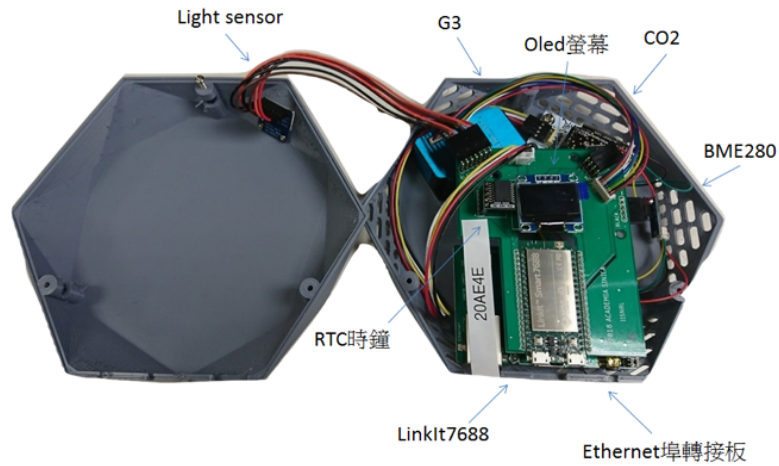


圖9：室內空氣品質感測器剖面

### B. LPWAN (Sigfox) 量產模組測試

LPWAN Sigfox 量產模組的開發板的主要晶片為 Sigfox WSSFM10R4[9]，如下圖 10、11，Sigfox 全台訊號覆蓋範圍如圖 12，中研院團隊分別在桃園市立圖書館龍潭分館（桃園市龍潭區中正路 210 號）、新北市板橋高中（新北市板橋區文化路一段 25 號）、新北市土城區承康護理之家[10]以及衛福部基隆醫院護理之家[11]附近之 Sigfox 站點做訊號測試，訊號測試路徑如下圖 13~圖 20，測試結果皆可以正確收到資料，也能將資料上傳。

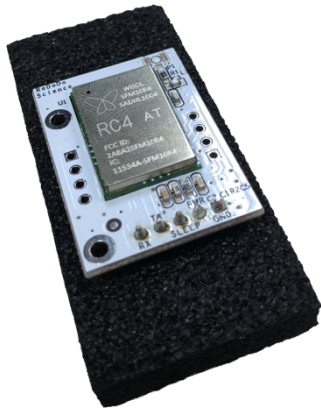


圖 10：Sigfox 量產模組



圖 11：SFM10R4 晶片

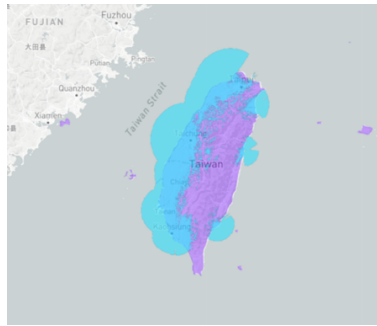


圖 12：Sigfox 訊號覆蓋範圍[12]



圖 13：桃園市立圖書館龍潭分館

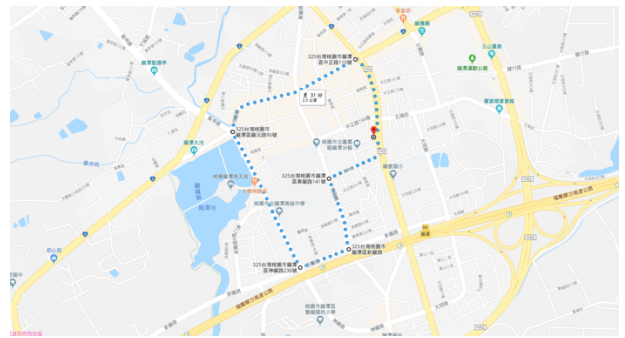


圖 14：桃園市立圖書館龍潭分館實測路徑示意圖

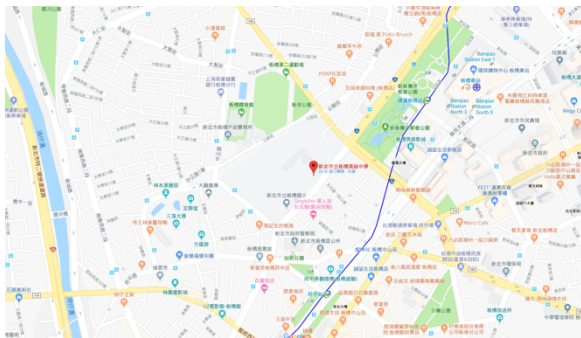


圖 15：板橋高中

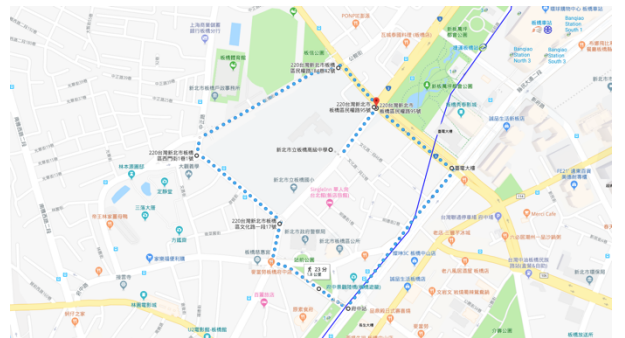


圖 16：板橋高中實測路徑示意圖



圖 17：承康護理之家

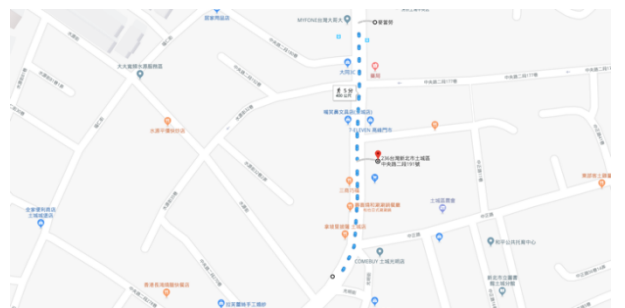


圖 18：承康護理之家實測路徑示意圖



圖 19：衛福部基隆醫院護理之家



圖 20：衛福部基隆醫院護理之家實測路徑示意圖

### C. 雲端分析平台建置

#### i. 沿用既有系統：

沿用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 21。

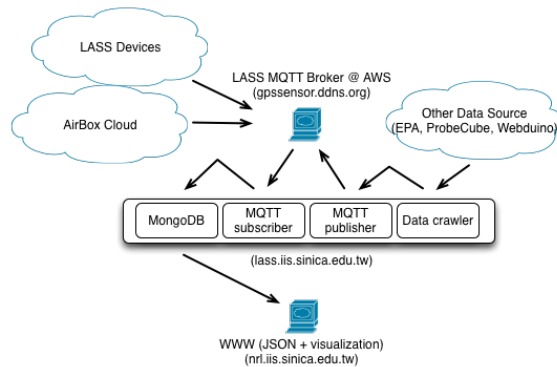


圖 21：雲端平台示意圖

#### ii. 開闢本計畫專區

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以及客製化儀表板，如下圖 22、23。

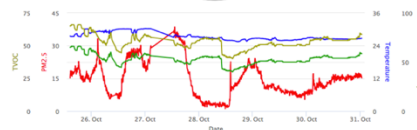
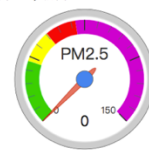
City: TEST  
 Number of AirBox deployed: 10  
 Number of AirBox alive: 0 (0%)  
 Last update (UTC time): 2018-11-01T06:06:37Z

Site	Site ID	Data Lastest One	Data Last 7 Days	Temperature	Humidity	PM2.5	CO2/CO2e	uptime	App Version	Last seen	Last GPS
1	TEST_10	9C65F920BA2C	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
2	TEST_09	9C65F920A4D3	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
3	TEST_08	9C65F920B165	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
4	TEST_07	9C65F920B132	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
5	TEST_06	9C65F91EA400	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
6	TEST_05	9C65F920AEBE	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
7	TEST_04	9C65F920C0B6	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
8	TEST_03	9C65F91EB17A	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
9	TEST_02	9C65F91EA43C	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
10	TEST_01	9C65F91EB7B1	[JSON] [CSV]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

圖 22：感測器狀態圖

LASS PM2.5 即時資訊

時間：  
 地點：  
 溫度：°C; 濕度：%



註：以上量測結果仍屬實驗階段，其正確性與代表性僅供參考，正確資料仍以環保署公佈為主。  
 Powered by LASS & IS-NRL

圖 23：客製化儀表板

## D. 實驗場域規劃

### i. 6月6日與疾管署聯合會議討論下列事項

1. 開發進度回報
2. 感測器使用條件確認
  - 甲、 額定工作溫度
  - 乙、 額定工作電壓
  - 丙、 網路通訊條件
3. 選擇恆安老人長期照顧中心[13]為實驗場域

恆安老人長期照顧中心為長照機構中極為注重公共衛生的長照機構，此外，因恆安集團擁有多個長照中心，選擇恆安長照中心作為實驗場域有助於未來增加佈建感測器的場域；恆安長照中心亦為高品質的老人長期照護中心，空氣品質與傳染病防治為恆安長期關注之議題。

### ii. 9月11日與疾管署、衛福部及野村顧問公司聯合會議討論下列事項

1. 感測器使用條件報告
2. 使用衛福部基隆醫院護理之家為實驗場域

衛福部基隆醫院護理之家為衛福部基隆醫院附設之護理之家，其提供住民專業之身體評估與照護以及安全與舒適的住家環境，換氣系統為中央系統氧氣及抽吸裝置，還有可調控溫度的空調設備，在衛福部基

隆醫院護理之家佈建室內環境感測監控系統，除了可量測室內環境變化，亦可利用護理之家的換氣系統測試感測系統之靈敏度。

iii. 基隆醫院護理之家場地勘察

中研院團隊與疾管署團隊於9月26日與10月25日在基隆醫院護理之家進行場地勘察、Sigfox訊號測試，基隆醫院護理之家總共有兩層樓（2樓及3樓），病房區及活動區皆有窗戶，平時每間房間皆為敞開狀態，此次場勘中研院團隊和疾管署團隊除了針對每一層樓之房間的通風狀況進行評估，也和護理人員討論感測器之使用條件、狀況及線路部署，基隆醫院護理之家平面圖及可用插座如圖24~26。



圖 24：基隆護理之家 2 樓平面圖 圖 25：基隆護理之家 3 樓平面圖



圖 26：基隆護理之家房間的可用插座

iv. 承康護理之家場地勘察

中研院團隊與疾管署團隊於9月27日在承康護理之家進行場地勘察、Sigfox訊號測試，承康護理之家為一個大平面樓層，總共有三個活動空間，平時病患都在活動空間活動，病房房門也都是敞開的狀態，此次場勘中研院團隊和疾管署團

隊和蔡督導及護理長本計劃之目的，並解說室內環境品質感測器的用途及使用方法，同時也針對每一間房間的通風狀況進行評估，最後和護理長討論感測器之使用條件、狀況及線路部署，承康護理之家的明面圖及可用插座如圖 27、28。

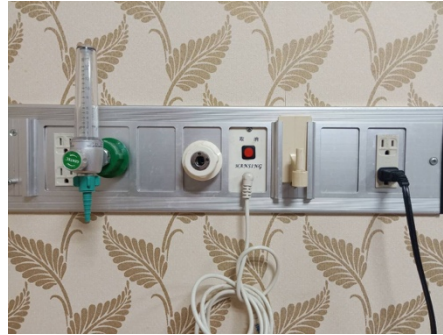
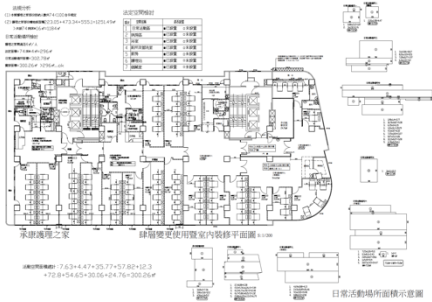


圖 27：承康護理之家平面圖

圖 28：承康護理之家可用插座

#### v. 恆安老人養護中心場地勘察

疾管署團隊於10月26日在恆安老人養護中心進行場地勘察，恆安老人養護中心共有B1、1、2、3及5樓，B1為復健區，其餘四個樓層為病房和共同活動區域，病房平時都是敞開狀態，並與公共活動區域有窗戶相通，如圖29~34。

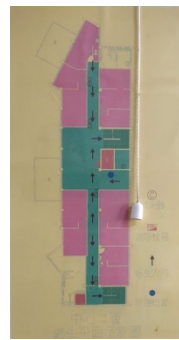


圖 29：恆安 1 樓平面圖

圖 30：恆安 2 樓平面圖

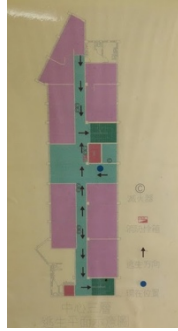


圖 31：恆安 3 樓平面圖



圖 32：恆安 5 樓平面圖



圖 33：恆安 B1 樓平面圖



圖 34：恆安公共區域

vi. 聖諾瑟失智老人養護中心[14]場地勘察

疾管署團隊於10月26日在聖諾瑟失智老人養護中心進行場地勘察，聖諾瑟失智老人養護中心共有三層樓，一樓為日間病房，二、三樓為住院，如圖。聖諾瑟的病人多數都是可以自己走動，但感測裝置的擺設位置，可能不能在目視的高度，因為這些失智老人會非常好奇去玩感測裝置，另外，聖諾瑟也對聲音的感測非常有興趣，因為失智老人對聲音非常敏感，會影響情緒穩定。



圖 35：聖諾瑟 1 樓日間病房



圖 36：聖諾瑟 2 樓平面圖



vii. 承康護理之家空品感測器佈建

中研院團隊預計於11月26日在承康護理之家進行室內環境感測器之佈建，承康護理之家共有20間病房，5個日常活動區域，此次佈建會在以上25個空間安裝室內環境感測裝置，並使用Sigfox作為通訊方式。

### 三、 結果

#### A. PM2.5 感測器選用

本計畫共比較了 4 種 PM2.5 感測器，分別為 Sharp-G、Sharp-D、PPD 及 G3，並根據感測器感測的原理、精準度及性價比，做初步篩選，最後挑選 Sharp-D 及 G3 做精準度實驗及一致性比較。根據長達 22 小時的實驗結果，G3 的精準度明顯優於 Sharp-D；而一致性比較是分別將 10 台感測器放置於台北市及雲林縣做比較，G3 的 CV 值皆小於 0.4。根據此實驗的結果，最終選用感測器為 G3。

#### B. 室內環境感測裝置

本計劃之目標為透過監測室內環境狀況，以達到流感與呼吸道傳染病的防治及監測，室內環境感測裝置為最重要的一環，中研院團隊特別針對本計畫所開發的室內感測裝置，其可以感測 PM2.5、二氧化碳、溫度及濕度，並可透過有線及無線的傳輸方式將資料回傳到雲端平台。

#### C. 雲端平台

本計劃之雲端平台沿用微型空氣品質感測器(AirBox)的雲端後台系統，並已開發完成本計劃之專區。

#### D. 實驗場域場地勘察

本計劃目前共勘查 4 個照護機構，分別為衛福部基隆醫院護理之家、承康護理之家、恆安老人養護中心以及聖諾瑟失智老人養護中心，4 間照護機構都願意配合作為實驗場域。

#### E. 感測裝置安裝與場測

目前室內感測裝置的研發及測試已經在收尾的階段，雲端平台方面，沿用微型空氣品質感測器(AirBox)的雲端後台系統，微型空氣品質感測系統的後端平台是目前已上線運行良好的分散式系統，我們在此系統的基礎上已完成建立專屬本計畫的感測器狀態圖及客製化儀表板，待 11 月 26 日感測裝置佈建以後，便可開始做實驗場域的室內環境狀況資料收集及分析。

### 四、 討論

#### A. 室內空氣流動模型

目前對於室內空氣流動的模型都是未知的狀態，只能由機構內的護理人員口述以及場地勘察時感受得知，因此在室內環境感測器的建置目標是每間房間一台，希望由此得知室內空氣流動的模型，以便未來佈建所需，未來待模型順利建立，在視情況調整室內環境感測器的建置數量。

#### B. 低功率廣域網路 LPWAN

低功率廣域網路 LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) 是一種用在物聯網傳輸的方式，以低位元速率(Bit rate)、低電量需求進行長距離通訊的無線網路。LPWAN 每個頻道的傳輸速率介於 0.3 kbit/s 到 50 kbit/s 之間，相較於現行手機使用的 4G 網路傳輸速率最高可達 100Mbit/s 是慢很多，但對於物聯網傳輸的資料量及速度在考慮低功耗，LPWAN 會是本計畫室內環境感測裝置傳輸方式的最佳選擇。

#### C. SigFox v.s. WiFi

SigFox 是低功率廣域網路 LPWAN 的其中一種，本計劃選用 Sigfox 作為室內環境感測裝置的傳輸方式，主要考量有三：

1. 減少電磁波：

佈建的實驗場域為照護機構，考量到照護機構是為了提供受照護者一個健康的環境，應減少電磁波的產生，為避免佈建 WiFi 分享器，減少受照護者暴露在電磁波的風險。

## 2. 降低成本：

照護機構內不一定有 WiFi，為了減少額外佈建 WiFi 分享器的成本，所以使用目前覆蓋範圍大的 Sigfox 作為傳輸方式。

## 3. 減少電力使用：

Sigfox 為專屬物聯網的傳輸方式，其特點之一就是低功率耗損，可減少機構額外的電費支出。

## D. 感測數值檢驗及校正

目前中研院團隊擬增加 NB-IoT 傳輸方式，因此室內環境感測器內部的設計還會作些微優化，以確定感測器可以發揮最大效能，待感測器內部設計之最後版本確定後，會將本計畫所設計的室內環境感測器送至國家度量衡標準實驗室檢驗，確保感測資料的準確度及一致性。

# 五、 結論與建議

## A. 發展空氣流動模型

本計畫今年已對 4 間照護機構進行場勘，並預計在今年底佈建完成，明年也預計對 20 間照護機構進行佈建，建置室內環境感測器初期會以每個房間一台為目標，待累積室內空氣流動數據足夠時，發展出屬於照護機構的室內空氣流動模型，以輔助呼吸道傳染疾病之防治。

## B. 室內環境感測器佈建數量評估

因室內空氣流動模型尚未建立完成，在建置數量的評估為一間房間一台，以基隆醫院護理之家為例，其 2 樓和 3 樓的通風狀況差異極大，2 樓因天井建築的關係，空氣流動較差，3 樓則是因為靠近頂樓，空氣流通狀況較好，但此評估僅為場

勘觀察得知，詳細的空氣流通模型還需要待室內環境感測器建置以後，以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環境感測器數量之評估依據。

#### C. Sigfox 之使用及建議

目前因考量實驗場域的限制及佈建成本，選用 Sigfox 作為無線傳輸室內環境資料的方式，但礙於 Sigfox 訊號覆蓋的範圍並沒有涵蓋整個台灣島，考量資料的傳輸的即時性及室內環境感測器佈建的便利性，中研院團隊擬增加 NB-IoT 作為並行或替代的無線傳輸方式，增加無線傳輸的穩定性。

#### D. 光與聲音感測

因實驗場域皆為照護機構，除了空氣品質的感測外，希望有聲音及亮度的監測，以增加醫護人員對機構室內環境的了解，中研院團隊目前也針對聲音與光的需求，正在對室內環境感測器做進一步的討論及研究。

## 六、 參考資料

- [1] LinkIt Smart 7688  
<https://labs.mediatek.com/zh-tw/platform/linkit-smart-7688>
- [2] Real-Time Clock Module  
<https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS1307.html>
- [3] Sharp-G  
<https://www.sharpsde.com/products/optoelectronic-components/model/GP2Y1010AU0F/#productview>
- [4] PPD [https://www.shinyei.co.jp/stc/eng/optical/main\\_ppd42.html](https://www.shinyei.co.jp/stc/eng/optical/main_ppd42.html)
- [5] Sharp-D  
<https://www.sharpsde.com/products/optoelectronic-components/model/DN7C3CA007/#productview>
- [6] G3 <http://www.plantower.com/content/?94.html>
- [7] BME280 <https://www.bosch->

sensortec.com/bst/products/all\_products/bme280

- [8] Ameba RTL8195 <https://www.amebaiot.com/boards/>
- [9] WSSFM10R4 <https://partners.sigfox.com/products/sfm10r2>
- [10] 承康護理之家 <http://cknh.myweb.hinet.net/>
- [11] 基隆醫院護理之家  
[https://www.kln.mohw.gov.tw/?aid=52&pid=61&page\\_name=detail&iid=299](https://www.kln.mohw.gov.tw/?aid=52&pid=61&page_name=detail&iid=299)
- [12] 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)
- [13] 恆安老人長期照顧中心 <http://www.hangan.org/>
- [14] 聖諾瑟失智老人養護中心 <http://www.cfad.org.tw/service.php>
- [15] Ling-Jyh Chen, Yao-Hua Ho, Hu-Cheng Lee, Hsuan-Cho Wu, Hao-Min Liu, Hsin-Hung Hsieh, Yu-Te Huang, and Shih-Chun Candice Lung. An Open Framework for Participatory PM2.5 Monitoring in Smart Cities. IEEE Access Journal, volume 5, pp. 14441-14454, July, 2017.
- [16] CO2 sensor SenseAir S8 <http://senseair.senseair.com/products/oem-modules/senseair-s8/>
- [17] Aecl AQD-100 <https://www.aecl.com.tw/zh-TW/product/aqd-100.html>
- [18] 國家度量衡標準實驗室 <https://www.nml.org.tw/>
- [19] Coefficient of Variation  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_of\\_variation](https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_variation)
- [20] 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)

## 經費支用情形

項 目	本年度核定金額	支 用 狀 況
業務費 (耗材)	\$1,286,379	目前支出：\$1,286,379 (100%)
人事費	\$463,621	目前支出：\$463,621 (100%) 1. 人事含陳老師 5-12 月計畫主持人費用 2. 專任研究助理 7-12 月薪資

註： 人事費預計在 12 月達到使用率 100%；業務費部分，因佈建需求，會有大筆硬體及佈建的耗材費用，支出也達 100%。

## 審查意見及回覆說明

- 一、 第一年執行內容僅於裝置之研發、測試等，雖初步認為準確度佳，然而偵測之標的與傳染病間之相關性及強度應先確認。

回覆說明：

由 NEJM 論文<sup>3</sup>，描述室內換氣差而導致 46 受刑人感染肺炎或嚴重肺炎鏈球菌案例；以及疾管署的報導<sup>4</sup>，建議機構定期檢測二氧化碳濃度，以了解通風情形，因結核菌的飛沫核無法被怖釋，檢測環境二氧化碳濃度可以快速了解室內空間的換氣情形。由此可知，過度擁擠的空間及室內換氣不佳的情形，皆是造成疫情爆發的原因。

- 二、 研究成果包括開發及測試室內空氣品質感測器（已完成）、建置雲端分析平台、安裝及場測已有 4 家機構加入，執行進度良好，符合預期進度和目標。

回覆說明：

符合預期進度與目標。

<sup>3</sup> <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejm199409083311004>

<sup>4</sup> <https://www.cdc.gov.tw/english/info.aspx?treeid=3847719104BE0678&nowtreeid=3F54ECC1D5C5D238&tid=868593DAD9ABF53A>

三、 時間點(特別是本年度各季完成的事情)請標明於書面報告內。

回覆說明：

已標於成果報告書 P.7 表 1：計畫時程表

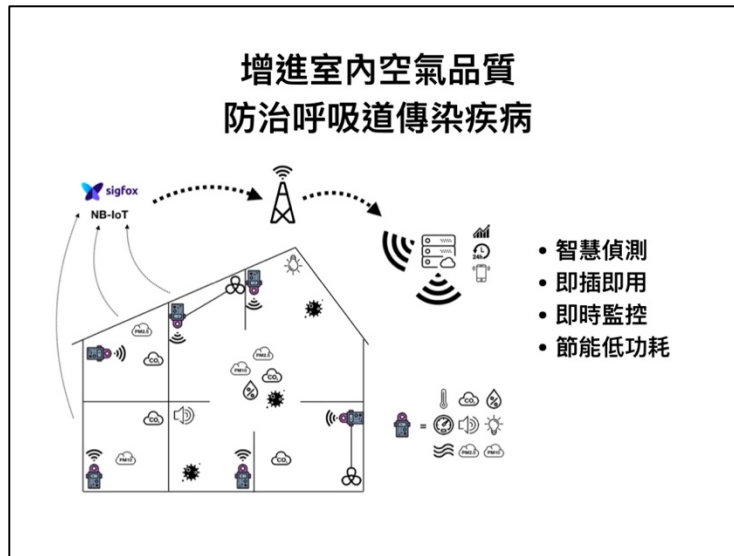
	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月
室內空氣品質感測器原型設計								
LPWAN (Sigfox)測試								
雲端分析平台建置								
感測裝置安裝與場測								
撰寫計畫成果報告								

四、 有無檢討、心得或 lessons learned？如有，請補充之。

回覆說明：

此次計畫預計於 11 月底部署室內環境感測器於第一間長照機構，但由於感測器之外盒數量過少，導致廠商安排之生產時程延後，在本計畫進行之未來三年，會將外盒生產時程納入室內環境感測器考量，以降低未來部署的延遲機會，增加部署室內環境感測器的效率。

五、 建議製作推廣文宣用於明年度推廣佈建之用。



六、 應補充說明本案所開發產品與相關傳染病防治之相關性有多高，以發揮本產品之預期效益。

回覆說明：

經研究<sup>5</sup>證實，透過二氧化碳量測及公式轉換後，可以推估流感等呼吸道傳染疾病在室內傳播的風險；另一研究<sup>67</sup>則是採用二氧化碳濃度推估室內每個人的呼吸空氣量，進而計算出結核病在室內傳播的風險。根據上述研究的結果，經由部署室內環境感測器，可預防因為空氣不流通或是空氣品質不佳所引起的呼吸道傳染疾病，其效益是遠高於低成本感測器及部署的成本總和。

七、 應補充說明本案之檢討改進之處，及所需要之下年度支援。

回覆說明：

下年度部署感測器以後，需要針對感測資料做分析，除了需要統計相關知識外，也需要疾管署提供呼吸道傳染疾病相關知識，以做進一步的室內環境感測分析。

八、 本計畫研發之產品與市售產品有何差異？其創新性、可取得性、

<sup>5</sup> <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1034/j.1600-0668.2003.00189.x>

<sup>6</sup> <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0106622>

<sup>7</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022519315000697>



成本考量等為何?請說明

回覆說明：

	中研院研發感測器	氣質寶 2
成本	約 4,000	5,490
擴充性	可擴充	不可擴充
多樣性	溫度、濕度、二氧化碳(CO2)、總揮發性有機化合物(TVOC 包括甲醛)與細懸浮粒子(PM2.5/PM10)，還包含光及聲音等，未來可視需求增加。	溫度、濕度、二氧化碳(CO2)、總揮發性有機化合物(TVOC 包括甲醛)與細懸浮粒子(PM2.5/PM10)
便利性	即插即用	需透過手機 APP 設定
可取得性	除了 PM2.5 感測器外，其餘感測器皆為國產。	未知
創新性	未來將透過感測器收集之資料，對室內換氣做分析，最後針對分析的結果可連動智慧換氣系統、智慧呼吸道疾病偵測等，讓室內空氣品質處在最好狀態，同時達到自動化疾病防治。	未知
資料可用性	除了可透過通訊模組上傳至雲端平台外，感測器還包含記憶卡，可在本地端讀取資料，以確保資料不會因網路不穩的情況流失。	只能透過手機 APP 檢視歷史資料。
資料取得途徑	所有感測資料皆可提供使用。	無
資料保存期限	無時間限制	一年
使用者介面	可透過雲端平台檢視客製化狀態表，每個感測器也有專屬狀態圖及活動建議。	僅能透過手機 APP 檢視空氣品質。

衛生福利部疾病管制署委託科技研究計畫  
107 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：陳伶志 計畫編號：MOHW107-CDC-C-114-114701

1.計畫之新發現或新發明

研發室內環境感測器，感測項目包含 PM2.5、二氧化碳、溫度、濕度、壓力，並透過長距離低功耗的傳輸方式，將感測資訊傳送回雲端平台。

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，藉由科學化的資料分析，建立室內環境的空氣流動標準與模型，期望以此模型及標準建立室內環境換氣之政策。

# 校正報告



報告日期：104年04月20日

報告編號：C150045A

儀器名稱：CO<sub>2</sub>偵測器

廠牌：Aecl

型號：AQD-100

序號：AQD-4R-150-10001058

顧客名稱：威迅科技股份有限公司

顧客地址：新北市中和區中正路959號14樓

上項儀器經本實驗室校正，結果如內文。  
本報告含封面/裡及 2 頁內文，分離使用無效。



林采吟

報告簽署人

程家瑞

國家度量衡標準實驗室主任

## 國家度量衡標準實驗室

經濟部標準檢驗局委託財團法人工業技術研究院辦理

# 校正報告使用說明

1. 國家度量衡標準實驗室執行校正所產生之校正結果詳列於本報告內。  
本報告之校正結果僅對報告內提及之送校件有效。
2. 除特別聲明外，報告內數值係在本實驗室環境下執行校正所得的結果。爾後使用該送校件時，其準確度與精密度將因使用時之環境狀況與使用頻率等因素而有所不同。
3. 除特別聲明外，本實驗室執行校正均不對送校件另作調整。顧客如需調整，建議送回原廠或原代理商處理，惟調整後仍須再次校正，以確保送校儀器準確。
4. 為確保送校件之準確度，請依使用者自訂之校正週期，按時送校。
5. 本報告之結果業經本實驗室之相關研究室主管審核確認。
6. 本報告未得到本實驗室書面同意，不得任意摘錄複製使用，但全文複製除外。
7. 本報告所述與國際度量衡委員會(CIPM)制定之全球相互認可協定(MRA)的附錄 C 登錄之能力內容一致。依據全球相互認可協定，所有參與機構就登載於附錄 C 的量測參數、範圍及量測不確定度相互承認校正與量測報告的有效性。(詳見 <http://www.bipm.org>)。

國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路 2 段 321 號

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：C150045A

儀器名稱：CO<sub>2</sub> 偵測器

環境溫度：(22.0 ± 3.0) °C

廠牌：Aecl

相對濕度：(60 ± 20) %

型號：AQD-100

序號：AQD-4R-150-10001058

## 校正結果與說明

### I. 校正結果

CO <sub>2</sub> 標準氣體濃度值 (μmol/mol)	面板顯示值 (μmol/mol)	器差值 (μmol/mol)	擴充不確定度 (μmol/mol)	涵蓋因子
399	393	-6	6	2.02
699	682	-17	8	2.20
995	971	-24	27	2.00
1495	1452	-43	28	2.00
1995	1960	-35	31	2.02

### II. 校正說明

#### 1. 校正日期

本校正作業係 2015 年 4 月 14 日執行。

#### 2. 校正方法

2.1 本校正之實施依據為氣體量測系統氣體監測設備校正程序<sup>1</sup>。

2.2 使用氣體分流器 (Gas divider) 混合特定濃度的標準氣體及稀釋氮氣，可配製出不同濃度的標準氣體，再以標準氣體通入待校件進行校正，則可得到待校件的面板顯示值，數據如校正結果所列。

2.3 校正結果欄內之 CO<sub>2</sub> 標準氣體濃度值代表配製出來特定標準氣體濃度值，而面板顯示值代表儀器面板所顯示的濃度值。

2.4 器差值為面板顯示值減去標準氣體濃度值，器差之<sup>正負</sup>值表示該儀器校正時，其讀值過<sup>高</sup>低。

# 國家度量衡標準實驗室

30011 新竹市光復路二段 321 號

報告編號：C150045A

## 3. 校正用標準件

標準件	序號	追溯機構	追溯編號	追溯日期 (有效日期)
CO <sub>2</sub> in N <sub>2</sub> 標準氣體 (濃度：(4999 ± 25) μmol/mol)	FF1817	NML	C140055A	2014/06/05 (2016/06/04)
CO <sub>2</sub> in N <sub>2</sub> 標準氣體 (濃度：(1000.16 ± 0.90) μmol/mol)	5603614	NML	C150008A	2015/01/13 (2017/01/12)
氣體分流器	H000PC3G	NML	C140054A	2014/06/05 (2015/06/04)

註：NML 為國家度量衡標準實驗室

## 4. 擴充不確定度 (Expanded Uncertainty)

4.1 擴充不確定度係依據氣體量測系統氣體監測設備評估報告<sup>2</sup>進行評估。

4.2 擴充不確定度係組合標準不確定度與涵蓋因子 (Coverage factor) 之乘積，相對應約 95 % 之信賴水準 (Confidence level)。

## III. 參考資料

1. 氣體量測系統氣體監測設備校正程序，07-3-91-0072，四版，工研院量測技術發展中心，2015 年。
2. 氣體量測系統氣體監測設備評估報告，07-3-91-0076，六版，工研院量測技術發展中心，2015 年。