



# 行政院環境保護署

## 109 年環境感測物聯網整合推動 及專案管理計畫

行政院環境保護署編印  
中華民國 109 年 12 月





# 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

受託單位：財團法人工業技術研究院

計畫執行期間：109 年 2 月 21 日起至 109 年 12 月 31 日止

計畫經費：新台幣參仟肆百萬元整(含稅)

計畫主持人：陳范倫

協同主持人：陳一誠

計畫經理：陳家磐

計畫執行人員：陳范倫、陳一誠、陳家磐、王順輝、劉坤興、陳姿名、呂秀月、吳克清、彭書憶、李昀恩、陳重叡、許震洋、林志盈、楊博傑、黃任廷、吳信賢、劉丞偉、黃馨儀、林家欣、游奕欣、姚彥丞、陳嘉惠

行政院環境保護署編印  
中華民國 109 年 12 月



# 「109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫」

## 基本資料表

委辦單位	行政院環境保護署		
執行單位	財團法人工業技術研究院		
參與計畫人員姓名	陳范倫、陳一誠、陳家磐、王順輝、劉坤興、陳姿名、呂秀月、吳克清、彭書憶、李昀恩、陳重叡、許震洋、林志盈、楊博傑、黃任廷、吳信賢、劉丞偉、黃馨儀、林家欣、游奕欣、姚彥丞、陳嘉惠		
年 度	109	計畫編號	
研究性質	<input type="checkbox"/> 基礎研究 <input checked="" type="checkbox"/> 應用研究 <input type="checkbox"/> 技術發展		
研究領域	環境科學(含環保工程、環境管理)		
計畫屬性	<input type="checkbox"/> 科技類	<input checked="" type="checkbox"/> 非科技類	
全程期間	<u>109</u> 年 <u>2</u> 月 ~ <u>109</u> 年 <u>12</u> 月		
本期期間	<u>109</u> 年 <u>2</u> 月 ~ <u>109</u> 年 <u>12</u> 月		
本期經費	34,000 千元		
	資本支出		經常支出
	土地建築____千元		人事費 <u>7,051.200</u> 千元
	儀器設備____千元		業務費 <u>10,572.030</u> 千元
	其 他____千元		材料費 <u>10,535.000</u> 千元
			其 他 <u>5,841.770</u> 千元
摘要關鍵詞（中英文各三則）			
元件研發 Sensor Reaserch and development			
智慧化巡檢 Intelligent inspection			
移動感測 Mobile sensing			



## 行政院環境保護署計畫成果摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

二、英文計畫名稱：

Environmental sensing Internet of Things integration promotion and project management plan 2020

三、計畫編號：

四、執行單位：

財團法人工業技術研究院

五、計畫主持人（包括共同主持人）：

陳范倫、陳一誠

六、執行開始時間：

109/02/21

七、執行結束時間：

109/12/31

八、報告完成日期：

109/12/31

九、報告總頁數：

412（不含附件）

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

109 年環境物聯網成果報告

十二、報告電子檔格式：

Acrobat (PDF)

十三、中文摘要關鍵詞：

元件研發、智慧化巡檢、移動感測

十四、英文摘要關鍵詞：

Sensor Research and development, Intelligent inspection, Mobile sensing

十五、中文摘要

在延續 106 年度至 108 年度環境感測物聯網相關計畫所建立的基礎下，本計畫持續協助環保署運用微型感測器建構智慧化環境管理系統。截至 109 年 10 月底已完成評估國內外物聯網現況之進度、持續蒐集國內外相關文獻並參考國際作法嘗試用於未來藍布建藍圖規劃上，追蹤國內布建感測器測項內容及廠牌等資訊；國產化 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 感測模組已於完成測站比對作業，PM<sub>2.5</sub> 感測器與測站數據迴歸分析 R<sup>2</sup> 約為 0.4，利用人工類神經網路 (Artificial Neural Networks, ANN) 演算法調校後 R<sup>2</sup> 皆可達到 0.65 以上；擴大

環境感測數據判讀與應用服務已針對感測數據進行校正測試、數據融合及衰減分析，結果顯示大部分感測器尚無顯著衰減現象，移動式感測器性能對於高污染車輛及道路側高污染來源具有顯著的辨識能力，可作為建立區域環境的基礎資料；與地方政府合辦進度，已陸續達成全國 10,200 感測器之布建及維運成效；持續促進公私部門交流及討論布建對策與精進措施，協助查驗地方政府維運感測器點位、數據品質滿意度，並依機關需求規劃及執行；專案辦公室已完成增修專案辦公室運作標準作業程序(Standard Operating Procedures, SOP)、問答集、空品物聯網 110~114 年度目標；完成 106 年~109 年執行成果報告初版，且完成國際氣體感測發展等趨勢分析。故本計畫於 109 年 2 月執行至今，已達成 100%之執行進度，並符合期末報告之要求。計畫已完成研析國際物聯網之發展趨勢、國產化感測元件技術的精進、擴大環境感測數據判讀與應用服務、整合驗證環境感測物聯網執行成效、協助地方政府感測物聯網建置工作、強化專案辦公室產業推動成果效益等工項，落實感測數據品質及應用效益，結合產官學研於物聯網技術共同成長，發展智慧城市與環境執法的應用實務，透過以臺灣為驗證場域，確實發揮輔助環境智慧執法的成效，同時也讓民眾明確感受到環境感測物聯網對環境治理的功能。

#### 十六、英文摘要

As a continuation of the environment-sensing IoT (Internet of Things)-related projects during 2017-2019, the project has assisted the Environmental Protection Administration in building a micro sensor-based smart environment management system. As of the end of Oct. 2020, much work had been completed, including evaluation of the development of IoTs, both in Taiwan and abroad, collection of related domestic and foreign literature and information on foreign practices, as reference for deployment plans in the future, and tracking of domestic sensor deployment, including sensor brands; completion of survey-station comparisons for indigenous PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> sensing modules, calibration of the correlation between sensing components and survey stations with ANN (artificial neural network) algorithm, with post-calibration data R<sup>2</sup> topping 0.6; sensing data calibration and testing, data fusion, and attenuation analysis in expanding interpretation and application of environment sensing data, showing absence of obvious attenuation for most sensors and significant identification ability of mobile sensors for high polluting vehicles and road-side high polluting sources, conducive to the construction of basic regional-environment data; deployment and operation/maintenance of 10,200 sensors nationwide, in collaboration with municipal governments; continuing promotion of exchanges between private and public sectors, including discussion for deployment strategy and improvement measures, assistance for municipal governments in checking the operation and maintenance of sensors and data quality, plus tailor-made planning and implementation; setup of dedicated office which has compiled its own SOP (standard operation procedures) and Q&A and established 2021-2025 target for air-quality IoT; completion of the preliminary report on the 2017-2020 implementation results and analysis of the international air-sensing development trend. Therefore, since its onset in Feb. 2020, implementation rate of the project has reached 100%, meeting the condition for the compilation of a final report. In sum, completed works include analysis of the international IoT development trend, improvement of indigenous sensor technology, expanded interpretation and application of environmental sensing data, integrated verification of the execution

result of environment sensing IoT, assistance for municipal governments in the establishment of sensing IoT, setup of dedicated office for pushing sensor industry and application, improving sensing data quality and application efficacy, coordination of the efforts of industry, government, and academic in the development of IoT technology, and materialization of smart city and environment-related law enforcement. With Taiwan as the verification field, the project has contributed to environment-related smart law enforcement and made local people aware of the function of environment sensing IoT in environmental governance.





# 目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	XIV
<b>第 1 章、緒論.....</b>	<b>1-1</b>
1.1、計畫緣起背景.....	1-1
1.2、計畫目標.....	1-3
1.3、工作項目.....	1-3
1.4、執行進度.....	1-9
<b>第 2 章、評估國內外物聯網現況並提出分析 .....</b>	<b>2-1</b>
2.1、國際資訊收集與分析.....	2-1
2.2、最適化布建藍圖規畫.....	2-10
2.3、國內空品感測應用調查.....	2-24
2.4、國內外技術資料研析.....	2-31
2.5、提升國際能見度.....	2-34
<b>第 3 章、精進國產化空氣感測元件研發技術 .....</b>	<b>3-1</b>
3.1、完成國產化 PM <sub>2.5</sub> 感測元件研發.....	3-1
3.2、完成國產化 O <sub>3</sub> 感測元件研發.....	3-21
3.3、完成國產化 NO <sub>2</sub> 感測元件研發.....	3-41
3.4、評估未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術.....	3-75
<b>第 4 章、擴大環境感測數據判讀與應用服務 .....</b>	<b>4-1</b>
4.1、感測數據資料融合.....	4-1
4.2、驗證智慧化巡檢校正方案.....	4-5
4.3、重大污染事件資料收集.....	4-17
4.4、感測數據衰減分析.....	4-23
4.5、移動感測物聯網測試驗證.....	4-47
<b>第 5 章、整合環境感測物聯網執行成果 .....</b>	<b>5-1</b>
5.1、維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器.....	5-1
5.2、維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）.....	5-26

5.3、環境品質感測物聯網計畫進度管考.....	5-39
5.4、宣傳環境品質感測物聯網計畫成果.....	5-45
5.5、精進環境品質感測物聯網計畫推動.....	5-50
5.6、得標廠商需有 1 名專業人力.....	5-53
5.7、配合機關宣傳與辦理活動.....	5-55
<b>第 6 章、協助地方政府感測物聯網建置工作 .....</b>	<b>6-1</b>
6.1、協助機關管理合辦計畫.....	6-1
6.2、彙整地方政府感測物聯網運作情形.....	6-6
6.3、協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行.....	6-10
6.4、籌組國內環境品質物聯網專家團隊.....	6-15
6.5、協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料.....	6-19
6.6、協助機關檢視第三方巡檢核成果.....	6-22
6.7、規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」 .....	6-25
<b>第 7 章、強化專案辦公室產業推動成果效益 .....</b>	<b>7-1</b>
7.1、強化專案辦公室運作.....	7-1
7.2、跨部會整合協調.....	7-9
7.3、計畫智庫與對策研擬.....	7-12
7.4、全球趨勢與產業發展對策建議.....	7-17
7.5、提升一站式推廣中心服務.....	7-25
7.6、擴大產業交流與合作.....	7-36
7.7、國際參訪與研討.....	7-44
7.8、擴大宣傳成效.....	7-47
7.9、專責人員配置.....	7-58
<b>第 8 章、結論及建議.....</b>	<b>8-1</b>
8.1、結論.....	8-1
8.2、建議.....	8-2
8.3、106-109 年執行成果綜整 .....	8-4

## 參考文獻

## 附錄一 各階段審查意見及回覆說明

## 附錄二 空氣品質感測器物聯網布建及數據應用指引

## 圖目錄

圖 2-1、iFLINK 推動系統架構圖 .....	2-2
圖 2-2、Aclima 與 Google 合作開發環境智能移動平台 .....	2-3
圖 2-3、韓國校園微型感測器應用案例 .....	2-4
圖 2-4、韓國章原工業區空品感測器布建點位圖 .....	2-5
圖 2-5、韓國章原工業區實際布建圖 .....	2-5
圖 2-6、韓國校園微型感測器應用案例 .....	2-7
圖 2-7、未來四年（110~114 年 8 月）計畫目標及主要工作項目架構圖 .....	2-9
圖 2-8、空污感測器布設點位分布圖 .....	2-11
圖 2-9、最適化規劃布建藍圖執行規劃 .....	2-13
圖 2-10、感測器告警事件發生比例 .....	2-13
圖 2-11、告警感測器分布圖（臺北） .....	2-15
圖 2-12、告警感測器分布圖（桃園） .....	2-15
圖 2-13、告警感測器分布圖（新竹） .....	2-16
圖 2-14、告警感測器分布圖（臺中） .....	2-16
圖 2-15、告警感測器分布圖（彰化） .....	2-16
圖 2-16、告警感測器分布圖（雲林） .....	2-17
圖 2-17、告警感測器分布圖（嘉義） .....	2-17
圖 2-18、告警感測器分布圖（臺南） .....	2-17
圖 2-19、告警感測器分布圖（北高雄） .....	2-18
圖 2-20、告警感測器分布圖（南高雄） .....	2-18
圖 2-21、告警感測器分布圖（北屏東） .....	2-18
圖 2-22、告警感測器分布圖（南屏東） .....	2-19
圖 2-23、告警感測器分布圖（宜蘭） .....	2-19
圖 2-24、含空水列管污染源之工業區感測器數量比例 .....	2-20
圖 2-25、空、水列管污染源之工業區規劃布建示意圖 .....	2-20
圖 2-26、未含空、水列管污染源之工業區規劃布建示意圖 .....	2-21
圖 2-27、高人口密度村里布建規劃示意圖 .....	2-22
圖 2-28、列管污染密度疊合高度人口規劃布建點位（北北基桃） .....	2-22

圖 2-29、低人口密度鄉鎮區布建規劃示意圖 .....	2-23
圖 2-30、空品感測器應用調查流程圖 .....	2-28
圖 2-31、盧重興教授進行感測器數據校正研究之相關新聞 .....	2-30
圖 2-32、感測器受到溫度與濕度影響圖（臺中 500 點為例） .....	2-32
圖 2-33、感測數據之整體服務圖 .....	2-33
圖 2-34、VOC 微小型光學測試腔圖 .....	2-33
圖 2-35、感測器應用於野火偵測示意圖 .....	2-34
圖 3-1、PM <sub>2.5</sub> 感測元件之精進與量產化技術研發之工作流程與關聯 .....	3-2
圖 3-2、感測數據偏差分析 .....	3-5
圖 3-3、溫濕度修正對感測數據迴歸分析 .....	3-5
圖 3-4、ANN 處理流程.....	3-6
圖 3-5、離群值處理 .....	3-6
圖 3-6、歸一化比對 .....	3-7
圖 3-7、倒傳遞神經網路訓練及訓練之數據迴歸分析比對 .....	3-7
圖 3-8、數據前處理及 ANN 演算過程：修正後之數據迴歸分析比對.....	3-8
圖 3-9、忠明測站現勘及測試機台架設 .....	3-9
圖 3-10、嘉義測站現勘及測試機台架設 .....	3-9
圖 3-11、竹東測站現勘及測試機台架設 .....	3-10
圖 3-12、忠明測站不同解析度之比較 .....	3-11
圖 3-13、忠明測站場域比對數據 ANN 訓練結果.....	3-12
圖 3-14、忠明測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較.....	3-12
圖 3-15、嘉義測站不同解析度之比較 .....	3-13
圖 3-16、嘉義測站場域比對數據 ANN 訓練結果.....	3-14
圖 3-17、嘉義測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較.....	3-14
圖 3-18、竹東測站不同解析度之比較 .....	3-16
圖 3-19、竹東測站場域比對數據 ANN 訓練結果.....	3-17
圖 3-20、竹東測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較.....	3-17
圖 3-21、非一般大氣環境測試場域勘查 .....	3-18
圖 3-22、板金作業環境場域測試現場設置示意圖 .....	3-19
圖 3-23、板金廠作業環境測試結果 .....	3-19

圖 3-24、PM <sub>2.5</sub> 感測器成品機 .....	3-20
圖 3-25、訓練類神經網路與修正其權重值之流程圖 .....	3-22
圖 3-26、溫濕度補償類神經演算模型流程 .....	3-23
圖 3-27、原始數據進行低通濾波處理雜訊 .....	3-24
圖 3-28、臭氧網路模式之預測修正值與標準測站資料作迴歸分析 .....	3-25
圖 3-29、溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正 .....	3-25
圖 3-30、溫濕度類神經補償修正後之數據迴歸分析比對 .....	3-26
圖 3-31、原始數據進行低通濾波處理雜訊 .....	3-27
圖 3-32、臭氧網路模式之預測修正值與標準測站資料作迴歸分析 .....	3-27
圖 3-33、溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正 .....	3-27
圖 3-34、溫濕度類神經補償修正後之數據迴歸分析比對 .....	3-28
圖 3-35、O <sub>3</sub> 原型機模組實地場域測試（竹東、陽明、桃園和永和測站內擺設） .....	3-28
圖 3-36、竹東測站(4/2~4/16)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-29
圖 3-37、竹東測站(4/2~4/16)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ....	3-29
圖 3-38、竹東測站(5/5~6/2)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-29
圖 3-39、竹東測站(5/5~6/2)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 .....	3-30
圖 3-40、竹東測站(6/10~6/22)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-30
圖 3-41、竹東測站(6/10~6/22)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ..	3-31
圖 3-42、竹東測站(7/21~8/5)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-31
圖 3-43、竹東測站(7/21~8/5)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ....	3-32
圖 3-44、竹東測站(9/8~9/15)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-32
圖 3-45、竹東測站(9/8~9/15)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ....	3-33
圖 3-46、龍潭測站(7/31~8/12)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-33
圖 3-47、龍潭測站(7/31~8/12)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ..	3-33
圖 3-48、龍潭測站(9/8~9/21)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-34
圖 3-49、龍潭測站(9/8~9/21)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ....	3-34
圖 3-50、龍潭測站(9/21~10/3)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-35
圖 3-51、龍潭測站(9/21~10/3)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ..	3-35
圖 3-52、陽明山測站(7/20~8/16)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-35

圖 3-53、陽明山測站(7/20~8/16)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ..3-	
36	
圖 3-54、陽明山測站(9/7~10/6)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-36
圖 3-55、陽明山測站(9/7~10/6)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對	3-37
圖 3-56、永和測站(9/4~9/17)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值趨勢比對 .....	3-37
圖 3-57、永和測站(9/4~9/17)之 O <sub>3</sub> 原型機與測站 O <sub>3</sub> 數值線性相關度比對 ....	3-38
圖 3-58、廠辦環境臭氧驗證系統（控制平均臭氧濃度 10 ppb） .....	3-38
圖 3-59、利用 O <sub>3</sub> 原型機模組來監測低濃度 O <sub>3</sub> 值 .....	3-39
圖 3-60、O <sub>3</sub> 原型機模組場域測試前皆於實驗室內進行穩定性測試 .....	3-39
圖 3-61、O <sub>3</sub> 原型機模組共 30 組 .....	3-40
圖 3-62、NO <sub>2</sub> 感測模組之精進與量產化研發之工作執行流程 .....	3-42
圖 3-63、環境大數據分析結合機器學習平台操作程序 .....	3-43
圖 3-64、模組環境大數據分析處理流程 .....	3-44
圖 3-65、隨機梯度下降演算法 .....	3-44
圖 3-66、NO <sub>2</sub> 感測模組演算修正方法流程 .....	3-45
圖 3-67、NO <sub>2</sub> 氣體感測元件/模組測試評估平台 .....	3-47
圖 3-68、NO <sub>2</sub> 感測物聯網原型機硬體 (a)零組件連接電路架構與 (b)模組機構示 意.....	3-47
圖 3-69、NO <sub>2</sub> 氣體感測模組電路整合採樣機構外觀 .....	3-47
圖 3-70、分離式模組與 micro-SD 數據紀錄儲存單元設計 .....	3-48
圖 3-71、ANN 模型建立過程-訓練與試驗數據過程 .....	3-49
圖 3-72、溫濕補償校正數據迴歸分析比對 .....	3-49
圖 3-73、濃度、濕度、溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍 .....	3-50
圖 3-74、汐止測站 1.5 月場域數據之 ANN 溫濕度演算修正比較.....	3-51
圖 3-75、汐止測站濃度,濕度,溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍 .....	3-51
圖 3-76、萬華測站 3 個月場域數據之 ANN 溫濕度演算修正比較.....	3-52
圖 3-77、萬華測站濃度,濕度,溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍 .....	3-52
圖 3-78、汐止標準測站與模組濃度發生狀況分布類似 .....	3-53
圖 3-79、萬華標準測站與模組濃度發生狀況分布差異大 .....	3-53
圖 3-80、模組硬體縮小整合採樣與封裝機構設計 .....	3-54

圖 3-81、3D 列印製作縮小整合採樣與封裝設計模組之場域測試 .....	3-54
圖 3-82、3D 列印改良模組汐止測站場域 $R^2$ 不同解析度比較 .....	3-55
圖 3-83、感測元件模組量產製作共包括①-⑤道流程 .....	3-55
圖 3-84、驅動演算與通訊格式共整合雙介面架構功能示意 .....	3-56
圖 3-85、共整合雙介面模組（左 2 組）與分離式 micro-SD（右 1 組）紀錄儲存 模組外觀 .....	3-56
圖 3-86、模組小型試量產共完成 40 組原型機 .....	3-57
圖 3-87、士林測站場域三週測試 .....	3-58
圖 3-88、士林測站場域 $R^2$ 以 15min 與 60min 不同解析度比較 .....	3-58
圖 3-89、萬華測站場域三週測試比對結果 .....	3-59
圖 3-90、萬華測站場域 $R^2$ 以 15 min 與 60 min 不同解析度比較 .....	3-59
圖 3-91、古亭測站場域三週測試比對結果 .....	3-60
圖 3-92、古亭測站場域 $R^2$ 以 15 min 與 60 min 不同解析度比較 .....	3-60
圖 3-93、板橋測站場域 1 個月測試比對結果 .....	3-61
圖 3-94、板橋測站場域 $R^2$ 以 60min 解析度比較 .....	3-61
圖 3-95、汐止測站場域三週測試比對結果 .....	3-62
圖 3-96、汐止測站場域 $R^2$ 以 60min 解析度比較 .....	3-62
圖 3-97、三重測站場域三週測試比對結果 .....	3-63
圖 3-98、三重測站場域 $R^2$ 以 15min 與 60min 不同解析度比較 .....	3-63
圖 3-99、三重測站場域 84 天測試比對結果 .....	3-64
圖 3-100、三重測站場域 84 天測試 $R^2$ 計算為 0.5382 .....	3-65
圖 3-101、三重測站場域 84 天測試濃度對應數據量分布 .....	3-65
圖 3-102、士林測站場域 83 天測試比對結果 .....	3-66
圖 3-103、士林測站場域 83 天測試 $R^2$ 計算為 0.5578 .....	3-66
圖 3-104、士林測站場域 83 天測試濃度對應數據量分布 .....	3-66
圖 3-105、萬華測站場域 83 天測試比對結果 .....	3-67
圖 3-106、萬華測站場域 83 天測試 $R^2$ 計算為 0.545 .....	3-67
圖 3-107、萬華測站場域 83 天測試濃度對應數據量分布 .....	3-68
圖 3-108、古亭測站場域 29 天測試比對結果 .....	3-68
圖 3-109、古亭測站場域 29 天測試 $R^2$ 計算為 0.7281 和 0.6157 .....	3-69

圖 3-110、古亭測站場域 29 天測試濃度對應數據量分布 .....	3-69
圖 3-111、汐止測站場域 48 天測試比對結果.....	3-70
圖 3-112、汐止測站場域 48 天測試 $R^2$ 計算為 0.6633.....	3-70
圖 3-113、汐止測站場域 48 天測試濃度對應數據量分布 .....	3-70
圖 3-114、非一般大氣環境測試場域勘查-金屬機械鑄造廠 .....	3-72
圖 3-115、金屬鑄造廠監測結果(a)本計畫 MOS (b)商用 EC (c)溫濕 .....	3-73
圖 3-116、IDTechEx Research 2020 年的市場報告 .....	3-76
圖 3-117、全球微粒感測器市場統計及未來成長預估 .....	3-77
圖 3-118、微粒感測器在廠區及工安之應用 .....	3-78
圖 3-119、室內空氣品質管理應用示意圖 .....	3-78
圖 3-120、個人化穿戴裝置應用示意圖 .....	3-79
圖 3-121、汽車內外空氣品質管理應用示意圖 .....	3-80
圖 3-122、Mid-IR 波段可偵測多種氣體 .....	3-85
圖 3-123、嵌入式光子晶體氣體感測元件應用於工廠內管線氣體洩漏監測 ...	3-85
圖 4-1、全臺空品手動監測站平行比對布建位置分布圖 .....	4-2
圖 4-2、109 年全臺空品感測器布建位置分布圖 .....	4-3
圖 4-3、民間感測器校正趨勢圖 .....	4-3
圖 4-4、9 月平均污染濃度分布 .....	4-4
圖 4-5、驗證智慧化巡檢校正方案執行規劃 .....	4-5
圖 4-6、新北市 3 月份 $PM_{2.5}$ 污染濃度區間分布圖（專案代碼 1071） .....	4-8
圖 4-7、新北市 3 月份 $PM_{2.5}$ 污染濃度區間分布圖（專案代碼 1072） .....	4-8
圖 4-8、新北市 3 月份 $PM_{2.5}$ 污染濃度區間分布圖（專案代碼 1120） .....	4-9
圖 4-9、新北市可疑異常感測器點位分布 .....	4-10
圖 4-10、實地場域平行掛測比對 .....	4-11
圖 4-11、臺中市可疑異常感測器點位分布 .....	4-11
圖 4-12、臺中市實地場域平行掛測比對 .....	4-12
圖 4-13、高雄楠梓工廠火災之新聞報導 .....	4-18
圖 4-14、楠梓倉庫火災污染影響變化 .....	4-19
圖 4-15、芳苑火災(A)火災發生前以及(B)火災發生後污染影響變化圖 .....	4-20
圖 4-16、芳苑火災感測器濃度變化趨勢 .....	4-20



圖 4-17、高雄化工廠苯氣外洩之新聞報導 .....	4-21
圖 4-18、高雄化工廠苯氣外洩感測器濃度趨勢變化 .....	4-21
圖 4-19、大園測站周邊 1km 內感測器示意圖 .....	4-24
圖 4-20、大園測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-25
圖 4-21、大園測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-26
圖 4-22、觀音測站周邊 1km 內感測器示意圖 .....	4-26
圖 4-23、觀音測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-27
圖 4-24、觀音測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-28
圖 4-25、忠明測站周邊 1km 內感測器示意圖 .....	4-28
圖 4-26、忠明測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-29
圖 4-27、忠明測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-29
圖 4-28、小港測站周邊 1km 內感測器示意圖 .....	4-30
圖 4-29、小港測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-31
圖 4-30、小港測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-31
圖 4-31、平鎮測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-32
圖 4-32、平鎮測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-32
圖 4-33、桃園測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-33
圖 4-34、桃園測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-33
圖 4-35、竹東測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-34
圖 4-36、竹東測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-35
圖 4-37、苗栗測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-36
圖 4-38、苗栗測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-36
圖 4-39、忠明測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-37
圖 4-40、忠明測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-37
圖 4-41、前金測站及感測器 PM <sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化 .....	4-38
圖 4-42、前金測站及感測器 Bias 及 R <sup>2</sup> 趨勢分析結果 .....	4-38
圖 4-43、臺北市 Airbox 數據變化趨勢 .....	4-40
圖 4-44、新北市 Airbox 數據變化趨勢 .....	4-41
圖 4-45、桃園市 Airbox 數據變化趨勢 .....	4-42
圖 4-46、臺中市 Airbox 數據變化趨勢 .....	4-43

圖 4-47、移動感測物聯網測試驗證執行流程 .....	4-48
圖 4-48、移動式感測器外型 .....	4-51
圖 4-49、移動式樣品機、TSI 及測站平行比對成果 .....	4-52
圖 4-50、移動式感測器測試路線圖 .....	4-53
圖 4-51、移動式感測器配置圖 .....	4-53
圖 4-52、5/20 移動式感測器道路測試成果圖 .....	4-54
圖 4-53、5/21 移動式感測器道路測試成果圖 .....	4-55
圖 4-54、6/10 移動式感測器道路測試成果圖 .....	4-56
圖 4-55、移動式感測器與 TSI8533 道路測試相關圖 .....	4-56
圖 4-56、移動式感測器原型機 5 台 .....	4-57
圖 4-57、8/24 移動式感測器原型機 5 台道路測試 .....	4-58
圖 4-58、9/2 移動式感測器原型機 5 台道路測試 .....	4-59
圖 4-59、9/15~9/17 移動式感測器設置於測試車輛狀態 .....	4-61
圖 4-60、9/15~9/17 移動式感測器即時 PM <sub>2.5</sub> 感測濃度圖 .....	4-61
圖 4-61、9/15~9/17 移動式感測器路段 PM <sub>2.5</sub> 平均感測濃度圖 .....	4-62
圖 4-62、9/15~9/17 移動式感測器面化 PM <sub>2.5</sub> 感測濃度圖 .....	4-62
圖 4-63、10/1~10/3 移動式感測器設置於測試車輛狀態 .....	4-64
圖 4-64、10/1~10/3 移動式感測器即時 PM <sub>2.5</sub> 感測濃度圖 .....	4-64
圖 4-65、10/1~10/3 移動式感測器路段 PM <sub>2.5</sub> 平均感測濃度圖 .....	4-65
圖 4-66、10/1~10/3 移動式感測器面化 PM <sub>2.5</sub> 感測濃度圖 .....	4-65
圖 5-1、維運國內外 100 點空氣品質感測器執行流程 .....	5-2
圖 5-2、「感測器物聯網數據分析及應用」教育訓練實況 .....	5-13
圖 5-3、青埔環境智聯網推動研商會議 .....	5-13
圖 5-4、觀音工業區感測器比對歷線圖 .....	5-16
圖 5-5、中壢工業區感測器比對歷線圖 .....	5-17
圖 5-6、TW050204A0504560 感測器比對歷線圖 .....	5-17
圖 5-7、感測器布建於炭烤店排油煙出風口處 .....	5-18
圖 5-8、新北市異常感測器比對歷線圖 .....	5-19
圖 5-9、新北市-2 感測器比對歷線圖 .....	5-19
圖 5-10、新北市-2 感測器周邊環境 .....	5-19

圖 5-11、新北市-8 感測器比對歷線圖 .....	5-20
圖 5-12、新北市-8 感測器周邊環境 .....	5-20
圖 5-13、臺中市-2 感測器平行比對歷線圖 .....	5-21
圖 5-14、臺中市-5 感測器平行比對歷線圖 .....	5-21
圖 5-15、臺中市-8 感測器平行比對歷線圖 .....	5-21
圖 5-16、道路邊監測時段濃度歷線圖 .....	5-23
圖 5-17、感測器現況資料呈現 .....	5-23
圖 5-18、感測器數據下載功能 .....	5-24
圖 5-19、感測濃度時間歷線圖繪製 .....	5-25
圖 5-20、維運 50 點空氣品質感測器執行流程圖 .....	5-27
圖 5-21、臺中市臺灣大道感測器觀察成果 .....	5-29
圖 5-22、離島感測器濃度歷線圖 .....	5-30
圖 5-23、2020/9/23 蘭嶼感測器 PM <sub>2.5</sub> 分鐘濃度歷線圖 .....	5-30
圖 5-24、國道三號香山段 PM <sub>2.5</sub> 濃度歷線圖 .....	5-31
圖 5-25、北區督察大隊長期污染監測歷線圖 .....	5-32
圖 5-26、遠東化纖北區督察大隊布點位置圖 .....	5-33
圖 5-27、遠東化纖北區督察大隊污染監測歷線圖 .....	5-33
圖 5-28、高雄市高值異常感測器平行掛測歷線圖 .....	5-34
圖 5-29、KS-O30233 與 PMO-7740 相關性不良 .....	5-35
圖 5-30、高雄市 KS 高值異常感測器與 PMO 感測器相關性 .....	5-35
圖 5-31、高雄市 6-9 月高值異常感測器平行掛測歷線圖 .....	5-36
圖 5-32、KS-O30372 與 PMO-4300 相關性佳 .....	5-36
圖 5-33、高雄市 KS 高值異常感測器與 PMO 感測器相關性不良 .....	5-37
圖 5-34、移動式感測比對參考固定點歷線圖 .....	5-38
圖 5-35、宣傳環境品質感測物聯網成果流程圖 .....	5-46
圖 5-36、環境感測物聯網成果 .....	5-49
圖 5-37、環境感測物聯網宣傳文宣 .....	5-49
圖 5-38、派駐人力工作執行流程圖 .....	5-53
圖 5-39、環境物聯網成果影片架構說明 .....	5-56
圖 5-40、空氣品質認知指導手冊 .....	5-57

圖 5-41、環工年會展覽現場展示圖 .....	5-57
圖 6-1、合辦計畫管理執行流程圖 .....	6-2
圖 6-2、合辦計畫執行進度彙整工作流程圖 .....	6-7
圖 6-3、空氣品質感測器布建維運之評估、規劃、執行流程圖 .....	6-11
圖 6-4、籌組國內環境品質物聯網專家團隊執行流程圖 .....	6-16
圖 6-5、感測器布建相關資料審查流程圖 .....	6-21
圖 6-6、協助機關檢視第三方巡檢核成果執行流程 .....	6-24
圖 6-7、各縣市聯繫交流會議實況 .....	6-26
圖 7-1、強化專案辦公室運作之執行流程、期程與查核點 .....	7-3
圖 7-2、專案辦公室平面配置圖 .....	7-3
圖 7-3、專案辦公室之運作方式 .....	7-6
圖 7-4、參加空品物聯網產業開展計畫部會之工作會議之 SOP .....	7-7
圖 7-5、民生公共物聯網計畫架構與分工 .....	7-10
圖 7-6、跨部會整合與協調之執行流程 .....	7-10
圖 7-7、計畫智庫與對策研擬之執行方法 .....	7-13
圖 7-8、環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫之關鍵成果 .....	7-14
圖 7-9、空品物聯網產業開展計畫之關鍵成果 .....	7-14
圖 7-10、我國 108 年空氣品質監測資料 .....	7-15
圖 7-11、國際對 CO 限制安全濃度之規範 .....	7-15
圖 7-12、光學式 PM <sub>2.5</sub> 感測器之尺寸規格 .....	7-16
圖 7-13、全球趨勢與產業發展對策建議之執行流程圖 .....	7-18
圖 7-14、食品鮮度和環境氣味偵測之應用情境 .....	7-20
圖 7-15、對特定氣體具有高選擇性吸收之沸石材料 .....	7-21
圖 7-16、Phoenix Robotix 提供水泥公司 OCL 環境物聯網解決方案 .....	7-21
圖 7-17、利用 IoT 技術智能規劃垃圾車出動時機及路線 .....	7-22
圖 7-18、智慧垃圾分類回收平台 .....	7-23
圖 7-19、微型感測器應用於監控垃圾場空氣品質 .....	7-24
圖 7-20、房地產物件結合空品資訊之加值應 .....	7-24
圖 7-21、20 大產業聯盟與產業差異分析 .....	7-28
圖 7-22、產業資訊交流平台內容架構 .....	7-30

圖 7-23、無障礙檢核標章圖示 .....	7-32
圖 7-24、網站首頁介面(輪播).....	7-33
圖 7-25、布建維運介面 .....	7-33
圖 7-26、技術推廣介面 .....	7-34
圖 7-27、感測器介面 .....	7-34
圖 7-28、空品感測原理介面 .....	7-35
圖 7-29、空品小故事介面 .....	7-35
圖 7-30、產業交流座談會-1.....	7-38
圖 7-31、產業交流座談會-2.....	7-39
圖 7-32、智聯網-跨世代環境治理計畫之相關產業鏈架構圖 .....	7-40
圖 7-33、港區主要排放源與污染物 .....	7-41
圖 7-34、港區污染監測應用情境與效益 .....	7-42
圖 7-35、都會區行動建議服務之應用情境與效益 .....	7-42
圖 7-36、室內停車場空品監之應用情境與效益 .....	7-43
圖 7-37、2020WWEM 研討會( <a href="https://www.ilmexhibitions.com/wwem/">https://www.ilmexhibitions.com/wwem/</a> ).....	7-45
圖 7-38、2020ASIC 研討會 ( <a href="https://aqrc.ucdavis.edu/events/air-sensors-international-conference-asic-2020">https://aqrc.ucdavis.edu/events/air-sensors-international-conference-asic-2020</a> ) .....	7-46
圖 7-39、2020 SENSORS EXPO 研討會 ( <a href="https://www.sensorsexpo.com/">https://www.sensorsexpo.com/</a> ) .....	7-46
圖 7-40、「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network」臺灣空氣感測物聯網-輸出 分享議程.....	7-48
圖 7-41、空氣感測物聯網-臺灣輸出分享會議 .....	7-51
圖 7-42、合辦布建及數據品質提升座談會 .....	7-51
圖 7-43、與會的專家學者李定哲(左)及 Ayla 聯合創辦人張南雄(右) ....	7-52
圖 7-44、縣市布建環保局受獎說明及現況 .....	7-53
圖 7-45、各縣市成果分享會議及與談 .....	7-54
圖 7-46、產業座談會分享 .....	7-54
圖 7-47、工研院攜手韓國富川市參與智慧城市簽約實境 .....	7-55
圖 7-48、工研院與韓國富川市簽約相關新聞露出 .....	7-55
圖 7-49、海報展示及媒體露出 .....	7-56
圖 7-50、環境物聯網在智慧感測成果展示 .....	7-57

## 表目錄

表 1-1、工作預定進度 .....	1-9
表 1-2、計畫查核點說明 .....	1-11
表 1-3、實際預定進度與查核點說明 .....	1-13
表 1-4、合約工作項目之執行情形與完工百分比 .....	1-14
表 2-1、美國感測器規格及應用情境 .....	2-3
表 2-2、韓國感測器規格及應用情境 .....	2-5
表 2-3、臺灣與各國感測器規格及應用情境比較 .....	2-7
表 2-4、空污感測器最適化布建評估方案 .....	2-12
表 2-5、污染告警劃分區域 .....	2-14
表 2-6、含空、水列管污染源之規劃布建清單 .....	2-20
表 2-7、空、水列管污染源密度前十名工業區 .....	2-21
表 2-8、環保署及環保局空氣品質感測器布建現況（截至 109 年 10 月） .....	2-24
表 2-9、空氣品質感測器內部元件模組現況 .....	2-25
表 2-10、中研院布建感測器現況 .....	2-26
表 2-11、訊舟科技空氣盒子(Airbox)設備規格 .....	2-27
表 2-12、感測器布建資訊媒體露出 .....	2-28
表 2-13、感測器稽查成果新聞媒體報導 .....	2-29
表 2-14、環境感測物聯網國內外重要期刊投稿成果 .....	2-34
表 3-1、執行進度表 .....	3-4
表 3-2、忠明測站數據資訊及 ANN 結果 .....	3-12
表 3-3、嘉義測站場域數據及 ANN 結果摘要 .....	3-15
表 3-4、竹東測站場域數據及 ANN 結果摘要 .....	3-18
表 3-5、O <sub>3</sub> 測試之濃度級距 .....	3-23
表 3-6、NO <sub>2</sub> 測試之濃度級距 .....	3-46
表 3-7、NO <sub>2</sub> 感測器同級產品比較 .....	3-57
表 3-8、各測站場域 NO <sub>2</sub> 濃度分布範圍與模組測試 R <sup>2</sup> 相關度 .....	3-64
表 3-9、長時間累積數據之測站場域 NO <sub>2</sub> 濃度分布範圍與模組測試 R <sup>2</sup> 相關度 .....	3-

表 3-10、NO <sub>2</sub> 感測模組商轉競爭分析比較 .....	3-74
表 3-11、PM 感測/量測技術彙整（既存已久之高階儀器不列入評估） .....	3-81
表 3-12、PM 感測器/模組價格彙整表（整理自 AQ SPEC） .....	3-83
表 4-1、智慧化巡檢異常篩檢指標 .....	4-7
表 4-2、感測器智慧化巡檢專案清單 .....	4-8
表 4-3、新北市可疑異常感測器篩檢清單 .....	4-9
表 4-4、新北市平行掛測比對數據解析 .....	4-14
表 4-5、臺中市平行掛測比對數據解析 .....	4-16
表 4-6、109 年空氣污染事件彙整年表 .....	4-22
表 4-7、各廠牌設備衰減分析結果綜整 .....	4-45
表 5-1、空氣品質感測物聯網教育訓練課程規劃 .....	5-2
表 5-2、各感測點感測數據資料欄位定義 .....	5-5
表 5-3、US EPA 對感測器在不同應用種類的建議性能目標 .....	5-6
表 5-4、108 年 100 台感測器運用現況 .....	5-8
表 5-5、「感測器物聯網數據分析及應用」教育訓練議程 .....	5-12
表 5-6、各測站感測器校正公式 .....	5-14
表 5-7、各測站感測器校正前後改成果 .....	5-15
表 5-8、路邊側感測器感測濃度分布狀況 .....	5-22
表 5-9、機動感測器運作現況 .....	5-27
表 5-10、分項一各項子計畫名稱 .....	5-40
表 5-11、分項一各計畫執行摘要重點明細 .....	5-41
表 5-12、分項一各計畫團隊執行進度控管表 .....	5-43
表 5-13、分項一各計畫團隊執行成果追蹤表 .....	5-44
表 5-14、感測器的應用目的分級 .....	5-47
表 5-15、PM <sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標 .....	5-48
表 5-16、感測數據討論會議辦理時程 .....	5-51
表 5-17、派駐人力協助彙整資料表 .....	5-54
表 6-1、第一、二期核定之合辦計畫執行進度追蹤表 .....	6-5
表 6-2、各縣市感測情境布建現況表 .....	6-9
表 6-3、感測器異常檢核清單 .....	6-12

表 6-4、桃園市 2020 年 1-5 月 107 設備感測器超過 2.5 倍上限值設備數量...	6-13
表 6-5、高雄市 2020 年 1-5 月 107 設備感測器超過 2.5 倍上限值設備數量...	6-13
表 6-6、桃園市異常設備清單 .....	6-13
表 6-7、感測設備現況異常查核結果 .....	6-14
表 6-8、專家輔導會議場次 .....	6-17
表 6-9、計畫團隊研提之審查資料範本彙整表 .....	6-20
表 7-1、智聯網跨世代環境治理計畫年度目標 .....	7-8
表 7-2、全球污染最嚴重之城市（來源：Numbeo） .....	7-19
表 7-3、109 年度二十大產業聯盟簡介與涵蓋領域 .....	7-26
表 7-4、國內業者環境品質物聯網開發情形 .....	7-29
表 7-5、臺灣環境物聯網網站服務內容 .....	7-31
表 7-6、環境物聯網_空物聯網際水物聯網成果發表及展示規劃 .....	7-49
表 7-7、專案辦公室人員配置及工作內容說明表 .....	7-58
表 8-1、106-109 年計畫執行成果彙整 .....	8-4



## 報告大綱

本報告書依計畫工作項目及內容共分八章節撰寫，其各章節之內容、架構及重點如下說明：

### 第一章、緒論

說明本計畫之背景緣起、年度目標、工作項目與內容，以及對應各工作項目之執行成果摘要等。

### 第二章、評估國內外物聯網現況

本工作項目在於蒐集國內外（含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞等）環境品質物聯網、智慧城市之相關資訊，包含其發展趨勢、架構規劃、推動策略及具體措施等面向，涵蓋國家規劃、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及市場預測等範疇。完成研提我國環境品質物聯網發展策略及推動措施，規劃並滾動修正全國空氣品質感測器布建點藍圖及提出效益預測，同時將國內感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際或國內指標學術期刊，至少 3 件以上。

### 第三章、精進國產化空氣感測元件研發技術

大氣中之細懸浮微粒除原生性外，由氣狀空氣污染物如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及揮發性有機物質(VOCs)等，衍生之細懸浮微粒也是重要的貢獻來源，因此除監測  $\text{PM}_{2.5}$  外，對於衍生性  $\text{PM}_{2.5}$  之前趨物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及 VOCs 等也需要加以監測。因此，在細懸浮微粒管制上，除懸浮微粒監測外上述氣體之感測器技術亦有其必要性。政府所設空氣品質標準監測站可以長時間連續監測各種空氣污染物之濃度，但設備龐大不易移動，故無法普及於各種環境空氣品質監控應用。物聯網化可讓空氣品質監測事半功倍，而環境物聯網監測則需要大量戶外環境偵測點布建，因此在實務上的偵測器必需具備可大量製作、符合物聯網廣布感測器之特性、低功耗、低成本等需求，故關鍵的感測元件研發時，將以此為終極目標。本工作項藉由持續精進  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$  國產化元件之性能，據以提升我國環境感測技術之量能，並透過技轉與商品化設計，建構環境物聯網產業鏈。另外，評估我國未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術，分析應用場域、市場需求預測、國產化研發設計及生產及量產可行性及智慧財產權全球分布現況，據以研擬未來推動策略，布局全球環境感測市場之具體措施。

#### 第四章、建立感測數據智慧判讀及應用機制

環保署依據前瞻基礎建設計畫，自 106 年起推動環境感測物聯網建置作業，並於 107 年啟動與縣市地方政府進行感測器合辦布建計畫，執行至 109 年 10 月已於全國 17 縣市合計布建達 8,700 台感測設備。為使感測設備持續提供可信之數據資料，應建立設備資訊、智慧化巡檢、數據校正及數據衰減分析之相關機制，並蒐集感測設備之相關成果及應用案例，以確實反應出污染事件於設備數據上之趨勢變化且藉此確立污染數據判讀之機制行為。其設備之應用除針對固定污染源應用稽查外，今(109)年度將裝設感測設備於車輛上，利用移動感測物聯網初步測試移動污染源監測之應用面向，藉此分析都市交通廊道上之污染濃度與車輛、天氣、交通等因素之相關性及影響情形。

#### 第五章、整合環境感測物聯網執行成果並擴大驗證

環保署今年度仍持續擴大空氣品質感測網絡布建，推動維運國內或國外運用 100 點之空氣品質感測器規劃、布建及試驗驗證工作。對於維運機動式感測器之重點以跨域應用及測試為主軸，分析在智慧工廠、智慧醫療或智慧建築等之關聯性，期望能在跨域應用上獲得新的發想與成效。持續協助環保署推動「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」下各分項計畫、提案工作研析修正及意見，並就執行情形進度管理追蹤及問題分析，提出彙整及進度報告，以基礎建構、整合布建、資料服務及智慧應用等四大重點，落實進度控管與各計畫間之溝通橋樑。持續精進研析感測元件整合、感測器效能及大數據分析，透過持續配合辦理相關活動及彙整資料、簡報及維運物聯網網站，擴大計畫推動之成效。

#### 第六章、協助地方政府感測物聯網建置工作

環保署為掌握與地方合辦布建感測器之運作品質，計畫團隊透過協助地方政府共同推動空氣品質感測器布建與維運工作。協助環保署管理物聯網相關工作推動，包括協助環保署管理合辦計畫進度與品質、彙整地方政府感測物聯網運作情形、提供空氣品質感測器布建維運專業分析及建議、協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行，籌組國內環境品質物聯網專家團隊、審查地方政府所提空氣品質感測器布建維運之相關資料及協助機關檢視第三方巡檢查核成果。

#### 第七章、專案辦公室強化計畫管考、產業推動、成果效益

依據行政院「數位國家創新經濟發展方案(106至114年)」(簡稱DIGI+)

特別擘劃網路社會數位政府行動計畫，落實各級政府資料治理，積極發展 IoT 及 AI 智慧產業，創造物聯網及智慧應用的研發。為了強化對環境領域的加值應用，由國家前瞻基礎建設計畫-數位建設下之民生公共物聯網計畫支持，研發多項國產環境品質感測元件，強化國內自有技術能量，並透過實地場域測試及驗證，同時橋接產業生態鏈，期望整合開展環境物聯網跨域應用，成功輸出國際。其中為協助空品物聯網整體推動及資源整合，成立專案辦公室，主要任務包含協助物聯網分支計畫間之整體執行發展，而相關主要的願景與目標有三：(1)協助空品物聯網應用推動與執行、(2)協助建立各計畫及跨部會間成果運用及串接、(3)促進空品物聯網產業開展。

## 第八章、結論與建議

說明本年度執行的工作成果與未來工作推動的建議事項。

## 計畫成果報告摘要(詳細版)

計畫名稱：109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

計畫執行單位：財團法人工業技術研究院

計畫主持人（包括協同主持人）：陳范倫、陳一誠

計畫期程：109 年 2 月 21 日至 109 年 12 月 31 日止

計畫經費：新台幣參仟肆百萬元整

### 摘要

在延續 106 年度至 108 年度環境感測物聯網相關計畫所建立的基礎下，本計畫持續協助環保署運用微型感測器建構智慧化環境管理系統。截至 109 年 10 月底已完成評估國內外物聯網現況之進度、持續蒐集國內外相關文獻並參考國際作法嘗試用於未來藍布建藍圖規劃上，追蹤國內布建感測器測項內容及廠牌等資訊；國產化 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 感測模組已於完成測站比對作業，並利用人工類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)演算法調校感測元件與測站間的相關性，數據校正後 R<sup>2</sup> 皆可達到 0.6 以上；擴大環境感測數據判讀與應用服務已針對感測數據進行校正測試、數據融合及衰減分析，結果顯示大部分感測器尚無顯著衰減現象，移動式感測器性能對於高污染車輛及道路側高污染來源具有顯著的辨識能力，可作為建立區域環境的基礎資料；與地方政府合辦進度，已陸續達成全國 10,200 感測器之布建及維運成效；持續促進公私部門交流及討論布建對策與精進措施，協助查驗地方政府維運感測器點位、數據品質滿意度，並依機關需求規劃及執行；專案辦公室已完成增修專案辦公室運作標準作業程序、問答集、空品物聯網 110~114 年度目標；完成 106 年~109 年執行成果報告初版，且完成國際氣體感測發展等趨勢分析。故本計畫於 109 年 2 月執行至今，已達成 100%之執行進度，並符合期末報告之要求。計畫已完成研析國際物聯網之發展趨勢、國產化感測元件技術的精進、擴大環境感測數據判讀與應用服務、整合驗證環境感測物聯網執行成效、協助地方政府感測物聯網建置工作、強化專案辦公室產業推動成果效益等工項，落實感測數據品質及應用效益，結合產官學研於物聯網技術共同成長，發展智慧城市與環境執法的應用實務，透過以臺灣為驗證場域，確實發揮輔助環境智慧執法的成效，同時也讓民眾明確感受到環境感測物聯網對環境治理的功能。

## 前言

運用物聯網科技輔助環境治理已成為全球的顯學，例如歐盟(UN)以挪威研究機構 NILU (Norsk institutt for luftforskning) 主導之 iFLINK (Innovativ forvaltning av luft og miljø i norske kommuner, 2019-2021)計畫，未來重點工作以優化維運及校正環境物聯網來節省資源人力、利用 AI 及機械學習來找出”錯誤資料”及線上校正 (real-time calibration)、結合大氣擴散模式進行資料融合。美國 (USA)加州 SC-AQMD (South Coast Air Quality Management District)及 AQ-SPEC (Air Quality Sensor Performance Evaluation Center)積極展開以移動監測技術、定點監控技術、環境空氣品質標準的參考方法、衛星監測、資料融合方法來展開新世代微型空氣品質感測技術研發。韓國於 2019 年起規畫在工業區、社區及校園布建至少 4 萬點空氣品質感測器，擬定 4 級空品感測數據品質應用等級指標，據以規範微型感測器數據應用標準。2014 年 Aclima 開始和 Google Earth 合作，利用 Google 街景車搭載 Aclima 感測器，針對即時交通環境監控數據，讓使用者針對環境污染來制定交通管制決策。故現階段臺灣立足於全球環境感測物聯網之先驅，未來應朝向提升物聯網環境感測元件與感測數據準確度與精確度、應用移動式感測發展交通污染管制策略，建構全方位環境感測物聯網藍海，確保領先國際發展之智慧環境治理趨勢。

經過 106 年計畫研析歐盟英國倫敦智慧城市計畫(Smart London)、荷蘭阿姆斯特丹智慧城市計畫、美國智慧城市計畫(Smart America)、日本智慧城市計畫(Smart City Project)，以及韓國松島智慧城市計畫(Sondo IBD)；107 年蒐集美國 CES 消費電子展、韓國物聯網建設、日本物聯網大數據(Big data)，以及歐盟與聯合國在健康角度的運用，其共通點是引入感測與通訊科技藉以提升生活品質、提高能源使用效率、改善交通運輸等，皆為環境物聯網可切入的角度。108 年研析美國、挪威、韓國及日本等皆積極發展感測設備與應用服務，並嘗試使用 AI 及機器學習之方式進行元件、設備、數據及系統的校正，並顯示出物聯網的建置及應用為全球化發展之趨勢，並藉由物聯網推展到智慧城市之應用，並走向商業到商業的用戶模式，藉此提升民眾對周遭環境資訊與健康生活的關注。

在元件研發部分，106 年度計畫針對 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 三項感測技術進行研發，陸續完成雛型設計、數值模擬、幾何設計修正及雛型元件之製作。107 年度持續精進感測元件的性能強化，陸續完成雛型模組。PM<sub>2.5</sub> 感測元件經由電源供應器與靜電計合併於電路板中，整體體積縮小為儀器之 1/10，感測核心元件體積及重量減少 1/3。O<sub>3</sub> 感測元件完成四極式電極及電極隔離疏水膜、電

解質保水膜與電極分離膜之開發，偵測極限小於 20 ppb 符合設計目標，實驗室結果顯示雛型模組的線性區間濃度 0~700 ppb， $R^2 > 0.9$ ，確實符合國內低中高污染環境中之效能。NO<sub>2</sub> 感測元件研發方面，完成感測複材搭配光電驅動感測模組，搭配驅動電路與數據分析整合模組，內建硬體運算單元抗雜訊和漂移模式，偵測極限小於 20 ppb 符合設計目標。108 年度為確認場域布建之穩定性與效能，除持續縮裝設計，並進行小型試量產與實場測試。PM<sub>2.5</sub> 感測元件進行新竹測站比對 51 日，相關係數( $R^2$ )為 0.66，發現在環境濃度低於 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時，有高估之情形；環境濃度在 15~60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時，感測數據吻合度較高。O<sub>3</sub> 感測元件模組的最低偵測極限可達 20 ppb，O<sub>3</sub> 線性區間 0~150 ppb， $R^2 > 0.7$ ，感測元件於 50 ppb O<sub>3</sub> 濃度之精確度(precision) < 30 %。在竹東測站（低濃度）進行 1 個月場域測試相關係數( $R^2$ )可達 0.76。在陽明山測站（高濃度）比對 1 個月，相關係數( $R^2$ )可達 0.64。在陽明山測站（高濃度）比對 1 個月，相關係數( $R^2$ )可達 0.64，部分有濃度高低值無法逼近的誤差。NO<sub>2</sub> 感測元件進行累積有 288 日的場域測試結果的改良精進，並由三種不同低中高濃度分布的測站場域分析，精進版的模組在累積測試時間有 75 天。NO<sub>2</sub> 感測元件與三重測站（高濃度）比對 75 天，相關係數( $R^2$ )可達 0.65。在板橋測站（中濃度）進行 13 天場域測試，相關係數( $R^2$ )可達 0.54。在古亭測站（低濃度）進行 14 天場域測試，相關係數( $R^2$ )可達 0.41。其感測元件相關係數的測試結果良好，已可媲美國外之設備，但其元件之偵測極限仍需改善，以更加符合環境的濃度條件。

運用大數據分析發展智慧校驗模式發現，PM<sub>2.5</sub> 濃度與環境濕度對校正結果影響最大，神經網路模型比多元線性回歸模型校正成果好，後續須再細分空間優化校正模型，並透過現地巡檢驗證模型效能，達到降低維運成本，縮小數據偏差，提升感測器使用效率。另在配合相關行政作業以提升計畫執行品質與成效的部分，主要以協助環保署與環保局之地方合辦環境物聯網布建計畫，針對環保署與 16 個地方政府合辦空氣品質物聯網布建計畫，共計布建 4,400 個感測器及維運 3,300 個感測器，研擬感測器應用目的與選址、感測器安裝布建、感測器維運及數據品質管理、感測器狀況異常偵測報修、數據篩選校正及公布、污染偵測及分析判斷、經費編列等 7 項標準作業程序，督促落實感測器數據品質。並成立專案辦公室，即時處理行政院及環保署各項配合之事務，快速協調前瞻計畫分項一與分項二部會合作與追蹤管考，以強化計畫管考與產業化推動進度。

今(109)年度計畫團隊將透過在國際上分享運用物聯網輔助環境治理的成功案例，引領各國由智慧城市跨入環境感測物聯網之發展新趨勢，經由運用大

數據分析與人工智慧技術，形成多樣化的創新應用服務與新創產業。期盼藉由臺灣在全球具有領先的技術基礎上，持續以臺灣為示範場域，藉由環境物聯網在環境管理之應用效益，孕育跨域合作與創新服務，將感測物聯網拓展在智慧生活、智慧家電、智慧交通、智慧建築、智慧農業等應用服務，逐步落實萬物聯網、環境優化、創新研發、驅動產業的目標，經由連結在地、全球及未來，達到雲端鏈結、跨界監控、智慧管理及客製化應用服務之目的。

## 執行方法

### 一、本計畫目標包括：

- (一) 評估國內外物聯網現況並提出分析。
- (二) 精進國產化空氣感測元件研發技術。
- (三) 擴大環境感測數據判讀與應用服務。
- (四) 整合驗證環境感測物聯網執行成效。
- (五) 協助地方政府感測物聯網建置工作。
- (六) 強化專案辦公室產業推動成果效益。

### 二、本計畫各工作項目內容

#### (一) 評估國內外物聯網現況並提出分析

本工作項目在於蒐集國內外（含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞等）環境品質物聯網、智慧城市之相關資訊，包含其發展趨勢、架構規劃、推動策略及具體措施等面向，涵蓋國家規劃、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及市場預測等範疇。完成研提我國環境品質物聯網發展策略及推動措施，規劃並滾動修正全國空氣品質感測器布建點藍圖及提出效益預測，同時將國內感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際或國內指標學術期刊，至少 3 件以上。

- A. 國際資訊收集與分析：蒐集國外（至少包含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞）物聯網、環境品質物聯網、智慧城市之資訊。包含發展趨勢、架構規劃、推動策略、具體措施等，並提出我國發展建議報告。
- B. 最適化布建藍圖規畫：滾動修正全國空氣品質感測器布建點藍圖及提出效益預測，依現行布建點位檢討工業、社區、交通、輔助等感測點布建數量及位置，修正最適化布建藍圖規劃。
- C. 國內空品感測應用調查：蒐集國內業者或地方政府自主布建之空氣品質感測器廠牌、規格、布建點及應用情境，掌握國內空氣品質感測器

應用現況。

- D. 國內外技術資料研析：蒐集及研提與環境感測物聯網技術、研發、資料分析等學術、公信單位、指標企業之學術研究資料，每半年提出資料更新。
- E. 提升國際能見度：將我國感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際期刊或國內指標學術期刊 3 件以上。

## (二) 精進國產化空氣感測元件研發技術

大氣中之細懸浮微粒除原生性外，由氣狀空氣污染物如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及揮發性有機物質(VOCs)等，衍生之細懸浮微粒也是重要的貢獻來源，因此除監測  $\text{PM}_{2.5}$  外，對於衍生性  $\text{PM}_{2.5}$  之前趨物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及 VOCs 等也需要加以監測。因此，在細懸浮微粒管制上，除懸浮微粒監測外上述氣體之感測器技術亦有其必要性。政府所設空氣品質標準監測站可以長時間連續監測各種空氣污染物之濃度，但設備龐大不易移動，故無法普及於各種環境空氣品質監控應用。物聯網化可讓空氣品質監測事半功倍，而環境物聯網監測則需要大量戶外環境偵測點布建，因此在實務上的偵測器必需具備可大量製作、符合物聯網廣布感測器之特性、低功耗、低成本等需求，故關鍵的感測元件研發時，將以此為終極目標。本工作項藉由持續精進  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$  國產化元件之性能，據以提升我國環境感測技術之量能，並透過技轉與商品化設計，建構環境物聯網產業鏈。另外，評估我國未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術，分析應用場域、市場需求預測、國產化研發設計、生產及量產可行性與智慧財產權全球分布現況，據以研擬未來推動策略，布局全球環境感測市場之具體措施。

- A. 完成國產化  $\text{PM}_{2.5}$  感測元件之精進與量產化技術研發：進行溫濕度補償修正，並導入 ANN 演算法訊號處理。完成量產成品機 5 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 3 個月）、地點（至少 3 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。
- B. 完成國產化  $\text{O}_3$  感測元件研發：進行演算法訊號修正以提升感測效能。完成量產之國產化  $\text{O}_3$  感測元件 30 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 5 個月）、地點（至少 4 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉



移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。

- C. 完成國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件研發：進行演算法訊號修正以提升感測效能。完成量產之國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件 40 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 5 個月）、地點（至少 6 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。
- D. 以上 3 式空氣品質感測器研發原則如下：
  - (A) 各感測技術篩選，原則以未來研發完成後可大量製作、符合物聯網廣布感測器之特性及成本需求，以全國產化技術為優先，且無技術或智慧財產權疑義。如需引進國外適切技術，需取得該技術及智慧財產權利，惟每項技術得扣減 10% 計畫總經費。
  - (B) 研究或研發成果需提出臺灣或歐盟或美國之專利申請。
- E. 評估未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術至少 3 項：並分析國內外時空背景及感測技術資料蒐集，提出應用場域、市場需求預測、國產化研發設計及生產及量產可行性、該技術及智慧財產權全球分布現況、推動策略等。

### （三）擴大環境感測數據判讀與應用服務

環保署依據前瞻基礎建設計畫，自 106 年起推動環境感測物聯網建置作業，並於 107 年啟動與縣市地方政府進行感測器合辦布建計畫，執行至 109 年 11 月已於全國 17 縣市合計布建達 9,261 台感測設備。為使感測設備持續提供可信之數據資料，建立設備資訊、智慧化巡檢、數據校正及數據衰減分析之相關機制，並蒐集感測設備相關成果及應用案例，以確實反應出污染事件於感測數據上之趨勢變化，藉此確立污染數據判讀之機制行為。其設備之應用除針對固定污染源應用稽查外，今(109)年度將裝設感測設備於車輛上以利用移動感測物聯網初步測試移動污染源監測之應用面向，藉此分析都市交通廊道上之污染濃度與車輛、天氣、交通等因素的相關性及影響情形。

- A. 感測數據資料融合：蒐集國內各式空氣品質感測器（含校園感測器以及政府感測器等）資訊，提出其最佳感測情境或環境，並比較各式感測器數據差異如須調校為一致之方式建議，必要時需實地量測。
- B. 驗證智慧化巡檢校正方案：驗證感測物聯網智慧化巡檢（管理感測設備）及感測器校驗機制（管理感測數據）之建議方案，完成實地場域驗證包含以鄰近感測器、標準監測站及巡檢儀器及平行比對感測器等

資訊建立相關參數對應關係、盤點感測器偏移狀況、運用大數據進行感測器遠端校正，完成建置智慧化巡檢校驗機制可行性評估。

- C. 重大污染事件資料收集：蒐集 109 年空氣污染事件之新聞案件（例如火災、洩漏）及其感測數據變化，並建立該年完整空氣污染事件大紀事及感測數據變化資料，以利機關對外說明物聯網資料判讀方式。
- D. 感測數據衰減分析：蒐集中研院布建校園感測器及本署與地方政府合辦布建感測器之感測數據，分析各式感測器與標準監測站及群體感測器之感測趨勢，分析感測效能與衰減狀態，完成各式感測器衰減分析。
- E. 移動感測物聯網測試驗證：運用空氣品質感測器發展設置於車載平台之移動式感測器，分析車輛運行過程對感測器之影響，評估與天氣、車流量、風速、風向或其他因子相關性，研提移動式感測器試量產設計。
  - (A) 完成至少 3 場次移動式感測器數據品質驗證，包含感測數據與交通感測點、標準監測站或巡檢儀器之平行比對測試，評估與車速、風速、溫度、濕度、震動或其他因子相關性與精準度，據以研提移動式感測器試量產設計。
  - (B) 完成移動式感測器機構小型化，完成小型量產原型機 5 組，並經實際應用於國內實地場域完成至少 5 場次移動式感測器數據品質驗證，須將測試期程、地點、比對方式、結果出具測試報告，並繪製出測試路網污染圖譜。

#### （四）整合驗證環境感測物聯網執行成效

環保署今年度仍持續擴大空氣品質感測網絡布建，推動維運國內或國外布建 100 點以上空氣品質感測器規劃、布建及測試驗證工作。對於維運機動式感測器之重點以跨域應用及測試為主軸，分析在智慧工廠、智慧醫療或智慧建築等之關聯性，期望能在跨域應用上獲得新的發想與成效。持續協助環保署推動「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」下各分項計畫，提案工作研析修正及意見，並就執行情形進度管理追蹤及問題分析，提出彙整及進度報告，以基礎建構、整合布建、資料服務及智慧應用等四大重點，落實進度控管與各計畫間之溝通橋樑。持續精進研析感測元件整合、感測器效能及大數據分析，透過持續配合辦理相關活動及彙整資料、簡報及維運物聯網網站，擴大計畫推動之成效。

- A. 維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器，並依據機關需求

調度布建於合適場域。

- (A) 辦理布建與維運作業教育訓練 2 場次：課程包含感測點位規劃、布建作業程序、維運作業程序、巡檢作業程序、感測數據檢核、污染熱區分析。每場次 2 小時以上、需提供場地租借、提供茶水及餐點，並包含講師 2 小時授課。（場地容納 50 人以上規模）
- (B) 調整優化感測器布建規劃與設計：依據機關要求優化調整布建與維運作業計畫，並協調整備布建作業。布建規劃及點位選擇以機關需求為主，機關保有調整權利。
- (C) 感測器實地場域數據校正：前項布建前須以符合示範需求之監測站與區域實施感測器平行比對作業，建立區域的感測器經演算法校正後對外示值，以符合本署數據品質的要求。
- (D) 感測器數據呈現：提供中英文空氣品質感測器數據呈現圖表，提供查閱感測數據歷史數據圖表及變化趨勢表檢視功能。
- B. 維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）：進行跨域結合測試驗證未來感測物聯網可能應用模式。
- C. 環境品質感測物聯網計畫進度管考：協助環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」各分項計畫之規劃推動、目標檢視，管理追蹤其工作及經費執行進度，每月提出彙整及進度報告，通盤評估整體計畫關鍵工作及時間點之銜接是否完整。
- D. 宣傳環境品質感測物聯網計畫成果：每 2 月及每半年更新前項計畫成果摘要說明資料（型式如精簡文字、秒懂圖片），以利機關彙整成效。另規劃、彙整機關整體環境物聯網推動內容，並研提對策分析、強化推動策略建議。
- E. 精進環境品質感測物聯網計畫推動：蒐集機關推動環境品質感測物聯網目前所遇問題，分類規劃精進方式，並規劃每季與專家學者或民間團體或相關對象召開交流會議或專諮會或座談會（如工作坊），溝通意見強化政策推動。另配合機關需求及計畫推動，提供相關法律意見書。
- F. 得標廠商需有 1 名專業人力：經機關同意（更換時亦同），專門辦理本計畫相關工作，依機關需求於指定地點協助計畫執行、彙整資料、聯繫協調等行政工作。
- G. 配合機關宣傳與辦理活動：配合機關舉辦活動或記者會，協助規劃及彙整資料，提供/製作簡報、海報、推廣文件、論文，必要時提供場地

租借、器材租借、布場、展示品製作、說明素材製作。配合機關報告案、會議，協助彙整研提資料、簡報；另協助機關環境品質物聯網相關網站之規劃、管理及維運。

(五) 協助地方政府感測物聯網建置工作。

環保署為掌握與地方合辦布建感測器之運作品質，計畫團隊將協助地方政府共同推動空氣品質感測器布建與維運工作，協助環保署物聯網相關工作推動，包括協助環保署管理合辦計畫進度與品質、彙整地方政府感測物聯網運作情形、提供空氣品質感測器布建維運專業分析及建議、協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行，籌組國內環境品質物聯網專家團隊，審查地方政府所提空氣品質感測器布建維運之相關資料及協助機關檢視第三方巡檢查核成果。

- A. 協助機關管理合辦計畫：管理追蹤各地方政府與機關合辦感測器布建之工作及經費執行進度，須了解其執行進度困難點，決標後提出管理方式規劃並每 2 月提出檢討報告，視需要與地方政府召開管理會議。
- B. 彙整地方政府感測物聯網運作情形：包含合辦計畫執行、布建工作、維運工作、稽查工作、宣導工作、經費執行等進度，並每月向機關提出管理建議。得標廠商需有 2 名行政或技術專業人力，經機關同意（更換時亦同）專門辦理地方政府執行管理工作，依機關需求於指定地點協助計畫執行、彙整資料、聯繫協調等行政工作。
- C. 協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行：提供專業分析及建議，協助其協調工作，必要時協助地方政府進行布建位置之實地勘查。
- D. 籌組國內環境品質物聯網專家團隊：輔導或查核業界及地方政府 5 場次以上（至少 3 名專家/場次）。(場地容納 20 人以上規模、需提供場地租借、茶水及餐點、專家學者出席費及接駁)
- E. 協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料：研提分析建議，確認及查驗地方政府布建感測器地點、數據資料上傳情形及完整率，並依機關需求規劃及執行。
- F. 協助機關檢視第三方巡檢查核成果：查驗地方政府維運感測器地點、數據品質滿意度及完整率，並依機關需求規劃及執行。
- G. 規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」1 場次（天），時間及地點經機關同意後執行，並需提供場地租借、茶水及餐點等。

(六) 強化專案辦公室產業推動成果效益。

依據行政院「數位國家創新經濟發展方案(106 至 114 年)」(簡稱 DIGI+) 特別擘劃網路社會數位政府行動計畫，落實各級政府資料治理，積極發展 IoT 及 AI 智慧產業，創造物聯網及智慧應用的研發。為了強化對環境領域的加值應用，由國家前瞻基礎建設計畫-數位建設下之民生公共物聯網計畫支持，研發多項國產環境品質感測元件，強化國內自有技術能量，並透過實地場域測試及驗證，同時橋接產業生態鏈，期望整合開展環境物聯網跨域應用，成功輸出國際。其中為協助空品物聯網整體推動及資源整合，成立專案辦公室，主要任務包含協助物聯網分支計畫間之整體執行發展，而相關主要的願景與目標有三：(1)協助空品物聯網應用推動與執行、(2)協助建立各計畫及跨部會間成果運用及串接、(3)促進空品物聯網產業開展。

- A. 強化專案辦公室運作：依據前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫項下「空品物聯網產業開展計畫」內容持續專案辦公室運作，辦理我國空品物聯網推動及資源整合工作、訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明，並提出專案辦公室及我國空品物聯網之 110~114 年度目標並持續修正。
- B. 跨部會整合協調：督導、聯繫、協調各部會計畫事宜，並彙整進度及成果資料，定期提出進度報告、召開會議。並配合行政院、科技會報辦公室、科技部等管考單位之定期與臨時交辦事項。
- C. 計畫智庫與對策研擬：整合各部會「空品物聯網產業開展計畫」分工並配合環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」執行需求，研提前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫 106 年~109 年執行成果報告。檢視各工作項目適用性、銜接程度(內容、期程)，可能問題提出預警、分析及對策研擬。
- D. 全球趨勢與產業發展對策建議：蒐集國內外感測元件資訊、國際環境品質感測元件、環境感測物聯網應用資訊與發展趨勢，研析國內外標準案例，並盤點國內空氣品質物聯網產業能量與需求，研提國內環境品質物聯網之加值應用方式、研擬我國產業發展對策。
- E. 提升一站式推廣中心服務：持續鏈結國內物聯網公協會及產業，組成交流平台，並蒐集業者環境品質物聯網開發情形。以空品物聯網一站式推廣中心協助產官學研民交流情資，並創造跨專業領域結合機會；持續更新管理網頁資訊。
- G. 擴大產業交流與合作：完成洽談 2 件國內環境品質感測應用服務合

作，並提出應用目標、規劃、期程。辦理產業座談會 3 場次以上，每場至少 8 家業者參與，提供相關產業分析、技術能量、政策資源等資訊，並進行交流，協助媒合促成產業跨域合作，健全產業鏈發展。

- H. 國際參訪與研討：持續蒐集國際物聯網、智慧城市展覽活動及研討會資訊，並擇 2 場以上進行參訪，研提參訪報告。參訪地區以歐美為優先（每場原則 7 日、1 人以上），並需經機關同意，倘未出訪則依契約之經費需求概算減少價金（含管理費及營業稅）。
- I. 擴大宣傳成效：規劃大型研討會議或交流會議或展覽（合計 2 日以上），需經機關同意後辦理，專家學者為國內外物聯網專家，含機票、交通、住宿、出席費、餐飲、場地租借（150 人以上場地）及布置、簡介、會議資料。（大型研討會議或交流會議之專家學者：2 日共計 20 人以上）
- J. 專責人員配置：專案辦公室應有 4 人以上專責人員（其中 1 人為專案辦公室管理人，另 3 人為專案研究人員），全職辦理本項工作，且須含有 2 人以上具有整合部會、整合地方政府之行政及管理經驗。為利計畫推動，機關保有人員更換權利。

## 結果

### 一、 評估國內外物聯網現況並提出分析：

- 1. 針對工業區範圍內的固定式感測點位進行全面檢討與規劃，約有近八成的感測器能有效偵測到微環境的空氣污染事件，並可評估現地環境需求，參考本計畫依列管污染源密度作為布建順序之依據。
- 2. 蒐集與更新確認全國民間業者及地方政府在空污感測器的布建區域及設備規格等相關資料，以及感測器布建資訊及應用成果之新聞露出資訊，以正向宣導感測器應用之成效，達成切合民眾有感的宣傳效益。

### 二、 精進國產化感測元件研發技術：

- 1. PM<sub>2.5</sub> 感測模組透過 ANN 演算之修正，其演算成果  $R^2$  可由 0.4 提升至 0.7155。在場域比對測試方面，經 ANN 之溫濕度補償修正後  $R^2$  可達近 0.7 之目標值，表示利用 ANN 演算補償技術，可確實達到溫濕度補償之效果。
- 2. O<sub>3</sub> 感測模組場域比對測試之  $R^2$  約在 0.5-0.8 間，顯示所開發之感測器深具可行性。如能累積更長時間之數值進行 ANN 訓練及演算校正，應可有效提升數據  $R^2$ 。

3. NO<sub>2</sub>感測模組利用 ANN 溫濕度修正演算補償可提高相關性，R<sup>2</sup>有 5~20% 不等程度，因感測模組有低濃度偵測限制，對於環境濃度低於 10 ppb 以下，顯示越低濃度偏差越大，因為低濃度樣本數太少，導致 ANN 無法有效修正。

### 三、擴大環境感測數據判讀與應用服務：

1. 本年度完成全臺政府與民間感測器的盤點，並透過 31 處手動監測站的平行掛測數據，與中研院資訊科學研究所共同合作建置民間感測器校正機制，全面將國家級測站、政府感測器、民間感測器三方數據整合至同一標準，提升整體數據判讀的正確性。
2. 本年度以新北、臺中兩縣市作為智慧化巡檢機制開發與驗證之場域，成功利用共變異數、誤差百分比、感測器決定係數、國家測站判定係數四項檢測指標，圈列出可疑的異常感測清單，經現場掛測實驗及數據比對結果，驗證本機制之可行性，達成智慧化管理之維運目的。
3. 今年度多件重大污染事件可藉由感測器觀察到污染物擴散反應和變化。而污染事件於感測器所反應出的成果，可提供地方政府了解污染事件對環境區域所造成的衝擊及影響範圍，擴大了空氣品質感測物聯網之應用效益。
4. 本年度透過分析監測站及感測器的數據間的濃度、相對器差(bias)及判定係數(R<sup>2</sup>)的變化趨勢，可以有效判別感測器的衰減趨勢。整體而言，大部分感測設備尚無顯著的衰減情形，由於臺灣的環境條件相對良好，故感測元件的衰減效率較低，故分析時間需至少 1 年以上才較容易判斷。由於衰減特性易受到環境濃度影響，因此季節變化也為分析結果的重要參考依據。因此，設備是否有衰減情形需參考多項因子綜整才可判定。
5. 依據 MOT 樣品機及原型機測試成果發現，MOT 的感測性能對於高污染車輛及道路測高污染來源(餐飲業廚房排煙口)具備有明顯的辨識能力，對於後續作為交通動線的污染感測或是補足固定感測點在空間解析度不足的區域，可作為建立區域環境的基礎資料。
6. 運用 5 台 MOT 進行為期 6 天在大臺北地區的感測成果發現，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70~80%，時間解析度約能達到 40%，對於未來城市區域污染分布掌控提供有效的執行方案。

### 四、整合驗證環境感測物聯網執行成效：

1. 運用全國 31 手動站標準監測站建立各地區感測器長期比對機制，每月、每季彙整不同時節濃度變化產出校正分析報告，建立感測器與測站的校

正公式，據以降低感測器數值的偏差，在透過校正後之感測器作為參考設備，藉由數據分析篩選出的各地區異常感測器進行抽樣掛測，據以評估感測器之異常行為，建立智慧化巡檢查核機制，提升感測器數據品質。

2. 維運 107 年度的 50 點空氣品質感測器具備最多測項之感測設備，並且長期與標準監測站平行比對，驗證感測器的數據品質。對於運用於外島的長期監測、建立移動式感測器的校正公式、協助督察總隊與三區督察大隊針對民眾陳情與污染稽查進行布建等用途極具參考價值。感測器設置於高速公路觀察交通污染在不同高度的分布行為發現，距地面越高 PM<sub>2.5</sub> 濃度反應越高，明顯與距離汽車排放源的反應相反，應是受到車速與大氣擾動的影響。
3. 本計畫已彙整各計畫執行成果，並以庶民語言呈現給民眾了解。並依據感測器不同之應用目的建立相對應的分級應用指標，透過「空品感測物聯網布建及數據應用指引」的訂定，持續提升感測器的正確使用。
4. 本計畫執行期間配合計畫成果展現，完成四年成果影片露出，並配合空品教育宣導編擬手冊，以利科普教育使用及查閱。持續因應環工年會及雲林麥寮的邀約，展出環保署環境物聯網的成效，推廣環保署感測物聯網之服務成果。

#### 五、協助地方政府感測物聯網建置工作：

1. 地方環保局的經費執行進度在團隊的定期追蹤與協助下已完成多數地方環保局之查核點及撥款作業，為使第二期前瞻計畫於今年度順利結案，團隊將持續督處追蹤尚未完成之地方政府，針對執行困難點提出解決建議或擬定替代方案，加速地方政府計畫執行進度。
2. 環境物聯網的概念將環境感測裝置設置於街道尺度的環境資訊收集，藉由無線通訊設備上傳至環境資料中心，再運用巨量數據蒐集、大數據分析、AI 人工智慧等技術工具，提供環境徵兆行為的解析，透過檢視感測設備群集的異常偏低點位或長期反應明顯偏離群集行為，研訂檢核方式以找出設備異常的點位，協助環保署篩選異常設備，健全物聯網體系。
3. 計畫團隊透過產官學研的專家團隊，藉由事前資料收集與分析、現地訪查輔導與查核雙向交流與諮詢會議，依據各地區特性提供環保局與廠商實務建議，預期能輔導廠商感測器數據智慧應用平台不足之處進行改善，協助地方環保局藉由智慧化系統提升稽查效能。
4. 第三方查核可以協助環保署針對不同廠牌感測器及布建環境找出影響 PM<sub>2.5</sub> 感測器受相對濕度影響關係及適用的濃度範圍區間，依分析比對結



果提出對不同型號元件的迴歸校正式。

5. 藉由交流會議與案例分享來說明全國運用環境感測物聯網之布建成果及智慧治理效益，結合智慧城市規劃願景，透過縣市成果聯繫會議，強化中央政府與地方之合作布建效益，提升環境永續安全的目標。

六、強化專案辦公室產業推動成果效益：

1. 今年度持續提升強化專案辦公室運作，除辦理我國環境物聯網推動及資源整合工作、訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明之外，並提出我國環境物聯網未來 4 年（110~114 年度）目標，並協助通過行政院核定之下一期前瞻計畫。此外今年為第一期前瞻計畫之最後一年，在專案辦公室努力協助之下，分項二計畫（涵蓋經濟部、科技部、中研院等）可望於今年底順利完成相關計畫目標。
2. 計畫執行過程全力配合相關定期繳交報告與文件外，對於上級（科技會報辦公室、推動小組、科技部等）交辦事項均竭力於繳交期限前完成。對於跨部會之聯繫與溝通，專案辦公室扮演良好溝通橋樑與潤滑劑，讓分項計畫工作得以順利執行。
3. 空品感測器技術發展大多已日漸成熟，市場後進者欲打破目前主要關鍵業者把持態勢，考量到研發成本與時間壓力下，市場障礙委實不低，也使得部分新創或欲轉型業者投入感測器開發之態度趨向保守。相較於不易打破既有壁壘的感測器市場，跨域應用之創新系統解決服務方案，近年來呈現蓬勃發展之勢，應用領域包含從環境治理到智慧生活、永續發展等，相當多元。
4. 建立物聯網產業聯盟資訊，蒐集國際環境品質感測元件、物聯網應用資訊蒐集及整理業者環境品質物聯網開發情形，持續維運「臺灣環境物聯網」宣傳網站，網站涵蓋「計畫願景」、「計畫進程」、「布建維運」、「技術推廣」、「感測器」、「空品感測原理」、「公民科學」、「空品大小事」、「參考網站」，藉由提升網站豐富度與觀看者的動機與問題解決，同步宣導並教學如何使用相關網站，並提高應用平台的使用率，藉此提供多元稽查管道供稽查人員查看污染事件及民眾陳情案件。
5. 有鑑於環境物聯網分享以及韓國合作備忘錄簽署活動，各政府單位及相關執行公司出席踴躍，並有許多產、學、研等各界先進出席並充分交流，已充分顯示環保署與計畫團隊這四年成果。期盼透過展示得到各界交流及經驗分享，逐步達成地方政府智慧治理、民眾參與的目標，落實臺灣永續發展—建構環境永續發展的城市與鄉村，並作為後續計畫規劃之基

礎，達到「優化環境品質感測物聯網體系」、「深化環境聯網智慧應用」、「開創感測聯網前瞻技術與產業創新」3 大執行目標。

6. 透過與韓國富川市的交流與驗證，充分展現臺灣在環境物聯網的技術領先地位，分享 AI 人工智慧、大數據分析技術，未來雙方將進行更多學研能量交流，保持密切合作關係。拓展臺灣整體新產業生態系之服務模式輸出海外，讓 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。

## 結論

1. 國際近年在環境感測物聯網的推動與研發方向，可資我國借鏡的主軸包含運用 AI 技術來研發數據分析演算法，藉以提升微型感測器的數據品質，並運用人工智慧與雲端資料處理等技術，發展環境應用服務；運用移動式感測建置空氣污染指標圖像化，收集固定測站所無法覆蓋之環境資料，即時監控並提供嚴重影響人體健康與氣候變異的環境數據（如空氣污染物等），可讓使用者針對其周遭環境來制定決策(decision-making model)。
2. 國產化 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 感測模組透過 ANN 演算進行溫濕度補償修正後，可有效提升感測模組的精確性，經設置於國家監測站進行場域測試結果，調校後的 R<sup>2</sup> 皆能提升至 0.5~0.8 的目標值，顯示本計畫所開發之感測器已具備商轉的實用性，今年 3 支元件皆取得臺灣發明專利及 1 項美國專利，同時尚有 4 件國外專利申請審核中。
3. 為融合各型式空品感測器的數據，透過與國家監測站的平行掛測比對，建立基準相同的校正模式，提升整體數據判讀的正確性。再利用共變異數、誤差百分比、感測器決定係數、國家測站判定係數等檢測指標，可圈列出可疑的異常感測器，經現場掛測實驗及數據比對結果，驗證雲端巡檢模式的可行性，確實達成智慧化管理之維運目的。
4. 透過國家監測站及各型感測器的時間域分析，由感測濃度、相對器差(bias)及判定係數(R<sup>2</sup>)的變化趨勢，可以有效判別感測器的衰減趨勢。整體而言，大部分感測設備尚無顯著的衰減情形，僅有 106 年臺中市布建的 500 點感測器有衰減趨勢，故研判以臺灣的環境條件及維護保養頻率，光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測元件的使用壽命約為 2.5 年。
5. 依據 MOT 樣品機及原型機測試成果發現，MOT 的感測性能對於高污染車輛及道路測高污染來源(餐飲業廚房排煙口)具備有明顯的辨識能力，

透過穩定採樣機構的設計下，移動式感測器商品化的產品性能提供足夠的精準度條件。依據 5 台 MOT 進行為期 6 天在大臺北地區的感測成果發現，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70~80%，時間解析度約能達到 40%，對於未來在城市治理與交通分流以降低環境污染的峰值可以提供具體的參考標的。

6. 為提升整體計畫的成果效益，除撰寫前瞻計畫四年之成果報告，再搭配成果影片露出，以量化與質化的庶民語言呈現給民眾了解。並依據感測器不同之應用目的建立相對應的分級應用指標，編撰全球第一份的「空品感測物聯網布建及數據應用指引」，向國際宣揚與分享臺灣的成功經驗。
7. 以臺灣成功經驗分享輸出給世界各國，充分展現臺灣在環境物聯網的技術領先地位，透過與韓國富川市的交流與驗證，分享 AI 人工智慧、大數據分析技術，未來雙方將進行更多學研能量交流，保持密切合作關係。拓展臺灣整體新產業生態系之服務模式輸出海外，讓 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。推動商機引領國內相關元件商、通訊商、系統商，搶攻國際環境物聯網藍海市場。

## 建議

1. 現階段運用國家監測站進行大區域的空品預報，在感測器數據品質符合污染熱區鑑別等級以上後，其感測數據亦可做為空品預報模式開發的一項重要資料來源，但若欲做為預測模式的訓練資料，擇期布建選址也需有特殊的規劃考量，如應布建於遠離固定污染與移動污染源之區域，能穩定反應區域環境空品...等特性，建議可搭配國土利用調查應用分析，篩選出符合監測目的特性之區域。
2. 建議後續應繼續測試比對以累積更多數據來健全 ANN 學習模式，作為感測器調校之參考與大數據行為的建立。後續商品化模組的效能應繼續測試比對，同時測試期間應涵蓋不同季節、不同場域及特定應用目的的需求，收集更多數據與環境變因，作為感測器調校與優化之參考。對於元件改良部分，可朝繼續小型化、節能化及壽命長為目標，透過降低成本以提升市場之競爭力。
3. 本年度空氣污染濃度整體皆比往年低，加上民間感測器的校驗機制施行不久，其校驗機制是否能在不同污染層級有效運作，仍待未來持續觀察與修正。建議各縣市政府後續能增設或調整部分政府感測器於民生住宅

區，與民間感測器進行長期的數據交互比對，以利數據校正品質的維護和動態修正。

4. 固定式感測點用於監測固定污染源的不法排放已有顯著成效，但在國內機動車輛數快速成長下，移動污染源的數量與日俱增。為釐清都會區內車輛對空氣污染的貢獻，建立都會區道路的污染地圖具有指標意義，但如藉由固定感測點布建於道路側，在足夠的空間解析度下需要耗費相當的布建與維運成本，故發展移動感測聯網(MOT)，藉由將感測器設置於都會區相當數量的移動車輛上，透過即時感測數據的收集，能繪出都會區的交通污染地圖。藉由發展移動感測聯網(MOT)，協助機關建立交通污染基線資料，除可作為移動污染管制績效評估之參考外，同時也可依據臺灣的發展成效，推動至全球市場，應用於交通污染防治之服務產業。
5. 運用移動式感測設備在動態行駛中  $PM_{2.5}$  感測發生峰值時，篩選出周界有高污染車輛，結合車牌辨識及大數據分析，針對被高頻率篩選出來的疑似高污染車輛資料，與監理單位橫向連結與查驗，全面辨識仍在道路行駛之高污染車輛進行舉發、改善或裁處，嚇阻車主加強高污染車輛之維護、保養與汰換，進而降低高污染車輛之使用，積極達成高污染車輛汰換的效益。
6. 針對科技廠、石化廠、化纖廠等高污染風險的場域應實施進行長期監測，由於工廠在製造過程中會產生大量的廢棄物及各種化學物質和有毒氣體等，協助產業建立第二層環境監測防護網，掌握因生產製程中之洩漏再擴散出廠區外之污染風險，協助工廠員工及周界民眾了解污染飄散軌跡及濃度分布，作為緊急應變及健康管理之參考依據，擴大空氣品質感測物聯網之應用成效，發展成為新世代環境管理之應用服務。
7. 感測器的數據品質是基本且重要的項目，未來尚可加入微氣象資料的收集，再考慮地形因素，將可有效解析微環境的變化，提升系統智慧化的效能分析。未來感測項目建議可增設風速、風向、氣壓等資訊，再結合 CCTV 的監視設備，可提供即時掌握現場污染行為的判讀，進一步降低人力確認需求，使得環境監測更符合目前實際需要，以提升環境品質物聯網功能。
8. 國內目前包含經濟部技術處、工業局、中小企業處等，雖均有資源提供補助予產業進行技術、產品或服務模式之開發，然與廠商交流過程中發現，多數有意投入環境物聯網領域之業者，不少受限於技術能量不足，或是對於目前內需市場不足，以及商業模式不夠明確（現多以政府標案

為主，且利潤過低，規範要求繁瑣)，對於投入環境領域之設備或是應用方案的開發，抱持猶豫觀望態度，建議未來環保署與經濟部相關局處討論，結合目前縣市當地政府之智慧城鄉計畫，採用政府出題，業者解題模式，提高業者參與意願，並藉由執行政府計畫，於國內場域進行練兵的模式，同步提升業者整體競爭力。



## 第 1 章、緒論

### 1.1、計畫緣起背景

運用物聯網科技輔助環境治理已成為全球的顯學，例如歐盟(UN)以挪威研究機構 NILU (Norsk institutt for luftforskning)主導之 iFLINK (Innovativ forvaltning av luft og miljø i norske kommuner, 2019-2021)計畫，未來重點工作以優化維運及校正環境物聯網來節省資源人力、利用 AI 及機械學習來找出”錯誤資料”及線上校正 (real-time calibration)、結合大氣擴散模式進行資料融合。美國 (USA)加州 SC-AQMD (South Coast Air Quality Management District)及 AQ-SPEC (Air Quality Sensor Performance Evaluation Center)積極展開以移動監測技術、定點監控技術、環境空氣品質標準的參考方法、衛星監測、資料融合方法來展開新世代微型空氣品質感測技術研發。韓國於 2019 年起規畫在工業區、社區及校園布建至少 4 萬點空氣品質感測器，擬定 4 級空品感測數據品質應用等級指標，據以規範微型感測器數據應用標準。2014 年 Aclima 開始和 Google Earth 合作，利用 Google 街景車搭載 Aclima 感測器，針對即時交通環境監控數據，讓使用者針對環境污染來制定交通管制決策。故現階段臺灣立足於全球環境感測物聯網之先驅，未來應朝向提升物聯網環境感測元件與感測數據準確度與精確度、應用移動式感測發展交通污染管制策略，建構全方位環境感測物聯網藍海，確保領先國際發展之智慧環境治理趨勢。

經過 106 年計畫研析歐盟英國倫敦智慧城市計畫(Smart London)、荷蘭阿姆斯特丹智慧城市計畫、美國智慧城市計畫(Smart America)、日本智慧城市計畫(Smart City Project)，以及韓國松島智慧城市計畫(Sondo IBD)；107 年蒐集美國 CES 消費電子展、韓國物聯網建設、日本物聯網大數據(Big data)，以及歐盟與聯合國在健康角度的運用，其共通點是引入感測與通訊科技藉以提升生活品質、提高能源使用效率、改善交通運輸等，皆為環境物聯網可切入的角度。108 年研析美國、挪威、韓國及日本等皆積極發展感測設備與應用服務，並嘗試使用 AI 及機器學習之方式進行元件、設備、數據及系統的校正，並顯示出物聯網的建置及應用為全球化發展之趨勢，並藉由物聯網推展到智慧城市之應用，並走向商業到商業的用戶模式，藉此提升民眾對周遭環境資訊與健康生活的關注。

在元件研發部分，106 年度計畫針對 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 三項感測技術進行研發，陸續完成雛型設計、數值模擬、幾何設計修正及雛型元件之製作。107 年度持續精進感測元件的性能強化，陸續完成雛型模組。PM<sub>2.5</sub> 感測元件經由電源供

應器與靜電計合併於電路板中，整體體積縮小為儀器之 1/10，感測核心元件體積及重量減少 1/3。O<sub>3</sub> 感測元件完成四極式電極及電極隔離疏水膜、電解質保水膜與電極分離膜之開發，偵測極限小於 20 ppb 符合設計目標，實驗室結果顯示離型模組的線性區間濃度 0~700 ppb， $R^2 > 0.9$ ，確實符合國內低中高污染環境中之效能。NO<sub>2</sub> 感測元件研發方面，完成感測複材搭配光電驅動感測模組，搭配驅動電路與數據分析整合模組，內建硬體運算單元抗雜訊和漂移模式，偵測極限小於 20 ppb 符合設計目標。108 年度為確認場域布建之穩定性與效能，除持續縮裝設計，並進行小型試量產與實場測試。PM<sub>2.5</sub> 感測元件進行新竹測站比對 51 日，相關係數( $R^2$ )為 0.66，發現在環境濃度低於 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時，有高估之情形；環境濃度在 15~60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時，感測數據吻合度較高。O<sub>3</sub> 感測元件模組的最低偵測極限可達 20 ppb，O<sub>3</sub> 線性區間 0~150 ppb， $R^2 > 0.7$ ，感測元件於 50 ppb O<sub>3</sub> 濃度之精確度 (precision) < 30 %。在竹東測站（低濃度）進行 1 個月場域測試相關係數( $R^2$ )可達 0.76。在陽明山測站（高濃度）比對 1 個月，相關係數( $R^2$ )可達 0.64。在陽明山測站（高濃度）比對 1 個月，相關係數( $R^2$ )可達 0.64，部分有濃度高低值無法逼近的誤差。NO<sub>2</sub> 感測元件進行累積有 288 日的場域測試結果的改良精進，並由三種不同低中高濃度分布的測站場域分析，精進版的模組在累積測試時間有 75 天。NO<sub>2</sub> 感測元件與三重測站（高濃度）比對 75 天，相關係數( $R^2$ )可達 0.65。在板橋測站（中濃度）進行 13 天場域測試，相關係數( $R^2$ )可達 0.54。在古亭測站（低濃度）進行 14 天場域測試，相關係數( $R^2$ )可達 0.41。其感測元件相關係數的測試結果良好，已可媲美國外之設備，但其元件之偵測極限仍需改善，以更加符合環境的濃度條件。

運用大數據分析發展智慧校驗模式發現，PM<sub>2.5</sub> 濃度與環境濕度對校正結果影響最大，神經網路模型比多元線性回歸模型校正成果好，後續須再細分空間優化校正模型，並透過現地巡檢驗證模型效能，達到降低維運成本，縮小數據偏差，提升感測器使用效率。另在配合相關行政作業以提升計畫執行品質與成效的部分，主要以協助環保署與環保局之地方合辦環境物聯網布建計畫，針對環保署與 16 個地方政府合辦空氣品質物聯網布建計畫，共計布建 4,400 個感測器及維運 3,300 個感測器，研擬感測器應用目的與選址、感測器安裝布建、感測器維運及數據品質管理、感測器狀況異常偵測報修、數據篩選校正及公布、污染偵測及分析判斷、經費編列等 7 項標準作業程序，督促落實感測器數據品質。並成立專案辦公室，即時處理行政院及環保署各項配合之事務，快速協調前瞻計畫分項一與分項二部會合作與追蹤管考，以強化計畫管考與產業化推動進度。

今(109)年度計畫團隊將透過在國際上分享運用物聯網輔助環境治理的成功



案例，引領各國由智慧城市跨入環境感測物聯網之發展新趨勢，經由運用大數據分析與人工智慧技術，形成多樣化的創新應用服務與新創產業。期盼藉由臺灣在全球具有領先的技術基礎上，持續以臺灣為示範場域，藉由環境物聯網在環境管理之應用效益，孕育跨域合作與創新服務，將感測物聯網拓展在智慧生活、智慧家電、智慧交通、智慧建築、智慧農業等應用服務，逐步落實萬物聯網、環境優化、創新研發、驅動產業的目標，經由連結在地、全球及未來，達到雲端鏈結、跨界監控、智慧管理及客製化應用服務之目的。

## 1.2、計畫目標

依行政院環保署之評選須知，今年的計畫目標如下：

- 一、 評估國內外物聯網現況並提出分析。
- 二、 精進國產化空氣感測元件研發技術。
- 三、 擴大環境感測數據判讀與應用服務。
- 四、 整合驗證環境感測物聯網執行成效。
- 五、 協助地方政府感測物聯網建置工作。
- 六、 強化專案辦公室產業推動成果效益。

為如期完成所有工作項目與目標，並使成果能超越環保署期望，本計畫團隊在規劃階段即研擬有效之計畫管理、分工合作及各項工作執行的作業流程，詳如後續各章節所述。

## 1.3、工作項目

依據本專案工作計畫評選須知，本計畫工作項目展開如下：

- 一、 評估國內外物聯網現況並提出分析
  - A. 國際資訊收集與分析：蒐集國外（至少包含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞）物聯網、環境品質物聯網、智慧城市之資訊。包含發展趨勢、架構規劃、推動策略、具體措施等，並提出我國發展建議報告。
  - B. 最適化布建藍圖規畫：滾動修正全國空氣品質感測器布建點藍圖及提出效益預測，依現行布建點位檢討工業、社區、交通、輔助等感測點布建數量及位置，修正最適化布建藍圖規劃。
  - C. 國內空品感測應用調查：蒐集國內業者或地方政府自主布建之空氣品質感測器廠牌、規格、布建點及應用情境，掌握國內空氣品質感測器應用現況。

**D. 國內外技術資料研析：**蒐集及研提與環境感測物聯網技術、研發、資料分析等學術、公信單位、指標企業之學術研究資料，每半年提出資料更新。

**E. 提升國際能見度：**將我國感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際期刊或國內指標學術期刊 3 件以上。

## **二、精進國產化空氣感測元件研發技術**

**A. 完成國產化 PM<sub>2.5</sub> 感測元件之精進與量產化技術研發：**進行溫濕度補償修正，並導入 ANN 演算法訊號處理。完成量產成品機 5 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 3 個月）、地點（至少 3 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。

**B. 完成國產化 O<sub>3</sub> 感測元件研發：**進行演算法訊號修正以提升感測效能。完成量產之國產化 O<sub>3</sub> 感測元件 30 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 5 個月）、地點（至少 4 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。

**C. 完成國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件研發：**進行演算法訊號修正以提升感測效能。完成量產之國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件 40 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），須將測試期程（至少 5 個月）、地點（至少 6 處）、比對方式、結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。

**D. 以上 3 式空氣品質感測器研發原則如下：**

(A) 各感測技術篩選，原則以未來研發完成後可大量製作、符合物聯網廣布感測器之特性及成本需求，以全國產化技術為優先，且無技術或智慧財產權疑義。如需引進國外適切技術，需取得該技術及智慧財產權利，惟每項技術得扣減 10% 計畫總經費。

(B) 研究或研發成果需提出臺灣或歐盟或美國之專利申請。

**E. 評估未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術至少 3 項：**並分析國內外時空背景及感測技術資料蒐集，提出應用場域、市場需求預測、國產化研發設計及生產及量產可行性、該技術及智慧財產權全球分布現況、推動策略等。

## **三、擴大環境感測數據判讀與應用服務**

**A. 感測數據資料融合：**蒐集國內各式空氣品質感測器（含校園感測器以及

政府感測器等) 資訊, 提出其最佳感測情境或環境, 並比較各式感測器數據差異如須調校為一致之方式建議, 必要時需實地量測。

- B. 驗證智慧化巡檢校正方案:**驗證感測物聯網智慧化巡檢(管理感測設備)及感測器校驗機制(管理感測數據)之建議方案, 完成實地場域驗證包含以鄰近感測器、標準監測站及巡檢儀器及平行比對感測器等資訊建立相關參數對應關係、盤點感測器偏移狀況、運用大數據進行感測器遠端校正, 完成建置智慧化巡檢校驗機制可行性評估。
- C. 重大污染事件資料收集:**蒐集 109 年空氣污染事件之新聞案件(例如火災、洩漏)及其感測數據變化, 並建立該年完整空氣污染事件大紀事及感測數據變化資料, 以利機關對外說明物聯網資料判讀方式。
- D. 感測數據衰減分析:**蒐集中研院布建校園感測器及本署與地方政府合辦布建感測器之感測數據, 分析各式感測器與標準監測站及群體感測器之感測趨勢, 分析感測效能與衰減狀態, 完成各式感測器衰減分析。
- E. 移動感測物聯網測試驗證:**運用空氣品質感測器發展設置於車載平台之移動式感測器, 分析車輛運行過程對感測器之影響, 評估與天氣、車流量、風速、風向或其他因子相關性, 研提移動式感測器試量產設計。
  - (A) 完成至少 3 場次移動式感測器數據品質驗證, 包含感測數據與交通感測點、標準監測站或巡檢儀器之平行比對測試, 評估與車速、風速、溫度、濕度、震動或其他因子相關性與精準度, 據以研提移動式感測器試量產設計。
  - (B) 完成移動式感測器機構小型化, 完成小型量產原型機 5 組, 並經實際應用於國內實地場域完成至少 5 場次移動式感測器數據品質驗證, 須將測試期程、地點、比對方式、結果出具測試報告, 並繪製出測試路網污染圖譜。

#### 四、整合驗證環境感測物聯網執行成效

- A. 維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器, 並依據機關需求調度布建於合適場域。**
  - (A) **辦理布建與維運作業教育訓練 2 場次:**課程包含感測點位規劃、布建作業程序、維運作業程序、巡檢作業程序、感測數據檢核、污染熱區分析。每場次 2 小時以上、需提供場地租借、提供茶水及餐點, 並包含講師 2 小時授課。(場地容納 50 人以上規模)
  - (B) **調整優化感測器布建規劃與設計:**依據機關要求優化調整布建與維運作業計畫, 並協調整備布建作業。布建規劃及點位選擇以機關需求為

主，機關保有調整權利。

**(C)感測器實地場域數據校正：**前項布建前須以符合示範需求之監測站與區域實施感測器平行比對作業，建立區域的感測器經演算法校正後對外示值，以符合本署數據品質的要求。

**(D) 感測器數據呈現：**提供中英文空氣品質感測器數據呈現圖表，提供查閱感測數據歷史數據圖表及變化趨勢表檢視功能。

**B. 維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）：**進行跨域結合測試驗證未來感測物聯網可能應用模式。

**C. 環境品質感測物聯網計畫進度管考：**協助環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」各分項計畫之規劃推動、目標檢視，管理追蹤其工作及經費執行進度，每月提出彙整及進度報告，通盤評估整體計畫關鍵工作及時間點之銜接是否完整。

**D. 宣傳環境品質感測物聯網計畫成果：**每 2 月及每半年更新前項計畫成果摘要說明資料（型式如精簡文字、秒懂圖片），以利機關彙整成效。另規劃、彙整機關整體環境物聯網推動內容，並研提對策分析、強化推動策略建議。

**E. 精進環境品質感測物聯網計畫推動：**蒐集機關推動環境品質感測物聯網目前所遇問題，分類規劃精進方式，並規劃每季與專家學者或民間團體或相關對象召開交流會議或專諮會或座談會（如工作坊），溝通意見強化政策推動。另配合機關需求及計畫推動，提供相關法律意見書。

**F. 得標廠商需有 1 名專業人力：**經機關同意（更換時亦同），專門辦理本計畫相關工作，依機關需求於指定地點協助計畫執行、彙整資料、聯繫協調等行政工作。

**G. 配合機關宣傳與辦理活動：**配合機關舉辦活動或記者會，協助規劃及彙整資料，提供/製作簡報、海報、推廣文件、論文，必要時提供場地租借、器材租借、布場、展示品製作、說明素材製作。配合機關報告案、會議，協助彙整研提資料、簡報；另協助機關環境品質物聯網相關網站之規劃、管理及維運。

## **五、 協助地方政府感測物聯網建置工作。**

**A. 協助機關管理合辦計畫：**管理追蹤各地方政府與機關合辦感測器布建之工作及經費執行進度，須了解其執行進度困難點，決標後提出管理方式規劃並每 2 月提出檢討報告，視需要與地方政府召開管理會議。

**B. 彙整地方政府感測物聯網運作情形：**包含合辦計畫執行、布建工作、維

運工作、稽查工作、宣導工作、經費執行等進度，並每月向機關提出管理建議。得標廠商需有 2 名行政或技術專業人力，經機關同意（更換時亦同）專門辦理地方政府執行管理工作，依機關需求於指定地點協助計畫執行、彙整資料、聯繫協調等行政工作。

- C. 協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行：提供專業分析及建議，協助其協調工作，必要時協助地方政府進行布建位置之實地勘查。
- D. 籌組國內環境品質物聯網專家團隊：輔導或查核業界及地方政府 5 場次以上（至少 3 名專家/場次）。（場地容納 20 人以上規模、需提供場地租借、茶水及餐點、專家學者出席費及接駁）
- E. 協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料：研提分析建議，確認及查驗地方政府布建感測器地點、數據資料上傳情形及完整率，並依機關需求規劃及執行。
- F. 協助機關檢視第三方巡檢查核成果：查驗地方政府維運感測器地點、數據品質滿意度及完整率，並依機關需求規劃及執行。
- G. 規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」1 場次（天），時間及地點經機關同意後執行，並需提供場地租借、茶水及餐點等。

#### 六、強化專案辦公室產業推動成果效益。

- A. 強化專案辦公室運作：依據前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫項下「空品物聯網產業開展計畫」內容持續專案辦公室運作，辦理我國空品物聯網推動及資源整合工作、訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明，並提出專案辦公室及我國空品物聯網之 110~114 年度目標並持續修正。
- B. 跨部會整合協調：督導、聯繫、協調各部會計畫事宜，並彙整進度及成果資料，定期提出進度報告、召開會議。並配合行政院、科技會報辦公室、科技部等管考單位之定期與臨時交辦事項。
- C. 計畫智庫與對策研擬：整合各部會「空品物聯網產業開展計畫」分工並配合環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」執行需求，研提前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫 106 年~109 年執行成果報告。檢視各工作項目適用性、銜接程度（內容、期程），可能問題提出預警、分析及對策研擬。
- D. 全球趨勢與產業發展對策建議：蒐集國內外感測元件資訊、國際環境品質感測元件、環境感測物聯網應用資訊與發展趨勢，研析國內外標竿案

例，並盤點國內空氣品質物聯網產業能量與需求，研提國內環境品質物聯網之加值應用方式、研擬我國產業發展對策。

- E. 提升一站式推廣中心服務：**持續鏈結國內物聯網公協會及產業，組成交流平台，並蒐集業者環境品質物聯網開發情形。以空品物聯網一站式推廣中心協助產官學研民交流情資，並創造跨專業領域結合機會；持續更新管理網頁資訊。
- G. 擴大產業交流與合作：**完成洽談 2 件國內環境品質感測應用服務合作，並提出應用目標、規劃、期程。辦理產業座談會 3 場次以上，每場至少 8 家業者參與，提供相關產業分析、技術能量、政策資源等資訊，並進行交流，協助媒合促成產業跨域合作，健全產業鏈發展。
- H. 國際參訪與研討：**持續蒐集國際物聯網、智慧城市展覽活動及研討會資訊，並擇 2 場以上進行參訪，研提參訪報告。參訪地區以歐美為優先（每場原則 7 日、1 人以上），並需經機關同意，倘未出訪則依契約之經費需求概算減少價金（含管理費及營業稅）。
- I. 擴大宣傳成效：**規劃大型研討會議或交流會議或展覽（合計 2 日以上），需經機關同意後辦理，專家學者為國內外物聯網專家，含機票、交通、住宿、出席費、餐飲、場地租借（150 人以上場地）及布置、簡介、會議資料。（大型研討會議或交流會議之專家學者：2 日共計 20 人以上）
- J. 專責人員配置：**專案辦公室應有 4 人以上專責人員（其中 1 人為專案辦公室管理人，另 3 人為專案研究人員），全職辦理本項工作，且須含有 2 人以上具有整合部會、整合地方政府之行政及管理經驗。為利計畫推動，機關保有人員更換權利。

## 1.4、執行進度

表 1-1、工作預定進度

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	年別	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
	月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(一) 評估國內外物聯網現況並提出分析												
(1) 國際資訊收集與分析					(1)							
(2) 最適化布建藍圖規畫						(2)						
(3) 國內空品感測應用調查				(3)								
(4) 國內外技術資料研析							(4)					
(5) 提升國際能見度									(5)			
(二) 精進國產化空氣感測元件研發技術												
(6) 建立 PM <sub>2.5</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術						(6)						
(7) PM <sub>2.5</sub> 成品機量產及技轉洽談								(7)				
(8) 感測/量測技術資料收集、分析與評估										(8)		
(9) PM <sub>2.5</sub> 感測模組修正及場域比對測試										(9)		
(10) O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極核心材料配方開發與物化鑑定分析，並初步實驗測試配方效能					(10)							
(11) O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極配方調控與製作，並根據測試結果執行最佳化設計								(11)				
(12) O <sub>3</sub> 電化學式感測元件原型品設計、製作與實驗室效能測試									(12)			
(13) 完成 O <sub>3</sub> 電化學式感測器雛型製作，並針對元件雛型進行實地場域驗證										(13)		
(14) 具場域數據紀錄之 NO <sub>2</sub> 感測模組整合產品					(14)							
(15) NO <sub>2</sub> 感測模組數據紀錄整合產品測試								(15)				
												(16)

109 年度環境品質感測物聯網及專案管理計畫 期末報告

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	年別	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
	月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(16) NO <sub>2</sub> 感測模組原型機產品實地場域測試，涵蓋低中高濃度												
(17) NO <sub>2</sub> 感測原型機產品試量產										(17)		
(18) 可國產化之空氣品質感測元件項目及技術至少 3 項，並提出開發評估建議										(18)		
(三) 擴大環境感測數據判讀與應用服務												
(19) 感測數據資料融合							(19)					
(20) 驗證智慧化巡檢校正方案									(20)			
(21) 重大污染事件資料收集									(21)			
(22) 感測數據衰減分析					(22)							
(23) 移動感測物聯網測試驗證										(23)		
(四) 整合驗證環境感測物聯網執行成效												
(24) 維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器，並依據機關需求調度布建於合適場域										(24)		
(25) 維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）								(25)				
(26) 環境品質感測物聯網計畫進度管考											(26)	
(27) 宣傳環境品質感測物聯網計畫成果							(27)					
(28) 精進環境品質感測物聯網計畫推動										(28)		
(五) 協助地方政府感測物聯網建置工作												
(29) 協助機關管理合辦計畫			(29)									
(30) 彙整地方政府感測物聯網運作情形											(30)	
(31) 協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行							(31)					
(32) 籌組國內環境品質物聯網專家團隊								(32)				
(33) 協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料						(33)						
(34) 協助機關檢視第三方巡檢核成					(34)							



工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	年別	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
	月份	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
果												
(35) 規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」										(35)		
(六) 強化專案辦公室產業推動成果效益												
(36) 強化專案辦公室運作				(36)								
(37) 跨部會整合協調										(37)		
(38) 計畫智庫與對策研擬									(38)			
(39) 全球趨勢與產業發展對策建議									(39)			
(40) 提升一站式推廣中心服務					(40)							
(41) 擴大產業交流與合作									(41)			
(42) 國際參訪與研討										(42)		
(43) 擴大宣傳成效										(43)		
(七) 其他本計畫成果進度												
(44) 第 1 期款於完成規劃專案辦公室運作方式與計畫年度目標，提交第 1 次工作進度報告經機關認可後，預定進度累積百分比 30%				(44)								
(45) 完成 1-6 月感測器維運、規劃辦理座談會/教育訓練及 1-6 月計畫成果更新，並提交期中報告經機關認可後，預定進度累積百分比 60%								(45)				
(46) 完成提交期末報告經機關認可後，預定進度累積百分比 90%										(46)		
(47) 完成繳交期末報告定稿，預定進度累積百分比 100%											(47)	
預定進度累積百分比 (%)		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

表 1-2、計畫查核點說明

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
(一) 評估國內外物聯網現況並提出分析		
(1)	109.06.30	國際資訊收集與分析
(2)	109.07.31	最適化布建藍圖規畫

109 年度環境品質感測物聯網及專案管理計畫 期末報告

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
(3)	109.05.31	國內空品感測應用調查
(4)	109.08.31	國內外技術資料研析
(5)	109.10.31	提升國際能見度
(二) 精進國產化空氣感測元件研發技術		
(6)	109.07.31	建立 PM <sub>2.5</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術
(7)	109.09.30	PM <sub>2.5</sub> 成品機量產及技轉洽談
(8)	109.11.30	感測/量測技術資料收集、分析與評估
(9)	109.11.30	PM <sub>2.5</sub> 感測模組修正及場域比對測試
(10)	109.06.30	O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極核心材料配方開發與物化鑑定分析，並初步實驗測試配方效能
(11)	109.09.30	O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極配方調控與製作，並根據測試結果執行最佳化設計
(12)	109.10.31	O <sub>3</sub> 電化學式感測元件原型品設計、製作與實驗室效能測試
(13)	109.11.30	完成 O <sub>3</sub> 電化學式感測器雛型製作，並針對元件雛型進行實地場域驗證。
(14)	109.06.30	具場域數據紀錄之 NO <sub>2</sub> 感測模組整合產品
(15)	109.09.30	NO <sub>2</sub> 感測模組數據紀錄整合產品測試
(16)	109.12.31	NO <sub>2</sub> 感測模組原型機產品實地場域測試，涵蓋低中高濃度
(17)	109.11.30	NO <sub>2</sub> 感測原型機產品試量產
(18)	109.11.30	可國產化之空氣品質感測元件項目及技術至少 3 項，並提出開發評估建議
(三) 擴大環境感測數據判讀與應用服務		
(19)	109.08.31	感測數據資料融合
(20)	109.10.31	驗證智慧化巡檢校正方案
(21)	109.10.31	重大污染事件資料收集
(22)	109.06.30	感測數據衰減分析
(23)	109.11.30	移動感測物聯網測試驗證
(四) 整合驗證環境感測物聯網執行成效		
(24)	109.11.30	維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器，並依據機關需求調度布建於合適場域。
(25)	109.09.30	維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）
(26)	109.12.31	環境品質感測物聯網計畫進度管考
(27)	109.08.31	宣傳環境品質感測物聯網計畫成果
(28)	109.11.30	精進環境品質感測物聯網計畫推動
(五) 協助地方政府感測物聯網建置工作		
(29)	109.04.30	協助機關管理合辦計畫
(30)	109.12.31	彙整地方政府感測物聯網運作情形
(31)	109.08.31	協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行
(32)	109.09.30	籌組國內環境品質物聯網專家團隊
(33)	109.07.31	協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料
(34)	109.06.30	協助機關檢視第三方巡檢核成果

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
(35)	109.10.30	規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」1 場次(天)
(六) 強化專案辦公室產業推動成果效益		
(36)	109.05.31	強化專案辦公室運作
(37)	109.11.30	跨部會整合協調
(38)	109.10.31	提計畫智庫與對策研擬
(39)	109.09.30	全球趨勢與產業發展對策建議
(40)	109.06.30	提升一站式推廣中心服務
(41)	109.10.31	擴大產業交流與合作
(42)	109.11.30	國際參訪與研討
(43)	109.11.30	擴大宣傳成效
(七) 其他本計畫成果進度		
(44)	109.05.31	第 1 期款於完成規劃專案辦公室運作方式與計畫年度目標，提交第 1 次工作進度報告經機關認可後，預定進度累積百分比 30%
(45)	109.08.31	完成 1-6 月感測器維運、規劃辦理座談會/教育訓練及 1-6 月計畫成果更新，並提交期中報告經機關認可後，預定進度累積百分比 60%
(46)	109.11.30	完成提交期末報告經機關認可後，預定進度累積百分比 90%
(47)	109.12.31	完成繳交期末報告定稿，預定進度累積百分比 100%

表 1-3、實際預定進度與查核點說明

契約書之預定進度累積百分比(%)		100			實際執行進度(%)	90.9	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析(打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
第一次工作進度報告	第 1 期款於完成規劃專案辦公室運作方式與計畫年度目標，提交第 1 次工作進度報告經機關認可後，預定進度累積百分比 30%	√			—	—	—
期中報告	完成 1-6 月感測器維運、規劃辦理座談會/教育訓練及 1-6 月計畫成果更新，並提交期中報告經機關認可後，預定進度累積百分比 60%	√			—	—	—

契約書之預定進度累積百分比 (%)		100			實際執行進度 (%)	90.9	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析 (打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
期末報告	計畫期末報告第3期款於完成本計畫進度報告3次、本計畫規定工作項目及期末報告，經機關認可後，預定進度累積百分比90%	√			—	—	—

表 1-4、合約工作項目之執行情形與完工百分比

工作內容	對應章節	占總進度百分比	單項進度百分比	實際總進度百分比	查核月份	執行情形
<b>一、評估國內外物聯網現況並提出分析</b>						
(1) 國際資訊收集與分析	第 2.1 節	1.0%	100%	1.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 2.1 節)
(2) 最適化布建藍圖規畫	第 2.2 節	1.0%	100%	1.00%	7 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 2.2 節)
(3) 國內空品感測應用調查	第 2.3 節	1.0%	100%	1.00%	5 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 2.3 節)
(4) 國內外技術資料研析	第 2.4 節	1.0%	100%	1.00%	8 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 2.4 節)
(5) 提升國際能見度	第 2.5 節	1.0%	100%	1.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 2.5 節)
<b>二、建立感測器數據智慧判讀及應用機制</b>						
(6) 建立 PM <sub>2.5</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術	第 3.1 節	2.0%	100%	2.00%	7 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.1 節)
(7) PM <sub>2.5</sub> 成品機量產及技轉洽談	第 3.1 節	2.0%	100%	2.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.1 節)
(8) 感測/量測技術資料收集、分析與評估	第 3.1 節	2.0%	100%	2.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.1 節)
(9) PM <sub>2.5</sub> 感測模組修正及場域比對測試	第 3.1 節	3.0%	100%	3.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.1 節)
(10) O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極核心材料配方開發與物化鑑定分析，並初步實驗測試配方效能	第 3.2 節	2.0%	100%	2.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.2 節)
(11) O <sub>3</sub> 感測元件之四極式電極配方調控與製作，並根據測試結果執行最佳化設計。	第 3.2 節	2.0%	100%	2.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.2 節)
(12) O <sub>3</sub> 電化學式感測元件原型品設計、製作與實驗室效能測試。	第 3.2 節	2.0%	100%	2.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.2 節)

工作內容	對應章節	占總進度百分比	單項進度百分比	實際總進度百分比	查核月份	執行情形
(13) 完成 O <sub>3</sub> 電化學式感測器雛型製作，並針對元件雛型進行實地場域驗證。	第 3.2 節	3.0%	100%	3.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.2 節)
(14) 具場域數據紀錄之 NO <sub>2</sub> 感測模組整合產品	第 3.3 節	2.0%	100%	2.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.3 節)
(15) NO <sub>2</sub> 感測模組數據紀錄整合產品測試	第 3.3 節	2.0%	100%	2.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.3 節)
(16) NO <sub>2</sub> 感測模組原型機產品實地場域測試，涵蓋低中高濃度	第 3.3 節	2.0%	100%	2.00%	12 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.3 節)
(17) NO <sub>2</sub> 感測原型機產品試量產	第 3.3 節	3.0%	100%	3.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.3 節)
(18) 評估未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術至少 3 項	第 3.4 節	2.0%	100%	2.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 3.4 節)
<b>三、擴大環境感測數據判讀與應用服務</b>						
(19) 感測數據資料融合	第 4.1 節	3%	100%	3.00%	8 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 4.1 節)
(20) 驗證智慧化巡檢校正方案	第 4.2 節	3%	100%	3.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 4.2 節)
(21) 重大污染事件資料收集	第 4.3 節	2%	100%	2.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 4.3 節)
(22) 感測數據衰減分析	第 4.4 節	2%	100%	2.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 4.4 節)
(23) 移動感測物聯網測試驗證	第 4.5 節	3%	100%	3.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 4.5 節)
<b>四、整合驗證環境感測物聯網執行成效</b>						
(24) 維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器，並依據機關需求調度布建於合適場域	第 5.1 節	5.0%	100%	5.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 5.1 節)
(25) 維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）	第 5.2 節	3.0%	100%	3.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 5.2 節)
(26) 環境品質感測物聯網計畫進度管考	第 5.3 節	4.0%	100%	4.00%	12 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 5.3 節)
(27) 宣傳環境品質感測物聯網計畫成果	第 5.4 節	3.0%	100%	3.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 5.4 節)
(28) 精進環境品質感測物聯網計畫推動	第 5.5 節	4.0%	100%	4.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 5.5 節)
<b>五、協助地方政府感測物聯網建置工作</b>						
(29) 協助機關管理合辦計畫	第 6.1 節	1.0%	100%	1.00%	4 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.1 節)
(30) 彙整地方政府感測物聯網運作情形	第 6.2 節	2.0%	100%	2.00%	12 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.2 節)
(31) 協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行	第 6.3 節	1.5%	100%	1.50%	8 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.3 節)

工作內容	對應章節	占總進度百分比	單項進度百分比	實際總進度百分比	查核月份	執行情形
(32) 籌組國內環境品質物聯網專家團隊	第 6.4 節	1.5%	100%	1.50%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.4 節)
(33) 協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料	第 6.5 節	1.0%	100%	1.00%	7 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.5 節)
(34) 協助機關檢視第三方巡檢查核成果	第 6.6 節	1.0%	100%	1.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.6 節)
(35) 規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」	第 6.7 節	1.0%	100%	1.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 6.7 節)
<b>六、強化專案辦公室產業推動成果效益</b>						
(36) 強化專案辦公室運作	第 7.1 節	3.5%	100%	3.50%	5 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.1 節)
(37) 跨部會整合協調	第 7.2 節	4.5%	100%	4.50%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.2 節)
(38) 計畫智庫與對策研擬	第 7.3 節	3.0%	100%	3.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.3 節)
(39) 全球趨勢與產業發展對策建議	第 7.4 節	4.0%	100%	4.00%	9 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.4 節)
(40) 提升一站式推廣中心服務	第 7.5 節	2.0%	100%	2.00%	6 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.5 節)
(41) 擴大產業交流與合作	第 7.6 節	4.0%	100%	4.00%	10 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.6 節)
(42) 國際參訪與研討	第 7.7 節	0.0%	0%	0.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.7 節)
(43) 擴大宣傳成效	第 7.8 節	4.0%	100%	4.00%	11 月	已完成相關執行方式之規劃(參見 7.8 節)
<b>合計</b>		100.0%		100.0%		

## 第 2 章、評估國內外物聯網現況並提出分析

本工作項目在於蒐集國內外（含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞等）環境品質物聯網、智慧城市之相關資訊，包含其發展趨勢、架構規劃、推動策略及具體措施等面向，涵蓋國家規劃、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及市場預測等範疇。完成研提我國環境品質物聯網發展策略及推動措施，規劃並滾動修正全國空氣品質感測器布建點藍圖及提出效益預測，同時將國內感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際或國內指標學術期刊，至少 3 件以上。

### 2.1、國際資訊收集與分析

#### 2.1.1、各國物聯網與智慧城市發展情況

##### 一、前言

根據 Statista 分析報告指出，到了 2020 年全球 IoT 市場將達 8.9 兆美元，年複合成長接近 20%，而在建置環境物聯網的重要要素中，端點的感測器，包含氣體、溫度、濕度、光、觸覺等，為最基本卻也是最重要的關鍵技術。根據 MarketsandMarkets 之「2017-2023 年全球氣體感測器未來市場預估」研究報告，全球氣體感測器市場預計至 2023 年擴大到 12 億 9760 萬美元，且預計 2017 年～2023 年以約 6.83% 的年複合成長率成長。

##### 二、工作執行方法

有鑑於全球物聯網的經濟規模爆發性成長，本工作項目將持續收集國內外（至少包含歐盟、美國、日本、韓國、東南亞）物聯網、環境品質物聯網、智慧城市之資訊。包含發展趨勢、架構規劃、推動策略、具體措施等，並提出我國發展建議報告。

##### 三、工作執行成果

###### （一）歐盟-iFLINK 計畫：

iFLINK 專案計畫正在開發和建立歐盟重要城市環境監測的新基礎設施及新應用，處理並確保來自空氣品質感測器網絡的數據。本網絡不僅納入國家監測站，還包括低成本微型感測器，可應用在智慧城市中的許多不同的情境，更完整地論述整個智慧城市的即時空氣污染情況。

在 iFLINK 專案中，將應用機器學習來開發良好的校準方法，據以提升低成本感測器的數據品質，實現這些數據在開發新的跨域服務及應用。iFLINK 推動結果可用於所有希望提升空氣品質、掌握氣候變化和追蹤噪音污染的相關團



體與對象。

本專案與挪威 Oslo、Bergen、Bærum、Drammen 及 Kristiansand 等 5 個城市一起開發和執行，往後其他研究單位或民間團體也可以將其微型感測器連接到 iFLINK 基礎設施並進行資料公開使用。iFLINK 是挪威空氣品質和環境創新管理的研究和專案，得到挪威研究理事會的經費支援，執行期間從 2018~2021 年。

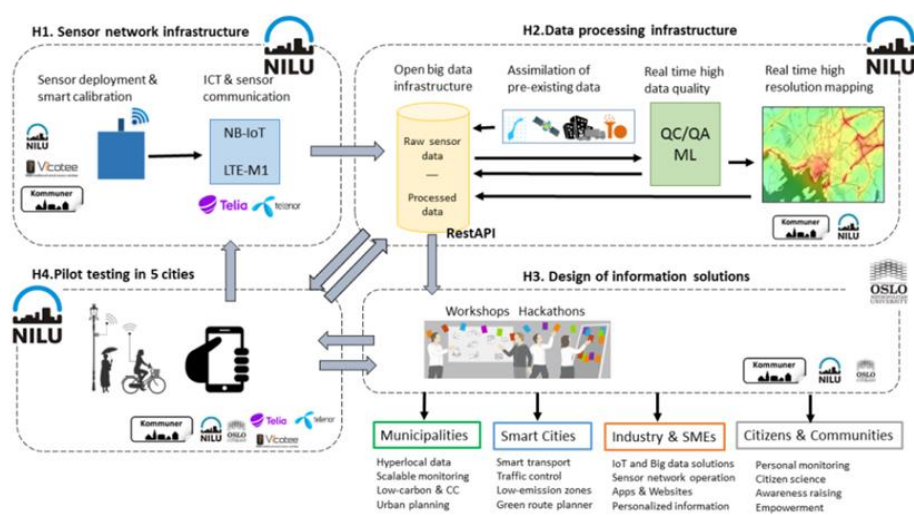


圖 2-1、iFLINK 推動系統架構圖

## （二）美國移動式感測及分類標準

2014 年 Aclima 開始和 Google Earth 合作，利用 Google 街景車搭載 Aclima 感測器，在丹佛進行為期一個月，約 750 駕駛時數，測量  $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{VOC}$ 、 $\text{CH}_4$ 、Carbon black 等，收集 1.5 億筆資料，並且和美國 EPA 固定測站資料比對，最終將空氣品質以街景級圖像化呈現。截至 2018 年，已建置空氣污染指標圖像化於 San Francisco Bay Area（包含 Oakland, CA），Los Angeles，和 the Central Valley of California。針對即時環境監控數據，研發出數據分析演算法、感測器、人工智慧、雲端資料處理等技術，並可透過感測網絡(sensor network)得知即時相關資訊，如圖 2-2。藉由導入 AI 技術之環境智能移動平台，能收集傳動固定測站所無法覆蓋之環境資料，即時監控並提供嚴重影響人體健康與氣候變異之環境數據（如空氣污染物等）之資訊，可讓使用者針對其周遭環境來制定決策(decision-making model)。



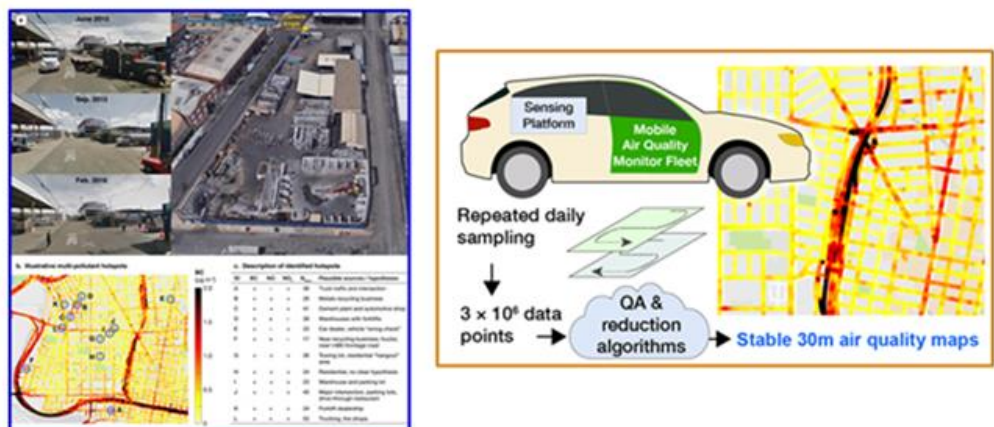


圖 2-2、Aclima 與 Google 合作開發環境智能移動平台

此外美國 AQ-SPEC 也針對空品微型感測器的規格及應用情境進行規範，以教育與資訊、熱點判定、補充監測、個人暴露量測及國家監測進行分級管理。

表 2-1、美國感測器規格及應用情境

層級	應用範圍	污染物	精確度與偏差	數據完整率	基本原則
I	教育與資訊	All	<50%	≥ 50%	用於簡單地表現污染物存在的濃度範圍，測量的誤差並不重要。
II	熱點判定	All	<30%	≥ 75%	需要更高品質的數據，除須確保污染物存於當地環境大氣中，且感測濃度也需接近真實值。
III	補充監測	標準污染物， 毒性氣體(包含 VOCs)	<20%	≥ 80%	具備提供輔助空氣品質監測資料，補足現有感測的潛在價值。為了提供有用的資料，因此必須具有足夠的數據品質，以確保資訊能有助於「填補」監測資訊的空缺，避免導致對監測資料的不易理解。
IV	個人暴露	All	<30%	≥ 80%	諸多因素都會影響個人於空氣污染物中的暴露程度。此處的精確度和偏差標準，是基於各種科學研究報告所提出。若高於這些誤差標準，則難以理解發生個人暴露的方式，時間和原因。
V	監管監測	O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> , P M <sub>10</sub>	<7% <10% <15% <10%	≥ 75%	需要精確測量以確保獲得高質量的數據，以滿足法規的要求

### (三) 日本、韓國校園及工業區空品感測器布建及執行策略

韓國慶尚南道目前在所屬的 8 市 10 郡 860 多所學校安裝了空氣品質微型感測器如圖 2-3。這項計畫深受家長和師生的歡迎，家長從 APP 就能知道校園 PM<sub>2.5</sub> 的即時資訊，學校也透過圖像化、生動化的活動與教材，教導學生在日常生活中避免懸浮微粒的傷害。

東北亞空污問題除了來自境外霾害，韓國本地污染源比例也相當高，尤其很多國中小學就位於高速公路或交通要道旁，韓國教育廳相當重視校園空氣品質，要像媽媽一樣關心孩子的呼吸健康，一刻也不能等。空氣品質微型感測器以視覺化提供小區域的即時空氣品質資訊，有助改善空氣品質。慶尚南道教育廳的懸浮微粒(PM)改善計畫，分為 4 個階段：「提供正確的認知和預防」、「法律面和執行面的改進」、「進一步的量測設計」、「從地方政策改變國家政策」。



圖 2-3、韓國校園微型感測器應用案例

另外在智慧城市布建方面，韓國章原市(Changwon City)也啟動的工業區環境物聯網及異味監測計畫，透過布建 22 個空氣微型感測器及異味感測器來追蹤工業區污染源，同時也成立異味監控中心，24 小時監控工業區污染並進行通報。

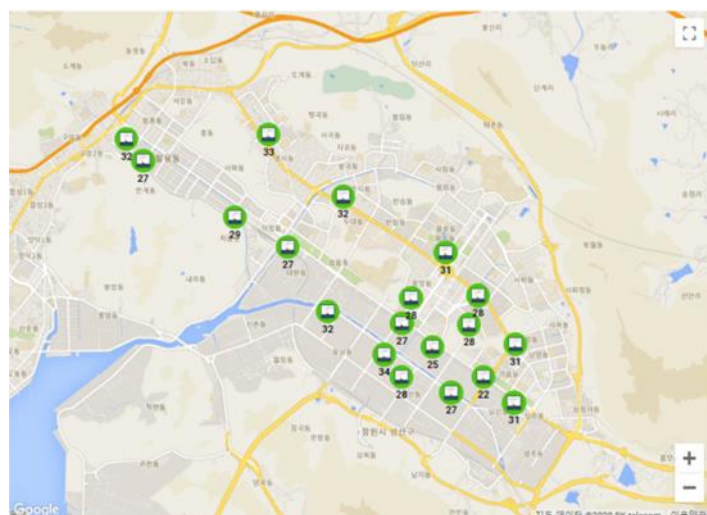


圖 2-4、韓國章原工業區空品感測器布建點位圖



圖 2-5、韓國章原工業區實際布建圖

表 2-2、韓國感測器規格及應用情境

等級	Repeatability (重複性)	Precision (精確度)	Data Achievement (數據採集率)	Bias 偏差	$R^2$ (決定係數)	Application 應用領域
1 <sup>st</sup> grade	> 80%	> 80%	> 80%	> 80%	> 0.8	提供民眾 參考
2 <sup>nd</sup> grade	70-80%	70-80%		70-80%	0.7-0.8	監管使用
3 <sup>rd</sup> grade	60-70%	60-70%		50-70%	0.6-0.7	教育使用
Out of grade	< 60%	< 60%	< 80%	< 50%	< 0.6	其他

日本將物聯網視作大數據(Big data)的延伸，其推動概念如下圖所示，整體資訊與通訊的時代推移，由過去的網際網路與行動通訊時代(Internet and mobile phone age)，轉移到智慧型手機時代(smartphone age)，而物聯網時代(IoT age)順應智慧型手機時代而產生，其重點有二：

1. 智慧型手機為關鍵載具：人手一台的智慧型手機帶動許多加值型服務，包括遊戲、電影、音樂等服務。
2. 智慧型手機為個人資料中心：手機儲存了用戶所有個人化資訊，這些資訊的價值應用將帶動未來其他服務的延伸。

因此，圍繞智慧型手機為中心，在物聯網時代的商業模式分為四類：

1. 商業對商業(Business to Business, B2B)：包括金融資訊技術(FinTech)與擴增實境與虛擬實境(AR/VR)等應用。
2. 商業到商業到用戶(Business to Business to Consumer)：包括資訊搜尋、社交網路服務、免費網路影片服務等。
3. 商業到用戶(Business to Consumer)：包括金融資訊技術、擴增實境與虛擬實境、網路購物、電子書、音樂服務、收費的影片服務等。
4. 用戶到用戶(Consumer to Consumer)：包括共享經濟、拍賣與二手市場服務等。

#### (四) 東南亞國家環境物聯網發展部分\_越南

因應氣候變遷及快速經濟發展，東南亞各國皆面臨嚴重的空氣污染及水污染問題。以越南、泰國、印度為例，城市都會區空氣品質常常處於惡化嚴重的等級，工業區附近更是長期灰濛濛一片。故東南亞各國已開始致力於環境監測技術開發，尤其因應智慧城市要求，研究納入環境物聯網監測之技術及應用。

以越南為例，雖然環境總局建立全國空氣品質監測網，但僅有 6 個國家監測站（河內市、慶和省、富壽省、峴港市、廣寧省、承天順化省），其中河內市國家測站較多，也有布建微型感測器及高階儀器設備。法國 Environnement SA 集團替河內市安裝了 10 台 AQMS，美國大使館屋頂也架設了 1 組 Met One 設備，UNIS HANOI（聯合國河內國際學校）於 2015 年亦設立空品監測系統 1 套，甚至當地民眾或團體也可以買到感測器如 AirVisual 等，凸顯東南亞國家城市亦開始慢慢注意空氣品質及環境物聯網應用需求。





圖 2-6、韓國校園微型感測器應用案例

#### 四、國內外空品感測技術比較與建議

依據上述的各國比較發現，空品感測器因不同國家對品質的要求及應用情境的定義差異，有不同的應用效益，本團隊將臺灣應用的情境與各國比較如下表所示。

表 2-3、臺灣與各國感測器規格及應用情境比較

國家	數據完整率	偏移誤差	相關係數	應用類別說明	國家
臺灣 107-109 年	>90%	<30%	>0.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>污染熱區分析及特徵判斷</li> <li>污染源鑑別</li> <li>智慧稽查與環境教育應用</li> </ul>	臺灣 107-109 年
美國	>75%	<30%	>0.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>污染熱區分析</li> <li>地方污染特徵判斷</li> </ul>	美國
歐盟	—	<50%	>0.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境教育宣導</li> <li>公民科學應用</li> </ul>	歐盟
韓國	70-80%	20-30%	0.7-0.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析空氣污染密度</li> <li>分析可能污染來源</li> </ul>	韓國
中國(交通大學)	70-80%	<30%	>0.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>交通網格化監測</li> <li>污染特徵分析</li> </ul>	中國(交通大學)
臺灣 110 年~	>90%	<25%	>0.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>輔助國家測站數據</li> <li>在地高解析度空品預測</li> <li>結合 SIP 環境治理</li> </ul>	臺灣 110 年~

由上表比較得知，因臺灣執行四年空品物聯網布建及應用計畫，累計高時空解析度的數據收集及分析經驗，除了比其他國家更早應用於智慧稽查及溯源追蹤外，未來可利用國內感測技術的優勢，將空品微型感測器之數據完整率提高至 90%以上，數據偏差率則降至 25%以下，數據相關性則提高至 0.8 以上，如此有別於其他國家僅能用在教育宣導及特徵分析外，未來臺灣可進化至輔助國家測站數據、在地高解析度空品預測及結合縣市 SIP 計畫進行環境治理。

### 2.1.2、我國發展策略與推動措施建議

#### 一、前言

有鑑於環境品質物聯網不論在技術面與應用面皆蘊含了可觀的發展潛力，技術面不僅橫跨微機電、半導體、印刷式製程技術，也兼具光學與電化學多元化感測途徑，並有機會整合更多感測材料在效能上尋求進一步突破；而在推動方向建議從目前主要的工業園區執法應用與社區、交通測站監測，逐步向外擴散至民眾有感、觸及民眾痛點或需求之應用場域。本團隊將持續修正未來發展策略藍圖及行動規劃，擬由 110 年之前瞻建設經費、科技計畫或空污基金來爭取。

#### 二、工作執行方法

基於精細資訊、精準預警、精確應變及精實執法等精益求精的環境治理需求，確切達到「優化環境品質感測物聯網體系，連結在地」、「深化環境聯網智慧應用，連結未來」、「開創感測聯網前瞻技術與產業創新，連結國際」之 3 大策略目標，自 110 年至 114 年 8 月規劃 9 個重點工作與 25 個子項工作，如圖 2-7 所示，為政府與民眾提供優質的環境資訊，推動宜居的永續寧靜城市。

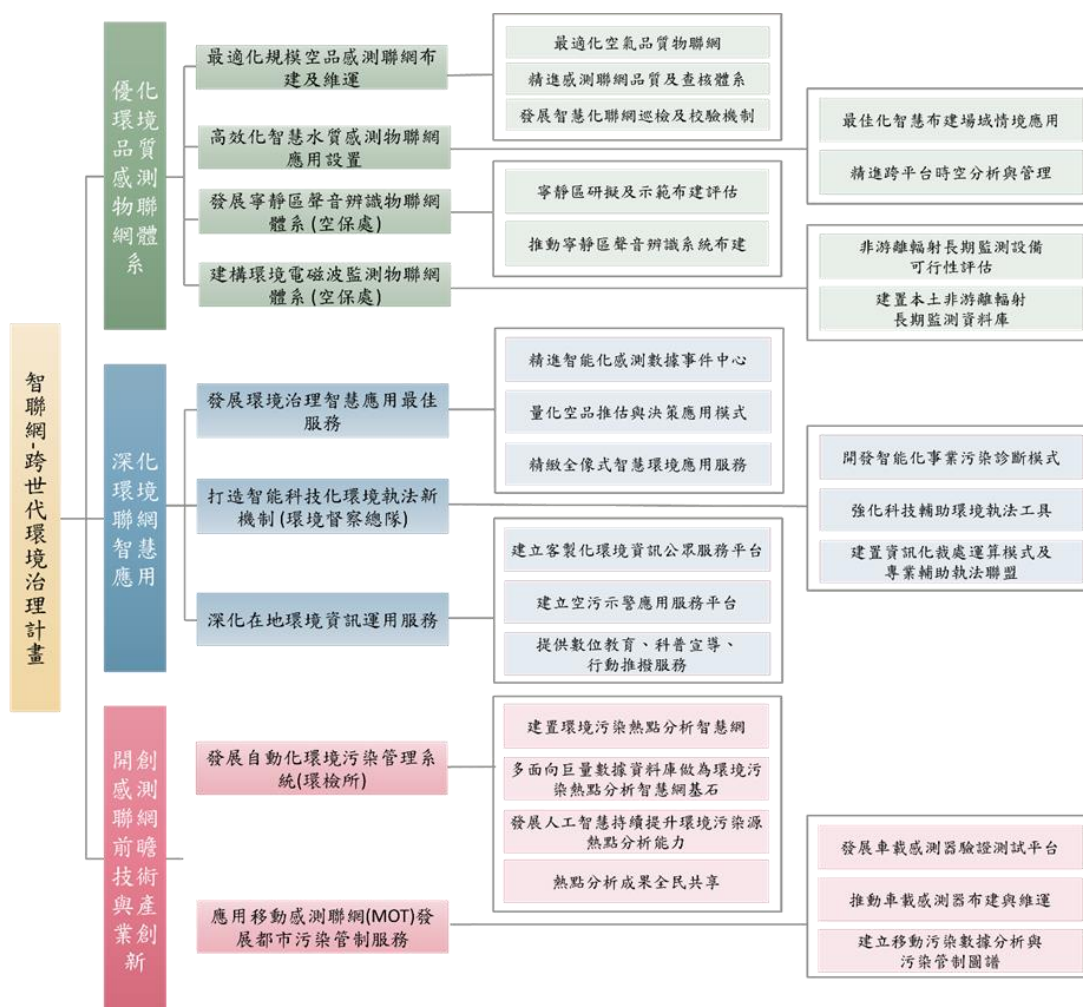


圖 2-7、未來四年（110~114 年 8 月）計畫目標及主要工作項目架構圖

### 三、工作執行成果

接續 4 年之計畫內容規劃涵蓋 3 大策略目標，將針對 3 大策略目標進行說明：

#### （一）優化環境品質感測物聯網體系，連結在地

本項目之重點為整合全國空氣品質監測站網資源，將全國不同機關所設置的空氣品質監測站及全國 1 萬 200 點空氣品質感測點的感測資料，建構以監測站為骨幹結構，連接感測點為分支之空氣品質感測物聯網體系，運用監測資料向上集中統合發展，提供高時間及空間解析度的空氣品質資料，據以瞭解在地的污染問題，研擬區域的環境治理措施。

維運穩定且準確的感測設備需要龐大的人力與物力，在透過既有維運與資料研析後，藉由運用感測點位之效益分析，評估最適化布建與維運規模，有效提升空氣品質感測物聯網價值成效。在維持感測物聯網體系的环境治理成效最大化，並達成營運成本最小化之需求下，優化環境品質感測物聯網將

是刻不容緩的重大目標。

## （二）深化環境聯網智慧應用，連結未來

因應未來物聯網、人工智慧及自動化時代，環境品質及污染源遠端監控及自動智慧管理趨勢，整合既有監測體系與感測物聯網體系，蒐集長期性的感測資料，整合評估相關時空資料特性之變化趨勢，進行資料深度分析，發掘資料特徵或潛藏的資訊，開發大數據及 AI 學習模式，更精準發現污染熱區並提出預警，發展環境物聯網各類資料蒐集及大數據分析技術，並建置各類環境資料智慧應用及污染治理作業制度，以更精密之科學儀器進行智慧稽查及環境治理，進而提出政策修正洞見或後續改善作為對策建議，具體改善環境品質，成為環境聯網及智慧應用的典範。

## （三）開創感測聯網前瞻技術與產業創新，連結國際

感測聯網的推動過程除同步汲取國內外科技及技術精華，納入臺灣優勢的系統整合及資通訊產業技術，同時藉由本署發展的尖端污染物檢測技術，搭載污染熱點分析技術的建置，在產官學研的創新應用激盪下，研發應用於感測物聯網發展布建及智慧應用典範。再運用臺灣設計及生產優勢及經驗，整案複製輸出去解決國外環境類似的問題。透過分鐘尺度、街道密度布建應用之環境感測物聯網，串聯國際合作管道，參與國際技術研討會，持續精進智慧化環境治理技術。

## 四、結論與建議

建議持續積極爭取前瞻計畫、科技計畫或空污基金等經費來源，並藉著善用數位科技的力量，推動創新環境資訊服務，滿足民生與經濟發展需求，期以建立「更精確、更即時、更全面」的空氣品質、水質及噪音監測與告警服務能力，提供「人民的生活、社會的生計、群眾的生命」所需的科技執法稽查及環境治理等產業加值服務，進一步配合「以科技為基礎」、「以人為本」的智慧化數位政府目標。

## 2.2、最適化布建藍圖規畫

### 一、前言

環保署自 106 年起在桃園市觀音工業區、新北市鶯歌社區、高雄市大林蒲地區及臺中市共布建 700 點感測器，作為應用概念驗證及初步應用。為利空污



感測器布建後地方政府能因地制宜在地應用，107 年度起與地方政府合辦感測器布建工作，經地方政府爭取，截至 109 年 11 月合計完成 6 都（臺北市、新北市、桃園市、臺中市、臺南市、高雄市）及 11 縣市（宜蘭縣、基隆市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市及屏東縣）共計布建維運 9,261 點的空污感測器，建立綿密的感測物聯網，分布於 6 都與 11 縣市，覆蓋 263 個區級行政區、111 個工業區及科學園區、402 條交通要道、監控共 8 萬多家列管工廠，感測器布建分布詳如圖 2-8。

環保署運用與地方政府已設立 102 個空氣品質監測站，加上特殊性工業區測站及大型事業測站，合計共有 209 站，架構以標準監測站為骨幹的空氣品質感測物聯網，預計於 109 年底完成 1 萬 200 點的臺灣廣布型空氣物聯網 (TAIWAN)，提供民眾區域型的即時空氣污染數據，據以應用於環境執法及服務民眾活動。

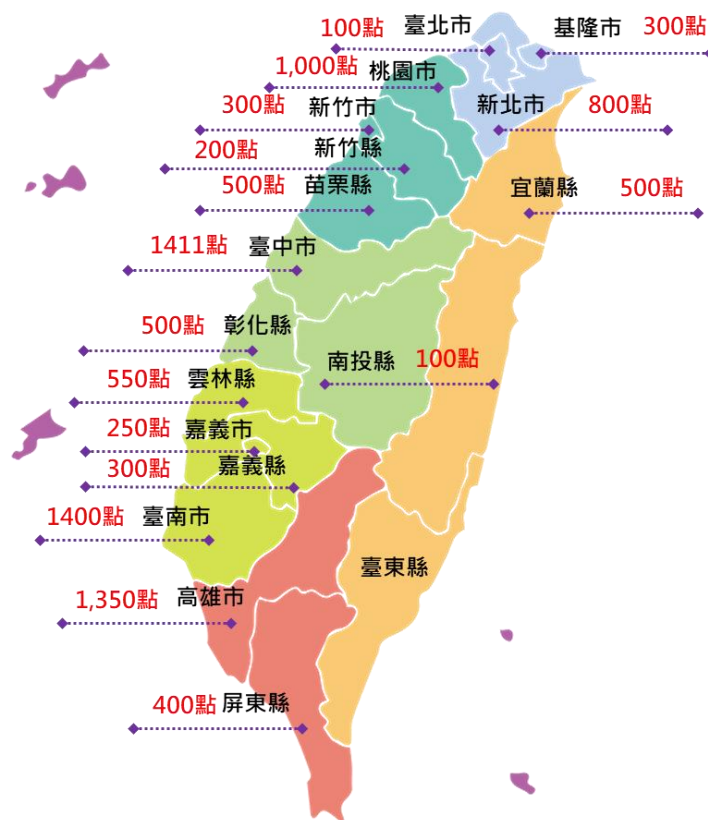


圖 2-8、空污感測器布設點位分布圖

## 二、工作執行方法

依現行空污感測器之布建情境分為工業感測、社區感測、交通感測及輔助感測等 4 類，並定義感測情境與建議布建密度如表 2-4。依據 108 年評估感測

器所在區位的合適性，參考環保署針對區域污染特徵之判斷機制，可有效評估既有布建感測器點位所發生之污染事件頻率，進而分析感測點位的必要性與效益，進而評估最適化之布建規模。但由於現階段感測點位主要分布於工業區及或鄰近工業區之社區，故上述之運用污染事件發生頻率評估感測器設置需求無法針對交通區、一般社區及輔助區之布建評估，故今年度之評估模式工作規劃如下：

- (一) 工業區及鄰近工業區之社區：已布建區域之感測點，持續依據污染事件發生頻率評估布建點位之必要性。尚未布建之工業區，參考環保署 TEDS 資料庫，據以評估感測點位的布建區位與數量。
- (二) 一般社區：依據人口密度及環保陳情事件資料，採用平均布建來規畫。
- (三) 交通區：收集都會區車流量資料，針對重要道路採用平均布建來規畫。
- (四) 輔助區：針對 20 公里內無標準監測站及地面高程低於 500 公尺以下之區域採用平均布建來規畫。

表 2-4、空污感測器最適化布建評估方案

感測情境	感測目的	布建密度	最適化評估方案
工業區	用以監控工廠密集區域，做為污染溯源及環境執法之用途	以 50~300 公尺距離設置	已布建區域：依據污染事件發生頻率評估布建點位之必要性。 未布建之工業區：參考環保署 TEDS 資料庫，據以評估感測點位的布建區位與數量。
鄰近工業區之社區	設於大型污染源附近的社區為主，例如距離工業區 2 公里範圍內之社區	布建密度以 100~500 公尺設置	
社區	做為該地民眾日常生活之參考	採用 1~1.5 公里網格狀之密度設置	依據人口密度及環保陳情事件資料，採用平均布建來規畫
交通區	用以監控交通繁忙區域，主要目的為監測汽機車等移動載具產生的空氣污染	規劃布建於四線道以上之主要交通幹道，布建密度以 1 公里距離設置	收集車流量及人口密度，針對重要道路採用平均布建來規畫
輔助區	設置於無標準監測站之人口稀少鄉鎮市地區，做為環境背景參考之依據	採用 5 公里網格狀之密度設置，做為環境背景參考之依據	統計地面高程低於 500 公尺以下之區域，以人口密度平均布建來規畫

### 三、工作執行成果

最適化布建選址評估分為兩部分執行，首先針對已布建感測區域進行「告警事件分析」，盤點 109 年感測器污染分析應用狀況，與各感測器是否發生告警

事件，以此評估和檢討感測器布建位置的污染偵測效能。再者，對於未布建感測器的區域，進行「工業區空水列管污染源分析」以及「行政區人口統計分析」，工業區空水列管污染源分析旨在盤點全臺未布建感測器的工業區，再以 200 公尺 × 200 公尺的網格解析度，估計規劃感測器布建數量，此外亦結合空、水列管污染源資料，了解列管污染源分布及密度，作為布建順序參考。

行政區人口統計分析，依據行政院內政部人口統計資料，分別針對每平方公里 1,000 人以上的高密度人口村、里，規劃布建 1 感測站點，對於每平方公里 1,000 人以下之低密度人口鄉、鎮、區，且海拔高度低於 500 公尺之非山區，規劃布設 1 感測站點。



圖 2-9、最適化規劃布建藍圖執行規劃

#### （一）告警事件分析

截至 109 年 9 月，總計各縣市已布建感測器並上傳至環保署 IoT 平台之數量為 8,221 台，其中 76% 共計 6,193 台感測器曾於環保署空氣網的 78 處告警判定區內發生過污染告警事件，如下表 2-5，可認為具有污染偵測效能之布建點位，其餘 24% 共計 2,028 台則未曾發生污染告警事件，可見該布建位置無法有效偵測到污染物，建議可對其進行點位調整。

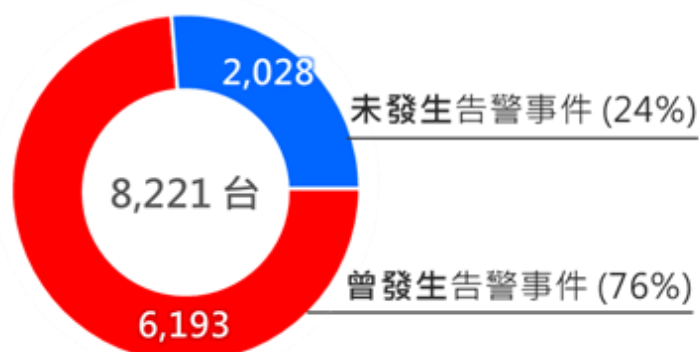


圖 2-10、感測器告警事件發生比例

表 2-5、污染告警劃分區域

判定範圍	判定範圍	判定範圍
大武崙工業區	大甲幼獅工業區	官田工業區
北投士林區	后里豐原	佳里工業區
海湖工業區	臺中港	臺南科學園區
六堵科技園區	臺中加工出口區	北勢洲工業區
大園工業區	中科臺中園區擴建區	新市工業區
林口工業區	水湳經貿園區	總頭寮工業區
內湖松山區	臺中工業區	和順工業區
五股工業區	全興工業區	永康工業區
觀音	彰化濱海工業區	臺南科技工業區
華亞科技園區	芳苑工業區	仁德工業區
桃園科技工業區	埤頭工業區	安平工業區
臺北市區	田中工業區	保安工業區
樹林工業區	六輕工業區	南部科學工業園區高雄園區
中壢工業區	西螺果菜市場	本洲產業園區
龜山工業區	大將工業區	高雄永安工業區
桃園永安工業區	雲林科技工業區竹圍子區	仁武工業區
土城三峽	中科虎尾園區	楠梓加工區
桃園幼獅工業區	斗六聯絡道路	農業生物科技園區
龍潭平鎮	雲林科技工業區	屏東市區
新竹工業區	斗六工業區	高雄市區
新竹市	豐田工業區	屏東加工出口區
新竹科學園區	元長工業區	內埔工業區
竹南頭份	民雄工業區	大發工業區
利澤工業區	嘉義市	臨海工業區
宜蘭	新營工業區	林園工業區
苗栗市	柳營科技工業區	屏南工業區

彙整 109 年全年度空品感測器的告警事件與告警事件判定區，可將現有感測器劃分為：「具有污染偵測效能」、「非具污染偵測效能」、「未知是否具有偵測效能」三類，其中具有污染偵測效能者為告警事件判定區內「曾發生」告警事件的感測器，以下分區展示圖以「紅色」原點圖例表示之；非具污染

偵測效能者為告警事件判定區內「未發生」告警事件的感測器，以下分區展示圖以「藍色」原點圖例表示之；未知是否具有偵測效能者為告警事件判定區以外的感測器，以下分區展示圖以「綠色」原點圖例表示之。

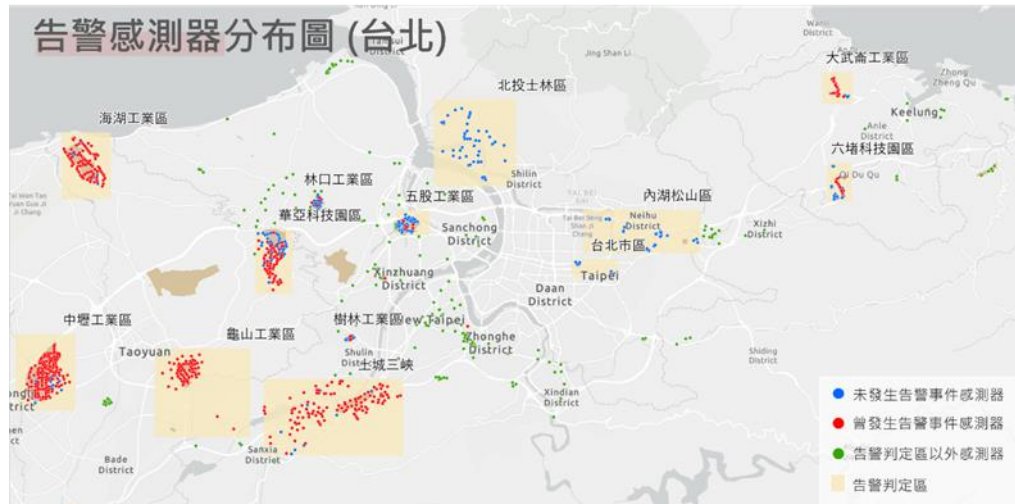


圖 2-11、告警感測器分布圖（臺北）

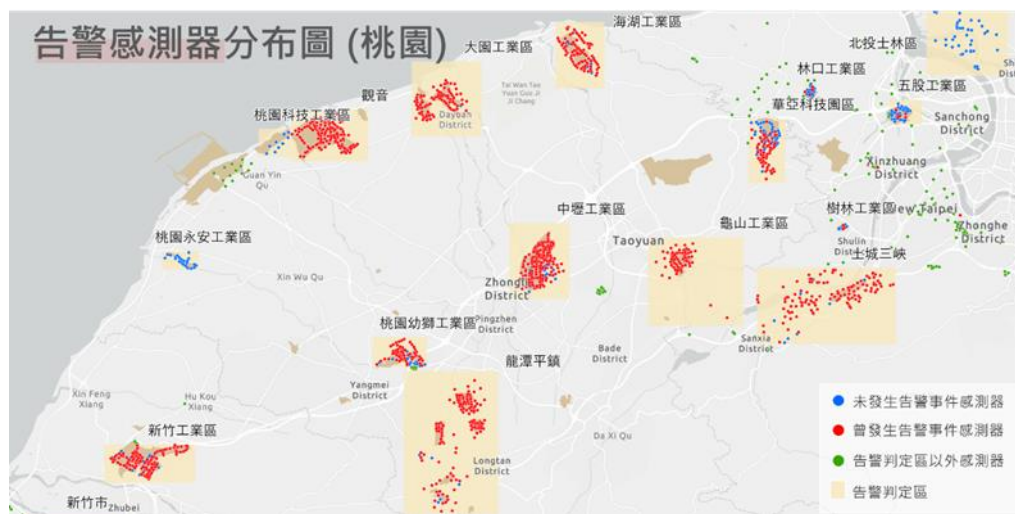


圖 2-12、告警感測器分布圖（桃園）



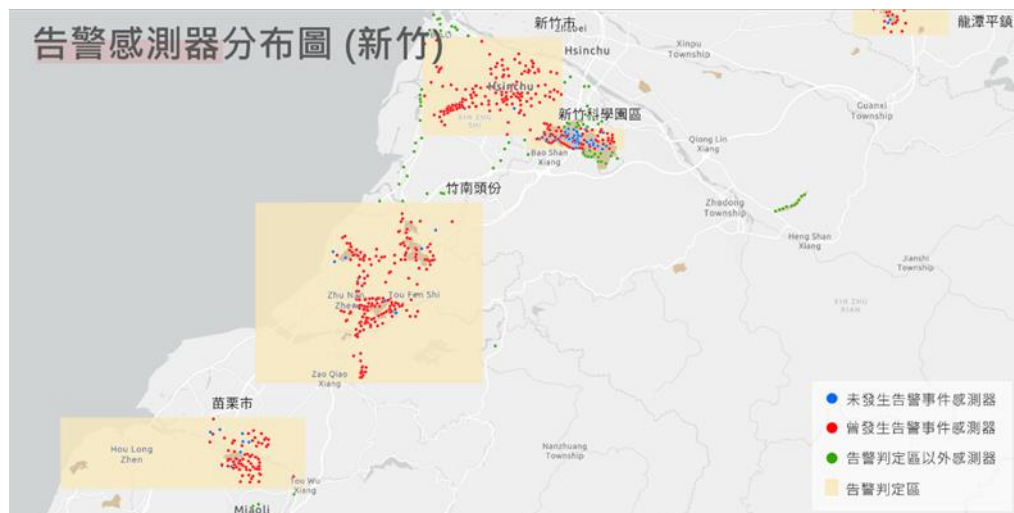


圖 2-13、告警感測器分布圖（新竹）

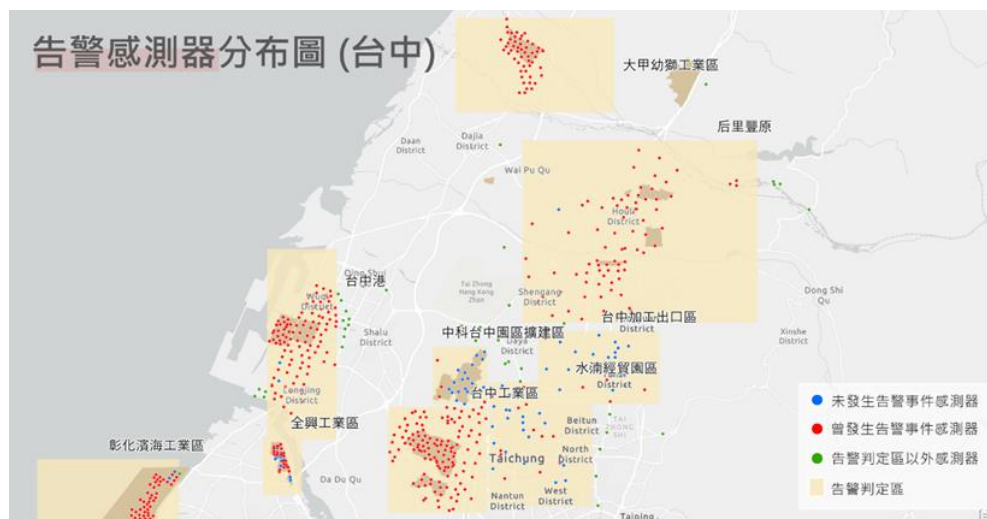


圖 2-14、告警感測器分布圖（臺中）

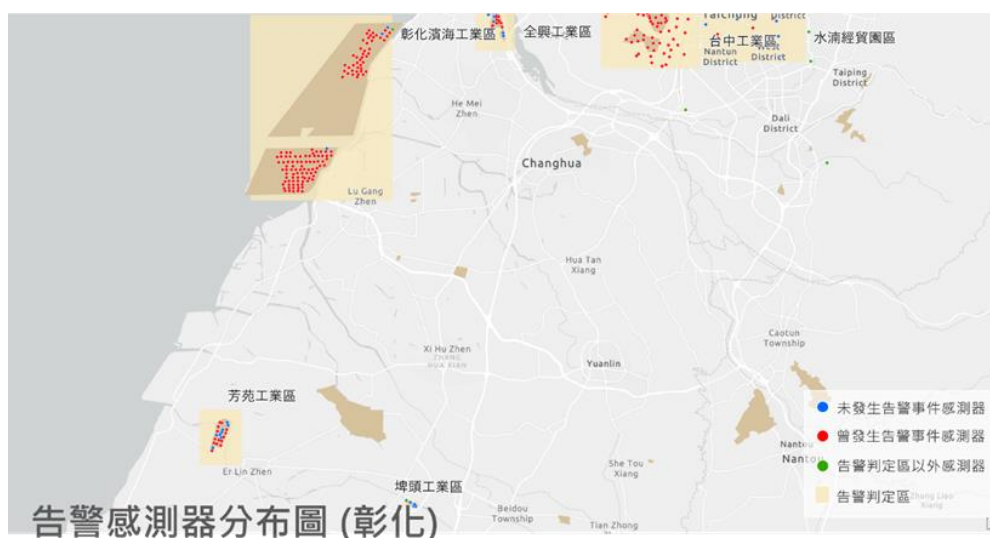


圖 2-15、告警感測器分布圖（彰化）



圖 2-16、告警感測器分布圖（雲林）

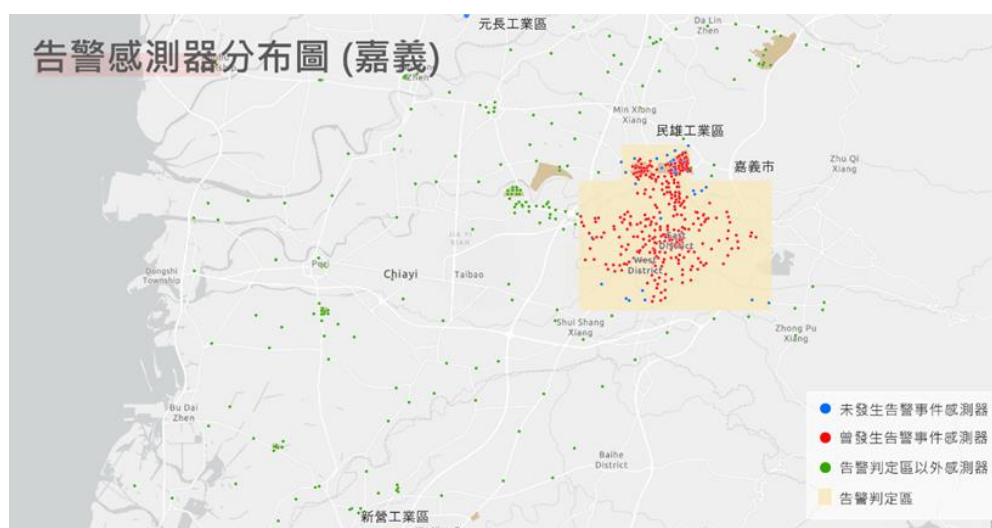


圖 2-17、告警感測器分布圖（嘉義）

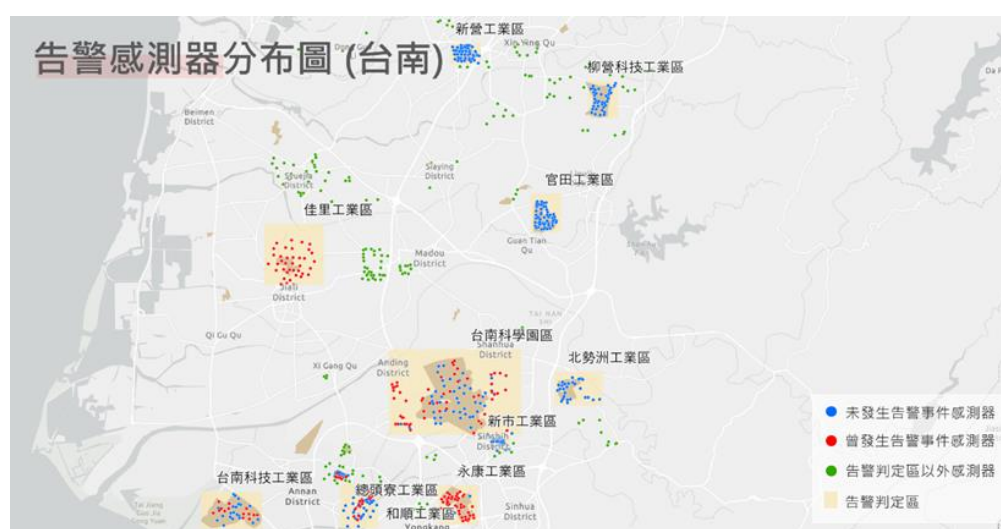


圖 2-18、告警感測器分布圖（臺南）

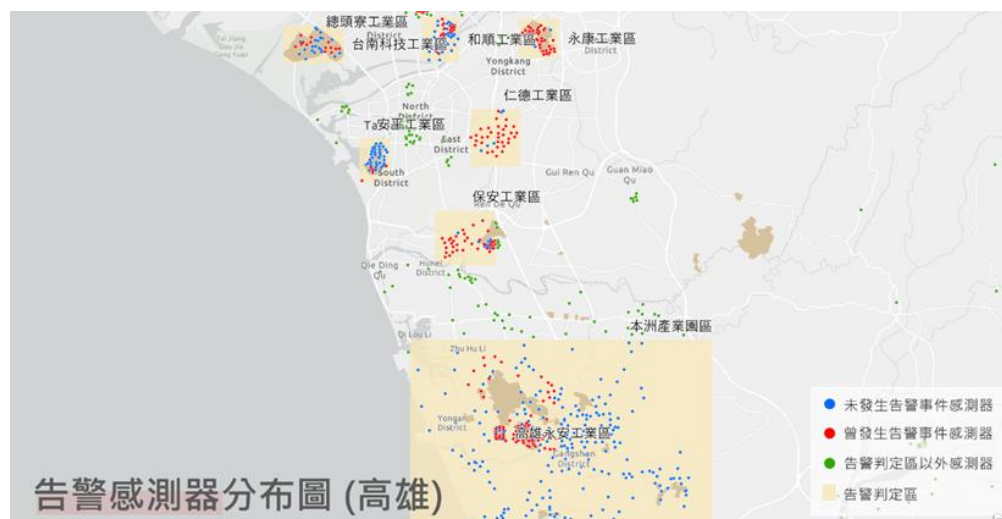


圖 2-19、告警感測器分布圖（北高雄）

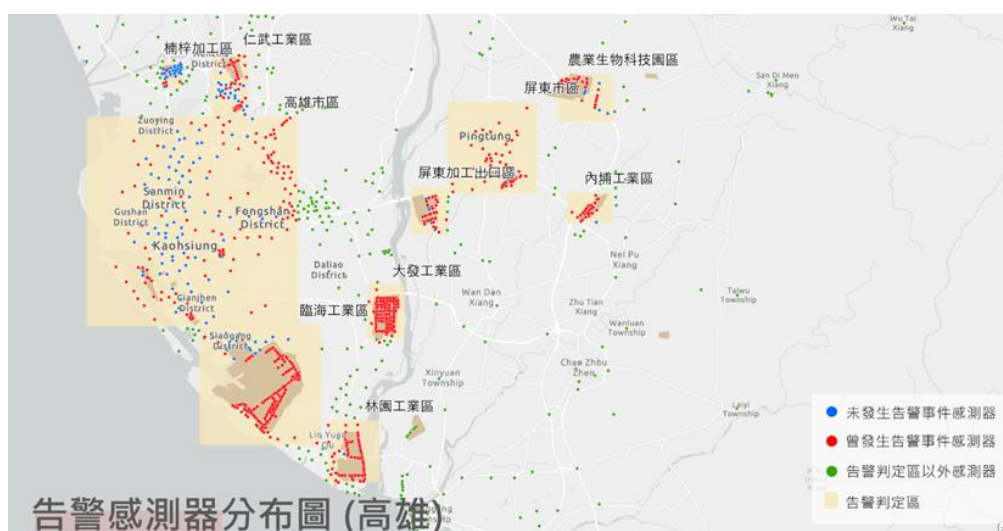


圖 2-20、告警感測器分布圖（南高雄）



圖 2-21、告警感測器分布圖（北屏東）





圖 2-22、告警感測器分布圖（南屏東）

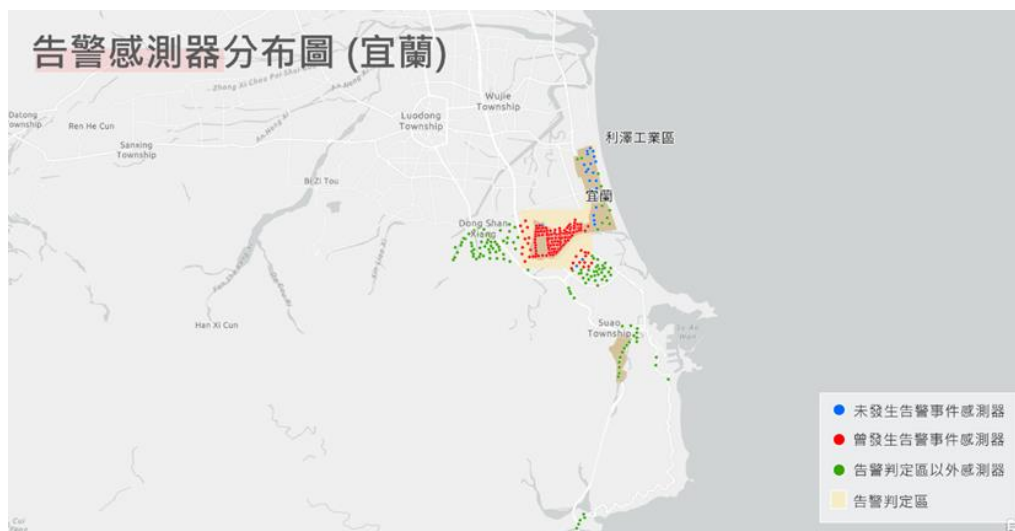


圖 2-23、告警感測器分布圖（宜蘭）

## （二）工業區空水列管污染源分析

針對未布建感測器之工業區，以 200 公尺 × 200 公尺網格密度規劃，總計需布建 1,919 台感測器。其中針對含有空、水列管污染源之未布建工業區進行分析，總計 47 處需布建 1,387 台感測器，各工業區規劃布建數量如下表 2-6 所示，另外 39 處未含空水列管污染源，預計需布建 532 台。

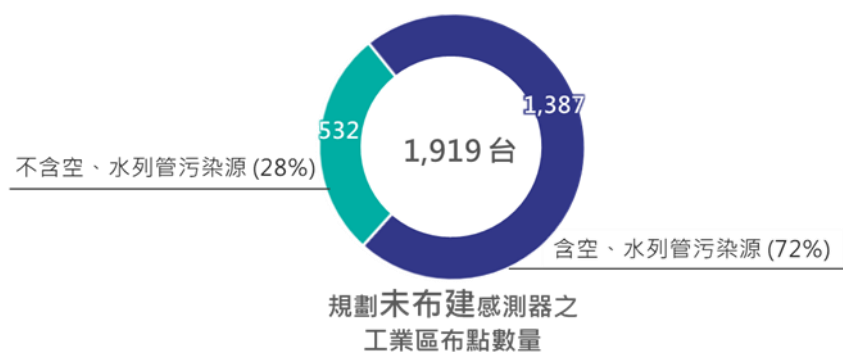


圖 2-24、含空水列管污染源之工業區感測器數量比例

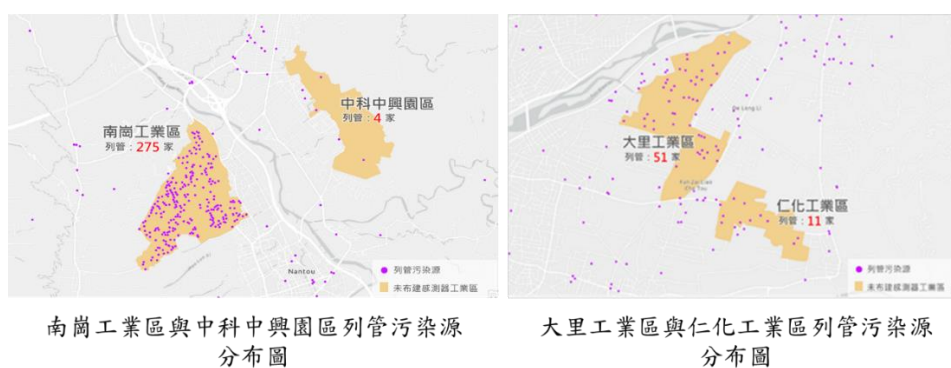


圖 2-25、空、水列管污染源之工業區規劃布建示意圖

表 2-6、含空、水列管污染源之規劃布建清單

工業區	列管 家數	規劃 數量	工業區	列管 家數	規劃 數量
南崗工業區	275	105	台糖高雄物流園區	3	2
大里工業區	51	20	竹科宜蘭園區	2	18
美崙工業區	46	33	高雄前峰子段	2	13
銅鑼工業區	37	13	新竹縣中崙段	2	5
新吉工業區	4	14	北部特定工業區	1	118
光華工業區	32	8	外埔工業用地	1	5
豐樂工業區	18	5	花蓮環保園區	1	5
雲林離島工業區	16	556	麻園工業用地	1	4
荖桐工業用地	6	5	斗六林內段	1	4
長治工業用地	5	7	臺中軟體園區	1	3
萬巒工業用地	5	6	芳生螺絲申編工業區	1	2
和平工業區	14	99	社頭織襪工業區	1	2
竹科生醫園區	13	11	美超微科技園區	1	1
竹山工業區	12	6	加興企業生化科技廠	1	1

南港軟體工業區	6	1	土庫工業用地	1	3
泰山工業區	8	53	永新工業區	1	3
一結工業用地	8	17	油機工業股份有限公司工業區	1	3
下陰影窩段工業區	7	5	太平洋電纜公司楊梅工廠	1	3
臨廣加工園區	7	3	慈陽科技工業股份有限公司工業區	1	3
屏東汽車專業區	6	24	天聲工業股份有限公司工業區	1	3
彰南產業園區	1	26	中科中興園區	4	66
光華樂活創意園區	1	18	大潭濱海特定工業區	3	55
新埔工業用地	5	5	牛稠工業用地	3	21
許厝港段	3	5			

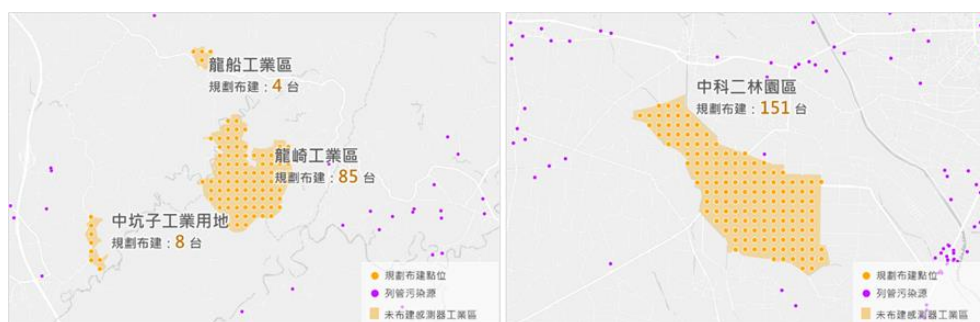


圖 2-26、未含空、水列管污染源之工業區規劃布建示意圖

然而全臺含有空、水列管污染源的未布建感測器工業區眾多，不同工業區列管數量也不盡相同，為了有效將資源分配達到效益最大化，故以列管污染密度等級大小做為布建順序之參考，如表 2-7 所示。

表 2-7、空、水列管污染源密度前十名工業區

工業區	空水列管家數	規劃布建數量	列管污染密度
南崗工業區	275	105	84
南港軟體工業區	0	1	81
大里工業區	51	20	61
臨廣加工園區	7	3	58
北部特定工業區	1	118	54
臺中加工出口園區	21	5	50
美崙工業區	46	33	49
泰山工業區	8	53	43

仁化工業區	11	7	43
北斗工業區	35	10	38
臺中軟體園區	1	3	37

### (三) 行政區人口統計分析

空品感測器的目的除了固定的工業污染監測之外，對於人口居住活動區域提供民生的環境空品資訊亦是另一項重要布建目標，因此本工項彙整內政部人口統計資料，針對未含感測器之村里計算其人口密度，若人口密度達每平方公里 1,000 人以上，則定義為高人口密度，預計於該村里行政區內，布建 1 台感測器，總計全臺約需 3,751 台。另外針對未含感測器之鄉、鎮、區計算人口密度，若密度低於每平方公里 1,000 人，則定義為低人口密度鄉鎮區，再排除 500 公尺以上山區後，規劃於該區布建 1 台感測器，全臺共計 38 台。

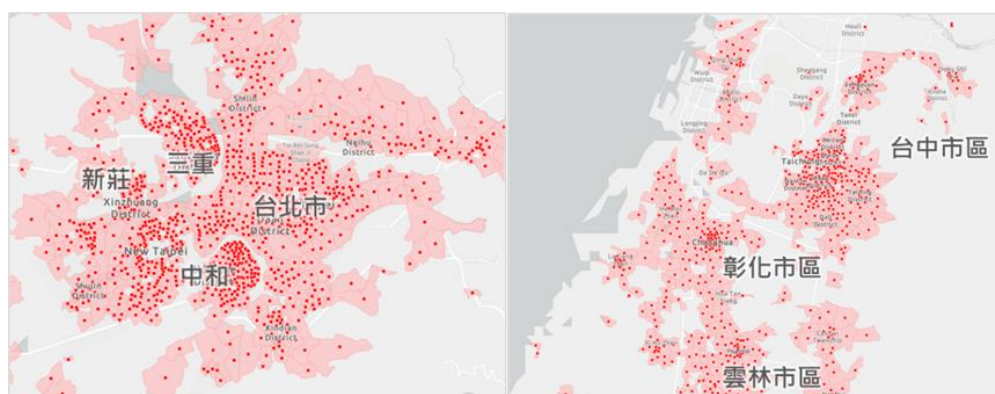


圖 2-27、高人口密度村里布建規劃示意圖

### 空、水列管污染密度，疊合高密度人口村里規劃布建點位(北北基桃)

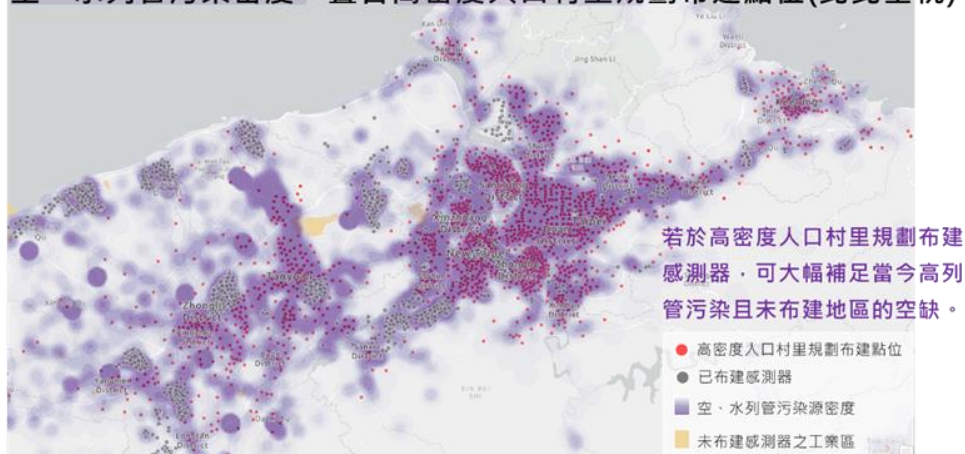


圖 2-28、列管污染密度疊合高地度人口規劃布建點位（北北基桃）

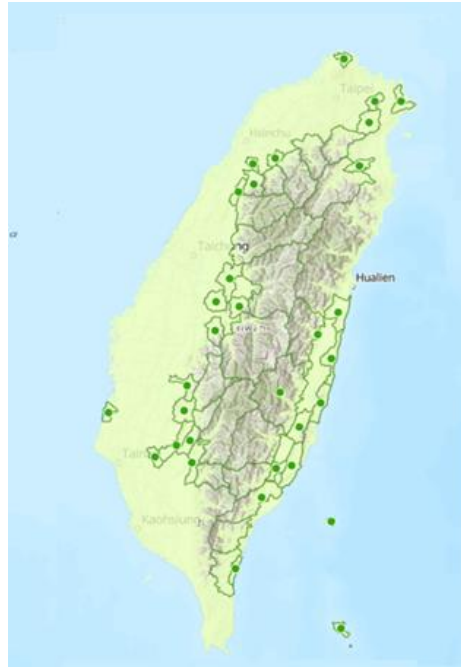


圖 2-29、低人口密度鄉鎮區布建規劃示意圖

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 目前對於工業區範圍內的固定污染監測已進行全面的檢討與規劃，將近八成的感測器能有效偵測到周圍的空氣污染事件，其餘兩成效能不彰的感測器，可參照本計畫分析成果的列管污染源密度作為布建順序之依據。
2. 民生住宅的布建需求已考量人口的空間分布與密度完成規劃，可補足目前於民生監測的空缺。

##### (二) 建議

1. 移動污染管制同為環保署的重要工作之一，往後需針對此項監測需求進一步研擬規劃，建議可透過尖峰壅塞路段分析了解高交通流量路段進行空品監測；都市峽谷分析了解都市建物與街谷的擴散條件好壞；盤點現行各級環保單位關注的移動污染熱區，綜整後進行最適的移動污染監測布建規劃。
2. 空品感測數據亦可做為空品預報模式開發的一項重要資料來源，若欲做為預測模式的訓練資料，擇期布建選址也需有特殊的規劃考量，如應布建於遠離固定污染與移動污染源之區域，能穩定反應區域環境空品...等特性，建議可搭配國土利用調查應用分析，篩選出符合監測目的特性之區域。



## 2.3、國內空品感測應用調查

### 一、前言

我國政府於 106 年起積極推動環境感測物聯網，至 109 年 11 月環保署已與全國 17 縣市合辦布建空污感測設備，布建數量累積達 9,261 台，分布於 6 都與 11 縣市，覆蓋 263 個區級行政區、111 個工業區及科學園區、402 條交通要道、監控共約 8 萬家列管工廠。自 106 年起配合環保局布建計畫之設備廠商目前共有 5 間，如表 2-8 所示，包含：廣域、維新應用、捷思環能、智感雲端以及經昌電子。計畫團隊盤查各設備元件採用之模組廠牌型號如表 2-9。除環保署與環保局之合辦布建計畫外，教育部也與中研院合作針對校園進行感測設備之布建，中研院所用設備為訊舟科技的 Airbox，累積至 108 年與校園布建總數量達 10,324 台感測設備，如表 2-10 所示，且其 Airbox 相關設備資訊提供官方規格，如

表 2-11 所示，以上廠商之設備元件有使用國外元件組裝或使用國產化元件組裝之產品。現行國產元件已漸漸進入政府感測器布建計畫之市場，透過分析既有設備商之運作效益，評估進入新市場之性能需求及穩定性，分析國產化設備於實場運用之優劣，據以研擬未來產業推動之策略。

表 2-8、環保署及環保局空氣品質感測器布建現況（截至 109 年 10 月）

項次	縣市	106 年度			107 年度			108 年度			109 年度		
		布建點數	感測項目	設備品牌	布建點數	感測項目	設備品牌	布建點數	感測項目	設備品牌	預計布建點數	感測項目	設備品牌
1	宜蘭縣	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技
2	基隆市	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技
3	臺北市	-	-	-	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-
4	新北市	78	PM <sub>2.5</sub> 、CO、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	700	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能	-	-	-
5	桃園市	100	PM <sub>2.5</sub> 、CO、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	400	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	500	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-
6	新竹縣	-	-	-	200	PM <sub>2.5</sub> 、溫濕度	維新應用	-	-	-	-	-	-
7	新竹市	-	-	-	150	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	150	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-

項次	縣市	106 年度			107 年度			108 年度			109 年度		
		布建點數	感測項目	設備品牌	布建點數	感測項目	設備品牌	布建點數	感測項目	設備品牌	預計布建點數	感測項目	設備品牌
8	苗栗縣	-	-	-	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	300	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	經昌電子	-	-	-
9	臺中市	500	PM <sub>2.5</sub> 、CO、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-	350	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	智感雲端	550	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技
10	彰化縣	-	-	-	-	-	-	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能
11	南投縣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技
12	雲林縣	-	-	-	150	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	400	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-
13	嘉義縣	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能	-	-	-
14	嘉義市	-	-	-	200	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	50	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-
15	臺南市	-	-	-	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	800	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	500	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技
16	高雄市	22	PM <sub>2.5</sub> 、CO、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	500	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能	850	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	捷思環能	-	-	-
17	屏東縣	-	-	-	300	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	100	PM <sub>2.5</sub> 、VOC、溫濕度	廣域科技	-	-	-
18	氣象局	-	-	-	102	-	廣域科技	98	-	廣域科技	-	-	-
	加總	700	-	-	2,702	-	-	4,998	-	-	1,650	-	-

表 2-9、空氣品質感測器內部元件模組現況

感測器設備廠商			廣域科技	捷思環能	維新應用	智感雲端	經昌車電
感測元件	溫度感測元件	廠牌/型號	SenseAir	Humirel/HT U21D	SenseAir	TT (德州儀器) TMP112	AMS/ENS210
		國別	瑞典	法國	瑞典	美國	奧地利
	濕度感測元件	廠牌/型號	SenseAir	Humirel/HT U21D	SenseAir	TT (德州儀器) HDC2080	AMS/ENS210
		國別	瑞典	法國	瑞典	美國	奧地利
	PM <sub>2.5</sub> 感測元件	廠牌/型號	SenseAir	HONEYWELL/HPMA11 5S0-	Sharp	AMPHENOL (安費諾) SM-UART-04L	VISION/CE-003
		國別	瑞典	美國	日本	美國	臺灣

感測器設備廠商			廣域科技	捷思環能	維新應用	智感雲端	經昌車電
	TVOC 感測元件	廠牌/型號	SenseAir	-		AMS(奧地利微電子) CCS811	AMS/CCS811
		國別	瑞典	-		奧地利	奧地利
通訊系統	通訊晶片(chip)	廠牌/型號	-	Ublox/LARA-R280	Qualcomm	Qualcomm (高通)	Intel®
		國別	-	瑞士	美國	美國	美國
	通訊模組	廠牌/型號	Telit	JSENE	Sysinno	uBlox (優北羅) LARA-208	LARA-R280
		國別	義大利	臺灣	臺灣	瑞士	奧地利
	韌體	廠牌/型號	-	JSENE	Sysinno	uBlox (優北羅)	u-blox
		國別	-	臺灣	臺灣	瑞士	瑞士
主機系統	微控制處理器(MCU)	廠牌/型號		Nuvoton/NA NO100NE3B N	STMicro	SiliconLabs (芯科) EFM32GG11	Nordic/nRF5 2840
		國別		臺灣	瑞士	美國	挪威
硬體系統	主板	廠牌/型號	興嘉昌	JSENE/AQN A-1000	Sysinno	智感雲端 / VS-AIR_QUALITY_V1	VISION
		國別	臺灣	臺灣	臺灣	臺灣	臺灣
	PM 子板	廠牌/型號	興嘉昌	JSENE	-	智感雲端 / VS_PJ_SENSOR_V1	VISION
		國別	臺灣	臺灣	-	臺灣	臺灣

表 2-10、中研院布建感測器現況

序號	縣市	106 年		107 年		108 年		109 年		小計
		中研院布建	公民布建	中研院布建	公民布建	中研院布建	公民布建	中研院布建	公民布建	
1	宜蘭縣	-	-	119	95	-	58	107	80	459
2	基隆市	-	-	59	16	-	11		63	149
3	臺北市	-	-	210	116	-	373		1,325	2,024
4	新北市	-	-	323	61	-	195		235	814
5	桃園市	-	-	-	19	258	66		340	683
6	新竹縣	-	-	135	11	-	50	119	53	368
7	新竹市	50	-	0	13	-	57	46	142	308
8	苗栗縣	-	-	159	2	-	-	149	80	390
9	臺中市	-	-	0	80	328	238		324	970
10	彰化縣	-	-	100	18	-	83		111	312
11	南投縣	-	-	100	26	-	41		295	462



序 號	縣市	106 年		107 年		108 年		109 年		小計
		中研院 布建	公民布 建	中研院 布建	公民布 建	中研院 布建	公民布 建	中研院 布建	公民布 建	
12	雲林縣	193	-	0	49	1	-		67	310
13	嘉義縣	180	-	0	14	-	25		32	251
14	嘉義市	51	-	0	4	-	25	44	32	156
15	臺南市	-	-	-	24	271	122		220	637
16	高雄市	-	-	336	36	-	-	336	153	861
17	屏東縣	-	-	230	10	-	47	224	56	567
18	台東縣	-	-	118	-	-	-		25	143
19	花蓮縣	-	-	126	1	-	-	126	19	272
20	澎湖縣	-	-	51	-	-	-	51	7	109
21	金門縣	26	-	0	1	-	-	24	9	60
22	連江縣	-	-	8	-	-	-		11	19
合計		500		2,074	596	858	1,391	1,226	3,676	10,324

\*雲林縣 108 年汰換 106 年的 193 點，僅新增 1 點

\*嘉義縣 108 年汰換 106 年 147 點

表 2-11、訊舟科技空氣盒子(Airbox)設備規格

網路	
無線標準	IEEE 802.11 b/g/n
無線安全加密	WPA/WPA2
LPWAN標準	NB-IoT
LPWAN頻譜	Band28 (703Mhz~803Mhz)
天線	內建 WiFi 和 NB-IoT 天線
特點	
傳輸加密	採用硬體加密技術
免費 APP	EdiGreen APP 支援 IOS 及 Android 版，供設定管理裝置及即時顯示空氣品質
歷史資訊	最近 24小時統計圖
PM2.5 感測	量測範圍 0 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小量測粒徑0.3 $\mu\text{m}$
濕度感測	量測範圍 0 - 100%RH，量測精確度 0~100%RH：± 5% RH 20~80%RH：± 3.5% RH
溫度感測	量測範圍 0 - 60°C，量測精確度 0~60°C：± 1°C； 15~45°C：± 0.5°C
防水性	IP23半室外防潑水
電源變壓器	輸入: AC 100~240V 輸出: 5V DC/1A
操作溫度	-10 ~ +60°C
尺寸與重量	150mm x 110mm x 47mm / 210g

## 二、工作執行方法

本項工作將參考去(108)年度之計畫執行成果，了解各家設備商設備之性能，再依據今(109)年之情形，持續更新相關的性能資訊以及各單位的布建及執行進度，為完成應用調查，整體工作項執行流程與預計產出成果詳如圖 2-30 所示。

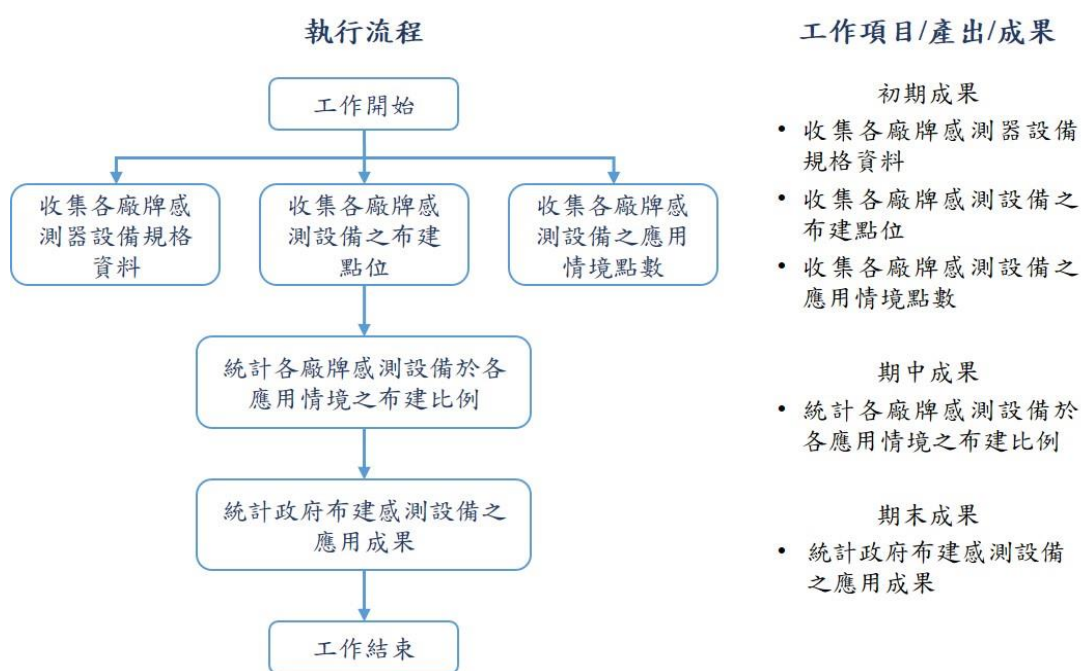


圖 2-30、空品感測器應用調查流程圖

### 三、工作執行成果

本團隊針對現行環保署與各縣市合辦布建感測器設備進行相關設備商資料以及媒體露出資訊進行蒐集彙整，累計至 109 年 11 月已於全臺布建完成之設備達 9,461 台，且有媒體露出之新聞報導布建資訊共 15 則以及稽查成果案件共 17 則，如表 2-12 及

表 2-13，顯示空品感測物聯網成效與日俱增，各地方政府積極推動感測應用成果之新聞報導，強化民眾對計畫之了解，認同政府對於環境治理的決心。

環保署環境感測物聯網計畫的執行過程中，除了積極推動計畫執行（包含：設備維護、稽查應用、民眾推廣）等工作外，確保感測數據之可用性及準確度為此計畫中最重要的部分，因此許多教授也積極參與本項計畫研究，與縣市環保局合作分析感測數據的變化，並嘗試許多不同的數據校正模式藉此利用 AI 方式降低人力資源的耗費並達到智慧化感測數據校正之目的，如圖 2-31 所示。

表 2-12、感測器布建資訊媒體露出

項次	報導日期	縣市	類別	新聞名稱	新聞來源
1	2018/3/6	高雄市	布建資訊	空氣品質即時掌握 高雄市要密布 500 感測器	TVBS
2	2018/3/23	桃園市	布建資訊	桃園首創無人機搭載空污無線偵測儀 智慧監控工業區	桃園市環保局
3	2018/10/25	苗栗縣	布建資訊	新設空氣品質微型感測器 提升苗栗縣空氣品質監控能力	苗栗縣環保局
4	2019/3/8	臺南市	布建資訊	追查工業區異味污染 臺南將裝	TVBS

				900 個感測器	
5	2019/4/19	臺中市	布建資訊	抗空污數據透明 中市增 350 個微型感測器	TVBS
6	2019/8/29	臺南市	布建資訊	環保局回應「空污溯源及數據整合」	臺南市環保局
7	2019/9/13	臺北市	布建資訊	北市科技執法 擬增設百台微型感測器 主動出擊讓空污無所遁形	臺北市環保局
8	2019/9/15	臺北市	布建資訊	北市「燒烤一條街」緊鄰民宅 居民深感其擾	公視新聞
9	2019/10/17	新竹市	布建資訊	最強空污防守員來了！3 分鐘更新一次 全市裝設 345 個空品微型感測器	臺灣新論
10	2019/11/5	高雄市	布建資訊	高市空品感測器布建點 全國第一	臺灣新生報
11	2019/11/29	雲林縣	布建資訊	運用物聯網科技 守護環境城市再升級	雲林縣環保局
12	2019/12/10	雲林縣	布建資訊	雲林縣智慧出擊抓空污 空氣品質即時知	雲林縣環保局
13	2019/12/17	臺中市	布建資訊	即時掌握空品 臺中 328 校布建感測器	聯合新聞
14	2020/1/13	雲林縣	布建資訊	守護雲林空氣品質 雲縣府雙管齊下	雲林縣環保局
15	2020/8/20	中研院	校正資訊	微型 PM <sub>2.5</sub> 感測校正系統正式上線	PM <sub>2.5</sub> 開放資料：社群協同分析平台

表 2-13、感測器稽查成果新聞媒體報導

項次	報導日期	縣市	類別	新聞名稱	新聞來源
1	2018/3/29	桃園市	稽查成果	空氣盒子揪空污 觀音違法業者送辦	桃園市環保局
2	2018/7/19	臺中市	稽查成果	測空污新利器-空品微型感測器 中市府破獲 5 工廠廢氣超標重罰 100 萬	熱訊生活新聞網
3	2018/12/27	臺南市	稽查成果	新設微型感測器建功 南市查獲 6 件空污違法排放	臺灣好新聞
4	2019/3/8	臺南市	稽查成果	布建微感器即時監測 有效追查異味污染源	臺南市環保局
5	2019/5/16	臺南市	稽查成果	漏夜查獲露天燒棧板 環局微型感測器建功	臺南市環保局
6	2019/11/10	高雄市	稽查成果	高雄《微型感測器揪空污 13 工廠挨罰	自由時報
7	2019/11/19	新竹市	稽查成果	有關議會議員質詢新豐掩埋場燃燒起火引致空污事件 環保局說明	新竹市環保局
8	2019/12/13	嘉義市	稽查成果	嘉市善用空品感測物聯網科技，分進合擊提升空污管制	嘉義市環保局
9	2020/1/22	臺北市	稽查成果	聯合稽查+科技執法 有效長期維護關渡平原空氣品質	臺北市環保局
10	2020/2/26	臺南市	稽查成果	維護空氣品質、中南部 10 縣市環保局聯合稽查	臺南市環保局
11	2020/3/6	彰化縣	稽查成果	彰化縣空品感測物聯網全時監控 科技稽查揪出空污違法廠商	公民新聞
12	2020/3/15	苗栗縣	稽查成果	苗栗感測器立大功 揪瓦斯外洩	中國時報

13	2020/3/18	嘉義市	稽查成果	維護空氣品質 空氣污染跨區聯合稽查	嘉義市環保局
14	2020/3/22	苗栗縣	稽查成果	500 個感測器布陣揪違規 苗栗 2 石化廠各罰 10 萬元	聯合新聞
15	2020/4/28	桃園市	稽查成果	觀音工業區飄化學異味 「空氣感測器」揪違規	自由時報
16	2020/5/21	環保署	稽查成果	改善空污加強監測 環境品質感測物聯網已有成效	工商時報
17	2020/9/16	桃園市	稽查成果	民眾陳情空氣異味 空氣感測器抓元兇	臺灣好新聞

## PM2.5感測器易受環境干擾 產學合作增準確度



中央社

The Central News Agency 中央通... 2020年4月26日 下午12:51



(中央社記者郝雪卿台中26日電)市售PM2.5(細懸浮微粒)感測器投放到野外，易受到濕度及溫度等環境影響造成數值誤差，中興大學環境工程系特聘教授盧重興今天表示，經運用校正技術後可提升準確度。

盧重興表示，過去市售PM2.5感測器於實驗室進行驗證，具有不錯相關性，但如果投放至野外，受到環境影響干擾檢測數值，其中以溫度及濕度影響較大，就容易造成檢測誤差。

透過產學合作，盧重興指出，經以多元迴歸校正國產化PM2.5感測器，與空氣品質測站儀器同步比對，包括測到的小時值及日均值的檢測數據，經校正後都與空品測站數值差異不大。他也將這項校正技術轉移思維科技公司運用，以提升國產化PM2.5感測器準確度。

業者指出，過去市場上的PM2.5感測器，由中國所製造占很高比率，在空氣品質監測上若過度依賴中國廠商，倘若未來因故不再供貨，對於環境監測服務上恐造成不小衝擊。另外基於資訊安全，國內已要求不得使用中國生產通訊模組，感測器也須以國產化為優先。公司使用國產化的PM2.5感測器，在國內自主生產、組裝，可擺脫中國廠商箝制，快速布建感測器。

圖 2-31、盧重興教授進行感測器數據校正研究之相關新聞

### 四、結論與建議

#### (一) 結論

本團隊已蒐集並定期更新全國業者、地方政府之空污感測器布建規格等相關資料。為避免發布於公眾平台之感測數據誤導民眾，透過媒體及相關平台業者，蒐集全國業者、地方政府、校園之空氣品質感測器自主布建點位及規格、設備數據校正方法及新聞媒體露出之相關資訊，以掌握國內布建現況。同步蒐集感測器應用成果新聞露出資訊，擴大向民眾宣導感測器應用之成效，以達到感測器應用調查的目的。

#### (二) 建議

1. 持續蒐集不同廠牌或地方布建感測器相關新聞資訊以及數據應用成果，宣傳中央與地方政府投入環境品質監測與感測器應用成效。
2. 透過特感測器設備商、維運商及學校相關研究單位與教授之交流，促進

技術合作的學研計畫，探討感測器的數據校正方式，提升感測器數據品質，強化感測數據的可用性及可信度。

## 2.4、國內外技術資料研析

### 一、前言

環境物聯網推動包含感測層、傳輸層及數據應用層，近年來因蓬勃發展故相關文獻或期刊登載大量之參考文章，本工作項目將蒐集環境感測物聯網技術、研發、資料分析等學術、公信單位、指標企業之學術研究資料，每半年提出資料更新，據以提供我國研擬未來推動策略、具體措施等之參考。

### 二、工作執行方法

本項工作主要透過國內外重要環境感測物聯網相關學術、研究單位或指標企業，針對元件研發及資料分析等領域所提出相關論文與技術報告進行蒐集及研析，並每季提出資料更新。初步定義蒐集架構分類如下：

1. 感測元件研發面向：以國內外研發之各類型環境感測元件為收集對象，包含種類、原理、特色及限制條件等。
2. 感測元件認證體系面向：收集國際針對感測元件之實地場域測試及實驗室認證體系及相關軟硬體規劃。
3. 感測數據傳輸面向：以資通訊之傳輸技術及優劣勢進行資料收集，包括目前熱門的低功率傳輸系統（NB-IoT、LoRa..等）。
4. 感測數據 QA/QC 面向：主要收集國內外相關學術研究單位針對感測數據異常判斷之研究及除錯機制。
5. 感測物聯網優化布建面向：收集不同優選模式來定義最有效益之布建策略及預期效益。
6. 感測數據分析應用面向：以大數據機械學習及人工智慧加值應用等範疇，收集國內外學術研究單位之研發成果及論文發表。

### 三、工作執行成果

透過與挪威 NILU 的長期合作，收集對感測數據 QA/QC 的智慧檢校模式及其他感測元件研發，提供臺灣臺中市布建 500 點的 3 個月感測數據，由 NILU 協助驗證其數據品質及感測器校能，得到很高的滿意度及肯定。NILU 專家群也協助將臺灣推動的成果透過國際研討會之論文發表，讓世界各國了解臺灣環境物聯網推動的成效，相關的論文發表內容如下：



1. Schneider P., N. Castell, P. Hamer, M. Vogt, F. Dauge, A. Bartonova, and ITRI/EPA Taiwan (2019): Uncertainty-aware assimilation of sensor data into models for improved mapping of urban air quality. 2nd JRC sensor workshop, Vienna, Austria, 2 October 2019.
2. Schneider P., N. Castell, P. Hamer, M. Vogt, F. Dauge, A. Bartonova, and ITRI/EPA Taiwan (2019): Low-cost air quality sensors and their use for urban-scale modelling. Fairmode Technical Meeting, Madrid, Spain, 7-9 October 2019.

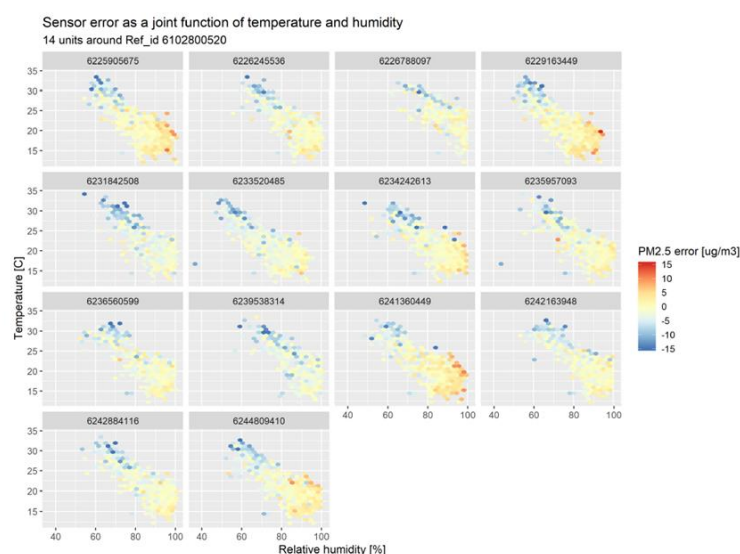


圖 2-32、感測器受到溫度與濕度影響圖（臺中 500 點為例）

此外本年度亦收集荷蘭 TNO 有關感測器研發與應用新知，TNO 類似工研院，長期進行感測器研發、測試校正及場域應用。其整體應用論述除了感測數據收集外(Data Concentration)，必須能追蹤污染路徑(Emissions)及追溯污染源(Source)；另外也必須往後進行暴露影響(Exposure)、劑量與效應評估(Dose)及健康影響評估(Health Effects)，如圖 2-33 所示。

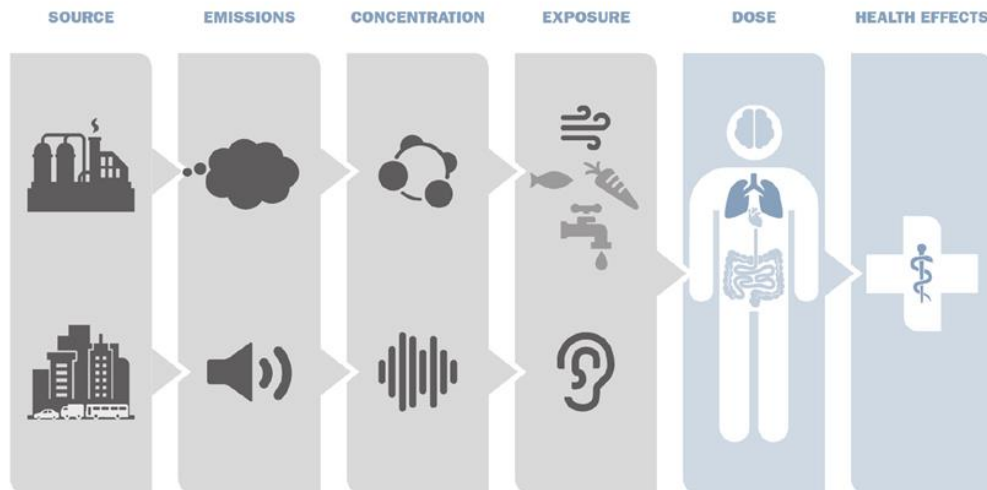


圖 2-33、感測數據之整體服務圖

TNO 也研發了多種 VOC 感測元件（例如：Benzene），利用微小型 IR 偵測模組，將空氣中的污染物導入小型測試腔進行分析，可立即取得 VOC 的濃度。本團隊將持續與 TNO 保持聯繫，討論未來合作及引進其技術之可行性。

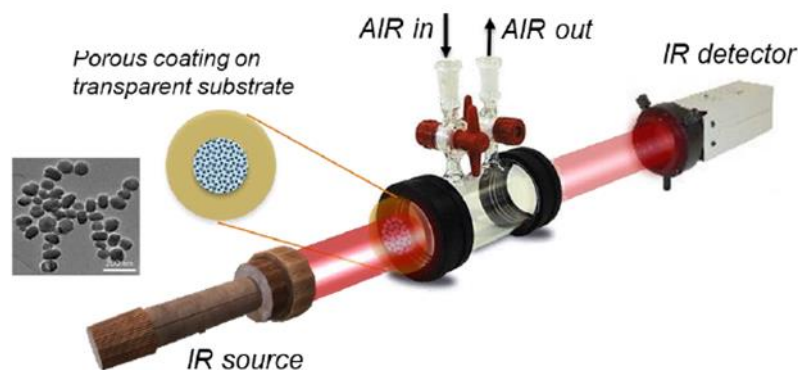


圖 2-34、VOC 微小型光學測試腔圖

此外為了提高環境物聯網跨域應用情境，本團隊收集感測器應用於森林野火的文獻，重點彙整如下：

1. 感測器布建間距應盡量相等，使各感測器耗電量相似。
2. 根據各保護區的重要性、脆弱性以及火災風險指數進行佈建密度調整。
3. 為盡早發現火災，感測器覆蓋率宜高。
4. 部屬間距是影響火災探測系統成功的關鍵，密度高為佳。
5. 個別感測器損壞時，不應對整體系統造成太大影響。
6. 感測器的布建結構，規則均勻分布較隨機不均勻分布節省能耗。

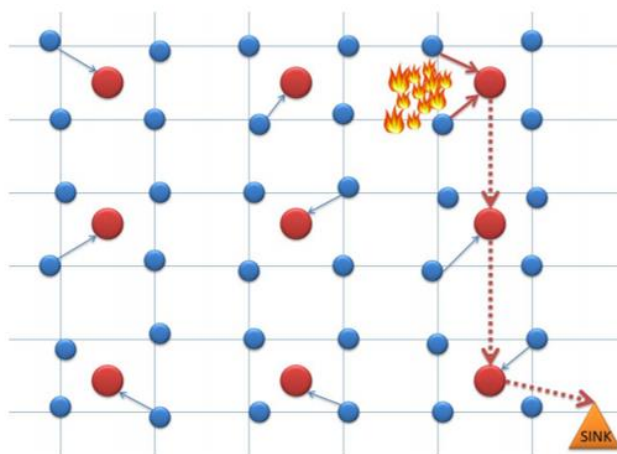


圖 2-35、感測器應用於野火偵測示意圖

目前美國加州有利用低成本  $PM_{2.5}$  感測器填補現有空品監測網的空白區，告知周圍民眾於野火期間的空氣質量和煙霧暴露風險。但尚未用在野火的預警及預報，本團隊將持續收集相關資料，評估應用的可行性。

## 2.5、提升國際能見度

### 一、前言

將我國感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際期刊或國內指標學術期刊（研討會）3 件以上。

### 二、工作執行方法

計畫推動我國環境品質感測物聯網發展布建及執法應用之成果下，彙整元件研發、國際驗證、合作布建、智慧應用及跨域加值為主軸，統合計畫團隊之研發與技術能量，藉由在臺灣應用場域的驗證成果，分享運用智慧化輔助環境執法的效益，提升感測器之運作品質，分享智慧化管理環境物聯網之做法，藉由發表論文於國際期刊或國內指標學術期刊管道，擴大計畫整體成效。

### 三、工作執行成果

本計畫執行之研發成果及創新推動成效，擬於本年度完成投稿於國內外 SCI、重要期刊或研討會，執行成果如表 2-14 所列。

表 2-14、環境感測物聯網國內外重要期刊投稿成果

期刊/研討會	題目	內容概述	投稿時間
International Journal of Distributed Sensor Networks(IF:	Applying a deployment strategy and data analysis model for water quality continuous monitoring and management	水質感測物聯網之布建策略及分析模式，以臺灣實際場域案例進行分享及應用	2020, Vol. 16(6), May 4



期刊/研討會	題目	內容概述	投稿時間
1.51)			
International Journal of Distributed Sensor Networks(IF: 1.51)	Method for rapid deployment of low-cost sensors for a nationwide project in the Internet of things era: Air quality monitoring in Taiwan	空品感測器在臺灣之驗證、布建、分析及應用，以國家尺度進行優化選址及策略	2020, Vol. 16(8), July 27
Analytical Methods (IF: 2.37)	A Novel NO <sub>2</sub> Detection Method and its Air Quality Monitoring Application	以 MOS 技術開發氣體感測器，可應用於工業區及交通場域，量測 NO <sub>2</sub> 環境污染濃度	已於 2020/10/1 完成投稿
Air Sensors International Conference (ASIC) 2020	Verification and testing of mobile air-quality monitoring equipment	以臺灣實際測試移動式感測器(MoT)之結果、校正及應用，驗證於移動污染源排放之監測及環境治理效益。	已於 2020/3/11 研討會接受發表
Air Sensors International Conference (ASIC) 2020	Optical PM <sub>2.5</sub> Low-cost Sensor Quality Control and Verification Analysis	以臺灣執行環境物聯網 PM <sub>2.5</sub> 布建及校正經驗，分享並推廣應用成果。	已於 2020/3/11 研討會接受發表
2020 環工年會	PM <sub>2.5</sub> 微型感測器應用於交通廊道污染量測之適用性評估	汽機車廢氣排放貢獻臺灣空氣污染相當重的比例現況，運用微型感測器掌握汽、機車排放 PM <sub>2.5</sub> 污染量亟具環境治理價值。	2020/10/1 研討會接受發表

#### 四、結論與建議

因新冠肺炎疫情的關係 Air Sensors International Conference (ASIC) 2020 延後至明年 5 月辦理，故原本的 2 篇論文將投稿至年底環工年會進行發表，至於其他 3 篇則按照規劃期程進行期刊或研討會發表，強化在國內及國際上的能見度。



## 第 3 章、精進國產化空氣感測元件研發技術

大氣中之細懸浮微粒除原生性外，由氣狀空氣污染物如  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及揮發性有機物質(VOCs)等，衍生之細懸浮微粒也是重要的貢獻來源，因此除監測  $\text{PM}_{2.5}$  外，對於衍生性  $\text{PM}_{2.5}$  之前趨物  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_3$  及 VOCs 等也需要加以監測。因此，在細懸浮微粒管制上，除懸浮微粒監測外上述氣體之感測器技術亦有其必要性。政府所設空氣品質標準監測站可以長時間連續監測各種空氣污染物之濃度，但設備龐大不易移動，故無法普及於各種環境空氣品質監控應用。物聯網化可讓空氣品質監測事半功倍，而環境物聯網監測則需要大量戶外環境偵測點布建，因此在實務上的偵測器必需具備可大量製作、符合物聯網廣布感測器之特性、低功耗、低成本等需求，故關鍵的感測元件研發時，將以此為終極目標。本工作項藉由持續精進  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$  國產化元件之性能，據以提升我國環境感測技術之量能，並透過技轉與商品化設計，建構環境物聯網產業鏈。另外，評估我國未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術，分析應用場域、市場需求預測、國產化研發設計及生產及量產可行性及智慧財產權全球分布現況，據以研擬未來推動策略，布局全球環境感測市場之具體措施。

### 3.1、完成國產化 $\text{PM}_{2.5}$ 感測元件研發

本計畫以開發非光學且具有微粒篩選機制之  $\text{PM}_{2.5}$  感測器為目標，主要以微粒帶電理論來量測微粒之濃度。因本量測技術為新創技術，在設計及理論驗證上均無前例可循，因此在開技術開發時分成二階段（4 年）執行，第一階段（前 2 年）以為技術性導向，第二階段以實用性、便利性為導向。故第 1 年以  $\text{PM}_{2.5}$  感測核心技術開發與雛型初步測試為主，由綠能所主導並由交大環工所參與模擬。第 2 年主要工作為模組化，包含雛型元件修改、週邊組件與電路設計，以及電路與雛型元件之銜接與測試。第 3 年為方便後續利用，進行小型化工作、小型試量產及測試，並與廠商洽詢先期合作及技轉意願。本年度為第 4 年，目標則為商品化，同時將原型機功能提升並進行應用推廣。

### 3.1.1、本年度工作內容

本項工作之流程與關聯如圖 3-1 所示，執行方法說明如下：

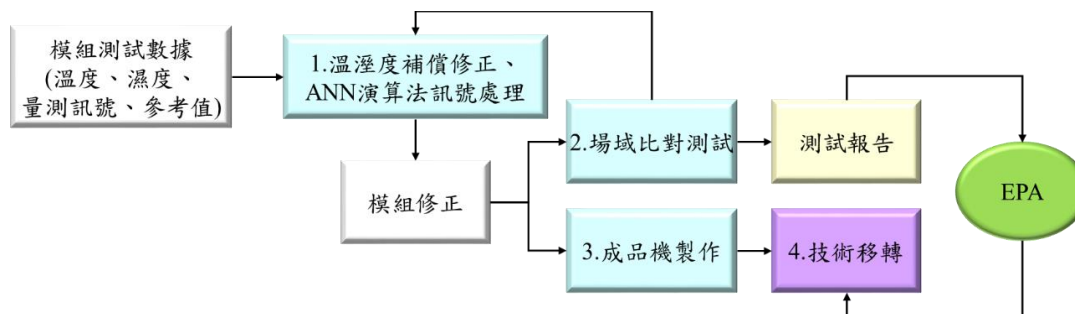


圖 3-1、PM<sub>2.5</sub> 感測元件之精進與量產化技術研發之工作流程與關聯

#### 一、感測模組之溫濕度補償修正及 ANN (Artificial Neural Networks, 人工類神經網)路演算法訊號處理

本計畫進行時將利用原型機模組進行測試，利用測試所累積之數據建立類神經網路演算技術，並進行溫濕度之補償。類神經網路(Artificial Neural Networks, ANNs)或稱人工神經網路，為一種模仿生物神經系統傳遞訊息的模擬程式，生物神經系統由許多神經元(neuron)相互連結，各個神經元皆有輸入訊號和輸出訊號與其他神經元連結並互相傳遞訊息，故類神經網路有大量相互連結的處理單元(processing elements)，以平行且分散的方式來進行運算，因此可同時處理大量的資料應用，其主要目標就是映射輸入與輸出間關係的數學式，而網路結構需依據實際問題來進行創建與訓練。

本計畫利用套裝軟體進行 ANN 演算，該軟體採用倒傳遞類神經網路(Back-Propagation Neural Network)，主要目的就是把資料輸入與輸出間的映射關係變成一個非線性最佳化問題，在學習過程中，把給予的訓練資料利用最陡坡降法(the gradient steepest descent method)進行處理，並在網路運算中逐步修正加權值與偏權值，經迭代運算後得到誤差最小的解，最後再透過回想過程驗證此模式的學習效果與精度。本網路模式為前饋式架構(forward)，由類神經源分層排序，組成輸入層、隱藏層和輸出層，層層之間以串連方式逐層接受上一層的輸出資料。輸入層採線性轉換函數，其神經元數目為 3，輸入變數分別為溫度、相對濕度與氣體感測器訊號；隱藏層採非線性轉換函數，透過試誤法來決定神經元數目，層數可依問題複雜度漸增；輸出層採線性轉換函數，可取任意值，其神經元數目為 1，

即網路輸出值。本模式並非採用標準傳統的最陡坡降法進行訓練，其訓練函數採貝葉斯正則化-反向傳播神經網絡(Bayesian regularization backpropagation)，主要是依據列文伯格-馬夸爾特法(Levenberg-Marquardt)演算，該算法是高斯-牛頓法和梯度下降法的結合，既有高斯牛頓法的快速收斂性，也有梯度下降法的位移搜索特性。該演算法的損失函式是採用均方誤差和的形式。利用其演算在運算中逐步修正加權值與偏權值，經迭代運算後得到最優化的權重組合，最後再透過回想過程驗證此模式的學習效果與精度。

## 二、場域比對測試、成品機製作及技術移轉

上述所建立感測模組之溫濕度補償修正及 ANN 演算法訊號處理技術，將優先使用於測試模組之校正，同時進行成品機之設計及量產工作，預計產生 5 組或以上之成品機。另外也將調整後之原型機模組將進行場域比對測試，測試時將同時使用參考儀器(TSI Dusttrak)或經過 AQ-SPEC (Air Quality Sensor Performance Evaluation Center)測試合格之參考用感測器，比對測試將以實地場域為主。在實驗及測試進行期間，將不斷的進行元件參數微調，以使模組訊號更加以利於演算，並計算其相關係數  $R^2$  值。

### 3.1.2、工作執行成果

目前之進度摘要如下，執行進度如表 3-1 所示：

1. PM<sub>2.5</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術：利用前期計畫之數據建立 ANN 演算之基本步驟程序並進行試演算，初步演算成果  $R^2$  可由 0.4 提升至 0.7155。
2. 場域比對測試、成品機製作：此工作項目前均提前進行，已於 6 月完成 5 組成品機製作，並於 6 月底前完成 3 測站感測器架設，9 月完成場域測試。受到夏季大氣懸浮微粒濃度低之季節影響，不利於懸浮微粒比對測試，原始數據  $R^2$  由 0.34-0.55。經 ANN 演算修正， $R^2$  已接近或超過 0.7，顯示所開發之感測器深具可行性。
3. 非大氣環境場域測試：汽車板金作業場所，測試期間(7/16-8/16)測得最大值 70.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最低值 4.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均值 12.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 3-1、執行進度表

2020		月份										
工作項目	說明	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
建立PM <sub>2.5</sub> 感測元件溫濕度補償及ANN演算技術	以原型機模組之測試數據建立類神經網路演算技術											
PM <sub>2.5</sub> 感測模組修正及場域比對測試及PM <sub>2.5</sub> 成品機量產	3處測試地點・期程3個月(原預定9-11月)											
	非一般大氣環境場域測試(額外新增)											
	產生5組成品機(原預定7-9月)											
可國產化PM監測技術收集	感測/量測技術資料收集、分析與評估											
期中報告	期中報告(原預定7月)											
期末報告	期末報告(原預定11月)											
		完成	進行中	預定進度	報告	提前進行						

詳細之執行進度說明如下：

#### 一、建立感測模組之溫濕度補償修正及 ANN 演算技術

在進入 ANN 訓練流程之前，先以 108 年 12 月份比對數據進行溫濕度補償校正對感測數據偏差率分析比對濕度、溫度、PM<sub>2.5</sub> 濃度三者修正前後偏差率其影響範圍及迴歸分析結果如圖 3-2 及圖 3-3 所示。在溫度方面修正前偏差值在 -0.42~0.58 間(細虛線)，修正後偏差值為 -0.346~0.366(粗虛線)，偏差率修正約 29%。在濕度方面修正前偏差值在 -0.523~0.477(細虛線)間，修正後偏差值為 -0.418~0.416(粗虛線)，偏差率修正約 18%。在 PM<sub>2.5</sub> 濃度方面，濃度 < 15 µg/m<sup>3</sup> 時修正前偏差值在 -0.468~0.630 間(細虛線)，修正後偏差值為 -0.272~0.303(粗虛線)，偏差率修正約 48%。當濃度 > 15 µg/m<sup>3</sup> 時修正前偏差值在 -0.332~0.532 間(細虛線)，修正後偏差值為 -0.198~0.328(粗虛線)，偏差率修正約 38%。感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度與測站測值比對修正前 R<sup>2</sup> 為 0.3821，修正後 R<sup>2</sup> 提升至 0.5923。由上述分析證實，溫濕度之補償及修正確實有助於感測數值偏差之改善使精準度提高。

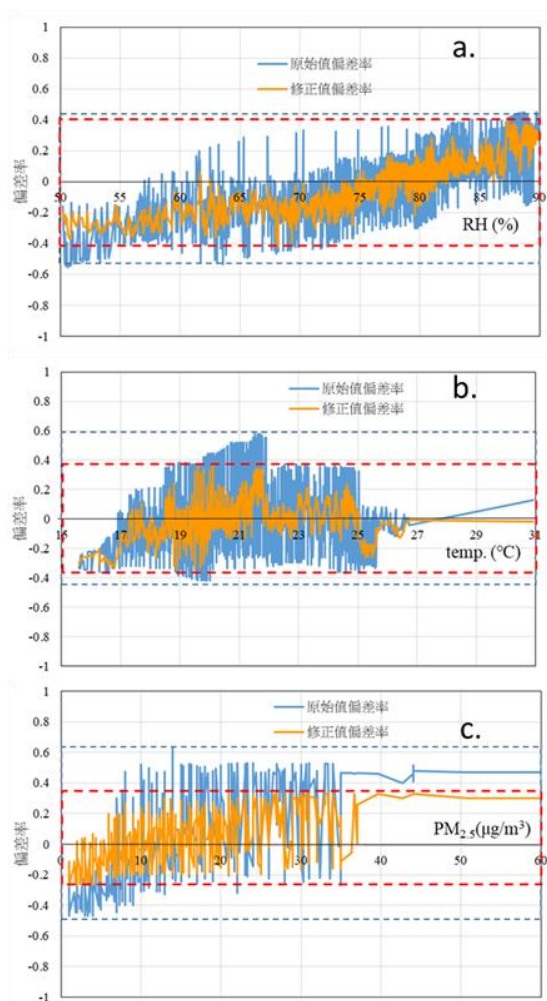


圖 3-2、感測數據偏差分析

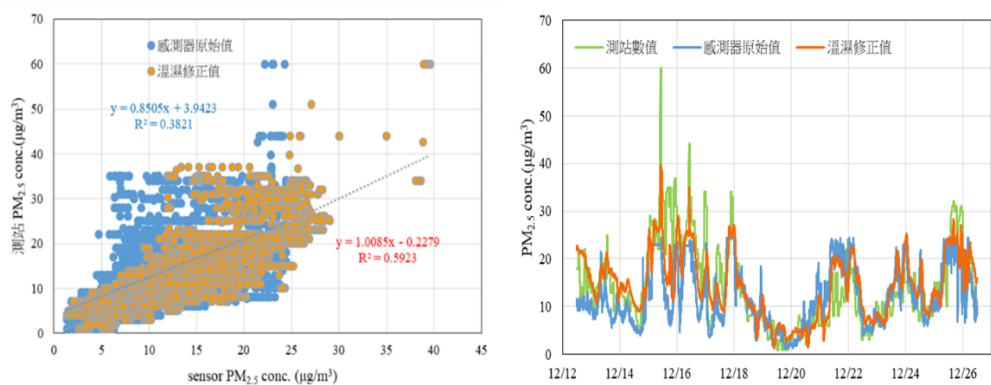


圖 3-3、溫濕度修正對感測數據迴歸分析

以上述數據進行 ANN 演算技術之建立，流程如圖 3-4 所示。本計畫之 ANN 演算過程分為感測器數據訓練階段及感測器數據校正與驗證階段，說明如下：



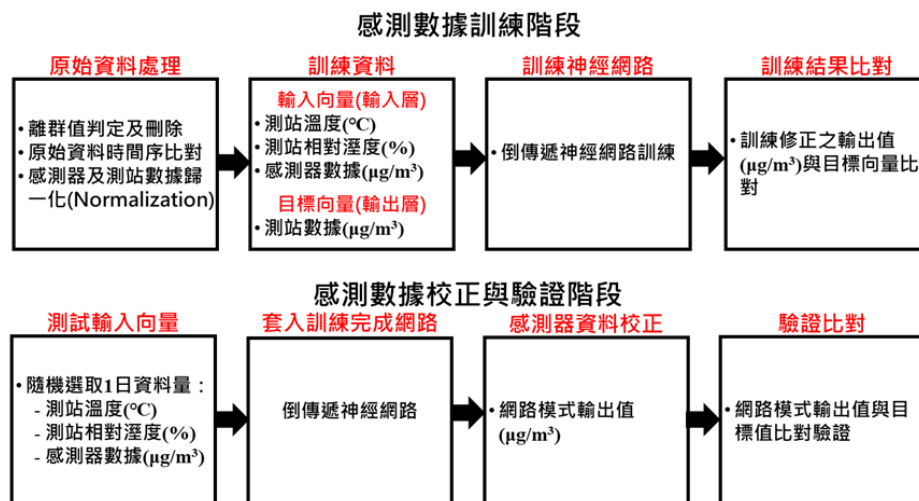


圖 3-4、ANN 處理流程

## (一) 感測器數據訓練階段：

原始資料處理：原始資料包含目標測站之溫度(°C)、相對濕度(%)、感測器之感測數據( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )以及目標測站之感測數據( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，本計畫測試之目標測站為竹東測站、忠明測站及嘉義測站。

1. 去除離群值：一般判別離群值之方法有標準化分數法、Hampel identifier 法以及盒狀圖法(譚克平, 2008)，本計畫中則將先分別以這三種方法計算後，再進行比較三種方法所得離群值之比例，再以接近平均值之方法來進行離群值判定及刪除，如圖 3-5。

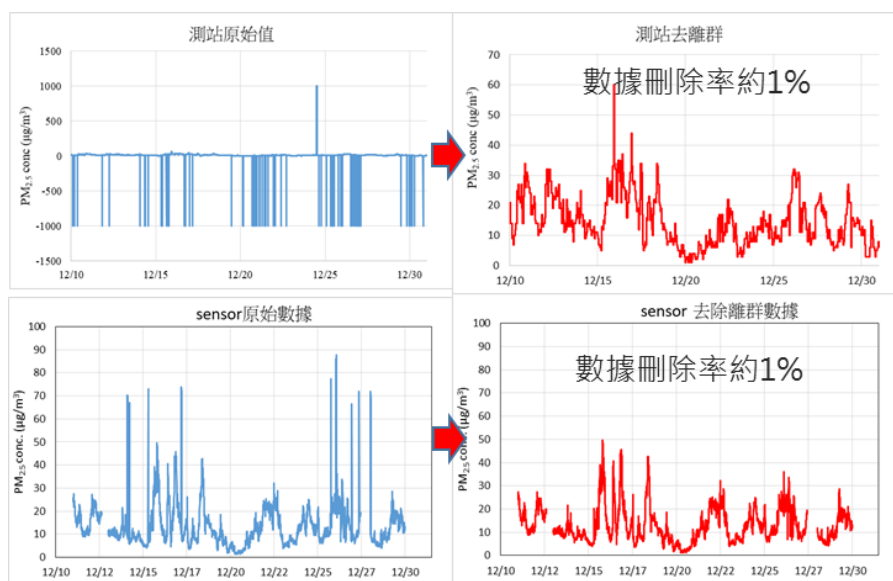


圖 3-5、離群值處理



2. 時間序比對及歸一化比對：在資料分析之前，先進行時間序比對及歸一化。歸一化是讓不同維度之間的特徵在數值上有一定比較性，使各指標值都處於同一個數量級別上，可以大大提高分類器的準確性。歸一化前測試數據與測站比對之結果  $R=0.556$  ( $R^2=0.309$ )，經歸一化後測試數據與測站比對之結果  $R=0.636$  ( $R^2=0.404$ )， $R$  值上升約 0.1，如圖 3-6。

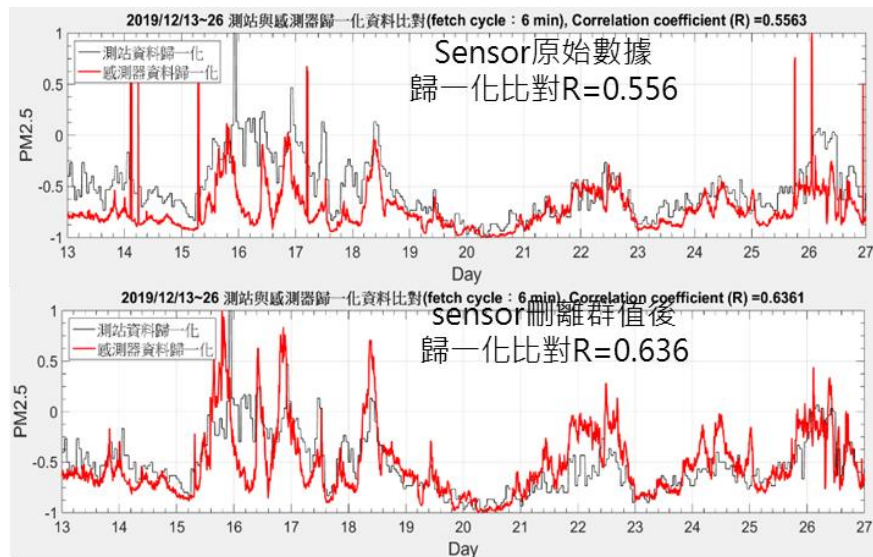


圖 3-6、歸一化比對

3. 資料輸入以及神經網路訓練：分別將測站溫度(攝氏)、測站相對濕度(%)以及感測器之感測值做為訓練數據輸入，並以測站  $PM_{2.5}$  讀值為目標進行倒傳遞類神經網路訓練。
4. 經過訓練校正後之感測器數值，將與目標值(測站感測值)進行迴歸分析比對，比對之結果  $R$  值由 0.636 ( $R^2=0.404$ ) 提升至 0.8318 ( $R^2=0.69$ )，較訓練前整體大幅提升 19%，屬高度相關，如圖 3-7 所示。

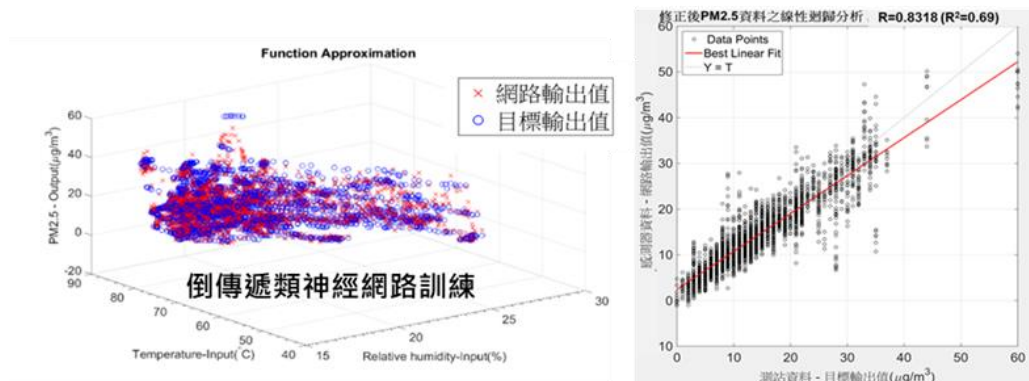


圖 3-7、倒傳遞神經網路訓練及訓練之數據迴歸分析比對

## (二) 感測器數據校正與驗證階段：

隨機選取 1 日的測站溫度(攝氏)、測站相對濕度(%)以及感測器之感測值，並輸入上階段所建立之訓練完成網路模式進行訓練。

將經過訓練、補償校正之數值再次與測站之數值進行比對以驗證網路訓練之模式為有效，如圖 3-8 則為測試數據訓練校正後之數值與測站比對之結果 R 值為 0.8458 ( $R^2=0.7155$ )。

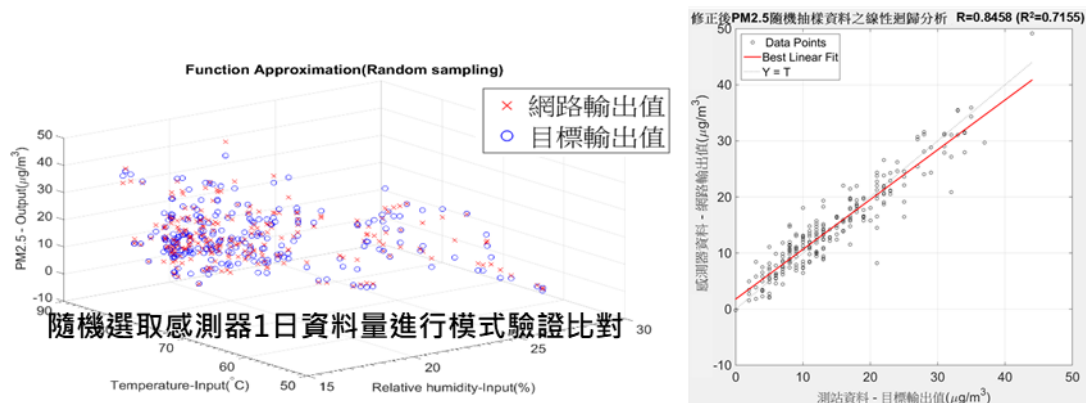


圖 3-8、數據前處理及 ANN 演算過程：修正後之數據迴歸分析比對

## 二、場域比對測試、成品機製作及技術移轉

### (一) 場域比對測試

計畫開始時先行篩選北中南各二測站，再從中挑選北中南各一站進行比對測試，北部由新竹站或竹東站擇一、中部由忠明站或彰化站擇一、南部由嘉義站或斗六站擇一，預計 3 處累計 3 個月之測試期程，於 4-5 月進行場地勘查後，南部選定嘉義測站，中部則為忠明測站，北部則以竹東測站作為比對測試之場所。為因應環保署要求將原規劃於 9-11 月之測站比對測試提前至 7-9 月完成。故忠明測站於 5 月中、嘉義測站於 6 月初架設完畢，竹東測站則於 6 月底架設完畢，如圖 3-9、圖 3-10 及圖 3-11 所示。由前期測試之結果可知本計畫所開發之感測器濃度偵測下限約為  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，提前至 7-9 月測試將不利於 PM 感測器之比對測試。

## 忠明測站



- 棧房上方擁擠，但百葉箱右側有足夠空間擺放



圖 3-9、忠明測站現勘及測試機台架設

## 嘉義測站



- 棧房上方空間足夠，百葉箱右方有足夠空間



圖 3-10、嘉義測站現勘及測試機台架設

## 竹東測站



圖 3-11、竹東測站現勘及測試機台架設

### 1. 忠明測站場域測試(測試時間 109.06.01-.09.30)

忠明測站場域感測數據分別以原始數值及溫濕度修正數值與測站數值進行比對，以不同解析度計算  $R^2$  如圖 3-12 所示，原始值及修正值之分別為 6min 原始值  $R^2=0.4175$ ，修正後  $R^2=0.4726$ ；0.5 hr 平均原始值  $R^2=0.533$ ，修正後  $R^2=0.7218$ ；1 hr 平均原始值  $R^2=0.5544$ ，修正後  $R^2=0.7326$ ，結果良好頗具可行性。

忠明測站測試數據以 ANN 訓練後之結果如圖 3-13 所示， $R^2$  為 0.712。圖 3-14 則為訓練前後感測器原始數據與測站數據之趨勢圖比較，表 3-2 則為忠明測站場域測試單月數據資訊及 ANN 演算結果。



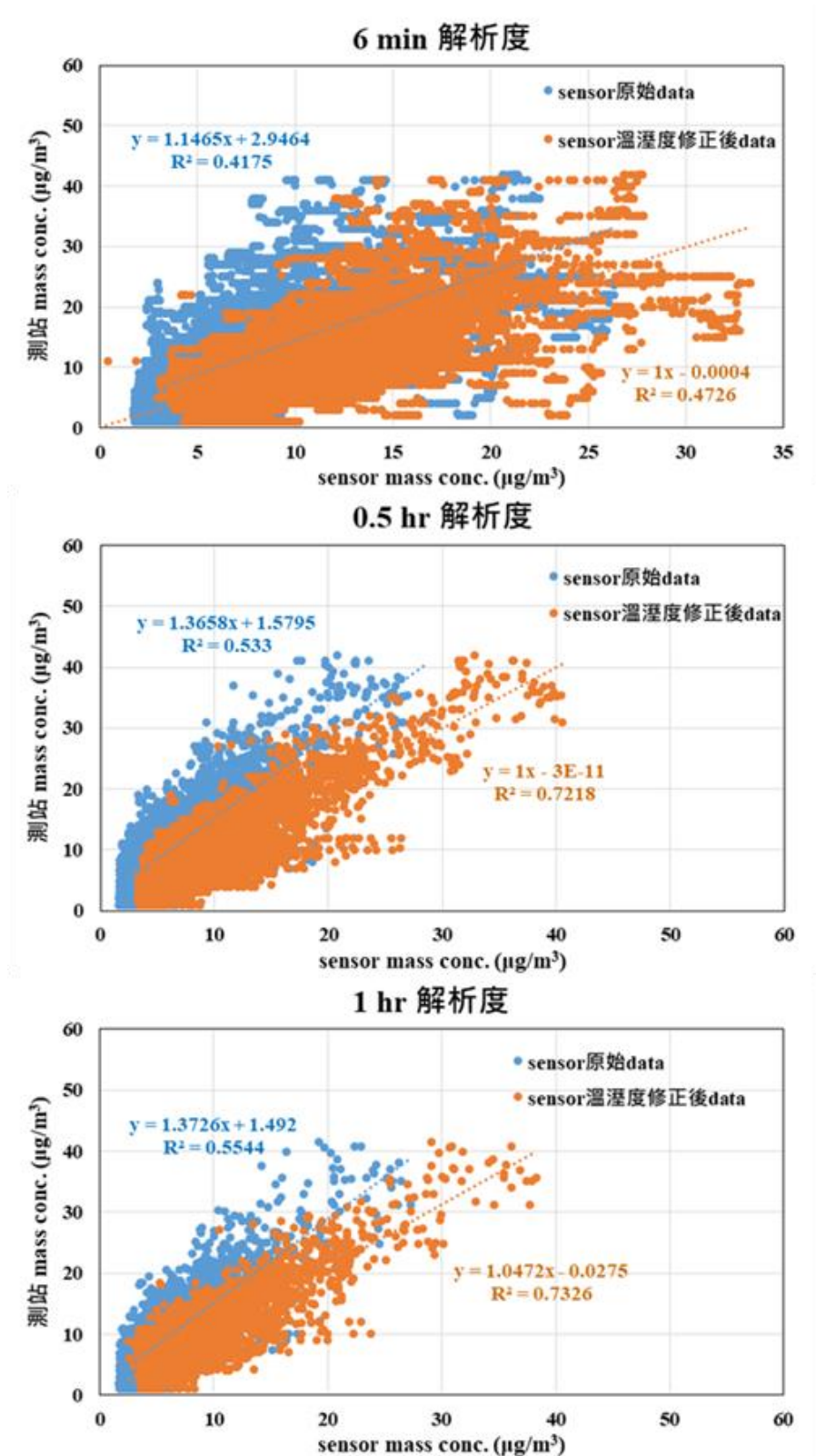


圖 3-12、忠明測站不同解析度之比較

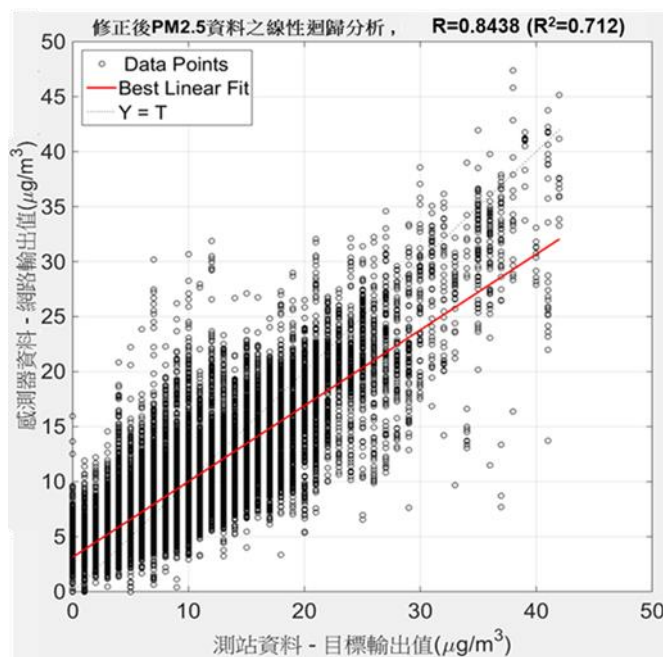


圖 3-13、忠明測站場域比對數據 ANN 訓練結果

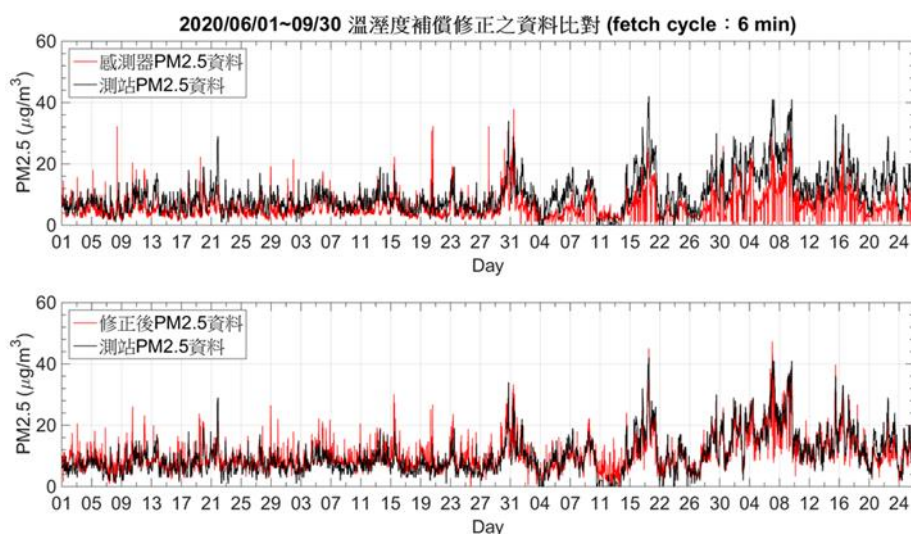


圖 3-14、忠明測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較

表 3-2、忠明測站數據資訊及 ANN 結果

測站	測試期程	平均值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最大值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最小值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$<15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 所佔比例	ANN (6min) 相關係數 $R^2$
忠明	109.06.01-09.30	10.2	42.0	1.0	83%	0.712
	06.01-06.30	7.5	29.0	1.0	98%	0.497
	07.01-07.31	7.8	34.0	1.0	96%	0.452
	08.01-08.31	10.3	42.0	1.0	80%	0.769
	09.01-09.30	15.5	41.0	2.0	57%	0.812

## 2. 嘉義測站場域測試(測試時間 109.07.01-.09.30)

嘉義測站場域感測數據，以不同解析度計算之  $R^2$  如圖 3-15 所示，原始值及修正值之分別為 6min 原始值  $R^2 = 0.4039$ ，修正後  $R^2 = 0.5557$ ；0.5 hr 平均原始值  $R^2 = 0.4196$ ，修正後  $R^2 = 0.618$ ；1 hr 平均原始值  $R^2 = 0.4112$ ，修正後  $R^2 = 0.6077$ 。

嘉義測站測試數據以 ANN 訓練後之結果如圖 3-16 所示， $R^2$  為 0.65。圖 3-17 則為訓練前後感測器原始數據與測站數據之趨勢圖比較，表 3-3 則為嘉義測站場域測試單月數據資訊及 ANN 演算結果。

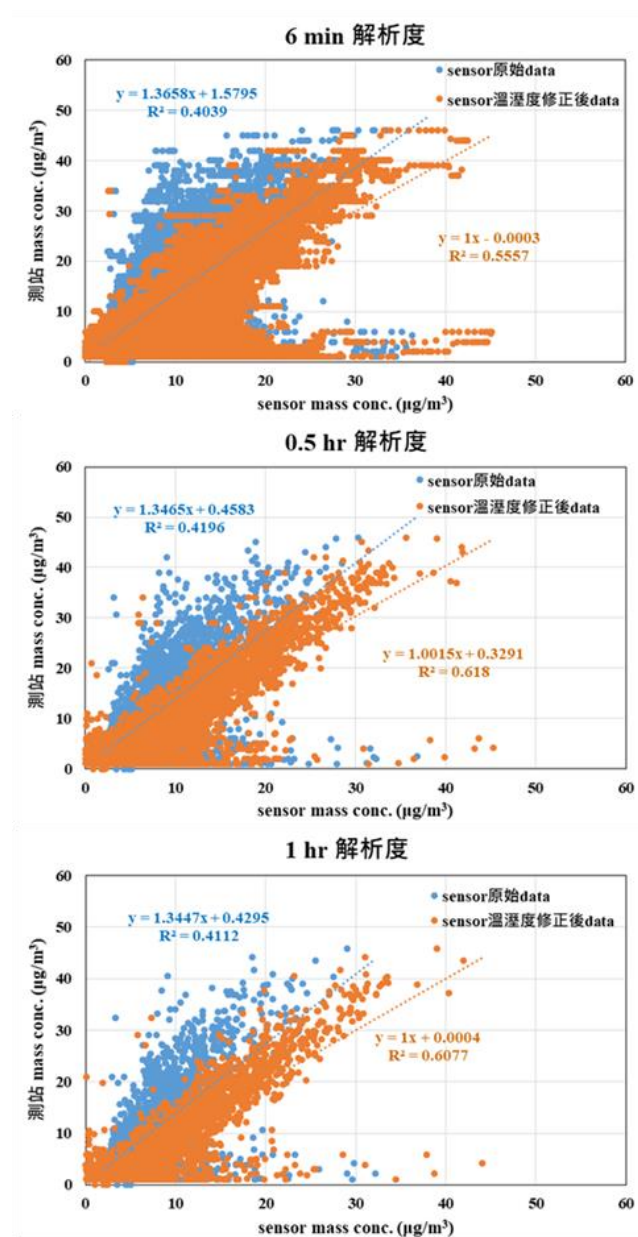


圖 3-15、嘉義測站不同解析度之比較

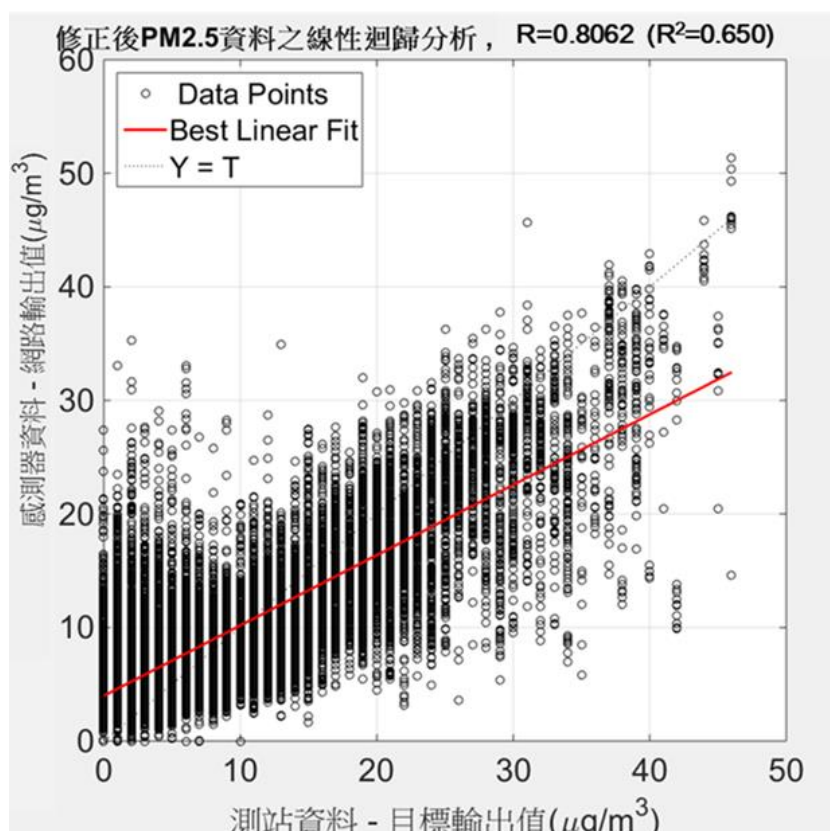


圖 3-16、嘉義測站場域比對數據 ANN 訓練結果

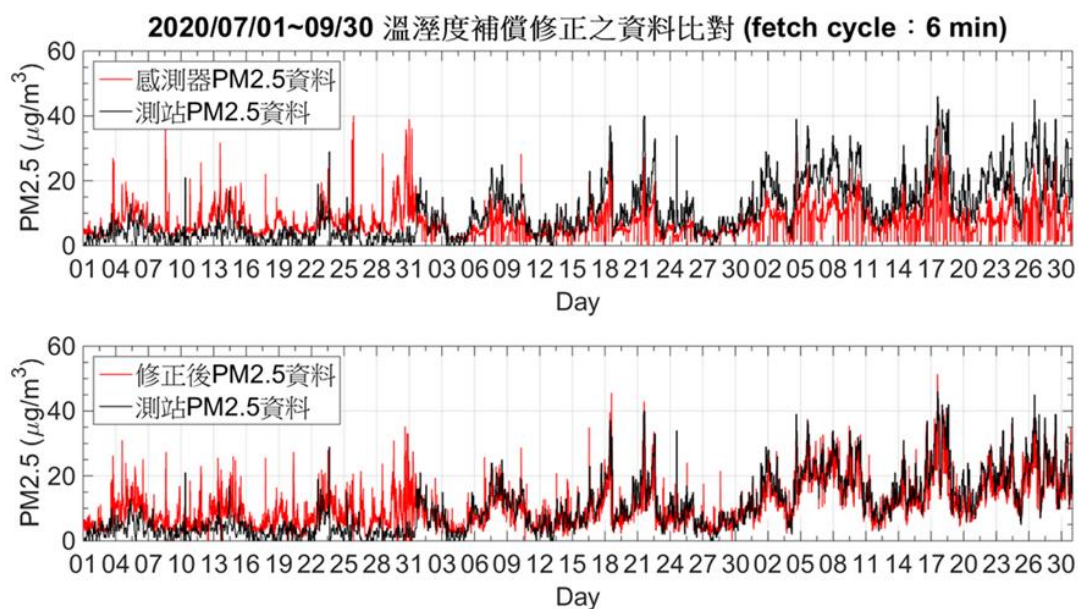


圖 3-17、嘉義測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較



表 3-3、嘉義測站場域數據及 ANN 結果摘要

測站	測試期程	平均值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最大值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最小值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$<15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 所佔比例	ANN (6min) 相關係數 $R^2$
嘉義	109.07.01-09.30	10.0	46.0	0.0	74%	0.650
	07.01-07.31	3.8	29.0	0.0	98%	0.264
	08.01-08.31	9.2	40.0	1.0	88%	0.729
	09.01-09.30	19.4	46.0	2.0	35%	0.701

### 3. 竹東測站場域測試(測試時間 109.07.01-.09.30)

竹東測站場域感測數據，以不同解析度計算之  $R^2$  如圖 3-18 所示，原始值及修正值之分別為 6 min 原始值  $R^2 = 0.3417$ ，修正後  $R^2 = 0.446$ ；0.5 hr 平均原始值  $R^2 = 0.4374$ ，修正後  $R^2 = 0.5358$ ；1 hr 平均原始值  $R^2 = 0.41492$ ，修正後  $R^2 = 0.5207$ 。

竹東測站測試數據以 ANN 訓練後之結果如圖 3-19 所示， $R^2$  為 0.6971。圖 3-20 則為訓練前後感測器原始數據與測站數據之趨勢圖比較，表 3-4 則為竹東測站場域測試單月數據資訊及 ANN 演算結果。

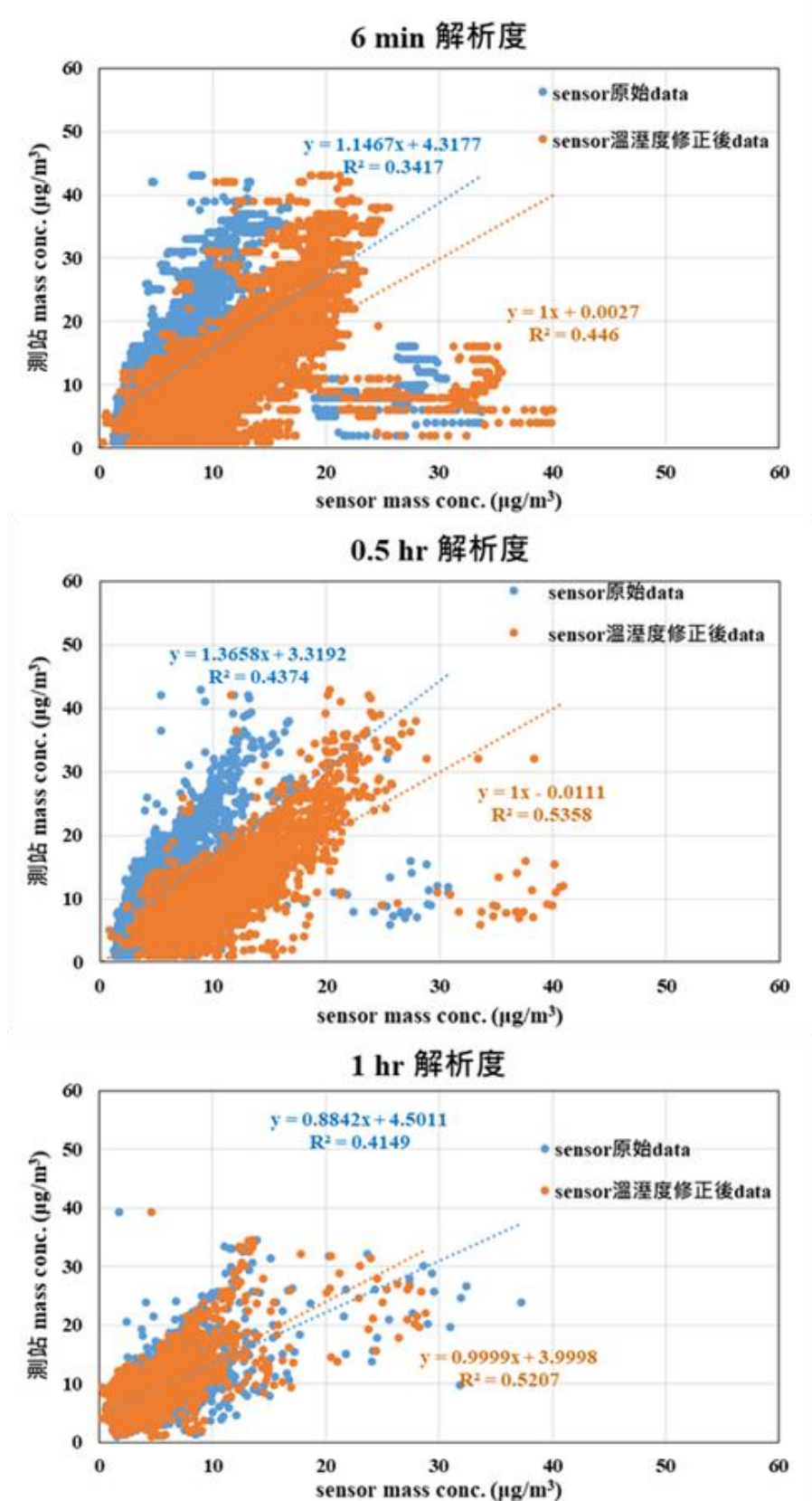


圖 3-18、竹東測站不同解析度之比較

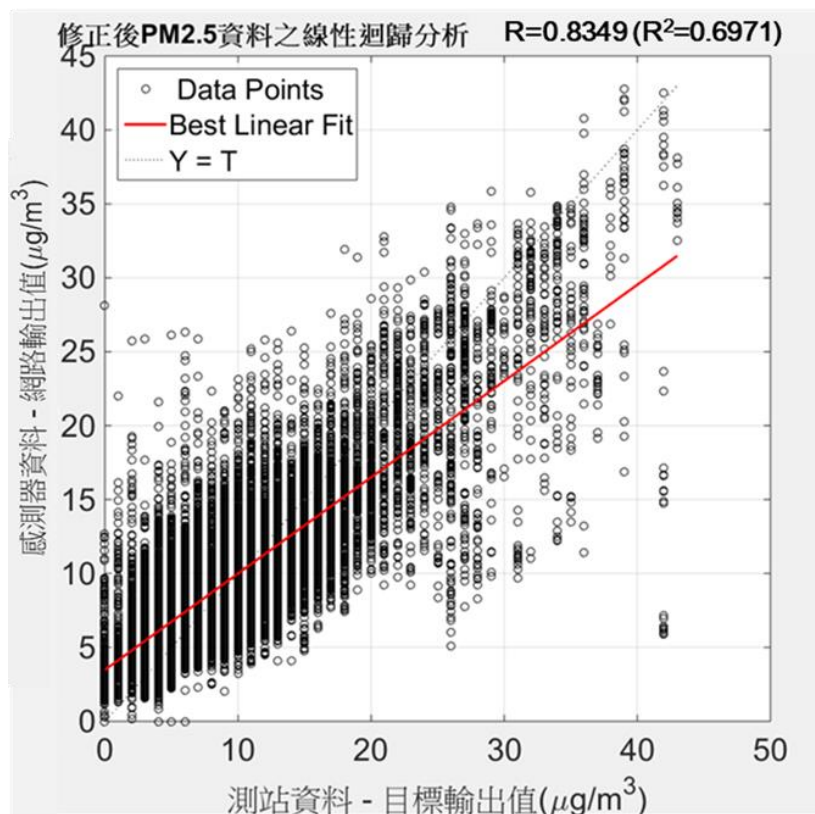


圖 3-19、竹東測站場域比對數據 ANN 訓練結果

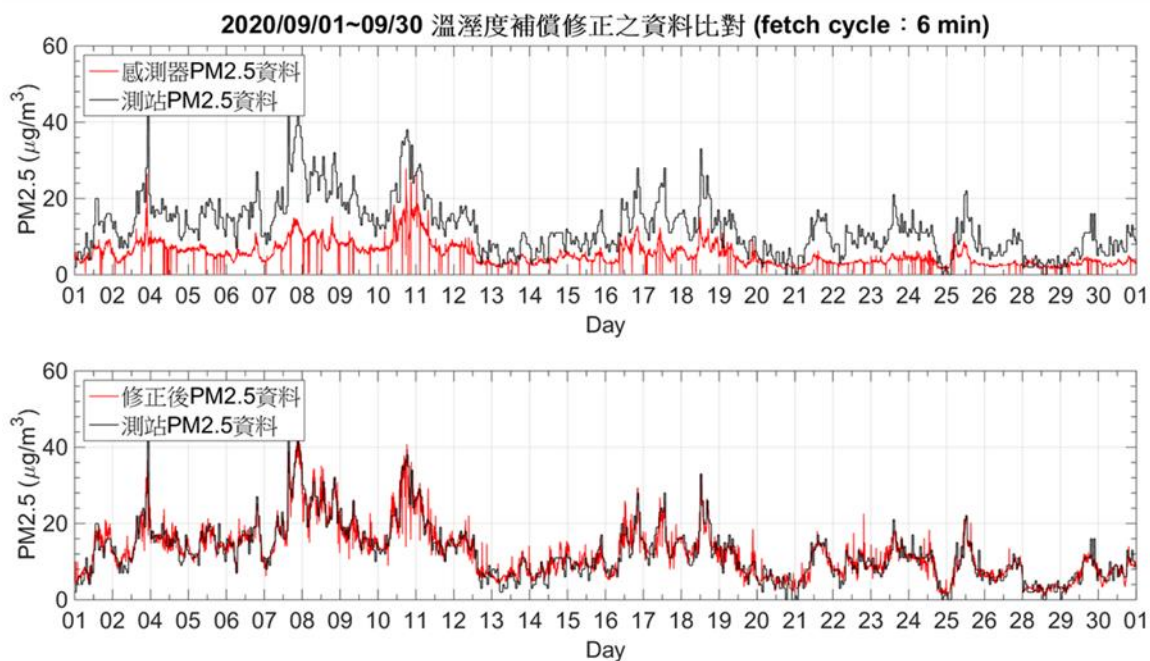


圖 3-20、竹東測站場域比對數據 ANN 訓練後之趨勢比較

表 3-4、竹東測站場域數據及 ANN 結果摘要

測站	測試期程	平均值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最大值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	最小值 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$<15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 所佔比例	ANN (6min) 相關係數 $R^2$
竹東	109.07.01-09.30	10.0	43.0	1.0	84%	0.697
	07.01-07.31	8.3	39.0	1.0	95%	0.523
	08.01-08.31	9.5	42.0	1.0	85%	0.725
	09.01-09.30	12.2	43.0	1.0	72%	0.756

3 測站之比對測試結果，雖然受到夏季為大氣中懸浮微粒濃度低之季節影響，較不利於懸浮微粒之比對測試。但 ANN 演算修正結果，三測站之比對  $R^2$  均已接近或超過 0.7，顯示所開發之感測器深具可行性。但如能累積更長時間之數值，依上述之方法及步驟進行 ANN 訓練及演算校正，應可有效提升數據  $R^2$ 。

#### (二) 非一般大氣環境場域測試（新增項目）

於汽車維修廠之板金作業環境作為測試場所，如圖 3-21 所示，現場進行板金作業時會有大量粉塵逸散，測試時之設置如圖 3-22 所示。在靠近矮牆區域為待維修之汽車，紅色虛線區域則為板金作業區，板金作業時會先開啟工業風扇。



圖 3-21、非一般大氣環境測試場域勘查

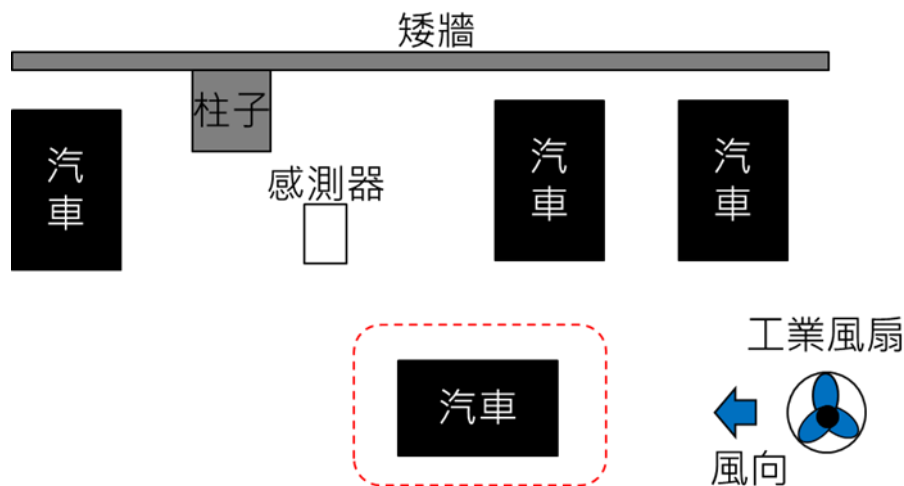


圖 3-22、板金作業環境場域測試現場設置示意圖

測試之結果如圖 3-23 所示，測試期間為 7 月中旬至 8 月中旬，初期之監測偏低，主要為感測器放置之位置為風扇與汽車之間，屬於上風處，故量測之濃度數值偏低。而 8/8-8/10 則因為夜間工廠跳電，感測器電源被切斷而無感測數值，其後將感測器電源重新開啟後感測器之恢復正常運作。測試期間測得 PM<sub>2.5</sub> 最高濃度值為（7/30 業務較為繁忙期間）70.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最低值為（7/19 假日無人上班）4.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，平均值 12.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。現場工作地面有大量粉塵堆積，應為板金打磨下來之粉塵。而感測器整體監測值偏低，可能因為板金打磨之粉塵以  $>2.5 \mu\text{m}$  之微粒居多，故感測數值偏低。每日之監測曲線大致分為 2 個峰值，分別為上午 9-12 時及下午 13-17 時。推測 7/27-8/2 之間為工作量較大之期間，因其白天之監測曲線峰值高且有連續，夜間監測值亦較其他時段高。測試期間有 6 筆數據在夜間濃度較低時瞬間飆高，疑為感測器之異常值（離群值）。另外有 3 筆數據（可疑值）則在工作時間內瞬間飆高，較難以判斷是否為異常值。

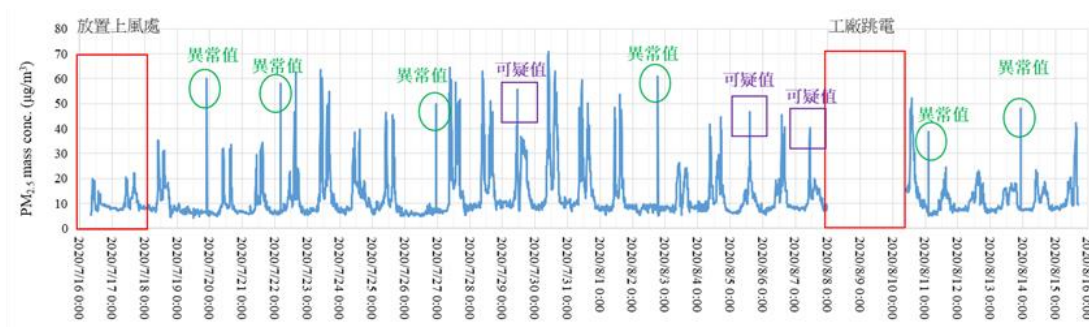


圖 3-23、板金廠作業環境測試結果



### （三）成品機製作

成品機模組包含木製百葉箱、溫度及濕度感測器、4G 傳輸模組及電源控制模組。為因應環保署要求提前測試，故成品機製作由原規劃之 7-9 月完成提前至 4 月中旬開始製作，已於 6 月中旬完成 5 組成品機，除已架設於測站之 3 組外，尚餘 2 組如圖 3-24 所示，其中一組用於非一般大氣環境場域測試。

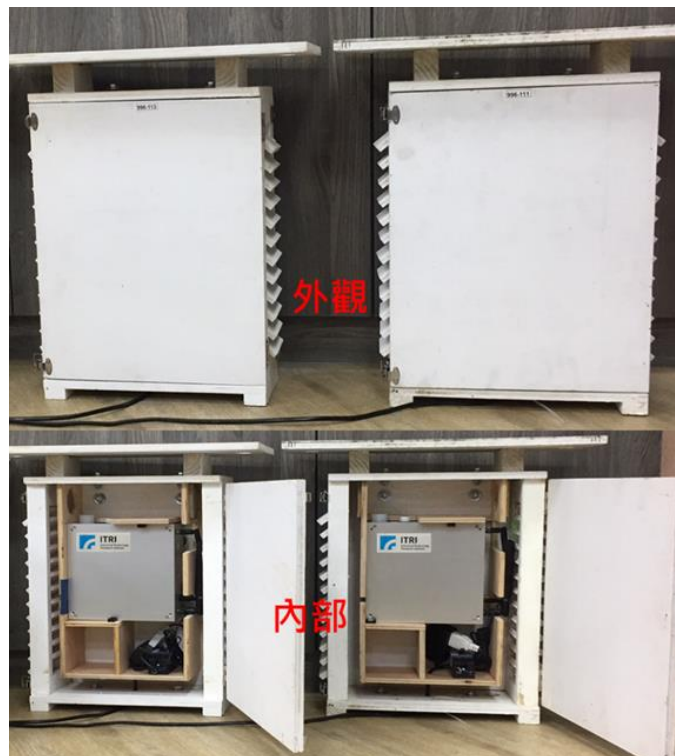


圖 3-24、PM<sub>2.5</sub> 感測器成品機

### （四）專利獲証

本工作項於 109 年 6 月取得中華民國專利證書，證書編號「發明第 I695163 號」，發明名稱「粒狀物感測裝置」，專利權期間「自 2020 年 6 月 1 日至 2038 年 12 月 18 日」。另已申請美國專利「Particulate matter sensing device」，目前尚在審查（核駁/修正處理）中。

## 3.1.3、結論與建議

### （一）結論

年度計畫利用前期計畫之數據建立 ANN 演算之基本步驟程序並進行試演算，初步演算成果  $R^2$  可由 0.4 提升至 0.7155。在場域比對測試方面，雖於微粒濃度低之夏季進行場域測試，但經 ANN 之溫濕度補償修正後  $R^2$  仍可達近 0.7

之目標值，顯示本計畫所開發之感測器已有一定之水準，且所建立之 ANN 演算補償技術，也確實可達溫濕度補償之效果。

## (二) 建議

建議後續應繼續測試比對，同時測試期間不應只有單一季節，以收集更多數據，作為感測器調教之參考。對於元件改良部分，可朝繼續小型化為目標，同時降低成本，以提升市場之競爭力。

## 3.2、完成國產化 O<sub>3</sub> 感測元件研發

本計畫以開發電化學之 O<sub>3</sub> 感測器為目標，電化學 O<sub>3</sub> 感測元件/模組開發計畫全程為 4 年，分成二階段執行，本計畫第一階段在 FY106 年度的開發重點為觸媒選擇性薄膜，來排除 O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 於電化學感測訊號之相互干擾，觸媒去除效率大於 99 %。FY107 年的開發重點為四極式電極材料研發與感測元件製作，包括工作電極、輔助電極（校正）、輔助電極（電流收集）與參考電極等，透過此四種電極材料的研發，開發出高靈敏度（ppb 濃度等級）之國產化電化學 O<sub>3</sub> 氣體感測元件，第二階段(FY108-FY109 年)以感測器布建之實用性、便利性為導向。所開發之元件模組已進行專利申請與實驗室環境 3S 測試，測試結果均符合預定目標。在 O<sub>3</sub> 偵測下限部分，測試結果可達 20 ppb。O<sub>3</sub> 濃度 0-400 ppb 間之靈敏度， $R^2 > 0.5$ 。所開發之感模組將實際應用於國內實地場域，比對測站數值與分析；並導入業界技術合作成品機製作與開發。

### 3.2.1、工作執行方法

今年主要工作目標為 O<sub>3</sub> 感測模組之精進與量產化技術開發、測試與試量產，並實際應用於國內實地場域，進行演算法訊號修正以提升感測效能，比對測站數值與分析；並導入業界技術合作成品機製作開發。目標為完成量產之國產化 O<sub>3</sub> 感測元件 30 組以上，經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），累計 5 個月測試期程、4 處場域測試，並出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，技術轉移單位須經機關同意後執行。工作內容說明如下：

#### 一、O<sub>3</sub> 感測模組之溫濕度補償修正及 ANN 演算法訊號處理

109 年度完成落實國產化目標，將結合國內業界導入技術合作成品機製作開發，驗證共同完成之 O<sub>3</sub> 整合模組，實驗室環境控制測試分析溫濕度效應，建立人工類神經網路模型管理溫濕度效應與修正，多樣化場域選址的測試大數據收集分

析，結合溫濕度補償修正提升 O<sub>3</sub> 感測能力與穩定性之電路模組，導入演算法訊號處理提高穩定性與判別。本研究採用倒傳遞類神經網路(Back-Propagation Neural Network)，主要目的就是把資料輸入與輸出間的映射關係變成一個非線性最佳化問題，在學習過程中，把給予的訓練資料利用 Bayesian regularization backpropagation，屬擬牛頓法，收斂速度快，具有極佳的泛化能力，主要是依據 Levenberg-Marquardt 訓練演算法來更新權重與偏權值，並最小化且決定均方誤差與權重之組合，而學習函數採具動量之梯度下降權重值/偏權值學習函數，其訓練流程如圖 3-25 所示，最後再透過回溯過程驗證此模式的學習效果與精度。本網路模式為前饋式架構(forward)，由類神經源分層排序，組成輸入層、隱藏層和輸出層，層層之間以串連方式逐層接受上一層的輸出資料。輸入層採線性轉換函數，其神經元數目為 3，輸入變數分別為溫度、相對濕度與氣體感測器訊號；隱藏層採非線性轉換函數，透過試誤法來決定神經元數目，層數可依問題複雜度漸增；輸出層採線性轉換函數，可取任意值，其神經元數目為 1，即網路輸出值。該模式訓練函數採 Bayesian 規則化，其結合 Levenberg-Marquardt 訓練演算法，而學習函數採具動量之梯度下降權重值/偏權值學習函數。

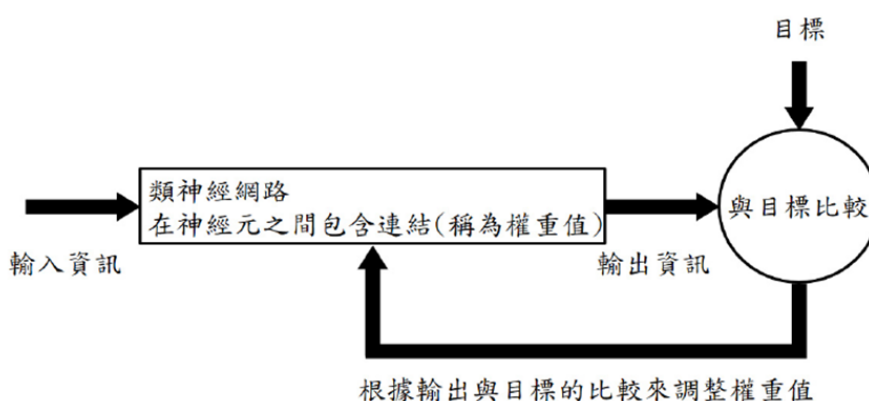


圖 3-25、訓練類神經網路與修正其權重值之流程圖

## 二、O<sub>3</sub> 感測模組機測站比對，擴大場域測試及小型試量產

所建立感測模組之溫濕度補償修正及 ANN 演算法訊號處理技術，將優先使用於測試模組之校正，同時進行成品機之設計及量產工作。首先進行 O<sub>3</sub> 感測器原型機與測站比對測試，國產化 O<sub>3</sub> 感測器原型機測試選用 4 處測站場域，累計 5 個月測試期程。各處均以 3 組以上原型機來進行測試，並將模組與業者商用感測載具架設場域測試對照附近國家測站儀器級的 O<sub>3</sub> 數值。實際應用於國內實地場域，



部份測試地點為空氣品質監測站，依據各測站污染屬性選擇三種測站進行比對，包括高濃度測站（工業或交通測站）、中濃度測站（一般測站）及低濃度測站（背景測站），濃度等級分類亦如表 3-5 所示。此外，部份測試地點亦配合環保署規劃，於工業區內或市區交通要道旁進行布點驗證測試。將參考儀器所量測之濃度與原型機所量測到之訊號值進行統計分析，並計算其相關係數  $R^2$  值。業界技術合作成品機製作開發過程測試進行期間，將不斷的進行模組參數微調修正演算，以使模組訊號優化，場域比對測試則將同時進行模組原型機之小型試量產。

表 3-5、O<sub>3</sub> 測試之濃度級距

O <sub>3</sub> 污染種等級	低	中	高	非常高
ppb	20±5	50±10	150±30	300±60

### 3.2.2、工作執行成果

工作成果摘要如下：

1. O<sub>3</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術：已利用前期計畫之數據建立溫濕度類神經補償演算之基本步驟程序並進行演算，演算成果  $R^2$  可由 0.5 提升至 0.7。
2. 場域比對測試已於 6 月底完成 4 站架設，並以測站之數據進行上述之 ANN 演算，累積完成 4 個月的數據進行分析。
3. 協助廠商申請工業局產創計畫目前正在進行中，將透過產業界量能進行感測元件量產。

#### 一、O<sub>3</sub> 感測模組之精進與演算法修正

以 108 年 8 月份進行溫濕度類神經補償演算之流程，如圖 3-26 所示：

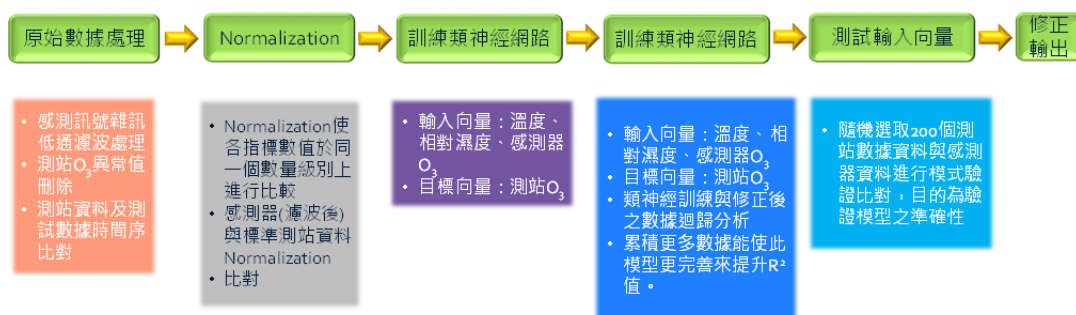


圖 3-26、溫濕度補償類神經演算模型流程

1. 原始數據處理：感測數據每秒一筆數值，會產生雜訊現象，本計畫首先將訊號轉換成振幅響應，再利用低通濾波器來濾除訊號雜訊，如圖 3-27。
2. Normalization 比對：在演算模式分析前，利用 Normalization 比對先將資料正規化處理。正規化使各指標值都處於同一個數量級別上，可提高分類器的準確性。Normalization 前測試數據與測站比對之結果  $R^2=0.5$ ，經 Normalization 後測試數據與測站比對之結果  $R^2=0.6$ ，R 值上升約 0.1，如圖 3-28。
3. 溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正：分別將測站溫度(攝氏)、測站相對濕度(%)以及感測器讀值做為訓練數據輸入，並以測站  $O_3$  讀值為目標進行倒傳遞類神經網路訓練，並隨機選取 200 個測站數據資料與感測器資料進行模式驗證比對，如圖 3-29。
4. 溫濕度補償分析比對：透過類神經訓練、補償校正之數值再次與測站之數值進行比對，如圖 3-30 為測試數據訓練校正後之數值與測站比對之結果  $R^2$  值由 0.6 提升至 0.72，顯示溫濕度對於測試數據確有影響，亦表示類神經訓練可有效將溫濕度對感測器之影響降低。

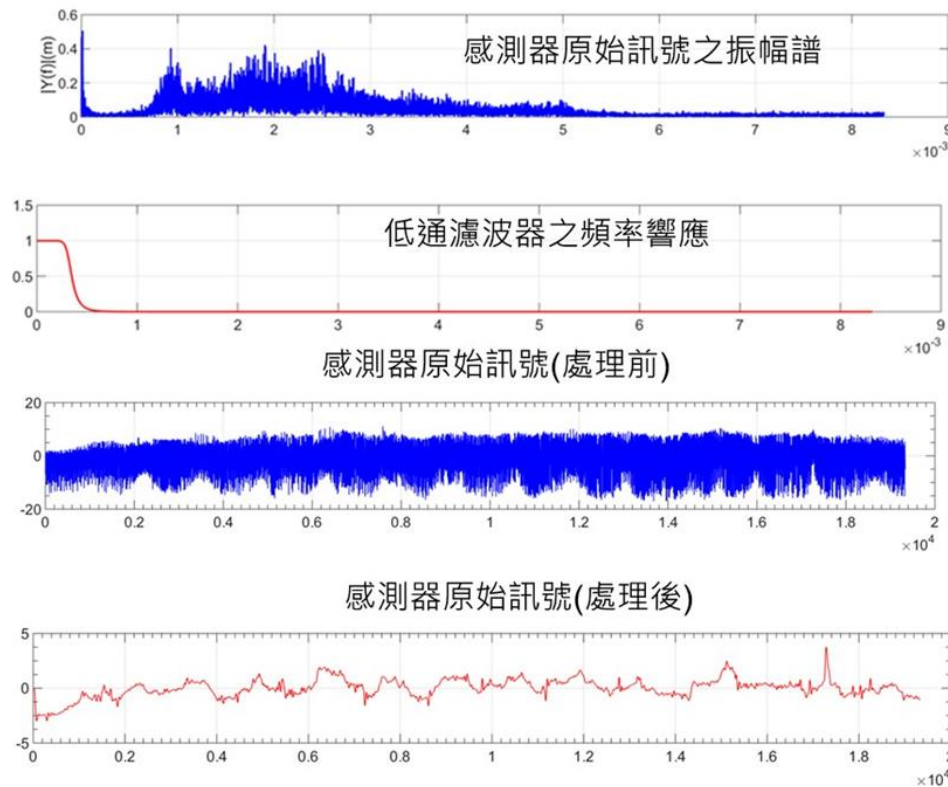


圖 3-27、原始數據進行低通濾波處理雜訊

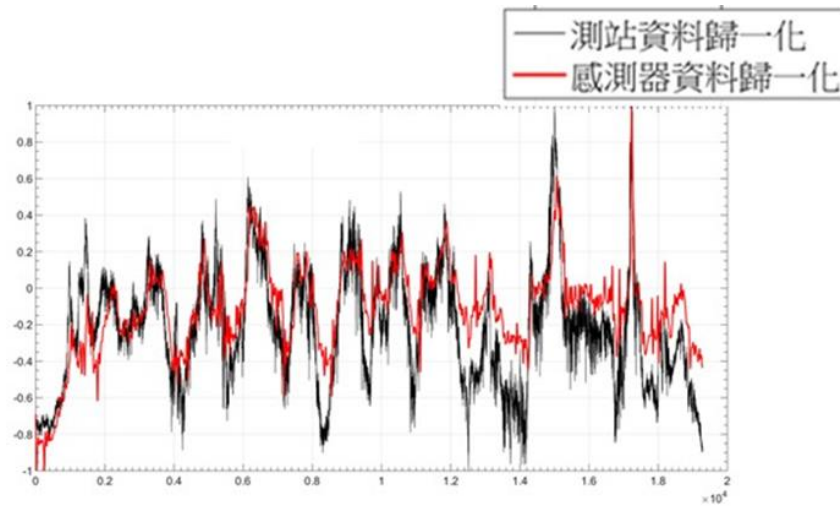
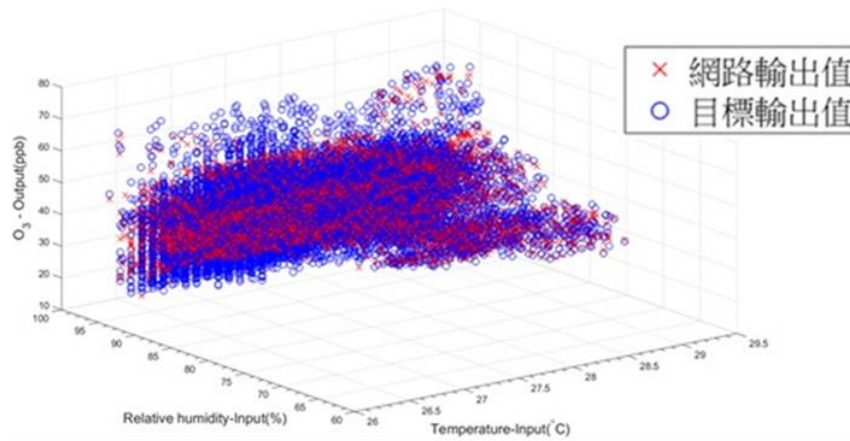


圖 3-28、臭氧網路模式之預測修正值與標準測站資料作迴歸分析



隨機200點比對結果

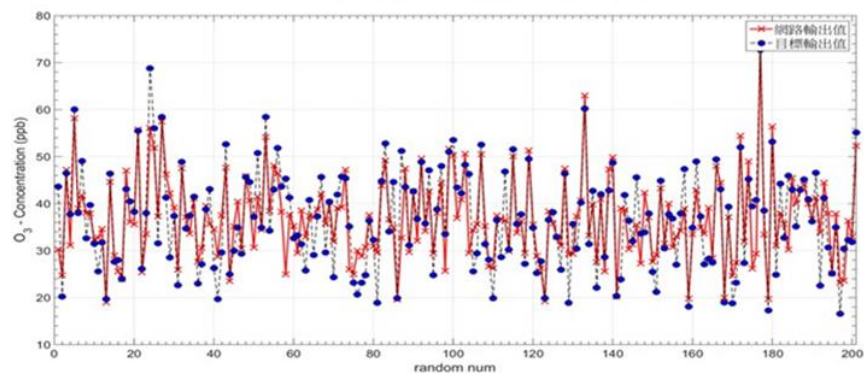


圖 3-29、溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正

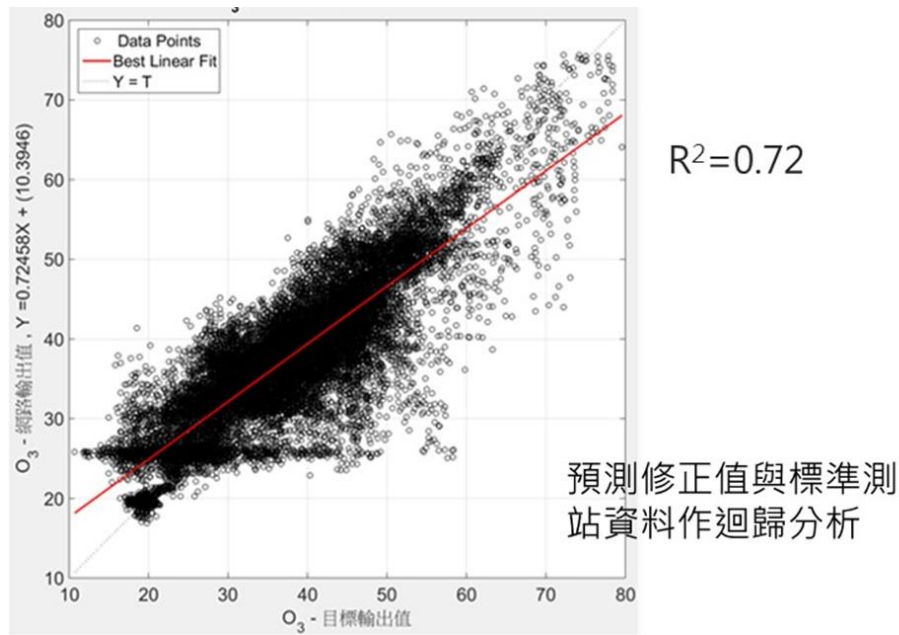


圖 3-30、溫濕度類神經補償修正後之數據迴歸分析比對

依上述之方法及步驟進行 ANN 訓練及演算校正，以 109 年 5 月份感測數據進行溫濕度類神經補償演算之流程：

1. 原始數據處理：感測數據每秒一筆數值，會產生雜訊現象，本計畫首先將訊號轉換成振幅響應，再利用低通濾波器來濾除訊號雜訊，如圖 3-31。
2. Normalization 比對：在演算模式分析前，利用 Normalization 比對先將資料正規化處理。正規化使各指標值都處於同一個數量級別上，可提高分類器的準確性。Normalization 前測試數據與測站比對之結果  $R^2=0.51$ ，經 Normalization 後測試數據與測站比對之結果  $R^2=0.6$ ，R 值上升約 0.1，如圖 3-32。
3. 溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正：分別將測站溫度（攝氏）、測站相對濕度(%)以及感測器讀值做為訓練數據輸入，如圖 3-33。
4. 溫濕度補償分析比對：透過類神經訓練、補償校正之數值再次與測站之數值進行比對，如圖 3-34 為測試數據訓練校正後之數值與測站 比對之結果  $R^2$  值由 0.6 提升至 0.75，顯示溫濕度對於測試數據確有影響，亦表示類神經訓練可有效將溫濕度對感測器之影響降低。



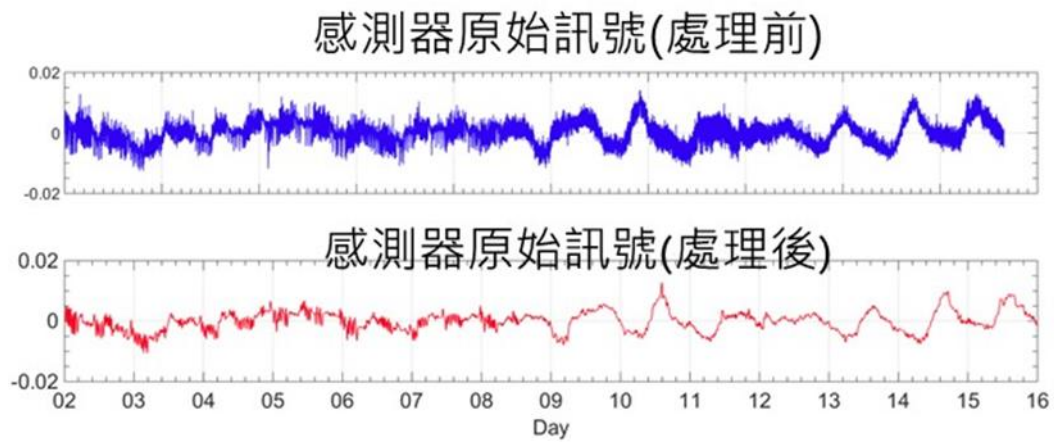


圖 3-31、原始數據進行低通濾波處理雜訊

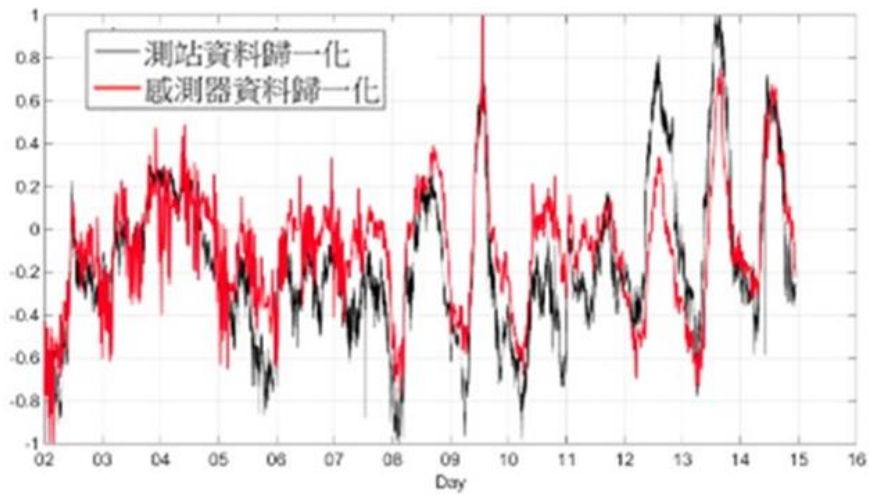


圖 3-32、臭氧網路模式之預測修正值與標準測站資料作迴歸分析

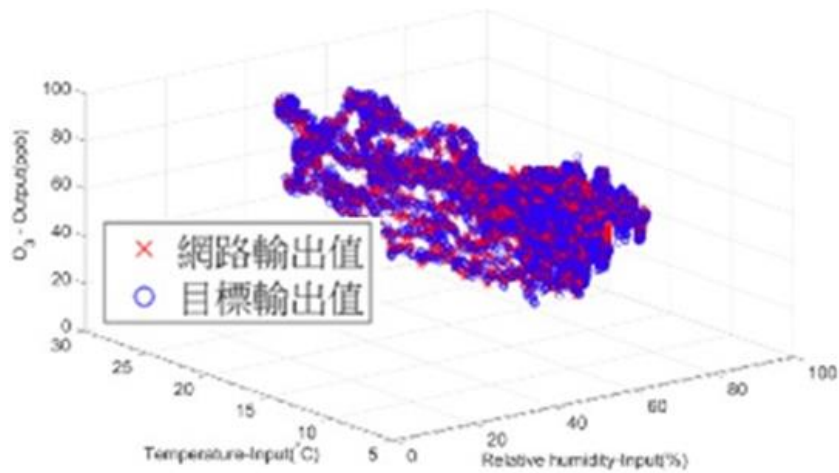


圖 3-33、溫濕度類神經補償演算訓練與補償校正

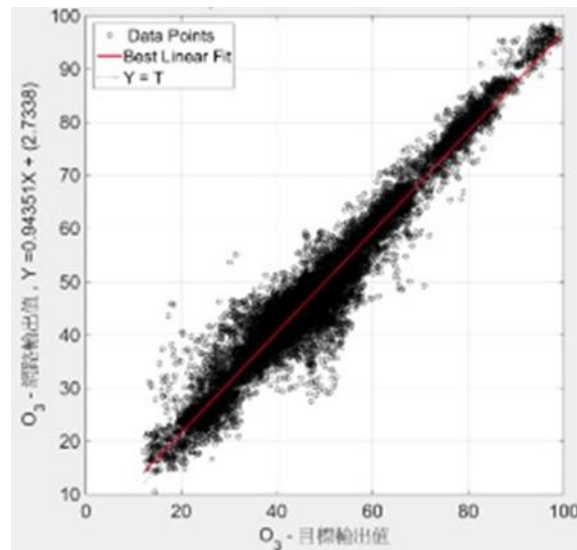


圖 3-34、溫濕度類神經補償修正後之數據迴歸分析比對

## 二、場域比對測試、成品機製作及技轉洽談

### (一) 場域比對測試

本計畫篩選竹東、陽明山、永和、桃園等測站，合計 4 處累計 5 個月之測試期程，目前已於 4-6 月底陸續完成各測站布點測試。國產化 O<sub>3</sub> 布建機模組如圖 3-35 所示，感測模組連接鐵氟龍氣體流道進行臭氧量測，流道尾端利用定量氣體幫浦進行抽氣，該模組與測站臭氧分析儀進行平行比對工作。

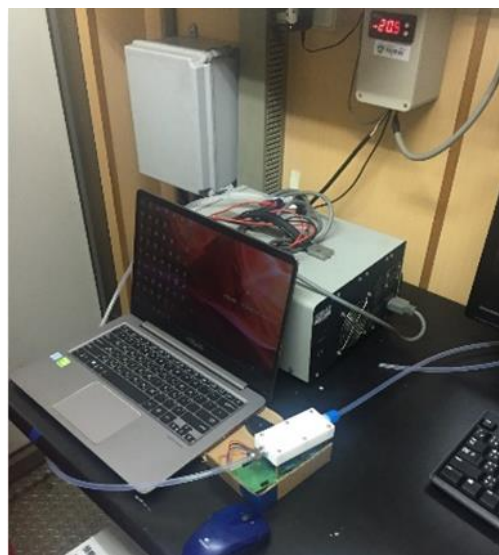


圖 3-35、O<sub>3</sub> 原型機模組實地場域測試（竹東、陽明、桃園和永和測站內擺設）

## 1. 竹東測站場域測試

圖 3-36 與圖 3-37 表示竹東測站場域比對（比對時間 4/2~4/16，共 15 天）之數據分析，測站  $O_3$  平均數值對比  $O_3$  布建機模組  $O_3$  平均數值相近，竹東測站場域比對達到  $R^2 > 0.5$ 。

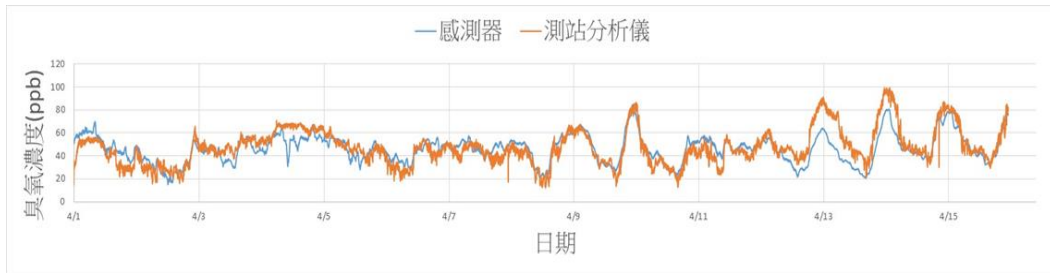


圖 3-36、竹東測站(4/2~4/16)之  $O_3$  原型機與測站  $O_3$  數值趨勢比對

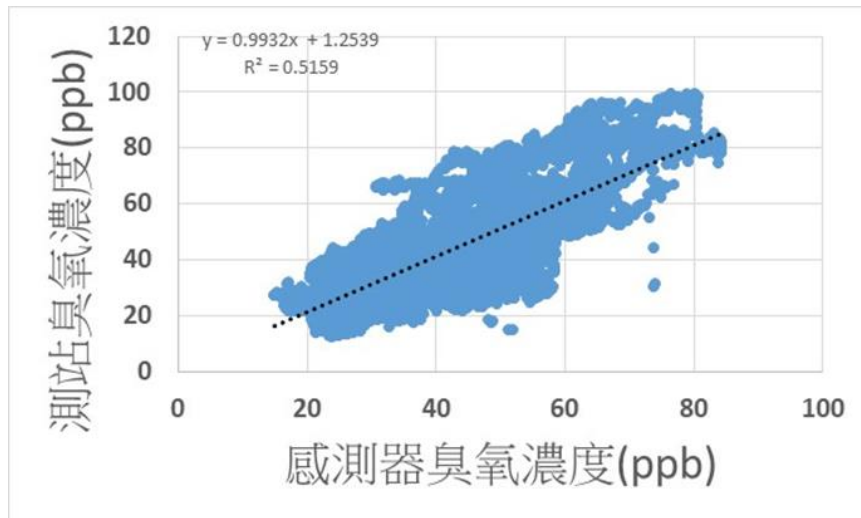


圖 3-37、竹東測站(4/2~4/16)之  $O_3$  原型機與測站  $O_3$  數值線性相關度比對

圖 3-38 與圖 3-39 表示竹東測站場域比對（比對時間 5/5~6/2，共 28 天）之數據分析，測站  $O_3$  平均數值對比  $O_3$  布建機模組  $O_3$  平均數值相近，竹東測站場域比對達到  $R^2 > 0.6$ 。



圖 3-38、竹東測站(5/5~6/2)之  $O_3$  原型機與測站  $O_3$  數值趨勢比對

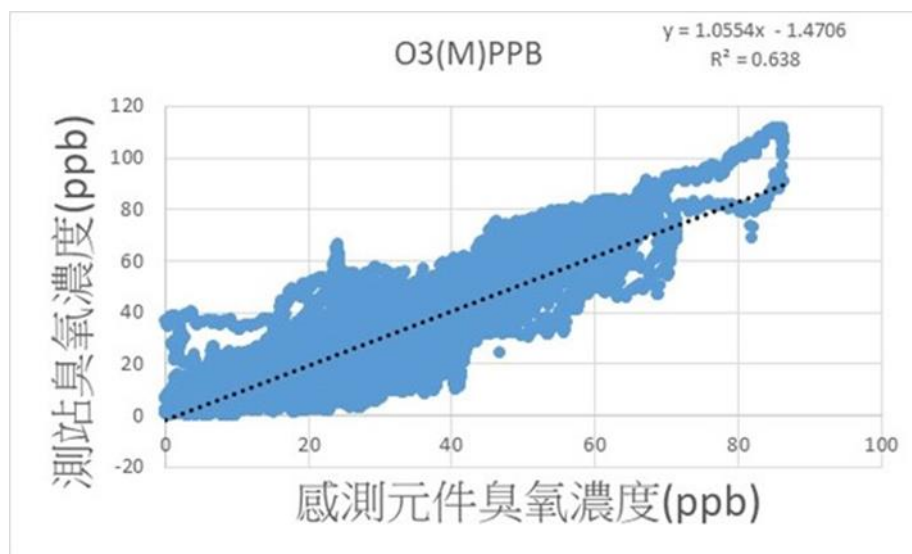


圖 3-39、竹東測站(5/5~6/2)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-40 與圖 3-41 表示竹東測站場域比對（比對時間 6/10~6/22，共 13 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，竹東測站場域比對達到  $R^2 > 0.7$ 。

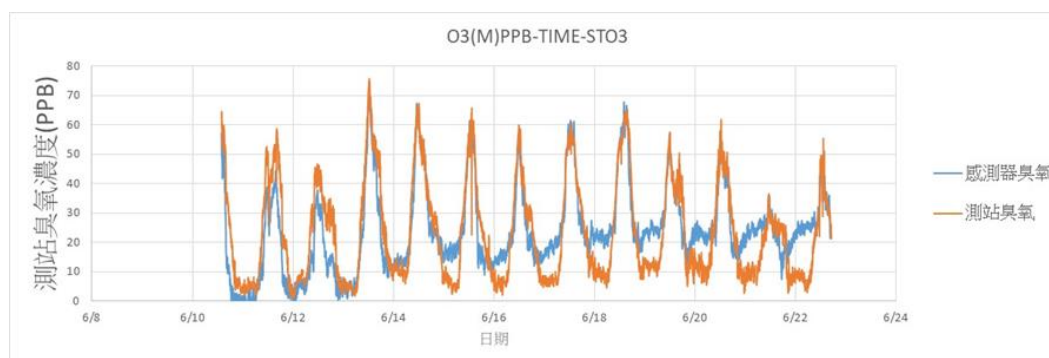


圖 3-40、竹東測站(6/10~6/22)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對



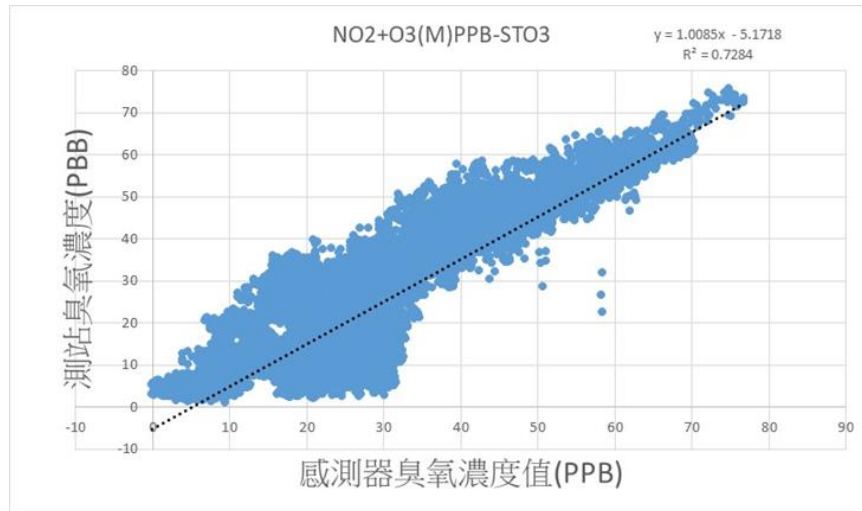


圖 3-41、竹東測站(6/10~6/22)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-42 與圖 3-43 表示竹東測站場域比對（比對時間 7/21~8/5，共 16 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，竹東測站場域比對達到  $R^2 > 0.8$ 。

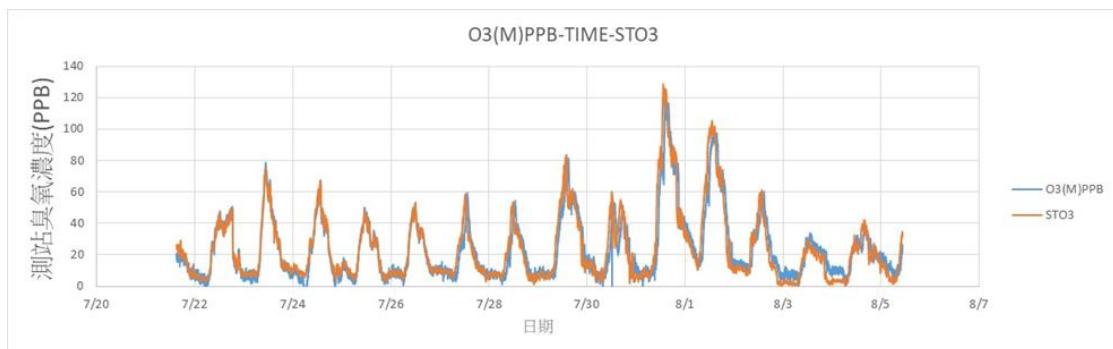


圖 3-42、竹東測站(7/21~8/5)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

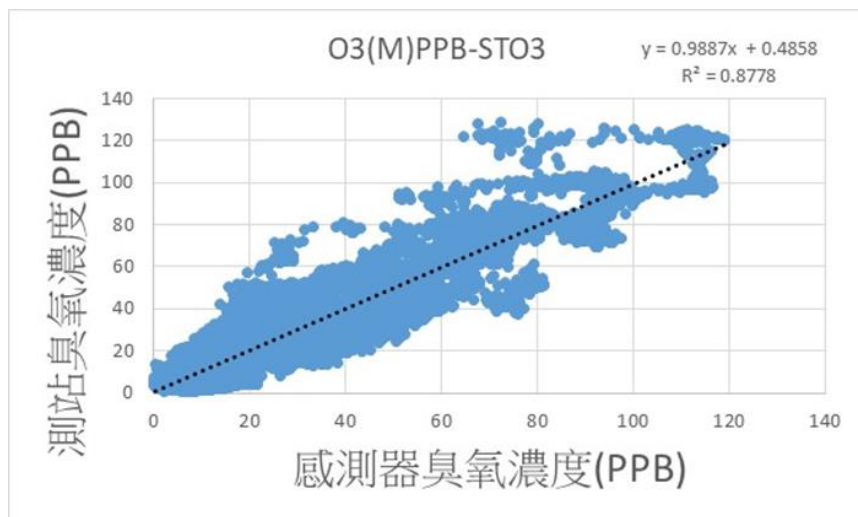


圖 3-43、竹東測站(7/21~8/5)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-44 與圖 3-45 表示竹東測站場域比對(比對時間 9/8~9/15, 共 8 天)之數據分析, 測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近, 竹東測站場域比對達到  $R^2 > 0.8$ 。

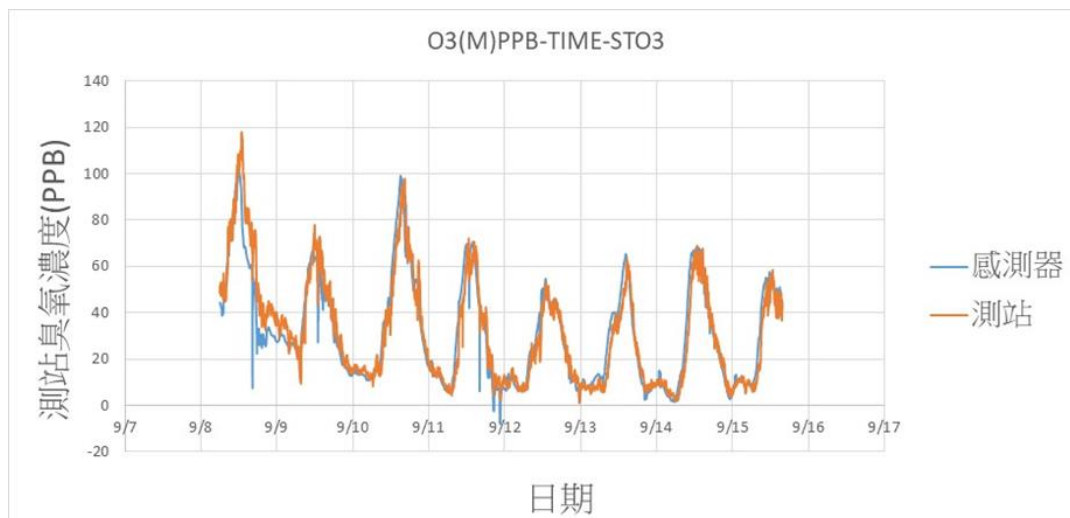


圖 3-44、竹東測站(9/8~9/15)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

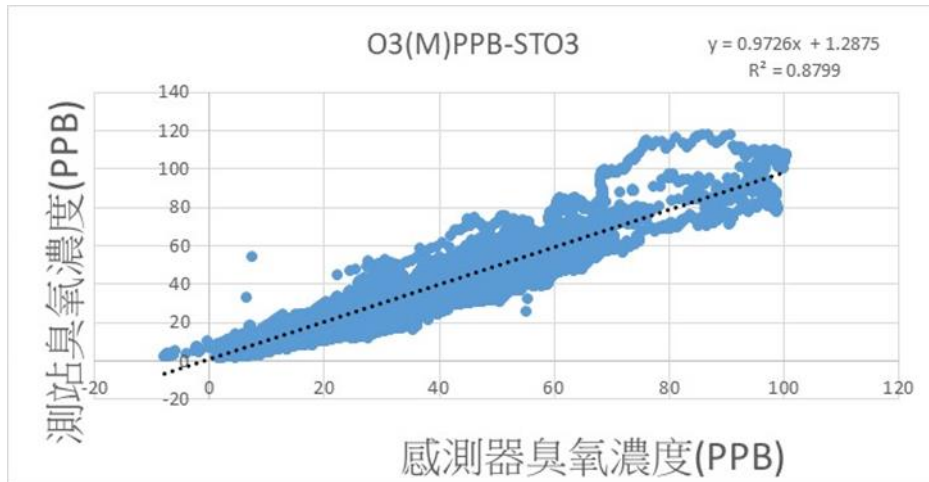


圖 3-45、竹東測站(9/8~9/15)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

## 2. 龍潭測站場域測試

圖 3-46 與圖 3-47 表示龍潭測站場域比對（比對時間 7/31~8/12，共 13 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，龍潭測站場域比對達到  $R^2 > 0.6$ 。

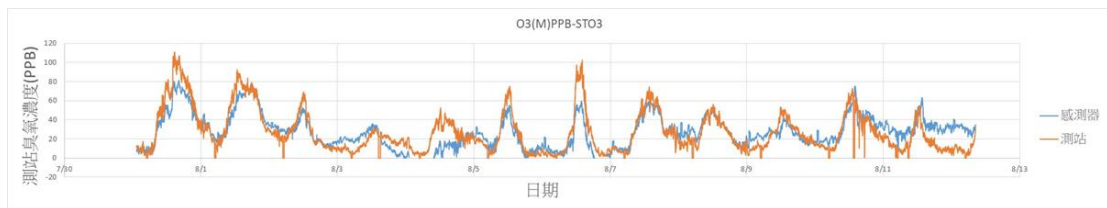


圖 3-46、龍潭測站(7/31~8/12)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

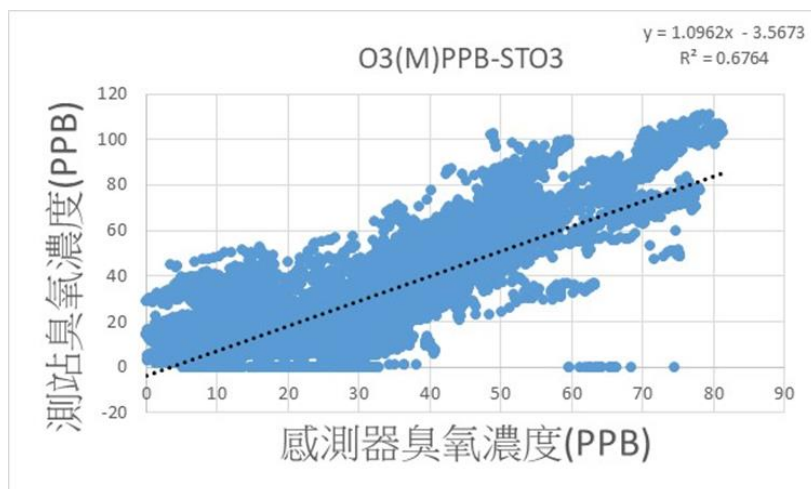


圖 3-47、龍潭測站(7/31~8/12)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-48 與圖 3-49 表示龍潭測站場域比對（比對時間 9/8~9/21，共 14 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，龍潭測站場域比對達到  $R^2 > 0.8$ 。

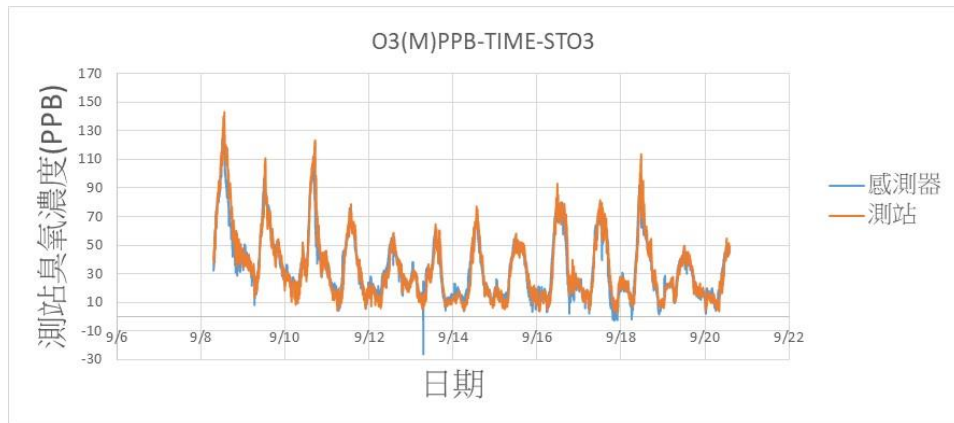


圖 3-48、龍潭測站(9/8~9/21)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

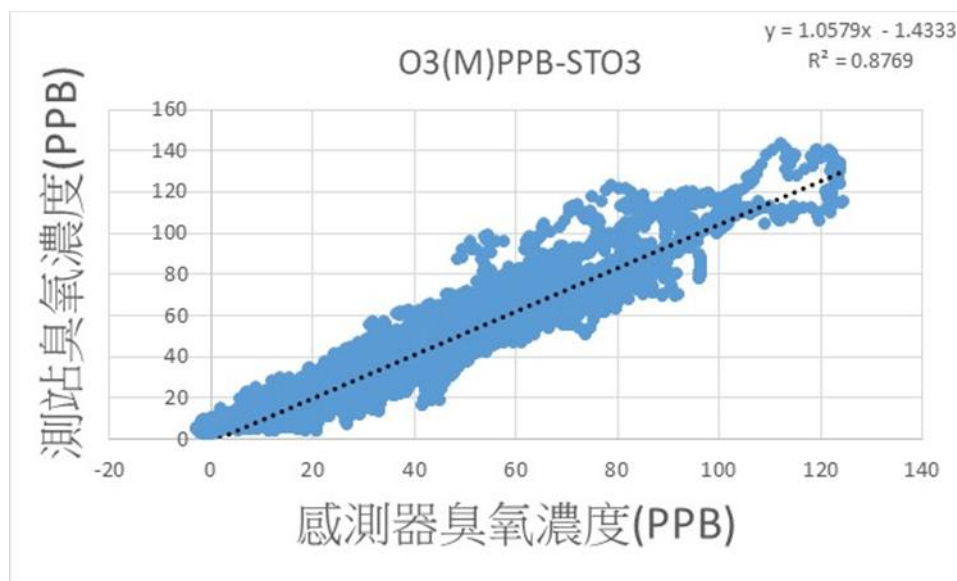


圖 3-49、龍潭測站(9/8~9/21)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-50 與圖 3-51 表示龍潭測站場域比對（比對時間 9/21~10/3，共 13 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，龍潭測站場域比對達到  $R^2 > 0.7$ 。

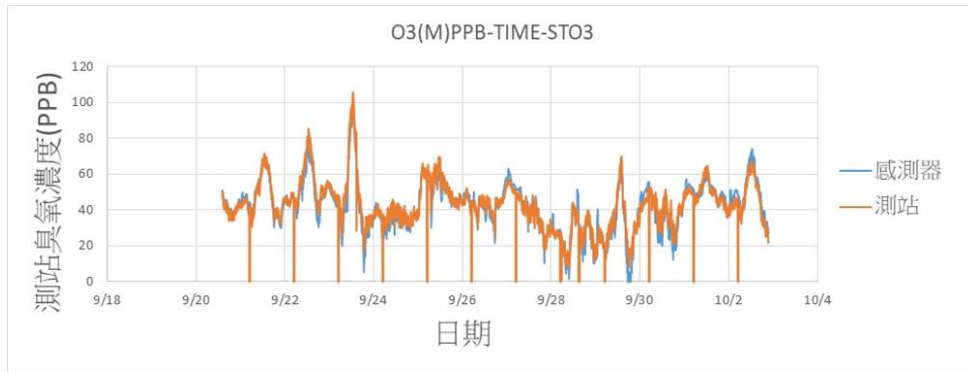


圖 3-50、龍潭測站(9/21~10/3)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

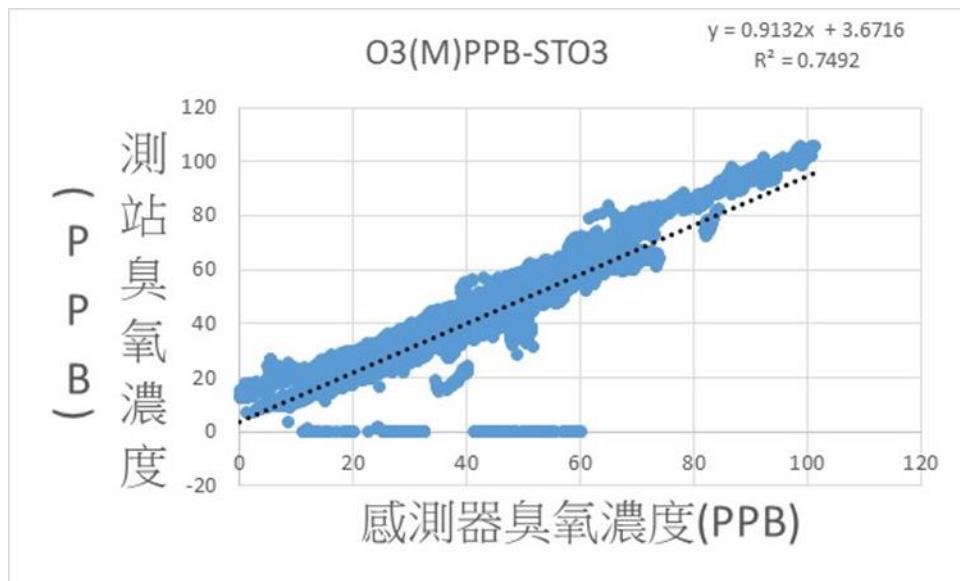


圖 3-51、龍潭測站(9/21~10/3)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

### 3. 陽明山測站場域測試

圖 3-52 與圖 3-53 表示陽明山測站場域比對（比對時間 7/20~8/16，共 27 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，陽明山測站場域比對達到  $R^2 > 0.5$ 。

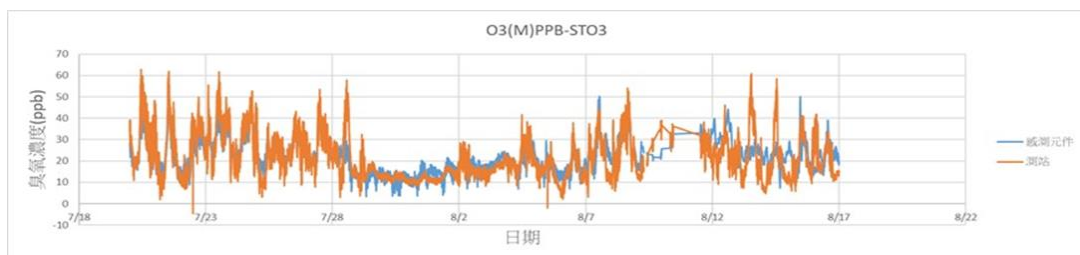


圖 3-52、陽明山測站(7/20~8/16)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對

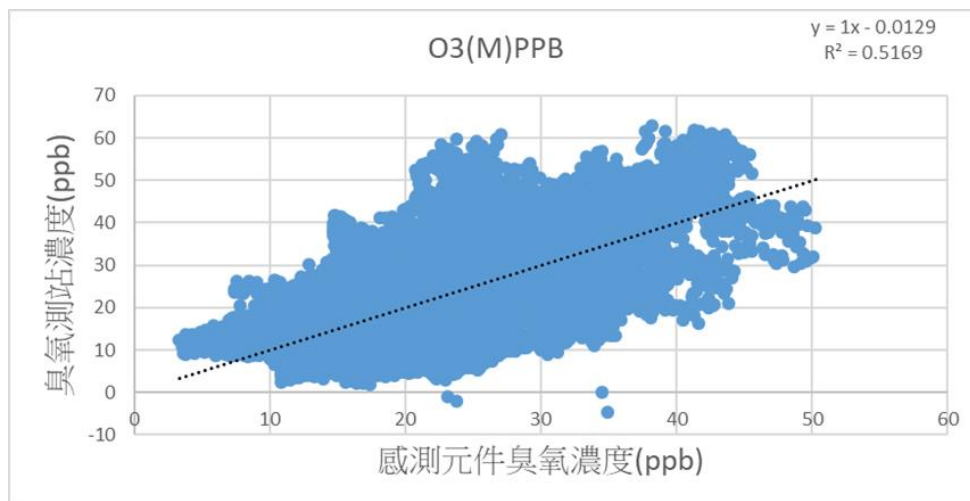


圖 3-53、陽明山測站(7/20~8/16)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

圖 3-54 與圖 3-55 表示陽明山測站場域比對（比對時間 9/7~10/6，共 30 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，陽明山測站場域比對達到  $R^2 > 0.7$ 。



圖 3-54、陽明山測站(9/7~10/6)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對



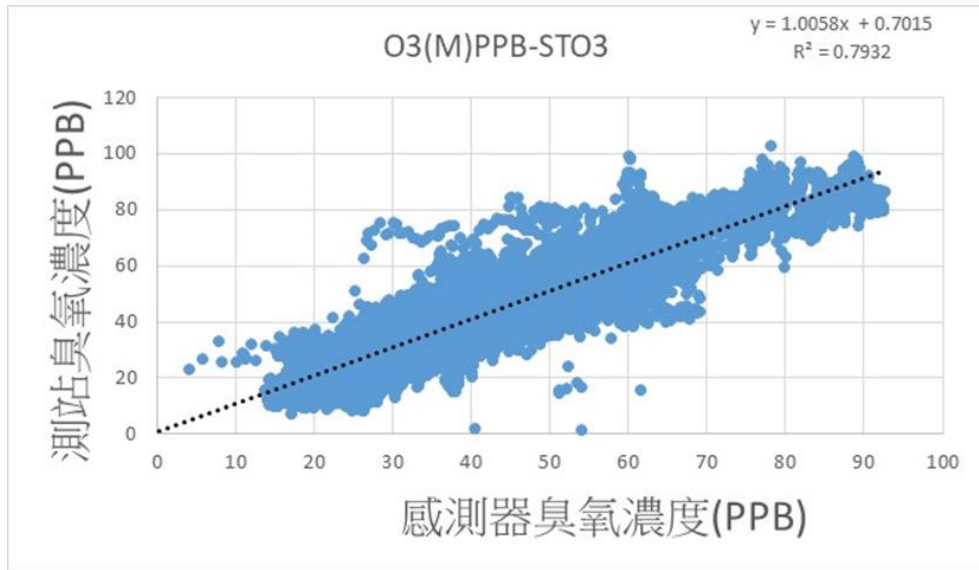


圖 3-55、陽明山測站(9/7~10/6)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

#### 4. 永和測站場域測試

圖 3-56 與圖 3-57 表示永和測站場域比對（比對時間 9/4~9/17，共 14 天）之數據分析，測站 O<sub>3</sub> 平均數值對比 O<sub>3</sub> 布建機模組 O<sub>3</sub> 平均數值相近，陽明山測站場域比對達到  $R^2 > 0.7$ 。



圖 3-56、永和測站(9/4~9/17)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值趨勢比對



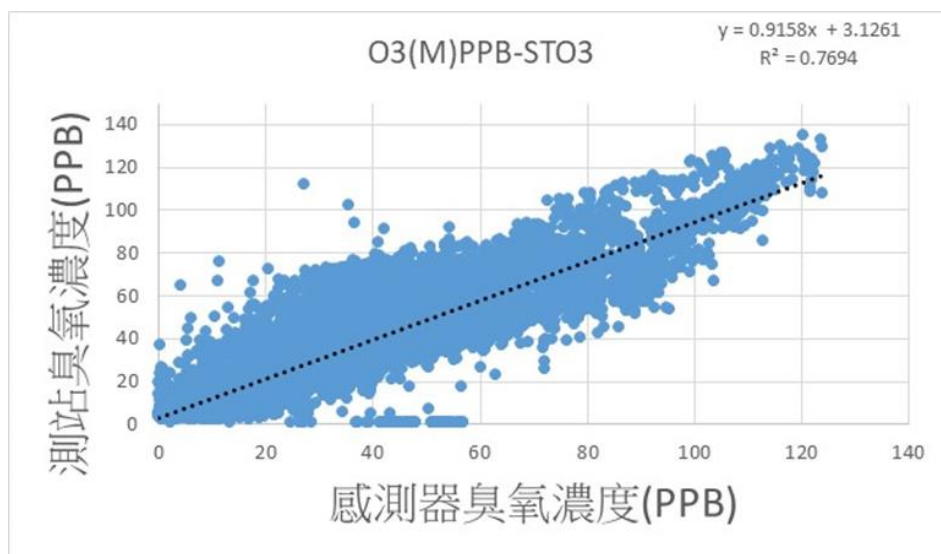


圖 3-57、永和測站(9/4~9/17)之 O<sub>3</sub> 原型機與測站 O<sub>3</sub> 數值線性相關度比對

四個測站之比對  $R^2$  約為 0.5-0.8 間，顯示所開發之感測器深具可行性。如能累積更長時間之數值，依上述之方法及步驟進行 ANN 訓練及演算校正，應可有效提升數據  $R^2$ 。

## (二) 科技廠智慧廠辦無塵室內監測（新增項目）

規劃於科技廠廠辦內無塵室之作業環境做為測試場所，目前先於實驗室架設廠辦環境臭氧驗證系統。如圖 3-58 所示，透過稀釋氣體校正系統產生低濃度之臭氧標準氣體（控制平均 O<sub>3</sub> 濃度 10 ppb）。

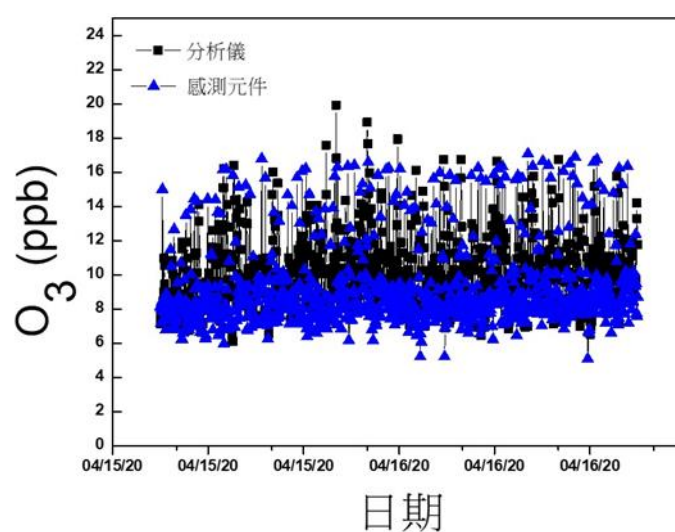


圖 3-58、廠辦環境臭氧驗證系統（控制平均臭氧濃度 10 ppb）

接著利用 O<sub>3</sub> 原型機模組來監測廠辦環境臭氧，如圖 3-59 所示，本計畫利用建立的驗證系統，週期地產生零級空氣與低濃度臭氧(平均 O<sub>3</sub>=10 ppb)，由圖 3-59 可知，國產化 O<sub>3</sub> 原型機模組具有應用於科技廠智慧廠辦無塵室之臭氧監測上使用。

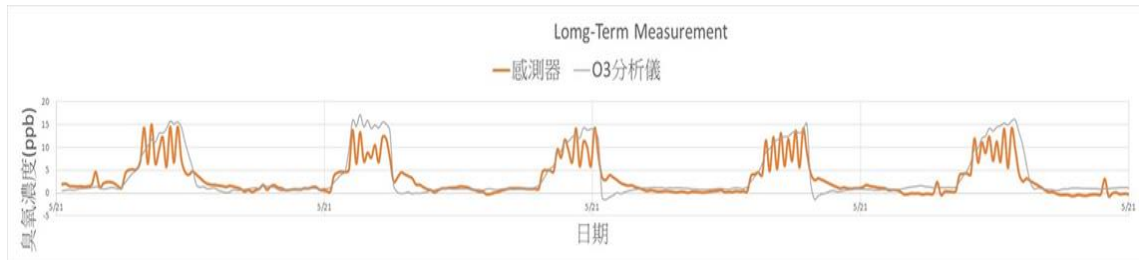


圖 3-59、利用 O<sub>3</sub> 原型機模組來監測低濃度 O<sub>3</sub> 值

目前因新冠肺炎疫情影響與降低工作人員疑慮，不希望長期擺放測試儀器。後續將待疫情趨緩後，再持續實施科技廠內監測。

### (三) 成品機製作及協助廠商申請工業局計畫（含技轉洽談）

成品機模組已於 4-6 月趕工製作。如圖 3-60 與圖 3-61 所示，共完成 30 套 O<sub>3</sub> 原型機模組，每一套模組場域測試前皆於實驗室內進行穩定性測試，分別測試 0、20、50、100、150、200 ppb 等濃度來驗證感測元件之靈敏度與穩定度。

### 感測元件測試(0, 20, 50, 100, 150, 200 ppb)

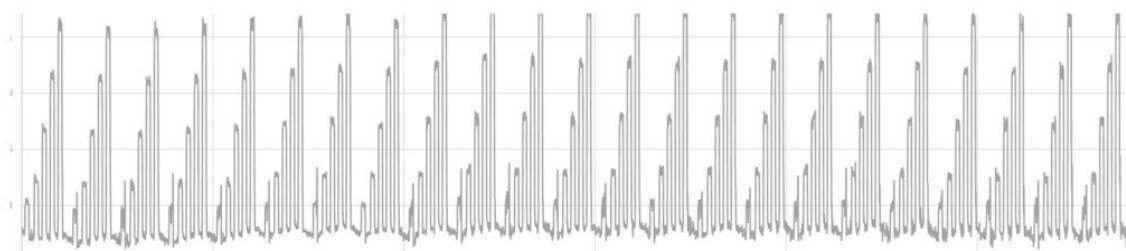


圖 3-60、O<sub>3</sub> 原型機模組場域測試前皆於實驗室內進行穩定性測試



圖 3-61、O<sub>3</sub> 原型機模組共 30 組

目前昱山環境顧問有限公司與工研院合作”高選擇性 O<sub>3</sub> 感測元件與模組開發”簽訂合作意向書，參與工業局產業升級創新平台輔導計畫”新世代空品數據服務與智慧城市治理平台”（創新優化）。

#### （四）專利獲証

本工作項於 109 年 10 月取得中華民國專利證書，證書編號「發明第 I706126 號」，發明名稱「氣體感測裝置及氣體感測系統」，專利權期間「自 2020 年 10 月 1 日至 2039 年 9 月 16 日」。另已申請美國專利「Gas sensing device and gas sensing system」以及中國大陸專利「氣體感測裝置及氣體感測系統」，目前皆在審查（核駁/修正處理）中。

### 3.2.3、結論與建議

#### （一）結論

1. 年度計畫利用前期計畫之數據建立 ANN 演算之基本步驟程序並進行試演算，演算成果  $R^2$  可由 0.5 提升至  $>0.7$ 。
2. 場域比對測試方面，與四個測站平行比對  $R^2$  約 0.5-0.8 間，顯示所開發之感測器深具可行性。如能累積更長時間之數值進行 ANN 訓練及演算校正，應可有效提升數據  $R^2$ 。

#### （二）建議

1. 後續應繼續測試比對以累積更多數據來健全 ANN 學習模式，作為感測器調校之參考與大數據行為的建立。
2. 為能扶持國內業者投入生產營運量產 O<sub>3</sub> 感測模組，需要政府提供各類測

站場域來進行設備數據比對，以確保感測元件數據之準確性，提供高性價比的國產化產品為目標，提升國產元件的市場競爭力。

### 3.3、完成國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件研發

環境物聯網監測布點之感知層無法單靠材料元件技術來滿足實際挑戰，需要搭配驅動電路與演算法整合成模組來提升偵測效能。MOS 感測器具耐候佳體積小與成本低是監測布點主流，然而傳統元件需要高溫工作溫度，在偵測的過程都需要給予 100~350 °C 的工作溫度，面臨設計上解決功耗與封裝問題。加熱型以電阻電熱催化反應，雖然靈敏較高反應快，然而易受還原性氣體干擾（EX: CO、VOCs、H<sub>2</sub>）而電性訊號消失或加大造成誤判在實務環境應用極具挑戰。目前 NO<sub>2</sub> 並沒有直讀儀器，環境檢測儀器是採用 O<sub>3</sub> 與 NO 反應的化學發光法原理，利用轉化器 NO<sub>2</sub>/NO 是產物訊號間接計算；因此，開發能夠大量布建的低成本 NO<sub>2</sub> 感測器有其必要性。本計畫採用 “Low Cost 元件” 整合 MCU 電子模組的數據演算，藉著陶瓷氧化物 NO<sub>2</sub> 感測器整合電路，建立溫濕度差分自動補償機制演算方法來開發產品，以易被環境物聯網系統整合的小型化感測模組開發，設計國內相關業界能夠承接的 QA/QC 生產製造技術，與訊號數據追溯國內測站合理偵測濃度範圍測試比對，做為主要感測產品開發改良精進評估的方式，以提供正確數據資訊的服務顧客為產品目標。

本年度工作目標為 NO<sub>2</sub> 感測模組之精進與量產化技術開發、測試與試量產，並實際應用於國內實地場域，進行演算法訊號修正以提升感測效能，比對測站數值與分析；並業界導入技術合作成品機製作開發。目標為完成量產之國產化 NO<sub>2</sub> 感測元件 40 組以上，並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），累計 6 個月測試期程、6 處測站場域地點；完成業界感測器技術轉移及授權。

#### 3.3.1、NO<sub>2</sub> 感測元件開發執行方法

NO<sub>2</sub> 感測模組之精進，藉著場域測試環境參數擷取分析溫濕度效應，建立人工類神經網路模型管理溫濕度效應與修正，並選址多樣化場域的測試大數據收集分析，導入演算法訊號處理提高穩定性與判別率。硬體調變上因應商品需求在模組硬體縮小整合採樣與機構設計新模組，並以實際場域測試分析結果，演算法以測站數值比對為依據，藉軟體方法對環境因子修正與數值迴歸修正。並擴大國內實地場域測試進行累計 6 個月測試期程、6 處測站場域地點，及驗證成功新型縮小化模組成

品機之小型試量產，並進行業界技轉與授權。相關執行方法流程如下圖 3-62 所示：

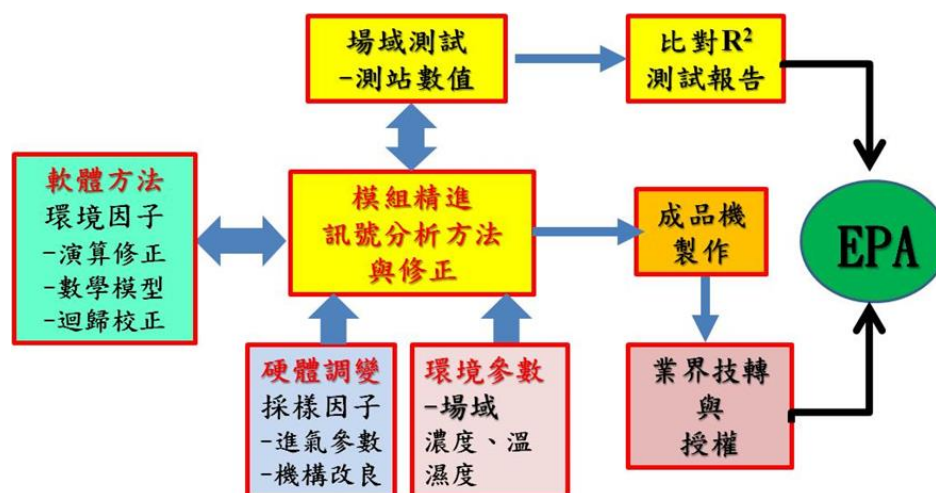


圖 3-62、NO<sub>2</sub> 感測模組之精進與量產化研發之工作執行流程

#### 一、NO<sub>2</sub> 感測模組之精進與演算法修正

量測數據藉由演算法修正與數值迴歸分析，可以得到進步的改善。整體數據是以場域測站數值為比對依據。我們將量測數據加上環境因子藉由數值迴歸分析與 ANN 深度學習，可將修正值趨近於場域測站數值。其中的 ANN 演算是使用 MACSiMUM 機器學習平台。在大數據分析中將參數輸入此平台，微調系統參數與運算機制，就可以運算出趨近於場與測站的數值。MACSiMUM 機器學習平台已建置成網頁化(<https://macsimum.org/index.php>)此平台適用不同聯網大數據分析，包括 ANN 人工智慧 AI 深度學習，與分類、回歸 AI 機器學習。智能化的介面方便使用者快速得到模擬運算結果，環境大數據分析結合機器學習平台操作程序如圖 3-63 所示。



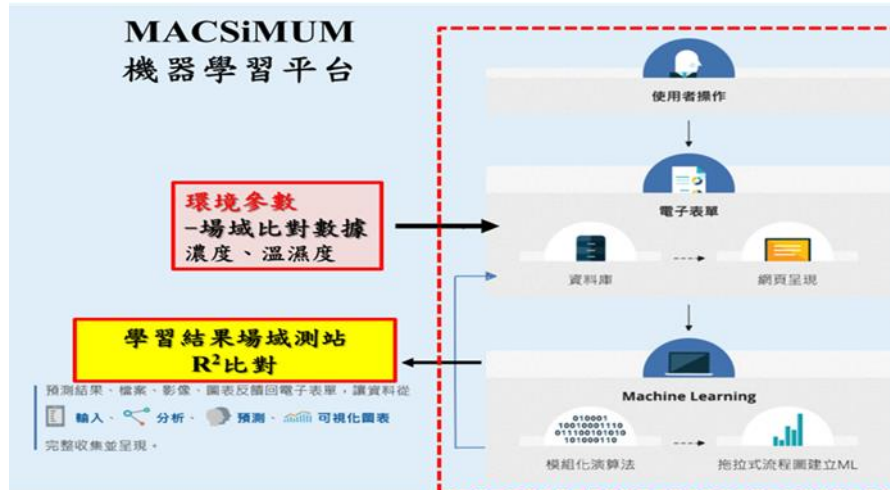


圖 3-63、環境大數據分析結合機器學習平台操作程序

機器學習平台 MACSiMUM 在環境大數據分析，ANN 參數輸入透過機器學習運算的基本說明；在神經網路中，不論是哪种網路，最後都是在找層和層之間的關係（參數，也就是層和層之間的權重），而找參數的過程就稱為學習，所以神經網路的目的就是不斷的更新參數，去最小化損失函數的值，然後找到最佳解。數據分析處理流程分為數階段（如圖 3-64 所示）：

1. 資料前處理挑掉 defect 點，並檢視與目的功效的相關度。
2. 建立 ANN 模型，首先匯入數據與輸入參數設定，然後輸出參數設定，建立 Hidden layers，決定數據該透過幾層的交互運算，會得到良好的與測結果。
3. 演算法與參數設定：深度學習的方法眾多，我們採用隨機梯度下降法 (Stochastic gradient descent) 簡稱 SGD 來預測我們的數值。如圖 3-65 所示，基本模型上圖左 X 軸是  $x_1$ , Y 軸是  $x_2$ , 等高線是  $(x_1, x_2)$  反應出來值的大小，所以越中間  $(x_1, x_2)$  值越小。上圖右就是左圖立體版，X 軸是  $x_1$ , Y 軸是  $x_2$ , Z 模組軸是  $f(x_1, x_2)$ ，下圖為本模組 SGD 運算的數學式方式。以 RMSprop（均方根反向傳播）為優化算法，RMSprop 保持每個權重的平方梯度的移動平均值，將梯度除以平均值的平方根。其他考量 batch size 與 Ratio of training to test data... 等演算法參數可以快速運算得到與測值。
4. 系統會建立預測模型，並做出 Training Loss 和 Testing Loss 分析，基本上模型訓練會依據這兩個指標做修正。

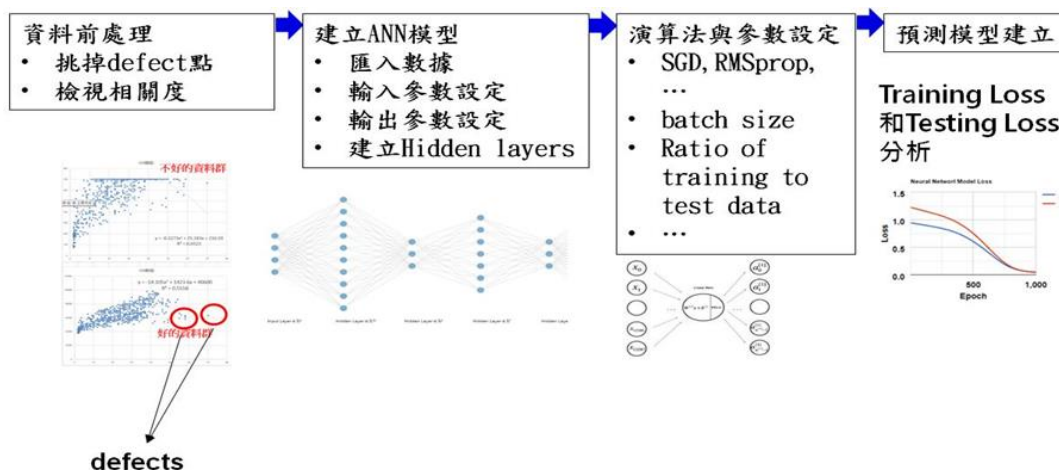


圖 3-64、模組環境大數據分析處理流程

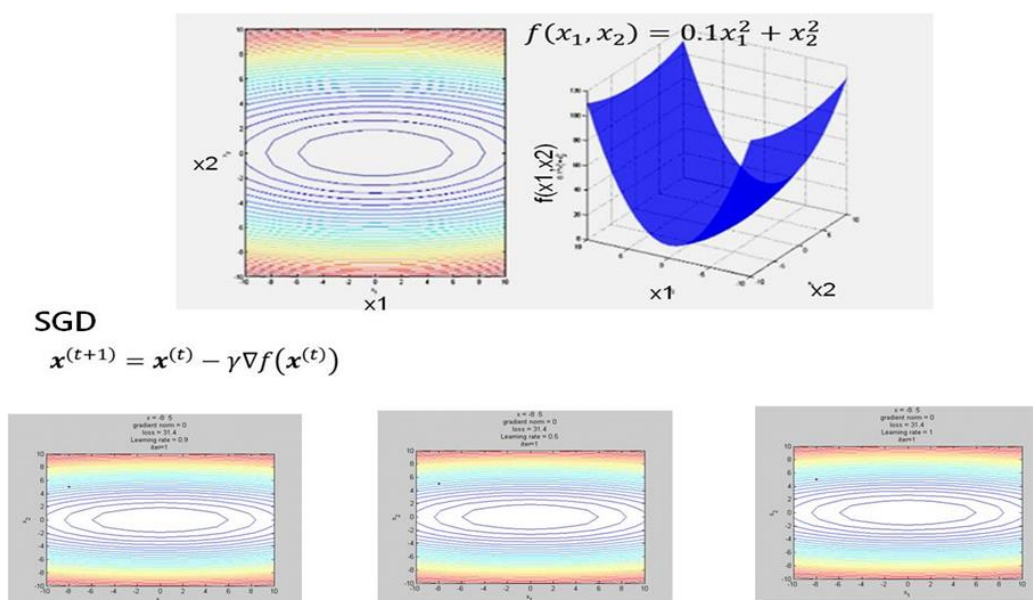


圖 3-65、隨機梯度下降演算法

至於所得到的 loss 值，是用" $1 - |\text{預測值} - \text{實際值}| / \text{實際值}$ " 計算的。

舉例來說：實際值=10，預測值=10.1，準確率=  $1 - (10.1-10)/10 = 0.99 = 99\%$ 以上所使用 AI 平台，修正 NO<sub>2</sub> 數據預測，不外乎是從數據、演算法、到建模與修正方法的基本準則為。基本上對使用方法的判定有以下幾個步驟；  
a.數據特徵擷取-那些數據資料要納入運算，權重比例要提高。  
b.演算法選擇-根據數據分布，用哪一種演算法解析好。  
c.神經元 layer 佈局-前後層神經元運算產生哪些 metadata，如何 join，收斂。  
d.預測模組建立與修正-實地跑資料分析，修正與驗證。



NO<sub>2</sub> 感測模組使用 AI 平台演算優化數據應用，採用溫濕度之修正演算。從氣體感測學理基礎來看訊號代表氣體分子與感測材料之間的反應資訊，反應速率常數  $K$  與  $E_a$  活化能， $T$  溫度與  $R$  氣體常數之方程式代表  $k = A \exp(-E_a/RT)$ ，場域變化相關時間下的感測材料與氣體分子之氧化還原關係  $T$  溫度， $t$  時間；反應速率=訊號變化量/單位時間，反應動力  $F(C,T)$ :  $d[C]/dt = A \cdot e^{(-E_a/RT)} [a_1]^m [a_2]^n$ ，因 NO<sub>2</sub> 本身吸濕有水氣反應；NO<sub>2</sub> 濕度反應  $\rightarrow 3NO_2(g) + H_2O(l) = 2HNO_3(l) + NO(g)$ ，修正  $F'(C,T,RH): d[C]/dt = A e^{(-E_a/RT)} [CNO_2]^m [RH]^n + \text{常數}$ 。NO<sub>2</sub> 感測模組演算修正方法流程如圖 3-66 所示，數據分析處理流程分為以下階段：

- (1) 環境感測模組 NO<sub>2</sub> 反應之訊號電壓值的原始數據收集紀錄
- (2) Domain transfer 成 NO<sub>2</sub> 濃度值
- (3) NO<sub>2</sub> 濃度第一階溫濕度修正
- (4) AI 修正 NO<sub>2</sub> 濃度近似於測站。

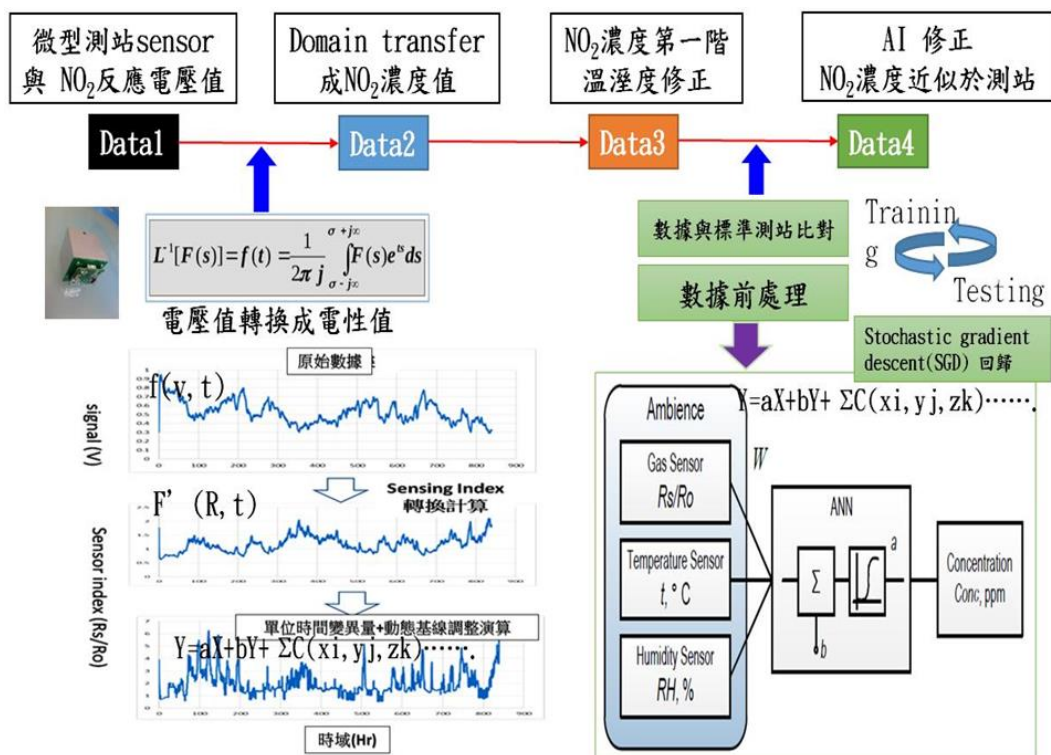


圖 3-66、NO<sub>2</sub> 感測模組演算修正方法流程

## 二、NO<sub>2</sub> 感測模組機測站比對，擴大場域測試及小型試量產

NO<sub>2</sub> 空氣品質感測器原型機之測站比對測試，國產化 NO<sub>2</sub> 感測器原型機測試

選用 6 處測站場域地點，累計 6 個月測試期程。各處均以 3 組以上原型機來進行測試，並將模組與業者之商用空品感測載具架設場域測試對照附近環保測站儀器級的 NO<sub>2</sub> 數值。實際應用於國內實地場域，部份測試地點為空氣品質監測站，依據各測站污染屬性選擇三種測站進行比對，包括高濃度測站（工業或交通測站）、中濃度測站（一般測站）及低濃度測站（背景測站），濃度等級分類亦如表 3-6、NO<sub>2</sub> 測試之濃度級距所示。此外，部份測試地點亦配合環保署規劃，於工業區內或市區交通要道旁進行布點驗證測試。將參考儀器所量測之濃度與原型機所量測到之訊號值進行統計分析，並計算其相關係數 R<sup>2</sup> 值。業界技術合作成品機製作開發過程測試進行期間，將不斷的進行模組參數微調修正演算，以使模組訊號優化，場域比對測試，則將同時進行模組原型機之小型試量產，預計產生 40 組或以上之原型機。

表 3-6、NO<sub>2</sub> 測試之濃度級距

NO <sub>2</sub> 污染物種等級	低	中	高	非常高
ppb	20±5	50±10	150±30	300±60

模組數據擷取與場域測試說明：NO<sub>2</sub> 原型機之氣體模組之感測模組調校測試平台如圖 3-67 所示，其電路架構硬體(a)零組件連接電路架構與(b)模組機構如圖 3-68 所示。測試實驗參考以商用校驗之 Drager LC:EC meter NO<sub>2</sub> 顯示濃度為參考依據。以一密閉測試箱內置商用校驗偵測器 Drager LC:EC meter NO<sub>2</sub>，控制測試箱內 NO<sub>2</sub> 濃度，進行原型機訊號數據電子化儲存硬碟管理與分析計算。並將原型機結合商用感測載具架設測試場域（監測站），模組數據以 URAT 格式藉由場域數據紀錄功能之感測模組整合產品，比對同時段環保署監測站的 NO<sub>2</sub> 數值。

因應 NO<sub>2</sub> 感測模組國內實地場域實施需要半年長期測試與多處測站場域地點，為了達到數據簡便取得方式與避免遠端模組數據紀錄在商用空氣偵測載具用 SIMS 3G 通訊傳輸方式架接通訊系統的困難度與複雜性。採用簡易分離式模組與 micro-SD 數據紀錄儲存單元設計，模組硬體調變採樣因子的進氣參數與機構改良，模組電路整合採樣機構外觀設計如下圖 3-69 所示，利用可分離式的微電腦轉板上 micro-SD 數據紀錄儲存單元，將偵測數據以連續定時將數位格式文字檔儲存，其設計外觀說明如下圖 3-70 所示。

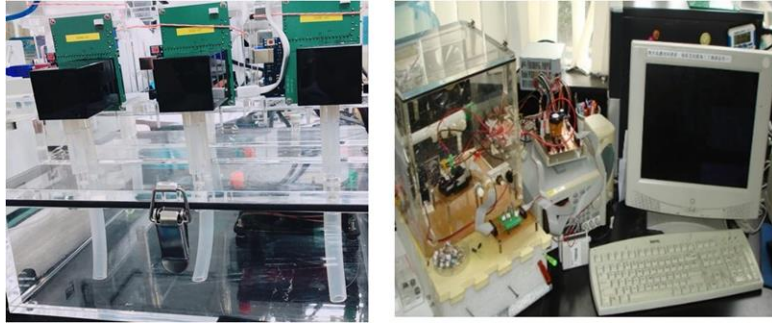


圖 3-67、NO<sub>2</sub> 氣體感測元件/模組測試評估平台

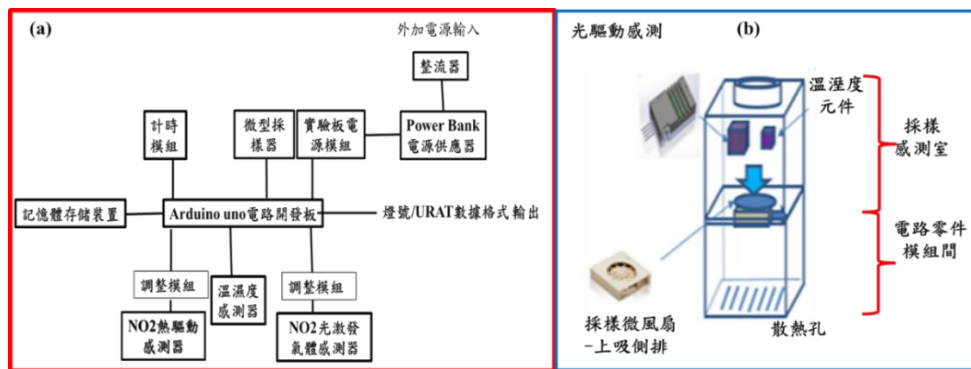


圖 3-68、NO<sub>2</sub> 感測物聯網原型機硬體 (a)零組件連接電路架構與 (b)模組機構示意

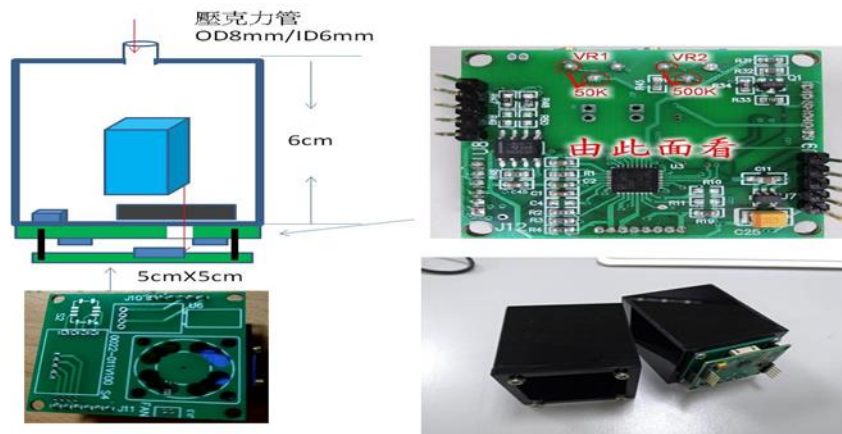


圖 3-69、NO<sub>2</sub> 氣體感測模組電路整合採樣機構外觀

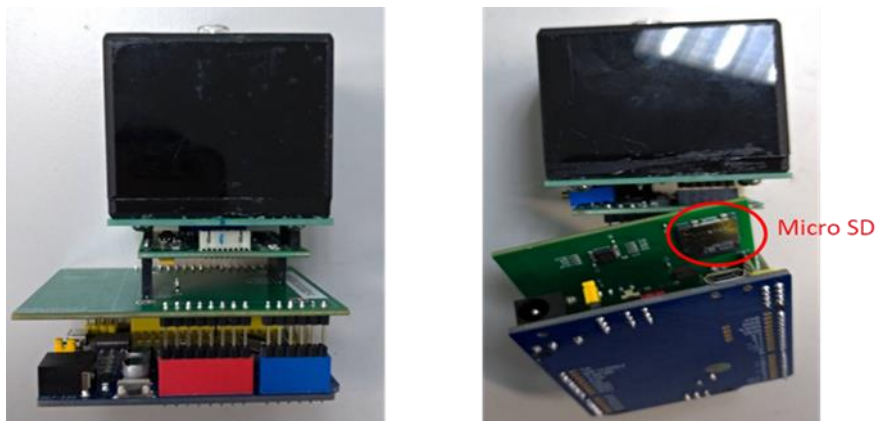


圖 3-70、分離式模組與 micro-SD 數據紀錄儲存單元設計

NO<sub>2</sub> 感測模組在測試進行期間，將不斷的進行元件設計及參數微調以更提升場域儀器比對的一致性，精進與演算法修正，同時進行模組原型機之小型試量產，產生 40 組或以上之原型機。並經實際應用於國內實地場域（涵蓋國內低中高污染環境），累計 6 個月測試期程、6 處測站場域地點，並結果出具測試報告；完成感測器技術轉移及授權，以落實國產化之空氣品質感測元件模組技術於國內相關產業。

### 3.3.2、NO<sub>2</sub> 執行成果

#### 一、論文投稿與發表

1. 2020 環工年會，論文編號：AIR1090026 論文題目：環境偵測之 NO<sub>2</sub> 感測模組開發與其場域測試應用（已通過審查）
2. A Novel portable NO<sub>2</sub> gas-sensing system and its Air Quality Monitoring Application in the field. 期刊 Metrology and Measurement Systems (IF= 1. 096), 投稿編號：MMS-01091-2020-01 (8/28)

#### 二、專利獲證

本工作項於 107 年 12 月取得中華民國專利證書，證書編號「發明第 I642924 號」，發明名稱「氧化性氣體濃度檢測方法及其裝置」，專利權期間「自 2018 年 12 月 1 日至 2037 年 12 月 26 日」。另於 2020 年 9 月取得美國專利證書，證書編號「US 10,768,135 B2」，專利名稱「Oxidizing gas detection method and apparatus thereof」。另已申請中國大陸專利「氧化性氣體濃度檢測方法及其裝置」，目前皆在審查（核駁/修正處理）中。

#### 三、業界合作量產：模組小型試量產共完成 40 組原型機

四、NO<sub>2</sub> 感測元件溫濕度補償及 ANN 演算技術：利用前期計畫之數據建立 ANN

演算之基本步驟程序並進行試演算，初步演算成果  $R^2$  可由 0.5 提升至 0.7155。

五、場域比對測試：累計 6 個月測試期程、6 處測站場域地點。

### 3.3.2.1、NO<sub>2</sub> 感測模組之精進與演算法修正

一、NO<sub>2</sub> 感測模組演算法 ANN 場域參數修正

(一) 歷史數據 108 年 8 月份三重測站場域數據 ANN 修正

建立 ANN 演算法在 ANN model 下配合 SGD,RMSprop 機制快速運算，藉軟體方法對環境因子修正與數值迴歸修正，採用歷史數據以 108 年 8 月份三重測站編號模組數據(2019/7/16 AM11:00-2019/8/1 PM18:00)，以環境溫濕度與濃度，進行模組之場域測站數值為修正比對依據，藉機器學習平台 MACSiMUM 在環境大數據分析 ANN 參數輸入透過機器學習運算模擬運算結果：ANN 模型建立過程-訓練與試驗如圖 3-71 所示，當訓練數據達 500 筆以上時之誤差收斂降到 0.25，溫濕補償校正數據迴歸分析比對如圖 3-72 所示，修正前  $R^2=0.7936$ ；修正後  $R^2=0.9201$ ，比對原始數據、溫濕修正數值與測站值有顯著改善，分析以濃度,濕度,溫度三者訓練修正前後偏差率比對，顯著影響範圍之觀察如圖 3-73 所示。

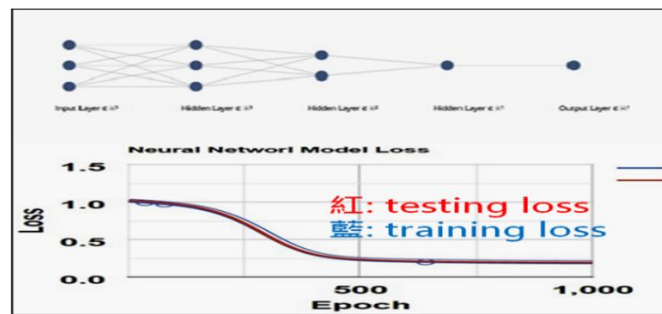


圖 3-71、ANN 模型建立過程-訓練與試驗數據過程

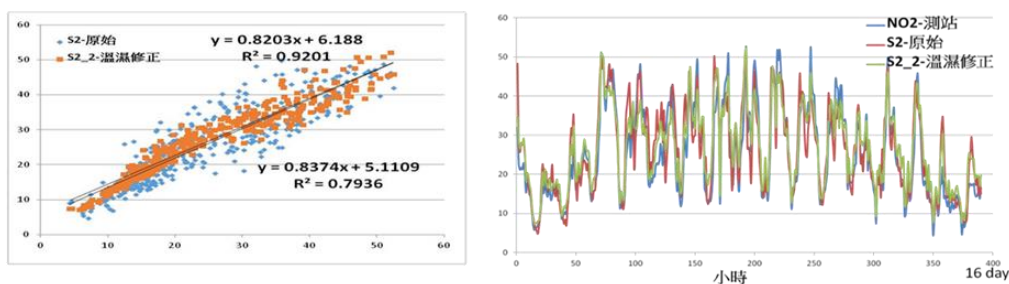


圖 3-72、溫濕補償校正數據迴歸分析比對



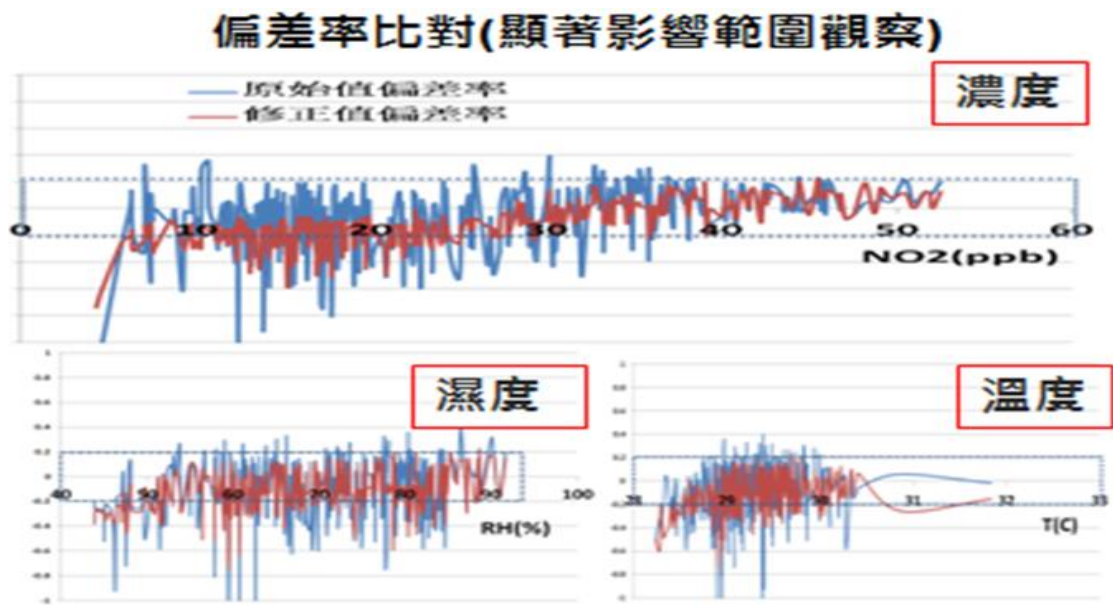


圖 3-73、濃度、濕度、溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍

因此，歷史數據以 108 年 8 月份三重測站案例 NO<sub>2</sub> 模組，藉由環境大數據的 MACSiMUM 的 ANN 演算分析結果：

- 1.當環測 NO<sub>2</sub> 濃度>35 ppb 範圍結果（修正不顯著）。
- 2.當環測 NO<sub>2</sub> 濃度<30 ppb 範圍,修正運算有顯著效果。
- 3.ANN 溫濕度修正可將  $R^2$  提昇從原來 0.79 到 0.92。

#### (二) 汐止測站 1.5 月場域數據之 ANN 溫濕度演算修正比較

採用汐止測站 2020/7/17 AM10:30 -2020/9/3 AM 11:00 (48 days)分析，修正前  $R^2=0.6622$ ，修正後  $R^2=0.7609$ ，如圖 3-74 所示，偏差率（ANN 修正-測站值）/測站值與濃度溫濕度分布之趨勢，比對原始數據、溫濕修正數值與測站值有顯著改善，分析以濃度、濕度、溫度三者訓練修正前後偏差率比對，顯著影響範圍之觀察如圖 3-75 所示，< 5 ppb 之低濃度顯示越低濃度超出感測器偵測下限太大偏差越大。

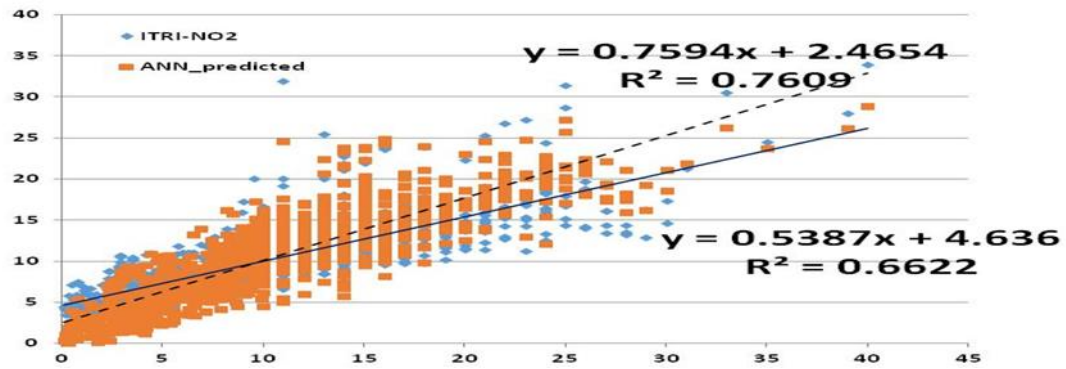


圖 3-74、汐止測站 1.5 月場域數據之 ANN 溫濕度演算修正比較

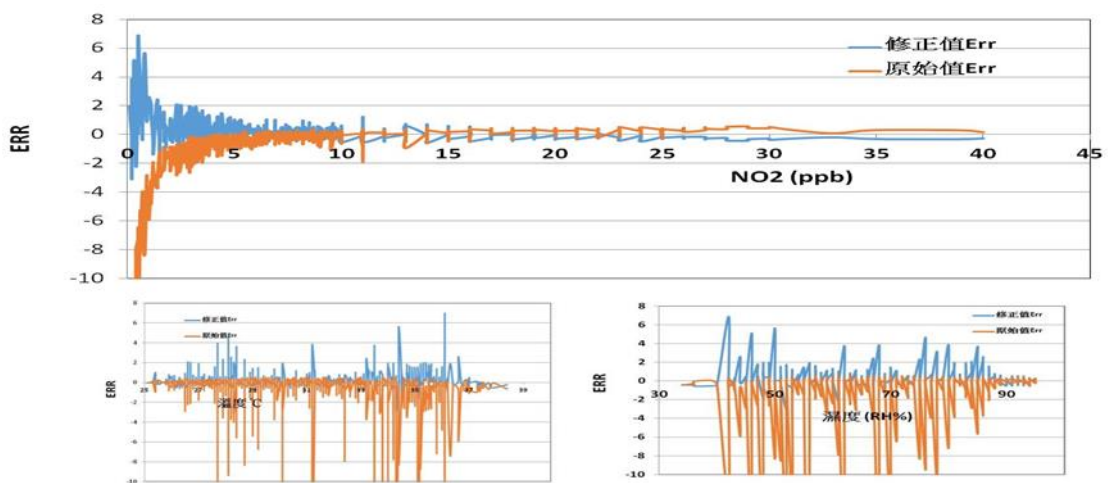


圖 3-75、汐止測站濃度,濕度,溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍

### (三) 萬華測站 3 個月與場域數據之演算修正

採用萬華測站 2020/6/12 10:00 AM-2020/9/3 2:00 PM (83 days) 分析，修正前  $R^2=0.5508$ ，修正後  $R^2=0.5808$ ，如圖 3-76 所示，偏差率 (ANN 修正-測站值) / 測站值與濃度溫濕度分布之趨勢，比對原始數據、溫濕修正數值與測站值有顯著改善，分析以濃度、濕度、溫度三者訓練修正前後偏差率比對，顯著影響範圍之觀察如圖 3-77 所示， $< 10$  ppb 之低濃度顯示越低濃度超出感測器偵測下限太大偏差越大。



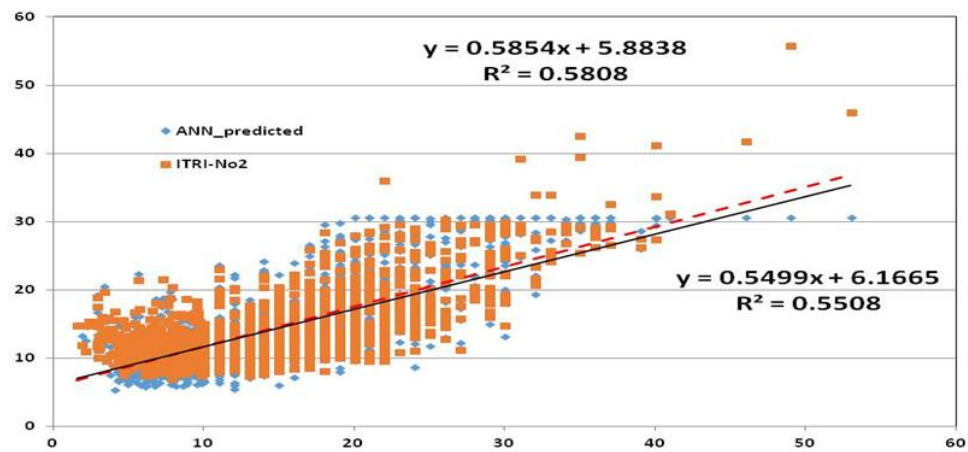


圖 3-76、萬華測站 3 個月場域數據之 ANN 溫濕度演算修正比較

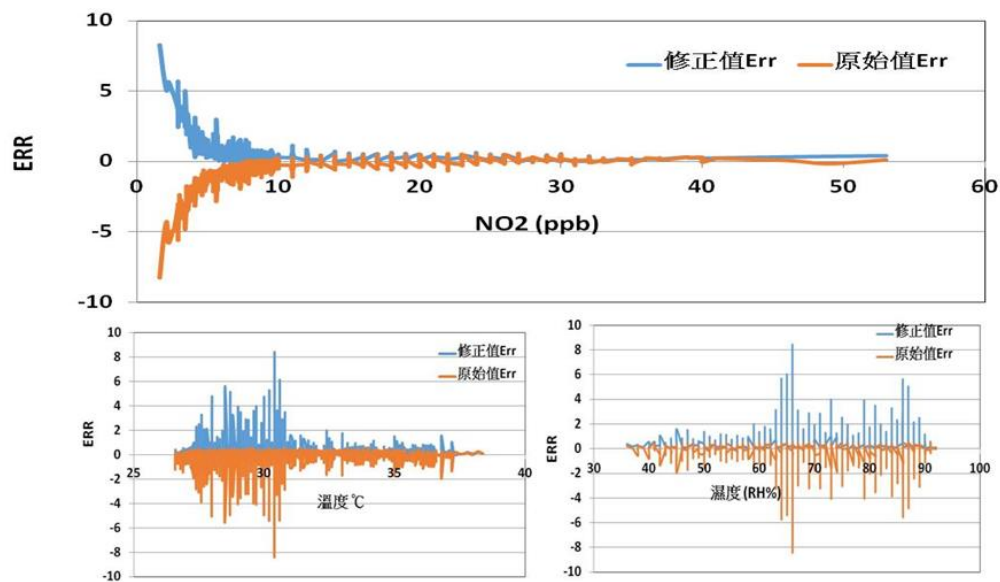


圖 3-77、萬華測站濃度,濕度,溫度修正前後偏差率比對顯著影響範圍

#### (四) 分析汐止測站 1.5 月與萬華測站 3 個月場域數據 ANN 溫濕度演算修正比較

汐止測站 2020/7/17 AM10:30 -2020/9/3 AM 11:00 (48 days)分析，修正前  $R^2=0.6622$ ，修正後  $R^2=0.7609$ ，標準測站與模組濃度發生狀況分布類似如圖 3-78 所示，濃度數據筆數相近，ANN 修正比較有效果。

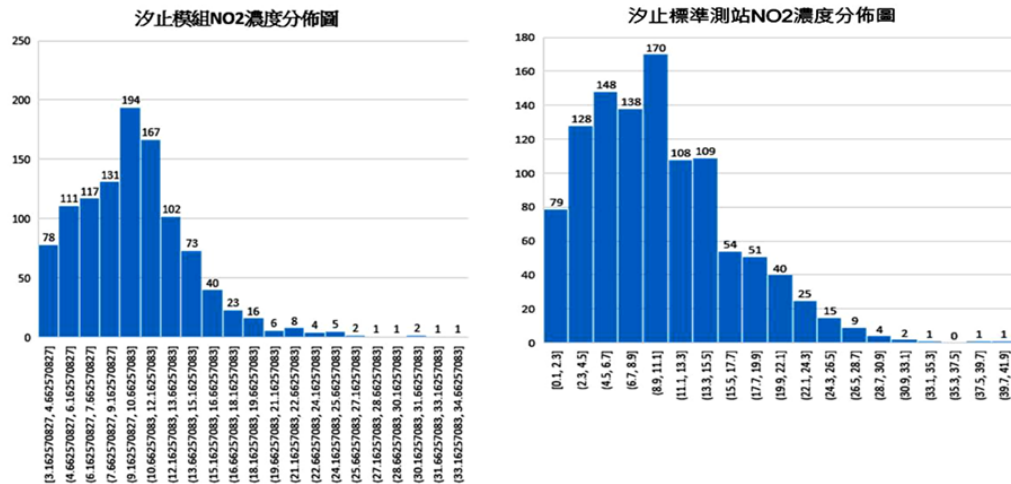


圖 3-78、汐止標準測站與模組濃度發生狀況分布類似

萬華測站 2020/6/12 10:00 AM-2020/9/3 2:00 PM (83days 分析，修正前  $R^2=0.5508$ ，修正後  $R^2=0.5808$ ，萬華標準測站與模組濃度發生狀況分布差異大如圖 3-79 所示，萬華測站 ANN 無法有效修正的原因：

1. 模組  $\text{NO}_2 < 7.6 \text{ ppb}$ ，筆數為 8 筆，占 0.4 %
2. 標準測站  $\text{NO}_2 < 7.6 \text{ ppb}$ ，筆數為 355 筆 (32+99+224)，占 18%
3. 結論：低濃度樣本數太少，ANN 無法有效修正

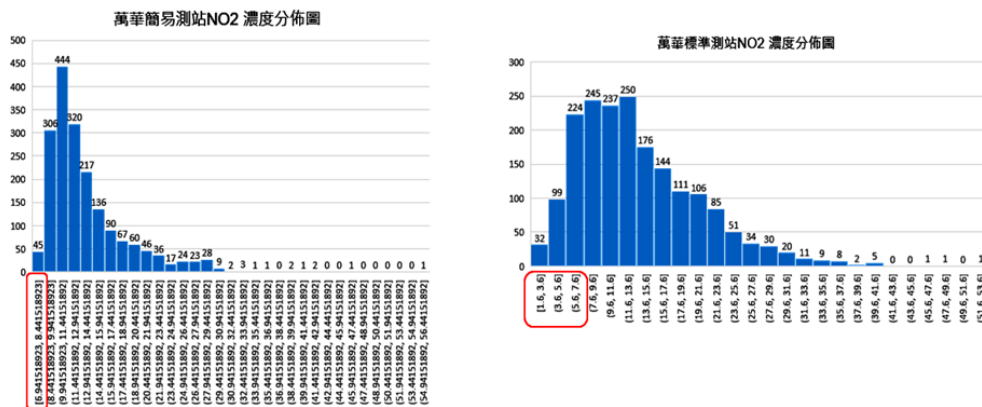


圖 3-79、萬華標準測站與模組濃度發生狀況分布差異大

## 二、 $\text{NO}_2$ 感測模組之精進設計與場域測試

因應業者期望模組體積縮小化以利整合，藉機構設計以 3D 列印製作樣品以工研院材化所自行開發 UV 光固化材料投影繪製圖層(DLP, Digital light processing)完成雛型模組，硬體調變上因應商品需求在模組硬體縮小整合採樣與機構設計新

模組，替代前期 FY108 的玻璃採樣防塵管設計，體積尺寸縮小近 1/2，外觀對照如圖 3-80 所示。

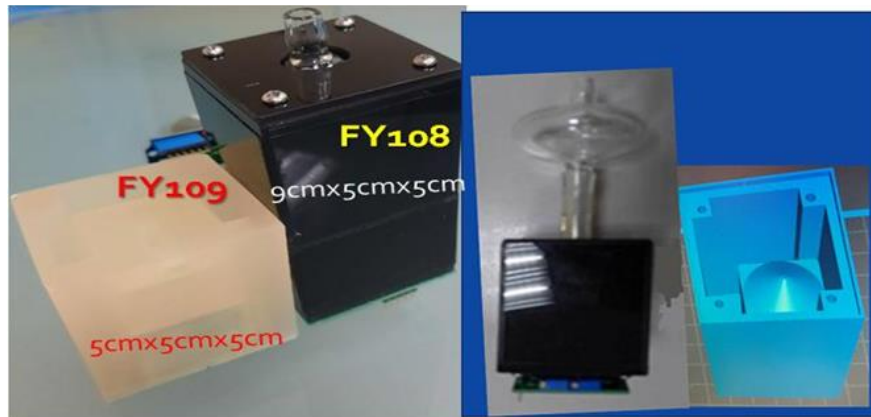


圖 3-80、模組硬體縮小整合採樣與封裝機構設計

3D 列印改良模組在汐止場域進行測試近 2 週時間(5/18 PM16:00-5/29 PM15:00)實際場域測試分析結果如圖 3-81 所示，演算測站數值比對依據，以不同解析度計算  $R^2$  如圖 3-82 所示，分別為 5min 平均  $R^2=0.5579$ ；15min 平均  $R^2=0.6282$ ；30min 平均  $R^2=0.6506$ ；60min 平均  $R^2=0.6577$ ，結果良好頗具可行性。

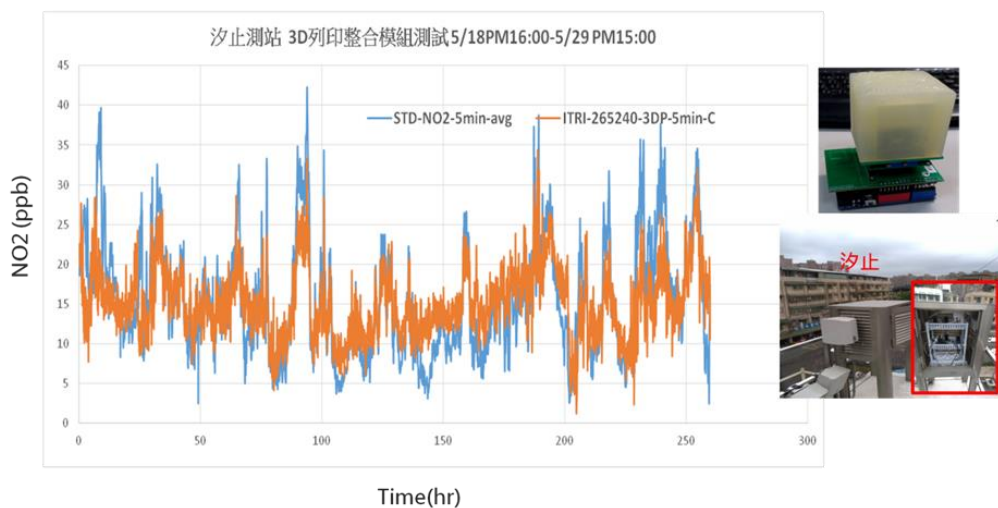


圖 3-81、3D 列印製作縮小整合採樣與封裝設計模組之場域測試

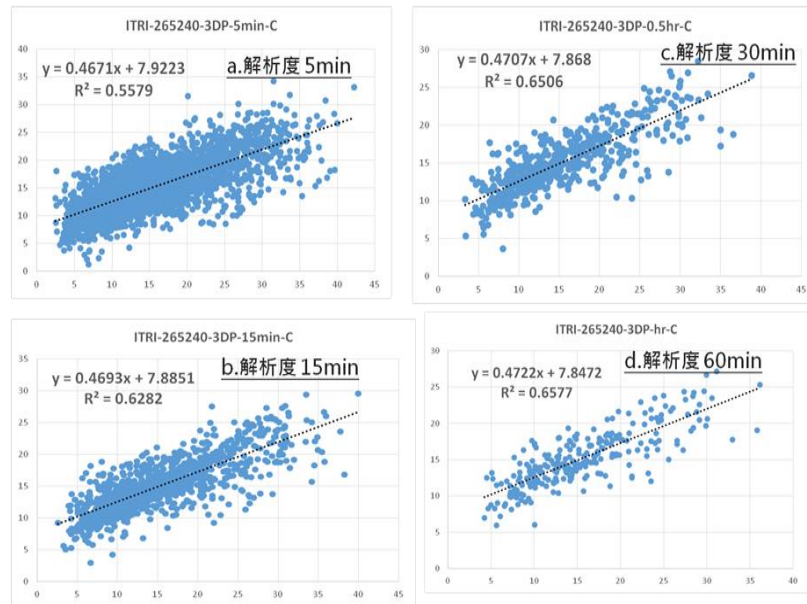


圖 3-82、3D 列印改良模組汐止測站場域  $R^2$  不同解析度比較  
(a)5min、(b) 15min、(c)30min、(d)60min

### 三、NO<sub>2</sub> 感測模組之業界合作量產與產品化

本計畫與則葳實業有限公司之業界技術合作模組精進開發，規畫合乎環保空品低濃度 ppb 級偵測之高穩定性 NO<sub>2</sub> 感測元件與模組製作共分為①-⑤主要項目道流程如圖 3-83 所示，從核心材料與元件製程到元件封測，模組化軟硬整合，模組機構共整合，導入產品工程化的改良提升利於生產管理，QA/QC 生產製造技術，與訊號數據追溯國內測站合理偵測濃度範圍測試比對，開發具環境空品偵測 NO<sub>2</sub> 與溫濕度功能之模組設計，與感測模組訊號輸出電路功整合偵測機構產品技術。

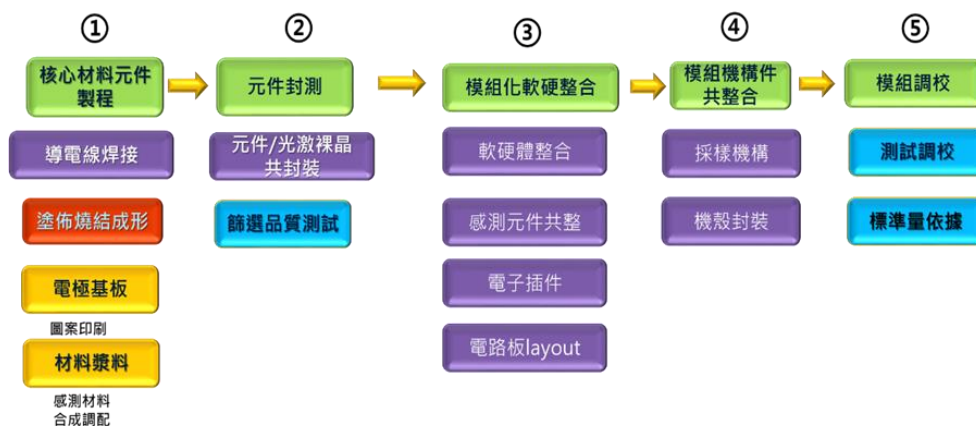


圖 3-83、感測元件模組量產製作共包括①-⑤道流程

設計驅動演算與通訊格式共整合雙介面模組。為了服務感測器系統整合業者

讓使用上更具方便高相容性，感測模組設計本身驅動演算與通訊格式共整合雙介面，RS-485(MODBUS)與 RS-232，可連結電腦設定模組參數與架設商用感測器，功能架構如圖 3-84 所示。這樣在模組比對儀器校正的參數易於燒錄設定，而且在感測端先行前處理運算原始數據，成為數位化的 NO<sub>2</sub> 感測指標，降低無線通訊傳輸的數據量負載與資訊遺失的風險，並利於場域測試之大數據學習過程的數值修正。完成具共整合雙介面模組外觀如圖 3-85 左 2 組與圖 3-85 右為分離式模組與 micro-SD 數據紀錄儲存。過程測試進行期間，將不斷的進行模組參數微調修正演算，以使模組訊號優化，場域比對測試，進行模組原型機之小型試量產，共完成 40 組原型機如圖 3-86 所示，國際同級 MOS 原理的 NO<sub>2</sub> 模組比較如表 3-7，適用在臺灣戶外 NO<sub>2</sub> 濃度之規格偵測極限為 < 30 ppb，Air Quality Egg 場域測試  $R^2 < 0.4$ ，檢測範圍不足需求。Unitec sens-it 模組產品場域  $R^2$  達到 0.6-0.65，，然而 2200 USD 的定價難以被廣泛採用在布建物聯網感知端。需要國產化高性價比產品。

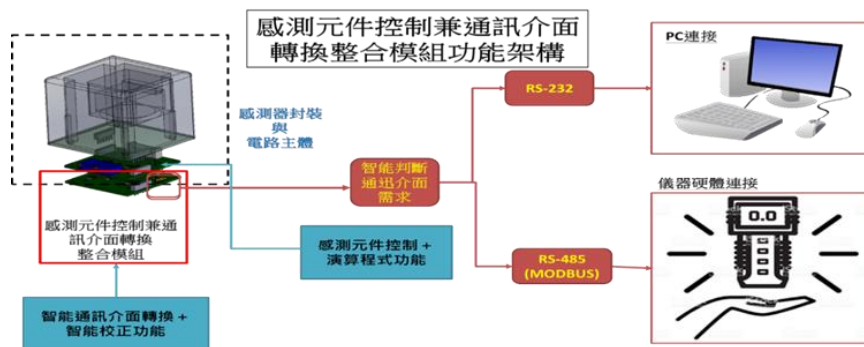


圖 3-84、驅動演算與通訊格式共整合雙介面架構功能示意



圖 3-85、共整合雙介面模組（左 2 組）與分離式 micro-SD（右 1 組）紀錄儲存

模組外觀



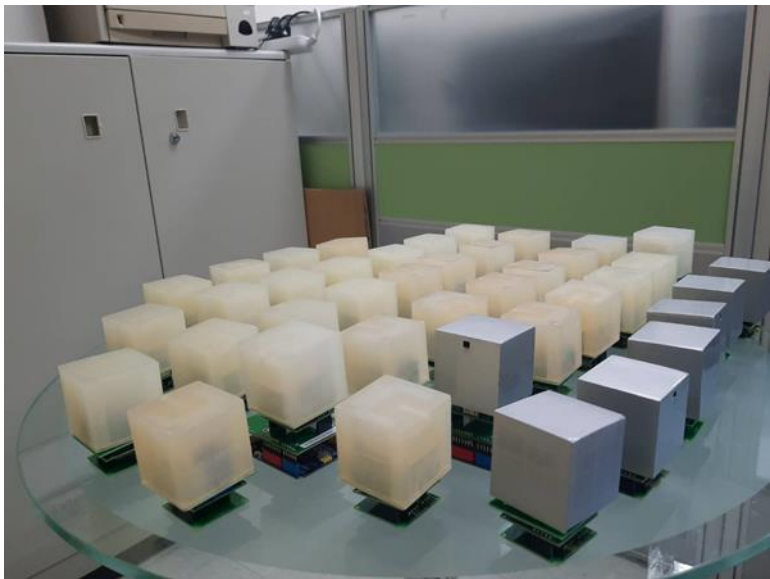


圖 3-86、模組小型試量產共完成 40 組原型機

表 3-7、NO<sub>2</sub> 感測器同級產品比較

NO<sub>2</sub> 感測器同級產品比較

NO <sub>2</sub> 感測 模組與元 件外觀	 	 	 	 
檢測原理	MOS 半導體性電阻變化			
品牌型號 模組/元件	SENS-IT /SENS-IT	Air Quality Egg /SGX MiCs2714	NTHU-MSE /NTHU-MSE	ITRI-MCL /ITRI-MCL
驅動方式	heating	heating	UV&heating	UV
檢測範圍 (ppb)	0-500	50 ~ 5000	5-1000	5~1000
感測誤差			±25%@ <100ppb ±15%@ >100ppb	±15%@ <100ppb ±10%@ >100ppb
場域測試 相關度 R <sup>2</sup>	0.6-0.65	0.34-0.40	<0.5	0.5-0.8

資料來源：AQ-SPEC (<http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-gas>)與國研院 AQI 氣體與智慧機械感測器期中成果發表會(20200630)

### 3.3.2.2、NO<sub>2</sub> 感測模組測站比對場域測試

測試 6 處測站場域涵蓋國內低中高污染環境，選擇士林、萬華、古亭、板橋、汐止與三重測站，測試比對結果如下；

- 一、士林測站場域測試（期間 2020/4/29 PM12:00-2020/6/12 PM13:00）選取三週時間分析，二模組 SL1 與 SL2 對照測站數據，以每筆數據 15 min 採樣解析度如下圖 3-87 所示，場域 R<sup>2</sup> 以 15 min 與 60 min 不同解析度比較如圖 3-88 所示，分別為 15 min 平均 R<sup>2</sup> = 0.59 @SL1、0.64 @SL2；60 min 平均 R<sup>2</sup> = 0.619@SL1、0.669@SL2。

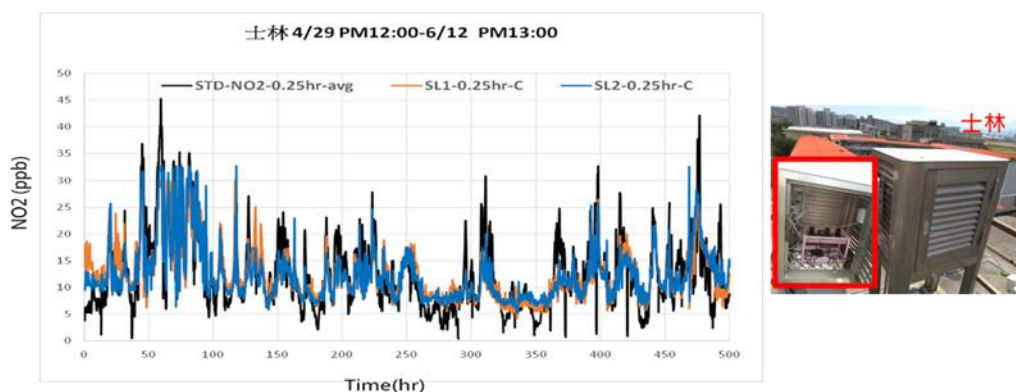


圖 3-87、士林測站場域三週測試

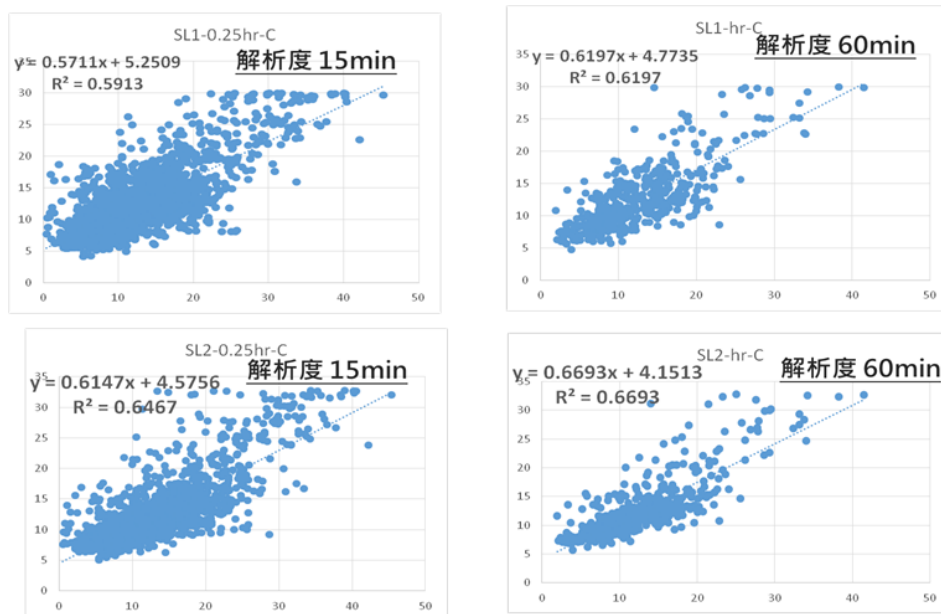


圖 3-88、士林測站場域 R<sup>2</sup> 以 15min 與 60min 不同解析度比較



二、萬華測站場域測試（期間 2020/5/19 PM14:00-2020/6/12 AM10:00），選取三週時間分析，三模組 S5、S21 與 St5 對照測站數據，以每筆數據 15 min 採樣解析度如下圖 3-89 所示，場域  $R^2$  以 15 min 與 60 min 不同解析度比較如圖 3-90 所示，分別為 15 min 平均  $R^2=0.81 @S5$ 、 $0.51 @S21$ 、 $0.56 @St5$ ；60 min 平均  $R^2=0.84 @S5$ 、 $0.58 @S21$ 、 $0.61 @St5$ 。

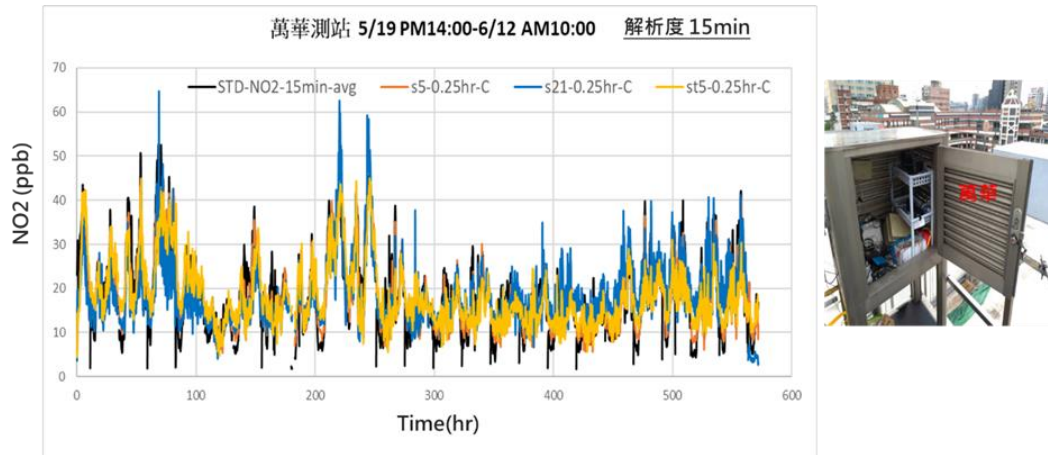


圖 3-89、萬華測站場域三週測試比對結果

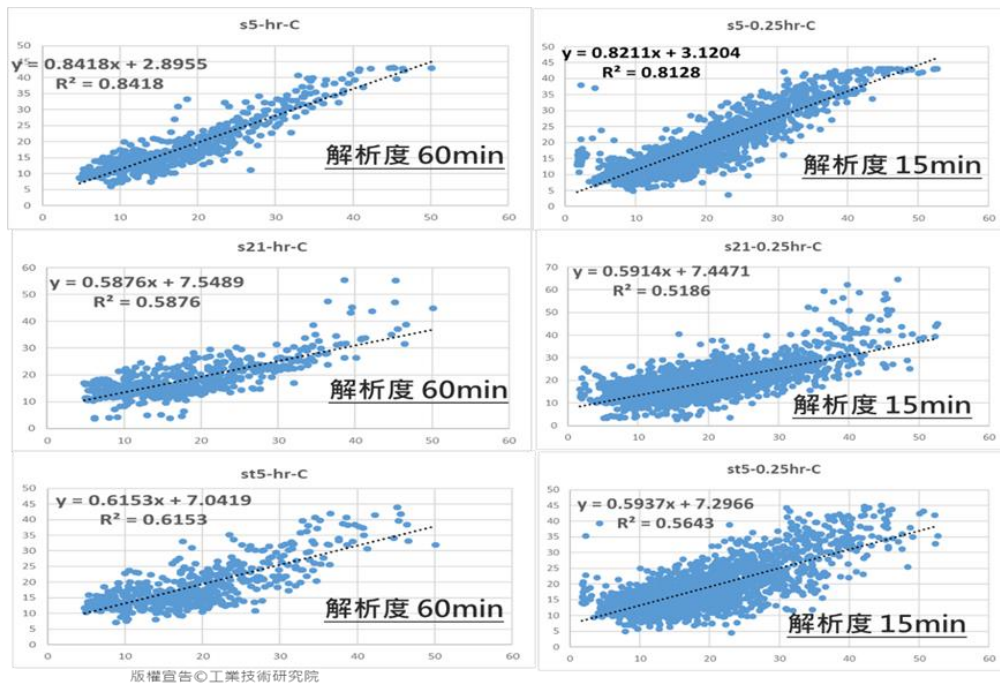


圖 3-90、萬華測站場域  $R^2$  以 15 min 與 60 min 不同解析度比較

三、古亭測站場域測試（期間 2020/5/19 AM11:00-2020/6/12 AM11:00），選取三週時間分析，二模組 S7 與 St7 對照測站數據，以每筆數據 15 min 採樣解析度如下圖 3-91 所示，場域  $R^2$  以 15 min 與 60 min 不同解析度比較如圖 3-92 所示，分別為 15 min 平均  $R^2=0.58 @St7$ 、 $0.63 @S7$ ；60 min 平均  $R^2=0.69 @St7$ 、 $0.62 @S7$ 。

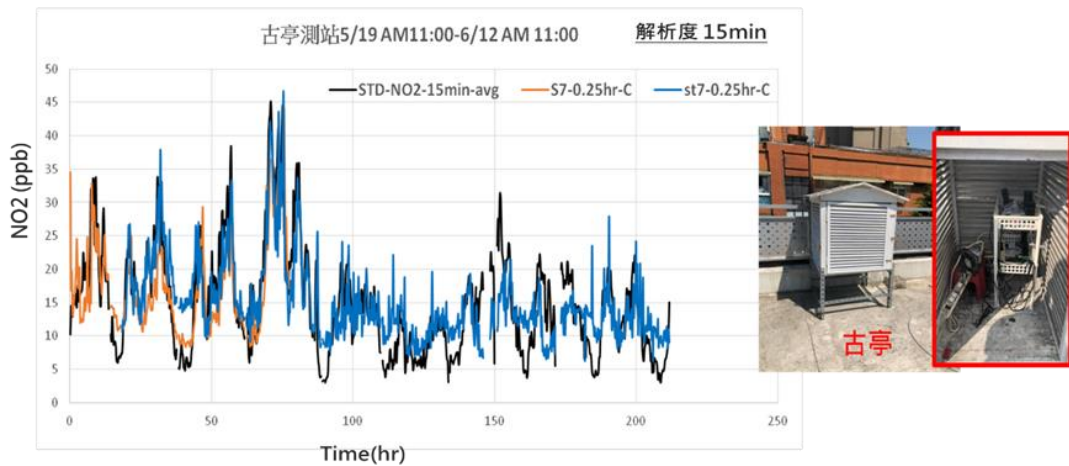


圖 3-91、古亭測站場域三週測試比對結果

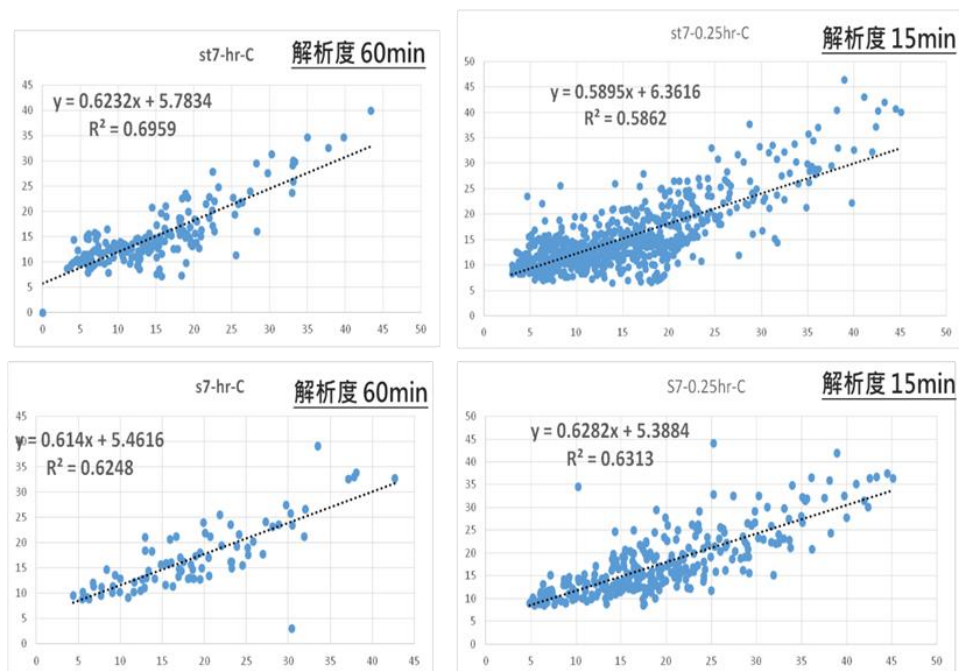


圖 3-92、古亭測站場域  $R^2$  以 15 min 與 60 min 不同解析度比較

四、板橋測站場域測試（期間 2020/5/20 AM8:00-2020/6/19PM15:00），選取近 1 個月時間分析，二模組 S11 與 S9 對照測站數據，以每筆數據 60 min 採樣解析度如下圖 3-93 所示，場域  $R^2$  以 60 min 解析度比較如圖 3-94 所示，分別為 60min 平均  $R^2 = 0.83@S11$ 、 $0.59@S9$ 。

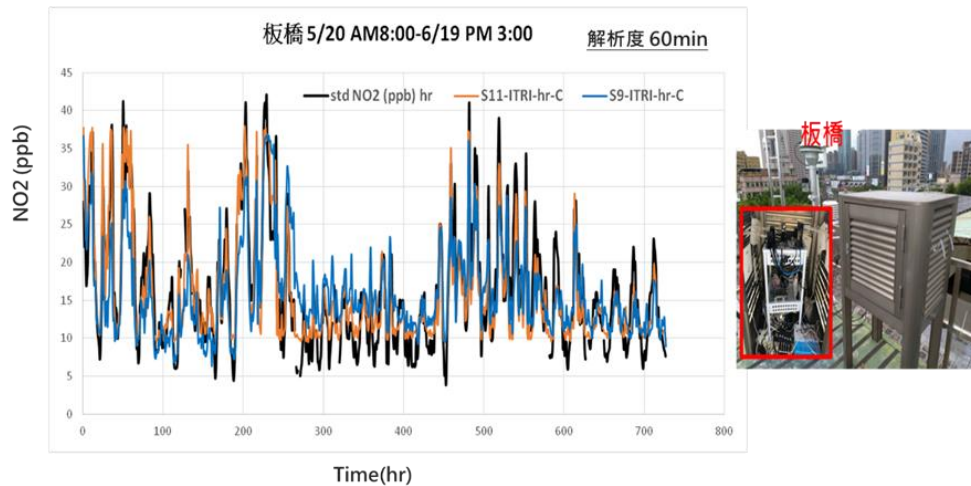


圖 3-93、板橋測站場域 1 個月測試比對結果

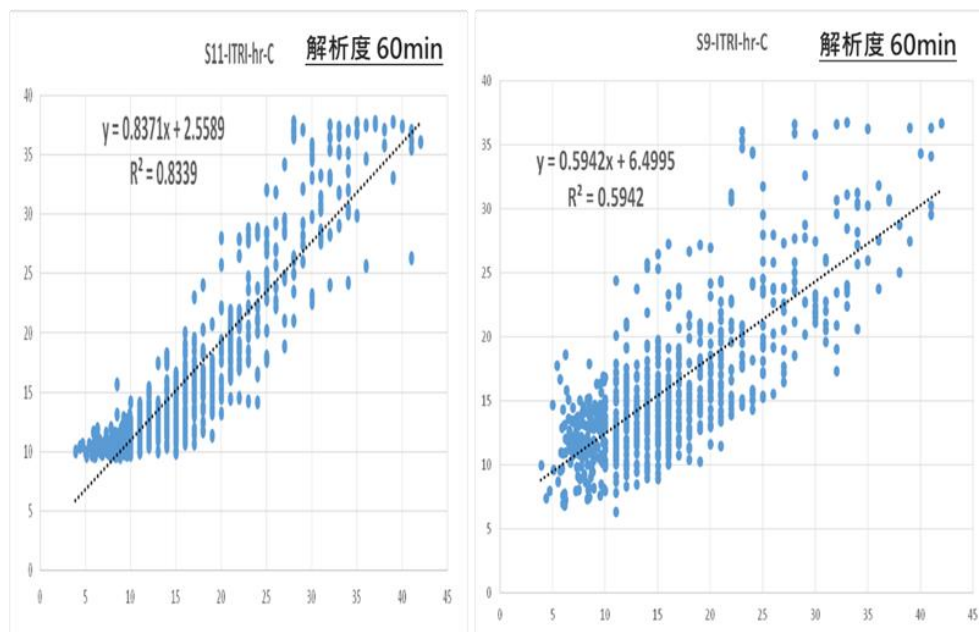


圖 3-94、板橋測站場域  $R^2$  以 60min 解析度比較

五、汐止測站場域測試（期間 2020/5/7 PM15:00-2020/5/29 PM15:00），選取三週時間分析，三模組 S25、St8 與 St12 對照測站數據，以每筆數據 60 min 採樣

解析度如圖 3-95 所示，場域  $R^2$  以 60 min 解析度比較如圖 3-96 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.56@S25$ 、 $0.58@St8$ 、 $0.54@St12$ 。

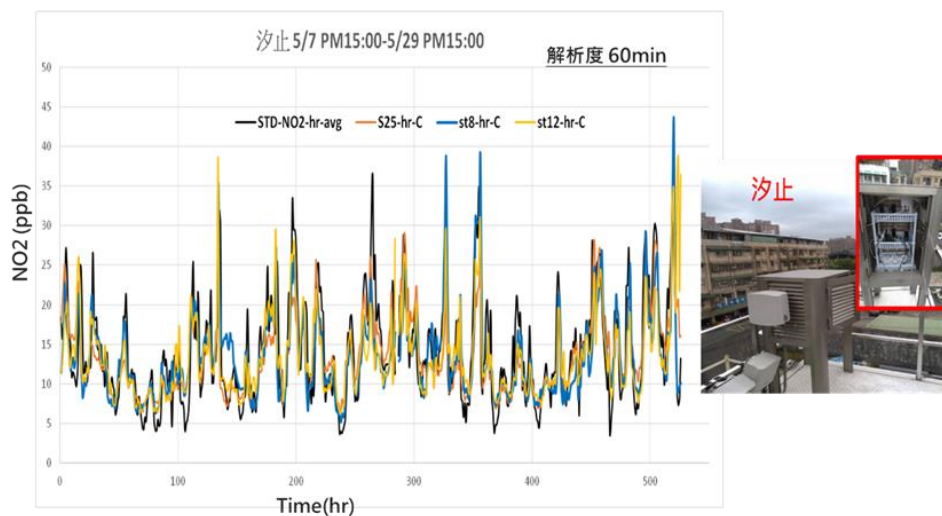


圖 3-95、汐止測站場域三週測試比對結果

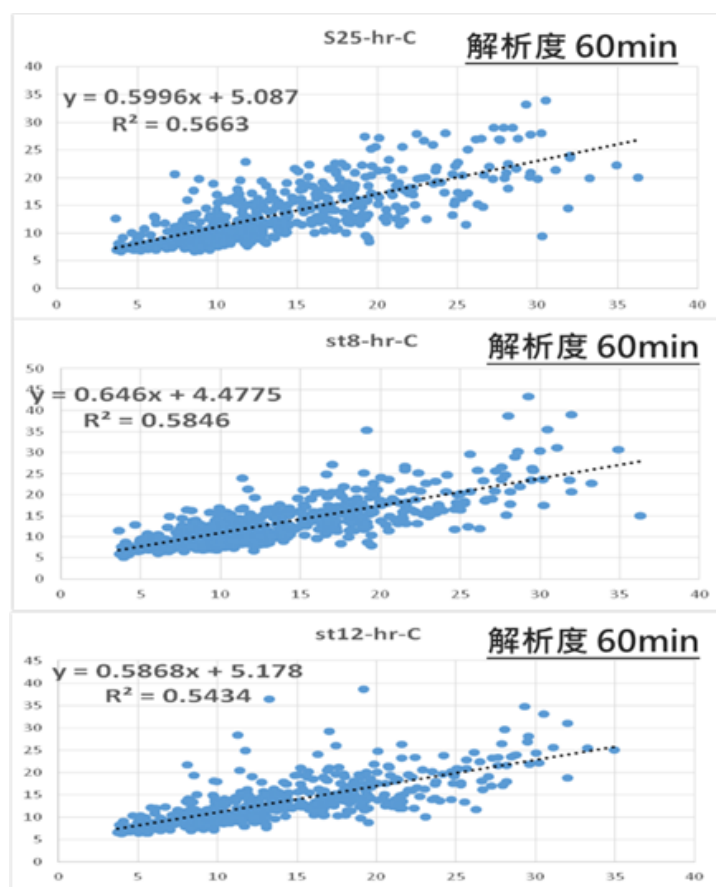


圖 3-96、汐止測站場域  $R^2$  以 60min 解析度比較



六、三重測站場域測試（期間 2020/5/7 PM16:00-2020/6/5 PM10:00），選取近 3 週時間分析，模組 S32 對照測站數據，以每筆數據 15 min 採樣解析度如下圖 3-97 所示，場域  $R^2$  以 15 min 與 60 min 不同解析度比較比較如圖 3-98 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.72$  與 15 min 平均  $R^2 = 0.66$ 。

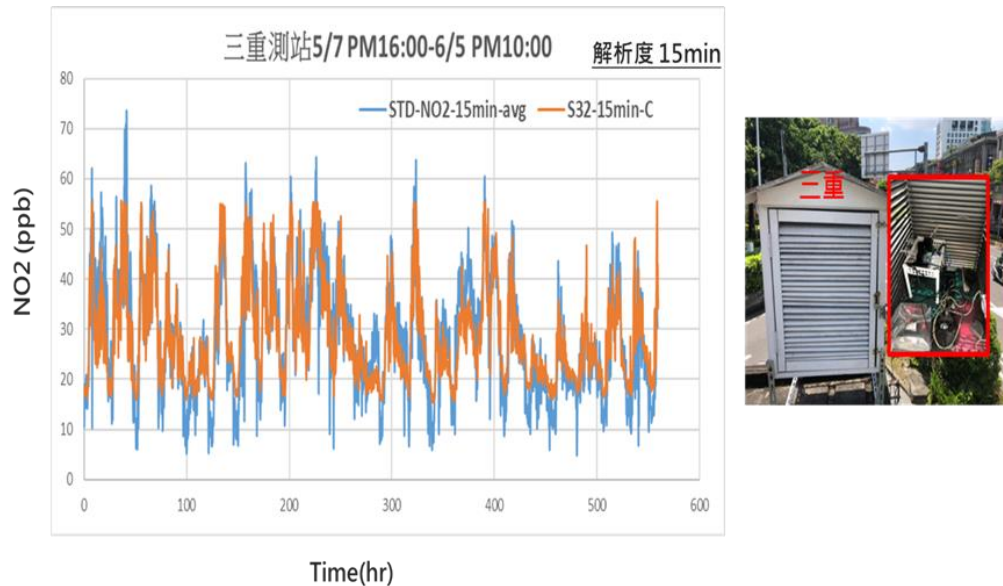


圖 3-97、三重測站場域三週測試比對結果

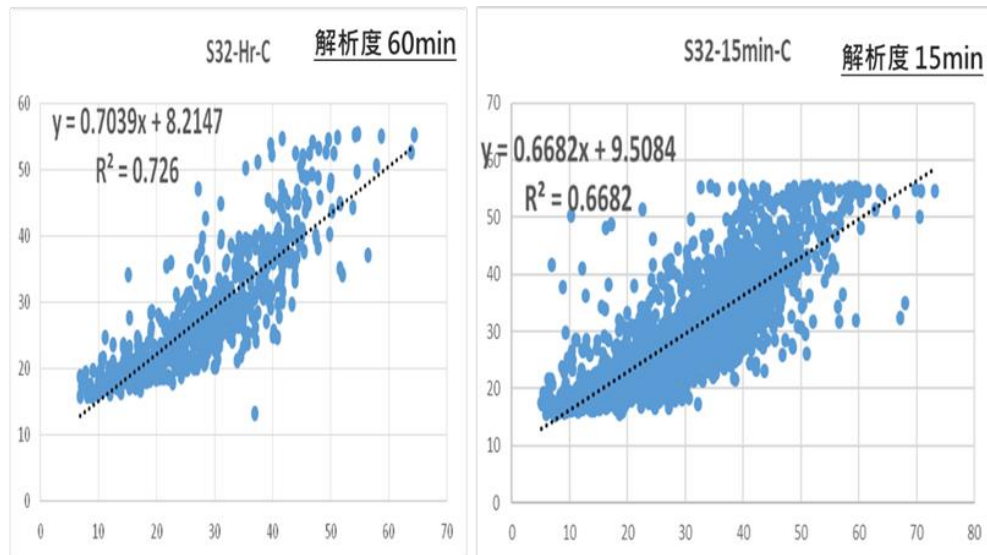


圖 3-98、三重測站場域  $R^2$  以 15min 與 60min 不同解析度比較

由六測站場域  $\text{NO}_2$  屬中低濃度範圍，比對模組相關度如表 3-8 所示，本開發模組尚未溫濕度修正，比對測站儀器均  $R^2 > 0.5$ ，具有可實施性。

表 3-8、各測站場域 NO<sub>2</sub> 濃度分布範圍與模組測試 R<sup>2</sup> 相關度

測站 NO <sub>2</sub>	平均值	最大值	最小值	模組相關度 R <sup>2</sup> (Hr)
三重測站	27.7 ppb	64.4 ppb	6.8 ppb	0.72
士林測站	12.5 ppb	45.3 ppb	0.42 ppb	0.62,0.66
萬華測站	18.3 ppb	50.0 ppb	4.8 ppb	0.84,0.58,0.61
古亭測站	14.6 ppb	43.3 ppb	3.2 ppb	0.69,0.62
板橋測站	16.0 ppb	42 ppb	3.9 ppb	0.83,0.59
汐止測站	14.0 ppb	36.2 ppb	3.6 ppb	0.56,0.58,0.54

#### 七、模組與測站場域長時間累積數據濃度分布分析

感測模組測站場域比對測試（無溫濕度修正）近 3 個月，可以達到  $R^2 > 0.5$ ，近 1.5 個月內，可以達到  $R^2 > 0.6$ ，模組與測站數值之時間比對，與相關度  $R^2$  計算，以及數據量與濃度分布統計結果如下：

- （一）三重測站場域測試（期間 2020/6/5 AM10:00-2020/8/28 AM10:00）選取 84 天數據分析，模組對照測站數據，以每筆數據小時平均解析度如下圖 3-99 所示，場域  $R^2$  60 min 不同解析度比較比較如圖 3-100 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.5382$ ，數據量符合濃度分布主要 15-35 ppb 如圖 3-101 所示。

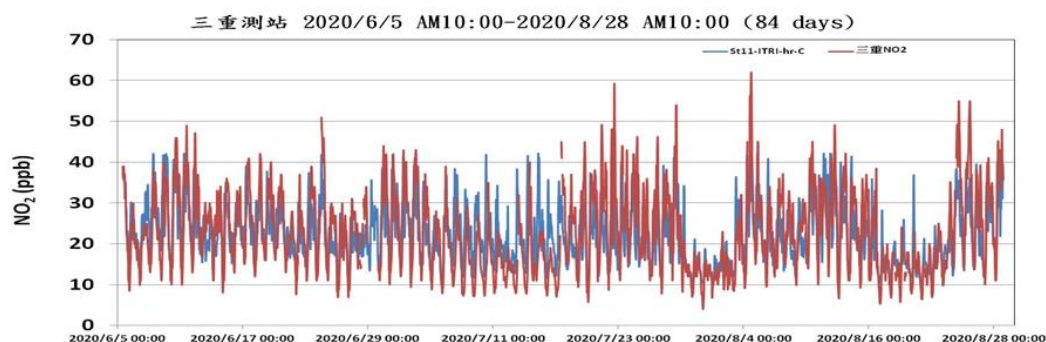


圖 3-99、三重測站場域 84 天測試比對結果

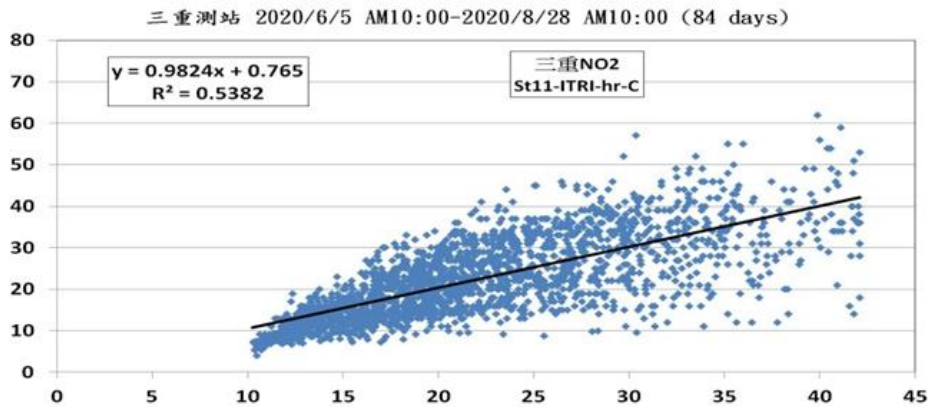


圖 3-100、三重測站場域 84 天測試  $R^2$  計算為 0.5382

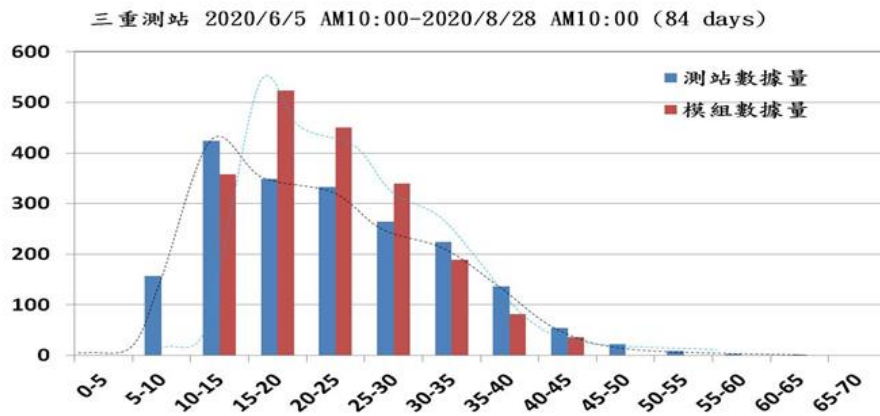


圖 3-101、三重測站場域 84 天測試濃度對應數據量分布

(二) 士林測站場域測試 (期間 2020/6/12 PM13:00 -2020/9/3 PM15:00)，選取 83 天數據分析，模組對照測站數據，以每筆數據小時平均解析度如下圖 3-102 所示，場域  $R^2$  60 min 不同解析度比較比較如圖 3-103 所示，分別為 60min 平均  $R^2 = 0.5578$ ，測站濃度最大分布主要 5-10 ppb 區間，模組則在 15-20 ppb 區間，而兩者的濃度數據量的比例類似，如圖 3-104 所示。



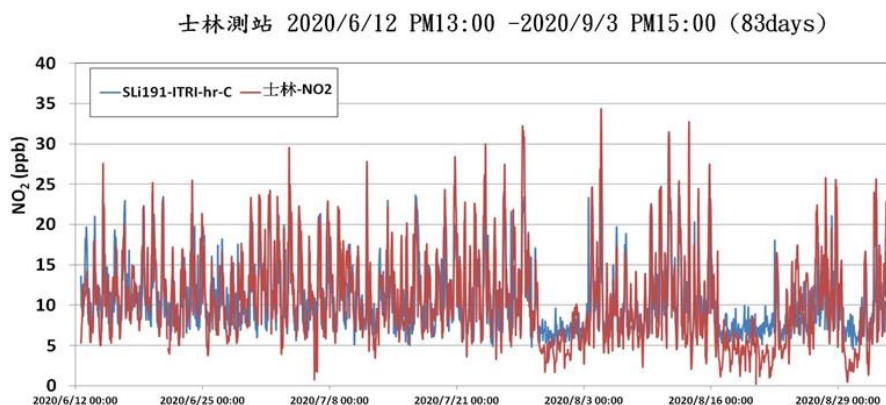


圖 3-102、士林測站場域 83 天測試比對結果

士林測站 2020/6/12 PM13:00 -2020/9/3 PM15:00 (83days)

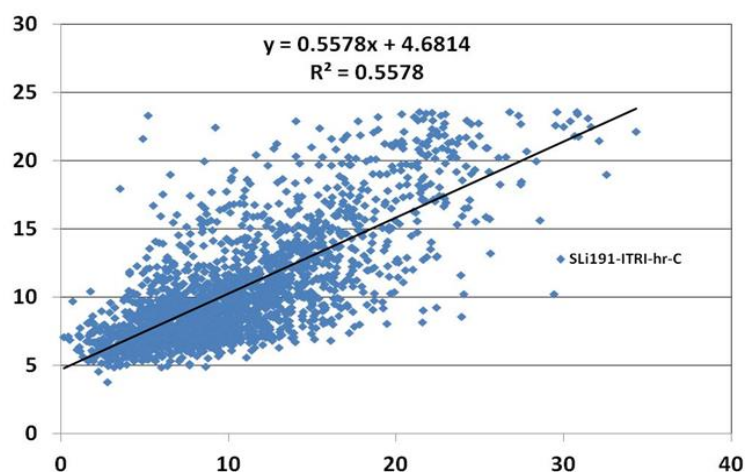


圖 3-103、士林測站場域 83 天測試  $R^2$  計算為 0.5578

士林測站 2020/6/12 PM13:00 -2020/9/3 PM15:00 (83days)

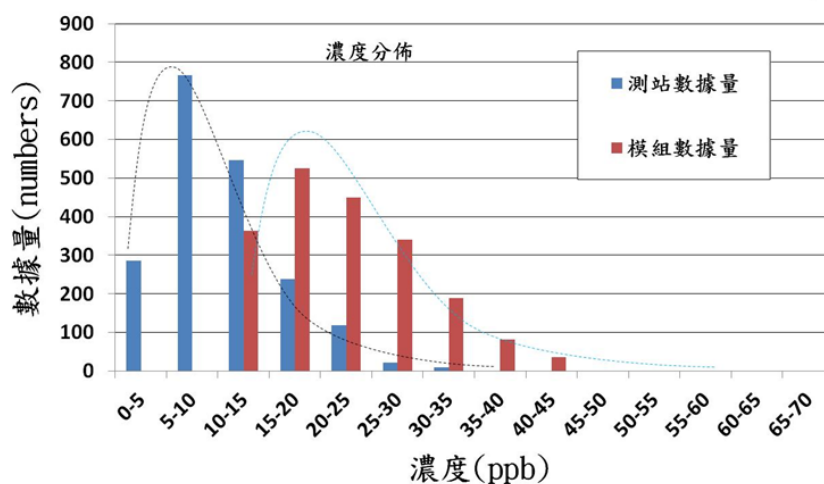


圖 3-104、士林測站場域 83 天測試濃度對應數據量分布

(三) 萬華測站場域測試 (期間 2020/6/12 AM10:00 - 2020/9/3 PM2:00)，選取 83 天數據分析，模組對照測站數據，以每筆數據小時平均解析度如下圖 3-105 所示，場域  $R^2$  60 min 不同解析度比較比較如圖 3-106 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.545$ ，測站濃度最大分布主要 5-10 ppb 區間，模組則在 10-15 ppb 區間，而兩者的濃度數據量的比例類似，如圖 3-107 所示。

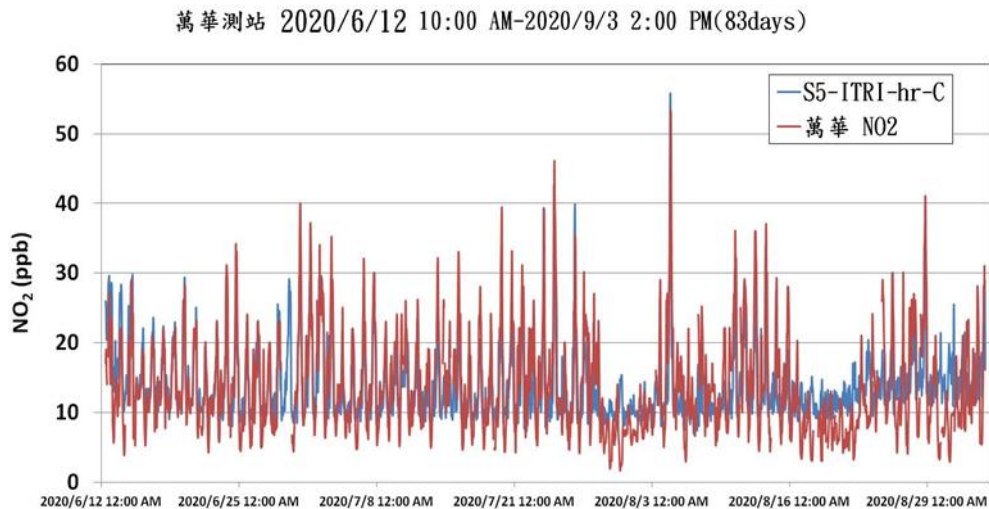


圖 3-105、萬華測站場域 83 天測試比對結果

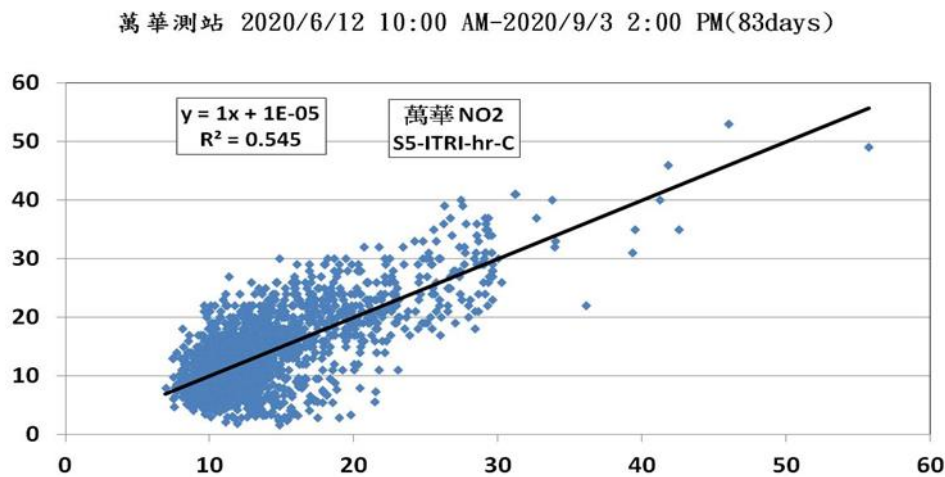


圖 3-106、萬華測站場域 83 天測試  $R^2$  計算為 0.545

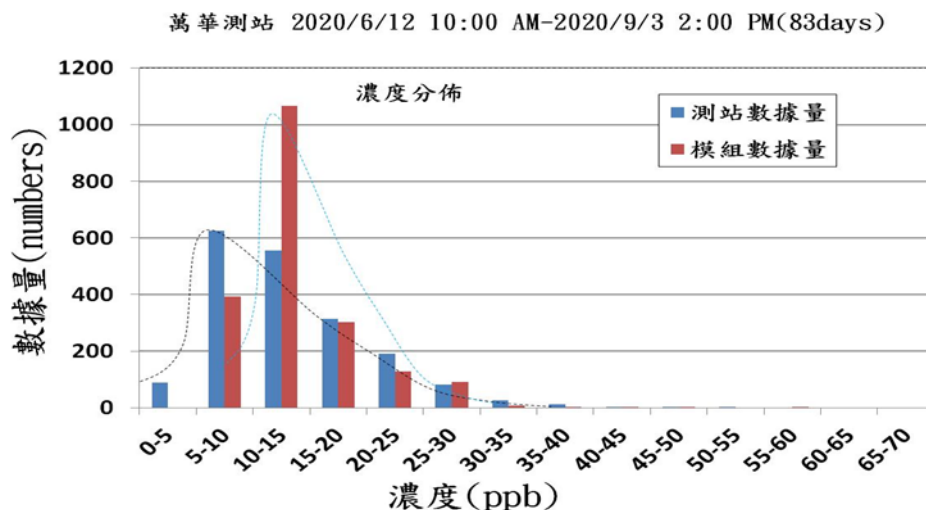


圖 3-107、萬華測站場域 83 天測試濃度對應數據量分布

(四) 古亭測站場域測試 (期間 2020/8/5 PM12:00- 2020/9/3 PM12:30)，選取 29 天數據分析，模組對照測站數據，以每筆數據小時平均解析度如下圖 3-108 所示，場域  $R^2$  60min 不同解析度比較比較如圖 3-109 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.7281$  和  $0.6157$ ，測站濃度與模組最大分布主要 5-10 ppb 區間而兩者的濃度數據量的比例非常相近，因此相關度  $R^2$  均  $> 0.6$ ，甚至高達  $> 0.7$  如圖 3-110 所示。

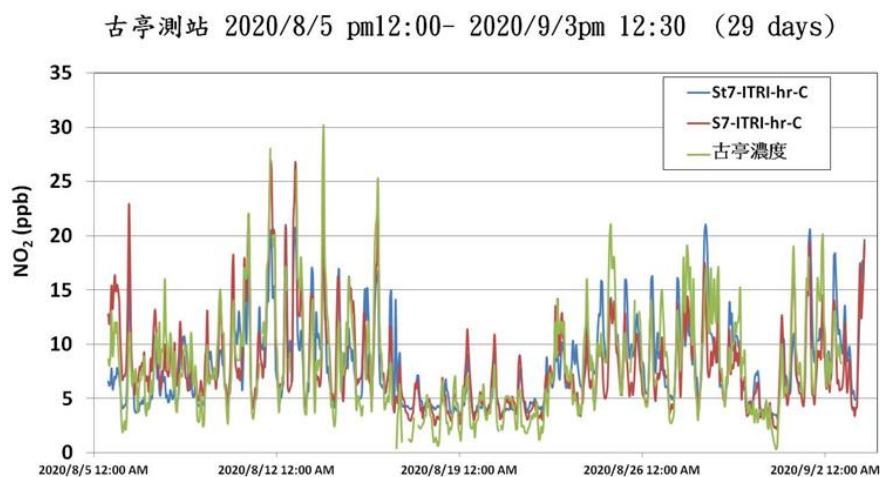


圖 3-108、古亭測站場域 29 天測試比對結果

古亭測站 2020/8/5 pm12:00- 2020/9/3pm 12:30 (29 days)

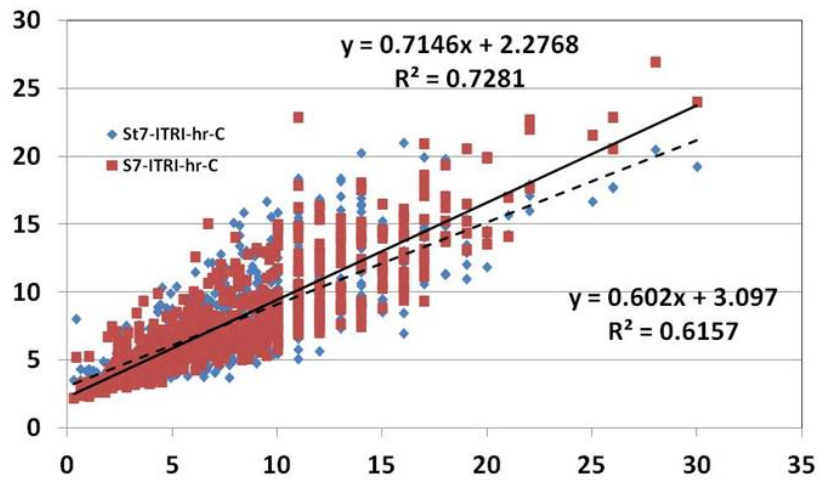


圖 3-109、古亭測站場域 29 天測試  $R^2$  計算為 0.7281 和 0.6157

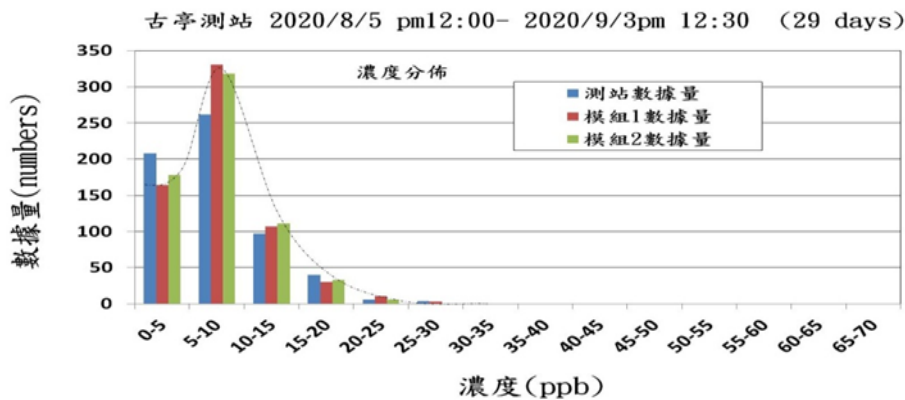


圖 3-110、古亭測站場域 29 天測試濃度對應數據量分布

(五) 汐止測站場域測試 (期間站 2020/7/17 AM10:30-2020/9/3 AM11:00)，選取 48 天數據分析，模組對照測站數據，以每筆數據小時平均解析度如下圖 3-111 所示，場域  $R^2$  60 min 不同解析度比較比較如圖 3-112 所示，分別為 60 min 平均  $R^2 = 0.6633$ ，測站濃度與模組最大分布主要 10-15 ppb 區間而兩者的濃度數據量的比例非常相近，因此相關度  $R^2 > 0.6$  如圖 3-113 所示。

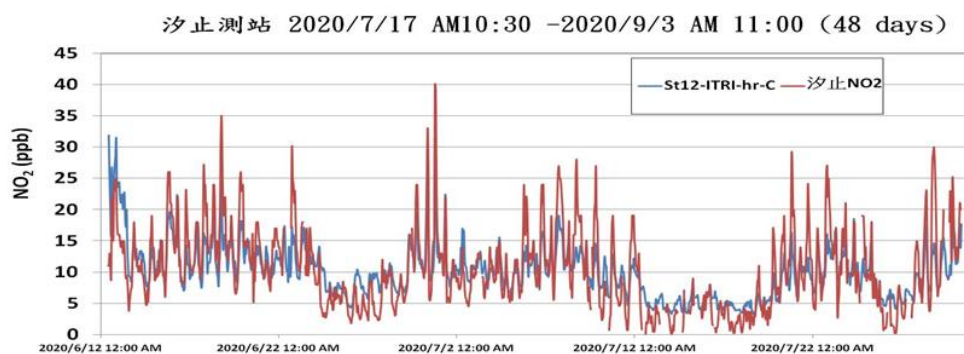


圖 3-111、汐止測站場域 48 天測試比對結果

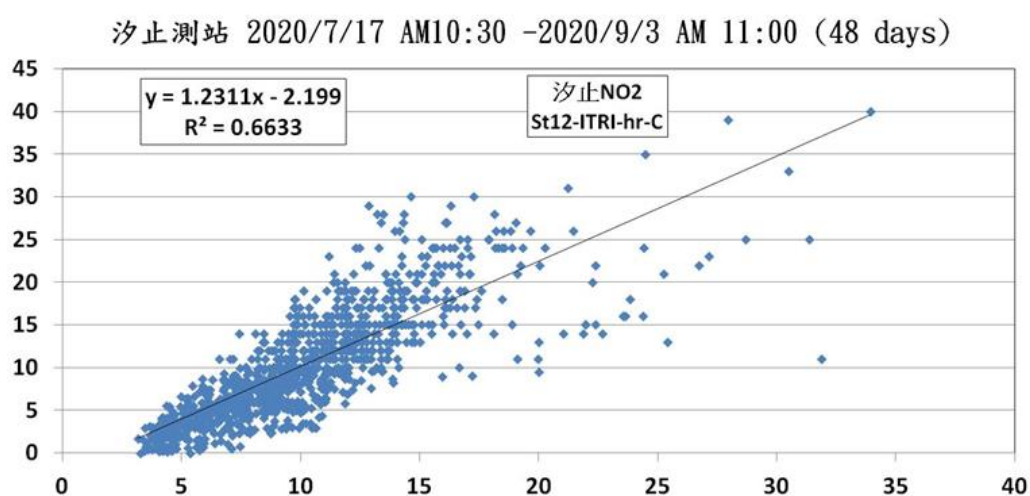


圖 3-112、汐止測站場域 48 天測試  $R^2$  計算為 0.6633

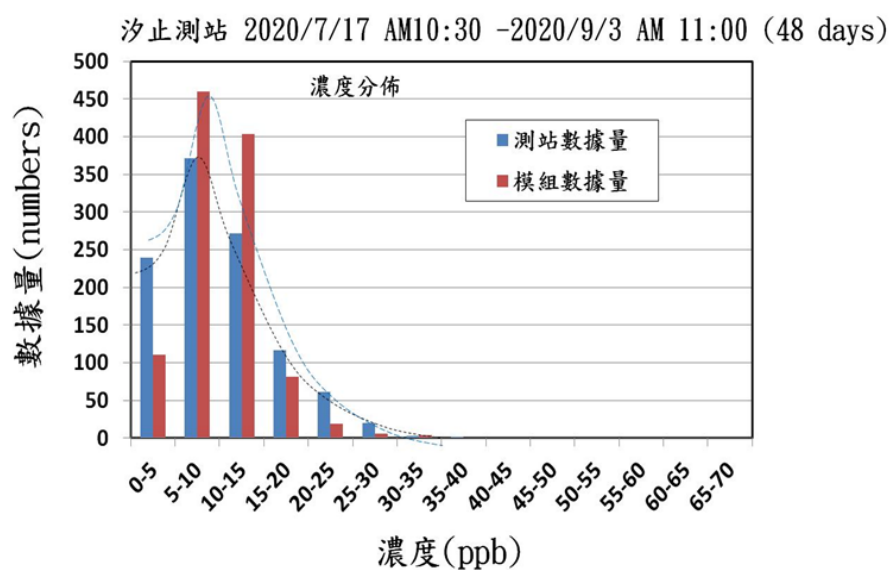


圖 3-113、汐止測站場域 48 天測試濃度對應數據量分布

由以上測站場域 NO<sub>2</sub> 屬中低濃度範圍，比對模組相關度如表 3-9 所示，模組尚未溫濕度修正，比對測站儀器均  $R^2 > 0.5$ ，測站濃度與模組最大分布兩者的濃度數據量的比例越是相近則  $R^2$  相關度越佳。

表 3-9、長時間累積數據之測站場域 NO<sub>2</sub> 濃度分布範圍與模組測試  $R^2$  相關度

測站 NO <sub>2</sub> 時間(天)	平均值	最大值	最小值	模組相關度 $R^2$ (Hr)
累積數據 近 3 個月				
三重測站 84 days	39 ppb	62 ppb	4 ppb	0.54
士林測站 83 days	10.6 ppb	34.32 ppb	10.6 ppb	0.55
萬華測站 83 days	27.3 ppb	53 ppb	1.6 ppb	0.54
累積數據 1-1.5 個月				
古亭測站 29days	7.9 ppb	30 ppb	0.3 ppb	0.61, 0.72
汐止測站 48days	20 ppb	40 ppb	0.2 ppb	0.66

### 3.3.2.3、非一般大氣環境場域測試（新增項目）

本計畫與勞研所討論規畫 NO<sub>2</sub> 在職場有害物監測系統及感測裝置進行機械鑄造廠作業環境監測規劃。規劃於機械鑄造廠之作業環境作為測試場所，目前已勘查過臺中縣金屬機械鑄造廠，廠商同意協助測試，但要求不可公布其廠名與保留測試結果不公開。鑄造廠生產高剛性鑄鐵與鑄件製程包含噴砂、退火處理與應力消除，熱處理作業環境監測如圖 3-114 所示，圖右 NO<sub>2</sub> 模組放置之百葉箱布建環境，內有商用 alphas NO<sub>2</sub>-B4 電化學感測器參考比較，目前因新冠肺炎疫情影響與降低工作人員疑慮，不希望長期擺放測試儀器。





圖 3-114、非一般大氣環境測試場域勘查-金屬機械鑄造廠

測試期間為 11 月上旬工作日，該鑄造廠因有熔煉金屬的局部高溫區作業，而作業為非規律性熔煉爐操作與不連續的添加物在冶金熔煉過程，因此溫濕度變化起伏大，環境複雜不但產生許多金屬燻煙粉塵粒子，還有氮硫化物氣狀物。測試之結果如圖 3-115 所示，圖(a)為本國產化 MOS 模組與圖(b)商用 alphases 電化學模組的濃度時間分佈趨勢相近，圖(c)為溫度濕度的紀錄。由於本場域屬高溫作業區，廠內建築空間挑高對流良好，整體溫度略高濕度低還算穩定，隨著不同作業有變化，電化學氣體感測器的理想工作條件是 20°C 和 60%相對濕度而不利高溫低濕作業監測；相對 MOS 氧化物半導體感測器影響較小，兩者對干擾物的敏感度不同。可見到上班時段 AM 8:00-PM 17:30 的濃度較高分佈區間，白天之監測有斷續高曲線峰值，傍晚下班爐冷過程漸逝釋放氣體到夜間監測值趨緩。測試期間在上班時間測得 NO<sub>2</sub> 濃度值大致為 15-40 ppb，偶有 > 60 ppb 現象。無標準儀器比對下，測試期間比較兩種原理模組行為，MOS 模組在 11/11 與 11/12 下午 3 點至 5 點都有異常瞬間飆高值，推測有特殊作業產生干擾物質揮發，而 EC 模組在溫濕度接近理想操作環境條件有訊號上升的趨勢。



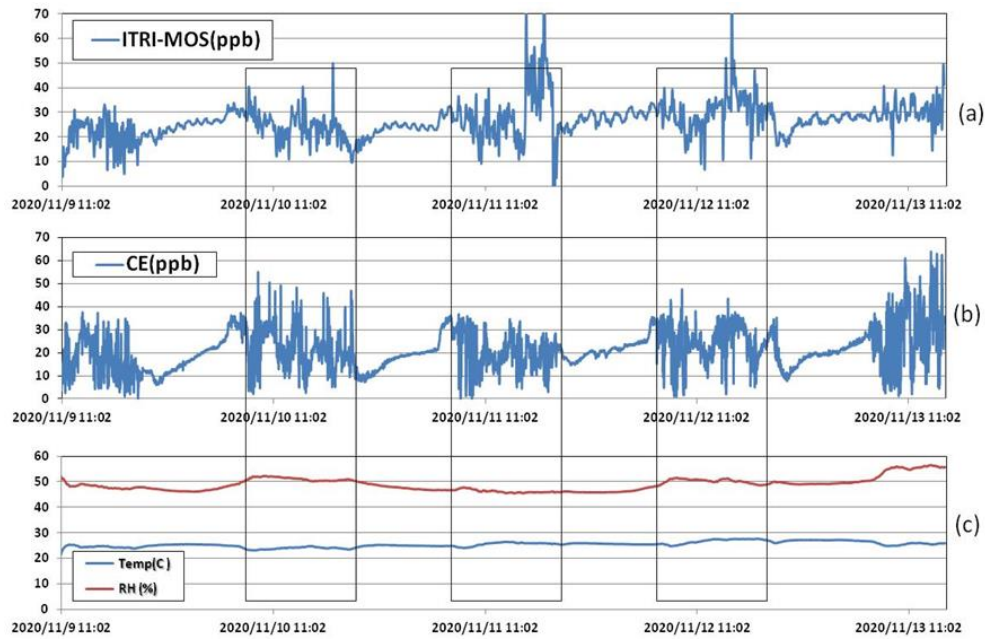


圖 3-115、金屬鑄造廠監測結果(a)本計畫 MOS (b)商用 EC (c)溫濕

### 3.3.3、NO<sub>2</sub> 感測模組業界商轉規劃

則葳實業有限公司與工研院合作”高穩定性 NO<sub>2</sub> 感測元件與模組開發”簽訂合作意向書，參與工業局產業升級創新平台輔導計畫”新世代空品數據服務與智慧城市治理平台”(創新優化)。由成本分析到產品化商業運轉的競爭分析比較如表 3-10 所示。預估初步類儀器模組上市價格以 USD180 元相較同級產品 Quality Egg USD 240 元、Unitec sensit USD2,200 元與 Aeroqual USD3,000 元，更具價格競爭力，預估在市場需求擴大提高量產未來還可降低成本<150USD。在性能上氣體感測模組產品以場域實測對照儀器的準確相關性  $R^2$  為品質技術指標，國際報導商用 NO<sub>2</sub> 感測器之最為困難與挑戰，競爭比較以國際商品”類儀器”等級的模組產品為代表。商業規劃策略如下：

1. 通路策略：則葳實業為製造商，主要是以 OEM、ODM 等模式與經銷商或代理商合作銷售，主要從事工業感應器及相關儀表系統設計製造與服務，擁有完整封裝及校正產線。主要銷售市場為歐洲及北美，產品應用客戶對象主要為量測儀器製造業、度量衡傳感器、電子零組件、醫材用感應器。
2. 產品服務策略：則葳實業之產品策略有完整電子產品生產工廠可在物聯網產業鏈扮演重要角色，能夠 ODM Air Box 主機生產、Sensor 元件製造、Sensor module 製造與 Sensor module 校正。
3. 推廣策略：則葳實業透過國際合作夥伴代理經銷商的廣告、促銷、公關提

高知名度，反映消費者回饋以及經銷商的各類問題，進行統計並深入分析改善，提高消費者的支持度，提供更好的服務，使產品能有更大的市場佔有率。

表 3-10、NO<sub>2</sub> 感測模組商轉競爭分析比較

比較項目/公司	本計畫	義大利 Unitec SENS-IT	美國 Air Quality Egg /SGX Mics2714	紐西蘭 Aeroqual A
價格(單位：USD)	180	2200	240	3000
2.上市時間	2021-2022	2015	2015	2013
3.技術比較／服務比較				
a.偵測濃度範圍(ppb)	30-5000	50 ~ 5000	50-10000	0-500
b.場域相關係數 R <sup>2</sup>	0.5-0.8	0.6-0.65	0.34-0.40	0.77
c.模組尺寸(mmXmmXmm)	50 x 50 x 75	50 x 50 x 90	140 x 140 x 90	215 x 170 x 15
d.消耗功率 W	<1	3.0 - 4.0	<1	24
e.智能機構採樣控制	yes	yes	no	yes
4.市場占有率(%)	0	<1	<1	<1
5.配銷通路	S'mate 則藏	Unitec SENS-IT	Air Quality Egg	Aeroqual A
6.目標市場(區域)	國內外空品感測、工業應用、IoT 智慧感測	國內外空品感測	國內外空品感測	國內外空品感測
7.其他優勢				
(1)R <sup>2</sup> 場域符合 AQ-Spec 評估或環保署測試	yes	yes	no	yes
(2)國產自主研發掌握度	高	低	低	低

### 3.3.4、結論與建議

#### (一) 結論

1. 本年度計畫已經完成精進將模組縮小化成類儀器，具備採樣機構控制與訊

號分析於一體設計，由六測站場域 NO<sub>2</sub> 屬中低濃度範圍，尚未溫濕度修正模組相關度前，比對測站儀器均  $R^2 > 0.5$ ，具有可實施性。

2. 從長時間累積測站場域數據，分析 NO<sub>2</sub> 濃度分布與模組測試  $R^2$  相關度，測站與模組最大分布兩者的濃度數據量的比例，越是相近則  $R^2$  相關度越佳，這樣的數據模式套入 ANN 修正效果才會顯著。
3. 利用 ANN 溫濕度修正演算補償可提高相關度  $R^2$  有 5-20% 不等程度，因感測模組有低濃度偵測限制，對於環境  $< 10$  ppb 以下顯示越低濃度超出感測器偵測下限太大偏差越大，因為低濃度樣本數太少，ANN 無法有效修正，濃度數據筆數相近，ANN 修正比較有效果。

#### (二) 建議

1. 建議後續應繼續累積各類場域測試比對，同時測試期間不應只有單一季節，以收集更多數據，作為感測器調教之參考與資料大數據行為建立。
2. 對於類儀器模組更精進部分，為提高低限濃度偵測能力，除了感測材料改良靈敏度外；需要提高模組 S/N 比，對於低濃度  $< 10$  ppb 增加採樣濃縮時間，提高精確性。
3. 本計畫將有業者投入生產營運，NO<sub>2</sub> 感測模組業界商轉規劃，需要各類測站場域比對資料庫建立，大量化場域模組校驗修正測試，以高性價比的類儀器化產品為目標，提升國際市場之競爭力。

### 3.4、評估未來可國產化之空氣品質感測元件項目及技術

#### 3.4.1、PM 空氣品質感測元件評估

##### 一、國際趨勢及市場預測

隨著世界工業的發展，全世界各地工廠的廢氣、燃煤發電、汽車排廢氣，不斷的快速增加，而這些空氣污染物持續排放累積在大氣中，形成嚴重的空氣污染，特別是細懸浮微粒(fine particulate matter)，細懸浮微粒是指粒徑小於等於  $2.5 \mu\text{m}$  之懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)。許多研究已證實這些細懸浮微粒會對呼吸系統和心血管系統造成傷害，導致哮喘、肺癌、心血管疾病、出生缺陷和過早死亡等問題。根據世界衛生組織預估，2020 年全球的肺癌疾病死亡率將上升到疾病死亡的第五位。另外因為近年霧霾現象頻繁出現於全球各大城市，使得細懸浮微粒監測需求大為提高。

根據 IDTechEX 2020-2030 的預測報告內容指出（圖 3-116），因為智慧家居

結合物聯網等技術發展，後續在穿戴式裝置及空氣清淨裝置等項目會有最大的成長；此外也指出因為相關技術演進使得各種感測器會更小更精確，可能導致未來相關產品會走向集成多種感測器多工化的趨勢。

針對微粒感測器的部分，2017 年全球微粒感測/量測市場規模 1.46 億美元，如圖 3-117。其中預估以室內清淨系統之市場成長最大，而環境與工業安全則維持佔有最大市場。又根據 Markets and Markets 2020 年的報告，預估 2024 年微粒感測器市場會從 2019 年的 3 億 4 千萬美元，增長到 5 億 8 千萬美元，產值年複合成長率(CAGR)約為 11.0%。另外一份 IndustryARC 的 2020-2025 年市場預測報告則指出市場預計將在 2020-2025 年的預測期間以 5.6%的複合年增長率成長而達到 25 億美元。其中 PM<sub>2.5</sub> 微粒感測器因為它具有在各種惡劣的工業環境中更準確地運行以及能夠實時響應任何環境條件的優勢在工業監測領域的需求，是具有最高成長力的市場，預估年複合增長率約為 8.5%。在銷售比例的部分，室內淨氣系統占銷售數量比例高達 96%，車用空調淨氣 3.2%次之。出貨量前三大 Sharp(日本)、Plantower(中國)、Shinyei(日本)，即占了 80%市場份額，主要市場為消費性產品與室內淨氣系統。而以銷售金額來看，PMS 廠牌銷售金額最高為，主要用於無塵室，故單價較高，佔 2017 年總銷售的 56%。

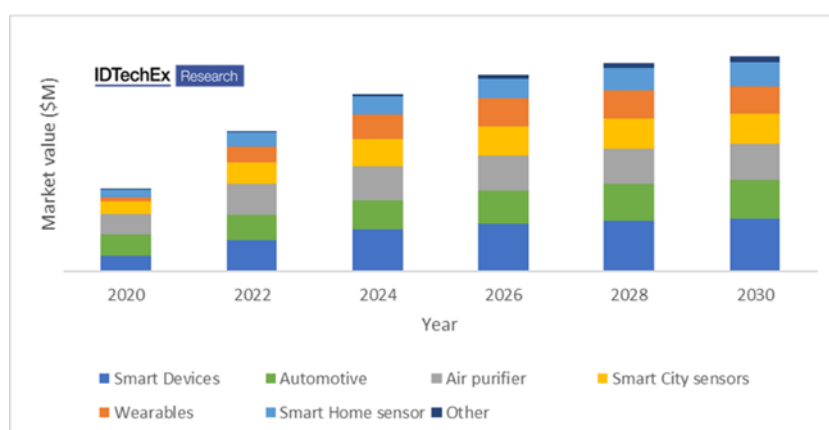


圖 3-116、IDTechEx Research 2020 年的市場報告

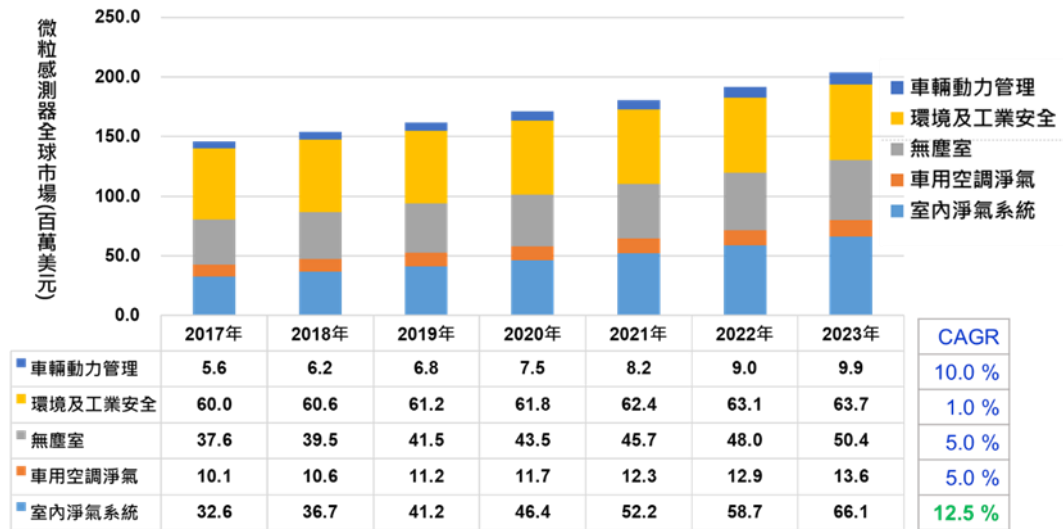


圖 3-117、全球微粒感測器市場統計及未來成長預估

## 二、應用情境或場域

根據上述市場預估資料可知，未來微粒感測/量測器以室內清淨系統市場之成長空間最大，而環境與工業安全則維持佔有最大市場；另外在多份報告中指出，市場推動的主要因子主要來自於政府方面更加嚴格的環保法規修訂。故應用情境，建議可朝下列方向思考：

(一) 工業區及工安之應用 (如圖 3-118 所示)：以高科技廠為例，目前高科技廠排放之微粒大都小於  $1.0\ \mu\text{m}$  之微粒，廠區周界背景也以小微粒為主；隨著政府法規調整，可能會因此增設連續微粒自動監控設備，若搭配廠內其餘的控制/感測系統等設施，高科技廠區應用可以有以下方向。

- (1) 提升產品良率：用微粒感測器監測廠內區域、周界等污染狀況，可結合微粒感測器、氣象儀及影像辨識，了解是否為廠外污染，結合 AI 平台同步調整進氣設備之處理效率，做到即時回饋控制無塵室、精密製程區以及產品上之落塵等，降低產品缺陷，並提升良率。
- (2) 監控工廠安全：結合微粒、溫度、濕度、壓力、電流、氣體、熱影像等多種類型的感測器，偵測廠內設備或管線是否有異常點，可提早發現並即時發出警訊避免發生工安災害或意外損失。
- (3) 污染排放監控：利用微粒感測器結合 AI 控制，監測排放管道否有異常濃度排放，如有異常以 AI 系統回饋至防治設備提高處理效率，並進行排放控制。



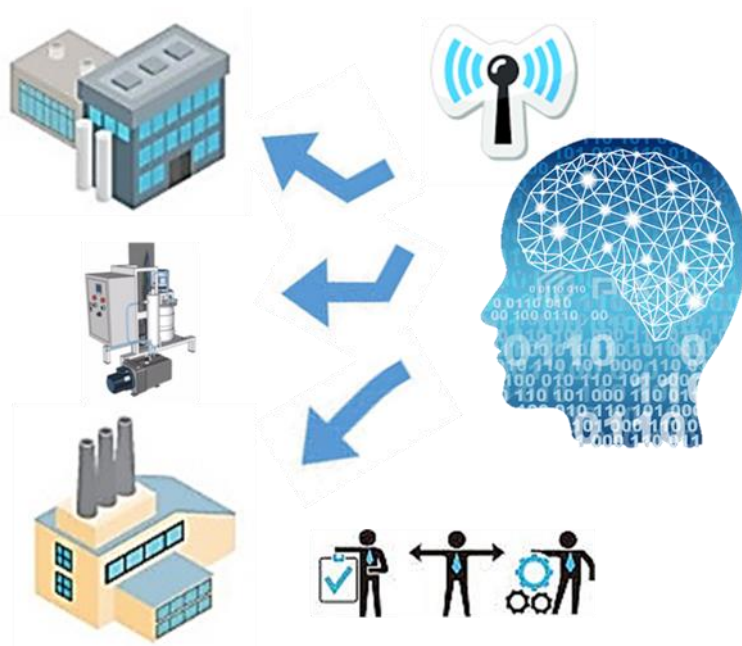


圖 3-118、微粒感測器在廠區及工安之應用

(二) 室內空氣品質管理應用：結合智慧居家系統，微粒感測器可監測室內及周圍的環境空氣品質變化，通過使用感測器的濃度趨勢比較。可以做為智慧居家系統是否吸入新鮮空氣或啟動清淨處理系統之參考，同時給予外出及活動之建議。廚房區域油煙監控，可作為油煙是否過高，為避免污染其他區域，是否應啟動油煙處理及空氣處理設備之判斷依據。如圖 3-119 所示。

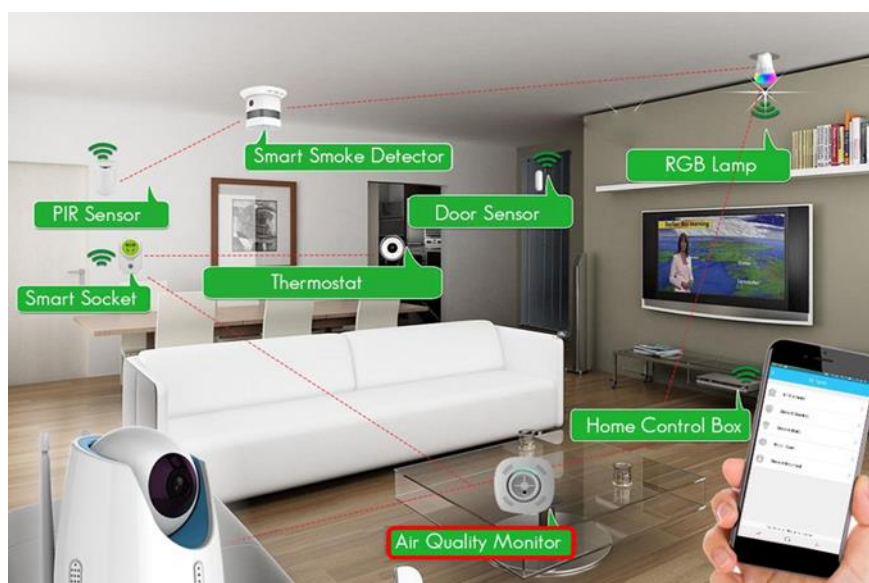


圖 3-119、室內空氣品質管理應用示意圖



- (三) 個人化穿戴裝置應用：將感測裝置結合運動手環等穿戴式裝置，即時監控使用者所在地的空氣品質，可以提供目前戶外活動合適度的判斷依據；另外也可結合各項生理訊號，供生醫、公衛領域針對微粒對人體健康的相關研究應用，或供粉塵風險作業區域的工作人員配戴增加工作場域的安全性。

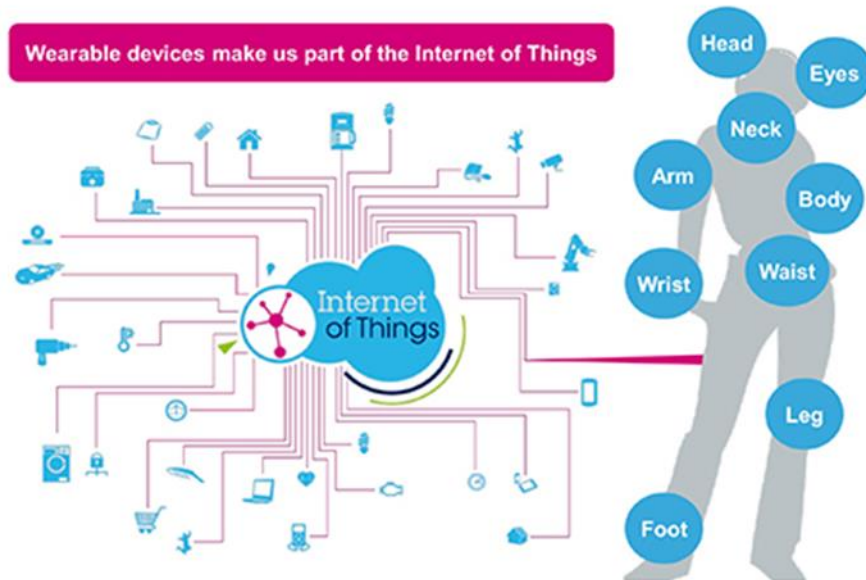


圖 3-120、個人化穿戴裝置應用示意圖

- (四) 車輛空氣品質管理應用 (如圖 3-121 所示)：通過使用感測器信號的相對變化程度與移動平均參考進行比較來估算污染變化。感測器可同時監測汽車內部及周圍的環境空氣品質變化，結合車載電腦 AI 自動控制車輛進氣或是過濾系統的運作，於不同的情境下讓用戶可以避免吸入的潛在危害物質，同時車外之空品資訊亦可做為車外活動之建議。



圖 3-121、汽車內外空氣品質管理應用示意圖

### 三、技術發展現況（既存已久之高階儀器不列入評估）

既有之商品及國際文獻分析之結果如表 3-11 所示，以偵測原理來分類，目前的 PM 感測器可分為 3 大類：

第一類為最常見使用最廣泛的光學感測/量測儀器，價格由數十美金至 1.5 萬美金。其中低價之簡易式體積及重量均偏低，在功能上皆無粒徑篩選機制，且偵測粒徑下限亦偏高，廠牌以中國、日本及韓國為主。中階以上之光學儀器皆有粒徑篩選機制，可同時量測數個粒徑範圍，可偵測之粒徑下限亦低。

第二類為利用微粒震盪慣性來求得質量濃度的量測儀器，例如石英微天平震盪器為核心的 QCM 或 SAW 感測/量測器，其中以 MENs 為基礎的 QCM 元件，屬於簡易式且無粒徑篩選機制之感測器，其餘均屬大型之儀器且均有微粒篩選裝置，QCM 或 SAW 感測/量測器中除 QCM MOUDI (MSP) 外，均未商品化仍屬於學術研究之開發階段，QCM MOUDI 屬高價位之精密儀器，其粒徑偵測下限  $< 0.1\mu\text{m}$ 。；同樣利用慣性量測的儀器還有 Thermo fisher 公司的錐形元件振盪微量天平 (TEOM)，除了傳統的較大型固定式量測儀器外也有個人攜帶式的產品，但攜帶式的產品就不具有微粒篩選的功能。

第三類則為以偵測電子/電流訊號的法拉第杯為主的感測/量測器，其中 Naneos Partector Sensor 及 Pegasor AQ Urban 為商品化之儀器。由文獻來看，此類之儀器大部分屬中高階儀器，新開發者均具微粒篩選裝置，體積均偏大重量亦高。以量測之粒徑範圍來看，大都以奈米到次微米為主要訴求。

以整體技術來看，未來發展以 QCM 搭配 MENs 及以偵測電子/電流訊號之感測器有比較大之研究與開發空間，且以偵測小於  $1.0\mu\text{m}$  之微粒為主要發展趨勢。

表 3-11、PM 感測/量測技術彙整（既存已久之高階儀器不列入評估）

原理	進口 粒徑篩選	量測粒徑 範圍(μm)	偵測粒徑 下限(μm)	尺寸 (mm)	重量 (kg)	廠商 or 文獻
optical	無	>1.0	1.0	46*30*18	0.016	GP2Y1010AU0F, Sharp Microelectronics, Japam
	無	>1.0	1.0	71*70*23	0.024	DSM501A, Samyoung, South Korea
	無	>1.0	1.0	59*46*18	0.023	NIDS SM-PWM-01A-HS, Amphenol Advanced Sensors, South Korea
	無	0.3–10	0.3	48*37*12	-	PMS 7003, Plantower, China
	無	>1.0	1.0	59*49*22	0.024	PPD42NS, Shinyei Technology, Japan
	無	0.38–17	0.38	75*53*60	0.15	OPC-N2, Alphasense, UK
	無	>0.5	0.5	90*90* 23	0.12	AES-1000-05N, Shinyei Technology, Japan
	微粒篩選器	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1.0</sub> , TSP	0.1	650*270*165	6.4	E-Sampler, Met One, USA
	微粒篩選器	PM <sub>10</sub> , PM <sub>4.0</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1.0</sub> , TSP	0.1	140*220*220	2.02	DustTrak drx, TSI, USA
quartz crystal oscillator/ surface acoustic wave + MENs/TE OM	PM <sub>2.5</sub> 採樣器	0.045-2.5	<0.1	380*380*580	20.5	2016, A novel quartz crystal cascade impactor for realtime aerosol mass distribution measurement (QCM MOUDI, MSP)
	虛擬衝擊 (2.65 μm 模擬)	PM <sub>2.5</sub>	-	-	-	2016, Airborne particulate matter classification and concentration detection based on 3D printed virtual impactor and quartz crystal microbalancesensor
	無	-	-	-	-	2017, A Miniaturized Aerosol Sensor Implemented by a Silicon-based MENs Thermal-Piezoresistive Oscillator
	Cyclone (2.5 μm)	PM <sub>2.5</sub>	-	-	-	2018, Detection of Particulate Matter of Size 2.5 μm with a Surface-Acoustic-Wave Sensor Combined with a Cyclone Separator
	無	TSP	-	17*8*10	2	PDM3700, Thermofisher, USA
faraday cup/ mobility	無	nano~PM <sub>10</sub>	0.1	134*78*29	0.44	Partector Sensor, Naneos
	Cyclone (2.0 μm 模擬)	>0.01	-	320*250*1000	20	AQ Urban, Pegasor
	無	0.03-0.5	-	140*110*60	-	2017, A Miniature Aerosol Sensor for Detecting Polydisperse Airborne Ultrafine Particles

原理	進口 粒徑篩選	量測粒徑 範圍( $\mu\text{m}$ )	偵測粒徑 下限( $\mu\text{m}$ )	尺寸 (mm)	重量 (kg)	廠商 or 文獻
	虛擬衝擊 (0.96 $\mu\text{m}$ )	0.02 to 1.0	-	100*200*150	-	2018, Design and Performance Evaluation of a PN1 Sensor for Real-Time Measurement of Indoor Aerosol Size Distribution
	PM <sub>10</sub> 篩選器	PM <sub>1.0</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	-	500*350*200	15	2018, Field comparison between electrostatic charge and light scattering monitors for continuous monitoring of airborne PM <sub>1.0</sub> , PM <sub>2.5</sub> , and PM <sub>10</sub> mass concentrations

成本效益方面，如表 3-12 所示除 ITRIGEL 之感測模組外，主要為整理自美國 AQ SPEC 場域測試報告之感測器/模組之分析，價格方面由 150 美元至 7,000 美元不等，分析如下：

在 200 美元以下之低價 PM 感測器/模組共 12 組，感測核心均為光學模組。場域測試之表現差距大， $R^2$  由 0.0 至 0.98 不等，其中 5 組感測器/模組之  $R^2$  表現差介於 0.0~0.58 間，其餘之感測器/模組  $R^2$  均大於 0.6，甚至有 2 組感測器/模組之  $R^2$  最高可達 0.9 表現極佳。撇除表現不佳之感測器/模組外，以成本效益來說本價位之感測器成本效益佳，雖不適用於中高度污染環境長期使用，但對於一般環境使用之民眾來說接受度應該最高。

表 3-12、PM 感測器/模組價格彙整表（整理自 AQ SPEC）

PM Sensors			
Maker (model)	Est. cost(USD)	Field test R <sup>2</sup>	Core/model
Airviz Inc. (Speck)	\$150	0.14-0.32	optical/
PurpleAir (PA-I)	\$150	0.77-0.92	optical/PMS1003
SainSmart (Pure Morning P3)	\$170	0.71-0.74	optical/PMS5003
PurpleAir (PA-I-Indoor)	\$180	0.74-0.75	optical/PMS1003
PurpleAir (PA-II)	\$200	0.86-0.98	optical/PMS5003
Moji China (Airmut)	\$200	0.78-0.88	optical/PMS5003
Cair	\$200	0.43-0.5	optical/
Foobot	\$200	0.54-0.57	optical/
Hanvon (Hanvon N1)	\$200	0.62-0.79	optical/
Origins (Laser Egg)	\$200	0.57-0.58	optical/PMS3003
Air Quality Egg (Version 1)	\$200	~ 0.0	optical/
HabitatMap (AirBeam)	\$200	0.65-0.69	optical/
Air Quality Egg (2018 Model)	\$250	0.57-0.87	optical/PMS5003
HabitatMap (AirBeam2)	\$250	0.67-0.79	optical/PMS7003
Edimax (AirBox)	\$250	0.61-0.86	optical/PMS5003
IQAir (AirVisual Pro)	\$270	0.69-0.73	optical/
IQAir (AirVisual Pro FW1.1683)	\$270	0.66-0.82	optical/
Edimax (Edigreen Home)	\$300	0.71-0.84	optical/PMS5003
Dylos (DC1100 Pro)	\$300	0.65-0.85	optical/
Alphasense (OPC-N3)	\$340	0.4-0.82	optical/
Alphasense (OPC-N2)	\$450	0.38-0.8	optical/
Dylos (DC1700-PM)	\$475	0.51-0.72	optical/
Magnasci SRL (uRADMonitor A3 HW105)	\$500	0.72-0.81	optical/Winsen ZH03A
AirThinX (IAQ)	\$1,000	0.51-0.61	optical/
AS-LUNG (Portable)	\$1,000	0.79-0.83	optical/PMS3003
Shinyei (PM Evaluation Kit)	\$1,000	0.81-0.91	optical/
Clarity (Node)	\$1,300	0.73 to 0.76	optical/
Magnasci SRL (uRADMonitor Industrial HW103)	\$1,300	0.67 to 0.76	optical/
TSI (AirAssure)	\$1,500	0.75 to 0.84	optical/
Met One (Neighborhood Monitor)	\$1,900	0.53 to 0.67	optical/
RTI (MicroPEM) PMS3003	\$2,000	0.67 to 0.80	optical/
AS-LUNG (Air Quality Station)	\$2,200	0.59 to 0.82	optical/
Aeroqual (AQY) Ver. 0.5	\$3,000	0.53 to 0.85	LPC
Perkin Elmer (ELM) (PM10)	\$5,200	~ 0.0	optical/
Met One (E-Sampler)	\$5,500	0.55 to 0.62	optical/
Naneos (Partector)	\$7,000	~ 0.1	faraday cup
ITRI GEL (test by ITRI)	~\$3,000	0.65 to 0.71	electric impaction

在 250-500 美元之 PM 感測器/模組共 11 組，感測核心亦均為光學模組。場域測試之表現，有 3 組感測器/模組相同模組間數據品質差異大 R<sup>2</sup> 介於 0.38~0.87。其餘之感測器/模組 R<sup>2</sup> 均介於 0.61~0.86 間，整體表現佳。以成本效益來說本價位之感測器成本效益尚佳，較適用於一般環境使用，對於一般民眾來說接受度亦高。

價格 1,000-2,000 美元之 PM 感測器/模組共 8 組，感測核心亦均為光學模組。場域測試之表現，除 2 組感測器/模組之 R<sup>2</sup> 介於 0.51~0.61 表現較差外，其餘之感測器/模組 R<sup>2</sup> 均介於 0.67~0.91 間，相同模組間之表現落差不大。本價位之感測器部份體積較低價位者大上許多，但可較長時間在中高度污染之環境使用，對於一般民眾來說需求低接受度亦較低。

價格大於 2,000 美元之 PM 感測器/模組共有 6 組，感測核心有光學模組、法拉第杯及電子衝擊。場域測試之表現，除 2 組感測器/模組之 R<sup>2</sup> 為 0.0 表現極差

外，其餘之感測器/模組  $R^2$  均介於 0.53~0.82 間，相同模組間之表現落差稍大。本價位之感測器部分體積大，雖可長時間在中高度污染之環境使用，部分模組尚在研究開發階段，對於一般民眾來說接受度較低。

#### 四、國內發展策略

根據上述既有之商品及國際文獻分析之結果，目前仍以光學儀器為主流，但新開發之量測/感測技術則以 QCM 搭配 MENs 及以偵測電子/電流訊號之感測器較具開發潛能，另外在感測器改良方面目前皆多以小型化、加強偵測極限粒徑為主要發展趨勢。

而目前國內民間對空污意識抬頭，學界也越來越多也投入臺灣本地空品的研究中，雖根據環保署統計，歷年來全國空氣品質測站紅害日數已逐年減少，但仍還是在秋冬時會有嚴重的霾害。另一方面學者研究也發現，影響能見度的因素之一，可能是過去較常被忽略的  $PM_{1.0}$  懸浮微粒。有許多文獻指出超細微粒的毒性作用會影響大腦，同時亦會造成細胞毒性、組織潰瘍、細胞活力降低、和呼吸窘迫等。美國約翰霍普金斯大學 (Johns Hopkins University) 多領域專家組成的聯合研究團隊則分析發現， $PM_{1.0}$  的暴露會增加早產的風險。由此可知目前觀測資料較少的  $PM_{1.0}$  濃度有其監測必要，因此初步建議懸浮微粒之感測技術後續應朝  $PM_{1.0}$  監測之方向繼續發展，也可搭上國際市場對更精準的微粒感測器之需求。此外也建議進行固定污染源煙道  $PM_{2.5}$  排放連續監測系統 (CEMS) 之相關開發，CEMS 已在海外推廣多年，除可做為工廠污染排放之管理，亦可做為未來排放管制策略訂定之參考，目前國內相關法規已開始逐步規劃，考量到臺灣本土的高科技產業煙道排氣特殊性，未來可預期會有一波國內 CEMS 市場的需求。

#### 3.4.2、其他空氣品質感測元件評估

##### 一、Mid-IR 波段嵌入式光子晶體氣體感測元件

光學氣體感測器在許多應用中扮演著越來越重要的角色，如圖 3-122 所示。基於中紅外吸收光譜 (Mid-IR 波段) 的感測技術能提供極佳的穩定性、選擇性和靈敏度，可應用於環境監測和可穿戴設備中使用。其中，嵌入式光子晶體氣體感測元件 (On-chip Integrated Photonics Chip Gas Sensor) 利用中紅外光矽波導晶片，用於氣體漸逝場型吸收 (evanescent field absorption) 來感測多種環境中氣體分子，其具有體積小 ( $\sim 2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ )、反應時間快 ( $< 5\text{ s}$ )、高準確性 ( $< 1\%$ )、能源消耗低



(<30mW)與 On-chip 製程能與半導體製程相容等特點，使其具有極佳的機會應用於環境物聯網氣體監測上。如圖 3-123 所示，現行管線氣體洩漏檢測方式必須依靠人員定期巡檢，其具有耗時且不易掌握改善時機等缺點，上述低成本光學式氣體元件能用於工廠廠區或周界進行氣體監測，解決長久以來不易改善的設備元件管線氣體洩漏問題，以及針對可能的污染工廠進行廠區周界監測。

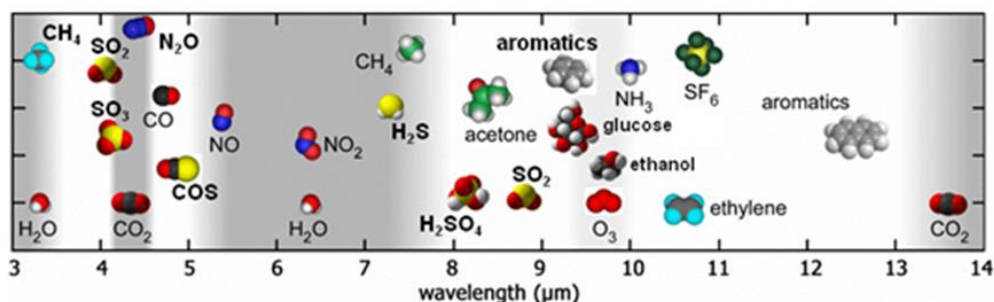


圖 3-122、Mid-IR 波段可偵測多種氣體

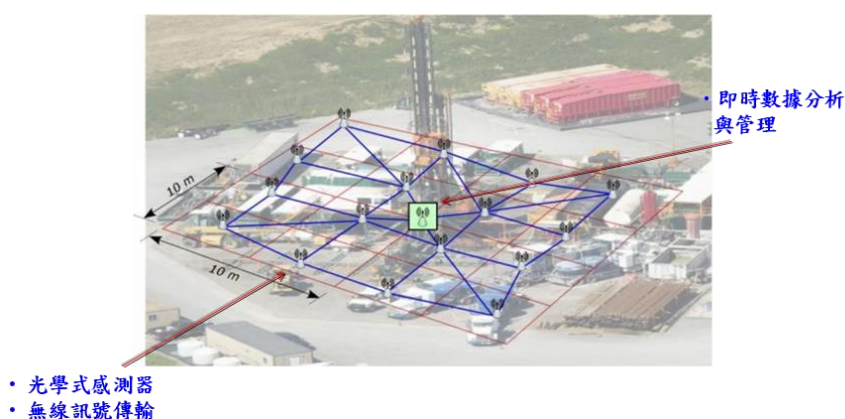


圖 3-123、嵌入式光子晶體氣體感測元件應用於工廠內管線氣體洩漏監測

目前 Mid-IR 波段嵌入式光子晶體氣體感測技術尚屬於新興技術，計畫團隊過去經歷在氣體感測技術上累積了許多經驗與專利技術；後續將朝此方向之感測技術加以評估，分析未來可國產化之技術及其可行性。

## 二、TVOCs 空氣品質感測元件需求

由於 VOCs 揮發性有機物是重要的臭氧前驅物質，因此控制 VOC 之排放，除了有助於抑制臭氧之形成外，在石油日益短缺、價格飆漲之際，藉由 VOC 管制，更可有效使用這非再生性能源，有助於產業未來之競爭力。VOCs 和 NO<sub>x</sub> 經

由一連串光化學反應會形成二次污染光化煙霧，造成臭氧(O<sub>3</sub>)濃度升高，因此，臭氧、細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)等二次污染物需要控制 VOCs 成長及排放減量，所以在光化煙霧產量模式(SPM)分析，都會區大部分情況下，光化煙霧的主控物種為 NMHC，在改善都會區 O<sub>3</sub> 污染，策略上應進行 VOCs 管制。

VOCs 僅是揮發性有機物之統稱，不同 VOCs 物種在大氣經光化反應產生之臭氧潛勢，以最大反應增量(Maximum Incremental Reactivity, MIR)作為不同 VOCs 物種的光化效應指標，MIR 值越高顯示其單位濃度產生臭氧之潛勢也越高，因此 VOCs 物種排放資料庫是管制臭氧之重要基礎。加州空氣資源局(California Air Resources Board, CARB)定期更新不同 VOCs 物種對於空氣品質之影響，迄今公告了 SAPRC-07 資料庫，詳細列出 1,100 種 VOCs 之 MIR 值，作為工業污染防治空氣污染管制之模式模擬與 VOCs 減量依據。如瞭解管制區域中各種目標 VOC 排放資料庫，在空氣品質惡化時，可提供環保管制單位重要之參考依據。例如甲苯(C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)與二甲苯(C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>)具有神經毒性，也是在大氣中產生臭氧潛勢較高物種(MIR 分別為 3.93 與 9.73)，更是膠帶業、表面塗裝業、印刷業等重要原物料。相較於甲苯之臭氧污染潛勢，汽油中之苯(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)參與臭氧反應潛勢不高(MIR=0.69)，卻是危害人體健康的有害空氣污染物，更是未來 VOC 管制之主要標的物。

#### (一) VOCs 的定義

1. VOCs 種類多元性質複雜，數種類似揮發性有機物相關的定義如下：

- (1) VOC, Volatile Organic Compounds, 揮發性有機物分為八類：烷類、芳烴類、烯類、鹵代烴類、酯類、醛類、酮類和其他。
- (2) THC, Total Hydrocarbons, 總碳氫化合物： $THC = CH_4 + NMHC$ 。
- (3) NMHC, Non-Methane Hydrocarbon, 非甲烷碳氫化合物。
- (4) TOG, Total Organic Gas, 總有機氣體。
- (5) NMOG, Non-Methane Organic Gas, 非甲烷有機氣體。
- (6) ROG, Reactive Organic Gas, 反應性有機氣體。

2. 室內空氣品質標準所規範之總揮發性有機化合物 TVOC：

- (1) 檢測限值為一小時標準值 0.56 ppm；甲醛 0.08 ppm。
- (2) TVOC 包含 12 種揮發性有機物之總和：苯(Benzene)、四氯化碳(Carbon tetrachloride)、三氯甲烷(Chloroform)、乙苯(Ethyl Benzene)、三氯乙烯(Trichloroethylene)、甲苯(Toluene)及二甲苯(對、間、鄰)(Xylenes)、1,2- 二氯苯(1,2-Dichlorobenzene)、1,4- 二氯苯(1,4-

Dichlorobenzene)、二氯甲烷(Dichloromethane)、苯乙烯(Styrene)、四氯乙烯(Tetrachloroethylene)。

## (二) VOCs 檢測技術

揮發性有機氣體(VOCs)一次性檢測方式的儀器級在足夠的取樣量下，能提供較精確的檢測數據；但是無法提供即時性的檢測結果。即時性的檢測方式，能快速提供檢測空間中的濃度變化，但是目前在精確度上，仍然有技術上的挑戰。

氣體環境檢測在採樣後正確判別物種需要配合氣相層析 GC 之分離，氣相層析配上 FID 或 PID 偵測器有 GC-FID、GC-PID，若是超低濃度採用 GC-Mass (氣相層析-質譜儀)。這些儀器設備當不足偵測下限則需要採樣前濃縮技術。FID 或 PID 偵測器如下：

1. 光離子化偵測器 (Photo Ionization Detectors, PID)，對許多化合物的光游離程度不同而信號輸出，可以即時量度空氣中揮發性有機物代表指標。這方法的線性範圍覆蓋至 1,000ppm，檢出極限為 0.05 ppm。使用 PID 光離子化偵測器以異丁烯為校正氣體，PID 無選擇性可以測量 0.1 到 2,000 ppm 的 VOC 和其它有毒氣體，是一個高度靈敏的寬範圍檢測器。
2. 火焰離子化檢測器(FID)是一種寬頻有機化合物檢測器，不具備選擇性但線性非常好。FID 用於現場檢測的主要局限在於設備的重量和體積較大，並需要配置個氫氣瓶，很難在危險環境中使用。

## (三) TVOC sensor 發展現況

以美國 Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC)對所有的成熟的物聯網可實施的空氣偵測感測器產品評估與種類品牌之收集。氣體感測器產品列出僅有以電化學與金屬氧化物原理的 NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO 項目偵測產品，並無應用於戶外環境領域的 VOCs 感測器產品，用於室內空氣品質偵測針對 TVOC 與甲醛感測器產品還算普遍，常見的電化學感測器元件有 Nemoto, Dart, Figaro, Alphasense, Citytech 等。

## (四) 應用於環境領域的 TVOC sensor 開發可行性

能採用的 VOC 氣體感測器探頭選擇只有金屬氧化物半導體(MOS)與光離子化(PID)氣體感測器，然而兩者並對 VOC 無選擇性。目前業者泛用金屬氧化

物半導體元件(MOS)，適用 ppm 濃度範圍(<300 ppm)的工安警報器，雖然價格便宜然而無選擇性，易受環境溫濕度干擾，對於環境偵測低濃度範圍判別有困難。故對於未來研發 TVOC sensor 的技術與規格需求如下：

1. 從環境實用性來看必需要有選擇性，要能定義被偵測氣體或環境應用的資訊。
2. TVOC 感測器（類儀器模組）的 3S 靈敏度（偵測下限能達到 0.5 ppm），具選擇性（烷類、芳烴類、烯類酯類、醛類、酮類）與場域穩定度（溫濕度干擾低）。
3. 目前規劃開發中的 TVOC 類儀器感測模組：電子鼻
  - (1) 具備前濃縮與分離的採樣機構設計。
  - (2) 探頭為感測器陣列，感測材料（MOS，奈米複材）針對不同官能基分子有選擇性。
  - (3) 訊號擷取辨識數據以積分運算，並配合標準方法驗證比對。
4. 可應用於異臭味官能測定
  - (1) 異臭氣體：硫化氫、甲硫醇、氨氣。
  - (2) 應用場域：工廠、焚化廠污廢水處理、餐飲業、食品製造廠醫院、製藥業、石化產業、農業、畜牧業。

目前計畫上已經具備低成本 MOS 空氣品質感測模組開發能力，且計畫團隊過去經歷在感測器陣列的電子鼻有辨識演算之技術專利基礎，未來規劃 VOCs 感測元件相關技術研究，以完整空氣品質光化偵測模組技術。

## 第 4 章、擴大環境感測數據判讀與應用服務

環保署依據前瞻基礎建設計畫，自 106 年起推動環境感測物聯網建置作業，並於 107 年啟動與縣市地方政府進行感測器合辦布建計畫，執行至 109 年 11 月已於全國 17 縣市合計布建達 9,261 台感測設備。為使感測設備持續提供可信之數據資料，應建立設備資訊、智慧化巡檢、數據校正及數據衰減分析之相關機制，並蒐集感測設備之相關成果及應用案例，以確實反應出污染事件於設備數據上之趨勢變化且藉此確立污染數據判讀之機制行為。其設備之應用除針對固定污染源應用稽查外，今(109)年度將裝設感測設備於車輛上以利用移動感測物聯網初步測試移動污染源監測之應用面向，藉此分析都市交通廊道上之污染濃度的影響情形。

### 4.1、感測數據資料融合

#### 一、前言

政府感測器、民間感測器、國家級監測站，儀器設備的設計製造、量測原理、精密等級、以及應用面和布建位置的不同，因此空品數據的品質與標準會有不同程度的落差，目前空氣品質標準是以國家監測站作為主要判定依據，若逕行套用該標準來解讀感測器數據，會產生資料解讀不完全，空品資訊偏差，易造成空品理解的混亂、阻礙雙方良性溝通。為有效解決此問題，本團隊將蒐集國內各式空氣品質感測器（含校園感測器以及政府感測器等）資訊，針對相同地理位置，三方空品數據，進行長期的監控分析，藉著比較各式感測器數據差異，提供調校的方式建議，提升整體數據判讀的正確性。

#### 二、工作執行方法

本工作執行規劃主要分為：盤點監測站點、安裝空氣盒子、平行比對數據分析、建構校驗公式、評估校驗效能，五大步驟。初步規劃之執行說明如下：

1. 盤點監測站點：蒐整各縣市的國家級手動監測站、政府感測器、校園空氣盒子的基本資料，包含：ID、測站名稱、經度、緯度...等，了解目前三套空品監測體系的站點數量及空間分布。
2. 安裝空氣盒子：分別全臺 31 處手動監測站，設置百葉箱並安裝 2 台空氣盒子，進行數據蒐集。
3. 平行比對數據分析：平行比對同一位置，國家級自動監測站（已完成手動測站校正）、政府感測器、校園空氣盒子，於不同污染濃度區間的數據相關性、一致性的表現，了解感測設備效能。

4. 建構校驗公式：與中研院共同合作，以國家級自動監測站為標準，建構空氣盒子的校驗公式。
5. 評估校驗效能：定期評估校驗後的數據表現，控三方數據表現與感測器量測品質，與國家站的誤差、相關性。
6. 融合國家級測站、校正後政府、民間感測器數據，觀察空品的空間趨勢變化。



圖 4-1、全臺空品手動監測站平行比對布建位置分布圖

### 三、工作執行成果

盤點 109 年各縣市環保單位所布建的空品感測器，總計 8,212 台，其分布主要多在工業區內有高密度的布建，民間感測器總計 2,688 台，其分布多在一般民生住宅區與商業區，兩者布建位置互相輔助，結合使用可以掌握更多空氣品質在微環境的變化趨勢。



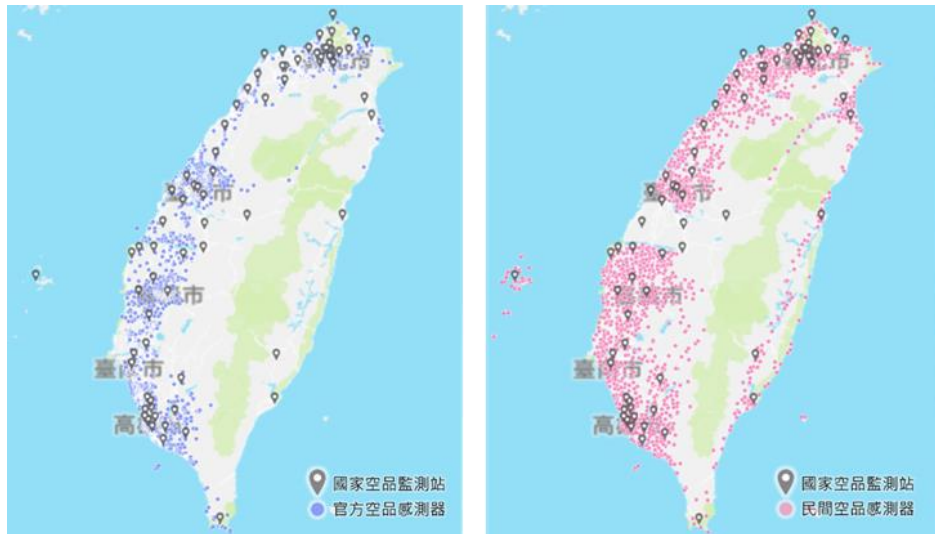


圖 4-2、109 年全臺空品感測器布建位置分布圖

此外，本年度已完成全臺 31 處手動監測站的布建，並與中央研究院資訊科學研究所合作建置民間感測器校正機制，全面將國家級測站、政府感測器、民間感測器三方數據整合至同一標準，降低因量測設備不同所造成的數據判讀的落差，相關的微型 PM<sub>2.5</sub> 感測校正系統亦同步開放於網站：<https://pm25.las-net.org/DCF/>，以及各地校正模式歷史資料與使用方法：<https://github.com/IISNRL/DCF-PM2.5/>，提供民眾及各界人士進行查閱使用，民間感測器校正趨勢如下圖 4-3 所示。

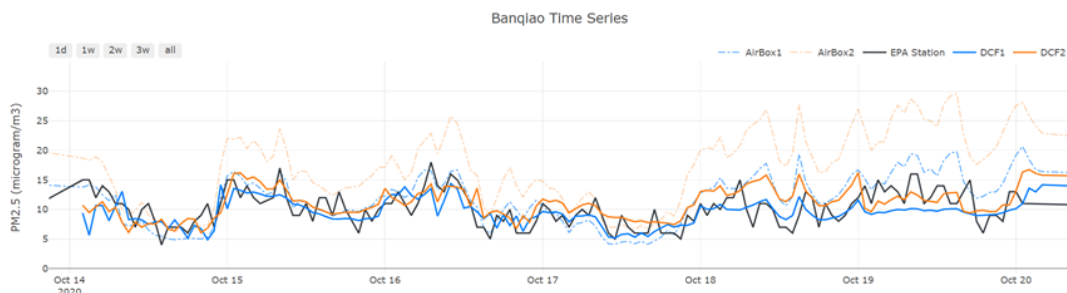


圖 4-3、民間感測器校正趨勢圖

比對校正後的政府及民間感測器數據，以 9 月份全臺各地區 PM<sub>2.5</sub> 的平均污染濃度而言，兩者空間上的濃度分布趨勢相符，在臺北、新北、宜蘭地區整體污染濃度低於 12.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在桃園、新竹、苗栗、高雄因政府感測器主要多位在工業區範圍內，推測加上該四個縣市內的工業組成型態或化學製程之影響，使得污染排放量較大，故實際量測濃度確實有明顯的數值表現，其大約介於 9.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 39.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而民間感測器因遠離工業區，因此污染濃度約在 3.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ~ 27.5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，較政府感測器低，在臺中、雲林、嘉義，兩者數據表現最為一致，約在  $6.2\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 39.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而臺南地區民間感測器測得結果為  $9.3\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 27.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  較政府感測器  $6.2\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 27.5\mu\text{g}/\text{m}^3$  高。

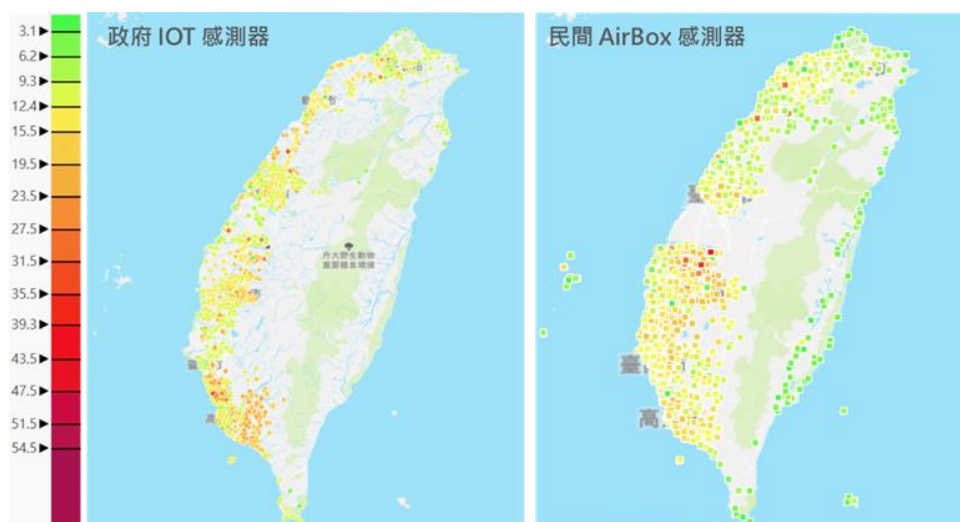


圖 4-4、9 月平均污染濃度分布

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 政府單位與民間社群因布建目的不同，因此感測器在空間上的分布異質性非常高，整體而言提升了臺灣智慧空品物聯網的覆蓋範圍，同時也帶來資源效益最大化的好處。
2. 本年度完成全臺政府與民間感測器的盤點，並透過 31 處手動監測站的平行掛測數據，與中研院資訊科學研究所共同合作建置民間感測器校正機制，全面將國家級測站、政府感測器、民間感測器三方數據整合至同一標準，提升整體數據判讀的正確性。
3. 比對校正後的政府及民間感測器數據，可見兩者於全臺各地區的污染濃度分布趨勢相符，唯獨在桃園、新竹、苗栗、高雄，四個縣市因政府感測器布建位置多集中在工業區範圍內，所測得的環境污染濃度確實會明顯高於民間感測器於一般住宅與商業區。

##### (二) 建議

1. 本年度各縣市空氣污染濃度整體皆比往年低，加上民間感測器的校驗機制施行不久，其校驗機制是否能在不同污染層級有效運作，仍待未來持續觀察與修正。

2. 現階段校正機制於各地區的精確度和誤差表現尚未被關注討論，建議各縣市政府後續能增設或調整部分政府感測器於民生住宅區，與民間感測器進行長期的數據交互比對，以利數據校正品質的維護和動態修正。

## 4.2、驗證智慧化巡檢校正方案

### 一、前言

為確保感測器布建於實地場域的量測品質，計畫針對感測設備與感測數據研擬一套管控機制，但因感測器布建數量龐大，現階段巡檢及校正皆須仰賴人工至現場比對校正，確實不符合成本效益，故本工作項需要研提驗證感測物聯網智慧化巡檢（管理感測設備）及感測器校驗機制（管理感測數據）之建議方案，完成實地場域驗證包含以鄰近感測器、標準監測站、巡檢儀器及平行比對感測器等資訊建立相關參數對應關係、盤點感測器偏移狀況、運用大數據進行感測器遠端校正，完成建置智慧化巡檢校驗機制可行性評估，具以確保空氣品質感測物聯網的數據品質，並達成智慧化管理之維運目的。

### 二、工作執行方法

本次分別針對新北市與臺中市做為巡智慧巡檢示範，其中新北市含括三項專案：「107 年新北市空氣品質感測物聯網布建計畫(新)」計 100 台、「108-109 年新北市空氣品質感測物聯網布建及維運計畫」計 300 台、「新北市空氣品質感測物聯網運用成效提升計畫(108-109 年)」計 400 台，總計 800 台感測器，臺中市含括兩項專案：「108 年臺中市空氣品質感測物聯網布建計畫」計 350 台，「柏昇 500 點」計 510 台，總計 860 台感測器。智慧化巡檢執行方案操作流程包含下列六步驟，詳述如下：

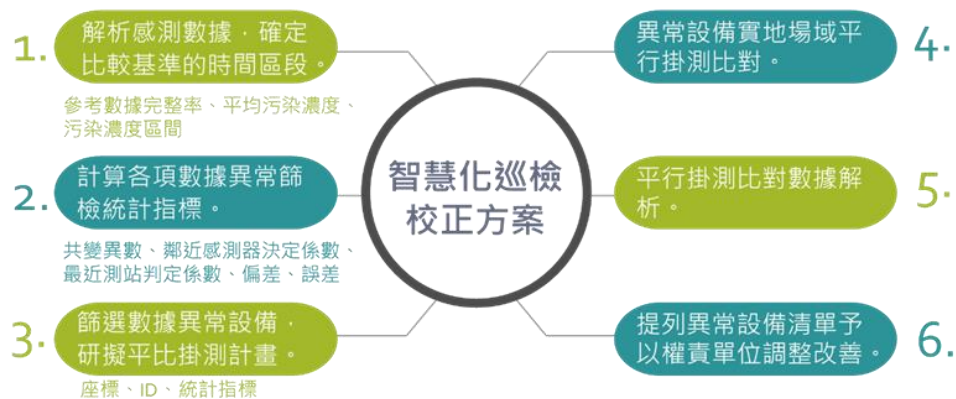


圖 4-5、驗證智慧化巡檢校正方案執行規劃

## (一) 確立比較基準

解析巡檢區域內各專案近期單月的分鐘值感測數據，繪製污染濃度區間分布圖、計算資料完整率，從中選定適宜月份數據作為分析比較基準，選取原則資料完整度較高的月份，且污染物濃度需涵蓋高、中、低濃度，污染物月平均濃度不得低於  $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，做為該次巡檢任務的異常檢測比較基準。

## (二) 計算各項數據異常篩檢指標

異常篩檢指標項目包含：與鄰近感測器的共變異數(CV)、與鄰近感測器的決定係數( $R^2$ )、與最鄰近國家監測測站的決定係數( $R^2$ )、偏差量(Bias)、誤差量(Error, %)。

CV 值為每分鐘該感測器與周圍 1 公里內的鄰近感測器所計算出的共變異數，再取整個觀察月份內的中位數作為該月份的常態表現，公式如下：

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad \text{式(1)}$$

N：資料總筆數

$x_i$ ：感測器污染物量測濃度

$\bar{x}$ ：感測器污染物量測值平均數

$y_i$ ：鄰近感測器污染物量測濃度

$\bar{y}$ ：鄰近感測器污染物量測值平均數

與鄰近感測器的決定係數( $R^2$ )為每分鐘該感測器與周圍 1 公里內所有的鄰近感測器平均值所計算出的，再取整個觀察月份內的中位數作為該月份的常態表現，公式如下：

$$R^2 = \left( \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad \text{式(2)}$$

$x_i$ ：每分鐘感測器污染物量測濃度

$\bar{x}$ ：每日感測器污染物量測值平均數

$y_i$ ：每分鐘鄰近感測器污染物量測濃度平均數

$\bar{y}$ ：每日鄰近感測器污染物量測濃度平均數

Bias 為每小時該感測器與最鄰近的國家級空品監測站偏差量百分比，再取整個觀察月分內的中位數作為該感測器的常態偏差表現，Error(%)為每小時計算後的 Bias(%)的絕對值，再取整個觀察月分內的中位數作為該感測器的常態誤差量的表現，公式如下：

式(3)

$$\text{Bias} = \frac{x_i - y_i}{y_i}$$

$x_i$ ：感測器污染物量測濃度

$y_i$ ：國家級空品監測站污染物量測濃度

### (三) 篩選數據異常設備、研擬平比掛測計畫

本次異常篩檢指標分為兩種等級，首要異常標準為：與鄰近感測器  $R^2$  中位數  $< 0.3$ 、CV 中位數  $> 0.5$ 、Error% 中位數  $> 0.6$ 、與最鄰近測站  $R^2$  中位數  $< 0.2$ 。次要異常標準為：與鄰近感測器  $R^2$  中位數介於  $0.3 \sim 0.4$  區間、CV 中位數介於  $0.4 \sim 0.5$  區間、Error% 中位數介於  $0.2 \sim 0.3$  區間、與最鄰近測站  $R^2$  中位數介於  $0.2 \sim 0.3$  區間。

表 4-1、智慧化巡檢異常篩檢指標

比對統計指標	首要異常標準	次要異常標準
與鄰近感測器 $R^2$ 中位數	$< 0.3$	$0.3 \sim 0.4$
與鄰近感測器 CV 中位數	$> 0.5$	$0.4 \sim 0.5$
與鄰近感測器 Error% 中位數	$> 0.6$	$0.2 \sim 0.3$
與最鄰近測站 $R^2$ 中位數	$< 0.2$	$0.2 \sim 0.3$

### (四) 異常設備實地場域平行掛測比對

依據異常篩檢指標，選取數據表現誤差過大的感測器，將平行比對感測器，裝設於異常設備相同位置，進行為期 2 日的掛測任務，並記錄周圍環境特徵、布建時間、環境照片、比對設備編號、異常設備編號。

### (五) 平行掛測比對數據解析

彙整平行比對設備與異常設備數據，時間範圍最少須達 30 小時，並兩兩計算平行比對指標，含：決定係數( $R^2$ )、偏差量(Bias, %)、誤差量(Error, %)。並各自獨立計算數據異常篩檢指標，做為相同位置的感測器性能比對分析。

### (六) 提列異常設備清單予以權責單位調整改善。

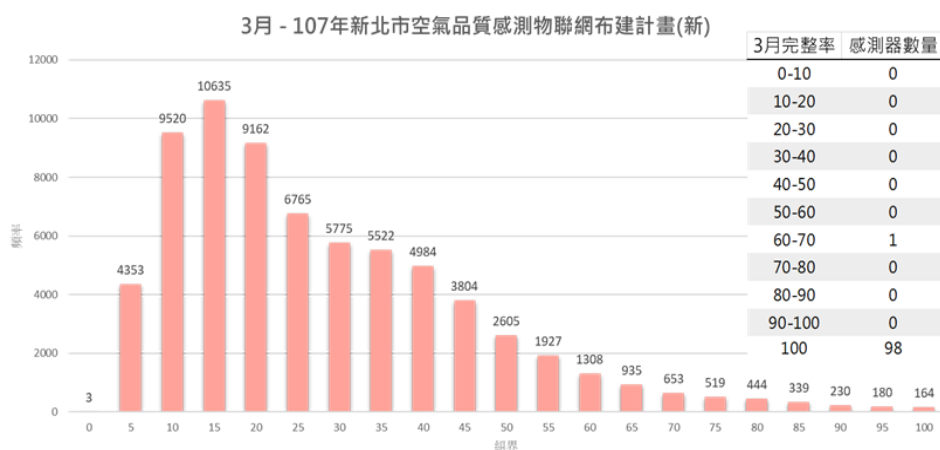
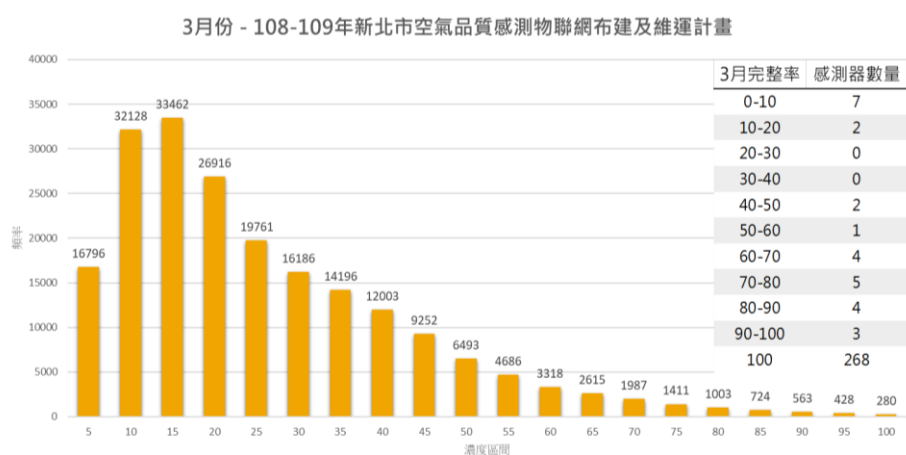
## 三、工作執行成果

新北市的智慧化巡檢考量資料完整率，故選取了今年三月份數據分析執行，其污染濃度多介於  $10 \sim 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  區間，由圖 4-6 至圖 4-8 的濃度區間分布圖可見

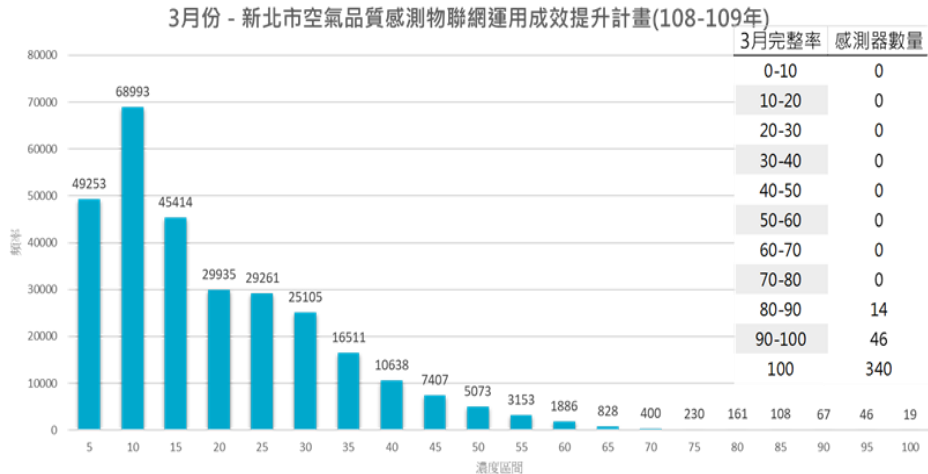
涵蓋了低、中、高濃度，臺中市智慧化巡檢作業，考量環境污染濃度平均不得低於  $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  條件下，故選擇九月份數據分析執行。

表 4-2、感測器智慧化巡檢專案清單

專案代碼	專案名稱	布建廠商	布建數量
1071	107 年新北市空氣品質感測物聯網布建計畫(新)	捷思	100
1072	108-109 年新北市空氣品質感測物聯網布建及維運計畫	捷思	300
1120	新北市空氣品質感測物聯網運用成效提升計畫(108-109 年)	廣域	400
87	柏昇 500 點	柏昇	511
1034	108 年臺中市空氣品質感測物聯網布建計畫	智感	350

圖 4-6、新北市 3 月份  $\text{PM}_{2.5}$  污染濃度區間分布圖（專案代碼 1071）圖 4-7、新北市 3 月份  $\text{PM}_{2.5}$  污染濃度區間分布圖（專案代碼 1072）



圖 4-8、新北市 3 月份 PM<sub>2.5</sub> 污染濃度區間分布圖（專案代碼 1120）

接著，從各項異常篩檢指標計算結果中，標記出未達標準之項目，如表 4-3 所示，其中黑底標示為超過首要異常標準，代表該項指標的感測性能嚴重不足，橘底標式次之。經綜合分析的結果分別圈列出新北市 20 台、臺中市 9 台感測效能不佳的可疑異常感測器，再由團隊人員攜帶調校後的標準比對儀器，至現場進行平行附掛，完成同一時空環境下的實驗組與對照組的感測數據收集，驗證智慧巡檢機制的有效性。

表 4-3、新北市可疑異常感測器篩檢清單

Device Name	Sensor R <sup>2</sup>	CV median	Error median	Station R <sup>2</sup>	Sensor PM <sub>2.5</sub>	Station PM <sub>2.5</sub>
TW040203A0506850	0.43	2.87	0.75	0.16	21.60	9.98
TW040203A0200033	0.21	0.66	1.61	0.11	14.68	27.87
TW040203A0200414	0.28	0.36	0.73	0.17	17.28	27.87
TW040203A0506878	0.04	1.32	0.53	0.24	14.59	26.24
TW040203A0200193	0.65	0.41	0.87	0.42	29.30	27.87
TW040203A0200118	0.42	0.45	1.01	0.20	22.77	27.87
TW040203A0200308	0.87	1.04	0.63	0.52	6.55	26.16
TW040203A0200155	0.83	0.34	0.95	0.38	24.80	27.87
TW040203A0506845	0.85	0.50	0.32	0.68	18.36	29.27
TW040203A0507000	0.25	0.56	0.41	0.26	16.98	22.89
TW040203A0506940	0.33	0.61	0.24	0.64	17.77	26.24
TW040203A0506870	0.11	0.76	0.35	0.39	21.07	26.24
TW040203A0200400	0.80	0.33	1.23	0.61	20.57	22.86

TW040203A0506875	0.26	0.68	0.24	0.63	17.81	26.24
TW040203A0200089	0.40	0.51	0.26	0.46	20.28	26.16
TW040203A0200283	0.41	0.34	0.36	0.24	25.01	28.68
TW040203A0200154	0.17	0.35	0.36	0.15	25.26	22.76
TW040203A0506872	0.26	0.53	0.28	0.63	18.82	26.24
TW040203A0200014	0.77	0.53	0.24	0.46	25.10	27.87
TW040203A0200009	0.67	0.17	0.71	0.54	26.48	27.87



圖 4-9、新北市可疑異常感測器點位分布



圖 4-10、實地場域平行掛測比對



圖 4-11、臺中市可疑異常感測器點位分布



圖 4-12、臺中市實地場域平行掛測比對

平行掛測比對的數據解析整理後如下表 4-4 及表 4-5，為了便於觀看，表格底部以深灰、淺灰色的格式化資料橫條顯示，「深灰色」表示該感測器於該項指標表現「差」，「淺灰色」表示該感測器於該項指標表現「佳」，橫條長度則表示程度大小。以下分別針對新北市及臺中市的結果進行討論，

(一) 新北市：

1. 異常篩檢指標中，共變異數 (CV 值) 越大表示該感測器與鄰近一公里內其餘感測的表現不一致，本次 CV 值最差的三者依序為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200308，高達 1.77。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0507000，高達 1.14。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200154，高達 0.98。
2. 異常篩檢指標中，Bias(%) 表示與最鄰近測站的正負偏差，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，正偏差高達 2.78。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0507000，正偏差高達 1.22。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200193，正偏差高達 1.22。
3. 異常篩檢指標中，Error(%) 表示與最鄰近測站的偏差量，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，正偏差高達 2.78。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0507000，正偏差高達 1.22。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200193，正偏差高達 1.22。
4. 異常篩檢指標中，Sensors  $R^2$  表示與周圍 1 公里範圍內的鄰近測器的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，相關性為 0.00。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0506875，相關性為 0.00。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200014，相關性為 0.02。



5. 異常篩檢指標中，Station  $R^2$  表示與最鄰近國家測站的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，相關性為 0.00。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0200193，相關性為 0.05。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200014、TW040203A0507000，相關性同為 0.08。
6. 平行比對指標中， $R^2$  表示異常感測器與平行比對感測器的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，相關性為 0.02。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0506878，相關性為 0.13。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200155，相關性同為 0.15。
7. 平行比對指標中，Bias(%)表示異常感測器與平行比對感測器的正負偏差，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，正偏差高達 1.80。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0200308，負偏差高達-0.78。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200089，負偏差高達-0.58。
8. 平行比對指標中，Error(%)表示異常感測器與平行比對感測器的偏差量，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，高達 1.80。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0200308，高達 0.78。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200089，高達 0.58。

表 4-4、新北市平行掛測比對數據解析

Pair	DeviceName	獨立的異常篩檢指標						平行比對指標			PM <sub>2.5</sub> 平均濃度		最鄰近測站	
		CV	Bias(%)	Error(%)	Sensors R <sup>2</sup>	Station R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>	Bias(%)	Error(%)	感測器	測站	名稱	距離
01	TW040203A0200400	0.71	2.78	2.78	0	0		0.02	1.80	1.80	8.47	9.37	永和	2519
	355001090029017_PMD_2	0.35	0.38	0.38	0.58	0.78								
02	TW040203A0200308	1.77	-0.73	0.73	0.54	0.31		0.33	-0.78	0.78	7.55	10.4	新莊	3314
	355001090062133_PMD_2	0.36	0.16	0.17	0.88	0.64								
03	TW040203A0200089	0.58	-0.36	0.36	0.4	0.64		0.29	-0.58	0.58	10.16	10.4	新莊	3207
	355001090029314_PMD_2	0.39	0.48	0.48	0.11	0.55								
04	TW040203A0200155	0.64	-0.36	0.37	0.08	0.47		0.15	-0.55	0.55	5.6	9.47	土城	5147
	355001090067835_PMD_2	0.52	0.3	0.3	0.46	0.5								
05	TW040203A0200009	0.31	-0.24	0.3	0.67	0.16		0.80	-0.47	0.47	5.68	9.47	土城	1940
	355001090063008_PMD_2	0.52	0.4	0.4	0.56	0.29								
06	TW040203A0200033	0.63	0.7	0.7	0.36	0.27		0.41	0.41	0.43	7.6	9.47	土城	6032
	355001090024141_PMD_2	0.29	0.21	0.25	0.87	0.45								
07	TW040203A0200154	0.98	0.42	0.42	0.06	0.15		0.33	-0.17	0.38	7.32	9.93	蘆寮	3012
	355001090046953_PMD_2	0.59	0.24	0.24	0.09	0.22								
08	TW040203A0200014	0.56	0.03	0.28	0.02	0.08		0.54	-0.28	0.29	8.58	9.47	土城	2784
	355001090042655_PMD_2	0.5	0.41	0.41	0.07	0.24								
09	TW040203A0506878	0.88	0.21	0.31	0.05	0.13		0.13	-0.22	0.25	11.65	10.4	新莊	2011
	355001090067140_PMD_2	0.9	0.48	0.48	0.05	0.06								
10	TW040203A0506850	0.19	0.08	0.27	0.78	0.34		0.62	-0.09	0.24	10.49	9.55	土城	8589
	355001090034397_PMD_2	0.23	0.28	0.29	0.66	0.29								
11	TW040203A0507000	1.14	1.22	1.22	0.03	0.08		0.54	-0.02	0.21	11.07	6.57	新店	2861
	355001090026997_PMD_2	0.8	1.35	1.35	0.03	0.1								
12	TW040203A0506872	0.3	0.22	0.24	0.41	0.45		0.64	-0.03	0.20	11.63	10.4	新莊	1821
	355001090027581_PMD_2	0.3	0.23	0.28	0.24	0.52								
13	TW040203A0506940	0.24	0.13	0.17	0.57	0.47		0.53	-0.05	0.20	11.82	10.4	新莊	1307
	355001090067488_PMD_2	0.24	0.14	0.17	0.59	0.62								
14	TW040203A0506875	0.32	0.07	0.16	0	0.45		0.76	-0.14	0.19	21.66	10.4	新莊	1274
	355001090038653_PMD_2	0.41	0.23	0.24	0.07	0.54								
15	TW040203A0506870	0.45	0.28	0.28	0.23	0.35		0.67	-0.04	0.19	11.76	10.4	新莊	2089
	355001090026922_PMD_2	0.35	0.26	0.34	0.16	0.4								
16	TW040203A0506845	0.14	0.29	0.29	0.83	0.57		0.76	-0.12	0.19	10.97	8.7	板橋	1233
	355001090025288_PMD_2	0.18	0.32	0.32	0.67	0.4								
17	TW040203A0200193	0.82	1.22	1.22	0.11	0.05		0.59	0.01	0.16	8.65	9.47	土城	2431
	355001090022103_PMD_2	0.6	0.85	0.85	0.18	0.15								
18	TW040203A0200414	0.42	0.17	0.21	0.43	0.37		0.57	-0.07	0.15	8.89	9.47	土城	4000
	355001090023911_PMD_2	0.42	0.26	0.26	0.16	0.21								

綜合以上比對結果，可以歸結感測器編號 TW040203A0200400、編號 TW040203A0200033、編號 TW040203A0200308、編號 TW040203A0200155、編號 TW040203A0200154、編號 TW040203A0200089 確實為感測器本身設備異常，建議應更換設備或與國家測站進行長期的平行比對，建立校正公式。

另外感測器編號 TW040203A0507000、編號 TW040203A0200014、編號 TW040203A0200193 雖有異常表現，但與平行比對設備表現一致，故推測為該處的環境特性所致，建議應視察現場環境，或長期觀察了解該地的區域型污染表現。



(二) 臺中市：

1. 異常篩檢指標中，共變異數 (CV 值) 越大表示該感測器與鄰近一公里內其餘感測的表現不一致，本次 CV 值最差的三者依序為：
  - (1) 感測器編號 VSGG-131083，高達 4.07。
  - (2) 感測器編號 VSGG-129530，高達 3.90。
  - (3) 感測器編號 TW010108A0100647，高達 1.15。
2. 異常篩檢指標中，Bias(%) 表示與最鄰近測站的正負偏差，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 VSGG-129530，負偏差高達 -0.89。
  - (2) 感測器編號 VSGG-131083，負偏差高達 -0.89。
  - (3) 感測器編號 TW010108A0100647，正偏差高達 -0.71。
3. 異常篩檢指標中，Error(%) 表示與最鄰近測站的偏差量，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 VSGG-129530，負偏差高達 0.89。
  - (2) 感測器編號 VSGG-131083，負偏差高達 0.89。
  - (3) 感測器編號 TW010108A0100647，正偏差高達 0.71。
4. 異常篩檢指標中，Sensors  $R^2$  表示與周圍 1 公里範圍內的鄰近測器的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 VSGG-129530，相關性為 0.00。
  - (2) 感測器編號 VSGG-131083，相關性為 0.02。
  - (3) 感測器編號 VSGG-129989，相關性為 0.11。
5. 異常篩檢指標中，Station  $R^2$  表示與最鄰近國家測站的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 VSGG-128113，相關性為 0.05。
  - (2) 感測器編號 VSGG-129530，相關性為 0.06。
  - (3) 感測器編號 VSGG-131083，相關性同為 0.08。
6. 平行比對指標中， $R^2$  表示異常感測器與平行比對感測器的相關性大小，結果最差者為：
  - (1) 感測器編號 TW040203A0200400，相關性為 0.02。
  - (2) 感測器編號 TW040203A0506878，相關性為 0.13。
  - (3) 感測器編號 TW040203A0200155，相關性同為 0.18。
7. 平行比對指標中，Bias(%) 表示異常感測器與平行比對感測器的正負偏差，結果最差者為：

- (1) 感測器編號 VSGG-131083，負偏差高達 0.87。
- (2) 感測器編號 VSGG-129530，負偏差高達 0.87。
- (3) 感測器編號 TW010108A0100647，負偏差高達 0.63。
8. 平行比對指標中，Error(%)表示異常感測器與平行比對感測器的偏差量，結果最差者為：
- (1) 感測器編號 VSGG-131083，高達 0.87。
- (2) 感測器編號 VSGG-129530，高達 0.87。
- (3) 感測器編號 TW010108A0100647，高達 0.63。

綜合以上比對結果，可以歸結感測器編號 VSGG-129530、VSGG-131083、TW010108A0100126、TW010108A0100703、TW010108A0100647、VSGG-129989 確實為感測器本身設備異常，建議應更換設備或與國家測站進行長期的平行比對，建立校正公式。另外感測器編號 VSGG-127673 雖有異常表現，但與平行比對設備表現一致，故推測為該處的環境特性所致，建議應視察現場環境，或長期觀察了解該地的區域污染表現。

表 4-5、臺中市平行掛測比對數據解析

Pair	DeviceName	獨立的異常篩檢指標						平行比對指標			PM <sub>2.5</sub> 平均濃度		最鄰近測站	
		CV	Bias(%)	Error(%)	Sensors R <sup>2</sup>	Station R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>	Bias(%)	Error(%)	感測器	測站	名稱	距離
01	TW010108A0100126	0.442256549	-0.53	0.53	0.44	0.22		0.36	-0.55	0.55	10.64	19.7	豐原	4486
	355001090026922_PMO_2	1.159374916	0.02	0.17	0.44	0.11								
02	TW010108A0100676	0.189336605	-0.14	0.21	0.46	0.41		0.87	0.03	0.08	14.33	19.13	行動	6307
	355001090067488_PMO_2	1.409067216	-0.25	0.25	0.36	0.2								
03	TW010108A0100703	0.972391202	-0.59	0.59	0.48	0.2		0.33	-0.60	0.60	12.74	19.7	豐原	4672
	355001090042655_PMO_2	1.116516408	0.11	0.23	0.36	0.24								
04	TW010108A0100647	1.154099955	-0.71	0.71	0.52	0.64		0.44	-0.63	0.63	12.66	19.13	行動	3875
	355001090029017_PMO_2	1.821547143	-0.25	0.25	0.83	0.49								
05	VSGG-127673	0.298867396	-0.54	0.54	0.86	0.26		0.87	-0.41	0.41	11.16	19.13	行動	3990
	355001090026997_PMO_2	1.368161658	-0.25	0.24	0.56	0.24								
06	VSGG-129530	3.90302709	-0.89	0.89	0	0.06		0.04	-0.87	0.87	9.88	21	大里	4632
	355001090025288_PMO_2	0.959981402	-0.1	0.25	0.8	0.01								
07	VSGG-129989	0.247447178	-0.43	0.43	0.11	0.27		0.11	-0.35	0.35	9.23	21	大里	4632
	355001090038653_PMO_2	1.180973987	-0.1	0.23	0.58	0								
08	VSGG-128113	0.194815554	-0.51	0.51	0.65	0.05		0.73	-0.33	0.33	9.19	19.13	行動	1792
	355001090024141_PMO_2	1.473140794	-0.25	0.25	0.42	0.28								
09	VSGG-131083	4.069458787	-0.89	0.89	0.02	0.18		0.01	-0.87	0.87	10.28	21	大里	3836
	355001090023911_PMO_2	1.220723316	-0.04	0.2	0.58	0.01								

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

本年度以新北市、臺中市作為智慧化巡檢機制開發與驗證之場域，成功利用共變異數、誤差百分比、感測器決定係數、國家測站判定係數四項檢測指標，

圈列出可疑的異常感測清單，經現場掛測實驗及數據比對結果，驗證本機制之可行性，達成智慧化管理之維運目的。

## (二) 建議

1. 本年度環境污染濃度普遍偏低，比對試驗期間較缺乏普通及高污染濃度區間的資料，因此巡檢作業機制是否能在各環境濃度區間適用，仍有待後續進一步探究。
2. 異常檢測指標的開發與調整，亦可再多方試驗精進，藉以提升稽查效力。
3. 現階段比對掛測儀器的電力供給目前全仰賴行動電源供應，實際可收集的數據有限，因此無法進行更長期的觀察比對，建議後續可與縣市布建廠商合作，協助長期供電以解決用電問題。

## 4.3、重大污染事件資料收集

### 一、前言

去(108)年度全國發生數件大型火災事件(如：臺中后里輪胎廠大火及臺南新營工業區火災等)，環保署及環保局相關單位利用已經布建之空污感測器針對火災案例進行污染擴散之分析，藉此提供地方政府掌握污染事件的影響範圍、區域、人口密度等資訊，並提供對應的應變方式。藉由案例發現，針對此種大型的污染事件，空污感測器可提供與以往不同的觀察及判斷途徑，提供給民眾更好更即時的污染預警資訊，做為預防性污染防護措施之參考。因此，今(109)年度之計畫將持續追蹤重大污染事件在空間感測所呈現之數據變化，佐以對於污染事件對周圍居民之健康及災損影響，並將發生的污染事件收錄建檔。

### 二、工作執行方法

本項工作將定期蒐集相關污染事件及報導以進行統計及資料彙整，如：污染來源、工廠基本資料、污染事件影響程度及範圍、污染事件資料蒐集(濃度變化趨勢、Air 網污染濃度動態影像錄製等)，並嘗試增加污染事件發生時，當地之感測數據變化以及環保署標準監測站之數據變化，並進行兩者之間的濃度比較，以了解污染發生時，感測器與監測站之間的高度差異，是否會明顯導致數據的差異以及相關之原因。彙整全年度所蒐集之污染事件，並將其做成污染事件大事記以紀錄污染事件之發生以及每次事件所造成之影響。

### 三、工作執行成果

針對今年度之污染事件進行蒐集，其主要污染事件大多來自於火災事件，由於火災事件多為意外事件且其影響範圍較大，故作為主要的污染事件蒐集案例，然而本計畫執行至今雖有多起重大污染事件之發生，但受限於事件周邊感測器的數量與上下風區位的對應效應，能從感測器有明顯反應之事件有限，以下將針對感測數據有顯著變化或有實際應用之案件進行說明，重大污染事件之彙整表如表 4-6 所示：

#### （一）高雄市楠梓區東昌街倉庫火災

本次污染事件為 109 年 1 月 15 日於高雄楠梓區一處倉庫發生火警事件，其火勢持續了 2 小時後即撲滅，但其當時區域的擴散條件不佳，因此導致火災造成的污染物於高雄市市區內滯留及累積，蒐集相關新聞報導資料，如圖 4-13 所示。並藉由物聯網平台可以發現於火災開始發生時，由於當日高雄地區 PM<sub>2.5</sub> 的空氣品質不良，因此感測數據變化較不明顯，但受其北風吹拂之帶動，污染物往南移動並於高雄及臨海加工出口區一帶持續累積，導致此區域之感測器數值達嚴重的紫色程度，其污染物變化狀況如圖 4-14 所示。

109-01-15

楠梓工廠倉庫火警，環保局發空污警報

○ 發佈單位：環境稽查科 ● 點閱率：109

高雄市楠梓區一處工廠倉庫於本日(1/15) 06時05分楠梓區東昌街48號倉庫火警，08時13分大隊長林原興回報：火勢撲滅。火警產生之大量濃煙及異味加上微弱北風目前往「市區」(主要影響區域包含北高雄市區至南高雄市區)飄散，加上今日風速弱，不利於污染物擴散。  
高雄市政府環保局目前已及時掌握並透過通報機制發出空污警報，並通報高市各局處(經發局、都發局、地政局、水利局、農業局、捷運工程局)依防制措施管制要領應變；工務局通報4,711處工地，配合執行應變措施)及各學校、各區公所、各衛生所及各照護機構等，彈性調整課程活動及落實相關防護措施；透過本市轄下5家有線電視每小時2次執行跑馬訊息；7家公車業者配合執行應變措施；高捷車站跑馬燈宣導注意空品不良並適時防護。  
環保局提醒民眾，中午之前高雄市區內近乎無風，空氣擴散條件相對差，大火異味不易消散，目前楠梓區周邊附近空品稍轉差，請民眾避免戶外劇烈運動，外出佩戴口罩；中午之後，海風吹入市區，空氣可望稍有轉好。有空品需求的民眾可以加入本局的LINE@高雄空品報你知，可即時掌握空品資訊。



圖 4-13、高雄楠梓工廠火災之新聞報導

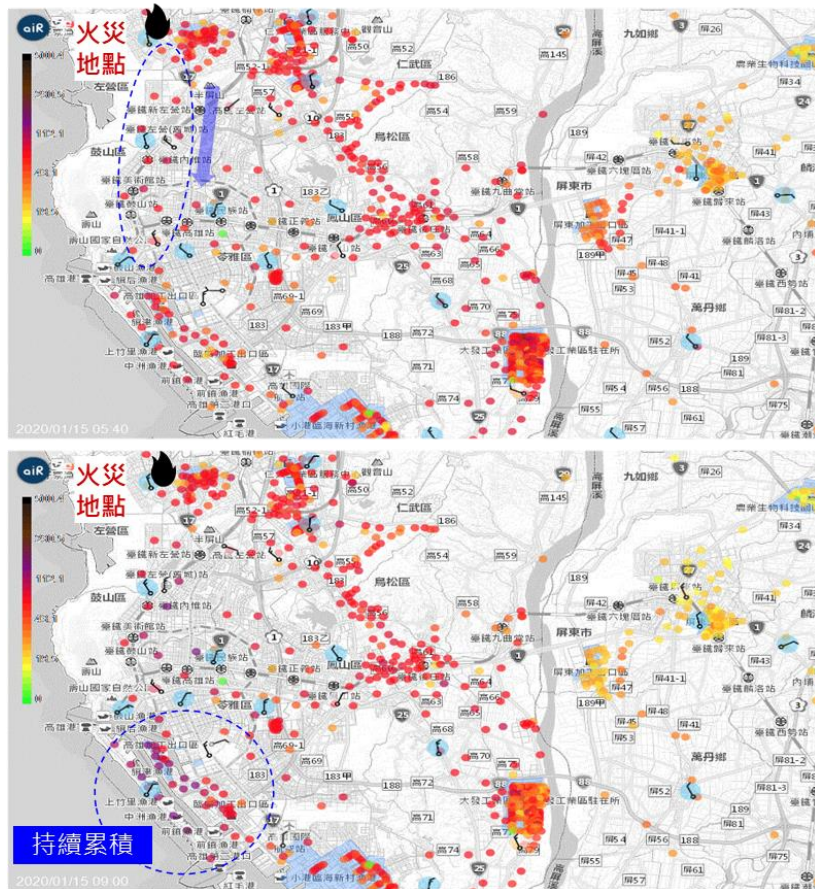


圖 4-14、楠梓倉庫火災污染影響變化

## (二) 彰化芳苑塑膠工廠火災

此次污染事件為 109 年 3 月 7 日凌晨 4 點 46 分位於芳苑工業區內的一間塑膠工廠發生火災事故，且火勢持續延燒 2 小時才撲滅。此污染事件之發生使感測器所偵測到的 PM<sub>2.5</sub> 濃度上升，然而 3 月份時環境濃度較高，當日空氣品質指標(AQI)為 87，表示當日空氣品質狀況為普通等級，因受到區域環境濃度偏高之影響，感測器濃度變化呈現較不明顯，如圖 4-15 所示。

因此本團隊進一步針對污染週遭之感測器進行污染濃度變化分析，如圖 4-16 所示，可發現 3 月 7 日當天凌晨 4 點之後感測器所測得知 PM<sub>2.5</sub> 濃度增加，並可能受到環境風向以及大氣條件之影響，導致感測器明顯偵測到高濃度的時間為早上 7 點之後，但確實可以發現位於污染工廠的南邊有出現數據變化之反應。但因芳苑工業區周邊無其他感測器點位，因此無法明確判斷此次污染事件實際的影響範圍。





圖 4-15、芳苑火災(A)火災發生前以及(B)火災發生後污染影響變化圖

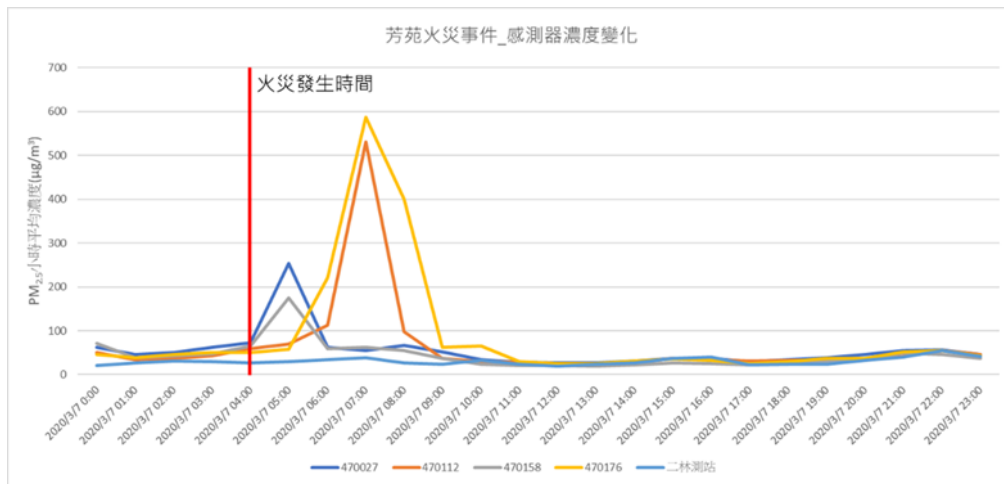


圖 4-16、芳苑火災感測器濃度變化趨勢

### (三) 高雄宜昇化工廠-苯氣體外洩

此污染事件為發生於 109 年 6 月 29 日清晨 6 點左右，位於高雄市前鎮區的化工廠發生苯氣體外洩意外，並導致 3 人送醫，其污染事件之相關新聞報導，如圖 4-17 所示。針對本次污染物外洩事件，觀察工廠周邊之感測器數據變化，如圖 4-18，可以發現於 6 月 29 日凌晨 3 點至 5 點時環境吹東南風，因此位於工廠北邊之感測器 VOCs 的數據上升，並隨著風場漸轉變為北風時，位於工廠南邊之感測器也出現 VOCs 的數值上升之情形。因此，位於工廠周邊 400 公尺內之感測器有明顯的趨勢反映出污染物的影響情形，並由於工廠程序上未通報之錯誤，環保局依毒性及毒性關注化學管理法開罰 100 萬。





圖 4-17、高雄化工廠苯氣外洩之新聞報導

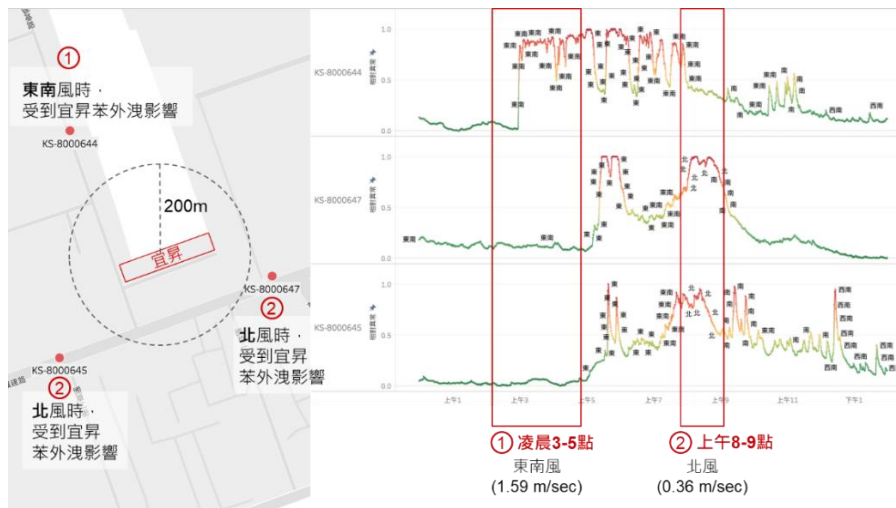


圖 4-18、高雄化工廠苯氣外洩感測器濃度趨勢變化

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 由於地方政府布建感測器之目的多針對工廠污染排放進行監測，所以發生於非工業區的火災事件無法藉由感測器觀察到其污染物擴散之反應和變化，因此本工項每季進行一次污染事件之蒐集及彙整，並找出與感測器應用相關之案件進行說明，以作為感測器應用之成果紀錄。
2. 污染事件於感測器所反應出的成果，可提供地方政府了解污染事件對環境區域所造成的影響及影響範圍，提供空氣品質感測物聯網在輔助智慧稽查的其他應用執行績效。

##### (二) 建議

感測器的用途不僅限於污染稽查，建議地方政府於感測器點位選址上，不應僅著重於工業區域，需多方考量感測器的應用成效，並多加利用感測器的廣布成果，針對意外的污染事件進行分析，提高感測器的應用效率，並可將相關的應用成果向民眾宣傳，達到民眾有感之目的。

表 4-6、109 年空氣污染事件彙整年表

項次	污染事件	污染事件 起始時間	污染事件 結束時間	污染事件發生原因	污染範圍	PM <sub>2.5</sub> 最高濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	媒體效應
1	高雄市楠梓區東昌街倉庫火災	109/01/15 06:15	109/01/15 08:13		---		
2	彰化芳苑塑膠工廠火災	109/03/07 04:46	109/03/07 06:57	不明原因起火，廠房堆積大量塑膠原料等易燃物品，近千坪廠方陷入火海	長約：>3.2 公里 寬約：>1.3 公里	約 417	公視新聞網
3	雲林水林鄉飼料廠火災	109/03/08 約 07:00	109/03/08 約 07:20	不明原因起火，因風勢助長，火勢一發不可收拾	無法估計 (此處沒有點位)		中視新聞網
4	苗栗縣中華路上voc偵測瓦斯外漏	新聞前	0109/03/12 23:30	不明原因瓦斯氣體外洩	長約：0.5 公里 寬約：0.5 公里		聯合新聞網
5	觀音工業區飄化學異味	109/4/26 約 20:00	----	化學品異味排放	---		自由時報
6	高雄宜昇化工廠苯氣外洩	109/6/29 3:00	109/6/29 9:00	不明原因有毒化學品外洩	約 400 公尺範圍內		聯合新聞網
7	竹科全友機車棚失火	109/7/6 12:10	---	機車棚起火	---	約 944	聯合新聞網
8	彰化正新輪胎溪州廠火災	109/9/26 10:40	---	輪胎廠起火	---	約 320	聯合新聞網
9	欣興電子印刷電路板工廠大火	109/10/28 15:00	109/10/29 1:25	印刷電路板工廠起火	約 6 公里範圍	約 270	聯合新聞網

## 4.4、感測數據衰減分析

### 一、前言

臺灣空氣品質感測物聯網歷經 106 年基礎建置期、107 年合作推動期、108 年全面建置期，到現階段 109 年的成熟推廣期，逐年累積布建的政府感測器數量已達 9,261 台。另外，起源於民間社群與中研院的校園感測器布建計畫也已累積 10,324 台，低成本的微型感測器由於價格低廉，在設備的耐用性與穩定度相對較差，在使用一段時間後內部感測元件或機構模組較易發生衰減老化，或受外部環境的影響，產生故障或失效，對空品量測結果將造成不同程度的誤差與衰減情形，因此為確保有效的量測結果並降低設備性能的不確定性，本工作項目將蒐集中研院布建校園感測器及本署與地方政府合辦布建感測器之感測數據，分析各式感測器與標準監測站及群體感測器之感測趨勢，分析感測效能與衰減狀態，完成各式感測器衰減分析。

### 二、工作執行方法

本工作執行方法主要採用時間序列分析(Time Series Analysis)技術，來提取空品感測資料中的衰減趨勢特徵，時間序列資料 $\{Y_t\}_{t=1}^N$ 是指按時間(t)索引、排序的資料集，對應至計畫內容，本團隊將蒐整近年來政府感測資料集、校園感測資料集、參考測站資料集，針對感測資料集進行趨勢分析(Trend analysis)，並觀察分析對象長期的結構性變化趨勢，釐清並掌握感測器量測數據的衰減狀況；另外，再與參考測站資料進行交互相關分析(Cross-correlation analysis)，量化不同時期微型感測器與標準參考測站之間的相關性，藉以確定兩個固定序列資料是否具有相同的空品特徵，或有數據相關性降低之趨勢發生。

基於了解感測器的設置時間、設備品牌型號及運作時間長短對於運作效能的影響，本工項將選擇各縣市布建所用不同廠牌的感測器進行衰減分析，以初步嘗試利用不同距離範圍內的設備與監測站比對後的數據變化結果，並判定此篩選方式是否適用，與測站比對的感測設備篩選方式如下：

1. 放置於測站上長期比對的感測設備
2. 長期位於測站周邊 1km 範圍內的感測設備
3. 全區域內的感測設備

### 三、工作執行成果

各縣市感測器布建計畫從 107 年起至今各縣市所用之感測器廠牌也各有不同，包含廣域、柏昇、捷思環能、維新應用、智感雲端以及國產的經昌電子等各廠牌的設備，而為了解低成本感測器的設備使用壽命是否已有衰減等現象產生，因此將各別針對 6 家不同感測器廠商的設備與監測站間的數據進行分析，並藉此研析感測是否有衰減的情形發生，驗證此種分析方式是否能有效反應出設備衰減的情況，而本計畫進行數據分析所探討的結果項目如下：

1. 比較感測器與監測站的 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化
2. 感測器與測站間的相對器差(bias)變化
 
$$\text{器差} = \text{感測器讀值} - \text{參考儀器讀值}$$

$$\text{相對器差} = (\text{器差} / \text{參考儀器讀值}) \times 100\%$$
3. 感測器與測站間的決定係數(R<sup>2</sup>)變化

#### (一) 國家監測站周邊 1km 內感測器衰減分析：

此方法是以國家測站為中心點，篩選出國家測站周邊半徑 1km 範圍內之於實場布建的感測器，並將這些感測器與國家監測站間的數據進行比對及分析，以了解測站周邊的感測設備是否有數據偏移及設備衰減之情形，設備篩選以不同廠牌的感測器進行初步分析。

##### 1. 大園測站（107 年柏昇設備）

大園測站周邊 1km 內的感測器為 107 年使用的柏昇的設備，大園測站周邊多數感測器皆布建於大園工業區內，距測站 1km 內僅有 2 台柏昇設備，其設備分布圖如圖 4-19 所示。



圖 4-19、大園測站周邊 1km 內感測器示意圖

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-20 及圖 4-21 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：大園測站與周邊 2 台感測器之 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度變化，其數據時間累積由 108 年 1 月至 109 年 8 月，可看到在 108 年感測器濃度趨勢變化跟大園測站的變化一致性很高，但到 109 年 6 月至 7 月，為環境濃度較低的時期，則開始有一致性降低的狀況。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：由圖 4-21 可看到，針對 R<sup>2</sup> 的部分長期的趨勢變化結果，大多 R<sup>2</sup> 都有達到 0.7 以上，於 108 年 7 月單一台設備 R<sup>2</sup> 為 0.6 左右，以及 109 年 6 月測站周邊的 2 台設備 R<sup>2</sup> 下降到 0.4-0.5 左右，其 R<sup>2</sup> 降低的原因可能是 2 台設備之間的差異以及環境濃度較低時設備與測站間的差異也容易被放大所導致。
- (3) Bias 趨勢分析：再針對相對器差的結果進行探討，可以發現整體感測器與監測站間的相對器差多有在環保署要求的 30% 以內，在 109 年 6-7 月 bias 則顯著變大，因此當環境濃度較低或是 R<sup>2</sup> 偏低時，設備與測站的 bias 就會變大，也表示 R<sup>2</sup> 與 bias 之間是相互反應的。

其上述的分析結果，可初步判斷 107 年柏昇的設備經歷 1.5 年後有些微的衰減趨勢，但可先由廠商針對低濃度環境進行設備校正，再持續觀察設備於後續高濃度及低濃度時期是否還有一致性降低的情形。

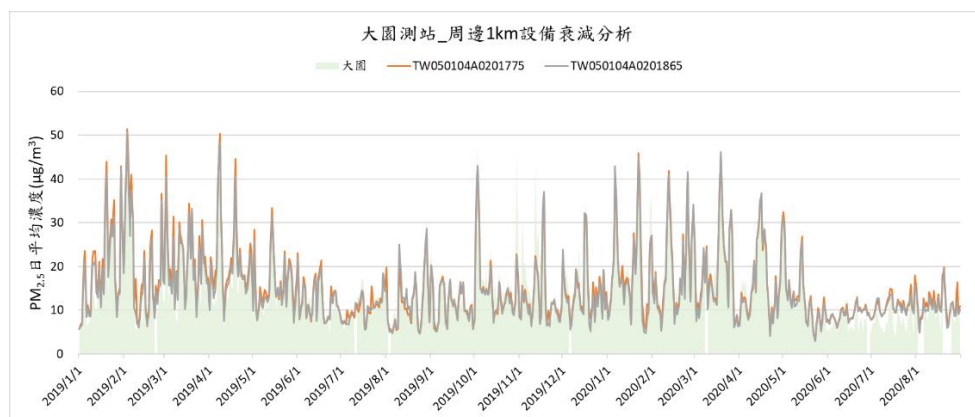
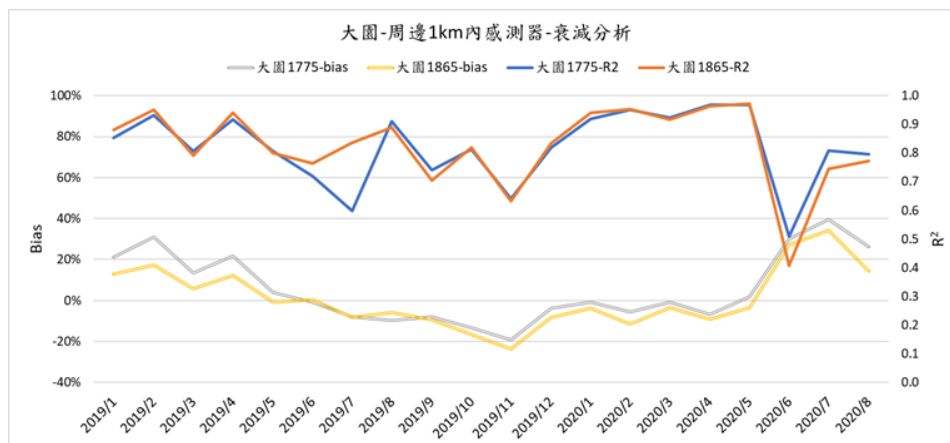


圖 4-20、大園測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化



圖 4-21、大園測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

## 2. 觀音測站（108 年廣域設備）

觀音測站位於觀音市區內，其周邊點為以社區及交通點位為主，其監測目標應為環保科學園區周邊社區，而位於觀音測站周邊 1 km 內的感測器有 2 台，皆距離測站約 960 m 左右，可推估 2 台設備間的趨勢變化可能為相似的結果，其感測器與監測站的位置示意圖，如圖 4-22 所示。



圖 4-22、觀音測站周邊 1km 內感測器示意圖

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-23 及圖 4-24 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：



- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：因觀音測站周邊的感測器為 108 年新布建的設備，因此數據從 108 年 9 月起才有數據。而從結果上可發現感測器於環境濃度高時，其設備與測站的數據一致性較好，但到了 109 年 6 月時感測數據與監測站的濃度差異就變大，這可能的原因有感測器周邊有污染影響、感測元件於低濃度環境偏差就較大或是設備於低濃度環境無各別校正，以上原因皆可能導致感測器與監測站的差異較大。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：依濃度變化趨勢結果，感測器與監測站的 R<sup>2</sup> 於一致性較差的 6 月份結果也較差，除此之外 R<sup>2</sup> 結果多有達到環保署所要求的 0.7 以上。
- (3) Bias 趨勢分析：感測器與監測站間相對器差的結果趨勢與 R<sup>2</sup> 大致上一致，在環境濃度低時 R<sup>2</sup> 會下降而相對誤差會增加，因為在環境濃度低時，感測器與監測站的些微差距皆會導致有較大的誤差結果。而整體相對誤差的結果大多皆符合環保署要求的 30% 以內的誤差。

針對觀音測站周邊感測器的數據分析結果，可得知此設備為 108 年新布建的設備，至目前為止於環境濃度高的時期，設備間的一致性相當良好，僅於環境濃度低的時期一致性有顯著的偏差狀況，此可能為低濃度的數據校正尚需再做調整，因此尚無觀察到明顯的設備衰減需持續進行長期的觀察及分析。

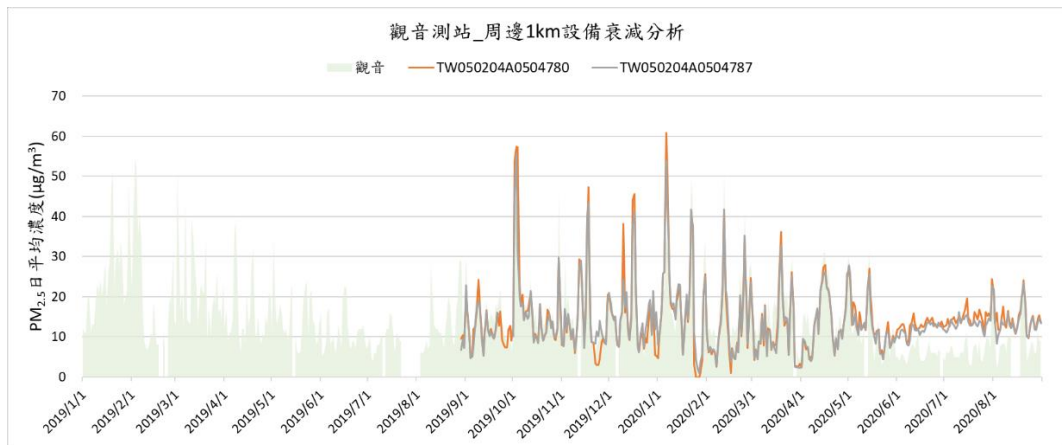
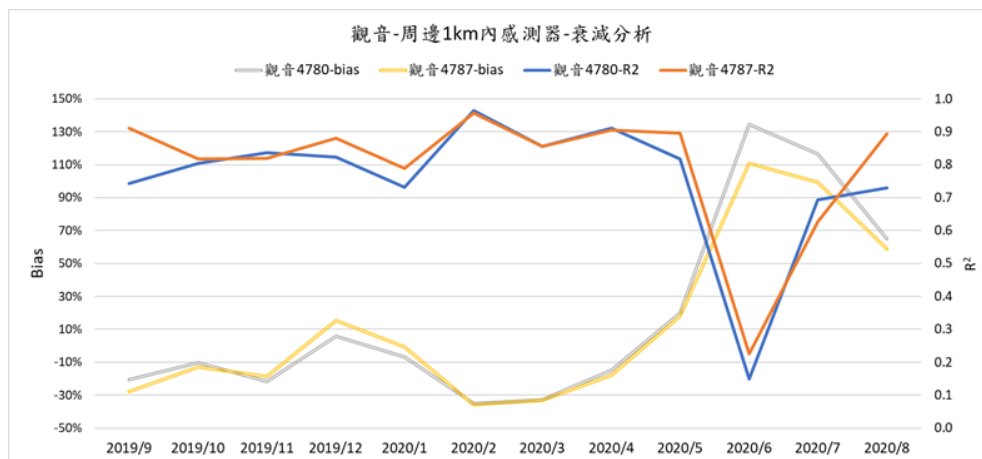


圖 4-23、觀音測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

圖 4-24、觀音測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

### 3. 忠明測站（智感 108 年設備）

忠明測站位於臺中市區特教學校內，其周邊點為以社區及交通點位為主，其監測目標應為交通及一般社區，位於忠明測站周邊 1km 內 108 年智感的感測器共有 5 台，設備開始運作時間為 109 年 1 月啟用，其感測器與監測站的位置示意圖，如圖 4-25 所示。

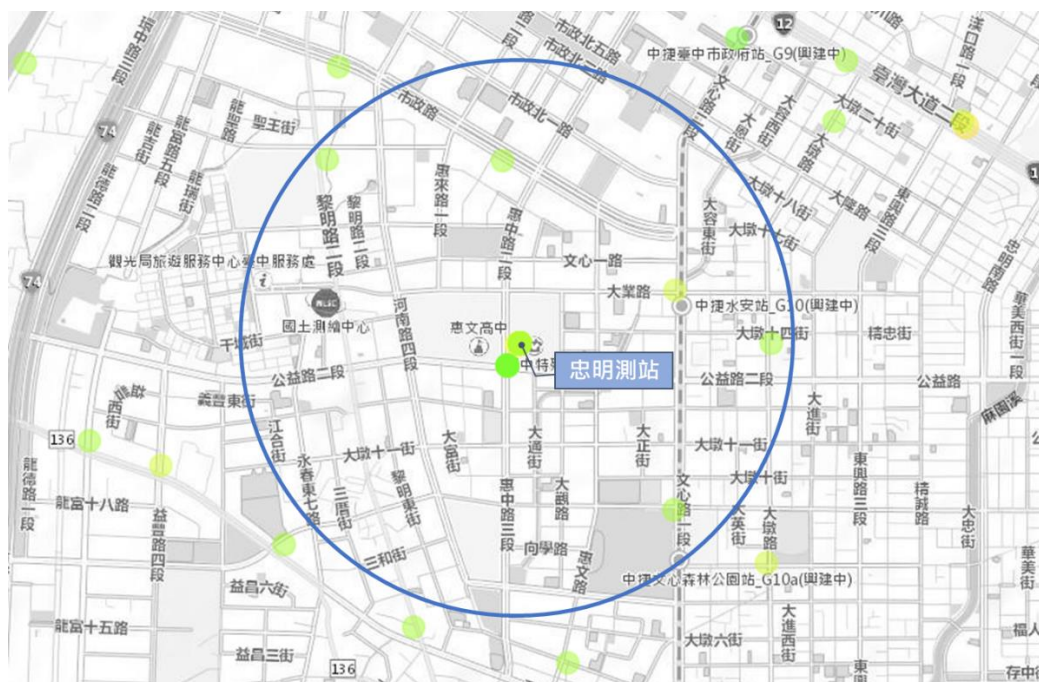


圖 4-25、忠明測站周邊 1km 內感測器示意圖

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-26 及圖

4-27 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：就感測器濃度變化趨勢結果，會發現智感雲端廠牌的感測器其數據穩定度尚需再調整，感測器數據有整體較測站偏高的趨勢，另有特定設備出現異常高值的情形。因此設備為 109 年布建的新設備，且其設備商為新廠商，所以設備布建後仍須針對布建環境建立校正公式。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：依照 R<sup>2</sup> 的趨勢分析結果進行探討，高濃度時期（1-3 月）R<sup>2</sup> 結果良好，而當環境濃度開始下降，R<sup>2</sup> 結果則隨之緩慢下降。但另有幾台感測器因特定時間的高值或是長期的數值偏低之情形，導致感測器與監測站之間的 R<sup>2</sup> 較差。
- (3) Bias 趨勢分析：針對設備的 PM<sub>2.5</sub> 日平均濃度做相對器差並取中位數，此結果符合 R<sup>2</sup> 的變動情形，R<sup>2</sup> 高時 bias 較小而 R<sup>2</sup> 低時 bias 較大，也表示 R<sup>2</sup> 與 bias 為一體兩面的結果。

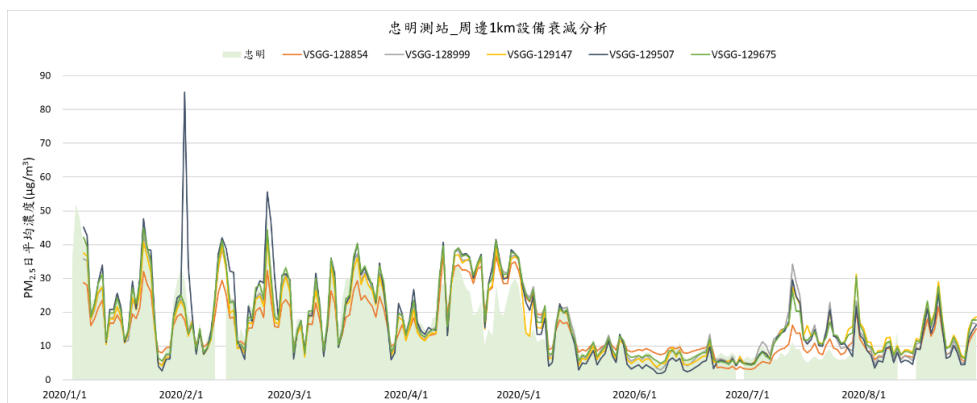


圖 4-26、忠明測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

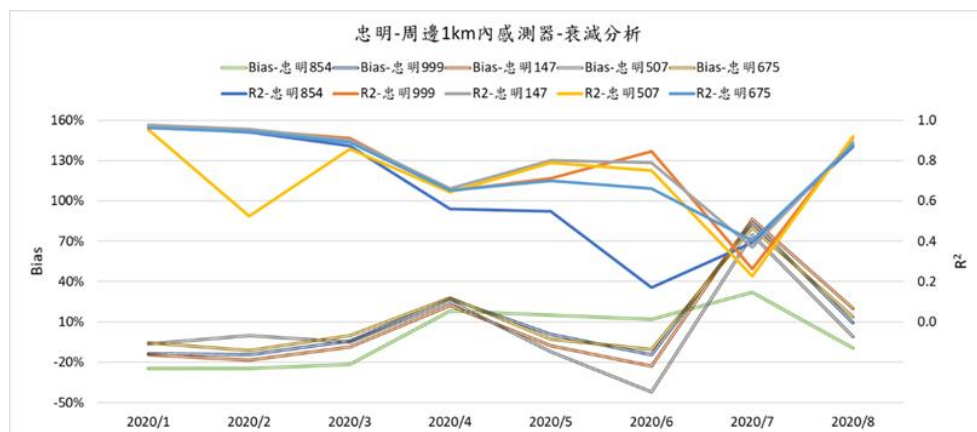


圖 4-27、忠明測站及感測器 Bias 及 R<sup>2</sup> 趨勢分析結果

#### 4. 小港測站（捷思環能 107 年設備）

小港測站位於小港機場旁，其監測目標應為交通及周邊社區，而位於小港測站周邊 1km 內的感測器共有 3 台，其感測器與監測站的位置示意圖，如圖 4-28 所示。



圖 4-28、小港測站周邊 1km 內感測器示意圖

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-29 及圖 4-30 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：依圖可見特定感測器於 108 年 4-5 月以及 109 年 1 月左右較測站數據偏高，但整體感測器數據大致上與測站值趨勢相似。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：由數據分析結果，可發現 3 台設備與監測站間的一致性有些微差異，而在環境濃度較低時 R<sup>2</sup> 較差，並且小港-060 以及小港-062 這兩台設備在 7 月的 R<sup>2</sup> 則較高，但由整體趨勢變化可發現由 109 年起 R<sup>2</sup> 的趨勢變化有些微下降的趨勢，因此感測器可能有些微衰減的情形。
- (3) Bias 趨勢分析：在 bias 的分析結果顯示，整體感測器數據與監測站偏差較大，尤其在環境濃度較低時 bias 的偏差更明顯，但會發現 bias 與 R<sup>2</sup> 的結果沒有相似的變化趨勢，此原因可能為感測器與監測站數據為一定倍數的偏差，而導致 R<sup>2</sup> 結果較佳但 bias 的偏差較大。

總整結果顯示，由 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢較無法判別感測器的衰減情形，但可由 R<sup>2</sup> 及 bias 的結果判斷感測器應有衰減的情形發生，因 R<sup>2</sup> 的長期走向為降低的



趨勢，而 bias 的趨勢則為日益漸增的情形，所以設備是可能有的衰減情形的。

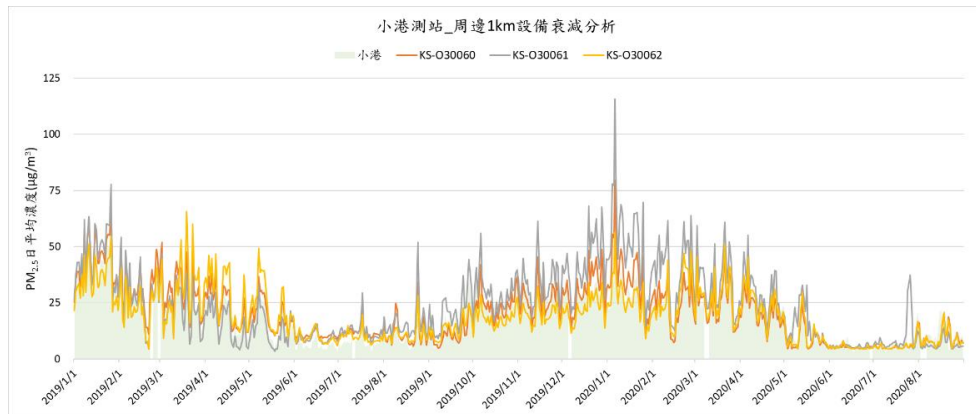


圖 4-29、小港測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

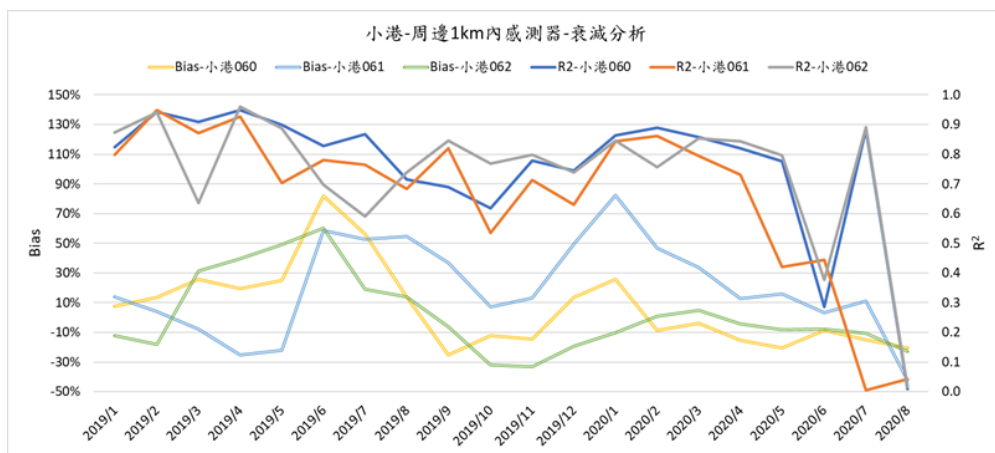


圖 4-30、小港測站及感測器 Bias 及 R<sup>2</sup> 趨勢分析結果

## (二) 國家監測站內長期比對感測器衰減分析結果：

此分析為針對長期放置於國家監測站上的感測器進行數據分析及比對，以了解位於同樣環境、同樣高度的設備隨著時間設備衰減的情形，將針對不同廠牌放置於監測站長期比對的設備進行分析。

### 1. 平鎮測站（柏昇 107 年設備）

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-31 及圖 4-32 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：由圖 4-31 可知，感測器自 108 年底擺放在平鎮測站至今，感測器數據與監測站的一致性相當高，而設備跟設備間的一致性也相當良好，僅於環境濃度低的 6-7 月，感測器數據稍微較監測站偏高。

- (2) Bias 及  $R^2$  趨勢分析：由數據分析結果顯示，除低濃度時期設備與監測站間的  $R^2$  落在 0.4~0.6 間，而 bias 的結果約略在 30% 上下外，整體設備的  $R^2$  及 bias 大多皆有在環保署要求的  $R^2 > 0.7$  以及  $\text{bias} < 30\%$  的範圍內，也無特別的異常反應。

整體而言，107 布建柏昇的感測器數據品質相當良好，不論是設備與監測站之間亦或是設備與設備之間一致性皆相當良好，但設備與測站間的差異仍明顯受到季節的影響，導致於夏季環境濃度低時相關性較差。

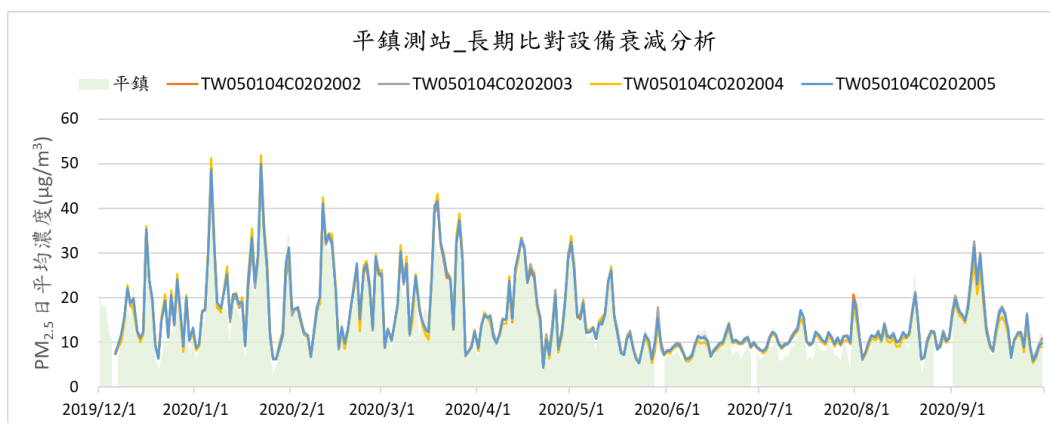


圖 4-31、平鎮測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

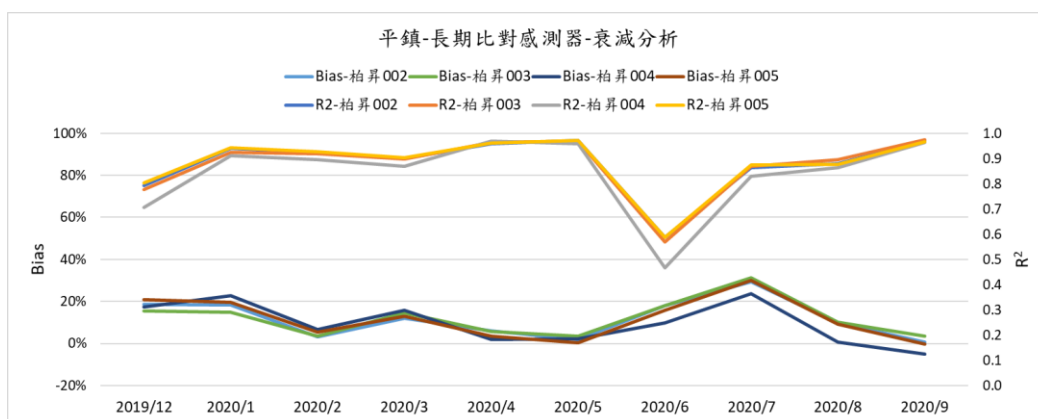


圖 4-32、平鎮測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

## 2. 桃園測站（廣域 108 年設備）

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-33 及圖 4-34 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：針對 108 年廣域的設備進行長期比對及相關的數據分析，以了解感測器是否有衰減之情況。而從圖 4-33 所示，可發現



感測器數據整體低於監測站濃度，但設備跟監測站的變化趨勢是相當一致的，而在設備與設備之間則整體的濃度變化趨勢皆相當一致，表示設備之間的一致性相當良好。

- (2) Bias 及  $R^2$  趨勢分析：由濃度趨勢分析的結果可預測 bias 及  $R^2$  的分析結果不佳之情形，因感測器與監測站濃度趨勢雖相近，但差異太大即會導致 bias 較差、 $R^2$  的相關性不佳。

綜觀而論，感測器設備與設備間的相關性相當良好， $R^2$  及 bias 皆在維持在一定的範圍內，因此設備與監測站間的數值差異應為來自設備本身的數據校正或感測元件所造成的，而非有特定設備的異常或損壞。因此，針對 108 年度廣域的設備尚需由設備調整及校正去改善設備數據的品質。

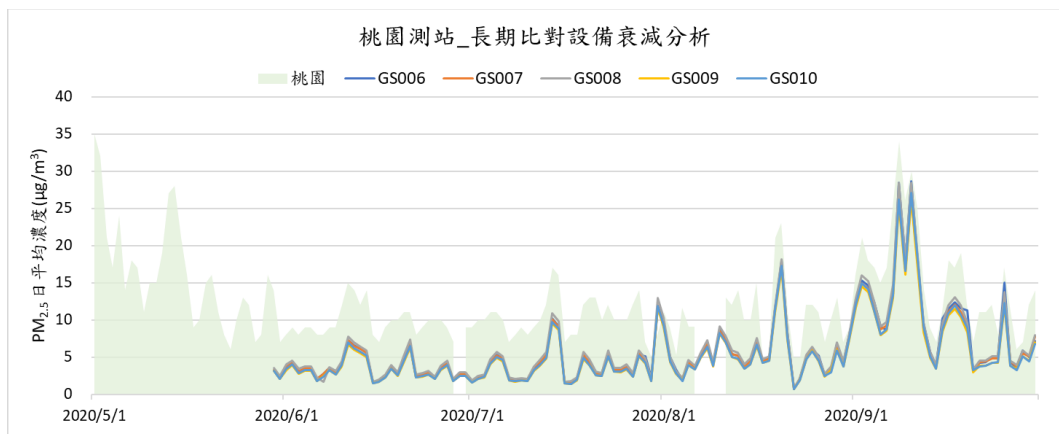


圖 4-33、桃園測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

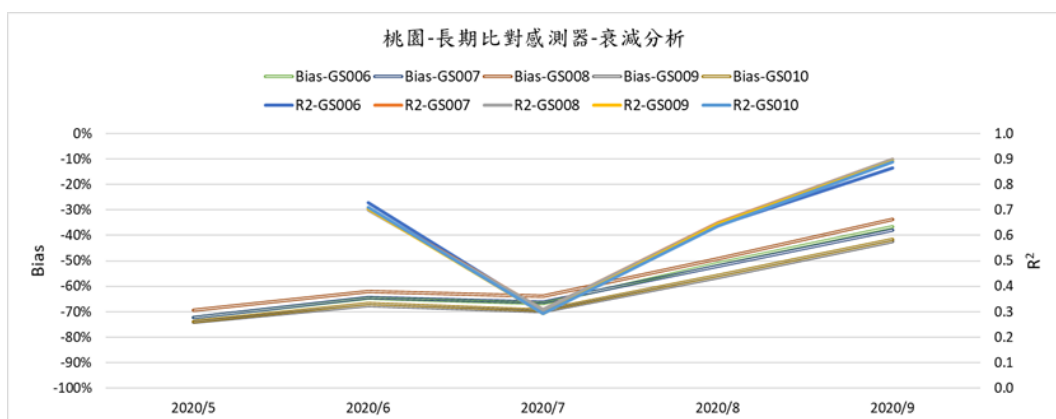


圖 4-34、桃園測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

### 3. 竹東測站（維新 107 年設備）

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-35 及圖 4-36 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：從圖 4-35 可看到長期的濃度趨勢變化，監測站及感測器之間的數值尚維持著一定的一致性，但感測器數值有較監測站偏高的情況，進而導致感測器於環境濃度較低時，感測數據較監測站高使得兩者間的相對器差及 R<sup>2</sup> 較差。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：看到感測器與監測站間的分析結果，整體 R<sup>2</sup> 於環境濃度高時可達 0.7 以上，而環境濃度低（約 5-7 月）時則 R<sup>2</sup> 較差，可顯示感測器與監測站間的相關性顯著的受到季節性濃度變化而影響。
- (3) Bias 趨勢分析：看到感測器與監測站間的分析結果，整體 bias 多落在 30% 以內，僅因環境濃度較低以及設備缺值嚴重導致於特定月份分析結果較差，如：108 年 4 月 bias 差為設備缺值高，導致 bias 中位數為 -100%、108 年 6 月由於環境濃度低，感測器數值多大於監測站數值，而導致 bias 偏高，且感測器與監測站間的相關性較差。

綜觀而言，感測器至 107 年底使用至今，分析結果顯示感測器於同月份與監測站間的 R<sup>2</sup> 有略微下降的趨勢，但自相對器差的結果並無觀察到下降的趨勢，可能為原先感測設備數據偏高而設備衰減後數據偏低，因此讓感測數據更趨近於測站值，但僅由 1.5 年的數據尚無法有精準的判斷，尚需持續進行數據收集以判斷是否真的有衰減情況。

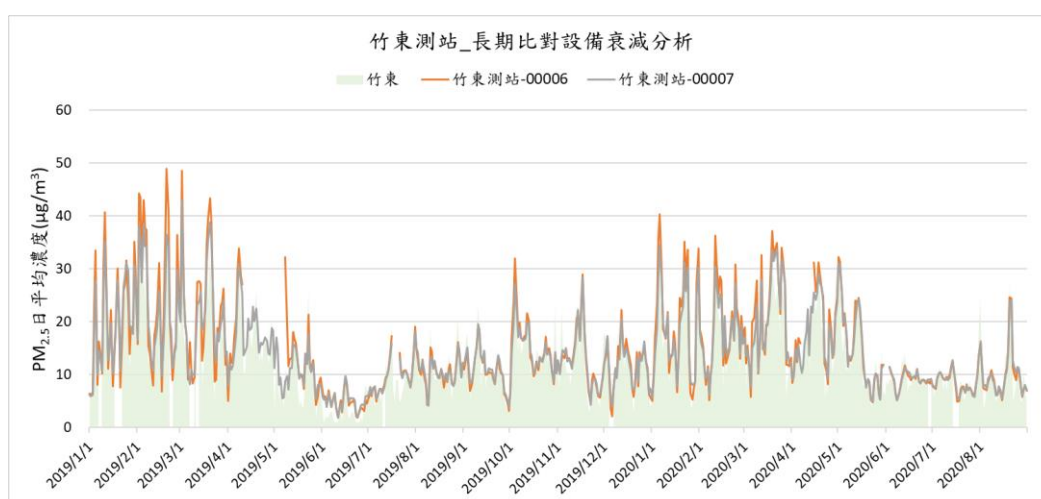
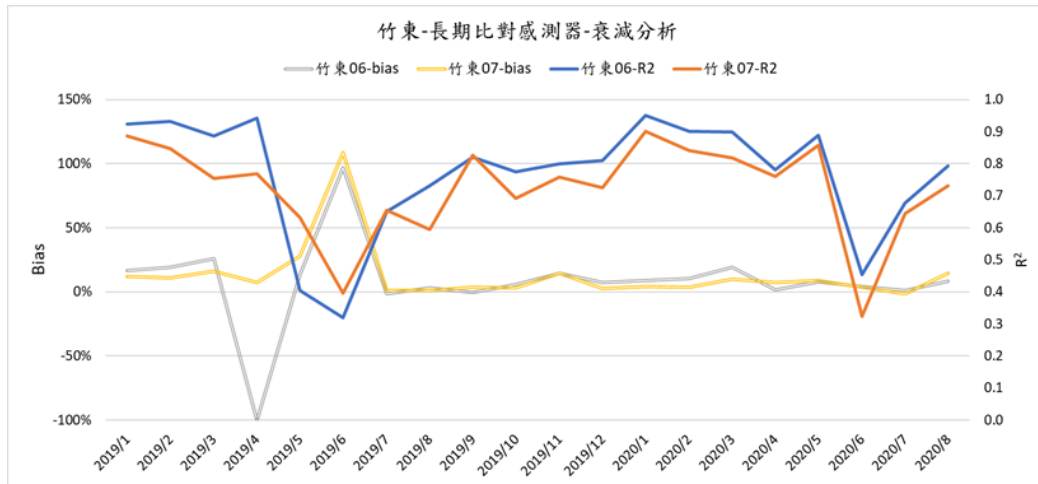


圖 4-35、竹東測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

圖 4-36、竹東測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

#### 4. 苗栗測站（經昌 108 年設備）

苗栗感測器自 108 年底將 107 年設備替換成國產化設備，因此長期數據將由 108 年底開始統計，而針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-37 及圖 4-38 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1)  $PM_{2.5}$  濃度趨勢變化：感測器與監測站的  $PM_{2.5}$  數據趨勢一致性高，但可發現國產化感測器其數值較測站值偏高，尤其在環境濃度低此現象更加顯著，以導致環境濃度低時一致性不佳。
- (2)  $R^2$  趨勢分析：感測器與監測站間的分析結果顯示，整體感測器之  $R^2$  多在 0.7 以上，環境濃度低的時期  $R^2$  較差，此現象已從濃度趨勢變化圖可發現感測器濃度偏高的情況，此部分尚需由設備商針對低濃度區段建立校正公式，以改善感測器數據高估之情況。
- (3) Bias 趨勢分析：由  $R^2$  的長期分析結果以及濃度趨勢變化圖可得知於低濃度時期感測器與監測站的一致性不好，因此也可反應在相對器差的結果上，在低濃度時期 bias 較高濃度時期高很多。

以整體數據分析結果來說，由於經昌設備為 108 年底才正式完成布建因此數據收集的時間較短，雖由濃度趨勢圖可以發現夏季感測器數據偏高，但在秋冬季濃度較高時，則無顯著的偏高情形，而  $R^2$  及 bias 的變化也隨季變化而變好及變差，因此要了解設備是否有衰減情形應再持續觀察其數據變化。

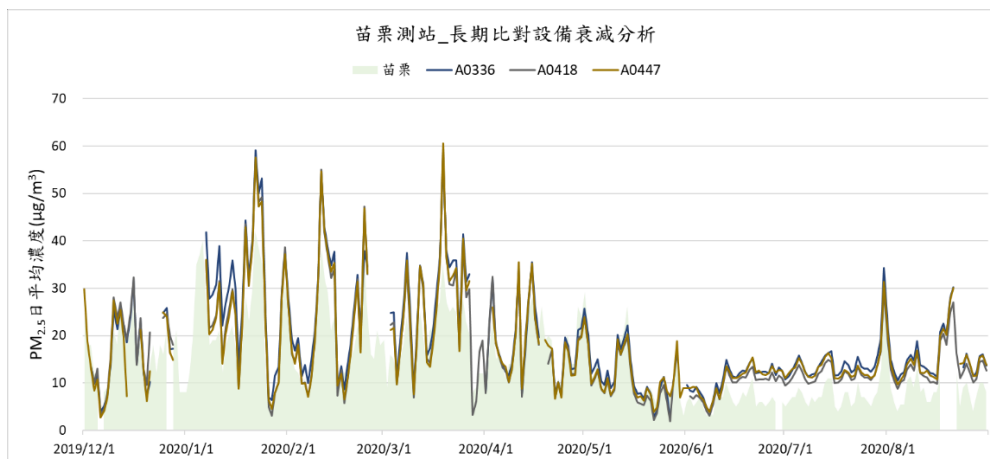


圖 4-37、苗栗測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

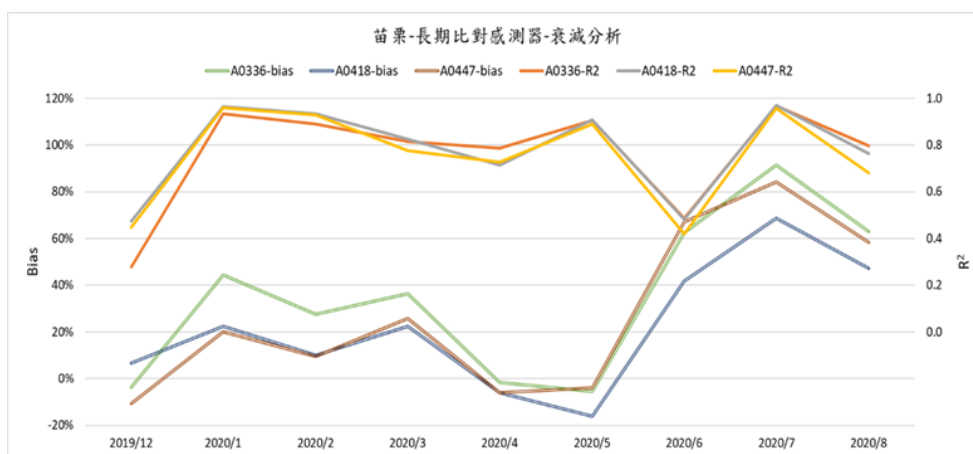


圖 4-38、苗栗測站及感測器 Bias 及 R<sup>2</sup> 趨勢分析結果

## 5. 忠明測站（智感 108 年設備）

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-39 及圖 4-40 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：忠明測站放置的感測器為 108 年底新布建的感測器，因此數據區間為 109 年 1 月至今，可由趨勢圖發現忠明測站的感測器其數據變化與苗栗正好相反，感測器數據明顯整體皆低於監測站的數據，但感測器數據變化的趨勢與監測站算是相當相似。
- (2) R<sup>2</sup> 趨勢分析：數據分析之結果顯示，於冬季環境濃度較高時，R<sup>2</sup> 之結果較佳多有於 0.7 以上，但隨著環境濃度下降進入春夏季時，R<sup>2</sup> 也同步變差，由於感測器與監測站的一致性不佳，因此也反應於 R<sup>2</sup> 的結果上。
- (3) Bias 趨勢分析：在相對器差之結果上，因感測器整體數據偏低導致 bias

結果較差，而環境濃度低時使得 bias 顯著上升，且 bias 的反應趨勢與  $R^2$  變化一致。

綜整而言，感測器數據顯著較監測站數據偏低較多，而導致相對器差的結果不佳，於夏季時  $R^2$  結果也因環境濃度低而較差，但設備布建至今僅有 8 個月左右的數據量，無法利用不同年度同月份的結果進行比較，而且數據偏低的情形應為設備商所建立的校正公式不適用，需藉由調整校正公式提升感測器與國家監測站的一致性，且尚無法依此判斷新設設備是否有衰減的現象發生。

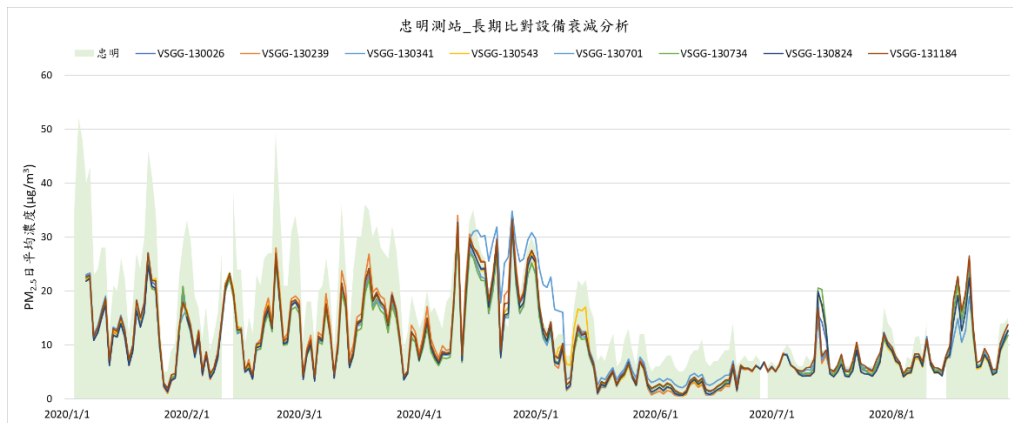


圖 4-39、忠明測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

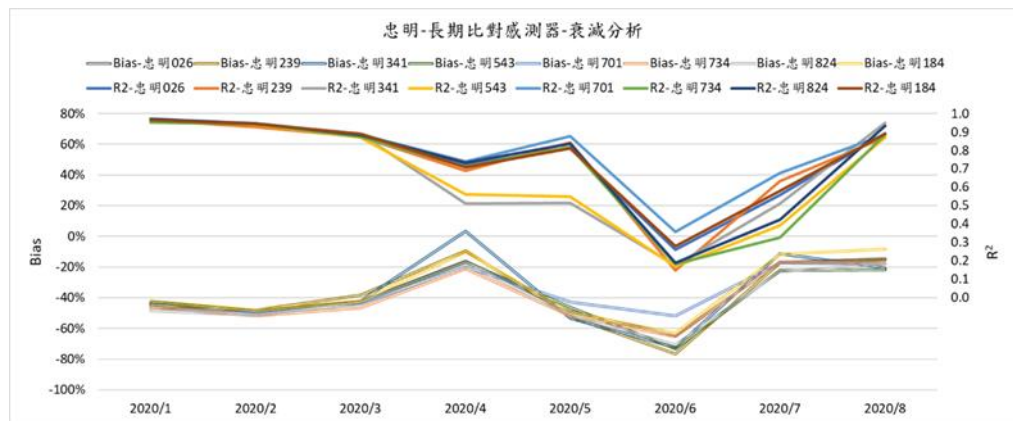


圖 4-40、忠明測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果

## 6. 前金測站（捷思能環 107 年設備）

針對國家測站與感測器間的數據變化趨勢及分析結果，如圖 4-41 及圖 4-42 所示，將分為濃度趨勢變化及數據分析結果進行探討：

- (1) PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化：由 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化圖可知感測器數據較國家監測站值偏高，尤其在環境濃度高的時期，感測器數據高可能的原因為



設備對高污染的反應較敏感或其設備校正公式在高濃度區間的數據易被放大，導致感測數據顯著偏高。

- (2) Bias 及  $R^2$  趨勢分析：針對 bias 及  $R^2$  的分析結果，可以發現如同先前其他設備，在夏季環境濃度低的時候，感測器的一致性較差，但其 bias 並無顯著的偏差；而在冬季高濃度時期，部分感測器數值明顯偏高，所以感測器與監測站的相對器差較高。

整體而言，感測器數據較測站高，此部分應可由校正公式進行調整，而 bias 及  $R^2$  的結果顯示，受到不同季節環境濃度的差異導致結果不同，從  $R^2$  來看同時期的結果並無顯著的差異，反倒有提升的情況；但從 bias 的結果來看，其同一時期的感測器濃度變動變大，導致 bias 結果變差，此變化有可能是設備的衰減導致的結果，但仍需在繼續觀察以進行確認。

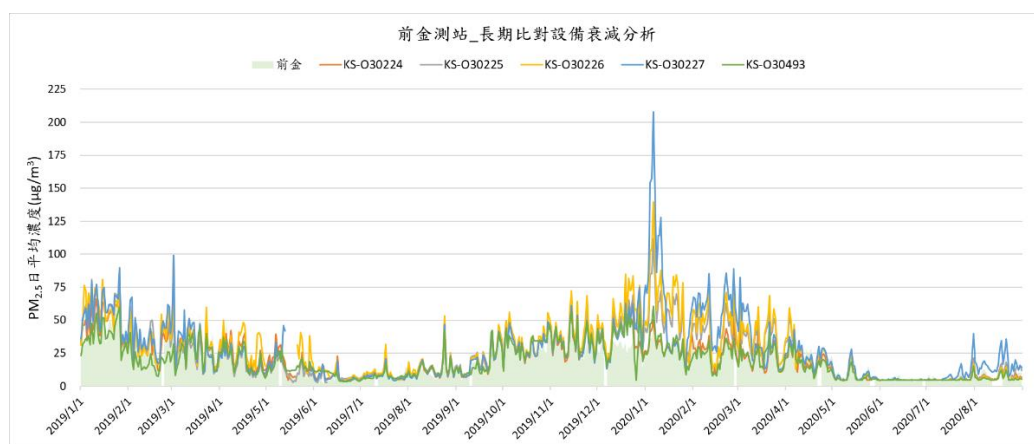


圖 4-41、前金測站及感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度趨勢變化

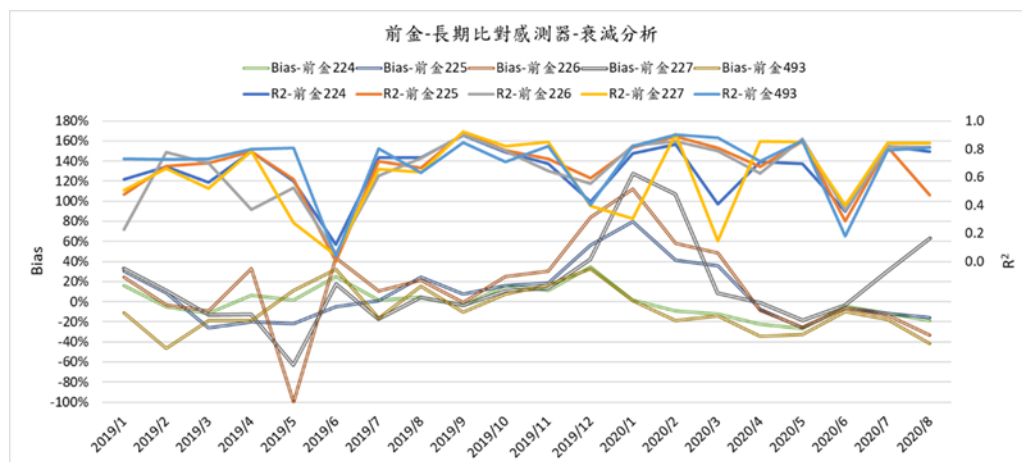


圖 4-42、前金測站及感測器 Bias 及  $R^2$  趨勢分析結果



### （三）全區域內的感測設備

本小節為全區域內的感測器與監測站間的濃度趨勢變化以及數據分析之結果，而此部分已於期中報告內詳細說明分析成果，因此於期末報告則不再詳細說明各設備之結果，將於表 4-7 中綜整說明不同設備的分析結果。

整體而言，針對 107 年舊布建之設備僅因新竹縣維新應用之感測器有觀察到數據偏移的情形，而 108 年各縣市新布建之設備，因布建完成時間較短，可作為判斷依據的數據量不足，因此尚無觀察到設備衰減的現象。

### （四）Airbox 長期數據衰減分析結果

本團隊今年度將 Airbox 擺放至環保署 31 個手動測站進行長期數據之分析說明，由於除了 6 都外之手動測站皆於今(109)年 3 月起才裝設 Airbox，因此比對時間較短，本小節將僅針對臺北、新北、桃園及臺中的手動測站數據分析比對，並說明相關結果。

#### 1. 臺北市

針對擺放於萬華、陽明及士林測站之 Airbox 數據結果，如圖 4-43 所示，可觀察到 Airbox 整體濃度皆遠高於監測站數值，因市售之 Airbox 並無進行數據校正，因此與測站值會有顯著的偏差，Airbox 與測站的  $R^2$  皆相當良好，大多皆維持在 0.7 以上，但 bias 的結果則明顯較高，皆高於 60% 以上的數據偏差量。於結果而言並無顯著的衰減趨勢，但可發現 Airbox 的數據本身與測站差異很大。

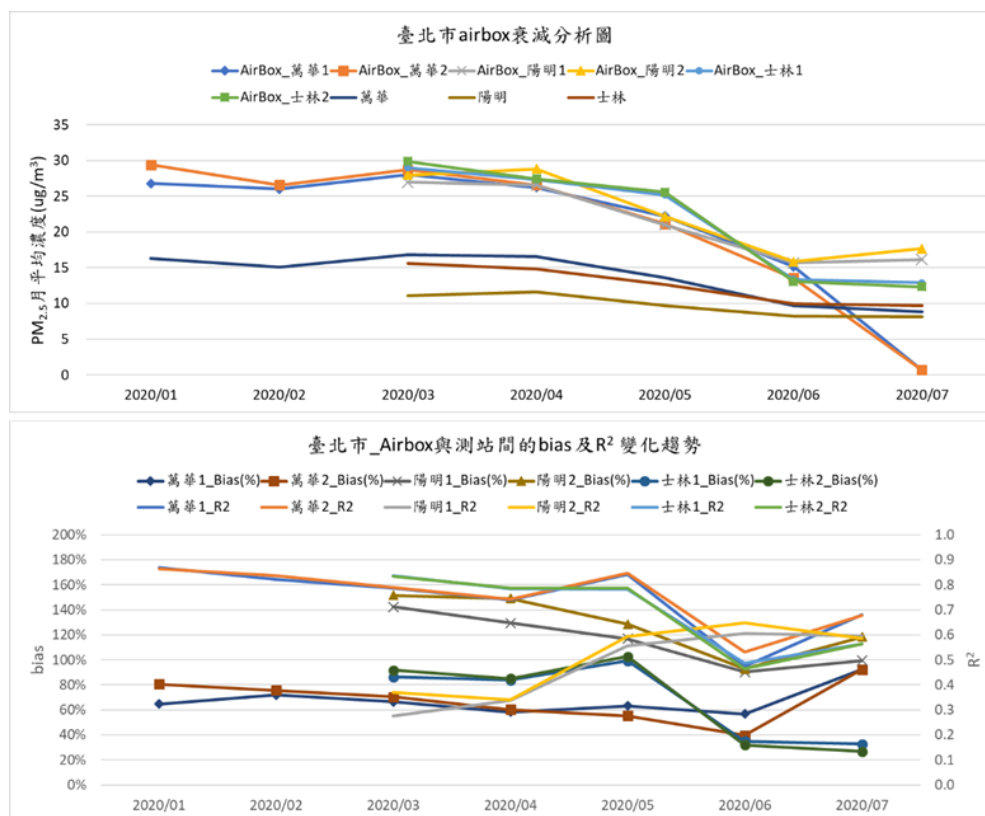


圖 4-43、臺北市 Airbox 數據變化趨勢

## 2. 新北市

針對擺放於板橋及汐止測站之 Airbox 數據結果，如圖 4-44 所示，可觀察到 Airbox 整體濃度與臺北市之測站有相同趨勢，濃度數值皆遠高於監測站數值，因市售之 Airbox 並無進行數據校正，因此與測站值會有顯著的偏差，可看到 Airbox 與測站的 R<sup>2</sup> 皆相當良好，大多皆維持在 0.7 以上，但 bias 的結果則明顯較高，皆高於 30% 以上的數據偏差量，整體偏差量小於臺北市測站之結果。於結果而言並無顯著的衰減趨勢，但可發現 Airbox 的數據本身與測站差異很大。

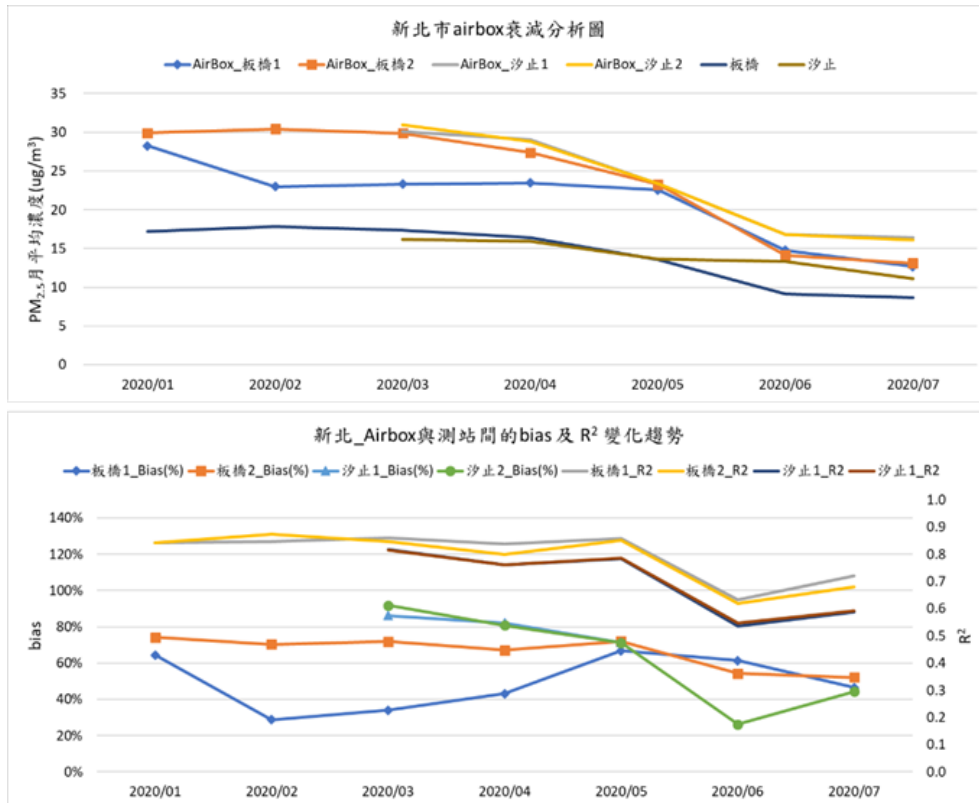


圖 4-44、新北市 Airbox 數據變化趨勢

### 3. 桃園市

針對擺放於桃園及平鎮測站之 Airbox 數據結果，如圖 4-45 所示，可觀察到 Airbox 多數設備之濃度數值皆遠高於監測站數值，僅平鎮\_1 的 Airbox 之數據較符合測站值，因市售之 Airbox 並無進行數據校正，因此多數設備與測站值會有顯著的偏差，Airbox 與測站的  $R^2$  皆相當良好，大多皆維持在 0.7 以上，但大多數設備之 bias 的結果則明顯較高，大多設備皆高於 30% 以上的數據偏差量，僅平鎮\_1 此台設備之 bias 變化區間落於 15% 以內，此台設備與測站間的一致性相當良好。於結果而言並無顯著的衰減趨勢，但可發現 Airbox 的數據本身與測站差異較大。

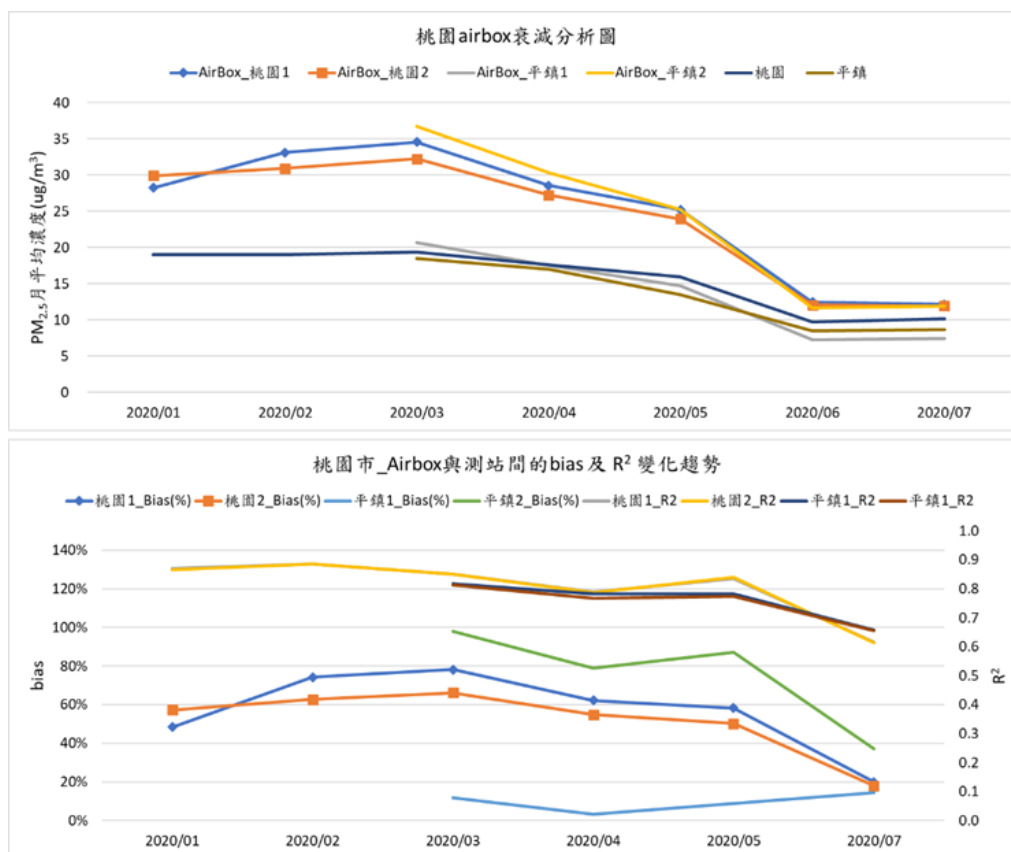


圖 4-45、桃園市 Airbox 數據變化趨勢

#### 4. 臺中市

針對擺放於忠明及豐原測站之 Airbox 數據結果，如圖 4-46 所示，可觀察到 Airbox 多數設備之濃度數值皆遠高於監測站數值，因市售之 Airbox 並無進行數據校正，因此多數設備與測站值會有顯著的偏差，Airbox 與測站的  $R^2$  皆還算良好，大多皆維持在 0.7 以上，僅 4 月份  $R^2$  約為 0.64，且相對其 4 月份之 bias 結果也偏高，而設備之 bias 的結果則皆較高，大多設備皆高於 60% 以上的數據偏差量。於結果而言並無顯著的衰減趨勢，但可發現 Airbox 的數據本身與測站差異較大。

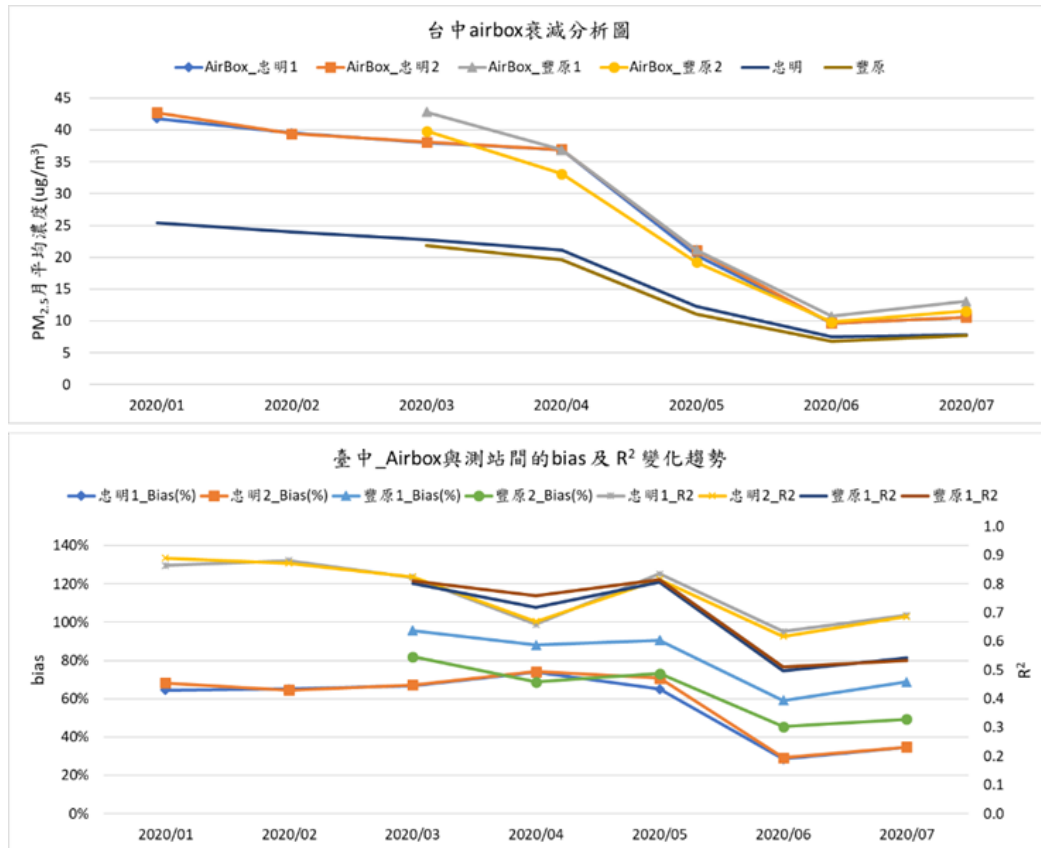


圖 4-46、臺中市 Airbox 數據變化趨勢

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 本工作項利用不同的區域範圍篩選測站上、測站周邊感測器以進行衰減分析作業，取監測站及感測器的日平均值做濃度趨勢、相對器差(bias)以及判定係數( $R^2$ )的分析，並依長期分析結果嘗試判別感測器是否有衰減情形。總結，若要以此方式來判斷感測器是否有衰減情形，其分析時間需至少 1 年以上，才較容易判斷在相似條件時設備是否有逐年衰減的情況，且感測設備與監測站之間的趨勢變化受到環境濃度極大的影響，因此季節變化也為分析結果的重要參考依據。因此，整體而言穩定度高的設備，如：107 柏昇在大園測站周邊的設備以觀察到些微的設備衰減的趨勢，但因趨勢不明顯還需在進一步觀察，亦或可透過設備校正進行調整。
2. 針對 airbox 的衰減分析，本團隊僅分析至 109 年 7 月由於擺放至國家監測站的 airbox 為中研院的研究設備，其團隊已於 109 年 8 月起利用比對設備建立設備校正公式，因此後續接收的數值為中研院校正後之值，因而無法用不同標準之數據進行衰減分析。

## （二）建議

為持續掌握區域感測器的運作效能，建議應律定各地方政府規範設備的衰減分析作業判斷標準，以便各縣市政府可易從結果判斷設備是否有衰減的情形，並進行設備的維修、校正及替換作業，以利持續提供有效的感測數據。而 airbox 的衰減分析未來如需繼續執行應利用校正後的數值進行分析評估，以確保分析數據的一致性。



表 4-7、各廠牌設備衰減分析結果綜整

設備廠牌	比對時間	分析範圍	數據頻率	分析結果
柏昇	2019/1-2020/8	測站周邊 1km 內	日平均值	自 2020/6 起設備有些微的衰減情形，但仍須持續觀察。
	2019/12-2020/9	測站內長期比對	日平均值	無顯著的衰減情形，仍須持續觀察。
	2019/1-2020/8	全區域長期分析	月平均值	設備與監測站整體趨勢相當一致，bias 多維持於±20%以內，僅於 109 年夏季出現較顯著的數據偏差，但此結果尚須持續觀察，因此初步判斷設備尚無顯著的衰減情形。
廣域	2019/9-2020/8	測站周邊 1km 內	日平均值	尚無觀察到設備衰減的現象，但設備需進行校正以提高跟測站間的一致性。
	2020/6-2020/9	測站內長期比對	日平均值	無顯著的衰減趨勢，但設備數據顯著偏低測站較多，需再針對設備進行校正。
	2019/9-2020/8	全區域長期分析	月平均值	廣域設備數據趨勢時而偏高時而偏低，其原因可能為設備無建立準確的校正公式，導致設備與測站間有較大的差異，因此尚無法判斷是否有衰減情形。
維新應用	2019/1-2020/8	測站內長期比對	日平均值	設備一致性差異大，但其數據偏差多在 20%以內，尚無觀察到設備衰減之趨勢。
		全區域長期分析	月平均值	長期觀察分析結果，雖感測器數據與監測站無顯著濃度趨勢差異，但其 $R^2$ 數據於同時期日漸下降，因此可推估感測器可能有衰減之情形。
經昌電子	2019/12-2020/8	測站內長期比對	日平均值	設備數據偏差極大，由負偏差至正偏差，設備整體穩定性需再進行調整，尚無法判斷設備是否有衰減情形。
	2019/11-2020/8	全區域長期分析	月平均值	感測設備整體數據較監測站高，應為設備未進行適當的校正，所以整體數值偏差較大，因此無法進行設備衰減判斷。

智感雲端	2020/1-2020/8	測站周邊 1km 內	日平均值	尚無觀察到設備衰減的現象，但設備與監測站間的數據偏差較大，需進行校正以提高跟測站間的一致性。
		測站內長期比對	日平均值	整體濃度變化趨勢皆較測站低，但設備使用時間短無法判定衰減情形，但設備需進行數據校正，以提高與測站間的一致性及降低數據偏差情形。
		全區域長期分析	月平均值	整體數據趨勢皆較測站低，但設備使用時間短尚無衰減情形，但須進行設備數據校正。
捷思環能	2019/1-2020/8	測站周邊 1km 內	日平均值	設備有些微的衰減情形，但仍須持續觀察。且須再針對設備數據進行校正。
		測站內長期比對	日平均值	設備與監測站間的數據偏差量增加，可能為設備衰減導致數值的偏差情形，但仍需持續進行觀察。
		全區域長期分析	月平均值	冬季高污染時期感測數值較高偏差大，整體數據略偏高測站，無顯著衰減現象。

## 4.5、移動感測物聯網測試驗證

環保署運用光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測器進行在地微環境之污染感測，運用感測器價格低廉可大量布建之優勢，在標準監測站為基礎上，提供具備街道尺度及分鐘頻率之感測數據，輔助監控具有高污染潛勢之工業區或工廠。去(108)年度計畫團隊運用 PM<sub>2.5</sub> 感測器感測汽機車廢氣排放發現，感測器距離排放源 3 公尺遠 1.5 公尺高，對於廢氣排放之反應已不甚明顯，故現階段布建於道路 3 公尺高之交通感測點，甚難感測移動污染源之污染特徵。今(109)年度將善用感測器對移動污染源排放之反應特性，藉由裝設於車輛載體上，與污染排放源更近距離的感測，據以擷取污染排放之行為與濃度特徵，協助辨識高污染排放車輛，進而繪製出交通動線上之污染濃度分布，作為未來針對區域交通污染管制之評量基礎，研訂交通管制策略之參考依據，或辨識與舉發高污染車輛以防堵移動污染源造成之空氣污染。

### 一、前言

為確保移動式感測器的感測精準度，必須透過一系列的測試與校驗確認，分析感測設備在運動過程中與天氣、車流量、風速、風向或其他因子相關性，發展合適的校正模式。故本計畫之目標如下：

1. 透過 3 場次以上針對感測元件之數據品質進行校驗，將移動式感測器設置於標準監測站進行長期比對分析，確認各感測元件與測站儀器的相關性，分析最佳化的機構設計模式，據以研提移動式感測器試量產設計。
2. 依據移動式感測器試量產設計，進行機構縮裝，並完成小型量產原型機 5 組，將移動式感測器安裝於車輛上，執行感測數據與交通感測點、巡檢儀器之平行比對測試，評估與車速、風速、溫度、濕度、震動或其他因子相關性與精準度，透過至少 5 場次移動式感測器的實場測試，驗證感測數據應用於環境場域量測之成果，並繪製出測試路網污染圖譜。

### 二、工作執行方法

由於去(108)年度計畫團隊運用 PM<sub>2.5</sub> 感測器設置於車載平台進行感測時發現，感測器在車輛運行過程受車速、風速、風向等環境影響，為排除干擾因子對於感測器之影響，今(109)年度特別研提移動式感測器(Mobile of Thing, MOT)之開發與試量產設計，相關執行之流程與預期成果詳如圖 4-47。

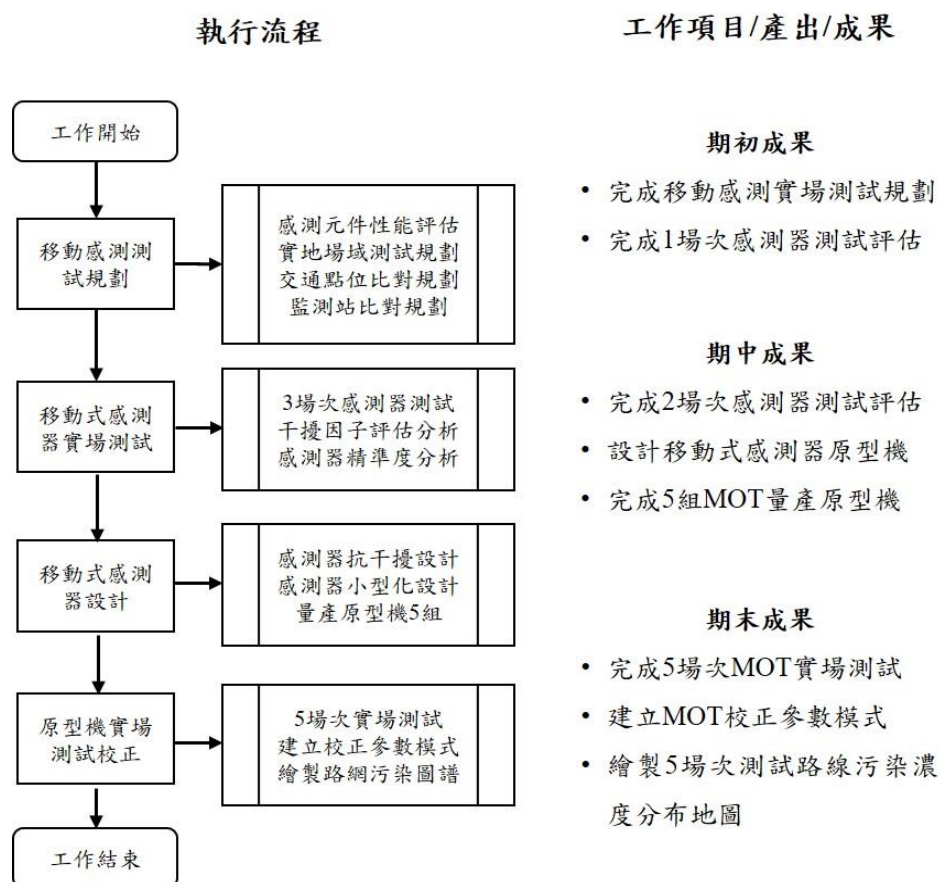


圖 4-47、移動感測物聯網測試驗證執行流程

### (一) 移動式感測測試驗證方案

依據去(108)年度計畫團隊運用 PM<sub>2.5</sub> 感測器設置於汽車車頂，於移動過程量測道路中 PM<sub>2.5</sub> 感測數據，並在車頂以 4 方位方向進行感測發現，感測濃度受風速及車速影響甚劇，風速及車速越高 4 方位感測濃度越高，且濃度從高至低依序為朝向快車道>朝前方>朝路肩>朝後方。當車輛停等紅燈時，4 方位感測濃度從高至低依序為朝向後方>朝向快車道>朝路肩>朝向前方。故對於移動式感測器的研發，首要克服風速及車速對感測器之影響。為釐清干擾因子對感測器之影響，必須設計測試驗證機制，除可分析感測數據受干擾之偏移量與精準性，同時可做為感測器校正參數之評估依據。初步規劃測試驗證方案如下：

1. 與車載端設置高階感測設備進行平行比對：為確認感測器在車載端的感測性能，規劃採用具備高精準度且可校正的 PM<sub>2.5</sub> 檢測儀器做為比對源，同時設置於車載頂，與移動式感測器同步量測比對，分析車輛在道路上的全程感測過程，評估感測器與高階感測設備間之一致性、相關性及偏差量。

2. 與道路側固定感測點進行平行比對：為分析移動式感測器與道路範圍濃度之污染行為特徵，透過分析在車輛上之移動式感測器與在道路側固定感測點的環境濃度特徵進行平行比對，以車輛在道路行駛平均速率約 40 km/hr 的移動量，每秒鐘車輛行進可達 11 公尺以上，採每 5 秒量測之平均值來計算，約代表 50 公尺範圍內之環境濃度。故與道路側固定感測點進行平行比對之距離規畫採用 100 公尺為範圍，評估車輛上移動式感測器與道路側固定感測點之一致性、相關性及偏差量。
3. 與監測站進行平行比對：為分析移動式感測器與區域環境污染濃度之一致性，規劃將移動式感測器設置於監測站進行感測器的數據校正，評估環境濃度、溫度、濕度、風速對感測器偏差量之影響，建立多元線性回歸參數，評估最佳參數校正公式。
4. 透過完成至少 3 場次移動式感測器數據品質驗證，包含感測數據與交通感測點、標準監測站或巡檢儀器之平行比對測試，評估與車速、風速、溫度、濕度、震動或其他因子相關性與精準度，據以研提移動式感測器試量產設計。

## (二) 移動式感測器試量產與測試

透過前項工作之測試驗證，進行移動式感測器試量產設計，研發之精準度及偏差量要求須符合環保署污染熱區稽查之目的需求，相關性能標準初步規劃如下：

1. 與監測站平行比對：開發的移動式感測器與標準測站  $PM_{2.5}$  感測數值相關性( $R^2$ )大於 0.7 以上，經過多元線性回歸分析後，感測器與標準測站的相對器差(bias error)小於 30%以下。
2. 與車載端設置高階感測設備平行比對：開發的移動式感測器與車載高階感測設備  $PM_{2.5}$  感測數值相關性( $R^2$ )大於 0.7 以上，經過多元線性回歸分析後，感測器與標準測站的相對器差(bias error)小於 30%以下。
3. 與道路側固定感測點平行比對：開發的移動式感測器與道路側固定感測點  $PM_{2.5}$  感測數值經過多元線性回歸分析後，感測器與標準測站的相對器差(bias error)小於 50%以下為目標。
4. 經由最佳化移動式感測器試量產設計完成後，進行移動式感測器機構小型化，完成小型量產原型機 5 組，並經實際應用於國內實地場域完成至少 5 場次移動式感測器數據品質驗證，並彙整測試期程、測試地點、比對方式

及測試結果，完成測試報告，並繪製出測試路網污染圖譜，據以評量移動式感測設備之應用可行性與服務目標。

### 三、工作執行成果

#### (一) 移動式感測器設計

1. 感測元件：依據去(108)年度計畫團隊運用光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測器設置於汽車車頂之經驗，今年度移動式感測器在感測元件的使用上以 PM<sub>2.5</sub>、溫度、相對濕度、GPS、車速為主，並搭配行車影像紀錄設備。
2. 公用系統：
  - (1) 外接電源：由於感測器設計固定於汽車或機車上進行移動式感測，故需銜接車用電瓶，故感測器設計採用 DC 12V/24V 1A，以利安裝與設備驅動。
  - (2) 通訊系統：由於移動式感測器需具備高頻率且穩定之感測數據，設計採用每 5 秒 1 筆的平均感測值，上傳至雲端數據平台，為確保數據的穩定性，採用目前行動通訊的主流規格 4G LTE 之傳輸模組。
3. 裝置規格：
  - (1) 感測規格：
    - PM<sub>2.5</sub> 感測濃度範圍：0~1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
    - 溫度感測範圍：-40~125  $^{\circ}\text{C}$
    - 相對濕度感測範圍：0~100%
    - 工作溫度：-10 ~ 60 $^{\circ}\text{C}$
  - (2) 外觀規格：如圖 4-48
    - 外接電源：DC 24V/12V / 1A
    - 通訊傳輸：4G LTE
    - 主機箱尺寸：30(L)×23(W)×9(H) cm
    - 磁吸裝置尺寸：45(L)×40(W)×15(H) cm
    - 總重量：7 kg
    - 耗電量：12 ~ 10 W



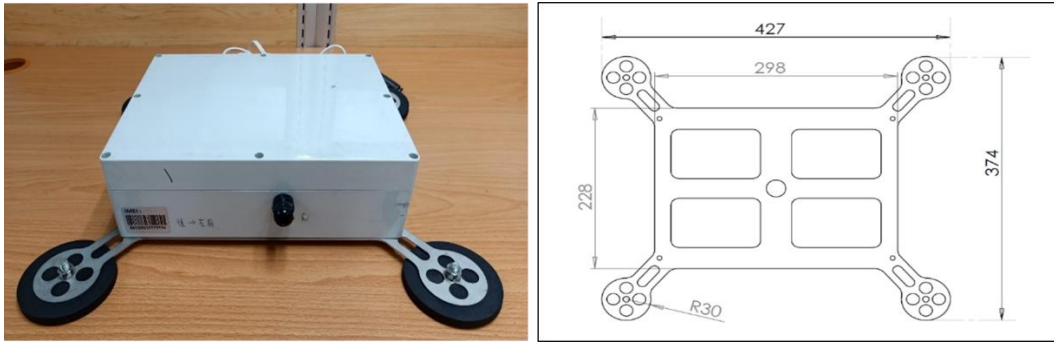
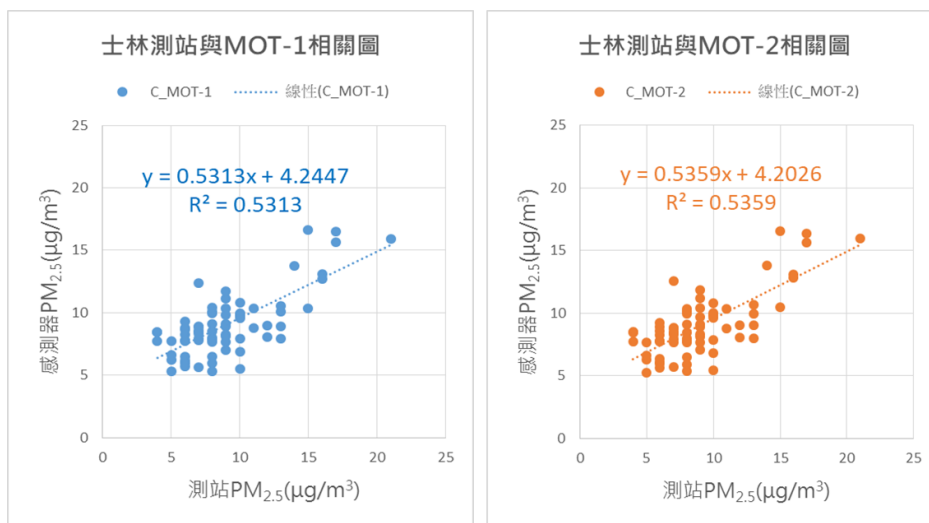


圖 4-48、移動式感測器外型

## (二) 移動式感測器樣品機測試

### 1. 測站平行比對

今年度由於新冠肺炎疫情的影響，導致感測器內部相關模組與元件無法順利採購，硬體設備在缺乏料件的情況下，以備用料件與人工焊接的方式完成樣品機的組裝，並於 5/29~6/1 初步將樣品機與 TSI-8533 放置於士林測站進行平行比對。比對期間士林測站  $PM_{2.5}$  濃度為  $4\sim 21\ \mu g/m^3$ ，環境濃度明顯偏低，平行比對結果發現 MOT 與士林測站  $R^2$  約 0.53，TSI-8533 與士林測站  $R^2$  約 0.55，MOT 與 TSI-8533 間  $R^2$  約 0.79。



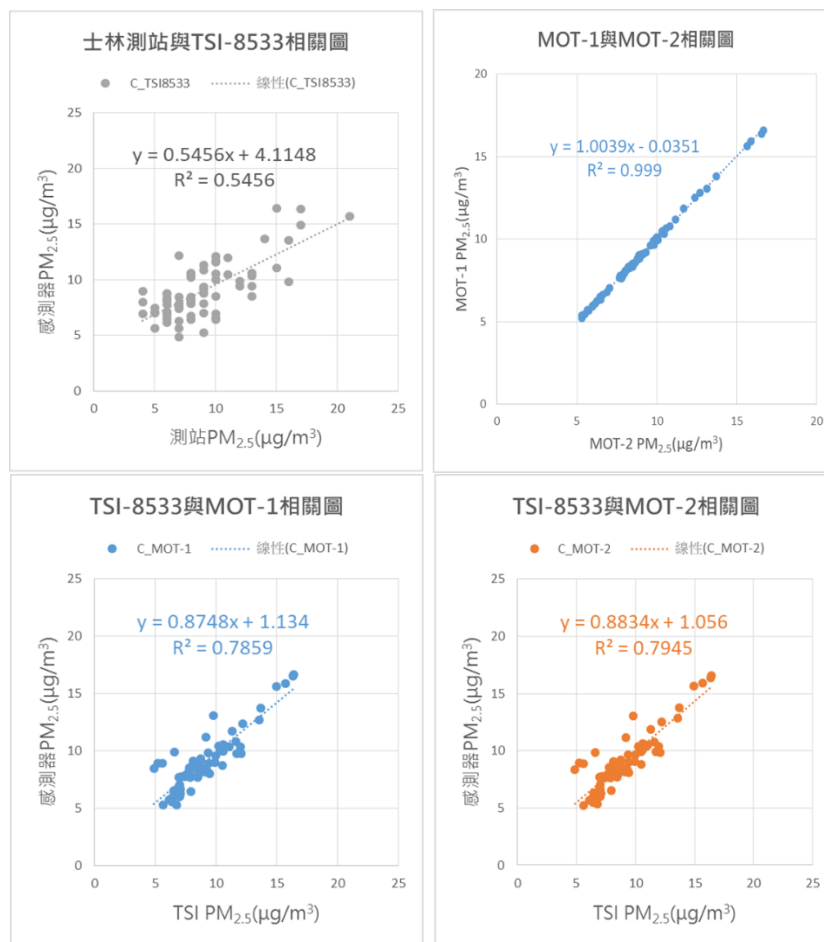


圖 4-49、移動式樣品機、TSI 及測站平行比對成果

## 2. 場域測試比對

為確認移動式感測器樣品機在移動過程的感測性能，初步完成 5/20、5/21、6/10 等 3 場次的場域動態測試。以新北市新莊區、泰山區、五股區及八里區為範圍，選定汽機車與公車數量多路段及貨車與大型重車居多的路段進行道路測試，由新北市泰山區明志路二段為起點，至新北市臺北港為終點，全長 25 公里，測試路線詳圖 4-50。初步將感測器裝設於小客車車頂，進氣口距地面約 1.5 公尺高，外接車用電源進行道路測試，整體的配置如圖 4-51。

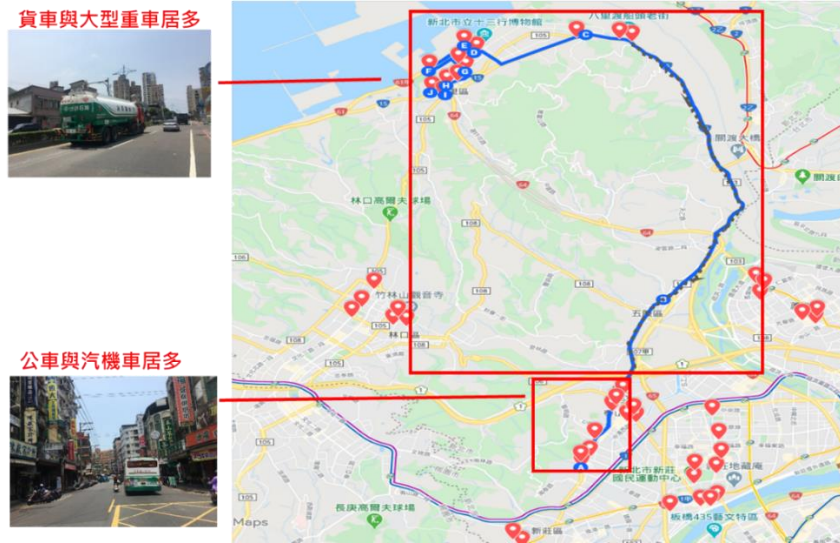


圖 4-50、移動式感測器測試路線圖



圖 4-51、移動式感測器配置圖

- (1) 5月20日道路測試：測試時間為18:30~21:00，環境溫度約23~16°C、相對濕度約93~96%，淡水測站PM<sub>2.5</sub>約11~8 µg/m<sup>3</sup>，於交通廊道的PM<sub>2.5</sub>濃度明顯高於大環境濃度，部分區段發現有略高之濃度(30~45 µg/m<sup>3</sup>)，經比對行車紀錄影像，皆可發現路邊側有餐飲業之排風口，詳如圖4-52。

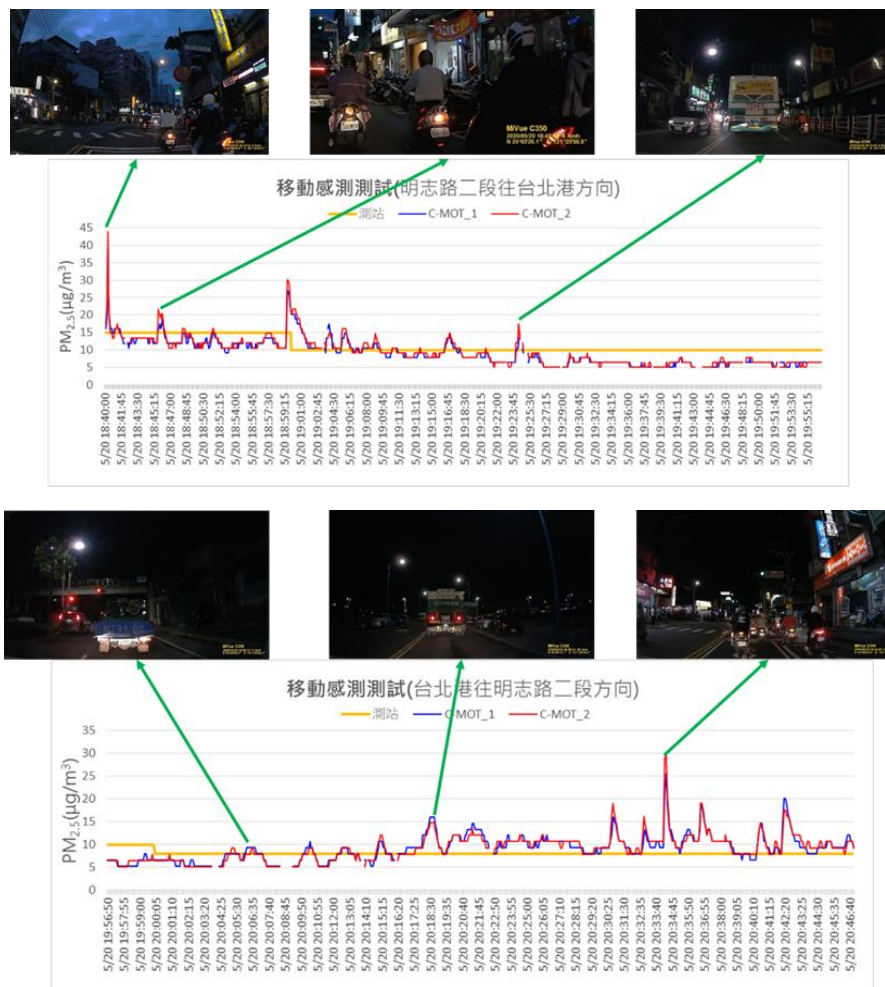


圖 4-52、5/20 移動式感測器道路測試成果圖

- (2) 5 月 21 日道路測試：測試時間為 08:00~10:30，環境溫度約 25~27°C、相對濕度約 85~77%，淡水測站 PM<sub>2.5</sub> 約 3~11 µg/m<sup>3</sup>，於交通廊道的 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯高於大環境濃度，部分區段發現有高濃度反應(30~70 µg/m<sup>3</sup>)，經比對行車紀錄影像發現有貨車或重車之排放行為，尤其在 09:42~09:48 發現車號 ZV-910（中央衛生工程行）有明顯地污染排放，MOT 的感測濃度高達 200~350 µg/m<sup>3</sup>，詳如圖 4-53。計畫團隊透過環保署烏賊車檢舉網站舉報該車輛，系統回復該車輛已檢舉在案，後續團隊將依據「使用中汽車排放空氣污染物檢舉及獎勵辦法」針對 MOT 發掘的污染車輛進行舉發，據以驗證 MOT 感測的性能。另外，MOT 在行經八里區廖添丁廟前，受到廟口烤魷魚/香腸攤的影響，PM<sub>2.5</sub> 高達 1,800 µg/m<sup>3</sup>，反應出餐飲小吃在無任何污染防制設備時對 PM<sub>2.5</sub> 的環境貢獻量。



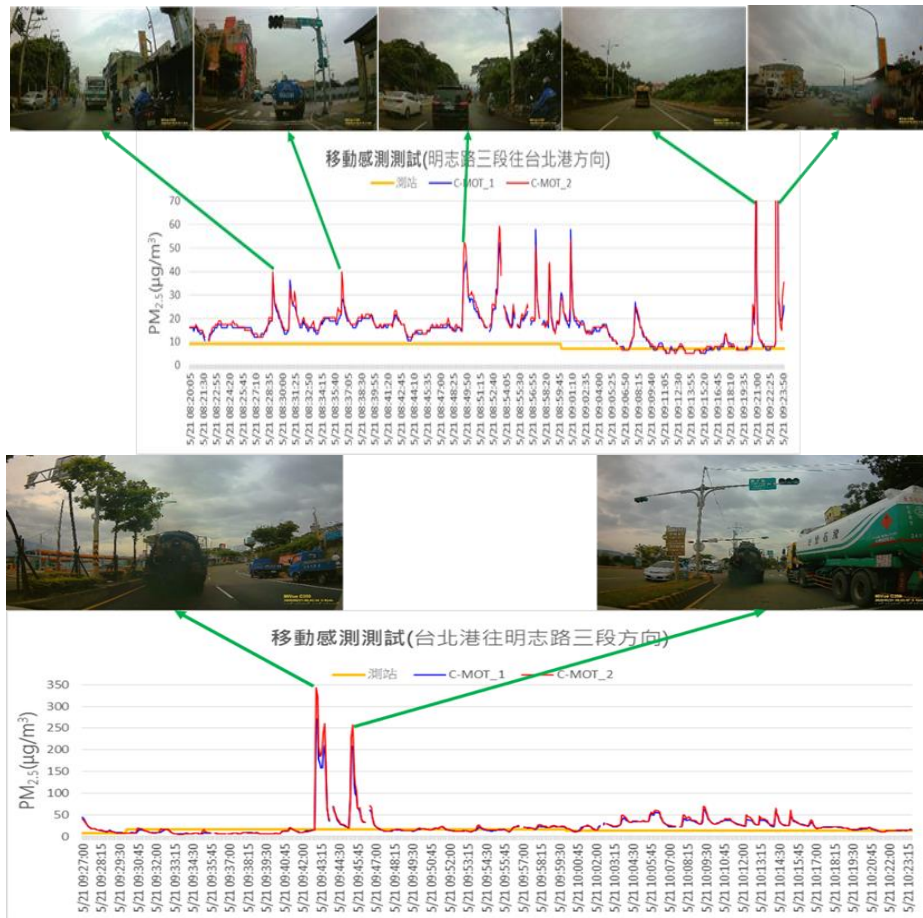
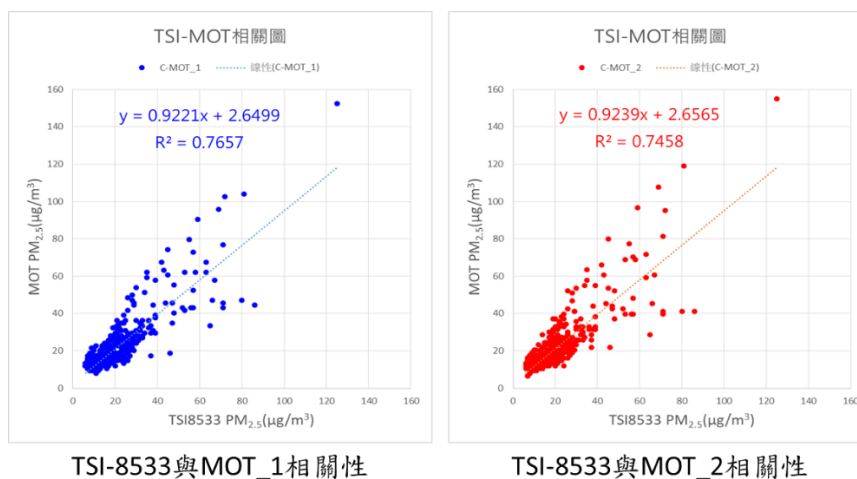


圖 4-53、5/21 移動式感測器道路測試成果圖

- (3) 6 月 10 日道路測試：測試時間為 11:00~18:00，環境溫度約 31~28°C、相對濕度約 52~77%，淡水測站 PM<sub>2.5</sub> 約 8~17 µg/m<sup>3</sup>，於交通廊道的 PM<sub>2.5</sub> 濃度明顯高於大環境濃度，部分區段發現有高濃度反應(25~80 µg/m<sup>3</sup>)，經比對行車紀錄影像發現有貨車或重車之排放行為，在 12:33~12:35 發現車號 CS-895 有 85 µg/m<sup>3</sup>，在 13:25~13:35 發現車號 257D 有 80~90 µg/m<sup>3</sup>，詳如圖 4-54。另外在 13:00~13:10 行經快炒店旁 PM<sub>2.5</sub> 也明顯飆升至 40~130 µg/m<sup>3</sup>。比對 MOT 與 TSI-8533 在行進中的量測上有明顯的相關性，相關係數(R<sup>2</sup>)可達 0.75~0.77，顯示 MOT 在移動過程中與高階儀器具備相當的一致性，詳如圖 4-55。



圖 4-54、6/10 移動式感測器道路測試成果圖



TSI-8533與MOT\_1相關性

TSI-8533與MOT\_2相關性

圖 4-55、移動式感測器與 TSI8533 道路測試相關圖



### (三) 移動式感測器原型機測試

#### 1. 移動式感測器原型機

依據樣品機之效能測試，完成 5 台移動式感測器原型機的製作，如圖 4-56，其中外型、重量及感測性能維持樣品機的原型，調整進氣採樣機構，提供穩定的採樣流量。



圖 4-56、移動式感測器原型機 5 台

#### 2. 場域測試

針對移動式感測器原型機進行場域測試，完成 8/24、9/2、9/15~9/17 及 9/30~10/3 等超過 8 場次的場域動態測試。測試路線同樣品機測試路線，以新北市新莊區、泰山區、五股區及八里區為範圍，選定汽機車與公車數量多路段及貨車與大型重車居多的路段進行道路測試，由新北市泰山區明志路二段為起點，至新北市臺北港為終點，全長 25 公里，測試路線同圖 4-50。8/24、9/2 將 5 台感測器同時裝設於小客車車頂，進氣方向分為右前、右後、後方、左側、前側，TSI-8533 統一接在右後感測器的進氣腔上進行比對，進氣口統一距地面約 1.5 公尺高，外接車用電源進行道路測試，整體的配置同圖 4-51。

- (1) 8 月 24 日道路測試：測試時間為 11:00~18:00，環境溫度約 32~29°C、相對濕度約 60~81%，淡水、新莊與菜寮測站  $PM_{2.5}$  約 3~17  $\mu g/m^3$ ，道路測固定感測點  $PM_{2.5}$  約 4~61  $\mu g/m^3$ ，於交通廊道的  $PM_{2.5}$  濃度反應發現 5 台感測器雖然進氣方向不同，但彼此的一致性相當良好( $R^2$  約

0.65~0.96)，同時行駛的車速對進氣流速與感測濃度也無影響，移動式感測器與 TSI-8533 的相關性也都能維持在  $R^2$  約 0.52~0.87。TSI-8533 的反應濃度明顯高於移動式感測器，TSI 與移動式感測器的相對器差中位數(bias)約為 5%~14%，主要原因在 TSI 採樣流量高，污染物被 TSI 搶走致使感測濃度反應較高。道路測固定感測點與移動式感測器的相對器差中位數(bias)約為-35%~-42%，顯示移動式感測器平均較固定式感測器的讀值低，但在高濃度的反應高。部分區段發現有濃度峰值，經比對行車紀錄影像，皆可發現鄰近移動式感測器周邊有高污染車輛，詳如圖 4-57。

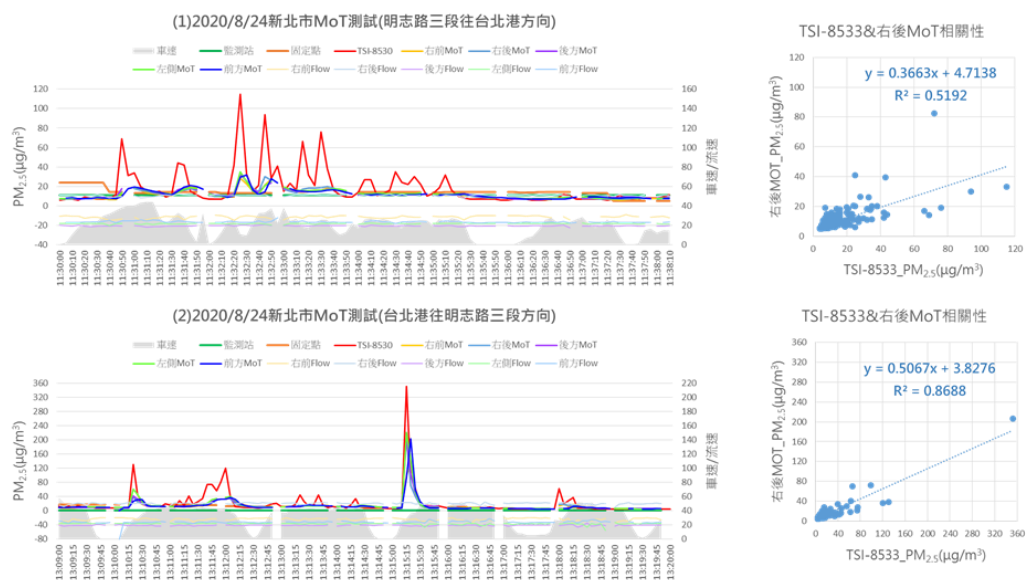


圖 4-57、8/24 移動式感測器原型機 5 台道路測試

- (2) 9 月 2 日道路測試：測試時間為 09:00~16:00，環境溫度約 30~33°C、相對濕度約 47~76%，淡水、新莊與菜寮測站  $PM_{2.5}$  約 13~29  $\mu g/m^3$ ，道路測固定感測點  $PM_{2.5}$  約 9~486  $\mu g/m^3$ ，於交通廊道的  $PM_{2.5}$  濃度反應 5 台感測器雖然進氣方向不同，但彼此的一致性相當良好( $R^2$  約 0.76~0.96)，同時行駛的車速對進氣流速與感測濃度也無影響，移動式感測器與 TSI-8533 的相關性也都能維持在  $R^2$  約 0.54~0.66。TSI-8533 的反應濃度明顯高於移動式感測器，TSI 與移動式感測器的相對器差中位數(bias)約為 4%~23%，主要原因在 TSI 採樣流量高，污染物被 TSI 搶走致使感測濃度反應較高。道路測固定感測點與移動式感測器的相對器差中

位數(bias)約為-8%~-21%，顯示移動式感測器平均較固定式感測器的讀值低，但在高濃度的反應高。部分區段發現有濃度峰值時，經比對行車紀錄影像，皆可發現鄰近移動式感測器周邊有燒金紙或高污染車輛，詳如圖 4-58。

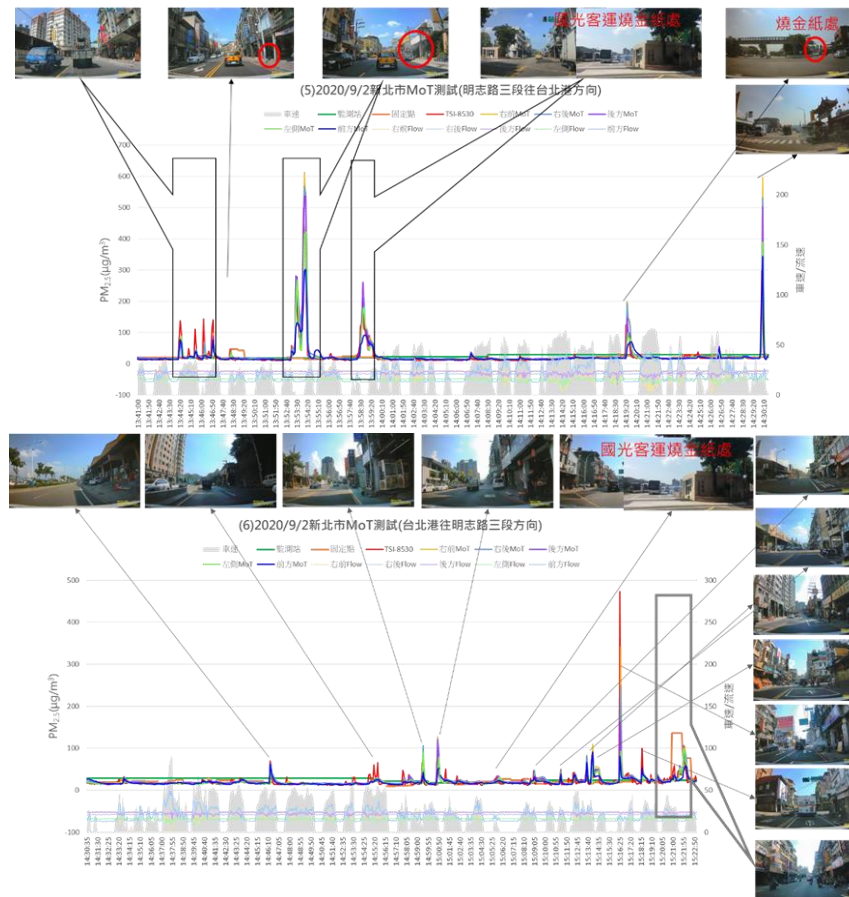


圖 4-58、9/2 移動式感測器原型機 5 台道路測試

- (3) 9 月 15 日（星期二）、9 月 16 日（星期三）及 9 月 17 日（星期四）道路測試 3 場次：以服務於大臺北地區的 5 台多元計程車，各自搭載 1 組 MOT 同時進行道路量測，車輛配置詳如圖 4-59。每天每台車道路測試時間至少 8 個小時以上，進行以大臺北地區交通廊道的 PM<sub>2.5</sub> 量測。數據呈現分為上班時段（07:00~10:00）、日間時段（10:00~17:00）、下班時段（17:00~20:00）及夜間時段（20:00~24:00）。呈現方式採用即時移動監測濃度值（詳如圖 4-60）、各路段取平均濃度（詳如圖 4-61）及面化 MOT 濃度（詳如圖 4-62）。

A. 以 5 台 MOT 進行為期 3 天的感測成果發現，對於臺北市與周邊新北



- 市間的主要交通網絡已可涵蓋達80%，但是時間解析度僅能達到40%。
- B. 正常上班日期間，上班時段污染高值呈現出由新北市通往臺北市區的邊界路段，此時臺北市區內環境濃度相對良好，反應出大臺北地區的交通特性。
- C. 正常上班日期間，下班時段污染高值呈現出由臺北市區通往新北市的邊界路段，此時新北市的環境濃度相對良好，反應出大臺北地區的交通特性。
- D. 正常上班日期間，臺北市區在日間時段的污染濃度最高，夜間時段的污染濃度最低，反應出市區交通的活絡情形，日間的污染活動明顯高於夜間活動，與假日期間的反應明顯相反。





圖 4-59、9/15~9/17 移動式感測器設置於測試車輛狀態

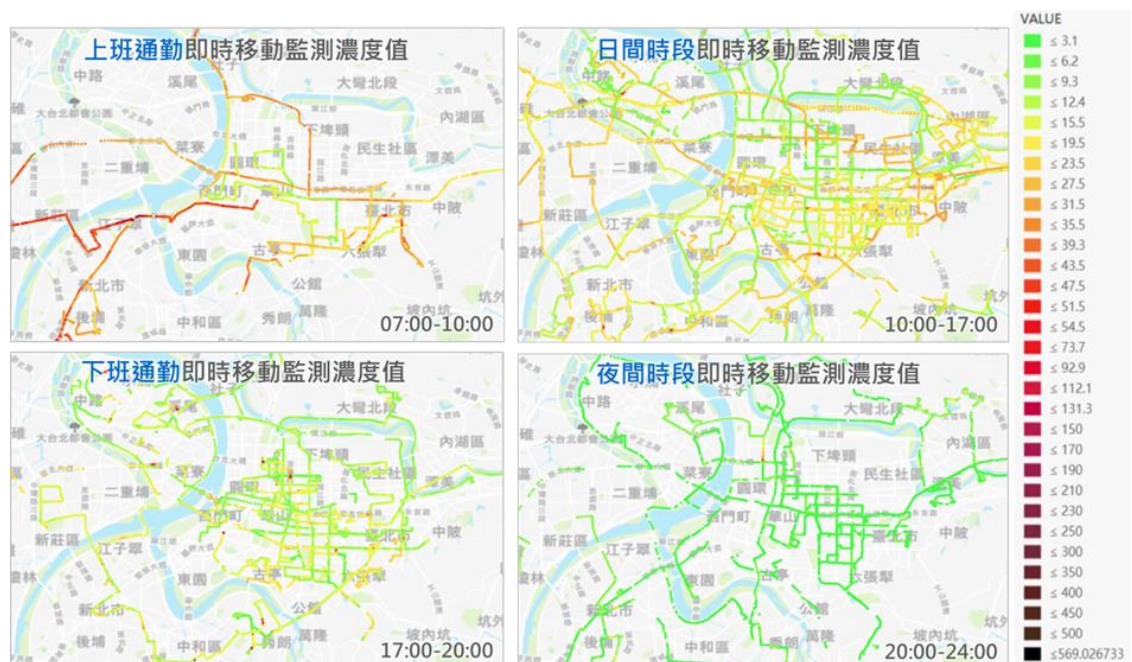


圖 4-60、9/15~9/17 移動式感測器即時 PM<sub>2.5</sub> 感測濃度圖



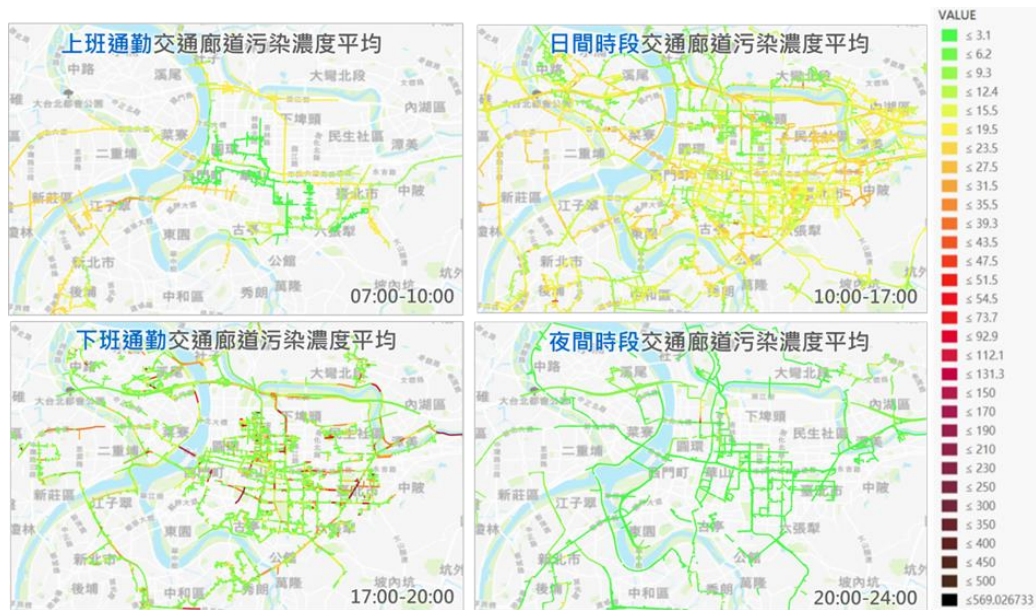


圖 4-61、9/15~9/17 移動式感測器路段  $PM_{2.5}$  平均感測濃度圖



圖 4-62、9/15~9/17 移動式感測器面化  $PM_{2.5}$  感測濃度圖

- (4) 10 月 1 日 (星期四)、10 月 2 日 (星期五) 及 10 月 3 日 (星期六) 道路測試 3 場次：於中秋節 3 天連續假日以服務於大臺北地區的 5 台多元計程車，各自搭載 1 組 MOT 同時進行道路量測，車輛配置詳如圖 4-63。每天每台車道路測試時間至少 8 個小時以上，進行以大臺北地區交通廊道的  $PM_{2.5}$  量測。數據呈現分為上午時段 (06:00~12:00)、下午時段 (12:00~18:00) 及夜間時段 (18:00~24:00)。呈現方式採用即時移



動監測濃度值（詳如圖 4-64）、各路段取平均濃度（詳如圖 4-65）及面化 MOT 濃度（詳如圖 4-66）。

- A. 5 台 MOT 運用為期 3 天的道路感測，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70%，但是時間解析度僅能達到 40%。
- B. 連續假日期間，臺北市區的交通廊道污染濃度反應，夜間時段最高，其次是下午時段，上午時段濃度最低，反應出市區民眾活動的特性，上午時段的交通活動最少，下午時段逐漸湧現車潮，夜間的市區活動最熱絡，造成污染濃度的升高，與正常上班日的活動反應明顯相反。
- C. 連續假日期間，臺北市區與周邊新北市的污染反應較無明顯差異，也看不出邊界路段的交通高污染反應。





圖 4-63、10/1~10/3 移動式感測器設置於測試車輛狀態

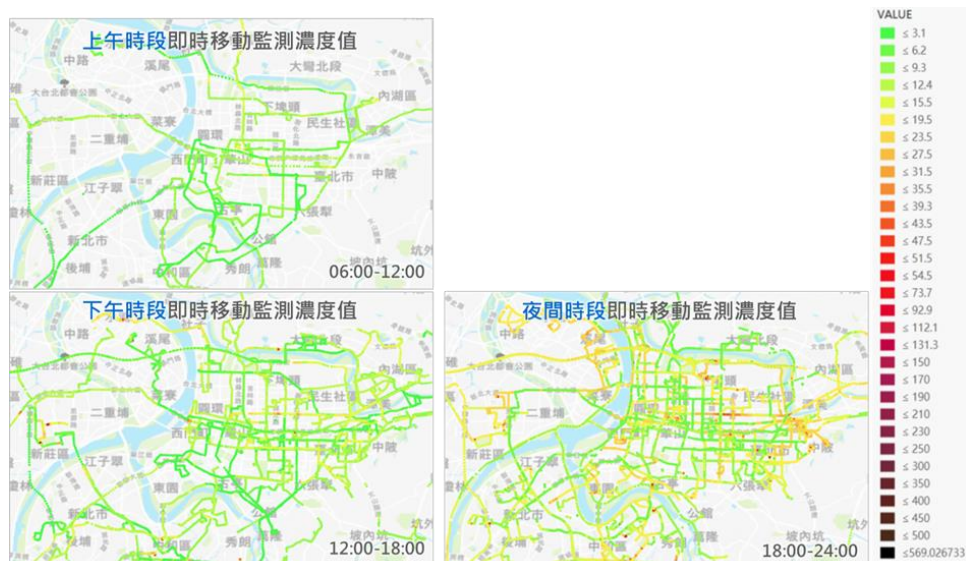
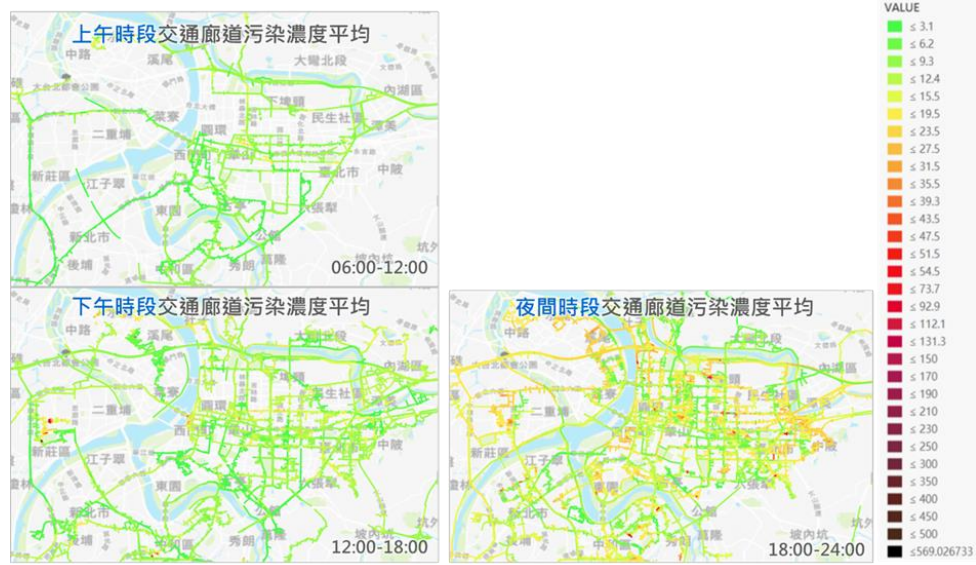
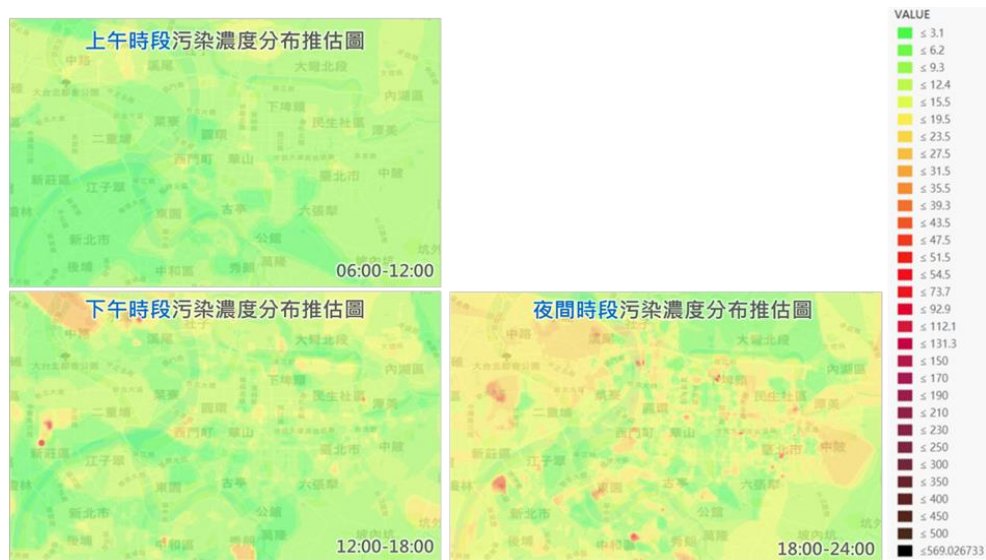


圖 4-64、10/1~10/3 移動式感測器即時 PM<sub>2.5</sub> 感測濃度圖



圖 4-65、10/1~10/3 移動式感測器路段 PM<sub>2.5</sub> 平均感測濃度圖圖 4-66、10/1~10/3 移動式感測器面化 PM<sub>2.5</sub> 感測濃度圖

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 依據 MOT 樣品機及原型機測試成果發現，MOT 的感測性能對於高污染車輛及道路側高污染來源（餐飲業廚房排煙口）具備有明顯的辨識能力，對於後續作為交通動線的污染感測或是補足固定感測點在空間解析度不足的區域，可作為建立區域環境的基礎資料。
2. MOT 樣品機性能優化與縮裝後的量產原型機，透過穩定採樣機構的設計

下，移動式感測器與 TSI-8533 的相關性也都能維持在  $R^2$  約 0.52~0.87，TSI 與移動式感測器的相對器差中位數(bias)約為 4%~23%，道路測固定感測點與移動式感測器的相對器差中位數(bias)約為-8%~-42%，皆能符合預期目標，對於未來商品化的產品性能提供足夠的精準度條件。

3. 運用 5 台 MOT 進行為期 6 天在大臺北地區的感測成果發現，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70~80%，時間解析度約能達到 40%，對於未來城市區域污染分布掌控提供有效的執行方案。
4. MOT 感測的交通廊道污染行為，呈現出都會區正常上班日期間與連續假日期間截然不同的污染特徵，上班下班時段反應出大臺北地區的交通特性。臺北市區交通的活絡情形，反應出正常上班日期的日間的污染活動明顯高於夜間活動，但是連續假日期間，夜間的市區活動最熱絡，造成污染濃度與正常上班日的活動反應明顯相反。對於未來在城市治理與交通分流以降低環境污染的峰值可以提供具體的參考標的。

## (二) 建議

1. 運用 MOT 補足環境感測資訊：以監測站及固定感測點量測為目前環境品質監測之主軸，但受限於布建與維運成本，在有限資源下運用移動感測器可補足監測時空解析度有限之區域，可有效輔助環境治理與智慧執法之效益。
2. 建立交通廊道空氣污染基線資料：固定式感測點用於監測固定污染源的不法排放已有顯著成效，但在國內機動車輛數快速成長下，移動污染源的數量與日俱增。經調查統計，都會地區空氣污染物以車輛排放為主，不僅嚴重影響都會地區的空氣品質，更對民眾身體健康造成危害。為釐清都會區內車輛對空氣污染的貢獻，建立都會區道路的污染地圖具有指標意義，但如藉由固定感測點布建於道路側，在足夠的空間解析度下需要耗費相當的布建與維運成本，故發展移動感測聯網(MOT)，藉由將感測器設置於都會區相當數量的移動車輛上，透過即時感測數據的收集，能繪出都會區的交通污染地圖。藉由發展移動感測聯網(MOT)，協助機關建立交通污染基線資料，除可作為移動污染管制績效評估之參考外，同時也可依據臺灣的發展成效，推動至全球市場，應用於交通污染防治之服務產業。
3. 高污染車輛的辨識應用：運用移動式感測設備在動態行駛中  $PM_{2.5}$  感測發生峰值時，篩選出周界有高污染車輛，結合車牌辨識及大數據分析，針對

被高頻率篩選出來的疑似高污染車輛資料，與監理單位橫向連結與查驗，全面辨識仍在道路行駛之高污染車輛進行舉發、改善或裁處，嚇阻車主加強高污染車輛之維護、保養與汰換，進而降低高污染車輛之使用，積極達成高污染車輛汰換的效益。





## 第 5 章、整合環境感測物聯網執行成果

環保署今年度仍持續擴大空氣品質感測網絡布建，推動維運國內或國外布建 100 點以上空氣品質感測器規劃、布建及試驗驗證工作。對於維運機動式感測器之重點以跨域應用及測試為主軸，分析在智慧工廠、智慧醫療或智慧建築等之關聯性，期望能在跨域應用上獲得新的發想與成效。持續協助環保署推動「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」下各分項計畫、提案工作研析修正及意見，並就執行情形進度管理追蹤及問題分析，提出彙整及進度報告，以基礎建構、整合布建、資料服務及智慧應用等四大重點，進行進度控管與各計畫間之溝通橋樑。持續精進研析感測元件整合、感測器效能及大數據分析，透過持續配合辦理相關活動及彙整資料、簡報及維運物聯網網站，擴大計畫推動之成效。

### 5.1、維運 108 年國內外布建 100 點以上空氣品質感測器

#### 一、前言

去(108)年度環保署基於擴大空氣品質感測網絡之效能，規劃透過國內外布建 100 點以上空氣品質感測器，進行實地場域之平行比對測試，並評估結合跨域技術與分析模式，驗證未來感測物聯網可能之應用服務。今(109)年度為維持去(108)年度 100 點空氣品質感測器之數據品質，依據環保署需求調度布建於合適場域，持續辦理國內或國外布建 100 點以上空氣品質感測器規劃、布建及場域驗證工作。整體工作推動包含辦理布建與維運作業教育訓練 2 場次，據以提升未來負責維運感測器之機關單位及承攬商之執行能力；調整優化感測器布建規劃與設計，依據機關要求優化調整布建與維運作業計畫，並調整布建作業；感測器依據布建場域區域特性，實施感測器與監測站平行比對後之數據校正作業，以確保符合環保署之數據品質要求；為提供機關取得感測數據，提供查閱感測數據歷史數據圖表及變化趨勢表檢視功能。整體維運工作之細部規格及感測器數據品質須經機關認可。

#### 二、工作執行方法

整體工作之執行重點計有：辦理布建與維運作業教育訓練、調整優化感測器布建規劃與設計、感測器實地場域數據校正及感測器數據呈現等 4 項作業，實施流程詳如圖 5-1。各分項執行內容詳述於下列章節。

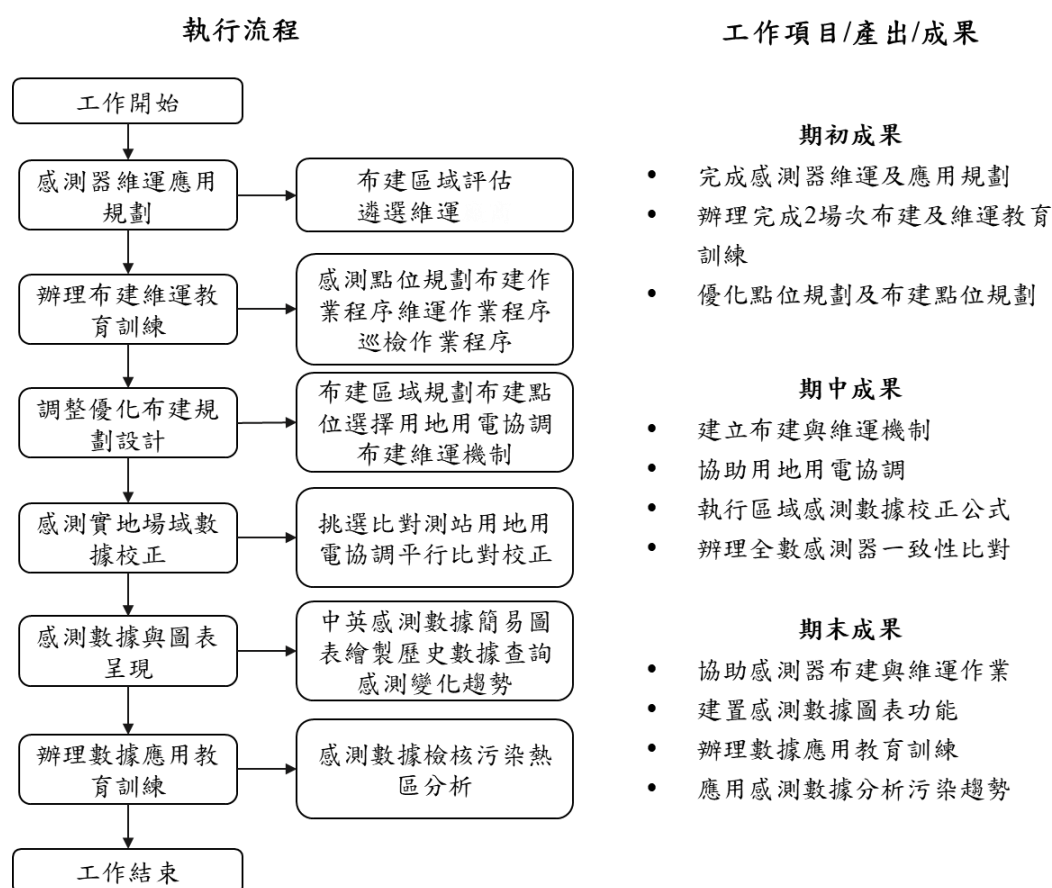


圖 5-1、維運國內外 100 點空氣品質感測器執行流程

### 5.1.1 辦理布建與維運作業教育訓練

為確保國內外布建空氣品質感測器之規劃設計、布建施工及維護管理之運作品質，必須針對建置及後續應用單位（包含相關政府單位及其業者）進行專業技能的訓練，本團研擬涵蓋空氣品質感測點位規劃、布建作業程序、維運作業程序、巡檢作業程序、感測數據檢核、污染熱區分析等相關課程，進行教育訓練辦理。

為確保教育訓練之效益，課程規劃以室內課程搭配小組實作，據以確保參與者之實務技能養成，課程每場次 2 小時以上，依據環保署及維運單位之需求期程、地點及課程內容，彈性調整教育訓練實施方式與內容安排，初步研擬教育訓練課程規劃如表 5-1，依據實際需求挑選合適的課程辦理。

表 5-1、空氣品質感測物聯網教育訓練課程規劃

課程時間	課程名稱	課程大綱
2 小時	臺灣空氣污染防制概論	1.空氣污染防制法規介紹 2.空氣品質維護與防治策略
2 小時	臺灣空氣品質監測系統介紹	1.空氣品質監測技術與維運機制 2.空氣品質監測網及預測預報

4 小時	空氣品質微型感測物聯網布建及維運介紹	1.感測點位規劃作業 2.感測設備布建作業程序 3.感測設備維運作業程序 4.感測設備巡檢作業程序
4 小時	空氣品質感測物聯網數據品質提升介紹	1.感測器群集分析 2.感測設備異常篩選分析 3.智慧化雲端巡檢作業 4.感測器動態雲端校正作業
4 小時	空氣品質感測物聯網數據處理與分析應用介紹	1.環境污染事件及告警分析 2.污染熱區與潛勢分析 3.感測數據輔助環境治理與執法稽查
4 小時	實地觀摩與場域介紹	1.國家測站之實地觀摩與設備介紹 2.微型感測設備布建區域實地觀摩 3.自主巡檢及第三方查核作業觀摩

### 5.1.2 調整優化感測器布建規劃與設計

#### (一) 布建選址規劃

於進行空氣品質感測物聯網布建選址時，可依使用需求、地區特性選定布建地點，並依區域類型及場域範圍規劃布建場址及布建密度。為有效利用投入資源，擴大布建具體效益。選址應以能解決實際迫切面臨之環境問題為優先，如重點污染潛勢區、民眾經常檢舉區域及環境污染事件頻發區域，初步訂定選址流程為：

1. 基於應用特性包括工業區污染源鑑別。
2. 鄰近污染排放之社區特性。
3. 交通都會區感測。
4. 無標準測站之鄉鎮地區輔助感測等不同應用目的及場域特性。
5. 考量量資通訊傳輸良好、電力系統穩定及布建維運較為容易地區。

在選定場域布建範圍後，依布建建感測器密度不同，工業區以高密度（200~300 公尺）進行布建，必要時可採更高密度（100 公尺）；社區及交通都會區則採中密度（1~2 公里），無標準監測站之鄉鎮地區以低密度（5 公里以上）進行布建。進行布建規劃時，建議以等距離網格狀為基本原則，如果選定於工業區布建，感測器點位以密集涵蓋整個工業區為原則，其次再以工業區週邊社區為標的，以環遶工業區布建為優先。針對市區內之布點，則以近污染源及敏感受體附近為優先。對於週邊地區之布點，仍以近污染源、小聚落及工廠附近為優先。整體之布建點位規劃，以考量布建、巡檢、維運、故障排除之可行性與方便性為首要目標。依據環保署要求優化調整布建與維運之作業，實際選定之場域及密度需經過環保署確認。

## (二) 布建工作執行

針對布建工作之細部規格須符合環保署所列之規範，感測器設計及布建維護相關內容需符合下列規定：

1. 感測器項目與規格：空氣品質感測器感測模組之項目應至少有 3 項，其中溫度、濕度、細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)等 3 項為必要項目。所採用感測元件效能須經環保署品保品管驗證機制測試，或至少於測站現場比對測試，測站比對測試在環保署指定之監測站進行。感測元件感測範圍須能偵測當地空氣品質的濃度變化，誤差範圍符合 USEPA Air Sensor Guidebook 所建議污染熱區鑑別或輔助標準監測站應用等級需求，且感測元件將以國產化為優先，測試結果經環保署認可或經該署指定之測試驗證單位驗證通過後始組裝。
2. 布建前感測器測試：完成組裝後之感測器必須經過一致性比對測試，通過後始得安裝，可以群組（至少 50 個）的方式置於同一地點進行數據一致性分析，若異常的感測器則必須淘汰更換。每次比對完成後須留下至少 10% 為基礎，以利另一個群組進行比對之參考依據。
3. 感測器模組化設計：空氣品質感測器模組需可模組化，提供未來快速抽取更換不同國產化感測元件或新增感測項目，設計上需考量各感測元件進、排氣流道設計合理性。模組化方式需配合後續擴充條件，以電路板擴充槽或外接 USB 形式設計。
4. 資料傳輸模組：感測器通訊模組可因地制宜選擇，且需達到快速抽取更換，並可適地性選擇資料傳輸通訊模組，以達資料即時完整且成本經濟等最適化。為求傳輸數據穩定度，建議避免採用 LoRa 模組，儘量以 3G、4G 或 Wi-Fi 等連續傳輸較穩定之模組為優先，或採 2 組以上模組互相支援。
5. 供電模組：感測器供電模組應符合節能省電，且有供電穩壓設計及接用不同電源轉換設計，並確保感測器運作及資料傳輸之電力無虞。如有結合路燈安裝可能有日間不供電情形者，應設計儲電裝置，以供夜間儲電、日間供電操作使用。
6. 資料儲存機制：感測器微控制器及資料儲存單元，應具備感測資料處理、篩選、大量儲存及感測元件功能狀態偵測及通知功能，以掌握感測器維護管理需求或抽換更新。
7. 感測器機體設計：感測器機構設計應具備戶外防水功能、減少氣狀物及粒狀物進氣相互干擾問題及積塵設計，且感測模組電路主板以不干擾臭

氧感測的外殼材質包覆。為確保數據品質及績效查核需要，應採樣進氣口及校正測試進氣口設計，以提供測試氣體校正、測試使用或未來自動校正模組組裝測試使用。

8. 訂定標準方法維持運作：訂定及執行快速安裝、運作之標準方法，應配合感測器機構及外觀設計，整體考量設計及制定安裝固定、線路及電源連接等簡易、快速之安裝作業流程。實際布建位置應設置於通風良好及灰塵不易聚集處，以維持感測器良好運作。
9. 布建後巡檢及校正機制：布建完成後須以符合示範需求之監測站與區域實施感測器平行比對測試，固定蒐集測試資料，訂定同步即時檢核及調校比對作業制度，亦須確認感測器之抽風量以利釐清變因。
10. 須訂定及執行感測器物聯網運作品質管理作業，運用具有校正功能之分析檢測器執行巡迴感測品質管制作業，建立分級巡檢智慧維護檢修作業模式，將感測器按其布建位址及其各類相似特性分群，再採用具精準度、可校正的檢測儀器等，定期執行的巡檢、比對品質管制查核作業，針對數據品質明顯不佳的感測器應現場簡易檢修或直接更換備機後送維修，必要時可抽樣將感測器置於符合示範需求之監測站再次平行比對測試。
11. 訂定檢測及維運程序：訂定及執行高效巡迴更換及後送維修作業程序，針對感測器裝置特性訂定現場快速檢測、維修作業流程及問題處理技術指引，提供巡檢維修人員快速維修以確保功能正常。針對檢修結果現場無法修復者，能快速拆卸感測器並以備機更替安裝。

### （三）監測數據品質

針對布建感測器之資料及數據傳輸品質須符合環保署所列之規範，感測資料格式、資訊服務及驗收準則相關內容說明如下：

1. 各感測點感測數據應以環保署規定之資料格式發布至環保署 IoT 平臺，各資料欄位定義如下表 5-2，且資料格式需視環保署環境物聯網感測標準異動而調整。

表 5-2、各感測點感測數據資料欄位定義

欄位名稱	中文解釋	欄位名稱	中文解釋
id	裝置識別值	lon	經度
manufacturerid	廠商代號	lat	緯度
name	裝置名稱（請依據命名規範命名）	attributes	設備相關屬性

欄位名稱	中文解釋	欄位名稱	中文解釋
desc	裝置描述	data	感測器感測值如下： sensor：感測器 value：感測值 unit：感測值單位
mobile	是否為移動裝置， 預設 false		

2. 資料完整率應以 90% 為目標，其初設完成的資料服務說明如下：各感測點每 3 分鐘產出各污染物濃度或環境參數之有效平均監測數據，至遲於監測後 5 分鐘內，以資料串流方式，將即時數據發布至環保署 IOT 平臺，即時展示於環保署指定資料應用展示資訊網頁。有效資料完整率係以每季或月 5 分鐘內即時展示之有效測值筆數之比率(計算方式如下)，其中，每季或月總筆數計算方式為「監測月數×當月日數×24 小時×每小時 20 筆×3 測項」，前述 3 測項為溫度、濕度、PM<sub>2.5</sub>。

$$DC\% = \left[ \frac{\text{5 分鐘內即時展示之有效測值筆數}}{\text{應有測值筆數} = (\text{每季或月總筆數} - \text{不可抗力之無效或無測值筆數})} \times 100\% \right]$$

### 5.1.3 感測器實地場域數據校正

由於現行 100 台空氣品質感測器皆為光學式 PM<sub>2.5</sub> 微型感測器，其感測數據受環境濃度、溫度、濕度及風速影響，環保署對於感測器感測數據的準確度 (Accuracy)，主要是驗證微型感測器經過校正後之數據，與目前公認的 PM<sub>2.5</sub> 之量測方法符合「手動採樣」的聯邦參考方法 (Federal Reference Method, FRM) 或「自動監測」的聯邦等似方法 (Federal Equivalent Method, FEM) 兩種測站等級儀器相比之誤差值，對於誤差需符合 USEPA Air Sensor Guide 中所定義之應用種類，詳如表 5-3，故以熱點識別與污染鑑識之需求，出廠的感測器皆需符合誤差在 30.0% 的規定範圍，以確保後續輔助污染稽查之主要目標。

表 5-3、US EPA 對感測器在不同應用種類的建議性能目標

(Air Sensor Guide Book, June 2014, US EPA)

層級	應用種類	目的	污染物種類	精確度與偏差	數據完整性	註解
1	教育與資訊	簡單的顯示污染物的存在與否	*全	<50%	≥50%	測量誤差較不重要，簡單呈現出污染濃度範圍
2	熱點識別與污染鑑識	找到一個區域中的污染源與污染分布情形	*全	<30%	≥75%	較高品質的數據以確定污染源及其正確的濃度值
3	補充監測網	補充現行法規監測	指標污染物、	<20%	≥80%	對數據品質的要求



層級	應用種類	目的	污染物種類	精確度與偏差	數據完整性	註解
		站數據，形成較完整的監測網	毒性空氣污染物			高，使之能補充法規監測站的時空缺口
4	個人暴露監測	提供個人空氣污染暴露風險評估	*全	<30%	≥80%	此建議值出自文獻，以反映個人的污染暴露值
5	法規監測	提供更完整的空氣品質監測數據	O <sub>3</sub>	<7%	≥75%	必須具有高準確性使高品質的數據能符合法規監測要求
			CO, SO <sub>2</sub>	<10%		
			NO <sub>2</sub>	<15%		
			PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	<10%		

\*全：氣體污染物含 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、VOCs 和苯；粒狀污染物含 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、鉛和碳黑。

為確保感測器數據品質符合環保署之要求，計畫將 3 台感測器設置於區域標準監測站（具備 FRM 或 FEM 等級設備）進行 1 個月以上實地場域平行比對，比對時的環境濃度需要區域環境高中低濃度值，測試參數包含數據接收率（data recovery）、與參考方法之相關係數（R<sup>2</sup>, linear correlation coefficient）、相對器差（bias error, %），相關計算方式及標準說明如下：

1. 數據接收率（data recovery）：

(1) 評估公式如下

$$\text{Data Recovery (R)} = \frac{N_{\text{valid data}}}{N_{\text{all data}}} \times 100\%$$

其中 Nvalid data：測試期間感測裝置有效數據點

Nall data：測試期間之所有數據點

(2) 環保署要求標準：數據接收率必須大於等於 90.0%。

2. 與監測站數值關聯性的校正公式：

(1) 相關係數（R<sup>2</sup>, linear correlation coefficient）：針對 PM<sub>2.5</sub> 感測裝置之平均質量濃度與標準監測站（具備 FRM 或 FEM 等級設備）之平均質量濃度進行線性迴歸運算，環保署要求感測裝置與標準監測站（具備 FRM 或 FEM 等級設備）的數值關聯性（R<sup>2</sup>）標準必須大於等於 0.70。

(2) 相對器差（bias error, %）：針對感測裝置與標準監測站（具備 FRM 或 FEM 等級設備）的讀值差異評估公式如下

器差 = 感測裝置讀值 - 標準監測站讀值

相對器差（bias error）= 器差 / 標準監測站 × 100%

環保署要求感測裝置與標準監測站（具備 FRM 或 FEM 等級設備）的數值相對器差(bias error)絕對值必須小於等於 30.0%。

PM<sub>2.5</sub> 感測器於布建前經由符合示範需求監測站與區域實施之平行比對作業後，建立區域感測器演算法校正參數，在符合環保署對之數據品質要求後，始得上傳至對外展示之數據中心平台，以利未來做為區域污染熱區分析及污染時間點之分析與運用。

#### 5.1.4 感測器數據呈現

基於臨時性專案需求，提供機動布建區域之感測數據，以利符合當地閱讀使用，採用中英文空氣品質感測器數據呈現圖表，以利及時查閱感測數據歷史數據圖表及變化趨勢表檢視功能。

1. 數據呈現模式：呈現欄位包含感測器編號(ID)、感測點位座標（經度/緯度）、感測時間（年/月/日/時/分/秒）、感測數據（PM<sub>2.5</sub>、溫度、濕度）等。
2. 數據下載功能：依據專案的臨時性需求，提供即時數據下載服務，可依據布建區域之感測器編號，下載所屬感測點之感測數據，依據時間區間同時下載多組感測器數據資料，勾選產出之數據欄位，依據時間軸下載群體感測器之時間對應下的感測數值，以 CSV 檔提供使用者下載解析，進行進階分析。
3. 數據繪圖功能：挑選關切之感測設備，進行數據的繪圖與分析，透過在時間區段的相互比對，協助簡易分析區域感測器在時空特徵，可協助比對區域感測器數值分布與差異分析，以利研判區域內是否發生污染排放，以協助當地機關研擬環境執法之規劃與具體措施。

### 三、工作執行成果

盤點 108 年布建的 100 台感測器目前運用現況如表 5-4。

表 5-4、108 年 100 台感測器運用現況

項目	感測器號碼	借用單位	用途	比對測站	bias %	CV	DC%	感測器位置
1	355001090039446	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.02	91%	基隆站
2	355001090070656	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.06	94%	陽明站
3	355001090038869	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.05	92%	士林站
4	355001090022095	監資處	監測比對	板橋站	21%	0.04	93%	汐止站
5	355001090036822	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.03	93%	萬華站
6	355001090070714	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.02	90%	板橋站
7	355001090070144	監資處	監測比對	板橋站	21%	0.10	92%	桃園站
8	355001090057893	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.04	95%	平鎮站

## 第 5 章、整合環境感測物聯網執行成果

9	355001090041087	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.07	93%	新竹站
10	355001090029462	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.05	92%	竹東站
11	355001090023499	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.04	91%	苗栗站
12	355001090070649	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.06	93%	三義站
13	355001090026583	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.07	94%	豐原站
14	355001090033282	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.04	92%	忠明站
15	355001090036160	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.02	91%	彰化站
16	355001090010926	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.05	91%	南投站
17	355001090036814	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.03	93%	斗六站
18	355001090054619	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.10	90%	嘉義站
19	355001090033142	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.05	91%	朴子站
20	355001090036764	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.03	96%	新營站
21	355001090029637	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.04	98%	臺南站
22	355001090036780	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.03	97%	美濃站
23	355001090024935	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.02	96%	前金站
24	355001090027938	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.01	95%	屏東站
25	355001090010975	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.06	95%	恆春站
26	355001090024810	監資處	監測比對	板橋站	24%	0.05	94%	宜蘭站
27	355001090022301	監資處	監測比對	板橋站	21%	0.06	93%	花蓮站
28	355001090036087	監資處	監測比對	板橋站	23%	0.03	96%	台東站
29	355001090048298	監資處	監測比對	板橋站	29%	0.19	93%	馬祖站
30	355001090041517	監資處	監測比對	板橋站	26%	0.07	96%	金門站
31	355001090070607	監資處	監測比對	板橋站	22%	0.03	94%	馬公站
32	355001090067876	監資處	異常比對	板橋站	22%	0.04	95%	PMO
33	355001090022277	監資處	異常比對	板橋站	23%	0.04	96%	PMO
34	355001090027581	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.02	91%	PMO
35	355001090029314	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.10	97%	PMO
36	355001090034397	監資處	異常比對	板橋站	25%	0.04	91%	PMO
37	355001090062133	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.11	93%	PMO
38	355001090043372	監資處	異常比對	板橋站	21%	0.05	91%	PMO
39	355001090067835	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.03	94%	PMO
40	355001090023911	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.03	95%	PMO
41	355001090024141	監資處	異常比對	板橋站	26%	0.06	91%	PMO
42	355001090022103	監資處	異常比對	板橋站	22%	0.09	92%	PMO
43	355001090026997	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.04	91%	PMO
44	355001090026922	監資處	異常比對	板橋站	23%	0.02	92%	PMO
45	355001090038653	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.03	91%	PMO
46	355001090029017	監資處	異常比對	板橋站	19%	0.15	92%	PMO
47	355001090046953	監資處	異常比對	板橋站	24%	0.05	91%	PMO
48	355001090067140	監資處	異常比對	板橋站	23%	0.04	92%	PMO
49	355001090046870	監資處	異常比對	板橋站	16%	0.04	91%	PMO
50	355001090063008	監資處	異常比對	板橋站	14%	0.01	95%	PMO
51	355001090067488	監資處	異常比對	板橋站	13%	0.02	91%	PMO
52	355001090042655	監資處	異常比對	板橋站	14%	0.02	91%	PMO
53	355001090025288	監資處	異常比對	板橋站	13%	0.03	91%	PMO
54	355001091350420	監資處	機動比對	板橋站	17%	0.10	95%	板橋站

## 109 年度環境品質感測物聯網及專案管理計畫 期末報告

55	355001091341445	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.06	93%	板橋站
56	355001091339050	監資處	機動比對	板橋站	23%	0.05	98%	板橋站
57	355001091348705	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.01	91%	板橋站
58	355001091349760	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	97%	板橋站
59	355001091349117	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.03	91%	板橋站
60	355001091329408	監資處	機動比對	板橋站	22%	0.03	96%	板橋站
61	355001091329499	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.01	91%	板橋站
62	355001091331107	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.04	96%	板橋站
63	355001091340959	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.02	91%	板橋站
64	355001091351733	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.03	94%	板橋站
65	355001091324185	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.01	95%	板橋站
66	355001091337187	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.01	95%	板橋站
67	355001091305176	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.03	95%	板橋站
68	355001091340942	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.01	96%	板橋站
69	355001091343722	監資處	機動比對	板橋站	21%	0.03	94%	板橋站
70	355001091319342	監資處	機動比對	板橋站	21%	0.03	97%	板橋站
71	355001091320167	監資處	機動比對	板橋站	22%	0.03	96%	板橋站
72	355001091319250	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.01	91%	板橋站
73	355001091348879	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.06	94%	板橋站
74	355001091334325	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.01	94%	板橋站
75	355001091348663	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.06	91%	板橋站
76	355001091351246	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	93%	板橋站
77	355001091332071	監資處	機動比對	板橋站	21%	0.02	96%	板橋站
78	355001091339027	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.04	91%	板橋站
79	355001091342039	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	95%	板橋站
80	355001091341858	監資處	機動比對	板橋站	27%	0.10	94%	板橋站
81	355001091349927	監資處	機動比對	板橋站	22%	0.04	91%	板橋站
82	355001091329952	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.04	98%	板橋站
83	355001091339878	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	91%	板橋站
84	355001091340843	監資處	機動比對	板橋站	21%	0.03	96%	板橋站
85	355001091329481	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	94%	板橋站
86	355001091340850	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.03	98%	板橋站
87	355001091331081	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.04	91%	板橋站
88	355001091341510	監資處	機動比對	板橋站	20%	0.01	91%	板橋站
89	355001091329796	監資處	機動比對	板橋站	23%	0.04	93%	板橋站
90	355001091340769	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.02	94%	板橋站
91	355001091342112	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.02	91%	板橋站
92	355001091340819	監資處	機動比對	板橋站	21%	0.03	93%	板橋站
93	355001091352699	監資處	機動比對	板橋站	22%	0.05	91%	板橋站
94	355001091338912	監資處	機動比對	板橋站	27%	0.12	95%	板橋站
95	355001091331719	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.05	97%	板橋站
96	355001091339316	監資處	機動比對	板橋站	19%	0.01	93%	板橋站
97	355001091338011	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.03	94%	板橋站
98	355001091329119	監資處	機動比對	板橋站	18%	0.01	93%	板橋站
99	355001091329473	監資處	機動比對	板橋站	27%	0.11	93%	板橋站
100	355001091333756	監資處	機動比對	板橋站	23%	0.04	95%	板橋站

### (一) 辦理布建與維運作業教育訓練

於 109 年 7 月 3 日環保署 11 樓交誼廳辦理「感測器物聯網數據分析及應用」，邀請國立中興大學盧重興特聘教授分享利用感測器物聯網智慧校正及應用於縣市自行巡檢的經驗，整體會議議程及實況如表 5-5 所示，期望能增進環境感測物聯網智慧檢校知識，提升感測器數據品質，提供各縣市自行巡檢技術應用之參考。重點摘述說明如下：

1. 智慧城市是未來國際城市發展必然趨勢，物聯網科技是建構智慧城市的關鍵元素，空氣品質感測物聯網是智慧城市物聯網科技最重要的一環，沒有成功的空品感測物聯網，就沒有智慧城市。
2. 微型感測器是否能用來做為其他用途，例如評估健康風險或法規監控，和其數值精準度有很大關係，因此微型感測器要先經過更有效的校正，才能提升其精準度，並深化監測數據應用層面。
3. PM<sub>2.5</sub> 微型感測器需要校正，但不能使用單一校正公式來進行校正，其無法考慮各縣市環境與氣象條件及不同廠牌感測器差異性，這會導致微型感測器數據精準度受到質疑，也因此至目前為止，微型感測器監測數據僅能夠應用於感知污染源排放(雖然這也是相當困難的工作)，實在可惜。微型感測器的校正方法有許多種，分級校正制度的建立，是一個可思考的方向。
4. 進行感測器維護管理時，可以將這些微型感測器進行分區(如工業區)與分群管理，透過網路資料分析，每日(在雲端資料庫)巡檢，找出群集中的異常值，當發現異常時，再深入了解原因，可以在雲端數據資料庫直接找出原因並處理的，就不需要到現場去。相對的，如果發現有問題非去現場處理的，就可以立即處理，自然也不必等到三個月後才進行。而每季實際到現場巡檢的工作若需進行，也只需針對同一群集中的某一測站進行，其目的應該也是為了到現場進行儀器校正。
5. 雲端智慧巡檢的做法不僅可以節省許多人力與物力，也可以將每季定期(至現場)巡檢改為經常性的(在雲端網路透過資料分析)巡檢，反而更能確保微型感測器監測數據的可靠性。資料分析可以透過程式撰寫於物聯網平台自動執行，將可大大減少了各縣市眾多微型感測器的人力維護管理，這樣環保局人員就可以有更多的時間思考如何更有效運用感測器來監控污染源了。
6. 感測器經過一級校正後，可大幅降低與標準儀器之誤差(Bias)與變異係數(CV)，但在較高及較低 PM<sub>2.5</sub> 濃度範圍中出現與標準儀器較顯著差異。

若再將感測器進行分段校正(以測值 $>$ 或 $<15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  數據分別進行線性校正),較高及較低濃度範圍與標準儀器差異顯著降低,符合一致性比對規範。

7. 目前一級+二級校正可獲得很好的數據品質。透過雲端智慧校正與巡檢可以顯著降低感測器 QA/QC 查核所需之人力。應用高濃度感測器分析結果並藉此輔導業者改善,可達到污染減量效益。時間序列分析方法可以較簡單之方式找出傳遞趨勢,並掌握各測點間可能之高污染源。
8. 感測器 QA/QC 確認不宜使用傳統方式,建議以雲端智慧巡檢為主,感測器現場查核為輔方式進行。
9. 氣體感測器  $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、及  $\text{SO}_2$  之感測範圍仍偏高,目前僅適用於高污染環境中,未來執行時宜考量大氣環境之適用性。 $\text{TVOC}$  感測器適用於有機溶劑洩漏偵測及異味陳情,參考監測數據「變化值」,未來亦宜逐步建立校正與查核準則。
10. 感測器數據品質提升後,應加強數據解讀分析並應用於環境管理工作。空品物聯網監測單位應與環保執法單位充分配合,方可實質達成透過感測器物聯網即可裁處重大污染之成效。

表 5-5、「感測器物聯網數據分析及應用」教育訓練議程

時間	課程大綱	講師
14:40-15:00	報到	
15:00 -15:10	引言	本署監資處
15:10-16:10	以雲端智慧校正與巡檢提升國內感測器精準度	國立中興大學 盧重興特聘教授
16:10-17:00	Q&A	本署監資處及工研院
17:00	賦歸	





圖 5-2、「感測器物聯網數據分析及應用」教育訓練實況

此外，109 年 10 月 7 日於亞洲矽谷辦理「青埔環境智聯網推動研商會議」邀請亞洲矽谷行政長主持本會議，由工研院進行環境智聯網說明，針對智慧城市應用布建情境及場域測試，以移動污染源、室內及停車場、埤塘及灌溉農渠、大型辦公住宅之水塔及飲用水、大型活動場所噪音等場域應用，結合城市之整體規劃及智慧治理進行布建及測試應用進行說明。



圖 5-3、青埔環境智聯網推動研商會議

## (二) 感測器與測站數據校正

計畫團隊於今(109)年完成 31 手動監測站安裝微型感測器，透過與測站的長期比對，分析感測器 PM<sub>2.5</sub> 的小時平均值與監測站小時值的相關性，以感測

器 PM<sub>2.5</sub>、監測站相對濕度、監測站溫度及監測站風速為自變數，運用多元線性迴歸建立各測站所在區域的校正公式，迴歸公式如表 5-6。透過建立的校正公式可有效提升感測器與測站間的決定係數(R<sup>2</sup>)及相對器差如表 5-7。由於陽明站與花蓮站環境濃度過低，且陽明站缺乏風速資料，感測器與國家測站的決定係數(R<sup>2</sup>)偏低（約 0.49 與 0.47），將持續觀察感測器數據變化情形。

表 5-6、各測站感測器校正公式

縣市別	迴歸參考測站	迴歸式 [ $y(\text{測站})=m_1x_1(\text{感測器濃度})+m_2x_2(\text{測站濕度})+m_3x_3(\text{測站溫度})+m_4x_4(\text{測站風速})+b$ ]	決定係數 (R <sup>2</sup> )
臺北市	士林站	$y=0.89x_1-0.11x_2-0.09x_3+0.13x_4+10.78$	0.88
	陽明站	$y=0.46x_1+0.11x_2+0.53x_3+0.00x_4-17.43$	0.49
	萬華站	$y=0.78x_1-0.15x_2+0.0x_3+0.05x_4+17.28$	0.86
新北市	板橋站	$y=0.84x_1-0.11x_2+0.01x_3+0.04x_4+12.60$	0.91
	汐止站	$y=0.82x_1-0.09x_2-0.26x_3+0.06x_4+12.27$	0.85
桃園市	桃園站	$y=0.93x_1-0.11x_2+0.17x_3+0.09x_4+11.11$	0.88
	平鎮站	$y=0.82x_1-0.16x_2+0.09x_3+0.13x_4+14.48$	0.89
臺中市	豐原站	$y=0.85x_1-0.15x_2-0.69x_3+0.15x_4+15.47$	0.86
	忠明站	$y=0.75x_1-0.16x_2-0.75x_3+0.15x_4+16.27$	0.83
臺南市	臺南站	$y=0.65x_1-0.27x_2-1.10x_3+0.11x_4+27.59$	0.75
	新營站	$y=0.57x_1-0.26x_2-0.91x_3+0.08x_4+27.33$	0.76
高雄市	前金站	$y=0.66x_1-0.18x_2-0.75x_3+0.10x_4+20.93$	0.83
	美濃站	$y=0.72x_1-0.15x_2-0.33x_3+0.14x_4+16.26$	0.73
基隆市	基隆站	$y=0.77x_1-0.10x_2-0.58x_3+0.11x_4+12.86$	0.85
新竹市	新竹站	$y=0.86x_1-0.13x_2-0.13x_3+0.13x_4+12.98$	0.87
新竹縣	竹東站	$y=0.93x_1-0.11x_2+0.28x_3+0.06x_4+11.10$	0.9
苗栗縣	苗栗站	$y=0.73x_1-0.12x_2-0.19x_3+0.25x_4+10.40$	0.87
	三義站	$y=0.76x_1-0.07x_2+0.08x_3-0.04x_4+6.04$	0.74
彰化縣	彰化站	$y=0.70x_1-0.21x_2-0.78x_3+0.32x_4+14.46$	0.87
南投縣	南投站	$y=0.71x_1-0.20x_2-1.07x_3+0.20x_4+18.01$	0.81
雲林縣	斗六站	$y=0.82x_1-0.16x_2-0.70x_3+0.30x_4+10.48$	0.86
嘉義市	嘉義站	$y=0.68x_1-0.16x_2-0.59x_3+0.04x_4+17.03$	0.81
嘉義縣	朴子站	$y=0.74x_1-0.21x_2+0.40x_3+0.21x_4+16.04$	0.84
屏東縣	屏東站	$y=0.78x_1-0.23x_2+0.02x_3+0.09x_4+18.55$	0.82
	恆春站	$y=0.92x_1-0.11x_2+0.15x_3-0.04x_4+14.92$	0.84
宜蘭縣	宜蘭站	$y=0.79x_1-0.10x_2-0.22x_3+0.09x_4+10.28$	0.87
臺東縣	臺東站	$y=0.94x_1-0.14x_2+0.60x_3-0.07x_4+13.23$	0.84
花蓮縣	花蓮站	$y=1.46x_1-0.05x_2-0.05x_3-0.02x_4+8.62$	0.47

縣市別	迴歸參考測站	迴歸式 [ $y(\text{測站})=m_1x_1(\text{感測器濃度})+m_2x_2(\text{測站濕度})+m_3x_3(\text{測站溫度})+m_4x_4(\text{測站風速})+b$ ]	決定係數 ( $R^2$ )
連江縣	馬祖站	$y=0.84x_1-0.14x_2+0.42x_3+0.19x_4+15.59$	0.86
金門縣	金門站	$y=0.76x_1-0.09x_2+0.47x_3-0.23x_4-1.13$	0.84
澎湖縣	馬公站	$y=0.93x_1-0.06x_2+0.65x_3+0.13x_4+4.50$	0.73

表 5-7、各測站感測器校正前後改成果

縣市別	參考測站	校正前 決定係數( $R^2$ )	校正前 bias(%)	校正後 決定係數( $R^2$ )	校正後 bias(%)
臺北市	士林站	0.83	8.45%	0.88	0.00%
	陽明站	0.44	42.5%	0.49	1.96%
	萬華站	0.79	9.72%	0.86	0.01%
新北市	板橋站	0.88	10.41%	0.91	0.00%
	汐止站	0.81	10.67%	0.85	0.01%
桃園市	桃園站	0.85	10.37%	0.88	0.00%
	平鎮站	0.81	12.07%	0.89	0.01%
臺中市	豐原站	0.79	14.58%	0.86	0.01%
	忠明站	0.73	16.72%	0.83	0.00%
臺南市	臺南站	0.60	18.98%	0.75	0.00%
	新營站	0.58	21.45%	0.76	0.00%
高雄市	前金站	0.78	22.40%	0.83	0.00%
	美濃站	0.63	18.23%	0.73	0.00%
基隆市	基隆站	0.79	9.44%	0.85	0.01%
新竹市	新竹站	0.83	0.05%	0.87	0.01%
新竹縣	竹東站	0.87	11.46%	0.90	-0.01%
苗栗縣	苗栗站	0.79	14.39%	0.87	0.00%
	三義站	0.77	-36.60%	0.74	2.65%
彰化縣	彰化站	0.78	17.57%	0.87	0.00%
南投縣	南投站	0.67	22.87%	0.81	0.00%
雲林縣	斗六站	0.80	25.63%	0.86	0.00%
嘉義市	嘉義站	0.77	26.53%	0.81	-0.01%
嘉義縣	朴子站	0.75	19.83%	0.84	0.01%
屏東縣	屏東站	0.72	21.55%	0.82	0.00%
	恆春站	0.80	6.83%	0.84	0.00%
宜蘭縣	宜蘭站	0.83	8.52%	0.87	0.00%
臺東縣	臺東站	0.79	6.04%	0.84	0.03%
花蓮縣	花蓮站	0.46	-73.75%	0.47	3.01%
連江縣	馬祖站	0.83	16.53%	0.86	0.01%
金門縣	金門站	0.75	-43.88%	0.84	2.14%

縣市別	參考測站	校正前 決定係數( $R^2$ )	校正前 bias(%)	校正後 決定係數( $R^2$ )	校正後 bias(%)
澎湖縣	馬公站	0.70	10.43%	0.73	0.01%

## (二) 桃園市感測器異常高值比對

計畫團隊為維持縣市布建感測器之數據品質，針對桃園市觀音工業區、中壢工業區異常判別之設備進行平行掛測比對，初步運用感測器群體間變異係數過高，以及感測器與監測站間的決定係數( $R^2$ )過低等參數進行異常設備篩選，再藉由計畫團隊(PMO)感測器與異常感測器進行平行掛測比對，據以驗證比對設備與異常設備之相關趨勢，平行比對之濃度歷程，如圖 5-4 及圖 5-5 所示。其中中壢工業區比對結果顯示，發現感測器編號 TW050204A0504560 於比對期間 16:00~21:00 會產生高值，詳如濃度歷程圖 5-6。經至現場勘查發現，感測器布建於炭烤店排油煙出風口處如圖 5-7，感測高值即為炒菜過程中所產生的污染現象，故透過感測器異常分析可以篩選出不適當的布建場域，已通知環保局建議更換點位。

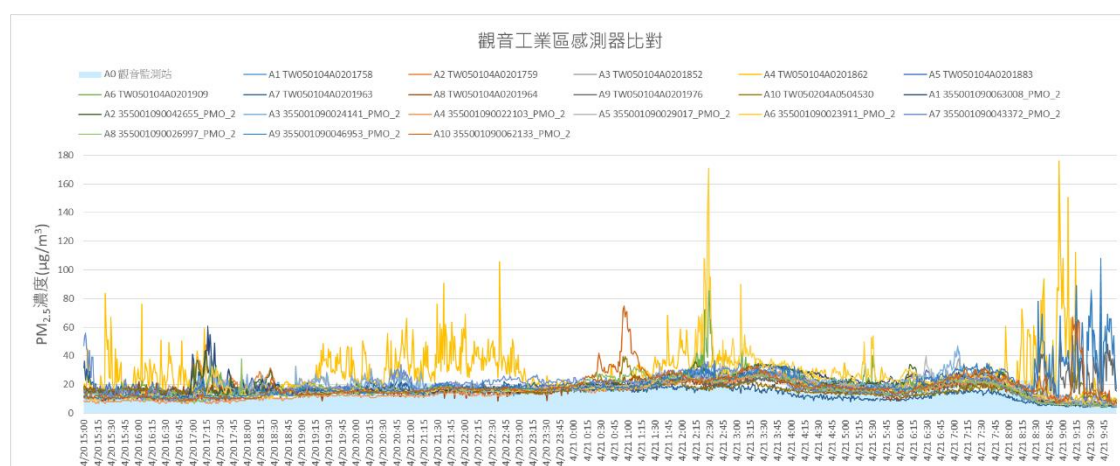


圖 5-4、觀音工業區感測器比對歷線圖



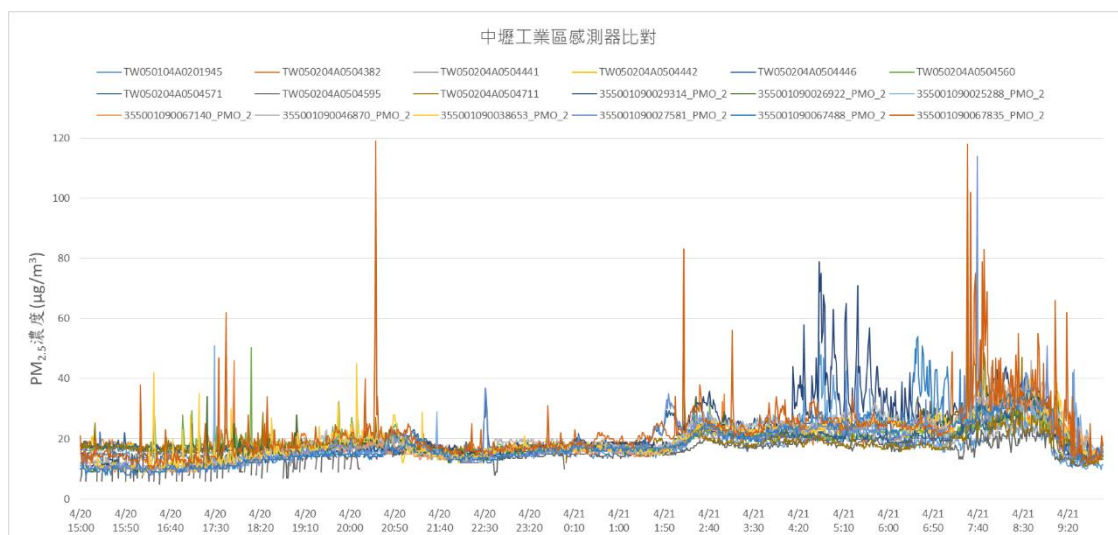


圖 5-5、中壢工業區感測器比對歷線圖



圖 5-6、TW050204A0504560 感測器比對歷線圖



圖 5-7、感測器布建於炭烤店排油煙出風口處

### (三) 新北市感測器異常高值比對

計畫團隊於新北市篩選出數據異常的設備進行平行附掛比對，比對期間測濃度歷程如圖 5-8。於監測期間發現編號 TW040203A0507000 感測器布建於小吃店油煙排出口旁，如圖 5-10，高值發生時間為 18:00~22:00 及 11:30~13:30，明顯契合營業時間，最高值甚至接近  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯示餐飲業的烹調廢氣對環境污染的影響，對於長期身處環境之民眾健康也具備相當的暴露風險。另外，編號 TW040203A0506878 於監測期間發現高值主要發生於每晚 18:00 左右，分別為  $733 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $1266 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，清晨 06:00 也有  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上的濃度反應，經查該感測器設置於觀音廟前，高值發生時段皆為廟方燃燒金紙所致，監測濃度歷程如圖 5-11，感測器現場照片如圖 5-12。由於廟方固定會燃燒金紙及焚香祭拜，經通知環保局後，建請依據感測目的調整感測點位。



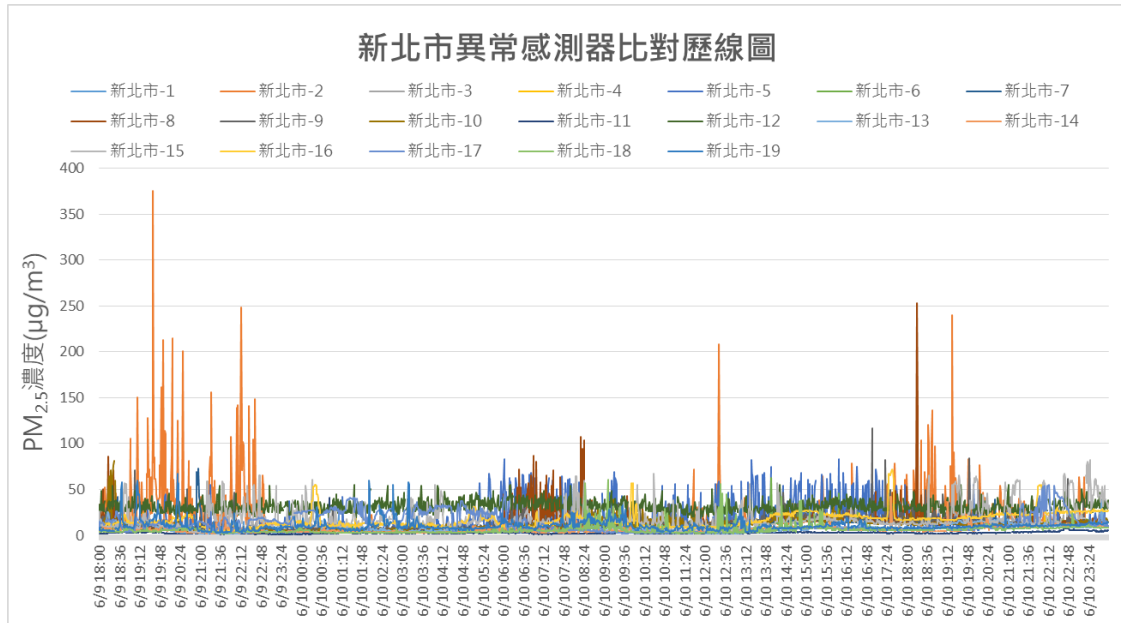


圖 5-8、新北市異常感測器比對歷線圖

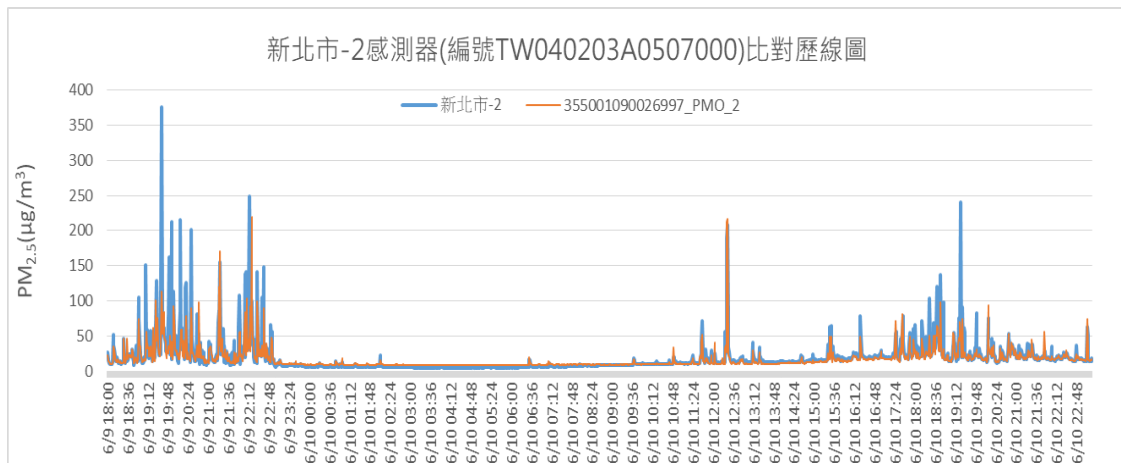


圖 5-9、新北市-2 感測器比對歷線圖



圖 5-10、新北市-2 感測器周邊環境

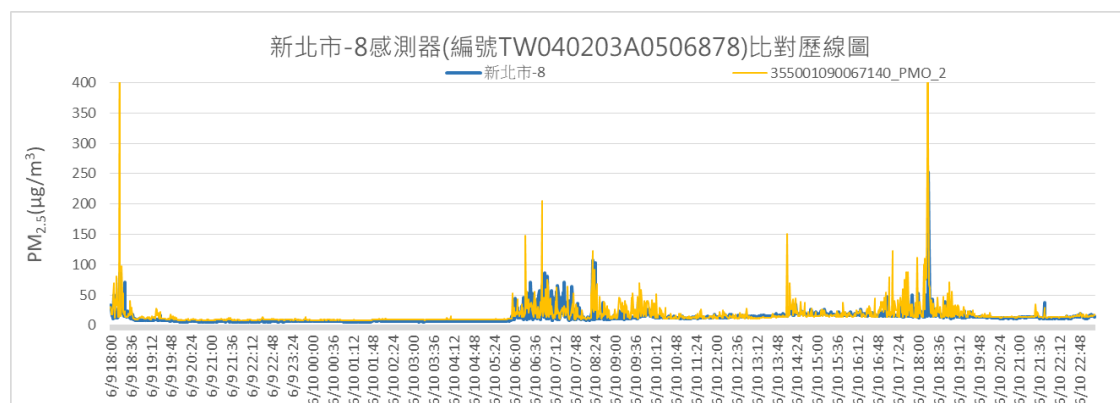


圖 5-11、新北市-8 感測器比對歷線圖



圖 5-12、新北市-8 感測器周邊環境

#### (四) 臺中市感測器異常高值比對

計畫團隊於臺中市篩選出 10 組感測數據異常的設備進行平行附掛比對。於掛測期間發現其中受測臺中市-2 感測器與 PMO\_2 比對感測器-2 的相對器差中位數約為 8%，比對濃度歷程如圖 5-13，但其他 9 組相對器差中位數皆大於 30%，但是受測設備臺中市-5、臺中市 8 感測器與 PMO\_2 比對發現有系統性的平移偏差如圖 5-14 及圖 5-15，平移誤差各為-41%與-33%，臺中市感測器數值明顯較 PMO 感測低，但是彼此相關性良好  $R^2$  分別為 0.87 和 0.73，已建議維運商透過數據校正，修正感測器器差後就可以持續使用。

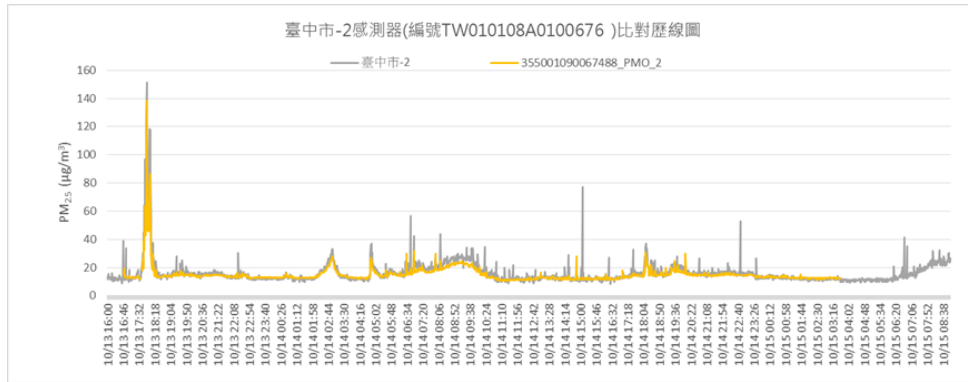


圖 5-13、臺中市-2 感測器平行比對歷線圖

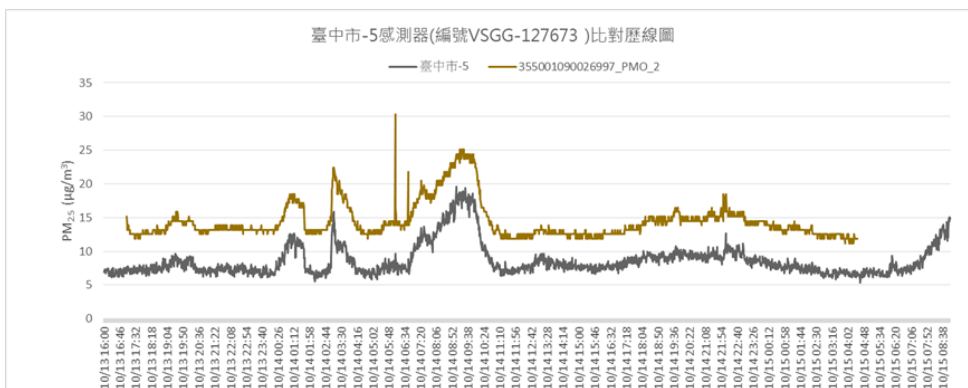


圖 5-14、臺中市-5 感測器平行比對歷線圖



圖 5-15、臺中市-8 感測器平行比對歷線圖

#### （五）感測器設置於路邊監測作業

交通污染的來源大多來自於老舊又缺乏保養的汽機車，其中細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 污染排放的老舊髒車可能為符合環保標準車輛的數十倍以上，由於汽機車的排氣管接近人群的暴露環境，所排放的污染物容易與民眾接觸及暴露。計畫團隊與 Gogoro 公司合作將感測器附掛於 Gogoro 電動機車前方置物籃進行道路邊監測作業，監測高度約距地面 1 公尺，監測地點分別為永和監測站、

三重監測站和大同監測站等三個交通監測站以及臺北市中山區中山北路二段 4-2 號和臺北市士林區中正路 510 號道路旁進行感測器監測。透過運用感測器離群上限值判斷，計算大於離群上限值的發生的頻率，分析各點位的污染排放行為，監測資料彙整如表 5-8。

表 5-8、路邊側感測器感測濃度分布狀況

時間	08/06-8/12		08/13-8/19		08/20-8/26		08/27-9/2		09/12-9/18		09/19-9/25	
點位	永和站	三重站	大同站	三重站	大同站	永和站	大同站	永和站	中正路	中山北路	中山北路	中正路
最小值 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1/4 分位 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	4	4	3	3	3	3	4	4	5	5	5	4
中位數 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	6	6	7	6	7	7	7	7	8	9	6	5
3/4 分位 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	9	9	13	10	11	12	14	13	14	15	8	8
最大值 PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	76	765	234	197	90	533	945	138	123	378	58	84
PM <sub>2.5</sub> >54.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 次 數	2	7	7	4	1	19	16	9	4	12	1	6

路邊監測期間各點位 PM<sub>2.5</sub> 感測濃度範圍介於 1~945  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，發生 PM<sub>2.5</sub> 高值超過 54.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上的發生次數合計 88 次，前 5 大高值發生的時間區段依序為 9/2 16:21 在大同測站發生 945  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8/6 17:26 在三重測站發生 765  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、9/1 07:59 在大同測站發生 632  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8/26 14:52 在永和測站發生 533  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8/20 15:42 在永和測站發生 517  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，這些高值發生都屬於單點高值，屬於局部的短暫污染並無持續性的行為。監測點的區位以大同站及永和站發生高值的頻率與次數最高，明顯反應周邊環境所造成的影響，未來將搭配攝影機進行污染來源的判讀，找出污染產生的原因，作為環境污染改善的參考依據，各監測時段歷線圖 5-16。

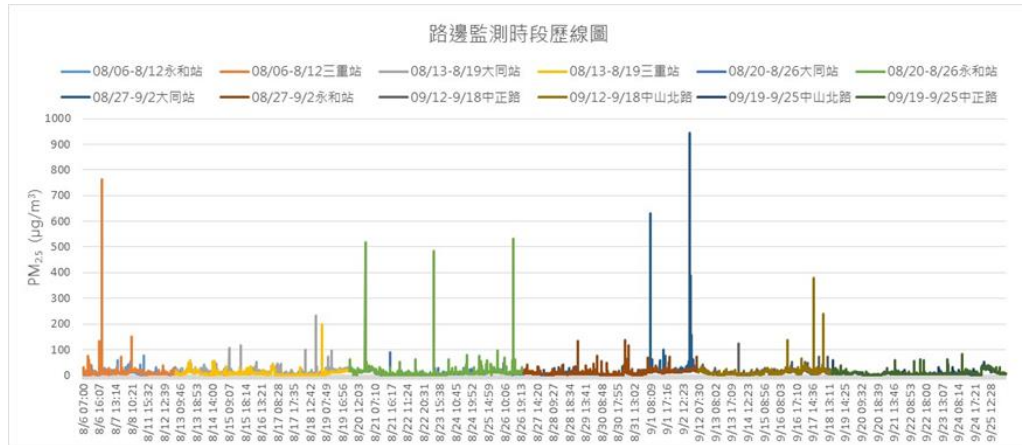


圖 5-16、道路邊監測時段濃度歷線圖

#### (六) 感測器數據呈現

基於提供布建區域之感測數據，為符合當地之閱讀使用，規劃採用中英文空氣品質感測器數據呈現圖表，以利提供查閱感測數據歷史數據圖表及變化趨勢表檢視功能。

1. 數據呈現模式：呈現欄位至少包含感測器編號(ID)、感測點位座標（經度/緯度）、感測時間（年/月/日/時/分/秒）、感測數據（PM<sub>2.5</sub>、溫度、濕度）等。並具備可以介接當地地圖資料與氣象資料之擴充功能。如圖 5-17 所示。

IOT VISION								
Dashboards Device Status Server Health Info Report Center								
Project Index 796, 1127 (PMO)								
EPA ID	Sensor Time	voc	pm 2.5	temperature	humidity	lat	lon	
861108037997664	2020-10-27 13:23:35	153	14	33.58	51.1	25.01301	121.4588	
861108037986030	2020-10-27 13:23:28	282	18	31.15	57.68	25.01307	121.4588	
861108038006792	2020-10-27 13:23:37	289	20	31.77	54.42	25.01304	121.4588	
861108038009592	2020-10-27 13:23:34	446	18	31.82	54.68	25.01304	121.4588	
861108038010913	2020-10-27 13:23:35	171	20	31.18	57.29	25.01309	121.4588	
861108037033122	2020-10-27 13:23:35	388	17	31.87	55.08	25.01309	121.4588	
861108036849163	2020-10-27 13:23:35	179	17	33.31	51.16	25.01305	121.4588	
861108037030557	2020-10-27 13:23:35	301	16	32.44	53.89	25.01306	121.4588	
861108037036257	2020-10-27 13:23:35	296	16	32.13	53.7	25.01305	121.4588	
861108036848710	2020-10-27 13:23:35	255	16	31.16	57.57	25.01304	121.4588	
861108036854270	2020-10-27 13:23:35	307	14	33.3	53.07	25.01307	121.4588	
861108036861390	2020-10-27 13:23:35	338	16	31.02	58.15	25.0131	121.4588	
861108030996416	2020-10-27 13:23:53	230	16	32.62	53.42	25.01301	121.4588	
861108037047395	2020-10-27 13:23:35	203	15	34.04	51.07	25.01301	121.4587	
861108035974343	2020-10-27 13:23:36	420	18	31.37	56.72	25.01302	121.4588	
861108033189712	2020-10-27 13:23:35	363	20	32.72	54.06	25.01303	121.4588	
861108033202473	2020-10-27 13:23:35	419	18	32.52	53.41	25.01307	121.4588	
861108033184473	2020-10-27 13:23:36	599	15	33	52.17	25.01303	121.4588	
861108035991396	2020-10-27 13:23:30	486	21	32.03	54.33	25.01304	121.4588	
861108035990216	2020-10-27 13:23:35	374	15	34.39	48.13	25.01305	121.4588	

圖 5-17、感測器現況資料呈現

2. 數據下載功能：系統提供感測器數據下載服務，可搜尋關切區域之感測點位，依據時間區間需求，進行資料下載。可同時下載多組感測器數據資料，勾選產出之數據欄位，依據時間軸下載群體感測器之時間對應下



的感測數值，以 CSV 檔提供使用者下載解析，進行進階分析。如圖 5-18 所示。

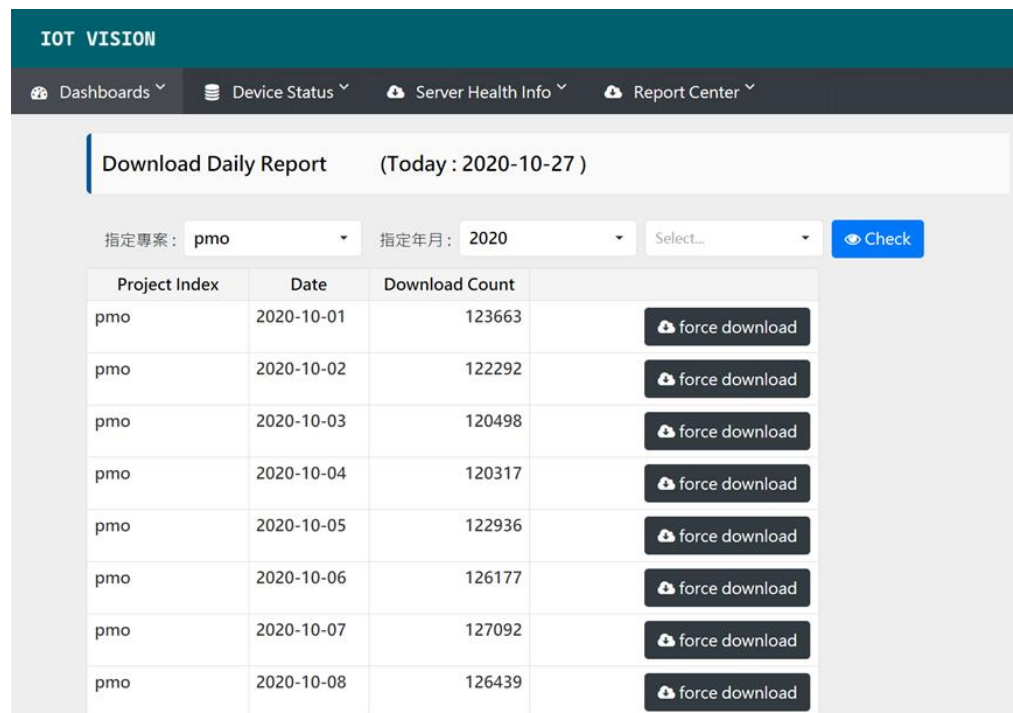


圖 5-18、感測器數據下載功能

- 數據分析功能：系統提供即時數據線上呈現與下載服務，可依據感測器編號挑選多組感測器進行感測濃度繪圖，依據時間區間顯示濃度變化，並提供高值與低值之數據呈現。同時可以連結鄰近監測站之即時數據，將可協助比對區域感測器數值分布與監測站之差異分析，以利研判區域內是否發生污染排放，以協助當地機關研擬環境執法之規劃與具體措施，如圖 5-19 所示。



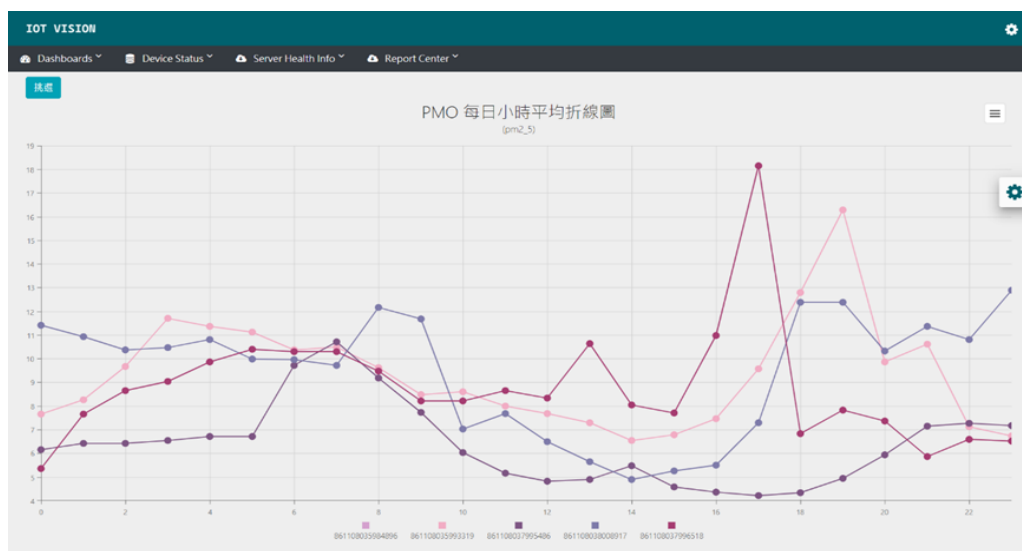


圖 5-19、感測濃度時間歷線圖繪製

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 運用全國 31 手動站標準監測站建立各地區感測器長期比對機制，每月、每季彙整不同時節濃度變化產出校正分析報告，建立感測器與測站的校正公式，據以降低感測器數值的偏差，在透過校正後之感測器作為參考設備，藉由數據分析篩選出的各地區異常感測器進行抽樣掛測，據以評估感測器之異常行為，建立智慧化巡檢查核機制，提升感測器數據品質。
2. 感測數據分析污染趨勢可以篩選出不適當的布建場域，再通知環保局依據感測目的調整感測點位，桃園市及新北市的案例明顯呈現感測器受餐廳或廟宇的影響，以環保局回應該感測點位是依據民眾陳情之特殊目的需求進行布建，對於已經確認污染來源應進行現場採樣、舉發，以回應民眾之需求，建議監測任務完成後，於最適化布建時評估布建點位特殊目的性，以發揮感測器最大功效。

##### (二) 建議

1. 運用感測器設置於道路側，可觀察到交通的污染行為，但是以單點高值的反應行為上，實在難以研擬具體的改善措施，未來應從點污染擴充至線污染及面污染的掌握，透過交通疏導措施進行污染分流，降低區域污染累積過高，衍生健康風險的疑慮。
2. 運用機動式感測器布建監控，可設置於民眾關切的高污染風險區域，或敏弱族群聚集的區域，除可提供民眾掌握區域的污染高值現象，同時可作為當地政府機關改善或降低環境污染風險的參考依據。

## 5.2、維運 107 年 50 點空氣品質感測器（包含機動式）

### 一、前言

為因應中央或地方單位之緊急需求，或提供相關計畫所需之示範區域規劃，本工作項持續維運 107 年度的 50 點空氣品質感測器，提供包含 PM<sub>2.5</sub>、溫度、濕度、VOCs、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub> 等感測數據，維持感測器數據品質，對於未執行任務之感測器放置於板橋監測站進行長期比對校正，隨時配合環保署出借給環境督察總隊或環保局做為輔助智慧稽查之機動布建，或規劃建立其他應用防治對策研擬之參考依據，例如與醫院、學校和教育機構等敏感受體連結，或與農耕畜牧結合評估藥劑與施肥對環境之影響，運用離島布建監測氣候變遷與預測之評估等跨域測試，驗證未來感測物聯網可能應用模式，據以擴大環境感測之跨域應用服務與分析。

### 二、工作執行方法

為順利執行 50 點空氣品質感測器跨域應用，本項工作除持續確保感測器的數據品質，透過長期設置於板橋監測站進行平行比對，確保感測器與測站的一致性符合  $R^2 > 0.7$  以上，感測器與測站的相對器差絕對值符合  $\text{bias} > 30.0\%$  以下的品質滿意度，針對已設置於場域應用之感測器，需定期進行巡檢、維護及現地查驗。針對其他跨域應用，整體工作之執行重點包含跨域應用對象評估、感測器布建與數據收集、感測器數據相關性分析、成果分析報告等 4 項作業，實施流程詳如圖 5-20。

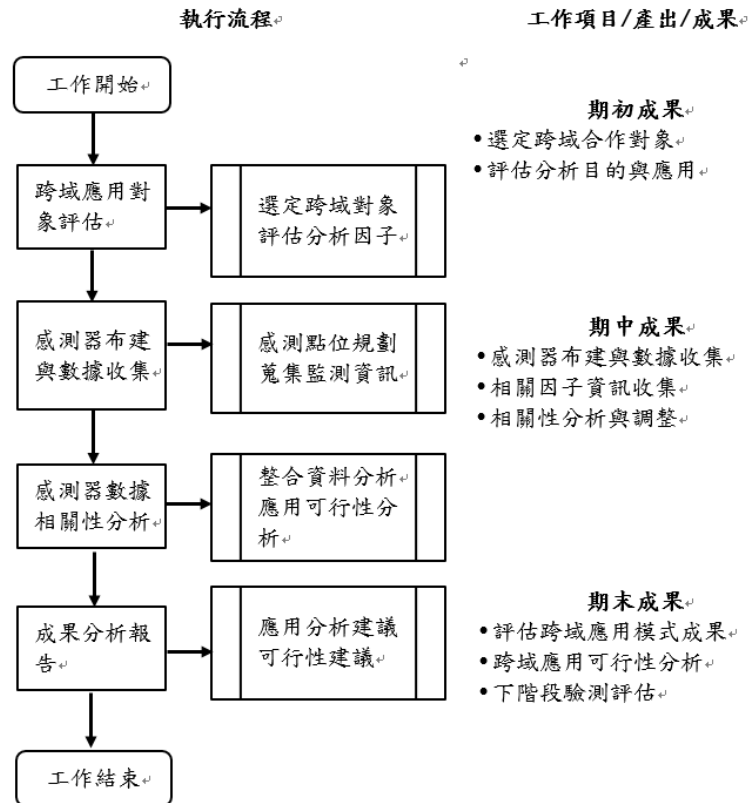


圖 5-20、維運 50 點空氣品質感測器執行流程圖

### 三、現階段執行成果

初步盤點 50 台感測器目前運用現況如表 5-9。

表 5-9、機動感測器運作現況

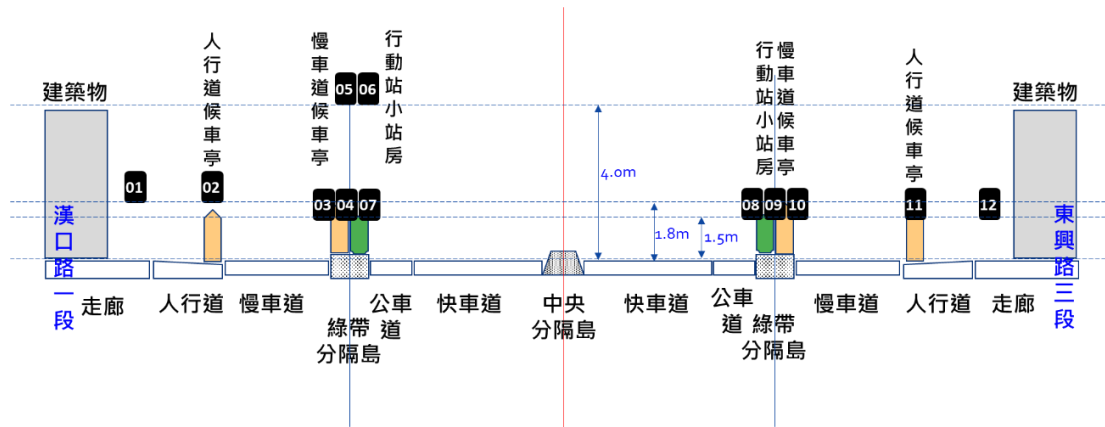
項目	感測器號碼	借用單位	用途	比對測站	bias %	CV	DC%	感測器位置
1	861108035993319	監資處	監資處備用	板橋站	4%	0.03	95%	監資處二樓
2	861108037995486	北區督察大隊	長期污染監測	板橋站	8%	0.07	94%	汐止未上線
3	861108038010707	北區督察大隊	長期污染監測	板橋站	9%	0.08	93%	新埔
4	861108037977898	北區督察大隊	長期污染監測	板橋站	16%	0.12	95%	新埔
5	861108037978524	北區督察大隊	長期污染監測	板橋站	4%	0.08	94%	新埔
6	861108037986543	北區督察大隊	長期污染監測	板橋站	12%	0.08	93%	新埔
7	861108035979748	氣象局	高速公路測試	板橋站	23%	0.13	93%	國 3 竹南路段
8	861108037994356	氣象局	高速公路測試	板橋站	15%	0.04	91%	國 3 竹南路段
9	861108038008719	氣象局	高速公路測試	板橋站	20%	0.08	93%	國 3 竹南路段
10	861108035980647	氣象局	高速公路測試	板橋站	14%	0.03	95%	國 3 竹南路段
11	861108035985901	氣象局	高速公路測試	板橋站	21%	0.09	94%	國 3 竹南路段
12	861108037988234	氣象局	高速公路測試	板橋站	21%	0.09	93%	國 3 竹南路段
13	861108037996518	監資處	長期離島監測	板橋站	1%	0.03	95%	綠島凱薪飯店
14	861108035984920	監資處	長期離島監測	板橋站	15%	0.12	97%	綠島凱薪飯店
15	861108035984896	監資處	長期離島監測	板橋站	2%	0.05	91%	蘭嶼五爪貝民宿
16	861108035994028	監資處	長期離島監測	板橋站	10%	0.07	93%	蘭嶼五爪貝民宿
17	861108035994895	交大環工所	長期比對	板橋站	13%	0.06	95%	交通大學

項目	感測器號碼	借用單位	用途	比對測站	bias %	CV	DC%	感測器位置
18	861108037993317	交大環工所	長期比對	板橋站	12%	0.07	94%	交通大學
19	861108035973071	監資處	長期交通監測	板橋站	16%	0.03	93%	臺中臺灣大道
20	861108035975928	監資處	長期交通監測	板橋站	12%	0.04	92%	臺中臺灣大道
21	861108037987319	監資處	長期交通監測	板橋站	9%	0.12	97%	臺中臺灣大道
22	861108038009386	監資處	長期交通監測	板橋站	23%	0.13	91%	臺中臺灣大道
23	861108037987673	監資處	長期交通監測	板橋站	23%	0.12	93%	臺中臺灣大道
24	861108038007950	監資處	長期交通監測	板橋站	16%	0.03	95%	臺中臺灣大道
25	861108038008859	監資處	長期交通監測	板橋站	22%	0.07	97%	臺中臺灣大道
26	861108037996278	監資處	長期交通監測	板橋站	13%	0.09	93%	臺中臺灣大道
27	861108037985164	監資處	長期交通監測	板橋站	22%	0.03	95%	臺中臺灣大道
28	861108035987568	監資處	長期交通監測	板橋站	0%	0.07	94%	臺中臺灣大道
29	861108035993780	監資處	長期交通監測	板橋站	21%	0.12	93%	臺中臺灣大道
30	861108035994879	監資處	長期交通監測	板橋站	22%	0.09	91%	臺中臺灣大道
31	861108038002522	監資處	比對參考固定點	板橋站	13%	0.06	93%	新北市
32	861108035979219	監資處	比對參考固定點	板橋站	13%	0.11	95%	新北市
33	861108035975639	監資處	比對參考固定點	板橋站	5%	0.08	94%	新北市
34	861108038008917	監資處	比對參考固定點	板橋站	6%	0.10	93%	新北市
35	861108037985131	監資處	比對參考固定點	板橋站	16%	0.03	92%	新北市
36	861108037985149	監資處	比對參考固定點	板橋站	0%	0.08	97%	新北市
37	861108035995132	監資處	比對參考固定點	板橋站	20%	0.08	91%	新北市
38	861108035993327	監資處	比對參考固定點	板橋站	0%	0.07	93%	新北市
39	861108037985537	監資處	比對參考固定點	板橋站	14%	0.04	91%	新北市
40	861108037995890	監資處	比對參考固定點	板橋站	1%	0.07	93%	新北市
41	861108035984300	監資處	高值異常比對點	板橋站	11%	0.12	95%	高雄
42	861108037996146	監資處	高值異常比對點	板橋站	21%	0.04	94%	高雄
43	861108038006002	監資處	高值異常比對點	板橋站	12%	0.07	93%	高雄
44	861108035997740	監資處	高值異常比對點	板橋站	9%	0.11	92%	高雄
45	861108035979060	監資處	高值異常比對點	板橋站	2%	0.02	97%	高雄
46	861108037998456	監資處	比對參考固定點	板橋站	3%	0.05	91%	板橋站
47	861108038009790	監資處	比對參考固定點	板橋站	1%	0.03	93%	板橋站
48	861108037998233	監資處	比對參考固定點	板橋站	2%	0.05	95%	板橋站
49	861108037986402	監資處	比對參考固定點	板橋站	1%	0.08	97%	板橋站
50	861108037985925	監資處	比對參考固定點	板橋站	13%	0.07	97%	板橋站

### (一) 臺灣大道感測器

環保署於臺中市臺灣大道公車專用道旁設置行動監測站、3 個小型站房(內置 PM<sub>2.5</sub> 儀器)進行交通污染感測作業，計畫團隊將 12 台感測器配合環保署做為輔助監測之機動布建，針對臺灣大道人行道測、快慢車道和公車停等區進行長期監測，現階段現場配置與高濃度反應次數統計如圖 5-21 所示。監測期間發現臺灣大道候車亭慢車道側、行動站上快、慢車道側感測器出現 PM<sub>2.5</sub> 大於 54.5 µg/m<sup>3</sup> 高值的頻率較高，位於公車道綠帶分隔島上的候車亭布建的感測器出現 PM<sub>2.5</sub> 高值頻率也相對偏高，對於在候車亭民眾曝露於細懸浮微粒環境中相對感受性較高。將觀察交通污染的分布現象，分析對於民眾

之活動是否有改善或積極的健康建議，探討細懸浮微粒長期暴露效應與其他交通污染物所造成的健康風險。



點位	1.漢口路邊電桿	2.人行道上候車亭--往沙鹿	3.候車亭慢車道側	4.候車亭行人道側	5.行動站上慢車道側	6.行動站上快車道側	7.行動站旁小站房	8.小站房--往火車站	9.候車亭行人道側(內)--往火車站	10.候車亭慢車道側--往火車站	11.候車亭行人道側--往火車站	12.人行道上電桿--往火車站
PM <sub>2.5</sub> 濃度 >54.5 µg/m <sup>3</sup> 發生次數	0	46	375	87	313	168	72	33	283	161	37	0

圖 5-21、臺中市臺灣大道感測器觀察成果

## (二) 離島感測器

計畫團隊布建於綠島與蘭嶼地區之感測器濃度反應變化發現離島的環境濃度明顯低於本島，其相對較高的濃度反應時段主要來自於境外帶入。由於綠島與蘭嶼位處臺灣東側，其境外污染影響的氣象條件以北風或東北風為主，故依據今(109)年 1 月 31 日環保署空氣品質測站資訊：今(109/1/31)日受寒流影響，環境風場為偏北風，受到寒流挾帶輕微境外污染物影響，全臺污染濃度偏高，預計入夜後將逐漸趨緩；雲嘉南以南地區位於下風處，污染物易累積。竹苗、中部、高屏、宜蘭、花東空品區及金門、澎湖多為「普通」等級，西半部局部地區短時間可能達橘色提醒等級；北部、雲嘉南空品區及馬祖為「橘色提醒」等級。當日於臺灣花東測站 PM<sub>2.5</sub> 濃度高達 67 µg/m<sup>3</sup>，但於綠島與蘭嶼的感測數據最高仍小於 20 µg/m<sup>3</sup>。

另以日平均濃度觀察離島的 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化如圖 5-22 所示，在無明顯境外污染的氣候條件下，發現蘭嶼感測器-1 於 9/23 的日平均濃度(約 26 µg/m<sup>3</sup>)明顯高於其他 3 組感測器，調閱分鐘值原始數據發現蘭嶼感測器-1 於 09/23



19:00-23:00 感測器 PM<sub>2.5</sub> 濃度高達 427  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，如圖 5-23 所示，但同時段於蘭嶼感測器-2 數據最高仍小於 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，經查蘭嶼感測器-1 設置於道路側，蘭嶼感測器-2 設置於建築物 4 樓頂，故蘭嶼感測器-1 產生高值應人為造成。將持續觀察綠島與蘭嶼在不同季節的污染濃度變化，據以觀察離島地區的環境變遷並釐清數據高值是否是人為造成，排除疑慮並提高數據解析。

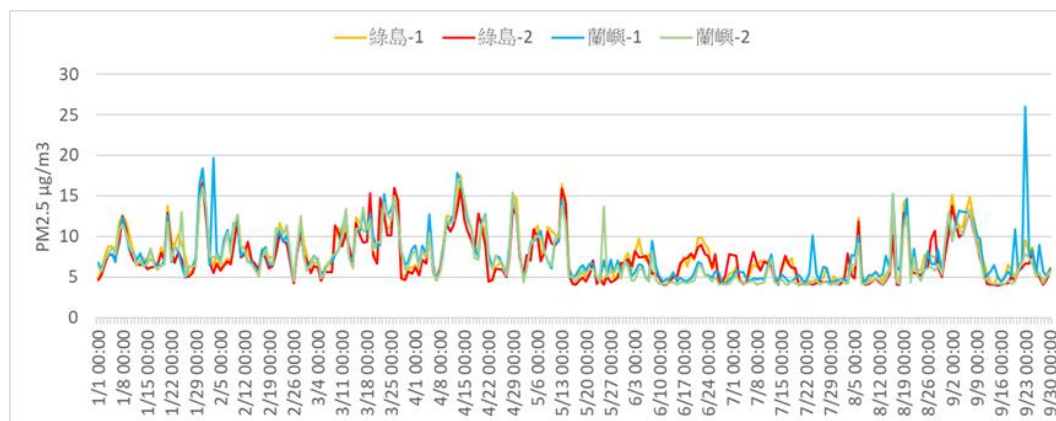


圖 5-22、離島感測器濃度歷線圖

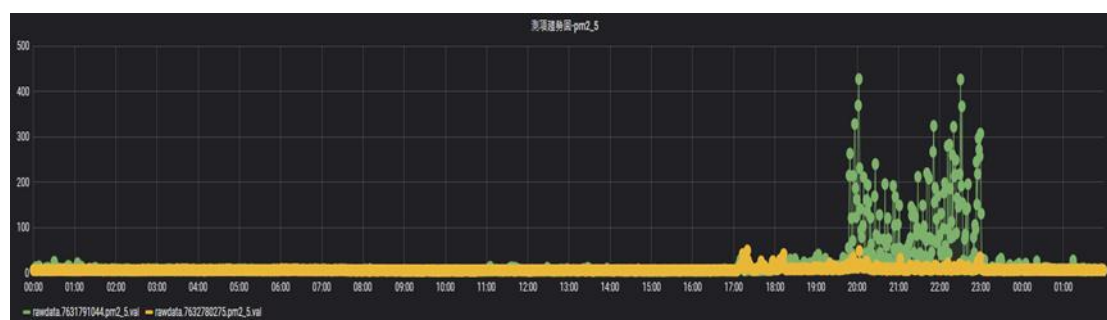


圖 5-23、2020/9/23 蘭嶼感測器 PM<sub>2.5</sub> 分鐘濃度歷線圖

### （三）高速公路測試

計畫團隊與氣象局合作，於國道三號香山段上氣象站進行空氣監測，於氣象站桁架上距地面 2 公尺、6 公尺、12 公尺高度各安裝 2 台感測器進行監測，搭配氣象資訊以觀察環境污染物在垂直高度上的濃度分布狀態，PM<sub>2.5</sub> 濃度歷程如圖 5-24 所示。監測數據顯示感測器在濃度變化上行為一致，同時反應出環境濃度的高低變化，依據感測期間的濃度的分布發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度平均 2 公尺高 < 6 公尺高 < 12 公尺高，顯示感測器布建越高感測數據越高，明顯與距離汽車排放源的反應相反。由於高速公路車速高，汽車排放無法蓄積，故感測器的反應為大氣的環境濃度，未來將持續粒狀污染物在空間斷面上的分布



樣態，解析環境污染的行為特徵。

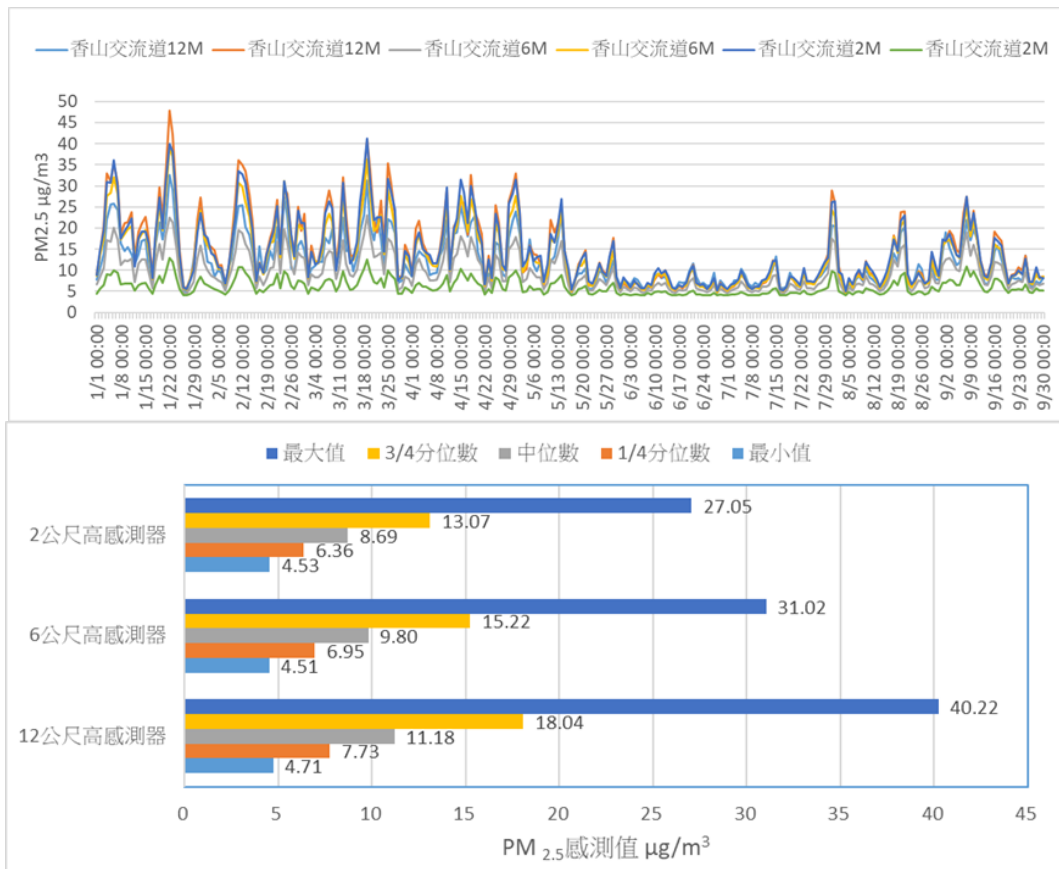


圖 5-24、國道三號香山段 PM<sub>2.5</sub> 濃度歷線圖

#### (四) 長期污染監測

環保署北區督察大隊於汐止瀝青工廠與新埔紡織廠進行污染排放長期監測，以長期監測日平均值數據顯示 4 台感測器趨勢一致。解析 3/13~5/22 分鐘值數據發現北區督察大隊感測器-4 感測值超過 100 µg/m<sup>3</sup> 發生時段皆為下班後(傍晚 5 點、7 點)及假日下午 3 點；北區督察大隊感測器-1 感測值超過 100 µg/m<sup>3</sup> 發生時段為假日晚間 9 點。其發生時間皆為民眾感受最強烈的時段，後續將續協助督察大隊透過高解析度的監測數據，找出污染熱區與時段，結合環境執法工具協助進行告發，監測濃度歷程如圖 5-25 所示。

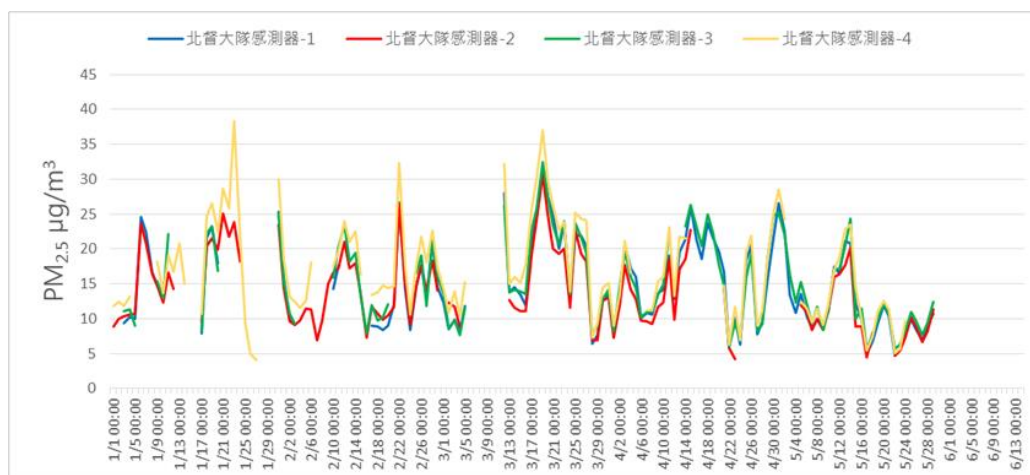


圖 5-25、北區督察大隊長期污染監測歷線圖

由於遠東化纖於 108 年 7 月與 11 月各發生一次空氣污染事件，一次為循環水系統洩漏、一次為備用鍋爐故障，導致新埔、竹北等地區民眾受擴散之異味污染物影響生活品質。為追蹤遠東化纖污染情況，於 109 年 3 月至 5 月由新竹縣政府環境保護局協同行政院環境保護署北區督察大隊，於遠東化纖周邊裝置空氣品質感測器，透過監測空氣中細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)及揮發性有機物(TVOC)濃度，以連續監測方式即時瞭解遠東化纖對周邊區域空氣品質，以維護民眾對空氣品質之要求，布建位置如圖 5-26。監測期間的數據變化如圖 5-27，從細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)及揮發性有機物(TVOC)的濃度變化趨勢發現，皆有突發性高值發生，並無長期污染的行為徵兆。於 9 月 23 日該廠又發生道生油氣外洩引發大火事故，可惜感測器已拆除未能提供監測數據，本事故造成的刺鼻惡臭甚至飄到新竹市和苗栗竹南頭份地區。已建議新竹縣環保局應針對特定的工廠進行感測器的長期監測，除可即時掌握污染事件外，同時可嚇阻工廠強化自主維護管理的職責。

由於已進行了 2 季的監測，為了確保感測器數據品質目前將感測器於板橋站附掛比對，目前比對通過標準，持續協助北區督察感測器布建與檢視分析感測器數據變化，期望能發揮感測器的功用，找出更多不法污染排放的行為。

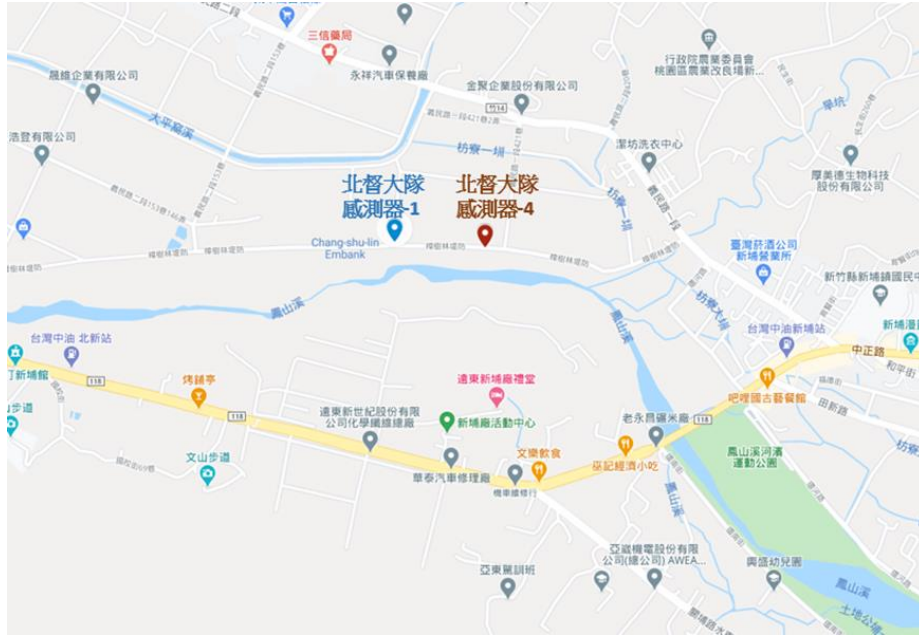


圖 5-26、遠東化纖北區督察大隊布點位置圖

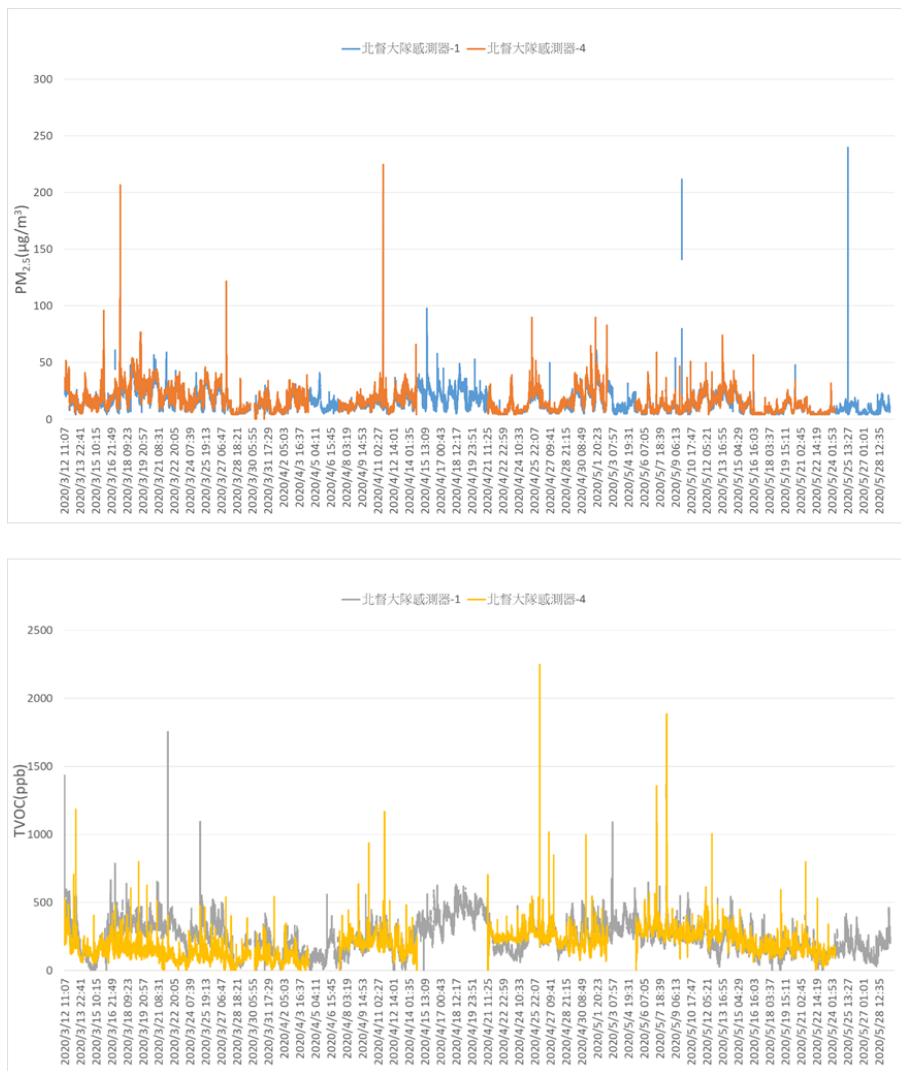


圖 5-27、遠東化纖北區督察大隊污染監測歷線圖

### (五) 高雄市高值異常監測比對

由於高雄市布建感測器高值發生的頻率偏高，計畫團隊篩選高雄市感測器 PM<sub>2.5</sub> 小時平均值大於 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的設備進行查核，挑選其中 5 台發生頻率較高之設備進行現場掛測比對，計畫團隊於掛測前將參考感測器通過標準測站平行比對標準後，將感測器附掛至高雄市異常高值感測器旁，比對確認高雄市感測點位為環境異常或是設備異常，比對歷程濃度如圖 5-28 所示。

經兩兩比對後發現，高值設備 KS-O30233 與 PMO-7740 同一點位相關性差如圖 5-29 所示，疑似為設備異常。另外 4 點位高雄感測器與計畫團隊感測器相關性佳， $R^2$  皆大於 0.7，如圖 5-30 所示，應為環境異常，但是高雄感測器在大於 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上之數據明顯高於計畫團隊感測器 0.5~1.5 倍以上，故建議環保局與設備商應針對高濃度區段建立合適的校正模型，避免因數據過高導致民眾恐慌。

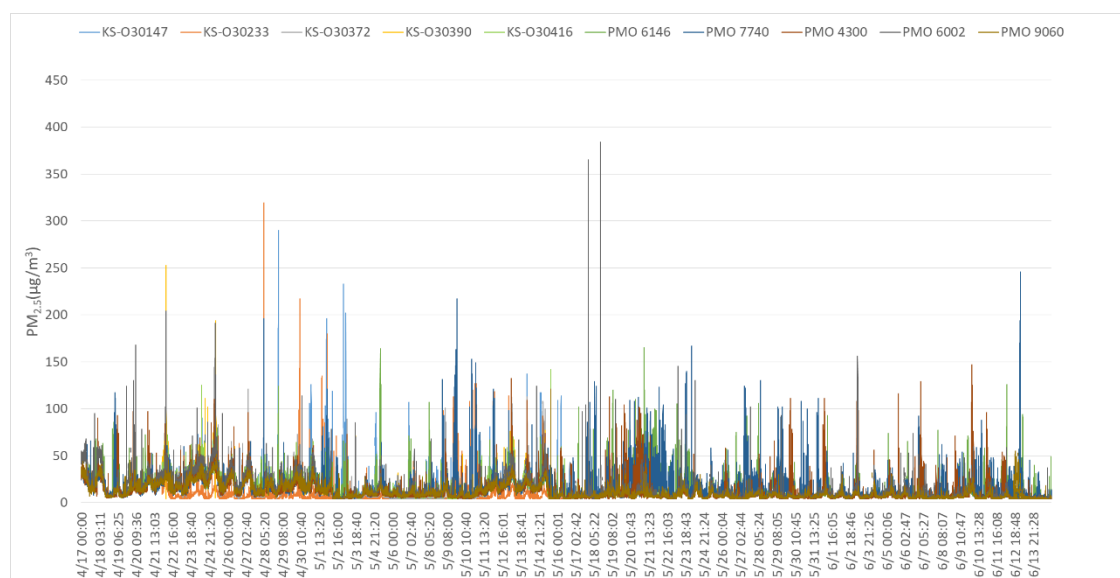


圖 5-28、高雄市高值異常感測器平行掛測歷線圖

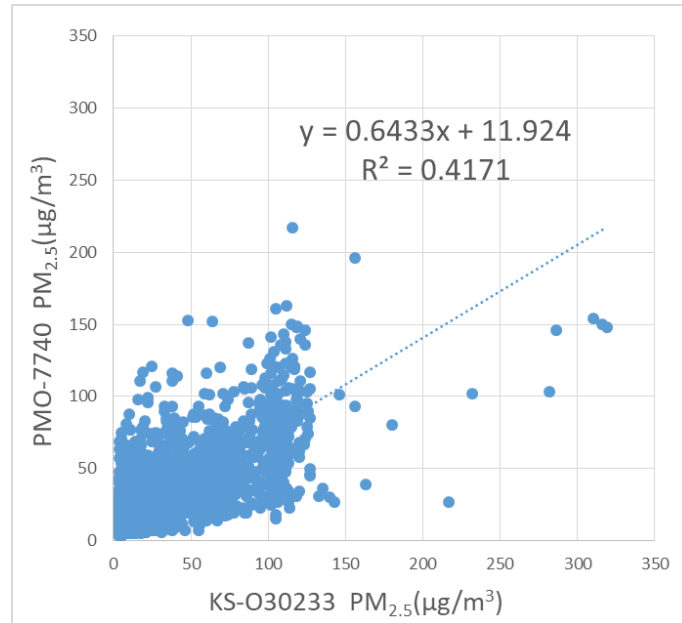


圖 5-29、KS-O30233 與 PMO-7740 相關性不良

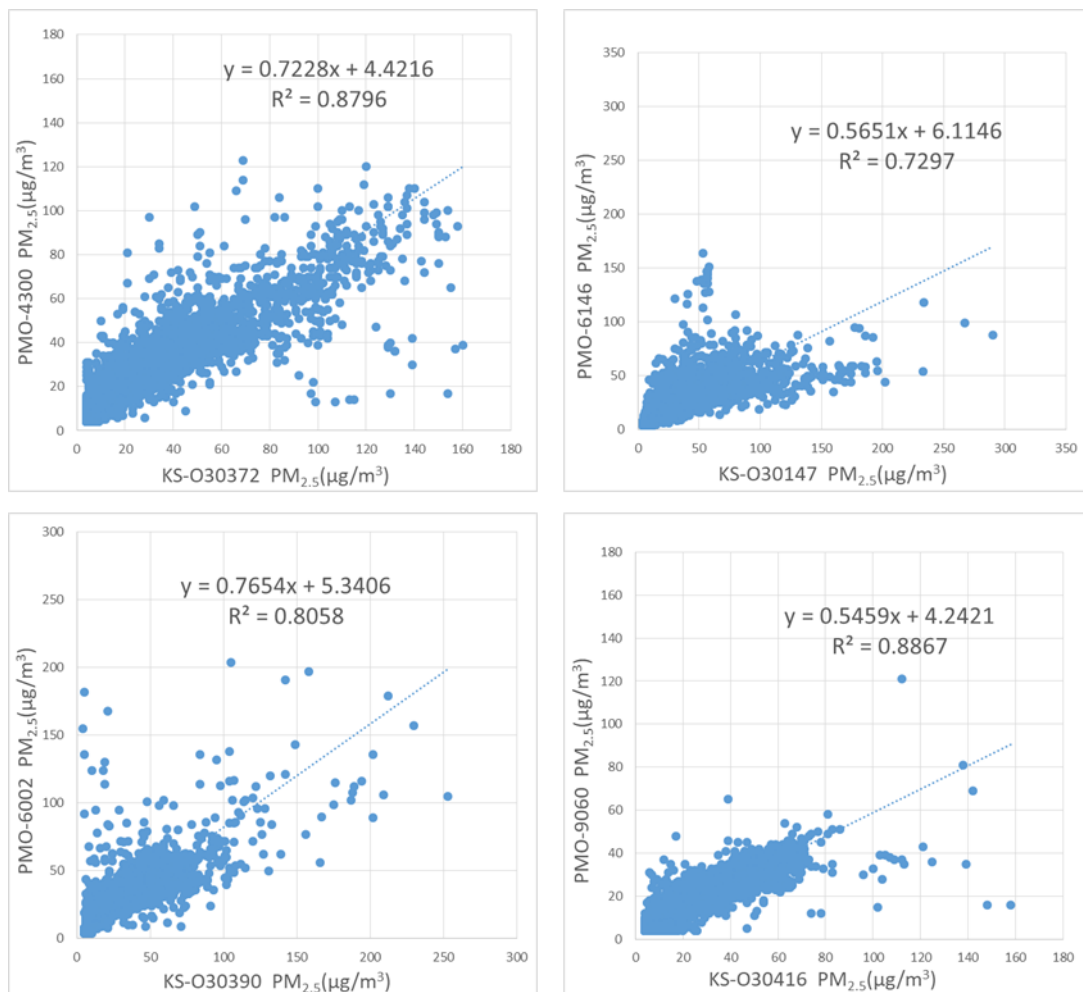


圖 5-30、高雄市 KS 高值異常感測器與 PMO 感測器相關性



為觀察高雄感測器的校正模型調整狀況，持續將 PMO 感測器平行附掛作業持續比對至 9/31 日，其歷程濃度如圖 5-31 所示。由歷線圖可以看到高雄市布建感測器於附掛期間感測器最高值範圍為  $59\sim96\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相對於 PMO 感測器最高值濃度為  $59\sim385\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  低甚多，應為環保局與設備商針對高污染區段進行校正，因此高值最 $<96\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相較於 PMO 感測器 $>96\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  頻率為 851 次，高值校正後有明顯低估的現象。其中 KS-O30372 與 PMO-4300 同一點位相關性( $R^2$ )維持在 0.8 以上，如圖 5-32 所示。另外 4 點位相關性變差， $R^2$  皆小於 0.6，如圖 5-33 所示。

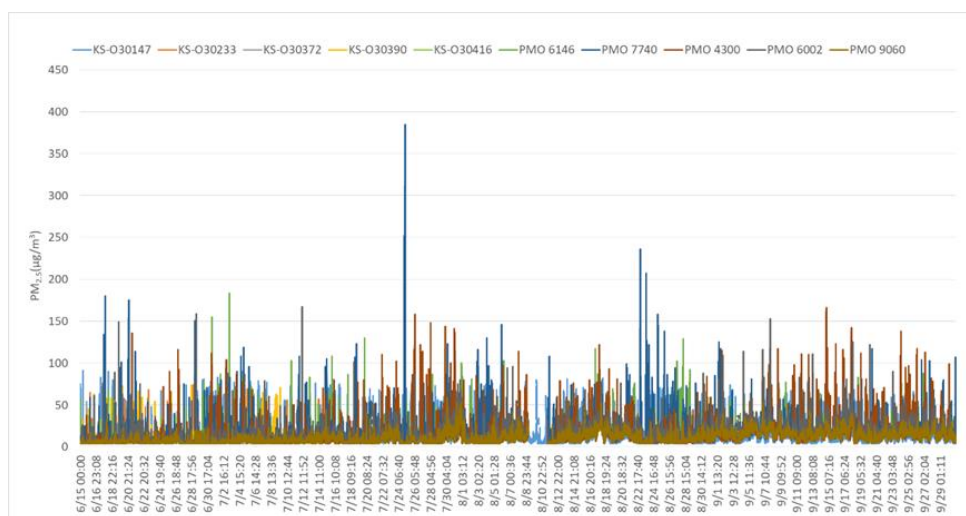


圖 5-31、高雄市 6-9 月高值異常感測器平行掛測歷線圖

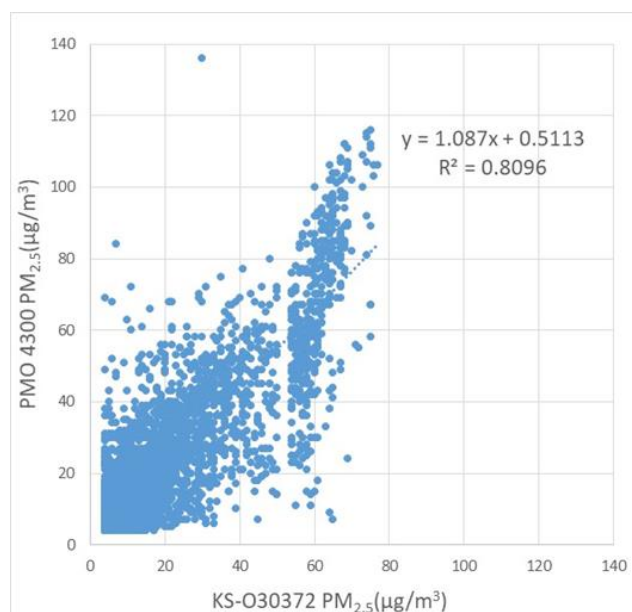


圖 5-32、KS- O30372 與 PMO-4300 相關性佳



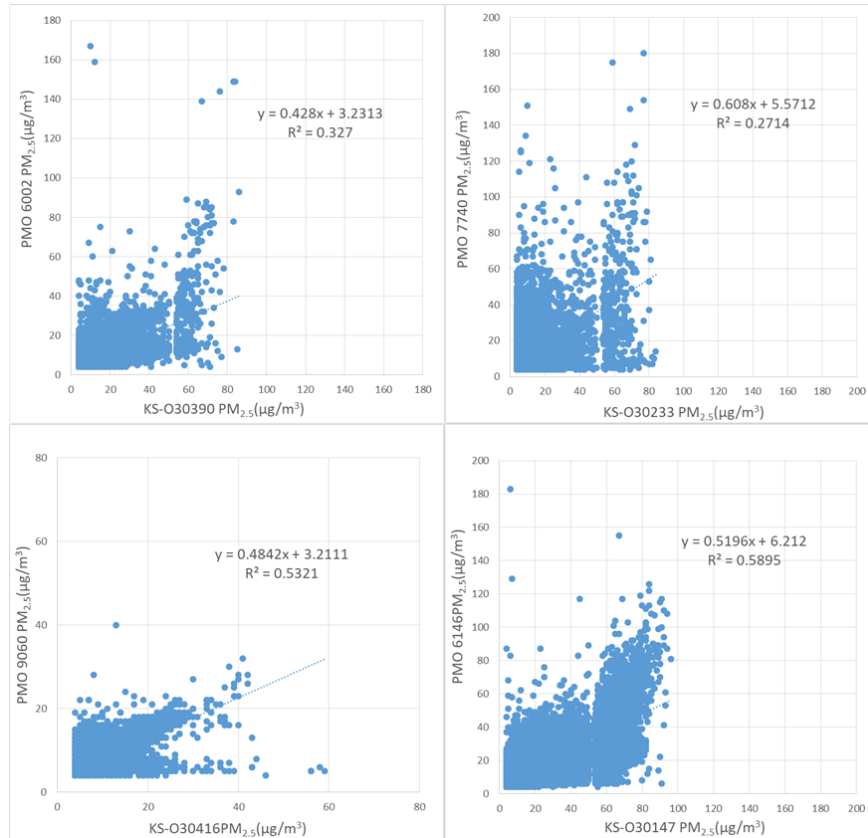


圖 5-33、高雄市 KS 高值異常感測器與 PMO 感測器相關性不良

#### (五) 移動式感測測試比對參考固定點

計畫團隊為分析移動式感測器於行進間與道路側固定式感測器之感測數值的精準性與精確性關係，據以建立移動式感測器與環境感測值的一致性。初步規劃於比對測試中，針對測試路段間隔每 1 公里左右布建一台比對參考固定點感測器，每台感測器布建高度為 1.5 公尺測試之濃度歷程如圖 5-34。比對期間布設於新莊區與淡水區，測站濃度為 4~17 μg/m<sup>3</sup>，測得環境濃度最高為 303 μg/m<sup>3</sup>。8 月前固定點為每分鐘上傳一筆資料，為符合移動式感測每 5 秒的感測頻率，8/24 已將比對參考固定點感測頻率同步改成每 5 秒一筆，以利於與移動式感測器進行比對測試與數據調校。

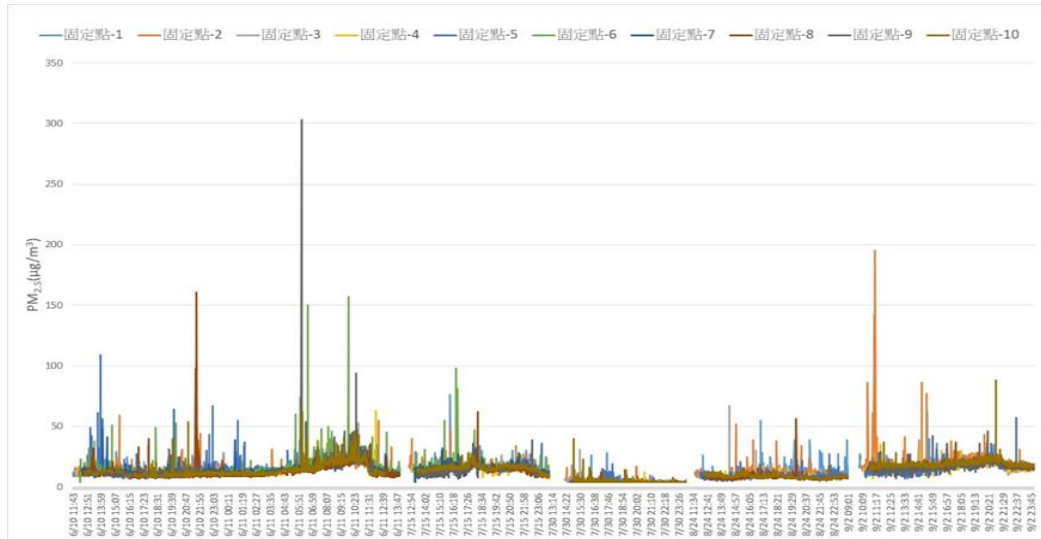


圖 5-34、移動式感測比對參考固定點歷線圖

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 維運 107 年度的 50 點空氣品質感測器具備最多測項之感測設備，並且長期與標準監測站平行比對，驗證感測器的數據品質。對於運用於外島的長期監測、建立移動式感測器的校正公式、協助督察總隊與三區督察大隊針對民眾陳情與污染稽查進行布建等用途極具參考價值。
2. 感測器設置於高速公路觀察交通污染在不同高度的分布行為發現，距地面越高 PM<sub>2.5</sub> 濃度反應越高，明顯與距離汽車排放源的反應相反，應是受到車速與大氣擾動的影響。

##### (二) 建議

1. 高雄市感測器數值超過 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的次數與設備過多，應為感測器缺乏高濃度區段的校正所致，在缺乏高濃度區段的參考標準下，進行直接折減修正對於污染潛勢分析將會造成誤判，目前已建議廠商依據型式驗證中實驗室分析的濃度區間進行線性修正，未來建議廠商可以商借符合聯邦等效方法(Federal Equivalent Method, FEM)的光學式參考儀器，進行高污染區域的現地長期比對，據以研訂高濃度區間的校正模式。
2. 針對科技廠、石化廠、化纖廠等高污染風險的場域應實施進行長期監測，由於工廠在製造過程中會產生大量的廢棄物及各種化學物質和有毒氣體等，協助產業建立第二層環境監測防護網，掌握因生產製程中之洩漏再擴散出廠區外之污染風險，協助工廠員工及周界民眾了解污染飄散軌跡及濃度分布，作為緊急應變及健康管理之參考依據，擴大空氣品質感測物聯網之應用成效，發展成為新世代環境管理之應用服務。

### 5.3、環境品質感測物聯網計畫進度管考

#### 一、前言

為協助環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」各分項計畫之規劃推動、目標檢視，本團隊將參考去(108)年度之執行方法請各分項計畫每月填報執行進度表，並由本團隊進行彙整及了解各計畫之執行進度。環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」項下各分項計畫主軸涵蓋基礎建構、整合布建、資料服務及智慧應用等四大重點及 11 個子項計畫，執行重點包含空氣污染及水質感測元件的開發、感測設備布建、感測設備維護、感測數據查驗、感測設備應用、智慧稽查、數據平台建置、數據管理維運等等，雖各計畫各有不同主軸內容在執行，但各主軸之內容皆是息息相關不可分離，因此本團隊擔任進度控管者及與各計畫間需求之溝通橋梁，主動並協助找出各計畫執行問題或困難點，並協助解決已發生之問題，並預測未來於計畫執行上可能會產生之問題且提出相關的解決方法，以利串接各計畫環結，使整體「環境感測物聯網計畫」能產生最大之執行效益。後續將依據各計畫屬性分類，讓各計畫間能夠更明確瞭解計畫間的分工屬性及執行的關聯性，通盤考量整體計畫之銜接與完整性。

#### 二、工作執行方法

今(109)年度計畫執行進度控管持續利用 Google 線上雲端平台每月定期追蹤各分項計畫團隊之執行狀況，以利本團隊了解各計畫之執行進度，同步將計畫進度提供給各計畫承辦人了解，以利承辦確認計畫團隊是否有達到計畫要求之執行進度。為掌握各計畫間之問題，協助各計畫解決問題，並預測現行計畫執行狀況，提出未來可能面臨之問題且協助提出解決方案，故計畫執行過程依相關聯之分項計畫定期召開討論會議，了解不同計畫間相互協助與銜接度以及執行人員之需求，並互相配合進行執行方式的修正（如：IoT 平台功能更新等）或計畫執行進度之內容分享，以達到效益最大化。

##### （一）分項計畫及計畫進度控管

本團隊已統整今年度執行之相關計畫，計畫列表如表 5-10，今年度增加感測器國外布建計畫、監測預報作業以及數據智慧化管理等相關計畫內容，其目的為了增加空污感測器之利用範圍，增加其設備之使用效益，並提升數據分析之功能以加強稽查人員於智慧稽查應用上的判斷依據。且同步運用雲端計畫執行進度表，由各計畫團隊定期填報追蹤執行進度及狀況，同步將計畫進度提供給各計畫承辦人了解並確認進度達成率，以利承辦人與本團隊隨時掌握執行

狀況，今年度將針對計畫明訂量化指標進行追蹤，如：參與國際會議次數、元件研發數目。

表 5-10、分項一各項子計畫名稱

計畫分項	各分項計畫項目
設備布建	109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫
	環境物聯網感測裝置驗證設施及品保作業制度建置維運計畫
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書（PM <sub>2.5</sub> 感測器布建）
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書（無人機垂直觀測）
	109 年度空污感測器比對校正及巡檢計畫
	108-109 年空氣品質感測器縣市合辦布建計畫
	109 年度亞太環境感測物聯網資料服務計畫
水質感測	109 年水質感測物聯網精進及數據分析應用計畫
稽查應用	109 年督察工作管理平臺功能提升及維護案
	108-109 年高技術性污染稽查及偵測科技工具操作委託服務工作
	109 年度環境執法跨領域專業諮詢顧問協助查處作業計畫
數據平台及應用分析	108-109 年環境物聯網輔助應用管理系統建置計畫
	108-109 年環境物聯網系統資安檢核及輔導計畫
	109 年環境感測數據分析及展示服務擴充整合計畫
	109 年環境感測資料中心營運與功能強化計畫
	108-109 年環境物聯網-智慧化測站管理計畫
	國家測站數據傳送備援系統建置計畫

### 三、工作執行成果

環境品質感測物聯網計畫之工項包含感測元件研發、認驗證平台、巡檢查核機制、感測設備數據中心、視覺化感測應用平台、智慧環境執法等，本計畫團隊透過了解其他計畫團隊之計畫執行進度、執行技術限制與困難點、跨計畫之技術銜接整合，計畫管考作業於每月提報追蹤表單執行計畫進度追蹤及管考，每半年彙整執行成果、困難點、技術缺口及問題點，預先提出問題預警，提供分析及對策研擬，同步協助解決計畫執行問題，掌握計畫經費執行進度，協助署內分析每月達成之經費執行率，確認各計畫按時完成預定工項及辦理期中、期末之審查作業。各計畫團隊皆依照預定進度執行中，已於 8 月前完成期中報告，並預計於 11 月至 12 月完成期末報告及審查作業，另，針對各分項計畫之執行量化成果，本團隊針對特定幾項明確的量化成果進行重點摘要，如表 5-11 所示，而每月追蹤各計畫團隊之執行進度彙整如表 5-12 所示。

整體「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」自 106 年執行至今(109 年)成果相當豐碩，因此除追蹤各計畫團隊每月執行進度外，並同步蒐集彙整各計畫團隊過去之執行成果內容，相關成果蒐集如表 5-13 所示，已由各計畫

提出各種量化成果指標，如：國產化元件開發數量、元件專利申請數量、國內外之論文發表數量、感測器實際應用之稽查裁罰成果數量等等，上述成果皆為前瞻計畫之重大執行效益。後續將針對各成果內容彙整成懶人包或秒懂圖片呈現，以利對民眾宣傳計畫執行成果。

表 5-11、分項一各計畫執行摘要重點明細

計畫名稱	計畫成果
109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已開發 3 種國產化元件（包含 PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>）</li> <li>2. 申請國內外專利共 5 件</li> <li>3. 已取得共 2 件專利證書</li> <li>4. 累計至 108 年底元件開發合計共發表 6 篇論文</li> <li>5. 感測器布建數量達 9,261 點、263 個區級行政區、111 個工業區及科學園區、涵蓋 8 萬多家列管污染源</li> <li>6. 工業感測點計 4,372 點、社區感測點計 3,175 點、交通感測點計 1,244 點、輔助感測點計 470 點</li> <li>7. 稽查件數達 2,934 件、裁處案件為 334 件、裁處罰鍰金額約 8,885 萬</li> </ol>
環境物聯網感測裝置驗證設施及品保作業制度建置維運計畫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實地場域驗證：送件廠商共計 12 家、驗證件數共 24 件、驗證總金額約 112 萬元</li> <li>2. 實驗室驗證：送件廠商共計 6 家、驗證件數共 8 件、驗證總金額約 155 萬元</li> </ol>
109 年度空污感測器比對校正及巡檢計畫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成 15 縣市 109 年度感測器數據品質滿意度計算</li> <li>2. 完成 14 縣市 PM<sub>2.5</sub> 感測器巡檢抽測，共計抽測 538 臺。</li> <li>3. 本計畫提出離群值分析方法用於判斷測值異常的感測器，於環境濃度均勻時輔助判斷可能異常的感測器。</li> <li>4. 辦理感測器民眾說明會 8 場、教育訓練 10 場及 5 場專家諮詢會，參與人數達 1,135 人以上。</li> </ol>
109 年督察工作管理平臺功能提升及維護工作	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成介接 16 個系統業務單位資料</li> <li>2. 辦理 9 場次實務型操作訓練及 12 場次到點服務教育訓練，共 632 人參與</li> <li>3. 完成廢棄物 7 大樣態 11 種模組及水污染 3 種模組建置</li> <li>4. 完成 6 部 8~10 分鐘紀錄影片製作</li> </ol>
109 年專業技術跨域結盟輔助執法專案	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 共辦理 21 場次專家學者諮詢研商會議，計 488 人次參與。</li> <li>2. 針對高污染潛勢業別（印刷電路板製造業、紡織業、石化業、鋼鐵業、皮革業、電鍍業）邀請講座 23 人次於三區大隊共辦理 9 場次、計 535 人次之稽查人員教育訓練。</li> <li>3. 輔助完成 16 件不法利得個案計算，包含 13 件違反水污法、2 件違反廢清法及 1 件違反環評法之案件。</li> <li>4. 建立 9 個水污染業別（造紙業、製革業、印染整理業、食品製造業、土石加工業、金屬基本工業、畜牧業、電鍍業、金屬表面處理業）不法利得計算指引。</li> </ol>

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 本工項已自今(109)年3月起持續追蹤分項一各計畫團隊之每月執行進度及相關成果，定期彙整計畫成果內容，並依此撰寫第一期前瞻計畫四年之成果報告。並要求各計畫團隊應持續更新及產出相關的量化成果，以利增加前瞻計畫成果之豐富性。
2. 已針對各計畫執行成果，進行成果資料的蒐集彙整，並以相關成果呈現作為4年前瞻計畫成果報告的撰寫主軸。

##### (二) 建議

建議未來應持續追蹤分項一之各計畫進度及成果，了解各計畫後續之執行情形，以及環境感測物連網後續之應用成效及效益。並透過計畫間的聯繫與融合，激盪出新的空品物聯網應用價值。



表 5-12、分項一各計畫團隊執行進度控管表

前瞻計畫分項一「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」進度追蹤表					(更新日期：1091007)	
前瞻計畫	計畫基本資料		109年度重要成果產出 (全年度)	前期進度報告	本期進度報告 1090101-1090331	上期進度報告
子項計畫名稱	招標計畫名稱	執行廠商				
一、建構全國空氣品質感測物聯網	109年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫-主計畫	工業技術研究院綠能與環境研究所	1.完成國產化3元件(PM2.5、NO2、O3)技術研發及量產 2.提出最適化布建藍圖規畫 3.智慧化巡檢及校正方案之驗證 4.感測器數據資料融合 5.感測數據衰減分析 6.移動式感測器測試驗證 7.維護及應用150點空氣品質感測器		1. PM2.5 sensor:目前先以108年10月份數據進行ANN演算，預計於4月底將完成防塵防雨遮罩製作，並將測試機安裝其內並設置於測站進行測試累積數據，做為ANN補償校正之基礎資料。 2. 已針對空氣感測器與民間空氣盒子放置於全國31手動監測站進行長期測站比對，並建立校正模式。 3. 已分析全台完成布建的8,000台感測器使用效率，並估算每台感測器所涵蓋之使用範圍，並完成初步的布建藍圖規畫。	
	109年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫-專案辦公室計畫	工業技術研究院綠能與環境研究所	1.強化專案辦公室運作 2.跨部會整合協調 3.計畫智庫與對策研擬 4.全球趨勢與產業發展對策建議 5.提升一站式推廣中心服務 6.擴大產業交流與合作			
	環境物聯網感測裝置驗證設施及品保作業制度建置維護計畫	工業技術研究院量測技術發展中心				
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書 (PM2.5感測器布建)	交通部中央氣象局	辦理200站氣象局氣象站感測器維護		原預計109年4月底完成增設98站氣象站感測器，受疫情影響，感測器延後交貨，預計6月完成安裝。	
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書 (無人機垂直觀測)	交通部中央氣象局	1.完成3套空污監測專用之多旋翼無人載具系統 2.進行5場、共取得144筆垂直探空之無人機觀測實驗 3.進行個案的診斷分析。		1.完成3套空污監測專用之多旋翼無人載具系統 2.進行5場、共取得144筆垂直探空之無人機觀測實驗 3.進行個案的診斷分析。	
	109年度空污感測器比對校正及巡檢計畫	臺灣PM2.5監測與控制產業發展協會	1.執行15縣市環保局感測器巡檢，預計巡檢930點感測器，並完成數據品質滿意度計算，提供縣市環保局扣款依據。 2.執行感測器與標準測站長期比對分析，探討老化、環境因子等對感測器數值影響。 3.辦理感測器民眾說明會及教育訓練各5場		完成巡檢及比對工作規畫書，預計執行17縣市環保局感測器巡檢，並於5月底前完成804點感測器，逐步完成數據品質滿意度計算，提供縣市環保局扣款依據。	

表 5-13、分項一各計畫團隊執行成果追蹤表

前瞻計畫分項一「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」成果追蹤表					更新日期：1091015
前瞻計畫	計畫基本資料		109年度計畫執行成果 (新增成果數量) 1090901-1090930	109年度計畫執行成果明細 (新增的明細內容) 1090901-1090930	備註
子項計畫 名稱	招標計畫名稱	執行廠商			
一、建構全國空氣品質感測物聯網	109年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫-主計畫	工業技術研究院綠能與環境研究所			
	109年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫-專案辦公室計畫	工業技術研究院綠能與環境研究所			
	環境物聯網感測裝置驗證設施及品保作業制度建置維護計畫	工業技術研究院量測技術發展中心			
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書（PM2.5感測器布建）	交通部中央氣象局	完成102氣象站感測器裝置維護及98氣象站增設感測器。	完成102氣象站感測器裝置維護及98氣象站增設感測器。	
	環境品質監測及預報作業技術合作協議書（無人機垂直觀測）	交通部中央氣象局	1.完成3套空污監測專用之多旋翼無人載具系統 2.進行5場、共取得144筆垂直探空之無人機觀測實驗 3.進行個案的診斷分析。		
	109年度空污感測器比對校正及巡檢計畫	臺灣PM2.5監測與控制產業發展協會	完成15縣市109年度感測器數據品質滿意度計算。	完成15縣市109年度感測器數據品質滿意度計算(臺中市尚未完成)。	
二、農地污染潛勢區域水質感測物聯網	109年度亞太環境感測物聯網資料服務計畫	廣域科技有限公司			
	109年水質感測物聯網精進及數據分析應用計畫	財團法人工業技術研究院	30套具備國產化感測模組之固定式水質感測器已完成裝設後之相關接電工程，並於9月25日開始連續運轉測試	30套具備國產化感測模組之固定式水質感測器已完成裝設後之相關接電工程，並於9月25日開始連續運轉測試	

## 5.4、宣傳環境品質感測物聯網計畫成果

### 一、前言

環保署為強化「環境品質感測物聯網計畫」讓民眾有感之宣傳效益，將技術面所分析的各縣市、各鄉鎮市區級行政區以及各工業區之污染情況，以簡易的文字與圖像，呈現給在地的民眾了解。環境污染的問題不單在於區域內工廠所排放之污染，還涉及交通工具的污染及境外移入的污染，而且造成污染累積的效應，主要肇因於環境天氣、風場效應及區域地形所致。另外，環境物聯網在智慧治理與環境執法發展出突破性作法，民眾可以透過開放資料(Open Data)下載感測數據，或藉由環境物聯網平台分析污染熱區與時間熱點，建立污染工廠稽查裁罰的新方式。在資訊爆炸的今日，政府在政策執行上應化被動為主動，以民眾監督的角度呈現簡單透明的執行成果與改變，因此本團隊將協助環保署說明在環境物聯網推動下，對於民眾在意的區域污染物問題能改變甚麼，文宣、教案及政策宣導的方向，應依據民眾、產業、官方、學術、研究等不同領域，提供直接有效的政策解析與宣傳。

### 二、工作執行方法

本工作項除依據空氣及水質感測元件的研發、感測設備布建維護、數據平台建置維運、感測數據分析應用、環境智慧執法等階段成果與具體效益，集結成為小故事，以精簡文字、秒懂圖片或動態短片呈現民眾生活的改變或完成便利的服務。計畫透過每季各計畫成果之收集，轉化計畫成果為民眾關切的議題，再以精簡文字及秒懂圖片之方式針對不同的宣傳對象（如：產、官、學、研等）整理不同的內容，以提供特定對象想瞭解之成果內容。整體工作內容之規劃流程及查核點，詳如圖 5-35 所示。

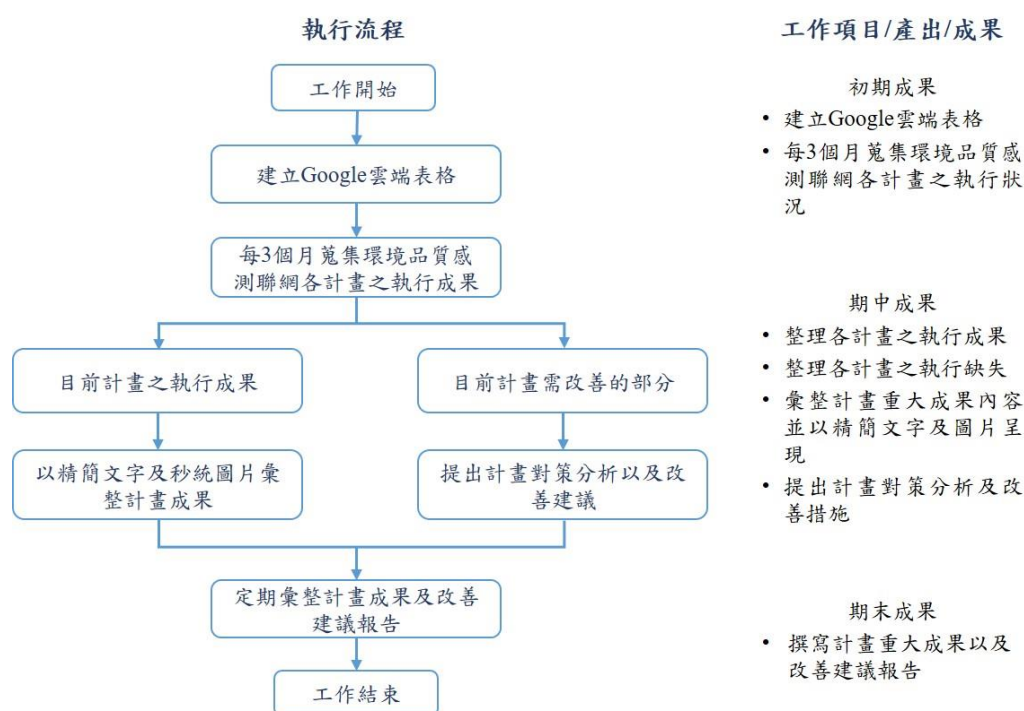


圖 5-35、宣傳環境品質感測物聯網成果流程圖

### 三、工作執行成果

本計畫為政府近年重大的環境執行政策，政策執行的成敗除能解決環境治理的具體問題外，重點是讓群眾瞭解政策的目的是、執行的成果及解決的問題與改變的現狀。如何包裝與闡述計畫的本質、目的與成效，對於計畫的成敗具有關鍵性影響，將計畫執行之成果，彙整成簡易的文字、圖片或影片說明，成為庶民可接納的語言，讓民眾認同政府的努力，才不至於抹煞計畫團隊多年的努力。

本工項為產出明確之成果內容以供民眾參閱，因此將配前項工作內容，每月提供填報表單請各計畫團隊回報明確之量化成果數值（例如：每年產出幾篇論文、每年參加幾場次國際會議、每月平台產出多少數據量等等），以供後續成果彙整時可提出更加明確的量化成果數值，後續將每月更新明確之量化數值指標，並每半年更新及彙整一次計畫成果內容。

另針對現行各地方政府布建之感測器，研擬臺灣的「空品感測物聯網布建及數據應用指引」，內容涵蓋感測器基本資訊、感測器選址、布建方法以及應用分級標準等，並參考美國 EPA 及韓國所撰寫的 Air sensor guide book 做為參考依據，以彙編適用於臺灣應用情境之版本內容，並於本期末報告附件中附上指引內容供參。於成果彙整中，針對應用指引中的「感測器應用分級標準」進行

相關的說明。

### (一) 感測器的應用目的分級

由於感測器(Air Sensor)價格便宜，並於市面上販售通路較多，設備取得容易之原因，本身感測器之數據並無長期性的維護校正，因此有可能導致民眾自行購入之設備，而被未校正之數據所誤導，因此為確保民眾所買的或政府購入之感測器數據品質，環保署參照國外之作法建立臺灣的感測器應用分級性能指標。建立性能指標前，需先確定每個等級之設備之使用目的為何，如表 5-14 所示，本團隊將其使用目的分為 4 個等級，分別為輔助測站參考、個人暴露評估、污染熱區鑑別及教育使用等目的，使民眾依照需求購買符合對應等級之感測器，以達到主要的感測目的。

### (二) PM<sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標

依照 4 個應用目的分級，詳列個別等級之不同參考項目之要求，詳如表 5-15，針對應用分級性能指標之參考參數包含：數據完整率(DC,%)、相對器差(bias,%)、相對器差之標準偏差(STD,%)、決定係數(R<sup>2</sup>)、線性迴歸斜率(Slope)以及模組間變異 IMV(%)等 6 個主要參數。針對不同應用目的之設備，依照需求需通過不同等級的要求標準，以達到可應用之目的。

表 5-14、感測器的應用目的分級

應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制
Level 1	輔助測站參考	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過將其安裝在現有國家監測網絡中未安裝區域，補充環境污染濃度梯度資訊</li> <li>在完備的品保品管機制下，感測數據可以作為環境濃度的參考數據</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測數據具備完整品保品管機制的維護下，符合第三方查驗標準所產出之感測數據可以補充國家監測網絡的感測數據，提供民眾對環境濃度的參考數據</li> </ul>
Level 2	個人暴露評估	<ul style="list-style-type: none"> <li>在進行正常活動時監測個人暴露的空氣品質</li> <li>在臨床上對空污敏感高的人佩戴感測器，用以識別暴露的時間、地點與污染物對其健康可能的影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>諸多因素都會影響個人於空氣污染物中的暴露程度，此等級的精確度和偏差標準，是基於各種科學研究報告所提出</li> <li>若高於這些誤差標準，則難以解析發生個人暴露的方式，時間和原因</li> </ul>
Level 3	污染熱區鑑別	<ul style="list-style-type: none"> <li>在可疑的排放源附近布建監測，來判定可能的排放污染源</li> <li>運用群體感測器感測污染物濃度的時間與空間變化趨勢，可限縮污染熱區，分析污染時間熱點，輔助鑑別污染排放來源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測設備不如等級 1、2 可靠，但可以判別污染物的相對濃度偏差</li> <li>感測數據不能直接對外，須落實感測數據品質管理作業規則，在符合感測數據公布規則下，可提供民眾參考</li> </ul>

應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制
			<ul style="list-style-type: none"> <li>較合適以濃度色階繪製成污染濃度地圖，協助判讀區域環境污染濃度的差異</li> </ul>
Level 4	教育使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差範圍較大的量測設備，感測數據可信度較低，但仍能代表感測區域污染濃度的變化趨勢</li> <li>僅適用於缺乏污染知識的公民科普教育使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差較等級 3 更大，感測數據可信度更低，但仍保持與環境濃度的相似變化趨勢</li> <li>僅適用於簡單的表現區域內污染相對變化的趨勢，感測數據不能代表環境濃度</li> </ul>

表 5-15、PM<sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標

應用等級	應用領域	數據完整率 (DC)	相對誤差 (Error)	相對誤差的標準差 (STD)	決定係數 (R <sup>2</sup> )	線性迴歸斜率 (Slop)	模組間變異 (IMV)	變異係數 (CV)
Level 1	輔助測站參考	> 90%	< 10%	< 10%	> 0.90	0.90~1.10	< 10%	< 10%
Level 2	個人暴露評估	> 90%	< 15%	< 20%	> 0.85	0.85~1.15	< 10%	< 10%
Level 3	污染熱區鑑別	> 90%	< 25%	< 30%	> 0.80	0.75~1.25	< 10%	< 10%
Level 4	教育使用	> 60%	< 50%	< 50%	> 0.70	0.50~1.50	< 20%	< 20%

### (三) 執行成果彙整及宣傳

行政院推動環境感測物聯網計畫於今(109)年為第一期前瞻計畫之最後一年，從 106 年起開始建立起整個環境感測物聯網，其內容包含：感測器模組裝置研發、設備測試驗證平台的建立、地方政府布建 1 萬台感測器並進行設備的巡檢維護、數據資料中心的建立、數據應用智慧執法、拓展國際產業市場以及開展接續 4 年計畫，並將各成果主題製作成海報展示，如圖 5-36 所示。並繪製文宣品以簡單易懂的方式呈現感測器布建成果及智慧稽查應用的方式，以及環境物聯網的整體架構，如圖 5-37 所示。因此，本團隊藉由不同的方式製作成果海報，並於各會議、展覽及宣傳場合進行環境感測物聯網之成果宣傳，以此達到利用簡易文字及圖片向民眾宣傳環境感測物聯網成果之目的。





圖 5-36、環境感測物聯網成果



圖 5-37、環境感測物聯網宣傳文宣

## 四、結論與建議

### (一) 結論

1. 本計畫已彙整各計畫執行成果，並以庶民語言呈現給民眾了解。環保署已完成「空品感測物聯網布建及數據應用指引」的訂定，且依據感測器不同之應用目的建立相對應的分級應用指標，未來將擴大宣導感測器的

品質管控標準與應用需求等級要求，提供民眾在選購感測器的參考依據，在市場機制的循環下，讓感測器設備商嚴格管控設備品管、提升數據品質以符合高規格驗證指標，以利民眾可依照不同應用目的購買相對應等級的設備，提供民眾正確的環境數據。

2. 今(109)年度成果宣傳以易拉展海報呈現過去 4 年之執行內容及成果，並製作宣傳文宣，以簡易可愛的圖文呈現臺灣感測器布建的情形並搭配簡易的文字說明，讓民眾可以快速的了解政府如何建立環境感測物聯網以及如何執行應用。

## (二) 建議

針對計畫成果宣傳方式，除了過去以辦理研討會、宣導活動、發新聞稿等方式進行成果宣傳，建議未來應再多以不同的網路、媒體等方式露出環境感測物聯網的執行成果，以將此計畫之成果讓更多不同的年齡層的民眾去了解自己生活的環境空氣品質的狀況、感測器的應用目的以及建立起環境感測物聯網之後，如何改善自己的生活環境，讓民眾透過生活的感知，來達到宣傳的真正目標。

## 5.5、精進環境品質感測物聯網計畫推動

### 一、前言

環境品質感測物聯網層層相扣，為了有效解決所遇問題，本項工作將蒐集機關推動環境品質感測物聯網目前所遇問題，並且依據相關問題進行分類規劃及定期召開交流會議，以強化政策推動。環境感測物聯網之價值在於提供量大及即時的巨量感測數據資料，除資料蒐集後經過設計各種理論及驗證法則檢核後，方可匯入環境資源資料庫及其他類別多元資料進行大數據分析，深入發掘資料價值，進而轉換成可資運用的資訊，提供資訊服務、進行預測或採行決策等加值運用於解決環境課題。本計畫蒐集機關推動環境品質感測物聯網目前所遇問題，包含國產化感測元件開發及整合問題、智慧化巡檢數據分析、傳輸資訊與呈現問題，並期望針對深度大數據分析技術進一步研議，朝著未來感測物聯網能否產生深度的布建效益及資料價值為目標。

### 二、工作執行方法

環境感測物聯網依據布建維運、品質管控、數據蒐集清理、數據校正、感測分析應用、智慧治理等階段，規劃研議問題方向如下：

1. 感測器布建與維運：因應地方布建所使用之空氣品質微型感測器的數量

持續上升，如何有效規劃最適化點位，透過最佳化布建與維運機制，優化符合污染熱區分析之品質管控機制，建構更符合經濟效益之環境感測屋聯網體系。

2. 感測數據蒐集、清理、校正及分析：終端感測數據透過無線網路傳遞至雲端物聯網平台，如何運用最有效益的資源提供數據服務，在高頻率及巨量資料的收集後，如何清洗無效或錯誤資訊、篩選有效資料並建立適合之校正模式，透過高品質的數據資料，分析環境異常事件，針對污染事件提供溯源分析以及追蹤等，並針對特定事件或問題進一步研析討論。
3. 環境物聯網資訊整合精進：持續就目前所建立之公私有雲環境感測資料中心，供應整合資訊服務並透過整合標準與其他平臺資料介接交換資訊，以利相關應用。
4. 智慧分析與應用討論：環境物聯網提供量大及即時的巨量感測數據資料，如何能將分析數據應用至預測未來，或持續追蹤與關注污染事件。

### 三、工作執行成果

本團隊今年度就環境品質感測物聯網針對感測數據分析進行更深入的探索及討論辦理時程如表 5-16 所示，其相關辦理說明分述如下：

表 5-16、感測數據討論會議辦理時程

辦理時間	出席單位	討論議題
109 年 4 月 14 日	智感雲端、工研院	感測器精準度提升方案
109 年 4 月 30 日	智感雲端、工研院	感測器精準度及機構提升
109 年 5 月 5 日	高雄市環保局、捷思環能、工研院	高雄市校正方案分析會議
109 年 5 月 28 日	廣域科技、工研院	與廣域討論 MOT 測試方案
109 年 6 月 4 日	廣域科技、工研院	與廣域討論 MOT 數據校正
109 年 6 月 10 日	環保署、苗栗縣環保局、經昌電子、臺灣 PM <sub>2.5</sub> 監測與控制產業發展協會、工研院	苗栗縣環保局討論第三方查核
109 年 9 月 14 日	廣域科技、工研院	與廣域討論 MOT 測試及校正模式
109 年 9 月 17 日	如新科技有限公司、工研院	感測器資料處理

- (一) 感測器精準度提升方案會議：本團隊分別於 109 年 4 月 14 日及 109 年 4 月 30 日與新參與臺中市合辦布建計畫的設備商-智感雲端討論感測器精準度相關問題，針對布建前 3 個月感測器數據明顯低於標準測站之原因進行探討，同時分析感測器對於環境濕度、溫度、風速之干擾特性，建

議實施動態校正以利數據品質的提升。

- (二) 高雄市布建感測器校正方案分析會議:於 109 年 5 月 5 日召開本次會議，期透過工研院在感測器校正的經驗分享，供高雄市環保局參考，並找出適合高雄市感測數據的校正方法，提升感測數據品質，避免環團特意針對數據高值進行攻擊。依據會議結論，首先捷思環能公司可採用二階段濃度修正方案進行感測數據校正，並驗證初步校正的結果供本署參考。捷思環能公司建議將協調工研院協助進行不同 PM<sub>2.5</sub> 濃度區段下，評估溫度、濕度與微粒特性等多變量參數對感測器所造成的影響，據以建立感測器完整的校正模型。後續將持續觀察校正後數據以確保數據品質穩定及校正是否合宜。
- (三) MOT 測試方案及數據校正會議:本年度計畫針對 MOT 的測試進行規劃，於 109 年 5 月 28 日、109 年 6 月 12 及 109 年 9 月 14 日辦理討論會議，為確保 MOT 感測精準度，必須透過一系列的測試與校驗確認，並在其中進行設備滾動式修正，主要就目前 MOT 設備進氣量穩定度進行提升，透過以流量計監測氣流穩定度，同時針對 MOT 校正公式進行確認。
- (四) 苗栗縣環保局討論第三方查核機制會議:因應環保署為有效掌握中央及地方單位目前已建置完成之空氣品質感測器監測數據準確度與完整度，瞭解布建之空氣品質感測器之運作現況建立第三方查核機制，本計畫團隊於 109 年 6 月 10 日就苗栗縣布建感測器查核機制進行研商。後續合辦計畫將評估可行的第三方巡檢查核機制，研擬可降低環保局或巡檢團隊人力成本的方法，第三方巡檢查核比對機制將包含抽樣至測站比對查核及運用監測車隨機抽樣至指定地點的感測器進行平行比對。未來承攬商應事前將相關人力經費預估至合辦計畫的維運經費中，以確保查核更落實及精進。
- (五) 感測器資料處理討論會議:就目前縣市布建後大量感測數據之統計分析行為，如何精進後端統計方法來解析大數據，以利於本計畫在感測數據的統計及判讀上能有進一步的合理分析方式。

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

藉由召開之專家諮詢會議及感測數據應用討論會議，廣納產官學研各界之建議，協助計畫團隊釐清環境品質感測物聯網計畫之盲點，構思未來技術發展方向。



## (二) 建議

1. 未來建議針對高濃度反應不佳之感測器，與維運商討論感測器高值的校正方法，並納入感測器數據品質管控制度。
2. 未來更需針對感測器數據檢核部分進行嚴格把關，持續觀察校正後數據品質變化及感測器生命週期，以確保感測器的正確運用與維護校正。

## 5.6、得標廠商需有 1 名專業人力

## 一、前言

計畫團隊自 107 年起持續派駐 1 名人力專門辦理環境感測物聯網相關工作，依過去經驗主要協助署內計算每月经費執行率、即時彙整合辦布建進度現況資料、感測器相關資料彙整、跨單位溝通聯繫及輔助對外說明等事宜。今年度將持續強化協助事項包括地方政府合辦計畫追蹤、資料彙整、經費管考、教育宣導等協助，並全力配合署內需求執行。

## 二、工作執行方法

派駐人力工作執行流程如圖 5-38 所示，首先了解署內長官需求，若過去曾處理過類似事件，則參考過去方法進行處理；若為未處理過事件，則聯繫計畫團隊或其他相關單位提供資料，將資料彙整與提出相關建議提供署內長官參考。派駐人力除協助環保署彙整合辦計畫相關資料外，亦可即時協助環保署彙整立委或行政院臨時所需之資料，加快資料彙整效率。

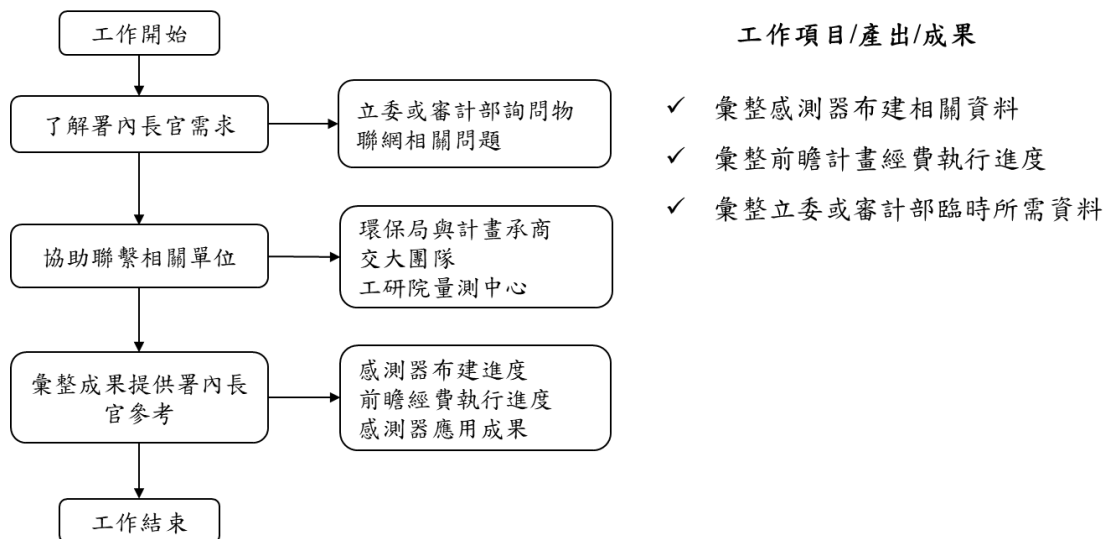


圖 5-38、派駐人力工作執行流程圖

## 三、工作執行成果

除定期彙整前瞻計畫每月經費執行狀況與合辦計畫執行進度外，109 年度因立法院開議與審計部審查合辦計畫執行情形，不定期發文要求環保署提供合辦計畫相關資料，協助彙整資料表如

表 5-17，結果顯示主要協助彙整資料為感測器布建資訊、合辦計畫經費執行進度與感測器稽查應用成果等，將持續滾動更新相關資訊，確保後續被詢問到相似問題時，可快速彙整相關資訊提供給署內長官參考。

表 5-17、派駐人力協助彙整資料表

詢問單位	詢問日期	詢問主題	彙整資料
審計部	109/2/11	請表列說明截至 108 年底止補助各市縣政府空品感測物聯網經費(預算來源及金額)、預計及實際布建數	1. 空品感測物聯網經費來源與執行狀況 2. 各縣市感測器布建點數統計 3. 各縣市合辦計畫之核定函
高虹安	109/3/16	「打造空氣品質物聯網感測基礎建設」之計畫與成果報告	1. 每年之預算數與執行數 2. 各縣市感測器布建點數統計
莊競程	109/3/16	「空污監測物聯網建置進度」之相關資料	1. 各縣市工業區、社區、交通區及輔助感測點布建點數統計
莊競程	109/3/25	臺中市標準測站及感測器位置分布圖	1. 臺中市標準測站及感測器位置分布圖
陳淑華	109/4/17	臺南永康崑山科大和太乙工業區一帶感測器位置及應用稽查成果	1. 崑山科大和太乙工業區周遭感測器布建位置分布位置資訊 2. 崑山科大和太乙工業區周遭稽查成果
賴瑞隆	109/5/11	有關臺中市政府宣布將與貴署合作，於全市布建 886 座空品微型感測器，會請提供計畫署以供參考	1. 臺中市合辦計畫之核定函與合辦布建計畫書
莊競程	109/5/25	透過「空污監測物聯網」布建至今，查獲違法排放案件之相關資料，以供政策研究	1. 209 件違規案件之告發地點、告發時間、告發金額、告發事由等稽查相關明細資料
莊競程	109/5/27	臺中感測器預計 109 年抵達 1,400 點是否能完成?	1. 臺中市合辦計畫之核定函



詢問單位	詢問日期	詢問主題	彙整資料
魯明哲	109/6/30	全國各縣市空氣品質感測器之布建計畫及經費來源	1. 各縣市感測器與感測情境布建點數統計 2. 合辦布建計畫環保署分攤經費 3. 各縣市感測器稽查成果
魯明哲	109/10/19	六都空氣品質感測器布建之相關績效與數據(106 年至今)	1. 六都感測器布建點數統計 2. 六都感測器稽查成果

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

派駐人力定期彙整感測器合辦計畫執行進度，除協助環保署隨時掌握執行狀況，亦可作為回覆審計部或立委詢問感測器合辦計畫相關問題的參考資料，截至 109 年 10 月底，透過派駐人力即時提供參考資料，目前已協助環保署回覆審計部與立委詢問案共 10 件。

##### (二) 建議

因應前瞻計畫的成果彙整需求，即時彙整計畫成果之具體展現及預算執行的進度管控，與相關行政配合事項、經費執行達成率、計畫訪查、跨機關連繫協調等，透過即協助處理環保署臨時需求，以達成政府對民意代表或群眾關切議題之即時因應。

### 5.7、配合機關宣傳與辦理活動

#### 一、前言

本年度計畫持續提供環境物聯網露出的活動規劃，如智慧城市物聯網或是相關署內參與的活動，提供相關美編規劃及輸出，並安排人力進行相關活動露出支援；因應署內舉辦活動會記者會，本團隊配合備妥新聞稿、記者會簡報及記者會現場規劃及即時支援等工作。

#### 二、工作執行方法

有鑑於前瞻計畫為署內重大管考計畫，本計畫同時配合署內相關報告及會議，協助研提資料及簡報；另延續去(108)年所建置的「臺灣環境物聯網」一頁式網頁設計，持續整合我國環境物聯網成果、促進產業交流與吸引外界注意等三大方向精進宣傳網站並滾動式修正符合機關需求，於確立未來要依此網站風

格與架構（一頁式網站）進行建置，並納入各種靜態與動態文宣等內容，以及萃取環境預報模式與資料應用兩大計畫成果網站內容，藉以提升網站豐富度與觀看者的動機及達到展示效益。

### 三、工作執行成果

本年度計畫礙於新冠肺炎疫情影響，上半年度相關公開的活動露出皆暫緩實施，本團隊仍持續協助計畫相關資料產出。因應前瞻計畫四年成果展現，將製作其成果影片以利後續環署宣傳，本影片架構如圖 5-39 所示。就環境物聯網緣起、元件研發、驗證中心、布建規劃、數據中心、智慧稽查及未來應用都進行拍攝，期望能呈現環署這四年來的成果與效益展現。



圖 5-39、環境物聯網成果影片架構說明



圖 5-40、空氣品質認知指導手冊

此外，本年度 11 月 27 及 28 日將配合環工年會並協助攤位擺示，將環保署四年期環境物聯網計畫進行宣傳，目前規劃為 2 個攤位將擺設縣市布建成效及布建之感測器及環保署 IOT 與 WOT 應用，當日現場示意如圖 5-41 所示。



圖 5-41、環工年會展覽現場展示圖

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

本計畫執行期間配合計畫成果展現，預計將於年底完成四年成果影片露出，

並配合空品教育宣導編擬手冊，以利科普教育使用及查閱。因應 11 月底環工年會將配合展出環保署環境物聯網成效。

## （二）建議

政府推動計畫的成敗除了在專業技術的執行成果外，對於成果的包裝也是至關重要，在資訊爆炸的現代生活，如何協助政府單位宣揚執行政績，同時能以民眾認知需求的角度進行說明，可有效彰顯相關政策的成效與未來的持續支持，所以未來在配合機關執行宣傳與辦理活動上，應跳脫刻版的政令宣導，以庶民語言或視覺化呈現，發揮宣傳的效益，但是面對的難題將是政府單位自身對於改變的接受度。

## 第 6 章、協助地方政府感測物聯網建置工作

環保署為掌握與地方合辦布建感測器之運作品質，計畫團隊將協助地方政府共同推動空氣品質感測器布建與維運工作，及環保署物聯網相關工作推動，包括協助環保署管理合辦計畫、彙整地方政府感測物聯網運作情形、提供空氣品質感測器布建維運專業分析及建議、協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行，籌組國內環境品質物聯網專家團隊、審查地方政府所提空氣品質感測器布建維運之相關資料及協助機關檢視第三方巡檢查核成果。

### 6.1、協助機關管理合辦計畫

#### 一、前言

108 年度團隊協助環保署管理與追蹤 17 個地方政府之合辦計畫執行進度，透過團隊定期追蹤感測器布建、維運與經費執行進度，協助了解地方政府遭遇之困難點並提出改善建議或擬定補救方法，必要時召開合辦布建會議來督促地方政府之執行進度等協助，並解決面對之問題。經由團隊與各地地方政府的協助下，已完成環保署 107 年度 13 個地方政府結案作業、108 年度 17 個地方政府查核點 1 及第 1 期請款作業、108 年度 14 個地方政府查核點 2 及第 2 期款請款作業與 108 年度 3 個地方政府查核點 4 及第 3 期款請款作業，並協助環保署舉辦 109 年度 4 場次合辦布建會議，團隊將持續依據前瞻計畫進度，追蹤與協助地方政府合辦布建與智慧應用成果，確保於既定時間內完成環保署規定之各項工作。

#### 二、工作執行方法

合辦計畫管理執行流程如圖 6-1 所示，團隊透過定期追蹤、預警通報、即時輔導與提供補救方法等作法進行合辦計畫之管理與推動。首先團隊定期追蹤各地方政府之合辦計畫執行進度，每週追蹤地方政府之布建維運進度，每月 10 日請地方政府填報智慧稽查成果與教育宣導活動進度，每季於環保署召開合辦布建進度會議，並視需要與地方政府、布建維運商或稽查單位召開管理協商會議。為確保計畫準時達標，團隊於查核點期限到期前 1 個月執行預警通報作業，提醒地方政府需完成之工作項目與完成時間，分析各地方政府之達成率並回報環保署擬定因應措施。若地方政府於計畫執行遭遇困難點，將派人進行即時輔導，將困難點回報環保署並協助研擬解決方案。若經即時輔導後仍無法達成目

標，將研擬替代方案或重點工作範例，協助地方政府加速工作進度與提升工作執行效率。

團隊彙整出兩項 109 年度地方政府遭遇之問題與解決建議，首先因新冠肺炎疫情關係，各地方政府未能於查核點 4 期限內，完成舉辦 5 場次教育宣導之要求，恐導致第 3 期款請款進度落後，團隊建議地方政府將教育宣導教材拍攝成影片作為替代方案，將影片提供給當地國中、小學以影片撥放的方式進行教育宣導，或將影片上傳至環保局網站、YouTube 與 Facebook 等不同網路平台進行教育宣導，並請地方政府評估教育宣導替代方案之可行性。第二，各地方政府契約之履約期限皆定於 109 年底，恐導致合辦布建計畫結案進度落後，團隊將依地方政府契約請款條件，預估 109 年底地方政府經費轉正情形，建議地方政府若廠商達成請款條件，先將環保署核定之經費撥付給廠商，並於 109 年底前進行經費轉正作業，達成環保署及地方政府之計畫執行需求與績效指標。

為確保明(110)年度合辦計畫銜接順利，團隊已於 109/10/7 第 4 次合辦會議中與地方政府說明明年度合辦計畫執行重點，並提供明年度合辦計畫申請書範本與諮詢服務，減少地方政府撰擬合辦計畫申請書的時間，地方政府發文提送合辦計畫申請書後，團隊協將協助環保署進行審查並彙整明年度合辦計畫所需感測器點數與經費，加快環保署核定明年度合辦計畫進度，避免明年度合辦計畫有空窗期發生。

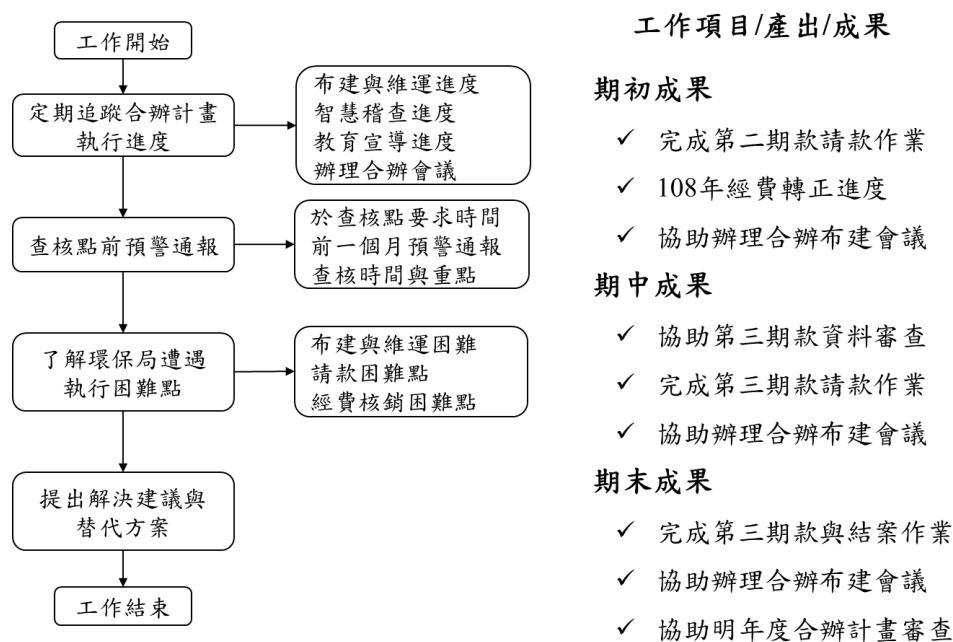


圖 6-1、合辦計畫管理執行流程圖



### 三、工作執行成果

團隊定期追蹤合辦計畫執行成果如表 6-1，根據環保署核定期程將合辦計畫區分為第一期核定（共 15 縣市）與第二期核定（共 7 縣市），第一期核定的 15 縣市皆提送細部規劃書與相關佐證資料完成第一期款請領作業。第二期款已有 13 縣市提送感測器布建與相關佐證資料完成請領作業，尚未完成的縣市包含基隆市與苗栗縣，基隆市因計畫完成招標時間較晚導致布建進度落後，預計 11 月底前完成感測器數據上傳一個月的工作；苗栗縣第二期款請款資料已發文至環保署進行審查，預計 11 月底前能完成撥款作業。第三期款已有 3 縣市提送感測器應用成果與相關佐證資料完成請領作業，尚未完成的縣市包含基隆市、新北市、桃園市、新竹縣、苗栗縣、臺中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市與屏東縣，其中桃園市、雲林縣、嘉義市與臺南市第三期款請款資料已發文至環保署進行審查，預計 11 月底前能完成撥款作業，團隊將持續督促尚未發文請領第三期款的地方政府，盡快完成感測器巡檢作業、稽查成果與教育宣導等工作。

第二期核定的 7 個縣市共 8 案（如表 6-1），其中彰化縣共核定 2 案，因此不以縣市來說明，改以案件名稱來說明，第一期款目前已有 6 案提送細部規劃書與相關佐證資料完成請領作業，尚未請領第一期款的案子包含臺南市與彰化縣 200 點，臺南市預計 11 月底前發文請領第一期款；彰化縣 200 點案仍在規劃評選時間，尚未確定請款時間。第二期款有 3 案已提送感測器布建資料與相關佐證資料完成請領作業，尚未請領第二期款的案子包含彰化縣 100 點、臺中市、南投縣、臺南市與彰化縣 200 點，彰化縣 100 點已提送感測器布建資料與相關佐證資料至環保署進行審查，預計於 109 年 11 月底完成請款作業；臺中市預計 109 年 10 月底完成感測器布建作業；南投縣預計 10 月底前完成感測器數據上傳一個月的工作。

明(110)年度合辦計畫申請情形，截至 109 年 11 月底，有 17 個地方政府發文申請明年度合辦計畫，包含宜蘭縣、基隆市、新北市、桃園市、新竹市、苗栗縣、臺中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺北市、南投縣與台東縣，目前團隊已審查 11 個地方政府的合辦計畫申請書，並協助環保署進行預算推動作業，讓環保署能盡快將核定函發文給地方政府執行合辦計畫公告招標程序。而尚未提送合辦計畫申請書的新竹縣與花蓮縣仍在規劃明年度合辦計畫內容，近期將發文申請明年度合辦計畫。

綜整上述合辦計畫執行進度，團隊彙整出兩項 109 年度地方政府遭遇之問題與解決建議，首先因新冠肺炎疫情關係，各地方政府未能於查核點 4 期限內，

完成舉辦 5 場次教育宣導之要求，恐導致第 3 期款請款進度落後，目前部分地方政府採納團隊建議，使用網路平台與民眾互動進行教育宣導教育活動作為替代方案，而部分地方政府因新冠肺炎疫情逐漸趨緩辦理現場教育宣導活動，因此所有地方政府皆已完成 5 場次教育宣導之要求，團隊將持續督促地方政府盡快完成第三期款請領作業。其次，各地方政府契約之履約期限皆定於 109 年底，恐導致合辦布建計畫結案進度落後，團隊依地方政府契約請款條件與繳交時間，預估 109 年底地方政府經費轉正情形，初估結果顯示 109 年底總前瞻計畫經費執行率可達 86.7%，為提升經費執行率，團隊建議地方政府若計畫承商達成請款條件，優先撥付環保署分攤經費給計畫承商，並於 109 年底前進行經費轉正作業，達成環保署及地方政府計畫執行需求與績效指標。

#### 四、結論與建議

##### （一）結論

1. 截至 109 年 11 月底，地方環保局的經費執行進度在團隊的定期追蹤與協助下，目前已經完成 17 個地方政府查核點 1 及第 1 期請款作業、14 個地方政府查核點 2 及第 2 期款請款作業與度 3 個地方政府查核點 4 及第 3 期款請款作業，以第二期前瞻計畫於今年度順利結案的目標下，團隊將持續追蹤尚未完成布建維運進度與感測器應用進度的地方政府，針對執行困難點提出解決建議或擬定替代方案，加速第二期款與第三期款之請款作業與經費轉正核銷作業。
2. 除今年度合辦計畫執行進度外，團隊亦同步協助環保署辦理明年度合辦計畫申請作業，透過提供合辦計畫申請書範本、提供填寫教學服務與協助環保署進行預算推動審查作業，加速明年度合辦計畫核定速度。

##### （二）建議

1. 透過每週、每月、每季的頻率進行定期進度管控、即時預警通報、機動應變輔導與隨時補救機制等作法，建議結合監資處考核項目評比，隨時督促地方政府於感測器布建及維運、感測數據應用與經費執行等執行進度，順利推動合辦計畫的品質與動能。
2. 若地方政府無法準時於 110/1/1 開始明年度合辦計畫，建議可採原計畫擴約或新增開口合約，增購之項目及內容至少以提供至新得標廠商完成數據服務銜接止，增購期間原執行單位應持續維持感測器維運作業，以避免明年度合辦計畫產生空窗期。

表 6-1、第一、二期核定之合辦計畫執行進度追蹤表

環保署 核定期 程	縣市	感測器布建維運進度			經費執行進度			感測器應用進度	
		一致性 比對	感測器 布建維運	數據上傳 一個月	第一期款	第二期款	第三期款	智慧稽查 裁罰件次	教育宣導 辦理場次
第一期 核定 (108 年 8 月前 核定)	宜蘭縣	○	○	○	○	○	○	5	5
	基隆市	○	○		○			1	5
	新北市	○	○	○	○	○		21	5
	桃園市	○	○	○	○	○		24	5
	新竹縣	○	○	○	○	○		7	5
	新竹市	○	○	○	○	○	○	10	5
	苗栗縣	○	○	○	○			13	5
	臺中市	○	○	○	○	○		17	5
	彰化縣	○	○	○	○	○		8	5
	雲林縣	○	○	○	○	○		9	5
	嘉義縣	○	○	○	○	○		4	5
	嘉義市	○	○	○	○	○		8	5
	臺南市	○	○	○	○	○		63	5
	高雄市	○	○	○	○	○	○	17	5
	屏東縣	○	○	○	○	○		5	5
第二期 核定 (108 年 8 月後 核定)	臺北市	○	○	○	○	○		10	5
	新北市	○	○	○	○	○		-	-
	高雄市	○	○	○	○	○		-	-
	彰化縣 100 點	○	○	○	○		-	-	-
	臺中市	○			○		-	-	-
	南投縣	○	○		○		-	-	-
	臺南市						-	-	-
	彰化縣 200 點						-	-	-

## 6.2、彙整地方政府感測物聯網運作情形

### 一、前言

團隊運用派駐人力於環保署協助計畫執行、彙整資料、聯繫協調等行政工作，協助內容包含合辦計畫執行、布建工作、維運工作、稽查工作、宣導工作、經費執行等進度，並每月向機關提出管理建議。本團隊運用布建、維運、稽查、宣導與經費執行等進度管控表，掌握前瞻計畫各階段子項計畫之執行進度與成果。現階段環保署已核定共 9,950 個感測器布建點位給 17 個地方政府，其中有 9,261 個感測器已經完成布建作業，同步將感測數據上傳至環保署 IoT 平台，另 700 點地方政府仍在規劃布建點位，陸續將布建至環境場域中。團隊將持續彙整合辦計畫之追蹤成果，達成前瞻計畫全程 10,200 點感測點之終極目標。

### 二、工作執行方法

團隊依布建工作、維運工作、稽查工作、宣導工作與經費執行等不同工作項目設定各階段之管控時間、成果目標及要求標準（如圖 6-2 所示），以地方政府辦理之布建維運作業而論，團隊每週五追蹤布建進度，每月管控維運、稽查、宣導與經費執行進度，並隨時掌握地方政府於合辦計畫執行上所遭遇之困難點，預先研析可能遭遇之問題及盲點，提出解決建議或擬定替代方案，以提升合辦計畫之執行效率與成果，最後將上述追蹤成果每月彙整成進度管控報告，提供給署內長官隨時掌握合辦計畫執行現況。為配合環保署無紙化與善用 Google 雲端之政策，團隊將地方政府之感測器布建進度、經費執行進度、撥款期程與智慧稽查應用成果之表單建立於 Google 雲端硬碟當中，使署內長官可於電腦、手機或平展裝置，隨時掌握合辦布建計畫之進度。

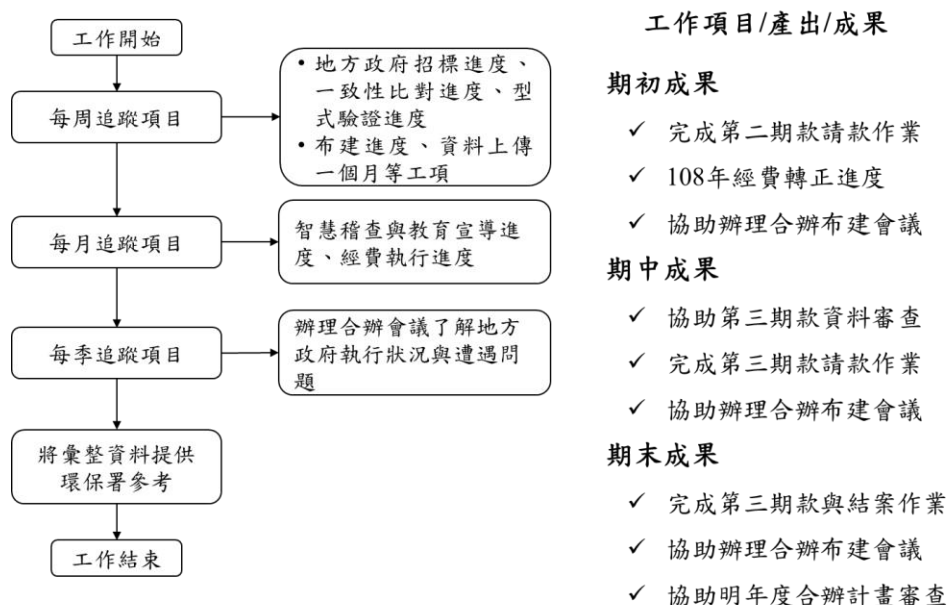


圖 6-2、合辦計畫執行進度彙整工作流程圖

### 三、工作執行成果

除合辦計畫執行進度外，感測器布建位置與感測情境也是常被立委詢問的議題，因此團隊根據地方政府填寫的感測器屬性資料表，彙整出各縣市感測器分布與感測情境布建現況，根據目前地方政府提供的 9,261 點感測器屬性資料表顯示，目前全臺感測器布建分布於 6 都與 11 縣市，覆蓋 263 個行政區、111 個工業區及科學園區、402 條交通要道、監控共 8 萬多家列管工廠，各縣市感測情境分布現況如表 6-2，工業區感測點共布建 4,372 點，鄰近工業區社區感測點共布建 1,037 點，一般社區感測點共布建 2,138 點，交通區感測點共布建 1,244 點，輔助區感測點共布建 331 點，測站比對共布建 139 點，而尚未完成布建的 700 點感測器中，臺南市的 500 點與彰化縣的 200 點因招標程序完成時間較晚，目前兩個環保局正在進行感測器一致性比對作業，預計 110 上半年可全數布建完成。統計全台感測器布建規劃點數，將地方政府布建點數（9,961 點）、本團隊布建點數（150 點）與氣象局布建點數（200 點）相加，總布建點數可達 10,311 點，並完備臺灣空氣品質感測物聯網。

為確保已完成布建的 9,261 點感測器有全數上傳至環保署 IOT 平台，團隊針對已經回報完成布建的 17 縣市感測器專案進行盤點，宜蘭縣 107、108 與 109 年度專案共上線 500 點，基隆市 107 與 108 年度專案共上線 300 點，新北市 107、108 與 109 年度專案共上線 800 點，桃園市 106、107 與 108 年度專案共上線 1,000 點，新竹縣 107 年度專案共上線 200 點，新竹市 107 與 108 年度專案共上線 300 點，苗栗縣 107 與 108 年度專案共上線 500 點，臺中市 106 與 108

年度專案共上線 1,411 點，彰化縣 108 與 109 年度專案共上線 300 點，雲林縣 107 與 108 年度專案共上線 550 點，嘉義縣 107 與 108 年度專案共上線 300 點，嘉義市 107 與 108 年度專案共上線 250 點，臺南市 107 與 108 年度專案共上線 900 點，高雄市 107、108 與 109 年度專案共上線 1,350 點，屏東縣 107 與 108 年度專案共上線 400 點，臺北市 109 年度專案共上線 100 點，南投縣 109 年度專案共上線 100 點，結果顯示 IOT 平台感測器上線點數確實達到 9,261 點。

根據已完成布建的 17 個地方政府感測器應用成果顯示，106 年~109 年 11 月底運用感測器進行智慧稽查案件數為 2,934 件次，共告發 334 件次，告發金額達 8,885 萬元，說明感測器確實能輔助環保局進行智慧稽查，使工廠不敢任意排放污染物，提升國內空氣品質。感測器除輔助稽查應用外，感測器也能使用在車輛怠速勸導（宜蘭縣）、火災應變即時監控（新竹市、臺中市與彰化縣）、揮發性有機物逸散（苗栗縣、高雄市）監控等應用。

#### 四、結論與建議

##### （一）結論

1. 截至 109 年 11 月底，全臺感測器布建區域橫跨 6 都與 11 縣市，已完成 9,261 個感測器布建作業，多數感測器已上線並提供穩定品質的感測數據，將感測數據結合大數據分析應用於環境執法，已成功告發 334 件次，告發金額達 8,885 萬元，說明感測器確實能達到輔助環境執法的功效。
2. 透過團隊每周、每月、每季提供地方政府感測物聯網運作情形的彙整資訊，定期更新至 Google 線上表單中，確實協助環保署長官即時掌握各地方政府感測器布建與感測器數據應用現況，且立法院或審計部臨時發文詢問感測器相關問題時，彙整資料亦可作為研擬答覆的參考依據。

##### （二）建議

1. 透過彙整過去合辦計畫所遭遇的問題，並預擬合辦計畫在布建、維運、宣導、稽查與經費執行過程之因應措施，提出解決建議或替代方案，可確保明年度合辦計畫之執行效率與成果。
2. 透過持續彙整各地方政府之布建設計目標、感測器性能、布建維運商之管理品質及感測數據效能，除協助地方政府把關布建維運商之運作管理，同時可長期觀察各型式感測器在不同區域環境下之性能表現，作為未來感測器更替、模組維修或感測器生命週期之評估參考，提供地方政府最適化布建點位及最佳化感測器布建維運的建議方式，逐步強化感測物聯網之基礎性能，達成我國新世代環境監測之藍圖。



表 6-2、各縣市感測情境布建現況表

縣市	核定點數	已布建點數	工業區	鄰近工業區 社區	一般社區	交通區	輔助區	測站比對
宜蘭縣	500	500	135	111	54	0	0	0
基隆市	300	300	57	20	11	0	10	2
新北市	800	800	305	15	362	118	0	0
桃園市	1,000	1,000	948	0	52	0	0	0
新竹縣	200	200	190	0	0	0	0	10
新竹市	300	300	76	30	18	124	43	9
苗栗縣	500	500	323	0	61	28	54	34
臺中市	1,411	1,411	410	185	532	246	5	33
彰化縣	500	300	200	0	0	0	0	0
雲林縣	550	550	308	0	142	98	0	2
嘉義縣	300	300	112	77	55	0	53	3
嘉義市	250	250	35	2	88	123	0	2
臺南市	1,400	900	533	153	214	0	0	0
高雄市	1,350	1,350	542	340	199	221	37	11
屏東縣	400	400	227	8	6	82	73	4
臺北市	100	100	0	0	0	0	100	0
南投縣	100	100	0	0	0	0	0	0
合計	9,961	9,261	4,372	1,037	2,138	1,244	331	139

### 6.3、協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行

#### 一、前言

現階段在環保署與 17 個地方政府合作下，已達成 9,261 個感測器之布建與維運工作，為確保空氣品質感測物聯網之預期成效，計畫團隊協助地方政府於計畫執行期間研提空氣品質物聯網感測器布建維運規劃作業，包括感測器項目與規格訂定、測試驗證及一致性比對執行方式、布建選址規劃及細節、地方內機關權責協調、布建後巡檢及維修、稽查並裁處空氣污染案件、空品認知宣導活動規劃等工作。計畫團隊將協助地方政府落實空氣品質感測器布建之評估、規劃、執行，提供專業分析及建議，協助其協調工作，必要時協助地方政府進行布建位置之實地勘查，並依據作業程序執行空氣品質感測器布建與維運作業。

#### 二、工作執行方法

計畫團隊依據空氣品質物聯網感測器布建維運規劃作業程序，評估地方政府布建維運作業計畫，分析其選址代表性、必要性及具體效益，建議宜以解決迫切污染問題及民眾關注議題為優先，如工業區污染、最近的環保事件等。地方政府進行空氣品質感測物聯網布建選址時，以工業感測點、社區感測點、交通感測點、輔助感測點（20 公里內無大型標準監測站之地區）等 4 類區域優先布建。應用具體目的包括工業區污染源鑑別、鄰近污染排放之社區特性、交通都會區感測及無標準測站之鄉鎮地區輔助感測等不同應用目的及場域特性，並需考量通訊、供電可行性等方向選址。

為確保感測器數據品質，計畫團隊研擬感測器數據品質管制作業要求，包含感測器須通過型式驗證、全數感測器於布建前皆須至標準監測站（含手動監測）進行一致性比對、感測器每季或每 2 季需巡檢一次，並透過第三方查核驗測感測器品質滿意度。本團隊協助地方政府進行布建維運作業之實地勘查，並協助環保局進行環保署空氣品質標準測站用電申請，於約定時間邀集測站管理人、環保局及承包廠商至標準測站進行現場會勘確認注意事項後進行一致性比對，並協助完成布建與維運作業。

整體工作之執行重點計有研提空氣品質物聯網感測器布建維運工業區、交通區、社區、輔助區感測點位規劃、全數感測器一致性比對、感測器布建維運作業規範等 4 項作業，實施流程詳如圖 6-3。

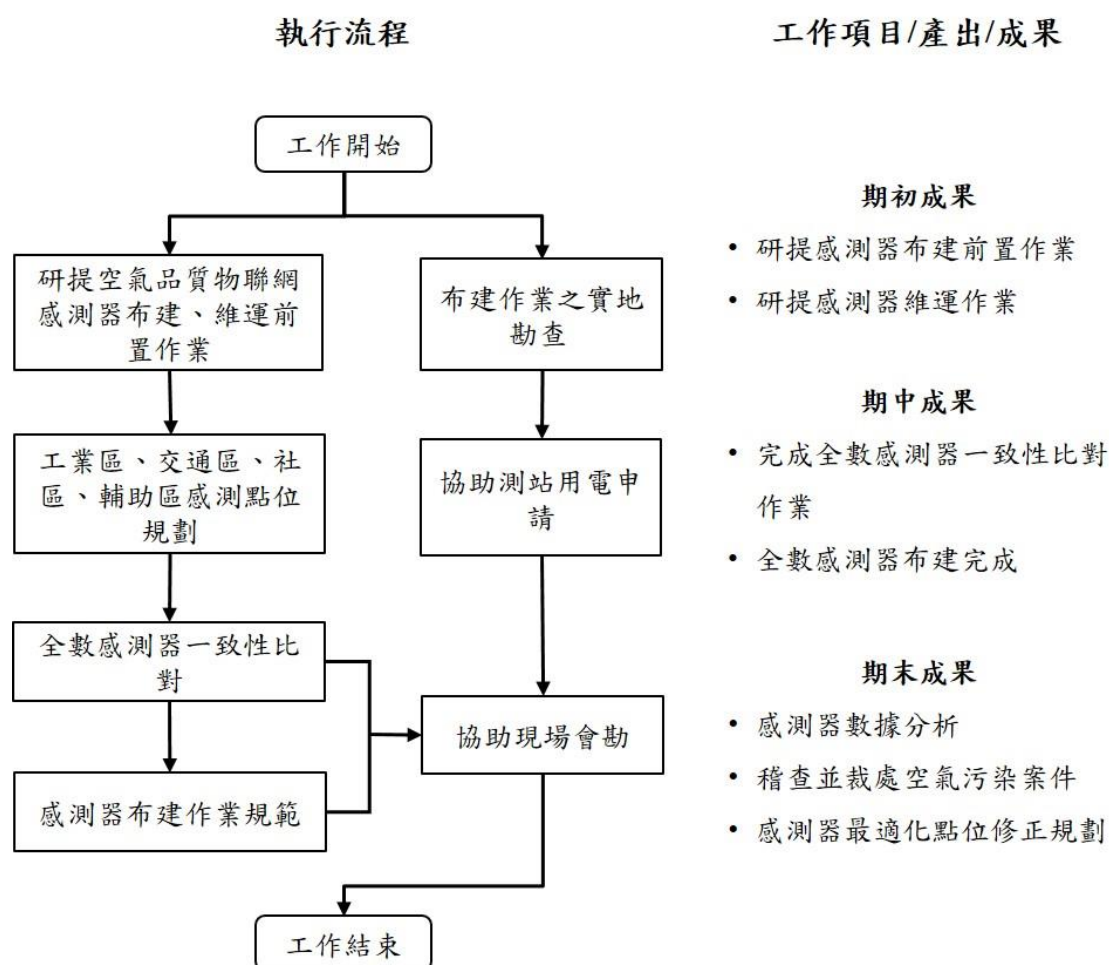


圖 6-3、空氣品質感測器布建維運之評估、規劃、執行流程圖

### 三、工作執行成果

計畫團隊於感測器布建前置作業階段，已查核 5 大感測器廠商皆通過型式驗證，協助 17 縣市環保局進行環保署空氣品質標準測站用電申請，並完成 8,700 台感測器一致性比對成果查核。感測器布建階段則提供感測器布建作業規劃讓各縣市環保局參考，使感測器布建作業順利進行。感測器布建後的數據品質管理，計畫團隊除持續追蹤第三方巡檢與廠商自行巡檢成果外，新增每 2 週檢視 Air 網感測設備異常、每月分析設備異常發生頻率與每季現場查核設備異常感測器等 3 種檢視感測數據品質的方法，以確保已布建的感測器能提供穩定品質的感測數據。

1. 定期查核設備異常之感測點位：每 2 週檢視 Air 網感測設備，感測點測值較周邊的感測設備值偏低設備點位，透過檢核的方式找出設備異常的點，協助各縣市環保局進行維護和點位變更，檢核清單如表 6-3。由於多數感測點位產生的低值並非持續發生、沒有規律性。上列點位為查核期

間發生低值而挑出來的設備，須觀察是否有持續低值發生的現象，其中發現設備編號 TW240100D0304013，每 2 週檢視時皆發現感測數值為定值，已通知該環保局查核確認是否為設備異常或是點位不適當。

表 6-3、感測器異常檢核清單

縣市	設備編號	縣市	設備編號
臺南市	TW150114A0203300	高雄市	KS-O30374
臺南市	TW150214A0505783	高雄市	KS-O30416
宜蘭縣	TW200119A0201082	雲林縣	TW120111A0202780
屏東縣	TW170116A0203533	新北市	TW040203A0200034
桃園市	TW050104A0201601	新北市	TW040203A0200121
桃園市	TW050104A0201691	新北市	TW040203A0200224
桃園市	TW050104A0201903	新北市	TW040203A0200246
桃園市	TW240100D0304013	新北市	TW040203A0200310
高雄市	KS-8000161	新北市	TW050104A0201799
高雄市	KS-8000203	新北市	TW050104A0201804
高雄市	KS-8000514	新北市	TW050204A0504641
高雄市	KS-8000532	嘉義市	TW130112A0203006
高雄市	KS-O30052	嘉義市	TW130112A0203009
高雄市	KS-O30068	嘉義市	TW130112A0203075
高雄市	KS-O30086	彰化縣	470080
高雄市	KS-O30113	臺中市	TW010108A0100009
高雄市	KS-O30183	臺中市	TW010108A0100009
高雄市	KS-O30191	臺中市	TW010108A0100718
高雄市	KS-O30261	臺北市	TW040203A0200094
高雄市	KS-O30324	臺南市	TW150114A0203216
高雄市	KS-O30366	臺南市	TW150114A0203222
高雄市	KS-O30368		

2. 每月分析設備異常發生頻率：針對布建點數較多的設備以 2.5 倍上限值作為離群值的判斷，進行設備異常篩選，持續追蹤離群值設備之發生頻率，據以評估造成異常高值為設備異常或環境異常。

- (1) 以 107 年桃園市 400 點分析共計有 23 台感測器大於 2.5 倍上限值，如表 6-4 所示。

表 6-4、桃園市 2020 年 1-5 月 107 設備感測器超過 2.5 倍上限值設備數量

桃園市	Q3	Q1	IQR	上限值	2.5 倍上限值	感測器數量
1 月	25.02	10.01	15.01	70.05	175.13	4
2 月	23.46	10.25	13.21	63.09	157.73	7
3 月	25.33	10.51	14.82	69.79	174.48	3
4 月	22.48	9.62	12.86	61.06	152.65	2
5 月	17.42	7.64	9.78	46.76	116.90	7

(2) 以 107 年高雄市 400 點分析共計有 138 台感測器大於 2.5 倍上限值，如表 6-5 所示。

表 6-5、高雄市 2020 年 1-5 月 107 設備感測器超過 2.5 倍上限值設備數量

高雄市	Q3	Q1	IQR	上限值	2.5 倍上限值	感測器數量
1 月	58.82	25.37	33.45	159.17	397.93	11
2 月	45.10	19.55	25.55	121.75	304.38	16
3 月	39.75	15.83	23.92	111.51	278.78	23
4 月	34.69	15.22	19.47	93.10	232.75	23
5 月	14.48	5.54	8.94	41.30	103.25	65

3. 每季現場查核設備異常感測器：依據感測器群體間的變異係數與相關係數進行篩選，分別於桃園市觀音工業區、中壢工業區和新北市各工業區篩選出共計 39 個感測點位進行平行附掛比對。桃園市異常設備清單共計 20 台，如表 6-6。

表 6-6、桃園市異常設備清單

縣市	設備編號	設備編號
桃園市	6813450898	6817618592
桃園市	6795503365	9025768121
桃園市	6808292224	9053929018
桃園市	6814913506	9026041871
桃園市	6829587623	9024465955
桃園市	6803740613	9007250437
桃園市	6788883100	9027632764
桃園市	6801675845	9026399463
桃園市	6817560240	9029333836
桃園市	9009028082	9037182066

4. 計畫團隊查核 5 大感測器廠商，確認設備是否與送型式驗證設備一致，布建點位及其 IoT 屬性資料表與環保署平台同步，並驗證感測器斷電後數據是否最遲於 5 分鐘內上傳至環保署 IoT 平台，查核結果如表 6-7。其中桃園市廣域科技及苗栗縣經昌車電的感測設備發生現場設備與 IoT 平台資料不符合之現象，已請廠商全面釐清，並納入未來扣款的參考依據。另外，臺中市智感雲端的設備發生斷電後 15 分鐘自動上傳數據的現象，經廠商確認後，回復因系統無法連接感測器後，判斷需要啟動補值程序。廠商後續修改補值程序，針對感測器未運作的狀態不得啟動補值程序。

表 6-7、感測設備現況異常查核結果

查核縣市	設備商	IoT 屬性資料正確性	裝置設備一致性	斷電後數據是否中斷	復電後數據 5 分鐘內上傳
新北市	捷思環能	正確	一致	正常中斷	正常上傳
桃園市	廣域科技	查核 3 台設備的現場布建點位與 IoT 平台不一致	查核 3 台設備皆為 SAQ-200、與 IoT 平台不一致	正常中斷	正常上傳
新竹縣	維新應用	正確	一致	正常中斷	正常上傳
苗栗縣	經昌車電	裝置編號 07916 點位與 IoT 平台不一致、裝置編號 30503 布建高度與 IoT 平台不一致	一致	正常中斷	正常上傳
臺中市	智感雲端	正確	一致	斷電後數據即中斷，但於 15 分鐘後數據又自動上傳	正常上傳

#### 四、結論及建議

##### (一) 結論

1. 環境物聯網的概念將環境感測裝置設置於街道尺度的環境資訊收集，藉由無線通訊設備上傳至環境資料中心，再運用巨量數據蒐集、大數據分析、AI 人工智慧等技術工具，提供環境徵兆行為的解析，透過檢視感測設備群集的異常偏低點位或長期反應明顯偏離群集行為，研訂檢核方式以找出設備異常的點位，協助環保署篩選異常設備，健全物聯網體系。
2. 於現場查核的中發現少數感測器布建設備、點位和高度與提供的 IoT 屬性資料表不一致，這些錯誤會影響到數據分析的誤差。也在查核中發現部分感測器斷電 15 分鐘後數據即自動上傳 IoT 平台且數據呈現低值，若



數據持續上傳 IoT 平台會造成數據低估，影響數據判讀。

## (二) 建議

1. 由於維持感測設備的性能穩定性、感測數據的數據品質滿意度、持續營運機制的落實度等，直接影響後續智慧分析與環境執法的成果效益，故整體布建與維運機制的落實度、布建維運的執行品質，實為計畫成敗之基礎，更影響實現智慧管理之成效。
2. 在通過感測設備取得環境監測的資訊，如溫度、濕度、PM<sub>2.5</sub> 等監測項目，並結合地理環境與氣象條件進行數據分析。藉由監測資訊分析污染熱區，進而限縮污染源範圍，將可提供環保稽查關鍵地點與時機，使環境執法更有效率，並達成人力與資源最小化之需求，落實環境感測物聯網的功能與價值。

## 6.4、籌組國內環境品質物聯網專家團隊

### 一、前言

鑒於 108 年度地方環保局與布建廠商發生感測器布建維運作業缺失、感測器數據誤植（如感測器因傳輸障礙與系統程式碼缺失，導致上傳錯誤數據）、感測數據設定上限值、感測器缺乏維運導致偵測反應不良等現象。本團隊將邀集國內環境品質物聯網專家學者團隊進行 5 場次輔導與查核會議，除與地方政府及維運廠商進行雙向交流，分析布建維運各階段之技術盲點，並透過國內外之實務案例，輔導各級單位與事業單位之需求與缺失，並加強輔導提升各型感測設備數據品質，加強智慧化管理機制，提供環保局分析污染事件技能，強化布建維運廠商數據應用能力，據以全面精進智慧化環境品質物聯網之效能。期盼透過專家諮詢會議收集、了解與分析環境品質物聯網之未來跨域應用之可能，做為後續提升計畫規畫與執行的參考依據。

### 二、工作執行方法

彙整與分析地方環保局及承攬廠商在感測器布建與維運作業之缺失，並研析感測器長期數據進行異常行為分析，了解新進布建維運計畫廠商之生產、品管及作業機制，以達成感測器數據品質及布建維運進度。整體工作之執行重點計有收集與分析布建維運及智慧應用之風險與問題、邀集環境品質物聯網專家學者、輔導與查核業者、彙整改善結果與後續追蹤等 4 項作業，實施流程詳如下頁圖 6-4。

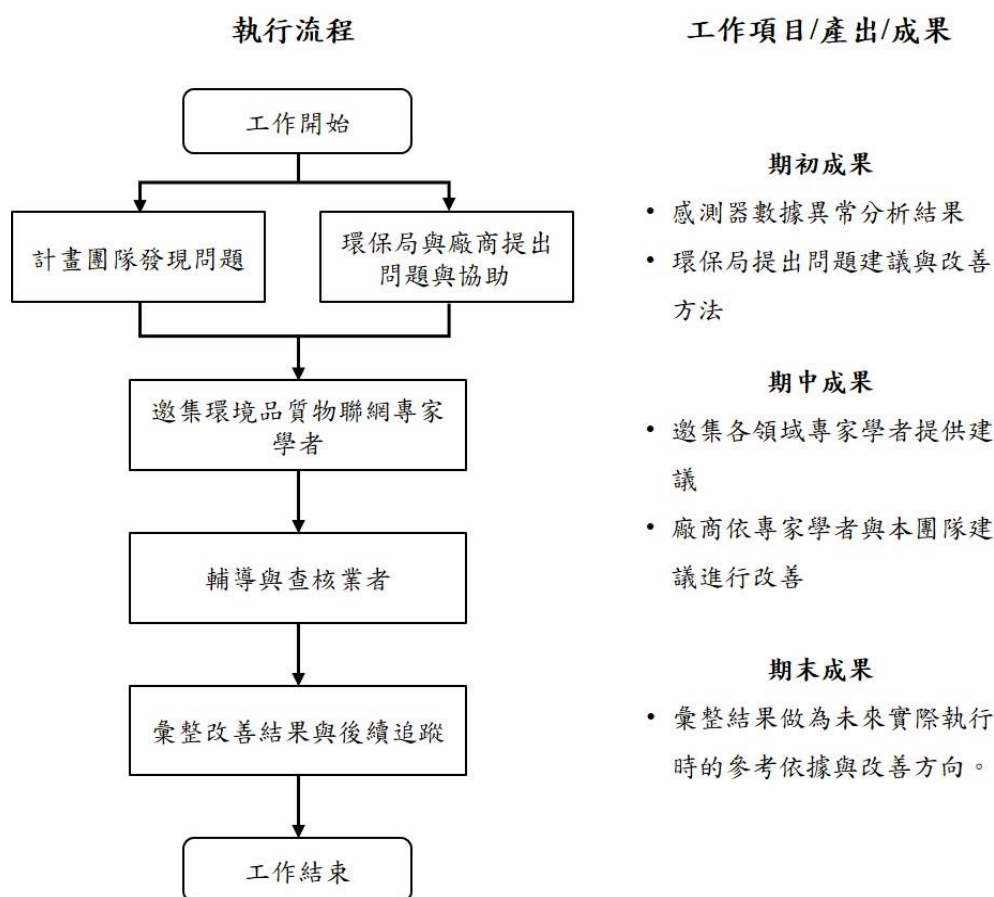


圖 6-4、籌組國內環境品質物聯網專家團隊執行流程圖

### 三、工作執行成果

1. 感測器布建時於場域中，易受到濕度及溫度等環境影響造成數值誤差，有效導入校正公式後可提升準確度，目前已規劃相關主題，邀集環工與資訊領域等專家，透過專家諮詢會議藉以輔導各設備廠商，確認感測器數值正確性，有效掌握污染來源。
2. 規劃辦理輔導或查核會議各污染源執行規劃說明及執行亮點，提請委員給予建議或檢討，以利成果展現並擬定改善之規劃，確保空氣品質維護或改善工作達到最大效益。
3. 物聯網專家團隊會議議程討論重點如下：
  - (1) 說明感測器、數據收集、數據校正、數據分析等作業程序與維護管理制度。
  - (2) 說明發展的全系統功能與智慧應用技術。
  - (3) 說明協助地方政府應用的特殊成功案例。

今年度合計辦理 5 場次專家諮詢會議，由地方政府的委辦廠商針對布

建區域的感測器數據應用平台進行介紹與說明，委員與本團隊依報告內容給予建議，期望透過專家輔導諮詢會能優化感測器應用平台，有效提供污染熱區分析，簡化環保局稽查作業，有效達到嚇阻工廠偷排與污染減量之目的，摘要重點如表 6-8 所示。

表 6-8、專家輔導會議場次

會議時間	專家委員	與會環保局或廠商	會議討論重點
9/21 10:00	盧重興 教授 王聖翔 教授 郭乃文 教授	銓崙國際開發公司 曹志成 副總經理 鄧秀明 博士	<ul style="list-style-type: none"> <li>開發鄰近測點演算法可以做為篩除異常值有效方法，利於取代現行人工巡檢方法。</li> <li>利用動態擴散模式納入空品稽查系統是一個可行的方案，可結合微氣象資料輔助智慧預判稽查，進一步追蹤高污染源，因此建議增加布建風速風向計，以提升系統有效性。</li> <li>利用氣象逆軌跡模式來進行溯源分析作業方式，未來可朝 3D 的方向持續推展，也可從資料庫中歸納分析工業區監測點歷年高污染事件與大氣環境相關性，可做為環境污染預警作用。</li> <li>等濃度分布圖應可以內差計算出感測器地區空氣模擬值，以滿足一般民眾微環境的需求性。</li> <li>感測器的校正是基本而重要的操作項目，另外感測器之裝設需考慮地形因素以及建築物量體的遮蔽因素。</li> </ul>
9/23 14:00	許逸群 教授 賴信志 教授 陳建忠 教授	捷思環能公司 李彥儒 總經理 黃美倫 經理 黃昱聰 工程師 趙婉君 工程師 戴雅筑 工程師	<ul style="list-style-type: none"> <li>微感測器監測項目之能力與極限須先行界定，例如：濃度、靈敏度、趨勢。</li> <li>高值判斷法則及感測器/監測站的系統差異性均需要將經驗值納入數據分析的過程中，以避免資訊呈現差異。</li> <li>訓練資料的成因調查應再加入適當的氣象條件來進行空間分布特性的長期分析或大數據分析，藉以建構有效基底，以提供稽查及成因調查的重要依據。</li> <li>逆軌跡的分析要更小心進行計算及呈現，單一軌跡容易誤解，建議應該多利用氣象資料來建立多條逆軌跡範圍的方式來運作。</li> <li>目前系統介面設計大致完整，建議未來以使用者為本位的角度來持續精進更自動化。</li> <li>微感測器的數據本質，無法達到告發的精確度，但是足以作為事件啟動機制的參考值。</li> </ul>
9/28 10:00	郭乃文 教授 王聖翔 教授 華梅英 教授	中華電信公司 孫瑞呢 經理 陳俊源 工程師	<ul style="list-style-type: none"> <li>儀器設備架設的資訊可以再更細部的分類，並考量地點的合適性進行分類。</li> <li>污染熱點的納入可能是亮點，但是 8hr 的軌跡可能不如風速風向的資訊有用，建議可以納入氣象局的預報資料。</li> <li>如何強化縣市環保局人員使用此系統的能力，以及如何進行資料的後續分析，以利污染事件管理。</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>未來可朝整合區域的地形、微氣候因子的資料與 VOC 測項資料強化這部分數據來進行整合分析，可將臺中區域的各測點依其特性加以分類，以利後續資料之分析與應用。</li> <li>對於民眾客製化的感受上可試著讓民眾實際使用後了解適用的方式，以達親民的效果。</li> </ul>
10/14 14:00	黃政雄 教授 李書安 教授 林冠宇 教授	苗栗縣環保局 林健智 科長 吳綺盈 承辦  思維環境公司 江嘉凌 總經理 莊帛樺 特助	<ul style="list-style-type: none"> <li>各感測器數據的可信度，需配合相關標準監測器進行比對校正。</li> <li>苗栗縣內布建感測器與化工廠自主管理系統數據比對，針對物種的確立，針對不同製程建立排放清單。</li> <li>民眾通報異味與 PM<sub>2.5</sub> 濃度的關係，分析其相關性並結合環保局稽查經驗做有效污染源判讀。</li> <li>系統可以在事件發生時發出告警通知，點位結合 google map 回傳訊息，並通報周遭可能的污染源工廠及污染來源事件告警之高值判斷方式，建議可以結合上下風處的氣象因子進行溯源。</li> <li>評估苗栗縣內 500 點感測器平時校正維護情況及布點考量，可有效的嚇阻工廠並增加污染防治設備以減少污染排放。</li> </ul>
10/26 10:00	郭乃文 教授 黃政雄 教授 王琳麒 教授	富鴻網公司 邱信勝 經理 林偉婷 工程師	<ul style="list-style-type: none"> <li>PM<sub>2.5</sub> 的讀值應了解其與濕度的相關性，並能修正濕度讀值產生的誤差。</li> <li>若有 VOC 定性/半定性成分分析的數據，可與 TVOC 的數據進行解析，以評估某一地區較常造成 TVOC sensor 數值上升之 VOC 物種及濃度。</li> <li>對於污染源潛勢及溯源分析，如何配合風速風向的影響，提高查訪及陳情輔助的應用性。</li> <li>透過監測資料協助污染源調查部分，在工業區因有列管污染源資料可能較容易進行。然而在一般市區環境可能需結合各縣市政府提供的區域工商業活動或是潛在污染源資料，才能較易執行市區污染源調查工作。</li> <li>緊急事件目前在 Smart Air 管理平台上，似乎僅強調火災發生後的空氣品質監測上，未來是否規劃也將沙塵暴或是其他特定污染事件的監測與稽查上，並整合各縣市列管的營運工地資料，一併納入監測的資料分析管理，強化區域空氣品質管理。</li> </ul>

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

- 計畫團隊透過產官學研的專家團隊，藉由事前資料收集與分析、現地訪查輔導與查核雙向交流與諮詢會議，依據各地區特性提供環保局與廠商實務建議，預期能輔導廠商感測器數據智慧應用平台不足之處進行改善，協助地方環保局藉由智慧化系統提升稽查效能。

2. 環保局與廠商除依據委員與計畫團隊所提出的建議，提升智慧化管理效率，提升感測器的精準度與精確度，同時再依據地區特性，發展符合當地需求的功能模組，發展民眾易讀易看的介面，提升民眾有感效益。

## （二）建議

1. 感測器的數據品質是基本且重要的項目，未來尚可加入微氣象資料的收集，再考慮地形因素，將可有效解析微環境的變化，提升系統智慧化的效能分析。
2. 未來感測項目建議可增設風速、風向、氣壓等資訊，再結合 CCTV 的監視設備，可提供即時掌握現場污染行為的判讀，進一步降低人力確認需求，使得環境監測更符合目前實際需要，以提升環境品質物聯網功能。

## 6.5、協助機關審查地方政府所提空氣品質感測器布建之相關資料

### 一、前言

為確保空氣品質感測器布建作業品質，團隊針對布建維運階段研擬管控機制，並訂定相關查核資料，據以建立布建與維運記錄於資料庫，以利未來資料研析與智慧化管理之參考。團隊協助環保署進行地方政府感測器布建相關資料之審查作業，在協助環保署研訂感測器布建維運之相關資料範本後，並提供各地方政府下載與資料填寫說明。各階段審查資料在搭配經費核銷撥款下，可有效激勵地方政府及維運承攬廠商之偕同配合。清查 108 年度合辦計畫審查進度發現，第一期款資料審查作業 17 個地方政府已全數審查完成，第二期款資料審查作業已完成 14 個地方政府，第三期款資料審查作業已完成 3 個地方政府，團隊將持續協助環保署進行第二期款與第三期款資料審查作業，透過即時掌握布建維運進度，可有效提升資料查驗與撥款進度，並追蹤各地方政府新申請感測器布建點位之規畫與需求，達成前瞻計畫全程 10,200 個感測器之布建目標。

### 二、工作執行方法

感測器布建相關資料審查流程如圖 6-5 所示，團隊將針對不同查核點研提審查資料範本如表 6-9 所示，第一期款考量各地方政府仍進行感測器布建規劃作業，因此針對感測器項目、布建選址規劃、用地用電協調、布建作業、維運作業、稽查成果與教育宣導等七大項目，設計布建細部規劃書與布建細部規劃書審查表。第二期款需符合環保署規定需之感測器布建與數據上傳一個月的規定，依據感測器布建前一致性比對作業、感測器型式驗證、感測布建位置、EIoT 屬性資料、布建後感測器一個月數據上傳等彙整表與計算表。第三期款則考量

感測器布建維運數據品質與數據應用，團隊提供巡檢成果計算表、稽查成果及教育宣導彙整表。團隊除提供審查資料範例外，在協助資料審查過程中發現之錯誤或不符規範之情事，即時協助地方政府及布建維運廠商釐清問題，並建議解決方案，以確保資料之正確性並加速撥款作業流程。

團隊除製作 108-109 年合辦計畫請款資料範本外，為確保明年度合辦計畫銜接順利，團隊已於 109/10/7 第 4 次合辦會議中說明明年度執行重點，並製作合辦計畫申請書範本提供給地方政府，加快地方政府將合辦計畫申請書發文至環保署的速度，收到地方政府的合辦計畫申請書後，團隊將依計畫整體規劃、最適化點位規劃、數據品質管制機制與數據應用分析等四大重點進行審查，並協助環保署將合辦計畫申請書進行預算推動作業，加快環保署核定明年度合辦計畫的進度，避免明年度合辦計畫產生空窗期。

表 6-9、計畫團隊研提之審查資料範本彙整表

撥款 期程	撥款比 例	計畫團隊研提之 審查資料範本	查核要點
第一期款	40%	布建細部規劃書與 布建細部規劃書審查表	規劃感測器項目、布建選址 規劃、用地用電協調、布建 作業、維運作業、稽查成果 與教育宣導等項目
第二期款	40%	一致性比對作業	符合 $\text{Bias} \leq 30\%$ 、 $\text{CV} \leq 0.2$
		感測器型式驗證	實地場域驗證符合 $\text{IMV} \leq 10\%$ 、 $\text{R}^2 > 0.7$ 、 $\text{Bias} \leq 30\%$
		感測布建位置與 EIoT 屬性資料	感測器布建位置資訊符合 EIoT 屬性資料填寫規範
		布建後感測器一個月數據上 傳	連續上傳一個月感測數據且 數據完整率達 90%
第三期款	20%	巡檢成果	巡檢前、中、後符合 $\text{R}^2 > 0.7$ 、 $\text{Bias} \leq 30\%$
		稽查成果	完成 5 件次稽查且裁處 (直轄市 10 件次)
		教育宣導成果	完成 5 場次宣導活動



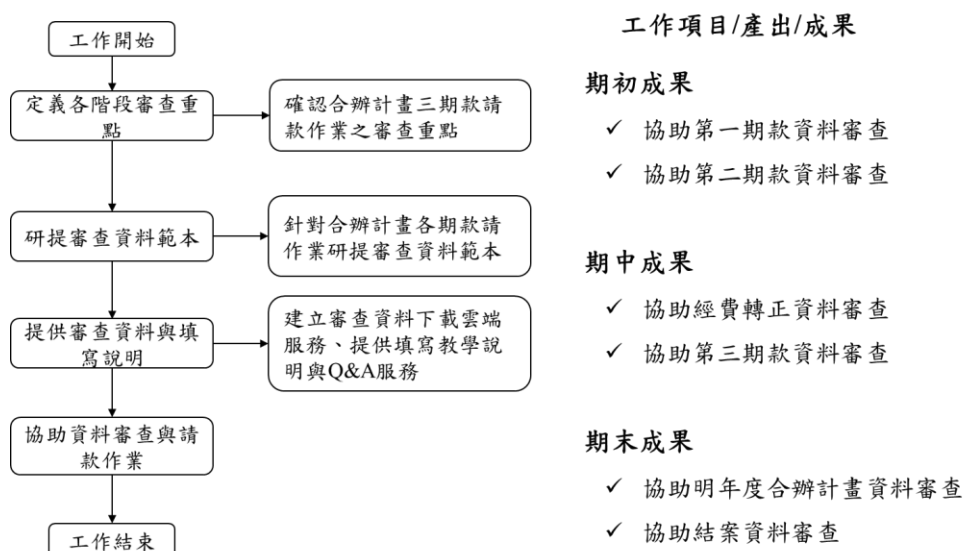


圖 6-5、感測器布建相關資料審查流程圖

### 三、工作執行成果

針對第一期核定的 15 個地方政府撥款進度，第一期款的部分團隊已協助環保署完成布建細部規劃書與布建細部規劃書審查作業，審查資料皆完整填報感測器項目、布建選址規劃、用地用電協調、布建作業、維運作業、稽查成果與教育宣導等七大項目規劃作業，成功將第一期款撥付給 15 個地方政府。第二期款的部分團隊已協助環保署完成一致性比對作業、感測器型式驗證、感測布建位置、EIoT 屬性資料與布建後感測器一個月數據上傳的審查作業，成功將第二期款撥付給 13 個地方政府。第三期款的部分團隊已協助環保署完成感測器應用成果，審查資料皆完整填報感測器巡檢作業、稽查應用與教育宣導等三項目應用成果，成功將第二期款撥付給 3 個地方政府。

針對第二期核定的 7 個地方政府撥款進度，第一期款的部分團隊已協助環保署完成布建細部規劃書與布建細部規劃書審查作業，審查資料皆完整填報感測器項目、布建選址規劃、用地用電協調、布建作業、維運作業、稽查成果與教育宣導等七大項目規劃作業，成功將第一期款撥付給 6 個地方政府。第二期款的部分團隊已協助環保署完成一致性比對作業、感測器型式驗證、感測布建位置、EIoT 屬性資料與布建後感測器一個月數據上傳的審查作業，成功將第二期款撥付給 3 個地方政府。團隊將持續協助環保署審查第一期與第二期核定的地方政府請款作業審查資料，期望於 109 年底完成所有撥款作業，使地方政府能盡快將經費支應給委辦廠商，並至環保署進行經費轉正作業。

針對明年度合辦計畫的審查作業，目前已經有 16 個地方政府發文申請明年

度合辦計畫，團隊已協助環保署審查 11 個地方政府的合辦計畫申請書與預算推動作業，其餘 5 個地方政府的合辦計畫申請書期望於 11 月中前協助環保署進行預算推動作業，並協助環保署詢問是否還有地方政府有申請明年度合辦計畫的意願。

#### 四、結論與建議

##### （一）結論

1. 團隊已完成 17 個地方政府第一期款資料審查作業，14 個地方政府第二期款資料審查作業，3 個地方政府第三期款資料審查作業，由於大多數地方政府因為招標時間較晚又受到新冠肺炎疫情影響，導致地方政府無法在預期時間內完成請款作業，團隊已提供審查資料範本與提供諮詢服務，並持續追蹤尚未請款縣市的經費執行進度，以維持環保署每月經費執行目標。
2. 為避免明年度合辦計畫產生空窗期，團隊已協助環保署審查 11 個地方政府所提的合辦計畫申請書並進行預算推動作業，剩餘的 8 個地方政府團隊已完成審查作業，可隨時配合環保署執行預算推動作業，加快環保署核定函發文與地方政府招標程序。

##### （二）建議

為確保明年度合辦計畫順利推動，建議明年度各查核點的審查重點應於合辦會議上說明，撰擬各查核點的審查資料範本提供給地方政府，並提供審查資料撰寫諮詢服務，加快地方環保局發文請款的速度，撥款後持續追蹤地方政府經費轉正進度，以確保環保署能達成每月與年度的經費執行目標。

## 6.6、協助機關檢視第三方巡檢查核成果

### 一、前言

環保署為確保布建至現場感測器之數據品質，依據 106 年 11 月 12 日發布之「感測資料格式規範、資訊服務計價及驗收準則」，委託專業機構針對已布建完成之感測器抽樣 10%以上，進行第三方查核，據以評估感測器的數據品質滿意度，列為後續布建維運撥款之參考依據。本項計畫工作為協助環保署針對第三方巡檢查核之成果進行確認，由於事涉各地方環保局之撥款與扣款比例，為避免在巡檢查核之程序及計算分析標準差異，導致第三方查核成果發生誤差，計畫團隊將審視第三方查核程序、巡檢標準、巡檢數據原始資料、數據品質滿意度計算等階段逐項確認與驗證，除可確實掌握既設空氣品質感測器在環境與

時間的考驗下，設備運作之可靠度與監測數據的穩定度，同時也確保布建維運之撥款作業順利無誤。

## 二、工作執行方法

依據 107 年度第三方查核之經驗，巡檢查核團隊攜帶具有攜帶經環保署品保室校正過手提式分析檢測器隨機抽驗，在感測器進氣口相同高度及不干擾進氣原則下量測，並比較感測器經演算法校正後對外示值，以計算量測誤差。108 年度是由巡檢查核團隊隨機抽樣 10%既設感測器編號，由感測器建置單位拆置指定之環保署標準監測站進行平行比對，受測感測器與測站儀器在相同環境區域內比較感測器經演算法校正後對外示值，以計算量測誤差待作業，完成後再由建置單位將空氣品質感測器安裝回原設置地點。

107 年度之查核作業的優點在於可以無預警查核感測器現況，檢視感測點位之合適性及周邊環境；缺點在於平行比對時間較短，查核儀器精準度較差，耗費人力龐大。108 年度查核作業的優點在於可進行 3~5 天的平行比對，以測站儀器當成標準源，檢視感測器的精準度較為客觀，由於是群體比對，故人力負荷較低；但是缺點在於有預警查核，無法忠實呈現感測器現況，也無法檢視感測點位之合適性及周邊環境。

109 年度之查核作業，計畫團隊建議應綜合現地抽查比對及多個感測器同址比對，同時巡檢名單抽樣方式需至納入空間隨機篩選及感測器群體變異篩選兩種，一方面可瞭解區域感測器的整體維運品質，另外一方面可運用數據分析找出設備異常之感測點，作為未來發展智慧化巡檢之參考。整體工作之執行重點計有確認巡檢名單抽樣方式、查核比對數據資料、查核數據品質滿意度及完整率、依巡檢結果提出問題與建議等 4 項作業，實施流程詳如圖 6-6。

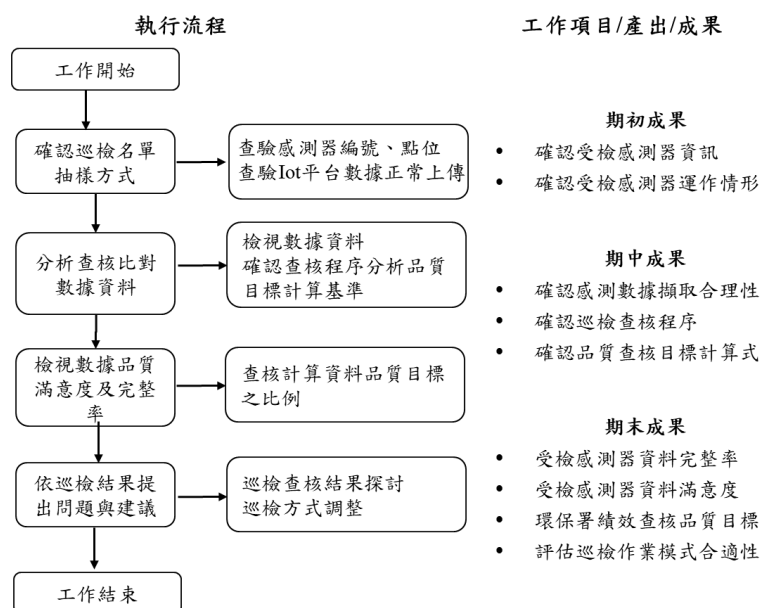


圖 6-6、協助機關檢視第三方巡檢查核成果執行流程

### 三、工作執行成果

今年度第三方巡檢查核名單篩選以群體變異性高之感測器抽查 30%為原則，空間隨機篩選以 70%為原則。目前布建點數總布建點數為 7,300 點，以抽驗至少 10%計，今年合計抽檢 925 點，約佔總數的 12.6%，目前已全數完成檢驗。各縣市受檢感測器附掛至當地標準監測站進行 7 天以上比對，比對期間進行水霧測試作業，以水霧器在感測器進氣端進行約 3 -5 分鐘的測試，在 IoT 平台確認即時的 PM<sub>2.5</sub> 濃度在此測試期間是否有峰值出現來決定此感測器對於高污染事件的反應時間。測試期間數據不列入計算，比對期間中挑選連續 72 小時數據計算每一台 bias 小於等於±30%之合格率。截至 109 年 3 月中旬至 10 月下旬數據品質滿意度平均 >99% 分別為臺北市、臺南和高雄市；數據品質滿意度 <80% 分別為新竹縣和彰化縣，應提升數據品質。

今年導入以監測車配置參考標準儀器來現地查核 PM<sub>2.5</sub> 感測器，並計算數據品質滿意度。第一次現地抽查區域於（7 月 6 日至 7 月 10 日）苗栗縣頭份鎮比對 14 台感測器共計 99 小時。結果顯示 14 台的平均偏差(MNE)介於 9.7~+114.6 %之間，感測器相對標準儀器數據呈高估現象，數據品質滿意度為 84%。第二次現地抽查區域於（7 月 23 日至 7 月 29 日）高雄大發工業區比對 141 台感測器共計 141 小時。結果顯示 141 台的平均偏差(MNE)介於-1.8~+436.7% 之間，感測器相對標準儀器數據呈高估現象，數據品質滿意度為 75%。第三次現地抽查區域分別於（7 月 29 日至 7 月 31 日）屏東工業區計 43 小時，以及（8 月 3 日至 8 月 7 日），計 96 小時合計 139 小時，共比對 43 台感測器。結果顯

示 43 台的平均偏差(MNE)介於-29.7~+116.7% 之間，感測器相對標準儀器數據呈高估現象，數據品質滿意度平均為 90.5%。計畫團隊將依數據品質滿意度及數據完整率協助計算各地方政府感測器數據品質，以利核定撥款比率及撥付經費。

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 因應環境 PM<sub>2.5</sub> 低濃度範圍(<15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )時計算方式，以器差(different)為判定標準。當參考標準儀器<9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時以 $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$  為合格標準，而參考標準儀器 10~14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時以 $\pm 5\mu\text{g}/\text{m}^3$  為合格標準。主要減少第三方巡檢時受天氣及 PM<sub>2.5</sub> 濃度過低之影響導致有效數據不足情況。
2. 第三方查核可以協助環保署針對不同廠牌感測器及布建環境找出影響 PM<sub>2.5</sub> 感測器相對濕度影響關係及適用的濃度範圍區間，依分析比對結果提出對不同型號元件的迴歸校正式。
3. 為提升第三方巡檢的效能，以 FEM 移動式監測車配置參考標準儀器到現地進行區域比對查核作業，改善現階段缺乏無法忠實呈現感測器現況、檢視感測點位之合適性等缺點。

##### (二) 建議

1. 針對感測數據績效查核新版結果數據品質滿意度低於 80%的縣市、檢視該設備感測元件數據品質穩定性的表現，利用 PM<sub>2.5</sub> 濃度及相對濕度做多變數迴歸校正後配合低濃度(< 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )高濃度(> 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )及修正因子。再透過數據調校降低數據標準偏差，藉以提升數據品質滿意度。
2. 未來可透過績效查核成果，檢視各廠牌感測器校正後的效能，評估動態校正的頻率，與區域的關鍵性校正參數，除可提供地方環保局參考，也可提供設備商優化感測設備之參考依據。

### 6.7、規劃邀集各環保局辦理「環境物聯網成果暨聯繫會議」

#### 一、前言

由於前瞻計畫將於今(109)年度達成 10,200 點空氣品質感測器布建，除掌控布建進度及感測數據品質外，規劃擴大辦理 1 場次環保局成果暨聯繫會議，藉由交流環保署及各環保局間的布建成效外，可以延續 4 年的布建成果，持續達成穩定而持久的環境品質監測網絡。運用現階段智慧化輔助環境執法的效益，持續推動環保署與地方合辦布建感測器之運作品質，分享智慧化管理環境物聯

網之做法，最適化感測器布建維運，延續智慧環境執法之基礎，逐步落實管理友善的宜居環境，民眾樂居之生活環境。

## 二、工作執行方法

為加強檢視並推廣前瞻基礎建設「建構民生公共物聯網計畫」之分項工作-「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」成果，藉由交流各地方政府間的布建與應用成效，分享智慧化管理感測設備之技術，運用大數據分析輔助環境執法的效益，持續推動中央與地方合作機制，運用智慧化管理環境物聯網之做法，逐步達成智慧政府、科技治理、環境永續安全的目標。期望協助環保局順利延續營運環境感測物聯網計畫，並協請環保局分享執行成果及具體措施，期盼透過雙向交流及經驗分享，逐步達成地方政府智慧治理、環境永續安全的目標。

## 三、工作執行成果

目前已於 109 年 8 月 11 日於高雄蓮潭國際會館辦理其聯繫會議如圖 6-7 所示，會議中除了各縣市環保局進行交流外，本單位亦安排由高雄捷思環能分享自主巡檢作業說明，內容涵蓋巡檢作業相關規範、維護保養作業、巡檢比對作業及異常巡檢作業，其分享微型感測器在布建、巡檢、維護之實務作業流程，說明平時雲端分析感測器運作現況，定期實施現場雲檢與維護保養，設備異常緊急搶修與數據判讀。另由工研院進行異常查核平行掛測作業說明，就異常查核平行掛測作業現場實做觀摩，模擬在發現感測器異常行為後，如何協助釐清異常狀態，說明平行比對流程及作業重點。



圖 6-7、各縣市聯繫交流會議實況



#### 四、結論與建議

##### （一）結論：

1. 藉由會議宣揚我國縣市參與並分享場域布建成果，運用全國目前已完成的環境感測物聯網之布建成果及智慧治理效益，逐步達成智慧環境城市治理的願景。
2. 透過縣市成果聯繫會議，強化中央政府與地方之合作布建效益，達成環境永續安全的目標。

##### （二）建議：

期望未來能有透過更多的實務應用案例與成果分享，讓各縣市之間能有多方的學習與觀摩，在建構臺灣感測器廣布的架構下，發展成國際的標竿案例與成功經驗，引領物聯網產業成為下個藍海市場。



## 第 7 章、強化專案辦公室產業推動成果效益

依據行政院「數位國家創新經濟發展方案（106 至 114 年）」（簡稱 DIGI+）特別擘劃網路社會數位政府行動計畫，落實各級政府資料治理，積極發展 IoT 及 AI 智慧產業，創造物聯網及智慧應用的研發。為了強化對環境領域的加值應用，由國家前瞻基礎建設計畫-數位建設下之民生公共物聯網計畫支持，研發多項國產環境品質感測元件，強化國內自有技術能量，並透過實地場域測試及驗證，同時橋接產業生態鏈，期望整合開展環境物聯網跨域應用，成功輸出國際。其中為協助空品物聯網整體推動及資源整合，成立專案辦公室，主要任務包含協助物聯網分支計畫間之整體執行發展，而相關主要的願景與目標有三：(1)協助空品物聯網應用推動與執行、(2)協助建立各計畫及跨部會間成果運用及串接、(3)促進空品物聯網產業開展。

### 7.1、強化專案辦公室運作

#### 一、前言

依據前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫項下「空品物聯網產業開展計畫」內容，今年度將持續提升強化專案辦公室運作，除辦理我國環境物聯網推動及資源整合工作、訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明之外，並將提出專案辦公室及我國環境物聯網未來 4 年（110~114 年度）目標並持續滾動修正。

#### 二、工作執行方法

##### （一）工作執行流程

工作執行方法與流程如圖 7-1 所示，執行方法包含：

1. 營運專案辦公室：於臺北市松山區南京東路三段 248 號 2 樓（揚昇金融大樓）設置專屬辦公據點，並設有會議室可供產業交流、跨部會開會等之用(如圖 7-2)。
2. 研擬運作規畫：包含整體運作方式、分工，以及訂定年度目標：
  - (1) 研提專案辦公室及我國空品物聯網之 110~114 年度目標：依據國內外資料蒐集和與代表性廠商座談結果，研提專案辦公室及我國環境物聯網之 110~114 年度目標並持續滾動性修正。
  - (2) 編撰民生公共物聯網計畫 106 年~109 年執行成果報告：計畫成果架構以研發、驗證、布建、應用、輸出等五大面向，從人民、產業有感

之角度，論述計畫成果亮點。

- (3) 完成洽談 2 件國內環境品質感測應用服務合作：聚焦居家安全、運輸排放、工安監測等主題為優先，召開產業座談會，從業者提出之痛點與需求，尋求跨域應用合作。
  - (4) 完成大型研討會議或交流會議或展覽(2 日以上)：因新冠肺炎疫情持續擴散與嚴峻，除原定規劃實體研討會議或展覽外，將另外規劃網路視訊模式，以達推動產業與交流媒合之目的，並避免疫情擴散。
  - (5) 參與國際研討會 2 場次，並研提參訪報告：原定 2020 年 5 月至美國參加 Air Sensors International Conference (ASIC)研討會並發表研究成果，因受新冠肺炎疫情影響而被管制無法出國，將另行規劃其他相關研討會參與，但仍得視新冠肺炎疫情而定。
  - (6) 促成國內感測技術授權至少 2 案( $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{CO}$ )：專案辦公室將協助感測元件開發團隊，與電信商、系統整合業、感測設備商等進行交流與媒合，並促成技術授權，以協助我國產業建立與強化自主技術。
  - (7) 促成至少 1 筆國際訂單：除正在進行合作洽談之越南、韓國、挪威外，專案辦公室於 2020 年 2 月 17 日與印度 Kolkata 城市官方人員進行視訊會議，初步了解需求，後續將進一步討論細節。
3. 辦理我國空品物聯網推動及資源整合工作：整合「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」與「空品物聯網產業開展計畫」相關資源，並鏈結計畫成果，達到推動我國空品物聯網之最大綜效。
  4. 訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明：與環保署共同討論，持續更新修正空氣品質物聯網相關問答集，預計將分六大類別，分別為「技術開發」、「感測器布建」、「感測器執法」、「產業推動」、「預報及預測模式/資料平台」及「其他/綜合」。
  5. 整合「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」和「空品物聯網產業開展計畫」之資源，配合政策與自主推動空品物聯網，並依據國內外資料蒐集和與代表性廠商座談結果，研提專案辦公室及我國環境物聯網之 110~114 年度目標並持續滾動性修正。執行運作方式則將採靈活、彈性方式，緊密配合環保署需求，力求發揮最大綜效。

## (二) 工作執行期程規畫與查核點

工作執行期程規畫與查核點如圖 7-1 所示，工作期程主要為 109 年 2 月至 109 年 11 月與 12 月止，該分項查核點有二，包含：

1. 完成問答集訂定與更新。
2. 完成專案辦公室和我國環境物聯網 110~114 年目標之研提。

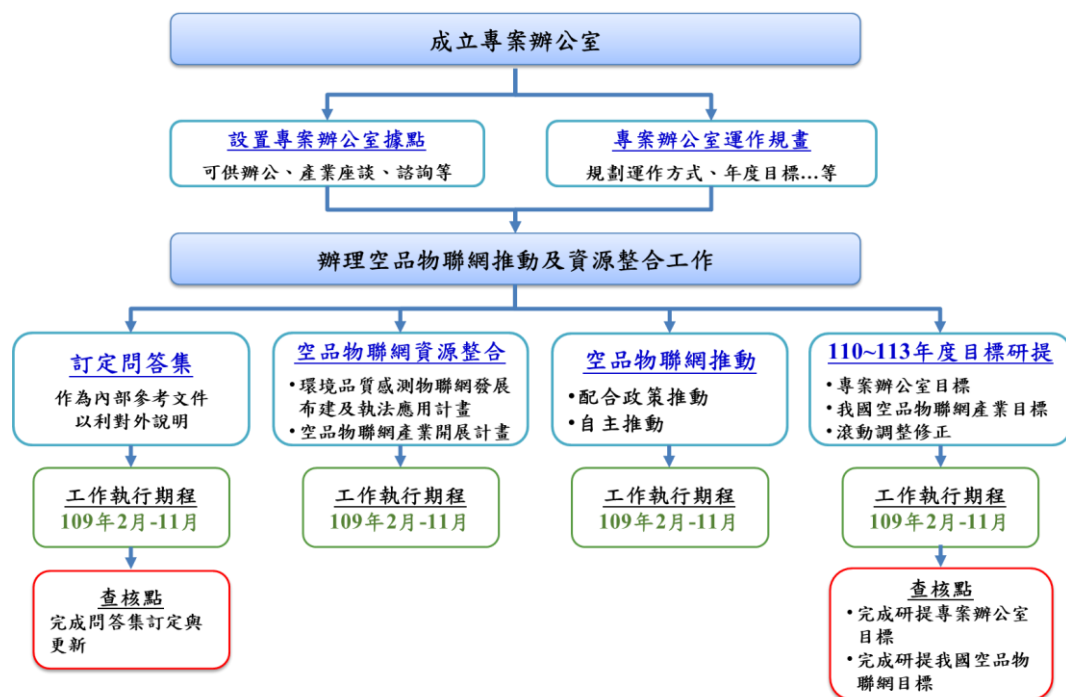


圖 7-1、強化專案辦公室運作之執行流程、期程與查核點



圖 7-2、專案辦公室平面配置圖

### 三、工作執行成果

- (一) 完成增修專案辦公室運作 SOP，並於 109 年 3 月完成規劃專案辦公室運作方式與計畫年度目標報告書一份。專案辦公室運作方式可分為五大主

軸，如圖 7-3 所示。包含：

1. 主動掌握進度及研擬對策：

- (1) 訂定問答集：制定問答集(Q&A)，以利對立法院、環保團體、一般民眾等進行說明。現階段完成之問答集，內容包含國產化感測元件技轉、空氣品質 72 小時預報模擬模式、建置測試驗證中心等階段成果、106-107 年中央地方及校園布建空污感測器成果、106-108 年度空品物聯網輔助智慧稽查成果、106-107 年度補助國內業者投入空品物聯網開發成果等，將持續更新並新增問答集內容。
- (2) 建立例行性工作 SOP：制定相關工作 SOP，以利專案辦公室更有效率並確實執行計畫。例如為即時掌握「空品物聯網產業開展計畫」各部會計畫之推動狀況，若各計畫有相關工作會議，專案辦公室亦將主動聯繫參加，除於會議中與計畫團隊充分溝通，亦將摘錄會議之重要資訊於會後提供環保署參考。此部分相關工作 SOP 如圖 7-4 所示。
- (3) 主動協調各部會及管考單位：專案辦公室工作內容涵蓋「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」與「空品物聯網產業開展計畫」，計畫執行部會包含環保署、經濟部技術處與工業局、科技部工程司與自然司、中研院、國網中心，計畫內容包含空品感測物聯網環境建構、感測元件開發、空品預報模式開發、場域布建與資料平台建構等，橫跨部會卻又彼此息息相關，故亟需仰賴專案辦公室主動居中協調，打破穀倉效應，使其發揮更大綜效。此外此計畫歸屬於前瞻計畫之民生公共物聯網計畫，由吳政忠政務委員負責督導，並委由科技會報辦公室、科技部、推動小組等負責層層管考，管考事項相當繁瑣，此部分更有賴專案辦公室居中負責分工、協調、綜整等工作，以爭取管考時效與呈現繳交報告等之品質。
- (4) 參加各部會之計畫月會，精準掌握進度與遭遇問題，並協助解決。
- (5) 不定期實地查訪：不定期實地查訪分項二計畫之各部會委辦單位，進行溝通，以維持良好關係，並了解最新進度以回報環保署。
- (6) 檢視工作適用性、銜接程度，提出預警、分析及對策研擬：針對各部會之主要工作規畫與期程進行檢視，以了解包含預計產出規格、應用情境、達成日期等之適切性。並針對可能問題，事先對環保署提出預警，並研擬對策供環保署參考。
- (7) 每月定期向環保署匯報進度與建議事項。



2. 對市場分析及發展策略研擬：

- (1) 蒐集國內外感測器、物聯網應用資訊：蒐集國內外物聯網、環境品質物聯網、智慧城市之相關資訊，包含其發展趨勢、架構規劃、推動策略及具體措施等面向，涵蓋國家規劃、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及市場預測等範疇。
- (2) 提出目標市場建議：針對國際各區域進行分析，包含空氣污染程度、政策推動力道、當地市場發展概況等，提出該計畫團隊與相關補助廠商優先投入之目標市場建議。
- (3) 提出我國產業發展之優劣分析：盤點國內空氣品質物聯網產業鏈現況，以及訪問相關主要業者，進而提出優勢與產業或技術缺口等分析。
- (4) 規劃及研提國內加值應用方式：因應未來空氣品質感測器及物聯網的擴大加值應用，將規劃並研提國內加值應用方式。已完成交通部運研所及衛服部國健署之跨域合作洽談，未來擬再針對農委會、內政部建研所及勞動部進行合作案討論。
- (5) 研擬產業發展策略、規劃整體輸出方式及時程表：蒐集國內外物聯網、環境品質物聯網、智慧城市之相關資訊，包含其發展趨勢、架構規劃、推動策略及具體措施等面向，涵蓋國家規劃、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及市場預測等範疇後，結合工業局補助業者之開發規畫時程，將完成研提我國環境品質物聯網發展策略、規劃整體輸出方式及時程表。

3. 產業推動及促成合作案：

- (1) 訪談廠商：拜訪國內相關產業鏈之主要業者，除瞭解其布局動態，並討論未來環境物聯網之加值與跨域整合應用之發展方向與可行性，以達協助產業開展與推動之綜效。
- (2) 辦理產業座談會：辦理產業座談會 3 場次以上，每場至少 8 家相關業者參與(包含電信商、系統整合業、感測器設備商等)，由專案辦公室提供相關產業分析、技術能量、政策資源等資訊予業者，並安排國產感測元件開發團隊與業者進行交流，並收集綜整產業界之痛點需求與意見，由專案辦公室據此協助媒合促成產業跨域合作，健全產業鏈發展，並達到加值跨域應用。
- (3) 引薦媒合廠商：專案辦公室將透過多元管道，包含訪廠、參展、引薦與主動接洽等方式，協助媒合計畫研發團隊，除可更精準動態式調整

研發方向外，更可加速其產業化之腳步。

(4) 主動接洽跨域合作對象：因應未來空氣品質感測器及物聯網的擴大加值應用，洽談環境品質感測應用服務合作，成果詳見 7.6 章節。

(5) 協助技轉並掌握進度：持續追蹤各計畫之專利、技術轉移或委託技術服務等之進度，包含簽約進展、簽約金額等資訊掌握。

(6) 一站式推廣協助產官學研民交流情資：鏈結國內物聯網交流平台，及持續更新管理網頁資訊，提供一站式推廣服務。

4. 辦理展覽、研習與國際參訪：將持續蒐集國際物聯網、智慧城市展覽及研討會活動，而本計畫將擇 2 場次以上進行參訪並提供研析報告。其中原定 2020 年 5 月至美國參加 Air Sensors International Conference (ASIC) 研討會並發表研究成果，因受新冠肺炎疫情影響而被管制無法出國。



圖 7-3、專案辦公室之運作方式

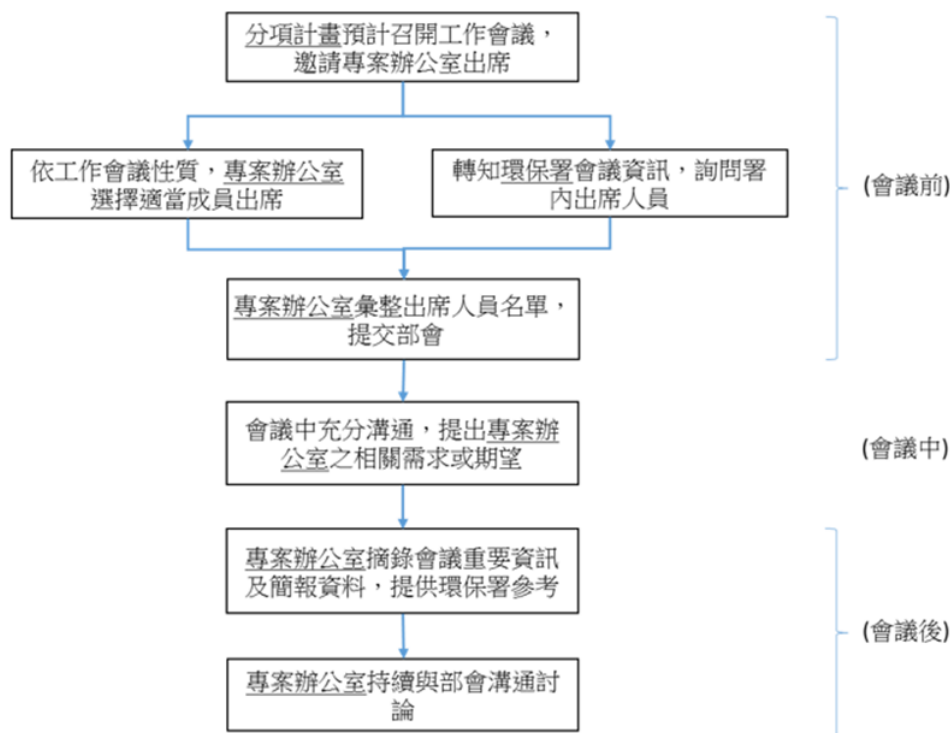


圖 7-4、參加空品物聯網產業開展計畫部會之工作會議之 SOP

## (二) 完成增修問答集

已完成截至 109 年 11 月之最新問答集內容增修，包含以下 4 項等內容，並將持續滾動式更新：

1. 空污感測器布建成果（縣市點數、感測器品牌、感測項目等）
2. 智慧稽查成果（稽查處分件次、裁處罰鍰金額、追繳空污費金額等）
3. 分項二感測元件技轉進度（技轉業者、金額等）
4. 中研院校園布建成果、公民社群布建成果

## (三) 增修空品物聯網 110~114 年年度目標

已完成空品物聯網 110~114 年年度目標之增修，並協助於 109 年 6 月 4 日填覆與民生公共物聯網 PMO 團隊（災防中心）。目前已於 109 年 8 月 26 日奉行政院核可，計畫全程期限變更為 110 年 1 月至 114 年 8 月。其中環保署計畫細部名稱為「智聯網-跨世代環境治理計畫」，全程主要重點包含：

1. 最適化規模空品感測聯網精進及應用。
2. 高效益智慧水質物聯網應用設置。
3. 發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。
4. 建構環境電磁波監測物聯網體系。
5. 發展環境治理智慧應用最佳服務。

6. 打造智能科技化環境執法新機制。
7. 深化在地環境資訊運用服務。
8. 發展自動化環境污染管理系統。
9. 應用移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。

而 110~114 年各年度目標及預期關鍵成果內容如下表 7-1 所示：

表 7-1、智聯網跨世代環境治理計畫年度目標

計畫全程總目標					
優化環境品質感測物聯網體系、深化環境聯網智慧應用、開創感測聯網前瞻技術與產業創新					
年度	第一年 民國 110 年	第二年 民國 111 年	第三年 民國 112 年	第四年 民國 113 年	第五年 民國 114 年
年度目標	1.推動最適化規模空品感測聯網精進及應用。 2.推動高效化智慧水質感測物聯網應用設置。 3.發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。 4.建構環境電磁波監測物聯網體系。 5.發展環境治理智慧應用最佳服務。 6.打造智能科技化環境執法新機制。 7.深化在地環境資訊運用服務。 8.發展自動化環境污染管理系統。 9.導入移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。	1.推動最適化規模空品感測聯網精進及應用。 2.推動高效化智慧水質感測物聯網應用設置。 3.發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。 4.建構環境電磁波監測物聯網體系。 5.發展環境治理智慧應用最佳服務。 6.打造智能科技化環境執法新機制。 7.深化在地環境資訊運用服務。 8.發展自動化環境污染管理系統。 9.導入移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。	1.推動最適化規模空品感測聯網精進及應用。 2.推動高效化智慧水質感測物聯網應用設置。 3.發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。 4.建構環境電磁波監測物聯網體系。 5.發展環境治理智慧應用最佳服務。 6.打造智能科技化環境執法新機制。 7.深化在地環境資訊運用服務。 8.發展自動化環境污染管理系統。 9.導入移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。	1.推動最適化規模空品感測聯網精進及應用。 2.推動高效化智慧水質感測物聯網應用設置。 3.發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。 4.建構環境電磁波監測物聯網體系。 5.發展環境治理智慧應用最佳服務。 6.打造智能科技化環境執法新機制。 7.深化在地環境資訊運用服務。 8.發展自動化環境污染管理系統。 9.導入移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。	1.推動最適化規模空品感測聯網精進及應用。 2.推動高效化智慧水質感測物聯網應用設置。 3.發展寧靜區聲音辨識物聯網體系。 4.建構環境電磁波監測物聯網體系。 5.發展環境治理智慧應用最佳服務。 6.打造智能科技化環境執法新機制。 7.深化在地環境資訊運用服務。 8.發展自動化環境污染管理系統。 9.導入移動感測聯網(MOT)發展都市污染管制服務。

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

今年度持續提升強化專案辦公室運作，除辦理我國環境物聯網推動及資源

整合工作、訂定問答集作為內部參考文件以利對外說明之外，並提出我國環境物聯網未來 4 年（110~114 年度）目標，並已協助通過行政院核定之下一期前瞻計畫。此外今年為第一期前瞻計畫之最後一年，在專案辦公室努力協助之下，分項二計畫(涵蓋經濟部、科技部、中研院等)可望於今年底順利完成相關計畫目標。

## （二）建議

專案辦公室的主要功能在於協助物聯網應用推動與執行、協助建立各計畫及跨部會間成果運用及串接、促進物聯網產業開展。未來受限於經費資源，為能持續推動我國物聯網產業價值，需要透過跨部會間的合作與相關公協會的配合，讓業界與政府持續溝通與配合，讓產業能自主推廣與產業創新，將物聯網目前的成功產品推向國際。

## 7.2、跨部會整合協調

### 一、前言

民生公共物聯網計畫包括空氣品質、地震、水資源，以及災防等四大民眾生活息息相關的議題，計畫規劃主責部會的分工如圖 7-5 所示，而在督導上，由政務委進行督導，並確認計畫方向。在部會的協調上，則由行政院科技會報辦公室進行工作會議，依協調需求不定時召開，定時召開進度掌控，科技部擔任幕僚協助資料彙整，另也成立推動小組定期每月召開工作進度會議，並協助反應部會問題。其中空氣品質領域包含「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」（環保署執行）和「空氣品質物聯網產業開展」（經濟部技術處、經濟部工業局、科技部工程司、科技部自然司、中研院、國網中心、環保署共同執行），由本專案辦公室負責督導、聯繫、協調各部會計畫相關事宜，與彙整進度及成果資料，以隨時掌握最新計畫執行狀況，並定期向環保署提出進度報告、召開會議。除配合環保署需求外，專案辦公室亦將配合行政院、科技會報辦公室、科技部、推動小組等，負責處理管考及交辦等事宜。

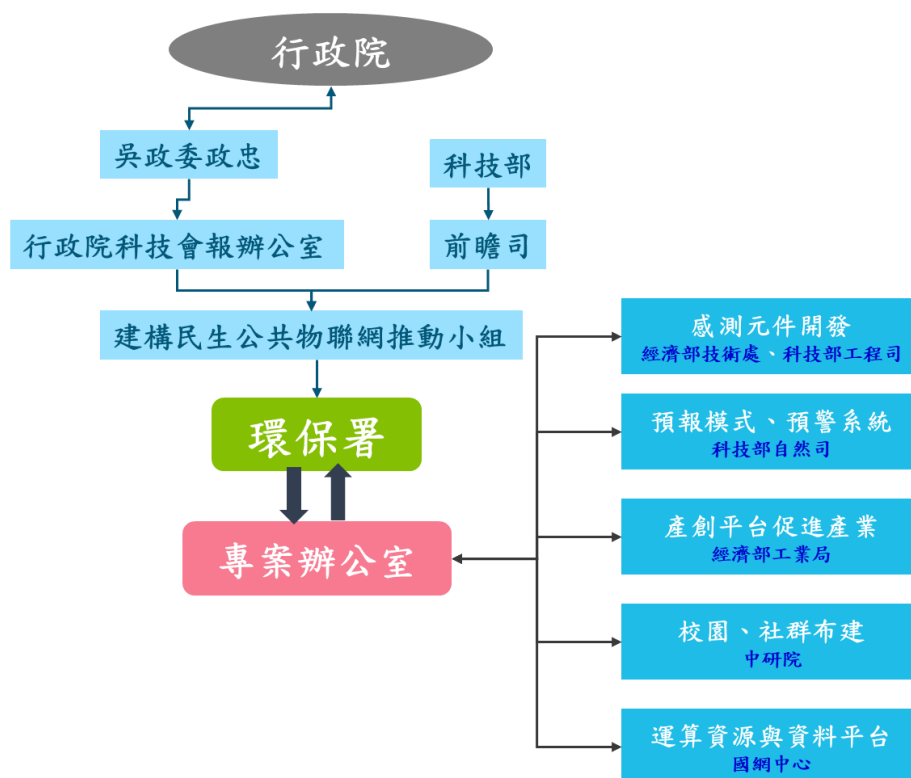


圖 7-5、民生公共物聯網計畫架構與分工

## 二、工作執行方法

### (一) 工作執行流程圖

本專案辦公室扮演督導、聯繫、協調各部會計畫事宜，即時處理行政院科技會報辦公室、建構民生公共物聯網推動小組、科技部前瞻司等交辦事項，並如期完成。此外與管考單位與計畫跨部會維持良好互動關係，確保資訊上、下溝通順暢無誤，執行流程圖如圖 7-6 所示。

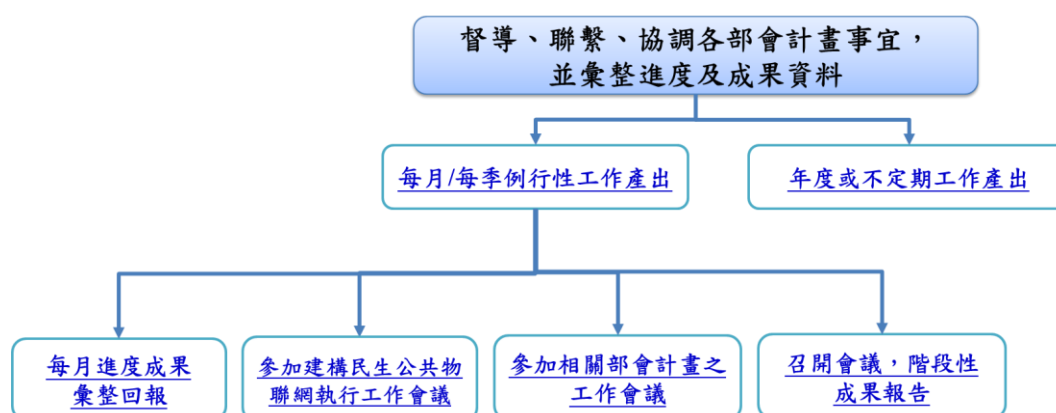


圖 7-6、跨部會整合與協調之執行流程



## (二) 工作執行期程規劃與查核點

工作執行期程規劃為 109 年 2 月至 109 年 12 月底止，每月固定產出由推動小組召開之執行工作會議簡報，並產出期中與期末績效報告予管考部會(科技部前瞻司)。

## 三、工作執行成果

1. 截至 109 年 10 月底，每月均完成環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫(分項一)、空品物聯網產業開展計畫(分項二)之工作與經費執行進度報告，並於每月由推動小組召開之工作月會上，報告分項二進度。
2. 於 109 年 3 月 31 日完成民生公共物聯網分項一、分項二計畫之第 1 季檢討報告簡報。
3. 於 109 年 3 月 18 日協助更新提供預計於今年 10 月於臺北科教館展覽之資料予推動小組。
4. 於 109 年 4 月 9 日完成資料應用競賽之分項一說明簡報。
5. 於 109 年 6 月 30 日完成前瞻基礎建設計畫(分項一與分項二)109 年期中執行進度報告之綜整。
6. 於 109 年 8 月 19 日完成 109 年度年度計畫執行績效報告(分項一與分項二)，以因應為利前瞻 3 期計畫立院審議。
7. 於 109 年 9 月 8 日完成 109 前瞻期中報告委員審查意見回覆。
8. 分別於 109 年 9 月 30 日、10 月 6 日、10 月 27 日參加由科技會報辦公室和推動小組合辦之民生物聯網公私協力推動座談會，與環保署及業者商討未來可能推動方式。
9. 每月向環保署報告專案辦公室與分項二各部會之進度，並給予建議供參考。

## 四、結論與建議

### (一) 結論

1. 計畫執行過程全力配合相關定期繳交報告與文件外，對於上級(科技會報辦公室、推動小組、科技部等)交辦事項均竭力於繳交期限前完成。
2. 對於跨部會之聯繫與溝通，專案辦公室扮演良好溝通橋樑與潤滑劑，讓分項計畫工作得以順利執行。
3. 定時向環保署報告目前子項計畫進度，並提供建議參考。

## (二) 建議

下一階段計畫(110 年-114 年)，環保署將主責並獨力執行分項一計畫(智聯網-跨世代環境治理計畫)，將不會再參與經濟部、科技部等其他部會之子項計畫，然環保署計畫涵蓋內部包含：監資處、空保處、稽查大隊、環訓所等多個局處單位，整體計畫執行上仍需要進行討論與溝通，滾動式優化調整，以利達到與呈現更佳之計畫加乘成果，達到跨世代環境治理。

## 7.3、計畫智庫與對策研擬

### 一、前言

民生公共物聯網計畫包括空氣品質、地震、水資源，以及災防等四大民眾生活息息相關的議題，其中空氣品質相關計畫共有由環保署主責執行之「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」以及由經濟部、科技部、中研院等多個部會執行之「空品物聯網產業開展計畫」，辦公室主要任務中，除例行性就各計畫間橫向之聯繫及各計畫執行績效追蹤等，並統整政府部門各種物聯網相關措施，提出關鍵工作及時間點規劃，檢視各項工作的適用性與銜接程度等，以提出具體建議及對策研擬。另外協助分支計畫執行進行整合，促使終端應用需求與計畫產品功能緊密結合，發揮預期效用。

### 二、工作執行方法

#### (一) 工作執行方法

執行流程如圖 7-7 所示，空品物聯網專案辦公室定期整合並檢視「空品物聯網產業開展計畫」各部會分工，並配合環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」執行需求，分析檢視計畫關鍵工作項目適用性與時程規劃，及各工作銜接程度適當性，除督促各執行單位外，並提前提供可能問題預警、分析及解決對策給予環保署，並密切與環保署討論，持續更新與滾動式調整。並綜整研提前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫 106 年~109 年執行成果報告，計畫成果架構以研發、驗證、布建、應用、輸出等五大面向，從人民、產業有感之角度，論述計畫成果亮點。以提供行政院對社會宣達環境物聯網對民眾生活之幫助與效益，並據此積極爭取下一期前瞻計畫，以延續並精進我國環境物聯網。

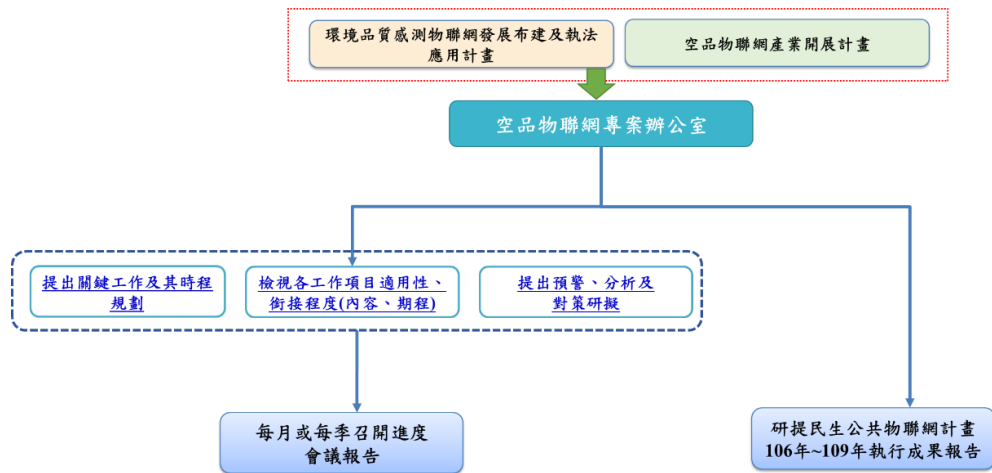


圖 7-7、計畫智庫與對策研擬之執行方法

## (二) 工作執行期程規劃與查核點

執行期程規劃為 109 年 2 月至 109 年 12 月底止，查核點為每月或每季提交一份計畫執行分析與建議對策報告；並在 109 年 6 月與 11 月分別產出研提前瞻基礎建設計畫之建構民生公共物聯網計畫 106 年~109 年執行成果報告初版與修訂版。

## 三、工作執行成果

### (一) 研提 106 年~109 年執行成果報告

已於 109 年 4 月完成民生公共物聯網計畫（分項一、分項二）106 年~109 年執行成果簡報初稿，架構目錄為：

1. 關鍵成果摘要。
2. 前言及現況\_國內發展現況及上位政策依據。
3. 國際趨勢及國內推動政策\_分項一、二推動分工概述。
4. 執行成果\_研發感測元件、感測模組驗證與標準研擬、縣市合作布建及分析、跨域加值應用及治理、國際開展與整體輸出。
5. 未來展望與規劃\_精進方向及未來工作概述。
6. 結語\_5G 時代因應環境之改變。

關鍵成果摘要內容如圖 7-8、圖 7-9 所示。目前已完成書面成果報告初版撰寫，並委請專業公司進行美編，並於 109 年 11 月底前完成電子檔。



圖 7-8、環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫之關鍵成果



圖 7-9、空品物聯網產業開展計畫之關鍵成果

## (二) 檢視分項二計畫可能問題提出預警、分析及對策研擬

### 1. 經濟部技術處之國產 CO 感測元件開發：

- (1) 目前 CO 感測器目標規格為 100 ppb~200 ppm，但目前僅止於實驗室通入不同濃度(1~20 ppm)之標準氣體進行量測。專案辦公室建議：
  - A. 至環保署標準監測站進行驗證，並挑選交通測站(例如三重、永和)進行比對。
  - B. 於實驗室進行高濃度測試( $\geq 50$  ppm)，以評估是否符合居家安全之應用情境。

### 全年平均CO濃度：0.38±0.16 ppm

測站型別	站數	CO (ppm)	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)
一般測站	60	0.35	17.3	2.30	11.57
工業測站	5	0.34	18.3	2.32	11.06
公園測站	2	0.16	8.5	1.31	1.80
交通測站	6	0.80	17.7	2.69	23.05
背景測站	5	0.26	16.6	2.15	7.26

Source：環保署 108年空氣品質監測年報

圖 7-10、我國 108 年空氣品質監測資料

CO 限制濃度	類型	訂定組織
無	AEGL-1 (8 hrs)	US EPA
420 ppm	AEGL-2 (10 min)	US EPA
27 ppm	AEGL-2 (8 hrs)	US EPA
1,700 ppm	AEGL-3 (10 min)	US EPA
130 ppm	AEGL-3 (8hrs)	US EPA
35 ppm	TWA (8hrs)	NIOSH
50 ppm	TWA (8hrs)	OSHA

Source: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), and US Environmental Protection Agency (USEPA)

圖 7-11、國際對 CO 限制安全濃度之規範

#### 2. 經濟部技術處之國產 PM<sub>2.5</sub> 感測元件開發：

- (1) 今年度已縮小整體體積至約 24 cm<sup>3</sup>。專案辦公室整理目前市售主流光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測器之尺寸規格比較，如圖 7-12 所示。
- (2) 開發單位微系統中心今年目標之一為評估 PM<sub>1.0</sub> 之性能，並訂定相對器差中位數 ≤ 50 %。專案辦公室建議得先仔細評估與確認量測 PM<sub>1.0</sub> 之標準儀器與測試場域。

廠牌/型號	體積 (cm <sup>3</sup> )	尺寸 (mm)
(1) 工研院 微系統中心 	24	40*40*15
(2) Sensirion SPS 30 	20	40.6*40.6*12.2
(3) Plantower PMS 5003 	40	50*38*21
(4) Plantower PMS 7003 	21	48*37*12

圖 7-12、光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測器之尺寸規格

- (3) 為了因應特殊高 PM<sub>2.5</sub> 濃度之場域，專案辦公室建議送量測中心進行實驗室特定濃度之測試。

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

1. 106 年~109 年執行成果報告之美編風格已與環保署討論，並定調為科技風格，專業公司刻正進行美編，過程中專案辦公室將持續與其討論，並提供與環保署檢視，以利完成四年成果報告。
2. 計畫智庫與對策研擬方面，專案辦公室除了協助定期檢視分項二計畫之執行是否符合預定目標外，並提供相關建議給予環保署，同時針對科技會報辦公室、推動小組等臨時交辦，專案辦公室均盡心扮演智庫角色，協助環保署如期完成相關工作。

##### (二) 建議

1. 針對經濟部技術處委由工研院微系統中心開發之 PM<sub>2.5</sub> 感測器，建議能導入溫濕度等環境因子，透過校正式開發，從後來遠端對感測器精準度進行調校。
2. 針對經濟部技術處委由工研院微系統中心開發之 CO 感測器，由於感測範圍為 100 ppb ~ 200 ppm，涵蓋範圍大，需仔細各自評估比對低、中、高濃度之精準度，以及思考除了環境監測外的應用，因為正常一般環境監測的 CO 平均濃度僅為 0.16~0.8 ppm。



## 7.4、全球趨勢與產業發展對策建議

### 一、前言

本計畫自 106 年度起陸續蒐集並比較國內、外主要空氣品質感測器功能、規格與應用場域等資訊，可供環保署及前瞻計畫各分項團隊參考，以掌握目前國內外最新商業化產品，藉此作為提升自身技術、產品競爭力之參考依據。而因智慧城市或智慧城鄉，可視為地方政府、社群利用科技提升生活品質的方式，環境物聯網更可視為智慧城市的一環，協助城市治理，更有效率的進行環境治理與各種污染控制。今(109)年度將持續蒐集國外與物聯網、智慧城市相關之計畫，研析與更新國際上之最新發展，包含技術面、政策面等，以掌握國際最新發展脈絡，同時作為國內推動產業與輸出國際策略之參考。

### 二、工作執行方法

工作內容包含蒐集國內外感測元件資訊、國際環境品質感測元件、環境感測物聯網應用資訊與發展趨勢，研析國內外標竿案例，並盤點國內空氣品質物聯網產業能量與需求，研提國內環境品質物聯網之加值應用方式、研擬我國產業發展對策等。

#### (一) 工作執行方法

執行方法如圖 7-13 所示，從全球主要國家區域（美國、歐盟、日本、韓國等）之環境物聯網發展與應用現況與發展趨勢、推動策略、產業進行研究分析；同時盤點國內產業能量與現行應用方式，在考量各國不同時空與民情背景下，據此研提我國產業發展策略，並研提國內環境品質物聯網之加值應用方式。

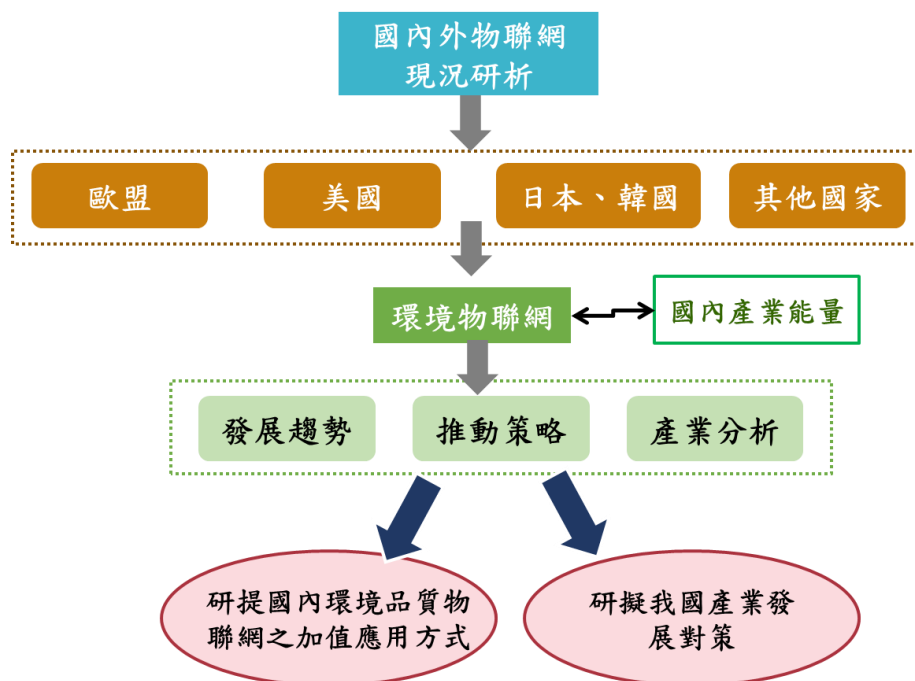


圖 7-13、全球趨勢與產業發展對策建議之執行流程圖

## (二) 工作執行期程規劃與查核點

執行期程規劃為 109 年 2 月至 109 年 12 月底止，查核點為於 109 年 11 月底前產出研提國內環境品質物聯網之加值應用方式與我國產業發展對策報告一份。

## 三、工作執行成果

### (一) 市場動態

氣體感測器用於測量或檢測周圍環境中是否存在特定的氣體，並產生與這些氣體的濃度成比例的電子訊號（電壓、電阻等），可用於檢測和監視氣體洩漏或排放，特別是在如石油和天然氣、化工、採礦等關鍵行業中。為確保不同行業中的勞工安全及污染物逸散，在民眾對空氣污染對健康影響之關注日益增加下，全球對氣體感測器的需求持續增加中。以下將介紹市場增長之驅動力、限制因素、機會和挑戰：

#### 1. 驅動力：

- (1) 全球越來越多國家（如美國、英國、德國、中國、法國等）制定並實施各種健康與安全法規。
- (2) 在 HVAC (heating, ventilation and air conditioning) 系統和空氣品質監測器中，越來越多採用氣體感測器。
- (3) 關鍵行業（石油和天然氣、化工、採礦等）對氣體感測器的需求。

- (4) 空氣污染增加以及對智慧城市空氣品質監測的需求。
2. 限制因素：開發創新氣體感測器通常皆非常費時。
3. 機會：
- (1) 可透過物聯網、雲端計算、巨量資料等，建構氣體感測聯網 (Networking)。
- (2) 越來越多電子消費產品採用氣體感測器。
- (3) 越來越多私人與公共組織參與，並對大眾建立空氣品質監測之認知。
- (4) 全球對微型無線氣體感測器之需求不斷增長。

表 7-2、全球污染最嚴重之城市（來源：Numbeo）

SR. NO	CITY, COUNTRY	AIR POLLUTION INDEX
1	Accra, Ghana	97.25
2	Tetovo, Macedonia	96.37
3	Kathmandu, Nepal	95.66
4	Kabul, Afghanistan	95.59
5	Faridabad, India	95.58
6	Ulaanbaatar, Mongolia	95.27
7	Ghaziabad, India	94.46
8	Dhaka, Bangladesh	93.56
9	Cairo, Egypt	93.27
10	Noida, India	93.01
11	Yangon, Myanmar	92.73
12	Beirut, Lebanon	92.33
13	Ho Chi Minh City, Vietnam	92.13
14	Allahabad, India	91.90
15	Delhi, India	91.41
16	Manila, Philippines	91.37
17	Varanasi, India	91.25
18	Karachi, Pakistan	90.87
19	Patna, India	90.40
20	Gurgaon, India	90.24
186	Taipei, Taiwan	49.71

## (二) 國際產業趨勢

### 1. 電子鼻(E-Noses)：

電子鼻的日益商業化是氣體感測器領域的最新趨勢之一。電子鼻傳統上應用於食品、飲料和化妝品行業中之品質控制。如今越來越多用於醫學診斷、環境保護和爆炸物檢測應用等。並根據不同使用的用途，將各種傳感技術（例如金屬氧化物半導體、電化學等）結合到電子鼻中。目前開發電子鼻的主要公司和研究組織包括 E-nose Company, Odotech, Electronic Sensor Technology 等。

### 2. 奈米碳管(Carbon nanotube)：

奈米碳管是一類新的氣體傳感器材料，透過多種氣體反應(response)來檢測特定氣體。其適用於開發低功耗和可攜式之感測設備，且在室溫操作方面，奈米碳管也比其他材料具有優勢，且其具有很高的靈敏度，容易微型化用於大量感測器陣列的開發，並常用於食品毒素檢測。2017 年，印度 Faststream Technologies 開發了奈米碳管技術的氣體感測器，用於檢測易腐食品的狀況；並也有用於檢測 SF<sub>6</sub>（六氟化硫，輸配電設備的絕緣與防電弧氣體）分解成分，以確保電力系統的安全運行。



圖 7-14、食品鮮度和環境氣味偵測之應用情境

### 3. 沸石 (Zeolites)：

氣體感測器使用的沸石材料對特定氣體具有增強的感測選擇性，這是由於其對這些特定氣體提供了高選擇性吸收。目前仍有部分由沸石組成的

複合材料正在發展中，未來也可望成為新穎氣體傳感器之材料。目前沸石可用於檢測多種氣體，例如氧氣、氮氣、二氧化碳、碳氫化合物、氫氣、烷烴和一氧化碳等。

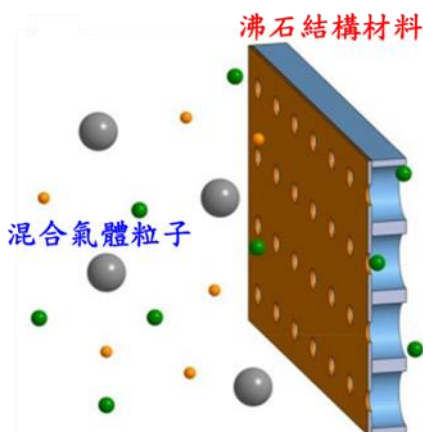


圖 7-15、對特定氣體具有高選擇性吸收之沸石材料

### (三) 環境物聯網國際應用案例

#### 1. 智慧工廠：

##### (1) 挑戰：

- A. 水泥工廠 OCL 面臨法規與民眾抗議，產能被迫下降或被罰款。
- B. 工廠內監測各式污染設備(CEMS, AAQM, EQM)通訊標準不同。

##### (2) 解決方案：

印度 Phoenix Robotix 公司協助水泥工廠 OCL 建置空氣污染監測系統，提供包含數據分析、預警系統 SOP 與預防措施等服務。

##### (3) 效益：

幫助 OCL 公司有效規劃營運產能，降低區域污染，在符合法規限制下，達到產能最大化。



圖 7-16、Phoenix Robotix 提供水泥公司 OCL 環境物聯網解決方案

## 2. 垃圾車路線智能規劃：

### (1) 挑戰：

- A. 美國費城垃圾車收垃圾頻率過高，造成支出過高。
- B. 韓國首爾因預算刪減，清理垃圾頻率被迫下降，造成環境污染。

### (2) 解決方案：

改用加裝 GPS 與感測器之智能垃圾桶，透過定位以及即時感測垃圾桶已裝垃圾容量，進而優化垃圾車行車路線。

### (3) 效益：

減少垃圾車出動頻率，減少人事支出；並降低垃圾車排碳量，同步減少垃圾車維運保養成本。



圖 7-17、利用 IoT 技術智能規劃垃圾車出動時機及路線

## 3. 智慧垃圾分類回收平台：

### (1) 挑戰：

- A. 中國垃圾製造量大。
- B. 民眾回收分類意識不高。
- C. 掩埋焚化垃圾量大，造成環境污染

### (2) 解決方案：

中國小黃狗公司利用垃圾回收箱加裝定位功能，讓民眾可用 APP 搜尋鄰近智慧回收箱；同時加裝 AI 驅動之影像、重量等感測器，可透過影像辨識及測量物品密度，自動辨別回收垃圾種類（玻璃、寶特瓶、



鐵罐等)，並可直接由智慧回收箱機器用現金支付回收金（超過 10 元人民幣即可立即兌現，亦可持續累積），透過上述方案，大幅提高民眾回收意願。

(3) 效益：

- A. 實現對生活垃圾：前端分類回收→中端統一運輸→末端集中處理的新模式。
- B. 打造新的生態鏈（群眾→廢品回收商→再生資源產業→垃圾處理事業單位）。
- C. 減少掩埋焚化之垃圾量，降低污染。



圖 7-18、智慧垃圾分類回收平台

4. 監控垃圾場空氣品質：

- (1) 印度新創公司 Oizom 解決孟買 Kanjurmarg 城市垃圾場（每日約 3,000 噸廢棄物）之臭味問題。
- (2) Oizom 在垃圾場外圍區域安裝 CO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, VOC, CH<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 等感測器，以監控廢物中的惡臭氣體。
- (3) 該解決方案提供即時氣味監控，並利用羽流擴散(Plume dispersion)研究與 Reverse modelling 方法，找出排放源和並分析對鄰近區域的影響。
- (4) 除了可用以執法應用外，相關單位亦可採取諸如噴灑異味中和劑和異

味抑製劑的步驟來控制和減輕異味的產生，以降低民怨。



圖 7-19、微型感測器應用於監控垃圾場空氣品質

#### 5. 房地產業者運用空品資訊進行加值應用：

- (1) 英國 SearchSmartly 公司和 Central Office of Public Interest (COPI, 社區利益公司) (addresspollution.org) 合作，於 2020 年成為全球第一個在網站提供物件之當地空品分級資訊的房地產公司。
- (2) 空品資訊來自倫敦皇家大學(King's College)所開發監測之 London Air quality Networks，並採用 NO<sub>2</sub> 濃度進行分級，精準度可達 20 平方公尺。
- (3) 這類合作關係預計將改變遊戲規則，除了原有學校、商場、購物等考量因素外，更為自己家人的健康納入考量。

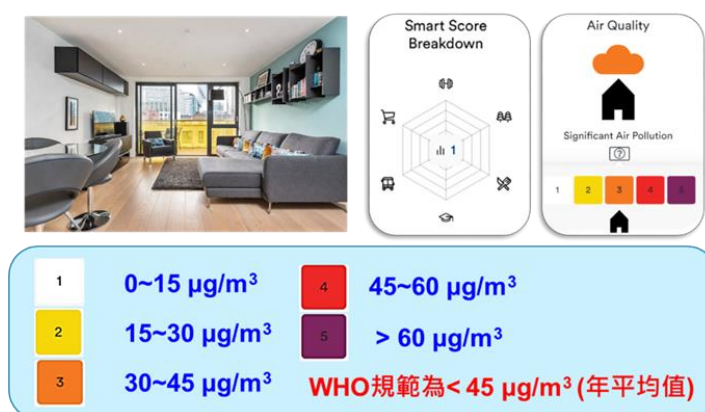


圖 7-20、房地產物件結合空品資訊之加值應

#### 四、結論與建議

##### (一) 建議

1. 許多國家近年來紛紛投入智慧城市的推動與實行，搭配日建完善與趨嚴之法規制訂，未來空品感測物聯網的市場規模與產值，將呈現持續增長態勢。
2. 空品感測器技術發展大多已日漸成熟，市場後進者欲打破目前主要關鍵業者把持態勢，考量到研發成本與時間壓力下，市場障礙委實不低，也使得部分新創或欲轉型業者投入感測器開發之態度趨向保守。
3. 相較於不易打破既有壁壘的感測器市場，跨域應用之創新系統解決服務方案，近年來呈現蓬勃發展之勢，應用領域包含從環境治理到智慧生活、永續發展等，相當多元。

##### (二) 建議

根據國際發展趨勢與我國產業結構釐量之研析結果，建議如下：

1. 善用產業發展基礎，開發市場利基性產品：善用既有技術，結合產業生態鏈相關資源，開發並行銷具市場利基之創新產品或服務(空品即時監測、預報、決策建議等)。
2. 以既有市場產品為載具，提供獨特功能應用：利用既有市場產品為載具(如：車輛、路燈)，尋求需求痛點，開發並行銷具市場利基之創新產品或服務。
3. 建構客製化數據分析與雲端/邊緣運算平台：依據各項環境監控與設施管理需求(如智慧建築、智慧工廠等)，於雲端與邊緣端建置各種客製化資料分析平台。
4. 智慧城市創新解決方案國際輸出合作：可參卓全球智慧城市示範應用案例，打造符合不同城市特色需求之感測+AI+5G 創新方案輸出海外。

## 7.5、提升一站式推廣中心服務

### 7.5.1、空品物聯網一站式推廣中心

#### 一、國內物聯網產業聯盟資訊與鏈結

106 年度國內已籌組了與物聯網相關的 8 個聯盟與協會。107 年度為了全面加速臺灣人工智慧產業的發展，更由臺灣雲端物聯網產業協會與臺灣物聯網產業技術協會分別倡議籌劃以鏈結臺灣 AI 系統生態系與 RISC-V 生態系資源，推動「AI 產業化」與「產業 AI 化」，可見物聯網產業的發展趨勢，正逐步朝 AI 人

工智慧技術集成。109 年度將持續更新國內相關物聯網產業聯盟資訊，達到彼此交流學習的目的，並鏈結 20 大產業聯盟與協會（詳如表 7-3 所示），除了協助物聯網相關產業推動跨領域合作外，更以提升國內物聯網產業在國際間的競爭力為宗旨。

表 7-3、109 年度二十大產業聯盟簡介與涵蓋領域

項次	產業聯盟	簡介/宗旨目的	涵蓋領域
1	臺灣區塊鏈大聯盟	1. 驅動「區塊鏈+」。 2. 發展數位經濟。	◆ 農業 ◆ 醫療 ◆ 金融 ◆ 能源 ◆ 供應鏈
2	臺灣 RISC-V 聯盟 (新增)	1. 推廣 RISC-V 技術。 2. 導入 RISC-V 開放架構。 3. 串聯海內外 RISC-V 生態系資源。	◆ 半導體
3	臺灣工業物聯網應用協會 (新增)	1. 致力推廣「TANGRAM」成為工具機物聯網規範。 2. 建立工具機物聯網應用平台，提供感測器數據的連結及分析，為工具機零組件、整機廠、最終加工客戶提供功能模組。	◆ 網聯科技 ◆ 工具機零組件廠 ◆ 整機廠
4	LPWAN 物聯網網路技術與應用產業聯盟 (新增)	1. 雲端平台智慧排程演算法。 2. LPWAN 雙向通訊技術。 3. 雲端物聯網數據蒐集與分析平台。 4. 物聯網感應器平台與安全傳輸技術。	◆ 農業 ◆ 醫療 ◆ 無人機 ◆ 社群 ◆ 行動支付
5	中華物聯網聯盟	1. 促進兩岸物聯網產業會員的互動與了解、增進產業合作、凝聚產業力量及創造共榮的產業環境。 2. 推動兩岸攜手共創物聯網大業，確立大中華地區成為全球物聯網發展的領先地位。	◆ 能源環保 ◆ 感知網路 ◆ 運輸交通
6	信任物聯網聯盟	1. 發展和設立開源區塊鏈協定的標準。 2. 建立信任的物聯網生態系統元。 3. 連結加密和註冊者身分以及元數據 (Metadata)，並給予萬物 (Things) 數位「出生證書 (Birth Certificate)」。	◆ 區塊鏈 ◆ 開源開發
7	臺灣 AI 系統聯盟	1. 超高速跨平台多機 GPU 互連技術。 2. DNN System Software Stack。 3. 應用軟體整合開發環境。 4. Bare Metal Provisioning 導入應用場域及建立商轉案例。	◆ 智慧城市 ◆ 智慧製造 ◆ 智慧醫療 ◆ 智慧交通
8	工業物聯網聯盟	1. 提升跨工業領域的兼容性與安全性。 2. 進行運作架構、技術框架、安全防護與開發環境協議整合。	◆ 能源 ◆ 醫療 ◆ 製造 ◆ 運輸 ◆ 公共領域
9	Super TaiRa 聯盟	1. Super TaiRa 無線通訊技術開發。	◆ 智慧城市通訊 ◆ 交通通訊 ◆ 救災通訊
10	健康物聯網產學醫	1. 解決醫療臨床痛點、提升精準醫療診斷、減	◆ 物聯網

項次	產業聯盟	簡介/宗旨目的	涵蓋領域
	研聯盟	少健康物聯網產業供需落差。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 大數據</li> <li>◆ 人工智慧</li> <li>◆ 臨床情境</li> </ul>
11	臺灣資通產業標準協會	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對未來資通技術的發展，選定臺灣適合領域。</li> <li>2. 制定產業標準，推進至國際標準，提升國內產業競爭力。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 前瞻行動通訊</li> <li>◆ 網路通訊</li> <li>◆ 裝置聯網</li> <li>◆ 影音服務通訊</li> <li>◆ 網路與資訊安全</li> <li>◆ 檢測與認證</li> <li>◆ 智慧綠建築資通訊</li> </ul>
12	亞太物聯網協會	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 協助提升資訊業者、通訊業者、汽/機/自行車業者、農產業者、系統整合業者、網路服務業者、觀光業者、交通運輸業者等行業創造物聯網產業價值鏈之國際競爭力。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 資通訊</li> <li>◆ 車輛</li> <li>◆ 農業</li> <li>◆ 觀光</li> <li>◆ 交通運輸</li> </ul>
13	亞洲矽谷物聯網產業大聯盟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 面向產業需求，由技術研發、場域驗證到國際輸出。</li> <li>2. 建立物聯網國家隊進軍國際。</li> <li>3. 建立平台孕育更多新創產業。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 智慧交通</li> <li>◆ 智慧物流</li> <li>◆ 智慧製造</li> <li>◆ 智慧效能與環境監控</li> <li>◆ 智慧商業</li> <li>◆ 智慧家庭</li> <li>◆ 智慧農業</li> <li>◆ 智慧醫療解決方案</li> </ul>
14	臺灣智慧城市產業聯盟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 推動智慧城市發展。</li> <li>2. 拓展國內外智慧城市商機。</li> <li>3. 進行跨業交流，舉辦各種活動促進物聯網技術及產品的廣泛應用。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 智慧交通</li> <li>◆ 智慧健康</li> <li>◆ 智慧安控</li> <li>◆ 智慧政府</li> <li>◆ 智慧能源</li> <li>◆ 智慧建築</li> <li>◆ 智慧創新</li> </ul>
15	臺灣物聯網產業技術協會	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 運用半導體產業鏈優勢推動上中下游產業技術標準與規格。</li> <li>2. 推廣前項產業標準以擴展在兩岸及國際的影響力。</li> <li>3. 協同國內相關產業向外參與兩岸及國際交流活動。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 半導體</li> <li>◆ 車聯網</li> <li>◆ 智慧及精準醫療</li> <li>◆ 智慧工業</li> <li>◆ 智慧安全</li> </ul>
16	亞太電信物聯網聯盟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 打造一個能支撐上億臺 IoT 裝置的應用開發平臺。</li> <li>2. 借助 LoRa 網路傳輸技術，來布建城市級 IoT 應用的感測網路。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 智慧生活</li> <li>◆ 智慧城市</li> <li>◆ 即時資訊</li> <li>◆ 追蹤路況</li> <li>◆ 智慧家電</li> <li>◆ 穿戴裝置</li> <li>◆ 居家安全</li> <li>◆ 擴增實境</li> </ul>
17	物聯網智慧感測產業聯盟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提供研發整合平台，加速國產感測器量產與軟硬整合與試點驗證。</li> <li>2. 提升產品差異化，同時串聯各產業上中、</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 智慧感測器</li> <li>◆ 設備智能化</li> </ul>

項次	產業聯盟	簡介/宗旨目的	涵蓋領域
		下游。	
18	亞洲物聯網聯盟	1. 建構智慧物聯網產業鏈。 2. 促進國際物聯網交流。 3. 搶先贏得物聯網商機。 4. 凝聚成員組織向心力。	◆ 智慧工業 ◆ 智慧零售 ◆ 智慧農業 ◆ 智慧家庭 ◆ 智慧辦公室 ◆ 智慧城市 ◆ 智慧建築 ◆ 智慧健康
19	臺灣雲端物聯網產業協會	1. 推動基礎架構、平台及軟體服務（IaaS、PaaS、SaaS）臺灣三大類雲端應用服務。 2. 發展高度軟硬體整合的雲端系統平台，充份結合能源科技（ET）。 3. 朝系統解決方案及軟體服務的結構轉型。	◆ 基礎架構 ◆ 平台 ◆ 軟體服務
20	臺灣物聯網協會	1. 結合產、學、研共同推動整合國內外物聯網相關資源。 2. 使產業結構升級並提高生產效率與能源利用效率。 3. 促進產業與政府、國際間合作。	◆ 商情交流 ◆ 產品應用 ◆ 產業推廣 ◆ 技術認證

（資料來源：本計畫整理）

如將聯盟專屬領域分類分群，目前新興的物聯網產業聯盟或協會，已從資通訊安全與加密，朝 AI+IoT（人工智慧+物聯網）邁進，逐步發展推動 AI 邊緣運算系統，並建立 AI 垂直領域試煉場域，來加速 AI 產業化。其 20 大產業聯盟與協會差異分析如下：

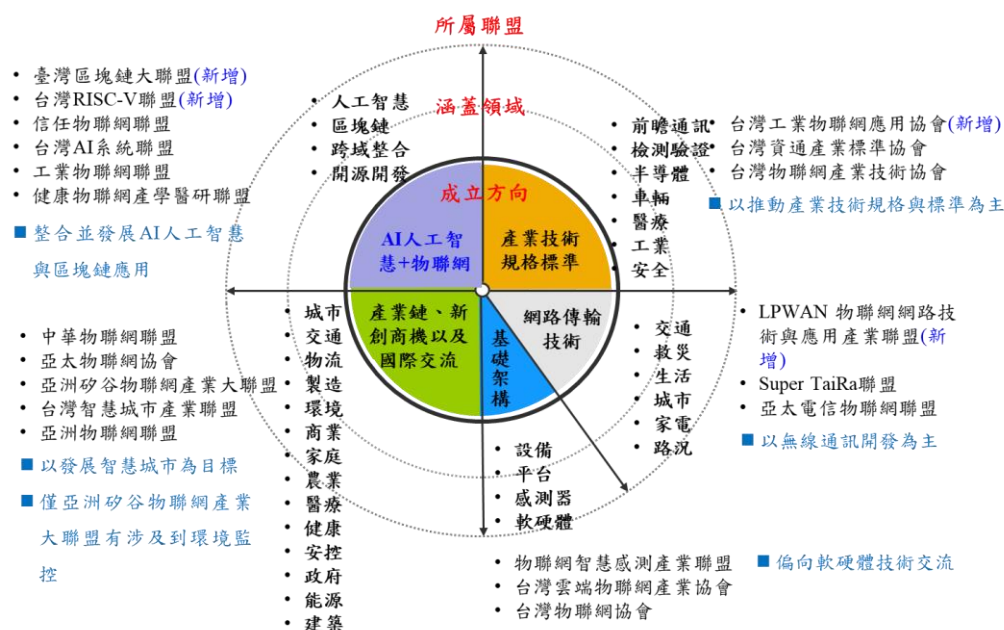


圖 7-21、20 大產業聯盟與產業差異分析



## 二、國內業者環境品質物聯網開發情形

109 年度將持續更新國內具環境感測器研發或生產的相關業者，詳如表 7-4 所示，針對其環境監測的類型，所運用的網路技術，以及最新商品名稱更新，並做為未來合作交流的參考對象。而亦因為科技日新月異，愈來愈多的感測器開發業者亦已跨領域整合，除了環境感測器更兼具與其相容的網路傳輸技術甚至是終端產品的開發，將觸角延伸至與環境相關的感測感知設備、各式無線網路傳輸、雲端平台資料庫以及終端應用商品等。

表 7-4、國內業者環境品質物聯網開發情形

項次	企業名稱	涵蓋領域		
		環境監測類型	運用網路技術	最新商品名稱（僅列代表商品）
1	巨晶實業有限公司	PM <sub>2.5</sub> &PM <sub>10</sub> /溫度/濕度/CO <sub>2</sub>	-	IAQ-Pro 室內空氣品質監測器
2	富鴻網（股）公司	溫度/濕度/PM <sub>2.5</sub>	4G	微型戶外空氣品質感測器
3	騰暉電子有限公司	CO/CO <sub>2</sub> /PM <sub>2.5</sub> /HCHO/TVOC/濕度/溫度	Wi-Fi	IAQ Master 七合一室內空氣品質偵測器
4	泰仕電子工業（股）公司	溫度/濕度/PM <sub>2.5</sub> /VOCs	-	PM <sub>2.5</sub> 空氣品質偵測計
5	久德電子有限公司	溫度/濕度/CO <sub>2</sub> /PM <sub>2.5</sub>	j-MoniSoft、Wi-Cloud	六合一室內空氣品質偵測器
6	銘祥科技實業（股）公司	CO/CO <sub>2</sub> /PM <sub>2.5</sub> /HCHO/TVOC/濕度/溫度	Wi-Fi	IAQ Master 七合一室內空氣品質監測器
7	宇田控制科技（股）公司	溫度/濕度/CO <sub>2</sub> /PM <sub>2.5</sub>	-	多功能 PM <sub>2.5</sub> 室內空氣品質監測器
8	三普儀器有限公司	O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 、NO、CO、SO <sub>2</sub> 、VOCs、H <sub>2</sub> S、CO <sub>2</sub>	Wi-Fi	RAESite Pro 緊湊型空氣品質監測站
9	弘宇儀器有限公司	CO/CO <sub>2</sub> /PM <sub>2.5</sub> /TVOC/甲醛/溫濕度	-	空氣品質監測儀
10	銓盛電子（股）公司	PM <sub>2.5</sub> 、CH <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 、溫濕度	Wi-Fi	無線空氣品質感測器

（資料來源：本計畫整理）

目前國內企業在環境監測種類的技術仍以空氣品質感測居多，且有逐年上升的趨勢，大多涵蓋 PM<sub>2.5</sub> 的監測，運用的網路通訊技術涵蓋 4G、NB-IoT、GPRS、Wi-Fi、LoRa、BLE(藍芽)以及 ZigBee 等，且開發出來的終端應用產品，功能也傾向多合一且可擴充模組的空氣品質偵測為主。

### 三、產業資訊交流平臺

有鑑於環境物聯網相關聯盟成員應如其他產業聯盟，具橫跨專業的環工背景人員、檢測儀器設備、網路雲端平臺技術以及終端商品設計開發業者，因此本工作將所蒐集之各環境物聯網產業資訊透過「臺灣環境物聯網」網站內公開分享相關有價值之內容，而產業資訊交流平台依主題分成三大部分，詳如圖 7-22 所示，並分述如下：

1. 各產業環境物聯網發展進程：不斷彙整國內外物聯網發展進程，作為政府單位、產業界、學術界、研究單位以及民眾資訊交流的有力後盾。
2. 自主布建情形：提供出全國空氣品質感測器布建點藍圖，提供各學研單位與全國業者自主布建策略、布建點位以及設備規格，使國內布建發展概況公開透明化，供有興趣的產業、企業、人員、單位或組織自發性參與，以期有跨領域結合的機會，共同帶動環境物聯網的整體商機。
3. 市售環境感測商品：提供各界已通過本計畫通過審查且具公信力機關驗測之各種型態之市售空氣感測元件，公開感測商品、元件圖片、偵測原理、產品規格與產品應用以及相關驗測報告，以公開且透明化的作法，提升空氣品質感測器之品質水準。

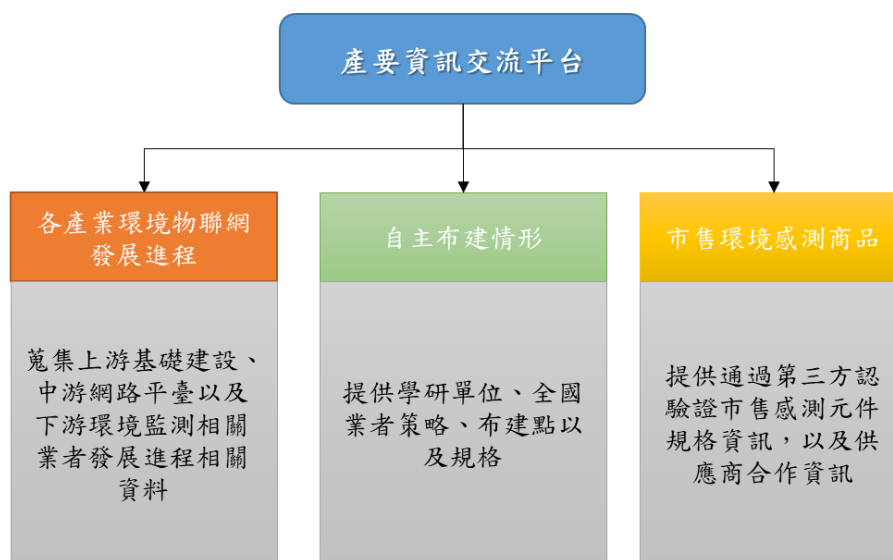


圖 7-22、產業資訊交流平台內容架構

#### 7.5.2、臺灣環境物聯網網站管理及維運

##### 一、前言

延續去(108)年所建置的「臺灣環境物聯網」宣傳網站，已整合我國環境物

聯網成果、促進產業交流與吸引外界注意等三大方向，並取得無障礙 AA 標章。網站功能架構，包含八大主題「計畫願景」、「布建維運」、「空品小故事」、「公民科學」、「技術產業化」、「空品大小事」、「感測器認驗證」、「參考網站」。

## 二、工作執行方法

為提升整體環境物聯網推動成果有效利用，本年度將持續營運宣傳網站加值工作，蒐集環境物聯網相關子團隊，可對外公開宣傳之文案資料，藉以提升網站豐富度與觀看者的動機與問題解決，促進與民眾、空氣品質業務相關單位人士溝通環境感測近程規劃、分析數據結果、環境小故事的效益。分眾提供服務主要內容說明如下表 7-5。

表 7-5、臺灣環境物聯網網站服務內容

效益及目的	目標受眾	策略	主要內容	分項
建立屬於本計畫之自媒體，向一般民眾與媒體溝通本計畫作法及效益，以增加正向與支持促進未來官民企多方合作共同建立美好環境	一般民眾與媒體	以政策理念為骨幹，匯集所有相關計畫業務內容，包含數據與分析為材料與多媒體為素材，廣宣空品保護動機措施與成果故事	1.關於我們	1.1 計畫目標 1.2 計畫進程
			2.推動方案	2.1 布建維運 2.2 技術推廣 2.3 感測器
			3.空品感測原理(增加)	3.1 相關空品感測器原理介紹說明 - 國家監測站 PM <sub>2.5</sub> 監測儀器原理 - PM <sub>2.5</sub> 微型感測器偵測原理 - 空氣盒子偵測原理 - 如何正確解讀空品數據？談不同空污微型感測器的差異
			4.公民科學	4.1 空品資訊小百科 4.2 空品污染概念圖解
			5.空品小故事(修正)	5.1 最新文章 5.2 感測物聯網成果 5.3 空品科普小知識 5.4 感測展示與分析 5.5 環境感測智慧稽查 5.6 社群參與和應用推廣
			6.活動公告	6.1 活動詳細說明介紹
			7.參考網站	7.1 其他相關空品環境網站外部連結

### 三、工作執行成果

#### (一) 網站無障礙規範：

申請標章前，網站已依照環保署內無障礙檢核標準進行審核；並且已通過全網站之軟體檢測(Freego2.0)，依規範 2.0 稽核評量碼內容於 7 個工作日內完成自我評量。已於 2020/1/14 確定通過「網站無障礙規範 2.0 版」之 A+ 等級要求，涵蓋且優於「無障礙網頁開發規範 1.0」之 A+ 等級之要求。網站整體網頁是符合無障礙，網站底部編排也符合署內要求的基本公開要件，與導覽功能，同時提供返回鍵提升瀏覽度。



圖 7-23、無障礙檢核標章圖示

#### (二) 全網站 Banner 提案更新與修正

##### 1. 首頁介面

本年度將首頁以清新可愛卡通為主體，整體綠意盎然搭配清晰的天空背景，凸顯空氣品質的優化意境。頁首頂部提供各主題內容入口，透過跟隨扁平式選單滑動滾輪操作動作，並提供不同字體大小切換與網站關鍵字搜尋功能。



圖 7-24、網站首頁介面(輪播)

## 2. 推動方案

介面涵蓋布建維運、技術推廣及感測器介紹，依據目前執行現況除修正介面瀏覽風格外，更新廠商資訊及布建點位說明。

### (1) 布建維運介面

由 106 年持續增加至今以全程 10,200 個布建點位，更新全國布建地圖以及增加設備商與其相關資訊，以廣宣臺灣於空氣物聯網的感測點布建數量及位置，讓民眾了解關切區域感測器與全國布建藍圖。



圖 7-25、布建維運介面

## (2) 技術推廣

分類彙整 PMO 計畫研討會及成果，累積至今已參與相關大型展覽(如 2019 資訊月智慧聯網環境新願景、2019 臺灣國際智慧物聯網應用展及 2019 科博館民生公共物聯網主題特展)及研討會辦理(如環境物聯網產業媒合暨創新研發成果發表會)，藉由辦理及參與持續推廣環境物聯網執行成效。除此之外民眾也能了解有哪些相關社群管道能參與空品物聯網相關計畫，共同為環境優化付諸行動。



圖 7-26、技術推廣介面

## (3) 感測器介面

依據布建廠商增加而增添臺灣空氣感測元件線上型錄與型式驗證報告。型式驗證是為了有效掌握中央及地方單位目前已廣布型空氣品質感測器監測數據準確性、精確性與完整度。



圖 7-27、感測器介面



#### (4) 空品感測原理介面

增加空品感測原理分類，主要調整過去查閱空品感測原理文章的繁瑣及不易尋找到內容之不便性；以淺顯易懂的方式讓使用者閱讀中更容易了解感測器之間的原理差異及偵測方式。



圖 7-28、空品感測原理介面

#### (5) 空品小故事介面

在小故事區調整點擊子分類的方式，藉由篩選呈現不同類別的故事案例，分成「感測物聯網成果」、「空品科普小知識」、「感測展示與分析」、「環境感測智慧稽查」、「社群參與和應用推廣」五大類別，延續首頁的扁平式風格，在故事集頁面帶出環境物聯網應用，與故事內容文章相呼應，以平易近人的方式吸引使用者閱讀故事內容。



圖 7-29、空品小故事介面

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論：

1. 建立物聯網產業聯盟資訊，蒐集國際環境品質感測元件、物聯網應用資訊蒐集及整理業者環境品質物聯網開發情形，持續建置「臺灣環境物聯網」宣傳網站，網站涵蓋「計畫願景」、「計畫進程」、「布建維運」、「技術推廣」、「感測器」、「空品感測原理」、「公民科學」、「空品大小事」、「參考網站」藉以提升網站豐富度與觀看者的動機與問題解決，同步宣導並教學如何使用相關網站，並提高應用平台的使用率，藉此提供多元稽查管道供稽查人員查看污染事件及民眾陳情案件。
2. 更新網站相關內容，並載入更多資訊及滾動式調整可適切之瀏覽方式，並定期更新網站各大議題之 Banner 美編及整體視覺產出。同時，依據環保署資網站檢核標準，修正物聯網網站資料，持續進行無障礙程式碼維運與修正。

##### (二) 建議：

1. 檢視將如何與環保署網站結合，廣宣本計畫執行持果，並持續增加網站內容可讀性及閱覽率，讓普羅大眾能更理解環境物聯網成效與事蹟。
2. 建議國內物聯網產業聯盟資訊與鏈結能有更精進的聯繫方式，對於國內感測器技術推廣能提供有效的推撥管道，讓世界看見臺灣的技術發展與政府的推廣成效。

## 7.6、擴大產業交流與合作

### 一、前言

在環境污染問題日益受到關注的驅策下，可望加速微型感測器應用商機成形，未來感測器可望導入更多的穿戴裝置、手機、空氣清淨機、恆溫器、視訊監控、車載安全系統...等載具，以不同面貌遍布於未來之物聯網世界。是以國內環境品質物聯網之應用情境不應侷限於環境品質執法監測範疇，更可多元應用於不同情境，以擴大市場並達到產業加值效益。此外為了協助空品物聯網應用推動與執行，並進行產業開展，本計畫預計於今年完成洽談 2 件國內環境品質感測應用服務合作，並辦理產業座談會至少 3 場次，以協助媒合促成產業跨域合作，健全產業鏈發展。

## 二、工作執行方法

### (一) 工作執行流程圖

執行內容預計以居家安全、運輸排放、工安監測等跨域應用主題中，辦理產業座談會 3 場次以上，而每場至少 8 家相關業者參與，由專案辦公室提供相關產業分析、技術能量、政策資源等資訊予業者，並安排國產感測元件開發團隊與業者進行交流，期望由專案辦公室協助媒合促成產業跨域合作，健全產業鏈發展，並達到加值跨域應用。

### (二) 工作執行期程規畫與查核點

執行期程規畫為 109 年 2 月至 109 年 11 月底止，查核點為於 109 年之第 2、3、4 季中，至少各辦一場次產業座談會，並在各場次會議結束後，完成一份座談報告。

## 三、工作執行成果

### (一) 產業座談會

原先規劃於 109 年之第 2、3、4 季中，至少各辦一場次產業座談會，希望藉由舉辦產業座談會，除可讓業者了解更多政策資源與國際發展趨勢外，亦可藉此收集業者之意見與需求回饋，同時依據業者之技術能量與互補性，可加速媒合促成與國產感測元件開發團隊之介接與合作。但礙於新冠肺炎疫情影響，改於 109 年 8 月及 11 月舉辦，完成共計 3 場次。詳情如下：

#### 1. 第一場次：

(1) 主題：空氣品質感測技術的發展近況

(2) 日期：109 年 8 月 10 日

(3) 出席名單：

A. 業者 17 家，計 38 人。包含：電信商：中華電信、遠傳、亞太、富鴻網；設備商：廣域、柏昇、維新應用、智感雲端、捷思環能、經昌科技、銘祥科技；系統整合業者：昱山環境、思維環境；平台業者：卡米爾；其他：增誠科技、粧研、依德科技

B. 學術單位（共 5 人）：交通大學、高雄科技大學

C. 法人/公協會（共 5 人）：工研院、臺灣 PM<sub>2.5</sub> 監測與控制產業發展協會

D. 政府單位（共 5 人）：行政院科技會報辦公室、行政院環保署

(4) 會議摘要：

A. 低濃度的 PM<sub>2.5</sub> 監測器及感測器易產生誤差。

- B. 主要影響感測器準確性的因素為  $PM_{2.5}$  濃度、溫濕度及採樣流量。
- C. 低濃度時( $<15 \mu g/m^3$ )，建議品質標準的均方根差(RMSE)小於  $10 \mu g/m^3$ ，不要以 MNE 為標準。
- D. 採樣流量需要提高才能增加準確性及量測  $PM_{10}$ 。
- E. 透過感測技術發展近況與趨勢，提供業者未來開發感測器精進優化方向。



圖 7-30、產業交流座談會-1

## 2. 第二場次：

- (1) 主題：科技賦能感測智聯（提供 EIoT 應用發展趨勢與商機資訊，並藉由跨領域異業之間的交流，促進產業開展）
- (2) 日期：109 年 8 月 10 日
- (3) 出席名單：
  - A. 業者 17 家，計 38 人。包含：電信商：中華電信、遠傳、亞太、富鴻網；設備商：廣域、柏昇、維新應用、智感雲端、捷思環能、經昌科技、銘祥科技；系統整合業者：昱山環境、思維環境；平台業者：卡米爾；其他：增誠科技、粧研、依德科技
  - B. 學術單位（共 5 人）：交通大學、高雄科技大學
  - C. 法人/公協會（共 5 人）：工研院、臺灣  $PM_{2.5}$  監測與控制產業發展協會
  - D. 政府單位（共 5 人）：行政院科技會報辦公室、行政院環保署
- (4) 會議摘要：

- A. 感知科技與時俱進，衍生多樣創新應用價值。
- B. 介紹國際結合 AI、5G 應用於環境物聯網案例。
- C. 環境污染、能耗、安全驅動環境 IoT 應用科技商機。
- D. 環境 IoT 感測智聯三大發展建議方向：
  - (A) B2G：智慧城市創新解決方案國際輸出合作
  - (B) B2B：建構客製化數據分析與雲端/邊緣運算平台
  - (B) B2C：尋找用戶需求痛點建立殺手級應用方案



圖 7-31、產業交流座談會-2

3. 第三場次：

- (1) 主題：空氣品質感測物聯網未來規畫與產業契機
- (2) 日期：109 年 11 月 10 日
- (3) 出席名單：
  - A. 業者 13 家，計 25 人。包含：電信商：中華電信、遠傳、亞太、富鴻網；設備商：廣域、柏昇、維新應用、智感雲端、捷思環能、經昌科技；系統整合業者：昱山環境、思維環境；平台業者：卡米爾
- (4) 會議摘要：
  - A. 環保署下一期前瞻計畫（110 年 - 114 年）主題為智聯網-跨世代環境治理計畫，包含：
    - (A) 最適化空氣品質感測物聯網
    - (B) 最佳化水質感測物聯網
    - (C) 噪音/電磁波監測
    - (D) 發展智慧應用最佳服務

(E) 移動感測聯網創新服務

(F) 發展自動化環境污染管理系統

B. 未來展望：藉由透明開放、協作共創、分享互惠，提升技術與產業創

C. 產業契機：相關產業鏈，包含感測元件、通訊、雲端平台、系統整合、應用服務等，可即早布局，包含投入技術面研發、或是尋求合作夥伴等，藉由國內政策及計畫推動，於臺灣場域驗證，建立能量與累積實績，作為輸出國際之踏板。

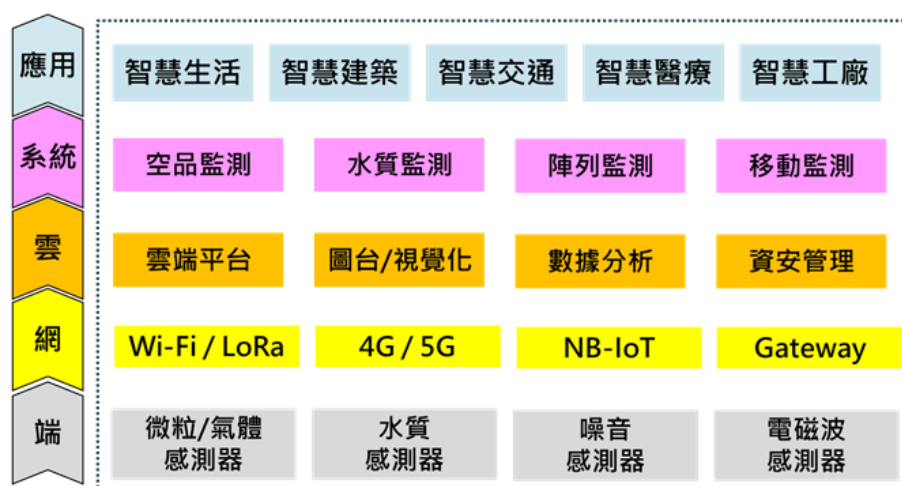


圖 7-32、智聯網-跨世代環境治理計畫之相關產業鏈架構圖

## (二) 跨域合作案

專案辦公室積極透過產業座談會、訪廠、參加研討會等，與相關產業鏈進行跨域合作案討論，成果如下：

1. 與 Gogoro 進行合作洽談，目前將空品感測模組放置於 Gogoro 電池交換站進行實際場域感測測試，後續研擬將空品感測裝置裝設於電動機車上，進行移動感測應用，並於電池交換站與固定式感測系統進行定期校正比對。
2. 與慈濟醫院大林分院洽談合作，規劃將空品感測裝置裝設於醫院內部及外部周遭，提供即時空品資訊予醫護人員及病人、家屬等，可依即時空品資訊，進行行動決策參考。例如住院病人可決定是否要至院區外活動，或是是否該配戴口罩等。
3. 已與中華電信完成合作洽談，未來將擬由工研院提供移動感測技術與中華電信之影像、車牌辨識技術合作，進行跨域加值應用，並已協助中華



電信與玉山環境科技、則葳實業共同申請經濟部工業局產業升級創新平台輔導計畫：「新世代空品數據服務與智慧城市治理平台」，將開發國產自製 O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 感測模組、複合感測設備(O<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub> + PM<sub>2.5</sub>)、移動感測設備與智慧平台，預計布建驗證場域包含：港區、大都會市區、室內停車場。進行空品資料感測蒐集，並提供行動決策予民眾。並善用感測器對移動污染源排放之反應特性，裝設於車輛載體上，協助辨識高污染排放車輛，進而繪製出交通動線上之污染濃度分布，作為未來針對區域交通污染管制之評量基礎，研訂交通管制策略之參考依據，以防堵移動污染源造成之空氣污染。同時將數據傳送至資料平台，並分析感測數據資料提供加值應用服務機制。目前規劃驗證場域包含：

### (1) 港區污染監測

- A. 利用陸域固定式感測系統，搭配 CCTV、影像辨識系統，共同監控港區陸域污染排放情形及突發逸散事故。
- B. 藉由平台開發定義符合環保署判斷條件，定義設備異常及環境異常兩大類型事件，提供預警通報依據，有效縮短設備故障的發現時間及化學貨櫃、容器洩漏或港區船舶進出港造成污染事件的應變決策時間。
- C. 結合空污溯源分析、鄰近國家級測站、現場布建設備 PM<sub>2.5</sub> 感測數值經關聯性數據分析判斷結果，建議管控船舶進出及船速。
- D. 港區主要排放源與污染物如圖 7-33 所列：
- E. 應用情境與效益如圖 7-34 之說明

排放源	污染物
	
<input type="checkbox"/> 遠洋船舶 (Ocean-Going Vessels, OGV)	<input type="checkbox"/> 氮氧化物(NO <sub>x</sub> ) ★
<input type="checkbox"/> 港區內作業船舶 (Harbor vessels)	<input type="checkbox"/> 揮發性有機物(VOC)
<input type="checkbox"/> 鐵道車輛 (Rail locomotive)	<input type="checkbox"/> 一氧化碳(CO)
<input type="checkbox"/> 貨物裝卸設備 (Cargo handling equipment)	<input type="checkbox"/> 二氧化硫(SO <sub>2</sub> ) ★
<input type="checkbox"/> 重型車輛 (Heavy-duty vehicles)	<input type="checkbox"/> 細微懸浮微粒(PM <sub>10</sub> 、PM <sub>2.5</sub> ) ★
	<input type="checkbox"/> 柴油引擎微粒(DPM)
	<input type="checkbox"/> 溫室氣體(CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> O、CH <sub>4</sub> )

圖 7-33、港區主要排放源與污染物



圖 7-34、港區污染監測應用情境與效益

## (2) 都會區行動建議服務

- 將移動感測系統安裝於移動載具（公車或垃圾車等），於特定區域內進行移動感測，將污染地圖從單點、單線呈現擴大為面化的方式，並且可搭配高解析鏡頭結合影像辨識技術進行輔助污染車輛稽查之應用。
- 可介接交通局即時車流資訊，進行尖峰/高污染時段之交通分流策略之參考。
- 應用情境與效益如圖 7-35 之說明



圖 7-35、都會區行動建議服務之應用情境與效益

## (3) 室內停車場空品監測

- A. 將移動感測系統安裝於移動載具（公車或垃圾車等），於特定區域內進行移動感測，將污染地圖從單點、單線呈現擴大為面化的方式，並且可搭配高解析鏡頭結合影像辨識技術進行輔助污染車輛稽查之應用。
- B. 可介接交通局即時車流資訊，進行尖峰/高污染時段之交通分流策略之參考。
- C. 應用情境與效益如圖 7-36 之說明



圖 7-36、室內停車場空品監之應用情境與效益

## 四、結論與建議

## (一) 結論

1. 藉由辦理產業座談會，邀請產業鏈各業者參與討論，專案辦公室並報告國際發展趨勢、國內推動政策與資源分享予業者，並了解業者的需求與未來規劃，進而協助媒合業者異業結合，進行展業開展。
2. 同時為了將應用領域從環境治理擴大到其他領域，專案辦公室積極協助與業者進行跨域應用，包含新服務模式、場域測試規畫、技術合作等關鍵議題之討論，今年度已促成包含與中華電信、昱山環境、則葳實業、Gogoro、慈濟醫院等跨域合作，涵蓋環境治理、智慧生活、智慧醫療等領域。後續隨著雙方合作之進行，可望將成果更加擴散，達到健全我國環境物聯網生態系與產業加值之效益。

## (二) 建議

根據國際發展趨勢與我國產業結構之研析結果，建議如下：

1. 國內目前包含經濟部技術處、工業局、中小企業處等，雖均有資源提供

補助予產業進行技術、產品或服務模式之開發，然與廠商交流過程中發現，多數有意投入環境物聯網領域之業者，不少受限於技術能量不足，或是對於目前內需市場不足，以及商業模式不夠明確（現多以政府標案為主，且利潤過低，規範要求繁瑣），對於投入環境領域之設備或是應用方案的開發，抱持猶豫觀望態度，建議未來環保署與經濟部相關局處討論，結合目前縣市地方政府之智慧城鄉計畫，採用政府出題，業者解題模式，提高業者參與意願，並藉由執行政府計畫，於國內場域進行練兵的模式，同步提升業者整體競爭力。

2. 國內真正投入空氣品質感測器的業者委實不多，然其實新創公司中存在著不少深具創新能量的團隊，建議政府單位可以視情況調整標案資格限制，或是用小額採購方式，鼓勵更多具研發能力之公司投入環境物聯網相關開發。

## 7.7、國際參訪與研討

### 一、前言

本工作項目將持續蒐集國際物聯網、智慧城市展覽活動及研討會資訊，並擇 2 場以上進行參訪，研提參訪報告。參訪地區以歐美為優先（每場原則 7 日、1 人以上），並需經環保署同意。

### 二、工作執行方法

為能後續推廣環境物聯網理念、了解國外產業動態，以及與國外專家深度訪談，本團隊擬由物聯網、環境品質物聯網、智慧城市、感測器及元件、數據傳輸、分析應用、產業分析及預測等主題，搜尋國際重要環境物聯網會議場次，擇 2 場以上進行參訪。

### 三、工作執行成果

#### （一）WWEM 2020 - Water, Wastewater and Environmental Monitoring

本研討會與 The 11th International Conference and Exhibition on Air Quality and Emissions Monitoring (AQE 2020)在同一地區展出。為瞭解國外空氣、水質監測發展重點，擬參加 11/11~11/12 舉辦於英國特爾福德(Telford)的第九屆 Water, Wastewater and Environmental Monitoring (WWEM)研討會，本研討會重點關注主題包括：

1. 國際政策及法規。



2. 環境連續監測技術與設備。
3. 數據獲取、分析及管理經驗。
4. 實驗室分析技術與經驗。
5. 場域測試及應用領域分享。
6. 新興技術及儀器介紹。

本研討會歷年來超過 150 廠商參展，提供監測、實驗室分析、場域及可攜式測試技術，可同步瞭解空氣品質監測發展重點，期藉由瞭解空水推動現況、資料分析應用及未來創新發展，並進行技術交流，提升我國環境物聯網發展之能見度。



圖 7-37、2020WWEM 研討會(<https://www.ilmexhibitions.com/wwem/>)

## (二) Air Sensors International Conference (ASIC) 2020

本研討會於美國加州舉辦，日期在 2020 年 5 月 12 至 14 日共三天，主辦單位是 UC Davis Air Quality Research Center，研討會內容幾乎以空品感測器及相關儀器應用為主，包括感測器性能介紹、認證模式及場域測試分析、數據品質與校正模式及實地場域應用案例等，本團隊已投稿 2 篇並獲得接受發表，將臺灣執行環境物聯網之實際案例分享於國際研討會。然因新冠肺炎疫情的關係，該研討會已延期至明年 5 月辦理，將持續收集相關資訊並積極參與投稿。



圖 7-38、2020ASIC 研討會 (<https://aqrc.ucdavis.edu/events/air-sensors-international-conference-asic-2020>)

### (三) 2020 SENSORS EXPO & CONFERENCE

此研討會原本預計於 2020 年 6 月 22~24 日，因新冠肺炎疫情關係延後至 11 月 16~18 日，於美國加州聖荷西市辦理，是感測器和感測相關技術的工程師和工程專業人員會參加的最大聚會。30 多年來，來自全國各地和 40 多個國家的 7,000 多名專業人士齊聚一堂，共同探索當今的感測器技術，並找到解決未來感測挑戰的解決方案。2020 年的活動預計將有 300 多家參展廠商，以及來自業界優秀的專家參與最全面的感測器研討會，提供豐富精采的活動特色和網絡機會。參加此會議將可了解全球感測器的最新發展與其應用解決方案，若要對感測器有更多的認識可以考慮參加。

The image shows a promotional banner for the Sensors Expo &amp; Conference. At the top, a blue bar contains the text '35th Super Early Bird Rates!'. Below this, the event logo 'sensors expo &amp; conference' is shown, along with the dates 'June 22-24, 2020' and the location 'San Jose'. The main heading is 'WHAT TO EXPECT AT #SENSORS20'. Below this, it states '350+ SUPPLIERS | 100+ SPEAKERS | UNLIMITED CONNECTIONS'. A paragraph follows, celebrating the 35th year of the event and highlighting the opportunity to meet with 350 sensor industry giants and explore sensing technologies. At the bottom, a blue bar with white text says 'INTERESTED IN EXHIBITING? CONTACT US TODAY!' followed by a right-pointing arrow icon.

圖 7-39、2020 SENSORS EXPO 研討會 (<https://www.sensorexpo.com/>)



#### 四、結論

原先規劃國外會議參訪之活動，因受今(109)年度新冠肺炎疫情的影響而無法參加，因此本計畫的國外參訪工項，已完成減價驗收之方式辦理。

### 7.8、擴大宣傳成效

#### 一、前言

環保署於歷年來致力於環境物聯網應用與露出，於 106 年度辦理環境物聯網成果發表、研討會及社群交流會議，107 年度辦理環境感測物聯網與產業創新研討會，108 年度以成果展示為主軸，參與 108 年度臺灣國際智慧物聯網應用展、108 年度資訊月政府館及臺中科學博物館環境物聯網展之展覽項目。計畫今年度於 8 月 10 日假高雄蓮潭會館辦理「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network」臺灣空氣感測物聯網-輸出分享及「Taiwan ITRI(工研院)-Korea Bucheon city」Air Environment IoT MOU，以臺灣廣布型空氣物聯網為起始，將環境治理的成功經驗分享給國際。環境感測物聯網關鍵成功因素包括有效的感測設備、完整的感測點布建、連續的資訊匯流及創新的分析應用等層面，故整體推動涵蓋模組研發、測試驗證、布建維護、資料中心、數據應用、智慧稽查、產業開展，透過資訊開放透明、產業協作共創、經驗分享互惠，發展前瞻應用服務，達成感測升級進化、應用跨域演化、環境治理優化之目標。

此外，為加強檢視並推廣前瞻基礎建設「建構民生公共物聯網計畫」之分項工作-「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」成果，發表現階段「環境物聯網」在智慧感測相關成果，安排於 109 年 8 月 17 日假新竹國賓飯店展示環境物聯網四年成果，以及智慧化稽查應用案例，擴大縣市參與，透過數據蒐集及潛勢熱區分析，提升智慧稽查效益。

#### 二、工作執行方法

(109)年度為 4 年前瞻計畫的最後一年，規劃協助環保署綜整前瞻基礎建設項下「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」之 4 年成果已於今(109)年度 8 月 10 日辦理「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network」臺灣空氣感測物聯網-輸出分享議程如圖 7-40 所示，另「Taiwan ITRI(工研院)-Korea Bucheon city」Air Environment IoT MOU 為 8 月 10 日下午 2 點 30 分至 3 點 30 舉辦雙方視訊簽屬會議。

**Day1(會議 102 廳)**

參與對象：縣市環保局及合辦布建廠商

時間	議程	講者
09:40-10:00	報到	
10:00-10:10	引言	環保署長官
10:10-11:50	合辦布建及數據品質提升座談會（100分鐘）	環保署、工研院、PM2.5協會
11:50-13:30	午餐	
13:30-14:00	挑戰物聯網時代（30分鐘）	張南雄（矽谷Ayla聯合創辦人）
14:00-14:30	韓國如何運用微型感測器來因應環境污染的問題(30分鐘)	李定哲 Jung-Chull Lee（韓國專家）
14:30-15:30	休息參觀展場	

**Day1(會議 102 廳)**

參與對象：所有與會人員

時間	議程	講者
15:30-15:40	副署長致詞（10分鐘）	環保署蔡副署長
15:40-15:50	特殊成果縣市表揚暨頒獎（10分鐘）	頒獎人：環保署蔡副署長 受獎人：縣市環保局代表
15:50-16:20	合辦計畫_成功案例分享（30分鐘）	報告：縣市環保局代表
16:20-17:00 (102會議室)	環境物聯網四年推動成果回顧與展望（10分鐘） 與談Q&A（30分鐘）	主持人：工研院綠能所王人謙所長 與談人： 環保署 蔡鴻德副署長 民生公共物聯網推動小組 陳永裕副召集人 成大 蔡俊鴻教授 中山 袁中新教授
17:00-18:00	Check in 蓮潭會館	
18:00-20:00	餐敘交流	

**Day1(會議 107 廳)**

參與對象：物聯網相關產業人員

時間	議程	講者
13:00-13:20	報到	
13:20-13:30	引言	環保署長官
13:30-14:00	產業專題：空氣品質感測技術的發展近況（30分鐘）	交大 蔡春進教授
14:00-14:30	產業專題：科技賦能感測智聯（30分鐘）	工研院產科國際所 紀昭吟組長
14:30-15:30	休息參觀展場	

圖 7-40、「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network」臺灣空氣感測物聯網-輸出分享議程

於 109 年 8 月 17 日假新竹國賓飯店進行環境物聯網\_空物聯網際水物聯網成果發表及展示，呈現環境物聯網四年成果，以及智慧化稽查應用案例，擴大縣市參與，透過數據蒐集及潛勢熱區分析，提升智慧稽查效益。本會議針對空氣物聯網四年成果進行展示及宣導外，並有臺灣智慧水聯網啟動記者會縣市應用交流會議，期望展示環保署在環境物聯網空水聯網的領域成果，其詳細規劃

表 7-6 所示。環境物聯網成果展示，期盼透過展示得到各界交流及經驗分享，逐步達成地方政府智慧治理、民眾參與的目標，落實臺灣永續發展—建構環境永續發展的城市與鄉村，並作為後續計畫規劃之基礎。期望本次會議能做為未來 4 年延伸推動計畫之基礎，達到「優化環境品質感測物聯網體系」、「深化環境聯網智慧應用」、「開創感測聯網前瞻技術與產業創新」3 大執行目標。

表 7-6、環境物聯網\_空物聯網際水物聯網成果發表及展示規劃

時間	議程	備註
09:50-10:20	報到/媒體接待	報到/發送新聞資料袋
10:20-10:30	署長致詞、貴賓介紹、貴賓致詞 (10 分鐘)	<u>署長及貴賓致詞</u> 1. 署長 2. 新竹市長(邀請中) 3. 工研院副院長/材化所所長
10:30-10:40	環保署水質感測器啟動儀式暨大合照 (10 分鐘)	<u>署長帶領啟動儀式</u> 內容概述： 1. 由署長、市長與申請感測器之各縣市環保局代表，點亮智慧水聯網啟動儀式，呈現中央地方共同合作。 2. 另由新竹市河川巡守隊代表接受署長移交水質感測器，顯示政府努力民眾有感。
10:40-10:45	科技之城全面啟動 點亮未來智慧城市 (5 分鐘)	<u>監資處處長引言</u> 內容概述：臺灣智慧水聯網沿革歷程 (由工研院介紹感測技術及影片呈現)
10:45-10:50	科技示範城市 (5 分鐘)	<u>新竹市環保局局長介紹</u> 內容概述：新竹市智慧城市一案例分享
10:50-11:00	媒體採訪及參觀 (10 分鐘)	<u>媒體參觀攤位及聯訪</u> 內容概述：由署內及新竹市長官帶領媒體導覽臺灣環境物聯網成果介紹，接受聯訪與合照。 1. 巡迴會場內參觀空氣物聯網成果。 2. 並進行媒體聯訪及拍照。
11:00-11:30	感測技術媒合及交流 (30 分鐘)	環保署、各縣市環保局、工研院、產業技術廠商

11:30-13:30	午宴（國賓大飯店）	
13:30-15:30	教育訓練 1 （120 分鐘）	<u>各縣市環保局承辦人、新竹市巡守隊</u> 1. 手持式感測器使用教育訓練（平台介紹含手持與移動式）（30 分鐘） 2. 手持式體驗活動（60 分鐘）
15:30-15:50	茶敘/休息（茶點供應）	
15:50-17:20	教育訓練 2 （90 分鐘）	<u>各縣市環保局承辦人</u> 1. 移動式感測器使用及維運教育訓練 2. 水科技物聯網平台教育訓練
17:20~	賦歸	

### 三、工作執行成果

本計畫透過 8 月 10 日在高雄市蓮潭國際會館辦理「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network 空氣感測物聯網-臺灣輸出分享」座談會，以合作布建、智慧應用及跨域加值為主軸，與業界專家進行成果檢視與交流，同時應韓國昌原市的邀約簽訂三階段的合作備忘錄，以臺灣的成功經驗協助韓國昌原市推動智慧城市，並解決昌原市長期所面對的環境污染問題。同時，持續拓展物聯網發展科技輔助環境治理之成效，引領臺灣成為全球環境智慧治理的標竿國家，讓臺灣的經驗輸出分享給全球各國。

此外，為加強檢視並推廣前瞻基礎建設「建構民生公共物聯網計畫」之分項工作-「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」成果，擬辦理「臺灣智慧水聯網」啟動記者會，發表現階段本署「環境物聯網」在智慧水質感測相關成果，分享本署及新竹市在環境物聯網之應用相關案例與成效，並與各縣市環保局及相關產業經驗交流，拓廣環境感測技術之應用層面。其相關會議分述如下：

#### （一）「2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network 空氣感測物聯網-臺灣輸出分享」

##### 1. 合辦布建會議及成果分享與展望座談會執行狀況

2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network 空氣感測物聯網-臺灣輸出分享，當日出席人員含環保署、長官及同仁、行政院科技會報辦公室相關人員、工研院綠能所所長及副所長、業者單位 24 家及學術單位，總計共 161 人，其會議實況如圖 7-41 所示。



圖 7-41、空氣感測物聯網-臺灣輸出分享會議

首先展開合辦布建及數據品質提升座談會，由環保署、工研院、PM<sub>2.5</sub>協會分享四個議題，縣市感測器異常事件及數據分析應用探討、各縣市感測器數據品質與績效查核說明、環境物聯網感測裝置型式驗證召回測試進度說明及縣市合辦布建感測器應用現況及第三期款請款作業說明，詳細現況，如圖 7-42 所示。



圖 7-42、合辦布建及數據品質提升座談會

專家議題由 Ayla 聯合創辦人張南雄分享了 IoT 物聯網規模與變革、物聯網的國際市場發展趨勢及實務經驗分享及物聯網的國際市場發展趨勢及實務經驗分享，讓與會了解挑戰物聯網時代議題。另有韓國專家李定哲 Jung-Chull Lee 分享韓國如何運用微型感測器來因應環境污染的問題，就韓國空氣環境污染狀況、韓國政府如何推廣低成本空氣感測器、韓國感測器於實地應用案例及經驗與未來韓國感測器國際合作的趨勢分述說明。



圖 7-43、與會的專家學者李定哲（左）及 Ayla 聯合創辦人張南雄（右）

現階段環保署與 6 都（臺北市、新北市、桃園市、臺中市、臺南市、高雄市）及 11 縣市（宜蘭縣、基隆市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、彰化縣、雲林縣、南投縣、嘉義縣、嘉義市及屏東縣）共布建 9,261 個空氣污染感測器，經本署訂定 5 階段品質管理作業下及各布建縣市，達到感測器數據品質，全面提升環境感測與應用服務效率。本次座談會亦進行縣市合辦布建會議成功案例分享及表揚，其表揚單位為臺南市環保局、臺中市環保局、高雄市環保局、桃園市環保局及苗栗縣環保局，表揚分述理由依序為稽查件數最多(突擊高手)、裁罰金額最高(罰金獵人)、異味(VOC)案件最多(嗅覺達人)、數據分析能力較強(AI 高手)及運用感測器偵測瓦斯洩漏阻止氣爆發生(抓漏能手)，並給予縣市布建環保局單位肯定及獎勵如圖 7-44 所示，並由受獎之環保局單位進行案例簡報說明。





圖 7-44、縣市布建環保局受獎說明及現況

最後，進行環境物聯網四年推動成果回顧與展望，並有與談人袁中新教授、陳永裕副召集人、蔡鴻德副署長、蔡俊鴻教授、王人謙所長及鄭名山副所長進行與談，歸納以下四點：

- (1) 環境物聯網推動 4 年成果涵蓋模組研發、測試驗證、布建維護、資料中心、數據應用、智慧稽查、產業開展，初具成效，引領環境產業開拓新的藍海市場。
- (2) 在數據時代的未來，掌握數據既掌握市場、商機與價值，期待以科技治理，提升管理的量能。
- (3) 環境的改變應由環境執法轉為智慧治理，KPI 的建立應擴大層面與深度，提升地方環保單位之價值與成就，鼓勵與激勵大家改變的動力。

- (4) 環境物聯網的成功，改變既有環工人對監測精準的價值觀，但是隨著科技技術的演進，感測數據的準確性仍要精益求精，數據的收集也要從靜態擴大到動態、平面數據朝向空間數據數據的延伸。



圖 7-45、各縣市成果分享會議及與談

## 2. 產業座談會執行狀況

2020 Taiwan Air IoTs Wide Array Network 空氣感測物聯網-產業座談，當日出席人員含環保署、長官及行政院科技會報辦公室、電信商、設備商等業者單位 17 家及學術單位，總計共 53 人。本會場進行產業主題，含交通大學環工所 蔡春進教授分享空氣品質感測技術的發展近況及工研院產科國際所 紀昭吟組長分享科技賦能感測智聯應用，現場會議如圖所示。



圖 7-46、產業座談會分享

## 3. 「Taiwan ITRI (工研院) -Korea Bucheon city」 Air Environment IoT MOU

本計畫在環保署以臺灣為驗證場域的加持下，培育出我國環境感測物聯網的產業技術能量，串聯感測裝置開發、測試驗證平台、布建巡檢維護、數據資訊分析及智慧稽查應用等技術，發展整合型物聯網產業，藉由資訊透明開放、產業服務協作共創、國際策略聯盟分享互惠，創造環境物聯網新生態系產業價值。由於環境污染是韓國長期關切的議題，近年來與工業技術研究院技術交流中瞭解臺灣運用環境感測物聯網發展出的智慧環境執法成效，能有效解決韓國的環境污染問題，特於 8 月 10 日在環保署與科技會報辦公室的見證下，由韓國昌原市市長與臺灣工業技術研究院簽訂合作備忘錄，期盼藉由雙邊的技術合作與場域應用驗證，推動創新環境治理的產業聯盟，如圖 7-47 所示。

簽約人：  
工研院綠能所所長王人謙、韓國富川市市長張德天（Jang, Deog-Cheon）  
見證人：  
臺灣—環保署副署長蔡鴻德、行政院科技會報陳永裕副召集人  
韓國—韓國富川市議員 Kim Ju Sam、President of Korean Association for Particle and Aerosol Research, Park Duck-shin



圖 7-47、工研院攜手韓國富川市參與智慧城市簽約實境

## 韓國媒體

## ➢ 電子報：

- 富川市和臺灣通過國際聯合研究，引領微粒大數據領域  
<https://n.news.naver.com/article/081/0003115378>
- <https://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20200813010006982>



## 國內媒體

## ➢ 電子報：經濟日報、自由時報、鉅亨、新浪新聞、中央通訊社

- 工研院攜手富川市 搶攻環境物聯網藍海商機  
<https://money.udn.com/money/story/5612/4770470>
- 工研院攜手韓國富川市簽署環境物聯網MOU 三大產業搶攻藍海商機  
<https://news.cnyes.com/news/id/4514649?exp=a>
- 工研院與韓國富川市 簽新世代環境物聯網污染源及預測技術MOU 領軍三大產業搶攻全球環境物聯網商機  
<https://news.sina.com.tw/article/20200810/36000360.html>
- 台灣環境感測物聯網受肯定 與韓國簽署合作備忘錄  
<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202008100263.aspx>



圖 7-48、工研院與韓國富川市簽約相關新聞露出



## 4. 展示及媒體露出

說明我國在空氣品質感測元件國產化（微型化）研發成果，擴大縣市參與並分享場域布建成效，提升數據熱區分析及智慧稽查效益。延伸推動 110 年起為期四年的「智聯網-跨世代環境治理計畫」達到「優化環境品質感測物聯網體系」、「深化環境聯網智慧應用」、「開創感測聯網前瞻技術與產業創新」3 大執行目標。



圖 7-49、海報展示及媒體露出

## (二) 環境物聯網在智慧感測展示成果

環保署持續推動環境空氣物聯網，希望透過萬物聯網，環境治理優化，污染無所遁形，整治效果提升。國產化感測器全臺布建，物聯網技術蒐集並 AI 分析大數據，利用科技物聯網平台呈現熱區分析、污染溯源，可達到智慧稽查、科學辦案之未來願景。藉由案例分享，亦提高未參與合辦計畫之縣市環保局意願，強化中央政府與地方之合作效益，提升環境永續安全的目標。整體展示如圖 7-50 所示。



圖 7-50、環境物聯網在智慧感測成果展示

#### 四、結論與建議

##### (一)結論：

1. 有鑑於環境物聯網分享及展示會議，各政府單位及相關執行公司出席踴躍，已達到相當執行之成果。就與韓國合作備忘錄簽署活動，共有 31 家媒體露出，達成良好的媒體宣傳效果。相關露出活動產、學、研等各界先進充分彼此交流，對於環境物聯網未來發展達到整體規廣效益。
2. 執行成果展示充分顯示，環保署與計畫團隊這四年成果，有效整合及傳達環境感測物聯網工作成效。
3. 工研院與韓國富川市簽署「新世代環境物聯網污染溯源及預測技術」合作意向書(MOU)，將提供臺灣在環境物聯網設備與應用服務的經驗與技術，協助富川市空氣品質提升；未來更可望帶領此技術相關產業進軍韓國市場，搶攻環境物聯網的藍海商機。
4. 本次以臺灣成功經驗，分享輸出給世界各國，展現工研院提供國產化空氣品質感測設備予韓國富川市進行驗證，並分享 AI 人工智慧、大數據分析技術，未來雙方將進行更多學研能量交流，保持密切合作關係。拓展臺灣整體新產業生態系之服務模式輸出海外，讓 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。推動商機引領國內相關元件商、通訊商、系統商，搶攻國際環境物聯網藍海市場。
5. 本計畫持續推動環境空氣及水質物聯網，希望透過萬物聯網，環境治理優化，污染無所遁形，整治效果提升。國產化水質感測器全臺布建，物聯網技術蒐集並 AI 分析大數據，利用水科技物聯網平台呈現熱區分析、污染溯源，可達到智慧稽查、科學辦案之未來願景。藉由案例分享，亦

提高未參與合辦計畫之縣市環保局意願，強化中央政府與地方之合作效益，提升環境永續安全的目標。

## (二) 建議：

環保署能基於環境感測進化升級、跨域演化應用服務、智慧治理優化，未來將持續推動環境治理前瞻應用服務，精進環境感測物聯網資訊服務，運用智慧監測雲端服務深化環境執法與治理，實現新世代環境數位治理趨勢，引領臺灣成為全球環境智慧治理的標竿國家，讓臺灣更 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)，讓臺灣的經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。

## 7.9、專責人員配置

### 一、前言

本專案辦公室配置 4 人以上人員（1 人擔任專案辦公室管理人，另 3 人為專案研究人員），以空品物聯網產業開展計畫各項工作為核心，整合、聯繫、協調各部會計畫事宜，整合地方政府之行政及管理，並彙整進度及成果資料，定期提出進度報告、召開會議。主要任務除例行性工作，依據各計畫間橫向之聯繫及各計畫執行績效追蹤管考等工作外，另外配合行政院及環保署執行重要績效目標之縱向整合，並提供機動性及時效性之諮詢與政策建議。

### 二、工作執行方法

本專案辦公室內目前配置 5 名人員（1 人擔任專案辦公室管理人，另 4 人為專案研究人員），專案辦公室人員配置及工作內容說明如表 7-7 所示。

表 7-7、專案辦公室人員配置及工作內容說明表

姓名	主責	學經歷
王順輝	<ul style="list-style-type: none"> <li>專案計畫管理</li> <li>產業分析</li> <li>發展策略研提</li> </ul>	成功大學材料科學與工程博士（肄業） 東華大學材料科學與工程碩士
林惠娟	<ul style="list-style-type: none"> <li>資料綜整與聯繫</li> <li>規劃活動</li> </ul>	雲林科技大學企業管理系學士
陳重歡	<ul style="list-style-type: none"> <li>產業行銷</li> <li>綠色貿易輔導</li> <li>綠色產業分析</li> </ul>	逢甲大學環境工程與科學系碩士
呂秀月	<ul style="list-style-type: none"> <li>策展活動規劃</li> <li>綠色貿易輔導</li> </ul>	屏東科技大學環境工程與科學系碩士



姓名	主責	學經歷
陳嘉惠	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間分析</li> <li>決策系統</li> <li>數值地形分析</li> </ul>	臺灣師範大學地理學系碩士

### 三、工作執行成果

透過本專案辦公室成員具有整合部會、整合地方政府之行政及管理經驗，透過不同專長與責任分工，彼此相輔相成，執行計畫至今，包含跨部會溝通協調、處理上級交辦事項、提供相關建議等，對於整體計畫推動與執行具有實質助益。

### 四、結論與建議

專案辦公室主要工作包含強化專案辦公室運作、跨部會整合協調、計畫智庫與對策研擬、全球趨勢與產業發展對策建議、提升一站式推廣中心服務，以及擴大宣傳效益及參與相關會議等，在執行上發揮人力分工，並持續滾動式修正達到最佳效益，同時積極處理相關業務及交辦事項，使得整體計畫執行更為順利。



## 第 8 章、結論及建議

在延續 106 年度至 108 年度環境感測物聯網相關計畫所建立的基礎下，持續協助環保署運用微型感測器建構智慧化環境管理系統，透過今年專案工作計畫之執行成效，歸納之結論與建議如下：

### 8.1、結論

1. 國際近年在環境感測物聯網的推動與研發方向，可資我國借鏡的主軸包含運用 AI 技術來研發數據分析演算法，藉以提升微型感測器的數據品質，並運用人工智慧與雲端資料處理等技術，發展環境應用服務；運用移動式感測建置空氣污染指標圖像化，收集固定測站所無法覆蓋之環境資料，即時監控並提供嚴重影響人體健康與氣候變異的環境數據（如空氣污染物等），可讓使用者針對其周遭環境來制定決策(decision-making model)。
2. 國產化 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 感測模組透過 ANN 演算進行溫濕度補償修正後，可有效提升感測模組的精確性，經設置於國家監測站進行場域測試結果，調校後的 R<sup>2</sup> 皆能提升至 0.5~0.8 的目標值，顯示本計畫所開發之感測器已具備商轉的實用性，今年 3 支元件皆取得臺灣發明專利及 1 項美國專利，同時尚有 4 件國外專利申請審核中。
3. 為融合各型式空品感測器的數據，透過與國家監測站的平行掛測比對，建立基準相同的校正模式，提升整體數據判讀的正確性。再利用共變異數、誤差百分比、感測器決定係數、國家測站判定係數等檢測指標，可圈列出可疑的異常感測器，經現場掛測實驗及數據比對結果，驗證雲端巡檢模式的可行性，確實達成智慧化管理之維運目的。
4. 透過國家監測站及各型感測器的時間域分析，由感測濃度、相對器差(bias)及判定係數(R<sup>2</sup>)的變化趨勢，可以有效判別感測器的衰減趨勢。整體而言，大部分感測設備尚無顯著的衰減情形，僅有 106 年臺中市布建的 500 點感測器有衰減趨勢，故研判以臺灣的環境條件及維護保養頻率，光學式 PM<sub>2.5</sub> 感測元件的使用壽命約為 2.5 年。
5. 依據 MOT 樣品機及原型機測試成果發現，MOT 的感測性能對於高污染車輛及道路測高污染來源(餐飲業廚房排煙口)具備有明顯的辨識能力，透過穩定採樣機構的設計下，移動式感測器商品化的產品性能提供足夠的精準度條件。依據 5 台 MOT 進行為期 6 天在大臺北地區的感測成果

發現，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70~80%，時間解析度約能達到 40%，對於未來在城市治理與交通分流以降低環境污染的峰值可以提供具體的參考標的。

6. 為提升整體計畫的成果效益，除撰寫前瞻計畫四年之成果報告，再搭配成果影片露出，以量化與質化的庶民語言呈現給民眾了解。並依據感測器不同之應用目的建立相對應的分級應用指標，編撰全球第一份的「空品感測物聯網布建及數據應用指引」，向國際宣揚與分享臺灣的成功經驗。
7. 以臺灣成功經驗分享輸出給世界各國，充分展現臺灣在環境物聯網的技術領先地位，透過與韓國富川市的交流與驗證，分享 AI 人工智慧、大數據分析技術，未來雙方將進行更多學研能量交流，保持密切合作關係。拓展臺灣整體新產業生態系之服務模式輸出海外，讓 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。推動商機引領國內相關元件商、通訊商、系統商，搶攻國際環境物聯網藍海市場。

## 8.2、建議

1. 現階段運用國家監測站進行大區域的空品預報，在感測器數據品質符合污染熱區鑑別等級以上後，其感測數據亦可做為空品預報模式開發的一項重要資料來源，但若欲做為預測模式的訓練資料，擇期布建選址也需有特殊的規劃考量，如應布建於遠離固定污染與移動污染源之區域，能穩定反應區域環境空品...等特性，建議可搭配國土利用調查應用分析，篩選出符合監測目的特性之區域。
2. 建議後續應繼續測試比對以累積更多數據來健全 ANN 學習模式，作為感測器調校之參考與大數據行為的建立。後續商品化模組的效能應繼續測試比對，同時測試期間應涵蓋不同季節、不同場域及特定應用目的的需求，收集更多數據與環境變因，作為感測器調校與優化之參考。對於元件改良部分，可朝繼續小型化、節能化及壽命長為目標，透過降低成本以提升市場之競爭力。
3. 本年度空氣污染濃度整體皆比往年低，加上民間感測器的校驗機制施行不久，其校驗機制是否能在不同污染層級有效運作，仍待未來持續觀察與修正。建議各縣市政府後續能增設或調整部分政府感測器於民生住宅區，與民間感測器進行長期的數據交互比對，以利數據校正品質的維護和動態修正。

4. 固定式感測點用於監測固定污染源的不法排放已有顯著成效，但在國內機動車輛數快速成長下，移動污染源的數量與日俱增。為釐清都會區內車輛對空氣污染的貢獻，建立都會區道路的污染地圖具有指標意義，但如藉由固定感測點布建於道路側，在足夠的空間解析度下需要耗費相當的布建與維運成本，故發展移動感測聯網(MOT)，藉由將感測器設置於都會區相當數量的移動車輛上，透過即時感測數據的收集，能繪出都會區的交通污染地圖。藉由發展移動感測聯網(MOT)，協助機關建立交通污染基線資料，除可作為移動污染管制績效評估之參考外，同時也可依據臺灣的發展成效，推動至全球市場，應用於交通污染防治之服務產業。
5. 運用移動式感測設備在動態行駛中  $PM_{2.5}$  感測發生峰值時，篩選出周界有高污染車輛，結合車牌辨識及大數據分析，針對被高頻率篩選出來的疑似高污染車輛資料，與監理單位橫向連結與查驗，全面辨識仍在道路行駛之高污染車輛進行舉發、改善或裁處，嚇阻車主加強高污染車輛之維護、保養與汰換，進而降低高污染車輛之使用，積極達成高污染車輛汰換的效益。
6. 針對科技廠、石化廠、化纖廠等高污染風險的場域應實施進行長期監測，由於工廠在製造過程中會產生大量的廢棄物及各種化學物質和有毒氣體等，協助產業建立第二層環境監測防護網，掌握因生產製程中之洩漏再擴散出廠區外之污染風險，協助工廠員工及周界民眾了解污染飄散軌跡及濃度分布，作為緊急應變及健康管理之參考依據，擴大空氣品質感測物聯網之應用成效，發展成為新世代環境管理之應用服務。
7. 感測器的數據品質是基本且重要的項目，未來尚可加入微氣象資料的收集，再考慮地形因素，將可有效解析微環境的變化，提升系統智慧化的效能分析。未來感測項目建議可增設風速、風向、氣壓等資訊，再結合 CCTV 的監視設備，可提供即時掌握現場污染行為的判讀，進一步降低人力確認需求，使得環境監測更符合目前實際需要，以提升環境品質物聯網功能。
8. 國內目前包含經濟部技術處、工業局、中小企業處等，雖均有資源提供補助予產業進行技術、產品或服務模式之開發，然與廠商交流過程中發現，多數有意投入環境物聯網領域之業者，不少受限於技術能量不足，或是對於目前內需市場不足，以及商業模式不夠明確（現多以政府標案為主，且利潤過低，規範要求繁瑣），對於投入環境領域之設備或是應用

方案的開發，抱持猶豫觀望態度，建議未來環保署與經濟部相關局處討論，結合目前縣市當地政府之智慧城鄉計畫，採用政府出題，業者解題模式，提高業者參與意願，並藉由執行政府計畫，於國內場域進行練兵的模式，同步提升業者整體競爭力。

### 8.3、106 年-109 年執行成果綜整

本計畫自 106 年執行至今已經歷 4 年時間，計畫的內容涵蓋國際資訊研析、國產化元件研發、感測數據提升管理、協助地方布建維運、擴大環境物聯網成效及產業開展與推動等六大方向，綜整執行成果如表 8-1 所示。

表 8-1、106-109 年計畫執行成果彙整

計畫執行年度	計畫執行成果彙整
106 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參考歐盟英國的倫敦智慧城市計畫(Smart London)、荷蘭的阿姆斯特丹智慧城市計畫、美國的智慧城市計畫(Smart America)，日本的智慧城市計畫(Smart City Project)，以及韓國松島的智慧城市計畫(Sondo IBD)等推動策略與方向，發掘其共通點是引入感測與通訊科技，藉以提升人民生活品質、提高能源使用效率、改善交通運輸等，皆為環境物聯網可切入的角度，除建議物聯網設備商至少要與網路供應商、平台供應商或應用供應商之一進行整合，並規劃環境感測產業發展策略可分為萌芽期、發展期與成熟期，以發展公私部門合作與培養物聯網生態系。。</li> <li>2. 確認開發電子衝擊式 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 及 NO<sub>2</sub> 感測元件，其元件偵測極限分別可達 20 µg/m<sup>3</sup>、20 ppb 及 20 ppb。電子衝擊式 PM<sub>2.5</sub> 感測元件已完成雛型設計、數值模擬、幾何設計修正及雛型元件之製作。實驗方面，微粒篩選組件測試顯示，所設計之組件擷取粒徑(da50)為 2.54 µm 符合設計目標。在開發臭氧感測器開發方面，主要目標為臭氧觸媒薄膜複合材料來選擇性地分解臭氧分子。已完成薄膜複合材料及外掛式觸媒載具的設計，且薄膜複合材料對於臭氧去除效率可達 99 %以上，將薄膜材料加上外掛密封型觸媒載具至電化學感測器上，能有效地消除 O<sub>3</sub> 氣體之干擾現象。在 NO<sub>2</sub> 感測器開發部分，主要目標為室溫型 NO<sub>2</sub> 感測元件。為配合其它週邊軟硬體與測試系統之建立時效與成本，目前先以 1ppm NO<sub>2</sub> 為測試指標，再分別從訊號強度對應濃度 1/5(200ppb)、1/10(100ppb)、1/20(50ppb)的材料與機構的改良進行試驗。針對 NO<sub>2</sub> 感測材料性能提升進行測試方面，感測材料機械強度均有改善，對照有無添加之材料外觀不易崩落。在感度提升方面，光活化後之感測材料對 1 ppm NO<sub>2</sub> 測試感度 Rair/Rs=25 達到相當 40 ppb 的偵測最低濃</li> </ol>



	<p>度。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>介紹 PAS 的智慧城市架構標準 (Smart City Framework, SCF)，該標準包括指導原則、關鍵城市治理與實施流程、效益體現策略、關鍵成功因素等。在高階感測器部分，以美國環保署 VillageGreen Station 計畫，提出對 PM<sub>2.5</sub> 等四種元件規格建議。</li> <li>提出物聯網產業包括感測、傳輸、資料與應用四大層面，其目標為形成環境物聯網應用的商業生態系。</li> <li>完成「研提布建計畫科技發展計畫構想書(107 年-109 年)」的相關內容、協助將布建計畫由公建計畫改科研計畫(106 年-109 年)、協助研提「空品物聯網產業開展計畫」科發基金構想書(106 年)、協助研提布建及開展計畫「下世代科研基礎建設」之擴大公共建設提案(106 年-109 年)、布建及開展行政院會報告、協助研提布建及開展計畫之數位建設-民生公共物聯網內容及經費、協助研提空品物聯網產業開展計畫申請 106 年度科發基金構想書、整理對外說明推動環境物聯網簡報、107 年度審議作業手冊_P07(中程個案計畫)民生公共物聯網資料彙整(106 年-109 年)、協助整理布建及開展計畫與數位建設計畫關聯性。</li> </ol>
107 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>依據工業、交通、社區與輔助四種類型情境規劃全國感測器布建策略，其中工業感測情境依工廠行業別特性的環境釋放狀況進行修正，交通感測情境則搭配交通流量記錄點，社區感測情境以民眾陳情熱區進行調整，另增設於區域標準監測站進行平行比對，以利評估感測器的使用壽命及校正依據。</li> <li>完成國產化 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 感測器模組，PM<sub>2.5</sub> 感測器模組偵測粒徑下限約為 0.25 μm 低於光學偵測之極限 0.3 μm，在微粒濃度 &lt; 100 μg/m<sup>3</sup> 時，與 TSI dusttrak 之 R<sup>2</sup>&gt;0.7。O<sub>3</sub> 感測器模組偵測下限可達 20 ppb，在 O<sub>3</sub> 濃度 0~400 ppb 間之靈敏度 R<sup>2</sup>&gt;0.7。NO<sub>2</sub> 感測器模組偵測下限可達 26.04±3.83 ppb，在 NO<sub>2</sub> 濃度 0~300 ppb 間之靈敏度測試線性度 R<sup>2</sup>&gt;0.95。</li> <li>完成 50 點小規模感測器布建工作，因應技術不同應用情境，以辦理微型感測器應用之彈性為展示主軸，建立空氣感測器布建示範準則，提供相關人員訓練、布建與觀摩參考。</li> <li>協助環保署與 13 個地方環保局合作布建 2,600 點感測器，運用工作進度會議管控感測器布建進度及品質，並研訂布建標準作業程序。</li> <li>完成協助環保署「環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫」各分項計畫之推動，每月管理追蹤其工作及經費執行進度，並通盤評估整體計畫關鍵工作及時間點之銜接是否完整。並協助環境物聯網推動方案之執行，彙整各單位之規劃內容，並研提對策分析、強化推動策略建議。</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>成立專案辦公室，定期聯繫蒐集各部會相關成果，以強化計畫管考與產業化推動進度。</li> <li>完成空品物聯網一站式服務中心，建立產官學研民交流情資，創造跨專業領域結合機會，提升國內環境品質物聯網之商機，訂定問答集並辦理必要之宣傳工作。</li> <li>參與 7/26~28 越南綠色環保展、8 月泰國、10 月馬來西亞，與印度 CSIR-CEERI Development of Low Cost Air Quality System for Indian Terrains 啟動合作案，將環境物聯網整體包裝行銷至海外。</li> </ol>
108 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>歐盟(UN)以挪威研究機構 NILU 主導之 iFLINK (2019-2021)計畫，未來重點工作以優化維運及校正環境物聯網來節省維運人力資源、利用 AI 及機械學習來找出”錯誤資料”及線上校正(real-time calibration)、結合大氣擴散模式進行資料融合。美國(USA)加州 SC-AQMD 及 AQ-SPEC 積極展開以移動監測技術、定點監控技術、環境空氣品質標準的參考方法、衛星監測、資料融合方法來展開新世代微型空氣品質感測技術研發。韓國於 2019 年起規畫在工業區、社區及校園布建至少 4 萬點空氣品質感測器，擬定 4 級空品感測數據品質應用情境，其最高等級的感測數據準確度與精確度要求已高於臺灣的發展。日本將物聯網視作大數據(Big data)的延伸，對物聯網時代加值服務的剖析可在資訊搜尋上著手，透過智慧城市議題走向商業及商業到用戶模式，提升民眾對周遭環境資訊與健康生活的安排整合。</li> <li>以既有布建感測器點位所發生之污染事件頻率進行最適化規模布建發現，高污染事件發生之區位皆屬於工業區或鄰近工業區之社區，運用污染事件發生頻率評估感測器設置需求可以做為布建點位之必要性參考。</li> <li>透過大數據分析感測器群體變異性，篩選出異常感測器，提供巡檢單位進行查核或提供廠商進行維修。也可透過數據分析運用感測數據的時間變異與空間變異，挖掘環境異常特徵，解析污染熱區與時間熱點，提供環保單位追查不法污染。</li> <li>環保署在感測數據管理主要區分為設備異常及環境異常二部分，設備異常管理隸屬感測設備數據管理平台(IOT)計畫執行，環境異常管理隸屬資料分析應用平台(WOT)計畫執行，應用上述兩個平台，協助環保單位釐清設備異常與環境異常之事件，並建立 PDCA 管控機制，落實推動與管理整體環境感測物聯網之執行成效。</li> <li>智慧校驗模式包含校驗群集劃分與標準站匹配模式、簡單線性及多元線性迴歸校驗模式、神經網路 Artificial Neural Network (ANN)校驗模式，以臺中地區為例，感測器與國家測站相關性可區分為沙鹿群集與忠明群集，校正之成果發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度與環境濕度對校正結果影響最大，神經網路</li> </ol>

	<p>模型比多元線性回歸模型校正成果好。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. 國產化 PM<sub>2.5</sub> 感測元件完成小型化、試量產及場域測試。原型機測試結果與新竹測站比對，相關係數 <math>R^2</math> 為 0.66，顯示尚有改善空間。在實際濃度 15~60 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> 時，則 ITRI sensor 與測站數據之吻合度較高。</li> <li>7. O<sub>3</sub> 偵測極限測試結果顯示感測電流與臭氧濃度趨勢相符合，元件模組的最低偵測極限為 20 ppb，線性區間為 0~150 ppb，<math>R^2 &gt; 0.7</math>。O<sub>3</sub> 感測元件選擇性量測顯示感測元件不受 SO<sub>2</sub>、NO 與 CO 混合氣體干擾。</li> <li>8. 完成 100 台空污微型感測器（測項為 PM<sub>2.5</sub>、溫度、濕度），並於標準監測站完成一致性比對。已協調越南政府研擬布建區域及地點，由越南政府提供布建所需之用地、用電及通訊網路服務，並實施布建城市附近之國家空品監測站進行平行比對，據以建立校正模式。</li> <li>9. 落實管理既有布建完成 3,300 感測器之維運成效，協助監督與地方合辦新建 4,400 點感測器之數據品質，適時對感測器布建之評估、規劃與執行給予建議，並透過交流會議或研討會，促進公私部門交流及討論布建對策與精進措施。</li> <li>10. 透過定期參加產業開展計畫各子計畫之月會，不定期訪視部會委辦執行單位或計畫管理單位，如經濟部技術處（工研院微系統中心）、科技部工程司（國研院、中研院）、工業局補助業者（大同公司、福華電子、經昌車電）等，隨時掌握各子計畫之執行狀況，並維持溝通良好關係，了解執行計畫時所遭遇困難與需要協調之處，讓專案辦公室與各部會（包含委辦執行團隊）之間關係更緊密。</li> </ol>
109 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 歐盟-iFLINK 專案計畫發展以國家監測站與低成本微型感測器應用在智慧城市的情境，並運用機器學習來開發良好的校準方法，據以提升低成本感測器的數據品質；美國運用移動式感測建置空氣污染指標圖像化，並朝向研發數據分析演算法、感測器、人工智慧、雲端資料處理等技術，收集固定測站所無法覆蓋之環境資料，即時監控並提供嚴重影響人體健康與氣候變異的環境數據；韓國慶尚南道藉由在學校安裝空氣品質微型感測器提供家長從 APP 就能知道校園 PM<sub>2.5</sub> 的即時資訊。</li> <li>2. 對於工業區範圍內的固定式感測點位進行全面檢討與規劃，約有近八成的感測器能有效偵測到微環境的空氣污染事件，其餘兩成未能有效反應的感測點位，可評估現地環境需求，並參考列管污染源密度作為布建順序之依據。至於住宅區域的布建需求，經考量人口的空間分布與密度規劃，可補足目前於民生監測的空缺。</li> <li>3. PM<sub>2.5</sub> 感測模組透過 ANN 演算之基本步驟程序並進行試演算，演算成果 <math>R^2</math> 可由 0.4 提升至 0.7155；O<sub>3</sub> 感測模組利用 ANN 演算之基本步驟程序並進行試演算，演算成果 <math>R^2</math> 可由 0.5 提升至 <math>&gt; 0.7</math>；NO<sub>2</sub> 感測模組利用 ANN 溫濕度修正演</li> </ol>

	<p>算補償可提高相關性，<math>R^2</math> 提升程度為 5~20%不等。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. 以新北、臺中兩縣市作為智慧化巡檢機制開發與驗證之場域，成功利用共變異數、誤差百分比、感測器決定係數、國家測站判定係數四項檢測指標，圈列出可疑的異常感測清單，經現場掛測實驗及數據比對結果，驗證本機制之可行性，達成智慧化管理之維運目的。</li> <li>5. 運用 5 台 MOT 進行為期 6 天在大臺北地區的感測成果發現，對於臺北市與周邊新北市間的主要交通網絡已可涵蓋達 70~80%，時間解析度約能達到 40%，對於未來城市區域污染分布掌控提供有效的執行方案。</li> <li>6. 維運 150 點空污感測器，並且長期與標準監測站平行比對，驗證感測器的數據品質。已運用於外島的長期監測、建立移動式感測器的校正公式、協助督察總隊與三區督察大隊針對民眾陳情與污染稽查進行布建等用途極具參考價值。</li> <li>7. 將臺灣成功經驗分享輸出給世界各國，充分展現臺灣在環境物聯網的技術領先地位，透過與韓國富川市的交流與驗證，分享 AI 人工智慧、大數據分析技術，未來雙方將進行更多學研能量交流，保持密切合作關係。拓展臺灣整體新產業生態系之服務模式輸出海外，讓 TAIWAN (Taiwan Air IoTs Wide Array Network)經驗輸出分享給國際(Taiwan can share)。推動商機引領國內相關元件商、通訊商、系統商，搶攻國際環境物聯網藍海市場。</li> </ol>
--	---

## 參考文獻

1. AES-1000-05N, Shinyei Technology, <https://www.shinyei.co.jp/stc/eng/>
2. PPD42NS, Shinyei Technology, <https://www.shinyei.co.jp/stc/eng/>
3. OPC-N<sub>2</sub>, Alphasense, <http://www.alphasense.com/>.
4. PMS 7003, Plantower, <http://www.plantower.com/>.
5. DSM501A, Samyoung, <https://www.samyoung.co.kr/>.
6. NIDS SM-PWM-01A-HS, Amphenol Advanced Sensors, <https://www.amphenol-sensors.com/en/>.
7. GP2Y1010AU0F, Sharp Microelectronics, <https://www.sharpsma.com/>.
8. E-Sampler, Met One, <https://metone.com/>.
9. DustTrak drx, TSI, <https://www.tsiinc.com/tsi-worldwide/tsi-usa-inc>.
10. Martin Fierz, et al., 2014, Aerosol Measurement by Induced Currents. (2014, AQ-SPEC: Naneos Partector Sensor)
11. Modi Chen, et al., 2016, A novel quartz crystal cascade impactor for realtime aerosol mass distribution measurement (MSP)
12. Hang Zhou, et al., 2016, Airborne particulate matter classification and concentration detectionbased on 3D printed virtual impactor and quartz crystal microbalancesensor
13. Chia-Chun Chu, et al., 2017, A Miniaturized Aerosol Sensor Implemented by a Silicon-based MENs Thermal-Piezoresistive Oscillator
14. Chao Zhang, et al., 2017, A Miniature Aerosol Sensor for Detecting Polydisperse Airborne Ultrafine Particles
15. Junho Hyun, et al.,2017, Design and Performance Evaluation of a PN1 Sensor for Real-Time Measurement of Indoor Aerosol Size Distribution.
16. Fung-Yu Kuo, et al., 2018, Detection of Particulate Matter of Size 2.5  $\mu\text{m}$  with a Surface-Acoustic-Wave Sensor Combined with a Cyclone Separator
17. TEOM 1405, Thermofisher, <https://www.thermofisher.com/> .
18. Panich Intra, et al.,2018, Field comparison between electrostatic charge and light scattering monitors for continuous monitoring of airborne PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub> mass concentrations.
19. Pegasor, 2018, White Paper Pegasor AQ Urban, [www.pegasor.com](http://www.pegasor.com).
20. Luyun Jiang, 2018, Gas Sensors for Internet of Things, IDTechEx,

<http://www.idtechex.com/>.

21. Guillaume Chansin, 2018, Printed and Flexible Sensors: From Healthcare to IoT , IDTechEx, <http://www.idtechex.com/>.
22. Eric Mounier and Benjamin Roussel, 2018, Gas & Particle Sensors Report 2018, Yole development, <http://www.yole.fr/>.
23. Benjamin Pussat, 2019, Particle Sensors Comparison 2019, System plus consulting, [www.systemplus.fr](http://www.systemplus.fr).
24. Joel Kuula<sup>1</sup>, et al., 2019, Applicability of Optical and Diffusion Charging-Based Particulate Matter Sensors to Urban Air Quality Measurements.
25. IndustryARC, 2019, Particulate Matter Sensor Market – Forecast (2020 - 2025)



# 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

## 評選委員意見回覆

委員意見	工研院回覆說明
1. 第6章協助地方政府感測物聯網之建置工作，本項工作已執行約兩2個年度，對於地方政府感測物聯網之運作，有那些常見的缺失亟待改善，建議應予條列彙整，作為新一年度改善之參據。	感謝委員建議，地方政府常見缺失，包含招標過程延宕、用地用電協調不佳、無法掌控感測數據品質、未能落實運用感測數據找尋污染熱區等。計畫團隊透過與地方政府討論，並建立相關執行措施，後續將依照委員建議針對歷年常見缺失進行彙整。
2. 第7章7.5.2有關台灣環境物聯網網站之管理及維運，建議將網址列出以方便查閱，另新一年度網站欲新增呈現之加值內容為何？請補充說明。	感謝委員建議，本年度網站經獲得無障礙標章後即上線供民眾查閱，未來也會在相關網站宣導本網址。本網站以宣揚環保署推動環境物聯網之成果為主軸，計畫將持續增列最新成果，並以民眾的視角滾動式修正資訊得呈現。此外，運用視覺化呈現易讀之訊息，以達到網站宣導及利於查閱之功效。
3. 第10章計畫經費需求概算，在「材料費」部分幾乎佔總經費的三分之一，相關單價及數量應覈實計算，並且在未來之執行中具體落實主辦單位之需求。	感謝委員指導，本計畫之材料費運用於元件研發及感測器跨域應用為主，實因皆屬於實驗階段，因人工製作耗損高，並納入失敗風險，故材料費用編列較高，相關單價及數量皆覈實計算，未來在執行過程將具體提列工作執行數量，以落實主辦單位之需求。
4. 第12章計畫重要參與人員，有計畫主持人、黃馨儀、彭書憶、陳重叡等4人，亦參與了「水質感測物聯網精進及數據分析應用」該計畫，實際參與情形為何？相關費用估算有無重疊？請補充說明。	感謝委員意見，針對「水質感測物聯網精進及數據分析應用」與「環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫」皆屬環境物聯網相關計畫，計畫部分所需技術與專長互有相關，為求計畫執行效益，借重該4人之專長領域，同時執行此二計畫，而每人之人月加總不會超過12人月，相關費用亦不會有重疊情形。
5. 第6-9頁次第三方巡檢查核成果，其中有關感測器抽樣10%及數據	感謝委員意見，第三方查核之抽樣以各縣市布建感測器區分，第三方巡檢查核

委員意見	工研院回覆說明
<p>品質滿意度抽檢之流程及評估之要項，請補充說明點選之依據是否納入地域性、檢測器之分析項目等分項實施，若不符設定標準之後續作法，以及配置之人員經歷。</p>	<p>是由環保署另案委辦計畫執行，本計畫是協助環保署覆核查核程序與成果。選點之依據必須納入地域性，並考量歷史感測數據異常之點位進行查核，分析項目以PM<sub>2.5</sub>測項為主。若抽樣結果不符合標準，除要求廠商即刻檢修復歸外，同時依據數據品質標準予以扣除維護經費，配置人員經歷皆須具備數據品質查核之經驗為要求。</p>
<p>6. 感測元件例如PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>及NO<sub>2</sub>之實測數據穩定性與環境品質參數，供電穩定性等潛在干擾因子之影響，新年度是否有更新之作法，請補充說明總結評估其實用穩定性及優缺點，含成本效益分析結果（第8章）。</p>	<p>感謝委員指導，PM<sub>2.5</sub>元件今年會加入針對環境干擾因子等，以ANN演算之方式加以補償以降低環境因子干擾。在電源方面，PM<sub>2.5</sub>的元件設計有兩組電池，將充放電作區隔使供電干擾降至最低。PM<sub>2.5</sub>元件在優點方面，與光學式的主要差異是偵測下限可以很低，目前最低可測到0.2 μm，但主要缺點是體積仍大。在成本方面，由於目前元件都是手工做的故成本較高，後續會跟廠商合作，待量產時成本自可降低。</p> <p>NO<sub>2</sub>元件為建立環境控制溫濕度修正演算法，藉軟體方法對環境因子修正與數值迴歸修正，並以測站數值為修正比對依據。NO<sub>2</sub>元件部分以power bank作為對外供電的緩衝區，與電路部分也有穩壓輸出設計。NO<sub>2</sub>元件在優點方面不同一般用MOS 做的元件是需要加熱，而本計畫的元件是常溫態光驅動比較起來會更省電。在成本方面，由於目前元件的整合電路模組都是為了精進研究調整參數用的客製化少量製作的故成本稍高，後續會跟廠商合作，電路模組以固定參數制式化量產時成本。</p> <p>O<sub>3</sub>元件今年度是導入類神經演算法來排除溫濕度對於感測元件之訊號影響。在供電穩定性方面，目前是利用行動電源來作為供電緩衝區，避免臨時斷電造</p>

委員意見	工研院回覆說明
	成元件感測飄移之影響。與國際現況比較方面，O <sub>3</sub> 元件之關鍵優勢為掌握元件電極材料的關鍵技術，有能力自主國產生產感測元件。因元件可自主化緣故，待與國內廠商合作量產，預估元件製作成本會比國外元件來的低。
7. 若得標，應就工研院的角色，於期初提出具體委辦工項（完成2件之產業合作）之成果目標，如技轉或產品產值等，供環保署卓參。	謝謝委員建議，將於計畫啟動後詳列體委辦工項之成果目標，以利環保署管控計畫之成效。
8. 建議投標廠商，針對污染事件Real-Time Response擬導入的AI演算工具或機制為何？具體補充敘明。	感謝委員的意見，目前環境物聯網AI分析污染事件屬「環境感測數據分析及展示服務擴充暨維護計畫」執行，針對異常事件的演算判斷分為二，單一感測器在時間區段內之感測數據發生相對異常變化；區域群體感測器在同一時間區段發生相對異常變化。對於高風險污染事件的定義是採用發生上述異常事件超過15次，且持續時間超過15分鐘，即進行高污染事件推撥，並納入後續污染熱區分析的評估矩陣。
9. 突發或異常干擾事件（例如鄰近化工廠火災），本系統對此種Extreme Event之處理能力為何？建議補充敘明。	感謝委員的意見，由於環境物聯網系統是依據感測數據在時間維度與空間維度的相對異常變化，故針對突發或異常干擾事件，皆能於事件發生初期即開始告警，並呈現整個事件的發展過程。具體的成果如108/5/7臺中輪胎倉庫大火持續悶燒3天的發展歷程，影響範圍超過30公里。
10. 針對偏鄉地區佈點，3G或4G傳輸訊號不穩定問題，是否導入LoRa通訊協定應用。	感謝委員的意見，感測器布建於偏鄉之目的以監測環境背景值，選擇在行動通訊及電力穩定之點位布建。由於環保署於桃園觀音工業區採用過LoRa通訊，由於掉封包之狀態嚴重，故不建議使用。
11. Sensor功能Decay檢應，是否包含Sensor或Module供電功能Inspect？	感謝委員的意見，目前感測器的電力模組具備穩壓及儲電功能，部分廠牌提供

委員意見	工研院回覆說明
另供電是否影響感測資料品質？	電壓數據。現階段造成感測器電力異常之主因為路燈斷電，並未發現供電對感測數據之影響，未來將持續觀察供電模組對感測資料品質之影響。
12. 建議投標廠商針對研發或開發 Sensor，未來 Cost down 可能契機為何？建議補充敘明。	感謝委員指導，由於目前元件都是手工做的故成本較高，待與廠商合作量產後，藉由生產製程優化與自動化生產後，將可有效 Cost down，除可提供產品良率外，並可大幅降低生產成本，提升產品的競爭力。
13. P.2-11 本計畫所將整合或研究優化的目標物除中央及地方政府設置的 8,000-10,200 餘點外，尚有中央研究院的 3,771 點，占比大且同廠牌（訊舟），應列為重點分析比較；且桃園、高雄及嘉義等縣市皆有不同廠牌儀器，其間差異可列入比對項目。	感謝委員意見，現行中央與地方政府所布建之感測器為經過驗證標準後所布建，然而研院布建之訊舟設備並無品管程序，因此現行污染熱區分析先以中央及地方布建之設備為主，中研院布建之數據為輔，待後續協調中研院建立數據校正與設備異常排除機制建立後，將可透過數據融合，發揮互補之效益，針對桃園、高雄及嘉義等縣市使用不同廠牌感測器，環保署已透過 5 階段品管程序，設備間之差異已符合環保署之數據品質要求。
14. P.3-5 相較於 NO <sub>x</sub> 及 O <sub>3</sub> 感測元件之開發進度（NO <sub>x</sub> 已獲專利），PM <sub>2.5</sub> 似乎較慢，107 年底申請台灣專利，不知是否已取得，有無困難？現場比測（P3.-7）的參考儀器 TSI Dusttrak 是手持式的，該儀器本身的準確性精確性如何？	感謝委員指導，目前 PM <sub>2.5</sub> 感測元件專利已完成第一次答辯，如通過，後續應可順利取得台灣專利。關於參考儀器 TSI Dusttrak，本團隊所購買的為桌上型，較手持式更為精準，且該儀器亦有至工研院量測中心進行比對測試，故其準確性其精確性應無所顧慮。
15. 優化除進氣道、溫濕度外，宜將電流、電壓納入瞭解。	感謝委員建議，後續將納入了解。
16. P.5-7 感測器實地場域校正，參數包括同型號之模組間變異 (IMV, Intra-) 公式模組”內”變異，差別？(P.5-7)	感謝委員的意見，報告中 IMV 參數統一為同型號之模組間變異，公式文字為誤植。
17. 本計畫有國外布建（東南亞國家）P.5-8，但旅費未編列，請說明。	感謝委員的意見，由於工項為國內外布建，因無法確認國外布建之數量，故計

委員意見	工研院回覆說明
	畫先以國內布建編列差旅費。
18. 本計畫為106年開始，為落實國內自行研發國產化感測元件及布設環境感測物聯網之相關計畫第4年，前3年均為工研院團隊承接執行，故應有經驗及能力。	感謝委員的肯定。
19. 請說明所開發國產化感測元件之市場優勢？	目前本計畫所開發之元件雖仍具部分缺點，在功能與數據品質上皆優於市面既有之元件，且因為本土化之技術，在開發期間均已有廠商合作，故在後續廠商承接時較無銜接之問題，故具備市場優勢。
20. 請說明移動感測物聯網（簡報P.23）測試驗證之參考基礎？若與監測站進行平行比對，在位置高度並不相同下如何因應？	感謝委員的意見，針對移動感測器與監測站進行平行比對的目的是建立感測器的校正參數，屬於長期靜置於測站上之比對方式，採樣高度與測站相同。今年度測試驗證規劃，以移動式感測器與高階PM設備(TSI-8533)同在車載上進行平行比對，同時也與道路側感測點進行平行比對，據以判斷在移動過程中感測器與高階PM設備的一致性，或與道路的環境濃度差異性。
21. 本計畫就全國各縣市布設點之資料品質，在管理上如何整合辦理？	感謝委員意見，為確保感測器數據品質，感測器於布建前需通過型式驗證與一致性比對，以確保每台感測器之數據品質與不同廠牌感測數據之一致性。感測器於布建後每兩季巡檢一次，巡檢標準儀器與現場感測器皆需符合環保署要求，以維持感測器數據品質。
22. 未來SOP之發展是否考量儀器系統差異性在校正、比對之影響，及數據回傳要求（Raw data或演算後）。	感謝委員的意見，針對地方合辦布建之感測器，計畫依據不同廠牌型號進行校正比對，據以評估未來發展SOP的可行性。
23. 開發新型感測元件在節能與極惡劣環境之設計為何？	感謝委員的意見，PM <sub>2.5</sub> 元件，在能源使用目前是以市電對電池電池充電，後續將會評估以太陽能充電之可行性。在結構上除電路板外，均為不銹鋼故在惡劣

委員意見	工研院回覆說明
	<p>環境使用上較無所顧忌。</p> <p>NO<sub>2</sub>元件部分亦同樣以市電對電池電池充電，後續將會評估以太陽能充電之可行性。在結構上除電路板與電子零組件外，目前實驗型以易加工壓克力作為外殼封裝，業界導入會以商用作法的不鏽鋼來封裝。</p> <p>O<sub>3</sub>元件部分亦同樣以市電對電池電池充電，後續將會評估以太陽能充電之可行性。在結構上除電路板與電子零組件外，目前原型元件以聚碳酸酯作為外殼封裝，其具有良好的耐化特性，可應用在惡劣環境中使用。</p>
24. 選址代表性之距離布建評估標準為何？	<p>感謝委員意見，初步推動感測器之選址建議為參考國外之經驗，並評估國內之應用環境，經過污染熱區稽查之實務需求，據以研擬布建密度與距離如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 工業區為污染排放及民眾陳情製程異味之主要場所，故以距離約200~300公尺布建或更高密度100公尺布建。</li> <li>(2) 鄰近工業區之社區亦為民眾陳情之主要場所，故以距離約100~500公尺布建，以追蹤污染擴散方向。</li> <li>(3) 其他地區即為非鄰近工業區之社區以1~1.5公里網格狀布建。</li> <li>(4) 交通要道為一般民眾通勤生活之集中區域，以距離約1公里布建，協助了解一般民眾日常通勤之污染曝露量。</li> <li>(5) 輔助感測為輔助無標準測站之鄉鎮地區，以5公里網格狀布建。</li> <li>(6) 因應不同地區之空污組成成份不同，故地方性的國家標準測站平行比對為必要設置。</li> </ol>
25. 我國目前感測器布建數量已相當多，數據應用是否已能延伸至垂直	<p>謝謝委員建議，目前感測器建置高度約為地面3公尺高，尚無垂直變化之解析，</p>



委員意見	工研院回覆說明
高度空污分布狀況解析?	該項寶貴建議可於未來四年期的後續計畫進行相關深入研究。
26. 108年度移動式感測測試結果顯示風速及車速對濃度影響甚鉅，2014年Google街景車所檢測數據是否有這個問題? (1) 是否反思固定式感測器（包括測站的設備）亦受到風速影響? (2) 移動式感測器除了PM <sub>2.5</sub> ，是否可加入其他污染物?	感謝委員的意見，Google街景車所檢測數據並未提及風速及車速對濃度之影響。 (1)目前固定式感測器會受風速影響，所以在風速過高之情形下，感測濃度會偏低。 (2)今年度移動式感測器之感測項目會再加入VOCs、NO <sub>2</sub> 、CO，以利分析交通污染的特徵。
27. 本計畫為前瞻計畫，在計畫即將結束前，如何彙整找出亮點?	感謝委員意見，將於今年3月研提成果報告之架構，分為研發、驗證、布建、應用、輸出等五大面向，以人民、產業有感角度論述計畫成果亮點。
28. 感測器運轉管理之困難如何進一步克服？包括數據可能的差異、干擾、衰減、稽查應用？以及安裝供應商安裝時間？產業推展等。	感謝委員的意見，現階段感測器運轉管理在於如何確保感測數據品質，現階段運用與監測站平行比對，據以建立不同廠牌型號間感測數據的資料融合。同時運用長期數據觀察，分析各型感測器的干擾因子與校正參數，分析感測器衰減效應，並強化輔助稽查的數據分析成果。發展智慧化巡檢校正機制，強化感測器維運效率，以發展環境智慧物聯網之全方位服務產品，帶動環境物聯網產業發展。
29. 產業推動辦公室之任務及產出的目標，請補充說明。	感謝委員意見，專案辦公室的主要任務及產出目標包含： (1)研提專案辦公室及我國空品物聯網之110~113年度目標，以利延續性與前瞻性地進行規劃。 (2)研提民生公共物聯網計畫106年~109年執行成果報告，以利有效呈現整體亮點成果，並爭取下一階段計畫與預算。 (3)完成洽談2件國內環境品質感測應用服務合作，進行產業開展，促進產

委員意見	工研院回覆說明
	<p>業投資與加值。</p> <p>(4)完成大型研討會議或交流會議或展覽(2日以上)，達到研發技術橋接產業、成果宣傳等綜效。</p> <p>(5)促成國內感測器技術授權至少2案，加速國內產業建立自主技術。(合約外工項)</p> <p>(6)促成至少1筆國際訂單，以達產業輸出國際之最終目標。(合約外工項)</p> <p>(7)例行性與臨時交辦等行政事務。</p>
30. 感測器數據的品保如何實施及提昇？	<p>感謝委員的意見，目前感測器數據品質是採用五階段品質管控機制來把關，尚可在既有程序下加強管理機制，包含感測器出廠品管之抽檢機制的建立；型式驗證應納入定期回驗機制；一致性比對應加強感測品質的要求標準，評估布建後區域感測器一致性的評估；廠商自主巡檢應加強分析感測器的偏移效應；第三方查核應建立感測異常之常態性檢核與現場查核機制。藉由透過數據分析先找出異常設備，再透過現場查核，確認異常原因與改善措施。</p>

# 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

## 第一次工作進度報告意見回覆

意見	工研院回覆說明
1. 新四年期前瞻計畫除依需求評估執行項目優先順序外，並研擬最低執行所需經費，請密切掌握前瞻計畫申請進程，以利經費爭取及計畫規模取捨。	感謝委員建議，初步評估必要執行項目以空品與水質感測物聯網布建維運、環境治理智慧應用最佳服務、智能科技化環境執法新機制、噪音與電磁波物聯網、移動感測聯網，最低執行經費約需7.8億元。目前已提送初步規劃版本至科技會報辦公室，將持續追蹤前瞻計畫申請進程。
2. 最適化布建選址評估除依工業區及人口密度評估外，應以未來應用於微環境預報或陳情熱區，不單僅以污染稽查之目的規劃，需納入民眾有感之需求。以26%未能發揮告警效能之感測器，是否為感測器衰減所致，如果感測器無法發揮效能，應建議環保局評估移點或撤除	感謝委員建議，團隊後續將對民生和陳情需求進行規劃，告警事件分析部分，不受感測器衰減影響，因分析資料彙整108年全年度每分鐘的污染數值表現判定而得，並非僅用近期的數據進行分析。另外在108年度感測器多屬新布建完成的狀態，經計畫團分析未發現感測器有明顯衰減之趨勢。
3. 移動式感測器應用應著重於解析環境的污染特徵及空間分布情況，展示都會區微環境的空品狀況，而查獲高污染車輛僅為衍生效益。	感謝委員建議，移動式感測器著重呈現每臺監測車MOT的行車路徑，繪製經過路段的污染線圖，並整合全數監測車MOT數據，呈現時間區段路網的污染分布，依據污染色階判斷高污染路段的位置，藉以展示都會區微環境的空品狀況。其衍生的附加效益則為利用移動式感測器，可結合影像辨識，針對PM <sub>2.5</sub> 高值擷取時段影像，據以篩選高污染可疑車輛。
4. 環境物聯網網站資料及內容更新請加速完成，並要有吸睛及視覺化設計，展現全國及全球最佳的环境物聯網全貌。	感謝委員建議，本網站的視覺化採用幾個獨特的可用性元素，以故事性滾動吸引瀏覽者的目光，將持續請設計團隊思考展現方式。
5. 環保局合辦計畫經費轉正作業與	感謝委員建議，團隊將於合辦會議中提

意見	工研院回覆說明
智慧稽查應用成果，應要求各縣市環保局加速辦理，依合辦原則需於109年9月30日完成，請計畫團隊務必追蹤與督促合辦進度達成目標	醒各環保局經費轉正作業與智慧稽查應用成果應於109年9月30日前完成，團隊將持續追蹤與督促各環保局達成計畫進度。
6. 空污微型感測器應用指引應納入感測器應用等級、應用場域等內容，以增加空污微型感測器應用層面，而非僅侷限於智慧稽查及執法應用	感謝委員建議，團隊針對空污微型感測器應用指引之撰寫將參考美國、韓國及歐盟等地區的應用指南做為參考，並納入感測器應用等級、應用場域等內容，以完整陳述空污微型感測器數據應用介紹及參考方法說明。
7. PMO計畫150點感測器應用於石化廠或科技廠可限縮數據權限於專屬使用，不列入對外開放，以利將感測器推廣應用於工安、氣體洩漏或空污管理等方面。也可於各地區環保署標準測站附掛2~3台，建立感測器校正模式，並要求環保局依此進行感測數據校正，以提升感測數據品質。	感謝委員建議，計畫團隊刻正與石化廠及科技廠洽談應用於工安、氣體洩漏或空污管理之合作，驗證空品物聯網的應用可行性。另外目前已於31個手動站附掛感測器，陸續建立校正參數，並針對各縣市感測數據異常之感測點進行平行掛測比對，據以釐清感測器數據品質。
8. 四年計畫成果彙編建議以圖表呈現為主，文字敘述為輔。	感謝委員建議，已於109年5月完成初版，待署內確認文案內容後，即進行美編及圖像化設計，加強報告成果的可看性與吸睛度。
9. PM <sub>2.5</sub> 、NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 感測元件技轉程序的相關文件應要詳實紀錄，並定期追蹤更新提供給署，另已技轉之感測元件，後續應追蹤應用與商品化發展。	感謝委員建議，感測元件從技轉文件、登報及正式對外宣告、辦理技轉說明會及廠商討論等，皆詳實紀錄。後續實際應用及量產資料，將持續進行更新。
10. 請團隊確認感測元件未來商品的應用市場與需求，並彙整國內外PM <sub>2.5</sub> 、NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 感測元件市場上商品之標準，做為團隊感測元件商品化之參考依據	感謝委員建議，將於期末報告中增加相關資訊之分析。
11. 執行團隊發現感測數據異常情形，應盡快彙整相關異常資訊後通知，並建立通報機制，另思考如	感謝委員建議，團隊已研擬感測器設備異常判定作業機制，一旦發現設備超高值異常即通知環保局確認設備狀態。確

意見	工研院回覆說明
<p>何要求環保局配合改善。針對感測數據偏差大之環保局或設備商，可直接輔導協助提升感測數據品質，未來相關程序也應納入空污微型感測器應用指引當中</p>	<p>認設備故障數據下架維修，若反覆發生高值，團隊進行平行掛測比對確認。當設備感測發生數據偏移或衰減時，進行校正公式導入區域感測器，驗證總體感測器與測站偏離範圍，不符合標準則重新調校正。將此作業機制彙整成標準作業程序提供環保局改善感測器數據異常使用。</p>
<p>12. 請團隊評估要求環保局將感測數據異常之感測器，定期送回環保署標準測站進行比對之可行性，若可行則建議將方法納入空污微型感測器應用指引當中。未來應建立數據品質管理制度，感測器數據品質無法符合標準者，不能參與場域布建與應用。</p>	<p>感謝委員建議，計畫團隊目前規劃運用離群值評估感測器數據異常之感測器，對於反覆發生之感測器可透過PMO感測器平行掛測，未來將評估針對疑似設備異常之感測器召回至標準測站進行比對確認。同時定義感測器數據品質標準，以符合污染熱區鑑別之目的，並納入空污微型感測器應用指引中。</p>

# 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

## 期中報告委員意見回覆

委員意見	工研院回覆說明
林柏雄委員	
1. 109 年度環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫之期中報告，執行進度大致皆符合合約要求。	感謝委員的肯定。
2. 摘要敘述內容，有關專有名詞之縮寫，例如：ANN、MOT、SOP，仍應有英文原名詞註解。此外，感測元件與測站間數值，部分於校正後仍符合 $R^2 > 0.7$ 之預設目標，也應加以標註（位置、成因）。	感謝委員意見，已依建議註解英文專有名詞於摘要內容。並於期末報告第3章中標示校正後之位置與成因。
3. 第2章評估國際發展現況，期末報告應提出國內現況以及與其他先進國家之差異性分析、優缺點以及提出來3-5頁之修正方案，明確提出建議。	感謝委員意見，於期末報告2.1節中補充國內外布建與情境應用之差異分析，提出未來推動與精進之修正建議。
4. 第3章國產元件PM <sub>2.5</sub> 、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 研發現況，有關於成本效益分析，期末報告中能予以提出彙整，比較市場可接受度。	遵照委員意見辦理，已於期末報告p3-80~3-81補充國產元件PM <sub>2.5</sub> 成本效益分析結果，並比較市場接受度，並於期末報告3.2節及3.3節中補充O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 成本效益分析結果。
5. 第3章感測數據判讀及應用，其中智慧化判讀以ANN類神經網路判讀，以及場域比對測試（第3-3~3-5頁次），有關比對測試演算圖3-2流程圖並不明確，建議增加文字敘述，如何提升元件參數微調及相關係數，予以說明（3-5頁次）。	遵照委員意見辦理，於期末報告p3-5~3-8補充ANN演算流程。元件參數於測試期間均固定，主要以套用不同之演算式的方式做調整。
6. 第4章感測數據資料融合之納入與排除標準，如何調校？以及數據正確性判定標準原則應納入（4-1頁次）。	感謝委員意見，本團隊於數據融合之前均會分別針對國家監測站、政府感測器，以及校園感測器的量測數據進行有效性檢核，偵測異常數據（如離群值）、排除無效數據（如空值、定值、負值），



委員意見	工研院回覆說明
	以確保三種來源的數據融合後的合理性。數據融合之標準建立在各類型感測設備與國家監測站平行比對後，符合污染熱區鑑別之數據品質要求下，再進行資料融合。
7. 第 4-15 頁次，平行比對數據解析有關 C.V.、Bias(%), 請定義。標準取捨條件(優、差之標準)以及電力供應問題(第 4-19 頁次)如何克服?	<p>謝謝委員意見。</p> <p>C.V.為每分鐘該感測器與周圍1公里內的鄰近感測器所計算出的共變異數，在取整個觀察月份內的中位數作為該月份的常態表現。</p> <p>Bias(%)為每小時該感測器與最鄰近的國家監測站偏差量百分比，同樣取整個觀察月份內的中位數作為該感測器的常態偏差表現。</p> <p>電力供應的克服方法，將協調布建維運廠商提供電力串接以解決用電問題。</p>
8. 第4.4章時間序列分析，交叉相關分析，請再敘述方法流程、目標達成期望值、欲達成共3項工作：(1 衰減狀況如何執行；(2 交叉相關分析如何執行(4-25 頁次) (Similarity analysis)流程、感測器與測站相關係數、決定係數( $R^2$ )，期末報告應修正；(3 量化相關性之變化是否有季節性、區域性之影響， $R^2$ 與濃度高低是否有關。	感謝委員建議，針對衰減分析的方法流程、目標達成期望值、欲達成工作已納入期末報告4.4節中進行成果說明。
章裕民委員	
1. CH2.3 宜補述「應用調查」的結果，布置或數據記載只是工具(途徑)，並非空品上的應用成果，建議儘量說明用於管制上的成果。	感謝委員建議，已於期末報告2.3節中補述縣市感測器的應用成果等相關新聞露出資訊，協助環保署掌握感測器的相關資訊與媒體效應。
2. 量測數據著重在「精密度」與「準確度」，CH3.1 的內容偏重於 ANN 的敘述，其應只是作 Data 演算的一種 Logic Method，對於前二項需求是否有具體、合理的結果?宜補正。	遵照委員意見辦理，已於期末報告3.1節中加以說明。

委員意見	工研院回覆說明
3. CH3.2 的內容多談於「Sensitivity」，值得肯定。惟如第2點所述之重要的「精密度」與「準確度」，應補充之。	感謝委員意見與肯定，感測元件之靈敏度(Sensitivity)包括了精密度與準確度兩個元素，O <sub>3</sub> 元件的測試標準依據美國環保署空氣感測器指南來進行測試，相關測試標準與內容已於期末報告3.2節中呈現。
4. 若 CH4.3 對重大污染事件之資料與本計畫的感測物聯網(數據)之關聯性為委辦工項，則宜補充之，尤其如報告所列之二處重大事件是否已有相關的物聯網佈置？	感謝委員意見，於本章節所報告之重大污染事件發生地點，皆已有縣市布建的感測器設備，資料收集之目的即紀錄污染事件在感測物聯網的影響及變化，作為後續發展智慧化分析的案例資料。
張益誠委員	
1. 本案執行單位目前計畫進度除國際研討會參與外，應已符合委辦單位期中查核質、量性 KPI。	感謝委員的肯定。
2. 本案針對已累積的大量布點監測 Data，除作為智慧稽查輔助外，對於地方政府如何具體加值應用，建議於期末提出可行 Solutions。另外，目前感測器 detect 空品參數，是否能符合稽查 or 公陳需求？例如 VOC、臭味，建議再予釐清。	<p>感謝委員建議，感測器能協助地方政府的應用從長期觀察區域污染的分布變化，研判環境治理的方向，可有效聚焦污染貢獻之趨勢，進而評估環境治理措施之成效。另外，依據各季節時段之污染熱區變化，如預報有重污染氣候發生前，可針對污染熱區內之廠商進行預防性降載，可有效做為空污季節應變之具體有效措施。</p> <p>現行利用PM<sub>2.5</sub>感測數據，可有效限縮不法排放與PM<sub>2.5</sub>相關之污染區域與時空特徵，再配合異質資料如列管污染源、裁罰紀錄、陳情案件....等，輔以稽查人員的高階儀器，才可更加精確標定可疑工廠，透過現場舉證才能完備稽查工作。現行感測器主要為PM<sub>2.5</sub>、溫度及濕度3個測項，若須針對臭味問題，則需另行加裝VOCs感測元件。</p>
3. 針對已布建感測器於不同場域or縣市之Decay Life為何?建議具體補充，以保未來Smart巡檢機制之前置條件or參酌準據。	(1) 感謝委員意見，現行於全臺各縣市布建的感測器，於期末報告第4章中針對縣市及感測器布建年度做劃分，進行感測器的衰減分析，目

委員意見	工研院回覆說明
	<p>前結果顯示各縣市的感測器尚無顯著的衰減趨勢，因此無法斷定感測器的decay life為多長。未來會再嘗試不同的劃分法，進行感測器的衰減分析，以更詳細的判斷感測器是否有衰減的情形。</p> <p>(2) 智慧巡檢機制前置條件在於感測器的數據品質要求，依據感測器群體的變異分析設備異常，再運用多變數校正模型提升感測器數據品質，對於無法調校之感測器將會建議維運商進行設備汰換。</p>
<p>4. MOT建議可將Personal健康風險思維，嘗試導入肇劃可以應用情境。</p>	<p>感謝委員的肯定。</p> <p>環保署針對大台北都會區通勤期間空污暴露量所做的調查顯示，搭乘不同交通工具通勤時，PM<sub>2.5</sub>暴露平均濃度分別為汽車7.6 µg/m<sup>3</sup>、捷運21.9 µg/m<sup>3</sup>、公車23.5 µg/m<sup>3</sup>及摩托車32.1 µg/m<sup>3</sup>，機車通勤族因暴露在污染物質的威脅下成為最直接的受害者。經由觀測移動式感測器數據高值，發現鄰近車輛之高污染排放現象，驗證移動式感測器之應用成果，期望未來可對於交通廊道上的高污染車輛進行偵測與辨識，或藉此建置交通廊道的移動污染基線資料庫，提供政府單位擬定政策、評估效益之依據，更能提供民眾在通勤或交通行為時戶外活動規劃之參考。</p>
<p>5. 針對本案導入ANN嘗試將感測器作為輔助調校之空品測站測值，此方向應屬可行，建議應徵對其運行方式、細膩度等內容，再討論其特性、季節、Input Index之可行性與應用性。另歸一化之詞用意為何？與正規化、無因次化處理差異為何？ANN Training Testing前處理方式為何？是否進行交叉驗</p>	<p>(1) 運行方式：目前此研究階段在於數據調教之正確性研究，期望透過ANN的修正後，可使修正數據更貼近標準測站數據。未來微型測站IoT機制建立後，一開始量測到的數據可後送，經過AI修正平台修正後的數據，再傳至顯示端，如此可增加微型測站數據精準度與細膩度。至於特性、季節等影響空氣</p>

委員意見	工研院回覆說明
證?	<p>品質量測的環境因數，已經納入AI 演算平台做特定神經元的學習與處理，未來數據收集超過兩年以上，更可以針對一年四季，分析出環境參數差異，再加入AI 系統學習，更能精進修正數據正確性。</p> <p>(2) PM感測器之數據預處理中的正規化/標準化(Standardization)與歸一化(Normalization)皆是資料無因次化之方法，但本質不同，本模式數據的歸一化(Normalization)主要是將數據按比例縮放，將數據統一映射到[-1,1]特定區間上，消除數據的單位限制，將其轉化為無因次化的純量，便於不同單位或量級的指標進行比較與加權，主要提升模型的收斂速度與精準度。標準化是依照特徵矩陣的列處理資料，其通過求z-score的方法，轉換為標準正態分佈，和整體樣本分布相關，每個樣本點都能對標準化產生影響。它們的相同點在於都能取消由於量綱不同引起的誤差；都是一種線性變換，都是對向量X按照比例壓縮再進行平移。</p> <p>(3) 本計畫PM sensor測試時，在ANN Training Testing的前處理方式包含原始數據處理(主要為去除離群值及測站資料及測試數據時間序比對)及歸一化。每次ANN訓練後會隨機選取感測器1日資料量進行模式驗證比對，如期末報告3.1節所述。</p> <p>(4) 於期末報告3.3節補充說明類神經演算方法學與介紹演算訓練模式與驗證方式。</p>

委員意見	工研院回覆說明
陳國義委員	
1. 本計畫自民國 106 年起執行，各階段工作重點不同，從蒐集國外各大都會 IoT 建置開始，到感測元件、模組及整機研發測試比對等，除本年度蒐集的越南、南韓，建議可持續了解先前各機構的最新進度，並納入報告。	感謝委員意見，於期末報告2.1節中補充各國際推動之最新進度，提出未來推動與精進之修正建議。
2. 感測元件監測不同於實驗室的精密儀器或監測站的常規監測儀器，其監測目的不同，但也要注意 QA/QC 的建立，特別是元件的衰減是重點。IoT 站不同於天網站能逐站去做檢驗，必須充分掌握衰減狀況，以系統作校正，校正除了以測站為基準外，另應有零點、全幅及多點校正，並在不同環境條件（溫、濕度）下作測試，確認其衰減狀況，而目前僅有 30-50 個元件可能不足測試需求。量產則必須注意品管、良率，將各元件間差異控制在可接受範圍。	感謝委員意見，元件量產過程中的 QA/QC與衰減參數是很重要的因素，NO <sub>2</sub> 、O <sub>3</sub> 元件與測站比對後無明顯衰退行為(6個月)，後續將持續評估元件衰減行為，以供後續元件校正參考。
3. 第 2-16 頁列出各縣市的感測器數量及測項，是否目前各測站仍無變化?更換情形如何?平均壽命?	感謝委員意見，於期末報告2.3節所列表的各縣市布建數量及測項資料統整，現行各縣市布建點數僅有增加趨勢，而其感測器之測項皆已更新，符合原先感測器布建之要求。 感測器尚無大量損壞或更換的情形，僅為少部分異常設備的替換；其設備平均壽命，自107年起使用至今無顯著設備衰減之情況，並依照感測元件原廠手冊說明，感測器平均壽命為至少2年。
黃欣俊委員	
1. 報告請補充國外儀器之性能（ex. 穩定性、衰減...），比對校正測試與QA/QC機制其具體內容。	感謝委員意見，於期末報告2.1節及2.4節中補充國外類似微感測器之規格比較及性能測試，與不同感測器之QA/QC機制。

委員意見	工研院回覆說明
<p>2. 請補充說明研發演算對離群值之篩選(ex.局部揚塵及突發污染事件...)及溫濕度補償對高海鹽區塊之影響是否作特殊處理。</p>	<p>(1) PM感測器離群值分別以標準化分數法、Hampel identifier法以及盒狀圖法這三種方法計算後，再進行比較三種方法所得離群值之比例，再以接近平均值之方法來進行離群值判定及刪除。而溫濕度補償目前並無針對高海鹽區塊進行處理，因目前測試場域並非高海鹽區，如後續有進行該場域測試時，將會納入考量。</p> <p>(2) NO<sub>2</sub>感測實驗時，沒有用到ANN Training Testing前處理主要是挑除目視直觀不合理outline的數據點(例如超過感測器極限的數據點)。挑除點約在0.1%以下，沒有使用交叉驗證。因為使用SPC chart或標準差來驗證可能剔除點更多，影響原始數據品質。</p>
<p>3. 最陡坡降法有其使用限制(ex.收斂速度...)，有無考慮合併其他(ex.共軛梯度法)補償方法?另是否在關機重開時，運算會遭遇不同的結果?若有，如何處理?</p>	<p>PM感測元件及O<sub>3</sub>感測元件之模式並非採用標準傳統的最陡坡降法，其模式訓練函數採貝葉斯正則化-反向傳播神經網絡(Bayesian regularization backpropagation)，收斂速度快，具有極佳的泛化能力，主要是依據Levenberg-Marquardt訓練演算法來更新權重與偏權值，並最小化且決定均方誤差與權重之組合。在類神經網路模式無增加新資料來重新訓練的前提下，關機重開並不會有不同的結果，模式聯結計算的權重值仍相同，依然會映射出相同結果。</p>
<p>4. 建議提供專有名詞之解釋或提供更詳細之說明，ex.Error 或 Bias 算式，研發演算之標準測站與平行比掛之標準比對感測器來源及管理，並請補充相關測試之架構或流程圖。</p>	<p>謝謝委員提醒，C.V.為每分鐘該感測器與周圍1公里內的鄰近感測器所計算出的共變異數，在取整個觀察月份內的中位數作為該月份的常態表現。Bias(%)為每小時該感測器與最鄰近的國家級空品監測站偏差量百分比，同樣取整個觀察月分內的中位數作為該感測器的</p>



委員意見	工研院回覆說明
	<p>常態偏差表現。Error(%)為每小時計算後的Bias(%)的絕對值，同樣取整個觀察月分內的中位數作為該感測器的常態誤差量的表現。相關專有名詞解釋與各項篩檢指標公式詳列於期末報告4.2節。</p>
<p>5. 感測器在微尺度空間解析的價值優勢，能否在期末報告時將監測數據資料作整理，回饋給傳統測站在未來調整參考。</p>	<p>感謝委員的建議，傳統的國家監測站主要目的在監控大區域範圍之空氣品質狀況及長期趨勢，而現行感測器布建位置與監測目的與國家監測站不同，政府感測器主要布建於工業區內或列管污染源週邊，藉以輔助環保單位進行智慧稽查，感測數據較易偵測到微環境的污染排放行為，若作為大區域範圍之空氣品質解釋會有代表性不足的疑慮。若想做為國家監測站的回饋與位置調整，可於往後感測器最適化布建規劃時，斟酌增加背景空品偵測目的的站點。</p>
<p>6. 地方對校正線性之外插現象，是否有相關修正之建議。</p>	<p>感謝委員意見，針對部分地方感測器之異常高值，因超過原校正濃度區間，並不建議採用線性外插實施校正。現行建議維運廠商採用實驗室測試在0~300 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>的線性回歸公式，未來建議應建立分段校正公式，以達到整體校正不會產生過度校正或線性外插的問題出現。</p>
監資處	
<p>1. 報告中提到感測器發現重大污染事件，後續環保局有無相關作為？未來如有大火發生，能否和預警作為連結？</p>	<p>感謝委員建議，針對期末報告4.3節提及重大污染事件之發現，後續環保局應有針對受影響區域告知當地民眾須注意空品狀況，並攜帶口罩。</p> <p>針對火災這種意外的污染案件，尚須多收集相關數據，並進行多個案件的分析，未來才有機會建立相關的預警系統。</p>
<p>2. 感測器的數據校正，是否會因元件的新舊不同而有差異？</p>	<p>(1) 感謝委員的提問，目前數據校正採兩階段進行，首先會先針對目前感測數據進行異常篩檢，並將數據表</p>

委員意見	工研院回覆說明
	<p>現異常的設備提列予相關單位釐清為設備故障或為布建位置有污染排放行為，第二步驟將針對有良好相關性表現但數據產生偏差之感測器進行系統性的校正，就目前於新北市的智慧巡檢結果看來，感測數據受個別儀器效能與特定環境的污染影響較大，未有發現新舊儀器或不同廠商佈建的差異。</p> <p>(2) 感謝委員意見，目前數據校正持續進行觀察，於期末報告4.2節中呈現相關結果說明。</p>
<p>3. MOT感測元件與固定測站的比對不錯，但實際移動量測時數據是與參考的儀器比對，如何可證明該數據是可信？</p>	<p>感謝委員的肯定。</p> <p>參考儀器於測試前需放置於環保署標準測站進行連續比對3天(含)以上平行比對測試，符合比對標準決定係數(<math>R^2</math>) <math>\geq 0.70</math>，相對器差中位數的絕對值 <math>\leq 30.0\%</math>，才能進行實地測試。本團隊將MOT裝設於汽車車頂進行道路測試，同時加裝高階PM<sub>2.5</sub>感測設備TSI-8533當參考儀器，測試結果發現MOT與TSI-8533之的相關性，決定係數(<math>R^2</math>)可以達到0.86，MOT與TSI-8533之PM<sub>2.5</sub>感測濃度趨勢行為相近，因此可以證明測試數據的可信度。</p>
<p>4. 如有地方環保局在標定熱區、資料分析上不熟悉，而導致無法有效進行稽查，應儘速安排相關指導事宜。</p>	<p>感謝委員意見，團隊已於109/7/21合辦會議中詢問各環保局是否有資料應用相關問題，並協助環保署於109/8/6與宜蘭縣環保局進行資料應用討論會議。</p>

# 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫

## 期末報告意見回覆

委員意見	工研院回覆說明
林柏雄委員	
1. 109 年環境感測物聯網整合推動及專案管理計畫期末報告撰寫格式及內容，以及計畫執行進度大致符合合約之要求。	感謝委員的肯定。
2. 有關第三章國產化空氣感測元件之研發，其中O <sub>3</sub> 50 ppb濃度之精確度< 30% 是否有誤?	感謝委員指導，本文中提及O <sub>3</sub> 50ppb是在論述感測元件場域比對前會在實驗室先用標準O <sub>3</sub> 氣體測試測元件的準確性，目前共測試五種臭氧濃度(0, 20, 50, 100, 150 ppb)。
3. 另外第三章有關NO <sub>2</sub> 感測元件，依測站場域不同；除高濃度R <sup>2</sup> > 0.65，其他中濃度場域為0.54，而低濃度為0.41，是否達標?有否改善空間，偵測極限為何?	感謝委員指導，第三章有關NO <sub>2</sub> 感測元件的場站測試為回顧去(108)年場域測試之穩定性與效能的結果，經與今(109)年模組精進後比對，六處場域測試結果均R <sup>2</sup> >0.5皆有達標，依據目前數據測試發現偵測下限可達15 ppb。
4. 以大數據分析發展智慧校驗，其中提及類神經網路較多元線性回歸校正成果較佳，建議將二者之差異加註於成果報告摘要。	感謝委員指導，PM <sub>2.5</sub> 感測器與測站數據迴歸分析R <sup>2</sup> 約為0.4，利用人工類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)演算法調校後R <sup>2</sup> 皆可達到0.65以上。NO <sub>2</sub> 感測器利用ANN溫濕度修正演算補償可提高R <sup>2</sup> 有5-20%不等程度，但對於環境< 10 ppb以下樣本數太少，ANN無法有效修正。O <sub>3</sub> 部分依據國際文獻中可知，類神經演算法相較於多元線性回歸而言，具有較準確的修正值，有助於提升R <sup>2</sup> ，因此本研究僅利用類神經演算法來針對溫濕度對感測元件之影響進行校正補償。
5. 對於未來維運感測器及數據品質管理，是否可提出可行性較高成本估算、料件更換頻率等予主管	感謝委員指導，依據執行感測器數據品質的分析發現，感測元件的壽命約2.5~3年，其他機構模組壽命至少5年，

委員意見	工研院回覆說明
機關，納入未來預算編列之考量。	以每年維運數據品質之人力負荷，每一個感測器的維運成本約1萬元台幣（含稅），計畫團隊依據本預算估列110年~114年預算，已獲得未來維運經費。
6. 對於Nitric oxide(NO)之測定，感測器能否分辨NO與NO <sub>2</sub> 。	感謝委員指導，NO <sub>x</sub> 中的NO為還原性與NO <sub>2</sub> 氧化性兩者化性不同，調變感測材料的觸媒與感測器的驅動條件，可以提高選擇性分辨NO與NO <sub>2</sub> 。
7. 第4-15頁次，如何判別感測器設備異常與環境特性所致，導致異常數據，是否亦納入智慧化制度。	感謝委員的提問，由第四章表4-4中的平行比對指標結果可見部分受檢感測器與平行比對的參考設備的數據具有一定的相關性且偏差量小，設備異常的表現會顯示長期相關性與偏差量不佳或差異大。如屬環境特性，則相關性與偏差量將伴隨環境改變呈現時好時壞的行為，未來智慧化分析可運用分析特徵解析感測器的運作行為。
8. 第四章建議納入智慧校驗模式之流程以及比較不同模式之結果，比照第三章之方式呈現。	謝謝委員提問，本年度智慧化巡檢機制係利用複合型的統計指標，比對受檢感測器與鄰近感測器及國家級監測站之感測數據表現，篩選出疑似的異常感測設備進行現場巡檢，並於巡檢現場附掛參考標準儀器進行驗證比對，藉以確認指標篩檢出的疑似異常感測器實際量測效能。
9. 部分圖示為彩色，但報告以黑白呈現無法判讀（如第3-5頁次圖3-3），亦請修正。	感謝委員指正，已修改圖示呈現方式如圖4-3、表4-3所示。由於圖3-3無法呈現差異，改以文字說明均修正於報告中，詳如p.3-4~3-5。
10. 英文摘要請專人加以修正文字敘述以及文法。	感謝委員意見，英文摘要已修正完成。
章裕民委員	
1. CH3 的幾項感測元件開發，經實場比對已有初步成果，值得肯定，惟無論是PM、O <sub>3</sub> 、NO <sub>2</sub> 與現有的測站之R <sup>2</sup> 皆落在0.5-0.7之間，就	感謝委員指導，感測元件確有進步空間，計畫團隊將持續收集數據與場域測試，據以優化感測元件的性能。

委員意見	工研院回覆說明
儀器開發而言，似屬有再持續改進空間。	
2. CH3 的三項感測元件是否有精密度與準確度（與標準品或二級校正）之實際數據，如果有，可陳述供 EPA 卓參。	感謝委員指導，感測元件的精密度及準確度測試，皆於107-108年的測試報告中供環保署查閱，109年已場域測試及量產設計為主，故未呈現與報告中。
3. CH4.1已提出執行上已發現(P.4-4)感測器在空間分布之差易甚高，而文中對此並未提出具體的建議點，宜純就儀器檢測角度，補敘專業上的論析（註：同一項物品或事物，不論用哪種儀器或廠牌，本質上測值皆要落在合理的或允許的誤差範圍內）。	感謝委員指導，因官方與民間自主布建的感測目的、量測元件、維護機制、地理位置、背景污染…等諸多差異，使得感測數據會有不同表現，對此本年度為減低各界對於數據解讀上的落差，分別針對官方與民間的感測數據進行整體的調校，將各方感測器的基準依據齊一統合至國家級監測站的數據標準，提升數據綜合判讀之有效性，此外官方布建之感測器不論廠牌，於出廠前皆已經過嚴謹的型式驗證與實地場域驗證，同時定期實施巡檢查核作業。以民間感測器缺乏相關QA/QC機制的管控下，實難確認數據在空間分布的差異。
4. 請補述，CH5 的感測器布建之監測數據品質（如 DC%、R%、校正要求等），可以列表呈現，供 EPA/EPB 人員卓參。	感謝委員指導，感測器數據品質已於表5-4及表5-9呈現DC%（數據完整率，R%），校正後的數據品質以bias %呈現。
張益誠委員	
1. 本年度已是執行單位，執行本委辦專案之第四個年度，針對期末報告格式、架構、內容等屬熟稔且已應符合撰寫需求與規定。另，針對本年度計畫目標與各工項（表1-3、1-4）羅列之執行進度（部分賡續執行中），多已符合期末查核要求（總進度 95%）。惟，個人針對一(5)提升國際能見度執行進度 95%，與 2.5 節採行應變做法後之敘述內容有些落差（感覺已是	感謝委員指導，一(5)提升國際能見度主要為將我國感測物聯網推動成果及創新發現投稿或發表論文於國際期刊或國內指標學術期刊3件以上，因期末報告交付時間為10/31，部分論文發表在11月份，故總進度為95%。針對2.5節之執行涉及場域測試，皆於11月測試完成，故執行進度有部分落差。全計畫工作於11月底皆已完成，計畫執行進度已達100%。

委員意見	工研院回覆說明
100%)，建議補充敘明為何有 5% 落差。	
2. 表 2-11 羅列媒體露出之電視新聞媒體來源，似乎只有 TVBS (三則) 與公視 (一則)，執行單位認為原因為何?是否表示國內電視新聞媒體，對於環境感測器布建議題並不關注?或其他因素，建議補充敘明。	感謝委員指導，由於同一新聞事件會有多家新聞媒體同時露出，已修正於表2-12與表2-13中。由於運用環境感測器進行環境治理已實施3年有餘，故電視新聞媒體已少有播報，相對於新媒體的興起，反而以網路媒體報導居多。計畫團隊將持續與各地方環保局營造新聞亮點，擴大宣揚環境感測物聯網對於智慧化環境治理之應用成效。
3. 本案已執行四個計畫年度，個人建議或許可增列乙章節，將這四個計畫年度，執行成果主要亮點，加以歸納彙整與比較。若可行，再提列類似投入產出之成本效益分析，當然也助於委辦單位之參考。	感謝委員指導，已於第八章第三節彙整四年主要成果亮點。
4. 個人對於本案以線性回歸 (測站值=a 感測器值+b) 方式之 $R^2$ ，來作為感測器與鄰近測站之相關性分析量標，且過於強調 $R^2$ 值，但本案合理或可接受的 $R^2$ 標準為何? $R^2$ 是一種普遍應用迴歸分析的密合度指標，用來作為評估實際數據與回歸方程式的密合程度，但易受極端值扭曲，因此要導入本案應用範疇，應該依據統計回歸模式 sop 進行，且包含必要統計檢定。為何本案不單純僅以相對誤差計算方式，又似已過於簡化，兩者關係是線性嗎?或許在高、低、中濃度或環境，是存在不同回歸方程式。因此，個人建議針對此部分結論 (強調 $R^2$ )，還是須斟酌科學、嚴謹度。另，個人針對 ANN 調校，沒特別想法，但因區位污染特徵不同，還是得留意	感謝委員指導，目前美國加州南岸空氣品質管理局(AQ-SPEC)之低價空品感測器實驗室評估草案，對商用感測器的性能測試評估以元件模組與標準儀器的場域數值累積1個月的統計比對主要以相關性 $R^2$ 為指標。實際環境場域複雜有高、低、中濃度分布情況，本開發模組以國內場域可實用性為目標，或許在不同的季節時段會有不同 $R^2$ 結果，但本案以不同複雜條件感測器能滿足合格 $R^2$ 相關度為國產化可實用的指標。對委員建議，在特殊污染場域case-by-case的測試探討，本案三元件初步都有在非大氣環境應用如汽車維修廠之板金作業環境、科技廠廠辦內無塵室之作業環境、與金屬機械鑄造的局部高溫區作業，測試結果確認在非環境應用的可行性。



委員意見	工研院回覆說明
case-by-case 特性，無一體適用 ANN Model。	
<p>5. 個人認為以空氣品質物聯網感測器與EPA百萬等級且有定期進行QA/QC調校保養的空品測站監測儀，兩者應用角色之定位應有不同？如果本案試圖以此等感測器來取代既有測站數據，現階段應該還有一段長路要走。因此，個人建議或可藉由本計畫，將空氣品質物聯網之未來實用價值先加以釐清，例如智能稽查輔助，或遺漏值補遺之用等。</p>	<p>感謝委員建議，測站設備，其架設目的即為了解大區域的環境濃度狀況，而不易受到小區域之污染影響。而環保署與地方政府合作布建的空污感測器，主要使用目的在瞭解微尺度的空氣品質狀況，進行輔助稽查作業、交通污染的判別及輔助等作業，感測器本身無法取代高精準度的測站設備。未來也會著重於設備加值應用的方向執行。</p>
陳國義委員	
<p>4. 元件部分，<math>R^2</math>、Zero/Span 等都已不錯成果，可朝長期使用所需的衰退時間、耐久性、須更換期限等項持續精進，並建立可行的SOP及QA/QC。除了單獨元件，亦可推動系統化規劃建置，將大量測點依目的分類，區分為彌補天網測點，及針對特定局部污染來源、河川、港區、室內等不同型態測點擴大其應用。</p>	<p>感謝委員指導，未來計畫團隊將持續朝委員建議的方向精進與應用規劃。</p>
<p>5. 若用在室內、醫院、辦公室、工廠等不同型態場所，則其測定範圍須很大，而元件的檢測能力有侷限性，需以AI、類神經網路、大數據學習等技術的優化補足，才能將<math>R^2</math>由0.5升高至0.7，屬高度客製化的監測方式。本案所研發的元件係以溫、濕度作修正優化，但濕度測值本身即不甚準確，應用於學習修正必須注意，或降低其計算之占比。</p>	<p>感謝委員指導，為盡可能降低溫濕度不準確性之影響，故在進行ANN訓練時，溫濕度數據會先與測站之溫濕度數據進行比對修正後再進行訓練，以降低此不確定因素之影響。</p>

委員意見	工研院回覆說明
6. 第 3-56 頁, NO <sub>2</sub> 元件同級比較表, 應標註資料來源 (或自行測試結果?)。	感謝委員指導, 表 3-7 已標註資料來源為 AQ-SPEC ( <a href="http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-gas">http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-gas</a> ) 與國研院 AQI 氣體與智慧機械感測器期中成果發表會(20200630)。
7. 第 4-40 頁中研院的 Airbox, 整體測值遠高於天網測站, 但 R <sup>2</sup> 也有 0.7, 相關性良好, 是否可修正至正確值? 其站點數近萬直追環保機關所布點數, 雖屬學術機構並非官方監測數據, 亦為可觀之監測資源, 不宜忽視其存在。	感謝委員指導, 本計畫分析中研院感測器數據, 大部分感測器皆與測站相關性良好, 目前中研院團隊已進行數據校正, 本團隊也持續檢視校正後數據與測站相關性變化。
8. 第 2-24 頁各縣市自年起所布設測點, 現存能正確有效運作有多少? 中研院的資料彙整表僅有數量, 能否獲知其元件及儀器的廠牌型號等重要諸元, 納入報告, 以便作比較	感謝委員指導, 針對期末報告 2.3 節中提及各縣市的布建點數, 自 106 年環保署與各縣市政府合作至今, 共完成 8,700 點之感測器布建, 現行這 8,700 點設備皆有效的持續運作, 本團隊與環保署之其他計畫團隊, 皆會定期查核各縣市政府之設備, 且各地方政府也會自行進行設備巡檢維護作業。針對中研院布建之設備相關參數已增列於表 2-11, 提供訊舟科技提供的資訊於報告中。
9. 與國外的聯繫推廣, 研討會部分建議未來可列入 AWMA (Air and Waste Management Association), 雖是美國的環保技術專業團體, 但也是國際間知名且有影響力的組織, 每年年會都能聚集各國產官學研人士參與, 實務性強, 推廣效益大。	感謝委員指導, 計畫團隊未來將依建議納入 AWMA (Air and Waste Management Association) 做為國際參訪與研討的活動目標。
黃欣俊委員	
7. 環境物聯網的網頁建議強化可讀性, 如圖示方式。另多階感測網的資料在設計上避免與 AQI 的現況方式造成民眾誤解。	感謝委員指導, 計畫團隊將持續優化網站的可讀性與呈現方式。同時注意多階感測網的資料在設計上避免與 AQI 的現況方式造成民眾誤解。
8. O <sub>3</sub> & NO 等氣狀微型感測器預期會有更多關注和研發開展, 其相	感謝委員指導, 本計畫已與三家廠商聯盟參與產業升級創新平台輔導計畫(創

委員意見	工研院回覆說明
關前置作業（ex.性能指標、驗證程序等）應加速完成準備	新優化計畫）申請，進行後續O <sub>3</sub> & NO等氣狀微型感測器的業界導入開展作業。
9. 本案為整合性計畫，相關作業指引（含比測場景的標準 SOP）是否能列出或上網提供更多的參考，有助於提升整體的推動效益。	感謝委員指導，於期末報告5.4節中提及本團隊依照過去執行經驗及感測器相關規範，建立「空氣感測器物聯網布建及數據應用指引」，並於指引中建立出廠性能品管作業、布建作業、運轉中管理作業等標準作業程序，詳細內容詳如附件。
10. 外掛在箱體的比對方式，是否評估對內置標準件造成風速（ex.氣流、風向等）干擾。	感謝委員指導，計畫團隊為評估各型感測器之數據品質，將設備置於百葉箱內或附掛於百葉箱旁進行與測站的平行比對，比對發現感測數據受風速、溫度及濕度影響，透過數據校正，皆可將於感測器與測站間的相對器差調整至正負30.0%的範圍，以確保感測器數據品質，未來已訂定規範，針對相關干擾因子應實施動態校正，降低影響的效應。
11. 地方反應在高濃度校正的部分，如何協助處理。	感謝委員指導，由於感測器的調校需要有足夠的數據資料協助，在缺乏高濃度的測站級參考數據下，目前建議以實驗室營造的微粒質量濃度300 µg/m <sup>3</sup> 進行校正模式的建立。未來規劃採用FRM的光學設備當參考儀器，設置於常發生高濃度的場域進行平行比對，據以建立感測器高濃度的校正模型。
12. 執行成果事項，報告內容充實。	感謝委員的肯定。
監資處	
5. 本署感測器布建點位情境本以工業區及其鄰近區域為主，但結論第3項第3點僅提到四個縣市，理應除了像臺北市外的縣市，都有政府感測器污染濃度高於一般住宅與商業區的民間感測器情況？請再說明。	感謝委員指導，環保署感測器布建點位情境確實以工業區及鄰近區域作為優先對象，然而實際觀測數據於該四縣市有明顯的高值表現，估計係因該縣市內部的工廠組成型態其排放較易產生PM <sub>2.5</sub> 的粒狀污染物所致，進而反應於感測數據上，對此現象亦可於後續計畫中深入探討各工業區產業結構以及化

委員意見	工研院回覆說明
	學製程對於污染排放之影響。
<p>6. MOT感測是為了瞭解移動污染源，未來也可應用於抓烏賊車等稽查效益，但測試結果又對道路旁高污染來源有明顯的判別，是否會造成稽查舉發的誤判？</p>	<p>感謝委員指導，由於MOT可以感測走廊道上的高污染現象，包含烏賊車與道路旁高污染源，以多台MOT在道路上辨識高污染車輛的特性上，如發現不同MOT在不同路段辨識到同一台疑似高污染車輛時，此車輛隸屬烏賊車的可能性就更明確。如果不同MOT在同一地點辨識到高污染特徵，則此地點應隸屬為道路旁污染排放行為。透過大數據分析污染行為特徵與發生頻率，將可有效降低稽查舉發的誤判。</p>
<p>7. 結論第4項第2點感測器最適化點位調整，提到篩選出的不適當場域是有民眾陳情之特殊目的，又由報告內容得知感測器是裝設在炭烤店排油煙出風口，即是不用裝設感測器也明確知道的污染來源，有無與環保局討論裝設於該處的原因，否則實則浪費一個感測器點位。</p>	<p>感謝委員指導，計畫團隊發現感測器布建於不適當的場域後即與地方環保局討論點位的必要性，但環保局回應基於民眾陳情之特殊目的布建點，藉由感測器布建監測瞭解店家污染排放行為，在店家確實改善前，將持續設置以遏止店家的污染排放行為。</p>
<p>8. 承上，有無統計執行團隊建議調整點位，實際上有做調整或未來會規劃調整之比例？否則如花時間分析卻都沒被環保局接受，亦難達到本署欲推動感測器布建應用之目的。</p>	<p>感謝委員指導，截至109年9月，總計各縣市已布建感測器並上傳至環保署IoT平台之數量為8,221台，其中76 %共計6,193台感測器曾於環保署空氣網的78處告警判定區內發生過污染告警事件，可認為具有污染偵測效能之布建點位，其餘24 %共計2,028台則未曾發生污染告警事件，可見該布建位置無法有效偵測到污染物，建議可對其進行點位調整。相關資料已提供環保局做為下年度點位調整的參考資料，計畫團隊也將最適化點位的評估方式納入技術指引，提供環保局做為未來評估最適化點位的應用工具。</p>
<p>9. MOT感測請再加強說明想解決的問題，以供後續規劃參考。</p>	<p>感謝委員指導，以現階段MOT的運作成果發現，MOT可補足都會區感測數據不</p>

委員意見	工研院回覆說明
	<p>足的空缺，可了解民眾生活環境的污染時空特徵，做為區域環境空品治理、交通污染管控極具參考價值。另外，由於MOT可以分析區域污染的面化分布，對於感測點位的選定具備參考依據。由於MOT可裝設於移動載體上量測，故應用於UAV的量測，可協助解析空污的垂直分布特徵，裝設於船舶，也可分析岸際或海域的污染行為。</p>
<p>10. 請再思考如何讓巡檢更有效率，人力使用的問題應從制度建立做起。另感測器的可用率及抽樣方式等，須再確認。</p>	<p>感謝委員指導，本年度智慧巡檢機制是運用雲端數據先期篩選出需要巡檢的標的，以提高巡檢效率，同時巡檢之制度已納入「空品感測物聯網布建及數據應用指引」規範，可有效降低維運成本。針對巡檢的抽樣方式應透過雲端巡檢，挑出疑似設備異常的感測器進行巡檢，除了維運廠商應具備評估能力外，第三方查核團隊再透過定期分析，篩選出相對異常設備，將可全面提升感測器數據品質。</p>
<p>11. 臭氧感測元件是比較有機會推出，其實用性及市面上價值如何？</p>	<p>感謝委員指導，目前O<sub>3</sub>感測元件應用面包括室內空品、工廠廠內監測與戶外環境監測等應用。該元件特點為國內自主掌握關鍵核心技術，因此在關鍵成本與產品性能，較國際相關產品亟具競爭力。</p>
<p>12. MOT可規劃於港區進行感測，另也可思考其它應用情境，如未來規劃布點時，可先利用MOT瞭解污染分布，使布點能更有效益。</p>	<p>感謝委員建議，計畫團隊於12月先進行台中港區的感測測試，同時針對部分點位設置固定感測點，據以分析港區污染分布，可做為未來布點規劃之參考。</p>
<p>13. NO<sub>2</sub> 感測元件請再瞭解適用範圍及市場定位等，如未來可以交通源感測為主，另也可裝設於煙道，但須確認其是否可耐高溫。</p>	<p>感謝委員建議，NO<sub>2</sub>感測元件模組除了環境偵測外，在工業、職業安全與公衛健康等皆有應用市場的潛力，NO<sub>2</sub>模組經場域測試評估在環境濃度&gt;30 ppb之量測不需要溫濕補償修正，非常適用於交通源污染偵測。此外，在裝設於煙道的高濃度應用評估，原本元件即為耐高</p>

委員意見	工研院回覆說明
	<p>溫的MOS氧化物半導體型，經調整電路參數可用於感測數十ppm級的濃度，針對煙道高溫腐蝕環境，可以元件陶瓷封裝耐熱探頭式偵測機構設計，可應用於煙道等工業作業環境。</p>





行政院環境保護署

# 空品感測物聯網布建及數據應用 指引

中華民國109年9月

## 目錄

<b>第一章 前言</b>	<b>1</b>
1.1 整體技術架構	2
1.2 空氣品質感測物聯網資通訊系統架構	5
1.3 感測器與國家監測站的差異	5
<b>第二章 感測器性能指標</b>	<b>8</b>
2.1 感測器應用目的分級	8
2.2 PM <sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標	9
<b>第三章 出廠性能品管作業規則</b>	<b>13</b>
3.1 感測器功能規格	13
3.2 感測器出廠前校正	14
3.3 感測器型式驗證	15
<b>第四章 布建作業規則</b>	<b>18</b>
4.1 感測點位規劃	18
4.2 感測器點位選址原則	19
4.3 全數感測器一致性比對	20
4.4 感測器布建安裝	21
4.5 最適化點位檢討	22
<b>第五章 運轉中管理作業規則</b>	<b>23</b>
5.1 運轉中感測數據偏差原因	23
5.2 定期現場維護	24
5.3 定期巡檢	24
5.4 感測器群集分析	26
5.5 感測器衰減分析	27
5.6 感測器數據校正	27
5.7 感測器異常告警管理	29
5.8 感測器快速查修	30
5.9 感測器汰換更新	30
<b>第六章 布建後查核作業規則</b>	<b>32</b>
6.1 第三方查核	32
6.2 召回測試	34

6.3	異常查檢.....	34
<b>第七章</b>	<b>感測數據公布規則.....</b>	<b>36</b>
7.1	感測數據即時公布規則.....	36
7.2	感測註記條件.....	36
7.3	數據公布權責與義務.....	37
<b>第八章</b>	<b>資料數據中心與應用分析平台.....</b>	<b>38</b>
8.1	環境感測數據資料中心.....	38
8.1.1	感測設備管理介面.....	38
8.1.2	設備狀態檢核.....	39
8.1.3	設備異常處置流程.....	40
8.2	環境感測數據分析平臺.....	41
8.2.1	數據呈現介面.....	41
8.2.2	感測數據分析技術.....	42
8.2.3	輔助智慧稽查功能.....	43
<b>第九章</b>	<b>感測數據應用分析.....</b>	<b>49</b>
9.1	工業區熱區分析輔助智慧執法.....	49
9.2	感測器輔助國家測站異常高值溯源.....	50
9.3	感測數據輔助突發環境事件分析.....	51
9.4	感測數據輔助回應民眾陳情.....	53
9.5	感測數據輔助掌握突發意外事件.....	53
9.6	感測器輔助掌握大環境天氣系統影響空品.....	54
9.7	感測數據輔助重污染氣候因應措施.....	55

## 圖目錄

圖1、空品感測物聯網整體技術架構流程.....	4
圖2、空品感測物聯網資通訊系統架構.....	5
圖3、感測資料數據中心平臺數據檢核儀表.....	39
圖4、一致性檢查相對高、低值說明.....	40
圖5、設備異常事件處理流程.....	41
圖6、環境感測數據分析平臺呈現介面.....	42
圖7、IoT 整合數據分析三大技術.....	42
圖8、污染事件告警與回溯.....	44
圖9、IoT 輔助環保稽查3階段6步驟.....	45
圖10、WoT 輔助稽查工具介面 .....	46
圖11、深入稽查分析介面.....	47
圖12、深入稽查分析介面.....	47
圖13、IoT 透過 AI 熱區分析掌握污染特徵.....	49
圖14、驗證 IoT 輔助環境智慧執法.....	50
圖15、感測器輔助國家測站異常高值溯源.....	51
圖16、感測數據輔助突發環境事件分析.....	52
圖17、感測數據輔助回應民眾陳情.....	53
圖18、輔助掌握突發意外事件.....	54
圖19、感測器輔助掌握冬季天氣系統影響空品的行為.....	55

## 表目錄

表1、感測器與國家監測站的差異.....	6
表2、感測器應用目的分級表.....	8
表3、PM <sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標 .....	12

# 空品感測物聯網物布建及數據應用指引

中華民國109年09月24日核定

## 第一章 前言

有鑑於近幾年微型感測器技術日益成熟，以及資通訊技術突飛猛進，環保署自106年起推動環境感測物聯網相關計畫，將我國空氣品質監測體系朝網網相連的多階層全國空氣品質監測體系建置。目前已布建在主要的工業區、科學園區、交通區及社區，全時感知列管工廠空污概況，提供細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、溫度、相對濕度等分鐘級的感測數據。透過大數據及人工智慧技術的分析，有效限縮污染熱區與可疑對象，輔以科學儀器進行採證後，確實驗證空氣品質感測物聯網應用於輔助環境執法的成效。

以 PM<sub>2.5</sub>感測器為例，因為感測原理簡易，使得感測數據會與標準方法使用的設備（如國家監測站）產生誤差。因為具備價格便宜且感測頻率高的優點，可以提供分鐘等級與街道尺度的感測資訊，同時感測器群體具備極佳的精確性(Precision)，藉由群體感測器的時空變異特性，可以提供區域污染的變化特徵，對於微環境的污染徵兆的解析，具應用價值。

基於善用空品感測物聯網的優勢，避免誤用感測數據，特訂定本指引，提供給參與合辦空品感測物聯網工作及相關使用者參考運用。依據感測數據的應用目的，針對輔助測站參考、個人暴露評估、污染熱區鑑別及教育使用等用途，訂定感測數據的性能指標，提供感測器選址布建、維運管理、數據品管等作業規則，在確保感測數據品質的同時，進而協助發展智慧化環境治理及推廣環境教育認知。

因為 PM<sub>2.5</sub>感測器應用廣泛，且發展成熟，加上臺灣在空氣品質感測物聯網的應用實務經驗，本指引提出以109年度針對 PM<sub>2.5</sub>感測器為主的具體作法供使用者參考運用。但為兼顧隨著環境的演變與技術提升而進化的管理模式，環保署將適時提出革新建議，具體作業方式將依實務需求進行增修。

## 1.1 整體技術架構

本指引依據臺灣推動空氣品質感測物聯網計畫經驗，以實務執行順序，將整體技術分為感測器出廠性能品管、布建作業、運轉中管理、布建後查核、感測數據公布及應用分析等6階段，整體技術架構與流程詳如圖1，內容概略說明如下：

1. 出廠性能品管：設備製造商依據感測需求、使用環境及應用目的，設計組裝感測器，建立感測器校正公式。生產感測器成品需挑選至少3台，送環保署委託型式驗證單位進行測試，透過實地場域測試及實驗室測試，確認該型號感測器各項性能指標。針對參加中央與地方合辦感測器需符合污染熱區鑑別應用等級性能。
2. 布建作業：感測器於布建前應依據5大感測類型規劃布建密度、布建高度及布建點位，確保未來在感測數據應用分析上能發揮應有的效能。在布建至現場前，應將全數感測器裝設於環境場域鄰近的國家監測站，進行群體感測器與監測站間的一致性比對，需符合污染熱區鑑別應用等級性能指標後，才能進行場域布建。全數感測器比對完成後，應留下至少5%（含）或6台以上的感測器於國家監測站上，做為長期校準比對或定期巡檢比對的參考設備。布建作業需依據作業規則實施，在確保施工安全下，能取得具代表性的感測數據。
3. 運轉中管理：布建完成後，維運商必須定期實施感測器維運及管理，定期現場維護與自主巡檢比對、查核數據品質、設備異常管理、快速查修與汰換更新。維運及使用單位應透過長期數據分析，研判異常事件、感測器衰減特徵，實施動態數據校正，確保感測器數據品質持續符合污染熱區鑑別應用等級性能。
4. 布建後查核：為強化布建完成後感測器的品保品管，環保署（或環保局）可透過定期或不定期查核機制，藉由第三方查核、召回測試及異常查檢，檢視感測器持續能符合污染熱區鑑別應用等級。
5. 感測數據即時公布：在落實執行布建與維運作業規則下感測器，經環保局查核確認感測器符合污染熱區鑑別應用等級的數據品質要求下，即可公布





感測數據。

6. 感測數據應用分析：感測數據透過收集、整理、清理後，運用大數據分析及 AI 人工智慧技術，藉由分析感測數據的時空特徵，評估污染事件的發生區域、發生時間週期、影響範圍，據以輔助環境執法應用、異常環境事件、天氣系統影響、重污染氣候緊急應變及其他應用，作為擬定實施環境治理措施的參考依據。

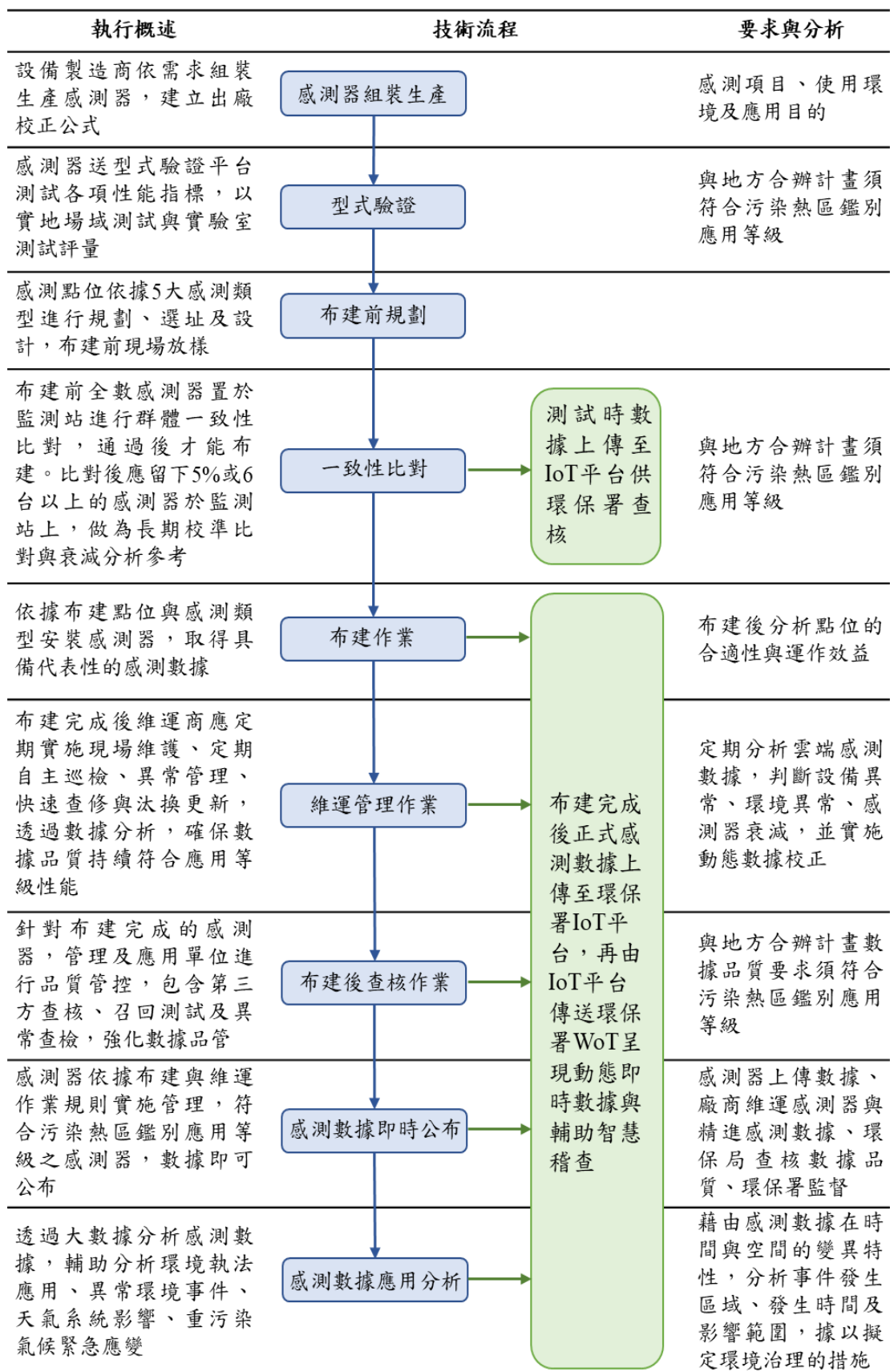


圖1、空品感測物聯網整體技術架構流程

## 1.2 空氣品質感測物聯網資通訊系統架構

空氣品質感測物聯網的整體資通訊系統架構如圖2，空氣品質感測器取得環境資訊後，透過4G LET 或 NB-IoT 的無線通訊系統傳送到廠商所維護的資料收集中心，主要分為2種類型，一是廠商設置於雲端的虛擬主機，及廠商自建的實體機房，廠商針對感測器回傳資訊進行設備狀態判讀，實施感測數據整理與清理，在完成原始數據校正為環境濃度數據後，再傳送至環保署感測資料中心（IoT 平台），執行蒐集、分析與呈現各台感測器的運作狀態與感測數據。整理完成的感測數據再由感測應用服務平台（WoT 平台）執行污染事件分析、告警資訊推撥，並以地圖為基礎的視覺化動態呈現空氣品質資料，全系統皆須符合資訊安全的相關規定。

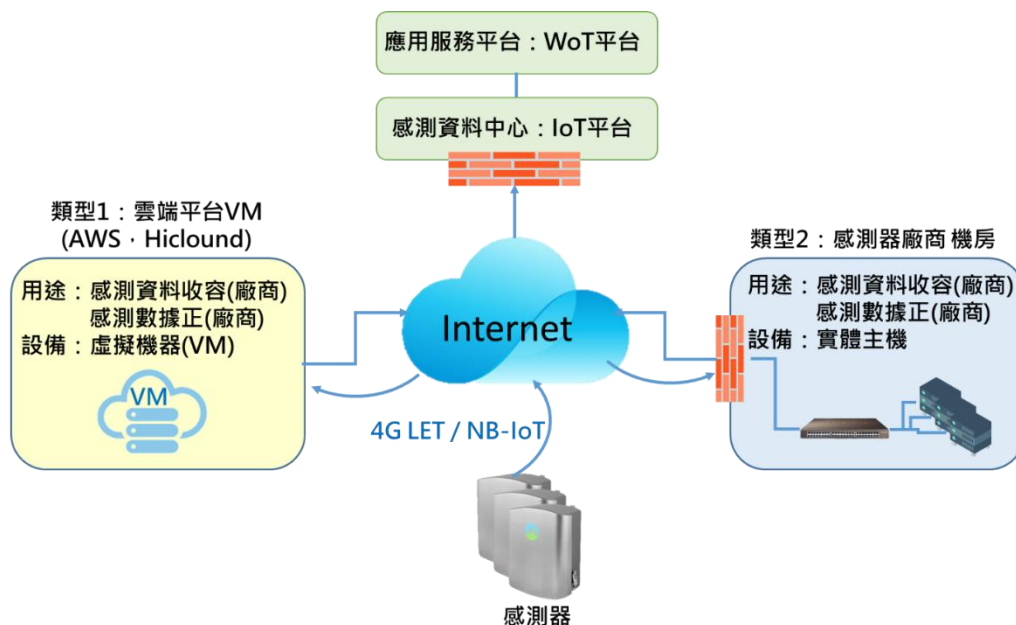


圖2、空品感測物聯網資通訊系統架構

## 1.3 感測器與國家監測站的差異

微型感測器基於感測的原理與方式易受環境干擾，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，使用者必須瞭解感測數據的運用限制，才能避免數據誤用，國內常見的空品資訊來源主要有國家監測站、智慧城鄉感測點（中央與地方合辦布建微型感測器）、校園微型感測器及民間感測器，彼此間的差異詳如表1所示。

表1、感測器與國家監測站的差異

類型 項目	國家監測站	智慧城鄉感測點 (中央與地方合辦布建 微型感測器)	校園微型 感測器	民間微型 感測器
監測目的	法規監測	污染熱區鑑定感測	環境教育	個人、居家應用
數據應用	評估大範圍空氣品質是否符合空氣品質標準及政策訂定依據	小區域環境空氣污染熱區鑑定及污染排放追蹤溯源以污染執法應用	微環境空氣品質相對變化趨勢資訊及原因探勘	
儀器原理	貝他(β)射線衰減或慣性質量法	物理光散射原理		
粒徑定義	氣動粒徑： 將懸浮微粒粒徑以運動特性類比為具有相同特性的單位密度圓球粒徑。	光學粒徑： 雷射光照射顆粒所測定的粒徑。表面粗糙度、水分、吸光度會影響粒徑測定。		
健康風險關係	現今皆以氣動粒徑進行健康風險研究、標準檢測方法。	光學粒徑尚未建立與健康風險的關聯性。		
數據空間解析度	約 10 至 25 公里	工業區內100-300 公尺	約 1 公里	
數據時間解析度 (粒狀 污染物)	1 小時	1-3 分鐘	1-5 分鐘	
數據時間解析度 (氣狀 污染物)	1 分鐘	1-3 分鐘	無	視機型而定
使用限制	1. 分布密度較低，較難追蹤空氣污染來源。 2. 自動監測數據需定期校正。 3. 操作使用需專業訓練。 4. 設置地點有高度及遮蔽物限制，與民眾生活的區域不同。	1. 光學粒徑與氣動粒徑換算具有誤差。 2. 長時間使用後光源易受灰塵覆蓋失去作用。 3. 測值容易受干擾因子（如濕度等）影響。 4. 測站數據變動範圍大，測值與標準測站測值間的差異也可能是數倍以上。 5. 數據無法代表真實空氣品質，且感測器品質不一。		
空氣品質標準關係	1. 健康風險研究，對於 PM <sub>2.5</sub> 所得空氣品質標準（日本、美國），只有日平均值及年平均值，分別為每立方公尺 35 微克及每立方公尺 15（日本）、12（美國）微克，並無極短時（小時或分鐘）曝露濃度的建議限值，因此，測站自動儀器的小時值及感測器的分鐘值，無法直接對照空氣品質標準來解釋健康風險。 2. 美國 EPA 目前正推動微型空品感測瞬時濃度標準(US EPA Sensor Scale Pilot Project)，惟該計畫仍在試運行中，尚無明確的標準訂立。			
選址要求	嚴謹，依據空污法施行細則設置	以工業區、交通要道；鄰近工業區社區或無標準測站鄉鎮區等具有通風、可通電及有行動通訊特性者	學校內具備遮蔽且通風良好處	多在住家陽台具備遮蔽且通風良好處
設置高度	10 公尺高	3 公尺高	多在一樓 約2~3m 高	不確定
維護頻率	週、雙週、月及季維護	每季巡檢一次	無或不定	
設置維護成本	非常高	中	低	

類型 項目	國家監測站	智慧城鄉感測點 (中央與地方合辦布建 微型感測器)	校園微型 感測器	民間微型 感測器
儀器認證 或第三方 測試	經 USEPA 等國際認證	工研院實驗室及現場測試	工研院實驗室及 AQ-SPEC 測試	視機型而 定
誤差範圍 (器差)*	小於 10%	小於 30%	原始資料#平均誤 差約 50%，極端值 有可能達 100%	視機型而 定
模組間 變異性	---	IMV < 10%	IMV < 10%	視機型而 定
布建前 校正方式	符合國際認證標準	機器出廠時統一校正、 布建前至國家監測站 進行比對	機器出廠時統一 校正	視機型而 定
品保制度	有	有	無（透過大數據分析，於後 台使用演算法偵測異常資料 與測站）	
品保 績效查核	有，一年一次	每年抽查 10%	無	
品管 功能檢查	有，一年六次	每季巡檢一次	超過一年半後 直接更新	無

環保署參考(1)建構民生公共物聯網計畫推動小組製作、(2)戰勝 PM<sub>2.5</sub>（黃郁揚、黃麗煌）製作（更新時間至 2019.6.18）

\* 由於沒有標準品，故無數據準確度，應以與標準儀器的相對器差來表示。

# 目前中研院、環保署與校園感測器製造廠商正聯合推動感測資料後台校正研究，目前計畫持續試運轉中，於 2020 年正式上線。

## 第二章 感測器性能指標

PM<sub>2.5</sub>感測器性能取決於對空氣污染濃度的量測能力，為了提供使用者因應的目的，在參考國際上對於感測器性能上的建議，以及臺灣在實際應用上的經驗，本章各節提供應用於不同類型的感測目的時，感測器應具備的性能指標建議，提供使用者選擇合適的設備，並取得可靠的感測數據。

### 2.1 感測器應用目的分級

針對感測器的使用分為 4 個應用領域，包含(Level 1) 輔助測站參考、(Level 2) 個人暴露評估、(Level 3) 污染熱區鑑別、(Level 4) 教育使用。表2提供使用感測器在不同應用領域中應注意的數據運用限制，但這些建議原則是依據現有的執行經驗所訂定，隨著科學技術的發展與提升，會隨著時間的推進而演化發展。

表2、感測器應用目的分級表

應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制
Level 1	輔助測站參考	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過將其安裝在現有國家監測網絡中未安裝區域，補充環境污染濃度梯度資訊</li> <li>在完備的品保品管機制下，感測數據可以作為環境濃度的參考數據</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測數據具備完整品保品管機制的維護下，符合第三方查驗標準所產出之感測數據可以補充國家監測網絡的感測數據，提供民眾對環境濃度的參考數據</li> </ul>
Level 2	個人暴露評估	<ul style="list-style-type: none"> <li>在進行正常活動時監測個人暴露的空氣品質</li> <li>在臨床上對空污敏感高的人佩戴感測器，用以識別暴露的時間、地點與污染物對其健康可能的影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>諸多因素都會影響個人於空氣污染物中的暴露程度，此等級的精確度和偏差標準，是基於各種科學研究報告所提出</li> <li>若高於這些誤差標準，則難以解析發生個人暴露的方式，時間和原因</li> </ul>



應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制
Level 3	污染熱區鑑別	<ul style="list-style-type: none"> <li>在可疑的排放源附近布建監測，來判定可能的排放污染源</li> <li>運用群體感測器感測污染物濃度的時間與空間變化趨勢，可限縮污染熱區，分析污染時間熱點，輔助鑑別污染排放來源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測設備不如等級 1、2 可靠，但可以判別污染物的相對濃度偏差</li> <li>感測數據不能直接對外，須落實感測數據品質管理作業規則，在符合感測數據公布規則下，可提供民眾參考</li> <li>較合適以濃度色階繪製成污染物濃度地圖，協助判讀區域環境污染濃度的差異</li> </ul>
Level 4	教育使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差範圍較大的量測設備，感測數據可信度較低，但仍能代表感測區域污染濃度的變化趨勢</li> <li>僅適用於缺乏污染物知識的公民科普教育使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差較等級 3 更大，感測數據可信度更低，但仍保持與環境濃度的相似變化趨勢</li> <li>僅適用於簡單的表現區域內污染物相對變化的趨勢，感測數據不能代表環境濃度</li> </ul>

## 2.2 PM<sub>2.5</sub>感測器應用分級性能指標

### 1. 參數定義說明

(1) 數據完整性(DC, Data Completeness, %)：評估公式如下：

$$\text{Data Completeness(DC)} = \frac{N_{\text{valid data}}}{N_{\text{all data}}} \times 100\%$$

其中  $N_{\text{valid data}}$ ：測試期間感測器有效數據點

$N_{\text{all data}}$ ：測試期間感測器應有的所有數據點

(2) 相對誤差(Error, %) / 相對器差(Bias, %)：感測器與參考儀器的讀值差異評估公式如下：

器差 = 感測器讀值 - 參考儀器讀值

相對器差 = (器差 / 參考儀器讀值) × 100%

相對誤差 = (器差絕對值 / 參考儀器讀值) × 100%

相對器差(Bias, %)的評量方式：測試期間感測器與參考儀器讀值在各時間點相對器差之中位數。

相對誤差(Error, %)的評量方式：測試期間感測器與參考儀器讀值在各時間點相對誤差之中位數。

- (3) 相對誤差（或相對器差）標準差(STD, Standard Deviation, %)：感測器與參考儀器相對誤差（或相對器差）的離散程度評估公式如下：

$$STD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

其中  $n$ ：測試期間之所有量測時間的數據筆數

$x_i$ ：某時間點感測器與參考儀器的相對誤差（或相對器差）

$\bar{x}$ ：測試期間感測器與參考儀器的相對誤差（或相對器差）的平  
均值

- (4) 感測器與參考儀器的線性迴歸(Linear Regression)：以感測器讀值與參考儀器讀值進行線性迴歸運算評估公式如下：

$$Y = aX + b$$

其中  $Y$ ：感測器的讀值

$X$ ：參考儀器的讀值

- A. 感測器與參考儀器讀值的決定係數( $R^2$ , Coefficient of Determination)：皮爾森積差相關係數的平方，用以解釋  $X$  軸與  $Y$  軸變數之間直線關係的線性度。

- B. 感測器與參考儀器讀值的最理想迴歸直線的斜率(Slope)。

- (5) 模組間變異(IMV, intra-model variability, %)：評估感測器是否具有相對一致的量測結果，評估公式如下：

$$IMV(\%) = \frac{Mean_{highest} - Mean_{lowest}}{Mean_{average}} \times 100\%$$

受測感測器以一式三組部署並蒐集資料，

其中  $Mean_{highest}$ ：測試期間三組感測器各時間點平均值，取三組中最高值

$Mean_{lowest}$ ：三組感測器各時間點平均值，取三組中最低值

$Mean_{average}$ ：測試期間三組感測器各時間點的平均值

模組間變異(IMV, %)的評量方式：測試期間各時間點的模組間變異之中位數。

- (6) 精密度(P, Precision, %)：評估感測器於不同濃度下相對標準差，評估公式如下：

$$P(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

其中  $S$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值標準差

$\bar{x}$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值平均值

$x$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器取樣讀值

$n$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值取樣次數

- (7) 變異係數(CV, coefficient of variation)：評估群體感測器讀值的一致性，評估公式如下：

$$\text{均方根誤差(RMSD}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^p (x_{i,t} - x_{avg,t})^2}{p}}$$

其中  $x_{i,t}$ ：單位時間下，第  $i$  台感測器讀值

$x_{avg,t}$ ：單位時間下，群組所有感測器讀值平均

$p$ ：數據數量

$$\text{變異係數}(CV_i) = CV = \frac{RMSD_i}{\overline{X_{avg,t}}}$$

$$x_{avg,t} \text{總平均} : \overline{X_{avg,t}} = \frac{\sum_{t=1}^p (x_{avg,t})}{p}$$

## 2. 應用分級性能指標

為提供使用者針對 PM<sub>2.5</sub>感測器應用目的，依據應用領域建議性能指標如表3，但這些建議指導原則是依據現有的執行經驗所訂定，隨著科學技術的發展與提升，它們會隨著時間的推進而演化發展。

表3、PM<sub>2.5</sub>感測器應用分級性能指標

應用等級	應用領域	數據完整率 (DC)	相對誤差 (Error)	相對誤差的標準差 (STD)	決定係數 (R <sup>2</sup> )	線性迴歸斜率 (Slop)	模組間變異 (IMV)	變異係數 (CV)
Level 1	輔助測站參考	> 90%	< 10%	< 10%	> 0.90	0.90~1.10	< 10%	< 10%
Level 2	個人暴露評估	> 90%	< 15%	< 20%	> 0.85	0.85~1.15	< 10%	< 10%
Level 3	污染熱區鑑別	> 90%	< 25%	< 30%	> 0.80	0.75~1.25	< 10%	< 10%
Level 4	教育使用	> 60%	< 50%	< 50%	> 0.70	0.50~1.50	< 20%	< 20%

## 第三章 出廠性能品管作業規則

### 3.1 感測器功能規格

感測器的性能要求因應用而異，感測數據品質取決於感測器的基本性能、操作方式以及分析方式，所以了解感測器的優點和限制對於應用於預期目的非常重要。以應用於室外環境污染的感測與污染熱區鑑別為目的所需功能規格建議如下：

1. 感測模組：以細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)為主要項目，感測頻率為每分鐘 1 筆數據。使用者可依不同類型場域需求加裝，如溫度、濕度、風速、風向、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、VOC...等感測元件，但感測性能需能偵測當地空氣品質的濃度變化範圍，並經可靠的測試驗證單位驗證通過。
2. 通訊模組：可因地制宜選擇，需符合快速抽取更換，並可適地性選擇資料傳輸通訊模組，以達資料即時完整傳輸與成本經濟等最佳化。為求傳輸數據穩定度，建議避免採用 LoRa 模組，儘量以 3G、4G 或 Wi-Fi 等連續傳輸較穩定模組為優先。
3. 供電模組：應符合節能省電，具備供電穩壓設計及接用不同電源轉換設計，以確保感測器運作及資料傳輸電力無虞。如有結合路燈安裝可能有日間不供電情形者，儲電裝置應符合電力安全規範，以供夜間儲電、日間供電操作使用。
4. 微控制器及資料儲存單元：應具備感測資料處理、大量儲存及感測元件狀態偵測及通知功能，可透過雲端進行感測設備重置及掌握感測器運作狀態，做為設備維護管理或抽換更新參考。
5. 模組化設計：感測器模組需可模組化，提供未來快速抽取更換不同感測元件或新增感測項目，設計上需考量各感測元件進、排氣流道設計合理性。模組化方式需配合後續擴充條件，以電路板擴充槽或外接 USB (Universal Serial Bus)形式設計。
6. 感測器機體設計：感測器機構設計應具備戶外防水功能（建議至少需符合

國際防護 IP55等級)，進氣採樣機構應提供穩定與通暢的進氣與換氣流量，設計避免污染物蓄積或造成污染物反應延遲。設計具備抗環境風場對感測器的干擾，降低風速對進氣流量的影響。為確保數據品質及績效查核需要，採樣進氣口及校正測試進氣口設計，可以提供測試氣體校正、測試使用，或未來發展自動校正模組組裝測試使用。

7. 感測器的通訊與資訊系統的安全規範，應符合政府、各應用單位或管轄機構資通訊安全要求。

### 3.2 感測器出廠前校正

感測器生產組裝完成後，感測元件雖然有原廠提供的校正參數，但是涉及進氣採樣機構模組的設計、區域環境條件的差異及各項組件間的相互影響，都會影響感測數據的呈現。故在設備出廠前須進行一系列的品管與校正程序，除了要確保生產同型號感測器出廠前彼此感測行為的精確性(Precision)外，感測器與標準儀器（如國家監測站）間的誤差也需要符合應用分級性能指標，這需要透過與參考標準設備進行長期比對，建立合適的校正公式，才能提供使用者可靠的感測數據。

1. 感測器的干擾因子：依據國內外文獻與臺灣運用的經驗，已知造成 PM<sub>2.5</sub> 感測器數據偏差的干擾因子如下。
  - (1) 感測元件明顯受到環境濕度、溫度和風速等天氣條件的影響。環境中懸浮微粒的成分、粒徑與表面特性也受感測原理的影響，造成感測數據的偏差。故感測器的校正需要配合布建區域進行調整，以符合當地的環境與污染特性。
  - (2) 由於感測濃度是推算單位體積進氣量中的污染物數量，故感測器的進氣方式、流量也是造成感測濃度判讀偏差的關鍵因子。故當環境風速過高而導致進氣流量減少，將造成感測濃度負偏差；或是進氣風扇老化或阻塞導致進氣效率降低，也是造成感測濃度負偏差的主要原因。
  - (3) 由於大氣的擴散效率高，為即時感測污染物，故感測器對污染物的反應時間也是需要關注的，如果感測器的進氣採樣機構設計不良，將無法發揮污染熱區辨識的功能。



2. 感測器的精確性：PM<sub>2.5</sub>感測器在實際應用經驗中，發現具備極佳的群體一致性反應，主要特徵是在相同的環境中，同型號感測器群體的測量結果相當一致，設備商在針對感測器的出廠品管，皆以本項測試為主要管控依據。一般而言，將同一批次生產的感測器，設置於一個穩態的空間環境中，在經過一段時間的比對下，檢核各感測器讀值的變異程度，必須低於與群體變異性的要求，才能通過品管標準，通常以均方根誤差(RMSD)、變異係數(CV)及決定係數(R<sup>2</sup>)來評量。
3. 感測器數據校正：PM<sub>2.5</sub>感測器在環境場域量測的已知干擾因子包含濕度、溫度、風速。因感測原理簡易，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，故在生產出廠後即要進行數據換算校正，分析感測器與環境影響因子間相關性，透過與參考儀器（如國家監測站 PM<sub>2.5</sub>監測設備）進行長期的平行比對，建立多變數的校正模式，降低感測器與參考儀器間的偏差，達成符合應用分級性能指標的要求。但是當感測器布建至環境場域後，除了受到環境場域氣候條件改變的影響外，感測元件的污損與衰減，採樣進氣系統的效率改變，都會影響感測數據的偏差，所以出廠後的校正公式需要隨著時間進行動態調校，才能確保感測器持續符合應用分級性能指標。

### 3.3 感測器型式驗證

環保署為確保空氣品質感測物聯網發展，能適切運用感測器所產出的數據，針對預計布建至環境場域的感測器準確性與精確性等性能進行評估，同時也可以提供廠商做為產品研發與校正測試平台，有效協助產業提升技術量能。於107年委託財團法人工業技術研究院量測技術發展中心，辦理空氣品質感測器性能測試驗證作業（詳細作業說明詳<https://airsensortest.blogspot.com/>），測試驗證平台與執行流程參考美國加州南岸空氣質量管理區成立感測器的性能驗證中心(AQ-SPEC, Air Quality-Sensor Performance Evaluation Center)設備與作法。

#### 1. 實地場域測試

- (1) 量測時間：最少1週的量測（7天×24小時）

- (2) 參考儀器：PM<sub>2.5</sub>量測參考儀器以符合「手動採樣」的聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)、「自動監測」的聯邦等似方法(Federal Equivalent Method, FEM)同等級或以上的儀器設備，並經環保署品保確認符合標準。
- (3) 參考儀器量測有效筆數：以 PM<sub>2.5</sub>小時濃度為計數單位，排除低濃度的數據（例如 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下的數據），並取得足夠的較高濃度數據（例如有 5% 以上的數據必須超過 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），連續測量筆數扣除無效筆數之有效筆數至少超過 90%（含）以上，筆數不足得延長比對時間。
- (4) 測試參數應包含同型號的模組間變異(IMV, intra-model variability)、數據完整率(Data Completeness)、與參考儀器的決定係數( $R^2$ , Coefficient of Determination)、相對誤差(Error, %)。
- (5) PM<sub>2.5</sub>感測器實地場域測試評量的應用分級性能指標，至少需包含數據完整率(Data Completeness)、相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )、線性回歸斜率(Slope)、模組間變異(IMV)。

## 2. 實驗室測試

- (1) 測試條件：在實驗室環境內進行感測器的性能測試，透過調控風速、溫度、相對濕度及質量濃度等控制因子，於測試條件維持平衡狀態後，評估感測器與參考儀器間的精確性與偏差量。
- (2) 參考儀器：PM<sub>2.5</sub>量測參考儀器以符合「手動採樣」的聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)、「自動監測」的聯邦等似方法(Federal Equivalent Method, FEM)同等級或以上的儀器設備，並經環保署品保確認符合標準。
- (3) 實驗室系統可調控不同濃度的細懸浮微粒濃度、測試腔體內的溫度與相對濕度，以評估同型號的模組間變異、數據完整率、與參考儀器的決定係數( $R^2$ )、精密度（精確度）、偏移誤差、溫濕度干擾效應、偵測極限等參數。細懸浮微粒濃度主要調控範圍需涵蓋低中高濃度範圍（例如 0 至 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）為原則。共計7項以上參數在此測試活動中進行評估。



- (4) PM<sub>2.5</sub>感測器實驗室測試評量的應用分級性能指標，至少需包含數據完整率(Data Completeness)、相對誤差(Error)、決定係數(R<sup>2</sup>)、線性回歸斜率(Slope)。
- (5) 感測器在環境場域除受溫濕度影響外，風速對於感測器的進氣效率也有明顯的干擾，故實驗室系統需透過調控測試腔體的風速，進行不同風速條件對感測器的干擾效應。
- (6) 由於大氣擴散效率極快，感測器對高污染濃度應即時反應，避免因大氣擴散迅速導致無法感測區域污染行為，高濃度遲滯反應時間應低於有效感測時間（例如 1分鐘以內）。

## 第四章 布建作業規則

### 4.1 感測點位規劃

空氣污染物具備高度的時間與空間變異性，並且在大氣環境的高度擴散效率下，微環境的氣象條件將主導污染物的逸散行為。除持續精進感測器的精確性，提高感測器巡檢維護效率，結合感測器具備容易大量高密度布建與高頻率感測優點，規劃最適化布建場域及設置點位，可有效提升解析環境污染行為。

為有效運用微型感測器進行環境治理，應用情境包括工業區污染源鑑別、鄰近污染排放的社區特性、交通都會區感測、無國家監測站的鄉鎮地區輔助感測及不同季節氣象條件考量的特殊感測等不同應用目的及場域特性，設定具代表性、應用效益性及通訊、通電可行性的布點選址，歸納為5大感測類型，茲說明如下：

1. 工業感測點：監控工廠密集區域，做為污染溯源及環境執法的用途，布建密度建議以50~300公尺距離規劃。
2. 交通感測點：監控交通繁忙區域，主要目的為監測汽機車等移動載具在交通廊道的污染分布，依據監測需求針對特定路段進行專案布建，布建密度建議不超過1公里距離設置。
3. 社區感測點：主要以設於大型污染源附近的社區為主，例如距離工業區2公里範圍內社區，布建密度建議以100~500公尺設置。其他的一般社區，建議採用1~1.5公里網格狀密度設置，可做為該地民眾日常生活的參考。
4. 輔助感測點：設置於無國家監測站的人口稀少鄉鎮市地區，例如結合氣象站的風速、風向量測，做為環境背景參考的依據。
5. 特殊感測點：為使感測器設置點位更接近民眾生活圈，可納入特定區域進行評估，例如民眾陳情區域、醫院等多敏感族群集中場域，應依不同季節風向調整布建與使用方式。

除了針對關切的區域環境進行感測點位規劃外，為有效掌握感測器的使用壽命，建議應預留5%（含）或6台（含）以上感測器設置於鄰近的國家監

測站進行長期比對（同4.3節），固定蒐集感測資料，訂定檢核及調校比對作業制度，以利感測器數據校正或性能衰減觀察參考，同時也可做為巡檢或更換感測器的參考備機。

## 4.2 感測器點位選址原則

感測點位的選擇除考量應用的需求外，對於後續施工與維護管理的安全性與便利性也是重點評估原則，畢竟大量感測器的布建涉及施工與維運成本，初步綜整選址原則如下：

1. 長期感測點基於避免受移動污染源影響與施工維護的便利性，建議感測器安裝高度為 3~5 公尺，得依現場實際情況做調整。
2. 針對觀察移動污染源的交通感測點，避免因大氣擴散效率高，導致感測器無法反應汽機車排放的污染行為，安裝高度建議低於1.5公尺以下。
3. 由於感測器需要有穩定的電力與通信需求，在考量布建及維運成本的效益下，以便於取得用地與電力的點位為優選，故選擇路燈桿或電桿為最佳安裝選項，其中金屬桿因施工便利更優於水泥桿及壁掛式。用電使用上應取得電力及燈桿權責單位同意，並遵守用電安全相關規定。
4. 在選定安裝感測器的燈桿方面，需考量安裝的方便性、巡檢的合適性以及維運的可行性。建議選點準則如下：
  - (1) 施工停車方便處，便利高空作業車施工。
  - (2) 燈桿周圍需有1公尺以上淨空空間，方便安裝與維修。
  - (3) 供電正常的燈桿，並能取得路燈管理與維運單位的使用權。
  - (4) 以道路兩旁的燈桿較佳，中央分隔島或安全島上燈桿因維運與交管困難，不利於施工與維護。
  - (5) 感測器設置處周邊1公尺範圍不可有遮蔽物，如：樹木、招牌...等等，避免影響感測器進氣效率。
  - (6) 感測器設置處周邊50公尺內應避免有污染排放源如廟宇的金爐燃燒、餐廳油煙排放口、車道出入口...等，將導致感測數據被局部污染源直



接影響。

5. 感測點位選址順序建議以等距離網格狀為基本原則，先由主要關切的區域（如工業區），再向外擴展至工業區周邊社區，再往人口密度高的市區或民眾陳情密集區，可由鄰近污染源及敏感受體向外圍區域延伸。

### 4.3 全數感測器一致性比對

感測器在布建至環境場域前，全數感測器必須附掛至國家監測站進行平行比對，透過批次的群體進行一致性比對作業，以符合污染熱區鑑別應用等級為範例說明如下。

1. 數據有效性要求：須連續比對5天（含）以上，對於監測站數據要求，PM<sub>2.5</sub>的小時值總有效筆數須達 90%（含）以上，每個感測器數據要求，以 PM<sub>2.5</sub>的每分鐘測值總有效筆數需達 70%（含）以上，且每個感測器每小時總有效筆數須達 42筆以上（ $\geq 70\%$ ），其中感測器數據可去除環境濃度小於 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下的量測數據，如果監測站數據或感測器數據不符合數據有效性要求，得延長比對時間，以達到總有效數據筆數。
2. 一致性比對要求：一致性比對作業要求分為2個階段，第1階段要求每個感測器與監測站的相對誤差(Error, %)必須符合污染熱區鑑別應用等級需求，據以確保感測器的偏差量。第2階段要求感測器群體的一致性，透過計算全體的變異係數(CV, coefficient of variation)，感測器變異係數(CV)須符合污染熱區鑑別應用等級，方可送至現場進行布建。

如果一次無法同時比對全數感測器，則分批次進行比對，例如第一批次比對完成後，留下10%感測器參與第二批次的比對，據以確保第一、二批次彼此的一致性，以此類推至第三、第四批次的比對作業。

另外，全數感測器比對完成後，建議留下至少5%（含）或6台以上的感測器於國家監測站上，做為感測器與監測站長期校準比對的參考依據，同時可以觀察感測器的衰減行為與使用壽命。平時除可作為定期巡檢比對的參考設備（或稱為參考感測器），當布建場域的感測器損壞時，更替感測器須與預留在監測站的感測器進行一致性比對，符合要求後才能裝設於現場。



## 4.4 感測器布建安裝

為取得具備代表性的感測數據，感測器安裝過程除要確保施工安全及安裝點位正確外，在安裝時需再確認感測器的周界有無造成干擾精確測量的因素，綜整安裝重點注意事項如下：

1. 落實承攬商管理作業，與承攬單位釐清施工範圍與權責，宣導施工安全、用電安全、設備安裝要點及權責義務。
2. 安裝前感測點應落實現場點位放樣，施工單位應確認施工點位，盤點所需工具與相關設備與配件。
3. 施工前落實安全教育宣導與酒測，紀錄出勤施工人員姓名與連絡電話，施工每組至少兩人。
4. 前往安裝地點先確認路燈桿號及安裝點高度，進行現場交管及交通錐設置。
5. 拍攝現場施工前、中、後照片，紀錄感測點站號與路燈桿號。
6. 安裝前先開啟感測器電源，確認感測器運作及數據上傳功能正常，才可以開始進行現場安裝作業。
7. 建議使用高度標準桿（例如3公尺長桿）標示感測器安裝高度及電源線配線位置。
8. 施工人員將感測器固定於燈桿上，完成後需再次確認感測器固定穩固，避免感測器鬆脫的風險。
9. 進行感測器與路燈電源連接配置：
  - (1) 施工作業須符合政府相關法令與規範，依照電力安全規定執行，並使用具有合格配電機關執照的人員進行施工作業。
  - (2) 進行電源配線須符合配電安全作業標準，絕緣作業應完備，電源線應設置護線套或相關保護與固定設施。
  - (3) 路燈電源與感測器電源饋電點應設置漏電斷路器，設置高度應避免在潮濕的區域。

- (4) 電源配線安裝完成後，確認主電源開通，感測器與外接電源連通，且感測器數據上傳正常。
- (5) 完成路燈、感測器、電源配線的電源防水保護，確保全系統運作電源安全。

10. 盤點施工工具與相關設備及配件耗材，清理施工環境後撤除交通錐。

## 4.5 最適化點位檢討

雖然工業區感測點、交通感測點、社區感測點、輔助感測點及特殊感測點有布建密度及高度的建議，但地區的污染特性會隨著時間而改變，為了提升感測器的使用效益，必須透過長期觀察感測器的數據行為，評估及分析既有感測器的應用目的與效益，因地制宜設置感測器在適宜的點位。

以污染熱區鑑別感測的最適化點位為例，可依據既有布建感測點位所發生污染事件頻率，分析點位的必要性與適用效益；或因感測器區位與環境特性，導致相鄰感測器反應相似時，僅需留存具備代表性的感測點，移除反應相同的點位，精簡布建規模。考量一般社區、民眾陳情熱點或醫院等敏感族群集中等特殊需求，應評估關切區域與周界高污染來源的環境相關性，評估在季節的盛行風向影響下，在關切區域的上風處規劃點位布建，可用於對在地民眾預警，進而評估污染對敏弱族群的健康影響。

## 第五章 運轉中管理作業規則

感測數據品質的優劣直接影響後續分析與應用的需求，故在維運管理的過程中，必須詳實記錄維護保養的歷程，作為評估感測器使用週期、性能特性、衰減徵兆及故障特徵的參考依據。故在維運的基本資料上，必須先建立每個感測器內感測元件及功能模組的規格，例如感測元件的廠牌型號與已運作時間，原廠提供的校準程序及操作手冊，建議的感測範圍、精度、偏差及極限，以及最佳感測頻率、反應時間、使用年限與可能造成干擾的因子等資訊。以應用於環境污染熱區鑑別為目的的感測器在維運管理上的重點建議說明如下：

### 5.1 運轉中感測數據偏差原因

PM<sub>2.5</sub>感測器除容易受環境濕度、溫度和風速等天氣條件的影響外，因長期在高頻率的環境感測運行中，造成數據偏差的已知原因如下：

1. 環境髒污累積導致感測元件的靈敏度與性能衰減，造成感測數據發生偏差。
2. 長期運作導致感測器進氣系統機構髒污或堵塞，造成進氣流量降低，使得感測濃度判讀偏低。
3. 感測器外圍環境變化可能也會造成感測數據影響，例如周邊因樹叢成長或新立廣告看板造成氣流遮蔽的影響。
4. 感測元件老化或附屬機構性能衰減，都可能是影響感測數據偏移的原因。

為確保長期大量的感測器數據品質，定期的維護管理至關重要，包含定期內部機構清潔如進氣過濾組件、進氣風扇及進氣流道，感測元件與感測腔室須保持乾淨，其他如電池與機板的功能檢查也是需要關注的，至於感測器外圍環境的定期巡查，對於感測器周邊可能影響氣流通暢的物件如樹叢、新立廣告看板皆須予以清除搬離，故在感測器長期運行後，須持續透過定期巡檢機制，觀察感測器的感測效能，定期比對校正，以維持感測器的數據品質。

## 5.2 定期現場維護

為降低感測器長期附掛於環境場域所造成的數據偏差情形，使用單位或維運廠商應建立定期維護管理機制，透過長期觀察群集感測數據的區域特性，與現場定期維護的紀錄，依據布建區域環境特性，劃分感測特性類似的群集感測點，建立長期群集感測特性行為分析模式。以符合污染熱區鑑別應用等級需求為例，建議使用單位或維運廠商至少每3至6個月應針對每個感測器進行現場目視檢查，檢查重點如下：

1. 檢查感測器周邊環境、感測器外觀與相關組件（如固定組件、外接電源系統）。
2. 感測器機構內進行檢查，必要時針對過濾器、進氣流道、感測腔室、風扇及感測元件實施清理。
3. 為保持感測環境的有效性，須檢視感測器的周界1公尺範圍內是否有新增遮蔽物（如樹叢成長包覆、新設招牌布幔），並予以清除或拆遷。
4. 檢視感測器周邊50公尺內是否新增污染排放源，如廟宇的金爐燃燒、餐廳油煙排放口、車道出入口...等，如果感測器容易受局部污染源直接影響，在無法排除局部污染來源之狀況下，應評估進行感測器搬遷。

每次的現場目視巡查與維護清理應建立影像與文字紀錄，並與群集感測數據建立關連性，透過長期紀錄的累積與分析，可發展成自動化維運管理機制，在維持感測器運作品質下，可有效降低現場維運頻率。為提升感測器維運與巡檢效率，可同時進行現場目視檢查與定期巡檢比對作業（詳如5.3節）。

## 5.3 定期巡檢

為維持感測器的數據品質，使用單位或維運廠商應建立定期巡檢計畫，有效率地管理大量感測器，維運單位可以依據區域環境特性，把感測行為相似的群體歸類成同一個群集，藉由在穩定環境條件中群集感測器行為的一致性，分析出行為異常感測器，解析群集感測的異常特徵，篩選出設備異常或感測偏離的感測器，再配合定期現場巡檢作業，釐清感測器異常原因，評估

進行現場巡檢比對校正，或確認故障原因以進行維修保養及設備更新。以符合污染熱區鑑別應用等級需求為例，說明如下：

1. 維運單位應持續觀察感測器數據，以每日、每週或每月針對感測器進行群集分析，篩選出疑似設備異常或感測偏離的感測器，必要時進行現場巡檢比對校正。
2. 維運單位每3個月至少抽樣10%（感測器維運總數）以上進行現場巡檢比對，評量的應用分級性能指標至少需包含相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )、線性回歸斜率(Slope)。
3. 現場巡檢比對相關作業程序建議如下：
  - (1) 依據抽樣異常感測器排定巡檢路線與巡檢期程。
  - (2) 巡檢作業前建立巡檢用參考儀器（或參考感測器）品質確認，將參考儀器（或參考感測器）置於國家監測站進行5~7天平行比對，確認符合污染熱區鑑別應用等級需求，評量的應用分級性能指標至少需包含相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )。
  - (3) 巡檢人員依據排定巡檢路線，附掛前確認燈桿號及欲比對感測器編號，並進行現場交管及交通錐設置。
  - (4) 進行受檢感測器外觀及機構內檢查，針對過濾器、進氣流道、感測腔室、風扇及感測元件清理，記錄感測器周邊環境狀態，同時與布建時環境狀態比對，檢查與清理過程拍照並留下紀錄。
  - (5) 開啟巡檢用參考儀器（或參考感測器）後附掛於受檢感測器旁，參考儀器（或參考感測器）與受檢感測器距離在1公尺以內，進氣口應位於相同高度，待平行比對設置完成且感測數據穩定輸出後，即開始進行平行比對，比對時間不得少於12小時。
  - (6) 待符合比對時間後依序回收巡檢用參考儀器（或參考感測器）。
  - (7) 完成多個批次巡檢作業後的巡檢用參考儀器（或參考感測器），須再置回監測站進行5~7天平行比對，確認符合污染熱區鑑別應用等級性能指標後，批次巡檢比對的成果才可納入分析。如巡檢後所用參考儀器



(或參考感測器)與監測站平行比對不符合標準，所進行的批次巡檢作業皆視為無效，需重新執行巡檢程序。

- (8) 分析每一受檢感測器與參考儀器(或參考感測器)比對紀錄，可排除環境濃度過低紀錄(例如 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下數據)，比對受檢感測器與參考儀器(或參考感測器)相對誤差(Error)數據合格率，須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標(針對低濃度環境比對性能要求，可改以器差評估)，如不符合應進行感測器校正作業，如果仍無法維持上述標準，即進行感測器汰換更新作業。

## 5.4 感測器群集分析

由於感測器大量布建於環境場域，為使感測器持續提供可信數據資料，應建立設備資訊、智慧巡檢、數據校正及衰減分析等相關機制，透過長期蒐集感測數據，解析感測數據趨勢變化，藉此判讀感測設備的運作品質、分析衰減或故障徵兆，可有效降低感測物聯網管控成本，提升感測數據的服務品質。

由於  $\text{PM}_{2.5}$  感測器具備極佳的精確性(Precision)，除反應出感測器在相同環境情況對於污染物感測濃度的再現性外，群體感測器在相同環境情況下，群體感測數據也具備一致性。故在檢視環境場域中感測器設備的異常徵兆，可藉由在環境特性相似的區域內，無局部污染行為的影響下，群體感測器行為應具備相當一致性，透過將相似的群體歸類成同一個群集，定期分析群集的變異性，即可判斷出感測器的異常特徵。

1. 排除無效感測數據：當感測器有一段時間(例如1小時)發生缺值、定值、負值及超出感測範圍時，應屬於設備故障狀態，不納入群集分析。維護單位應循設備維修機制，限期完成故障排除。
2. 群集劃分：透過感測器歷史數據的蒐集，清理與排除異常與離群數據，透過環境資料與大數據分析，將具備感測行為類似的感測器納入同一群集。
3. 群體變異分析：藉由個別感測器與群集感測器間的一致性或相關性分析，依據變異程度與發生頻率，歸類感測器異常的篩選權重，再透過異常感測器行為、現場維修查證及人工智慧技術的輔助，逐步建立智慧化異常診斷



模式，發展自動化判讀機制。

4. 在判定出感測器異常現象後，應限期透過相關資訊或現場查證進行狀態釐清，屬設備異常應循設備維修機制，限期完成故障排除；屬環境異常應循污染稽查機制，列案追蹤污染特徵，完成環境執法作業。

## 5.5 感測器衰減分析

感測器在環境場域進行高頻率感測，造成感測數據偏差加大的原因主要有感測元件污損或老化，以及進氣效率降低（如進氣系統髒污、阻塞，進氣風扇效率降低）。為觀測感測器是否有發生衰減行為，可透過長期觀察與分析感測器與參考儀器間相關性、偏差量的變化趨勢進行研判。

1. 運用布建於國家監測站上的感測器進行長期趨勢分析，分析感測器與國家監測站間相關性或偏差量的變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀該批次型號感測器的衰減趨勢。
2. 以國家監測站周邊場域（例如測站周邊1公里範圍內，視感測器與環境條件而異）的群集感測器進行長期趨勢分析，分析群集感測器與國家監測站間相關性或偏差量的變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀群集感測器的衰減趨勢。
3. 以國家監測站為基準，分析各監測站與各個感測器間的感測數據相關性密度（分析大區域感測器與測站數據的相關性來定義感測器群集範圍），依據感測器與監測站的相關性密度劃分感測器群集，分析群集感測器與國家監測站間相關性或偏差量的長期變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀不同批次或型號感測器的衰減趨勢。

## 5.6 感測器數據校正

PM<sub>2.5</sub>感測元件在環境場域量測的主要干擾因子包含濕度、溫度、風速，在有效的維護保養機制運作下，感測數據仍會發生偏差量，故感測器在生產出廠後即須持續進行數據校正，分析感測器與環境影響因子間的相關性，透過與參考儀器（如國家監測站 PM<sub>2.5</sub>監測設備）進行長期的平行比對，建立多變數的校正模式，協助感測器與監測站數據間的偏差量符合應用分級性能要

求。同時在布建至環境場域後，也需透過定期或動態校正，持續維持感測數據品質。以下列舉多元線性回歸為範例說明：

1. 獨立變數：校正模型可用自變數包含感測器讀值、監測站溫度、監測站相對濕度、監測站風速、感測器溫度、感測器相對濕度。如果有其他可供參考之變數也可納入考量，但須確保變數間的獨立性。
2. 群體校正方式：群集感測器在符合精確性(Precision)的條件下，可以透過群集感測器中挑選代表性感測器，設置於區域內國家監測站上進行長期比對，據以建立以國家監測站為參考方法的感測器校正公式，此校正公式可以套用至群集中的其他感測器進行校正。但是要注意下列事項：
  - (1) 校正模型考量的自變數越多，校正後的數據品質原則上會越好，但是要確保運用的自變數間的獨立性，且自變數能維持一定的數據品質，所以如採用感測器的溫度及相對濕度數據為自變數，就須注意相關的感測數據品質。雖然國家監測站的數據能提供穩定的數據品質，但是對於距離國家監測站太遠的感測器則不一定合適套用。
  - (2) 平行比對時間越長所建立的校正模型參考性越佳，但是校正模型的適用濃度範圍以平行比對時所能量測的環境濃度區間為佳，故校正模型不建議套用到比對分析的濃度範圍之外。
  - (3) 為提升校正模型的可靠度，建議採動態性校正，例如定期調整校正模型，可累積前一個月或運用前一年（因無法評估感測元件的衰減影響，較不建議）同期的比對數據建立下一階段的感測器校正模型。
  - (4) 由於感測器在不同濃度區段與國家監測站的線性關係並不相同，建議應透過長期比對分析，劃分不同濃度區間的線性關係。由於國家監測站為小時平均濃度，但感測器為分鐘值的平均濃度，當在污染源附近時，極可能發生高濃度反應，如採用線性外差的濃度校正誤差將會變大，故針對超出監測站測值以上的校正模型，建議需要透過人為產生或實驗室模擬來建立高濃度環境，作為較可靠的短時間高濃度感測數據校正參考。

- (5) 為提升感測器更高的數據品質，未來可建立每個感測器個別的校正模型，第一次的校正可藉由與國家監測站的平行比對，後續的校正可透過群體感測數據進行群集分析校正，定期再採用符合應用分級性能指標的參考儀器至群集感測器旁進行平行比對校正，以雲端數據校正搭配實體校正來提升各感測器的數據品質。

## 5.7 感測器異常告警管理

感測器功能出現異常狀況或不合理現象時，應做出即時且適當處理，除依據設備原廠操作手冊建議外，並持續追蹤與查察，建立完整的故障排除紀錄，納入自動化異常診斷管理機制。茲說明如下：

1. 透過感測器回傳的數據篩選出異常感測器，根據設定條件（如錯誤碼、機板溫度、數值異常..等），篩選出疑似損壞、異常等有疑慮的感測器。例如：
  - (1) 感測值發生缺值、定值、負值、空值。
  - (2) 回傳損壞狀態設定對應的錯誤碼。例如機板溫度不正常、低電壓告警...等。
  - (3) 感測值超出感測元件規格書定義的運作範圍。
2. 感測器異常狀態通報：可依據檢驗錯誤碼標示該裝置為狀態異常，透過通訊軟體（如 Line、MMS、E-mail）進行告警推播，並產生異常案件通報單，將檢驗錯誤碼感測器資訊詳細記載其中，作為管控異常事件追蹤管理的依據。
3. 異常狀態確認：可依據檢驗錯誤碼初步判定歸屬設備異常、通訊網路異常或電力異常，並產生派修工單，將檢驗錯誤碼感測器資訊詳細記載其中，做為維修處置的參考。
4. 維修進度管控：依據派修工單進行進度管控，透過派工時間、維修進度回報、異常原因、維修項目及修復時間等紀錄追蹤管控維修進度。
5. 維修完成設備復歸：詳實記錄維修紀錄，包含異常發生原因、維修項目與經費、維修處置時間等，建立完整紀錄，做為自動化異常診斷系統參考。

## 5.8 感測器快速查修

依據檢驗錯誤碼初步判定歸屬設備異常、通訊網路異常或電力異常等疑慮狀態後，可先進行遠端重置來故障排除，如果問題無法排除，再進行現場維修處置。茲說明如下：

1. 維運人員根據檢驗錯誤碼初步判斷損壞、異常等疑慮狀態裝置。
2. 異常狀態裝置先進行遠端重置開機，持續觀察。若異常現象重覆出現無法排除，即進行感測器更換修復作業。
3. 維修人員至現場維修處置：
  - (1) 現場確認是否為通訊網路中斷或是電力中斷導致系統故障。如為電力或通訊系統供應中斷，即洽詢相關維運單位協助復歸，並納入異常事件追蹤管控。
  - (2) 現場檢視感測器外觀與內部機構是否異常，一般為感測器被外力刻意破壞或被路燈維護單位誤剪電力配線所致居多。內部機構發生異常主要以進氣口堵塞（如髒污、生物體）以及電池組損壞居多。
  - (3) 經由外觀與內部機構未發現明顯異常時，先進行本地端強制重開機，觀察設備復歸狀態。若問題仍無法排除，即進行感測器更換修復作業。
  - (4) 處置完成後，維運人員將問題原因與處置結果等資訊回報於派修工單內，完成派修工程序。

## 5.9 感測器汰換更新

針對感測器快速查修後，無法排除異常的感測器，即刻進行感測器更換作業，茲說明如下：

1. 依據派修工單註明感測器汰換更新，對於感測點位的數據應明確註記感測器設備更換的時間。
2. 新的感測器在更換前必須符合 PM<sub>2.5</sub>感測器的建議性能指標所建議應用等級需求。同時為保有與布建區域內群體感測器的一致性，必須通過群體一



致性比對驗證。

3. 新感測器的更換程序同感測器布建安裝程序，必須符合施工安全及用電安全等相關規範。並完成施工前、中、後等施工紀錄。

## 第六章 布建後查核作業規則

感測器雖然具備高時空解析度的優勢，但是其感測的準確性與精確性受環境與使用方式所影響，為有效解析感測數據進行智慧化環境治理工具，必須確保感測器持續維持數據品質符合應用目的的性能指標，故在感測器品質管理，除維運單位自主管理感測器出廠性能品管、布建作業、運轉中管理外，使用單位於布建後的第三方查核也至關重要，希望藉由多階層的品質管理，確保感測器的應用目的與數據品質性能指標。以符合污染熱區鑑別應用等級需求，提出第三方查核、召回測試及異常查檢的重點建議說明如下。

### 6.1 第三方查核

環保署（或環保局）為查核感測器的維運品質，透過第三方查核進行感測器抽樣查核，篩選受檢感測器抽樣至國家監測站平行比對，或攜帶參考儀器（或參考感測器）進行區域感測器比對。建議每年應定期實施第三方查核（如每年實施1次以上），查核數量應具備抽樣的代表性，查核標準須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，相關作業程序說明如下：

1. 抽樣方案：採隨機抽樣、分類抽樣或運用群集分析抽樣進行感測器篩選。
2. 平行比對前，依據受檢感測器排定查核期程，並事先通知環保署數據中心（IoT 平台）進行受檢感測器數據下架作業，避免查核過程感測器數據被誤用。
3. 查核比對時間進行3~5天平行比對，感測器以每小時平均值感測資料來計算，參考儀器（或參考感測器）及感測器比對數據至少需有連續3天（72小時）資料，可排除環境濃度低於 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下紀錄。
4. 於國家監測站進行查核比對作業：
  - (1) 感測器由維運單位配合第三方查核團隊拆除感測器，送至指定監測站進行平行比對作業，待比對完成後再由維運單位將感測器安裝回原設置地點。
  - (2) 於監測站進行查核比對作業的感測器進氣口應盡量接近參考儀器，但需避免阻礙對雙方進氣的影響，可採行每次多個感測器與參考儀器的



比對作業。

- (3) 每一受檢感測器與國家監測站進行比對分析，比對受檢感測器與國家監測站相對誤差(Error)之數據合格率，做為第三方查核數據品質成果。
- (4) 於監測站比對標準，環境濃度低於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）以下時，受查感測器與監測站感測讀值器差絕對值小於等於 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標。環境濃度高於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上時，受查感測器與監測站相對誤差(Error)須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
- (5) 如不符合建議要求者，限期進行感測器校正作業，如果仍無法維持上述標準，即進行感測器汰換更新作業。

5. 以參考儀器於現場進行區域查核作業：

- (1) 參考儀器以符合聯邦參考方法(FRM)、聯邦等似方法(FEM)或符合環保署品保品管標準的  $\text{PM}_{2.5}$  儀器為主，可於氣流擾動較顯著的平地區域進行與感測器比對作業，藉此觀察感測器與參考儀器（或參考感測器）變化與差異，並探討其可能原因。
- (2) 每一受檢感測器與參考儀器（或參考感測器）進行比對分析，比對受檢感測器與參考儀器（或參考感測器）相對誤差(Error)的數據合格率，做為第三方查核數據品質成果。
- (3) 以參考儀器於現場進行區域查核作業標準，環境濃度低於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）以下時，受查感測器與參考儀器（或參考感測器）感測讀值器差絕對值小於等於 $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標。環境濃度高於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上時，受查感測器與參考儀器（或參考感測器）相對誤差(Error)須小於等於50%。
- (4) 在完成第三方查核比對後，進行感測器對水霧的反應時間來評量高濃度延遲反應，對於延遲時間過高感測器（如3分鐘以上），維運單位應提出性能及機構設計改善方案。

## 6.2 召回測試

環保署（或環保局）為追蹤通過型式驗證的感測設備性能，透過召回測試來評估各型號、批次或場域的感測器性能變化，做為改善設計、生產組裝、設備安裝及巡檢查核參考依據。

1. 召回測試作業同型式驗證並採重點項目測試，詳如3.3.2節。
2. 召回測試數量、頻率與測試項目依環保署年度需求訂定。
3. 召回測試的查驗目的：確認召回的感測器內部機構與性能符合原布建設備的規格與性能。
4. 召回測試作業程序：針對已布建於場域的運作中的感測器進行抽樣測試，由維運單位協助拆卸給測試單位攜回至實驗室進行召回測試，測試完成後再交還維運單位復歸。
5. 召回測試如發現感測器機構與原實驗室測試不同，維運單位應拆除該型全數感測器，重新依本指引的作業規則執行布建，自判定不合格至確認改善完成的數據為無效數據。
6. 召回測試如發現感測器性能無法符合污染熱區的鑑別應用等級性能指標，維運單位應盡速完成修復調整，自費重新送實驗室測試，確認完成改善。自判定不合格至確認改善完成的數據視為無效數據。維運單位應全面檢視同型感測器，避免該型號感測器發生類似的異常狀態。

## 6.3 異常查檢

環保署（或環保局）針對運行中的感測器持續進行群集分析，依據感測器群集反應異常的感測器進行不定期現場查核比對，據以評估疑似異常感測器的偏移行為。

1. 異常感測篩選：運用群集分析篩選反應不同的感測器，透過長期觀察異常發生的時間特徵與發生頻率來評估需要現場查檢的必要性。
2. 異常查檢的參考儀器（或參考感測器）：須符合或優於受查感測器的應用等級性能指標，或可選用長期附掛於監測站的參考感測器，同時進行平行掛測比對。



3. 平行掛測時間：至少要持續觀察異常感測器在群集中的異常反覆行為特徵，分析參考儀器（或參考感測器）與異常感測器發生異常趨勢的一致性  
及相對誤差(Error)，據以確認異常高值或異常低值行為是屬於感測器異常  
或環境異常事件。
4. 如果判定屬於設備異常，則依設備維護程序辦理，自判定不合格至確認改  
善完成的數據視為無效數據。如判定環境異常，則依循環境執法應用程序  
辦理。

## 第七章 感測數據公布規則

為提供民眾能正確了解感測數據所代表的意義，本指引依據感測器的應用目的進行分級，其中符合 Level 1 輔助測站參考產出的感測數據可以補充國家監測網絡的感測數據，民眾可直接運用為環境濃度的參考數據；符合 Level 2 個人暴露評估及 Level 3 污染熱區鑑別的感測數據因偏差較大，雖與環境濃度的變化趨勢相當一致，較合適以濃度色階繪製成 PM<sub>2.5</sub> 的濃度地圖，產出的感測數據僅供協助判讀區域環境污染濃度的差異參考。環保署基於環境資料透明開放，推動公私協力共治共創的目標下，感測器在符合污染熱區鑑別應用等級需求，訂定感測數據公布規則。

### 7.1 感測數據即時公布規則

感測器需符合污染熱區鑑別等級，同時落實執行感測器出廠性能品管作業規則、布建作業規則、運轉中管理作業規則及布建後查核作業規則，在符合下列全部要求下，可即時公布感測數據。

1. 感測器型號通過出廠性能品管，在實地場域測試與實驗室測試符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
2. 布建前全數感測器通過一致性比對，運轉中的感測器應落實執行定期維護與定期巡檢作業，並符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
3. 感測器定期進行衰減分析，並落實動態數據校正，當發現感測數據校正後仍無法維持污染熱區鑑別應用等級性能指標，即進行感測器汰換更新，符合標準後才能公布數據。
4. 如第三方查核、召回測試及異常查檢不符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，應限期維修改善，符合標準後才能公布數據。

### 7.2 感測註記條件

當發生下列狀況時，因數據不具代表性，故不公布。

1. 感測數據超出型式驗證測試的最高濃度，不公布感測數值，改以超出上限值註記。

2. 因設備故障、實施維修保養或巡檢校正等不具代表性數據，不公布感測數值，改以設備狀態註記。

### 7.3 數據公布權責與義務

1. 維運單位負責提供感測數據，落實執行出廠性能品管作業規則、布建作業規則、運轉中管理作業規則，除須自主定期維護與巡檢外，應透過數據衰減分析及動態數據校正，持續維持感測數據符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
2. 經地方政府（或環保局）查驗維運單位定期維護巡檢、感測數據衰減分析及動態數據校正等作業與成果紀錄，必要時透過布建後查核，確認感測器符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，其感測數據可即時公布。

## 第八章 資料數據中心與應用分析平台

為有效發揮空品感測物聯網的運作效能，針對感測器的出廠性能品管作業、布建作業、運轉中管理作業、布建後查核作業訂定管控與查核要求，確保感測器提供符合數據品質且具代表性的感測數據，再藉由資料數據中心的收集、清理與分析，管控各個感測器的運作狀態進行設備異常告警、數據管理、數據倉儲，提供管理者即時掌握感測數據收容狀況。收集的感測數據，則透過感測數據分析平臺呈現在地圖上的感測分布、濃度梯度、氣象數據及環境資料，同時提供數據分析工具，解析關切區域的污染熱區、污染時間及可疑列管工廠等。

### 8.1 環境感測數據資料中心

環境感測資料數據中心平臺（簡稱IoT平台）收集國家級監測站、區域型測站（地方測站、特殊工業區測站、大型國營企業測站）、智慧城鄉空品感測器（中央與地方合辦）、校園空品感測器及公民科學感測器。其中智慧城鄉空品感測器以PM<sub>2.5</sub>、溫度、相對濕度感測為主，數據上傳頻率為1~3分鐘一筆。數據資料中心提供數據品質檢核與清理功能，提供數據合理性、一致性及關聯性檢核工作，針對數據異常設備以自動開立維修單方式給地方環保局及維運廠商，並讓有問題設備數據下架，建立感測設備生命週期管理，避免將有問題數據提供到外界引用。

#### 8.1.1 感測設備管理介面

感測數據資料中心平臺提供感測設備狀態儀表板，以直覺式的圖像化管理介面（如圖3）提供管理者針對個別感測器及專案感測器提供運作現況分析，可即時查知感測數據收容的完整率、異常率、妥善率，讓管理者除可即時得知感測設備異常狀態，以利即時維修與異常排除。





圖3、感測資料數據中心平臺數據檢核儀表

### 8.1.2 設備狀態檢核

感測設備上傳的資料匯入 IOT 平台後，將由平台設定的各式檢核規則檢查後，若發現有數值異常的狀況，系統將直接反應出異常裝置事件，目前針對裝置的異常監控，平台提供兩大類型稽查規則，包含合理性檢查與一致性檢查。以每個感測裝置為單位，進行缺值、空值、負值、定值、相對高/低值以上六種狀態的檢核，可透過程式排程與即時檢核方式，如實反應裝置的可能狀態。

#### 1. 合理性檢查：

- (1) 缺值(nodata)：檢核每個感測設備前一小時的標準差是否為零，檢核頻率為每小時。
- (2) 空值(null)：感測數據為空值，即時檢核，直接過濾掉該時間資料。
- (3) 負值(neg)：感測數值小於零，即時檢核。
- (4) 定值(con)：檢核每個感測設備前兩小時的值是否標準差為零，檢核頻率為每小時。

#### 2. 一致性檢查：(如圖4)

- (1) 相對低值(elow)：以區域感測裝置前24小時資料的第1四分位數減去1.5倍四分位距(Interquartile range, IQR)數值為區域臨界值，低於該臨界值即視為相對低值，比對頻率為6分鐘。

- (2) 相對高值(ehigh)：以區域感測裝置前24小時資料的第3四分位數加上1.5倍四分位距(Interquartile range, IQR)數值為區域臨界值，高於該臨界值即視為相對高值，比對頻率為6分鐘。

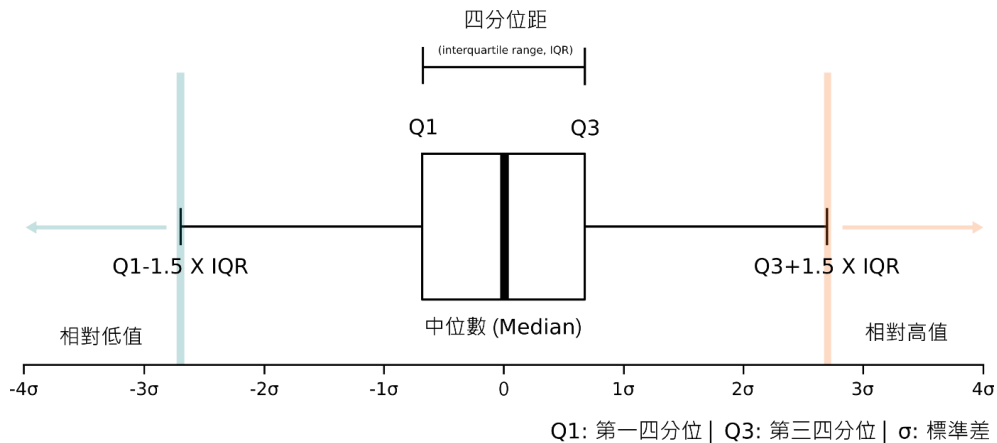


圖4、一致性檢查相對高、低值說明

### 8.1.3 設備異常處置流程

當系統透過規則檢核出感測裝置發生異常時，即時透過 Line 告警與 E-mail 給使用及維運單位，並且於每日以 E-mail 呈現資料完整率等資訊報表，維運單位在確認異常裝置問題後，即透過 Line 事件回報或進入 IOT 平台事件工作簿回報裝置異常原因、處理裝置下架及上傳裝置異常照片，並於處理完畢後回報事件處理完成、裝置上架及結案；如果該異常原因是屬於不可抗力的因素，則該事件即進入縣市環保局 EPB 審核程序，審核確認為不可抗力因素，則系統異常警示將列入不可抗力因素，不納入數據完整率計算。當裝置異常事件超過1週未結案，IOT 平台會自動標記該事件為1週未處理之事件並於相關報表呈現事件處理進度，於每月感測設備異常報告提出檢討，管控感測設備運作情形。



圖5、設備異常事件處理流程

## 8.2 環境感測數據分析平臺

### 8.2.1 數據呈現介面

環境感測數據分析平臺（簡稱 WoT 平台）基於感測應用分析及空氣品質關聯氣象數據整合展示需求，並以提高輔助環保稽查的功能，透過視覺化、空間圖像化篩選可用於污染查處業務資料，並結合外部單位可加值運用資料及環境品質資料加以整合分析，提供空氣品質變化趨勢正確判讀，展示高解析度的空氣品質時空地圖，並藉由串接空氣品質及污染源熱區分析關聯資料，視覺化呈現污染潛勢熱區地圖，協助業務需求掌握污染趨勢，追溯污染熱點，同時規劃跨單位環境感測資訊查詢共享機制，使用介面詳如圖6。系統將可提供中央與地方政府使用，協助污染源追蹤查處，同時輔助內部決策分析應用，強化環境治理與智慧稽查能力。



圖6、環境感測數據分析平臺呈現介面

### 8.2.2 感測數據分析技術

感測數據分析平臺彙整 IoT 平台的細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、揮發性有機物(VOCs)、溫度、相對濕度等環境數據，以分鐘為單位進行監測，透過高可用性、高效能及高運算能力的環境數據分析運作環境，發展「人工智慧空氣污染潛勢熱區分析」技術，可提供「污染潛勢區位分析、空污事件自動分析、空污足跡重現地圖」等主要分析服務（詳如圖7所示）。全自動進行空氣污染的預測、推估、告警，透過即時的訊息(Line)通報及郵件(Mail)報表，讓稽查人員從過去被動式參與、單方面的接受報告結果，到現在能主動出擊，更有效率地查處污染。

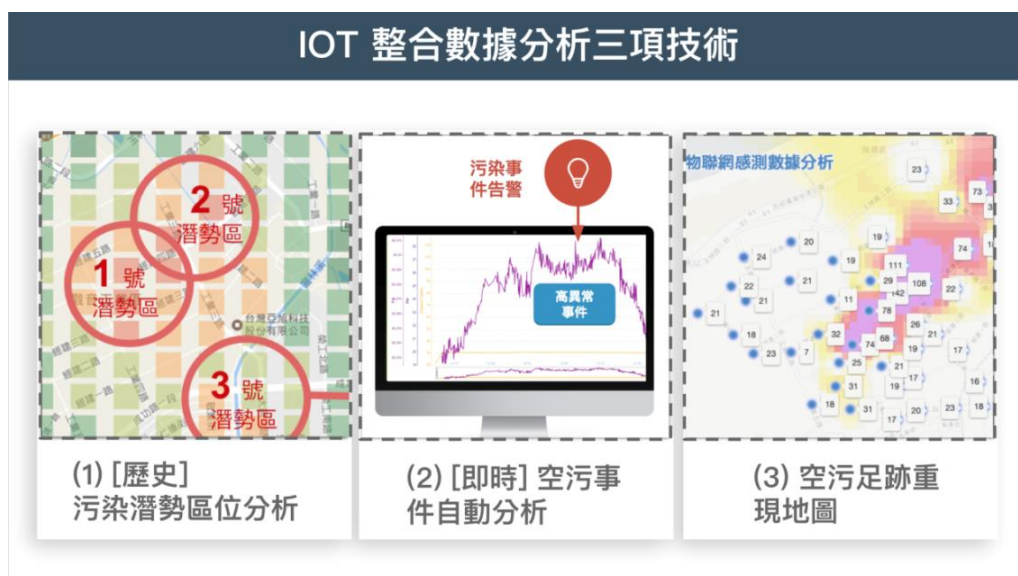


圖7、IoT 整合數據分析三大技術

1. 污染事件判定：污染告警事件分析依照時間異常（例如：單1感測器數值1小時內大於標準差2.7倍）、空間異常（例如：單1感測器數值於區域內其他感測器感測數據大於標準差2.7倍）及數據異常（例如：數值大於 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）判定為異常，依照異常發生次數及持續時間判定事件污染程度，依據目前執行經驗之標準如下。
  - (1) 高污染事件：相對異常之次數超過15次，且持續時間超過 15 分鐘。
  - (2) 中污染事件：相對異常之次數超過10次，且持續時間超過 10 分鐘。
  - (3) 低污染事件：相對異常之次數超過5次，且持續時間超過 5 分鐘。
2. 污染潛勢區位分析：主要透過感測器群集分析特性，搭配區域風向、風速等資訊，當從上風到下風處出現濃度趨勢變化時，透過污染事件與環境風向的加權運算，進行污染潛勢熱區分析。目前每週自動產生各縣市污染潛勢熱區並提供環保局參考。
3. 空污事件自動分析：主要透過人工智慧進行時空序列異常（時序分析法）偵測模型，當特定時間、空間顯現異常特徵，將自動判讀為異常事件產生，並產生告警推播。
4. 空污足跡重現地圖：主要將上述污染濃度出現的時空特徵，以地理資訊視覺化方式紀錄呈現並可重複撥放，提供地方環保局參考空污足跡出現的位置，結合該區域廠商申報或排放資料特性，可決定是否啟動稽查作業。

### 8.2.3 輔助智慧稽查功能

1. 污染事件回溯與告警：環境感測數據分析平台提供即時72小時感測數據回放及告警事件列表功能，藉由時間軸的操作進一步了解短時間內空品變化趨勢，並可利用告警事件列表了解每個事件時、空狀況，且結合民眾陳情資料整合展示（如圖8），同步掌握民眾需求，有效解決污染事件。



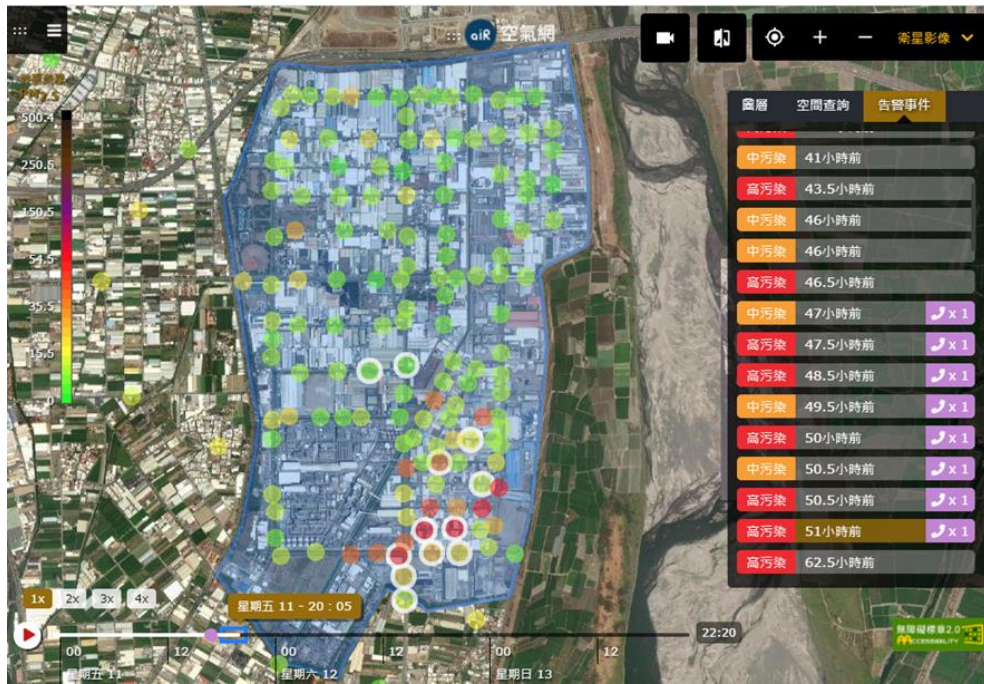


圖8、污染事件告警與回溯

2. 智慧稽查3階段6步驟：WoT 平台依據熱區限縮範圍、異常事件驗證、時段分析、工廠勾稽、鎖定工廠周邊感測點，最終結合科技儀器進行智慧稽查，發展進階為空氣污染智慧稽查6步驟（如圖9）。透過環境感測物聯網協助找出污染熱區等線索，打擊污染犯罪及追繳不法利得。感測數據分析也在工安事件（火災、爆炸）、露天燃燒事件及民眾陳情案件等發揮實際驗證及應變預警功能。





圖9、IoT 輔助環保稽查3階段6步驟

3. 輔助稽查應用介面：WoT 平台可精確掌握所有歷史數據，透過大數據處理及人工智慧，有效實現稽查步驟中的透過熱區限縮範圍、疊合異常事件驗證、時段分析及鎖定工廠周邊感測點等4個步驟。污染潛勢圖藉由分析感測數據、風向、風速等資訊，初步歸納可疑地區，進一步藉由疊合異常事件產生污染熱力圖，最後透過異常事件與感測數據日曆圖，有效進行時段分析，相關資訊整合後皆有助於計畫性稽查的時空資訊整合，實現限縮範圍。

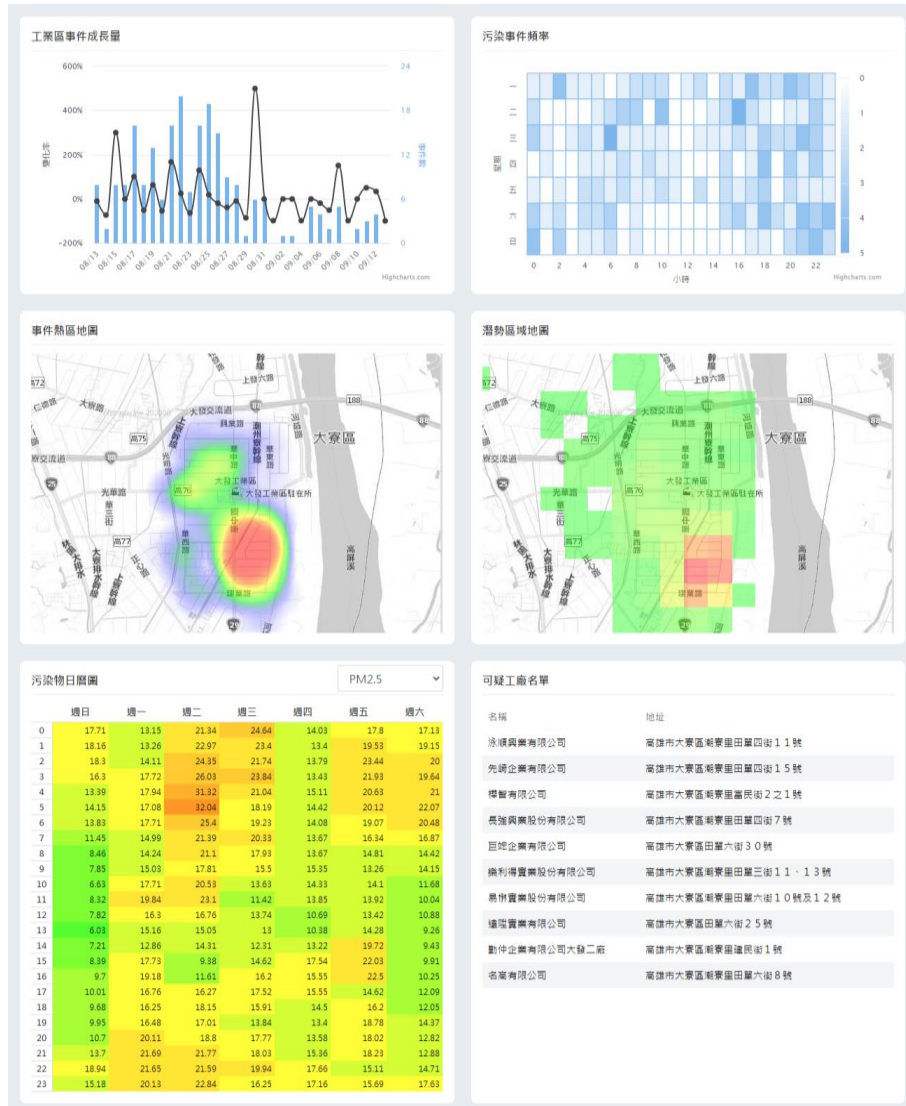


圖10、WoT 輔助稽查工具介面

- 深入稽查分析介面：利用 WoT 平台初步完成範圍限縮後，可利用環境感測數據應用輔助系統鎖定工廠周邊感測點。該系統提供使用者彈性框選感測器功能，並整合感測數值、異常事件及氣象資料，進行週間綜合分析，提供使用者更加細緻限縮範圍的功能，實現六大流程的目標鎖定。

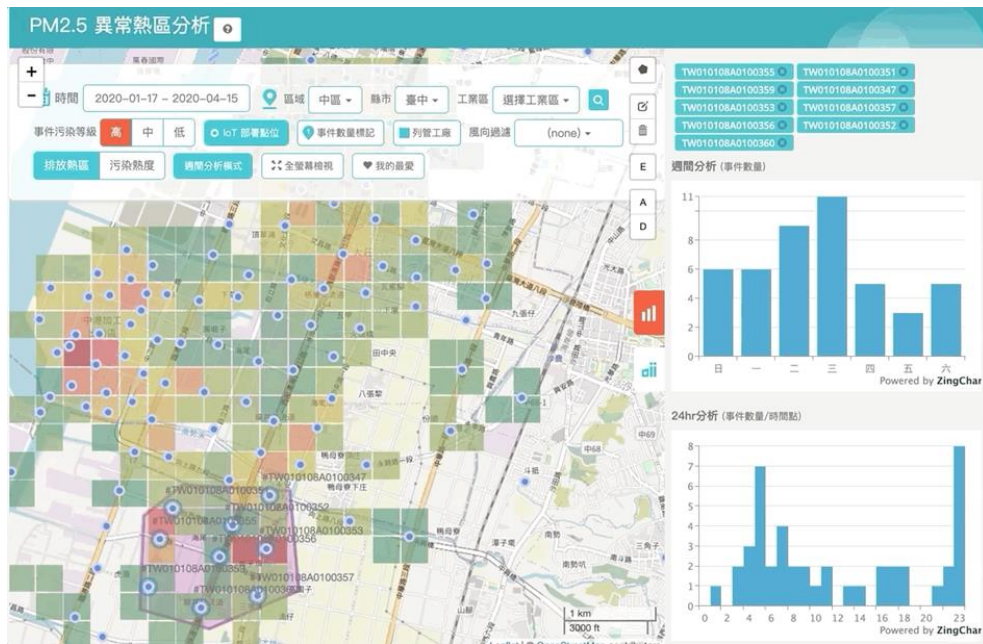


圖11、深入稽查分析介面

- 有鑑於異味污染於陳情事件中佔有相當高比例，中央與地方合辦感測器運用加裝揮發性有機物(VOC)感測元件，感測數據亦同步回傳環保署 IoT 平台。VOC 數值經過演算法轉換後，紅點位代表感測器相對異常數值越高，同時可知 IoT 位置、時間區段內 IoT 的週間、24小時與風向分析，強化範圍限縮精準度。

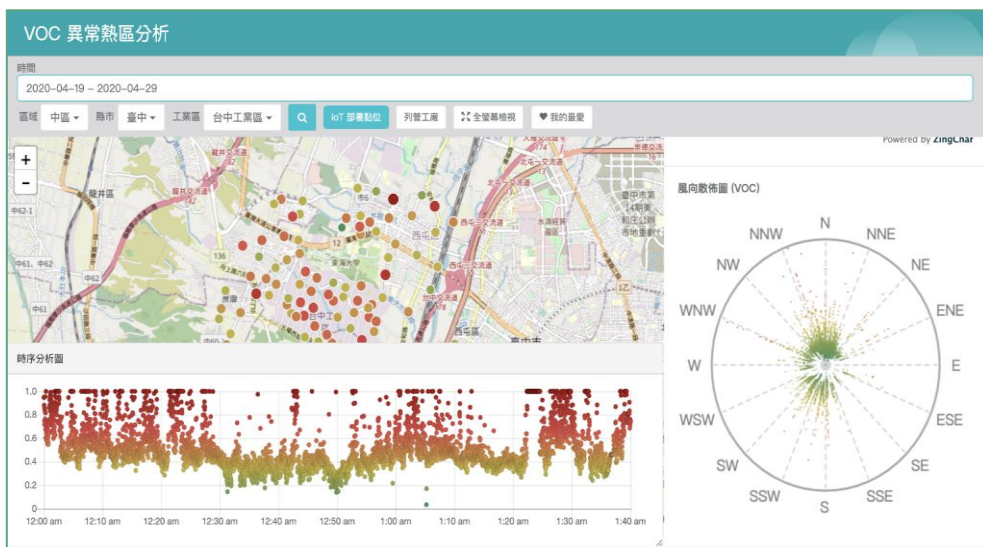


圖12、深入稽查分析介面

- 輔助環保稽查：藉由環境感測物聯網感測數據分析提供污染物類型、污



染熱區及時段等資料，針對可疑對象進行資料收集及比對，例如：許可證狀態與許可內容確認、申報資料比對、稽查及告發紀錄等，篩選出可疑產業及業者，再輔以科學儀器如紅外線熱顯像儀(FLIR)、3D 光學雷達、傅立葉轉換紅外線光譜儀(FTIR)等，進行科學採證後，將上述分析結果擬定督察稽查專案執行環境執法。



## 第九章 感測數據應用分析

高時空解析度的感測器，觀察微環境的空氣品質變化為其主要優勢，透過感測器在時間與空間維度上的變異行為，分析感測器群體與氣象條件的相關性，可有效解析污染發生的時空軌跡。使用、分析及環保稽查人員安裝設備及環境異常告警事件 APP，加入環境物聯網告警群組，可有效掌握關注區域即時狀況。高污染告警事件發生時，告警群組及 APP 將即時推播訊息，相關人員獲知訊息後，如發生地點為上述關注區域或民眾陳情熱區，速派稽查人員至現場確認狀況並將確認結果上傳 APP，以確保對異常區域掌控，解決民眾陳請問題。對於環境治理、智慧執法、突發事件及天氣系統影響的空品應用具備關鍵性的成效，以下簡要說明各應用分析的方法。

### 9.1 工業區熱區分析輔助智慧執法

運用布建在工業區及周邊社區的感測器數據，分析感測器在時間區段的變異行為與群集感測器在空間上的變異特徵，在與氣象條件的比對下，可以限縮污染來源的熱區。藉由分析污染熱區的時間變化，歸納污染行為的時間週期，掌握污染的特徵（詳如圖13）。環保署將整個 AI 熱區分析功能建置在環境感測數據分析平臺(WoT)，提供給環保稽查單位輔助智慧執法的科技工具。

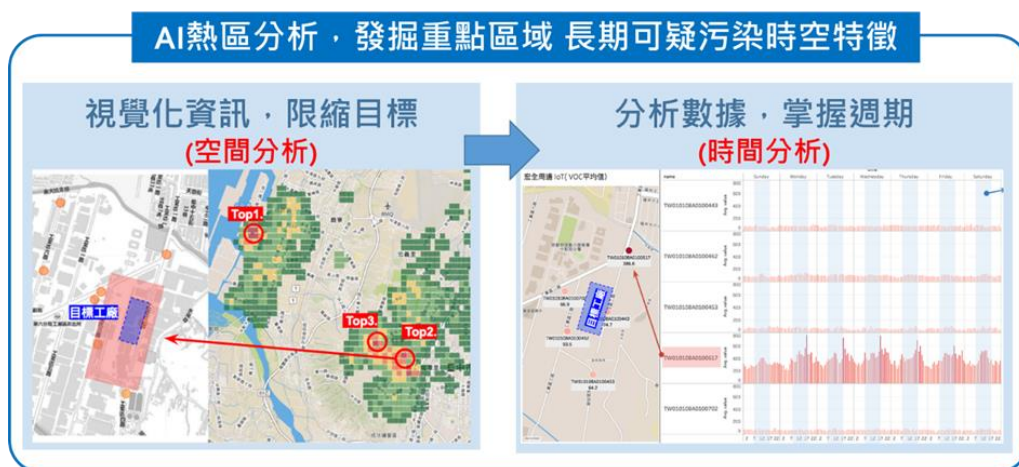


圖13、IoT 透過 AI 熱區分析掌握污染特徵

以往環保稽查單位的稽查流程有三大階段，第1階段初步稽查是依據既定排程或民眾舉發的案件，針對特定對象進行資料勾稽與現場巡查；第2階段深

度稽查是針對初步稽查所發現的可疑對象鎖定目標進行密集監控，確認不法排放行為的特徵與具體事證進行蒐集，擬定現場稽查計畫，並協調檢察官與警察單位合作打擊非法；第3階段檢警環合作出擊，前往不法排放點現場舉發惡意工廠，取得非法直接證據。

經由空氣品質感測物聯網輔助環保稽查的協助下，由物聯網的污染熱區分析，協助環保稽查單位聚焦高污染源發生區域，再協助環保稽查單位針對可疑工廠的周邊感測器深入分析污染排放的行為特徵，協助確認不法目標，全時提供有效佐證資訊，降低環保稽查單位的人力負荷，達成輔助智慧環境執法的效能。透過環境感測物聯網協助找出污染熱區等線索，打擊污染犯罪及追繳不法利得，確實驗證物聯網科技工具的實際功能（詳如圖14）。

### 行動感測器輔助，精準執法深度稽查，裁罰不肖廠商。



圖14、驗證 IoT 輔助環境智慧執法

## 9.2 感測器輔助國家測站異常高值溯源

國家測站為評估大範圍空氣品質的標準，設置地點有高度及遮蔽物限制，較不易受局部污染源的影響，故當國家測站異常高值與天氣系統條件不吻合時，以往較難釐清發生機制與原因。在空氣品質感測物聯網建立後，以國家測站為節點，結合空品感測器的密集網絡，可以協助掌握污染生成與發展的軌跡，提供國家測站異常高值來源的具體事證，輔助釐清高值異常溯源。以109年3月8日20時朴子測站發生  $\text{PM}_{2.5}$  高達  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的異常高值為例，隨後於23時安南測站與臺南測站也發生  $\text{PM}_{2.5}$  高達  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  及  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  的高值，經



與空氣品質感測物聯網的數據比對發現，污染來自朴子測站北側，經與雲林縣消防局確認，於當天19時雲林縣水林鄉萬興村一家飼料工廠發生火警，因風勢助長火勢，導致煙霧向南方飄散（詳如圖15）。確實驗證空氣品質感測物聯網找出異常事件發生源頭的效能，同時也協助排除國家測站設備異常的可能性。

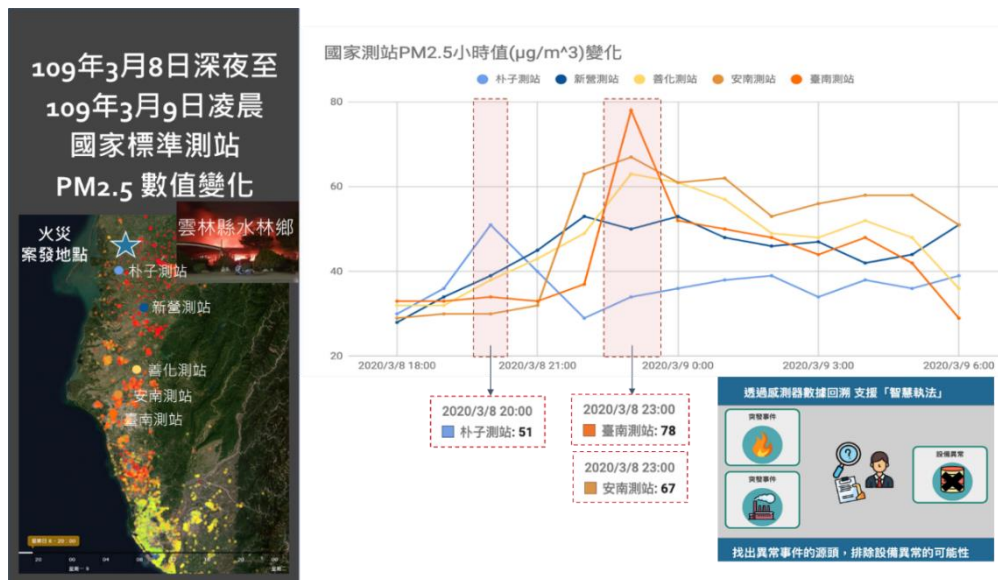


圖15、感測器輔助國家測站異常高值溯源

### 9.3 感測數據輔助突發環境事件分析

人為因素造成空氣品質不良的原因包含固定污染源與移動污染源的排放外，火災或化學品洩漏事故所造成的突發性污染範圍與影響時間對於環境的衝擊也相當大，感測數據對於掌握突發性的環境異常事件具備即時的辨識能力。

1. 異常事件溯源分析：在區域感測器發生污染事件的推播開始，透過大數據分析與氣象資料的結合，可明顯呈現發生異常環境事件的移動軌跡，透過空污足跡回溯的功能，可以預判出污染事件的概略起始點，在與消防救災單位或環境事故應變體系確認後，可以有效連結災害事故點、污染物類型與感測數據的時間與空間相關性。
2. 影響範圍分析：依據異常事件的發展，感測器提供在地微環境的空污數據，依據區域內的風向與風速，搭配感測數據的濃度變化，可以繪製出

在空間上的污染梯度，並透過污染告警的推播功能，提供救災單位或在地民眾即時環境資訊，對於污染區域的移動與演變，也可藉由氣象的預報資訊進行推估與預警。

3. 影響時間分析：在持續的感測資訊收集下，藉由環境感測濃度的變化趨勢及災害現場的救災進度資訊，結合氣象資料的演算，可以推估微環境受污染事件的影響時間，除了提供在污染範圍內民眾自主健康防護的警示外，同時提供救災單位評估高污染區域緊急應變措施及疏散撤離計畫執行參考依據。



圖16、感測數據輔助突發環境事件分析

## 9.4 感測數據輔助回應民眾陳情

由於感測器體積小、價格便宜且安裝簡易，可以透過適當的偽裝，針對特定的關切區域或民眾陳情的熱點進行全時的監控。以往對於民眾陳情的異味事件，環保單位在接獲報案後，派遣稽查人員攜帶設備至現場量測採樣，往往錯過高濃度污染的時空條件，除了造成環保稽查單位無效的資源投入外，也無法針對民眾陳情提供有效的回應。現在針對此類事件的建議做法，可以在民眾陳情區域布建臨時感測器，透過事先評估陳情區周邊可疑的污染來源，再分析事件發生的盛行風向與風速，規劃合適的感測點位進行機動布建，運用時間、空間及氣象條件的關聯性分析，持續調整臨時感測器的布建點位，由數據分析搭配其他高階儀器，可有效限縮可疑工廠，降低環保稽查人力，具體回應民眾有感的陳情需求。

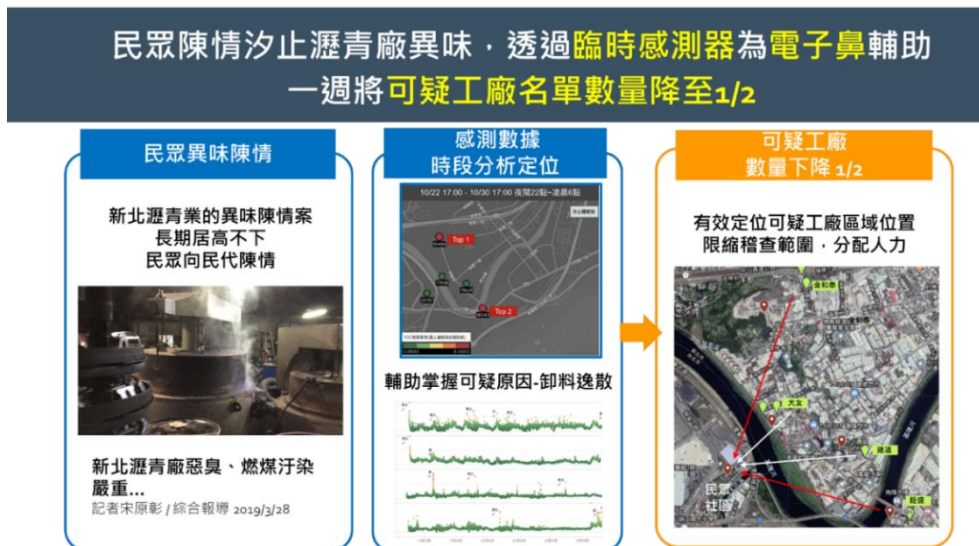


圖17、感測數據輔助回應民眾陳情

## 9.5 感測數據輔助掌握突發意外事件

空品感測物聯網在既定的感測任務中進行數據分析，提供感測區域全時的空品資訊。解析的感測資訊除了  $PM_{2.5}$  外，還可以同步觀察 VOC 的感測資訊，輔助研判污染物的類型與異常徵兆。以109年3月12日發生於苗栗市中華路的案件為例，環保局為了監控列管工廠的污染排放行為，布建空品感測器進行長期數據分析，由於在事發前一周發現 VOC 感測數據持續有突發性高值發生，為釐清高值發生的原因，於當天派遣稽查人員攜帶 FID（火焰離子化偵



檢器)至周界工廠進行巡查,並特別針對發現 VOC 高值的感測點進行現勘,稽查人員抵達事發點即發覺現場參雜瓦斯氣味,FID 偵測顯示環境有21.9 ppm,經尋找污染來源及量測人孔蓋,顯示達到儀器上限10,000 ppm,立即通報消防局至現場協助救災,消防隊使用四用氣體偵測器量測現場可燃性氣體達99%,立即灑水降溫。經聯繫中油公司確認有瓦斯管線於事故區域路面下方,在中油公司關閉瓦斯管線及消防局增派消防車警戒後,中油公司工程人員進行路面開挖,尋找瓦斯管線洩漏點進行搶修,即時阻止一件可能的氣爆事件。再次驗證空品感測物聯網擔任區域公共安全的預警與防護功能。

### 透過觀察週期性感測器異常高值,結合現場稽查,達到預防效果

2家新聞(中天、大愛)·5家平面媒體·超過10個網路媒體報導

中國時報\_苗栗感測器立大功,揪瓦斯外洩.....  
自由時報\_苗栗縣政府環保局運用空品感測器,意外阻止可能氣爆的公安事件.....  
聯合報\_苗栗縣環保局使用空品感測器,及時阻止了一場可能發生的氣爆意外.....



圖18、輔助掌握突發意外事件

## 9.6 感測器輔助掌握大環境天氣系統影響空品

空氣中的污染物往往伴隨著風移動,風速越大能帶走更多的污染物,風速越小,污染物則越容易留在原地,影響當地空氣品質。除了風速的影響外,受到地形的阻擋與不同來向的風對於污染物的傳輸亦息息相關,例如同樣的東北風,迎風面及背風面的風場變化即有所不同。而擁有複雜地形的臺灣,不同季節吹著不同方向的盛行風,也連帶影響臺灣各地的空氣品質變化,感測器的即時數據變化,忠實呈現天氣系統與地形所造成的污染現象。

以容易發生  $PM_{2.5}$  高濃度事件的氣象條件及區域為例,分析以往的監測資料, $PM_{2.5}$  達 AQI 100 以上空品不良的天氣型態主要有高壓影響(東北季風)、高壓迴流及弱綜觀等三種天氣型態,其大氣擴散條件受地形影響,在不同天氣型態下影響的範圍亦有所變化。秋冬季當受高壓影響吹東北季風時,南部

地區因位於東北季風尾流弱風區，在此天氣條件中較容易發生高污染事件。而高壓出海至高壓迴流時，當大環境風場逐漸轉為東風，使得中南部地區位於背風面，平均風速較低，降雨量也偏少，因而不利於污染物擴散和沉降（詳如圖19）。第三種為弱綜觀天氣型態，由於未受大尺度天氣系統影響，污染物濃度升高原因主要來自於本土地區排放及累積。此天氣型態臺灣各區域風場主要由海陸風環流主導，本土排放污染物受海陸風影響在西半部進行區域傳輸，使得污染物持續在西半部地區累積，不利於污染物擴散，因此高污染事件較容易發生。

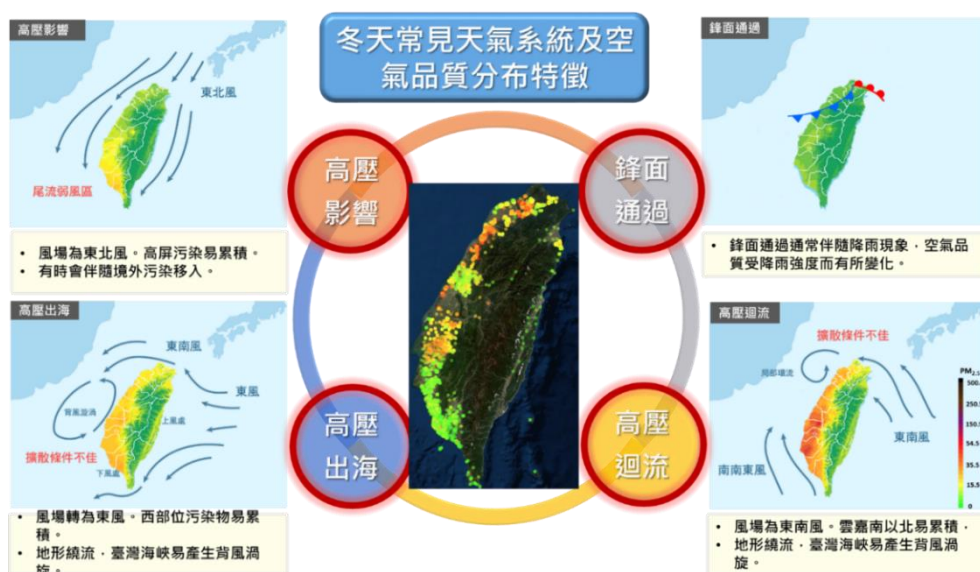


圖19、感測器輔助掌握冬季天氣系統影響空品的行為

## 9.7 感測數據輔助重污染氣候因應措施

雖然影響空氣品質變化因素很多，但透過感測數據分析可歸納出空品不良時間及空間分布特徵，以臺灣為例，大環境的高污染事件日往往發生在特定的天氣型態，受到天氣系統、大氣擴散效應及地形條件，綜合境外污染物及本地排放的各種污染源加成所影響。

環保署為因應秋冬空氣品質不良發季節，透過空氣品質預報分析，提示各地區與各縣市應變工作重點，規劃空品不良應變作為與督導查核對象，以及搭配強制性策略、彈性策略、獎勵性策略及誘因性策略，透過共同防

禦、掌握先機、超前佈署、預為規劃、確實執行以及滾動調整等方式，中央與地方環保單位攜手解決秋冬季節空品不良問題。

在長期收集空氣品質感測物聯網感測資料下，分析在重污染天氣來臨期間可能的污染熱區好發範圍，納入地方環保局優先督導查核對象，同時比對列管污染源(PRTR)、固定污染源連續監測資訊(CEMS)，評估優先執行降載減排的對象，在提升高污染天氣空品預報能力及微環境污染熱區分析技術的結合下，評估與調整因應重污染氣候採行措施及降載減排的成效，可逐步實現智慧環境管理的目標。