

111-021-7D05

MOTC-IOT-110-H2CB002

港區船舶能源使用及空氣污染 排放偵測技術評估之研究



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

111-021-7D05

MOTC-IOT-110-H2CB002

港區船舶能源使用及空氣污染 排放偵測技術評估之研究

著者：林啟燦、李俊穎、許義宏、翁健二、葉金課
鄭結梅、黃冠銘

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 3 月

港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估
之研究 / 林啟燦, 李俊穎, 許義宏, 翁健二, 葉金
課, 黃冠銘, 鄺結梅著. -- 初版. -- 臺北市：交通
部運輸研究所, 民 111.03

面；公分
ISBN 978-986-531-366-1(平裝)

1.CST: 港埠管理

557

111000727

港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究

著者：林啟燦、李俊穎、許義宏、翁健二、葉金課、黃冠銘、鄺結梅

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 111 年 3 月

印刷者：OOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 55 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：350 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011100138 ISBN：978-986-531-366-1 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-366-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1011100138	運輸研究所出版品編號 111-021-7D05	計畫編號 110-H2CB002
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李俊穎 研究人員：許義宏 聯絡電話：04-26587196 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立高雄科技大學 計畫主持人：林啟燦 研究人員：翁健二、葉金課、黃冠銘、 鄭結梅 地址：高雄市楠梓區海專路 142 號 聯絡電話：07-3617141		研究期間 自 110 年 2 月 至 110 年 12 月
關鍵詞：船舶空污排放、低硫燃油政策、空氣品質偵測、空污檢測及採樣			
摘要：			
<p>因應國際海事組織（IMO）制訂的 2020 年船舶使用低硫燃料油規定，交通部自 108 年 1 月 1 日起推動進入我國國際商港應採用硫含量 0.5% 以下之低硫燃油措施，航港局檢查低硫燃油作業係由船旗國或港口國管制檢查員依據現有船舶遴選方式選定目標船並登輪執行檢查。本計畫為輔助航港局進行船舶能源使用及空氣污染排放檢查機制，針對國內外空污偵測技術進行探討及評估適用於船舶空氣污染排放偵測之技術成熟度，以提供航港局或港務公司可透過科技輔助進行疑似高污染船舶判別機制，並做為登輪檢查之參據。</p> <p>全球船商都應 IMO 政策要求使用含硫量 0.5% 的低硫燃油或安裝具有同等減排效應之裝置，經盤點國內外船舶空污相關文獻與案例顯示，船舶排煙行為對二氧化硫(SO₂)與懸浮微粒(PM₁₀ 及 PM_{2.5})濃度具有顯著影響，然從國內外主要船公司之相關統計報告指出，重油使用量均有減少，然而低硫油比高硫油較為耗油，且使用脫硫塔需使用發電機將海水抽入洗滌裝置內，亦導致船舶能耗增加。</p> <p>經盤點主要空氣污染排放偵測技術，包括目測判煙、嗅探技術 (IGPS)、影像辨識、OP-FTIR、DOAS (UV-DOAS 及 MAX-DOAS)、LiDAR、CEMS、Sensors 及無人機搭載偵測器等項目進行比較，其中以 UV-DOAS 及 UAV 較適用於我國港區船舶空污監測，因此本計畫以高雄港第二港口做為上開兩項技術之示範場域規劃。</p> <p>本計畫完成我國推動低硫燃油政策之個案油耗差異分析、對船舶操作、空氣污染物成份改變之影響等，可提供航港局及港務公司做為政策執行評估之參據。同時，完成固定式遙測移動式監測技術之示範及實驗規劃內容，可提供航港局、港務公司、環保單位做為我國推動船舶使用低硫燃油之查核輔助工具，落實港區空氣污染防治工作。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 3 月	345	350	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Research on Monitoring Technology of Ship Energy Use and Air Pollution Emission in Ports			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-366-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100138	IOT SERIAL NUMBER 111-021-7D05	PROJECT NUMBER 110-H2CB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chun-Ying Lee PROJECT STAFF: Yi-Hung Hsu PHONE: (04)26587196 FAX: (04)26564418			PROJECT PERIOD FROM Feb. 2021 TO Dec. 2021
RESEARCH AGENCY: National Kaohsiung University of Science and Technology PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chitsan Lin PROJECT STAFF: Chien-Erh Weng, Chin-Ko Yeh, Guan-Ming Huang, kit-Mui Kwong ADDRESS: No.142, Haijhuar Rd., Nanzih Dist., Kaohsiung City, Taiwan PHONE: (07)3617141			
KEY WORDS: Ship air pollution emission, Low-sulfur fuel policy, Air quality detection, Air pollution detection and sampling			
<p>ABSTRACT:</p> <p>The Ministry of Transportation and Communications began to drive the practice of using low-sulfur fuels with a sulfur content of less than 0.5% in Taiwan's international commercial ports on January 1, 2019 in response to the 2020 regulations on the use of low-sulfur fuels for ships set out by the International Maritime Organization, IMO. In the inspection of low-sulfur fuels by the Maritime Port Bureau, the control and inspectors of flag nations or nation of port perform the inspection onboard the target vessels selected in accordance with applicable method of selection. To assist the Maritime Port Bureau in carrying out the mechanisms of inspection of energy use and air pollution emissions by vessels, this project explores the maturity of technologies applicable to the detection of air pollution emissions from ships, to provide it as a mechanism for the port bureau or port company to identify suspected high-polluting ships with the aid of technology and inspect on board.</p> <p>Ship companies in the world use low-sulfur fuels with a sulfur content of less than 0.5% or install devices that work the same as emission reduction in response to the requirement of the IMO policy. This project collected domestic and foreign literature and cases related to air pollution from ships and found that the waste gas emission by ships has a significant impact on the concentration of sulfur dioxide (SO₂) and suspended particulates (PM₁₀ and PM_{2.5}). However, the statistical reports from major ship companies in Taiwan and overseas indicated that while the use of heavy oil reduced, low-sulfur fuels are more fuel-intensive than high-sulfur ones, plus the use of a desulfurization tower requires a generator to pump seawater into the washing device, which in turn leads to an increase in energy consumption by ships.</p> <p>In this project, the major technologies of detection of air pollution emission were examined, including visual smoke detection, IGPS, image recognition, OP-FTIR, DOAS (UV-DOAS and MAX-DOAS), LiDAR, CEMS, Sensors and detectors onboard UAVs, etc. Among these, UV-DOAS and UAV are more suitable for ship air pollution monitoring in Taiwan's ports. Therefore, this project opts the second port of Kaohsiung Port as the demonstration site planning of these two technologies.</p> <p>This project, regarding Taiwan's promotion of low-sulfur fuel policy, completes the case analysis of differences in fuel consumption and the impact on ship operations and changes in air pollutant composition, etc. The results can provide the port bureau and port company as a reference for policy implementation evaluation. Also, the demonstration and experimental planning of stationary telemetry mobile monitoring technology was completed, which can provide the port bureau, port company, and environmental protection agencies as an auxiliary tool in inspection regarding Taiwan's promotion of low-sulfur fuel use by ships, to really make air pollution control in the ports happen.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2022		NUMBER OF PAGES 345	PRICE 350
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄.....	III
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 研究目的與重要性.....	1-3
1.3 研究範圍與對象.....	1-9
1.4 研究流程.....	1-9
第二章 低硫燃油政策與船舶能源消耗.....	2-1
2.1 船舶燃油使用及空氣污染物排放概述.....	2-1
2.2 傳統燃油及低硫油對空污之影響.....	2-15
2.3 低硫油政策對船舶操作之影響.....	2-20
2.4 船舶使用低硫燃油政策前後空污排放推估及用油量差異.....	2-23
第三章 空氣品質偵測及採樣技術研析.....	3-1
3.1 空氣污染物種類及採樣方法.....	3-1
3.2 空氣污染物之檢測方法.....	3-5
3.3 空氣品質偵測技術.....	3-13
3.4 小結.....	3-44
第四章 船舶空氣污染排放偵測技術研析.....	4-1
4.1 國內現有港口國船舶管制檢查.....	4-1
4.2 港區船舶監控機制.....	4-10
4.3 我國船舶偵測應用技術之可行性評估.....	4-13
4.4 小結.....	4-20
第五章 可行偵測技術規劃.....	5-1
5.1 高雄港環境背景.....	5-1
5.2 固定式監測技術之規劃.....	5-13
5.3 移動式監測技術之規劃.....	5-29
第六章 專家學者座談及應用單位訪談.....	6-1

6.1 專家學者座談	6-1
6.2 應用單位訪談	6-8
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-4
7.3 成果效益與應用情形	7-5
參考文獻	參-1
附錄一 期末報告簡報資料	附 1-1
附件二 期中報告審查意見處理情形表	附 2-1
附件三 期末報告審查意見處理情形表	附 3-1
附錄四 工作會議紀錄	附 4-1
附錄五 專家學者座談會會議紀錄及意見處理情形表	附 5-1
附錄六 應用單位訪談紀錄表	附 6-1
附錄七 UV-DOAS 報價單	附 7-1
附錄八 環境檢驗中心儀器介紹及應用性	附 8-1

圖目錄

圖 1.1 臺灣地理位置坐落東亞航運樞紐.....	1-1
圖 1.2 2016-2020 年我國國際港口船舶進出港航次	1-3
圖 1.3 年平均 PM _{2.5} 排放量	1-4
圖 1.4 船用燃油含硫量限制規範之時序進程.....	1-7
圖 1.5 研究架構圖.....	1-10
圖 2.1 開環式脫硫塔系統架構圖.....	2-13
圖 2.2 閉環式脫硫塔系統架構圖.....	2-14
圖 2.3 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (長榮海運).....	2-29
圖 2.4 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (陽明海運).....	2-31
圖 2.5 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (萬海航運).....	2-33
圖 3.1 林格曼表使用在船舶判煙之情形.....	3-14
圖 3.2 影像辨識技術系統架構.....	3-16
圖 3.3 雲端影像智慧平台辨識流程圖	3-17
圖 3.4 開徑式紅外線遙測技術量測示意圖.....	3-18
圖 3.5 NH ₃ 來源分析圖	3-19
圖 3.6 開徑式紅外線遙測技術量測案例.....	3-20
圖 3.7 風玫瑰圖路徑平均濃度.....	3-21
圖 3.8 差分吸收光譜法監測示意圖.....	3-23
圖 3.9 高速公路上的 UV-DOAS 斷層掃描圖	3-24
圖 3.10 連續 24 小時監測氣態汞逸散通量總值.....	3-25
圖 3.11 MAX-DOAS 儀器結構示意圖	3-26
圖 3.12 MAX-DOAS 海上監測船舶空污之示意圖	3-27
圖 3.13 MAX-DOAS 陸上監測船舶空污之示意圖	3-27
圖 3.14 LiDAR 系統設置原理圖	3-30
圖 3.15 2018 年 11 月 19 日呂梁市大氣消光係數 (10 ⁻³ m ⁻¹) 光達圖. ...	3-31
圖 3.16 2010~2020 年武漢市氣溶膠 LiDAR 光學剖面圖.....	3-31
圖 3.17 簡易型空氣品質監測內部及其感應元件.....	3-33
圖 3.18 載具動力輸出系統架構.....	3-38
圖 3.19 控制系統運作流程.....	3-39
圖 3.20 終端控制畫面.....	3-40
圖 3.21 無人載具飛行測試畫面.....	3-40

圖 3.22 透過無人載具搭載紅外顯鏡頭飛行測試畫面.....	3-41
圖 3.23 透過無人載具飛行至煙流畫面個案探討低硫政策前後差異	3-41
圖 3.24 IGPS 判別船舶煙流位置截圖	3-43
圖 4.1 歷年港口國管制檢查船舶數、檢查率.....	4-4
圖 4.2 稽查作業流程圖	4-8
圖 4.3 我國 AIS 岸台基站覆蓋範圍	4-12
圖 4.4 AR500 系統校正示意圖	4-17
圖 5.1 高雄港區平面圖	5-2
圖 5.2 近五年鄰近高雄港測站之月平均溫度趨勢圖	5-4
圖 5.3 近五年鄰近高雄港測站之每月總雨量趨勢圖	5-4
圖 5.4 近五年鄰近高雄港測站月平均溼度趨勢圖	5-5
圖 5.5 近五年小港測站風玫瑰圖	5-6
圖 5.6 近五年前金測站風玫瑰圖	5-7
圖 5.7 近五年前鎮測站風玫瑰圖	5-8
圖 5.8 高雄港區內空氣品質定點監測站.....	5-10
圖 5.9 近五年鄰近高雄港測站之 SO ₂ 年平均.....	5-11
圖 5.10 近五年鄰近高雄港測站之 NO ₂ 年平均	5-11
圖 5.11 近五年鄰近高雄港測站之 PM _{2.5} 年平均	5-12
圖 5.12 近五年鄰近高雄港測站之 PM ₁₀ 年平均.....	5-12
圖 5.13 各架設地點相對位置示意圖	5-15
圖 5.14 南高字塔場所圖片	5-17
圖 5.15 高明總部場所圖片	5-19
圖 5.16 中和安檢所場所圖片	5-21
圖 5.17 VTC 塔台場所圖片	5-23
圖 5.18 北高字塔場所圖片	5-25
圖 5.19 開徑式監測儀測線地點.....	5-28
圖 5.20 載具系統架構.....	5-29
圖 5.21 高雄港二港口飛行空域管制範圍.....	5-30
圖 5.22 專業高級操作證級別劃分	5-31
圖 5.23 專業高級操作證類別.....	5-31
圖 5.24 AIS 資料異常數據：MMSI 不足 9 碼	5-37
圖 5.25 AIS 資料異常數據：航速異常.....	5-37
圖 5.26 AIS 資料異常數據：航向異常.....	5-37

圖 5.27 平台介面及功能開發規劃.....	5-38
圖 5.28 系統控制平台設計示意圖.....	5-39
圖 5.29 移動式監測技術飛行作業測試.....	5-40
圖 5.30 無人機操作流程圖.....	5-42
圖 5.31 無人機及船舶當前位置.....	5-43
圖 5.32 無人機模式切換.....	5-44
圖 5.33 目標船舶點距離顯示.....	5-44
圖 5.34 圖資介面及 MissionPlanner 平台顯示畫面.....	5-45

表目錄

表 1-1 MARPOL 規範之排放管制區.....	1-6
表 1-2 MARPOL 之船舶 NO _x 及含硫量規範.....	1-6
表 1-3 全國各類污染源空氣污染物排放量及比率	1-8
表 2-1 MARPOL 公約附則.....	2-2
表 2-2 船舶用油中文英對照表	2-3
表 2-3 海運輕柴油之物理及化學性質	2-4
表 2-4 海運重柴油之物理及化學性質	2-6
表 2-5 船用燃油之物理及化學性質	2-7
表 2-6 燃料油分類(依硫含量).....	2-8
表 2-7 各式脫硫塔之優缺點比較	2-15
表 2-8 改用低硫油與加裝脫硫塔之成本比較	2-23
表 2-9 燃料油空氣污染排放係數	2-25
表 2-10 燃油校正係數表	2-26
表 2-11 近三年船舶能源使用情形 (Maersk).....	2-27
表 2-12 近三年 NO _x 與 SO _x 總排放量統計表 (Maersk).....	2-28
表 2-13 近三年船舶能源使用情形 (長榮海運).....	2-29
表 2-14 近三年 NO _x 與 SO _x 總排放量統計表 (長榮海運).....	2-29
表 2-15 近三年船舶能源使用情形 (陽明海運).....	2-30
表 2-16 近三年 NO _x 與 SO _x 總排放量統計表 (陽明海運)	2-31
表 2-17 近三年船舶能源使用情形 (萬海航運).....	2-32
表 2-18 近三年 NO _x 與 SO _x 總排放量統計表 (萬海航運).....	2-32
表 2-19 近三年船舶能源使用情形 (中鋼運通).....	2-34
表 3-1 空氣中揮發性有機物(VOC)採樣方法之比較	3-3
表 3-2 無機化合物採樣方法之比較	3-5
表 3-3 國內空氣污染物標準檢測方法	3-8
表 3-4 國外空氣污染物標準檢測方法	3-10
表 3-5 林格曼級別表.....	3-13
表 3-6 市面上販售之感測器	3-34
表 3-7 市面上販售之 SO ₂ 感測器	3-35
表 3-8 市面上販售之 NO ₂ 感測器.....	3-36
表 3-9 各種空氣污染偵測技術之比較	3-45

表 4-1 2003-2020 年歷年港口國管制檢查統計	4-2
表 4-2 2003-2020 年港口國管制檢查作業彙整 (依船齡)	4-3
表 4-3 港口國管制檢查缺失類型	4-5
表 4-4 2020 年港口國管制檢查艘數-依船舶類型統計	4-6
表 4-5 OPSIS 儀器量測設定	4-15
表 4-6 AR520 空氣污染物檢測極限	4-16
表 4-7 AR520 系統技術標準規格	4-16
表 4-8 ER150 發射端及接收端規格	4-17
表 4-9 國際商港之 UAV 應用與技術發展	4-18
表 5-1 高雄港進出港船舶艘次及總噸位	5-3
表 5-2 高雄港空品績效統計表	5-9
表 5-3 固定式監測技術之規劃	5-14
表 5-4 固定式遙測架設具架設潛力地點	5-15
表 5-5 南高字塔基本資料	5-16
表 5-6 高明總部基本資料	5-18
表 5-7 中和安檢所基本資料	5-20
表 5-8 VTC 塔台基本資料	5-22
表 5-9 北高字塔基本資料	5-24
表 5-10 架設地點海拔高度	5-27
表 5-11 架設情境中點高度與光徑長度	5-27
表 5-12 固定式遙測架設地點建議	5-28
表 5-13 AIS 資訊種類	5-33
表 5-14 AIS 欄位訊息數據類型	5-34
表 5-15 AIS 封包格式	5-36
表 5-16 檢測資料欄位	5-36
表 5-17 系統控制平台規劃功能說明	5-39
表 5-18 無人載具移動式監測技術之規劃	5-41
表 5-19 測試階段之無人機規格資訊	5-43

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

在全球化趨勢發展下，跨國企業、區域合作與雙邊貿易如雨後春筍般蓬勃發展，依據聯合國貿易和發展會議 (United Nations Conference on Trade and Development, UNCTD) 提出的數據顯示，現今全球貿易中，80% 進出口貿易貨物的運輸透過海運輸送，而全球工業化的快速發展亦提升了海洋運輸所需的商船與港口基礎設施品質，進一步推動國際貿易量的成長。我國地理位置居於東北亞和東南亞交會處，如圖 1.1，往上航運路線通往韓國、日本等東北亞各國，往下航運路線通往菲律賓、印尼、泰國、新加坡及馬來西亞等東南亞各國，不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在國防戰略、經濟貿易上亦是國際上不可或缺的一員，在整個東亞的地理位置上扮演著極為重要的角色，其地理位置之優勢致使我國海洋運輸相關產業發展十分有利，並成為我國經濟成長的重要推手。



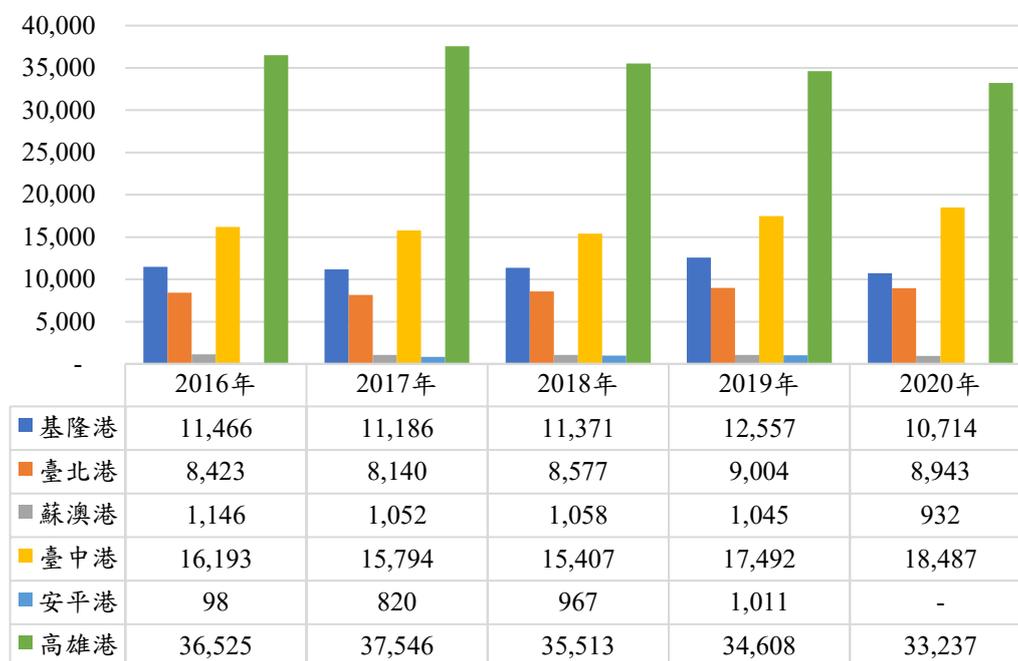
圖片來源：交通部航港局

圖 1.1 臺灣地理位置坐落東亞航運樞紐

海洋事務推動委員會 (2006) 於行政院海洋政策白皮書指出，根據經濟合作暨發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 分析，從經濟層面的角度檢視全球海運貿易價值約佔貿易總價值的 50%，可見全球貿易物流的主要方式仍以海洋運輸為大宗。海洋帶給全球政經發展之重要性已毋庸置疑，對於海洋權力之主張直接影響國家的安全與發展等權益，我國政府對於海洋政策之目標乃在建立完整的「海洋國家」，強調海洋特色喚起國民海洋意識予以創造優質的海洋環境、安全的海洋活動以及興盛的海洋產業。如圖 1.2 所示，自 2013 年「自由貿易港區設置管理條例」的實施，促進我國高附加價值貿易活動之發展，其國內六個國際商港進出港船舶數量大幅增加，近年來亦保持三萬艘次以上之進出量。而後小三通放寬限制、貿易政策自由化以及海洋產業興起等因素促使海事活動日趨熱絡，航經我國海域之船舶數量多不勝數。近年來中國大陸經濟影響力擴大，促使西太平洋海岸掀起一股經濟熱潮進而帶動海運交通量成長。中國大陸於 2013 年倡議一帶一路的跨國經濟合作概念，其中由中國山東、江蘇、浙江、福建、廣州、及海南六個沿海省份發展中國和東南亞、南亞、中東、北非及歐洲各國的經濟合作組成 21 世紀海上絲綢之路，大幅度提升海洋運輸規模，近二十餘年的中國大陸沿海貨櫃港發展中，其全球十大貨櫃港中僅有香港入榜，至今中國上海港之貨物輸送量和貨櫃輸送量已躍升為全球第一，且共七處港口為全球十大貨櫃港，全球近九萬艘商船貨物中的三成須經由臺灣海峽往返中國大陸沿海各港口。我國位於西太平洋第一島鏈的中心位置並緊鄰中國大陸沿海省份，因此可以預想我國所轄海域範圍內有著大量的海洋產業運輸船舶往返。

然而自聯合國氣候變化綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change) 正式生效以來，海洋運輸產業一直未納入溫室氣體排放減量協議。華健及吳怡萱 (2012) 指出船舶在運輸過程中由於燃燒大量的燃油，導致持續的排放空氣污染物質，特別是沿岸航行或是停留在港口期間，船舶所排放之污染物質對於人體健康、生態環境更是造成莫大的影響，如細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、二氧化碳 (CO₂)、重金屬、揮發性有機物 (VOCs)……等。有鑑於海洋運輸產業空氣污染物排放量在全球排放比例中日益增長，亦使國際社

會開始關注海洋運輸產業之空氣污染物減排的議題 (Ivče et al., 2018; Zhukov et al., 2018; Tang et al., 2019)。



資料來源：本研究整理。

圖 1.2 2016-2020 年我國國際港口船舶進出港航次

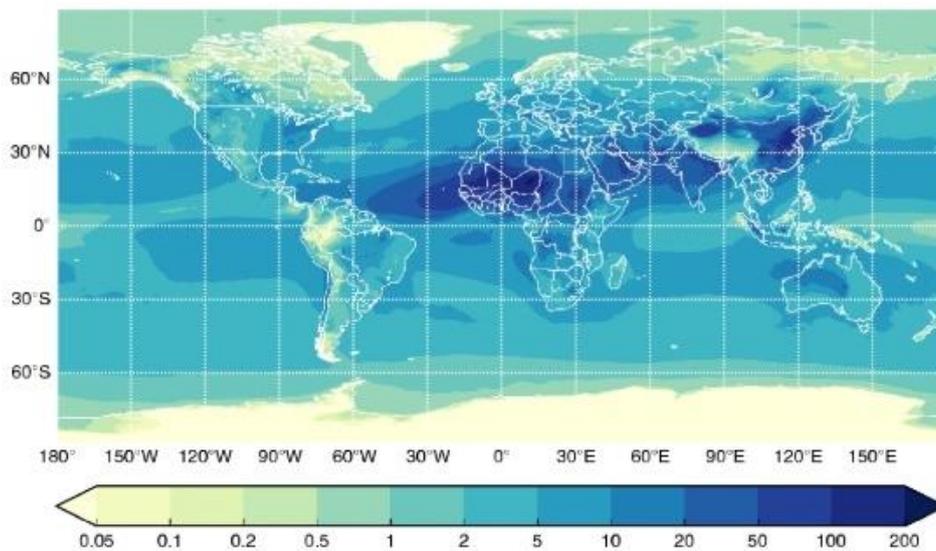
1.2 研究目的與重要性

國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO) 為聯合國底下發展及實行海洋安全、保安及船舶造成污染與防治等相關國際規範的特定組織，規範包括針對不同的層面訂定環境保護的規章，使會員國能夠遵守並解決因國際貿易等經濟活動發展、海事活動增加，而造成海洋環境急速惡劣的問題。為確保船舶航行安全，以及預防來自海難事故船舶所造成之污染，各海運國家對船舶之檢查機制從船旗國監督 (Flag State Control, FSC) 檢查制度，循序因應船舶之流動性致使無法定時、定點接受船旗國檢查的限制下，逐發展為港口國監督 (Port State Control, PSC) 檢查制度，透過此一地區性合作之監督檢查機制，遵照統一標準，對航行進出其港口水域之外國籍船舶，依一定之比例進行的船體、機器、設備或操作安全等船舶實質試航性查驗程式，以確保海上的人命、船舶、貨物

的安全外，並致力於海洋環境的保護。為追求更為潔淨的海運產業發展、加強海上安全及保護海洋環境，區域性港口國監督之檢察制度已經成為當今成效顯著的利器與全球海運界的重要共識。

Jalkanen et al., (2012) 在大氣化學與物理 (Atmospheric Chemistry and Physics, ACP) 國際科學期刊，提出一針對船舶交通排放懸浮微粒及一氧化碳之評估模型的相關研究。其研究內容指出透過船舶自動識別系統提供的資訊，包括船舶航行路線、航行速度、渦輪機負載及燃油硫含量等數據將可用於合理推估船舶懸浮微粒及一氧化碳排放量。2018 年美國德瓦拉大學在自然通訊期刊發表的研究指出每年約有 1,400 萬例的兒童哮喘與全球船舶使用的燃料有關，其中該研究亦指出亞洲地區污染範圍主要分佈在中國，所有沿海地區、我國西部地區，一直向北延伸到日本、韓國之間的國際航道上沿岸地區。

英國自然通訊期刊的研究調查亦顯示全球每年近 40 萬人因為海上船舶所排放之細懸浮微粒，造成肺癌或心血管疾病的死亡 (Mikhail Sofiev et al., 2018)，如圖 1.3。亞洲東部地區其污染範圍大部分分佈在中國所有沿海地區與臺灣西部地區，以及一直向北延伸到日本、韓國之間的國際航道上的沿岸地區，若以人口比例進行初步概算，我國平均每年約有 3,300 人因船舶排放之空氣污染物造成肺癌或心血管疾病死亡



圖片來源：Mikhail Sofiev et al., 2018

圖 1.3 年平均 PM_{2.5} 排放量

蔡鎮遠等人 (2011) 研究顯示，40 萬因肺癌或心血管疾病過早死亡的人口約有 23.8 萬人來自中國大陸、日本、韓國及臺灣，其中中國大陸則是佔比最高的國家。我國西岸臺灣海峽之海域範圍為全球海上運輸最為繁忙的航線之一，亦是排放 PM_{2.5} 最多的航道。過去二十餘年全球海上運輸貨物量成長率將近 3 倍，隨著船舶數量增加、航線日益密集，國內居民的呼吸道疾病、肺癌與小兒過敏氣喘人口比例也跟著節節攀升。海洋運輸載重量相當大，從數千公噸至數十萬公噸皆有。雖然海洋運輸船舶航行速度較為緩慢，船舶均使用成本較低廉的重油作為燃料；然而由於載重量大的情況下，燃油消耗量亦相應提升。以一艘運載 5,500 個 20 呎標準貨櫃的貨櫃船為例，若其每小時以 19 海浬的經濟航速航行，每日燃油消耗量高達 100 公噸。且船舶所使用的主機為低速二行程柴油內燃機直接連結推進器以驅動船舶行進，即便機艙設有多種廢能回收裝置以提高主機及其輔機的熱效率，其空氣污染物排放量仍相當大。

為了使海洋運輸產業船舶能有效降低空氣污染物之排放，訂定國際海洋運輸產業之營運船舶每年平均需減少 30% 之 NO_x 排放量，藉以限制船舶航行所產生的空氣污染排放量。陳欣伶 (2014) 碩士論文指出，MARPOL 73/78 公約規範適用於 2000 年 01 月 01 日起適用所有新燃料油之使用船舶，其公約除了溫室氣體的減排管制外，亦在 2005 年 05 月時修定加強管制海洋運輸產業所排放之 SO_x 與 NO_x 排放量，並於排放控制區 (Emission Control Area, ECA) 內有更為嚴苛的規範。依據公約附則六之規範顯示，在硫氧化物管制區 (SO_x Emission Control Area, SECA) 則制定了更加嚴格的排放規定。屬於該管制區範圍，包括波羅的海、北海、北美及加勒比海等地區。於此區域內之船用燃油含硫量不得高於 1.5%。此外，依據國際公約 MARPOL 附則六第 14.4 條規定，自 2015 年 1 月 1 日起船舶於 SECA 作業時，使用燃油不能超過 0.1%，另中國、韓國等國家部分水域及港口，按國內法規施行 0.1% 限硫令。公約規範因應以保護海洋環境目標，持續進行修正，如表 1-1、表 1-2 與圖 1.4 所示。

表 1-1 MARPOL 規範之排放管制區

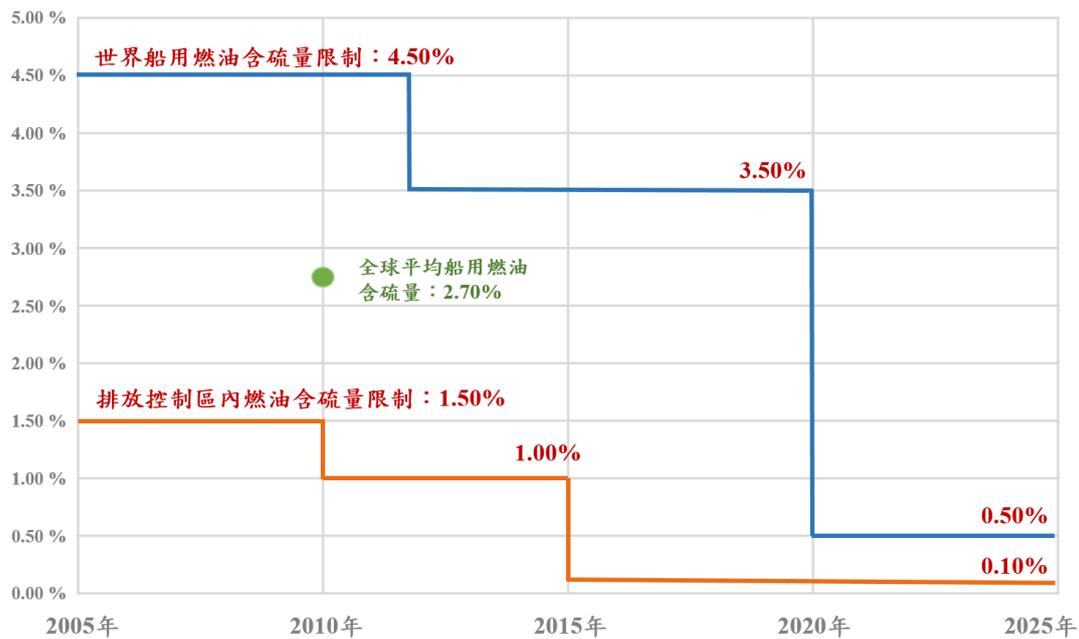
排放管制區域	提案日期	提案通過日期	正式生效日期
波羅的海 (SO _x)	1997 年 09 月 26 日	2005 年 05 月 19 日	2006 年 05 月 19 日
北海 (SO _x)	2005 年 07 月 22 日	2006 年 11 月 22 日	2007 年 11 月 22 日
北美 (SO _x , NO _x , PM)	2010 年 03 月 26 日	2011 年 08 月 01 日	2012 年 08 月 01 日
加勒比海 (SO _x , NO _x , PM)	2011 年 07 月 26 日	2013 年 07 月 01 日	2014 年 07 月 01 日

資料來源：陳欣伶，2014

表 1-2 MARPOL 之船舶 NO_x 及含硫量規範

適用範圍	正式生效日期	氮氧化物 (NO _x)	燃油含硫量
SECA 管制區域	2005 年 05 月至 2010 年 06 月	-	1.5%
	2010 年 06 月	-	1%
	2015 年 01 月	-	0.1%
	2016 年 01 月	第三階段：經過處理	-
	2011 年 01 月之前	第一階段：引擎控制	-
全球	2011 年 01 月	第二階段：引擎控制	-
	2012 年 01 月之前	-	4.5%
	2012 年 01 月	-	3.5%
	2020 年 01 月	-	0.5%

資料來源：陳欣伶，2014



圖片來源：本研究繪製

圖 1.4 船用燃油含硫量限制規範之時序進程

為了追求更為潔淨的海運環境，船舶污染排放規範已愈加嚴苛，除前述 IMO MARPOL 73/78 公約對全球海洋運輸產業全面性的管制規範外，各國亦陸續針對該議題提出相關政策，以臺灣為例，為提昇環境品質及維護國人健康，環保署於 2012 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 周界空氣品質標準之 24 小時值與年平均值分別為 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在因應細懸浮微粒之管制部分，環保署則於 2015 年 11 月 17 日頒布「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」部分修正，並於 2016 年 8 月 5 日公告各縣市之空氣品質防制區劃分結果，其調查結果發現除臺東縣外，其餘縣市地區均為細懸浮微粒之三級防制區，亦表示這些地區未達細懸浮微粒之周界空氣品質標準。

根據我國行政院環境保護署最新之全國空氣污染物排放清冊 (TEDS11.0) 顯示，船舶空氣污染物排放 (含港區內及離岸排放)。當中細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x) 排放量佔全國總排放量之比例為 4%、27%與 9% (如表 1-3 所示)。

表 1-3 全國各類污染源空氣污染物排放量及比率

空氣污染物 污染源	細懸浮微粒 (PM _{2.5})		硫氧化物 (SO _x)		氮氧化物 (NO _x)	
	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率
工業	9,965	21%	51,299	69%	106,358	35%
車輛	14,977	31%	111	0%	150,867	50%
非公路運輸	477	1%	732	1%	7,346	2%
商業	1,275	3%	1,456	2%	2,152	1%
營建/道路揚塵	17,776	37%	0	0%	0	0%
露天燃燒	605	1%	87	0%	358	0%
其他	1,036	2%	1,070	1%	9,815	3%
船舶-港區內	1,005	2%	11,731	16%	17,215	6%
船舶-離岸排放	893	2%	8,220	11%	10,639	3%
總排放量	48,009	100%	74,706	100%	304,750	100%

資料來源：環保署全國空氣污染物排放清冊 (TEDS11.0)

在航經我國海域之船舶數量繁多，且海上交通運輸活動日趨熱絡、頻繁興盛的狀況下，船舶所排放之細懸浮微粒、各種空氣污染物已不容忽視。目前國內船舶空污監測，大多以港口監測為主，或以 Models-3/CMAQ 模式結合氣象局風場資訊進行一次原生性污染物、二次衍生性污染物之影響情形模擬推估。而船舶使用低硫燃油檢查作業流程，則需由船旗國或港口國管制檢查員遴選船隻、登船進行相關檔及紀錄簿查驗，或由地方環保機關及航港局人員現場採集油品送驗確認。交通部航港局因應 IMO MEPC 制定之防止船舶污染國際公約規範，如圖 1.4，於 2019 年 1 月 1 日開始管制航入臺灣國際商港區域之外籍船舶及國籍船舶應採用 0.5% 以下硫含量之低硫燃油或「具有同等減排效應之裝置」或替代燃料，為配合政府施行 IMO MEPC 防止船舶污染國際公約附則六之防止船舶空氣污染規定，本研究整合國內外現行相關低硫燃油政策的規章與管制機制，並探究船舶空污排放偵測技術之相關文獻，評估適切於我國發展的船舶空氣污染排放偵測可行技術，從而提供後續針對船舶空污排放偵測可行技術進行相關規劃研擬，以協助交通部航港局及臺灣港務股份有限

公司等單位對於我國海洋事務與污染防治的規劃上，提供技術發展方向與策略制定的輔助。

1.3 研究範圍與對象

從前述背景、目的的綜合分析可以知道，長期以來臺灣部分地區空氣品質不良比例偏高，特別是西岸臺灣海峽之海域範圍及西半部沿海週遭地區更為嚴重。尤其對於人體健康影響甚鉅的衍生性空氣污染物，如細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物 (SO_x) 及氮氧化物 (NO_x) 等，在特定區域污染物濃度偏高的現象，不僅一直是環境空氣品質無法獲得有效控制及改善的重要關鍵，更是造成國內於呼吸道疾病、肺癌與小兒過敏氣喘人口比例節節上升的原因之一。為能有效監測航於臺灣國際商港區域範圍內之船舶是否遵循防止船舶污染國際公約規範，此次重點將著重於我國港埠地區之船舶空氣污染排放偵測技術探討與評估，以及船舶空污排放偵測可行技術之先期規劃，藉以未來能有效針對船舶航行時之燃油使用情形的調查。

為輔助航港區進行船舶能源使用及空氣污染排放檢查機制，本計畫針對國內外空污偵測技術，進行探討及評估適用於船舶空氣污染排放偵測之技術成熟度，以提供航港局或港務公司可透過科技輔助進行疑似高污染船舶判別機制，並作為登輪檢查之參據，並分別針對光學監測技術、可移動式監測技術及固定監測技術等三個層面進行探討，並就設備、地點及種類等條件分析適切我國的船舶空污排放偵測技術可行性。

1.4 研究流程

本計畫研究架構如圖 1.5 所示，初期先進行各細項文獻及資料蒐集，包括低硫燃油政策與船舶能源消耗、空氣品質偵測技術、空氣品質採樣技術、船舶空氣污染排放偵測技術盤點。接著透過現地勘探、專家學者建議、應用單位訪談等意見，評估最適切於我國之船舶污染排放偵測技術。

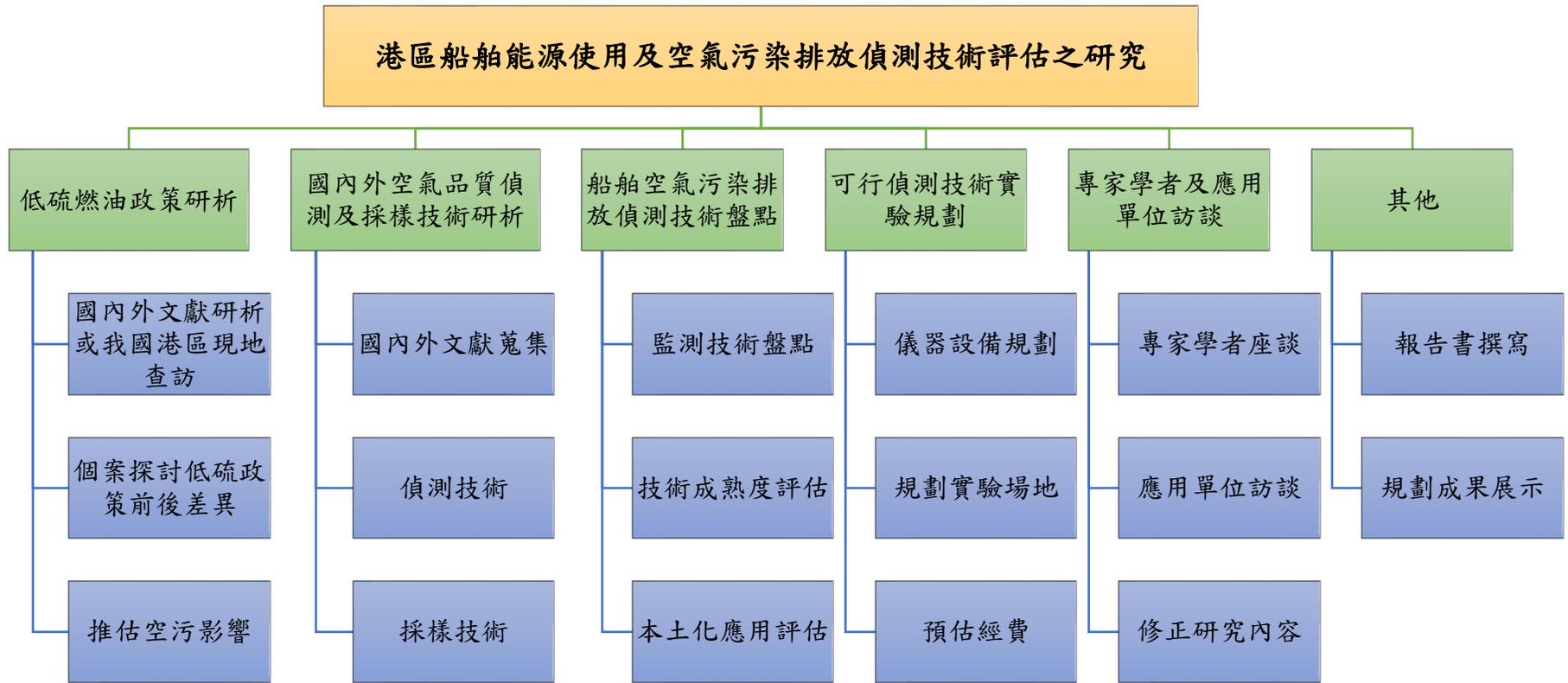


圖 1.3 研究架構圖

第二章 低硫燃油政策與船舶能源消耗

2.1 船舶燃油使用及空氣污染物排放概述

2.1.1 國際船舶燃油政策演進

「防止船舶污染國際公約」(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL) 是國際海事組織針對海上船舶因例行作業產生之故意性油類物質污染行為，並設法減少船舶因操作疏失或意外事故所形成之偶發性污染行為所制定的國際公約。

國際海事組織於 1973 年 11 月 2 日通過了 (MARPOL)，1978 年議定書則是為應對 1976-1977 年一連串的油輪事故而通過，之後《1978 年議定書》吸收了 1973 年母公約，合併文書於 1983 年 10 月 2 日生效。1997 年又通過了一項議定書，對公約進行修訂，並於 2005 年 5 月 19 日生效。時至今日，MARPOL 已經過多年修訂。該公約旨在防止和減少船舶污染的規定，包括意外事故污染和日常操作疏失導致的污染，目前 MARPOL 主要包含 6 個公約附則 (如表 2-1 所示)。

其中附則六「防止船舶空氣污染規則」目的在於防止船舶造成空氣污染，最主要的管制方法為限制船舶廢氣排放二氧化硫和氮氧化物，並禁止蓄意排放會造成臭氧層破壞的氟氯碳化合物，並為 SO_x 、 NO_x 和顆粒物制定了更嚴格的標準。

附則六第一版於 2005 年 5 月 19 日生效，該附則明確表明船舶燃料中硫含量不得高於 4.50%；並在第 14.1.3 條及第 4 條規定 SO_x 排放控制區 (SO_x Emission Control Areas, SECA) 使用的燃料含硫量限制為 1.50%；此外只允許使用經批准的洗滌設備 (脫硫塔)，以將船舶的總排放降低到相當於 $6\text{g SO}_x/\text{kW}/\text{h}$ 的水準。

在 2005 年附則六生效後，國際海事組織立即展開了一項排放限制的評估。最終於 2008 年，國際海事組織完成並通過了氮氧化物技術章程 (NO_x Technical Code) 修正案。

規定其中一項重要修訂是將 SO_x 排放控制區 (SECA) 改為排放控制區 (Emission Control Areas, ECA)，該區域要求對船舶排放採取特別強制性措

施，以防止、減少和控制 NO_x 或 SO_x 和懸浮微粒或其他排放造成的空氣污染及其對人類健康和環境造成之不利影響。因此，通過將燃料油含硫量從 2010 年 7 月引入的 1.00% 降低到 2015 年 1 月 1 日的 0.10%，SO_x 和 PM 排放量在 ECAs 中取得了進一步的減少。

此外，在 ECAs 以外地區，2012 年初全球燃料油中硫含量 4.50% 的上限已調整至 3.50%，2020 年更進一步調整至 0.50%。關於船用燃油含硫量限制規範之時序進程，可參考圖 1.4。其中，ECA 污染排放控制區域包含北美、波羅的海、北海（含英吉利海峽）和加勒比海（覆蓋波多黎各自由邦和維爾京群島的沿岸附近水域）。

另外，國際海事組織海洋環境保護委員會於 2010 年 3 月第六十屆會議通過了美國和加拿大提出的一項提案，即建立一個從東西海岸和夏威夷群島周圍延伸 200 海哩的 ECA，該提案於 2012 年 8 月起全面實施。

表 2-1 MARPOL 公約附則

附則	名稱	內容	生效日期
附則一	防止油污規則	除另有明文規定外，適用於所有船舶。對船舶機艙、所有油輪貨油區設定排洩標準。	1983.10.02
附則二	控制散裝有毒液體物質污染規則	除另有明文規定外，適用於所有運輸有毒液體物質的船舶。有毒液體物質分為 A、B、C、D 四類。	1987.04.06
附則三	防止海運包裝有害物質污染規則	除另有明文規定外，適用於所有裝運有害物質的船舶，利用包裝將可能的海洋污染減至最小程度。	1992.07.01
附則四	防止船舶生活污水污染規則	適用於 400 總噸以上或准載超過 15 人以上之國際航程船舶。	2008.01.01
附則五	防止船舶垃圾污染規則	除另有明文規定外，適用所有船舶。	1988.12.31
附則六	防止船舶空氣污染規則	管制對象分為五類：消耗臭氧層物質 (ODS)、氮氧化物 (NO _x)、硫氧化物 (SO _x)、揮發性有機化合物 (VOC)、船上焚化排放的物質。	2005.05.19

資料來源：臺灣港務股份有限公司

2.1.2 船舶油品分類

石油為主要能源之一，大部份石油產品如汽油、煤油、柴油、航空燃油、燃料油等。石油以氫與碳構成的脂肪烴為主要成分。汽油是 C5 到 C11 的烴類；煤油是 C9 到 C16。分子量最小的 4 種烴，包括甲烷 (CH₄)、乙烷 (C₂H₆)、丙烷 (C₃H₈)、及丁烷 (C₄H₁₀)。海上運輸業常用船用燃料主要包括輕柴油、重柴油、燃料油及渣油型燃料油，如表 2-2。根據 ISO8217 國際船用燃油標準，將燃油分為“DM”級和“RM”級，D-代表餾分燃料，R-代表殘渣燃料，M-代表船用。其中“DM”系列分為四個等級：DMX (相當於-10#輕柴油)、DMA (相當於 0#輕柴油)、DMB (相當於 5#輕柴油)、DMC (相當於 10#重柴油或 20#重柴油)；“RM”系列分為 RMA30、RMB30、RMD80、RME180、RMF180、RMG380、RMH380、RMK380、RMH700，目前 180 cSt，380 cSt 是主流選擇。

不同噸位的船隻因其發動機大小與種類不同，所以選用的燃料亦不同。海運輕柴油通常適用於中、高速柴油機的燃料；海運重柴油適用於中、低速柴油機的燃料。主機通常使用低速柴油機或中速柴油機，而輔助引擎通常則是使用中速柴油機或高速柴油機。

表 2-2 船舶用油中文英對照表

縮寫	燃料/引擎種類
HFO	Heavy Fuel Oil 重質燃料油
IFO	Intermediate Fuel Oil 中間燃料油
LSFO	Low Sulphur Fuel Oil 低硫燃料油
MDO	Marine Diesel Oil 海運重柴油
MGO	Marine Gas Oil 海運輕柴油
LNG	Liquefied Natural Gas 液化天然氣
SSD	Slow-speed diesel (Engine) 低速柴油機
MSD	Mediumspeed diesel (Engine) 中速柴油機
HSD	High-speed diesel (Engine) 高速柴油機

資料來源：本研究彙整

1. 海運輕柴油

海運輕柴油 (MGO) 是指完全由蒸餾物組成的船用燃料。MGO 系原油在分餾過程中蒸發，然後從氣相冷凝成液體的產出物。MGO 通常由多種蒸餾物混合而成。MGO 的燃油標準等級主要是 DMA、DFA、DMZ 及 DFZ。MGO 與柴油相似，但密度更高。MGO 與 HFO 不同，MGO 在儲存過程中不需要加熱。MGO 具有透明至淺色的外觀，常使用於較小型的中高速輔助裝置或輔助引擎和船用發動機。後者通常用於漁船、小渡船或拖船上。MGO 與 HFO 及 MDO 不同，MGO 是以輕質餾分油為基礎的 MGO 黏度低，可以在 20°C 左右的溫度下輕易地泵入發動機。MGO 除黏度低，其排放的顆粒物和煙塵也較 HFO 少，故其價格也較 HFO 貴。MGO 物理及化學性質，如表 2-3 所示：

表 2-3 海運輕柴油之物理及化學性質

項目	性質/範圍
外觀(物質狀態、顏色等)：	淡黃色透明油液體
氣味：	輕微石油味道
pH 值：	/
自燃溫度：	約 177°C (351°F)
蒸氣壓：	2 mmHg @ 20 °C
密度：	0.8 (比重)
動力黏度 (cSt at 40°C)(最低)：	1.9
動力黏度 (cSt at 40°C)(最高)：	5.5
辛醇/水分配係數 (log Kow)：	-
沸點/沸點範圍：	163°C ~ 357°C (325°F ~ 675°F)
閃火點：	> 60°C (> 140°F)
爆炸界限：	1.3% ~ 6.0%
蒸氣密度 (Air=1)：	> 1.0
溶解度：	不溶於水
揮發速率：	-
灰分 (wt.%)：	0.01
含硫量 (%(m/m))：	1.0

資料來源：台灣中油股份有限公司汽、柴、燃油安全資料表&石油產品規

範，本研究彙整

此外，MGO 也包含了不同程度的含硫量，儘管如此 MGO 的最大含硫量還是遠低於重燃料油。ISO 8217 DMA 所生產的含硫量最高為 1.5%，低硫海運輕柴油 (LS-MGO) 的含硫量則低於 0.1%。這種船用燃料可用於歐盟港口或排放控制區 (ECAs)，這些區域規定 LS-MGO 的硫排放量。為符合港區要求，大多數航運公司會切換 LS-MGO；或加裝同等減排效應之裝置 (如廢氣過濾系統及脫硫塔)。

2. 海運重柴油

海運重柴油 (MDO) 是指由各種中間餾分油 (也稱為船用柴油) 和重燃料油 (HFO) 混合而成的船用燃料。海運重柴油與陸地柴油不同，MDO 並非純餾分油。MDO 的燃油標準等級主要是 DMB、DFB。船用燃油的比例可以在煉油廠的製程或通過混合現成的船用燃料來控制。海運重柴油與柴油相似，但 MGO 密度較高，與 HFO 不同的是，MGO 在儲存過程中不需要加熱。

MDO 有時也會被稱為中間燃料油 (IFO)，嚴格來說 MDO 主要是指摻入極少量重質燃料油的混合物。因此，MDO 在一些教科書中被歸類為餾分油，即中間餾分油。另一方面，IFO 具有較高比例的重質燃料油。因此，在某些教科書、標準/規範和出版物中，重燃料油比例特別高的 IFO 類型有時也會被歸類為 HFO。MDO 物理及化學性質，如表 2-4 所示：

MDO 以不同的含硫量水準在市面上出售，例如，根據 ISO 8217，IFO 180 和 IFO 380 的最高硫含量為 3.5%，最小含硫量可低於 1.0%。船舶甚至可以使用後者進入排放控制區 (ECA)。然而，如果船東使用硫含量高的發動機加燃料組合，也可以通過使用額外的同等減排效應之裝置 (如廢氣過濾系統、洗滌設備) 來達到排放限制的標準。一般來說，船東進入 ECA 區域時會切換輕質低硫重柴油，以達到該區域的排放限制。一旦船東離開該區域，該船將切換回船用燃油。

表 2-4 海運重柴油之物理及化學性質

項目	性質/範圍
外觀(物質狀態、顏色等)：	淡黃色液體
氣味：	輕微石油味道
pH 值：	中性
自燃溫度：	約 177°C (351°F)
蒸氣壓：	2 mmHg @ 20 °C
密度：	0.8 (比重)
動力黏度 (cSt at 40°C)(最低)：	1.9
動力黏度 (cSt at 40°C)(最高)：	6.0
辛醇/水分配係數 (log Kow)：	-
沸點/沸點範圍：	163°C ~357°C (325°F ~675°F)
閃火點：	> 60°C (> 140°F)
爆炸界限：	1.3% ~6.0%
蒸氣密度 (Air=1)：	> 1
溶解度：	不溶於水
揮發速率：	-
灰分 (wt.%)：	0.02
含硫量 (%(m/m))：	1.5

資料來源：台灣中油股份有限公司汽、柴、燃油安全資料表&石油產品規範，本研究彙整

3. 重質燃料油

重質燃料油 (HFO) 是指以原油經常減壓蒸餾所得的渣油，經降低黏度或適當調入其他餾分油而製成的一種褐色黏稠狀的可燃性液體，具有特別高的黏度和密度。HFO 的燃油標準等級主要是 RM 級。在 1973 年的《海洋防污公約》中，HFO 的定義是在 15°C 時密度大於 900 kg/m³，或在 50°C 時運動黏度大於 180 mm²/s。HFO 含有極大的分子量，如長鏈烴類和長支側鏈芳香烴，顏色則是呈現為黑色。

因 HFO 較 MGO 與 MDO 便宜，故 HFO 是目前最廣泛使用的船用燃

料；幾乎所有的中低速船用柴油發動機都是為 HFO 而設計的，較舊的蒸汽機車和燃油發電廠也是利用 HFO 發動。船用燃油的物理及化學性質如表 2-5。

表 2-5 船用燃油之物理及化學性質

項目	性質/範圍
外觀(物質狀態、顏色等)：	黑褐色液體
氣味：	具焦油或原油味
pH 值：	-
自燃溫度：	407 °C (765 °F)
蒸氣壓：	0.2 mmHg @ 20 °C
密度：	0.9 ~ 1.1 (比重)
辛醇/水分配係數 (log Kow) ：	-
動力黏度 (cSt at 50°C)(最低)：	-
動力黏度 (cSt at 50°C)(最高)：	30~380
沸點/沸點範圍：	>177°C (>351°F)
閃火點：	>70°C (>158°F)
爆炸界限：	1.0% ~ 5.0%
蒸氣密度 (Air=1) ：	/
溶解度：	不溶於水
揮發速率：	-
灰分 (wt.%) ：	0.10~0.15
含硫量 (%(m/m)) ：	3.5~4.5

資料來源：台灣中油股份有限公司汽、柴、燃油安全資料表&石油產品規範，本研究彙整

HFO 是原油蒸餾過程中產生的殘餘燃料油，殘餘燃料油的品質取決於煉油廠使用的原油品質。為達到各種規格和品質要求，可將這些殘餘燃料油與較輕質的燃料混合 (如 MGO 或 MDO)。最終產物可根據它們的黏度來分類及命名，如 IFO 或 MDO。最常用見的類型是 IFO 180 和 IFO 380，黏度分別為 180 mm²/s 和 380 mm²/s。如果在混合物中以 HFO 為主，

則將其歸入重油類。由於是重油和輕質燃料的混合物，也可以被稱為重型船用燃油。重燃料油一般不能在 20°C 的溫度下直接使用，因此必須在船的油箱中預熱。為了確保燃料可使用泵輸送的，必須加熱到至少 40°C 以上。

2.1.3 燃料油分類 (依硫含量)

船用燃油種類的一個關鍵區別是其含硫量。根據 ISO 8217，最高含硫量不得超過 3.5%。就硫含量而言，可區分 4 種不同類別，如表 2-6 所示：

表 2-6 燃料油分類(依硫含量)

縮寫	英文名稱	中文名稱	最大含硫量
HSFO	High Sulfur Fuel Oil	高硫燃料油	3.5%
LSFO	Low Sulfur Fuel Oil	低硫燃料油	1.0%
VLSFO	Very Low Sulfur Fuel Oil	極低硫燃料油	0.5%
ULSFO	Ultra-Low Sulfur Fuel Oil	超低硫燃料油	0.1%

資料來源：本研究彙整

1. 高硫燃料油 (High Sulfur Fuel Oil, HSFO)

在 ECAs 中，替代使用低硫含量的船用燃料的方法是使用洗滌塔。這項技術主要工作原理是向廢氣流中注入水，以減少硫和其他污染物的排放。然而，用這種技術改裝一艘船要花費幾百萬美元，這意味船隻需進入船塢整修一段時間，這給船東帶來了額外支出。另一方面，洗滌塔允許使用含硫更高的重質燃料，即高硫燃料油 (HSFO)，其最高硫含量為 3.5%，是 ISO 8217 所允許的。

2. 低硫燃料油 (Low Sulfur Fuel Oil, LSFO)

當重燃料油的含硫量低於 1.0%，則稱為低硫燃料油(LSFO)。這些燃料通常是經過脫硫處理的 IFO 180 或 IFO 380 型船用燃料。到 2014 年底，船舶仍然可以使用船用燃料油通過排放控制區 (ECAs)。

3. 極低硫燃料油 (Very Low Sulfur Fuel Oil, VLSFO)

當重燃料油的含硫量低於 0.5%，則稱為極低硫燃料油(VLSFO)。根據國際海事組織的要求，從 2020 年 1 月 1 日起全球海上航行船舶所使用燃油的硫含量不得超過 0.5%；但若船舶安裝了符合要求的脫硫設備（洗滌塔）則可以繼續使用目前市場主流硫含量 3.5%的燃料油。

4. 超低硫燃料油 (Ultra-Low Sulfur Fuel Oil, ULSFO)

自 2015 年 1 月 1 日起，根據《防止船舶污染國際公約》附則六，船舶所排放的硫排放控制區中必須不超過 0.1%。由於這嚴格的限制，VLSFO 在這些區域效果已經較不明顯，取而代之，含硫量 0.1%的的超低硫燃料油成為船東最新的選擇。原則上，脫硫的 IFO 燃料也可在此使用，但實際中，重燃料油的脫硫費用過於昂貴，不符合經濟效益。因此，現今的超低硫燃料油並非指經由脫硫程式的重燃料油，而是指含硫量很低的船用輕柴油餾分組成。ULSFO 用於中高速柴油機，VLSFO 轉換為 ULSFO 時，需要確保引擎的相容性。

2.1.4 船用燃油污染排放物

船舶產生的主要空氣污染物，主要來自於船舶推進和相關輔助機具使用之柴油或重油引擎。船用燃油引擎所排放的廢氣中，包含數十種目前已檢驗出來的成分，其中包括 NO_x、SO_x、粒狀物、CO₂、CO、HC、VOCs、重金屬及微污染物等。根據國際海事組織統計，船舶所排放的 SO₂ 約佔全球排放的 4%，NO_x 約佔全球排放的 7%；而 TEDS11.0 顯示船舶離岸之 SO_x 約佔高雄市排放的 11%，NO_x 約佔高雄市排放的 34%，隨著航運興盛而逐漸增加，以下僅就主要成分概略敘述。

1. 氮氧化物 (NO_x)

由於較高的燃燒溫度和恆定的氧氣供應，柴油發動機的 NO_x 排放量很高。此外，在緩慢的燃燒循環期間，如大型的二衝程柴油發動機中，高溫下的時間相對延長，這對於 NO_x 的形成是有利的 (Styhre and Winnes, 2019)。通常船上柴油主機及輔助引擎 NO_x 的排放範圍，受引擎負荷變化影響 800~2,000 ppm。NO_x 排放量多寡，受氣缸內燃燒溫度、燃氣滯留時間及進氣時含氧量濃度而定；船舶航行所排放之 NO_x 約佔全球海洋性來

源排放的 10%~15%左右。但近期出廠的引擎 NO_x 排放較以往增加，係因製造廠設計生產時為提高動力輸出、降低油耗量，運用渦輪增壓技術獲得高爆發壓力，導致燃燒溫度過高所產生之結果。

2. 硫氧化物 (SOX)

Linda & Hulda (2019) 研究指出與其他運輸方式相比，船舶空氣污染的典型特徵是高水準的 SO₂ 排放。SO₂ 的排放與燃燒的燃料中的硫含量直接相關，儘管船用燃料中的硫含量在 0.1%~3.5%之間，但陸上運輸燃料的硫含量僅有 0.001%~0.005%之間 (10-50 ppm)。

在燃燒過程中，硫與燃料中的碳氫化合物發生反應，形成硫氧化物。SO_x 的產生量將隨使用燃油中硫含量的多寡而改變，不會因為燃燒方式或溫度而有所變化，通常情況下 SO₂ 比 SO₃ 多。SO₃ 是在排氣系統中的不期望產生的化合物，因為與水接觸後會迅速形成具腐蝕性的 H₂SO₄。SO₃ 的形成取決於硫的含量，燃燒溫度、壓力以及過量的空氣。通常，在柴油機廢氣中，大約 2%~5%的 SO₂ 將被氧化為 SO₃。SO₂ 在大氣中迅速形成硫酸鹽顆粒，並可在空氣中長距離輸送，形成離子的二氧化硫在沉積時引起酸化，通常稱為酸雨。

3. 粒狀污染物 (Particle Matter, PM)

Linda & Hulda (2019) 研究指出粒子的形成取決於燃燒特性和燃料類型。HFO 通常含有高濃度的灰分和多環芳烴族，這些物質在顆粒形成中起著核心作用，並且 HFO 中含有的瀝青質含量相對較高，瀝青質是一種大而複雜的碳氫化合物分子，不受燃燒影響，在廢氣中以大顆粒的形式存在。一般來說，海運輕燃油比重油排放的顆粒更少。

船舶柴油引擎排氣中之粒狀物，含元素碳、礦物灰、重金屬、各種未燃燒或部分燃燒之燃油及潤滑油 (碳氫化合物) 等，有機與無機物質的複雜混合物，皆以粒狀物被排放。船舶廢氣中部分的 SO₂ 和 NO_x，會附著於懸浮微粒，由於沉降速度慢，易被大氣攜帶散佈達十到數百公里遠，對生態環境傷害及影響也相對擴大。

4. 二氧化碳 (CO₂)

碳氫化合物燃料的燃燒難免會產生 CO₂，而 CO₂ 產生取決於燃料的碳

含量。燃料中的碳會形成煙灰、一氧化碳及碳氫化合物；但在碳平衡計算中，與形成的二氧化碳相比，數量並不嚴重 (Linda & Hulda, 2019)。就目前船用 MF-380 燃油為例，船用主機每消耗一公噸燃油約可產生 3.171 公噸的 CO₂，相較於 NO_x 的 0.0857 公噸及 SO_x 的 0.057 公噸，其排放量要高出許多倍，故 CO₂ 對全球暖化的貢獻為多。

5. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是含碳物質不完全燃燒的產物，形成的原因取決於過量空氣、燃燒溫度及空氣和燃料之混合氣在燃燒室中是否均勻分佈，當含氧量過剩而燃燒過程順暢，CO 的排放量將有限；若是引擎保養不佳或在低負荷運轉時，CO 含量也會相對提高。

6. 碳氫化物 (HC)

船舶柴油引擎排氣中的碳氫化物，主要包含燃料和潤滑油未完全燃燒部分，通常不完全燃燒的碳氫化物之數量，主要取決於燃燒性質及引擎之熱效率，此外引擎狀況和負荷也會影響 HC 的產生。

7. 揮發性有機物 (VOCs)

船舶的大氣排放通常是指氮氧化物、硫氧化物和固體顆粒等化合物，這些化合物是船用燃油機燃燒化石燃料產生的，並通過發動機排氣系統釋放出來。但是，應特別注意在使用石油液體貨船進行商業作業時所排放的大氣污染物，即所謂的揮發性有機化合物 (VOC) 船舶排放，來自裝卸、壓載和運輸等 (Milazzo et al., 2017)。油輪 (Oil Tanker)、散裝化學品船 (Chemical Tanker) 液態天然氣船 (Liquid Nature Gas Tanker) 等船舶，在碼頭裝卸貨時都會排放出揮發性有機化合物氣體 (VOCs)，主要係由石化柴油的碳氫化物而來，並會與氧化硫凝結產生微粒子，嚴重影響人類健康。

8. 重金屬 (Heavy Metal)

HFO 可能包含一系列微量金屬，這些物質通常會與發動機中消耗的潤滑油一起排放到空氣中 (Fridell, 2019)。殘留物主要來自船用燃油中重金屬與燃油的混合在儲存和處理時的侵入及燃油輸送過程中之產生。鎘、鉻、銅、汞、鎳、鈇及鋅等重金屬物質，在排氣中的含量不高。雖重金屬在排氣中的含量不高，但若不加以監控及管理，海洋容易被重油污染

及影響整個海洋生態。

9. 微污染物 (Micro Pollutants)

微污染物一般指的是 1 ppb (十億分之一)等級、微量存在的污染物。儘管如此，其所造成的負面影響卻不容忽視，典型的有機微污染物，如環芳香烴碳氫化合物 (PAHs)、戴奧辛 (Dioxins) 及呋喃 (Furans) 等，都是致癌化合物。

2.1.5 洗滌設備

自 2005 年 5 月以來，MARPOL 公約對船舶主機輔機的排放訂立了更嚴格的規定。MARPOL 要求減少二氧化碳 (CO₂)、硫氧化物(SO_x)、及氮氧化物 (NO_x) 的排放量。在 MPEC.176 (58) 中，船舶允許安裝廢氣處理系統 (如脫硫設備等) 來減少船上的硫氧化物排放。IMO 要求全球燃料含量限制於 2020 年 1 月 1 日生效後，將原先船用燃料含硫量從 3.5%降低至 0.5%。許多船東選擇安裝脫硫塔來代替購買昂貴的低硫燃油，國際航運船隊中安裝脫硫塔的船舶數量從 2015 年 243 艘增加到 2020 年 4,300 艘 (OSIPOVA et al., 2021)。

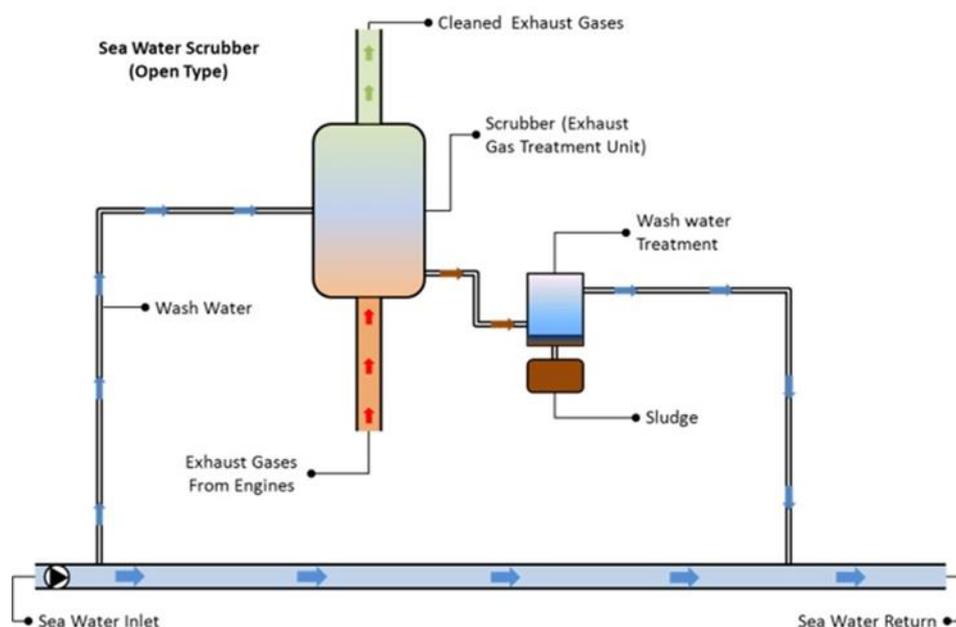
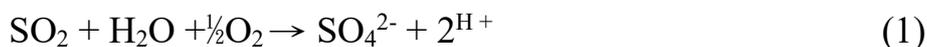
船舶洗滌設備又稱脫硫塔，其設計用於清洗主輔機所排放廢氣中的硫化物系統。如今市場上有許多不同的設計，脫硫塔的工作原理取決於脫硫塔的類型，脫硫塔的耗電量約佔船上用電量的 1%~2%；市場上提供的脫硫塔主要被分為三大類，分別為開環式、閉環式及混合式。船舶加裝洗滌器除了增加資本支出，還會損失部分載貨空間 (巫柏蕙，2019)。

1. 開環式脫硫塔

開環式脫硫塔主要系船舶附近的海水過濾排氣中的重金屬與顆粒物質，再將含有排氣中所有硫成分的洗滌水直接排入海裡 (巫柏蕙，2019)。僅用鹼性海水進行處理，海水的循環量取決於發動機的大小及其功率輸出，這種方式非常有效，但是由於需要的海水量非常大，所以它需要很大抽水能力的海水泵。當用於洗滌的海水具有足夠的鹼度時，開環式系統工作良好。但是，海水、淡水、甚至微鹹水等，在環境溫度較高時都是無效的，無法使用。由於這些原因，開環式脫硫塔在鹽度水準不高的

波羅的海等地區，許多國家或港口禁止船舶在其水域排放洗滌水 (巫柏蕙，2019) 或被看作是不適合使用的，開環式脫硫塔的反應方程式及其系統架構圖，如圖 2.1。

反應方程式：



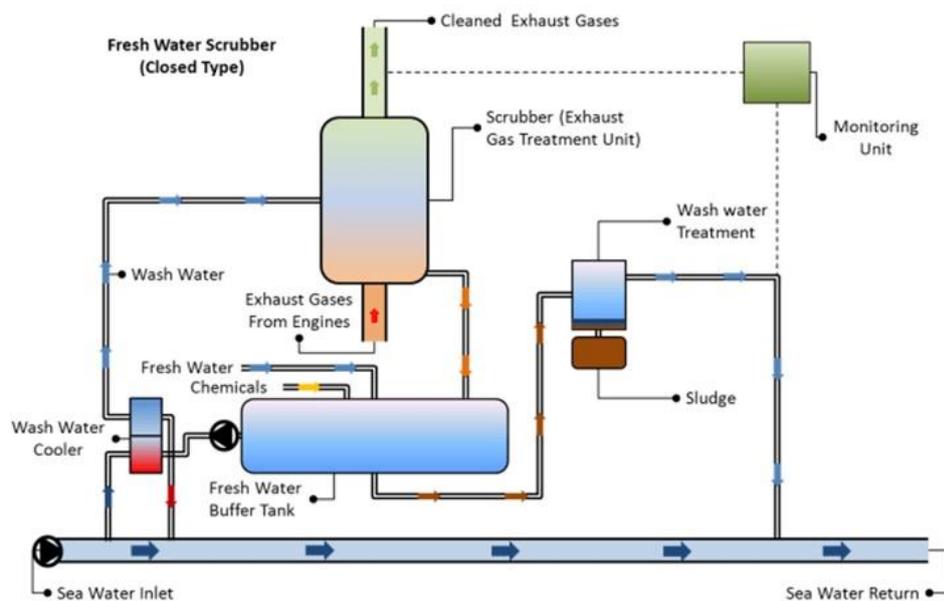
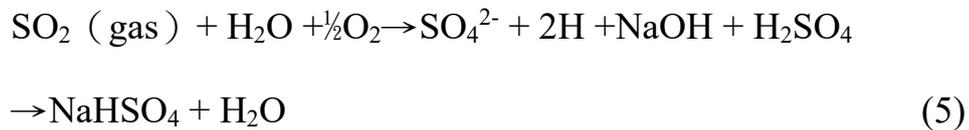
圖片來源：信德海事，2019

圖 2.1 開環式脫硫塔系統架構圖

2. 閉環式脫硫塔

閉環式洗滌系統的工作原理與開環式洗滌系統相似，如圖 2.2，主要系使用清水和加入中和劑（如苛性鈉）洗滌船舶排氣中的硫，洗滌水可重複利用，洗出的硫則形成高硫殘餘物 (巫柏蕙，2019)。廢氣中的二氧化硫經處理後轉化為硫酸鈉，洗滌液透過進入處理槽以清潔並再次進入循環。中間儲槽在運行中可以防止泵的壓力過低。少量的洗滌水會定期移至貯水槽內，並在貯水槽內加入淡水，以避免硫酸鈉在系統內積聚，閉環式系統需要的沖洗水量幾乎是開環式系統的一半，但需要更多的水箱。乾燥的氫氧化鈉也需要較大的儲存空間，閉環式脫硫塔系統反應方程式

如下：



圖片來源：信德海事，2019

圖 2.2 閉環式脫硫塔系統架構圖

3. 混合式脫硫塔

混合式是兩種系統的組合，在循環水條件和排放規定允許的情況下可以作為開環系統運行，在其他情況下可以作為閉環系統運行。這種類型的系統提供了一種簡單的解決方案，可以對裝有洗滌器的船舶進行改裝，洗滌器可以在開環和閉環配置下運行。混合式系統在海上以開環模式運行，在排放控制區域和港口以閉環模式運行，可以輕鬆切換其使用方式。由於該系統可以在更長的時間內和在世界範圍內使用成本較低的燃料運行，因此他們可以克服高昂的建置成本，既符合其經濟效益又可

滿足國際法規的要求。

開環式脫硫塔、閉環式脫硫塔及混合式脫硫塔之優缺點，彙整如表 2-7 所示。

表 2-7 各式脫硫塔之優缺點比較

脫硫塔種類	優點	缺點
開環式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 部件少，設計簡單，安裝方便 2. 維護時限長，維護時間短 3. 不需要儲存廢水 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廢氣冷卻問題 2. 處理效率取決於海水的鹼度 3. 處理時需要大量的海水，消耗高功率 4. 腐蝕性大
閉環式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操作條件不受環境的影響 2. 維護次數較少 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需要存儲空間（緩衝槽）來容納廢水，直到可以將其排出為止 2. 廢水處理費高 3. 需大量耗材
混合式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於世界各地的長途和短途航行 2. 使用混合洗滌系統的船舶比使用開環系統的船舶在排放控制區域和港口停留的時間更長 3. 長時間使用較低成本 HFO（重質燃料油） 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用該系統需要進行結構改造 2. 化學品和添加劑需要較大的存儲空間 3. 系統安裝時間和成本較高

資料來源：本研究彙整

2.2 傳統燃油及低硫油對空污之影響

2.2.1 船舶污染對港灣城市空品之影響

港灣城市地區空氣污染物排放，長期以來未能有效列入環保管制項目，但依據國內外研究顯示，港埠所排放之污染物排放量對該當地污染排放總量的佔比頗高，尤其是硫氧化物 (SO_x) 與氮氧化物 (NO_x) 最為顯著。根據環保署空氣污染物排放清冊，顯示港埠相關活動於 109 年之 SO₂、NO_x 排放量佔全國排放量之比例分別為 20.7%、5.28%，其他污染物如 PM₁₀、PM_{2.5}、NMHC 與 CO 之佔比分別為 1.40%、2.59%、0.11%、0.28%。

足以顯見在世界各國經濟活動互動頻繁且合作密切的當下，各型載貨輪或郵輪在國際間交流的，但伴隨而來的空氣污染物排放問題也愈形嚴重，再加上港內各型作業船舶、裝卸機具與運載卡車等污染排放問題，已不容忽視。港口是世界經濟的重要特徵，港口是農業、能源和消費品從沿海地區持續流入內陸地區的關鍵樞紐 (Sorte et al., 2019)。儘管它們提供了經濟利益，但與港口運營相關的活動也是一個環境問題，對當地的氣候、人類健康和生態系統具有潛在影響 (Lonati et al., 2010)。港口的廢氣排放會影響鄰近社區的居民，特別是包括兒童和老年人在內的敏感人口群體 (Kozawa et al., 2009)。研究顯示，在歐洲的幾個港口主要的空氣污染問題是港口日常運營活動中產生的粉塵和煙霧排放 (Pérez et al., 2016)。在歐洲對人類健康造成最大影響的分別是顆粒物 (PM)、二氧化氮 (NO₂) 和地面臭氧 (O₃) (Guerreiro et al., 2016)。根據國際運輸論壇發布的「港口發運排放量」報告，2011 年全球港口的船舶排放量分別為 40 萬噸 NO_x，20 萬噸 SO_x 和 3 萬噸 PM₁₀。大約 85% 的排放來自貨櫃輪和油輪。儘管貨櫃輪的港口停留時間很短（數小時到數天），但它們的排放量卻很高 (Merk, 2014)。洛杉磯健康調查的數據顯示，洛杉磯港和長灘附近的長灘社區（兩個大港口相鄰，在美國排名前 2 位）與洛杉磯的其他社區相比，心肺疾病、憂鬱症、氣喘的比例更高（平均為 2.9%），此外，加利福尼亞州空氣資源委員會也將每年 3,700 例過早死亡，歸因於港口活動和貨物運輸 (Sharma, 2006)。

2.2.2 傳統燃油對空污之影響

船舶污染來源主要在於船用燃油，傳統商用的船舶燃料分為殘油 (Residual Fuel Oil) 與蒸餾油 (Distillates) 兩大類，殘油又稱為重質燃油 (HFO)，是屬高黏度及含硫量最重的船用燃料；蒸餾油又可分為海運輕柴油 (MGO) 及海運重柴油 (MDO)。全世界商船燃油每年約消耗 3.3 億噸，其中有 80%~85% 燃油屬高硫含量 (HSFO)，隨著海洋燃油含硫量限制日益嚴峻，低硫燃油 (LSFO) 的需求將日益增加，但成本較昂貴 (張瀨之 & 鄭惠方, 2017)。

船舶排放會對大氣中幾種重要污染物的濃度產生相當大的影響，尤

其是在沿海地區 (Matthias et al., 2010)。根據環保署公告之全國空氣污染物排放清冊 (TEDS) 9.0 版，顯示港埠相關活動於 2013 年之懸浮微粒 (PM₁₀)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x)、非甲烷碳氫化合物 (NMHC) 與一氧化碳 (CO) 排放量佔全國排放量之比例分別為 1.54%、2.66%、29.3%、7.91%、0.26%與 0.56%；又根據 TEDS 顯示，港埠相關活動於 2016 年之懸浮微粒、細懸浮微粒、硫氧化物、氮氧化物、非甲烷碳氫化合物與一氧化碳排放量佔全國排放量之比例依序為 2.28%、4.26%、26.2%、8.72%、0.21%與 0.51%。

就高雄港而言，根據船舶操作/貨物估算高雄港水域船舶的 NO_x、PM、HC 和 CO 排放量分別為 13,786、341、713、1,684 公噸/年 (Dong et al., 2002)。根據 Lloyd 排放係數 (Lloyd's emission factor) /燃料消耗 (fuel consumption) 方法，SO_x和 NO_x的排放量分別為 4,055 和 9,125 公噸/年；根據船舶尾氣測量，SO_x和 NO_x的排放量分別為 4,837 和 5,114 公噸/年。高雄市區航運產生的 SO_x和 NO_x貢獻顯著。高雄市污染排放量中 NO_x (10%~20%) 和 SO_x (10%~12%) 主要歸因於高雄港口水域的船舶。

2.2.3 低硫燃油對空污之影響

在能源方面，石化燃料是目前使用最廣泛的能源，但它對環境帶來了巨大的衝擊和負面影響。雖伴隨著巨大的經濟效益，但由於船舶發動機排放對大眾的影響，針對相關利益方，特別是海運業仍面臨著環境污染保護的嚴峻挑戰；因此，船舶空氣污染問題已引起航運界的廣泛關注。除了導致氣候變化的溫室氣體 (如 CO₂)，船運還會排放許多其他氣體 (如 SO_x和 NO_x)。許多科學證據顯示，減少污染物排放確實能有效改善空氣品質。根據國際海事組織最新研究，顯示海運約佔全球年人為 CO₂ 排放的 3.1%，即 1.016 億噸。同一份研究報告推估 2012~2017 年期間，船舶排放的 NO_x和 SO_x 平均年排放量分別為 2,090 萬噸和 1,130 萬噸，分別約佔全球 NO_x和 SO_x 排放量的 15%和 13% (International Maritime Organization, 2014)。

根據 Kontovas (2020) 報告指出，船舶排放的氣體主要是溫室氣體 (Green House Gases, GHGs)，包含二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氮氧化物

(NO_x)、氧化亞氮 (N₂O)、硫氧化物 (SO_x)等。船舶除了排放溫室氣體外，還會排放非溫室氣體 (non-GHGs)，包含 DPM、PM₁₀、PM_{2.5}、NMHC 等。船用燃油排放的污染物現況及其影響如下所述：

1. 氮氧化物 (NO_x)

燃料硫含量對 NO_x 排放的影響很小 (Tan et al., 2009)，NO_x 的排放量主要是隨著發電機負載而增加，其次也會受到每分鐘轉速 (Revolution Per Minute, rpm) 影響 (Zhu et al., 2010)。

2. 硫氧化物 (SO_x)

布萊梅大學 (University of Bremen, Germany) Seyler et al., (2017) 利用了 3 年的時間監測 Neuwerk 島上船舶 NO₂ 與 SO₂ 的排放貢獻。由北海排放控制區 (ECA) 於 2015 年 1 月 1 日實施燃料硫含量限制 (從 1% 至 0.1%) 前後的數據，SO₂ 排放顯著減少。對於來自開闊北海的風，船舶是當地唯一的空氣污染源，SO₂ 的總排放量約下降了 8 倍，而對於 2013 年至 2016 年的 NO₂ 的排放量則沒有發生顯著變化。透過 2000 多艘船舶排放的煙流分析了 SO₂ 與 NO₂ 的排放比值，2013/2014 的平均比率為 0.3，由於低硫燃油的實施，2015/2016 顯著下降。通過風向對測量結果進行分類，並以北海和海岸的風作參考，2013/2014 年船舶和陸地對德國灣空氣污染水準相對貢獻約 40% (NO₂)：60% (SO₂)，2015/2016 年已下降至 14% (NO₂)：86% (SO₂)。

二氧化硫 (SO₂) 排放佔 SO_x 排放總量的 98%，其排放取決於使用的燃料種類。當燃料中含有硫，其百分佔比 (3.5%、1.5%、0.5%、或其他) 乘以燃料總消耗量 (公噸) 就可以估算 SO_x 排放總量。例如，估計燃燒含硫量為 2.5% 的船舶重油時，必須乘上相對應的排放係數，得出每噸燃料中含有二氧化硫的排放總量。

3. 粒狀污染物 (PM_{2.5} 及 PM₁₀)

Leelasakultum et al., (2012) 使用程式模擬研究北極地區引入低硫燃料後對 PM_{2.5} 的影響，模擬結果顯示在 10 月、11 月、12 月、1 月、2 月和 3 月，引入低硫燃料會使未達標區域每月平均濃度分別降低 4%、9%、8%、6%、5% 和 7%。硫酸鹽和硝酸鹽變化的相對響應之間的關係的大小隨溫

度而變化。模擬結果還顯示，在城市中大氣邊界層高度低，水凝物混合比低，短波向下輻射低和溫度低的日子，濃度變化會更顯著。

以臺灣為例，我國於 2019 年 1 月 1 日起強制使用 0.5% 以下的燃油，截止至 2019 年 11 月底，國際商港區域 SO₂ 排放量較 2018 年同期減少 6,268.64 公噸 (減少 40%)，PM_{2.5} 減量 279.54 公噸，已展現防制空氣污染之成效 (交通部航港局，2020)。本研究應用單位訪談中，交通部航港局指出，2020 年進港船舶總數為 37,891 艘次，相關減量效益 PM_{2.5} 為 309.90 公噸、SO₂ 為 6,949.45 公噸，截至 2021 年 6 月進港艘次共 18,989 艘次相關減量效益 PM_{2.5} 為 155.30 公噸、SO₂ 為 3,482.7 公噸，逐見限硫令的成效。

4. 溫室氣體 (GHGs)

2020 年 8 月 4 日國際海事組織發布了第四次 IMO 溫室氣體研究報告，該研究發現，從 2012 年到 2018 年，海上運輸產生的溫室氣體 (GHG) 總排放量增長了約 10%，甲烷排放量增長了 150%，主要原因是使用液化天然氣 (LNG) 燃料的船舶數量激增，其中許多船舶的發動機允許未燃燒的甲烷散至大氣 (International Maritime Organization, 2020)。在相關研究中，甲烷在大氣中吸收的熱量是同等數量的二氧化碳的 86 倍，因此在航運業排放的溫室氣體中，甲烷佔比雖小，但其在溫室效應中的排放量卻不容忽視。

5. 揮發性有機化合物 (VOCs)

Wu et al., (2020) 研究報告指出，具有燃料切換政策的 ECA 是控制港口城市空氣污染的一種廣泛採用的方法。該研究以珠三角地區廣州港沿海船舶泊位區排放為研究目標；研究了燃料切換造成的污染排放改變，更進一步比較與內河船舶燃料切換策略的影響。

該研究同時發現，執行燃油切換後，沿海船舶 SO₂ 和 PM_{2.5} 的排放因數 (EFs) 均有所下降，SO₂ 的 EFs 平均下降約 78.8%，PM_{2.5} 的 EFs 平均下降約 55.5%；然而，VOCs 的 EFs 卻增加約 14 倍，從 118±56.1 增加到 1807±1746 mg/kg。此外，沿海船舶排放的 VOCs 成分也發生了較大變化，烯烴的貢獻百分比由 8.5%~27.3% 增加到 44.4%~86.6%。VOCs 排放量的急劇增加，以及活性組成的增加，導致 VOCs 的臭氧生成潛勢 (Ozone formation potential, OFP) 明顯提高，從 0.35±0.11g O₃/kg 至 10.37±13.55 g

O₃/kg，急劇增加約 29 倍。二次有機氣膠生成潛勢 (secondary organic aerosols formation potential, SOAFP) 也增加了 50%以上，而區域的 POA 則降低了 66.5%~74.8%。

對於未受燃料切換政策影響的內河船舶，VOCs 的 EFs 值高達 3,358±2,771 mg/kg，幾乎是燃油切換後沿海船舶的兩倍，OFP 和 SOAFP 也大約是燃油切換後沿海船舶的 2 倍。

綜上所述，在廣州港的研究顯示，沿海船舶進港前燃油由高硫殘留燃料油轉向低硫柴油或重油後，SO₂ 和 PM_{2.5} 的排放大幅減少，有利控制 PM 污染。然而，由於沿海船舶日常活躍使 VOCs 排放急劇增加，成了另一個令人擔憂的問題。一直使用柴油且不受燃油切換政策影響的內河船舶有較高的 VOCs 排放，VOCs 排放可能造成港口城市臭氧污染和 SOA 的形成。

2.3 低硫油政策對船舶操作之影響

2.3.1 低硫燃油供應來源

1. 船用低硫柴油，係指硫含量小於 0.5%_{m/m} 的船舶用油。
2. 利用低硫原油經過蒸餾等工藝產生的底層油，進行調和所產出，但產量不足，無法滿足需求。
3. 經由脫硫工藝所生產的低硫燃油，如傳統的加氫脫硫、吸附脫硫、脫硫添加劑等脫硫等技術，對高硫油進行脫硫所生產的規格低硫油。其特性為黏度較高、生產成本高昂，且目前市場規模較小。
4. 調和低硫燃油，使用低硫組分輕質燃油同高硫重質燃油進行混兌、調和，既滿足硫含量的要求，也要確保燃油閃點、穩定性、相容性、點火特性等等問題。

2.3.2 低硫燃油對引擎的影響

1. 有害成分多，製作調和低硫燃油時所添加之植物油、動物脂肪；非

石油製品，廢潤滑油，化工廢料；有機鹵化物；有機酸和其他氧化物等 (朱曉亮 & 陳偉翔，2020)，過程中易產生有害成分，進而造成風險。

2. 低硫燃油給船舶操作帶來諸多不便，常見問題如下：

根據 Langella et al., (2016) 研究指出，當船舶要通過排放控制區時，必須及時啟動燃料切換程式 (IFSP)，並以這種方式使發動機在該港的進港處燃燒 MGO。燃料切換時必須小心進行，以避免發動機故障。目前沒有通用的程式來執行此操作，操作時必須監控：(1) 燃料黏度必須保持在 2-20 cSt 範圍內，黏度值過低會導致潤滑油效率降低，對油泵造成磨損或故障；(2) 燃油泵進口燃油溫度變化率，應不超過 2°C/min。若溫度變化率超過標準範圍，燃油會由油泵、閥門及活塞環洩漏，使船舶航速降低或喪失動力。

有關燃料的溫度，通常 HFO 被加熱到 150°C 左右，當執行 IFSP 時，須切換成 MGO 並在 40°C 條件下使用，所以溫度差距約為 110°C。考慮標準規範 2°C/min 的變化率，切換燃料的過程應至少持續 55 分鐘才能安全完成。

從 HFO 到 MGO 的快速變化會導致 MGO 過熱，導致黏度快速下降，並在燃料系統中產生氣體。同樣，從未加熱的 MGO 到 HFO 的過快變化會導致 HFO 過度冷卻，從而導致噴射器的黏度過高，導致斷電或停機。

當發動機處於較低功率水準時切換燃料，需確認燃料負載量，否則系統中 HFO 和 MGO 的混合時間會增加，導致瀝青質沉澱、過濾器堵塞以及帶來失去動力或發動機故障的風險。一般來說，IFSP 通常是在可操控的速度下進行，且應採用與發動機製造商所建議的燃油黏度範圍。

另一個與使用低硫燃料相關問題是，需要使用不同鹼度(Base Number, BN) 潤滑油。由於使用硫含量 2% 的重油時，氣缸套上的酸含量很高，建議使用 BN (或 TBN) 約為 70 的潤滑油。這樣可確保 SO₂

和 SO_3 形成的硫酸 (H_2SO_4) 和 SO_3 中和。然而，這一鹼度對於低硫燃料來說是不足夠的：長期使用低硫燃料油及 BN (或 TBN) 70 的潤滑油會導致鈣沉積 (CaCO_3) 的形成，從而造成相當大的磨料磨損。如長期使用低硫燃料，建議改用 BN (或 TBN) 40 或 50 的潤滑油。一般建議使用 BN (或 TBN) 40 的潤滑油，其含硫量小於 1%，且可在短時間內使用。

根據 THE MARITIME EXECUTIVE (2020) 調查報告，將近 86% 的受訪者指出他們曾使用過一些不合格或性能不佳的燃料。超過 70% 的表示曾遇到油泥的形成，可能堵塞燃油管道和過濾器，報告同時指出部份受訪者會遇到蠟形成的問題。此外，部份技術人員和管理人員亦在報告中敘述了在使用 VLSFO 下，會有污泥的形成，導致排放管道、燃料架和燃料過濾器等部件的堵塞，通常需要經常拆卸和清洗，以維持正常運作，有受訪者表示船員需額外利用 1200 個工時來處理燃料引發的問題。這額外的工作量對船上的正常維護時間表造成一定的影響。低硫燃油在燃燒時，有可能造成船舶引擎主機瀝青質 (Asphaltene) 沉澱及蠟質結晶 (Wax Crystal) 釋出等問題，另因低硫燃油硫含量較低，對引擎之潤滑性不足，易造成引擎之磨損。

綜上所述低硫燃油對船舶操作常見問題如下：

- (1) 黏度變化範圍大；
- (2) 潤滑性能降低；
- (3) 冷態流動性差；
- (4) 微生物污染；
- (5) 催化劑粉末引發的磨損；
- (6) 相容性、穩定性更差；
- (7) 黏度低造成洩漏，燃油系統壓力下降；
- (8) 需頻繁更換密封件、相關套件和重新調整燃油系統壓力。

2.3.3 低硫燃油與維運成本關係

因應硫上限的作法與需求，我國長榮海運的自有船隊中，約有 40% 改用低硫油，40-50% 加裝洗滌器，其餘船齡老舊者則可能拆解；陽明海運船隊有 70% 改用低硫油，30% 加裝洗滌器 (巫柏蕙, 2019)；中鋼運通船隊則有 84% 改用低硫油，16% 加裝洗滌器。自國際海事組織 (IMO 2020) 實施後，運營商為符合規定有三種應對措施：(1) 更換雙燃料主機或改用 LNG；(2) 使用含硫量低於 0.5% 低硫油；(3) 繼續使用 HSFO，安裝船舶排氣洗滌設備 (Scrubber) (Halff et al., 2019)。但現成船更換雙燃料主機或改用 LNG 成本太高，不符合經濟效益，且使用 LNG 作為燃料的大環境尚未成熟。故運營商多選擇後 2 項，其比較如表 2-8 所示：

表 2-8 改用低硫油與加裝脫硫塔之成本比較

設備名稱	成本 (新臺幣元)	優點	缺點
低硫油	12,308~19,733 元/公噸	- 無需改裝船體 - 節省脫硫塔裝置空間及成本	易受國際油價波動影響
高硫油 + 脫硫塔	8,457~13,071 元/公噸	一次性投資僅需負擔後續維護費用	前期投資成本高昂

價格換算以 110 年 4 月 21 日匯率計算；資源來源：本計畫彙整。

無論如何，航運業的結構性改變，再加上燃料需求變化和大多數煉油商的供應量不足，都使這項政策在 2020 年實施時帶來的巨大連鎖反應。我國針對未遵守低硫燃油政策之船舶，得依違反商港法第 66 條第 1 項第 3 款規定裁處，以達到嚇阻作用。

2.4 船舶使用低硫燃油政策前後空污排放推估及用油量差異

我國自 2019 年 1 月 1 日已先推動 IMO 2020，至今已有 2 年多的時間。切換燃油或使用替代設備皆會使船舶用油量增加，伴隨燃油切換帶來的一大優點，許多研究報告均顯示燃油切換對空氣品質帶來顯著的影響，尤其是 SO_x、NO_x、CO₂ 等，本研究將透過國內外數間船商近 3 年船用燃油使用量差異、氮氧化物及硫氧化物或溫室氣體之總排放量、平均單位

運輸放量來檢視 IMO 2020 的實施成效。

2.4.1 低硫燃油政策對空氣污染影響之推估

1. 污染排放係數

空氣污染排放量推估公式是採用 San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report (Starcrest Consulting Group, 2019)，此為美國加利福尼亞州的空氣資源委員會 (California Air Resources Board, CARB)、南海岸空氣質量管理區 (the South Coast Air Quality Management District, AQMD)、洛杉磯港、長灘港及美國環境保護署 (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA) 共同制定的年度空氣排放估算方法，並依據空氣排放的規定，定期更新詳細的推估方法，也被運用在國際期刊推估空氣污染的排放參考 (Liu et al., 2019)。此公式適用於推估船舶上主機、發電機及鍋爐的排放量。公式需要以下參數：(1) 所消耗的電量 (kW-hr)：是指船舶主機、發電機運行時每小時所消耗的能量。(2) 燃料油空氣污染排放係數 (Emission Factor, EF) 取決於引擎的類型、出廠年份、IMO 期別和燃料油的種類，其對照表如表 2-9 所示。(3) 燃料油校正係數 (Fuel Correction Factors, FCF)，根據 EF 的標準燃料和所使用燃料進行調整得到的係數。(4) 減排技術的控制因素 (Control Factor, CF)，航行的船舶無減排 (Emission Reduction) 設備，所以以 1 為係數，其推估公式如下：

$$E_i (\text{emission}) = \text{Energy}_i \times \text{EF} \times \text{FCF} \times \text{CF} \quad (7)$$

E_i (emissions) = 船舶發電機的每小時空氣污染排放量 (g)

Energy_i = 船舶發電機每小時的用電量 (kW-hr)

EF (Emission factor) = 燃料油的排放係數 (g/kW-hr)

FCF (Fuel correction factors) = 燃料油校正係數 (無單位)

CF (Control factors) = 減排技術的控制因素 (無單位)

2. 燃料油排放係數

燃料油空氣污染排放係數取決於引擎的類型、出廠年份、IMO 期別和燃料油的種類。

表 2-9 燃料油空氣污染排放係數

輔助發動機的污染物排放因數，單位：g / kW-hr

燃油別	引擎類別	IMO 期別	出廠年	PM ₁₀	PM _{2.5}	DPM	NO _x	SO _x	CO	HC
硫含量 2.70% 重油 (HFO)	Medium speed auxiliary	Tier 0	≤1999	1.5	1.2	1.5	14.7	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	1.5	1.2	1.5	13	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	1.5	1.2	1.5	11.2	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier III	≥2016	1.5	1.2	1.5	2.8	12.3	1.1	0.4
	High speed auxiliary	Tier 0	≤1999	1.5	1.2	1.5	11.6	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	1.5	1.2	1.5	10.4	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	1.5	1.2	1.5	8.2	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier III	≥2016	1.5	1.2	1.5	2.1	12.3	0.9	0.4
硫含量 0.1%海 運柴油 (MGO)	Medium speed auxiliary	Tier 0	≤1999	0.255	0.24	0.255	13.82	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	0.255	0.24	0.255	12.22	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	0.255	0.24	0.255	10.53	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier III		0.255	0.24	0.255	2.63	0.455	1.4	0.6
	High speed auxiliary	Tier 0	≤1999	0.255	0.24	0.255	10.9	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	0.255	0.24	0.255	9.78	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	0.255	0.24	0.255	7.71	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier III	≥2016	0.255	0.24	0.255	1.97	0.455	1.1	0.5

資料來源：San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report Version 1 (POLA, 2019) Table 2.9

3. 燃油校正係數

引擎燃油不同時，污染排放量會隨之變化。主要是油中含硫量的差異，會造成 SO₂ 的排放量不同，而 SO₂ 又是二次粒狀物的主要生成來源，因此連帶會影響 PM₁₀、PM_{2.5} 及 DPM (柴油引擎粒狀物) 的生成量。

使用低硫燃油時，需加乘燃油校正係數。表 2-9 及表 2-10 是以 2.7% 的重油為基礎的校正係數，若計算時採用燃燒重油的排放係數，切換為柴油時直接乘上表中相對應的燃油校正係數即可。若計算時採用燃燒柴油的排放係數，則進行硫含量校正時，除了乘上該硫含量的燃油校正係數外，還要除以 0.5% 時的校正係數。臺灣各港於 2019 年 1 月 1 日起即全面限制進港商船需切換為硫含量 0.5% 以下燃油，因此推估時，皆需以硫含量 0.5% 的校正係數校正。

表 2-10 燃油校正係數表

標準燃油 (S%)	實際燃油 (S%)	PM ₁₀	PM _{2.5}	DPM	NO _x	SO _x	CO	HC	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
HFO(2.7%)	HFO(2.7%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HFO(2.7%)	MGO(0.5%)	0.25	0.29	0.25	0.94	0.185	1	1	0.95	0.94	1
HFO(2.7%)	MGO(0.1%)	0.17	0.2	0.17	0.94	0.037	1	1	0.95	0.94	1

資料來源：San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report 6 Version 1 (POLA, 2019)
Table 2.2

4. 空污排放推估

根據 Wan 等人 (2019) 將 28 艘進出上海港的遠洋船舶，利用 AIS 追蹤各船隻航線資訊，採用 Starcrest Consulting Group 的準則估算遠洋船舶排放的空氣污染物，研究結果顯示含硫量由 2.7% 的燃料油轉換為 0.5% 含硫量的燃料油時，SO_x 和 PM₁₀ 排放量分別減少 74.1% 和 68.1%；若轉換為 0.1% 含硫量的燃料油時，SO_x 和 PM₁₀ 排放量則分別減少 94.4% 和 78.3%，而 NO_x 的排放量不管在使用 0.5% 或 0.1% 含硫量的燃料油時，其排放量均僅減少 4.7%，所以從數據可見，船舶使用低硫燃料油對於空氣污染物 SO_x 和 PM₁₀ 排放量有顯著影響。排放量減少之多寡主要由船舶類型及噸位決定，在研究中油輪及貨櫃船下降量最大，由於油輪及貨櫃船的平均

總噸數較高，相應的主機額定功率較高，因低硫燃油不影響 NO_x 排放因子故對 NO_x 的污染排放量影響較不顯著 (Wan et al., 2019)。

2.4.2 船舶使用低硫燃油政策前後用油量差異

1. Maersk (快桅)

快桅(Maersk)是丹麥哥哈根、世界知名的跨國企業集團。Maersk 主要是以運輸及能源作為主要的業務核心，也是世界上最大的貨櫃船運經營者及貨櫃船供應商，全球最大貨櫃航運商排名第一。2020 年貨櫃船舶數為 705，裝運能力 4,057,344 TEU，市場佔有率 16.9%。

從表 2-11 可見，Maersk 自 IMO 2020 政策生效後，其船用重油使用量由 2018 年 11,994 千噸減少至 2020 年 10,368 千噸，使用量減少約 14%；船用汽油使用量則由 2018 年 17,000 噸下降至 2020 年 11,000 噸，使用量減少約 35%。以 2018 年為基準年，相關 CO₂ 的總排放由 2018 年 42.1% 減少至 46.3%。

其次，Maersk 既然是最大貨櫃航商，其氮氧化物 (NO_x) 及硫氧化物 (SO_x) 的控管成效也是非常值得社會關注的。從表 2-12 可見，自 IMO 2020 開始執行後，Maersk NO_x 的總排放量從 2018 年 953,000 噸降至 2020 年 824,000 噸，總排放量減少約 13.5%；SO_x 總排量由 2018 年 615,000 噸下降至 2020 年 102,000 噸，減量約 83%。

表 2-11 近三年船舶能源使用情形 (Maersk)

	2018 年	2019 年	2020 年
船舶總艘數	710	708	705
船用重油 (噸)	11,994,000	11,173,000	10,368,000
船用汽油 (噸)	17,000	10,000	11,000
相關 CO ₂ 減少 (%) (以 2018 為基準比較)	42.1%	44.9%	46.3%

資料來源：Maersk, 2021

表 2-12 近三年 NO_x 與 SO_x 總排放量統計表 (Maersk)

年度	氮氧化物 NO _x	硫氧化物 SO _x
	總排放量 (噸)	總排放量 (噸)
2018	953,000	615,000
2019	888,000	569,000
2020	824,000	102,000

資料來源：Maersk, 2021

2. 長榮海運股份有限公司

長榮海運股份有限公司(簡稱長榮海運)，至 2020 年底，長榮海運共營運 193 艘全貨櫃船，運力達 1,272,000 TEU，全球排名第 7。為配合 IMO 2020 限硫令的要求，長榮海運持續落實脫硫改裝工程，船舶汰舊換新，以降低污染排放，並增進能源效率。

從表 2-13 可見，長榮海運船用重油使用量由 2018 年 1,830,318 噸減少至 2020 年 1,699,312 噸，使用量減少約 8%；柴油使用量則由 2018 年 137,167 噸增長至 157,977 噸，使用量增長約 15%。溫室排放量自 2018 年 62.137 g/TEU-KM 下降至 2021 年 60.66 g/TEU-KM，呈現逐年下降的趨勢。

從表 2-14 及圖 2.3 可見，長榮運通 NO_x 總排放自 2018 年 11.7 萬噸降至 2020 年 10.9 萬噸(減少約 7%)，平均單位運輸作業排放量由 1.23 g/TEU-KM 降至 1.14 g/TEU-KM；SO_x 總排放量自 2018 年 9.3 萬噸降至 2020 年 5.2 萬噸(減少約 44%)，平均單位運輸作業排放量由 0.95 g/TEU-KM 降至 0.17 g/TEU-KM，排放量明顯下降。

表 2-13 近三年船舶能源使用情形 (長榮海運)

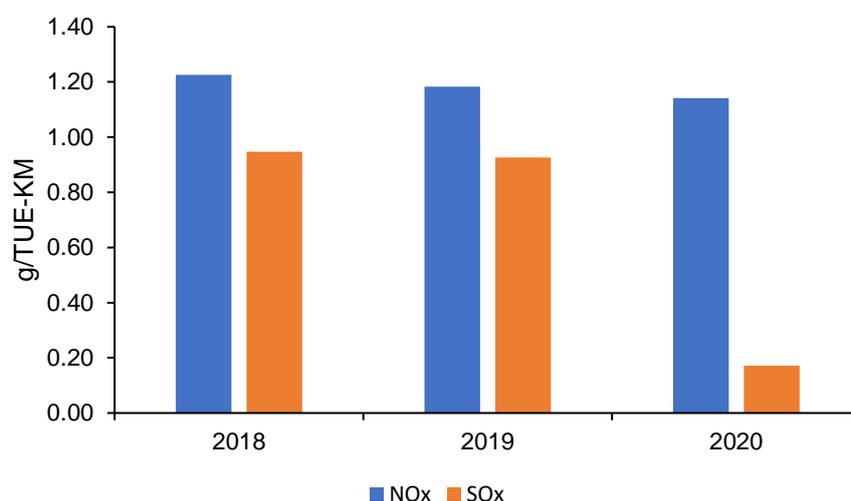
	2018 年	2019 年	2020 年
船舶總艘數	>200	201	193
船用重油 (噸)	1,830,318	1,676,056	1,699,312
船用柴油 (噸)	137,167	213,555	157,977
船隊燃油 CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	62.137	61.46	60.66

資料來源：長榮海運股份有限公司, 2021

表 2-14 近三年 NO_x 與 SO_x 總排放量統計表 (長榮海運)

年度	氮氧化物 NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物 SO _x 總排放量 (噸)
2018	117,076	93,128
2019	111,376	83,945
2020	109,143	52,335

資料來源：長榮海運股份有限公司, 2021



資料來源：長榮海運股份有限公司, 2021

圖 2.3 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (長榮海運)

3. 陽明海運股份有限公司

除中鋼運通外，陽明海運股份有限公司(簡稱陽明海運)為配合 IMO 2020 限硫令的要求，自 2020 年起，陽明海運船隊已使用超低硫船用燃料油 (VLSFO) 作為主要燃料。截至 2020 年 12 月 31 日，陽明海運營運船隊共計 90 艘，總噸位數達 698 萬載重噸，全球排名第 9。

為因應 IMO 2020 限硫令，我國自 2019 年 1 月 1 日起外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶，進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等，應採用含硫量 0.5% 以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料案檢查。陽明海運 2020 年已陸續完成脫硫塔安裝，以符合國際公約要求。從表 2-15 可見，陽明海運船用燃油-重燃油使用量由 2018 年 1,655,950 噸減少至 2020 年 1,297,905 噸，使用量減少約 22%；柴油使用量則由 2018 年 106,056 噸下降至 2020 年 72,196 噸，使用量減少約 32%。溫室排放量自 2018 年 50.32 g/TEU-KM 下降至 2021 年 42.82 g/TEU-KM，有著明顯的趨減情形。

關於氮氧化物 (NO_x) 與硫氧化物 (SO_x) 排放，從表 2-16 及圖 2.4 可見，陽明海運 NO_x 總排放自 2018 年 15 萬噸下降至 11.7 萬噸 (下降約 22%)，平均單位運輸作業排放量由 1.38 g/TEU-KM 降至 1.16 g/TEU-KM；SO_x 總排放量自 2018 年 8.5 萬噸降至 2020 年 1.1 萬噸 (下降約 86%)，平均單位運輸作業排放量由 0.78 g/TEU-KM 降至 0.12 g/TEU-KM，排放量大幅度下降，可見 IMO 策略的成功。

表 2-15 近三年船舶能源使用情形 (陽明海運)

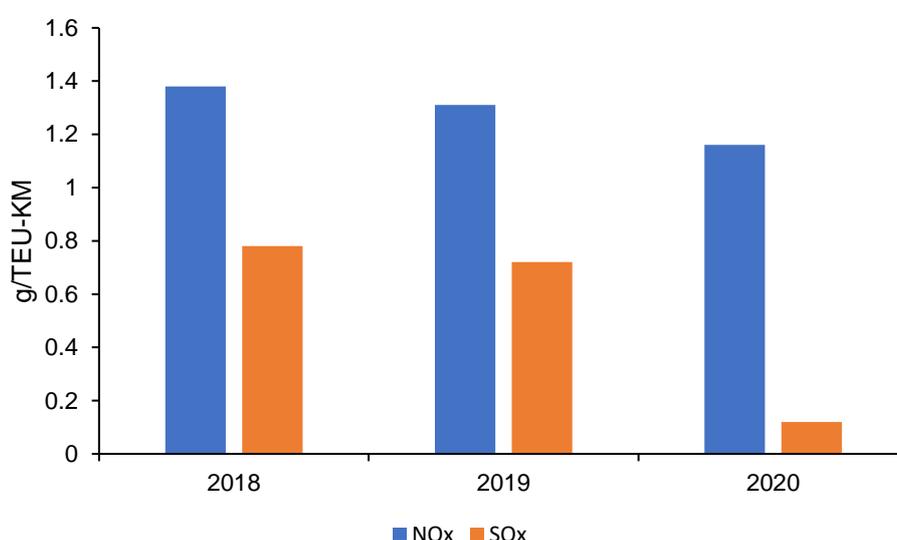
	2018 年	2019 年	2020 年
船舶總艘數	98	101	90
海運重油 (噸)	1,655,950	1,633,922	1,297,905
海運汽油 (噸)	106,056	119,525	72,196
船隊燃油 CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	50.32	48.08	42.82

資料來源：陽明海運股份有限公司, 2021

表 2-16 近三年 NO_x 與 SO_x 總排放量統計表 (陽明海運)

年度	氮氧化物 NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物 SO _x 總排放量 (噸)
2018	150,113	85,328
2019	148,964	82,428
2020	117,033	11,908

資料來源：陽明海運股份有限公司, 2021



資料來源：陽明海運股份有限公司, 2021

圖 2.4 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (陽明海運)

4. 萬海航運股份有限公司

我國萬海航運股份有限公司(簡稱萬海航運)截至 2020 年底，船舶總艘數(自有船+租船)，共計 119 艘 (67+52)，營運量為 4,509 仟 TEU，全球排名第 11。自 2020 年 1 月 1 日起全球燃油限制使用低硫燃油，全船隊使用低硫燃油無加裝脫硫塔，以減少排放硫氧化物對環境的污染。

從表 2-17 可見，萬海航運船用燃油-重燃油使用量由 2018 年 1,051,516 噸，減少至 2020 年 1,013,917 噸，使用量減少約 4%；柴油使用量則由 2018 年 26,451 噸下降至 14,697 噸，使用量減少約 45%。溫室排放量由

2018年 78.6 g/TEU-KM 降至 2021年 74.1 g/TEU-KM，有逐漸下降趨勢。

自 IMO2020 開始執行後，萬海航運在氮氧化物 (NO_x)與 2019 年同期增長約 57%，原因在於萬海航運在 2020 年新增 23 艘新型船舶，NO_x 平均單位運輸作業排放量介於 1.1.09~1.14 g/TEU-KM 之間，變化不大；但硫氧化物 SO_x 排放較 2019 年減少約 78%，平均單位運輸作業排放量由 2018 年 1.38 g/TEU-KM 降至 2020 年 0.22 g/TEU-KM，因全船隊皆使用低硫燃油無加裝脫硫塔，所以 SO_x 排放較有使用脫硫塔之航商相比減量效益更為顯著 (見表 2-18 及圖 2.5)。

表 2-17 近三年船舶能源使用情形 (萬海航運)

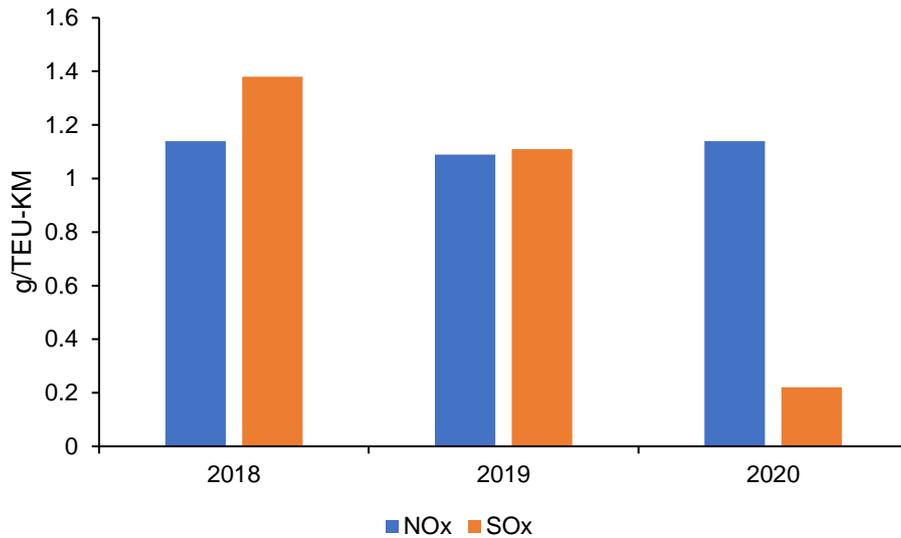
	2018 年	2019 年	2020 年
船舶總艘數	96	96	119
船用重油 (噸)	1,051,516	938,724	1,013,917
船用柴油 (噸)	26,451	78,328	14,697
船隊燃油 CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	78.6	71.7	74.1

資料來源：萬海航運股份有限公司, 2021

表 2-18 近三年 NO_x 與 SO_x 總排放量統計表 (萬海航運)

年度	氮氧化物 NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物 SO _x 總排放量 (噸)
2018	32,318	41,627
2019	31,338	33,605
2020	49,244	9,467

資料來源：萬海航運股份有限公司, 2021



資料來源：萬海航運股份有限公司, 2021

圖 2.5 氮氧化物及硫氧化物排放統計 (萬海航運)

5. 中鋼運通股份有限公司

根據中鋼運通股份有限公司 (簡稱中鋼運通)，截至 2020 年 12 月，中運自有各型船舶計有海岬型 (Cape size) 散裝輪 18 艘、輕便型 (Handy) 散裝輪 4 艘、雜貨船 (General Cargo) 2 艘及自卸船 (Self-unloading vessel) 1 艘，合計共 25 艘，總船隊可達 389 萬載重噸。因應低硫燃油政策的推動，中鋼運通已有 4 艘進行安裝排氣洗滌器，其餘船隻將買高價低硫油。從表 2-19 可見，船用燃油-重燃油使用量由 2018 年 152,224 噸增加至 2020 年 163,354 噸，使用增長約 7%。柴油使用量則由 2018 年 1,301 噸增長至 3,613 噸，增長率達 277%。

中鋼運通主要依照 IMO 對於溫室氣體減排的規定進行空污管控，若以「能源效率設計指數 (EEDI)」為每公噸貨物運輸每海哩所排放之 CO₂ 重量 (單位：g-CO₂/ton-nm)，數值越低表示船舶效能越高。從中鋼近三年船舶能源使用情形可見，自 2018 年至 2020 年，平均每噸貨載海哩所產生溫室氣體排放量分別為 7.06、7.07 及 6.77 g/ton-n.mile，足見船舶效能越來越高。

表 2-19 近三年船舶能源使用情形 (中鋼運通)

	2018 年	2019 年	2020 年
船舶總艘數	21	23	25
船用燃油-重燃油 (噸) (HFO/LFO)	152,224	142,810	163,354
船用燃油-柴油 (噸) (MDO+MGO)	1,301	7,681	3,613
平均每噸貨載每海浬 所產生溫室氣體排放量 (g/ton-n.mile)	7.06	7.07	6.77

註：2019 年以 23 艘船計(因 2 艘船於年底交船未計入)。

資料來源：中鋼運通股份有限公司, 2021

除從各船商的年度企業永續經營報告書窺見船用油量的變化外，本研究亦透過相關管道取得國內某航商兩艘同級船舶探討其用油量差異，其中個案一為使用低硫油之船舶，其用油量與切換前差異油耗增加約 6%，從原本每日高硫燃料油油耗約 100 噸增加到 106 噸左右；個案二為安裝脫硫設備之船隻，因其需要使用海水循環泵大幅增加船上電力消耗，油耗增加約 11.2%，從原本每日高硫燃料油油耗約 100 噸增加到 111 噸左右。

個案一：船舶使用高、低硫燃料油前後差異

以一艘遠洋航線 8,500TEU 級的貨櫃輪為例，在使用高硫燃料油時，船舶主機使用高基數 BN100 氣缸油，氣缸油的功能順序為潤滑→中和→清潔。主機運轉與維護均依照原廠規定時程進行保養與零件更換，當使用低硫燃料油時，氣缸油改用 BN40，此時其清潔能力明顯下降，其三個主要功能的順序改為潤滑→清潔→中和，清潔能力明顯下降，遠遠沒有達到低鹼值的理想狀態，甚至使用含硫份更低的燃料油時，必須使用 BN0 的氣缸油，在從美西返航遠東地區時，氣缸因為使用低鹼值潤滑油，造成觸媒粉末 Cat fines (Catalyst Fines) 磨損活塞環，損壞設備，最後進行封缸動作，跨洋低速航行回到港口進行維修更換零件，另外在燃油消耗部分，使用低硫燃料油時，以經濟航速 20 浬/時航行，油耗增加約 6%，

從原本每日高硫燃料油油耗約 100 噸增加到 106 噸左右。

個案二：船舶使用脫硫塔前後差異

同樣以一艘遠洋航線 8,500TEU 級的貨櫃輪為例，使用高硫油採用脫硫設備，雖然省下高、低硫燃料油的價差，但是後續產生的問題為脫硫後之洗滌廢水 pH 值過低，將本身排海之海水管路與船體接觸處穿孔腐蝕，導致大量海水灌入機艙，造成極大危害與損失，而且脫硫時必須使用大量海水循環，最高 4,000 m³/h，以經濟航速 20 浬/時航行，洗滌塔海水循環量 3,000 m³/h 左右，因為需要使用三台海水循環泵，油耗增加約 11.2%，從原本每日高硫燃料油油耗約 100 噸增加到 111 噸左右。

第三章 空氣品質偵測及採樣技術研析

現今空氣品質污染日趨嚴重，為了進行空污監測與管理，許多研究學者不斷開展新的偵測技術，用以分析污染源數據及其種類，本章主要蒐集與研析現今國內外空氣污染物種類、採樣方法、檢測方法及偵測技術的應用(如 FTIR、DOAS、無人機搭載微型感測器...等等)，以做為後續港區船舶空氣污染之可行監測技術參據。

3.1 空氣污染物種類及採樣方法

空氣污染物如第二章所述，分別為揮發性有機物 (VOCs)及無機化合物(如 SO_2 、 NO 、 NO_2 、 CO 、 CO_2 、 O_3 ...等等)。為了有效監控空氣污染物的排放，除了使用光學遙測技術，許多固定污染源研究較常使用現地採樣，分析污染物種類及其濃度，以利作為相關開罰依據或提供未來改善建議之參考。以下將就現今社會常見之空氣品質採樣方法及檢測方法進行探討。

3.1.1 揮發性有機物之採樣方法

香港特別行政區政府環境保護署 (2017) 指出揮發性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, VOCs) 是指含碳的任何揮發性化合物，可見於很多產品之中，如溶劑漆料、印墨、許多消費品、有機溶劑和石油產品。車輛和船舶亦會排放揮發性有機化合物，最終造成空氣污染和煙霧問題。可能導致嚴重的人類健康問題，例如對皮膚，癌症和呼吸道疾病的過敏和刺激。VOCs 排放可以是船舶空氣污染排放的一種很好的指紋。其分析只要是靠氣相色譜層析儀 (Gas Chromatography, GC)，搭配不同的檢測器，例如：FID/ECD/PID/MSD 等各式檢測器(detectors)，有許多開發完成的認證方法，都已經過環保署環境檢驗所驗證。若要轉移應用到船舶移動或固定污染源的監測，只要考量的是採樣方式的方便性、可行性、時效性。以下僅就傳統陸地上之空氣污染物採樣方法進行綜合性的回顧。

早期，因為感測器之開發技術落後，因此，感測器在空氣污染監測的使用相當有限，頂多也只能量測空氣中 VOCs 的總量，而且精密度及準

確度都無法滿足需求。因此，早期的空氣污染研究，都依靠各種 VOC 空氣取樣器，採集氣體後，再帶回實驗室用精密儀器分析。在 1990 年代，陸續發展出採樣管、採氣袋、不銹鋼採樣筒及固相微萃取等不同採樣技術。表 3-1 為空氣中揮發性有機化合物的採樣方法之比較，包含工作原理、優缺點之統整。

1. Tenax-TA 吸附劑採樣

空氣中揮發性含鹵素碳氫化合物，以定流量之空氣採樣泵收集至含 Tenax-TA 吸附劑之採樣管中，再將採樣管置於熱脫附裝置內，脫附之樣品經氣相層析儀分離，並以電子捕捉偵測器測定。分析過程中可能的干擾來源，主要是採樣管中吸附劑所含雜質造成，吸附劑及採樣管在使用前應清洗乾淨，亦可能來自成分複雜的空氣樣品及不純之載流氣體，以致造成層析圖訊號的部分重疊，必要時應以氣相層析質譜儀 (GC/MS) 來進行確認工作。此外採樣時應於吸附管前加裝過濾裝置，以去除懸浮微粒 (行政院環境保護署，2018)。

2. 氣體採樣袋

當氣體與蒸氣濃度超越一般分析儀器的偵測極限時，氣體採樣袋 (空採袋/採氣袋) 提供方便又精確的氣體與蒸氣收集法。使用氣體採氣袋採集空氣通常以短期間內為原則，用以檢視空氣中尖峰曝露濃度；氣體採樣袋採樣苯乙烯，乙苯後會因吸收而減損，也無法衝滌乾淨，不可重覆使用 (科安知識庫，2019)。

3. 不銹鋼採樣筒

將已先抽真空之不銹鋼採樣筒以瞬間吸入或固定流量採集方式收集空氣，利用降溫捕集方式濃縮一定量的空氣樣品再經熱脫附方式注入氣相層析質譜儀 (GC/MS) 中測定樣品中揮發性有機化合物的量。干擾為來自不正確操作、清洗不完全或分析系統的污染；因此，在組裝使用前後，須做實驗室空白試驗以測試系統是否有污染；樣品中過量的水氣將會對分析造成干擾，所以分析系統必須能適當減少樣品體積量以避免水氣干擾 (行政院環境保護署，2010)。

表 3-1 空氣中揮發性有機物(VOC)採樣方法之比較

技術	工作原理	優點	缺點	建議採用順序
Tenax-TA 吸附劑採樣	<ul style="list-style-type: none"> - 空氣樣本被引入管中，目標 VOCs 將被吸附在吸附劑上 - 採樣後，利用熱脫附原理，將目標 VOCs 轉移到氣相色譜層析管柱，分離後，使用質譜儀測定濃度 	<ul style="list-style-type: none"> - 良好的吸收能力，尤其對不同沸點的化合物 - 成本較低 - 體積小，便於運輸 - 多功能應用樣品 - 保存時間最長 14 天 	<ul style="list-style-type: none"> - 受含水率影響 - 非極性物種的回收率低 - 取樣時間長(有時需達 24 小時) - 要接電採樣 	3
氣體取樣袋	依建議的流量，使空氣吸入，經過取樣閥，將空氣樣本導入氣體取樣袋	<ul style="list-style-type: none"> - 重量輕 - 易於運輸 - 多功能應用 - 可重複使用 	<ul style="list-style-type: none"> - 氣袋容易洩漏 - 保存期限≤24 小時 - 不能長時間採樣 - 不適用高空採樣，因為當高空氣壓降低時，氣袋可能會爆裂 - 要接電才能採氣 	2
不銹鋼罐採氣筒	利用已抽真空的採氣筒的負壓，將空氣樣品自動吸入罐內。當罐內壓力等於常壓時，結束採氣	<ul style="list-style-type: none"> - 易於儲存和裝運樣品 - 可自動化 - 可重複使用 - 保存時間 30 天 - 立即性、時效性 	小罐採氣體積較小；大罐採氣體積較大，但較大較重	1
固相微萃取 (SPME)	<ul style="list-style-type: none"> - 空氣樣品被引入 SPME。吸附性纖維有助從樣品中提取化合物 - 萃取後，固相微萃取纖維經熱脫附後，使用 GC/MS 測定濃度 	<ul style="list-style-type: none"> - 萃取時間短 - 成本低廉 - 樣品需求量少 - 可自動萃取 - 保持時間 15 天 - 採樣及進樣前處理時間較快 - 靈敏度高 	<ul style="list-style-type: none"> - 濕度對 VOCs 吸附量有負面影響 - 樣品若沒揮發會導致 VOCs 吸收量減少 - 不推薦用於含有複雜 VOC 混合物的高濃度化合物 	4

資料來源：本研究彙理

4. 固相微萃取(SPME)

固相微萃取 (Solid-phase microextraction, SPME) 是一種免溶劑萃取技術，用適用樣品前處理的方法，可以與多種分析儀器串聯使用 (徐剛等人, 2013)，像是在氣相層析儀、質譜等分析儀器的進樣。空氣樣品被引入 SPME。吸附性纖維有助從樣品中提取化合物，萃取後，固相微萃取纖維經熱脫附後，使用 GC/MS 測定濃度。SPME 優於一般傳統的萃取方法

就是不需要使用溶劑，成本低廉，萃取時間短、樣品需求量少，而且可應用在食品、環境分析，不論是否揮發的物質都能使用，靈敏度高，偵測極限可達 ppb (俞姿宇，2016)。

3.1.2 無機物化合物之採樣方法

船舶排放的空氣污染物有很大一部分是無機化合物，例如：SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂、O₃、NH₃、HCl、H₂S...等，如表 3-2 示，採樣檢測方法可以類分為：濕式採樣法、檢知管或掌上型直讀感測器等。濕式採樣法多有環檢所公告之標準方法，尤其是在煙道採氣方面的應用。檢知管則多半是在現場，急於得知污染物種及約略濃度時，很方便的工具。掌上型感測器則是透過不同的感測器，提供經過校正的直讀式感測數據，亦是工作人員於現場很具有立即性的幫助的檢測器。

此外，很受到重視的船舶排放空氣污染物還包括：DPM、PM₁₀、PM_{2.5}、NMHC 等空氣污染指標污染物。其採樣方法環保署環境檢驗所也都有公告之標準檢驗方法可以依循，包含有粒狀污染物的採集及重量量測方法，以及光學感測器之量測等不同類別方法。可以參考環檢所公告之方法來選用。選用時仍要考量到登船之稽查方式，同時兼顧立即性、時效性、安全性、方便性、公信力及干擾排除等準確度及精密度議題。除了環檢所公告之標準方法外，亦可以參考選用國外 ASTM (American Society for Testing and Materials) 或 CNS (Chinese National Standards) 或勞工作業環境監測等具有公信力之標準方法，以下介紹無機化合物採樣技術。

1. 濕式採樣法

氣相污染物必須可溶於採樣器內容之特定吸收液中，再將吸收液進行定量化學分析，即可得到空氣中污染物濃度。

2. 檢知管

檢知管是由玻璃管及管內填充之固體微粒等介質所組成，介質上附著的化學物質可與特定氣體/化合物產生反應，利用化學呈色原理來測定不同物質；經由觀察檢知管顏色改變的程度或變化的長度，即可得知待測化合物的濃度。

3. 掌上型感測器

透過不同的感測器，提供直讀的感測數據，按氣體傳感器的原理可分為紅外線氣體檢測儀、熱磁氣體檢測儀、電化學式氣體檢測儀、半導體式氣體檢測儀、紫外線氣體檢測儀等。

表 3-2 無機化合物採樣方法之比較

技術	優點	缺點	建議採用順序
濕式採樣法	- 經校正數值準確 - 不需要高精密的儀器	- 採氣耗時 - 採氣組裝不可以有洩漏 - 樣品需攜回實驗室分析	1
檢知管	-操作簡單 -價格低廉 -外型輕巧 -攜帶方便	- 使用時機有限制 - 準確度低 - 受不同基質之干擾	3
掌上型感測器	-操作方便 -數值讀取方便	- 穩定性較差 - 受環境影響較大	2

資料來源：本研究彙理。

3.2 空氣污染物之檢測方法

3.2.1 國內空氣污染物檢測方法

我國每年近 30 萬筆陳情，其中高達近 8 成皆屬於空氣、噪音等環境污染類型案件，顯示出國人對環境品質的重視。透過廣泛佈建空氣品質感測器，使空品即時狀況數據化、透明化，將有利監督人為污染以及預防自然危害，有效改善國人生活品質。一般空氣品質監測主要監測項目為：二氧化碳 (SO₂)、一氧化碳 (CO)、臭氧 (O₃)、氮氧化物 (NO_x)、總碳氫化物 (THC)、懸浮微粒 (PM₁₀)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})，各監測項目檢測方法整理，如表 3-3。以下為各監測項目之檢測方法概述。

1. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳分析儀是利用非散射性紅外線吸收原理所設計的儀器，其原理為利用 CO 會吸收 4700 nm 左右波長的紅外線，藉由紅外線發射前與接受後的強度差異改變，去定量出空氣中 CO 的濃度，因為紅外線吸收程度與 CO 的濃度有比例關係，吸收度越高，相對所測量空氣中的 CO 濃度

也越高。

2. 臭氧 (O₃)

臭氧分析儀是一部利用紫外光 (UV) 吸收原理設計的儀器。臭氧會吸收在 254 nm 波長左右的紫外燈光，當系統啟動紫外燈光照射樣品氣體時，如果氣體內含有臭氧分子時，那接收紫外燈光後的強度會降低。發射前跟接受後的紫外燈光強度差異與臭氧的濃度成比例關係，所以在這樣的比例關係下，便可以用來定量空氣中臭氧的濃度，也就說吸收程度越高，則空氣中的臭氧濃度越高。

3. 氮氧化物 (NO_x)

氮氧化物分析儀根據化學發光法作為設計原理。此原理是利用臭氧與一氧化氮進行氣相反應，使得一氧化氮活化成二氧化氮。而二氧化氮回復較低能量狀態時，會放射出螢光，波長 500~3000 nm 左右，最大強度大概在 1100 nm 波長。儀器利用這種原理，將臭氧放入反應室與一氧化氮進行反應，然後再測量反應後的螢光強度，而螢光強度與一氧化氮的濃度成比例，套入公式計算後便能得知濃度。

4. 二氧化硫 (SO₂)

二氧化硫分析儀器是根據吸收紫外燈光後，當回到穩定狀態時發出螢光原理，二氧化硫會吸收 200~240 nm 波長的紫外光，SO₂ 分子吸收紫外光後，再降回基態時會產生 300~400 nm 波長的螢光，而產生出來的螢光總量與 SO₂ 成正比，所以利用此特性來分析空氣中 SO₂ 的濃度。

5. 懸浮微粒 (PM₁₀)

貝他射線分析儀能有效分析空氣中粒狀物濃度，能長時間自動連續性的進行空氣中粒狀物監測。儀器設計原理是根據貝他射線通過濾紙衰減量不同，再由系統計算出粒狀物濃度。大氣中的氣體樣品透過空氣泵引至系統內，在進入分析系統內之前，會先經過採樣系統，此系統可分為採樣口、篩分器及加熱裝置，目的在於決定進入分析系統的粒徑大小，例如 PM₁₀ 或 PM_{2.5}，以及避免水分的。

6. 二氧化碳 (CO₂)

利用二氧化碳吸收紅外光之特性，測定樣品氣體中二氧化碳的濃度。若光源為非分散性紅外線 (Non-dispersive Infrared) 者，稱之非分散性紅外線法；若於光源照射路徑上加裝一組氣體濾鏡 (高濃度 CO₂/N₂) 者，

稱之氣體過濾相關紅外線法 (Gas filter correlation infrared)。

7. 碳氫化合物 (HC)

檢測方法為線上火燄離子化偵測法，樣品直接經過系統流路進入火焰離子化偵測器 (Flame ionization detector, FID) 後測得空氣中之總碳氫化合物 (Total hydrocarbon, THC) 含量；另將樣品導入會分解非甲烷總碳氫化合物之選擇性燃燒系統 (如觸媒轉換器) 並進入 FID 偵測器後測得空氣中甲烷 (Methane) 含量，將 THC 扣除甲烷後即得非甲烷總碳氫化合物 (Total nonmethane hydrocarbon, TNMHC) 含量，所測得濃度以相對於甲烷表示。

8. 揮發性有機物 (VOCs)

以開徑式傅立葉轉換紅外光 (Open-path Fourier transform infrared, 簡稱 OP-FTIR) 監測設備掃描空氣中揮發性污染物，經光譜分析求得在量測路徑內氣體樣品的平均濃度。由於紅外光譜儀之操作步驟須視儀器本身及量測性質而定，本方法僅提供光譜之定量分析原則而不詳述檢測細節。

9. 重金屬

本方法係以高量採樣器、PM₁₀ 或 PM_{2.5} 採樣器，將空氣粒狀物採集於濾紙上，再將濾紙經微波消化或熱酸萃取前處理程式，使樣品溶解或消化後，以石墨爐式或火焰式之原子吸收光譜儀，測定粒狀物中各待測金屬之含量。

表 3-3 國內空氣污染物標準檢測方法

檢測項目	標準方法	標準方法名稱	方法概要
CO、CO ₂	NIEA A448.11C	紅外線法	利用吸收紅外光之特性，測定氣體中的濃度
	NIEA A415.73A	非分散性紅外光法	從排放管道中連續抽出氣體，經過濾器、冷卻除水裝置，導入使用非分散性紅外光為分析器之儀器內，以測定其中所含二氧化碳之濃度。
O ₃	NIEA A420.12C	紫外光吸收法	利用臭氧對紫外光的吸光特性，量測氣體於 254 nm 的吸光強度，以計算空氣中臭氧的濃度。
NO _x	NIEA A417.12C	化學發光法	一氧化氮與臭氧之氣相反應會放出光，其強度與一氧化氮濃度成正比。將二氧化氮轉化成一氧化氮後，與臭氧反應，偵測其所放出之光，即為二氧化氮的濃度。若樣品氣體不經轉化作用，所得量測之值為一氧化氮濃度；經轉化作用則為氮氧化物濃度，二者之差即為二氧化氮的濃度。
	NIEA A411.75C	排放管道中氮氧化物自動檢測方法	從排放管道中連續抽出氣體，經過 NO ₂ /NO 轉換器將樣品氣體中之二氧化氮轉換為一氧化氮後，導入氣體分析儀，以測定樣品氣體所含氮氧化物之濃度。
SO ₂	NIEA A416.13C	紫外光螢光法	利用波長介於 190 nm ~ 230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再量測其降回基態時所發出之 350 nm 螢光強度，以測定空氣中二氧化硫的濃度。
	NIEA A413.75C	非分散性紅外光法	從排放管道中連續抽出氣體，引入非分散性紅外光（非分散紅外 NDIR）分析儀內，以測定其中所含二氧化硫之濃度。
PM ₁₀	NIEA A206.11C	貝他射線衰減法	以貝他射線照射捕集微粒之濾紙，量測採樣前後貝他射線通過濾紙之衰減量，再根據其微粒濃度與輻射強度衰減比率關係由儀器讀出空氣中粒狀污染物的濃度。
HC	NIEA A740.10C	空氣中總氫化合物自動檢測方法	本檢測方法為線上火燄離子化偵測法，樣品直接經過系統流路進入（火焰離子化偵測 Flame ionization

檢測項目	標準方法	標準方法名稱	方法概要
			detector, FID) 後測得空氣中之總碳氫化合物(Total hydrocarbon, THC) 含量。
	NIEA A723.74	線上火燄離子化偵測法	本方法從排放管道中透過取樣裝置將氣體樣品連續抽出，樣品直接通過空管後進入火焰離子化學偵測器(檢測器, FID) 測得排放管道中之總碳氫化合物含量。
VOCs	NIEA A002.10C	空氣中揮發性化合物篩檢方法—開徑式傅立葉轉換紅外光光譜分析法	以開徑式傅立葉轉換紅外光(OP-FTIR) 監測設備掃描空氣中揮發性污染物，經光譜分析求得在量測路徑內氣體樣品的平均濃度。由於紅外光譜儀之操作步驟須視儀器本身及量測性質而定，本方法僅提供光譜之定量分析原則而不詳述檢測細節。
	NIEA A732.10C	空氣中總揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／火焰離子化偵測法	以去活化之不銹鋼採樣筒真空抽取或加壓採集空氣中揮發性有機化合物，於實驗室以液態氮(約-186℃) 下冷凍捕集濃縮，不經層析分離，逕以火焰式離子化偵測器測定甲烷除外之總揮發性有機化合物(TVOC) 濃度。
重金屬	NIEA A307.10C	原子吸收光譜法	本方法係以高量採樣器、PM ₁₀ 或 PM _{2.5} 採樣器，將空氣粒狀物採集於濾紙上，再將濾紙經微波消化或熱酸萃取前處理程式，使樣品溶解或消化後，以石墨爐式或火焰式之原子吸收光譜儀，測定粒狀物中各待測金屬之含量。
	NIEA A301.11C	空氣中粒狀污染物之鉛、鎘含量檢驗法—火焰式、石墨式原子吸收光譜法	空氣中之粒狀污染物以高量空氣採樣器，經 24 小時採樣後，收集於玻璃纖維濾紙上。濾紙以硝酸加熱萃取法或以混酸(硝酸加鹽酸) 之超音波萃取法萃取，最後利用火焰式或石墨式原子吸收光譜法，在 283.3 nm 或 217.0 nm 波長處測定樣品中鉛；228.8 nm 波長處測定樣品中鎘之含量。

資料來源：本研究整理

3.2.2 國外空氣污染物檢測方法

我國由於經濟成長加上人口集中及機動車輛密度極高，與先進國家一樣有空氣污染問題。為有效改善空氣品質，則必須瞭解空氣污染來源及其成因，才能針對污染源進行有效地控制，提供民眾健康的保障。因此，各先進國家都已投入龐大經費進行空氣品質監測及相關研究。不同單位空氣採樣技術統整如表 3-4 所示。

表 3-4 國外空氣污染物標準檢測方法

化合物	單位	方法	檢測名稱	概述
NO _x	USEPA	ISO Method 10849	氮氧化物質量濃度的確定—自動測量系統	該國際標準規定了用於固定源排放物的氮氧化物自動測量系統的基本結構和性能特徵。這些分析儀使用以下原理進行操作：1) 化學發光；2) 非分散紅外光譜；3) 非分散紫外光譜。
	ASTM	D1608-16	化學發光法	一氧化氮與臭氧之氣相反應會放出光，其強度與一氧化氮濃度成正比。將二氧化氮轉化成一氧化氮後，與臭氧反應，偵測其所放出之光，即為二氧化氮的濃度。
SO ₂	USEPA	ISO Method 10396	永久性安裝的監控系統的自動確定氣體排放濃度的採樣	ISO 10396：2007 規定了程式和設備，允許在一定限度內對排放氣體流的氣體濃度進行自動測定。
	ASTM	D6667-14	紫外光螢光法	利用波長介於 190 nm ~ 230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再量測其降回基態時所發出之 350 nm 螢光強度，以測定空氣中 SO ₂ 的濃度。
PM	USEPA	METHOD - 201A	確定 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 的固定排放源之方法	旋風除塵器，採樣系列的可過濾顆粒部分可用於測量總和 PM _{2.5} 排放。
	ASTM	D7614-20	通過離子色譜法 (IC) 和分光光度法測定的測定環境空氣中總懸	通過將已知量的環境空氣通過酸洗過的碳酸氫鈉浸漬的纖維素過濾器吸取來捕獲環境空氣中的顆粒。24 小時以

化合物	單位	方法	檢測名稱	概述
			浮 顆 粒 物 (TSP) 六價鉻的標準測試方法	5.0-16.0 L/min 的速度吸入已知體積的空氣。六價鉻顆粒在浸漬過濾器上。
CO ₂	USEPA	ISO Method 10396	永久性安裝的監控系統的自動確定氣體排放濃度的採樣	該方法規定了程式和設備，允許在一定限度內對排放氣體流的氣體濃度進行自動測定。
	ASTM	UOP603 : 88	氣相層析法	層析分析的原理係藉移動相通過靜相達到分離的效果。混合物中的各成份在靜相和移動相之間的分配係數不相同(即親和力不同)，使其在管柱中的滯留時間不相同而得以分離出來。若化合物與靜相親和力較強，則沖提較慢(即滯留時間長)，而化合物與移動相的親和力較強，則沖提較快(即滯留時間短)。
HC	USEPA	METHOD 25A	METHOD 25A 火焰電離偵測法	該方法系通過加热的樣品管線和玻璃纖維過濾器從氣源中提取氣體樣品到火焰電離分析儀(FIA)。結果標定氣體的報告以體積濃度當量的形式呈現。
	ASTM	D7675-15	火燄離子化偵測法	該傳感器是一個燃燒器，其中調節後的樣氣流通過由調節後的空氣和燃料氣(氫或氫/稀釋劑混合物)維持的火焰。在火焰中，樣品中的碳氫化合物成分會經歷複雜的電離，從而產生電子和正離子。極化電極收集這些離子，使電流流過電子測量電路。電離電流與碳原子進入燃燒器的速度成正比。分析儀在前面的板面顯示屏上提供讀數，並為記錄儀提供可輸出的數據選擇。
VOCs	USEPA	USEPA Method 18	直接介面氣體測定氣相有機化合物層析	該方法適用於測定排放中的揮發性有機物固定源。通過直接介面檢測並量化單個揮發性有害空氣污染物

化合物	單位	方法	檢測名稱	概述
				(VOHAP) 氣相色譜/質譜儀 (GCMS) 測量系統對源流出物的分析。
	ASTM	D5466-15	測定大氣中揮發性有機化合物的標準測試方法 (罐採樣方法)	將揮發性有機化合物收集在低溫冷卻的疏水器中進行濃縮。VOC 從收集桶中熱解吸到少量載氣中，通過氣相層析法分離，並通過質譜檢測器或其他檢測器。化合物鑑定和定量均使用此測試方法進行。
重金屬	USEPA	USEPA Method 29	METHOD 29-從固定排放源偵測重金屬的排放	通過冷蒸氣原子吸收光譜法 (CVAAS) 分析適當的餾分中的 Hg 以及 Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, P, Se, 通過電感耦合氬等離子體發射光譜法 (ICAP) 或原子吸收光譜法 (AAS) 測得 Ag, Tl 和 Zn。
	ASTM	F963	原子吸收光譜法	樣品前處理後之消化液經霧化後，由載流氣體送入火焰中，在適當火焰條件下進行原子化。由中空陰極燈管或無電極放電燈管所產生的特性光，穿過火焰時被原子化後之特定金屬元素所吸收，經由單光分光器處理後，由偵測器測量特定波長的強度，再換算求得樣品中待測金屬元素的濃度。

資料來源：本研究整理

3.3 空氣品質偵測技術

國內外已不斷開發或研究新的技術協助管控空污的監測，如利用無人機搭載偵測器、紅外線光譜法、影像辨識、嗅探技術...等技術。以下將針對不同技術作簡單的概述及其應用。

3.3.1 目測判煙

依據環保署公告的「移動污染源空氣污染物排放標準」第八條，該條文同時規範火車及船舶，僅規定粒狀物污染物之排放標準，氮氧化物、硫氧化物及其它空氣污染物並未規範。船舶排放的粒狀污染物標準為不透光率 40% (相當於林格曼二號)。另外，政府允許主動推動力 3000 kw 以上之船舶起動時 20 秒內，3000 kw 以下起動時 10 秒，不超過不透光率 60% (行政院環境保護署，2020)。

目測判煙人員在判讀煙度時，需使用林格曼表。林格曼表是反映煙塵黑度與濃度的指標，在白底用黑色的小方格表示黑度，全白為 0 級，黑色面積(即不透光率)達 20 %時為 1 級，黑色面積為 40 %為 2 級，依此類推 60 %為 3 級，80 %為 4 級，100 %為 5 級 (見表 3-5)(陳桂清等人，2015; Prakasa, 2017)。根據<<移動污染源違反空氣污染防治法裁罰準則>>，若船舶不透光率超過標準，船商將面臨處罰，罰鍰金額依據船舶總噸位大小而不同，處新臺幣 1~6 萬元不等 (行政院環境保護署，2019)。

表 3-5 林格曼級別表

級別	透光率(%)	不透光率(%)
0	100	0
1	80	20
2	60	40
3	40	60
4	20	80
5	0	100

資料來源：Prakasa, 2017

目測人員需站在一定距離觀察，手拿圓形的林格曼表卡片，將中間鏤空的五角形洞對準排放源，此時排放源的黑煙即可與林格曼表中黑度值比對(圖 3.1)，據以判定而得知煙氣煙塵濃度。使用時，林格曼表需對準排放源，與排放源有相同的背景，背景不能有山或建築物阻擋，這樣可以排除大腦的視覺干擾(陳桂清等人，2015)。



圖片來源：陳桂清等人，2015

圖 3.1 林格曼表使用在船舶判煙之情形

高雄市政府環境保護局(2020)「高雄市柴油車管制成效」報告中指出統計自 106~108 年目測判煙稽查總車輛數分別為 7,676 輛次、15,689 輛次及 13,437 輛次，其中經目測判煙稽查人員判定有污染之虞車輛數分別為 3,467 輛次(45%)、4,385 輛次(28%)及 2,841 輛(21%)。由此可見，我國近兩年目測判煙稽查強度有所增加，而虞車輛數有明顯下降趨勢，藉由稽查管制力道加強，能有效嚇阻高污染車輛進行污染改善。

我國船舶排煙判定，雖可以使用儀器測量廢氣的濃度，但船舶的廢氣是從煙囪排放的，且普遍煙囪非常高，若在船舶執行此類檢查非常危險(Lin and Lin, 2006)。故環保署同意由稽查人員以目視方式判斷其不透光率。現行的目測判煙制度，係需由受過訓練、持有目測判煙證照的合格人員執行。稽查人員取得「目測判煙執照」後，必須每年定期複訓，未過者即取消資格。即使稽查人員持有執照，也不可能直接憑目測開罰，還是需由定檢站的儀器決定是否違法(陳韋宗，2014)。

總概而言，利用目測判定利用林格曼表進行煙塵濃度判讀，不需輔

助設備 (陳桂清等人, 2015)。一般人員經培訓均可進行觀測, 簡單易行, 成本低廉。但人員目測判定時會受天氣狀況 (如天空的背景顏色、雲層等) 干擾判定; 同時, 不同的人員判斷結果也有所不同, 在準確性方面有一定的存疑。

3.3.2 影像辨識

隨著環境污染的加劇, 依靠傳統的環境污染檢測已經無法滿足當前對環境監測的需求, 採用先進的技術來檢測環境污染已變得越來越重要。隨著影像辨識技術的迅速發展, 許多學者或科學家已開始研究如何將影像辨識應用於環境污染檢測中。

傅瑋琦 (2013) 研究論文系利用藉由紅外線熱顯像儀對固定污染源管制進行研究。其研究發現各類廠內製程於平時以肉眼查核無法發現之污染, 並利用紅外線熱顯像儀監控掌握污染源不當操作時機。研究指出, 於廠外進行監控, 皆能使稽查人員掌握主要污染時段, 並於第一時間進場查核。最後證實, 使用紅外線熱顯像儀對於製程中有熱變化之污染源查核確實可行, 不僅成本較單純人力稽查更為低廉, 更能於稽查前即充份掌握污染事證, 以提升空氣品質管制效益, 另配合告發處分及輔導改善, 皆可有效減少空氣污染排放及陳情案件發生。

Shu et al., (2020) 指出影像辨識技術具有辨別力高, 接受度高, 觸感強的特點。在環境檢測過程中, 空氣質量檢測是最基本的工作。影像辨識是通過數碼相機捕獲相同的環境, 然後通過電腦存儲獲取的影像。影像辨識技術主要包括影像獲取、影像處理、特徵分析、影像分類等(見圖 3.2)。Shu 等人的主要系利用 HSI (Hue -Saturation-Intensity) 模型, 以色調、飽和度及強度對存儲的照片進行量化, 利用梯度函數的方差形成清晰程度不同的照片和影像, 從而根據量化結果對環境污染進行分析。研究結果指出, 使用影像識別技術可以更直觀地反映空氣質量的直觀感受。同時, 根據相關數據和拍攝的照片進行分析, 發現人的直觀感受與空氣檢測數據存在差異, 這種差異是普遍存在的。



圖 3.2 影像辨識技術系統架構

依照工業技術研究院「工業區智慧型空氣污染辨識系統」計畫，經過環境勘察以及與環保稽查人員討論後，選定桃園縣觀音工業區進行智慧型空氣污染辨識系統架設。智慧型空氣污染辨識系統，包含可旋轉式變焦攝影機煙霧影像辨識系統與 3D 光學雷達（光達）空污系統。可旋轉式變焦攝影機煙霧影像辨識系統，利用 PTZ 攝影機（Pan Tilt Zoom Camera, PTZ Camera）可旋轉功能，設定多個偵測畫面，以影像偵測方式分析畫面中是否具有移動物，並且經過煙霧影像各項性質及物理運動分析是否符合煙霧，藉以判斷該影像中是否有煙霧的產生，若符合則以影像紀錄與文字簡訊發送給相關人員留存；3D 光達空污系統，利用雷射光接收訊號的相位及強度，前者訊號包含待測位置距離或速度之性質，而後者則為成分分析之依據。結合兩者偵測結果篩選出可疑煙道，提供給環保局稽查相關人員即時資料與佐證紀錄，以利進行稽查管制（周煥銘，2014）。

我國基隆港為了改善船舶不當排煙的污染行為，基隆市環保局近年來積極主動稽查進港船舶，針對屢遭陳情或進港頻繁之客輪、客貨輪及貨櫃輪等，採取無預警、主動式攝影及拍照稽查，統計至 108 年 1~8 月期間，環保局已主動稽查 174 艘（其中 6 艘不合格，不合格率 3%），相較 107 年稽查頻率增加 4 倍，然而不合率卻由 107 年 12% 下降至 108 年 3%，顯示強力稽查可有效改善港區船舶排煙污染（基隆地方中心，2019）。但這種主動式稽查只能對近距離的船舶有效、而且需要人力的配合、還要確保稽查設備的數量充足及功能正常，可以隨時操作及使用。

臺中市環保局 2021 年依據臺中市空氣污染陳情熱區及常發生露天燃燒的場址，藉由影像辨識系統(如圖 3.3)以動態方式捕捉工廠排煙、露天燃燒及揚塵等污染情事；當系統偵測到異常，會即時透過通訊軟體 Line 推播示警，提供異常位置圖、照片及影片，環保局接獲通報後即時派員到現場進行稽查，後續將稽查結果回傳至中央系統中，以監督式學習方式修正辨識結果，讓智慧影像監控的辨識能力越來越精準（劉靜君，2021）。



資料來源：臺中市政府環境保護局

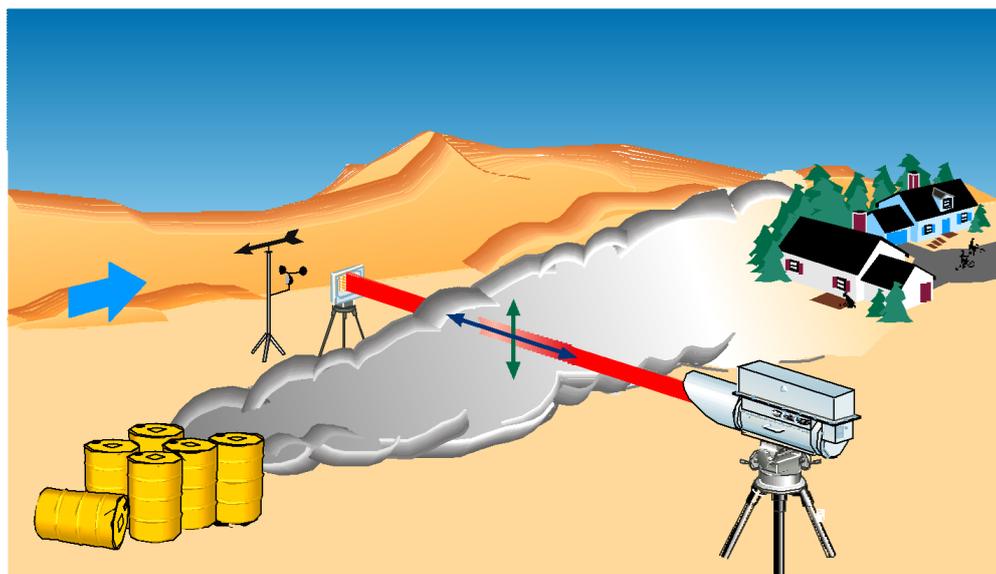
圖 3.3 雲端影像智慧平台辨識流程圖

3.3.3 開徑式傅立葉轉換紅外光 (OP-FTIR)

空氣中揮發性化合物篩檢方法—開徑式傅立葉轉換紅外光光譜分析法，是我國環保署 94 年 11 月 09 日公告之標準方法 NIEAA002.10C。本方法是以開徑式傅立葉轉換紅外光 (Open-path Fourier transform infrared, 簡稱 OP-FTIR) 監測設備掃描空氣中揮發性污染物，經光譜分析求得在量測路徑內氣體樣品的平均濃度。本方法可針對多種化合物於長距離內作篩檢量測；執行檢測之人員在 OP-FTIR 儀器操作與光譜分析上，應已具相當之經驗，且使用傅立葉轉換紅外光 (Fourier transform infrared, 簡稱 FTIR) 標準光譜之定量範圍應與氣體樣品濃度-光徑長度乘積接近。

FTIR 可依採樣方式區分為抽氣式或密閉式 (extractive 或 closed-cell)，以及開放光徑式或開放式 (Open-path)。兩者的差別在於，前者是先將外界氣體以採樣管導入密閉氣體光譜吸收槽後，再進行紅外線掃描；而後者則是不須經由採樣程式，直接以紅外線掃描開放空間中的氣體 (如圖 3.4)。目前，國內外開放光徑式傅立葉轉換紅外線儀 (Open-Path Fourier Transform Infrared, OP-FTIR) 的應用範疇，主要是在於廢棄物掩埋場、廢水處理廠、石化廠與工業區周界，以及廠內製程區污染源調查等量測工作。國內將 OP-FTIR 應用於工廠與工業區周界空氣品質量測已有多年的歷史，量測結果不僅可作為污染防制工作的量化指標，更可協助釐清污

染來源及責任歸屬。



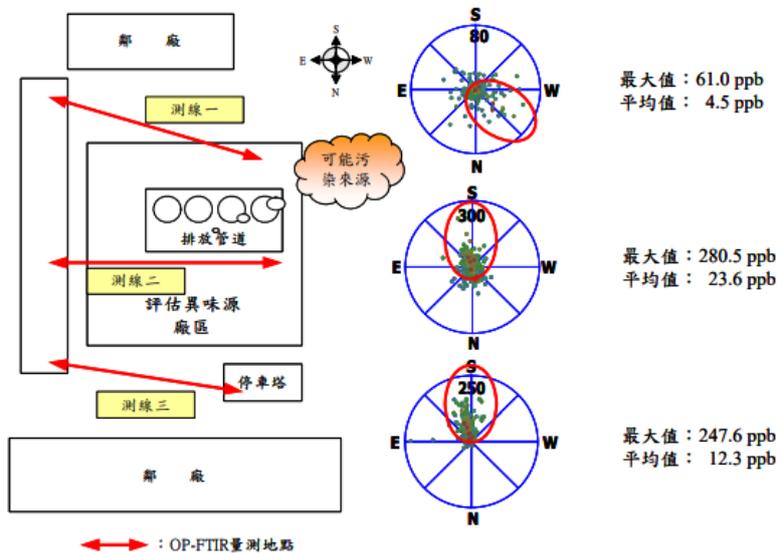
圖片來源：Robert H. Kagann, 2012

圖 3.4 開徑式紅外線遙測技術量測示意圖

Open Path Fourier Transform Infrared, OP-FTIR 開徑式紅外線遙測技術於產業界之應用已漸普及；近年來，我國產業發展的重點已由過去的傳統產業轉變為現今具有高附加價值之高科技產業；然而不論是以石化業為首的傳統產業，或是以半導體產業為首之高科技產業，兩者均使用到大量毒性氣體、有機溶劑及各類酸鹼物質，若因疏忽或操作不慎，可能逸散至空氣中，對工作人員及附近居民的健康構成威脅。

在以往進行異味蒐證工作時，則會以突發性的檢測作業為主，這種作法雖然機動性佳，但往往也會失去採樣蒐證的時效性。從污染物擴散影響因素而言，會因地形、地物及氣候條件（包括溫度、濕度、風速、風向…等因素），而有不同的擴散情形，再加上發生異味事件的時間性無法確知的情況下，常常造成污染物種類及濃度調查上的困難度。因此，陳新友 (2006) 使用 OP-FTIR 進行廠與廠之間的周遭環境的量測工作，用以界定可能造成廠區異味的污染來源，並配合現場氣象條件，來推估污染物的來源，以釐清工廠間的相互污染狀況。並由結果得知，於廠區內最有可能產生「異味事件」的污染物包括 NH_3 、ButylAcetate、PGMEA 及 O_3 等污染物，其中又以 NH_3 可能造成的「環境異味事件」比例為最高，其比例為 21.7%。將其結果與氣象資料結合，繪製之污染玫瑰圖如圖 3.5

所示。經研究結果可知 OP-FTIR 的優勢是在於未知環境下做監測工作、即時偵測，可依需求調整取樣分析時間、可同時進行多種氣體污染物之監測。



圖片來源：陳新友，2006

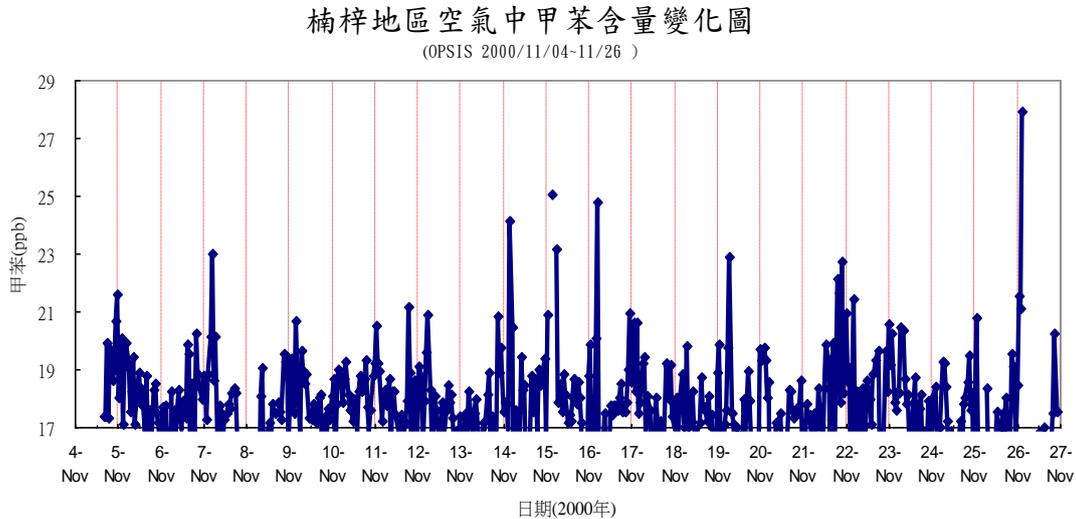
圖 3.5 NH₃ 來源分析圖

以下簡述說明 OP-FTIR 技術及其在石化業及半導體業之應用案例，傅立葉轉換紅外線儀是應用傅立葉轉換原理研製而成的紅外線譜儀，其量測上的優勢包含：1)大範圍量測；2)可長期且連續量測；3)可同時監測多種化合物；4)偵測極限可至 ppb 等級；5)即時監測污染濃度隨時間變化之趨勢；6)非破壞性量測；7)量測光譜可儲存於電腦，以進行即時與重複分析(楊人芝 & 張寶額，2003)。

OP-FTIR 於石化工業區的應用量測方式是利用 2 台 OP-FTIR 於上下風處的周界同步量測；在風向固定的環境下，廠內洩漏將只在下風處之 OP-FTIR 測得；同理，若廠外洩漏，則上風處測得的濃度應高於下風處，而且上風與下風處皆可測得。

OP-FTIR 因可長期且連續量測，因此將量測結果相對於時間作圖，可得污染氣體濃度變化趨勢，藉此可判別污染物的排放行為特性，例如可以舉證：夜間非法排放、連續性逸散、異常洩漏、定時性非連續排放行為。藉由污染排放特性之判定，對工廠而言，可協助追蹤污染源之所在，以便在問題未擴大前，及早因應；對環保主管機關而言，則可提供管制

重點，提升查核成效。如圖 3.6 所示，開徑式紅外線遙測技術量測舉證，後勁地區有半夜排放甲苯之行為。



圖片來源：高雄市環保局，2004

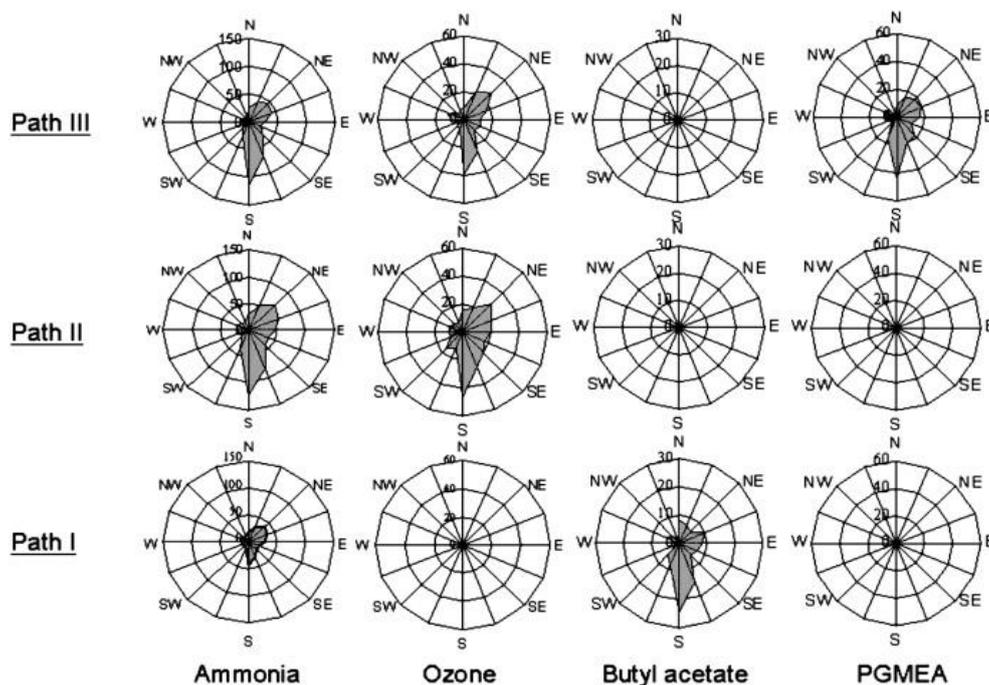
圖 3.6 開徑式紅外線遙測技術量測案例

OP-FTIR 於半導體廠的應用。案例一：可以應用來評估外氣對無塵室內空氣品質之影響。一般說來，無塵室的氣流採貫穿樓層式循環氣流，大部分為循環空氣，少部分為外氣；因此無塵室之空氣品質，亦可能受廠外之污染物所影響。利用一部 OP-FTIR 架設於廠房外側空調進氣口處，進行長時間連續量測，並架設一簡易型氣象站，同步蒐集風向資料，以瞭解外氣中污染物的種類與濃度，以及污染物的來源風向。案例二：協助無塵室作業環境空氣品質監測。一般而言，無塵室污染的成因，大部分是製程所使用的化學品和清潔用的有機溶劑逸散所造成。無塵室空氣中微量的污染物存在，嚴重時足以影響產品的良率，而輕微時也足以造成異味的擴散，影響無塵室的空氣品質，及現場工作人員的工作舒適度與工作效率。利用 OP-FTIR 架設於無塵室各製程區內，以評估無塵室空氣中污染物之種類、逸散之濃度、逸散之型態等，再根據量測結果，謀求解決之道。

於 OP-FTIR 具備長時間連續量測、不需經過採樣程式、量測範圍廣大、多化合物同時量測、量測自動化、量測樣品可永久保存等多項特點，且根據在石化業與半導體業應用的成功案例，預期未來將可轉移應用在

船舶空氣污染排放之監督與稽查業務面向，以建立及提升我國港灣城市之國際形象。

此外，Tsao et al., (2011) 同時使用三個 (OP-FTIR) 光譜儀進行 3 天連續監測的功效。相應的監測路徑在位於高科技工業園區的半導體製造廠及周邊光電電子相關工廠的可能排放源之間分配。可檢測的化合物有氨、臭氧、乙酸丁酯和丙二醇單甲醚乙酸酯 (PGMEA)。本研究的結果表明，OP-FTIR 監測路徑的分配對監測效果很重要。例如，與路徑 III 相比，路徑 II 檢測到的氨氣較高且風向偏南，如圖 3.7。此外，如果廢氣以不同的風向從煙囪中釋放出來，僅使用一條路徑的 OP-FTIR 監測可能會漏掉一些排放的化合物。總的來說，這項研究表明，具有多路徑的適當設置將提高 OP-FTIR 識別排放源的功效。因此，我們得出結論，應考慮同時多路徑操作的 OP-FTIR 來調查相對複雜的事件，例如在人口稠密的廠區、多排放源的監測，以提高 OP-FTIR 監測的效率。



圖片來源：Tsao et al., 2011

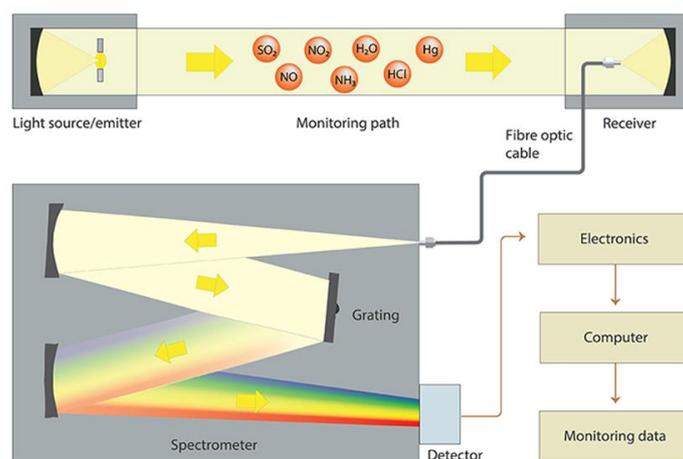
圖 3.7 風玫瑰圖路徑平均濃度

3.3.4 差分吸收光譜法 (DOAS)

DOAS 是差分吸收光譜法 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, 以下簡稱 DOAS)。根據 Beer-Lambert 定律，不同的氣體分子對於光能的吸收有著不同的特徵吸收光譜，因此通過對各監測氣體在光路中特徵吸收光譜的分析，可以精確快捷地計算出監測範圍內該氣體的濃度。

DOAS 方法採用氙燈作為光源，其發出的光譜包含包括整個由紫外 (UV)、可見光(VIS)到紅外 (IR) 組成的波段。UV-DOAS 分析儀可在 200-500nm 波段內分析，所以可監測不同項目，如 O₃、SO₂、NO₂、NO、NH₃、苯、甲苯、二甲苯、Hg、苯酚等氣體。因此，適合應用來監測船舶排放之污染物，例如：SO₂、NO₂、NO、及苯環類等具有不飽和鍵之污染化合物。

由於每種類型的分子，每種氣體，都有其獨特的吸收光譜特性，或"指紋"，因此可以同時識別和確定光路徑中幾種不同氣體的濃度。DOAS 基於從特殊源 (高壓 Xenon 燈) 將光束傳輸到所選路徑上，然後使用先進的計算機計算來評估和分析路徑上分子吸收造成的光損耗。Xenon 燈的光線非常強烈，包括可見光譜以及紫外線和紅外波長。光線由接收器捕獲，並通過光纖進行到分析儀。該光纖允許將分析儀安裝在遠離潛在腐蝕性環境中。分析儀包括一個高品質的光譜儀、一台電腦和相關的控制電路(見圖 3.8)。光譜儀使用光學光柵將光分割成窄波長帶。可以對此進行調整，以便檢測最佳波長範圍；光被轉換成電信號；一條狹窄的狹縫以高速掃過探測器，並構建了大量的暫態值，以形成相關波長範圍內的光譜圖像。此掃描重複一百次每秒，被標記的光譜在計算機記憶體中累積，等待評估。剛剛從光路徑標記下來的吸收光譜與計算機計算的吸收光譜資料庫進行比較。計算機可以通過更改每個參考頻譜的各項因素大小進行最佳化操作，直到達到最佳匹配，因此，可以高精度計算不同的氣體濃度。



圖片來源：Find Light BLOG, 2020

圖 3.8 差分吸收光譜法監測示意圖

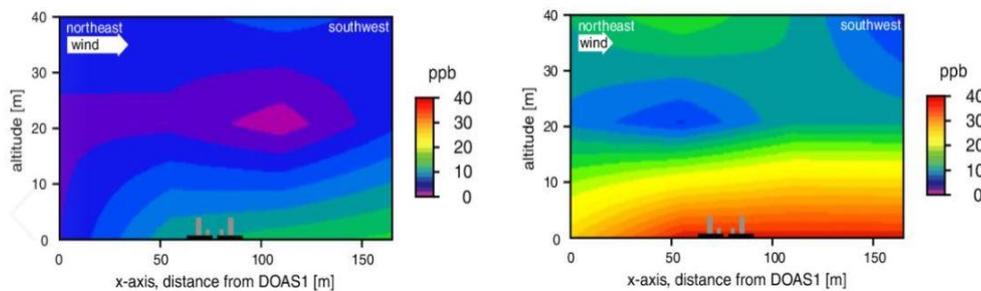
1. 紫外差分吸收光譜 (UV-DOAS)

李國璋 (2010) 使用紫外差分吸收光譜 (Ultraviolet Doppler Optical Absorption Spectroscopy, UV-DOAS) 單一監測路徑針對高雄國際機場航道下環境空氣品質進行量測大氣中空氣污染物平均濃度，並透過相關文獻資料蒐集與分析，探討實場量測與儀器比對之成果，並和鄰近空氣品質監測站之監測資料加以比較，藉以評估開徑式光學遙測系統之性能。藉由開徑式光學遙測法和定址式抽氣量測法之比對結果顯示， O_3 及 NO_2 之相關性最佳， SO_2 與 NO 則可能因局部污染源排放之差異，而導致相關性略差。整體而言，在量測法規污染物（如： NO_2 、 SO_2 、 O_3 等）方面，開徑式光學遙測和傳統定址式監測結果具有良好的一致性。此外，開徑式光學監測系統尚可同時監測空氣中低濃度揮發性有機污染物（如：苯、對-二甲苯和甲苯），充分顯示其對空氣品質監測的實用性及靈敏度，故其監測結果具有正確性及可信度，因此未來應可作為環境空氣品質監測的標準方法之一。

曾獻弘 (2001) 研究論文係以建立 UV-DOAS 之光學遙測技術應用在高雄中油之環境大氣中微量污染氣體之量測。針對儀器偵測極限方面，UV-DOAS 對 BTEX (Benzene、Toluene、p-Xylene、Ethyl benzene) 具有相當好的靈敏度，甲苯為 1.75ppb、苯 0.5ppb、乙基苯 0.6 ppb 及對-二甲苯 1.09 ppb，另外二氧化硫及二氧化氮分別為 0.80 ppb 和 0.77 ppb，而甲醛的靈敏度則明顯較差，為 3.42 ppb。精密再現性方面，各監測物種的精密度大致

介於 0.5%~1%，顯示 UV-DOAS 具有相當好的再現性。準確性測試方面經計算之後，大致介於 85%~115%之間，相當接近實際濃度。

緬因州環境保護部 (Maine Department of Environmental Protection, MDEP) 在南緬因大學安裝了一個 UV-DOAS 系統來監測來自 295 號州際公路的污染排放。光源安裝在圖書館上方，而接收器安裝在高速公路下方的停車場。以便民眾可以在網站上找到臭氧、二氧化硫、二氧化氮、苯、甲苯、二甲苯、甲醛和苯酚氣體水準的即時量測數據。Find Light BLOG (2020)表示在義大利米蘭的一條主要公路上的兩側使用了兩座 50 m 的塔，相距約 700 m，然後在每座塔上沿直線放置了四個反射器，相距 10 m。DOAS 儀器使用從兩座塔反射的背景輻射作為光源。DOAS 儀器測量了高速公路上車輛排放和其他污染物。最後，從圖 3.9 可見他們獲得了成功的二維和三維斷層掃描圖，顯示靠近高速公路的污染物濃度最高。這項研究證實了 UV-DOAS 是一項很有前途的技術，它可以為我們提供數據，讓我們更加清楚地瞭解大氣中殘留的化學物質的濃度和種類。

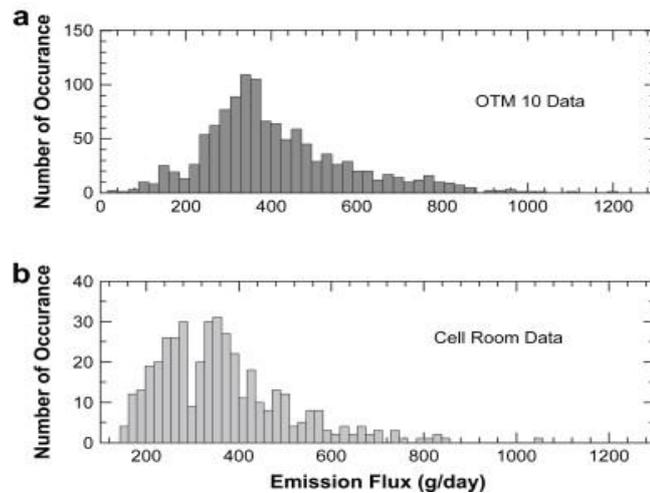


圖片來源：Find Light BLOG, 2020

圖 3.9 高速公路上的 UV-DOAS 斷層掃描圖

Thoma et al., (2009) 指出美國環境保護署 (USEPA) 對美國東南部的一間汞電池氣鹼工廠 (MCCA) 進行了氣態汞的逸散量限制，使用 USEPA 方法 OTM 10 (非點源排放特徵的光學遙感) 估算場地總氣態汞逸散量，該項目結合了 OTM 10 (UV-DOAS) 和單元房屋頂通風監測系統來估計 2006 年 (9 月 21 日至 11 月 12 日) 為期 6 週，53 天時間內的氣態汞逸散量，目的是為了確認廠區的總氣態汞逸散量是否與歷史 EPA 估計的排放量 1300 g/day 接近。結果顯示，兩種監測方法排放量 400 g/day 總體平均值相似，最大值約為 1200 g/day，如圖 3.10。OTM10 測量結果顯示比單元房屋頂通風監測系統高約 10%，表示來自單元室屋頂室外的逃逸排放

產生的影響雖然小，但 OTM10 可測量對該測點的影響。

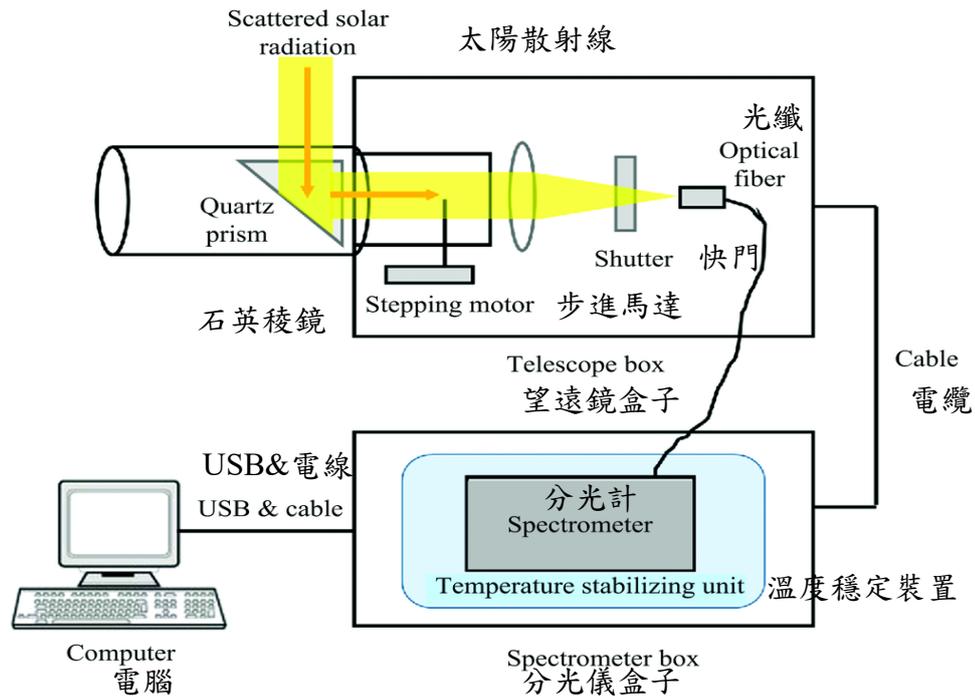


圖片來源：Thoma et al., 2009

圖 3.10 連續 24 小時監測氣態汞逸散通量總值；(a) OTM 10(非點源排放特徵的光學遙感)數據，(b) 單元室數據。

2. 多軸差分吸收光譜儀 (MAX-DOAS)

除了使用 UV-DOAS 監測陸上空污排放外，許多研究人員還陸續開發利用多軸差分吸收光譜儀 (Multi-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy, MAX-DOAS) 監測船舶排放對空氣污染的影響。MAX-DOAS 是一種無源遙感技術，用於測量地平線上方多個觀測方向和高仰角度(0~180°)的分散太陽光，以量化低空和自由對流層中的的微量氣體 (Hönninger et al., 2004; Wittrock et al., 2004)。MAX-DOAS 觀測不僅限於地面應用，還可以在不同的移動平臺上進行，如汽車、飛機，或船舶 (Hong et al., 2018)。MAX-DOAS 的主要是基於光譜儀的功能來測量大氣光譜，利用 Lambert-Beer 定律及差分吸收的方法，根據相應微量氣體的吸收截擬合出氣體的濃度。MAX-DOAS 系統可同時測量多種氣體成份，而且可以在白天以全動方式全年運行 (Hendrick et al., 2014)。MAX-DOAS 系統的基本設置包括寬頻光源、通過大氣傳輸光線的光學設置以及記錄吸收光譜的望遠鏡和光譜儀探測器 (Hendrick et al., 2014; Hao-ran et al., 2021)。MAX-DOAS 儀器結構示意圖，如圖 3.11：



資料來源：Hao-ran et al., 2021

圖 3.11 MAX-DOAS 儀器結構示意圖

MAX-DOAS 可用於局地空氣質量監測、污染源排放實施監測、大氣背景的監測、衛星數據校驗及區域污染輸送監測(組網)。與傳統的固定式技術相比，MAX-DOAS 精度高，且不需要進行氣體採樣及校正，操作簡單，能夠同時對多種大氣污染物進行長期的連續在線監測 (Platt and Stutz, 2008)。MAX-DOAS 優點彙整如下：

- (1) 測量精度高，檢測下限低；
- (2) 屬非接觸測量，不會改變被測氣體的性質和濃度；
- (3) 可實時、連續、長期運行；
- (4) 操作簡單、維護方便、運行成本低；

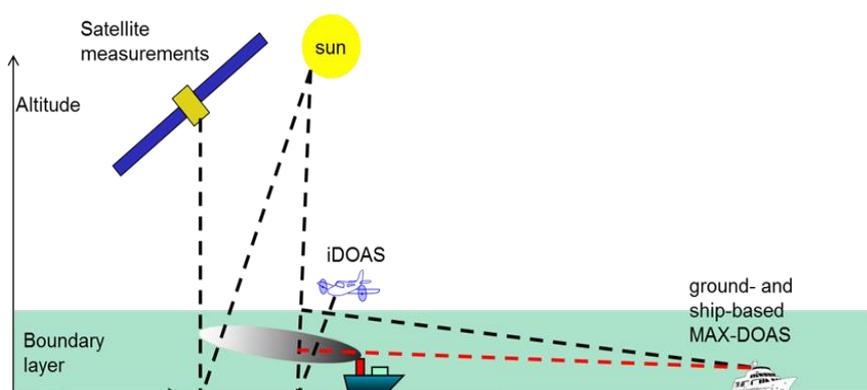
可同時監測多種污染氣體(如 O_3 、 SO_2 、 NO_2 、 $HCHO$ 、 BrO 、 O_4 等)。

MAX-DOAS 主要是光的強度會在穿越 SO_2 、 NO_2 和臭氧等吸收介質過程中減弱。光路中的污染物分子數量與被吸收的光之間存在一定的關係。通過分析穿過船舶尾氣煙流的光譜，可以確定相關污染物，併計算光路上的污染物的量(自然資源保護協會，2016)。

MAX-DOAS 是可長期的環境監測(如 HONO、 NO_2 、甲醛和氣溶膠等)的有用技術。近年來，MAX-DOAS 一直用於研究對流層的 NO_2 濃度

(Hendrick et al., 2014; Chan et al., 2020; Kang et al., 2021)。如中國 Hong et al., (2018) 利用 MAX-DOAS 觀察長江沿海 2015 年冬季船舶對流層微量氣體 (如 NO_x 、 SO_2) 沿長江的分佈。研究表示大氣污染物的空間分佈受氣象條件影響較大，污染物濃度與風速呈正相關。

MAX-DOAS 亦可量測船舶煙流，推估船舶和陸源對北海沿海地區的空氣污染的貢獻。主要是透過調查燃油中 SO_2 濃度，利用 SO_2/NO_2 比值，獲得煙流中含硫量 (Seyler et al., 2017)。MAX-DOAS 旨在監測更大的航道區域 (6-10 km) 範圍的空氣質量，也可用於檢測每艘船舶的污染排放 (Seyler et al., 2019)。圖 3.12 及圖 3.13 為使用 MAX-DOAS 海上及陸上監測船舶空污之示意圖。



圖片來源：Wittrock et al., 2014

圖 3.12 MAX-DOAS 海上監測船舶空污之示意圖



圖片來源：Wittrock et al., 2014

圖 3.13 MAX-DOAS 陸上監測船舶空污之示意圖

Cheng et al., (2019) 利用多軸差分光學吸收多光譜法 (MAX-DOAS) 對中國上海和深圳的中國船舶排放控制區 (ECA) 不同交通條件下船舶排放的 SO_2 和 NO_2 排放進行監測。Cheng 等人研究在兩個區域選擇了三個典型的測量站來代表以下排放情境：船舶靠泊、內河航行船舶及深水港進出港船舶。在上海外高橋集裝箱碼頭，利用二維掃描，MAX-DOAS 可以輕易識別船舶在泊位排放的 SO_2 和 NO_2 的位置及強度；在吳淞碼頭內河航道區域，由於航運量大，背景環境複雜，難以針對單一船舶排放進行監測。但在長期使用 MAX-DOAS 監測下，結果表明 SO_2 和 NO_2 的變化量與船舶流量及氣候條件息息相關。在不穩定的氣候條件下，船舶污染物擴散程度相對較低；在公海水域的鹽田深水港，MAX-DOAS 所測量 SO_2 和 NO_2 的差分斜柱濃度 (DSCDs) 是透過儀器觀察船舶的煙流，污染物的濃度值計算源自於船舶的煙流。在 MAX-DOAS 監測下，大氣中的 SO_2 及 NO_2 水準的變化會受船舶移動而變化，持續時間約 10~30 分鐘。通過對 SO_2 和 NO_2 DSCDs 的線性回歸分析，發現 SO_2/NO_2 比值有利於判斷船舶硫排放。結合燃料樣品分析和船舶資料 (AIS)，入港船舶和拖船的煙流中 SO_2/NO_2 的比例通常低於 1.5，遠小於其他船舶。當煙流中的 SO_2/NO_2 比率較高時，普遍意味著該船舶沒有遵守 IMO 2020 的含硫量限制。利用 MAX-DOAS 有利於監測船舶排放的 SO_2 和 NO_2 比值。然而，由於監測波長範圍的限制，船舶排放的主要污染物 NO_x 和 CO_2 無法被監測到，且 MAX-DOAS 採用太陽散射光作為光源，在晚上無法使用，或在黃昏和下雨天的環境下觀測值也存在較大的誤差。

MAX-DOAS 最大優勢在於能夠從距離船舶 6km 處遠程檢測廢氣煙流 (Wittrock et al., 2014)。DOAS 檢測系統相比嗅探器精確度略差，但可用於區分使用高硫油和低硫油的船舶。與嗅探器相比，光學測量受大氣污染物背景濃度或其他過往船舶排放的影響較小。

MAX-DOAS 對於環境大氣，其反演演算法較為繁瑣，一般都要用到大氣輻射傳輸模型。MAX-DOAS 是屬於被動式裝置，低耗能、可同時分析多種污染物，只能在白天或黃昏時間運行。若要解決這個問題，需要格外裝設鐳射、弧光燈、或 LED 燈作為照明源，但通常需要高功率，且不適用於偏遠地區 (Carlson et al., 2010)；此外 MAX-DOAS 的數值需要經過繁瑣的計算過程，缺乏公認的標準程式且具有複雜的誤差值估計

(Wagner et al., 2004; Frieß et al., 2006)。MAX-DOAS 檢測不確定性很大程度是取決於儀器設備。光通過性越好，其精確度就越高。此外，污染物濃度和種類也會起到一定決定作用，因為有些氣體的吸收性較好，可以更容易進行測量。研究指出，MAX-DOAS 設搭載於飛機設備的總體不確定性可達 30%~45%，需架設於陸地的總體不確定性約 10%~30%之間 (Balzani Lööv et al., 2014)。

3.3.5 光學雷達 (LiDAR)

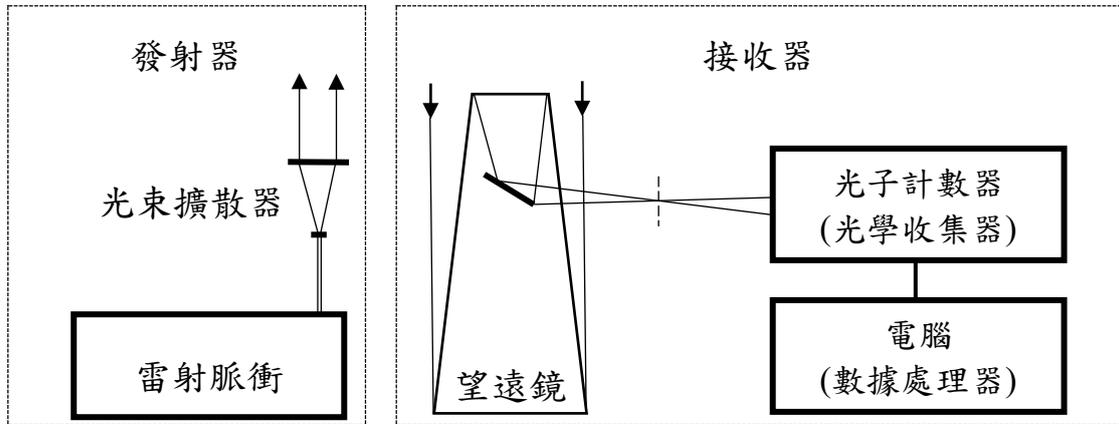
光學雷達，或簡稱光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR) (NOAA, 2013)，或稱雷射雷達 (Laser Radar)。LiDAR 是一種光學遙測技術，它通過向目標照射一束光，通常是一束脈衝雷射來測量目標的距離等參數。雷射雷達在測繪學、考古學、地理學、地貌、地震、林業、遙感以及大氣物理等領域都有應用 (Cracknell and Hayes, 2007)。

LiDAR 主要是利用對人類跟牲畜無害的紅外光束 Light Pluses 發射、反射和接收來探測物體。LiDAR 是一套結合數位攝影及雷射測距儀的技術，其高精度、能快速覆蓋大面積、亦可在陡峭的地形和陰影中收集數據。LiDAR 能探測白天或黑夜下的特定物體與車之間的距離。甚至由於反射度的不同，LiDAR 也是可以把車道線和路面區分開。但是，LiDAR 設備較貴、無法探測被遮擋的物體、對於大數據較難解釋和處理，且沒有國際協議 (Xingwei, 2019)。

依據搭載平臺不同，雷射雷達可以分為星載雷射雷達 (Spaceborne Lidar)、機載雷射雷達 (Airborne laser Scanner, ALS)、無人機雷射雷達 (Drone Laser Scanner, DLS)、車載雷射雷達 (Vehicle-mounted Laser Scanner, VLS) 和地基雷射雷達 (Terrestrial Laser Scanner, TLS) (郭慶華等人, 2018)。

LiDAR 傳感器快速發射雷射脈衝 (通常最高可達每秒 150000 次脈衝)，雷射信號到達障礙物後反射回 LiDAR 傳感器 (每日頭條, 2018; Yin et al., 2021)。根據行政院環境保護署指出 LiDAR 可初步分為發射器 (transmitter) 及接收器 (receiver) 兩部分，發射器主要由雷射脈衝 (laser pulses) 製造固定波長且單一頻率的脈衝光，並經過光束擴散器 (beam expander) 發射至大氣中，當脈衝光受大氣反射時，再經由接收器內的望遠鏡 (telescope) 接收

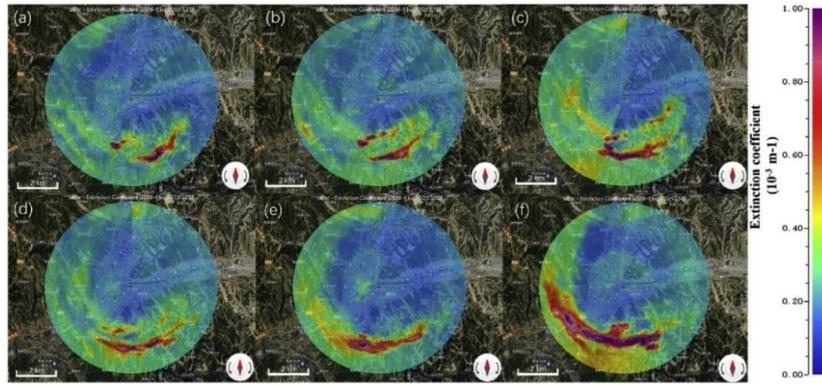
散射光，集中此散射光經由光子計數器 (detector) 定量測量，最後紀錄於數據處理器 (電腦) 之中 (空氣品質監測網，2021)。LiDAR 基本構造如圖 3.14 所示。



圖片來源：行政環境保護署空氣品質監測網

圖 3.14 LiDAR 系統設置原理圖

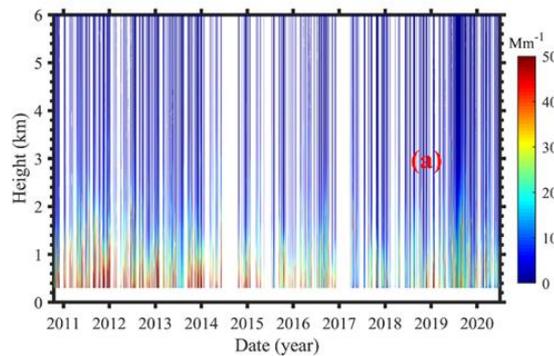
LiDAR 可以即時監測大面積大氣顆粒物的分佈和變化，而固定式感測器只能測量局部濃度。Xian et al., (2020) 開發了光達掃描系統，對城市空氣污染進行實時檢測及找出空氣污染源。該研究首先檢索大氣消光係數 (Atmospheric Extinction Coefficients)，其後利用數據建立光達地圖。使用平均大氣消光係數的光達地圖，找出地點中最大值的位置，從而確定城市空氣污染源的位置。經過多次實驗，Xian 等人選擇使用 LiDAR，放置在 360°掃描平臺上，形成掃描光達系統。從圖 3.15 可見它們之間的差異很小。從圖中亦可以觀察到有受到污染的地區以及污染的情況 (如污染水準增加、擴散現象等)。從所有的鐳射雷達圖中，我們可以清楚地看到城市各個位置的大氣狀況。這比使用單一傳統監測站獲得的映射更有意義。因在一些低空 (low-altitude)、低豐度 (low-abundance) 的污染，光達掃描是無法檢測到的。因此，在實際應用中，掃描設備應放置於視野開闊的位置，及需要設置一定的角度來避開視野內的高建築物。



圖片來源：Xian et al., 2020

圖 3.15 2018 年 11 月 19 日 呂梁市大氣消光係數 (10^{-3} m^{-1}) 光達圖

Yin et al., (2021) 利用 LiDAR 於 2010 年 10 月至 2020 年 6 月在中國武漢 (30.53°N , 114.37°E) 進行了量測，並使用自動鐳射雷達處理演算法分析了大量數據，以研究氣溶膠 (Aerosol) 的長期變化；LiDAR 作為檢測氣溶膠的強大工具，可以提供氣溶膠分佈和氣溶膠形狀的時空解析度圖像 (如圖 3.16)。LiDAR 可量測的總氣溶膠光學深度 (Aerosol Optical Depth, AOD) 為 532 nm。經研究發現自 2010 年~2020 年來 AOD 總量年際下降率為-0.049。與全球其他大城市的 AOD 相比，中國武漢的 AOD 下降率最大。結果顯示，AOD 下降率超過 80% 與減少當地排放有關。



圖片來源：Yin et al., 2021

圖 3.16 2010~2020 年武漢市氣溶膠 LiDAR 光學剖面圖

3.3.6 連續自動監測設施(CEMS)

根據行政院環境保護署(以下簡稱環保署)公佈的「空氣污染防治法」第 22 條規定：公私場所具有經中央主管機關指定公告之固定污染源者，應設置連續自動監測設施(Continuous Emission Monitoring Systems, CEMS)，連續監測其操作或空氣污染物排放狀況；其經指定公告應連線者，其監測設施應與主管機關連線。

環保署自 82 年起至 104 年間已陸續公告第 1 批至第 4 批「公私場所應設置連續自動監測設施及與主管機關連線之固定污染源」，凡達公告條件之各行業鍋爐、水泥業、鋼鐵冶煉業、廢棄物焚化爐、石化業及紙漿業者均為列管對象，共計已連線監控全國 113 家公私場所及 323 根次排放管道(統計至 108 年 12 月止)，已掌握全國硫氧化物及氮氧化物排放量約 73%以上(行政院環境保護署，2021)。

公私場所符合環保署公告「公私場所應設置連續自動監測設施及與主管機關連線之固定污染源」之列管條件者，應依規定之監測項目進行 24 小時連續監測，並連線至地方環保局，監測項目包括粒狀污染物不透光率、二氧化硫、總還原硫、氮氧化物、氯化氫、一氧化碳、氧氣、排放流率、各碳數非甲烷碳氫化合物及高反應性揮發性有機物質等，監測頻率為粒狀污染物不透光率為 6 分鐘 1 筆，氣狀污染物為 15 分鐘 1 筆。

CEMS 屬於固定污染源量測技術，維護成本高(每台分析儀的費用約新臺幣 30~40 萬元)，數據品質要求嚴謹，如新增訊號平行比對測試程式；監測設施應每 2 年送協力廠商認證或驗證單位進行審查；公私場所每月一定時數執行校正、維護與保養所需時間；公私場所應傳輸每分鐘原始數據之規定...等等。若未來規劃利用 CEMS 來偵測船舶含硫量，每艘船舶煙囪上均需安裝 CEMS，且需要定期檢查及維護。設置一台完整的 CEMS 普遍 10 萬美金起跳(約新臺幣 282 萬元)(Chien et al., 2003)，安裝成本及維護成本昂高。就現今而言，船商已因 IMO 含硫量規定，於船上安裝脫硫塔或使用低硫油來符合國際要求，若主管機關要求船舶煙囪安裝 CEMS 將對船東帶來格外的負擔。

3.3.7 微型感測器

簡易型空氣品質監測器(如圖 3.17)可依所需監測項目安裝不同的感元件，可監測項目包括：PM_{2.5}、溫度、二氧化氮、臭氧及揮發性有機物等，現階段以溫度、PM_{2.5} 等感測元件技術較為成熟。PM_{2.5} 感測元件量測原理為光學方式(光散射原理)量測微粒數量，經轉換為 PM 後，透過通訊模組傳輸即時數據。由於簡易型空氣品質監測器不像自動監測站具有粒徑篩選及去除干擾的設計，微粒外形及粒徑也易受溫濕度等干擾而改變，相關干擾因素可能會造成量測上的誤差(鄭玟芬，2019)。



圖片來源：鄭玟芬，2019

圖 3.17 簡易型空氣品質監測內部及其感應元件

船舶污染與空氣品質相關之關鍵化合物，包含有：PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂、VOC、溫度、濕度、pH...等參數，前述每項參數，目前市面上都有不同功能表現之感測器，總體稽查規劃考量時，也可以考量將以上感測器，選用裝在岸上、船上、或船舶的煙囪，賴以收集空氣污染之大數據；這些大數據可以連線到管制中心，即時監管；亦或可以儲存在電腦記憶體內，抽查時可以下載分析，幫助瞭解實際維運狀況。

市面上因應環境安全衛生或工安防護的需求，ppm 等級的工安感測器，已很普遍。近年來因應空氣品質監測與研究需求，ppb 等級的感測器，也陸續開發出來。市面上的感測器會因檢測項目及其規格不同而定價不一，如偵測範圍、溫度感測、準確度、感應時間、濕度感測等因素。市面上微型感測器彙整如表 3-6 至表 3-8：

表 3-6 市面上販售之感測器

感測器	尺寸 (mm)	重量(g)	偵測項目	PM 偵 測範圍 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	濕度適 用範圍 (RH)	溫度適 用範圍 ($^{\circ}\text{C}$)	TVOC (ppm)	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m^3)	干擾源	價格 (新臺幣元)
AI-2002W	135.03 x 135.05 x 35	210	PM ₁₀ ·PM _{2.5} 溫度、RH、 TVOC、 HCHO	0 - 500	0 - 100%	0 ~ 65	0 - 1,000	400- 2000	0 - 1	火源、暖氣或極端溫、 濕度的環境	約 7,000
AI-1001W V3 AirBox	150 x 110 x 47	210	PM ₁₀ ·PM _{2.5} 溫度、RH	0~500	0 ~ 100% , ±5%	0 ~ 60 ±1	-	-	-	火源、暖氣或極端溫、 濕度的環境	約 4,000
AirRun Q10	84 x 146 x 75	215	PM ₁₀ ·PM _{2.5} 溫度、RH、 TVOC、CO ₂	0~500	0~99%	0~45	0-20	400- 3500	-	-	約 3,000
The SDS011	71 x 70 x 23	50	PM ₁₀ ·PM _{2.5} 溫度、RH	0-999	0~70%	-20~50	-	-	-	噪音	約 1,300
The Plantower PMS1003	65 x 42 x 23	60	PM ₁₀ ·PM _{2.5} 溫度、RH	0~500	0~99%	-20~50 $^{\circ}\text{C}$	-	-	-	灰塵堆積	約 1,600

資料來源：本研究彙整

表 3-7 市面上販售之 SO₂ 感測器

感測器	類型	尺寸 (mm)	重量(g)	偵測範圍(ppm)	溫度適用範圍(°C)	濕度適用範圍 (RH)	準確度 (%)	靈敏度 (µA/ppm)	感應時間	MDL	市售價 (新臺幣元)
Aretas Aerial	載具式	172x118x34	~600	0~20ppm	-30~50	0~100	±3	-	<15 秒	Resolution <20 ppb	約 90,000
Alphasense SO ₂ -D4	固定式 攜帶式	14.5 x 8.3 (+4)	<2	0~20ppm	-20~50	15~90	-	180~420	<15 秒	Resolution < 0.2 ppm	約 10,000
ME4-SO ₂	固定式	32x14.5(+1)	25.07	0~20ppm	-20~50	15~90	-	0.8±0.2	≤30 秒	Resolution 0.1ppm	約 6,000
SAFEGAS-SKY2000-M5 MULTI 5 IN 1	攜帶式	205x75x32	330	0~20ppm	-20~50	0~95	≤±3	-	≤10 秒	0.01、0.1、1ppm	約 30,000

資料來源：本研究彙整 (價格以臺灣銀行即期匯率 110.04.21 計算)

表 3-8 市面上販售之 NO₂ 感測器

感測器	尺寸 (mm)	重量 (g)	靈敏度 (nA/ppm)	感應時間 (s)	偵測範圍 (ppm)	溫度適用 範圍(°C)	濕度適用 範圍 (RH : %)	壓力適用 範圍(kPa)	MDL	市售價 (新臺幣元)
ES4-NO ₂ -50	20.00x16.60 (+4.00)	< 6	-20±10	T50 : <10 T90 : 30	50	-40 to 50	10-95	80 to 120	Resolution 0.1 ppm	約 6,000
EC4-20-NO ₂	20.20x16.60 (+4.30)	5	450 to 750	T90 : <30	0 - 20	-20 to 50	15-90	90 to 110	Resolution 0.1 ppm	約 5,000
SGX-4NO ₂ -2E	20.00x16.50	-	300 ± 100	T90 : <60	0 - 20	-30 to 50	15-90	80 to 120	Resolution ±0.1ppm	約 2,000
SGX-4NO ₂	20.00x16.50 (+4.3)	10.257	600±150	T90 : <30	0 - 30	-30 to 50	15-90	80 to 120	Resolution 0.1 ppm	約 2,000

資料來源：本研究彙整

3.3.8 無人機搭載偵測器

無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 意即無駕駛人員之航空載具，於早期 UAV 擁有的自主性高、機動性強以及無人化等優點，被廣泛地運用於軍事用途中，如軍事情報的蒐集、國土領域的偵巡等軍用任務。依照載具機體結構的不同，可將常見的 UAV 分為固定翼與多旋翼兩種 (Bendea et al., 2008; Kang et al., 2012)，多旋翼 UAV 亦可稱為多軸 UAV，通常由發動機驅動的獨立水準螺旋槳翼產生推進力以達到升空和前進飛行的動作。正常飛行時，UAV 的旋翼被前進時的相對氣流吹動而自旋，從而產生上升浮力使載具飛行，如直昇機和旋翼式的螺旋槳飛機等。該類型的 UAV 較不受地形環境限制，具有定點起降、空中懸停的能力，能夠使用於固定點位的空中監測。由於 UAV 的行進飛航、上升浮力都需要由自身的螺旋槳翼產生，屬於較為耗損能源的飛行方式，相較於固定翼機體結構的 UAV 而言是屬於較短程航距內的飛行模式。然而由於早期的微型控制器 (Micro Controller Unit, MCU) 運算能力不足、電子元件設備製程技術無法有效減輕重量，且降低雜訊與抑制干擾技術亦尚未成熟，其許多技術未被克服的狀況下，使 UAV 在民間一般企業廠商並不是一主流研發方向。隨著近幾年資、通訊控制技術發展迅速、日趨成熟，其積體電路、晶片製程之體積愈加微型化，且運算速度亦倍數上升，使 UAV 領域的發展在最近幾年得以蓬勃向上 (Singh and De Silva, 2018)。開發成本不似以往所費不貲，且全球衛星定位 (Global Positioning System, GPS) 模組、電子陀螺儀及微型控制器等電子設備體積不斷微型化，而運算能力越來越強大的今日，促使 UAV 不再侷限於軍事用途上，於坊間之可見度有如爆炸性成長般，舉凡自然環境的探勘、防/救災之監控及商用空中攝影等，皆可見其身影。

UAV 主要架構可分為動力輸出系統、飛行控制系統及無線控制系統三部分，其中動力輸出系統包含電子變速器、無刷馬達與槳翼，由於多軸 UAV 架構上可分為 4 軸、6 軸、8 軸等，而無刷馬達啟動時每顆馬達轉速不盡相同，因此每顆無刷馬達須裝載一電子變速器用以控制無刷馬達轉速，而槳翼則依靠無刷馬達做動帶動多軸 UAV 升空，載具動力輸出系統架構如圖 3.18 所示：

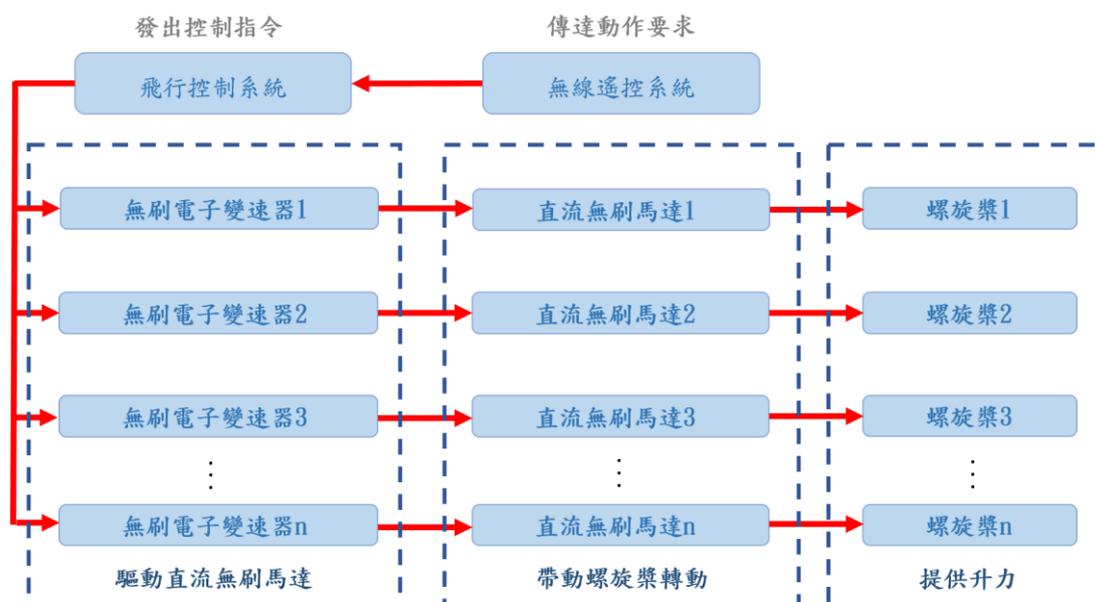


圖 3.18 載具動力輸出系統架構

飛行控制系統部分則包含飛行控制板與相關感測元件，如圖 3.19，包括三軸加速度計、陀螺儀、GPS 定位模組等，特別是較為高階的飛行控制系統，可以整合多項模組元件與技術，包括：控制晶片、微型控制器、相關感測模組、影像識別技術及演算法等，其技術構成多軸 UAV 應用的可行性。飛行控制板為多軸 UAV 核心主要是控制載具的飛行姿態，當飛控板接收到遠端控制指令後，即讀取三軸加速度計與陀螺儀等感測元件數據，再經由糾正演算法如 (Proportional Integrative Derivative, PID) 進行載具飛行姿態的計算後，達到控制載具各直流無刷馬達轉速目的，而飛行姿態中的滾轉角與俯仰角是根據飛行控制板上的三軸加速計與三軸陀螺儀所做出的即時偵測，偏航角則是根據飛行控制板上的電子羅盤所偵測出的數值而呈現，此類的飛行姿態資訊不需要透過衛星通訊的應用，只需依據 UAV 飛行控制板上的電子模組即可有精確的飛行姿態訊息。較高階的飛行控制系統則包含全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 模組、電子羅盤、氣壓計及相關感測模組，用以增加載具的穩定度與安全性。

在真實場域環境飛行時，衛星定位的資料中的衛星數量與 GPS 量測誤差值有重要的相關性。GPS 訊號的經緯度、對地高度與對地相對速度都能夠提供飛行導航中重要的參考資訊，隨著飛行場域環境所能擷取到的衛星數量越多則可大幅提高可獲得量測參考之數據，特別是在本次研究

多軸 UAV 進行船舶空污排放偵測技術開發可行性評估部分，需透過載具端飛行控制演算法判讀載具與海上欲偵測之目標船舶位置，使多軸 UAV 在定位的精確度上得到更可靠的資訊。目前，較為高階的多軸 UAV 之飛行控制系統還包含飛行導航功能，主要是提供載具在進行自動飛行時相對應的航點位置與真實飛行記錄資訊，在載具進行自動飛行時可比較所回傳的資訊與計畫中飛行路徑程式，藉此判定載具飛行路徑是否相符。而飛行控制系統亦能將載具電力相關資訊回傳至地面站，主要是反應多軸 UAV 續航時間與航距，防止可能因續航能力的不足所產生的意外墜毀，目前在進行一般飛行任務時，多會針對載具最低電壓設定安全電量，使多軸 UAV 在小於安全電量時會以返回原起飛地 (Return To Launch, RTL) 方式做為安全設定。而無線控制系統又可分為發射端控制器與載具端的收發模組兩部分，主要用於控制多軸 UAV 飛行。由於電子資、通訊技術的成熟，使載具附屬功能亦越加多樣化，如飛行模式切換、自動飛航、影像拍攝與影像雲台模組控制等，因應功能多元化的發展，發射端控制器的通道數亦須增加予以對應載具各種功能的操作，早期控制器皆以調幅/調頻技術用以避免相近頻道造成干擾，頻段大多落在 27/40/72MHz，頻帶窄小，又須依據頻率分割出多通道，造成頻率範圍更加微小，須使用功率放大器解決相近頻道干擾問題 (Singh and De Silva, 2018)。在無線傳輸技術發展日趨成熟的狀況下，現今控制器多使用 2.4GHz 頻段，其頻帶範圍寬闊、可利用展頻調變技術的優點，大幅解決特定或相近頻道干擾的問題。

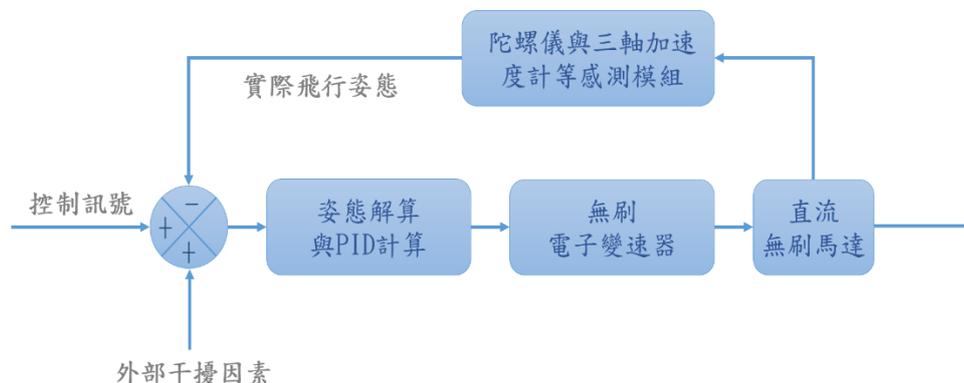


圖 3.19 控制系統運作流程

周等人 (2019) 研究指出，設計一種適用於收集船舶廢氣的無人機系

統主要由三部分組成：無人機、用於尾氣監測的輕型吊艙和移動控制終端，如圖 3.20，並於上海港港區內使用 SO₂ 和 NO₂ 感測器進行了現場測試，如圖 3.21，結果證明瞭可成功用於即時監測船舶排放。傳統方式相比提供了一種有效、準確、及時、成本相對較低的方法並考慮到操作人員的安全問題。並透過計算六股煙流中 SO₂/NO₂ 的比例，以確定船舶是否切換低硫燃料。(註：煙流系指由一個不斷發煙的噴口或煙囪所放出來的煙柱或煙塊)



照片來源：Zhou et al., 2019a

圖 3.20 終端控制畫面



照片來源：Zhou et al., 2019a

圖 3.21 無人載具飛行測試畫面

同時，周等人 (2019) 還設計並開發了一套基於無人機 (UAV) 的船舶廢氣測量系統，長江三角洲外高橋港是中國的 ECA，被選中監測燃料硫含量的符合性。通過現場或機載測量，可以確定離船舶煙囪口約 5m 處的煙流，為船舶燃料硫含量的估算提供了手段。為了驗證這種測量的準確性，收集了燃料樣品並送至實驗室進行化學成分分析，對這兩種測量方法進行了比較。經過 20 多個對比實驗，結果顯示，硫含量的估計值的偏差一般小於 0.03% (m/m)。因此，無人機測量可用於 ECAs 符合硫含量的高精度監測，如圖 3.22 及圖 3.23。



照片來源: Zhou et al., 2019b

圖 3.22 透過無人載具搭載紅外顯鏡頭飛行測試畫面



照片來源: Zhou et al., 2019b

圖 3.23 透過無人載具飛行至煙流畫面個案探討低硫政策前後差異

UAV 載具雖具備不受地形限制垂直升降與滯空停懸能力，但為有效延伸飛行滯空時間，在搭載空氣品質偵測器的選擇上，其需求以輕便、低功耗的感測模組為主。依據前述文獻團隊初步擬列出 UAV 適切搭載之

檢測設備儀器，依據偵測方式的不同，可概分為電子嗅探器、高精度光學分析儀和光學氣體成像相機等檢測設備。而空氣品質偵測器類型則可進一步分為電化學感測器、金屬氧化物半導體感測器、非色散式紅外線感測器和光電離子檢測器。

電化學感測器：將檢測氣體轉變為相對應的電壓輸出，亦是目前較為主流的電子式感測器設備，除具備成本優勢外，在偵測空氣污染物種類上亦較多元，包括 O_2 、 CO 、 CO_2 、 SO_x 、 NO 、 NO_x 、 O_3 、 NH_3 和 H_2S 等無機化合物，其偵測精度則可達到 ppm 等級甚至是 ppb 等級之濃度。檢測氣體通過感測器上的氣孔進入感測器內部，在內部產生反應並輸出電壓訊號，所輸出的訊號與目標氣體呈線性關係，再透過感測器提供之參數表將電壓訊號轉換成相對應的氣體濃度單位。電化學感測器本身的工作功率多小於 1mW，考量 UAV 消耗功率，此條件對 UAV 掛載應用極具有利條件，主要是可使 UAV 飛行作業時間盡量不受感測器消耗功率所影響，研究將可針對空氣污染偵測任務需求，掛載多個所需的感測器。

金屬氧化物半導體感測器：其工作原理是基於半導體金屬氧化物，如二氧化錫、 SnO_2 在不同工作溫度下暴露於氣體時，會使電阻值有所改變進而計算氣體濃度。在體積比較上，金屬氧化物半導體感測器比電化學感測器更小、響應時間更快且耐用度良好，然雖條件比較下優於電化學感測器，但金屬氧化物半導體感測器的輸出訊號非常容易受到濕度變化影響，進而導致偵測精度失準。

非色散式紅外線感測器：主要是利用可吸收特定波長紅外線的現象來進行氣體檢測。其應用於大氣環境監測及煙道排氣監測的案例繁多，包括監測 CO 、 NO 、 SO_x 、 TOC 等。且使用非分散式紅外線技術所發展出的儀器設備可做連續式的監測，但紅外線感測器本質上是以紅外線輻射導致感測器溫度變化進而使介電性能發生變化做感測，感測過程較為複雜且光源必須有穩定的紅外線輻射。此外，粉塵、背景輻射、強吸附等因素都會對檢測結果造成影響。

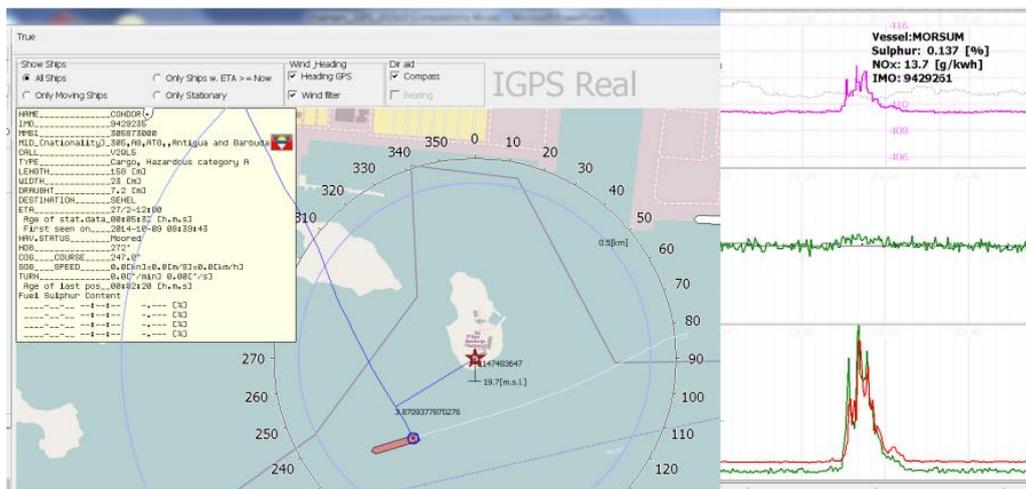
光電離子感測器：光離子檢測是利用惰性氣體真空放電現象所產生的真空紫外線 (Vacuum Ultraviolet, VUV)，使待測氣體分子發生電離，並通過測量離子化後的氣體所產生的電流強度，從而得到待測氣體濃度，其感測濃度可達 10 ppb 到 10,000 ppm 之範圍，監測氣體種類多應用於揮發性

有機化合物氣體 (VOCs)。

3.3.9 嗅探技術 (IGPS)

嗅探技術 (Identification of Gross-Polluting Ships, IGPS) 是指在大氣背景濃度下對污染物進行同步檢測，同時亦可應用於空氣品質監測。過去嗅探技術已有應用於船舶煙流污染物之監測。研究指出當過往船舶的煙流經過嗅探器時，檢測出的煙流中污染物 (NO_x、SO_x 和 PM 等) 的濃度會比背景濃度高 (自然資源保護協會，2016)。尾氣煙流中的 CO₂ 濃度能夠計算出在某一時間內燃燒的燃料的含碳量，而 SO₂ 濃度則與燃料含硫量成正比。因此，一艘船的燃料含硫量可以通過船舶煙流中的 SO₂ 和 CO₂ 濃度的比值確定 (Kattner et al., 2015)。

Ekholm et al., (2014) 開發了一套 IGPS 軟件，可以在地圖上繪製船舶，軟件可自動識別船舶煙流及利用 SO₂/CO₂ 比值計算船舶含硫量 (見圖 3.24)。嗅探器分析儀反應迅速、重量輕、體積小，適宜室外應用 (自然資源保護協會，2016)。Balzani Lööv et al., (2014) 研究發現，陸上設備和移動裝備 (後者安裝在飛機和船舶上) 中安裝的嗅探器檢測燃料含硫量所得的結果，與船上檢測 SO_x 和 NO_x 排放情況所得結果相近。



圖片來源：Ekholm et al., 2014

圖 3.24 IGPS 判別船舶煙流位置截圖

嗅探器系統能夠輕鬆操作和運行，該系統能遠端檢測船舶排放的 SO_x 和 NO_x，可用於監測船舶是否符合 ECA 和我國的 DECA 標準，以及 NO_x 於 ECA 的要求。若要使用嗅探器來判斷船舶煙流中的 NO/NO_x 和 CO₂ 濃

度，相信是現今一大難題。嗅探器架設於主導風向上，以確保船舶煙流能夠經過嗅探器。嗅探器位置最好遠離其他主要排放源，且最好設在主要航線的主導風向下風向處，從而盡可能提高探測到船舶廢氣的概率。若要克服嗅探器的局限性，可將嗅探器安裝在移動裝備（如船舶和飛機）上進行排放檢測，但需要船東同意或考慮飛機的安全性。

嗅探器需要定期校準，如每次飛行前需對機載檢測用的嗅探器進行校準；嗅探器每 25 小時自動校準一次，數個月需手動校準一次(Beecken et al., 2014)。嗅探器因會受多種因素影響（如：SO₂ 和 CO₂ 檢測訊噪比 (S/N Ratio)、排放與稀釋、儀器精確度、校正精確度...等等）。嗅探器系統檢測不確定性受到環境影響，如位置德國漢堡附近的韋德爾總體不確定性於 0.03~0.1% m/m 含硫量之間；當訊噪比非常差的時候，不確定性更高達 0.42% m/m 含硫量。哥德堡的嗅探器系統不確定性約在 0.1%~0.2% m/m 含硫量之間。因此，根據現行的排放控制區 0.1%含硫量限值規定，只有當嗅探器測量的船舶含硫量達 0.3%及以上時，才需接受進一步的合規格檢查(自然資源保護協會，2016)。

3.4 小結

本章主要蒐集國內外空氣品質偵測及採樣技術相關文獻...等，空氣中的污染化合物主要分揮發性有機化合物及無機物化合物。揮發性有機化合物的採樣方式包括 Tenax-TA 吸附劑採樣、氣體取樣袋、不鏽鋼罐採氣筒及固相微萃取(SPME)；無機物化合物採樣方法包括濕式採樣法、檢知管及掌上型感測器。空氣污染物的檢測均依據我國行政院環境保護署環境檢驗所規定之檢測方法進行，如紫外光螢光法(NIEA A416.13C)、排放管道中氮氧化物自動檢測方法 (NIEA A411.75C)...等等。

此外，本研究蒐集 9 種的空氣品質偵測技術，其包括目測判煙、影像辨識、開徑式傅立葉轉換紅外光 (OP-FTIR)、差分吸收光譜法 (DOAS) (UV-DOAS 及 MAX-DOAS)、光學雷達 (LiDAR)、連續自動監測設施 (CEMS)、微型感測器、無人機搭載偵測器及嗅探技術 (IGPS)，其優缺點及可偵測項目彙整如表 3-9。

表 3-9 各種空氣污染偵測技術之比較

監測方法	優點	缺點	可偵測項目
目測判煙	<ul style="list-style-type: none"> - 成本低廉 - 可即時判讀 - 操作簡單 	<ul style="list-style-type: none"> - 受天氣狀況干擾 - 須由訓練合格人員執行 - 受遮蔽物阻礙影響 - 主觀判斷 	粒狀污染物不透光率
影像辨識	<ul style="list-style-type: none"> - 使用方便、直接溝通 - 難以偽造及破解 	<ul style="list-style-type: none"> - 日夜間常需使用不同之處理邏輯。 - 大氣之粉塵雨霧易造成影像辨識之干擾。 - 夜間或天候不良時需輔助照明設備。 	排放煙流
OP-FTIR	<ul style="list-style-type: none"> - 量測涵蓋範圍大 - 長期而連續的即時監測污染物 - 可同時監測多種化合物 - 監測極限低(10 ppb) - 可監測污染濃度的變化趨勢 	<ul style="list-style-type: none"> - 監測濃度為光徑的平均值，無法確實量測定點的污染濃度 - 只能推論污染源大約的位置及方位 - 可監測的物種受限於標準光譜的數量 - 儀器設備及量測分析費用昂貴 - 每筆量測數據時間約 5 分鐘 	VOCs 為主
UV-DOAS	<ul style="list-style-type: none"> - 無需氣體採樣 - 可進行長期連續監測 - 可以全自動操作，操作維護成本低 - 檢測多種有機、無機化學物質 - 可以監測地形惡劣、不易取樣的地區 - 量測反應時間較 OP-FTIR 快，可達 1 分鐘 1 筆 - 受水氣干擾較 OP-FTIR 小 	<ul style="list-style-type: none"> - 氣象條件差、能見度低時，不易進行測量 - 完全吸收數種化合物，需要輔以精密的光譜運算 - 例如氧氣和 BTEX 會干擾 CO 檢測 - 監測精密度、準確度取決於光徑長度的部署和氣象條件等多種因素 	NO _x 、SO _x 、O ₃ 、BTEX、NH ₃ 、HCHO 等
MAX-DOAS	<ul style="list-style-type: none"> - 無需氣體採樣 - 同時監測多種污染物 - 測量精度高，檢測極限低 	<ul style="list-style-type: none"> - 只能白天或黃昏時間運行 	SO ₂ 、NO ₂ 、HCHO、HONO、O ₃ 、氣溶膠

監測方法	優點	缺點	可偵測項目
	<ul style="list-style-type: none"> - 可進行連續監測 - 用散射光作為光源，簡化系統大小 - 採被動式監測 	<ul style="list-style-type: none"> - 監測精密度、準確度取決於氣象條件等多種因素 - 演算法較為繁瑣 	
LIDAR	<ul style="list-style-type: none"> - 技術成熟，偵測效率高 - 主要都是應用在低空環境的監測上 - 能快速覆蓋大範圍(可長達 20~50 公里) - 不受光線影響 - 測量精密度高 	<ul style="list-style-type: none"> - 遇到障礙物容易被阻擋而無法正確測量 - 功耗高 - 數據庫極為龐大，需特殊軟體處理(如 Klett, Fernald) - 受天候和大氣影響 	大氣顆粒物(如氣膠)
CEMS	<ul style="list-style-type: none"> - 對煙氣作直接測量，無需採樣 - 基本上未改變煙氣流動狀態，而且煙氣的完整性很好 - 即時分析，回應時間快 	<ul style="list-style-type: none"> - 煙道內顆粒物、水滴和水霧對吸光效應產生干擾，易受光學污染 - 量測濃度受安裝位置影響 - 某些分析受光徑長度設計影響，低濃度測量時測量精密度和準確度降低 - 粒狀污染物不透光率為 6 分鐘 1 筆，氣狀污染物為 15 分鐘 1 筆 - 船舶為移動污染源，CEMS 校正、操作維護及監管不易執行 	粒狀污染物不透光率、二氧化硫、氮氧化物、氯化氫、一氧化碳、氧氣、各碳數非甲烷碳氫化合物及高反應性揮發性有機物質…等
微型感測器	<ul style="list-style-type: none"> - 重量輕、體積小 - 輕便 - 操作簡單 - 可大量佈點 	<ul style="list-style-type: none"> - 靈敏度及準確度因廠牌及應用需求而異 - 必須克服干擾問題 	SO ₂ 、NO _x 、CO ₂ 、PM、TVOC…等 (依作業需求選購相關元件)
UAV	<ul style="list-style-type: none"> - 成本低 - 技術成熟、操作容易 - 靈活移動、空間解析度高 - 飛行高度可依據作業需求彈性調整 - 可提供即時資訊 	<ul style="list-style-type: none"> - 負載量有限 - 要有應因突發狀況的安全設計 - 必須由專業人員操作 	依作業需求搭載不同感測器

監測方法	優點	缺點	可偵測項目
	- 依任務需求，可搭載多種感測器		
嗅探技術 (IGPS)	- 反應迅速 - 重量輕、體積小 - 適宜室外應用 - 可搭載無人機	- 需要校準 - 受多種因素影響(如 S/N Ratio，煙囪排放與稀釋度) - 受背景濃度影響	煙流中 NO _x 、SO _x 和 CO ₂ 等濃度

資料來源：本研究整理

第四章 船舶空氣污染排放偵測技術研析

4.1 國內現有港口國船舶管制檢查

4.1.1 登船檢查

基隆、臺中、高雄及花蓮等 4 個港務局自 2003 年始已針對進港船舶進行檢查，其檢查重點有 7 項，可簡述如下：

1. 配合東京備忘錄(Tokyo MOU)重點檢查「一般穩定性 (Stability in general)」項目。
2. 依據交通部 99 年 7 月 29 日交航字第 0990045195 號函定義之高風險船舶加強高風險船舶進入我國港口的檢查頻率。
3. 配合國際海事組織「防止船舶污染國際公約(MARPOL)」附錄 VI「防止船舶空氣污染規則」第 14.1.3 條及第 4 條規定實施外外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶，進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等，應採用含硫量 0.5%以下之低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料案檢查
4. 強化外籍油輪及化學船檢查是否載重噸超重、運送結構設備是否符合裝有毒或危險液體的要求、另是否具有責任保險單等。
5. 依據「船舶壓艙水及沉積物管理國際公約」，檢查船舶壓艙水管理計畫及設備等是否符合規定。
6. 依據「強化引水人通報次標準船舶處理程序研商會議」的會議決議，為防止船齡老舊，嚴重危及我國周邊海域航行安全及海洋生態環境保護。需達成 109 年度港口國管制船舶 15%檢查率目標。
7. 加強高齡雜貨船及散裝船之檢查，尤其外籍砂石船。

2003 年進港船舶艘數為 3,008 艘次，檢查 140 艘，檢查率為 4.65%。交通部為提升港區空氣品質，已於 2018 年 7 月 31 日公告有關採用「防止船舶污染國際公約(MARPOL)」附錄 VI「防止船舶空氣污染規則」第 14.1.3 條及第 4 條規定，自 2019 年 1 月 1 日起外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶，進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等，應

採用含硫量 0.5%以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料案檢查。2020 年外籍進港船舶艘數 (Individual) 5,068 艘次，檢查 828 艘，平均檢查率達 16.3%，不合格缺失率 46.14%。歷年港口國管制檢查統計 (見表 4-1 及表 4-2) 及歷年執行情形統計 (見圖 4.1)。

表 4-1 2003-2020 年歷年港口國管制檢查統計

進港個別船舶數		檢查數 (B)	不合格 數(C)	留置數 (D)	檢查率 (B/A)	不合格 率(C/B)	留置率 (D/B)
年度	次數(A)						
2003	3,008	140	104	9	4.65%	74.29%	6.43%
2004	3,655	238	120	38	6.51%	74.29%	15.97%
2005	3,769	260	113	50	6.90%	50.42%	19.23%
2006	4,071	260	125	60	6.39%	43.46%	23.08%
2007	4,126	326	240	78	7.90%	43.62%	23.93%
2008	4,200	416	351	123	9.90%	84.38%	29.57%
2009	4,307	445	373	121	10.33%	83.82%	27.19%
2010	4,656	478	410	124	10.27%	85.77%	25.94%
2011	4,661	540	491	106	11.59%	90.93%	19.63%
2012	4,395	532	422	109	12.10%	79.32%	20.49%
2013	4,913	575	501	191	11.7%	87.13%	33.22%
2014	4,972	615	537	156	12.37%	87.32%	25.37%
2015	5,023	774	635	168	15.41%	82.04%	21.71%
2016	5,088	783	579	102	15.39%	73.95%	13.03%
2017	5,267	811	557	119	15.40%	68.68%	14.67%
2018	5,267	827	568	98	15.70%	68.68%	11.85%
2019	5,223	838	472	64	16.04%	56.32%	7.64%
2020	5,068	828	382	59	16.34%	46.14%	7.13%

資料來源：本研究彙整。

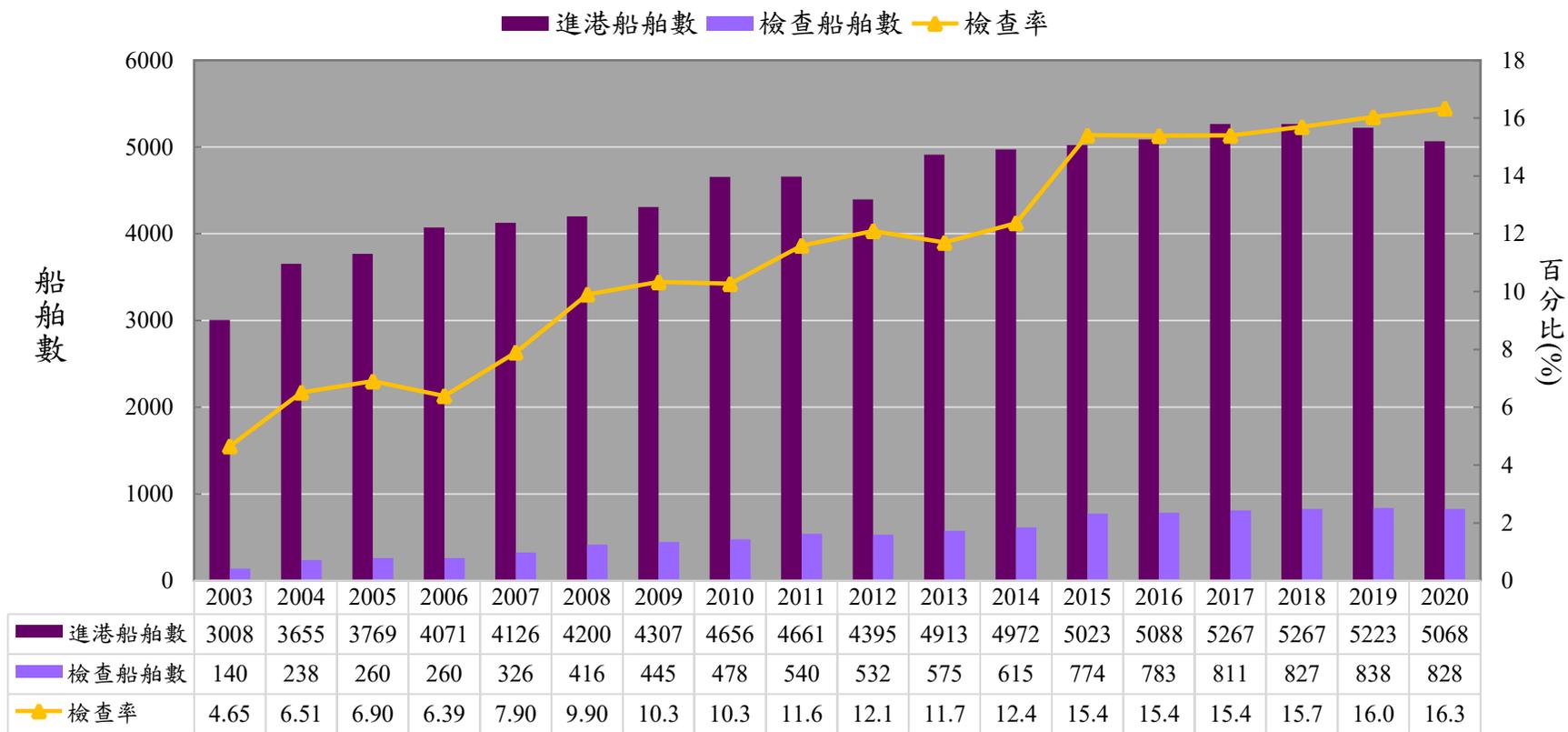
表 4-2 2003-2020 年港口國管制檢查作業彙整 (依船齡)

船齡	進港個別船舶數(A)	檢查數(B)	不合格數(C)	留置數(D)	檢查率(B/A)	不合格率(C/B)	留置率(D/B)
10 年以下	16,483	3,285	1,957	254	19.93%	59.57%	7.73%
10-15 年	7,535	1,652	1,078	125	21.92%	65.25%	7.57%
16-20 年	4,686	1,551	1,121	254	33.10%	72.28%	16.38%
21 年以上	4,573	3,198	2,822	1,217	69.93%	88.24%	38.06%
總計	33,277	9,686	6,978	1,850	29.11%	72.04%	19.10%

資料來源：交通部航港局，2021

就留置率而言，受檢船舶自 2003 年起留置船舶數由每年 9 艘次至 2015 年達最高峰 168 艘次，直到 2020 年船舶留置率已降至 59 艘 (7.13%)。其中留置率最高為船齡 21 年以上之船舶，留置率佔總檢查數 38.06%，實際原因可推測為船齡較長的船舶，其配套較舊及文件不完整，故留置率較其他船齡的船舶數高。此外，根據本研究應用單位訪談南航中心 PSCO 表示，其登船檢查主要以東京備忘錄載明當年度重點稽查為主，有關船舶空氣污染的問題則需要由環保局進行文件檢查，若對檢查結果存有異議則需進行油品採樣及送樣至認證單位進行分析，以判斷船舶油品是否符合國際要求。依據航港局訪談紀錄指出我國 2019 年的查核缺失數計 25 次，包括未確實使用低硫燃油、加油單或紀錄缺漏、程度未完備與設備操作等，其中屬違規未使用低硫燃油的 4 起案件中皆屬因文件檢查存有缺失，詢問船長後，承認未依規定切換低硫燃油，後續皆依商港法第 66 條規定共計裁處新臺幣 40 萬元罰鍰，整體而言，低硫燃油現今有關燃油檢查部份皆以文件檢查為主。

交通部航港局執行情形統計(進港船舶數-檢查船舶數-檢查率)



資料來源：交通部航港局，2021

圖 4.1 歷年港口國管制檢查船舶數、檢查率

4.1.2 港口國管制檢查缺失類型

從歷年的港口國管制檢查缺失統計可見，港口國管制檢查缺失章節可大致分為 18 項(見表 4-3)，主要反映或影響船舶空氣污染的項目為污染防護及國際船舶安全管理。從 2020 年港口國管制報告的檢查缺失類型統計，進船舶年度港口國管制檢查缺失類型統計，進船舶由高至低依序為航行安全 (394 件，18.8%)、工作環航行安全 (271 件，12.9%)、證書 (208 件，9.9%)、防火安全 (200 件，9.6%)、救生設備 (197 件，9.4%)、水及風雨密 (151 件，7.2%)、船舶污染防護 (142 件，6.8%)等 (交通部航港局，2021)。

表 4-3 港口國管制檢查缺失類型

項次	缺失章節 Code of Deficiency
1	1-Certificate & Documentation 證書
2	2-Structural Conditions 結構
3	3-Water/Weathertight conditions 水、風雨密
4	4-Emergency Systems 緊急應變系統
5	5-Radio Communications 無線電通訊
6	6-Cargo operations including equipment 貨物操作及裝備
7	7-Fire safety 防火安全
8	8-Alarms 警報系統
9	9-Working and Living Conditions 工作環境及生活條件
10	10-Safety of Navigation 航行安全
11	11-Life saving appliances 救生裝備
12	12-Dangerous goods 危險貨物
13	13-Propulsion and auxiliary machinery 推進主機與輔機
14	14-Pollution prevention 污染防護
15	15-ISM 國際船舶安全管理
16	16-ISPS 國際船舶與港口設施章程
17	18-Labour Conditions 勞動條件
18	99-Other 其他

資料來源：交通部航港局，2017

4.1.3 港口國管制檢查船舶類型

自 2003 年迄今，港口國管制檢查船舶種類主要集中於散裝船、雜貨船、全貨櫃船及油輪等。從 2020 年的港口國管制報告可見，檢查數主要以散裝船居多，檢查率達 47.8%、其次雜貨船佔 19.2%、油輪及全貨櫃船分別為 11.2%及 7.8%。2020 年港口國管制檢查艘數之統計，如表 4-4 所示：

表 4-4 2020 年港口國管制檢查艘數-依船舶類型統計

船舶類型	檢查數
Bulk Carrier 散裝船	396
General Cargo Ship 雜貨船	159
Oil Tanker 油輪	93
Full Container Ship 全貨櫃船	65
Oil & Chemicals Tanker 油化船	40
Chemical Tanker 化學液體船	17
Reefer 冷藏船	11
Multi-purpose Ship 多用途船	10
Cement Carrier 水泥專用船	9
Others 其他	28

資料來源：本研究彙整

4.1.4 檢查程序

交通部航港局檢查低硫燃油作業係由我國船旗國 (Flag State Control) 或港口國管制檢查員 (Port State Control Officer, PSCO) 依據現有船舶遴選方式選定目標船，並登輪執行檢查。港口國管制檢查員(PSCO)非專職執行業務，但必須經過訓練及核發證照方可執行業務。從港口國管制 108 年度報告 (交通部航港局，2020) 可見，港口國管制檢查員現況如下：

- 1.航港局本部現有約聘港口國管制檢查員 1 人。
- 2.北部航務中心現有兼任人力 10 人。
- 3.中部航務中心現有兼任人力 4 人。
- 4.南部航務中心現有兼任人力 10 人。
- 5.東部航務中心現有兼任人力 4 人。

檢查內容以檔審查及船舶換油程式為主，含船舶油料紀錄簿 (Oil Record Book, ORB) 或其他換油紀錄文書、燃油交付單 (Bunker Delivery Note, BDN)、最後十個停泊港名及到離日期(Port of Call)及船上檢查換油程式書或由主機、發電機及鍋爐確認其現場燃油加熱器出口溫度、黏度是否符合換油程式之規定等 (交通部航港局，2019)。交通部航港局已於 2018 年 10 月 25 日訂定船舶使用低硫燃油檢查作業程式，並函發給航商業者參考 (交通部航港局，2018)，航港局於 2019 年 12 月 16 日函送 6 份 IMO 所屬 MEPC 委員會公佈的指導性文件供航商、驗船機構、供油商及檢查單位參考，包括 MEPC.320(74)、MEPC.321(74)、MEPC.1/Circ.864、MEPC.1/Circ.878、MEPC.1/Circ.811 及 MEPC.1/Circ.883。目前我國航港局依上述六份指導性文件進行低硫燃油取樣檢查及港口國管制檢查準則。目前我國針對船舶燃油稽查作業流程，如圖 4.2 所示。

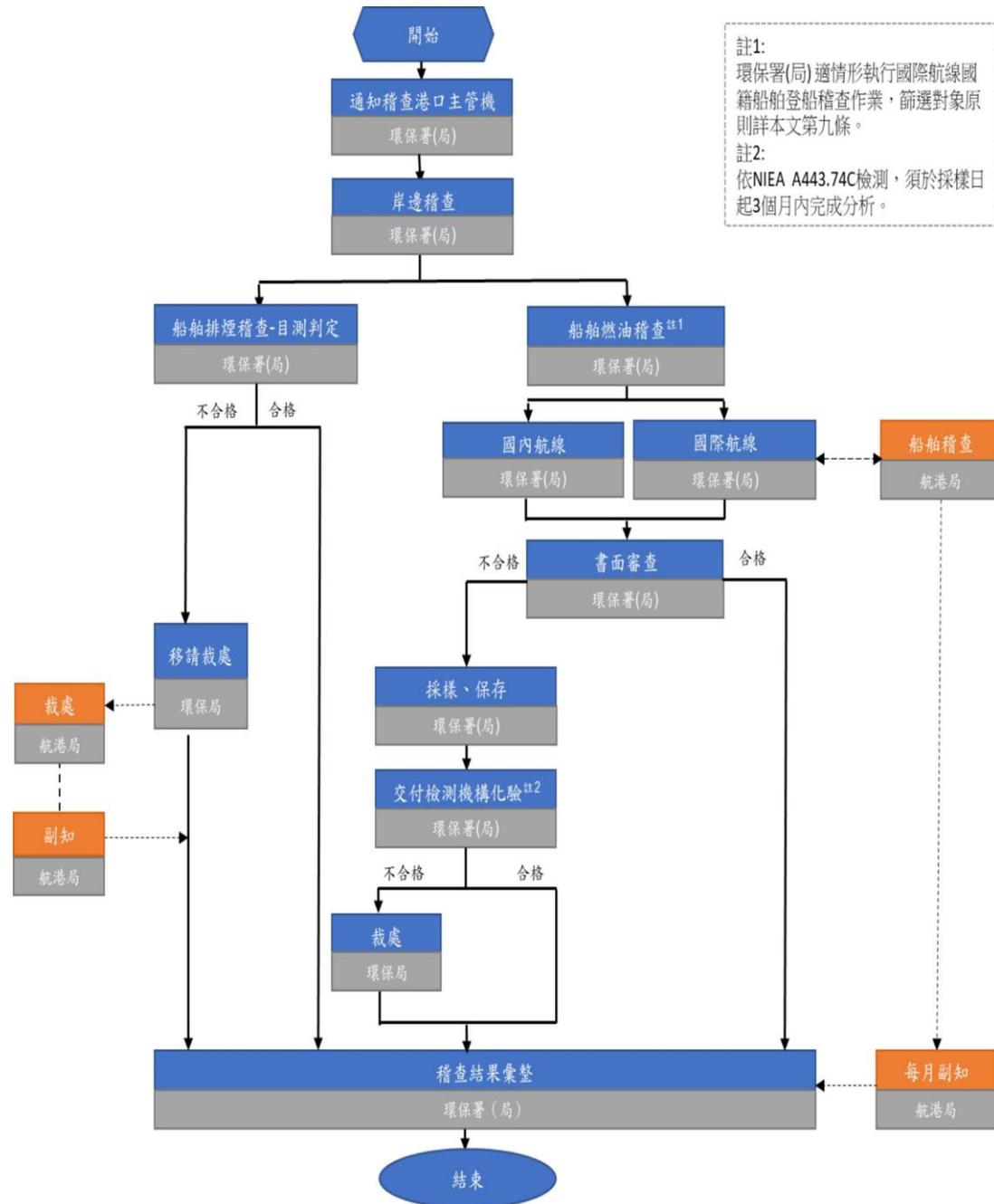
另根據 2021 年 MARPOL 修正案：MEPC.326 (75)的決議案 (交通部航港局，2021)，決議案主要是藉由取樣及試驗燃油來監控全世界供應船舶之燃油硫含量，其中燃油主要分為兩種：殘渣油 (Residual fuel) -在 40°C 時動黏度大於 11.00 cSt；蒸餾油 (Distillate fuel) -在 40°C 時動黏度小於或等於 11.00 cSt。

該決議案同時指出燃油取樣與檢測之服務供應商須滿足下列條件：

- 1.經 MEPC 批准；
- 2.提供合格之技術及管理人員，並應覆蓋足夠多區域；
- 3.遵守成文之道德準則提供服務；
- 4.監測結果獨立於其商業活動；
- 5.實施並維持國際公認之品質系統並經協力廠商單位認證，以確保提供之服務的重複性及可再現性；
- 6.每年為全球監測殘渣油以及蒸餾油平均硫含量提取足夠多的樣品

因 MEPC.324 (75) 加裝燃油取樣之規定是為驗證船上所用之燃油硫含

量是否合規，我國環保署已在較早前採用國內販賣或使用燃油源頭管制，故針對國內航線較無必要特別裝設指定之取樣點即可。



資料來源：環保局

圖 4.2 稽查作業流程圖

4.1.5 登船檢查執行挑戰

登船檢查之範圍，應依船舶大小、種類、狀況、船員行為及潛在危險而定(海洋委員會海巡署東部分署，2017)。船舶檢查機關對於登船檢查具有一定的挑戰，如安全性、時效性、立即性、國際公信力、船隻國籍問題及法源依據等，概述如下：

1. 安全性

因每艘船構造不一，為確保檢查人員的安全，我國海岸巡防機關指出：登船後，登船安檢人員應向受檢船舶船長（主）或負責人表明身分，說明安全檢查之理由後，由該船長（主）或其指定人員陪同進行檢查(海洋委員會海巡署東部分署，2017)。因船上的檢查並非都聚焦於明顯易見、瑣細以及很容易可以達到的。反之，為求技術上的健全，許多檢查人員必需進入一般工人或船員拒絕進入的侷限空間進行檢查，若沒有船員的陪伴，檢查人員自己進行檢查，很容易發生意外。

2. 認知性

由於現今船舶本身與船舶作業亦愈趨複雜，無論船殼、機器、航行、裝卸貨系統、滅火與求生系統、及安全管理系統等都有其自身非常專業的領域，因此，檢查人員需要有能夠精準且有意義地應用相關規範手段來進行稽查，這對檢查人員來說他們需要持續進修，以豐富自己的專業領域。

3. 語言能力

登船檢查項目可能包括船舶保養紀錄、約談船員以確認其是否適任，並評估來自岸上對於有利於船上作業的支援功能是否足夠。其檢查目的是為了確保船舶更安全。但要在一種共同語言基礎下進行溝通複雜與細節，以及要在短暫的時間內與船員建立信任的關係，進港船舶大多數來自國外。因此，檢查人員需具備一定程度的英語能力。

4. 時效性

登船檢查的時效性會其受限於安檢人力、船舶空間大、安檢人員執檢之專業能力、船舶停港時間等因素影響。現今船舶停港時間已大幅縮短，這時候檢查人員要在不延誤船期的前提下及時完成檢查，給檢查人員帶來很大的壓力。同時靠岸檢查有許多併行作業在港同時進行，如更

換船員、加油、補給、接待岸方官員、維修與保養等。檢查人員通常都需要船員從緊湊的正常工作時間抽空協助完成檢查。

5. 立即性

當經合理判斷，發現港內停泊區之船舶（筏）可疑，並足認其已有違反走私、偷渡違法之虞時，應通知「船主（長）到場」，在其同意及陪同下實施登船檢查（海洋委員會海巡署東部分署，2017）。因執法人員需得到船主（長）陪同，方可進行登船檢查，故造成執法人員未能即時就問題（如黑煙排放）作出搜證及採樣。

6. 國際公信力

船舶檢查應分別施行特別檢查、定期檢查、臨時檢查。航行國際航線適用國際公約規定之船舶應依海上人命安全國際公約、防止船舶污染國際公約、船舶有害防污系統管制國際公約、海上避碰規則國際公約、海事勞工公約、特種用途船舶安全章程及其議定書、修正案規定施行檢查（交通部，2020）。因我國非屬 IMO 會員國，檢查結果在國際上未具公信力，船舶稽查所產生之缺失及後續衍生之裁罰僅在我國有效。

7. 法源依據

我國航港局實施港口國管制檢查作業係依據各有關國際公約之規定進行檢查，並訂有檢查作業程序流程。另我國航港局係依據商港法第 58 條至第 60 條規範出、入商港之外國商船得由航港局依港口國管制程序實施船舶證書、安全、設備、船員配額及其他事項之檢查。

4.2 港區船舶監控機制

1. VTC 塔台整合雷達系統

VTC 主要是針對港區半徑二十海浬服務範圍內各式船舶實施連續性之偵測、追蹤，並將所得資訊傳回塔台內加以整理分析，使管制人員可即時瞭解港內、港外船舶動態，並可對海上航行船舶提出航行指導與警告訊息，防止海上意外事故發生。取代過去信號台之人工作業管制方式及加速船舶進出港作業，增進港埠營運效率，並可有效降低船舶碰撞事故之發生，預防海洋污染。

2. 船舶自動識別系統 (Automatic Identification System, AIS)

臺灣港務公司分別於基隆港、蘇澳港、臺北港、臺中港、花蓮港、高雄港及安平港以船舶自動識別系統 (Automatic Identification System, AIS) 進行船舶減速查核應用之相關技術建置，其船舶減速定義及計算方式係由 AIS 取得船舶即時資訊。AIS 可以解讀系統資訊覆蓋範圍內所監測到的船舶動靜態資訊，提供船舶其週遭的海上航行環境狀況，最大程度避免航海船舶間相互碰撞的狀況，為海上航行監控帶來革命性的進步，且亦被視為智慧型海洋運輸系統的重要環節之一。2007 年行政院海洋事務推動小組決議「加強推動臺灣各商港及港灣技術研究中心建置船舶自動識別系統，並提供海巡署進行初步鏈結同時強化商港船舶交通服務中心設備與功能」，為將 AIS 結合海巡雷達偵測系統 (CGARIS) 數據與船舶交通服務系統、電子海圖和地理情報資訊，達到掌握海面即時狀況和海上船舶活動情形以供指揮調度勤務進行，因此本所港灣研究中心積極針對臺灣本島及離島沿岸地區進行 AIS 接收站的佈建。2016 年於黃茂信、邱永芳等人所發表之「臺灣海域船舶自動識別系統(AIS)之研究」文獻中，探討如何運用目前本所港灣研究中心所架設的 AIS 岸台基站，蒐集臺灣週遭海域範圍之船舶即時資訊及船舶歷史軌跡，來分析與統計行經臺灣海域的船舶特性及航路分佈情況，藉以提供最佳化的航線，或是提供船難發生歷程給防救災單位來進行必要的救援工作及釐清船難的責任歸屬，在 108 年度本所港灣研究中心已陸續完成全台共 27 處之 AIS 岸台基站佈建，並於 108 年度期間將我國的 AIS 系統移交至交通部航港局，截至 109 年度航港局已完成我國 49 座 AIS 岸台基站之建置及整合(見圖 4.3)。



圖片來源：交通部航港局

圖 4.3 我國 AIS 岸台基站覆蓋範圍

本所於 109 年「臺灣周圍海域及港口之船舶 AIS 應用分析」研究，亦已研發出一套臺灣主要港埠船舶減速查核系統。此系統已在港務公司使用。本套系統係整合「船舶即時動態資訊介面」與「船舶速度查核資料資訊介面」於同一個登入畫面。該系統功能包括即時船舶查詢、坐標查詢、軌跡查詢、港棧資料、報表資料...等等。因船舶減速查核系統為我國目前搭配 AIS 進行查核作業之成功案例，但其後續 PSCO 仍須會同相關人員進行船上抽查作業。此次結合 AIS 系統主要是透過 AIS 所提供的船舶資訊，做為 UAV 載具的追蹤資料源進行海上船舶空品監測，使稽查作業

可於船舶進港前即初步進行前置性調查任務。

3. 臺灣港棧服務網 (TPNet)

「臺灣港棧服務網」(Taiwan Port Net, TPNet)，是臺灣港務股份有限公司對外提供港棧相關服務的入口網，目前 TPNet 僅提供新港棧系統服務。新港棧系統整合並取代各港原有的「港棧資訊系統」、「船舶動態通報系統」、「危險品申報系統」、「電子支付與電子發票系統」；原系統內「船舶編號」、「船舶編號」、「航次」等資訊改用航港局「船舶號數」及「簽證編號」取代。新港棧系統使用的代碼盡量以國際標準、政府標準為主，無標準時才由港務公司自行編訂。新港棧系統可供查詢 1 個月內之船舶動態資料，查詢功能包括 (1) 港區停泊圖 (IFA_D001)、(2) 港外下錨船舶表 (IFA_D002)、(3) 進港船舶(含預報進港船舶)表 (IFA_D003)、(4) 出港船舶(含預報出港船舶)表 (IFA_D004)、(5) 船席現況(指泊)表 (IFA_D005)、(6) 歷史船舶動態 (IFA_D006) 及 (7) 碼頭狀態 (IFA_D007)。

4.3 我國船舶偵測應用技術之可行性評估

可用於監測船舶廢氣排放方法鑑於登船檢測煙道及其它空氣污染防製設備需要人力及設備及費時，為了能加強船舶空氣污染檢測，國外亦會安裝固定探測器在船舶或天橋上。目前固定監測技術和光學監測技術具有技術成熟，成本較低的特點；但安裝感測器是一種被動的檢測方法。由於檢測器和污染源之間的位置會對檢測結果造成影響，因此固定感測器缺乏靈活性，且檢測效果受到限制。

現今社會，空氣污染的問題日趨嚴重，大家開始意識到空污對人類健康造成了很多相關性的疾病。除了安裝感測器外，很多學術單位、科學家及環保團體針對船舶廢氣排放，開發出很多不同的監測方法。光學監測技術 (Optical monitoring technique) 有影像辨識、開徑式傅立葉紅外光譜儀 (Open-Path Fourier Transform Infrared, OP-FTIR)、傅立葉轉換紅外線光譜儀 (Fourier Transform Infrared spectroscopy, FTIR)、光學雷達 (Light Detection and Ranging, LIDAR) 及紫外差分吸收光譜 (Ultraviolet Doppler Optical Absorption Spectroscopy, UV-DOAS)；可移動式監測技術 (Mobile sniffing monitoring technique) 有無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、

及可攜式監測技術微型感測器等。

港灣能源使用、稽查及空氣污染排放之管制技術包含有機動式無人機監測系統、光學監測系統、及各式物理化學感測器組合應用系統。論及應用場域，則可以區分為船上、岸上、港內、港嘴、泊區、錨區及近岸等不同尺度特性；稽查方式又可以區分為「登船檢查」與「不登船檢查」等不同方式。在整體規劃上，除了技術可行、經濟可行、安全性、時效性、立即性、國際公信力、船隻國籍問題及法源依據等考量外，亦應綜合考量不同系統彼此間的相容性、互補性，方能達到最佳化之管理目標。

4.3.1 固定式監測技術

根據第三章偵測技術盤點及研析，從偵測項目及反應時間、成本效益等比較下，本研究固定式偵測技術規劃以 UV-DOAS 為主考量。UV-DOAS 是一種無需氣體採樣、可進行長期連續監測、可以全自動運行，操作維護成本低、檢測多種有機、無機化學物質的技術。其量測反應時間較 OP-FTIR 快，可達 1 分鐘 1 筆、且受水氣干擾較 OP-FTIR 小。

架設一套 UV-DOAS 系統前期設備投資可分為主機、接收及發射端、原廠標準版軟體(OPSIS)、校正設備、不斷電系統等市場售購約新臺幣 530 萬，儀器架設附加費用(如設備整合、系統測試、現場配管配線)約新臺幣 200 萬，首次雜費支出費用(如設備校正、人員訓練、耗材與零件費用、空運費與關稅及保險費用、國內運輸費用、3KVA 不斷電含安裝及材料及雜項支出)約新臺幣 73 萬，綜上所述添置一台 UV-DOAS 的總費用約新臺幣 800 萬；設備安裝後每年的維修費用約新臺幣 481,000 元，包括每年新臺幣 96,000 元的維護保養費用(人員差旅及維護報告提供)，及 AR520 一年耗材與零件費用(約新臺幣 385,000 元)，詳細價格見附錄七。

在 OPSIS 儀器的量測設定部分，該分析儀軟體中指定量測氣體的量測窗口，設定量測時間後開始量測，各氣體的量測時間列出如表 4-5 所示。而 OPSIS AR520 分析儀是 OPSIS 環境空氣品質監測系統的核心單元，AR520 可接受一條或多條光路通過光纖傳送來的光信號，同時把資料提供給 OPSIS 軟體，OPSIS 包括一台數據機，負責把資料上傳到遠端的電

腦，亦可進行遠端監控和調節。AR520 內含高性能的分光計，可以把收到的光信號轉換成數位信號，同時用內置的電腦進行分析。電腦軟體包括若干被測氣體的唯一的吸收光譜。根據 Beer Lambert 的定律，任何元素的分子都有其特定的實收光譜，通過接收到的吸收光譜來監測空氣中混合氣體的成分與濃度。AR520 的檢測極限見表 4-6。

主機端配備一個 VGA 螢幕，用於儀器操作，透過標準化軟體將光訊號轉換成污染物濃度圖譜，軟體亦可搭配擴充功能即時計算污染物比值或分佈情況，因主機運行時會產生大量熱能，因此適合工作溫度為 5°C~30°C，於熱帶或亞熱帶地區進行監測時，原廠建議搭配空調來降低其因高溫導致儀器準確度降低或故障，主機詳細規格見表 4-7；發射端及接收端皆為不鏽鋼材質，Ingress Protection 國際防護等級達到 54，具有防止灰塵有限進入及防止灰塵堆積，防水部份則具有防濺水及噴水保護，光徑極限量測距離為 1,000M，但為保持良好的檢測極限，一般來說光徑長度應介於 500~600M，接收端及發射端皆須連接電源，由發射端連接電源發射光源，接收端則連接系統主機解析污染物，發射端及接收端詳細規格見表 4-8；校正設備則為確保量測準確度不可或缺之部件，UV-DOAS 校正可分為高幅氣體校正及零氣體校正，校正頻率分別為一年一次及每月一到三次視量測濃度而定，校正時利用校正管，管內填充標準氣體，透過儀器光徑通過校正管去校正設備，校正示意圖如圖 4.4 所示。

表 4-5 OPSIS 儀器量測設定

氣體種類	量測時間 (秒)
SO ₂	30
NO ₂	30
NO	45
O ₃	30
Benzene	30
Toluene	60
P-xylene	60

資料來源：報價廠商提供

表 4-6 AR520 空氣污染物檢測極限

污染物	檢測極限 (µg/m ³)	測量範圍 (µg/m ³)
SO ₂	1	0-1000
NO ₂	1	0-1000
NO	1	0-500
O ₃	1	0-1000
Benzene	3	0-500
Toluene	3	0-500
P-xylene	10	0-500

資料來源：報價廠商提供

表 4-7 AR520 系統技術標準規格

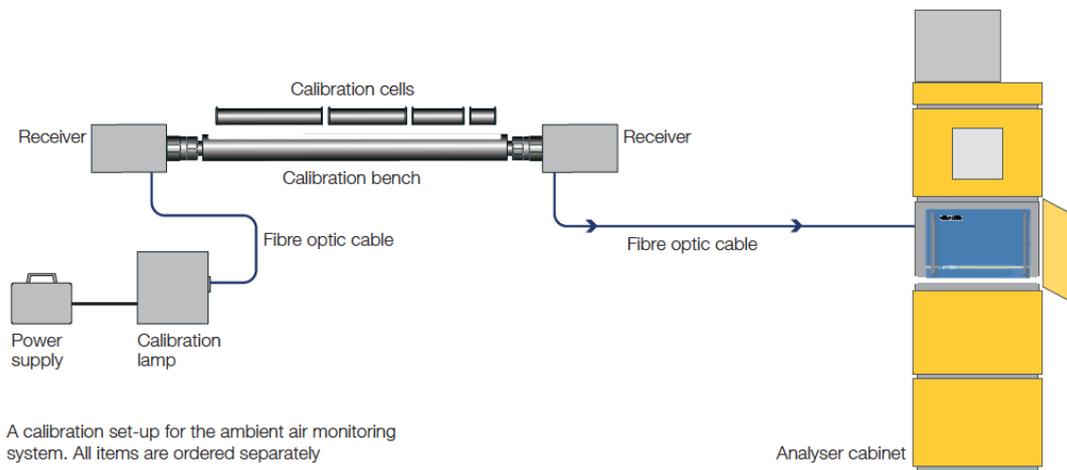
尺寸 (長×寬×高)：	600 × 440 × 266 mm
重量：	~35 kg
電壓供應：	115 V (±10%) 50/60 Hz
功率：	110 W
操作溫度：	+5°C to +30°C
建議操作溫度：	+15°C to +25°C
防護等級：	IP 20
串口輸出：	RS 232C
硬碟記憶體：	512 Mb
外部材質：	鋁合金

資料來源：報價廠商提供

表 4-8 ER150 發射端及接收端規格

尺寸 (長×寬×高) :	發射端 : 990 × 150 × 425 mm 接收端 : 1,375 × 150 × 380 mm
重量 :	發射端 : 55 kg 接收端 : 60 kg
操作溫度 :	-40°C to +50°C
防護等級 :	IP 54
光徑接收長度極限 :	1,000 m
外部材質 :	不鏽鋼

資料來源：報價廠商提供



資料來源：報價廠商提供

圖 4.4 AR500 系統校正示意圖

4.3.2 移動式監測技術

由於載具端本身若沒有結合其它技術，可提供服務大多僅限於探勘、監控等空中攝影應用。多年來國內外有關 UAV 之相關論文研究大多係針對操作、飛行系統及機體結構等進行探討，使用 UAV 應用至各項研究之議題甚少。直至近年已有部分技術開發開始將 UAV 結合於港埠地區等情境場域進行相關的應用，綜整如表 4-9 所示：

表 4-9 國際商港之 UAV 應用與技術發展

使用場域	內容
新加坡港	改善新加坡港附近的貨運方式，以 UAV 進行港口送貨服務。以往碼頭內停泊的船舶進行備品與醫療用品送遞時須仰賴錨作拖引工作船進行作業，不僅費時費力，且作業效率不佳。依據新加坡威爾森海事公司的研究報告指出，其以新加坡濱海南碼頭做為測試場域，採用 UAV 進行包裹運送服務，約可降低 90% 的作業成本，也可有效減少更多的碳足跡排放。
荷蘭鹿特丹港	2020 年荷蘭鹿特丹港結合港區空域應用規劃，包括為化學領域的客戶提供基於 UAV 的化學品檢查服務，貨櫃碼頭集裝箱區域巡檢及包裹遞送等服務。
比利時安特衛普港	比利時安特衛普港為歐洲第二大港，2019 年共 14 家公民營企業因應港埠地區核新業務運作合力推動 SAFIR 專案，目的在於協助歐洲國家的管理機關，針對 UAV 商業化領域運用建立一套制度性的規範，其專案研究議題涵蓋港區巡察、包裹遞送、海上船舶航行安全檢視、船舶漏油污染偵測及港部區域高壓電塔巡檢等範圍。
荷蘭阿姆斯特丹港	荷蘭阿姆斯特丹港在 2018 年提出一種針對空中和海上 UAV 的航安飛行測試，並說明海上反無人機系統 (Marine Anti Drone Systems, MADS) 的重要性，港區人員透過反無人機系統監控港區內的合法及非法 UAV，並檢測和識別系統範圍 5 公里內的 UAV 位置、飛行速度及航向等相關資訊。
歐洲海事安全局	歐洲海事安全局與英國 Martek Marine 於 2017 年共同合作為歐洲港區環境提供一遠距離無人飛行載具操控系統 (Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS)，該系統結合光學監測技術、紅外線顯像技術與相關感測模組元件進行海上環境識別、船舶排放空污檢測和油料外洩監控等應用。
香港	香港科技大學環境研究所與香港環保署於 2019 年提出一種基於 UAV 的船舶空污排放感測技術，該技術主要是以 UAV 為平臺，搭載能夠量測 SO ₂ , NO, NO ₂ , CO, CO ₂ 及 PM 的感測模組，進行進港船舶燃油含硫量偵測與燃油切換之識別。
中國大陸上海港	中國大陸上海海事大學與海事局在 2019 年提出一種基於 UAV 的船舶廢氣測量系統，透過安裝於 UAV 上的 SO ₂ 及 NO ₂ 感測模組於上海港計算船舶煙流中 SO ₂ /NO ₂ 比例，以確定船舶是否切換低硫燃料。同時透過實地取樣，送至實驗室比對，予以確認該系統之硫含量稽查準確性。

資料來源：本研究彙整

由前述國內外船舶空氣污染排放偵測技術盤點與優劣勢分析可以得知，傳統的船舶空氣污染檢測方法包括人工登船和固定位置裝載設備檢測，登船進行油品取樣稽查及煙道排放稽查的成效雖是成效最高的方式，但油品取樣稽查在人力安排、取樣作業、分析等步驟都需通知各單位協調配合。而可移動式監測設備與技術則能有效因應我國港埠地區，包括港內、泊區、錨區及近岸的海上環境進行船舶空氣污染排放偵測。有鑑於此，研究綜合前述國內外相關技術發展與文獻分析，評估以 UAV 做為移動平臺結合無線傳輸技術、各類空氣品質感測模組，並整合 AIS 系統提供的船舶航行資訊建立船舶自主追蹤目標技術，將能夠有效針對我國船舶空污排放偵測進行空品檢測與採樣的應用。技術規劃目標期能協助操作人員透過所建置的平臺與操作介面控制 UAV 進行海上船舶的自主追蹤，當 UAV 飛行至目標船舶位置時，即啟動所掛載的感測模組、元件進行船舶空污排放之檢測、採樣等作業。

其技術規劃分兩階段進行，由於現今的 AIS 系統只依據簡單的海上船舶航行碰撞監測需求解碼部分 AIS 資訊。第一階段是以資料擷取與 AIS 系統解碼技術進行 AIS 系統訊號的解碼，並將解碼後的完整 AIS 資訊匯整至所建置之 AIS 資料庫，收集完整的 AIS 船舶動靜態資訊。AIS 是一種為了提升船舶海上航行安全，避免航海間之船舶相互碰撞而建置的系統，其運作方式為將船舶上動態訊息包含船舶位置、世界時間、對地航向、對地航速、船舶航向、航行狀態、轉率等與靜態資訊包含船舶之 IMO 編號、呼號與船名、船長與船寬及船舶類型，透過該系統持續的傳遞給周遭的其它船舶，並同時接收其它船舶所發送的資訊並加以顯示。由於現階段解碼的 AIS 資訊所提供的都是船舶已航行過的座標資料，為了能讓 UAV 正確追蹤到目標船舶，研究規劃以人學習演算法為基礎，利用 AIS 資訊建立海上船舶航跡預測模型，透過模型推估船舶下一航行座標點來提供 UAV 進行船舶追蹤。第二階段則是 UAV 自主追蹤目標技術開發，研究結合第一階段船舶航行軌跡預測結果，建置系統操作平臺，透過平臺解析目標船舶的預測經緯度座標資訊進行資料格式轉換，封裝為 MAVLink 通訊協定之資料封包格式，藉由系統操作平臺的無線通訊模組傳送至 UAV。UAV 端透過飛控系統平臺解析 MAVLink 資料封包內容獲取海上目標船舶的預測經緯度座標資訊，其飛行控制演算法判讀載具與海上座標相對位

置，即驅動載具自主前往該經緯度座標，藉由將不斷更新的船舶座標資訊使無人機不斷前往最新座標以達到自動跟隨之目的，此外無人機與船舶煙囪距離目前尚在實驗研究階段，因不同船隻煙囪位置高低皆為不同，為避免影響目前正在行駛之船隻，跟隨距離皆預設為船舶後方 30 公尺。後續可規劃採樣方式為掛載已抽真空之鋼瓶及電化學式的空品感測模組。氣體採樣部分可有兩種規劃方式，整合進介面及透過遙控器控制，整合進介面則是在介面上新增採樣之按鈕，透過點選該按鈕進行採樣鋼瓶的採樣控制。遙控器控制則為使用遙控器多餘之通道，藉由讀取通道 PWM 訊號變化進行相對應的鋼瓶進行採樣。而操作人員則可藉由平臺操作介面的資訊進行船舶空污排放檢測、採樣調查等作業。

4.4 小結

本章主要討論我國現行檢查機制，包含檢查率、留置率及相關人力配置，由目前人力配置情形我國 PSCO 人力恐難以負擔龐大且日益增長的受檢船舶數，為此本節主要探討固定式偵測技術及移動式偵測技術兩種方式，期能透過科技輔助，透過早期篩選可疑之船舶，以提高船舶檢查效能。

固定式技術部分根據第三章偵測技術盤點及研析，從偵測項目及反應時間、效益等條件比較下，選定 UV-DOAS 作為固定式偵測技術選定之技術，並討論其系統組成、規格與價格等；針對移動式技術，目前國際間舉凡荷蘭、比利時都有實際利用無人機(UAV)進行港區包裹遞送、海上船舶航行安全檢視、船舶漏油污染偵測及港區巡察之工作，不僅可以降低作業成本，也可以有效的減少碳足跡排放。移動式技術規劃分兩階段進行，第一階段是以資料擷取與 AIS 軌跡預測系統開發，規劃以演算法為基礎，利用 AIS 資訊建立海上船舶航跡預測模型。第二階段則是 UAV 自主追蹤目標技術開發，研究結合第一階段船舶航行軌跡預測結果，建置系統操作平臺，預測船舶經緯度座標資訊，並利用飛行控制演算法判讀載具與海上座標相對位置，即驅動載具自主前往該經緯度座標。而操作人員則可藉由平臺操作介面的資訊進行船舶空污排放檢測、採樣調查等作業。

第五章 可行偵測技術規劃

高雄港 2020 年進出港口之船舶達 3 萬多艘次，佔據六港之首，船型種類亦相應較多，此外，高雄港為我國第 1 個申請通過之國際綠色港埠，其空污監測設備亦較其他港埠充足，不論是設置固定式設備，抑或進行無人載具監測等(天候較佳，且風力影響較小)，均較其他港口適宜，因此，本研究以高雄港第二港口作為固定式偵測技術及移動式偵測技術規劃場域。

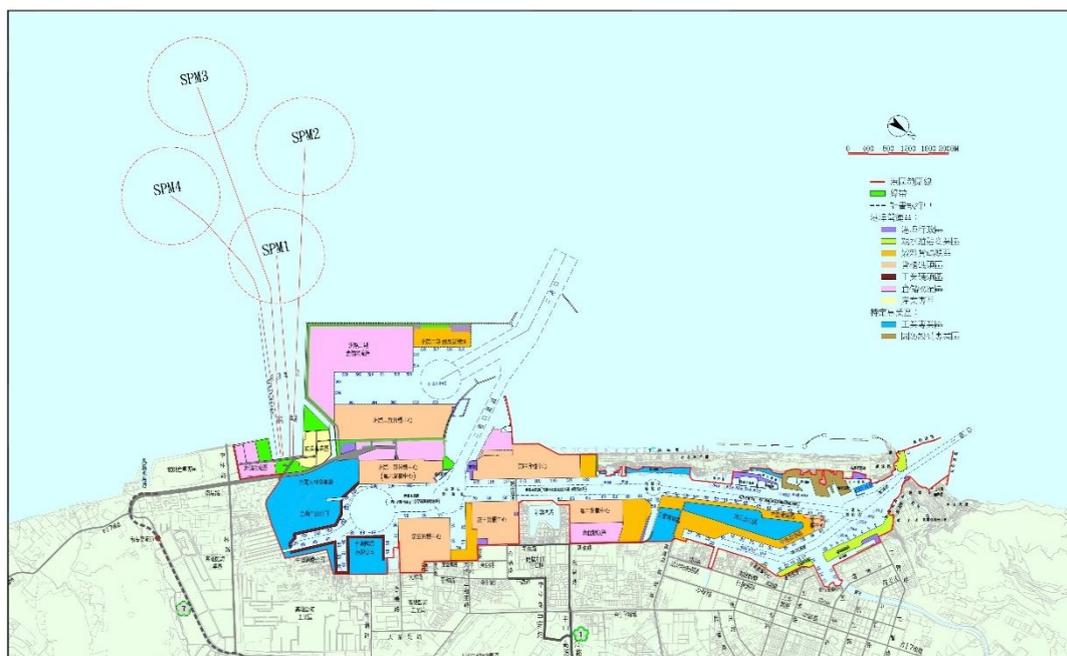
5.1 高雄港環境背景

5.1.1 高雄港地理資訊

本研究主要以高雄港二港口為技術規劃對象，高雄港位於臺灣高雄市的海港，為臺灣四大國際商港之一，同時是臺灣第一大港，世界第 15 大港口，貨櫃輸送量約佔臺灣整體的港口貨櫃輸送量四分之三，貨物輸送量約佔臺灣整體的港口貨物輸送量二分之一。高雄港共有兩個港口，第一港口位於東經 120°15'25"，北緯 22°37'01"，內港口水深 12.5 公尺，港口寬 130 公尺，航道有效寬度 98 公尺；第二港口位於東經 120°18'26"，北緯 22°33'21"，內港口水深 17 公尺，港口寬 250 公尺，航道有效寬度 183 公尺。高雄港除為臺灣主要之貨櫃轉運樞紐港外，亦為臺灣南部主要之貨物進出口港埠。高雄港港區面積為 17,736 公頃，其中陸域面積 1,871 公頃，佔全港面積之 10.5%，水域面 15,865 公頃，佔全港面積之 89.5%。高雄港全長 28,853 公尺，目前具 137 座碼頭（作業碼頭 87 座，非作業碼頭 50 座），同時可供 152 艘船靠泊。港區配置以碼頭作業區為主，其次為工業區，其餘則為港務行政、漁港、造船廠、台電、中油等用地，港區配置圖如圖 5.1 所示。

高雄港現有貨櫃碼頭 26 座，分為六個貨櫃中心。中島商港區（第一貨櫃中心）為高雄港第一個成立的大型貨櫃中心，提供 27~58 號碼頭，40、42、43 號碼頭為貨櫃碼頭，其他碼頭較多為雜貨碼頭及大宗貨物碼頭等；前鎮商港區（第二貨櫃中心），設立於中油的工作碼頭和前鎮漁港

之間，提供 59~66 號碼頭，59 號碼頭為中油工作碼頭，60~62 號為石油化學碼頭，63~66 號為貨櫃碼頭；小港商港區（第三貨櫃中心）為一座大型的貨櫃中心，提供 68~73 號碼頭，主要為貨櫃及穀倉及多功能大宗貨物碼頭；中興商港區（第四貨櫃中心）位於旗津南部，115~122 號均為貨櫃碼頭；大仁商港區（第五貨櫃中心），74~81 號均為貨櫃碼頭；大林商港區（第六貨櫃中心）位於第二港口南側，提供 108~111 號碼頭。



圖片來源：高雄港務分公司

圖 5.1 高雄港區平面圖

根據臺灣地區國際商港進出港船舶統計 (2011 年~2020 年)，進港船舶總艘次 377,520，總噸位 74,805 萬噸；出港船舶總艘次 377,254，總噸位 74,817 萬噸。由表 5-1 可見，高雄港近 10 年，進港船舶總艘次 176,023 (47%)，總噸位 42,461 萬噸 (57%)；離港船舶總艘次 175,947 (47%)，總噸位 442,481 萬噸 (57%)。2020 年進出港艘次較往年下降，主要是因受到「嚴重特殊傳染性肺炎」(COVID 19) 的疫情影響，導致進出口貿易及貨運結構出現變化。整體而言，高雄港進出港船舶數量平穩，且佔國際港區 47%。其中，2020 年全年進出港船舶資料顯示以 70 號貨櫃碼頭停靠艘次最多，其次為 64 號及 17 號碼頭；70 號碼頭以陽明海運停靠居多，64 號碼頭以萬海航運為主，兩者皆停靠國外船舶；17 號雜貨碼頭以中台航運停靠居多，主要停靠我國船舶。高雄港二港口水深較深，為 3 萬噸以上船

隻主要進出航道，本研究以高雄二港口作為固定式及移動式偵測技術作為規劃港口較佳之選擇。

表 5-1 高雄港進出港船舶艘次及總噸位

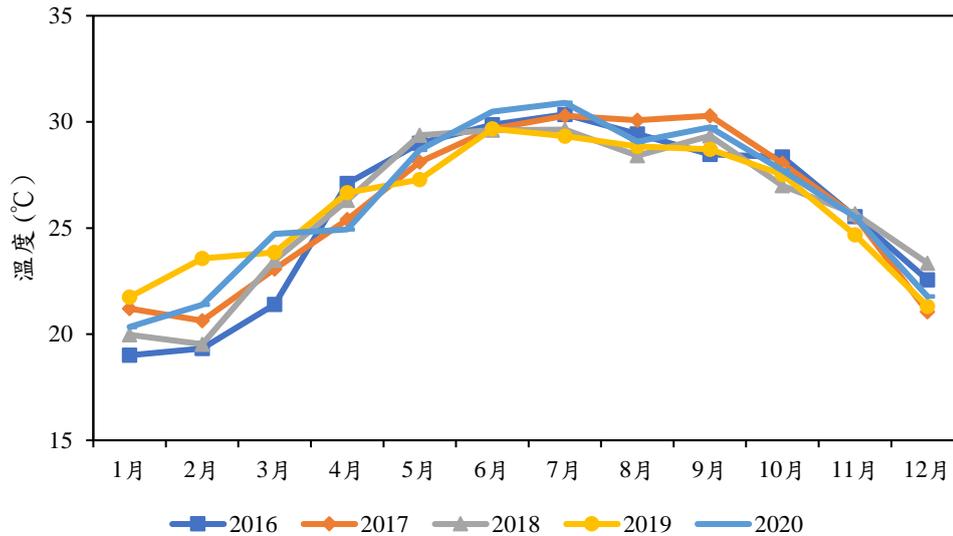
年度	總計		進港船舶		出港船舶	
	艘次	總噸位	艘次	總噸位	艘次	總噸位
2011	35,733	816,967,045	17,869	408,495,073	17,864	408,471,972
2012	34,503	762,896,988	17,250	381,202,708	17,253	381,694,280
2013	35,256	769,636,443	17,646	384,913,060	17,610	384,723,383
2014	34,593	783,937,719	17,308	391,640,935	17,285	392,296,784
2015	34,456	833,810,522	17,210	416,331,748	17,246	417,478,774
2016	36,525	900,275,872	18,253	450,318,701	18,272	449,957,171
2017	37,546	915,594,148	18,773	457,791,178	18,773	457,802,970
2018	35,513	910,307,404	17,772	455,119,748	17,741	455,187,656
2019	34,608	929,291,816	17,307	464,515,279	17,301	464,776,537
2020	33,237	871,484,375	16,635	435,779,018	16,602	435,705,357

資料來源：高雄港務分公司，本研究彙整

5.1.2 高雄港氣候條件

1. 溫度

根據環保署三測站(小港、前金、前鎮) 2016年~2020年溫度統計(圖 5.2)，從圖 5.2 可見近五年高雄港測站溫度變化不大。年平均溫度為 26°C，6月~7月份平均溫度最高為 30°C。最高平均溫度介於 6月~9月，最低平均溫度介於 12月~2月之間。

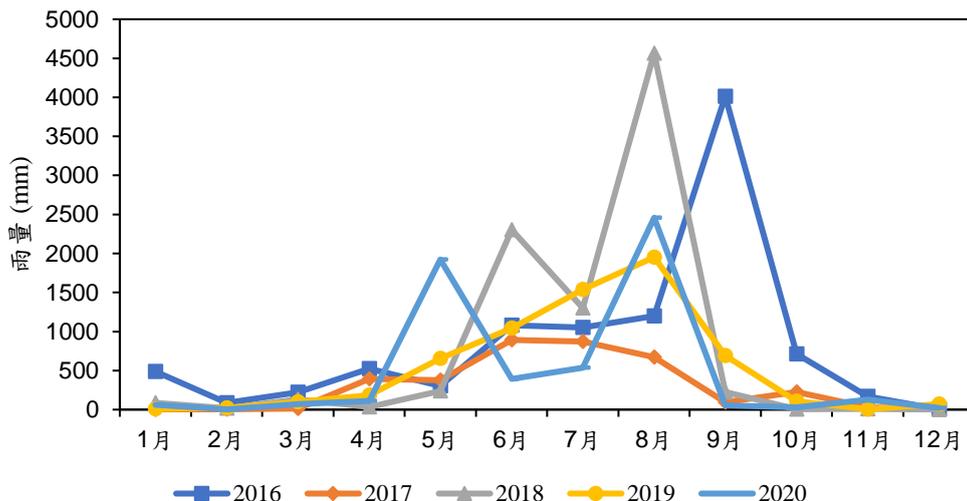


資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.2 近五年鄰近高雄港測站之月平均溫度趨勢圖

2. 降雨量

從環保署三測站(小港、前金、前鎮)2016年~2020年的總雨量趨勢圖(圖 5.3)可見，降雨量最高峰普遍落在每年的8月，平均達 2168.0 mm；其次是6月，平均達 1142.0 mm；最低為12月總降雨量平均為 20.0 mm。6月~8月平均累積降雨量較高，12月~2月累積降雨量較低。

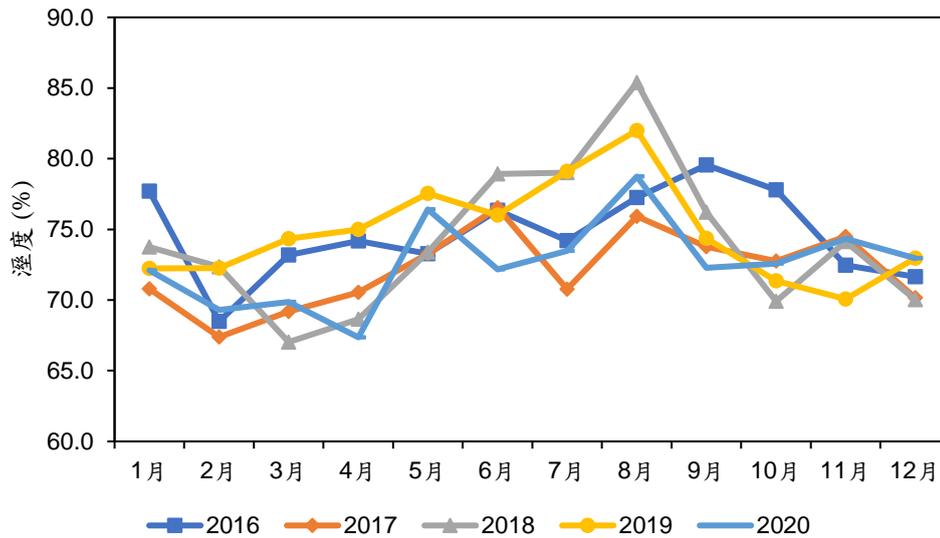


資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.3 近五年鄰近高雄港測站之每月總雨量趨勢圖

3. 溼度

高雄港環保署鄰近三測站(小港、前金、前鎮)2016年~2020年溼度資料(見圖 5.4)，月平均溼度為 73.7%，平均溼度介於 70.0~79.9%，最高月平均溼度為 2018 年 8 月 85.4%，最低月平均溼度為 2018 年 3 月 67.0%；年平均溼度為 72.1~74.8%，變化差異不大。

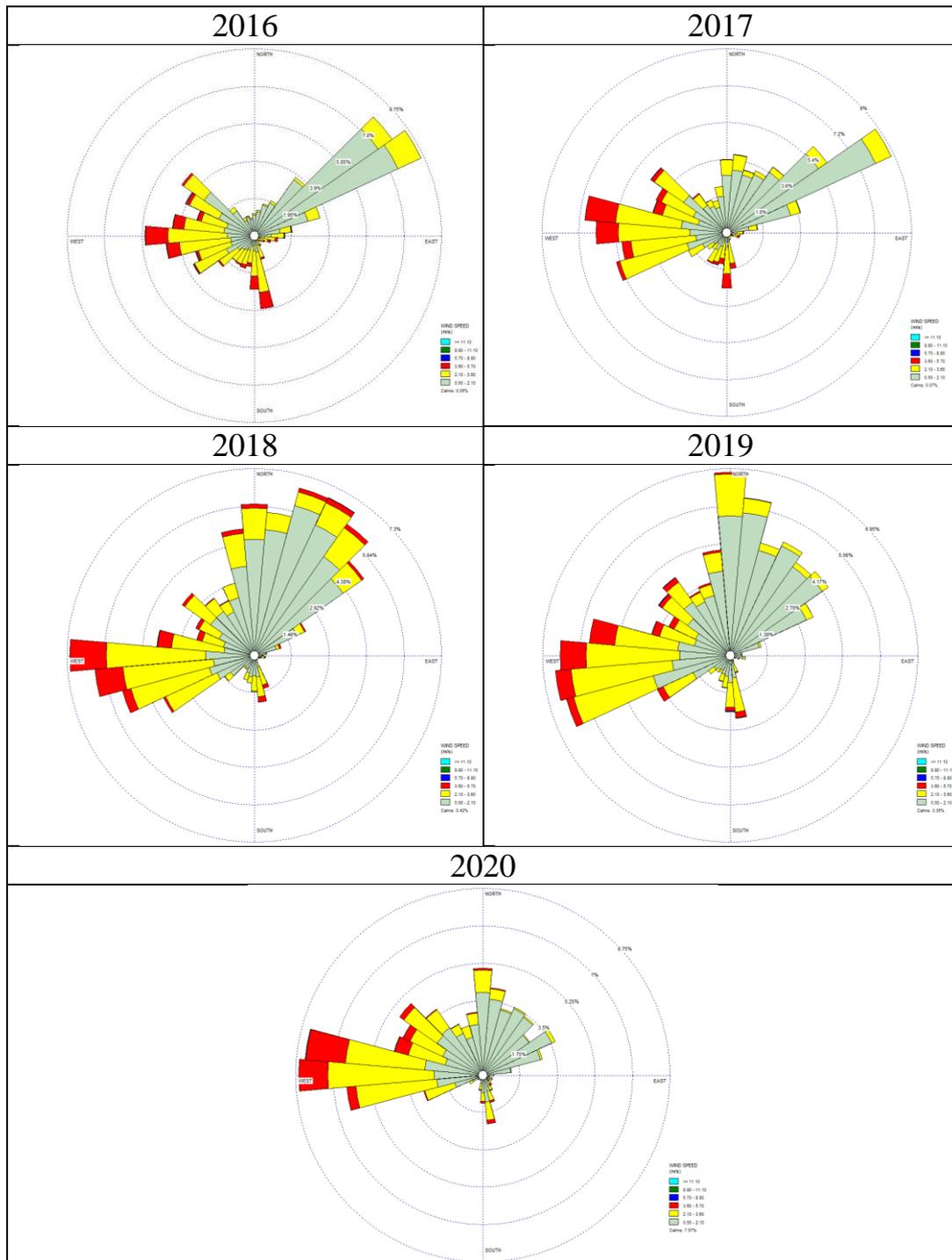


資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.4 近五年鄰近高雄港測站月平均溼度趨勢圖

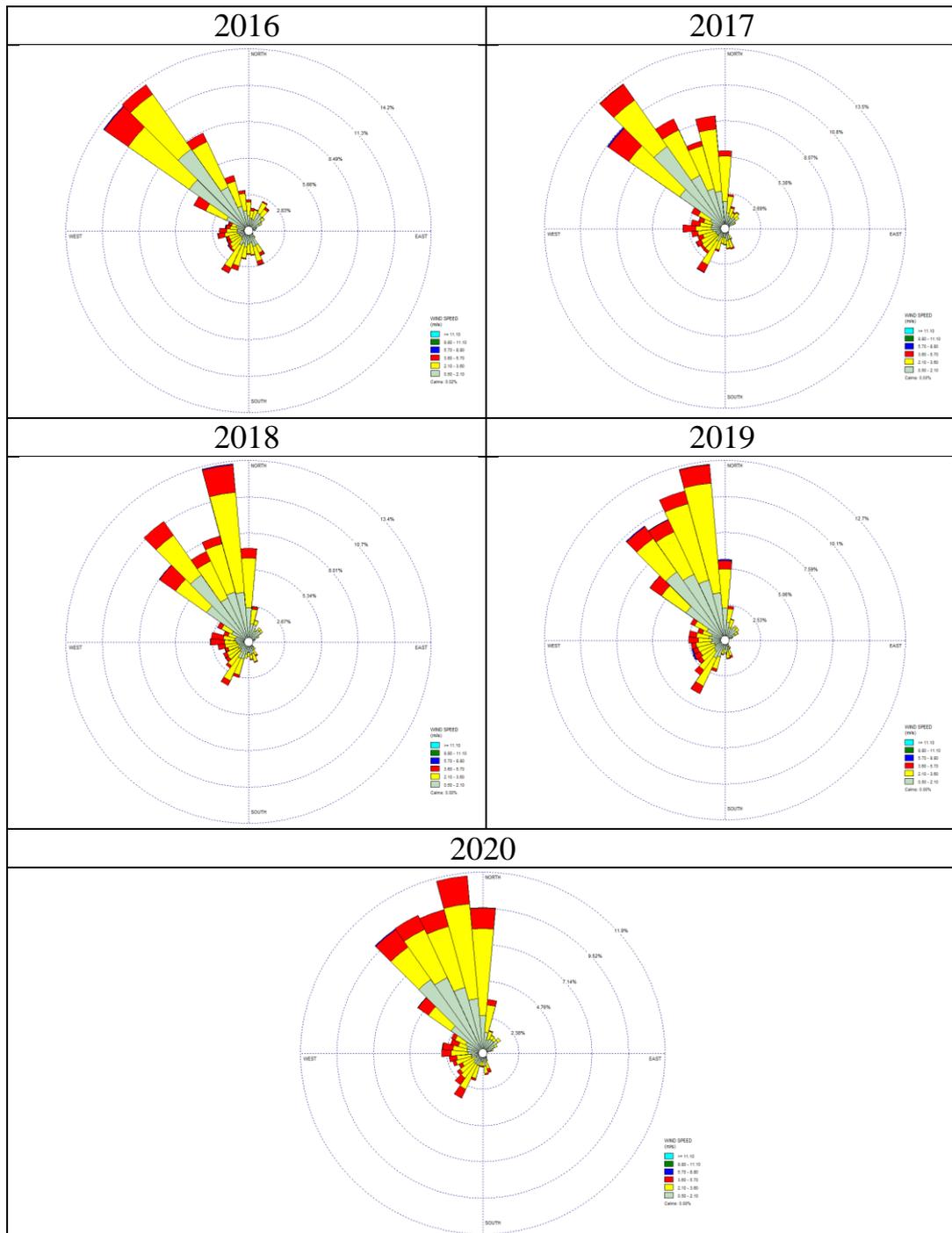
4. 風向風速

高雄港環保署鄰近三測站的風玫瑰圖見圖 5.5~圖 5.7，2016~2017 年小港測站主要風向為北風及東北風，風速介於 0.5~3 m/s 之間，2017~2020 年主要風向改變為西風及西北風，風速介於 2~5 m/s 之間；前金測站 2016~2020 年歷年主要風向為西北風，風速介於 2.5~5 m/s 之間；前鎮測站 2016~2017 年主要風向為東南風，風速介於 2.0~5.0 m/s 之間，2017~2020 年主要風向改變為北風及東北風，風速介於 2~5 m/s 之間。



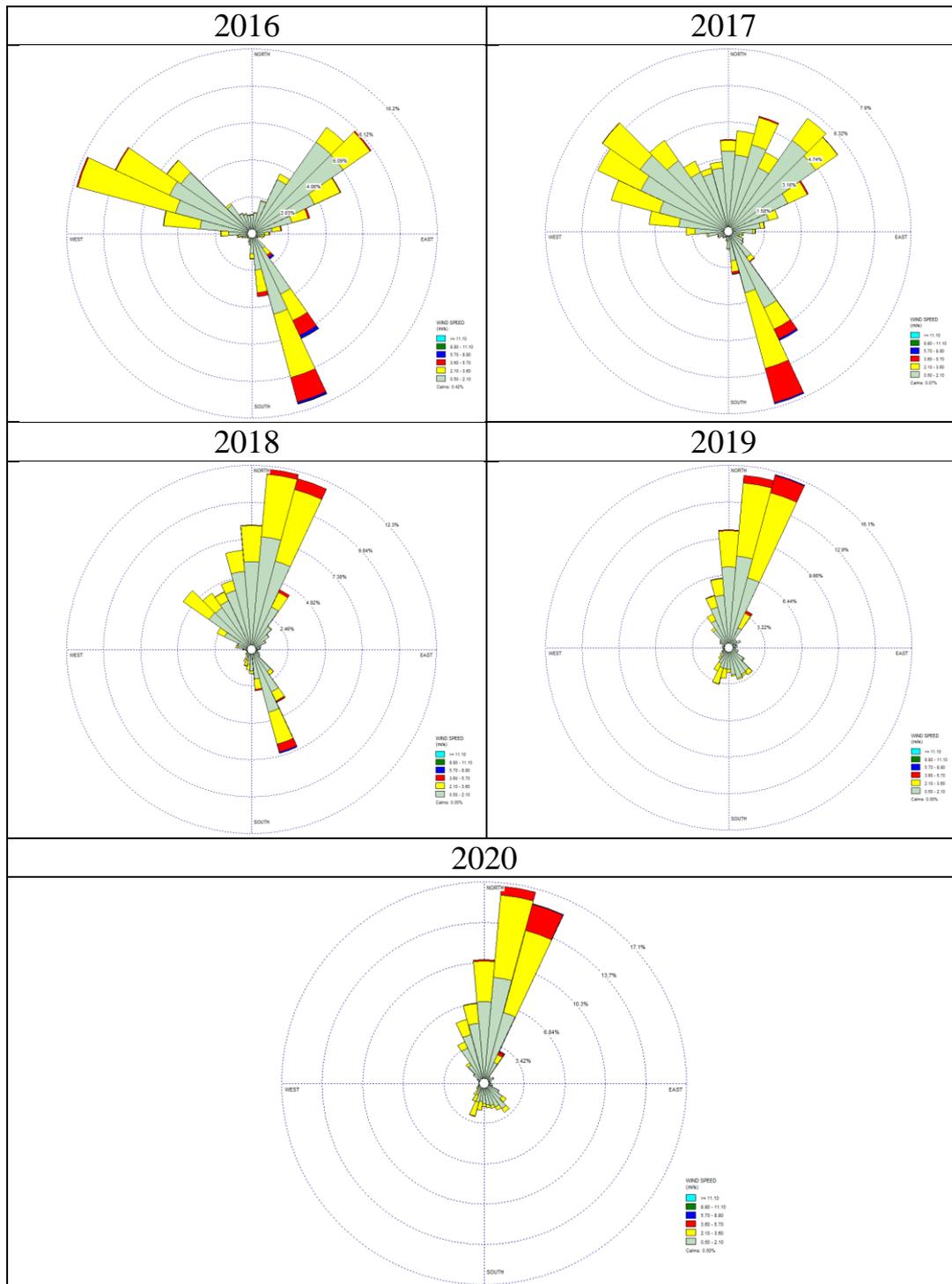
資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究繪制。

圖 5.5 近五年小港測站風玫瑰圖



資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究繪製。

圖 5.6 近五年前金測站風玫瑰圖



資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究繪製。

圖 5.7 近五年前鎮測站風玫瑰圖

5.1.3 空氣品質背景資料

目前我國高雄港區內有 13 處空氣品質定點監測，其次，環保署亦在高雄港鄰近設置測站 (如小港、前金及前鎮)，環保局設置的大林蒲測站 (見圖 5.8)。各測站監測項目包含總懸浮微粒 (TSP)、懸浮微粒 (PM₁₀)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})、二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)及臭氧 (O₃)，監測頻率為每季監測。高雄港主要空氣污染物包括氮氧化物 (NO_x)、二氧化硫 (SO₂)及懸浮微粒 (PM₁₀)等，污染排放以遠洋船舶為主，因其靠港泊岸時，輔助鍋爐及輔助引擎使用油品的燃燒排放，因此污染物排放量中以 SO₂ 為最高。應 IMO 2020 要求，我國自 2019 年起港區船舶宣導應採用硫含量 0.5%以下之低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料。從高雄港 2016 年~2019 年空品績效(表 5-2)可見，港區內每年的污染物指標均達到預期目標，且符合空氣品質標準法規要求。

表 5-2 高雄港空品績效統計表

監測項目	指標呈現合格率 (%)				
	目標	2016	2017	2018	2019
PM ₁₀ 日平均值 ($<125 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	100	100	100	100	100
PM _{2.5} 日平均值 ($<35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	60	75	75	75	75
SO ₂ 日平均值 ($<0.1 \text{ ppm}$)	100	100	100	100	100
NO ₂ 日平均值 ($<0.25 \text{ ppm}$)	100	100	100	100	100

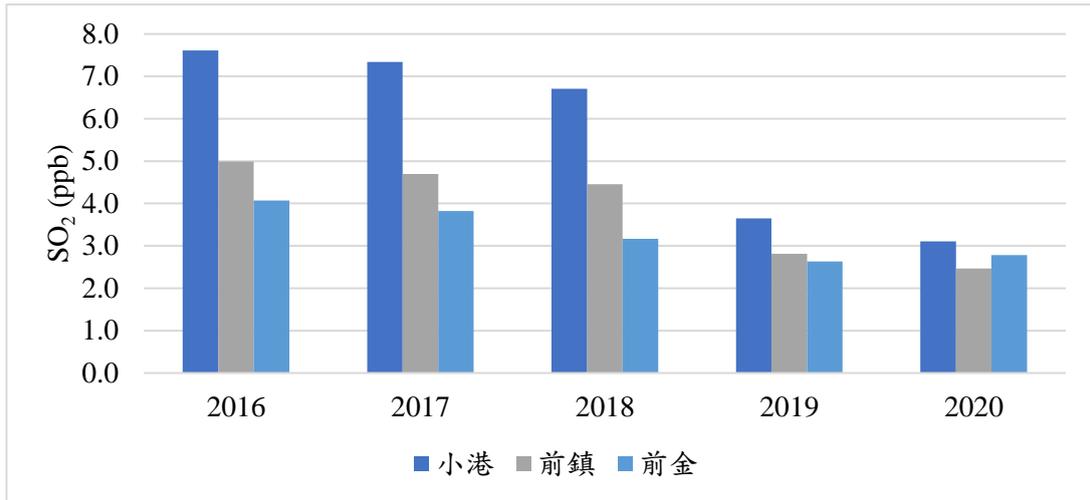
資料來源：高雄港務分公司，本研究彙整。



圖片來源：高雄港務分公司

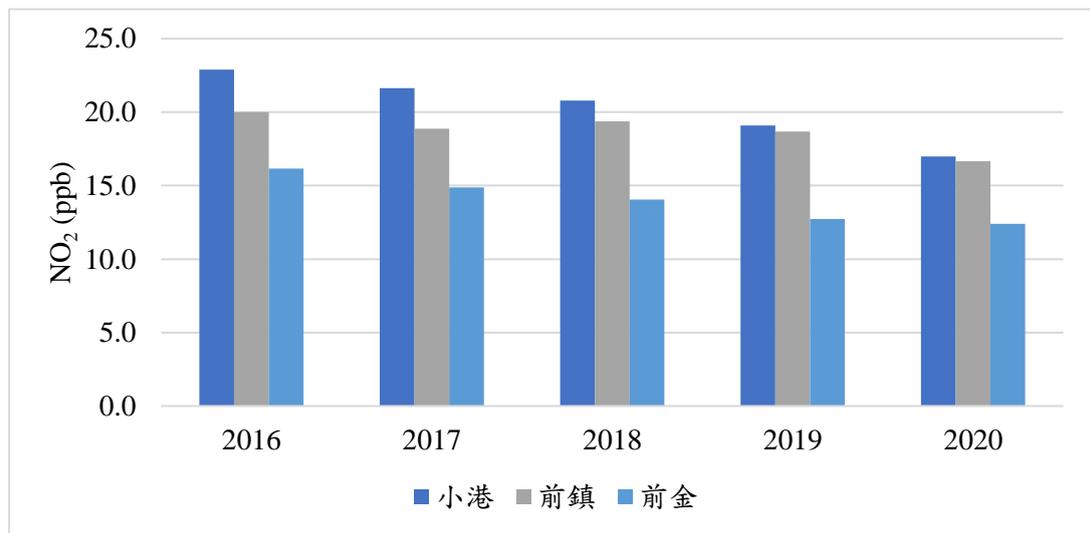
圖 5.8 高雄港區內空氣品質定點監測站

為推動外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶使用低硫燃油，交通部前於 107 年 1 月 25 日發布草案預告我國提前於 108 年 1 月 1 日推動國際航線船舶進入國際商港應採用含硫量 0.5% 以下之低硫燃油。其燃油硫含量不符規定，將處行為人新臺幣十萬元以上五十萬元以下罰鍰。從環保署近五年 (2016~2020) 高雄港三測站 (小港、前金、前鎮) 之 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 濃度年平均 (圖 5.9~圖 5.12) 可觀察到，高雄港區 SO_2 濃度變化自 2019 年明顯下降，其中小港測站值最為顯著，由 2018 年 6.7 ppb 下降至 2020 年 3.1 ppb； NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 的濃度變化不大。



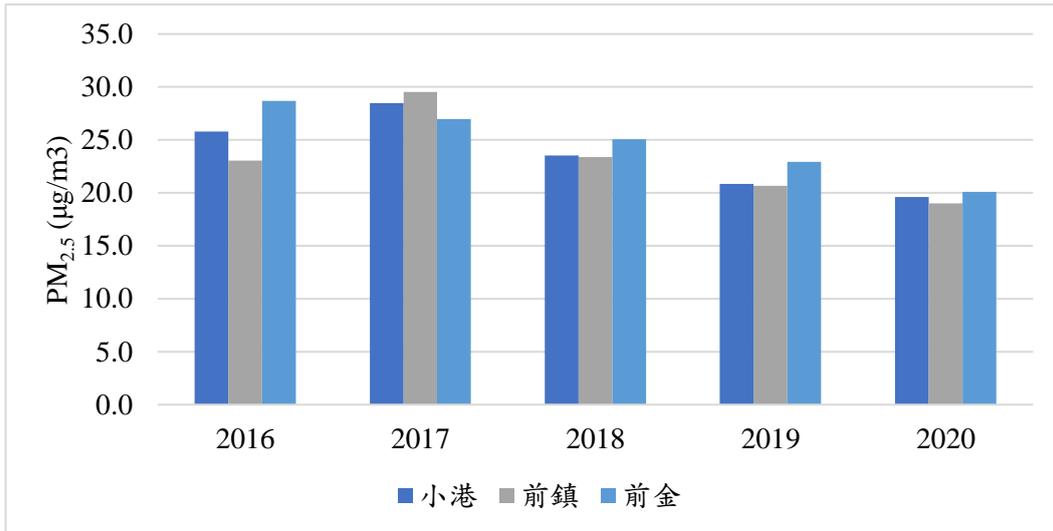
資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.9 近五年鄰近高雄港測站之 SO₂ 年平均



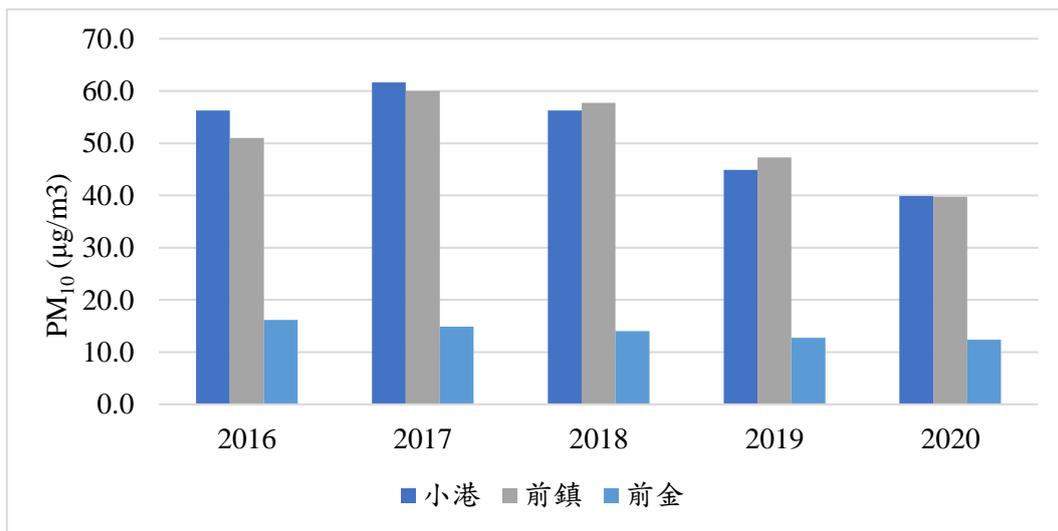
資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.10 近五年鄰近高雄港測站之 NO₂ 年平均



資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.11 近五年鄰近高雄港測站之 PM_{2.5} 年平均



資料來源：環保署空氣品質監測網，本研究彙整。

圖 5.12 近五年鄰近高雄港測站之 PM₁₀ 年平均

5.2 固定式監測技術之規劃

本計畫選用開徑式監測設備進行污染物之監測規劃。設置目的則係瞭解船舶燃油切換影響之程度、有效紀錄污染地區之空氣品質、即時偵測突發事件以採取應變管制、評估稽查措施之效益等。

由於本計畫選用開徑式監測儀作為監測儀器，因此考量之條件如下：

- (1) 以污染源為導向之監測應限制光徑之長度：監測項目包含硫氧化物、二氧化氮等，因此若監測光徑過長，將使偵測極限降低。因此監測儀光徑應介於 500-600 公尺。
- (2) 考量地區性污染來源：初步考量高雄港之氣候與污染源特性，規劃光徑橫跨高雄港二港口南北二岸，並選定東西兩岸高度超過 10 公尺之建築物，避免受港區船舶進出作業之影響，且使偵測光徑穿過煙流。

依據上述需求規劃之監測位置，於監測執行前進行附近的地理位置及實際監測點詳細勘察，以讓監測結果更具代表性。監測點選定之原則如下：

- (1) 光徑應直接通過船舶煙囪排放之煙流。
- (2) 避免附近其他污染源對煙流污染物濃度量測之干擾。
- (3) 避免附近建築物或障礙物阻擋光徑。
- (4) 發射端及接收端需安裝於一定高度的建物上。
- (5) 電源供應須符合儀器需求。
- (6) 選擇船舶必經之進出港口航道，得以監測多數船舶實際污染情況。

初步實驗規劃如表 5-3 所示。

表 5-3 固定式監測技術之規劃

項目	說明
使用儀器、設備	差光吸收光譜法 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS)
監測項目	二氧化硫(SO ₂)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO ₂)、二氧化碳(CO ₂)等
安裝地點	於港嘴架設遙測設備，並於監測執行前進行地理位置及實際監測點勘察，使監測結果更具代表性。
實測港域	高雄港二港口
實驗方法	本項目之監測目的係瞭解入港船舶污染，因此初步考量港區之氣候與污染源特性，規劃光徑橫跨港嘴南北二岸，並避免影響港區船舶進出作業。實驗方法考慮之因素如下，(一)以污染源為導向之監測應限制光徑之長度；(二)考量地區性污染來源，並同時進行氣象條件監測，氣象監測項目包括風速、風向、溫度、溼度。

5.2.1 固定式遙測架設地點研析

本節配合後續架設之地點進行探討，本計畫彙整高雄港二港口港嘴處，具有架設潛力之場所及其現況，包含一般民營海鮮餐廳及貨運公司總部或交通管制塔台等等，相關名單及各場所簡要現況說明，如表 5-4 所示。

本計畫經預先進行電訪及部分場所勘查後，於 110 年 09 月起即開始執行場所調查作業現勘訪視，對象為二港口港嘴南岸紅毛港文化園區 (南高字塔)、高明貨櫃碼頭股份有限公司 (高明總部)、北岸高雄港海巡署中和安檢所、VTC 塔台及北高字塔，共計有 5 處，其場所相對位置，如圖 5.13 所示，其場地基本資料如表 5-5~表 5-9，以及圖 5.14~圖 5.18 所示。

表 5-4 固定式遙測架設具架設潛力地點

項次	名稱	地址	場所現況說明	備註
1	南高字塔	812 高雄市小港區南星路 2808 號	民營海鮮餐廳	高雄市政府文化局管理
2	高明總部	812 高雄市小港區南星路 2800 號	公司辦公之場地	
3	中和安檢所	805 高雄市旗津區旗津一路 3 號	海巡署安檢所	
4	VTC 塔台	805 高雄市旗津區旗津一路 5 號	高雄港 VTS 信號台	
5	北高字塔	805 高雄市旗津區旗津一路 8-5 號	海巡哨所	台灣港務公司管理



圖 5.13 各架設地點相對位置示意圖

表 5-5 南高字塔基本資料

項次	項目	說明
1	場所名稱	南高字塔
2	場所地址	805 高雄市旗津區旗津一路 8-5 號
3	聯絡人/電話	警衛室 / 07-8711815
4	管理單位	高雄市政府文化局
5	行業別	餐飲業
6	常態作業時間	平日：15:00-20:00 假日：10:00-21:00 週三 公休
7	作業情形/ 場地概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 場所位於紅毛港文化園區，位置大門左側正對高雄港二港口港嘴處，右側則為紅毛港文化園區戶外展示區。 2. 地點目前為民營之海鮮餐廳，營業時間則配合紅毛港文化園區開放時間。 3. 建物為五層樓高字型外觀，建物高度約 25m，建物一、二樓為海鮮餐廳烹飪區、及飲食區；三四樓為儲藏室。 4. 頂樓目前已有電信業者架設基地台且未來預計會再增設其他業者之基地台。 5. 經場地會勘與場所管理單位確認場地目前可提供電力電壓為 110~220V。 6. 目前海鮮餐廳於烹飪區有裝設油煙過濾設備，排放口位於一樓西側。
8	海拔高度	約 35 米
9	其他	1. 起風時易受第七貨櫃中心揚塵干擾。



(A)場所正視圖



(B)場所大門位置



(C)海鮮餐廳排油煙機位置



(D)場所頂樓目前使用狀況



(E)場所右側周邊環境



(F)場所正對北岸無明顯遮蔽物

圖 5.14 南高字塔場所圖片

表 5-6 高明總部基本資料

項次	項目	說明
1	場所名稱	高明貨櫃碼頭股份有限公司
2	場所地址	812 高雄市小港區南星路 2800 號
3	聯絡人/電話	總務處 / 07-8727508
4	管理單位	高明貨櫃碼頭股份有限公司
5	行業別	倉儲業
6	常態作業時間	24 小時營業 全年無休
7	作業情形/ 場 地概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 場地目前主要業務為船舶裝卸、理貨、貨櫃搬運、貨櫃儲放、貨櫃拆併櫃過磅、冷凍櫃供電、監視、貨櫃清洗及修理等服務。 2. 建物為八層樓橢圓型外觀，建物高度約 45m，建物一~六樓為辦公區域及七樓為大會議室及空中花園。 3. 頂樓設置地點以頂樓東側為優先考量，但操作面積較小(寬僅 2.4 米)且需登頂攀爬鐵梯，未來須考量儀器搬運及操作方式。 4. 七樓頂空中花園(40 米高)位於大會議室外，場第三面皆有強化玻璃遮蔽未來架設時可能需進行玻璃切割。 5. 經場地會勘與場所管理單位確認場地目前可提供電力電壓為 110~220V。
8	海拔高度	約 50 米 (頂樓)
9	其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 起風時易受第七貨櫃中心揚塵干擾。



(A)場所大門位置



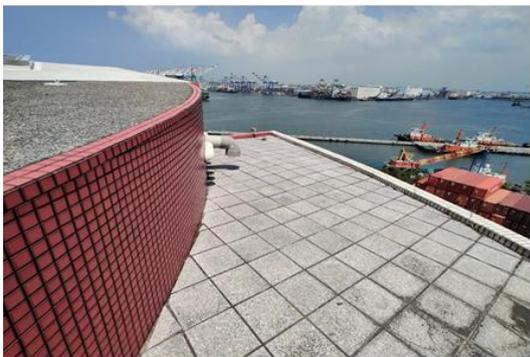
(B)7樓大會議室



(C)7樓空中花園



(D)空中花園正對北岸無明顯遮蔽物



(E)頂樓東側周邊環境



(F)頂樓正對北岸無明顯遮蔽物

圖 5.15 高明總部場所圖片

表 5-7 中和安檢所基本資料

項次	項目	說明
1	場所名稱	中和安檢所
2	場所地址	805 高雄市旗津區旗津一路 3 號
3	聯絡人/電話	值班台 / 07-5718-602
4	管理單位	海岸巡防總局南部地區巡防局
5	行業別	政府機關
6	常態作業時間	24 小時營業 全年無休
7	作業情形/ 方式概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要業務為海域、海岸、河口與非通商口岸之查緝走私、防止非法入出國、執行通商口岸人員之安全檢查及其他犯罪調查事項。 2. 作業包括：安檢、守望、監卸、巡邏/灘岸搜索、港區水域巡邏、艇戒...等。 3. 場所位於高雄港二港口港區，位置大門正對高雄港二港口港，右側則為港務警察靶場，後方為碼頭貨運裝卸區。 4. 建物為三層樓長方型外觀，建物高度約 9m，建物一樓為海巡業務辦公區；二、三樓為士兵寢室。 5. 經場地會勘與場所管理單位確認場地目前可提供電力電壓為 110~220V。
8	海拔高度	約 12 米 (頂樓)
9	其他	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未來架設光徑須避免通過靶場上方，避免槍枝硝煙之干擾。 2. 場所目前有其他單位執行非例行空氣污染設備架設。



(A)場所大門位置



(B)場所左側周邊環境



(C)場所右側靶場位置



(D)頂樓正對南岸無明顯遮蔽物



(E)大門正對二港口港內



(F)場所後方為貨運裝卸區

圖 5.16 中和安檢所場所圖片

表 5-8 VTC 塔台基本資料

項次	項目	說明
1	場所名稱	VTC 塔台
2	場所地址	805 高雄市旗津區旗津一路 5 號
3	聯絡人/電話	王裕盟 經理 / 07-571-1369 #106
4	管理單位	臺灣港務股份有限公司(高雄港務分公司)
5	行業別	船舶交通服務系統
6	常態作業時間	24 小時營業 全年無休
7	作業情形/ 方式概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 場所位於高雄港二港口港嘴處，為二港口港嘴附近建物高度最高之地點。 2. 地點目前主要為港口船舶交通服務系統（VTS）塔台，主要負責為管控商港區域船隻進出港口航行秩序，及提供船舶航行所需訊息，同時提醒行經該區域附近船舶注意航行安全。 3. 建物為十層樓塔樓型，建物高度約 60.7m(含上方鐵塔高度)，建物一、二樓為辦公區;九、十樓為船舶管理區。 4. 經場地會勘與場所管理單位確認場地目前可提供之電力電壓為 110~220V。 5. 因地點於強烈天氣時，風雨較為激烈，所有設備電路皆須由內管接入電氣室。 6. 經場地評估後頂樓目前已有其他單位架設設備，以無適當之空間，未來可能架設於 11 樓外部平台（高度約 40 m）或三樓平台（高度約 18 m）。 7. 因該點涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理單位協商討論架設地點。
8	海拔高度	約 70 米 (頂樓)
9	其他	-



(A)場所大門位置



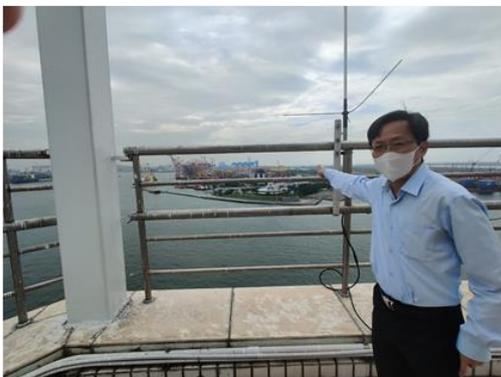
(B)3樓平台周邊環境



(C)3樓正對南岸無明顯遮蔽物



(D)頂樓位置



(E)頂樓周邊環境



(F)頂樓正對南岸無明顯遮蔽物

圖 5.17 VTC 塔台場所圖片

表 5-9 北高字塔基本資料

項次	項目	說明
1	場所名稱	北高字塔
2	場所地址	805 高雄市旗津區旗津一路 8-5 號
3	聯絡人/電話	王裕盟 經理 / 07-571-1369 #106
4	管理單位	臺灣港務股份有限公司(高雄港務分公司)
5	行業別	海岸巡防總局南部地區巡防局哨所
6	常態作業時間	平日 08:00-17:00 假日：公休
7	作業情形/ 方式概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 場所位於高雄港二港口港嘴處，右側則為 VTC 塔台。 2. 建物為五層樓高字型，高度約 32 m(含上方鐵塔高度)，目前僅做為海巡署中和安檢所哨所外，並無其他用途。 3. 經場地會勘與場所管理單位確認場地目前可提供之電力電壓為 110~220V。 4. 未來架設時需登頂攀爬鐵梯，須考量儀器搬運及操作方式。
8	海拔高度	40 米(頂樓)
9	其他	-



(A)場所大門位置



(B)場所側視圖



(C)場所入口位置



(D)正對南岸無明顯遮蔽物

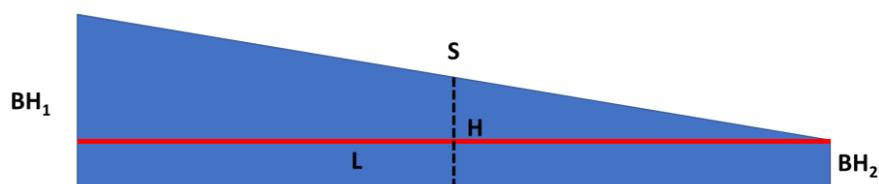


(E)頂樓鐵塔周邊環境

圖 5.18 北高字塔場所圖片

5.2.2 固定式遙測架設情境研析

依據 5.2.1 節地點之海拔高度(如表 5-10)，利用公式(8)及公式(9)計算光徑長度及中點高度，如表 5-11 所示，因固定式遙測須考量光徑長度，及中點高度，截至 2020 年底，7,500TEU~9,999TEU 級的大型船舶占總運能的 18%，10,000 TEU 級以上的大型船舶占總運能的 37%。按新造船訂單來看，10,000 TEU 級以上船舶占 86%，整體 10,000 TEU 級之船舶為主流 (Alphaliner, 2020)，水線上高度約 40~50 米。從表 5-11 可見，中點高度除 VTC 塔台往高明總部 (60 米)、VTC 塔台往南高字塔 (53 米) 及北高字塔往高明總部 (45 米)，此 3 個情境較為適合架設之目的；而在光徑長度 VTC 塔台往高明總部 (570 米)、VTC 塔台往南高字塔 (392 米) 及北高字塔往高明總部 (607 米)，除北高字塔情境光徑長度較長外，其餘兩個情境皆符合光徑限制長度，綜上所述 VTC 塔台往南高字塔是本研究優先建議架設情境，其次為 VTC 塔台往高明總部為第 2 優先架設建議，因 VTC 塔台是由臺灣港務股份有限公司負責管理，且該點涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理單位協商討論架設方式及樓層。而北高字塔往高明總部則為第 3 次序建議，且北高字塔目前停止使用多年，若要架設需要重新配置電路電線，架設成本亦需加入考量範圍。此外，其他情境的中點高度較低或光徑長度過長，故不建議優先架設。各項方案之建議順序如表 5-12。



$$(BH_1 - BH_2)^2 + L^2 = S^2 \dots \dots \dots (8)$$

$$(BH_1 - BH_2) \div 2 + BH_1 = H \dots \dots \dots (9)$$

H ：中點高度

L ：兩點距離

BH_1 ：建物高度 1

BH_2 ：建物高度 2

S ：光徑長度

表 5-10 架設地點海拔高度

地點	代號	海拔高度
VTC 塔台	VTC 塔台	70
海巡署中和安檢所	中和安檢所	12
北高字塔	北高字塔	40
南高字塔	南高字塔	35
高明貨櫃碼頭股份有限公司	高明總部	50

表 5-11 架設情境中點高度與光徑長度

情境	中點高度(m)	光徑長度(m)
中和安檢所→南高字塔	24	429
中和安檢所→高明總部	31	613
VTC 塔台→南高字塔	53	392
VTC 塔台→高明總部	60	570
北高字塔→南高字塔	38	412
北高字塔→高明總部	45	607

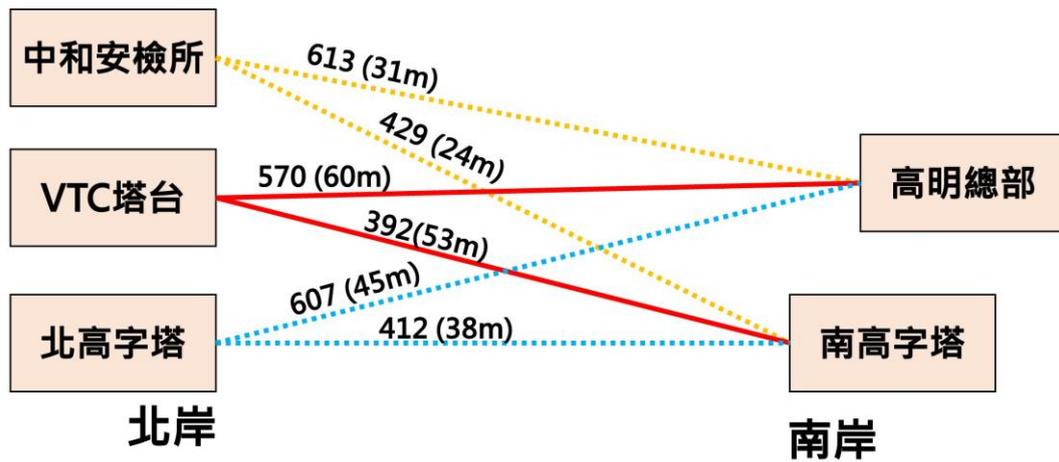


圖 5.19 開徑式監測儀測線地點

表 5-12 固定式遙測架設地點建議

項目	架設地點	建議次序
1	中和安檢所→南高字塔	6
2	中和安檢所→高明總部	5
3	VTC 塔台→南高字塔	1
4	VTC 塔台→高明總部	2
5	北高字塔→高明總部	3
6	北高字塔→南高字塔	4

5.3 移動式監測技術之規劃

從前述船舶污染對港灣城市空品影響分析可以知道，長期以來臺灣部分港灣地區空氣品質不良比例偏高，尤其對於人體健康影響甚鉅的衍生性空氣污染物，如細懸浮微粒(PM_{2.5})、硫氧化物(SO_x)及氮氧化物(NO_x)等。為能有效監測航於臺灣國際商港區域範圍內之船舶是否遵循防止船舶污染國際公約規範，此次移動式監測技術規劃以 AIS 系統資訊為基礎，透過 AIS 針對船舶的欄位數據進行解析，獲得海上船舶航行資訊，並依據船舶的基礎資料特徵以演算法推估船舶航行軌跡來預測追蹤目標船舶的位置資訊。而後則結合無人載具系統與地面控制平台，藉由控制平台提供的資訊選取欲追蹤之船舶，此時地面控制平台則把預測目標船舶位置資訊的計算結果，透過無線傳輸技術將預測經緯度座標位置傳送至無人載具，無人載具即自主飛行至目標船舶的經緯度座標位置進行追蹤，系統架構如圖 5.20 所示。

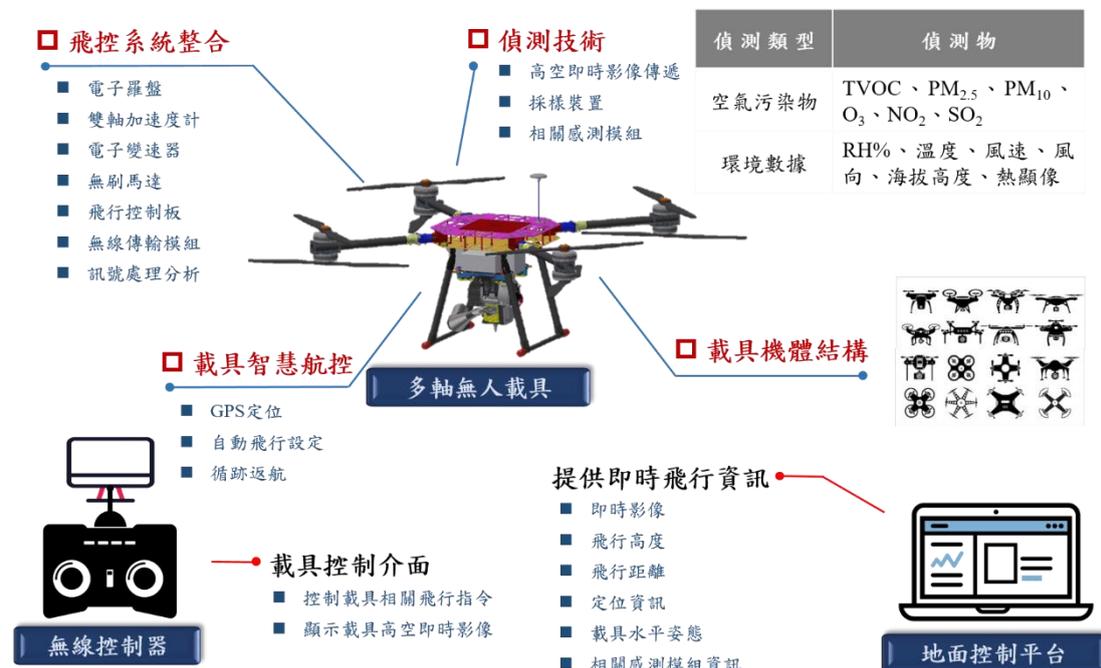


圖 5.20 載具系統架構

此次移動式監測技術規劃之實測場域為高雄港第二港口，場域俯瞰如圖 5.21 所示，載具飛行起降地點為二港口港嘴南岸紅毛港文化園區，

其轄管單位為高雄港務分公司及高雄市政府文化局。依據交通部民航局無人機飛行空域管理公告，其所屬範圍為限航區域環境，飛行高度需低於 200 呎內，依據其飛行測試結果評估其高度限制範圍內已可滿足運用無人機進行船舶空污排放監測技術執行之需求。



圖 5.21 高雄港二港口飛行空域管制範圍

在無人機的操作上需符合民航局規定持有相關飛行操作證，相關人員證照需求為專業高級操作證 Ia 以上及 G1 級別。Ia 為操作者操作無人機之重量級別，G1 則為無人機操作應用類別，如圖 5.22 及圖 5.23 所示。

	自然人 (休閒娛樂使用)	法人(政府機關、學校及公司)		載具重量級別
		專業 基本級 操作證 不可逾 400呎 飛行	專業 高級 操作證 可逾 400呎 飛行	
<2公斤	免操作證	I	I A	Ia2
2公斤以上未達15公斤	普通操作證			Ia
15公斤以上未達25公斤	專業 基本級 操作證 不可逾 400呎 飛行	II	I B	Ib
25公斤以上未達150公斤			II C	IIC
150公斤以上			III D	IIId

圖 5.22 專業高級操作證級別劃分

專業 高級 操作證 類別及說明	
G1	距地面或水面 400呎 以上飛行 視距外操作 夜間飛行
G2	距地面或水面 400呎 以上飛行 視距外操作 投擲或噴灑物件
G3	距地面或水面 400呎 以上飛行 視距外操作 室外集會遊行、人群 上空活動

圖 5.23 專業高級操作證類別

因此，依民航局規定「持有普通或專業操作證之操作人，具有教學同構造及最大起飛限制內之遙空無人機教學資格」，教育訓練視情況輔導相關人員進行考照相關事宜及無人機基本操作訓練。

無人機考照於 109 年 10 月 1 日開始實施新考制：逐級報考。必須從最基本的普通操作證開始考起，每張操作證需持有 1-3 個月才有資格報考下一級考照。以專業高級操作證舉例說明完整考照流程：

1. 通過普通學科測驗→獲取普通操作證。
2. 普通操作證持有一個月後才具有專業操作證考照資格，通過專業學科測驗後報考專業基本級術科測驗，通過後獲取專業基本級操作證。
3. 專業基本級操作證獲取一個月後才具有申請專業高級操作證術科申請資格，待術科通過後可獲得專業高級操作證。
4. 從零至獲取專業高級操作證需耗費約 3 個月的時間。

本次移動式監測技術之無人載具是以結合 AIS 系統提供的船舶航行資訊做為船舶追蹤的依據，並透過所建置的地面控制平台進行無人載具遙控操作。國際上為了航行安全與效率皆規範船舶、港埠皆須安裝或建置相關資通訊系統，而透過 AIS 系統輔助，能夠解讀系統覆蓋範圍內所監測到的船舶動靜態資訊，提供船舶週遭的海上航行環境狀況，最大程度避免航海船舶間相互碰撞的狀況，使岸台或管理單位掌握海面即時狀況和海上船舶活動情形。因此，研究透過擷取 AIS 系統資料庫，並對 AIS 資料進行欄位數據解析，即可獲取海上船舶的動態訊息，其資訊包括船舶 MMSI 呼號、船名、種類、航速、航向與經緯度座標等。依據國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC) 所制定的 IEC61162-1 標準中，其標準可支援二進制資料封包傳輸格式，包括了 AIS 資料的編碼、解碼和結構。就 AIS 系統所傳送的資料，可概分為動態、靜態及船舶航程資訊三類別，而三種類別所傳送的資料內容與傳送間隔亦有所不同，其動態資訊所傳送的區間位於 2 秒至 3 分鐘間，主要是取決於船舶航行速度與航行方向而變化，靜態資訊為每間隔 6 分鐘進行一次資料傳送，船舶航程資訊則是每間隔 6 分鐘或資料更新時進行傳送。AIS 系統傳送資訊類別與資料內容，如表 5-13 所示。其資料格式則可參考 ITU-R M.1371 系統規範中得知目前已定義的 AIS 訊息資料類型(Message Type)有 27 種，如表 5-14 所示，分別適用於 Class A 和 Class B 中數據傳輸使用。每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異，以 Message 1 至 Message 3 來舉例，該資料類型為 Class A 進行船舶位置訊息回報所適用，而 Class

B 的船舶位置訊息回報則為 Message 18。其 AIS 採用的封包格式皆由 256bits 組成，如表 5-15 所示。

表 5-13 AIS 資訊種類

種類	描述
靜態資訊	(MMSI, Maritime Mobile Service Identities Code)水上行動業務識別碼 (IMO) 國際海事組織編號 (Call Sign) 呼號 (Type of ship) 船舶類型 (Length and beam) 船隻長度與寬度 (GPS Antenna location) GPS 天線位置
航行相關資訊	(Draught of the ship) 船隻吃水深 (Cargo information) 裝載貨物資訊 (Destination) 目的地 (Destimanted time of arrival, ETA) 預估到達時間
動態資訊	(Position of the ship) 船隻位置 (UTC, Coordination Universal Time) 世界標準時間 (Course Over Ground, COG) 對地航向 (Speed Over Ground, SOG) 對地航速 (Heading) 航向 (Rate of turn) 轉向率 (Navigational status) 航行狀態
動態報告	(Ship speed) 船隻速度 (Ship status) 船隻狀態
緊急求救消息	(Alarm) 警示 (Safety) 緊急求救

資料來源：邱永芳 & 黃茂信，2018

表 5-14 AIS 欄位訊息數據類型

Message ID	Name	Description	Priority	Access scheme	Communication state
1	Position report	Scheduled position report; Class A shipborne mobile equipment	1	SOTDMA, RATDMA, ITDMA	SOTDMA
2	Position report	Assigned scheduled position report; Class A shipborne mobile equipment	1	SOTDMA	SOTDMA
3	Position report	Special position report, response to interrogation; Class A shipborne mobile equipment	1	RATDMA	ITDMA
4	Base station report	Position, UTC, date and current slot number of base station	1	FATDMA, RATDMA	SOTDMA
5	Static and voyage related data	Scheduled static and voyage related vessel data report; Class A shipborne equipment	4	RATDMA, ITDMA	N/A
6	Binary addressed message	Binary data for addressed communication	4	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
7	Binary acknowledgement	Acknowledgement of received addressed binary data	1	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
8	Binary broadcast message	Binary data for broadcast communication	4	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
9	Standard SAR aircraft position report	Position report for airborne stations involved in SAR operations only	1	SOTDMA, RATDMA, ITDMA	SOTDMA ITDMA
10	Standard SAR aircraft position report	Request UTC and date	3	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
11	UTC/date response	Current UTC and date if available	3	RATDMA, ITDMA	SOTDMA
12	Addressed safety related message	Safety related data for addressed communication	2	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
13	Safety related acknowledgement	Acknowledgement of received addressed safety related message	1	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
14	Safety related broadcast message	Safety related data for broadcast communication	2	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
15	Interrogation	Request for a specific message type can result in multiple responses from one or several stations	3	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A

Message ID	Name	Description	Priority	Access scheme	Communication state
16	Assignment mode command	Assignment of a specific report behaviour by competent authority using a Base station	1	RATDMA, FATDMA	N/A
17	DGNSS broadcast binary message	DGNSS corrections provided by a base station	2	FATDMA, RATDMA	N/A
18	Standard Class B equipment position report	Standard position report for Class B shipborne mobile equipment to be used instead of Messages 1, 2, 3	1	SOTDMA, ITDMA, CSTDMA	SOTDMA, ITDMA
19	Extended Class B equipment position report	No longer required. Extended position report for Class B shipborne mobile equipment; contains additional static information	1	ITDMA	N/A
20	Data link management message	Reserve slots for Base station(s)	1	FATDMA, RATDMA	N/A
21	Aids-to-navigation report	Position and status report for aids-to-navigation	1	FATDMA, RATDMA	N/A
22	Channel management	Management of channels and transceiver modes by a Base station	1	FATDMA, RATDMA	N/A
23	Group assignment command	Assignment of a specific report behavior by competent authority using a Base station to a specific group of mobile	1	FATDMA, RATDMA	N/A
24	Static data report	Additional data assigned to an MMSI Part A: Name Part B: Static Data	4	RATDMA, ITDMA, CSTDMA, FATDMA	N/A
25	Single slot binary message	Short unscheduled binary data transmission Broadcast or addressed	4	RATDMA, ITDMA, CSTDMA, FATDMA	N/A
26	Multiple slot binary message with Communications State	Scheduled binary data transmission Broadcast or addressed	4	SOTDMA, RATDMA, ITDMA, FATDMA	SOTDMA, ITDMA
27	Position report for long range applications	Class A and Class B "SO" shipborne mobile equipment outside base station coverage	1	MSSA	N/A
28-63	Undefined; Reserved for future use	N/A	N/A	N/A	N/A

資料來源：ITU-R. M. 2092-0

表 5-15 AIS 封包格式

Ramp up	Training sequence	Start flag	Data	FCS	End flag	Buffer
8 bits	24 bits	8 bits	168 bits	16 bits	8 bits	24 bits

資料來源：ITU-R. M. 2092-0

在完成上述各項 AIS 資訊標準規範，包含 AIS 資料類型、訊息長度以及標頭格式等屬性之解析後，得以瞭解 AIS 資料類型所定義的欄位格式與存放資訊內容。由於在後續無人載具是以完成數據整理的 AIS 資料進行目標船舶追蹤，因此還需對 AIS 資料各欄位數據的異常與否進行檢測，包括數據格式是否符合 ITU 制定的格式規範，並清除異常的 AIS 資料或是剔除不屬於船舶的 AIS 資料。主要是為了避免平台介面所顯示的 AIS 船舶資訊可能因異常資訊，造成無人載具誤判之情形發生，其檢測資料欄位如表 5-16 所示，包括船舶 MMSI、船舶航速、船舶航向與真航向。

表 5-16 檢測資料欄位

項目	檢測欄位屬性	判斷條件
1	重複性 AIS 資料	判斷欄位數據參數值，並剔除重複性的 AIS 資料。
2	MMSI 不足 9 碼	識別完成解碼之船舶 MMSI 是否符合 9 碼格式規範。
3	非船舶指配使用之 MMSI 識別碼	判斷完成解碼之船舶 MMSI 首位識別碼是否為 0, 1, 8, 9 開頭，藉以將非指配給船舶的 AIS 資料剔除。
4	船舶航速異常	依據船舶種類判別異常航速的 AIS 資料進行剔除。
5	船舶航向異常	船舶航向為船舶輪舵轉向的數據值，演算法將剔除格式規範角度數據為 0 度角至 359 度角以外之 AIS 資料。
6	真航向異常	真航向為船舶目前船艏角度的數據值，演算法將剔除格式規範角度數據為 0 度角至 359 度角以外之 AIS 資料。

接收完成解析後的 AIS 資料進行異常數據檢測處理過程，發現部份的船舶 AIS 資料的數據異常問題，如圖 5.24 至圖 5.26 所示，其數據異常狀況包括 MMSI 不足 9 碼、船舶航速異常、航向異常等。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
NET BUOY 0378%	527603	15	128	0	0	120.08816	23.20886	166
LONGLINE BUOY 02 20%	539002	15	128	4.1	0	121.902187	22.106708	95.5
LONGLINE BUOY 03 08%	539003	15	128	1.3	0	121.900203	22.10697	105.3
LONGLINE BUOY 0548%	539005	15	128	4.7	0	121.899538	22.100723	325.3
LONGLINE BUOY 07 27%	539007	15	128	0.7	0	121.899875	22.106857	214.9
LONGLINE BUOY 0914%	539009	15	128	2	0	121.904522	22.107227	31.5
LONGLINE BUOY 05 69%	542305	15	128	5.5	0			
LONGLINE BUOY 9990%	542399	15	128	3.6	0			
LONGLINE BUOY 00 99%	542700	15	128	6.2	0			

MMSI不足9碼

圖 5.24 AIS 資料異常數據：MMSI 不足 9 碼

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
LKPING YU 61789	4132703	2	5	79.8		119.705812	25.466722	40.7
	4132715	1	0	92		119.684177	26.808552	147.4
	160700007	0	0	102.3		118.698297	24.68698	360
	200001811	0	0	102.3		120.461765	26.949605	360
SPACEON03726	200903726	0	0	102.3		118.884817	24.761967	360
A	201204131	0	-128	102.3		181	91	360
NAMEOFSHIP	201208170	5	-128	102.3				
0688 SOS	96001461	0	0	102.3				
	4139804	0	3	97				

船舶航速異常

AIS資料之原始航速預設值為102.3

圖 5.25 AIS 資料異常數據：航速異常

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
	416006804	15	128	0	1	120.437313	22.472985	360
CHAU HSEN NO 28	416006846	15	-128	10...	0	181	91	360
	416745000	15	128	0	1	120.316953	22.568277	360
	416905074	15	128	0	0	121.86588	24.584903	360
	416924000	15	128	0	1	121.77808	25.149297	360
	433697702	6	103	20.4	1	-178.9595...	-90.5263...	373.7
YUNG AN NO.1	416073700	0	-128	0				5 360
KMSC NO.341	416073800	15	-128	0				3 360
	416198500	15	128	0				360

船舶航向異常

AIS資料之原始航向預設值為360

圖 5.26 AIS 資料異常數據：航向異常

在完成初步的 AIS 資料異常數據檢測處理後，得以確保後續更新至控制平台資料庫的 AIS 資料品質完整度。接著，則透過演算法計算船舶航行軌跡來獲取追蹤目標船舶的位置資訊，其演算法完成船舶航行位置預測的計算結果後，經資料編解碼處理並進行平台資料封包的格式轉換，透過無線傳輸將目標船舶座標傳輸至無人載具，使載具達成自主進行船舶追蹤之目的。而控制平台介面及功能開發部分，規劃分為兩方面進行設計，第一項為船舶圖形化資訊顯示視窗，另一方面則是載具的飛行資訊與控制指令功能，包括：載具飛行狀態資訊、安全鎖機制、起飛、降落、自動返航、定高停懸及追蹤船舶等飛行指令功能，如表 5-17。由於在控制平台介面的操作係透過人員直接於操作介面的資訊顯示視窗選取追蹤目標。因此在開發階段則須要將 AIS 船舶圖資以 HTML 架構匯入平台，然所匯入的 HTML 與 PyQt 是不同的程式語言，故還須透過 QWeb Channel 建立兩者間相呼應的通道，並定義一函式庫用以傳送及接收網頁的 javasprict 資料。在連結 AIS 資料庫擷取前述完成 AIS 資料處理的船舶資訊列表並解析 AIS 資訊取得所需的欄位數據，生成一包含所有 AIS 船舶點位的 HTML 地圖並載入控制平台的圖形化資訊顯示視窗。控制平台介面與功能開發架構，如圖 5.27 及圖 5.28 所示：

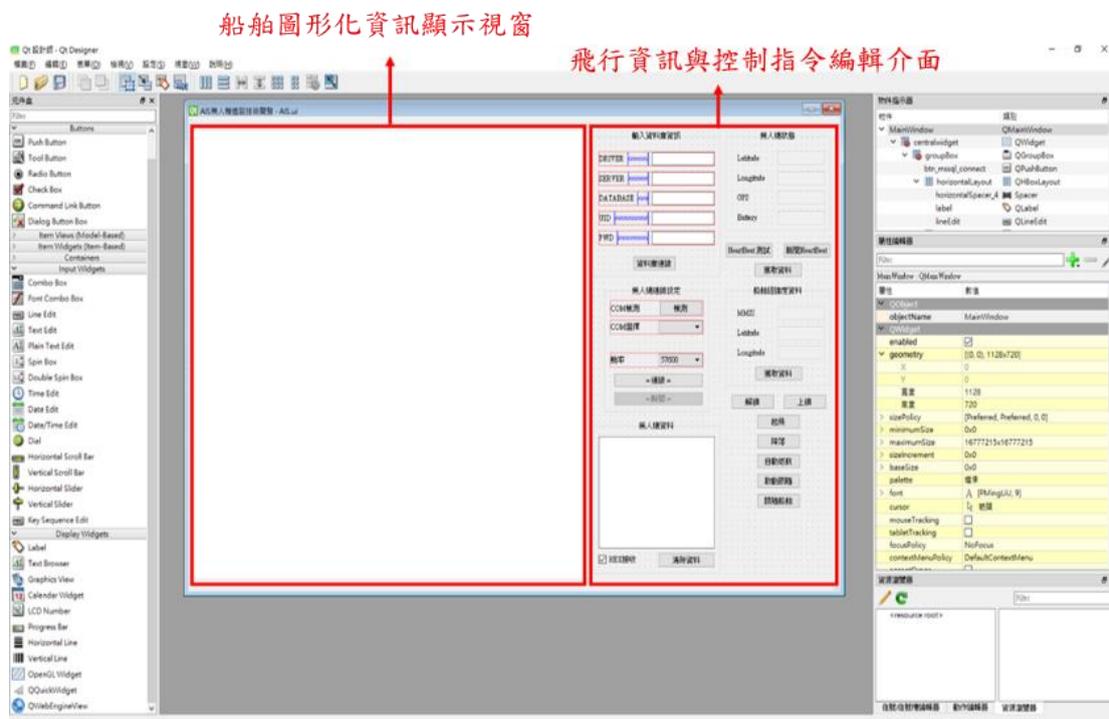


圖 5.27 平台介面及功能開發規劃



圖 5.28 系統控制平台設計示意圖

表 5-17 系統控制平台規劃功能說明

功能名稱	說明
AIS 資料庫連線資訊	與船舶 AIS 資料庫進行連線取得 AIS 船舶圖像資訊
載具連線設定與資訊	獲取 UAV 連線後之相關數據
載具飛行狀態	獲取 UAV 飛行狀態數據，包括經緯度座標、定位衛星連線數量、載具電池電壓量
目標船舶資訊	欲追蹤 AIS 目標船舶之 MMSI 與經緯度座標
飛行控制指令	執行飛行指令功能操作前之安全鎖機制
	執行起飛指令
	執行降落指令
	執行自動返回起飛航點指令
	執行定高停懸指令
	執行追蹤目標船舶指令



圖 5.29 移動式監測技術飛行作業測試

如圖 5.29 所示，此次移動式監測技術於高雄港第二港口南岸紅毛港文化園區進行飛行測試過程，亦藉由架設 AIS 接收站予以獲取即時性的 AIS 船舶資料，並測試 AIS 資料欄位解析與異常數據檢測之相關功能。並於載具飛行前置作業時，針對現場環境進行現場頻率量測分析，評估港區環境、VTC 塔台與船舶航儀設備是否造成訊號干擾影響。其研究規劃之船舶空氣污染排放移動式監測技術實驗內容，如表 5-18 所示。

表 5-18 無人載具移動式監測技術之規劃

項目	說明
使用儀器、設備	視船舶空污排放偵測需求，規劃使用之設備儀器以無人載具為移動平台搭載電化學式的空品感測模組、不鏽鋼採樣筒。並可再加以結合光學監測、固定式監測方式，包括 OP-FTIR，FTIR，UV DOAS 等設備儀器。
UAV 規格	無人載具規格：25 公斤級以下無人載具 飛行作業時間：可支援飛行時間至多 30min。 載具可負載重量：可搭載設備儀器重量至多 3kg。 機體結構：視掛載模組與採樣裝置條件進行客製化設計。
安裝地點	配合人員與作業地點移動，需滿足 UAV 起降條件，可於平坦地勢置放 UAV 與地面控制站架設。
實測港域	高雄港二港口，飛行高度限制則為 200 呎以下。
實驗方法	解析 AIS 船舶資訊，並依據船舶航行速度、航向及當前經緯度座標位置計算船舶的下一航行點，做為載具追蹤飛行之目標位置。其地面控制平台與操作介面之建置功能，則可提供操作人員進行載具飛行起降、目標船舶追蹤，定高停懸與自動返行之功能。

實地測試時使用 AIS 天線進行即時的船舶資訊接收，介面平台的船舶自主追蹤除了可以使用演算後的下一點座標進行追蹤外，也能在實地進行即時的資料接收處理。藉由專業地面站軟體比對介面平台的控制及顯示，以證明無人機可依介面平台接收處理的目標船舶經緯度進行追蹤，無人機操作流程圖，如圖 5.30 所示。

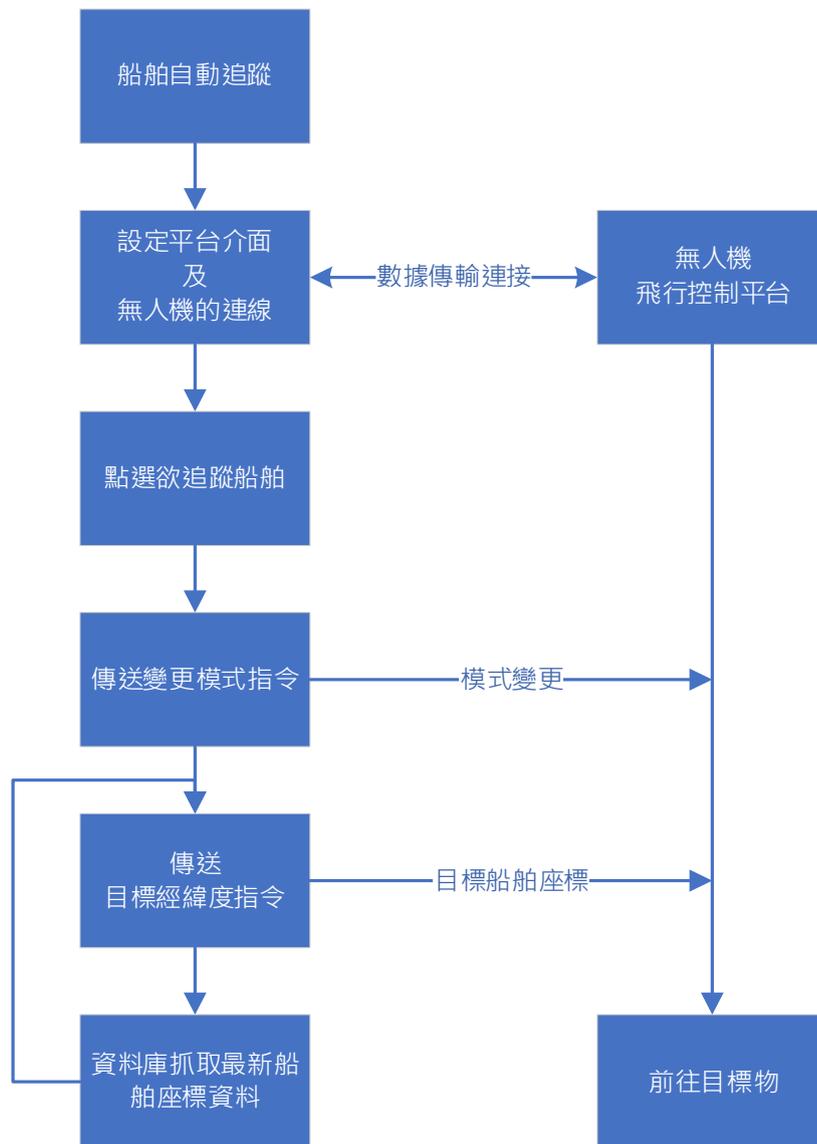


圖 5.30 無人機操作流程圖

在實地測試過程中所使用的無人機規格如表 5-19，除了本研究所開發之控制介面外，同時也開啟專業地面站軟體 MissionPlanner，用以驗證控制介面的運行結果是合乎預期的。在進行船舶追蹤前，則須將無人機上的飛控平台透過數據傳輸模組與船舶自動追蹤介面及 MissionPlanner，各自選取相對應的連接埠進行連接。

表 5-19 測試階段之無人機規格資訊

無人機類型	四軸多旋翼無人機	
無人機飛控平台	CUAV V5 nano	
無人機空機重量(含電池)	4.2 公斤(可額外掛載至多 3 公斤)	
數據傳輸設備	CUAV P9、CUAV P8	
飛行作業時間	至多 30 分鐘	

無人機追蹤測試日期為 110.11.14 日上午時段，中鋼榮耀輪預計於 110.11.14 日上午 7 時自二港口入港，待塔台將港內船班依序安排出港後，中鋼榮耀輪於 8 點 25 開始由二港口進入高雄港內，此時在介面上所看到船舶及無人機位置，如圖 5.31 所示。



圖 5.31 無人機及船舶當前位置

操作人員點擊[追蹤船舶]按鈕後，控制介面將會藉由數據傳輸模組將命令傳送至無人機的飛行控制平台，飛控依接收到的命令進行相對應的動作。命令會先將無人機由 Loiter 模式更改為 Guided 模式，Guided 模式

簡述為依地面站發送指令進行動作。透過 MissionPlanner 可看到船舶自動追蹤介面送出之命令確實將無人機狀態進行更改，如圖 5.32。

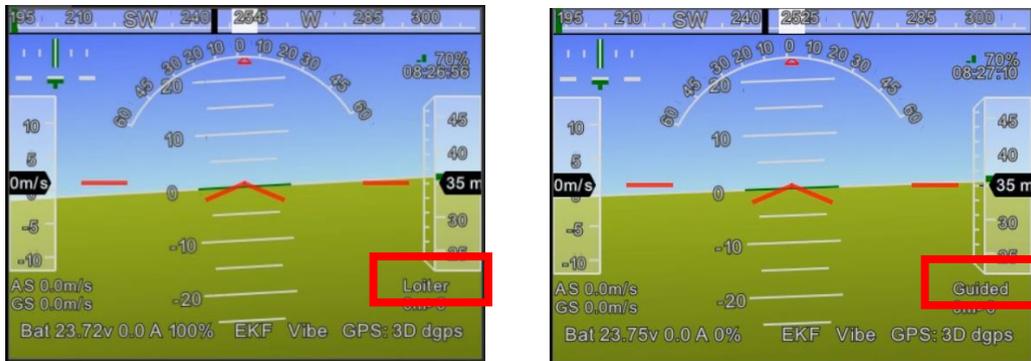


圖 5.32 無人機模式切換

船舶自動追蹤介面會持續將船舶最新座標傳送至無人機的飛控平台，以本次測試說明，所點選的船舶為中鋼榮耀輪，船隻 MMSI 碼為 357496000，平台介面會依照此船隻 MMSI 於資料庫內讀取最新船舶資料，再將船舶位置資料上傳至飛控平台，圖 5.33 為上傳後 MissionPlanner 顯示離目標船舶點之距離。圖 5.34 則為無人機進行自主追蹤船舶時圖資介面及 MissionPlanner 平台之顯示畫面。



圖 5.33 目標船舶點距離顯示



圖 5.34 圖資介面及 MissionPlanner 平台顯示畫面

本計畫在 AIS 船舶圖像資料平台與操作介面建置部分，嘗試以架設 AIS 接收站方式獲取即時性的 AIS 船舶資料，除可改善 AIS 資料延時性問題外，亦能降低 AIS 資料數據量過大造成系統負擔之情形。

而此次在船舶 AIS 目標追蹤演算法的開發，其結合航跡預測分析技術的方式，能夠改善載具進行船舶追蹤時，可能陷入不斷追尋目標船舶歷史航點的迴圈問題。

另外，依據此次實海域測試作業執行成果，評估以載具為移動平台結合船舶追蹤技術，以及各種感測模組與採樣裝置將能協助國內港埠地區打造跨領域創新應用技術服務。藉由無線通訊、控制技術結合無人載具除可減輕作業人力不足與工時過長等問題外，亦能藉環境感測資訊、採樣數據提出更為可靠與精確的資料依據，從而契合我國推動海洋事務與污染防治發展之整體規劃。

第六章 專家學者座談及應用單位訪談

6.1 專家學者座談

本計畫於分別於民國 110 年 5 月 26 日及 9 月 27 日，針對國內外港埠地區空污排放偵測技術之分析結果、既有船舶空污管制策略優劣勢分析與所規劃之船舶空氣污染排放偵測技術可行性等議題，邀請港灣管理、船舶航行管理、有害空氣污染物量測與控制、環境污染監測與檢驗，以及 UAV 技術應用等領域之專家學者，詳細討論內容如附錄五。因應嚴重特殊傳染性肺炎(COVID-19)的防疫措施要求，第一場次訪談以線上形式進行，第二場次因防疫措施逐步放寬，改以現場訪談進行，會議場地及個人防護要求遵照中央衛生福利部防疫指引。訪談內容重點概述說明如下。

6.1.1 船舶登船檢查機制

自 2003 年我國登船檢查主要系由交通部航港局的 PSCO 依照現有船舶遴選方式選定目標船，並登輪執行檢查。此外，自 2019 年 1 月 1 日起，PSCO 會依照以往的稽查選定目標船外，亦會依照「船舶使用低硫燃油檢查作業程式」對進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等進行檢查。IMO 防止船舶污染公約規定自 2020 年 01 月 01 日起船舶要開始使用含硫量低於 0.5% 之低硫燃油，我國則提早一年於 2019 年 1 月 1 日開始實施。綜觀國際港口仍多以登輪檢查為主，包括查驗船舶安裝脫硫器之合格證明或油料紀錄簿、其他換油紀錄、燃油交付單數量及硫含量等，此外也可抽查船上換油程式書或主機、發電機及鍋爐用油紀錄等。我國登輪檢為主要是由航港區 PSCO 執行，其針對數據有問題的船舶進行稽查，並採樣送公證單位分析，最後則將違規船舶列入高可疑性名單提供系統資料庫做一匡列，但航港局現有人力未能有充足備援之能量，難以進行大量的船舶稽查。

登輪檢查雖未能完全查獲船上用油實況，但具有宣示作用，對於船舶來高雄港會有警示效果。專家指出可以遴選比較可能有問題或有不良紀錄

之老舊船進行，大部分定期航行各大港口之定期船，或大公司有正規船級社認證之船舶，基本上都會遵守公約。

本研究希望透過於港嘴處安裝固定式遙測設備及移動式遙測技術進行首由此可見，我國 PSCO 目前所遭遇到最大的困境之一是人力嚴重不足，其登船合理性、必要性及國際公認力已逐步完善，但因人力不足無法擴大至所有進港可疑船舶進行稽查，本計畫旨在港嘴處安裝固定式遙測設備或移動式遙測技術建立高效、快速且免登船檢查為規劃之目標，鎖定有問題之船隻，再進行針對性的登船稽查，以確保船隻用油是符合政府及國際要求。

6.1.2 現階段稽查執行難度及困境

船舶檢查機關對於登船檢查具有一定的挑戰，如登船難度大、效率低；抽檢帶有盲目性和時效性；定點遙測受限過多；及只能在港口附近作業；實施國際海事組織 (IMO 2020) 標準的挑戰及相關配套措施尚未完善，未能達到國際水準。目前我國 PSCO 登輪檢查時間約二小時左右，取樣化驗只由合格單位執行。

專家建議在受限過多之限制下，只能加人定點遙測之功能，才能有效率的進行後續的更多有效的稽查。此外，在 PSCO 檢查人力不足尚未補充前，可以選擇重點船，從少量開始執行，亦求可以達至稽查的目的。

為減輕 PSCO 的執行難度，本研究希望規劃一套遙測技術以解決現今人力不足之問。固定式光學遙測設備一大優點乃經公證單位校正後即可於港嘴進行連續長時間監測，且所有船舶均會通過港嘴進出港，故可提前掌握污染船舶並搭配預警系統可於入港後提前通知 PSCO 至相關船舶進行登船檢查，可有效解決以往稽查中帶有盲目性及不確定性等等因素，有效提高船舶燃油檢查之效益。

6.1.3 船舶燃油切換及脫硫塔替代方案之實作現況分析

國際海事組織 (IMO 2020) 實施後，運營商有兩種主要選擇來遵守全球法規：一是改用符合標準的 0.5%以下含硫量的燃油，二是繼續使用 HSFO，並安裝脫硫設備以降低排放燃氣的含硫量，本研究目前蒐集主流三種脫硫

設備，並於個案探討中，針對同一船型選用低硫油或脫硫設備兩種操作方式進行分析探討。

因為 LSFO、VLSFO 及 ULSFO 價格相應較貴，若要全面改用符合標準的 0.5% 以下含硫量的燃油，目前在台灣執行較難。另外，繼續使用 HSFO，並安裝脫硫設備以降低排放燃氣的含硫量，開環式脫硫器會增加油耗與污染海洋，若使用 LSFO 卻會對船舶引擎產生損壞。閉環式脫硫器則不會有類似問題。

根據國內外數所船商的企業報告書可見，大多航商已積極配合國際海事組織 (IMO 2020) 要求改用符合標準的 0.5% 以下含硫量的燃油或安裝脫硫設備以降低燃油含硫量。舊老船隻也逐步以新船取代或安裝脫硫設備。船舶燃油切換成效頗高，隨時低硫燃油的要求，市場上低硫燃油價格已有所調整，吸引航商購買。若老舊船隻計畫安裝脫硫塔，本研究建議安裝閉環式脫硫設備，以減少海洋污染，保護海洋環境。

6.1.4 固定式空氣污染排放偵測技術規劃

空氣污染排放之管制技術包含機動式無人機監測系統、光學遙測系統、及各式物理化學感測器組合應用系統。若論及應用場域，則可以區分為船上、岸上、港內、港嘴、錨泊區及近岸等不同尺度特性；稽查方式又可以區分為「登船檢查」與「不登船檢查」等不同方式。固定式空氣污染排放偵測技術規劃時，除了技術可行、經濟可行、安全性、時效性、立即性、國際公信力、船隻國籍問題及法源依據等考量外，亦應綜合考量不同系統的相容性、互補性，以達最佳化之管理目標。

專家指出固定式空氣污染排放偵測技術規劃時，雖然技術可行，但要考量航商之規避方式。必需動態的無人載具來同時進行，否則所檢測存有較大差異性。固定式遙測設備建議使用 UV-DOAS、OP-FTIR、LiDAR 等，可從各遙測設備的偵測化合物種類，偵測反應時間，光徑長度等擇選適合之技術。固定式遙測設備若建議安裝於高雄港二港口處，因高雄港二港口船型較多，船隻靠港數也相應較多，可作為規劃實驗規劃港口。

經評估後，本研究首先就高雄港的背景及環保署測站 (前金、前鎮、小港) 的氣候條件作了解，包括溫度、溼度、降雨量、風向、風速；及高雄港

污染物排放量，如 SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀。因船舶污染排放種類主要以 SO_x 及 NO_x 為主，故本研究選定以 UV-DOAS 作為設備及規劃安裝地點。

6.1.5 多軸無人載具之船舶空污監測技術應用規劃

規劃以無人載具為空中移動式平台，掛載空氣品質感測模組與採樣設備，並結合船舶自動識別系統的船舶動態資訊建置 AIS 船舶圖像資料平台與操作介面，藉由平台資訊追蹤海上船舶動態，實現船舶空污排放監測。

動態無人載具的監測方式，可以彌補固定式偵測技術之不足，且可以防堵航商利用進港航道之規避手法，二種方式可以同時進行。UAV 具備快速、精準、高效率且可針對性偵測之載具，搭配各項空污感測器及相關偵測儀器掛載後，可協助港區管理單位高效完成各項例行事務與特定空污排放偵測。此外，國外許多國家，如新加坡港、香港、比利時安特衛普港等，已借助 UAV 在船岸間往來運送物品、空拍監測等，未來使用 UAV 搭載空污感測儀器，或光學監測、紅外線顯像技術相關感測模組進行空污偵測，應是可行的研究發展方向。

基於 UAV 自主性高、機動性強的特性，能夠有效協助改善目前國內 PSCO 人力不足的問題。本次研究之移動式偵測技術規劃，以 UAV 為平台在港區船舶空污排放進行監測的優勢，在於 UAV 能夠依據任務需求，使用模組化方式掛載不同的空氣污染排放物微型感測器、熱感應模組或是不鏽鋼採樣筒執行任務，具有較大的任務調度彈性。此外，現階段的飛行控制平台對載具端系統內部的資訊監測亦已相當完善，不論是低電壓警報、GPS 訊號監測、飛行姿態監測或自動返航功能等皆有完整的應變處理機制，協助操作人員進行飛行作業。

6.1.6 固定式空氣污染排放偵測技術規劃

本計畫原訂規劃紅毛港文化園區及中和安檢所為架設地點，經由第一場次座談會後，修正至北岸 VTC 塔台。本研究分別至中安檢所、南高字塔、VTC 塔台、高明總部及北高字塔進行場勘，經過光徑長度及建物高度，擬定以下架設地點：

1. 中和安檢所→紅毛港文化園區(南高字塔)

2. 中和安檢所→高明總部
3. VTC 塔台→紅毛港文化園區 (南高字塔)
4. VTC 塔台→高明總部
5. 北高字塔→紅毛港文化園區 (南高字塔)
6. 北高字塔→高明總部

專家建議除北岸 VTC 塔台外，尚有紅毛港文化園區(南岸高字塔)、高明公司總部及北岸信號台(北岸高字塔)，以各點之高度、相連距離及設備訊號強度，均屬可行。高雄港有 70%船舶是從二港口進出，一般進港船從港外進入防坡堤航道會開始減速，抵達信號台附近時，必須大倒車以減低或停止前進速度，準備進入迴船場時，轉向進入港內主航道。出港船則從各碼頭離岸抵達迴船場時，掉轉船頭對正防坡堤航道後動車出港。船舶最容易排放濃煙的時候，是進港船在信號台附近倒車制止前進及出港船在迴船場對正航道動車出港時。故建議未來可將監測重點專注在港口出入口處及港內迴船池、停泊區等污染較嚴重之區域。

經評估後，本研究以 VTC 塔台往南高字塔為優先架設建議，其次為 VTC 塔台往高明總部，第三為北高字塔往高明總部，其他場所因光徑高度及建物高度故不適合架設。因 VTC 塔台涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理單位協商討論架設地點；另有關迴船池屬港口內，可能受其他污染干擾；本研究規劃願景為固定式監測作為移動式偵測設備初步查核違規船舶，二次確認，故架設時須不受其他可能干擾，才能監測到具代表性之樣本。

6.1.7 固定式空氣污染排放偵測技術選定

目前固定式遙測技術已盤點並蒐集 7 種技術，包含目測判煙、嗅探技術 (IGPS)、影像辨識、開徑式傅立葉轉換紅外光(OP-FTIR)、紫外差分吸收光譜法 (UV-DOAS)、多軸差分吸收光譜儀(MAX-DOAS)、光學雷達 (LiDAR)等技術。經過考量其適應性、技術成熟度、精準度、設備可靠性…等等，本團隊初步選定 UV-DOAS 為優先考慮之架設儀器。

專家指出於高雄港二港口信號台附近布設 UV-DOAS 固定監測進港船排煙，應是合適的地點。UV-DOAS 主要扮演船舶排煙中 SO₂ 濃度高低監測及

篩選出油品含硫量超標或洗滌塔脫硫效率不佳的船隻，俾做為後續作為之依據。至於使用無人機追蹤船舶探測排煙時，亦以上述兩個地點最易取的排煙樣本。另船舶在離靠碼頭時，除有拖船協助外，亦須動用大車協助船身前進或後退，也容易排放濃煙，未來追蹤監測排煙亦可以參考。

本研究優先選用開徑式監測設備進行船舶排放監測，由於港區主要污染來源包括船舶排氣、車輛尾氣及石化儲槽儲存及裝卸之逸散等。設置主要目的則係瞭解船舶所排放之煙流中污染物濃度，故儀器選定之基準如下：

1. 以污染源為導向之監測應限制光徑之長度

因監測項目包含 SO_x 、 NO_x 及 CO_2 ，因此若監測光徑過長，將使偵測極限降低。因此監測儀光徑應介於 500-600 公尺，OP-FTIR 光徑適用長度須介於 300-400 m，於本研究選定之地點、除塔台南高字塔直線距離 390 m 外，其餘地點皆超過 400 m，因此 OP-FTIR 於本研究暫時不作考慮。

2. 考量監測目標污染來源

監測目的係瞭解進出港區船舶所排放煙流之污染物濃度分布，因此規劃光徑橫跨高雄港二港口港嘴南北二岸，並因避免港內其他可能污染源之干擾。

6.1.8 多軸無人載具之船舶空污監測技術實驗測試

目前在船舶空氣污染監測技術應用部分，團隊先行針對 AIS 資料進行介接與初步的整理，剔除原始 AIS 資料源中之異常與重複性數據，並針對 AIS Payload 資訊欄位進行解析與資料格式轉換。其 AIS 船舶資訊經處理後亦成功匯入系統平台介面。評估現行以 AIS 資料已能滿足載具追蹤船舶的資料需求，後續團隊將於紅毛港文化園區進行高雄港第二港口之 UAV 海上環境飛行與船舶追蹤測試，藉以取得如載具追蹤精度、載具需滿足之最小飛行時間及飛行適切高度等實驗數據。

專家指出無人機規劃路線應合宜，惟無人機可抗風速，須考量 UAV 能否完全克服氣候問題及 UAV 即時數據使用傳輸頻率是否合法。建議未來可依船型、排水量、風向來判斷煙流位置或方位。

由於煙流位置與方向的判斷，其海上氣象資訊佔據極大因素，未來團隊將參酌委員建議，除目前 AIS 船舶資訊做為載具追蹤船舶的資料依據外，

進一步納入海氣象資訊分析，藉以提升船舶煙流追蹤之判斷。此外，依據飛行測試結果評估及國外船舶空氣污染排放偵測技術案例研究，船舶煙流排放高度與範圍確認亦可透過掛載熱顯像模組進行影像識別處理。在無人載具飛行路徑規劃部分，可於場域勘查階段即針對載具起降、自動返航等飛行指令操作進行相關飛行高度與座標位置設定，建立初步的安全避碰機制。目前載具遙控操作、資料傳輸頻率皆符合國家通訊傳播委員會公告許可之收發使用頻帶，於飛行測試前置作業亦會針對現場環境進行頻率量測，避免造成港區船舶與轄管單位航儀設備之影響。

6.1.9 多軸無人載具之船舶空污監測技術應用關鍵難點

在前期現場環境勘查作業中，團隊藉由手持式頻譜分析儀等設備進行高雄港第二港口的環境頻率量測，主要是為評估現場環境，如 VTC 塔台、船舶航行設備儀器與周遭環境之頻率，是否造成載具飛行時之訊號傳輸或操作的影響，予以避開其相互影響之情況。此外，在現行港務公司轄管港區範圍使用遙控無人機的相關規範中，除需滿足民航局的相關法令規範外，載具飛行路徑涉及承租業者作業區域或船舶上空時，需取得該業者同意許可。為能達到移動式偵測技術開發應用目標，評估未來則可進一步進行空品感測模組或採樣模組掛載，並結合海氣象資訊擴散模式計算，予以測試載具追蹤船舶煙流的空品採樣或偵測之最短有效範圍。

專家建議可設定 UAV 監測船舶空污之 SOP，用以取得認證客觀之數據，進而產生管理高效度之成果(煙囪高度、入港出港時之氣候、風向，藉以取得客觀公正之空污數據)。

針對移動式監測技術規劃之部分，本研究後續將依循委員建議，針對飛行作業過程、測試結果等條件進一步規劃與完善移動式監測技術的標準作業化流程，使調查數據具備客觀性及公正性。

6.2 應用單位訪談

受國內 COVID-19 疫情及第三級疫情警戒管制影響，部分受訪單位元採居家辦公、異地辦公或人員管制之情況，原定訪談規劃為配合受訪單位要求改採線上視訊方式於民國 110 年 7 月進行。訪談單位包括交通部航港局、航港局南部航務中心、高雄市環保局空噪科、中鋼運通股份有限公司及臺灣港務股份有限公司(高雄分公司)職業安全衛生處。以下內容為訪談部份概述，詳細討論內容如附錄六。

1. IMO 2020 管制措施的效果

依據港務公司 108~109 年國際商港空氣防治污染報告，因我國於 108 年開始實施船舶使用低硫油政策，107 年前是以獎勵措施為主，並無統計執行績效，108 年進港船舶總艘次為 37,458 艘次，相關減量效益 PM_{2.5} 為 306.35 公噸、SO₂ 為 6,870.03 公噸；109 年進港船舶總數為 37,891 艘次，相關減量效益 PM_{2.5} 為 309.90 公噸、SO₂ 為 6,949.45 公噸，截至 110 年至六月進港艘次共 18,989 艘次相關減量效益 PM_{2.5} 為 155.30 公噸、SO₂ 為 3,482.7 公噸，逐見限硫令的成效。

2. IMO 2020 實施下低硫燃油的使用情況

自 IMO2020 生效開始，除 ECA 以外，其他地區均使用含硫量 0.5% 以下的低硫燃油，目前臺灣與全球規範是一致的，以目前情況來說，進入臺灣海域或鄰近港口的船舶，無須進行燃油切換，在公海或領海均使用含硫量 0.5% 以下的燃油；我國於 2019 年提早實施 IMO 2020，登輪稽查時查到 4 件未使用低硫燃油的案件，皆以商港法第 66 條，各裁罰新台幣 10 萬元整，因依據法令是以商港法裁罰，故裁罰機關為航港局，事後也有確保繳完罰款後才放行，去年 2020 未有查核到用油違規的情形。

就中鋼運通而言，由 2020 年 1 月 1 日開始遵行 MARPOL 7378 公約，進行低硫燃油轉換的工作。目前除了 4 艘台船新造船使用合格的 Scrubber 外，其餘 21 艘均使用低硫燃油。4 艘台船同型船噸位為 20.8 萬噸，1 艘於交船前安裝脫硫塔、1 艘交船後安裝脫硫塔、2 艘是營運後期改裝，均使用開環式脫硫塔。

3. 目前進入我國國際商港之船舶使用低硫燃油與脫硫塔比例

交通部航港局表示目前我國國際商港之船舶進港是採自願申報是否有安裝脫硫器，統計自 108 年裝設脫硫塔船舶佔比為 0.25% 共計 98 艘；109 年裝設脫硫塔船舶佔比為 0.27% 共計 102 艘。從數據可見，安裝脫硫器之船舶比例只佔少數，大多數船舶選擇使用低硫燃油。

4. PSC 管制檢查成效

我國 PSC 目前主要依據東京備忘錄檢查項目進行登船檢查，檢查時間平均一艘船需花費 3~4 小時，故無法每一項目都進行檢查，目前檢查均以文件查核等為主。自 PSC 從 2003 起船舶檢查數從 140 艘成長到 2020 年 828 艘，檢查率也從 4.65% 成長至 16.34%，其中不合格率也有逐年降低的趨勢。航港局近年非常注重 PSCO 的專業能力的培訓，目前也配合東京備忘錄每年九月所訂定的年度重點檢查項目。

5. PSCO 油品採樣後檢送要求

目前 PSCO 及環保局分別進行，由當地環保局人員自行派員登船，由船上工作人員陪同，針對油品採樣並送合於規定之檢驗單位進行分析，PSCO 不負責採樣及後續裁罰。依照基隆市經驗，油品送樣主要交由環保署認證實驗室/機關負責檢測，若油品不符國際要求，由航港局依據商港法負責開立罰單，主要是環保罰單。因罰款不高(空污法最低新臺幣 10 萬)，船東較少有拒繳的情況。

6. 高雄港二港口規劃移動式偵測技術與光學遙測偵測之評估

高市環保局指出近年民眾在意黑煙問題，以基隆港為例，郵輪的停靠碼頭剛好是靠近住宅區，常常接受到民眾陳情。最終基隆市環保局跟航港局有一個機制，透過基隆市環保局派出合格的目測判煙人員在港區一週數次，或不定期觀看進出港口的船舶，若發現黑煙的情況，便錄影存檔，最後提供影片給航港局進行裁處。若要安裝光學遙測技術，UV-DOAS 現行階段普遍採租借模式，監測費用(12 個月，連續每天監測)約為新臺幣 1,000 萬。由此可見，我國基隆港已有使用 UV-DOAS 監測港口黑煙情形，航港局亦樂觀且看好後續開發及規劃。

第七章 結論與建議

因應國際海事組織（IMO）制訂的 2020 年船舶使用低硫燃料油規定，交通部自 108 年 1 月 1 日起推動進入我國國際商港應採用硫含量 0.5% 以下之低硫燃油措施，航港局檢查低硫燃油作業係由船旗國或港口國管制檢查員依據現有船舶遴選方式選定目標船並登輪執行檢查。本計畫為輔助航港局進行船舶能源使用及空氣污染排放檢查機制，針對國內外空污偵測技術進行探討及評估適用於船舶空氣污染排放偵測之技術成熟度，以提供航港局或港務公司可透過科技輔助進行疑似高污染船舶判別機制，並作為登輪檢查之參據。本計畫結論與建議如下。

7.1 結論

1. 低硫燃油政策研析

- (1) 因應 IMO 2020 政策的推動及實施，全球船商都應政策要求使用含硫量 0.5% 的低硫燃油或安裝具有同等減排效應之裝置；經本計畫透過船公司訪談資料指出，在使用低硫燃油下，管道容易產生污泥，進而導致過濾器塞堵或機器磨損磨耗等問題，此外，使用脫硫塔者亦需要引入海水進行中和反應，其排放水偏酸性，容易造成管路酸蝕之問題。
- (2) 自 IMO 2020 實施後，從國內外主要船公司之相關統計報告指出，其重油使用量均有減少，減少幅度約 4%~22% 之間。以國內某航商同型號、同航程之船舶，比較低硫油及脫硫塔用油量差異，結果表明使用低硫油比高硫油較為耗油，油耗多達 6%；於使用脫硫塔情境下，因脫硫塔需使用發電機將海水抽入洗滌裝置內，導致船舶能耗增加，對比低硫油，油耗多達 11%。

2. 國內外空氣品質檢測及採樣技術研析

- (1) 本計畫蒐集我國空氣品質檢測方法，包括行政院環境保護署環境檢驗所 (NIEA) 之標準檢測方法，以及美國國家環境保護局

(USEPA)及美國材料和試驗協會 (ASTM)、CNS 檢測方法，並整理各項檢測方法之工作原理、優缺點與建議採用順序。

- (2) 本計畫蒐集主要空氣污染排放偵測技術，包括目測判煙、嗅探技術 (IGPS)、影像辨識、OP-FTIR、DOAS (UV-DOAS 及 MAX-DOAS)、LiDAR、CEMS、Sensors 及無人機搭載偵測器等項目進行比較，其中以 UV-DOAS 及 UAV 較適用於我國港區船舶空污監測。

3. 船舶空氣污染排放偵測技術盤點

- (1) 我國現行船舶空氣污染排放管制與稽查以登輪稽查為主，登輪檢查又以文件稽查為主，污染防護及國際船舶安全管理非其主要稽查項目，而臺灣港務公司為了解各進港船隻的資料所開發 AIS 系統及船舶減速查核系統，做為查核船舶減速航行監測的判斷依據。
- (2) 在固定式技術部分，UV-DOAS 是一種無需氣體採樣、可進行長期連續監測、可以全自動運行，操作維護成本低、檢測多種有機、無機化學物質的技術。其量測反應時間較 OP-FTIR 快，可達 1 分鐘 1 筆、且受水氣干擾較 OP-FTIR 小，因此，適合用於港區空氣品質監控。
- (3) 針對移動式技術，目前國際間舉凡荷蘭、比利時都有實際利用無人機(UAV)進行港區包裹遞送、海上船舶航行安全檢視、船舶漏油污染偵測及港區巡察之工作，不僅可以降低作業成本，也可以有效的減少碳足跡排放。移動式技術可分兩階段進行，第一階段是以資料擷取與 AIS 軌跡預測系統開發，第二階段則是 UAV 自主追蹤目標技術開發，其結合第一階段船舶航行軌跡預測結果，建置系統操作平臺，預測船舶經緯度座標資訊，並利用飛行控制演算法判讀載具與海上座標相對位置，即驅動載具自主前往該經緯度座標，而操作人員則可藉由平臺操作界面的資訊進行船舶空污排放檢測、採樣調查等作業。

4. 可行性偵測技術實驗規劃

- (1) 高雄港為我國第 1 個申請通過之國際綠色港埠，其空污監測設備亦較其他港埠充足，不論是設置固定式設備，抑或進行無人載具監測等(天候較佳，且風力影響較小)，均較其他港口適宜，因此，本研究以高雄港第二港口作為固定式偵測技術及移動式偵測技術規劃場域。
- (2) 經綜合評估固定式遙測須考量光徑長度、中點高度，以及高雄港第二港口進出港之船舶噸位、煙囪高度等因子，初步研提優先架設地點為 VTC 塔台往南高字塔、其次為 VTC 塔台往高明總部、最後為北高字塔往高明總部。惟 VTC 塔台涉及航安、國安及資安等問題，後續須與管理單位進行協商架設地點。若要避開航安、國安及資安等問題，UV-DOAS 的發射端及接收端架設於北高字塔往高明總部會是另一個替選方案。
- (3) 在移動式監測技術方面，本計畫完成 AIS 船舶圖像資料平台與操作介面建置，並架設 AIS 臨時接收站方式直接獲取即時性的 AIS 船舶資料，除可改善介接全國 AIS 資料延時性問題外，亦能降低 AIS 資料數據量過大造成系統負擔之情形。而此次在船舶 AIS 目標追蹤演算法的開發，其結合航跡預測分析技術的方式，能夠改善載具進行船舶追蹤時，可能陷入不斷追尋目標船舶歷史航點的迴圈問題。

5. 專家學者及應用單位訪談

- (1) 專家學者座談會分別於民國 110 年 5 月 26 日及 9 月 27 日舉辦，主要針對國內外港埠地區空污排放偵測技術之分析結果、既有船舶空污管制策略優劣勢分析與所規劃之船舶空氣污染排放偵測技術可行性等議題進行討論。
- (2) 應用單位訪談於 7 月至 8 月上旬完成，訪談方向主要以 PSCO 船舶稽查、硫低硫油使用情況及應用單位對於本計畫規劃架設監測技術的可行性。

7.2 建議

1. 因應 IMO 2020 政策的推動及實施，全球船商都應政策要求使用含硫量 0.5% 的低硫燃油或安裝具有同等減排效應之裝置，本研究盤點國內外船舶空污相關文獻與案例，可知悉船舶排煙行為對二氧化硫(SO₂)與懸浮微粒(PM₁₀ 及 PM_{2.5})濃度具有顯著影響，惟使用低硫燃油，因其添加成分，可能導致揮發有機化合物(VOCs)增加，造成港口城市臭氧污染及二次氣膠的形成，建議未來可針對港區之揮發有機化合物、臭氧及二次氣膠進行監測。
2. 船舶使用開環式脫硫塔需要引入海水進行中和反應，其排放水偏酸性，容易造成船舶管路酸蝕，以及排放污水等問題。航港局及港務公司已有針對港區內及港區外進行水質採樣調查，惟目前船舶使用脫硫塔之比例不高，尚不足以呈現其洗滌水造成之問題，建議可持續追蹤及分析國際相關研究，並進行港內水質調查，以避免空污轉為水污之情形。
3. 使用 UV-DOAS 等固定式遙測技術，需考量空污背景值所造成之雜訊，例如鄰近是否有車道或其他排放源(如廚房煙囪)，以及風速風向所造成之煙流方向改變，因此未來架設時，建議需進行環境背景值量測及風速風向監控作業，以確保船舶排放物有確實通過量測光徑。
4. 在移動式監測技術方面，依據民航相關規定，執行任務時需要具備操作證及申請飛行許可，建議航港單位可預為盤點港區可飛航區域，並建立標準作業程序，以利後續執行。

7.3 成果效益與應用情形

1. 完成我國推動低硫燃油政策之個案油耗差異分析、對船舶操作、空氣污染物成份改變之影響等，可提供航港局及港務公司做為政策執行評估之參據。
2. 完成固定式遙測移動式監測技術之示範及實驗規劃內容，可提供航港局、港務公司、環保單位做為我國推動船舶使用低硫燃油之查核輔助工具，落實港區空氣污染防治工作。

參考文獻

1. Alphaliner (2020) "Monthly Monitor Alphaliner". Retrieved from https://www.alphaliner.com/resources/Alphaliner_Monthly_Monitor_Jan_2020.pdf (Oct. 19, 2021)
2. Balzani Lööv, J.M., Alfoldy, B., Gast, L.F., Hjorth, J., Lagler, F., Mellqvist, J., Beecken, J., Berg, N., Duyzer, J., Westrate, H., (2014) Field test of available methods to measure remotely SO_x and NO_x emissions from ships. *Atmospheric measurement techniques* 7, 2597-2613.
3. Beecken, J., Mellqvist, J., Salo, K., Ekholm, J., Jalkanen, J.-P., (2014) Airborne emission measurements of SO₂, NO_x and particles from individual ships using a sniffer technique. *Atmospheric Measurement Techniques* 7, 1957-1968.
4. Bendea, H., Boccoardo, P., Dequal, S., Tonolo, F.G., Marenchino, D., Piras, M., (2008) Low cost UAV for post-disaster assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 1373-1379.
5. Carlson, D., Donohoue, D., Platt, U., Simpson, W., (2010) A low power automated MAX-DOAS instrument for the Arctic and other remote unmanned locations. *Atmospheric Measurement Techniques* 3, 429-439.
6. Chan, K.L., Wiegner, M., van Geffen, J., De Smedt, I., Alberti, C., Cheng, Z., Ye, S., Wenig, M., (2020) MAX-DOAS measurements of tropospheric NO₂ and HCHO in Munich and the comparison to OMI and TROPOMI satellite observations. *Atmospheric Measurement Techniques* 13, 4499-4520.
7. Cheng, Y., Wang, S., Zhu, J., Guo, Y., Zhang, R., Liu, Y., Zhang, Y.,

- Yu, Q., Ma, W., Zhou, B., (2019) Surveillance of SO₂ and NO₂ from ship emissions by MAX-DOAS measurements and the implications regarding fuel sulfur content compliance. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 13611-13626.
8. Chien, T., Chu, H., Hsu, W.-C., Tseng, T., Hsu, C., Chen, K., (2003) A feasibility study on the predictive emission monitoring system applied to the Hsinta power plant of Taiwan Power Company. *Journal of the Air & Waste Management Association* 53, 1022-1028.
 9. Cracknell, A.P., Hayes, L., (2007) *Introduction to Remote Sensing* 2.
 10. Dong, C., Huang, K.-L., Chen, C.-W., Lee, C.-W., Lin, H.-Y., Chen, C.-F., (2002) Estimation of Air Pollutant Emission from Ship in Kaoshiung Harbor Area. *Aerosol and Air Quality Research* 2, 31-40.
 11. Ekholm, J.M.J., Salo, K., Beecken, J., (2014) IDENTIFICATION OF GROSS POLLUTING SHIPS TO PROMOTE A LEVEL PLAYING FIELD WITHIN THE SHIPPING SECTOR.
 12. Find Light BLOG (2020) "UV-DOAS Spectroscopy For Atmospheric Monitoring". Retrieved from <https://reurl.cc/73d4ky> (Oct. 19, 2021)
 13. Fridell, E., (2019) Emissions and fuel use in the shipping sector. *Green Ports*. Elsevier, pp. 19-33.
 14. Frieß, U., Monks, P., Remedios, J., Rozanov, A., Sinreich, R., Wagner, T., Platt, U., (2006) MAX-DOAS O₄ measurements: A new technique to derive information on atmospheric aerosols: 2. Modeling studies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111.
 15. Guerreiro, C., Ortiz, A.G., de Leeuw, F., Viana, M., Horálek, J., (2016) "Air quality in Europe-2016 report". European Union.
 16. Hönninger, G., Friedeburg, C.v., Platt, U., (2004) Multi axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS). *Atmospheric Chemistry and Physics* 4, 231-254.
 17. Halff, A., Younes, L., Boersma, T., (2019) The likely implications of the new IMO standards on the shipping industry. *Energy Policy* 126,

- 277-286.
18. Hao-ran, L., Qi-hou, H., Wei, T., Wen-jing, S., Yu-jia, C., Yi-zhi, Z., Jian-guo, L., (2021) Study of the Urban NO₂ Distribution and Emission Assessment Based on Mobile MAX-DOAS Observations.
 19. Hendrick, F., Müller, J.-F., Clémer, K., Wang, P., Maziere, M.D., Fayt, C., Gielen, C., Hermans, C., Ma, J., Pinardi, G., (2014) Four years of ground-based MAX-DOAS observations of HONO and NO₂ in the Beijing area. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, 765-781.
 20. Hong, Q., Liu, C., Chan, K.L., Hu, Q., Xie, Z., Liu, H., Si, F., Liu, J., (2018) Ship-based MAX-DOAS measurements of tropospheric NO₂, SO₂, and HCHO distribution along the Yangtze River. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18, 5931-5951.
 21. International Maritime Organization (2014) "Third IMO GHG Study 2014". Retrieved from <https://reurl.cc/mvyRrl> (Oct. 19, 2021)
 22. International Maritime Organization (2020) "Fourth Greenhouse Gas Study 2020". Retrieved from <https://reurl.cc/r1v39O> (Oct. 19, 2021)
 23. Ivčec, R., Zekić, A., Mohović, D., (2018) Comparison of CO₂ Emissions for Road and Sea Transport on the Specific Route. 2018 International Symposium ELMAR. IEEE, pp. 19-22.
 24. Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J., Stipa, T., (2012) Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, 2641-2659.
 25. Kang, Y.-s., Park, B.-j., Cho, A., Yoo, C.-s., Koo, S.-O., (2012) Flight test of flight control performance for airplane mode of Smart UAV. 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems. IEEE, pp. 1738-1741.
 26. Kang, Y., Tang, G., Li, Q., Liu, B., Cao, J., Hu, Q., Wang, Y., (2021) Evaluation and Evolution of MAX-DOAS-observed Vertical NO₂ Profiles in Urban Beijing. *Advances in Atmospheric Sciences* 38,

- 1188-1196.
27. Kattner, L., Mathieu-Üffing, B., Burrows, J., Richter, A., Schmolke, S., Seyler, A., Wittrock, F., (2015) Monitoring compliance with sulfur content regulations of shipping fuel by in situ measurements of ship emissions. *Atmospheric chemistry and physics* 15, 10087-10092.
 28. Kontovas, C.A., (2020) Integration of air quality and climate change policies in shipping: The case of sulphur emissions regulation. *Marine Policy* 113, 103815.
 29. Kozawa, K.H., Fruin, S.A., Winer, A.M., (2009) Near-road air pollution impacts of goods movement in communities adjacent to the Ports of Los Angeles and Long Beach. *Atmospheric Environment* 43, 2960-2970.
 30. Langella, G., Iodice, P., Amoresano, A., Senatore, A., (2016) Ship engines and air pollutants: emission during fuel change-over and dispersion over coastal areas. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 7, 307-320.
 31. Leelasakultum, K., Mölders, N., Tran, H.N., Grell, G.A., (2012) Potential Impacts of the Introduction of Low-Sulfur Fuel on PM_{2.5} Concentrations at Breathing Level in a Subarctic City. *Advances in Meteorology*.
 32. Lin, B., Lin, C.-Y., (2006) Compliance with international emission regulations: Reducing the air pollution from merchant vessels. *Marine Policy* 30, 220-225.
 33. Linda, S., Hulda, W., (2019) Emissions from ships in ports. *Green Ports*. Elsevier, pp. 109-124.
 34. Liu, T.-K., Chen, Y.-S., Chen, Y.-T., (2019) Utilization of vessel automatic identification system (AIS) to estimate the emission of air pollutant from merchant vessels in the port of Kaohsiung. *Aerosol and Air Quality Research* 19, 2341-2351.
 35. Lonati, G., Cernuschi, S., Sidi, S., (2010) Air quality impact

- assessment of at-berth ship emissions: Case-study for the project of a new freight port. *Science of the Total Environment* 409, 192-200.
36. Matthias, V., Bewersdorff, I., Aulinger, A., Quante, M., (2010) The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environmental Pollution* 158, 2241-2250.
 37. Merk, O., (2014) Shipping emissions in ports. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/transport/shipping-emissions-in-ports_5jrw1ktc83r1-en (Oct. 19, 2021)
 38. Mikhail Sofiev, James J. Winebrake, Lasse Johansson, Edward W. Carr, Marje Prank, Joana Soares, Julius Vira, Rostislav Kouznetsov, Corbett, J.-P.J.J.J., (2018) Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. *Nature Communications* 9.
 39. Milazzo, M.F., Ancione, G., Lisi, R., (2017) Emissions of volatile organic compounds during the ship-loading of petroleum products: Dispersion modelling and environmental concerns. *Journal of environmental management* 204, 637-650.
 40. Mærsk (2021). 2020 Sustainability Report.
 41. NOAA (2013) "LIDAR—Light Detection and Ranging—is a remote sensing method used to examine the surface of the Earth". Retrieved from <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> (Oct. 19, 2021)
 42. OSIPOVA, L., GEORGEFF, E., COMER, B., (2021) Global scrubber washwater discharges under IMO's 2020 fuel sulfur limit.
 43. Pérez, N., Pey, J., Reche, C., Cortés, J., Alastuey, A., Querol, X., (2016) Impact of harbour emissions on ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in Barcelona (Spain): Evidences of secondary aerosol formation within the urban area. *Science of the Total Environment* 571, 237-250.
 44. Platt, U., Stutz, J., (2008). Differential absorption spectroscopy. *Differential Optical Absorption Spectroscopy*. Springer, pp. 135-174.
 45. Prakasa, E., (2017) Development of imaging based method for plume opacity measurement. 2017 5th International Conference on

- Instrumentation, Control, and Automation (ICA). IEEE, pp. 212-216.
46. Seyler, A., Meier, A.C., Wittrock, F., Kattner, L., Mathieu-Üffing, B., Peters, E., Richter, A., Ruhtz, T., Schönhardt, A., Schmolke, S., (2019) Studies of the horizontal inhomogeneities in NO₂ concentrations above a shipping lane using ground-based multi-axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS) measurements and validation with airborne imaging DOAS measurements. *Atmospheric Measurement Techniques* 12, 5959-5977.
 47. Seyler, A., Wittrock, F., Kattner, L., Mathieu-Üffing, B., Peters, E., Richter, A., Schmolke, S., Burrows, J.P., (2017) Monitoring shipping emissions in the German Bight using MAX-DOAS measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, 10997-11023.
 48. Sharma, D.C., (2006) "Ports in a storm". Vol.114, No.4, *Environews, Environmental Health Perspectives*.
 49. Shu, Y., Chen, Y., Xiong, C., (2020) Application of image recognition technology based on embedded technology in environmental pollution detection. *Microprocessors and Microsystems* 75, 103061.
 50. Singh, P.J., De Silva, R., (2018) Design and implementation of an experimental UAV network. 2018 international conference on information and communications technology (icoiact). IEEE, pp. 168-173.
 51. Sorte, S., Arunachalam, S., Naess, B., Seppanen, C., Rodrigues, V., Valencia, A., Borrego, C., Monteiro, A., (2019) Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal. *Science of The Total Environment* 662, 347-360.
 52. Starcrest Consulting Group (2019) San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report in: 1, V. (Ed.).
 53. Styhre, L., Winnes, H., (2019) Emissions from ships in ports. *Green Ports*. Elsevier, pp. 109-124.

54. Tan, P.-Q., Hu, Z.-Y., Lou, D.-M., (2009) Regulated and unregulated emissions from a light-duty diesel engine with different sulfur content fuels. *Fuel* 88, 1086-1091.
55. Tang, W., Dickie, R., Roman, D., Robu, V., Flynn, D., (2019) Optimisation of hybrid energy systems for maritime vessels. *The Journal of Engineering* 2019, 4516-4521.
56. The Maritime Executive (2020) "BIMCO Survey Reveals Widespread Problems With New Low-Sulfur Fuels". Retrieved from <https://reurl.cc/2oj6dE> (Oct. 19, 2021)
57. Thoma, E.D., Secrest, C., Hall, E.S., Jones, D.L., Shores, R.C., Modrak, M., Hashmonay, R., Norwood, P., (2009) Measurement of total site mercury emissions from a chlor-alkali plant using ultraviolet differential optical absorption spectroscopy and cell room roof-vent monitoring. *Atmospheric Environment* 43, 753-757.
58. Tsao, Y.-C., Wu, C.-F., Chang, P.-E., Chen, S.-Y., Hwang, Y.-H., (2011) Efficacy of using multiple open-path Fourier transform infrared (OP-FTIR) spectrometers in an odor emission episode investigation at a semiconductor manufacturing plant. *Science of the total environment* 409, 3158-3165.
59. Wagner, T., Dix, B.v., Friedeburg, C.v., Frieß, U., Sanghavi, S., Sinreich, R., Platt, U., (2004) MAX-DOAS O₄ measurements: A new technique to derive information on atmospheric aerosols—Principles and information content. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 109.
60. Wan, Z., Zhang, Q., Xu, Z., Chen, J., Wang, Q., (2019) Impact of emission control areas on atmospheric pollutant emissions from major ocean-going ships entering the Shanghai Port, China. *Marine pollution bulletin* 142, 525-532.
61. Wittrock, F., Oetjen, H., Richter, A., Fietkau, S., Medeke, T., Rozanov, A., Burrows, J., (2004) MAX-DOAS measurements of atmospheric

- trace gases in Ny-Ålesund-Radiative transfer studies and their application. *Atmospheric Chemistry and Physics* 4, 955-966.
62. Wittrock, F., Peters, E., Seyler, A., Kattner, L., Mathieu-Üffing, B., Burrows, J.P., Chirkov, M., Meier, A.C., Richter, A., Schönhardt, A., (2014) Monitoring shipping emissions with MAX-DOAS measurements of reactive trace gases. EGU General Assembly Conference Abstracts, p. 12919.
63. Wu, Z., Zhang, Y., He, J., Chen, H., Huang, X., Wang, Y., Yu, X., Yang, W., Zhang, R., Zhu, M., (2020) Dramatic increase in reactive volatile organic compound (VOC) emissions from ships at berth after implementing the fuel switch policy in the Pearl River Delta Emission Control Area. *Atmospheric Chemistry and Physics* 20, 1887-1900.
64. Xian, J., Sun, D., Xu, W., Han, Y., Zheng, J., Peng, J., Yang, S., (2020) Urban air pollution monitoring using scanning Lidar. *Environmental Pollution* 258, 113696.
65. Xingwei (2019) 「光學雷達，馬斯克看不上，卻又無可替代？」。檢自 <https://codingnote.cc/zh-hk/p/5286/> (Oct. 19, 2021)
66. Yin, Z., Yi, F., Liu, F., He, Y., Zhang, Y., Yu, C., Zhang, Y., (2021) Long-term variations of aerosol optical properties over Wuhan with polarization lidar. *Atmospheric Environment*, 118508.
67. Zhou, F., Gu, J., Chen, W., Ni, X., (2019) Measurement of SO₂ and NO₂ in ship plumes using rotary unmanned aerial system. *Atmosphere* 10, 657.
68. Zhou, F., Pan, S., Chen, W., Ni, X., An, B., (2019) Monitoring of compliance with fuel sulfur content regulations through unmanned aerial vehicle (UAV) measurements of ship emissions. *Atmospheric Measurement Techniques* 12, 6113-6124.
69. Zhu, L., Zhang, W., Liu, W., Huang, Z., (2010) Experimental study on particulate and NO_x emissions of a diesel engine fueled with ultra low sulfur diesel, RME-diesel blends and PME-diesel blends. *Science of*

- the Total Environment 408, 1050-1058.
70. Zhukov, V.A., Kostylev, I.I., Ivanchenko, A.A., Bezyukov, O.K., (2018) Prospects of Use Gas Engines on Sea and River Vessels. 2018 IEEE International Conference" Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS). IEEE, pp. 287-289.
 71. 中鋼運通股份有限公司 (2021), 「2020 企業永續經營報告書」。
 72. 交通部 (2020), 「船舶檢查規則」, 全國法規資料庫。
 73. 交通部航港局 (2017), 「中華民國港口國管制 105 年度報告」。
 74. 交通部航港局 (2018), 「船舶使用低硫燃油檢查作業程序」。檢自 <https://reurl.cc/6Ddqlr> (Jun. 25,2021)
 75. 交通部航港局 (2019), 「推動船舶使用低硫燃油 Q&A」。檢自 <https://www.motcmpb.gov.tw/Information/Detail/c0ff56a6-99af-4463-8f23-9265bb07f52d?SiteId=1&NodeId=103> (Jun. 25, 2021)
 76. 交通部航港局 (2020), 「中華民國港口國管制 108 年度報告」。
 77. 交通部航港局 (2020), 「交通部提早實施國際航線船舶低硫燃油管制現成效港區空氣污染防制大幅改善」。檢自 <https://www.motcmpb.gov.tw/Information/Detail/d3a072bc-c34c-4070-a39a-19d8ae9e631e?SiteId=1&NodeId=15> (Jun. 25, 2021)
 78. 交通部航港局 (2021), 「2021 年 MARPOL 修正案 : MEPC.326(75)」。檢自 <https://reurl.cc/ZjVZRa> (Oct. 19, 2021)
 79. 交通部航港局 (2021), 「中華民國港口國管制 109 年度報告」。
 80. 朱曉亮、陳偉翔 (2020), 「劣質 VLSFO 引發設備故障風險與防范探討」, 第 3 期, 38-43 頁, 航海。
 81. 自然資源保護協會 (2016), 「船舶轉用低硫油政策的實施與監管—國際政策及實踐經驗」, 交通運輸部規劃研究院。
 82. 行政院環境保護署 (2010), 「預告訂定空氣中乙酸丁酯等揮發性有機物檢測方法—不銹鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法 (NIEA A741.11B) 草案」, 第 026 卷, 第 192 期, 農業環保篇, 行政院公報。

83. 行政院環境保護署 (2018), 「空氣中揮發性含鹵素碳氫化合物檢驗方法—以 Tenax-TA 吸附劑採樣之氣相層析法」。
84. 行政院環境保護署 (2019), 「移動污染源違反空氣污染防治法裁罰準則」, 全國法規資料庫。
85. 行政院環境保護署 (2020), 「移動污染源空氣污染物排放標準」, 全國法規資料庫。
86. 行政院環境保護署 (2021), 「全國空氣污染物排放清冊資訊系統」。檢自 <https://teds.epa.gov.tw/Downland.aspx> (TEDS 11.0 版) (Jun. 25, 2021)
87. 行政院環境保護署 (2021), 「管制策略」, 空保處, 連續自動監測設施資訊網。檢自 <https://cems.epa.gov.tw/home/Home/Regulatory> (Jun. 25, 2021)
88. 巫柏蕙 (2019), 「各國因應 2020 年船舶低硫燃油規定策略之研析」, 交通部運輸研究所運輸工程組。
89. 李國璋 (2010), 「應用開徑式 UV-DOAS 量測高雄國際機場航道上環境空氣品質之研究」, 國立中山大學環境工程研究所。
90. 每日頭條 (2018), 「雷射雷達 (LiDAR) vs. 雷達 (RADAR)」。檢自 <https://kknews.cc/zh-tw/car/zkabe53.html> (Jun. 25, 2021)
91. 周煥銘 (2014), 「工業區智慧型空氣污染辨識系統」, 工業技術研究院委託辦理。
92. 空氣品質監測網 (2021), 「微脈衝雷射雷達監測儀器說明文件」。檢自 <https://reurl.cc/pxvYDa> (Jun. 25, 2021)
93. 邱永芳、黃茂信 (2018), 「臺灣 6 大港埠船舶減速查核之研究」, 港灣技術季刊, pp.58-75, 交通部運輸研究所。
94. 長榮海運股份有限公司 (2021), 「2020 長榮海運企業社會責任報告書」。
95. 俞姿宇 (2016), 「固相微萃取」, 高瞻自然科學教學資源平台, 科學 Online, 檢自 <https://reurl.cc/OkR52D> (Jun. 25, 2021)
96. 信德海事 (2019), 「到底什麼是船舶脫硫系統, 怎樣選擇??」, 每日頭條。檢自 <https://kknews.cc/zh-tw/news/jko2m4l.html> (Jun. 25,

2021)

97. 科安知識庫 (2019), 「氣體採樣袋與採樣箱應用指引」。檢自 <https://reurl.cc/AR2MnK> (Jun. 25, 2021)
98. 香港特別行政區政府環境保護署 (2017), 「揮發性有機化合物與煙霧」。檢自 <https://reurl.cc/NZlxj6> (Jun. 25, 2021)
99. 徐剛、史茗歌、吳明紅、劉寧、師千惠 (2013), 「固相微萃取的原理及應用」, 上海大學學報, 自然科學版。
100. 海洋事務推動委員會 (2006), 「海洋政策白皮書」, 行政院。
101. 海洋委員會海巡署東部分署 (2017), 「漁港安全檢查」。
102. 高雄市政府環境保護局 (2020), 「高雄市柴油車管制成效」。檢自 <https://reurl.cc/Mkjzv4> (Oct. 19, 2021)
103. 基隆地方中心 (2019), 「基市強力稽查港區船舶 有效改善不當排煙」, 臺灣好新聞。檢自 <https://reurl.cc/zWDDm6> (Oct. 19, 2021)
104. 張瀨之、鄭惠方 (2017), 「LNG 燃料船用於臺灣近海航運之環境效益分析」, 運輸計劃季刊, 第四十六卷第二期, pp.141~164。
105. 郭慶華、蘇艷軍、胡天宇、劉瑾 (2018), 「雷射雷達森林生態應用---理論、方法及實例」, 高等教育出版社。
106. 陳欣伶 (2014), 「海運以天然氣為能源選項之可行性探討—環境與經濟分析」, 東吳大學會計學系碩士論文。
107. 陳韋宗 (2014), 「目測判煙執照 不透光率用看的」, 自由時報。檢自 <https://reurl.cc/gz6R8X> (Oct. 19, 2021)
108. 陳桂清、柯正龍、葉雨松、許真瑜、洪雅琪、范遠謙、陳宗懋、黃金塗、沈貴華、蕭伯任 (2015), 「臺灣港埠節能減碳效益提升之研究 (4/4)」, 交通部運輸研究所, MOTC-IOT-103-H1DB005。
109. 陳新友 (2006), 「運用開放式霍氏紅外光遙測儀進行半導體產業環境異味之調查研究」, 工業污染防治, Vol.97, pp.17-24。
110. 曾獻弘 (2001), 「光學遙測技術 (UV-DOAS) 應用在石化廠廠區微量污染氣體之量測」, 國立清華大學原子科學系碩士論文。
111. 華健、吳怡萱 (2012), 「以 LNG 作為船舶燃料的趨勢」, 船舶科

- 技，Vol.40，pp.93-109.
112. 陽明海運股份有限公司 (2021)，「2021 企業社會責任報告」。
 113. 傅瑋琦 (2013)，「應用紅外線熱顯像儀在空氣品質稽查管制之可行性研究」，國立中央大學環境工程研究所在職專班碩士論文。
 114. 楊人芝、張寶額 (2003)，「紅外線遙測技術於產業界之應用」，工研院環安中心技術報導。檢自 <https://reurl.cc/RbeYdx> (Jun. 05, 2021)
 115. 萬海航運股份有限公司 (2021)，「2020 年度企業社會責任報告書」。
 116. 臺灣港務股份有限公司 (2019)，「船舶減速資訊」。檢自 <https://www.twport.com.tw/gp/> (Jun. 25, 2021)
 117. 劉靜君 (2021)，「中市 AI 空污監控 實現智慧環保城」，科技新視野，經濟日報。檢自 <https://reurl.cc/1obKQ8> (Oct. 19, 2021)
 118. 蔡鎮遠、許浩洋、劉大綱 (2011)，「高雄港港區商船排放二氧化硫之推估與管理策略」，第 33 屆海洋工程研討會(論文集)，pp.519-524。
 119. 鄭玟芬 (2019)，「簡易型空氣品質監測器應用於空氣污染管制介紹」，中興工程，Vol.143，pp.21-30。
 120. 蘇青和、黃茂信、陳子健 (2020)，「臺灣周圍海域及港口之船舶 AIS 應用分析」，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-108-H2DA001d。

附錄一 期末報告簡報資料



交通部運輸研究所

港區船舶能源使用及空氣污染排放 偵測技術評估之研究

簡報資料



國立高雄科技大學
National Kaohsiung University of Science and Technology



簡報大綱 CONTENTS

- 01 工作項目及進度
- 02 研究成果
- 03 可行性技術規劃
- 04 結論與建議

PART ONE

1

工作項目及進度

National Kaohsiung University of Science and Technology

3

1.1 工作項目



4

PART TWO

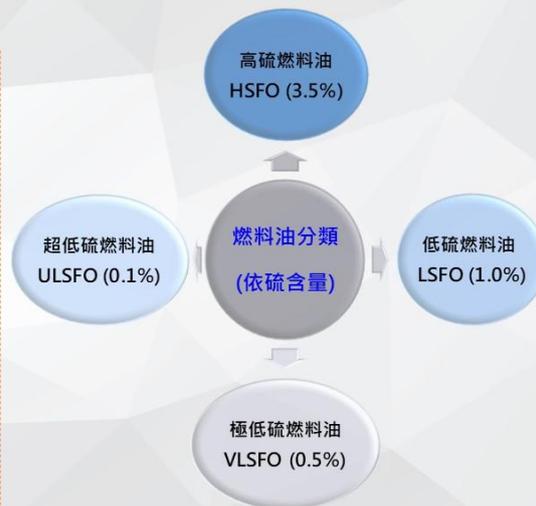
2 研究成果

National Kaohsiung University of Science and Technology

5

2.1 低硫燃油政策研析

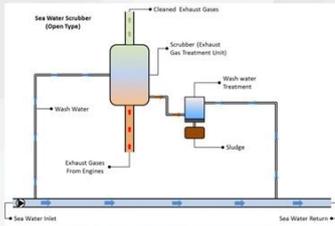
船舶油品分類



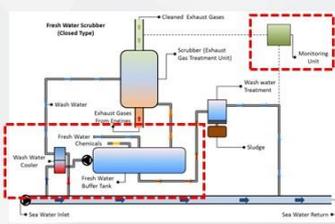
6

2.2 洗滌設備

開環式脫硫塔



閉環式脫硫塔



	優點	缺點
開環式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 運動部件少，設計簡單，安裝方便 維護時限長，維護時間短 不需要儲存廢水 	<ol style="list-style-type: none"> 廢氣冷卻問題 處理效率取決於海水的鹼度 處理時需要大量的海水，消耗高功率 腐蝕性大
閉環式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 操作條件不受環境的影響 維護次數較少 	<ol style="list-style-type: none"> 需要存儲空間（緩衝槽）來容納廢水，直到可以將其排出為止 廢水處理費高 需大量耗材
混合式脫硫塔	<ol style="list-style-type: none"> 適用於世界各地的長途和短途航行 使用混合洗滌系統的船舶比使用開環系統的船舶在排放控制區域和港口停留的時間更長 長時間使用較低成本HFO（重質燃料油） 	<ol style="list-style-type: none"> 採用該系統需要進行結構改造 化學品和添加劑需要較大的存儲空間 系統安裝時間和成本較高

資料來源：本研究彙整。

7

2.3 近三年船舶能源使用情形

Maersk	2018年	2019年	2020年
船舶總艘數	710	708	705
船用重油 (噸)	11,994,000	11,173,000	10,368,000
船用汽油 (噸)	17,000	10,000	11,000
相關CO ₂ 減少 (%) (以2018為基準金比較)	-42.1%	-44.9%	-46.3%

中鋼運通	2018年	2019年	2020年
船舶總艘數	21	23	25
船用燃油-重燃油 (噸) (HFO/LFO)	152,224	142,810	163,354
船用燃油-柴油 (噸) (MDO+MGO)	1,301	7,681	3,613
平均每噸貨載每海哩所產生溫室氣體排放量 (g/ton-n.mile)	7.06	7.07	6.77

長榮海運	2018年	2019年	2020年
船舶總艘數	> 200	201	193
船用重油 (噸)	1,830,318	1,676,056	1,699,312
船用柴油 (噸)	137,167	213,555	157,977
船隊燃油CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	62.137	61.46	60.66

萬海航運	2018年	2019年	2020年
船舶總艘數	96	96	119
船用重油 (噸)	1,051,516	938,724	1,013,917
船用柴油 (噸)	26,451	78,328	14,697
船隊燃油CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	78.6	71.7	74.1

陽明海運	2018年	2019年	2020年
船舶總艘數	98	101	90
海運重油 (噸)	1,655,950	1,633,922	1,297,905
海運汽油 (噸)	106,056	119,525	72,196
船隊燃油CO ₂ 排放率 (g/TEU-KM)	50.32	48.08	42.82

資料來源：本研究彙整。

8

2.4 近三年NO_x與SO_x總排放量

Maersk	氮氧化物NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物SO _x 總排放量 (噸)	長榮海運	氮氧化物NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物SO _x 總排放量 (噸)
2018	953,000	615,000	2018	117,076	93,128
2019	888,000	569,000	2019	111,376	83,945
2020	824,000	102,000	2020	109,143	52,335
		83%			44%

陽明海運	氮氧化物NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物SO _x 總排放量 (噸)	萬海航運	氮氧化物NO _x 總排放量 (噸)	硫氧化物SO _x 總排放量 (噸)
2018	150,113	85,328	2018	32,318	41,627
2019	148,964	82,428	2019	31,338	33,605
2020	117,033	11,908	2020	49,244	9,467
		86%			77%

資料來源：本研究彙整。

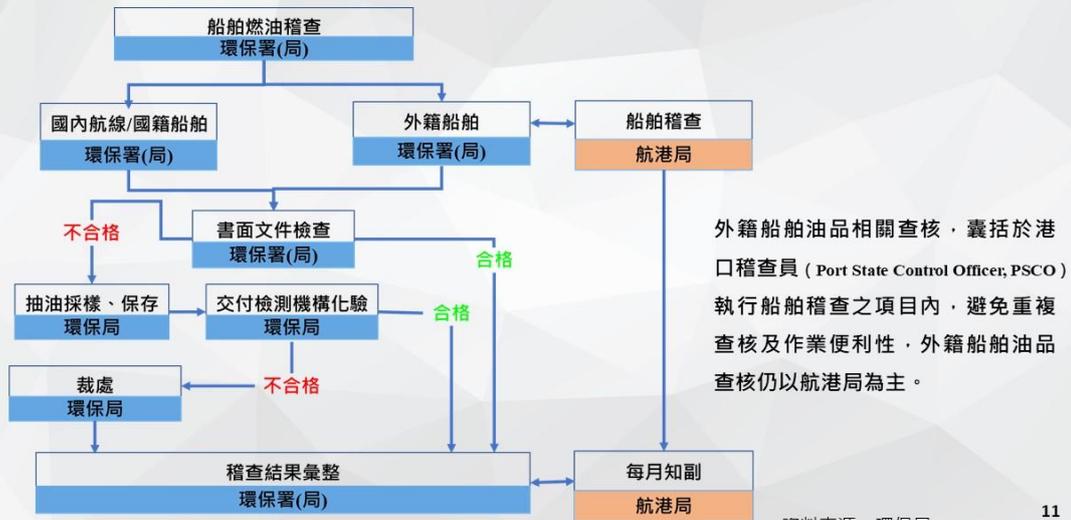
9

2.5 低硫政策實施前後 - 船舶用油消耗

低硫油	高硫油搭配洗滌設備
<ul style="list-style-type: none"> 本研究取得國內某航商一艘遠洋航線8,500TEU 級的貨櫃輪，使用低硫油用油量。因低硫油的熱值較低，相比使用高硫燃料油時，若以經濟航速20浬/時航行，油耗增加約6%，從原本每日高硫燃料油油耗約100噸增加到106噸左右 	<ul style="list-style-type: none"> 以同級的貨櫃輪為例，該船採用高硫油搭配脫硫設備，雖然省下高、低硫燃料油的價差，但是後續產生的問題之一為脫硫時必須使用大量海水循環，最高4,000m³/h，以經濟航速20 浬/時航行，洗滌塔海水循環量3,000m³/h左右，因需使用三台海水循環泵造成油耗增加約11.2%，從原本每日高硫燃料油油耗約100 噸增加到111 噸左右。

10

2.6 國內船用燃油現行稽查作業流程



11

2.7 偵測技術優缺點比較 (1/4)

偵測技術	優點	缺點	可偵測項目
目測判煙	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本低廉 2. 可即時判讀 3. 操作簡單 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受天氣狀況干擾 2. 須由訓練合格人員執行 3. 受遮蔽物阻礙影響 4. 主觀判斷 	粒狀污染物不透光率
嗅探技術 (IGPS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 反應迅速 2. 重量輕、體積小 3. 適宜室外應用 4. 可無人機搭載 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需要校準 2. 受多種環境因素影響(如稀釋度...等等) 3. 受背景濃度影響 	煙流中NO _x 、SO _x 和CO ₂ 等濃度
影像辨識	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用方便、直接溝通 2. 難以偽造及破解 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 日夜間需使用不同之處理邏輯 2. 大氣之粉塵雨霧易造成影像辨識之干擾 3. 夜間或天候不良時需輔助照明設備 	排放煙流
OP-FTIR	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測光徑涵蓋範圍大 2. 長期而連續的即時監測污染物 3. 可同時監測多種化合物 4. 監測極限低(10 ppb) 5. 可監測污染濃度隨時間變化的趨勢 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 監測濃度為光徑的平均值，無法確實量測定點的污染濃度 2. 只能推論污染源大約的位置及方位 3. 可監測的物種受限於標準光譜的數量 4. 儀器設備及量測分析費用昂貴(1,000~2,000萬元) 5. 每筆量測數據時間約5分鐘 	VOCs為主

2.7 偵測技術優缺點比較 (2/4)

偵測技術	優點	缺點	偵測項目
UV-DOAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無需氣體採樣 2. 可進行長期連續監測 3. 可以全自動運行，操作維護成本低 4. 檢測多種有機、無機化學物質 5. 可以監測地形惡劣、不易取樣的地區 6. 量測反應時間較OP-FTIR快，可達1分鐘1筆 7. 受水氣干擾較OP-FTIR小 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 氣象條件差、能見度低時，不易進行測量 2. 完全吸收數種化合物，需要輔以精密的光譜運算 3. 例如氧氣和BTEX會干擾CO檢測 4. 監測精密度、準確度取決於光徑長度的部署和氣象條件等多種因素 	SO _x 、NO _x 、O ₃ 、BTEX、NH ₃ 、HCHO等
MAX-DOAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無需氣體採樣 2. 同時監測多種污染物 3. 測量精度高，檢測極限低 4. 可進行連續監測 5. 用散射光作為光源，簡化系統大小 6. 採被動式監測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 只能白天或黃昏時間運行 2. 監測精密度、準確度取決於氣象條件等多種因素 3. 演算法較為繁瑣 	SO ₂ 、NO ₂ 、HCHO、HONO、O ₃ 、氣溶膠

13

2.7 偵測技術優缺點比較 (3/4)

偵測技術	優點	缺點	偵測項目
LiDAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術成熟，偵測效率高 2. 主要都是應用在低空環境的監測上 3. 能快速覆蓋大範圍(可長達20~50公里) 4. 不受光線影響 5. 測量精密度高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遇到障礙物容易被阻擋而無法正確測量 2. 功耗高 3. 數據庫極為龐大，需特殊軟體處理(如Klett, Fernald) 4. 受天候和大氣影響 	大氣顆粒物(如氣膠)
CEMS	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對煙氣作直接量測，無需採樣。 2. 基本上未改變煙氣流動狀態，而且煙氣的完整性很好 3. 即時分析，回應時間快 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 煙道內顆粒物、水滴和水霧對吸光效應產生干擾，易受光學污染 2. 量測濃度受安裝位置影響 3. 某些分析受光徑長度設計影響，低濃度測量時測量精密度和準確度降低 4. 粒狀污染物不透光率為6分鐘1筆，氣狀污染物為15分鐘1筆 5. 船舶為移動污染源，CEMS校正、操作維護及監管不易執行 	粒狀污染物不透光率、二氧化硫、氮氧化物、氯化氫、一氧化碳、氧氣、各碳數非甲烷碳氫化合物及高反應性揮發性有機物質...等

4

2.7 偵測技術優缺點比較 (4/4)

偵測技術	優點	缺點	偵測項目
微型感測器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重量輕、體積小 2. 輕便 3. 操作簡單 4. 可大量佈點 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 靈敏度及準確度因廠牌及應用需求而異 2. 必須克服干擾問題 	SO ₂ 、NO _x 、CO ₂ 、PM、TVOC...等 (依作業需求選購相關元件)
無人機 (UAV)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 成本低 2. 技術成熟、操作容易 3. 靈活移動、空間解析度高 4. 飛行高度可依據作業需求彈性調整 5. 可提供即時資訊 6. 依任務需求，可搭載多種感測器 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 負載量有限 2. 要有因應突發狀況的安全設計 3. 必須由專業人員操作 	依作業需求搭載不同感測器

資料來源：本研究彙整。



15

PART THREE 可行性技術規劃

National Kaohsiung University of Science and Technology

16

3.1 固定式遙測技術評估(1/2)

- 109年全年進出港船舶資料顯示**以70號貨櫃碼頭停靠艘次最多**，其次為64號及17號碼頭。
- 70號碼頭以**陽明海運**停靠居多，64號碼頭以**萬海航運**為主，兩者皆停靠**國外船舶**。
- 17號雜貨碼頭以**中台航運**停靠居多，主要停靠**我國船舶**。
- 高雄港二港口水深較深，為**3萬噸以上**船隻主要進出航道。
- 故架設於二港口為較佳之選擇。



圖片來源：Google Search 17

3.1 固定式遙測技術評估(2/2)

✓ 監測點選定之原則

1. 光徑應直接通過船舶煙囪排放之煙流。
2. 避免附近其他污染源對煙流污染物濃度量測之干擾
3. 避免附近建築物或**障礙物阻擋**光徑。
4. **發射端及接收端需安裝於一定高度的建物上。**
5. **電源**供應須符合儀器需求。
6. 選擇**船舶必經之進出港口航道**，得以監測多數船舶實際污染情況。

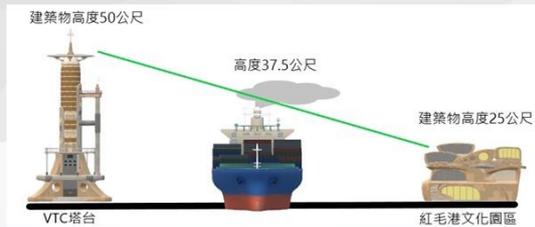
二港口進出船舶高度**多小於37.5公尺**，研究規劃於**VTC塔台**及**南高字塔(或高明總部)**架設**UV-DOAS**。



南高字塔



VTC塔台



圖片來源：Google Search

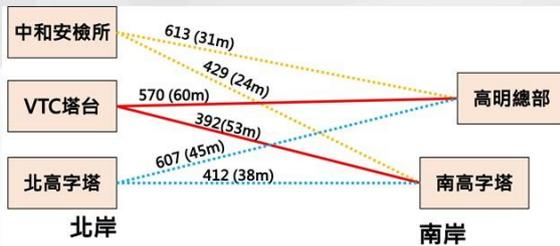
3.2 固定式遙測架設地點研析

地點	海拔高度 (m)	電力供應	使用狀況	管理單位	其他說明
海巡署中和安檢所	12	110V~220V	海巡署安檢所	海巡署南部分署	1. 建物高度較低，二層樓高。
VTC塔台	70	110V~220V	高雄港船舶交通服務系統	臺灣港務公司	1. 屬港務機密作業區。 2. 頂樓目前已有其他單位架設設備。
北高字塔	40	110V~220V	海岸巡防局哨所	臺灣港務公司	1. 場地老舊，需整理。
南高字塔	35	110V~220V	海鮮餐廳承租	高雄市政府文化局	1. 起風時易受第七貨櫃中心揚塵干擾 2. 海鮮餐廳有裝設油煙過濾設備，排放口位於一樓西側
高明貨櫃碼頭股份有限公司	50	110V~220V	高明貨櫃公司行政中心	高明貨櫃公司總務處	1. 設置地點以頂樓東側為優先考量，但操作面積較小(寬僅2.4m)登頂需攀爬鐵梯 2. 其次為七樓頂空中花園(40m高)，但需進行玻璃切割

19

3.3 固定式遙測架設情境研析

本研究就二港口北岸三個地點，南岸二個地點，共構建6個架設情境。情境3、情境4及情境6，此3個情境中點高度較為符合，二港口主要進出船舶之船高；在光徑長度需小於600公尺以維持精確度的條件下，除情境6光徑長度過長外，情境3、情境4皆符合條件，綜上所述VTC塔台往南高字塔是本研究優先建議架設情境



情境	中點高度(m)	光徑長度(m)	
1	中和安檢所→南高字塔	24	429
2	中和安檢所→高明總部	31	613
3	VTC塔台→南高字塔	53	392
4	VTC塔台→高明總部	60	570
5	北高字塔→南高字塔	38	412
6	北高字塔→高明總部	45	607

項目	架設地點	建議次序
1	中和安檢所→南高字塔	6
2	中和安檢所→高明總部	5
3	VTC塔台→南高字塔	1
4	VTC塔台→高明總部	2
5	北高字塔→高明總部	3
6	北高字塔→南高字塔	4

20

3.4 固定式遙測(UV-DOAS)-架設費用預估

品名	數量	單價	金額
一 ARS 20 Analyser with Movable Grating (UV + IR detector)主機(可測CO₂)	1 套	\$ 3,200,000	\$ 3,200,000
1. Dimensions L x W x H 600 x 440 x 266 mm			
2. Weight incl. case (approx.) 35 kg			
3. Voltage supply 115 V (±10%) 50/60 Hz			
4. Power consumption 110 W			
5. Computer Embedded PC with VGA screen			
6. Flash memory 512 Mb			
7. Serial output RS 232C			
二 ER150-B Emitter and Receiver Unit (AQM), Lamp B (Emitter 150c 發射器)Receiver 150c 接收器)	1 套	\$ 1,050,000	\$ 1,050,000
1. Material stainless steel			
2. Emitter EM150 Length 990 mm			
3. Receiver RE150 Length 1,375 mm			
4. Emitter EM150 Weight (approx.) 55 kg, Receiver RE150 Weight (approx.) 60 kg			
5. Emitter EM150 Height 425 mm, Receiver RE150 Height 380 mm			
四 Calibration Equipment for OPSIS AR500 Series Air Quality Monitoring Systems 校正設備	1 套	\$ 425,000	\$ 425,000
A. CB100-02			
1. Material stainless steel			
2. Length 1 m			
3. Weight 3 kg			
4. Connection G 1 1/2", internal thread			
B. CA150-B			
1. Standard lamp xenon 150 W, type B			
2. Material aluminium			
3. Dimensions (L x W x H) 190 x 255 x 280 mm			
C. CC001			
1. Material stainless steel			

COMVISIONER EnviMan Com Visioner, standard version(原廠標準版軟體)	1 套	\$ 380,000	\$ 380,000
五			
1. General: Full support of windows clipboard with many cut-and-paste functions available.			
2. Communication: Connection to stations through Stations: OPSIS gas analysers with or without built-in data loggers.			
3. Data Processing: Processing organised as parameters divided in different groups.			
4. Alarm Functions: Any number of user-configurable alarms in addition to the ones already listed.			
六 其他			
1. 設備整合與系統測試費用(包含人員差旅與教育訓練)	1 式	\$ 150,000	\$ 150,000
2. 材料及雜項支出	1 式	\$ 15,000	\$ 15,000
3. 3KVA 不斷電含安裝(供應主機與電腦開關使用)	1 組	\$ 21,500	\$ 21,500
4. 一年每月維護保養費用(包含人員差旅及維護報告提供)	12 月	\$ 8,000	\$ 96,000
5. 預估一年耗材與零件費用(ARS20)	1 式	\$ 385,000	\$ 385,000
6. 空運費與關稅及保險費用(OPSIS公司到瑞典機場,瑞典機場到桃園機場)	1 式	\$ 50,000	\$ 50,000
7. 國內運輸費用(桃園機場至貴公司)	1 式	\$ 12,000	\$ 12,000
小計			\$ 5,784,500
營業稅 5%			\$ 289,225
總計			\$ 6,073,725

註：報價不包含現場配管配線(中控端須為空調環境,發射與接收端安裝)此項目需要現場前勘後報價

約NT\$6,073,725

21

3.5 移動式偵測技術之船舶AIS資料整理

- 國際上為了航行安全與效率皆規範船舶、港埠皆須安裝或建置相關資通訊系統，而透過AIS系統輔助，能夠解讀系統覆蓋範圍內所監測到的船舶動態資訊。
- 本次研究團隊所規劃之UAV移動式偵測技術為解析AIS資訊與欄位數據做為目標船舶追蹤的資料來源。
- 故其介接的AIS資訊須進行前置資料整理，藉此刪除不完整、錯誤的AIS資料，予以提升資料品質。

AIS POSITION REPORT (MESSAGES 1, 2, AND 3)

Field	Len	Description
0-5	6	Message Type
6-7	2	Repeat Indicator
8-37	30	MMSI
38-41	4	Navigation Status
42-49	8	Rate of Turn (ROT)
50-59	10	Speed Over Ground (SOG)
60	1	Position Accuracy
61-88	28	Longitude
89-115	27	Latitude
116-127	12	Course Over Ground (COG)
128-136	9	True Heading (HDG)
137-142	6	Time Stamp
143-144	2	Maneuver Indicator
145-147	3	Spare
148	1	RAIM flag
149-167	19	Radio status

AIS資料欄位數據檢測流程



22

3.6 船舶AIS資料整理 (1/4)

- 提升AIS資料的數據品質
- 降低系統平台處理數據量過大之情形

以演算法偵測資料欄位包括：**船舶MMSI、航速、航向、真航向及船舶當前位置**，其欄位數據判斷以各數據格式是否符合ITU制定的格式規範。在船舶當前位置的識別，則透過當前接收的該筆船舶AIS資料與該船前一筆歷史AIS資料進行資料接收時間差、船舶經緯度座標與航速進行該船當前位置的識別，判斷船舶位置是否異常。

未處理之AIS資料量

6,448 資料列

處理後之AIS資料量

2,117 資料列

3.6 船舶AIS資料整理 (2/4)

根據ITU-R M.585-8與 ITU-T E.217建議書的規範，**MMSI第一碼為2~7的識別碼屬船舶指配所用**。因此研究初步針對MMSI不足9碼、第一碼為0開頭、第一碼為1開頭、第一碼為8開頭與第一碼為9開頭的AIS資料進行剔除。

MMSI指配分類

MMSI第一碼編號	用途
0	水上無線電服務的海岸電台和其他陸地電台。
1	搜救定翼機與搜救直升機。
2	歐洲船舶。
3	北美洲船舶。
4	亞洲船舶（東南亞除外）。
5	大西洋與東南亞船舶。
6	非洲船舶。
7	南美洲船舶。
8	全球導航衛星系統的手持VHF收發器。
9	自由格式數字標識的設備（搜救發射器(SART)、落水人員告警裝置(MOB)、應急指位無線電示標(EPIRB)）。

MMSI識別碼不足9碼之規範

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
NET BUOY 0378*	527603	15	128	0	0	120.08816	23.20886	166
LONGLINE BUOY 02 20*	539002	15	128	4	0	121.902187	22.106708	95.5
LONGLINE BUOY 03 08*	539003	15	128	1.3	0	121.900203	22.10697	103.3
LONGLINE BUOY 0540*	539005	15	128	4.7	0	121.899538	22.100723	325.3
LONGLINE BUOY 07 27*	539007	15	128	0.7	0	121.899675	22.106857	214.9
LONGLINE BUOY 0914*	539009	15	128	2	0	121.904522	22.107227	31.5
LONGLINE BUOY 05 69*	542305	15	128	5.5	0	121.622652	21.664992	218
LONGLINE BUOY 9990*	542399	15	128	3.6	0	121.62274	21.664785	222
LONGLINE BUOY 00 99*	542700	15	128	6.2	0	121.97453	22.096147	181.4

MMSI識別碼標頭為1，屬SAR直升機所用之AIS資料

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
CTF-170085-05	103103055	15	128	0	0	121.450610	23.31327	0
26333-13-75*	100033091	15	128	0.2	1	120.404052	26.775440	150.8
2 MAAH FENG	100044202	15	128	0.5	1	121.308052	23.09908	60
CT3-4726	100047262	15	128	4.3	1	121.298152	22.709765	268.4
CT2-4765 WO 02	100047652	15	128	6.9	1	121.476847	23.35232	180.7
CT2-4765 WO 03	100047653	15	128	7.7	1	121.476915	23.35693	181.4
CT2-4765 WO 04	100047654	15	128	6.5	1	121.476683	23.34202	177.9
CT2-4765 WO 05	100047655	15	128	7.5	1	121.476847	23.343445	174.4
CT2-4765 WO 07	100047657	15	128	6.6	1	121.476555	23.332192	180.7

MMSI識別碼標頭為8，屬VHF收發器所用之AIS資料

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
MINHUIYUYUHU0...	800023439	15	128	10.	0	181	91	360
MINQUANTAIYU0...	800043574	15	128	2.9	0	119.021722	24.962267	178.9
MINHUIYU000039	800043842	15	128	5.5	0	119.034795	24.625852	319.1
	800045135	0	0	7.4	1	120.486687	26.969487	353.9
	800049839	0	0	5.3	1	119.021437	25.051205	208.7
MINHUITAIYU00303	800049986	15	128	7.5	0	118.938592	24.84764	294.8
	800050002	15	128	6.3	0	122.01252	25.062247	185.6
	800033066	15	128	0.8	0	119.220983	24.871893	168

3.6 船舶AIS資料整理 (3/4)

- ▶ 船舶航向(COG)：為船舶輪舵轉向的數據值，角度數據為0度角至359度角。
- ▶ 真航向(True_Heading)：真航向為船舶目前船艏角度的數據值，角度數據為0度角至359度角之間。

AIS船舶航向(COG)數據異常

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
CHAU HSEN NO 28	416006804	15	128	0	1	120.437313	22.472985	360
	416006846	15	-128	10	0	181	91	360
	416745000	15	128	0	1	120.316953	22.568277	360
	416905074	15	128	0	0	121.86588	24.584903	360
	416924000	15	128	0	1	121.77808	25.149297	360
YUNG AN NO.1	438697702	6	103	20.4	1	-178.9595...	-90.5263	373.7
KMSC NO.341	416073700	0	-128	0	1	120.335887	22.539255	360
	416073800	15	-128	0	1	120.28212	22.616113	360
	416198500	15	128	0	0	120.435795	22.47251	360

*AIS船舶若未提供航向(COG)數據，其原始預設值為360.0

AIS船舶真航向數據異常

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading	
3021--1	779	302100001	15	128	0.3	1	119.936287	26.108532	214	480
88652+1	775	202886521	15	128	0	1	120.576105	26.830183	273.4	480
BNP-T	8V1	130005809	15	128	0.1	1	121.868607	24.903442	0	480
BNP-U	8V3	131005809	15	128	0.2	1	121.868693	24.903398	0	480
CT3-47260612V0		200472606	15	128	4.6	1	121.301232	22.708597	248	480
		260155358	15	-64	16.8	0	-219.0378	13.372187	156	478
0033311Y7		201700333	15	128	7.4	1	121.465455	25.41935	240.3	480
SHUNLIYANGZHID04Y9		412094444	15	0	0.8	1	116.741532	23.217307	0	480
SHUNLIYANGZHID08Y2		412092222	0	0	0	1	116.741082	23.219177	0	480

3.6 船舶AIS資料整理 (4/4)

- ▶ 重複性AIS資料：相同接收時間(Record_Time)之AIS資料或不同接收時間的AIS資料欄位數據相同狀況。
- ▶ 船舶當前位置判斷：透過船舶前後筆AIS資料接收時間、經緯度座標變化(船舶航行距離)與航速進行計算，予以判斷其船舶當前位置是否存在異常。

重複性AIS資料

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	Record_Time
412211819	15	128	2.7	0	120.93612	27.51679	75	2021-08-12 21:12:23.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.93723	27.51752	75	2021-08-12 21:13:12.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.93812	27.51845	75	2021-08-12 21:14:11.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.93923	27.51945	75	2021-08-12 21:14:11.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.94089	27.52022	75	2021-08-12 21:16:11.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000	
412211819	15	128	2.7	0	120.94288	27.52281	75	2021-08-12 21:18:31.000	

該船舶連續10筆AIS資料的航速與資料接收時間變化不大的情況下，船舶經緯度距離變化約落在50~100m/min，而異常位置變化距離則達到3.52公里。

船舶當前位置數據異常判斷

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	Record_Time
415104500	15	128	0.1	0	122.233527	25.84619	8.8	2021-08-21 14:23:45.000	
415104500	15	128	0.1	0	122.233545	25.84631	8.8	2021-08-21 14:24:41.000	
415104500	15	128	0.2	0	122.233581	25.84675	8.8	2021-08-21 14:25:41.000	
415104500	15	128	0.3	0	122.233604	25.84692	8.8	2021-08-21 14:26:48.000	
415104500	15	128	0.4	0	122.233623	25.84709	8.8	2021-08-21 14:27:40.000	
415104500	15	128	0.5	0	122.233646	25.84727	8.8	2021-08-21 14:28:38.000	
415104500	15	128	0.4	0	122.234841	25.87891	8.8	2021-08-21 14:29:47.000	
415104500	15	128	0.3	0	122.233691	25.84784	8.8	2021-08-21 14:30:41.000	
415104500	15	128	0.4	0	122.233721	25.84812	8.8	2021-08-21 14:31:39.000	
415104500	15	128	0.5	0	122.233749	25.84842	8.8	2021-08-21 14:32:47.000	

3.7 系統控制平台架構規劃



系統平台介面

顯示介面：
將AIS船舶資料以及載具完成連線後的當前位置以圖像物件方式顯示於圖層視窗

控制介面：
呈現資料庫連線相關資訊、載具連線數據、載具飛行狀態、目標船舶經緯度資訊及載具控制指令。

3.7 即時性AIS資料解碼處理



為改善AIS資料延遲性問題，並降低AIS資料數據量過大造成系統負擔之情形，此次系統實測過程，研究藉由系統平台接收現場架設AIS接收站之船舶AIS資料，並進行即時性的數據欄位解析、解碼。

現場架設AIS接收站



完成解碼處理匯入系統平台資料庫

3.8 港區環境訊號量測與干擾分析 (1/4)

南高字塔 – 觀海平台 環境勘查



以手持式頻譜分析儀進行現場訊號量測



3.8 港區環境訊號量測與干擾分析 (2/4)

飛控系統整合

- 電子羅盤
- 雙軸加速度計
- 電子變速器
- 無刷馬達
- 飛行控制板
- 無線傳輸模組
- 訊號處理分析

載具智慧航控

- GPS定位模組
- 自動飛行航點
- 循跡返航

通訊使用頻率

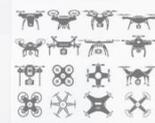
- 915MHz
- 2.4GHz
- 5.8GHz

載具控制介面

- 控制載具相關飛行指令
- 顯示載具高空即時影像



載具機體結構



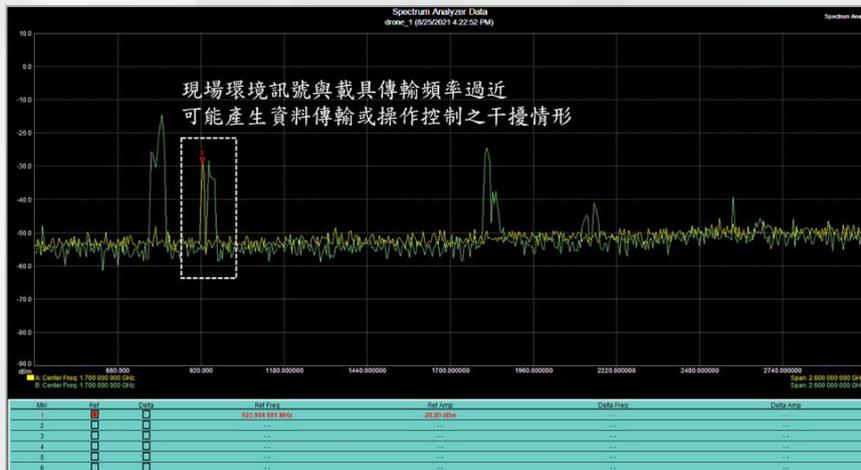
提供即時飛行資訊

- 即時影像
- 飛行高度
- 飛行距離
- 定位資訊
- 載具水平姿態
- 相關感測模組資訊

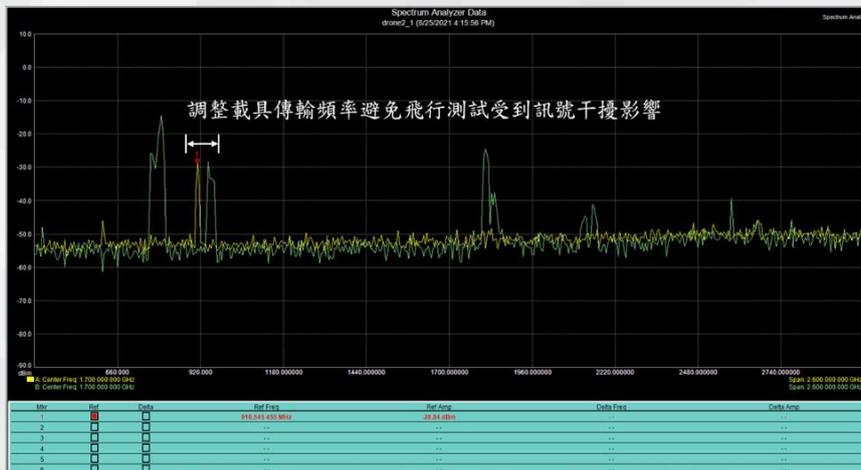


偵測類型	偵測物
空氣污染物	TVOC、PM _{1.0} 、PM _{2.5} 、PM ₁₀ 、O ₃ 、NO ₂ 、SO ₂
環境數據	RH%、溫度、風速、風向、海拔高度、全日輻射量、熱顯像

3.8 港區環境訊號量測與干擾分析 (3/4) 操作傳輸頻率 – 修改前



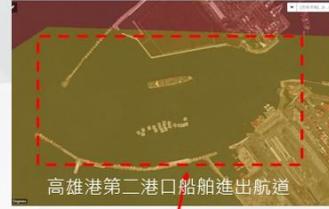
3.8 港區環境訊號量測與干擾分析 (4/4) 操作傳輸頻率 – 修改後



3.9 港區飛行作業限制與申請 (1/2)

第二港口飛行測試作業申請

本次載具飛行測試以高雄港港口做為實海測試場域，其所屬範圍為限航區域環境，飛行高度需低於200呎內。



高雄港第二港口船舶進出航道

- 載具起降地點：**南高字塔 – 觀海平台
- 飛行轄管單位：**高雄港務分公司、高雄市政府文化局
- 飛行作業申請：**
 - 取得南高字塔管理處同意飛行申請回文
 - 檢附文化局同意回文與無人機申請單、飛行計劃書向高雄港務分公司發文進行飛行作業申請
 - 取得高雄港務分公司同意回函
- 飛行限制：**
 - 不得靠近海上航行船舶120公尺範圍
 - 下午17時0分至次日上午8時0分禁飛
 - 未經申請不得於作業機具、船艦及危險物品儲槽上方飛行



無人載具限航區

無人載具禁航區

3.9 港區飛行作業限制與申請 (2/2)

港區單位(承租業者)同意操作使用遙控無人機飛行作業區同意書

本公司(單位)高雄市政府文化局(紅毛港文化園區)同意操作使用遙控無人機申請單位 國立高雄科技大學 於 110 年 9 月 1 日至 110 年 9 月 30 日 (因飛行限制作業目前無限制位，僅1日自航自行飛行) 飛行作業區 維護本單位(承租)作業區，故事項飛行與拍攝作業，如在飛行作業期間，發生任何事故，由申請單位一切損害賠償及法律責任。

公司(單位)名稱：高雄市政府文化局【台灣港務單位(承租業者)填寫】

統一編號：76213413

連絡人：葉正勝

電話：2225136 分機 8562 (單位/公司章)

中華民國 110 年 8 月 26 日

高雄市政府文化局飛行作業區同意書

臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司 函

地址：80413高雄港務分區小港區海二路61號
聯絡人：吳丹鈞
聯絡電話：07-5222197
傳真：07-5217108
電子信箱：wzy110@tpport.com.tw

受文者：國立高雄科技大學
發文日期：中華民國110年9月9日
發文字號：高雄港航字第1100009885號
送件：吳丹鈞
受件：葉正勝
附件：第001-110009885000-1.pdf - 31586030011030885000-2.pdf - 31586030011030885000-3.pdf

主旨：有關貴校申請於高雄港務操作使用遙控無人機一架，復如說明，請查照。

說明：
一、復貴校110年9月9日高科大字第1107900555號函。
二、貴校為執行交通部運輸研究所「港區船舶能源使用及空氣污染績效偵測技術評估之研究(MOTC-IOT-110-H2C8002)」計畫案，向本分公司申請自110年9月9日起至同年9月30日止每日上午8時0分至下午5時0分，於高雄港紅毛港文化園區及二港口航運操作使用遙控無人機，本案同意所請。
三、為維護港區船隻及設施安全，請於操作使用遙控無人機時遵守下列事項：
(一)請依本公司所訂定「經管港區範圍無人機使用管理須知」規定事項辦理空拍作業，並注意拍攝安全。
(二)遙控無人機飛行時，應遠離人群、樹木、電線、建築物、船舶、石化設備及港區設施，並避免接近高大建築物以及其他可能阻擋視線之物理體面。

高雄港務分公司飛行作業申請同意回函

姓名	職稱	簽名	日期
葉正勝	主任		110.09.09
吳丹鈞	第一副總經理		110.09.09
吳丹鈞	第一副總經理		110.09.09
吳丹鈞	第一副總經理		110.09.09

機型	重量	備註	備註	備註
第一等外置旋翼機	300g			
第一等外置旋翼機	30g			
第一等外置旋翼機	30g			
一次飛行時間	15分鐘			

無人機責任保險要保書

填表日期：110年9月9日
填表地點：高雄港務分公司

無人機責任保險要保書

3.10 UAV實海域飛行測試 (1/3)

實海域飛行測試前置作業

船舶排放空氣污染物



現場環境頻率量測



進行系統及載具前置作業設定



AIS資訊、系統平台及載具連線測試與確認



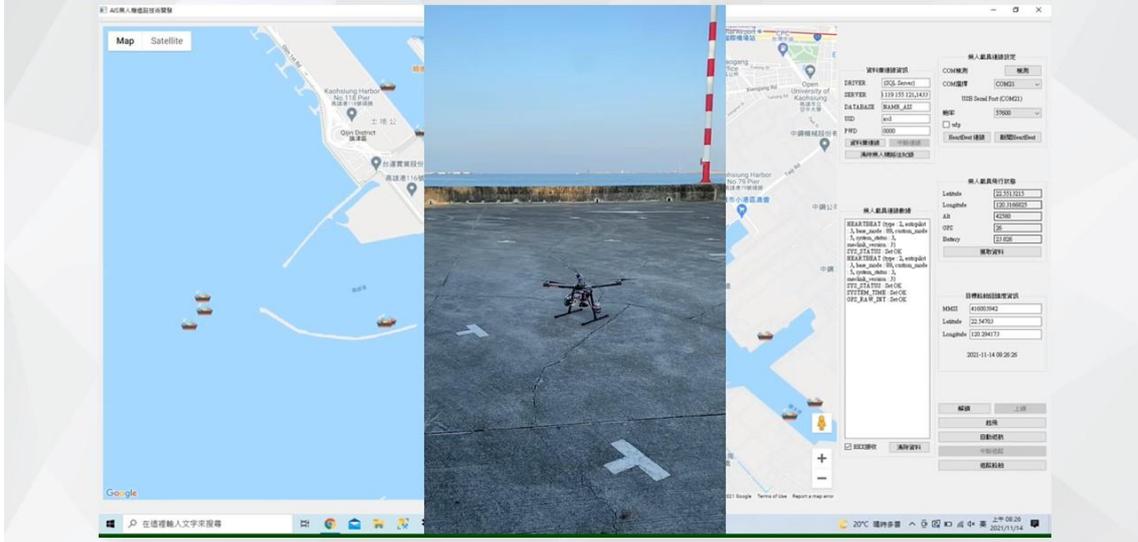
3.10 UAV實海域飛行測試 (2/3)

實海域飛行測試前置作業

由中鋼運通公司船隊協助配合此次 UAV實海域飛行追蹤測試作業



3.10 UAV實海域飛行測試 (3/3)



3.11 移動式空污監測及採樣裝置規劃設計

載具空污監測及採樣裝置規劃架構

飛控系統整合

- 電子羅盤
- 雙軸加速度計
- 電子變速器
- 無刷馬達
- 飛行控制板
- 無線傳輸模組
- 訊號處理分析

空品採樣裝置

- 氣體採樣袋
- 不鏽鋼採樣筒

載具智慧航控

- GPS定位
- 自主追蹤飛行
- 自動返航

環境感知監測

- 高空即時影像傳遞
- 相關感測模組

偵測類型	偵測資訊
空氣品質	PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、SO ₂ 、NO、NO ₂ 、CO、CO ₂ 、VOC
環境數據	RH%、溫度、風速、風向、海拔高度

相關資訊顯示及指令與功能操作

- 即時影像資訊
- 飛行距離與高度資訊
- 定位資訊
- 相關感測模組資訊
- 飛行指令與操作功能
- 採樣裝置啟動功能



圖像平台/操作介面



船舶排放煙流

3.12 專家學者座談會議 (1/3)

出席人員：

- 臺灣技術研究中心 李俊穎科長、許義宏研究員
- 國立高雄科技大學 林啟燦教授、翁健二教授、葉金課、鄺結梅、陳柏仰、黃冠銘、楊烈
- 臺灣港務國際物流股份有限公司 蔡丁義前董事長
- 財團法人工業技術研究院 張寶額副研究員
- 苗栗無人機應用服務創新發展協會 黎東碩理事長
- 國立高雄科技大學海洋科技發展處 戴輝煌處長
- 輔英科技大學環境工程與科學系 賴進興教授
- 國立中山大學環境工程研究所 袁中新特聘教授



3.12 座談會會議時間及議題 (2/3)



3.12 應用單位訪談 (3/3)

- 應用單位訪談已於110年7月~110年8月初完成。
- 受邀單位及訪談重點如下：

訪談單位	受訪人員	訪談時間	訪談重點
交通部航港局南部航運中心	PSCO 檢查員	110/07/06	PSC工作現況及執行挑戰
中鋼運通股份有限公司	船務處總船長 船務處總輪機長	110/07/14	IMO2020後船舶操作及成本分析
高雄市政府環保局	空噪科技正	110/07/15	港區空品管制策略及相關技術建議
交通部航港局	船舶組副組長	110/07/16	我國針對低硫燃油管制措施
高雄港務公司職安處	職安處處長	110/08/04	監測設備架設位置及港口管制現況

41

PART FOUR 4 結論與建議

National Kaohsiung University of Science and Technology

42

4.1 結論 (1/4)

1) 低硫燃油政策研析

- 因應IMO 2020政策的推動及實施，全球船商都應政策要求使用含硫量0.5%的低硫燃油或安裝具有同等減排效應之裝置；經本計畫透過船公司訪談資料指出，在使用低硫燃油下，**管道容易產生污泥**，進而導致過濾器塞堵或機器磨損磨耗等問題，此外，使用脫硫塔者亦需要引入海水進行中和反應，其排放水偏酸性，容易造成**管路酸蝕**之問題。
- 從國內外主要船公司之相關統計報告指出，其重油使用量均有減少，減少幅度約4%~22%之間。以國內某航商同型號、同航程之船舶，比較低硫油及脫硫塔用油量差異，結果表明使用**低硫油比高硫油較為耗油，油耗多達6%**；於**使用脫硫塔情境下**，因脫硫塔需使用發電機將海水抽入洗滌裝置內，導致船舶能耗增加，對比低硫油，**油耗多達11%**。

43

4.1 結論 (2/4)

2) 國內外空氣品質偵測及採樣技術研析

- 本計畫蒐集主要空氣污染排放偵測技術，包括目測判煙、嗅探技術(IGPS)、影像辨識、OP-FTIR、DOAS (UV-DOAS及MAX-DOAS)、LiDAR、CEMS、Sensors及無人機搭載偵測器等項目進行比較，其中以**UV-DOAS及UAV較適用於我國港區船舶空污監測**。

3) 現行港埠地區之船舶空污排放偵測技術探討

- 在固定式技術部分，**UV-DOAS**是一種無需氣體採樣、可進行長期連續監測、可以全自動運行，操作維護成本低、檢測多種有機、無機化學物質的技術。其**量測反應時間較OP-FTIR快**，可達1分鐘1筆、且受水氣干擾較OP-FTIR小，因此，適合用於港區空氣品質監控。

44

4.1 結論 (3/4)

4) 可行偵測技術實驗規劃

- 經綜合評估固定式遙測須考量光徑長度、中點高度，以及高雄港第二港口進出港之船舶噸位、煙囪高度等因子，初步研提**優先架設地點為VTC塔台往南高字塔**、其次為VTC塔台往高明總部、最後為北高字塔往高明總部。惟VTC塔台涉及航安、國安及資安等問題，後續須與管理單位進行協商架設地點。若要避開航安、國安及資安等問題，UV-DOAS的發射端及接收端架設於**北高字塔往高明總部會是另一個替選方案**。
- 在移動式監測技術方面，本計畫完成AIS船舶圖像資料平台與操作介面建置，並架設AIS接收站方式獲取即時性的AIS船舶資料，除可改善AIS資料延時性問題外，亦能降低AIS資料數據量過大造成系統負擔之情形。而此次在**船舶AIS目標追蹤演算法的開發**，其結合航跡預測分析技術的方式，能夠改善載具進行船舶追蹤時，可能陷入不斷追尋目標船舶歷史航點的迴圈問題。

45

4.1 結論 (4/4)

5) 專家學者座談及相關應用單位訪談

- **專家學者座談會**分別於**5月**及**9月**進行，第一場次分五個議題進行，第二場次以各專家學者的建議進行更深入討論及使後期研究規劃更完善，議題分四項，座談會所擬定之議題。因應本年度計畫研究重點著重於**整體技術規劃之盤點與評估**，研究團隊將**彙整**並**參酌**各專家學者相關意見與建議，**納入計畫推動**。
- **應用單位**訪談於**7月**及**8月**進行，訪談單位包括交通部航港局、航港局南部航務中心、高雄市環保局空噪科、中鋼運通股份有限公司及臺灣港務股份有限公司(高雄分公司)職業安全衛生處。訪談方向主要以**PSCO船舶稽查**、**硫低硫油使用情況**及對於規劃**架設監測技術的可行性**。

46

4.2 建議 (1/2)

1. 因應IMO 2020政策的推動及實施，全球船商都應政策要求使用含硫量0.5%的低硫燃油或安裝具有同等減排效應之裝置，本研究盤點國內外船舶空污相關文獻與案例，可知悉船舶排煙行為對二氧化硫(SO₂)與懸浮微粒(PM₁₀及PM_{2.5})濃度具有顯著影響，惟使用低硫燃油，因其添加成分，可能導致揮發有機化合物(VOCs)增加，造成港口城市臭氧污染及二次氣膠的形成，**建議未來可針對港區之揮發有機化合物、臭氧及二次氣膠進行監測。**
2. 船舶使用開環式脫硫塔需要引入海水進行中和反應，其排放水偏酸性，容易造成船舶管路酸蝕，以及排放污水等問題。航港局及港務公司已有針對港區內及港區外進行水質採樣調查，惟目前船舶使用脫硫塔之比例不高，尚不足以呈現其洗滌水造成之問題，建議可**持續追蹤及分析國際相關研究，並進行港內水質調查，以避免空污轉為水污之情形。**

47

4.2 建議 (2/2)

3. 使用UV-DOAS等固定式遙測技術，需考量空污背景值所造成之雜訊，例如鄰近是否有車道或其他排放源(如廚房煙囪)，以及風速風向所造成之煙流方向改變，因此未來架設時，建議需進行**環境背景值量測及風速風向監控作業**，以確保船舶排放物有確實通過量測光徑。
4. 在移動式監測技術方面，依據民航相關規定，執行任務時需要具備操作證及申請飛行許可，建議航港單位可預為**盤點港區可飛航區域，並建立標準作業程序**，以利後續執行。

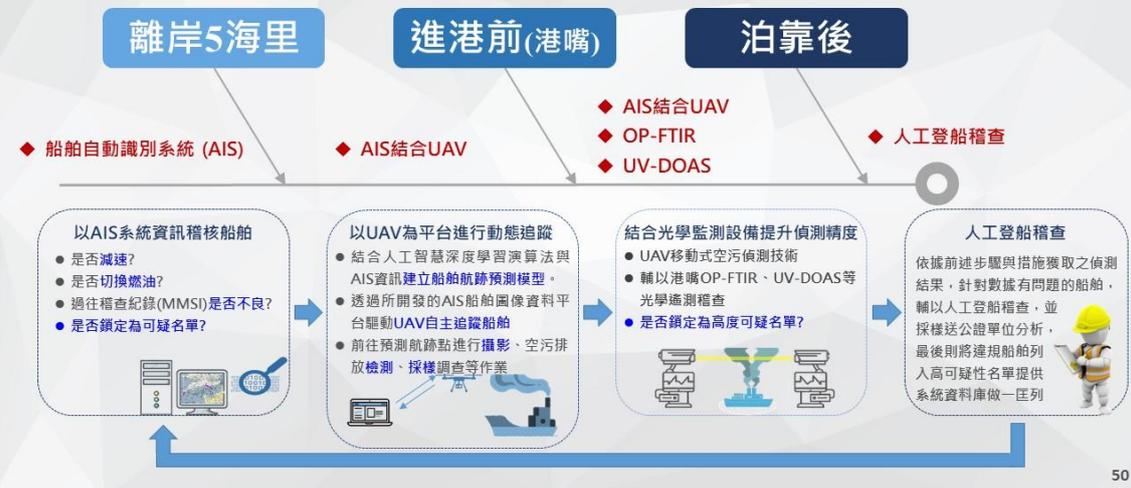
48

THANKS FOR YOUR ATTENTION



49

長程規劃願景



附件二 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-110-H2CB002

計畫名稱：港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究

執行單位：國立高雄科技大學

審查日期：110年7月29日

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(一)王榮昌委員		
1. P1-7、P2-9 及 P2-2 所提之 CO, CO ₂ 等排放物的檢測的必要性宜再探討。	感謝委員提醒，推斷船舶是否使用低硫燃油的一大關鍵指標為 SO ₂ /CO ₂ 的比值，因低硫燃油與高硫燃油內的硫含量不變，故可利用上述指標測定油品內含硫量(交通運輸規劃研究院，2016)。	依處理情形辦理
2. P2-3~P2-8, 2.1.2 船舶油品分類小節，宜就油品相關性質，黏度、溫度、化學式、結構式等進行補充說明。	感謝委員建議，相關建議將納入參考，收納至期末報告。	依處理情形辦理
3. P2-16, 2.1.6 污染排放因子「空氣污染排放.....Version 1」是否為文獻資料？其方程式(7)未出現於文中。	“San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report”為國外研究報告，已於報告書新增來源；方程式(7)之引用，將於期末報告補充說明。	依處理情形辦理
4. P3-1~P3-6 需加入本研究相關建議採用順序。	感謝委員建議，相關建議採用順序已新增至表 3-7 及表 3-8。	依處理情形辦理
5. P4-17~P4-23 與第三章重複性高，建議修正。	感謝委員指正，已依循委員建議進行修正。	依處理情形辦理
6. P5-3 表 5-2 何項 AIS 資料欄位與本研究空污相關？宜清楚說明。	感謝委員指導，計畫所提及之 AIS 訊息的資料類型共為 27 種，其每種資料類型所定義的欄位格式和存放內容有所不同，故研究於此技術開	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	發步驟需針對所接收的 AIS 訊息進行解析獲取該筆 AIS 的各項資料。目前研究規劃以 UAV 無人載具做為船舶追蹤的移動平台，並須經所建置的航跡預測模型推估船舶下一航行軌跡，因此目前在模型演算法編譯所使用之欄位參數包括：船舶 MMSI、航向、航速、真航向、船舶經緯度座標及船種等參數。後續將依循委員建議於報告中補充模型演算法使用相關參數之說明。	
7. 團隊技術規劃示範場域以高雄港為主，其選址依據為何？	感謝委員指導，初步選定高雄港之原因，除研究團隊地緣優勢外，主要是根據國內近幾年船舶進出港航次資料，其高雄港具有我國國際商港代表性。因此，在技術規劃的示範場域上以高雄港為優先。	依處理情形辦理
8. 整本期中報告(初稿)撰寫合宜，惟圖表清晰度與相關錯別字宜再修正。單位使用應以 S.I. 為主，引用自網站資料，應加上檢索日期。	感謝委員提醒，相關資料已修正。	依處理情形辦理
(二)羅金翔委員		
1. P4-25~P4-26，CEMS 屬於固定污染源量測以及對應空氣染防制費的徵收，維護成本高，數據品質要求嚴謹，建議先收集充足資料再提設置說明，以免誤讀。	感謝委員提醒，因 CEMS 較適合用於監測固定污染源，本團隊將報告書中添加段落說明其不適用於船舶監測，但可作參考之用。	依處理情形辦理
2. P4-26~P4-29，此章節分析 UAV 在各國際商港的應用分析，並嘗試 AIS 的系統整合；建議補充船舶是否	感謝委員指導，後續團隊將依循委員建議針對船舶燃油切換調查與 UAV 採樣的步驟流程進行補充說明。	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
轉換低硫燃料以及 UAV 實務操作採樣程序說明。		
3. P4-2表 4-1與 P4-6表 4-4，建議分析不合格率(留置率)與船舶污染的原因，對照目前提出方案的合理性。	感謝委員建議，相關建議將於期末報告呈現。	依處理情形辦理
4. P5-1表 5-1(1)使用儀器設備部分，建議詳細擬列 UAV 可搭載感測器、採樣筒等可攜式裝置，包括單位重置、供電等；(2)與固定式監測系統的運作程序邏輯，要說明清楚避免誤讀；(3)UAV 的使用時機，屬於目標出擊或是例行巡檢？	謝謝委員指導，團隊將依循委員建議於後續報告中針對 UAV 移動式監測技術規劃搭載之空品感測模組與不鏽鋼採樣筒等裝置規格，以及其與固定式監測系統的運作程序進行相關補充說明。 在技術中長程規劃願景上，期望能達到智慧化的自動監測，包括透過離岸五海浬(UAV 移動監測)、船舶進港港嘴處(光學遙測)、泊靠後(人工登船稽查)三個階段，透過長期的調查予以建立一船舶黑名單資料庫，最後再結合 AIS 系統取得進港船舶資訊從而提前鎖定高可疑性之船舶，提高國內港區船舶空污稽核精確度。	依處理情形辦理
5. P5-9~P5-10 建議詳細回應附錄 2-12 的審查意見。	感謝委員建議，有關議題之建議將於期末報告作詳細回應。	依處理情形辦理
6. 本計畫希望透過遠端監測科技輔助「篩選出高污染船舶」以利增進登輪檢查之效能，對應登船查驗有關污染防制相項目，建議期末提出執行程序的系統架構，此架構應屬「港區智慧監測」的一環。	感謝委員指導，團隊將依循委員建議在此次以 UAV 規劃可行偵測技術部分，於後續期末報告中補充有關技術規劃之系統架構與相關說明。	依處理情形辦理
7. 關於船舶能源使用，建議針對船舶的油料供應以及空污防治設備(脫硫裝置)進行登錄，以及進港船舶的	可由船舶油料紀錄簿所登錄之油料供應點與與留存樣本及空污防制設備之數據紀錄器中可取得所有相關資料，	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
油料(重質燃油與低硫燃油)轉換的監控，提出相關作法。	燃油轉換可由機艙油溫加熱器之溫度得知換油過程。	
8. 目測判煙，數位影像分析技術的應用，建議收集更多資料，有助於本計畫有效施行。	感謝委員建議，目前在煙流追蹤部分，包括香港環保署與香港科技大學透過 UAV 搭載空品感測模組透過即時性的資訊，判斷其感測數據變化進而推估計算空氣污染排放比例。而中國海事局與上海大學同樣以 UAV 做為移動性的監測平台，並透過工作人員於地面站架設紅外線熱顯像儀識別煙流飄散軌跡，進而追蹤船舶排放之煙流。團隊在此部分將依循委員建議加以收集應用在煙流識別之影像分析技術，從而評估其技術整合規劃的可行性。	依處理情形辦理
(三)鍾英鳳委員		
1. P1-3 圖未編碼，表 1-1 是圖也是表，建議 2020 年之資料修正至 12 月底。	感謝委員提醒，圖標題已編號(圖 1.2)及修正船舶進港航次至 2020 年 12 月底之數據。	依處理情形辦理
2. P3-2 船舶移動之採樣方式只要考量方便性、可行性、時效性，但如未有明確規範則可能因條件不同產生巨大差異，難有公信力，所以船舶採樣是否有國際相關文獻可供參考。如 P3-24、P3-35 所述其所測得的數值是否可推估到船舶未依規範使用合格油料，尤其 P3-35 以距離 5 M，且有排煙情況下採樣，因船舶在進港口時通常時緩速慢行，出港時是加俾馬力，其排煙是不同的，故如何去律定試驗方式需斟酌。	感謝委員建議，團隊將依循委員建議加以收集有關國內外港區空品採樣技術報告、文獻，盤點其技術開發重點和相關實驗參數，並呈現於期末報告；在報告書中 P3-35 之文獻 ^[74] 及文獻 ^[75] (周學者等人)於長江三角洲除利用無人機進行探查外，亦會同當地海事局人員上船採樣，而非僅仰賴無人機進行空氣污染物的監測。本次計畫構想亦是希望能先藉無人機搭載空品感測模組進行前置性的船舶空氣污染調查，初步鎖定可疑船舶，待船舶泊靠後再由 PSC 登船採樣，使整體稽	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	查作業和稽核的效能得以提升。在此次技術規劃部分，除應用無人機於錨地進行監測調查或採樣外，團隊另於港嘴處規劃架設固定式遙測設備針對入港船舶進行監測，擬透過雙重的監測調查機制盡力確保其數據可信度。由於此次計畫之技術開發重點著重於規劃評估，未來亦可將海氣象數據等相關資料加以結合，使試驗律定之精度與可信度的公信力更進一步提升。	
3. P4-2 表 4-1 檢查統計是指檢查結果，但以空污為主的檢查之結果應該較重要，有無此一報告，建議補充相關資料。	感謝委員指正，依據與航港局訪談中提到 2019 年提早實施時有查到 4 件未使用低硫燃油的案件，去年 2020 未有查核到用油違規的情形，少部分缺失是文件記錄為主，109 年 PSC 及 FSC 共計檢查 1035 艘次。因查核主要以文件稽查為主，皆未指出用油違規的情形。此外，書面資料可能造假，故實際上還是建議透過油品採樣來檢查船舶是否符合國際要求。	依處理情形辦理
4. P4-10 登船檢查執行挑戰，其內容多只敘述方法並無提出困難及挑戰，請補充說明。	感謝委員指導，其技術限制與執行困難等部分，團隊將依循委員建議納入期末報告進行補充說明。	依處理情形辦理
5. P5-9 規劃光徑橫跨高港二港口東西二岸，請修改為南北二岸。	感謝委員指正，團隊已依循委員建議修正報告書。	依處理情形辦理
6. P5-10 高雄港二港口有 VTC 塔台、高字塔、高明總部等高於 10 公尺之建物，要如何設置固定式監測儀，建請先勘查，且不應侷限至 16 公尺以下船舶，樣本	感謝委員深入且務實之建議，相關建議會納入考量。本計畫於專家訪談後初步選定 VTC 燈塔及紅毛港文化園區為儀器架設地點，光徑平均高度約 34m，後續將會至	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
數將太少。無論是固定式監測或採無人機採樣需要的是 SO ₂ 或是其他監測項目，應先明定。樣品結果全因儀器、設備、自然條件、船舶動態、操作技術不同而有不同結果，針對此一結果要如何應用，請先定義。	現場會勘確認架設位置，並取得業管單位同意；樣品結果將會以採樣分析為主，感測器為輔，以感測器進行初步判定針對疑似污染船舶，登船採樣分析，以提高稽查準確性，並避免人力浪費。	
7. 如何擬定未來受檢船舶相對位置，採樣時間長短、高度，自然條件變化之處理模式必須更詳盡規劃，且採樣結果代表意義清楚說明。	感謝委員指導，團隊將依循委員建議，針對所提及之各項採樣條件，包括船舶相對位置、使用空品感測器監測時間、以採樣鋼瓶進行樣本採樣及適切採樣高度等，團隊將於場域飛行測試時進行相關試驗，並將相關結果呈現於成果報告。	依處理情形辦理
(四)莊永松委員(書面意見)		
1. P2-19 是否能查核進港船舶都切換含硫量 0.5%以下之煙流。	謝謝委員指導，燃油校正係數為污染排放因子之計算推估燃油排放中的一個關鍵因子，主要因含硫量不同，故使用低硫油時須乘上燃油校正係數表進行校正，方可推估出較精確的污染排放量。	依處理情形辦理
2. P2-20 貨櫃輪停留港口時間很短，怠轉下燃料不完全燃燒的相關性為何？	內燃機在怠速下運轉，其燃燒效率非常低，因為引擎運轉必須有最低轉速，任何引擎運轉皆有最經濟轉速，過高與過低皆不適宜，低轉速運下進氣與燃料之空燃比無法達到最佳化，所以會有不完全燃燒的現象產生。	依處理情形辦理
3. P5-9 固定式監測技術應對於電力、電壓的隱定性，如不斷電系統、洩漏等安全措施加以考量。	感謝委員提醒，均會納入團隊考量。	依處理情形辦理
(五)胡凱程委員(書面意見)		
1. P1-6 表 1-4 SECA 管制區域	感謝委員提醒，SECA 管制區	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
燃油含硫量 1.5%及 1.0%生效日期與國際公約尚有出入(分別為 2010 年 7 月 1 日前後)，建議釐清。	域燃油含硫量 1.5%的正式生效日期應為 2005 年 05 月至 2010 年 06，報告書已修正。	
2. P4-8, 4.1.4 節，建議增加內容如下:五、為配合自 2020 年起國際統一實施低硫燃油新制，航港局於 108 年 12 月 16 日函送 6 份 IMO 所屬 MEPC 委員會公布的指導性文件供航商、驗船機構、供油商及檢查單位參考，航港局於 109 年 3 月 13 日起改採 IMO 指導性文件規定進行船舶使用低硫燃油檢查作業。	感謝委員建議，相關內容已新增至報告書。	依處理情形辦理
3. P6-2 第一次專家學者座談，建議於第六章末應有歸納式說明及未來研析修正與規劃做法，另外亦建議於期中報告可對第 2 次專家學者座談相關議題預先規劃進行描述，並將第 1 次座談結果作為基礎，以為第 2 座談之延伸，如此較具連結性。	感謝委員指導，在後續工作會議報告，團隊將依循委員建議參酌並歸納第一次座談會議結果，補充第二次專家學者相關議題之規劃研擬。	依處理情形辦理
4. 依據國際公約 MARPOL 附錄 VI 第 14.4 條規定，自 2015 年 1 月 1 日起船舶於 SECA 作業時，使用燃油不能超過 0.1%，另中國、韓國等國家部分水域及港口，按國內法規施行 0.1% 限硫令，請卓參。	感謝委員提醒，團隊已依循委員建議將相關內容新增至報告書。	依處理情形辦理
(六)李俊穎科長		
1. 建議將技術所需或維運衍生費用概算出並納入評估。	感謝科長建議，本案於已初步蒐集相關資料及文獻檢所等，衍生經費等將詳細規畫，將於期末報告完整呈現。	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2. 建議在 4.3.5 節就前節所提方案提出可行性綜合評估，可考量就技術，財務、土地及法規等相關面向說明。	感謝科長指導，經工作會議、專家座談與單位訪談後選定示範場域，其場域勘查及飛行測試，初步暫定於期中成果報告審查會議結束後進行，在完成現地探勘及飛行測試後，將依循科長建議就技術面、財務成本、應用場地與法令規範等做一綜合評估，並補充於後續期末報告。	依處理情形辦理
3. 文獻格式請參考中心報告格式修改。	感謝科長提醒，文獻格式已修正。	依處理情形辦理
4. UAV 採樣時建議可記錄對應採樣船舶之相對位置。	感謝科長指導，團隊將依循科長建議，納入 UAV 採樣船舶相對位置數據。	依處理情形辦理
(七)黃茂信研究員		
1. 報告圖表解析度應加強，論文格式請依本所出版品格式修正。	感謝黃研究員提醒，報告圖表解析度及論文格式已修正。	依處理情形辦理
2. 於 P2-29 第二章低硫油政策，建議將結論 P.7-2 目前我國船舶低硫油政策發展之歷程調整論述，另個案探討油量差異之數據來源為何？應加以說明。	個案探討為某大航商以 10 萬噸級大型貨櫃輪，航行遠東到美西與美東同型船實際取得之油料消耗數據所得到的。	依處理情形辦理
3. 有關 P3-31 環保局 2021 年依據台中市空氣污染偵測方式，其中圖片來源為經濟日報，應就原環保局計畫報告而非新聞報導資料作為研究依據。	感謝黃研究員提醒，因臺中市政府環境保護局相關計畫報告尚未公開，故相關資訊皆引用自經濟日報。	依處理情形辦理
4. 有關 P3-33 市面販售之感測器價格，建議依估算值概算即可。	感謝黃研究員提醒，表 3-3 至表 3-5 感測器價格依建議已修正。	依處理情形辦理
5. 有關 4.2 節免登船檢查，分 (1) ~ (4) 共 4 點，但皆為船舶減速查核系統，建議統整為一段，又該減速查核系統方式為利用船速	感謝黃研究員建議，相關內容修正將納入期末報告書；另因船舶減速查核系統為我國目前搭配 AIS 進行查核作業之成功案例，但其後續	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
推算排放量，是否屬於免登船檢查範疇，請加以評估。	PSCO 仍須會同相關人員進行船上抽查作業。此次結合 AIS 系統主要是透過 AIS 所提供的船舶資訊，做為 UAV 載具的追蹤資料源進行海上船舶空品監測，使稽查作業可於船舶進港前即初步進行前置性調查任務。	
(八) 本所第二科(書面意見)		
1. P1-4，環保署 TEDS 已更新至 10.1 版，並將船舶排放分為港區內及離岸排放，請更新。	感謝貴科建議，團隊經資料檢索後，已取得環保署 TEDS 11.0 版，並更新於報告書表 1-1。	依處理情形辦理
2. 第 2.4 節針對低硫油政策前後之能源消耗及空污影響，除個案探討外，請透過相關文獻蒐集之參數，進一步推估對我國港區空污之影響。	感謝貴科建議，團隊將持續針對政策執行前後差異進行相關資料收集，其推估影響將於後續工作會議及期末報告呈現。	依處理情形辦理
3. 第 3.3 節請補充國外應用固定式遙測技術進行船舶空污監測之相關文獻，如德國 MAX-DOAS(光學式)、瑞典 IGPS(嗅覺式)之案例。	感謝貴科建議，國外應用固定式遙測技術之文獻將持續收集，納入至期末報告。	依處理情形辦理
4. 第 4.3 節船舶空氣污染偵測技術評估部分，請補充說明各項技術應用於含硫量 3.5%、0.5%及 0.1%偵測之評估結果及適用程度。	依據中國周等人 (2019)研究以 SO ₂ /NO ₂ 的比值來來測定船舶是否切換低硫油，實測港域位屬中國 ECA 區域，所測定六股煙流中，3.5%的高硫燃油比值皆介於 2~5 之間；0.1%的燃油比值則都小於 0.5。綜上所述，雖然 SO ₂ /NO ₂ 比率和含硫量之間的關係並無一定比例，但其比值的巨大差異足以確定船舶燃料的硫含量。	依處理情形辦理
5. 第 5.1 節 UAV 結合 AIS 系統部分，為避免處理 AIS 異常資料所產生之計算延	感謝貴科指導，團隊將就港務公司 TPNET 預報進行研析，做進一步了解，並探究	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
遲，建議可考量利用港務公司港棧服務網(TPNET)預報進港船舶做為 AIS 篩選依據，以快速鎖定目標船舶進行追蹤。	是否可以其資訊提供做為輔助或替代 AIS 系統篩選進港船舶的依據。	
6. 第 5.2 節固定式監測技術之規劃部分，除空污及氣象監測資訊外，為確認監測數據可對應至船舶，後續監測系統規劃項目應納入船舶影像擷取及 AIS 標記等系統功能。	感謝貴科指導，在 UAV 移動式平台的架構規劃上，將會整合影像模組藉以在飛行任務執行時可針對追蹤船舶進行影像的識別與擷取，並於地面站圖像資料平台設計一 AIS 目標船舶標記功能。	依處理情形辦理
7. 針對後續實測港域規劃工作，請蒐集及分析高雄二港口環境背景值等數據，包括行政院環境保護署鄰近空品測站、中央氣象局及本所氣象監測站等資料。	感謝貴科指導，團隊將依循貴科所提建議，加以蒐集高雄二港口環境背景值之相關資訊及數據。	依處理情形辦理
8. 部份圖表內容解析度不佳，請重新繪製(如圖 1.4)，並應於適當處標示資料來源。	謝謝貴科指導，相關圖表解析度及資料來源已作修正及補充。	依處理情形辦理
(九)蔡立宏主任		
1. 針對後續實測港域選定及規劃內容，應詳述港域選定之理由、環境背景資料、預期成果及效益等，以做為後續推動依據。	感謝主任建議。此次計畫目前選定高雄港二港口為實測港域，因高雄港係為我國最大港口，且根據國內近幾年船舶進出港航次資料，高雄港具有我國國際商港代表性。後續團隊將依循主任建議，針對高雄二港口環境背景值與技術規劃預期成果效益加以補充說明，以利驗證此次規劃執行之相關研究成果。	依處理情形辦理
2. 因應 IMO 針對船用燃油之含硫量管制，請進一步針對本計畫所規劃之偵測技術應用於 3.5%、0.5%及	感謝主任指導，團隊依據中國周等人 (2019)研究以 SO ₂ /NO ₂ 的比值來來測定船舶是否切換低硫油，實測港	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
0.1%(ECA 區)含硫量偵測之評估結果及適用程度，以做為未來航港單位應用之參據。	域位屬中國 ECA 區域，所測定六股煙流中，3.5%的高硫燃油比值皆介於 2~5 之間；0.1%的燃油比值則都小於 0.5。綜上所述，雖然 SO ₂ /NO ₂ 比率和含硫量之間的關係並無一定比例，但其比值的巨大差異足以確定船的燃料的硫含量。	
3. 針對光學式及 UAV 等技術內容，應說明其在港區船舶空污偵測之可行性與應用限制，並請持續透過專家學者座談會及應用單位訪談，確認推動可行性。	感謝主任指導，在技術規劃之可行性分析與其應用限制，團隊將於後續持續透過專家學者座談與應用單位訪談滾動修正此次技術規劃可行性，並從下一階段場域實測結果歸納探討其技術應用之限制與需求條件。	依處理情形辦理

附件三 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-110-H2CB002

計畫名稱：港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究

執行單位：國立高雄科技大學

審查日期：110年7月29日

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
(一)王榮昌委員		
1. 已針對期中報告意見修正，呈現於期末報告中。	感謝委員肯定。	同意
2. 整本期末報告(初稿)撰寫完善。	感謝委員肯定。	同意
3. 建議相關重要圖表需彩色列印表示(如圖 3.24, 3.25, …)。	遵照委員建議辦理。	依處理情形辦理
4. 請團隊考慮空氣盒子安裝於船舶的可能性。	市面上販售之不同品牌空氣盒子(感測器)偵測污染物主要是 PM _{2.5} 、TVOC 及溫濕度，部份亦可偵測 PM ₁₀ 、CO、O ₃ 及 NO ₂ ，尚未具有硫氧化物偵測之功能。根據本計畫目標，若針對船舶污染物(SO ₂ 及 NO ₂)作偵測，需自行設計及組裝相應微型感測器於空氣盒子內，且需要國內外船舶同意安裝空氣盒子及提供數據。	依處理情形辦理
5. 報告屬於技術評估，不宜做政策探討。	感謝委員建議，報告書已作相應修正。	依處理情形辦理
6. p.2-1，標題「船舶能源消耗」應修改「消耗」，或能源是否應提及使用岸電、船舶減速等。	感謝委員建議，本案著重在燃油排氣偵測技術的蒐集及未來規劃，岸電及船舶減速並非本年度計畫執行重點。	依處理情形辦理
7. 因不同種類船舶的煙囪高度不同，固定式/移動式取	根據表 5-11 架設情境光徑中間點高度介於 24m~60m 之	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
樣高度是否有相關的規定/依據。	<p>間，大部份的船舶煙囪高度都可以含蓋在此範圍內，少數最新型 24 萬噸以上之船舶煙囪高度可能高於 60m，但其煙流仍會經過UV-DOAS的光徑範圍，所以光徑覆蓋率預期會超過 90%以上，執行效率可期。</p> <p>同時，這些大型船舶未來將泊靠於第七貨櫃中心，不會經過第二港口的港嘴；屆時，可以規劃被動式 MAX-DOAS，則可以不受光徑高度之限制，但該系統受限於必須在白日、有陽光時才能執行。</p> <p>此外，在港區執行取樣，移動式取樣高度則須配合港區規定進行作業申請，並遵照相關規劃執行飛行作業。</p>	
8. 背景污染源是否有校正的部份。	感謝委員提醒，後續實地使用時將規劃所有儀器遵照使用規範進行污染背景校正。	依處理情形辦理
(二)羅金翔委員		
1. 書面資料尚有不少誤植或易被誤讀之處，建議通篇檢正，例如：(1)p.2-31，第四行，排放<因>數?(2)p.1-11，第二段，此主要目的說明，似與本計畫執行有所差異?目前評估的空污監測技術只能建立船舶煙流的污染物濃度；(3)p.4-20，第二段，價格在附錄四；另 DOAS 長置岸邊戶外，相關維修費用建議應詳細評估。	<p>感謝委員提醒及建議，報告書誤植及易被誤讀之處已作修正。p.1-11本研究主要目的已修正。(p.1-11，第二段)</p> <p>另 DOAS 的保養及維修費用已於廠商報價單列出，保養費用估算為\$96,000 元/年(\$8,000 元/月,含人員差旅費及提供維護報告)；另外，一年耗材與零件費用約\$385,000 元/年，總計約\$481,000 元/年。(已補充說明於 p.4-19，第 2 行)</p>	依處理情形辦理
2. p.2-35~2-43，(1)關於 CO2 排放，建議表 2-11，表 2-13，表 2-15，表 2-17，表	(1) 數據來源為各企業永續經營報告書，表 2-11、2-13、2-15、2-17 皆屬貨	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
2-19 能統整一致，有利直接互相比較；(2)個案一與個案二的差異分析，目前僅針對油耗分析，可能對低硫燃料，脫硫塔等改善空污做法(趨勢)產生質疑或誤解，建議提出更多面向分析。	櫃航商，故 CO ₂ 排放以 (g/TEU-km) 計算；表 2-19 為中鋼運通，屬散裝航運業者，故 CO ₂ 排放以 (g/ton-n.mile) 計算。 (2) 因本研究是先期可行性評估，先敘明政策執行可能遭遇到的問題；會建議承辦單位後續如有接續計畫，將更多面向分析列入執行項目中。	
3. p.4-19~p.4-22 及 p.5-11~p.5-28，(1)對照表 4-6 與表 5-3，監測項目並不全吻合？另硫氧化物指(SO ₂ +SO ₃)，氮氧化物指(NO+NO ₂)，以及 CO ₂ 的監測極限為何？(2)依照表 5-10 與 5-12，南北岸的監測海拔高度在 35-70 公尺，比對 p.5-26 (第一段) 分析，建議說明通過船舶數量，約有多少比例可以納進監測範圍？(或是漏檢率)；另提出說明，設置點(發射與接收) 落差達 35 公尺，DOAS 訊號是否出現誤差(相對水平高度傳輸)？	(1) 表 4-6 為原廠提供之 AR520 可監測項目，表 5-3 為本研究需求監測項目，監測項目已統一作相應修正(p.4-20、p.5-15)。 SO ₂ 、NO 及 NO ₂ 監測極限見表 4-6 (p.4-20)，CO ₂ 的監測極限為 1 mg/m ³ ，監測範圍為 0-100 g/m ³ (AR550)。 (2) 目前進出高雄港船舶為 33,237 艘次，只有超過 20 萬噸以上新型船舶煙囪位置超過固定式測線範圍，漏檢率低於 3%。因光線訊號傳輸為一直線，高度落差並不會造成訊號誤差，但光徑中不可有障礙物阻擋。	依處理情形辦理
4. p.5-29~p.5-38，相關分析說明較薄弱，以下請補充： (1)相關人員證照需求以及教育訓練；(2)至少搭載裝備 3kg 的可供選擇之監測設備(元件)，以及可載重上限；(3)追蹤船舶的飛行模式，就是以船舶煙柱(煙流)為中心的飛行偵測 SOP。	(1) 已於 5-33 補上證照需求以及教育訓練。 (2) 低於 3 公斤的設備皆可掛載，表 5-18 UAV 規格敘述有誤，應為至多 3 公斤。 (3) 現階段追蹤船舶的方式為解碼 AIS 後取得船舶經緯度進行船舶追蹤，	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	煙流的檢測目前以影像 手動辨識為主。	
(三)鍾英鳳委員		
1. 本報告已初步完成船舶空 污排放偵測技術之探討及 評估，可行性實驗規劃及 船舶低硫油用量差異探 討，可做為後續研究之參 考。	感謝委員肯定。	同意
2. 相關之評估太過簡略及直 觀，且針對無人機部份如 何追蹤煙流之方式太過簡 易。	<p>煙流之追蹤至少可以有以 下三種方式：</p> <p>(1) 煙流之追蹤可利用 IR 熱 顯像儀追蹤煙流的範 圍。</p> <p>(2) 利用 SO₂ 微型感測器， 進入煙流範圍後，SO₂ 訊號應有顯著之變化。</p> <p>(3) 利用溫、溼度感測器， 進入煙流範圍後，溫、溼 度訊號應用顯著之變 化。</p> <p>UAV 追蹤煙流方式則可有以 下 2 種：</p> <p>(1) 透過即時影像畫面調整 無人機煙流方向追蹤。</p> <p>(2) 可加載相關氣體感測器 設備至無人機左右兩 側，讀取氣體濃度後針 對氣體濃度較高的方向 移動，進而自主靠近濃 度較高的位置採集樣 品。</p>	依處理情形辦理
3. 針對固定式監測部份如何 確保可得到大部份排放數 據，相關之儀器需再考 量。	<p>UV-DOAS 及 FTIR 若能並用 最佳，但 UV-DOAS 對 SO₂、 NO、NO₂ 等較為靈敏，故本 案先期規劃優先考量 UV- DOAS。</p> <p>本研究固定式偵測技術架設 地點之位置選定航道進出必 經之位置，船舶所排之煙流</p>	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	若通過監測光徑皆可取得數據。	
4. 針對移動式之監測方式所需設備人力及氣象應再加探討。	感謝委員建議	同意
5. p.4-20 UV-DOAS 價格 800 萬元，應區分一次性及每年需用之維護成本，且與附錄四(文中為附錄三，請修正)607 萬元不同，請說明原因。	UV-DOAS 價格 800 萬元是含配管配線的初步推估價格(一次性成本)，附錄七總計 607 萬元為原廠報價之金額(不含現場配管配線)。 DOAS 的保養及維修費用已於廠商報價單列出，保養費用估算每年\$96,000 元(每月\$8,000 元,含人員差旅費及提供維護報告)；另一年耗材與零件費用約\$385,000 元，總計約\$481,000 元/年(每年需用之維護成本)。(已補充說明於 p.4-19，第 2 行)	依處理情形辦理
6. p.4-26 移動式監測技術描述不夠詳細，主要在無人機與船舶煙囪口之位置距離如何，與風、船之方向關係應如何，另每次執行費用為何?如何採樣等，均應補充說明。	已於 4-24 補充說明移動式監測技術的概念。此外，目前移動式監測技術尚在開發測試及規劃階段，且每艘船舶煙囪高度不一目前實驗階段以離船舶後方測試自動追蹤功能。採樣方式為接近船舶煙囪時經由操作人員控制採樣鋼瓶進行氣體採樣。	依處理情形辦理
7. p.5-2 第一貨櫃中心只有 42、43，其他稱中島港區，有關高雄港部份重新撰寫。	感謝委員提醒，報告書有關高港部份已重新撰寫。(p.5-2，第二段)	依處理情形辦理
8. p.5-8 表 5-2 中 PM ₁₀ 平均值應<125 μg/m ³ ，非>125 μg/m ³ ，其餘 PM _{2.5} ，SO ₂ ，NO ₂ 亦同，並檢視是否正確，並比對 P5-10 之各項數據。	感謝委員提醒，誤植之處已於報告書修正。(p.5-10，表 5-2)	依處理情形辦理
9. p.5-26 第一行利用公式九及公式十應為公式(8)及公	感謝委員提醒，報告書內容已修正。(p.5-28，第一段第 1	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
式(9)，請確認。	行)	
10. p.5-28 偵測煙流方式，只有一條線或一個面，如是一條線其所獲得值太少。	光學遙測的量測是以光徑為攔截量測污染物種類及濃度之原理而設計。關鍵規劃重點在於光徑高度必須要能“攔截”到進出港船舶的煙流；目前的規劃可以攔截97%以上之船舶。	依處理情形辦理
11. 第五章本章規劃所述太簡略，應分地理環境、法律、技術、財務、設備、維護、可行性進行分析。	感謝委員建議，UV-DOAS 及無人機 UAV 之技術已於第三章分析完畢，財務、設備、維護於第四章分析完畢，第五章著重分析地理環境及法律問題。	依處理情形辦理
12. .p.6-8 張研究員所述中，量測時間是否足夠，所規劃之方式可否符合，請補充說明，意見回覆等請針對專家學者意見再檢視。	感謝委員提醒，本研究所規劃固定式偵測技術為 UV-DOAS 對比 FTIR 量測感應速度較快、有效光徑較長、且可監測項目(SO ₂ , NO, NO ₂ , CO, CO ₂ and BTEX)符合本計畫之目標需求；故優先規劃 UV-DOAS。 OP-FTIR 則對於揮發性有機化合物之監測項目較多，對於港灣空氣品質之改善亦是重要，但其受限於水氣之干擾較大，尤其是在陰天、下雨天等高濕度的環境下。	依處理情形辦理
13. p.6-18 袁中新教授所提建立一套高雄港 3-D 立體監測系統如何去規劃。	本研究之願景為船舶進港前5海浬以 AIS 系統追蹤船舶是否減速，及利用黑名單資料庫鎖定可疑船舶；離岸 3 海浬以無人機搭載微型感測器偵測船舶排煙；進港前以固定式光學遙測技術複查；最後靠港後由 PSCO 登輪告發違規船舶及黑名單登錄，以此構築點、線、面及空中與陸地 3D 立體監測系統。	依處理情形辦理
14. 結論部份請依據工作項目	感謝委員建議，報告書第七	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
所列將研究成果列出，並將規劃成果詳細說明。	章已重新撰寫。	
15. 本案之目的在探討監測技術，針對報告書建議 5 及 p.2-30 中建議主管機關商討稅收優惠及降低港口費用等激勵措施，應不宜納入。	感謝委員提醒，報告書內容已作相應刪減；避免過度敏感之政策性執行方向建議。	依處理情形辦理
(四)莊永松委員(書面意見)		
1. 文獻蒐集多面向，惟部分年份過久。與委外機關配合度良好(月份工作會議)。	感謝委員提醒及肯定。	同意
2. p.3-3 移動污染源目測超林格曼不透光率需再經定檢站複檢，船舶目測後如何再複檢?	目前目測判煙僅適用於固定污染源，並無使用於航行中之船舶判讀及開罰依據，但泊靠在碼頭時可以據以執行。	依處理情形辦理
3. p.3-28 CEMS 自動連續監測或許可以彌補登船檢測及 UAV 執行檢測不確定的風險因子。	目前 IMO 及眾多船舶研究機構是有在研究在船上安裝 CEMS 系統之可行性；但因船舶是屬於移動源(非陸地上之固定污染源)，因此即時數據之通訊傳輸、系統之校正、操作維護及品保品管等均與陸地上之固定污染源差異很大，仍有持續研究及解決許多技術困難點之挑戰。	依處理情形辦理
4. p.4-2 不合格率 46.14%顯示次標準船逐步退出我國海域?	本段內容為誤植，已於報告書刪減。	依處理情形辦理
5. p.4-25 依表 4-1 歷年進港個別(數)船並無明顯差異，是改善或退出?UAV 具快速監測，其載採樣分析儀能具採樣及分析 SO _x 為宜。	表 4-1 表示進港船舶數從 2003 年 3,008 增至 2020 年 5,068 艘次；檢查數及檢查率均逐年增加；不合格率則介於 43%~90%之間。 本研究規劃之無人機系統具有 SO ₂ 感測器；另外，還具有 O ₃ 、PM _{2.5} 、NO ₂ 及 CO ₂ 之微型感測器；VOC 採樣部份以不鏽鋼筒為主。	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
6. p.5-14 遙測需考量外在環境背景，南高字塔民營餐廳煙煙的影響。	感謝委員提醒，現勘時有注意到煙煙的影響。該民營餐廳具有排煙污染防治設備，且排煙出口距規劃架設地點垂直高度達 15 米以上。若最終政策選用到南高字塔，後續實地使用時會再特別注意避開煙煙的影響；同時，所有儀器將遵照使用規範進行污染背景校正。	依處理情形辦理
7. 登船檢測與 CEMS 可並用。	同第 3 點意見回覆。	依處理情形辦理
(五)胡凱程委員		
1. 報告 p.XIII，交通部公告 2019 年 1 月 1 日起即要求國際航線船舶進入國際商港，須採用硫含量 0.5% 以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料，相關日期建議修改。	感謝委員提醒，相關日期已修正於報告書。(p.I & p.1-7)	依處理情形辦理
2. p.4-1，4.1.1 登船檢查，交通部航港局於 2003 年尚未成立，建議修正為四個港務局。	感謝委員提醒，資料已修正於報告書。(p.4-1，4.1.1)	依處理情形辦理
3. p.4-8，4.1.4 檢查程式，航港局於 2018 年 10 月 25 日訂定船舶使用低硫燃油檢查作業程序，惟至 2020 年 3 月 13 日配合國際統一實施低硫燃油新制，航港局已改採 IMO 所屬 MEPC 委員會公布之指導性文件進行低硫燃油檢查作業，相關內容建請修正。	感謝委員提醒，報告書相關內容已作修正。(p.4-8，倒數第 4 行)	依處理情形辦理
4. p.4-15，4.1.5 登船檢查執行挑戰(7)法源依據，有關「交通部必須在船舶法中加入 PSC 檢查之規定，作為法源，統一各港之檢查制度」，航港局已於商港法	感謝委員建議，報告內容已作修正。(p.4-13，4.1.5 登船檢查執行挑戰(7)法源依據)	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
第 58 條至第 60 條規範入、出商港之外國商船得由航港局依港口國管制程序實施船舶證書、安全、設備、船員配額及其他事項之檢查；另航港局實施港口國管制檢查作業時係依據各有關國際公約之規定進行檢查，並訂有檢查作業程序流程，並無報告書中所述之各行其是之問題，相關內容建請修正。		
5. p.7-5, 7.2 建議第 4 項，本報告以 PSC 述說為主，建請研究單位再行釐清此處為 PSC 或 FSC?	FSC 是誤植，此處報告書內文已修正為 PSC。(p.7-3, 7.2 建議第 4 項)	依處理情形辦理
6. p.7-5, 7.2 建議第 6 項，針對未遵守低硫燃油政策之船舶，得依違反商港法第 66 條第 1 項第 3 款規定裁處，相關內容建請修正。	感謝委員提醒，相關內容已修正於報告書。(p.7-4, 7.2 建議第 5 項)	依處理情形辦理
7. 可攜式空品感測模組之應用並無正式納入 IMO 港口國管制檢查準則，實際檢查如有爭議仍須將樣品送至實驗室進行分析。鑒於國際航線船舶須全面遵循低硫燃油限制規定，依 PSC 區域組織等年報顯示低硫政策實施情形尚屬良好，針對低硫燃油，本局暫無引進可攜式空品感測模組之考量。	本研究為技術收集與評估案，根據歐、美及大陸經驗，可攜式空品感測模組是應用來提可疑船舶名單，協助 PSCO 登船檢查之決策執行參考，其數據不是最終用來做為開罰之依據。本報告僅提供技術收集與評估後之彙整。	依處理情形辦理
8. 建議於技術面之限制條件提出可行作法，如受天氣影響等，可再作具體描述。	風速高於該無人機操作限制或強風(風速 10.8m/s 含以上)、下雨、閃電、有霧(或能見度小於 1 公里禁止無人機起飛)。	依處理情形辦理
9. 報告涉及政策面敘述部分，建議刪除相關說明，	感謝委員建議，涉及政策面之內容已刪除。	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
以利聚焦於技術規劃可行性。		
(六)李俊穎科長		
1. 已有完整收集相關資料及提供新技術具參考性。	感謝委員肯定。	依處理情形辦理
2. 建議依研究成果，修改結論與建議著重在技術評估。	結論與建議已依研究成果及參考委員意見，重新撰寫。	依處理情形辦理
3. 建議補述所提固定式偵測，其偵測 SO ₂ 比值為何？	根據 IMO RESOLUTION MEPC.259 (68) 2015 年的修定，若以 SO ₂ (ppm) / CO ₂ (% v/v) 定義比值。則燃料含硫量為 3.5%(m/m) 時，比值為 152；若改用 0.5% 低硫燃油，比值則為 22。兩者有顯著之差異，決策可辨識率高。	依處理情形辦理
4. 請在第五章補述無人機監測測試過程及評估結果。	已於 p.5-45~p.5-48 補上現階段使用無人機自動追蹤船舶過程及結果。	依處理情形辦理
5. 建議依研究成果技術評估部份酌修結論。	結論與建議已依研究成果及參酌委員意見，重新撰寫。(p.7-1~p.7-3, 7.1 節)	依處理情形辦理
(七)黃茂信研究員		
1. 有關第 5.1.2 節高雄港氣候條件「溫度」、「降雨量」、「濕度」及「風向風速」統計數值，皆僅利用 2020 年資料代表，建議增加數值統計年限，避免平均值或極大極小值異常。	感謝委員深入且建設性的意見。高雄港氣候條件已增加近 5 年資料。(p.5-4-p.5-9, 5.1.2 節)	依處理情形辦理
2. p.5-9 為推動外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶使用低硫燃油，交通部前於 107 年 1 月 25 日發布草案預告我國提前於 108 年 1 月 1 日推動國際航線船舶進入國際商港應採用含硫量 0.5% 以下之低硫燃油。其燃油硫含量不符規定，將	感謝委員建議，報告書內容已配合修正。(p.5-11, 第一段第 1 行~第 5 行)	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
處行為人新臺幣十萬元以上五十萬元以下罰鍰。建議修正文字「我國 2019 年已宣導…由於船東門配合」，避免誤解。		
3. 第6章專家學者訪談資料，與附錄三相同，建議刪減，避免文字重複過多。	感謝委員建議，第六章內容已重新撰寫。	依處理情形辦理
4. 有關第五章可行偵測技術規劃，依據 p.1-12 研究架構及本計畫研究主題與重點，應有可行偵測技術經費規劃。	固定式偵測技術經費規劃詳見第四章及附錄七原廠報價單。	依處理情形辦理
(八) 本所第二科(書面意見)		
1. 第三章章節規畫請調整為：3.1 空氣污染物種類；3.2 國內外空氣污染物檢測方法；3.3 空氣品質偵測技術。	感謝建議，第三章章節已依建議作調整。	依處理情形辦理
2. 第二章蒐集各船公司近3年船舶能源使用及排放量，建議再補充 SO _x 及 NO _x 排放量密集度(g/TEU-KM)等數據，以利呈現空污減量效果。	(g/TEU-KM)為平均單位運輸排放量；排放量密集度應是 Emission Intensity, 例如：g (CO ₂ -eq)/MJ；兩者概念不相同，無法直接換算，必須要重新計算及評估。 感謝委員建議，已配將萬海、長榮、陽明等船公司的 SO _x 及 NO _x 平均單位運輸排量(g/TEU-KM)(即排放統計)補充於報告書。國內船商的 SO _x 平均單位運輸排量有明顯下降趨勢；但 NO _x 則是變化不大。(參見 p.2-37，圖 2.3；p.2-39，圖 2.4；p.2-41，圖 2.5)	依處理情形辦理
3. 第三章及第四章請增加「小結」彙整綜合研析結果。	第三章及第四章已增加「小結」綜合研析結果。(p.3-52，3.4節；p.4-24，4.4節)	依處理情形辦理
4. 第 4.2 節，請修正為「港區	感謝建議，相關內容已修正	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
船舶監控機制」，除航港局之船舶自動識別系統(AIS)外，建議補充各港 VTC 塔台整合雷達系統、AIS 及 TPNET 進行船舶進出港管理之相關內容。	及補充至報告書。(p.4-13，4.2 節)	
5. 第 5.3 節移動式監測技術規劃內容，請補充測試階段之無人機規格資訊、各種監測設備之規格及重量，並建議搭配流程圖呈現整體系統架構及監測流程，並將無人機追蹤船舶煙流及取樣所應注意事項予以表列。	謝謝委員建議，已於 p.5-45 補上現階段測試的無人機規格資訊及控制自動追蹤部分的流程圖。	依處理情形辦理
6. 建議補充固定式及移動式空污偵測應考量之環境校正因子，如當時背景值、風速風向或船行速度等，以做為後續實際應用之資料蒐集項目。	感謝建議，後續實地使用時所有儀器將遵照使用規範進行背景校正；例如，UV-DOAS 架設使用時，參考儀器操作使用手冊及品保品管規範，定期得進行光線發射源及反射鏡之清潔、保養維護、及進行背景校正。 無人機追蹤船舶煙流時，若為移動中之船舶，因風向、風速、船速、船行方向等參數都是動態變動之參數，此時無人機操作人員如何快速捕捉到煙流，是訓練之重點，亦是未來規劃技術建置及技術轉移計畫時之重要工項之一。	依處理情形辦理
7. 第六章專學者座談及應用單位訪談內容，請以議題導向進行綜合評析，其餘細項討論內容建議放在附錄。	報告書第六章內容已配合重新撰寫。	依處理情形辦理
8. 第 7.3 節增加成果效益與應用情形，說明本計畫成果可提供應用之內容。	已配合於報告書新增 7.3 節說明成果效益與應用情形。(p.7-4)	依處理情形辦理

參與審查人員及其所提之意見 (按發言次序)	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
9. 報告書圖表之資料來源多有缺漏，應予標明。	已全文檢視、標明報告書內參考引用圖表之資料來源。	依處理情形辦理

附錄四 工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年3月份工作會議

貳、時間：110年3月22日(星期一)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓會議室(臺中市梧棲區中橫十路2號)

肆、主持人：李科長俊穎 紀錄：許義宏、鄺結梅

伍、出席單位及人員：(如後附簽到表)

陸、討論議題：

(一) 工作進度說明

1. 針對各項工作完成分組分工，並開始進行研究前期相關文獻資料蒐集。
2. 依據決標紀錄進行經費修正與工作計畫書修正，並完成政府部門研究計畫基本資料表登錄。
3. 低硫燃油政策實施前後之文獻及個案探討。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論

1. 建議針對無人機進入船舶煙流區域偵測之追蹤飛行技術進行探討與規劃。
2. 宜進一步瞭解船舶航儀設備或通訊系統儀器是否會造成無人機飛行時之影響與干擾程度。
3. 考量我國現行船舶低硫燃油切換查核權責機關為交通部航港局，建議研究團隊宜進一步瞭解交通部航港局在現行船舶抽查機製作業流程。
4. 中鋼運通股份有限公司基於企業社會責任，旗下船隊因應IMO防止船舶污染國際公約規範的低硫燃油政策進行船舶脫硫器的加裝，建議研究團隊可與中鋼運通股份有限公司聯繫獲取相關數據報告，有利本研究之執行。
5. 針對專家學者座談會，建議邀請交通部航港局及長榮/中鋼運通代表出席，有利研究團隊獲得此次技術規劃在政策層面

與實務層面的意見回饋。

6. 針對應用單位訪談，建議邀請港務公司職業安全衛生處，透過港務公司於第一線實務作業經驗瞭解技術規劃可行性、任務需求及可能遭遇困難點等。

柒、結論：

- (一) 無人機技術開發之港埠地區相關應用，除具備飛行證照外，應符合我國交通部民航局法規，並取得地方權責單位之許可。
- (二) 依據港區環境、氣象因素、船舶進出港艘次及國際商港代表性等條件，以高雄港做為技術規劃之使用情境港區應屬妥適。
- (三) 有關專家學者座談會，請研究團隊將應用單位(如航港局)納入座談名單，以切合實務執行應用需求。

捌、散會：下午 3 時 30 分

**交通部運輸研究所港灣技術研究中心
會議簽到單**

- 一、會議名稱：「MOTC -IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣汙染
排放偵測技術評估之研究」110年3月份工作會議
- 二、時 間：110年3月22日(星期五)下午2時
- 三、地 點：港灣技術研究中心3樓會議室
- 四、主 席：李俊穎
- 五、出(列)席單位：

單位	職稱	簽名
國立高雄科技大學		林昭輝 謝好梅 翁健二 楊烈
交通部航港局		請 假
臺灣港務股份有限公司		請 假
本所港研中心		許義宏

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年4月份工作會議

貳、時間：110年4月26日(星期一)上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓會議室(臺中市梧棲區中橫十路2號)

肆、主持人：李科長俊穎 紀錄：許義宏、鄭結梅

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

一、工作進度說明

- (一) 針對低硫燃油政策研析進行船舶油品分類、洗滌設備、成本及船舶排放污染物相關文獻資料蒐集。
- (二) 完成部分空氣品質採樣技術及污染物檢測方法進行相關資料蒐集。
- (三) 完成部分空氣污染排放偵測技術及光學遙測技術蒐集。
- (四) 進行國內港口國船舶抽查機製作業流程說明。
- (五) 進行 UAV 飛行需注意之相關事項及規劃說明。
- (六) 確認專家學者座談會舉辦時間及地點，受邀者持續聯絡中。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

- (一) 建議高雄科技大學可分別針對進港船舶使用低硫油或脫硫塔設備提供一相對應的評估方法。
- (二) 宜進一步瞭解環境檢驗中心具備之實驗儀器及排放之污染物是否均可依據國內 NIEA 標準檢測方法進行分析；另外建議把各污染物檢測方法的檢測時間長短及實驗室普及性納入報告中。
- (三) 建議可針對無人機掛載之各項感測器相關規格與數據進行補充說明，並將 Alphasense 的氣體感測器或其它空污偵測感測器納入比較，藉以瞭解無人機掛載空污偵測感測器之優劣。
- (四) 建議補充可攜式感測器之相關文獻/市場販售資料說明(如掌上型

感測器、可攜帶式感測器)。

(五)建議針對光學遙測技術之建置架構及費用進行相關文獻蒐集，以便進行可行性評估。

(六)針對專家學者座談會舉辦時間建議調整至上午10時開始，及建議邀請全國船聯會及全國船代會代表出席，有利研究團隊獲得此次技術規劃在經濟面與實務層面的意見回饋。

柒、結論：

- 一、依據港區環境、氣象因素、船舶進出港艘次及國際商港代表性等條件，以高雄港二港口做為技術規劃之使用情境港區應屬妥適。
- 二、高雄科技大學除依循民用航空局進行無人機飛航活動申請流程外，亦須瞭解臺灣港務股份有限公司於轄管港區範圍遙控無人機使用管理須知，以利後續進行高雄港二港口飛行申請流程，若有需要，本所港灣技術研究中心可協助發文。
- 三、建請高雄科技大學與航港局聯繫，取得國內各港區現行船舶使用低硫油與脫硫塔的比例，以利針對使用情形的權重高低制定適宜的檢測機制。
- 四、有關專家學者座談會，建請高雄科技大學邀請航港局、全國船聯會、全國船代會及相關利害關係人參與座談會，藉由航港局以稽核權責機關角度以及國內船務代表、公會代表團體的層面，使座談會議題更豐富並切合應用要求。
- 五、有關專家學者座談會，開會通知單應提早提供，以便準備相關議題。

捌、散會：上午 11 時 20 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC -IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣汙染
排放偵測技術評估之研究」110年4月份工作會議

貳、時間：110年4月26日(星期一)上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓會議室

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教授	翁健一 葉金津 謝國梅 楊烈
交通部航港局	科員	林世毅
臺灣港務股份有限公司	助理工程師	吳榮翰
本所港灣技術研究中心	研究員	許義宏

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「<https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge-pdf>」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年5月份工作會議

貳、時間：110年5月26日(星期三) 中午12時15分

參、地點：國立高雄科技大學(高雄市楠梓區海專路142號)

肆、主持人：李科長俊穎 紀錄：許義宏、鄺結梅

伍、出席單位及人員：(如後附簽到表)

陸、討論議題：

(一) 工作進度說明

1. 持續綜整低硫燃油政策、空氣污染排放偵測及採樣與檢測技術之相關資料蒐集、研析。
2. 完成第一次專家學者座談會議(以線上形式進行)，並彙整各專家學者研提建議。
3. 彙整現階段之技術盤點成果與相關文獻資料，進行期中成果報告初稿撰寫。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論

1. 針對委員意見作綜合，評估其適合度及納入研究計畫內。
2. 應用單位訪談可於期中報告後進行，建議安排航港局訪談，以瞭解現今航港局面臨之挑戰及請求協助相關船舶資訊供研究團隊作參考。
3. 建議研究團隊將各遙測技術架構、經費及被動式監測技術的應用程式進行相關文獻蒐集，以便進行可行性評估。
4. 建請研究團隊於期末報告前規劃 UAV 飛行實測。
5. 建議研究團隊於報告書中補充說明 UAV 之船舶追蹤技術規劃與實現方法。
6. 除 FTIR 遙測技術外，建請研究團隊就 UV-DOAS 及 LIDAR 等

遙測技術進行相關文獻蒐集，評估其可行性。

7. 建議補充 15-20 海裡，UAV 的巡航能力、實際可飛行時間、以及可否於泊區飛行。
8. 建議補充 UAV 實現空氣品質採樣技術規劃之相關說明。
9. 考量船舶進港時段無分晝夜，宜針對夜間飛行注意事項及海上允飛條件及可行性進行評估。

柒、結論：

- (一)因應國內防疫措施，應用單位訪談初步擬採線上視訊會議方式進行晤談，以利後續計畫之推動。
- (二)有關應用單位訪談，本所港灣技術研究中心協助提供航港局聯絡視窗資料。
- (三)專家學者座談會會議紀錄綜合後，由研究團隊發文至本所及相關與會人員，以作留存。

捌、散會：下午1時45分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年5月份工作會議

貳、時間：110年5月26日(星期三) 中午12時15分

參、地點：國立高雄科技大學 (高雄市楠梓區海專路142號)

肆、主持人：李俊穎科長

伍、出席單位及人員(線上會議)：

單 位	職 稱	姓 名
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教 授 (計畫主持人)	林啟燦 (視訊)
	教 授 (協同主持人)	翁健二 (視訊)
	顧 問	葉金課 (視訊)
	研究助理	鄭結梅 (視訊)
	研究助理	陳柏仰 (視訊)
	研究助理	黃冠銘 (視訊)
	研究助理	楊烈 (視訊)
本所港灣技術研究中心	科 長	李俊穎 (視訊)
	研究員	許義宏 (視訊)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002港區船舶能源使用及空氣污染
排放偵測技術評估之研究」110年5月份工作會議

貳、時間：110年6月21日(星期一)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：李科長俊穎

紀錄：許義宏、鄺結梅

伍、出席單位及人員：(如後附簽到表)

陸、討論議題：

一、工作進度說明

1. 持續綜整低硫燃油對船舶操作及船舶污染物排放之影響。
2. 簡述國立高雄科技大學(以下簡稱研究團隊)環境檢驗中心之現有能量、儀器設備及其應用性。
3. 分析目前市面上販售之SO₂感測器。
4. 分析現階段光學遙測監測技術DOAS及LiDAR之原理及其優缺點。
5. 簡述研究團隊現階段AIS系統異常數據整理及AIS整合UAV操作介面規劃之成果。
6. 完成第一次專家學者座談會會議紀錄發文與寄件。
7. 完成第一次應用單位訪談單位及名單確認。並說明因應疫情管制，視訊方式進行訪談之規劃，預計於7月中旬完成。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

1. 請研究團隊於簡報P.9標示二氧化硫(SO₂)、粒狀污染物(PM)、及溫室氣體(GHG)切換低硫燃油後影響的資料來源，並蒐集2019年與2020年資料進行比較。

2. 請針對台泥及亞泥使用岸電前後氮氧化物的排放量進行比較。
3. 有關能源消耗量影響之相關之文獻，請進一步蒐集，如高硫燃油切換低硫燃油、或改用洗滌塔是否會增加能源消耗量等。
4. 針對簡報P.23-24，請研究團隊洽接臺灣港務公司取得即時進出港船舶資訊，做為推動船舶污染排放之參考。
5. 航港局AIS資料庫龐大，可能會增加系統計算資源使用量，建議可先針對將進港船舶資訊作篩選，再追蹤其AIS，以評估是否可有效提升系統運算效率。
6. 請研究團隊針對煙流方向識別做進一步補充說明。
7. 宜加以評估系統操控者與UAV之飛行範圍是否可符合計畫需求。
8. 專家學者座談會之意見回覆，請於期中報告進一步說明及整理。

柒、結論：

- 一、因應國內防疫措施，訪談應用單位，可採視訊會議方式進行，以利後續計畫之推動。
- 二、期中報告審查預計於7月中旬辦理，原則採視訊會議方式進行，再請配合相關審查作業時程。

捌、散會：下午3時30分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年6月份工作會議

貳、時間：110年6月21日(星期一)下午2時

參、地點：本所臺灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
交通部航港局	科員	林哲毅(視訊)
臺灣港務股份有限公司	助理工程師	吳宗翰(視訊)
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教授 教授 顧問 研究助理 研究助理 研究助理	林啟燦(視訊) 翁健二(視訊) 葉金課(視訊) 鄭結梅(視訊) 陳柏仰(視訊) 楊烈(視訊)
本所臺灣技術研究中心	研究員	<u>許義宏</u>

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整合成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供履核)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染

排放偵測技術評估之研究」期中報告審查會議

貳、時間：110年7月29日(星期四)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊)

肆、主持人：蔡立宏主任 紀錄：許義宏

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、王榮昌委員

(一)P1-7、P2-9 及 P2-2 所提之 CO、CO₂ 等排放物的檢測必要性宜再探討。

(二)P2-3~P2-8，2.1.2 船舶油品分類小節，宜就油品相關性質，黏度、溫度、化學式、結構式等進行補充說明。

(三)P2-16，2.1.6 污染排放因子「空氣污染排放……Version 1」是否為文獻資料？其方程式(7)未出現於文中。

(四)P3-1~P3-6 需加入本研究相關建議採用順序。

(五)P4-17~P4-23 與第三章重複性高，建議修正。

(六)P5-3 表 5-2 何項 AIS 資料欄位與本研究空污相關？宜清楚說明。

(七)團隊技術規劃示範場域以高雄港為主，其選址依據為何？

(八)整本期中報告(初稿)撰寫合宜，惟圖表清晰度與相關錯別字宜再修正。單位使用應以 S.I. 為主，引用自網站資料，應加上檢索日期。

二、羅金翔委員

(一)P4-25~P4-26，CEMS 屬於固定污染源量測以及對應空氣污染防治費的徵收，維護成本高，數據品質要求嚴謹，建議先收集充足資料再提設置說明，以免誤讀。

- (二)P4-26~P4-29，此章節分析 UAV 在各國際商港的應用分析，並嘗試 AIS 的系統整合；建議補充船舶是否轉換低硫燃料以及 UAV 實務操作採樣程序說明。
- (三)P4-2 表 4-1 與 P4-6 表 4-4，建議分析不合格率(留置率)與船舶污染的原因，對照目前提出方案的合理性。
- (四)P5-1 表 5-1(1)使用儀器設備部分，建議詳細擬列 UAV 可搭載感測器、採樣筒等可攜式裝置，包括單位重置、供電等；(2)與固定式監測系統的運作程序邏輯，要說明清楚避免誤讀；(3)UAV 的使用時機，屬於目標出擊或是例行巡檢？
- (五)(P5-9~P5-10 建議詳細回應附錄 2-12 的審查意見。
- (六)本計畫希望透過遠端監測科技輔助「篩選出高污染船舶」以利增進登輪檢查之效能，對應登船查驗有關污染防治相項目，建議期末提出執行程序的系統架構，此架構應屬「港區智慧監測」的一環。
- (七)關於船舶能源使用，建議針對船舶的油料供應及空污防治設備(脫硫裝置)進行登錄，以及進港船舶的油料(重質燃油與低硫燃油)轉換的監控，提出相關作法。
- (八)目測判煙、數位影像分析技術的應用，建議收集更多資料，有助於本計畫有效施行。

三、鍾英鳳委員

- (一) P1-3 圖未編碼，表 1-1 是圖也是表，建議 2020 年之資料修正至 12 月底。
- (二) P3-2 船舶移動之採樣方式只要考量方便性、可行性、時效性，但如未有明確規範則可能因條件不同產生巨大差異，難有公信力，所以船舶採樣是否有國際相關文獻可供參考。如 P3-24、P3-35 所述其所測得的數值是否可推估到船舶未依規範使用合格油料，尤其 P3-35 以距離 5M，且有排煙情況下採樣，因船舶在進港口時通常是緩俾慢行，出港時是加俾馬力，其排煙是不同的，故如何去律定試驗方式需斟酌。
- (三) P4-2 表 4-1 檢查統計是指檢查結果，但以空污為主的檢查結果應該較為重要，有無相關報告，建議補充相關資料。

- (四) P4-10 登船檢查執行挑戰，其內容多只敘述方法並無提出困難及挑戰，請補充說明。
- (五) P5-9 規劃光徑橫跨高港二港口東西二岸，請修改為南北二岸。
- (六) P5-10 高雄港二港口有 VTC 塔台、高字塔、高明總部等高於 10 公尺之建物，要如何設置固定式監測儀，建請先勘查，且不應侷限至 16 公尺以下船舶，樣本數將太少。無論是固定式監測或採無人機採樣，需要的是 SO₂ 或是其它監測項目，應先明定。樣品結果全因儀器、設備、自然條件、船舶動態、操作技術不同而有不同結果，針對此一結果要如何應用，請先定義。
- (七) 如何擬定未來受檢船舶相對位置，採樣時間長短、高度，自然條件變化之處理模式必須更詳盡規劃，且採樣結果代表意義宜清楚說明。

四、莊永松委員(書面意見)

- (一) P2-19 是否能查核進港船舶都切換含硫量 0.5% 以下之煙流。
- (二) P2-20 貨櫃輪停留港口時間很短，急轉下燃料不完全燃燒的相關性為何?
- (三) P5-9 固定式監測技術應對於電力、電壓的穩定性，如不斷電系統、洩漏等安全措施加以考量。

五、胡凱程委員(書面意見)

- (一) P1-6 表 1-4 SECA 管制區域燃油含硫量 1.5% 及 1.0% 生效日期與國際公約尚有出入(分別為 2010 年 7 月 1 日前後)，建請釐清。
- (二) P4-8，4.1.4 節，建議增加內容如下：五、為配合自 2020 年起國際統一實施低硫燃油新制，航港局於 108 年 12 月 16 日函送 6 份 IMO 所屬 MEPC 委員會公布的指導性文件供航商、驗船機構、供油商及檢查單位參考，航港局於 109 年 3 月 13 日起改採 IMO 指導性文件規定進行船舶使用低硫燃油檢查作業。
- (三) P6-2 第一次專家學者座談，建議於第六章末應有歸納式說明及未來研析修正與規劃做法，另外，建議於期中報告可對第 2 次專家學者座談相關議題預先規劃進行描述，並將第 1 次座談結果作為基礎，以為第 2 次座談之延伸，如此較具連結性。
- (四) 依據國際公約 MARPOL 附錄 VI 第 14.4 條規定，自 2015 年 1 月 1 日起船舶於 SECA 作業時，使用燃油不能超過 0.1%，另中

國、韓國等國家部分水域及港口，按國內法規施行0.1%限硫令，請卓參。

六、本所港灣技術研究中心

(一) 李俊穎科長：

- 1、建議將技術所需或維運衍生費用予以概算並納入評估。
- 2、建議在4.3.5節就前節所提方案提出可行性綜合評估，可考量就技術、財務、土地及法規等相關面向說明。
- 3、文獻格式請參考中心報告格式修改。
- 4、UAV採樣時建議可記錄對應採樣船舶之相對位置。

(二) 黃茂信研究員：

- 1、報告圖表解析度應加強，論文格式請依本所出版品格式修正。
- 2、於P2-29第二章低硫油政策，建議將結論P.7-2目前我國船舶低硫油政策發展之歷程調整論述，另個案探討油量差異之數據來源為何？應加以說明。
- 3、有關P3-31環保局2021年依據臺中市空氣污染偵測方式，其中圖片引用來源為經濟日報，應就原環保局計畫報告而非新聞報導資料作為研究依據。
- 4、有關P3-33市面販售之感測器價格，建議依估算值概算即可。
- 5、有關4.2節免登船檢查，分(1)～(4)共4點，但皆為船舶減速查核系統，建議統整為一段，又該減速查核系統方式為利用船速推算排放量，是否屬於免登船檢查範疇，請加以評估。

(三) 第二科(書面意見)

- 1、P1-4，行政院環境保護署TEDS已更新至10.1版，並將船舶排放分為港區內及離岸排放，請更新。
- 2、第2.4節針對低硫油政策前後之能源消耗及空污影響，除個案探討外，請透過相關文獻蒐集之參數，進一步推估對我國港區空污之影響。
- 3、第3.3節請補充國外應用固定式遙測技術進行船舶空污監測之相關文獻，如德國MAX-DOAS(光學式)、瑞典IGPS(嗅覺式)之案例。
- 4、第4.3節船舶空氣污染偵測技術評估部分，請補充說明各項技術應用於含硫量3.5%、0.5%及0.1%偵測之評估結果及適用程度。

- 5、第5.1節UAV結合AIS系統部分，為避免處理AIS異常資料所產生之計算延遲，建議可考量利用臺灣港務股份有限公司之港棧服務網(TPNET)預報進港船舶做為AIS篩選依據，以快速鎖定目標船舶進行追蹤。
- 6、第5.2節固定式監測技術之規劃部分，除空污及氣象監測資訊外，為確認監測數據可對應至船舶，後續監測系統規劃項目應納入船舶影像擷取及AIS標記等系統功能。
- 7、針對後續實測港域規劃工作，請蒐集及分析高雄二港口環境背景值等數據，包括行政院環境保護署鄰近空品測站、中央氣象局及本所氣象監測站等資料。
- 8、部分圖表內容解析度不佳，請重新繪製(如圖1.4)，並應於適當處標示資料來源。

柒、結論：

- 一、針對後續實測港域選定及規劃內容，應詳述港域選定之理由、環境背景資料、預期成果及效益等，以做為後續推動依據。
- 二、因應IMO針對船用燃油之含硫量管制，請進一步針對本計畫所規劃之偵測技術應用於3.5%、0.5%及0.1%(ECA區)含硫量偵測之評估結果及適用程度，做為未來可提供航港單位應用之參考依據。
- 三、針對光學式及UAV等技術內容，應說明其在港區船舶空污偵測之可行性與應用限制，並請持續透過專家學者座談會及應用單位訪談，確認推動可行性。
- 四、本期中報告經與會審查委員綜合討論，原則審查通過。請國立高雄科技大學針對與會委員所提意見，於會議紀錄文到1週內研提回覆辦理情形說明表，以做為後續研究及撰提期末報告之參據。

捌、散會：下午3時30分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣
污染排放偵測技術評估之研究」期中報告審查會議

貳、時間：110年7月29日(星期四) 下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔣立宏

伍、出席單位及人員：

審查委員	簽名
王榮昌 委員	王榮昌 (線上視訊簽到)
羅金翔 委員	羅金翔 (線上視訊簽到)
莊永松 委員	書面意見
鍾英鳳 委員	鍾英鳳 (線上視訊簽到)
胡凱程 委員	書面意見
李俊穎 委員	李俊穎
黃茂信 委員	黃茂信

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染

排放偵測技術評估之研究」110年8月份工作會議

貳、時間：110年08月26日(星期四)上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓會議室(臺中市梧棲區中橫十路2號)

肆、主持人：李科長俊穎

紀錄：許義宏、陳柏仰

伍、出席單位及人員：(如後附簽到表)

陸、討論議題：

一、工作進度說明

(一) 完成期中報告委員意見回覆。

(二) 完成空氣品質偵測技術盤點。

(三) 已安排相關人員於9月2日(四)至VTC塔台及紅毛港文化園區(高字塔)進行場地勘查，並進行後續相關實驗規劃。

(四) 依據初步場勘結果，完成無人機飛行訊號測試。

(五) 完成研討會投稿規劃及成果展示影片初步分鏡構想。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 建議團隊就目前已盤點之空污技術有無相關數據資料，蒐集並納入報告書，例如含硫量的比值或環境背景值，以利未來界定高低硫油品。

(二) 中鋼運通股份有限公司基於企業社會責任，旗下船隊因應IMO防止船舶污染國際公約規範的低硫燃油政策進行船舶脫硫器的加裝，建議研究團隊可於後續無人機飛行實驗，取得該公司飛行實驗許可，既可提升企業形象且有利本研究之執行。

(三) 針對第二次專家學者座談會，建議於九月下旬舉辦。

(四) 本案期末成果展示將著重在無人機，建議研究團隊可以針對實驗建立標準作業分法，並於期末成果展示。

(五) 建議研究團隊於場勘時，請港務公司提供現有之監測設備之形式、位置、監測項目、資料即時性，資料可否嫁接等，以降低後續架設成本。

(六) 本案成果影片建議約3~5分鐘，分鏡如下：

- 1、分鏡一:簡介IMO低硫油政策
- 2、分鏡二:主管機關說明我國推動情形
- 3、分鏡三:國際主要偵測技術及手段
- 4、分鏡四:本計畫運用UAV偵測實驗過程
- 5、分鏡五:計畫願景及展望
- 6、片尾:致謝

柒、結論：

- 一、後續UAV試驗，請團隊詢問中鋼運通是否同意作為試驗對象。
- 二、請團隊注意研討會投稿時間及期程。
- 三、有關計畫成果影片，請研究團隊詳細規劃，以利符合結案品質之需求。

捌、散會：上午 11 時 30 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年8月份工作會議

貳、時間：110年8月26日(星期四)上午10時

參、地點：本所港灣技術研究中心3樓會議室

肆、主持人：李俊穎科長 李俊穎

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
交通部航港局		(請假)
臺灣港務股份有限公司	工程師	吳宗翰(視訊)
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教授 顧問	翁健二 葉金澤 陳柏仰 楊烈
本所港灣技術研究中心	研究員	許義宏

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳報)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染

排放偵測技術評估之研究」110年9月份工作會議

貳、時間：110年09月27日(星期一)上午12時

參、地點：國立高雄科技大學大信樓一樓海事學院院辦會議室(高雄市楠梓區海專路142號)

肆、主持人：李科長俊穎

紀錄：許義宏、鄺結梅

伍、出席單位及人員：(如後附簽到表)

陸、討論議題：

(一) 工作進度說明

1. 已完成各偵測技術優缺點比較。
2. 已於9月22日完成固定式遙測技術架設地點場勘事宜及規劃建議。
3. 已於9月25日完成高雄港二港口現場環境訊號干擾分析及無人機飛行測試作業。
4. 已於9月27日上午完成第二次專家學者座談會。
5. 有關第二次應用單位訪談邀請，因部分受邀單位回覆已於第一次訪談內容提供單位現行做法與相關現況，故暫無其它意見可提供。
6. 成果影片拍攝持續邀約中，待各受邀單位聯絡窗口回覆，即確認單位可配合時間期程，並進行發文作業。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論

1. 建議納入專家學者意見於期末報告書中，如監測儀測線、船舶煙流高度範圍、無人機規劃路線等。
2. 建議增加高雄港背景值於期末報告書，如溫度、溼度、風向風

速、SO₂、NO₂、PM_{2.5}及 PM₁₀ 濃度等背景資料。

3. 無人機海域飛行實測建議可參考 Taiwan Port. NET 船舶進出港數據，予以有效掌握船舶進出港期程。
4. 建議研究團隊可再次與港務公司溝通，進行 VTC 塔台場勘。
5. 計畫成果影片將與期末報告(定稿)一併驗收。

柒、結論：

- (一) 請研究團隊依照合約要求於 10 月 26 日或之前提交計畫期末報告(初稿)至本所。

捌、散會：下午 1 時 35 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」110年9月份工作會議

貳、時間：110年9月27日(星期一) 下午1時

參、地點：國立高雄科技大學大信樓一樓海事學院院辦會議室(高雄市楠梓區海專路142號)

肆、主持人：李俊穎科長



伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
國立高雄科技大學	教授(計畫主持人)	林昭雄
	教授(協同主持人)	翁健二
	顧問	葉金課
	研究助理	陳柏仰
	研究助理	詹紹楠
	研究助理	楊烈
港灣技術研究中心	科長	李俊穎
	研究員	許義宏

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染

排放偵測技術評估之研究」110年10月份工作會議

貳、時間：110年10月14日(星期四)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：李科長俊穎

紀錄：許義宏、鄭結梅

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、討論議題：

(一) 工作進度說明：

1. 簡述期末報告書各節章撰寫進度。
2. 本團隊已於10月6日到VTC塔台進行會勘，除塔台9樓及10樓因屬港務作業不方便架設外，尚有11樓外部平台及3樓平台等位置可供選擇。
3. 為配合中鋼運通股份有限公司船期進行無人機採樣測試，已行文該公司獲取10月份船期表，並將進一步確認船舶進港時間點，以利後續飛行測試作業安排，預計10月底完成測試。
4. 成果影片拍攝已完成邀約，待各受邀單位聯絡窗口協商及回覆確認單位可配合時間期程，高科科技大學再行發文及辦理後續成果影片拍攝作業。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 建議計畫成果影片添加2分鏡，由本所港灣技術研究中心蔡主任簡述計畫背景，及高雄科技大學總結計劃執行成果。
2. 建議成果影片拍攝時，宜採多段影片拍攝方式進行，以利後續影片剪輯。
3. 建議高雄科技大學與本所計畫承辦人確認成果影片分鏡流程後再進行拍攝。

柒、結論：

請高雄科技大學依照合約要求於10月26日前函送計畫期末報告
(初稿)至本所。

捌、散會：下午2時35分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染
排放偵測技術評估之研究」110年10月份工作會議

貳、時間：110年10月14日(星期四)下午2時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第二會議室(視訊會議)

肆、主持人：李俊穎科長(視訊)

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教授 顧問 研究助理 研究助理 研究助理	翁健二(視訊) 葉金課(視訊) 鄭結梅(視訊) 陳柏仰(視訊) 楊烈(視訊)
本所港灣技術研究中心	研究員	許義宏(視訊)

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」期末報告審查會議

貳、時間：110年11月17日(星期三)上午10點30分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第1會議室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：許義宏

伍、出席單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、王榮昌委員

- (一) 已針對期中報告意見修正，呈現於期末報告中。
- (二) 整本期末報告(初稿)撰寫完善。
- (三) 建議相關重要圖表需彩色列印表示(如圖3.24，3.25，...)。
- (四) 請團隊考慮空氣盒子安裝於船舶的可能性。
- (五) 報告屬於技術評估，不宜做政策探討。
- (六) p.2-1，標題「船舶能源消耗」應修改「消耗」，或能源是否應提及使用岸電、船舶減速等。
- (七) 因不同種類船舶的煙囪高度不同，固定式/移動式取樣高度是否有相關的規定/依據。
- (八) 背景污染源是否有校正的部份。

二、羅金翔委員

- (一) 書面資料尚有不少誤植或易被誤讀之處，建議通篇檢正，例如：
 - (1)p.2-31，第四行，排放<因>數?
 - (2)p.1-11，第二段，此主要目的說明，似與本計畫執行有所差異?目前評估的空污監測技術只能建立船舶煙流的污染物濃度；
 - (3)p.4-20，第二段，價格在附錄四；另DOAS長置岸邊戶外，相關維修費用建議應詳細評估。
- (二) p.2-35~2-43，
 - (1) 關於CO₂排放，建議表2-11，表2-13，表2-15，表2-17，表2-19能統整一致，有利直接互相比較；
 - (2) 個案一與個案二的差異分析，目前僅針對油耗分析，可能對低硫燃料，脫硫

塔等改善空污做法(趨勢)產生質疑或誤解，建議提出更多面向分析。

- (三) p.4-19~p.4-22及 p.5-11~p.5-28，(1) 對照表4-6與表5-3，監測項目並不全吻合?另硫氧化物指(SO₂+SO₃)，氮氧化物指(NO+NO₂)，以及CO₂的監測極限為何?(2) 依照表5-10與5-12，南北岸的監測海拔高度在35~70公尺，比對p.5-26(第一段)分析，建議說明通過船舶數量，約有多少比例可以納進監測範圍?(或是漏檢率)；另提出說明，設置點(發射與接收)落差達35公尺，DOAS訊號是否出現誤差(相對水平高度傳輸)?
- (四) p.5-29~p.5-38，相關分析說明較薄弱，以下請補充：(1)相關人員證照需求以及教育訓練；(2)至少搭載裝備3kg的可供選擇之監測設備(元件)，以及可載重上限；(3)追蹤船舶的飛行模式，就是以船舶煙柱(煙流)為中心的飛行偵測SOP。

三、鍾英鳳委員

- (一) 本報告已初步完成船舶空污排放偵測技術之探討及評估，可行性實驗規劃及船舶低硫油用量差異探討，可做為後續研究之參考。
- (二) 相關之評估太過簡略及直觀，且針對無人機部分如何追蹤煙流之方式太過簡易。
- (三) 針對固定式監測部分如何確保可得到大部分排放數據，相關之儀器需再考量。
- (四) 針對移動式之監測方式所需設備人力及氣象應再加探討。
- (五) p.4-20 UV-DOAS 價格800萬元，應區分一次性及每年需用之維護成本，且與附錄四(文中為附錄三，請修正) 607萬元不同，請說明原因。
- (六) p.4-26移動式監測技術描述不夠詳細，主要在無人機與船舶煙囪口之位置距離如何，與風、船之方向關係應如何，另每次執行費用為何?如何採樣等，均應補充說明。
- (七) p.5-2 第一貨櫃中心只有42、43，其他稱中島港區，有關高雄港部分重新撰寫。
- (八) p.5-8表5.2中PM10平均值應<125 μg/m³，非>125 μg/m³，其餘PM_{2.5}，SO₂，NO₂亦同，並檢視是否正確，並比對p.5-10之各項數據。
- (九) p.5-26第一行利用公式九及公式十，應為公式(8)及公式(9)，請確

認。

- (十) p.5-28偵測煙流方式，只有一條線或一個面，如是一條線其所獲得值太少。
- (十一) 第五章之規劃內容太簡略，應分地理環境、法律、技術、財務、設備、維護、可行性進行分析。
- (十二) p.6-8張研究員所述中，量測時間是否足夠，所規劃之方式可否符合，請補充說明，意見回覆等請針對專家學者意見再檢視。
- (十三) p.6-18袁中新教授所提建立一套高雄港3-D立體監測系統如何去規劃。
- (十四) 結論部分請依據所列工作項目將研究成果列出，並將規劃成果詳細說明。
- (十五) 本案之主目的在探討監測技術，針對報告書建議5及p.2-30中建議主管機關商討稅收優惠及降低港口費用等激勵措施，應不宜納入。

四、 莊永松委員(書面意見)

- (一) 文獻蒐集多面向，惟部分年份過久。與委外機關配合度良好(月份工作會議)。
- (二) p.3-3移動污染源目測超林格曼不透光率需再經定檢站複檢，船舶目測後如何再複檢?
- (三) p.3-28 CEMS自動連續監測或許可以彌補登船檢測及UAV執行檢測不確定的風險因子。
- (四) p.4-2不合格率46.14%顯示次標準船逐步退出我國海域?
- (五) p.4-25依表4-1歷年進口個別(數)船並無明顯差異，是改善或退出? UAV具快速監測，其搭載採樣分析儀需能具採樣及分析SO_x為宜。
- (六) p.5-14遙測需考量外在環境背景，南高字塔民營餐廳煙煙的影響。
- (七) 登船檢測與CEMS可並用。

五、 胡凱程委員

- (一) 報告p.XIII，交通部公告2019年1月1日起即要求國際航線船舶進入國際商港，須採用硫含量0.5%以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料，相關日期建議修正。

- (二) p.4-1, 4.1.1登船檢查，交通部航港局於2003年尚未成立，建議修正為4個港務局。
- (三) p.4-8, 4.1.4檢查程式，航港局於2018年10月25日訂定船舶使用低硫燃油檢查作業程序，惟至2020年3月13日配合國際統一實施低硫燃油新制，航港局已改採IMO所屬MEPC委員會公布之指導性文件進行低硫燃油檢查作業，相關內容建請修正。
- (四) p.4-15, 4.1.5登船檢查執行挑戰(7)法源依據，有關「交通部必須在船舶法中加入PSC檢查之規定，作為法源，統一各港之檢查制度」，航港局已於商港法第58條至第60條規範入、出商港之外國商船得由航港局依港口國管制程序實施船舶證書、安全、設備、船員配額及其他事項之檢查；另航港局實施港口國管制檢查作業時，係依據各有關國際公約之規定進行檢查，並訂有檢查作業程序流程，並無報告書中所述之各行其是之問題，相關內容建請修正。
- (五) p.7-5, 7.2建議第4項，本報告以PSC述說為主，建請研究單位再行釐清此處為PSC或FSC？。
- (六) p.7-5, 7.2建議第6項，針對未遵守低硫燃油政策之船舶，得依違反商港法第66條第1項第3款規定裁處，相關內容建請修正。
- (七) 可攜式空品感測模組之應用並無正式納入IMO港口國管制檢查準則，實際檢查如有爭議仍須將樣品送至實驗室進行分析。鑑於國際航線船舶須全面遵循低硫燃油限制規定，依PSC區域組織等年報顯示低硫政策實施情形尚屬良好，針對低硫燃油，航港局暫無引進可攜式空品感測模組之考量。
- (八) 建議於技術面之限制條件提出可行作法，如受天氣影響等，可再作具體描述。
- (九) 報告涉及政策面敘述部分，建議刪除相關說明，以利聚焦於技術規劃可行性。

六、本所港灣技術研究中心

(一) 李俊穎科長：

- 1、已有完整收集相關資料及提供新技術具參考性。
- 2、建議依研究成果，修改結論與建議著重在技術評估。
- 3、建議補述所提固定式偵測，其偵測SO₂比值為何？
- 4、請在第五章補述無人機監測測試過程及評估結果。

5、建議依研究成果技術評估部分酌修結論。

(二) (二) 黃茂信研究員：

- 1、有關第5.1.2節高雄港氣候條件「溫度」、「降雨量」、「濕度」及「風向風速」統計數值，皆僅利用2020年資料代表，建議增加數值統計年限，避免平均值或極大極小值異常。
- 2、p.5-9為推動外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶使用低硫燃油，交通部前於107年1月25日發布草案預告我國提前於108年1月1日推動國際航線船舶進入國際商港應採用含硫量0.5%以下之低硫燃油。其燃油硫含量不符規定，將處行為人新臺幣10萬元以上、50萬元以下罰鍰。建議修正文字「我國2019年已宣導...由於船東配合」，避免誤解。
- 3、第6章專家學者訪談資料，與附錄三相同，建議刪減，避免文字重複過多。
- 4、有關第五章可行偵測技術規劃，依據p.1-12研究架構及本計畫研究主題與重點，應有可行偵測技術經費規劃。

(三) 第二科(書面意見)

- 1、第三章章節規劃請調整為：3.1空氣污染物種類；3.2國內外空氣污染物檢測方法；3.3空氣品質偵測技術。
- 2、第二章蒐集各船公司近3年船舶能源使用及排放量，建議再補充SOX及NOX排放量密集度(g/TEU-KM)等數據，以利呈現空污減量效果。
- 3、第三章及第四章請增加「小結」彙整綜合研析結果。
- 4、第4.2節，請修正為「港區船舶監控機制」，除航港局之船舶自動識別系統(AIS)外，建議補充各港VTC塔台整合雷達系統、AIS及TPNET進行船舶進出港管理之相關內容。
- 5、第5.3節移動式監測技術規劃內容，請補充測試階段之無人機規格資訊、各種監測設備之規格及重量，並建議搭配流程圖呈現整體系統架構及監測流程，並將無人機追蹤船舶煙流及取樣所應注意事項予以表列。
- 6、建議補充固定式及移動式空污偵測應考量之環境校正因子，如當時背景值、風速風向或船行速度等，以做為後續實際應用之資料蒐集項目。
- 7、第六章專學者座談及應用單位訪談內容，請以議題導向進行綜

合評析，其餘細項討論內容，建議放在附錄。

- 8、第7.3節增加成果效益與應用情形，說明本計畫成果可提供應用之內容。
- 9、報告書圖表之資料來源多有缺漏，應予標明。

柒、結論：

- 一、本計畫藉由國內外船舶空氣污染可行技術之盤點與研析，進行針對高雄港示範場域提出具體建置規劃內容，實可做為我國強化船舶低硫油政策之力道。報告書請團隊再強化研究成果可提供應用單位之實質應用方向與內容之論述，以做為後續應用參據。
- 二、本計畫期末報告經與會審查委員綜合討論，原則審查通過。請國立高雄科技大學針對與會委員所提意見，研提處理情形答覆意見表，並於110年12月15日前完成修正定稿及其他契約規定驗收相關資料之提送。
- 三、定稿報告書請依本所出版品管理作業要點之格式，提供電子檔送本所做為後續出版依據。

捌、散會：中午 12 時 15 分

會議簽到表

壹、會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣
污染排放偵測技術評估之研究」期末報告審查會議

貳、時間：110年11月17日(星期三)上午10時30分

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：蔡立宏

伍、出席單位及人員：

審查委員	簽名
王榮昌 委員	王榮昌
羅金翔 委員	羅金翔
莊永松 委員	書面意見
鍾英鳳 委員	鍾英鳳 線上 簽到
胡凱程 委員	胡凱程
李俊穎 委員	李俊穎
黃茂信 委員	黃茂信

列席單位	職稱	簽名
交通部航港局		(請假)
臺灣港務 股份有限公司		(請假)
行政院環境保護署		(請假)
本所 臺灣技術研究中心		許義宏 張維良 李政達

合作研究單位	職稱	簽名
合作研究單位： 國立高雄科技大學	教授 教授 助理 顧問 助理	林錦雄 符健二 楊益 李余 謝能福 陳柏仰

附錄五 專家學者座談會會議紀錄
及意見處理情形表

「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」

第一次專家學者座談議程表

壹、辦理時間

110年05月26日(三)上午10:00時

貳、辦理地點

採線上視訊方式進行

參、主持人

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 李科長俊穎

國立高雄科技大學海洋環境工程系 林教授啟燦

肆、專家學者座談議程表

時間	議程	討論單位
09:30~10:00	歡迎與報到	
10:00~10:10	主席致詞	李科長俊穎
10:10~10:30	研究規劃與執行說明	林教授啟燦
10:30~11:50	後續執行討論	與會專家學者
11:50~12:00	總結	
12:00	散會	

伍、議題內容

議題一： 船舶登船檢查機制。

說明：自2003年我國登船檢查主要係由交通部航港局的PSCO依照現有船舶遴選方式選定目標船，並登輪執行檢查。此外，自2019年1月1日起，PSCO會依照以往的稽查選定目標船外，亦會依照「船舶使用低硫燃油檢查作業程式」對進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等進行檢查。

議題二： 現階段稽查執行難度及困境。

說明：船舶檢查機關對於登船檢查具有一定的挑戰，如登船難度

大、效率低；抽檢帶有盲目性和時效性；定點遙測受限過多；及只能在港口附近作業；實施國際海事組織 (IMO 2020) 標準的挑戰及相關配套措施尚未完善，未能達到國際水準。

議題三：船舶燃油切換及脫硫塔替代方案之實作現況分析。

說明：國際海事組織 (IMO 2020) 實施後，運營商有兩種主要選擇來遵守全球法規：一是改用符合標準的 0.5% 以下含硫量的燃油，二是繼續使用 HSFO，並安裝脫硫設備以降低排放燃氣的含硫量，本研究目前蒐集主流三種脫硫設備，並於個案探討中，針對同一船型選用低硫油或脫硫設備兩種操作方式進行分析探討。

議題四：固定式空氣污染排放偵測技術規劃。

說明：空氣污染排放之管制技術包含機動式無人機監測系統、光學遙測系統、及各式物理化學感測器組合應用系統。若論及應用場域，則可以區分為船上、岸上、港內、港嘴、錨泊區及近岸等不同尺度特性；稽查方式又可以區分為「登船檢查」與「不登船檢查」等不同方式。固定式空氣污染排放偵測技術規劃時，除了技術可行、經濟可行、安全性、時效性、立即性、國際公信力、船隻國籍問題及法源依據等考量外，亦應綜合考量不同系統的相容性、互補性，以達最佳化之管理目標。

議題五：多軸無人載具之船舶空污監測技術應用規劃。

說明：規劃以無人載具為空中移動式平臺，掛載空氣品質感測模組與採樣設備，並結合船舶自動識別系統的船舶動態資訊建置 AIS 船舶圖像資料平臺與操作介面，藉由平臺資訊追蹤海上船舶動態，實現船舶空污排放監測。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 壹、 會議名稱：「MOTC-IOT-110-H2CB002 港區船舶能源使用及空氣污染
排放偵測技術評估之研究」第一次專家學者座談會
- 貳、 時間：110年05月26日(星期三)上午10時
- 參、 地點：採線上視訊方式進行
- 肆、 主持人：李科長俊穎 記錄：楊烈、鄭結梅
- 伍、 出席單位及人員：(如後附簽到表)
- 陸、 主席致詞：略
- 柒、 研究單位【計畫主持人】簡報：略
- 捌、 與會專家學者與相關人員建議：

(一) 蔡董事長丁義

1. 本研究收集的資料非常完整詳實，簡報敘述也很清楚，對未來研究方向也能聚焦在先進港口主要重點發展方向。
2. IMO 防止船舶污染公約規定自 2020 年 01 月 01 日起船舶要開始使用含硫量低於 0.5% 之低硫燃油，我國則提早一年於 2019 年 01 月 01 日開始實施。綜觀國際港口仍多以登輪檢查為主，包括查驗船舶安裝脫硫器之合格證明或油料紀錄簿、其他換油紀錄、燃油交付單數量及硫含量等。也可抽查船上換油程式書或主機、發電機及鍋爐用油紀錄等。
3. 登輪檢查雖未能完全查獲船上用油實際情況，但具有宣示作用，對於船舶來高雄港會有警示效果。可以遴選比較可能有問題或有不良紀錄之老舊船進行，大部分定期航行各大港口之定期船，或大公司有正規船級社認證之船舶，基本上都會遵守公約。
4. 個人在港務局任職時，曾篩選老舊次標準船，帶同仁登輪抽查船上廢油水排放，鉛封排放口，雖執行次數不多，但很有警示效果。每次登輪檢查時間約二小時左右，取樣化驗只要由合格單位

執行也不會被質疑。建議在 PSC 檢查人力不足尚未補充前，可以選擇重點船，從少量開始執行。PSC 登輪檢查係執行公權力，不必區分國輪或外輪，沒有船舶會抗拒，況且拒絕施檢，PSC 有權力可以扣船。

5. 使用開環式脫硫器會有廢水排放問題，容易污染海洋，有不少港口不准使用，或規範一定範圍內不能排放廢水。閉環式脫硫器則不會有類似問題。
6. 借助 UAV 在船岸間往來運送物品、空拍監測等，已慢慢在先進港口試行，未來使用 UAV 搭載空污感測儀器，或光學監測、紅外線顯像技術相關感測模組進行空污偵測，應是可行的研究發展方向。簡報說明要結合船舶 AIS 系統，個人建議應與港務公司航管中心 VTS 合作，可以取得更完整港內外船舶即時動態、雷達定位、預定船期及可保持無線通訊，對安排 UAV 監測更有幫助。
7. 使用 UV-DOAS 或 OP-FTIR，選擇在二港口左右岸邊文化園區和中和安檢所(建築高度分別為 6 公尺及 25 公尺)，架設光束發射及接收端，可偵測行駛於二港口船舶排放之煙流高度範圍 16 公尺。惟因行駛二港口船舶多為大型船，煙囪高度可能高於 16 米，建議北岸可考慮架在 VTC 塔臺，可以將高度適度提高。

(二) 戴處長輝煌

1. PSC 是航港局管理，不是 TIPC。依據前述步驟與措施獲取之偵測結果，針對數據有問題的船舶，輔以人工登船稽查，並採樣送公證單位分析，最後則將違規船舶列入高可疑性名單提供系統資料庫做一匡列，但航港局現有人力未能有充足備援之能量，就航港管理領域與流程看來，這流程很易產生問題，規劃易，但執行較難。
2. 現階段稽查執行難度及困境如同議題一，只能加人定點遙測之功能，解決目前受限過多之限制下，才能有效率的進行後續的更多有效的稽查，並有交執行此一功能。

3. 第一種方式，改用符合標準的 0.5%以下含硫量的燃油，目前在台灣執行很難，因為根本難以購置充足且便宜的 LSFO 更別說是 VLSFO 與 ULSFO。但第二種繼續使用 HSFO，並安裝脫硫設備以降低排放燃氣的含硫量，則會增加油耗與污染海洋，若使用 LSFO 卻會對船舶引擎產生損壞。目前，只能期待技術精進，更好的 LSFO，或是最佳的 SCRUBER。此外，以「進港船舶」之防阻空污為主軸，進行管測。
4. 固定式空氣污染排放偵測技術規劃時，雖然技術可行，但要考量航商之規避方式。必需動態的無人載具來同時進行，否則所檢測之差異性，會很大。
5. UAV 之船舶空污監測技術上，動態無人載具的監測方式，可以彌補固定式偵測技術之不足，且可以防堵航商利用進港航道之規避手法。二種方式可以同時進行。

(三) 賴教授進興

1. 船舶進港前(如 AIS 至港嘴)，若以 UAV 搭載監測儀，可監控與追蹤排放高污染物的船舶，有助降低登船稽查量，UAV 技術可善用。
2. 計畫規劃以固定式 FTIR 及 DOAS，應能有效監控異常或排放高污染物之船舶，可長期設置監控。
3. 高雄港區船舶排放 SO_2 、 NO_x 量甚大，對於港區空氣品質影響甚大(包含 PM)，特別是在西南風、南風盛，或夜間混合層較低之氣象條件下影響高市空品甚劇，船舶降低排放污染物刻不容緩。
4. 環保署、環保局對船舶排放高量空氣污染物相當關心，亦有專案計畫在執行，船舶污染減量勢在必行。
5. 港區環境空氣品質監測，亦應列入規劃考量。

(四) 張研究員寶額

1. 建議先確認本計畫在空污方面的計畫目標是稽查、處分，或是瞭

解問題，才能決定以何種方式或需不需要認證單位採樣分析。

2. 空污的採樣分析，應該是針對 SO_x 為主，燃油的含硫量檢測是最直接最沒有爭議的方法；如果是管道量測，就必需要確認船舶煙囪是否有採樣口？採樣口的設置是否符合採樣設施規範？
3. 以目前關注的空氣污染物而言，氮氧化物、硫氧化物、VOC(NMHC)、CO、 CO_2 、粒狀物等無法用單一量測技術涵蓋；光學遙測技術如 UV-DOAS、FTIR(主動式 OP-FTIR 或被動式 Passive-FTIR)、LiDAR 都有各自的適用範圍；UV-DOAS 適合在 O_3 、 SO_2 、 NO_2 、NO、 NH_3 、苯、甲苯、二甲苯、Hg、苯酚等空氣污染物；FTIR 可用於有機(醇類、醛類、酮類酯類、烯烴烴類化合物，苯的感度較差)和無機污染物(SO_2 、NO、 NO_2 、 N_2O)；至於 LiDAR 則可用於粒狀物。
4. 固定式光學遙測技術的應用,關鍵點在於是否可以“攔截”到船舶煙囪的煙流(plume)，量測的時間是否足夠？UV-DAS 每一筆數據的取得時間較短~1分鐘)，OP-FTIR 通常需要約5分鐘，LiDAR 的取樣時間更短(<1 分鐘)。但各種技術均有互補性，可以再深入評估。
5. 港嘴的開徑式(open-pass)光學遙測技術的規劃，採用不同高度的多條測線配置或可較有把握攔截到船舶的煙流。

(五) 黎理事長東碩

1. UAV 具備快速、精準、高效率且可針對性偵測之載具，搭配各項空污感測器及相關偵測儀器掛載後，可協助港區管理單位高效完成各項例行事務與特定空污排放偵測，建議成立一可執行專業飛行任且提升港區管理效能之飛行團隊，條件與方式如下：
 - (1) 在不增加員額的方式下，進行內部專業考照與飛行訓練，缺點為需自購無人機且有公務員執行飛行任務之國賠風險。
 - (2) 在不增加員額的方式下，委由專業團隊進行各項任務，

條件評估方式如下：

- a. 精熟民航法規與無人機管理專章，熟悉限、禁航區中請法人資格能力審查通過後如何以 UAV 執行空污排放偵測之研究團隊。
- b. 對各式 UAV 符合民航法無人機專章之載具級別可搭配之成本效益評估且多年實務經驗。
- c. 對客製化載具控制介面、飛控系統整合、偵測技術模組、載具智慧航控、即時飛行資訊等核心能力皆有多年實務經驗之團隊。
- d. 依短(不增加員額)、中(專業委外)、長(自建團隊)期之目標，漸進提升以 UAV 載具，高效管理船舶能源及空污排放偵測技術之研究發展，全面提升港區智慧化管理運作效能。

(六) 袁教授中新

1. 從安全性考量，利用 UAV 進行常態性的檢查較不合適，但針對特定時段是可行的。
2. 因 UAV 飛行距離陸地幾百公尺，若 UAV 失控時，容易出現狀況，建議使用港嘴可建立光學遙測進行偵測，晚上亦可持續進行。
3. 國內船舶大多完成岸電設置，但使用率不高，應鼓勵航運商使用岸電設置以減少污染物排放。

玖、 主席裁示：

- (一) 本年度研究重點著重於整體技術規劃之盤點與評估，研究團隊宜將各專家學者之相關意見及建議納入報告。

壹拾、 散會：中午 12 時 10 分

會議簽到表

會議名稱：「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」專家學者座談會

時間：110年5月26日(星期三) 上午10時

地點：國立高雄科技大學 (高雄市楠梓區海專路142號)

主持人：李俊穎 科長、林啟燦 教授

出席單位及人員 (線上會議)：

單 位	職 稱	姓 名
國立高雄科技大學	教 授 (計畫主持人)	林啟燦
	教 授 (協同主持人)	翁健二
	顧 問	葉金鍊
	研究助理	鄭紹梅
	研究助理	陳柏仰
	研究助理	黃冠銘
	研究助理	楊 烈
專家學者	臺灣港務國際物流股份有限公司 前董事長	蔡丁義 (視訊)
	國立高雄科技大學 海科處處長	戴輝煌 (視訊)
	工業技術研究院 副研究員	張寶額 (視訊)
	國立中山大學環境工程研究所 特聘教授	袁中新 (視訊)
	輔英科技大學環境工程與科學系 教授	賴進興 (視訊)
	苗栗無人機應用服務創新發展協會 理事長	黎東碩 (視訊)
港灣技術研究中心	科 長	李俊穎 (視訊)
	研究員	許義宏 (視訊)



附 5-9

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

第一次專家學者座談會意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-110-H2CB002

計畫名稱：港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究

執行單位：國立高雄科技大學

座談會日期：110年5月26日

座談會人員及其所提之意見(按發言次序)	研究單位處理情形
(一) 蔡董事長丁義	
1. 本研究收集的資料非常完整詳實，簡報敘述也很清楚，對未來研究方向也能聚焦在先進港口主要重點發展方向。	感謝委員的肯定。
2. IMO 防止船舶污染公約規定自 2020 年 01 月 01 日起船舶要開始使用含硫量低於 0.5% 之低硫燃油，我國則提早一年於 2019 年 01 月 01 日開始實施。綜觀國際港口仍多以登輪檢查為主，包括查驗船舶安裝脫硫器之合格證明或油料紀錄簿、其他換油紀錄、燃油交付單數量及硫含量等。也可抽查船上換油程序書或主機、發電機及鍋爐用油紀錄等。	感謝委員提供之資訊。
3. 登輪檢查雖未能完全查獲船上用油實際情況，但具有宣示作用，對於船舶來高雄港會有警示效果。可以遴選比較可能有問題或有不良紀錄之老舊船進行，大部分定期航行各大港口之定期船，或大公司有正規船級社認證之船舶，基本上都會遵守公約。	感謝委員提供之資訊，根據航港局中華民國港口國管制報告中指出，2003~2020 年之間船齡達 21 年以上之老舊船舶檢查率逐年攀升，佔 69% 以上。顯示我國船舶檢查中船齡為一重要指標。
4. 個人在港務局任職時，曾篩選老舊次標準船，帶同仁登輪抽查船上廢油水排放，鉛封排放口，雖執行次數不多，但很有警示效果。每次登輪檢查時間約二小時左右，取樣化驗只要由合格單位執	感謝委員的建議。

<p>行也不會被質疑。建議在 PSC 檢查人力不足尚未補充前，可以選擇重點船，從少量開始執行。PSC 登輪檢查係執行公權力，不必區分國輪或外輪，沒有船舶會抗拒，況且拒絕施檢，PSC 有權力可以扣船。</p>	
<p>5. 使用開環式脫硫器會有廢水排放問題，容易污染海洋，有不少港口不准使用，或規範一定範圍內不能排放廢水。閉環式脫硫器則不會有類似問題。</p>	<p>感謝委員提供之資訊。</p>
<p>6. 借助 UAV 在船岸間往來運送物品、空拍監測等，已慢慢在先進港口試行，未來使用 UAV 搭載空污感測儀器，或光學監測、紅外線顯像技術相關感測模組進行空污偵測，應是可行的研究發展方向。簡報說明要結合船舶 AIS 系統，個人建議應與港務公司航管中心 VTS 合作，可以取得更完整港內外船舶即時動態、雷達定位、預定船期及可保持無線通訊，對安排 UAV 監測更有幫助。</p>	<p>感謝委員建議，目前 AIS 資料已足夠無人機系統進行船舶航跡預測追蹤，未來若 AIS 不足的部份將向 VTS 管理單位尋求協助，以提升計畫品質。</p>
<p>7. 使用 UV-DOAS 或 OP-FTIR，選擇在二港口左右岸邊文化園區和中和安檢所(建築高度分別為 6 公尺及 25 公尺)，架設光束發射及接收端，可偵測行駛於二港口船舶排放之煙流高度範圍 16 公尺。惟因行駛二港口船舶多為大型船，煙囪高度可能高於 16 米，建議北岸可考慮架在 VTC 塔台，可以將高度適度提高。</p>	<p>感謝委員建議，研究團隊已於 9 月 22 日及 10 月 6 日進行相關規劃架設地點場勘，並規劃優先次序。</p>
<p>(二) 戴處長輝煌</p>	
<p>1. PSC 是航港局管理，不是 TIPC。依據前述步驟與措施獲取之偵測結果，針對數據有問題的船舶，輔以人工登船稽查，並採樣送公證單位分析，最後則將違規船舶列入高可疑性名單提供系統資料庫做一匡列，但航港局現有人力未能有充足備援之能量，就航港管理領域與流程看來，這流程很易產生問題，規劃易，但執行較難。</p>	<p>我國 PSCO 目前所遭遇到最大的困境之一是人手嚴重不足，其登船合理性、必要性及國際公認力已逐步完善，但因人手不足無法擴大至所有進港可疑船舶進行稽查，本計畫旨在建立高效、快速且免登船檢查為規劃之目標。因此更彰顯本計畫之重要性。</p>

<p>2. 現階段稽查執行難度及困境如同議題一，只能加入定點遙測之功能，解決目前受限過多之限制下，才能有效率的進行後續的更多有效的稽查，並有效執行此一功能。</p>	<p>同前項回覆。</p>
<p>3. 第一種方式，改用符合標準的 0.5% 以下含硫量的燃油，目前在台灣執行很難，因為根本難以購置充足且便宜的 LSFO 更別說是 VLSFO 與 ULSFO。但第二種繼續使用 HSFO，並安裝脫硫設備以降低排放燃氣的含硫量，則會增加油耗與污染海洋，若使用 LSFO 卻會對船舶引擎產生損壞。目前，只能期待技術精進，更好的 LSFO，或是最佳的 SCRUBER。此外，以「進港船舶」之防阻空污為主軸，進行管測。</p>	<p>感謝委員提供之資訊。目前我國販售 0.5% 以下低硫燃油主要供應商為台灣中油股份有限公司。</p>
<p>4. 固定式空氣污染排放偵測技術規劃時，雖然技術可行，但要考量航商之規避方式。必須動態的無人載具來同時進行，否則所檢測之差異性，會很大。</p>	<p>感謝委員的建議，本計畫目前固定式監測系統規劃建立在航道必經路上以避免航商有規避之行為，移動式監測系統利用 AIS 系統建立船舶航跡預測系統，預先至船舶下一航點，進行採樣跟蹤。</p>
<p>5. UAV 之船舶空污監測技術上，動態無人載具的監測方式，可以彌補固定式偵測技術之不足，且可以防堵航商利用進港航道之規避手法。二種方式可以同時進行。</p>	<p>感謝委員的建議，。</p>
<p>(三) 賴教授進興</p>	
<p>1. 船舶進港前(如 AIS 至港嘴)，若以 UAV 搭載監測儀，可監控與追蹤排放高污染物的船舶，有助降低登船稽查量，UAV 技術可善用。</p>	<p>感謝委員的認可。</p>
<p>2. 計畫規劃以固定式 FTIR 及 DOAS，應能有效監控異常或排放高污染物之船舶，可長期設置監控。</p>	<p>經評估後，本研究將以 UV-DOAS 作為固定式規劃儀器。</p>
<p>3. 環保署、環保局對船舶排放高量空氣污染物相當關心，亦有專案計畫在執行，</p>	<p>感謝委員的認可。</p>

船舶污染減量勢在必行。	
4. 港區環境空氣品質監測，亦應列入規劃考量。	港區環境背景值將納入期末報告。
(四) 張研究員寶額	
1. 建議先確認本計畫在空污方面的計畫目標是稽查、處分，或是了解問題，才能決定以何種方式或需不需要認證單位採樣分析。	本計畫主要是以稽查為主，協助登船檢查單位能更容易鎖定懷疑船隻，進行登船或採樣檢查。
2. 空污的採樣分析，應該是針對 SO _x 為主，燃油的含硫量檢測是最直接最沒有爭議的方法；如果是管道量測，就必需要確認船舶煙囪是否有採樣口？採樣口的設置是否符合採樣設施規範？	感謝委員提供之資訊，相關資料會納入期末報告。
3. 以目前關注的空氣污染物而言，氮氧化物、硫氧化物、VOC(NMHC)、CO、CO ₂ 、粒狀物等無法用單一量測技術涵蓋；光學遙測技術如 UV-DOAS、FTIR(主動式 OP-FTIR 或被動式 Passive-FTIR)、LiDAR 都有各自的適用範圍；UV-DOAS 適合在 O ₃ 、SO ₂ 、NO ₂ 、NO、NH ₃ 、苯、甲苯、二甲苯、Hg、苯酚等空氣污染物；FTIR 可用於有機(醇類、醛類、酮類酯類、烯炭烷類化合物，苯的感度較差)和無機污染物(SO ₂ 、NO、NO ₂ 、N ₂ O)；至於 LiDAR 則可用於粒狀物。	感謝委員提供之資訊，相關資料會納入期末報告。
4. 固定式光學遙測技術的應用，關鍵點在於是否可以“攔截”到船舶煙囪的煙流(plume)，量測的時間是否足夠？UV-DAS 每一筆數據的取得時間較短~1 分鐘)，OP-FTIR 通常需要約 5 分鐘，LiDAR 的取樣時間更短(<1 分鐘)。但各種技術均有互補性，可以再深入評估。	感謝委員建議，經過評估，本計畫將以 UV-DOAS 作為偵測儀器進行規劃。
5. 港嘴的開徑式(open-pass)光學遙測技術的規劃，採用不同高度的多條測線配置或可較有把握攔截到船舶的煙流。	感謝委員的建議。
(五) 黎理事長東碩	

<p>1. UAV 具備快速、精準、高效率且可針對性偵測之載具，搭配各項空污感測器及相關偵測儀器掛載後，可協助港區管理單位高效完成各項例行事務與特定空污排放偵測，建議成立一可執行專業飛行任務且提升港區管理效能之飛行團隊，條件與方式如下：</p> <p>(1) 在不增加員額的方式下，進行內部專業考照與飛行訓練，缺點為需自購無人機且有公務員執行飛行任務之國賠風險。</p> <p>(2) 在不增加員額的方式下，委由專業團隊進行各項任務，條件評估方式如下：</p> <p>a. 精熟民航法規與無人機管理專章，熟悉限、禁航區申請法人資格能力審查通過後如何以 UAV 執行空污排放偵測之研究團隊。</p> <p>b. 對各式 UAV 符合民航法無人機專章之載具級別可搭配之成本效益評估且多年實務經驗。</p> <p>c. 對客製化載具控制介面、飛控系統整合、偵測技術模組、載具智慧航控、即時飛行資訊等核心能力皆有多年實務經驗之團隊。</p> <p>d. 依短(不增加員額)、中(專業委外)、長(自建團隊)期之目標，漸進提升以 UAV 載具，高效管理船舶能源及空污排放偵測技術之研究發展，全面提升港區智慧化之管理運作效能。</p>	<p>感謝委員的建議與資訊提供。</p>
<p>(六) 袁教授中新</p>	
<p>1. 從安全性考量，利用 UAV 進行常態性的檢查較不合適，但針對特定時段是可行的。</p>	<p>目前無人機飛行皆需向管理單位及民航局進行申請，飛行注意事項相關法規均有明確規範。</p>
<p>2. 因 UAV 飛行距離陸地幾百公尺，若 UAV 失控時，容易出現狀況，建議使用港嘴可建立光學遙測進行偵測，晚上亦可持</p>	<p>本計畫將分別就固定式 (UV-DOAS) 及移動式 (UAV 搭載微型感測器) 設備進行初步規劃。</p>

續進行。	
3. 國內船舶大多完成岸電設置，但使用率不高，應鼓勵航運商使用岸電設置以減少污染物排放。	感謝委員的建議，本研究旨在針對船舶空污偵測技術作蒐集及規劃，故岸電設置之推廣非本計畫主要方向之一。

「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」

第二次專家學者座談議程表

壹、辦理時間

110 年 09 月 27 日(三) 上午 10:00 時

貳、辦理地點

國立高雄科技大學大信樓 1 樓海事學院院辦會議室(高雄市楠梓區海專路 142 號)

參、主持人

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 李科長俊穎

國立高雄科技大學海洋環境工程系 林教授啟燦

肆、專家學者座談議程表

時間	議程	討論單位
09:30~10:00	歡迎與報到	
10:00~10:10	主席致詞	李科長俊穎
10:10~10:30	研究規劃與執行說明	林教授啟燦
10:30~11:50	後續執行討論	與會專家學者
11:50~12:00	總結	
12:00	散會	

伍、議題內容

議題一： 固定式空氣污染排放偵測技術規劃。

說明： 本計畫原訂規劃紅毛港文化園區及中和安檢所為架設地點，經由第一次專家學者座談後，修正至北岸 VTC 塔臺，研究團隊已發文詢問架設許可，惟因 VTC 塔臺屬港務公司管制地點，另為避免電磁干擾至影響系統運作造成航安、資安及國安問題，故建議團隊另選擇其他合適架設地點。目前本團隊擬定之架設地點如下：

1. 中和安檢所→紅毛港園區(南高字塔)

2. 中和安檢所→高明總部
3. VTC塔台→紅毛港文化園區(南高字塔)
4. VTC塔台→高明總部
5. 北高字塔→紅毛港文化園區(南高字塔)
6. 北高字塔→高明總部

議題二： 固定式空氣污染排放偵測技術選定。

說明： 本計畫目前固定式遙測技術已盤點並蒐集 7 種技術，包含目測判煙、嗅探技術 (IGPS)、影像辨識、開徑式傅立葉轉換紅外光(OP-FTIR)、紫外差分吸收光譜 (UV-DOAS)、多軸差分吸收光譜儀(MAX-DOAS)、光學雷達 (LiDAR)等技術。經過考量其適應性、技術成熟度、精準度、設備可靠性...等等，本團隊初步選定 UV-DOAS 為優先考慮之架設儀器。

議題三： 多軸無人載具之船舶空污監測技術應用規劃。

說明： 目前在船舶空氣污染監測技術應用部分，團隊先行針對 AIS 資料進行介接與初步的整理，剔除原始 AIS 資料源中之異常與重複性數據，並針對 AIS Payload 資訊欄位進行解析與資料格式轉換。其 AIS 船舶資訊經處理後亦成功匯入系統平臺介面。評估現行以 AIS 資料已能滿足載具追蹤船舶的資料需求，後續團隊將於紅毛港文化園區進行高雄港第二港口之 UAV 海上環境飛行與船舶追蹤測試，藉以取得如載具追蹤精度、載具需滿足之最小飛行時間及飛行適切高度等實驗數據。

議題四： 多軸無人載具之船舶空污監測技術應用關鍵難點。

說明： 在前期現場環境勘查作業中，團隊藉由掌上型頻譜分析儀等設備進行高雄港第二港口的環境頻率量測，主要是為評估現場環境，如 VTC 塔臺、船舶航行設備儀器與周遭環境之頻率，是否造成載具飛行時之訊號傳輸或操作的影響，予以避開其相互影響之情況。此外，在現行港

務公司轄管港區範圍使用遙控無人機的相關規範中，除需滿足民航局的相關法令規範外，載具飛行路徑涉及承租業者作業區域或船舶上空時，需取得該業者同意許可。為能達到移動式偵測技術開發應用目標，評估未來則可進一步進行空品感測模組或採樣模組掛載，並結合海氣象資訊擴散模式計算，予以測試載具追蹤船舶煙流的空品採樣或偵測之最短有效範圍。

則從各碼頭離岸抵達迴船場時，掉轉船頭對正防坡堤航道後動車出港。船舶最容易排放濃煙的時候，是進港船在信號台附近倒車制止前進及出港船在迴船場對正航道動車出港時。

4. 本案規劃在二港口信號台附近布設 UV-DOAS 固定監測進港船排煙，應是合適的地點。至於使用無人機追蹤船舶探測排煙時，亦以上述兩個地點最易取的排煙樣本。另船舶在離靠碼頭時，除有拖船協助外，亦須動用大車協助船身前進或後退，也容易排放濃煙，未來追蹤監測排煙亦可以參考。
5. 建議監測及採樣作業時，應建立 SOP 程序，設備亦需有客觀公正的認證及標準，可以做為裁罰的依據。
6. 本案未來執行時，如透過媒體報導，廣為周知，應可收到宣示及嚇止的效果，要進高雄港的大小船舶，應會知所警惕，遵守相關規定。

(二) 戴處長輝煌

1. 本研究未來有助我國航港體制符合 IMO 所規範之 IMSAS 因應 III Code 之要求，讓我國港口更可以因應 MEPC 之決議要求。
2. 本案可有助 TIPC 因應我國國際港口之五年發展計劃 (110-115 年)，兩大主軸 (智慧化、永續化) 之要求。
3. 在協商有關固定或非固定之地點探勘時，可先行藉由交通部運研所先行用公文與 TIPC 協調後，再行與 TIPC 總公司或高雄分公司之 VTS 或相關單位、逕行協商。
4. 場地使用要取得港務公司同意，要告知港務公司儀器不會干擾或影響到其他儀器。建議可與港務公司經理級以上作溝通，再進行發文。

(三) 袁教授中新

1. 藉由環保單位及交通單位的共同努力，規劃高雄港船舶污染監測技術，改善空氣品質，值得感佩。

2. 船舶污染特性除黑煙外，SO₂、NO_x及CO均應列入監測項目，尤其SO₂會反應生成二次衍生性硫酸鹽，是導致PM2.5濃度升高的原因之一。
3. 針對各項偵測技術之比較，建議採用UV-DOAS (Fence) + Microsensors (Area) + UAV(立體)，建立一套高雄港區的3-D立體監測系統。
4. 建議將監測重點專注在港口出入口處及港內迴船池、停泊區等污染較嚴重之區域。
5. UV-DOAS之設置極具必要性，主要扮演船舶排煙中SO₂濃度高低監測及篩選出油品含硫量超標或洗滌塔脫硫效率不佳的船隻，俾做為後續作為之依據。

(四) 賴教授進興

1. 開徑式監測儀測線，目前規劃優先建議一、二，符合要求。
2. 船舶煙流高度範圍，是否能確認?作為測值與研判煙囪排放濃度之依據。
3. 無人機規劃路線應合宜，惟無人機可抗風速，在高雄港區能完全克服嗎?未來可依船型、排水量、風向來判斷煙流位置或方位。
4. 無人機即時數據使用傳輸頻率，是否合法?

(五) 黎理事長東碩

1. 設定UAV監測船舶空污之SOP，用以取得認證客觀之數據，進而產生管理高效度之成果(煙囪高度、入港出港時之氣候、風向，藉以取得客觀公正之空污數據)。

(六) 張研究員寶額(書面意見)

1. 船舶排放的空氣污染物以氮氧化物、硫氧化物(SO₂)和粒狀物為主；因此排放偵測技術的選擇以適用於偵測氮氧化物、硫氧化物和粒狀物的技術為優先選擇。

2. 光學遙測及無人機搭配採樣設備可以不受地形環境及空間的限制，尤其是遙測技術更可以連續作業而不受時間限制；但 OP-FTIR 對於超過 400 公尺的量測恐怕不適用。
3. 針對船舶的主要空氣污染物，UV-DOAS 相較於其他光學遙測技術更適合用於偵測氮氧化物和硫氧化物，甚至 BTEX (苯、甲苯、乙苯、二甲苯)，且有更好的偵測靈敏度 (低偵測極限)；至於粒狀物，則以 LIDAR 較為適合。
4. 光學遙測的量測高度必須要能“攔截”到進出港船舶的煙流，建議可以評估不同高度多條測線 (multi-pass) 的設計；但如果沒有足夠的設備，則可以規劃“斜角”測線的設計，亦即一端在較低的位置，另一端在高點，橫跨港口航道的方式，可以更有機會“攔截”到進出港的船舶的煙流。(主要是 UV-DOAS，LIDAR 不需要同樣的量測規劃設計)
5. 建議先了解 UV-DOAS 的適用量測距離，並考慮儀器發射端和接收端地對光 (alignment) 問題。

玖、 主席裁示：

- (一)本年度研究重點著重於整體技術規劃之盤點與評估，請研究團隊參酌各專家學者之相關意見及建議納入計畫期末報告。

壹拾、 散會：中午 12 時 10 分

會議簽到表

會議名稱：「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」第二次專家學者座談會

時間：110年9月27日(星期一)上午10時

地點：國立高雄科技大學大信樓一樓海事學院院辦會議室(高雄市楠梓區海專路142號)

主持人：李俊穎 科長、林啟燦 教授

出席單位及人員：

單位	職稱	姓名
國立高雄科技大學	教授 (計畫主持人)	林啟燦
	教授 (協同主持人)	翁夜中
	顧問	李俊穎
	研究助理	鄭紹楠
	研究助理	陳柏仰
	研究助理	楊烈
	研究助理	
專家學者	臺灣港務國際物流股份有限公司 前董事長	洪丁義
	國立高雄科技大學 海科處處長	戴輝煌
	工業技術研究院 副研究員	張寶額 (書面意見)
	國立中山大學環境工程研究所 特聘教授	袁中軒
	輔英科技大學環境工程與科學系 教授	賴進興
	苗栗無人機應用服務創新發展協會 理事長	郭東碩
港灣技術研究中心	科長	李俊穎
	研究員	許義宏
臺灣港務股份有限公司	職安處工程師	徐筱曼 (視訊)
臺灣港務股份有限公司	助理工程師	吳宗翰 (視訊)



交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

第二次專家學者座談會意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-110-H2CB002

計畫名稱：港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究

執行單位：國立高雄科技大學

座談會日期：110年9月27日

座談會人員及其所提之意見(按發言次序)	研究單位處理情形
(一) 蔡董事長丁義	
<p>1. 本案固定式空氣污染排放偵測設備選擇紫外差分吸收光譜法(UV-DOAS)應屬適當。至於規劃架設在北岸 VTC 塔台，該塔臺回應以該處屬港務公司管制地點，且恐互相干擾造成航安、資安及國安問題，建議另選擇其他合適地點。經與主辦單位主管洽詢，除塔台 9 樓、10 樓較敏感外，其他地方則可以現勘協商考慮。</p>	<p>感謝委員建議，本團隊已於 10 月 6 日至 VTC 塔台進行會勘，除塔台 10 樓外尚有 11 樓外部平台及 3 樓平台等位置可供選擇。另因該點涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理位協商討論架設地點。</p>
<p>2. 據研究團隊擬定之固定式空污排放偵測設備架設地點，除北岸 VTC 塔台外，尚有紅毛港園區(南岸高字塔)、高明公司總部及北岸信號台(北岸高字塔)，以各點之高度、相連距離及設備訊號強度，均屬可行，建議研究團隊可列出優先順序再行溝通選定。</p>	<p>感謝委員建議，本研究針對架設條件如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 電力來源 2. 場地許可取得容易性 3. 監測光徑有無阻擋及不易受干擾之位置。 <p>目前團隊已預設六種架設情境相關資訊於期末報告完整呈現。</p>
<p>3. 高雄港有 70% 船舶是從二港口進出，一般進港船從港外進入防坡堤航道會開始減速，抵達信號台附近時，必須大倒車以減低或停止前進速度，準備進入迴船場時，轉向進入港內主航道。出港船則從各碼頭離岸抵達迴船場時，掉轉船頭對正防坡堤航道後動車出港。船舶最容易排放濃煙的時候，是進港船</p>	<p>感謝委員提供資訊，因迴船池屬港口內，可能受其他污染然干擾；本研究規劃願景為固定式監測作為移動式偵測設備初步查核違規船舶，二次確認，故架設時須不受其他可能干擾，才能監測到代表性之樣本。</p>

<p>在信號台附近倒車制止前進及出港船在迴船場對正航道動車出港時。</p>	
<p>4. 本案規劃在二港口信號台附近布設 UV-DOAS 固定監測進港船排煙，應是合適的地點。至於使用無人機追蹤船舶探測排煙時，亦以上述兩個地點最易取的排煙樣本。另船舶在離靠碼頭時，除有拖船協助外，亦須動用大車協助船身前進或後退，也容易排放濃煙，未來追蹤監測排煙亦可以參考。</p>	<p>感謝委員提供資訊，團隊於場勘時亦有觀察到船舶排放黑煙之情形並拍照紀錄，相關照片將於期末報告呈現。</p>
<p>5. 建議監測及採樣作業時，應建立 SOP 程序，設備亦需有客觀公正的認證及標準，可以做為裁罰的依據。</p>	<p>感謝委員建議，本計畫主要以技術規劃為主，規劃所提之設備技術皆於國外有實際應用之案例，可作為日後實施之參考。</p>
<p>6. 本案未來執行時，如透過媒體報導，廣為周知，應可收到宣示及嚇止的效果，要進高雄港的大小船舶，應會知所警惕，遵守相關規定。</p>	<p>感謝委員建議。</p>
<p>(二) 戴處長輝煌</p>	
<p>1. 本研究未來有助我國航港體制符合 IMO 所規範之 IMSAS 因應 III Code 之要求，讓我國港口更可以因應 MEPC 之決議要求。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>2. 本案可有助 TIPC 因應我國國際港口之五年發展計劃 (110-115 年)，兩大主軸 (智慧化、永續化) 之要求。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>3. 在協商有關固定或非固定之地點探勘時，可先行藉由交通部運研所先行用公文與 TIPC 協調後，再行與 TIPC 總公司或高雄分公司之 VTS 或相關單位、逕行協商。</p>	<p>感謝委員建議，本團隊已於 10 月 6 日至 VTC 塔台進行會勘，除塔台 10 樓外尚有 11 樓外部平台及 3 樓平台等位置可供選擇。另因該點涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理位協商討論架設地點。</p>
<p>4. 場地使用要取得港務公司同意，要告知港務公司儀器不會干擾或影響到其他儀器。建議可與港務公司經理級以上作溝通，再進行發文。</p>	<p>感謝委員建議，本團隊已於 10 月 6 日至 VTC 塔台進行會勘，除塔台 10 樓外尚有 11 樓外部平台及 3 樓平台等位置可供選擇。另因該點涉及航安、國安及資安等問題，後續仍需與管理位協商討論架設地點。</p>

(三) 袁教授中新	
1. 藉由環保單位及交通單位的共同努力，規劃高雄港船舶污染監測技術，改善空氣品質，值得感佩。	感謝委員肯定。
2. 船舶污染特性除黑煙外，SO ₂ 、NO _x 及 CO 均應列入監測項目，尤其 SO ₂ 會反應生成二次衍生性硫酸鹽，是導致 PM _{2.5} 濃度升高的原因之一。	感謝委員建議，後續參酌納入評估。
3. 針對各項偵測技術之比較，建議採用 UV-DOAS (Fence) + Microsensors (Area) + UAV (立體)，建立一套高雄港區的 3-D 立體監測系統。	感謝委員建議，團隊將參酌意見，納入考量。
4. 建議將監測重點專注在港口出入口處及港內迴船池、停泊區等污染較嚴重之區域。	感謝委員建議，因迴船池屬港口內，可能受其他污染然干擾；本研究規劃願景為固定式監測作為移動式偵測設備初步查核違規船舶，二次確認，故架設時須不受其他可能干擾，才能監測到代表性之樣本。
5. UV-DOAS 之設置極具必要性，主要扮演船舶排煙中 SO ₂ 濃度高低監測及篩選出油品含硫量超標或洗滌塔脫硫效率不佳的船隻，俾做為後續作為之依據。	感謝委員肯定。
(四) 賴教授進興	
1. 開徑式監測儀測線，目前規劃優先建議一、二，符合要求。	感謝委員肯定。
2. 船舶煙流高度範圍，是否能確認?作為測值與研判煙囪排放濃度之依據。	感謝委員建議，後續參酌納入評估。
3. 無人機規劃路線應合宜，惟無人機可抗風速，在高雄港區能完全克服嗎?未來可依船型、排水量、風向來判斷煙流位置或方位。	感謝委員建議，目前港區無人機飛行需參照港區管理辦法，一切皆依規定辦理。
4. 無人機即時數據使用傳輸頻率，是否合法?	本團隊已於飛行前進行數據、訊號現地調查，已選定不干擾航務工作之訊號進行數據傳輸。
(五) 黎理事長東碩	

<p>1. 設定 UAV 監測船舶空污之 SOP，用以取得認證客觀之數據，進而產生管理高效度之成果 (煙囪高度、入港出港時之氣候、風向，藉以取得客觀公正之空污數據)。</p>	<p>感謝委員建議，後續參酌納入評估。</p>
<p>(六) 張研究員寶額 (書面意見)</p>	
<p>1. 船舶排放的空氣污染物以氮氧化物、硫氧化物(SO₂)和粒狀物為主；因此排放偵測技術的選擇以適用於偵測氮氧化物、硫氧化物和粒狀物的技術為優先選擇。</p>	<p>感謝委員建議，目前計畫規劃使用儀器為 UV-DOAS 委員所提之氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)皆可偵測後續將持續比較儀器優劣性，最終排定優先使用儀器。</p>
<p>2. 光學遙測及無人機搭配採樣設備可以不受地形環境及空間的限制，尤其是遙測技術更可以連續作業而不受時間限制；但 OP-FTIR 對於超過 400 公尺的量測恐怕不適用。</p>	<p>感謝委員提醒，將持續收集並比較儀器適用性，最終排定優先使用儀器。</p>
<p>3. 針對船舶的主要空氣污染物，UV-DOAS 相較於其他光學遙測技術更適合用於偵測氮氧化物和硫氧化物，甚至 BTEX (苯、甲苯、乙苯、二甲苯)，且有更好的偵測靈敏度 (低偵測極限)；至於粒狀物，則以 LIDAR 較為適合。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>4. 光學遙測的量測高度必須要能“攔截”到進出港船舶的煙流，建議可以評估不同高度多條測線 (multi-pass) 的設計；但如果沒有足夠的設備，則可以規劃“斜角”測線的設計，亦即一端在較低的位置，另一端在高點，橫跨港口航道的方式，可以更有機會“攔截”到進出港的船舶的煙流。(主要是 UV-DOAS，LIDAR 不需要同樣的量測規劃設計)</p>	<p>感謝委員建議，後續參酌納入評估。</p>
<p>5. 建議先了解 UV-DOAS 的適用量測距離，並考慮儀器發射端和接收端地對光 (alignment) 問題。</p>	<p>感謝委員建議，後續參酌納入評估。</p>

附錄六 應用單位訪談紀錄表

應用單位訪談問題

- Q1. 我國自 2019 年 1 月 1 日起實施 IMO 2020 限硫政策是否有效改善海上交通的空污，有何需改善的議題或值得特別關注的地方？
- Q2. 自 2019 年 1 月 1 日起便實施國際航線船舶硫含量管制措施，已收到具體成果，2018 年二氧化硫(SO₂)排放量減少 6,454.83 公噸(40.38%)、PM_{2.5} 減少 287.48 公噸(22.32%)，於 2020 年之管制效果是否更顯著？有無船舶減量排放之具體數據可供研究參酌。
- Q3. 台泥與亞泥使用岸電後，NO_x的排放量變化。
- Q4. 現今我國因應 IMO2020，低硫燃油使用情況如何？
- Q5. 自推廣船舶使用低硫燃油或其它具相同效益的設備改善硫含量後，我國船舶硫含量排放是否有顯著下降，下降比例數值是否有具體數據可供研究參酌。
- Q6. 目前進入我國國際商港之船舶使用低硫燃油與脫硫塔比例如何？
- Q7. 中鋼運通針對低硫政策進行船舶脫硫塔的加裝情況，及其影響如何？
- Q8. 臺灣地區自 2003 年 1 月 1 日起，開始執行港口國管制檢查成效如何？依據現況，航港局面臨之挑戰或值得特別關注的地方？
- Q9. 現階段我國 PSCO 對違規船舶開立之罰鍰是否具有國際認可？
- Q10. PSCO 針對懷疑船舶進行油品採樣，採樣之樣品是否須送國家認證單位進行分析，或未辦理認證之學術實驗室亦可？
- Q11. 以可攜式空品感測模組輔助，是否可以有效協助 PSCO 縮短稽查時間及增加稽查船舶數量？
- Q12. 研究規劃擬於高雄港二港口港嘴處以船舶自動識別系統(AIS)結合 UAV 移動式空污偵測技術，並輔以光學遙測設備(如 OP-FTIR、UV-DOAS)，進行船舶空污排放偵測調查。依貴單位角度評估本研究研提技術有無相關建議？
- Q13. 研究規劃結合 AIS 船舶資訊，在離岸 5 海裡範圍內以 UAV 為平臺搭載空品偵測，攝影等相關感測模組自主前往欲追蹤之船舶座標位置，進行攝影與空氣污染排放檢測、採樣調查等作業。擬藉此技術協助判讀船舶航行之硫低燃油切換與否的調查。
- Q14. 請問受訪者是否還有其它意見/建議？

應用單位訪談紀錄表

填表單位：國立高雄科技大學 填表人：陳柏仰 聯絡電話：07-3617141#23756

晤談內容：瞭解既有船舶空污管制策略及港埠地區空污影響現況及受訪者對此次研究規劃之船舶空污偵測技術可行性看法與觀點
訪談時間：110年07月06日上午10時
訪談對象：交通部航港局 南部航務中心 海技科
訪談內容： <p>Q4. 現今我國因應 IMO2020，低硫燃油使用情況如何？ 因本題非屬本科業務，故建議研究團隊能和交通部航港局索取相關資料。</p> <p>Q6. 目前進入我國國際商港之船舶使用低硫燃油與脫硫塔比例如何？ 同上題，相關資料建議向航港局索取。</p> <p>Q8. 臺灣地區自 2003 年 1 月 1 日起，開始執行港口國管制檢查成效如何？依據現況，航港局面臨之挑戰或值得特別關注的地方？ 我國 PSC 目前主要依據東京備忘錄檢查項目進行登船檢查，檢查時間平均一艘船需花費 3~4 小時，故無法每一項目都進行檢查，目前檢查均以文件查核等為主。</p> <p>Q9. 現階段我國 PSCO 對違規船舶開立之罰鍰是否具有國際認可？ 我國目前 PSC 的執行開罰均是以商港法為主，並於違規船舶繳納罰金後或簽立切結後，才會放行。</p> <p>Q10. PSCO 針對懷疑船舶進行油品採樣，採樣之樣品是否須送國家認證單位進行分析，或未辦理認證之學術實驗室亦可？ 原則上 PSC 會依據 IMO 所訂定的 PSC 指導原則，目前 PSC 及環保局分別進行，由當地環保局人員自行派員登船針對油品採樣並送檢分析，PSC 不負責採樣及後續裁罰。</p>

~~~感謝先進撥冗賜正~~~

\*本表訪談紀錄僅用於交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」研究之用，提供未來可行性技術規劃之參考。

## 應用單位訪談紀錄表

填表單位：國立高雄科技大學 填表人：陳柏仰 聯絡電話：07-3617141#23756

晤談內容：瞭解既有船舶空污管制策略及港埠地區空污影響現況及受訪者對此次研究規劃之船舶空污偵測技術可行性看法與觀點

訪談時間：110年07月14日下午2時

訪談對象：中鋼運通股份有限公司 船務處 戴總船長乃聖、黃總輪機長慶華

訪談內容：

**Q3. 台泥與亞泥使用岸電後，NO<sub>x</sub>的排放量變化。**

船隻使用岸電，以新船(通華輪)估算，NO<sub>x</sub>的減量排放約 11.7 公噸/年。

**Q4. 現今我國因應 IMO2020，低硫燃油使用情況如何？**

中鋼由 2020 年 1 月 1 日開始遵行 MARPOL 7378 公約，進行低硫燃油轉換的工作。目前除了 4 艘台船新造船使用合格的 Scrubber 外，其餘 21 艘均使用低硫燃油。4 艘台船同型船噸位為 20.8 萬噸，1 艘於交船前安裝脫硫塔、1 艘交船後安裝脫硫塔、2 艘是營運後期改裝，均使用開環式脫硫塔。成本效益是滾動式，普遍係以當年度與次年度來作計算，當高硫油與低硫油價差越大時，回收成本越明顯；當高硫油與低硫油價差越小時，回收時間相應拉長。經過兩年的評估，主要取決於油價。另外，從業界來看，遠洋儘量安排有 Scrubber 的船隻出航，航行天數越多，效益相應較高。

**Q7. 中鋼運通針對低硫政策進行船舶脫硫塔的加裝情況，及其影響如何？**

中鋼目前船隻大部份使用電噴 MAN B&W ME 式主機及 TBN 100/40 大缸油。最主要是剛使用之初是有幾艘船有缸套異常、活塞環過度磨耗之現象。中鋼配合原廠進行改裝工作，添加陶塑活塞環等；在使用低硫燃油後時採用高鹼性 TBN 與低 TBN 汽缸油交替使用。使用後，缸套異常及活塞環磨耗現象已很少發生。中鋼採購了檢測磨耗之儀器觀察磨耗狀況，長期/定時性的監控下，缸套異常磨耗已有大幅度改善，燃油泵進系統及進油系統也無任何異常。

**Q9. 現階段我國 PSCO 對違規船舶開立之罰鍰是否具有國際認可？**

所有對外聯系都是由船長負責，目前面對的國際現實是臺灣並非 IMO 的會員國，PSC 是規範在 IMO 之下。因此臺灣現行的所有法規只有針對臺灣有效，所以 PSCO 在臺灣檢查到的缺失/缺點，或表現良好/零缺點的登錄，只有在臺灣有效。若船舶有缺失，依航港局跟 PSCO 的行政裁量，視嚴重程度(如 16、17、99)，決定是否開罰。若 PSCO 開出缺失項目，船舶需再次回到臺灣港口再作複查。檢查人員安排既有的程式進行，會依照該 CIC 重點檢查項目，缺點的密集程度。每一年及每一季都有重點檢查項目，在短短 4 小時內，PSCO 可挑重點項目檢查。PSCO 都是經過專業訓練，可快速找到缺失/缺欠的項目

(如開關、油水分離器、油料紀錄簿、廢棄物紀錄簿)；空污的部份，只要看煙囪冒煙的程度即可知道。

**Q10. PSCO 針對懷疑船舶進行油品採樣，採樣之樣品是否須送國家認證單位進行分析，或未辦理認證之學術實驗室亦可？**

歐洲國家要求船舶是在脫硫塔洗滌水的排出不能使周遭的濁度產生變化的前提下是允許的，但在中國大陸、新加坡、巴西等國家都是禁止使用脫硫塔，必須進行燃油切換，燃油切換約需 1~1.5 天(包括清燃油沉澱櫃中燃油，清空沉澱櫃/日用櫃及管線系統)，這會增加船上人員的操作困難。若要減少切換時間，新船規劃時必須規劃兩套燃油管線系統，如低硫燃油沉澱櫃、低硫燃油日用櫃等。歐洲的洗滌塔濁度是每年都會取樣化驗，中鋼排出之樣水目前是送至 SGS 化驗，每年提交報告一次。2020 年初期，中國大陸會對燃油日用系統取樣/化驗，但至今尚未收到任何化驗報告/結果。此外，中鋼已使用低硫燃油將近一年多，並無收到 PSCO 需要取樣化驗的要求，普遍只檢查加油的單據、燃油化驗紀錄，從中檢視船舶是否使用合規格之低硫燃油。

**其他：**

1. 黃總輪長表示因應 IMO 國際海事組織規定 2020.01.01 起全球船舶須使用含硫量低於 0.5% 之低硫燃油，為符合規定有三種應對措施：1) 更換雙燃料主機或改用 LNG；2) 使用含硫量低於 0.5% 低硫油；3) 安裝船舶排氣洗滌設備 (Scrubber)。但現成船更換雙燃料主機或改用 LNG 成本太高，全無經濟性，且使用 LNG 作為燃料的大環境尚未成熟。
2. 中鋼表示十分贊同結合 UAV 平臺來偵測空氣品質。另建議航港局研擬獎勵措施作為誘因，讓航商更積極投入環保政策。

~~~感謝先進撥冗賜正~~~

*本表訪談紀錄僅用於交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」研究之用，提供未來可行性技術規劃之參考。

應用單位訪談紀錄表

填表單位：國立高雄科技大學 填表人：陳柏仰 聯絡電話：07-3617141#23756

| |
|--|
| 晤談內容：瞭解既有船舶空污管制策略及港埠地區空污影響現況及受訪者對此次研究規劃之船舶空污偵測技術可行性看法與觀點 |
| 訪談時間：110年07月15日上午9時 |
| 訪談對象：高雄市政府環境保護局 空噪科 李學賢技正 |
| 訪談內容： <p>Q6. 目前進入我國國際商港之船舶使用低硫燃油與脫硫塔比例如何？
依據 IMO2020 要求，本國進出港船舶已大部份使用低硫燃料，剩餘少部份船舶使用脫硫塔，但均取得國際認可證照，符合國際要求。</p> <p>Q7. 中鋼運通針對低硫政策進行船舶脫硫塔的加裝情況，及其影響如何？
中鋼運通股份有限公司於 109 年 7 月左右完成 4 艘船舶的脫硫塔安裝，每艘的安裝費用約 200~300 萬美金。以 3.5% 高硫油與 0.5% 低硫油來評估，一年約節省燃料費 100 萬美金，需要 2~3 年才能回本。中鋼運通面臨的困擾是，(1) 脫硫塔洗滌後排出的水是酸的，對其排海管路會造成一些腐蝕作用，安裝一年多後，部份設備管路已經銹蝕。(2) 另外安裝脫硫塔後需要指派人員去操作該設備，需增加一個人力的負荷。(3) 有關污水的問題，中鋼運通公司安裝之脫硫塔不需添加其他藥劑，單純使用海水循環來進行洗滌。(4) 目前脫硫塔廢水排放標準的數值尚未規定，該公司安裝之設備主要是以 SO_2/CO_2 比值計算，若超過標準值，會發出警號，讓船員知道相關脫硫塔已經不能再使用高硫油，需切換低硫油。(5) 航港局曾召開會議研商使用脫硫塔後廢水造成之港區污染。以基隆環保局之立場，基隆環保局是不鼓勵使用脫硫塔，因為港區內海水的置換率大約需要 1 個月左右，若讓船舶直接在港區排放廢水，這個對港區的水質影響很大。(6) 高雄港性質與基隆港雷同且更封閉，兩個港口並不大，以海水置換率來說，不傾向使用脫硫塔。但目前環保署沒有相關法令規定不可使用脫硫塔。</p> <p>Q8. 臺灣地區自 2003 年 1 月 1 日起，開始執行港口國管制檢查成效如何？依據現況，航港局面臨之挑戰或值得特別關注的地方？
因高市環保局人力不足，登船稽查作業由航港局負責。目前高雄港的部份是請航港局提供各船隻購油資料，一來是人力問題，二來是環保局與航港局尚未達成會同登船檢查。因船東很多資料都是航港局擁有，本局只能透過向航港局取得一些書面資料，檢查其燃油稽查的部份是否有相關缺失。依據本局 109 年 2 月~3 月，只有 2 件是書面檔上的缺失，與含硫份是無關的。最後只需要船務公司補正後，就可以進港，並沒有開單。以基隆港環保局為例，該局稽查對象以遊輪為主，針對船舶燃油採樣也以遊輪較為方便，貨船較複雜，</p> |

採樣也是航港局為主。因船上人員熟悉油槽的相關位置，故採樣主要由船上相關人員協助抽取。

Q10. PSCO 針對懷疑船舶進行油品採樣，採樣之樣品是否須送國家認證單位進行分析，或未辦理認證之學術實驗室亦可？

依基隆市經驗，油品送樣主要交由環保署認證實驗室/機關負責檢測，若油品不符國際要求，由航港局依據商港法負責開立罰單，主要是環保罰單。因罰款不高(空污法最低新臺幣 10 萬)，船東較少有拒繳的情況。

Q12. 研究規劃擬於高雄港二港口港嘴處以船舶自動識別系統(AIS)結合 UAV 移動式空污偵測技術，並輔以光學遙測設備(如 OP-FTIR、UV-DOAS)，進行船舶空污排放偵測調查。依貴單位角度評估本研究研提技術有無相關建議？

近年民眾在意黑煙問題，以基隆港為例，郵輪的停靠碼頭剛好是靠近住宅區，常常接受到民眾陳情。最終基隆市環保局跟航港局有一個機制，透過基隆市環保局派出合格的目測判煙人員在港區一週數次，或不定期觀看進出港口的船舶，若發現黑煙的情況，便錄影存檔，最後提供影片給航港局進行裁處。若要安裝光學遙測技術，UV-DOAS 現行階段普遍採租借模式，監測費用(12 個月，連續每天監測)約為新臺幣 1,000 萬。

Q13. 研究規劃結合 AIS 船舶資訊，在離岸 5 海裡範圍內以 UAV 為平臺搭載空品偵測，攝影等相關感測模組自主前往欲追蹤之船舶座標位置，進行攝影與空氣污染排放檢測、採樣調查等作業。擬藉此技術協助判讀船舶航行之硫低燃油切換與否的調查。

UAV 監測技術，建議針對停泊於港區外之船隻為優先監測對象，且需考量設備其安全性與禁航區管制之問題。

~~~感謝先進撥冗賜正~~~

\*本表訪談紀錄僅用於交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」研究之用，提供未來可行性技術規劃之參考。

## 應用單位訪談紀錄表

填表單位：國立高雄科技大學 填表人：陳柏仰 聯絡電話：07-3617141#23756

晤談內容：瞭解既有船舶空污管制策略及港埠地區空污影響現況及受訪者對此次研究規劃之船舶空污偵測技術可行性看法與觀點

訪談時間：110年07月16日下午14時

訪談對象：交通部航港局 船舶組 王大明副組長 黃宇欣科長 黃智群科員 (港務組謝忠潔科員)

訪談內容：

**Q2.** 自 2019 年 1 月 1 日起便實施國際航線船舶硫含量管制措施，已收到具體成果，2018 年二氧化硫(SO<sub>2</sub>)排放量減少 6,454.83 公噸(40.38%)、PM<sub>2.5</sub> 減少 287.48 公噸(22.32%)，於 2020 年之管制效果是否更顯著？有無船舶減量排放之具體數據可供研究參酌。

依據港務公司 108~109 年國際商港空氣防治污染報告，因我國於 108 年開始實施船舶使用低硫油政策，107 年前是以獎勵措施為主，並無統計執行績效，108 年進港船舶總艘次為 37,458 艘次，相關減量效益 PM<sub>2.5</sub> 為 306.35 公噸、SO<sub>2</sub> 為 6,870.03 公噸；109 年進港船舶總數為 37,891 艘次，相關減量效益 PM<sub>2.5</sub> 為 309.90 公噸、SO<sub>2</sub> 為 6,949.45 公噸，截至 110 年至六月進港艘次共 18,989 艘次相關減量效益 PM<sub>2.5</sub> 為 155.30 公噸、SO<sub>2</sub> 為 3,482.7 公噸，逐見限硫令的成效。

**Q4.** 現今我國因應 IMO2020，低硫燃油使用情況如何？

自 IMO2020 生效開始，除 ECA 以外，其他地區均使用含硫量 0.5% 以下的低硫燃油，目前臺灣與全球規範是一致的，以目前情況來說，進入臺灣海域或鄰近港口的船舶，無須進行燃油切換，在公海或領海均使用含硫量 0.5% 以下的燃油；以環保署的立場，目前移動污染源燃料成分管制標準已於 109/07/01 實施，該規定同步國際，規範硫含量需在 0.5% 以下，也可以使用經核准的脫硫洗滌設備，我國標準皆依據 IMO2020，另於 2019 年提早實施時有查到 4 件未使用低硫燃油的案件，皆以商港法第 66 條，各裁罰新台幣 10 萬元整，因依據法令是以商港法裁罰，故裁罰機關為航港局，事後也有確保繳完罰款後才放行，去年 2020 未有查核到用油違規的情形，僅有少部分檔紀錄缺失，參考東京備忘錄及其他檢查機構，檢查情況也差不多；109 年 PSC 及 FSC 共計檢查 1,035 艘次，皆未查核到用油違規的情形，相關缺失依據港口國管制檢查程式辦理改善及矯正。

**Q6.** 目前進入我國國際商港之船舶使用低硫燃油與脫硫塔比例如何？

目前船舶進港是採自願申報是否有安裝脫硫器，統計自 108 年裝設脫硫塔船舶佔比為 0.25% 共計 98 艘；109 年裝設脫硫塔船舶佔比為 0.27% 共計 102 艘。

**Q8. 臺灣地區自 2003 年 1 月 1 日起，開始執行港口國管制檢查成效如何？依據現況，航港局面臨之挑戰或值得特別關注的地方？**

自 PSC 從 2003 起船舶檢查數從 140 艘成長到 2020 年 828 艘，檢查率也從 4.65% 成長至 16.34%，其中不合格率也有逐年降低的趨勢。航港局近年非常注重 PSC 的專業能力的培訓，目前也配合東京備忘錄每年九月所訂定的年度重點檢查項目。

**Q9. 現階段我國 PSCO 對違規船舶開立之罰鍰是否具有國際認可？**

我國目前 PSC 的執行是依據商港法 58 條至 60 條做內國法的規定，低硫燃油的部分目前是以商港法第 66 條去做裁罰，至於其他缺失由 PSC 依據港口國管制檢查程式辦理。

**Q10. PSCO 針對懷疑船舶進行油品採樣，採樣之樣品是否須送國家認證單位進行分析，或未辦理認證之學術實驗室亦可？**

原則上 PSC 會依據 IMO 所訂定的 PSC 指導原則，採樣時 PSC 會知會船長，由船上工作人員陪同，並未特別通知環保局人員到場，樣品並送至合於規定之檢驗單位進行分析。

**Q11. 以可攜式空品感測模組輔助，是否可以有效協助 PSCO 縮短稽查時間及增加稽查船舶數量？**

目前 PSC 的指導原則裡面油品快篩、感測器等等，目前尚未定義清楚，並非正規檢查項目，所以若檢查出問題油品時，依然必須送至合規實驗室分析。

**Q12. 研究規劃擬於高雄港二港口港嘴處以船舶自動識別系統(AIS)結合 UAV 移動式空污偵測技術，並輔以光學遙測設備(如 OP-FTIR、UV-DOAS)，進行船舶空污排放偵測調查。依貴單位角度評估本研究研提技術有無相關建議？**

航港局無特別建議，樂觀且看好研究團隊後續開發及規劃。

**Q13. 研究規劃結合 AIS 船舶資訊，在離岸 5 海裡範圍內以 UAV 為平臺搭載空品偵測，攝影等相關感測模組自主前往欲追蹤之船舶座標位置，進行攝影與空氣污染排放檢測、採樣調查等作業。擬藉此技術協助判讀船舶航行之硫低燃油切換與否的調查。**

建議研究團隊可以以辨別含硫量 0.1% 燃油為目標，並搭配相關設備才能達到偵測及執法效應。

~~~感謝先進撥冗賜正~~~

*本表訪談紀錄僅用於交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」研究之用，提供未來可行性技術規劃之參考。

應用單位訪談紀錄表

填表單位：國立高雄科技大學 填表人：陳柏仰 聯絡電話：07-3617141#23756

晤談內容：瞭解既有船舶空污管制策略及港埠地區空污影響現況及受訪者對此次研究規劃之船舶空污偵測技術可行性看法與觀點

訪談時間：110年08月04日上午09時

訪談對象：高雄港務公司 職安處 鄭俊華處長 徐筱曼工程師

訪談內容：

1. 目前進入我國國際商港之船舶使用脫硫塔比例對港內水質有無明顯影響？

港務公司把生態港口及綠色港口，設定為一個發展的目標，港務公司辦理「船舶開環式脫硫器洗滌水對港區水質影響評估計畫」，透過採樣監測其濁度、pH、硝酸鹽、重金屬等，除金屬鈇較高位其餘測值差異不大。

2. 依據現況，港務公司目前面臨之挑戰或值得特別關注的地方？

港務公司身為各大港口的經營者目前主要遇到的問題是進港船舶的大型化、舊港區的再造及港口儲槽的的遷移等難題。

3. 未來規劃於港嘴架設固定式監測設備，相關電力及架設位置港務公司有無相關建議？

未來於港嘴架設固定式監測設備前，建議研究單位先至現場進行場勘，因未來不管是架設位置、高度、電力來源等都是決策關鍵，若需協助，港務公司將派人員陪同。

4. AIS 結合 UAV 移動式空污偵測技術，並輔以光學遙測設備(如 OP-FTIR、UV-DOAS)，進行船舶空污排放偵測調查。依貴單位角度評估本研究研提技術有無相關建議？

因港區仍屬國家管制區域，一般人員或車輛、無人機等設備進入前須先向相關單位如民航局、港務公司提出申請程式。屆時若計畫須執行港區試驗，港務公司願意協助研究單位行政儘速處理申請作業。

5. 研究規劃結合 AIS 船舶資訊，在離岸 5 海裡範圍內以 UAV 為平臺搭載空品偵測，攝影等相關感測模組自主前往欲追蹤之船舶座標位置，進行攝影與空氣污染排放檢測、採樣調查等作業。擬藉此技術協助判讀船舶航行之硫低燃油切換與否的調查。

有關無人機飛行的部分，若有涉及到業者承租區須取得業主同意；另外，港區風速達 10.8 米以上或能見度小於 1 公里皆禁止飛行，禁飛時間則為下午 5 點至早上 8 點。因申請作業期程需時 1 個月，故建議研究單位盡早辦理申請事宜。

~~~感謝先進撥冗賜正~~~

\*本表訪談紀錄僅用於交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港區船舶能源使用及空氣污染排放偵測技術評估之研究」研究之用，提供未來可行性技術規劃之參考。



## 附錄七 UV-DOAS 報價單



# 凌陽科技股份有限公司

## Wistec Environmental Technology Inc.

地址:新北市新店區民權路117號8樓之1

統一編號：82901555

電話：(02)2219-3026

傳真：(02)2219-2830

### 報價單

客戶名稱:國立高雄科技大學 海洋環境工程系暨研究所

報價單號：QT21581

聯絡人:林啟燦(Chitsan Lin) 先生

日期：2021/10/14

電話:(07)3617141#23756

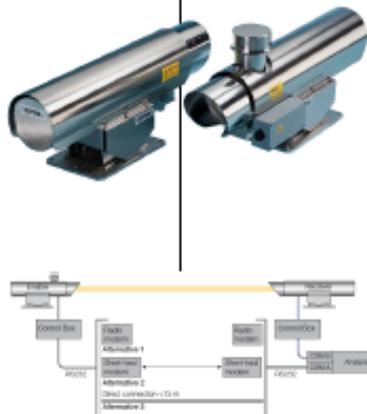
承辦業務：陳鍵仁

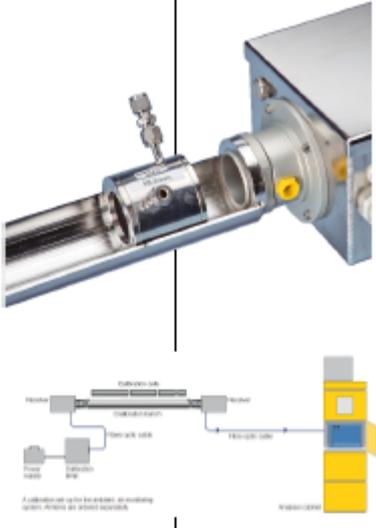
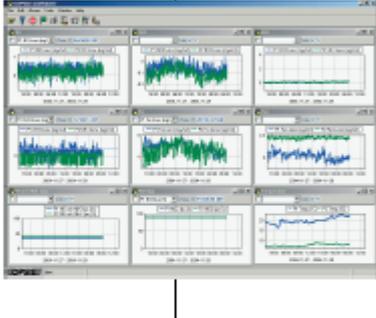
傳真:(07)3651472

行動電話：0939-939-360

E-mail:ctlin@nkust.edu.tw

本單有效期間：30天

|    | 品名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 數量 | 單位 | 單價                                                                                   | 金額           |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 一  | AR520 Analyser with Movable Grating (1 UV + 1 IR detector)主機,可測CO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1  | 套  | \$ 3,200,000                                                                         | \$ 3,200,000 |
|    | <ol style="list-style-type: none"> <li>Dimensions (L x W x H) 600 x 440 x 266 mm</li> <li>Weight incl. case (approx.) 35 kg</li> <li>Voltage supply 115 V (±10%) 50/60 Hz</li> <li>Power consumption 110 W</li> <li>Computer Embedded PC with VGA screen</li> <li>Flash memory 512 Mb</li> <li>Serial output RS 232C</li> <li>Operating temperature +5°C to +30°C<br/>Recommended operating temperature +15°C to +25°C</li> <li>Degree of protection IP 20</li> </ol>                                             |    |    |  |              |
| 二  | ER150-B Emitter and Receiver Unit (AQM), lamp B (Emitter 150(發射端)Receiver 150(接收端))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1  | 套  | \$ 1,050,000                                                                         | \$ 1,050,000 |
|    | <ol style="list-style-type: none"> <li>Material stainless steel</li> <li>Emitter EM150 Length 990 mm</li> <li>Receiver RE150 Length 1,375 mm</li> <li>Emitter EM150 Weight (approx.) 55 kg,Receiver RE150 Weight (approx.) 60 kg</li> <li>Emitter EM150 Height 425 mm,Receiver RE150 Height 380 mm</li> <li>Window diameter 150 mm</li> <li>Window material quartz glass</li> <li>Ambient temperature - 40°C to +50°C</li> <li>Degree of protection IP 54</li> <li>Monitoring path length max. 1,000 m</li> </ol> |    |    |  |              |
| 四  | Calibration Equipment for OPSIS AR500 Series Air Quality Monitoring Systems校正設備                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1  | 套  | \$ 425,000                                                                           | \$ 425,000   |
| A. | CB100-02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |    |                                                                                      |              |
|    | <ol style="list-style-type: none"> <li>Material stainless steel</li> <li>Length 1 m</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |    |                                                                                      |              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |           |          |                                                                                     |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <p>3. Weight 3 kg</p> <p>4. Connection G 1 1/2" , internal thread</p> <p>B. CA150-B</p> <p>1. Standard lamp xenon 150 W, type B</p> <p>2. Material aluminium</p> <p>3. Dimensions (L × W × H) 190 × 255 × 280 mm</p> <p>C. CC001</p> <p>1. Material stainless steel</p> <p>2. Cell lengths (standard) &lt; 10 mm</p> <p>D. CC002 (Wedged)</p> <p>1. Material stainless steel</p> <p>Cell lengths (standard) 10, 15, 40, 100, 250, 500, and 900 mm</p> <p>E. GG400</p> <p>1. Application NO2 calibrations</p> <p>2. Filter diameter 50 mm</p> |           |          |   |                     |
| <p>五</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>1</p>  | <p>套</p> | <p>\$ 380,000</p>                                                                   | <p>\$ 380,000</p>   |
| <p>1. General:Full support of windows clipboard with many cut-and-paste functions available.</p> <p>2. Communication:Connection to stations through Stations:OPSIS gas analysers with or without built-in data loggers.</p> <p>3. Data Processing:Processing organised as parameters divided in different groups.</p> <p>4. Alarm Functions:Any number of user-configurable alarms in addition to the ones</p>                                                                                                                               |           |          |  |                     |
| <p>六 其他</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |          |                                                                                     |                     |
| <p>1. 設備整合與系統測試費用(包含人員差旅與教育訓練)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>1</p>  | <p>式</p> | <p>\$ 150,000</p>                                                                   | <p>\$ 150,000</p>   |
| <p>2. 材料及雜項支出</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>1</p>  | <p>式</p> | <p>\$ 15,000</p>                                                                    | <p>\$ 15,000</p>    |
| <p>3. 3KVA不斷電含安裝(供應主機與電腦關閉使</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>1</p>  | <p>組</p> | <p>\$ 21,500</p>                                                                    | <p>\$ 21,500</p>    |
| <p>一年每月維護保養費用(包含人員差旅及維護報告提供)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>12</p> | <p>月</p> | <p>\$ 8,000</p>                                                                     | <p>\$ 96,000</p>    |
| <p>5. 預估一年耗材與零件費用(AR520)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>1</p>  | <p>式</p> | <p>\$ 385,000</p>                                                                   | <p>\$ 385,000</p>   |
| <p>6. 空運費與關稅及保險費用(OPSIS公司到瑞典機場,瑞典機場到桃園機場)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>1</p>  | <p>式</p> | <p>\$ 50,000</p>                                                                    | <p>\$ 50,000</p>    |
| <p>7. 國內運輸費用(桃園機場至貴公司)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <p>1</p>  | <p>式</p> | <p>\$ 12,000</p>                                                                    | <p>\$ 12,000</p>    |
| <p>小計</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |          |                                                                                     | <p>\$ 5,784,500</p> |
| <p>營業稅 5%</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |          |                                                                                     | <p>\$ 289,225</p>   |
| <p>總計</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |          |                                                                                     | <p>\$ 6,073,725</p> |

備註：

1. 報價不包含現場配管配線(中控端須為空調環境,發射與接收端安裝)此項目需要現場前勘後
2. 付款方式：a.訂金20%(現金票,於訂購單確認後10天內支付)b.貨到70%(月結30天票)  
c.驗收10%(月結30天票)
3. 提供驗收後一年之保固期，但保固責任不含消耗性備品
4. 提供一份原廠操作手冊
5. 訂購單確認後4個月內完成交貨

## 附錄八 環境檢驗中心儀器介紹及其應用性



| 實驗室儀器                                                                                                       | 檢測方法          | 檢測名稱                            | 適用範圍                                                                                                                         | 檢測時間    | 普及性  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|
| 氣相層析質譜儀 (GC-MS)<br>        | NIEA W785.57B | 水中揮發性有機化合物檢測方法—吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法    | 適用於飲用水、地表水體、地下水、廢(汙)水、放流水及製程冷卻水塔之冷卻水等水中可被吹出之有機化合物。                                                                           | 50 mins | 正常使用 |
|                                                                                                             | NIEA M711.04C | 揮發性有機物檢測方法—氣相層析質譜法              | 適用於測定包含土壤、底泥、廢棄物、放流水、地下水、地表水及事業廢(汙)水等類型樣品中所含有沸點低於 200℃ 之揮發性有機物濃度。                                                            | 50 mins | 正常使用 |
| 氣相層析火焰離子化偵檢器 (GC-FID)<br> | NIEA S703.62B | 土壤中總石油碳氫化合物檢測方法—氣相層析儀/火焰離子化偵測器法 | 本方法適用於土壤中總石油碳氫化合物之(含碳數 C6 到 C40) 石油系污染檢測，其中低碳數(如汽油類)之石油系污染分析是相當於烷類從 C6 到 C9 的範圍，高碳數(如柴油類或柴油以上)之石油系污染分析是相當於烷類從 C10 到 C40 的範圍。 | 45 mins | 正常使用 |

| 實驗室儀器                                                                                                | 檢測方法          | 檢測名稱                            | 適用範圍                                                                          | 檢測時間    | 普及性  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------|------|
| 氣相層析質譜儀 (GC-MS)<br> | NIEA A715.16B | 空氣中揮發性有機化合物檢測方法—不銹鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法 | 適用於分析空氣中丙烷、二氯二氟甲烷、氯甲烷、氯乙烯、甲醇、溴甲烷、氯乙烷、異戊烷等有機化合物。                               | 40 mins | 正常使用 |
| 氣相層析質譜儀(GC-MS)<br> | NIEA M731.02C | 半揮發性有機物檢測方法—氣相層析質譜儀法            | 方法可用於測定各類事業廢棄物、毒性特性溶出程式 (TCLP) 萃出液，土壤及底泥等不同基質萃取液中之半揮發性有機物濃度，亦可以直接注射方式應用於特定樣品。 | 50 mins | 正常使用 |
|                                                                                                      | NIEA W801.54B | 水中半揮發性有機化合物檢測方法—氣相層析質譜儀法        | 本方法適用於飲用水、飲用水水源、地面水體、地下水、放流水、毒性特性溶出程式 (TCLP) 萃出液及製程冷卻水塔之冷卻水等。                 | 50 mins | 正常使用 |

| 實驗室儀器                                                                                                                                                   | 檢測方法          | 檢測名稱                                | 適用範圍                                                                    | 檢測時間                               | 普及性  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------|
| <p data-bbox="264 288 667 371"><b>ICP-OES</b><br/>(感應耦合電漿光學發射光譜儀)</p>  | NIEA W311.54C | 水中金屬及微量元素<br>檢測方法－感應耦合<br>電漿原子發射光譜法 | 本方法適用於地面水體廢(污)水、<br>放流水、地下水及飲用水中砷、<br>鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳及鋅等等<br>元素分析。          | 10 mins /<br>sample<br><br>(8 個元素) | 正常使用 |
| <p data-bbox="387 761 539 794"><b>元素分析儀</b></p>                       | NIEA M318.01C | 固體與液體樣品中總<br>汞檢測方法－熱分解<br>汞齊原子吸收光譜法 | 本方法適用於土壤、底泥、廢棄物<br>及生物組織中總汞(包括有機和無<br>機)的檢測。此方法總汞之儀器偵<br>測極限約為 0.01 ng。 | 8 mins /<br>sample                 | 正常使用 |

| 實驗室儀器                                                                                                                              | 檢測方法                                             | 檢測名稱                                                                                  | 適用範圍                                                                               | 檢測時間                                            | 普及性                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <p data-bbox="271 284 651 320">氣相層析脈衝火焰光度偵測器</p>  | <p data-bbox="741 284 947 320">NIEA A701.11C</p> | <p data-bbox="981 272 1258 456">空氣中硫化氫、甲硫醇、二硫化碳、硫化甲基、及二硫化甲基<br/>檢驗方法—氣相層析/火焰光度偵測法</p> | <p data-bbox="1281 272 1727 379">本方法適用於分析大氣及周界中的硫化氫、甲硫醇、二硫化碳、硫化甲基、及二硫化甲基等五種硫化物</p> | <p data-bbox="1749 284 1888 320">30-40 mins</p> | <p data-bbox="1910 284 2033 320">較少使用</p> |