

光學雷達網絡與雲端運用

Application of Lidar Network with Cloud Computing

江智偉、江宏偉、孫書煌、陳建霖、蘇良軒、李易錫

Chih-Wei Chiang, Hong-Wei Chiang, Shu-Huang Sun, Chien Lin Chen, Liang Hsuan Su, Yi-Hsi Lee

雖然近年來環保單位對空氣污染監測與控制不遺餘力，空氣品質惡化的現象已逐年趨緩。但當空氣污染緊急事件發生時之處理過程仍彰顯污染源追蹤、污染物擴散和污染物種類等的監測依然相當棘手。而要迅速將資訊整合、配合相關專業調度進而提升稽查管制效能、杜絕污染源維護空氣品質，將是本項新技術之應用領域。由於監測設備中有光學雷達／光達 (LIDAR) 的加入，結合地理資訊系統 (GIS) 能快速呈現污染源和污染物擴散之影響範圍，並以雲端技術提供相關人員快速有效之系統與資訊服務，有利於提升環保相關單位對於空氣污染資訊之時效性和全台工業區污染物監控、空氣品質預警與災害防制等技術。

An effort has been made by EPA (Environmental Protection Administration) to prevent deterioration of air quality. However, tracking pollution source, the dispersion and types of pollution are rather difficult especially when air pollution emergencies occur. Therefore, the application of this new developing technique, combined the newly 3-D scanning LIDAR (light detection and ranging) system with GIS (geographic information system) and fast integration of information by cloud computing technique will be useful to enhance the effectiveness of inspection and to strengthen the capability of the environmental monitoring.

一、簡介

近年來在空氣污染檢測上之研究較為蓬勃，主要受全球暖化對環境造成衝擊，人們開始重視經濟成長與所製造的污染物對環境之影響。各國環保單位也正積極尋求如何改善都市空氣品質和防止污染擴大等重要問題之解。為了達成此項目標，首要之務需確定污染源和其種類、濃度與擴散範圍。

光學雷達／光達 (LIDAR) 過去曾為一些歐洲的大城市，建立確實的污染氣體擴散圖⁽¹⁾，在台灣本團隊藉由崑山科技大學機械研究所之精密自動化控制，配合中央大學在雷射遙測領域十多年之理論基礎與經驗，開發全台首創 3-D 掃描式光達系統⁽²⁻⁴⁾，利用三維空間遙測技術，即時掌握污染源的方

向、組成成份和濃度等相關技術⁽⁵⁾，並將所監測之資料即時提供給不同地方與不同目的之相關環保人員使用，掌握監測資料，立即揪出不法污染源、維護空氣品質。

此技術目前用於環境監測是國內首創之監測技術，利用連結光達網絡 (Lidar network) 和雲端技術並結合地理資訊系統，可進行即時監測資訊雙向溝通並藉由網頁伺服器 (webserver) 提供相關資訊如：空氣污染源追蹤即時資訊和網頁 (SMS) 簡訊提供稽查人員污染物濃度預警和結合網際網路，將監控污染物空間分佈現況即時呈現於網頁上等之功能。這些創新作法相較於其它污染物監測系統具備更多樣性，已突破傳統監測模式與提供之服務。

二、光學雷達簡介

光學雷達／光達 (light detection and ranging, 簡寫為 Lidar) 是以雷射作為工具的一種遙測技術。1962 年, McClung 和 Hellwarth⁽⁶⁾ 的發明使遠距光學探測受到注目。雷射之所以應用在測量技術乃是基於雷射光的高度單調性及平行性, 或產生極短脈衝的可能性。測量技術因雷射的加入, 可使測量技術精確度提高好幾級。最早將雷射運用在大氣的研究上, 付諸實現的是 1963 年 Fiocco 和 Smullin⁽⁷⁾ 從事大氣上層的雷射回應訊號記錄, 以及 Ligda⁽⁸⁾ 對於對流層的探測。如同傳統雷達 (Radar), 光達可以提供更詳細的計算, 其原理是應用雷射光穿過大氣時與大氣發生各種作用, 如大氣分子的 Rayleigh 散射、Raman 散射, 大氣微粒的 Mie 散射、消偏振作用, 分子對光的吸收、都卜勒效應等等, 以得到大氣即時 (real time) 的各種訊息。除此之外, 光達亦可運用在海洋、湖泊、河流的遙測, 甚至都市空氣品質的監控。

隨著各式雷射的發明, 雷射功率的增加, 以及偵測儀器解析能力的提昇, 各種光達系統可以廣泛且經濟的探測各種大氣物質的位置分佈、組成、結

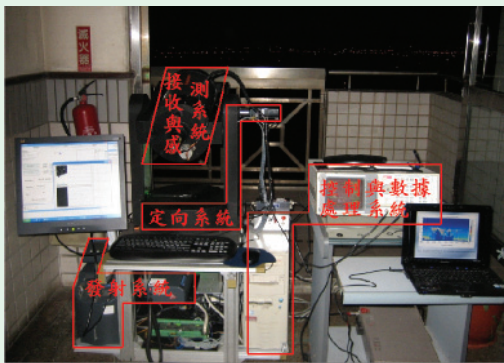
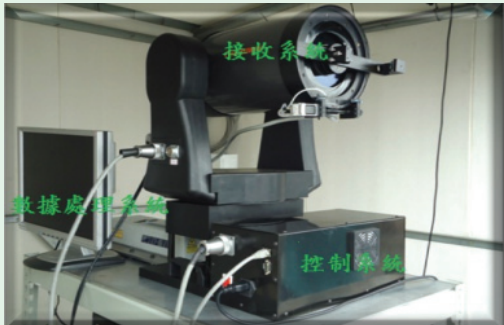
構、性質、動力行為, 裨助大氣物理的研究, 以便了解並預測大氣環境與氣候的變化。由於光達兼具測距與分析的功能, 可進行三維分析之研究和討論空間局部特性, 這是一般檢測方法所沒有之功能, 這也是光學遙測技術一直受到重視之原因, 直至今日依舊廣泛地被應用在軍事、氣象、以及環境監測等方面。但此等遙測設備結構複雜、建置成本高、維護不易及系統體積龐大等, 即使相關設備用途廣泛, 一般在成本考量下因而大大降低對此儀器設備之投資與研發興趣。目前少數先進國家如美國、日本、瑞典、德國、加拿大等投入相當多的人力與經費積極從事此等光學遙測技術於環境監測等方面如地形、地貌、風場、空氣污染監測上之研究。

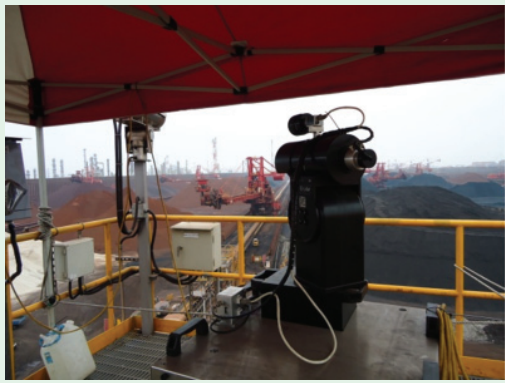
由於光達遙測設備造價昂貴, 國內目前於中央研究院、環保署、台灣大學、交通大學、中央大學和崑山科技大學等單位有相關的地面光達儀器設備, 進行不同學門之科學研究。而對於空氣污染偵測方面, 目前國內僅有崑山科技大學與中央大學合作, 並整合國內光學鏡片研製、鍍磨和精密加工等研發單位所合力開發之空污光達系統如圖 1 所示, 進行各種不同污染物之監測, 其設備相關研發歷程如表 1 所示。此光達系統已模組化與輕量化, 並針



圖 1. 光達系統架構與人機操作介面。

表 1. 國內 3-D 掃瞄式光達系統開發過程。

期程	內容	儀器設備
2008/12-2009/7	開發與測試完成 3-D 掃瞄式光達雛型機，型號：EIL-0	
~2009/11	完成型號：EIL-P (可見光 532 nm 波段)。進行懸浮微粒濃度量測	
~2010/03	完成型號：EIL-S、N 紫外光 (UV) 波段 266,274,289,299, 309,355 nm。並進行工業區 SO ₂ & NO _x 之濃度量測	
~2010/06	完成車載式光達系統 (型號：EIL-Mobile)	

期程	內容	儀器設備
2011-2012	進行光達系統品保品管之認證和儀器耐候性測試。	
2013-2014	完成系統輕量化與模組化設和即時通報系統 (相關規格參照表 2)。	

對系統耐候性進行測試，相關之軟、硬體設備結合本文所開發之應用技術如地理資訊系統、網際網路雲端系統等，即可進行即時監測、資料傳輸、污染源追蹤和污染物濃度預警等功能。目前的單點光達設備之控制、資料傳輸與運算已擴展至全台網絡 (NET-WORK) 污染物之監控如圖 2 所示，已突破傳統污染物監測模式，進而發揮光達污染物監測之最大效益。

三、光達雲端系統說明

1. 光達雲端資料庫建置

目前光達網絡與雲端系統可依不同所在地之設定進行自動化監測 (如圖 1-2 所示)，並將不同污染地區 (工業區) 之龐大數位觀測資料整合、儲存及分析，以利相關人員判讀運用。其中，光達雲端平台，可將不同地方之光達監測資料迅速自動上傳至伺服器網站，分別依照回傳之資料運算處理，產

生不同污染地區上方之光達雲 (污染物空間分佈相關訊息如污染源、濃度、擴散範圍等資訊)，每個不同地方環保局人員或環境檢測業者 (端) 可依軟體平台介面所提供的網址和密碼登錄 (如圖 3(a) 所示)，即可查詢該管轄內工業區之相關資訊，並可依其特殊需求，於訊息回饋系統提供相關需求，系統人員會依不同需求開放權限 (如圖 3(b) 所示)，滿足環保人員／環境檢測業者之需求，如利用類似網頁 SMS (Short Message Service) 功能將污染物濃度超標之電子郵件通知或即時簡訊傳送 (如圖 3(c) - 3(d)) 等功能提供相關人員相關訊息，提升稽查人員對空氣污染排放之稽查管制工作效率。並建置自動化全台長期大大小小工業區所產生之空氣污染監測資料 (各工業區之光達雲) 連結與儲存，讓相關單位可於任何時間下載相關報表與統計資料，用以擬定相關政策和維護空氣品質。再者此平台兼顧管理者管理資料的便利性和使用者使用資料的即時性，透過網際網路即時傳輸至主電腦，將這些資

表 2. 光達機規格。

N	Items	Description
1	雷射波長	laser wavelength (532 /355/299/289/266 nm)，寬度 < 10 ns
2	雷射類型	脈衝式，重複頻率 1－20 Hz
3	雷射能量	≤ 120 mJ @ 532 nm
4	光學鏡頭	焦距：1000 mm，口徑：102 mm，焦比：F/10
5	光電倍增管	Head-on type 增益比 < 10 ⁶
6	多頻道分析儀	Bins per channel: 6 to 16383; Base Clock Rate: 250MHz
7	鑑別器	300 MHz
8	遙測距離	≤ 5000 m
9	距離解析度	≤ 10 m
10	掃描範圍	仰角-60－90°; 方位角 0－180°
11	掃描最小解析角度	≤ 0.1°
12	懸浮微粒濃度量測範圍	1 μg/m ³ －100 mg/m ³ *註 ¹
13	二氧化硫濃度量測範圍	1 ppb－300 ppm *註 ²
14	氮氧化物濃度量測範圍	1 ppb－300 ppm *註 ²
15	操作人機介面	DMARK-LIDAR
16	雲端資料服務系統	SBASE-LIDAR
17	電源	110 VAC 50－60Hz
18	耗電量	全功率 < 2000 W (含溫控系統)
19	工作環境	0－50 °C

*註¹：濃度以消光係數轉換而得，視大氣擴散情形而定 (最大誤差 ~50%)。

*註²：濃度以差異吸收方式量測，視大氣擴散情形而定 (最大誤差 ~50%)。



圖 2. 光達網絡 (Net-Work) 系統。

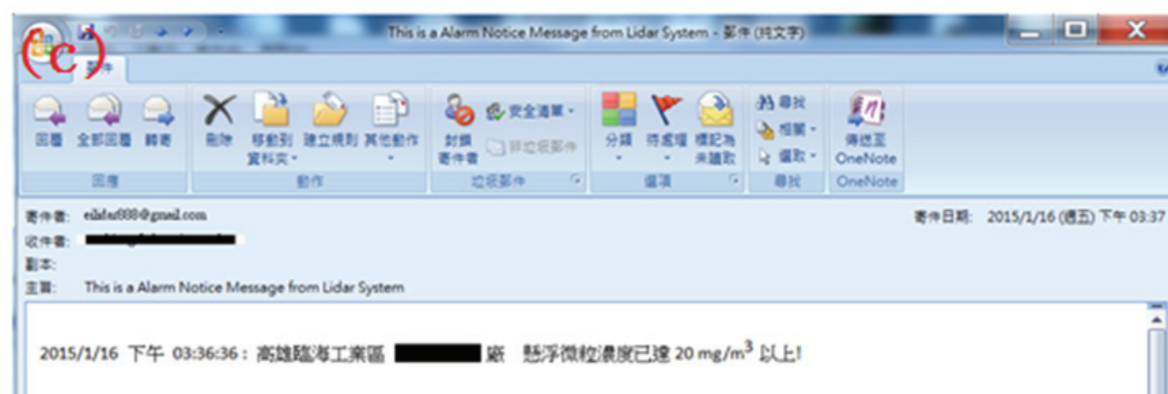
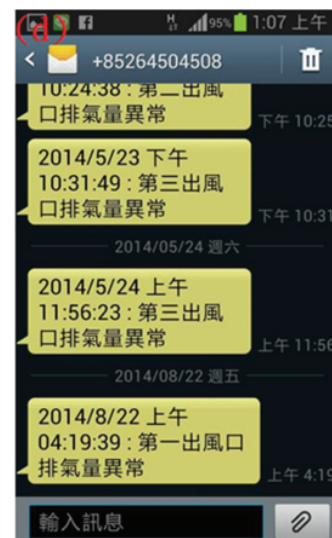


圖 3. (a) 後台管理登入介面，(b) 後台管理中圖檔分類管理功能選項之分類權限，(c) E-mail 簡訊通知，(d) 手機即時訊息通知。

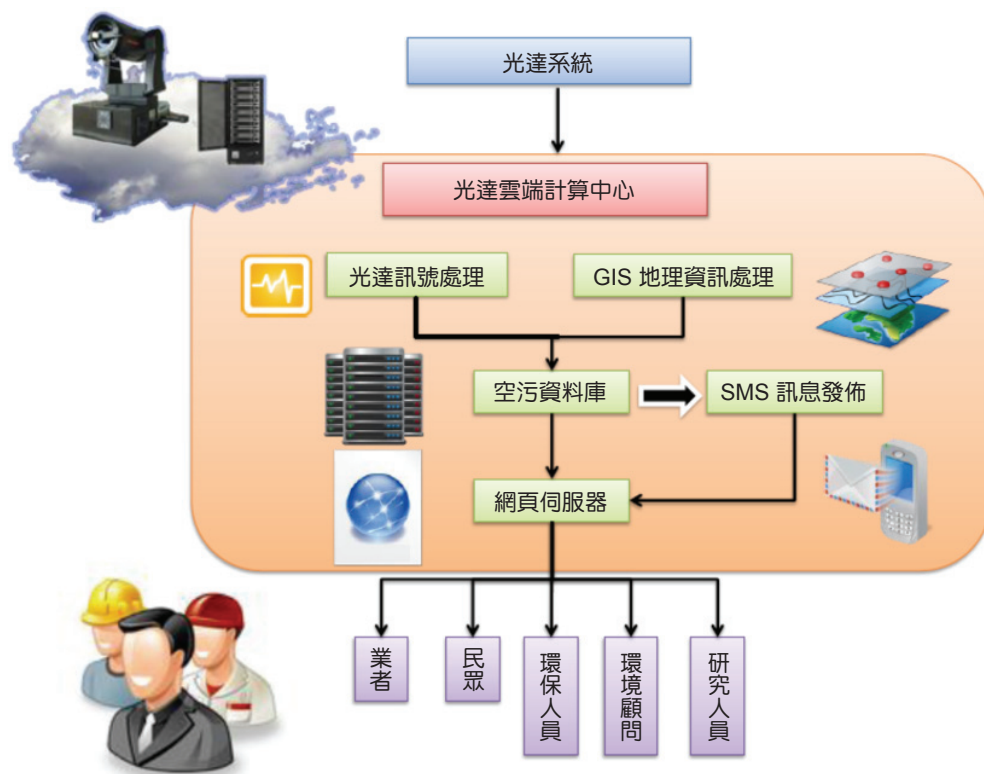


圖 4.
光達雲端運用流程圖。

訊傳送至遠端資料庫系統儲存運算，也可提供學術、政府單位、相關業者或民眾下載使用，相關流程如圖 4 所示。

2. 即時行動稽查程式開發

將光達監測資訊與管制標的 (工業區工廠) 相關資訊，上傳至雲端資料庫並利用 Eclipse 軟體開發行動稽查應用程式 (APP)，提供相關人員利用行動設備隨時查詢與資料上傳／下載更新等。開發介面與執行結果如圖 5(a)－5(e) 所示，提供工業區資訊、廠商位置分佈、廠商資訊、許可證查詢等全方位行動資訊雙向服務，增加光達相關監測結果與廠商之製程、廠內設備和廢棄物貯存設施配置情形等相關資料比對運用和提升現場稽查或輔導監督管理之作業效率。

四、應用案例

1. 環境稽查

於工業區適當之場址設置 3-D 光達系統 (如圖 6 所示)，掃描篩選污染排放管道之位置與濃度

(如圖 7 所示)，並於監控中出現污染排放超標之情事，即時將相關資訊通報環保人員，以利其進行查核該工廠是否依照操作許可證核定內容操作。

如此藉由光達之大範圍快速即時掃描監測，並配合地面環保人員進行地面稽查作業，成功舉發工業區內數處違法排放和違反操作許可 (如圖 8 所示) 之廠商，成效斐然⁽⁹⁻¹¹⁾。

2. 河川揚塵掃描監測

運用 3-D 掃描式光達系統進行濁水溪揚塵掃描監測工作，光達設置 (如圖 9 所示)。對濁水溪裸露地揚塵逸散源與擴散影響範圍進行瞭解。結果顯示於濁水溪河床彎曲處，和出海口處有零星之揚塵現象 (如圖 10 所示)，並針對揚塵處執行稻草插植和鋪設水線等作業，可有效避免裸露地形成揚塵。此外掃描監測結果也顯示邊界層高度低 (< 250 公尺)，擴散不易，附近地面測站也會出現空氣品質不良之現象。

3. 空氣污染排放通量

對燃燒塔 (Flare)，如圖 11(a) 所示，進行污染



圖 5. (a) 行動稽查應用程式 (APP) 之 icon，如圖中紅圈所示，(b) 工業區資訊查詢，(c) 廠商位置分佈查詢，(d) 廠商資訊查詢，(e) 廠商許可證查詢。



圖 6. 於工業區設置 3-D 光達系統

排放通量 (Flux) 評估，方法為利用光達進行 3-D 垂直掃描 (如圖 11(b) 所示)，選取鄰近燃燒塔之掃描截面資料，計算相臨掃描截面間之懸浮微粒移動距離，再除上量測時間，以求得概略之風速。而燃燒塔的通量估算，主要是在燃燒塔下風處，以光達由上而下掃一縱面，此一縱面垂直風速方向，離燃燒塔下風處 1-2 百公尺，避免離地面燃燒塔的煙囪口過近，使煙囪口流速造成誤差，將掃描的縱面懸浮微粒濃度積分 (即可得 $x \mu\text{g}/\text{m}^3$ 乘上掃描面積 $y \text{ m}^2$)，再乘上垂直光達掃描面的風速 $z \text{ m/s}$ ，就得到地面燃燒塔流量 $x * y * z \mu\text{g/s}$ 。光達監測結果如圖 12 所示。大多數之煙流濃度分佈於煙道口 50-170 公尺間之高度，其中主要濃度分佈於煙道口附近 ~15 公尺內，而濃度傳送與擴散範圍可達 ~900 公尺。結果顯示光達與理論模式對特定管道污染排放情形如污染物質排放高度、擴散範圍等有近似之結果⁽¹²⁾，且通量計算也與管道實際排放流量成高度線性相關。因此此項分析監測技術將有助於瞭解工業區內污染排放情形和排放總量對週遭環境影響等研究。

4. 料堆揚塵防治

鋼鐵業每天都使用大量的粉狀物料，這些物料大部分都露天堆放，露天料堆場揚塵不僅會在下風處形成粉塵污染還會損失物料，造成業者經濟損失。目前常見抑制揚塵之相關防治措施為採用噴霧灑水、噴灑化學防塵劑和設置防塵柵網。而料堆場揚塵逸散範圍、濃度變化和逸散時間仍無法精確掌握，因此利用光達進行掃描監測 (如圖 13 所示)，

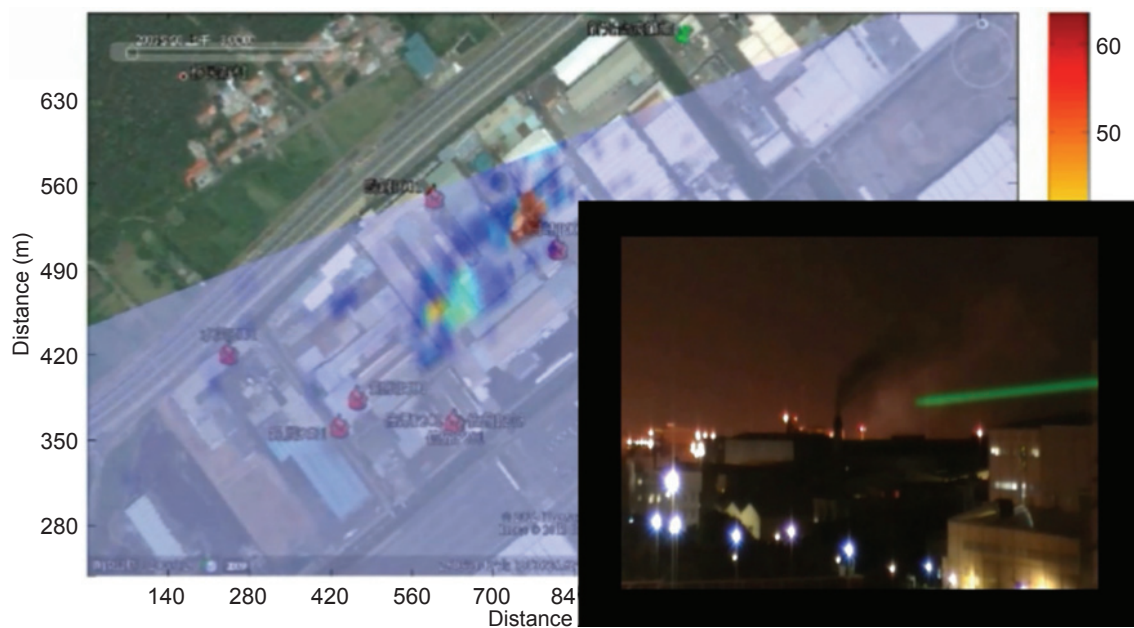


圖 7. 掃瞄污染排放管道之位置與濃度。



圖 8. 稽查人員現場稽查之違法事證 (a) 濃濃白煙排放、(b) 未達操作溫度即處理高含氯之廢液、(c) 防治設備未開啟、(d) 恣意燃燒廢棄物等。



圖 9. 光達固定站架設於觀測地現況。



圖 10. 光達之掃瞄揚塵之觀測結果。

追蹤和定位揚塵逸散位置與超標時間等資訊，如圖 14 所示，當料堆揚塵逸散面積擴大時 (如圖 14(a) 中藍色擴散面積)，即時通報相關人員，搭配噴灑水系統控制的管控措施，進行抑制揚塵，如圖 15 所示，以降低料堆揚塵擴散面積 (如圖 14(b)–(c) 所示)。

五、結論

雖然近年來環保單位對空氣污染監測與控制不遺餘力，空氣品質惡化的現象已逐年趨緩。但當空氣污染緊急事件發生時之處理過程仍彰顯污染源追蹤、污染物擴散和污染物種類等的監測依然相當棘

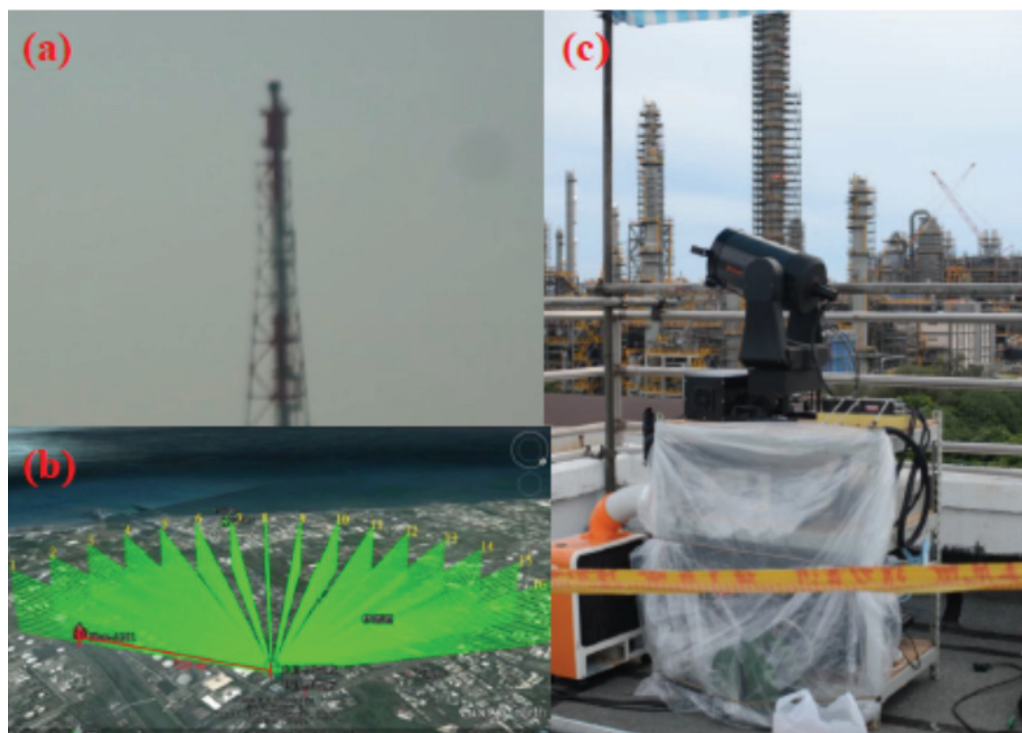


圖 11.
光達系統架設與管道
監測情形。

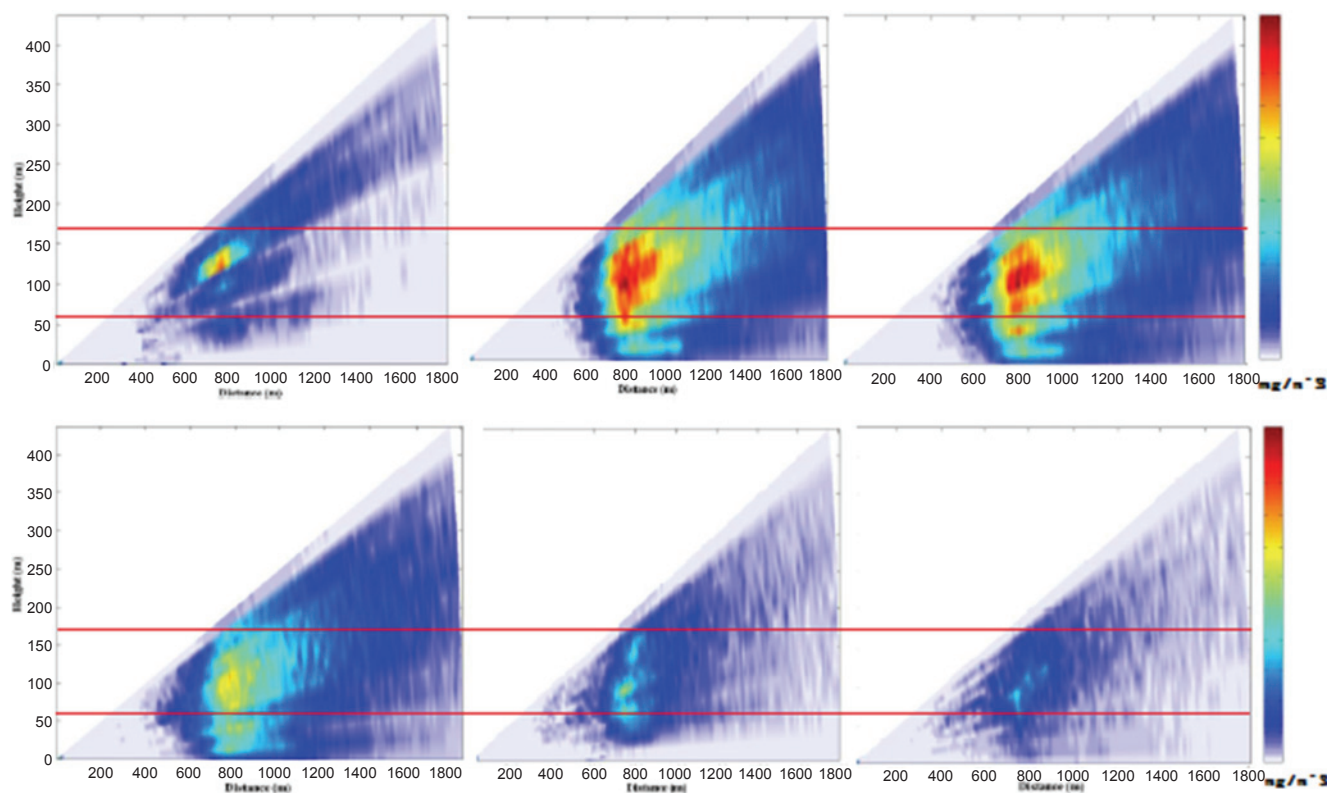


圖 12. 光達 3-D 掃描剖面結果。

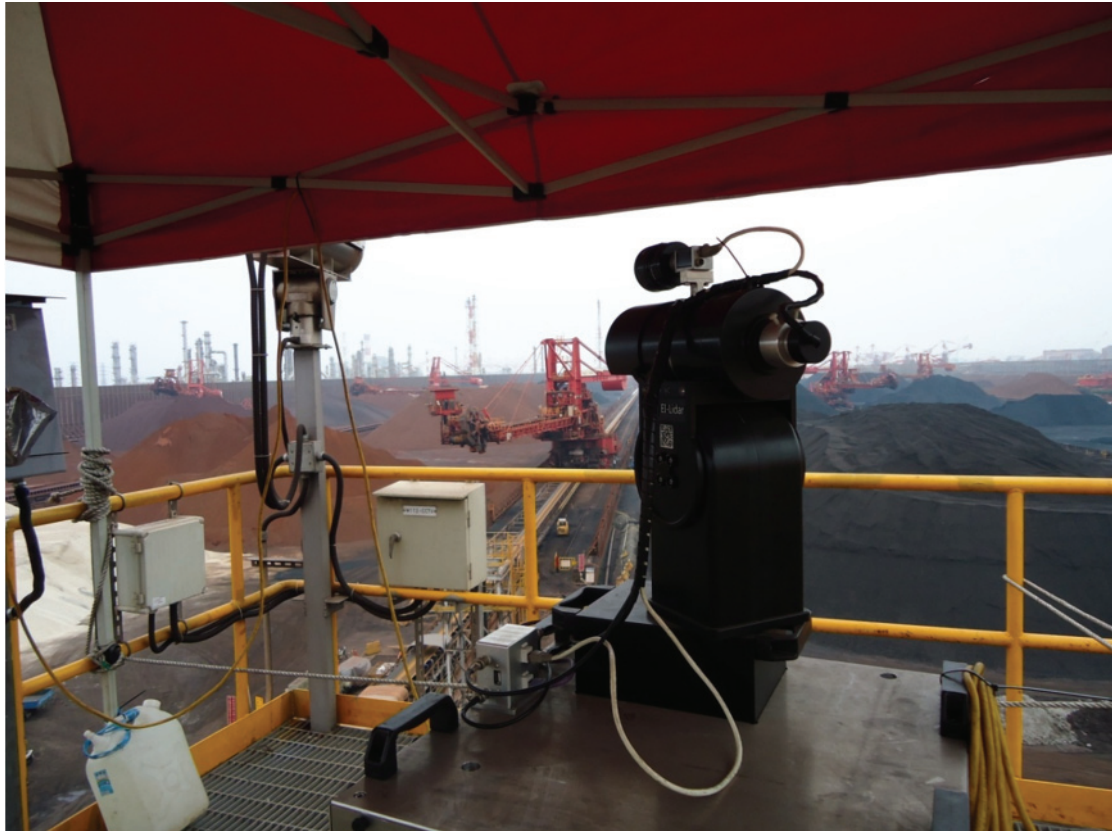


圖 13. 架設於料堆場之光達監測系統。

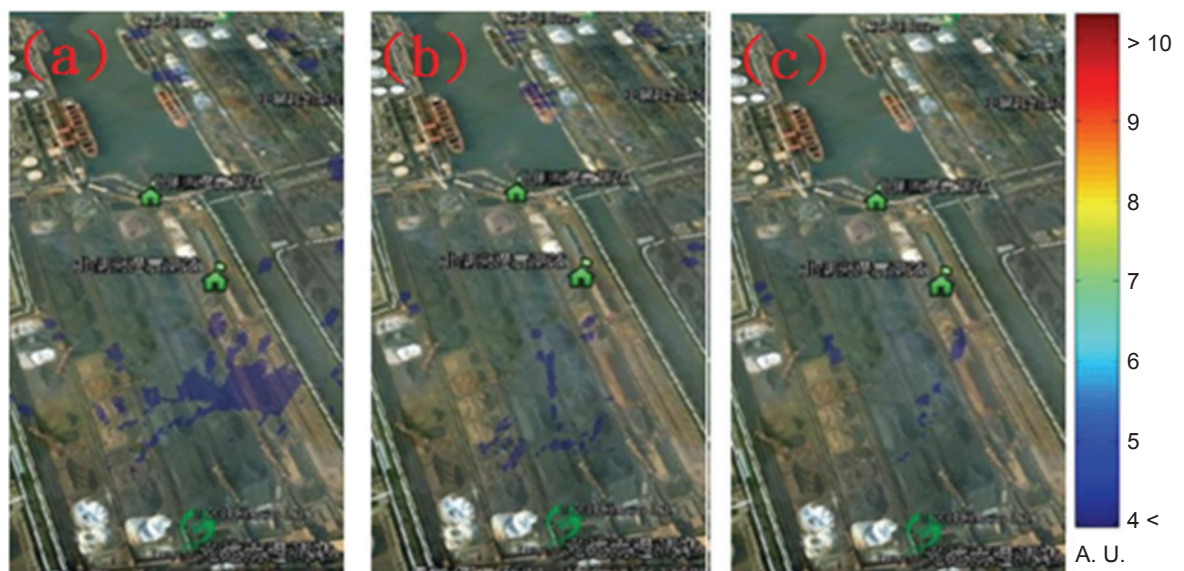


圖 14. (a) 揚塵量超標，(b) 進行抑制揚塵之相關防治措施，(c) 揚塵量降低。



圖 15. 抑制揚塵之灑水防治措施。

手。而迅速將資訊整合、配合相關專業調度進而提升稽查管制效能、杜絕污染源維護空氣品質，是本項新技術之應用領域。由於目前新監測設備中有光達的加入，結合地理資訊系統能快速呈現污染源和污染物擴散之影響範圍，並以雲端技術和行動稽查應用程式，提供相關人員快速有效之資訊服務，有助於稽查人員對污染源與空氣污染排放，進行更有效率之稽查管制工作。

國內目前此一自行開發的 3-D 掃瞄式光達觀測系統，不僅對於在研究長期環境變化上提供一個更具效率、方便且不受時間、空間與人力限制之系統與方法，也能節省所需之龐大經費，對於國內遙測技術和應用上也將有所突破。未來將持續利用光達系統所涵蓋面積廣泛且具有即時之特性，建置台灣自主的全方位光達觀測網 (Taiwan Lidar Network) 系統，將光達系統多功能化、精緻化、網路化以達到全天候即時自動監測、預警、資料分享與連結等功能，這將為台灣在雷射遙測開創嶄新的一頁，使環保單位在實際監測作業過程中，能有更多的參考資訊用以擬定相關政策和維護空氣品質。

誌謝

感謝科技部與經濟部經費之補助和環保署、桃園環保局、高雄環保局、新北市環保局、台南市環保局、雲林縣環保局、南投縣環保局、工業技術研究院與中鋼公司等之協助。

參考文獻

1. H. Edner, P. Ragnarson, and E. Wallinder, *Envuron. Sci. Technol.*, **29**, 330 (1995).
2. 江智偉, 達斯, 廖煌時和倪簡白, 科儀新知, **31**, 30 (2010).
3. <http://youtu.be/76vuok0PAEU>, 民視新聞.
4. <http://youtu.be/ZHdJVNkRm3U>, 發現新台灣.
5. C. W. Chiang, S. K. Das, H.-W. Chiang, J.-B. Nee, S.-H. Sun, S.-W. Chen, P.-H. Lin, J.-C. Chu, C.-S. Su, and L.-S. Su, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.*, **4**, 165 (2014).
6. F. J. McClung and R. W. Hellwarth, *J. Appl. Phys.*, **33**, 828 (1962).
7. G. Fiocco, and L. D. Smullin, *Nature*, **199**, 1275 (1963).
8. M. G. H. Ligda, *Proc. Conf. Laser Technol.*, 1st, San Diego, Calif., 63 (1963).
9. 深夜排廢氣 3D 雷達揪得住, <http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/444156>, 自由時報 (2010).

10. 3D 光學雷達持續監測, 南投掌握空污排放狀況, <http://history.n.yam.com/greatnews/life/20130410/20130410375284.html>, 大成報 (2013).
11. 違反空汙法龍潭合力旺環保科技遭勒令停工, <http://www.nownews.com/n/2014/01/14/1089051>, NOWNEWS (2014).
12. 江智偉, 結合拉曼與測風光達量測工業區空氣污染排放通量並與 ISCST3-PRIME 模式分析比較, 科技部補助專題研究計畫 (2014).



江智偉先生為國立中央大學物理博士，現任崑山科技大學機械工程系助理教授。

Chih-Wei Chiang received his Ph.D. in physics from National Central

University. He is currently an assistant professor in the Department of Mechanical Engineering of Kun Shan University.



江宏偉先生現為崑山科技大學機械工程所博士班學生。

Hong-Wei Chiang is currently a Ph.D. candidate in the Department of Mechanical Engineering at Kun Shan

University.



孫書煌先生為國立成功大學機械博士，現任崑山科技大學機械工程系副教授。

Shu-Huang Sun received his Ph.D. in mechanics from National Cheng Kung

University. He is currently an associate professor in the Department of Mechanical Engineering at Kun Shan University.



陳建霖先生為崑山科技大學機械工程所碩士班學生。

Chien Lin Chen is currently a M.S. student in the Department of Mechanical Engineering at Kun Shan

University.



蘇良軒先生為長庚大學機械工程碩士，目前為達奈美克股份有限公司工程師。

Liang Hsuan Su received his M.S. in mechanics from Chang Gung

University. He is currently an engineer in the Dmark Co., Ltd.



李易錫先生為國立中央大學天文所碩士，目前為環資光達股份有限公司工程師。

Yi-Hsi Lee received his M.S. in astronomy from National Central

University. He is currently an engineer in the EI-LIDAR Co., Ltd.