

出國報告（出國類別：實習）

# 赴荷蘭能源研究中心(ECN)進行離岸海 氣象量測技術與實務規範技術交流

服務機關：台灣電力公司再生能源處

姓名職稱：孫睿鴻 / 機械工程專員

派赴國家：荷蘭

出國期間：106.6.11~106.6.17

報告日期：106.7.8

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴荷蘭能源研究中心(ECN)進行離岸海氣象量測技術與實務規範技術交流(實習)

頁數 34 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

孫睿鴻/台灣電力公司/再生能源處/機械工程專員/04-26580151 # 4221

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：106/6/11~106/6/17 出國地區：荷蘭

報告日期：106年8月2日

分類號/目

關鍵詞：海氣象觀測塔、運轉維護及管理。

內容摘要：

配合政府「千架海陸風力機」計畫推動目標，於114年前完成國家3,000 MW 離岸風場設置。本出國計畫係赴荷蘭能源研究中心（Energy research Centre of the Netherlands, ECN）實習，借重其發展多年且成熟之離岸海氣象量測技術、管理與相關實務經驗，作為後續辦理各期離岸計畫推動時相關海氣象觀測業務應用之參考。

# 目錄

一、	行程表與團員名單 .....	6
二、	目的 .....	8
三、	過程說明 .....	9
	荷蘭能源研究中心 (Energy research Centre of the Netherlands).....	9
	(一) Introduction ECN Wind Energy.....	9
	(二) 感測器、安裝、校正及量測鏈 (Sensors, Installation, Calibration, Measurement chain) .....	12
	(三) 資料的擷取及管理、運轉維護 (Acquiring and management of measured data, Operation& Maintenance).....	17
	(四) 光達在 ECN 應用的概述(LiDAR at ECN:An overview ).....	19
	(五) 現場參訪氣象觀測塔 (Visit Meteorological Masts at EWTW, (ECN Wind turbine Test site Wieringermeer)) .....	21
	(六) 海氣象觀測塔的日常運作 (Daily operation of an offshore Meteorological Mast) .....	27
四、	心得與建議事項 .....	33

## 圖目錄

圖 1、荷蘭能源研究中心總部.....	10
圖 2、荷蘭研究中心內最早的原型風機現為地標.....	10
圖 3、ECN 商務拓展經理 Glen Donnelly 介紹荷蘭能源研究中心.....	11
圖 4、ECN 商務拓展經理 Glen Donnelly 介紹 ECN 風機測試場 Wieringermeer.....	11
圖 5、ECN Erwin Werkhoven 工程師講解風向量測相關理論.....	13
圖 6、北海(North Sea) Ijmuiden 海氣象觀測塔位置.....	13
圖 7、Ijmuiden Meteorological Mast.....	14
圖 8、Rotor Equivalent Wind Speed, REWS.....	15
圖 9、海測塔結構造成的尾流效應.....	15
圖 10、混疊效應(Aliasing).....	16
圖 11、Ingmar Alting PM 講解資料的擷取及管理.....	18
圖 12、Dr. Jan Willem Wagenaar 講解 LiDAR 相關應用.....	20
圖 13、ECN 風機測試場(EWTW).....	22
圖 14、ECN 風機測試場辦公室.....	23
圖 15、陸域氣象觀測塔 1 號(高度：108 m).....	23
圖 16、安裝儀器之延伸桿.....	24
圖 17、Gerben Bergman 工程師講解爬塔所需安全裝備.....	24
圖 18、氣象觀測塔旁電氣室.....	25
圖 19、資料擷取系統(DAQ)盤.....	25
圖 20、風機測試場的地面型 LiDAR.....	26
圖 21、Hans Vefhoef 講解海氣象觀測塔的日常運作.....	28
圖 22、ECN 使用過的浮標及測試風機鳥擊檢測系統用的假鳥(網球).....	28
圖 23、海氣象塔底架設之 LiDAR.....	29
圖 24、地面型的 LiDAR.....	30
圖 25、儀器管理及校正文件等相關資料存檔.....	30
圖 26、設置海象量測浮球錨定用鐵鍊.....	31

圖 27、頒發訓練證書 .....	31
圖 28、結訓合影 .....	32
圖 29、離開 ECN 前與旗幟合影紀念 .....	32

## 一、 行程表與團員名單

行程表

日期	行程
106/06/11~12 ( Sun. Mon. )	去程
106/06/13 ( Tue. )	進行理論介紹課程與互動討論。 (海氣象觀測塔、可進行有效量測的感測器、儀器(感測器)校正、儀器管理)
106/06/14 ( Wed. )	進行理論介紹課程與互動討論。 (資料庫及資料處理、海氣象觀測系統之運維、品質系統及其關鍵要素、海氣象量測新趨勢 LiDAR/SoDAR )
106/06/15 ( Thu. )	前往觀測塔現場及資料擷取系統硬體講解。 (赴觀測塔、有關海測塔的 QHSE、海測塔的日常運作)
106/06/16~17 ( Fri.~Sat. )	回程

### 團員名單

單位	職稱	姓名
國立嘉義大學	副教授	余政達
國立成功大學	助理研究員	宣崇堯
	助理研究員	涂謙誠
力鋼工業股份有限公司 再生能源發展中心	主任	蔡凌鳳
	企劃專員	黃穎彤
台灣電力股份有限公司 再生能源處	機械工程專員	孫睿鴻
工業技術研究院-綠能與環境研究所 風能開發研究室	研究員	林勝豐
金屬工業研究發展中心 金屬製程研發處 金屬材料設備組	工程師	容丕達
	工程師	康智閔

\*共 9 位團員

## 二、 目的

配合政府「千架海陸風力機」計畫推動目標，於 114 年前完成國家 3,000 MW 離岸風場設置。本公司依經濟部能源局「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」已於彰化王功外海建置海氣象觀測塔並與成大合作進行觀測及評析作業，望取得本公司彰化離岸一期風場之風況資料。惟本公司對離岸海氣象量測上無任何經驗，故有必要赴先進國家借重其發展多年且成熟之離岸海氣象量測技術與實務規範，透過本次赴荷蘭能源研究中心（Energy research Centre of the Netherlands, ECN）實習，吸取其海氣象量測上的技術及管理經驗，作為後續辦理離岸海氣象觀測及相關業務應用之參考，亦為後續整體離岸風力發電計畫預做準備。



### 三、 過程說明

荷蘭能源研究中心

(Energy research Centre of the Netherlands)

#### (一) Introduction ECN Wind Energy

■ 時間：6 月 13 日（星期二）上午

■ 講師：

Glen Donnelly, Business Development Manager Wind Energy,  
ECN

Hans Vefhoef, Project Leader Measurement, ECN

■ 實習紀要：

荷蘭能源研究中心簡稱 ECN(Energy research Centre of the Netherlands)，總部位於荷蘭西北岸靠海的 Petten，屬於 North Holland 省。ECN 總部門口管制是特別的嚴格，進入需要護照登入換證，然後攜帶的行李均需要經過詳細檢查後方可進入研究中心內部，後來聽介紹之後才知道研究中心內部有核子反應爐所以得非常嚴格管制出入，就像我們核能電廠一樣，也因為如此 ECN 總部需要設置於距離大城市 Amsterdam 有一段距離的 Petten。總部內某些建築以 BIPV(光電)的方式建造，總部緊鄰北海故有非常多的海鷗在這翱翔著，但也帶來了非常多的鳥屎。我想應該對光電部門一定非常的困擾，商務拓展經理 Glen Donnelly 還告訴我有些時候會被滴到呢。

ECN 是全球最大的能源研究中心之一，對各種能源都有深入的研究，近期更主要聚焦在太陽光電、風力發電、生質能源、能源效率、環境評估及能源相關政策的研究。風能部門主要從事風能分析、風機葉片震動、葉片材料、鳥擊、

風力發電機原型機測試等相關議題研究致力於降低離岸風力發電的成本，進而能提升產業的競爭力。



圖 1、荷蘭能源研究中心總部



圖 2、荷蘭研究中心內最早的原型風機現為地標



圖 3、ECN 商務拓展經理 Glen Donnelly 介紹荷蘭能源研究中心



圖 4、ECN 商務拓展經理 Glen Donnelly 介紹 ECN 風機測試場  
Wieringermeer

## (二) 感測器、安裝、校正及量測鏈

### (Sensors, Installation, Calibration, Measurement chain)

■ 時間：6月13日(星期二)下午

■ 講師：

Erwin Werkhoven, Lead Engineer, Meteorological Measurements

■ 實習紀要：

第一天下午的部分由 ECN 的首席工程師 Erwin Werkhoven 講解有關海測塔的量測的國際規範及相關理論等，Erwin 是非常有經驗的工程師，在 ECN 服務 30 年，專長包含海氣象量測、功率性能量測及機械負載量測等，執行位於北海(North Sea)離岸的 IJmuiden Meteorological Mast 四年的量測計畫(圖 6、圖 7)。

課程內容首先針對 IEC 61400-12-1 規範，詳細解釋感測器量測時應符合的條件，以及今年(2017 年)最新發布的「等效葉輪(轉子)風速(Rotor Equivalent Wind Speed, REWS)」(圖 8)及其在不同條件下應選用的相關量測方式等，部分條件可選用 RSD(Remote sensor Device，例如 LiDAR 等裝置)。

接著課程包含量測時機械特性及電性上應該特別注意、容易發生失真的地方，像是海測塔結構本身會造成的風速及風向改變(尾流效應)(圖 9)、固定橫桿造成的風速改變、風速計本身安裝垂直度(或海測塔本身晃動)對量測數據的影響以及感測器和整個資料擷取(DAQ)系統在安裝上應注意的避雷保護、接地的連接方式等。

最後則是量測儀器的校正、管理以及整個量測鏈當中容易發生問題的地方。校正個儀器及系統均需可追溯至國際標準；管理上則須將各儀器完整建檔(儀器明成、編號或序號、



量測平率、增益值、偏移值、物理量單位等)；針對量測時易發生混疊效應(Aliasing)的部分(圖 10)加以說明並講解應採取的對策。

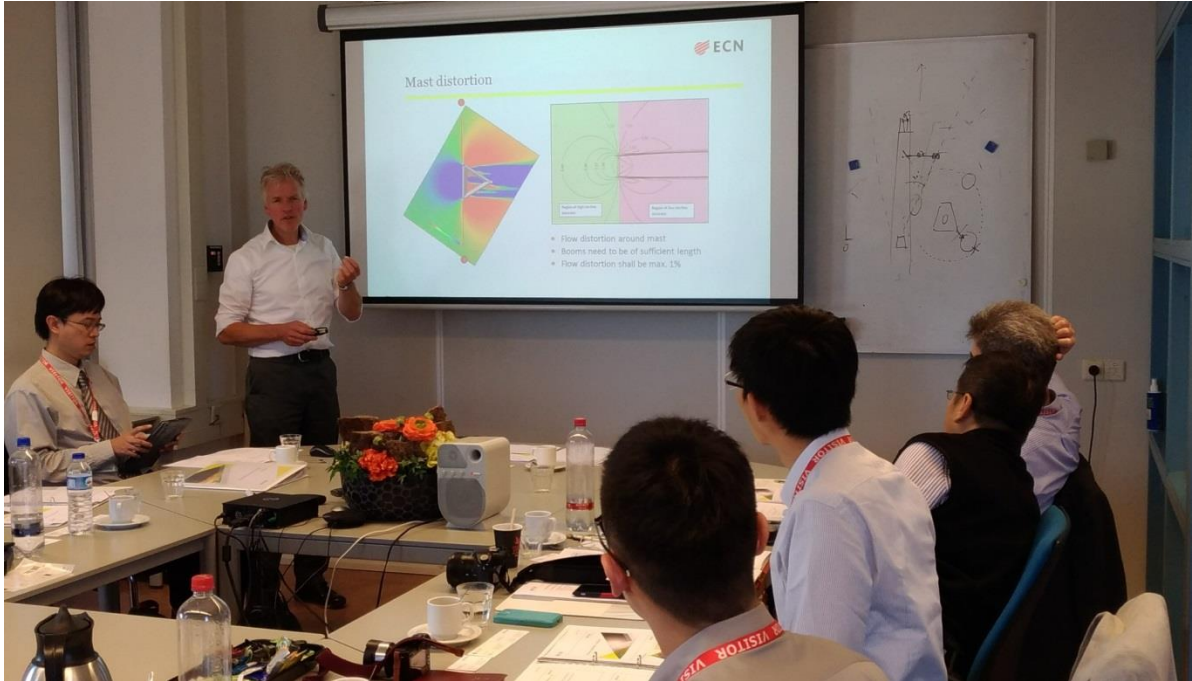


圖 5、ECN Erwin Werkhoven 工程師講解風向量測相關理論



圖 6、北海(North Sea) Ijmuiden 海氣象觀測塔位置

圖片來源：<http://www.meteomastijmuiden.nl/typo3temp/pics/00f8070e0b.jpg>

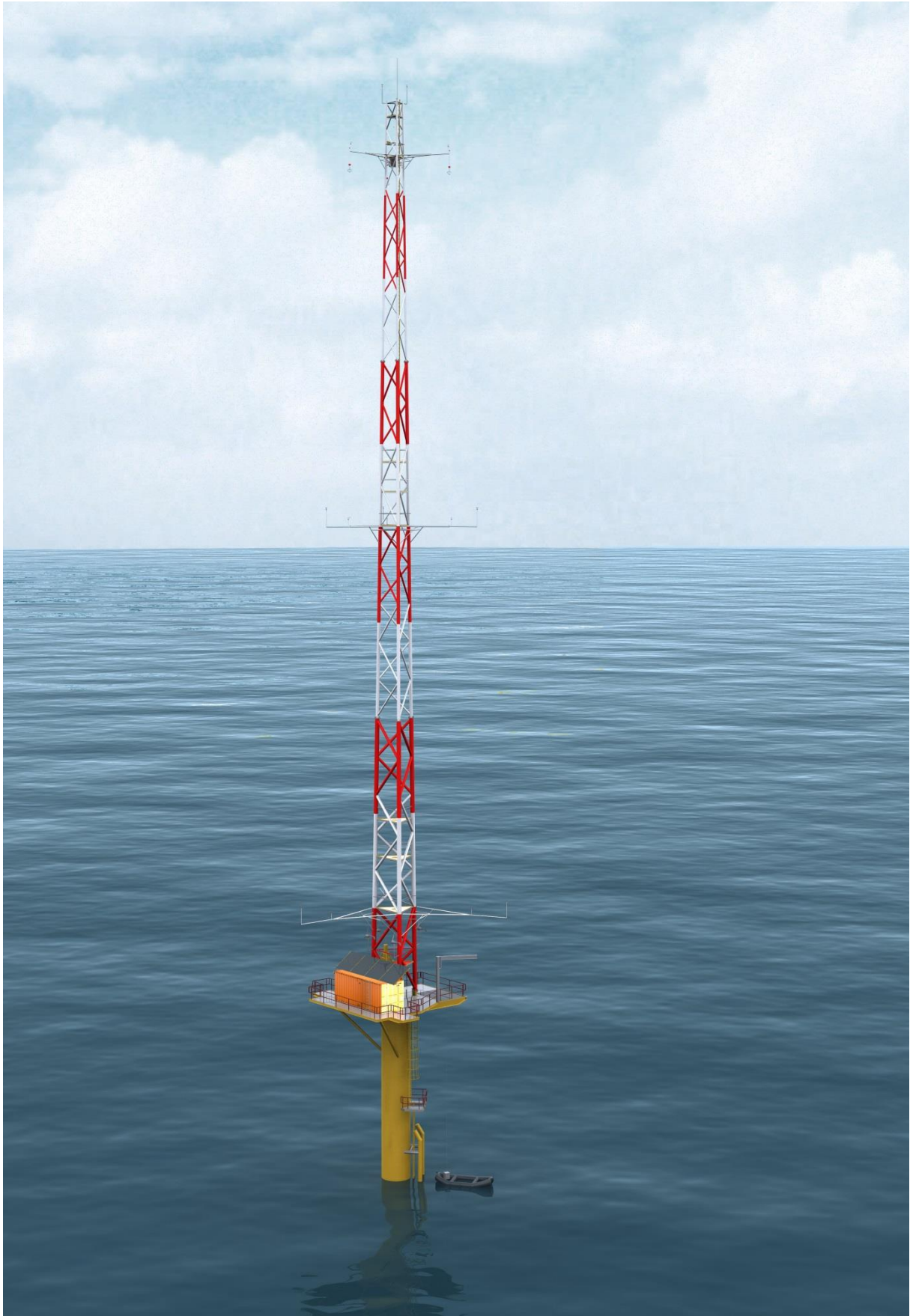


圖 7、IJmuiden Meteorological Mast

圖片來源：[https://www.ecn.nl/uploads/pics/Artist\\_Impression\\_Meteomast\\_01.jpeg](https://www.ecn.nl/uploads/pics/Artist_Impression_Meteomast_01.jpeg)

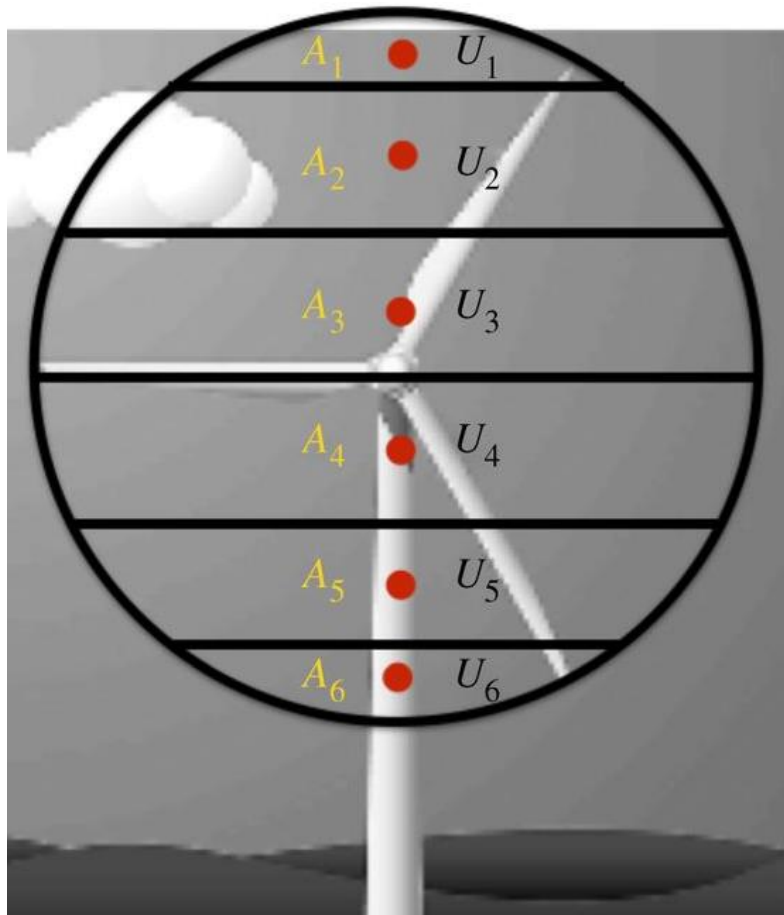


圖 8、Rotor Equivalent Wind Speed, REWS

圖片來源：<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/375/2091/20160109/F4.large.jpg>

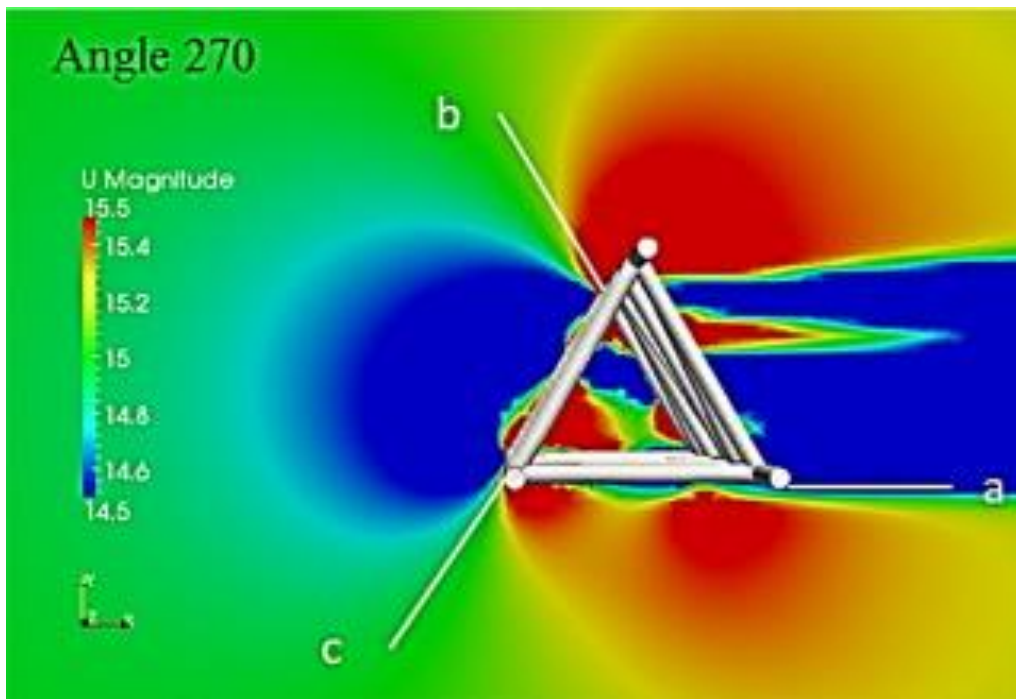
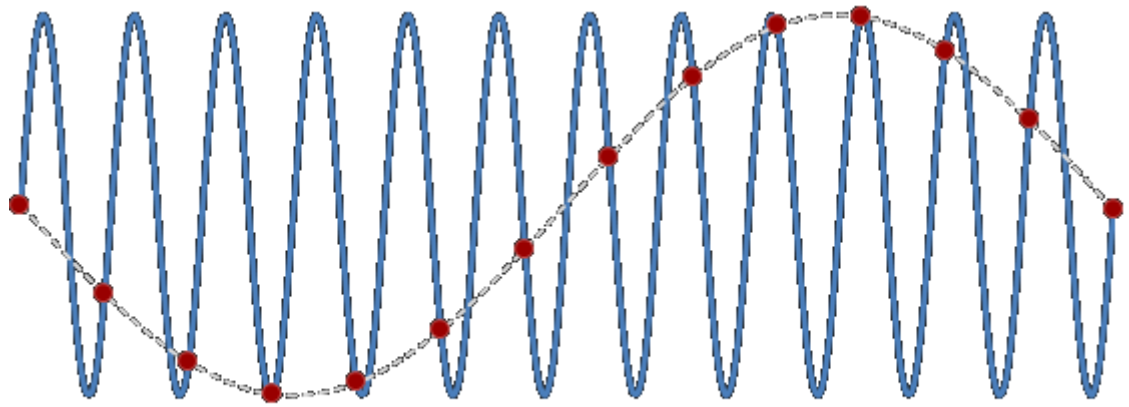


圖 9、海測塔結構造成的尾流效應

圖片來源：<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0167610514000804-gr9.jpg>



ORIGINAL SIGNAL

DISCRETE MEASUREMENTS

圖 10、混疊效應(Aliasing)

圖片來源：[https://s3.amazonaws.com/red\\_3/uploads/asset\\_image/image/519d5a3da48c3719b5000a58/nyquist1.png](https://s3.amazonaws.com/red_3/uploads/asset_image/image/519d5a3da48c3719b5000a58/nyquist1.png)



### (三)資料的擷取及管理、運轉維護

#### (Acquiring and management of measured data, Operation & Maintenance)

■ 時間：6月14日(星期三)上午

■ 講師：

Ingmar Alting, Project Manager, Measurements & Experiments, ECN

Erwin Werkhoven, Lead Engineer, Meteorological Measurements

Hans Vefhoef, Project Leader, Measurement, ECN

■ 實習紀要：

第二天的上午由專案經理 Ingmar Alting 及首席工程師 Erwin Werkhoven 來講授量測資料的擷取與管理及運轉維護。內容首先介紹了 ECN 的整個資料擷取的大架構、將信號同步的方式觀念，使用的概念、軟體鏈。

接著針對資料可用率及檢查做進一步的說明，目標是能達到最高的 100% 資料可用率，ECN 目前資料可用率約為 98%。主要提到要有好的資料的可用率取決於四點包含 1. 資料的輸入、2. 自動驗證、3. 規則式驗證、4. 後(人工)驗證。其他還包含了整體風資料的管理系統、資料回復及資料印象、日常的資料處理模式，例如檢視各種資料的日曲線來研判可能的情況以及作適當的調整或資料的取捨(若需排除資料點時僅用標註的方式，不會將資料直接刪去)。

接著講解應建立量測資料的進度報告，其內容包含信號列表、儀器紀錄表、信號狀態(每日所有信號狀況報表)、儀器校正檢查、信號可用率、擷取矩陣(capture matrix，用來確認群組的信號收集完整性)以及繪製各種不同的曲線圖或

分佈圖 (資料對時間、資料對風速等)來輔助日常信號檢查。  
最後則是儀器的維護計畫，包含維護人員、維護頻率及維護  
項目內容均須紀錄下來。



圖 11、Ingmar Alting PM 講解資料的擷取及管理

#### (四) 光達在 ECN 應用的概述(LiDAR at ECN:An overview)

■ 時間：6 月 14 日（星期三）下午

■ 講師：

Dr. Jan Willem Wagenaar, Project Manager and Researcher,  
Coordinator R&D line Facilities and Experiments, ECN

■ 實習紀要：

第二天下午的部分由專案經理兼研究員 Jan Willem Wagenaar 博士講解有關 LiDAR 在 ECN 的相關應用等。Willem Wagenaar 有粒子物理學的碩士及博士學位，在 ECN 服務 8 年，專長包含功率性能理論、LiDAR 及尾流效應。

課程內容首先針對 LiDAR 做介紹，LiDAR(Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging)中文稱作光學雷達或雷射雷達或簡稱光達，是一種遠距量測技術，它通過向目標照射一束光，通常是脈衝雷射來測量目標的距離等參數。雷射雷達在眾多領域像是測繪學、考古學、地理學、地貌、地震及林業都有應用，此處則是針對應用於風能量測的部分。LiDAR 以量測方式來區分有脈衝式、連續波式及 3 光束式；以儀器架設方式來區分有地面型、機艙型及浮動式；此外還有掃描式。

使用光達的主要好處在於降低離岸風力發電的能源成本(Cost of Energy)，包含從前其的風能評估開始 LiDAR 逐漸有取代觀測塔的趨勢由於觀測塔造價較昂貴，此外風能評估的準確度也因為增加 LiDAR 的使用能更將精準；另外在控制的部分也能因增加使用 LiDAR 而減少迎風不精準的情況進而增加 1~2%的產能。

ECN 做了幾個應用 LiDAR 的實驗，第一個是使用地面型的 LiDAR 來比對 Metmast 的風杯式風速計及超音波風速計所量測的到的紊流強度，結果顯示由風杯式風速計及超

音波風速計所量測的到的紊流強度較低，尤其在低風速時更為顯著。第二個實驗使用地面型 LiDAR 量測等效葉輪(轉子)風速 REWS 比較輪轂高度風速(HH wind speed)，發現以 REWS 來估計年發電量大約有 0.8%的差異。第三個實驗使用機艙型的 LiDAR 比較 Metmast 所測得風速資料，結果相關度非常高，性能曲線也非常好。第四個實驗，使用機艙型的 LiDAR 至於機艙頂端向前量測然後讓機艙旋轉一周 360 度，來偵測亂流強度、再藉由比對亂流強度資料(TI)則可做尾流的辨認。第五個實驗則是使用機艙型的 LiDAR 至於機艙頂端向後量測來確認尾流的情形。



圖 12、Dr. Jan Willem Wagenaar 講解 LiDAR 相關應用

**(五) 現場參訪氣象觀測塔 (Visit Meteorological Masts at EWTW, (ECN Wind turbine Test site Wieringermeer))**

■ 時間：6 月 15 日 (星期四) 上午

■ 講師：

**Gerben Bergman**, Lead Engineer, Meteorological Measurements and Remote Sensing Devices, ECN

**Hans Vefhoef**, Project Leader, Measurement, ECN

■ 實習紀要：

ECN 風力發電機測試場位於 Wieringermeer 市，該測試場具有小型風力發電場與原型機測試場兩部分(圖 13)。小型風力發電場設有 5 台 Nordex N80 風力機，葉輪直徑與輪轂高度均為 80m，額定功率為 2.5 MW，風力機之間距為 300 m，每年能夠發電約 28,000,000 kWh，發電所產生之收入用於測試場相關研究中，並且該風場能夠用於相關研究開發之計畫，例如：風場營運與維護策略、風力機尾流效應以及風力機狀態監測…等。原型機測試場能夠提供風力機系統製造商租用四年至五年之場地，每年需支付租地費，但可回收風力機所產生電能收入，該原型機測試場域所條件可容納機艙高度最高 150 m、葉輪直徑最大 175 m 裝置容量 12MW 的風機，目前風力機有四個品牌(Siemens、GE、XEMC-Darwind 及 Alstom)其輪轂高度 85~100 m，葉輪直徑約為 88~122 m。

在測試場內共有三座氣象觀測塔，高度分別為兩座(MM-1、MM-3)108 m(圖 15)以及一座(MM-2)100 m，於風機輪轂高度處裝有三支延伸桿，分別於 0°、120° 以及 240° 方位，延伸桿上分別裝有風速計、風向計、溫溼度計以及大氣壓力計，除了輪轂高度之氣象儀器以外，ECN 會與製



造商討論輪轂高度以下儀器所需要安裝之高度與數量，以 MM-1 為例，輪轂高度下設有兩組延伸桿，並裝有風速計與風向計，用以計算風切效應以及相關參數之量測。安裝儀器之延伸桿(圖 16)，採用管件所組成之三角形結構，並以纜繩與纜繩捲收裝置連接至氣象塔上，若儀器需要更換或維修時，使用纜繩捲收裝置將延伸管拉回接近氣象塔。圖 17 為 ECN 講師講解攀登上氣象塔所需要之裝備，對於所有高空作業之人員，均必須通過高空作業訓練，若為離岸式氣象塔或是風力機，則需要另外通過 GWO 訓練。對於陸域氣象塔旁邊會設置一簡易型之電氣室(圖 18)，將氣象儀器所量測之訊號經由訊號線傳送至該電氣室之 DAQ 盤內(圖 19)，進行訊號擷取、轉換以及控制，並傳送至量測電腦進行統整，最後由光纖訊號線將所有資料傳送回中央控制中心。



圖 13、ECN 風機測試場(EWTW)



圖 14、ECN 風機測試場辦公室



圖 15、陸域氣象觀測塔 1 號(高度：108 m)



圖 16、安裝儀器之延伸桿



圖 17、Gerben Bergman 工程師講解爬塔所需安全裝備





圖 18、氣象觀測塔旁電氣室



圖 19、資料擷取系統(DAQ)盤



圖 20、風機測試場的地面型 LiDAR

## (六)海氣象觀測塔的日常運作

### (Daily operation of an offshore Meteorological Mast)

■ 時間：6月15日（星期四）下午

■ 講師：

**Hans Vefhoef**, Project Leader, Measurement, ECN

■ 實習紀要：

最後由項目負責人 **Hans Vefhoef** 向我們講解海氣象觀測塔的日常運作，首先運作一個量測計畫得有訓練有素的員工，而且能執行下列重要的角色的職務，包含項目負責人、首席工程師、儀器技術員、資料庫管理員、分析專家、儀器管理員，且若要赴海氣象觀測塔現場必須得受過 GWO(Global Wind Organisation)，以確保人員安全。

接著談到任何的工作都會先計畫完整才執行，必須掌握天氣、成本、團隊的核心能力、維護計畫。行動前會做好風險評估、行動報告後才實際行動。行動後得持續掌握整個計畫的狀況，故需要進度報告及相關儀器管理。

維護時需檢查海測塔結構項目需包含主要及附屬結構的檢查、平台的檢查、爬梯的檢查、防腐蝕系統的檢查、人員安全設施的檢查等項目。檢查時的重點包含確認有無疲勞裂紋、裂痕、凹痕或變形的情況、螺栓預緊狀況等須將各項目本次檢查情形與前次進行比對，再依據差異來決定是否另外檢測。水下結構檢查時的重點在於海洋生物附著檢查、確認結構有無裂縫及變形、水下防滔刷保護的情況。儀器檢查部分需除了記錄儀器更換的情況、電力系統及保護裝置亦須詳實記錄其運作情況。

最後結束前還帶我們參觀他們海測塔儀器儲藏室、相關文件保存地點參觀，最後參加課程的團員均獲得證書並且合影留念。



圖 21、Hans Vefhoef 講解海氣象觀測塔的日常運作



圖 22、ECN 使用過的浮標及測試風機鳥擊檢測系統用的假鳥(網球)





圖 23、海氣象塔底架設之 LiDAR



圖 24、地面型的 LiDAR

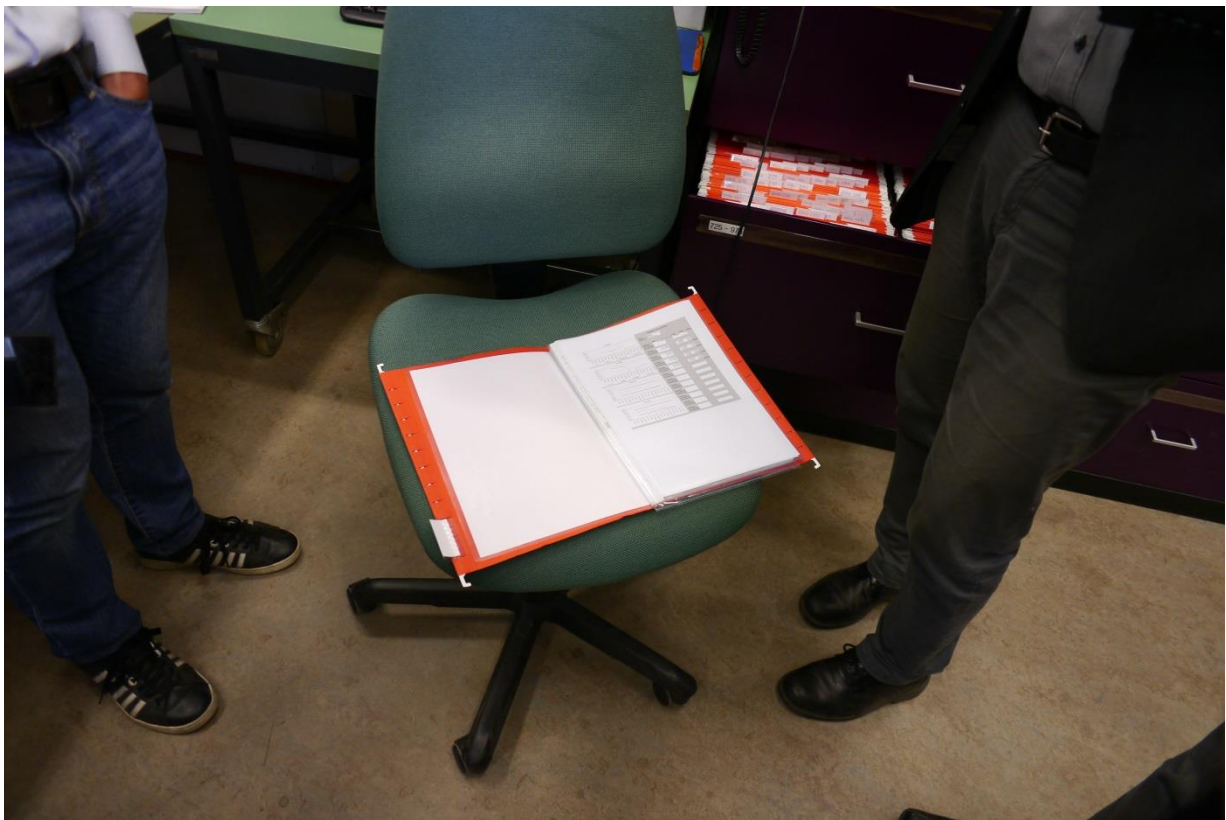


圖 25、儀器管理及校正文件等相關資料存檔





圖 26、設置海象量測浮球錨定用鐵鍊



圖 27、頒發訓練證書



圖 28、結訓合影



圖 29、離開 ECN 前與旗幟合影紀念



#### 四、心得與建議事項

職等有幸與成大等一行人共赴荷蘭拜訪荷蘭能源研究中心，出國計畫雖短短三天行程，但能增加海測塔量測實務方面的經驗，這一趟 ECN 之行了解荷蘭人管理海測塔的方式，包含前期的量測規劃到後端的資料處理都依循著國際規範或本身制定的規則辦理，感測器需遵循 IEC-61400-12-1 所制定之模式來架設，以確保感測器的支架本身對量測結果的影響能降到最低；感測器以及資料擷取儀器的電源需用串聯而不是並聯以避免接地迴路的雜訊；所有的感測器及儀器均需定期校正(依照儀器不同，遵循不同之規定)，並符合可追溯的原則；量測資料點位的命名有制定一套規則以確保能明確分辨該訊號之資訊。後端的資料處理也依循著程序先經由自動驗證、規則驗證後再由人工驗證模式來確保資料可用率。訓練中也提到分量測時會遇到的問題，這些經驗及模式非常值得公司學習，相信能少走很多不必要的路。

本次赴 ECN 風機測試場以為會讓我們爬氣象觀測塔，ECN 人員解釋需受過高空作業訓練才可上塔，雖然有點小失望但在管理上工安是非常重要的，堅持有他的道理。此部分亦為本公司應該持續努力的部分，現行推動各離岸風力發電計畫屬於政策重點項目，建

議所有相關工程人員、接管人員應該盡快安排接受相關工安訓練(如 GWO、高空作業訓練)以利後續工程進行。

本公司後續已規劃相關離岸風力發電計畫，各離岸風場亦有取得風場風資源資訊的必要，建議能嘗試 LiDAR 量測的模式來降低前期興建海氣象量測塔支出之相關費用，進而降低離岸風力發電的能源成本。