

C11201475

出國報告(出國類別:研究)

112年「為建立綠色智慧環境監測技術發展架構，進行國際港口新型海氣象設備、船舶航行安全與水工模型試驗等應用與實地技術學習」出國計畫

出國報告

服務機關：交通部運輸研究所

姓名職稱：李政達副研究員

派赴國家：法國布雷斯特

出國期間：112年6月19日至7月3日

報告日期：112年9月15日

112 年「為建立綠色智慧環境監測技術發展架構，進行國際港口新型海氣象設備、船舶航行安全與水工模型試驗等應用與實地技術學習」出國計畫

摘 要

為執行臺灣港埠智慧環境監測技術研發，與藉由與主要國際智慧港實地技術學習，以及整合各項海象觀測設備之 IoT 技術與觀念，本次交通部運輸研究所出國計畫於 112 年 6 月 19 日至 7 月 3 日於法國布雷斯特進行研究實習，學習進階雷達訊號調校與分析技術，並藉由與專家學者研究、交流與討論，汲取國際經驗；此外，透過實地研究與培訓，進行海洋雷達組裝演練，強化本所研究人員雷達實務能力，做為後續雷達站自主維護、提升能力與彌補國內雷達人力缺乏之問題，期盼藉由本報告詳實呈現，提供國內相關單位參考，有助於國內往後於新興觀測技術方面之發展。

112 年「為建立綠色智慧環境監測技術發展架構，進行國際港口新型海氣象設備、船舶航行安全與水工模型試驗等應用與實地技術學習」出國計畫

目 次

摘 要.....	I
一、目的.....	1
二、行程簡介	2
三、雷達技術訓練與研究	7
四、實地研究與培訓	25
五、參訪活動	30
六、研究心得與建議	36
附錄 A 研究與培訓資料.....	39
附錄 B 出國報告簡報.....	45

112 年「為建立綠色智慧環境監測技術發展架構，進行國際港口新型海氣象設備、船舶航行安全與水工模型試驗等應用與實地技術學習」出國計畫

李政達*

一、目的

交通部為提升運輸效率，本所利用新興科技監測海氣象，強化智慧應用，故於臺中港建置海洋陣列雷達(以下簡稱海洋雷達)觀測系統，現階段已達海洋波浪及表面海流時空觀測之目標，後續為完善港域海氣象即時監測，實現交通數位轉型智慧港埠，藉由本次出國計畫，研究國際智慧港之落地技術，俾推動各項海象觀測業務之整合。

此外，未來為發展海洋雷達船舶動態監控，以及提升雷達訊號調校與分析之業務需求，出國參與無線電海洋學實驗室(Radio Oceanography Laboratory)國際海洋雷達專家 Pierre Flament 教授與 Ocean Physics 公司安排於法國布雷斯特辦理之進階研究課程，以維持國內海洋雷達作業化的運作，強化我國海域防災、維持海域安全，以及緊急應變之評估能力，本次出國研究簡述如下：

- i. 前往原廠 Ocean Physics 公司進行海洋雷達實務訓練研究，學習進階雷達訊號調校與分析，並藉由與專家學者交流討論，以汲取國際經驗。
- ii. 前往法國海洋開發研究所 (Ifremer) 雷達站與首席研究員(Principal Investigator, PI) Louis Marié 博士進行研究交流，透過海洋雷達組裝演練，加強本所研究人員雷達實務能力，做為後續雷達站自主維護與效能提升之應用。
- iii. 由於國內雷達人力缺乏，透過培訓、共同學習與交換心得，能適時提升能力與彌補人力缺口。

* 交通部運輸研究所運輸技術研究中心副研究員

二、行程簡介

本次出國計畫地點位於法國布雷斯特，如圖 1 所示，布雷斯特是法國國防安全與貿易繁重的港口城市，當地擁有多個海洋科學與技術研究機構，例如：世界氣象組織與聯合國教科文組織政府間海洋學委員會聯合中心（OceanOPS）總部所在地、法國海洋開發研究所（Ifremer），使得布雷斯特成為國際海洋科學研究的重要所在地。



圖 1 法國布雷斯特 (Source：右上圖 from Ifremer twitter)

1. 世界氣象組織與聯合國教科文組織政府間海洋學委員會聯合中心

世界氣象組織(WMO)與聯合國教科文組織(IOC)成立政府間海洋學委員會聯合中心稱為(OceanOPS)，並代表全球海洋觀測系統(GOOS)的運營總部，最新消息是已啟動聯合國海洋科學促進可持續發展十年認可的

奧德賽項目，公開呼籲合作，並確保持續支持海洋觀測，現在全世界仍有許多偏僻難以到達的海洋地區，不僅觀測數量稀少，觀測密度低的地區，例如：北大西洋，以及北極地區觀測，特別是北極冰層緣故，船舶氣象報告幾乎是北極地區觀測數據的唯一來源，因此，111年2月9-11日於布雷斯特，奧德賽項目公開呼籲讓民間社會參與聯合國海洋十年，讓商船、漁船隊與其他海洋運營商或船舶，從海岸到公海持續進行海洋氣象觀測，以充分發揮其作用，如圖2所示。

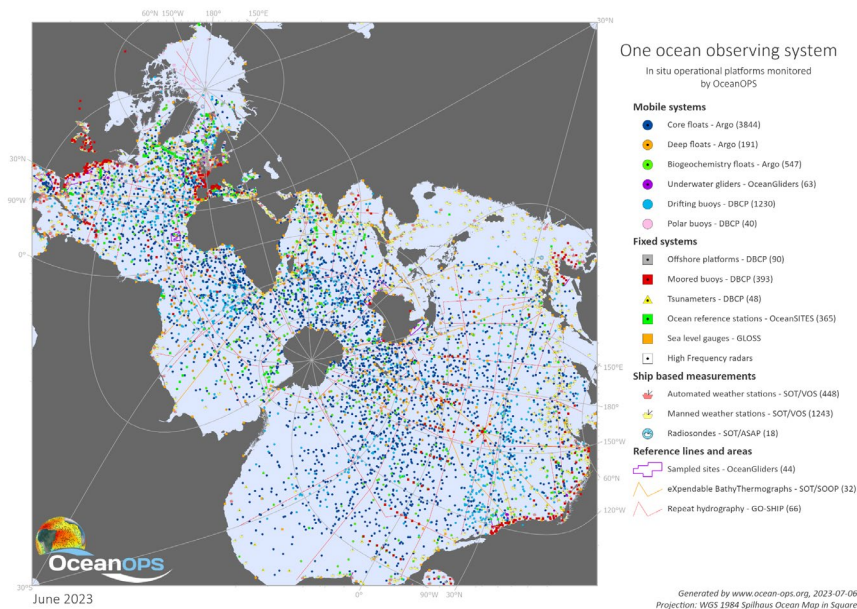


圖 2 UNESCO/ IOC Oceanops 創立全球單一海洋觀測系統

(Source : <https://oceandecade.org/news/odyssey-project-an-open-call-for-collaboration-to-ensure-sustained-support-for-ocean-observations/>)

2.法國海洋開發研究所(Ifremer)

法國海洋開發研究所於 1984 年成立，成立 39 年為綜合性海洋科學研究機構，其下有四個科學部門(海洋與數位基礎設施、海洋學與生態系統動力學、生物資源與環境、物質資源與深海生態系統)，致力研究評估與開發海洋資源，使其可持續利用，透過不斷改進監測、預測和，與管理方法的建立，以保護海洋，提高海洋與沿海環境的價值，促進海事部門的社會經濟發展。

該研究所為法國國家研究與創新，以及對於歐洲研究領域做出卓越貢獻。特別是優秀的海洋與數位基礎設施部門，該部門致力於規劃設計船載系統、建造水下航行設施與運營船隊；美國知名的海洋之門(Ocean Gate)探險公司，係以深海探險文明，於今(112)年 6 月 18 日派遣泰坦號(Titan)從事商業潛水任務，潛水過程發生失聯事件，後續事故搜索，該研究所自主開發型號 Victor 6000 水下攝影機進行調查，如圖 3 所示。

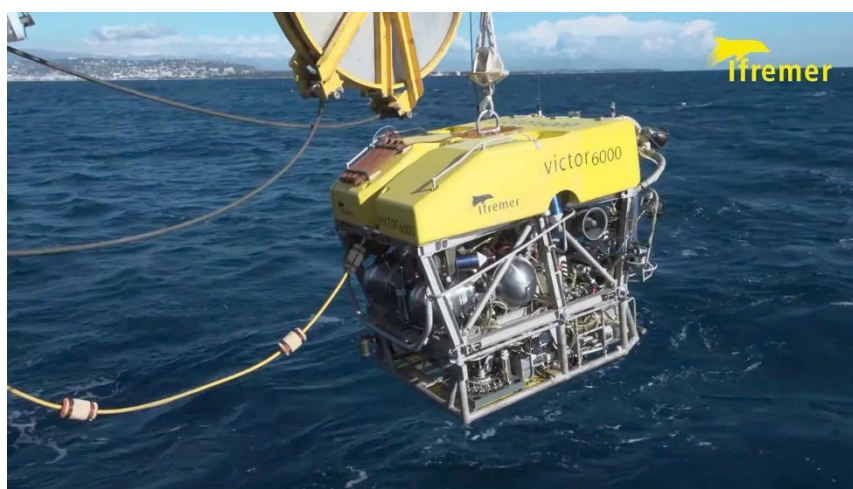


圖 3 法國海洋開發研究所 Victor 6000 水下攝影機

(Source : <https://thesecondangle.com/missing-titanic-submarine-canadian-robot-search/>)

本次出國計畫 112 年 6 月 19 日至 7 月 3 日行程表，如表 1 所示。

表 1 派員出國進修研究實習計畫及城市地點(112 年度)

	行程	備註
第 1 天 6 月 19 日(一)	搭機前往法國：桃園機場至法國戴高樂機場 6 月 19 日(六) TPE 臺北桃園國際機場 / CDG 巴黎戴高樂機場 BR087 23:40~08:20 (+1)	臺灣-法國巴黎
第 2 天 6 月 20 日(二)	巴黎前往布雷斯特： 6 月 20 日(日) CDG 巴黎戴高樂機場 / BES 布雷斯特機場 AF7522 17:10~18:20	巴黎-布雷斯特
第 3 天 6 月 21 日(三)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 1：海洋雷達系統教程與天線場型	布雷斯特
第 4 天 6 月 22 日(四)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 2：海洋雷達系統硬體與組裝培訓	布雷斯特
第 5 天 6 月 23 日(五)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 3：海洋雷達訊號降噪與干擾消除	布雷斯特
第 6 天 6 月 24 日(六)	戰爭博物館、聖馬蒂厄燈塔、克莫萬燈塔	布雷斯特
第 7 天 6 月 25 日(日)	維爾京島燈塔、海藻博物館、惡魔橋、布雷斯特港	布雷斯特
第 8 天 6 月 26 日(一)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 4：天線訊號校準與分析(研究與培訓)	布雷斯特 (Ifremer 雷達站)
第 9 天 6 月 27 日(二)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 5：海洋雷達訊號處理與夏威夷案例介紹	布雷斯特
第 10 天 6 月 28 日(三)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 6：海洋雷達組裝演練(研究與培訓)	布雷斯特 (Ifremer 雷達站)
第 11 天 6 月 29 日(四)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 7：海洋雷達 Wiki 操作記錄	布雷斯特
第 12 天 6 月 30 日(五)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 8：海洋雷達系統安裝與備份	布雷斯特
第 13 天 7 月 1 日(六)	於 Ocean Physics 接受 LERA HFR 實務訓練 主題 9：案例檢討/結業(頒發證書)	布雷斯特
第 14 天 7 月 2 日(日) 返程	布雷斯特前往巴黎： 7 月 2 日(日) BES 布雷斯特機場 / CDG 巴黎戴高樂機場 AF7525 06:15~07:35 搭機返回臺灣：法國戴高樂機場至桃園機場 7 月 2 日(日) CDG 巴黎(戴高樂機場)/ TPE 臺北(桃園國際機場) BR088 11:20~07:10 (+1)	布雷斯特-巴黎 法國巴黎-臺灣
第 15 天 7 月 3 日(一)	搭機返臺	臺灣

本次出國計畫 112 年 6 月 20 日於巴黎戴高樂機場抵達後，法國國內線轉機布雷斯特之候機情形，如圖 4 所示。



圖 4 巴黎戴高樂機場抵達後，轉機候機之情形

三、雷達技術訓練與研究

記得出國當時為臺灣時間端午節，此時白晝時間很長，沒料想到法國實務研究期間白天更長，每天清晨約 5 點黎明，6 點旭日初昇，晚間 10 點夕陽西落，白天可運用的工作時間長達 16 小時，使身體不自覺產生持續工作的錯覺，此次出國計畫相當充實，皮爾教授(以下簡稱教授)實務訓練不僅授予雷達專業技術，每日課後如果體力允許，都會追開補充課程，例如：法國布列塔尼地理課、法國歷史課、燈塔課、建築學與波浪海流等課程。

1. 海洋雷達系統教程與天線場型

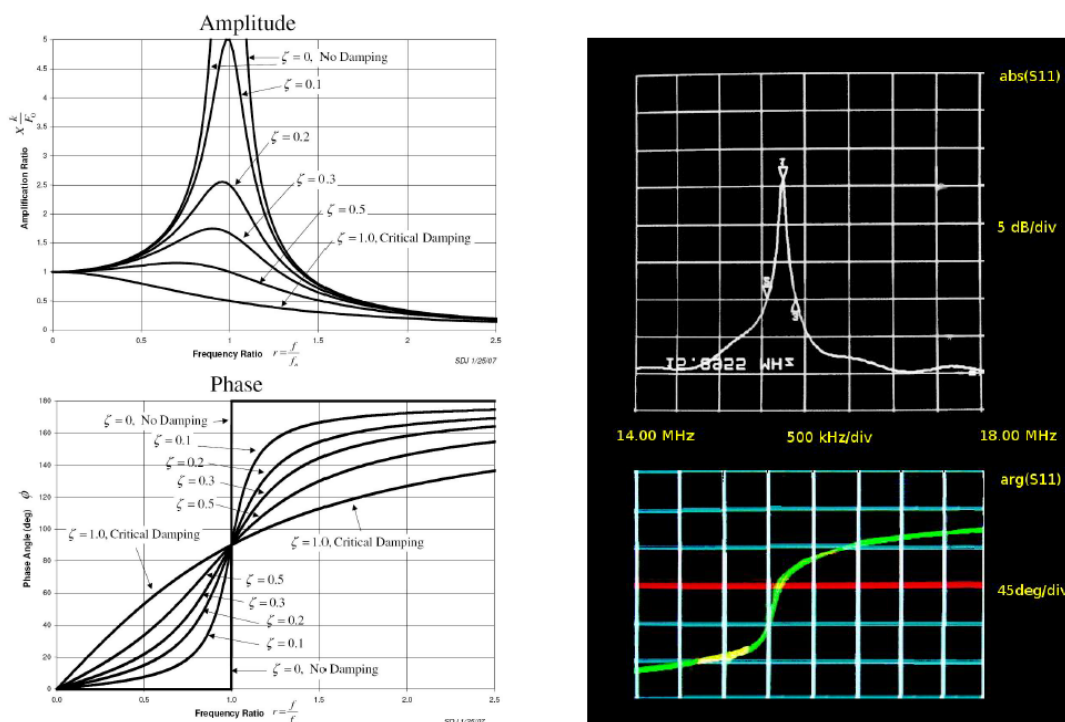
講述雷達技術與陣列雷達演進歷史，並介紹各種天線案例的設計情況，如圖 5 所示，現今物聯網服務幾乎離不開通訊，這類電子通訊廣泛應用到天線，例如：手機通訊、GPS 定位、藍牙耳機等，教授提到因此需要各種型式功能的天線，但如何避免天線耦合效應產生的干擾問題，考驗設計人員的專業，教授常提製造雷達並不困難，最困難的問題是天線設計。最常見最簡單的天線，分為雙極(dipole antenna)與單極天線(monopole antenna)兩種天線，海洋雷達所使用的天線便為單極天線。電磁波波長為 λ ，雷達天線的纏繞方式，是以 $\lambda/4$ 纜線長度盤繞於高度 $\lambda/8$ 且經過處理的木材，竹子，玻璃纖維或碳纖維桿材料，但最好的材料是玻璃纖維、因為竹子木頭會吸水較差、碳纖維會導電也不適合選擇，而壓縮線圈會使發射頻率增高，必須經由整線與量測才能確定。

item	length	general length	4.46 MHz	length 8.25 MHz	length 13.5 MHz	length 16 MHz	length 27 MHz
wavelength	lambda	67.26 m	36.36 m	22.22 m	18.75 m	11.11 m	
vertical wire	lambda/4	16.8 m	9.09 m	5.55 m	4.69 m	2.78 m	
radial wires	lambda/4	16.8 m	9.09 m	5.55 m	4.69 m	2.78 m	
pole height	lambda/8	8.4 m	4.55 m	2.78 m	2.35 m	1.29 m	
pole diameter	lambda/300	22.4 cm	12 cm	7.5 cm	6.3 cm	3.7 cm	



圖 5 各天線設計案例

當天線接收來自初始海面回波訊號(即為反射線性調頻脈衝的能量)，教授提到如果於沒有阻尼情況，接收訊號便會使接收設備以相同的頻率持續振動(諧振)，此與接收設備的電容(C)與電感(L)比值(L/C)有關，但有阻尼情況便會使振動幅度逐漸減小，好比汽車行駛路面產生震動，因為有避震器緣故，阻尼就會把頻率限制住，震動便逐漸變小，所以接收天線設計原理，係以接收訊號時不能產生非常大的隨機變化為目標，接收天線需要的是穩定，理想接收天線，如果接收範圍很廣，而且能被良好的控制，就會是良好的接收天線，但接收天線所接收的海洋回波訊號通過諧振點時，若接收天線產生隨機的相位誤差，無法穩定控制諧振範圍於 30 kHz，就需要主動式天線，如圖 6 所示。



Y. Barbin, on U.H. antenna (2002)

圖 6 被動天線不利於陣列接收天線之原因

主動式天線的效果，可使接收的整數倍共振頻率濾除，如圖 7 所示，這就濾波器的概念，最常用在有干擾的地方，特別是雷達接收的環境周邊有鐵網處干擾時，紅線為接收原始訊號，透過濾波機制減少雜訊，訊號濾除後後續的倍頻消失了，如黑線所示。教授談到陣列式的發射天線，以波束合成(Beamforming)技術判別海面發生共振訊號的位置，這個觀念後面分析課程才會提到。

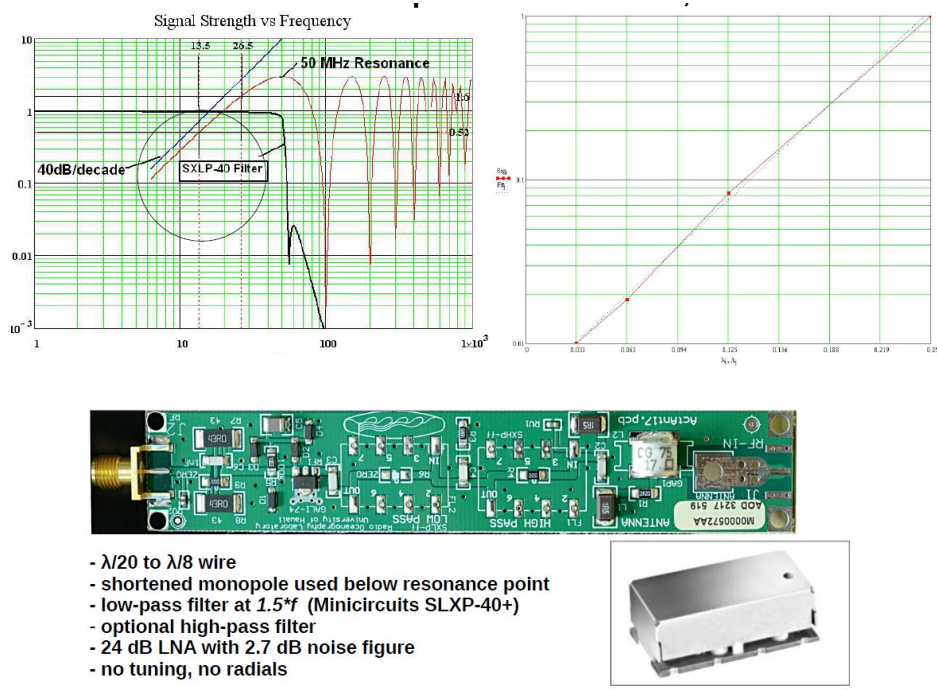


圖 7 主動式天線濾波技術與設計原理

天線場型部分，觀念係利用控制訊號的振幅與相位，結合數根天線利用訊號加強與抵銷之原理，可以產生受控制之輻射場，該輻射場為主波束(Main Beam)與旁波束(Sidelobe)的組合，這種組合稱為場型，其中主波束方向便稱為指向性波束，朝向特定方向集中傳播，能藉此提高特定方位的方向訊號能量，並減少干擾。發射天線的場型(Tx beamforming)理論場型與實際場型常有差異，係因實際場型受到許多外在環境的干擾，例如：教授列舉此矩形發射天線的案例，天線間短邊長為 $\lambda/4$ 距離、長邊長為 $\lambda/2$ 的距離，依據場型乘積原理的理想場型，如圖 8 所示，但實際量測場型，如圖 9 所示。

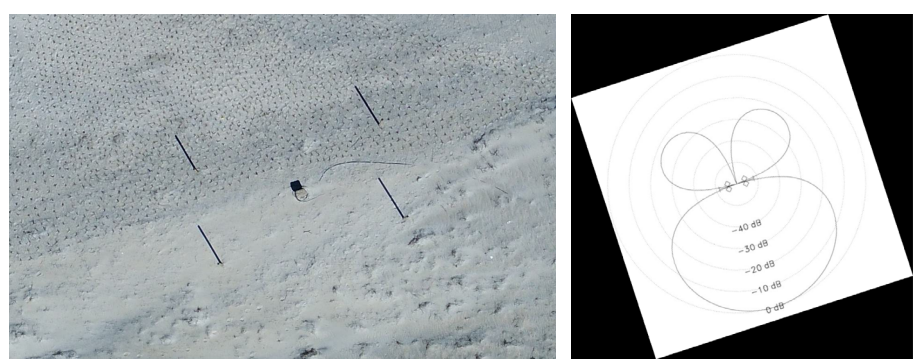


圖 8 發射天線與理想場型

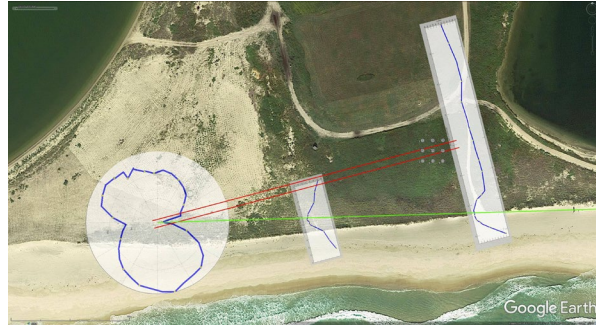
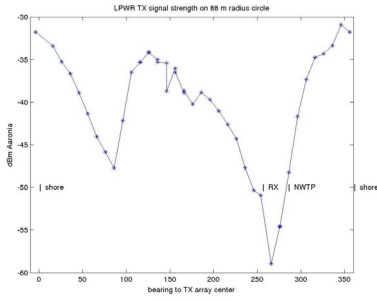


圖 9 實際場型與接收天線訊號量測

這是因為發射天線所在地，位於類似沙洲處，不論發射天線向前後，皆十分靠近海面，以圖 9 為例，教授說經由量測 3×3 矩陣的接收天線的 null 線(綠線)，會發現接收天線位置並未座落於 null 線(綠線)上，這樣並不能取得雷達最佳狀態，教授建議本案的解決方法就是透過場型調整，使 null 線(綠線)與現場發射天線與 3×3 矩陣的接收天線之間的連線(紅線)重合，如果沒有改善此雷達狀態，這樣的場型將受到龐大的干擾，因此，建議最好的方式，乾脆直接移動接收天線至 null 連線位置。另外，現實方面實際場型為立體化，如果需確認垂直地面方向的訊號，傳統做法要拿竹竿，但現在利用無人機很方便，能協助我們將實際場型測量出來，如圖 10 所示，實際量測情況較無理想。海洋雷達系統教程與天線場型之授課情形，如圖 11 所示。

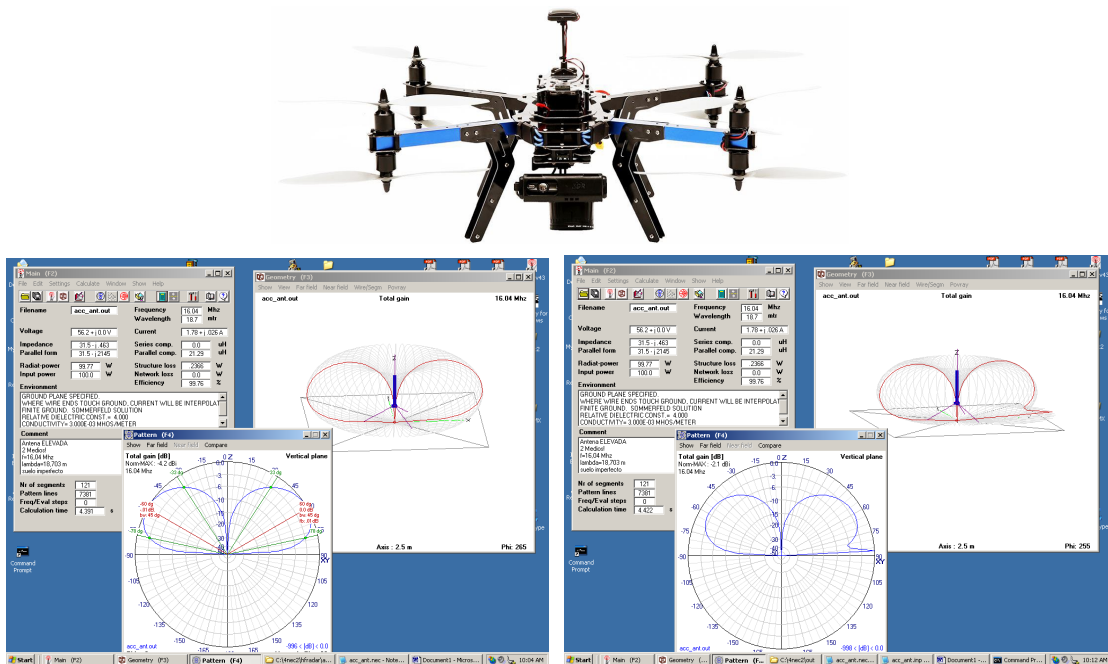


圖 10 無人機量測場型的情形(左邊理論場型/右邊實際場型)

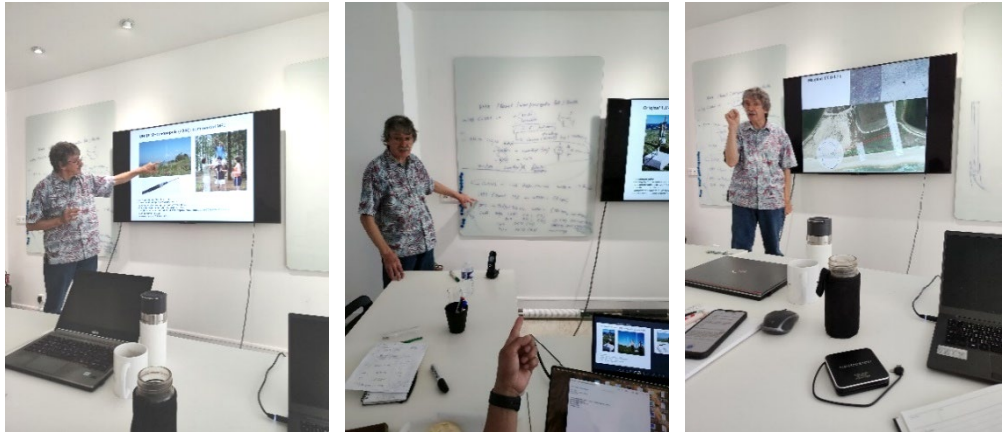


圖 11 海洋雷達系統教程與天線場型之授課情形

承上，教授詳細介紹海洋雷達系統硬體與功能，如低通濾波器優點係可以消除倍頻頻率、消除 FM、無線電視訊號，但相對的無法捕獲這麼多自然訊號，故設計上是個次優的選擇；安裝過程需注意的事項，教授亦提到低通濾波器利用於主動接收天線，天線對與感電極其敏感，容易受閃電損壞，更大的困難是防水問題，當初設計忽略太陽照射設備容易使之產生類似吸水幫浦的現象，造成 IC 零件吸收過多潮濕水氣而損壞，因此，最初主動的設計，反而成最糟糕的設計被捨棄；舉例來說墨西哥情況低通濾波器之狀況非常不好，每年都花費經費更換零件，反而夏威夷沒有使用是低通濾波器，相對地接收設備反而重複使用 15 年。

2. 海洋雷達系統硬體與組裝培訓

有關 Ocean Physics 公司與美國夏威夷大學研製合作開發的海洋雷達，系統主要包含：GLONASS 衛星定位系統、恆溫控制晶體振盪器、頻率調製器、固態電子發大器、低雜訊放大器、混頻器、類比數位訊號轉換器、控制系統；若雷達運作以接收及發射兩部分介紹如下：

- (1)發射部分：整合系統將處理訊號調製，利用正弦函數(sin)、餘弦函數(cos) 正交訊號，進行混頻、倍頻、分頻與帶通濾波等方式合成訊號；訊號進行數位調變及改變相位，再將數位訊號轉化成類比波輸出，發射線性調頻的電磁波脈衝訊號。
- (2)接收部分：將海面的雷達回波訊號，利用雙平衡混頻器與雷達接收器組成通道網絡，調製雷達回波為複數型式之 IQ 訊號，教授解說雷達硬體

與系統元件，如圖 12 所示，體積與線路較為複雜，最新一代的設計都以 PCV 印刷電路板配線，如圖 13 所示。

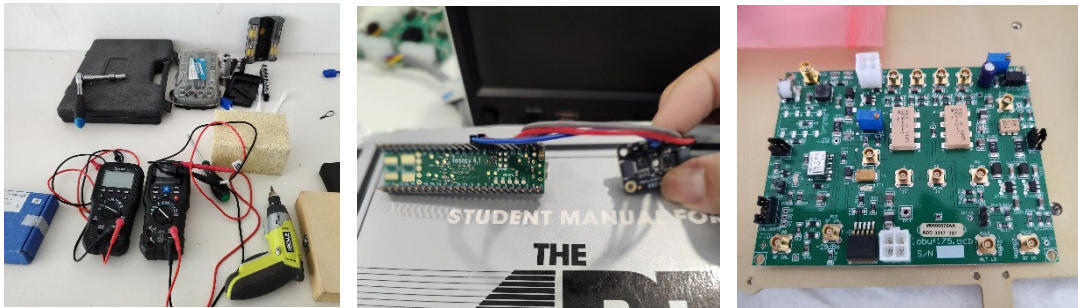
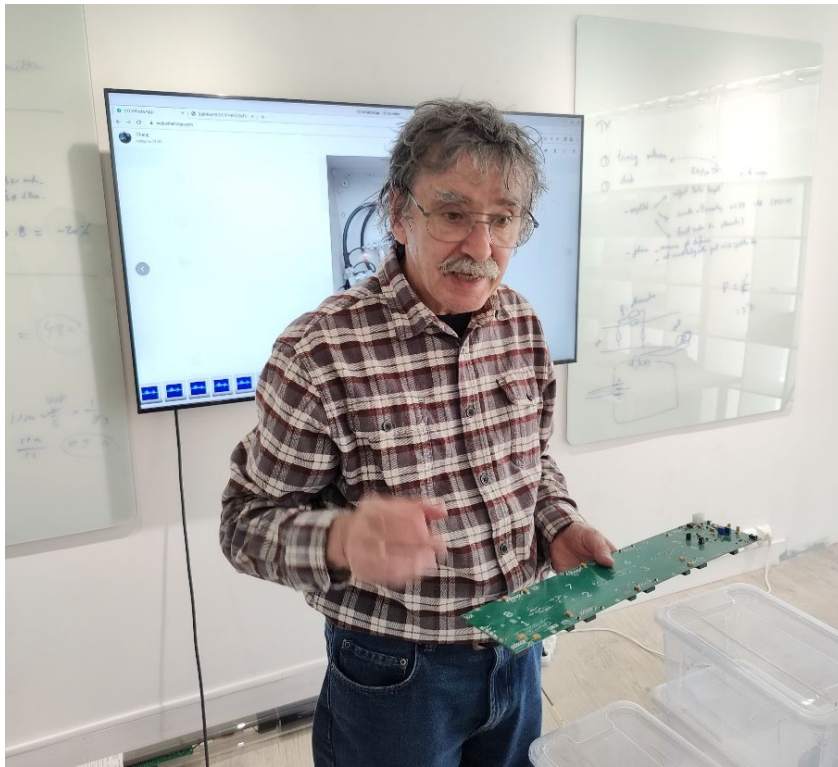


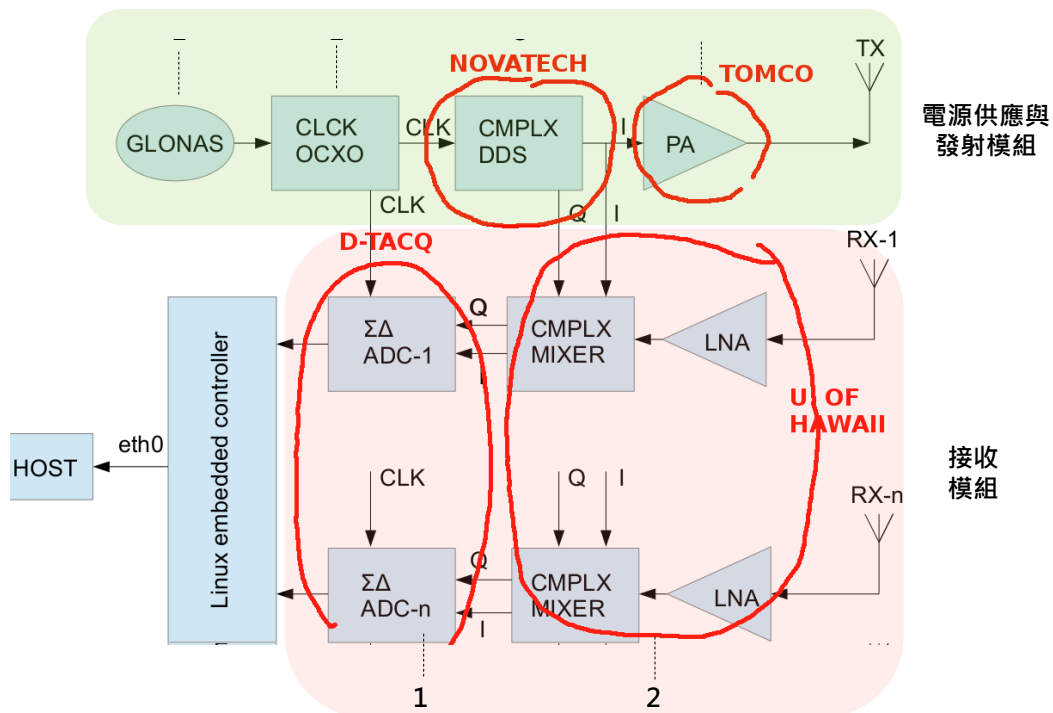
圖 12 解說雷達硬體與系統元件



圖 13 PCV 印刷電路板配線

教授提到現在海洋雷達系統硬體，為方便維修、管理與升級都已經朝向模組化發展，雷達系統已被簡化成電源供應模組、發射模組與接收模組，硬體研究說明分述如下：

- (1) 電源供應模組：內含一個交直流變壓器(AC-DC)可以將 220 伏特交流電轉換為 24 伏特直流電；由於雷達系統之電力使用 24 伏特的直流電壓，因此，電源供應模組需配有一個隔離變壓器，以維持 24 伏特電壓值的穩定，以及預防輸送電力時產生的突波，同時隔離變壓器能及時衰減突波，亦能濾除電力雜訊，達到穩定電流的作用。
- (2) 發射模組：內含一個混頻器(DDS)，與搭配一個訊號放大器(PA)配合低通濾波器，能將 20dBm 訊號擴大至理想的訊號 46dBm，低通濾波器 (Low Pass Filter, LPF) 主要目的係為過濾並去除主要頻率 2 倍以上頻率訊號雜訊。
- (3) 接收模組：夏威夷開發的 mark 型號接收系統，專門負責接收天線(Rx)回波訊號接收，並將其傳送至 D-TACQ。由於 D-TACQ 使用 12 伏特的電壓，故在此需要第二變壓器進行降壓，將雷達系統電力的電力由 24 伏特電力轉換至 12 伏特，硬體研究介紹，如圖 14 所示。



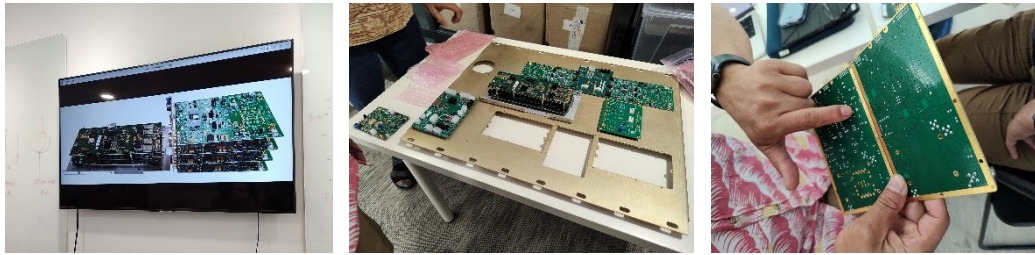


圖 14 雷達硬體架構

隨著雷達硬體不斷地改良，以及印刷電路板製作的精良，D-TACQ 已內含 4 層電路電路板，不論是元件與元件間線路的簡化，還是端子與接線路的連接，系統的散熱問題都有進步改善，教授講解完線路圖後，演示如何組裝至指定位置，如圖 15 所示。

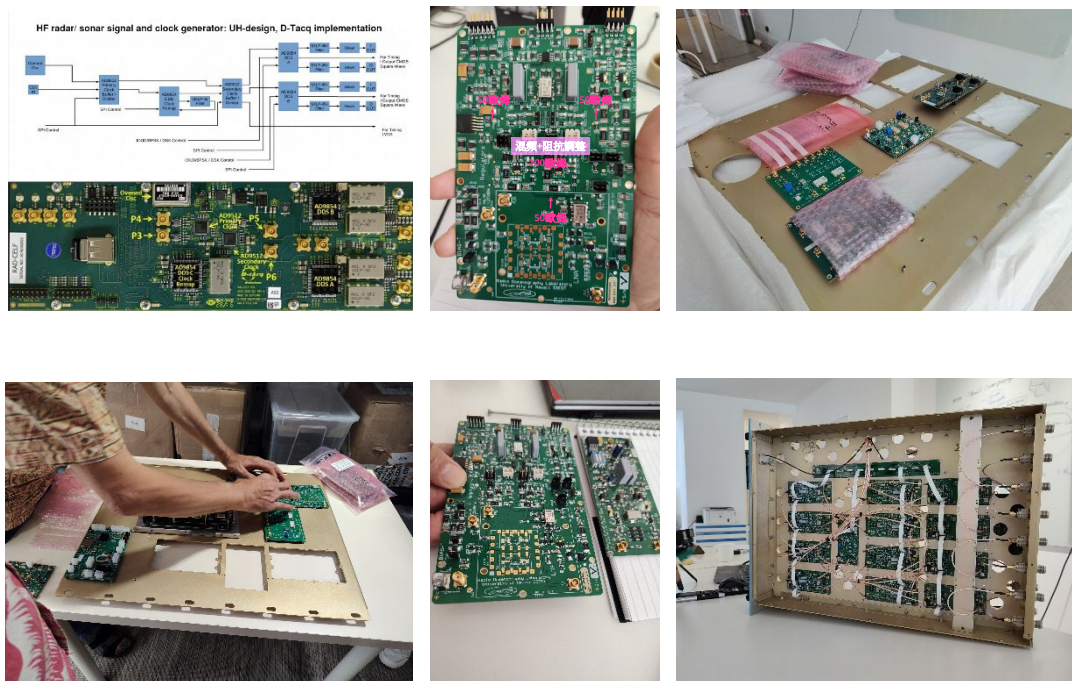


圖 15 雷達硬體的組裝培訓

3. 海洋雷達訊號降噪與干擾消除

教授提到當雷達發射無線電波時，電磁波可以依照兩種不同方式進行傳播，第一種形式被稱為天波(Sky wave)的自由波傳遞方式，天波可通過空氣傳播，但由於大氣層某個特定高度存在太陽風電子與大氣層相互作用，形成一層高度反射的層(地科領域稱為電離層)，它能像鏡子一樣反

射自由波回地球表面，這種也是一種長程空對空通訊的方式，在人造衛星尚未出現之前，距離為 8000 公里遠的船隻，可以通過朝向大氣層發射無線電波，利用電磁波高速反射，來與地面接收站進行通訊；另一種傳播方式，係海表面具有一導電性的表面，無線電會被困於導電性海表面中，並隨地表曲率彎曲，此傳遞方式稱之為導管效應，而此種波傳方式被稱為地面波(Ground wave)，海洋雷達原始資料紀錄成複數形式的 I/Q 資料，I 表示電磁場的實部，Q 表示電磁場的虛部，考慮反射的 I、Q 訊號函數呈現週期性震盪，可將電磁波視為受到波浪散射與反射影響，導致反射訊號於波浪表面觀測海流時發生頻率偏移，此現象又稱為都卜勒頻偏，也就是單位時間內的相位變化，如圖 16 所示。

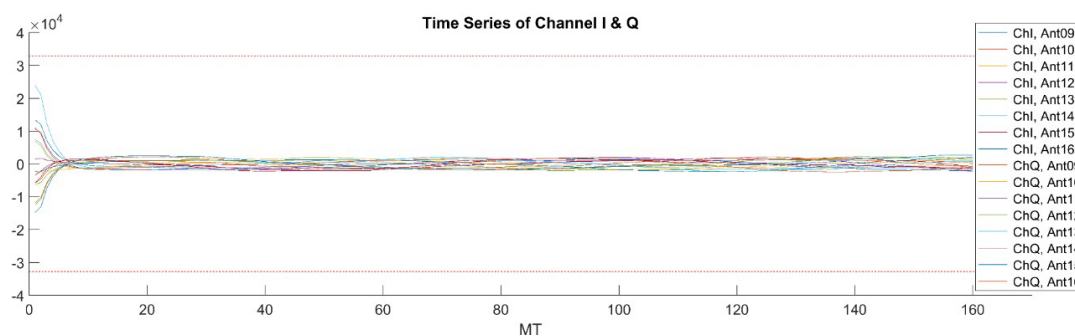
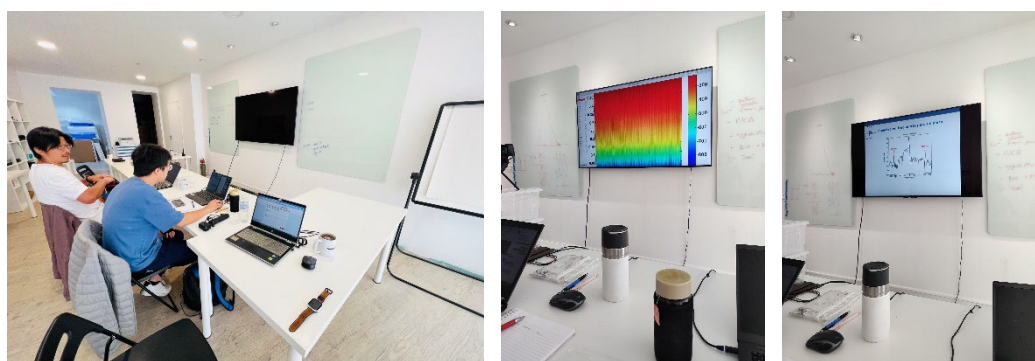


圖 16 海洋雷達原始資料

若要達成雷達訊號降噪與干擾消除，需要使用到 PI 衰減器，因為該衰減器線路分配像似圓周率 π ，故而得名，使用上需根據功率放大器的功率，計算衰減器的功率損耗，於 0.5dB 或 1 dB 的增量中增插小功率衰減器，設計帶功率電阻分配器的印刷電路板，可以使用線上計算器協助計算出(網站連結：https://leleivre.com/rf_pipad.html)，得出每個天線需要衰減的能量，如圖 17 所示。

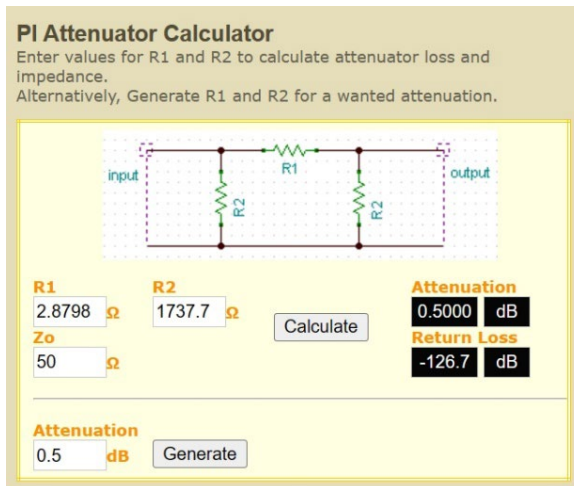


圖 17 PI 衰減器計算機與各式接頭與衰減器

每個脈衝訊號又可稱呼為啁啾(Chirp)，可以解釋像鳥鳴吱喳聲(啾啾)，因此稱為啁啾，雷達訊號產生的每一個啁啾時間不到 1 秒鐘，屬於毫秒等級的訊號，無數個啁啾經適當頻率取樣，可以擷取出時序離散的樣本，經過傅立葉轉換後，可以由傅立葉係數計算相應距離的振幅與相位，資料處理後再將序列訊號脈衝合併，可以得到海面的雷達回波強度之訊號圖形(雷達自譜)，以縱軸進行第 1 次傅立葉轉換，使縱軸時間將轉換為頻率，由於每個脈衝訊號為線性調變訊號，因此頻率能對應距離天線的長度，於是乎便可以運算出頻率值，並回推至頻率正確發出的位置，由於縱軸值能順利變換為距離，得出都卜勒譜(橫軸仍為時間)，亦稱交叉頻譜(Cross spectra)。

接續再將橫軸的時間進行第 2 次傅立葉轉換，將時間轉換為頻率，於縱軸的距離值保持不變情況，可得出都卜勒距離譜，這是一個三維圖譜，也是線性調變的海洋雷達最主要的觀測結果；都卜勒距離譜的縱軸為頻率對應距離天線的距離，橫軸為都卜勒的頻率，圖譜的顏色為雷達回波強度，圖譜上清晰可見兩道能量的峰值，稱之為一階峰，是海面波浪產生布拉格反射的結果，圖譜中接近 0 頻率的位置，對應固定物之反射能量，並沒強烈能量的反射反應，原因係陣列雷達的發射天線為相控陣列天線，透過相位控制與電磁波的破壞性干涉，達到天線之間向陸地發射之電磁波相互抵消，如圖 18 所示，課後教授提供訊號分析程式碼(Code name : processing_sort)。

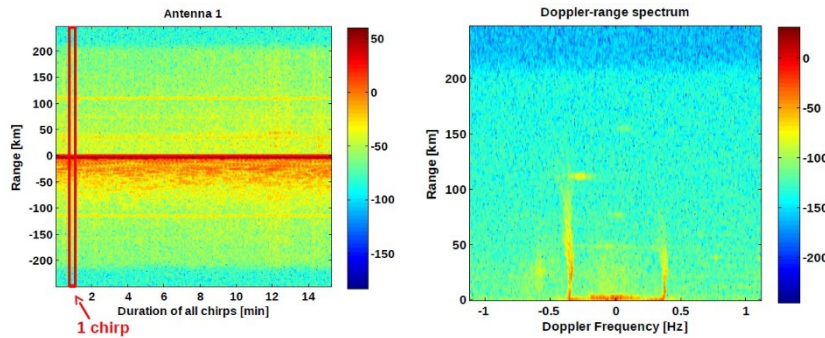


圖 18 雷達脈衝訊號與啁啾(chirp)代表的意義

研究比較有趣的事情是教授為測試我們對於課程內容的理解程度，培訓過程特別安排隨堂考試，可以上網查詢資料，亦可使用計算機，也可以相互討論，以加深大家對於課程的印象，隨堂考解答，如圖 19 所示。

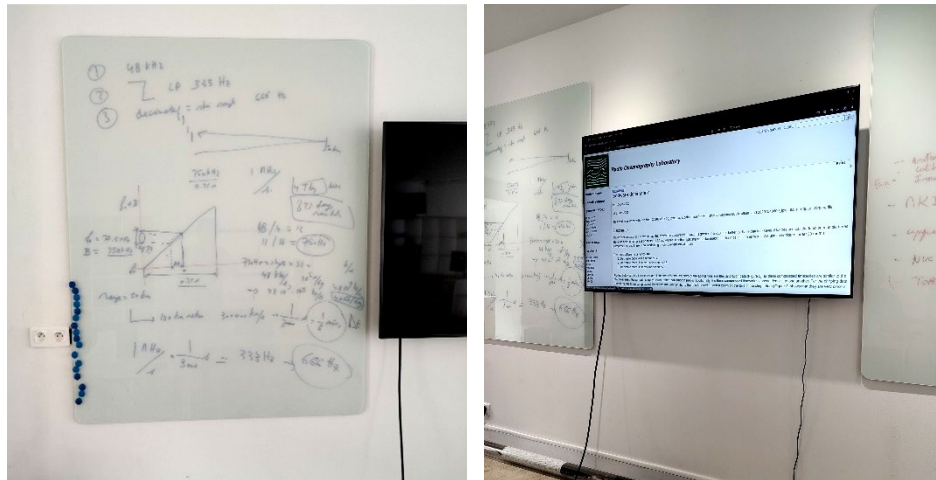


圖 19 隨堂考試的題目與解答

4.海洋雷達訊號處理與夏威夷案例介紹

關於雷達訊號處理波束合成(Beamforming)技術研究，教授介紹此技術演進的過程，歷經 Teague (1986)、Helzel 等人(2006)與 Bhuiya 等人(2012)幾位學者之研究努力，已提出相繼完善的方向定位方法，以下對於波束合成演算技術進行說明。對於接收天線以線性排列組成海洋雷達的接收系統，若接收天線以相同距離為間隔，等間距排列，接收天線排列型式如圖 20 所示，由於天線以全向性接收訊號的方式接收訊號，訊號能成為一個空間域的頻圖譜， d 是每個接收天線的間距，且 d 被限制為電磁波的半波長， θ_i 為來自訊號 i 的入射角。入射訊號以傳播速度 c 傳播

於入射距離 D 上，假設訊號源 $S_i(t)$ ， $1 \leq i \leq d$ ，故第 M 支天線於時間 t 收到的所有訊號可以表示為(Bhuiya 等人，2012)：

$$x_m(t) = S_i(t) \sum_{i=1}^d e^{j(M-1)\mu_i} + n_M(t), \text{ for } M = 1$$

其式可簡化表示為：

$$x = AS(t) + n(t)$$

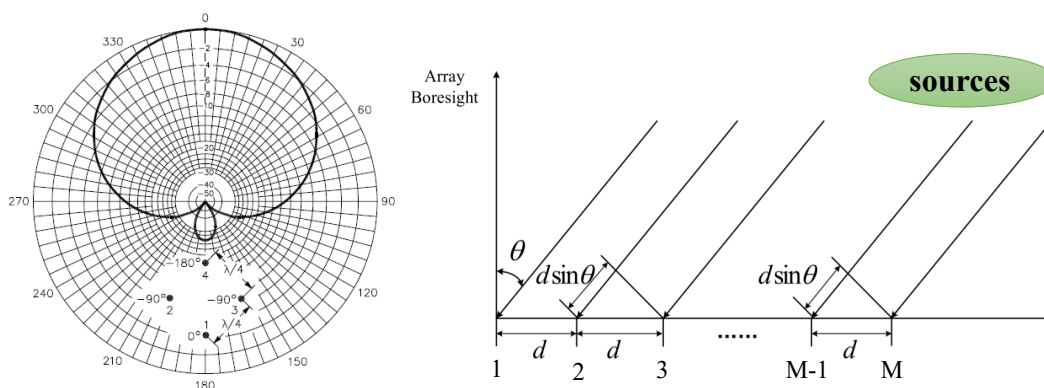


圖 20 線性陣列接收天線計算訊號定位處理之幾何示意圖

其中變數 x 視為擷取訊號的總合， S 是陣列天線之資料列向量(data column vector)， n 可視為接收的雜訊， A 是導引矩陣(steering matrix)反應天線陣列於特定方向之導引向量(steering vector)。此概念為陣列天線於某段時間內接收訊號，去追蹤量測某特定方向之能量。當導引方向與回波訊號的方位一致時，將能量測到最大能量，藉此估算電磁波到達方向 (Direction Of Arrival, DOA)。因此，高頻雷達陣列系統可被視為電子陣列，故可設計出權重向量 w ，以接收天線接收到的資料進行線性組合其式簡化，輸出訊號 $Y(t)$ 如下：

$$Y(t) = \sum_{i=1}^M w_i^* x_i(t) = w^H X(t)$$

其中陣列系統之總平均輸出能量以 K 取樣數擷取，方程式表示如下：

$$P(w) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |Y(t_k)|^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w^H X(t_k) X(t_k)^H w$$

其中 w_i 為 i 個反射訊號源之權重，* 表示共軛複數，H 為向量之共軛轉置矩陣，導引向量 $A(\theta)$ 做為權重向量， θ 為掃描角。

$$w = A(\theta)$$

即可解算產生最大輸出能量之方位，並求得訊號來源的方向 θ ，其中 R 為輸入訊號之協方差矩陣。

$$P(\theta)_{BA} = A(\theta)R_{xx}A(\theta)^H$$

假設雷達時間與數位訊號產生器不產生距離的誤差，以及距離的解析度可以忽略不計，而雷達的波束合成的相控陣列方位角校準問題無法忽略不計；教授說那是什麼原因導致雷達的波束合成之方位角產生誤差，具體來說此接收波相位之誤差源，可能來自於雷達系統內部（濾波器的相位誤差、電纜長度、天線調諧），又或者雷達系統外部的地球物理原故（駐波、傳播與折射異常）等情形，綜上會導致兩個問題，第 1 種為方位角偏差，第 2 種為波束合成旁瓣引起多普勒訊號的模糊，因此需要被校正，依據過去經驗校正策略有下列幾種方法：

- (1) 利用 GPS 追蹤船隻與無人機，搭配連續多頻發射機
- (2) 利用視野範圍內的雷達雙基地站校準
- (3) 透過 AIS 追蹤船舶的主動回波
- (4) 改善未知長程發射機對於線性調頻振盪器的干擾。

教授案例介紹夏威夷群島目前營運的海洋雷達，一座位於歐胡島 (Oahu) 可可角 (Koko Head)，一座位於夏威夷大島希洛 (Hilo) 站與佩皮可 (Pepeekeo) 但暫時退出運作狀態，如圖 21 所示。

夏威夷海洋雷達所觀測的表面海流速度，目前已整合進入美國海洋觀測系統 (IOOS)；為取得更佳觀測訊號，美國海岸巡防隊會協助雷達校正，以船舶攜帶固定訊號 (以單極天線加上訊號產生器，案例雷達頻率為 16.15MHz) 於觀測範圍內以恆定速度精確移動，並確認天線接收的訊號其增益與相位是否符合預期，如圖 22 所示。

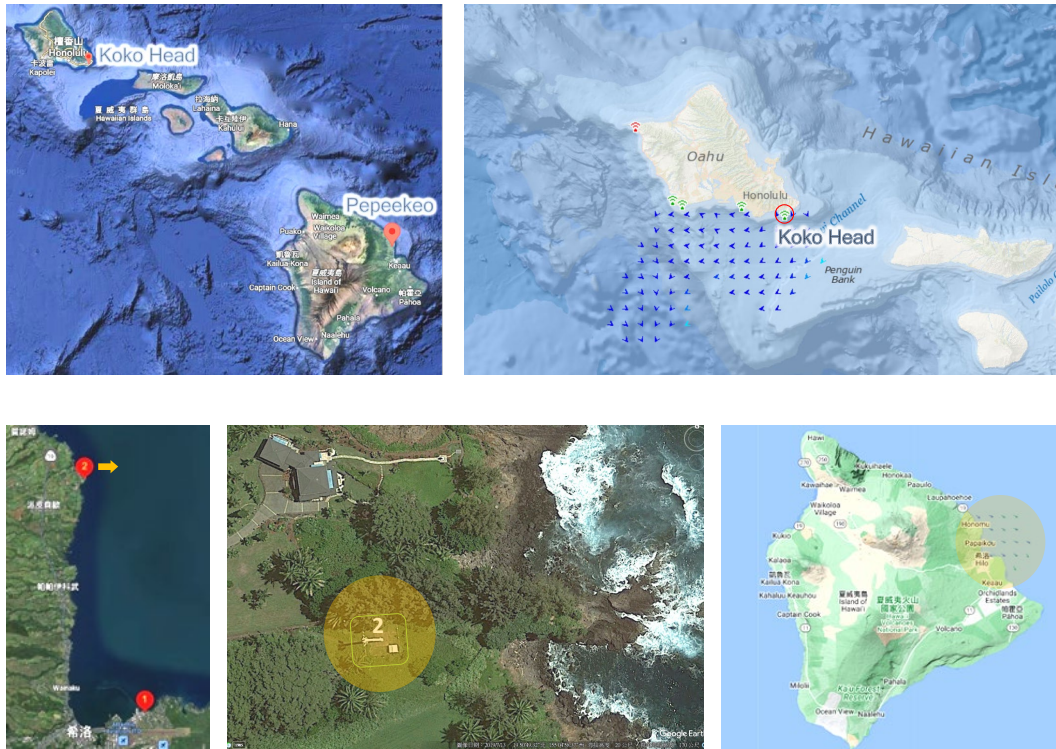


圖 21 夏威夷案例雷達南站希洛(Hilo)站與雷達北站佩皮科(Pepeekeo)

利用美國海岸巡防隊船舶攜帶的良好訊號，調整單極接收天線，並將帶通濾波器與接收器的內部輸入參數，校準相位後，旁瓣比主瓣低 15-20 dB，而且波瓣與陣列法線夾角高達 45°，波束合成圖形變得非常好，調整後沒有進一步現場校準的需要。



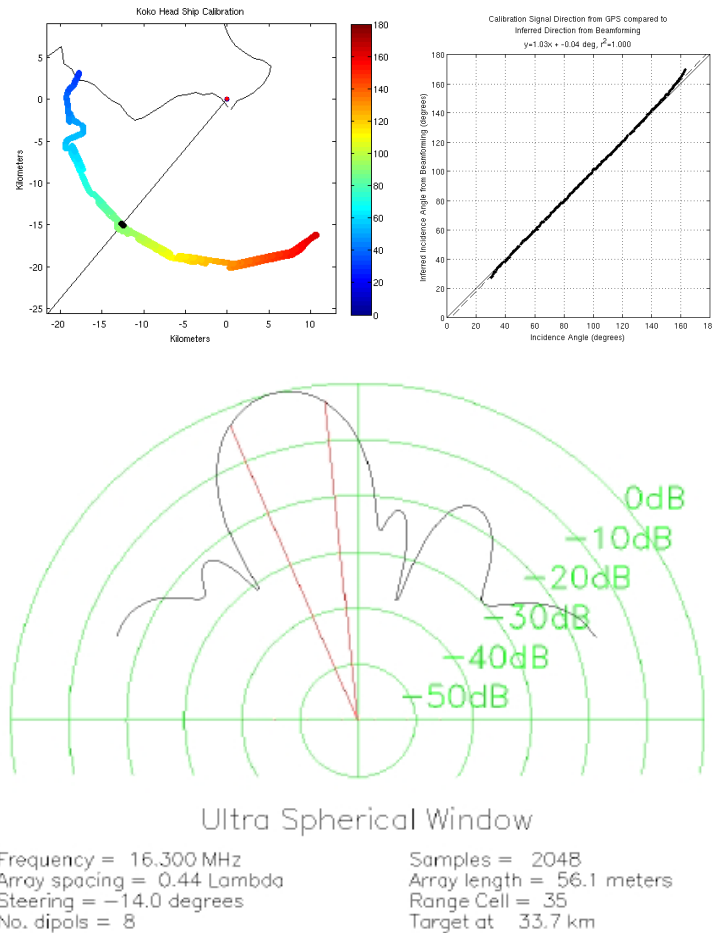


圖 22 夏威夷海岸巡防隊協助主波向的方向性校正

教授認為以現在案例而言已經不需要進一步校正了，因為現在無人機已經取得巨大的進步且很方便，可以協助我們取得便宜的校正訊號，不論是船舶校正或是無人機校正兩者所做的事情完全一樣。

5. 海洋雷達 Wiki 操作記錄

教授認為這是一個大數據資料庫應用的時代，他覺得網路世界最有意義的事情是建立維基百科(Wiki)，因此，自從他於夏威夷大學任教開始碰觸雷達，便開始利用網路記錄每次與海洋雷達技術研究之過程，據他所說自己是完全不碰社群軟體，因為大腦容量很小，能記憶的事物有限，他從不花費力氣背誦無用的資料，須要將所有的精力留給家人與建構維基百科，他認為時間應該要寶貴使用，每次開啟網頁都需要透過伺服器傳遞資訊，例如：我們向伺服器提出獲取資料的權限，伺服器透過認證機制核對申請者資料，然後由資料庫提取資訊回饋給使用者，日復一日

浪費太多時間，他思考若能規劃建立一個圖文資料庫，讓他能隨時汲取想要的資訊，這才是聰明人的做法。所以教授想趁此機會訓練我們如何建立自己的百科全書，並將本次研究海洋雷達的情形，以及日後維護雷達，均能透過維基百科進行操作記錄，因此，他向我們演示如何於 Linux 系統內建置一個維基百科，操作者需要有具備基礎使用 Linux 系統指令的能力，前置準備工作需要至 PmWiki 網站查詢相容作業系統的下載軟體之檔案名稱(軟體名稱：pmwiki-latest.tgz)，操作情形如圖 23 所示。

(1)使用 ssh 指令登入帳號

→ ssh ruser@seaview-ihmt.cleanocean.tw

(2)輸入密碼後使用 ls 指令，確認資料夾

→ cd /var/www/html (準備於 html 底下建立應用程式)

(3)使用 wget 指令自動檔案下載網頁指定檔案

→ sudo wget https://www.pmwiki.org/pub/pmwiki/pmwiki-latest.tgz

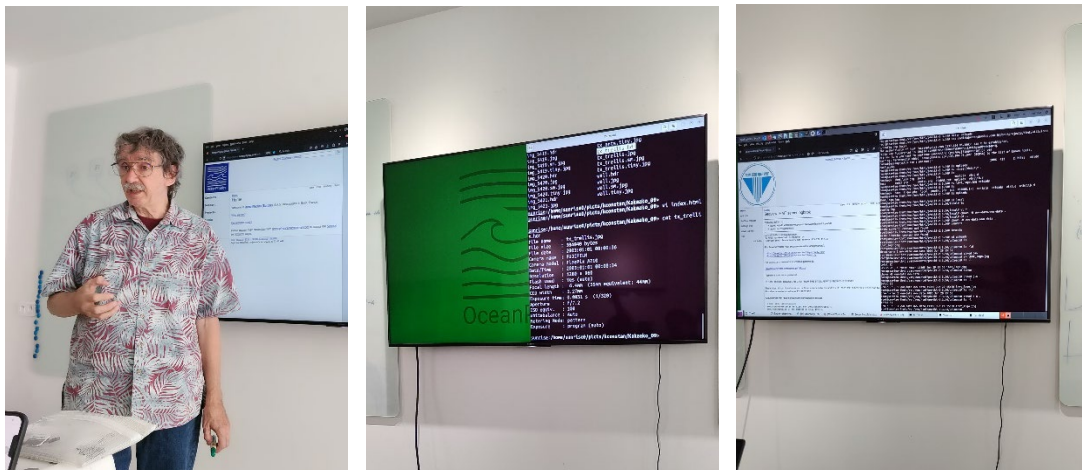
(4)安裝程序

→ sudo tar -xzf pmlwiki-lastest.tgz

→ sudo mkdir /var/www/html/pmwiki-2.3.24/wiki.d

→ sudo chmod 777 /var/www/html/pmwiki-2.3.24/wiki.d

→ sudo rmdir wiki.



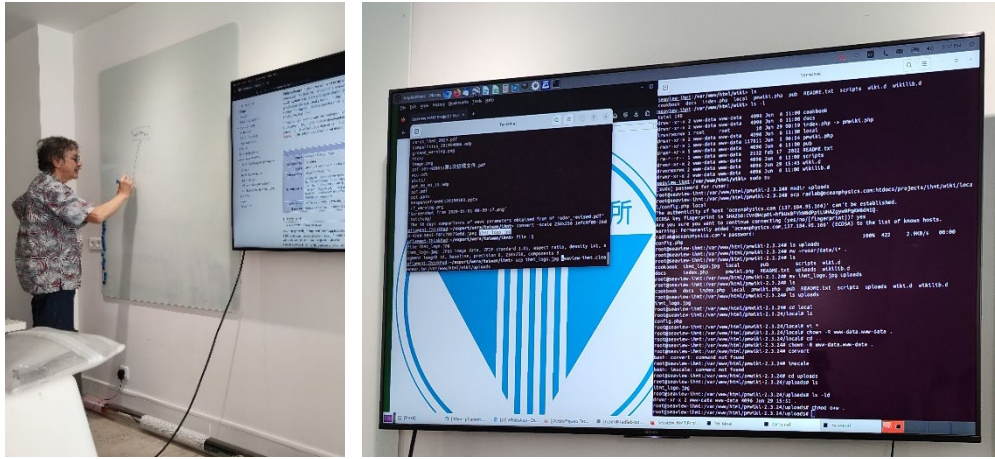


圖 23 雷達維基百科 PmWiki 教學與操作情形

本次案例研究係關於專門討論海洋雷達硬體與技術改善的國際海洋雷達研討會，按地區分類主要分為 3 個研討會，美國的無線電波操作研討會(Radiowave Operators Working Group, ROWG)，側重雷達硬體操作的研究成果，以及海洋雷達的觀測技術交流；歐洲海洋雷達國際會議歷史最久，最早始於 2001 年舉行至今的無線電波海洋學研討會(Radiowave Oceanography Workshops, ROW) 會議主題側重雷達無線電波技術的研究，另外，針對亞洲地區海洋雷達用戶固定舉行的雷達技術交流研討會，亞太海洋雷達研討會(Ocean Radar Conference for Asia-Pacific, ORCA)，教授希望運研所能於未來某個時間於 ROW 會議向工作夥伴報告臺中港陣列雷達的相關研究成果。教授案例演示過去於維基百科所建立無線電波海洋學研討會(ROW)的資料內容，如圖 24 所示。

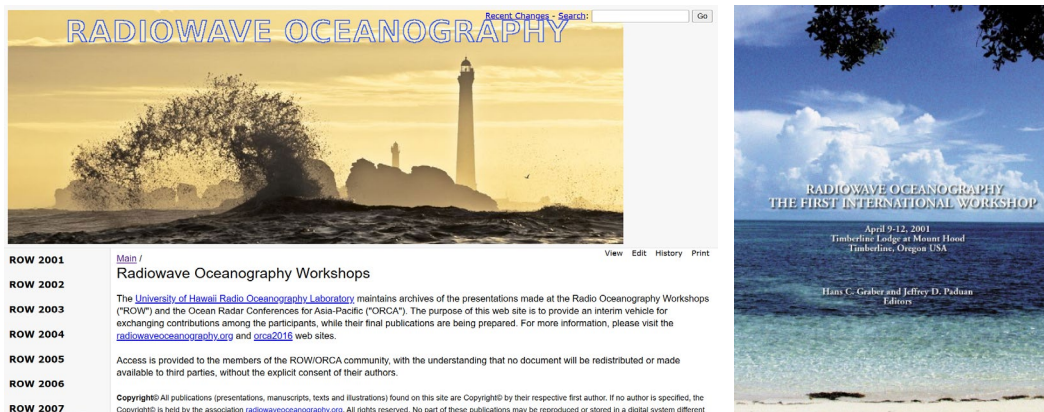


圖 24 無線電波海洋學研討會(ROW)的維基百科

6. 海洋雷達系統安裝與備份

由於無法確保雷達站資料蒐集系統的電腦何時會故障，所以教授建議應安排備份計畫，並建立制度，以確保作業電腦故障時，能夠有充足時間準備，應付電腦故障與排除異常，因此，需要學習如何於 Linux 系統實現資料備份與電腦系統恢復的工作，故前置作業須準備一作業電腦，其性能方面需要處理器 i5 等級以上，且至少兼具四個核心與含 4Mb 以上的緩存空間、記憶體最佳狀態需要 32 Gb、固態硬碟至少需要 256 Gb 與 2 Tb 一般硬碟、1 Gbs 網路卡、同時支援 USB 備份。第 1 步驟為製作 USB 救援備份的鏡像檔案，使用已經事先準備完成的鏡像檔案，其檔案名稱為 ubuntu-20.04.3-2022.radar，請將其備份檔保存至 USB，第 2 步驟為前往電腦應用程序專區啟動 USB 開機功能，因此需重新啟動電腦並選擇安裝 Ubuntu，第 3 步驟為 Linux 系統找到備份檔案，然後會自動進行解壓縮與安裝，執行完畢後才能恢復電腦系統的設定，系統安裝與備份過程，如圖 25 所示。



圖 25 海洋雷達系統安裝與備份過程

由於備份過程需禁止作業電腦使用任何網路，故主機板啟動「網路啟動」的選項必需要關閉，故將電腦重開機後，選按 DEL 鍵或 F2 鍵進入電腦系統的 IBOS 設定頁面，並將「網路選項」功能關閉，特別記得保存並退出 IBOS 設定，設定情形與流程，如圖 26 所示；重新啟動電腦後，點擊開啟連接 USB 啟動密鑰，再將備份檔重新安裝回電腦，若重啟電腦掃描 USB 設備，如果找不到 IBOS 引導分區的備份檔案，則需要另啟用「Legacy」選項，然後引導電腦選擇 Ubuntu 20.04.3-2022.radar 圖標

才能進行正常安裝，安裝過程除須設定登入用戶名稱與登入密碼，並設定雷達站所在地的時區，以及防火牆設定，電腦系統設定才算完整。

0. First, configure BIOS:

- Click on keyboard key DEL or F2 to enter BIOS setup
- Click "Power" tab
- Click "Balanced performance" tab
- Click "Secondary Power Settings"
- Scroll down to "After Power Failure" and select "Power On"
- Click "Boot" tab
- Click "Enable USB" tab
- Click "Boot USB first" tab
- Disable all "Network boot" tabs
- Click on F10 to Save and Exit, click OK
- Attach USB boot key
- Power cycle NUC to rescan USB devices
- If does not find iso boot partition, may need to enable "Legacy" boot instead of UFI
- a USB key connected to a USB-3 port (blue) may not be recognized at boot, always use a USB-2 port (black).



The behavior of the BIOS is highly dependent on BIOS type and revision. Trial and error may be needed.

圖 26 備份電腦主機板 IBOS 的設定情形

四、實地研究與培訓

本次實地訓練安排位於布列塔尼半島西側，如圖 27 所示，係由皮爾教授與 Ifremer 物理與空間海洋學的首席研究員路易士博士(Dr. Louis Marié)協助我們進行實地研究，如圖 28 所示。其中陣列發射天線的調校與測試係由皮爾教授實地研究，於雷達北站進行；海洋雷達組裝培訓則由路易士博士協助安排，於雷達南站進行。本次實地研究培訓海洋雷達站皆為法國海洋開發研究所(Ifremer)所有，在此感謝該研究所提供訓練場地。

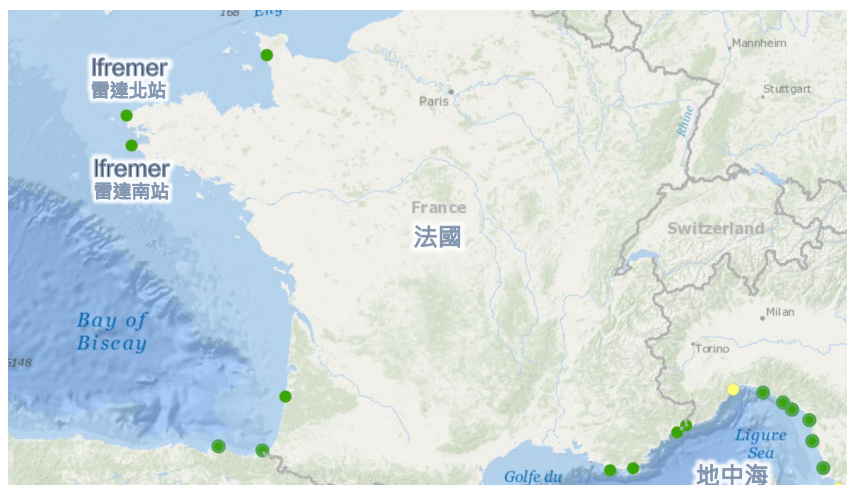


圖 27 本次實地學習地點(Ifremer 雷達站)



圖 28 本次實習學習法國海洋開發研究所之路易士博士

1.天線訊號校準與分析

由於陣列雷達本質為無線電波傳播，高頻雷達頻率為 3-30MHz 的頻段範圍，該頻段正好於調頻(FM)/調幅(AM)收音機的接收範圍之內，故使用傳統收音機能聽見雷達脈衝訊號，收音機發出的啾啾啾聲，感覺非常神奇，課程使用的收音機調整頻率情形，如圖 29 所示。

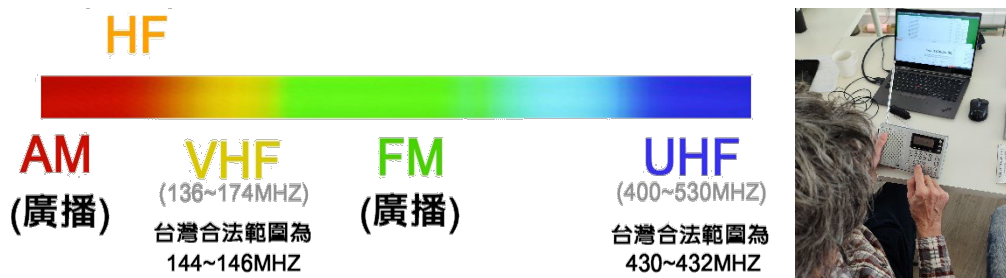
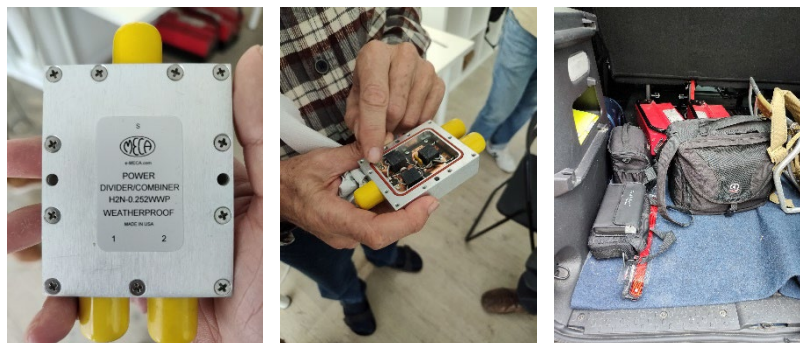


圖 29 頻段與課程用收音機

實習當天教授一邊整理一邊教學，雷達調校與訊號校正常用的工具有功率分配器(Power Dividers)與雙向耦合器(Bi-Directional Coupler)，如圖 30 所示，



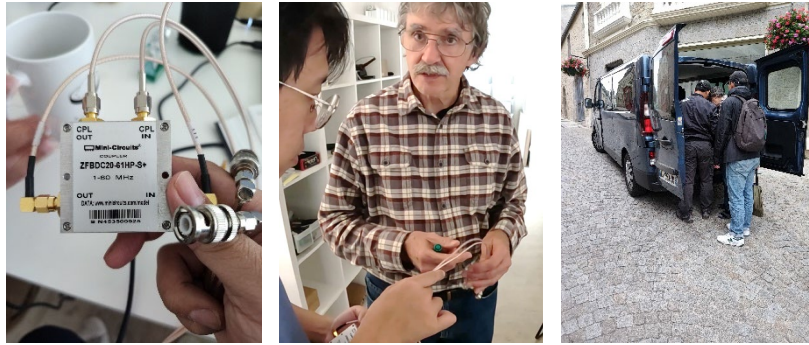



圖 30 雷達訊號調校常用工具(上列/功率分配器；下列/雙向耦合器)

其中功率分配器，S 端表示訊號來源端，可以將訊號分配成為兩個輸出訊號(輸出端 1 與輸出端 2)，透過兩個不同輸出端量測分配訊號的頻率與功率；另個是雙向耦合器，由於纜線容易受到現場環境溫度、電纜材料的導電性質與纜線裁剪長度不同，因此電磁波訊號的相位產生差異，需要透過測量相位，並確保每條纜線內訊號傳輸時間一致，故需要雙向耦合器，透過纜線的相位時間差，可以計算出待剪除的線段長度，待剪長度(L)為示波器中相位之時間差(Δt)的二分之一，乘上 0.66 倍的電磁波速度(c)，其中 0.66 為電磁波於纜線傳遞之速度傳遞係數 (PE 實心材料為 0.67，PTFE 實心材料為 0.695，泡沫電纜為 0.85)，如圖 31 所示。

$$L = \frac{\Delta t}{2} * c * 0.66$$

RG316
Cable coaxial, RG-316, 50 ohm, 328 ft, 100 m



Electrical Characteristics

Capacitance	: 95pF/m
Impedance	: 50Ω ±2Ω
Velocity of Propagation	: 69.5%
Conductor DCR	: 277.2Ω / km
Outer shield DCR	: 20Ω / km
Max. Operating Frequency	: 3,000MHz
Max. Operating Voltage	: 1,200 RMS
Corona Extinction Voltage	: 1,200Vrms
Voltage withstand	: 2,000Vrms
Spark Test	: 2,000Vrms
Operating Temperature Range	: -55°C to +200°C

圖 31 纜線傳遞的速度傳遞係數

對於本次實地發射天線場型訊號量測，教授與學員使用移動場強度計進行量測，首先需要行走靠近發射天線場裡，但雷達站周邊雜草超過半身難以進入，解決雜草問題後，將所有的發射天線(Tx)連接在一起，使其發射雷達脈衝訊號，第二個步驟是規劃一個移動量測路線，一般係規

劃以發射天線(Tx)為中心，並選定合理半徑的圓形軌跡，於規劃路徑上行走，使用實務訓練需要的一個磁性線圈(即移動場強度計)、一個頻譜分析儀與精確的 GPS，然後於於規劃圓形路徑上行走，每個量測點約行走 5 度的圓周，到點位時暫停移動，並記錄 GPS 座標，然後開始進行訊號量測，使用磁性線圈於發射天線的方向，以垂直環量測，頻譜分析儀先找到最小值(先做 minimum)記錄，然後於同一地點，將磁性線圈旋轉 90 度，量測找出最大值(再做 maximum)記錄，總共收集 72 筆量測資料的結果，後於極座標圖中繪製結果，並與 Google Earth 衛星圖像重疊，驗證雷達訊號對於接收天線(Rx)陣列指向性之正確性，如圖 32 所示。



圖 32 天線訊號校準與分析

2. 海洋雷達組裝演練

關於本次出國研究第 2 場實務訓練部分，係由法國海洋開發研究所路易士博士進行，他認為基礎上每支陣列發射天線都是獨立調整的，需

要檢查發射天線的陣列訊號，從最靠近發射站點開始檢查，並在發射天線上設置 4 通道的示波器，並輸入阻抗為 50 歐姆，必須確認 4 支發射天線的振幅必須相等，以及確保相位於適當位置，且 4 個發射天線振幅必須相等，組裝時需要特別注意。硬體組裝部分由於雷達南站空間有限，路易士博士請我們先把雷達設備搬運至空曠處已準備好的桌上，然後手持工具指導我們該如何進行拆解與安裝流程，確認完工作項目之後，後續便開始自主拆除雷達設備與硬體組裝，此次組裝需特別保留類比數位訊號轉換器，因為之後此設備將與 D-TACQ 重新鎖固在一起，並重新安裝電源模組，交代完畢後路易士博士就自行檢查發射端等其他問題，與皮爾教授一樣，他們都記錄工作流程的習慣，因為當下記錄清楚，後續查修進度與追蹤就會很方便，如圖 33 所示。



圖 33 雷達設備與硬體組裝

雷達是高度精密的儀器，討論執行流程與工作狀況很簡單，但執行起來具備一定門檻高度，意思是說我們依照路易士博士指示拆除與重新安裝雷達設備，但組裝完成的雷達就是無法順利運作，發射天線停止發射訊號，當時無法找出原因；因此，路易士博士教導我們故障逐一排查的方法，第 1 步為從訊號源頭開始檢查，檢查是否能量測到訊號源，如果無訊號，第 2 步為排查電力是否有問題，需檢查接線狀態與無熔絲保險開關是否跳脫，若無法解決問題，第 3 步為使用電錶查詢關鍵零件(意

旨易故障損壞的零件)的端電壓是否符合工作電壓。最後經確認本次實習的問題與電力系統有關，查線改善電力，並完成接地後，雷達已順利運作，完成本次的組裝訓練。

五、參訪活動

1. Le Belvédère de Kéramézec 觀景台

回憶此地觀景台是初次學習燈塔課程的地方，此位置為周邊附近地勢較高處，很適合觀看海岸線附近之狀況，記得當時為晚間 9:50，正等待日落時分(10:30)，黑夜降臨時燈塔的燈火總是特別明亮，教授說為何每座燈塔都有他的獨特身分，係因每座燈塔光亮與顏色不同，色溫不同顏色亦不同，有白光、藍光或紅光等、每座燈塔透鏡大小不同，所以照色遠近亦不同，甚至燈塔閃爍的次數，與每次閃爍的週期都有不同狀況，最特別是某些燈塔是以發出聲響防止船舶靠近海岸的，這種不以燈火示警，反而以霧號警示的燈塔也是當地的特色之一，所以教授才說每座燈塔都很有特色，的確每座燈塔的功能與特性都不同，某些燈塔甚至與基地台結合，我們在此聽講，並拿望遠鏡觀察周邊燈塔情況，如圖 34 所示。



圖 34 Le Belvédère de Kéramézec 觀景台

2. Cave Le Corps de Garde 酒窖

教授對於石砌建築非常感興趣，特別忠於石頭的喜愛，據旁觀觀察教授非常了解石頭的質地與特性，因此，即便沒有工具僅依靠觸覺與判斷石頭的硬度與受風化程度，便知曉建築材料採用何種原料，例如：花崗岩、大理石、石英岩等，他都能很輕易判別，搭配每個時代的建築歷史，每段時期喜愛使用的建材，使他能輕易地判斷建築物之年齡，在研究期間他無時無刻都與我們述說著他與石頭的故事，如圖 35 所示。



圖 35 Cave Le Corps de Garde 酒窖的石頭

3. Pointe Saint Mathieu 聖馬蒂厄燈塔

燈塔是海上交通的重要助航設施，目的於警告船舶此處障礙物，前方礁石請不要靠近，或者告知船舶現在航向否正確，如果船舶行駛正確方向，由船長室望去燈塔將見到綠色光亮，表示船舶可以繼續行駛，但若見到紅色光亮，則表示船舶航向目前是錯誤的，無法繼續前進，在 GPS

導航不普及的時候，燈塔的作用特別明顯，聖馬蒂厄燈塔以花崗岩建成，紅白相間為其特色，燈塔塔高 37 公尺，燈塔座落於 11 世紀的修道院(聖馬蒂厄·德·芬特爾修道院)廢墟旁，傳說修道院僧侶於聖地燃火指引船隻，現已經有燈塔能引導船隻航行於伊魯瓦海域，如圖 36 所示。



圖 36 Pointe Saint Mathieu 聖馬蒂厄燈塔

4. Phare de Kermorvan 克莫萬燈塔

法國布列塔尼地區塔特別多，像是那種沿著海岸線行駛，隨處可見的情況，可見法國多重視航運這件事，經過的克莫萬燈塔塔高 20.35 公尺，曾經於 windows 作業系統的保護圖片當中見過這座燈塔，這座燈塔為四方柱造型是他的特色，夕陽餘暉映襯時最富魅力，正好趁周末時分前往朝聖，如圖 37 所示。

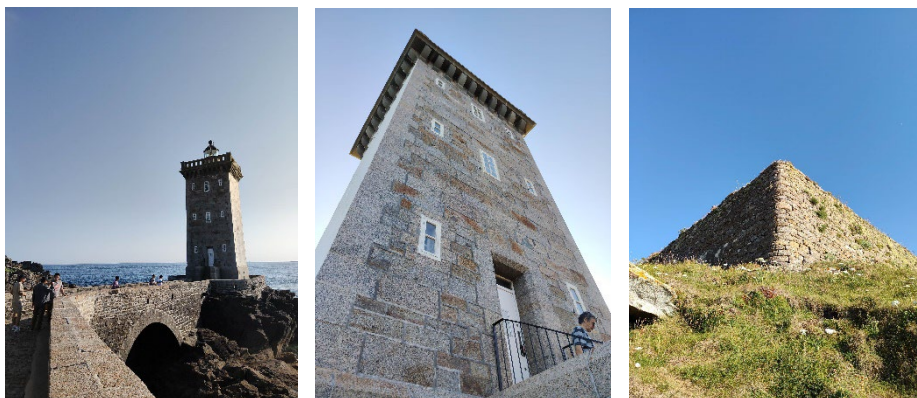


圖 37 Phare de Kermorvan 克莫萬燈塔

5. Île Vierge lighthouse 維爾京島燈塔

由於法國人大多不講英語，參觀維爾京島燈塔時，正好碰上會講英語的法國人，他為我們講解此處關於維爾京群島 (l'Île-Vierge) 的歷史，此地位於布列塔尼西北海岸，因為波浪和潮汐運動引起的洋流，導致航道上非常的危險，島上有兩座燈塔，一座源於西元 1,845 年興建首座燈塔，但由於照明光線太過微弱，導航效果有限，而且燈塔曾經發生火災，於是便興建第 2 座燈塔，第 2 座燈塔於西元 1,902 年完工啟用，塔高 82.5 公尺(仍為目前歐洲最高的石砌燈塔)、牆厚達 4 公尺，塔身由花崗岩建造，外部樓梯由路面進入燈塔，會先經過 5 階花崗岩石階，進入塔身後共有 360 階石頭旋梯，合計走過 365 個石階，塔身內牆面為避免結冰現象，均於塔身內表面處覆蓋 12,500 塊天空藍蛋白石板製成瓷磚內貼，該瓷磚係由玻璃粉與羊骨粉製成，據悉蛋白石為一種昂貴的材料，因能隔離燈塔免受凝結的特性而被當作建材，如圖 38 所示。



圖 38 Île Vierge lighthouse 維爾京島燈塔

6. Pont du Diable 惡魔橋

橋梁是交通很重要的設施之一，本次參觀的惡魔橋建橋歷史已久遠不可考究，當地流傳磨坊主人與惡魔交換靈魂興建石橋，由於石橋建於接近海平面的感潮河段，因此每次潮汐都會被淹沒，當退潮時石橋連接普盧格諾(Plouguerneau)與蘭尼利斯 (Lannilis) 兩地，是一座由花崗岩打造的石頭橋，據悉當時歐洲隨處可見惡魔橋，但教授提到根據石橋的建築方式，橋齡約一千多年，追溯歷史應是羅馬帝國時期，大概是兩地運輸需要而興建的橋梁，如圖 39 所示。



圖 39 Pont du Diable 惡魔橋

7. Musée Mémoires 39-45 戰爭博物館

出國培訓期間的那週六，記得天氣實在太熱，皮爾教授提議去附近的戰爭博物館，因為那裡是二戰時期的地下碉堡(bunker)，深度大約地下五層樓層深，非常適合當天乘涼。進入博物館能瞭解過去布列塔尼戰爭第二次世界大戰之歷史，當時盟軍利用納粹(德國)喜歡把東西丟至爐火焚燒特性，以老鼠攜帶炸彈(鼠彈)的方式，故意讓德國人捕獲，並等待其丟至爐火焚燒自爆，達成偷襲敵人的目地，如圖 40 所示。

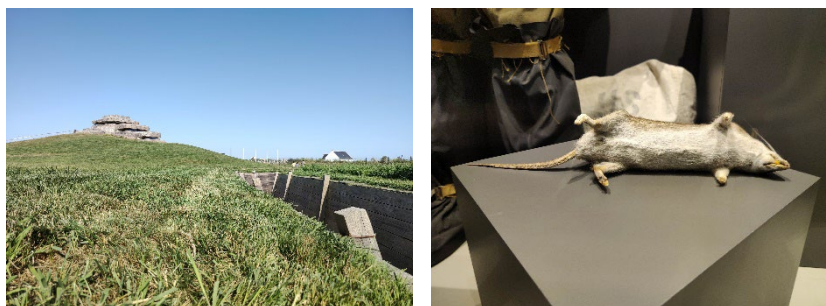




圖 40 Musée Mémoires 39-45 戰爭博物館

8. Museum of seaweed and algae 海藻博物館

參觀海藻博物館，據了解布列塔尼海域周邊盛產海藻，海藻之種類眾多(約有 800 種)，自古以來採集海藻為當地最傳統的產業之一，亦是法國最重要之海藻產地，因為海藻具有豐富的微量元素，布列塔尼地區之海鮮餐前菜常見海藻身影。博物館介紹海藻採集方式的演進，當機械化採集逐漸普及與規模，已逐漸取代人力採集方式，如圖 41 所示。

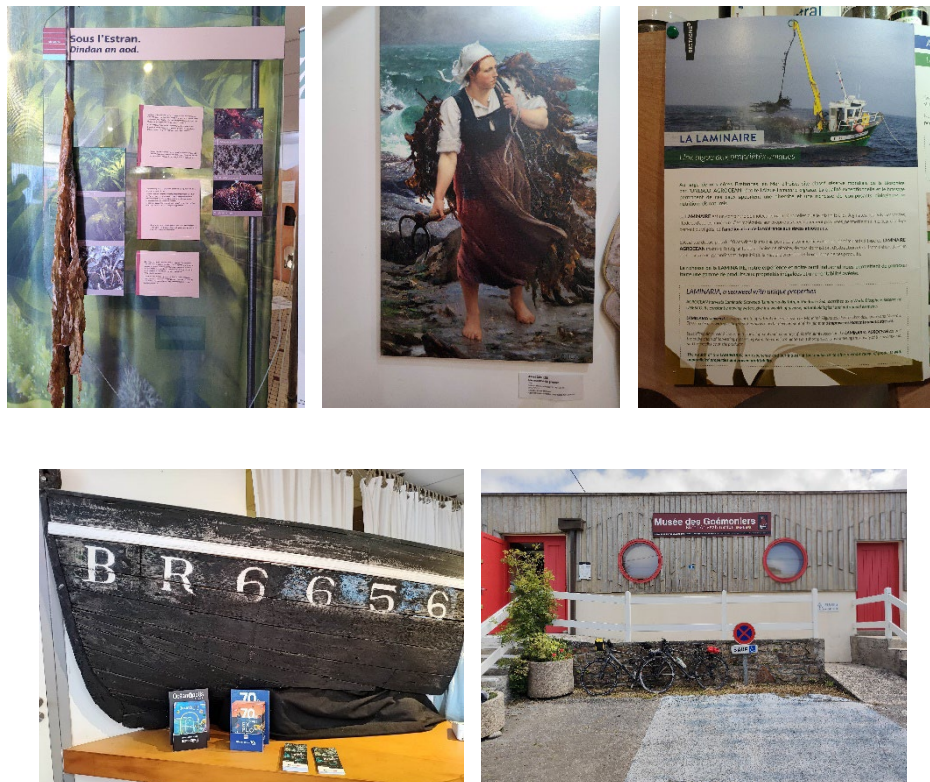


圖 41 Museum of seaweed and algae 海藻博物館

9. Brest Harbor 布雷斯特港

布雷斯特港是布雷斯特重要的軍事與貿易港口，據說在羅馬時代布雷斯特就是知名的軍事要塞，戰略地位相當重要，皮爾教授說過布雷斯特第二次世界大戰時，曾經遭受猛烈轟炸，因此許多石頭古蹟全被摧毀消失殆盡，故現在城市所見許多建物，如果仔細觀看當地建築物外觀就會察覺，這裡的城市比較現代，因為建築方式都採混凝土建築形式重建，反而失去了傳統的特色，故教授說他不喜歡布雷斯特的城市感受；來到布雷斯特港口，就會發現這是一個聚集許多帆船在此停泊的港口，如果你於布雷斯特工作沒有一艘帆船，別人還不知道你在這裡生活，這裡的人擁有一艘船就像你多買一輛汽車一樣，如圖 42 所示。

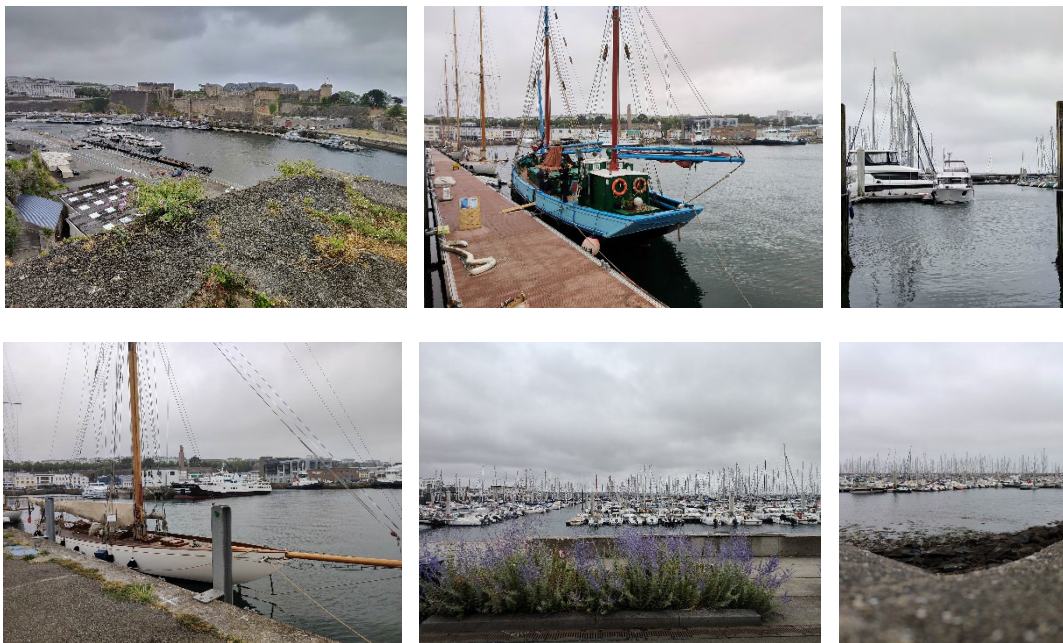


圖 42 參觀 Brest Harbor 布雷斯特港

六、研究心得與建議

本次出國計畫前往法國布雷斯特，不論晝夜都在布列塔尼地區範圍之內、進行研究與實地訓練，充分與專家進行交流與討論，汲取國際經驗，實在受用不盡，終於在培訓結束後獲得證書，如圖 43 所示，後續可作為日後雷達研究工作之應用參考，並趁此機會釐清研究方向與待補強之處，對於提升研究態度及強化本職學能有所助益，以下提出本次研究心得與建議：



圖 43 完成培訓獲得證書

(一)、研究心得：

1. 本次出國計畫研究課程緊湊，但過程給予充分時間互動交流，因此許多疑問大多都能立即解答；許多關於海洋雷達的理論面、技術面與實務經驗，教授已親身經歷無數次嘗試，具參考價值，透過研究培訓獲得雷達效能改善的相關經驗，非常寶貴。
2. 透過本次出國計畫研究，明白海洋雷達電磁波發射場場型其實為一立體化的電磁波場，過去場型校正僅針對平面發射訊號的振幅與相位校正，尚未考慮垂直地面方向的發射訊號校正，且國外已有無人機協調校案例可供借鏡。
3. 有關國內海洋雷達研究能力、維護人力缺乏，能夠相互支援的工作夥伴有限，體現海洋雷達技術與實務面不足的問題，透過本次出國計畫研究之實務訓練，增進本所研究人員雷達能力，稍微彌補國內雷達人力斷層的問題。
4. 本次出國計畫研究習得工作紀錄的重要性，不論是美國夏威夷大學教授與法國海洋開發研究所首席研究員均耐心地完成工作事項登載，與李俊穎科長要求外業同仁將工作事項登載於數位化管理系統概念相同。
5. 由於無法確保海洋雷達站資料蒐集系統，電腦何時會故障，過去沒有資料蒐集電腦的重建技術，故無法防範未然，需要審慎思考未來的備份計畫，以爭取電腦故障與排除異常時，有充足時間準備及應付。

(二)、研究建議：

1. 不論任何領域之學習與研究，對於研究人員的需求而言，總不能滿足，因此，本所今年度已經開始執行研究會形式之期刊研討，以增加研究能

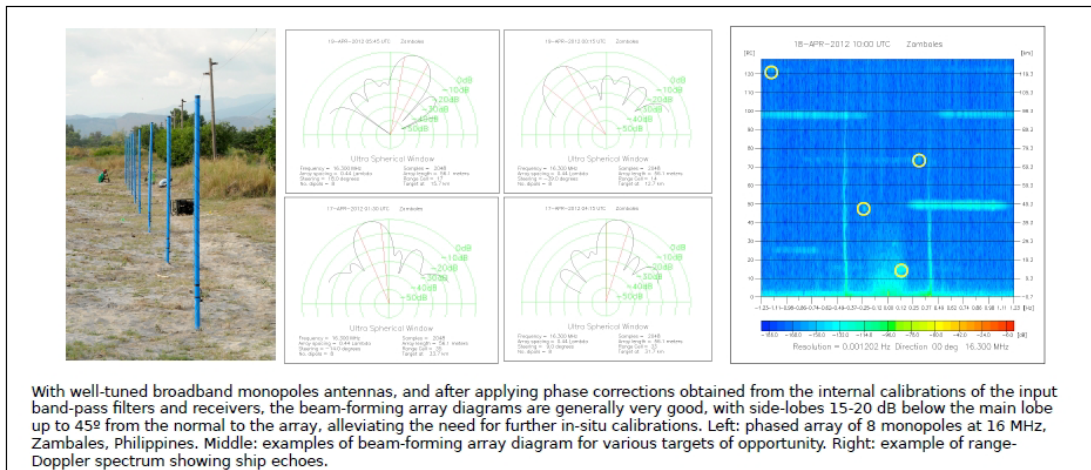
量，建議辦理不定期專家學者工作坊，藉由交流互動討論，汲取國際與國內之實務經驗。

2. 有關海洋雷達發射場型進階校正立體化電磁波發射場，調校發射天線的振幅與相位，迄今為止臺灣尚未有應用無人機調校案例，建議未來可以朝向無人機應用，檢修與校正海洋雷達。
3. 為實現後續雷達站自主維護與提升研究人員能力，以及彌補國內雷達人力缺乏問題，建議未來能建立本土化海洋雷達硬體維護手冊，以提供新進研究人員技術手冊查詢，使後續業務執行過程，減少人力斷層。
4. 有關海洋雷達技術精進、定期與不定期維護過程，建議日後海洋雷達作業情形，能完善記錄，以利後續研究人員進行維護之工作軌跡查詢，與後續作業規劃評估應用。
5. 期望未來能建立與完善海洋雷達站資料蒐集系統之備份計畫，建議研究人員建立備份計畫，以防範電腦故障與異常無法排除時，能緊急啟動因應，以恢復系統正常運作。

附錄 A 研究與培訓資料

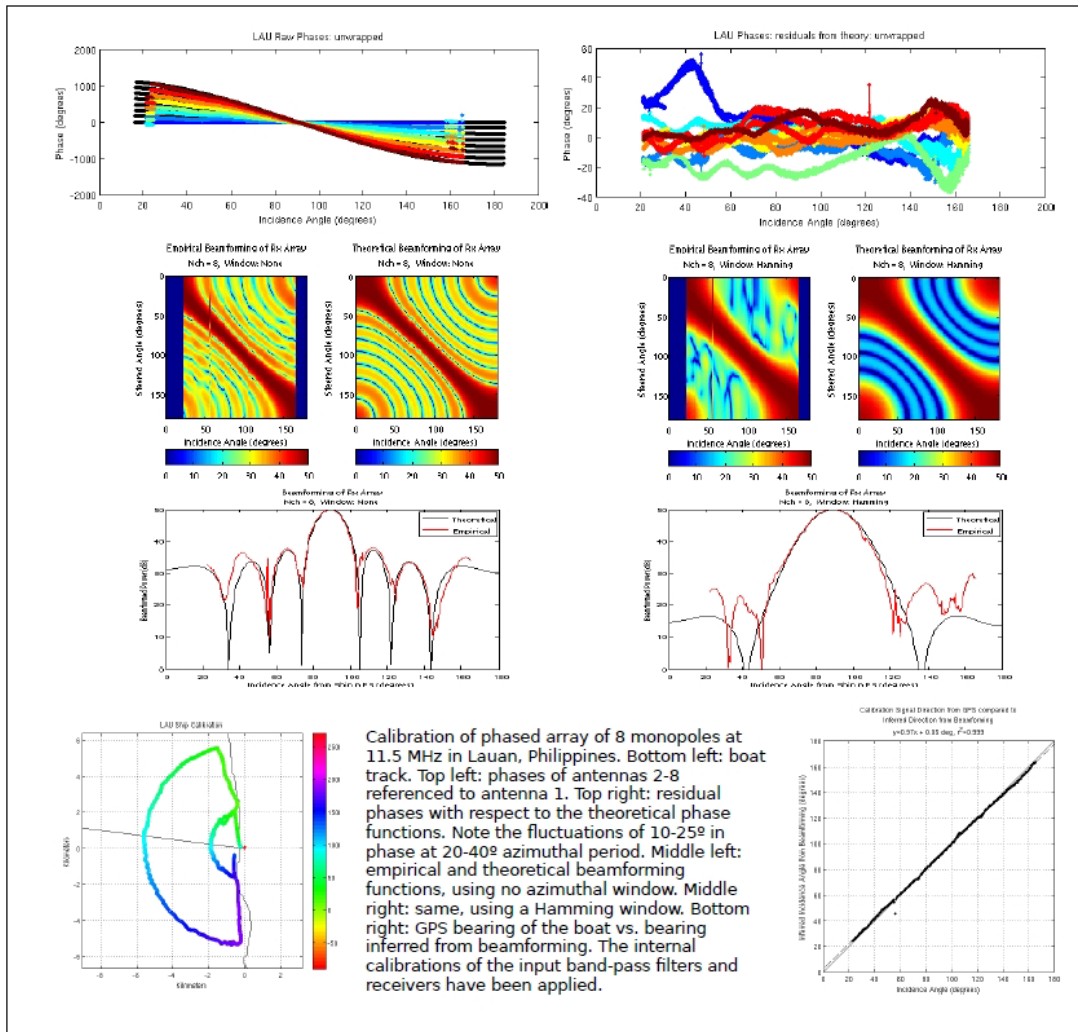
Abstract. HF radars measure currents through the Doppler-shift of electromagnetic waves Bragg-scattered by surface gravity waves. While modern clocks and digital synthesizers yield range errors negligible compared to the bandwidth-limited range resolution, azimuth calibration issues arise from beam-forming phased arrays. Sources of errors in the phases of the received waves can be internal to the radar system (phase errors of filters, cable lengths, antenna tuning) and geophysical (standing waves, propagation and refraction anomalies). They result in azimuthal biases (which can be range-dependent) and beam-forming side-lobes (which induce Doppler ambiguities). We analyze the experimental calibrations of 17 deployments of WERA HF radars, performed between 2003 and 2012 in Hawaii, the Adriatic, France, Mexico and the Philippines. Several strategies were attempted: (i) passive reception of continuous multi-frequency transmitters on GPS-tracked boats, cars, and drones; (ii) bi-static calibrations of radars in mutual view; (iii) active echoes from vessels of opportunity of unknown positions or tracked through AIS; (iv) interference of unknown remote transmitters with the chirped local oscillator. We found that: (a) for antennas deployed on the sea shore, a single-azimuth calibration is sufficient to correct phases within a typical beam-forming azimuth range; (b) after applying this azimuth-independent correction, residual pointing errors are 1-2 deg. rms; (c) for antennas deployed on irregular cliffs or hills, back from shore, systematic biases appear for some azimuths at large incidence angles, suggesting that some of the ground-wave electromagnetic energy propagates in a terrain-following mode between the sea shore and the antennas; (d) for some sites, fluctuations of 10-25 deg. in radio phase at 20-40 deg. azimuthal period, not significantly correlated among antennas, are omnipresent in calibrations along a constant-range circle, suggesting standing waves or multiple paths in the presence of reflecting structures (buildings, fences), or possibly fractal nature of the wavefronts; (e) amplitudes lack stability in time and azimuth to be usable as a-priori calibrations, confirming the accepted method of re-normalizing amplitudes by the signal of nearby cells prior to beam-forming.

Acknowledgments: the HF radar processing software was provided by K.W. Gurgel, Universität Hamburg. Funding: DHS, ONR, NOAA, NSF, CoNaCyT.

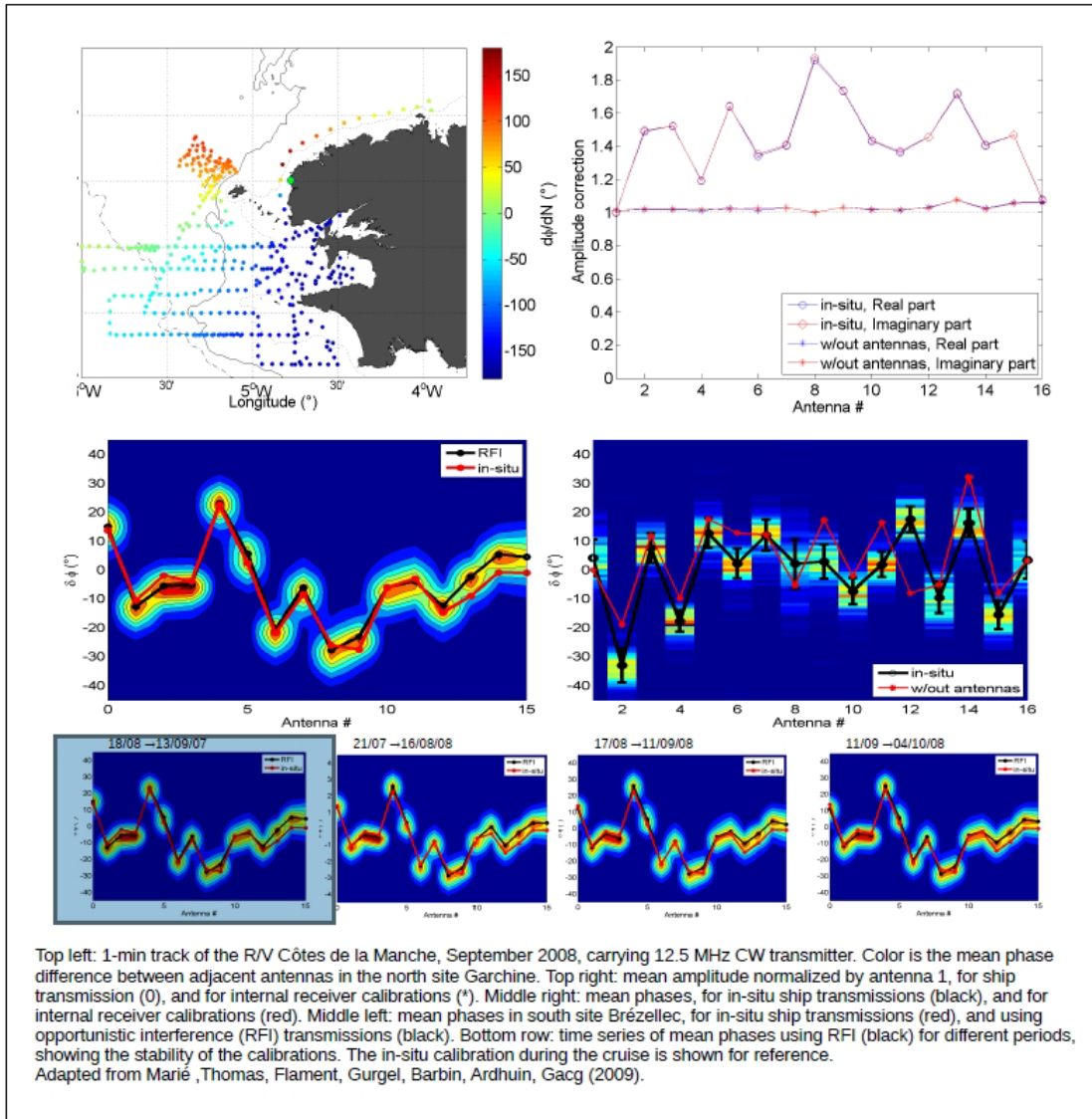


With well-tuned broadband monopoles antennas, and after applying phase corrections obtained from the internal calibrations of the input band-pass filters and receivers, the beam-forming array diagrams are generally very good, with side-lobes 15-20 dB below the main lobe up to 45° from the normal to the array, alleviating the need for further in-situ calibrations. Left: phased array of 8 monopoles at 16 MHz, Zambales, Philippines. Middle: examples of beam-forming array diagram for various targets of opportunity. Right: example of range-Doppler spectrum showing ship echoes.

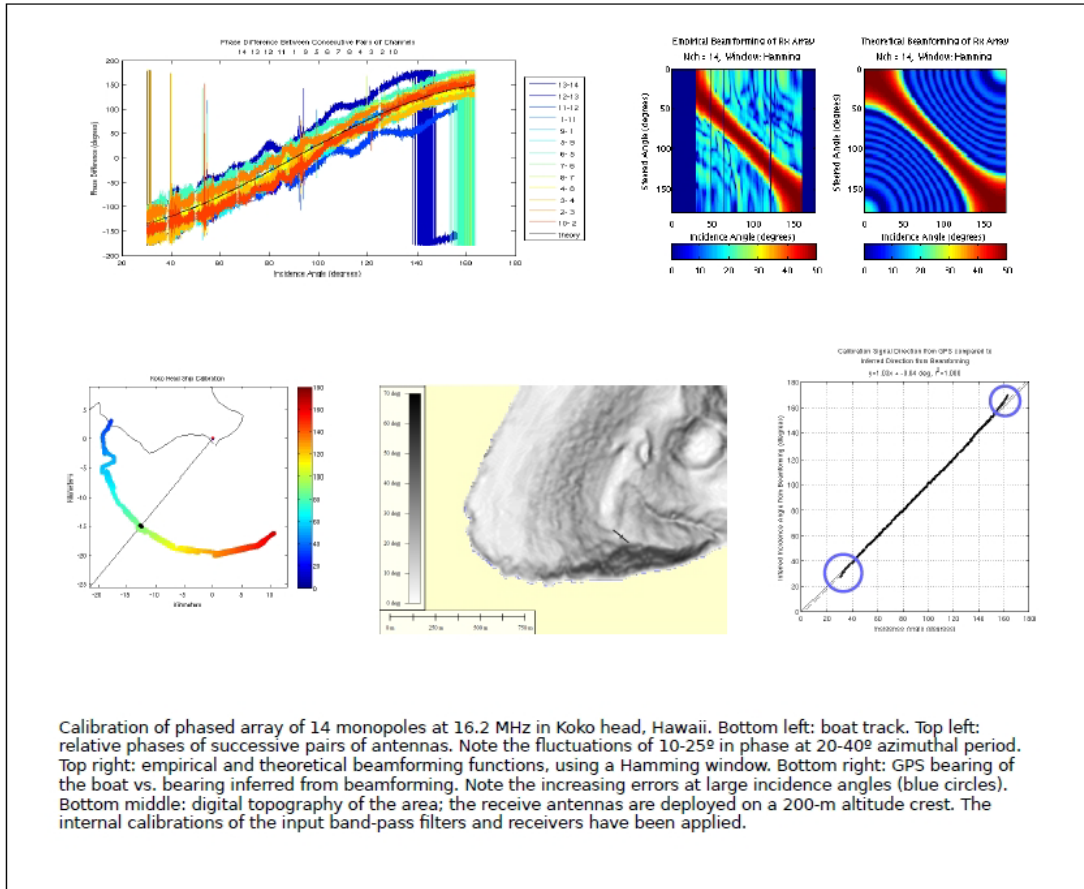
***資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。**



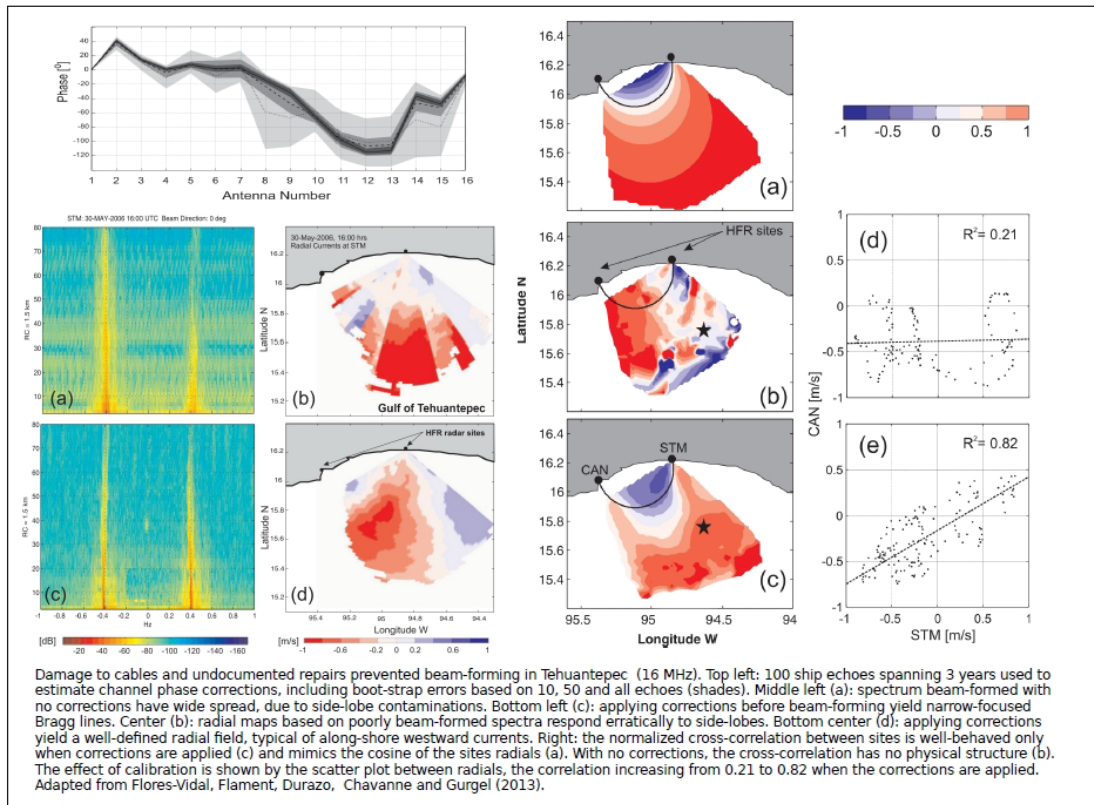
*資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。



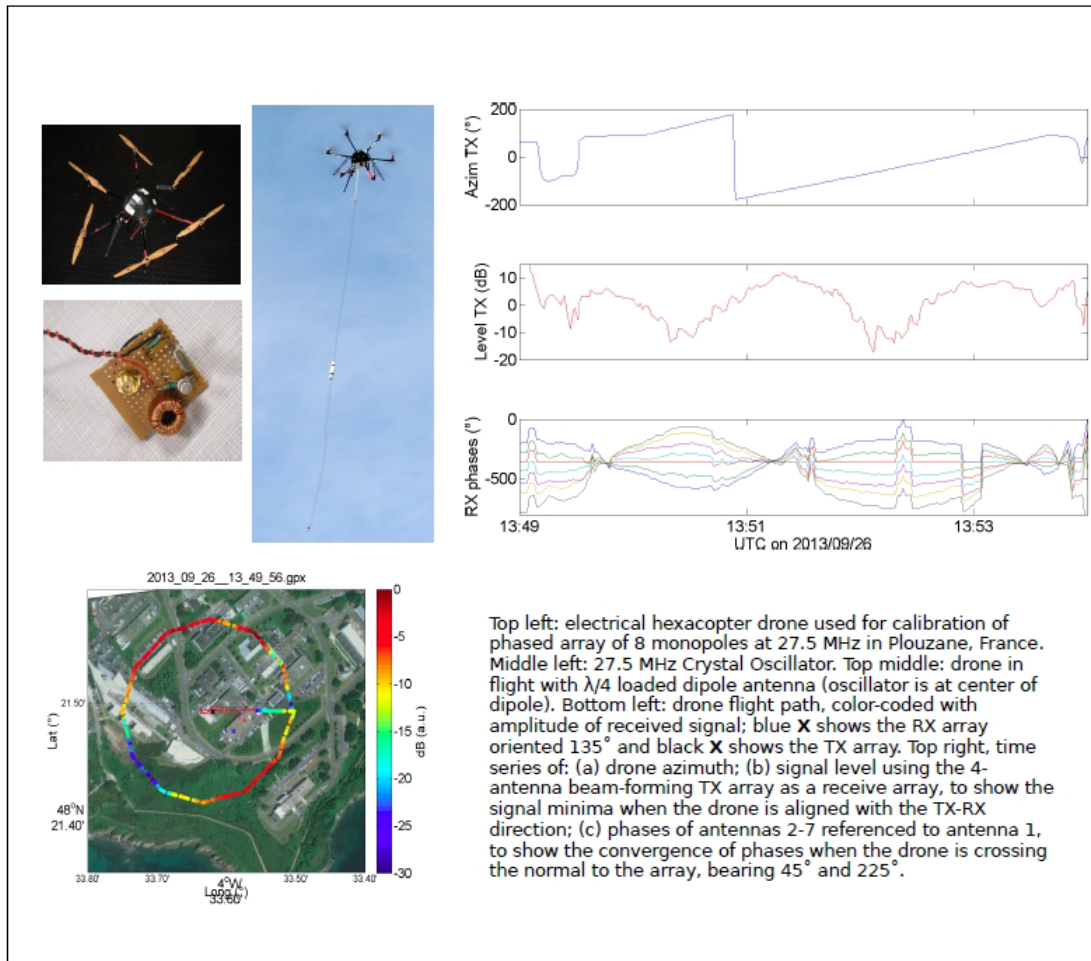
*資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。



*資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。



*資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。



*資料來源：由美國夏威夷大學 Prof. Pierre Flament 與 Ocean Physics 公司提供或協助。

112年「為建立綠色智慧環境監測技術發展架構，進行國際港口新型海氣象設備、船舶航行安全與水工模型試驗等應用與實地技術學習」出國計畫

簡報人：李政達

Institute of Transportation, MOTC
交通部運輸研究所 

出國心得報告

中華民國 112 年 9 月

簡報大綱



簡報
大綱

出國
行程

技術
研究

實地
訓練

心得
建議

第一部份	雷達技術訓練與研究 (Pierre進階雷達調校)
第二部份	實地研究與培訓 (Ifremer交流實習)
第三部份	心得建議

出國計畫時間：112.6.19 (-)~7.3 (-)



交通部運輸研究所港研中心
研究人員 李政達



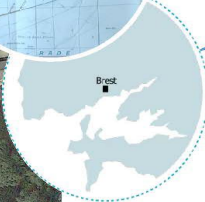
交通部運輸研究所
(運輸技術研究中心)



研究地點(1)

本次出國地點：

布列塔尼-布雷斯特



法國布列塔尼半島



研究地點(2)

本次教育訓練的教室：

使用教室前須要先整理環境，整理後如下圖



出國計畫行程

6.19 ~ 6.20	出發-抵達法國
6.21 (三)	海洋雷達系統教程與天線場型
6.22 (四)	海洋雷達系統硬體與組裝培訓
6.23 (五)	海洋雷達訊號降噪與干擾消除
6.24 (六)	戰爭博物館、聖馬蒂厄燈塔、克莫萬燈塔
6.25 (日)	維爾京島燈塔、海藻博物館、惡魔橋、布雷斯斯特港
6.26 (一)	天線訊號校準與分析(實地研究與培訓)
6.27 (二)	海洋雷達訊號處理與夏威夷案例介紹
6.28 (三)	海洋雷達組裝演練(實地研究與培訓)
6.29 (四)	海洋雷達Wiki操作記錄
6.30 (五)	海洋雷達系統安裝與備份
7.01 (六)	頒發證書
7.02 ~ 7.03	返程-回國

4

雷達技術訓練與研究



海洋雷達系統教程與天線場型

- 天線分為雙極(dipole antenna)與單極天線(monopole antenna)兩種。
- 天線纏繞方式以 $\lambda/4$ 纜線長度，盤繞於高度 $\lambda/8$ 的桿材。
- 最好的材料是玻璃纖維。



Item	length	general length	4.46 MHz length	8.25 MHz length	13.5 MHz length	16 MHz length	27 MHz length
wavelength	lambda	67.26 m	36.36 m	22.22 m	18.75 m	11.11 m	
vertical wire	lambda/4	16.8 m	9.09 m	5.55 m	4.69 m	2.78 m	
radial wires	lambda/8	16.8 m	9.09 m	5.55 m	4.69 m	2.78 m	
pole height	lambda/8	8.4 m	4.55 m	2.78 m	2.35 m	1.29 m	
pole diameter	lambda/300	22.4 cm	12 cm	7.5 cm	6.3 cm	3.7 cm	



海洋雷達系統教程與天線場型

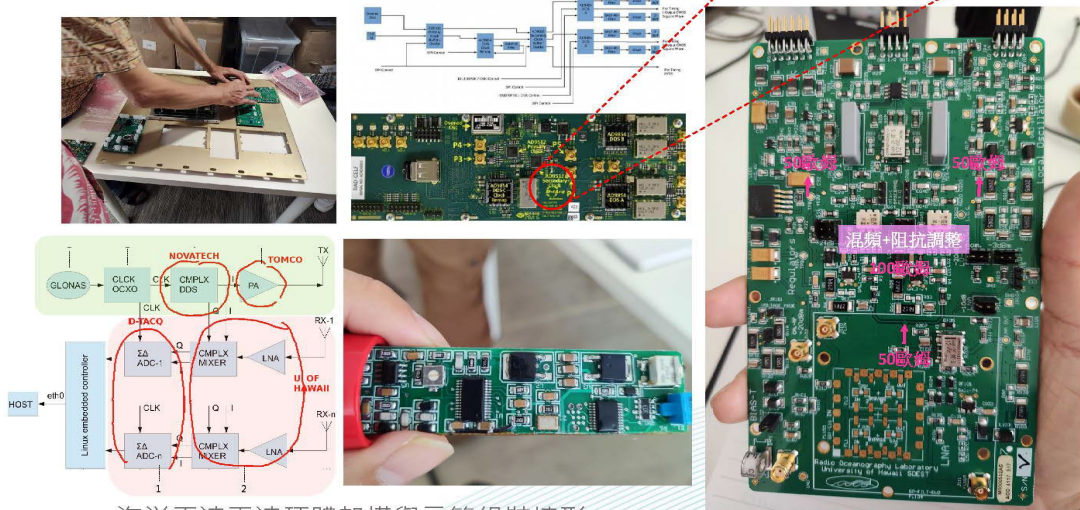
5

雷達技術訓練與研究



海洋雷達系統硬體與組裝培訓

- 介紹雷達硬體架構與示範組裝情形
- D-tAcq是重要的雷達元件。



海洋雷達雷達硬體架構與示範組裝情形

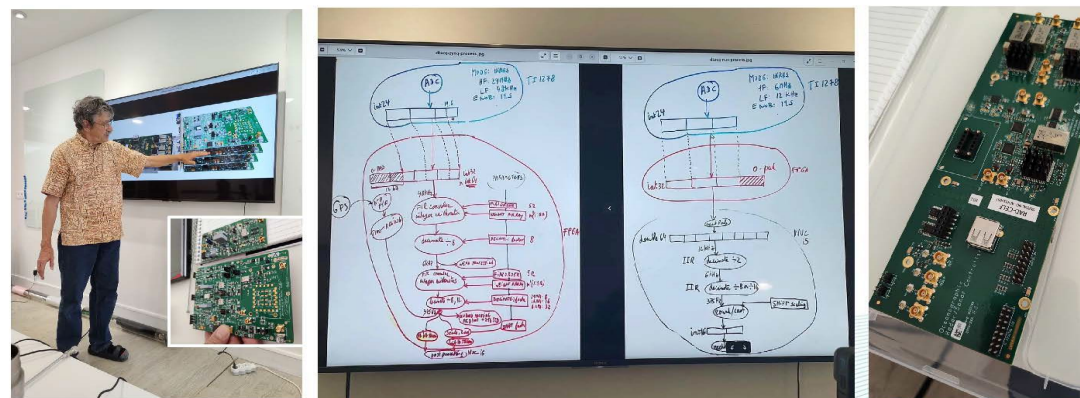
6

雷達技術訓練與研究



海洋雷達系統硬體與組裝培訓

- 海洋雷達系統硬體已被簡化。
- 電源供應模組內部教學。
- 發射模組教學、接收模組教學。



海洋雷達系統教程與天線場型

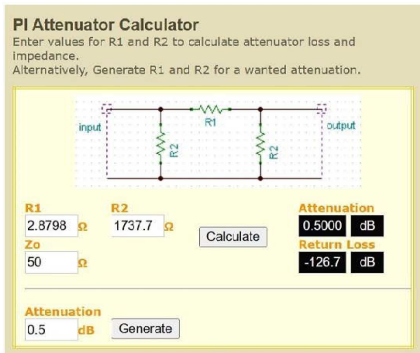
7

雷達技術訓練與研究



海洋雷達訊號降噪與干擾消除

- 介紹PI衰減器。
- 功率損耗需要根據功率放大器的功率，去計算衰減器的衰減量。
- 推薦使用網路PI衰減器計算機，很方便。



網路PI衰減器計算機



各式接頭與衰減器

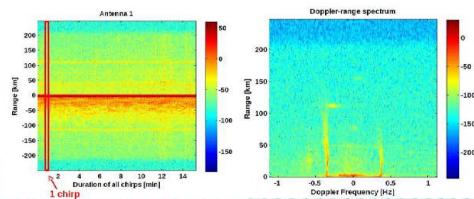
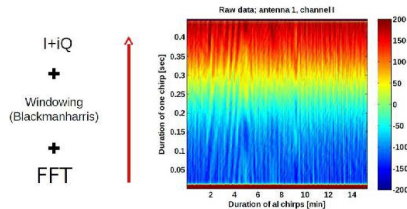
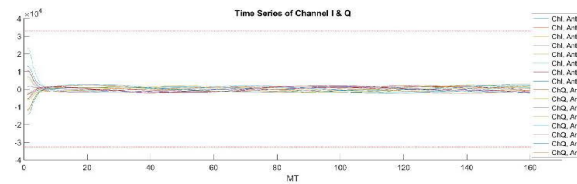
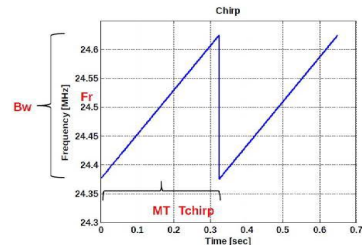


雷達技術訓練與研究



海洋雷達訊號降噪與干擾消除

- 解釋電磁波的特性與傳播原理。
- 解釋海表面為何產生週期性震盪。
- 無預警隨堂考試。



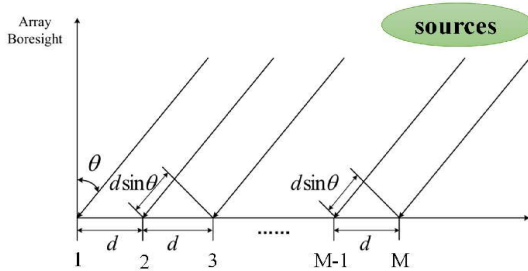
海洋雷達系統教程與天線場型

雷達技術訓練與研究

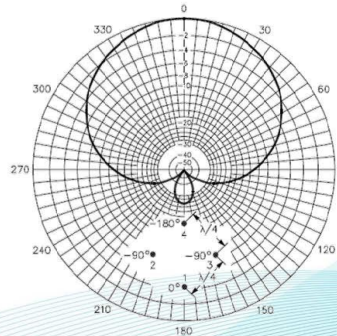
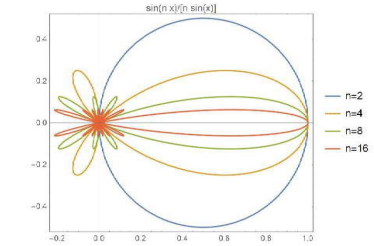


海洋雷達訊號處理與夏威夷案例介紹

- 海洋雷達訊號處理，採用波束合成技術。
- 利用電磁波方向到達方法(DOA)，找到海面能量最大位置。



電磁波方向到達接收天線的示意圖



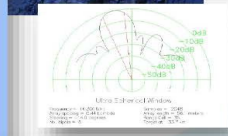
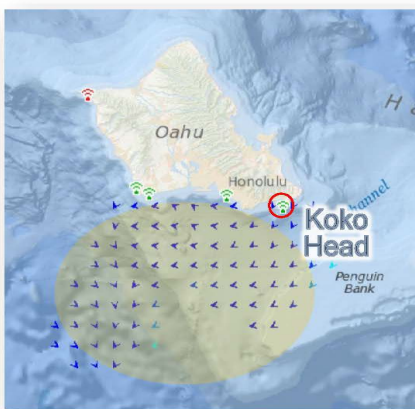
發射天線的場型

雷達技術訓練與研究



海洋雷達訊號處理與夏威夷案例介紹

- 夏威夷海洋雷達已納入IOOS觀測系統。
- Koko head案例、Pepeekeo案例。
- 美國海岸巡防隊協助校正。



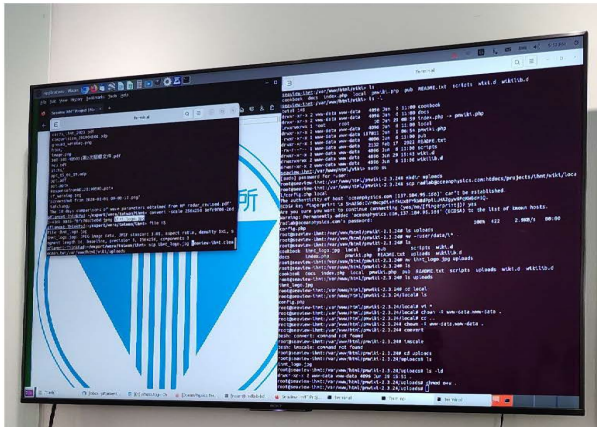
雷達技術訓練與研究



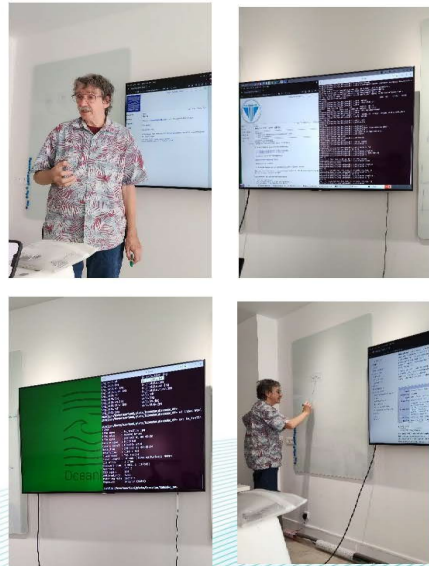
海洋雷達Wiki操作記錄

- 大腦容量很小，能記憶的事物有限。
- 介紹海洋雷達研討會的Wiki案例。
- 按步驟學習建立Wiki的方式。

教導建立Wiki的步驟與方法



須要將所有的精力留給家人與建構Wiki



12

雷達技術訓練與研究



海洋雷達系統安裝與備份

- 無法確保雷達站資料蒐集系統何時會故障。
- 最佳辦法是建立備份計畫。
- 按步驟教學系統電腦的重建。



建立鏡像資料



Linux系統備份



字太小跑去前面看清楚

13

實地研究與培訓



第1場：天線訊號校準與分析

- 將所有的發射天線相連接。
- 示範如何使用，移動場強度計進行量測。



14

實地研究與培訓



第1場：天線訊號校準與分析

- 將所有的發射天線相連接。
- 示範如何使用，移動場強度計進行量測。



15

實地研究與培訓



第2場：海洋雷達組裝演練

- Ifremer 首席研究員 · 路易士博士(Dr. Louis Marié)
- 感謝海洋開發研究所提供訓練場地。



16

參訪活動



戰爭博物館、聖馬蒂厄燈塔

- 戰爭博物館其實是二戰的碉堡
- 建築於廢棄修道院旁的聖馬蒂厄燈塔。
- 燈塔是重要的助導航設施。



戰爭博物館

聖馬蒂厄燈塔

17

參訪活動



克莫萬燈塔、觀景台、酒窖

- 海況惡劣詭譎多變，需要燈塔警示。
- 石頭是當地燈塔是重要的建材。
- 每座燈塔都獨一無二。



克莫萬燈塔



18

參訪活動



維爾京島燈塔、海藻博物館

- 歐洲最高的石砌燈塔。
- 玻璃粉與羊骨粉製成的磁磚。
- 採集海藻為當地重要的傳統產業。



維爾京島燈塔



海藻博物館

19

參訪活動



惡魔橋、布雷斯特港

- 歐洲到處都是惡魔橋。
- 於布雷斯特沒有帆船不好意思出門。
- 帆船逆風前行，之字航行法。



惡魔橋



布雷斯特港

20

研究心得



1. 本次出國計畫研究課程緊湊，但過程給予充分時間互動交流，因此許多疑問大多都能立即解答；許多關於海洋雷達的理論面、技術面與實務經驗，教授已親身經歷無數次嘗試，具參考價值，**透過研究培訓獲得雷達效能改善的相關經驗**，非常寶貴。
2. 透過本次出國計畫研究，**明白海洋雷達電磁波發射場型其實為一立體化的電磁波場**，過去場型校正僅針對平面發射訊號的振幅與相位校正，尚未考慮垂直地面方向的發射訊號校正，且**國外已有無人機協調校案例可供借鏡**。
3. 有關國內海洋雷達研究能力、維護人力缺乏，能夠相互支援的工作夥伴有限，體現海洋雷達技術與實務面不足的問題，**透過本次出國計畫研究之實務訓練，增進本所研究人員雷達能力**，稍微彌補國內雷達人力斷層的問題。
4. 本次出國計畫研究**習得工作紀錄的重要性**，不論是**美國夏威夷大學教授與法國海洋開發研究所首席研究員均耐心地完成工作事項登載**，與李俊穎科長要求外業同仁將工作事項登載於數位化管理系統概念相同。

21

簡報結束
敬請給予指教與建議