

108-122-7B42
MOTC-IOT-108-H2DA002a

離岸風電海下工程技術研發(3/4)

海洋雷達應用於海象觀測之探討 —觀測研究分析



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

108-122-7B42
MOTC-IOT-108-H2DA002a

離岸風電海下工程技術研發(3/4)

海洋雷達應用於海象觀測之探討 —觀測研究分析

著者：李政達、林受勳

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

GPN: 1010802638

定價: 199 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

海洋雷達應用於海象觀測之探討:觀測研究分析 / 李政達,
林受勳著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民
108.12

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-050-9(平裝)

1. 海下工程 2. 風力發電

443

108021921

海洋雷達應用於海象觀測之探討-觀測研究分析

著者：李政達、林受勳

出版機關：交通部運輸研究所

地址：臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587127

出版年月：中華民國 108 年 12 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話(02)25180207

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010802638 ISBN：978-986-531-050-9 (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份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海洋雷達應用於海象觀測之探討-觀測研究分析			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-050-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1010802638	運輸研究所出版品編號 108-122-7B42	計畫編號 MOTC-IOT-108-H2DA002a
主辦單位：港研中心 主管：謝明志 計畫主持人：蘇青和 研究人員：李政達、林受勳 聯絡電話：04-26587127 傳真號碼：04-26560661 地址：臺中市梧棲區中橫十路 2 號			研究期間 自 108 年 01 月 至 108 年 12 月
關鍵詞：離岸風電、線性陣列雷達、高頻雷達			
摘要： 雷達自第二次世界大戰發明以來，廣泛應用於反空戰等軍事用途，後隨著微電子技術發展的成熟，雷達頻率的調製更加穩定與多元，各領域的應用不斷斬獲，特別在近 20 年海氣象觀測史，Sea Sonde、Wellen Radar(WERA)、海面流雷達(OSCR)、地波雷達(GWR)、海洋狀態監測與分析雷達(OSMAR)等雷達系統陸續問世，雷達遙測海氣象始得以實現，時至今日為因應國家能源政策轉型，行政院 101 年 2 月推動執行「千架海陸風力機」計畫，以發展國家未來能源之重點策略，基於交通部掌管陸海空交通安全及維持航行安全之必要，需配合離岸風電政策發展，調查主要母港臺中港區鄰近周邊海域海氣象，提供有效船難訊息及協助救災，爰在臺中港北淤沙區建置線性陣列海洋雷達與投入技術研究。 本研究主要以基地母港與鄰近海域之海象調查為目標，發展雷達遙測，並針對目標海域之波浪與海流之海象資料進行長期的資料蒐集、分析與建檔。本研究雷達觀測波高、週期、徑向流速的時序列漲落趨勢與實測結果具有一致性，相關係數大於 0.8 以上，研究成果可以提供交通部航港局及港務分公司船舶進出基地母港(臺中港)管理應用，面對災害發生時能適時提供處置對策及預防措施之參考，有助於離岸風電海下工程技術發展。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 12 月	201	200	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。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 (解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密) ☒ 普通			
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: Application of ocean radar in discussion and observation of marine monitoring			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-050-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010802638	IOT SERIAL NUMBER 108-122-7B42	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-108-H2DA002a
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Ming-jyh Hsieh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ho Su PROJECT STAFF: Cheng-Da Lee, Shou-Shiun Lin PHONE: (04)26587127 FAX: (04)26560661			PROJECT PERIOD FROM 01/2019 TO 12/2019
KEY WORDS: Offshore wind farm, Linear phase array radar, High frequency radar			
ABSTRACT: Radar was invented in World War II and was used widely for military air defense. Following with the fast growing up of electronic technology, HF radar frequency modulation becomes more stable and with wider ranges. Therefore, the applications of Radar become more popular and common. The radar systems, such as sea sonde, wellen radar (Wera), OSCAR, GWR, and OSMAR, were used for observations of marine in the past 20 years. For instance, remote sensing can be used to measure the wave high and current velocity in the ocean. Taiwan government has a new energy planning in the future. The ROC Executive Yuan promotes the development and use of renewable energy, planning to start building one thousands of wind turbines in February, 2012. Basically, the Ministry of Transportation and Communications (MOTC) manages the transportation of Taiwan, especially in the land transportation and navigation. The basic oceanographic survey is needed before building the offshore wind turbine. More importantly, Taichung harbor which is nearby the offshore wind power farm has its urgent need for study. The government can release the information of shipwreck to assist in ship rescue. That is the reason that the MOTC builds the HF radar array systems in the wind break forest of Taichung. This study focuses mainly on the oceanographic survey in the Taichung harbor and its surrounding maritime space. We aim to develop the Radar remote sensing and collect the basic hydrographic data for the development. Our preliminary result shows that the relationship coefficient of radar investigation (wave high, wave period, radial velocity) is higher than 0.8. The results can be provided the MOTC and Maritime Port Bureau, facilitating to manage the vessels which enter in and leave out the Taichung harbor. In the case of vessels disaster, the government can use our result as reference to solve related problems and to avoid shipwreck to be happened, directly helping the development of the offshore engineering technology.			
DATE OF PUBLICATION December 2019	NUMBER OF PAGES 201	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

摘 要.....	I
圖 目 錄.....	V
表 目 錄.....	IX
第一章 緒論	1-1
1.1 研究背景的回顧.....	1-2
1.2 研究動機與現況說明.....	1-5
1.3 研究範圍與雷達站座標位置.....	1-9
1.4 研究目標.....	1-10
1.5 研究方法.....	1-12
1.6 預期成果.....	1-12
第二章 臺中港港域海象資料.....	2-1
2.1 臺中港海域的氣象.....	2-1
2.2 臺中港海域的海象.....	2-5
2.3 臺中港海域的颱風.....	2-10
第三章 臺中港高頻陣列雷達介紹.....	3-1
3.1 雷達波的頻率.....	3-2
3.2 雷達的種類.....	3-4
3.3 臺中港海洋雷達頻率.....	3-8
3.3.1 掃頻作業.....	3-9
3.3.2 雷達申請作業.....	3-11
第四章 臺中港高頻陣列雷達訊號處理與分析.....	4-1
4.1 高頻陣列雷達系統的設計.....	4-2
4.2 高頻陣列雷達硬體架構及說明.....	4-7

4.3 高頻陣列雷達訊號處理.....	4-14
4.4 高頻陣列雷達訊號分析.....	4-17
4.5 最小啁啾數量分析.....	4-22
第五章 雷達資料與觀測資料比對的情形.....	5-1
5.1 雷達資料與台灣海洋科技研究中心(CODAR)比較.....	5-1
5.2 雷達資料與氣象局新竹浮標比較.....	5-6
5.3 雷達資料與臺中港海氣象觀測比較.....	5-7
5.4 雷達資料分析之困難與成因探討.....	5-15
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-1
6.3 成果效益與後續應用情形.....	6-2
參考文獻.....	參-1
附錄	
附錄一 期末審查意見處理情形表.....	附 1-1
附錄二 期末簡報內容.....	附 2-1
附錄三 臺中港海氣象觀測樁打設資料.....	附 3-1
附錄四 雷達工程規劃書.....	附 4-1
附錄五 雷達發射天線場型圖.....	附 5-1
附錄六 架設許可證.....	附 6-1
附錄七 UH-HFRS 使用手冊.....	附 7-1

圖 目 錄

圖 1.1 本所港研中心雷達站「臺中港線性陣列雷達海洋 1 號」	1-2
圖 1.2 壓力感應器量測水壓示意圖	1-3
圖 1.3 NORTEK 公司之超音波式波向波高與剖面海流儀器	1-5
圖 1.4 受獎勵離岸風場平面位置圖	1-6
圖 1.5 離岸風電潛力場址與推動現況	1-7
圖 1.6 臺中港港埠用地範圍	1-8
圖 1.7 海洋雷達位置與觀測範圍	1-9
圖 2.1 臺中港各觀測站位置示意圖	2-3
圖 2.2 臺中港北防波堤燈塔頂測站處(W 測站)風玫瑰圖	2-4
圖 2.3 臺中港歷年四季波高及波向玫瑰圖	2-8
圖 2.4 臺中港歷年四季海流流速及流向玫瑰圖	2-10
圖 2.5 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2019 年)	2-12
圖 3.1 雷達波傳遞形式示意圖	3-1
圖 3.2 雷達波段與頻率分類	3-3
圖 3.3 都卜勒效應下移動目標的頻偏現象	3-4
圖 3.4 臺灣氣象雷達觀測範圍	3-6
圖 3.5 雷達相控陣示意圖	3-7
圖 3.6 相控陣雷達陣元佈置情形	3-7
圖 3.7 相控陣雷達多目標搜索示意圖	3-8
圖 3.8 中華民國頻率使用分配圖	3-9
圖 3.9 天線安裝與掃頻情形	3-10
圖 3.10 臺中港區無線電頻率 24MHz~28MHz 掃頻情形	3-11
圖 3.11 雷達申請作業流程圖	3-12

圖 3.12 國家通訊傳播委員會專用進口許可證.....	3-13
圖 3.13 國家通訊傳播委員會專用無線電臺執照.....	3-14
圖 4.1 高頻陣列雷達設計架構圖.....	4-2
圖 4.2 振盪器穩定度比較圖.....	4-3
圖 4.3 雷達系統 DDS 所調製的鋸齒波形圖.....	4-4
圖 4.4 頻率調製器 DDS 訊號調製流程圖.....	4-5
圖 4.5 雷達系統發射端之簡易架構.....	4-5
圖 4.6 主動式接收天線的低噪訊號放大器.....	4-5
圖 4.7 高頻陣列雷達實體.....	4-6
圖 4.8 北防沙堤雷達所在地.....	4-7
圖 4.9 UH-HFDRS 零組件製造生產情形.....	4-8
圖 4.10 雷達土建與整地及其他附屬設施施工.....	4-9
圖 4.11 雷達系統的安裝與調整.....	4-10
圖 4.12 雷達發射天線的安裝確認.....	4-10
圖 4.13 雷達訊號衰減的量測情形.....	4-11
圖 4.14 現場計算情形(Channel_1~8).....	4-12
圖 4.15 本雷達設置地網之情形.....	4-14
圖 4.16 臺中港天線觀測的 I/Q 訊號序列圖.....	4-14
圖 4.17 週期震盪的雷達回波強度圖.....	4-15
圖 4.18 雷達都卜勒譜.....	4-15
圖 4.19 雷達都卜勒距離譜(I).....	4-16
圖 4.20 都卜勒距離譜(II).....	4-16
圖 4.21 都卜勒距離譜(III).....	4-17
圖 4.22 都卜勒距離譜一階峰.....	4-18
圖 4.23 從高頻雷達回波中獲取徑向速度流程圖.....	4-18

圖 4.24 臺中港海域內流場圖	4-19
圖 4.25 雷達權重與頻率正規化圖(Barrick, D.E.).....	4-20
圖 4.26 高頻雷達回波計算波高與週期之流程圖.....	4-21
圖 4.27 臺中港海域內波場圖	4-21
圖 4.28 最小線性調頻數量分析圖	4-22
圖 4.29 各啁啾數量情境與各距離元相關性變化圖.....	4-24
圖 4.30 各啁啾數量情境相關性比較圖	4-25
圖 5.1 海科中心 TOROS 系統雷達站位置分佈圖	5-1
圖 5.2 本所(LERA)與 CODAR(下龜殼站)觀測點位置.....	5-2
圖 5.3 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (1 號觀測點).....	5-3
圖 5.4 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (2 號觀測點).....	5-4
圖 5.5 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (3 號觀測點).....	5-5
圖 5.6 臺中港(LERA)波高色階圖.....	5-6
圖 5.7 臺中港(LERA)與新竹浮標(HsinChu bouy)波高比較	5-7
圖 5.8 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高時序列比較.....	5-8
圖 5.9 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高 1~2 月比較	5-8
圖 5.10 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高 2~3 月比較	5-9
圖 5.11 臺中港各觀測站(LERA、AWAC 與 TUTL)位置圖	5-9
圖 5.12 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)各距離元相關係數.....	5-10
圖 5.13 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)冬季 1 月份波高比較	5-12
圖 5.14 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 3 月份波高比較	5-12
圖 5.15 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 4 月份波高比較	5-12
圖 5.16 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 7 月份波高比較	5-13
圖 5.17 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 8 月份波高比較	5-13
圖 5.18 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)冬季 1 月份週期比較	5-13

圖 5.19 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 3 月份週期比較	5-14
圖 5.20 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 4 月份週期比較	5-14
圖 5.21 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 7 月份週期比較	5-14
圖 5.22 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 8 月份週期比較	5-15
圖 5.23 都卜勒距離譜雙峰現象.....	5-16
圖 5.24 都卜勒距離譜背景雜訊.....	5-16

表 目 錄

表 1-1 波浪與海流量測之各項儀器	1-4
表 1-2 受獎勵離岸風場示範辦理情形	1-6
表 1-3 臺中港進出港船舶統計	1-8
表 1-4 海洋雷達座標位置	1-9
表 1-5 各年度研究目標與定位.....	1-10
表 2-1 中央氣象局梧棲測站 1991~2018 年氣象資料觀測統計表	2-1
表 2-2 臺中港歷年四季風速及風向統計表(W 測站)	2-5
表 2-3 臺中港 1971~2016 年潮位統計值.....	2-6
表 2-4 臺中港各年潮位統計表(單位：m).....	2-6
表 2-5 臺中港歷年四季波高及波向統計表	2-8
表 2-6 臺中港歷年四季海流流速及流向統計表	2-9
表 2-7 歷年各月侵臺颱風之次數及頻率統計表(1897~2019 年).....	2-11
表 3-1 雷達波段與頻率.....	3-2
表 3-2 臺灣氣象雷達基本資料	3-6
表 3-3 掃頻工作表.....	3-10
表 4-1 本計畫所使用高頻雷達規格與主要設定	4-1
表 4-2 接收(Rx)天線裁切長度表	4-11
表 4-3 最小啁啾數量分析表	4-23
表 5-1 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)分析比較表	5-11

第一章 緒論

浩瀚無涯的大海，時而平靜時而洶湧，人類對於海洋始終保持畏懼並不斷的拼博，需求促使人們製造水上載具，以尋求更多漁獲與食物，但無論再巨大的船也無法抵禦它，是故為了了解、釐清與探索海洋，數學家、物理學家與航海人員等人開始逐漸發明許多測定方法與觀測儀器，某些觀測方法至今仍然為人所用，雖伴隨著科技時代的進步與推陳出新，許多方法已顯少為人所用，遙測已逐步發展為現今最舉足輕重的觀測方式之一，安全(陸域維護較海域安全)、經濟(其維護費用較低)、廣泛(超視距，調查面積大)，海洋雷達就是在 20 世紀初嶄露頭角，科學家們率先嘗試從頻譜中獲取海洋信息，在他們的帶領下高頻雷達得到了廣泛的響應，並取得了豐碩的研究成果，特別是美國 Barrick, D.E.在國家海洋暨大氣總署(NOAA)研究期間，所發表技術報告之研究成果奠定日後高頻雷達研究的基礎，並由美國逐漸發展至世界各地。

交通部運輸研究所港灣技術研究中心(下稱：本所港研中心)奉行政院核定執行「離岸風電海下工程技術研發計畫」四年期計畫(106 起~109 止)，主要的研究是辦理基地母港與鄰近海域之海象調查，107 年 12 月 18 日本所港研中心完成「離岸風電海下工程技術研發計畫(2/4)」項下之海洋雷達觀測系統建置，該雷達站目前設置於基地母港(臺中港)北淤沙區，並取名臺中港線性陣列雷達海洋 1 號，如圖 1.1 所示，改進傳統以單點底碇式海氣象調查方式，期望藉由本雷達系統精進海氣象調查技術，不僅能增加海氣象觀測範圍，又能解決底碇式儀器於海下維護不易等問題，本研究屬於 4 年期研究之第 3 年的研究計畫，研究內容主要利用第 2 年計畫引進之美國夏威夷大學的雷達系統，在臺美友好合作關係下於臺中港區進行雷達系統應用研究，除了將限有技術面提升，所得觀測資料亦可回饋臺中港務分公司未來擴港需求之設計規劃使用。另外，交通部願景建構安全交通環境，故本研究將探討臺中港港區與鄰近周邊海域的海象變化，作為臺中港進出口船舶航行安全相關資訊使用，以符合總體目標之發展。



圖 1.1 本所港研中心雷達站「臺中港線性陣列雷達海洋 1 號」

1.1 研究背景的回顧

波浪在傳遞過程易受水深發生淺化現象，以致於波高變大，伴隨著不規則的底床變化，衍生的水深改變導致波浪傳遞時而發生折繞射現象，爰時有耳聞波浪集中致結構物損壞與沿岸流危害生命財產的安全（人員傷亡或船隻擱淺），綜觀來說無論是以波浪與海流觀測為目的，或為瞭解港灣、海岸、航道等處與海水間的運動關係，精準的預測港區周邊海域掌握海水進出港區之流況，做為領航員與船長操船判斷的依據，以及海氣象觀測與港灣構造物使用年限與航行安全息息相關。早年研究人員觀測波浪與量測海流與波浪波浪大小，多採用目測法，即在淺海水域設立規標式波高儀，人員再以望遠鏡直接讀取規標讀數或採用較為精準的水準儀直接讀取波峰與波谷時浮標的高度差，藉以求取波高資料，惟人力觀測工作曠日費時，加上人為誤差無法消除，觀測品質粗略且量測效率不彰導致目測法逐漸被淘汰，轉由壓力式的感應設備取而代之，此設備因具有良好的線性關係，故有利於觀測目的使用，一般統稱為電阻式感應器或壓力感應器裝置，該儀器常安裝在防波堤或海上

構造物，利用該儀器感應波浪起伏之電阻變化，透過記錄電阻變化計算壓力值，再間接轉換為水面波浪，如圖 1.2 所示，但由於受限於該儀器之誤差、精度與電力系統緣故，目前壓力式觀測僅適用於 20 公尺水深之內的淺海，無法量測更深的海域，再者，此法雖能連續紀錄海上波浪變化，且較直接目測法更為進步，但尚存改進空間，因此曾經於觀測史過渡一段時間。

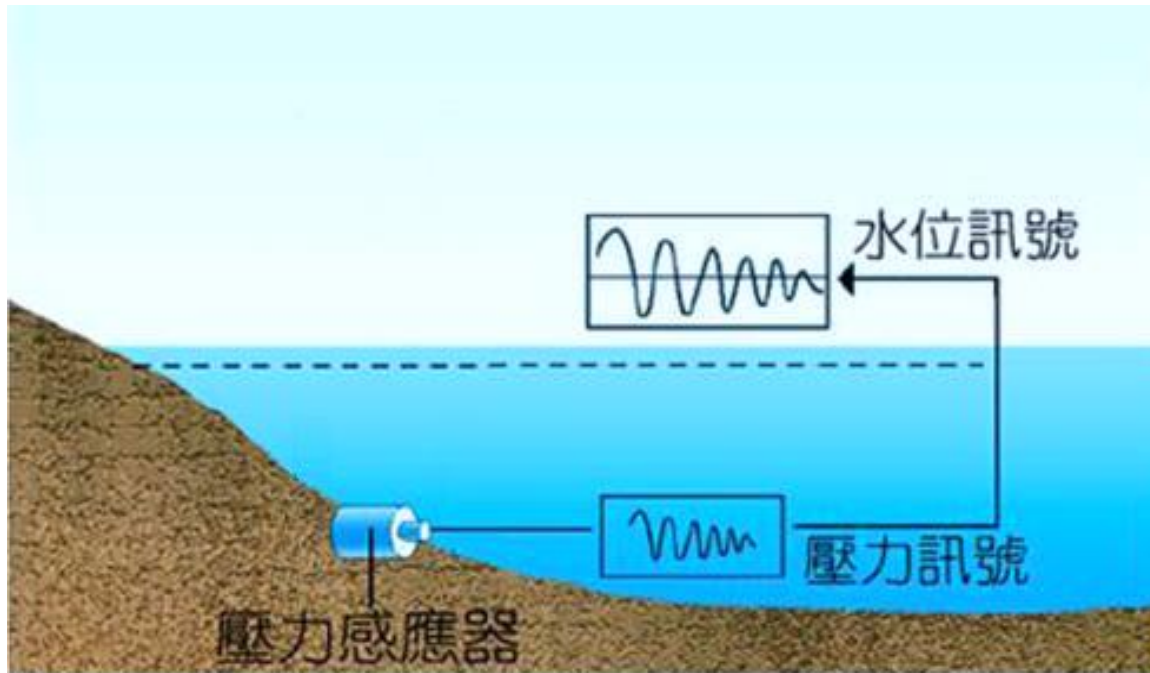


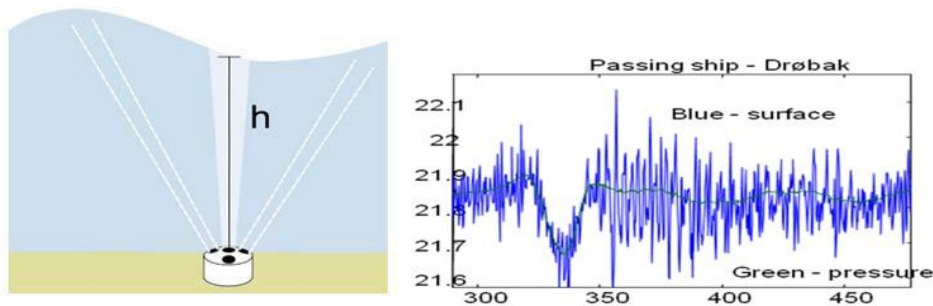
圖 1.2 壓力感應器量測水壓示意圖

其他常見的儀器有浮球式(重力加速度)波浪儀，該儀器內部由於含有重力加速度感測器，故可偵測出波浪的起伏，早期加速度感測器之設備體積較大與重量較重等缺點，因此不適合應用於海氣象調查研究，但隨積體電路的蓬勃發展，此類儀器日益精巧，已適合裝載於浮球等海上載體，爰浮球式的儀器至今仍有許多研究單位仍持續使用，如交通部氣象局目前仍使用浮球觀測，理論上波浪起伏導致浮球運動，運動產生的加速度變化透過紀錄值可推算出波浪運動的波高與週期；海流量測可利用螺旋槳旋轉的物理方法量測海流速度，該設備具有旋轉式葉片或旋杯，可透過轉速快慢藉以換算流速大小，方位上則可利用羅盤定位出流向，另一種方式是利用「浮標追蹤法」進行量測，原理上係利用浮標內裝置之無線電或衛星發報器，以無線電或 GPS 追蹤浮標漂流的速度與方向，各式儀器整理如表 1-1。

表 1-1 波浪與海流量測之各項儀器

波浪			海流	
I.浮球式 	II.壓力電阻式 	III.蜆標式 	I 浮標式 	II 螺旋槳式 
超音波式波向波高與剖面海流量測設備(單點量測) 				
海洋陣列雷達設備(平面量測) 				

本所港研中心(當時為原省府交通處港灣技術研究所)民國 60 年初在臺中港北防波堤外海安裝一處超音波式波高儀，每兩小時紀錄外海波高 20 分鐘，是本所港研中心觀測史中重要的里程碑，民國 70~85 年本所港研中心於臺中港附近海域使用荷蘭 DATAWELL 之 WAVERIDER 浮球式波浪儀進行觀測，民國 89 年後廣泛使用挪威 NORTEK 公司出品之底碇式 AWAC 超音波波向波高與剖面海流儀器，陸續於臺灣建置 5 大商港、商港附屬港(3 處)與離島各港(4 處)，總計 12 個調查區域，分別為「蘇澳、基隆、臺北、臺中、安平、布袋、高雄、花蓮、綠島、澎湖、金門、馬祖」，長期觀察各區域之風、波浪、海流、潮汐、能見度等海象資料，該底碇式 AWAC 剖面海流儀能穩定觀測海表面波高波向與海流，如圖 1.3 所示。



(資料來源：Nortek 公司官方網站)

圖 1.3 NORTEK 公司之超音波式波向波高與剖面海流儀器

(上圖)本所港研中心底碇式儀器設置於底床情形，白色設備為超音波式波向波高與剖面海流儀器，藍色設備為儀器電力的備用電池，(左下圖)儀器音鼓發射聲波的示意圖，(右下圖)底碇聲波反射水面訊號，經資料分析所得到的波浪與水位變化圖。

1.2 研究動機與現況說明

臺灣海峽的風力充沛是全世界少數適合開發風場的地區之一，我國對離岸風電的經驗有限，因此經濟部能源局為推動離岸風電政策參酌國際離岸風力發電經驗，先由小規模離岸示範風場計畫著手，再擴大風電開發規模，依據「再生能源發展條例」第 11 條第 2 項訂定「風力發電離岸示範系統獎勵辦法」101 年 7 月 3 日公告內容實施(獎勵係以經費補助業者設置費之 50%

方式)，評選出三案之示範風場為(1)福海示範風場、(2)海洋示範風場、(3)台電示範風場，所設置之示範風場規模如表 1-2，平面位置如圖 1.4 所示。舉例來說，海洋示範風電來說第一階段 4MW 風機 2 架已於民國 106 年 4 月正式商轉，證明臺灣的海域確實具有開發離岸風場的潛力，後續第二階段 6MW 風機 20 架陸續於今(108)年 10 月完工，海洋示範風場總裝置容量為 128MW。

表 1-2 受獎勵離岸風場示範辦理情形

	福海示範案	海洋示範案	台電示範案
地點	彰化縣芳苑鄉外海，離岸 8~12 公里，水深-20~-45 公尺。	苗栗縣竹南鎮外海，離岸 2~6 公里，水深-15~-35 公尺。	彰化縣芳苑鄉西側海域，離岸 7~9 公里，水深-15~-26 公尺。
規模	30 架風機，總裝置容量約 120MW。	32 架風機，裝置容量約 128MW(已經完成)。	18~30 架風機，裝置容量約 108~110MW。



圖 1.4 受獎勵離岸風場平面位置圖

離岸風電的總體開發政策是由近岸開發開始，最近距離約離海岸 20 公里，該處水深條件約 20m，遠域開發區域約距離海岸 60 公里，該處水深條件約 40m 深，由圖 1.5 所示，外商目置容量 8.4GW，本土裝置容量為 2.2GW 外商公司約是本土裝置容量的 4 倍，其中外商沃旭開發商持有的大彰化開發案，目前劃設容量約為 2.4GW，係目前最大的開發區域，臺灣西半部開發重心主要以臺中彰化為主，相關應產業鏈需求與港埠設施的承載都相當繁重。

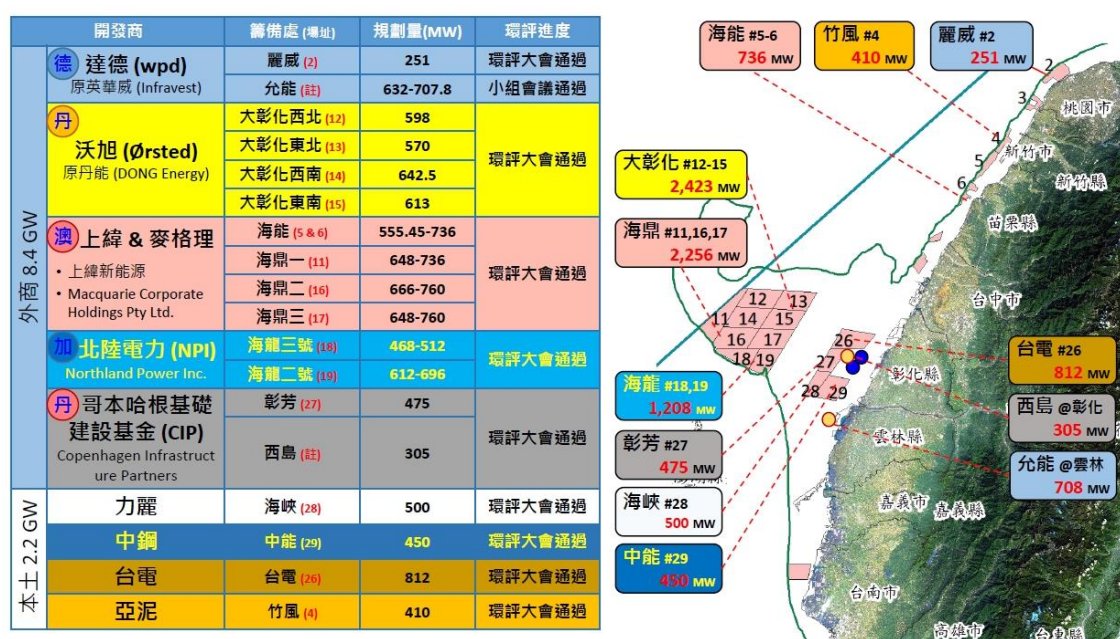


圖 1.5 離岸風電潛力場址與推動現況

預計 109 年前累計完成 1,200MW 陸域風場設置，陸域計畫目標將於 106 年完成示範機組，109 年累計完成 520MW 離岸示範風場，膺續於 114 年前累計完成 3,000 MW 離岸風場設置，兩者併合計共設置 1,000 架以上風力機組，總裝置容量將達 4,200 MW，約可占 30 % 以上再生能源總設置目標。面對離岸發電政策的迅速發展，行政院於民國 105 年推動「前瞻基礎建設計畫」興建綠能建設，並以臺中港為核心重新定位港埠發展、檢討經營環境、運量需求及整體規劃後，將臺中港重塑配置成離岸風電產業發展母港，分別整建 5A 碼頭、興建 5B 碼頭，以及興建 106 號碼頭做為風電產業組裝與裝卸作業之重件碼頭，後線土地設置風力發電零組件堆儲基地，並開放公民營企業投資土地承載改良與組裝設施，提供港埠腹地作為風機組裝場地，以及風電專

用碼頭作為運輸、物流、裝卸、倉儲等服務之用，臺中港港埠用地範圍，如圖 1.6 所示。



圖 1.6 臺中港港埠用地範圍

臺中港碼頭條件優渥，距離彰化漁港僅 40 公里的距離，且距離岸風場運程適中，在水深、港口、重件碼頭各項條件較彰化漁港更為理想，可以滿足風機零件的運輸與倉儲，依據臺中港務分公司近 5 年進出船舶統計資料 (<https://tc.twport.com.tw/chinese/Form.aspx?n=D1858A2E4A236009>)，民國 103 年度月平均進出船舶約 1,250 艘次，105 年度月平均進出船舶約 1,316 艘次，直到今(108)年度月平均進出船舶約 1,436 艘次，顯示離岸風電確實已經造成臺中港進出船舶日益頻繁，運量有微幅成長之勢，如表 1-3 所示。

表 1-3 臺中港進出港船舶統計

年別	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
103	14,997	2.4325 億	7,500	1.2168 億	7,497	1.2157 億
104	15,587	2.5526 億	7,794	1.2769 億	7,793	1.2756 億
105	16,193	2.7262 億	8,096	1.3636 億	8,097	1.3626 億
106	15,794	2.7144 億	7,898	1.3568 億	7,896	1.3576 億
107	15,407	2.7021 億	7,713	1.3508 億	7,694	1.3513 億
108.1~9	12,928	2.1224 億	6,462	1.0613 億	6,466	1.0611 億

1.3 研究範圍與雷達站座標位置

本計畫海洋雷達研究所佈設之地點於臺中港北淤沙區，該區屬於港埠低密度開發區域，雷達主要發射裝置及處理系統設置於機房(座標：東經 120°31'25.82",北緯 24°18'39.28")，收發射天線(座標：東經 120°31'22.66",北緯 24°18'33.95")則佈設於現地擋沙牆上，座標位置如表 1-4 所示，研究範圍如圖 1.7 所示。

表 1-4 海洋雷達座標位置

點位	地點名稱	經度(°E)			緯度(°N)		
		度	分	秒	度	分	秒
1	機房	120	31	25.82	24	18	39.28
2	天線	120	31	22.66	24	18	33.95

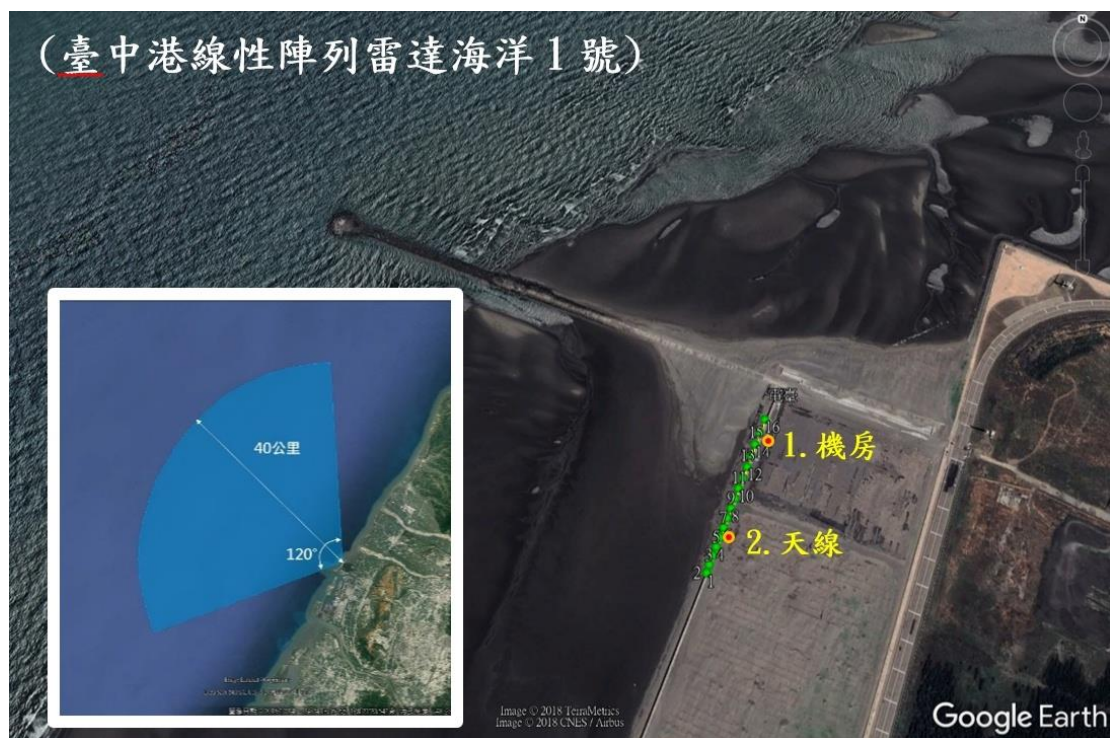


圖 1.7 海洋雷達位置與觀測範圍

註：本雷達站可視距離約為 40 公里(最大可達 80 公里)，可視幅度以發射天線向外海為中心線左右各 60 度之夾角面(即 120 度扇形範圍內)

1.4 研究目標

本研究由 106 年至 109 年分三階段進行，去年執行(第一階段)建置臺中港陣列海洋雷達觀測系統，完成北淤沙區電力系統 拉設、使用頻率掃頻作業、雷達站頻率指配工作、雷達設備進口，申請雷達使用執照，及雷達系統測試與使用。

本年度執行(第二階段)雷達探測、遙測概念與海洋雷達訊號分析研究，及調查港區鄰近周邊海域海象(波浪與海流)，作為船舶進出港區航務人員判斷及維持航行安全之參考；另外發展船舶追蹤技術並與船舶自動辨識系統(AIS)相互結合應用，監控離岸風場鄰近區域航行船舶，並於海上事故發生時能提供相關救援或海難分析資訊，該研究請參考本所合作研究「整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估」，現階段遙測成果預期相關係數能達至 0.8 以上，均方誤差能在 20%以內，並能釐清海洋雷達誤差與干擾來源。

未來執行(第三階段)發展海洋雷達作業化分析研究，建立雷達資料庫，與可視化介面，研究成果可供漁民、航港局及港務公司航行參考應用。各年度研究目標、工作內容與定位詳如表 1-5 所示。

表 1-5 各年度研究目標與定位

	106 年度	107 年度	108 年度	109 年度
細部計畫 1： 辦理離岸風電 海氣象觀測與 特性分析(106- 109)	離岸風電海氣象觀測與特性分析(1/4):辦理海氣象調查前置作業，採購海氣象調查儀器及臺中港海氣象觀測樁預定地地質調查與觀測樁細部設計。	離岸風電海氣象觀測與特性分析(2/4):辦理海氣象觀測系統建置之初期作業及臺中港海氣象觀測樁打設工程。	離岸風電海氣象觀測與特性分析(3/4):完成觀測系統建置並持續調查海氣象，應用海洋雷達觀測海氣象，並進行觀測成果研究分析與探討。	辦理離岸風電海氣象觀測與特性分析(4/4):持續進行波浪與海流觀測系統之定期維護工作；整合觀測資料庫之更新與維護，及與數值預測模式進行驗證。

細部計畫 2： 離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討 (106-109)	離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討 (1/4)：辦理平面造波機系統建置，試驗場地水池防水止漏工作及廠棚結構補強安全維修作業。	離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討(2/4):進行漂沙現場調查，並辦理水工模型試驗，鋪設模型及進行預備試驗。	離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討(3/4):以水工模型試驗探討鄰近風電區域之漂沙變化及影響情形及試驗室設備汰換更新。	離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討 (4/4):辦理海岸結構物穩定和離岸風電場結構物設置前後，波流場及漂沙運動變化機制全面性研究。
細部計畫 3： 離岸風電水下技術研發(106-109)	離岸風電水下技術研發(1/4):辦理離岸風力發電機基樁與金屬構件腐蝕防治研究之資料蒐集，辦理離岸風力機基礎維管計畫及基礎土層穩定性檢測技術研發之規劃，及專業海事工程人員訓練初步規劃。	離岸風電水下技術研發(2/4):辦理金屬材料現地暴露試驗調查研究，辦理離岸風機基礎土層穩定性檢監測技術研發，及進行離岸風電產業鏈與國內船員需求訓練規劃研究。	離岸風電水下技術研發(3/4):辦理離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查。	離岸風電水下技術研發 (4/4):辦理離岸風電基地母港與鄰近海域腐蝕因子調查與金屬構件腐蝕防治研究。
細部計畫 4： 離岸風電建置與航安技術發展計畫 (106-109)	離岸風電建置與航安技術發展計畫(1/4):辦理離岸風電建置與航安技術發展之初部研究。	離岸風電建置與航安技術發展計畫(2/4):辦理離岸風電建置與航安技術發展之緊急救難系統建置與	離岸風電建置與航安技術發展計畫(3/4):辦理整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估。	離岸風電建置與航安技術發展計畫 (4/4):風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估。

		風險評估		
細部計畫 5： 風電產業對港 區空間利用研 究(106)；離岸 風電鄰近海域 波流及海岸變 遷數值分析 (107-109)	風電產業對港 區空間利用研 究 (1/4)，研究 離岸風電港區 需求及未來空 間規劃。	離岸風電鄰近 海域波流及海 岸變遷數值分 析(1/3):以分析 風場建置鄰近 漂沙機制及評 估對鄰近港區 之影響，確保 鄰近海域環境 之永續發展。	離岸風電鄰近 海域波流及海 岸變遷數值分 析 (2/3):108 年 辦理分析臺中 鄰近海域漂沙 特性，及漂沙對 臺中港之影響。	離岸風電鄰近 海域波流及海 岸變遷數值分 析 (3/3):109 年辦理分析臺 中鄰近海域海 岸地形變遷， 及海岸變遷對 臺中港之影 響。

1.5 研究方法

本研究第一章緒論先就研究背景回顧，將本所港研中心海氣象調查背景與離岸風電發展現況進行概述、再闡述研究範圍、研究目的與研究方法，第二章蒐集中部海域之基本資料與颱風統計概述，以了解中部海域的特性，第三章介紹雷達波的頻率、雷達的種類、工作範圍、與交代本雷達站建置過程及其他注意事項，作為提供予其他單位後續建置之參考，第四章討論高頻陣列雷達(HF Radar array)的基本原理、收發系統、構件間的作動與關聯性、訊號處理與分析方法，並探討最小啁啾數的選擇，第五章針對本雷達系統與其他觀測成果進行比較，比如 CODAR 岸基雷達、新竹浮標與本所港研中心底碇式 AWAC 觀測資料進行比對，第六章提出結論與建議，並於現今作業中遭遇之困難作深作仔細的說明，並提供國內各產官學研界參考。

1.6 預期成果

波浪與海流一直以來是航運、港務、海事工程所重視的重要參數，本研究主要以基地母港與鄰近海域之海象調查為目標，發展雷達遙測，利用線性陣列雷達來分析與探討臺中港鄰近海域之海氣象特性，可針對目標海域之波浪、海流、風等海氣象資料進行長期的資料蒐集、分析與建檔，對於設計波浪的推算作為制定港灣規劃之標準，或者為確認港內振盪的原因改善港區靜

穩度，增加船隻安全可靠泊的空間，亦或者面對災害發生時，能適時提供處置對策或預防措施將對相關單位有所幫助。本研究結果預期可以提供交通部航港局及港務分公司管理船舶進出基地母港(臺中港)參考、提供制定港灣規劃之標準，或面對災害發生時能適時提供處置對策及預防措施，作為相關單位參考應用之標準。

第二章 臺中港港域海象資料

本章節蒐集臺灣中部海域地區海象的資料內容，包括本所港研中心與中央氣象局長期觀測資料，並簡要說明中部海域自然環境的概況、降雨、降雨日數、氣壓、溫度、相對濕度、風速風向、颱風、潮汐、波浪與海流等，主要目的在瞭解區域的現況，作為後續雷達觀測資料分析與比對之背景。

2.1 臺中港海域的氣象

臺中港位於臺灣西側中部海域屬亞熱帶季風氣候，其各項氣象特性在冬季風盛行期間受東北季風及西南季風影響，區域氣象有著明顯差異，所探討的主要氣象資料，包括：降雨、降雨日數、氣壓、溫度、相對濕度、風速風向及颱風資料，而降雨、氣壓、溫度與相對濕度屬於基本氣象資料，以下氣象部份綜整中央氣象局 1991~2018 年間梧棲測站長期觀測統計資料，如表 2-1 所示。

表 2-1 中央氣象局梧棲測站 1991~2018 年氣象資料觀測統計表

月份	平均降雨量 (mm)	平均降雨日數 (雨量 ≥ 0.1 mm)	平均氣壓 (mb)	平均溫度 ($^{\circ}$ C)	相對濕度 (%)
1	32.2	6.1	1016.53	15.9	77.9
2	72.0	8.2	1015.23	16.2	80.4
3	91.1	10.1	1013.29	18.5	78.7
4	123.5	10.0	1010.23	22.5	78.1
5	214.5	10.5	1006.85	25.7	78.9
6	199.0	10.8	1004.25	27.9	78.9
7	190.2	8.9	1003.63	29.0	76.9
8	245.0	10.8	1002.61	28.8	77.8
9	98.2	6.1	1005.79	27.4	76.9
10	15.9	2.3	1010.05	24.6	74.6
11	24.5	3.4	1013.41	21.5	75.6
12	27.7	4.2	1016.28	17.8	75.4
年合計	1333.8	91.4	—	—	—
年平均	—	—	1,009.85	23.0	77.5

(資料來源：中央氣象局)

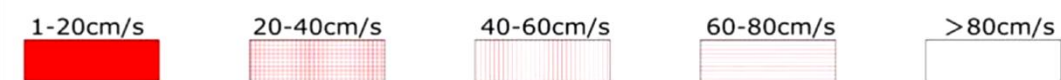
降雨量部份在梧棲地區平均年總降雨量為 1,333.8mm，統計中以 8 月份降雨量為最高為 245.0mm，10 月份降雨量最低，僅 15.9mm，分析平均年總降雨日數為 91.4 日，主要分佈在 2 月~8 月間，其中以 6 月份與 8 月份之平均降雨日數(雨量 $\geq 0.1\text{mm}$)最多，分別達 10.8 日，而 10 月份之降雨日數為最少，僅約 2.3 日。

氣壓觀測上梧棲地區年平均氣壓為 1,009.85mb，又以 1 月份之月平均氣壓為最高為 1,016.53mb，8 月份月平均氣壓最低，僅 1,002.61 mb；溫度統計在梧棲地區年平均氣溫為 23.0℃，平均氣溫以 7 月份均溫最高為 29.0℃，平均氣溫以 1 月份最低，僅 15.9℃；相對濕度觀測，梧棲地區年平均相對濕度為 77.5%，其中月平均相對濕度以 2 月份之 80.4%為最高，月平均濕度以 10 月份之 74.6%為最低。

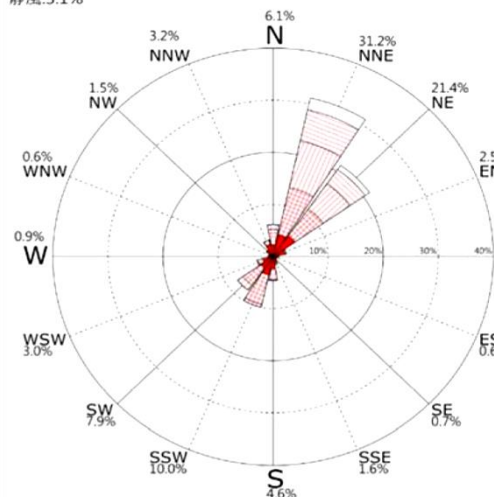
風力觀測上本所港研中心於臺中港設置共有 7 個風力測站，其中與臺中海洋雷達站最近的風速站位於北防波堤綠燈塔頂，如圖 2.1 所示，觀測儀器採用英國 GILL 公司所生產之 WindObserver 二維超音波式風速風向儀，本所命名為 W 測站量測至今，根據本所 2018 年港灣海氣象觀測資料統計年報，統計臺中港 2002~2018 年之風速及風向四季分布，如圖 2.2 所示。由圖可知臺中港之秋、冬、春季風向皆以 NNE 向出現頻率最高，約在 31.2%~56.7% 之間。根據歷年統計資料，如表 2-2 所示，全期平均風速為 9.7 m/s，四季中以冬季平均風速最高，平均風速值為 13.2 m/s，最大風速值為 30.3 m/s，秋季雖屬東北、西南季風轉換過渡期，平均風速仍可達 10.5 m/s，為四季中次高之季節，夏季時西南季風吹拂至本海域，吹風能量減弱，平均風速降至 6.5 m/s，為四個季節中最低；風向統計部分，全期風向分佈以 N~E 所佔成份最高，約為 63%，其中以 NNE 向比率最高，NE 向次之，兩方向合計約佔全期 60%，顯示東北季風對本海域之影響較西南季風明顯。秋、冬兩季時，本海域受東北季風影響，N~E 象限為主要分佈，春季介於季風轉換時節，風向由 N~E 象限為主並逐漸轉變為 S~W 象限，季節進入夏季，西南季風增強，以 S~W 象限比率最高，經統計春、秋、冬三季風向均以 NNE 向所佔成份最高，分別為 31.2%（春季）、45.5%（秋季）、56.7%（冬季），比率隨東北季風影響增強而逐漸上升，夏季主風向為 SSW 向，比率為 23%。



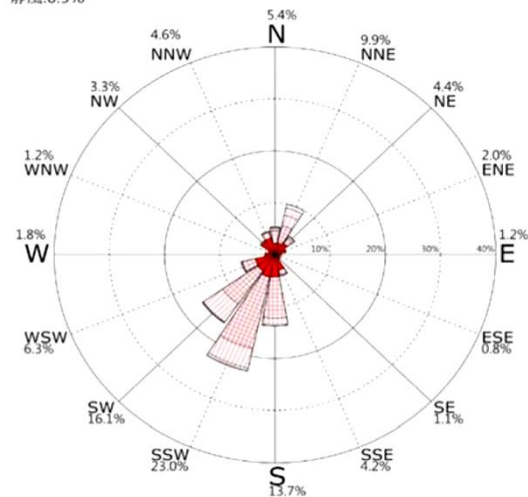
圖 2.1 臺中港各觀測站位置示意圖



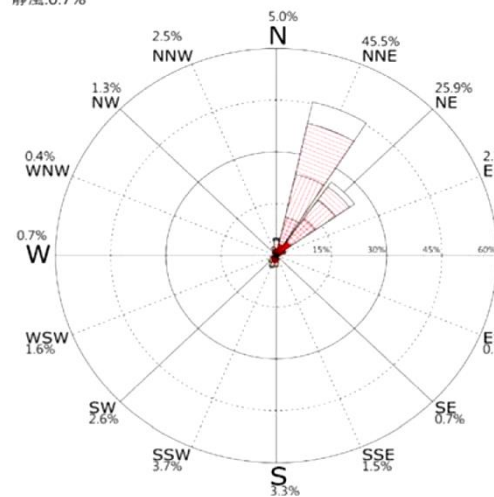
時間:2005~2018年 每年春季 資料數:23,785(82.9%)
 平均值=8.2m/s 最大值=54.8m/s(N)
 小於5m/s:36.2% 5~10m/s:33.0% 10~15cm/s:17.9%
 大於15m/s:12.9%
 N~E:59.7% E~S:4.9% S~W:24.6% W~N:7.7%
 靜風:3.1%



時間:2005~2018年 每年夏季 資料數:24,960(87.0%)
 平均值=6.5m/s 最大值=42.5m/s(N)
 小於5m/s:41.7% 5~10m/s:41.7% 10~15cm/s:12.9%
 大於15m/s:3.7%
 N~E:20.0% E~S:11.4% S~W:55.5% W~N:12.1%
 靜風:0.9%



時間:2005~2018年 每年秋季 資料數:26,969(88.6%)
 平均值=10.5m/s 最大值=56.3m/s(NNE)
 小於5m/s:28.1% 5~10m/s:23.2% 10~15cm/s:20.3%
 大於15m/s:28.4%
 N~E:78.2% E~S:4.7% S~W:10.2% W~N:6.1%
 靜風:0.7%



時間:2005~2018年 每年冬季 資料數:25,953(92.1%)
 平均值=13.2m/s 最大值=30.3m/s(NNE)
 小於5m/s:14.8% 5~10m/s:18.9% 10~15cm/s:23.2%
 大於15m/s:43.1%
 N~E:91.6% E~S:2.0% S~W:2.3% W~N:2.9%
 靜風:1.2%

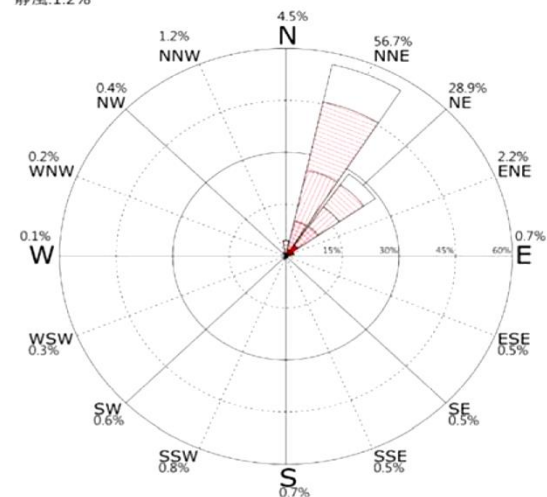


圖 2.2 臺中港北防波堤燈塔頂測站處(W測站)風玫瑰圖

表 2-2 臺中港歷年四季風速及風向統計表(W 測站)

季節	平均風速(m/s)	主要風向(%)	最大風速(風向)
春	8.2	NNE(31.2%)	54.8(NE)
夏	6.5	SSW(23.0%)	42.5(N)
秋	10.5	NNE(45.5%)	56.3(NNE)
冬	13.2	NNE(56.7%)	30.3(NNE)

註：春季：3~5 月；夏季：6~8 月；秋季：9 月~11 月；冬季：12 月~2 月

2.2 臺中港海域的海象

根據本所港研中心所設臺中港區之觀測站進行氣象觀測與資料統計分析，而主要影響整個海洋運動的因子包括：風、波浪、潮汐與海流，其中第 2.1 小節已討論風因素，故本小節不再討論風，僅討論波浪、潮汐與海流因素。提及臺中港潮位始於 1971 年 3 月開始監測，因此臺中港工程局於南內堤堤頭設置潮位站進行監測，直至 1981 年 2 月本中心(前交通處港灣技術研究所)成立後，才將觀測位置移由 4 號碼頭安置並由本中心開始量測，1999 年發生 921 集集大地震後，臺中港務局為整修 1~4 號碼頭，於 1999 年 10 月 18 日將潮位站拆除，2001 年 3 月 31 日碼頭整修完成後，重新安裝美國 TE 公司 KPSI735 壓力式潮位計(Water Log)進行監測。至於波流觀測部份，本中心採用挪威 Nortek 公司所生產超音波式表面波高波向與剖面海流儀 AWAC (Acoustic Wave and Current profiler)，目前設置於北防波堤綠燈塔外約 700~800 公尺處，水深約 30 公尺處，該儀器設置情形與位置已於前小節之臺中港各觀測站位置示意圖標註，如前圖 2.1 所示，觀測時間由 1999 年 10 月觀測至今。

一、臺中港潮汐

臺中港潮位係根據交通處臺中港工程局與本中心長期監測統計與分析，實際上臺中港潮位資料係以臺中築港高程系統之水準零點高程為基準，相當於臺灣中潮系統之基隆水準零點下 -2.47m，在築港高程系統 1971 年 3 月~2016 年 12 月量測期間之逐時潮位資料，以 1971 年測得最高高潮位為 +5.86m，最低低潮位以 1988 年測得 -1.05m 為最低，全期平均高潮位為 +4.46m，平均低潮位為 +0.84m，平均潮差為 3.62m，有關臺中港 1971~2016 年之潮位統計值，如表 2-3 所示，臺中港各年潮位統計表，如表 2-4 所示。

表 2-3 臺中港 1971~2016 年潮位統計值

最高高潮位	H.H.W.L.	+5.86m (1971 年)
大潮平均高潮位	H.W.O.S.T.	+4.84m
平均高潮位	M.H.W.L.	+4.46m
平均潮位	M.W.L.	+2.66m
平均低潮位	M.L.W.L.	+0.84m
大潮平均低潮位	L.W.O.S.T.	+0.22m
最低低潮位	L.L.W.L.	-1.05m (1988 年)
平均潮差	Ave.Range	3.62m

註：臺中港築港高程系統之水準零點高程相當於基隆水準零點-2.47m

表 2-4 臺中港各年潮位統計表(單位：m)

潮位 年份	最高 高潮位	最低 低潮位	平均 高潮位	平均 潮位	平均 潮位	朔望 平均高 潮位	朔望 平均低 潮位	上下弦 平均 高潮位	上下弦 平均 低潮位	大潮差	小潮差	平均 潮差	備註
1971	5.86	0.00	4.61	0.67	2.73	5.05	0.21	4.90	0.50	4.32	3.68	3.95	閏五月
1972	5.38	0.00	4.64	0.63	2.73	5.04	0.21	4.89	0.35	4.39	3.70	4.01	
1973	5.56	0.00	4.63	0.66	2.74	5.02	0.22	4.83	0.44	4.36	3.68	3.97	
1974	5.60	-0.05	4.61	0.62	2.69	5.02	0.19	4.83	0.40	4.38	3.64	3.99	閏四月
1975	5.54	0.00	4.63	0.60	2.70	5.04	0.17	4.86	0.39	4.43	3.72	4.03	
1976	5.18	0.00	4.56	0.53	2.62	4.87	0.18	4.73	0.35	4.32	3.72	4.02	閏八月
1977	5.40	-0.30	4.65	0.65	2.74	5.04	0.18	4.82	0.48	4.41	3.62	4.01	
1978	5.30	-0.39	4.57	0.62	2.69	4.91	0.18	4.77	0.39	4.35	3.67	3.96	
1979	5.37	-0.25	4.48	0.57	2.61	4.85	0.12	4.61	0.43	4.27	3.66	3.92	閏六月
1980	5.55	-0.50	4.52	0.50	2.61	4.89	0.02	4.79	0.15	4.28	3.84	4.02	
1981	5.22	-0.50	4.48	0.54	2.61	4.83	0.09	4.69	0.32	4.32	3.60	3.94	
1982	5.18	-0.56	4.48	0.54	2.62	4.85	0.06	4.67	0.29	4.33	3.66	3.95	閏四月
1983	5.43	-0.30	4.17	0.61	2.49	4.47	0.19	4.40	0.38	3.90	3.29	3.55	
1984	5.30	-0.40	4.40	0.50	2.55	4.79	0.07	4.63	0.27	4.29	3.58	3.90	閏十月
1985	5.42	-0.37	4.49	0.55	2.66	4.87	0.08	4.67	0.31	4.33	3.59	3.94	
1986	5.35	-0.42	4.55	0.56	2.69	4.96	0.05	4.73	0.29	4.42	3.66	3.99	
1987	5.35	-0.50	4.51	0.53	2.65	4.92	0.03	4.75	0.21	4.36	3.68	3.99	閏六月
1988	5.55	-1.05	4.55	0.50	2.66	4.95	-0.04	4.81	0.23	4.42	3.72	4.05	
1989	5.50	-0.50	4.58	0.54	2.69	4.98	-0.01	4.81	0.25	4.44	3.71	4.04	
1990	5.65	-0.50	4.70	0.68	2.81	5.07	0.21	4.84	0.46	4.38	3.70	4.02	閏五月
1991	5.20	-0.45	4.12	0.59	2.46	4.73	0.09	4.41	0.29	3.88	3.32	3.54	

1992	5.40	-0.78	4.32	0.56	2.54	4.75	0.10	4.56	0.29	4.09	3.44	3.76	
1993	5.31	-0.29	4.46	0.55	2.59	4.86	0.08	4.68	0.30	4.28	3.61	3.91	閏三月
1994	5.16	-0.46	4.33	0.52	2.49	4.70	0.07	4.52	0.24	4.11	3.56	3.81	
1995	5.21	-0.32	4.55	0.69	2.70	4.92	0.21	4.73	0.51	4.29	3.51	3.86	閏八月
1996	5.45	-0.26	4.66	0.68	2.74	4.99	0.25	4.88	0.42	4.33	3.68	3.98	
1997	5.76	-0.37	4.65	0.64	2.72	5.00	0.15	4.82	0.39	4.43	3.72	4.01	
1998	5.46	-0.36	4.65	0.68	2.75	5.02	0.21	4.81	0.47	4.37	3.64	3.97	閏五月
1999	5.51	-0.22	4.78	0.71	2.84	5.15	0.22	4.99	0.46	4.49	3.72	4.07	
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2001	5.80	0.00	4.87	0.88	2.96	5.27	0.38	5.03	0.70	4.40	3.62	3.99	閏四月
2002	5.65	-0.40	4.68	0.65	2.78	5.05	0.18	4.88	0.40	4.44	3.69	4.04	
2003	5.34	-0.47	4.55	0.49	2.65	4.94	0.00	4.75	0.24	4.48	3.69	4.06	
2004	5.45	-0.35	4.59	0.59	2.71	4.94	0.09	4.81	0.32	4.38	3.67	4.00	閏二月
2005													
2006													閏七月
2007													
2008													
2009													閏五月
2010	5.62	-0.47	4.68	0.55	2.72	5.08	0.05	4.90	0.27	4.54	3.78	4.13	
2011	5.74	-0.47	4.71	0.51	2.71	5.10	0.02	4.93	0.27	4.59	3.85	4.20	
2012													閏四月
2013													
2014													閏九月
2015	6.07	-1.11	4.72	0.50	2.70	5.11	0.03	4.95	0.22	4.60	3.89	4.22	
2016	5.78	-0.26	4.87	0.65	2.83	5.26	0.18	5.07	0.36	4.62	3.88	4.21	

二、臺中港波浪

海上波浪主要由風而生，而波浪的大小受吹風強度、吹風延時及吹風範圍等綜合因素影響，根據本所2003~2018年臺灣海氣象觀測資料統計年報(臺中港域觀測海氣象資料)，臺中港春、秋、冬季波向以 NNE向為主，約佔45~47%，冬季時東北季風吹襲至臺灣中部，因地勢影響風力強而海域之波高大，為四季中最大，波高分佈以2m以上居多，秋季期間季風型態由西南逐漸轉換至東北，整季平均波高略低於冬季，季節轉換至夏季時，風與浪均自西南方來，夏季波向以W向為主，約佔26%，全年平均波高在0.86m~2.13m間，平均週期約5.7sec~6.9sec，其中以冬季平均波高最高；歷年以WNW向之15.5m波高為最大，起因係受颱風影響所致，臺中港歷年四季波高及波向統計表，如表2-5所示，臺中港歷年四季波高及波向分布，如圖2.3所示，

表 2-5 臺中港歷年四季波高及波向統計表

季節	平均波高(m)	主要波向(%)	平均週期(sec)	最大波高(m)(波向、週期)
春	1.25	NNE(47 %)	6.1	7.5(WSW、6.2sec)
夏	0.86	W(26%)	5.7	15.5(WNW、6.1sec)
秋	1.77	NNE(45%)	6.8	10.9(NNE、11.0sec)
冬	2.13	NNE(46%)	7.0	8.4(N、11.1sec)

註：春季：3月~5月；夏季：6月~8月；秋季：9月~11月；冬季：12月~2月

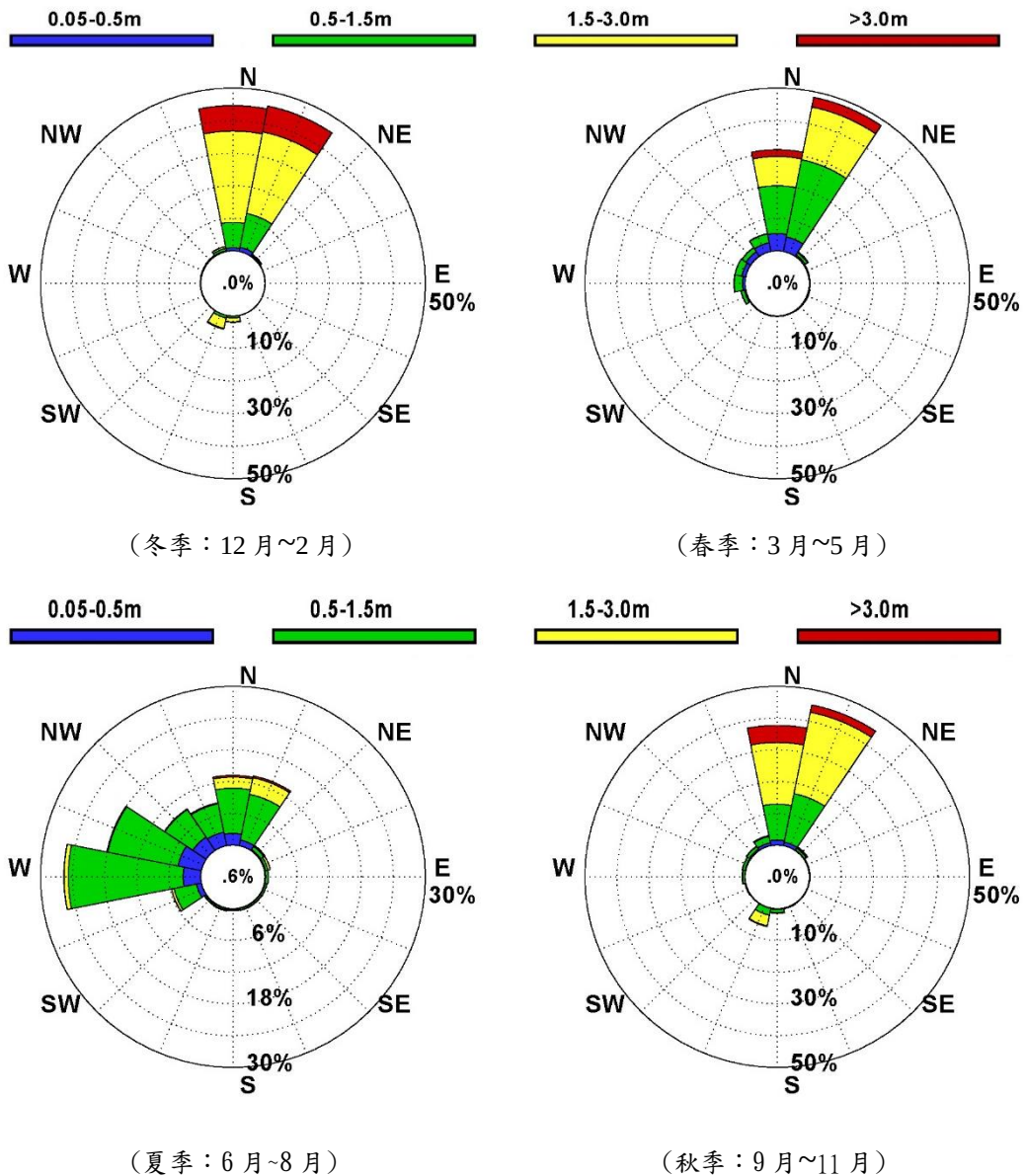


圖 2.3 臺中港歷年四季波高及波向玫瑰圖

三、臺中港海流

本所港研中心海流觀測採用底碇式剖面海流儀，音鼓由海床底部向海水表面發射聲波，藉以量測海水表面的海流速度，本儀器以每小時 2Hz 的頻率連續量測 600 秒，再將觀測資料記錄在儀器記憶體內，同時經由海底電纜將資料傳訊至岸上接收系統，在透過即時傳輸設備回傳至本中心資料庫中儲存。根據歷年海流觀測資料，四季海流流向可分區討論，春夏為第一區、秋冬為第二區，秋冬兩季流向主要集中 WSW 方向(秋季 20.3%、冬季 26.5%)，春夏兩季流向分別集中在 NNW 與 N(春季 22.1%、夏季 28.9%)，如表 2-6 所示，另由表中可知，歷年平均流速在 34.3cm/sec~47.6cm/sec 間，其中以歷年平均流速，以冬季為最大，其次是夏季、春季最小，歷年最大流速發生在夏季，夏季流速為 259.7cm/sec。

臺中港歷年四季海流流速及流向分布圖，如圖 2.4 所示，冬季歷年流速高於 1.03m/sec 機率大於 50%以上，冬季歷年流向以 WSW 為主、W 次之；春季歷年流速高於 1.03m/sec 機率小於 30%以下，春季歷年流速介於 0.51~1.03m/sec 間機率大於 40%以上，春季歷年流向以 NNS 為主、N 次之；夏季歷年流速介於 0.51~1.03m/sec 間機率大於 50%以上，夏季歷年流向以 N 為主、NNW 次之；秋季歷年流速高於 1.03m/sec 機率大於 35%以上，秋季歷年流向以 WSW 為主、W 次之。

臺中港歷年冬季吹送東北季風，夏季吹送西南季風，但流速方向似與風速相反，此與流速定亦有關係，一般而言探討波浪與風方向是指來向，但流速的方位方向是指去向，此即為為何風向與流向總是相差 180 度的原因，反觀波浪與風速方向是一致的因此無此問題。

表 2-6 臺中港歷年四季海流流速及流向統計表

季節	平均流速(m/s)	主要流向(%)	最大流速(cm/s)(流向)
春	34.3	NNW(22.1%)	237.6(W)
夏	38.8	N(28.9%)	259.7(SW)
秋	38.8	WSW(20.3%)	248.3(W)
冬	47.6	WSW(26.5%)	222.0(ENE)

註：春季：3 月~5 月；夏季：6 月~8 月；秋季：9 月~11 月；冬季：12 月~2 月

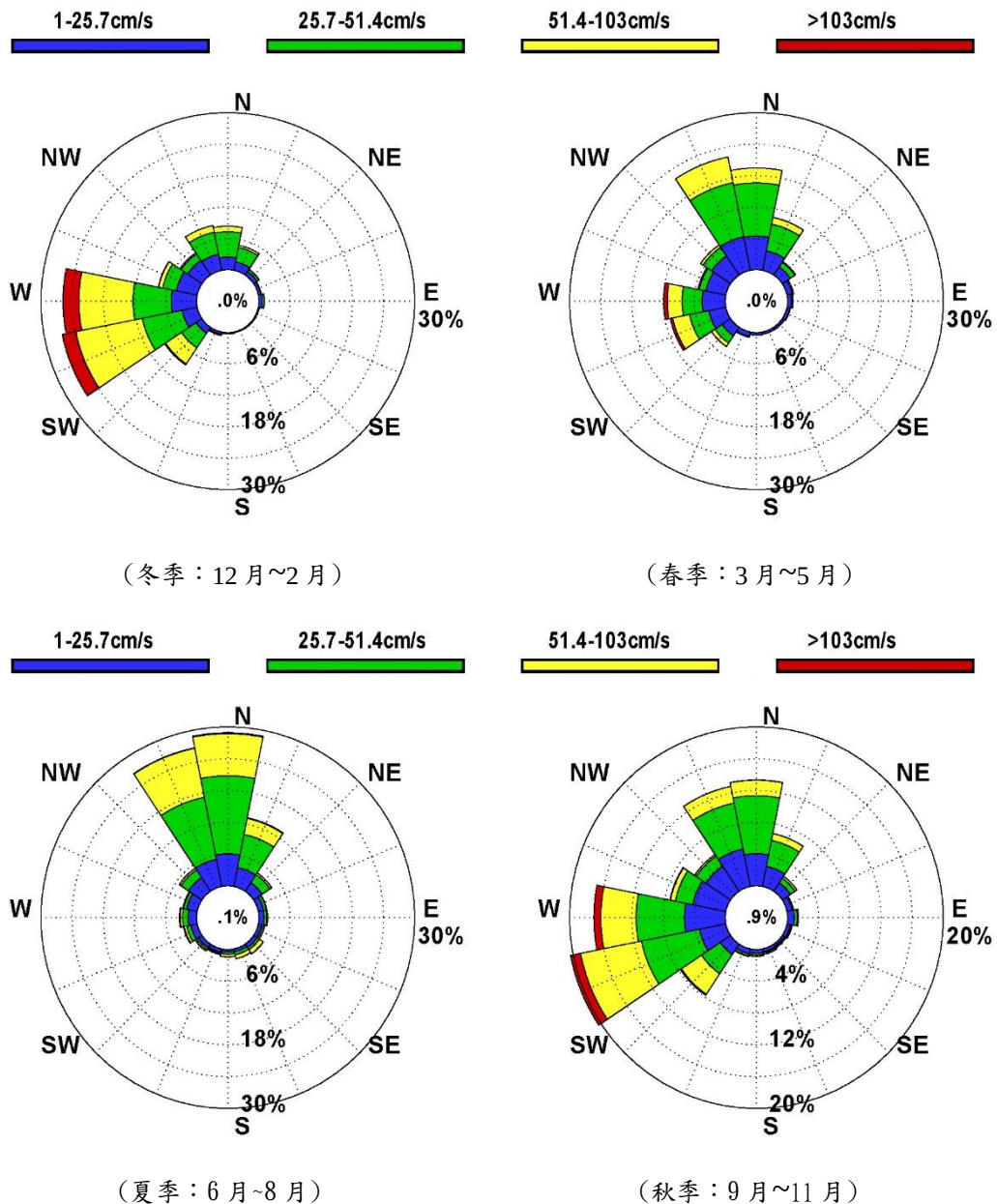


圖 2.4 臺中港歷年四季海流流速及流向玫瑰圖

2.3 臺中港海域的颱風

臺灣地區位於西太平洋屬於颱風侵襲的熱區，颱風威脅臺灣不僅時常造成嚴重的自然災害，時而傳來因颱風喪命或損失的財產的消息，尤其是當颱風直接襲擊時影響更是不可勝數，不僅影響海上施工安全，更對港灣結構物及海岸侵蝕造成極大的影響。本小節依據中央氣象局颱風資料庫統計1897~2019年間所發佈之颱風警報資料，綜整各月侵臺颱風總次數及頻率，

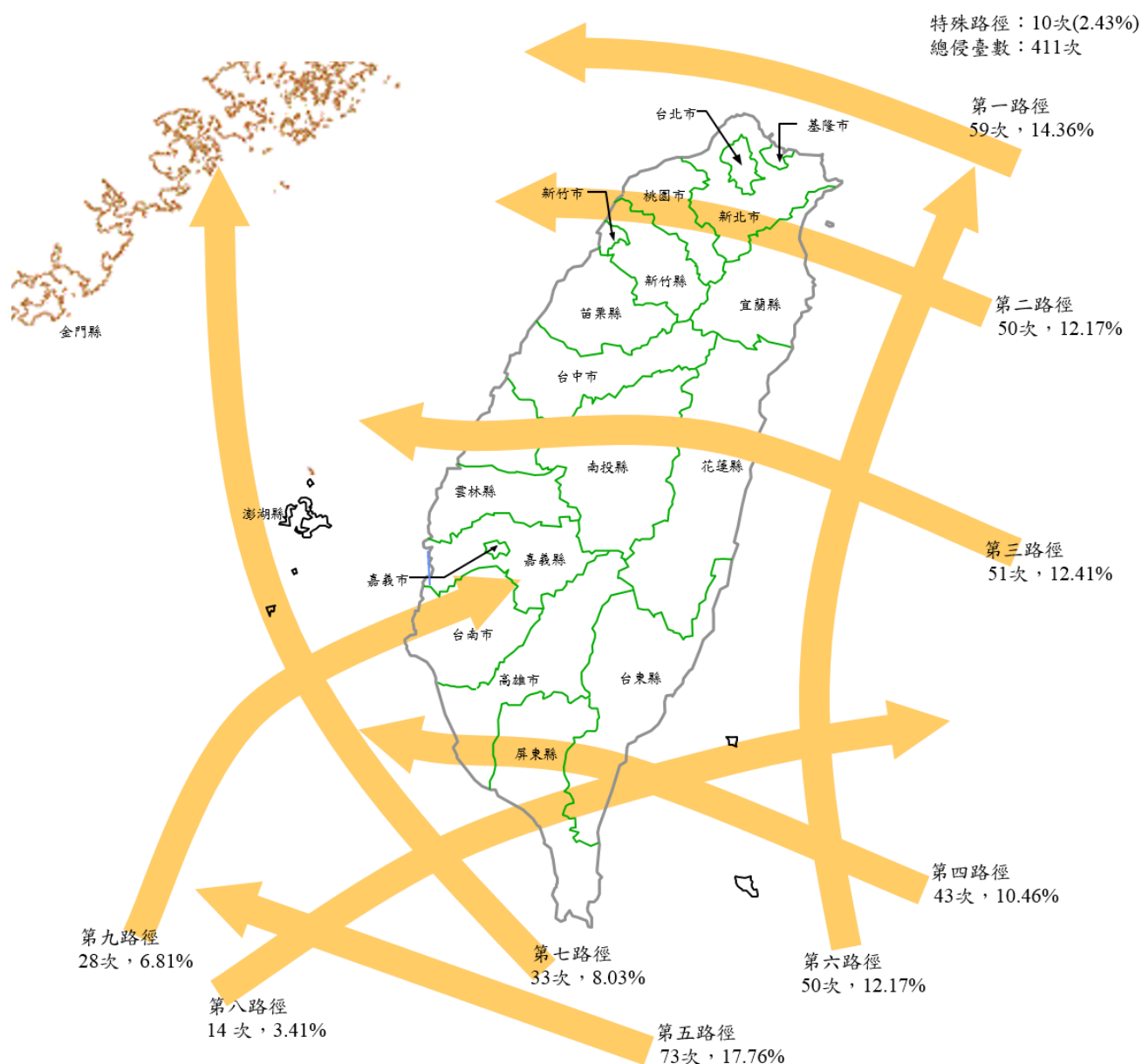
如表2-7所示。由表中可知這122年間侵臺颱風總數量為411次，其中以8月份所佔之127次為最高，百分比約佔總數之30.90%，1~3月份間為冬季尚無侵臺紀錄。

依據中央氣象局所劃分之9+1類侵襲臺灣颱風路徑(9類與特殊路徑)統計圖，雷達所在地之臺中港位於臺灣西海岸之中北部，以第2類(12.17%)、第3類(12.41%)、第7類路徑(8.03%)之颱風對於鄰近海域影響較大，每年侵臺颱風中約有32.6%機率可能直接影響該海域，即平均每年約有1.1個颱風會直接影響(32.6%乘以歷年3.3個颱風計算年侵臺數)，侵襲臺灣之颱風路徑統計圖，如圖2.5所示。

表 2-7 歷年各月侵臺颱風之次數及頻率統計表(1897~2019 年)

月份	侵臺次數	佔總數百分比	年平均次數
1	0	0.00%	0.0
2	0	0.00%	0.0
3	0	0.00%	0.0
4	1	0.24%	0.0
5	14	3.41%	0.1
6	28	6.81%	0.2
7	95	23.11%	0.8
8	127	30.90%	1.0
9	98	23.84%	0.8
10	38	9.25%	0.3
11	9	2.19%	0.1
12	1	0.24%	0.0
合計	411	100.00%	3.3

註 1：1957 年前颱風路徑資料，採中央氣象局氣象科技研究中心統計之侵臺颱風綱要表(1897~1957)(<http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/clm/tyname.htm>)。註 2：1958 年後採用中央氣象局 TDB 防災颱風資料庫(<http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon>)。



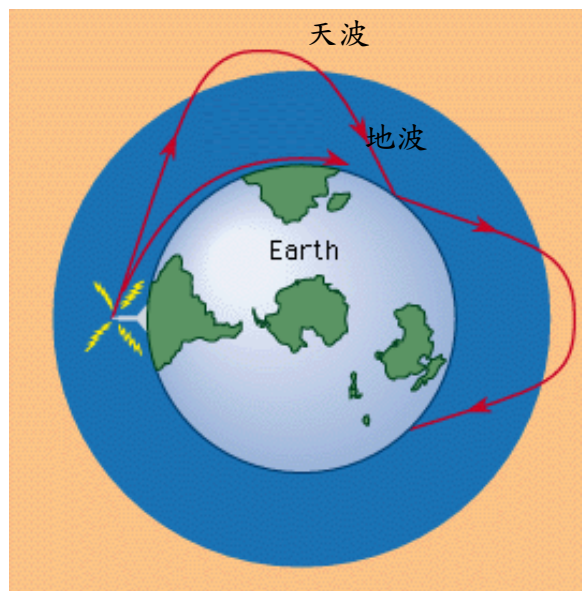
註 1：1957 年前颱風路徑資料，採中央氣象局圖書館歷年颱風調查報告，1897~1957 年侵臺颱風綱要表之 9 類路徑分類(<http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/clm/tyname.htm>)；1958 年後採用中央氣象局 TDB 防災颱風資料庫(<http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon>)。

註 2：颱風編號-191610、191710、194700、197426、199603 無颱風路徑資料故不列入統計分類。

圖 2.5 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(1897~2019 年)

第三章 臺中港高頻陣列雷達介紹

雷達發展需要追溯至 100 年前無線電發展的時代，當時科學家假設大氣層中存在一導電層(現已證明並統稱為電離層 ionosphere)可以導致電磁波傳遞時發生反射，因此無線電傳輸才得以跨越大洋傳遞，為了驗正該導電層是否真實存在，Breit 與 Tuve(1925)發明了一個無線電脈衝發射與接收裝置，這套系統稱之為電離層測高儀(即是雷達的前身)，透過量測脈衝波的反射距離推算電離層之高度，逐漸的雷達衍生出多無線電探測及定位方法：Radio Detection and Ranging，雷達就此縮寫為 Radar，其無線電波因而稱之天波(sky wave)，然因海水之導電性，科學家注意到某些波段(現已知為高頻波段的無線電電磁波)其傳遞過程會在大氣與海表之間反覆折射，並讓訊號沿地球曲面前進，這種海水表面會存在一種電磁波傳播模式，稱之為地波(ground wave)，而地波雷達能被廣泛應用到氣象調查係 Barrick D.E. 奠定具體可行的分析方法，嘗試從頻率譜中獲取海洋信息，探測超視距外的海洋特徵，探測距離可達 40~200km，故逐漸應用於海流和波浪的觀測，雷達波傳遞形式示意圖，如圖 3.1 所示。



(1994 Encyclopaedia Britannica, Inc)

圖 3.1 雷達波傳遞形式示意圖

3.1 雷達波的頻率

依照雷達系統的頻率範圍大約為 0.003~40GHz，分別有 HF 高頻雷達、VHF 特高頻雷達、UHF 超高頻雷達、L 波段雷達、S 波段雷達、C 波段雷達、X 波段雷達、Ku 波段雷達、K 波段雷達、Ka 波段雷達，各雷達波段分類情形如表 3-1 與圖 3.2 所示。其中頻率較低的 HF 高頻雷達與 VHF 特高頻雷達朝海面發射時在海水與大氣介面之間的傳遞衰減率甚小，一定程度會將沿著海水表面，並隨著彎曲的地球表面傳播電磁波，可在短時間連續獲取數平方公里海面的海洋狀態參數分布，探測各項海洋動力學參數（海面風速、波高、流速等），這是目前各項觀測儀器所無法實現的，且陸域維護成本一向較水域維護成本低廉，因此利用高頻雷達進行海氣象觀測已經成為各國常規化的調查方式。

表 3-1 雷達波段與頻率

雷達波段	頻率(GHz)	頻率(MHz)
HF 高頻雷達	0.003~0.03	3~30
VHF 特高頻雷達	0.03~0.3	30~300
UHF 超高頻雷達	0.3~1.0	300~1000
L 波段雷達	1.0~2.0	1000~2000
S 波段雷達	2.0~4.0	2000~4000
C 波段雷達	4.0~8.0	4000~8000
X 波段雷達	8.0~12.5	8000~12500
Ku 波段雷達	12.5~18.0	12500~18000
K 波段雷達	18.0~26.5	18000~26500
Ka 波段雷達	26.5~40	26500~40000
MMW 毫米波雷達	34 以上~	34000 以上~

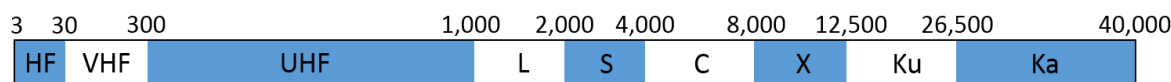


圖 3.2 雷達波段與頻率分類

雷達初期發展主要以 300MHz 以下的雷達頻段為技術代表，也就是以高頻與特高頻二者作為軍事開發目標，發展遠距離目標搜索與預警，但由於低頻波雖能偵測遠距離之目標物，但卻難得看的精準，隨著武器系統之飛行速度提升、飛彈鎖定目標與地面防空尋標需求，實在難以用單頻雷達完成所有的目標辨識與追蹤，尚需得力於其他波段的雷達協助始能完成任務；具體而言，UHF 超高頻雷達波主要運用於超長距離的預警，也就是應用在衛星、彈道的跟蹤與搜索。L 波段主要應用於空中交通航管、以及艦載系統。S 波段因容易受到天氣條件影響，對天候條件敏感，可探測範圍比較前者更小。C 波段部分主要運用於軍事戰爭監視、導彈控制及地面監視雷達系統。X、Ku、K、Ka 及 MMW 波段雷達對於比起 C 波段又更易受到干擾。

若依照發射波形方式可再細分為(1)連續波雷達，與(2)脈衝波雷達二大類，連續波雷達為正常雷達波型式，其中連續雷達波又可以再細分為單頻連續雷達波(CW)與頻率調變連續雷達波(FMCW Radar wave)，單頻連續波，調頻方式也有許多總常見類型，一般有三角波、鋸齒波、編碼調製等，其中單頻連續波只能用在測量物體的速度，無法量測雷達與物體間的距離，但頻率調變連續雷達波不僅可量測物體速度與量測距離亦可以實現。脈衝波雷達(Pulse wave radar)為固定間隔時間所發射的雷達波，主要應用於高干擾與高雜波環境，或安裝空間有限無法同時安裝發射與接收天線的機載，比如說戰鬥機等。

雷達的工作原理很簡單，主要係利用都卜勒效應的概念，如圖 3.3 所示，雷達發射一頻率在物體靠近時，其回波訊號頻率有變高現象，一頻率在物體遠離時，其回波訊號頻率有變低現象，經驗上如同急駛靠近觀察者的救護車，觀察者感覺救護車的鳴笛聲越來越急促，當救護車越遠離觀察者，鳴笛頻率將產生逐漸變慢的感覺，假設發射頻率為 f_0 ，所測得回波頻率差為 f_D ，目標物的逕向觀測速度 v 與光速 c ，就有此關係式(3.1)，透過雷達回波與發射波的頻率差，藉以測得目標物在雷達逕向上的相對速度，而目標物於雷達逕向

的所在距離位置假設為 R ，接收訊號時間為 Δt ，目標物體與雷達的間距為 R ，距離公式 R 可表示為(3.2)，不論這些雷達的形式為何，由於都使用相同原理，因此皆統稱為都卜勒雷達(Doppler Radar)，但由於雷達常廣泛應用於氣象，故應用於氣象調查的雷達亦稱之為氣象雷達。

$$f_D = \frac{2v f_0}{c} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$R = \frac{c \times \Delta t}{2} \dots\dots\dots(3.2)$$

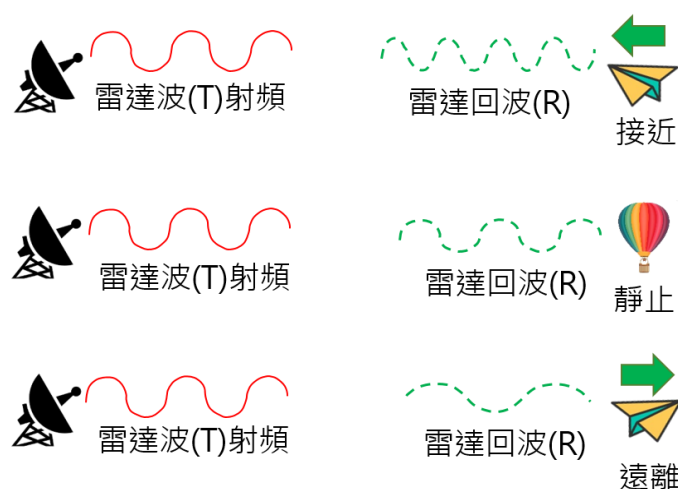


圖 3.3 都卜勒效應下移動目標的頻偏現象

3.2 雷達的種類

雷達系統是多組複雜的硬體所構成之設備，一個完整的系統需包含雷達發射機、發射天線與接收天線與儲存設備(電腦或顯示器)，種類的分類係依據使用目而區別，當雷達系統搭載不同的雷達頻率時將被賦予各種不同的功能，前小節 3.1 已簡要分述雷達波的種類。雷達發射機所發射的訊號本身是電磁波，屬於人體眼球無法看見的波動，但由於雷達系統本身與人眼十分相似，猶如人眼只接受可見光線反射物體的成像，雷達只接收電磁波反射的訊號，截至目前為止仍沒有一個完美的波段可以實現所有的目的，但至少現今已開發出雙頻多功能的目標雷達，雙頻雷達能有效減少搜索時的盲區，改善單頻雷達的缺點，惟現階段使用仍以軍事用途居多，綜括雷達種類有預警雷達、搜索雷達、照明雷達、射控雷達與測候雷達 5 種類型。

- 一、預警雷達：一般設備頻率 300~1,000MHz 超高頻(UHF)與 30~300MHz 特高頻(VHF)，發射功率數兆瓦級以上的發射器，訊號不易被大氣吸收，主要用於蒐集海空目標情資，中長、遠程監控與遠距離目標搜索，缺點是偵測距離遠，但是精確度不足，無法直接對目標物鎖定與引導飛彈攻擊。
- 二、搜索雷達：一般設備頻率 1,000~2,000MHz(L)與 2,000~4,000MHz(S)的雷達頻段，作用距離在 400 公里至 600 公里不等，常見於艦載監控設備且以 2D 機械式雷達居多，我國海軍現仍使用中，據悉康定艦(L)、成功艦(L)與基隆級艦艇(S)(L)皆搭載之，當目標進入雷達射程範圍內，其精確度比預警雷達佳。
- 三、照明雷達：一般設備頻率 4,000~8,000MHz(X)的雷達頻段，平均發射功率 10KW，最大功率 34KW，主要配合船艦之砲射控系統做為自動追蹤目標之用，啟動時雷達將直接朝目標發射照明波引導飛彈摧毀目標。
- 四、射控雷達：一般設備頻率 18,000~26,500MHz(K)的雷達頻段，屬於窄波範圍，雷達能量集中具有多目標搜索及多目標追蹤功能，主要搭配射擊武器運行，實施瞄準與發射，有效距離約達 17km，此雷達搜索範圍雖小，但是精確度夠，可精準測定各項參數，且能有效鎖定範圍內極小的目標。
- 五、測候雷達：一般設備頻率 2,000~4,000MHz(S)與 4,000~8,000MHz(C)的雷達頻段，有效範圍距離在 300 公里至 500 公里之間，雷達回波可依據特徵分析對流性強的降雨區域，掌握降水的結構，目前臺灣本島共建置 8 座雷達站，分別於五分山、花蓮、七股、墾丁、桃園機場、綠島、清泉崗與馬公，其中 4 座為中央氣象局雷達站，基本資料如表 3-2，臺灣氣象雷達觀測範圍，如圖 3.4 所示，該雷達波主要以 S、C 波段為主，部分雷達已開始改採用較高解析度之「C 波段雙偏極化雷達」，可以探測雨滴的形狀與雨團的運動方向。

表 3-2 臺灣氣象雷達基本資料

標號	雷達站	所屬單位	類型	波段	設置高度	備註
1	花蓮港	中央氣象局	都卜勒	S	63	1966 啟用
2	臺南七股	中央氣象局	都卜勒	S	38	2002 啟用
3	屏東墾丁	中央氣象局	都卜勒	S	42	2002 啟用
4	臺北五分山	中央氣象局	雙偏極化雷達	S	766	1998 啟用
5	綠島	空軍氣象聯隊	雙偏極化雷達	C	284	2017 啟用
6	桃園機場	交通部民航局	雙偏極化雷達	C	10	1987 啟用
7	臺中清泉崗	空軍氣象聯隊	雙偏極化雷達	C	203	2009 啟用
8	澎湖馬公	空軍氣象聯隊	雙偏極化雷達	C	48	2009 啟用

(中央氣象局網站)

綜括來說，雷達頻率越高衰減愈大，係因波長短容易造成電磁波被干擾遮蔽，因此如需探測更甚距離者，建議採用頻率較低的雷達系統，另外依據雷達方程式，雷達觀測距離與功率呈現正相關，故增加功率也增加觀測距離的方法之一，能量越強觀測距離則越遠。

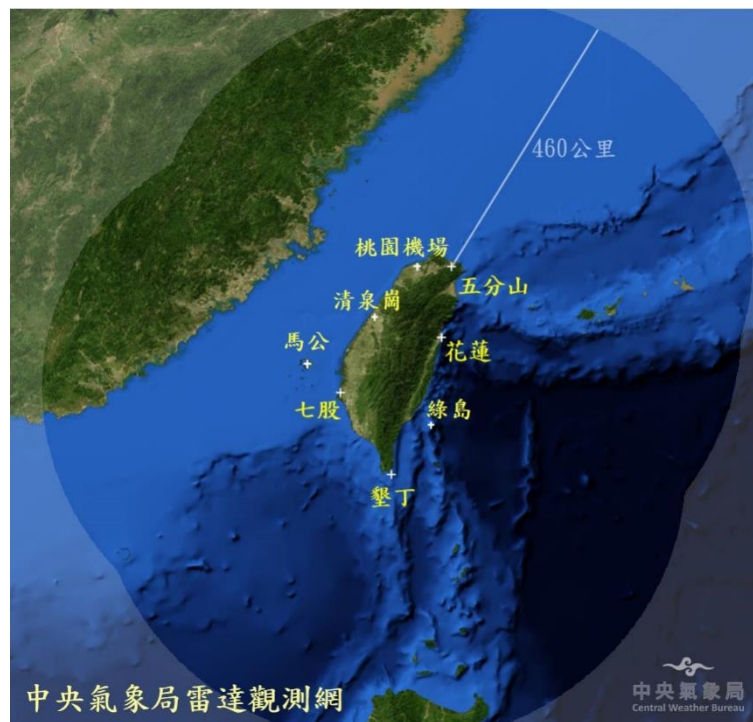


圖 3.4 臺灣氣象雷達觀測範圍

提及最新的雷達發展技術，我國「國家中山科學研究院」技術有成，目前已具相控陣雷達(Phased Array Radar)的製造技術，相控陣雷達天線是由無數個小單元的雷達天線模組組成，稱為陣元，每個陣元都具有獨立發射雷達波與接收雷達回波訊號之功能，該雷達之所以稱相控，表示雷達電磁波方向可以改變，但雷達硬體彼此固定，該如何實現相控目標，原理係透過雷達發射的時間差，藉此達成雷達相位的控制，因而得名相控，雷達相控示意圖，如圖 3.5 所示。



圖 3.5 雷達相控陣示意圖

相控陣雷達最大的優點是雷達陣元模組各自獨立，如圖 3.6 所示，因此當陣元模組故障時仍能有效使用，並實現多目標偵測，如圖 3.7 所示，此概念係基於昆蟲複眼之仿生設計，此設計雷達原形，只要四面相控即可實現全域零差掃描，不必依傳統機械式雷達方式運作。



圖 3.6 相控陣雷達陣元佈置情形

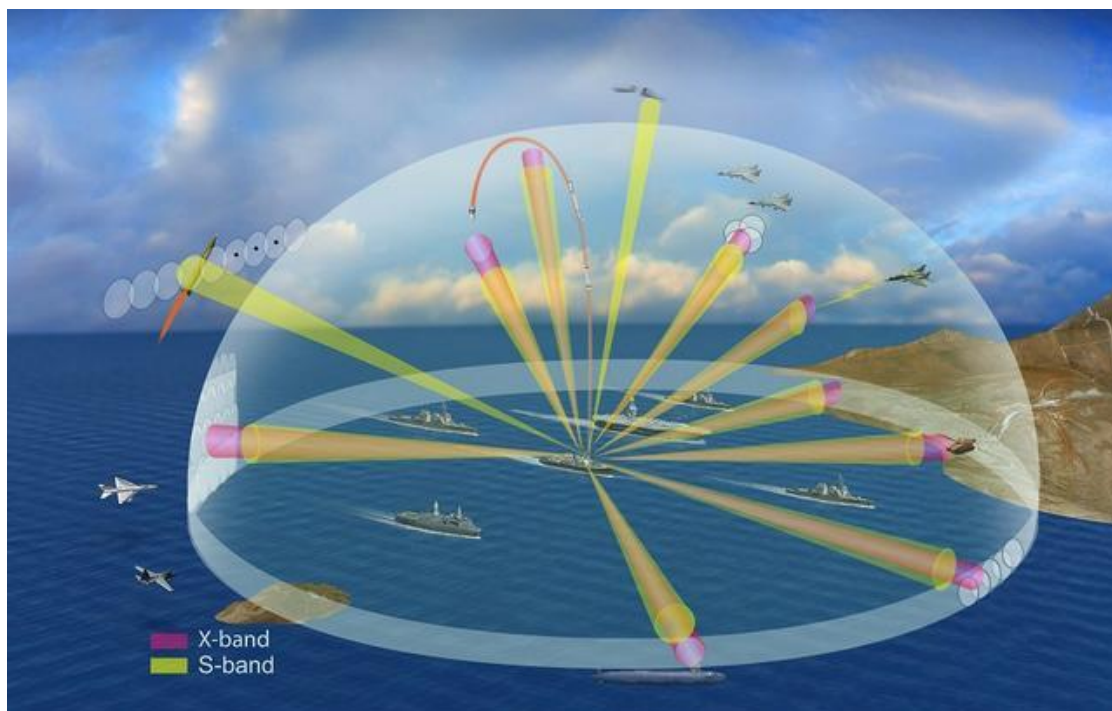


圖 3.7 相控陣雷達多目標搜索示意圖

至於雷達的未來為何，近年來技術再次突破，由於雷達干擾技術的提升，使得隱形戰機隱匿性更加提升，普通雷達已無法掌握其蹤跡，民國 97 年美國麻省理工學院的 Seth Lloyd 教授首次提出了量子遠程探測系統模型理論，俗稱量子雷達(Quantum Radar)，利用光子觸碰目標後產生量子型態的改變原理來偵測目標，量子糾纏所產生的表徵粒子幾乎不受其他電磁波干擾，因此訊號雜訊很低，而能有效抵抗干擾，使靈敏度獲得極大提升，如果以技術準備度(TRL)評估，現應已達產品雛型與初步驗證階段，未來將投入更為廣泛的軍事應用。

3.3 臺中港海洋雷達頻率

影響雷達訊號的因素甚多，舉凡周邊環境、天氣狀況、雷達功率、天線長度、脈波寬度等都是影響訊號的原因之一，但是最重要的因素卻是頻率，因此建置海洋雷達決定射頻係相當重要的工作，選擇無人使用的頻道是屏除環境載波間相互干擾最有效的方法，直接降低雜訊比事後進行訊號後處理更佳，為獲取良好的雷達回波，本所港研中心參酌國家通訊傳播委員會之頻率使用分配圖，優先選擇雷達射頻干擾較小的區域，圖 3.8 為我國射頻之使用

情形，由於高頻雷達(HF)頻段介於 13MHz 至 30MHz 之間，經查該頻率分配圖 19.02MHz 至 19.68MHz 與 21.85MHz 至 21.924MHz 頻率目前尚無人選用，可作為優先選頻之區域，惟根據台灣海洋科技研究中心(TORI)所架設雷達系統(CODAR)的經驗，該分配圖僅能作為國家通訊傳播委員會(NCC)管理頻率合法使用的參考，並無法確保是否有其他私架電臺於夜間或其他時段非法使用頻率之情形，因此嚴格來說仍存在一定程度干擾風險可能，較建議之解決方法係至雷達架設範圍內進行一定時間的掃頻與分析紀錄，釐清該區域無線電頻率使用之情形，始能取得最佳射頻(RF)。



圖 3.8 中華民國頻率使用分配圖

3.3.1 掃頻作業

本所港研中心委託睿洋電子有限公司於 108 年 6 月 12 日至 7 月 9 日期間辦理掃頻工作，前置作業於本中心行政大樓樓頂架設天線、掃頻儀及電腦設備與紀錄設備，如圖 3.9 所示，該圖為接收天線安裝與電腦接收資料的情形，掃頻完畢後將依據紀錄資料與雜訊狀況進一步分析頻道的使用情況，再予具體評估建議，掃頻工作內容，整理如表 3-3 所示。

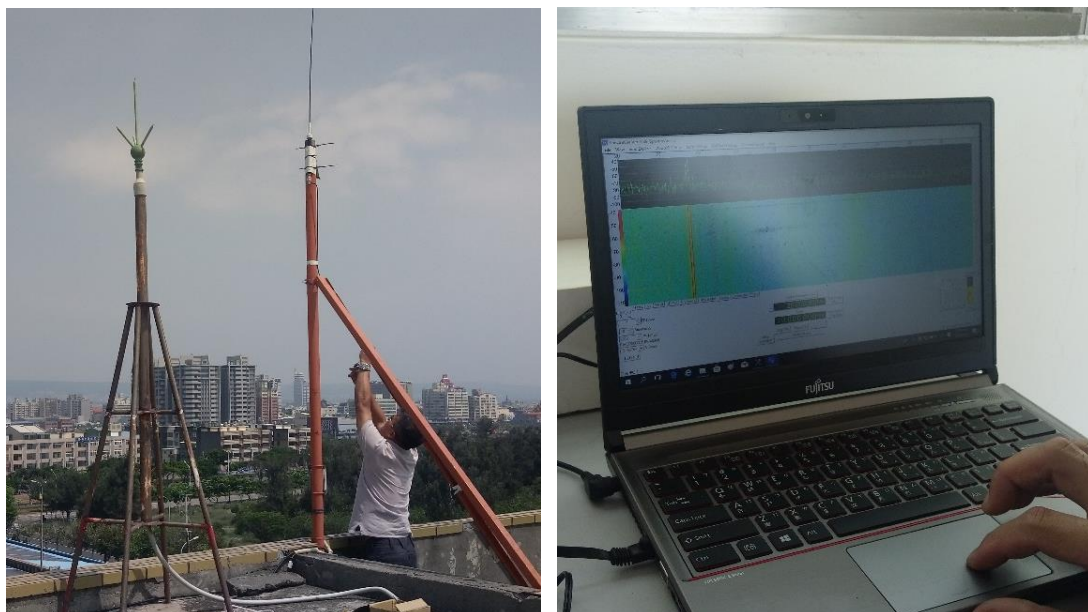


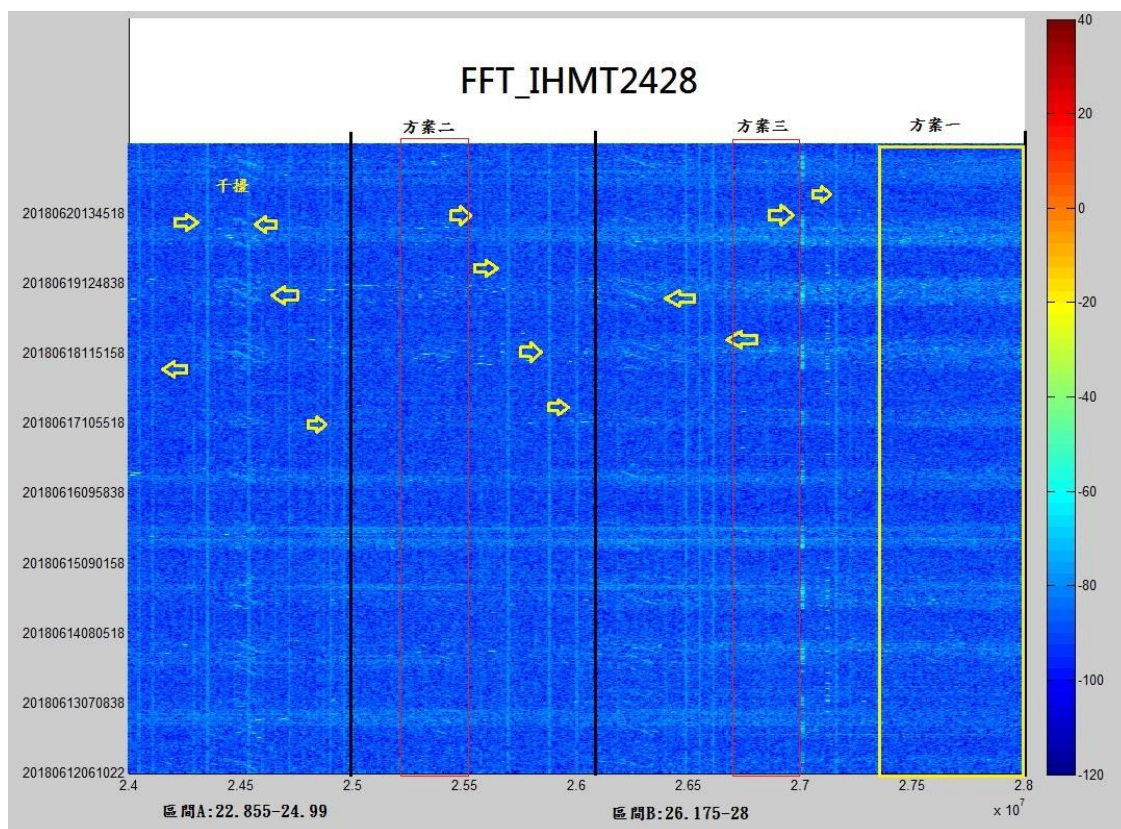
圖 3.9 天線安裝與掃頻情形

表 3-3 掃頻工作表

日期	工作事項	安裝地點
6/12	安裝電腦、掃頻儀、天線	港研中心樓頂
6/12-6/22	掃瞄頻段 24-28MHz	港研中心樓頂
6/22-6/23	掃瞄頻段 13-19MHz	港研中心樓頂
6/25	回收資料	港研中心樓頂
6/26-7/9	資料分析與撰寫報告	-

工作人員先掃描探討臺中港的港區環境，初步判斷背景值有二個區段雜訊較少，分別為 24-28MHz(優先考慮)與 13-19MHz 兩個區間，故 108 年 6 月 12 日開始進行 24-28MHz 區間掃描(共掃描 11 天)，雷達頻率越大波長越小，由於波長可視作測量的刻度，刻度越小解析度越好，故優先考慮 24-28MHz 區間掃描 11 天，輔助掃描 13-19MHz 區間 2 天。再將 24-28MHz 分三個方案探討：24-24.99MHz(方案一)、26.175-28MHz(方案二)與 27.4-28MHz(方案三)掃頻紀錄進行分析，其中方案一背景中有許多固定發射源，如掃頻圖形內

內垂直線，特別在 24.5MHz 處有一處頻寬 100KHz 的固定發射源，方案二背景亦有多條固定發射源，方案三背景最為乾淨，且有頻寬 600KHz 的範圍，如圖 3.10 所示，致於 13-19MHz 區間，由於申請範圍上下限至少需 1MHz 以上，目前已無足夠頻寬可提供申請，該探測範圍內同樣地有多條固定發射源干擾，已無干擾較少的頻段可供選擇，綜上所述，睿洋電子公司建議本所港研中心以方案三(27.4-28MHz 範圍)作為優先申請之考量。



*箭頭所指的線條，即背景雜訊

圖 3.10 臺中港區無線電頻率 24MHz~28MHz 掃頻情形

3.3.2 雷達申請作業

國家通訊傳播委員會(簡稱：NCC)為電信相關業務的主管機關，綜理我國固定通信業務、電信管制射頻器材之進出口管制及使用，因此需向該機關提出相關申請，整個臺中港海洋雷達站建置需要經歷二大程序(總計 4 項步驟)，所謂二大程序為(一)架設程序、與(二)審驗程序，依據電信法第 47 條之「專用電信設置使用及連接公共通信系統管理辦法」架設程序申請需執行 3 項步驟，依序包括：頻率指配、架設許可與進口許可。架設程序完成後再報

NCC 進行審驗程序之使用許可，檢驗設備是否與當初核定的儀器型錄、發射功率等相符，經審驗通過後該機關始予核發專用無線電臺執照，至此申請程序始得以完整，雷達申請作業流程，如圖 3.11，下就申請步驟簡要說明如次：

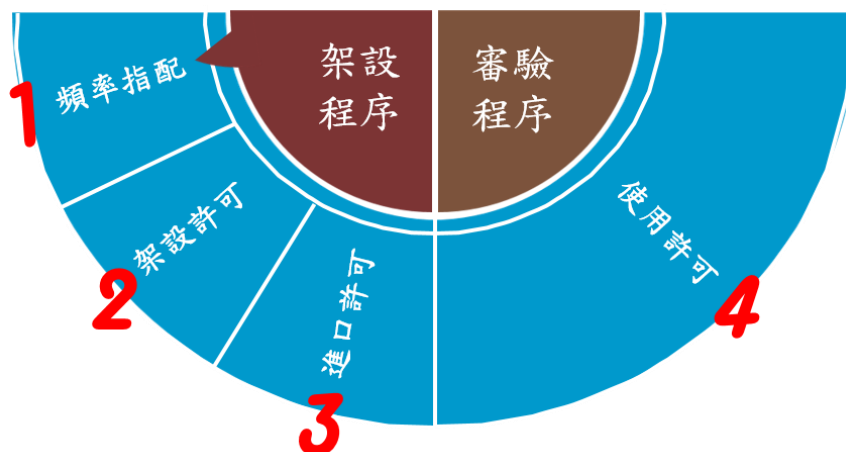


圖 3.11 雷達申請作業流程圖

一、頻率指配：

向 NCC 申請頻率使用權之前，設置單位需先決定雷達使用頻率，再向該機關遞交申請表及雷達系統設置規劃書，如附錄四所示，其中規劃書內容需含有雷達使用目的、設置位置，類型、系統架構、使用頻率(以本所港研中心為例[申請 27.5-28MHz 範圍]，雷達中心頻率 27.75 MHz，頻寬 500 KHz)及設置作業流程規畫書內需完整敘明，NCC 將依據規劃書內容查證使用範圍內是否能和諧使用頻率，本所申請時發現本雷達站頻率與臺中梧棲漁會及軍方使用情形有重疊現象，故需進行跨部會協商與釐清日後責任，該機關最後將協商的會議紀錄與申請表及規劃書送交大會審核，審核通過後始算獲得該頻段的使用權。

二、架設許可：

架設許可簡稱架許，申請架許步驟需依其規定要提交申請表與工程規劃書，工程規劃書內容圍主要需明確述明架設工程的規劃，比如環境狀況，電力來源，土建部分預計使用的機具(挖掘機具等)、進場整地、線路埋管規劃，雷達基本資料、收發射天線的場型(如附錄五)、收發射天線設置 GPS 位置，機房位置等，此內容必需力求詳盡，由

於工程規劃書與日後審驗啟用雷達程序有關，故雷達站的相關內容請務必力求詳盡，比較值得注意的是本階段必須向 NCC 提出電臺公務主管(該主管專業能力需符合電機、電子、資訊、電信、電力或控制等專長)，並提供相關佐證資料，證明該申請單位是具有雷達系統管理能力的，申請核准後將獲得專用無線電臺架設許可證，架設許可證有時效限制需於其限內架設完畢，如果無法於限內架設完成得向 NCC 申請展延 1 次，若於展延後仍無法架設完成，整個程序予以撤回，需要重新申請，如附錄六所示。

三、進口許可：

雷達元件如涉及國外進口，設備進口通關過程海關會檢查設備是否有 NCC 核發的「電信管制射頻器材進口許可證」，因此在進口前需先向該機關提出進口許可，以利後續儀器進口報關事宜，本雷達進口許可證，如圖 3.12 所示。



圖 3.12 國家通訊傳播委員會專用進口許可證

四、使用許可(審驗)：

雷達申請的最後一個步驟，係當進口完成雷達站建置後，需再向 NCC 提出審驗需求，該機關將會派審驗人員進行現場檢驗雷達儀器設備，經審驗無誤後，正式核發使用許可證一紙，致此雷達申請程序始予完成，以可正常使用雷達，本雷達專用無線電臺執照，如圖 2.13 所示。

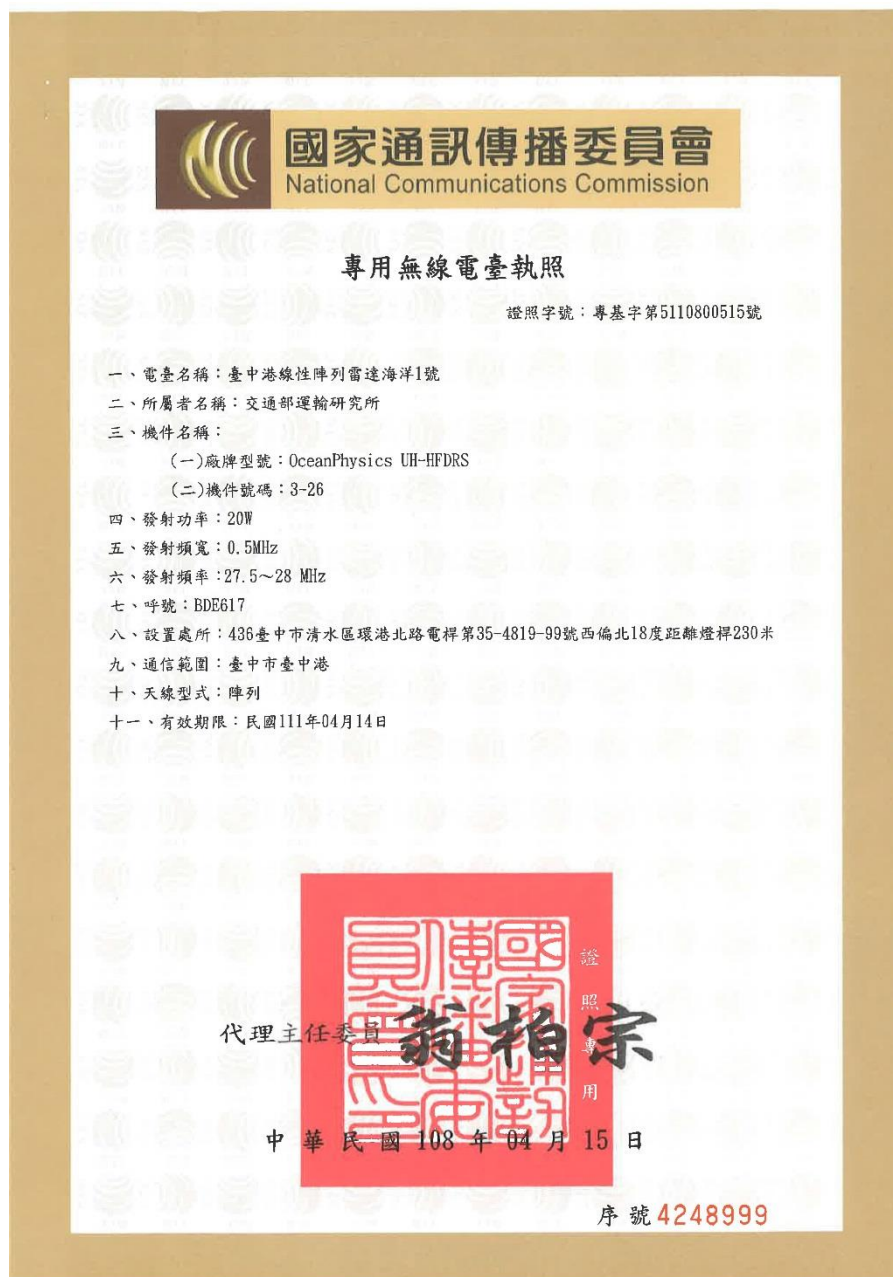


圖 3.13 國家通訊傳播委員會專用無線電臺執照

第四章 臺中港高頻陣列雷達訊號處理與分析

本計畫所使用的高頻雷達規格與主要設定，如表 4-1 所示，高頻陣列雷達系統及許多理論與技術，包含：射頻技術(Radio Frequency Technology)、相控陣原理(phased array principles)、布拉格反射(Bragg Scattering)、都卜勒效應(Doppler effect)、波束成形(beam forming)，精密的系統使其猶如測波電眼，實現於岸上超視距觀測海面之波浪變化，本章將逐步介紹與討論此遙測技術的訊號的處理與分析。

表 4-1 本計畫所使用高頻雷達規格與主要設定

LERA 雷達參數	參數值	單位	備註
觀測時距	30	min	
雷達頻率	27.75	MHz	
頻寬 (Band width)	300	KHz	
發射天線數量	4	支	
接收天線數量	16	支	
方位角 (Main Bearing)	296	度	主頻發射 方位角
觀測距離	40	KM	
距離解析度 (Range resolution)	500	m	
方位解析度 (Azimuthal resolution)	8	度	
線性調頻發射週期 (Sampling frequency)	0.216666	sec	
A/DC 取樣頻率 (Sampling frequency)	740	Hz	
線性調頻取樣數量 (Number of samples per chirp)	1,280		每啁啾 取樣數
最小線性調頻數量 (Number of minimum chirps)	8,192		最小 啁啾數

4.1 高頻陣列雷達系統的設計

本研究所使用的系統是由美國夏威夷大學研製開發的低成本高頻雷達系統(Least-Expensive Radar, 簡稱 LERA), 該系統主要包含: 「衛星定位系統(GLONASS)、恆溫控制晶體振盪器(OCXO)、頻率調製器(Direct Digital Synthesizer, DDS)、固態電子發大器(Pulsed Power Amplifier, PA)、低雜訊放大器(Low Noise Amplifier, LNA)、混頻器(MIXER)、類比數位訊號轉換器(AnalogDigital Converter, ADC)、嵌入式控制系統(embedded controller)」, 雷達原理架構圖, 如圖 4.1 所示, 各原件功能與相互間作用如何作動, 臚列分述如下:

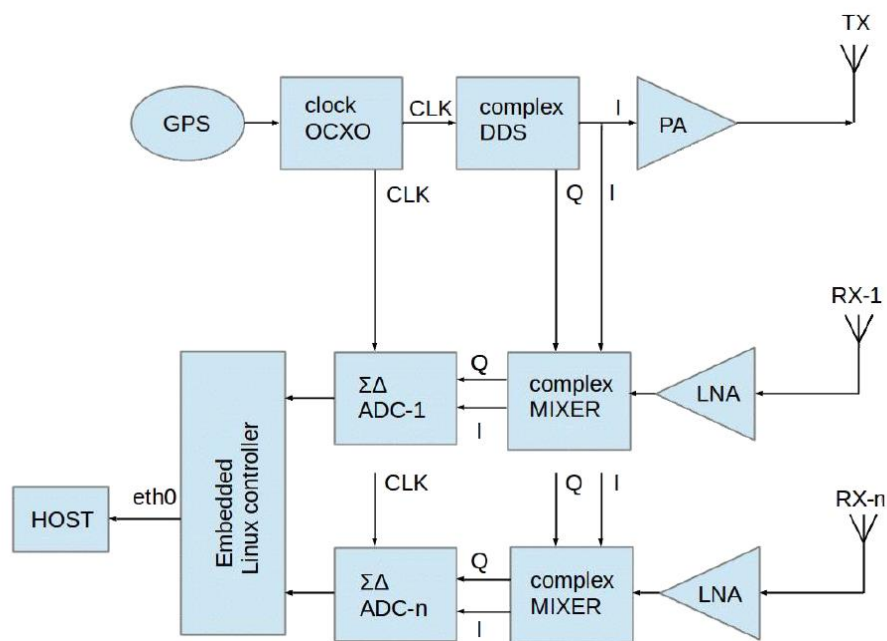


圖 4.1 高頻陣列雷達設計架構圖

一、衛星定位系統(GLONASS)

時間是計算距離與速度的重要參數, 本系統採用俄羅斯的全球導航定位系統(Global Navigation Satellite System, 簡稱 GLONASS)的時間, 作為雷達系統通用時間的參考, 俄羅斯起初是為了國防安全而發展 GLONASS 系統, 目前共有 24 顆衛星運行, 主要分佈於高緯度且與中低緯度衛星相互配合完成全球定位工作, 許多消費性電子(如手機)與設備都已使用 GLONASS 系統, 由於已於民間普遍使用, 因此本雷達亦使用此定位系統。

二、振盪器(OCXO)

振盪器主要係為系統運行提供精準的時脈而裝設，振盪器種類眾多，除恆溫控制晶體振盪器(OCXO)之外，還有溫度補償晶體振盪器(TCXO)與石英晶體振盪器(XO)，溫度補償晶體振盪器雖能為晶體提供熱源調整工作溫度，使穩定度提高，但相較於恆溫控制晶體振盪器，仍無法滿足雷達、導航與通信基地臺等設備之需求，本系統所使用振盪器為恆溫控制晶體振盪器(OCXO)，係因晶體溫控穩定之原故，該振盪器時脈準確，因此量測出來的頻率最為準確，誤差最小。振盪器穩定度是依據頻率變化與中心頻率的比值進行探討，石英晶體振盪器，沒有附加任何控制，其穩定度完全由晶體諧振之自身特性決定，在環境溫度在 -55°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 變化之間，穩定度約在 $\pm 25\text{ppm}$ 之間，溫度補償晶體振盪器，採用溫度補償單元(內含溫度感測元件)，可將穩定度控制在於 $\pm 0.5\text{ppm}$ 之間，恆溫控制晶體振盪器，具有升溫烤控制裝置，可將振盪器晶體加熱至更高溫度並保持穩定，恆溫環境使時脈穩定度可以達到 0.001ppm ，故穩定度的關係以恆溫控制振盪器(OCXO)的穩定度為最高，其次是溫度補償式的振盪器(TCXO)，最差的是石英晶體振盪器(XO)，振盪器穩定度比較圖，如圖 4.2 所示。

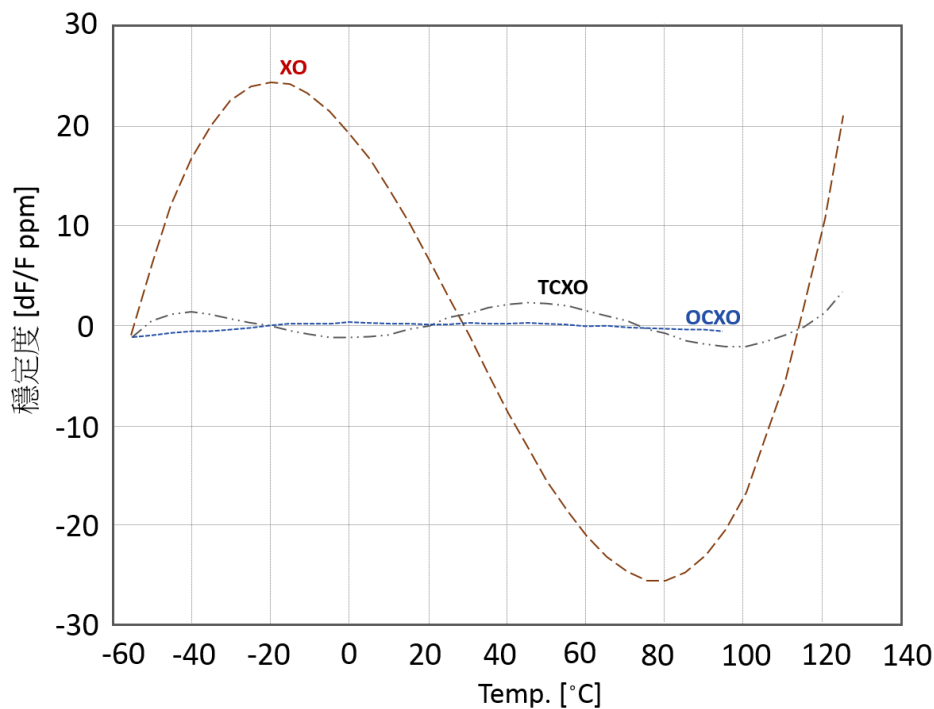


圖 4.2 振盪器穩定度比較圖

三、頻率調製器(DSS)

由於波浪與海流具方向性與大小，因此本系統需採用鋸齒波(Sawtooth wave)之線性調頻連續雷達波(LFMCW)作為雷達的發射來源，如圖 4.3 所示，始能測量海面參數的方向與大小，故雷達系統需要一組頻率調製器進行線性調頻，本雷達中心發射頻率(F_r)是 27.75MHz，頻寬(Bw)300KHz，發射頻率介於 26.25MHz~29.25MHz 之間，每段鋸齒波為 0.21666 秒，稱之為 1 個啁啾(chirp)稱，每次發射 8192 個啁啾(chiros)，總共發射 1774.878 秒(相當於 29.58 分鐘)，其中每個鋸齒波有 1280 個取樣數，由於頻寬(BW)設定 300KHz 的原故，因此空間解析度等於電磁波速度($C=300\text{km/s}$)除以 2 倍的頻寬(BW)，故每個距離元空間解析度為 500m。

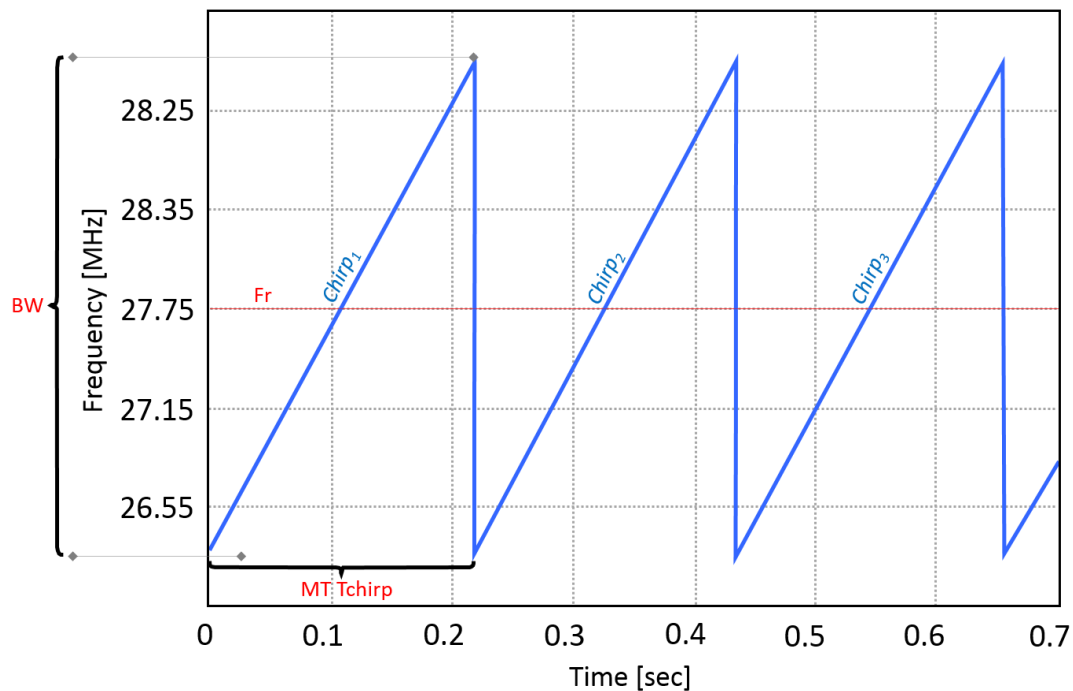


圖 4.3 雷達系統 DDS 所調製的鋸齒波形圖

DDS 的作用在於調製訊號，其原理係利用正弦函數(sin)、餘弦函數(cos)正交信號，進行混頻、倍頻、分頻與帶通濾波等方式合成訊號，依據參考頻率之訊號進行數位調變或改變相位等；換句話說，經數學運算使數位訊號產生類比波形，再將調製的訊後經由數位類比轉換器進行轉換輸出，最後通過低通濾波器輸出為複數型式的 IQ 信號，即刻完成頻率調製，如圖 4.4 所示。本雷達採用 DTacq 公司（蘇格蘭）型號 RAD-CELF 的頻率調製器。

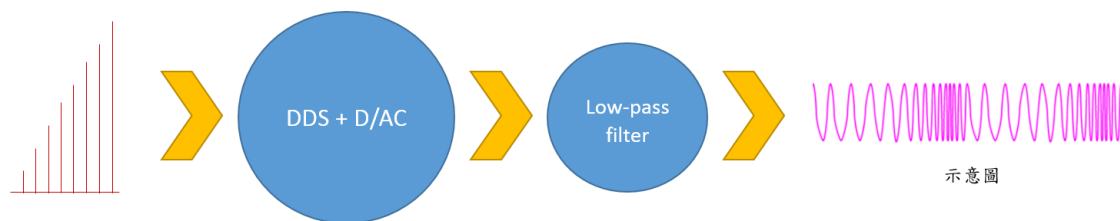


圖 4.4 頻率調製器 DDS 訊號調製流程圖

四、訊號放大器(PA)

訊號放大器(Pulsed power amplifier，簡稱 PA)，功用就是將調製的訊號作頻率放大的動作，早期功率放大都是以真空管透過集中電流產生訊號放大的效果，現在同樣的工作都改以半導體進行控制，本雷達採用 Tomco Technologies 公司(澳大利亞)生產型號 BTM00250-AlphaSA，AB 類 MOSFET 訊號放大器，IQ 訊號經放大器處置後便可透過發射天線將訊號送出，雷達系統發射端之簡易架構，如圖 4.5 所示。

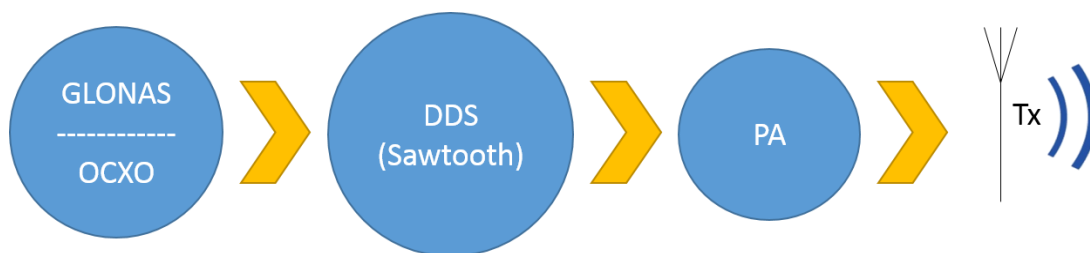


圖 4.5 雷達系統發射端之簡易架構

五、低噪放大器(LNA)

部份的訊號經海水吸收與海面散射，接收天線接收海面的反射訊號而減弱，且在通過同軸電纜傳遞將會有一定程度的衰減，故接收(Rx)天線設計末端安裝低噪放大器(Low noise amplifier，簡稱 LNA)，將訊號源進行適當放大，如圖 4.6 所示為本雷達系統所用的訊號放大器。



圖 4.6 主動式接收天線的低噪訊號放大器

六、混頻器(Mixer)

混頻器在電子學中是一種非線性電路，本雷達混頻器(complex Mixer)為一雙平衡混頻器，作用上利用 16 個零差接收器與天線組形成通道網絡，並將發射 IQ 訊號與回波 IQ 訊號予之調製，常用於微波收發器、相位陣列式天線。

七、類比數位訊號轉換器(ADC)

本雷達採用 D-Tacq Solutions 公司（蘇格蘭）型號 ACQ-435ELF-16 的類比數位訊號轉換器，適用於多組數同步通道，可將混頻後的類比訊號轉換為數位訊號，以利後續取樣分析。

八、嵌入式控制系統(embedded processor)

本雷達採用 D-Tacq Solutions 公司（蘇格蘭）型號 ACQ-1001Q 的嵌入式處理器，支援在 Linux 作業系統下運行，訊號處理完畢後可送至用戶進行後續處理，綜合以上元件，並加以串連組裝後系統，如圖 4.7 所示，UH-HFRS 雷達使用手冊，如附件七。



圖 4.7 高頻陣列雷達實體

4.2 高頻陣列雷達硬體架構及說明

天線設計部分接收天線(Rx)共 16 組與發射天線(Tx)共 4 組，由於該接收天線後接有帶通濾波器(Band Pass Filter，簡稱 BP)，因此稱為主動接收或有源接收，Rx 天線間距 5m 接收雷達回波資料(16 組需要 75m 長的場佈空間)，每個 Rx 天線皆採用長度為 125m 的 RG213 天線，經現場測得 Rx 天線衰減率為 3.2B/100m，故長度 125m 將衰減 4dB；Tx 天線為矩形相控陣列專伺發射指向性場，Tx 天線間距為 5.4mx2.16m 矩陣，屬於無源發射天線，每個 Tx 天線採用長度固定 325m 的 LMR600 天線，經現場測得 Tx 天線衰減率 1.1B/100m，長度 325m 將衰減 3.5dB，因此天線建置需近 350m 的空間範圍。

考慮觀測目標以基地母港臺中港進出口為主，且臺中港北淤沙區距離海面 200~300m 較近干擾較少，施工案件數量相較於港內工程而言，工程案件數較少，故選定臺中港北淤沙區作為架設地點，為避免暴潮溢淹安裝，所安裝的貨櫃基座需儘可能架高以保持乾燥，另為減少溫度過高導致雷達系統故障，貨櫃設置於擋沙牆東側以減少西曬故障發生，如圖 4.8 所示。



圖 4.8 北防沙堤雷達所在地

雷達零件係由美國夏威夷大學生產製造的，UH-HFDRS 接收機箱，尺寸 70cm 長 62cm 寬 22cm 高，重量達 25 公斤，內含各接收模組(MKIII 晶片)，一個模組能接收 8 組 Rx 天線資料，本研究支援 16 組 Rx 天線，因此需要 2 個接收箱，UH-HFDRS 傳輸機箱尺寸 70cm 長 62cm 寬 22cm 高，重量達 30 公斤，雷達發射機峰值功率 100 瓦，平均功率 50 瓦。本雷達相關零組件由睿洋電子有限公司 107 年 9 月 26 日~107 年 10 月 7 日期間於夏威夷製造，UH-HFDRS 零組件製造生產情形，如圖 4.9 所示。

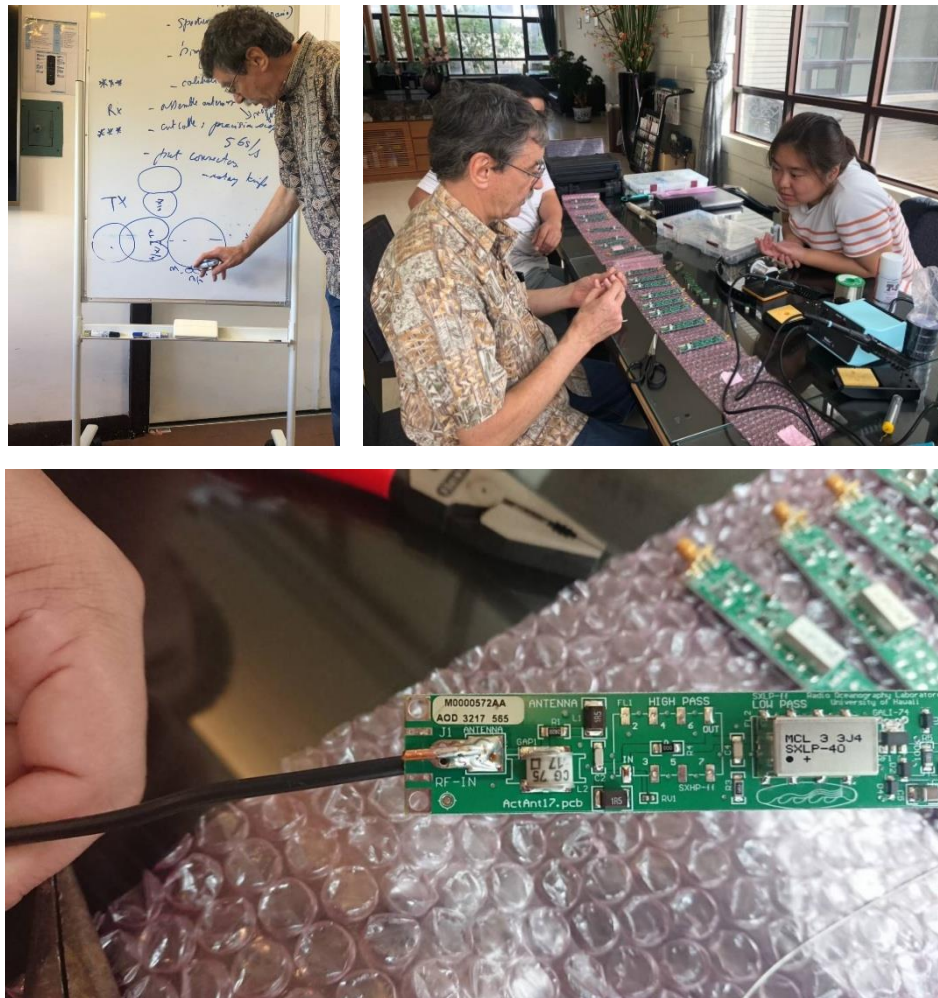


圖 4.9 UH-HFDRS 零組件製造生產情形

本雷達土建與整地部份，睿洋電子有限公司於 107 年 11 月 9 日~107 年 11 月 22 日期間辦理完成，依序完成(a)路面整地、(b)鋼筋綁紮、(c)混凝土澆置、(d)管溝開挖、(e)水電工程、(f)貨櫃進場、(g)儀器固定架施工、(h)收發射天線配管等工作，施工過程，如圖 4.10 所示。



(a)路面整地



(b)鋼筋綁紮



(c)混凝土澆置



(d)管溝開挖



(e)水電工程



(f)貨櫃進場



(g)儀器固定架施工



(h)收發射天線配管

圖 4.10 雷達土建與整地及其他附屬設施施工

雷達位置屬於東北季風影響區域，風沙淤積情形特別影響，因此相關整地埋管等工作需即早完成施工，以避免回淤情形發生，系統安裝部分與現場的調校為能讓雷達發揮最佳的效果，睿洋電子有限公司於 107 年 11 月 26 日邀請 LERA 系統的開發者夏威夷大學皮爾教授(Pierre Flament)來臺安裝與校正，並請國立中央大學(NCU)與台灣海洋科學研究中心(TORI)一同協助架站，圖 4.11 為皮爾教授檢視系統，調整 LERA 系統的情形，圖 4.12 為教授於北淤沙區擋沙牆現場確認發射天線場佈的情形，圖 4.13 是現場工作人員利用示波器量測雷達訊號衰減的情形。



圖 4.11 雷達系統的安裝與調整



圖 4.12 雷達發射天線的安裝確認



圖 4.13 雷達訊號衰減的量測情形

雷達天線施工誤差與天線長度調整，為求接收訊號的一致性，每條天線長度都需要固定，故長度與訊號都須經過嚴格的確認，但每條天線都有其韌性，整捆線路經盤整安裝後，每條天線都會隨著時間改變，有時疲勞而變長，有時彈性收縮而變短，因而造成皆收訊號的時間差，由於陣列雷達採用波束成形(beamforming)的理論計算方位角，因此時間的誤差會導致方位的誤差，如此估計的方位就會產生錯誤，因此待天線靜置穩定後，再測定天線之訊號決定天線的長度，對雷達系統本身非常重要，各 Rx 天線裁切長度，如表 4-2 所示，現場計算情形，如圖 4.14 所示。

表 4-2 接收(Rx)天線裁切長度表

天線號碼(Rx no.)	裁切長度(m)	天線號碼(Rx no.)	裁切長度(m)
Channel_1	2.76	Channel_9	2.78
Channel_2	2.74	Channel_10	2.78
Channel_3	2.73	Channel_11	2.78
Channel_4	2.73	Channel_12	2.75
Channel_5	2.78	Channel_13	2.73
Channel_6	2.78	Channel_14	2.76
Channel_7	2.75	Channel_15	2.79
Channel_8	2.75	Channel_16	2.77

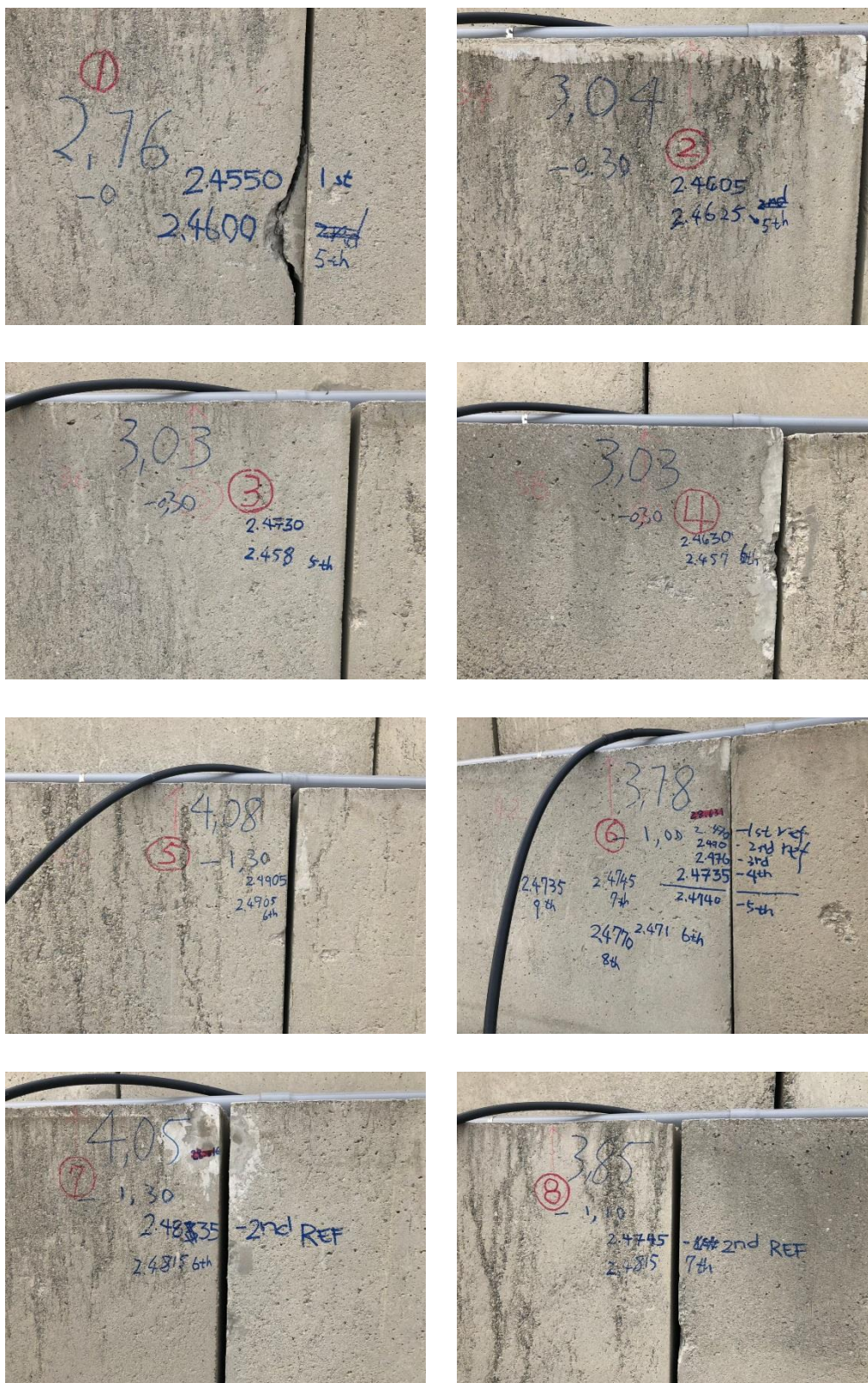


圖 4.14(a) 現場計算情形(Channel_1~8)

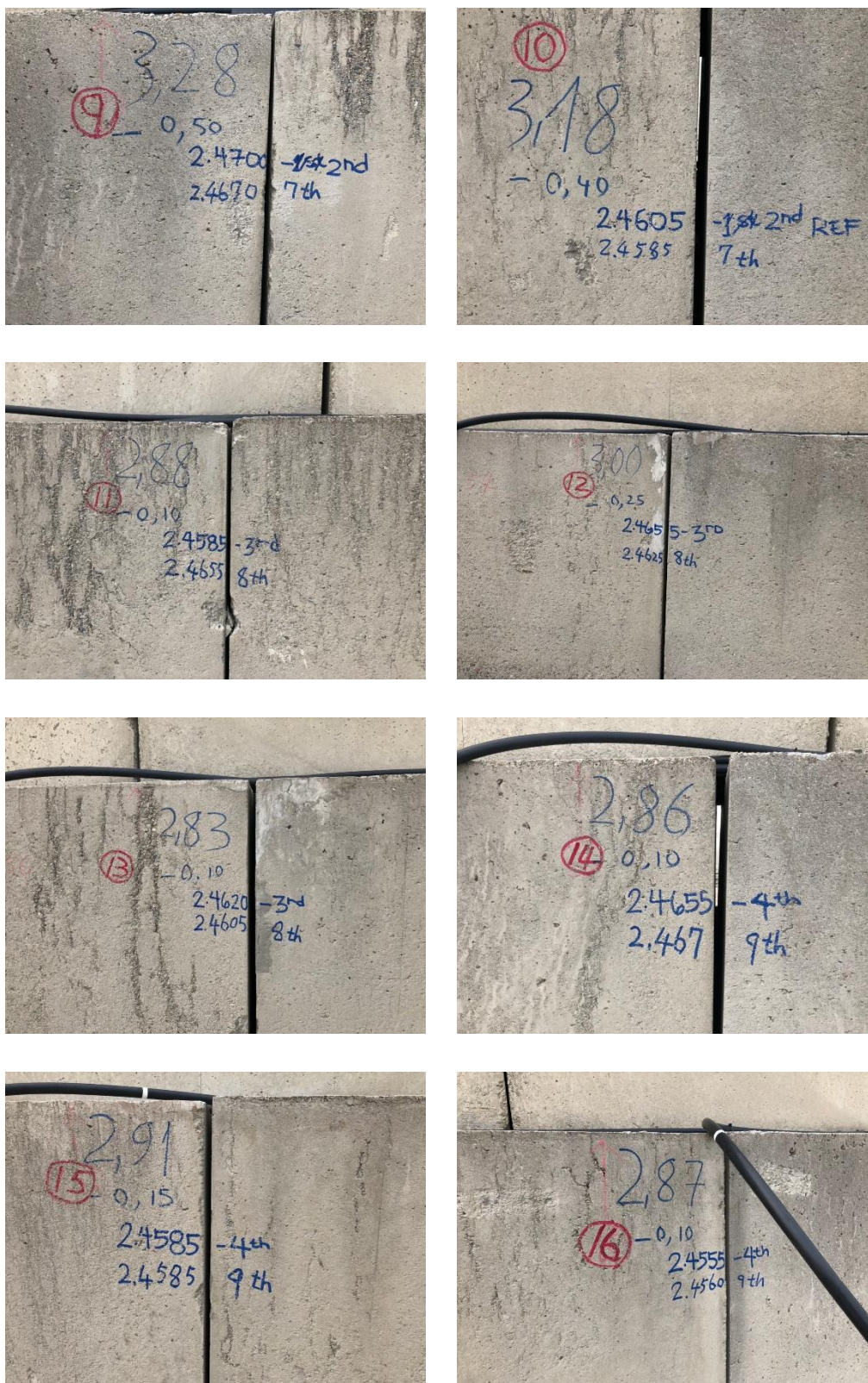


圖 4.14(b) 現場計算情形(Channel_9~16)

設置地網，地網能提高發射電阻與壓低地線系統的阻力，地網的設置可減少 Tx 天線發射電能的損失，促使發射效率提高，故夏威夷大學教授特別要求地網佈設，如地網相互垂直交叉反射效果最好，有關本雷達系統發射天線拉出兩條地網線與另外一支發射天線佈設交叉的情形，如圖 4.15 所示。



圖 4.15 本雷達設置地網之情形

4.3 高頻陣列雷達訊號處理

本雷達原始資料紀錄成複數形式之 I/Q 資料，I/Q 資料是 RF 通訊系統中常見的調變型態，適合作為頻率調製、混頻與解碼，回波強度與相位等訊息可以透過 I/Q 函數來求得，I 表示電磁場的實部，Q 表示電磁場的虛部，如圖 4.16 所示。

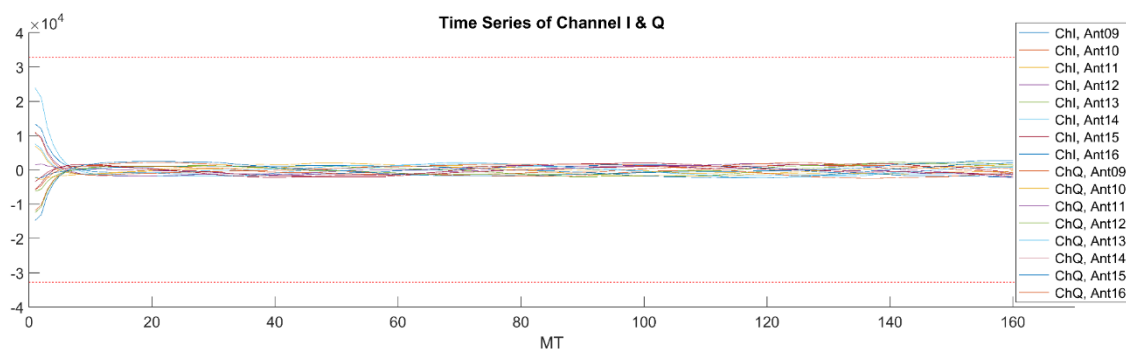


圖 4.16 臺中港天線觀測的 I/Q 訊號序列圖

每個啁啾訊號時間長 0.2166 秒，經過 ADC 以 740Hz 頻率取樣，可以取出 160 個時序離散樣本，經過傅立葉轉換後可以由傅立葉係數計算相應距離元的振幅與相位，資料處理後將 8,192 個啁啾合併，可以得到受波浪影響造成 I/Q 隨時間週期震盪的雷達回波強度圖，如圖 4.17 所示。

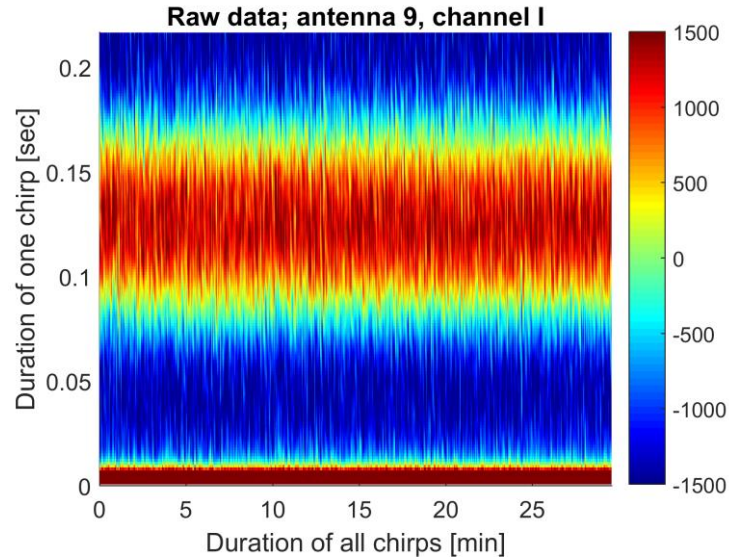


圖 4.17 週期震盪的雷達回波強度圖

將前圖 4.17 縱軸進行傅立葉轉換，原縱軸時間將轉換為頻率，由頻率值可運算回推各距離元位置，縱軸值可轉換為距離，得出都卜勒譜(此時橫軸仍為時間)，如圖 4.18 所示，該譜表示各個不同都卜勒頻偏下的回波強度。

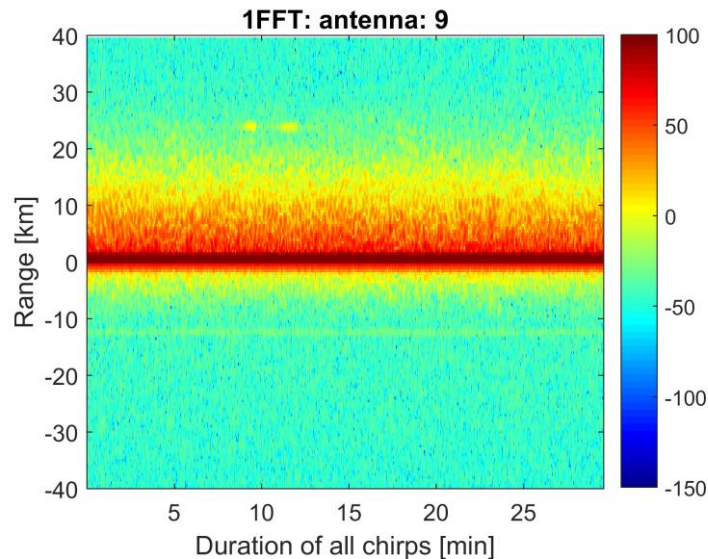


圖 4.18 雷達都卜勒譜

再將前圖 4.18 橫軸進行傅立葉轉換，原橫軸的時間將轉換為頻率，縱軸的距離值保持不變，即可繪製雷達觀測中最主要的都卜勒距離譜圖(I)，如圖 4.19 所示。

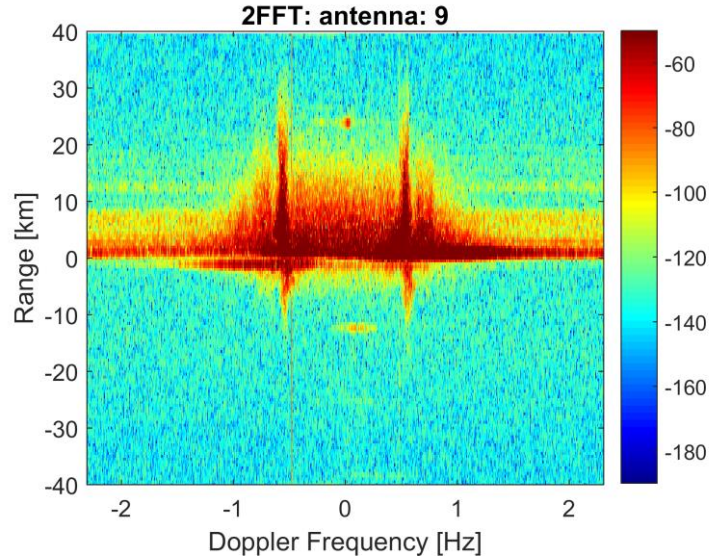


圖 4.19 雷達都卜勒距離譜(I)

但由於本研究之高頻線性雷達為指向性雷達，前圖 4.19 之都卜勒距離譜(I)距離為負數的部份表示訊號在天線的後方，因此不具有物理的意義，將予以剔除，如圖 4.20 為都卜勒距離譜(II)，同方位 16 組不同天線的都卜勒距離譜(III)，如圖 4.21 所示。

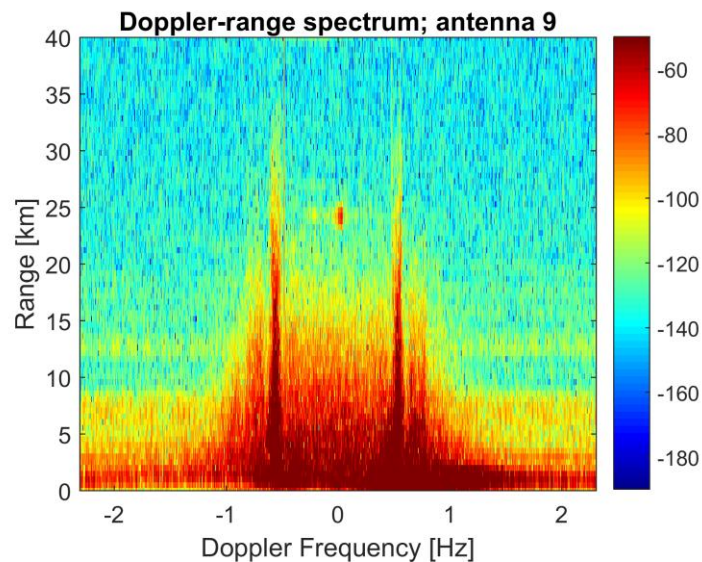


圖 4.20 都卜勒距離譜(II)

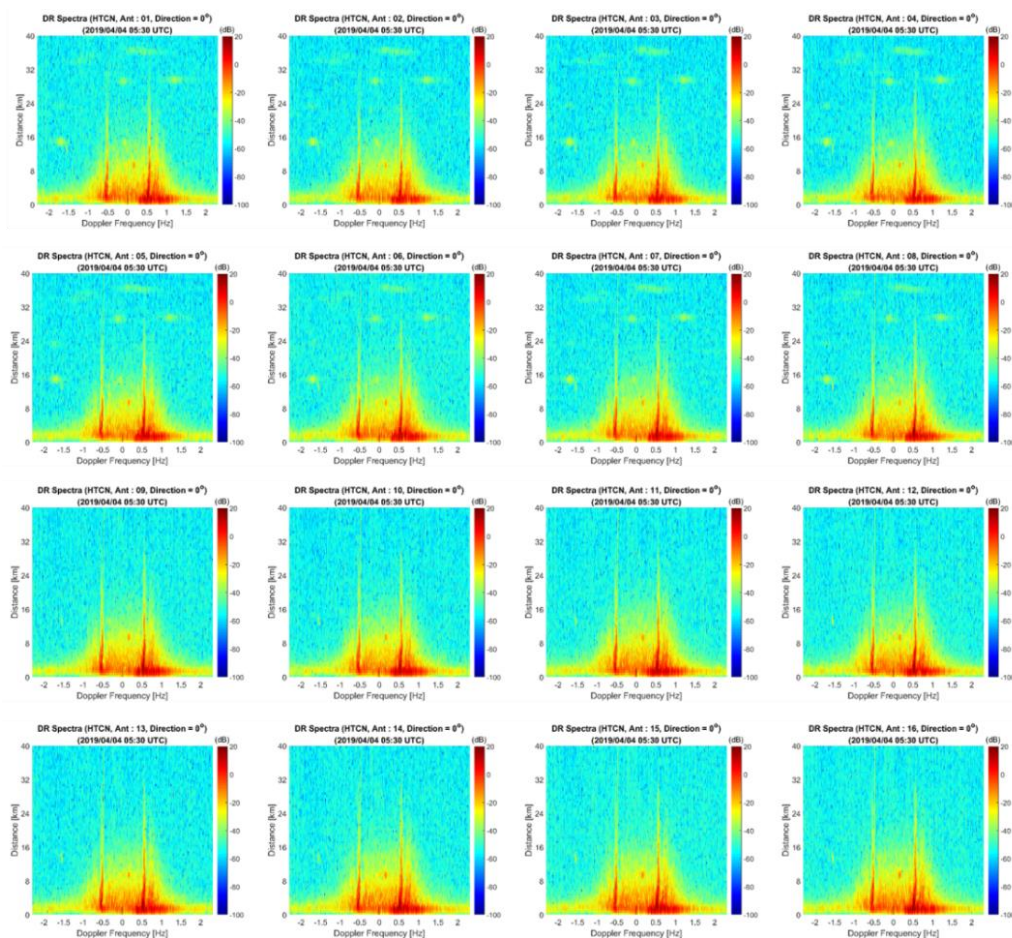


圖 4.21 都卜勒距離譜(III)

4.4 高頻陣列雷達訊號分析

雖然發射天線經場型設計具有指向性發射雷達波，但接收天線則是全向性接收，意即來自四面八方的訊號全部接收，利用多天線組的相位差進行波束成形(beam forming)後如何分析處理流速與波高，本小節將予以說明。

一、海洋流場之徑向流速(V)

海面雷達回波訊號會產生都卜勒頻率位移效應，因布拉格共振波所造成的連續性頻移，此現象全都紀錄在都卜勒距離譜，如圖 4.22 所示，透過都卜勒距離譜一階峰頻率位移的差值 f_{current} ；由於海面波浪波長等於雷達波長的 1/2，公式(4.1)，將公式(4.1)代入電磁波速度公式並經過換算，波浪的徑向速度 $V_{\text{radar current}}$ ，即可表示為公式(4.2)計算出來。

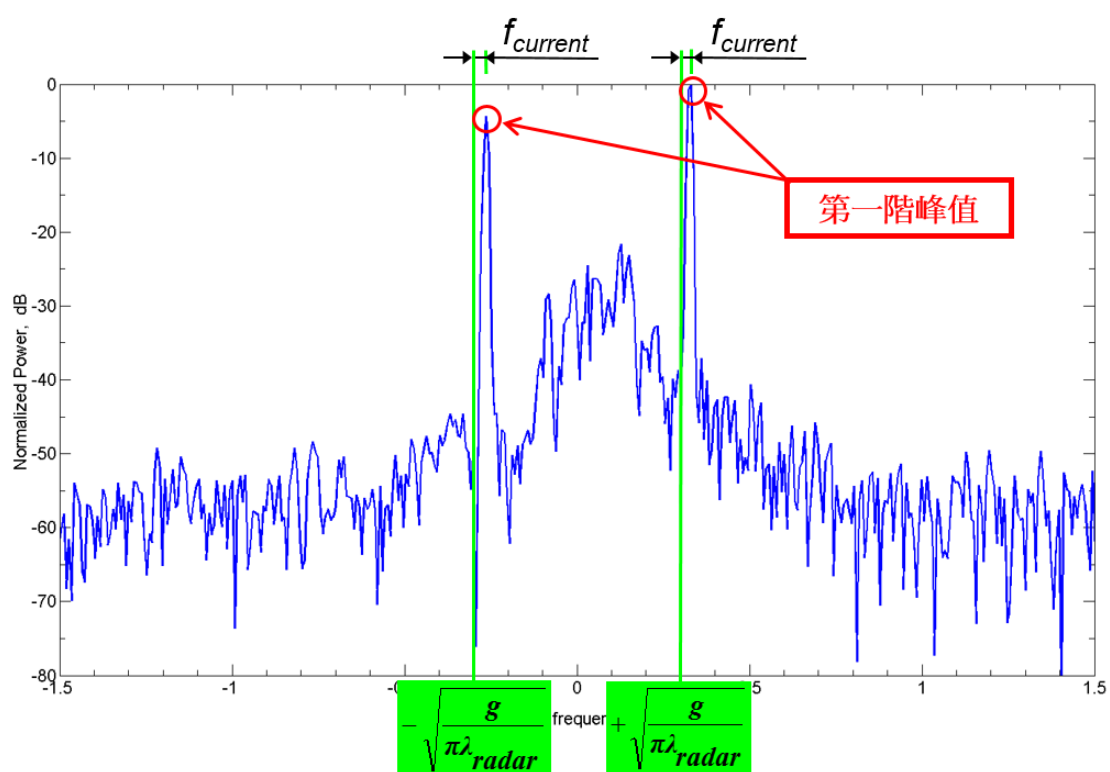


圖 4.22 都卜勒距離譜一階峰

$$\lambda_{wave} = \frac{\lambda_{radar}}{2} \dots \dots \dots (4.1)$$

$$V_{radar\ current} = f_{current} \frac{\lambda_{radar}}{2} \dots \dots \dots (4.2)$$

也就是利用高頻雷達蒐集都卜勒距離譜，分析都卜勒距離譜一階峰的頻移，再依據上式(4.2)公式求得海面徑向流速度，處理流程圖，如圖 4.23 所示，整個海域依序求解各距離元的徑向速度，並標示在雷達範圍圖內即可求出臺中港海域內流場圖，如圖 4.24 所示。

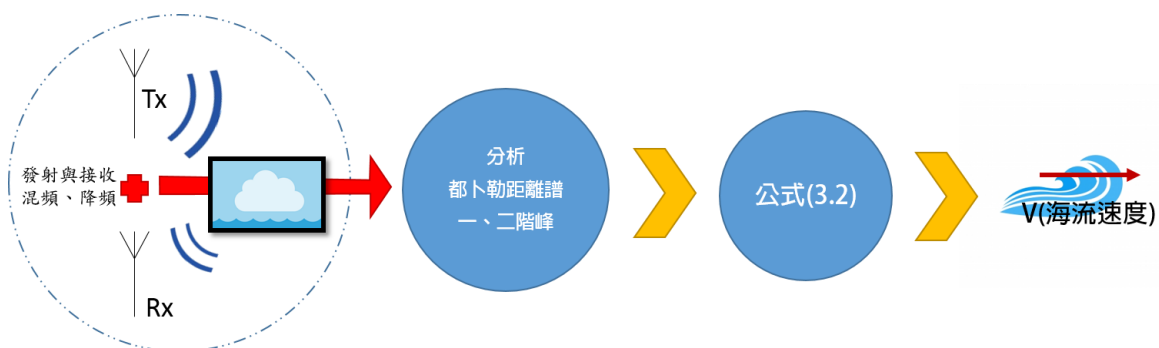


圖 4.23 從高頻雷達回波中獲取徑向速度流程圖

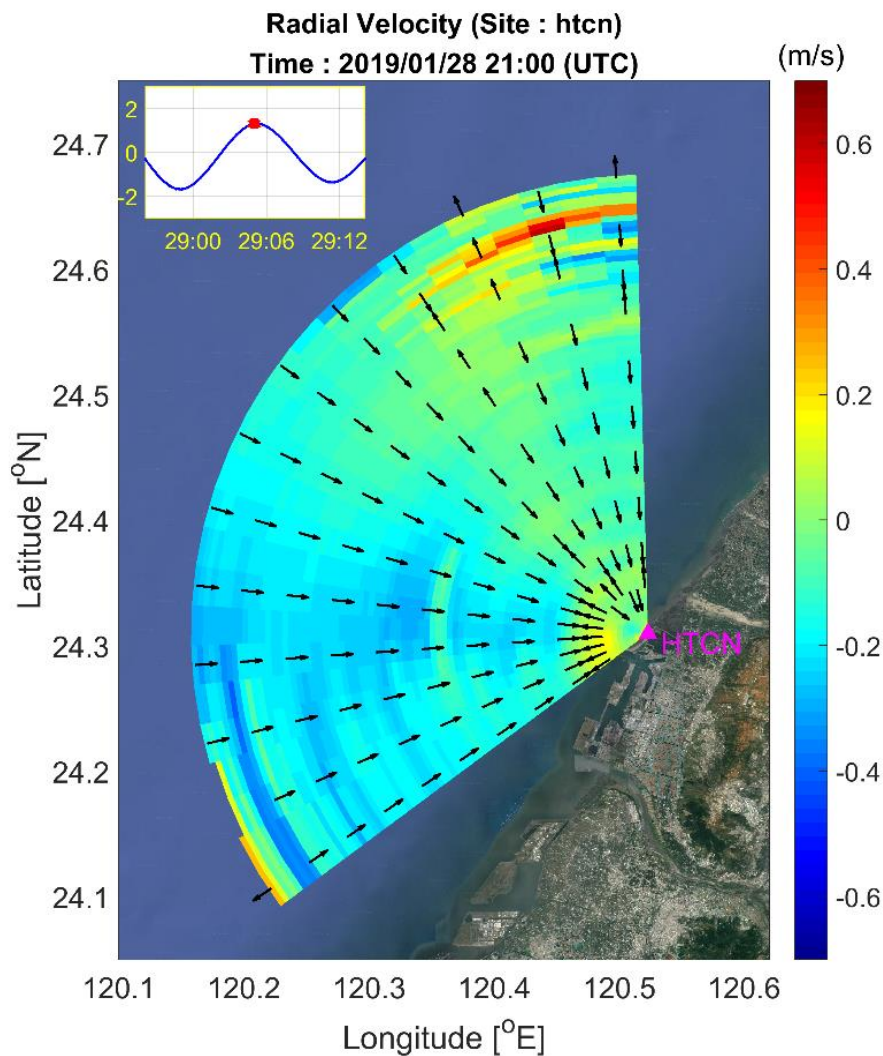


圖 4.24 臺中港海域內流場圖

二、海面的波高(H)與週期(T)

海面雷達回波的都卜勒頻譜 Barrick, D.E. (1972b, 1971b)提出許多一階與第二階的理論如公式(4.3)、與公式(4.4)，計算背景雜訊的時候將使用背景散射定律(Background scatter theory)，雷達散射面積(rad/s)等於每單位頻寬分之海表面平均雷達橫截面積，原則上計算背景雜訊並加以濾除，後續應用布拉格能量大於平均能量，以確認都卜勒頻譜的平均能量與布拉格波範圍，最後利用第一階與第二階的邊界條件與權重方程式，在第二階訊噪比要大於3dB 的情況下，再利用 Barrick, D.E. (1977)所提出公式(4.5)、與公式(4.6)與權

重係數，如圖 4.25 求出估計波高與估計的平均週期；計算流程與結果，如圖 4.26、圖 4.27 所示。

◆ 第一階都卜勒頻譜 $\sigma^{(1)}$ ：

$$\sigma^{(1)}(\omega) = 2^6 \pi k_0^4 \sum_{m=\pm 1} S(-2mk_0) \delta(\omega - m\omega_B) \dots \dots \dots (4.3)$$

◆ 第二階都卜勒頻譜 $\sigma^{(2)}$ ：

$$\sigma^{(2)}(\omega) = 2^6 \pi k_0^4 \sum_{m_1, m_2=\pm 1} \iint_{-\infty}^{+\infty} |\Gamma|^2 S(m_1 k_1) S(m_2 k_2) \delta(\omega - m_1 \sqrt{gk_1} - m_2 \sqrt{gk_2}) dp d \dots (4.4)$$

◆ Barrick, D.E. (1977)：

$$k_0 h_{rms} = 2 \left[\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \sigma^{(2)}(\omega) w^{-1}(\eta) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} \sigma^{(1)}(\omega) d\omega} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (4.5)$$

$$\frac{\omega_B T_m}{2\pi} = \frac{\int_{0.1}^{1.0} \sigma^{(2)}(\omega) w^{-1}(\eta) d\eta}{\int_{0.1}^{1.0} |\eta - 1| \sigma^{(2)}(\omega) w^{-1}(\eta) d\eta} \dots \dots \dots (4.6)$$

備註： $\left(\frac{k_0^2}{8}\right) w(\eta) = \overline{|\Gamma_T|^2}$

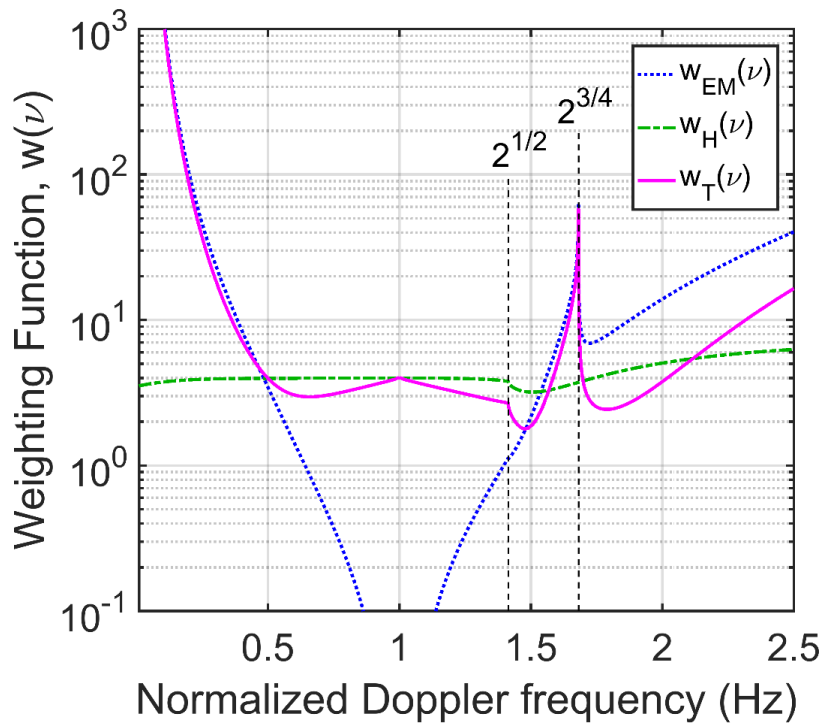


圖 4.25 雷達權重與頻率正規化圖(Barrick, D.E.)

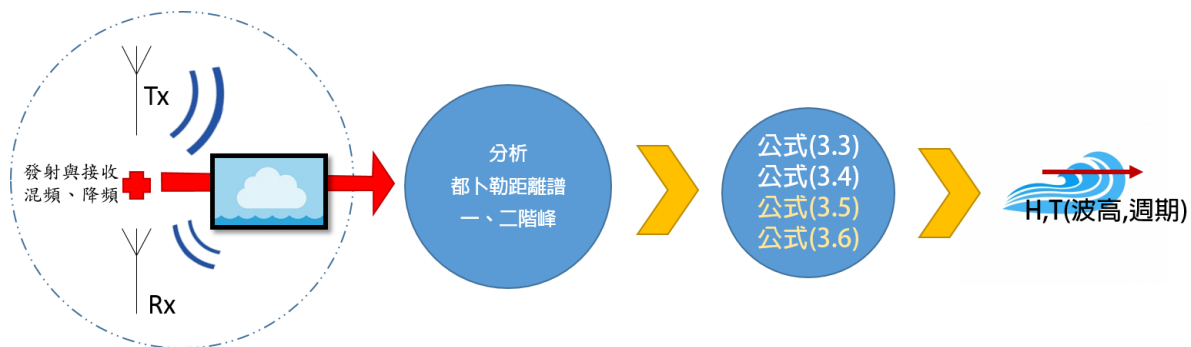


圖 4.26 高頻雷達回波計算波高與週期之流程圖

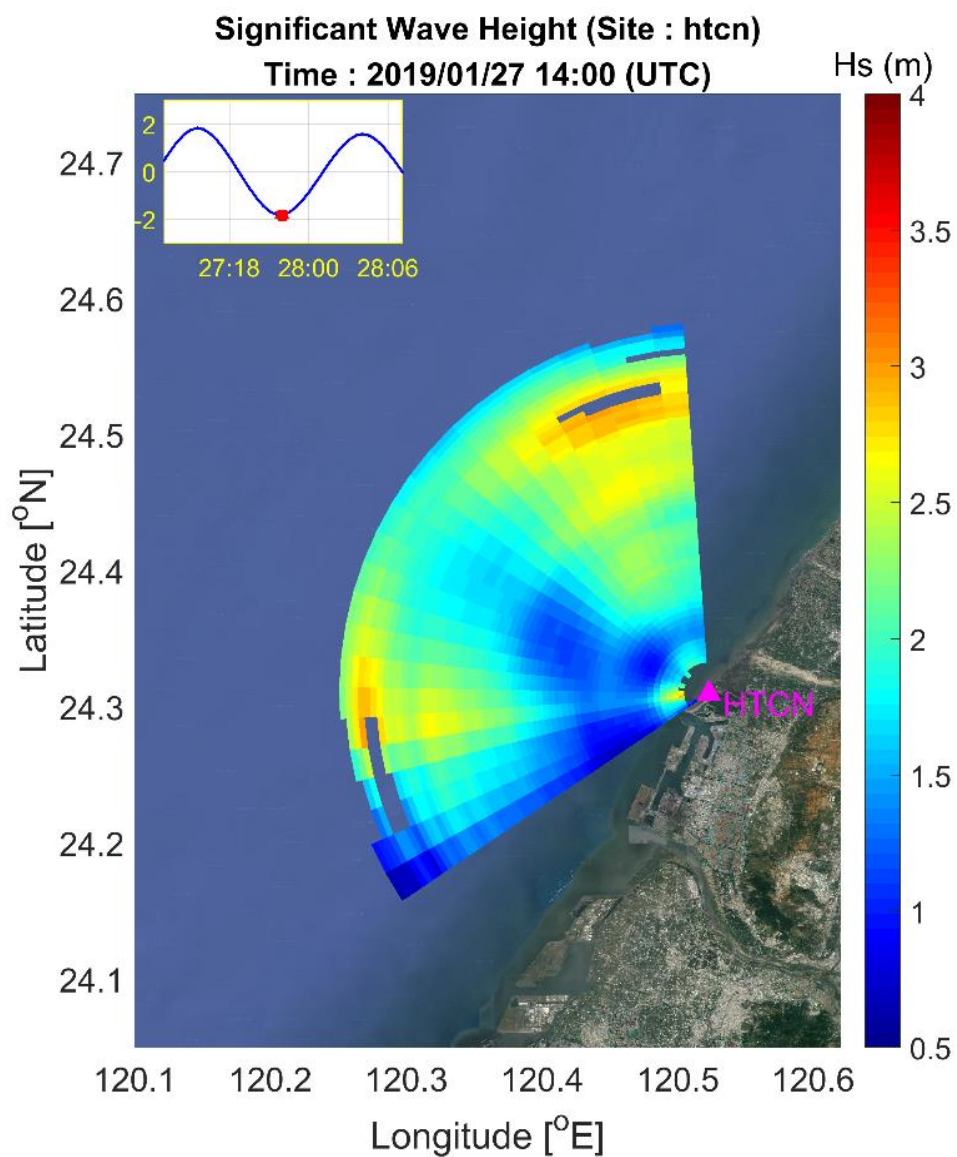


圖 4.27 臺中港海域內波場圖

4.5 最小啁啾數量分析

本雷達系統自 107 年 12 月 18 日建置完成至 108 年 1 月 30 日期間，雷達團隊嘗試討論最小線性調頻數量這件事情，每個線性調頻代表 1 個啁啾，每個啁啾時間(0.21666 秒)是固定的，因此取樣時間越久分析的啁啾數量越多，下就分別討論 1024 啁啾、2048 啁啾、4096 啁啾與 8192 啁啾的情況下，雷達的相關係數與誤差究竟發生什麼變化，以釐清最小線性調頻數量問題。首先將 108 年 1 月 17 日~108 年 1 月 29 日期間之新竹浮標實測值與本雷達系統觀測值相互比較，分別以不同數量啁啾加以探討，如圖 4.28 所示，該圖顯示啁啾數量越高雷達觀測序列與新竹實測資料越趨吻合，特別是 8192 啁啾的情況下，雷達資料近乎與實測資料重合。

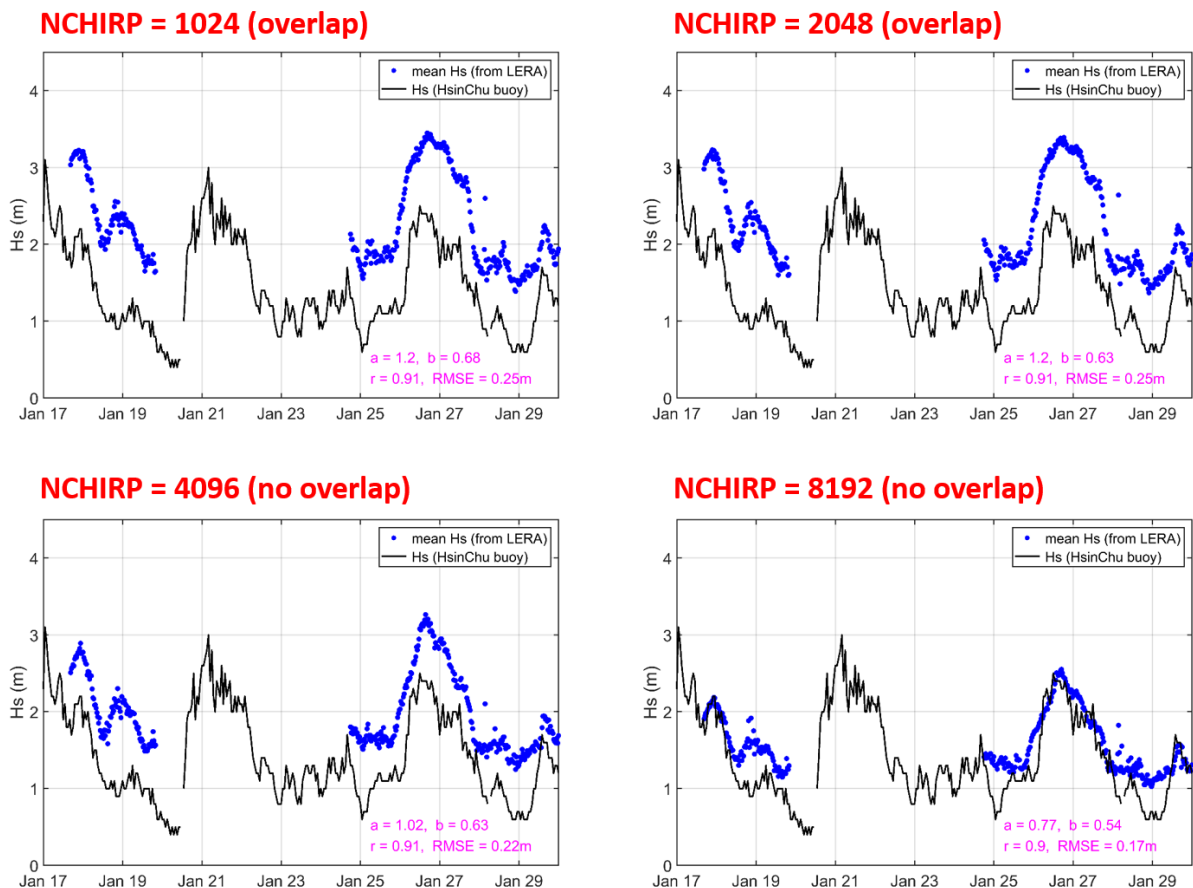


圖 4.28 最小線性調頻數量分析圖

另外計算各距離元的相關性值並套繪在雷達範圍下顯示，深紅色階相關性顯示數值為 0.9~1 間，深藍色階相關性顯示數值為 0~0.1 間，由資料顯示在 1024 啁啾、2048 啁啾、4096 啁啾與 8192 啁啾的情況下，發現最小啁啾數量越高，雷達範圍內深藍色階由中央向兩側區域轉淺，顯示觀測範圍內波高解析之相關性有提高趨勢，盲區轉小，各啁啾數量情境各距離元相關性變化，如圖 4.29 所示。

承上再取 108 年 1 月 17 日當日資料進行相關性與散佈圖分析(縱軸：臺中港陣列雷達觀測波高，橫軸：新竹實測資料)，可觀察 1024 啁啾、2048 啁啾、4096 啁啾與 8192 啁啾的情況下，不論最小啁啾數量為何相關性趨勢皆有 9 成以上，顯示當日雷達觀測已取得良好的成果，各情境相關性比較，如圖 4.30 所示，但探討誤差部份以均方根差(RMSE)情境，1024 啁啾數、2048 啁啾數前二種情況下均方根差皆無差異，增加至 4096 啁啾數誤差開始微幅變小，直至 8192 啁啾數時有最小均方根差，故歷經四種情境分析後，顯示最小啁啾數量越高，均方根差越小，雷達散佈偏離最小與實測資料最為接近，各情境比較情形，如表 4-3 所示。

表 4-3 最小啁啾數量分析表

啁啾數	啁啾數時間(min)	均方根差(RMSE)
1024	3.6	0.25
2048	7.4	0.24
4096	14.8	0.22
8192	29.6	0.17

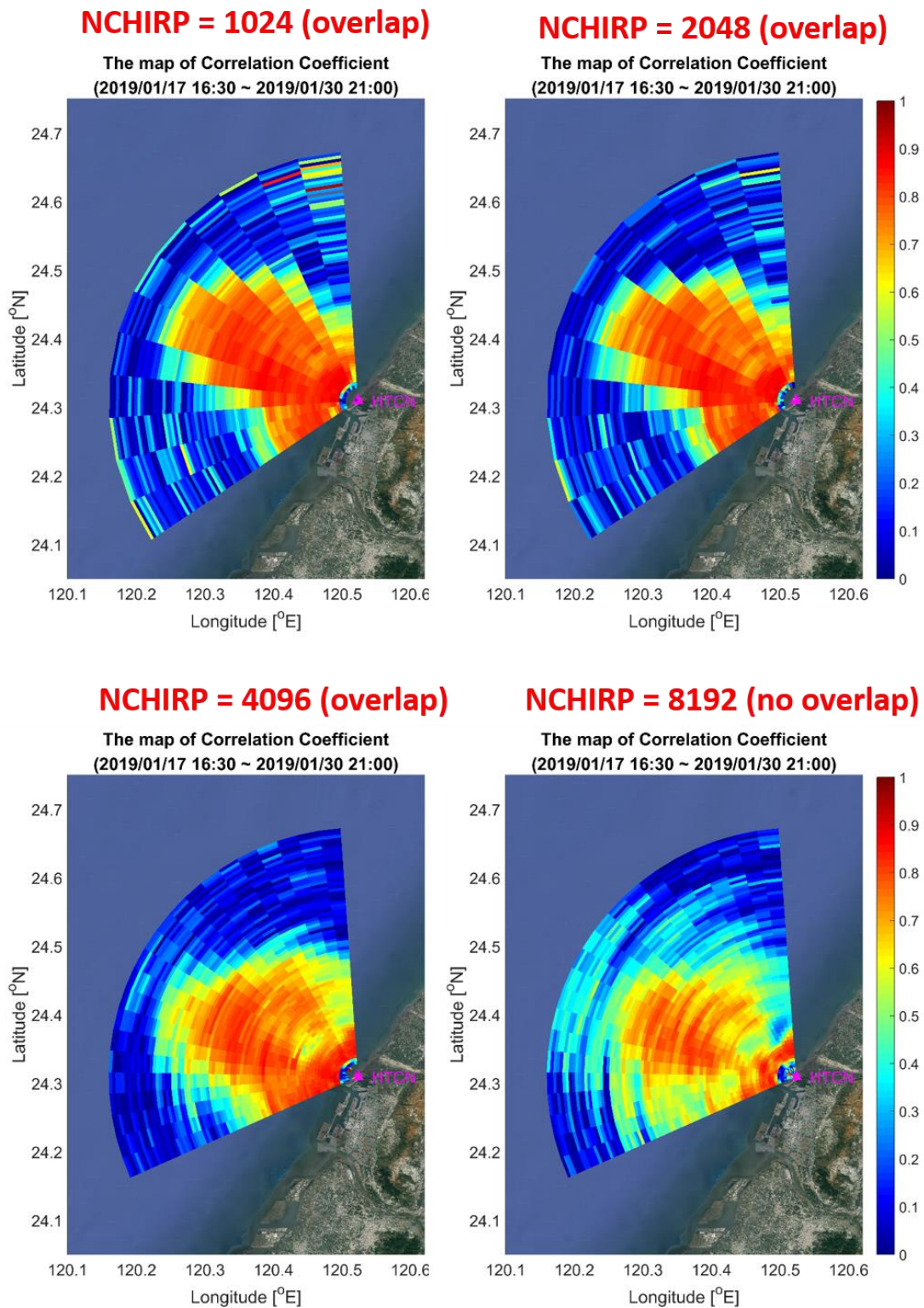


圖 4.29 各啁啾數量情境與各距離元相關性變化圖

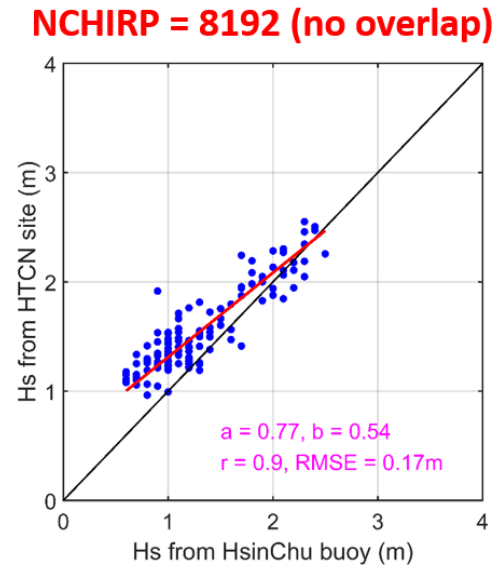
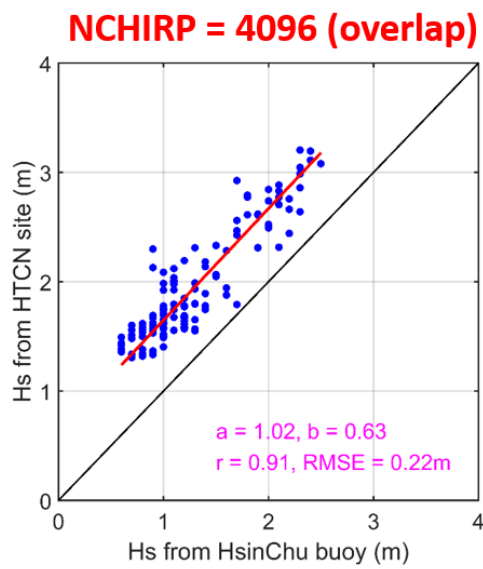
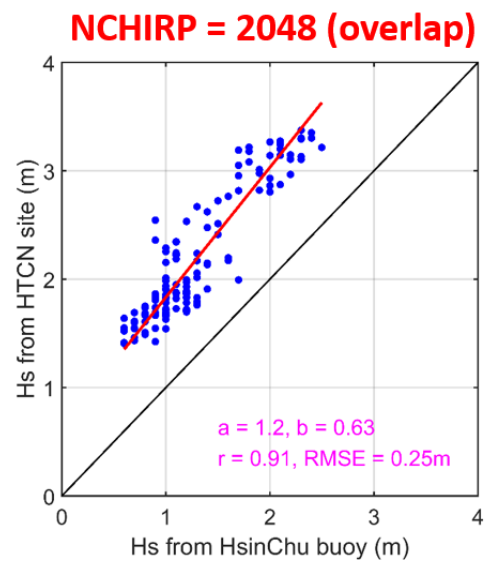
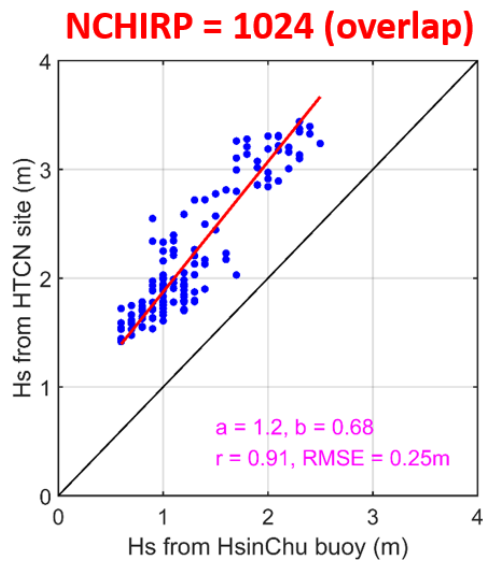


圖 4.30 各啁啾數量情境相關性比較圖

第五章 雷達資料與觀測資料比對的情形

第三章已經將雷達基本的工作原理與訊號的處理之模式進行說明，第四章探討中部區域的海象狀況，本章將就海洋雷達觀測的資料與台灣海洋科技研究中心建置的岸基雷達測流系統(TOROS)下龜殼站(Station：TUTL，距離本雷達站 7.82 公里)與本所港研中心設置之底碇式 AWAC 剖面海流儀實測比對，以下綜合討論的流速均為逕向速度。

5.1 雷達資料與台灣海洋科技研究中心(CODAR)比較

台灣海洋科技研究中心(簡稱：海科中心或 TORI)民國 98 年開始安裝臺灣海域環境的海流觀測系統，截至目前為止已經架設 18 站，其中包含 12 個中心頻率 4.58MHz 的站臺，6 個 13.425MHz/24.3MHz 的站臺，其中下龜殼屬於 4.58MHz 長距離型式的站臺(苗栗海巡署哨所，海濱堤防上)，如圖 5.1 所示。

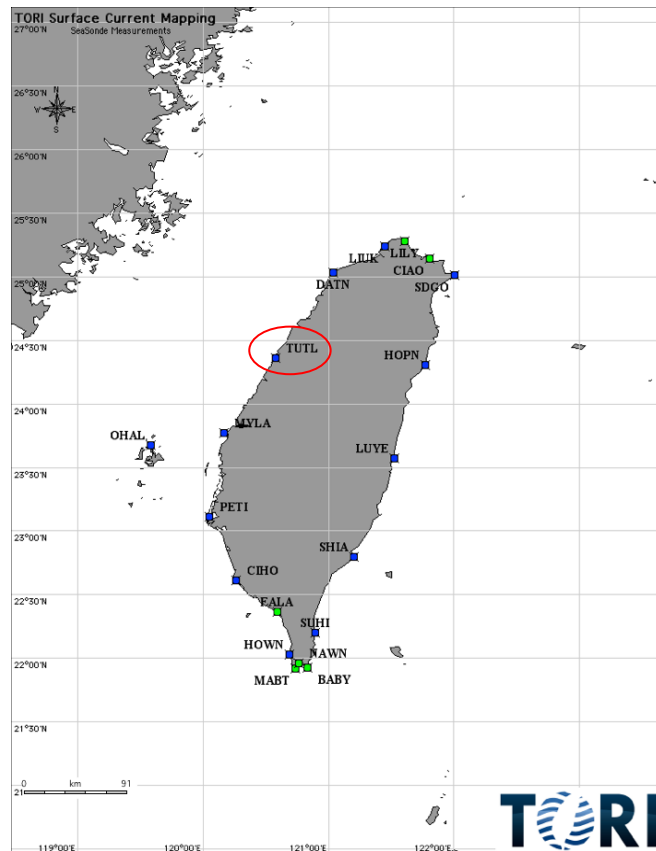


圖 5.1 海科中心 TOROS 系統雷達站位置分佈圖

本所臺中港(LERA)系統觀測區域為紅色範圍，從岸基向海外 40 公里，本系統觀測範圍小於海科中心 CODAR(下龜殼站)，係因下龜殼站(簡稱：TUTL)屬於長距型雷達其頻率較低，最大測距可由岸基向外海 180 公里為藍色範圍，並在二者雷達觀測重疊範圍中任意選擇 3 個不同觀測點進行時序列分析，1 號點距離臺中港(LERA)岸基 11.1 公里，2 號點距離岸基 10.9 公里、3 號點距離岸基約 18.4 公里，詳細位置座標與位置，如圖 5.2 所示。



圖 5.2 本所(LERA)與 CODAR(下龜殼站)觀測點位置

此 3 個不同觀測點經分析後，二者徑向流速於 108 年 1 月 25 日至 108 年 1 月 31 日時序列漲落趨勢有一致性結果，如圖 5.3(a)、圖 5.4(a)與圖 5.5(a)所示，再將臺中港(LERA)量值與海科中心下龜殼站(TUTL)量值分析其相關性，1 號點相關性最高達 0.930，3 號點相關信 0.876 次之，2 號點相關性 0.82 最差，無論如何臺中港(LERA)與海科中心下龜殼站(TUTL)相關性皆有 0.8 以上，二站觀測值呈現高度相關；誤差部份則以均方根差(RMSE)進行計算，此三個不同觀測點以 2 號點最大達 19.70 cm/s，其於 1 號點與 3 號點二者誤差較為相近，分別為 15.06 cm/s 與 15.69 cm/s，此序列分析關係，如圖 5.3(b)、圖 5.4(b)與圖 5.5(b)所示。

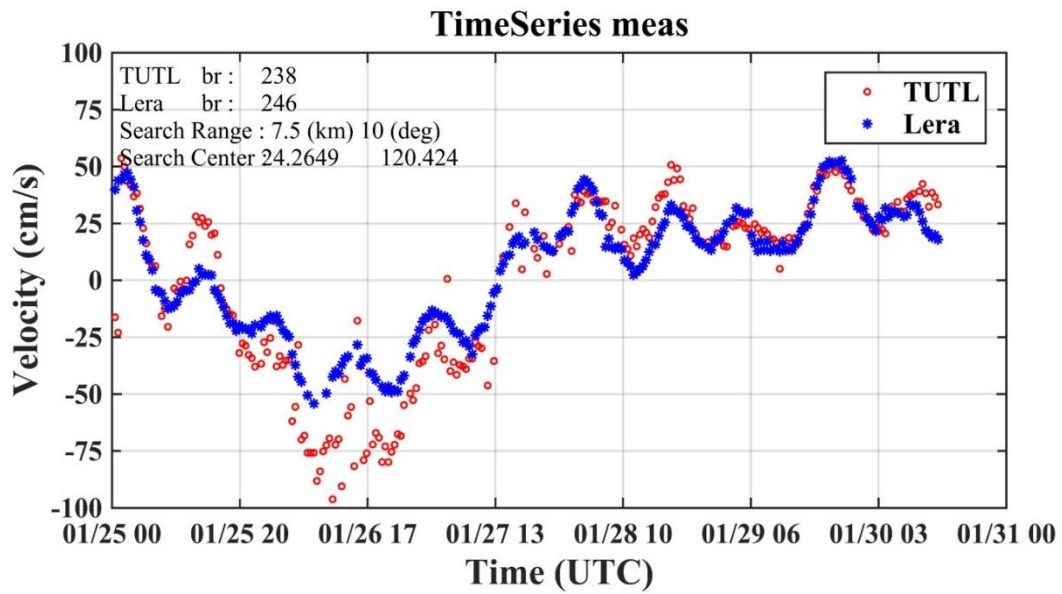


圖 5.3(a) 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (1 號觀測點)

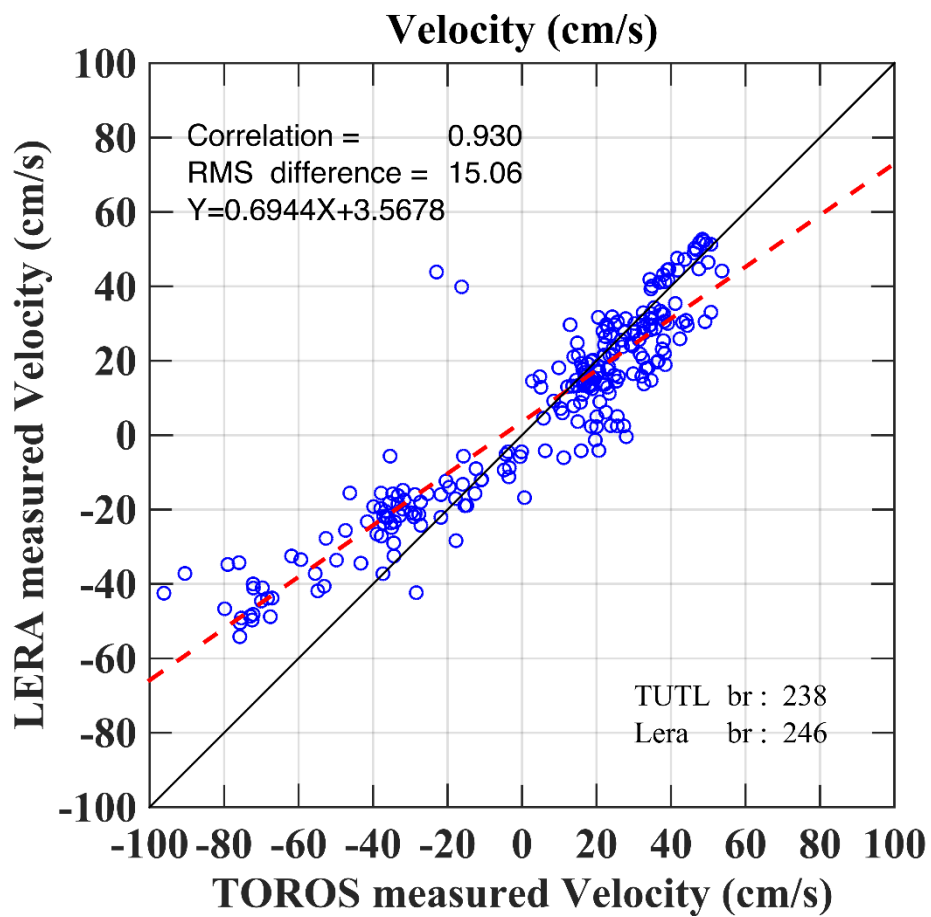


圖 5.3(b)臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)相關性比較 (1 號觀測點)

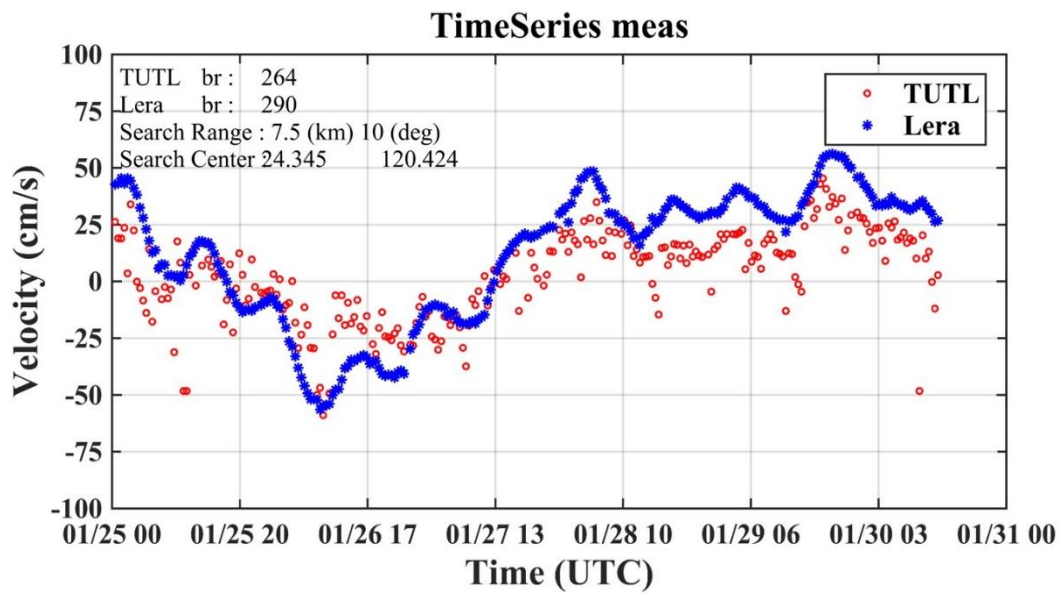


圖 5.4(a) 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (2 號觀測點)

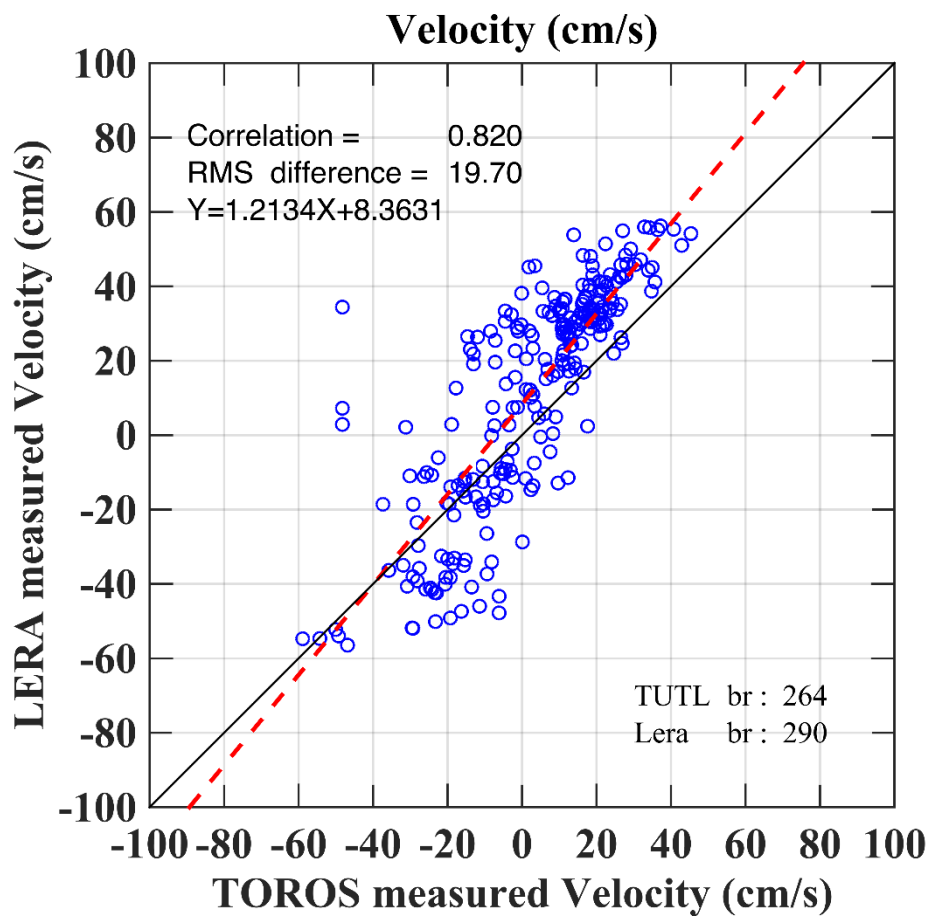


圖 5.4(b) 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)相關性比較 (2 號觀測點)

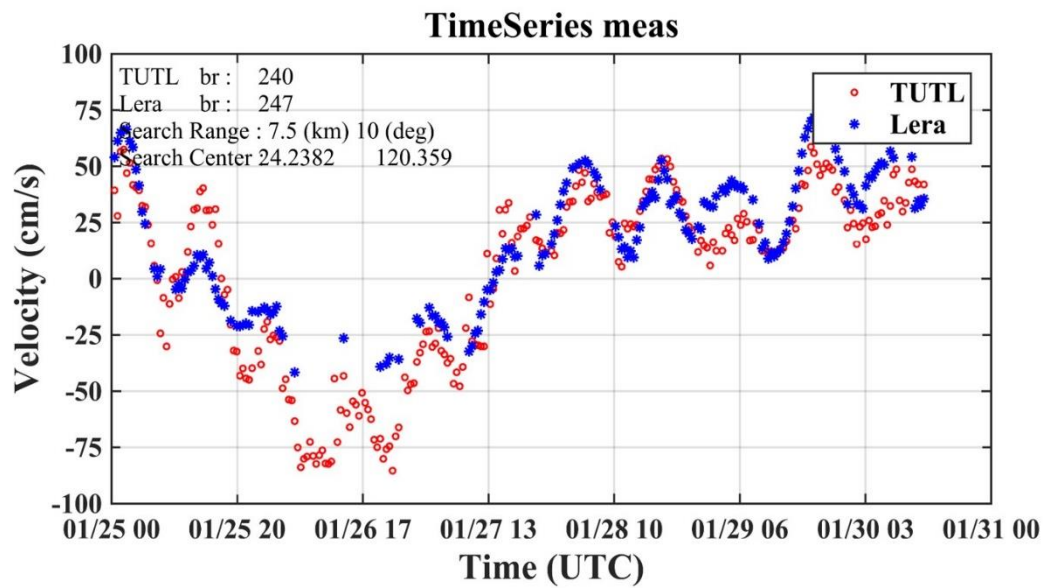


圖 5.5(a) 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)流速比較 (3 號觀測點)

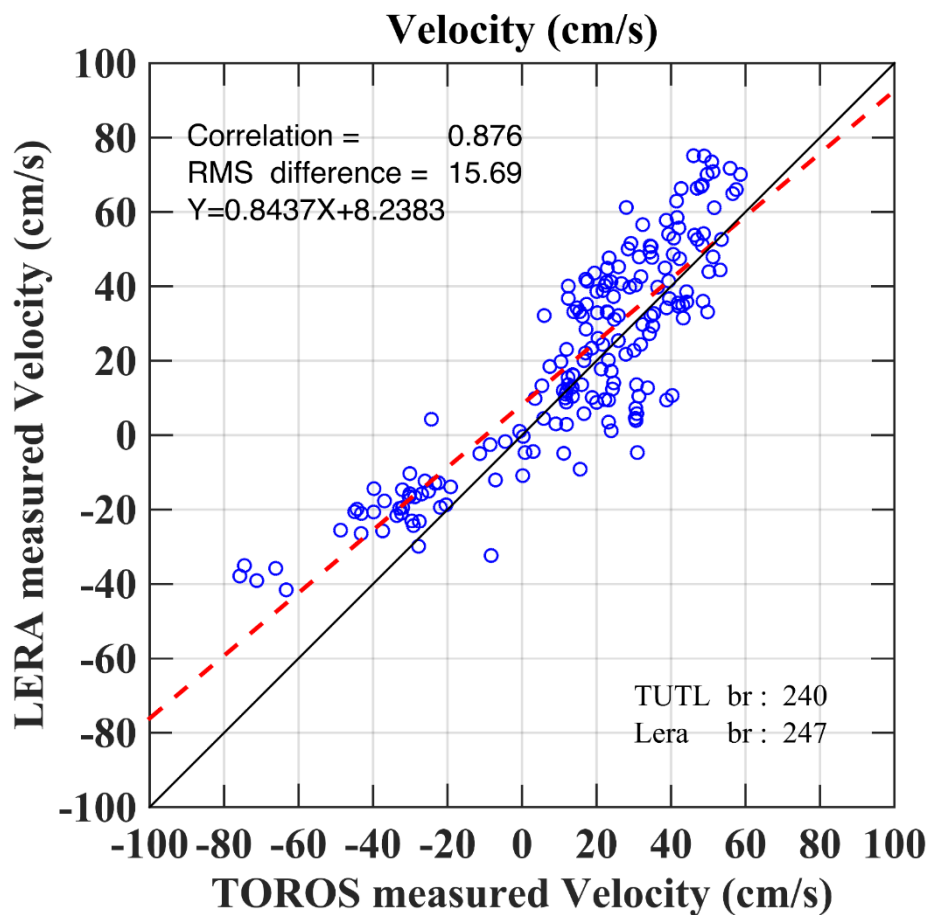


圖 5.5(b) 臺中港(LERA)與下龜殼站(TUTL)相關性比較 (3 號觀測點)

5.2 雷達資料與氣象局新竹浮標比較

利用第三章雷達訊號處理與分析方法可計算出各單位距離元的波高，將其套繪在雷達範圍圖內，即可用色階來顯示目前觀測範圍的波高狀況，本所系統(LERA)選用 108 年 1 月 17 日至 108 年 1 月 29 日資料，其中波高計算結果之色階圖以 108 年 1 月 27 日為例表示，如圖 5.6。觀測序列比對部份另外選用中央氣象局新竹浮標(HsinChu bouy)同樣的時間序列進行比對，如圖 5.7 所示。

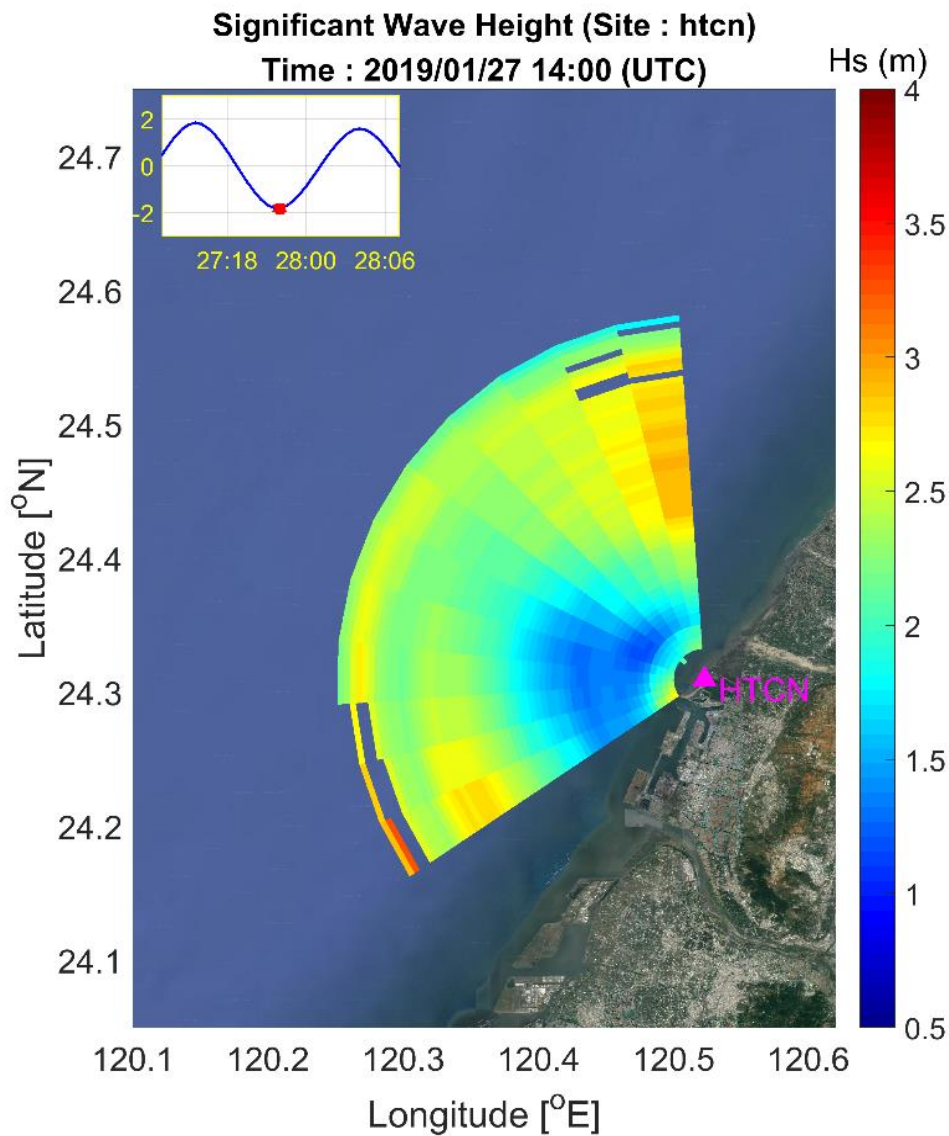


圖 5.6 臺中港(LERA)波高色階圖

經分析後，臺中港(LERA)與氣象局新竹浮標(HsinChu bouy)二者波高於 108 年 1 月 17 日至 108 年 1 月 29 日期間，波高時序列漲落趨勢有一致性結果，再將臺中港(LERA)量值與氣象局新竹浮標(HsinChu bouy)量值分析其相關性，相關性係數達 0.91，顯示二站觀測值相關性非常高；誤差部份則以均方根差(RMSE)進行計算，誤差達 0.25m，波高時序列與分析關係，如圖 5.7 所示。

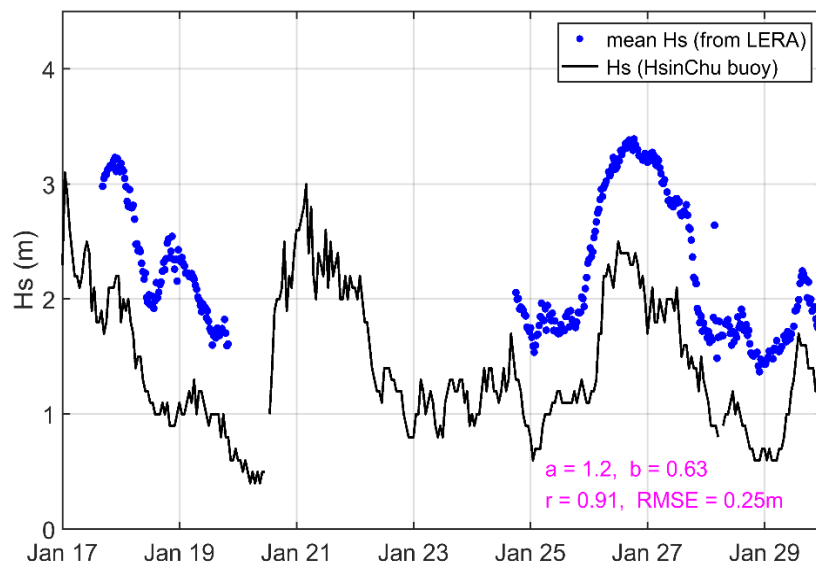


圖 5.7 臺中港(LERA)與新竹浮標(HsinChu bouy)波高比較

5.3 雷達資料與臺中港海氣象觀測比較

將本所港研中心於 108 年 1 月 17 日至 108 年 4 月 11 日期間觀測之臺中港(AWAC)資料加以比對，本雷達系統(LERA)觀測結果與其波高時序列漲落趨勢有一致性結果，另外將本所港研中心臺中港風速站(station 6 北堤堤頭)與新竹浮標風速相比，並加以判斷顯示新竹外海風速較慢，臺中港港區風速較快，因此新竹浮標波浪較臺中港區小屬於合理現象，因此雖然新竹浮標(HsinChu bouy)波高時序列漲落趨勢，雖與其他二者亦有一致性結果但略有偏差，可能係新竹浮標觀測位置所導致，新竹與臺中二地距離太遠，因此無法實際代表中部海域的狀況，如圖 5.8 所示。依據資料序列分區段處理，並進行相關性分析，108 年 1 月 17 日至 108 年 2 月 14 日區段

(簡稱：區段 1)的相關性係數達 0.96，108 年 2 月 14 日至 108 年 3 月 14 日區段(簡稱：區段 2)的相關性係數達 0.81，經比較本雷達系統(LERA)與臺中港(AWAC)觀測結果相關係數皆有 0.8 成以上，二站觀測值呈現高度相關；誤差部份以均方根差(RMSE)進行計算，區段 1 與區段 2 誤差分別為 0.26m 與 0.39，區段 1 與區段 2 時序列與計算結果分別，如圖 5.9 與圖 5.10 所示，臺中港(AWAC)位置，如圖 5.11 所示。

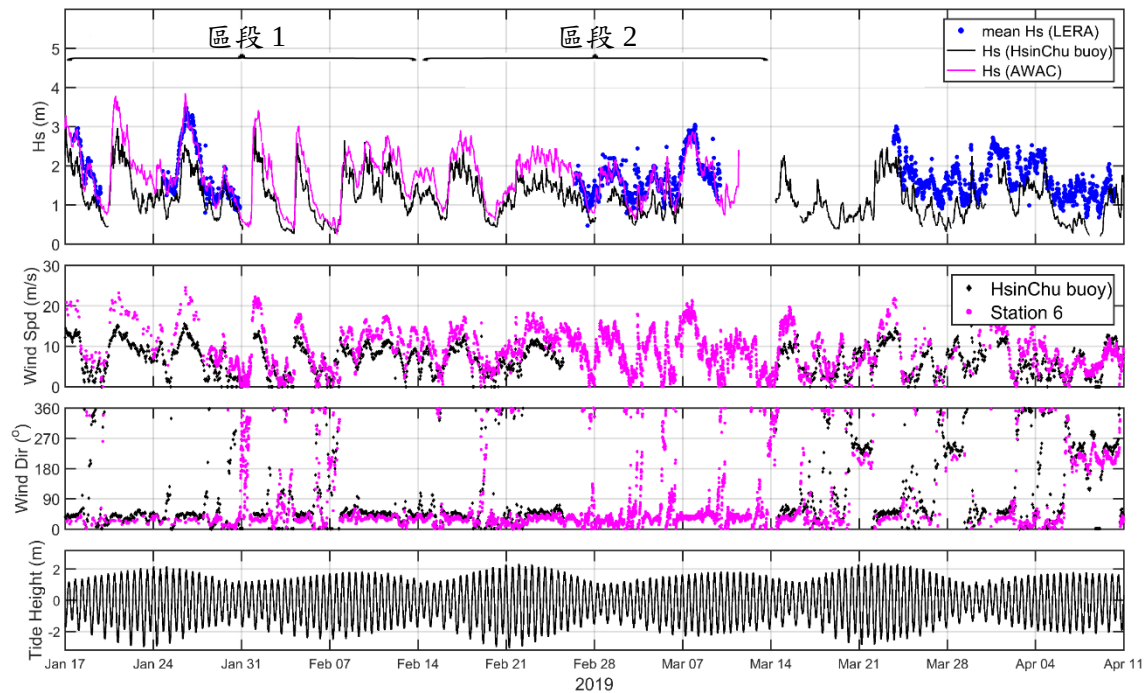


圖 5.8 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高時序列比較

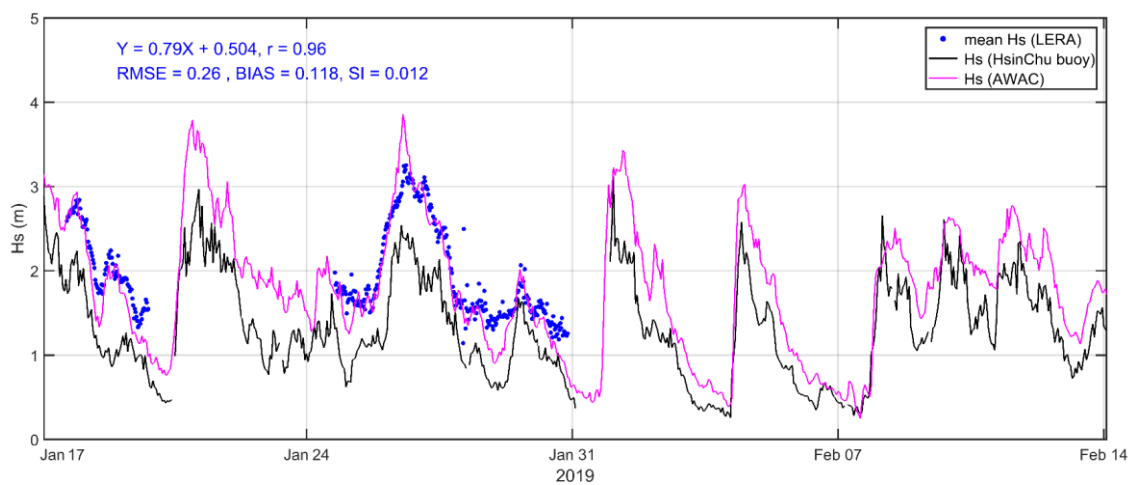


圖 5.9 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高 1~2 月比較

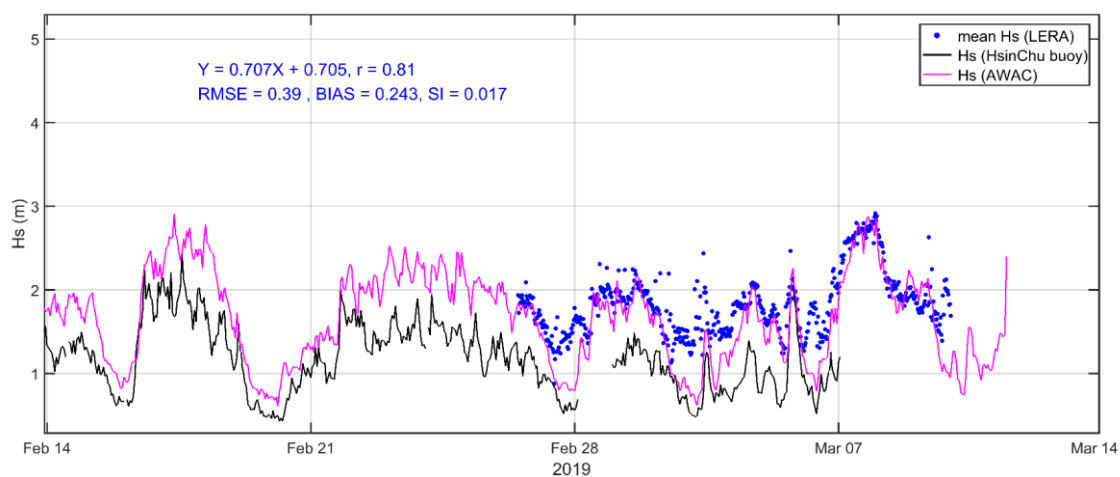


圖 5.10 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)波高 2~3 月比較

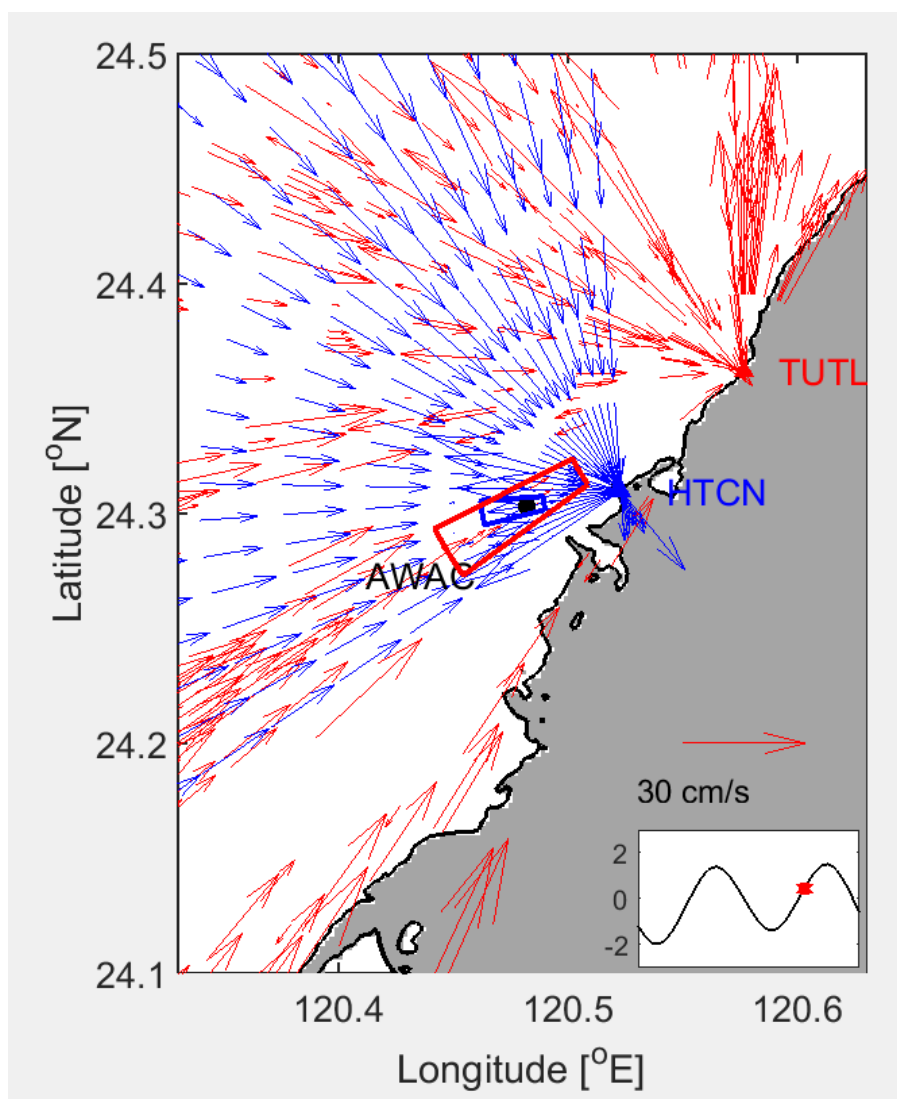


圖 5.11 臺中港各觀測站(LERA、AWAC 與 TUTL)位置圖

理論雷達在不受任何干擾(吸收、散射與外加因素等)的情況下，觀測範圍內的誤差是可以被忽略的，但實際雷達受太多因素影響，因此只有在雷達場形指向性密度最高，反射訊號最強位置處，該量測的準確性也相對最高，將區間 1 與區間 2 時間範圍內，各距離元的本雷達系統(LERA)與臺中港(AWAC)相關係數分別計算出來，並套繪在雷達範圍圖可以明顯見到雷達範圍圖中間紅色區域相關性最高(相關係數介於 0.9~1 之間)，兩側邊緣藍色區域相關性最低(相關係數介於 0~0.1 之間)，量測相關性的程度與天線設計場形狀相符，中央量測較為準確並向兩側遞減，如圖 5.12 所示。

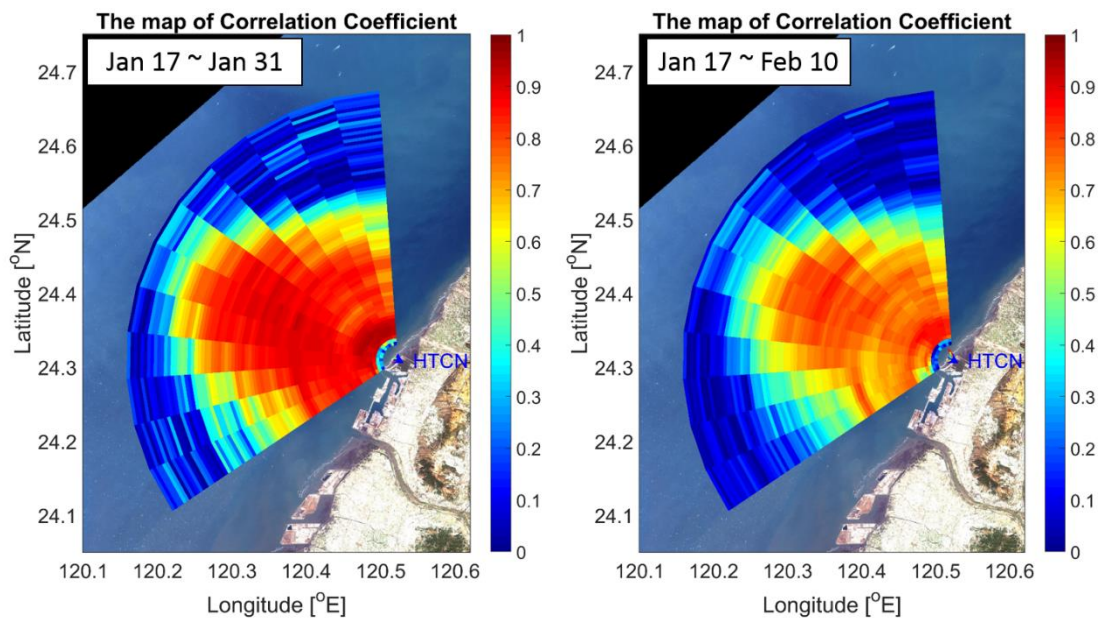


圖 5.12 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)各距離元相關係數

本所港研中心再將 108 年取冬季 1 月、春季 3-4 月、夏季 7-8 月資料進行比較，期間共測得兩場：丹那絲颱風(7/16~7/21)與白鹿颱風(8/21~8/25)，冬季 1 月份觀測結果與其波高(H_s)與週期(T_m)時序列漲落趨勢有一致性結果，相關性部份冬季 1 月份波高(H_s)相關係數達 0.95 與週期(T_m)相關係數達 0.87 時序列漲落趨勢有一致性結果，如圖 5.13 與圖 5.18 所示，均方根誤差值部份：波高(H_s)均方根差為 27cm 與週期(T_m)均方根差為 0.32sec。

春季 3 月份觀測結果與其波高(H_s)與週期(T_m)時序列漲落趨勢有一致性結果，惟在 3/3 與 3/6 這幾天量測較無吻合，如圖 5.14 與圖 5.19 所示，春季 3 月份波高(H_s)相關係數達 0.78 與週期(T_m)相關係數達 0.87，故春季 3 月的

量測結果較冬季的量測結果為差，均方根誤差值部份：波高(H_s)均方根差為 31cm 與週期(T_m)均方根差為 0.32sec；春季 4 月份觀測結果與其波高(H_s)與週期(T_m)時序列漲落趨勢有一致性結果，惟在 4/7~4/10 這幾天量測較無吻合，如圖 5.15 與圖 5.20 所示，春季 4 月份波高(H_s)相關係數達 0.91 與週期(T_m)相關係數達 0.72，春季 3 月的波高(H_s)量測結果較週期(T_m)為佳，均方根誤差值部份：波高(H_s)均方根差為 45cm 與週期(T_m)均方根差為 0.91sec。

夏季 7 月份觀測結果與其波高(H_s)與週期(T_m)時序列漲落趨勢有一致性結果，但反而在丹娜絲颱風侵臺期間中 7/17~7/19 這幾天量測較為吻合，如圖 5.16 與圖 5.21 所示，夏季 7 月份波高(H_s)相關係數降至 0.55 與週期(T_m)相關係數更是降至 0.07，故夏季 7 月的量測結果較前者(冬季與春季)量測結果為差，均方根誤差值部份：波高(H_s)均方根差為 49cm 與週期(T_m)均方根差為 1.64sec；夏季 8 月份觀測結果與其波高(H_s)與週期(T_m)時序列漲落趨勢有一致性結果，同樣也在白鹿颱風侵臺期間中 8/23~8/25 這幾天量測較為吻合，如圖 5.17 與圖 5.22 所示，夏季 8 月份波高(H_s)相關係數較 7 月好，係數值提升至 0.69，但週期(T_m)相關係數也不見轉好為 0.42，故夏季 8 月的量測結果較前者(冬季與春季)量測結果亦差，均方根誤差值部份：波高(H_s)均方根差為 47cm 與週期(T_m)均方根差為 1.07sec，詳細比較情形，如表 5-1 所示。

表 5-1 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)分析比較表

季節	月份	波高 相關係數	週期 相關係數	波高 均方根誤差	週期 均方根誤差	備註
冬	1	0.95	0.87	27cm	0.32sec	量測相關性高
春	3	0.78	0.87	31cm	0.32sec	-
	4	0.91	0.72	45cm	0.91sec	-
夏	7	0.55	0.07	49cm	1.64sec	丹娜絲颱風 07/16~07/21
	8	0.69	0.42	47cm	1.07sec	白鹿颱風 08/21~08/25

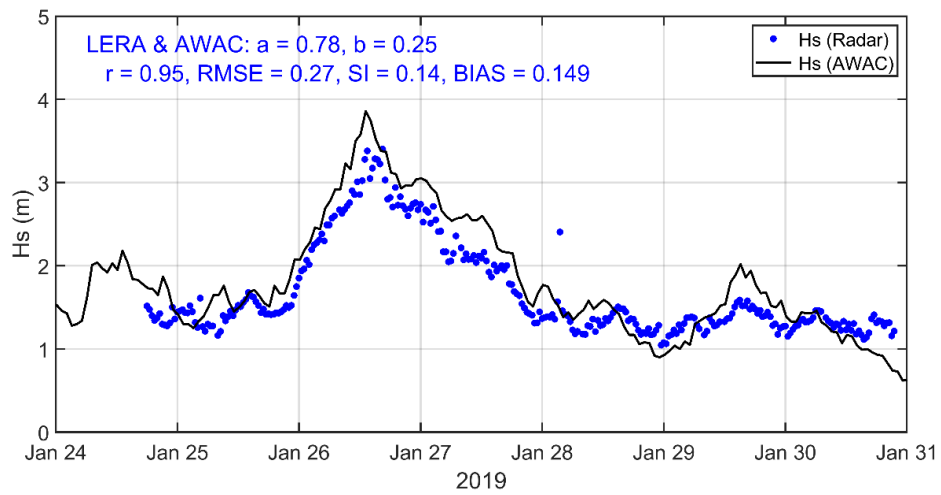


圖 5.13 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)冬季 1 月份波高比較

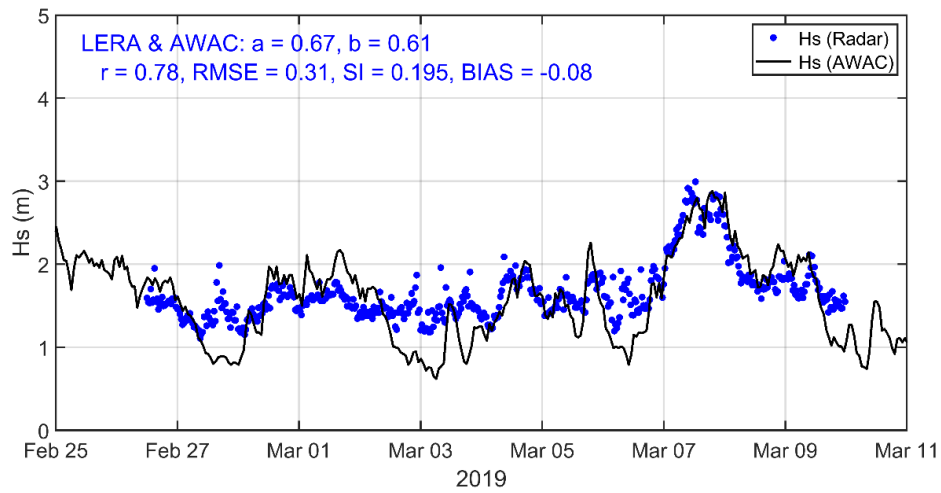


圖 5.14 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 3 月份波高比較

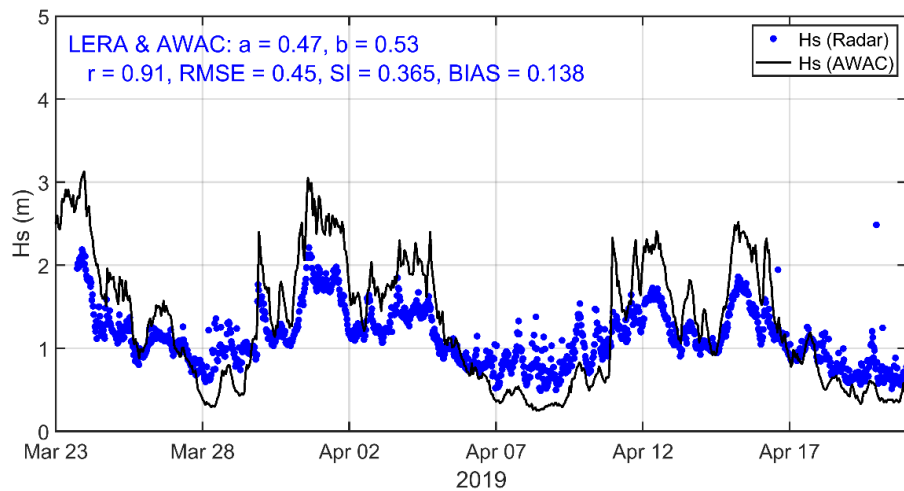


圖 5.15 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 4 月份波高比較

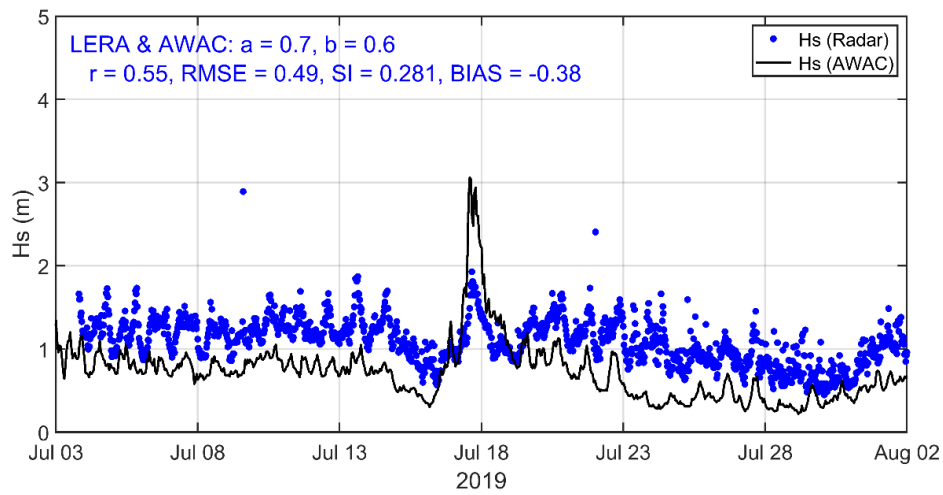


圖 5.16 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 7 月份波高比較

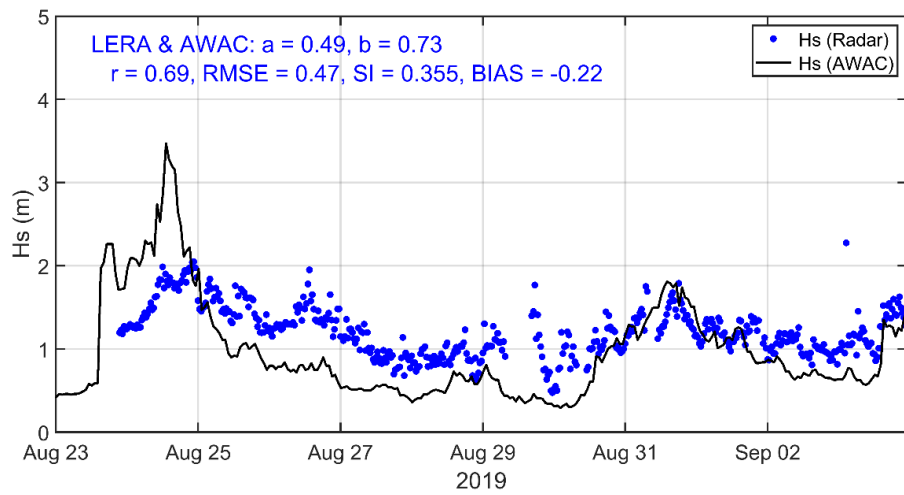


圖 5.17 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 8 月份波高比較

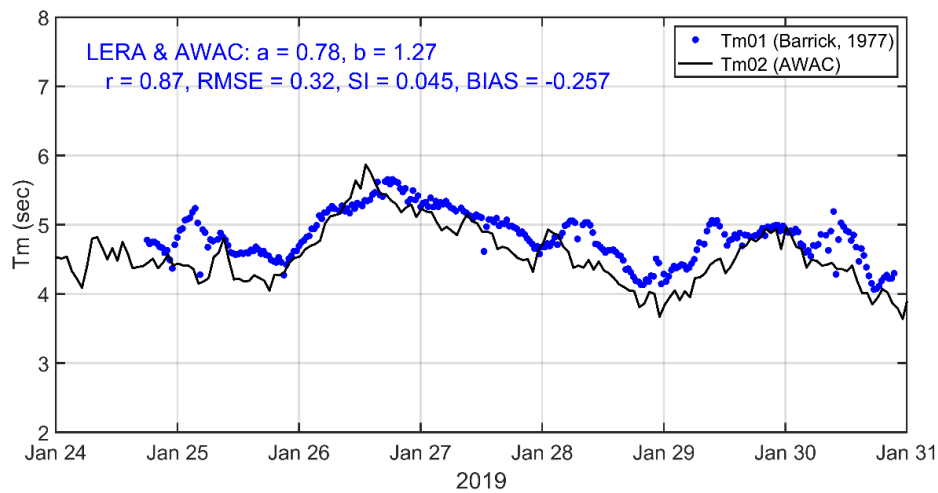


圖 5.18 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)冬季 1 月份週期比較

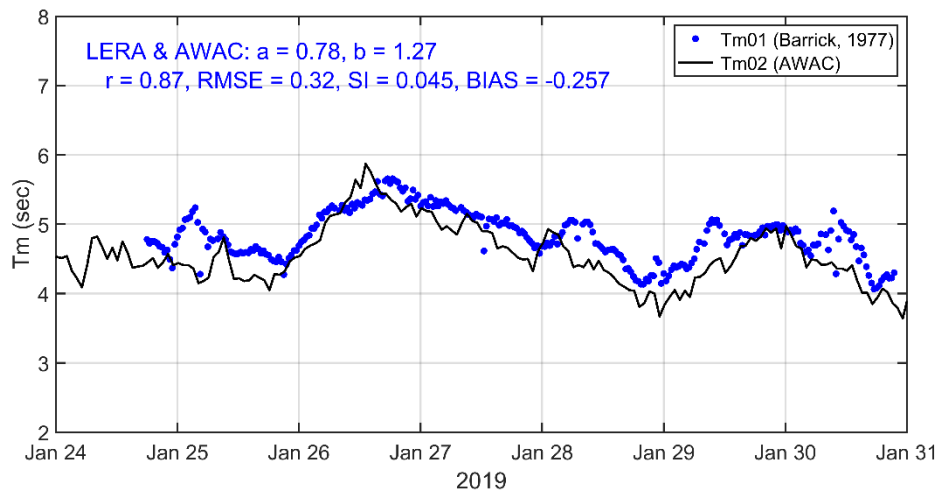


圖 5.19 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 3 月份週期比較

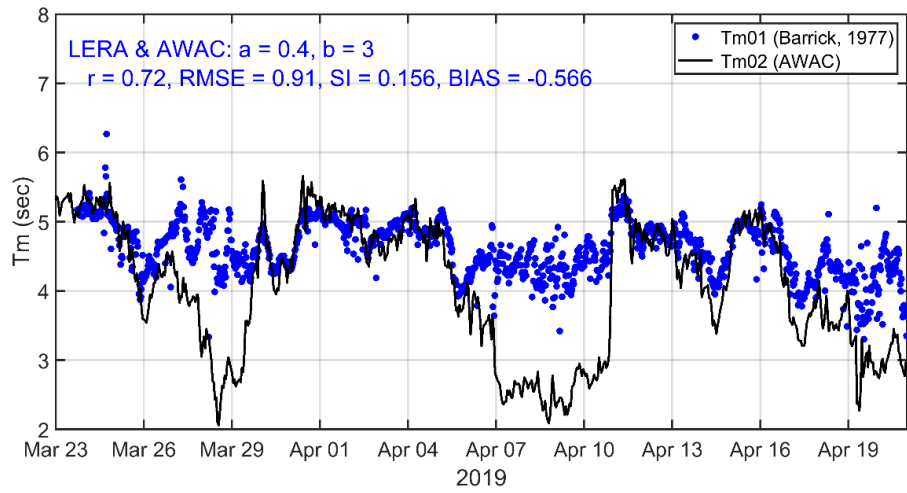


圖 5.20 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)春季 4 月份週期比較

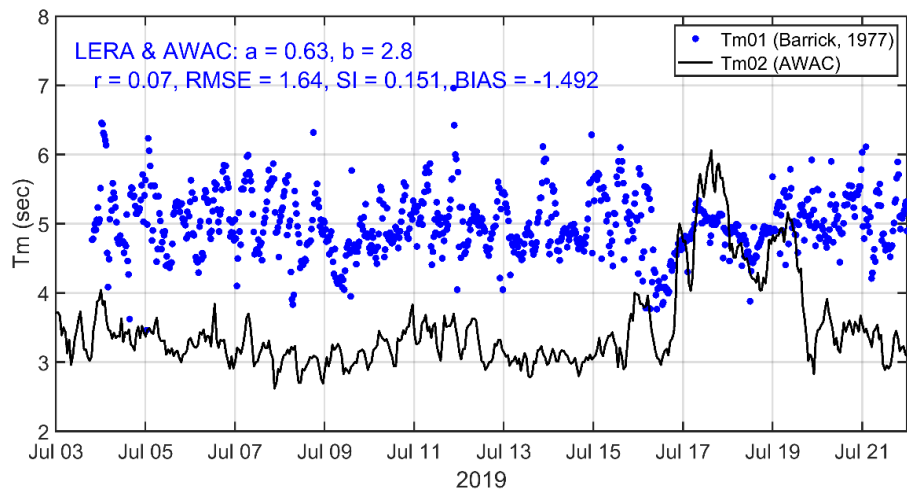


圖 5.21 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 7 月份週期比較

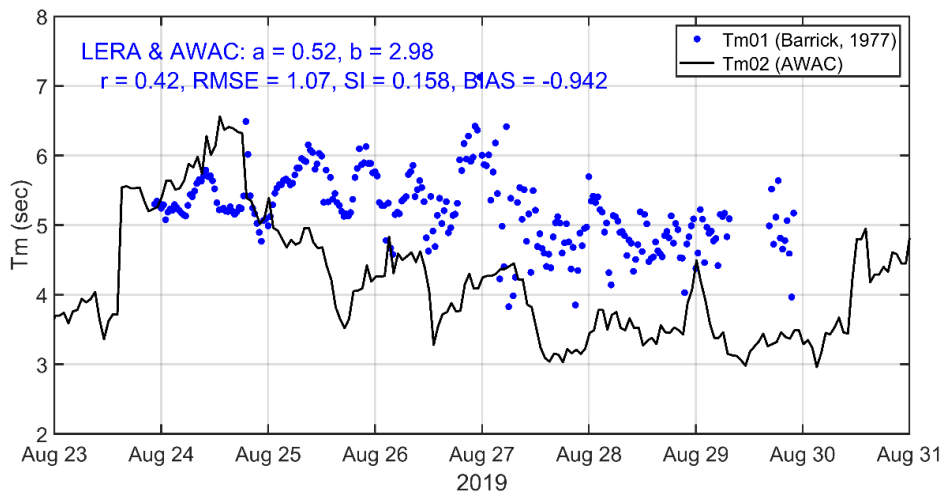


圖 5.22 臺中港(LERA)與臺中港(AWAC)夏季 8 月份週期比較

5.4 雷達資料分析之困難與成因探討

本小節探討論研究所遇各項困難與成因，大致分為二類設備類與環境類，本雷達系統硬體設備自 107 年 12 月 18 日至 108 年 10 月 31 日期間電力系統無法穩定供電，經現場維護人員評估雷達系統電力中斷成因，主要係港務公司辦理港工之回填取沙作業、工程廢棄料拋放與北防沙堤整地等人為因素，因人員宣導不足與機具操作不當，導致未能注意用電電纜，造成纜線反覆斷裂而用電中斷，至今至少 6 處以上損傷，比較嚴重的事件是在 108 年 10 月 5 日雷達訊號中斷，現場檢視發現電纜線遭現場施工單位挖斷，電力系統直到 10 月 15 日接線修復，建議協調港務公司加強人員與下包廠商工作時留意管路，並建議後續電纜施工管路能埋設 1m 以上。第二個常見的困難是網路，由於雷達站設置位置偏遠，原用以傳輸的 4G 網卡時常斷訊造成無法連線的問題，以致雷達資料無法即時傳輸分析，造成資料量累積，直到網路恢復時因網路流量過大而造成塞車，產生資料分析延遲，為解決此問題本所 108 年 9 月 9 日至 9 月 10 日間前往測試無線網路傳輸速率，由於缺少基地臺涵蓋收訊範圍，導致網路訊號品質不良，建議能改善當地網路訊號品質，以維持穩定的資料傳輸

雷達訊號屬於直接空間域(space domain)的訊號資料再轉為時域(time domain)資料進行比對分析，因此探討雜訊需要從原始的都卜勒距離譜，常

見的雜訊有一、二階峰有雙峰現象，如圖 5.23 所示，背景雜訊部份，如圖 5.24 所示，高雜訊顏色較深、低雜訊顏色較淺，屬於環境類的誤差。

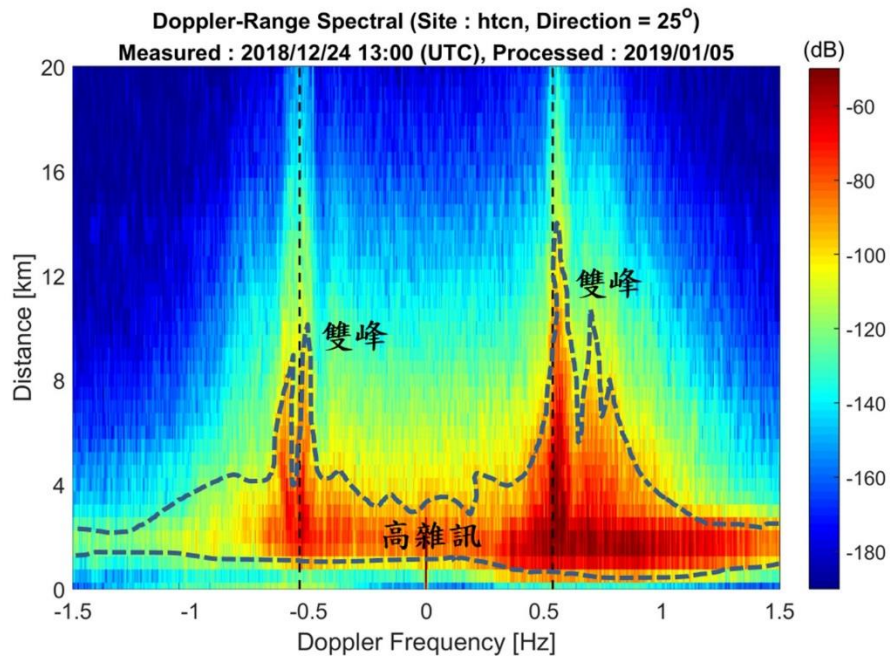


圖 5.23 都卜勒距離譜雙峰現象

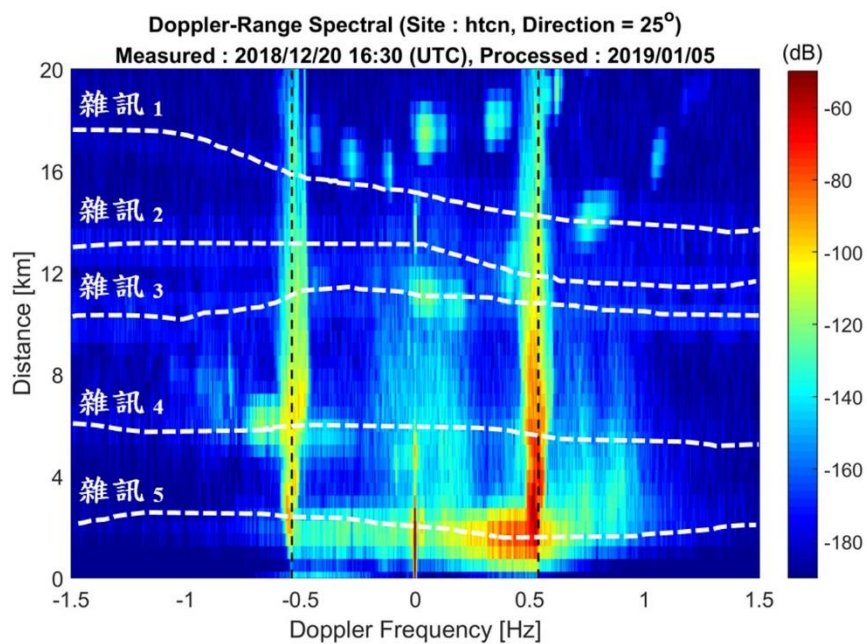


圖 5.24 都卜勒距離譜背景雜訊

該雷達雜訊干擾都卜勒距離譜，造成特徵值分析時偏差，以致於產生觀測誤差，可能的原因係雷達站鄰近臺中港風力發電站(風車大道)，旋轉的葉片造成雷達波的二次反射影響都卜勒距離譜，或者是冷氣機風扇的金屬外殼與葉片等金屬材質所產生的反射反應都將直接影響雷達訊號品質，由於雷達訊號包含許多不同的分量、重複反射訊號以及雜訊，建議持續觀察與蒐集，以取得該地區長期的訊號紀錄，再確認該訊號是否為固定源的雜訊，如果係單一基頻的訊號，將可藉由濾波器將雜訊頻率剔除，應該能改善特徵值分析的結果，舉例來說本系統 AC 電源與 White MOLEX plus 經測試無論電源有無開關，干擾都是一致的，顯示該二者無論是否運作都與雜訊干擾無關，應可予以忽略。

另外，本所 108 年 7 月 3 日檢測 1~8 接收天線，發現接收天線 2、3 與 4 號比其他電線都要高，且干擾隨時間改變，因此可能的干擾需要在進一步檢測。至於現階段海洋雷達為單站系統，僅能獲取徑向資料，因此尚無法獲取真實海流與波浪，且單站觀測範圍的盲區較大，建議增設第二站雷達系統，以完整涵蓋港區並獲取完整實測資料，減少觀測區域盲區範圍。

第六章 結論與建議

本研究以基地母港與鄰近海域之海象調查為目標，發展雷達遙測，並針對目標海域之波浪與海流之海象資料進行長期的資料蒐集、分析與建檔。本研究結果希冀提供交通部航港局及港務分公司，能作為管理船舶進出臺中基地港參考、提供制定港灣規劃之標準，面對災害發生時能適時提供處置對策及預防措施，或作為相關單位參考應用之標準。

6.1 結論

本雷達量測波高、週期、徑向流速的時序列漲落趨勢與實測結果具有一致性，相關係數絕大部分大於 0.8，小部分甚至達 0.95 以上，現階段研究季風觀測結果較好，惟颱風期間相關性較差，尚有改進的空間；進一步分析，雷達量測波高的時序列均方誤差與其量測量級相比，平均誤差約在 10%~20% 間，都卜勒距離譜分析方法尚有改進的空間，建議可以再持續精進。

雷達背景雜訊探討部分，經測試 AC 和風扇可能會產生噪音，但量值小干擾可以忽略不計；測試 White MOLEX plus 時，無論電源開關干擾是固定的，顯示該設備不會產生干擾。處理都卜勒譜資料的過程中，時常有很強的都卜勒斑點(8、11、18 與 19km 處)，該訊號比較像是船舶的反射訊號，但由於不確定其幾何形狀，故尚無法判定，但可以確定此反射訊號屬於主動噪聲干擾的物體。

6.2 建議

本海洋雷達站為單站，現僅能獲取徑向資料，尚無法完整分析海流方向，建議增設臺中港南站，如此訊號將能完整涵蓋港區，分析成果可以取得更完整的資料，惟現階段雖已確定適當架設範圍之位置，但卻與港務公司 LNG 新港區工程規劃重疊，需更進一步洽商，以獲得港務公司用地與港工同意。

對於雷達訊號辨識的誤差，可能係雷達訊號重複反射訊號的雜訊造成，建議持續觀察與蒐集，取得長期的背景訊號，如為長期固定雜訊將有機會予以濾除，增加觀測的品質；正常情況 Rx 天線 2、3 和 4 的干擾較其他天線要

高，而且干擾似乎隨著時間而改變，但將天線 1-8 線路換至天線 9-16 時，干擾噪聲向左側偏移，顯示天線 1-8 可能會發出干擾需要更進一步檢測。本研究經測試最小啁啾數量越大均方誤差越小，按目前雷達設定值為 8,192 個啁啾數，此時均方誤差已降至 0.17，建議再增加最小啁啾數，以確認均方誤差是否有降低趨勢。

本雷達觀測至今即將屆滿周年，期間經歷電力屢遭港務公司之契約廠商施工掘斷，以及北淤沙區網路訊號太差資料傳送困難等，為維持雷達觀測的穩定度，建議改善電力設備與網路。

6.3 成果效益與後續應用情形

- 一、本雷達觀測系統的結果可以提供船舶航行於離岸風電鄰近海域或進出港區之海氣象資訊供航行判斷參考，透過各項港區航運相關研究作業及現場調查工作，有助於促進我國離岸風電海下工程技術發展。
- 二、本雷達所發展的船舶追蹤技術並與船舶自動辨識系統(AIS)相互結合應用，將有助於監控離岸風場鄰近區域航行船舶，並於海上事故發生時能提供相關救援或海難分析資訊。
- 三、未來可朝向雷達遙測作業化分析，發展可視化介面提供漁民、航港局及港務公司於周遭航行參考應用。
- 四、本研究透過現場雷達遙測之海氣象觀測調查成果，配合「離岸風電海下工程技術發展」目標，與漂沙試驗模擬、離岸風電開發衍生之航安與港區規劃、環境腐蝕因子分析與防腐蝕技術等研究相互應用，適時提出具體成果以供參考。

參考文獻

1. 林昆毅、陳少華、楊文昌、梁恩昱、高家俊，「高頻雷達測流系統之建置與天線場型測量之實例探討」，2012，第三十四屆海洋工程研討會論文集，763~768 頁。
2. 吳立中、湯世燦、黃清哲、高家俊，「SeaSonde 高頻雷達測流演算法之研究」，2012，第三十四屆海洋工程研討會論文集，757~762 頁。
3. 董東璟、蔡政翰、陳盈智、顏志偉、馬名軍，2014，應用岸基微波雷達量測近海流空間分布，航測及遙測學刊，第 18 卷，第 3 期，PP.193-204。
4. 余昭明、吳季莊、李昶瑋、林昆毅、徐堂家、陳少華、陳思樺、黃郁軒、楊雅兆、詹瑞文、廖建明、賴堅戊，「103 年度台灣四周海域表層海流觀測年報」，2014，國家實驗研究中心台灣海洋科技中心。
5. 劉明鑫、張家穎，「海洋雷達應用於海象觀測之探討-應用案例探討」，2018，交通部運輸研究所。
6. 黃郁軒、賴堅戊、吳立中、黃清哲、黃清哲，「集成式高頻雷達波浪與風向量測性能初探」，2018，第四十屆海洋工程研討會論文集，367~372 頁。
7. 蔡立宏、羅冠顯、衛紀淮、劉明鑫，「107 年國際商港風波潮流觀測與特性分析」，2018，交通部運輸研究所。
8. 蔡立宏、蔣敏玲、廖慶堂、羅冠顯、衛紀淮、李政達、劉明鑫、林受勳，「2018 年 12 港域海氣象觀測資料年報」，2018，交通部運輸研究所。
9. Duy-Toan Dao、Hwa Chien、蘇青和、黃茂信、許義宏，「Assessment of phase array HF radar for ocean surface wave monitoring in the Taiwan Strait」，2019，第四十一屆海洋工程研討會論文集，352~356 頁。
10. Barrick D.E., (1971) Dependence of second-order Dopplersidebands in HF sea echo upon sea state. Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 9, IEEE, pp. 194-197.
11. Barrick, D. E. (1973) FM/CW radar signals and digital processing. NOAA Technical report, ERL 283-WPL 26.
12. Weber, B. L. & Barrick, D. E. (1977) On the nonlinear theory for gravity waves on the ocean's surface. Part I: Derivations. J. Phys. Oceanog. 7, 3-10.
13. Barrick D.E., (1977) Extraction of wave parameters from measured HF radar sea-echo Doppler spectra. Radio Science, Vol. 12, No. 3, pp. 415-424.

14. Lipa, B. (1977) Derivation of directional ocean-wave spectra by in-tegral inversion of second-order radar echos. Radio Science, Vol. 12 , No. 3, pp. 425-434.
15. Lipa B., D. Barrick(1980) Methods for the extraction of long-period ocean wave parameters from narrow beam HF radar sea echo. Radio Sci. 15 (04), pp. 843-853.
16. Yukiharu Hisaki (2011) Ocean wave directional spectra estimation from an HF ocean radar with a single antenna array: Observation. Journal Of Geophysical Research, Vol. 110.
17. Wyatt L. R., J.J. Green and A. Middleditch, (2011) HF radar data quality requirements for wave measurement. Coast. Eng. 58 (4), pp. 327-336.
18. Guiomar Lopez, Daniel C. Conley (2019) Comparison of HF Radar Fields of Directional Wave Spectra Against In Situ Measurements at Multiple Locations. Journal of Marine Science and Engineering. 7, 271.

附錄一

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 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-108-H2DA002a

計畫名稱：海洋雷達應用於海象觀測之探討-觀測研究分析

審查日期：108年12月13日

參與審查人員 及其所提之意見	自辦研究承辦科 處理情形
錢樺委員：	
1.本案採用高頻陣列雷達，在相對低的建制成本，維運成本下，可獲得合理品質的波場流場監測資料，可與中心已有監測架構整合，提供台中港周邊航運操船，海岸工程設計規劃的依據。	感謝委員建議，未來將於雷達系統之分析作業化後，使波場流場監測資料與本中心已有監測架構整合，以提供外界更完整資訊。
2.主持人已掌握相關技術細節與資料分析原理，未來建議朝作業化目標，持續改進監測系統之整體運作穩定度。	感謝委員肯定，實現作業化是本研究的重要目標里程碑，後續將持續討論分析參數對觀測值的影響改進監測系統，並具以實現。
3.報告書中P.1-10關於研究目標與研究方法，工作步驟宜分開撰寫，可使層次更清楚分明，並加強說明Ch.6之結論是否呼應，滿足研究目標。並建議對於現今作業中遭遇之困難作深作仔細的說明。	感謝委員建議。有關研究目標與研究方法，工作步驟宜分開撰寫，此部份已修正於第一章緒論P.1-10第1.4與1.5小節內容，而第1.4節內容未與第六章結論呼應問題，亦有補充於P.1-10頁內文；另針對委員建議對之現今作業中遭遇之困難亦補充於第六章結論與緒論P.6-1第6.2小節建議一內容。
4.架構完整，成果具體，應用價值高。	感謝委員肯定。
5.在研究目標說明章節，可以更清晰。	感謝委員指正，已調整章節標題，以臻完善。
6.今年度執行過程中遭遇之困難與瓶頸，例如，觀測工作中斷現象的說明與成因討探。	感謝委員建議，已將所遭困難與問題臚列於第五章第5.4小節，請參閱P.5-15本雷達系統執行之困難與成因探討。
7.未來是否有改善的規劃，例如，資料比對及應用。	感謝委員建議，已於結論建議補充，將未來改善的規劃納入。
施友元委員委員：	
1.本計畫利用線性陣列雷達來分析台中港海域之海氣象特性，較傳統高點底碇式海氣象調	感謝委員肯定，將持續觀測臺中港海域，以取得更完整的研究成果。

查，增加海氣象觀察範圍，此雷達量測波高、週期、徑向流速的時序列漲落趨勢與實測結果具有一致性，研究成果值得肯定。	
2.本計畫著重在引進新型的雷達系統應用在船舶航行於離岸風電鄰近海域或進出港區之海氣象資訊供航行判斷之參考，本計畫有其必要性與效益性，且研究架構邏輯清楚，論述方式簡要易懂，深具參考價值。(有比較線性陣列雷達和其他雷達優劣並實際運用提出成果)	感謝委員肯定，將持續努力精進。
3.本計畫為延續性計畫(第三年計畫)，建議在緒論部分，補充四年期研究各年的研究目標與預期成果，以利瞭解本計畫的研究背景與計畫之定位。(簡報第6頁內容可補充納入計畫書)	感謝委員建議，已於第一章緒論中調整第1.4小節P.1-10內容，補充四年期研究各年的研究目標與預期成果，另外簡報第6頁及其他內容將補充於本報告附錄二。
4.本計畫的上位計畫長期目標係透過將相關水下工程研發技術移轉給港務公司及風電相關產業，以增加其營運績效及提升本土工程技術等，未來可參酌研析將本研究成果運用在相關技術移轉、智慧財產授權及技術服務等機制上，俾利政府資源投入發揮最大效益。	感謝委員建議，未來將參酌研析將本研究成果運用在相關技術移轉、智慧財產授權及技術服務等機制，俾利政府資源效益最大化。
5.本計畫的上位計畫為離岸風電海下工程技術研發計畫，其工作項目之一為辦理離岸風電海氣象觀測與特性分析，為增加本案與上位計畫的關聯性，建議在結論與建議部份補充說明本計畫在離岸風電海下工程技術性的應用性。(6.3成果效益與後續應用情形宜深入分析說明)。	感謝委員建議，已增加本計畫的上位計畫執行關聯性，並修改P.6-2第6.3小節成果效益與後續應用情形第一、四點內容。
林燕璋委員：	
1.摘要所描述與本研究之研究過程研究成果效益，連結稍少建議納入摘要內容，可探研究計畫之全貌。	摘要所描述與本研究之研究過程研究成果效益連結性較小，已依結論第6.1小節與第6.3小節成果效益內容酌修本計畫摘要，感謝委員建議。
2.有關雷達原理等相關背景，硬體架構，行政作業等，描述詳盡、惟與本計畫之應用於海象觀測的議題相較篇幅偏多，建議可調整或附錄方式陳述。	本研究係依據本所工作計畫書內容辦理，委員建議部份係為增加研究之主體性，故縮減行政作業篇幅，將有關雷達硬體架構由第2.3.3小節移至第4.2小節進行說明，如.P4-7；至於海氣象觀測樁建置內容調整至附錄三陳述。
3.結論(第三點)與本報告之連結或缺乏完整論述說明，就出現為結論內容，或建議加強結論建	感謝委員建議，已將結論第三點論述較少部份補充於P.5-16第5.4小節，以呼應第六章結論(第三

議能夠呼應計畫目標。	點)內容。
4.建議增加雷達所測資料與其他相關資料之比較分析，以利本計畫目標之遂行。	感謝委員建議，有關本研究比對部份已增加與海科中心(TORI)之CODAR雷達系統比對分析，但由於部份研究成果相關性較差，可於109年度系統調整穩定取得良好觀測資料後再予比對。
5.建議調整各章篇幅，以突顯本計畫研究標的之成果。	感謝委員建議，已調整第二、三、四與五章內容，以突顯本研究主體。
李俊穎委員：	
1.建議後續可將本案雷達硬體整體架構及說明彙整獨立成一小節。	感謝委員建議，已將原2.3.3小節彙整於第4.2小節。
2.建議章節標題移除何時啟用字眼，在報右內避免情緒文字，如6.1結論第一項。	感謝委員指正，全文用字已通篇檢視將何時啟用與刪除情緒性用字刪除，請委員參照內文P.6-1。
3.有關流速比對(5.1節)，建議補述所比對流速為何是否為徑向流速？	感謝委員建議，由於本雷達系統為單站系統故有關流速比對均為徑向流速，相關說明已於P.5-1補充。
4.有關波浪比對(5.3節)，波高效果較佳，但週期效果效果較不佳，建議後續可加以探討。	感謝委員建議，將於109年度後續研究中進一步討論。
5.有關陣列雷達已有初步成效，具參考價值。	感謝委員肯定。
蘇青和委員(主席)：	
1.審查委員所提意見與針對本研究計畫內容所建議之調整，請於報告撰寫時修正。	遵照辦理，已依各委員意見調整文章編排將部分內容以附錄方式呈現、其他內文用字一併修正，力求精進。
2.請計畫主持人依各委員審查意見，研提處理情形答覆意見表，作為後續修正報告依據。	遵照辦理，已將各委員意見納入修正，具體處理情形與答覆已臚列於本表。

附錄二

期末報告簡報資料

離岸風電海下技術研發(3/4)

海洋雷達在臺灣海洋觀測應用

(簡報人員:李政達)

簡報大綱

第一部份

計畫的緣由

第二部份

海洋雷達簡介
海洋觀測討論

第三部份

結論與展望

行政院針對目前風力發電的態度…

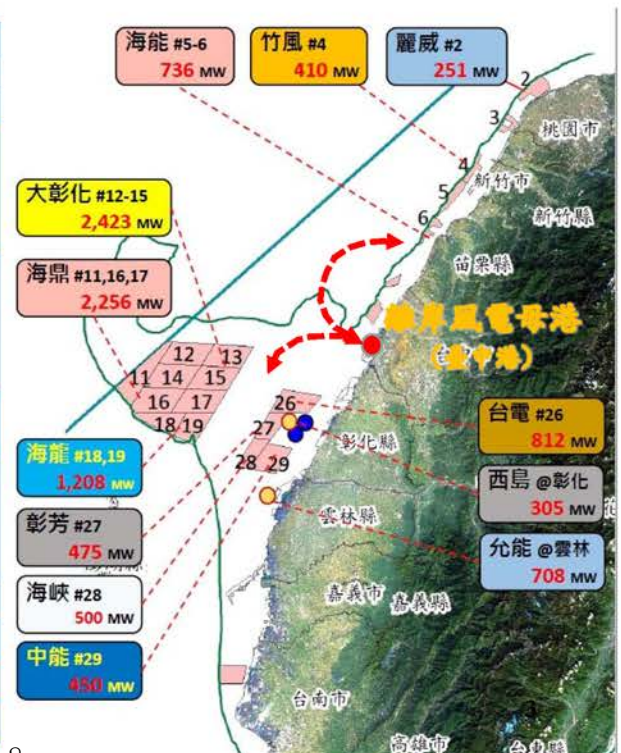
計畫的緣由



離岸風電推動現況

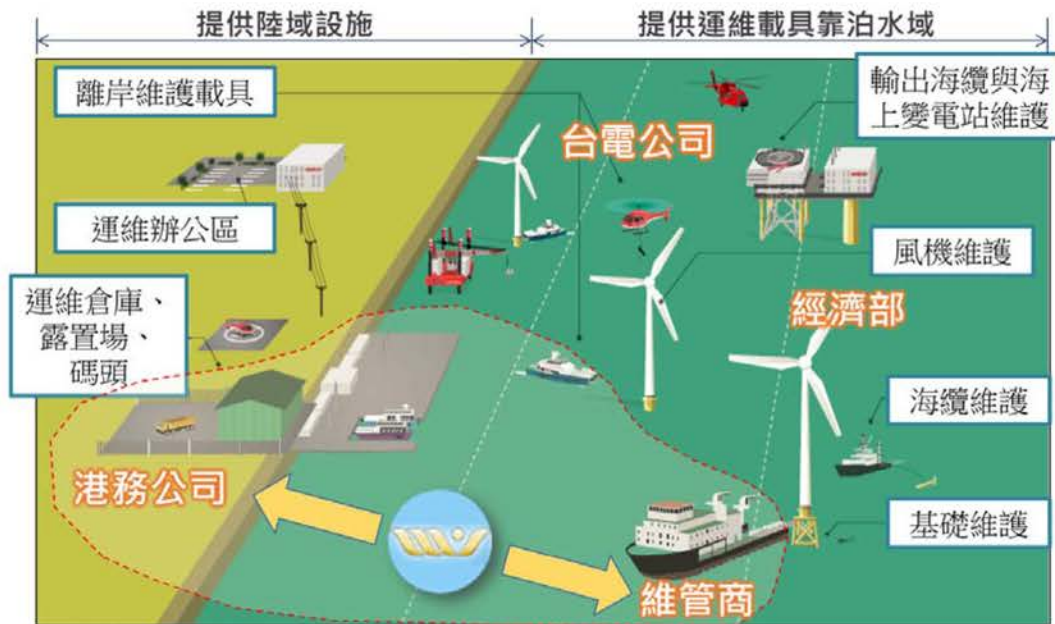
計畫的緣由

開發商	籌備處(場址)	規劃量(MW)	環評進度
外商 8.4 GW	德 達德 (wpd) 原英華威 (Infravest)	麗威 (2) 251	環評大會通過
		允能 (註) 632-707.8	小組會議通過
	丹 沃旭 (Ørsted) 原丹能 (DONG Energy)	大彰化西北 (12) 598	環評大會通過
		大彰化東北 (13) 570	
		大彰化西南 (14) 642.5	
		大彰化東南 (15) 613	
	澳 上緯 & 麥格理 • 上緯新能源 • Macquarie Corporate Holdings Pty Ltd.	海能 (5 & 6) 555.45-736	環評大會通過
		海鼎一 (11) 648-736	
		海鼎二 (16) 666-760	
		海鼎三 (17) 648-760	
	加 北陸電力 (NPI) Northland Power Inc.	海龍三號 (18) 468-512	環評大會通過
		海龍二號 (19) 612-696	
本土 2.2 GW	丹 哥本哈根基礎建設基金 (CIP) Copenhagen Infrastructure Partners	彰芳 (27) 475	環評大會通過
		西島 (註) 305	
	力麗	海峽 (28) 500	環評大會通過
	中鋼	中能 (29) 450	環評大會通過
	台電	台電 (26) 812	環評大會通過
	亞泥	竹風 (4) 410	環評大會通過



離岸風電運維基地系統與產業化佈局

計畫的緣由



資料來源：A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance, GL Garrad Hassan

4

離岸風電海下工程技術研發計畫

計畫的緣由

「千架海陸風力機」為既定能源政策，其中離岸風電在臺灣尚未有建置案例，風電機組結構影響水理機制，造成鄰近地形變遷，需評估對航道與鄰近港區的影響，探討船舶航行安全。

離岸風能所需的龐大產業鏈，在不影響港區原有營運下，維持航安、環境保育與產業發展之三大目標。



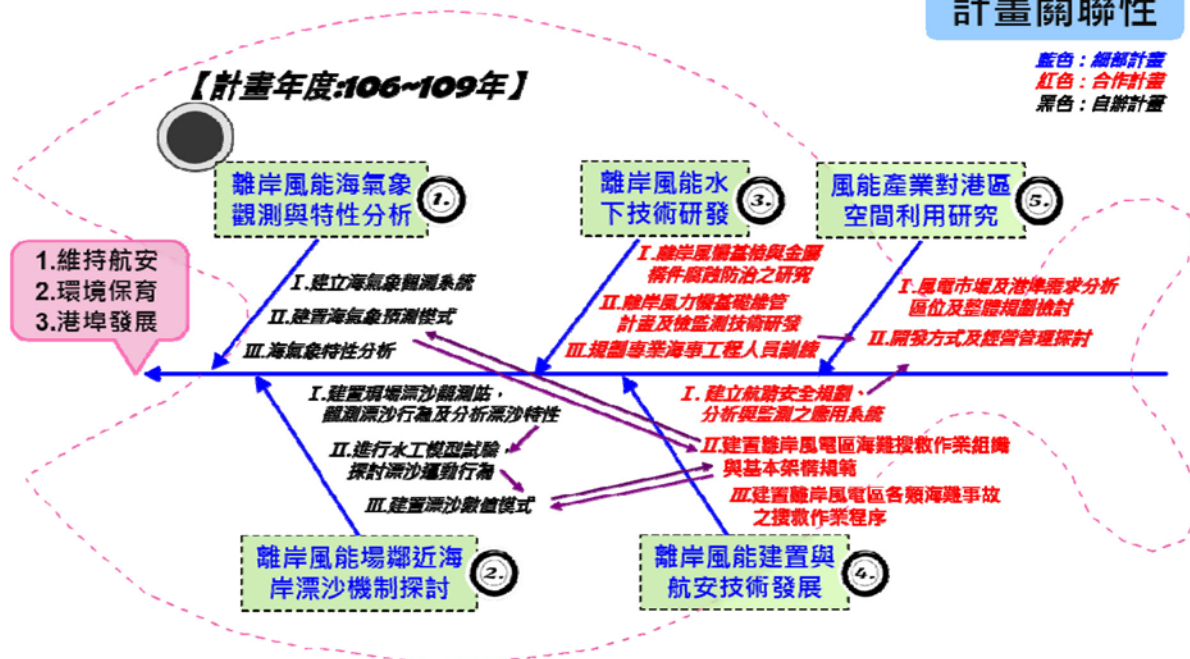
航道淤積可能引起的影響



5

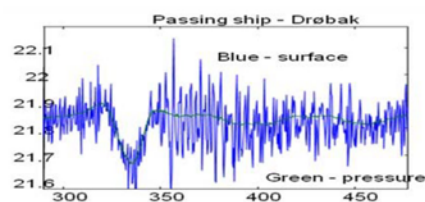
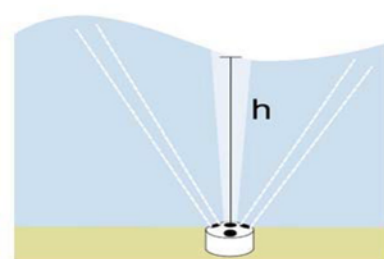
計畫關聯性

藍色：細部計畫
紅色：合作計畫
黑色：自辦計畫



6

本所目前海氣象觀測方式



7

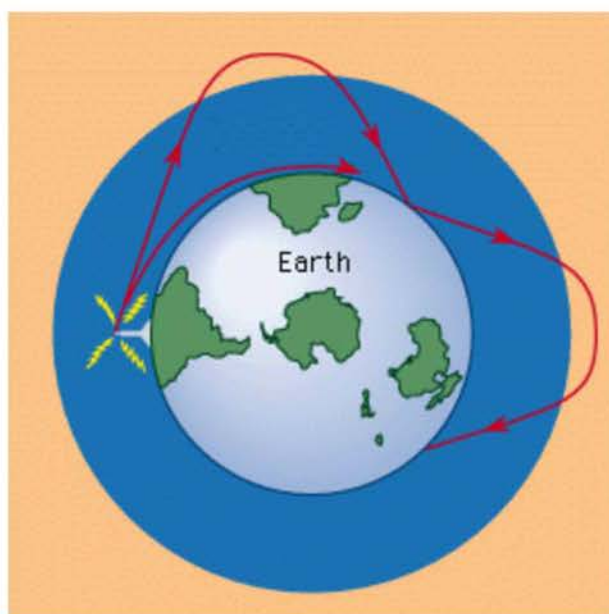


第一部份(完)

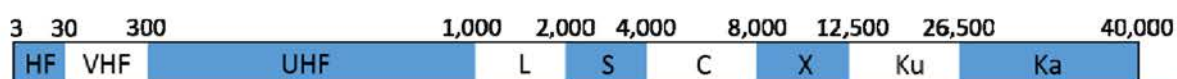
第二部份

西元1900年前，追溯雷達的發展

海洋雷達簡介



1. 依照波段區分
2. 依照功能區分



雷達的種類(功能)

海洋雷達簡介

1. 預警雷達
2. 搜索雷達
3. 照明雷達
4. 射控雷達
5. 測候雷達



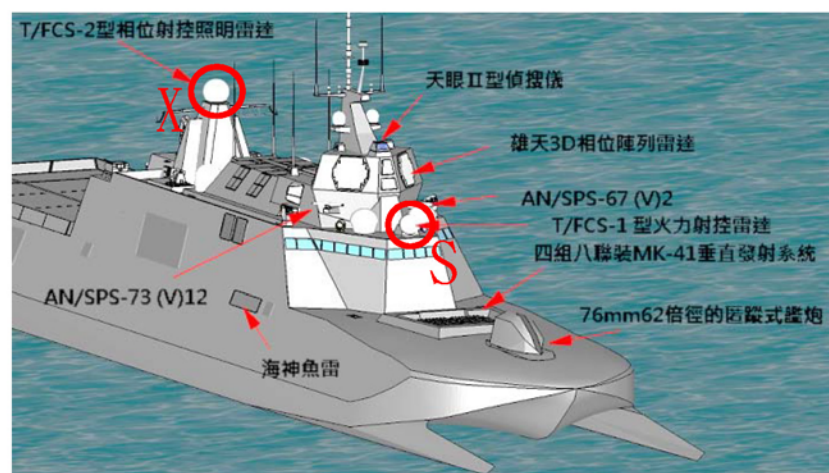
2D機械式掃描雷達

康定級巡防艦-PFG1207

雷達的種類(功能)

海洋雷達簡介

1. 預警雷達
2. 搜索雷達
3. 照明雷達
4. 射控雷達
5. 測候雷達

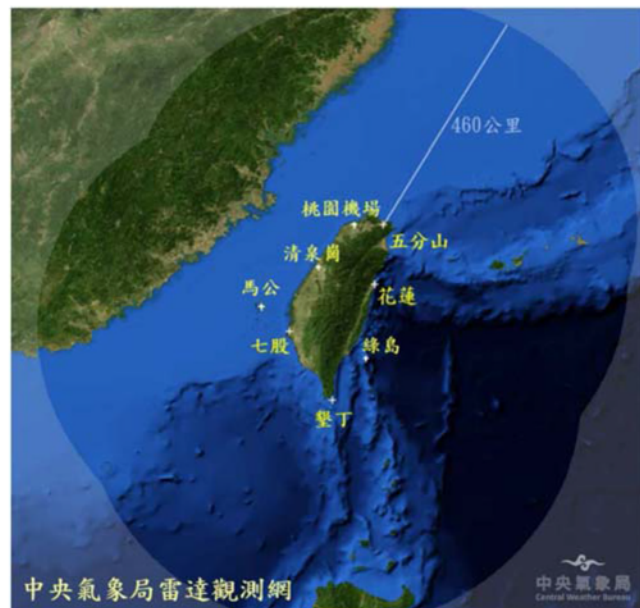


遠字號巡防艦

雷達的種類(功能)

海洋雷達簡介

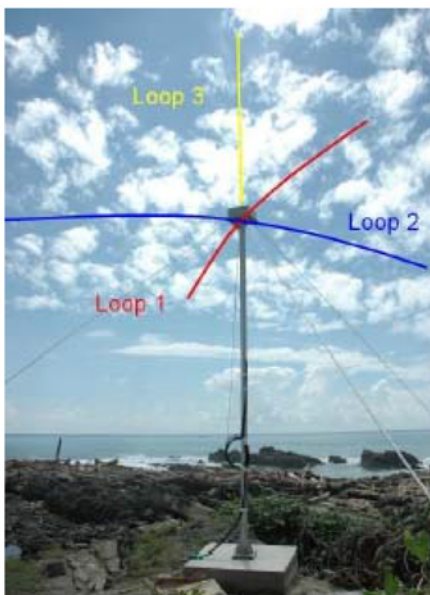
1. 預警雷達
2. 搜索雷達
3. 照明雷達
4. 射控雷達
5. 測候雷達



12

高頻(HF)雷達的現況-CODAR

海洋雷達簡介



Codar (美國集成式測流雷達系統)

海洋中心於2009年10月開始架設CODAR雷達測流系統，期間陸續架設11座長距離高頻雷達及4座標準型雷達，於2011年12月建置完成15座HF雷達站，並於2015年增加2站達成環台測流目標，共17座HF雷達。

目前全世界大約有450座

13

高頻(HF)雷達的現況-WERA

海洋雷達簡介



全球自1999年至今，

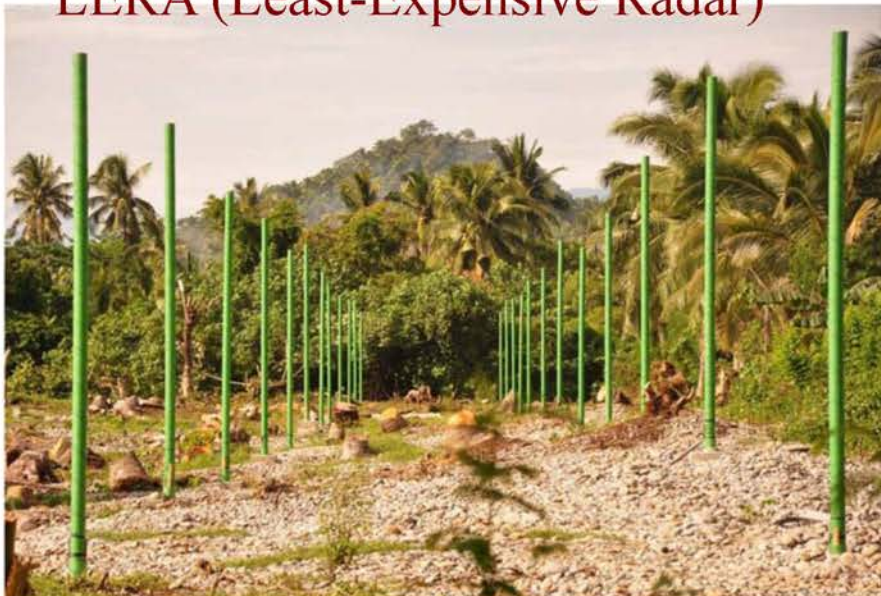
已經超過150個地區裝設海洋雷達

14

高頻(HF)雷達的現況-LERA

海洋雷達簡介

LERA (Least-Expensive Radar)



目前全世界大約有62座

15

臺灣海洋雷達系統

海洋雷達簡介

1.X-band (微波雷達觀測系統)

交通部運輸研究所港研中心於1999年6月與臺灣大學合作進行雷達系統建置，開啟了X-band 雷達觀測波流的先河，與國內觀測技術之先驅。

2.Codar (美國集成式測流雷達系統)

3.WERA (德國陣列式雷達系統)

4.LERA(美國陣列式雷達系統)



16

LERA雷達系統-位置圖

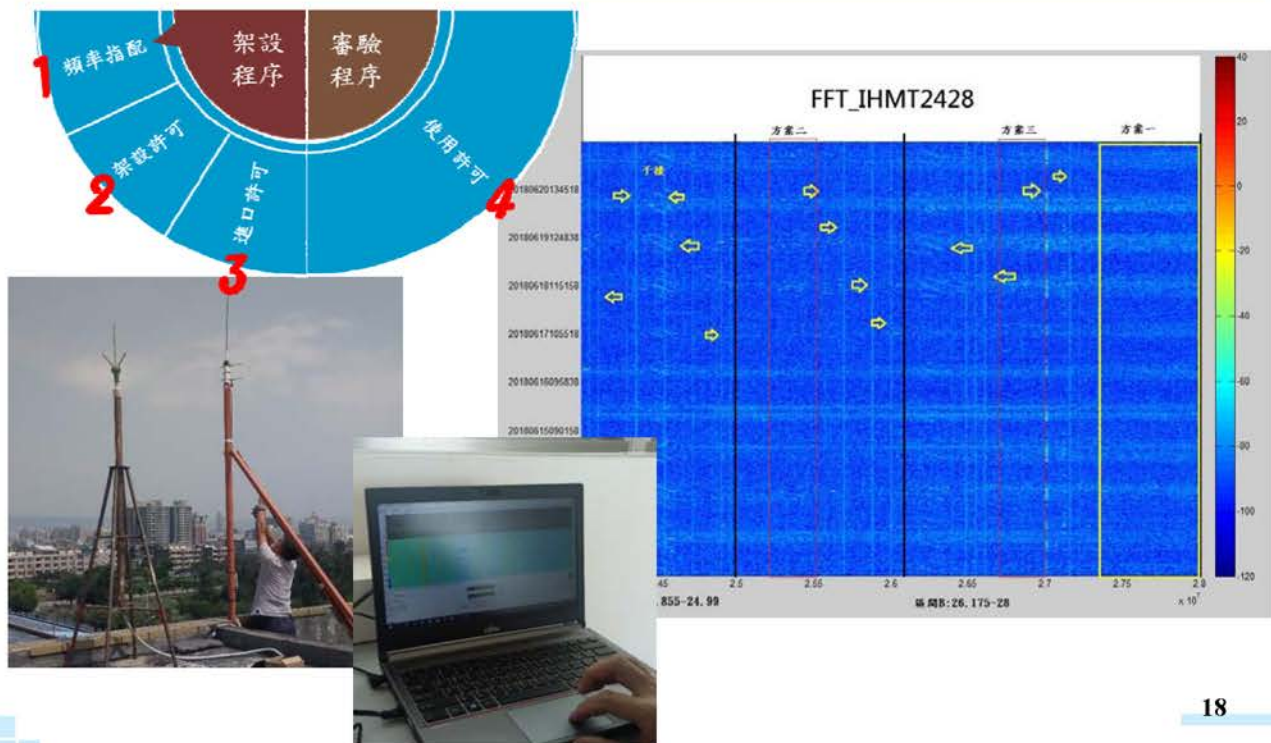
海洋雷達簡介



17

LERA雷達系統-NCC申請

海洋雷達簡介



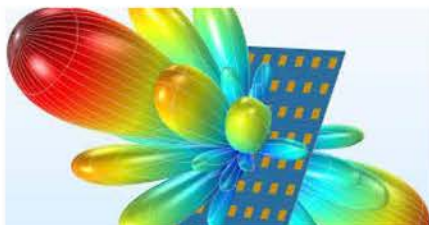
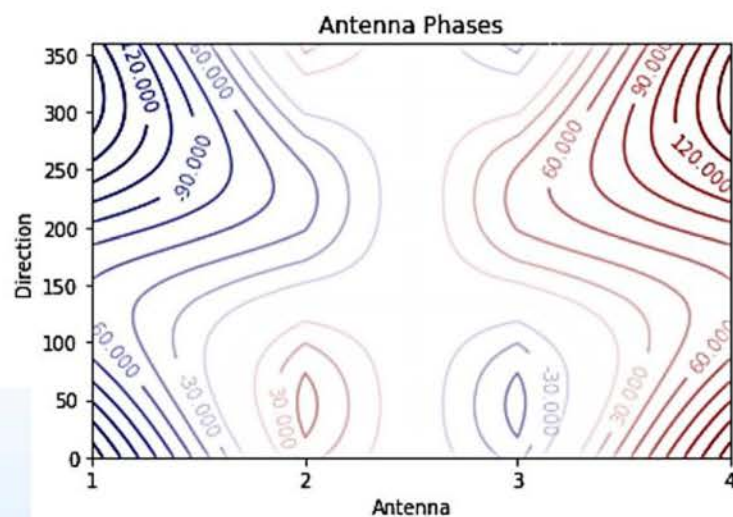
18

LERA雷達系統-天線設計

海洋雷達簡介

- 1.發射系統
- 2.接收系統
- 3.儲存系統

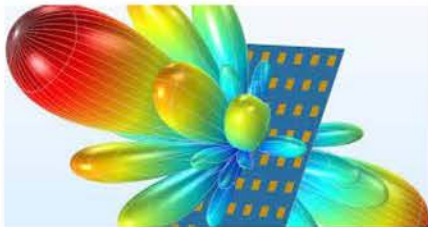
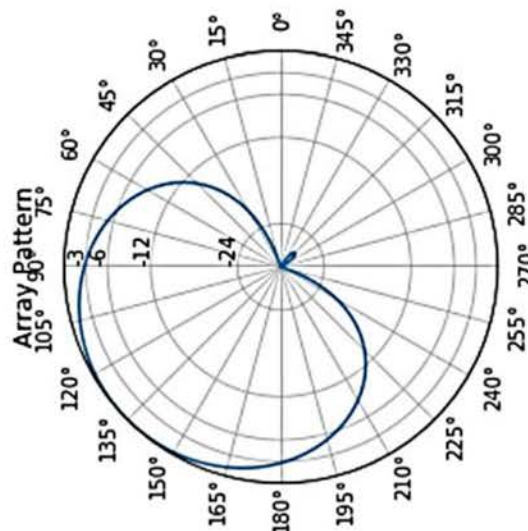
天線相位圖



19

- 1.發射系統
- 2.接收系統
- 3.儲存系統

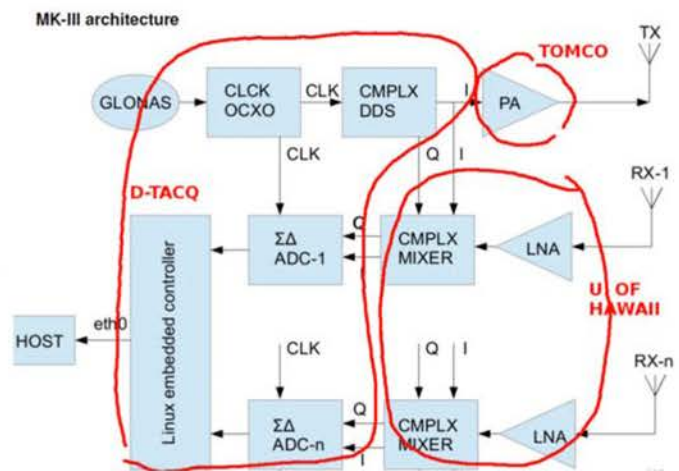
雷達發射天線場型圖



20

LERA雷達系統-架構

- 1.發射系統
- 2.接收系統
- 3.儲存系統

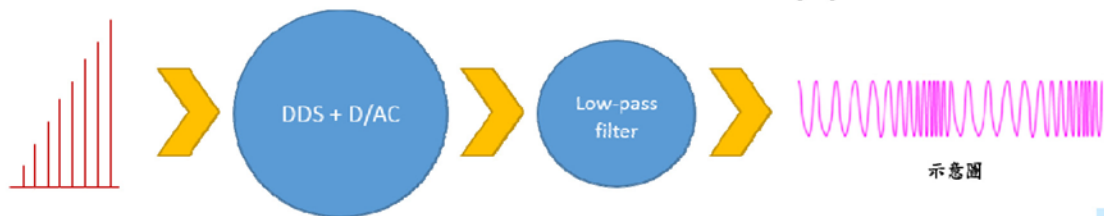
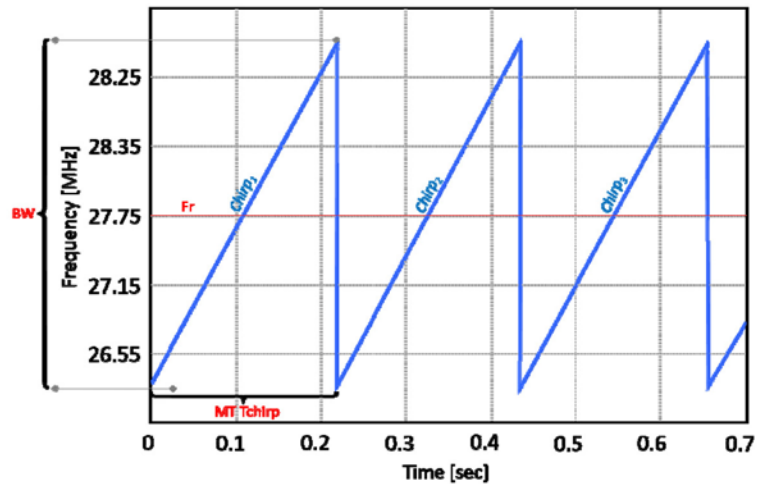


21

LERA雷達系統-架構

海洋雷達簡介

- 1.發射系統
- 2.接收系統
- 3.儲存系統

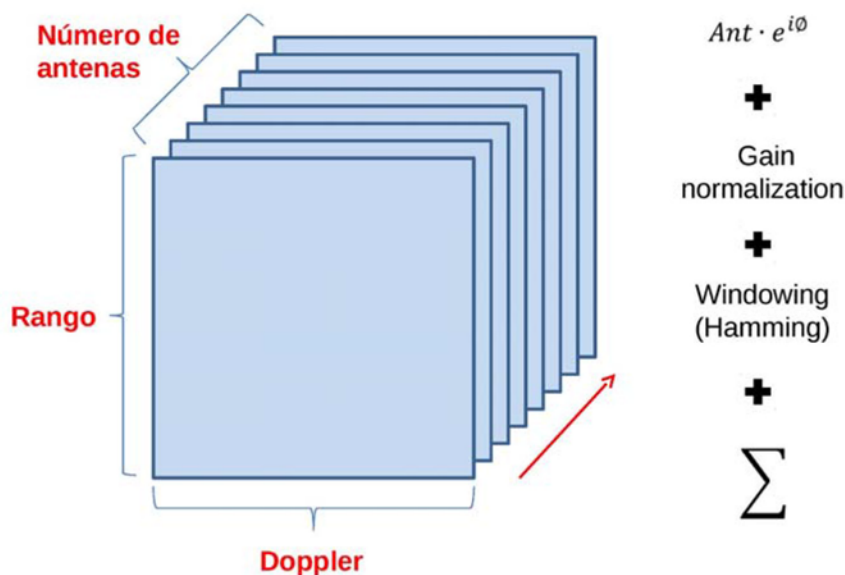


22

LERA雷達系統-分析原理

海洋雷達簡介

Beamforming

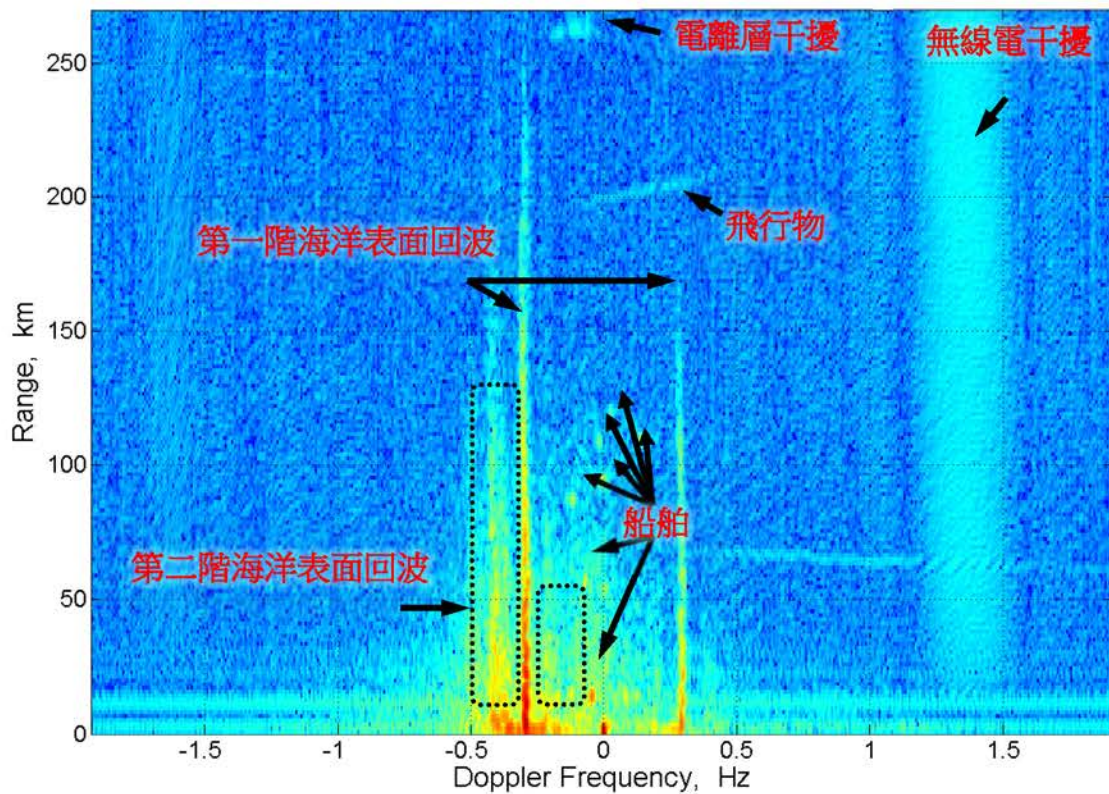


$$\phi = n\pi \sin \theta$$

23

高頻雷達 Power Spectrum

Azimuthal Beam 0 deg

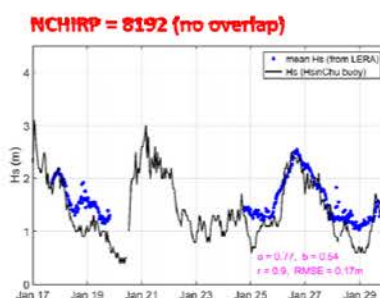
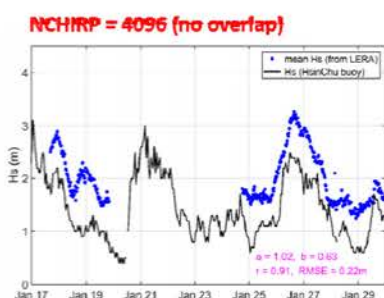
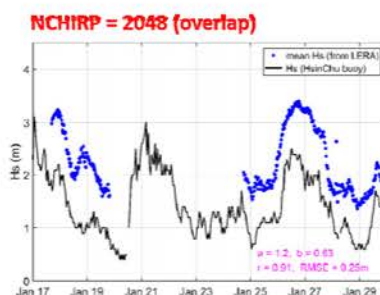
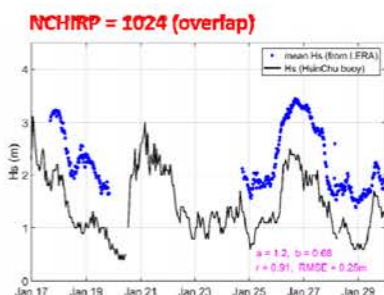


24

最小啁啾數量討論

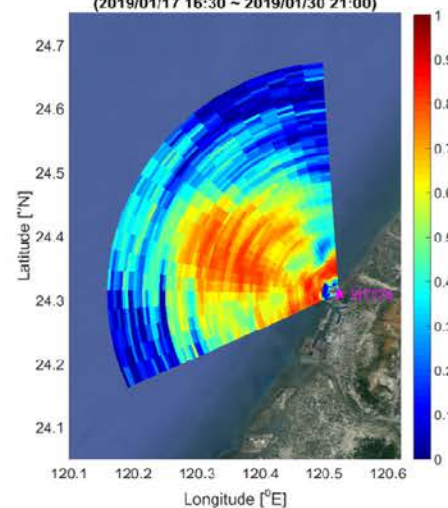
第二部份

海洋觀測討論

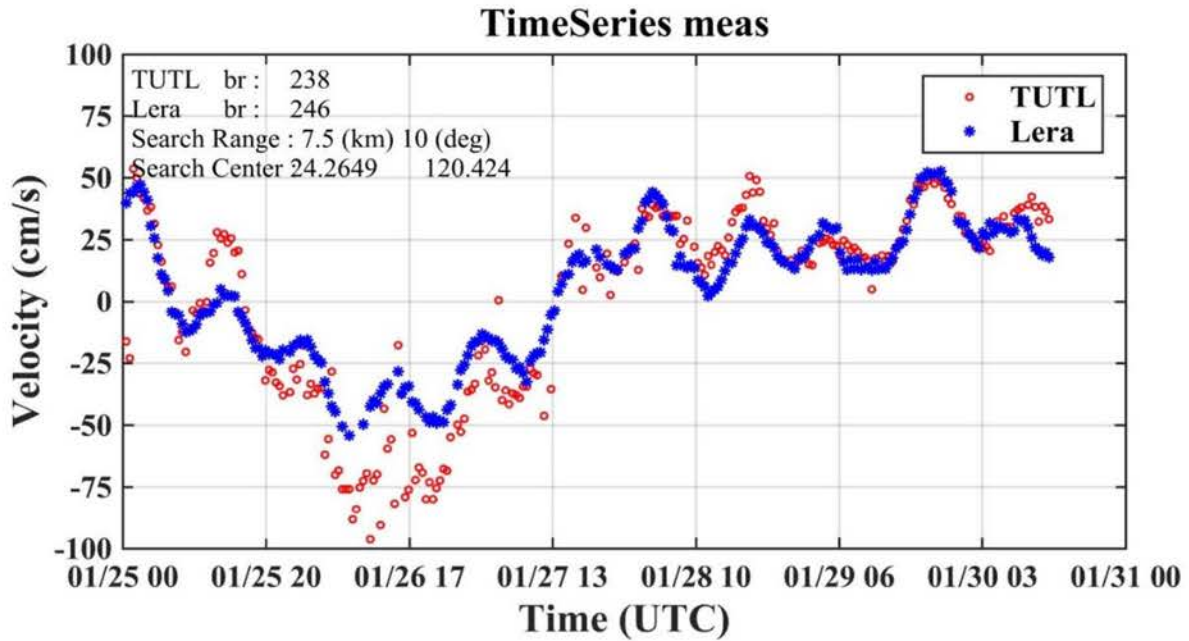


NCHIRP = 8192 (no overlap)

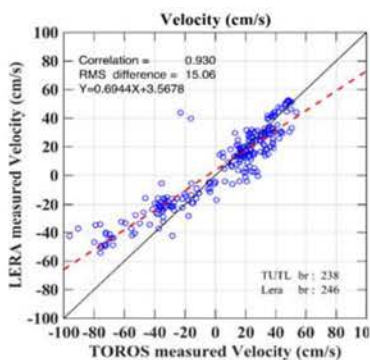
The map of Correlation Coefficient
(2019/01/17 16:30 ~ 2019/01/30 21:00)



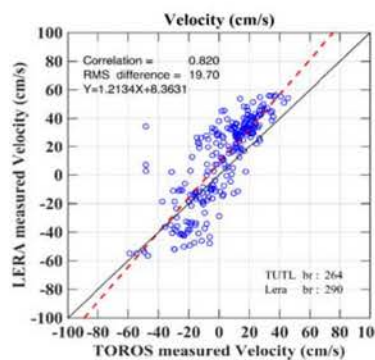
25



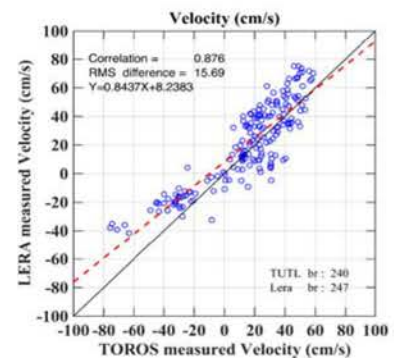
26



觀測點1



觀測點2

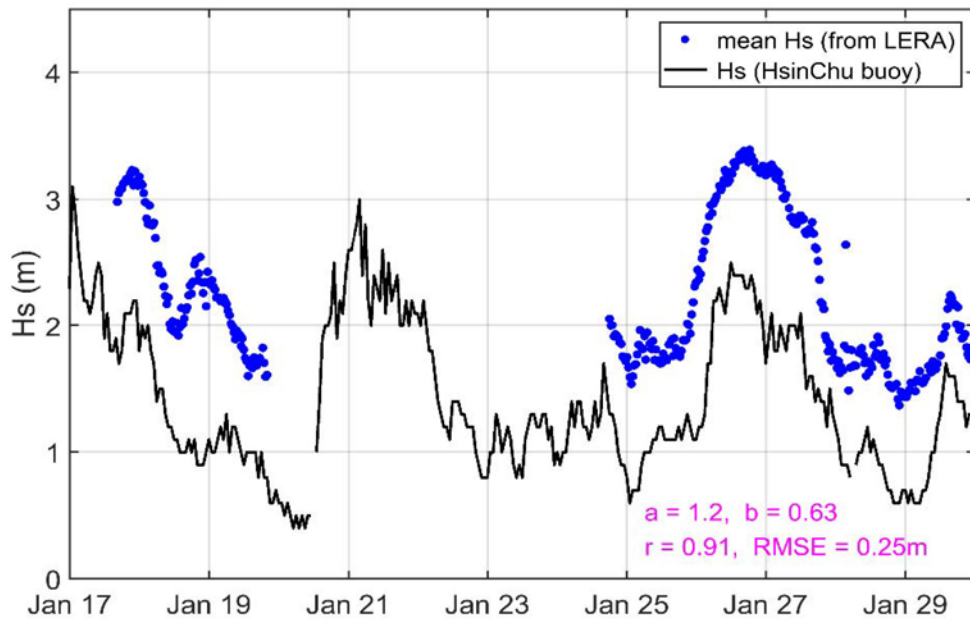


觀測點3

27

波高：與氣象局新竹浮標比較

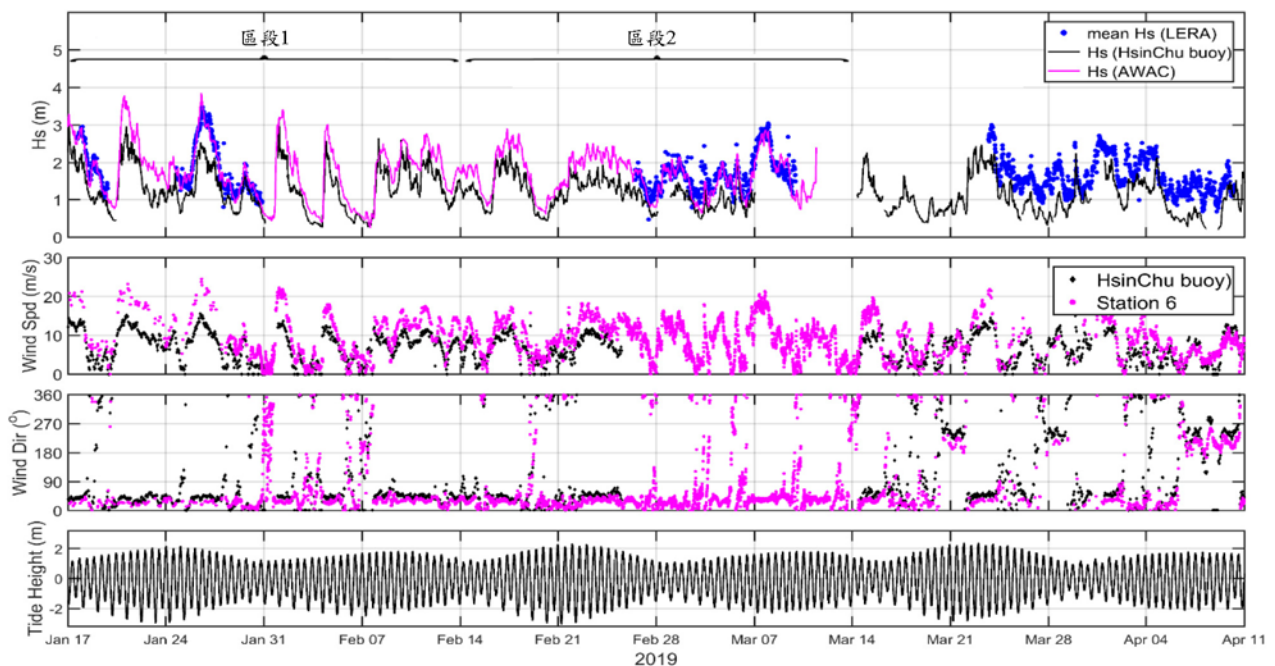
海洋觀測討論



28

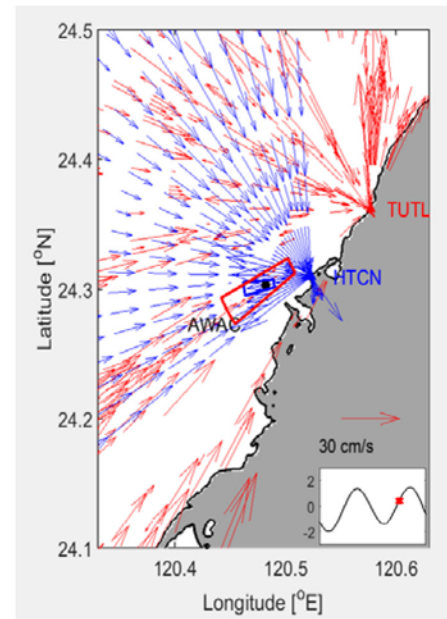
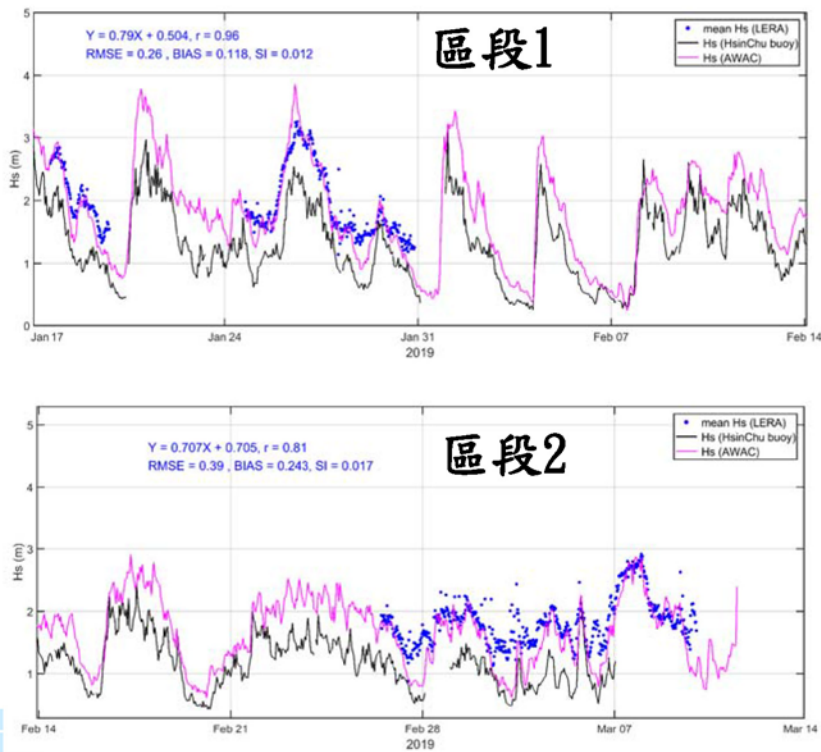
波高：與臺中港(AWAC)比較

海洋觀測討論



29

波高：與臺中港(AWAC)比較



30

波高、週期：與臺中港(AWAC)比較



31



第二部份(完)

海洋觀測結論

第三部份

結論與建議

- 本雷達量測波高、週期、徑向流速的時序列漲落趨勢與實測結果具有一致性，相關係數普遍大於0.8，甚至達0.95以上，惟只限於尋常季風時的觀測，颱風期間相關性較差，尚有改進的空間。
- 平均誤差與量測平均值相比約在10%~20%間。
- 本雷達有太多背景雜訊，經測試AC和風扇可能會產生噪音，但量值小干擾可以忽略不計；測試White MOLEX plus時，無論電源開關干擾是固定的，顯示該設備不會產生干擾。



海洋觀測建議

結論與建議

- 本海洋雷達站為單站，現僅能獲取徑向資料，尚無法完整分析海流方向，**建議增設臺中港南站**，如此訊號將能完整涵蓋港區，分析成果可以取得更完整的資料。

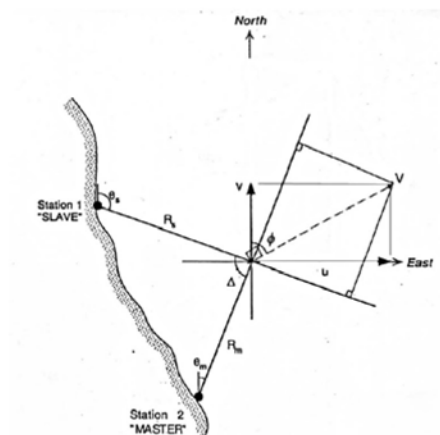


Figure 2. Schematic for determining the resulting vector current from velocity components of two intersecting radials.



34

海洋觀測建議

結論與建議

- 對於雷達訊號辨識的誤差，可能係雷達訊號重複反射訊號的雜訊造成，**建議持續觀察與蒐集，取得長期的背景訊號**，如為長期固定雜訊將有機會予以濾除，增加觀測的品質。
- 經測試最小啁啾數量越大均方誤差越小，按目前雷達設定值為8,192個啁啾，此時均方誤差已降至0.17，**建議再予增加最小啁啾數**，均方誤差有機會再予降低。
- 本雷達觀測至今即將屆滿周年，期間經歷電力屢遭港務公司之契約廠商施工掘斷，以及北淤沙區網路訊號太差資料傳送困難等，為維持雷達觀測的穩定度，建議**改善電力設備與網路**。

35



附錄三

臺中港海氣象觀測樁打設資料

本所為了協助交通部建構安全交通環境，以及落實運輸風險管理之目標，已於 108 年 8 月 23 日建置離岸風電基地母港海上觀測樁，並於同年 9 月 18 日正式啟用與陸續開始蒐集基地母港周邊海域之風、波浪、海流、潮位等資料，以掌握中部海域重要即時海氣象資訊，提供港灣鄰近海域船舶航行、海上與港區作業、港灣船舶管理等基礎管理參考。

一、 工程基本資料：

本工程名稱為「臺中港海氣象觀測樁製作及打設」，工程主體係由昭伸企業股份有限公司以鋼板捲圓加工製樁，再由該公司將樁體吊放至工作平臺船，並由拖船引導平臺船至工程預定位置辦理打設立樁工作；本設計與監造工作則委託巨太工程顧問股份有限公司辦理，設計原則依海水深度、海床地質條件、腐蝕耐久度、設計強度與施工性進行規劃，本工程施工地點位於臺灣中部大甲溪南側，臺中港北堤北側海域，該海域屬於臺中港低密度開發區外海的水域，工程位址選定在設計水深 25m 以上的位置，該水深足以減少波浪海流淺化與反射波影響結果，非常適合日後安裝儀器進行調查，觀測資料將頗具代表性，實際觀測樁位置如圖 1 所示。

本工程樁身全長為 70.8m 長、管壁 3cm 厚、樁徑為 1.2m 之捲圓鋼管，材料選擇 JIS G3106 SM400B 規範檢驗合格的鋼材，本工程特別選用中鋼 12m 的板材，如圖 2，由上而下共分 7 段加工銲接，樁身末端頂銜接直徑 2.8m 與 2.4m 高之塔屋 1 座，樁身感潮段設有 8m 長 2mm 厚玻璃纖維(FRP)與防蝕帶 1.3mm 進行包覆，樁身設有鋁陽極防蝕塊作為陰極防蝕處理，樁體於海床安裝完畢後，四周設有高 1.3 米混凝土異型方塊保護樁體，如圖 3 所示，方塊外再鋪上坡度 1:1.5 之拋塊石，塔屋之附屬設施安裝有 1 組避雷針，1 組太陽能警示燈及捲揚機，捲揚機，如圖附 4 所示。另考量氣象樁作為海氣象調查與即時傳輸中繼站，無法由陸面拉設實體電路至海面樁之所在位置，故電力系統設計有 2 片可供每小時 1000 瓦特之太陽光電能板，如圖 5 所示，與 1 座葉片式風力發電機，圖 6 所示，以提供調查用電所需。

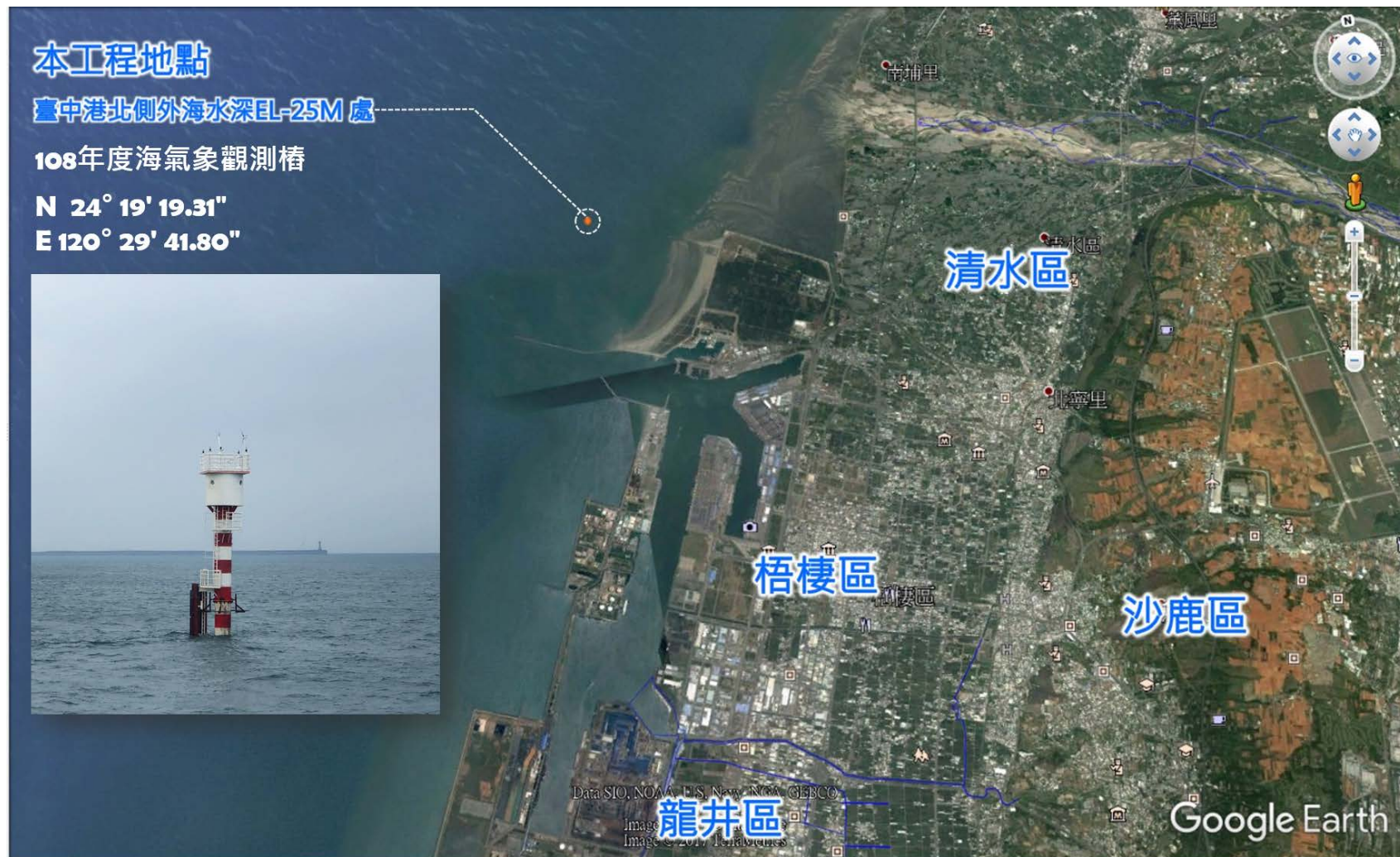


圖 1 臺中港海氣象觀測樁位置圖



圖 2 鋼料進場



圖 3 混凝土異型方塊



圖 4 捲揚機



圖 5 太陽光電能板



圖 6 葉片式風力發電機

本所港研中心經多年打樁、固樁、護樁經驗，深知樁體的強韌程度與鐸道之完整性有關，因此要求本工程各項品質嚴格把關，在材料商供料進場後，首要之事係針對進場材料辦理物性檢驗，如材料檢驗不合格需退料並運離工地，待檢驗合格始進行後續捲圓加工，進場取樣現況，如下圖 7 所示，工作人員正在裁切鋼板，裁切後準備將試片送往實驗室，鋼板送驗合格後，將鋼板送入捲圓機捲圓製樁的情形，如圖 8 所示。



圖 7 鋼板試片取樣



圖 8 鋼板捲圓加工

另為落實行政院公共工程委員會推動之三級品管制度，本工程平時施工廠商以超音波鐸道檢驗進行自主檢查，現場如有發現瑕疵，立即安排人員鏟修與組鐸加工作業，第二級再委由監造單位會同具有 TAF 認證之實驗

室人員，以穿透能力更高的放射性光源照設鐸道部位，檢驗接點是否滿鐸，最後再會同本所港研中心人員進行施工品質抽查，如此才得保障鋼管製造的品質，以下為放射性檢驗之 X-ray 檢驗機與放射性鐸道檢驗情形，分別如圖 9 與圖 10 所示。



圖 9 放射性檢驗之 X-ray 檢驗機



圖 10 射性鐸道檢驗

二、 海上施工困難與創新工法介紹：

由於工程所採行之施工方法與施工順序決定廠商之履約能力，施工流程順暢可以促使公司資源有效地分配與利用，減少人力閒置與時程浪費，本工程位置位於大甲溪河口鄰近高美溼地，屬於東北季風與颱風影響之盛行範圍，如圖 11 所示，每年海上可工作天數甚少，為免於工程發生延宕，施工方法必須有所創新突破，才能提高海上作業的工作效能，本工程選用承插式接樁工法，成功完成海上接樁；海上與陸地的不同，在於陸域接樁考驗吊車操作手之吊掛能力，一般路面施工環境屬於固定環境，故吊掛鐸接皆能輕易解決，然而長樁之鐸接組立如遇起伏不定的海況，便難以吊車執行樁體之接合將，更何況現今公共工程又如此重視施工品質與勞工職業安全，礙於海上施工環境惡劣，任何搖晃都有可能導致施工人員被吊掛物擊中受傷或因失去平衡落海溺水，所謂承插式接樁工法，係指一種快速上下樁接合的方法，施工團隊於塔屋前端銜接一段 7m 的上樁，此種設計稱之為承插式接頭，如圖 12 所示，此承插接頭為本工程特色之一，前端尖嘴可順利與下樁嫻接，並減少邊緣產生劇烈搖晃，避免定位人員過於靠近造成危險，亦可大幅縮短接樁時間，爭取時效。



圖 11 東北季風影響帶圖



圖 12 承插接樁接頭

本工程困難點在於海事工程面臨往復式潮水影響，施工環境條件顯不如陸地，本工程施工團隊國內外經驗豐富，面對施工困境，以創新工法加以克服，改善海上施工晃動問題，減少吊掛風險與增加人員安全，不僅重視樁體品質，更重視施工效率，觀測樁完成現況，如圖 13 所示。



圖 13 臺中樁打設完成圖

附錄四

雷達工程規劃書

交通部運輸研究所(下稱：本所)已於民國 107 年 9 月 19 日通過國家通訊傳播委員會(下稱：大會)申請頻率 27.75MHz(頻寬 500KHz)之無線電基地臺，如圖 1、指配頻率同意函。

基於交通掌管陸海空交通安全及維持航行安全之必要，已利用船舶自動辨識系統(下稱：AIS)、電子海圖發展出一系統平台(如下圖 6 所示)可完善船舶資訊，有效提供船難訊息，及顯示事故周邊之船舶狀態，透過塔台橫向聯繫溝通，能加快急救難船舶之支援調度，提高救援效率及搶救寶貴生命，但發展至今系統未能完善，基於 AIS 系統是船舶主動發射，岸上被被動接收，故如果船舶未能裝置 AIS 系統，就無法掌握船舶位置與航向，為避免類似朗籍「SARVIN」輪船於我國海域內偷排廢油事件發生，刻意關閉 AIS 隱匿蹤跡，以及未裝設 AIS 的船隻與其他船舶發生碰撞，今(107)年度本所將建置臺中港線性陣列海洋雷達系統，輔以雷達系統，偵測後的船舶訊號該如何分析，必需研究相關之演算技術，另外雷達船舶訊號該如何與 AIS 系統介接必需適時發展，以觀測臺中港鄰近海域之船舶動態，提供通行離岸風電區海域船舶資訊及相關海域航行安全之研究應用，故需向大會再次申請專用無線基地臺架設，以提升我國追蹤技術。

本雷達系統採用美國夏威夷大學(<http://www.satlab.hawaii.edu/>)自製生產的高頻陣列雷達測流系統 (University of Hawaii High Frequency Radar Array)，發射的雷達波經由海面回傳反射訊號進入測站主機，透過電信網路將資料傳回主控中心，後端再經由計算軟體推算出海洋表層的海流方向與速度，電臺設置地點預定設於東經 120 度 31 分 25.82 秒，北緯 24 度 18 分 39.28 秒，可經由港區內環港北路抵達北防沙堤入口步行抵達測站，詳細地址為：臺中市清水區環港北路電桿第 35-4819-99 號西偏北 18 度距離電桿 230 米位置。

貳、工程地點

為能順利觀測到臺中港區臺灣海峽之表層海流，本工程地點座標位置如表 1 所示，佈設之室外發射與接收天線如圖 2 所示。

表 1 座標位置表

點位	地點名稱	經度(°E)			緯度(°N)		
		度	分	秒	度	分	秒
1	機房	120	31	25.82	24	18	39.28
2	天線	120	31	22.66	24	18	33.95

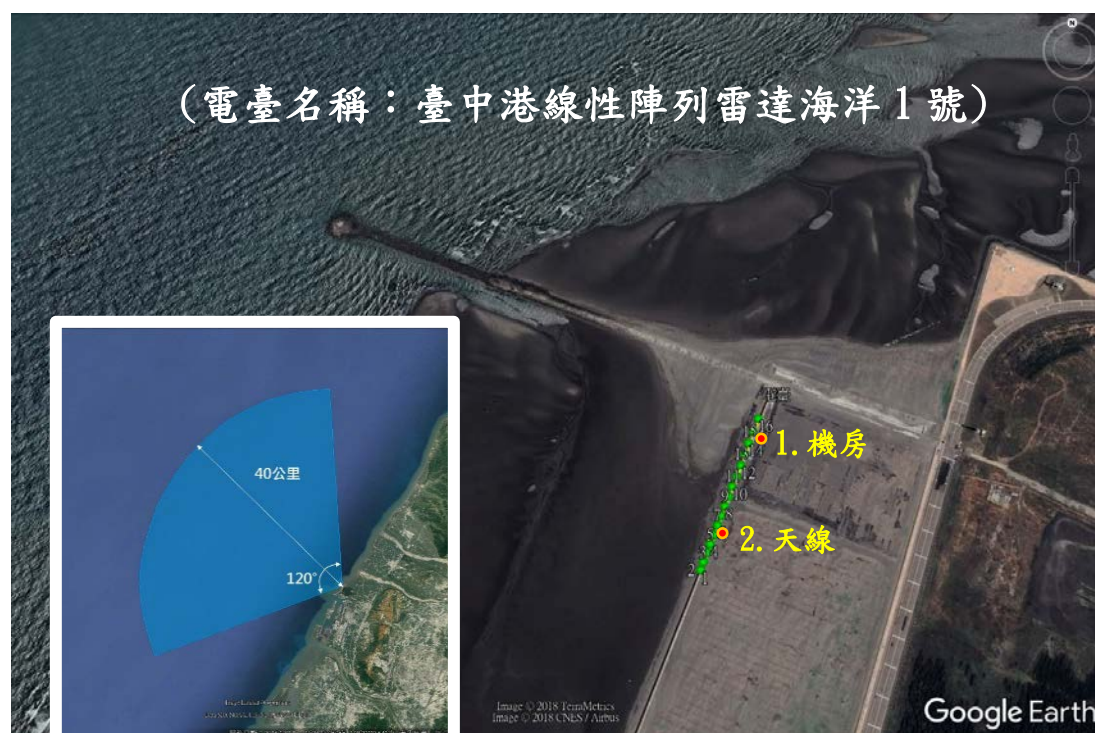


圖 2 測站及天線架設位置圖

參、雷達系統架構(如圖 3)

本案採用美國夏威夷大學陣列雷達系統，系統概括上分為三部份：

(一)、雷達天線：這部分為陣列雷達天線(包含接收與發射二部分)

(二)、雷達測站(機房)：第一時間接收遙測資料並予儲存，

(三)、雷達處理系統(本所港研中心)：資料處理應用的地方。

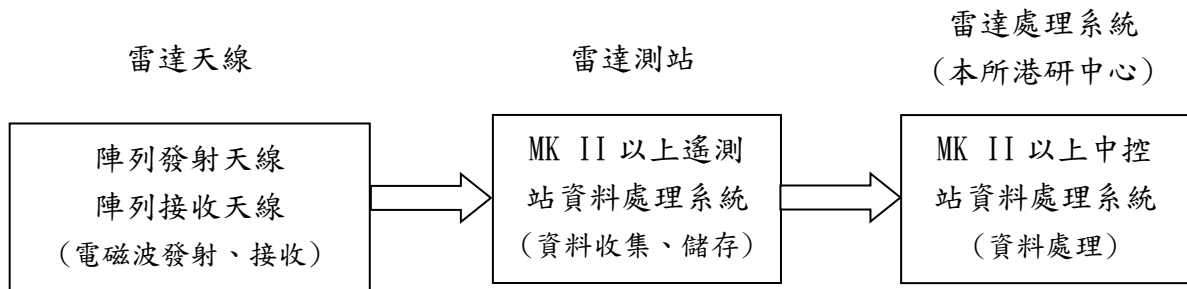


圖 3 雷達系統架構圖

雷達天線機件的電路圖，有接收發系統天線及訊號傳遞流程，如圖 4 所示，整個接收引擎電路圖可清楚由圖 5 了解。

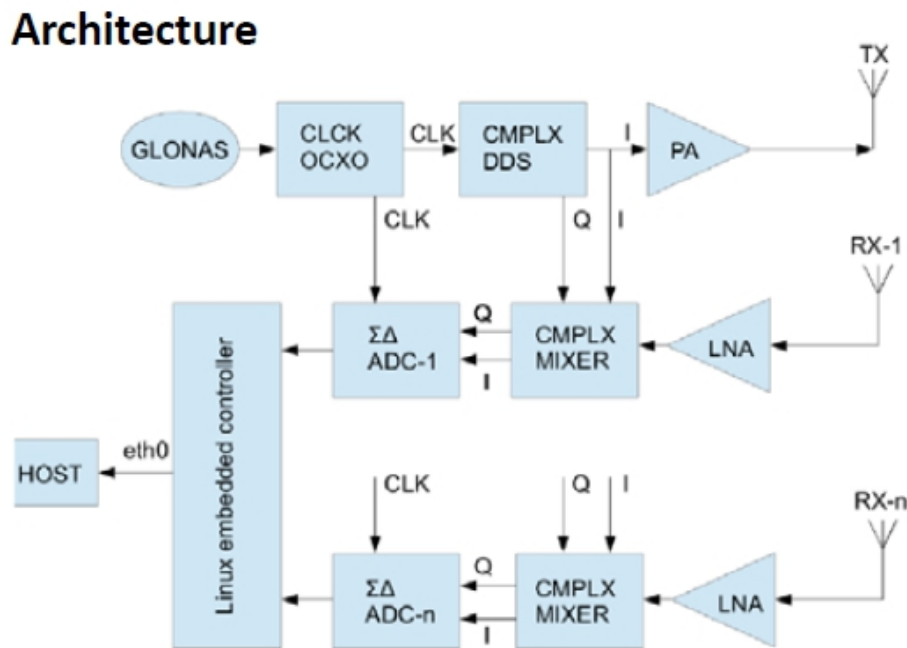


圖 4 雷達天線機件的電路圖

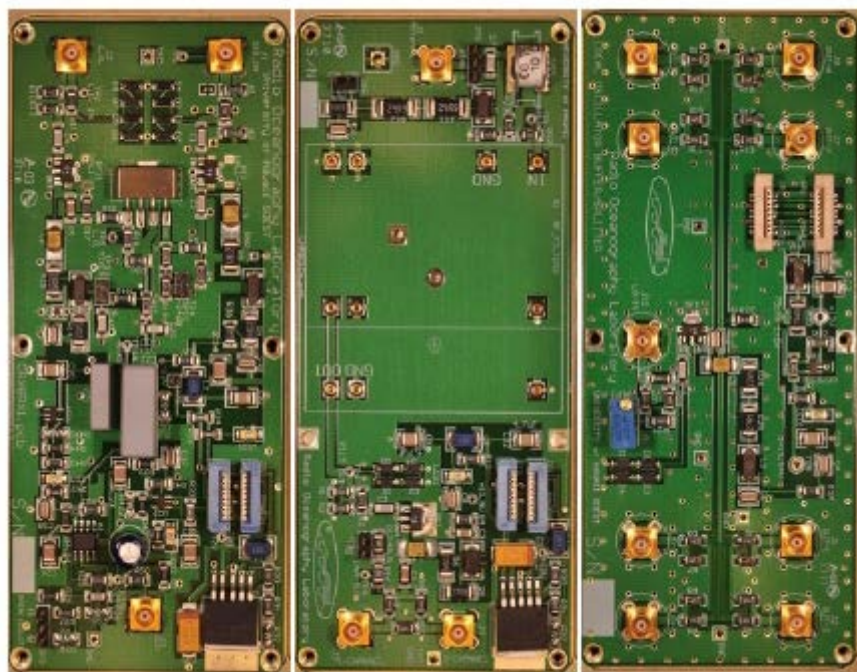


圖 5-1 接收引擎電路圖(MK II)

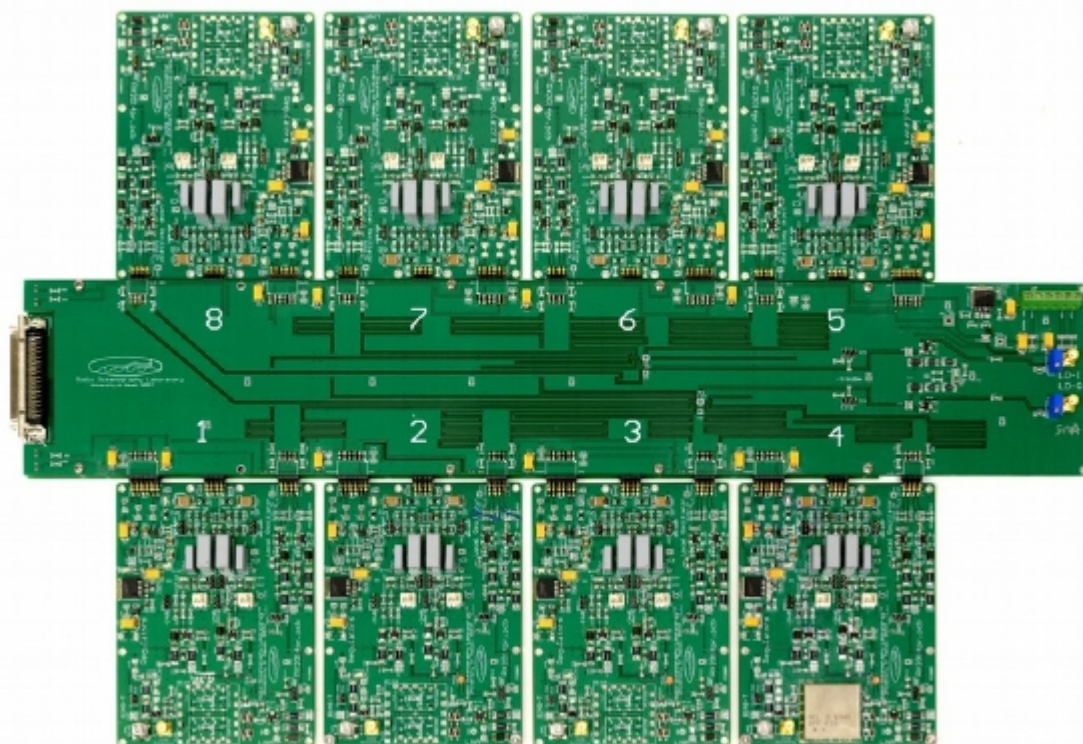


圖 5-2 接收引擎電路圖(MK III)

肆、臺中港線性陣列高頻雷達測流系統規格

(1)遠距離發射天線—

Design: Phase Array of four-antenna

Height : 2.2m

Diameter : 50mm

(2)發射機—

Input RF Drive Level : 0 dBm

Output RF Power Level : 100 watts peak, 50watts average

Design : modular ; all solid state

Operation : Class AB

Weight : approx. 30kg

(3)遠距離接收天線—

Design: Phase Array of Eight or more antenna

Height : 1.35m

Diameter : 50 mm

(4)接收機—

Maximum In-band Input Level : 0 dBm

Impedance : 50 ohm

Sensitivity (noise level) : -160 dBm in 1Hz BW

Design : modular ; all solid state, 16-channel

Operation : I/Q homodyne

Weight : approx. 25kg

伍、場址現況說明

本系統雷達天線預計申請 27.5~28MHz 頻率範圍之專用無線電臺(中心頻率 27.75MHz, 頻寬 500KHz), 預計可收集天線向外 120 度, 距離達 40 公里範圍的海氣象資料, 此工程規劃平面佈置圖為臺灣港務股份有限公司臺中港分公司「臺中港北側淤沙區漂飛沙整治第三期計畫」擋沙牆位置, 由於大甲溪河川輸沙經年累月運移至河口外海域, 加上臺中港北外堤之攔阻作用, 造成泥沙持續淤積或堆積於港口北側淤沙區, 如不加以妥善整治, 會造成臺中港無法持續正常營運, 故新建長度 1,732m 擋沙牆, 以提高灘地擋沙能力, 本雷達架設範圍如斜線所示, 如圖 6 所示。

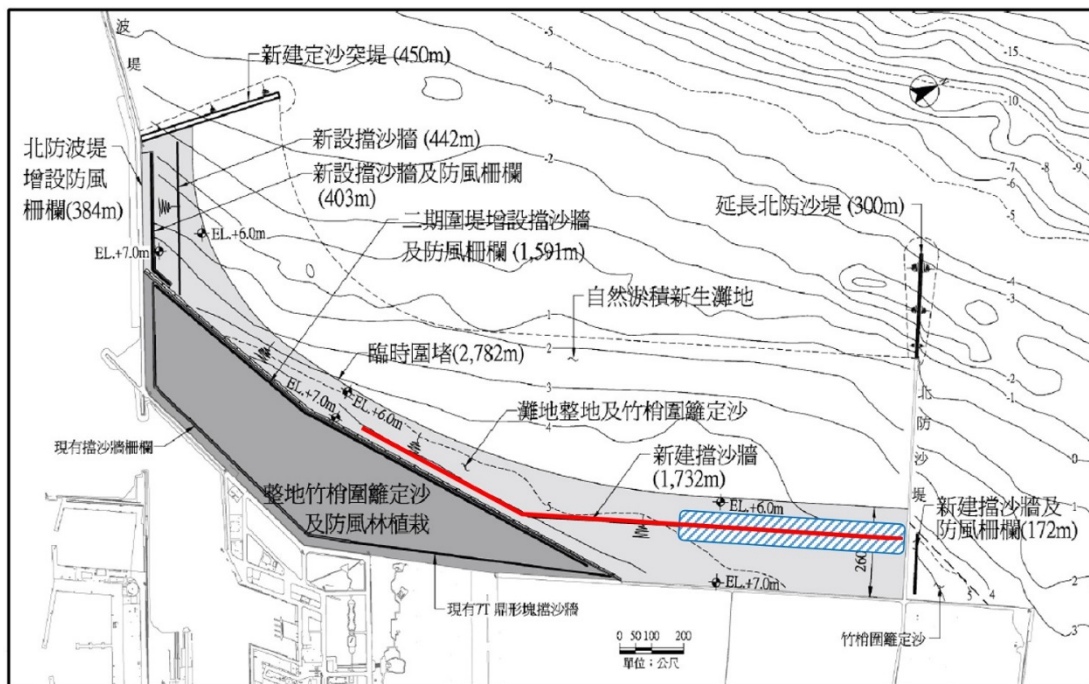


圖 6 雷達架設範圍

經實地場勘後, 目前港務公司所使用中的擋沙牆採用 181002 型塊, 尺寸長 300cm、寬 200cm、高 200cm, 其設計圖與現場狀況, 如圖 7 及圖 8 所示。

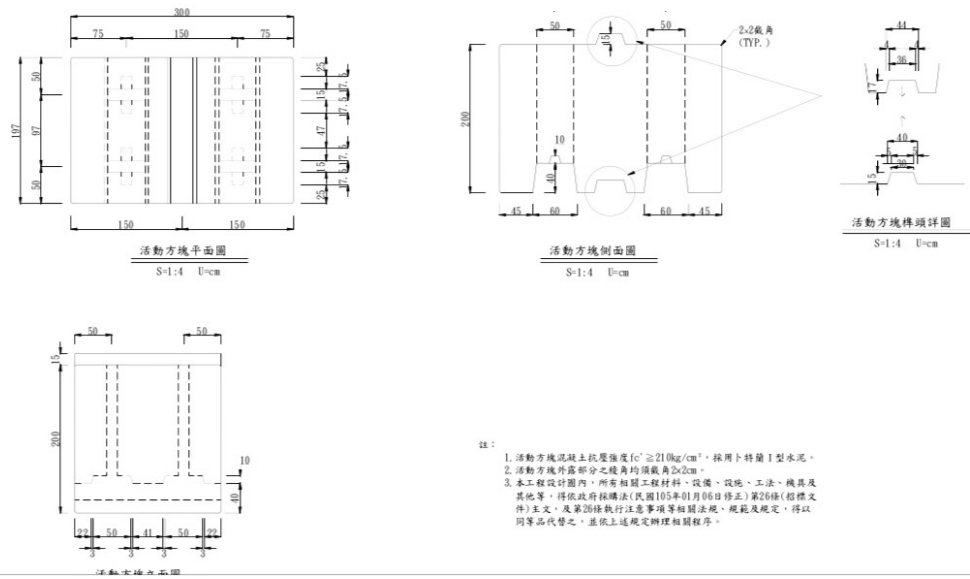


圖 7 181002 型塊設計圖



圖 8 雷達現址(場勘情況)

陸、工程規劃說明

本雷達系統總共三個主要規劃，第一是用電申請及分電的問題，第二個部份是土建工程部份，需要請挖掘機進行場地的整平工作及線路的埋設工作，第三部份是雷達進口安裝：

- (一) 用電申請：需向台灣電力公司申請環港北路電桿第 35-4819-99 號電桿的分電電表，作為執行雷達觀測之用電計算。
- (二) 土建工程：本計畫需部份土建工程辦理整地，整地後將貨櫃屋安置完成、其他土建部份需辦理管路挖掘及埋設作業，此部份將由土木包業者協助處置。
- (三) 雷達安裝架設：雷達設備安裝為本計畫之主要部份，將於設備進口後，辦理(1)陣列雷達天線安裝固定、(2)收發射線路拉設、(3)接收發射機的固定及(4)冷氣機安裝等安裝工作，如圖 9 所示。

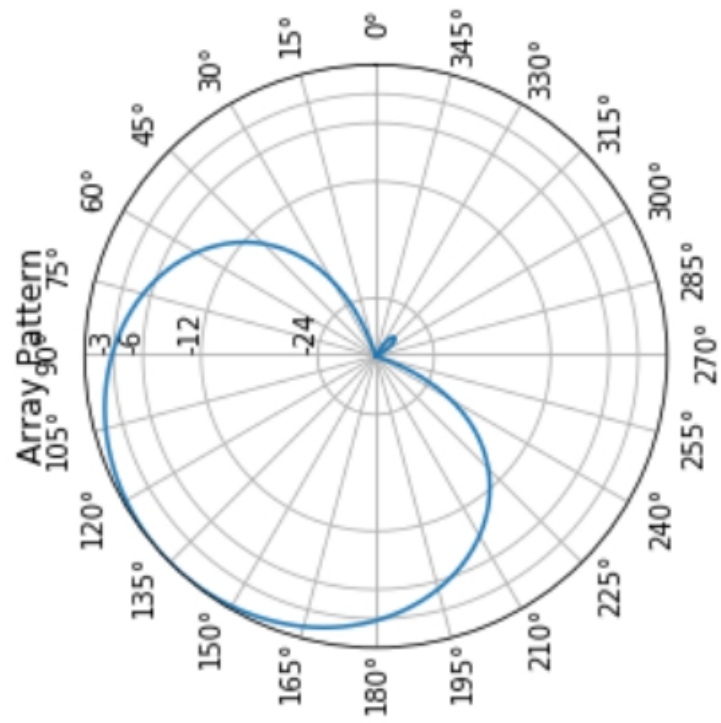


圖 9 雷達安裝規劃圖

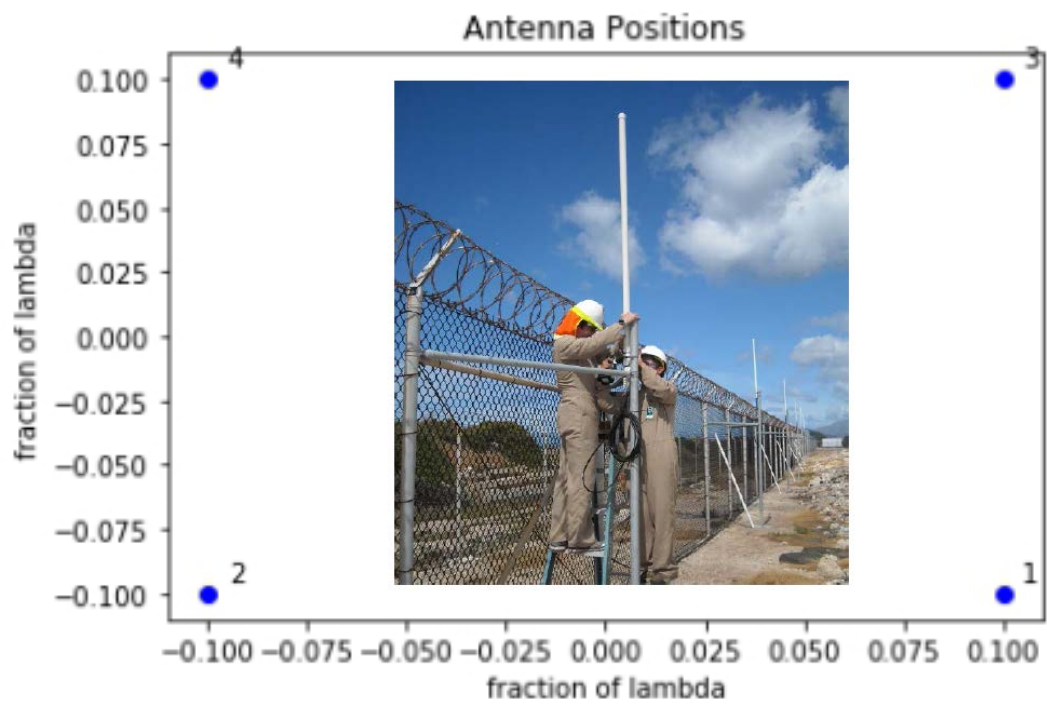
附錄五

雷達發射天線場型圖

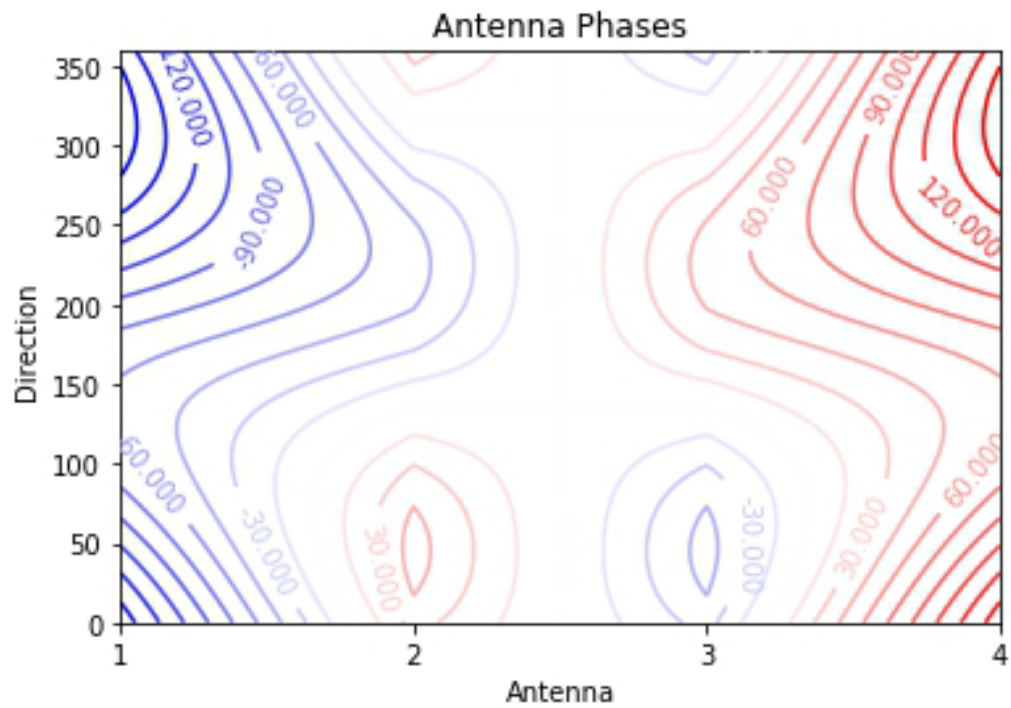
雷達發射天線場型圖



天線平面位置圖



天線相位圖



附錄六

架設許可證



國家通訊傳播委員會
National Communications Commission

專用無線電臺架設許可證

證照字號：專許字第 5110706326 號

電 臺 名 稱	臺中港線性陣列雷達海洋1號
申 請 者 名 稱	交通部運輸研究所
設 置 處 所	436臺中市清水區環港北路電桿第35-4819-99號西偏 北18度距離燈桿230米
機 件 名 稱 機件功率及頻寬 發 射 頻 率	OceanPhysics UH-HFDRS 20W 頻寬：500kHz 27.75 MHz 壹部
備 註	
本 證 有 效 期 限	至 中 華 民 國 108 年 04 月 29 日 止

主任委員

詹 婷 怡

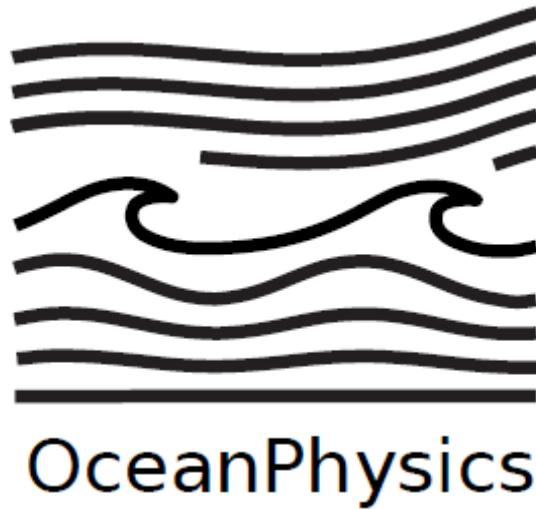
中 華 民 國 107 年 10 月 30

證
照
日
專
用

序 號 4219984

附錄七

UH-HFRS 雷達使用手冊



**LERA® MK-III High Frequency
Doppler Radio system
Operator's Manual**

Table of Contents

The Radio Oceanography Laboratory HF radar

Brief

Principles.....	4
Support.....	5
Lera Production Note.....	6
Technical Brief	7

Installation

Summary of Subsystems.....	11
MK3 Parts.....	13
MK3 BOM.....	17
D-Tacq software.....	19
MK3 Rx Assembly	20
Tx Assembly	33

System Software

Installation of Ubuntu	35
------------------------------	----



[LERA /](#)

The Radio Oceanography Laboratory HF radar

Design and production of a generic low-power low-cost high frequency Doppler radio scatterometer (HDRS) for coastal zone oceanography

A new phased array HFDRS a.k.a. HF Doppler Radar has been designed, maximizing commercial-off-the-shelf (COTS) components thus minimizing overall cost. For 8 channels, components cost less than k\$20 and one man-week suffice for assembly, testing and calibration. Fan-less critical components to avoid 50/60Hz and harmonics inter-modulation. It consists of three subsystems: a digital controller, a radio power amplifier, and an analog receiver/demodulator.

The **digital controller** integrates all the functions needed to generate the transmitted high-frequency radio signal, and to synchronously digitize the demodulated outputs from the receivers. It contains, on a single printed-circuit boards stack 22cm x 8cm x 5cm weighting 300g and requiring 20W:

- (i) a low phase noise oven-controlled crystal oscillator (OCXO), optionally slaved to a GPS receiver
- (ii) a clock-remapping direct digital synthesizer (DDS) to generate arbitrary system clock frequencies with micro-hertz resolution
- (iii) synchronized dual DDS to generate transmit (TX) and orthogonal local oscillator (LO) signals in the 3-50MHz range
- (iv) 32-channel 24-bit analog-to-digital sigma-delta digitizers with 512x oversampling and digital low-pass filtering
- (v) further digital low-pass filtering and /64 decimation performed in a Zynq FPGA with DSP cores

The final sampling frequency is 375 Hz, reducing storage requirements for raw data archiving. The controller can be used to generate classical frequency-ramped (chirped) continuous wave signals, as well as time-delayed pseudo-random code phase-modulated sequences. A Linux-based ARM Cortex processor embedded in the FPGA provides post-processing for real-time product generation and data archiving.

The **power amplifier** is based on a class AB MOSFET amplifier, boosting the DDS signal to 50W maximum RF output, with digital VSWR and gain control using a dedicated Raspberry-Pi module. Spurious harmonics are reduced by a 9th order butterworth filter. Transmission is through $\lambda/8$ passive antenna monopoles, configured as dual or quadruple phased-arrays to reduce land-ward energy and to decouple direct path from the transmitting to receiving antennas.

(iii) $\lambda/16$

compact active receive antenna monopoles with embedded out-of-band rejection filters; (iv) analog homodyne receivers based on complex demodulation by double-balanced mixers, translating the HF spectrum to the audio band; The total power consumption is 300W full duty and 80W stand-by, thus enabling solar, wind or fuel cell operation in remote areas. Except for the out-of-band rejection filters, the electronics can operate between 3 and 50 MHz with no modification. At 16 MHz, 20 W transmit power, 10 min averaging time, a range of 120 km for currents measurements is routinely achieved. Twenty units were built, and are being deployed in Hawai'i, Mexico and the Philippines.

[Main](#) /

Radio Oceanography Laboratory support

The Radio Oceanography Laboratory provides support to other operators of HFDRs, by offering expertise, deployment assistance, software solutions, custom data processing, and hardware repair. We specialize in supporting the WERA instrument, for which we have a complete in-house repair and configuration capability, staffed by qualified electronic engineers. [Contact us](#) for further information.

We also offer our own generic phased array High Frequency Doppler Radar, coined [LERA](#), entirely conceived at the University of Hawai'i. The design of this instrument is released as open source. We build the LERA in-house for academic and research partners on a not-for-profit basis. We gladly transfer our expertise to other institutions wishing to establish a similar capacity. We also encourage private industry to setup non-exclusive production lines based on the *radlab* design.

As our experience grows, we prepare technical [know-how](#) pages, describing specific topics of general interest to HFDR operators.

A [bulletin board](#) is available, shared by all the groups that we support. *radlab* tries to monitor the posting and reply to queries with the shortest delay. Please do not hesitate to post. As consensus emerges on various topics, we prepare summaries in the know-how pages.

In addition, specific wiki pages are prepared for researchers who operate instruments made or reconditioned by the University of Hawai'i; these pages are protected by passwords and are not offered general access.

Page last modified on January 16, 2018, at 08:29 PM HST



Radio Oceanography Laboratory

[LERA /](#)
LERA production notes

[Filters](#)

MK-I

MK-II

[8-channel receivers](#)

[Power amplifiers](#)

[D-TACQ A/D converters](#)

[DDS signal generators and clocks](#)

[System integration](#)

MK-III

[Mk-III 8-channel receivers](#)

[D-TACQ RAD-CELF board](#)

[Testing ACQ435 board, comparing to ACQ164](#)

[BOM](#)

[MK3 Parts](#)

[RX assembly](#)

[TX assembly](#)

[Active Antennas Testing](#)

Page last modified on September 21, 2018, at 02:34 PM HST

Technical Brief of "High Frequency Doppler Radar Diffusiometer"

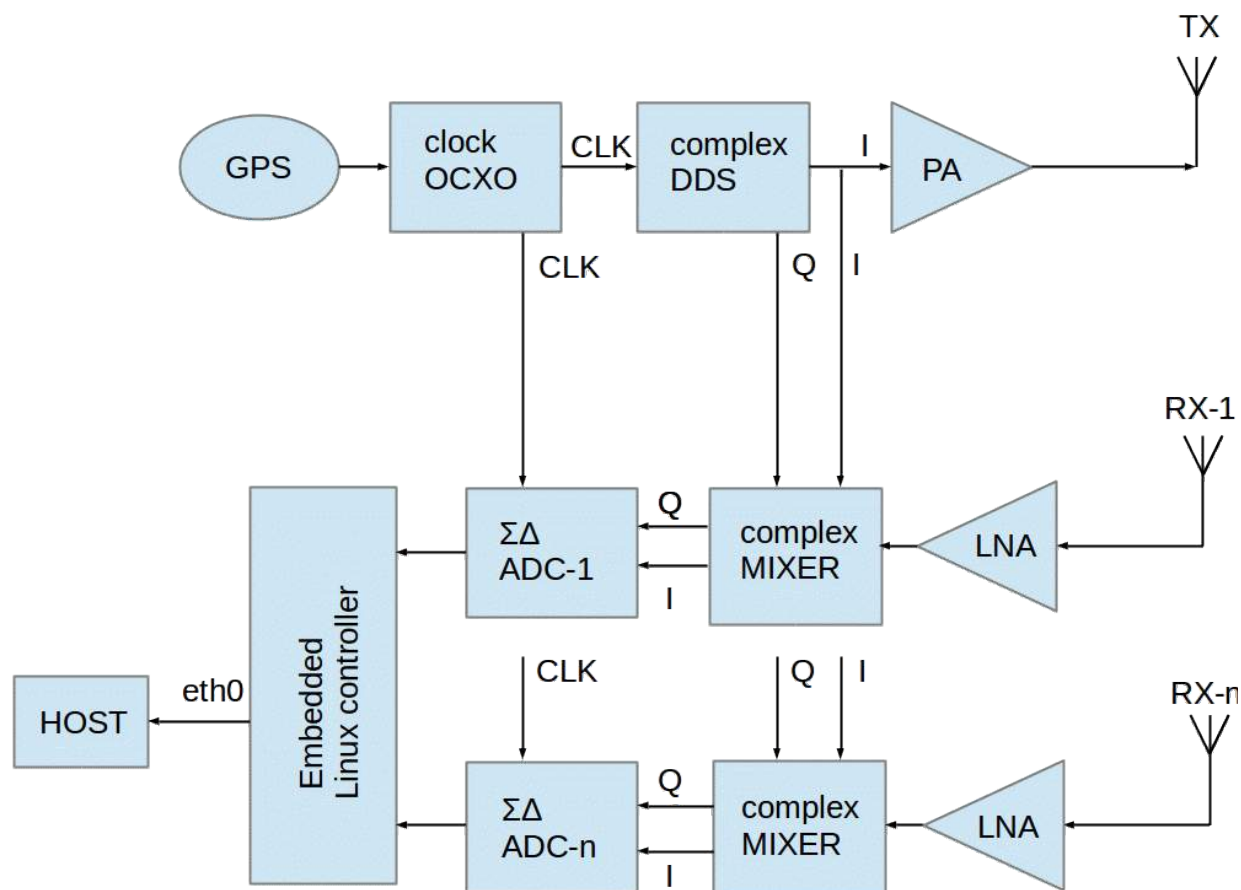
Acronym: HFDRS (High Frequency Doppler Radar Scatterometer)

Design: according to the schemas published by the Radio Oceanography Laboratory, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, USA; the design and plans are in the public domain.

Production: assembly and integration by OceanPhysics (Europe), subcontracted to a consortium of companies in the Brest (France) region (Aode electronics, Bresto / Iltom, Brest Surface Treatment, Siammecca), as well as D-Tacq Solutions (Glasgow, Scotland) and Tomco Technologies (Adelaide, Australia).

Physical principle: The operation of the HFDRS consists of sending radio waves, channeled on the surface of the conducting ocean as a ground wave, in the wavelength range of 10 to 100 m (frequency 3 to 30 MHz). These radio waves are coherently backscattered by the surface gravity waves at half the wavelength (5 to 50 m), and captured by an array of antennas. The back-scattered radio waves are shifted in frequency by the Doppler effect due to the sum of the wave velocities and the surface current. The measurement of this Doppler shift makes it possible to estimate the velocity of the radial current in the direction of the HFDRS.

Diagram:



Principle of operation: the signal generator is programmed to emit a repetition of ramps (chirp), typically of a duration of 0.2 to 1 s and a bandwidth of 30 to 300 kHz determined by the frequency allocation obtained from the national agencies, resulting in a frequency modulated continuous wave (FMCW mode).

For each ramp, a first Fourier transform of the orthogonal demodulated signals at the output of the receivers results in a sampling of the complex backscattering coefficient as a function of the radial distance, with a resolution inversely proportional to the bandwidth (from 5km to 0.5km), and a range inversely proportional to the frequency. The ramps are repeated for a minimum of 10 to 20 min, necessary to obtain a sufficient signal-to-noise ratio and Doppler resolution. HF radar scatterometers typically have a range of 300 km at 5 MHz.

A second Fourier transform of the complex time series for each radial distance, provides the Doppler spectrum at this distance, with a resolution inversely proportional to the averaging time, typically of the order of 1 mHz for 15 min. Beam-forming algorithms are then used to extract the Doppler shift as a function of azimuth from the receiving antenna array, and hence provide a mapping of the radial currents, with a typical resolution of the order of 2 cm / s.

Description of the scatterometer: The following subsystems are integrated to form the HFDRS:

1. An oven-controlled crystal oscillator (OCXO) with a thermal-inertia bell provides the synchronous clock signal (CLK) to both signal generator, and to the analog-to-digital converters; optionally, the oscillator can be slaved to a GPS receiver. Features: 100 MHz frequency, single sideband phase noise equal to or better than -150dBc / Hz. Manufacturer: Bliley (United States), model NV79A. Document provided in the appendix: technical data sheet from the manufacturer.
2. an orthogonal signal generator (sin, cos) frequency-modulated by direct digital synthesis (DDS). Characteristics: clock frequency (after multiplication of the OCXO clock) 250MHz, 48-bit phase register, 12-bit digital-to-analog converter, 30MHz output low-pass filters resulting in a frequency operating band extending from 3 to 30 MHz. Period of repetition of the linear modulation of arbitrary frequencies, between 0.001 and 1000 s. Active Electronic Components (DDS): Analog Devices model AD9854. Manufacturer: D-Tacq Solutions, Glasgow (Scotland), model RAD-CELF. Document provided in the appendix: technical specification from the manufacturer.
3. a solid state power amplifier (PA). Features: Typical 47dB gain for an input signal of 0dBm (1mW), maximum power output signal 50W, frequency operating band ranging from 3 to 150 MHz. Manufacturer: Tomco Technologies (Australia), Model BTM00250-AlphaSA, Class AB MOSFET amplifier. Documents provided as appendices: manufacturer's operation manual and electronic diagrams.
4. a network of 8 channels of homodyne receivers (LNA-MIXER) carrying out a complex demodulation of the return signal of each receiving antenna, by a copy of the transmission signal at 0 ° and 90 ° of phase shifts. Features: -44dBm maximum high frequency input signal, 1MHz limited input bandwidth, 5Vpp maximum demodulated signal, 0-1kHz audio bandwidth with AC output coupling. Options to use as antennas passive monopoles of $\lambda / 4$ height, compact active monopoles of $\lambda / 12$ height (supplied), or inductive antennas (not supplied). The DC injectors for the power supply of the preamplifiers at the antenna base are incorporated in the receivers. Active electronic

components: Gallium arsenide low-noise monolithic amplifiers, GALI-74 and GALI-84, and ADE-1H+ diode ring mixers, all by Mini-Circuits. Manufacturer: Aode electronics (France). Documents provided as appendices: electronic diagrams published by the University of Hawaii, obtained on their website and used by Aode electronics.

5. a sigma-delta analog / digital converter network ($\Sigma\Delta$ -ADC). Characteristics: 512x oversampling, 24.6 MHz input sampling, 48kHz output for 16 or 32 synchronous channels digitized at 24 bits (19.5 effective number of bits), with constant delay digital anti-aliasing filter. Active electronic components: Texas Instruments model ADS1278. Manufacturer: D-Tacq Solutions, Glasgow (Scotland), model ACQ-435ELF-16. Document provided: technical specification of the manufacturer..

6. an embedded processor, combining on the same integrated circuit, a programmable logic gate array (FPGA), digital signal processor cores (DSP) and a dual-core sequential processor operating under Linux (ARM Cortex-A9). FPGA and DSP configuration: decimation / 128 preceded by a digital constant delay anti-aliasing filter, 375 Hz final sampling at 24 effective bits. Active electronic components: Xilinx model Zynq-7000. Manufacturer: D-Tacq Solutions, Glasgow (Scotland), model ACQ-1001Q. See 5.

7. Power supplies, transformers, circuit breakers and various electronic cards, obtained mainly from French manufacturers (Legrand, Schneider, etc.) and purchased from distributors located in Brest.

8. Intel NUC7I5DNHE single-board computer running the Debian / Ubuntu operating system, with 32 GB of RAM and 2 TB of hard disk, under the Linux operating system, allowing the recording in continuous raw data for a period of 5 years, as well as real-time processing for transmission to the control center and data management of advanced products. Operation of radar requires a valid matlab licence, to be provided by the end user.

9. watertight enclosures (1 or 2 receivers, transmitter and power supplies) in white lacquered aluminum 20x60x75 cm weighing 28 kg each, protecting all electronic subsystems from weather and electromagnetic interference. These enclosures are custom built by Bresto / Iltom. The final installation by the end user can be done either in a standard 10' container, or directly in the open air under a simple awning. The radar operates without an active cooling device up to an ambient temperature of 30C.

The software provided allows all programming operations of the signal generator, acquisition of raw data, calibration, recording data decimated at 375 Hz, Fourier transforms and beam formation.

Summary of subsystems integrated into a functional HFDRS:

	Item	Manufacturer	Country of origin
1	100 MHz clock, quartz crystal, ultra-low phase noise	Bliley, Erie	United States (PA)
2,5,6	set of digital electronic boards for High Frequency Doppler radar (1xACQ1001Q processor Zynq, 1xACQ435ELF-16 ADC 16 channels//24 bits 48 KHz, 1xRADCELF direct digital synthesis signal generator 3-30 MHz)	D-Tacq Solutions, Glasgow	Scotland / UK
3	RF amplifier module BTM00250-AlphaSA 0.5-150MHz 50W CW mounted in machined aluminum enclosure	Tomco Technologies, Adelaide	Australia (SA)
4,7	set of analog electronic boards for High Frequency Doppler radar (1xINPUT_TERM, 1xPOWER_DIST, 3xVICOR_POW, 1xLO_BACK, 1xANALOG_BACK, 1xVSWR_BRIDGE, 1xLO_DIST, 8xACT_ANT, 8xQRX8, 1xVSWR_PROT)	Aode Electronics, Brest	France
7	power panels (breakers, surge supressors)	Legrand, Limoge	France
9	white enamelled aluminum waterproof housings with trivalent chromium-plated mounting plates	Bresto/Itom, Brest	France





[Production /](#)

MK 3 Parts

RX BOX

HEAT/VICOR Plate (2 sets, 8 Channel; 1 set, 4 Channel)

- Vicor Boards
 - 1 QTY [EMI Gaskets, Sheets, Absorbers & Shielding EMI Shields](#)
 - 1 QTY [Isolated DC/DC Converters C 9/36/28 15v/ 6.67A](#)
 - 1 QTY [4.991 kohm 1206 Resistor](#) for rdown to set voltage down to 12.5 Volts from 15 Volts
- 2 SETS 12" QTY cable connector (2 red/2 black)
 - 1 EACH [Ferrite Clamp On Cores Round 9mm Cable Clamp Filter](#)
 - 1 EACH for black red [Molex 19146-0035 Block Fork Terminal, #6 Stud, 16-14 AWG](#)
 - 1 EACH [Mini-Fit Jr. Series, Receptacle, 6 Positions, 4.2 mm](#)
- 1 QTY EACH PER VICOR [ROUND HEATPIPE 45W 6X200MM](#)
- 1 QTY PER VICOR BOARD INPUT TERMINAL CONNECTOR
 - 1 EACH 7" Black [\[14-16AWG #6 Spade Terminal non-insulated >---< 14-16AWG #6 Spade Terminal\]](#)
 - 1 EACH 8" Red [\[14-16AWG #6 Spade Terminal non-insulated >---< 14-16AWG #6 Spade Terminal\]](#)
- 6 QTY m3 washers
- 6 QTY m3x20mm screws
- 6 QTY [M3 x 9mm CLEARANCE BRASS 4.75mm O/D](#)
- Input Terminal
 - 4 QTY m3 washers
 - 4 QTY m3x16mm screws
 - 4 QTY [M3 x 9mm CLEARANCE BRASS 4.75mm O/D](#)

CONNECTOR Plate

- 9 QTY [SMA Female to N Female Bulkhead](#)
- 1 QTY [UHF Female to UHF Female Bulkhead](#)
- 1 QTY [UHF Angle Connector](#)

TOP_SECTION BASE PLATE

- DTACQ
- 4 QTY ~~[Sorbothane Male/Female 0519411-50-4 M4, 12.7 mm\(H\), 50 duro USD 47.95 /4pack](#)~~
- 4 QTY [rubber mounts part number: 9241K42](#)
- Fan Assembly
 - 1 QTY [DC Fans 12Vdc 1.3W 16.3CFM DC Axial 60x60x10mm](#) (cable twisted)
 - 4 QTY [F-344-8012 BLACK FAN MOUNT](#)
 - 1 QTY [Headers & Wire Housings REC 02P CLOSED END](#)
 - 1 QTY [DC Fans DC Fan, 80x25mm 12VDC, Vapo, MagLev](#) (cable twisted)
 - 4 QTY [F-345-8 FAN MOUNT](#)
 - 1 QTY [FAN GUARD BLND HL MNT BLACK 80MM](#)
 - 14" cable extension 24AWG black/red
 - 1 QTY [Headers & Wire Housings REC 02P CLOSED END](#) (cable twisted)
- LO distribution Board
 - 2 QTY [CONN TERMINATOR PLUG SMA 50OHM](#)
 - 2 QTY [MCX to SMA adaptor](#)

- Power Distribution Board
 - 1 QTY 2" POWER DISTRIBUTION HEADER for Active Antennas [\[14-16AWG #6 Spade Terminal non-insulated >---< \[14-16AWG #6 Spade Terminal non-insulated \]](#)
 - LO Backplane Power Cable (3 Black, 5 red)
 - 2 QTY [Mini-Fit Jr. Series, Receptacle, 8 Positions, 4.2 mm](#)
 - 1 QTY [Ferrite Clamp On Cores Round 13mm Black Cable Clamp Filter](#)
 - LO DISTRIBUTION Cable Power Connector (1 Red, 2 Black)
 - 2 QTY [Mini-Fit Jr. Series, Receptacle, 4 Positions, 4.2 mm](#)
 - 1 QTY [Ferrite Clamp On Cores Round 7mmUSB Black Cable Clamp Filter](#)
 - DTACQ Cable Power Connector
 - 1 EACH [Mini-Fit Jr. Series, Receptacle, 6 Positions, 4.2 mm](#)
 - 11" DC Power Connector
 - 2 PCS [Socket, Crimp, 22 AWG, Tin Plated Contacts](#)
 - 1 QTY [Ferrite Clamp On Cores Round 4mmUSB Black Cable Clamp Filter](#)

RXBASE PLATE

- 4 QTY M4x10
- 10 QTY 4mm x 5mm (8mm O.D.) spacers
- 10 QTY m3 x 12 mm
- 20 QTY m3 washers
- 38 QTY m3 x 3mm/4mm

SIDE CHANNEL LEFT PLATE Fan Assembly

- 1 QTY [DC Fans Fan, 120x25mm, 12VDC Vapo, Auto Restart](#)
 - 4 QTY **[F-345-8 FAN MOUNT](#)**
 - 1 QTY **[FAN GUARD BLND HL MNT BLCK 120MM](#)**
 - 1 QTY [Headers & Wire Housings REC 02P CLOSED END](#)

Cables and Connectors

- 1 QTY [5ft UHF \(PL-259\) Male cut to 30" + 10" RED/BLACK connector 2 PCS Fork Terminal, #10 Stud, 12-10 AWG + Ferrite Clamp On Cores Round 11mm Black Cable Clamp Filter](#)
- 8 QTY RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle 24" [custom here](#)
- 1 QTY RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle 36" [custom here](#) + [Ferrite Clamp On Cores Round 7mm USB Cable Clamp Filter](#)
- 2 QTY ~~RG316 SMA Male Straight to MCX Male Right Angle 30"~~ RG316 SMA Male Straight to MCX Male Right Angle 34" [custom here](#) + [Ferrite Clamp On Cores Round 7mm USB Cable Clamp Filter](#)
- 1 QTY RG316 MCX Male Right Angle to MCX Male Right Angle 6" [custom here](#)
- 3 QTY RG316 MCX Male Right Angle to MCX Male Straight 9" [custom here](#)
- 1 QTY 1m [VHDCI SCSI \(SCSI-5\) LVD/SE Cable - .8mm 68-pin VHDCI SCSI Male to Male + | Ferrite Clamp On Cores Round 10mm Black Cable Clamp Filter](#)
- 1 QTY 24" 2.54mm to 2.00 mm 2-pin + [Ferrite Clamp On Cores Round 7mmUSB Black Cable Clamp Filter](#)

RX Grounding Connectors

- 1 QTY 12" DTACQ to RX Plate [\[14-16AWG M3 CRIMP o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 2 QTY 6" RX Plate to Connector Plate [\[12-10 AWG, #10 Ring Terminal o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 1 QTY 10" RX Plate to Door [\[12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 1 QTY 8" DOOR to female Bullet [\[12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---D 12-10 Female Bullet Connector \]](#)
- 1 QTY 8" DOOR to male Bullet [\[12-10 Male Bullet Connector D---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 1 QTY 20" INTERM to RX Plate [12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---< 14-16AWG #6 Spade Terminal \]](#)
- 1 QTY 4" INTERM to VICOR Plate [12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---< 14-16AWG #6 Spade Terminal\]](#)

TX BOX

TOP_SECTION BASE PLATE

- 1 QTY [DC Fans 12Vdc 1.3W 16.3CFM DC Axial 60x60x10mm](#)

- 4 QTY [F-344-8012 BLACK FAN MOUNT](#)

PA BASE PLATE

TRACO Power Supply (on DIN RAIL)

- [TRACO Power 300 Watts with UDS](#) or [TRACO Power 300 Watts](#)
 - 4 PORT 2 QTY 12" Green with [12-10 GA 1/4 Ring Terminal](#) + 2 QTY 10.5" RED with [14AWG 0.47 Non Insulated](#)
 - 3 PORT 1 QTY 11" BLACK with [Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#) + 1 QTY 11" WHITE with [Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#) + 1 QTY 7" GREEN with [12-10 GA 1/4 Ring Terminal](#)
 - Fan Assembly
 - 1 QTY [DC Fans DC Fan, 80x25mm 12VDC, Vapo, MagLev](#)
 - 1 QTY [FAN GUARD BLND HL MNT BLACK 80MM](#)
- 4 QTY [ROUND HEATPIPE 45W 6X200MM](#)
- 1 QTY [CIR BRK THRM-MAG 8A 240VAC/60VDC](#)
- 1 QTY [CIR BRK THRM-MAG 6A 240VAC/60VDC](#)
- 1 QTY [Industrial Relays 1 form C 16A 24VDC RED LED](#)
 - 1 QTY 4" WIRE A1 <---> COM [Ferrule 16AWG 0.47 Non Insulated](#)
 - 1 QTY 6" WIRE COM [2 PCS Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#)

HEATPLATE

- 1 QTY BTM00250-AlphaSA

Connector plate

- 1 QTY [SMA Female to N Female Bulkhead](#)
- 1 QTY [UHF Female to UHF Female Bulkhead](#)
- 1 QTY [UHF Angle Connector](#)
- 1 QTY [Female to Female N Bulkhead Lightning arrestor](#)
- 1 QTY [N Angle Connector](#)

TOROID PLATE

- 2 QTY 1/2" Washer
- 1 QTY LOCK NUT NYLON
- 1 QTY 1/2" x 3.5"
- 1 QTY [Isolation Transformer 470VA 50-60Hz 2x117V Dual Secondaries](#)

Cables and Connectors

- 1 QTY [5ft UHF \(PL-259\) Male cut to 14"](#) + 10" BLACK(GREEN) connector with [12-10 GA 1/4 Ring Terminal](#) and 10" RED with [Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#) + [Ferrite Clamp On Cores Round 11mm Black Cable Clamp Filter](#)
- 1 QTY RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle 42" [custom here](#)
- 1 QTY RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle 12" [custom here](#)
- 1 QTY RG142 SMA Male Straight to N Male Straight 24" [custom here](#) + [Ferrite Clamp On Cores Round 10mm Black Cable Clamp Filter](#)
- 1 QTY 6" RED + 5" RED [1 PC FERRULE NON-INS 10 AWG .59](#) ----- [2 PCS Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#)
- 1 QTY 6" BLACK + 5" BLACK [1 PC FERRULE NON-INS 10 AWG .59](#) ----- [2 PCS Ferrule 14AWG 0.47 Non Insulated](#)

TX Grounding Connectors

- 1 QTY 3" TOMCO to RX Plate [\[14-16AWG M3 CRIMP o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 2 QTY 6" RX Plate to Connector Plate [\[12-10 AWG, #10 Ring Terminal o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 1 QTY 10" RX Plate to Door [\[12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)
- 1 QTY 8" DOOR to female Bullet [\[12-10 GA 1/4 Ring Terminal o---D 12-10 Female Bullet Connector \]](#)
- 1 QTY 8" DOOR to male Bullet [\[12-10 Male Bullet Connector D---o 12-10 GA 1/4 Ring Terminal \]](#)

OPTIONAL PARTS

- [DIN Rail Power Supplies 12W 5V 2.4A DIN-Rail](#)
- [DIN Rail Power Supplies 24W 12V 2A DIN-Rail](#)

OTHER PARTS

- 5ft [Type N Male to Type N Male \(RG213\) 50 Ohm Coaxial Cable Assembly \(High-Power / Low-Loss\)](#)
- 5ft [UHF \(PL-259\) Male to UHF \(PL-259\) Male \(RG213\) 50 Ohm Coaxial Cable Assembly \(High-Power / Low-Loss\)](#)
- HDMI Water Proof [HDMI Connector](#)
- HDMI Cable [hdmi cable](#)
- RJ45 water proof [RJ45 Connector](#)
- RJ45 cable [Cable](#)

RECOMMENDED TOOLS/PARTS

- deburring Tool
- M3 taper
- [Thermal Grease / Compound](#)
- locktite threadlocker blue
- locktite threadlocker red

Page last modified on November 13, 2018, at 01:11 PM HST



Radio Oceanography Laboratory

Production / MK 3 BOM

+RX Box+

- 4 QTY [Sorbothane Male/Female 0519411-50-4](#) M4, 12.7 mm(H), 50 duro USD 47.95 /4pack
- 8 QTY [F-347-8 FAN MOUNT C-8002](#) (\$55.96/200pcs)
- 4 QTY [F-344-8012 BLACK FAN MOUNT](#) (\$27.98/100pcs)
- 1 QTY [DC Fans DC Fan .80x25mm 12VDC, Vapo, MagLev](#) (\$133.00/25pcs)
- 1 QTY [DC Fans 12Vdc 1.3W 16.3CFM DC Axial 60x60x10mm](#) (\$121.75/25pcs)
- 1 QTY [DC Fans Fan, 120x25mm, 12VDC Vapo, Auto Restart](#) (\$281.75/25pcs)
- 1 QTY [FAN GUARD BLND HL MNT BLCK 120MM](#) (\$62.20/25pcs)
- 1 QTY [FAN GUARD BLND HL MNT BLACK 80MM](#) (\$55.54/25pcs)
- ? QTY [ROUND HEATPIPE 45W 6X200MM](#) (\$749.82/124pcs)
- 1 QTY [1m SCSI Cable CS-VHDCIMX200-001](#) (\$1171.70/40pcs)
- (a)(1 QTY 12-13.5 Volt molex y cable)
- (a) (1 QTY MOLEX PIGTAIL)
- (b) 2 QTY 6 pin molex to crescent connectors (VICOR) (9")
- 1 QTY 6-pin MOLEX DTAQ (1/2 of 24")
- 1 QTY 4-pin LO SPLIT MOLEX (24")
- 1 QTY 8-pin LO RX POWER (26")
- 1 ACTIVE ANTENNA JUMPER for POWER-DISTRIB
- 3 fan cables connectors (24-gauge)
- 1 PAIR EYELETS VICOR to INPUT TERMINAL (9")
- 1 GROUND STRAP CHASSIS to INPUT TERMINAL (21")
- 1 GROUND STRAP CHASSIS to connector plate (6")
- 1 GROUND STRAP DTACQ to CHASSIS (12")
- 2 GROUND STRAP PANEL DOOR To RX Plate (12")
- 1 JUMPER
- **1 QTY UHF COAX CABLE to INPUT TERMINAL (28+8") including pigtail/connector (51/25)** need to add pigtail
- 1 QTY UHF elbow
- 9 QTY SMA-N bulkhead
- 1 QTY UHF F-F bulkhead
- 2 ferrite ZCAT2132-1130
- 1 ferrite ZCAT2235-1030
- 1 ferrite ZCAT1325-0530
- 2 ferrite ZCAT1730-0730
- **9 qty 24" RG316 sma male right angle to sma male right angle**
- **2 qty 30" RG316 sma male straight to mcx right angle**
- **3 qty 9" RG316 mcx right angle to mcx straight male**
- **1 qty 6" RG316 mcx right angle to mcx right angle male**

FOR 8-Antenna Systems

- LO distribution conversion mounting

+POWER BOX+

- **toroid box 749.1202 (25/25)**
- **traco 300 TIS300-124 (13/25)** if 4 channel
- **traco 500 TIS500-124-230 (1/?)** if 8 channel
- 1 qty 6 amp DC Breakers <https://www.altestore.com/store/enclosures-electrical-safety/overcurrent-devices-fuses-breakers/din-rail-circuit-breakers/din-rail-mo>
- **1 qty 8 amp DC breakers (26/25)**
- **1 UHF COAX CABLE to POWER (12+8") including pigtail/connector (51/25)** need to add pigtail connector
- **1 QTY NType elbow (25/72)** available in LAB
- 1 QTY UHF elbow
- 1 QTY SMA-N F-F bulkhead
- 1 QTY UHF F-F bulkhead
- 1 QTY lightning arrestor <http://nextek.com/products/product/ptconfonf15s/>
- 1 ferrite ZCAT2132-1130
- 2 ferrite ZCAT1730-0730
- **1 QTY 42" RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle RF Coaxial Cable**
- **1 QTY 12" RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle RF Coaxial Cable**
- **1 QTY 24" RG142 N Male to SMA Male RF Coaxial Cable**
- **2 QTY 18" RG316 MCX Male to MCX Male Right Angle RF Cable**
- **2 QTY 20" RG316 SMA Male Right Angle to SMA Male Right Angle RF Coaxial Cable**
- **1 QTY db9 to 10 pin connector**
- 1 QTY 5' 4pin MOLEX

To purchase for assembly of RX (it comes in packs of 100 usually):

All stainless steel & hex heads (it's actually cheaper in hex). I recommend buying one set of the items listed bellow and to test that everything works together jus

McMaster:

- <https://www.mcmaster.com/#94500A221> ; packs of 100; M3 6mm (RX boards) (QTY required: ~80/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#94500A222> ; packs of 100; M3 8mm PCB mounting (QTY required: ~25/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#94500A265> ; packs of 100; M3 16mm Distrib PCB mounting (QTY required: ~10/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#19155k35=1b2v7so> ; single unit; 1 RFI for 80mm fan (QTY required: 1/RX)

- <https://www.mcmaster.com/#5801k8/=1b2vc5k> ; packs of 20; Fan rubber mount (QTY required: 12/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#93395a201/=1b2vd9q> ; packs of 100; D-tacq bell mount (QTY required: 4/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#92871a017/=1b2vpte> ; for corners of power input PCB & Vicor PCBs (QTY required: 12/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#92871A181> ; for vicor power modules themselves (QTY required: 8/RX)
- <https://www.mcmaster.com/#94500a266/=1b2vraf> ; for bolting power modules onto the heat plate through the standoffs (QTY required: 20/RX)

Digikey:

- QTY 1 <https://www.digikey.com/products/en/fans-thermal-management/dc-fans/217?k=&pkeyword=&pv2187=u2.90W&FV=ffec4e10%2Cffec85c2%2Cfffc010:k=&pkeyword=&pv1026=490&FV=fffc0103%2C38007e%2Cb897b4%2Cb8b45f%2Ce80008%2C30404bf%2C30404d2%2C1f140000%2Cfe000d9%2C1432>
- QTY 1 <https://www.digikey.com/product-detail/en/sunon-fans/MF80251V2-1000U-A99/259-1785-ND/6198723>
- QTY 1 <https://www.digikey.com/products/en/fans-thermal-management/dc-fans/217?k=&pkeyword=&pv58=12&FV=38007e%2C30404a6%2C30404b1%2C30404b4%2C30404c1%2C30404cc%2C30404d1%2C304056d%2C30406d9%2C304>

Pierre may bring some of the above but there are not enough leftovers for many more enclosures.

However he has enough of these left for all enclosures, already purchased, if he brings them:

- Rondelle/washer inox M8 4 (for spacing on U-channel)
- All M6 & M5s for U-channels plate mounting, and bottom vent closures.
- M5 nuts for the heat-plates and grounding.

Cheers, Mael 52 substitutions on 52 lines

Page last modified on May 24, 2018, at 01:54 PM HST



[Production](#) /

D-Tacq software

Customizations of the D-Tacq are contained in */ffs* and */bigffs*, two non-volatile file systems on the *busybox* linux implementation. As part of the */ffs* file system, */ffs/dropbox* is the master root file system that is being copied verbatim to */* in RAM at boot time. Any configuration change, to be permanent, have to be written to */ffs/dropbox*. Any configuration change to */* in RAM is lost at the next reboot.

The custom files are available as a tar ball called *dtacq_ffs.tgz* in the [software repository](#).

The instructions below are matching the current [Linux host configuration Ubuntu 16.04?](#) . A switch is used to interconnect PC, Dtacq, PA, and external modem/router. Gateway is assumed to be 192.168.1.1 as seen from the internal private network relayed by the switch. If another private net is used, 192.168.1 has to be updated everywhere (i.e. 172.16.3 as used originally in Mexico).

To upload the custom */ffs* onto a factory-new D-Tacq:

- boot the linux wera/lera server
- copy *dtacq_ffs.tar* to */home/wera/data* on the server
- connect the D-Tacq front-panel ethernet to the dedicated ethernet port of the server with a cross-over (yellow) cable
- configure the port on the server to 192.168.1.1 (*/etc/network/interfaces*)
- connect a Keyspan RS232-USB converter to the console port of the D-Tacq and to a USB port on the server (use a null-modem cable!!!)
- boot the D-Tacq
- access the D-Tacq console from the server with *screen /dev/ttyUSB0 38400*.
- login as root, password *d-t1012q* (all units)
- *vi /ffs/rc.local.options* and insert the IP configuration line with *IP0=192.168.1.12*
- in */ffs/rc.local.options*, make sure *NTPCLIENT="192.168.1.1 2784786"*
- in */ffs/start.ntpclient*, make sure that *NTPHOST* points to 192.168.1.1
- in */ffs/user/rc.user*, make sure that *nfsmount* points to 192.168.1.1
- reboot the D-Tacq
- login as root on the D-Tacq console (or over ethernet from the server with *ssh root@192.168.1.12*)
- */bin/nfsmount 192.168.1.1:/home/wera/data* to mount server onto D-Tacq
- *cd /;tar -cf /mnt/dtacq_ffs_\$(hostname)_orig.tar .ffs .bigffs*
- *cd /;tar -xzf /mnt/dtacq_ffs.tgz*
- reboot the D-Tacq
- verify that the network interface on *eth0* is 192.168.1.12
- it should start acquiring data at the next scheduled crontab as soon as clock and trigger are applied
- any changes in crontabs, to be permanent, should be in */ffs/dropbear/var/spool/cron/crontabs/root* , which will be active at next reboot
- any changes in the acquisition script, to be permanent, should be in */ffs/dropbear/usr/local/bin/lera_control* , which will be active at next reboot

Page last modified on August 16, 2016, at 06:35 PM HST



Radio Oceanography Laboratory

[Production](#) /

MK 3 RX Assembly

Crx-8 -plate receiver

(translated from [Spanish original](#))

- M3 to enlarge the holes in the holes where the 8 crx cards will go

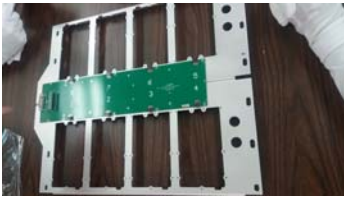
The plates are assembled on which the 8 crx cards will be placed. (Be careful with these plates because they can break if force is applied at certain points). The plates are going to be joined with 4 screws in the center and a glue (network) is applied so that they do not come loose (this will be placed at the end of the screw, the excess is removed).

We must ensure that the two plates are even because above this anger the first plate with the antenna numbering (analog back plane) and it is important that they are even the bottom plates (preferably on a flat surface, it does not matter if the tabs are not at the same level, the important thing is that the top is at the same level).



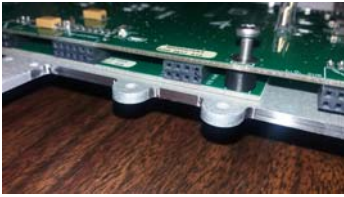


The first plate (analog black plane) is placed and on top of that the other plate is placed (LO back plane). To this plate we have to put the pins of the jumper, one is placed first and then others and on those the card will be soldered (circuit).



The two plates are screwed to the base with 10 screws, in the middle of the two plates are placed black spacers and in the screws they put guachas. Before putting the plate to the aluminum structure, you must check the length of the screws, so that they are not touching the bottom of the structure. At the end of the

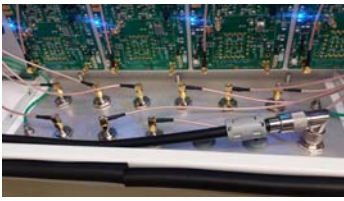
screw the glue (blue) is applied and excesses are cleaned. Note = the screws on the edge of the plate are shorter.



Connect coaxial cables

Before connecting the coaxial cables of the crx-8 plates to the antenna connectors, the liquid should be applied to clean connectors (contac lubricam) in order to avoid corroding (it should be applied a little more, avoid excesses) . It should also be put on the connectors where you can get noise like the scsi and the jumper.

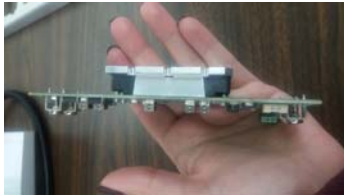
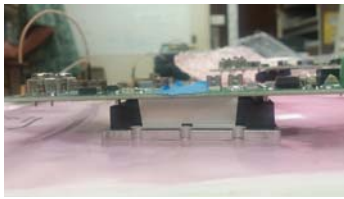




Power distribution supplies

To have the complete plates of the vicor board the first thing that was done was to solder a resistance to the circuit and later a vicor module (v28c15c100bl) was incorporated in the lower part and the pins were soldered in the circuit, it is important that the welding cover the pin center and pass through the center of the pin to the bottom of the plate. The output of the plate must be 12.5 volts. (note = if we use 8 channels we will use 2 of these board and if we have 4 channels we use 1)





These circuits are put in turn in another base that is installed in the large structure (box), at the base of the vicor module a glue is applied and it is spread all over the base of this before putting it in the base, it is to ensure that the entrance of the vicor board that is being installed is on the correct side where it is going to connect with the input terminal board, in the holes where the vicor board is to be screwed, blue glue is applied. To install it is placed at the base of the vicor module on the other base and the base is moved a little to spread the pagemento but only a little.



In the lower part of the base is applied glue and in the heat had (barilla) also before inserting in the orifices (if two plates are used also two heat pipes are used, care must be taken to install the correct side tuvos of heat). In the lower part of the plate glue is spread trying to cover where are the heat tuvos and part of the plate, also draw a square where the plate will go in the structure and also add glue. (NOTE = it is important that when the whole plate is installed in the structure it does not have the input card terminal because with the screw of the structure it does not fit well, so first the plate is placed in the structure and blue glue is applied to it. screw and then the input terminal card will be installed). You must clean excess glue. And they are going to put additional screws because the glue was coming out to the top of the plate.



After everything is installed on the board, two cables will be connected per board between the vicor board and the input terminal board (if it has 8 channels, there will be 2 vicor board so 4 cables will be connected between the vicor board and the input terminal card). The black wire will always go in the row above (-) and the red in the row below (+), can be connected in any of the screws does not matter, except for the first one that corresponds to the ground in the input terminal, on the vicor board in the same way it is corroborated that the black wire is in the screw that says (-) and the red in which it says (+).



On the other hand, at the output of the vicor board another 11 "cable is connected (make sure that black is on (-) and red on (+)) that goes to the power distribution. if you have 2 vicor plate there will be two cables that go to the power distribution plate, but if you have only one vicor in the same way you need the two cables, only in the vicor the two cables will be connected in the same place but in the power distribution anger connected as if we had two vicor plate).



Antenna adapters (connector plate)

The type M power connector (VHF connector) was installed in the lower right (for this the size of the hole had to be enlarged to 7.2 mm (confirm measurement)). To place the connector it put a nut, a guacha and an O-ring on the bottom (out) and on the top (in) a guacha and a nut. Later in the holes of the upper part we installed connectors type SMA to type N and in 3 holes of the lower left row (nut, guacha, plate in the upper part). to adjust kegs use 19 mm and 18 mm keys, so they are aligned. Note = if only 4 channels are used, black plugs are placed on the channels that are not going to be used.





In the other two holes a gray plastic pressure plug was placed (it is placed towards the lower part (out)), before placing them with the deburring, the hole was softened and silicon (Heavy Duty silicone) was applied to lubricate them.



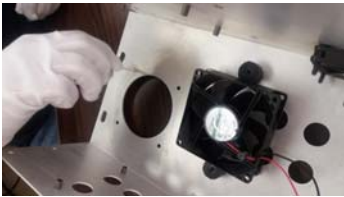
Before installing the plate in the structure (box) apply blue glue in the screw holes (so that it does not loosen over time). Next to the connector plate another square plate is installed, before screwing it, blue glue was applied in the holes for the screws.



DDS plate -d-tacq

The entire d-tacq plate is installed on a structure that in turn is installed on the large box of the RX. Before installing the dtacq, the fans and other plugs are installed: First, 4 black buffers were installed in the base, blue glue was applied to the thread and only turned over. After where the fans are going to be installed, first the

deburring hole must be softened and also the holes where the screws that hold the fan go. They also added silicone to these holes. The small fan is installed, for this 4 screws are used (black as rubber), you must apply silicon to the tip of the screws before putting it in the structure.

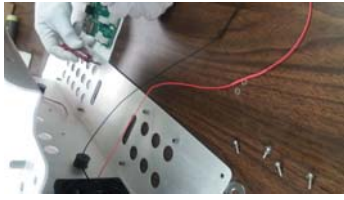


To the large fan you should add an extension of 15 cm because the cable is very small. This is installed just like the small one but blue screws are applied and the same silicone is applied. the cables should be twisted to avoid noise before finishing them by putting the connector. To put the connector we have to be very careful where the black wire goes and where the red wire, it is holding the connector and it is pressed with a special tool.

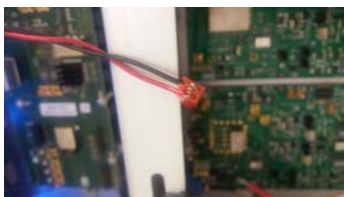


Subsequently to this same structure where the fans were placed, LO plates and power supplies board will be installed. 4 screws are used to install the power supplies board (3 mm * 0.5 mm * 10mm) and washers, but before that blue glue was applied. In the power supplies board we can manage if we want them to be active or

passive antennas (if we put the jumper it should turn on blue lights in the crx-8 which means that we are working with active antennas) or with the jumper in the crx-8 as it was done normally.



The power supplies board connects the two cables that come out of the bicor board in the connectors on the left side (looking at the front of the board there are 5 white connectors, it connects in the first one below and in the third one going up), no matter which of the cables connect first. The cable that leaves the receiver board (CRX-8, Rx power) is also connected to the white connector on the top right (white connector with 8 spaces). The fans are also connected to this board (there are 3 fans, in the center of the card (black connectors)) and finally the dtacq is connected to the connector on the top right (on the edge of the board says D-tacq).





The distribution plate connects with the dtacq with the cables and with the crx (cables I and Q)



The first thing to do is remove the 2 screws from the dtacq protective cap (these two screws are discarded because they are not made of stainless steel). Then the dtacq crystal was installed. In this step it is necessary to corroborate that the serial number of the crystal corresponds to the serial number of the structure (box) of the Rx. In addition, you must be very careful when installing the glass on the plate, you must observe the shape of the glass and the groove, to match correctly (it has 3 round corners and a dotted corner), if the glass is properly installed it will sound a small click when you press on it (handle carefully is fragile). The earth wire 12 "is added to the dtacq." For the dtacq, you have to use screws different from the others and you put blue glue to put it in the structure that goes in the box (it connects in the upper right).



Later the Bell was installed.

Structure

In the structure we first assemble the antenna antenna connector plate (plate connector) then the power distribution. Then the receiver plate is assembled and then the DDS, and finally the plate that has a fan. To install the receiver plate put 8 washers (2 down and 2 up, left 2 in the middle) and put super glue to the washer first, so that it is stuck to the structure and now if you put on the receiver plate.



On the DDS board, 4 screws are placed (in the one on the lower right side (looking at the front of the plate, next to the small fan) the earth of the d-tacq is connected), and in the one on the upper right side it is puts a guacha with super glue that connects the DDS plate and the fan plate.





The earth of the power distribution supplies is connected at the bottom left connected with an extension.



The power cable is connected to the input terminal board (black (-) and red (+)).



Cables red and black. To make them, 11 " cables will be cut to connect the vicor plate and input terminal board, to make them use the clamps (black with blue) and first the bottom part will be put in 20 or until the bottom and the one on the top has to go to the left and cut the cable, then the second one is going to be the one on the bottom and then the top one on the right and I'll return one and short one. then I put thermophilic and then I put the connector that is in and and I tighten with the red clips.

We need to remove RDOWN in Power Distribution Board to make CRX work

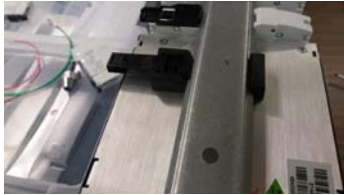
Page last modified on October 12, 2018, at 06:07 AM HST



[Production /](#) TX Assembly

(translated from [Spanish original](#))

- to assemble the traco on the DIN rail it is necessary with a saw blade to deepen the black tab in the holder so that it connects correctly with the metal DIN rail.



The shortest power cable is for the TX (PA) and the longest for the RX).

- Traco 230v.

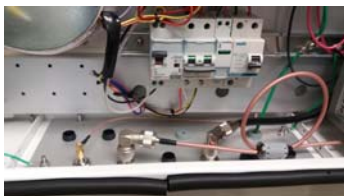
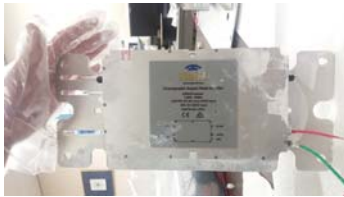
648/5000

- The cable of pln the chassis is going to put the plate with the connectors first (looking at the plate from above going 2 black plugs from the upper left corner then 2 gray and then 2 black, in the bottom row the first is a connector type sma N, then the lightning rod, black plug, symmetrical screw, power, black plug). before putting the connector that is symmetrical (barrel type M) you have to enlarge the hole where it goes as it was done in the connector plate of the rx. In the holes of the screws that connect the plate with the chassis, blue glue is placed. The shortest is for the TX (PA) and the longest for the RX).



The tomco will be installed on a plate that has 4 holes where the heat pipes go, white glue is spread on the plate to put the heat tubes first and then on the base of the tomco to install it on the plate. To screw the tomco we need M4 screws. (Long it is top, the tip of the heat tube goes up, where there is plenty of space and the

tomp connector should go to that side). Clean the excess of white glue with petroleum distillate and install that plate in the chassis and clean the excess again. Put the earth of the tomco after installing it in the chassis.





[LERA /](#)

Installation of Ubuntu 18.04 LTS 64-bit on LERA MK-III field machines

These are the master instructions, and the only ones kept up-to-date. The instructions are systematic and must be done in order. It is recommended to copy this wiki page to a new wiki page *site.installsteps* and to ~~cross-out~~ steps as they are completed.

In the instructions below, # indicates a root prompt and a command to be executed as root, and \$ indicate a user prompt and a command to be executed as the current user (typically lera). Pre-formatted text between horizontal lines should be copied verbatim into configuration files.

Hardware should consist of a low power i5 with quad core and 3 Mb cache, 32 Gb memory (16 Gb OK), 1 Tb system hard disk drive, 1 Gbs ethernet (to switch), USB-3 (for backup disks). We recommend Intel NUC7i5DNHE as optimum. The i7 dissipates too much heat, and the i3 is too slow.

A switch is used to interconnect PC, Dtaq, Pi, and external modem/router. The modem or the ubiquity should be configured as a router to isolate the local network and its dhcp server, from the outside world. This router should have dhcp enabled. If no router with dhcp server is available, the NUC can be configured as a dhcp server.

Gateway is assumed to be 192.168.1.1 as seen from the internal private network relayed by the switch. If another private net is used, 192.168.1 has to be updated in all the instructions.

1. Prepare USB key with Ubuntu 18.04 LTS 64-bit desktop version; from an ubuntu laptop:

- `wget --user=lera --ask-password http://www.satlab.hawaii.edu/support/lera/soft/linux/ubuntu-18.04-desktop-amd64.iso`
- Applications->System tools->Administration->Startup Disk Creator
- shutdown laptop and plug USB key on the target NUC to be installed.
- start machine and select "Try ubuntu without installing".

In the MK-III version, we have minimized variations from the standard installation, greatly simplifying the installation. With the abandon of the Unity desktop and the use of gnome3, the desktop flavor "Ubuntu (wayland)" is quite satisfactory.

2. Only if this is not a virgin disk, open terminal window and type `sudo gparted`. Create a partition table of type *gpt*, deleting any pre-existing partition. Commit changes and exit `gparted`.
3. Select icon "Install Ubuntu 18.04". Choose "Normal installation", "Install 3rd party software" (enter any password), then "Erase disk and install ubuntu".
4. Define user *lera* (1000) (group *lera*(1000) will be automatically created) and set password. Enable automatic login of *lera* at boot.
5. Define computer name as *radlab-abcd*, the 4 letters of the site name (four letters are preferred by the international network). Some processing software assumes that the site name is exactly 4 letters. Some processing scripts may break if another number of characters is used.
6. Set time zone to the local time where the radar will be operated.
7. Computer will ask to restart when installation is complete; remove the USB key; reboot into the new installation.
8. Setup access to the Internet. If using dhcp from the router/gateway, the IP number of the name resolver is provided automatically. If this fails, temporary stop gap for name resolving is to

```
# vi /etc/resolv.conf
```

and to add the line

```
nameserver 8.8.8.8
```

ping www.google.com to verify that name serving works.

9. Install commonly needed packages:

Copy and paste in a terminal window:

```

apt-get -y update
apt-get -y dist-upgrade
apt-get -y install apache2
apt-get -y install build-essential
apt-get -y install bvi
apt-get -y install chromium-browser
apt-get -y install csh
apt-get -y install gifsicle
apt-get -y install gimp
apt-get -y install gpart
apt-get -y install gparted
apt-get -y install hddtemp
apt-get -y install icedtea-plugin
apt-get -y install imagemagick
apt-get -y install isc-dhcp-server
apt-get -y install jhead
apt-get -y install libio-socket-inet6-perl
apt-get -y install libio-socket-ssl-perl
apt-get -y install libnet-ssleay-perl
apt-get -y install lm-sensors
apt-get -y install mysql-server
apt-get -y install netpbm
apt-get -y install net-tools
apt-get -y install nfs-kernel-server
apt-get -y install ntp
apt-get -y install default-jre
apt-get -y install openssh-server
apt-get -y install php libapache2-mod-php php-mysql
apt-get -y install resolvconf
apt-get -y install screen
apt-get -y install setserial
apt-get -y install smartmontools
apt-get -y install tcsh
apt-get -y install traceroute
apt-get -y install vim
apt-get -y update
apt-get -y dist-upgrade
apt-get -y autoremove

```

Alternately, download the script

```
wget --user=lera --ask-password http://www.satlab.hawaii.edu/support/lera/soft/linux/post\_install\_18.04
sh post_install_18.04
```

For the postfix configuration (TAB), choose "local mail only".

Reboot, open terminal window and *sudo su*.

10. Add local and remote radlab hosts:

```
# vi /etc/hosts
```

and add at the start of the file after the 127 files:

```

# hard-coded IP for real-time upload
128.171.154.150 sunrise sunrise.satlab.hawaii.edu www.satlab.hawaii.edu
128.171.154.155 sunset sunset.satlab.hawaii.edu

# nuc
192.168.1.10

# dtacq
192.168.1.12 dtacq

```

11. Set the proper time/clock and locale:

```
# dpkg-reconfigure tzdata
```

and set timezone to "None of above" then "UTC" through the menus (use TAB then ENTER to go through the menus); this will ensure that the crontabs run on UTC, not local time. It is important to do this now to avoid irreparable confusion in data files time-tags.

If you installed the PC from outside the US, the installer may have outsmarted you by setting the default language based on where your IP is located, and you may see day/month in tagalog, spanish or french (this affects *date*, and any script that would use *date*, which are many).

```
# vi /etc/default/locale
```

and change back all entries to "en_US.UTF-8"

12. Install matlab.

```
sudo su
cd /usr/local
wget --user=lera --ask-password http://www.satlab.hawaii.edu/support/lera/soft/linux/matlab\_R2014b.tgz
tar -xzf matlab_R2014b.tgz
rm matlab_R2014b.tgz
```

Don't touch any of the license files, they are setup already.

13. Configure apache2:

```
# vi /etc/apache2/envvars
```

```
export APACHE_RUN_USER=lera
export APACHE_RUN_GROUP=lera
```

```
# chown -R lera:lera /var/lock/apache2 /var/www
# /etc/init.d/apache2 restart
# a2enmod include
# a2enmod userdir
# a2enmod cgid
# service apache2 restart
# vi /etc/apache2/mods-available/userdir.conf
add new stanza:
```

```
<Directory /home/*/public_html/cgi-bin>
    Options +ExecCGI
    SetHandler cgi-script
</Directory>
```

Open a browser, type *localhost* in the address bar and make sure apache2 answers. The page should say "Apache2 Ubuntu Default Page. It works!"

To allow remote inspection through the web server of data acquired:

```
# su lera
$ cd /var/www/html
$ ln -s /home/lera/data .
```

14. Configure interfaces and check connectivity

Under 18.04 on a NUC, we use a single 1Gbit/s ethernet interface. Raspberry-pi, dtacq, data loggers, router/gateway to outside ubiquity are all connected part of the same subnet and interconnected through a switch. Find what is the RJ-45 interface name:

```
# lshw -class network
```

and look for the logical name of the interface which is described as "Ethernet interface" (on the above NUC, it comes back as *eno1*)

Option 1. In 18.04, the graphical network-manager is a valid method to setup the network. If you are on a network with DHCP, configuration is automatic.

If not, open the graphical network-manager, and setup Ethernet interfaces for *eno1*, IPv4 settings: *Manual*, *Address 192.168.1.10*, *Netmask 255.255.255.0*, *Gateway 192.168.1.1*, leaving *DNS* on *Auto*. Save, reboot, check that DNS services are available. If not, go back in the graphical network interfaces, and set fixed DNS server as 8.8.8.8, or local ones (from router) if you know them.

Option 2. Using the graphical network-manager assumes that *lera* auto-logins at boot/reboot. Network connectivity will be interrupted if *lera* is logged out, so on difficult to visit systems, it is better to go back to the interfaces solution (note that in 18.04, resolvconf had to be installed separately, as it no longer comes with the standard distribution).

```
# vi /etc/network/interfaces
```

and add the following lines:

```
# interfaces(5) file used by ifup(8) and ifdown(8)
auto lo
iface lo inet loopback
```

```
# the outside network interfaces (via switch)
auto eno1
iface eno1 inet static
    address 192.168.1.10
    netmask 255.255.255.0
    broadcast 192.168.1.255
    gateway 192.168.1.1
    dns-nameservers 192.168.1.1 8.8.8.8 4.2.2.1
```

15. Configure DHCPD

Only if the router connecting to the outside world does not provide dhcp; dhcp is not indispensable, but makes radar maintenance, computer swap etc... easier.

```
vi /etc/dhcp/dhcpd.conf

subnet 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 {
    # default gateway
    option routers 192.168.1.1;
    option subnet-mask 255.255.255.0;

    range dynamic-bootp 192.168. 172.16.3.30;
    default-lease-time 86400;
    max-lease-time 86400;
}
```

Note that all the ; are important. Reboot the system to commit changes.

16. Configure lera account and protocols

To install pre-configured home directory:

```
sudo su
cd /home
wget --user=lera --ask-password http://www.satlab.hawaii.edu/support/lera/soft/linux/lera\_homedir\_mkIII.tgz
tar -xzf lera_homedir_mkIII.tgz
rm lera_homedir_mkIII.tgz
```

- Launch firefox, open <http://www.satlab.hawaii.edu/support/> and set as default home page.
 - Make radlab_icon.bmp the screen background in Settings->Background
 - Disable power management in Settings->Power (never put to sleep, never spin down hard disks)
 - Disable password in System->Preferences->ScreenSaver
 - Disable automatic updates in Software&Updates
 - Create the lera crontab with `crontab -e` to start acquisitions with `lera_control` (`sysfiles/crontab.lera`).
-

```
## m h dom mon dow  command
# log of temperatures
0,10,20,30,40,50 * * * * /home/lera/bin/gettemps
#
# log of dtacq voltages
0,10,20,30,40,50 * * * * /home/lera/bin/getvolts
#
# launch acquisition, specify number of seconds as parameter
0,30 * * * * /home/lera/bin/lera_control 1740 >> /home/lera/logs/lera_control.log 2>&1
#
# launch mkdaydir
0 0 * * * /home/lera/bin/mvdaydir
```

17. Configure the d-tacq

In the MK-III, the d-tacq is not used as an active machine and acquisition scheduler. It is simply a streaming device that outputs the data continuously on port 4210.

Configuration is limited to:

- edit file `/mnt/local/rc.user`
-

```
#!/bin/sh
# boot up configuration script
#
# setup ntp
ntpd -p 192.168.1.10

# setup streaming
cp /usr/local/CARE/acq400_streamd.0.conf-soft_trigger /etc/sysconfig/acq400_streamd.0.conf

# install opt packages
```

```
tar -xvf /mnt/packages/opt/15-custom_sshkeys-2018030601.tgz

# program radcelf functions once boot is complete
/usr/local/epics/scripts/wait_ioc_ready && /mnt/local/radcelf_ini.sh
```

- edit file /mnt/local/sysconfig/eipcs.sh
-

```
echo -1 >/etc/acq400/0/OVERSAMPLING
export EPICS_CA_MAX_ARRAY_BYTES=500000
export ACQ43X_SET_SAMPLE_RATE=-1
```

- copy DDS initialization files from the NUC:
- ```
scp /home/lera/conf/radcelf_ini*sh root@dtacq:/mnt/local
```

**18. Enable password-less login from this machine to target hosts (for example to enable automated data upload); as lera:**

```
$ ssh-keygen -t rsa
```

which will create a new file called *id\_rsa.pub* in directory *.ssh*; hit return to use the defaults for all the options proposed.

Then, copy/paste *~/.ssh/id\_rsa.pub* to *~/.ssh/authorized\_keys* on each target machine.

Likewise, to enable passwordless login from a remote host to this machine, create a file *id\_rsa.pub* on the remote host, then copy/paste *~/.ssh/id\_rsa.pub* from the remote host to *~/.ssh/authorized\_keys* on this machine.

Verify that the password-less login works by doing

```
$ ssh remote_machine
```

To disable the annoying messages when you ssh into a machine, create an empty file called *.hushlogin* with

```
$ touch .hushlogin
```

## 19. Check USB ports

Unless you are going to use USB/serial port for a 3-G modem driven directly, remove the modem manager which interferes with the serial interfaces:

```
apt-get purge modemmanager
```

- if a USB cable connects the dtacq console port to NUC USB port (useful for network debugging):  

```
screen /dev/ttyUSB0 115200
hit return until login prompt, then disconnect
^Ak answer y
```

## 20. Serve network time to dtacq and listen to outside servers

Make sure that the dtacq ntp is synchronized to the server ntp (otherwise the dtacq ntp will loose time if there is no outside network available)

- edit */mnt/local/rc.user*
- add line *ntp -p 192.168.1.10*

On the NUC:

- *vi /etc/ntp.conf*
- enable ntp broadcast on the intranet, uncomment:  

```
broadcast 192.168.1.255
```
- enable listening to local servers if there is one
- enable statistics logging, uncomment (i.e. remove the # sign on column 1):  

```
statsdir /var/log/ntpstats/
```
- restart ntp client:  

```
service ntp restart
```
- after running for a while, do  

```
ntptrace
```
- if properly synchronized, answer should be something like  

```
localhost: stratum 2, offset 0.000139, synch distance 0.004383
```
- if instead you get stratum 16 distance 0.000, something is wrong, you're only seeing local clock

## 21. Cloning system disk.

We do not recommend this. Reinstalling ubuntu from USB key and following the present instructions is much easier (leave a key at each site).

## 22. Setting up RADCELF inside the D-Tacq:

- Setting up static ip on radcelf
  - default baud rate when communicating is 112500
  - Set Static IP address If DHCP is not available in your configuration, a static IP address is required. Specify a static IP address from the root console as follows:

```
set.static_ip PORT IP-ADDRESS # PORT : 0|1 IP-ADDRESS: dotted quad enter this command to set static ip
> set.static_ip 0 <static ip address here>
```

this line will make a file named /mnt/local/network. then reboot, it will save the static ip. but if you put a wrong ip, u have to edit the ip address using usb.

```
> cat /mnt/local/network
file should look like
> ifconfig <static ip address here>
```

- Enable clock manual control: Disable "beginner" clock mode
  - edit /mnt/local/sysconfig/epics.sh

```
export ACQ43X_SET_SAMPLE_RATE=-1
```
- Enable radcelf initialization import radcelf\_ini.sh and radcelf\_ini\_calib.sh files to /mnt/local
  - edit /mnt/local/rc.user
  - add lines:

```
/usr/local/epics/scripts/wait_ioc_ready && /mnt/local/radcelf_ini.sh
```

## 23. Setting up CS-Studio ion the NUC:

CS-Studio is a useful graphical tool to supplement the D-Tacq web page and to display clock and data paths and status. Download from here:

[http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-linux.gtk.x86\\_64.tar.gz](http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-linux.gtk.x86_64.tar.gz)

If a port-forwarding to the D-Tacq is implemented in the router, you can also access from the outside using a Windows or Mac with the relevant binaries:

[http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-macosx.cocoa.x86\\_64.zip](http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-macosx.cocoa.x86_64.zip)

[http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-win32.win32.x86\\_64.zip](http://download.controlsystemstudio.org/release/4.5/cs-studio-4.5.7-win32.win32.x86_64.zip)

Quick-start guide is at:

[https://github.com/D-TACQ/ACQ400CSS/blob/master/acq1001\\_acq430\\_quickstart.pdf](https://github.com/D-TACQ/ACQ400CSS/blob/master/acq1001_acq430_quickstart.pdf)