

出國報告(出國類別：其他(開會))

# ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作委託案 - 接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出國報告

服務機關：軍備局中山科學研究院

姓名職稱：聘用技監 吳培欣, 聘用技監 劉慶堂,  
中校技正 黃基典, 聘用技士 謝芳家,  
聘用技士 曾彥祥

派赴國家：智利

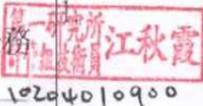
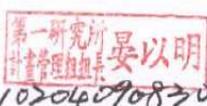
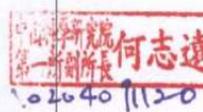
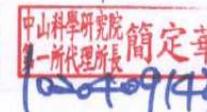
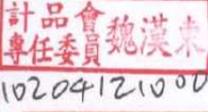
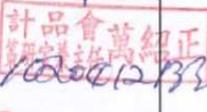
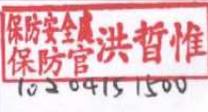
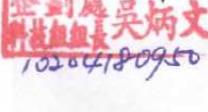
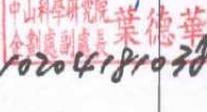
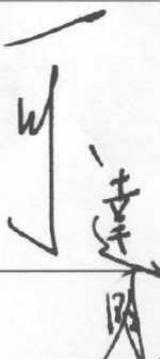
出國時間：102 年 2 月 12 至 3 月 10 日

報告日期：102 年 4 月 1 日

## 國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項處理表

報告名稱	ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作委託案-接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出國報告		
出國單位	中山科學研究院	出國人員級職/姓名	聘用技監 吳培欣 聘用技監 劉慶堂 中校技正 黃基典 聘用技士 謝芳家 聘用技士 曾彥祥
公差地點	智利阿塔卡瑪	出/返國日期	<u>102.02.12/ 102.03.10</u>
建議事項	<ol style="list-style-type: none"> <li>此次交機訓練主要以智利工作人員為主，雖然完成基本訓練但在操作人員須具備微波理論能力，才能發揮儀器效能，此次智利受訓部分人員，並未具有相關理論能力，建議中研院協調智利加強操作人員微波理論訓練，以提昇測試品質及效率。</li> <li>有關保固維修，在未超過交運後一年保固期限，需我方派員赴智利執行維修或測試相關工作，建議中研院以原合約模式，由我方派員赴智利執行相關工作，差旅費用由中研院相關經費支應。</li> <li>本院與中研院在天文領域多年合作，協助中研院及我國在國際天文領域建立極高知名度，執行計畫過程不但獲得人力經費挹注，並藉由國際合作模式，引進先進微波訊號量測技術，提升國內高頻微波訊號量測技術。在未來第一波段接收機機匣建研製，建議本院持續與中研院合作，藉以提昇本院微波儀器研製與測試能力。</li> </ol>		
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> <li>建議事項提交中研院，請中研院協調智利維修基地，加強操作人員微波理論訓練。</li> <li>建議事項提交中研院，請中研院依實際狀況，提出派員赴智利工作需求，並考量相關差旅經費支應。</li> <li>基於合作成效卓著，本院一所將持續與中研院，研討後續相關案子的合作。</li> </ol>		

**國防部軍備局中山科學研究院  
102年度出國報告審查表**

出國單位	中山科學研究院	出國人員 級職姓名	聘用技監 吳培欣 聘用技監 劉慶堂 中校技正 黃基典 聘用技士 謝芳家 聘用技士 曾彥祥
單 位	審 查 意 見	簽 章	
一級單位	本出國報告於期限內繳交，案內工作任務與目標與原申請任務相符。	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
計 品 會	本次公差協助測裝的安裝及基地人員訓練，圓滿達成任務。	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>	
保 防 安 全 處	案內出國報告 (ALMA 計畫大型毫米波...) 已完成保密檢審作業，對於貴所將本件列為一般性資訊，本處敬表同意，無附加審查意見。 一、本案列 102 年出國計畫第 102001 號，執行中研院委託案，派員赴智利執行安裝測試儀器及訓練觀測基地人員使用等任務，過程詳如報告之圖、文。 二、報告內容，請出國單位提供中研院參考。本次公差執行成效及進度皆順利，提前一週返國。 三、請將奉核報告電子檔及紙本裝訂五份送本處續辦。另請於返國後 3 個月內，將報告電子檔登錄行政院資訊網及本院圖書館工作報告資訊網。	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>	
企 劃 處	批	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
示		<div style="text-align: center; font-size: 2em;">  </div>	

## 國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

本院參與 ALMA 計畫執行接收機測試順利完成 26 套接收機測試並交運智利，為本計畫中 3 座整合測試中心之冠，北美及英國整合測試中心各交運 22 套，ALMA 計畫為支援本計畫接收機後續維修需求，請本院交運一套測試設備至智利維護支援基地及派遣工作人員協助安裝及訓練維護基地人員操作，並研討交運接收機之保固維修相關事宜。

配合本計畫啓用典禮工作時程需求，本院派遣工作人員週末主動加班，達成預期目標，提前一週完成工作返國，本次順利交運測試儀器及完成訓練，ALMA 計畫總部感謝本院工作同仁努力協助，對於後續本院協助中研院執行接收機第一波段機匣研發，ALMA 計畫總部也相當肯定。

本院派遣工作人員之工作態度及成效優異，深受 ALMA 計畫參與國家工作人員肯定，並保持良好關係，對於未來協助我國參與國際天文計畫有極大助益。

中山科學研究院  
第一所代理所長 簡定華  
1020914/0

## 出國報告審核表

出國報告名稱：ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作委託案-接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出國報告			
出國人姓名 (2人以上, 以1人為代表)		職稱	服務單位
黃基典		中校技正	中山科學研究院
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 開會		
出國期間：102年2月12日至102年3月10日		報告繳交日期：102年4月1日	
出國人員自我檢核	計畫主辦機關審核	審 核 項 目	
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<p>1.依限繳交出國報告。</p> <p>2.格式完整(本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」及「建議事項」)。</p> <p>3.無抄襲相關資料。</p> <p>4.內容充實完備。</p> <p>5.建議具參考價值。</p> <p>6.送本機關參考或研辦。</p> <p>7.送上級機關參考。</p> <p>8.退回補正, 原因:</p> <p><input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫。</p> <p><input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容。</p> <p><input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項。</p> <p><input type="checkbox"/> (4) 抄襲相關資料之全部或部分內容。</p> <p><input type="checkbox"/> (5) 引用其他資料未註明資料來源。</p> <p><input type="checkbox"/> (6) 電子檔案未依格式辦理。</p> <p><input type="checkbox"/> (7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔。</p> <p>9.本報告除上傳至出國報告資訊網外, 將採行之公開發表:</p> <p><input type="checkbox"/> (1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會), 與同仁進行知識分享。</p> <p><input type="checkbox"/> (2) 於本機關業務會報提出報告。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> (3) 其他_本報告將於102年4月30日辦理知識分享。</p> <p>10.其他處理意見(凡勾選項3者, 請於「建議事項」明確說明不予刊登理由):</p> <p><input type="checkbox"/> (1) 報告內容屬_____件, 嚴禁上傳出國報告資訊網。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> (2) 報告內容屬普通件, 不涉機敏, 資料可對外公開。</p> <p><input type="checkbox"/> (3) 報告內容屬普通件, 唯部分章節述及限閱資訊, 為避免遭有心人士不當運用而產生後遺, 請准比照機密資訊, 不予刊登出國報告資訊網。</p> <p style="text-align: center;">請加會保防官及其主管核章 同意撰稿單位審查意見</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">             第一研究所 保防員 杜愛中 10204221130           </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">             第一研究所 保防官 蕭偉華 10204221130           </div> </div>	
出國人簽章 (2人以上, 得以1人為代表)		計畫主辦機關審核人	一級單位主管簽章
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">             第一研究所 航空系統維護處 黃基典 10204221130           </div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">             中山科學研究院 第一所代理所長 簡定華 10204221130           </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">             中山科學研究院 第一所代理所長 簡定華 10204221130           </div>

## 報 告 資 料 頁

1.報告編號： CSIPW-102F-E0002	2.出國類別： 其他(開會)	3.完成日期： 102/4/1	4.總頁數：58
5.報告名稱：ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作 委託案-接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出 國報告			
6.核准  文號	人令文號	102 年 2 月 5 日國人管理字第 1020002141 號	
	部令文號	102 年 1 月 28 日國備獲管字第 1020001446 號	
7.經 費		新台幣： 65 萬 1517 元	
8.出(返)國日期		102/2/12 至 102/3/10	
9.公 差 地 點		智利	
10.公 差 機 構		ALMA 計畫智利 OSF 維護中心	
11.附 記			

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作委託案-  
接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出國報告

頁數 58 含附件：是  否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

中山科學研究院/黃基典/04-27023051 分機 503059

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳培欣/中科院/聘用技監/04-27023051 分機 503503

劉慶堂/中科院/聘用技監/04-27023051 分機 503595

黃基典/中科院/中校技正/04-27023051 分機 503059

謝芳家/中科院/聘用技士/04-27023051 分機 503822

曾彥祥/中科院/聘用技士/04-27023051 分機 503822

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(開會)

出國期間：102/2/12-3/10

出國地區：智利阿塔卡瑪

報告日期：102/4/1

分類號/目

關鍵詞：ALMA 計畫，AOS，OSF，電波天線，接收機前級，整測中心，量測系統

ALMA：Atacama Large Millimeter/Sub-millimeter Array

AOS：Array Operations Site, ALMA 陣列操作站

OSF：Operations Support Facility, ALMA 維護中心

內容摘要：(二百至三百字)

ALMA 計畫總部為維持後續天線運轉維護需求，基於本院完成計畫需求的 26 套接收機測試成效卓著，中研院天文所與日本國家天文台協議，將東亞接收機整合測試中心兩套接收機量測系統，其中一套運交至智利 OSF 作為維修測試使用，要求中科院派遣工程人員到智利 OSF 維護中心執行安裝測試和訓練維護基地人員，研討本院交運之接收機後續保固維護執行計畫，並研討中研院與日本國家天文台合作開發第一頻段接收機後續工作，本文將敘述執行過程與成效，並提出建議事項。

# 目 次

壹. 目的.....	11
貳. 過程.....	12
1.0 ALMA 計畫接收機前級量測系統裝備組裝測試.....	12
1.1 交運之量測系統裝備開箱清點及檢查.....	13
1.2 傾側旋轉測試檯(Tilt Table) .....	16
1.3 中頻處理系統(IF Processor System) .....	22
1.4 NSI 近場量測系統(Near Field Beam Test System).....	23
1.5 LORTM 相位量測系統(Phase Measurement Test System) .....	26
1.6 儀器測試監控及資料擷取系統.....	28
2.0 接收機前級量測系統功能驗證和教育訓練.....	29
2.1 接收機筒匣频段溫度雜訊性能( Cartridge noise temperature performance) .....	29
2.1.1 量測和教育訓練過程 .....	29
2.1.2 測試結果 .....	32
2.2 膺頻響應和中頻功率變異性(Spurious response & IF power variations).....	35
2.2.1 量測和教育訓練過程 .....	35
2.2.2 測試結果頻譜分析儀.....	36
2.3 振幅和相位穩定性(Amplitude and phase stability) .....	38
2.3.1 量測和教育訓練過程 .....	38
2.3.2 測試結果 .....	42
2.4 天線場型波束指向性(Antenna beam performance) .....	44
2.4.1 量測和教育訓練過程 .....	44
2.4.2 測試結果 .....	49
3.0 交運之接收機後續保固維護執行計畫與新開發接收機频段合作工作研討.....	51
參、心得.....	57
肆、建議事項.....	58

## 附表目錄

表 1. 裝備交運清單.....	12
表 2. 溫度雜訊性能測試規格 .....	32

## 附圖目錄

圖 1. 移交智利 OSF 維護中心之接收機量測系統 .....	11
圖 2. 在智利 ALMA AOS 陣列操作站的電波天線建置.....	13
圖 3. 在智利 ALMA OSF 倉庫清點交運之裝備木箱 .....	13
圖 4. 存放於倉庫之裝備木箱運抵實驗室大樓側門.....	14
圖 5. 拆卸 NSI 近場量測系統機櫃木箱 .....	14
圖 6. 協同 NSI 公司工程人員一起拆卸近場量測系統機構件 .....	15
圖 7. 完成裝備開箱和機櫃組裝之量測系統 .....	15

圖 8. 微波測試信號源儲放於環控櫃 .....	16
圖 9. 傾側旋轉測試檯基座安裝 .....	17
圖 10. 傾側旋轉測試檯控制面板及電器箱安裝 .....	17
圖 11. 安裝完成後，傾側檯旋轉功能測試 .....	18
圖 12. 傾側旋轉測試檯接收機支撐板安裝前清除防銹油 .....	18
圖 13. AIT 及 NSI 公司人員協助安裝接收機支撐板 .....	19
圖 14. 傾側旋轉測試檯接收機支撐板安裝螺栓上磅 .....	19
圖 15. 冷凍系統壓縮機氮氣管施工 .....	20
圖 16. 待測接收機 SN64 移入準備安裝於傾側旋轉測試檯 .....	20
圖 17. 測試修改後氮氣管不與地面接觸方式測試結果符合預期目標 .....	21
圖 18. 傾側旋轉測試檯，裝備安裝架組裝完成 .....	21
圖 19. 中頻處理器系統 4 Channel Chassis 開箱檢測 .....	22
圖 20. 組裝前後之中頻處理器系統 .....	23
圖 21. 設定 Dial Gauge 執行 polarization stage 測試 .....	24
圖 22. 設定 NSI Scanner 傾斜角 60 度執行 ATP 測試 .....	24
圖 23. 執行 NSI 近場量測系統組裝測試和 Scanner 功能驗證 .....	25
圖 24. NSI2000 軟體使用者操作介面 .....	25
圖 25. 相位量測系統之參考信號源 .....	26
圖 26. 相位量測系統之 LORTM 和相關控制儀器 .....	27
圖 27. 安裝於傾側旋轉測試檯上之相位量測系統 .....	27
圖 28. 儀器測試監控及資料擷取系統架構圖 .....	28
圖 29. 使用 NRAO 的設備執行溫度雜訊性能測試 .....	29
圖 30. 裝填液態氮準備執行溫度雜訊性能測試 .....	30
圖 31. 檢查液態氮準備執行溫度雜訊性能測試 .....	30
圖 32. 檢查測試裝備準備執行溫度雜訊性能測試 .....	31
圖 33. 檢查接線準備執行溫度雜訊性能測試 .....	31
圖 34. 設定量測程式參數準備執行溫度雜訊性能測試 .....	32
圖 35. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.0 USB 測試結果 .....	33
圖 36. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.0 LSB 測試結果 .....	33
圖 37. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.1 USB 測試結果 .....	34
圖 38. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.1 LSB 測試結果 .....	34
圖 39. 檢查接線準備執行膺頻響應測試 .....	35
圖 40. 設定頻譜分析儀準備執行膺頻響應測試 .....	35
圖 41. 設定量測程式參數準備執行膺頻響應測試 .....	36
圖 42. Band 6 的 Pol0 USB 膺頻響應測試結果 .....	36
圖 43. Band 6 的 Pol0 LSB 膺頻響應測試結果 .....	37
圖 44. Band 6 的 Pol1 USB 膺頻響應測試結果 .....	37
圖 45. Band 6 的 Pol1 LSB 膺頻響應測試結果 .....	38
圖 46. 傾側旋轉測試檯操作教育訓練 .....	38
圖 47. 檢查 Power Sensor 接線準備執行振幅穩定度測試 .....	39

圖 48. 設定 Power Meter 準備執行振幅穩定度測試.....	39
圖 49. 設定量測程式參數準備執行振幅穩定度測試 .....	40
圖 50. 安裝微波測試信號源準備執行相位穩定度測試 .....	40
圖 51. 檢查微波測試信號源接線準備執行相位穩定度測試 .....	41
圖 52. 設定量測程式參數準備執行相位穩定度測試 .....	41
圖 53. 檢查量測程式參數準備執行相位穩定度測試 .....	42
圖 54. 設定 Band 6 於 249 GHz 且傾側測試檯旋轉至 60°之振幅穩定度測試結果.	42
圖 55. 設定 Band 6 於 249 GHz 且傾側測試檯旋轉至 60°之相位穩定度測試結果.	43
圖 56. 操作 FARO 系統軟體和教育訓練 .....	44
圖 57. 操作 FARO 雷射追蹤系統和教育訓練 .....	44
圖 58. 執行 FARO 系統和 NSI 掃描校準教育訓練 .....	45
圖 59. 檢查 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準 .....	45
圖 60. 操作 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準 .....	46
圖 61. 操作 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準教育訓練 .....	46
圖 62. 檢查微波測試信號源接線準備執行 Beam Performance 測試 .....	47
圖 63. 安裝微波測試信號源準備執行 Beam Performance 測試 .....	47
圖 64. 安裝微波吸波體準備執行 Beam Performance 測試 .....	48
圖 65. 設定 NSI Scanner 傾斜角 45 度執行 Beam Performance 測試 .....	48
圖 66. 操作 NSI Index 準備執行 Beam Performance 測試.....	49
圖 67. 設定量測程式參數準備執行 Beam Performanc 測試.....	49
圖 68. 243 GHz Pol 0 Co-pol. elevation 45°: measured at OSF .....	50
圖 69. 243 GHz Pol 0 Cross-pol. Elevation 45°: measured at OSF.....	50
圖 70. 243 GHz Pol 1 Co-pol. elevation 45°: measured at OSF .....	50
圖 71. 243 GHz Pol 1 Cross-pol. elevation 45°: measured at OSF .....	51
圖 72. 參訪接收機維護實驗室與 AIV 工作同仁討論我方交運接收機維護現況...52	52
圖 73. 我方工作人員向 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 說明工作進行狀況 .....	52
圖 74. 我方工作人員陪同 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 拍攝測試儀器 .....	53
圖 75. 我方工作人員向 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 說明測試結果資料 .....	53
圖 76. ALMA 計畫負責人 r Dr. Mattheus 與我方工作人員合照留念.....	54
圖 77. 交運儀器貼置中科院與中研院標誌後與日本國家天文台工作人員合照 ...54	54
圖 78. 吳培欣副所長與 NAOJ Mizuno san.在日本 ACA 天線基座前合照 .....	55
圖 79. 我方工作人員與 NAOJ Mizuno san.在天線基地前合照 .....	55
圖 80. 我方工作人員與 NAOJ 工程人員在日本 ACA 天線基地前合照.....	56
圖 81. 我方工作人員與 NAOJ 工程人員在 ALMA 天線基地前合照.....	56

# ALMA 計畫大型毫米波暨次毫米波陣列計畫之技術合作委託案-接收機前級量測系統移交智利 OSF 維護中心出國報告

## 壹. 目的

ALMA 計畫總部為維持後續天線運轉維護需求，基於本院完成計畫需求的 26 套接收機測試成效卓著，中研院天文所與日本國家天文台協議，將東亞接收機整合測試中心兩套接收機量測系統，其中一套運交至智利 OSF 作為維修測試使用，並要求中科院派遣工程人員到智利 OSF 維護中心執行安裝測試和訓練維護基地人員，並研討本院交運之接收機後續保固維護執行計畫，並研討中研院與日本國家天文台合作開發第一頻段接收機後續工作。接收機前級量測系統如圖 1 所示，交運裝備清單如表 1 所列。



圖 1. 移交智利 OSF 維護中心之接收機量測系統

表 1. 裝備交運清單

箱號.	裝備名稱	總重	體積 cm <sup>3</sup>
1	傾側旋轉測試檯裝備-1	1124 kg	305 x 184 x 112
2	傾側旋轉測試檯裝備-2	1067 kg	222 x 199 x 126
3	傾側旋轉測試檯裝備-3	1031 kg	222 x 172 x 97
4	傾側旋轉測試檯裝備-4	375 kg	195 x 189 x 91
5	中頻處理系統	258 kg	165 x 71 x 103
6	儀器測試監控及資料擷取系統	209 kg	165 x 71 x 103
7	微波測試信號源和裝備配件	330 kg	158 x 148 x 104
8	NSI 系統掃瞄機構件	216 kg	165 x 155 x 114
9	NSI 近場量測系統	334 kg	213 x 71 x 103
10	LORTM 相位量測系統	330 kg	213 x 71 x 103

## 貳. 過程

### 1.0 ALMA 計畫接收機前級量測系統裝備組裝測試

阿塔卡瑪大型毫米波陣列望遠鏡（ALMA, Atacama Large Millimeter Array）係全球目前地面最大之「大型毫米波暨次毫米波陣列」計畫，預劃建置 66 座電波天線（包括 54 座直徑 12 公尺及 12 座直徑 7 公尺的高精度大型電波望遠鏡所組成），藉著控制這些望遠鏡之方位與仰角，調整基線與焦距進行天文觀測，接收來自於宇宙 30~950GHz 頻段的電磁波訊號，各個頻段接收的訊號透過不同組合的交互分析，可以轉換成影像訊號，讓天文科學家得以探究宇宙奧秘。

次毫米波頻率超過 300GHz 時，透明度比不上毫米波與遠紅外線，低海拔區很難觀測得到，必須在超過 4000 公尺以上高山，且氣候乾燥、氣流穩定的地區才容易觀測，所以 ALMA 計畫觀測台設置於智利北方阿塔卡瑪—聖培卓地區（District of San Pedro de Atacama）的安第斯山脈，海拔 5000 公尺高的查南托高原（Chajnantor plain）上，智利 ALMA 陣列操作站（AOS, Array Operation Site)的電波天線設置如圖 2 所示。



圖 2. 在智利 ALMA AOS 陣列操作站的電波天線建置

### 1.1 交運之量測系統裝備開箱清點及檢查

此次接收機前級量測系統裝備運送，共包裝成十大裝備木箱，裝備交運清單如表 1 所列。除了傾側旋轉測試檯裝備由原廠 AIT 公司人員配合美國國家天文台系統在本院人員到達智利 OSF 維護中心前完成開箱作業外，其餘裝備木箱由本院公差人員執行裝備開箱清點及檢查工作，執行過程參閱圖 3 -圖 8。



圖 3. 在智利 ALMA OSF 倉庫清點交運之裝備木箱



圖 4. 存放於倉庫之裝備木箱運抵實驗室大樓側門



圖 5. 拆卸 NSI 近場量測系統機櫃木箱



圖 6. 協同 NSI 公司工程人員一起拆卸近場量測系統機構件



圖 7. 完成裝備開箱和機櫃組裝之量測系統



圖 8. 微波測試信號源儲放於環控櫃

## 1.2 傾側旋轉測試檯(Tilt Table)

ALMA 計畫接收機固定於碟盤後端，與天線同步運轉，當天線俯仰角度改變，因重力影響結構會變形，對接收機本體及固定界面均會產生影響，因此在執行功能測試時需考量俯仰角度變化因素。而傾側旋轉測試檯的功能為提供前段接收機能夠做 0 到 90 度仰角旋轉，該動作即模擬接收機在天線內的旋轉動作。並且該旋轉平台必須能夠模擬天線觀測行星時的慢速旋轉動作，以期完整模擬接收機各種觀測狀態的功能。以期能夠測試接收機的功能在不同角度下狀態。執行過程參閱圖 9 -圖 18。



圖 9. 傾側旋轉測試檯基座安裝



圖 10. 傾側旋轉測試檯控制面板及電器箱安裝



圖 11.安裝完成後，傾側檯旋轉功能測試



圖 12. 傾側旋轉測試檯接收機支撐板安裝前清除防銹油



圖 13. AIT 及 NSI 公司人員協助安裝接收機支撐板



圖 14. 傾側旋轉測試檯接收機支撐板安裝螺栓上磅



圖 15.冷凍系統壓縮機氮氣管施工



圖 16. 待測接收機 SN64 移入準備安裝於傾側旋轉測試檯



圖 17. 測試修改後氨氣管不與地面接觸方式測試結果符合預期目標

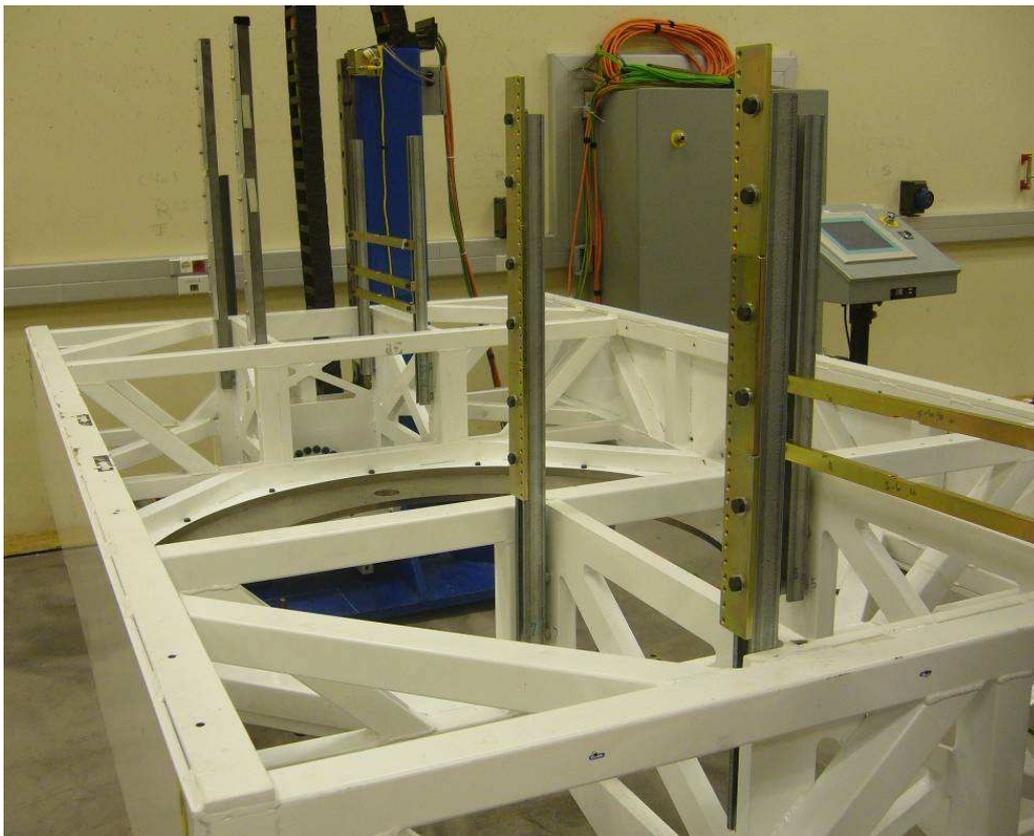


圖 18. 傾側旋轉測試檯，裝備安裝架組裝完成

### 1.3 中頻處理系統(IF Processor System)

中頻處理器系統的功能在於同時處理前段接收機四個通道的訊號，中頻處理器必須提供最佳的訊號處理，同時藉由控制與量測四個通道訊號，以降低不必要的個別量測的影響因素。此系統基本上使用自動化測試程式控制測試流程，並進行量測資料的處理與分析，經由中頻處理器分配和調整信號準位後，輸出至量測儀器。組裝執行過程參閱圖 19-圖 20。



圖 19. 中頻處理器系統 4 Channel Chassis 開箱檢測



圖 20. 組裝前後之中頻處理器系統

#### 1.4 NSI 近場量測系統(Near Field Beam Test System)

NSI 近場量測系統在接收機前級整合測試具有相當的重要性，亦作為判斷測試結果是否滿足規範的主要依據。執行方法為利用近場場型計算出遠場場型，再以遠場場型的功率及相位計算出該接收機的孔徑效率(Aperture efficiency)、溢出效率(Spillover efficiency)、振幅效率(Taper efficiency)、極化效率(Polarization Efficiency)、相位效率(Phase Efficiency)，並依原廠設計的規範進行系統性能比較，調整及驗證接收機系統整體之性能。NSI 公司工程人員執行 X,Y,Z 三軸加配重 8 公斤設定行程運轉 25 次之重複性測試，依據標準接收程序完成所有待測接收機的測試，其組裝測試執行過程參閱圖 21-圖 24。

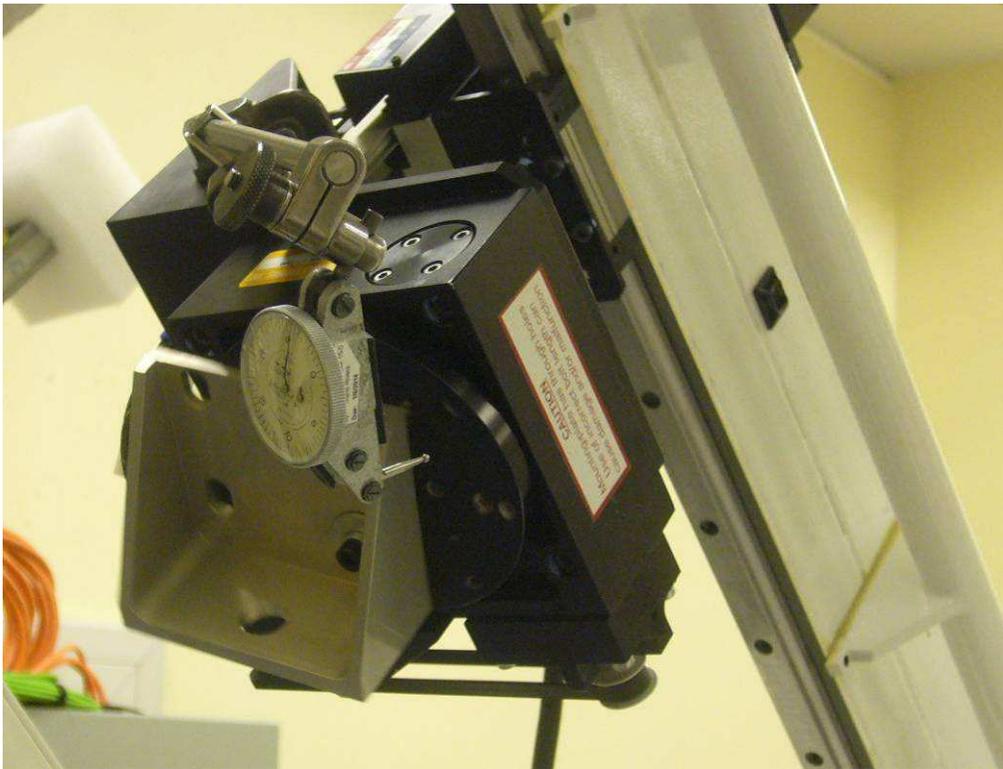


圖 21. 設定 Dial Gauge 執行 polarization stage 測試



圖 22. 設定 NSI Scanner 傾斜角 60 度執行 ATP 測試



圖 23. 執行 NSI 近場量測系統組裝測試和 Scanner 功能驗證

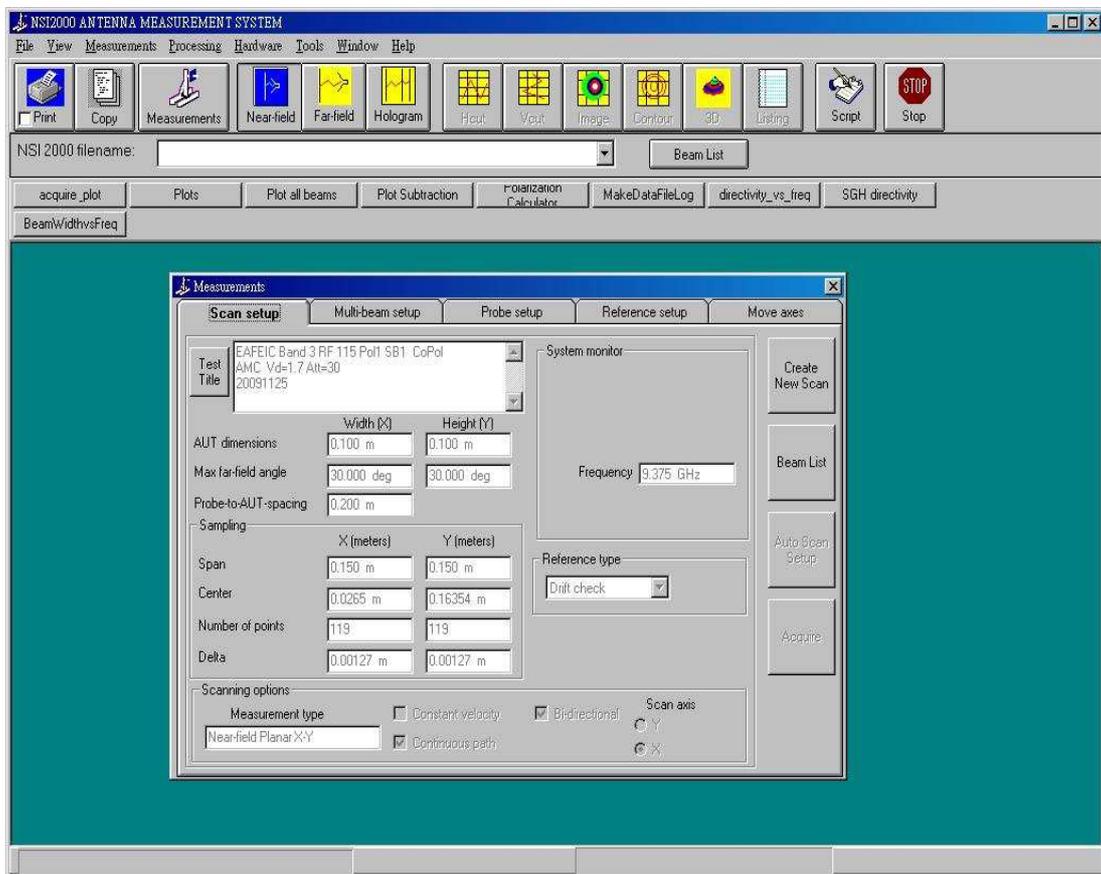


圖 24. NSI2000 軟體使用者操作介面

## 1.5 LORTM 相位量測系統(Phase Measurement Test System)

相位量測系統中之本地振盪參考信號源 (LORTM) 爲一雷射光源，與天線站位使用作爲相位陣列同步信號之雷射光源相同，提供穩定頻率的參考訊號，供給待測的接收機做相位鎖定的動作，本系統亦能夠量化接收機的相位變化與穩定度。組裝測試執行過程參閱圖 25-圖 27。

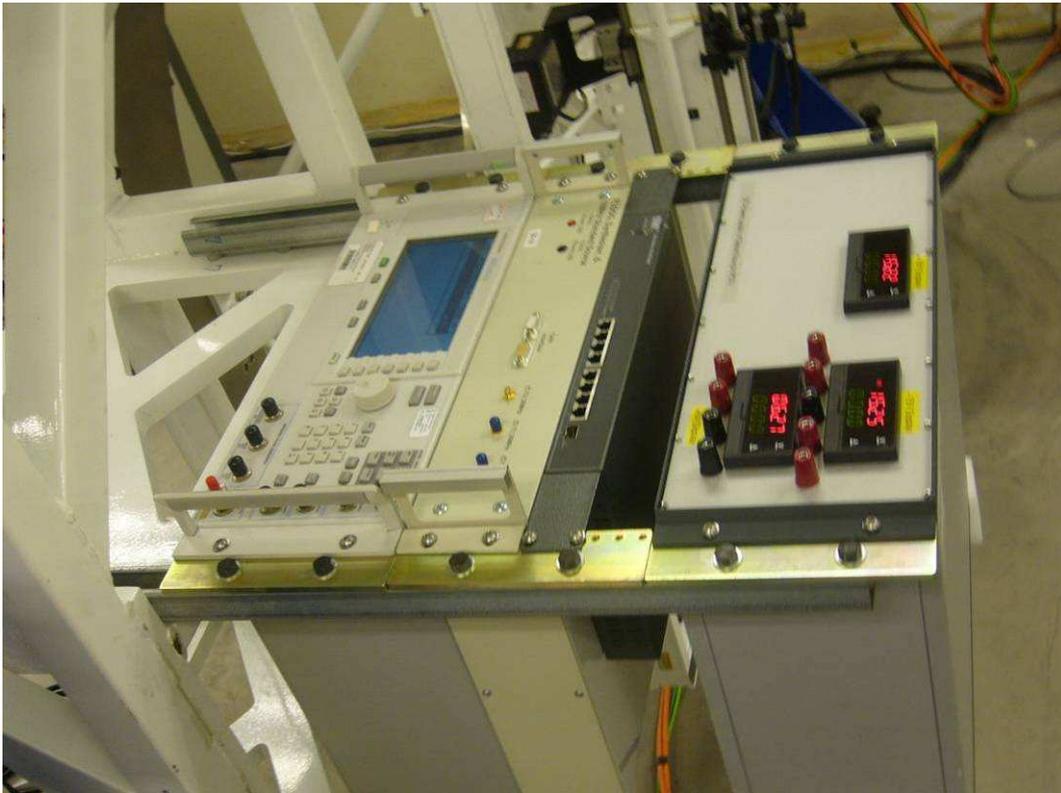


圖 25. 相位量測系統之參考信號源



圖 26. 相位量測系統之 LORTM 和相關控制儀器



圖 27. 安裝於傾側旋轉測試檯上之相位量測系統

## 1.6 儀器測試監控及資料擷取系統

儀器測試監控及資料擷取系統執行量測資料擷取，因每項測試儀器有不同介面，因此須建構一套能相互連結及資料儲存系統，達到系統自動化量測的目的，並用執行資料處理及整合。執行過程參閱圖 28。

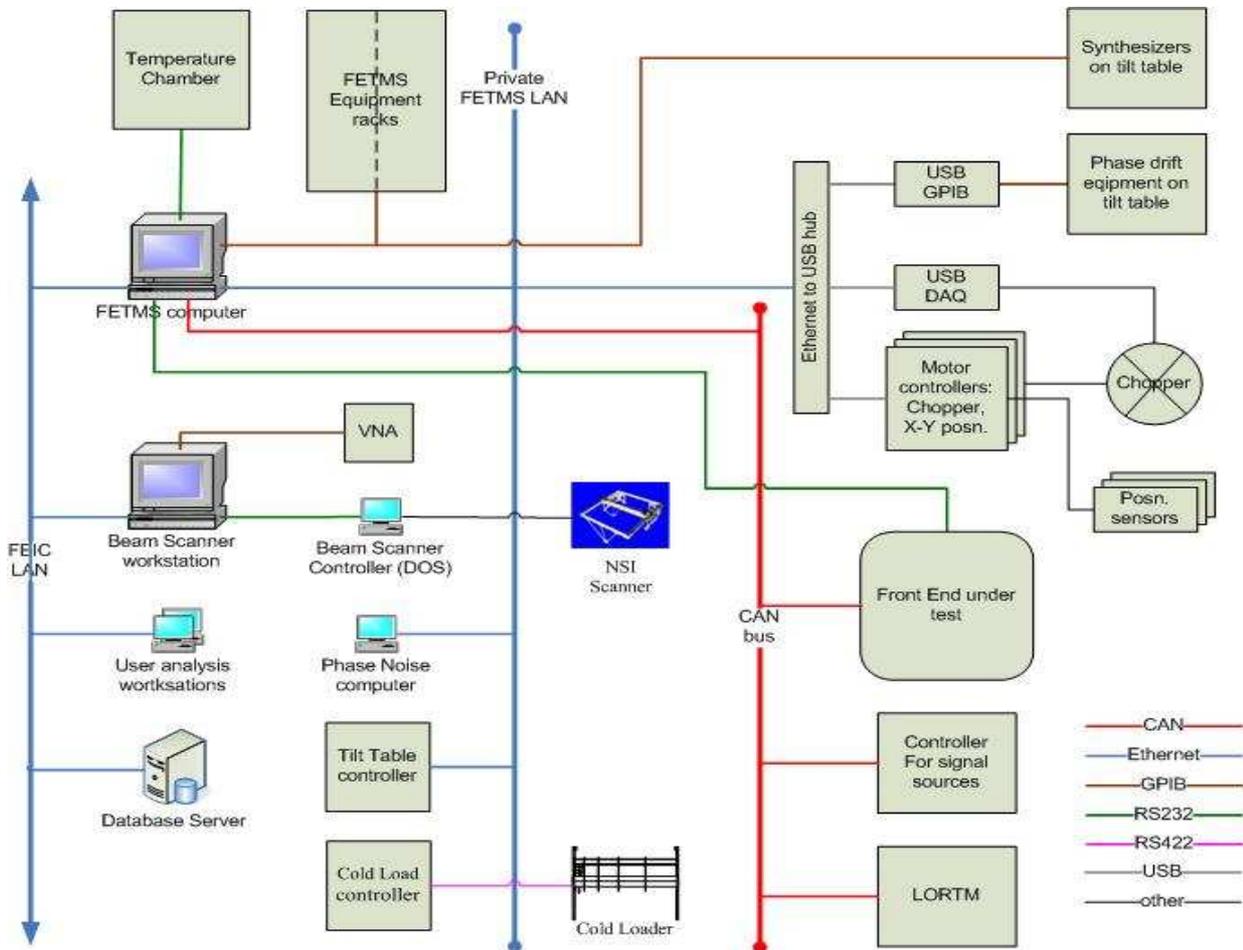


圖 28. 儀器測試監控及資料擷取系統架構圖

## 2.0 接收機前級量測系統功能驗證和教育訓練

### 2.1 接收機筒匣频段溫度雜訊性能( Cartridge noise temperature performance)

#### 2.1.1 量測和教育訓練過程

接收機筒匣频段之溫度雜訊性能測試( Cartridge noise temperature performance)，其執行量測和教育訓練過程，參閱圖 29-圖 34。



圖 29. 使用 NRAO 的設備執行溫度雜訊性能測試



圖 30. 裝填液態氮準備執行溫度雜訊性能測試



圖 31. 檢查液態氮準備執行溫度雜訊性能測試

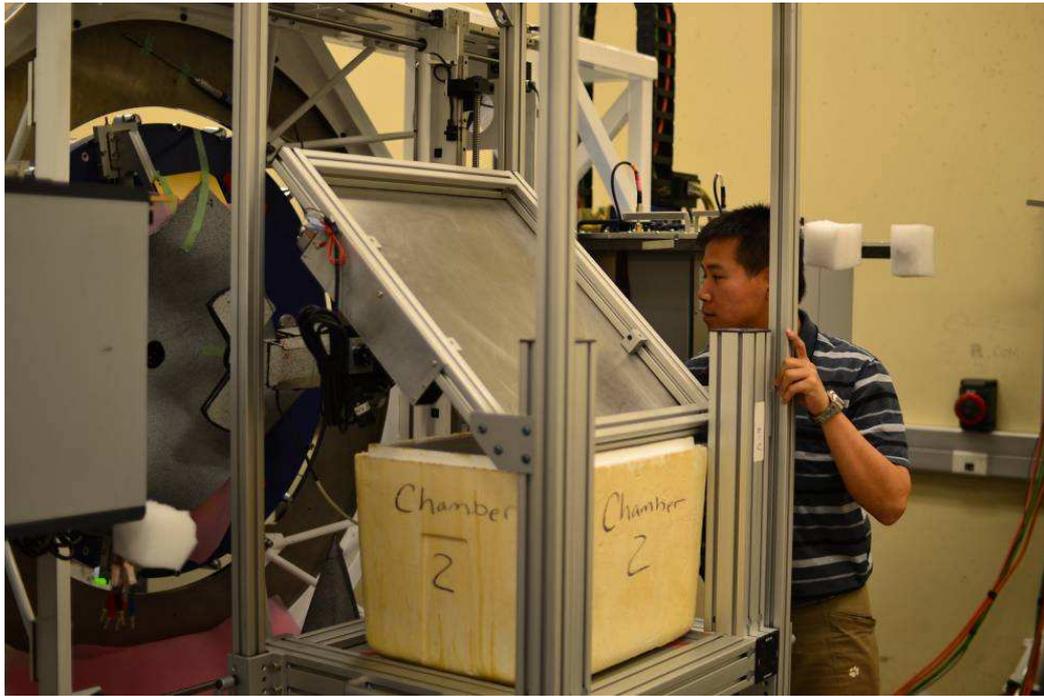


圖 32. 檢查測試裝備準備執行溫度雜訊性能測試



圖 33. 檢查接線準備執行溫度雜訊性能測試

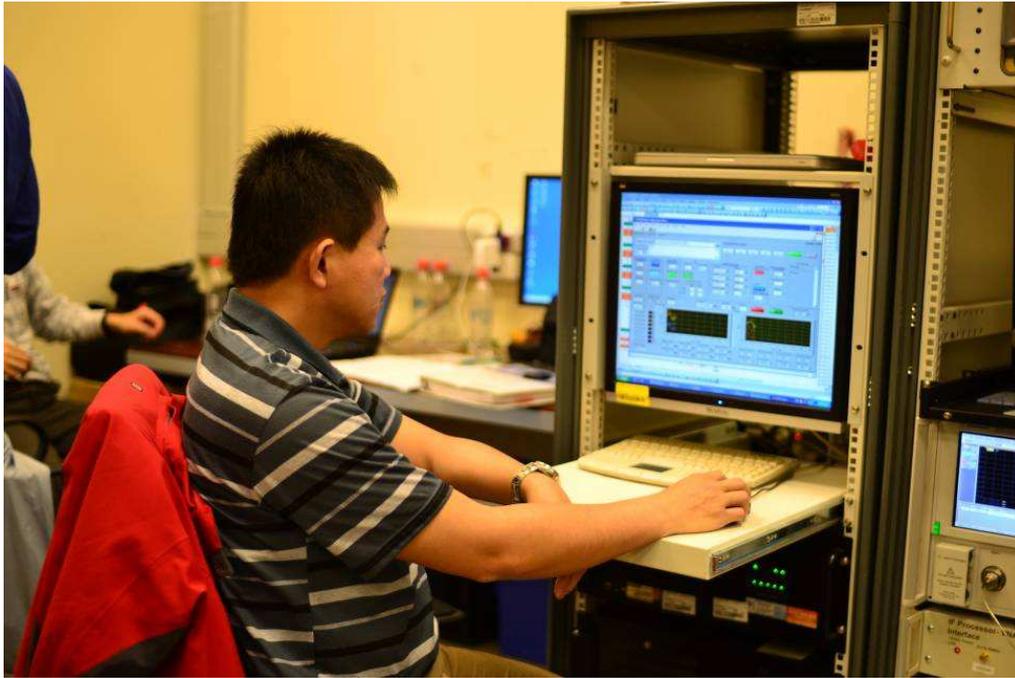


圖 34. 設定量測程式參數準備執行溫度雜訊性能測試

## 2.1.2 測試結果

以Band6測試結果作為報告內容，詳細測試數據和報告請參閱附件EA FEIC FETMS Requalification Test Report for OSF, ALMA EDM文件編號，FEND-40.09.07.00-0938-B-REP. 測試結果與在EA FEIC一致，符合接收標準，測試規格參閱表2，測試資料參閱圖35-圖38。

表 2. 溫度雜訊性能測試規格

Band	SSB		DSB	
	T <sub>SSB</sub> over 80% of the RF band	T <sub>SSB</sub> at any RF frequency	T <sub>DSB</sub> over 80% of the RF band	T <sub>DSB</sub> at any RF frequency
1	17 K	26 K	NA	NA
2	30 K	47 K	NA	NA
3	39 K	43 K	NA	NA
4	51 K	82 K	NA	NA
5	65 K	105 K	NA	NA
6	83 K	136 K	NA	NA
7	147 K	219 K	NA	NA
8	196 K	292 K	NA	NA
9	NA	NA	175K	261K
10	NA	NA	230 K	344 K

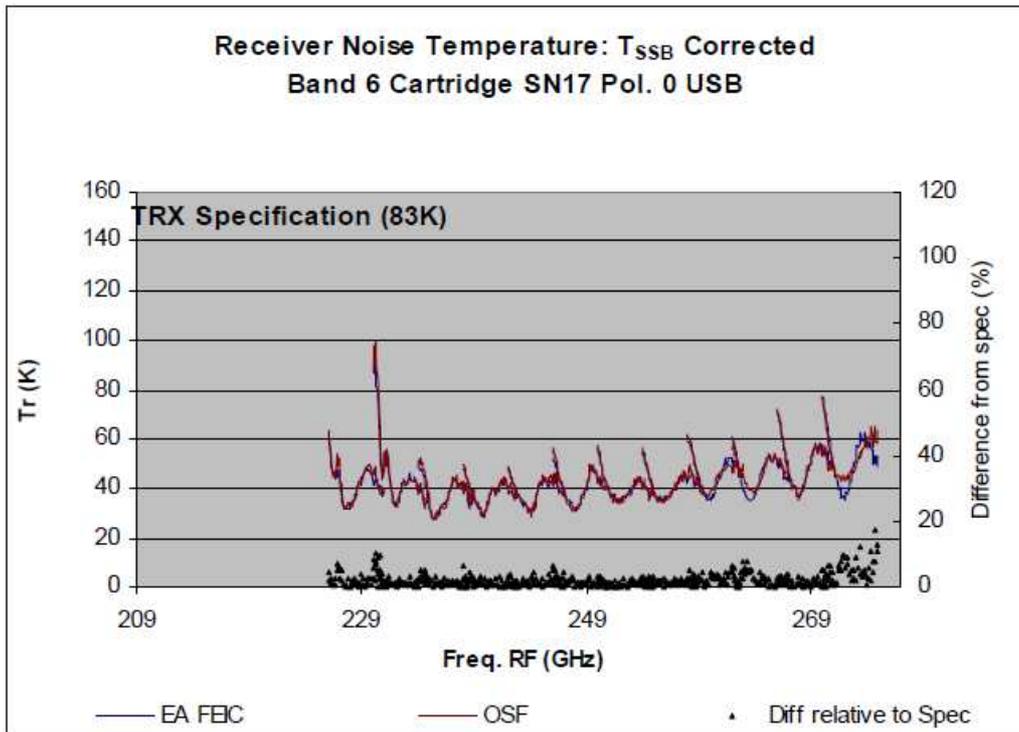


圖 35. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.0 USB 測試結果

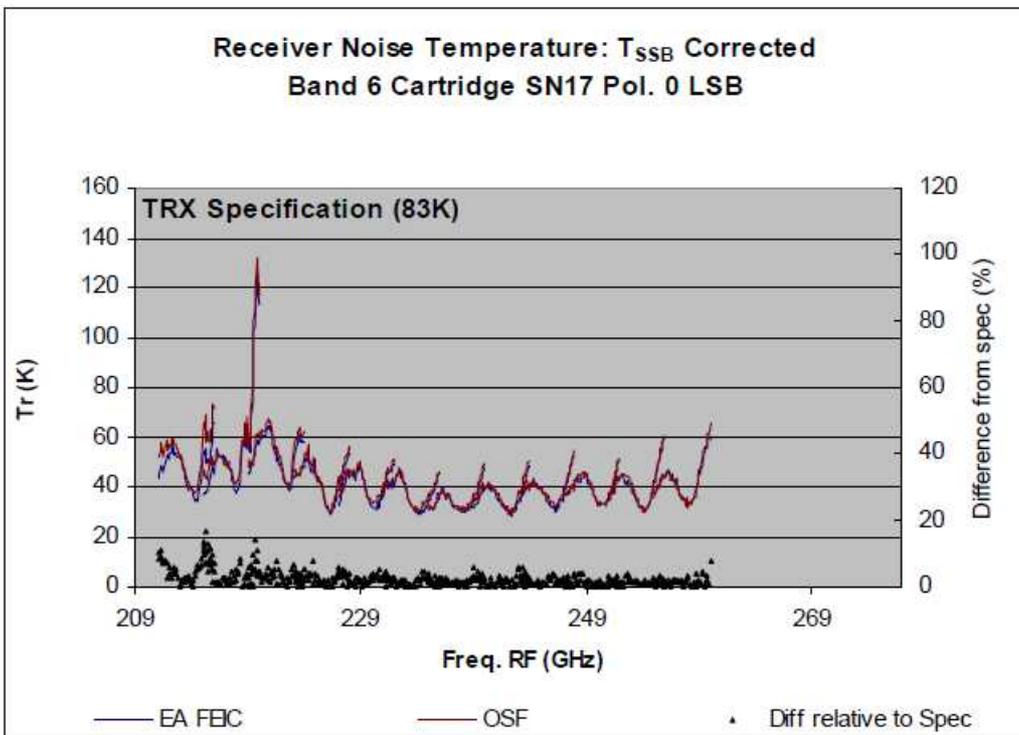


圖 36. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.0 LSB 測試結果

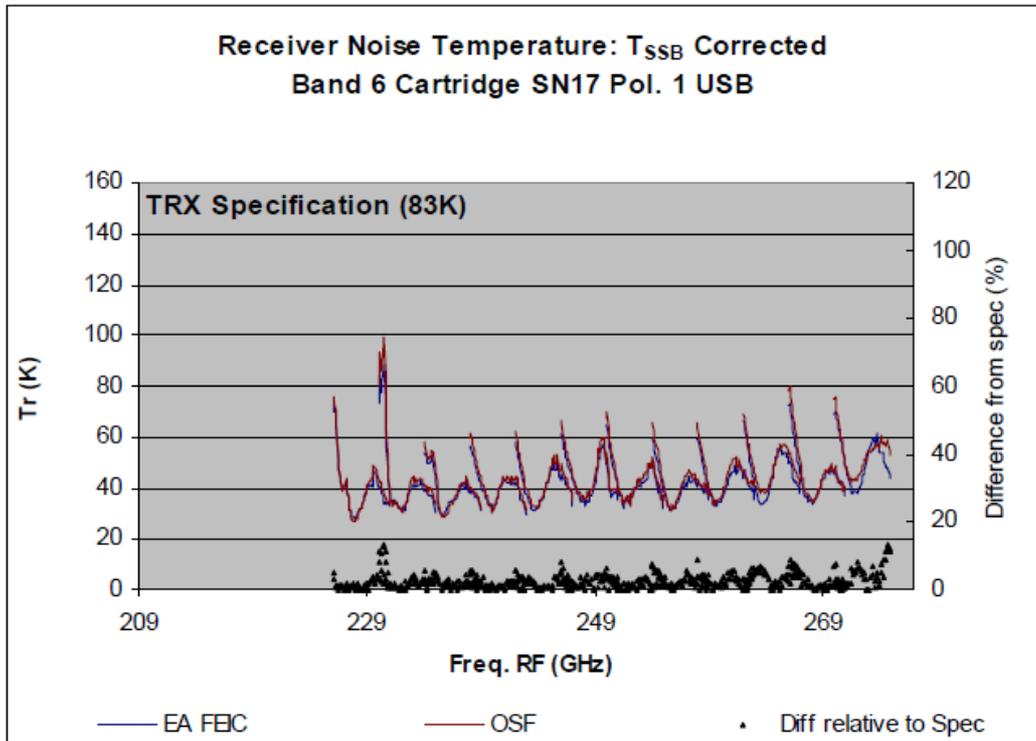


圖 37. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.1 USB 測試結果

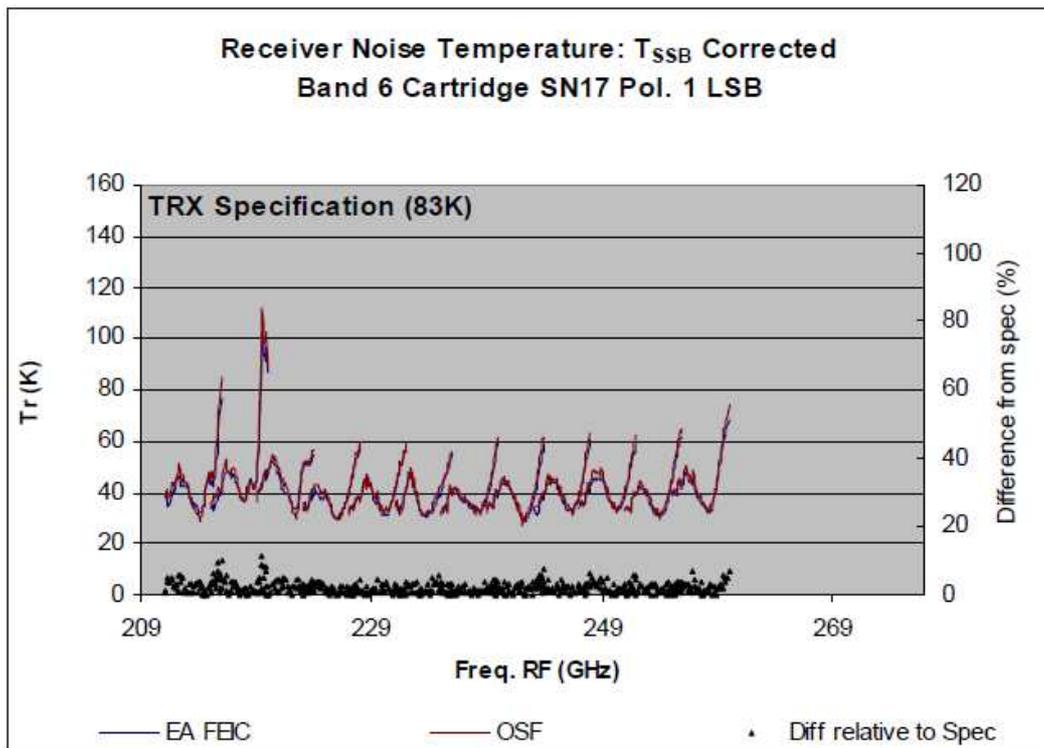


圖 38. 比較在 OSF 與 FEIC 所量測 Band 6 的 Pol.1 LSB 測試結果

## 2.2 膺頻響應和中頻功率變異性(Spurious response & IF power variations)

### 2.2.1 量測和教育訓練過程

膺頻響應和中頻功率變異性(Spurious response & IF power variations) 的執行量測和教育訓練過程，參閱圖 39 -圖 41。



圖 39. 檢查接線準備執行膺頻響應測試

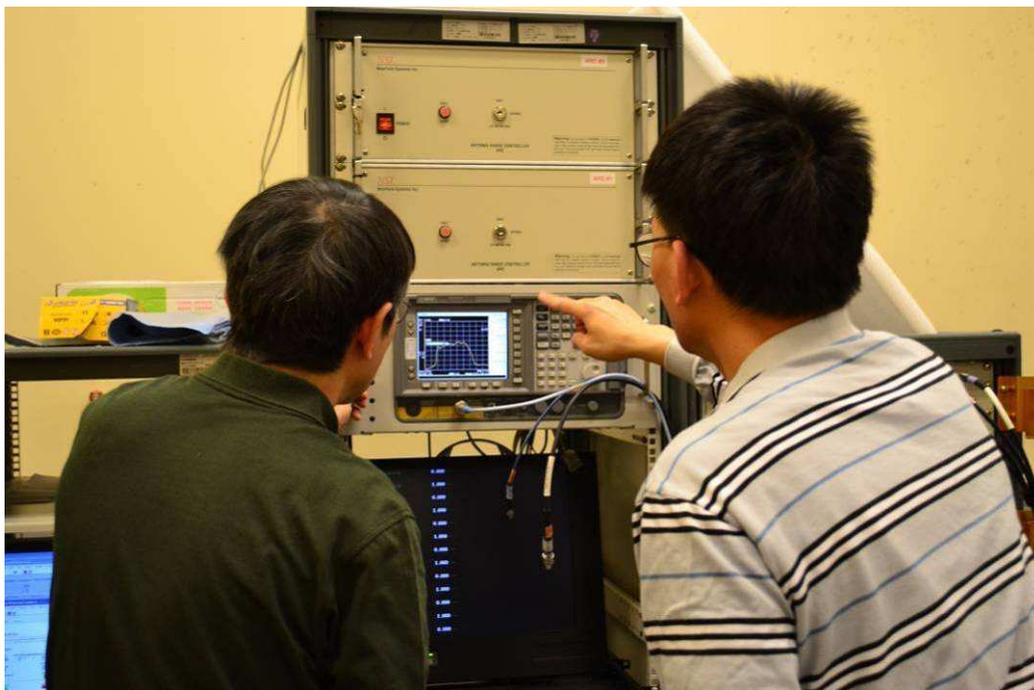


圖 40. 設定頻譜分析儀準備執行膺頻響應測試



圖 41. 設定量測程式參數準備執行膺頻響應測試

## 2.2.2 測試結果頻譜分析儀

以Band6測試結果作為報告內容，詳細測試數據和報告請參閱附件EA FEIC FETMS Requalification Test Report for OSF, ALMA EDM，文件編號FEND-40.09.07.00-0938-B-REP. 測試結果與在EA FEIC一致，符合接收標準。測試資料參閱圖42-圖45。

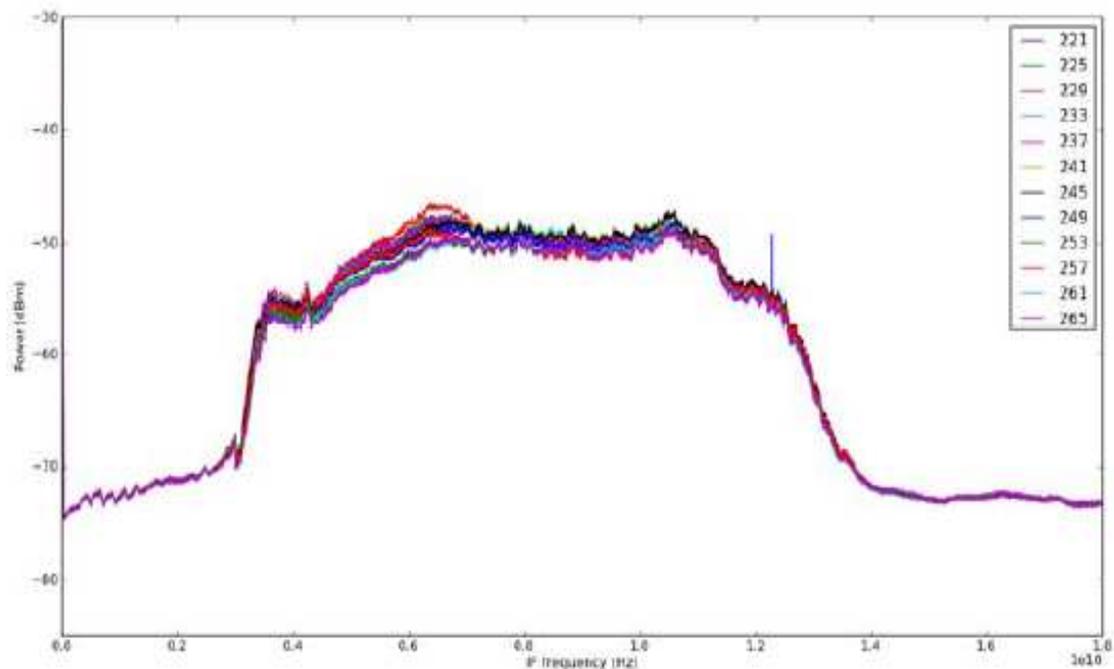


圖 42. Band 6 的 Pol0 USB 膺頻響應測試結果

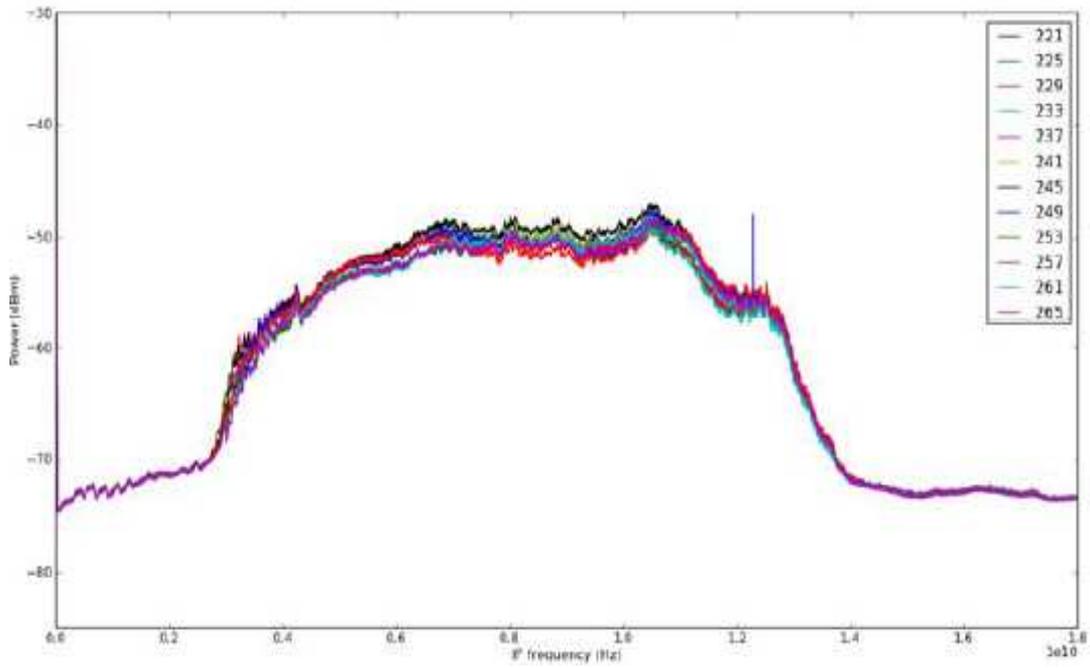


圖 43. Band 6 的 PoI0 LSB 膺頻響應測試結果

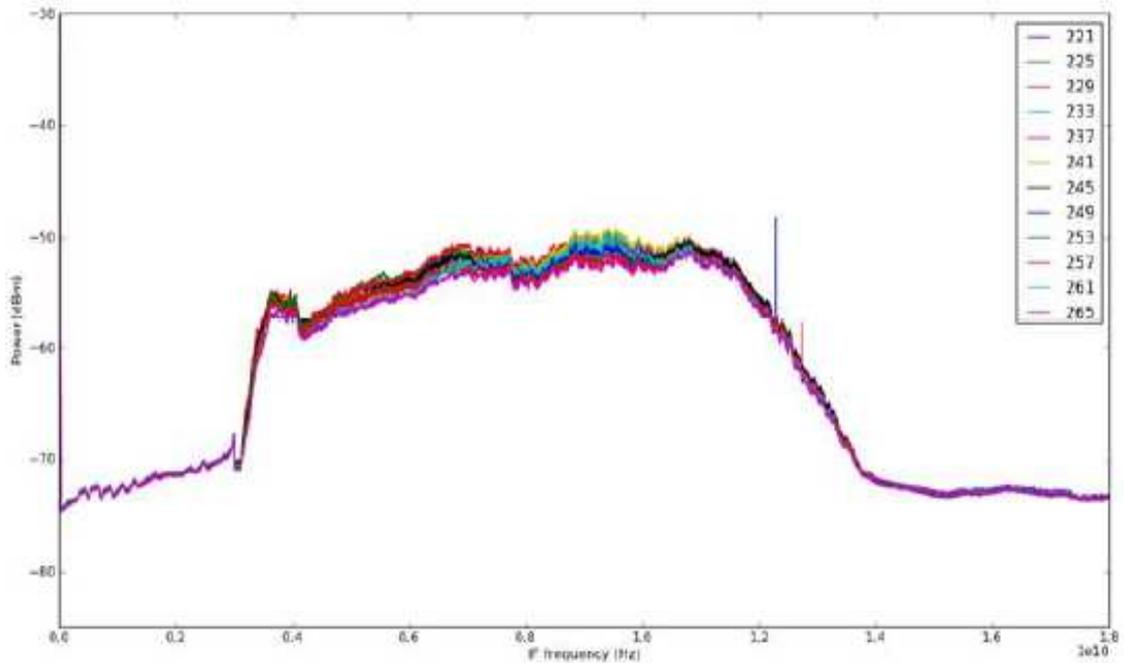


圖 44. Band 6 的 PoI1 USB 膺頻響應測試結果

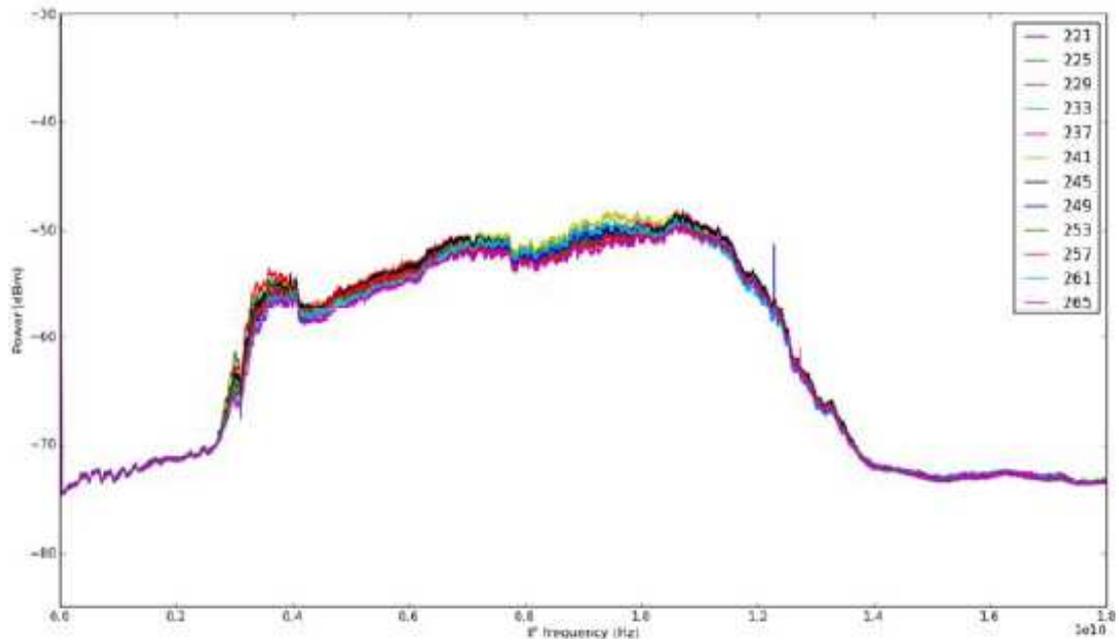


圖 45. Band 6 的 Pol1 LSB 膺頻響應測試結果

## 2.3 振幅和相位穩定性(Amplitude and phase stability)

### 2.3.1 量測和教育訓練過程

振幅和相位穩定性(Amplitude and phase stability)執行量測和教育訓練過程，參閱圖 46 -圖 53。



圖 46.傾側旋轉測試檯操作教育訓練

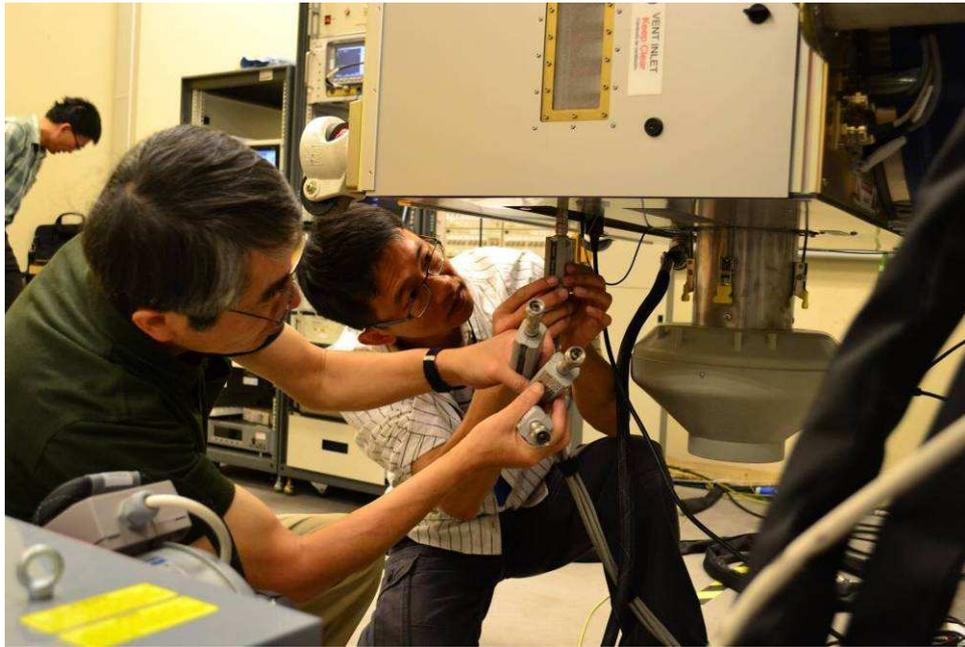


圖 47. 檢查 Power Sensor 接線準備執行振幅穩定度測試



圖 48. 設定 Power Meter 準備執行振幅穩定度測試

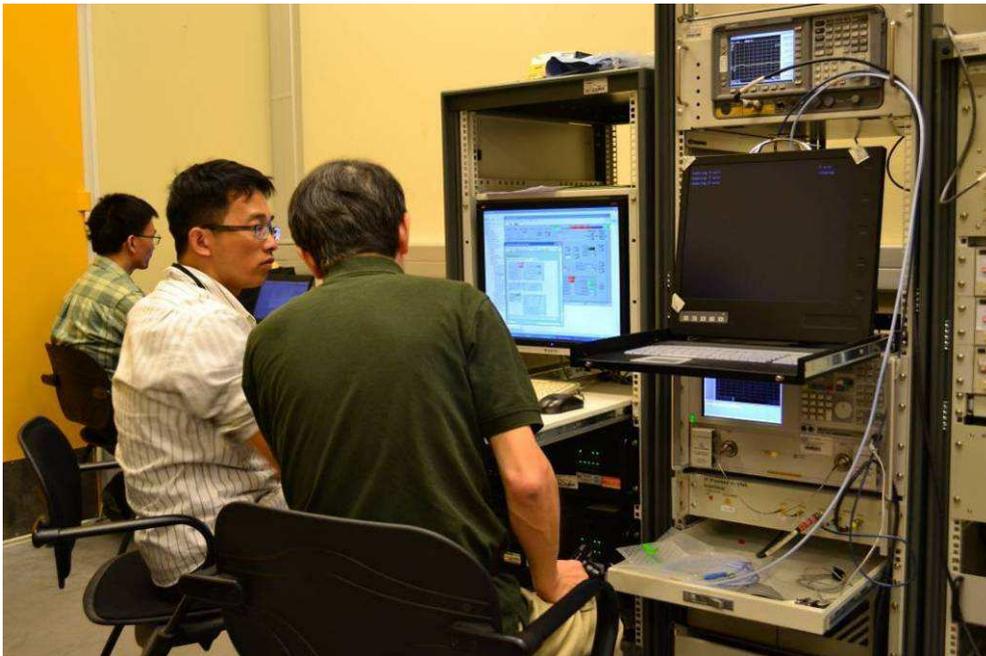


圖 49. 設定量測程式參數準備執行振幅穩定度測試

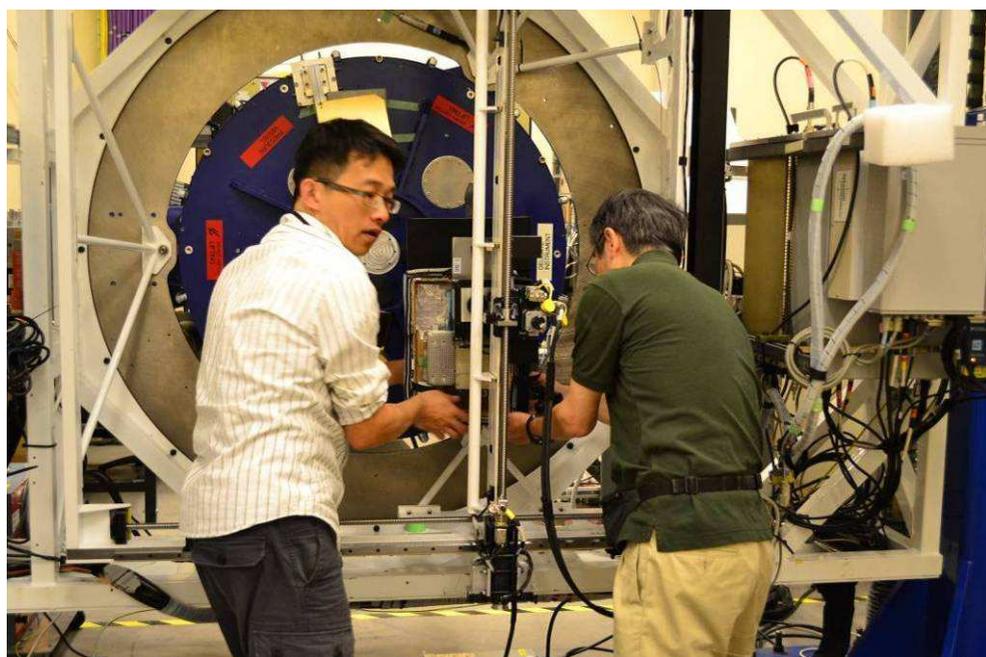


圖 50. 安裝微波測試信號源準備執行相位穩定度測試

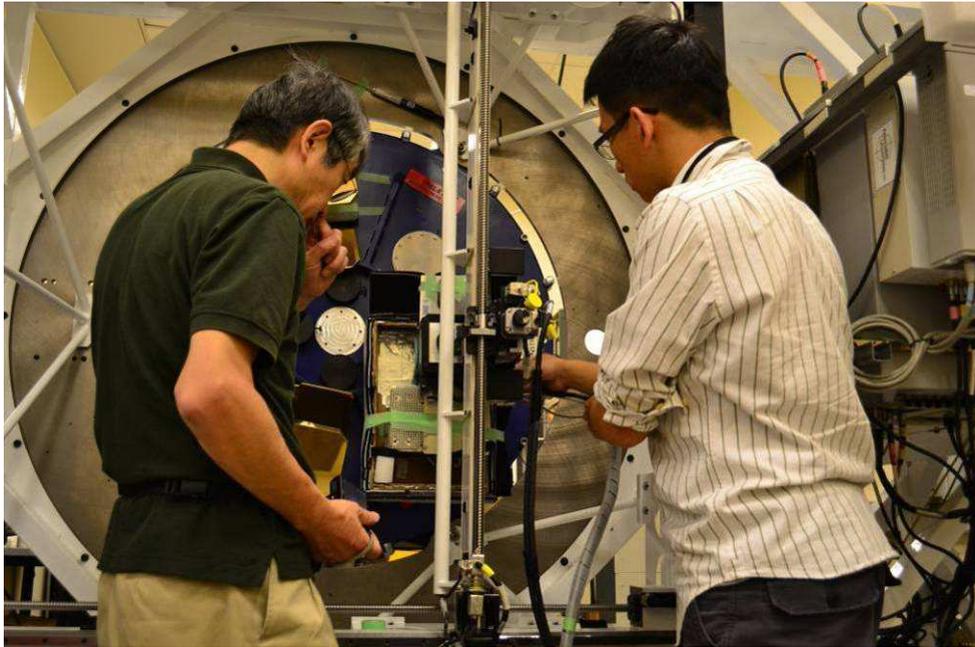


圖 51. 檢查微波測試信號源接線準備執行相位穩定度測試

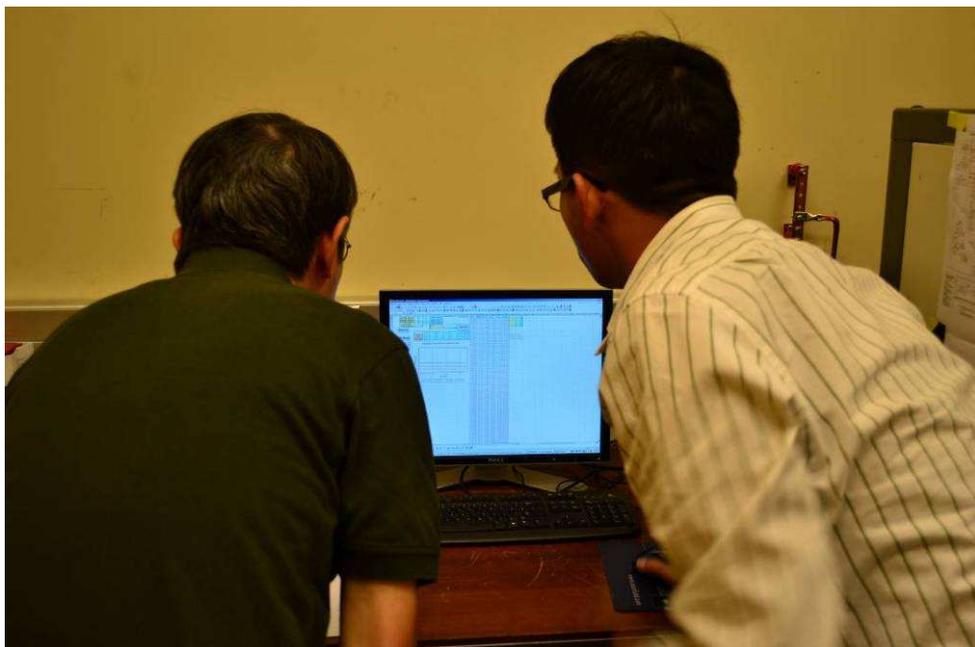


圖 52. 設定量測程式參數準備執行相位穩定度測試

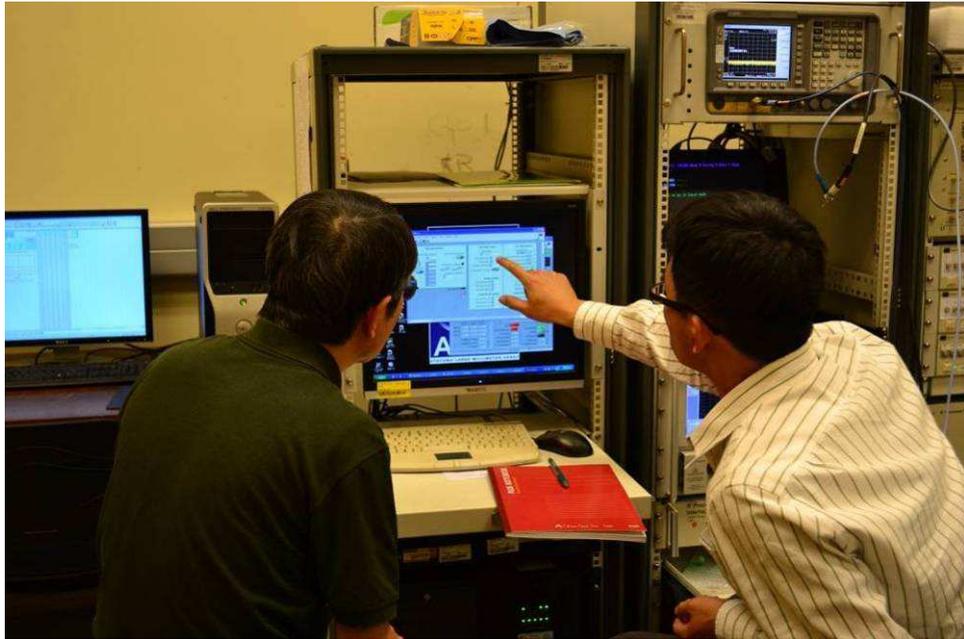


圖 53. 檢查量測程式參數準備執行相位穩定度測試

### 2.3.2 測試結果

以Band6測試結果作為報告內容，詳細測試數據和報告請參閱附件EA FEIC FETMS Requalification Test Report for OSF, ALMA EDM文件編號，FEND-40.09.07.00-0938-B-REP. 測試結果與在EA FEIC一致，符合接收標準。測試資料參閱圖54-圖55。

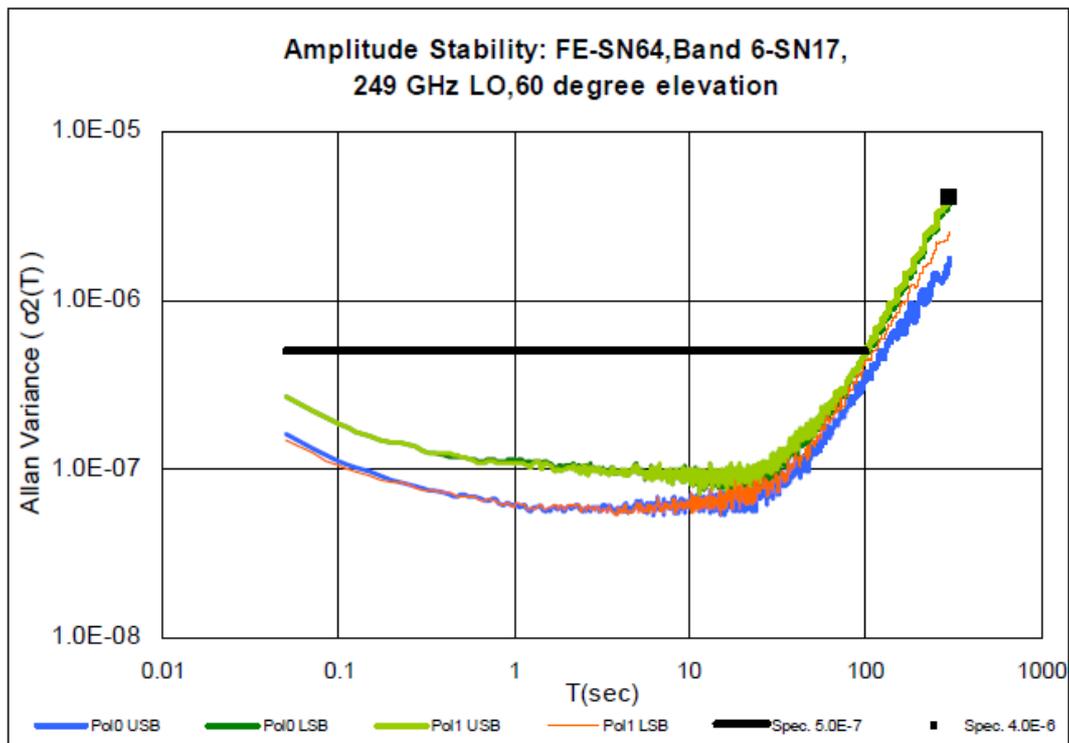


圖 54. 設定 Band 6 於 249 GHz 且傾側測試檯旋轉至 60°之振幅穩定度測試結果

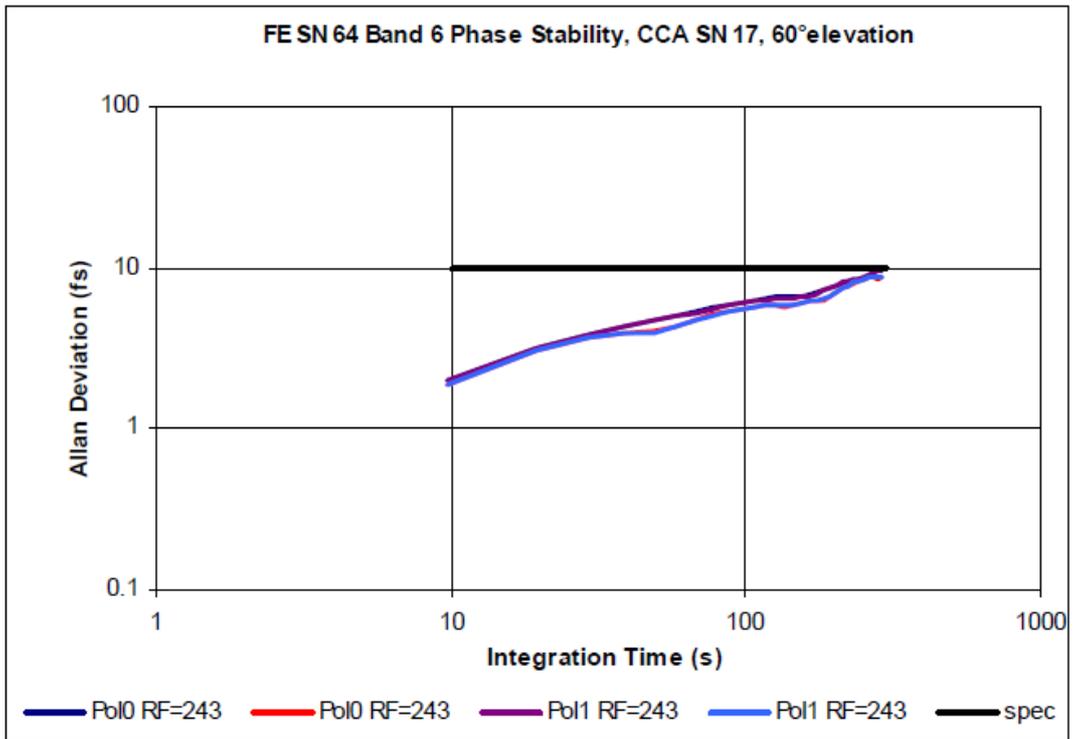


圖 55. 設定 Band 6 於 249 GHz 且傾側測試檯旋轉至 60°之相位穩定度測試結果

## 2.4 天線場型波束指向性(Antenna beam performance)

### 2.4.1 量測和教育訓練過程

FARO 雷射追蹤系統和天線場型波束指向性(Antenna beam performance)執行量測和教育訓練過程，參閱圖 56 -圖 67。



圖 56. 操作 FARO 系統軟體和教育訓練

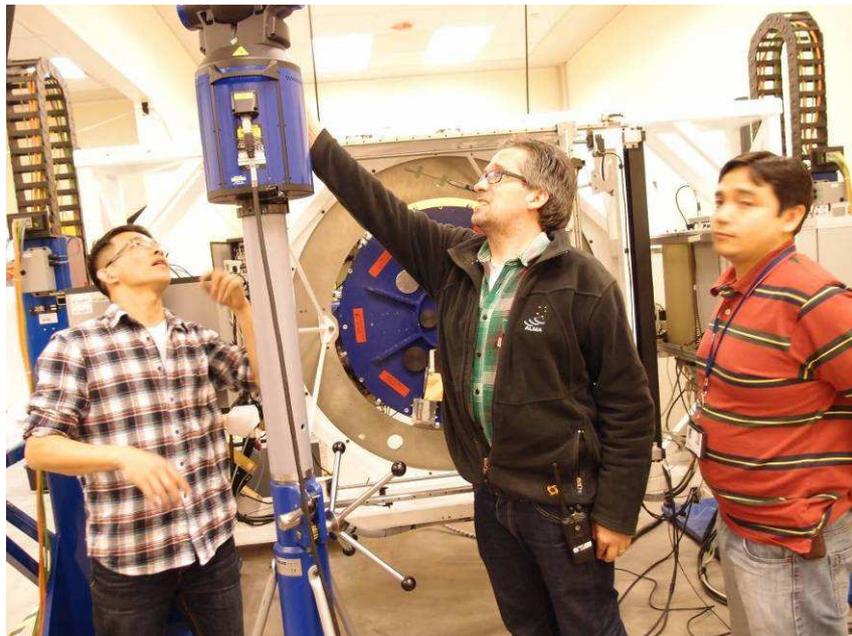


圖 57. 操作 FARO 雷射追蹤系統和教育訓練

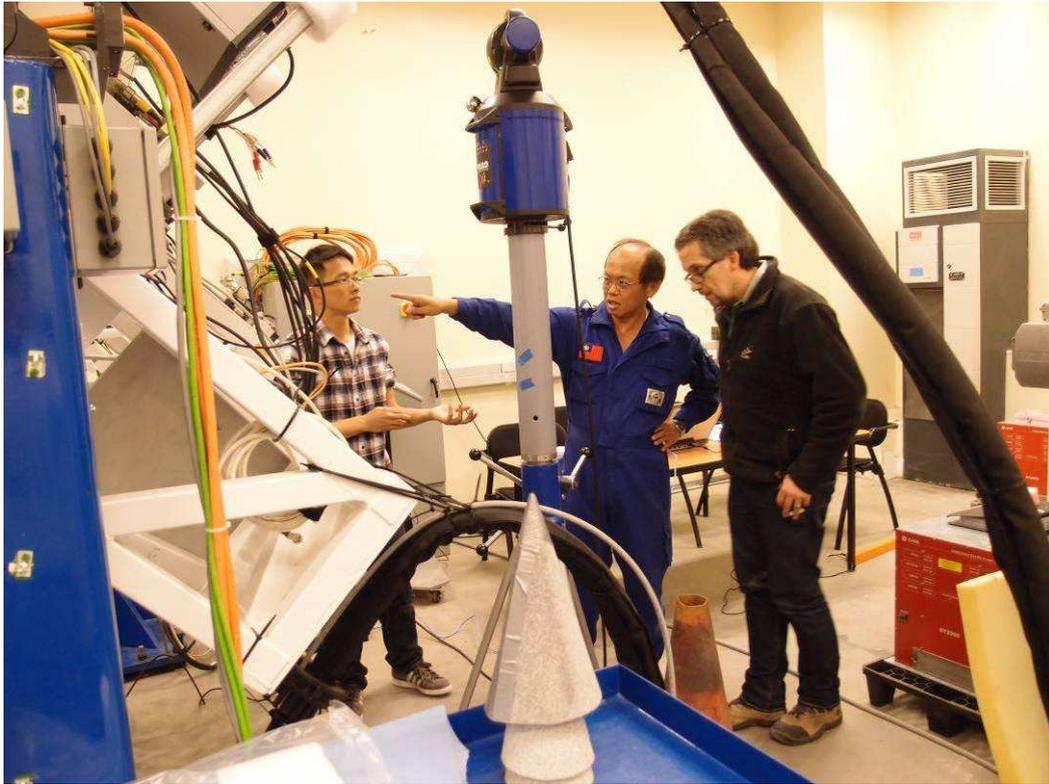


圖 58. 執行 FARO 系統和 NSI 掃描校準教育訓練



圖 59. 檢查 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準

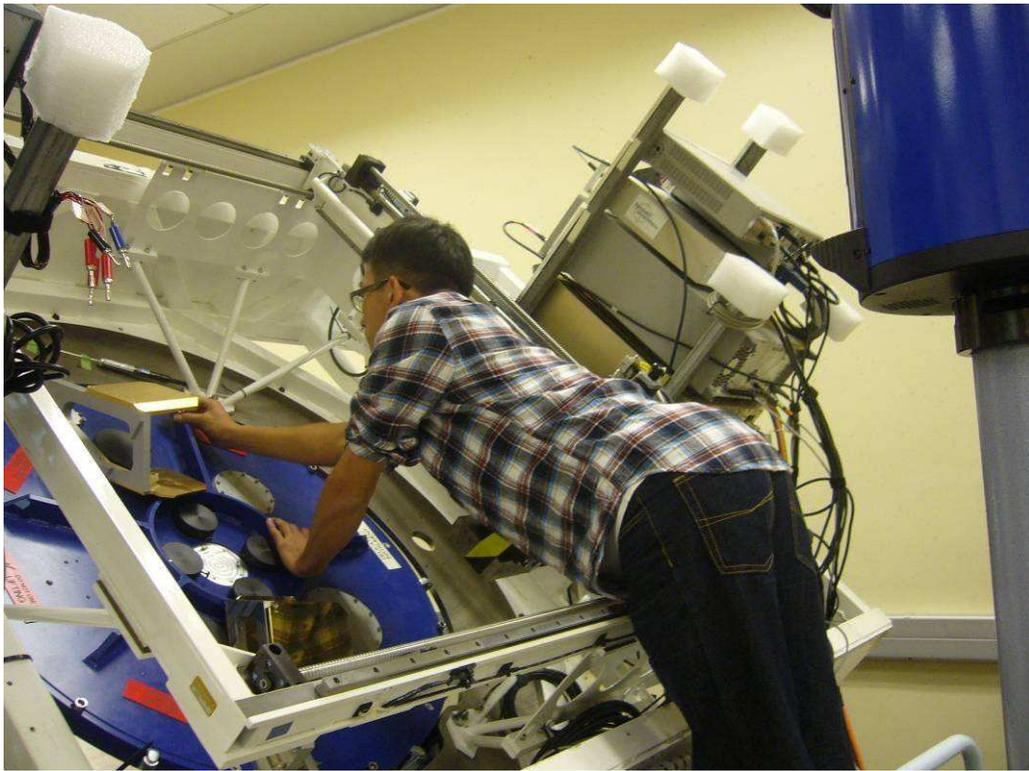


圖 60. 操作 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準

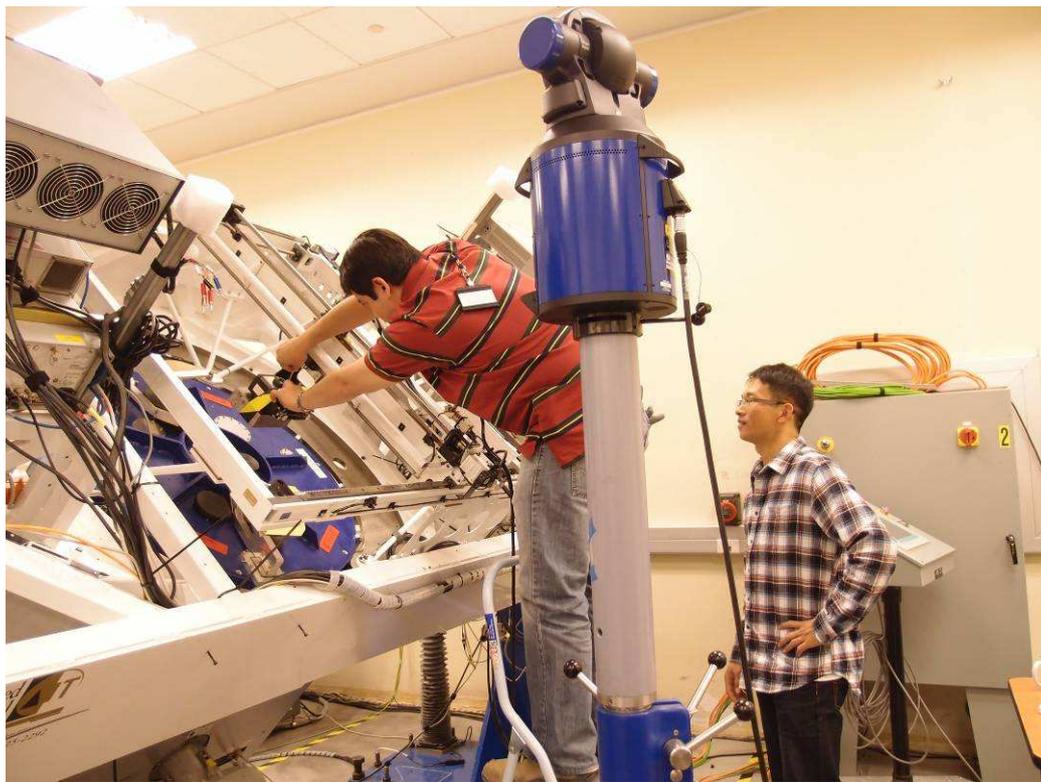


圖 61. 操作 FARO 系統執行 FE SN64 之 NSI 掃描校準教育訓練

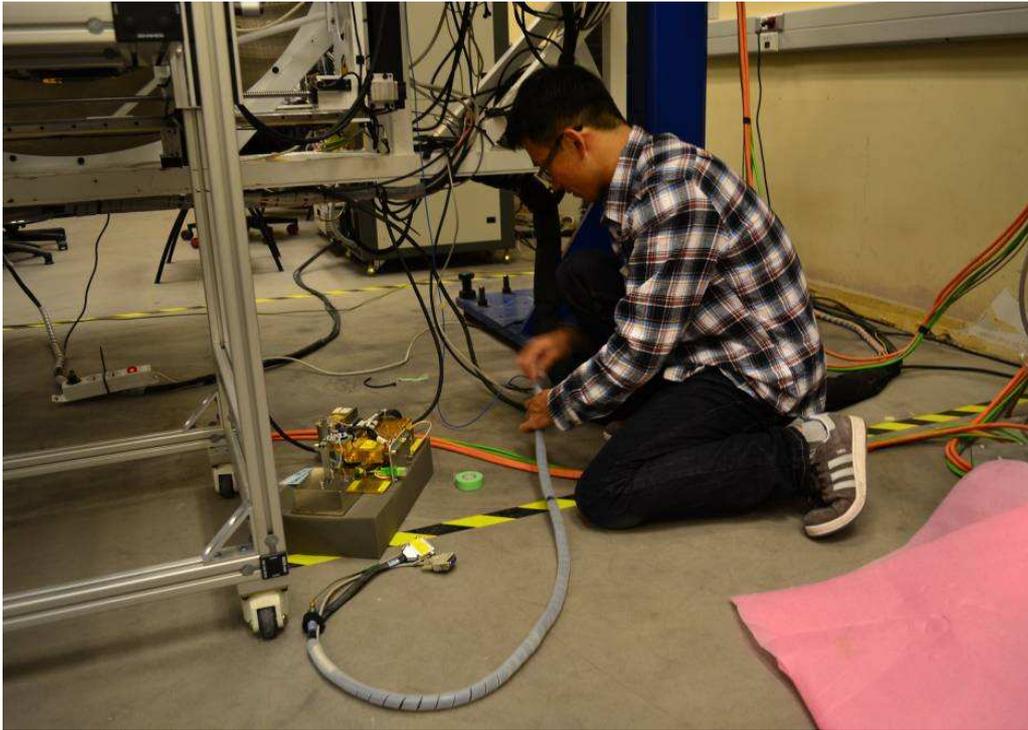


圖 62. 檢查微波測試信號源接線準備執行 Beam Performance 測試

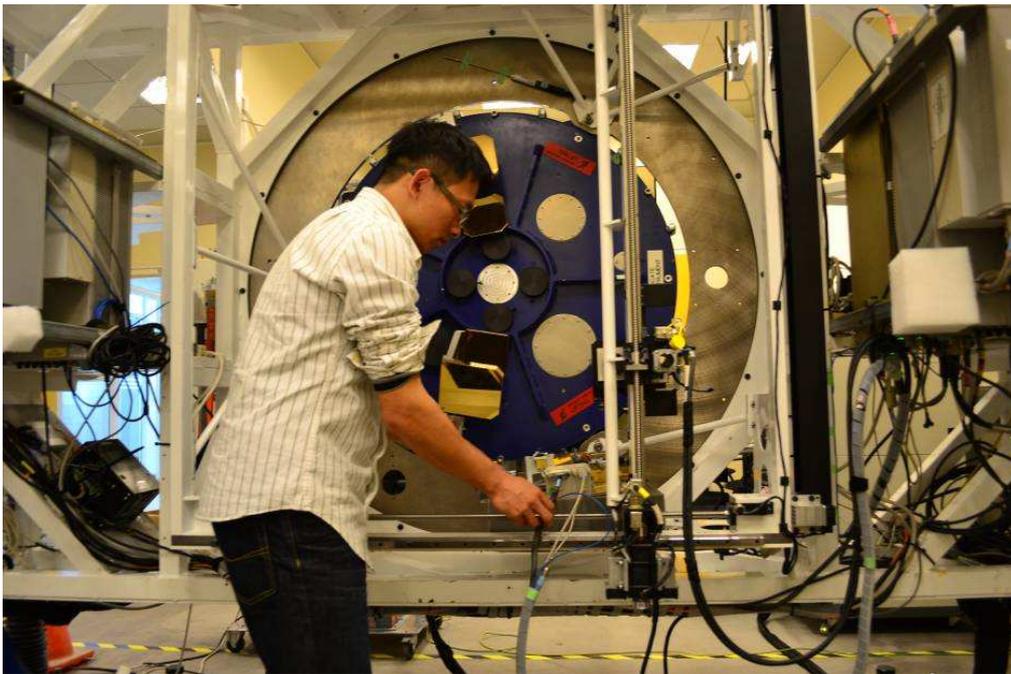


圖 63. 安裝微波測試信號源準備執行 Beam Performance 測試

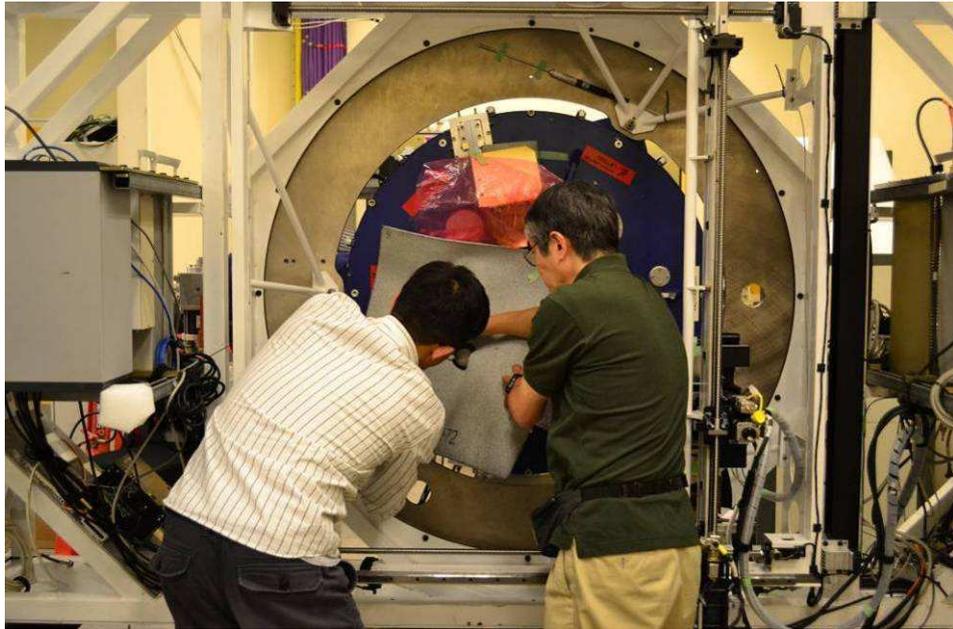


圖 64. 安裝微波吸波體準備執行 Beam Performance 測試

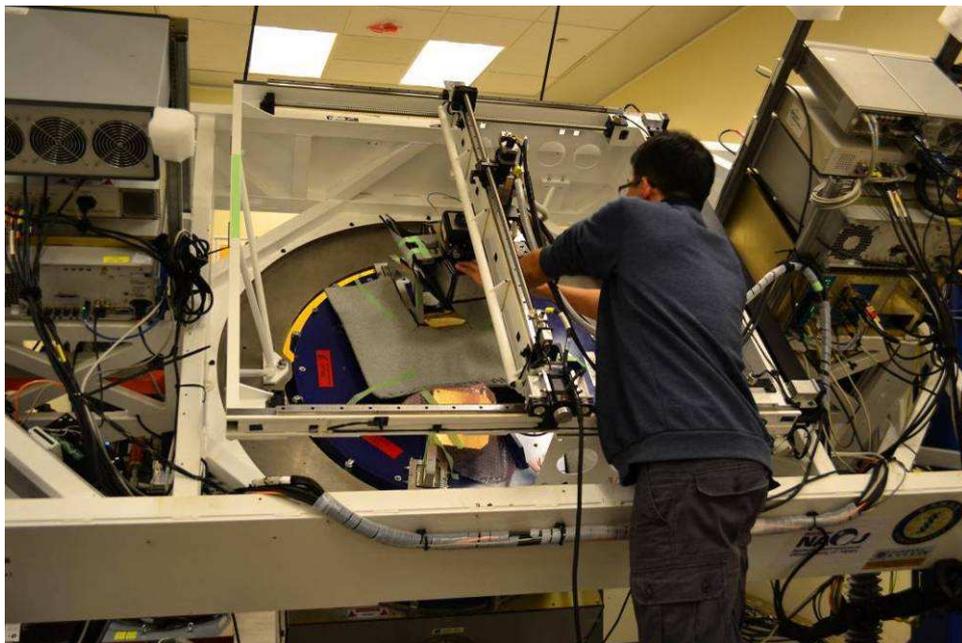


圖 65. 設定 NSI Scanner 傾斜角 45 度執行 Beam Performance 測試



圖 66. 操作 NSI Index 準備執行 Beam Performance 測試

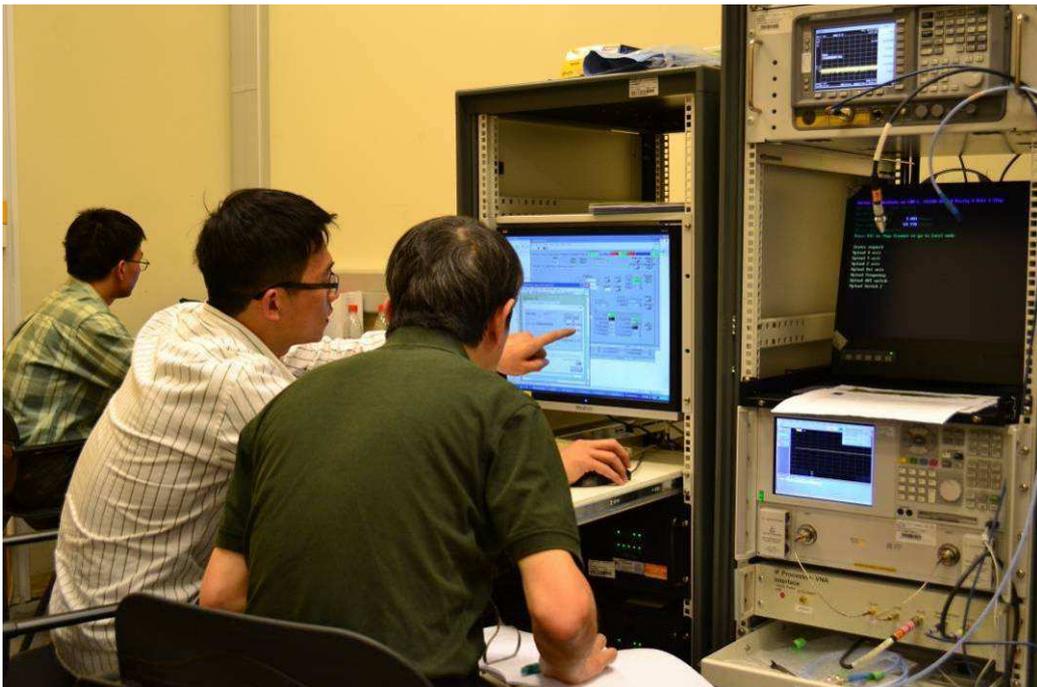


圖 67. 設定量測程式參數準備執行 Beam Performanc 測試

## 2.4.2 測試結果

以Band6測試結果作為報告內容，詳細測試數據和報告請參閱附件EA FEIC FETMS Requalification Test Report for OSF, ALMA EDM文件編號，FEND-40.09.07.00-0938-B-REP. 測試結果與在EA FEIC一致，符合接收標準。測試資料參閱圖68-圖71。

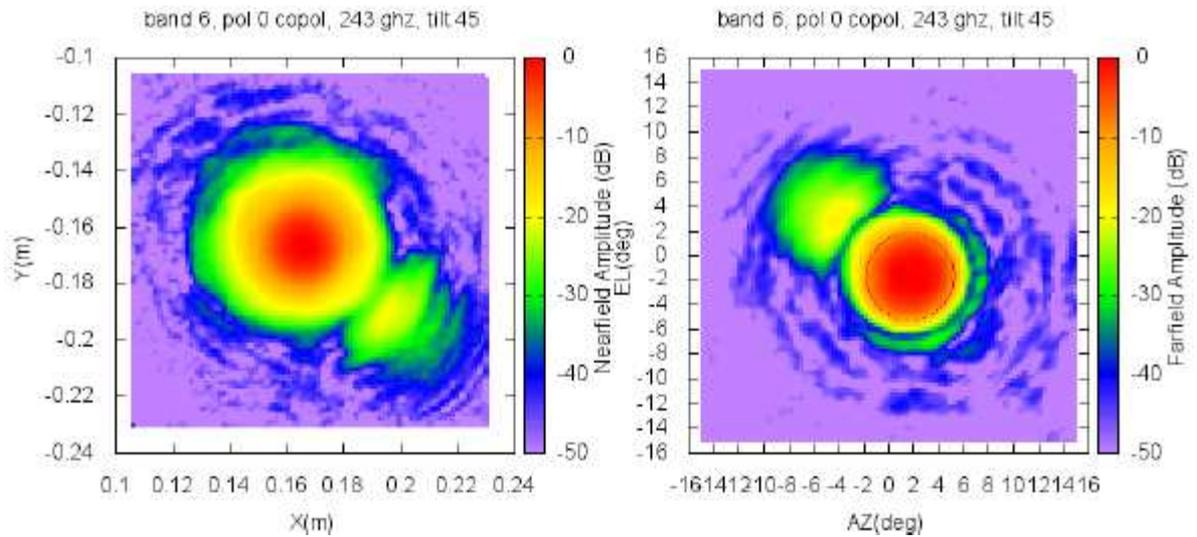


圖 68. 243 GHz Pol 0 Co-pol. elevation 45°: measured at OSF

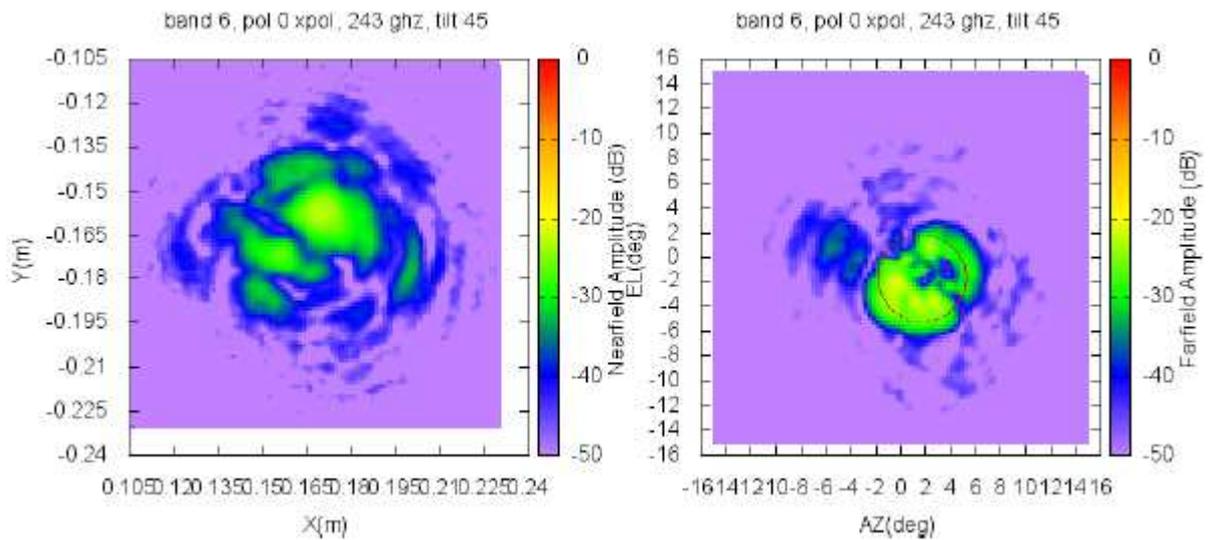


圖 69. 243 GHz Pol 0 Cross-pol. Elevation 45°: measured at OSF

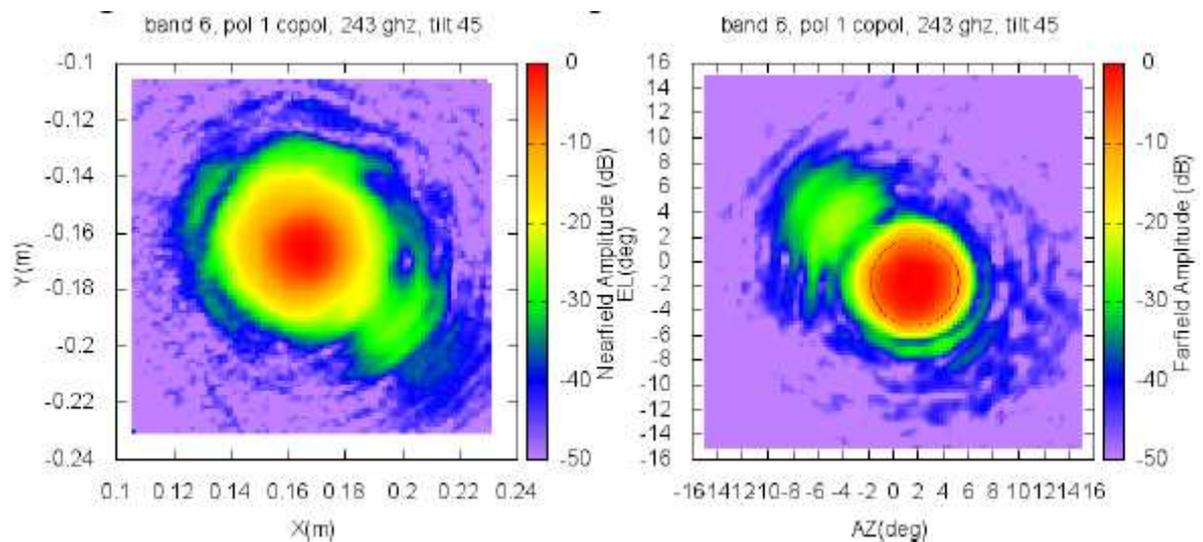


圖 70. 243 GHz Pol 1 Co-pol. elevation 45°: measured at OSF

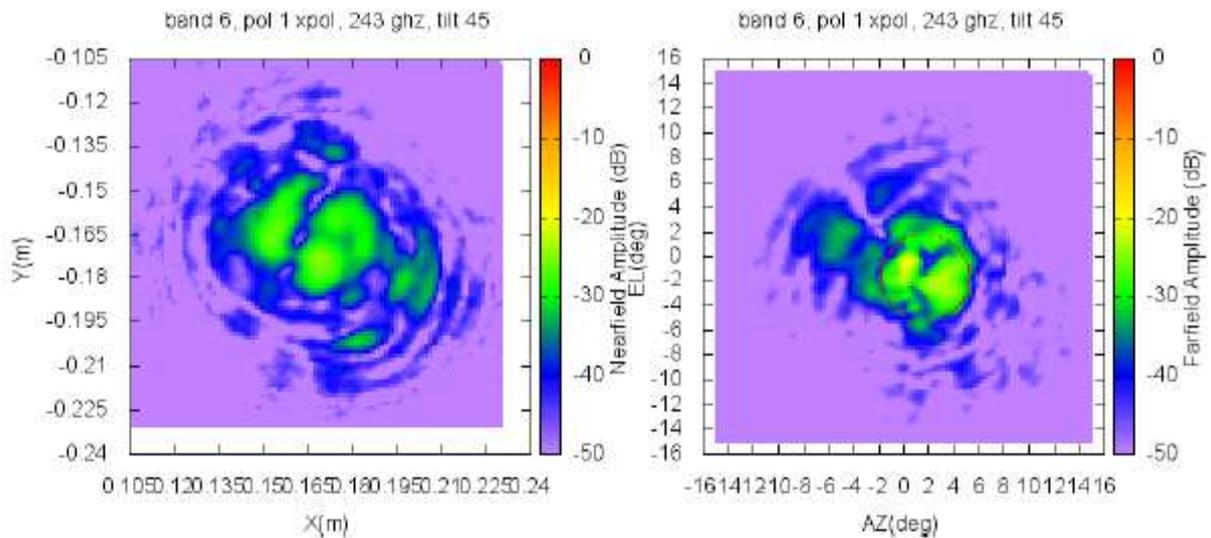


圖 71. 243 GHz Pol 1 Cross-pol. elevation 45°: measured at OSF

### 3.0 交運之接收機後續保固維護執行計畫與新開發接收機頻段合作工作研討

吳培欣副所長赴接收機維修中心，研討目前交運接收機維護現況，及未來保固規劃，目前 EA FEIC 交運之收機，FE#48 及 FE#9 進廠維修，因為 Band 7 偏壓模組接頭漏氣，在 OSF(3010 公尺)測試 OK 但移到 AOS(5070 公尺)觀測基地，發現有漏氣現象，目前 Band 6 與 Band 7 有問題，針對保固維修責任與 NAOJ 研討。交運接收機第 18 套以前均已超過 1 年，第 19 套至 26 套尚未超過一年仍在保固期限，我方交運接收機品質均符合規定，經研討後同意未達保固期限，若發生問題為我方責任則由我方派員負責維修，差旅費則依目前模式由中研院支應，若已逾保固期需我方派員維修與測試，人員經費與差旅需求則由中研院與 ALMA 計畫協商支應。

ALMA 計畫負責人 Dr.Mattheus 來實驗室了解我們工作，並詢問交運此地儀器之精度是否與台灣相同，我們說明目前交運儀器，與我們在台灣測試相同。在完成測試系統接收審查會議，移交 ALMA OSF 技術文件和教育訓練文件和接收測試報告，測試系統已順利將移交智利 OSF 維護中心。之後 NAOJ 安排此次公差人員參訪 Array Operation Site(AOS) 高度 5070 公尺，現有基地有 53 座天線，NAOJ.16 座天線已交運 14 座至觀測基地，尚有 1 具 12 米及具 7 米仍在 OSF 測試中。執行過程參閱圖 72 -圖 81。



圖 72. 參訪接收機維護實驗室與 AIV 工作同仁討論我方交運接收機維護現況



圖 73. 我方工作人員向 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 說明工作進行狀況



圖 74. 我方工作人員陪同 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 拍攝測試儀器

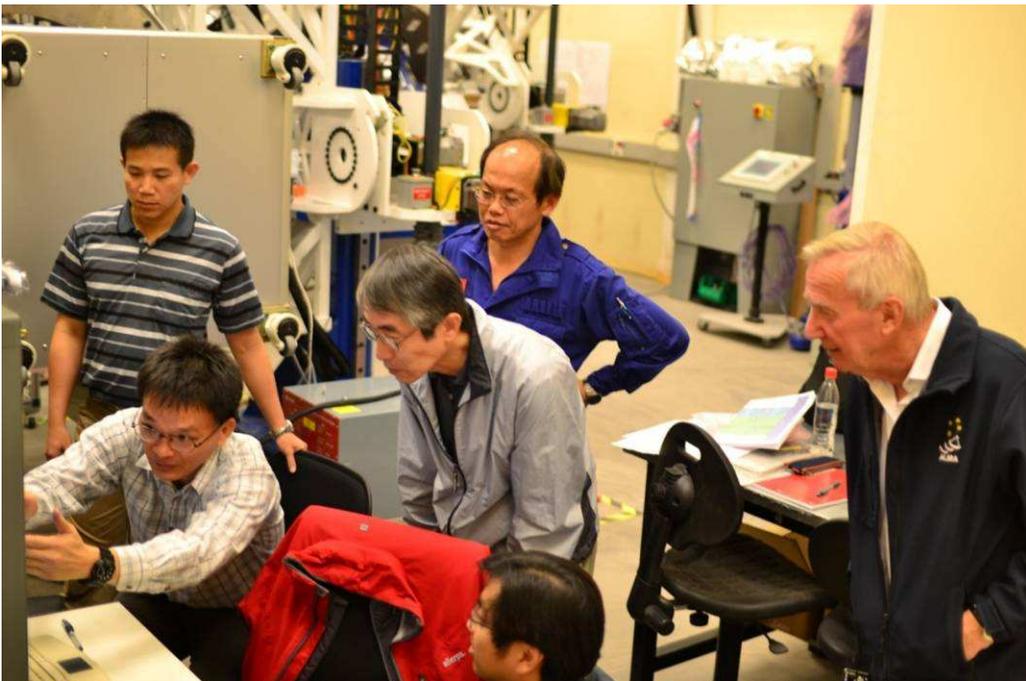


圖 75. 我方工作人員向 ALMA 計畫負責人 Dr. Mattheus 說明測試結果資料



圖 76. ALMA 計畫負責人 r Dr. Mattheus 與我方工作人員合照留念

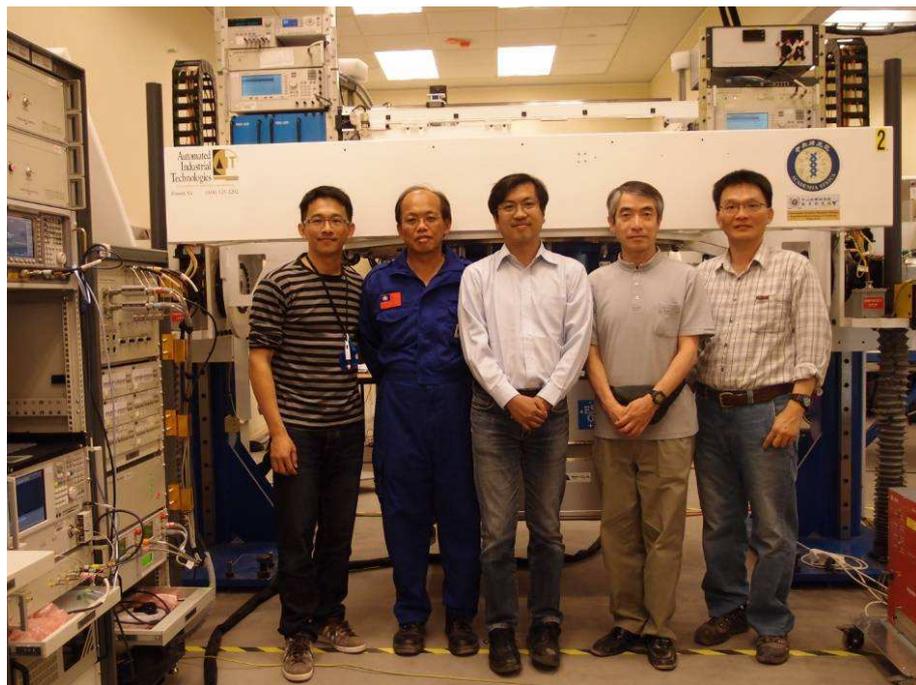


圖 77. 交運儀器貼置中科院與中研院標誌後與日本國家天文台工作人員合照



圖 78. 吳培欣副所長與 NAOJ Mizuno san.在日本 ACA 天線基座前合照



圖 79. 我方工作人員與 NAOJ Mizuno san.在天線基地前合照



圖 80. 我方工作人員與 NAOJ 工程人員在日本 ACA 天線基地前合照



圖 81. 我方工作人員與 NAOJ 工程人員在 ALMA 天線基地前合照

## 參、心得

一、本院於 96 年起承接中研院天文所 ALMA 計畫，目前已順利完成 26 具接收機整合測試與交運智利，配合未來該計畫接收機維護執行，ALMA 計畫要求本院將一套測試儀器交運智利，並協助安裝測試儀器及訓練維修基地人員使用，本院派遣工程人員赴智利觀測基地，配合啓用典禮時程，週末加班使整個進度超前，提早一週完成儀器安裝及人員訓練，並提前一週返國。

二、有關本次國外公差完成工作項目如下：

1. 交運智利觀測基地之實驗室測試儀器開箱清點。
2. 實驗室測試儀器安裝。
3. 實驗室測試儀器測試。
4. 實驗室測試儀器操作訓練。
5. 實驗室測試儀器驗證工作和移交給智利觀測基地維護人員。
6. 本院交運接收機後續保固維護執行計畫。
7. 新開發接收機頻段合作工作項目研討。

三、成果：

1. 藉由參與中研院之計畫取得歐美先進國家天文領域技術支援，獲得真空及超低溫量測技術、雷射校正技術、天線近場及微波量測技術，並建置國際標準之實驗室和建立最先進之世界級電磁波量測技術能量。
2. 本院多年來以堅強的研發團隊展示工程技術實力，深獲國際肯定及讚譽，本次赴智利執行儀器交運及人員訓練，再次展示我方工作人員專業與工作態度，與 ALMA 計畫維修團隊及計畫負責人感謝與肯定，對於本院未來參與中研院執行第一波段機匣研製與整合測試有莫大助益。

## 肆、建議事項

測試儀器已完成交運及測試程序，並研討後續保固維護與第一波段冷凍段機匣(Band 1 Cold Cartridge)新合作案，針對未來交運儀器操作使用及新增合作案建議如下：

1. 此次交機訓練主要以智利工作人員為主，雖然完成基本訓練但在操作人員須具備微波理論能力，才能發揮儀器效能，此次智利受訓部分人員，並未具有相關理論能力，建議中研院協調智利加強操作人員微波理論訓練，以提昇測試品質及效率。
2. 有關保固維修，在未超過交運後一年保固期限，需我方派員赴智利執行維修或測試相關工作，建議中研院以原合約模式，由我方派員赴智利執行相關工作，差旅費用由中研院相關經費支應。
3. 本院與中研院在天文領域多年合作，協助中研院及我國在國際天文領域建立極高知名度，執行計畫過程不但獲得人力經費挹注，並藉由國際合作模式，引進先進微波訊號量測技術，提升國內高頻微波訊號量測技術。在未來第一波段接收機機匣建研製，建議本院持續與中研院合作，藉以提昇本院微波儀器研製與測試能力。