

經濟部 108 年度科技專案執行報告

智慧機械產業計量標準建置加值計畫(1/4)

(第 1 年度)

全程計畫：自 108 年 03 月至 111 年 12 月止

本年度計畫：自 108 年 03 月至 108 年 12 月止

中華民國 109 年 1 月

【期末報告摘要資料】

科資中心編號				
計畫中文名稱	智慧機械產業計量標準建置增值計畫(1/4)			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	108-1402-04-18-06	
執行機構	工業技術研究院量測技術發展中心	審議編號		
本期期間	108年03月28日至108年12月30日			
本年度經費	104,066千元			
執行單位出資0%				
經濟部標準檢驗局 委託(補助) 100%				
執行進度		預定進度	實際進度	差異比率(比較)
	當年	100%	100%	0
	全程	25%	25%	0%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	104,066 千元	103,734 千元	99.68 %
	全程	393,737 千元	103,734 千元	26.35 %
	註: 1.當年實際工作進度參照各分項的甘特圖，計算每一分項該月累計執行工作之項數/(1~12個月每月分別執行工作項數之總和)=分項當月之執行進度，進而依各分項工作進度*經費權重分項=當年總計畫之執行進度。 2.全程預定進度，四年期全程，每年進度25%，若第三年(108年)之11月執行進度為80%，則108年11月之際，其全程進度為25%(第一年)+25(第二年)+25%(第三年)*80%=70%。 3.本表經費與進度統計至108.12.30日止			
中文關鍵詞	計量標準; 校正與追溯; 量測			
英文關鍵詞	Metrology; Calibration and Traceability; Measurement			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	彭國勝		Gwo-Sheng Peng	
	傅尉恩		Wei-En Fu	
	陳文仁		Wen-Jen Chen	
	許博爾		Po-Er Hsu	
	饒瑞榮		Ray-Rong Lao	

年度執行成果：**一、感測器計量標準建構分項****1.力量感測器校正技術**

- 完成小力量量測系統設計與製作，量測範圍 10 mN~10 N，系統控制移動位移解析度為 2nm，經實際利用系統天平量測力量傳感器測試件，兩者間顯示平均器差分別為 0.441 % (10 mN)、0.004 % (1 N)及 0.015 % (10 N)。
- 完成正向力量感測器開發技術，採用 CMOS MEMS 標準製程進行元件設計，元件感測範圍可達到 0.01 N~0.5 N，靈敏度達到 1.8 fF / mN。

2.AI 語音及機械聲音之聲麥克風校正技術

- 完成壓力場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，並整合目前的互換校正設備，完成建置符合 IEC 61094-2 規範之麥克風壓力場靈敏度校正系統，頻率範圍擴充至 10 Hz 至 25 kHz。
- 完成自由場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，整合目前的互換校正設備，完成建置符合 IEC 61094-3 規範之麥克風自由場靈敏度校正系統，頻率範圍擴充為 1 kHz 至 40 kHz。

二、工具機線上校正技術建立分項**1.視覺感測器 3D 量測之線上校正技術**

- 完成高反光物件視覺 3D 點雲量測技術開發，對高反光之自由曲面標準件進行量測評估，在不噴塗消光粉的情況，影像對比度達 47.1%(傳統方法為 0.7%~25.4%)，提升視覺 3D 量測儀器性能，取得正確且高訊雜比之 3D 點雲資料。
- 完成三球互換量測技術，可降低現有實驗室 Leitz ULTRA 座標量測儀約 50 % 的量測不確定度，完成的球徑量測不確定度為 0.13 μm ($k=2$)，滿足現今市面上的視覺 3D 量測儀器所需標準件的量測不確定度規格。

2.具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

- 完成非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，參考 ISO 10360-3 設計反射鏡安裝治具，降低非接觸式雷射干涉儀位置計算誤差，量測不確定度 $\leq 2''$ ；線性： $\leq 4 \mu\text{m}$ 。
- 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術，利用 PZT 與雷射干涉儀進行驗證，兩軸偏移誤差 $\leq 0.1\mu\text{m}$ ；利用多邊規及自動視準儀進行驗證，角度定位誤差 $\leq 0.7''$ ，驗證其可應用在工具機迴轉工作台進行偏移誤差與角度定位之可行性。

3.非接觸式溫度量測之線上校正技術

- 完成黑體模擬器設計開發，滿足線上追溯設計，外觀尺寸 155mm \times 40mm，以兩顆 IR LED 作為混光源，探頭之設計為凸狀探頭設計。根據測試，升溫穩定時間 $\leq 30 \text{ min}$ ，穩定度 1 %，為黑體模擬器之穩定性量測，校正後之黑體模擬器平均溫度為 962 $^{\circ}\text{C}$ ，標準差為 0.727 $^{\circ}\text{C}$ 。

三、智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項**1.高速連網設備電磁安全量測標準技術**

- 完成高電磁場強之電磁場強度量測能量建立(0.1 MHz 至 8 GHz;最高場強 200 V/m)，提供智慧生產線及精密機械、航空、車電及半導體之電磁輻射安全，以及儀器相互連線之穩定性測試所需之量測追溯。

	<p>2.智慧型 GNSS 遠端校時服務系統技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成國家級同步源設備規劃與購置，銫原子頻率標準器組架設後，將於 12 月 30 日前完成與 UTC(TL)相差小於 10 ns 之國家級同步源設備架設，將可提供全國分散式系統(含智機產業)之時間同步，可應用於機械設計及運動控制中的 EtherCAT (乙太網控制自動化技術；國際標準組織納入成為 ISO15745 標準)，亦可應用於智慧電網、電信 5G 同步、高速金融交易、IoT 等需分散式同步源之產業及追溯。 • 完成智慧型 GNSS 遠端校時服務方案規劃，用來監測同步智機中心之散式同步源，再利用 IEEE 1588 傳送至 PLC(可編程邏輯控制器)、無刷馬達、機器人、同步相量等領域所需之 IEEE 1588 同步定時，以滿足智機產業對國家標準時頻同步於精確度、穩定度、安全性的需求。 <p>3.電磁環境與安全要求及資訊安全標準、檢測技術與驗證研究技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人 EMC 與安全及資訊安全標準研究報告(涵蓋歐、美、亞洲 3 個區域)1 份，以作為規劃國內智慧機械產業所需檢測驗證能量之參考，達到與國際檢測驗證制度接軌。 • 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人 EMC 測試規範 2 份、檢測能量研究報告 1 份以及技術服務 2 件，藉由技術服務協助廠商產品開發，提升產品的國際競爭力。
報告頁數	184 頁
使用語言	中文

目 錄

壹、前言	1
貳、全程計畫	4
一、產業需求	4
二、全程計畫目標	9
三、全程計畫架構	18
四、計畫實施方法	19
五、分年度重要指標、技術建立時程圖	20
六、各子項之產業化關鍵績效指標	32
七、產業效益(含分年度)	36
參、本年度計畫目標及成果說明	40
一、感測器計量標準建構分項	40
二、工具機線上校正技術建立分項	62
三、智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項	109
肆、資源運用情形	148
一、人力運用情形	148
二、經費運用情形	149
伍、計畫變更說明	151
陸、成果說明	152
一、計畫達成情形	152
二、量化成果彙總表	163
柒、附件	165
附件一、計畫購置儀器設備彙總表	165
附件二、研究成果統計	166
附件三、出國暨赴陸會議人員一覽表	167
附件四、技術/專利應用一覽表	171
附件五、論文一覽表	175
附件六、技術報告一覽表	175
附件七、研討會/技術推廣說明會/訓練課程一覽表	178
附件八、名詞索引表	179

圖 目 錄

圖 1、智慧機械產業創新 AI 應用加值三大主軸	1
圖 2、建立國際接軌智慧化系統.....	3
圖 3、國際 AI 趨勢與現況.....	10
圖 4、小力量校正系統設計架構.....	41
圖 5、電容式力量感測原理	42
圖 6、元件結構立體拆解簡圖.....	43
圖 7、有限單元法模擬結果	43
圖 8、CMOS-MEMS 後製程流程圖	44
圖 9、小力量校正系統.....	45
圖 10、小力量校正系統軟體操作介面.....	46
圖 11、CMOS 元件光罩設計圖.....	47
圖 12、量測架設圖	48
圖 13、元件性能量測結果.....	48
圖 14、實施方法工作流程.....	50
圖 15、麥克風壓力場靈敏度校正系統.....	50
圖 16、麥克風自由場靈敏度校正系統.....	51
圖 17、B&K5998 互換校正儀	51
圖 18、B&K5998 內部電路板電容更換	51
圖 19、電容為 22 uF 之低頻訊號輸測試結果	52
圖 20、電容為 220 uF 之低頻訊號輸測試結果	52
圖 21、各式耦合腔之深度與適用頻率範圍.....	53
圖 22、耦合腔體積差異對 1/2 英吋麥克風音壓靈敏度的影響	53
圖 23、1/2 英吋麥克風音源中心推估結果.....	54
圖 24、麥克風距離對自由場靈敏度的影響.....	55
圖 25、音壓靈敏度數學運算模擬建立.....	55
圖 26、音壓靈敏度量測不確定度分析.....	56
圖 27、自由場靈敏度數學運算模擬建立.....	56
圖 28、自由場靈敏度量測不確定度分析.....	57
圖 29、音壓靈敏度校正系統.....	58
圖 30、耦合腔音場麥克風配置.....	58
圖 31、耦合腔音場低頻量測範圍.....	58
圖 32、耦合腔體積影響誤差	59
圖 33、自由場靈敏度校正系統.....	59
圖 34、自由音場麥克風配置.....	59
圖 35、自由場高頻量測範圍.....	60

圖 36、時間窗選擇技術.....	60
圖 37、反射音影響誤差.....	60
圖 38、演算法原理.....	63
圖 39、模擬影像合成效果.....	64
圖 40、自由曲面標準件.....	64
圖 41、不同曝光時間量測數據.....	65
圖 42、光柵投影系統與取像系統整合實驗平台.....	65
圖 43、多曝光影像合成流程圖.....	66
圖 44、軟體功能與人機介面.....	67
圖 45、球徑尺寸.....	68
圖 46、三球互換量測技術的量測流程與計算公式.....	68
圖 47、量測點分布設計.....	69
圖 48、精密傾斜微調台.....	69
圖 49、精密旋轉平台.....	70
圖 50、XY 方向精密微調台.....	70
圖 51、轉接板.....	70
圖 52、分析程式之運作流程圖.....	71
圖 53、蒙地卡羅法量測不確定度評估流程.....	72
圖 54、三球互換技術應用前後的量測誤差分布.....	72
圖 55、球距尺寸.....	73
圖 56、標準球距量測不確定度來源評估.....	73
圖 57、二自由度微調治具.....	74
圖 58、球桿固定 V 槽治具.....	74
圖 59、轉接板.....	75
圖 60、球距量測流程圖與量測不確定度來源.....	75
圖 61、多曝光影像合成演算法之對比度提升效果.....	76
圖 62、國際研討會 IMETI 2019 發表海報.....	77
圖 63、微調治具.....	78
圖 64、蒙地卡羅法球徑量測不確定度評估結果.....	79
圖 65、第 19 屆 CIM 國際研討會發表海報.....	79
圖 66、ISO 230-7 之旋轉軸幾何誤差分類.....	82
圖 67、幾何誤差線上量測與分析技術流程圖.....	83
圖 68、模擬分析結果與設定值的差異分布圖.....	85
圖 69、蒙地卡羅量測不確定度評估結果.....	86
圖 70、POCAS 原型.....	87
圖 71、量測原理示意圖.....	87
圖 72、POCAS 之幾何誤差分析核心流程.....	88

圖 73、平均值量測數據與偏心誤差.....	88
圖 74、徑向誤差量測結果圖.....	88
圖 75、演算法驗證平台.....	89
圖 76、不同驗證參數.....	89
圖 77、SelfA8 量測數據.....	90
圖 78、SelfA8 平均值結果.....	90
圖 79、SelfA8 量測數據值.....	90
圖 80、原始轉動徑向誤差之結果.....	91
圖 81、PZT 移動圓路徑半徑值 1 μm 與 SelfA8 量測值比較圖.....	91
圖 82、PZT 移動圓路徑半徑值 1.5 μm 與 SelfA8 量測值比較圖.....	91
圖 83、x 方向徑向誤差量測結果.....	92
圖 84、y 方向徑向誤差量測結果.....	92
圖 85、二維標準件.....	93
圖 86、角度校正系統(D06)擴建之環境確認.....	95
圖 87、本年度計畫採購之設備.....	95
圖 88、幾何誤差分析標的 2 種上銀公司之迴轉工作台產品.....	96
圖 89、計畫合作執行架構.....	96
圖 90、非接觸式溫度量測技術之產業應用範圍與不確定度.....	97
圖 91、黑體普朗克分布.....	99
圖 92、黑體輻射頻譜擬合光譜.....	99
圖 93、OP133w(935 nm)與 OP233(890 nm)混光結果.....	99
圖 94、模擬器發射頭機構設計圖.....	100
圖 95、本體側視圖.....	100
圖 96、LED 與二對一光纖光耦合效率計算.....	101
圖 97、LED 與四對一光纖光耦合效率計算.....	101
圖 98、具收光用透鏡之二對一(上)與四對一(下)之光纖束.....	102
圖 99、LED 溫控與模擬光輸出之實驗分析.....	102
圖 100、多頻道電壓控制輸出電流源.....	103
圖 101、LED 擬合黑體溫度.....	103
圖 102、黑體模擬器校正後之溫度曲線.....	104
圖 103、固定點黑體模擬器整合架構.....	104
圖 104、黑體模擬器之機構爆炸圖.....	105
圖 105、黑體模擬器模組.....	105
圖 106、黑體模擬器穩定性測試.....	105
圖 107、產業界(TSMC)目前溫度標準追溯況.....	106
圖 108、計畫完成後之溫度標準追溯.....	107
圖 109、電磁場強度量測系統架構圖.....	110

圖 110、橫電磁波室電磁場強度量測系統示意圖	111
圖 111、電波暗室電磁場強度量測系統示意圖	111
圖 112、垂直於地面架設方式-橫向管材使用圓棒型式	111
圖 113、垂直於地面架設方式-橫向管材使用方管型式	112
圖 114、垂直於地面架設方式-橫向管材使用數根細管材組合之型式	112
圖 115、水平於地面之架設治具	112
圖 116、特殊角度之架設治具	113
圖 117、訊號自動回饋補償演算法設計流程圖	114
圖 118、橫電磁波室測試區域評估示意圖	115
圖 119、橫電磁波 TEM1 量測架設照片	116
圖 120、橫電磁波 TEM2 量測架設照片	116
圖 121、電波暗室 30 公分測試區域之量測示意圖	118
圖 122、電波暗室 60 公分測試區域之量測示意圖	118
圖 123、L Fixture 治具量測架設圖	119
圖 124、I Fixture 治具量測架設圖	119
圖 125、S Fixture 治具量測架設圖	119
圖 126、諧波訊號產生之誤差比例	122
圖 127、用於橫電磁波室之訊號特性量測結果	122
圖 128、用於電波暗室之訊號特性量測結果	122
圖 129、電磁場強度校正設備	123
圖 130、1 分貝壓縮點量測結果	123
圖 131、2 次諧波失真與 3 次諧波失真之量測結果	124
圖 132、橫電磁波室電磁場強度量測系統設置	124
圖 133、電波暗室電磁場強度量測系統設置圖	125
圖 134、於橫電磁波室電磁場強度量測系統之 200 V/m 量測結果	125
圖 135、於電波暗室電磁場強度量測系統之 200 V/m 量測結果	126
圖 136、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統架構圖	128
圖 137、GNSS 衛星共視法示意圖	128
圖 138、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統架構圖	130
圖 139、國家級同步源設備與 UTC(TL)世界協調時間比對結果	130
圖 140、更新版智慧型 GNSS 遠端校時服務系統架構圖	131
圖 141、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統母站規劃架構圖	133
圖 142、計畫工作流程圖	137
圖 143、台灣工業用機器人 EMC 和安全規範研討會	139

表 目 錄

表 1、我國工具機智慧化功能項目	4
表 2、智慧化感測器於工具機之量測區域.....	5
表 3、高效能智慧化所需要之感測器之校正需求.....	7
表 4、國內外力量校正技術研發現況分析表.....	41
表 5、小力量系統初估不確定度表	46
表 6、音壓靈敏度影響因子誤差範圍.....	55
表 7、自由場靈敏度影響因子誤差範圍	57
表 8、實驗平台規格	66
表 9、量測不確定度來源與誤差全距.....	78
表 10、幾何誤差模擬設定值.....	84
表 11、目前市售線性軸與旋轉軸之幾何誤差量測方法.....	93
表 12、黑體模擬器穩定性分析結果.....	106
表 13、與既有黑體之比較.....	107
表 14、橫電磁波室資訊.....	115
表 15、TEM1 測試區域評估結果	116
表 16、TEM2 測試區域評估結果	117
表 17、場地變異性量測結果.....	120
表 18、氫微射頻率標準器之穩定度規格要求.....	129
表 19、氫微射頻率標準器之相位雜訊規格要求.....	129
表 20、銻原子頻率標準器之穩定度規格要求.....	131
表 21、銻原子頻率標準器之相位雜訊規格要求.....	131
表 22、BIPM 所指定之 GNSS 接收機校正一級(G1)校正實驗室	132
表 23、智慧機械聯網相關設備與工業機器人 EMC 相關規範.....	138
表 24、智慧機械聯網相關設備與工業機器人安全相關規範.....	138
表 25、EMC 檢測技術服務依據標準及測試項目	140
表 26、國家度量衡標準實驗室及 TAF 認可校正實驗室出具具有認證標誌之校正報告情形	143
表 27、TAF 認可校正實驗室出具不具有認證標誌之校正報告	144
表 28、TAF 認可校正及測試實驗室使用之標準件/設備類型及平均校正週期	145

壹、前言

近年來，各國政府皆紛紛推展工業 4.0，試圖達到提升製造精度、效率及降低成本等目的。而工業 4.0 概念的製造模式，是透過軟硬體之整合，讓生產系統具有智慧化，其硬體基於在現有的自動化技術上，加上軟體的串連整合，使之成為一體化架構。除了製造現場的生產系統，企業營運端的企業資源計劃(Enterprise resource planning, ERP)、客戶關係管理(Customer Relationship Management, CRM)…等系統，也必須一併納入。簡單言之，未來製造業的所有數據、資產，都不再被分開運作處理，而是視為同一體制，資源與數據可以無縫的快速流動並且使用，在這其中，人工智慧(Artificial Intelligence, AI)將扮演重要角色，以深度學習(Deep Learning)方式，協助製造系統的操作者與管理者解決問題。

我國政府也積極推動相關政策，智慧機械產業為政府五加二產業創新之一，其目的即是協助臺灣的精密機械升級為智慧機械產業，用以推升智慧製造或是工業 4.0，並推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。108 年政府發展通過之科技綱要計畫「智慧機械產業創新 AI 應用增值計畫」，由經濟部工業局與標準檢驗局共同執行，其計畫主軸如圖 1、智慧機械產業創新 AI 應用增值三大主軸、分別焦距於計量標準、產業創新與中小型製造業導入 AI 應用，其中主軸一建立計量標準與計量技術，由標準檢驗局委託工研院量測中心執行，計畫名稱為「智慧機械產業計量標準建置增值計畫」。



圖 1、智慧機械產業創新 AI 應用增值三大主軸

隨著人工智慧(AI)的蓬勃發展，試圖轉型的製造商，已開始使用人工智慧來應對這些諸多挑戰。而要導入 AI，第一步即是數據的擷取與建立，不過要跨出這正確的第一步並不容易，許多系統設計者與導入企業，常常忽略數據擷取及資料正確的重要性，AI 不會是泛用於各種產業的平台，各種產業都有其專業，因此數據的種類需求與擷取方式也大不相同。此外，隨著智慧化的過程、物聯網的使用，將帶來前所未見的巨量資料，例如來自各種不同來源：如感測器、機器、加工製造、供應鏈及企業營運的資料，以及人工智慧技術(AI)高計算能力所產生的資料。在這“巨量資料”(Big Data)中，資料可靠性，成為關鍵，因為如果儲存了不受信任、不正確的資訊，而這些資訊無法說明理解複雜的現

實，則收集的大量資料及其分析將完全無用。因此，“計量”扮演極其關鍵的作用-確保量測資料的“可靠性”與“正確性”。

為確保量測資料的可靠性及正確性，瞭解和掌握量測結果的不確定性，以提供確認“巨量資料”中資料的可靠性，並進一步將“計量”嵌入製造流程中，將“可靠”與“正確”的資訊，貫穿整個加工程序，使智慧製造得以進行調整製程、預測維護、自動化品質控制、及需求驅動生產以做出正確的判斷和決策。本計畫將推動以下任務，達成此目標：

- 一、建構與國際等同之高效率校正基礎設施，提供可靠與準確具追溯之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件，做為基礎，展開 AI 加值應用。
- 二、發展具追溯之高準確線上量測技術，將“計量”嵌入製造流程中，即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，進而發展工具機幾何誤差之檢測與補償，提升品質管理效率及產品品質，藉此拓展單機智慧化的功能面及深化控制技術。
- 三、以智慧生產線中的聯網應用及量測數據調和之計量標準技術研發與國際合作，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統解決方案。

計畫最終達成發展“計量標準”，建立我國“智慧機械檢校體系”，提供“可靠”與“正確”的量測資訊。將“計量”嵌入製造流程中，解決線上量測之量測準確性及追溯問題，並和國際規範對接，建立共通的量測語言，協助我國產業推廣至國際市場及後續智機產業之 AI 應用。

本計畫的核心概念為“Shop Floor as NMI(計量標準實現於生產線)”，將透過開發可直接應用於智慧機械生產線上的量測標準技術，以降低校正追溯成本，並同時解決線上量測之追溯、準確性問題。計畫概念是從建立關鍵感測器與關鍵零組件之計量標準與線上校正技術開始，再以智慧生產線中的量測數據調和及高速聯網設備性能檢校技術發展，搭配國際規範導入及國際合作，協助政策建立與國際接軌之智慧化系統計量解決方案。其中，國際合作的部分目前已與 PTB 共同合作進行量測數據交換格式規範之先期研究，該合作計畫名稱為「Communication and validation of smart data in IoT-networks (SmartCom)」，計畫目標是在既有 SI 單位制下，提供機器與機器、人類與機器之間一個易於使用且可靠、安全的量測數據交換方法及格式，使得未來線上校正、產品驗證之電子簽章等，皆可透過其實現。本計畫中將從我國量測追溯體系之角度，以 SmartCom 計畫作為線上校正與量測技術的發展平台，使得採用相關技術之產業，能在此平台上直接獲得如校正履歷、週期等資訊，同時亦能強化設備間的相互可操作性(Interoperability)並與國際接軌。此外，計畫中亦同時規劃與 NIST 進行合作，共同針對 AI 數據標準(Data Standards)與標準測試方法(Standard Testing Protocol)兩項議題進行相關發展如圖 2。

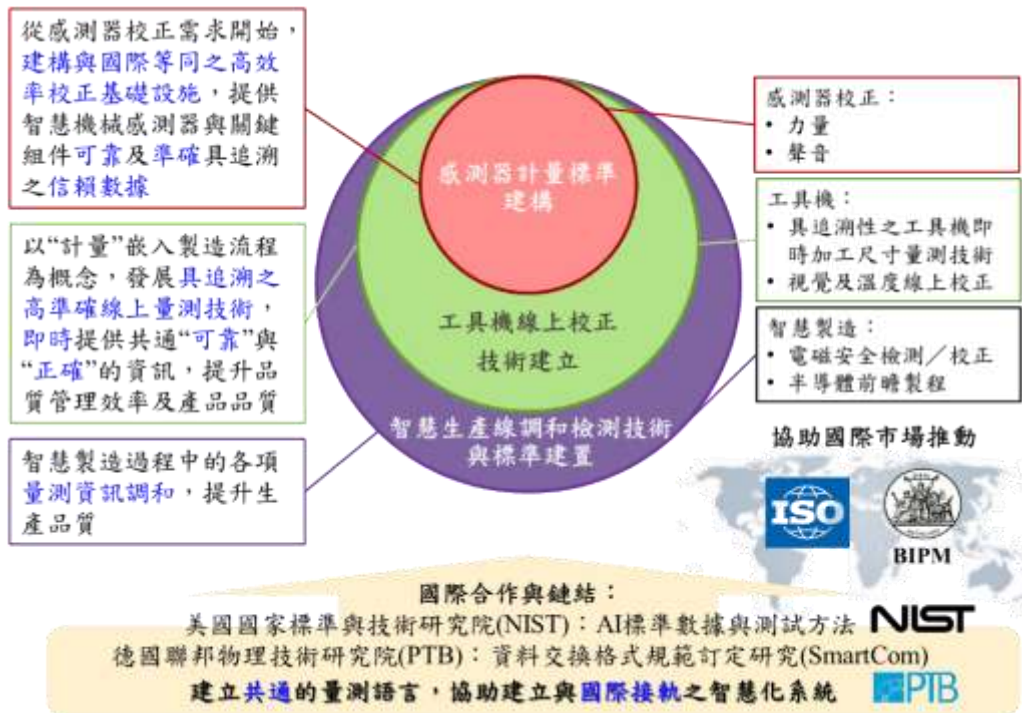


圖 2、建立國際接軌智慧化系統

透過與工業局之分工合作，重要廠商之訪談滾動修正技術發展方向，同時與國際接軌，本計畫將能讓智慧機械成為台灣最亮眼之產業。

貳、全程計畫

一、產業需求

在我國政府積極推動五加二產業創新之“智慧機械產業推動方案”，其目的即是協助臺灣的精密機械產業升級為智慧機械產業，用以推升智慧製造或是工業 4.0，並推動同時導入 AI 應用於生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。工具機有「機械之母」之稱，為製造各種機器及加工設備的關鍵產品，其發展一直是影響臺灣的機械產業走向的重要指標。在全球機械自動化潮流帶動下，工具機廠商積極朝自動化、客製化及智慧化發展，推升工具機產值持續成長。依據行政院主計處、經濟部生產統計月報，我國 2018 年機械設備製造業全年產值約為新台幣 10,041.2 億元。其中，次產業別金屬加工工具機及機械傳動元件(線性滑軌、螺桿…等)占我國機械設備製造業總產值 28%，達新台幣 2,866.65 億元，此二項產值之年成長率分別為 32% 及 64.4%，為機械設備製造業中成長動能最高之應用領域(資料來源：行政院主計處)。且工具機產業的終端應用市場，主要以汽車及其零組件、航太及國防、電子/電機產品等為主。依據高德納諮詢公司(Gartner)及 IEK 的數據分析，預估至 2020 年該產業於各國工具機的應用占比將會增加的趨勢。

本計畫為瞭解並協助我國智慧機械產業解決儀器量測校正需求，針對指標性廠商(陸聯、友嘉、上銀、大銀微、永進、快捷、東台精機、慶達、平陽、鈦郁工業等)進行 2 次訪談調查，盤點國內相關產業需求與缺口，調查範圍涵蓋廠商送校項目需求、量測技術問題需求、智慧化需求、現有之感測器等，結果顯示重要項目為“位移(光學尺編碼器)/溫度/電流、轉速/三軸加速度、電壓、力量/扭力/壓力”，大部份與本計畫擇定之參數項目吻合，後續亦對產業召開說明暨座談會，說明本計畫技術發展方向及未來可提供之服務，網羅產業對於本計畫之建議，採取滾動式檢討與修正，邀請專家學者座談會共同研討，使計畫研發符合產業需求走向。

依據目前訪談結果，顯示國內工具機產業如火如荼的進行工具機高效能智慧化，如表 1。現有工具機智慧化功能，包括工件線上量測(非接觸式)、刀具壽命管理、主軸變形補償、顫振預防、幾何誤差線上量測與補償與防碰撞等。依據調查廠商未來擬投入或需持續精進高效能智慧化功能，包含工件線上量測(非接觸式)、主軸變形補償、顫振預防、五軸自動調機與防碰撞等因此，在本計畫中，線上量測與校正部分，將針對工件線上量測、旋轉軸與 5 軸幾何誤差線上量測為優先，而對於用於顫振預防的聲學感測器，於 NML 擴充校正系統服務能量(擴充麥克風自由場靈敏度比較校正系統)；而對於主軸變形補償一項，將發展嵌入式微小力學感測器，提供扭力、扭矩的即時監測。

表 1、我國工具機智慧化功能項目

項目	現有智慧化功能	未來智慧化功能需求
工件線上量測(非接觸式)	V	V
刀具壽命管理	V	
主軸變形補償	V	V
線性軸熱變形補償		
顫振預防	V	V
幾何誤差線上量測與補償	V	
防碰撞	V	V
五軸自動調機		V

而工具機智慧化相對應的智慧化感測器量測區域或功能，可以進一步知道和了解產業對感測器量測參數的校正需求，例如在“工件線上量測“上，一般廠商均須同時進行“幾何誤差線上量測與補償“，相對應之量測方法主要使用光學、視覺、X光等方法，用於監控“刀庫 (Tool magazine)的位置“為了正確更換刀具。監控“顫振抑制 (Chattering control) “及“形變補償 (Distortion compensation) “，以取得正確的加工參數。量測機械平整度 (Machine leveling)、伺服系統自動調機 (Automatic servo tuning)、B 軸自動旋轉調整 (B Axis automatic rotation adjustment)等，是為了確保工件的加工精度，相對應監控這些智慧化功能必須裝設力量、扭力、電流、電壓、溫度、單軸加速度、三軸加速度、麥克風、位移(光學尺、編碼器)、應變規等感測器，為取得量測資料準確和可靠性，必須建立相對應之校正系統，訪談結果整理如表 2 及表 3。

表 2、智慧化感測器於工具機之量測區域

工具機智慧功能	智慧化感測器量測區域	參數項目
工件線上量測(含幾何誤差線上量測與補償-量測方法為光學、視覺、X光)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 刀庫 (Tool magazine) ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 形變補償 (Distortion compensation) ✓ 機械平整度 (Machine leveling) ✓ 伺服系統自動調機 (Automatic servo tuning) ✓ B 軸自動旋轉調整 (B Axis automatic rotation adjustment) 	力量、扭力 電流、電壓、溫度 單軸加速度、三軸加速度 麥克風 位移(光學尺、編碼器) 應變規
刀具壽命管理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 液壓系統管理 (Hydraulic management) ✓ 冷卻系統品質 (Coolant quality) ✓ 伺服系統自動調機 (Automatic servo tuning) ✓ 功率監測 (Power monitor) 	電流、電壓、溫度 流量、壓力 單軸加速度、三軸加速度 麥克風
主軸變形補償	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 主軸平衡監控 (Balance monitoring /control) ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 主軸 (Spindle) 	力量、電流、電壓、溫度 單軸加速度、三軸加速度 麥克風、轉速
線性軸熱變形補償	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 形變補償 (Distortion Compensation) ✓ 機械平整度 (Machine leveling) ✓ 伺服系統自動調機 (Automatic servo tuning) ✓ B 軸自動旋轉調整 (B Axis automatic rotation adjustment) 	力量、電流、電壓、溫度 單軸加速度、三軸加速度 位移(光學尺、編碼器) 麥克風、應變規
顫振預防	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 主軸平衡監控 (Balance monitoring /control) ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 主軸 (Spindle) 	力量、電流、電壓、溫度 單軸加速度、三軸加速度 麥克風、轉速
防碰撞	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 顫振抑制 (Chattering control) ✓ 伺服系統自動調機 (Automatic servo tuning) 	電流、電壓、麥克風 單軸加速度、三軸加速度

工具機智慧功能	智慧化感測器量測區域	參數項目
五軸自動調機	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 主軸 (Spindle) ✓ 形變補償 (Distortion Compensation) ✓ 主軸平衡監控 (Balance monitoring /control) ✓ B 軸自動旋轉調整 (B Axis automatic rotation adjustment) 	力量、 電流、電壓、溫度 位移(光學尺、編碼器) 加速度、轉速

為了得以智慧化的進行調整製程、預測維護、自動化品質控制、及需求驅動生產，必須依賴“可靠”與“正確”的感測器，做出正確的判斷和決策。感測器的可靠性與正確性，成為關鍵。因此在確保感測器量測資料的可靠性與正確性上，“校正”扮演極其關鍵的角色。在盤點 NML 既有能量後，擬於本計畫建立擴充量測校正的能量，例如電流、電壓、溫度的校正能量不足部分，可由 New SI 計畫中補足，針對溫度的即時檢測需求，則進一步建立非接觸式溫度線上校正技術，相同的，針對“工件線上量測(含幾何誤差線上量測與補償-量測方法為光學、視覺、X 光)”及“位移(光學尺、編碼器)”，除了於本計畫建立擴充角度塊規校正系統的能量外，則進一步建立視覺感測器 3D 量測之線上校正技術及具追溯性之工具機即時加工尺寸量測技術兩項，提供智慧化及時監控之正確數據。而三軸加速度等項目，將配合國際發展，擬於 2021~2022 年進行技術研發與建置。在扭力、力量，則在本計畫將能力擴充至小力量、小扭矩的校正能量，滿足在刀庫管理時，更換刀具所需之夾抓力量控制。在顫振預防上，聲學麥克風的使用是必須的，因此本計畫將擴充擴充麥克風自由場靈敏度比較校正系統。而轉速一項，目前未有能量，擬於角度塊規校正系統建置後，擴充至轉速技術發展。而應變規目前未有能量，但可以轉由校正電流、電壓方式確認應力、應變的正確性。

表 3、高效能智慧化所需要之感測器之校正需求

參數項目	工具機		零組件		NML 能量	本計畫(全程)建置能量	對應本計畫分/子項
	已加裝	擬加裝	已加裝	擬加裝			
電流	V		V		New SI (建置中)		
電壓	V		V		New SI (建置中)		
溫度	V	V	V	V	New SI (部份能量建置中)	建立非接觸式溫度線上校正技術	分項 2/子項 3-非接觸式溫度線上校正技術
工件線上量測(含幾何誤差線上量測與補償-量測方法為光學、視覺、X光)	V	V			部分能量已建置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 建立視覺感測器 3D 量測之線上校正技術 ◇ 建立非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術 ◇ 建立可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術 ◇ 擴充角度塊規校正系統 <ul style="list-style-type: none"> ■ 環形編碼器 ■ 自動視準儀 	分項 2/子項 1-視覺感測器 3D 量測之線上校正技術 分項 2/子項 2-具追溯性之工具機即時加工尺寸量測技術
位移(光學尺、編碼器)	V	V	V	V	部分能量已建置		
流量	V				已建置		
壓力	V				已建置		
單軸加速度	V	V	V		已建置		
扭力		V			部分能量已建置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 擴充至小扭矩校正技術 ◇ 量測範圍 :0.1 N·m~10 N·m ◇ 相對標準不確定度：$\leq 5 \times 10^{-4}$ 	分項 1/子項 1-力量感測器校正技術
三軸加速度		V	V		未建置	配合國際發展，擬於 2021~2022 技術建置	

參數項目	工具機		零組件		NML 能量	本計畫(全程) 建置能量	對應本計畫 分/子項
	已 加 裝	擬 加 裝	已 加 裝	擬 加 裝			
力量		V			部分能量已建置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 擴充至小力量校正技術 ◇ 量測範圍: 10 mN ~ 10 N ◇ 相對標準不確定度: $\leq 5 \times 10^{-3}$ 	分項 1/子項 1-力量感測器校正技術
麥克風 (聲波發射, AE)		V			部分能量已建置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 擴充麥克風自由場靈敏度比較校正系統 ◇ 頻率範圍: 100 Hz ~ 40 kHz ◇ 量測不確定度: 0.2 dB to 1.0 dB 	分項 1/子項 2-AI 語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術
轉速			V		未建置	◇ 擬於角度塊規校正系統建置後，擴充至轉速技術發展	
應變規			V		未建置	◇ 轉由校正電流、電壓	

綜合與智機產業訪談之結果，以國家科學技術發展計畫為基礎，配合「5+2 產業創新計畫-智慧機械產業推動方案」及「人工智慧(AI)推動策略」兩項產業政策，針對我國智慧機械發展所衍生之計量需求，本「智慧機械產業計量標準建置增值計畫」之規劃是進行我國度量衡標準系統之相關技術研發，並擴建我國國家度量衡標準實驗室之系統，提供智慧機械感測器與關鍵組件可靠及準確具追溯之信賴數據，促進關鍵零組件、整機、系統的技术發展。

二、全程計畫目標

工業革命以來，工廠或製造程序，不斷地進行優化，以快速、廉價地批量生產產品，滿足市場需求。但自 1960 年代後半，顧客對於產品的要求趨向於多樣化，因此工廠需要低生產成本及短交期來滿足產品少量多樣的變化，而傳統製造程序儼然已無法滿足此需求。

過去一般工廠製造的自動化程序，往往需要數百小時的重新程式設計，更改製造程序，使得在執行效率上無法提升，且方法非常不切實際，並隨著生產成本上升，資源環境永續的觀念日漸高漲，也進一步推升了高效率及低成本的需求。除此之外，目前幾乎在所有工廠中，需求預測和產能規劃不佳、設備意外故障和停機、供應鏈瓶頸，以及低效或不安全的工作場所流程，皆可能導致資源浪費、生產週期延長、高生產投入但低產量。又或者是，隨著老年有經驗的專業人員退休，年輕一代對製造業職位失去興趣，移民政策緊縮，製造商也不得不為獲得合格的工作人力，找出替代方案。

因此近年來，各國政府皆紛紛推展工業 4.0，試圖達到提升製造精度、效率及降低成本等目的。而工業 4.0 概念的製造模式，是透過軟硬體的整合，讓生產系統具有智慧化，其硬體基於在現有的自動化技術上，加上軟體的串連整合，使之成為一體化架構。除了製造現場的生產系統，企業營運端的企業資源計劃(Enterprise resource planning, ERP)、客戶關係管理(Customer Relationship Management, CRM)...等系統，也必須一併納入。簡單言之，未來製造業的所有數據、資產，都不再被分開運作處理，而是視為同一體制，資源與數據可以無縫的快速流動並且使用，在這其中，人工智慧(Artificial Intelligence, AI)將扮演重要角色，以深度學習(Deep Learning)方式，協助製造系統的操作者與管理者解決問題。

我國政府也積極推動相關政策，智慧機械產業為政府五加二產業創新之一，其目的即是協助臺灣的精密機械升級為智慧機械產業，用以推升智慧製造或是工業 4.0，並推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。智慧製造核心為善用數位化(IT)技術，協助工廠智慧化，使工廠能夠自動收集和分析資料，透過持續積累營運數據資料，導入 AI 應用，進而做出更明智的決策並優化生產。包括蒐集來自感應器和機械設備的資料，通過部署的物聯網連接後傳送到雲端，並對這些資料進行分析、將其與各流程資訊結合，擬出解決方案，做為決策的參考和生產程序優化的依據；以及透過供應鏈資訊串流，提高需求回應速度，加速生產效率，減少斷料風險；並透過物聯網技術，實現了資料快速交換、流動與整合，提供遠端監控和管理流程以及在需要時即時快速更改生產計畫的能力；進而滿足智慧製造中適應性調整製造(Adaptive Manufacturing)、預測維護(Preventative Maintenance)、自動化品質控制(Automated Quality Control)、及需求驅動生產(Demand-Driven Production)的需求。

隨著人工智慧(AI)的蓬勃發展，試圖轉型的製造商，已開始使用人工智慧來應對這些諸多挑戰。依據“AI index 2018 report”，在世界各地的各個部門、職能和地區，廣泛採用不同的 AI 技術如圖 3。依據資料顯示，大約一半的公司已經將 AI 嵌入到企業業務流程中。即使如此，AI 在製造所衍生的價值和應用，仍在非常初期的階段，其價值並未展現。而要導入 AI，第一步即是數據的擷取與建立，不過要跨出這正確的第一步並不容易，許多系統設計者與導入企業，常常忽略數據擷取及資料正確的重要性，AI 不會是泛用於各種產業的平台，各種產業都有其專業，因此數據的種類需求與擷取方式也大不相同。此外，隨著智慧化的過程、物聯網的使用，將帶來前所未見的巨量資料，例如來自各種不同來源：如感測器、機器、加工製造、供應鏈及企業營運的資料，以及人工智慧技術(AI)高計算能力所產生的資料。在這“巨量資料”(Big Data)中，資料可靠性，成為關鍵，因為如果儲存了不受信任、不正確的資訊，而這些資訊無法說明理解複雜的現實，則收集的大量資料及其分析將完全無用。因此，“計量”扮演極其關

鍵的作用-確保量測資料的“可靠性”與“正確性”。並進一步將“計量”嵌入製造流程中，使用共通“可靠”與“正確”的資訊，貫穿整個加工程序，實現智慧製造及 AI 應用。

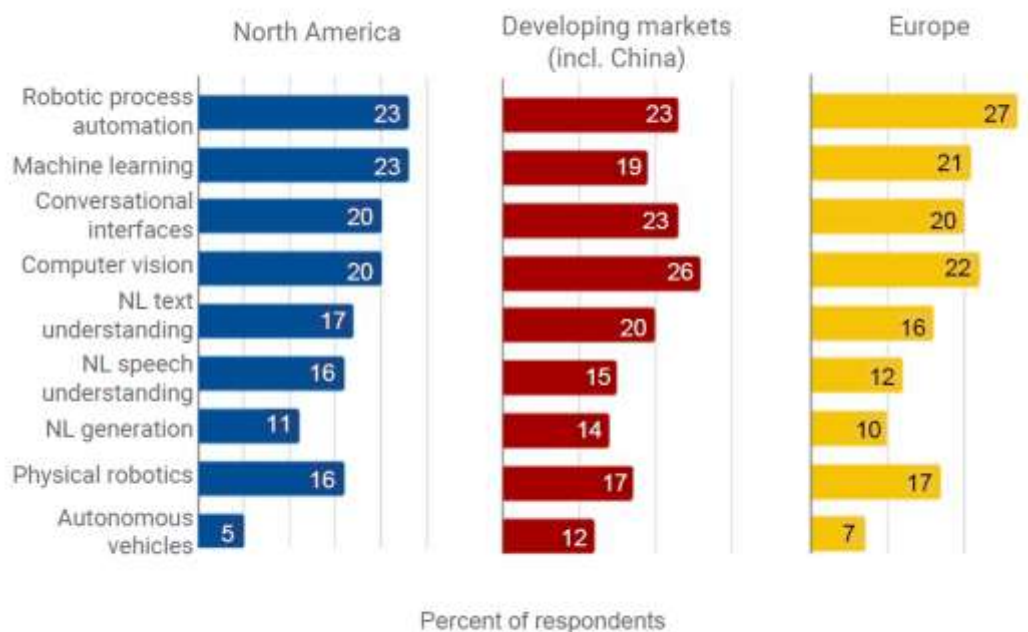
為確保量測資料的可靠性及正確性，瞭解和掌握量測結果的不確定性，以提供確認“巨量資料”中資料的可靠性，並進一步將“計量”嵌入製造流程中，將“可靠”與“正確”的資訊，貫穿整個加工程序，使智慧製造得以進行調整製程、預測維護、自動化品質控制、及需求驅動生產以做出正確的判斷和決策。本計畫將推動以下任務，達成此目標：

- (一) 建構與國際等同之高效率校正基礎設施，提供可靠與準確具追溯之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件，做為基礎，展開 AI 加值應用。
- (二) 發展具追溯之高準確線上量測技術，將“計量”嵌入製造流程中，即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，進而發展工具機幾何誤差之檢測與補償，提升品質管理效率及產品品質，藉此拓展單機智慧化的功能面及深化控制技術。
- (三) 以智慧生產線中的聯網應用及量測數據調和之計量標準技術研發與國際合作，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統解決方案。

計畫最終達成發展“計量標準”，建立我國“智慧機械檢校體系”，提供“可靠”與“正確”的量測資訊。將“計量”嵌入製造流程中，解決線上量測之量測準確性及追溯問題，並和國際規範對接，建立共通的量測語言，協助我國產業推廣至國際市場及後續智機產業之 AI 應用。

Capabilities embedded in at least one company function (2018)

Source: McKinsey & Company



Note: The size of each bar is relative to the capabilities within each region; North America: N = 479; Developing markets (incl. China): N = 189 (China N = 35); Europe: N = 803

圖 3、國際 AI 趨勢與現況 (AI Index 2018 Report)

以下為 108 年度至 111 年度全程執行完畢後的 end-point。

項目	效益
<p>建構與國際等同之高效率校正基礎設施，提供可靠與準確具追溯之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件，做為基礎，展開 AI 加值應用</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國家度量衡標準實驗室校正能量建立:量測標準系統擴建或新建 7 套，滿足國內機械領域二級校正、測試、及產品驗證公司之校正追溯與能力試驗要求； 2. 建立傳遞(參考)標準件:新增 4 件傳遞(參考)標準件，提升量測資訊相互可操作性，降低智慧機械、製造之校正追溯與資料交換之成本。
<p>發展具追溯之高準確線上量測技術，“計量”嵌入製造流程，即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，提升品質管理效率及產品品質</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 線上量測準確度提升:工具機即時加工尺寸量測技術，提升示範場域之單一工件加工效率至少 10 % (時間從 5 小時縮短至 4 小時)、工具機定位準確度至少 15 % (準確度從 50 μm 至 40 μm、最大移動軸 < 1200 mm、溫度範圍為 20 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$)，維持機械產業競爭力； 2. 提升工具機產業之線上校正效率:可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術，迴轉工作台(旋轉軸)線上檢測時間從 8 小時縮短至 30 min 內，提升多軸工具機市場競爭力； 3. 提升線上校正試驗之生產效率:與 3 家國內指標廠商進行製造場域之線上校正應用，縮短該場域之校正時間至少 15 % 以上(從 32 小時縮短至 17 小時)，以建立與國際等同之自主計量標準的線上校正案例，協助國內產業於國際市場推廣及後續 AI 應用。
<p>建構智慧機械產品標準、檢測、與驗證環境，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 規範研究與訂定: <ul style="list-style-type: none"> • 與 3 個以上先進國家實驗室、4 家以上國際量測設備指標公司共同進行國際標準研究，搭建國際標準計量/檢測/驗證合作基磐； • 智慧機械產品安全、EMC 之標準、檢測能量研究與規劃報告 4 份、產品驗證所需之測試規範 4 份； 2. 線上量測與校正技術推廣:辦理研討會及推廣說明會 16 場，提升至少 240 家次企業對於線上量測標準、校正追溯、與國際規範等之認知；240 人次校正/測試/產品驗證從業人員進修。
<p>計量標準建置加值之擴散效益</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 離線基礎校正能量擴散:對二級校正/測試實驗室(占總數 5 %)之槓桿效益達 5 倍(第三年開始)。說明:二級校正/測試實驗送件至 NML 完成校正後，其利用該校正結果之衍伸服務數量(不限領域)至少 5 件次。 2. 線上校正技術擴充應用至智慧機械產業至少一家業者。說明:計畫發展之線上校正技術，每年至少新增 1 家業者採用該技術。

本計畫之分年 milestone 如下表所示:

績效指標	108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>建構與國際等同之高效率校正基礎設施,提供可靠與準確具追溯之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件,做為基礎,展開 AI 加值應用</p>	<p>1. 國家度量衡標準實驗室校正能量建立: <ul style="list-style-type: none"> 擴增量測標準校正服務(擴建量測系統):1 套 (A01) 擴增校正服務(擴建量測系統)部分設備:3 套 (D06/U06/N02) </p> <p>2. 建立傳遞(參考)標準件: <ul style="list-style-type: none"> 角度量測標準 </p>	<p>1. 國家度量衡標準實驗室校正能量建立: <ul style="list-style-type: none"> 新增/擴增量測標準校正服務(擴建量測系統): 4 套 (A01/D06/D02/D12) 擴增校正服務(擴建量測系統)部分設備:2 套(A01/D02) </p> <p>2. 建立傳遞(參考)標準件:溫度量測標準,共 1 項</p>	<p>1. 國家度量衡標準實驗室校正能量建立: <ul style="list-style-type: none"> 新增/擴增量測標準校正服務(新建/擴建量測系統):2 套 (D02/D06) 擴增校正服務(擴建量測系統)部分設備:1 套(長度) </p> <p>2. 建立傳遞(參考)標準件:視覺感測器量測標準</p>	<p>1. 國家度量衡標準實驗室校正能量建立: <ul style="list-style-type: none"> 新增/擴增量測標準校正服務(新建/擴建系統):2 套 (N12/D06) </p>
<p>發展具追溯之高準確線上量測技術,“計量”嵌入製造流程,即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊,提升品質管理效率及產品品質</p>	<p>1. 提升工具機產業之線上校正效率:非接觸式迴轉工作台幾何誤差線上量測技術,量測 10 項幾何誤差。</p> <p>2. 提升線上校正試驗之生產效率:縮短迴轉工作台校正、量測時間 20 % (從 8 小時到 6.4 小時)</p>	<p>1. 提升工具機產業之線上校正效率:可攜式單一旋轉軸誤差線上快速校正器,檢測時間從 8 小時縮短至 30 分鐘內。</p> <p>2. 提升線上校正試驗之生產效率:縮短迴轉工作台校正、量測時間 25 % (從 6.4 小時到 4.8 小時)</p> <p>3. 建立非接觸式固定點溫度量測技術:非接觸式溫度量測系統,溫度解析度達 0.5 °C,重現性 1 °C</p>	<p>1. 線上量測準確度提升:工具機定位準確度至少 15 % (從 50 μm 至 40 μm) (最大移動軸 < 1200 mm、溫度範圍為 20 °C ± 2 °C)。</p> <p>2. 建立微型化非接觸式溫度量測之線上校正技術,溫度量測範圍: 300 °C ~ 1200 °C、解析度:0.1 °C</p> <p>3. 非接觸式溫度量測系統溫度,探頭直徑 ≤ 10 cm、解析度:0.2 °C、重現性:0.2 °C、量測距離:10 mm ~ 1000</p>	<p>1. 線上量測準確度提升:具追溯性之工具機即時加工尺寸量測技術,單一工件加工效率至少提升 10 % (從 5 小時縮短至 4 小時)</p> <p>2. 提升線上校正試驗之生產效率:工具機校正時間縮至短至少 15 % (從 32 小時縮短至 27 小時)</p> <p>3. 可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術,量測不確定度:u ≤ 1.5 °C (k = 2) 溫度/調變範圍:L、M、H, 300 °C、600</p>

			mm 4. 非接觸式溫度量測系統溫度，探頭直徑≤10 cm、解析度:0.2 °C、重現性:0.2 °C、量測距離:10 mm ~ 1000 mm	°C、1200 °C /T± 10 °C 4. 自校型黑體模擬器演算法開發準確度:±1 °C
建構智慧機械產品標準、檢測、與驗證環境，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統	<ol style="list-style-type: none"> 工業型機器人與相關聯網設備之 EMC、安全及資安標準、檢測能量調查研究報告:1 篇 工業型機器人及相關聯網設備之 EMC 測試規範:1 項 國際計量組織之標準訂定研究計畫參與:1 案 國內外交流研討會 4 場次，共至少 60 家次業者參加、60 人次計量從業人員進修 	<ol style="list-style-type: none"> 協同作業型機器人之 EMC、安全之標準、檢測能量調查報告:1 篇 協同作業型機器人之 EMC 標準、草案訂定:1 項 國內外交流研討會 4 場次，共至少 60 家次業者參加、60 人次計量從業人員進修 	<ol style="list-style-type: none"> 工具機之 EMC、安全之標準、檢測能量調查報告:1 篇 工具機之 EMC 標準、草案訂定:1 項 國內外交流研討會 4 場次，共至少 60 家次業者參加、60 人次計量從業人員進修 	<ol style="list-style-type: none"> 智慧型機器人之 EMC、安全之標準、檢測能量調查報告:1 篇 智慧型機器人之 EMC 標準、草案訂定:1 項 國內外交流研討會 4 場次，共至少 60 家次業者參加、60 人次計量從業人員進修
計量標準建置加值之擴散效益			離線基礎校正能量擴散:對二級校正/測試實驗室(占總數 5%)之槓桿效益達 5 倍	線上校正技術擴充應用至智慧機械產業至少一家業者
效益				
感測器計量標準建構分項	<ol style="list-style-type: none"> 完成小力量校正系統設計、建置與功能驗證，擴充力量領域系統能量。 透過小力量與聲學量測技術提供業界量測 	<ol style="list-style-type: none"> 完成小力量校正系統評估與系統查驗，提供力量傳感器校正服務。 增進 NML 力量校正服務能量，提升國內 	<ol style="list-style-type: none"> 精進扭矩校正能力，擴充力量領域系統能量。 擴充聲音辨識多元計量參數的量測技術，提升機器運轉 	<ol style="list-style-type: none"> 完成扭矩校正系統建置與評估工作，提供扭矩傳感器校正服務。 提供線上校正服務，降低校正時程，以及

	<p>與校正服務</p> <p>3. 擴充實驗室標準麥克風靈敏度校正頻率範圍以及達到國際等同。</p> <p>4. 完善力量與聲學校正追溯體系。</p>	<p>產業競爭力。</p> <p>3. 提供智慧機械中監測機器運作及防撞聲音感測器之計量追溯。</p> <p>4. 應用小力量與聲學量測技術協助業界量測與校正</p>	<p>監測的判斷能力。</p> <p>3. 完善扭矩與聲學校正追溯體系。</p>	<p>減少儀器拆裝及運送造成的損害。</p> <p>3. 增進 NML 扭矩與聲學校正服務能量，提升國內產業競爭力。</p>
工具機線上校正技術建立分項	<p>1. 開發高反光物件視覺 3D 點雲量測技術，解決影像過曝問題（對比度可達 100 %）、加計影像過按問題，整體對比度可由 25 % 提升至 47 %；並建立視覺感測器標準件，實際提供產業進行量測準確度評估；</p> <p>2. 建立非接觸式迴轉工作台幾何誤差線上量測技術，完整量測單軸旋轉軸 10 項幾何誤差，縮短其校正、量測時間至 6 小時以內；</p> <p>3. 建立固定點模擬器，升溫時間 ≤30 min，作為非接觸式溫度量測之參考標準件，可</p>	<p>1. 發展自適應多曝光影像合成演算法，完整提高反光物件之能力，點雲重建率 90 % 以上，解決噴粉問題；</p> <p>2. 提升工具機產業之線上校正效率：可攜式連續角度參考標準件 (POrtable Continuous Angle Standards, POCAS)，檢測時間從 8 小時縮短至 30 分鐘內。</p> <p>3. 提升線上校正試驗之生產效率：縮短迴轉工作台校正、量測時間 25 % (從 6.4 小時到 4.8 小時)</p> <p>4. 建立非接觸式固定點溫度量測技術：非接觸式溫</p>	<p>1. 線上量測準確度提升：工具機定位準確度至少 15 % (從 50 μm 至 40 μm) (最大移動軸 < 1200 mm、溫度範圍為(20 ± 2) °C。</p> <p>2. 建立微型化非接觸式溫度量測之線上校正技術，溫度量測範圍：300 °C ~ 1200 °C、解析度：0.1 °C</p> <p>3. 非接觸式溫度量測系統溫度，探頭直徑 ≤ 10 cm、解析度：0.2 °C、重現性：0.2 °C、量測距離：10 mm ~ 1000 mm</p> <p>4. 非接觸式溫度量測系統溫度，探頭直徑 ≤ 10 cm、解析</p>	<p>1. 線上量測準確度提升：具追溯性之工具機即時加工尺寸量測技術，單一工件加工效率至少提升 10 % (從 5 小時縮短至 4 小時)</p> <p>2. 提升線上校正試驗之生產效率：工具機校正時間縮至短至少 15 % (從 32 小時縮短至 27 小時)</p> <p>3. 可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術，量測不確定度：$u \leq 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($k = 2$) 溫度/調變範圍：L、M、H，300 °C、600 °C、1200 °C / $T \pm 10 \text{ } ^\circ\text{C}$</p> <p>4. 自校型黑體模擬器演算法開發準確</p>

	降低量測誤差，由 3 °C 降至 1.5 °C 內。	度量測系統，溫度解析度達 0.5 °C，重現性 1 °C	度:0.2 °C、重現性 :0.2 °C、量測距離:10 mm ~ 1000 mm	度:±1 °C
智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提升電磁場量測能量至 200 V/m，可符合業界所需 0.1 MHz 至 8 GHz 頻段高電磁場強度量測之需求。 2. 建置國家級同步源，滿足智慧機械產業對國家標準時頻同步於精確度、穩定度、安全性的需求。 3. 建立工業型機器人及聯網設備之 EMC 測試規範，可供國內智機聯網設備及工業型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成 0.1 MHz 至 8 GHz 達 200 V/m 之電磁場量測系統評估，可提供檢測驗證實驗室對精密機械、機電組件與設備在電磁安全檢測服務之追溯及品保需求。 2. 完成與國際接軌之遠端頻率比對系統精進，提升國內遠端頻率校正性能量測技術。 3. 完成協同作業型機器人 EMC 測試規範訂定，可供國內協同作業機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成與國際接軌之智慧化時頻比對系統建立，可提升國內產業所需具全球相互認可效力之時頻標準校正服務，成為產業與各級實驗室之時頻同步追溯源。 2. 完成工具機 EMC 測試規範訂定，可供國內工具機安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成 GNSS 遠端校時服務子系統擴建，透過遠端分散式同步源精度 AI 補償增值技術，可確保我國標準時間與頻率之追溯性。 2. 完成智慧型機器人 EMC 測試規範訂定，可供國內智慧型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。

• **建構與國際等同之高效率校正基礎設施，提供可靠與準確具追溯之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件，做為基礎，展開 AI 增值應用**

依據「建構與國際等同之高效率校正基礎設施，滿足國內機械領域二級校正、測試、及產品驗證公司之校正追溯與能力試驗要求」之目標，今年度完成擴建「A01 標準麥克風互換校正系統」與擴充「D06 角度塊規校正系統」、「U06 電磁場強度校正設備」、「N02 靜法碼量測系統與互換校正系統」3 套重要設備。

A01 系統原本服務能量為(1)音壓靈敏度低頻互換校正: 20 Hz to 25 kHz 與(2)自由場靈敏度高頻互換校正: 1 kHz to 25 kHz，經過規劃評估後針對擴建頻率需求購置對應之訊號產生與分析模組、音壓耦合腔與實驗室標準麥克風，再藉由運用聲學互換原理與聲場量測分析技術、環境低頻影響評估技術、高頻聲波衰減數學模式分析計算、麥克風定位系統擴建技術與音源中心評估技術等完成整體系統硬體建置、分

析軟體開發與操作流程調整，此外也已進行初步的量測不確定度模擬評估，驗證達成頻率擴建為 10 Hz to 40 kHz 之目標且不確定度分別為 0.2 dB 與 0.22 dB 皆小於 0.4 dB 之目標。

U06 系統原本服務能量在頻率 0.1 MHz 至 500 MHz 量測能量為 140 V/m；在頻率 0.5 GHz 至 8 GHz 量測能量為 100 V/m，是無法滿足業界之 200 V/m 校正需求，經過規劃評估後，針對擴建量測能量需求，購置電磁場強度校正設備，以其完備業界追溯。為完成此系統，需評估出最適合的訊號放大能量與掌握高強度電磁場訊號特性。目前已完成功能驗證確認，校正能量在頻率 0.1 MHz 至 8 GHz 下，可達 200 V/m 之設定目標，預定於明年度完成相關不確定評估。

N02 靜法碼量測系統原校正能量缺乏小於 10 N 之小力量校正系統，難以滿足業界小力量傳感器之校正需求，設計構想原理來自奈米壓痕系統力量校正技術，以精準的位移控制讓待校件力量傳感器施力於天平上，進行比較式校正。為完成此系統，除考量系統的校正追溯方法外，亦評估最適合的組件，考量條件包含位移控制移動平台的解析度、移動平台與旋轉台的乘載重量限制、結構剛性、隔振裝置與控制程式等多處細節，目前已完成功能驗證確認校正能量可達 10 mN to 10N 之設定目標，預定於明年度完成相關不確定評估。

D06 角度塊規校正系統為提供產業界校正服務，需先行校正其中的旋轉平台之角度定位，其與環形編碼器的準確度直接相關，為提供本系統 0° 至 360° 間任意角度之校正追溯，且滿足國內產業界於環形編碼器的連續角度校正需求，本系統於計畫中購置日本 NMIJ 開發並授權生產的「自我校正型角度量測設備 (Self-Calibratable Angle Measurement Equipment, SelfA)」，以作為環形編碼器的追溯標準，提供其 0° 至 360° 間任意角度之校正能量，其角度最小解析度為 0.01"，而 Heidenhain 公司的 RCN 系列角度編碼器為目前業界精度最高的角度編碼器，由原廠提供原廠校正報告所示單圈內有 3,600 點，則解析度為 0.1°，本校正系統目前規劃的查核程序，將以 79.1" 為間距取值，單圈之點數共為 16,384 點，且預計量測不確定度可達 0.2"，滿足產業所需校正需求。目前相關設備已完成驗收，以多邊規、自動視準儀量測該設備之準確度，可達 ± 0.05"，滿足後續環形編碼器校正能量擴建之要求。

智慧機械產業的升級，仰賴政府提供基礎建設。本項工作所建置國家級同步源將可被全球相互認可協議追溯鏈所認可，為可供全國分散式系統之時脈同步及追溯之源頭，滿足各種設備之間的通訊及智機等相關產業。利用國家級同步源，透過“智慧型 GNSS 遠端校時服務系統技術”，建立智機中心所需之同步時間源頭，再利用 IEEE 1588 以線路(短距離線路)傳送至上述 PLC、無刷馬達、機器人、同步相量等領域所需之 IEEE 1588 同步定時方案，以滿足智機產業對國家標準時頻同步於精確度、穩定度、安全性的需求。另隨著 5G、IIoT 等網路及智慧機械雲端技術，所需之高穩定、高精確的同步來源也可以類似方式達成追溯及同步。

後續將於 109 年完成高電磁場強度校正能量的建置及完成 A01 系統之不確定評估與查核程序，即可對業界提供校正服務。

- **發展具追溯之高準確線上量測技術，“計量”嵌入製造流程，即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，提升品質管理效率及產品品質**

台灣現為全球第七大工具機製造國、第四大工具機出口國，在全球工具機朝多軸化及智能化的潮流下，如何持續甚至突破目前狀況，是目前產業的重要課題。因此本計畫針對工具機產業中的 5 軸工具機產品，發展幾何誤差線上量測技術，以提升 5 軸工具機的產品性能，進而發展工件尺寸線上量測功能，以滿足加工製造時的準確度、效率要求，進而提升相關產業的國際競爭力。

兩個增加的旋轉驅動軸，是五軸工具機較傳統三軸工具機的主要差異，故由兩個旋轉驅動軸所組成的「雙軸迴轉工作台」，為五軸工具機的重要關鍵零組件，其誤差表現將直接影響五軸工具機的整體性能，因此本計畫即從迴轉工作台開始進行技術發展，本年度已完成「角度參考標準件：可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, POCAS)」及「非接觸式迴轉工作台幾何誤差線上量測技術」，達成縮短迴轉工作台之校正、量測時間至少 20 %。

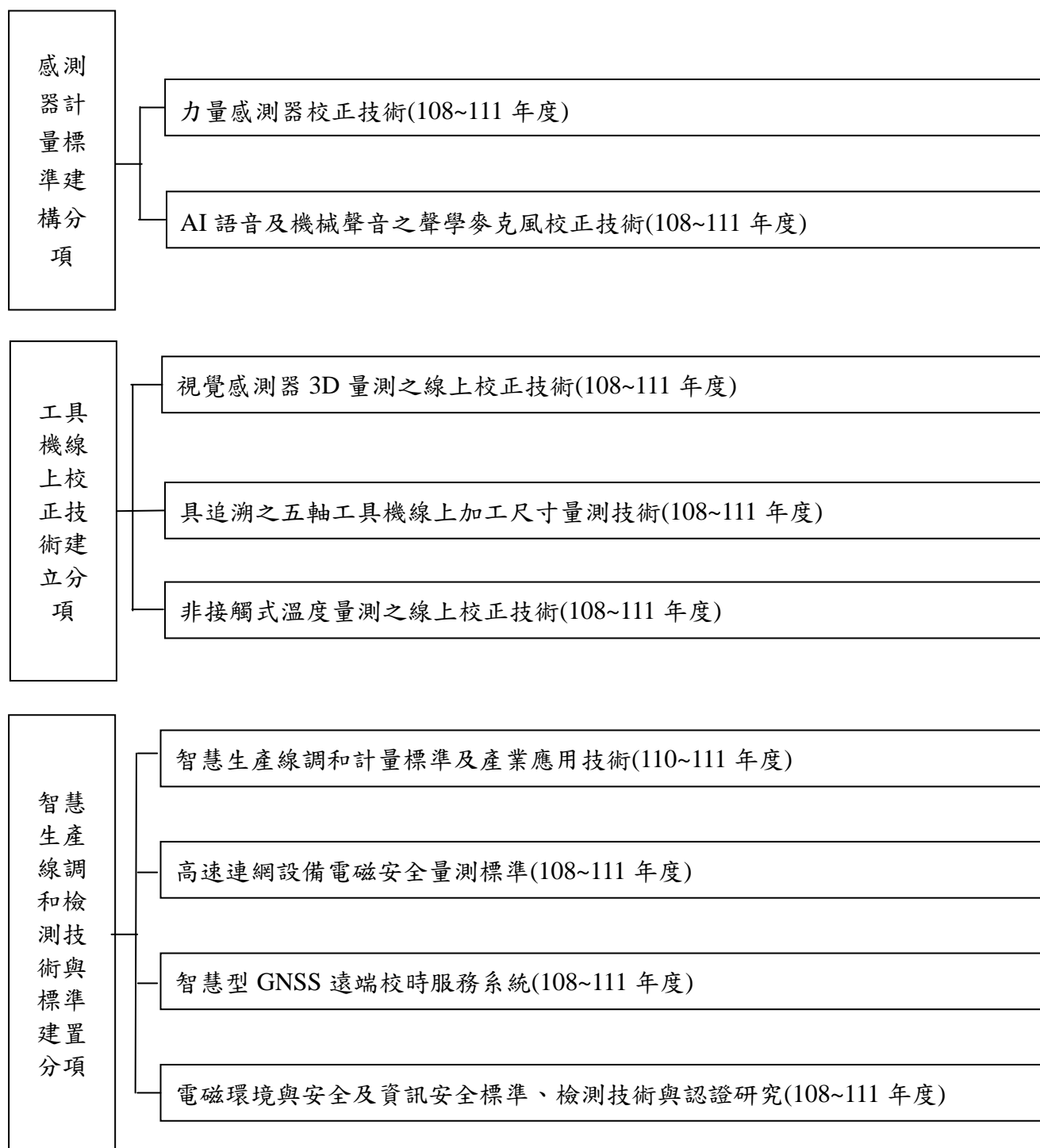
本年度所完成之可攜式連續角度參考標準件(POCAS)可提供單軸旋轉軸量測時間小於 30 分鐘，且具角度定位誤差、兩軸偏移誤差之線上校正能量，其角度量測不確定度為 0.7"、兩軸偏移誤差之量測不確定度為 0.1 μm ，能提供產業界更為便利與準確的校正追溯。而非接觸式迴轉工作台幾何誤差線上量測技術則以追蹤式雷射干涉儀、座標量測儀，提供單軸旋轉軸計量標準追溯，其可完整量測單軸旋轉軸 10 項幾何誤差，角度類的量測不確定度 $\leq 2''$ 、線性類的量測不確定度 $\leq 4 \mu\text{m}$ ，並實際導入上銀公司之生產現場中使用。經以 5 rpm 的旋轉速度進行實測，完整量測單軸旋轉軸 10 項幾何誤差所需時間 ≤ 7 小時，較原先 8 小時以上，量測速度上已有相當之提升。

此外，本年度計畫中已與德國聯邦物理技術研究院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB)主導之 SmartCom 計畫進行合作(參與國家包含英國 NPL、捷克 CMI、韓國 KRISS、中國 NIM、斯洛維尼亞 UM；國際指標公司包含三豐 Mitutoyo、蔡司 Zeiss、海克斯康 Hexagon、莎多利斯 Sartorius)。配合整體計畫以獲國際認可為目標，我方於計畫中將實際運行多個示範案例以協助訂定“數位校正報告”的國際規範，執行內容以規範中的各項定義，包含 SI 單位使用、通訊及儲存格式等，產生具電子簽章的數位校正報告。透過此一計畫的參與，能夠串聯國內智慧製造中的量測、品管等數據至生產製造流程中，並使量測數據獲得國際之認可、承認，串接製造與品管程序，提升產業競爭力；同時可作為我國檢校體系未來推動的依據，成為政府打造數位經濟的重要基石。

- **建構智慧機械產品標準、檢測、與驗證環境，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統**

為針對「建構智慧機械產品標準、檢測、與驗證環境，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統」之目標，評估智慧機械產業所需 EMC 與安全標準及檢測驗證能量，作為規劃國內智慧機械產業所需檢測驗證能量的參考，亦可支援國內產業的檢測需求，達到與國際檢測驗證制度接軌。同時經由協助廠商檢測驗證之服務與國外參訪與技術交流，增進國內智慧機械產業對檢測驗證技術的瞭解，藉此協助廠商產品的研究發展，減少研發成本，縮短上市時間，以提升產品的國際競爭力。已於今年完成工業型機器人與相關聯網設備之 EMC、安全及資安標準、檢測能量的調查並產出研究報告 1 篇，同時完成工業型機器人及相關聯網設備之 EMC 測試規範 2 份，並據以提供國內機械產業對其工業機器人之測試服務，使國內所執行之相關測試驗證內容與方法與國際規範一致；計畫中並辦理一場「台灣工業用機器人 EMC 和安全規範研討會」，計 35 家廠家 53 人參加，透過研討會辦理與交流來擴散計畫成果，提供國內智機聯網設備及工業型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。

三、全程計畫架構



四、計畫實施方法

- **分項一、感測器計量標準建構**

智慧機械係將精密機械透過機器人、物聯網、大數據等整合成一具智慧化之製造系統，整個系統前端的感測器將扮演重要的角色，然而相關感測器本身的準確性一旦未能確保或產生疑問時，產出的感測資訊與數據將可能導致對系統的正確狀態產生誤判，甚而嚴重影響產出成品的品質與良率，本分項計畫主要藉由建立與提升關鍵感測器計量追溯與技術，提供智慧機械產業常用的力量與精密機械聲音等高階感測器之校正，進而發展直接應用於產業的線上校正技術。確保智慧製造中高階感測器與關鍵零組件之性能與準確。提升智慧機械及其產品品質，引領智慧機械產業計量標準鏈結國際。

- **分項二、工具機線上校正技術建立**

大量、多元量測或感測數據收集是為智慧製造的關鍵，但如何確保其可靠性及正確性，成為產業導入應用時重要挑戰。本分項依據智慧製造之使用情境思考，從為數眾多且不易拆卸的感測器為始，到生產過程裡的線上量測資訊正確性確保，開發線上校正技術。並以國內產業為對象，推動場域驗證、實際導入應用。以最為常見的溫度量測開始，針對非接觸式溫度線上校正技術進行發展。再配合我國重要的工具機產業，開發多軸化、複合化中的關鍵零組件-迴轉工作台之線上校正技術，以擴展、整合至接觸及非接觸式五軸工具機的加工尺寸線上量測技術，確保該量測結果之正確性。

- **分項三、智慧生產線調和檢測技術與標準建置**

本分項計畫主要藉由調和智慧生產線中的各項量測資訊，提升智慧生產線中各項資訊傳輸的準確性與可靠度，使得各種線上量測結果與智慧型自動參數調整之成效能相互印證，避免因量測環境、機台特性等的差異，降低生產品質；同時搭配建立聯網設備的基本性能檢校與時間校準能力，以支援智慧機械之聯網通訊技術發展。此外，也將建立智慧機械產業電磁環境與安全要求之檢測技術與標準，並針對智慧機械產品的 EMC 認證及資訊安全工作進行可行性分析研究，同時發展半導體核心製程所需最小薄膜厚度的精確量測技術。因此，本分項計畫將智慧生產、製程精密量測與電磁安全驗證、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統等臺灣趨勢產業，列為優先投入技術發展的量測標準應用領域。

五、分年度重要指標、技術建立時程圖

➤ 分項一:力量感測器校正技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>小力量校正技術研發(I)</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計與製作小力量量測系統，力量量測範圍 10 mN ~ 10 N <p>多軸力量感測器開發(I)</p> <ul style="list-style-type: none"> 正向力力量感測器元件開發 力量範圍:0.01 N ~ 0.5 N 靈敏度:1.8 fF / mN 	<p>小力量校正技術研發(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> 相對標準不確定度$\leq 5 \times 10^{-3}$ <p>小扭矩校正技術研發(I)</p> <ul style="list-style-type: none"> 量測範圍:0.1 N·m~10 N·m <p>多軸力量感測器開發(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> 剪力力量感測器元件開發 力量範圍:0.01 N ~ 0.5 N 靈敏度: 1 fF / mN 	<p>小扭矩校正技術研發(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> 相對標準不確定度$\leq 5 \times 10^{-4}$ <p>動態力量標準技術研發(I)</p> <ul style="list-style-type: none"> 力量量測範圍: 10 N ~ 100 N 頻率:10 Hz ~ 1 kHz) <p>多軸力量感測器開發(III)</p> <ul style="list-style-type: none"> 整合型多軸力量感測器元件開發 力量範圍:0.01 N ~ 0.5 N 靈敏度: 1.8 fF / mN (Normal) & 1 fF / mN (Shear) 	<p>動態力量標準技術研發(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> 相對標準不確定度$\leq 5 \%$ <p>多軸力量感測器開發(IV)</p> <ul style="list-style-type: none"> 整合型多軸力量感測器元件之訊號處理與評估 正向力與剪力訊號耦合程度低於 10 %
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<ol style="list-style-type: none"> 小力量校正技術 正向力量感測器元件設計、模擬、製程等技術 CMOS-MEMS 製程技術 力量正向力力量量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 小扭矩校正技術 剪力力量感測器元件設計、模擬、製程等技術 CMOS-MEMS 製程技術 力量剪力力量量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 動態力量校正技術 多軸力量感測器元件設計、模擬、製程等技術 CMOS-MEMS 製程技術 多軸力量量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 動態校正評估模式 CMOS-MEMS 製程技術 多軸力量感測器後端訊號處理與性能評估
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<ol style="list-style-type: none"> 國外研討會論文 1 篇 技術報告 2 份 	<ol style="list-style-type: none"> 專利申請 1 件 國外研討會論文 1 篇 技術報告 2 份 	<ol style="list-style-type: none"> 國外研討會論文 1 篇 技術報告 2 份 	<ol style="list-style-type: none"> 國外研討會論文 1 篇 技術報告 2 份

效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 完成小力量校正系統設計、建置與功能驗證，擴充力量領域系統能量。 2. 透過小力量量測技術提供業界量測與校正服務 3. 完善力量校正追溯體系。	1. 完成小力量校正系統評估與系統查驗，提供力量傳感器校正服務。 2. 應用小力量量測技術協助業界量測與校正 3. 增進 NML 力量校正服務能量，提升國內產業競爭力。	1. 精進扭矩校正能力，擴充力量領域系統能量。 2. 完善扭矩校正追溯體系。	1. 完成扭矩校正系統建置與評估工作，提供扭矩傳感器校正服務。 2. 增進 NML 扭矩校正服務能量，提升國內產業競爭力。

➤ 分項一: AI 語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
擴建麥克風音壓靈敏度低頻互換校正技術 <ul style="list-style-type: none"> 頻率範圍:10 Hz ~ 25 kHz 麥克風型式:實驗室標準麥克風 擴建麥克風自由場靈敏度高頻互換校正技術 <ul style="list-style-type: none"> 頻率範圍:1 kHz ~ 40 kHz 麥克風型式:實驗室標準麥克風 	建置麥克風自由場靈敏度比較校正系統 <ul style="list-style-type: none"> 頻率範圍:250 Hz to 40 kHz 麥克風型式:工作標準麥克風(WS)、駐極電容麥克風(ECM)、微機電麥克風(MEMS) 	建置聲音辨識計量參數量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 頻率範圍:10 Hz to 20 kHz 頻率誤差:≤ 3 % 相位誤差:≤ 5 % 	建置標準音源線上音場修正與補償技術 <ul style="list-style-type: none"> 線上校正標準音源研製 頻率範圍:100 Hz to 20 kHz
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 聲學互換原理與聲場量測分析 2. 環境低頻影響評估 3. 高頻聲波衰減數學模式分析計算 4. 麥克風定位系統擴建 5. 音源中心評估技術	1. 聲場設計及評估技術 2. 聲場干擾與聲波散射評估 3. 標準音源與音源中心評估 4. 同時/循序比較法校正技術	1. 聲音品質參數分析技術 2. 語音計量參數分析技術 3. 人工耳、人工嘴及陣列麥克風校正技術	1. 聲場誤差修正係數評估分析 2. 聲場誤差修正係數補償技術
重要產出			

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1.技術報告 2 份 2.標準系統改良 1 項	1.技術報告 2 份 2.校正系統能量擴充 1 項	1.技術報告 1 份 2.研討會論文 1 篇	1.技術報告 1 份 2.研討會論文 1 篇
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1.擴充實驗室標準麥克風靈敏度校正頻率範圍，與國際等同。	1.提供智慧機械中監測機器運作及防撞聲音感測器之計量追溯。	1.擴充聲音辨識多元計量參數的量測技術，提升機器運轉監測的判斷能力。	1.提供線上校正服務，降低校正時程，以及減少儀器拆裝及運送造成的損害。

➤ 分項二:視覺感測器 3D 量測之線上校正技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 提升反光待測面之條紋影像對比度至 30% 以上 建立實驗平台，結合光柵投影系統與取像系統 1 組 開發多曝光影像合成演算法軟體 1 套 標準球徑量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 球徑量測範圍 1 mm ~ 100 mm 球徑標準量測不確定度(不含待測件): $u \leq 0.8 \mu\text{m}$ 設計與製作標準球對心微調夾治具 1 組 開發三球互換法之分析程式 1 套 標準球距量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 球距量測範圍 10 mm ~ 1000 mm 設計與製作微調夾治具 1 組 	自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 高反光表面金屬工件: $0.8 \mu\text{m} \leq$ 表面粗糙度(Ra) $\leq 4.9 \mu\text{m}$ 量測範圍: 500mm x 300 mm <ul style="list-style-type: none"> 點雲重建率 $\geq 90\%$ 掃描時間 ≤ 20 秒 準確度: $\pm 50 \mu\text{m}$ 標準球距量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 球距量測範圍 10 mm ~ 1000 mm 球距標準量測不確定度: $u \leq 1.5 \mu\text{m}$ 	快速攝影機校準技術 <ul style="list-style-type: none"> 攝影機校準時間 ≤ 5 分鐘 次像素分析誤差 ≤ 0.1 pixel 量測視野 ≤ 600 mm (最大範圍) 準確度: $\pm 50 \mu\text{m}$ 	快速線上攝影機參數補償技術 <ul style="list-style-type: none"> 攝影機校準時間 ≤ 30 秒 次像素分析誤差 ≤ 0.05 pixel 量測視野 ≤ 1000 mm (最大範圍) 準確度: $\pm 10 \mu\text{m}$

• 建立球距量測程序 1 份			
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1.多曝光影像合成技術 2.標準球徑量測技術 3.標準球距量測技術評估	1.自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 2.標準球距量測技術	1.攝影機校準標準件設計 2.快速攝影機校準演算法	1.攝影機校準標準件評估分析 2.快速線上攝影機幾何參數誤差補償技術
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1.國外研討會論文 1 篇 2.國內研討會論文 1 篇 3.技術報告 2 份	1.國外研討會論文 1 篇 2.國內研討會論文 1 篇 3.技術報告 2 份	1.國外研討會論文 1 篇 2.國內研討會論文 1 篇 3.技術報告 2 份	1.國外研討會論文 1 篇 2.國內研討會論文 1 篇 3.技術報告 1 份
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 完成線上視覺 3D 量測技術之影像過曝問題解決方案，提供不噴粉之線上 3D 點雲量測技術。 2. 建立視覺 3D 量測技術之標準件尺寸追溯能量(球徑)。	1. 完成高反光物件視覺 3D 點雲量測技術，達成金屬機電線上量測需求。 2. 建立視覺 3D 量測技術之標準件尺寸追溯能量(球距)。	1. 建立具追溯性之視覺 3D 量測儀器快速校準技術，將計量標準傳遞至產線之視覺 3D 量測儀器。	1. 建立快速線上校正之視覺 3D 量測技術，提供產業具追溯性且可靠的線上量測方案。

➤ 分項二：具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用直徑:≤ 500 mm • 幾何誤差:6 項 • 量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度:≤ 2" - 線性:≤ 4 μm <p>可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 單旋轉軸快速量測標準件 • 幾何誤差: 3 項 • 量測時間:≤ 30 分鐘 • 量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度:≤ 0.8" - 線性:≤ 3 μm <p>角度塊規校正系統(D06)擴建</p> <ul style="list-style-type: none"> • 自我校正型角度量測設備 (self-calibratable angle measurement equipment, SelfA) 購置 • 自動視準儀安裝治具設計與製作 • 校正環境確認 <ul style="list-style-type: none"> - 環境溫度須達 (20.0 ± 1.0) °C、校正區域 (約 1000 mm³) 溫度須達(20.0 ± 0.3) °C、梯度變化需小於 0.3 °C 	<p>非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用盤面直徑:≤ 1000 mm • 幾何誤差:16 項 • 標準量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度:≤ 1" - 線性:≤ 2 μm <p>可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 單旋轉軸快速量測標準件 • 幾何誤差: 3 項 • 量測時間:≤ 30 分鐘 • 標準量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度:≤ 0.5" - 線性:≤ 1.5 μm <p>角度塊規校正系統(D06)擴建</p> <ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍:± 1000" • 量測不確定度:0.2" <p>CMM 標準件之二維孔(或球)板校正能量建立</p> <ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍:650 mm × 650 mm • 標準量測不確定度:≤ Q[1.2, 1.5L] μm, L in m 	<p>五軸工具機幾何誤差量測與分析</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用行程範圍:≤ 800 mm(最長軸) • 幾何誤差:41 項 • 溫度變異範圍:6 °C • 各誤差補償效果:≥ 20 % <p>具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用行程範圍:≤ 350 mm(最長軸) • 量測不確定度:≤ 15 μm (k = 2) 	<p>五軸工具機幾何誤差量測與分析</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用行程範圍:≤ 1200 mm(最長軸) • 幾何誤差:41 項 • 溫度變異範圍:6 °C • 量測時間:≤ 10 小時 • 各誤差補償效果:≥ 30 % <p>具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用行程範圍:≤ 1200 mm(最長軸) • 量測不確定度:≤ 15 μm (k = 2)

<ul style="list-style-type: none"> - 濕度須達(45.0 ± 10.0) % <p>二維標準件校正能量建立</p> <ul style="list-style-type: none"> • 低熱膨脹係數標準件(hole plate)購置 <ul style="list-style-type: none"> - 外觀尺寸 650 mm × 650 mm 與 350 mm × 350 mm 以下 - 量測特徵間距至少 50 mm - 熱膨脹係數: ≤ $0.5 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ • 量測用治具設計與製作 			
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<ol style="list-style-type: none"> 1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償 <ul style="list-style-type: none"> • 非接觸式單旋轉軸幾何誤差 • 可攜式單一旋轉軸誤差 1. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估 <ul style="list-style-type: none"> • 單轉軸快速量測標準件 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償 <ul style="list-style-type: none"> • 非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差 • 可攜式單一旋轉軸誤差 2. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估 <ul style="list-style-type: none"> • 環形編碼器 • CMM 標準件之二維孔(或球)板 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償 <ul style="list-style-type: none"> • 五軸工具機幾何誤差 2. 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償 <ul style="list-style-type: none"> • 五軸工具機幾何誤差 2. 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術 3. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估 <ul style="list-style-type: none"> • 追蹤式雷射干涉儀 • 雙球桿
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<ol style="list-style-type: none"> 1. 國外研討會論文 1 篇 2. 國內研討會論文 1 篇 3. 技術報告 2 篇 4. 線上量測標準 1 項 5. 國際計量組織之標準訂定研究計 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成擴增量測標準校正服務(擴建系統) 1 套 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成新增/新建量測標準校正服務(擴建系統) 1 套 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成新增/新建量測標準校正服務(擴建系統) 1 套

畫參與 1 案			
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1.開發連續式角度參考標準件,作為單旋轉軸角度標準,可提供國內工具機產業於角度標準追溯	1.擴充角度計量系統能量,提供環形編碼器校正服務,完善國內環形編碼器校正缺口	1.擴充三維尺寸計量系統能量,提供二維標準件校正服務,提供國內工具機產業於二維尺寸標準追溯	1.提供五軸工具機幾何誤差量測技術,提升國內工具機產業於五軸工具機產品性能準確性

➤ 分項二:非接觸式溫度量測之線上校正技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
固定點黑體模擬器開發與製作 <ul style="list-style-type: none"> 溫度:962 °C, 最大波長:0.9 μm 升溫達穩定時間 ≤ 30 min 	建立非接觸式固定點溫度量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 黑體模擬器, 固定點溫度: 962 °C 非接觸式溫度量測系統溫度解析度達 0.5 °C, 溫度量測重現性 ±1 °C 	建立微型化非接觸式溫度量測之線上校正技術 <ul style="list-style-type: none"> 非接觸式溫度量測微型化系統溫度 (400-1000) °C, 解析度:0.2 °C, 量測探頭小於 10 mm 溫度量測重現性 0.5 °C, 有效量測距離: 10 mm ~ 1000 mm 	可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 量測擴充不確定度: $U \leq 1.5$ °C 溫度/調變範圍: L、M、H, 400 °C、600 °C、1000 °C /$T \pm 10$ °C
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 黑體輻射光譜模擬技術	1. 非接觸式固定點溫度量測技術: 系統溫度解析度達 0.5 °C, 溫度量測重現性 ±1 °C	1. 微型化非接觸式溫度量測系統: 溫度量測重現性 0.5 °C, 有效量測距離: 10 mm ~ 1000 mm	1. 可變溫型黑體模擬器: 溫度/調變範圍: L、M、H; 400 °C、600 °C、1000 °C / $T \pm 10$ °C; $U \leq 1.5$ °C
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 國外研討會論文 2 篇 2. 技術報告 2 份	1. 技術報告 1 份 2. 國外研討會論文 1 篇	1. 技術報告 1 份 2. 國外研討會論文 1 篇	1. 可調式 AI 黑體模擬器雛型機 2. 技術報告 2 份
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 建立產業線上移動式標準	1. 協助國內產業線上輻射溫度標準建立	1. 提升產業線上溫度量測準確度增加產值	1. 提升國產製品國際競爭力 2. 有效降低生產成本

➤ 分項三:智慧生產線調和計量標準之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
		薄膜微區化檢測技術 <ul style="list-style-type: none"> 雙光源光斑尺寸$\leq 5 \mu\text{m}$ 晶圓對位裝置，可對位及量測 $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ 之待測圖案 擴建薄膜量測系統(D22) <ul style="list-style-type: none"> 購置 12 吋晶圓用 XRR 機台，並完成驗收報告一份 可量測 SiO_2 薄膜最小厚度為 1.5 nm 量測重複性 $\leq 5\%$ 	低掠角 X 射線螢光光譜及反射技術 <ul style="list-style-type: none"> 待測介電薄膜含 HfO_2、TiN、TaN，量測單層最小厚度$\leq 0.9 \text{ nm}$ AI 自動化膜厚度量測技術 <ul style="list-style-type: none"> X 光入射角度及掃瞄範圍 $\theta: 0^\circ \sim 20^\circ$ 偵測器角度 $2\theta: 0^\circ \sim 40^\circ$ 量測誤差 $< 5\%$ 擴建薄膜量測系統(D22) <ul style="list-style-type: none"> 購置 XRF 機台，並完成驗收報告一份 可量測 SiO_2 材料，重複量測峰值誤差$\leq 10\%$ 建立標準 XRR 薄膜量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 整合 XRR-XRF 系統 完成 SiO_2 薄膜標準片，厚度 1.5 nm ~ 200 nm 最佳量測不確定度$\leq 0.02 \text{ nm}$
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
		1. 微米圖形化膜厚 2. 標準品設計製作技術 3. X 光光路聚焦技術 4. XRF 厚度分析技術	1. 數據處理軟體最佳化技術 2. AI 專家系統發展 3. GIXRR-GIXRF 數據分析理論
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
		1. XRR 驗收報告 2. 技術報告 1 份	1. XRR 薄膜膜厚度量測不確定度評估報告 2. XRR 薄膜膜厚校正程序 3. AI 專家系統技術報告

➤ 分項三:高速連網設備性能檢校技術之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>擴增電磁場強度量測校正服務(擴建系統 U06)</p> <ul style="list-style-type: none"> 購置及驗收 0.1 MHz 至 8 GHz 之電磁場強度量測系統所需相關設備、組件 完成 0.1 MHz 至 8 GHz 電磁場強度量測能量建立(最大量測電磁場強度 :200 V/m) 	<p>持續擴增電磁場強度量測校正服務(擴建系統系統 U06)</p> <ul style="list-style-type: none"> 購置 0.01 MHz 至 0.1 MHz 之電磁場強度量測系統所需標準探頭 完成 0.1 MHz 至 8 GHz 電磁場強度量測能量評估(最大量測不確定度:1.0 dB) 完成 0.01 MHz 至 0.1 MHz 電磁場強度量測能量建立(最大量測電磁場強度:140 V/m) <p>註：因應經費刪減，刪減 0.01 MHz 至 0.1 MHz 之電磁場擴建工作。</p>	<p>持續擴增電磁場強度量測校正服務(擴建系統系統 U06)</p> <ul style="list-style-type: none"> 購置及驗收 8 GHz 至 18 GHz 之電磁場強度量測系統所需之相關設備、組件 完成 0.01 MHz 至 0.1 MHz 電磁場強度量測能量評估(最大量測不確定度 :1.0 dB) 完成 8 GHz 至 18 GHz 電磁場強度量測能量建立(最大量測電磁場強度 :200 V/m) <p>註：因經費刪減，刪減上述工作。</p>	<p>發展毫米波電磁場強度量測系統(U06)</p> <ul style="list-style-type: none"> 購置及驗收 18 GHz 至 40 GHz 之電磁場強度量測系統所需之相關設備、組件 完成 8 GHz 至 18 GHz 電磁場強度量測能量評估(最大量測不確定度:1.0 dB) 完成 18 GHz 至 40 GHz 電磁場強度量測能量建立(最大量測電磁場強度 :200 V/m) <p>註：因經費刪減，刪減上述工作。</p>
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<ol style="list-style-type: none"> 發展低頻與高頻量測場地之反射特性量測 發展產生標準電磁場之自動回饋補償演算法 	<ol style="list-style-type: none"> 實現產生標準電磁場之自動回饋補償技術 高電磁場強度量測不確定度評估技術 	<ol style="list-style-type: none"> 擴建高頻量測場地之反射特性量測 擴建高頻特性量測與標準電磁場技術 	<ol style="list-style-type: none"> 擴建高頻標準電磁場技術 發展毫米波之量測場地之反射特性量測 發展毫米波之特性量測與標準電磁場技術
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 技術報告 2 份	1. 技術報告 1 份	1. 技術報告 1 份	1. 技術報告 2 份
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 擴建量測設備至之 200 V/m，以提業界所需之 0.1	1. 完成 0.1 MHz 至 8 GHz，可達 200 V/m 之電磁場強		

MHz 至 8 GHz 電磁場強度量測需求(最大量測電磁場強度：200 V/m)。	度量測系統評估，以提供檢測驗證實驗室對精密機械、機電組件與設備在電磁安全檢測服務之追溯及品保需求。		
---	---	--	--

➤ 分項三:智慧型 GNSS 遠端校時服務系統之關鍵技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
國家級同步源建設 • 與 UTC(TL)時間差 < 10 ns	建設智慧型 GNSS 遠端校時服務系統實驗子站 • 精度 < 5 ns (與 UTC(TL)標準時間比較) 建設實驗子站之同步分配系統 • 子站信號分配精度達 ns 等級	建立與國際接軌之智慧化時頻比對系統 • 與母站信號比較精度達 ns 等級	實驗子站遠端分散式同步源精度 AI 補償加值 • 每日 AI 補償精度一次
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 國家級同步源技術	1. GNSS 遠端校時技術 2. 同步分配技術	1. 國際接軌之智慧化時頻比對技術	1. 實驗子站遠端分散式同步源精度 AI 補償加值技術
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 技術報告 2 份 2. 國外論文 1 篇 3. 國內論文 1 篇	1. 技術報告 2 份 2. 國外論文 1 篇 3. 國內論文 1 篇	1. 技術報告 2 份 2. 國外論文 1 篇 3. 國內論文 1 篇 4. 遠端校時性能增進 1 套	1. 技術報告 2 份 2. 國外論文 1 篇 3. 國內論文 1 篇
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 建置國家級同步源，滿足智慧機械產業對國家標準時頻同步於精確度、穩定度、安全性的需求。	1. 完成與國際接軌之 GNSS 遠端頻率比對系統精進，提升國內遠端頻率校正性能量測技術。	1. 完成與國際接軌之智慧化時頻比對系統建立，可提升國內產業所需具全球相互認可效力之時頻標準校正服務，成	1. 完成 GNSS 遠端校時服務子系統擴建，透過遠端分散式同步源精度 AI 補償加值技術，可確保我國標準時間與頻率

		為產業與各級實驗室之時頻同步追溯源。	之追溯性。 2. 完成智慧型機器人 EMC 測試規範訂定，可供國內智慧型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。
--	--	--------------------	--

➤ 分項三:智慧機械產業電磁環境與安全要求及資訊安全標準、檢測技術、與認證研究

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
智慧機械產品安全、EMC 及資訊安全標準、檢測能量調查 <ul style="list-style-type: none"> • 聯網相關設備 • 工業型機器人 智慧機械產品之 EMC 檢測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> • 聯網相關設備 • 工業型機器人 國際技術交流與合作 <ul style="list-style-type: none"> • 國外企業、檢測驗證及研究機構交流 EMC 技術服務與研討會	智慧機械產品安全、EMC 及資訊安全標準、檢測能量調查 <ul style="list-style-type: none"> • 協同作業機器人 • 安全相關系統-輸入單元 智慧機械產品之 EMC 檢測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> • 協同作業機器人 國際技術交流與合作 <ul style="list-style-type: none"> • 國外企業、檢測驗證及研究機構交流 EMC 技術服務與研討會	智慧機械產品安全、EMC 及資訊安全標準、檢測能量調查 <ul style="list-style-type: none"> • 工具機 • 安全相關系統-邏輯單元 智慧機械產品之 EMC 檢測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> • 工具機 國際技術交流與合作 <ul style="list-style-type: none"> • 國外企業、檢測驗證及研究機構交流 EMC 技術服務與研討會	智慧機械產品安全、EMC 及資訊安全標準、檢測能量調查 <ul style="list-style-type: none"> • 智慧型機器人 • 安全相關系統-輸出單元 智慧機械產品之 EMC 檢測技術研究 <ul style="list-style-type: none"> • 智慧型機器人 國際技術交流與合作 <ul style="list-style-type: none"> • 國外企業、檢測驗證及研究機構交流 EMC 技術服務與研討會
關鍵技術			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 工業型機器人與相關聯網設備的 EMC 及安全測試技術，如 ISO-10218-1 與 ISO-10218-2 國際規範	1. 協同作業機器人的 EMC 及安全測試技術，如 ISO-10218-1、ISO-10218-2、與 ISO/TS 15066 國際規範	1. 工具機的 EMC 及安全測試技術，如 EN 50370-1 與 EN 50370-1 國際規範	1. 智慧型機器人的 EMC 及安全測試技術，如 ISO-13482 國際規範
重要產出			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 研究報告 2 份 2. 測試規範 2 份	1. 研究報告 2 份 2. 測試規範 2 份	1. 研究報告 2 份 2. 測試規範 2 份	1. 研究報告 2 份 2. 測試規範 2 份

3. 課程教材 2 份	3. 課程教材 2 份	3. 課程教材 2 份	3. 課程教材 2 份
效益			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
1. 建立工業型機器人及聯網設備之 EMC 測試規範，可供國內智慧聯網設備及工業型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。	1. 完成協同作業型機器人 EMC 測試規範訂定，可供國內協同作業機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。	1. 完成工具機 EMC 測試規範訂定，可供國內工具機安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。	1. 完成智慧型機器人 EMC 測試規範訂定，可供國內智慧型機器人安全與 EMC 等產品驗證與開發之參考。

六、各子項之產業化關鍵績效指標

● 分項一、感測器計量標準建構

- 力量感測器校正技術

擴建的力量校正系統可提供國內二級實驗室與相關廠商設備校正追溯服務，以力量感測器及荷重元校正為例，對目前國內生產、使用與代理廠商皆有所助益，舉例來說，對生產廠商(如煜昕公司)可提供其力量傳感器產品的追溯性；使用廠商則可確保需精密力量加工產線的穩定性；感測器代理商(如三聯科技)則能提高其產品的價值，相關的力量感測器與荷重元等皆曾送校至 NML 追溯體系。然而目前上述業界產品 $\leq 10\text{ N}$ 的力量傳感器國內無法提供校正服務，導致廠商產品得送國外校正(如日本 NMIJ)。未來系統擴建擴充能量範圍後，預估校正數量將能多增加 10 件，如三聯科技等公司可將須送至國外校驗之產品於國內進行校正。

(1) 量測與校正服務:

- ✓ 108 年:擴充實驗室力量校正範圍為 10 mN 至 10 N，提供力量傳感器之追溯標準。
- ✓ 109 年:完成實驗室小力量範圍 10 mN 至 10 N 系統評估。
- ✓ 110 年:開發動態扭矩量測技術，量測範圍 1 Nm ~ 100 Nm，頻率 10 Hz ~ 1 kHz。
- ✓ 111 年:建置力量與扭矩計量技術，提供量測與校正服務至少 20 件次。

(2) 線上標準件推廣與銷售:

- ✓ 111 年:完成力量感測器校正技術開發，並實際販售至少 1 件力量標準件。

- AI 語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術

本計畫亦透過工作標準麥克風(Working Standard, WS)的自由場靈敏度比較校正系統的建置，提供國內泰仕、路昌、世駿、群特等量測儀器製造商之工作標準麥克風靈敏度的追溯。並利用此技術擴展駐極電容麥克風(ECM)、微機電麥克風(MEMS)、陣列式麥克風(Array microphone)及人工耳(Artificial Ear)等聲學感測器靈敏度的校正，並建立聲音品質量測技術，滿足人工智慧產業中的需求，包括靈敏度、頻率響應、失真度及相位等參數之計量追溯，提供華碩、神達、廣達、微軟、宏達電、羅技等電聲應用產業，有助於聲音/語音品質相關參數計量的發展。

而人工智慧技術中，以「語音辨識」及「語意理解」最為重要，其評估分析除了在理想的聲學環境中進行，為評估在真實環境下的性能，ETSI、Cortana、Amazon 及 Skype 等規範提供了量測環境的相關規格，由於聲學計量標準在音場量測技術的建立，提升對聲學環境的評估驗證能力，強化語音辨識能力以及人工智慧的應用。

配合本子計畫之成果運用策略及產業化銜接規劃，本子計畫預期「技術授權與導入」、「量測與校正服務」2 項目之關鍵指標列舉及說明如下:

(1) 量測與校正服務

- ✓ 108 年:擴充麥克風互換校正頻率範圍為 10 Hz 至 40 kHz，提供實驗室標準麥克風之追溯計量。
- ✓ 109 年:擴充工作標準麥克風自由場校正技術，提供實驗室標準麥克風的量測與校正服務至少 5 件次。
- ✓ 110 年:建立聲音辨識計量參數量測技術，增加標準麥克風量測與校正服務至少 10 件次。
- ✓ 111 年:增加聲音辨識計量量測與校正服務至少 10 件次。

(2) 技術授權與導入

- ✓ 111年:完成建置標準音源線上音場修正與補償技術，並實際導入至少1家廠商

● 分項二、工具機線上校正技術建立

- 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

本子計畫目的為健全視覺 3D 量測儀器的追溯鏈，以確保量測結果的準確性及一致性；並針對高反光表面金屬工件無法量測之問題，進行技術發展以解決該使用限制，使金屬加工業能夠利用視覺 3D 量測儀器，於生產現場快速、準確地量測工件產品，改善生產效率。績效指標將以量測與校正服務提供，及技術實際導入產業為主。

(1) 量測與校正服務、技術導入

- ✓ 109年:新增球距量測能量；
- ✓ 110年:建立攝影機校正服務，並導入至少1家廠商；
- ✓ 111年:3D 視覺量測線上校正技術服務。

- 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

配合本子計畫之成果運用策略及產業化銜接規劃，本子計畫預期「技術授權與導入」、「量測與校正服務」、與「線上標準件販售」等3項目之關鍵指標列舉及說明如下:

(1) 技術授權與導入

- ✓ 108年:建立完成非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，並實際導入至少1家廠商；
- ✓ 111年:完成具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術，並實際導入至少1家廠商。

(2) 量測與校正服務

- ✓ 109年:新增校正能量1項(環形編碼器)、規劃並確認進行國際比對(或雙邊比對)1件次；
- ✓ 110年:新增校正能量1項(CMM標準件之二維孔(或球)板)；

(3) 線上標準件販售

- ✓ 110年:實際販售線上幾何標準件或單旋轉軸快速量測標準件至少1件；
- ✓ 111年:實際販售線上幾何標準件或單旋轉軸快速量測標準件至少2件。

- 非接觸式溫度量測之線上校正技術

本子計畫預期「技術推廣與導入」、「量測與校正服務」、與「移動標準件」等3項目之關鍵指標列舉及說明如下:

(1) 技術推廣

- ✓ 108年:完成開發固定點黑體模擬器技術，並實際產出推廣至國際(內)，研討會/說明會技術發表至少1篇(場)；
- ✓ 109年:完成非接觸式溫度量測技術之黑體模擬器自我追溯技術，並實際導入至少1家廠商；
- ✓ 111年:完成可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術，並實際產出推廣至國際(內)，研討會發表技術至少1篇。

(2) 量測與校正服務

- ✓ 109 年:新增量測服務至少 2 件次
- ✓ 110 年:新增 TAF 校正能量 1 項(單頻黑體模擬器校正 KE1099)；
- ✓ 111 年:新增 TAF 校正能量 1 項(單頻非接觸式溫度計 KE1007)、量測與校正服務至少 5 件次。
- (3) 標準件製作
 - ✓ 109 年:建立完成固定點黑體模擬器，並實際販售至少 1 件；
 - ✓ 111 年:建立完成固定點 AI 黑體模擬器，並實際販售至少 1 件。

● 分項三、智慧生產線調和檢測技術與標準建置

- 智慧生產線調和計量標準及產業應用技術

本計畫規劃研發長波長低掠角 X 光反射(grazing incidence x-ray reflectivity, GIXRR)技術，將應用 X 光的高量測解析度特性，量測半導體前瞻製程中的薄膜厚度。此技術使用鋁靶材作為長波長 X 光光源，可提高 X 光入射角度，進而縮小入射投影光斑至 $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ ，且因為提高光功率，在高角度範圍的雜訊可望明顯降低，在量測 2 nm 以下薄膜可清晰看出反射干涉波峰，進而擬合算出 2 nm 以下的薄膜厚度。並搭配購買低掠角 X 光螢光光譜儀(Grazing incidence X-ray fluorescence spectrometer, GIXRF)，確認薄膜層間之元素濃度，建立可靠之擬合模組，以提升 GIXRR 量測精準度，建立薄膜厚度標準。同時導入 AI 專家系統，針對不同薄膜、厚度進行參數設定及光調整自動化，以及針對 GIXRR 和 GIXRF 數據擬合最佳化的方式，縮短半導體產線線上檢測時間，可快速將擬合數據傳遞給產線設備，做即時回饋補償，提升半導體產率及良率。另外建立 Golden tool(標準機台)來進行比對，以精確評估造成不同產線之差異來源，藉此降低因產線不同而造成的產品差異，冀望能以有系統的模式及標準程序之建立，來進行各產線間之調和。

(1) 技術研發以符合產業需求

- ✓ 110 年:建立微區化次奈米薄膜量測技術並實際驗證至少 1 家業者
- ✓ 111 年:建立具 AI 專家系統之次奈米薄膜量測技術並實際驗證至少 1 家業者

- 高速連網設備電磁安全量測標準

配合本子計畫之成果運用策略及產業化銜接規劃，可使電磁安全之頻率量測能量最大可達 40 GHz，將可滿足未來 5G 毫米波通訊與智機物聯網數據傳輸所需頻段的電磁場量測與校正追溯需求，確保 5G 行動通訊相關高速連網設備與 AI 物聯網設備性能檢測驗證技術之完備，強化我國在相關產業技術的國際競爭能量；而在電磁場強度量測能力最大可達 200 V/m，可提供車用電子、車載資通訊以及國防、航空等產業對高電磁場強的電磁安規檢測與可靠度性能測試之標準追溯需求。

預估每年校正件數可達 80 件，其衍生服務數量至少可達數百件。同時有助於我國在通訊、物聯網、智慧機械、汽車電子、國防等產業於相關產品開發上的性能驗證效率，確保台灣產業在國際上的競爭地位。

(1) 量測與校正服務

- ✓ 108 年:發展高電磁場強度量測系統，擴建校正能量至 0.1 MHz~ 8 GHz (最大電場強度 200V/m)
- ✓ 109 年:完成高電磁場強度量測系統頻率範圍 0.1 MHz 至 8 GHz 校正能量之量測不確定度評估。

- 智慧型 GNSS 遠端校時服務系統

國家時間與頻率標準實驗室為國內唯一的時頻國家標準實驗室，亦為唯一提供 CMC 可直接鏈結至 BIPM KCDB 全球相互認可網站之時頻標準實驗室，所提供校正服務予 40 餘家國內廠商、實驗室之追溯，為國內時頻標準之追溯源頭。本子計畫規劃擴建 GNSS 遠端校時服務系統，透過後端資料蒐集以發展實驗子站遠端分散式同步源精度補償等 AI 加值技術，確保我國標準時間與頻率之追溯性。計畫完成後除改良 GPS 遠端校時系統不確定度擴建 1 倍外，亦可提供具全球相互認可效力之時頻標準件校正服務，並可成為國內各級時頻標準實驗室、產業之時頻同步追溯源。

- ✓ 108 年:完成國家級同步源建設與 UTC(TL) < 10 ns
* UTC(TL):Coordinated Universal Time (Telecommunication Laboratories) ,
中華電信研究所國家時間與頻率標準實驗室
- ✓ 109 年:完成智慧型 GNSS 遠端校時服務系統實驗站建設，擴建遠端頻率校正不確定度至 1×10^{-13} Hz/Hz
- ✓ 110 年:完成實驗子站之同步分配系統建設、國際接軌之遠端延遲量(time delay)量測系統與母站信號比較延遲量 < 10 ns
- ✓ 111 年:國際接軌之智慧化時頻比對系統，擴建遠端校時 CMC 校正不確定度優於 10 ns

- 智慧機械產業電磁環境與安全要求之標準、檢測技術與驗證研究

本子計畫將進行 EMC 與安全標準研究及檢測能量盤點，以評估國內各類型機器人之檢測需求。並透過與國際檢測、驗證及研究機構交流，加強國內檢測驗證技術與各國合作，促進國內 EMC 與安全要求之標準、檢測驗證技術與國際接軌。

- ✓ 108 年: 工業型機器人及相關聯網設備之 EMC 測試規範 2 份
- ✓ 109 年: 協同作業型機器人 EMC 測試規範 1 份及標準草案制修 1 份及資安準則 1 份
- ✓ 110 年:工具機 EMC 測試規範 1 份及標準草案制修 1 份針對文件與設備進行資安測試。
- ✓ 111 年:智慧型機器人 EMC 測試規範 1 份及標準草案制修 1 份及整機之資安測試。

七、重要指標

工作項目	產出物 (技術、系統...)	技術指標/系統規格 /品質指標/服務指標	完成 年度
感測器計量標準建構分項			
力量感測器 校正技術	小力量校正技術研發	<ul style="list-style-type: none"> 設計與製作小力量量測系統，力量量測範圍 10 mN ~ 10 N 	108
	正向力力量感測器元件開發	完成正向力力量感測器元件之設計、製程及性能量測結果 <ul style="list-style-type: none"> 力量感測範圍:0.01 N ~ 0.5 N 感測靈敏度:1.8 fF / mN 	
	小力量校正技術研發	<ul style="list-style-type: none"> 相對標準不確定度$\leq 5 \times 10^{-3}$ 	109
	剪力力量感測器元件開發	完成剪力力量感測器元件之設計、製程及性能量測結果 <ul style="list-style-type: none"> 力量範圍:0.01 N ~ 0.5 N 靈敏度:1 fF / mN 	
	動態力量標準技術研發	<ul style="list-style-type: none"> 力量量測範圍 10 N ~ 100 N (頻率 10 Hz ~ 1 kHz) 	110
	多軸力量感測器開發(III)-整合型 多軸力量感測器元件開發	<ul style="list-style-type: none"> 完成整合型多軸力量感測器元件之設計、製程及性能量測結果。 	
	小扭矩校正技術研發	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍:0.1 Nm~10 Nm 	111
整合型多軸力量感測器元件評估	<ul style="list-style-type: none"> 完成整合型力量感測器元件之性能評估與訊號改善。預計正向力與剪力訊號耦合程度低於 10 % 		
AI 語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術	麥克風音壓靈敏度低頻及自由場靈敏度高頻互換校正技術	擴建麥克風音壓靈敏度絕對校正系統: <ul style="list-style-type: none"> 低頻範圍:10 Hz to 250 Hz 量測不確定度:≤ 0.40 dB 擴建麥克風自由場靈敏度絕對校正系統: <ul style="list-style-type: none"> 高頻範圍:1 kHz to 40 kHz 量測不確定度:≤ 0.40 dB 麥克風型式:實驗室標準麥克風 	108
	量測麥克風比較校正技術	擴充麥克風自由場校正技術 頻率範圍:250 Hz to 40 kHz <ul style="list-style-type: none"> 量測不確定度:≤ 1 dB 麥克風型式:工作標準麥克風 	109
	聲音辨識計量參數量測技術	建置聲音辨識計量參數量測技術 <ul style="list-style-type: none"> 頻率範圍:10 Hz to 20 kHz 頻率誤差:≤ 3 % 	110

工作項目	產出物 (技術、系統...)	技術指標/系統規格 /品質指標/服務指標	完成 年度
		<ul style="list-style-type: none"> • 相位誤差: $\leq 5\%$ 	
	聲音感測器線上校正技術	<ul style="list-style-type: none"> • 線上校正音源研製 • 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz • 音壓位準變異範圍: < 0.5 dB 	111
工具機線上校正技術建立分項			
視覺感測器 3D 量測之線 上校正技術	多曝光影像合成演算法	<ul style="list-style-type: none"> • 提升高反光待測面之條紋影像對比度至 30 % 以上 	108
	標準球徑量測技術	<ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍 1 mm ~ 100 mm • 球徑量測不確定度(不含待測件): $u \leq 0.8 \mu\text{m}$ 	
	高反光物件 3D 點雲量測技術	<ul style="list-style-type: none"> • 點雲重建率 $\geq 90\%$ • 掃描時間 ≤ 20 秒 • 準確度: $\pm 50 \mu\text{m}$ (評估用標準件: 球徑 $\leq 50\text{mm}$; 球距 $\leq 700\text{mm}$) 	109
	標準球距量測技術	<ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍 10 mm ~ 1000 mm • 球距標準量測不確定度: $u \leq 1.5 \mu\text{m}$ 	
	快速攝影機校準技術	<ul style="list-style-type: none"> • 攝影機校準時間 ≤ 5 分鐘 • 次像素分析誤差 ≤ 0.1 pixel • 準確度: $\pm 50 \mu\text{m}$ 	110
	快速線上攝影機幾何參數誤差補償技術	<ul style="list-style-type: none"> • 攝影機校準時間 ≤ 30 秒 • 次像素分析誤差 ≤ 0.05 pixel • 準確度: $\pm 10 \mu\text{m}$ 	111
具追溯之五 軸工具機線 上加工尺寸 量測技術	非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術	<ul style="list-style-type: none"> • 適用直徑: ≤ 500 mm • 幾何誤差: 6 項 • 量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度: $\leq 2''$ - 線性: $\leq 4 \mu\text{m}$ 	108
	可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術	<ul style="list-style-type: none"> • 單轉軸快速量測標準件 • 幾何誤差: 3 項 • 量測時間: ≤ 30 分鐘 • 量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度: $\leq 0.8''$ - 線性: $\leq 3 \mu\text{m}$ 	
	角度塊規校正系統(D06)擴建	<ul style="list-style-type: none"> • 環形編碼器校正 <ul style="list-style-type: none"> - 量測範圍: 360°(任意角度) • 標準量測不確定度: $0.3''$ 	
	CMM 標準件之二維孔(或球)板校正能量建立	<ul style="list-style-type: none"> • 低熱膨脹係數標準件(hole plate)購置 	

工作項目	產出物 (技術、系統...)	技術指標/系統規格 /品質指標/服務指標	完成 年度
		<ul style="list-style-type: none"> 量測用治具設計與製作 	
	非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術	<ul style="list-style-type: none"> 適用直徑: ≤ 1000 mm 幾何誤差: 16 項 標準量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度: $\leq 1''$ - 線性: $\leq 2 \mu\text{m}$ 	109
	可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術	<ul style="list-style-type: none"> 單轉軸快速量測標準件 幾何誤差: 3 項 量測時間: ≤ 30 分鐘 標準量測不確定度 <ul style="list-style-type: none"> - 角度: $\leq 0.5''$ - 線性: $\leq 1.5 \mu\text{m}$ 	
	角度塊規校正系統(D06)擴建	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍: $\pm 1000''$ 標準量測不確定度: $0.2''$ 	
	CMM 標準件之二維孔(或球)板校正能量建立	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍: $650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$ 標準量測不確定度: $Q[1.2, 1.5L] \mu\text{m}$, L in m 	
	五軸工具機幾何誤差量測與分析	<ul style="list-style-type: none"> 適用行程範圍: ≤ 800 mm(最長軸) 幾何誤差: 41 項 溫度變異範圍: $6 \text{ }^\circ\text{C}$ 各誤差補償效果: $\geq 20 \%$ 	110
	具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術	<ul style="list-style-type: none"> 適用行程範圍: ≤ 350 mm(最長軸) 標準量測不確定度: $\leq 15 \mu\text{m}$ 	
	五軸工具機幾何誤差量測與分析	<ul style="list-style-type: none"> 適用行程範圍: ≤ 1200 mm(最長軸) 幾何誤差: 41 項 溫度變異範圍: $6 \text{ }^\circ\text{C}$ 量測時間: ≤ 10 小時 各誤差補償效果: $\geq 30 \%$ 	111
	具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術	<ul style="list-style-type: none"> 適用行程範圍: ≤ 1200 mm(最長軸) 標準量測不確定度: $\leq 15 \mu\text{m}$ 	
非接觸式溫度量測之線上校正技術	黑體模擬器開發與製作	<ul style="list-style-type: none"> 溫度: $962 \text{ }^\circ\text{C}$ 波長@λ_{max}: $0.9 \mu\text{m}$ 升溫達穩定時間 ≤ 30 min 	108
	黑體模擬器自我追溯技術	<ul style="list-style-type: none"> 黑體溫度: $962 \text{ }^\circ\text{C}$, 波長@$\lambda_{\text{max}}$: $0.9 \mu\text{m}$ 黑體量測不確定度: $u \leq 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 	109
	建立非接觸式固定點溫度量測技術	<ul style="list-style-type: none"> 黑體模擬器, 固定點溫度: $962 \text{ }^\circ\text{C}$ 非接觸式溫度量測系統溫度解析度達 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 溫度量測重現性 $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 	110

工作項目	產出物 (技術、系統...)	技術指標/系統規格 /品質指標/服務指標	完成 年度
	建立微型化非接觸式溫度量測之線上校正技術	<ul style="list-style-type: none"> 非接觸式溫度量測微型化系統溫度(400-1000) °C，解析度:0.2 °C，量測探頭小於 10 mm 溫度量測重現性 0.5 °C，有效量測距離:10 mm ~ 1000 mm 	
	可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術	<ul style="list-style-type: none"> 量測擴充不確定度:$U \leq 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 溫度/調變範圍:L、M、H，400 °C、600 °C、1000 °C / $T \pm 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ 	111
智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項			
高速連網設備 電磁安全 量測標準	發展高電磁場強度量測系統	<ul style="list-style-type: none"> 量測頻率從 0.1 MHz 至 8 GHz 量測電磁場強度為 200 V/m 	108
	完成電磁場強度量測系統擴建	<ul style="list-style-type: none"> 量測頻率從 0.1 MHz 至 8 GHz 量測電磁場強度為 200 V/m 量測不確定度為 1.0 dB @8 GHz 	109
智慧型 GNSS 遠端 校時服務系 統	國家級同步源建設	與 UTC(TL)時間差<10 ns	108
	飛行時鐘法量測技術建立	飛行時鐘法量測精度< 50 ns (與 UTC(TL)標準時間比較)	109
	智慧型 GNSS 遠端校時服務系統實驗站建設	遠端頻率校正不確定度至 1×10^{-13} Hz/Hz	
	建設實驗站之同步分配系統	實驗站信號分配精度達 ns 等級	110
	國際接軌之遠端延遲量量測系統	與母站信號比較延遲量< 10 ns	
	同步源資訊管理系統建設	每小時收集遠端同步資訊一次	111
與國際接軌之遠端時間比對系統精進	與母站信號比較精度達 10ns 等級		
電磁環境與 安全及資訊 安全標準、檢 測技術與驗 證研究	工業型機器人與相關聯網設備之 EMC 及安全測試技術研究	完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人 EMC 測試規範 2 份報告	108
	協同作業型機器人之 EMC、功能安全及資訊安全測試技術研究	協同作業型機器人 EMC 及功能安全測試之技術報告與測試規範各 1 份，資安準則 1 份	109
	工具機之 EMC 及安全與資訊安全測試技術研究	工具機 EMC 及安全測試之技術報告與測試規範各 1 份，資安測試 1 份	110
	智慧型機器人之 EMC 及功能安全測試技術研究	智慧型機器人 EMC 及功能安全測試之技術報告與測試規範各 1 份，資安測試 1 份	111

參、本年度計畫目標及成果說明

一、感測器計量標準建構分項

(一)力量感測器校正技術

1. 產業需求

產業自精密機械升級為智慧機械發展過程中，用於製造生產的機械手臂/手指已開始安裝大量的力量傳感器，作為產品自動化加工過程中的力量施加、控制與偵測用。而力量傳感器可提供機台靜態/動態施力資訊，做為智慧組裝/加工回饋控制之依據，以提升組裝/加工準確性。其中，產業開發運用在機械手指安裝的觸覺力量感測器，採用的感測器力量範圍大多落在 0.01 N 至 10 N 之間。然而，目前 NML 國家實驗室尚未建置此力量範圍的校正系統，無法協助廠商檢校該力量範圍的感測器。

另外，從陸續拜訪相關廠商如和昌、3M、三聯與煜昕等公司，其中和昌公司在需施加小力量範圍(≤ 10 N)的產品硬度量測上與其訂單客戶量測值結果產生落差，評估原因為該公司硬度量測系統力量傳感器缺乏校正追溯，導致訂單客戶對該公司硬度量測值衍生疑慮；此外，3M 公司亦有類似施加小力量檢測產品的硬度計無法進行校正追溯之問題，上述廠商皆表達期待 NML 可以早日完成小力量範圍的校正系統以協助提供產業小力量傳感器校正的追溯依據。

除了透過建置小力量傳感器校正系統以滿足業界校正追溯之外，若進一步能有合適的線上即時校驗服務確保產線感測器的準確性，將可有效降低機械手臂/手指破壞或滑落物品的損失與意外發生，開發感測器技術之計量標準技術以及傳遞標準件將可有效滿足上述相關業界需求。

2. 計畫目標(含全程目標，當年度目標)

(1) 全程目標:

智慧機械力量感測校正技術四年規劃包含以下發展工作 1.小力量標準校正技術、2.小扭矩標準校正技術、3.動態扭矩量測技術與 4.多軸力量感測器開發等。

(2) 本年度計畫目標如下：

本年度計畫目標主要有以下兩項：(i)設計與購置小力量校正系統；(ii)設計與製作正向力量感測元件。

(1) 小力量校正技術研發(I)-小力量校正系統

設計與購置力量量測系統，力量量測範圍 10 mN ~ 10 N

(2) 多軸力量感測器開發(I)-正向力力量感測器元件開發:

力量範圍 0.01 N ~ 0.5 N，靈敏度:1.8 fF / mN

3. 實施方法

(1) 小力量校正技術研發(I)-小力量校正系統

本年度計畫設計與購置的小力量校正系統力量範圍為 10 mN ~ 10 N，此系統為自行研發設計之力量傳感器校正系統，設計需滿足 ISO 376 力量傳感器校正規範。對於 10 N 左右的力量範圍校正系統，國際上主要有英國 NPL 建置 1.5 N \leq 力量 \leq 50 N 的靜法碼力量校正系統；韓國 KRISS 建置 0.5 N \leq 力量 \leq 22 N 的比較式力量校正系統；以及德國 PTB 於 2012 年利用天平建置 100 μ N \leq 力量 \leq 10 N 之校正系統，各國比較如表 4 所示。分析上述幾個國家實驗室小力量範圍量測系統，無論是英國 NPL 採用的靜法碼系統或韓國 KRISS 採用的比較式系統，其可校正力量範圍最小僅至 0.5 N，相對而言，德國 PTB 利用天平建置的力量校正系統，其最小力量則可量測至 100 μ N。考量 NML 國家實驗室目前缺乏 10 N 以下力量

感測器元件設計採用電容式感測原理，製程則是利用台積電 1P6M (1 層多晶矽與 6 層金屬) CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 互補式金屬氧化物半導體標準製程平台，以符合該製程規則下設計正向力力量感測器。

元件設計使用基本電容原理公式 $C = \epsilon \frac{A}{d}$ ，公式中分別是電容值 C 、介電係數 ϵ 、平行電容板重疊面積 A 、電容板間距離 d 。結構簡圖如圖 5 所示，為上下一組的金屬平行電容板結構，當結構受力後，上電容板會產生形變，使其電容版間距改變，進而產生不同的電容訊號輸出。

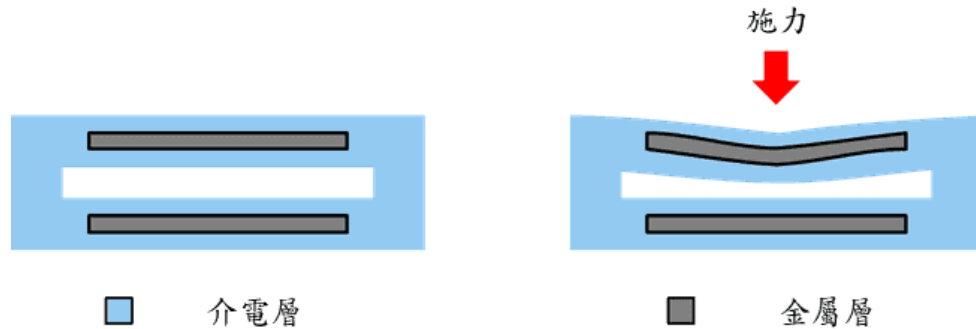


圖 5、電容式力量感測原理

計畫中正向力量感測元件的結構設計如上述採用靈敏度表現較優異的電容式感測機制，其主要結構是利用結構 Metal 5 的部分作為上電極，而 Metal 3 的部分作為下電極，兩電極間隙間因蝕刻犧牲層 (Metal 4) 可保留上電極變形空間，本設計的元件結構立體拆解簡圖 6。當上電極受到正向力後，薄膜會產生變形，進而使電極間距縮小，電容輸出增加，而電容輸出與施力之間會建立於特定的關係式中。然而，為了增加力量感測器之敏感度，並保護感測薄膜不易破裂，選用 PDMS 作為兩電極間的介電質。其計算初始電容值的部分，一般使用如下式(1)， ϵ 為介電常數， A 為兩電極重疊面積， d 為兩電極間隙。

$$C_0 = \epsilon \frac{A}{d} \quad (1)$$

實際上，因 CMOS 後製程的限制，兩電極板間除了使用的介電質 PDMS 之外，亦含有兩層 SiO_2 ，此為蝕刻犧牲層時保護上下電極的介電層，故本結構嚴格上應視為含有兩種介電質的電容，因此需要將式(1)修正為式(2)

$$C_0 = \frac{\epsilon_{\text{polymer}} A}{(h_1 + h_2) \frac{\epsilon_{\text{polymer}}}{\epsilon_s} + Z_0} \quad (2)$$

式中 $\epsilon_{\text{polymer}}$ 為 PDMS 之介電常數， ϵ_s 為 SiO_2 的介電常數， h_1 及 h_2 為上下兩層保護用之介電材料 SiO_2 ， Z_0 為填充 PDMS 的間距，計算得知初始電容值為 325 fF。

使用 Ansys 有限單元法模擬軟體，預估力量感測元件的性能表現，並重複以模擬結果進行元件幾何尺寸及機械結構的調整，模擬結果如圖 7，結果顯示感測器之受力範圍可達 500 mN，預估靈敏度為 2 fF/mN。

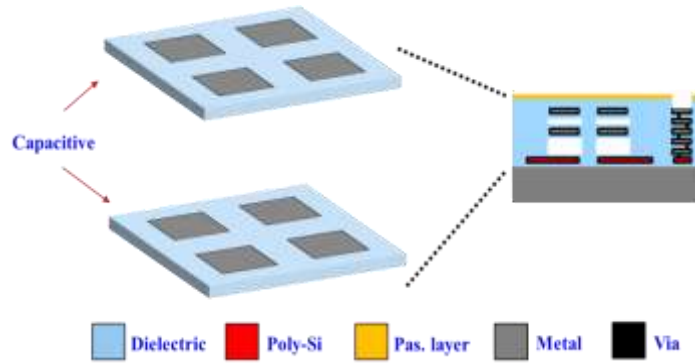


圖 6、元件結構立體拆解簡圖

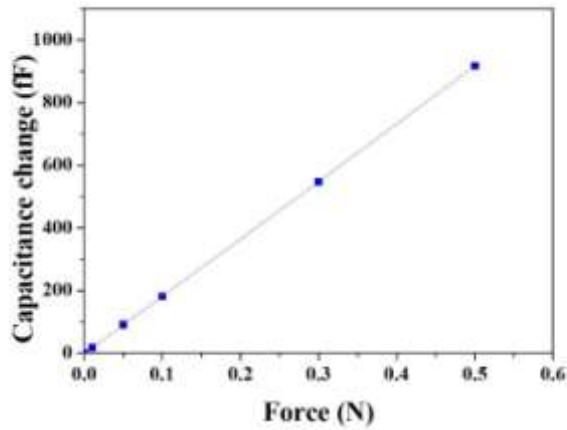


圖 7、有限單元法模擬結果

感測器製程部分:

本計畫使用 CMOS 標準製程平台，有多層薄膜堆疊的結構以及整合電路的好處，於標準製程後的微機電後製程部分，可採用互補式金屬氧化物半導體-微機電系統(CMOS-MEMS)後段製程的蝕刻技術，完成微結構及電路部分。詳細後製程流程如圖 8 所示，當元件 CMOS 標準製程完成後，會透過金屬濕蝕刻製程、非等向性介電層蝕刻製程等兩道蝕刻製程完成元件結構定義，以及採用氣動式技術填入聚二甲基矽氧烷(PDMS)高分子材料作為電極間的介電質，最後則是透過打線製程將元件訊號引出，以供後續性能量測使用。

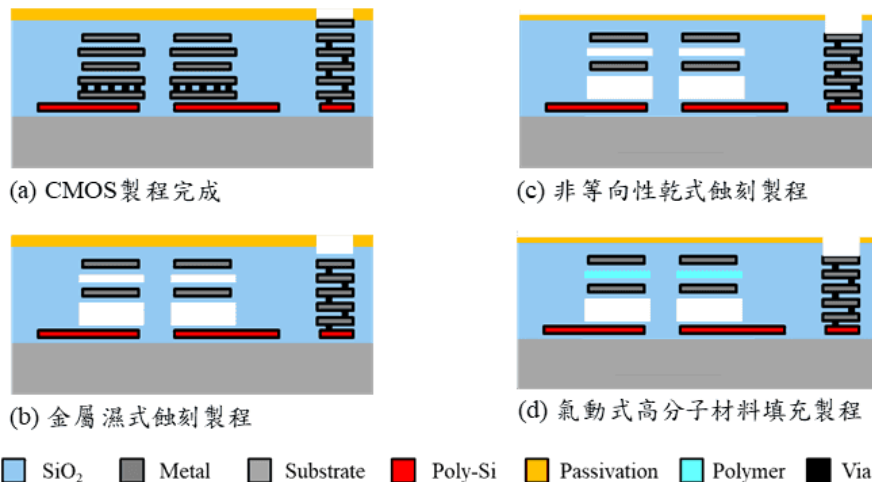


圖 8、CMOS-MEMS 後製程流程圖

4. 成果說明

小力量校正系統實際完成圖如圖 9 所示，包含硬體部分與軟體控制部分，軟體介面如圖 10 所示。目前已完成設計製作之小力量校正系統主要涵蓋下列六項組成：

- (1) 精密電子天平
 - A. 力量範圍最大 200 g，解析度 0.1 mg，附 TAF 校正報告。
 - B. 力量範圍最大 1200 g，解析度 1 mg，附 TAF 校正報告。
- (2) 環境監控(溫濕度紀錄)
 - A. 溫溼度傳送器 HF532-WB1XDHXX：具顯示螢幕，訊號輸出 RS485，4~20 mA。
 - B. 溫溼度探棒 HC2A-S: 測量範圍 (-50 ~ 100)°C，(0 ~ 100)%RH，溫度解析度 0.01°C，相對溼度解析度 0.01%RH，線長 2 m，附 TAF 校正報告。
- (3) 力量傳感器與訊號監測器
 - A. 力量傳感器: 3 N (300 g, 最小分度值 0.05 g)與 10 N (1 kg, accuracy class 0.02)，附校正報告與附 IT1 顯示器，可以相容 PW4MC3 與 S2M 顯示，具有 RS232 通訊。
 - B. 訊號監測器: 頻率範圍 20 Hz ~ 2 MHz / 解析度為 4 位數，附 power and DC Bias enhance, DCR measurement, Handler interface, Scanner interface, Test leads (BNC, 2m), Kelvin IC Clip Leads，附原廠報告。
- (4) 整合自動控制系統(Z 軸)、水平轉向與手動傾斜調整平台
 - A. 自動奈米位移系統可將力量傳感器移動並對天平施與固定力。
 - B. 微力量傳感器測試機構包括手動調整 X-Y 平台，手動調整傾斜平台與 360 度，自動水平轉向平台可以執行 0 度、120 度、240 度三種角度的測試，並可同軸心安裝力量傳感器。
 - C. 傾斜平台須有一延伸台可以使用傾斜計檢測傾斜度，零件規格如下：
 - 奈米定位控制: 移動範圍 7 mm，解析度 10 nm。
 - XY-傾斜調整座: 範圍± 7 度，最小刻度 65 μrad。
 - 旋轉調整座: 轉動角度為 0 度、120 度與 240 度，最小刻度 21 μrad。
 - 傾斜感測器: 移動範圍± 20 度，解析度 0.01 度。
 - 支撐架: z 軸粗調範圍 15 cm 與細調 5 cm 內
 - 位置偏移量投影測微儀: 型號 TM-065，測量範圍:Ø 65 mm，量測精度± 6 μm，附出廠測試證明。
- (5) 控制器、程序及記錄數據軟體整合
 - A. 螢幕畫面軟體上可顯示溫度、相對濕度、垂直位移位置、水平轉向位置、力量傳感器值、力量標準件值，且能持續監控與記錄環境溫濕度參數，控制垂直奈米位移系統與水平轉向平台進行力量校正，並記錄力量標準件與力量傳感器相對應於時間的數據。
 - B. 可將數據繪圖與匯出為 csv 格式檔案。
 - C. 配備電腦控制系統，Intel Core i5 第九代處理器，1T SSD 儲存空間，16G 隨機存取記憶體，8G 1070 顯示卡，Win10 版本，可即時擷取量測數據並運算，長期儲存量測數據；移動式環境電腦控制系統，Intel Core i7 第八代處理器，512G SSD 儲存空間，20G 隨機存取記憶體，Win10 版本。
- (6) 花崗岩防震平台、Z 軸基石定位與防風罩

系統實際組裝完成後如圖 9 所示，圖 10 為小力量校正系統的軟體控制介面，可利用程式控制待測傳感器移動施加力量在天平上，量測並計算天平讀值與力量傳感器器式值的差值。為滿足於小力量感測器的校正量測所需，完成組裝功能後進行實際量測，透過位移控制使得力量傳感器施力於天平上，重覆量測三次，測試參數在 10.0 N 時環境溫度為 21.3 °C、濕度為 43.4 %，比較天平讀值與力量傳感器器示值，兩者器差為 0.015 %；測試參數在 1.0 N 時環境溫度為 21.1 °C、濕度為 43.7 %，兩者器差為 0.004 %；測試參數在 9.5 mN 時環境溫度為 21.1 °C、濕度為 43.7 %，兩者器差為 0.441 %，符合性能驗收規格 $\leq \pm 3\%$ ，初估不確定度結果如表 5 所示。

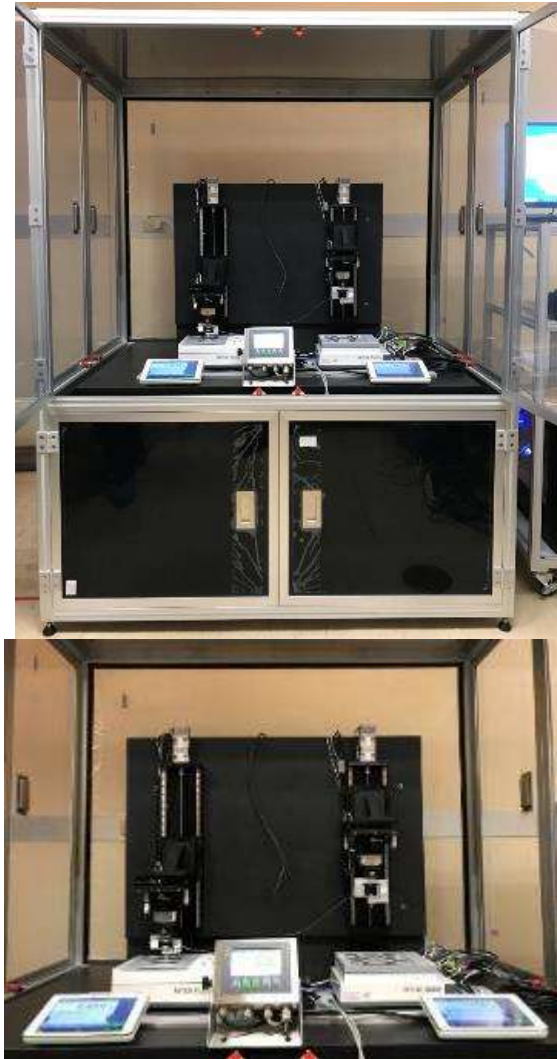


圖 9、小力量校正系統

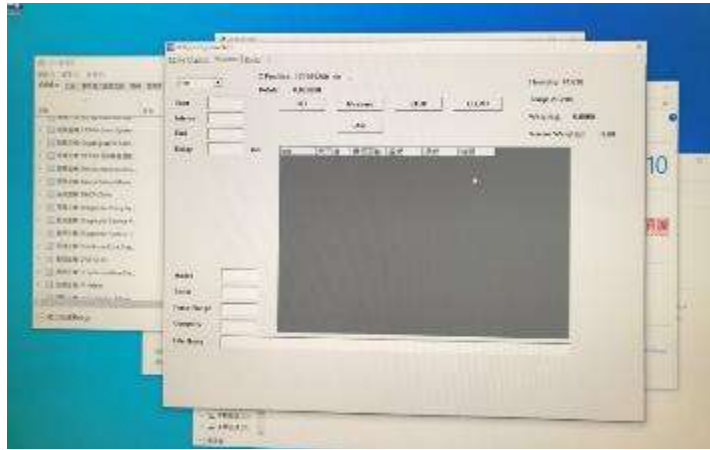


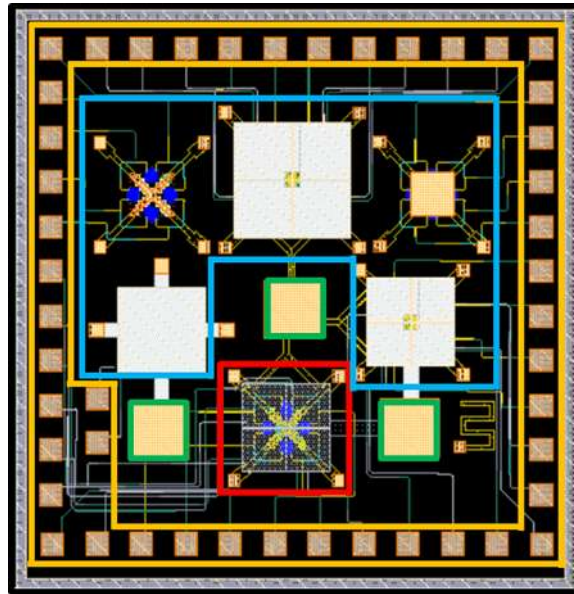
圖 10、小力量校正系統軟體操作介面

表 5、小力量系統初估不確定度表

測試條件參數	主要不確定度			初估系統相對擴充量測不確定度	測試環境平均溫度 (°C)	測試環境相對溼度 (%)
	量測 3 次重覆性(N)	天平校正報告不確定度 (N)	天平解析度不確定度(N)			
10.0 N	9.91×10^{-4}	4.90×10^{-6}	2.83×10^{-6}	2.0×10^{-4}	21.3	43.4
1.0 N	6.84×10^{-4}	4.90×10^{-6}	2.83×10^{-6}	1.3×10^{-3}	21.1	43.7
9.5 mN	9.19×10^{-7}	1.47×10^{-6}	2.83×10^{-7}	3.7×10^{-4}	21.1	43.7

完成正向力力量感測器元件開發

對應於人體手指觸覺系統可感受的力量大小，機器手指觸覺力量傳感器之主要需求力量範圍在 0.01 N 到 10 N 之間^[1]。以目前國際上開發中的機器手指力量感測器為例，日本東北大學(Tohoku University) Sho Asano 學者與豐田中央研究室研究人員共同研發的三軸微機電力量感測器^[2]，預期作為機器手指的觸覺感測，其力量感測範圍為 100 mN 至 1 N 之間，解析度可達 10 mN。而德國比勒費爾德大學(Bielefeld University) Risto Koiva 學者提出的作為機器手指力量偵測的 3D 力量感測器^[3]，其力量感測範圍為 30 mN 至 10 N 之間。兩者所採用的元件製程為自行開發的製程平台，除研發成本較高外，元件設計與製程的相容性困難度亦較大。為減少新製程平台開發的成本耗費，本計畫採用 CMOS MEMS 標準製程進行元件設計，並參考文獻中採用 CMOS 微機電製程技術的力量感測器最大偵測力量為 0.5 N^[4]。因此，因應小力量校正系統的建置及機器手指的力量運用範圍，NML 開發 0.01 N 至 0.5 N 的力量感測器。



- 主要感測單元 □ 後製程用蝕刻孔
□ 其他測試結構 □ 電性連接窗口

圖 11、CMOS 元件光罩設計圖

計畫中元件整體基於 CMOS 標準製程平台所設計，元件設計規格單一感測元件尺寸為 $(300 \times 300) \mu\text{m}^2$ ；整體元件尺寸 $< (2 \times 2) \text{mm}^2$ 。依此結構設計進行元件光罩圖繪製，CMOS 元件光罩設計圖如圖 11，圖中分成(1)主要感測單元區域、(2)其他測試結構區域、(3)後製程用蝕刻孔區域與(4)電性連接窗口區域。並依此設計圖開立力量感測元件製程委外製作採購單，以完成元件 CMOS 標準製程作業。元件標準 CMOS 製程完成後，接著進行 CMOS 後製程製作。採用金屬濕蝕刻的方式實現懸浮結構與必要感測間距，待完成元件的所有蝕刻與高分子填充的後製程後，進行打線製程，藉由將電性導出至印刷電路板各腳位，以利元件性能量測。本次設計之 MEMS 力量感測元件使用聚二甲基矽氧烷(PDMS)高分子材料進行元件表面的簡易封裝，可避免大氣中水氣對元件產生的影響，此外，PDMS 同時亦作為探頭與元件的接觸面，因此可避免半導體結構直接受到磨損而影響量測結果。

元件性能量測的架設圖如圖 12，將待測元件放置於 XYZ 移動平台(Z 軸整體移動行程 6 mm，最小可讀值 0.01 mm；XY 軸各別移動行程 25 mm，最小可讀值 0.01 mm)上方，使用推拉力計(最大施力範圍達 10 N，施力解析度為 1 mN)給予元件由 0.01 N 至 0.5 N 的施力大小，並藉由感測器測試用接觸探針與元件接觸，以進行施力。此外，使用訊號讀取開發板連結已配置電路的 PCB 板與控制電腦，作為訊號擷取的方式。元件性能量測結果如圖 13，確認本元件的力量量測範圍可達到 0.01 N 至 0.5 N，以線性擬合得到受力(x)與電容變化量(y)的關係式為 $y = 1.8453x + 108.82$ ，感測靈敏度為 $1.85 \text{ fF} / \text{mN} \geq 1.8 \text{ fF} / \text{mN}$ ，也符合計畫所列元件開發年度規格目標。

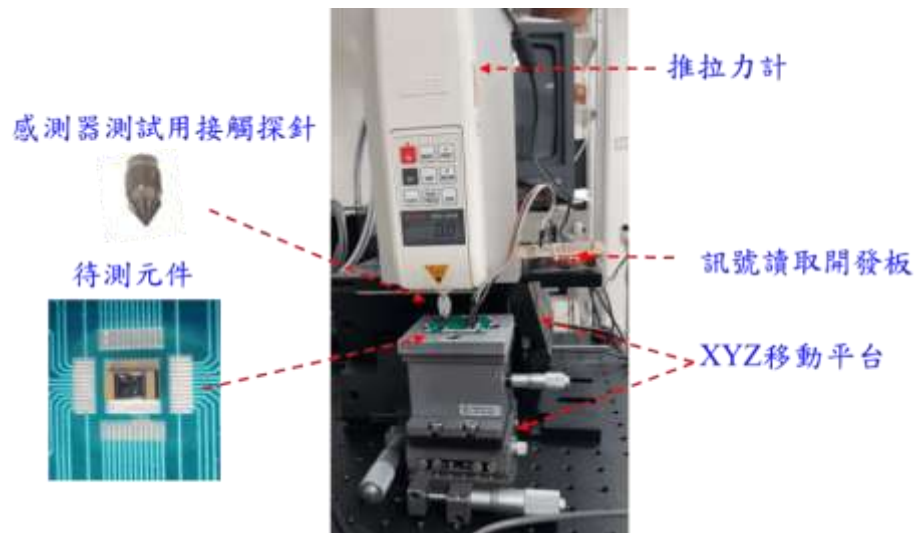


圖 12、量測架設圖

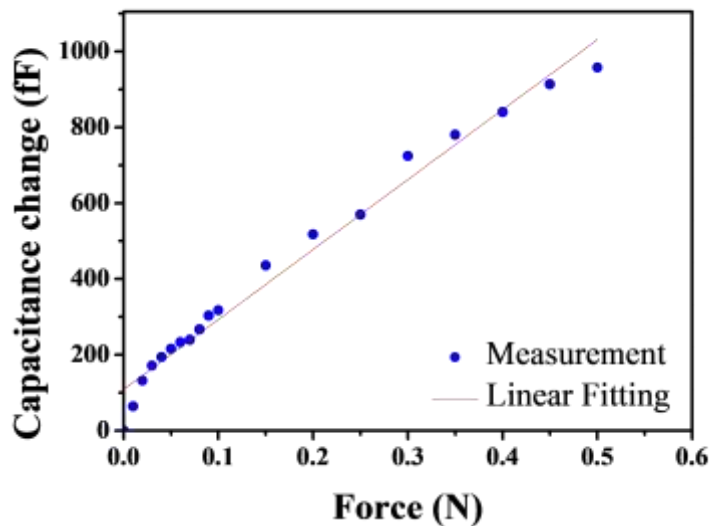


圖 13、元件性能量測結果

5. 產業應用

本年度擴建的力量校正系統可提供國內二級實驗室與相關廠商之小力量傳感器及荷重元校正追溯服務，對目前國內生產、使用與代理廠商皆有所助益。舉例來說，NML 可對生產廠商(如煜昕公司)提供其力量傳感器產品追溯性；感測器代理商(如三聯科技)商品經校正後出具認證報告則能提高該產品的價值。藉由小力量校正系統的建置，完善力量校正追溯體系，以維護計量主權，避免廠商須將產品送校他國之窘境。

(二)AI 語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術技術

1. 產業需求

- (1) 預知保養監測：非接觸聲學感測器可應用於監測機械運作狀況，協助故障排除，減少停機時間，但目前 NML 仍缺乏可聽音(20 Hz~20 kHz)以外的聲音計量標準。
- (2) 防撞偵測：因應智慧工廠機器手臂防撞的需求，超音波感測器陸續被導入用於偵測移動中或靜止物體，面對相關超音波感測器，NML 缺乏高頻(例如 40

kHz)聲音感測器計量標準。

- (3) 語音控制：智慧工廠中語音控制之麥克風，因目前追溯僅限於實驗室標準麥克風(LS)，缺乏工作標準麥克風(WS)、預極化電容麥克風(ECM)及微機電麥克風(MEMS)的追溯，無法滿足人工智慧產業中包括靈敏度、頻率響應、失真度及相位等的計量需求。

2. 計畫目標(含全程目標，當年度目標)

(1) 全程目標

- A. 擴充標準麥克風校正系統能量，提供與國際接軌的聲學感測器的追溯管道。
- B. 完備智慧機械中監測機械運作狀況及應用於機器人之聲學計量追溯，確保我國智慧機械產業順利鏈結國際。

(2) 年度目標

- A. 精進麥克風音壓靈敏度絕對校正系統
 - 低頻範圍：10 Hz to 25 kHz
 - 量測不確定度： ≤ 0.40 dB
 - 麥克風型式：實驗室標準麥克風(LS)
- B. 精進麥克風自由場靈敏度絕對校正系統
 - 高頻範圍：1 kHz to 40 kHz
 - 量測不確定度： ≤ 0.40 dB
 - 麥克風型式：實驗室標準麥克風(LS)

3. 實施方法

以互換校正技術研究在耦合腔中音壓靈敏度低頻 10 Hz 至 25 kHz，以及在無響室(Anechoic Chamber)中自由場靈敏度高頻 1 kHz 至 40 kHz 之校正技術的精進，完成實驗室標準麥克風頻率範圍的擴充與國際同步，藉由原級標準的建置，提供智機產業常用的 ECM、MEMS 以及陣列式麥克風的標準追溯。

(1) 低頻音壓靈敏度擴充

麥克風靈敏度低頻部分量測值易受環境的影響而造成巨大的變異，將運用足夠氣密的麥克風/耦合器/麥克風系統，同時考慮從耦合介質空氣的絕熱到等溫行為的轉變，依據 IEC61094-2 進行環境影響評估，完成麥克風音壓靈敏度低頻校正範圍的擴充。

(2) 高頻自由場靈敏度擴充

精進麥克風定位系統以及分析軟體的運算功能，運用高位準衰減、小漣波的低通濾波器，以 IFFT 及 FFT 進行聲波於空氣中傳遞所造成影響的數學模式分析計算，並依據 IEC61094-3 進行影響因子評估，完成麥克風自由場靈敏度的高頻校正範圍的擴充。

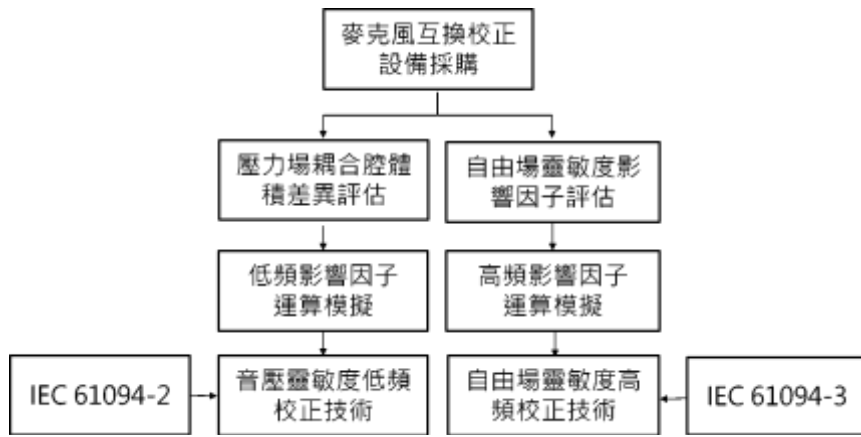


圖 14、實施方法工作流程

4. 成果說明

(1) 麥克風互換校正設備採購

麥克風互換校正系統設備細部規格確立，完成儀器設備請購單之開立，包括自由場靈敏度校正模組、壓力場靈敏度校正模組、校正用低頻耦合腔以及相關零組件，符合 IEC 61094-2 及 IEC 61094-3 規範，可執行音場麥克風校正頻率範圍為 10 Hz 至 40 kHz。

經由採購壓力場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，並整合目前的互換校正設備，完成符合 IEC 61094-2 規範之麥克風壓力場靈敏度校正系統如圖 15，頻率範圍為 10 Hz 至 25 kHz。藉由採購自由場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，整合目前的互換校正設備，完成符合 IEC 61094-3 規範之麥克風自由場靈敏度校正系統如圖 16，頻率範圍為 1 kHz 至 40 kHz。

壓力場校正方式(靈敏度量測頻率範圍10 Hz至25 kHz)

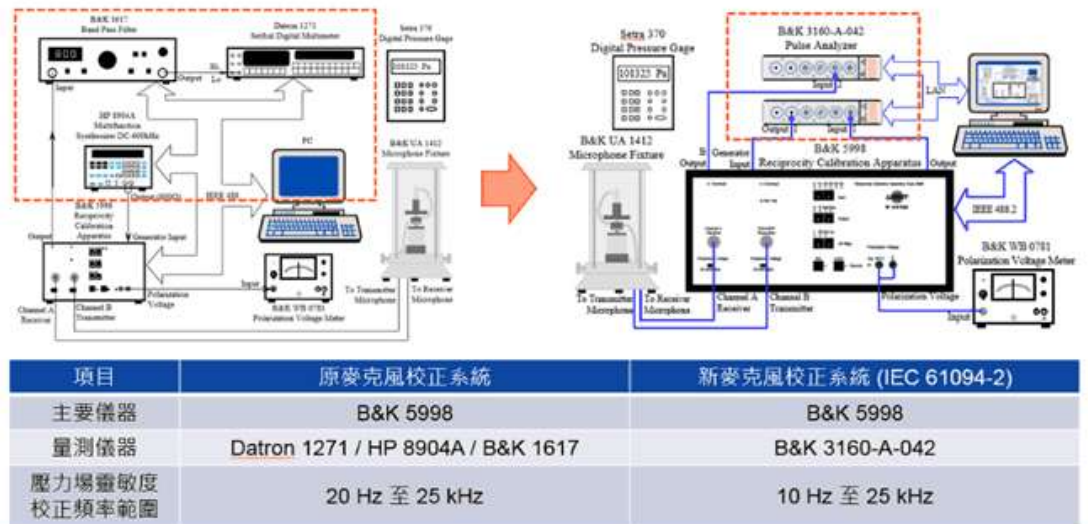
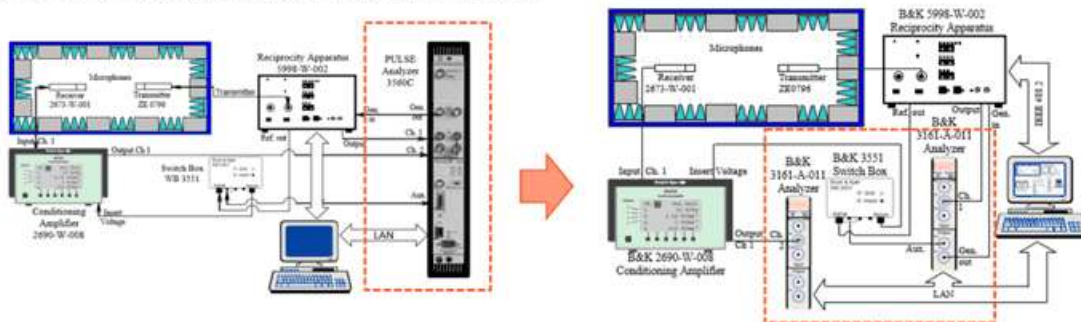


圖 15、麥克風壓力場靈敏度校正系統

自由場校正方式 (靈敏度量測頻率範圍1 kHz至40 kHz)



項目	原麥克風校正系統	新麥克風校正系統 (IEC 61094-3)
主要儀器	B&K 5998	B&K 5998
量測儀器	B&K 3560C	B&K 3161-A-01
自由場靈敏度校正頻率範圍	1 kHz 至 20 kHz	1 kHz 至 40 kHz

圖 16、麥克風自由場靈敏度校正系統

(2) 壓力場耦合腔體積差異評估

為執行低頻耦合腔體積差異的評估，經獲原廠商之技術支援，進行互換校正儀 B&K5998 如圖 17 內部電路板電容之更換，將原電路板之電容 22 uF，更換為 220 uF 如圖 18。



圖 17、B&K5998 互換校正儀

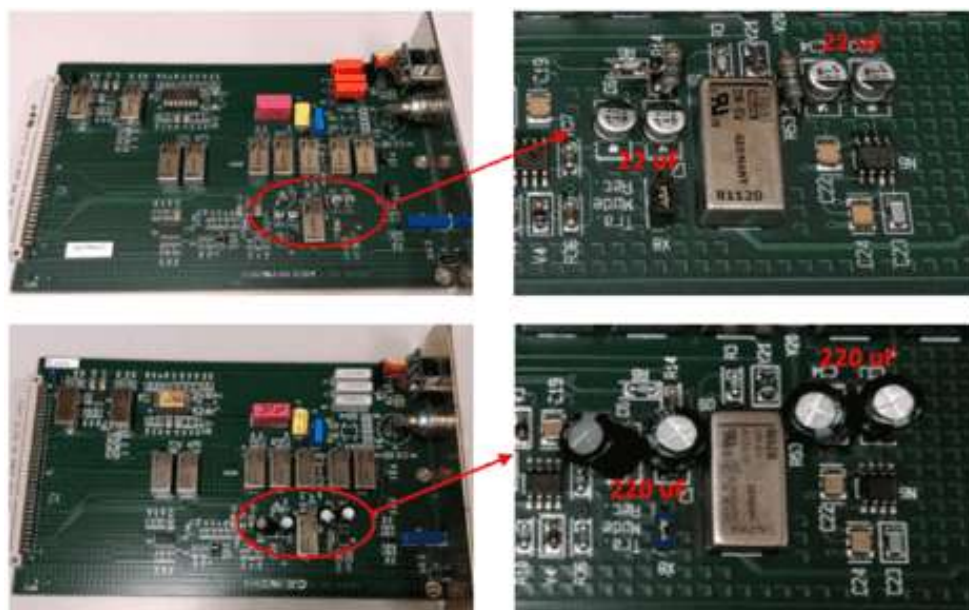


圖 18、B&K5998 內部電路板電容更換

以原電容為 22 uF 進行低頻訊號輸出入測試結果，當輸入 1 V 電壓時，1 Hz

相對於 1 kHz 之輸出為 -19.1 dB ~ -17.9 dB 如圖 19；更換電容為 220 uF 後，1 Hz 相對於 1 kHz 之輸出為 -3.4 dB ~ -2.4 dB 如圖 20 符合原廠儀器規格 -3 dB +/- 2 dB。

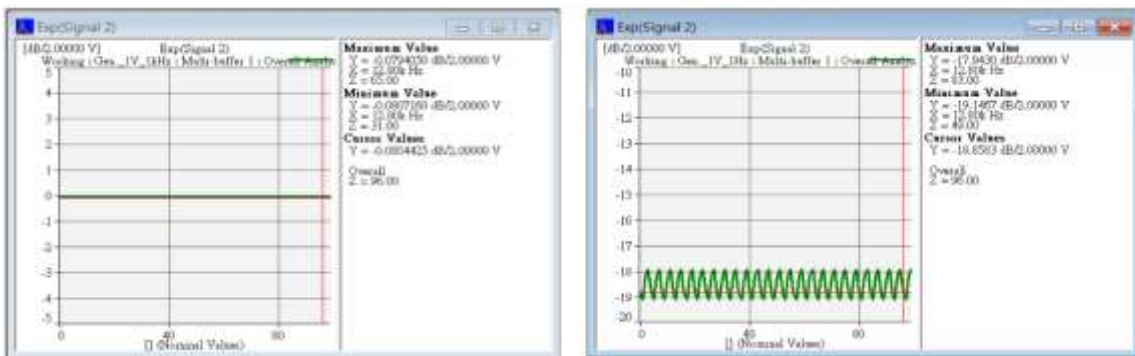


圖 19、電容為 22 uF 之低頻訊號輸測試結果(輸入電壓 1 V)

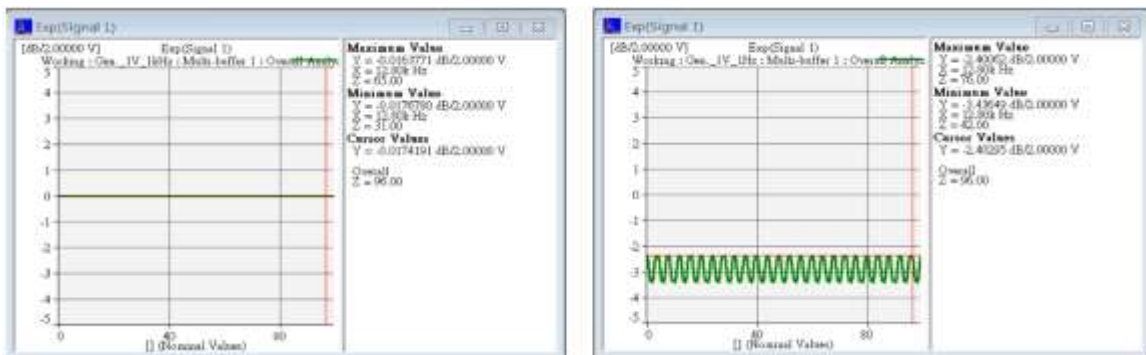


圖 20、電容為 220 uF 之低頻訊號輸測試結果(輸入電壓 1 V)

以相同方式測試參考訊號(Reference Signal)低頻的特性，連接 B&K5998 Output 至 “Ref.”位置，並將 B&K 5998 Ref. 設定為“On”，原電容為 22 uF 之測試結果，1 Hz 相對於 1 kHz 之輸出為 -19.1 dB ~ -17.9 dB；更換電容為 220 uF 後，1 Hz 相對於 1 kHz 之輸出為 -3.4 dB ~ -2.4 dB，亦符合原廠測試規格 -3 dB +/- 2 dB。

互換校正儀修改電路板，並經過功能確認後，針對 1/2 英吋麥克風在耦合腔深度為 3.06 mm、3.75 mm、4.70 mm、6.10 mm 及 9.40 mm 如圖 21 進行量測，量測結果顯示耦合腔體積差異對 1/2 英吋麥克風音壓靈敏度的影響為 0.1 dB 如圖 22。

Speed of sound: m/s at 23 °C

一英寸麥克風前空腔深度: mm

半英寸麥克風前空腔深度: mm

耦合腔共振頻率(1/sec)=聲速(m/s) / [耦合腔長度(mm) * 2]

	Type	Coupler Code	Volume c.c.	Diameter (mm)	Length (mm)	Total Length Including 2 Mic Cavity (mm)	Calculated 1st Resonance Frequency (Hz)	Recommended Maximum Frequency (Hz)	%	Calculated 80% Maximum Frequency (Hz)	Estimated Maximum Frequency (Hz)
1" Coupler	WA-0834	CPL0040	2.2	18.6	4.3	8.2	21,037			16,829	15,849
	WA-0835	CPL0042	2.6	18.6	5.7	9.6	17,969			14,375	12,589
	UA-1429	CPL3044	3.0	18.6	7.5	11.4	15,132	12,500	0.8	12,105	12,589
	WA-0836	CPL0046	3.8	18.6	10.0	13.9	12,410			9,928	10,000
	UA-1413	CPL3048	5.0	18.6	15.0	18.9	9,127	7,000	0.8	7,302	6,310
1/2" Coupler	WA-0837	CPL0084	0.28	9.30	3.06	4.1	42,488			33,990	31,623
	WA-0838	CPL0086	0.32	9.30	3.75	4.8	36,316			29,053	25,119
	UA-1430	CPL3088	0.40	9.30	4.70	5.7	30,263	25,000	0.8	24,211	25,119
	WA-0839	CPL0090	0.48	9.30	6.10	7.1	24,296			19,437	19,953
	UA-1414	CPL3098	0.70	9.30	9.40	10.4	16,587	13,000	0.8	13,269	12,589

Coupler surface area include opening area for microphone but exclude cylindrical part of microphone front volume

圖 21、各式耦合腔之深度與適用頻率範圍

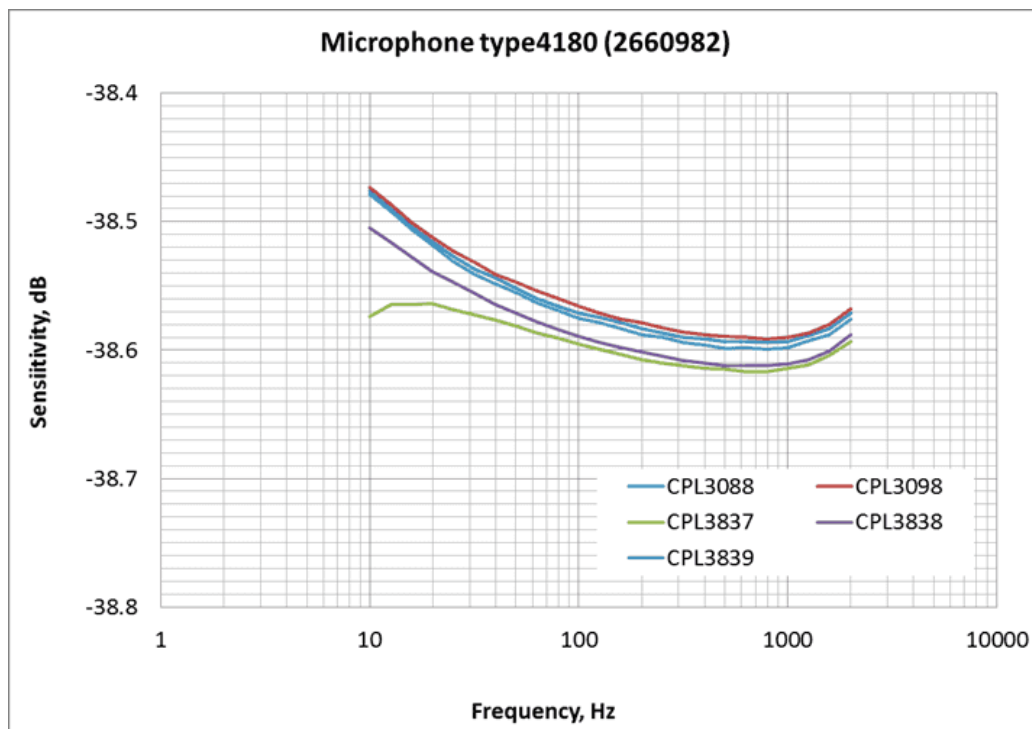


圖 22、耦合腔體積差異對 1/2 英寸麥克風音壓靈敏度的影響

(3) 自由場靈敏度量測的影響因子評估：

根據 IEC61094-3:2016 規範中說明自由場靈敏度量測的主要影響因子包括極化電壓 (Polarizing voltage)、屏蔽配置 (Shield configuration)、聲學條件 (Acoustic conditions)、麥克風聲源中心位置 (Position of the acoustic centre of a microphone) 以及校正音場的環境條件。

對於聲學音場的評估首要在發音麥克風聲源中心位置的評估，在聲學音場為自由場下進行聲壓量測，依據聲學逆平方理論，聲壓的振幅會與距離成反比。藉

由此特性，隨著距離的改變量測聲壓的變化量便可推估麥克風音源中心，也就是球面聲波傳遞的起始點。發音端麥克風(Mic. a)在頻率 f 下之靈敏度為 $S_a(f)$ ，收音端麥克風(Mic. b)靈敏度 $S_b(f)$ ，則理論上輸入 V_a 至發音端麥克風可在音源中心 d 產生 P_a 之聲壓振幅，而經過聲波傳遞距離 $(r-2d)$ 後，在接收端麥克風音源中心處為聲壓振幅衰減為 P_b ，並量測到輸出電壓 V_b ，假設振膜中心為聲源中心（在觀測點足夠遠的情況下），根據逆平方理論， P_a 與 P_b 在經過 $(r-2d)$ 距離其聲壓振幅的關係為 $P_b = \frac{P_a}{(r-2d)}$ ，推導出系統轉移函數與麥克風距離的關係式

$$|H(f)|^{-1} = m \cdot r - (m \cdot 2d) |H(f)| = \frac{V_b}{V_a} = \frac{S_b(f)}{S_a(f)} \cdot \frac{1}{(r-2d)} = K(f) \cdot \frac{1}{(r-2d)}$$

其中 $K(f)$ 與頻率相關，音源中心位置以倒數之方式表示為

$$\begin{aligned} |H(f)|^{-1} &= \frac{1}{K(f)} \cdot r - \frac{1}{K(f)} \cdot 2d \\ |H(f)|^{-1} &= m \cdot r - (m \cdot 2d) \end{aligned}$$

m 代表線性方程式之斜率，可計算出與 y 軸截距 b

$$b = - (m \cdot 2d)$$

則音源中心 d

$$d = -b/2m$$

利用聲學逆平方理論，以目前實驗室之 1/2 英吋麥克風進行頻率 1 kHz 至 40 kHz，量測在不同距離發音端麥克風輸入電壓 V_a 及接收端麥克風輸出電壓 V_b ，推估音源中心，由量測結果如圖 23 顯示頻率範圍在 2.5 kHz 至 40 kHz 推估結果與 IEC 61094-3 之統計的典型值相近，量測結果差異小於 2 mm。

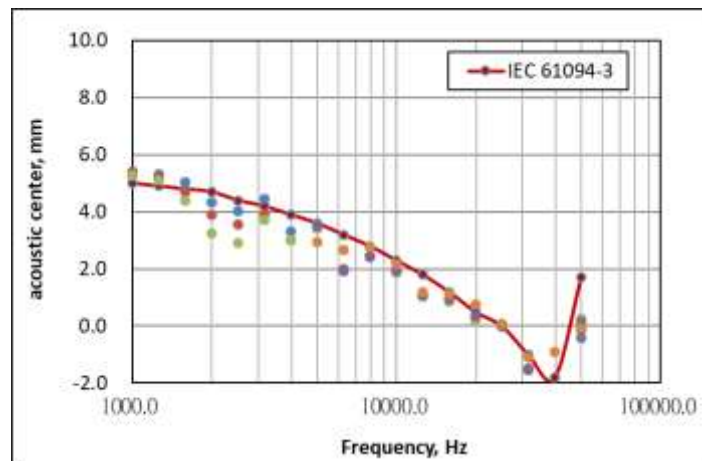


圖 23、1/2 英吋麥克風音源中心推估結果

依據自由場靈敏度公式計算音源中心差異 2 mm，兩麥克風距離則差異 4 mm，將造成麥克風自由場靈敏度 0.09 dB 的差異，而經由分析結果 1/2 英吋麥克風靈敏度的最大差異為 0.22 dB，1 英吋麥克風靈敏度的最大差異為 0.39 dB 如圖 24。

對於目前評估麥克風音源中心之治具為水平軸向，易產生彎曲效應，兩麥克

風在軸向上的對準誤差，將造成量測結果的變異，因此將設計垂直軸的治具以消除量測距離的誤差。

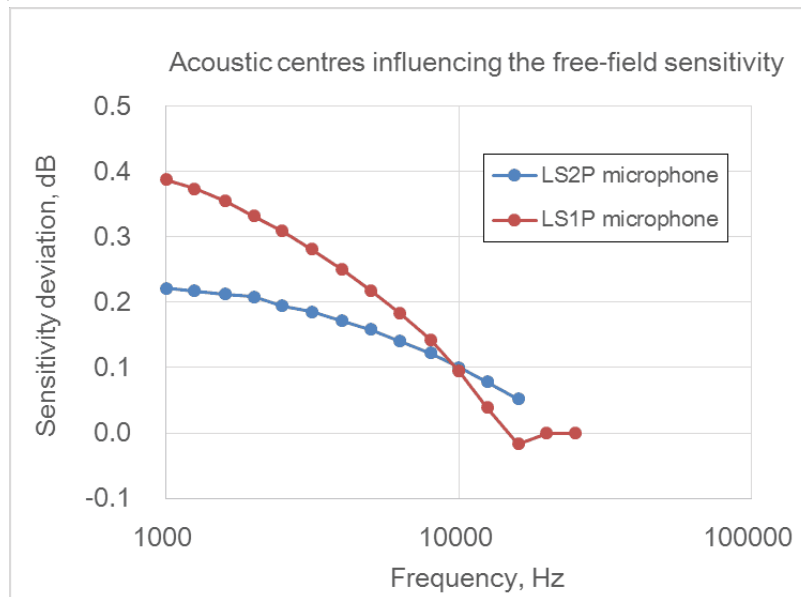


圖 24、麥克風距離對自由場靈敏度的影響

(4) 音壓靈敏度影響因子運算模擬於校正環境溫度條件(23 ± 1) °C，濕度條件(50 ± 5) %下，建立音壓靈敏度影響因子數學運算模式如圖 25，並據此模擬評估大氣壓力、溫度、相對濕度、耦合腔體積、麥克風前空腔體積、電容、電壓比在實驗室量測條件誤差下如表 6 對音壓靈敏度造成的影響。

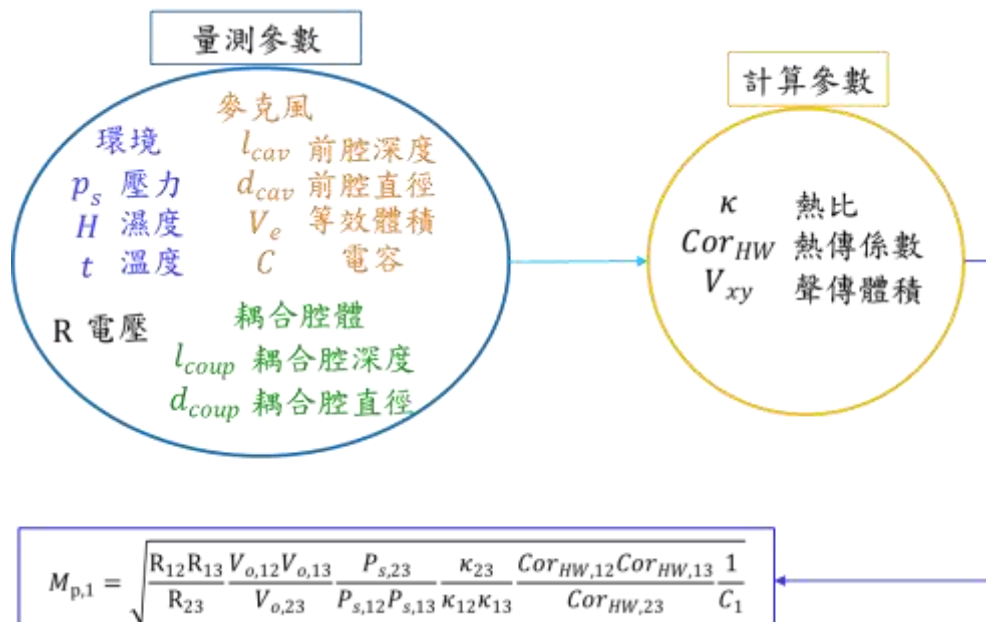


圖 25、音壓靈敏度數學運算模擬建立

表 6、音壓靈敏度影響因子誤差範圍

影響因子	誤差範圍
大氣壓力	± 0.5 kPa
溫度	± 1 °C
相對溼度	± 5 %

電壓量測	0.2 %
耦合腔體積	0.54 %
電容校正值	± 0.05 %
麥克風前空腔體積	± 0.02 mm
共振頻率	± 1000 Hz
麥克風損失因子	0.10

由音壓靈敏度數學運算模擬分析結果，影響音壓靈敏度不確定度最大的因子為耦合腔的體積誤差，主要影響因子對於音壓靈敏度量測所造成之不確定度以此模擬分析結果預估量測不確定度 < 0.13 dB 如圖 26。

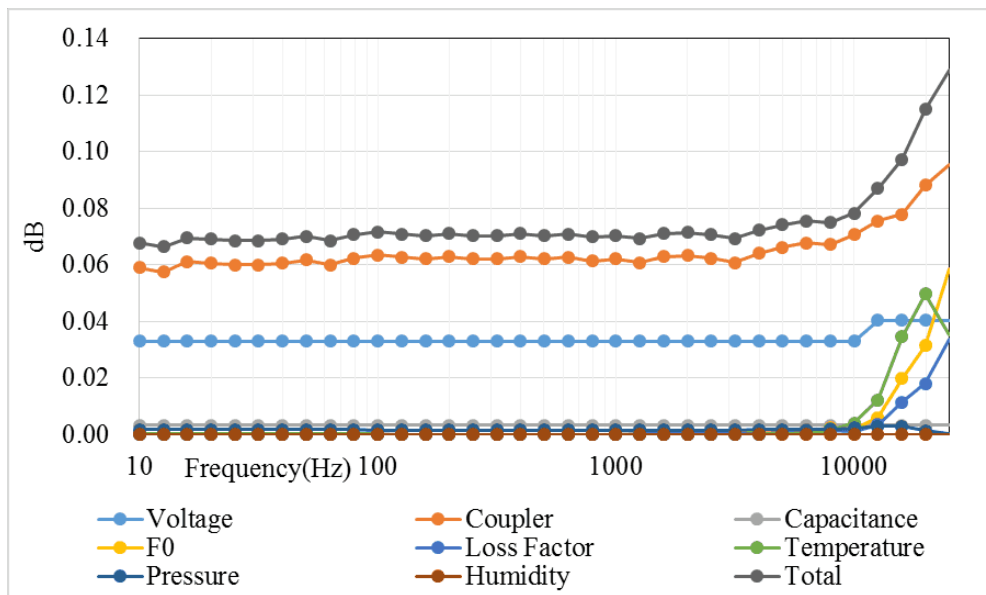


圖 26、音壓靈敏度量測不確定度分析

(5) 自由音場靈敏度影響因子運算模擬於校正環境溫度條件(23 ± 1) °C，濕度條件(50 ± 10) % 下，建立自由場靈敏度數學運算模擬如圖 27，並據此模擬評估大氣壓力、溫度、相對濕度、麥克風膜面距離、音源中心修正距離、電容、電壓比及頻率在實驗室量測條件誤差下如表 7 對自由場靈敏度造成的影響。

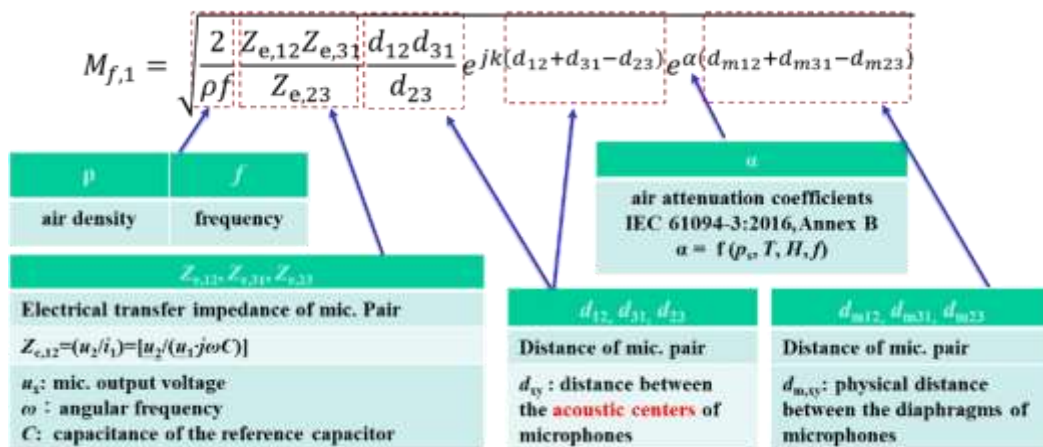


圖 27、自由場靈敏度數學運算模擬建立

表 7、自由場靈敏度影響因子誤差範圍

影響因子	誤差範圍
大氣壓力	± 0.5 kPa
溫度	± 1 °C
相對溼度	± 10 %
麥克風膜面距離	± 2 mm
量測位置距離	± 2 mm
音源中心修正	± 2 mm
電壓量測	± 0.2 %
電容校正值	± 1 %
頻率量測	± 1 %

由自由場靈敏度數學運算模擬分析結果，影響自由場靈敏度不確定度最大的因子包括電壓、頻率及音源中心，綜觀各影響因子對於自由場靈敏度量測所造成之不確定度，以此模擬分析結果預估量測不確定度 < 0.17 dB。

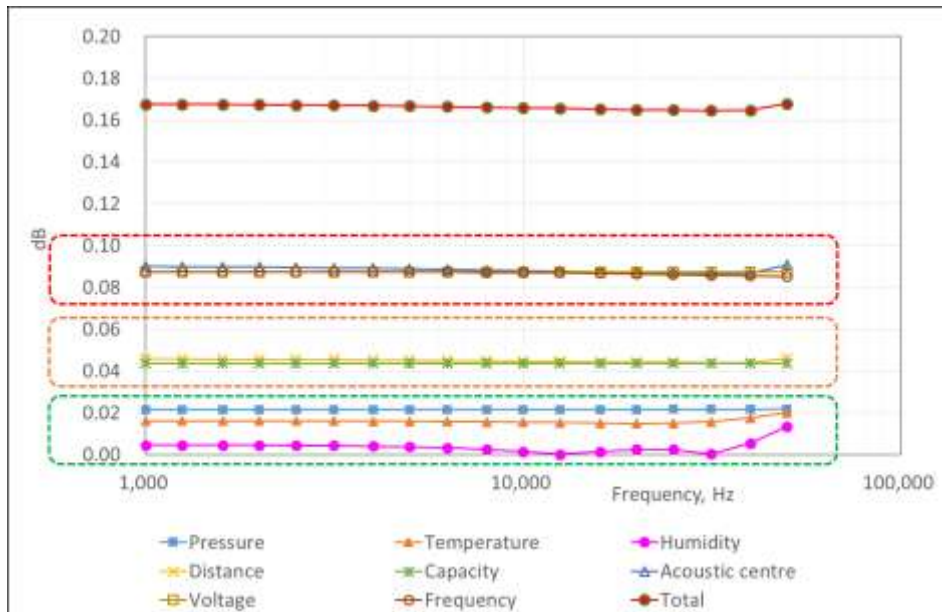


圖 28、自由場靈敏度量測不確定度分析

(6) 音壓靈敏度低頻校正技術擴充

音壓靈敏度校正系統主要量測設備為互換校正儀及訊號分析儀，以及耦合腔量測治具如圖 29，低頻的擴充以互換法在耦合腔音場中量測，使用三個相同型式之電容式麥克風，藉由其中兩個具有互換特性的實驗室標準麥克風。利用兩個麥克風為一組進行校正，一個為音源，一個為接收器，置入耦合空腔中如圖 30，由量測輸入電流、輸出電壓及聲傳播阻抗，量測兩麥克風音壓靈敏度之乘積，經由計算獲得個別麥克風之音壓靈敏度。

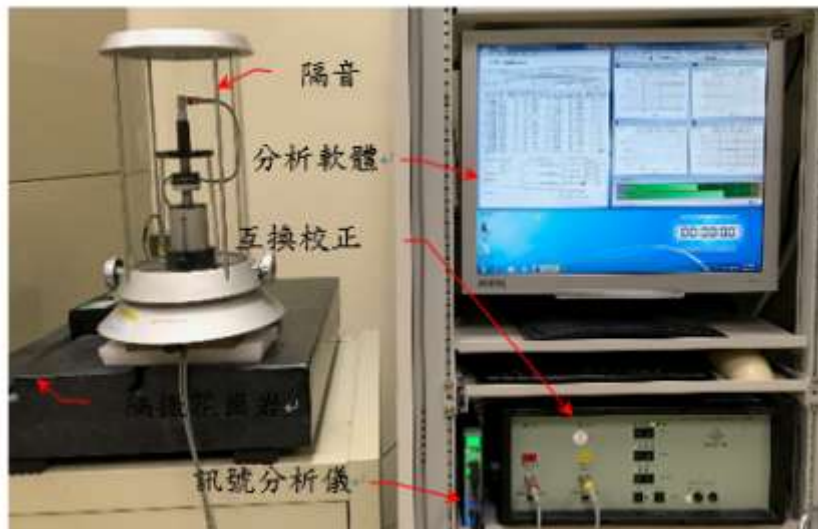


圖 29、音壓靈敏度校正系統

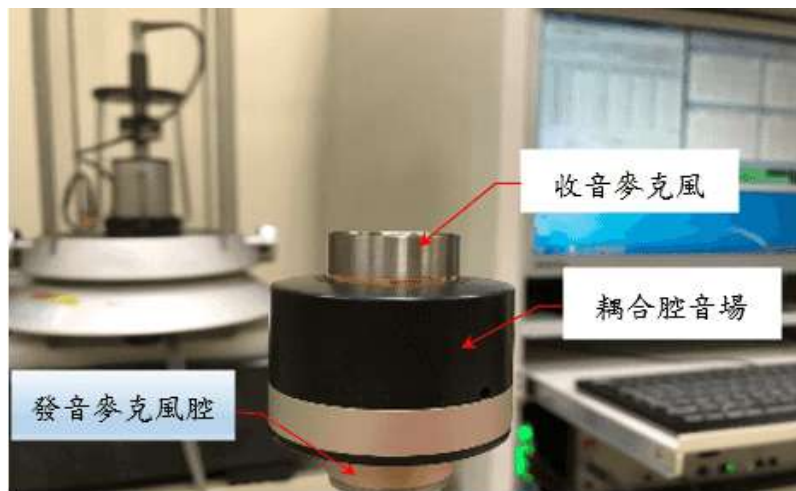


圖 30、耦合腔音場麥克風配置

經由系統組裝測試完成，擴充麥克風音壓靈敏度低頻範圍由 20 Hz 延伸至 10 Hz，並採用 4 組符合 IEC 61094-2 規格之耦合腔進行評估，降低耦合腔體積影響誤差至 0.03 dB。

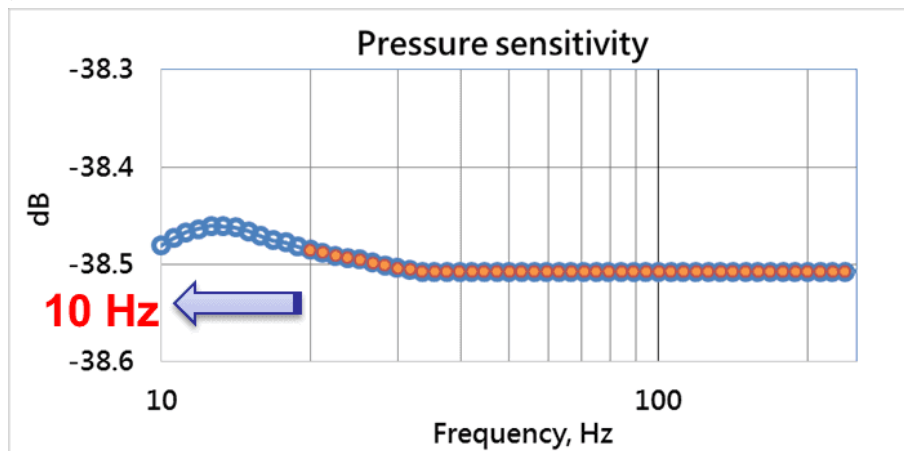


圖 31、耦合腔音場低頻量測範圍

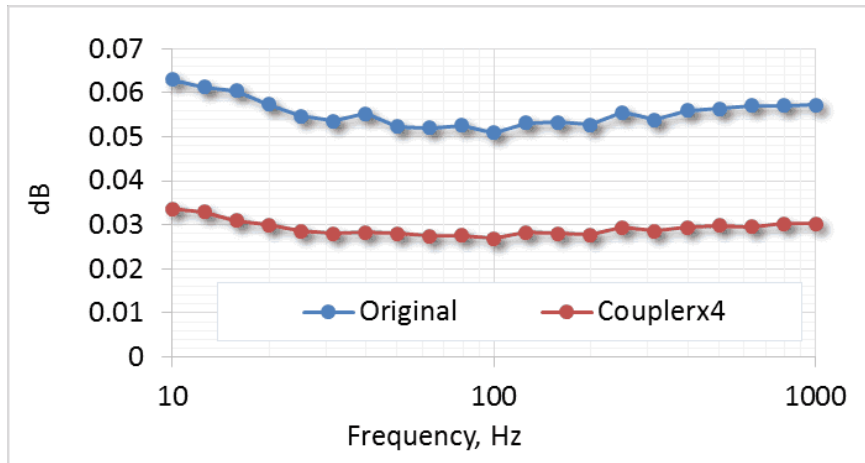


圖 32、耦合腔體積影響誤差

(7) 自由音場靈敏度高頻校正技術擴充

自由廠靈敏度校正系統主要量測設備包含互換校正儀、訊號分析儀，量測放大器及內插電壓盒如圖 33，高頻的擴充以互換法在自由音場中量測，同樣使用三個相同型式之電容式麥克風，藉由其中兩個具有互換特性的實驗室標準麥克風。利用兩個麥克風為一組進行校正，一個為音源，一個為接收器，於自由音場中如圖 34，由量測兩麥克風音壓靈敏度之乘積，計算獲得。

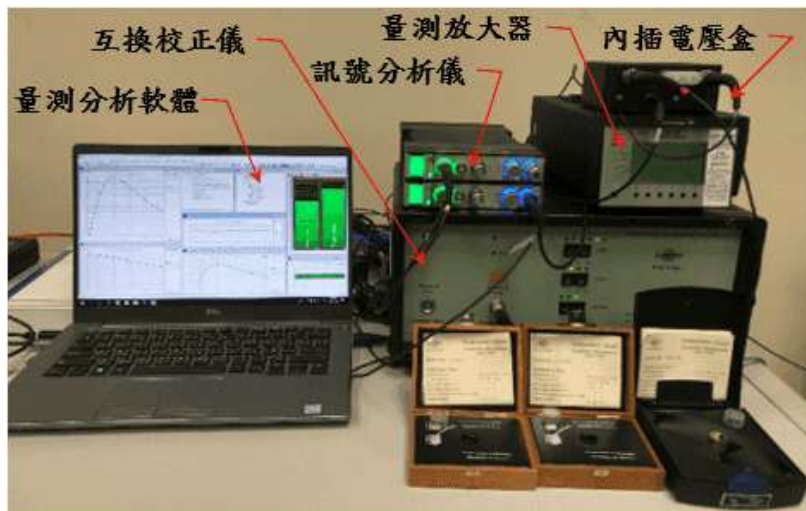


圖 33、自由場靈敏度校正系統

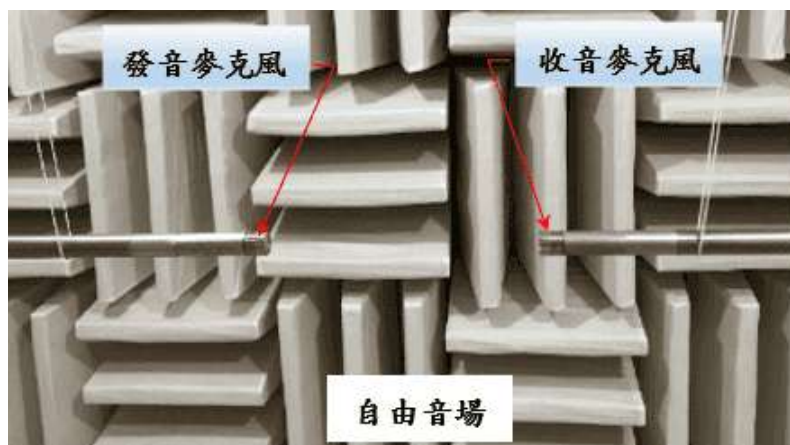


圖 34、自由音場麥克風配置

經由系統組裝測試完成，擴充麥克風自由場靈敏度高頻範圍由 20 kHz 延伸至 40 kHz 如圖 35，並以 IFFT 將頻率域訊號轉換為時間域，在透過時間窗選擇技術進行分析計算如圖 36，消除反射音影響，降低聲學音場中反射音所致缺陷誤差至 0.1 dB 如圖 37。

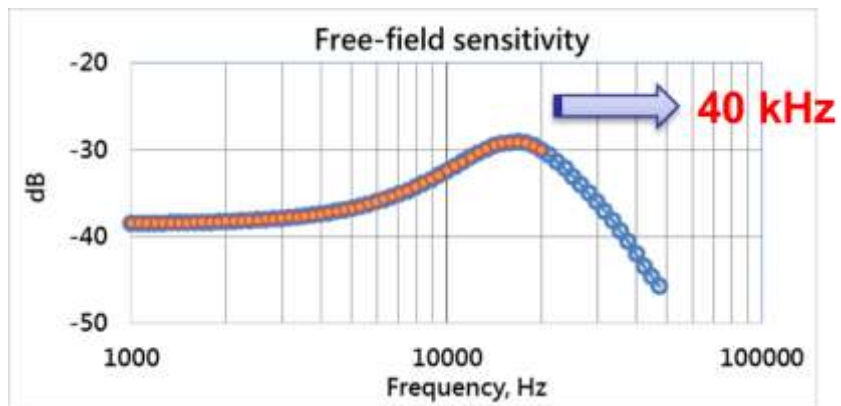


圖 35、自由場高頻量測範圍

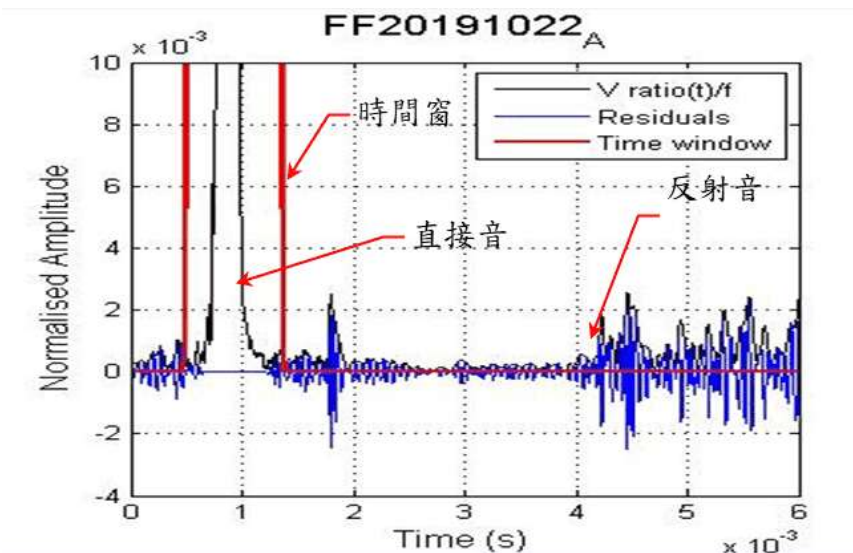


圖 36、時間窗選擇技術

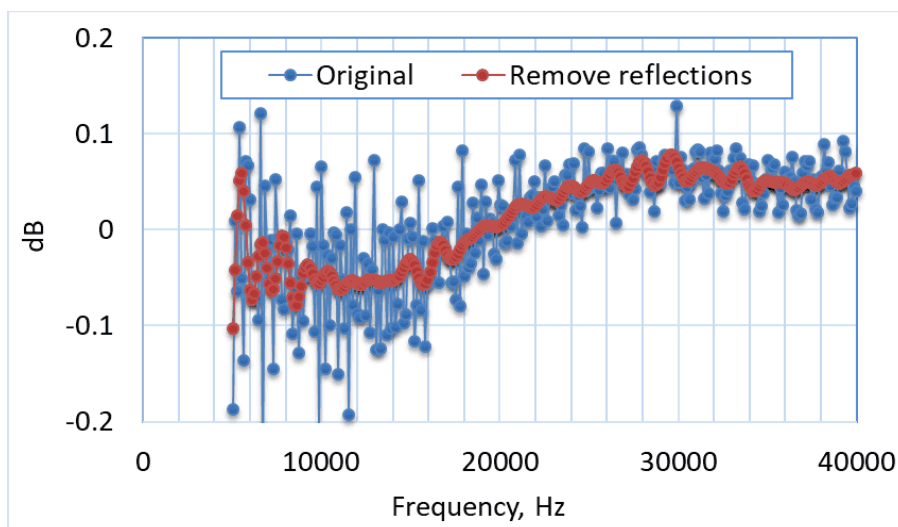


圖 37、反射音影響誤差

5. 產業應用

- (1) 今年度已完成實驗室標準(Laboratory Standard, LS)麥克風低頻及高頻互換校正系統硬體與軟體更新，可服務的頻率範圍為 10 Hz 至 40 kHz，後續待完成系統不確定度評估與系統查驗後即可提供校正服務。明年度計畫將依據 IEC 61094-8 建置麥克風高頻自由場比較校正技術，將校正能量擴充至工作標準(Working Standard, WS)麥克風與一般量測麥克風。
- (2) 本計畫將透過工作標準麥克風的自由場靈敏度比較校正系統的建置，提供國內泰仕、路昌、世駿、群特等量測儀器製造商之工作標準麥克風靈敏度的追溯。並利用此技術擴展駐極電容麥克風(ECM)、微機電麥克風(MEMS)、陣列式麥克風(Array microphone)等聲學感測器靈敏度的校正，並建立聲音品質量測技術，滿足人工智慧產業中的需求，包括靈敏度、頻率響應、失真度及相位等參數之計量追溯，提供華碩、神達、廣達、微軟、宏達電、羅技等電聲應用產業，有助於聲音/語音品質相關參數計量的發展。
- (3) 本計畫高頻的量測技術除了應用於聲學麥克風校正之外，亦可應用於管路洩漏的超音波測漏儀的校正以及直昇機定位搜尋的超音波信標訊號的校正。

二、工具機線上校正技術建立分項

(一) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

本子計畫目的為健全視覺 3D 量測儀器的追溯鏈，以確保量測結果的準確性及一致性；並針對高反光表面金屬工件無法量測之問題，進行技術發展以解決該使用限制，使金屬加工業能夠利用視覺 3D 量測儀器，於生產現場快速、準確地量測工件產品，改善生產效率。其中，校正追溯部分將以 VDI/VDE 2634 規範為基礎，建立包含球徑、球距的幾何尺寸量測技術，再以其作為標準件，發展可快速建構 2D 量測影像與 3D 空間座標之關係的快速線上攝影機校準技術，縮短校正時間及提供儀器誤差補償參數，使視覺 3D 量測儀器能夠維持甚至提高量測準確度，同時滿足校正追溯之要求。此外，透過開發自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術，改善高反光表面金屬工件無法量測之問題，將使金屬加工產業能夠利用視覺 3D 量測儀器，於生產現場快速地完成相關檢測作業，改善生產效率。

1. 產業需求

座標量測儀(coordinate measuring machine, CMM)是目前航太、模具、汽車等產業常作為廠內的尺寸量測標準，由於 CMM 採用接觸式的量測方式(單點或掃描)，且必須先行規劃量測路徑，使得產業界正積極找尋相關替代方案，期能提高檢測速度與自動化程度，甚至導入生產現場中使用。

隨著智慧製造持續發展，具有非接觸式、速度快、易於自動化等優點的視覺 3D 量測儀器，是線上量測應用中不可或缺的重要技術之一，國內已有多家廠商導入生產線上使用，如世祥汽材製造廠、橋樁等，但其量測準確度受量測距離、表面形貌、量測角度等不同而有所變化，因此如何有效地進行量測準確度評估，促使客戶能夠接受產品的檢測結果，是視覺 3D 量測儀器能否持續導入的關鍵因素之一。另外，由於視覺 3D 量測儀器係利用光學特徵投影及攝影機取像建構出物體表面 3D 點雲資訊，當待測物表面為高反光表面時，將導致攝影機擷取的影像過曝或過暗，兩者皆可能造成無法量測或失真。噴塗消光粉為改善此情況的常見作法，但因噴塗均勻與否、與實際尺寸差異等問題，對於公差要求較高的金屬加工業，如航太、齒輪等，則造成應用上的困擾。以下綜合上述之產業問題。

- (1) 使用接觸式座標量測儀量測耗時，希望導入非接觸式視覺 3D 量測儀器，減少人為操作之量測路徑規劃並提升量測速度。
- (2) 導入不須噴塗消光粉之視覺 3D 量測儀器，排除噴塗消光粉造成的誤差(10 ~ 20 μm)與製程影響(噴粉、清潔 2 道生產流程)。
- (3) 開發標準球徑量測技術，建立業界使用之視覺 3D 量測儀器完整追溯鏈，滿足尺寸量測值追溯之需求。

2. 計畫目標

計畫目的為健全視覺 3D 量測儀器的追溯鏈，以確保量測結果的準確性及一致性，校正追溯部分將以 VDI/VDE 2634 規範為基礎，建立包含球徑、球距的幾何尺寸量測技術；並針對高反光表面金屬工件需要噴粉才能量測之現況，進行技術發展以解決該使用限制，使金屬加工業能夠利用視覺 3D 量測儀器，於生產現場快速、準確地量測工件產品，改善生產效率，以下說明本年度之技術目標：

(1) 108 年計畫目標

A. 高反光物件視覺 3D 點雲量測技術

- a. 提升高反光待測面之條紋影像對比度至 30 % 以上
- b. 建立實驗平台，結合光柵投影系統與取像系統 1 組
- c. 開發多曝光影像合成演算法軟體 1 套

- B. 三球互換法球徑量測技術
 - a. 球徑量測範圍 1 mm ~ 100 mm
 - b. 球徑量測不確定度(不含待校件): $U \leq 0.8 \mu\text{m} (k = 2)$
 - c. 設計與製作標準球對心微調夾治具 1 組
 - d. 開發三球互換法之分析程式 1 套
- C. 球距量測技術
 - a. 球距量測範圍 10 mm ~ 1000 mm
 - b. 設計與製作微調夾治具 1 組
 - c. 建立比較式球距量測程序 1 份

3. 實施方法

(1) 高反光物件視覺 3D 點雲量測技術

A. 提升高反光待測面之條紋影像對比度至 30 % 以上

本計畫開發的高反光物件視覺 3D 點雲量測技術，主要目的是解決目前視覺 3D 量測儀器必須噴塗消光粉以避免反光無法量測時，所造成的非直接量測、工序增加等的應用限制。影像中會因為物體表面特性產生過暗、過曝等情況，在許多利用光柵投影之視覺 3D 量測系統，則會因為無法辨識光柵條紋導致 3D 的量測點雲失真或者根本無法量測，在量測高反光面的金屬待測件，此問題更加明顯。計畫中發展多曝光影像合成法，將利用多張曝光影像進行影像重組，經由演算法的權重與篩選，移除過曝與過暗之影像像素值。由於三維重建將使用到多張條紋影像，不同影像中各像素的強度不得發生非線性的變化，否則將導致相位計算錯誤，因而使 3D 點雲座標計算錯誤，因此本計畫開發演算法可維持不同張影像各像素值的線性關係，完成的判斷式共有三個條件，如圖 38 所示。

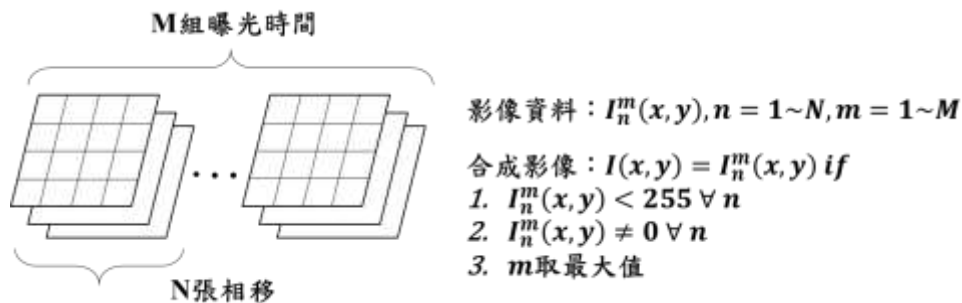


圖 38、演算法原理

研究首先利用模擬影像資料進行，測試的成果如圖 39 所示，左邊為不同曝光值模擬得到的影像，右邊為利用上述演算法進行影像合成的結果，可發現影像中間處過曝區域亮度降低至 255 以下，且影像上其他部分較暗的條紋，亮度提高至原始資料中最高且無過曝的狀態，因此此演算法可有效對結構光掃描原理之影像進行改善。

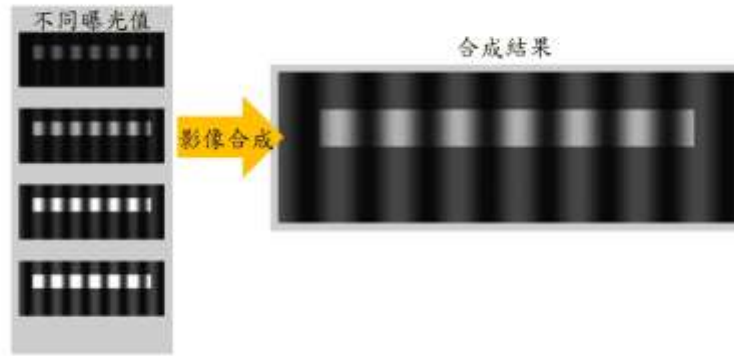


圖 39、模擬影像合成效果

計畫中使用對比度進行量化評估，定義為排除過暗與過曝之像素數與整體像素數之比值，即表示可以重建正確相位資訊之像素數比例，其數學定義如下

$$\text{對比度} = (N - N_{\text{over}} - N_{\text{under}}) / N$$

其中 N 為待測物佔影像中的像素數、 N_{over} 為待測物影像灰階為達 255 之像素數、 N_{under} 為待測物影像最大灰階值小於 100 之像素數，其中 N_{under} 是以影像雜訊大小作判斷，判斷方法為擷取 5 張影像並計算每個像素灰階值的標準差，所得值為 10，因此相位計算時，訊號強度需達大於雜訊 10 倍，因此以灰階值小於 100 判斷為雜訊高的量測點並進行排除。計畫中使用英國國家物理研究院 (national physical laboratory, NPL) 開發的自由曲面標準件進行高反光物件視覺 3D 點雲量測技術的測試，其表面粗糙度規格 $R_z = 4 \mu\text{m}$ ，實體如圖 40 所示。

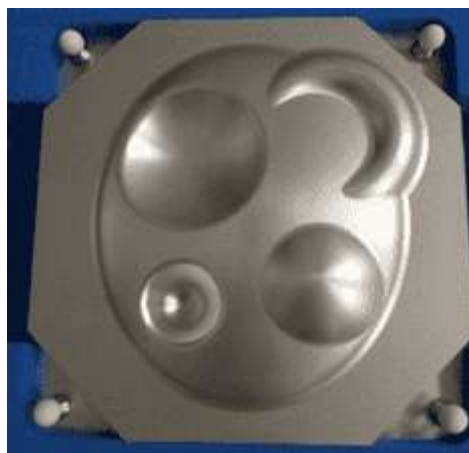


圖 40、自由曲面標準件

圖 41 為不噴消光粉時，不同曝光時間的影像及對比度之量測結果。其中最長曝光時間選擇為影像中待測物的暗部灰階值接近且小於 255，最短曝光時間選擇為影像中待測物的亮部灰階值接近且小於 255。可以發現曝光時間越低、對比度越低且相位圖出現明顯可見之雜點，而曝光時間越長、對比度亦降低且相位圖之數據出現許多為 0 的值(圖 41 綠色區域)，亦即相位資訊喪失，因此無法準確重建 3D 點雲，本計畫開發的高反光物件視覺 3D 點雲量測技術，不需噴塗消光粉亦能改善此量測限制，後續將於成果說明章節呈現影像合成後的結果，以及量化指標的改善效果。

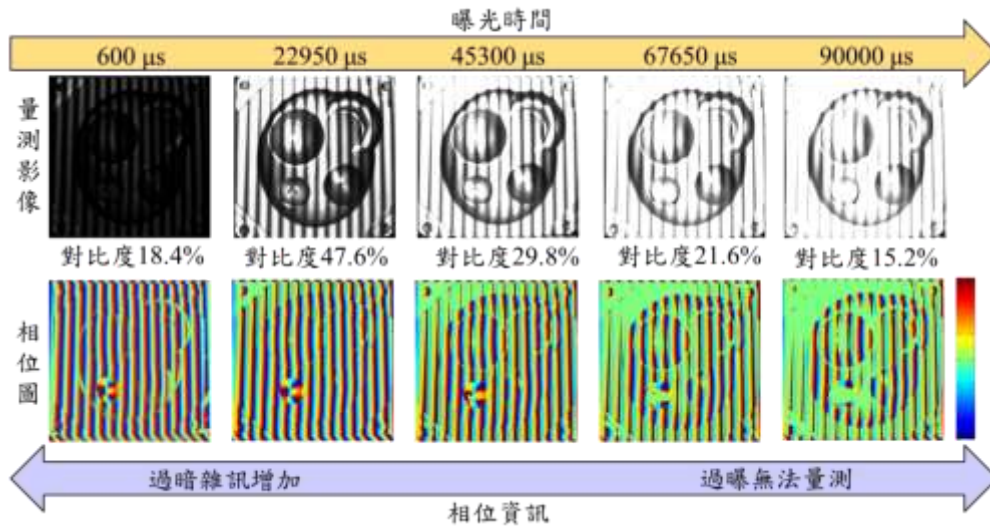


圖 41、不同曝光時間量測數據

B. 建立實驗平台，結合光柵投影系統與取像系統 1 組

圖 42 為本實驗平台之系統外觀架構，表 8 則為其相關規格，其包含 1 組光柵投影系統、2 組取像系統，並可架設偏振片等光學元件設計，以利技術開發。另實驗平台具有多項可控參數可以自由調整，如光圈、焦距、光偏振特性、曝光時間、投影強度、感光度(ISO 值)，以利調整至最佳的量測條件，並得到最佳的量測結果。系統軟體以 C#程式語言撰寫，完成整合光柵投影與取像系統，可依序進行投影與取像動作，達成條紋影像的擷取，並在平台的操作軟體中加入曝光影像合成之功能，未來擬繼續加入不同功能，為開發技術提供高彈性的應用優勢。

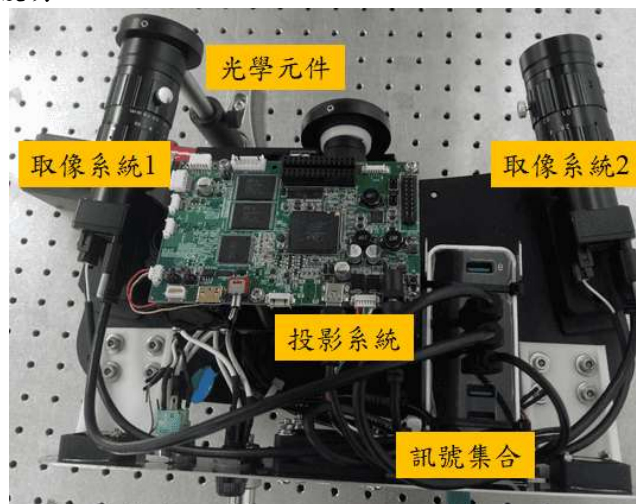


圖 42、光柵投影系統與取像系統整合實驗平台

表 8、實驗平台規格

項目	感光元件	投影技術	光通量
規格	CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)/ 1200 萬	DLP (Digital Light Processing)	150 流明
項目	視野	工作距離	點距
規格	$(600 \times 600) \text{ mm}^2$	1500 mm	0.2 mm

C. 開發多曝光影像合成演算法軟體 1 套

完成多曝光影像合成演算法與程式撰寫實現，計畫中以 C#程式語言進行多曝光影像合成演算法的撰寫，達成移除影像中過暗與過曝的部分，提升對比度。多曝光影像合成的流程圖如圖 43 所示，完成的軟體具人機介面，可執行檔案讀取、多曝光影像合成執行、輸出合成圖片及相位圖計算的功能，軟體介面與結果如下圖 44 所示。

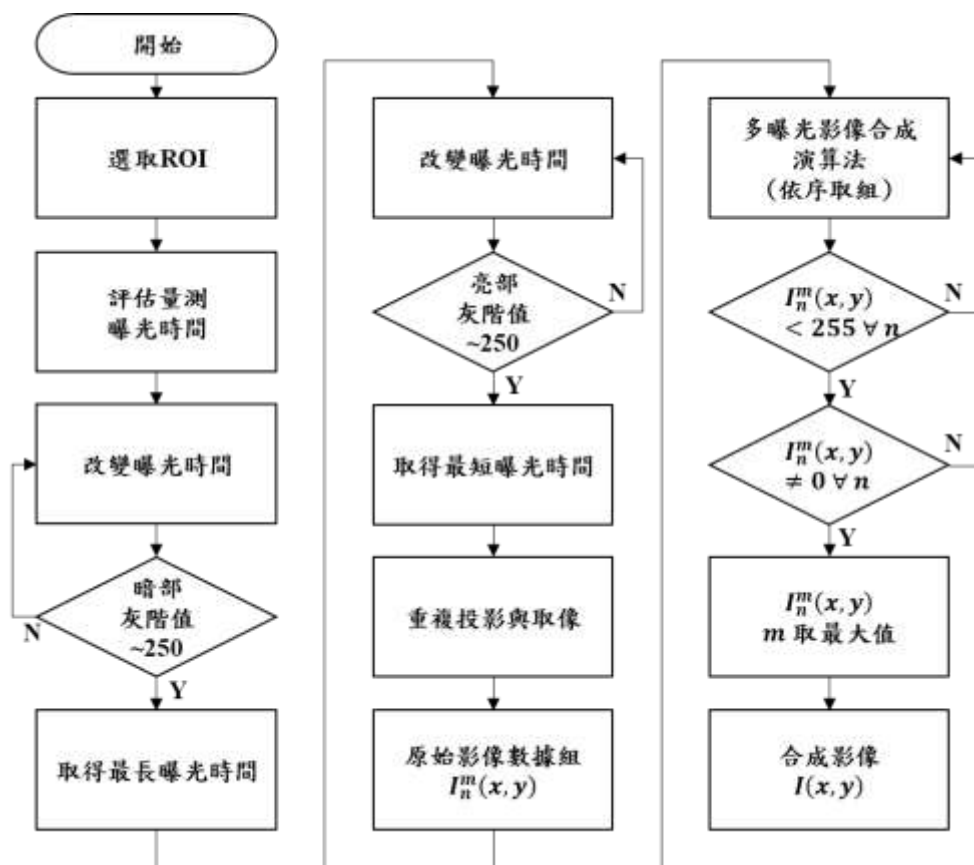


圖 43、多曝光影像合成流程圖



圖 44、軟體功能與人機介面，原始影像(上)、合成影像(中)、相位圖(下)

(2) 三球互換法球徑量測技術

根據 VDI/VDE 2634 規範，視覺 3D 量測儀器須利用三維空間中，具有球徑與球距尺寸特徵的標準件，如圖 45 進評估其量測準確度。而使用的球徑與球距尺寸須經過校正以維持計量追溯鏈，故本計畫今年度發展接觸式三球互換法之球徑量測技術，以建立球徑量測之校正追溯；並針對球距量測技術進行相關治具的先期設計，並定義量測不確定度評估參數等，以利加速後續計畫發展。

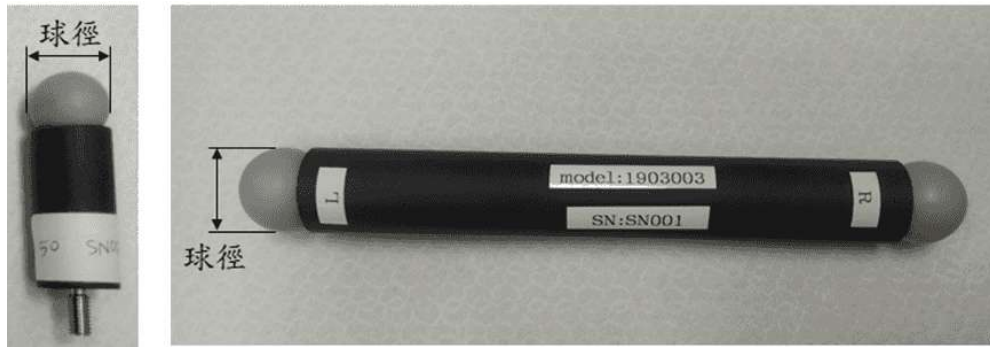


圖 45、球徑尺寸

三球互換法係利用座標量測儀執行，首先須準備兩個座標量測儀的球形探針與一個待測球，因此共有 3 球，量測步驟使用探針各自量測待測球及探針互相量測，並利用 3 個角度的旋轉運動，建立共 9 條聯立方程式，相消求解 3 個球各自的半徑值，此技術優勢在於利用互換量測之原理建立多組聯立方程式，在計算中具有抵消量測誤差之特性，因此可進一步降低量測不確定度，量測流程與數學方程式如圖 46 所示，此一系的計算將得到特定方向下，三球各自的半徑值，因此執行上會以均勻分布的方式量測半個球面如圖 47，並藉由分析得到各方向的半徑值，擬合出最小平方球面，得到三球各自的半徑值。

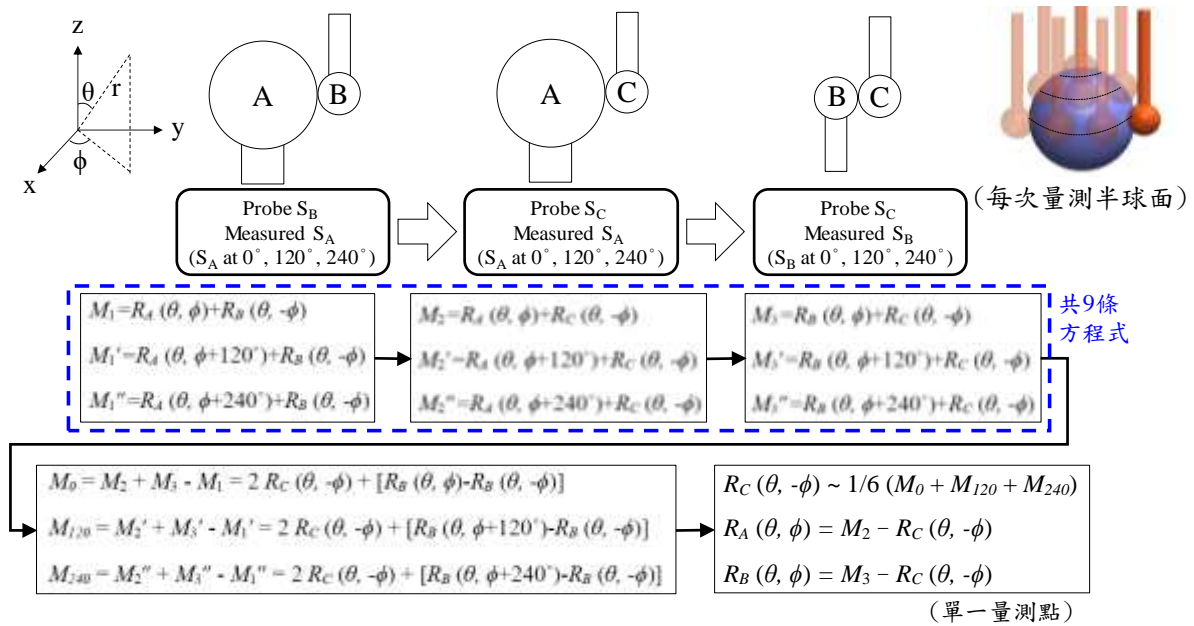


圖 46、三球互換量測技術的量測流程與計算公式

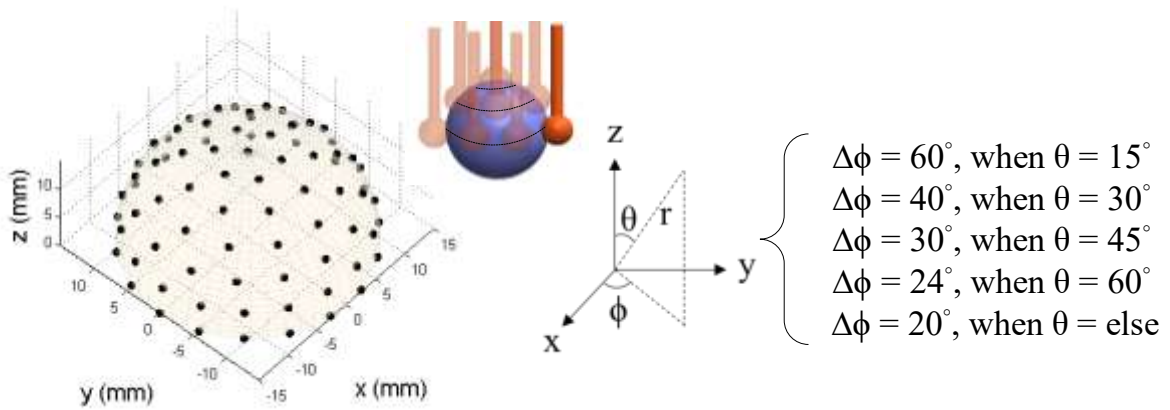


圖 47、量測點分布設計

A. 對心微調夾治具設計

在三球互換量測技術中，座標量測儀為主要的量測不確定度來源，因此量測時的待測物、旋轉方向及座標量測儀軸向的對齊需要利用微調夾治具進行確認，以降低量測不確定度，用以執行三球互換法的對心微調、旋轉等機制。計畫中使用傾斜微調台如圖 48 調整標準球旋轉軸與座標量測儀 Z 軸之對齊，避免標準球旋轉時造成量測點錯位，其角度微調精密度達 1 角秒，量測不確定度分量為 $0.084 \mu\text{m}$ 。旋轉平台如圖 49 用於實現三球互換量測技術，其無背隙特性可降低定位誤差，操作上旋轉共三個角度 (0° 、 120° 、 240°)，以建立聯立方程組。XY 方向微調台如圖 50，微調精密度達 $1 \mu\text{m}$ ，用於標準球旋轉角度時的對心，降低圓心於旋轉時之偏移，由於每次旋轉後仍會使用座標量測儀再次確認球心位置，因此量測不確定度將包含於重複性中。轉接版如圖 51 用於剛性連接旋轉平台及 XY 方向微調台，降低量測重複性造成的影響。

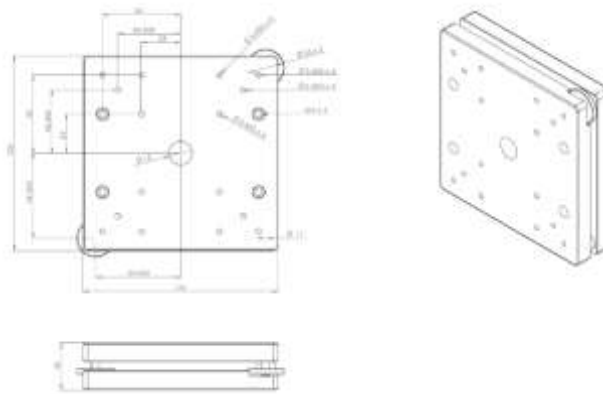


圖 48、精密傾斜微調台

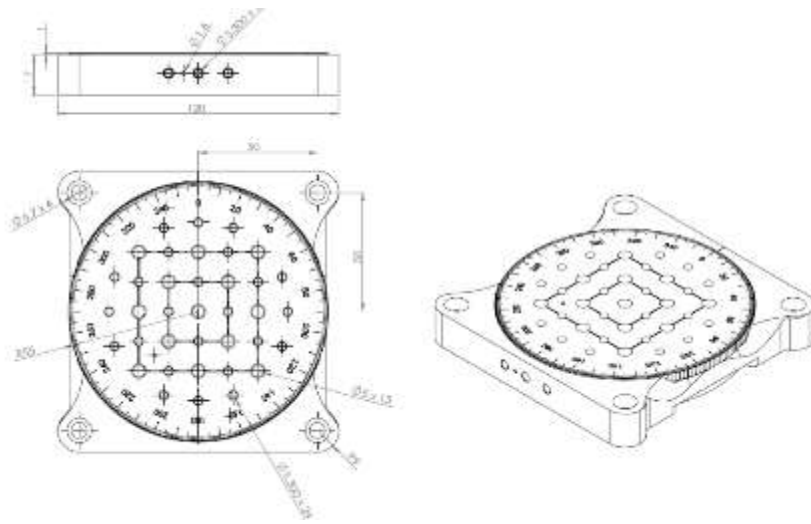


圖 49、精密旋轉平台

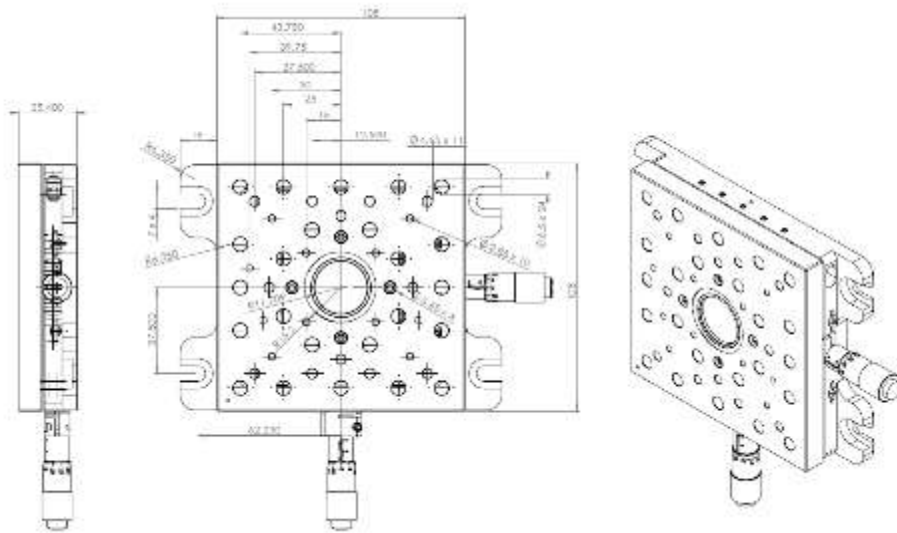


圖 50、XY 方向精密微調台

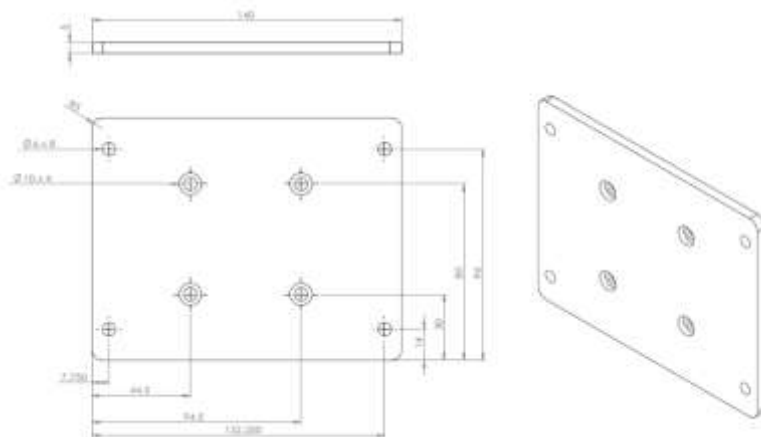


圖 51、轉接板

B. 開發三球互換法之分析程式

完成以 MATLAB 撰寫之分析程式，程式功能包含數據處理、結果運算及蒙地卡羅法的量測不確定度評估，分析程式的流程圖如圖 52 所示，首先可自動讀取由座標量測儀輸出的結果文件，並將資料整理排序，之後進行三球互換法的數學運算，算出三顆球各別的最小平方球徑值，最後進行不確定度評估，計算出 95% 信賴水準之範圍。

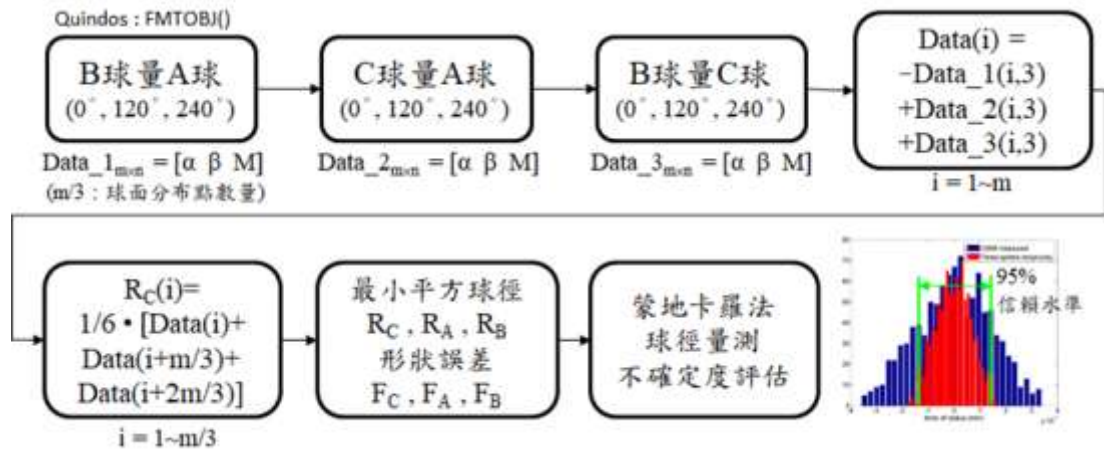


圖 52、分析程式之運作流程圖

C. 球徑量測不確定度(不含待校件): $U \leq 0.8 \mu\text{m}$ ($k = 2$)

三球互換量測技術主要使用座標量測儀作為量測儀器，並搭配聯立方程組進行量測誤差抵消，其中由於量測數據為利用座標量測儀得到三維空間分布的座標點，導致許多量測不確定度來源會彼此相互影響，故本計畫三球互換法的量測不確定度評估方式，係參考德國聯邦物理技術研究院(PTB)發展的蒙地卡羅法進行評估，此法是藉由將量測程序、數據和分析方法以數學方程式建構，再依據各步驟帶入相應的不確定度來源，以亂數進行多次模擬評估，並得到最後量測值的分布狀況。

分析流程及不確定度來源如圖 53 所示，針對形狀誤差(真球度)、線性定位誤差、測頭誤差、重複性、公式近似誤差，共五項不確定度進行評估。其中形狀誤差(真球度)及測頭誤差均使用橢球方程式進行評估，其中的 a, b, c 三個參數表示 x, y, z 三軸向的伸縮；線性定位誤差則是使用常數項進行模擬；重複性則是針對每個量測點的 x, y, z 座標值添加均勻分布之隨機誤差。

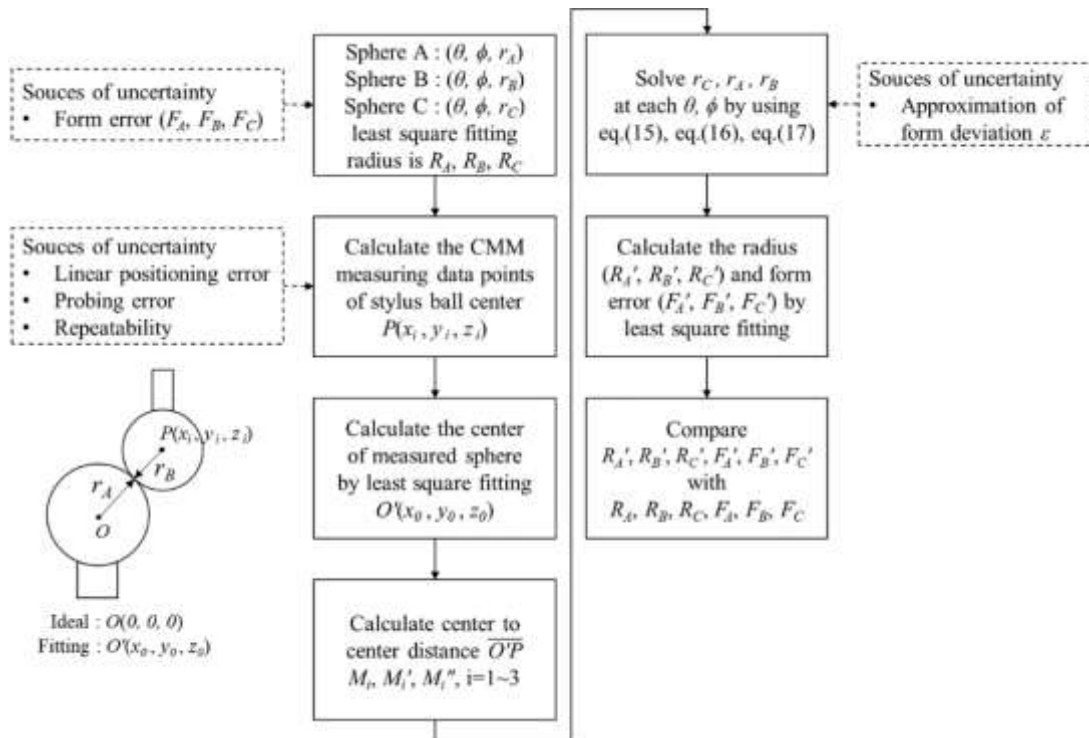


圖 53、蒙地卡羅法量測不確定度評估流程

使用三球互換之量測方法進行球徑量測的優勢，在於可以抵消量測時造成之誤差，因此較直接使用座標量測儀量測球徑相比有更低的量測不確定度，使用蒙地卡羅法評估後的數據如圖 54 所示，藍色數據為模擬座標量測儀直接量測的結果，紅色為使用三球互換量測技術的結果，由量測結果的分布可看出三球互換技術應用後，可降低約 50 % 量測不確定度，因此今年度開發的量測技術可突破硬體規格之極限，得到更小的量測不確定度。

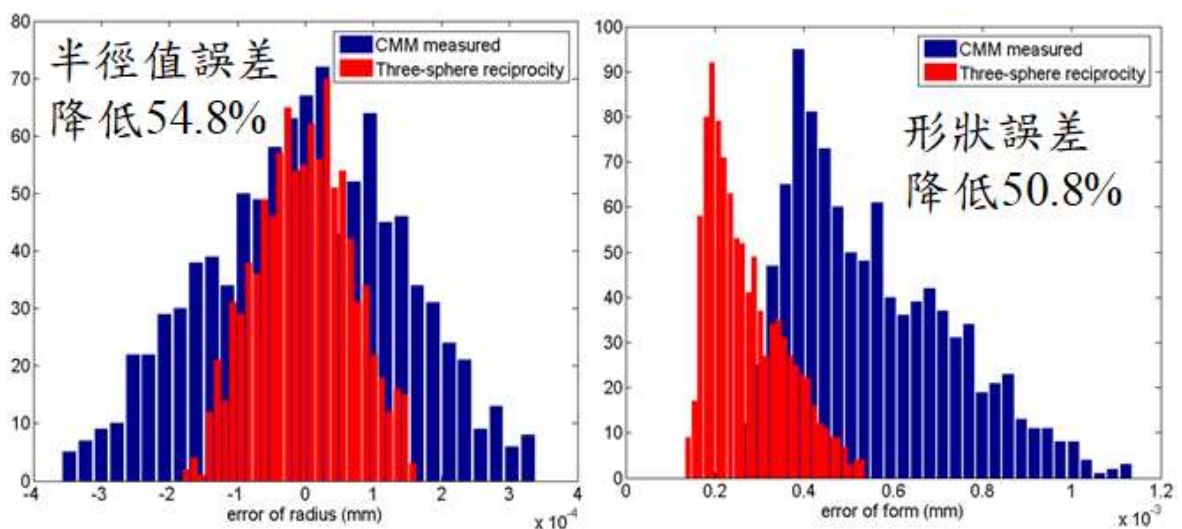


圖 54、三球互換技術應用前後的量測誤差分布

(3) 球距量測技術

本計畫發展座標量測儀的比較式量測技術，藉由校正後的塊規標準件，將長度標準傳遞至待測球桿的球距，球距尺寸如圖 55 所示。



圖 55、球距尺寸

球距量測不確定度包含如下圖 56 量測不確定度來源的分析，其中架設準直誤差即是受治具設計與規格影響，故今年完成的微調治具設計與量測流程建立將依據球距量測不確定度需求進行設計，以達成符合產業需求之球距量測不確定度，目前市面上最高準確度的視覺 3D 量測儀器規格約為 10 μm ，標準件量測不確定度需達規格之十分之一，故以量測不確定度 1 μm 內為目標進行設計。

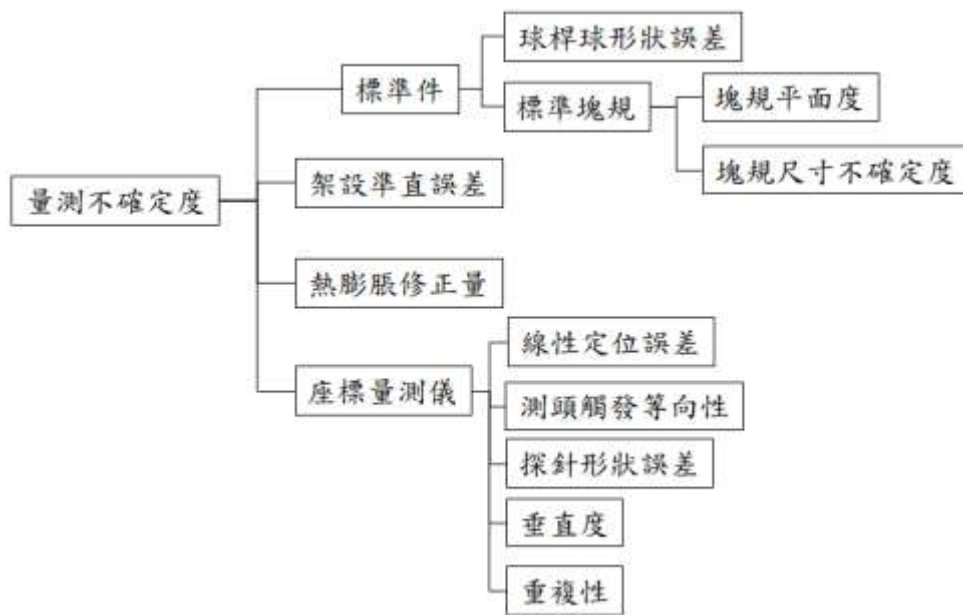


圖 56、標準球距量測不確定度來源評估

A. 微調夾治具設計

球距量測技術使用座標量測儀進行開發，其量測範圍可涵蓋 10 mm 至 1000 mm，方法是將標準塊規與球距進行比對以傳遞標準值，在量測原理上，架設準直誤差造成之量測不確定度，可藉由使用精密微調治具降低，準直項目包含時的待測物方向和標準件方向的對齊需要利用微調夾治具進行確認，以降低量測不確定度。計畫中使用二自由度微調治具如圖 57 調整球距連線和標準件長度方向之對齊，偏擺角度微調精密度達 16 角秒、俯仰角度微調精密度達 9 角秒，當量測 1 m 球距尺寸時，準直誤差導致的量測不確定度分量可降低至奈米量級。球桿固定 V 槽治具如圖 58 用於球桿件的固定，設計成可承靠直徑 4 mm 至 25 mm 之球桿。轉接版如圖 59 用於剛性連接二自由度微調治具和球桿固定 V 槽治具，降低量測重複性。

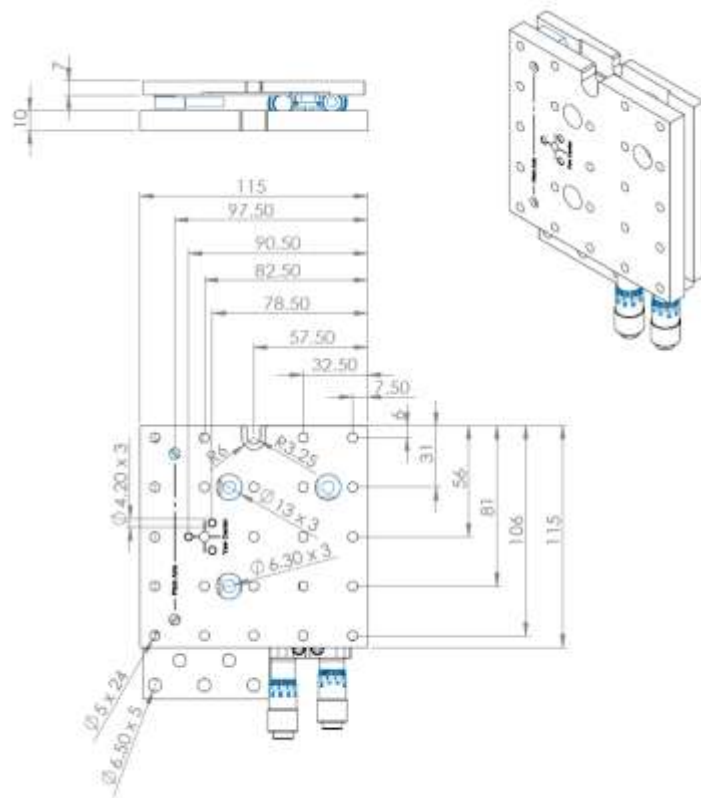


圖 57、二自由度微調治具

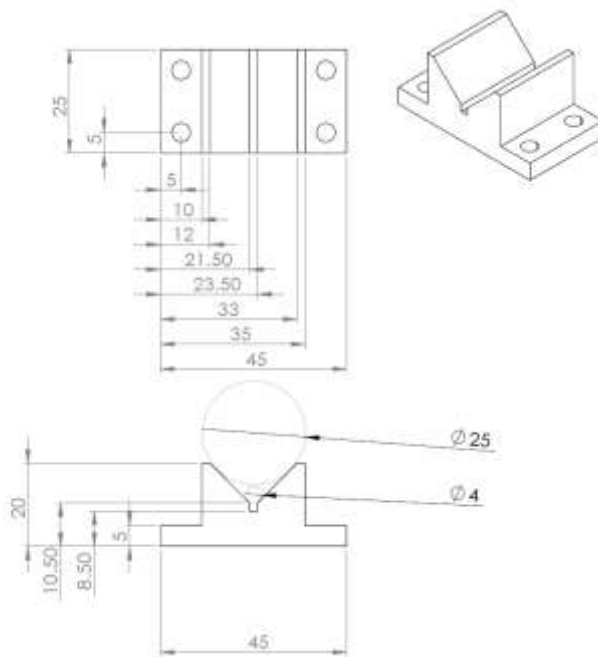


圖 58、球桿固定 V 槽治具

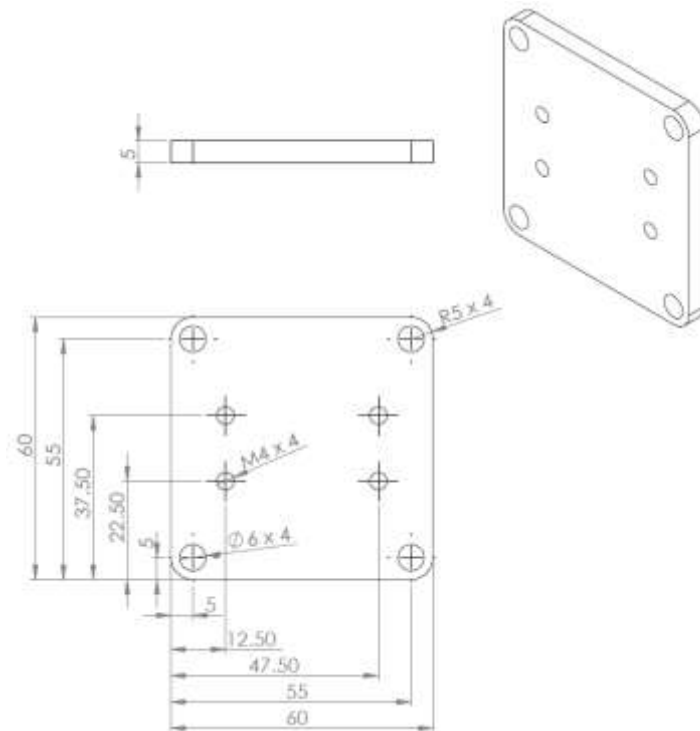


圖 59、轉接板

B. 建立球距尺寸量測程序

球距量測技術使用座標量測儀與標準塊規執行，將標準塊規與球距進行比對以傳遞標準值，量測程序如圖 60 所示，可藉由量測程序先行分析量測不確定度來源，將標準塊規量測面法線方向與球桿球心連線方向進行對齊，並皆準直於 CMM 單一軸向方向可初步降低量測不確定度，另外座標量測儀之量測不確定度與標準件、待測件形狀誤差亦須考慮到量測不確定度中，可由 108 年發展的蒙地卡羅法評估此三維空間誤差的量測不確定度，並在量測最後，分析出球距值與其相應的量測不確定度，提供具追溯性的量測結果。

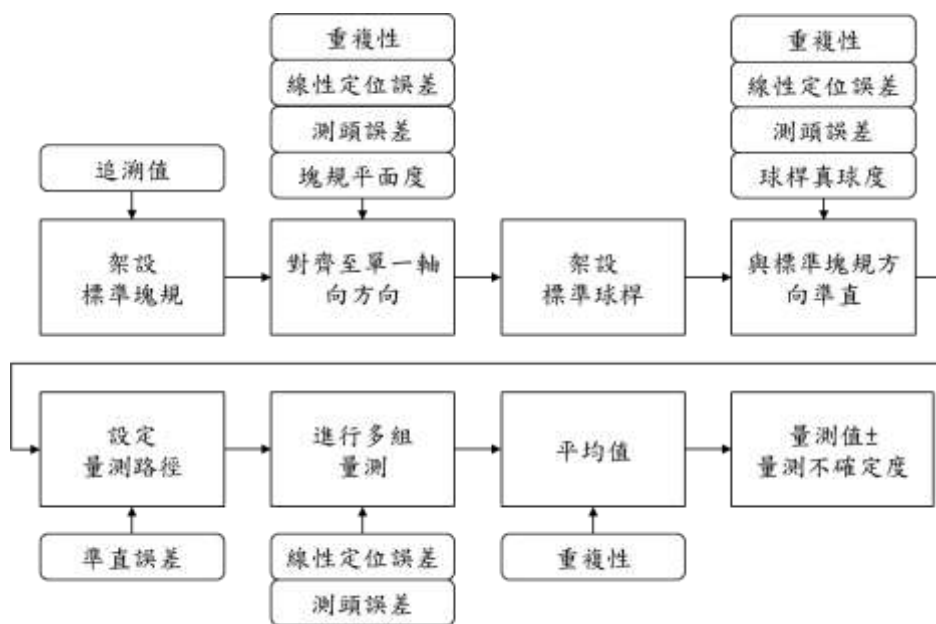


圖 60、球距量測流程圖與量測不確定度來源

4. 成果說明

(1) 高反光物件視覺 3D 點雲量測技術

A. 本年度執行高反光物件視覺 3D 點雲量測技術開發，成果部分完成硬體部分的光柵投影系統與取像系統的實驗平台 1 組(圖 42)和軟體部分的多曝光影像合成演算法軟體 1 套(圖 44)，建立可以執行方法測試、演算法開發和實際量測的 3D 視覺量測系統。本子計畫之實驗結果係以照度為 780 lux 之 DLP 投影光源、1200 萬像素之 CMOS 感光元件所組成的實驗平台進行金屬工件之量測。其中影像對比度成果以自由曲面標準件進行量測評估，計畫中使用對比度進行量化評估，定義為可以正確重建相位資訊之像素數比例。手動調整最佳的單張曝光時間進行拍攝，發現曝光時間 22950 μs 具有最佳對比度，其對比度計算為 25.4%，如圖 41，因此最佳的單張曝光時間僅有 25.4% 的待測物面積具有正確且高訊雜比的點雲數據。而經過開發完成的多曝光影像合成技術，可利用圖 41 所示的 5 張照片進行影像合成(曝光時間 600 μs ~ 90000 μs)，可得圖 61 之影像合成結果，計算其對比度可發現本研究結果顯示經過影像合成演算法處理，可取得對比度 47.1% 的結果，表示本計畫開發的技術不需要噴塗消光粉亦可以正確重建待測物 47.1% 面積的待測物量測點雲，符合提升高反光待測面之條紋影像對比度至 30% 以上之目標，今年度發展的多曝光影像合成演算法已有效解決影像過曝問題(灰階值 = 255)，多數情況之對比度已達 100%；然造成影像上對比度不佳的另一原因為影像過暗(灰階值 < 100)，加計此兩者之影響，本計畫最終對比度的提升成果保守估計為 47.1%，已可改善航太產業中的許多金屬工件之視覺量測問題。

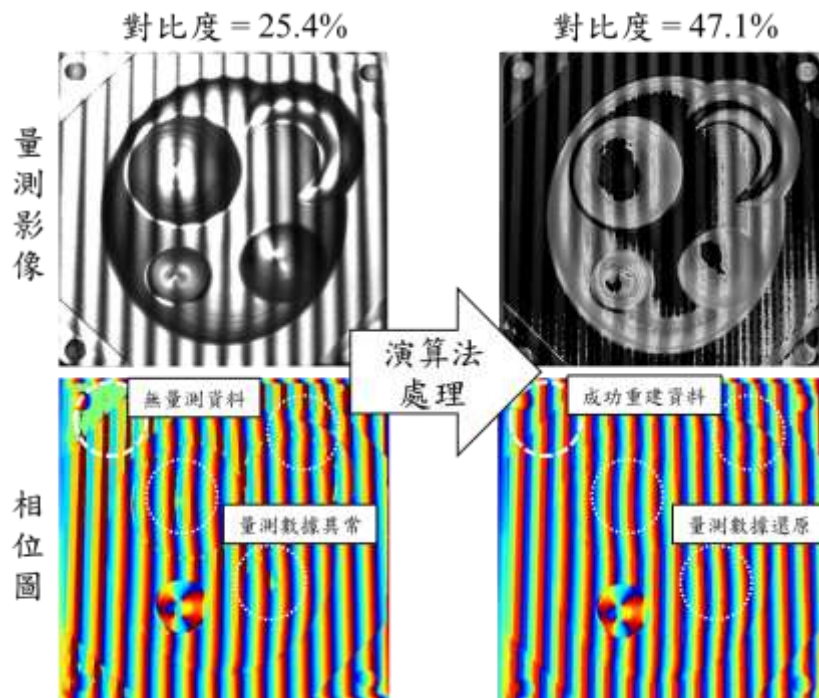


圖 61、多曝光影像合成演算法之對比度提升效果

B. 國際論文發表

本技術亦於 11/16 至 IMETI 2019 研討會，以海報形式發表多重曝光影像

合成技術成果，該論文名稱為「The phase map improvement using multi-exposure images」如圖 62。同時並與歐美學者針對後續的高反光物件視覺 3D 點雲量測技術進行經驗分享與交流。

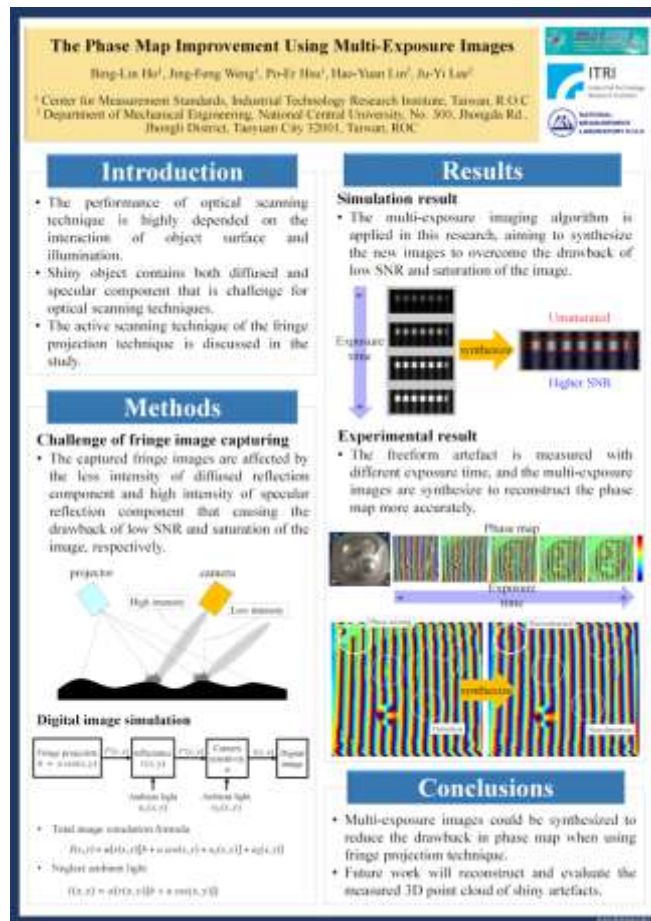


圖 62、國際研討會 IMETI 2019 發表海報

(2) 三球互換法球徑量測技術

A. 本年度完成三球互換量測技術開發，完成硬體之標準球對心微調夾治具 1 組，微調夾治具爆炸圖如圖 63 所示，功能上用以降低座標量測儀造成的量測不確定度來源，並實現三球互換法的量測。實驗環境之溫度為(20 ± 1) °C、濕度為(45 ± 10) %，另由於溫度極易影響尺寸量測，因此量測值亦會進行溫度補償，進一步減少溫度影響。本計畫使用的座標量測儀探針最小使用 1 mm 直徑之探針，而夾治具盤面設計達 100 mm，故本計畫開發的球徑量測技術可執行 1 mm 至 100 mm 量測範圍，搭配 VDI/VDE 2634 規範訂定的量測空間與標準件尺寸，可適用不同量測範圍的視覺 3D 量測儀器。

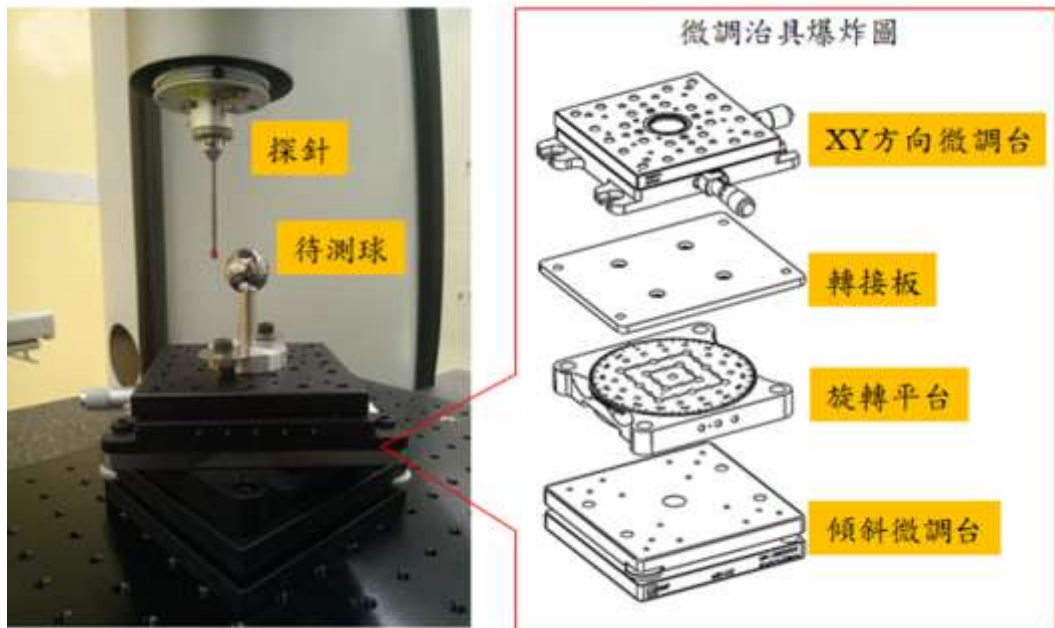


圖 63、微調治具

軟體部分完成三球互換法分析程式一套，用以執行數據分析與蒙地卡羅量測不確定度評估，本計畫成果依照實驗室現有的量測設備 Leitz ULTRA 座標量測儀規格進行評估，其中蒙地卡羅法量測不確定度評估中的參數如表 9 的數值所示，進行評估之三球直徑標稱值分別為兩支直徑 5 mm 的紅寶石探針和一個直徑 25 mm 的待測球，以上參數將用來分析三球互換量測技術的量測不確定度。

表 9、量測不確定度來源與誤差全距

量測不確定度來源	誤差全距
形狀誤差	$F_A = 0.45 \mu\text{m}$, $F_B = 0.15 \mu\text{m}$, $F_C = 0.15 \mu\text{m}$ (a, b, c 橢球參數為均勻分布)
測頭誤差	$0.3 \mu\text{m}$ (a, b, c 橢球參數為均勻分布)
線性定位誤差	$L_x = L_y = L_z = 1 \pm 5 \times 10^{-6}$ (均勻分布)
重複性	$0.27 \mu\text{m}$ (均勻分布)
公式近似誤差	已包含在演算法計算中

使用蒙地卡羅法評估後的量測不確定度如圖 64 所示，並以直方圖呈現量測值的變化範圍，模擬共執行 1000 次，直方圖橫軸為球徑誤差，縱軸為不同誤差區間的累積次數，其呈現的分布情況呈現常態分布，因此可計算其標準差，作為標準量測不確定度，其標準差為 $0.67 \mu\text{m}$ ，因此於 95% 信賴水準下，量測不確定度為 $0.13 \mu\text{m}$ ，符合球徑量測不確定度 $\leq 0.8 \mu\text{m}$ 的目標，對於 VDI/VDE 2634 規範訂定的標準件量測不確定度與儀器規格對應，此球徑標準尺寸可適

用於 1 μm 規格之視覺 3D 量測儀器，亦可用於三軸或關節式座標量測儀等接觸式儀器之校正應用。

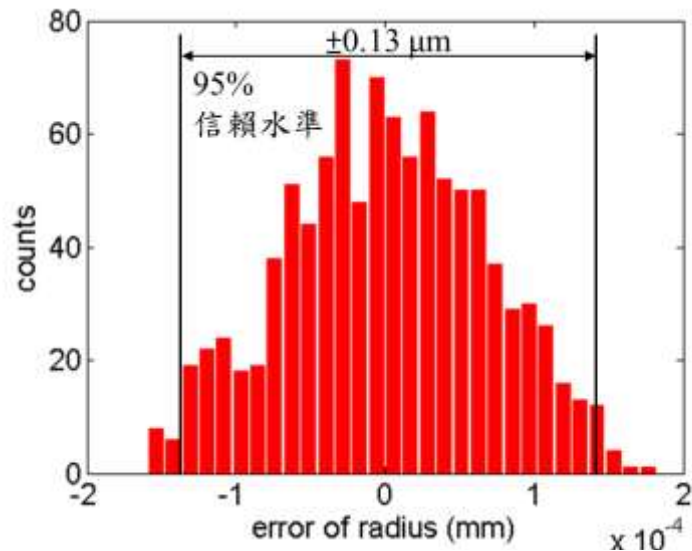


圖 64、蒙地卡羅法球徑量測不確定度評估結果

B. 國際論文發表

至法國參與第 19 屆 CIM 研討會(International metrology congress)，發表海報如圖 65 所示，發表內容為利用蒙地卡羅方法，進行三球互換量測的量測不確定度評估技術，除了推廣本計畫開發的球徑量測技術，並與國際學者交換研究心得與成果。

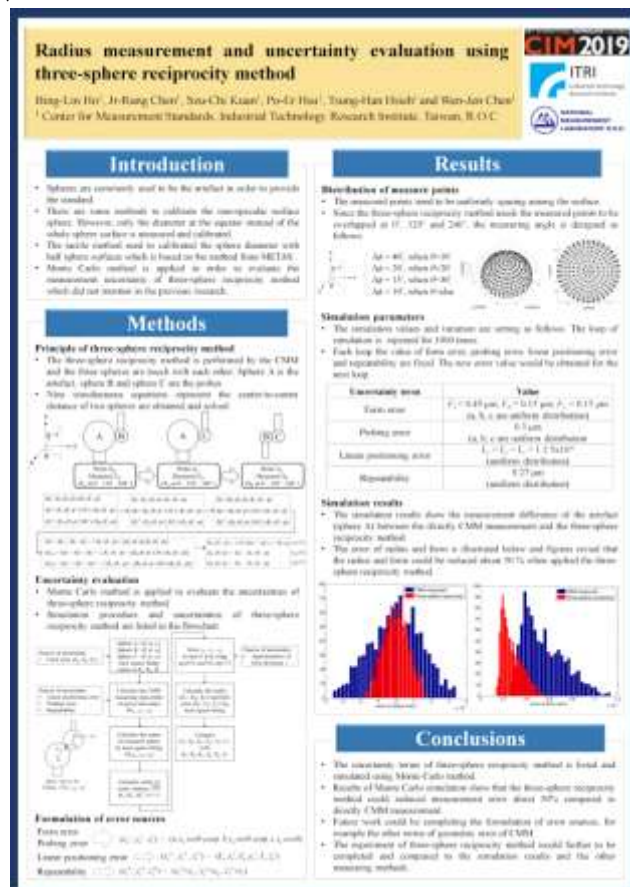


圖 65、第 19 屆 CIM 國際研討會發表海報

5. 產業應用

(1) 高反光物件視覺 3D 點雲量測技術

藉由導入量測快速且不須噴粉之視覺 3D 量測儀器，使金屬加工廠商突破接觸式座標量測儀之生產瓶頸，將花費約半天的量測路徑規劃及實際量測時間，縮短至 30 分鐘內，使視覺 3D 量測儀器快速、彈性、利於自動化之優勢，能夠應用於金屬加工業產的線上量測，提升金屬加工廠商之國際競爭力。

(2) 三球互換法球徑量測技術

VDI/VDE 2634 規範為目前業界用於評估視覺 3D 量測儀器性能之主要方法，目前所羅門、普立得科技與通業技研的視覺 3D 量測儀器即是使用球桿標準件進行儀器性能評估。其中球桿標準件球徑作為標準尺寸之一，規範規定球徑尺寸必須要經過校正，因此對於線上使用之視覺 3D 量測儀器，需要有經過校正之標準球桿，本計畫發展球徑量測不確定度可滿足市面上規格之視覺 3D 量測儀器，健全視覺 3D 量測儀器的追溯鏈，使廠商有能力判斷儀器量測值是否產生偏差，並對產線進行有效的控管。

(二)具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

1. 產業需求

我國於全球工具機產業鏈中一直佔有重要的角色，近年的日本 JIMTOF、歐洲 EMO 等國際重要的工具機展覽及相關市場調查公司所發行之報告，皆顯示工具機已朝多軸化、複合化、智慧化發展，而由於工具機旋轉軸是此一趨勢下的關鍵零組件，使得其量測與校正需求持續提升。目前工具機旋轉軸的生產公司包含上銀、和昕精密、德川精密、德士凸輪、寶嘉誠工業、潭興、譚佳等，2018 年出口值約 13 億新台幣，年成長率為 27.4 % (工具機關鍵零組件平均成長率為 23.2 %，最高者為滾珠螺桿的 51.2 %)。

依據 ISO 230-7 的定義，工具機旋轉軸單軸的誤差項目共有 6 項，而目前並無可完整量測其幾何誤差的單一設備，使得工具機旋轉軸的生產公司須分別使用不同的設備、方法，以量測各別的幾何誤差，如角度定位準確度量測最常以 Renishaw 公司的 XR20-W 搭配其雷射干涉儀進行、偏擺與俯仰之角度誤差則以三軸工具機或功能相同之高精度移動治具，搭配標準件、槓桿量表完成量測。分析目前迴轉工作台的幾何誤差量測方法，除了角度定位因利用 XR20-W 搭配雷射干涉儀，能夠擁有較小的量測誤差，且可提供控制器誤差補償參數外，絕大部分的量測方法極可能因標準件本身的誤差、槓桿量表的重複性等，而有著角度約 $\pm 10''$ 、長度約 $\pm 10 \mu\text{m}$ 的量測極限，致使產品性能大幅受限。

除了因組裝所造成的幾何誤差外，目前工具機旋轉軸的驅動技術發展主流是採用內藏式扭矩伺服馬達直接驅動，搭配環形編碼器的角度位置回授控制，使其具有響應快、準確度高、結構簡單等優勢，除工具機旋轉軸產品，目前國內也已有廠商以海德漢公司(Heidenhain)的環形編碼器產品 RCN 2380 規格為指標，開發環形編碼器產品，希望能應用於目前產品需求持續上升的工具機旋轉軸及分度頭上，其重要規格包含準確度規格為 $\pm 5''$ 、解析度為 26 bits。

綜合以上，目前產業亟須環形編碼器之校正能量，以確保其環形編碼器產品、XR20-W 等之量測準確度外，對於如何於生產線上完整、快速地量測工具機旋轉軸所有幾何誤差，亦有強烈之需求，以提供國際市場高品質、具價格競爭力之工具機旋轉軸產品。

2. 計畫目標

本子計畫之全程目標為發展「具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術」，希望能透過五軸工具機本身的刀具交換系統，於加工過程中自動轉換為市售的「3D 量測探頭」，成為「量測儀器」，對工作台上的「加工件」與設置於一旁的「線上標準件」進行量測，並將數據上傳至雲端虛擬機器的「工具機製造/量測誤差模型」中，以分析五軸工具機目前的幾何誤差並提供對應之修正補償值予控制器；同時也利用該模型取得具追溯性之加工件量測結果，供判斷是否繼續進行加工、是否需要修正加工路徑，形成「閉迴路製造系統」。其中，幾何誤差修正的補償值項目為 41 項、溫度適用範圍達 $(20.0 \pm 6.0) ^\circ\text{C}$ ，而加工件量測之標準不確定度 $\leq 15 \mu\text{m}$ ，以促使加工件的產品品質提升、減少原物料浪費、並降低其檢驗所需的時間，達到增加生產效率之目的。配合計畫全程目標及產業需求，本年度子計畫將先針對工具機的單軸旋轉軸相關量測標準進行擴建與建立，並發展計量標準產業應用技術。以下分別說明本年度之技術目標與規格。

(1) 計量標準產業應用技術發展

- 非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術
 - 幾何誤差：6 項(以 C 軸為例，EAC、(EBC、ECC、EXC、EYC、EZC)

- 量測不確定度角度: $\leq 2''$; 線性: $\leq 4 \mu\text{m}$
- 可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術
 - 幾何誤差: 3 項(以 C 軸為例, ECC、EXC、EYC)
 - 量測不確定度角度 $\leq 0.8''$; 線性 $\leq 3 \mu\text{m}$
- (2) 量測標準擴建與建立
 - 擴建角度校正系統(D06)
 - 自我校正型角度量測設備(Self-Calibratable Angle Measurement Equipment, SelfA)購置
 - 校正環境確認
 - ✓ 環境溫度須達 $(20.0 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$ 、校正區域(約 1000 mm^3)溫度須達 $(20.0 \pm 0.3) ^\circ\text{C}$ 、梯度變化需小於 $0.3 ^\circ\text{C}$
 - ✓ 濕度須達 $(45.0 \pm 10.0) \%$
 - 建立二維標準件校正能量
 - 低熱膨脹係數標準件 (hole plate)購置
 - 外觀尺寸 $650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$ 與 $350 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$ 以下
 - 量測特徵間距至少 50 mm
 - 熱膨脹係數: $\leq 0.5 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}$
 - 量測用治具設計與製作
 - ✓ 2 種尺寸之 Hole plate 治具 ($650 \text{ mm} \times 650 \text{ mm}$ 與 $350 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$ 以下)
 - ✓ 雷射干涉儀及其量測光路 (含光學元件)
 - ✓ 自動視準儀及其量測光路 (含光學元件)
 - ✓ CMM 測針 (含光學元件)

3. 實施方法

非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術

由於工具機旋轉軸可能因其零組件的不完美，導致組裝後的性能表現不一致或不如預期，參考 ISO 230-7 對於旋轉軸的誤差定義，如圖 66，其在 x 與 y 方向具有徑向平移誤差 EXC 與 EYC、z 方向具有軸向平移誤差 EZC；同時，在 x 與 y 方向亦具有轉動誤差 EAC 與 EBC，以及旋轉軸 C 軸的定位誤差 ECC。身為 5 軸工具機的關鍵零組件，旋轉軸之幾何誤差將直接影響其最終性能。

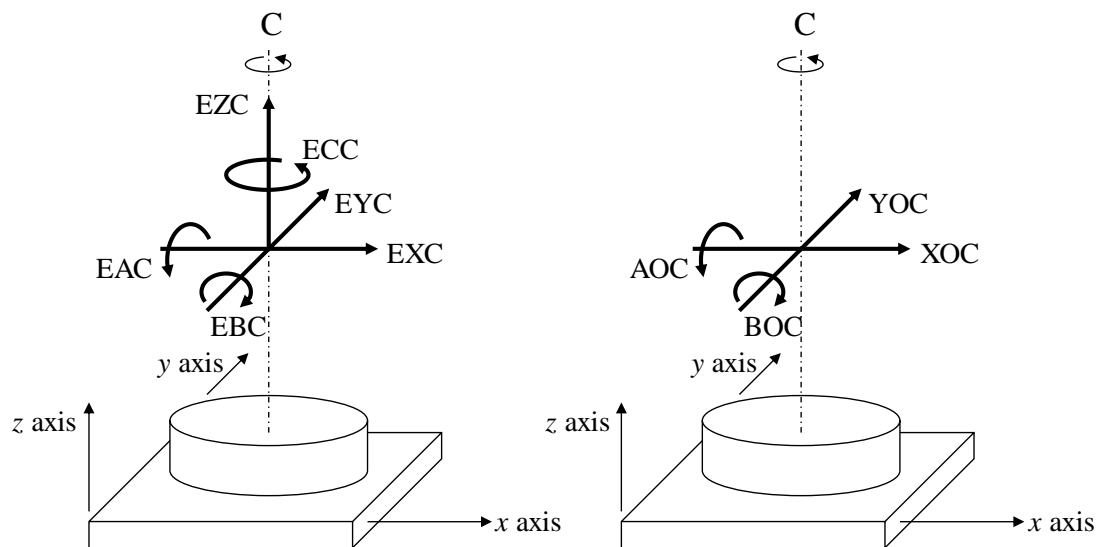


圖 66、ISO 230-7 之旋轉軸幾何誤差分類：6 項轉動誤差(左)及 4 項定位誤差(右)

本子計畫今年度發展的非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，是以追蹤式雷射干涉儀作為標準件，如 LaserTRACER、laser tracker 等，參考 ISO 230 國際標準，結合齊次座標矩陣轉換、一階泰勒展開法、多點定位演算法 (Multilateration) 以及最小平方法等數學方法完成開發。本演算法係利用追蹤式雷射干涉儀依序量測多個安裝於旋轉軸上的反射鏡與其之間的長度值，並依此求得各個反射鏡在每個量測位置時的座標位置，最後執行幾何誤差分析，其量測流程如圖 67 所示。

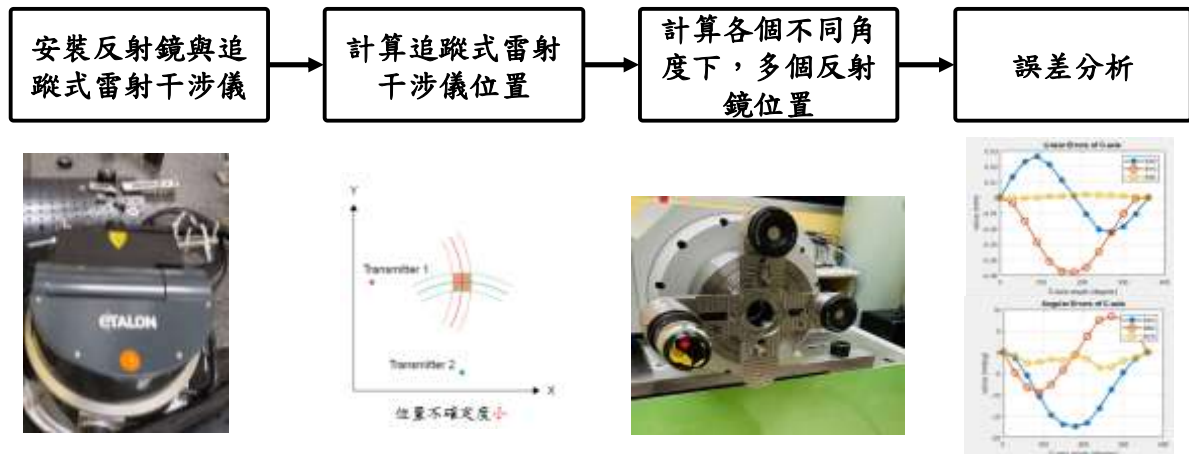


圖 67、幾何誤差線上量測與分析技術流程圖

首先，須先利用多點定位演算法 (Multilateration)，計算追蹤式雷射干涉儀的座標位置。其主要方法為透過追蹤式雷射干涉儀，分別量測放置在 5 個不同位置的反射鏡，得到追蹤式雷射干涉儀與各個反射鏡間的距離值，並使用兩點間的距離公式，建立量測方程式。其中， L_0 為追蹤式雷射干涉儀與反射鏡的起始距離， (x_i, y_i, z_i) 為 5 個不同位置反射鏡的座標位置， (x_t, y_t, z_t) 為追蹤式雷射干涉儀的座標位置， ΔL_i 為追蹤式雷射干涉儀與各個反射鏡間的距離變化值。

$$\begin{cases} (x_1 - x_t)^2 + (y_1 - y_t)^2 + (z_1 - z_t)^2 = (L_0 + \Delta L_1)^2 \\ (x_2 - x_t)^2 + (y_2 - y_t)^2 + (z_2 - z_t)^2 = (L_0 + \Delta L_2)^2 \\ (x_3 - x_t)^2 + (y_3 - y_t)^2 + (z_3 - z_t)^2 = (L_0 + \Delta L_3)^2 \\ (x_4 - x_t)^2 + (y_4 - y_t)^2 + (z_4 - z_t)^2 = (L_0 + \Delta L_4)^2 \\ (x_5 - x_t)^2 + (y_5 - y_t)^2 + (z_5 - z_t)^2 = (L_0 + \Delta L_5)^2 \end{cases}$$

由於迴轉工作台具有 6 個自由度幾何誤差，這使得五個安裝於迴轉工作台上的反射鏡，在旋轉路徑上產生了位置偏差。在理想情況下，旋轉軸沿著預期路徑運行時，僅具有單一個自由度，換言之，五個反射鏡會依照預設路徑，到達期望位置，但實際上，迴轉工作台的 6 個自由度幾何誤差將會影響反射鏡的位置。五個反射鏡在不同旋轉角度下的實際位置，可由追蹤式雷射干涉儀量測得到的距離計算所得，而五個反射鏡在不同旋轉角度下的理想位置，可透過齊次座標矩陣轉換推導所得。下列表示理想狀態下與實際狀態下五個反射鏡的位置差異 $dP_k(\theta, s)$ ，其中， $P_k(\theta, s)$ 與 $\dot{P}_k(\theta, s)$ 分別表示在實際狀態與理想狀態不同旋轉角度 θ 下，反射鏡 s 的座標位置。

$$dP_k(\theta, s) = p_k(\theta, s) - \beta_k(\theta, s) \quad k \in x, y, z$$

接下來，利用齊次座標矩陣轉換與一階泰勒展開，建立理想狀態下與實際狀態下五個反射鏡的位置差異 $dP_k(\theta, s)$ 與旋轉軸6個自由度幾何誤差 E_t 的關係，其關係式如下列方程式，其中， $A_{5 \times 6}$ 表示幾何誤差的係數矩陣。

$$dP_k(\theta, s) = \sum_{i=1}^6 \frac{\partial p(\theta, s)}{\partial E_i} \Delta E_i = A_{5 \times 6} E_t$$

最後，利用最小平方方法估測旋轉軸幾何誤差，其中， $Q(E_t)$ 為最小化誤差的平方和，完成旋轉軸幾何誤差模型。

$$Q(E_t) = \min_{E_t} \frac{1}{5s} \sum_{n=1}^{5s} R_n^2 = \frac{1}{5s} \sum_{n=1}^{5s} (dP(\theta, s) - AE_t)^2$$

針對非接觸式單旋轉軸幾何誤差演算法，發展其模擬驗證分析，主要目的為驗證幾何誤差演算法之準確性。首先，以座標量測儀實際量測所得之五個反射鏡相對位置與追蹤式雷射干涉儀位置為標準值，模擬旋轉軸6個自由度幾何誤差，其設定值係參考目前國內工具機旋轉軸之規格，如表10。在重複模擬分析10000次的計算下，計算模擬分析所得結果與標準值的差異，其差異分布圖如68所示，由模擬分析結果顯示，在不同模擬設定值下，三方向的線性誤差(EXC、EYC及EYC)平均值皆小於 10^{-7} μm ，三方向的轉動誤差(EAC、EBC及ECC)平均值皆小於 10^{-10} "，顯示其具有高準確度。

表 10、幾何誤差模擬設定值

誤差	設定值變異範圍	機率分布	備註
EXC	± 0.02 mm	隨機分布	線性誤差(徑向誤差)
EYC	± 0.02 mm		線性誤差(徑向誤差)
EYC	± 0.02 mm		線性誤差(軸向誤差)
EAC	± 200 "		轉動誤差
EBC	± 200 "		轉動誤差
ECC	± 200 "		轉動誤差(定位誤差)

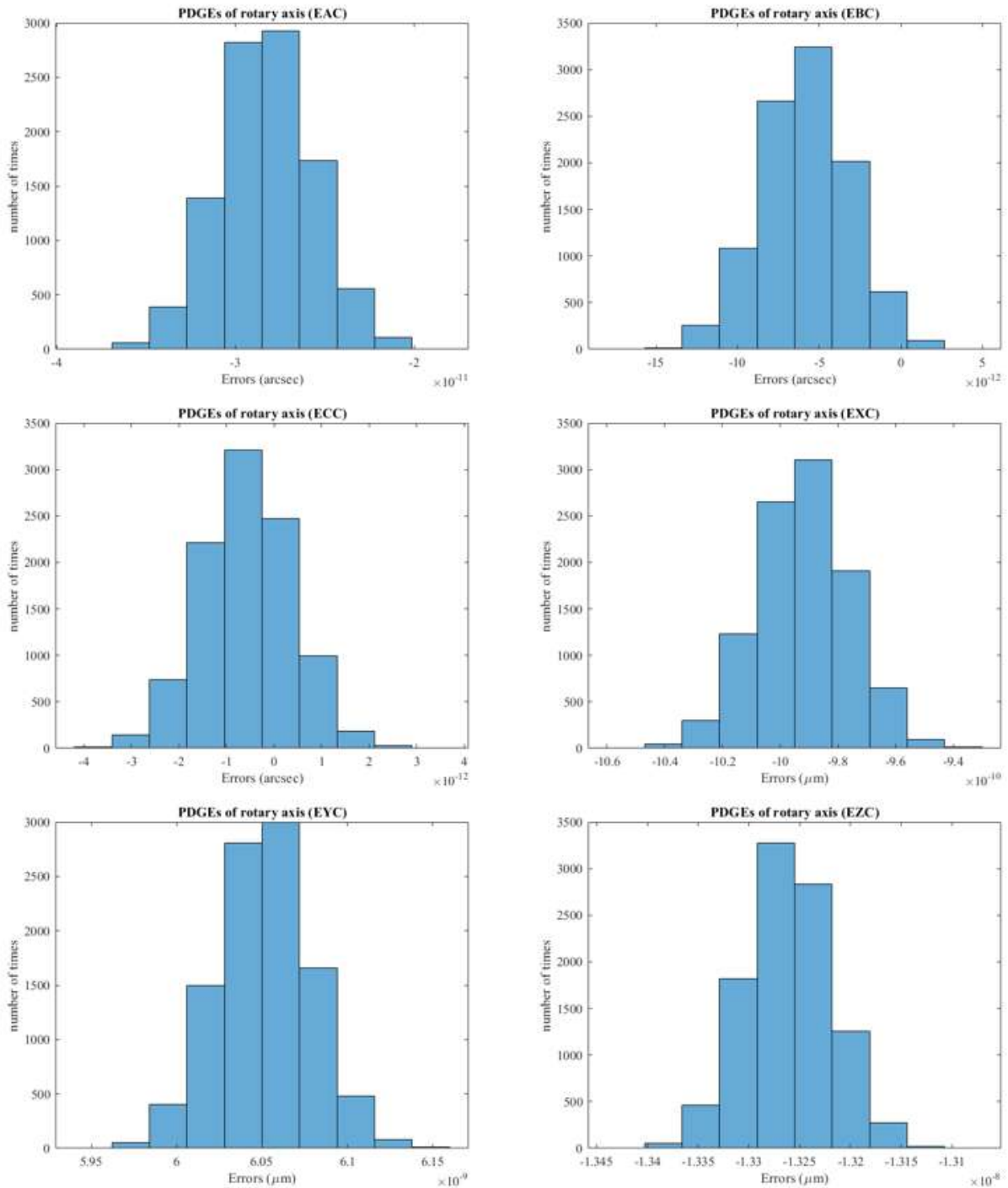


圖 68、模擬分析結果與設定值的差異分布圖

利用蒙地卡羅法對開發之旋轉軸幾何誤差進行量測不確定度評估，評估環境條件 溫度為 $(23.0 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$ 、濕度為 $(45 \pm 10) \%$ ，主要影響量測不確定度分量為追蹤式雷射干涉儀的距離量測，其變異範圍為 $\pm (0.21 \mu\text{m} + 6.31 \times 10^{-7} L)$ ，其中 L 為量測長度值，單位為公尺，採用常態分佈進行分析，搭配蒙地卡羅方法模擬雷射干涉儀的距離量測不確定度對於量測結果的影響，在重複模擬分析 10000 次的計算下，計算出來的幾何誤差變異分布範圍如圖 69 所示。在不同驗證參數下，三方向的線性誤差(EXC、EYC 及 EZC)之標準不確定度最大為 $1.24 \mu\text{m}$ ，三方向的旋轉誤差(EAC、EBC 及 ECC)之標準不確定度最大為 $78''$ ，完成非接觸式旋轉軸幾何誤差量測不確定度評估，量測不確定度角度 $\leq 2''$ ；線性 $\leq 4 \mu\text{m}$ 。

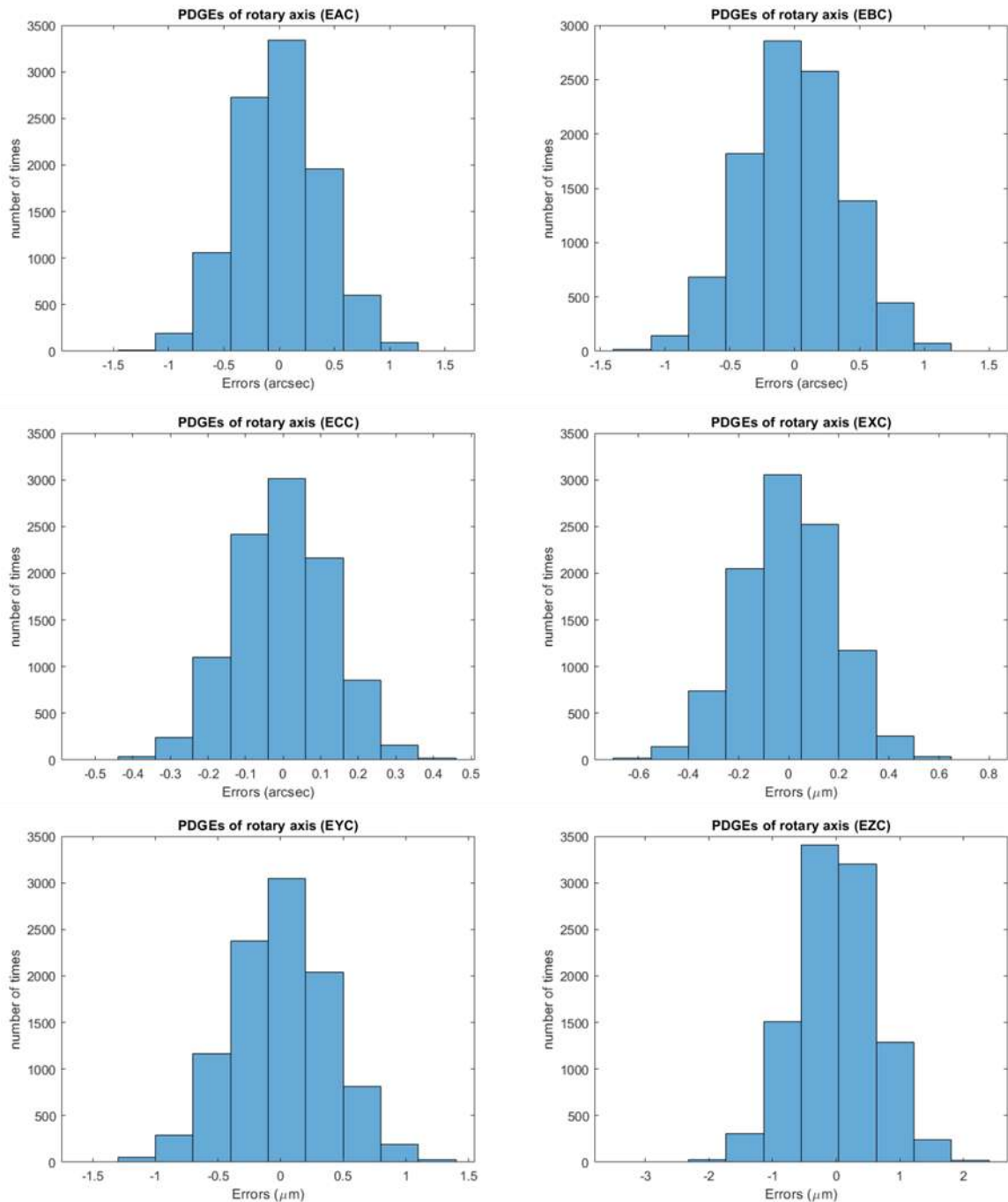


圖 69、蒙地卡羅量測不確定度評估結果

可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術_國際合作

本計畫原規劃由日本計量研究院(national metrology institute of Japan, NMIJ)引進相關誤差分析技術與量測硬體，但因技術團隊之努力及 NMIJ 與 NML 長期合作之友好關係，故此部分於團隊同仁在 NMIJ 進行環形編碼器校正技術之客座研習時，一併獲得相關指導及設備使用，且無其他衍伸的經費需求；因環形編碼器校正能量因國際上仍未有正式的比對活動，且缺乏相關之技術協議，故現未來規劃與日本計量研究院(NMIJ)及泰國國家計量研究院(NIMT)針對環形編碼器校正比對進行先期研究 (Pilot Study)，以利後續形成正式比對，確保國際等同。以下說明本技術之實施方法。

本技術應用角度的最高標準-封閉圓原理，開發旋轉軸三個幾何誤差之分析演算

法，包含角度定位誤差及 x、y 方向之偏擺誤差，並將其整合至自行設計、組裝的多讀頭環形編碼器裝置中，完成可攜式連續角度參考標準件(POrtable Continuous Angle Standards, POCAS)之原型開發，如圖 70，實現本技術可於線上快速量測 3 項幾何誤差之目標。

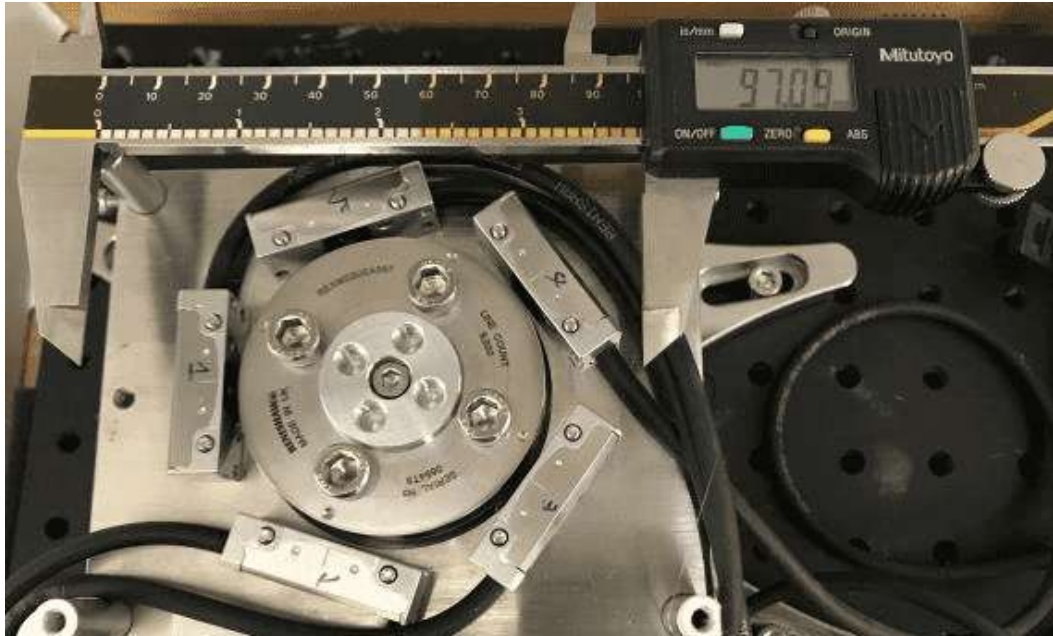


圖 70、POCAS 原型

POCAS 係透過安裝多個光學讀頭於環形編碼器四周，當其中的環形編碼器受到待測工具機旋轉軸驅動而旋轉時，各光學讀頭將同步直接計數環形編碼器之刻線，並將其轉換為角度值。當待測工具機旋轉軸皆無誤差時，每個光學讀頭讀取之刻線角度值將相同，且每個角度間距為工具機旋轉軸器示之角度間距，如圖 71；但當待測工具機旋轉軸具有誤差時，各光學讀頭的量測值將與待測工具機旋轉軸之器示值有差異，且各角度間距亦不相等。

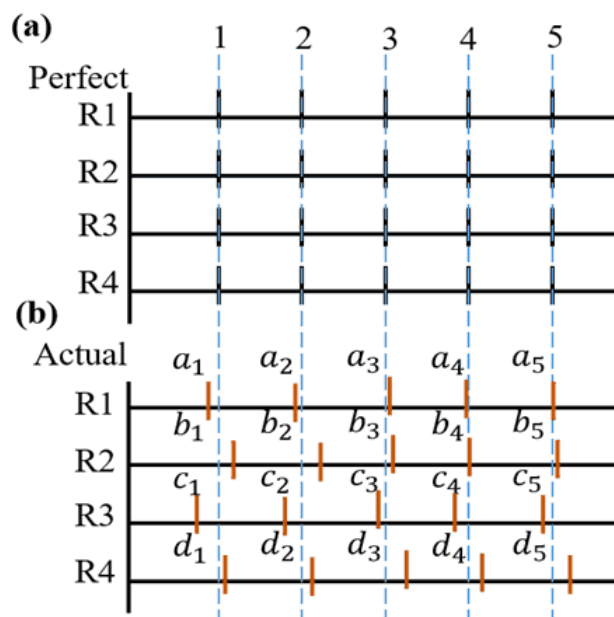


圖 71、量測原理示意圖

圖 72 為 POCAS 幾何誤差分析演算法之核心流程。其總共有 5 個光學讀頭之角度量測值，依序以第一個光學讀頭為基準，代入 SelfA 演算法，重複此步驟至第 5 個光學讀頭為基準，總共有 5 次計算結果，並將此 5 次計算結果取平均值，再透過消除偏心誤差之演算法，取得角度之標準值，而消除之偏心誤差再分為 x、y 方向，即為待測工具機旋轉軸之徑向誤差，測試驗證由雷射干涉儀，結果為兩軸徑向誤差 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ ，滿足計畫量測不確定度線性 $\leq 3 \mu\text{m}$ 之要求；而角度標準值與待測工具機旋轉軸器示值之差異，即為角度定位誤差，由自動視準儀及多邊規進行測試驗證，量測結果顯示其誤差為 $0.7''$ ，滿足計畫量測不確定度角度 $\leq 0.8''$ 之要求，此量測環境條件溫度為 $(23.0 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$ 、濕度為 $(45 \pm 10) \%$ 下之結果。圖 73 與圖 74 分別為實際量測旋轉軸之分析結果。

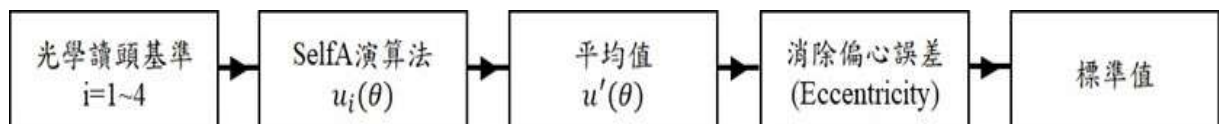


圖 72、POCAS 之幾何誤差分析核心流程

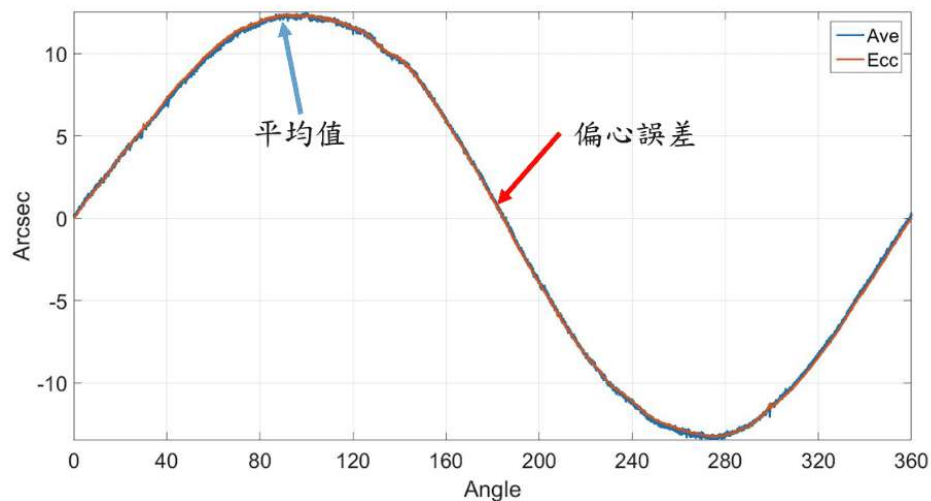


圖 73、平均值量測數據與偏心誤差

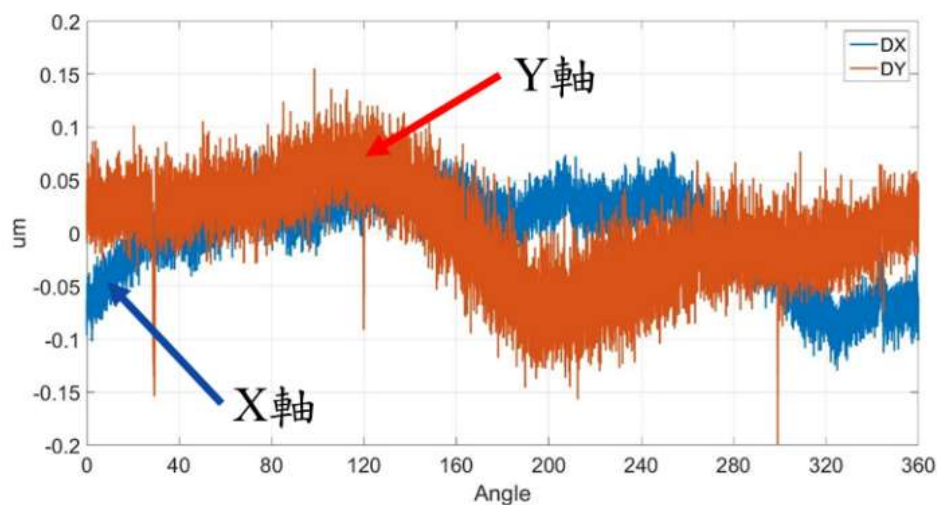


圖 74、徑向誤差量測結果圖

圖 75 為本計畫演算法之驗證平台。因開發過程是在 NMIJ，故本驗證平台為

NMIJ 之標準系統。該平台係採用 8 個光學讀頭，名稱為 SelfA8，其同時裝設有兩軸 PZT 移動台，解析度達 1 nm，可帶動光學讀頭移動，產生徑向誤差。

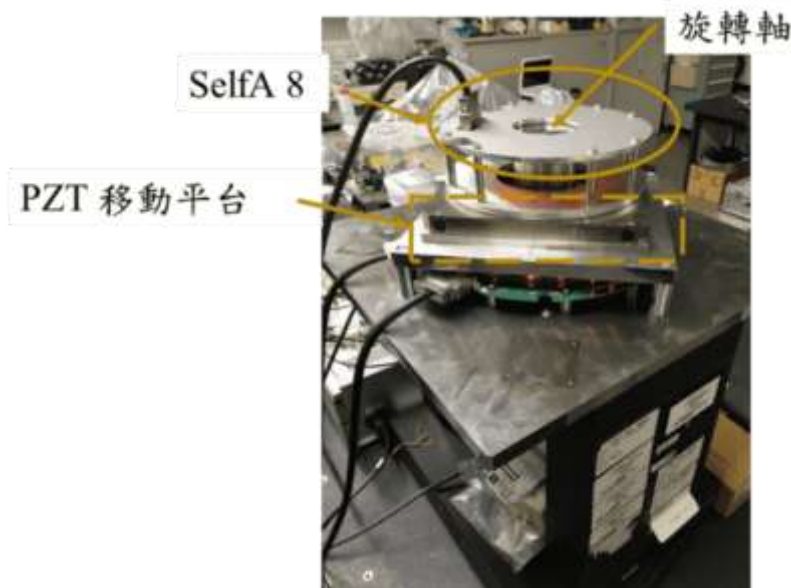


圖 75、演算法驗證平台(位於 NMIJ)

本演算法的驗證參數徑向誤差分析的準確性，透過 PZT 移動台的不同運動軌跡，輸入不同的已知徑向誤差後，利用演算法進行分析並將結果各別比較，以確認本演算法的分析準確性。驗證過程中，係以常見之圓運動軌跡於量測過程中輸入徑向誤差，其分別為 $0.5\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 、 $1.5\ \mu\text{m}$ 半徑的圓軌跡，如圖 76，因選擇週期為 45 度，故在 360 度中，可見 8 個完整的波形，在不同的驗證參數下，計算原始的徑向誤差需相同，如計算結果為相同時，表示此驗證平台之設計與誤差分析演算法計算為正確。

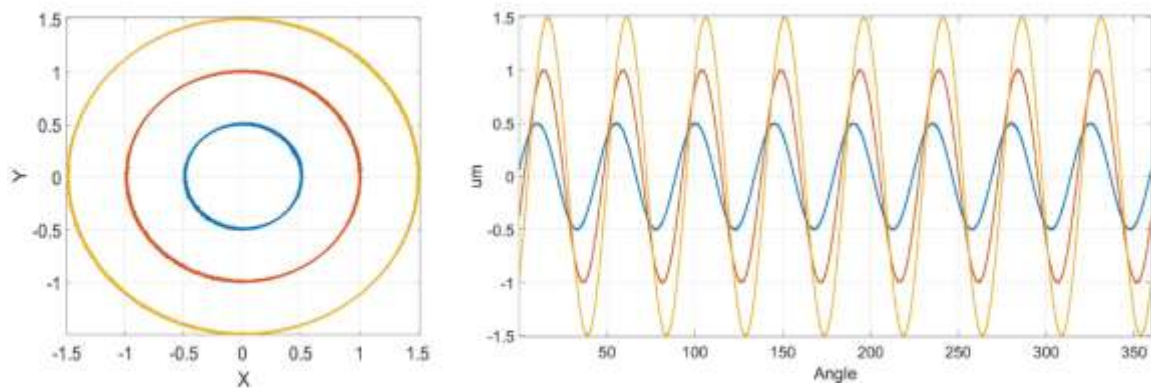


圖 76、不同驗證參數

以圓半徑為 $0.5\ \mu\text{m}$ 為例，因 SelfA8 具有 8 個光學讀頭，所以量測完畢後共會有八條量測曲線，如圖 77，其原應為平滑之曲線，但因增加額外的徑向誤差，使得量測曲線變為非平滑，依序依同樣的流程，由平均值曲線決定偏心誤差，主要是因為徑向誤差在光學讀頭之量測中，必呈現對稱性，額外產生的徑向誤差，取平均值時將相互抵銷，因此偏心誤差呈現一平滑曲線，如圖 78。

之後再將各光學讀頭視為基準，將其量測曲線減去偏心誤差，即為每個光學讀頭量測之徑向誤差，並將它分為 X 軸方向之分量與 Y 軸方向之分量，如圖 79，S 表示為 SelfA8 量測結果，p 表示為 PZT 移動平台路徑值，由圖 80 可知，SelfA8 可

量測原始轉動徑向誤差及外加的轉動徑向誤差，而利用 PZT 所移動之圓路徑，將外加的轉動徑向誤差消除，結果即分別為 x、y 方向之徑向誤差。

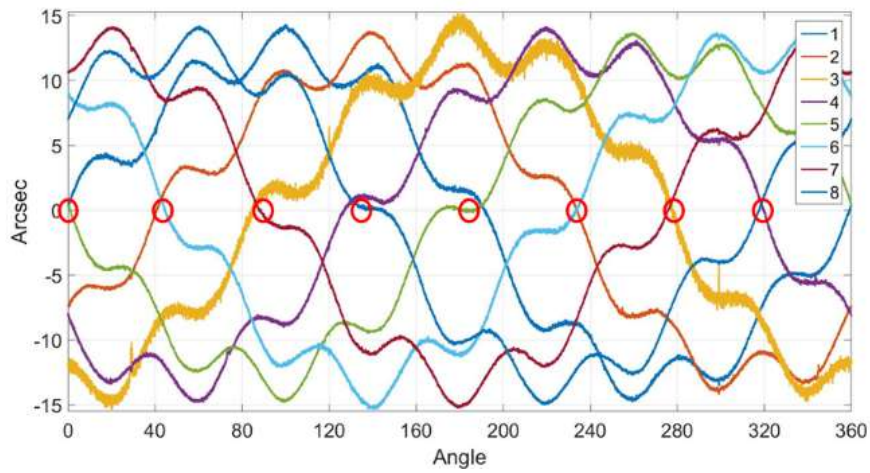


圖 77、SelfA8 量測數據

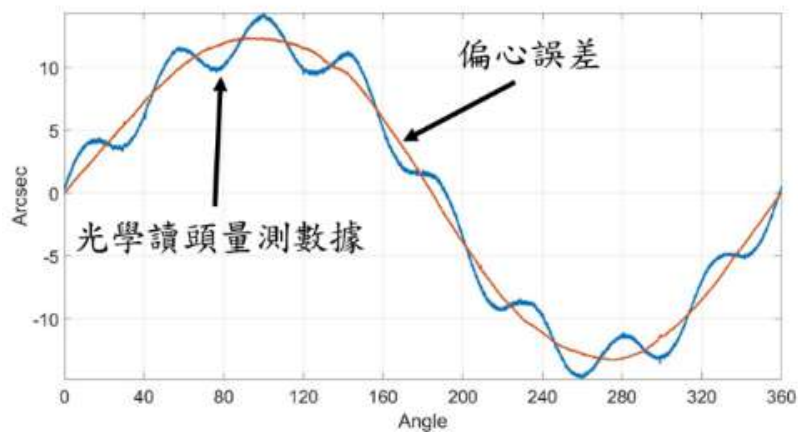


圖 78、SelfA8 平均值結果

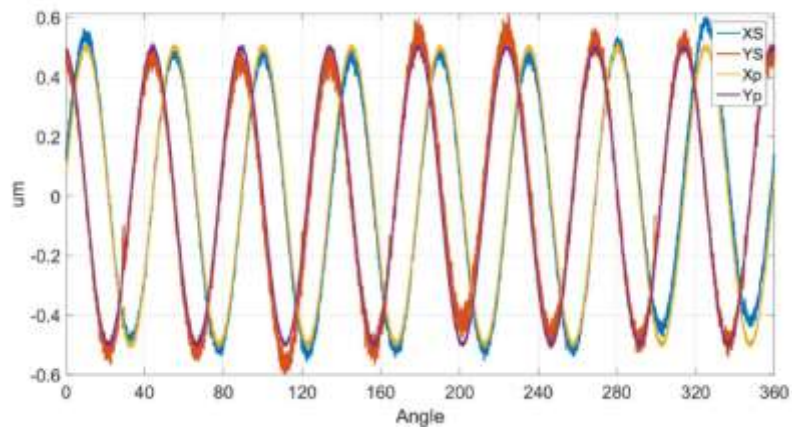


圖 79、SelfA8 量測數據值(PZT 移動圓路徑半徑值為 0.5 μm)

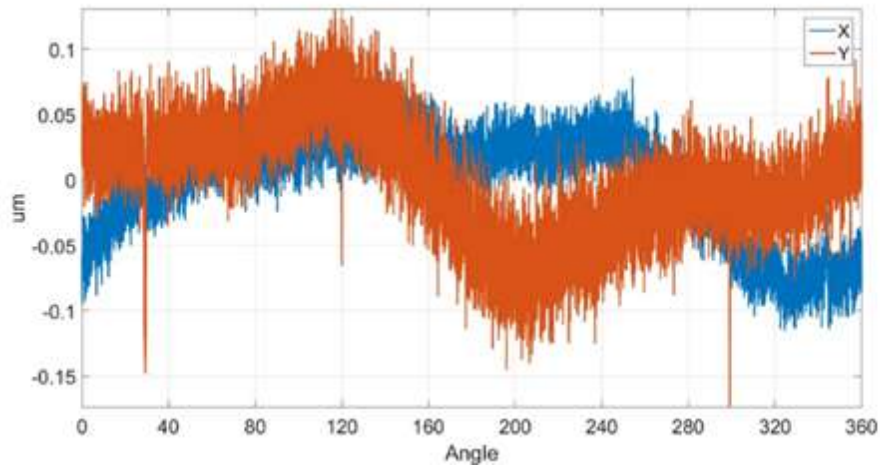


圖 80、原始轉動徑向誤差之結果

比較在不同驗證參數下，SelfA8 可同時量測原始轉動的徑向誤差與外加的轉動徑向誤差，消除外加的轉動徑向誤差，原始徑向誤差結果需相同，分別在驗證參數為 $1\ \mu\text{m}$ 與 $1.5\ \mu\text{m}$ 圓半徑軌跡，圖 81 為驗證參數為圓半徑 $1\ \mu\text{m}$ 時量測結果，而圖 82 為驗證參數為圓半徑 $1.5\ \mu\text{m}$ 時量測結果。

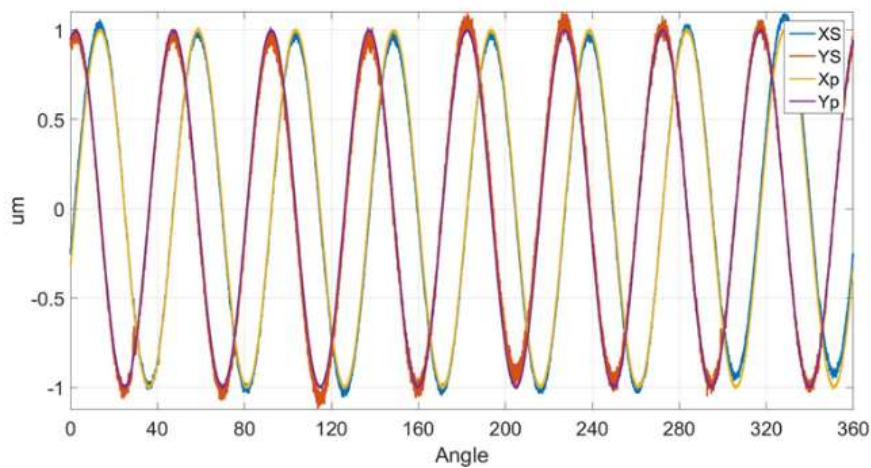


圖 81、在驗證參數為 PZT 移動圓路徑半徑值為 $1\ \mu\text{m}$ ，與 SelfA8 量測值比較圖

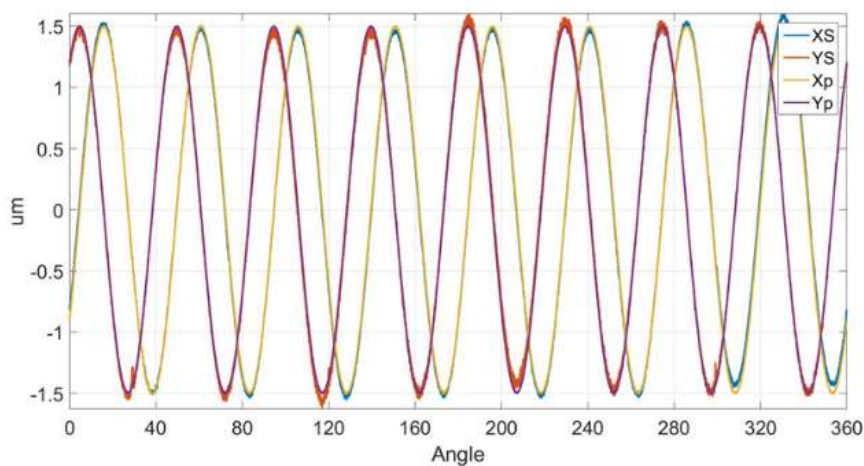


圖 82、驗證參數為 PZT 移動圓路徑半徑值為 $1.5\ \mu\text{m}$ ，與 SelfA8 量測值比較圖

將外加的轉動徑向誤差消除後，分析旋轉軸之 x 方向徑向誤差，標記“1”為沒有驗證參數下，計算原始徑向誤差之結果，標記“2”為圓半徑為 0.5 μm 之結果，標記“3”為圓半徑為 1 μm 之結果，標記“4”為圓半徑為 1.5 μm 之結果，平均值標準差為 0.005 μm 。圖 83 則為 Y 軸轉動徑向誤差之結果，標記符號則與圖 84 相同，其平均值標準差為 0.008 μm 。由圖 83 與圖 84 結果所示，POCAS 之分析演算法驗證結果相當成功，代表此驗證方法設計正確，且由重複性量測結果進行評估不確定度皆小於 0.01 μm ，完成線性誤差不確定度需小於 3 μm ，符合精密機械產業界對於迴轉工作台對於徑向誤差量測需求。

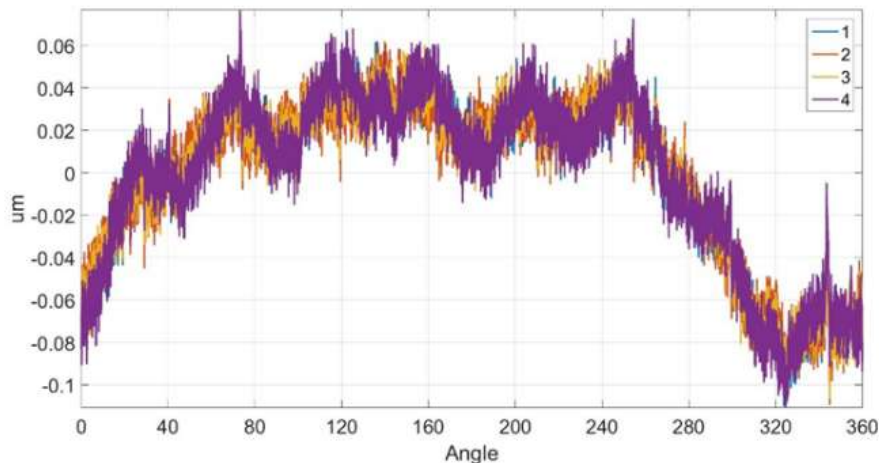


圖 83、不同驗證參數下，x 方向徑向誤差量測結果

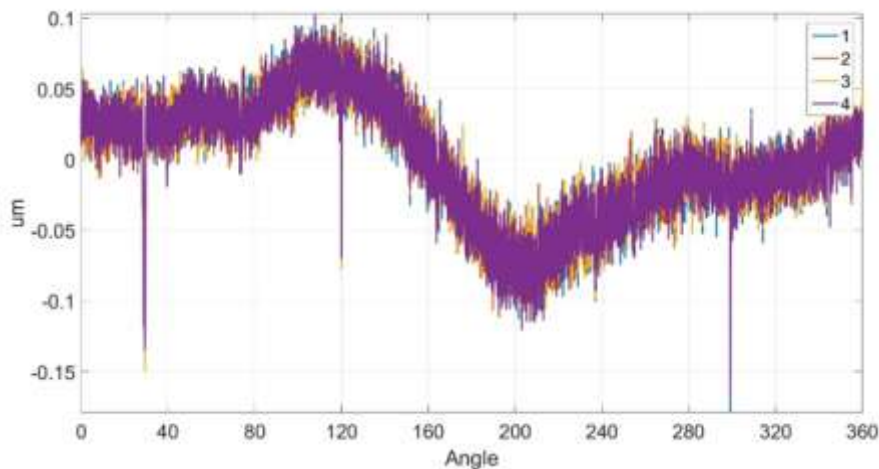


圖 84、不同驗證參數下，y 方向徑向誤差量測結果

二維標準件校正能量建立

本項主要為線上標準件應用於五軸工具機業者，進行相關量測標準擴建或建立之準備，二維標準件為低熱膨脹係數標準件，共購置 630 x 630 mm、330 x 330 mm 兩個尺寸如圖 85，內有二維尺寸標準值，間距為 50 mm，標準件材料選用低熱膨脹係數(-0.001 x 10⁻⁶ 1 / °C)的陶瓷材料，可降低現場環境溫度所造成影響。



圖 85、二維標準件(尺寸：630 x 630 mm、330 x 330 mm)

4. 成果說明

相較於目前市售旋轉軸幾何誤差量測儀器，本計畫今年度完成發展之非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術可在無需三軸工具機的情況下，以單一量測設備完成單旋轉軸的 6 項幾何誤差，且角度類誤差的標準量測不確定度 $\leq 2''$ 、線性類誤差的標準量測不確定度 $\leq 4 \mu\text{m}$ ，以實際量測程序及待測旋轉軸轉動速度設定為 6 rpm，目前本技術的量測時間小於 6 小時。此外，本年度亦完成 POCAS 原型開發，其可於 30 分鐘內完成架設與量測，提供角度定位標準量測不確定度小於 $0.8''$ 、徑向誤差標準量測不確定度小於 $3 \mu\text{m}$ 之多幾何誤差量測。

表 11 為目前市售旋轉軸幾何誤差量測儀器。其中，Renishaw 是國內工具機及其零組件產業中，最為常見的幾何誤差量測設備提供者，其產品包含線性軸與旋轉軸。在旋轉軸部分，Renishaw 的 XR20-W 僅能提供角度定位誤差之量測與分析，且安裝程序繁瑣且耗時，而 Axis-set check up 則須仰賴三軸工具機以量測雙軸旋轉軸的 4 項組裝誤差。美國 API 公司則與 Renishaw 的 XR20-W 相似，但具備兩個方向的旋轉軸量測能力。而荷蘭 IBS 與德國 eTALON 兩公司的產品則可完整量測所有幾何誤差，但設定複雜且須配合 3 軸工具機。最後，SIEMENS 公司則僅可搭配其控制器量測迴轉工作台的 4 項安裝誤差。因此，本計畫完成之非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，在僅需使用單一設備即可針對旋轉軸完成所有幾何誤差之量測的狀況下，使用便利性明顯較其他儀器設備商為佳；而在量測準確度(或量測不確定度)亦非常相近，後續將持續推動導入至產業中，實際應用以強化其競爭力。

表 11、目前市售線性軸與旋轉軸之幾何誤差量測方法(設備與功能)

量測設備	幾何誤差項目	量測規格
XR20-W 無線旋轉軸校正儀 (Renishaw)	單旋轉軸角度定位 (搭配 XL-80 雷射干涉儀)	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：$0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 準確度：$\pm 1''$

Axis-set check up (Renishaw)	雙旋轉軸 4 項安裝誤差	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：視盤面尺寸與工具機行程，以不干涉為前提 量測方式：接觸式測頭 量測時間：約 1.5 小時(不含架設)
Swivelcheck (API)	雙旋轉軸角度定位	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：$\pm 400^\circ$ 解析度：0.03" 準確度：$\pm 1"$ (C 軸)、$\pm 2"$ (A 或 B 軸)
IBSPE 系統 (IBS)	R-test:旋轉軸 4 項安裝誤差	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：50 mm ~ 1500 mm 感測器範圍：1.25 mm 解析度：0.004 μm 量測不確定度：0.6 μm
	SSEA:旋轉軸 6 項運動誤差	
LaserTRACER (eTALON)	線性軸:21 項 旋轉軸:20 項	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：250 mm ~ 40 m 解析度：0.1 nm 量測不確定度：Q[0.2, 0.6L] μm, L in m
CYCLE996 (SIEMENS)	單旋轉軸 4 項安裝誤差	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍：視盤面尺寸與工具機行程 量測方式：接觸式測頭 量測時間：約 1.5 小時(不含架設)

此外，本計畫也已完成量測標準擴建與建立中的角度校正系統(D06)擴建之設備採購與環境規格確認，如圖 86，其中環境規格已滿足校正環境確認：環境溫度需達 $(20.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ 、校正區域(約 1000 mm^3)溫度需達 $(20.0 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ 、梯度變化需小於 0.3°C 、濕度須達 $(45.0 \pm 10.0)\%$ 之計畫要求，同時亦於 NMIJ 完成環形編碼器校正技術之研習。而二維標準件校正能量中的 hole plate 購置、治具與光路設計亦已完成。圖 87 為本年度計畫採購之自我校正型角度量測設備與二維標準件(hole plate)之實際安裝後與實體圖。

時間：2019/11/26~2019/11/29

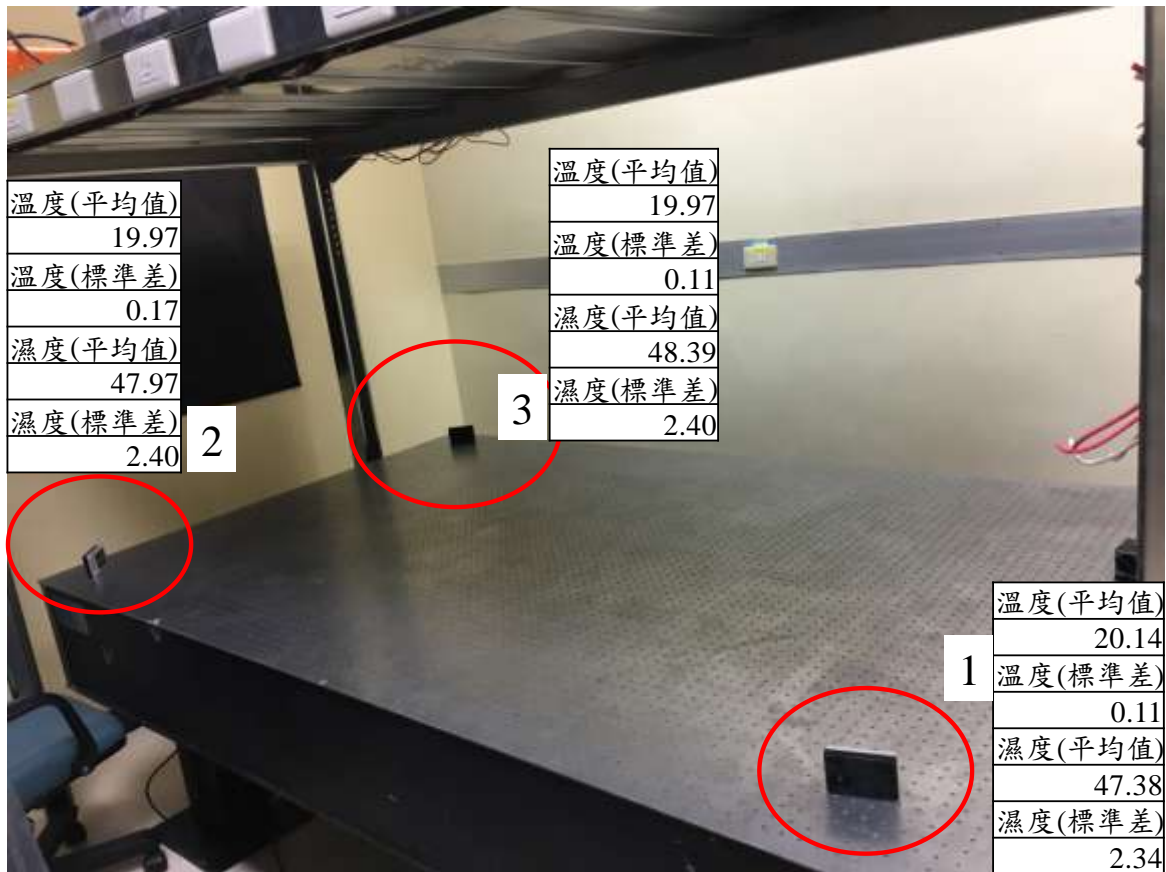
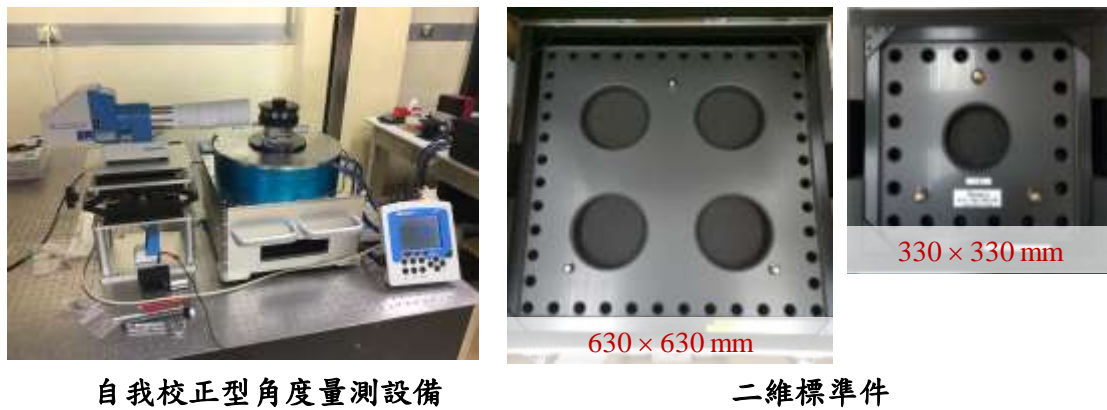


圖 86、角度校正系統(D06)擴建之環境確認



自我校正型角度量測設備

二維標準件

圖 87、本年度計畫採購之設備

5. 產業應用

本計畫所發展之非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術已與上銀公司進行合作開發，針對其工具機旋轉軸產品，如圖 88，積極將技術導入生產現場中使用，合作執行架構如圖 89 初期將先以單軸旋轉軸為量測標的，著重於建置現場量測標準系統，包含誤差演算法開發與量測程序，並藉由校正追溯以確保後續進入國際市場時，客戶能認可其產品的量測結果；而後續則再針對其雙軸旋轉軸進行幾何誤差量測技術應用，以全面提升其產品品質並縮短相關量測時間，進而增加產品於國際市場之競爭力。



圖 88、幾何誤差分析標的 2 種上銀公司之迴轉工作台產品

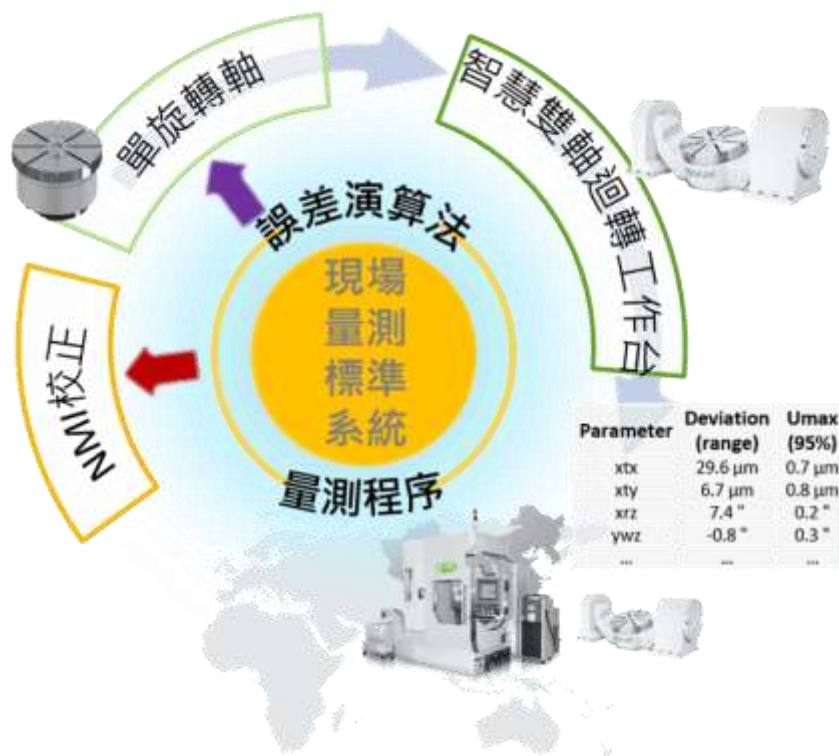


圖 89、計畫合作執行架構

此外，本計畫後續亦將持續推動非接觸式旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術導入其他同質性之公司，以擴大技術發展之影響力，目標企業包含和昕、潭興、潭佳、晟昌、寶佳誠、德士凸輪、歐權等公司。同時，也將推廣 POCAS 至產業界使用，協助國內智慧機械產業產品品質提升。

(三)非接觸式溫度量測之線上校正技術

1. 產業需求

溫度是最重要的熱力學狀態變量，實際上，所有與工業和研究相關的量都是溫度的函數，同時也是最常測量的物理量。成功的工業過程均需要良好的溫度量測和控制。因此本計畫針對需要快速量測且非接觸型溫度控制的產業進行線上量測技術的研究與開發。在非接觸式溫度量測技術中，輻射測溫法是通過測量物體的發射熱輻射來確定物體的溫度。該技術是一種非接觸式，快速且非侵入式的表面溫度測量，

通過適當的追溯方式，可與現行國際溫標 ITS-90 接軌，更可以與國際的溫度達成一致性。而目前 內外多以購買離線設備或作定期校正，目前校正設備亦不敷即時量測需求。應用之產業如半導體產業中的快速升溫製程處理(Rapid Thermal Process, RTP)、精密製造產業如工具機、3D 金屬列印、生醫產業如、食品衛生產業以及傳統產業等之發展，透過非接觸式溫度量測搭配線上校正技術，可減少追溯流程、提升良率、降低重工以達增加產能等優勢。適用公司如台積電、聯電等半導體製造廠以及榮鋼航空材料等。上述產業界對於非接觸式溫度量測需求及範圍如圖 90 所示。溫度需求量測不確定度須控制在 1°C 內，可保證有最佳的熱處理效果與良率。在不久的未來，3D 金屬列印產業將於 2025 年前大幅成長。但雷射加溫金屬粉末溶池的如何進行溫度控制與量測是一大困難，此時導入非接觸式溫度量測技術，可有效提升該產業品質。

高科技產業與精密製造產業之發展，需透過自動校正技術，可減少追溯流程以增加產能等優勢。而非接觸式溫度計廣泛應用於特殊製造、密閉迴路製程控制、IC 製造業，塑料製造業，達成過程溫度監控(如快速升溫製程處理(Rapid Thermal Process,RTP)、組件監控與精密工具開發和組件測試等，目前產業即時需求為：

- (1) 溫度計標準模擬器($T > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$)送回原廠校正曠日費時，高成本風險
- (2) 溫度計標準件無監控查核機制，標準飄移程度



圖 90、非接觸式溫度量測技術之產業應用範圍與不確定度

2. 計畫目標

鑑於我國製造業對於非接觸式溫度量測技術的線上量測應用，產生線上參考標準件與線上校正之需求，故本計畫最終目標為開發擴充不確定度低於 1.5 °C 的「可調變型黑體模擬器整合式非接觸溫度量測技術」，以滿足產業於校正追溯及量測準確度之要求。為達成本計畫此一目標，自 108 年度開始，依序規劃發展固定點黑體模擬器、非接觸式固定點溫度量測技術、微型化非接觸式溫度量測之線上校正技術，以達成最終之計畫目標。以下說明本年度之計畫目標與規格。

(1) 108 年:固定點黑體模擬器開發與製作:

- A. 黑體模擬器模擬溫度為 962 °C，最大波長為 0.9 μm
- B. 升溫達穩定時間 ≤ 30 min

3. 實施方法

本計畫首先發展黑體輻射光譜模擬技術，以 LED、雷射二極體或微小型發光光源進行測試與分析，最終決定利用 LED 作為光源，透過多組不同波長之 LED 進行混光，擬合成 962 °C 之固定點黑體模擬器的特徵光譜，再透過光、機、電整合與校正追溯，完成本年度固定點黑體模擬器之原型製作。以下分別說明各階段之實施方法。

(1) 黑體輻射光譜模擬技術：完成以 2 顆 IR LED 擬合 962 °C 黑體光譜

依據熱力學測溫法及 ITS-90 國際溫標，於銀凝固點(961.78 °C) 以上之溫度標準係由輻射測溫法實現，其物理原理為普朗克輻射定律(Planck's Radiation Law)，如下式。

$$L(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi} \lambda^{-5} [\exp(c_2 / \lambda T) - 1]^{-1}$$

其中 $L(\lambda, T)$ 為黑體輻射之頻譜亮度(Spectral Radiance)。

c_1 與 c_2 則分別為第一與第二輻射常數，如下。

$$c_1 = 2\pi hc^2 \approx 3.74 \times 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

$$c_2 = hc / k \approx 1.4388 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$$

T 為該黑體之熱力學溫度。

因本計畫目標的固定點黑體模擬器測溫範圍高於 962 °C，根據普朗克輻射定律，相對分光輻射亮度之分布曲線，如圖 91，其可協助找尋適合的 LED 光源波長，以擬合成為 962 °C 之黑體光譜。圖 92 為以 2 顆 IR LED 於 900 nm ± 10 nm 之範圍進行混光，以擬合為黑體光譜之設計。

B. B. radiation 962 °C

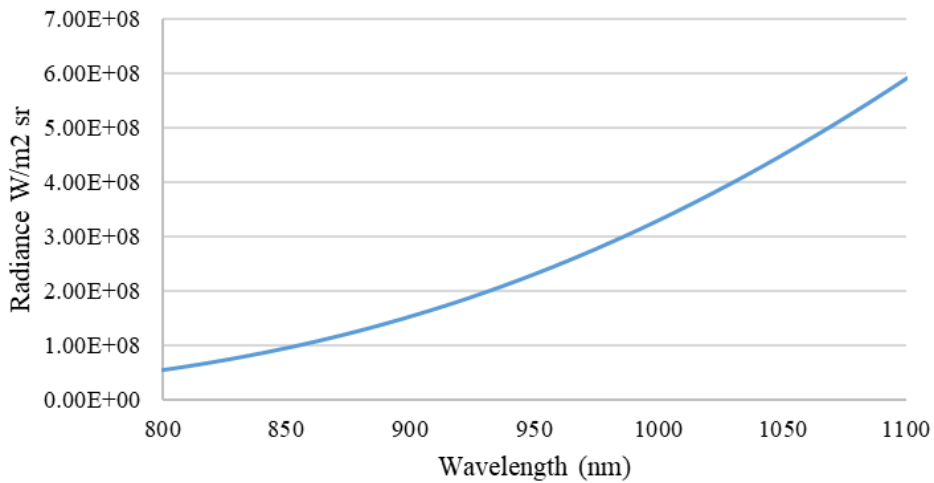


圖 91、黑體普朗克分布

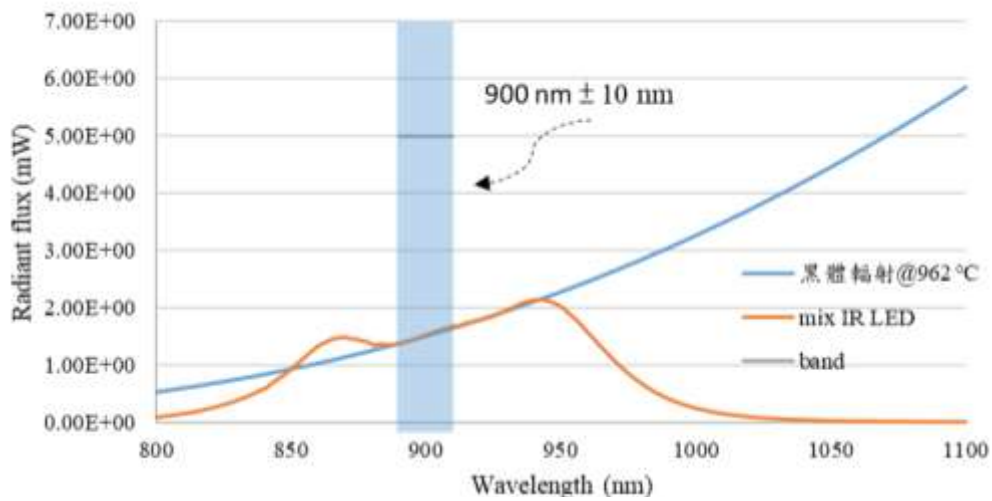


圖 92、黑體輻射頻譜擬合光譜

圖 93 為利用型號 Op233、波長為 890nm 及型號 Op133、波長為 935nm 的 LED 所擬合出之混光結果。

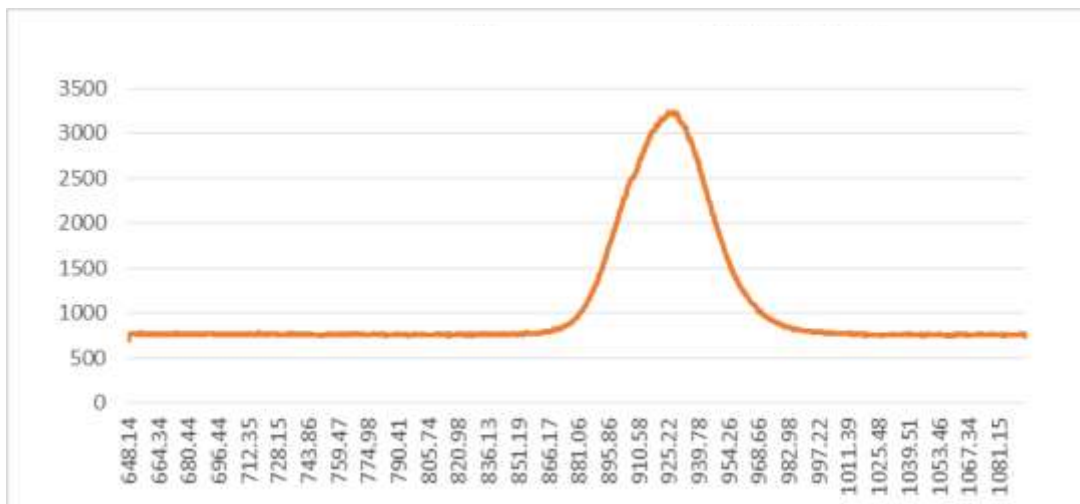


圖 93、OP133w(935 nm)與 OP233(890 nm)混光結果

計畫設計 2 種混光結構並先行分析其耦合效率，分別是二對一及四對一之光耦合機制，如圖 96 與圖 97。其中，二對一光耦合效率為 10%，四對一光耦合效率為 5%。主要原因是光纖耦合處為光損最多處，故需慎選光纖耦合器，同時光纖耦合的操作熟稔程度也將影響最後的出光強度。

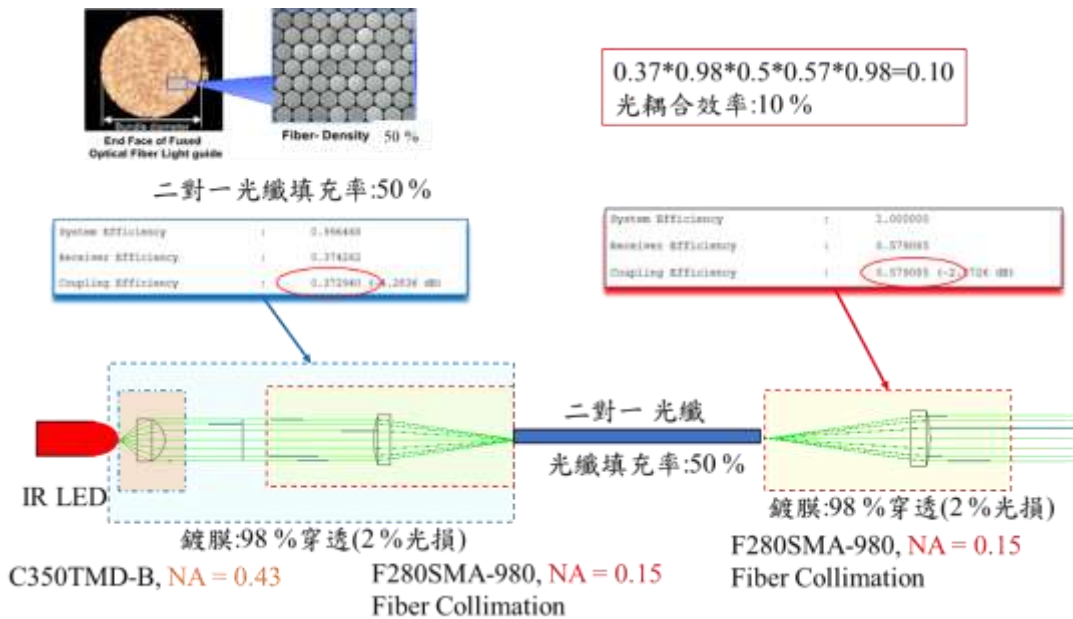


圖 96、LED 與二對一光纖光耦合效率計算

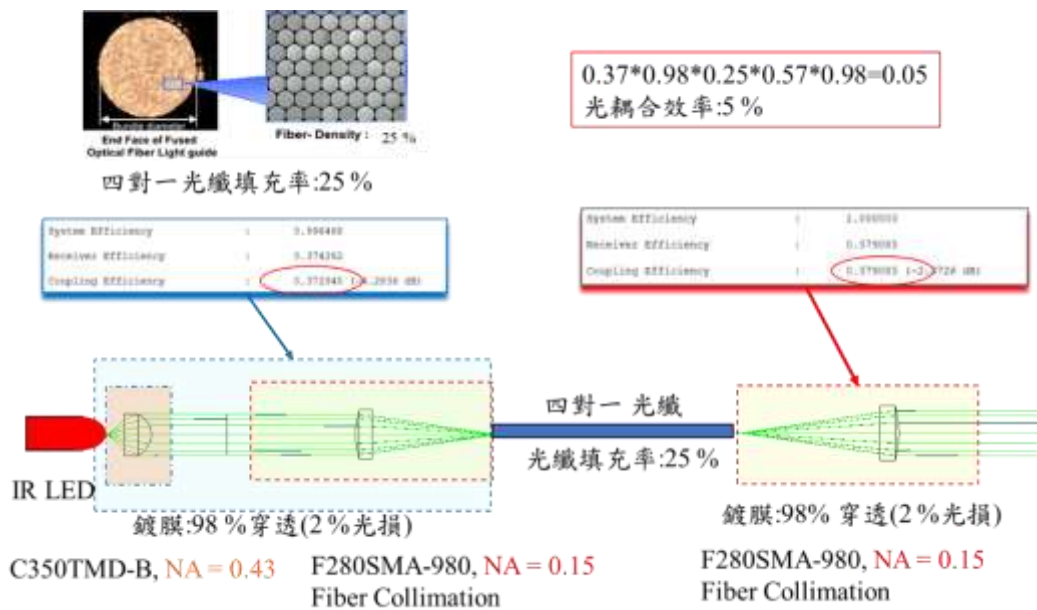


圖 97、LED 與四對一光纖光耦合效率計算

為降低上述耦合及操作造成的光損耗，本固定點黑體模擬器在光纖前端加裝收光用透鏡，以加強光之收集。圖 98 為加裝收光用透鏡之二對一光纖束及四對一光纖束，其束間距為皆為 17 mm。



圖 98、具收光用透鏡之二對一(上)與四對一(下)之光纖束

由於 LED 的光譜特性與溫度有直接關係，不同溫度下的 LED 會影響光譜峰值的位置。本測試於環境溫濕度為(23 ± 3) °C，(50 ± 10) %下執行，以波長為 0.9 um 之光纖溫度計(廠牌/型號:CHINO/IR-FA)作為量測模擬光源之感測器，進行光輸出之實驗。實驗中可以由光輸出之穩定數據確認 LED 之溫控是否可達到穩定。圖 99 為模擬不同 LED 溫度下的黑體溫度輸出，由模擬結果顯示，當 LED 溫度在 41 °C 至 41.5 °C 時，對應黑體溫度變化量為 0.3 °C。因此，可將溫度控制的特性曲線以此結果為目標，進行迴歸分析，並以電控實現。

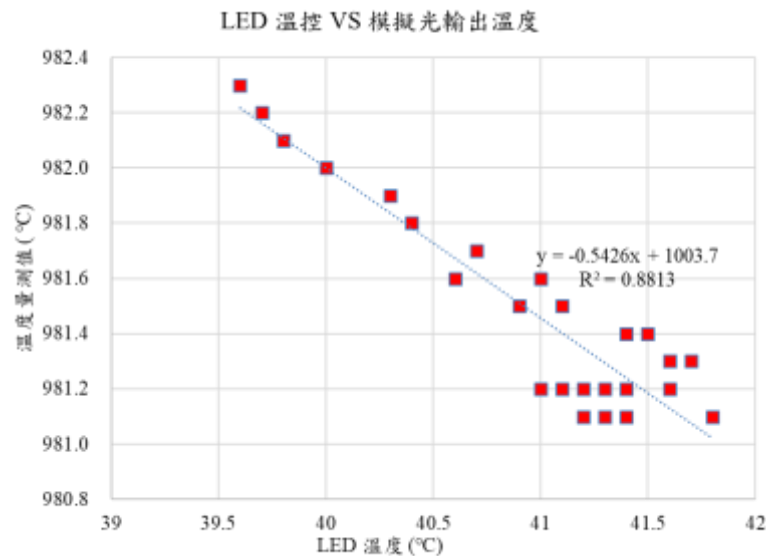


圖 99、LED 溫控與模擬光輸出之實驗分析

本固定點黑體模擬器的溫度控制電路係以 MOSFET 場效電晶體作為加熱源，貼合於固定 LED 光源的銅塊表面上，電路內部 μP (微處理器)以 PID 程式控制 MOSFET 場效電晶體加熱，可令銅塊達到指定的目標溫度，溫控範圍可達 35 °C ~ 65 °C、解析度為 0.1 °C、穩定度為 ± 0.5 °C，未來將視 LED 混光波長要求自動調整其控制溫度值，使 LED 達到目的光譜峰值的位置。

圖 100 為多頻道電壓控制輸出電流源之設計。多頻道電壓控制輸出電流源用於驅動多顆 LED 混光輸出，各頻道 LED 驅動電壓固定在 5 V、電流控制由(0~100) mA 達到 LED 全暗至全亮，輸出電流源以電壓控制輸出大小，調整電壓(0~2) V 對應電流源(0~100) mA 輸出，初期以可變電阻手動來調整電壓(0~2) V，未來將

以電路內部 μP (微處理器)控制 DAC(數位類比轉換器)來調整電壓大小，解析為 12 bits 可達 2.4 mV，並可結合自動迴授調光達成穩定 LED 混光輸出目的。當 LED 光譜強度滿足普朗克輻射定律時，可對應出黑體溫度(Black body temperature)，LED 擬合黑體溫度如圖 101 所示。圖 102 則為黑體模擬器校正後之溫度控制結果。

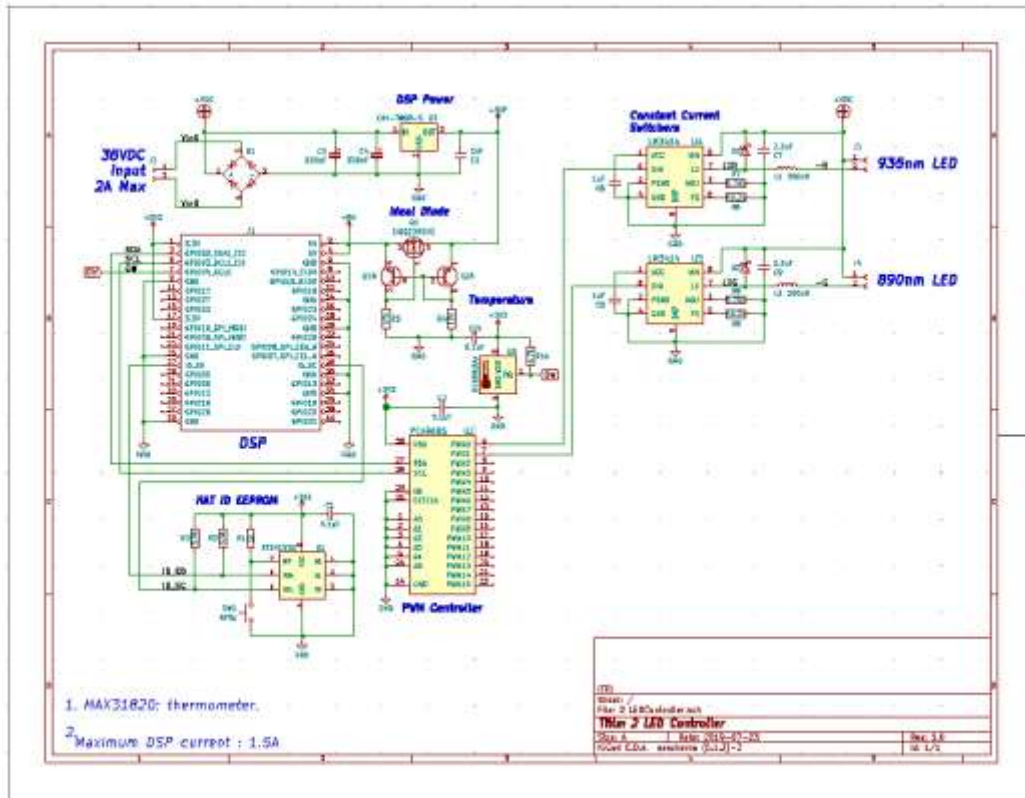


圖 100、多頻道電壓控制輸出電流源

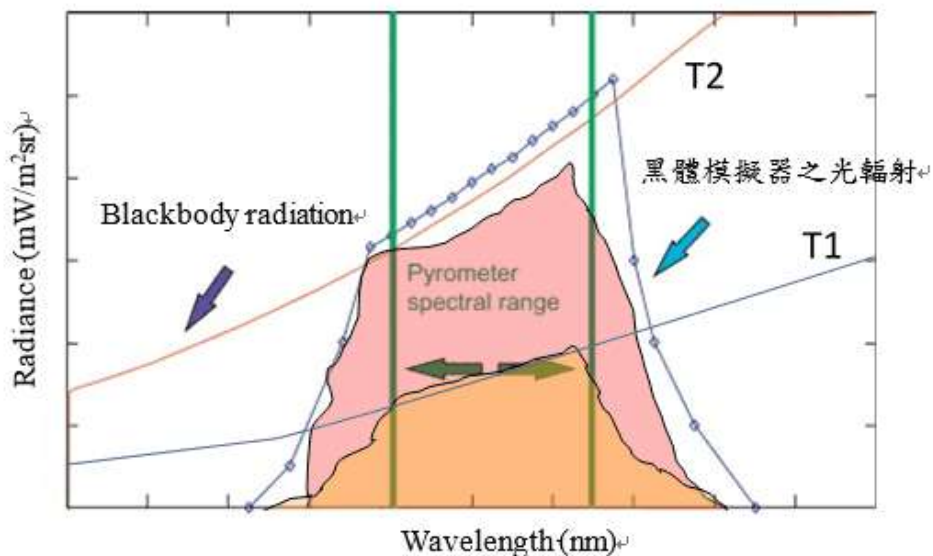


圖 101、LED 擬合黑體溫度，紅色區域為 LED 光強對應 T2 溫度，橘色區域為 LED 光強對應 T1 溫度

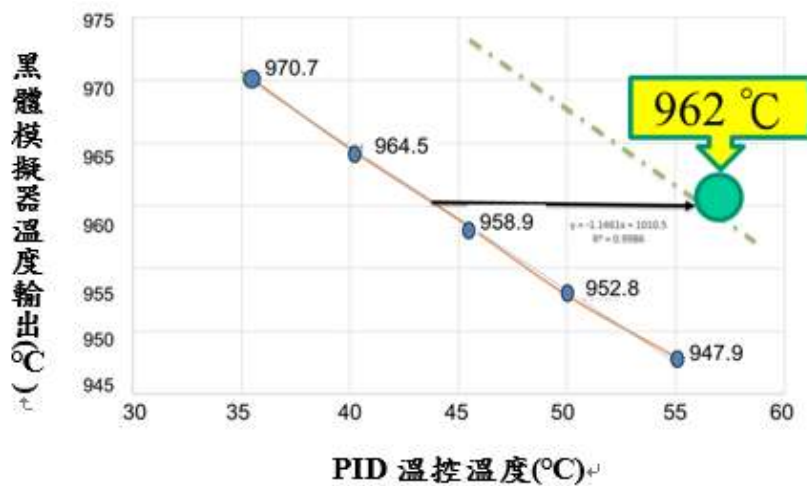


圖 102、黑體模擬器校正後之溫度曲線

黑體模擬器含三個功能元件，第一部分為提供混光功能的二對一光纖束或四對一光纖束，其可使組合光譜及光強能滿足黑體溫度光譜強度；第二部分是 LED 加熱銅塊，其具有穩定調節 LED 光譜功能，銅塊加熱及散熱快，對調節溫度變化反應時間短，可保持 LED 與外界溫度恆定；第三部分為調節 LED 光強與溫度電路模組。混光架構圖 103 所示。透過加熱與調節 LED 溫度可使混光源模擬黑體爐局部性光譜。

模擬黑體器架構示意

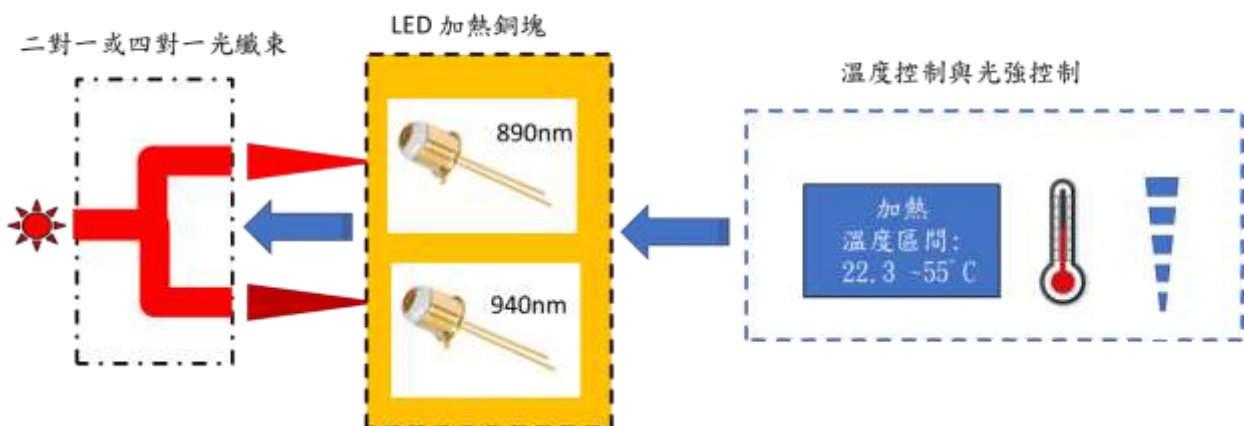


圖 103、固定點黑體模擬器整合架構

首先，我們所需找到能對應高溫溫度計感測光譜區間，以 chino IR-FAS 為感測元件，其感測光譜中心波長為 0.9 μm ，感測材質為 Si. 對應所需說明如下表所述。

	混光模組	LED 加熱銅塊	溫度與光強控制
條件	波長: 890 nm ~ 920 nm 穿透率 > 97 %	操作溫度條件 22.3~55 度 溫度穩定時間 < 30min	調節 LED 光電壓強度，電流 調節 5~45 mA(OP133 / 940nm) 10~90 mA(OP233 / 890nm)

4. 成果說明

黑體模擬器內部光纖耦合模組如圖 104~105，以兩顆 IR LED 作為混光源，以

光纖耦合器進行耦光,LED 被整合在一方型控溫控溫塊中,光纖耦合器一端為 LED,另一端為混光後的光輸出,為滿足線上追溯用,探頭之設計為凸狀探頭設計。

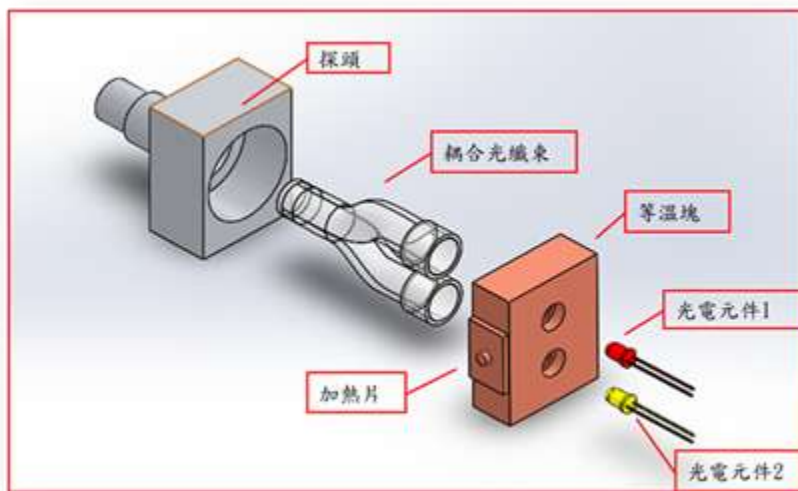


圖 104、黑體模擬器之機構爆炸圖

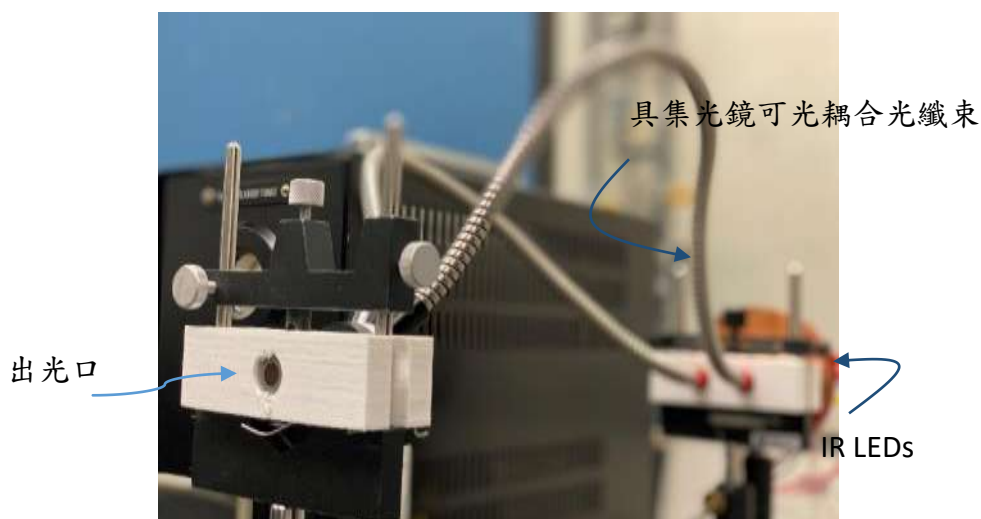


圖 105、黑體模擬器模組

達成計畫目標:升溫穩定時間 ≤ 30 min,穩定度 1%變化,如圖 106 所示,為黑體模擬器之穩定性量測,如表 12 之分析結果,本次測試於環境溫濕度為 $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$, $(50 \pm 10)\%$ 下執行,經過已滿足 ITS-90 溫標之光學線性高溫計於波長 900 nm 下校正後之黑體模擬器平均溫度為 962°C ,標準差為 0.727°C 。

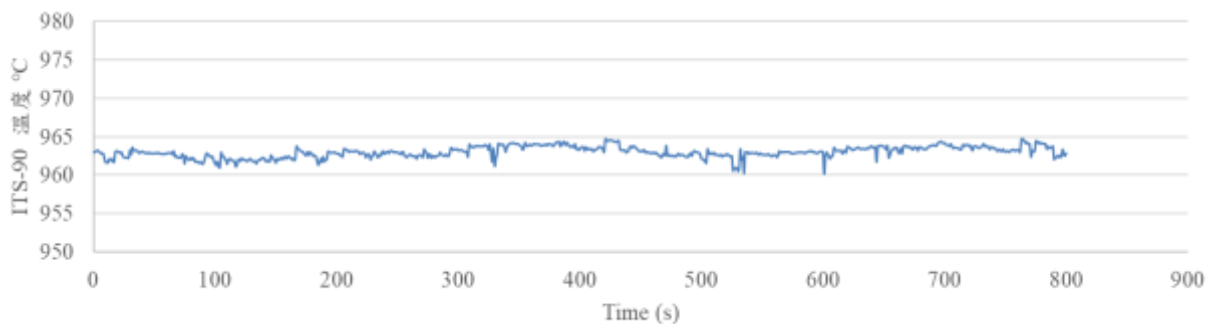


圖 106、黑體模擬器穩定性測試

表 12、黑體模擬器穩定性分析結果

標準差	0.727 °C
平均溫度校正後	962 °C

計畫為滿足產業線上即時標準，研製開發黑體模擬器作為縮短標準傳遞時之時間與不必要的成本，以半導體線上所需之溫度標準為例，其通常需追溯至原廠之黑體比較爐，再藉由二級實驗室的熱電偶比較校正，追溯至 ITS-90 溫標，如圖 107。

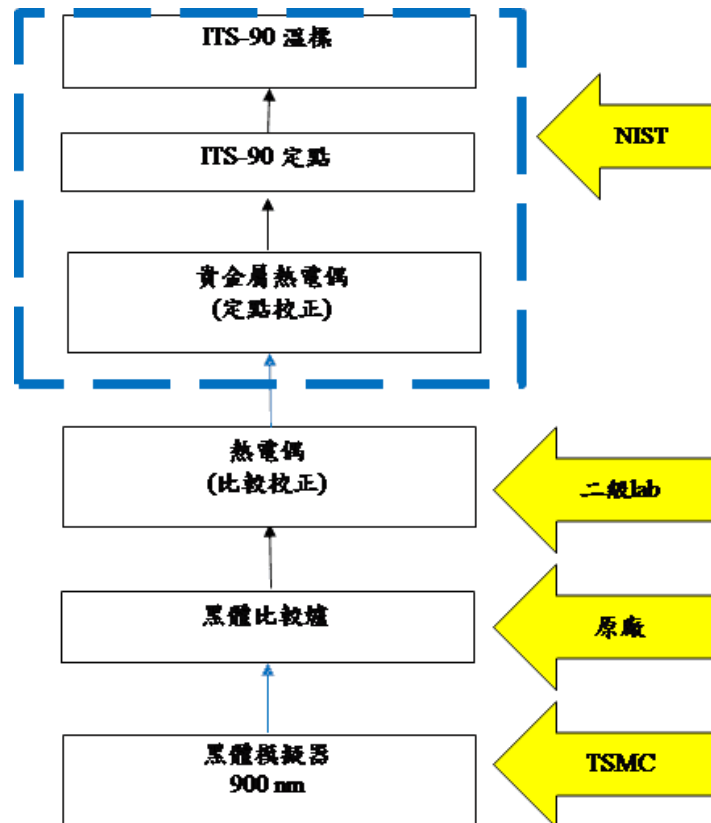


圖 107、產業界(TSMC)目前溫度標準追溯況

圖 108 為計畫完成後欲推動之溫度標準追溯鍊。廠商的線上標準至少可以縮減 2 個程序，達成追溯，縮短單次追溯時間與校正成本約 70 %。表 13 為本計畫之固定點黑體模擬器與既有黑體之比較。

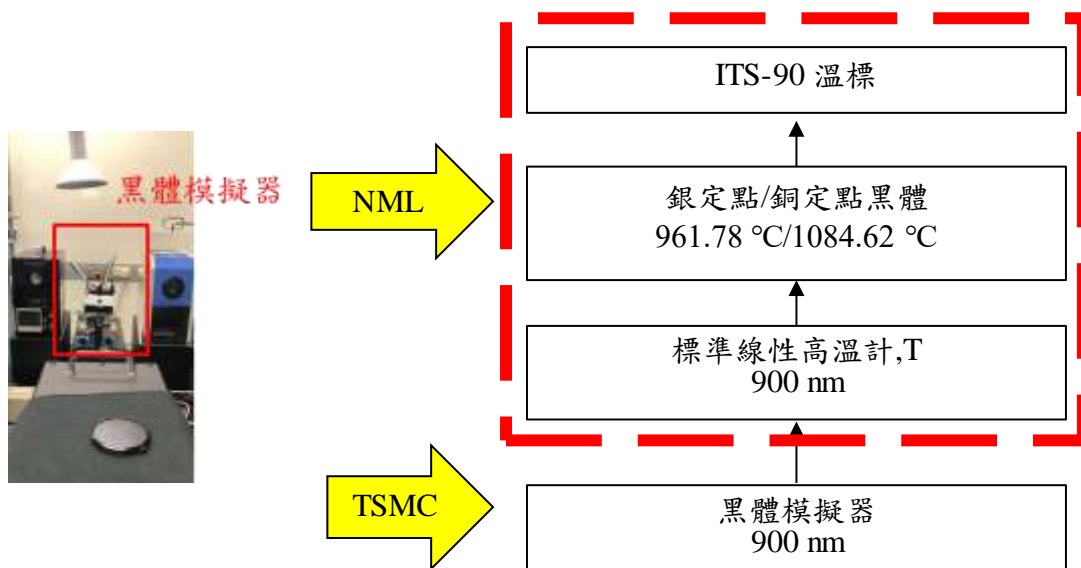


圖 108、計畫完成後之溫度標準追溯

表 13、與既有黑體之比較

	傳統黑體	本計畫之固定點黑體模擬器
黑體輸入功率	2400 W (220 V, 11 A)	17 mW (0.85 V, 20 mA)
升溫時間 (至 1000 °C)	1 h 以上	少於 0.5 h
尺寸	1 m × 1 m × 1.2 m	0.18 m × 0.05 m × 0.07 m
適用性	實驗室內工作	適合攜帶至現場工作，自由度高
風險	因高溫運作，有安全疑慮	因運作溫度較低，較無安全疑慮

5. 產業應用

本計畫發展核心為非接觸式溫度計之標準源－固定點黑體模擬器，將光源快速升溫達到穩定後進行混光，以做為模擬黑體的主要發射源。本研究因應新溫度單位的變更，利用絕對熱力學輻射測溫法，準確地將輻射溫度經過複合式輻射法，將標準傳遞於固定點黑體模擬器，再分析固定點黑體模擬器之特徵光譜，溫度標準可滿足 ITS-90 國際溫標。以鑄造業為例，在鑄造及熱處理過程中，能精確控制溫度是產業製程中相當重要的一環，好的鑄件品質需要精確掌握爐溫與材料結晶特性，在高溫環境下，一般應用非接觸溫度計進行溫度量測，傳統上非接觸溫度校正是透過黑體爐進行熱輻射溫度比對分析，缺點是需送到國內外一級或二級校正實驗室，送校時間整體時間甚至需要一個月以上。且傳統校正作業應用傳統爐溫加熱，穩定時間至少要數小時以上。本計畫發展固定點黑體模擬器，藉由精準控制輻射光源之光譜特性，並具有高穩定度及高自由度之優勢，透過定期對非接觸輻射溫度計之校正及替換可提升鑄造製成整體溫控精度。此外，至 2019 年起國家度量衡標準實驗室導入最新 NEW SI 溫度熱輻射標準傳遞源概念，並同步建立模擬熱輻射源－黑體模擬器，不僅可減少追溯流程，黑體模擬器更有效率達成校正時之穩定作業條件且

更具節能優勢。未來可導入變溫型黑體模擬器，以適用於不同溫度校正點之非接觸輻射溫度計之校正源。

本技術優點包含(1)快速升溫；(2)節能；(3)移動自由度高；(4)提供線上即時部拆卸校正機制，適合煉鋼煉鐵移動中物件溫度監控、熱處理產業溫度監控、玻璃製造業、半導體製程及相關原物料製造等上述產業監控用非接觸式溫度計之標準一致性確認與品保機制。

三、智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項

(一) 高速連網設備電磁安全量測標準技術

1. 產業需求

當應用 5G 高速通訊及聯網技術於智慧工廠中時，相關設備聯網資訊的無線傳輸均會涵蓋在 IoT 及 5G 通訊運作頻段內(5G 初期應用頻段以 6 GHz 以下的 sub-6 GHz 頻段為主)，因此需評估智慧製造系統在這些電磁波頻段下運作的電磁相容安全性。在電磁相容安全檢校法規中，ISO 11452-3、ISO 11452-5、ACGIH 2015、IEC 61000-2-25、MIL-STD-461F 等規範均與智慧生產線及精密機械、航空、車電、半導體的電磁輻射安全以及儀器相互連線之穩定性測試相關，這些規範的測試要求中對於高場強要求可達 200 V/m。但對於上述電磁安全測試需求，迄今仍無法完整提供業界所需之高電磁場強度(200 V/m)的追溯校正服務。

2. 計畫目標

目前機械加工機台及機械手臂等發展趨勢，已慢慢導入與整合各種智慧技術之元素。配合我國智慧機械產業發展，本子計畫所發展之「高速連網設備電磁安全量測標準」，為支援智慧機械中，聯網通訊技術發展之電磁安全量測標準，進行相關計量標準產業應用技術發展以及相關量測標準擴建，提供智機產業與 SI 國際微波標準鏈結，協助提升智慧機械工具機之性能穩定性檢測，進而提升相關產業的國際競爭力。在計量標準產業應用技術的發展部分，擴建目前國內唯一可提供電磁安全計量標準追溯的 NML 電磁場強度量測系統，將頻率 0.1 MHz 至 8 GHz 之電磁場強度量測能量提升至 200 V/m，以滿足相關測試法規更新(如：IEC) 及在 5G 通訊之 Sub-6GHz 運轉頻段通訊產品之電磁輻射特性測試，與國內電子電機、通訊、半導體、車載資通訊與航空等產業及人員電磁安全環境之高強度電磁安全檢測需求。

108 年度計畫目標：電磁場強度量測系統之擴建

- 購置及驗收高電磁場強度量測系統所需之相關設備、組件。
- 完成高電磁場強度之電磁場強度量測能量建立(量測頻率為 0.1 MHz 至 8 GHz；量測電磁場強度達 200 V/m)。
- 完成量測系統使用之模擬自由空間無反射的電波暗室之特性評估。

3. 實施方法

電磁場強度量測系統是以標準場法為基礎進行相關量測作業，使用經國內外 NMI 校正追溯之元件在標準場地內產生所需的標準電磁場。因欲產生所需的高電磁場強度訊號需要以較大的功率輸入至標準場地內，因此由信號產生器所輸出的信號須再經放大，此功能是由串接於信號產生器後的高功率放大器來完成。放大後的信號經過功率取樣後，再輸入於標準場地的特定待校區域內建立一個功率密度值可精確計算的標準電磁場。在此期間，因高功率放大器為主動式設備，會同時使被視為雜訊之多次諧波訊號一起進行放大，影響量測準確性，因此將參考 IEEE 1309^[5]與 IEC 61000-4-3^[6]規範，使用頻譜分析儀確認產生的電磁場訊號經功率放大器後之高功率電磁場訊號相關特性，如高功率電磁場訊號之 2 次與 3 次諧波失真情況是否大於 15 dBc 與功率放大器之線性程度。待確認信號特性後，接著設計量測場地特性需用之低電磁波反射治具，並對量測場地進行特性評估，確認量測場地的電磁場變異性是否小於 0.5 dB。由於產生之標準電磁場是根據產生信號之淨功率進行理論估算，於量測過程中，會因量測儀器的熱損失與熱雜訊而影響量測精度，因此發展自動回饋補償演算法，以提升所產生標準電磁場之準確度。根據以上工作，擬定研究步驟如下：

- 建立高強度電磁場量測系統並進行訊號特性分析
- 分析在高功率電磁場訊號下之量測場地特性
- 開發標準電磁場之訊號自動回饋補償演算法

4. 成果說明

(1) 完成電磁場強度量測系統設計

完成電磁場強度量測系統之「電磁場強度校正設備」設備購置，頻率量測範圍為(0.5 GHz 至 8 GHz)，以建立符合 IEC 60335-2-25、CNS 3765-25、ISO 11452-3、ISO 11452-5 等規範測試要求之高電磁場強度(200 V/m)量測能量。並參考 IEEE 1309 與 IEC 61000-4-3 規範，以標準場法為基礎，進行電磁場強度量測系統系統設計規劃，其量測架構如圖 109 所示。在量測系統中，需要以較大的功率輸入至電磁場產生設備如橫電磁波室或天線，以產生校正所需的電磁場強度。因此由前端的信號產生器所輸出的信號須再經放大，此一功能是由串接於信號產生器後方的高功率放大器來完成。放大後的信號經過一個訊號功率量測組件後，再輸入至標準場地中以適當的設備產生標準電磁場。其中訊號功率量測組件是由方向耦合元件、功率感測器與功率計所組成，主要用以量取輸入至標準場地之訊號功率值，並由此功率值計算出於標準場地中所產生的標準電磁場強度。

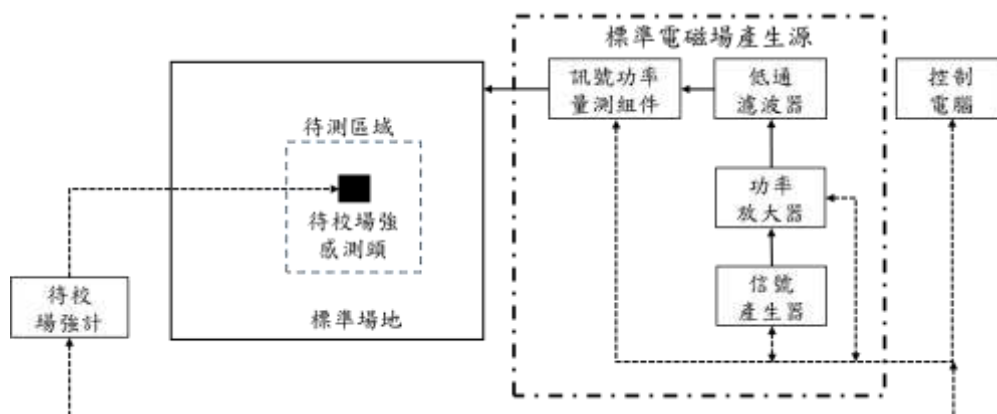


圖 109、電磁場強度量測系統架構圖

規劃量測頻率在 500 MHz 以下時，使用橫電磁波室作為標準場地以進行電磁場強度計校正，範圍為(0.1 ~ 500) MHz；量測頻率在 500 MHz 以上時，使用全電波暗室作為標準場地以進行電磁場強度計校正，範圍為(0.5 ~ 8) GHz。

A. 橫電磁波室電磁場強度量測系統

橫電磁波室電磁場強度量測系統的基本架構如圖 110 所示。橫電磁波室為美國國家標準與技術研究院(NIST)所發展出來，此箱體可產生近似自由空間平面波的標準電磁場。橫電磁波室多用以產生頻率在數百 MHz 以下的電磁場，是由一矩形的外導體及一片中心導體板所組成，包括中間的主段部分、兩側的錐形過渡段以及兩端的同軸接頭，整個橫電磁波室各段的特性阻抗均接近 50 Ω，與一般射頻微波設備相匹配。

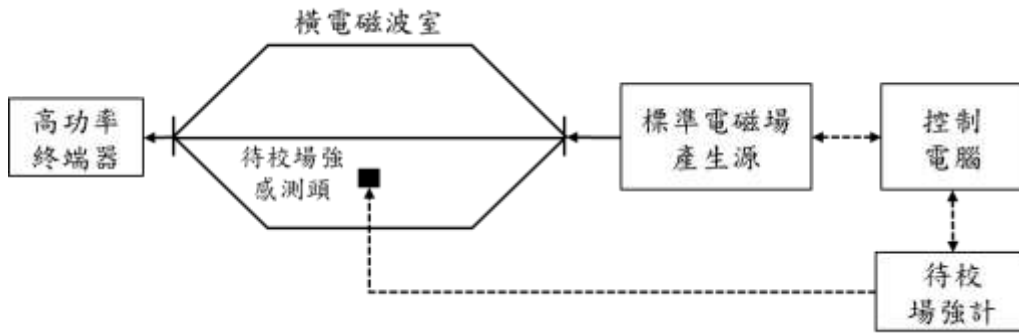


圖 110、橫電磁波室電磁場強度量測系統示意圖

B. 電波暗室電磁場強度量測系統

電波暗室電磁場強度量測系統之基本架構如圖 111 所示。全電波暗室是由電波隔離室及貼附於室內牆面、天花板及地面的吸波體所組成，除可有效隔離外在的電磁雜訊干擾外，內部的吸波體也可降低室內的電磁波反射，可用以模擬電磁場的自由空間環境。

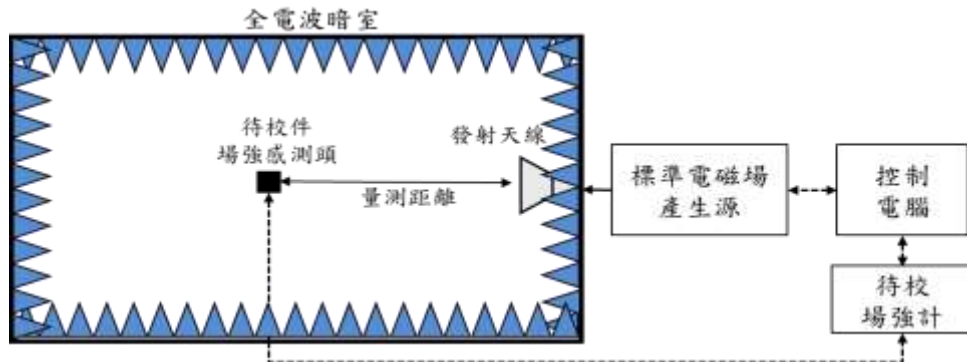


圖 111、電波暗室電磁場強度量測系統示意圖

(2) 完成低電磁波反射治具設計

設計低電磁波反射治具，作為在全電波暗室量測場地中架設待測件之用。依據不同的架設方式，共設計了三組架設治具。分別如下圖 112~116 所示：

A. 待測件軸向垂直於地面之架設方式

在此架設方式下，共設計了三種形式的治具，用以支撐待測件。

- 橫向管材使用圓棒型式

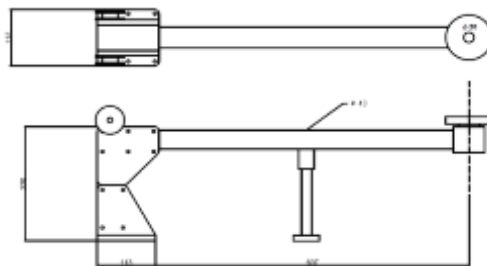


圖 112、垂直於地面架設方式-橫向管材使用圓棒型式

- 橫向管材使用方管型式

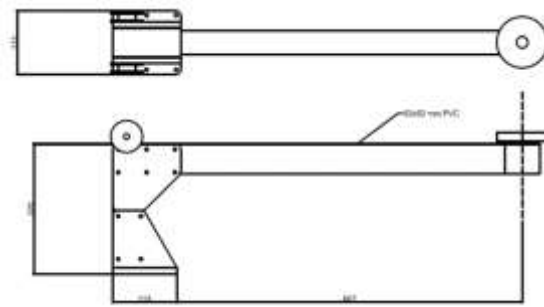


圖 113、垂直於地面架設方式-橫向管材使用方管型式

- 橫向管材使用數根細管材組合之型式

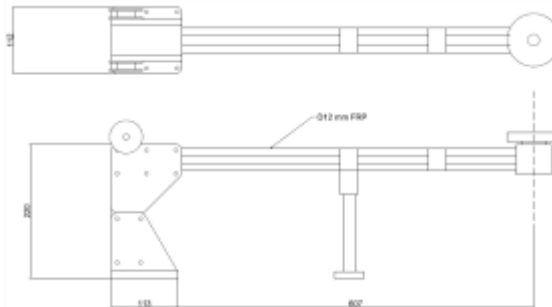


圖 114、垂直於地面架設方式-橫向管材使用數根細管材組合之型式

B. 待測件軸向平行於地面之架設方式

在此架設方式下，設計了一種形式的治具，用以支撐待測件。

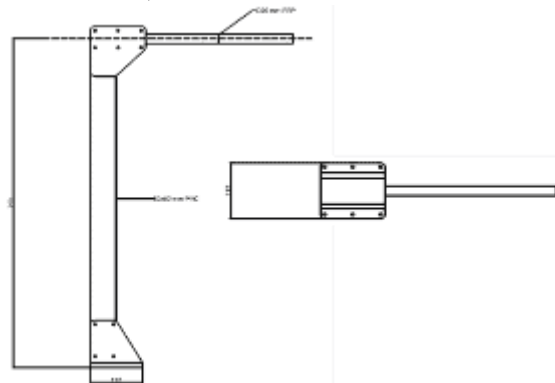


圖 115、水平於地面之架設治具

C. 待測件軸向於特殊角度之架設方式

此種架設方式是以地面為基準，使待測件的軸向與地面呈 35.3 度仰角架設。該架設方式可使待測電磁場強度計之電磁場感測頭天線與產生的標準電磁場極化一致，並可進行等向性(isotropic)量測。

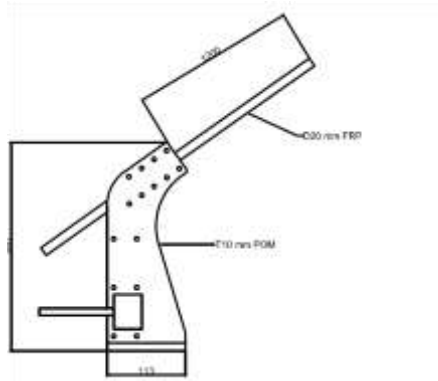


圖 116、特殊角度之架設治具

(3) 完成訊號自動回饋補償演算法之流程設計

由於量測系統是以輸入至標準場地之訊號功率值，計算出於標準場地中所產生的標準電磁場強度。因此輸入功率之穩定性，會影響到產生標準電磁場的穩定性。系統需以較大的功率來產生高電磁場強度，因此須使用功率放大器進行訊號功率放大，該設備容易因長時間使用而衍生出熱雜訊效應，使訊號源呈現上下起伏不穩定情況。為解決此穩定性問題，乃設計訊號自動回饋補償演算法，讓系統在進行電磁場強度量測時，可以自動回饋微調產生訊號之功率強度，使產生之標準電磁場具備高穩定性及準確性。以下為所設計之功率自動回饋補償方式，以使量測系統產生之標準電磁場更加穩定與準確。其設計流程圖如圖 117 與相關決策依據如下：

- A. $|\Delta P_{meas}| \leq 0.1 \text{ dB}$ 且時間長達 5 秒，當條件達成就執行 Y、否則執行 N；
- B. 在場強小於等於 1 V/m 時，判斷條件 $|P_{Est} - P_{meas}| \leq 0.03 \text{ dB}$ ；在場强大於 1 V/m 時，判斷條件 $|P_{Est} - P_{meas}| \leq 0.01 \text{ dB}$ ，當條件達成就執行 Y、否則執行 N；
- C. $PSG \leq PSG_{max} = 0 \text{ dBm}$ ，當條件達成就執行 Y、否則執行 N；
- D. 量測次數 $E_{record} > 5$ ，當條件達成就執行 Y、否則執行 N；

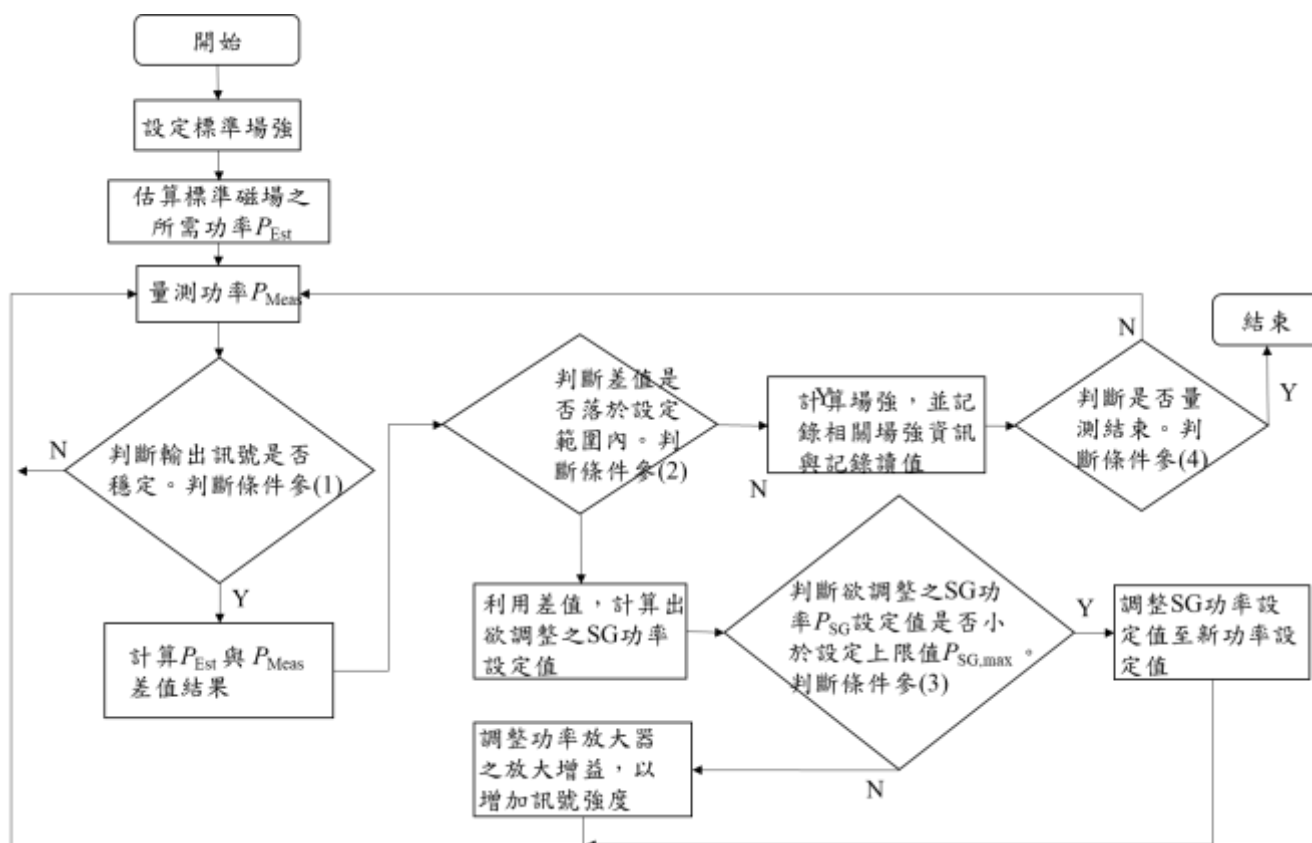


圖 117、訊號自動回饋補償演算法設計流程圖

(4) 完成量測場地之特性分析

使用上述之系統設計架構，當執行電磁場強計校正時，會將待校件放置於標準場地之測試區域中進行量測。由於量測場地並非理想，所以測試區域亦會有其限制，需評估標準場地中所使用的測試區域大小及該區域中電磁場的變異性，以計算系統所產生標準電磁場之量測不確定性。在此，針對使用於系統中的兩個標準場地規劃評估方式如下：

A. 橫電磁波室之標準場地量測評估方法與結果

以橫電磁波室為產生標準電磁場之標準場地時，對其測試區域電磁場強度的變異性評估，主要是參考國際電工委員會(International Electrotechnical Commission; IEC)之測試標準 IEC 61000-4-20:2010^[7]。該方式是使用標準場法(如上述橫電磁波室標準電磁場產生方式)，在橫電磁波室內主段部分中心導體板與外導體板間的特定區域形成一均勻的電磁場。因此可先於室內主段部分之中心處，規劃出欲量測的區域(通常為一矩形立方體)，該區域的大小至少需涵蓋待校件之電磁場感測頭尺寸。再依規劃之量測區域大小，劃分出量測點數，接著使用小型電磁場感測頭(或小型接收天線)，依照所規劃的量測點數，逐步進行量測，最後再將所有量測位置之量測結果，利用式(4-1)與式(4-2)計算出其標準差，即可獲得該量測區域電磁場強度分布的變異性。其量測評估示意圖如圖 118 所示。

$$\text{平均值： } \bar{E} = \frac{1}{N} \sum_{(N)} E_i \quad (4-1)$$

$$\text{標準差： } \sigma_E = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{(N)} (E_i - \bar{E})^2} \quad (4-2)$$

利用上述方式進行二組橫電磁波室評估，測試橫電磁波室之相關資訊如下表 14 所示。

表 14、橫電磁波室資訊

測試場地	量測頻率 (MHz)	長 × 寬 × 高 (cm × cm × cm)
TEM ₁	0.1-250	211 × 60 × 107
TEM ₂	0.1-500	110 × 30 × 57

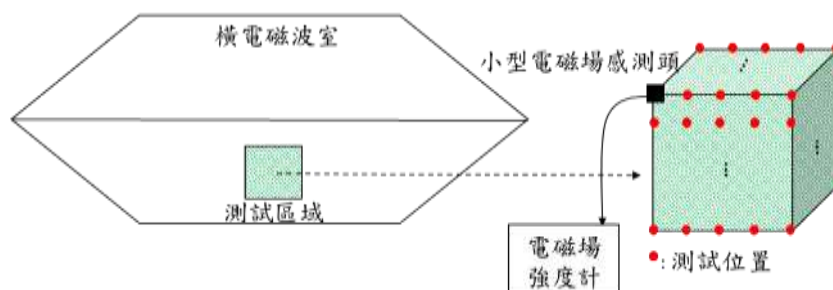


圖 118、橫電磁波室測試區域評估示意圖

測試頻率依三種條件作為選擇：(1)橫電磁波室使用範圍上下限頻率；(2)產業常用之應用頻率(如：13.56 MHz)；(3)於上下限頻率間，以適當間隔選取數個頻率點，該頻率需包含法規要求量測之頻率，量測架設分為 TEM1 圖 119 與 TEM2 圖 120。在 TEM1 進行三組不同區域尺寸之量測評估，分別為邊長 10 公分、15 公分與 20 公分的立方體空間，並進行了 13 組頻率的電磁場均勻性量測；在 TEM2 進行二組不同區域尺寸之量測評估，分別為邊長 5 公分與 7.5 公分的立方體空間，並進行了 18 組頻率的電磁場均勻性量測，針對所進行不同立方體空間進行量測結果如表 15 與表 16。

從分析結果可知，在測試場地 TEM₁ 使用涵蓋邊長 15 公分以下的立方體空間，以及在 TEM₂ 使用涵蓋邊長 7.5 公分以下的立方體空間，均符合測試標準 IEC 61000-4-20 對測試區域電磁場變異標準差不得高於 0.6 dB 的要求。當測試區域越大，其變異性也會越大。因為測試區域越大時，區域的外緣越接近矩形的外導體板，致使該區域的電場分佈不再是理想的垂直於上、下導體板，而是慢慢呈現彎曲狀態，因此導致電磁場變異性越來越大。因此在使用橫電磁室作為標準電磁場產生設備來執行相關量測時，需留意測試件之尺寸，測試件尺寸越大，所需要之橫電磁波室尺寸也將會越大，但相對可測試的頻率範圍也較低。

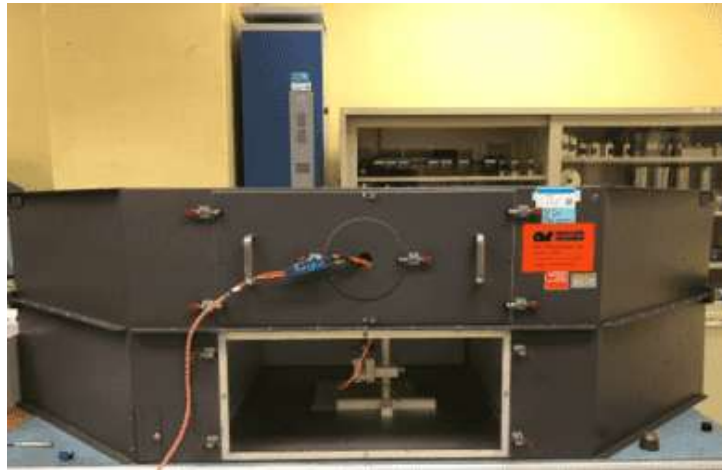


圖 119、橫電磁波 TEM₁ 量測架設照片

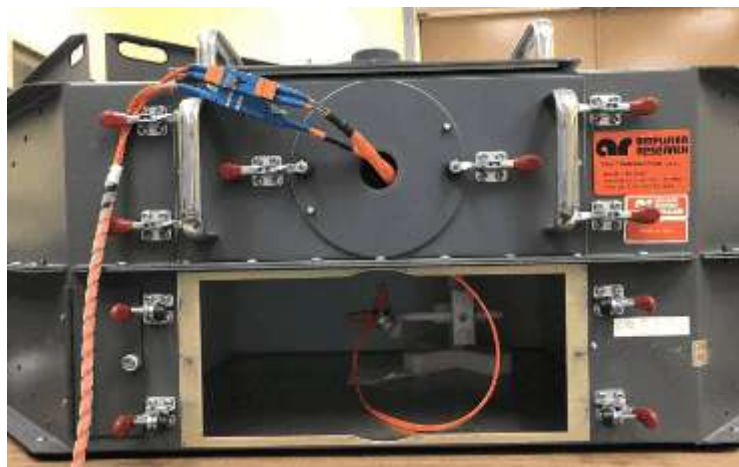


圖 120、橫電磁波 TEM₂ 量測架設照片

表 15、TEM₁ 測試區域評估結果

測試區域	邊長 10 公分的立方體			邊長 15 公分的立方體			邊長 20 公分的立方體		
	平均值	標準差		平均值	標準差		平均值	標準差	
MHz	V/m	V/m	dB	V/m	V/m	dB	V/m	V/m	dB
0.1	19.96	0.53	0.23	20.11	0.62	0.27	20.69	1.78	0.78
0.3	21.78	0.44	0.18	21.94	0.59	0.24	22.38	1.65	0.67
0.5	21.90	0.41	0.17	22.06	0.59	0.24	22.48	1.65	0.66
1	21.85	0.40	0.16	22.01	0.60	0.24	22.40	1.66	0.67
3	21.67	0.39	0.16	21.82	0.60	0.24	22.21	1.66	0.67
5	21.76	0.40	0.16	21.92	0.61	0.24	22.30	1.66	0.67
10	22.16	0.40	0.16	22.33	0.61	0.24	22.71	1.67	0.66
13.56	21.33	0.39	0.16	21.50	0.60	0.25	21.87	1.64	0.68
80	20.58	0.38	0.16	20.74	0.58	0.25	21.05	1.58	0.68
100	20.16	0.37	0.16	20.31	0.58	0.25	20.63	1.57	0.69
150	20.17	0.48	0.21	20.37	0.73	0.32	20.72	1.72	0.75
200	18.04	0.39	0.19	18.27	0.61	0.30	18.71	1.40	0.68
250	23.16	0.35	0.13	23.04	0.58	0.22	22.91	1.60	0.63

表 16、TEM₂ 測試區域評估結果

測試區域	邊長 5 公分的立方體			邊長 7.5 公分的立方體		
	頻率	平均值	標準差	平均值	標準差	
MHz	V/m	V/m	dB	V/m	V/m	dB
0.1	18.38	0.31	0.15	20.46	0.52	0.22
0.3	20.37	0.31	0.13	22.41	0.53	0.21
0.5	20.58	0.30	0.13	22.60	0.55	0.21
1	20.59	0.29	0.12	22.49	0.57	0.22
3	20.43	0.28	0.12	21.91	0.57	0.23
5	20.53	0.28	0.12	21.73	0.57	0.23
10	20.97	0.28	0.12	21.62	0.57	0.23
13.56	20.23	0.28	0.12	20.90	0.56	0.23
80	19.93	0.26	0.12	20.58	0.56	0.24
100	20.26	0.26	0.11	20.90	0.56	0.24
150	19.41	0.24	0.11	20.10	0.57	0.25
200	18.56	0.17	0.08	19.23	0.56	0.26
250	19.13	0.18	0.08	19.79	0.55	0.25
300	18.79	0.31	0.14	19.30	0.65	0.30
350	20.54	0.33	0.14	20.58	0.60	0.26
400	19.92	0.22	0.10	20.26	0.62	0.27
450	19.73	0.29	0.13	20.05	0.73	0.32
500	21.73	0.32	0.13	22.03	0.67	0.27

B. 電波暗室之標準場地量測評估方法與結果

以電波暗室為產生標準電磁場之標準場地時，對電波暗室測試區域電磁場強度的變異性的評估，同樣是參考國際電工委員會之測試標準 IEC 61000-4-3：2010。電波暗室標準場地測試區域的評估方式是以自由空間傳輸損耗法進行量測評估。該方式先使用標準場法(如上述電波暗室標準電磁場產生方式)，於特定的量測距離下，產生一標準電磁場，再使用一經校正之電磁場感測頭或接收天線，架設於發射天線的中心軸線上，評估其在特定區域範圍內不同量測距離下之訊號變異程度。該標準提出兩種評估方式：第一種方式要求評估測試區域範圍至少須為 30 公分。首先，利用一電磁場感測頭，量測出位於 r 位置之電場強度值(E_r)，再以 r 位置為參考位置，並以 2 公分為間距逐步移動感測頭位置，進行前移 10 公分與後移 20 公分之量測，共可量測出 16 個位置的訊號強度，利用式(4-3)、式(4-4)與式(4-5)計算出補償後的量測值與各位置變異性，再使用式(4-6)，即可獲得場地之最大變異性；另一種方式則要求評估區域範圍至少須為 60 公分，將輻射天線與電磁場感測頭之間量測距離固定，並以 5 公分為間距逐步一起移動位置，量測出 13 個位置的訊號強度後，再進行變異性計算。其量測示意圖分別如圖 121 與圖 122 所示。

$$\text{補償值：} k = E_{\text{cal},r} - E_r \quad (4-3)$$

其中， $E_{\text{cal},r}$ 為位置 r 之電磁場強度理論計算值，單位為 V/m。

E_r 為位置 r 之電磁場強度量測值，單位為 V/m。

$$\text{量測補償值：} E_{\text{meas},p} = k + E_p ; p = r-10, r-8, r-6, \dots, r+20 \quad (4-4)$$

其中， $E_{meas,p}$ 為位置 p 之補償後的電磁場強度量測值，單位為 V/m 。 E_p 為位置 p 之電磁場強度量測值，單位為 V/m 。

$$\text{量測變異性：} V_p = 20 \times \log(E_{meas,p}/E_{cal,p}), p = r-10, r-8, r-6, \dots, r+20 \quad (4-5)$$

其中， V_p 為位置 p 之變異性，單位為 dB 。

$E_{cal,p}$ 為位置 p 之電磁場強度理論計算值，單位為 V/m 。

$$\text{最大量測變異性：} V_{max} = \max(V_{r-10}, V_{r-8}, V_{r-6}, \dots, V_{r+20}) \quad (4-6)$$

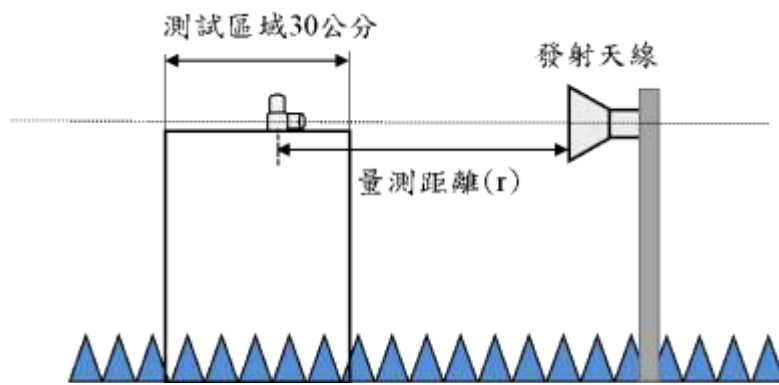


圖 121、電波暗室 30 公分測試區域之量測示意圖

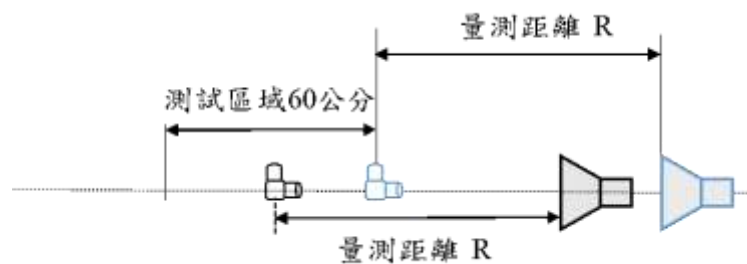


圖 122、電波暗室 60 公分測試區域之量測示意圖

實驗室所使用的電波暗室大小為 $7.5\text{ m} \times 3.9\text{ m} \times 3.2\text{ m}$ ，量測距離為 1 m 。評估方式是採用前面所介紹電波暗室標準場地量測評估的第一種方法，以電場強度 20 V/m 為標準場強，採用 30 公分 量測範圍進行測試區域之量測評估。量測時，使用三種治具執行量測，治具型式分別為 L 型、I 型與 S 型，量測架設圖如圖 123~125 所示。量測時，可視需求選用適合治具進行量測。一般 L 型治具較常用於電場方向為水平方向之量測；I 型治具較常用於電場方向為垂直方向之量測；S 型治具則用於確認電磁場強度探頭內三軸接收元件之最大能量的量測或是等方向性(Isotropic)訊號接收量測。在量測頻率選擇上，測試頻率會以下面二種條件作為選擇：(1)電波暗室使用範圍上下限頻率；(2)於上下限頻率間，以適當間隔選取數個頻率點，該頻率需包含法規要求量測之頻率。變異性量測結果如表 17 所示。

由量測結果可知，三種治具量測皆可符合 IEC 測試標準對場地變異性 0.5 dB 的要求。在部分頻率之反射波效應似乎較為嚴重，其最大變異接近 0.5 dB

限制值，若欲降低其變異性，除了增加電波暗室的尺寸外，可評估暗室內各類夾治具對電磁場分布的影響，進而由夾治具的材質與設計來改善電磁場的均勻性，例如減少金屬材質的使用，改採非金屬材料以降低其反射量。此外，也可採用吸波效能較佳的吸波體或調整暗室內的配置，以減少反射波效應。

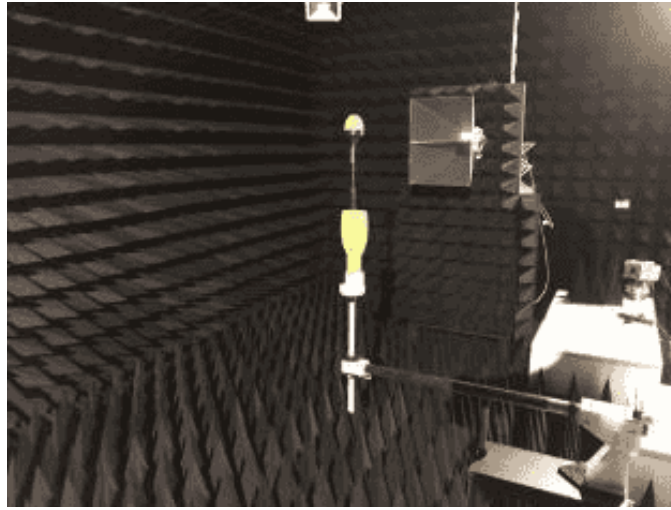


圖 123、L Fixture 治具量測架設圖

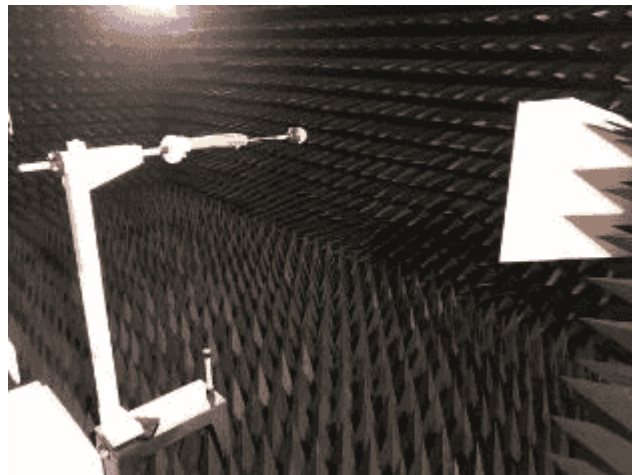


圖 124、I Fixture 治具量測架設圖



圖 125、S Fixture 治具量測架設圖

表 17、場地變異性量測結果

治具型式 頻率 (GHz)	L Fixture 水平極化 (dB)	L Fixture 垂直極化 (dB)	I Fixture 水平極化 (dB)	I Fixture 垂直極化 (dB)	S Fixture 水平極化 (dB)	S Fixture 垂直極化 (dB)
0.50	0.31	0.37	0.45	0.20	0.25	0.18
0.55	0.15	0.41	0.44	0.15	0.13	0.19
0.60	0.40	0.23	0.33	0.29	0.29	0.22
0.65	0.34	0.27	0.39	0.20	0.27	0.28
0.70	0.41	0.23	0.30	0.24	0.26	0.14
0.75	0.22	0.21	0.22	0.19	0.21	0.14
0.80	0.36	0.32	0.26	0.29	0.11	0.18
0.85	0.38	0.19	0.27	0.23	0.26	0.20
0.90	0.50	0.42	0.06	0.25	0.09	0.16
0.95	0.14	0.49	0.10	0.30	0.07	0.14
1.0	0.35	0.35	0.21	0.31	0.10	0.11
1.2	0.49	0.35	0.32	0.15	0.20	0.03
1.4	0.44	0.18	0.14	0.18	0.20	0.09
1.6	0.10	0.12	0.19	0.07	0.12	0.11
1.8	0.20	0.35	0.23	0.15	0.22	0.25
2.0	0.38	0.15	0.34	0.18	0.29	0.23
2.2	0.37	0.32	0.26	0.33	0.34	0.37
2.4	0.23	0.30	0.14	0.28	0.16	0.08
2.6	0.32	0.27	0.29	0.22	0.16	0.09
2.8	0.32	0.05	0.04	0.17	0.07	0.08
3.0	0.35	0.18	0.07	0.32	0.14	0.19
3.2	0.37	0.21	0.24	0.24	0.19	0.14
3.4	0.43	0.49	0.26	0.25	0.26	0.24
3.6	0.50	0.17	0.12	0.28	0.16	0.08
3.8	0.23	0.15	0.12	0.41	0.09	0.26
4.0	0.25	0.30	0.26	0.26	0.16	0.39
4.2	0.19	0.20	0.08	0.08	0.17	0.14
4.4	0.26	0.46	0.22	0.26	0.09	0.21
4.6	0.18	0.41	0.11	0.10	0.30	0.48
4.8	0.17	0.49	0.24	0.23	0.05	0.11
5.0	0.43	0.21	0.16	0.16	0.17	0.08
5.2	0.23	0.15	0.11	0.09	0.12	0.35
5.4	0.20	0.21	0.24	0.23	0.17	0.12
5.6	0.19	0.18	0.31	0.28	0.46	0.38
5.8	0.13	0.29	0.09	0.11	0.10	0.28
6.0	0.28	0.32	0.12	0.11	0.29	0.27
6.2	0.28	0.28	0.34	0.36	0.09	0.31
6.4	0.13	0.13	0.36	0.34	0.34	0.37
6.6	0.06	0.38	0.12	0.10	0.24	0.13
6.8	0.25	0.45	0.34	0.37	0.10	0.26
7.0	0.50	0.15	0.48	0.35	0.12	0.38
7.2	0.31	0.39	0.16	0.20	0.22	0.07

治具型式 頻率 (GHz)	L Fixture 水平極化 (dB)	L Fixture 垂直極化 (dB)	I Fixture 水平極化 (dB)	I Fixture 垂直極化 (dB)	S Fixture 水平極化 (dB)	S Fixture 垂直極化 (dB)
7.4	0.08	0.26	0.20	0.22	0.25	0.36
7.6	0.13	0.30	0.31	0.34	0.41	0.10
7.8	0.30	0.41	0.41	0.45	0.24	0.05
8.0	0.25	0.44	0.13	0.13	0.47	0.20

(5) 完成高電磁場強度之訊號特性分析

目前大部分電磁場強度計的量測頻率範圍均為寬頻型式，因此在進行訊號量測時，會同時測得主波訊號與諧波訊號而造成量測誤差，根據式(4-7)與式(4-8)，可模擬出電場強度為 200 V/m 時，主波訊號強度與諧波訊號強度之誤差比例，如圖 126 所示。由圖 126 可得知在進行電磁場強度計校正時，系統產生之諧波特性需特別注意。在此針對系統之信號源進行諧波量測，其量測示意圖如圖 127~128 所示。從量測結果可得知，諧波失真訊號均在 -20 dBc 以下，對目前量測系統影響不大。

$$E = \sqrt{E_f^2 + E_h^2} \quad (4-7)$$

其中， E 為電場強度計量測結果，單位為 V/m；

E_f 為主波之電場強度值，單位為 V/m；

E_h 為諧波之電場強度值，單位為 V/m。

$$E_f = \frac{E}{\sqrt{1 + \left(10^{\frac{Har}{20}}\right)^2}} \quad (4-8)$$

其中， Har 為諧波訊號，單位為 dBc。

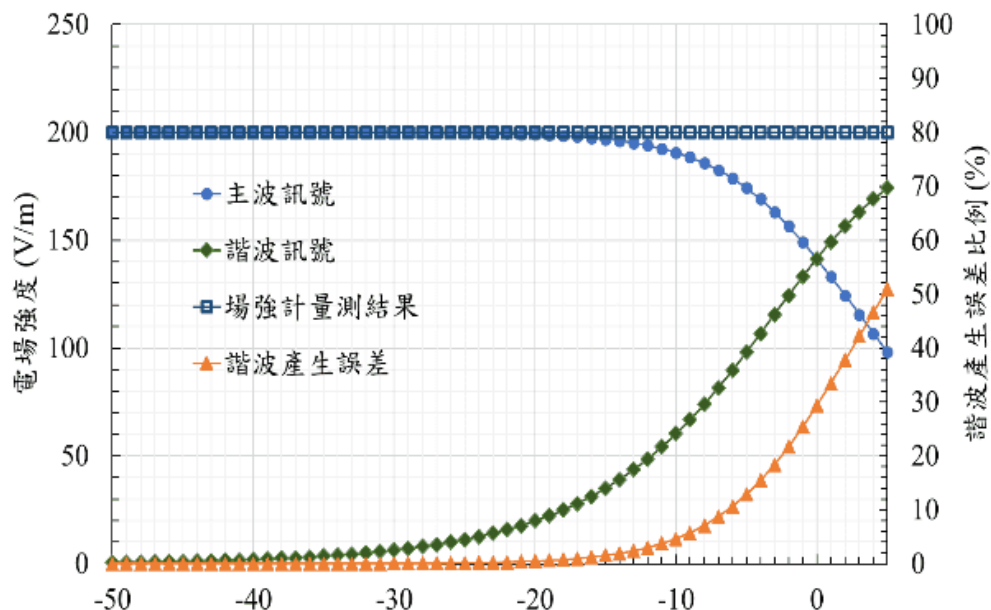


圖 126、諧波訊號產生之誤差比例

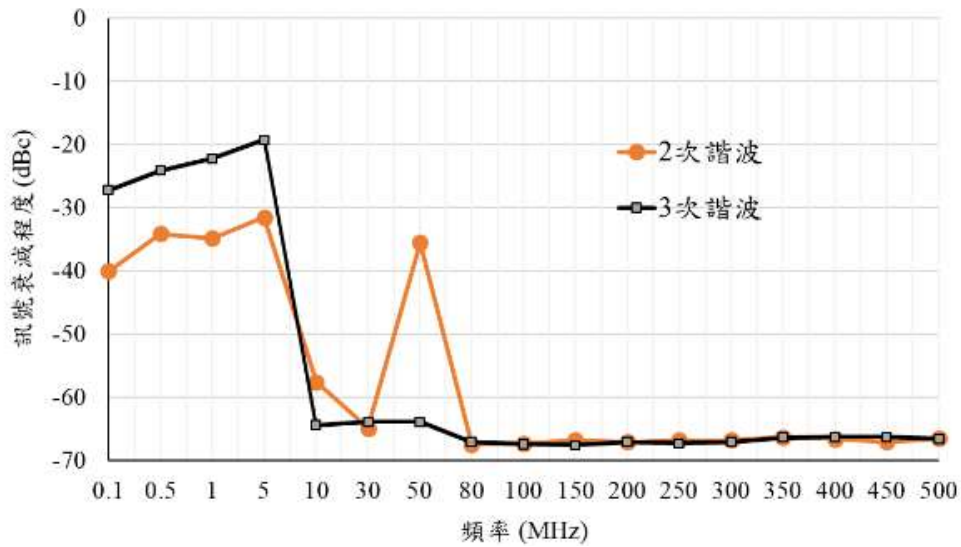


圖 127、用於橫電磁波室之訊號特性量測結果

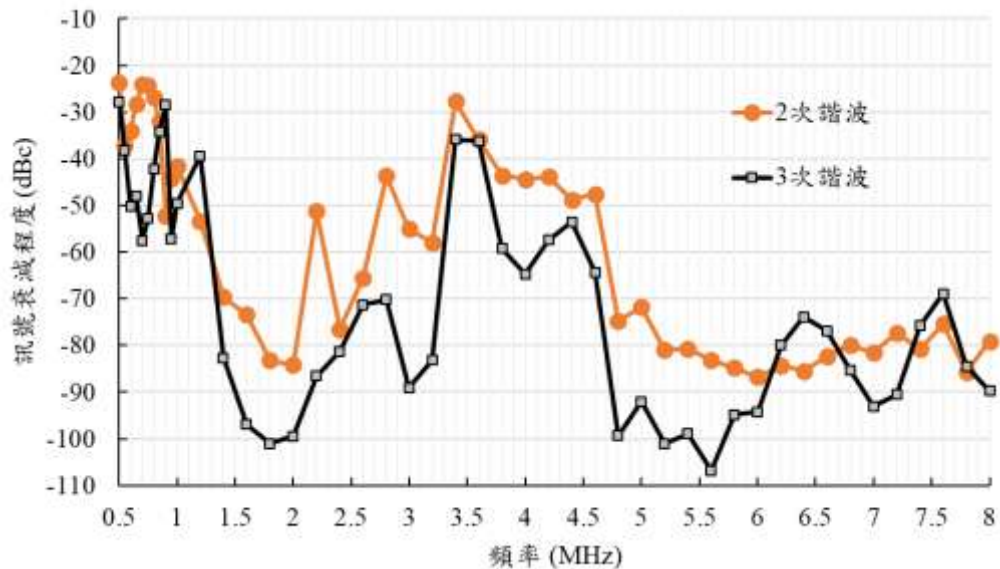


圖 128、用於電波暗室之訊號特性量測結果

(6) 完成採購儀器設備之驗收

由於系統需產生 200 V/m 高電磁場強度訊號，因此於今年購置高功率放大器，設備如圖 129。由於特性與諧波失真訊號最為重要，亦會影響評估量測不確定之結果，經實際驗收量測後，結果顯示其 1 分貝壓縮點在頻率 1 GHz 以下時功率輸出可達 500 W (57 dBm) 與頻率在(1-4) GHz (54 dBm)時功率輸出可達 250 W，2 次諧波失真與 3 次諧波失真均在 -20 dBc 以下，如圖 130 及圖 131 所示，均符合規格需求。



圖 129、電磁場強度校正設備

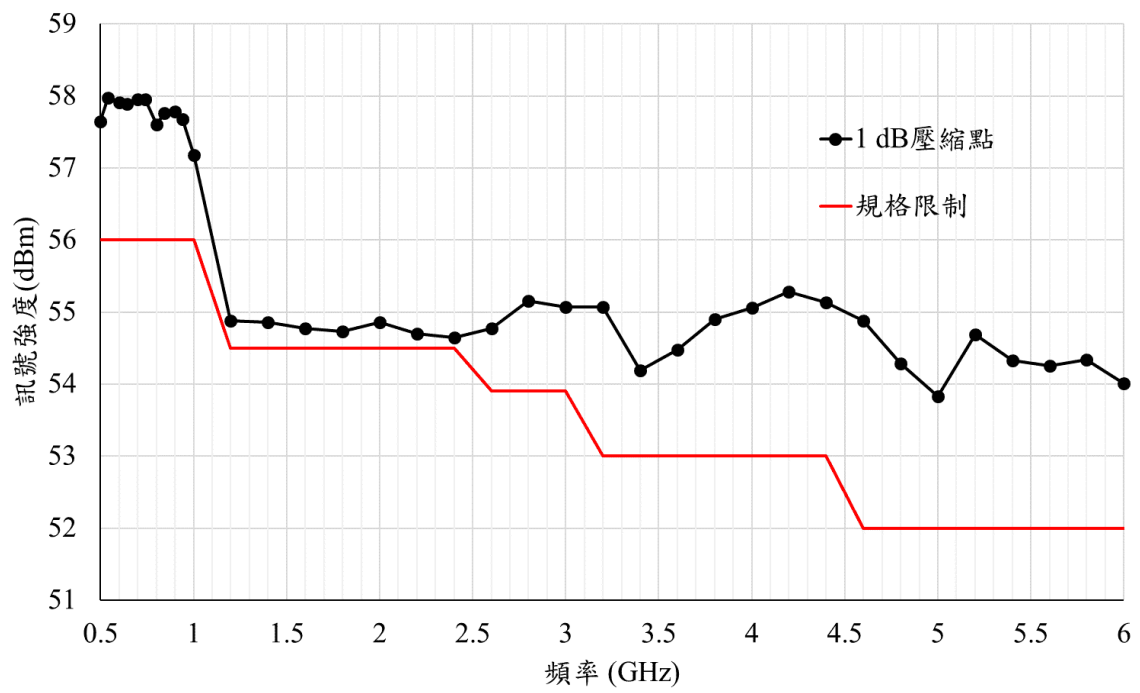


圖 130、1 分貝壓縮點量測結果

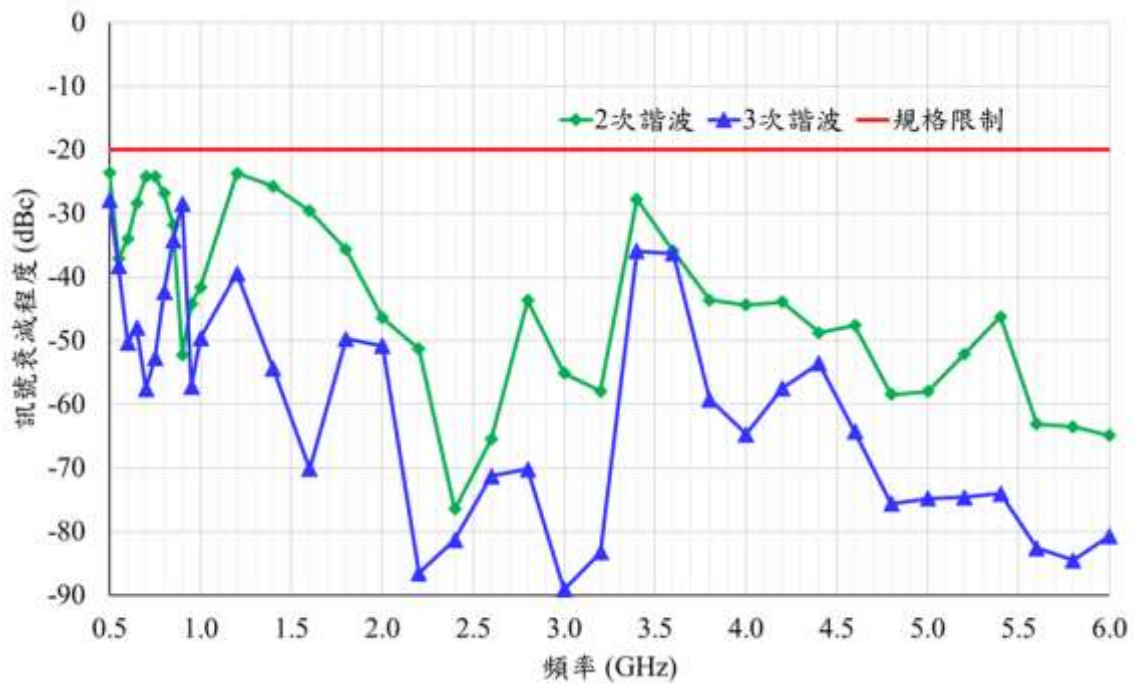


圖 131、2 次諧波失真與 3 次諧波失真之量測結果

(7) 完成建立高電磁場強度量測標準

系統設置如圖 132 與圖 133 所示，以追溯至英國國家物理實驗室(NPL)之電磁場強度計標準件，分別在橫電磁波室與電波暗室之標準場地進行電磁場強度驗證，測試參數為頻率 0.1 MHz 至 500 MHz 及 500 MHz 至 8 GHz 的電磁場強度，測試環境條件為(23.0 ± 1.5) °C、相對濕度(45 ± 10) %。經驗證由系統設備所產生的電磁場強度，其在 0.1 MHz 至 8 GHz 頻率範圍內，強度均可達到 200 V/m，符合計畫所訂目標。



圖 132、橫電磁波室電磁場強度量測系統設置



圖 133、電波暗室電磁場強度量測系統設置圖

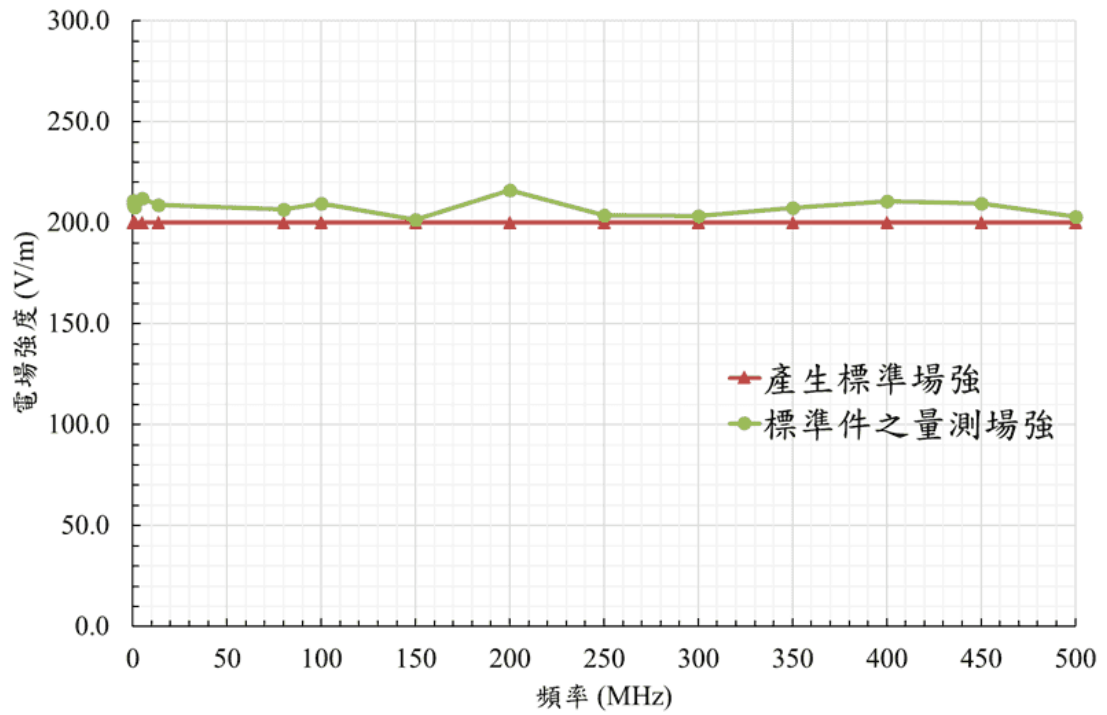


圖 134、於橫電磁波室電磁場強度量測系統之 200 V/m 量測結果

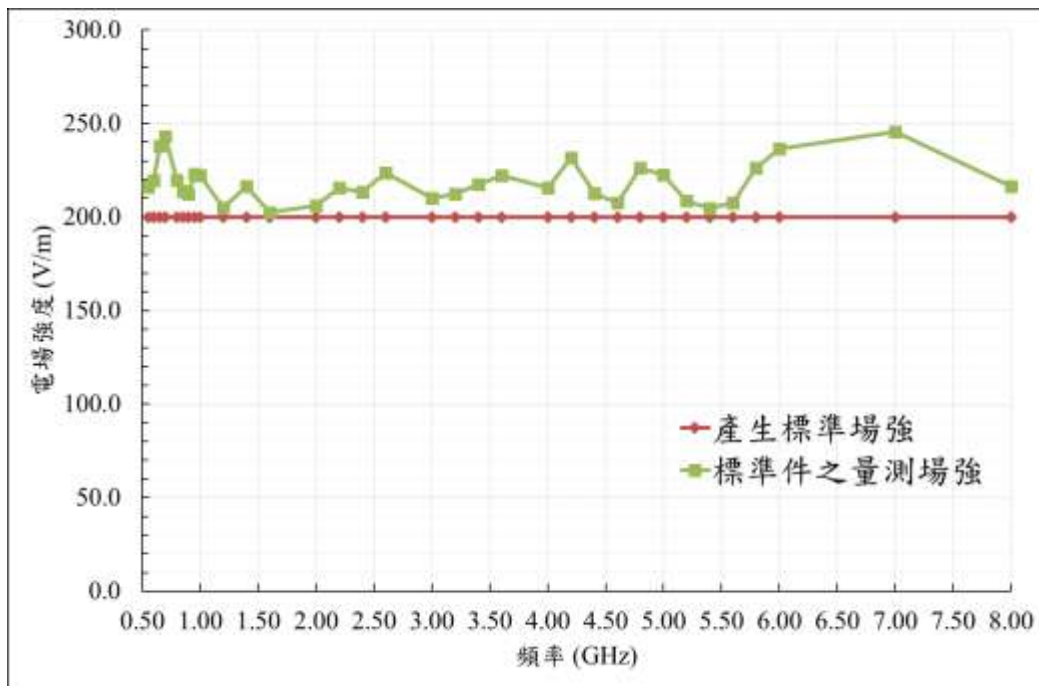


圖 135、於電波暗室電磁場強度量測系統之 200 V/m 量測結果

5. 產業應用

本計畫建立高電磁場強度之量測技術，可滿足智慧工具機電磁安全量測中電磁輻射耐受性測試之標準追溯。其應用透過標準的傳遞可擴散至精密製造、機電、資通組件與設備之檢測與品管，包括半導體產業如台積電於製程安全量測，及檢測驗證實驗室如 ETC 提供上銀、台達電及新代科技等電磁安全檢測服務之追溯及品保需求等，確保精密製造的製程安全以及智慧自動化機械產品運作的穩定性。

(二)智慧型 GNSS 遠端校時服務系統技術

1. 產業需求

時間與頻率的使用廣泛，科技化程度愈高的國家其時頻精確度的要求也就愈高。其主要使用者涵蓋社會大眾、電力公司、銀行、證券交易所、電子商務公司、時戳機構、航空、海運、鐵路公司、衛星控制站、量測機構、電信公司、儀器設備製造公司以及鐘錶公司等。所以，對於現代科技社會而言，標準時間與頻率是國家重要的基礎建設。舉例來說，振盪頻率則是現代電子設備的核心。在製造公司及工業廠房中，目前全球正極力推廣的工業 4.0 中，使用工業物聯網(IIoT)技術成為當今最新最沸騰的雲端趨勢，而將所有設備推上雲端相互通訊的物聯網技術則是整個雲端願景的第一塊拼圖。為了符合工業物聯網雲端通訊的各種需求，多款智慧型物聯網輸出輸入裝置、資料、設備及通訊等各類集中器與通訊服務器，需要一個高穩定、高精確的同步追溯源。IEEE 1588 標準是要在乙太網路的連網設計中增加定時同步。該協定通常用於資料通訊和無線基地台，透過網路實現同步定時。目前同步網路定時應用廣泛，在工業和發電市場日益普遍。可編程邏輯控制器(PLC)、無刷馬達、機器人、同步相量(synchrophasor)、裝配線控制等領域，正尋求採用 IEEE 1588 同步定時方案。對通信產業來說，標準頻率是產品測試及儀器校正重要的參考源，電信產品必須符合標準才能獲得國際市場的認可。而對於一個網際網路而言，伺服器之間則需要一致的時間，以避免系統運作的混亂。在

數位網路中，資料能夠交流的關鍵因素之一為發收兩端使用相同的頻率，頻率同步關係到網路通訊的品質，於 ITU-TG.811.1 中增強型主參考源，其長期頻率準確度建議 $1.0E-12$ ；時間同步則攸關網路 5G 服務的未來應用與發展，於 ITU-T G.8272.1 中增強型主參考時鐘其長期時間準確度建議為 ± 30 奈秒。對於新一代的行動通信業務，時頻同步技術更是基地台建設的重要基礎。

2. 計畫目標

本計畫規劃擴建 GNSS 遠端校時服務系統，透過後端資料蒐集以發展實驗子站遠端分散式同步源技術，確保追溯至我國的時間與頻率國家標準。而開發智慧型 GNSS 遠端校時服務之優點，在於待校設備毋須移動即可進行與國家標準時頻之校正追溯，除可減少待測設備之不確定度外，亦能節省許多人力與物力成本，並協助國內廠房自動化、機器人控制、智慧電網、軍事需求、電信 5G、次級實驗室、電子及儀器設備商等同步源之時頻量測品質及技術能力升級，有助於提升在國際市場之競爭力。建立智慧型遠端時頻校正平台，希望可提供亞太地區時頻比對參考點，及建立國內產業時頻追溯鏈路之最高標準，以及國內更優質的校正服務。計畫完成後除降低現有遠端校時服務的系統不確定度之外，亦可提供具全球相互認可效力之時頻標準件校正服務，並可成為國內各級時頻標準實驗室及產業之時頻同步追溯源。

108 年度計畫目標：

- 購置及驗收國家級時頻同步源頭所需之相關設備、組件。
- 完成與 UTC(TL)相差小於 10 奈秒之國家級同步源。

3. 實施方法

建立母站與子站作為時間同步源，而國家時間與頻率標準實驗室在這兩站都需要規劃建置相關設備，如原子鐘、時頻相位微調設備以及 GNSS 設備，讓兩站皆能達到與國家標準時間 UTC(TL)相差小於 10 奈秒的同步能力。

另外，將依據計畫未來之規劃目標制定方法。本計畫後續主要目標包括：109 年度目標之一「建立與國際接軌之智慧化時頻比對系統：提升遠端頻率校正能量至 $1.0E-13$ 」、110 年度目標之一「建設實驗站之同步分配系統：子站與母站比較時間延遲量小於 10 奈秒」、以及 111 年度目標之一「同步源資訊管理系統建設：子站與母站比較時間精確度達 10 奈秒等級」等。

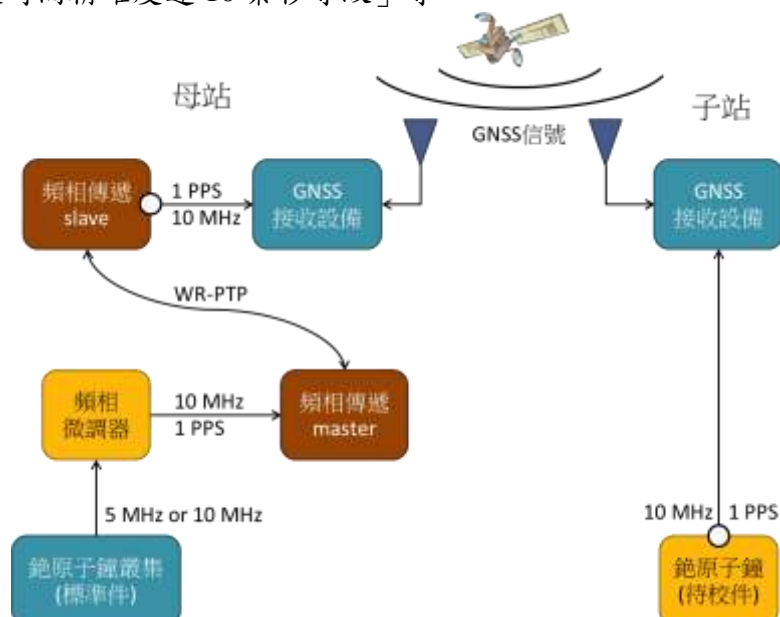


圖 136、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統架構圖

運用 GNSS 接收機進行之遠端時頻校正服務，主要都採用 GNSS 衛星共視法。此方法須考量三個主要部分，即 GNSS 衛星 S、母站接收機 A 與子站接收機 B 如圖 136。

當兩接收機同時收到衛星傳送的時間信號，兩者可比較其本身連接之標準時間與衛星訊息的差值。圖中接收機 A 可透過 d_{SA} 路徑收到 GNSS 訊號，並與本身連接之 Clock A 標準信號相比而得到差值($\text{clock A} - S + d_{SA}$)，接收機 B 則透過 d_{SB} 路徑收到 GNSS 訊號並得到($\text{clock B} - S + d_{SB}$)。雙方資料交換再相減，即可得到雙方時刻差值($\text{Clock A} - \text{Clock B}$)及誤差項($d_{SA} - d_{SB}$)。此誤差項($d_{SA} - d_{SB}$)不僅是衛星至接收機的傳遞延遲，也包含設備內部的延遲等影響。

GNSS 衛星共視法的操作方法如圖 137，是以國家級同步源做為參考基準，首先，在提供校正服務開始前及結束後，測量子站與母站的 GNSS 設備的設備延遲，接著，母站之 GNSS 接收機輸入國家級同步源之標準時頻信號 10 MHz 與 1 PPS 信號，而子站的 GNSS 設備則輸入待校件之 10 MHz 與 1 PPS，之後，母站與子站之 GNSS 接收機同時接收來自衛星廣播的時間訊號，依照 CGGTTS (CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards; CGGTTS)格式產生 1 PPS 與衛星的時刻差資料，最後，將子母站看到相同衛星的 CGGTTS 資料相減並且補償設備延遲之後，得到待校件時間源與國家級同步源的差值，即可校正待校件的時間與頻率。

國家時間與頻率標準實驗室建置國家級同步源，並規劃建置智慧型 GNSS 遠端校時服務系統，包含在母站購置銫原子鐘叢集、相位微調及頻率傳遞設備、以及 GNSS 設備，並在子站購置銫原子鐘與 GNSS 設備，滿足智慧聯網相關設備、工業機器人、5G 等領域之時間同步需求。

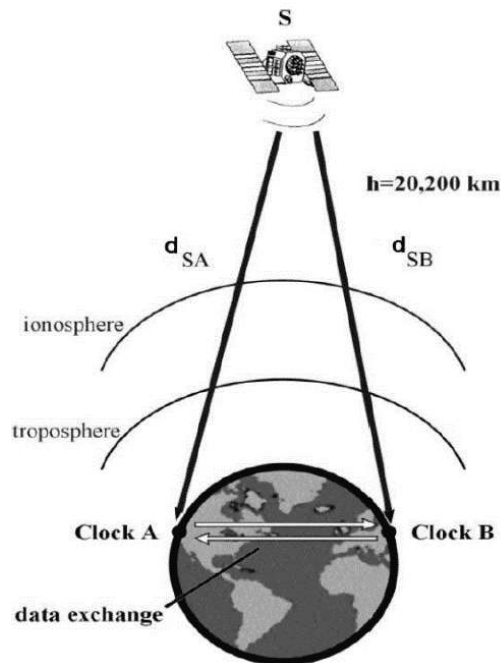


圖 137、GNSS 衛星共視法示意圖

4. 成果說明

(1) 完成國家級同步源建設設備規格書擬定與規劃

本工作主要目的在規劃建置能夠符合全球相互認可協議之國家級同步源，提供全國分散式系統之時脈同步，滿足如智機等產業追溯國家標準時頻標準及對同

步之精確度、穩定度、安全性的需求。架構圖 138 及規格規劃如下表 18、表 19：

- A. 因應區域(廠域)內/間分散(智機)系統之資料交換不同步，造成緩衝器溢滿或乾竭產生位元的滑失(slip)，影響網路通訊品質及產生安全問題。
- B. ITU-T G.811 建議 70 天控制滑失(controlled slip)小於 1 個位元(約同等於 1.0E-11)，新版 G.811.1 精進為 1.0E-12。
- C. 提供 5G 使用之 ITU-T G.8272.1 建議同步時間差(time error) ≤30 奈秒；80 天內的同步時間差 ≤100 奈秒。
- D. 氫微射頻率標準器規格/功能需求如下：
 - 以時間與頻率國家標準實驗室頻率標準件輸出之 5 MHz 正弦波與氫微射頻率標準器輸出之 5 MHz 正弦波進行比對，頻率準確度優於 5.0×10^{-13} 。
 - 環境參數影響(Environmental effect)
 - 溫度係數(Temperature coefficient)： $\leq 1 \times 10^{-14} / ^\circ\text{C}$
 - 磁場靈敏度(Magnetic field sensitivity)： $\leq 3 \times 10^{-14} / \text{Gauss}$
 - 頻率控制(Frequency Control)解析度 $\leq 1 \times 10^{-16}$ 。
 - 5 MHz 輸出信號的穩定度：

表 18、氫微射頻率標準器之穩定度規格要求

平均時間	穩定度
1 s	$\leq 2 \times 10^{-13}$
100 s	$\leq 1 \times 10^{-14}$
3600 s	$\leq 3 \times 10^{-15}$
> 10000 s	$\leq 2 \times 10^{-15}$

- 5 MHz 輸出信號的相位雜訊

表 19、氫微射頻率標準器之相位雜訊規格要求

訊號 (Hz)	相位雜訊
10	$\leq -130 \text{ dBc} / \text{Hz}$
100	$\leq -140 \text{ dBc} / \text{Hz}$
1 k	$\leq -150 \text{ dBc} / \text{Hz}$
10 k	$\leq -150 \text{ dBc} / \text{Hz}$

本工作以滿足如智機等產業追溯國家標準時頻標準及對同步之精確度、穩定度及安全性的需求。因應調整如更新版架構圖 140 及規格規劃如下表 20、表 21：

A. 銫原子頻率標準器組規格/功能需求如下：

- 銫原子頻率標準器兩部
- 以時間與頻率國家標準實驗室頻率標準件輸出之 5 MHz 正弦波與銫原子頻率標準器組輸出之 5 MHz 正弦波進行比對，頻率準確度優於 5.0×10^{-13} 。
- 頻率控制(Frequency Control)解析度 $\leq 6.5 \times 10^{-15}$ 。
- 1PPS Manual Synchronization: Range: -0.5 to 0.5 s, Resolution: 50 ns
- 5 MHz 輸出信號的穩定度：

表 20、銫原子頻率標準器之穩定度規格要求

Averaging Time	穩定度 Overlap Allan Deviation
1 s	$\leq 5.5E-12$
100 s	$\leq 8.6E-13$
1,000 s	$\leq 2.8E-13$

- 5 MHz 輸出信號的相位雜訊：

表 21、銫原子頻率標準器之相位雜訊規格要求

訊號 (Hz)	相位雜訊
1	≤ -100 dBc/Hz
1,000	≤ -145 dBc/Hz
100,000	≤ -150 dBc/Hz

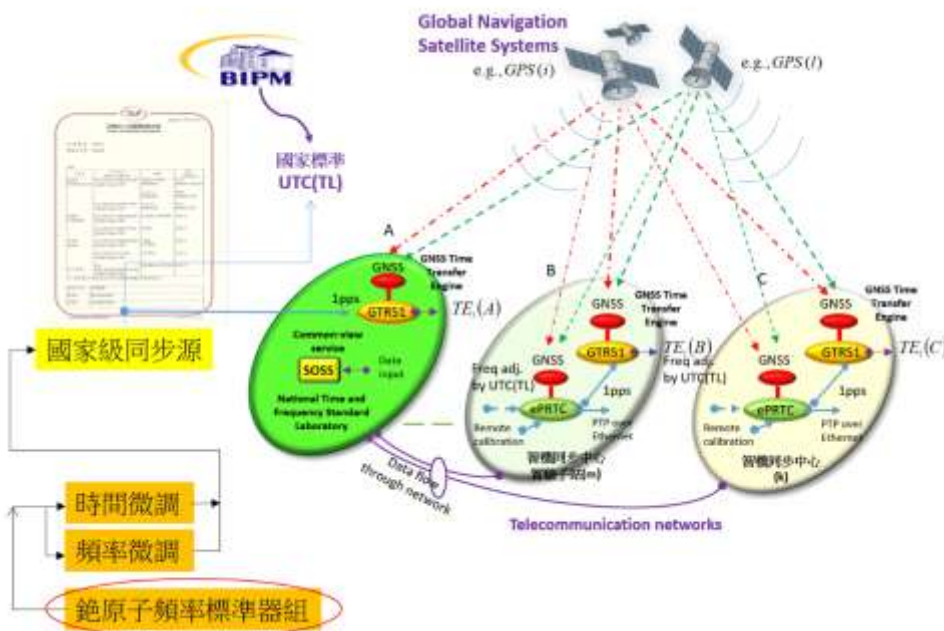


圖 140、更新版智慧型 GNSS 遠端校時服務系統架構圖(含國家級同步源)

- B. 原計畫之氫微射頻率標準器部分由鈹原子頻率標準器組一組取代，對原訂計畫於 108 年度完成國家級同步源相對於 UTC(TL) < 10 奈秒之目標不變，並有利於中程計畫之持續順利推動。

(3) 完成智慧 GNSS 遠端時頻校正技術

全球衛星導航系統(global navigation satellite service, GNSS)中發展最早、應用最廣的是美國全球定位系統(GPS)。其特點含全天候且不易受任何天氣的影響、全球覆蓋率高、多功能、可高精度定位及測速等。由於上述的特點，GNSS 相關技術廣泛應用於導航定位、精確定時、工程施工、探勘測繪等方面。對時頻計量領域而言，GNSS 時頻傳遞是重要的國際比對技術之一，各國國家標準實驗室亦可運用 GNSS 時頻傳遞，對國內實驗室的頻率源提供遠端校正的服務。將就 GNSS 時頻傳遞在國際比對和遠端時頻校正服務等兩個面向，簡要描述其技術原理及品保方案的規劃。

- A. 遠端時頻校正服務的方法是以衛星共視法來進行國際比對，其原理是透過 GNSS 衛星之時間源作為中繼，進行相隔兩地的時頻比對。
- B. 國際比對的方法是每日不間斷接收 GNSS 四大導航系統的信號，量測雙頻電碼與載波相位，使用 GPS 全視法與 GPSPPP 技術進行國際比對，將比對資料定期傳送 BIPM，並放置於本實驗室之 FTP 網站供 BIPM 或其他機構擷取，建立台灣之 GNSS 觀測站，進而達成時頻標準追溯及國際合作研究之參與。未來本實驗室將因應國際技術發展趨勢，持續更新 GNSS 接收設備及精進國際比對技術，確保時頻標準能夠與國際接軌。
- C. 上述國際比對的資料是用來計算產生國際原子時(TAI)和世界協調時(Coordinated Universal Time; UTC)等時頻標準，全球各國家標準實驗室也由此達到時頻追溯的目的。各國家為了確保量測結果的可追溯性，GNSS 接收設備延遲需要透過 BIPM 校正，國際間使用 GNSS 接收設備比對時頻標準已有三十多年的歷史，所採用的接收機設備等有不同階段的演進，BIPM 對於各實驗室設備延遲的校正，也有各階段不同的作法。
- D. 近年來，全球紛紛設立國家標準實驗室，校正接收機的需求日益增加，由於實驗室繁多，若 BIPM 主導所有巡迴校正活動，將導致校正的時程太長，增加不確定性；另一方面，BIPM 也沒有充足的資源經常舉辦校正活動，因此 BIPM 在 2015 年前後提出新的巡迴校正規則如表 22，即由 BIPM 與各區域組織(Regional Metrology Organization; RMO)合作，在全球各區域組織中選定 9 個實驗室作為校正的一級(Group-1, G1)實驗室，其餘國家實驗室屬於二級(Group-2, G2)。一級實驗室可直接參與 BIPM 舉辦的巡迴校正活動，得到不確定度大於 1.7 奈秒，而二級實驗室則可選擇參加由本身所屬區域組織的一級實驗室所主辦的區域巡迴校正，得到的不確定度大於 2.5 奈秒。而從未參加活動的實驗室，組合標準不確定度則設定為 20 奈秒。

表 22、BIPM 所指定之 GNSS 接收機校正一級(G1)校正實驗室

EURAMET	SIM	APMP	COOMET	AFRIMETS	GULFMET
OP	NIST	NICT	SU		
PTB	USNO	NIM			
ROA		TL			

註：其中 EURAMET、SIM、APMP 及 COOMET 分別為歐洲、美洲、亞太及歐亞之計量

組織聯盟。

- E. TL 為 BIPM 選定的一級實驗室，自 2016 年至今已主辦兩次亞太地區的巡迴校正活動。首次活動參加之國家實驗室包括泰國、馬來西亞及越南，第二次活動(2018~2019)參加實驗室為印尼及斯里蘭卡，兩次活動之校正報告皆通過 BIPM 的審查，並成功校正參與國家實驗室的 GNSS 接收設備延遲，不確定度自 20 奈秒降低為 3 奈秒。
- F. 隨著 GNSS 的快速發展、設備日益穩定成熟，加上具備高精度、低成本及易於校正等特點，使其在各領域的應用愈加廣泛。舉凡在導航定位、精確定時、工程施工、探勘測繪等方面，都是非常實用便利的工具。對時頻計量領域而言，GNSS 時頻傳遞也是重要的國際時頻比對技術之一。在國際間各標準時頻實驗室利用 GNSS 時頻傳遞方法，量測彼此所維持頻率標準間的差異，已有三十多年的歷史。目前 GNSS 時頻傳遞技術仍不斷提升精進，使國際比對的不確定度持續降低。
- G. 實驗室對國內時頻領域提供多項高精度設備的校正服務，包括：時間間隔、時間刻度、頻率及相位等量測項目。考量產業界許多實驗室的設備可能因搬運困難、需持續運轉或業務需求等因素而不方便送校等問題，針對這種情況，實驗室利用衛星共視法的原理開發出 GNSS 遠端時頻校正系統，可提供待校件精準的時頻校正服務，進而解決上述設備送校的問題。此遠端時頻校正系統所提供之校正服務，除可評估待校件的時頻信號特性外，亦可滿足追溯至國家標準 UTC(TL)及國際標準 UTC 的要求。

(4) 完成智慧型 GNSS 遠端校時服務系統母站規劃

建立母站參考時間源，以作為標準信號服務的參考源頭，所規劃之母站參考時間源如圖 141 所示，國家同步源介面用來同步國家標準時間與母站參考時間源，其設備包含原子鐘、頻相微調器、GNSS 接收設備以及頻相傳遞(GNSS 接收設備及國家同步源介面)等設備，此規劃可以符合 109 年計畫建設達到國家級同步源與 UTC (TL)的比較精度 10 奈秒之目標，滿足 5G 等產業遠端監測所要求。各項設備需求說明如下：

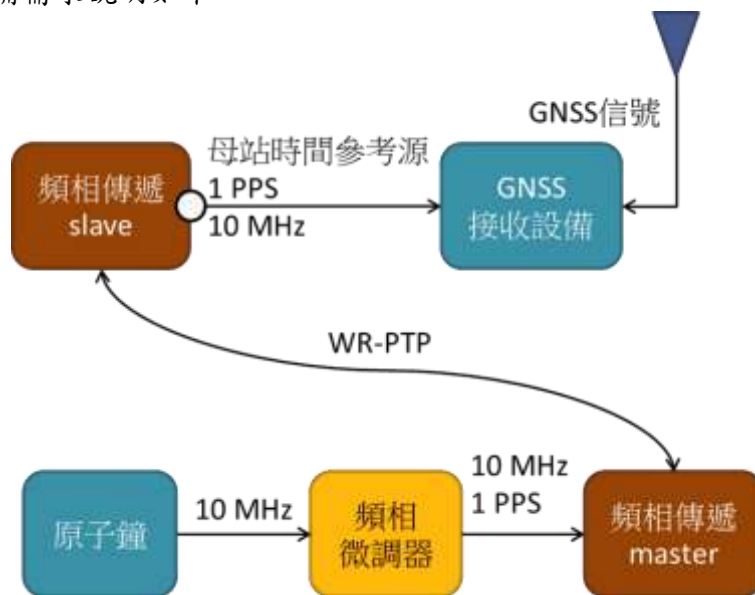


圖 141、智慧型 GNSS 遠端校時服務系統母站規劃架構圖

A. 原子鐘

母站參考時間源由振盪器產生，振盪器需要考慮穩定性，穩定性是頻率變化的程度，穩定性高的振盪器它的頻率變化很小，當量測出與 UTC(TL)的差異之後，可以很容易地修正這個差值，為了達到 10 奈秒的同步水準，將選用原子鐘作為振盪器。雖然原子鐘的穩定性高，但是它的頻率和 UTC(TL)會有差異，為了保持和 UTC(TL)同步，雖然可以調整原子鐘的物理結構來改變原子鐘的頻率，但是這樣會破壞原子鐘本身的穩定性，因此，參考時間源為了保留原子鐘高穩定性的特性，將不改變原子鐘本身，而是使用原子鐘輸出的 10 MHz 頻率信號，利用頻相微調器設備進行再製及調校。

B. 頻相微調器

頻相微調器用於再製原子鐘輸出的 10 MHz 頻率信號、合成輸出 1 PPS 相位信號、以及提供微調信號頻率的功能，以利母站時間源同步 UTC(TL)。1 PPS 相位信號主要用來觸發電子產品，所以它的電平至少要能夠涵蓋當下廣泛使用的 TTL 及 CMOS 電平。母站參考時間源透過調整 10 MHz 的頻率，能夠和 UTC(TL)同步，而同步的程度取決於調整頻率的解析度、調整後的反應時間以及調整決策。

C. GNSS 時間接收機

母站時間源與 GNSS 衛星時間的差異可以使用一部 GNSS 時間接收機來量測，而子站時間源與 GNSS 系統時間的差異能夠從另一台接收機得到，將兩個量測值相減得到母站時間源和子站時間源的差異，此方法稱為衛星共視法。如果僅僅使用 GPS 導航衛星系統，一旦 GPS 信號接收不良，衛星共視法將會中止，因此，GNSS 接收機需要至少具備有接收 GPS、伽利略、格羅納斯以及北斗四大導航衛星系統時間的能力，才能確保母站參考時間源與 UTC(TL)能夠持續比對。另外，使用涵蓋四大導航衛星的接收機，能提供多星系的遠端時間校正服務，滿足將來智慧機械測試與量測、廠房自動化、機器人控制、智慧電網及電信 5G 同步等產業的同步需求。

D. 頻相傳遞設備(GNSS 接收設備及國家同步源介面設備)

為了達到上述設備的最佳運轉條件，原子鐘與頻相微調器需要放置在環境溫度相當穩定的隔離室內，通常放置在一樓或地下室，而 GNSS 時間接收機的天線需要放置在有全天視野的室外，接收機則放置在離室外最近的頂樓，避免 GNSS 信號衰減過大無法測量。

由於本實驗室一樓與頂樓的走線距離長達 200 公尺，國家同步源之頻相微調器的 1 PPS 及 10 MHz 信號傳送如此長距離的衰減嚴重，其信號振幅無法驅動 GNSS 接收機運轉。因此為了讓接收機能工作，需要擺放一對頻相傳遞(介面)設備，使用白兔 - 精密時間協定(White rabbit - precision time protocol, WR-PTP)技術將頻相微調器輸出的 1 PPS 及 10 MHz 從主站(master)傳遞至從站(slave)。master 與 slave 分別靠近頻相微調器以及接收機，中間以光纖連接，光纖內為同步乙太網路。同步源為頻相微調器的 10 MHz，master 與 slave 的相位藉由 PTP 協定同步後，slave 產生 10 MHz 及 1 PPS 做為母站參考時間源，將 GNSS 時間接收機接上時間源的 1 PPS 和 10 MHz，就能和 UTC(TL)進行共視法量測。

(5) 完成智慧型 GNSS 遠端校時服務系統設備建設規格書 (查核點編號 C2-4)

系統規格係依據分項計畫各階段目標制定。相關目標包括:109 年度目標之一「建立與國際接軌之智慧化時頻比對系統:提升遠端頻率校正能量至 1.0E-13」、110 年度目標之一「建設實驗站之同步分配系統:子站與母站比較時間延遲量小於 10 奈秒」、以及 111 年度目標之一「同步源資訊管理系統建設:子站與母站比較時間精確度達 10 奈秒等級」等。

A. 銫原子鐘主要規格

1. Main item

Cesium beam frequency standard

2. Outputs

3. Frequency accuracy: $\leq \pm 5.0E-13$

4. Stability (Overlap Allan Deviation) of frequency outputs

Averaging Time	Overlap Allan Deviation
1 s	$\leq 5.5E-12$
100 s	$\leq 8.6E-13$
1,000 s	$\leq 2.8E-13$

5. Phase Noise (Single Side Band dBc/Hz) of frequency outputs

Offset From Signal (Hz)	SSB Phase Noise
1	≤ -100 dBc / Hz
1,000	≤ -145 dBc / Hz
100,000	≤ -150 dBc / Hz

6. Frequency Control/Clock Synchronization

7. Internal Standby Battery

8. Operation Environmental

9. Power Requirements:

B. 頻相微調設備主要規格

1. Phase Resolution $\leq 2\pi / 232$ radians

2. Time offset resolution for 10 MHz External Reference ≤ 0.024 fs

3. Frequency Resolution $\leq 5.0E-19$

4. Frequency Tuning Range $\leq \pm 1.0E-7$

5. 10 MHz Output Level $\geq +10$ dBm, 50 Ohm Load

6. 1 PPS Output 50 Ω Load

7. Output Isolation:

8. AC Power: 100–120 / 220–240 VAC

C. 頻相傳遞設備主要規格

1. Master clock vs slave clock synchronization < 100 ps

2. Ethernet

3. Fibre type: G652, length 200 m

4. Timing protocols: PTPv2 /White-Rabbit: Dual optical fiber Ethernet 1G interfaces

5. PPS I/O: Digital LVTTTL (3.3V) Selectable operation

6. Frequency I/O: 10 MHz programmable input/output

7. Network interh

8. Environmental Conditions

D. GNSS 設備主要規格

1. GNSS technology: Tracks all visible signals (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU)
2. Hardware channels ≥ 544
3. PPS in delay calibration circuit
4. Supported data formats: CGGTTS V2E
5. On-board logging ≥ 16 GB
6. Connectivity
7. Measurement precision
8. Time accuracy
9. Time reference input
10. Frequency reference input
11. Time reference output
12. Frequency reference output
13. Antenna LNA power output
14. Operating temperature -40°C to $+65^{\circ}\text{C}$
15. Humidity 5 % to 95 %
16. Antenna

5. 產業應用

智慧聯網與智慧機械定義包含了人與人、機器與機器以及機器與人之間的溝通，近來熱門的機器到機器(M2M)也是整個智慧聯網產業中的一環。在網際網路的發展過程中，智慧聯網對網路架構全面朝 IP 化帶來了更大助力，它滿足了使用者需要的即時化智慧服務，讓人們能透過有線及無線網路在多樣化的終端上和所有人或機器取得聯繫。而如何準確地取得和傳送資料、中間如何讓所有網路系統無縫整合，是發展智慧聯網與智慧機械中最主要的工作。

隨著智慧聯網與智慧機械的發展迅速，對於時間與頻率同步的精度需求日漸提高，對於同步的準確度及穩定度也越來越重視，藉由建立遠端校時服務系統，可滿足時間同步在智慧聯網相關設備、工業機器人、5G 等領域之需求。

(三)電磁環境與安全要求及資訊安全標準、檢測技術與驗證研究技術

1. 產業需求

智慧機械應用於製造業之生產線，需要符合機械指令之要求，本計畫針對各類型機器人與關鍵零組件之電磁相容性與安全及資訊安全進行研究，並盤點國內檢測驗證能量，同時也對各類型機器人與智慧機械關鍵零組件之 EMC 檢測技術進行分析，了解國內相關產業之檢測需求。智慧機械為國際發展趨勢，未來智慧機械智慧化與自動化將成為主流，智慧機械關鍵零組件結合機器人與自動化系統將產生更複雜的 EMC 與安全問題，國際安全標準為順應產業發展不斷更新，融入新的安全設計與資訊安全之概念，本研究研析國際檢測標準及盤點國內檢測能量，包括智慧機械聯網相關設備、工具機及各類型機器人之電磁相容性與安全及資訊安全等議題。綜上所述，製造業需要智慧機械聯網相關設備和各類型機器人的導入，解決產業升級瓶頸，亦需要完善之檢測驗證服務，以減少研發成本，縮短上市時間，降低成本，為企業蓄積高值化的競爭力。

2. 計畫目標

本年度評估未來國內智慧機械產業所需 EMC 與安全標準及檢測驗證能量，支援國內智慧機械產業的檢測需求，以期達到與國際接軌，亦透過檢測驗證服務與研

討會，增進國內智慧機械產業對檢測驗證技術的瞭解，協助廠商產品的研究發展，提升產品的國際競爭力，同時評估國內現有智慧機械的電磁相容及安全標準，再行修訂符合高頻、高速通訊環境下所需的電磁相容、電氣安全及功能性安全標準，以符合國內產業的需求與發展；建立國內智慧機械的檢測制度，以期達到與國際接軌，並提供產品認檢測服務，以協助國內廠商之智慧機械產品取得國內與國際認證，促進產業的升級與競爭力。

108 年度計畫目標：

- 研究智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之電磁相容性與安全及資訊安全國際檢測標準。
- 盤查智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之電磁相容性與安全國內檢測能量。
- 智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之電磁相容性檢測技術先期研究。
- 提供廠商智慧機械關鍵零組件之電磁相容性技術服務、舉辦智慧機械議題相關研討會。
- 參訪智慧機械相關產品驗證或研究機構，進行檢測驗證技術交流與國際合作。

3. 實施方法

針對工業型機器人與相關聯網設備，進行電磁相容性及安全測試技術研究，研究方法及步驟如下，工作流程如圖 141：

- (1) 結合台灣智慧自動化與機器人協會，進行國際智慧機械產品電磁相容性與安全及資訊安全標準的盤點和檢測能量的調查，作為規劃國內智慧機械產業所需檢測驗證能量的參考。
- (2) 進行智慧機械產品之電磁相容性檢測技術研究，以支援國內智慧機械產業的電磁相容性(Electromagnetic Compatibility, EMC)檢測需求。
- (3) 透過與國際智慧機械檢測驗證機構的技術交流與合作，增進國內的檢測驗證技術與國際接軌。
- (4) 透過檢測驗證服務與研討會，以增進國內智慧機械產業對檢測驗證技術的瞭解，協助廠商產品的研究發展，提升產品的國際競爭力。

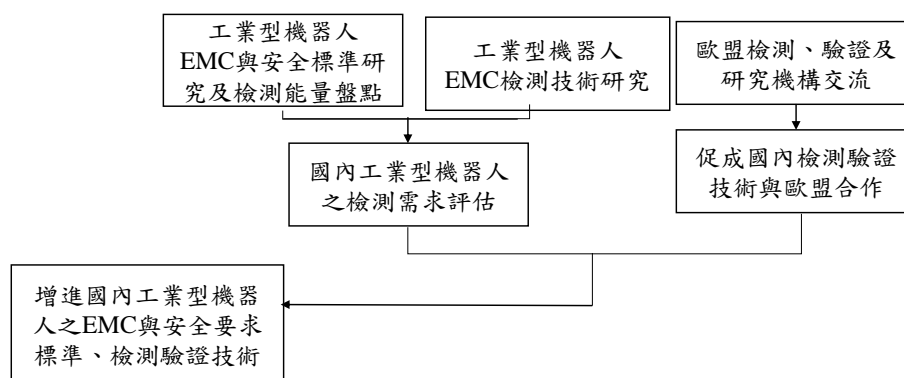


圖 142、計畫工作流程圖

4. 成果說明

評估國內智慧機械產業所需 EMC 電磁相容性與安全之檢測驗證能量與測試規範，支援國內智慧機械產業的檢測需求，以期達到與國際接軌。亦透過國外參訪與

技術交流、智慧機械議題相關研討會以及廠商檢測技術服務，將可增進國內智慧機械產業對檢驗證技術的瞭解，協助廠商產品的研究發展，提升產品的國際競爭力。各項結果說明如下。

(1) 智慧機械聯網相關設備及工業型機器人之 EMC 與安全檢測能量與 EMC 測試規範

A. 智慧機械為國際發展趨勢，未來智慧機械智慧化與自動化將成為主流，智慧機械關鍵零組件結合機器人與自動化系統將產生更複雜的 EMC 與安全問題，例如由感應器、馬達、通訊網路及 CNC 機器等經由非預期的產生、傳播與接收而造成設備的電磁波干擾與誤動作，導致設備異常、系統故障，及人員安全等危害。EMC 檢測能量需依照產品特性與使用場地以對應相對之測試規範，針對常見之智慧機械聯網相關設備及工業型機器人之產品類別與對應的 EMC 標準，以作為規劃國內智慧機械產業所需檢驗證能量之參考。綜整如表 23。

表 23、智慧機械聯網相關設備與工業機器人 EMC 相關規範

工業型機器人之產品類別	使用環境	EMC 標準	測試法規標準名稱
機械手臂	工業用	IEC/EN 61000-6-2 IEC/EN 61000-6-4	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity standard for industrial environments Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments
智慧機械聯網相關設備	商業、住家、輕工業	IEC/EN 61000-6-1 IEC/EN 61000-6-3	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity standard for residential, commercial and light-industrial environments Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments

B. 機器人與機器人系統相關的安全規範，在國際上以 ISO 10218-1 與 ISO 10218-2 為主。ISO 10218-1 主要內容偏重在講解機器人本體設備的安全措施與設計，例如軸的限位裝置、機器人本體的急停裝置與保護性停止等；而 ISO 10218-2 則以機器人系統為主，內容涵蓋了部分機器人本體與周邊安全措施與防護設備的設計，例如整體機器人系統的布局規劃、工具交換系統的安全設計等。機器人與機器人系統安全相關規範如下表 24 所示，列出常見的智慧機械聯網相關設備及工業型機器人之產品類別與對應的安全標準。

表 24、智慧機械聯網相關設備與工業機器人安全相關規範

編號	規範編號	規範名稱
1	ISO 10218-1	Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots (機器人與機器人設備-工業機器人的安全需求-第一部分：機器人)
2	ISO 10218-2	Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 2: Robot systems and integration

編號	規範編號	規範名稱
		(機器人與機器人設備-工業机器人的安全需求-第二部分： 机器人系統與集成)
3	ISO 13849	Safety of machinery – Safety-related parts of control systems (機械安全 – 控制系統的安全相關部分)

(a). 完成智慧機械之國際檢測、驗證及研究機構交流合作

本次參訪交流依計畫工作內容，規劃歐洲智慧機械相關單位參訪活動，主要參訪機構包含：德國 TÜV SÜD 總部之檢測驗證機構、SAP 智慧機械系統整合商和司徒加特大學，與專業人員討論智慧機械之國際檢測、驗證技術以及現階段歐洲概況、就國際標準與未來趨勢與其交換意見，並蒐集相關資料作為後續計畫規劃參考，此外亦參加法蘭克福汽車展、德國漢諾威工具機展及第四屆臺德智慧機械論壇暨第 18 屆台德經濟合作會議。智慧機械為國際發展趨勢，在展會中看到各家廠商皆參與新物聯網開發，以提升產品的核心競爭力，包括：生產概覽、計畫進度和機器狀態、處理生產訂單、建立錯誤統計資料及時間流中的運行狀態，都能由超過 100 個相關參數來描述，也符合智慧製造導入無軌式 AGV 及智慧倉儲/管理系統的潮流，透過此次展會與會議交流，可增進國內智慧機械產業對檢測驗證技術的瞭解，協助廠商產品的研究發展，提升產品的國際競爭力。

(b). 完成「台灣工業用機器人 EMC 和安全規範研討會」辦理，計 35 家廠家，共 53 人參加

隨著全球工業發展，產線自動化及機器人使用率逐年成長，工業型機器人已由原本簡單且制式化的作業方式，朝向複雜且多變的作業模式。除了工業用機器人的使用規範之外，智慧倉儲的應用越來越廣，且領域包括機械產品及資訊管理系統，亦涉及電磁相容與工業安全。本次研討會由財團法人台灣電子檢驗中心主辦，社團法人協會台灣智慧自動化與機器人協會承辦，於 109 年 8 月 23 日假南港展覽館 2 館舉辦「台灣工業用機器人 EMC 和安全規範研討會」，以台灣的測試實驗室及國際驗證機構之角度，說明工業用機器人的 EMC 規範及安全規範及智慧倉儲與 AGV 的工業安全，亦邀請國內重要產業先進、專家及權責機關代表，針對認證制度的專業議題及與本次 EMC 和安全規範之主題作經驗分享，共同探討檢測認證制度。



圖 143、台灣工業用機器人 EMC 和安全規範研討會

(c). 完智慧機械之 EMC 檢測技術服務

智慧機械為國際發展趨勢，未來智慧化與自動化將成為主流，結合機器人與自動化系統將產生更複雜的電磁相容與安全等問題，本年度協助 2

家廠商完成智慧機械 EMC 檢測技術服務，1 件為台達電子-工業型機器人之機器手臂，另 1 件為上銀科技-工業型機器人之機器手臂，藉由本計畫之執行，將協助服務國內產業的需求，提供廠商完善的測試驗證服務。

表 25、EMC 檢測技術服務依據標準及測試項目

電磁相容測試標準	測試項目
EN 61000-6-2 EN 61000-6-4	<u>EMI(干擾):</u> CE, RE, Harmonic, Flicker, Click <u>EMS(耐受):</u> ESD, RS, EFT, Surge, CS, PMF, Dip

5. 產業應用

製造智慧化與自動化已為國際發展趨勢，智慧機械關鍵零組件結合機器人與自動化系統將產生更複雜的電磁相容與安全問題。為能夠運用 IoT 物聯網結合智慧製造技術建構智慧工廠以提升生產品質、效率與人員安全，自聯網終端裝置、感測模組以及自動手臂、工具機、機器人等智慧製造設備與零組件，均需符合國際相關產品電磁相容及安全標準指令之要求，因此國內相關廠商需要符合智慧機械產品所需之電磁相容及安全檢測標準與驗證能量，以加快研發速度，提升產品競爭力。

本計畫主要評估未來國內智慧機械產業所需 EMC 電磁相容性與安全標準及檢測驗證能量，支援國內智慧機械產業的檢測需求，以期達到與國際接軌，並透過提供廠商檢測驗證服務與舉辦智慧機械議題相關研討會，增進國內智慧機械產業對檢測驗證技術的瞭解，協助廠商產品的研究發展，提升產品的國際競爭力。

(四)智慧機械檢測認驗證之市場調查

1. 計畫目標

為確保國內計量追溯體系之健全性，提升產業界對計量追溯之認知及應用，財團法人全國認證基金會(以下簡稱本會)於 2019 年協助經濟部標準檢驗局執行智慧機械產業計量加值計畫之檢測認驗證市場調查研究，以利瞭解目前產業界對本會實驗室計量追溯之應用與計量追溯之擴散效益，並藉由本次問卷調查，瞭解國內計量缺口，相關研究成果將作為後續未來發展及實驗室能量擴充之參考。

隨著時代科技進步，計量學之發展帶動工業生產及產業經濟提升。雖然計量技術在國防、醫療、學術研究、工業、貿易、製造等領域極富重要性，但它在產業經濟中發揮的重要作用卻很容易被忽視。本計畫研究的重點之一，係藉由二級校正實驗室及測試實驗室對於國家標準實驗室計量追溯服務之應用市場調查，參考國際相關計量機構級認證組織文獻中的相關關鍵經濟論點與研究，探討國內智慧機械產業相關計量追溯效益，並企圖量化計量與認/驗證對產業經濟影響。

2. 成果說明

本研究計畫係藉由國家度量衡標準實驗室、TAF 認可校正實驗室及測試實驗室對實驗室內部設備、標準件、參考物質等計量追溯管道，探討校正領域在長度(KA)/振動量(KB)/聲量(KB)/力量(KC)/溫度(KE)/電量(KF)/電磁量(KG)等 7 個類別之計量追溯情形，另外，為瞭解智慧機械產業發展現況，本研究另包含 TAF 認可項目包含工具機/精度測試、工具機/安全檢驗、機器人/精度試驗、工具機/電磁相容等之智慧機械相關測試實驗室。本次調查研究對象含：

- 國家度量衡標準實驗室(N0688、N0881、N0882、N1001)共 4 家；
 - TAF 校正領域認可實驗室認可項目涵蓋長度/振動量/聲量/力量/溫度電量/電磁量認可校正實驗室共 185 家(回收樣本數共 151 份，回收率為81.6 %)；
 - TAF 測試領域認可項目涵蓋工具機/精度測試(1601M995)、機器人/精度試驗(1699M995)、工具機/安全檢驗(1601M207)、工業用機器人/安全檢查(1699M207)、工具機/電磁相容(1601E002)等之認可測試實驗室共 9 家(回收樣本數共 7 份，回收率 77.8 %)。
- (1) 依據回收數調查訪談結果，國家度量衡標準實驗室針對在長度(KA)/振動量(KB)/聲量(KB)/力量(KC)/溫度(KE)/電量(KF)/電磁量(KG)等 7 個類別，於 2018 年發出之校正報告總數共 2,267 份，其中 2,036 份為認證範圍內，出具具有 TAF 認證標誌之校正報告。由 TAF 認可校正實驗室計量追溯管道調查結果，根據實驗室需校正之相關設備/標準件(回覆樣本數 n=1672) 中，38.6 %的實驗室之標準件/相關設備係經由國家度量衡標準實驗室提供校正服務、另有 53.2 %之標準件/相關設備由 ILAC MRA 相互承認協議簽署認證組織之認可校正實驗室(或 TAF 認可校正實驗室)提供校正服務、約 8.2 %之實驗室相關設備由其他非涵蓋於認可範圍之實驗室校正，實驗室整體平均校正週期約為 1.5 年(詳細標準件/設備校正週期如表 28)。
 - (2) 由調查數據顯示，目前國內整體計量追溯體系及校正能量，在長度(KA)/振動量(KB)/聲量(KB)/力量(KC)/溫度(KE)/電量(KF)/電磁量(KG)等 7 個類別達 91.8 %之計量追溯服務可適當追溯至 SI 單位；此外，有關校正實驗室回覆計量追溯之困難點，亦有 10 %之實驗室顯示部分項目無適當之計量追溯管道，由此顯示，目前國內計量追溯體系及符合性評鑑架構建立整體完善，但仍有部分校正能量缺乏，建議可納入未來校正能量建置之考量，以利國內計量追溯體系之持續發展。
 - (3) 由符合性評鑑體系建立之效益，本次問卷調查之校正實驗室機構屬性主要為私人企業(占整體 82.7%)，其申請認證之目的主要包含界認證提升實驗室能力、符合國際規範之要求、提供第三方公正之校正檢測服務、提升機構形象、滿足顧客要求、提高市場競爭力、提升產業量測水準等。
 - (4) 針對本次問卷調查 TAF 認可校正實驗室服務性質，其中 17.3%實驗室僅對內服務，針對提供對外服務之校正實驗室中，其校正服務提供之顧客 47.3%為其他 TAF 認可實驗室。依照對外服務顧客之機構屬性，校正實驗室之顧客主要為生產製造業，佔整體比例 49.1%，其他顧客包含檢測驗證、科技研發、工程建築、國營企業、商業貿易等。此顯示目前國內計量追溯架構的建立，支持國內生產製造過程中之所需之量測。
 - (5) 由申請認證的正面效益調查顯示，96.7 %校正實驗室表示具備 TAF 認證標誌之校正報告較值得信賴，且使得公司產品在外銷時更容易被其他經濟體所接受，此顯示在 ILAC MRA 相互承認之符合性評鑑架構下，可有效降低技術

性貿易障礙。此外，由調查結果顯示，37.3 %實驗室出具 TAF 認證標誌之校正報告時，相較於不具 TAF 認證標誌之校正報告，整體可獲得較高的校正報告費用收入。

- (6) 由本次智慧機械測試相關實驗室之調查結果，由於智慧機械相關產業仍持續發展中，有關工具機/精度測試、機器人/精度試驗、工具機/安全檢驗、工業用機器人/安全檢查、工具機/電磁相容等之相關認可實驗室回覆樣本數為 7 家，前述測試實驗室之機構屬性主要為財團法人，其 2,018 年報告出具數量平均總數為 156 份，其中出具 TAF 認證標誌之測試報告平均約 148 份。依調查結果，前述測試實驗室對外服務顧客之機構屬性主要為生產製造業，約占整體比例之 60.2 %。在計量追溯管道上，25.5 %測試實驗室之相關設備直接追溯至國家度量衡標準實驗室，59.6 %之相關設備由 TAF 認可實驗室校正，其平均校正週期約為 2.2 年。
- (7) 依據本次問卷調查結果，2018 年國家度量衡標準實驗室及 TAF 認可校正實驗室，出具「具有」TAF 認證標誌(或 ILAC-MRA 組合標記)之校正報告情形參考表 26「不具有」TAF 認證標誌(或 ILAC-MRA 組合標記)之校正報告情形參考表 27；由各校正類別實驗室出具報告之數量及平均收費可推估，在長度/振動量/聲量/力量/溫度/電量/電磁量等校正實驗室出具校正報告之經濟產值預估約 33.5 億元，整體經濟產值可能達 47 億元以上。

表 26、2018 年國家度量衡標準實驗室及 TAF 認可校正實驗室出具「具有」TAF 認證標誌(或 ILAC-MRA 組合標記)之校正報告情形

類別	國家度量衡標準實驗室	TAF 認可校正實驗室			
	出具TAF認證標誌校正報告數量(份)	出具報告實驗室的樣本數(家)	出具TAF認證標誌(或ILAC-MRA組合標記)校正報告平均數量(份)	具 TAF認證標誌(或 ILAC-MRA組合標記)每份報告平均收費(元)	預估經濟產值(萬元)
KA 長度	722	64	185	5,531	6,549
KB 振動量	84	13	105	5,231	7,140
KB 聲量	304	8	102	4,000	3,264
KC 質量/力量	407	48	371	6,292	112,048
KE 溫度/濕度	244	49	485	4,571	108,630
KF 電量	657	47	349	5,362	87,953
KG 電磁量	780	16	75	8,125	9,750
合計					335,334

表27、2018年TAF認可校正實驗室出具「不具有」TAF認證標誌(或ILAC-MRA組合標記)之校正報告情形

類別	TAF 認可校正實驗室			
	出具報告 實驗室的樣本數 (家)	不具有TAF認證 標誌 (或 ILAC- MRA 組合標記)校正報 告平均數量(份)	不具有TAF認證標誌 (或 ILAC-MRA 組合 標記)每份報告平均收 費 (元)	預估經濟 產值(萬元)
KA 長度	46	1,141	4,261	22,364
KB 振動量	10	112	4,000	448
KB 聲量	9	229	4,000	824
KC 質量/力量	39	1,049	4,308	17,624
KE 溫度/濕度	39	773	4,308	12,987
KF 電量	43	745	4,744	15,197
KG 電磁量	10	219	7,600	1,664
合計				71,110

表28、TAF 認可校正及測試實驗室使用之標準件/設備類型及平均校正週期

類別	TAF認可校正實驗室	
	使用之設備/標準件類型	平均校正週期(年)
KA 長度 (n=393)	測長儀、鋼質塊規組、長塊規、環規、塞規、雷射掃描儀、三次元座標量測儀、針盤指示計、三線規、電子測距儀、全測站儀、經緯儀、衛星定位儀、鋼質針規、直尺校正台、直尺、標準捲尺、卡尺校正器、標準高度規、量表校正器、高精度儀器校正儀、伸長計校正器、雷射干涉儀、直角規校正儀、小角度產生器、自動視準儀、精密分度盤、直角規、水平儀、指示量錶、傾斜儀、正弦台、真圓度標準球、圓及角度標準片、標準玻璃尺、光學投影機	1.8
KB 振動量 (n=27)	加速規、衝擊加速規、振動計、	2.0
KB 聲量 (n=15)	麥克風、活塞校正器、聲音校正器、音位校正器、標準麥克風	1.6
KC 質量/力量 (n=388)	鋼質法碼組、重力法碼、天平、平台秤、荷重元、檢力環、力量傳感器、靜砝碼機、環式動力計、標準彈簧式擊錘、扭力測試機、扭力校正器扭力計、扭力起子測試器、標準桿、硬度標準塊硬度片	1.4
KE 溫度/濕度 (n=225)	白金電阻溫度計、玻璃溫度計、溫度顯示器、熱電偶、熱電偶溫度計、溫度記錄器、溫溼度記錄器、電阻式溫度感測器、溫度校正器、輻射溫度計、溫度模擬器、露點儀、光學冷凝式露點計、鏡面式露點計、溫濕度信號轉換器、溫濕度計(含顯示器)、濕度產生器	1.5
KF 電量 (n=401)	多功能數位電表、交直流電壓電流校正器、多功能校正器、標準電壓計、高壓分壓器、交直流電流轉換放大器、電流放大器、鉤表、交直流電流分流器、直流高壓電表、交直流高壓表、直流耐壓錶、高電壓數位錶、靜電計、匝比電流線圈、功率校正器、功率分析儀、標準瓦/乏時計、標準電阻器、高電阻箱、數位低電阻表、標準電阻、電阻箱、歐姆表、高阻計、阻抗標準器、標準電感器、示波器校正器、訊號產生頭、微波固定式衰減器、微波計頻器、微波功率感測	1.2

類別	TAF認可校正實驗室	
	使用之設備/標準件類型	平均校正週期(年)
	器、ESD Current Target、高壓衰減器、電壓衰減器、電流轉換器、數位式微電阻計、電流探棒、Burst Verification Attenuator、EFT Generator、EFT Clamp、數位式儲存示波器、電快速瞬態脈衝群校驗套件、SURGE Generator、高精密電流環	
KG 電磁量 (n=52)	功率感測器、微波固定式衰減器、微波功率感測器、微波計頻器、信號產生器、號角型天線、雙脊號角型天線、照度計、標準光源、分光光譜儀、光譜檢測儀、標準白板、光色計、標準光源光澤度標準板、分光標準濾片、UV輻射計、HAZE 校正片、穿透率標準濾片、日照計	1.2

参考文献

- [1] Cheng Chi, Xuguang Sun, Ning Xue, Tong Li, and Chang Liu, Recent Progress in Technologies for Tactile Sensors, *Sensors*. 2018, 18(4): 948.
- [2] S. Asano, M. Muroyama, T. Bartley, T. Nakayama, U. Yamaguchi, H. Yamada, Y. Hata, Y. Nonomura, and S. Tanaka, “3-axis fully-integrated surface-mountable differential capacitive sensor by CMOS flip-bonding,” In Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), pp. 850–853, 2016.
- [3] R. Kōiva, M. Zenker, C. Schürmann, R. Haschke, and H. J. Ritter, “A highly sensitive 3D-shaped tactile sensor,” *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 1084-1089, 2013.
- [4] S. Y. Tu, W. C. Lai, and W. Fang, “Vertical integration of capacitive and piezo-resistive sensing units to enlarge the sensing range of CMOS-MEMS tactile sensor,” *IEEE 30th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, pp. 1048-1051, 2017.
- [5] “IEEE 1309-2013, IEEE Standard for Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz”, IEEE, 2013.
- [6] IEC 61000-4-3 2010, “Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-3: Testing and measurement techniques –Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test”, IEC, 2010.
- [7] IEC 61000-4-20 2010, “Electromagnetic compatibility (EMC) –Part 4-20: Testing and measurement techniques –Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test”, IEC, 2010.

肆、資源運用情形
 一、人力運用情形
 人力配置

主持人	分項計畫 (名稱及主持人)	預計 人年	實際人年
計畫主持人： 彭國勝 協同計畫主持人： 傅尉恩	感測器計量標準建構分項 (計畫主持人：陳文仁)	7.56	6.9
	工具機線上校正技術建立分項 (計畫主持人：許博爾)	10.64	12.13
	智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項 (計畫主持人：饒瑞榮)	6.84	3.45
合 計		25.04	22.48

計畫人力

單位：人年

分類		職稱					學歷					
年 度	達 成 情 形	研 究 員 級 以 上	副 研 究 員 級	助 理 研 究 員	研 究 助 理 員 級	研 究 員 助 理 員 級 以 下	博 士	碩 士	學 士	專 科	其 他	合 計
108	預計	16.96	2.0	6.08	0	0	5.79	15.28	2.58	1.39	0	25.04
	實際	16.02	2.85	3.61	0	0	4.76	14.27	2.2	1.07	0.18	22.48

註：本表採用國科會職級計算。

二、經費運用情形
歲出預算執行情形

單位：元

會計科目	預算數		實際數	
	金額(B)	佔預算數總計 %(C=B/A)	金額(D)	佔實際數總計 %(E=D/A)
(一)經常支出				
1.直接費用				
(1)直接薪資	28,856,000	27.73	28,856,000	27.73
(2)管理費	6,781,000	6.52	6,781,000	6.52
(3)其它直接費用	28,002,000	26.91	28,002,000	26.91
2.公費	677,000	0.65	677,000	0.65
經常支出小計	64,316,000	61.81	64,316,000	61.81
(二)資本支出				
1.土地				
2.房屋建築及設備				
3.機械設備	39,750,000	38.19	39,418,213	37.88
4.交通運輸設備				
5.資訊設備				
6.雜項設備				
7.其他權利				
資本支出小計	39,750,000	38.19	39,418,213	37.88
合 計(A)	104,066,000	100.00	103,734,213	99.68

歲入繳庫情形

單位：元

科 目		本年度預算數	實際繳庫數	差異說明
財產收入				
不動產租金		-	-	
動產租金		-	-	
廢舊物資售價		-	-	
權 利 售 價	專利授權金 ^註	-	-	
	權利金	-	-	
	技術授權金 ^{註1}	1,500,000	3,003,600	已開立發票進行請款，將於 12/30 前收到款項後繳庫
	製程使用	-	-	
	其他－專戶利息 收入	-	-	
罰金罰鍰收入				
罰金罰鍰		-	-	
其他收入				
審查費(校正服務費)		-	-	
供應收入－ 資料書刊費		-	-	
服務收入－ 教育學術服務 技術服務		-	-	
業界合作廠商配合款		-	-	
收回以前年度歲出		-	-	
其他雜項		-	-	
合 計		2,500,000	3,003,600	

註：102/6/20 重新簽訂經濟部標準檢驗局度量衡標準計畫研發成果運用契約書，專利/技術授權成果運用收入由 70%繳庫修訂為 60%繳庫。

伍、計畫變更說明

年度辦理計畫變更情形如下：

項次	變更內容	申請變更文號	標檢局回覆同意備查文號
1	出國計畫變更	中華民國 108 年 5 月 14 日 工研量字第 1080008307 號	中華民國 108 年 5 月 21 日經 標四字第 10800540990 號
2	計畫變更	中華民國 108 年 6 月 18 日 工研量字第 1080010596 號	中華民國 108 年 6 月 26 日經 標四字第 1080056200 號
3	出國計畫變更	中華民國 108 年 8 月 1 日 工研量字第 1080013943 與 1080014610 號	中華民國 108 年 8 月 19 日經 標四字第 10800573230 號
4	出國計畫變更	中華民國 108 年 9 月 6 日 工研量字第 1080016280 號	中華民國 108 年 9 月 24 日經 標四字第 10800590000 號
5	計畫變更	中華民國 108 年 9 月 25 日 工研量字第 1080017385 號	中華民國 108 年 10 月 1 日經 標四字第 10800597540 號
6	計畫變更	中華民國 108 年 10 月 1 日 工研量字第 1080017751 號	中華民國 108 年 10 月 9 日經 標四字第 10800600520 號

註：有關出國事宜經濟部 102 年 10 月起授於各局處管理，如出國任務、地點、時間、天數、項次之預算增加及配合調減勻支給該項次之項目，均需向局辦理變更報准同意。

陸、成果說明

一、計畫達成情形

(一)感測器計量標準建構分項

工作項目	查核項目	實際執行情形
<p>(一)力量感測器校正技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 力量校正系統設計圖 • 設備採購單開立 • 力量感測器光罩設計 • 力量校正系統驗收 • 力量感測器性能量測結果 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成系統設計圖 • 設備採購單開立 力量範圍10 mN ~ 10 N (108/04/30) • 完成元件光罩設計圖 (108/05/31) • 完成系統採購驗收力量範圍 10 mN~10 N (108/12/30) • 完成元件性能量測 (108/12/30) 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成小力量校正系統設計圖規劃，配合不同力量範圍需求，採用兩組精密天平之設計。 • 完成開立小力量校正系統採購單 (力量範圍10 mN ~ 10 N)，並完成小力量校正系統採購規範書文件1份。 • 已完成一份力量感測元件的光罩設計圖，並依此設計圖於5/16開立力量感測元件之製程委外製作之採購單，單一感測元件尺寸為：$(300 \times 300) \mu\text{m}^2$，整體元件尺寸$< (2 \times 2) \text{mm}^2$。 • 系統設備於11/13到貨並於12/02完成組裝，廠商於12/06完成性能量測，並安排於12月份第三週進行驗收會議。 • 元件架設推拉力計量測獲得，力量範圍0.01 N至0.5 N，靈敏度為$1.85 \text{ fF} / \text{mN} \geq 1.8 \text{ fF} / \text{mN}$，符合計畫所列元件開發年度規格目標。

工作項目	查核項目	實際執行情形
(二)AI語音及機械聲音之聲學麥克風校正技術 • 完成儀器設備採購及驗收	• 完成儀器設備請購單之開立(108/04/30)	• 麥克風互換校正系統設備細部規格確立，完成儀器設備請購單之開立，並已於4/30召開採購委員會完成決標，預計交貨日為8/31，30日曆天完成安裝及試測。
• 完成麥克風音壓靈敏度低頻校正技術 • 完成麥克風自由場靈敏度高頻校正技術	• 完成麥克風音壓靈敏度低頻校正技術報告(108/10/31) • 完成麥克風自由場靈敏度高頻校正技術報告(108/12/30)	• 完成壓力場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，並整合目前的互換校正設備，完成建置符合IEC 61094-2規範之麥克風壓力場靈敏度校正系統，頻率範圍擴充至10 Hz至25 kHz，並完成完成麥克風音壓靈敏度低頻校正技術報告一份 • 完成自由場靈敏度校正分析儀模組以及數據分析計算軟體，整合目前的互換校正設備，建置符合IEC 61094-3規範之麥克風自由場靈敏度校正系統，頻率範圍擴充至1 kHz至40 kHz，並完成研究報告1份

工作項目	查核項目	實際執行情形
		測誤差直方圖，綜效評估量測不確定度。
<ul style="list-style-type: none"> 比較式球距量測技術 	<ul style="list-style-type: none"> 球徑量測不確定度(不含待測件):$U \leq 0.8 \mu\text{m}$ ($k=2$) (108/12/30) 微調夾治具設計圖1份 (108/09/30) 建立比較式球距量測程序1份(108/12/30) 	<ul style="list-style-type: none"> 完成三球互換法球徑量測技術：球徑量測不確定度評估；評估結果為 $0.2 \mu\text{m}$ ($k=2$)。 完成微調夾治具設計圖1份，包含2自由度微調設計圖及固定治具設計圖，2自由度微調治具包含俯仰(Pitch)、偏擺(Yaw)兩方向微調，治具可負重1.8 kg，可支撐固定治具與待測件，俯仰最小解析度9角秒、偏擺最小解析度16角秒，以規格評估，可有效降低球距量測時的準直誤差至奈米等級，減少球距量測之量測不確定度。 完成比較式球距量測程序，並依據量測程序評估各項不確定度來源。
<p>(二)具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 完成2項所需設備與標準件招標與規劃 完成「非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測」、「可攜式單一旋轉軸誤差線 	<ul style="list-style-type: none"> 完成「擴建角度塊規校正系統(D06)」、「建立二維標準件校正能量」所需設備與標準件招標與規劃(108/04/30) 完成「非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測」、「可攜式單一旋轉軸誤差線上快速 	<ul style="list-style-type: none"> 完成「建立二維標準件校正能量」之低熱膨脹係數標準件請購，10/31前完成交貨驗收；6/3完成「擴建角度塊規校正系統(D06)」之自我校正型角度量測設備請購，12/5完成驗收。 完成「非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測」、「可攜式單一旋轉軸誤差線上快

工作項目	查核項目	實際執行情形
<p>上快速量測」之演算法及其影響參數模擬分析</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術之驗證平台 • 完成實際評估技術報告2份 • 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術實際評估(於驗證平台上)及其研究報告 	<p>量測」之演算法及其影響參數模擬分析(108/04/30)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術之驗證平台(108/06/30) • 完成非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測技術之治具與實際評估(108/08/31) • 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術實際評估(於驗證平台上)及其研究報告(108/12/30) 	<p>速量測」之演算法及其影響參數模擬分析，建立待校件、量測環境之所需條件及對應之量測不確定度影響，包含安裝誤差、待校件之重複性等，確保滿足量測準確度符合計畫規格及產業需求。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術之驗證平台，並完成角度定位準確度(ECC)之誤差分析，比較SelfA量測方法與傳統方法(利用自動視準儀與多邊規量測方法)，其平均差異值約為0.7角秒。 • 完成治具設計與實際評估，此治具為特殊設計樣式，使用五點量測方式，可準確求解LaserTRACER位置，並於CMM上進行驗證，結果與Etalon原廠軟體相互比較，確認LaserTRACER在CMM的空間座標位置差異小於1mm，確認所設計製作之治具可行。 • 完成可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, POCAS)之原型開發，與完成POCAS之分析演算法驗證，以徑向誤差量測重複性結果進行不確定

工作項目	查核項目	實際執行情形
		度評估，結果小於 0.01 μm ，符合精密機械產業界對於迴轉工作台對於徑向誤差量測需求(線性誤差不確定度小於3 μm)，並完成研究報告1份。
<p>(三)非接觸式溫度量測之線上校正技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 黑體輻射光譜模擬技術 • 黑體模擬器光機電整合 • 完成固定點黑體模擬器開發與製作 	<ul style="list-style-type: none"> • 黑體輻射光譜模擬技術 (108/04/30) 波長peak range at 0.9 $\mu\text{m} \pm 10 \text{ nm}$ Spectrum:500 μm to 1100 μm • 黑體模擬器光機電整合 (108/08/31) Power~ 15 mW light sources coupling dia. $\leq 7.6 \text{ mm}$ 機構結構爆炸圖面 • 完成固定點黑體模擬器開發與製作(108/12/30) 溫度: 962 $^{\circ}\text{C}$ 波長@ $\lambda \text{ max}$: 0.9 μm 升溫達穩定時間 $\leq 30 \text{ mins}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • 黑體輻射光譜模擬技術完成以4顆IR LEDs進行黑體器之光譜擬合(962 $^{\circ}\text{C}$)。波長peak range at 0.9 $\mu\text{m} \pm 10 \text{ nm}$ Spectrum:500 μm to 1100 μm • 完成固定點黑體模擬器設計設計，黑體模擬器內部元件需要之最大輸入功率為2顆LED，經確認符合計畫書黑體模擬器規格與功能後，確定其所需之功率為17 mW。經實際測試，模擬器升溫至1000 $^{\circ}\text{C}$所需時間: < 30 minute，尺寸: 0.18 m \times 0.05 m \times 0.07m，light sources coupling dia. $\leq 7.6 \text{ mm}$。 • 完成固定點黑體模擬器開發與製作 平均溫度: 962 $^{\circ}\text{C}$ 標準差: 0.727 $^{\circ}\text{C}$ 波長: 0.9μm (900 nm \pm 10 nm) 穩定時間: 26.7 min(1 %變化)

(三)智慧生產線調和檢測技術與標準建置分項

工作項目	查核項目	實際執行情形
<p>(一)高速連網設備電磁安全量測標準技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 完成儀器設備採購及驗收 • 發展訊號自動回饋補償演算法 • 量測場地之特性分析 • 高電磁場強度之訊號特性分析 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成儀器設備請購單之開立(108/04/30) • 完成訊號自動回饋補償演算法之流程圖設計(108/06/30) • 完成量測場地之特性分析，場地變異性≤ 0.5 dB(108/09/30) • 完成確認高電磁場強度之訊號特性量測，2次與3次諧波失真≤ 15 dBc(108/10/13) 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成「電磁場強度校正設備」訂購，並於11/6驗收。 • 參考 IEEE 1309 與 IEC 61000-4-3規範，完成「橫電磁波室」(量測範圍0.1 MHz 至 500 MHz)及「全電波暗室」(0.5 GHz至8 GHz)兩種標準場地之電磁場強度量測系統設計規劃。 • 完成橫電磁波室及電波暗室量測場地之特性分析，場地變異性皆小於0.5 dB，量測結果如下： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 於橫電磁波室評估方式是參考國際法規 IEC 61000-4-20:2010，場地特性分析結果變異性為(0.08 ~ 0.32) dB，符合計畫目標≤ 0.5 dB ✓ 於電波暗室評估方式是參考國際法規 IEC 61000-4-3:2010，場地特性分析結果變異性為(0.03 ~ 0.5) dB，符合計畫目標≤ 0.5 dB。 • 目前大部分電磁場強度計的量測頻率範圍均為寬頻型式，因此在進行訊號量測時，會同時測得主波訊號與諧波訊號而造成量測誤差，根據式(4-7)與式(4-8)，可模擬出電場強度為200 V/m時，主波訊號強度與諧波訊號強度之誤差比例，由期末報告圖中可得知在進行電磁場強度計校正時，系統產生之諧波特性需特別注意。在此針對系統之信號源進行諧波量測，其量測示意圖可參考期末報告。從量測結果可得知，諧波

工作項目	查核項目	實際執行情形
		失真訊號均在 -20 dBc以下，對目前量測系統影響不大。
<ul style="list-style-type: none"> • 完成儀器設備採購及驗收 • 建立高電磁場強度量測標準 <p>(二)智慧型 GNSS 遠端校時服務系統技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 建設國家級同步源 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成儀器設備規格驗收報告(108/12/31) • 完成建立高強度之電磁場量測標準系統200 V/m (0.1 MHz – 8 GHz) (108/12/31) • 完成國家級同步源建設設備規格書(108/04/30) 	<ul style="list-style-type: none"> • 由於系統需產生200 V/m高電磁場強度訊號，因此於今年購置高功率放大器。由於特性與諧波失真訊號最為重要，亦會影響評估量測不確定之結果，經實際驗收量測後，結果顯示其1分貝壓縮點在頻率1 GHz以下時功率輸出可達500 W (57 dBm)與頻率在(1-4) GHz (54 dBm)時功率輸出可達250 W，2次諧波失真與3次諧波失真均在 -20 dBc以下，如報告中圖127-128所示，均符合規格需求。 • 系統設置如報告中圖所示，經以追溯至英國物理實驗室(NPL)之標準件分別在橫電磁波室與電波暗室之標準場地進行0.1 MHz至500 MHz及500 MHz至8 GHz的200 V/m場強驗證量測後，得到量測結果如報告所示，顯示各頻段的場強都可達到200 V/m以上，符合計畫原訂的高場強目標。 • 完成國家級同步源設備規格書訂定，並依據規格書完成「氫微射頻率標準器」訂購，預定10/31前到貨。(本案原預定於10/1交貨。購案進行至9月初，接獲代理商訊息稱無法取得俄羅斯官方之出口許可證明。復經代理商請原廠及俄羅斯駐台辦事處協助交涉無效後，確定已無法購得氫鐘，故雙方和議解約。為免耽誤原計畫研究期程改採購銻原子頻率標準器組一組。)

工作項目	查核項目	實際執行情形
<ul style="list-style-type: none"> • 智慧型GNSS遠端校時服務系統母站 • 智慧型GNSS遠端校時服務系統母站 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成智慧型GNSS遠端校時服務系統母站規劃報告(108/06/30) • 智慧型GNSS遠端校時服務系統設備建設規格書(108/12/31) 	<ul style="list-style-type: none"> • 建立母站參考時間源，以作為標準信號服務的參考源頭，所規劃之母站參考時間源如圖五所示，國家同步源介面用來同步國家標準時間與母站參考時間源，其設備包含原子鐘、頻相微調器、GNSS接收設備以及頻相傳遞(GNSS接收設備及國家同步源介面)等設備，此規劃可以符合109年計畫建設達到國家級同步源與UTC (TL)的比較精度10奈秒之目標，滿足5G等產業遠端監測所要求。 • 系統規格係依據分項計畫各階段目標制定。相關目標包括：109年度目標之一「建立與國際接軌之智慧化時頻比對系統：提升遠端頻率校正能量至1.0E-13」、110年度目標之一「建設實驗室之同步分配系統：子站與母站比較時間延遲量小於10奈秒」、以及111年度目標之一「同步源資訊管理系統建設：子站與母站比較時間精確度達10奈秒等級」等。
<ul style="list-style-type: none"> • 建設國家級同步源 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成國家級同步源設備架設(108/12/30) 	<ul style="list-style-type: none"> • 以新購之銫原子頻率標準器組架設國家級同步源，並與追溯至世界協調時之UTC(TL)標準件進行比對量測。經7.2×10^{-14}頻率調整以及183.0 ns相位調整之後，UTC(TL)世界協調時間的差異在10 ns以內，符合計畫原訂目標。 • (原氫微射頻率標準器購案已簽約在案，並預定於10/1交貨。購案進行至9月初，接獲代理商訊息表示無法取得俄羅斯官方之出口許可證明。復經代理商請原廠及俄羅斯駐台辦事處協助交涉無效後，確定已無法購得氫鐘，故雙方和議解約。為免耽誤原計畫研究期程

工作項目	查核項目	實際執行情形
		及採購年底結案，變更為採購銻原子頻率標準器組一組，於11/29到貨，12/13完成驗收。
<p>(三)智慧機械產業電磁環境與安全要求之標準、檢測技術與驗證研究技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之EMC與安全標準及檢測能量研究 	<ul style="list-style-type: none"> 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人EMC與安全及資訊安全標準研究報告1篇(108/06/30) 辦理完成技術活動暨研討會1場次(108/08/31) 完成課程教材2份(108/08/31) 辦理完成智慧機械之國際檢測、驗證及研究機構交流合作1場次(108/09/30) 	<ul style="list-style-type: none"> 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人EMC與安全及資訊安全標準研究報告1篇，參考規範 EN 50370-1, EN 50370-2, IEC/EN 61000-6-2, IEC/EN 61000-6-4, ISO 10218-1, ISO 10218-2, IEC 62443-1-1, IEC 62443-2-1, IEC 62443-3-3, IEC 62443-4-2。 8/23於南港展覽館完成「台灣工業用機器人EMC和安全規範研討會」辦理，計35家廠家，共53人參加，研討會主題包含智機聯網設備及工業型機器人安全與EMC等議題。 完成「工業用機器人在台使用EMC相關規範」及「智能倉儲和AGV工業安全與機器人風險評估與安全基礎」2份課程教材。 完成歐洲國際檢測、驗證機構交流合作1場次，相關單位包括國際檢測、驗證機構：德國TUV SUD、智機製造商：思愛普公司(SAP)、研究單位：德國司徒加特大學，雙方就智慧機械產品之EMC及安全檢測驗證進行交流，另透過參加法蘭克福汽車展及漢諾威歐洲工具機展(EMO展)，蒐集產業資訊。

工作項目	查核項目	實際執行情形
<ul style="list-style-type: none"> • 智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之EMC檢測技術研究 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人EMC測試規範2份(108/10/31) 	<ul style="list-style-type: none"> • EMC檢測能量需依照產品特性與使用場地以對應相對之測試規範，針對常見之智慧機械聯網相關設備及工業型機器人之產品類別與對應的EMC標準，以作為規劃國內智慧機械產業所需檢測驗證能量之參考。
<ul style="list-style-type: none"> • 智慧機械聯網相關設備、工業型機器人之EMC與安全標準及檢測能量研究 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成智慧機械聯網相關設備及工業型機器人EMC及安全檢測能量研究報告1篇(108/11/30) 	<ul style="list-style-type: none"> • 智慧機械為國際發展趨勢，未來智慧機械智慧化與自動化將成為主流，智慧機械關鍵零組件結合機器人與自動化系統將產生更複雜的EMC與安全問題，例如由感應器、馬達、通訊網路及CNC機器等經由非預期的產生、傳播與接收而造成設備的電磁波干擾與誤動作，導致設備異常、系統故障，及人員安全等危害。
<ul style="list-style-type: none"> • EMC技術服務與研討會舉辦 	<ul style="list-style-type: none"> • 完成智慧機械之EMC技術服務2件(108/11/30) 	<ul style="list-style-type: none"> • 智慧機械為國際發展趨勢，未來智慧化與自動化將成為主流，結合機器人與自動化系統將產生更複雜的電磁相容與安全等問題，本年度協助2家廠商完成智慧機械EMC檢測技術服務，1件為台達電子-工業型機器人之機器手臂，另1件為上銀科技-工業型機器人之機器手臂，藉由本計畫之執行，將協助服務國內產業的需求，提供廠商完善的測試驗證服務。

二、量化成果彙總表

屬性	績效指標類別	績效指標項目	108 目標	108 年達成
學術成就 (科技基礎研究)	A.論文	國內論文發表(篇)	6	5
		國外論文發表(篇)	6	7
	B.合作團隊(計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數	3	3
	C.培育及延攬人才	博碩士培育/訓人數	9	9
	H.技術報告及檢驗方法	技術報告 (含 ICT/MSVP 撰寫修訂)	13	15
	I1.辦理技術活動	辦理技術研討會場次 (含專家座談會)	4	4
	J1.技轉與智財授權	技術/專利應用(件)	2	15
	J1.技轉與智財授權	技術/專利運用收入 (千元) ^{註1}	2,500	5,006
	S2.科研設施建置及服務	量測標準系統擴建(套)	1	1
		擴建系統部分設備(套)	4	4
線上量測標準建立(項)		1	1	
經濟效益 (經濟產業促進)	N.協助提升我國產業全球地位	參與國內外相關標準訂定研究(件)	2	2
其它	產學研合作	國內分包研究(件)	2	2
		國內分包研究(金額-千元)	1,100	900
	國際合作	技術引進(件)	1	1
		技術引進(金額-千元) ^{註2}	900	0
	成果擴散	廠商訪視推廣(家)	12	12
		促進國內外廠商投資(千元)	20,000	75,000

註1：技術/專利應用推廣歲入繳庫金額，為108年度已收之技術/專利授權金額其60%繳庫。

註2：國際合作技術引進已達成，相關費用說明請參考報告76頁合作內容。

註3：「投入型」指標之成效：鑑於國家實驗室之主要任務是以提供產業校正量測技術服務為主，

因此，計畫內容多以校正系統之建置及線上量測技術發展為主。而本年度為計畫第一年，初期針對校正量測系統設計與建置，或擴充系統能量，並於接續的年度完成系統不確定度評估後，經系統開放評估會議委員同意後，提供量測與校正服務。以 FY108 完成之新擴建聲學校正系統為例，新擴建之聲學校正系統開放會議擬於明年第一季召開，預期明年新增的校正報告為 20 件，透過 2 級實驗室之產業槓桿效益，可新增檢測服務件次越 24,000 份，對應之新增檢測服務市場金額約 84,000,000 元，新擴建聲學校正系統可縮短廠商送校時間 66% (90 天縮短至 30 天)。

柒、附件

附件一、計畫購置儀器設備彙總表

機關(學校)名稱：經濟部標準檢驗局

單位：新臺幣元

編號	儀器名稱 (英文名稱)	使用 單位	單位	數量	單價	優先 順序	儀器廠牌及型號
1	小力量校正系統	工研院 量測中心	台	1	5,460,000	1	N.A. (自製儀器)
2	音場麥克風校正設備	工研院 量測中心	台	1	7,813,909	1	BRUEL & KJAER
3	波長可調式雷射	工研院 量測中心	台	1	5,600,000	1	EKSPLA/NT 200
4	電磁場強度校正設備	工研院 量測中心	台	1	5,390,000	1	Rohde&Schwarz
5	銻原子頻率標準器組	工研院 量測中心	台	1	6,890,000	1	Microsemi
6	自我校正型角度量測設備	工研院 量測中心	台	1	4,225,912	1	E-motionsystem /SCMS-127
7	低熱膨脹係數標準件 KROSAKI HARIMA	工研院 量測中心	台	1	3,688,742	1	Krosaki Harima Corporation
8	環型編碼器	工研院 量測中心	台	1	349,650	1	Heidenhain/RON 905

填表說明：

- 1.本表中儀器名稱以中文為主，英文為輔。
- 2.依契約本計畫新臺幣 300 萬以下設備，悉由執行單位自行籌款購置，計畫編列設備使用費分年攤提。

附件二、研究成果統計

成果 項目	專利權 (項數)		著作權 (項數)	論文 (篇數)		一般研究報告 (篇數)			技術創新 (項數)				技術 引進 (項數)	技術移轉或 專利應用		技術 (校正) 服務		研討會		
	獲證	申請		期刊	研討會	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟 體	技 術		項 數	廠 家	項 數	廠 家	場 次	人 數	日 數
感測器計量標準建構	-	-	-	-	3	5	-	-	-	-	-	-	-	5	9	-	-	2	49	1
工具機線上校正技術建立	-	-	-	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	1	75	1
智慧生產線調和檢測技術與標準建置	-	-	-	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	2	4	-	-	1	53	1
小計	-	-	-	2	10	15	-	-	-	-	-	-	-	9	15	-	-	4	177	3
合計	-	-	-	12	15	15	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	184		

- 註：(1) 技術創新一欄中所謂產品係指模型機、零組件、新材料等。
 (2) 專利權及著作權項數以當年度核准項目為主，若為申請中案件則於次年度中列報。
 (3) 研討會含在職訓練、成果發表會、說明會、論壇。

附件三、出國暨赴陸會議人員一覽表

短期訓練

計畫書項次	主要內容	出差國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
2	參加溫度領域研討會發表研究論文	中國大陸/ 成都	2019.06.08 -06.14 (共 7 天)	葉建志	主要協助高溫量測技術研究、熱流設計	瞭解各國會員在溫、濕度技術領域的技術活動、發展現況及未來規劃，作為 NML 技術發展規劃的參考，並於會議中發表論文。
4	參加第 20 屆固態感測器、致動器暨微系統學術研討會(Transducers 2019)及參訪德國 PTB 實驗室	德國/ 柏林 布朗斯威克	2019.06.18 -06.29 (共 12 天)	陳思絜	主導微力感測器研發、設計、製作與測試	蒐集國際微機電感測元件技術之最新發展，並與各國專家進行技術交流，提供微機電感測元件開發與未來規劃之參考。
9(1)	參加 68 屆年度丹佛 X 射線會議(DXC 2019)與第 25 屆國際 X 射線光學和微分析大會(ICXOM-25)聯席會議	美國/ 芝加哥 蓋瑟斯堡	2019.08.04 -08.16 (共 13 天)	傅尉恩	計畫協同主持人	瞭解 NIST 在下世代智慧製造之未來規劃，作為 NML 在智機計畫後續的滾動式修訂與規畫參考，並討論於特定項目，未來合作之可行性。
10	參加量測技術相關討論會議或研討會或拜訪國際計量相關組織，進行技術交流活動，展現 NML 技術能力。	美國/ 西雅圖 密爾必達 聖他克拉拉 舊金山 史丹佛	2019.09.03 -09.12 (共 10 天)	傅尉恩	計畫協同主持人	1.瞭解美國人工智慧與相關前瞻科技研發方向，與探索未來研發合作的可行，提供計畫後續規畫依據。 2.推動臺灣智機產業/法人與美國創新能量鏈結，協助產業新創事業或導入國際新創技術。
5	赴先進國家標準實驗室進行量測技術合作交流。	德國/ 布倫瑞克 漢諾威 法蘭克福	2019.09.15 -09.24 (共 10 天)	許博爾	工具機分項主持人	1.參訪 PTB 瞭解技術發展細節與關鍵技術之突破方式，加速智慧機械

計畫書項次	主要內容	出差國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
						線上校正與量測技術發展，同時取得後續比對可能形式之資訊，強化國內產業之認可。 2.EMO 歐洲工具機展，瞭解目前工具機的重要技術與功能之規格，並瞭解後續可能的發展趨勢，以利技術開發之佈局。
6	參加量測技術相關討論會議或研討會，及拜訪先進國家實驗室，進行技術交流活動。	法國/巴黎	2019.09.22-09.28 (共 7 天)	陳文仁	感測器分項主持人	1.透過CIM2019國際研討會發表論文，展示我國目前最新的智慧機械精密量測技術發展，協助提升我國量測技術的國際曝光度。 2.參觀「Measurement World」，藉由參觀與量測領域業者交流，收集歐洲精密機械量測之產業發展現狀，透過了解最新產品與產業發展，提升量測技術能力以協助國內智慧機械產業發展。
1	參加國際精密機械領域研討會發表研究論文	捷克/布爾諾布拉格	2019.10.09-10.16 (共 8 天)	陳智榮	主要協助工具機技術開發	參訪捷克國家實驗室(CMI)，瞭解國家級實驗室在3D量測發展趨勢，有助於研究方向發展，並增加可技術交流對象。同時發表之論文將可登錄於IOP期刊，屬Ei等級之期

計畫書 項次	主要內容	出差 國家	期間	參加 人員 姓名	在本計畫 擔任之工作	對本 計畫 之助益
						刊，增加研究成果能見度，並有助於將開表之技術推廣至台灣產業。
9(2)	參加量測技術研討會或拜訪國際計量相關組織，進行技術交流活動，展現 NML 技術能力。	德國/ 不倫瑞克	2019.10.12 -10.19 (共 8 天)	劉軍廷	主要研究奈米計量和機械技術開發	參加 NanoScale 2019 並發表目前成果。藉此國際會議，了解國際上奈米研究對於精密製造相關領域所帶來之影響，並參訪當地 PTB 實驗室了解奈米機械相關領域，與 PTB 之奈米或機械領域專家進行交流。藉此機會蒐集各國對於奈米領域發展之趨勢，以助益計畫後續之發展。
11	拜訪國際計量單位，進行技術交流活動並尋求合作機會。	日本/ 東京 筑波	2019.11.05 -11.09 (共 5 天)	許博爾	工具機分項 主持人	瞭解 NMIJ/AIST 之技術發展規劃及與產業之連結措施，以作為技術發展及產業化之規劃。透過雙方之互訪與交流，建立雙方友好關係，以作為未來合作之基礎。
3	參加溫度領域研討會發表研究論文	日本/ 富山 筑波	2019.11.16 -11.23 (共 8 天)	廖淑君	主要協助高溫量測技術研究、熱流設計	發表國家度量衡標準實驗室(NML)在智慧機械產業計量標準技術成果，展現 NML 研發技術能力。瞭解 NMIJ 之技術發展規劃，以作為與產業之連結措施。
5	參加力學領域相	日本/	2019.11.17 -11.23	吳忠霖	力量校正技	發表論文並蒐集

計畫書 項次	主要內容	出差 國家	期間	參加 人員 姓名	在本計畫 擔任之工作	對本 計畫 之助益
	關會議/研討會，並拜訪國際計量相關組織或單位，進行技術交流活動並尋求合作機會。	新瀉 筑波	(共 7 天)		術研發與設計	國際力量、扭矩、質量與硬度量測技術之最新發展，作為未來計量標準建置規畫參考，並與各國專家進行技術交流，盼能促成國際計量領域研發合作機會。

長期訓練

計畫書 項次	主要內容	出差 國家	期間	參加人 員姓名	在本計畫 擔任之工作	對本 計畫之 助益
7	.赴日本國家計量研究院(NMIJ)進行「自我校正型角度量測技術」進行研習，及拜訪 E-motion 公司	日本/ 筑波 東京	2019.06.20 -09.13 (共 86 天)	謝宗翰	主導旋轉工作台幾何誤差量測實驗，針對 NMIJ 所發展的可自我校正型角度量測設備	自行開發之旋轉軸幾何誤差分析演算法，與日本國家計量研究院進行比對，由驗證平台進行實驗，完整地將驗證平台之硬體設計能力與國家計量研究院分析演算法技術引進國內。

附件四、技術/專利應用一覽表

◎本年度累計至本期已開出發票計 5,006,000 元，成果運用收款計 5,006,000 元，依據合約 60%繳庫(即 3,003,600 元繳庫)

項次	技術項目	廠商	運用模式	合約數(元)	本年度已開之發票(元)	本年度繳庫金額(元)	簽約年度	技術項目規格/內容
1	奈米壓痕量測技術運用	英商思睿	技術授權	360,000	360,000	216,000	108	利用經校正力量 10 mN 奈米壓痕量測系統協助廠商量測材料機械特性，確認製程機台參數。
2	蜘蛛絲機械性質量測技術運用服務	東海大學	技術授權	110,000	110,000	66,000	108	利用經校正力量 500 mN 材料機械性質量測系統協助學術單位量測蜘蛛絲材料強度，發表研究論文。
3	奈米壓痕量測金屬薄膜技術運用服務	思達	技術授權	130,000	130,000	78,000	108	利用經校正力量 10 mN 奈米壓痕量測系統協助廠商量測材料機械特性，確認製程機台參數。
4	LED 光輻射特性量測技術運用	信越	技術授權	120,000	120,000	72,000	108	建置固定點黑體模擬器，並在開發過程導入 IR LED 光譜擬和與相關 IR LED 檢測技術與計量標準。 成果應用於廠商(信越光電)之 LED 光輻射特性量測技術運用(紅外線)。 技術項目：IR LED 檢測技術與計量標準，包含 IR 光譜特性量測，IR LED 輻射通量量測技術應用。
5	無響室性能量測技術運用	騰群	技術授權	111,600	111,600	66,960	108	騰群環境工程有限公司專營聲學實驗室隔振系統工程，主要客

項次	技術項目	廠商	運用模式	合約數(元)	本年度已開之發票(元)	本年度繳庫金額(元)	簽約年度	技術項目規格/內容
								戶為鴻海、華碩、Apple 等，本案以聲學標準計量運用無響室性能量測技術，協助騰群公司建置消防安全中心基金會之無響室之性能驗證，提供符合國際規範的測試聲場。
6	無響室性能量測技術運用	中華消防基金會	技術授權	171,400	171,400	102,840	108	中華消防基金會為緊急廣播揚聲器、火警警鈴等聲學元件之測試單位，本案以聲學標準計量運用無響室性能量測技術，提供符合國際規範的測試聲場，並協助該基金會產品測試結果的準確性。
7	無響室性能量測技術運用	聲譜	技術授權	455,000	455,000	273,000	108	聲譜有限公司主要服務項目為聲學工程，協助華碩公司建置標準之聲學音場測試環境，本案以聲學標準計量運用無響室性能量測技術，提供符合國際規範的測試聲場。
8	無響室性能量測技術運用	翰旻	技術授權	162,000	162,000	97,200	108	翰旻有限公司主要服務項目為聲學工程，協助仁寶公司建置標準之聲學音場測試環境，本案以聲學標準計量運用無響室性能量測技術，提供符合國際規範的測試聲場。
9	聲學音場驗證技術運用	景笙	技術	120,000	120,000	0	108	景笙有限公司主要技術為噪音

項次	技術項目	廠商	運用模式	合約數(元)	本年度已開之發票(元)	本年度繳庫金額(元)	簽約年度	技術項目規格/內容
			授權					防治工程，協助台灣鐵三角公司建置麥克風、耳機測試之聲學音場環境，本案以聲學標準計量運用音場驗證技術，提供符合國際規範的測試聲場。
10	EMC 場地特性量測技術運用	強電	技術授權	306,000	306,000	183,600	108	提供國內電磁相容(EMC)測試實驗室對其 EMC 測試場地之特性規格驗證，確認其符合國際規範要求，讓實驗室可針對各類機械設備、機電產品提供 EMC 之安規檢測驗證服務，有助於國內廠商之設備產品販售與出口。
11	EMC 場地特性量測技術運用	研創	技術授權	290,000	290,000	174,000	108	提供國內電磁相容(EMC)測試實驗室對其 EMC 測試場地之特性規格驗證，確認其符合國際規範要求，讓實驗室可針對各類機械設備、機電產品提供 EMC 之安規檢測驗證服務，有助於國內廠商之設備產品販售與出口。
12	建立微波量測標準校正實驗室輔導	全測	技術授權	350,000	350,000	210,000	108	協助國內儀器商建立符合 ISO 規範之電磁參數校正實驗室，並輔導其進行實驗室認證，讓實驗室所產出之校正報告可直接為國際各國所認可，進而提升廠商的競爭力與市場擴展。
13	EMC 場地特性量測技術運用	弘安	技術	220,000	220,000	132,000	108	提供國內電磁相容(EMC)測試

項次	技術項目	廠商	運用模式	合約數(元)	本年度已開之發票(元)	本年度繳庫金額(元)	簽約年度	技術項目規格/內容
			授權					實驗室對其 EMC 測試場地之特性規格驗證，確認其符合國際規範要求，讓實驗室可針對各類機械設備、機電產品提供 EMC 之安規檢測驗證服務，有助於國內廠商之設備產品販售與出口。
14	非接觸式智慧迴轉工作台誤差量測技術開發	上銀	技術授權	2,000,000	2,000,000	1,200,000	108	應用工具機旋轉軸產品生產線中，將實際應用於組裝過程與品管流程中。
15	微奈米機械性質量測技術運用服務	交通大學	專利授權	100,000	100,000	60,000	108	利用經校正力量 500 mN 材料機械性質量測系統協助學術單位量測材料強度，確認製程參數。
合計				5,006,000	5,006,000	3,003,600		

※目前收入數：表示本年度已開之發票。

※目前繳庫金額：表示已開發票且已收到款，並依據合約 60% 繳庫。

※因部份款項尚未收款將持續催款，預計 12/30 前完成收款繳庫。

附件五、論文一覽表

期刊論文 2 篇、研討會論文 10 篇，總計 12 篇

項次	名稱	作者	會議/期刊名稱	發表日	頁數	國別	類別	資料編號	SCI IF 值
1	智慧 GNSS 遠端傳時計量技術	林晃田、黃毅軍、曾添冠、廖嘉旭	量測資訊雙月刊	20191101	6	台灣	期刊	075A80138	0
2	使用全球衛星導航系統共視法進行 LTE-A 以及 5G 同步網路效能監視	蕭師基、廖嘉旭、黃毅軍、邱紫瑜	International Journal of Electrical Engineering	20190801	8	台灣	期刊	075A80142	0
3	用於手持式熱導率儀的熱管探針研製	葉建志、柯心怡、徐瑋宏、郭晉榮	TEMPMEKO	20190612	3	中國	研討會	075A80034	0
4	短時量測低功率 RGB mini-LED 的反應時間	廖淑君、徐紹維、陳政憲、柯心怡、劉子安	Microoptics Conference	20191115	2	日本	研討會	075A80040	0
5	實驗室標準麥克風低頻音壓靈敏度參數計算之研究	黃彥淳、涂聰賢、郭淑芬、盧奕銘	音響學會學術研討會	20191115	9	台灣	研討會	075A80076	0
6	以奈米碳管披覆三氧化二鋁塗層的設計提升阻值式微機電濕度感測元件之靈敏度特性	陳思絜	International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems	20190627	4	德國	研討會	075A80047	0
7	設計與開發 CMOS-MEMS 三軸力量感測器	陳思絜、吳忠霖、陳生瑞	Asia Pacific Measurement Forum on Mechanical Quantities	20191117	4	日本	研討會	075A80109	0
8	可攜式角度感測元件開發於工業馬達檢測	謝宗翰、陳智榮、許博爾、何炳林	International Conference on Mechatronics and Electrical Systems	20191012	36	捷克共和國	研討會	075A80085	0
9	使用多重曝光圖像改善相位圖	何炳林、翁精鋒、許博爾、林浩沅、李朱育	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation	20191126	1	台灣	研討會	075A80107	0
10	旋轉軸幾何誤差量測由	謝宗翰、陳智榮、陳昱達、	The International	20191116	1	台灣	研討會	075A80126	0

項次	名稱	作者	會議/期刊名稱	發表日	頁數	國別	類別	資料編號	SCI IF 值
	多數光學讀頭	許博爾	Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation						
11	應用雷射追蹤儀於旋轉軸幾何誤差量測	陳昱達、謝宗翰、陳智榮、許博爾、何炳林,	The International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation	20191116	3	台灣	研討會	075A80136	0
12	三球互換法之半徑量測與量測不確定度評估	何炳林、陳智榮、管思綺、許博爾、謝宗翰、陳文仁	International Congress of Metrology	20190924	5	法國	研討會	075A80082	0

附件六、技術報告一覽表

項次	名稱	作者	產出日期	頁數	語言	機密等級	資料編號
1	智慧機械聯網相關設備及工業型機器人 EMC 與安全及資訊安全標準研究報告	饒瑞榮	2019/06/29	69	中文	非機密	073A80069
2	標準量測場地之特性分析	劉家維、林至為	2019/09/29	18	中文	機密	073A80143
3	高強度訊號特性分析及標準電磁場建立	劉家維	2019/11/28	7	中文	機密	073A80169
4	麥克風音壓靈敏度低頻校正技術	郭淑芬、盧奕銘	2019/11/27	30	中文	機密	073A80237
5	麥克風自由場靈敏度高頻校正技術	郭淑芬、黃彥淳	2019/11/29	20	中文	機密	073A80238
6	第 20 屆固態感測器、致動器暨微系統學術研討會(出國報告)	陳思絜	2019/08/22	27	中文	非機密	073A80122
7	力量感測元件設計報告	陳思絜	2019/11/11	15	中文	機密	073A80194
8	小力量校正系統設計報告	吳忠霖	2019/11/26	11	中文	機密	073A080206
9	五軸工具機控制器動靜態誤差補償之參數格式轉換	覺文郁、謝東賢、許家銘	2019/09/17	16	中文	非機密	073A80156
10	3D 掃描模組及多曝光演算法先期研究	劉建聖、黃駿成	2019/09/21	28	中文	機密	073A80158
11	五軸工具機控制器動靜態誤差補償之參數格式轉換期末報告	覺文郁、謝東賢、許家銘	2019/11/27	19	中文	機密	073A80192
12	自我校正型角度計量研究	謝宗翰、許博爾	2019/11/25	50	中文	機密	073A80224
13	攝影機與投影機校正之三維重建技術	劉建聖、黃駿成、何炳林	2019/12/02	56	中文	機密	073A80198
14	黑體輻射光譜模擬技術	陳政憲、廖淑君、柯心怡	2019/12/13	13	中文	機密	073A80220
15	黑體模擬器光機電整合	董書屏	2019/12/03	21	中文	機密	073A80207

附件七、研討會/技術推廣說明會/訓練課程一覽表

項次	名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦 地點	廠商 家數	參加 人數
壹、研討會					
1	台灣工業用機器人 EMC 和 安全規範研討會	108.8.23	台北	35	53
2	AI 語音與機械聲音之聲學麥 克風校正技術研討會	108.10.18	新竹	13	27
3	聲學麥克風校正技術與應用 研討會	108.10.24	新竹	11	22
	小計			59	102
貳、技術推廣說明會/成果發表會					
1	自動化機械暨智慧製造展	108.11.07-108.11.11	台中	-	-
2	智機計畫產業計量標準建置 技術交流會	108.11.08	台中	29	75
	小計			29	75
	總計			88	177

附件八、名詞索引表

簡 稱	全 名	中文譯稱
NMC	National Metrology Centre ,Singapore	新加坡計量中心
AFRIMET	Intra-Africa Metrology System	非洲計量體系
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	日本產業技術綜合研究所
AMP	Advance manufacturing partnership	先進製造業夥伴關係
ANSI	American National Standards Institute	美國國家標準協會
AOI	Automatic Optical Inspection	自動光學檢測
APEC	Asia-Pacific Economic Cooperation	亞太經濟合作會議
APLMF	Asia-Pacific Legal Metrology Forum	亞太法定計量論壇
APMF	Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass , Force and Torque	亞太質量、力學及扭力論壇
APMP	Asia-Pacific Metrology Programme	亞太計量組織
ASEAN	The Association of Southeast Asian Nations	東南亞國家協會 簡稱東協
ASTM	American Society for Testing and Material	美國試驗與材料協會
AUV	Acoustics, Ultrasound, Vibration	聲量、超音波、振動
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures 《International Bureau of Weights and Measures》	國際度量衡局
BIML	International Bureau of Legal Metrology	國際法定度量衡局
CC	Consultative Committee	諮詢委員會
CCAUV	Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration	聲量、超音波、振動諮詢委員會
CCDM	Comitè Consultatif pour la Définition du Mètre 《Consultative Committee for Definition of the Meter》	公尺定義諮詢委員會
CCDS	Comitè Consultatif pour la Définition de la Seconde 《Consultative Committee for the Definition on the Second》	秒定義諮詢委員會
CCE	Comitè Consultatif d'Électricité 《Consultative Committee on Electricity》	電量諮詢委員會
CCEM	Consultative Committee for Electricity and Magnetism	電量/磁量/微波諮詢委員會
CCEMRI	Comitè Consultatif pour la les Étalons de mesure des Rayonnements Ionisants 《Consultative Committee for the Standards on Measurement of Ionizing Radiation 》	游離輻射量測標準諮詢委員會
CCL	Consultative Committee for Length	長度諮詢委員會
CCM	Comitè Consultatif pour la Masse et les grandeurs apparentées	質量及相關量諮詢委員會
CCPR	Comitè Consultatif de Photométrie et Radiométrie 《Consultative Committee for Photometric and Radiometry》	光輻射諮詢委員會

簡 稱	全 名	中文譯稱
CCQM	Comitè Consultatif pour la Quantité de Matière Consultative Committee for Amount of Substance – Metrology in Chemistry	物量諮詢委員會
CCRI	Consultative Committee for Ionizing Radiation	游離輻射諮詢委員會
CCT	Comitè Consultatif de Thermométrie 《Consultative Committee on Thermometry》	溫度諮詢委員會
CCTF	Consultative Committee for Time and Frequency	時間及頻率諮詢委員會
CCU	Consultative Committee for Photometry (CCP) Comitè Consultatif des Unitès 《Consultative Committee of SI Unites》	國際單位諮詢委員會
CD	Critical Dimension	關鍵尺寸、臨界尺寸
CENAM	Centro Nacional de Metrologia	墨西哥國家計量中心
CGPM	Confèrence Gènèral des Poids et Mesures 《General Conference of Weights & Measures》	國際度量衡大會
CIE	Commission internationale de l'éclairage ; 《International Commission on Illumination》	國際照明委員會
CIML	International Committee of Legal Metrology	國際法定計量委員會
CIPM	Comittee International des Poids et Mesures 《International Committee of Weights & Measures》	國際度量衡委員會
CIPM MRA	CIPM Mutual Recognition Arrangement	國際度量衡委員會相互認可協議
CMC	Calibration and Measurement Capabilities	校正與量測能量
CMM	Coordinate Measuring Machine	座標量測儀
CODATA	Committee on Data of the International Council for Science	國際科學技術基本常數委員會
COOMET	Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions	歐亞國家計量組織聯盟
CPEM	Conference on Precision Electromagnetic Measurements	精密電磁量測大會
CSIR	Council for Scientific and Industrial Research	南非科學與工業研究院
DEC	Developing Economies Committee	發展中經濟體委員會，開發中國家
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology	丹麥國家計量院
DFPI	Dual Fabry-Perot Interferometer	雙光學共振腔
DG	Discussion Group	專業討論小組
DIN	Deutsches Institute for Normung	德國標準協會
DSM	Department of Standards Malaysia	馬來西亞標準局

簡 稱	全 名	中文譯稱
DSQ	Directorate of Standards and Quality	越南標準與品質總局
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	高密度分波多工
EC	European Communities	歐洲共同體
EC	Executive Committee	執行委員會
EMRP	European Metrology Research Programme	歐洲計量研究計畫
EOM	Electro-optical modulator	電光調制器
EURAMET	the European Association of National Metrology Institutes	歐洲計量組織聯盟
EUSPEN	European Society for Precision Engineering and Nanotechnology	歐洲精密工程及奈米技術研討會
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅立葉轉換
FG	Focus Group	焦點工作組
FinFET	Fin Field-Effect transistor	鰭式場效電晶體
GA	General Assembly	會員大會
GIXRR	Grazing incidence X-ray reflectivity	低略角 X 射線反射技術
GIXRF	Grazing incidence X-ray fluorescence	低略角 X 射線螢光光譜
GULFMET	Gulf Association for Metrology	波斯灣計量標準聯盟
GUM	Guide to the expression of Uncertainty in Measurement	ISO 量測不確定度表達指引文件
ICT	Instrument Calibration Technics	校正程序
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer	感應耦合電漿質譜分析儀
IEC	International Electrotechnical Commission	國際電工委員會
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.	美國電機與電子工程師協會
ILAC MRA	International Laboratory Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement	國際實驗室認證聯盟相互認可協議
IMEKO	International Measurement Confederation	國際量測聯合會
INM	Institute National de metrologie 《National Institute on Metrology》	法國國家計量研究院
INMS	Institute for National Measurement Standards	加拿大國家量測標準研究院
INRIM	Istituto Nazionale per La Ricerca Metrologica	義大利國家實驗室
ISO	International Organization for Standardization	國際標準組織
ITRS	International Technology Roadmap for Semiconductors	國際半導體科技技術藍圖
ITU	International Telecommunication Union	國際通訊聯盟
JCRB	Joint Committee of RMOs and the BIPM	區域組織聯合委員會
JPT	Joint Proficiency Test program	聯合能力試驗計畫
KC	Key comparison	關鍵比對

簡 稱	全 名	中文譯稱
KCDB	Key Comparison Data Base	關鍵比對資料庫
KCRV	Key comparison reference value	關鍵比對參考值
KOLAS	Korea Laboratory Accreditation Scheme	韓國實驗室認證組織
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	韓國標準與科學研究院
LIMS	Laboratory Information Management System	實驗室資訊管理系統
LNE	Laboratoire national de métrologie et d'essais,	法國國家計量標準實驗室
LNG	Liquefied natural gas	液化天然氣
MAA	Mutual Acceptance Arrangement	型式認證相互承認協議
METAS	Federal Institute of metrology	瑞士計量聯合協會
MOU	Memorandum of Understanding	合作備忘錄
MRA	Mutual Recognition Arrangement	相互承認協定
MSVP	Measurement System Validation Procedures	量測系統評估報告
NATA	National Association of Testing Authorities	澳大利亞國家試驗組織協會
NBS	National Bureau of Standards	美國國家標準局
NCSL	National Conference of Standards Laboratories	美國國家標準實驗室大會
NDL	National Nano Device Laboratory	國家毫微米實驗室
NDIR	Nondispersive Infrared	非分散式紅外線
NEL	National Engineering Laboratory	英國國家工程實驗室
NIM	National Institute of Metrology	中國計量科學研究院
NIMT	National Institute of Metrology(Tailand)	泰國國家計量研究院
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準與技術研究院
NMC	National Metrology Center	新加坡國家計量中心
NMI	National Metrology Institute	國家計量機構
NMIA	National Measurement Institute Australian	澳洲國家計量研究院
NMIJ	National Metrology Institute of Japan	日本國家計量研究院
NMISA	National Metrology Institute of South Africa	南非計量研究院
NPL	National Physical Laboratory	英國國家物理實驗室
NRC	National Research Council	加拿大國家研究委員會
NRCCRM	National Research Center for Certified Reference Materials	中國國家標準物質中心
OIML	Organisation International de Metrologie Legale 《International Organization of Legal Metrology 》	國際法定計量組織
PDH	Pound-Drever-Hall	龐德-德雷瓦-霍爾
PMU	Phasor Measurement Unit	同步相位量測系統
PJVS	Programmable Josephson Voltage Standard	可編輯式約瑟芬電壓標準
PR	Photometry and Radiometry	光度和光輻射量

簡 稱	全 名	中文譯稱
PT	Proficiency Test	能力試驗
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt 《Physikalisch Technische Reichsanstalt》	德國聯邦物理技術研究院
PWL	Physical Absorbed Water Layer	物理性吸附水氣層
PZT	Piezo-electric transducer	電致動器
QM	Amount of Substance	物量
RI	Ionizing Radiation	游離輻射
RMO	Regional Metrology Organization	區域計量組織
RTU	Remote Terminal Unit	遠程終端單元
RoF	Radio over Fiber	光載射頻
SASO	Saudi Arabian Standards Organization	沙烏地阿拉伯標準組織
SAXS	Small-angle X-ray scattering	小角度 X 光散射
tSAXS	Transmission Small-angle X-ray scattering	穿透式小角度 X 光散射
SBR	Saturable Bragg Reflcteor	半導體飽和吸收體
SC	Supplementary Comparison	輔助比對
SCRV	Supplementary Comparison Reference Value	輔助比對參考值
SDAC	Southern African Development Commuinty	南非國家地區發展組織
SEM	Scan electronic microscope	掃描式電子顯微鏡
SEMI	Semiconductor Equipment and Materials International	美國半導體設備與材料國際商會
SESAM	Semiconductor Saturable Absorber Mirror	半導體飽和吸收鏡
S.H.E.T	Safe、Health、Environment、Trade	安全健康環境貿易
SI	International System of Units; Système International d'Unités	國際單位制
SIM	Sistema Interamericano de Metrologia (Inter-american Metrology System)	美洲計量體系
SIRIM	Standards and Industrial Research Institute of Malaysia	馬來西亞標準與工業研究院
SMD	Belgian National Metrology Institute	比利時國家計量院
SMR	Spherically Mounted Retroreflector	角耦反射鏡
SP	Swedish National Testing and Research Institute	瑞典國家試驗研究院
SPAD	single-photon avalanche diode	雪崩式光子偵測器
SPIE	International Society for Optical Engineering	國際光學工程學會
spICP-MS	Single Particle Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry	單微粒感應耦合電漿質譜儀
SPM	Scanning Probe Microscope	探針掃描顯微鏡
SPM	Self phase modulation	自相位調制
SRM	Standard Reference Material	標準參考物質
SSPCM	Slovenian Society for Process Control and Measurements	斯拉維尼亞控制與量測學會
STM	Scanning Tunneling Microscope	穿隧掃描顯微鏡

簡 稱	全 名	中文譯稱
TAF	Taiwan Accreditation Foundation	財團法人全國認證基金會
TBT	Technical Barriers to Trade	技術貿易障礙
TCAUV	Technical Committee Acoustics, Ultrasound and Vibration	聲音/超音波/振動領域之技術委員會
TCFF	Technical Committee for Fluid Flow	流量領域之技術委員會
TCI	Technical Committee Initiative projects	技術委員會促進合作計畫
TCL	Technical Committee for Length	長度技術委員會
TCM	Technical Committee for Mass	質量技術委員會
TCMM	Technical Committee for Materials Metrology	APMP 材料計量技術委員會
TCT	Technical Committee for Temperature	溫度技術委員會
TEM	Tunnel electronic microscope transmission electron microscope	穿透式電子顯微鏡
TF	Time and Frequency	時間與頻率
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization	聯合國工業發展組織
VIM	international vocabulary of basic and general terms in metrology	國際計量基本與通用詞彙
VMI	Vietnam Metrology Institute	越南計量研究院
VNIIFTRI	National Scientific Research Institute for Physical-Technical and Radio-Technical Measurements	俄羅斯國家物理與無線電技術量測科學研究院
VNIIM	All-Russian Scientific Research Institute of Metrological Service	俄羅斯計量科學研究院
VSL	Van Swinden Laboratory	荷蘭國家計量院
WG	Working Group	工作小組
WGFF	Working Group of Fluid Flow	流量工作小組
WTO	World Trade Organization	世界貿易組織
XPS	X-Ray Photoelectron Spectroscopy	X 射線光電子頻譜技術
XRCD	X-Ray-Crystal-Density	X 光晶體密度法
XRCD	X-Ray-Crystal-Density	X 光晶體密度法
XRD	X-Ray Diffractometer	X 光繞射儀
XRF XPS	X-Ray Fluorescence and X-Ray Photoelectron Spectroscopy	X 光螢光與光電子頻譜
XRR	X-ray reflectivity	X 射線反射技術
XSW	X-ray standing wave	X 射線駐波