

經濟部科技專案期末成果報告書

110 年度智慧機械產業計量標準建置增值計畫

全程計畫:自 108 年 03 月至 111 年 12 月止

本年度計畫:自 110 年 01 月至 110 年 12 月止

中華民國 110 年 12 月

目錄

壹、基本摘要	7
貳、計畫目標與產業需求	11
一、全程計畫目標.....	11
二、國家度量衡標準實驗室定位與任務.....	14
三、產業需求.....	14
四、全程計畫架構.....	25
五、實施方法與產業效益.....	27
六、分年度技術建立目標及時程.....	30
分項一:力量感測器校正技術.....	30
分項一:機械聲音之聲學麥克風校正技術.....	32
分項二:視覺感測器 3D 量測之線上校正技術.....	33
分項二:具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術.....	35
分項二:計量數位化推動.....	38
參、年度計畫目標及執行情形	40
一、感測器計量標準建構分項.....	41
(一) 力量感測校正技術.....	45
(二) 機械聲音之聲學麥克風校正技術.....	62
二、工具機線上校正技術建立分項.....	85
(一) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術.....	87
(二) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術.....	99
(三) 計量數位化推動.....	114
三、產業線上量測標準商用場域試煉.....	132
四、委託執行情況.....	137
肆、資源運用情形	139
伍、計畫變更說明	142
陸、成果說明	143
附錄一、參考文獻.....	167
附錄二、資本門設備說明.....	170
附錄三、滿足至少 40 家次企業之校正追溯與能力試驗要求.....	172
附錄四、審查意見回覆.....	175

圖目錄

圖 1-1-1、動態力量量測系統 3D 設計圖	46
圖 1-1-2、連接座 1-1、1-2 與 2 之設計圖	47
圖 1-1-3、各零件之 3D 設計圖	48
圖 1-1-4、以 Solidworks 軟體執行干涉檢查之結果	48
圖 1-1-5、標準質量(法碼)之外觀設計圖	49
圖 1-1-6、動態力量量測系統特製法碼	50
圖 1-1-7、振動試驗機模組	52
圖 1-1-8、振動試驗機軟體控制介面設定	52
圖 1-1-9、振動位移隨時間之變化(振動試驗機上方無負載質量)	53
圖 1-1-10、固定於振動試驗機上之力量傳感器與 5 kg 法碼	54
圖 1-1-11、硬體架設示意圖	55
圖 1-1-12、雷涉干涉儀與振動試驗機之定位 (a)俯視圖 (b)側視圖	55
圖 1-1-13、振動試驗機軟體控制介面($f=2000\text{ Hz}$, $a=200\text{ m/s}^2$)設定	56
圖 1-1-14、施力頻率 2000 Hz，加速度隨時間之變化	57
圖 1-1-15、2000 Hz 振動位移隨時間(0-0.01) s 之變化	58
圖 1-1-16、振動試驗機軟體控制介面($f=100\text{ Hz}$, $a=20\text{ m/s}^2$)設定	59
圖 1-1-17、施力頻率 10 Hz，加速度隨時間之變化	60
圖 1-1-18、10 Hz 振動位移隨時間(0-2) s 之變化	60
圖 1-2-1、麥克風靈敏度校正原理	63
圖 1-2-2、麥克風靈敏度相位與模數量測的演算法模型	65
圖 1-2-3、標準麥克風靈敏度模數影響因子	66
圖 1-2-4、標準麥克風靈敏度相位影響因子	67
圖 1-2-5、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之量測系統追溯圖	68
圖 1-2-6、麥克風自由場靈敏度校正系統—比較法 系統圖	69
圖 1-2-7、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之自動化操作介面	70
圖 1-2-8、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之量測系統方塊圖	71
圖 1-2-9、系統查驗審查視訊會議	73
圖 1-2-10、麥克風模數與相位響應量測原理	74
圖 1-2-11、模數與相位量測系統接線圖	76
圖 1-2-12、模數與相位響應量測系統	76
圖 1-2-13、麥克風模數以不同方法量測結果的差異	78
圖 1-2-14、麥克風相位以不同方法量測結果的差異	78
圖 1-2-15、模數響應量測重複性誤差 (實驗室標準麥克風 B&K4180)	79
圖 1-2-16、模數響應量測重複性誤差 (工作標準麥克風 B&K4134)	79
圖 1-2-17、相位響應量測重複性誤差 (實驗室標準麥克風 B&K4180)	80
圖 1-2-18、相位響應量測重複性誤差 (工作標準麥克風 B&K4134)	80
圖 1-2-19、模數響應各輸入值之標準不確定度	82
圖 1-2-20、相位響應各輸入值之標準不確定度	83

圖 2-1-1、3D 球桿標準件重力變形分析	88
圖 2-1-2、3D 球桿標準件設計圖	90
圖 2-1-3、量測不確定度來源魚骨圖	91
圖 2-1-4、蒙地卡羅法之量測不確定度評估演算法流程圖	92
圖 2-1-5、VDI/VDE 2634 規範校正位置及 $u(L_m)$ 量測不確定度評估結果，誤差線數值為 1 倍標準差	92
圖 2-1-6、實驗室查核系統與影像校正板	94
圖 2-1-7、相機校正結果統計	94
圖 2-1-8、視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序架構	95
圖 2-1-9、視覺 3D 尺寸量測儀器校正實驗照(左)及量測數據(右)	97
圖 2-2-1、量測技術架構圖	100
圖 2-2-2、hole plate 硬體設計示意圖	101
圖 2-2-3、三線性軸幾何誤差示意圖	102
圖 2-2-4、操作指引圖	104
圖 2-2-5、hole plate 架設方向示意圖	104
圖 2-2-6、座標量測儀機構關係圖	105
圖 2-2-7、線性軸幾何誤差分析流程	106
圖 2-2-8、現有標準件比較	107
圖 2-2-9、溫度與幾何誤差關係不確定度模型流程圖	108
圖 2-2-10、溫度與幾何誤差關係不確定度模型相關數據圖	109
圖 2-3-1、業界/CMS 技術於進行旋轉軸誤差補償之流程	116
圖 2-3-2、Siemens 840D sl 控制器之操作介面	116
圖 2-3-3、環形編碼器校正報告格式與 PoCAS 量測數據	117
圖 2-3-4、機器可讀取之量測資料系統(XML)	118
圖 2-3-5、人類可讀取之量測資料系統(PDF)	119
圖 2-3-6、PoCAS 於旋轉軸角度定位誤差補償數據之輸出格式	121
圖 2-3-7、PoCAS 「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發流程與測試結果	122
圖 2-3-8、德國校正鍊	123
圖 2-3-9、數位校正證明架構	125
圖 2-3-10、(a)DCC 資訊組成架構及(b)XML 示範案例	126
圖 2-3-11、數位校正報告之 XML 結構	127
圖 3-1-1、台中精機五軸工具機(型號: AX630)	133
圖 3-1-2、PoCAS 「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發流程與測試結果	134
圖 3-1-3、操作流程	134
圖 3-1-4、計量數位化於工具機旋轉軸量測推動成果	137

表目錄

表 1-1-1、先進國家之動態力量發展現況.....	45
表 1-1-2、動態力量自行設計零件列表.....	47
表 1-1-3、法碼標稱值為 1 kg，2 kg 與 5 kg 之法碼尺寸參數.....	50
表 1-1-4、法碼質量校正結果.....	51
表 1-1-5、振動試驗以 2000 Hz 振動(0 - 0.01) s 間之振幅.....	53
表 1-1-6、固定力量與頻率，以 5 公斤法碼計算振幅位移.....	56
表 1-1-7、(0 - 0.01) s 間 2000 Hz，加速度 200 m/s ² 之峰值位移.....	58
表 1-1-8、(0 - 0.01) s 間 2000 Hz，加速度 200 m/s ² 之振動頻率.....	59
表 1-1-9、(0 - 2) s 間之 10 Hz 振幅.....	61
表 1-1-10、(0 - 2) s 間 10 Hz，加速度 20 m/s ² 之振動頻率.....	61
表 1-2-1、先進國家之麥克風相位與模數量測發展現況.....	63
表 1-2-2、麥克風靈敏度相位與模數量測變異範圍.....	66
表 1-2-3、待校麥克風規格.....	67
表 1-2-4、麥克風自由場靈敏度擴充不確定度.....	71
表 1-2-5、麥克風自由場靈敏度比對結果(頻率範圍 250 Hz 至 1 kHz).....	72
表 1-2-6、麥克風自由場靈敏度比對結果(頻率範圍 1 kHz 至 40 kHz).....	72
表 1-2-7、麥克風模數與相位響應量測系統使用之儀器.....	75
表 1-2-8、B&K 4180 (S/N：2889938) 模數及相位量測結果.....	77
表 1-2-9、B&K 4180 (S/N：2889921) 模數及相位量測結果.....	77
表 1-2-10、模數響應量測不確定度源.....	81
表 1-2-11、相位響應之不確定度源.....	83
表 1-2-12、麥克風模數及相位響應之擴充不確定度.....	84
表 2-1-1、3D 球桿標準件尺寸變化量評估.....	89
表 2-1-2、實驗室視覺 3D 尺寸量測系統之蒙地卡羅法模擬參數.....	92
表 2-1-3、不確定度評估表驗算成果.....	93
表 2-1-4、計算時間統整表.....	96
表 2-1-5、Probing error size (P _S)擴充不確定度表.....	97
表 2-1-6、Probing error form (P _F)擴充不確定度表.....	98
表 2-1-7、Sphere-spacing error (SD)擴充不確定度表.....	98
表 2-2-1、21 項幾何誤差量測結果.....	107
表 2-2-2、組合標準不確定度分析表.....	111
表 2-2-3、目前標竿機構量測技術與發展技術比較表.....	113
表 2-2-4、目前國際標竿實驗室之真圓度量測發展現況.....	113
表 2-3-1、BIPM 單位組別與 SI 單位格式之識別碼範例.....	128
表 2-3-2、導出單位之範例.....	129

壹、基本摘要

科資中心編號				
計畫名稱	110 年智慧機械產業計量標準建置增值計畫			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	110-1402-04-22-05	
執行單位	財團法人工業技術研究院量測技術發展中心	審議編號		
本期期間	110 年 01 月 15 日 至 110 年 12 月 31 日			
計畫經費	67,134,000 元			
執行進度		預定進度 %	實際進度 %	落後比率 ¹
	當年	100 %	100%	0
	全程	75%	75%	0
經費支用		預定支用經費 (A)	實際支用經費 (B)	(C=B/A)支用比率 (%)
	當年	67,134,000 元	67,134,000 元	100 %
	全程	318,567,000 元	253,649,052 元	79.62 % ²
註:	<p>1. 計畫至期末實際完成 20 個查核點項目，佔全年度預訂 20 個查核點之 100 %，符合預訂進度 100 %之目標，落後比率為 0。</p> <p>2. 全程預定進度，四年期全程，每年進度 25 %，若第三年(110 年)之 11 月執行進度為 80 %，則 110 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 %。</p>			
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		
	傅尉恩	Wei-En Fu		
	饒瑞榮	Ray-Rong Lao		
年度執行成果	<p>一、感測器計量標準建構分項：</p> <p>(一)力量感測器校正技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ●成果規格： <ul style="list-style-type: none"> -施力大小：100 N 至 1 kN； -施力頻率範圍：10 Hz 至 2 kHz； -頻率與振幅之重複性 ≤ 3 % 【標竿比較】 <ul style="list-style-type: none"> PTB 能量：施力至 2 kN；頻率 50 Hz 至 2 kHz；不確定度 ≤ 2 % (本計畫不確定度目標 ≤ 2 %) ●產業效益： 			

1. 擴增 NML 力量傳感器校正追溯服務能量，由靜態校正擴展至動態校正，以符合業界生產作業之實際運用需求以滿足國內機械領域二級校正、測試、及產品驗證等校正追溯與能力試驗要求。動態力量校正追溯服務之能量可應用於自行車功率計之校正與開發，動態疲勞試驗機、萬能材料試驗機...等檢測儀器製造廠商。
2. 現階段僅有美國國家標準與技術研究院(NIST)與德國聯邦物理技術研究院(PTB)已完成動態力量校正技術之研發，國內動態力量校正技術之建立可減少國內二級實驗室送國外校正所需之時間與費用。

(二)機械聲音之聲學麥克風校正技術

●成果規格：

- 相位響應量測技術：頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，相位量測不確定度 $\leq 5\%$
- 模數響應分析技術：頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，模數量測不確定度 $\leq 5\%$

【標竿比較】

NMIJ 能量：頻率 2 Hz 至 10 kHz，相位/模數量測不確定度分別為 $\leq 2\%$ / $\leq 3\%$ (本計畫在 100 Hz 至 10 kHz 之相位/模數量測不確定度的挑戰目標分別為 $\leq 3\%$ / $\leq 3\%$)

●產業效益：

健全麥克風模數響應及相位響應量測能力，協助產業分析模數衰減(modulus decay)及相位延遲(phase delay)現象，精準的偵測聲音訊號位置，提高聲音訊號的辨識能力，進行機器損壞異音的偵測。

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

●成果規格：

- 完成視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序：校正範圍為 800 mm 至 1500 mm (空間體對角線)、校正環境溫度範圍為 $(24 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 、標準件最大尺寸： $\leq 600\text{ mm}$
- 完成視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術：量測不確定度(擴充)最大為 $4.2\ \mu\text{m}$ ，滿足 $\leq 5\ \mu\text{m}$ (不含待校件)的目標

【標竿比較】

校正能力滿足產業界現行量測範圍 800 mm 至 1500 mm(空間體對角線) 的視覺 3D 尺寸量測儀器(全球領先廠牌：ATOS 為 $7.6\ \mu\text{m}$ 、AICON 為 $7.2\ \mu\text{m}$)

●產業效益：

視覺 3D 尺寸量測儀器逐漸被航太、汽車等產業導入應用，本計畫執行之視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序建立、量測不確定度評估技術可協助產業進行儀器的定期查核校正、或評估設計合適的校正方法供廠商內部品保使用，完成的校正技術適用現行量測範圍 800 mm 至 1500 mm、最高精度達 $7.2\ \mu\text{m}$ 之視覺 3D 尺寸量測儀器，可滿足國內已經或正在導入視覺 3D 尺寸量測儀器廠商之校正追溯需求，協助國內產業的競爭力的提升。

(二)具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

●成果規格：

- 線上加工尺寸量測技術溫度評估：工具機可量測範圍 ≤ 450 mm；線性軸至少 21 項；適用溫度變異範圍： (24 ± 2) °C
- 線上加工尺寸量測技術誤差分析：校正時間 ≤ 4 小時；校正五軸工具機 21 項幾何誤差；量測不確定度 ≤ 10 μm (不含 20 °C 修正)

【標竿比較】

五軸工具機將刀具交換為 3D 量測測頭，使五軸工具機做為座標量測儀進行線上量測時，須先進行五軸工具機幾何誤差量測，及量測不確定評估，使線上量測具標準追溯。本子計畫根據 ISO 15530-3 評估五軸工具機線上量測不確定度，經由線上參考尺寸標準件 hole plate，發展線上尺寸量測技術，包含誤差分析及溫度評估，誤差分析可完整量測及分析三線性軸 21 項幾何誤差，儀器架設及量測時間僅需 2.5 小時，溫度評估可用於溫度變異範圍為 (24 ± 2) °C 內，此溫度變異為參考國內五軸工具機廠線環境溫度規格，實際發展技術無溫度變異範圍限制，可評估溫度變異對於線上尺寸量測不確定度影響，由實際五軸工具機量測結果，評估標準不確定度結果為 5.2 μm 。目前商用設備及軟體未有完整線上尺寸量測評估方法，然而各國研究機構發表線上量測不確定度評估成果比較，德國 RWTH Aachen University 發表成果之標準不確定度為 15 μm ，西班牙 IK4-Tekniker 發表成果之標準不確定度為 10 μm 。而市售商用設備用於誤差分析，目前國內工具機業者常使用的雷射干涉儀(Renishaw XL-80/XM-60)設備，與本子計畫發展誤差分析方法比較，計畫發展發方法可省去雷射干涉儀設備需多種光學鏡組架設及程式設定等繁複步驟，且可完整分析三線性軸 21 項幾何誤差，誤差分析搭配溫度評估，建立線上尺寸量測技術。

●**產業效益：**

提供國內工具機廠商線上尺寸量測技術，將加工刀具與 3D 量測測頭經過線上交換，進行線上量測已為趨勢，但其尺寸量測則未有完整不確定度評估方法，包含誤差分析用於幾何誤差量測及溫度評估等。目前國內廠商僅使用單線性軸幾何誤差量測設備，進行幾何誤差量測，量測設備多使用雷射干涉儀(Renishaw XL-80/XM-60)搭配光學鏡組，僅能量測線性軸 6 項幾何誤差及 1 項垂直度幾何誤差，且量測線性誤差、角度誤差及垂直度誤差需搭配不同光學鏡組，使用上需重複架設且耗時；本子項計畫發展線上參考尺寸標準件 hole plate，包含三線性軸 21 項幾何誤差誤差分析及溫度評估，可提供國內五軸工具機廠商，以五軸工具機做為座標量測儀時，提供幾何誤差量測至線上尺寸量測評估，提升國產五軸工具機線上量測準確度，及建立線上尺寸量測標準追溯鏈。

(三)計量數位化推動

●**成果規格：**

- 評估數位校正證明實施架構之可行性：數位校正證明實施評估報告 1 份
- PoCAS 量測資訊之資料輸出示範：數位校正證明 1 案，PoCAS 校正/量測結果輸出-XML 檔案格式、PDF 檔案格式

【標竿比較】

	<p>國內工具機業者仍以手動方式將旋轉軸定位精度及中心位置誤差的補償值寫入至控制器→PoCAS 結合 XML 可即時補償旋轉軸之空間幾何誤差，進而提升加工產能</p> <p>●產業效益：</p> <p>藉由示範線上校正技術，將參考標準件- PoCAS 輸出之量測資訊搭配工具機控制器進行參數回饋及補償。將數位化“計量”導入製造流程中，確保資料於轉換及傳遞過程中的相互可操作性、正確性及追溯性，解決製造業於數位轉型中可能遭遇之問題。此外，以統一的量測數據交換格式-XML 作為資料輸出格式，可使各種設備能在符合現有國際校正追溯體系下，進行資訊傳遞以強化設備間的相互可操作性，並協助產業達成線上校正及品質管理。</p> <p>三、其他</p> <p>(一) 技轉與智財授權：已將訊號擷取分析驗證技術、黑體溫度測溫計量技術運用、奈米壓痕量測薄膜技術...等 13 項技術移轉至基太克、優力國際、思達科技...等 16 家業者，累計 IP 收入達 6,723,380 元，繳庫累計數 4,034,030 元。滿足至少 78 家次企業之校正追溯與能力試驗要求。</p> <p>(二) 產學研合作：分包精機中心研究 1 案，全年總金額 600 仟元；與清華大學、中央大學等進行研究合作與碩博生人才訓練，運用學界豐富能量，協助計畫研發；與金屬工業中心及資通所等單位共同合作，健全智機產業量測追溯架構；運用全國工業總會廣大產業能量，進行計畫服務之推廣宣傳。</p> <p>(三) 拜訪 16 家相關業者，說明計畫服務並提供諮詢、與蒐集業者回饋意見，增強橫向連結，詳細說明如本報告“陸、成果說明”項下“十一、廠商訪視”。</p>
報告頁數	182 頁
使用語言	中文

貳、計畫目標與產業需求

一、全程計畫目標

工業 4.0(Industry 4.0)、物聯網(Internet of Things, IoT)、大數據(big data)、與人工智慧(Artificial Intelligence, AI)等是近年相當熱門的產業科技議題，世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)自 2016 年開始，即以工業 4.0(第四次工業革命)為題，邀集全球各領域重量級學者、產業巨擘、政府單位、與非營利組織等，進行座談、討論，並發表一系列報告及白皮書，以勾勒未來經濟發展形貌，協助各領域之合作與相關技術發展，如圖 0-1。

無論工業 4.0、IoT 或是 AI，其衍生的商機持續不斷的獲市調單位或相關業者的重視。其中，智慧製造即是與全面連網、自動化與生產效益等劃上等號，促使傳統工廠朝工業 4.0 發展。而這股火熱的工業 4.0 潮流實有賴於各國積極推出各項政策推波助瀾，但隨著 AR、通訊技術、機器視覺、人工智慧/深度學習(deep learning)等，各項新舊技術的再翻新及蓬勃發展，這些技術亦逐步被導入工業 4.0 應用中，受惠於此，工業 4.0 的發展將更能契合其所欲達成的終極目標-更智慧、更節省成本、更自動化、更高的生產效率與競爭力，以及更安全的人機協作。

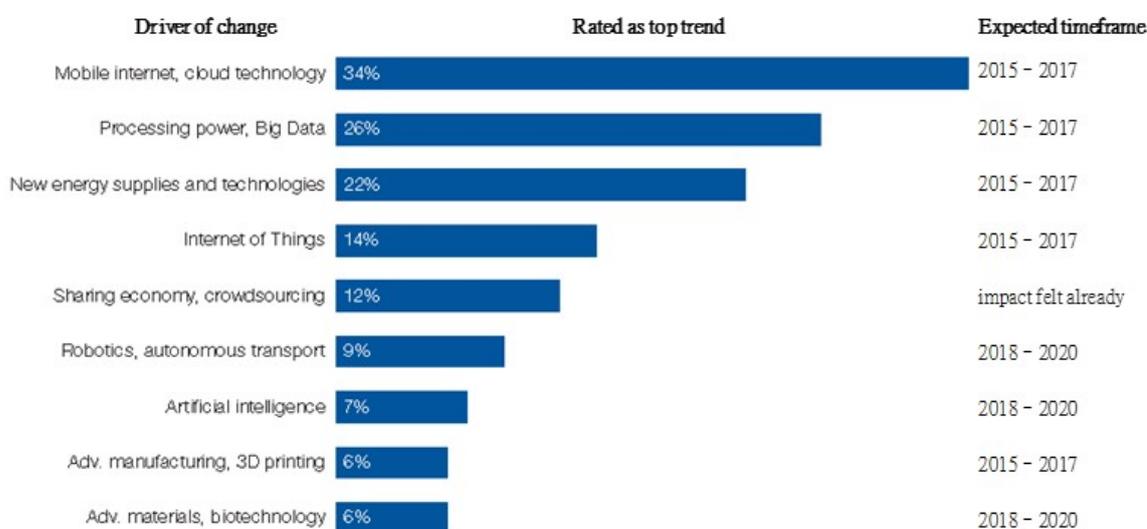


圖 0-1、世界經濟論壇-產業發展之科技驅動力

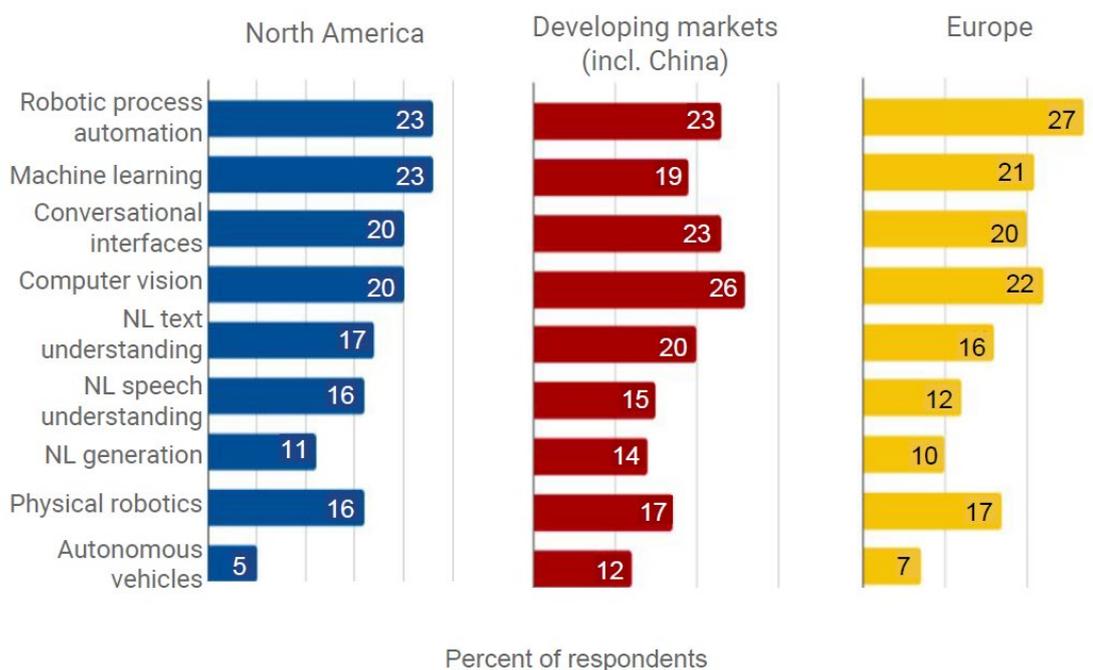
在此發展趨勢下，我國政府也積極推動相關政策，智慧機械產業推動計畫即為政府五加二產業創新之一，其目的即是協助臺灣的精密機械升級為智慧機械，並推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。智慧製造的核心是善用數位化(IT)技術，使產品製造過程中能夠自動收集和分析資料，而在持續積累製造數據下，導入 AI 應用將可進一步做出更明智的決策並優化生產。其中，將涉及大量部署的物聯網以蒐集來自感應器和機械設備的資料，實現資料快速交換、流動

與整合，提供遠端監控和管理流程，並具備快速變更生產計畫的能力；此外，也能透過各式 AI 分析物聯網中的巨量資料，以擬定解決方案、提供決策參考、製造程序優化等，建構出智慧製造中的適應性製造(Adaptive Manufacturing)、預測維護(Predictive Maintenance)、自動化品質控制(Automated Quality Control)、及需求驅動生產(Demand-Driven Production)等特徵。

隨著 AI 的蓬勃發展，試圖轉型的製造商，已開始使用 AI 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，正廣泛採用不同的 AI 技術，如圖 0-2。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，第一步即是數據的截取與建立，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。

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 0-2、國際 AI 趨勢與現況 (AI Index 2018 Report)

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「智慧機械產業計量標準建置增值計畫」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，提供可靠與準確之有效數據予智慧機械感測器與關鍵零組件，作為 AI 增值應用之基礎。
- (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，以共通的量測語言即時提供“可靠”與“正確”的量測資訊，提升品質管理效率及產品品質。
- (三) 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。

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。

二、國家度量衡標準實驗室定位與任務

依據我國度量衡法第 4 條第 1 項、第 2 項及國家度量衡標準實驗室業務委託辦法第 2 條規定，國家度量衡標準實驗室之法定業務及行政委託範圍，包括全國度量衡最高標準之研究實驗、建立、維持、保管、供應、校正及其他相關事宜。其中關於「其他相關事宜」部分，如屬與執行全國度量衡最高標準之研究實驗、建立、維持、保管、供應或校正有關之事項，解釋上均屬上開規定得行政委託之範圍。中央政府度量衡專責機關-經濟部標準檢驗局於民國 78 年起以委辦計畫方式委託工研院量測中心建立並維持國家度量衡標準實驗室(National Measurement Laboratory, NML)之運作，執行至今已 30 年，NML 除持續建立與維持我國國家計量標準外，也積極接軌國際尋求我國計量標準的國際等同與相互承認，多年來計已達成若干重要里程碑，例如：進入國際度量衡大會(CGPM)成為仲會員(Associate Member)，簽署國際度量衡委員會(CIPM)主辦之國家計量標準相互認可協議(Mutual Recognition Arrangement, MRA)，使得 NML 校正報告得以通行全球。而透過國際度量衡局(Bureau international des poids et mesures, BIPM)的關鍵比對(Key Comparison, KC)除可直接證明 NML 之量測能力外，亦維持國際度量衡委員會相互認可協議(CIPM MRA)之效力，促使國家品質基磐與國際接軌，協助產業界在邁向全球貿易之過程，減少技術貿易障礙(Technical Barriers to Trade, TBT)。計量標準提供我國生產經營服務活動所需的最高檢測依據，可以實現準確量測，保證產品品質安全，協助推動科技進步和技術創新，保障國家經濟社會發展。

三、產業需求

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，用以實現工業 4.0 的智慧製造，並同時推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。藉由打造「智慧製造試煉場域」，將提供國內業者製造優化與創新數據加值服務，打造台灣製造產業的工業 4.0。落實智慧機械產業推動，將臺灣的機械產業從單機出口模式，升級為高附加價值的智慧製造系統整廠整線輸出。

工具機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，金屬加工工具機及機械傳動元件(線性滑軌、螺桿、軸承等)占我國機械設備製造業總產值 28%，達新台幣 2866.65 億元如圖 0-3 及表 0-1。金屬加工工具機在 2018 年產值的成長率為 32%，機械傳動元件之成長率為 64%，為我國機械製造業中成長動能最高的項目。

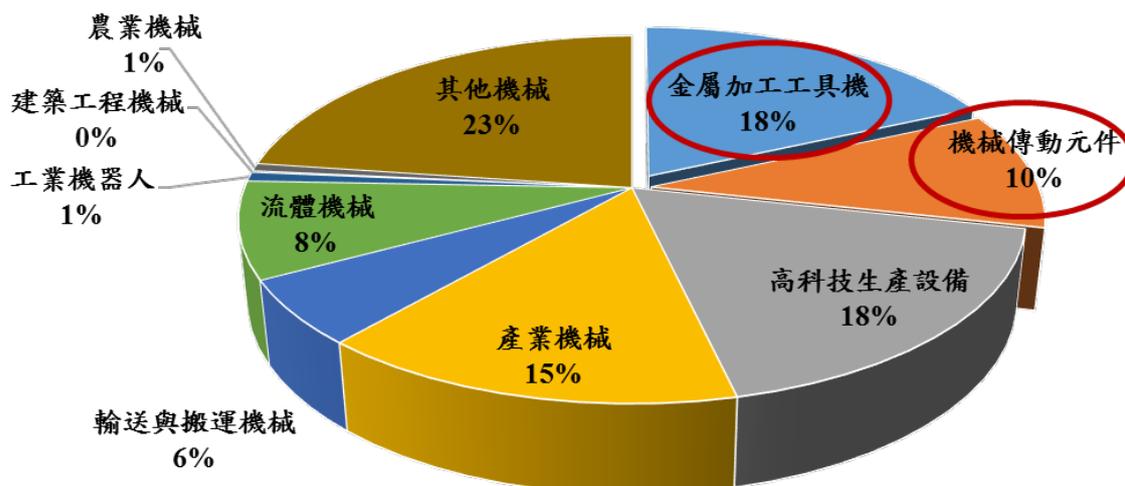


圖 0-3、2018 年機械設備製造業分布

表 0-1、我國工具機產業應用領域

產業別	2017	2018	2019	2018年成長
金屬加工工具機	168,049	182,768	147,096	32.0%
機械傳動元件	138,447	103,897	80,253	64.4%
高科技生產設備	175,301	179,071	161,188	6.6%
產業機械	48,519	150,501	144,220	-14.1%
輸送與搬運機械	63,212	57,344	57,343	18.2%
流體機械	76,916	85,498	84,120	11.2%
工業機器人	7,616	8,134	5,298	6.8%
建築工程機械	1,169	1,361	1,619	16.4%
農業機械	6,821	6,762	7,194	-0.9%
其他機械	236,735	228,786	216,446	-3.4%
合計	922,785	1,004,122	953,246	8.8%

產值單位: 新台幣百萬
資料來源: 行政院主計處、經濟部生產統計月報

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，如表 0-2，汽車零組件製造業為全球工具機最大的終端應用市場，預估 2020 年該產業於各國工具機應用占比將會增加趨勢。而航空與國防產品之零組件製造業為全球工具機第二大的終端應用市場，應用占比約在 13 % ~ 22 % 不等，預估至 2020 年該產業於各國工具機的應用占比將會有增加的趨勢。電子與電機產品之零組件製造業

為全球工具機第三大的終端應用市場，然隨著產品(如手機等)材料的變更，預估至 2020 年該產業於各國工具機的應用占比將會有減緩的趨勢。

表 0-2、世界各國工具機產業應用領域

產業別	中國		美國		德國		日本		義大利		南韓		台灣	
	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
汽車及零組件	49.4 %	51.5 %	55.5%	56.8 %	41.9%	43.2 %	28.2 %	30.4 %	39.5%	40.3 %	42.2 %	43.4 %	31.4 %	33.3 %
航太及國防	13.0 %	13.5 %	14.9%	15.0 %	15.1%	15.4 %	10.6 %	10.8 %	27.5 %	27.7%	19.1%	19.5%	14.2 %	14.5 %
電子/電機產品	14.2 %	13.5 %	12.4 %	12.0 %	17.5 %	17.0 %	10.0 %	9.7 %	13.1%	12.8%	19.1 %	18.5 %	28.3 %	27.4 %
其他	23.3 %	21.5 %	17.1%	16.2 %	25.5 %	24.4%	51.3 %	49.1 %	19.9 %	19.2%	19.6 %	18.6%	26.1%	24.8 %
總和(百萬美元)	36,012	63,831	10,568	14,542	8,288	11,122	5,141	6,992	2,542	3,214	5,417	7,659	1,894	2,688

下世代汽車將朝“輕量車體”、“潔淨動力”、“主動安全”等三大特徵發展，因此汽車的製造工藝為滿足節能與輕量化要求，成形、切削等工具機相關製造技術發展將致力於加工高強度與輕量化的新材料，尤其在鋁合金、鎂合金、高剛性塑膠材料、熱塑性複合材料與碳纖維等。而汽車動力傳動系統在成本壓力下其設計必然朝向更簡約化與高效能發展，故對於精密齒輪的需求會持續增加，已有不少工具機廠商以銑削加工中心取代齒輪加工專用機。另外，航空製造領域工具機加工技術發展趨勢，則是“適應性加工”、“複合加工”、“數據分析與服務”等，以滿足 2015~2034 年全球新客機交付量超過 38,000 架所需之先進複合材料、高強度輕量的金屬加工殷切需求。同時，在航空引擎零組件製造技術上，需求目標在“加工時間減半”、“生產力加倍”及“達成 6 σ 製程能力”。因此，航空引擎零組件新設計/新材料，將使用更多高強度輕量金屬、先進複合材料，因此將面臨材料、刀具成本與品質挑戰。切削負荷將大幅增加，切削時間將是控制變動成本的關鍵。未來工具機製造航空零組件的挑戰有“線上檢測與適應性加工”、“銑研磨拋光等複合功能整合”、“加減複合製造功能”、“切削策略與參數設定”、“切削製程與機台運作狀態監控”、“機台數據蒐集與分析”、“刀具壽命預測”、“維護服務”等。因應汽車、航太與電子等產品之製造需求，立式五軸技術結合綜合加工機，須具備“工具機中配備雷射器”，並於“一次裝夾”即可完成注塑模的“銑削”和“雷射紋理加工”；其次是，增加超音波加工的磨削與銑削複合功能，超音波可經濟地加工硬脆材料。這些加工技術、感測器及量測技術整合，可使工具機具有加工能力包含 3D 列印成型、車削、銑削與磨削的製造工藝，提供一系列完整的硬體和軟體解決方案。在 AI 的加持之下，提供友善人機介

面及建構製造支援生態，包括新刀具、冷卻液、感測器、治夾具、周邊設備等，以及完整的售後服務支援。

配合政府智慧機械產業推動方案，本計畫選擇工具機產業及工具機零組件製造業，並以工具機最大的終端應用市場—汽車零組件、航空與國防產品製造業之智慧化計量需求為基礎如圖 0-4，建立相關計量標準與具計量追溯之線上量測技術。依據與國內代表性廠商(陸聯、友嘉、快捷、永進、上銀、大銀微等)訪談之結果，國內工具機產業正積極進行工具機高效能智慧化，如表 0-3。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、旋轉軸與五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。

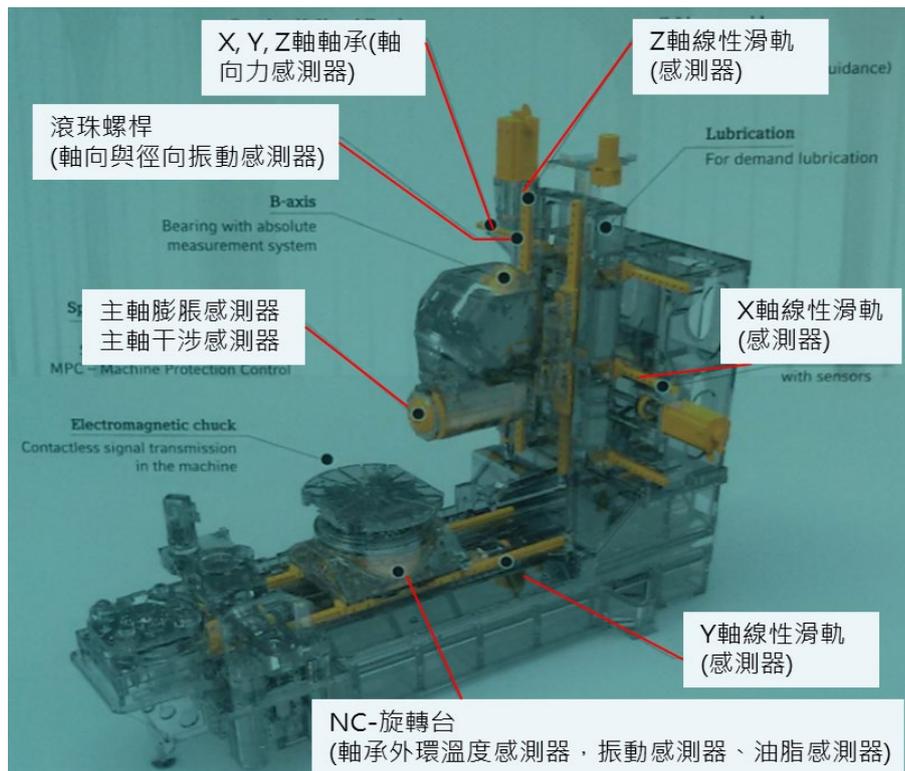


圖 0-4、工具機高效能智慧化

表 0-3、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)	✓	✓
刀具壽命管理	✓	
主軸變形補償	✓	✓
線性軸熱變形補償		
顫振預防	✓	✓
幾何誤差線上量測與補償	✓	
防碰撞	✓	✓
五軸自動調機		✓

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 0-4。

表 0-4、智慧化感測器於工具機之量測區域

工具機智慧功能	量測項目		採用之感測器
工件線上量測	<ul style="list-style-type: none"> • 位置/幾何誤差(3 軸 21 項、5 軸 43 項) • 機台溫度 		溫度、光學尺(含編碼器)、量測模組(接觸式測頭、3D 視覺、或光學模組)
主軸變形補償	<ul style="list-style-type: none"> • 主軸平衡 • 軸承/冷卻系統溫度 	<ul style="list-style-type: none"> • 軸承振動 • 位置/幾何誤差 	力量、電流、電壓、溫度、光學尺、單/三軸加速度、轉速、流量
線性軸熱變形補償	<ul style="list-style-type: none"> • 線性軸溫度 • 位置/幾何誤差 		溫度、光學尺

五軸自動調機	<ul style="list-style-type: none"> • 伺服馬達驅動參數 • 位置/幾何誤差 	電流、電壓、光學尺(含編碼器)、速度(含轉速)、單/三軸加速度	
刀具壽命管理	<ul style="list-style-type: none"> • 刀具長度 • 刀刃磨耗 	<ul style="list-style-type: none"> • 馬達負載與扭力 	電流、電壓、壓力、單/三軸加速度、麥克風、3D 視覺
顫振預防	<ul style="list-style-type: none"> • 三軸之振動 • 馬達負載 		單/三軸加速度、力量、電流、電壓、麥克風
防碰撞	<ul style="list-style-type: none"> • 各軸位置 • 刀具端點位置 	<ul style="list-style-type: none"> • 刀具/主軸受力 	光學尺、電流、單/三軸加速度、力量

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。圖 0-5 為針對工具機智慧化功能所使用感測器，盤點國家度量衡標準實驗室已建置之計量標準技術與尚待投入項目。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)”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、具追溯性之工具機即時加工尺寸量測技術及非接觸式溫度線上校正技術三項，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與小扭矩的校正能量，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，因此本計畫將擴充麥克風自由場靈敏度校正技術，滿足一般量測麥克風計量追溯的需求缺口。

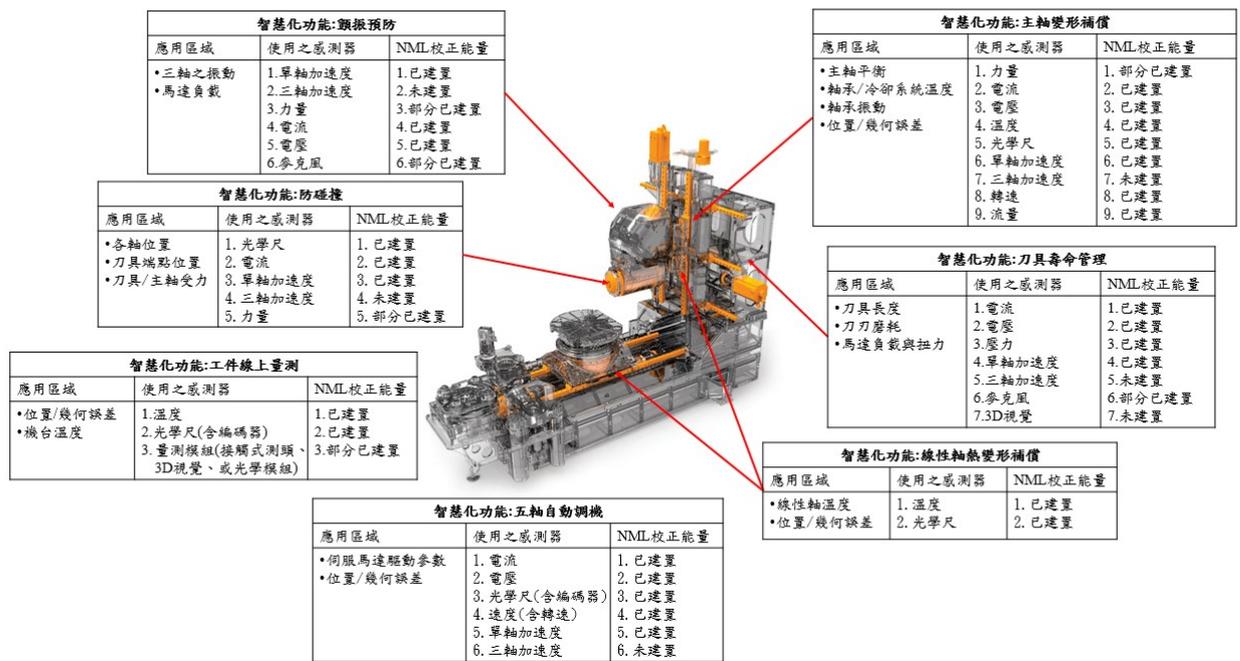


圖 0-5、國家度量衡標準實驗室對感測器校正之技術盤點圖

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」規劃進行國家度量衡標準實驗室之計量標準系統的擴建與汰換，並研發相關可供產業應用的線上量測及校正技術，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、系統的技術發展。

同時，以我國之標準、計量、檢測、認驗證體系(如圖 0-6)，搭建國際合作基磐，建立共通的量測語言，協助建立與國際接軌之智慧化系統，累積標準檢測驗證能量。滿足智慧機械產業計量標準追溯、認驗證、及文件標準的要求，掌握未來 AI 技術於智慧製造應用的計量標準與檢測驗證技術。

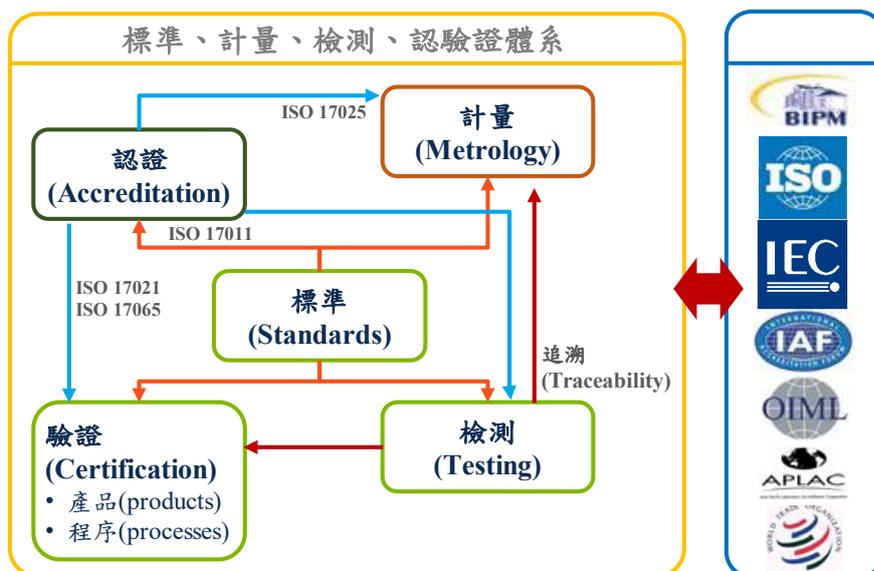


圖 0-6、我國之標準、計量、檢測、認驗證體系

隨著“計量”嵌入智慧製造，需即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，提升品質管理效率及產品品質，圖 0-7 為本計畫“Shop Floor as NMI(計量標準實現於生產線)”核心概念的示意圖。主要為發展與國際等同的具計量追溯之線上量測技術，以縮短既有之量測追溯路徑，降低量測不確定度。此外，亦同時開發線上參考標準件及校正技術，解決傳統須將感測器、標準件拆卸後送往他處進行校正時的產線停擺問題，減少其相關校正成本並使智慧製造產線能持續運作。

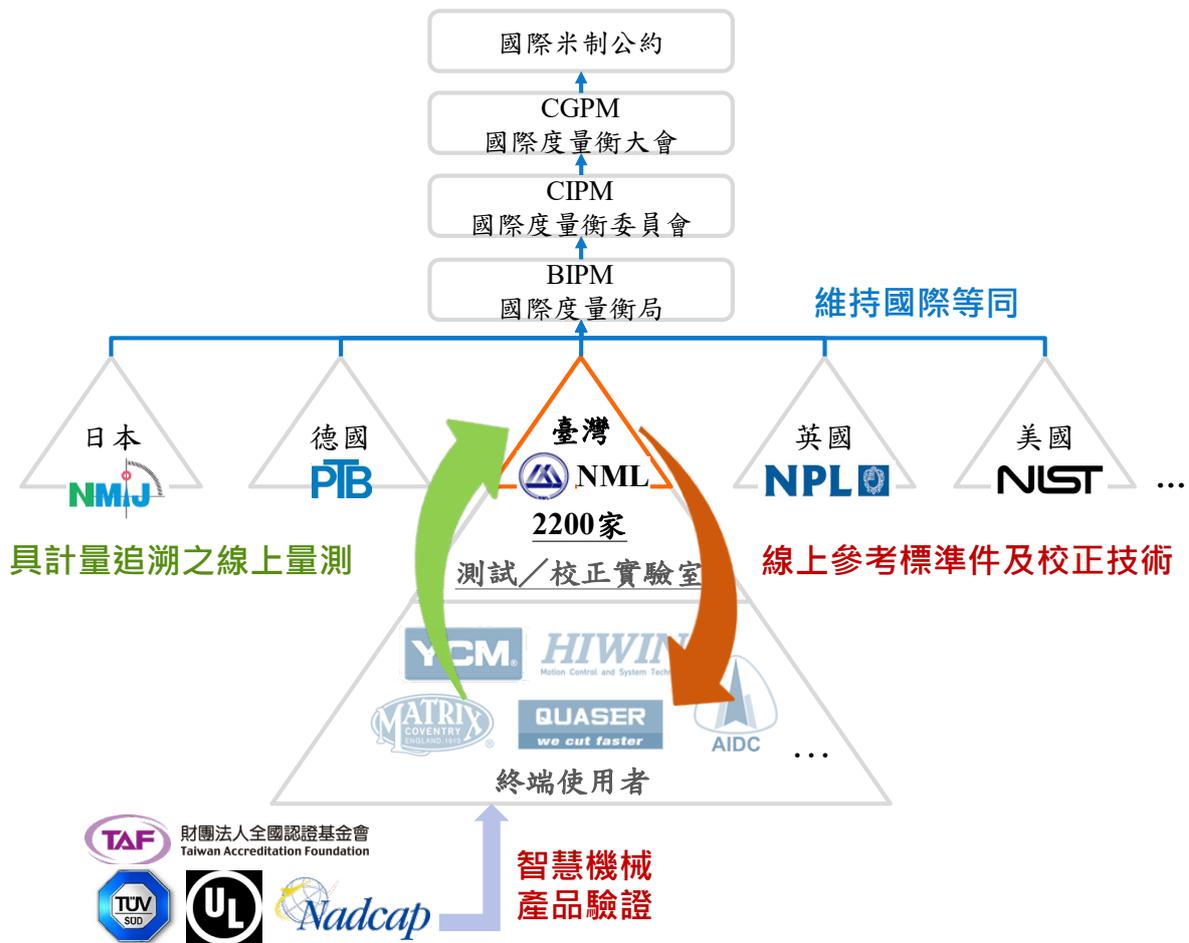


圖 0-7、以“Shop Floor as NMI(計量標準實現於生產線)”為概念之計畫規劃構想

計畫的執行規劃如圖 0-8，從產業面臨各式裝設於機台、設備的感測器校正需求開始，建構與國際等同之高效率校正基礎設施，除補強我國計量標準能量並連結至國際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures, BIPM)資料庫外，更可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。此外，計畫亦規劃開發可直接應用於生產現場的「線上參考標準件」，並建立「具計量追溯之高準確線上量測技術」，以將“計量”嵌入製造流程，即時提供共通“可靠”與“正確”的資訊，協助提升品質管理效率及產品品質，及利於智慧製造過程中的各項量測資訊調和，避免因量測環境、機台特性等的差異，導致加工參數頻繁調整，降低生產效率。最後，本計畫也將藉由國內品質基磐，搭配中華民國國家標準訂定，建構智慧機械產品標準、檢測、與驗證環境；並進行國際合作以建立全球共通的量測語言，協助國內產業因應智慧製造之趨勢。

其中，國際合作的部分目前已與德國聯邦物理技術研究院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 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。

此外，近年數位化經濟發展下所帶來的各種產業技術革新、演進，如數位雙生模型(digital twin, DT)、虛擬機器等，已持續衝擊著既有的計量體系，因此本計畫亦將持續蒐集相關資訊，特別是各國最高計量單位之因應策略與作法，擬定相應之策略方針，以協助並支援國內產業應用、發展。數位雙生模型是近年先進國家產業及最高計量單位間的熱門議題，其藉由建立實體物件(或系統)的數位化模型，用以理解、反應受模擬之實體物件(或系統)的真實情況，相較於傳統的模擬程序，數位雙生模型是利用實體物件上的各種感測器即時回傳資訊至虛擬模型中，再透過一連串的分析與判斷後，表現於該數位化模型上，目的是讓使用者能夠了解受模擬之實體物件(或系統)的真實運作情況，進而快速地針對各種變動情況，精確地改善實體物件(或系統)的運行效能及管理其生命週期。

目前已有許多公司利用數位雙生模型針對其產品或設備進行產品生命週期的管理(Product Life Management, PLM)，如通用電氣(General Electric Co.)對其噴射引擎與風力發電機產品、西門子(SIEMENS AG)發展控制器的整合式軟體平台 Xcelerator 協助企業數位化轉型、達梭系統(Dassault Systèmes)建立的「虛擬新加坡(Virtual Singapore)」等。

在此數位化趨勢下，德國聯邦物理技術研究所(PTB)與美國國家標準暨技術研究院(NIST)各自提出了一套計量標準的發展與應用規劃，以滿足產業在大量數據、即時、數位模型等的計量需求。PTB 從品質基礎建設的創新與信賴為穩定經濟與社會的基礎進行思考，欲在 4 大領域中進行全方面的數位化轉換以提升競爭力。包含：

- 計量服務：目的在於品質基礎建設的數位化升級。過程包括參考架構的開發、預測性維護的統計程序、數位校正驗證的基礎設施以及計量雲的建立；
- 大數據：對於需要處理高維訊息的產業計量應用，開發計量分析方法及評估機器學習方法；
- 通訊系統：著重於資安與計量驗證的可靠性；
- 虛擬量測儀器：針對互聯且虛擬化量測系統開發分析方法與授權程序。

其中，在計量服務範圍提出的計量雲概念可分為 4 個目標進行，分別為(1)可靠的計量核心平台(Trustworthy Metrology Core platform)、(2)參考架構(Reference architectures)、(3)技術驅動的計量

支援服務(Technology-driven metrological support services)及(4)數據驅動的計量支援服務(Data-driven metrological support services)。

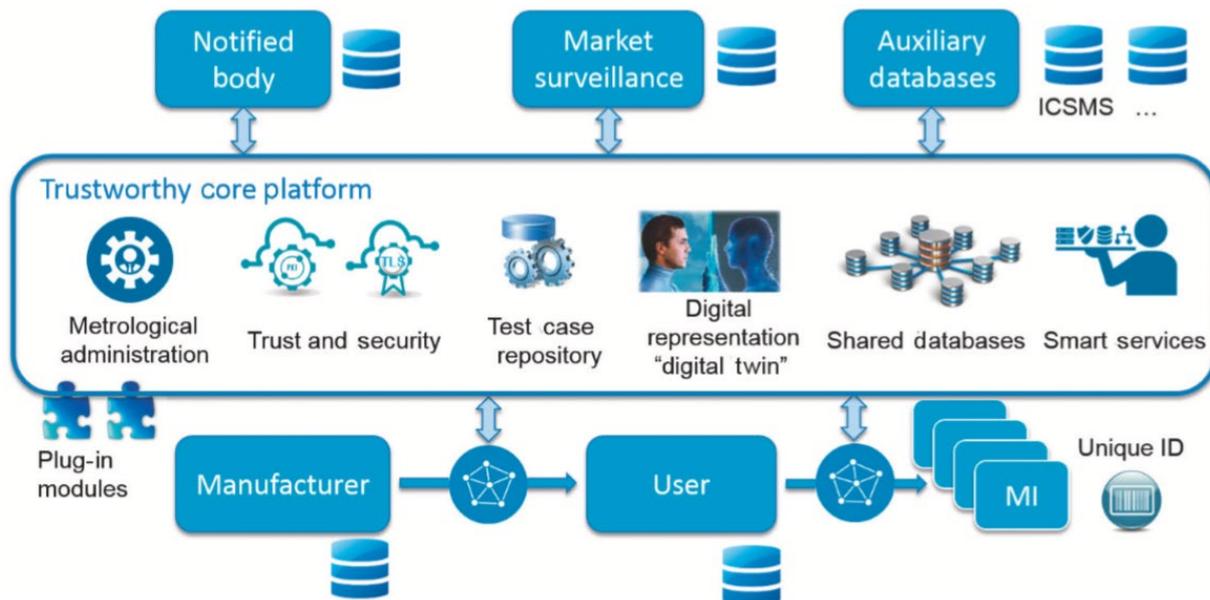


圖 0-8、PTB 計量與管理平台

NIST 結合了製造、軟體、硬體、設備與量測方面的專家，建立一套數位化的品質資訊框架 (Quality Information Framework, QIF)，以解決目前產品製造流程中，各程序間的數據串流及訊息理解，以及智慧化發展下，模型因高度認知負荷而無法自動察覺異常數據所引發的錯誤等問題。QIF 分為 7 個數位化步驟依序進行，分別為

- (1) 基於模型的定應(MBD)：提供經授權或認證之 CAD 數據的可追溯性；
- (2) 量測策略(Plans)：針對設計物件提出量測策略(如何進行精密量測)；
- (3) 量測儀器(Resources)：根據量測策略尋找合適的量測儀器(如:CMMs)；
- (4) 量測規範(Rules)：建立量測規範之格式與範例；
- (5) DMIS：非 QIF 的一部分，但兩者可相互追溯；
- (6) 量測結果(Results)：進行產品質量操作上的量測；
- (7) 數據分析(Statistics)：根據量測結果進行數據分析/統計(如:標準差、最大/最小值等)。

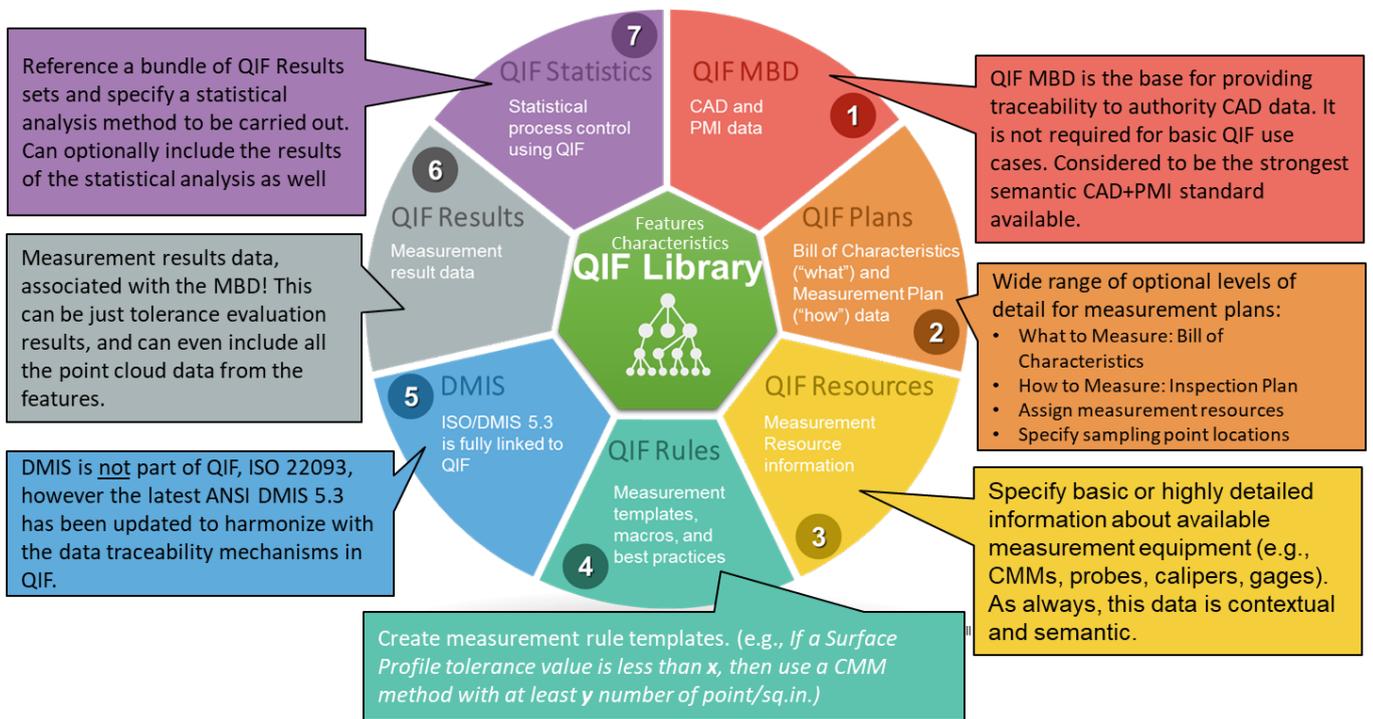


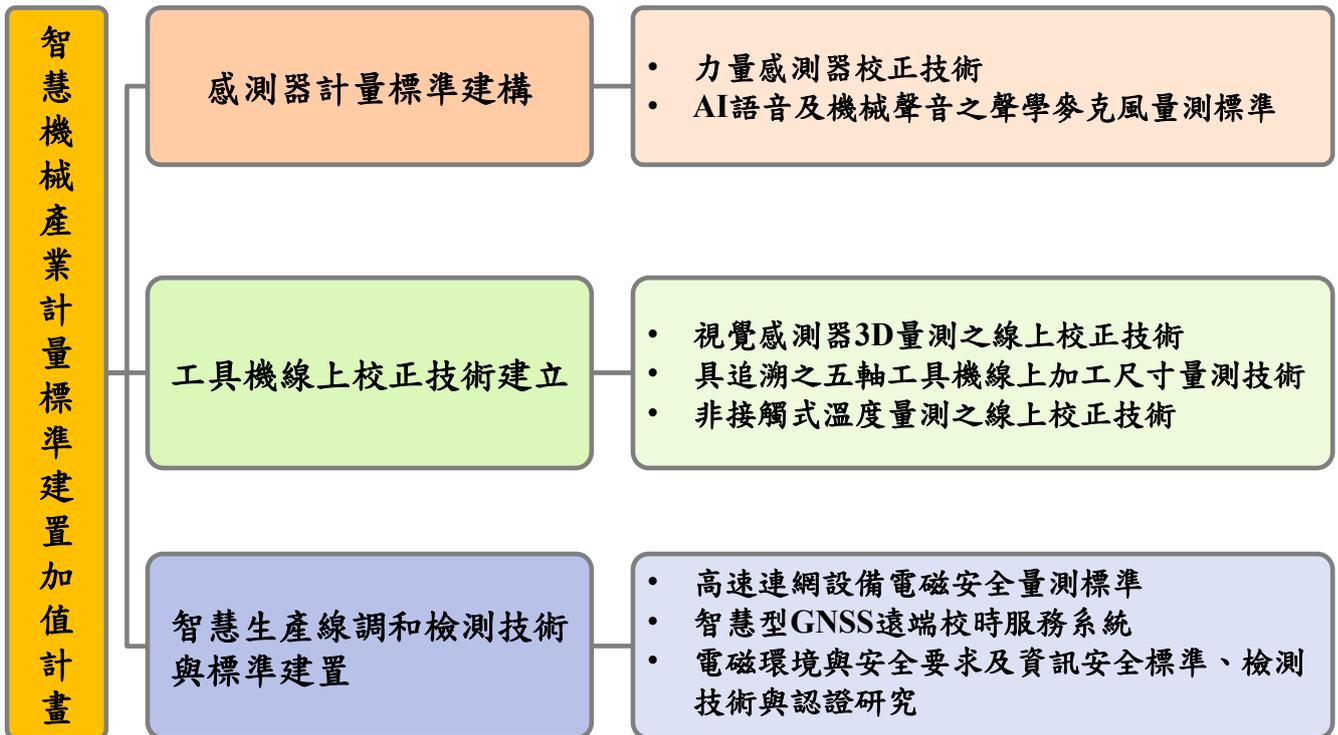
圖 0-9、NIST 品質資訊架構流程圖

總和上述，本計畫將藉由出國參訪持續蒐集數位化發展下的各項技術發展現況，並就各國最高計量單位之發展規劃進行整理與分析，特別是數位雙生(Digital Twin)模型、QIF、X-ray 電腦斷層掃描儀(X-ray Computed Tomography, XCT)、積層製造及 SmartCom 等議題，以及取相關研究機構與團隊之經驗加速國家度量衡標準實驗室建構與國際等同之高效率線上校正基礎設施，並透過與產業界之合作，示範線上校正與量測對於生產效率提升之功效。同時，本計畫也將針對計量標準、線上校正與量測及檢驗證等，辦理說明會、研討會、及訓練課程等，提升相關人員之職能。

四、全程計畫架構

本計畫全程分別以三個執行分項達成三項目標，如圖 0-10，其中「感測器計量標準建構」分項主要為國家度量衡標準實驗室的“系統建立與精進”，目的為建全智機產業需求之計量標準，提供可靠與準確之有效數據，確保國內業者量測資料可靠性及正確性；「工具機線上校正技術建立」分項主要為研發五軸工具機線上量測與校正技術，將計量技術嵌入業者製造流程，提升品質管理效率及產品品質；「智慧生產線調和檢測技術與標準建置」分項則是參與國際計量組織之校正資訊數位化發展，協助產業串流數位計量資訊至智慧化系統中。配合產業發展及政策方向進行滾動式修正，本計畫於 110 年度起調整為二個分項，並新增「計量數位化推動」子項於「工具機線上校正技術建立」分項中，強化計量資訊數位化發展之推動。

108年~109年計畫架構



110年~111年計畫架構

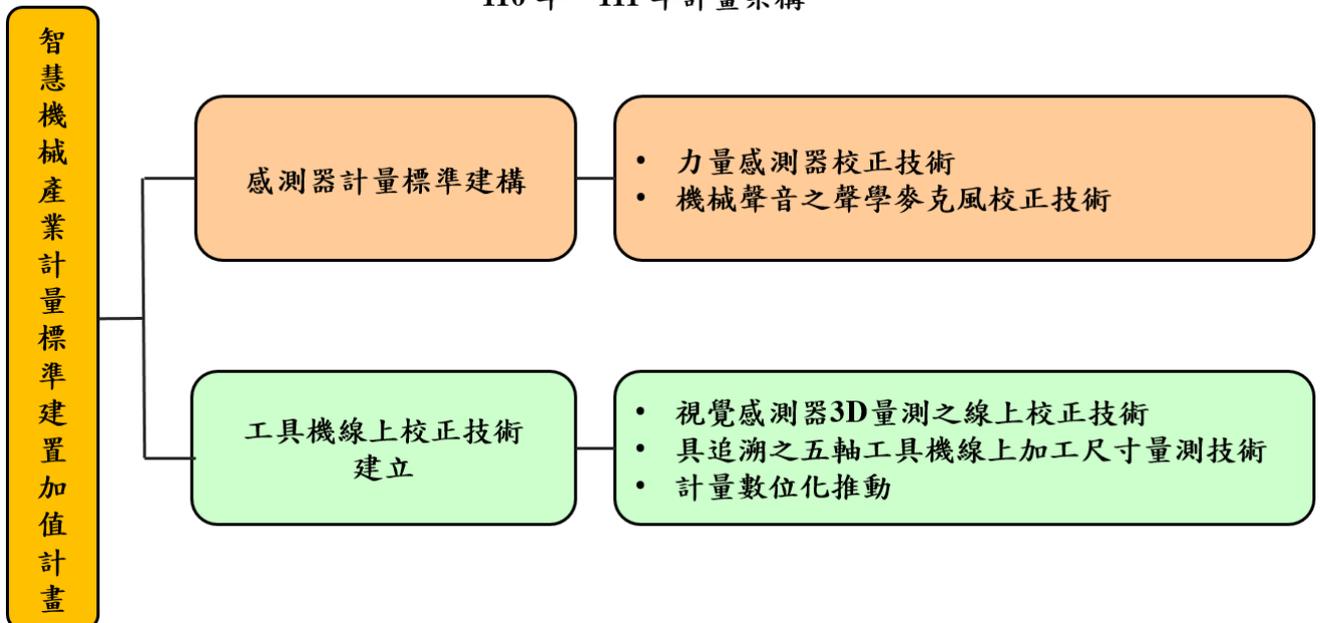


圖 0-10、計畫全程架構

五、實施方法與產業效益

本計畫將藉由建立智慧機械產業相關計量標準及線上參考標準件開發，加速國家度量衡標準實驗室既有系統之汰換與精進，同時建構與國際等同之高效率校正基礎設施。此外，更將藉由該基礎設施，發展具追溯之高準確線上量測技術，並透過與產業界、各國計量單位之合作，示範線上量測、線上校正等，對於未來智慧製造發展之助益。除了計量標準相關技術的發展外，本計畫也將透過代理商網路、既有量測追溯體系，對於智慧機械相關與二級檢校實驗室等產業從業人員，針對計量標準、國家標準、線上校正與量測、與檢測驗證等，辦理說明會、研討會、審查會及訓練課程等，提升相關人員之職能。計畫分年關鍵里程碑如表 0-5。

表 0-5、計畫分年關鍵里程碑

計畫全程總目標(end point)				
全程總目標	目標一:健全智機產業需求之計量標準，提供可靠與準確之有效數據，確保國內業者量測資料可靠性及正確性 目標二:研發五軸工具機線上量測與校正技術，將計量技術嵌入業者製造流程，提升品質管理效率及產品品質 目標三:參與國際計量組織之校正資訊數位化發展，協助產業串流數位計量資訊至智慧化系統中			
	與重點政策方案之連結說明			
政策連結	配合 5+2「產業創新計畫」及本部「智慧機械產業推動方案」-「建立系統解決方案」與「國際合作」			
年度	第一年 民 108 年	第二年 民 109 年	第三年 民 110 年	第四年 民 111 年
年度目標	1.針對智機相關產業進行量測缺口盤點調查，瞭解廠商需求	1.擴建量測標準系統 3 套，滿足國內聲學、角度與力量校正之需求	1.擴建量測標準系統 3 套，補足國內聲學、電磁場與真圓度校正能量	1.擴建量測標準系統 2 套，補足國內力量、機械產業校正之能量
	2.研發線上量測技術 1 項，滿足單軸工具機旋轉軸之產業需求	2.研發線上量測技術 3 項，滿足單/雙軸工具機旋轉軸之產業需求；完成	2.研發線上量測技術 1 項，滿足 5 軸工具機產業量測需	2.研發及精進線上量測技術各 1 項，滿足機械及五軸工

		/精進溫度與角度 線上校正參考標準 件 2 件	求；完成視覺感測 器線上標準件 1 件	具機產業視覺量測 線上校正需求
	3.參加國際計量組 織之計量資訊數位 化研究計畫	3.參與國際標準制 定	3.校正資訊數位化 導入產業試煉	3.計量資訊串聯應 用測試
預期關鍵成 果	1-1 召開 2 次說明 會及專家研討會， 並依據調查結果並 考量國家度量衡標 準實驗室校正能量 發展，完成計量標 準建置規劃，並進 行系統建置	1-1 擴建量測系統 3 套，能力與日本 及韓國國家實驗室 相當 1-2 滿足 20 家國內 產業及二級實驗室 校正追溯需求，減 少廠商設備送國外 校正之費用及時間	1-1 擴建量測系統 3 套，能力與日本 及德國(2 項)國家 實驗室相當 1-2 滿足 30 家國內 產業及二級實驗室 校正追溯需求，減 少廠商設備送國外 校正之費用及時間	1-1 擴建量測系統 2 套，能力與德國 及日本國家實驗室 相當 1-2 滿足 40 家國內 產業及二級實驗室 校正追溯需求，減 少廠商設備送國外 校正之費用及時間
	2-1 完成工具機單 一旋轉軸線上快速 量測技術，驗證可 應用於迴轉台誤差 與角度可行性	2-1 完成工具機單 一旋轉軸線上快速 量測技術，提供 3 項誤差量測功能， 並完成商用場域試 煉 1 處 2-2 完成工具機雙 旋轉軸之旋轉中心 量測技術，提供 16 項誤差量測功 能，協助人員於生 產現場進行組裝調 整 2-3 完成非接觸式 固定點溫度量測技 術量測溫度達到	2-1 進行五軸工具 機之線上尺寸量測 技術研究，可提供 21 項幾何誤差補 償，簡化量測設備 至 1 項，降低檢測 設備成本至少 30 %、時間縮短至 4 小時以內 2-2 完成視覺感測 器線上標準件 1 件；實際販售線上 幾何標準件或單轉 軸快速量測標準至 少 1 件，並完成商 用場域試煉 2 處	2-1 完成視覺感測 器 3D 量測之線上 校正技術，降低量 測不確定度 50%，並完成商用 場域試煉 1 處 2-2 優化五軸工具 機之線上尺寸量測 技術，完成 43 項 幾何誤差補償，提 升單一工件加工效 率 15%，並完成 商用場域導入 1 處

		<p>962 °C，提供產業線上量測服務，完成商用場域試煉 1 處</p> <p>2-4 完成固定點黑體模擬器及精進單轉軸快速量測標準件，共 2 件</p>		
	<p>3-1 與 3 家先進國家實驗室、4 家國際量測設備指標公司共同參與歐盟 SmartCom 計畫，協助線上校正與量測數據交換平台發展</p>	<p>3-1 完成 QIF 標準制訂草案 1 案，作為未來產業串流數位計量資訊之參考</p> <p>3-2 與 3 家先進國家實驗室共同推動數位校正憑證 (DCC)</p>	<p>3-1 數位校正憑證實施案例至少 1 件 (PoCAS 遊校)，規劃可行之資訊架構，確保後續控制器補償、生產回饋等數位化應用</p>	<p>3-1 進行數位校正結果串聯應用評估，將計量資訊結合 ERP 及 MES 系統，進行廠內現場作業與營運流程的管理</p>
<p>年度目標達成情形(重大效益)</p>	<p>1.促成上銀集團以「智慧五軸加工機國產關鍵零組件開發」為題申請經濟部技術處 A+ 前瞻技術研發計畫，促進 108 年度投資 7,500 萬元。</p> <p>2.完成 15 件技術或專利應用推廣案，對象包含上銀、聲譜、英商思睿、全測.....等技術專利推廣</p>	<p>1.完成 13 件技術或專利應用推廣案，對象包含台灣高鐵、天恩精密科技、晶元光電等，收入達 5,045 千元。</p> <p>2.提供包含漢翔航空、三陽、所羅門、台灣三豐...等 42 家公司之校正追溯服務。</p> <p>3.與德國 PTB、英國 NPL、捷克 CMI 等國家實驗</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

	授權案，收入達 5,006 千元。	室共同參加歐盟 Communication and validation of smart data in IoT-networks (SmartCom)計畫，共同討論數位校正憑證 (digital calibration certificate, DCC) 議題。	
--	-------------------	---	--

六、分年度技術建立目標及時程

分項一:力量感測器校正技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
小力量校正技術研發(I) • 設計與製作小力量量測系統，力量量測範圍 10 mN ~ 10 N 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	小力量校正技術研發(II) • 相對標準不確定度 $\leq 5 \times 10^{-3}$ 多軸力量感測器開發(II) • 剪力力量感測器元件開發 • 量測範圍: 0.01 N ~ 0.5 N • 解析度: 1 Mn	動態力量量測技術研發 • 施力大小: 100 N ~ 1 kN • 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz • 頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$	動態力量量測技術研發 • 施力大小: 100 N ~ 1 kN • 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz • 量測不確定度 $\leq 2\%$

關鍵技術			
1. 小力量校正技術 2. 正向力量感測器元件設計、模擬、製程等技術 3. 力量正向力力量量測技術	1. 小力量校正技術 2. 剪力力量感測器元件設計、模擬、製程等技術 3. 力量剪力力量量測技術	1. 動態力量量測技術	1. 動態力量量測技術
效益			
1. 完成小力量校正系統設計與製作，天平讀值與力量傳感器示值平均器差 $\leq 0.441\%$ ，符合系統性能驗收規格。 2. 完成正向力量感測元件開發，力量 0.01 N 至 0.5 N ，感測靈敏度為 1.85 fF/mN ，符合計畫目標($\geq 1.8\text{ fF/mN}$)。 3. 完成小力量量測技術運用服務4件(思睿邏輯、思達科技、交通大學、東海大學)。	1. 完成實驗室小力量範圍 10 mN 至 10 N 系統評估，預計每年將能增加力量5件的校正服務件數，並作為遊校儀器廠商的力量校正追溯源頭。 2. 完成小力量拉伸機械性質量測技術運用服務1件(東海大學)。	1. 擴增 NML 力量傳感器校正追溯服務能量，由靜態校正擴展至動態校正，以符合業界生產作業之實際運用需求。 2. 完成動態力量量測技術研發，施力大小 100 N 至 1 kN ，施力頻率範圍 10 Hz ~ 2 kHz ，振幅與頻率重複性 $\leq 2\%$ 。 3. 提供 N11 小力量校正系統校正能量 <ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍：10 mN~10 N • 相對標準不確定度：4.1×10^{-3}。 	1. 建置力量計量技術，提供 N02 動態力量測試服務 ≥ 3 件次。 2. 提供 N11 小力量傳感器校正服務 ≥ 10 件次。 3. 預估導入廠商場域測試/應用1件。

分項一:機械聲音之聲學麥克風校正技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>擴建麥克風音壓靈敏度低頻互換校正技術</p> <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 <p>擴建麥克風自由場靈敏度高頻互換校正技術</p> <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 	<p>建立工作標準麥克風自由場校正技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 250 Hz to 40 kHz • 相對標準不確定度: ≤ 1 dB • 麥克風型式:工作標準麥克風 	<p>建立相位響應量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz • 相位量測不確定度: ≤ 5 % <p>建立模數響應數位分析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz 至 20 kHz • 模數量測不確定度: ≤ 5 % 	<p>建立智能機械聲音特徵檢測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz • 準確率: 90 %
關鍵技術			
<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麥克風陣列量測技術 2. 麥克風靈敏度校正技術 3. 相位及模數量測技術 4. 數位訊號處理技術 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 聲音數位訊號處理 (包括濾波器設計分析) 2. 聲音訊號特徵擷取 (如頻譜異常頻率點分析、失真分析及音階分析) 3. 大數據分析 (檢視分析效率及機台穩定度, 確保量測品質)

效益			
<p>1. 透過聲音低頻量測技術提供肯特公司低頻分析儀量測服務 1 件。</p> <p>2. 透過聲音高頻量測技術提供凌天航空公司超音波測試組件量測服務 1 件。</p> <p>3. 運用聲學音場環境驗證技術，提供如聲譜、騰群等公司量測服務共 2 件。</p>	<p>1. 運用低頻訊號擷取分析技術，提供如協崑、漢翔公司低頻感測器的量測服務共 2 件。</p> <p>2. 運用聲學音場環境驗證技術，提供如貝爾聲學、台全等公司無響室音場特性量測服務共 3 件。</p>	<p>1. 滿足和碩、台積電、鴻齡、電檢中心等國內產業及二級實驗室麥克風的校正追溯需求，新增校正服務共 20 件。</p> <p>2. 運用聲學音場環境驗證技術及訊號分析驗證技術運用技術，提供包括貝爾聲學、基太克、漢宸、知洋等公司量測服務共 5 件。</p>	<p>1. 機械聲音特徵檢測技術取代人工聽覺診斷，準確率達 90 %。可達減少人力，提升效率的目的。</p> <p>2. 建立機械聲音特徵檢測技術，並實際導入至少 1 家廠商。</p> <p>3. 滿足華碩、電檢中心等、貝爾聲學等國內產業及二級實驗室校正追溯需求至少 15 件。</p>

分項二:視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
<p>高反光物件視覺 3D 點雲量測技術</p> <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 	<p>自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術</p> <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) $\leq 4.9 \mu\text{m}$ 	<p>建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序</p> <ul style="list-style-type: none"> 校正程序報告 1 份 待校件量測範圍: 800 mm ~ 1500 mm (空間體對角線) 標準件最大尺寸: $\leq 600 \text{ mm}$ 	<p>建立視覺 3D 尺寸量測儀器之線上校正程序</p> <ul style="list-style-type: none"> 校正程序報告 1 份 待校件量測範圍: 3 待校件量測範圍: 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線)

<ul style="list-style-type: none"> 開發多曝光影像合成演算法軟體 1 套 <p>標準球徑量測技術</p> <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夾治具 1 組 開發三球互換法之分析程式 1 套 <p>標準球距量測技術</p> <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 	<ul style="list-style-type: none"> 量測範圍: 500 mm x 300 mm 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 ≤ 50 mm ; 球距 ≤ 500 mm <p>標準球距量測技術</p> <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: $u \leq 1.5 \mu\text{m}$ 	<p>建立視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 量測不確定度評估報告 1 份 量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件) 	<ul style="list-style-type: none"> 標準件最大尺寸: ≤ 1000 mm <p>建立視覺 3D 尺寸量測儀器之線上量測不確定度評估技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件) 校正環境溫度範圍: $(24 \pm 6) ^\circ\text{C}$
關鍵技術			
<ol style="list-style-type: none"> 多曝光影像合成技術 標準球徑量測技術 標準球距量測技術評估 	<ol style="list-style-type: none"> 自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 標準球距量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序 視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術 	<ol style="list-style-type: none"> 視覺 3D 尺寸量測儀器之線上校正程序-立體視覺逆向建模技術 視覺 3D 尺寸量測儀器之線上量測不確定度評估技術-蒙地卡羅法不確定度模擬技術
效益			

<p>1. 廠商服務件數 2 件。進行漢翔航空廠內球桿標準件量測服務 2 件，以符合航太認證需求。</p> <p>2. 執行所羅門之國產 3D 掃描儀驗證技術服務，建立廠內品保方法。</p>	<p>1. 廠商服務件數 2 件。執行漢翔航空球桿標準件量測服務 3 件，節省標準件維護成本與校正時間(耗時 3 個月→耗時 1 個月)。協助所羅門之影像標準件校正，建立具追溯性之 3D 視覺量測技術。</p>	<p>1. 滿足如穎明工業、千附精密、揚明光學、盈錫精密等... 共 11 家國內單位校正追溯需求</p> <p>2. 廠商服務 1 件(普裕興業)，提供線上高反光物件量測技術，建立線上自動化的量測產線，改善原有的手動、接觸式量測方法，建立更完整的製程管理數據以防止品質異常</p>	<p>1. 廠商服務件至少數 1 件(如保來得、漢翔、所羅門...等)，導入 3D 視覺線上校正技術，降低量測不確定度 50 %以上(與儀器現有規格比較)，解決量測不確定度過大之製造成本提升問題。</p>
---	---	---	--

分項二:具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

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 - 角度: ≤ 2" - 線性: ≤ 4 μm 	<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 • 量測不確定度 - 角度: ≤ 1" - 線性: ≤ 2 μm 	<p>線上加工尺寸量測技術溫度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 可量測範圍: ≤ 450 mm • 參數: 線性軸至少 21 項 • 適用溫度變異範圍: (24 ± 2) °C 	<p>線上加工尺寸量測技術溫度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 旋轉軸盤面直徑: ≤ 550 mm • 參數: 整機至少 43 項 • 適用溫度變異範圍: (24 ± 6) °C <p>線上加工尺寸量測技術誤差分析</p>

<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 • 校正環境確認 <ul style="list-style-type: none"> - 環境溫度須達(20.0 ± 1.0) °C、梯度變化需小於 0.3 °C - 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 	<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: ≤ 0.5" - 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>線上加工尺寸量測技術誤差分析</p> <ul style="list-style-type: none"> • 工具機可量測範圍: ≤ 450 mm • 校正時間: ≤ 4 小時 • 校正五軸工具機 21 項幾何誤差，量測不確定度 ≤ 10 μm (不含 20 °C 修正) 	<ul style="list-style-type: none"> • 旋轉軸盤面直徑: ≤ 550 mm • 五軸工具機 43 項幾何誤差 • 量測不確定度: ≤ 20 μm(不含 20 °C 修正)
<p>關鍵技術</p>			

<p>1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償</p> <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 <p>2. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 單轉軸快速量測標準件 	<p>1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償</p> <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 <p>2. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 環形編碼器 	<p>1. 幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償</p> <ul style="list-style-type: none"> • 五軸工具機幾何誤差 <p>2. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 真圓度 	<p>1.幾何誤差線上量測程序、分析演算法、及補償</p> <ul style="list-style-type: none"> • 五軸工具機幾何誤差 <p>2. 校正程序、量測結果分析、與量測不確定度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 二維尺寸標準件
效益			
<p>1.開發連續式角度參考標準件，作為旋轉軸角度標準，可提供國內工具機產業如上銀科技等，於角度標準追溯</p> <p>2.廠商服務件數 1 件，建立非接觸式單旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，並導入至上銀科技</p>	<p>1.建立環形編碼器校正服務，完善國內角度校正能量缺口，可提供國內環型編碼器製造商如大銀微系統等校正服務，預計每年校正量為 10 件</p> <p>2.非接觸式雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，並導入至上銀科技</p>	<p>1. 開發五軸工具機線上尺寸量測技術，包含誤差分析(三線性軸 21 項幾何誤差)及溫度評估，量測時間縮短至 4 小時以內，供國內工具機產業於五軸工具機線上量測標準追溯</p> <p>2.提供國內業者單轉軸快速量測標準件，節省迴轉工作台(旋轉軸)定位誤差校正時間(8 小時→30 分鐘)，導入至 1 家國內廠商(上銀科技)，並完成商場域試驗 2 處(台中精機及永進機械)</p>	<p>1. 開發五軸工具機線上尺寸量測技術，包含誤差分析(整機 43 項幾何誤差)及溫度評估，供國內工具機產業於五軸工具機線上量測標準追溯</p> <p>2. 提供線上幾何標準件或單轉軸快速量測標準件，並導入至少 1 家廠商如永進機械等國內工具機廠商</p>

分項二:計量數位化推動

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
		<p>評估我國數位校正證明實施架構之可行性</p> <ul style="list-style-type: none"> • 數位校正證明實施評估報告 1 份 <p>PoCAS 量測資訊之資料輸出示範</p> <ul style="list-style-type: none"> • 數位校正證明 1 案，PoCAS 校正/量測結果輸出： <ul style="list-style-type: none"> - XML 檔案格式 - PDF 檔案格式 	<p>計量資訊串聯應用測試</p> <ul style="list-style-type: none"> • 以共通的數位資料交換格式，建立計量資訊自動化匯入程式 1 組
關鍵技術			
		<p>校正系統之自動化數據擷取及數位化格式轉換技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 量測原始數據 • 環境溫度 • 濕度 <p>量測不確定度分析技術</p>	<p>數位計量資訊建立</p> <ul style="list-style-type: none"> • 校正環境、時間 • 校正參數與結果 • 計量追溯 <p>機器對機器的自動化通訊協定</p> <ul style="list-style-type: none"> • MTConnect • OPC UA
效益			

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
		<p>1.藉由示範線上校正技術，將量測資訊以 XML 輸出格式，使各種設備能在符合現有國際校正追溯體系下，進行資訊傳遞以強化設備間的相互可操作性，開發一套五軸工具機旋轉軸誤差補償人機介面，可適用於永進機械做為標準機所使用之 NC 控制器-西門子 840D sl。可輸入旋轉軸中心補償值、旋轉軸定位精度補償值，並寫入至控制器相應參數表位置並提供 XML 檔案格式與旋轉軸校驗模組(PoCAS)進行資料交換，並取代傳統人工手鍵輸入之麻煩工序，對於 12 點補償值輸入至控制器，可從 5 分鐘縮短至僅 3 秒左右，降低人為輸入錯誤之機率。</p>	<p>1.將計量資訊結合 ERP 及 MES 系統，進行廠內現場作業與營運流程的管理</p> <p>2.計量資訊之生產履歷整合技術，健全生產履歷</p> <p>3.儀校管理數位化</p>

參、年度計畫目標及執行情形

計畫研發成果、與國際現況、及產業需求對照如下：

子項名稱	力量感測器校正技術	機械聲音之聲學麥克風校正技術	視覺感測器 3D 量測之線上校正技術	具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術	計量數位化推動
計畫研發成果	<p>動態力量量測技術研發</p> <ul style="list-style-type: none"> • 施力大小: 100 N ~ 1 kN • 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz • 頻率與振幅之重複性 ≤ 3% 	<p>相位響應量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，相位量測不確定度 ≤ 5 % <p>模數響應分析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，模數量測不確定度 ≤ 5 % 	<p>視覺 3D 尺寸量測儀器之校正確序</p> <ul style="list-style-type: none"> • 校正範圍為 800 mm 至 1500 mm (空間體對角線) • 校正環境溫度範圍為 (24 ± 1) °C • 標準件最大尺寸: ≤ 600 mm <p>視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 量測不確定度 ≤ 5 μm (不含待校件) 	<p>線上加工尺寸量測技術溫度評估</p> <ul style="list-style-type: none"> • 工具機可量測範圍 ≤ 450 mm • 線性軸至少 21 項 • 適用溫度變異範圍: (24 ± 2) °C <p>線上加工尺寸量測技術誤差分析</p> <ul style="list-style-type: none"> • 校正時間 ≤ 4 小時 • 校正五軸工具機 21 項幾何誤差 • 量測不確定度 ≤ 10 μm (不含 20 °C 修正) 	<p>評估數位校正證明實施架構之可行性: 數位校正證明實施評估報告 1 份</p> <p>PoCAS 量測資訊之資料輸出示範: 數位校正證明 1 案, PoCAS 校正/量測結果輸出- XML 檔案格式、PDF 檔案格式</p>
國際現況	<p>PTB 能量: 施力至 2 kN; 頻率 50 Hz 至 2 kHz; 不確定度 ≤ 2 %</p>	<p>NMIJ 能量: 頻率 2 Hz 至 10 kHz, 相位/模數量測不確定度分別為 ≤ 2 % / ≤ 3 %</p>	<p>全球領先廠牌需求: ATOS 為 7.6 μm、AICON 為 7.2 μm</p>	<ul style="list-style-type: none"> • RWTH Aachen University (德國) 標準不確定度: 15 μm • IK4-Tekniker (西班牙) 標準不確定度: 10 μm 	<p>SmartCom 資料平台在既有 SI 單位制下, 提供可靠、安全的量測數據交換方法及格式, 應用於線上校正、產品驗證之電子簽章等</p> <p>PTB 已於其真空標準領域之相關</p>

					實驗室與設備儀器進行軟硬體測試及數位化校正證明(PDF)之發行
產業需求	滿足動態疲勞試驗機、力量傳感器…等檢測儀器製造廠商對動態力量量測的校正追溯需求(力量範圍：100 N-1kN，頻率：10 Hz~300 Hz)，提升力量傳感器對動態力量量測的精準度。	提供麥克風模數及相位響應於100 Hz至20 kHz的校正需求，運用於產業所使用的陣列麥克風，可提升其偵測聲音訊號位置的精準度，以及提高其聲音訊號的辨識能力。	滿足3D視覺量測的不確定度評估需求，已建立校正追溯機制(校正範圍為800 mm~1500 mm)，量測不確定度 $\leq 7.2 \mu\text{m}$	國產五軸工具機線上量測準確度需求： $\leq 50 \mu\text{m}$	藉由示範線上校正技術，將量測資訊以XML格式輸出，建立數位計量資訊應用之架構與相關要求，確保後續控制器補償、生產回饋等數位化應用。藉此協助國內產業進行數位化轉型，將計量資訊導入至量測設備，建立智慧化系統

一、感測器計量標準建構分項

本分項全程計畫的目標主要為發展智慧機械相關感測器計量標準，協助解決業界或二級實驗室的國內校正追溯缺口，強化確保線上感測器的數據正確性與可靠性。有關解決校正追溯缺口，本年度擴建三套校正系統(A04 麥克風自由場靈敏度校正系統、D12 真圓度量測系統、U06 電磁場強度量測系統)，藉由新增校正能量解決廠商感測器與其內部校正標準件無法完成國內校正追溯的困境，將原本需花超過一個月的時間送國外校正，顯著縮短為數日即可，而且費用也可顯著降低。以U06 電磁場強度量測系統為例，擴建後的電磁場能量達200 V/m，不確定度也與PTB相當，可滿足國內車用電子、自動化機械、航空國防及半導體等產業對高場強電磁安規檢測之標準追溯，縮短其原先需2個月的國外追溯時程，降為2個星期即可完成。

110 年度的分項計畫目標主要是開發動態力量校正技術以及建立工作標準麥克風自由場校正技術。靜態力量之校正主要參考 ISO 7500-1: Metallic materials — Calibration and verification of static uniaxial testing machines — Part 1: Tension/compression testing machines — Calibration and verification of the force-measuring system，而動態力量之校正尚未有文件標準。目前動態力量校正技術仍屬技術研發階段，美國國家標準與技術研究院(NIST)與德國聯邦物理技術研究院(PTB) 為

領先開發之國家標準實驗室，自 2019 年起，European Association of National Metrology Institutes (EURAMET) 歐洲國家計量組織聯盟下之 European Metrology Research Programme (EMRP)開始進行 ComTraForce - Comprehensive traceability for force metrology services 聯合研究計畫，以建立靜態/動態力量之追溯校正指引為目標。有關動態力量校正技術之建立，FY110 預定完成動態力量量測系統性能測試與驗證，使動態標準力之施力頻率範圍 10 Hz~2 kHz，施力大小 100 N~1 kN 之動態力量量測能力，頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$ 。建置完成後將擴增 NML 力量傳感器之服務能量，由靜態校正擴展至動態校正，以符合業界生產作業之實際運用需求，並滿足國內機械領域二級校正、測試、及產品驗證等校正追溯與能力試驗需求，預期系統建置完成後可提供一年大於 10 次之校正服務。服務對象包含動態疲勞試驗機、動態機械分析儀…等檢測儀器製造廠商，以應用在材料耐久性或機械屬性分析，或是力量傳感器製造廠商，如優肯科技、煜昕科技…等，其用領域及範圍如下表。除此之外，動態力量量測技術亦可協助自行車功率計之開發。

品名	應用領域	力量範圍	施力頻率
動態疲勞試驗機 Fatigue Test Instrument	複合材料/元件/輪胎橡膠	0.001 - 1000 N	0.01 - 300 Hz
	醫療/生物材料 如：人工心臟瓣膜	0.001- 200 N	0.01 - 100 Hz
動態機械分析儀 Dynamic Mechanical Analyzer	材料機械屬性分析 如：材料動態黏彈性、損耗因數 (Tan delta)、儲存模數(E')、 損耗模數(E'')	0.001 - 500 N	0.01 - 200 Hz
自行車功率計 Powermeter	自行車製造商/健身器材	1000 N	1-3 Hz

有關聲學麥克風校正技術，目前工作標準麥克風自由場校正技術所依循之國際規範為 IEC 61094-4 Measurement microphones - Part 4: Specifications for working standard microphones 及 IEC 61094-8 Measurement microphones - Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard microphones by comparison，校正對象主要為二級聲學校正實驗室及資通訊相關的聲學測試實驗室，如 ETC 台灣商品檢驗證中心及貝爾聲學。後續可視國內產業需求，先就 IEC 61094 系列規範，規劃 CNS 標準的制定，並於未來可依據 ISO 60268 系列等規範，擴充至聲學相關儀器及產品之 CNS 標準的制定。FY110 計畫目標主要為建置麥克風相位及模數響應量測技術，並延續 FY109 完成麥克風自由場靈敏度校正技術能量擴充後的系統查驗，本年度聚焦於兩項任務：(1) 完成麥克風自由場靈敏度比較校正系統查驗，以利儘速針對產業需要提供校正服務；解決原本因只能校正麥克風音壓靈敏度而造成不同量測場域高頻誤差的問題，完成聲學麥克風不間斷的追溯鏈。除協助國內聲學實驗室之聲音量測系統直接追溯至國內標準，縮短 2/3 校正時程(送國外校正約 3 個月，國內校正 1 個月)及減少 2/3 的校正費用(DPLA 校正費用 11 萬，NML 校正費用 3.6 萬)外，系統每年校正件數約 20 件，擴充服務二級實驗室及聲學測試實驗室每年校正件約 200 件，同時也運用聲學音場性能驗證技術提供聲學測試場地的驗證，確保各實驗室測試環境的一致性。服務廠商包括華碩、廣達、神雲...等。(2) 建置麥克風相位及模數響應量測技術，協助產業分析模數衰減(modulus decay)及相位延遲(phase delay)現象，可精準的偵測聲音訊號位置，提高聲音訊號的辨識能力，進行機器損壞異音的偵測。

依據上述目標，本年度完成三套量測系統擴建如下：

- (1) A04 麥克風自由場靈敏度校正系統，量測能力與 NMIJ(頻率範圍 250 Hz ~ 100 kHz，不確定度為 0.2 dB ~ 1.0 dB)相當；本系統於 6 月 29 日召開查驗會議通過，委員有洪振發、程惠生、周永樂及標檢局代表(以上敬稱略)，系統將於財政部核定規費後開放提供服務。
 - 頻率範圍：250 Hz ~ 40 kHz (比較法)
 - 擴充不確定度：0.40 dB ~ 0.70 dB
- (2) D12 真圓度量測系統，量測能力與 NIST(量測範圍 0 μm ~ 0.5 μm ，量測不確定度 6 nm)相當；本系統於 9 月 30 日召開查驗會議通過，委員有潘吉祥、盧聖華、許厲生及標檢局代表(以上敬稱略)，系統已開放提供服務。
 - 量測範圍:0.001 μm ~ 2 μm
 - 量測不確定度:16.4 nm
- (3) U06 電磁場強度量測系統，同頻率範圍內的量測能力與德國 PTB(頻率範圍 0.01 MHz ~ 18 GHz，最高場強 200 V/m，不確定度 0.59 dB ~ 1.4 dB)相當；本系統於 5 月 3 日召開查驗會議通過，委員有林漢年、曾昭雄、洪偉珮及標檢局代表(以上敬稱略)，系統已開放提供服務。
 - 頻率：0.1 MHz ~ 8 GHz

- 最高場強：200 V/m。
- 相對擴充不確定度(95 % 信賴水準)：0.70 dB ~ 0.95 dB

各子項之年度執行查核點說明如下：

查核點 編號	查核點內容	預定完成日期	實際完成日期	差異說明
力量感測器校正技術				
A1-1	• 利用3D建模完成2份實驗架構設計圖及干涉檢查	110.03.31	110.03.31	無差異
A1-2	• 動態力量量測系統之振盪器、致動器於最大頻率時，位置重複性 $\leq 3\%$	110.06.30	110.09.17	8月31日振動試驗機交貨，9月17日達成查核點目標
A1-3	• 驗證砝碼質量不確定度： $\leq 0.01\%$	110.09.30	110.06.30	提前完成
A1-4	• 完成動態力量量測系統性能測試與驗證： - 施力大小：100 N ~ 1 kN - 施力頻率範圍：10 Hz ~ 2 kHz - 頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$	110.12.10	110.12.10	無差異
機械聲音之聲學麥克風校正技術				
A2-1	• 完成相位與模數演算法評估	110.03.31	110.03.31	無差異
A2-2	• 完成麥克風自由場靈敏度校正系統查驗審查會議，頻率範圍 250 Hz 至 40 kHz	110.06.30	110.06.30	無差異
A2-3	• 完成相位與模數響應實際量測分析，頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，重複性誤差 $\leq 5\%$ 。	110.09.30	110.09.30	無差異
A2-4	• 完成相位與模數響應不確定度評估，頻率範圍 100 Hz 至 20 kHz，量測不確定度 $\leq 5\%$ 。	110.12.10	110.12.10	無差異

(一) 力量感測校正技術

目前先進國家之動態力量發展現況如表 1-1-1 所示，國內當前尚無動態力量之校正能量，考量業界需求及先進國家之技術發展狀況，為健全 NML 力量領域之校正追溯服務能量，訂定出發展目標，110 年度及 111 年度將開發動態力量量測技術，由靜態校正擴展至動態校正，以符合業界生產作業之實際運用需求以滿足國內機械領域二級校正、測試、及產品驗證等校正追溯與能力試驗要求。

表 1-1-1、先進國家之動態力量發展現況

量測系統名稱	技術領先國家現況		NML 目前 技術狀況	建置後 NML 狀況	產業界需 求狀況
	NIST(美國)	PTB(德國)			
動態量測					
頻率範圍	10 Hz ~2 kHz	50Hz ~ 2 kHz	無	10 Hz ~2 kHz	~ 1 kHz
範圍	2 kN	2 kN	無	100 N ~1 kN	~ 1 kN
不確定度	1.2 %	2 %	無	2 %	6 %

本年度之工作重點為完成動態力量量測系統之建置，首先進行進行動態力量量測系統之 3D 建模，並針對系統內各零組件之設計進行干涉檢查，確保系統之架構無誤，其後驗證法碼之質量不確定度以及振動試驗機之位置重複性，最後完成系統架設並進行性能測試，本年度計畫目標如下：

動態力量量測技術研發：

- 施力大小: 100 N ~ 1 kN
- 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz
- 頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$

預計於 111 年完成量測系統之不確定度評估，並達成初步目標相對擴充不確定度 $\leq 2\%$ ，與德國 PTB 能量相當。

【執行成果】

1. 利用 3D 建模完成 2 份實驗架構設計圖及干涉檢查 (查核點編號 A1-1)

動態力量量測系統為自行研發設計之力量傳感器校正系統，系統參考了美國 NIST 與德國 PTB 之動態力量量測系統，並考慮國內廠商之需求訂定系統之振盪頻率與施力範圍，以原級標準實現動態力量之校正。動態力量量測系統係以振動試驗機使標準法碼產生週期性振盪，並以雷射干涉儀量測法碼受振動隨時間變化之位移量，進而產生標準動態力以校正力量傳感器。動態力量量測系統 3D 設計圖如圖 1-1-1 所示：系統選定振動試驗機型號為 B & K V650，力量傳感器為 HBM U10M 2.5 kN，以此設計相關之連接座並建置系統 3D 模型，此外雷射干涉儀模組放置於光學桌上，可強化避振之效果。動態力量量測系統之頻率範圍: 10 Hz ~ 2000 Hz，力量傳

感器於動態量測下之靈敏係數修正之頻率為 300 Hz~2000 Hz 之間。光學桌為光學平台與氣動式隔離支撐柱之結合，氣動式隔離支撐柱之功用在於減弱地板之振動傳至光學平台，對於頻率為 30 Hz 之水平振動，可減少 90 %之強度，而在頻率為 30 Hz 之垂直振動，可減少 99.9 %之強度傳遞至光學平台；光學平台具有 6 個調諧阻尼，其平台厚度為 30 公分，對於 100 Hz 以上之力移比(compliance) $\leq 10^{-5}$ mm/N，兩者之結合可以達到強化光學桌避振之目的。此外，我們在下年度進行系統評估時，會在光學桌與振動試驗機上安裝加速規，以監控振動試驗機之振動是否影響光學桌之穩定性。

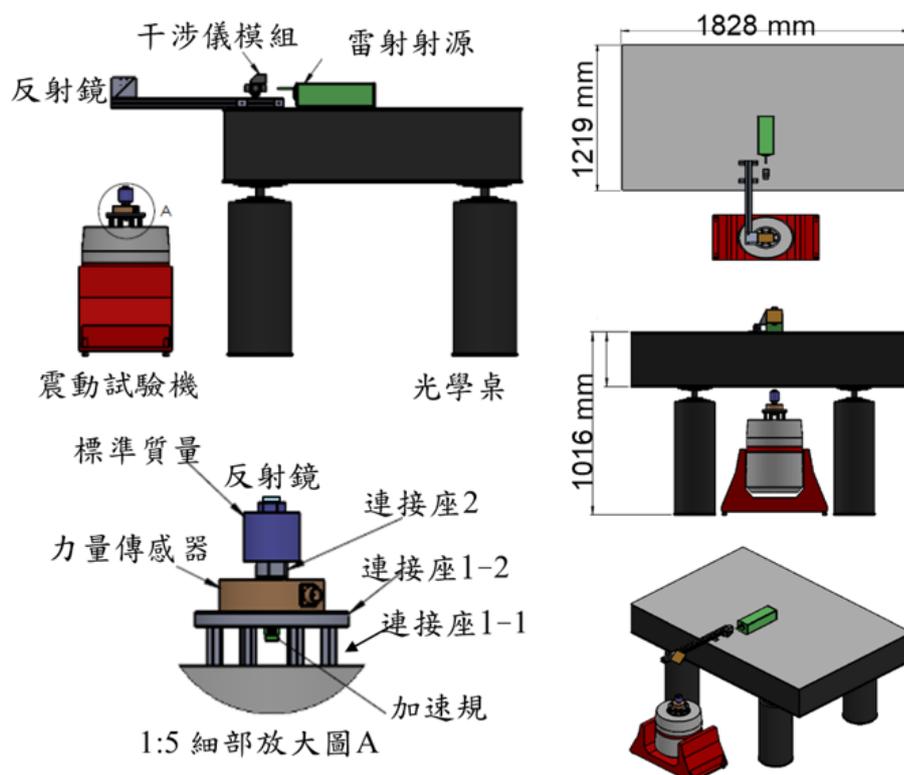
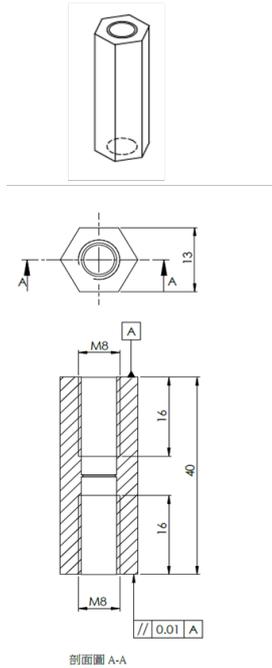


圖 1-1-1、動態力量量測系統 3D 設計圖

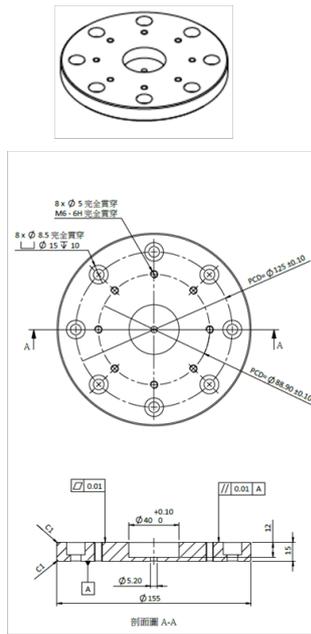
反射鏡安裝之目的在於改變雷射光之方向以量測法碼受振動試驗機所產生之相對位移，反射鏡安裝之位置距光學平台邊緣之距離為 400 mm，反射鏡組之負重大約 1 kg，鋁擠型支架之截面積為 40 mm × 40 mm，估算懸臂之形變量為 0.03 mm。動態力量之加速度是透過法碼受振動試驗機所產生之相對位移來換算，為避免懸臂樑之形變影響量測結果，懸臂樑上之反射鏡組會在每次量測/校正之前以固定之程序進行角度與位置調整，以確保雷射干涉儀可以收到自法碼上方反射鏡之訊號。

系統連接座 1-1 與 1-2 之設計目的為固定力量傳感器於振動試驗機上，而連接座 2 將鎖定標準質量(法碼)於力量傳感器之上方。如圖 1-1-2 所示：

連接座1-1



連接座1-2



連接座2

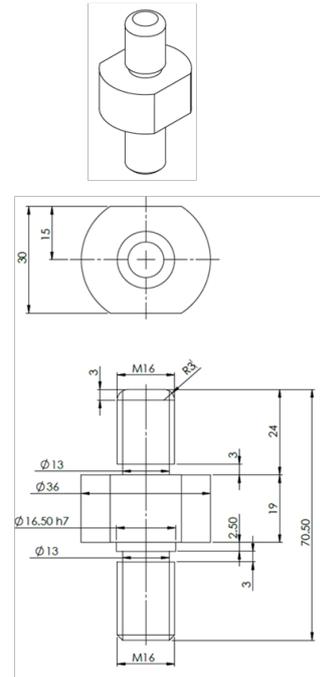


圖 1-1-2、連接座 1-1、1-2 與 2 之設計圖

完成之設計圖後，針對動態力量量測系統自行設計之零件以 Solidworks 進行干涉檢查。零件項目如表 1-1-2，各零件之設計如圖 1-1-3 所示。

表 1-1-2、動態力量自行設計零件列表

項次	零件名稱	描述	材質	數量
1	1 kg 法碼	標準質量	SUS316	1
2	連接座 2	連結力量傳感器與法碼	SUS316	1
3	U10M Transducer	力量傳感器		1
4	連接座 1-2	連結振動測試機與力量傳感器	SUS316	1
5	連接座 1-1	連結振動測試機與力量傳感器	SUS316	8

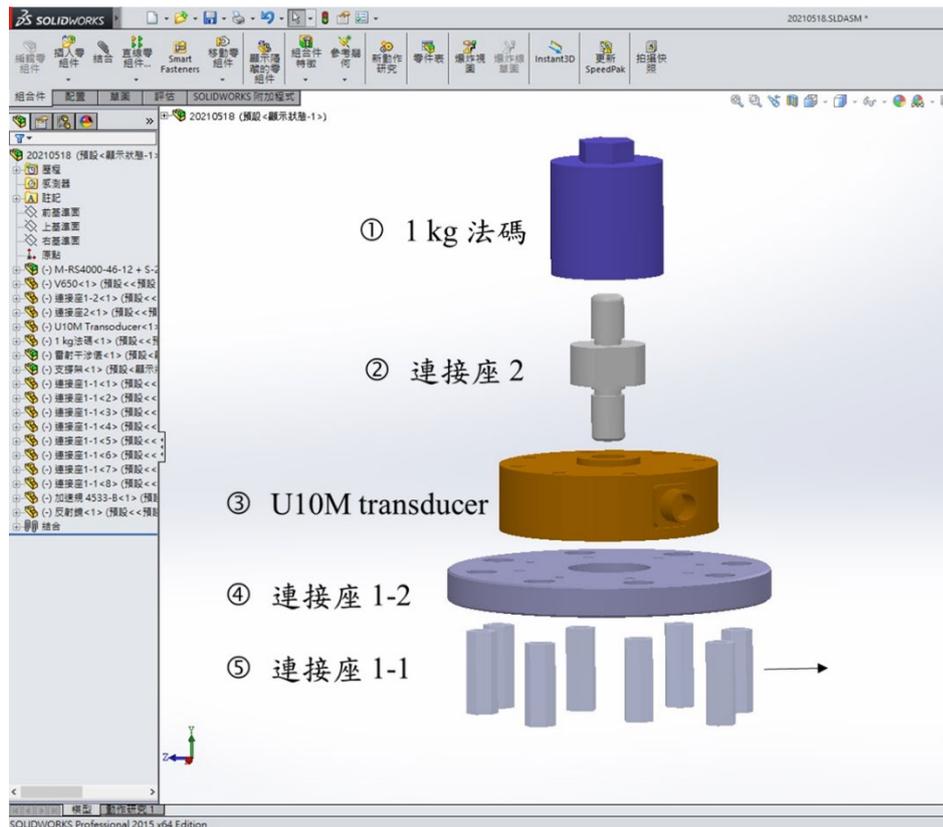


圖 1-1-3、各零件之 3D 設計圖

以 solidworks 軟體檢查有無下列之干涉情形: i.相鄰兩零件間鎖孔尺寸與孔位對應是否吻合, ii.各零件之間相對放置位置是否合適, 經檢查後確認各組件之設計與相對應位置沒有干涉情形, 如圖 1-1-4, 後續可依照設計圖進行零組間之加工。

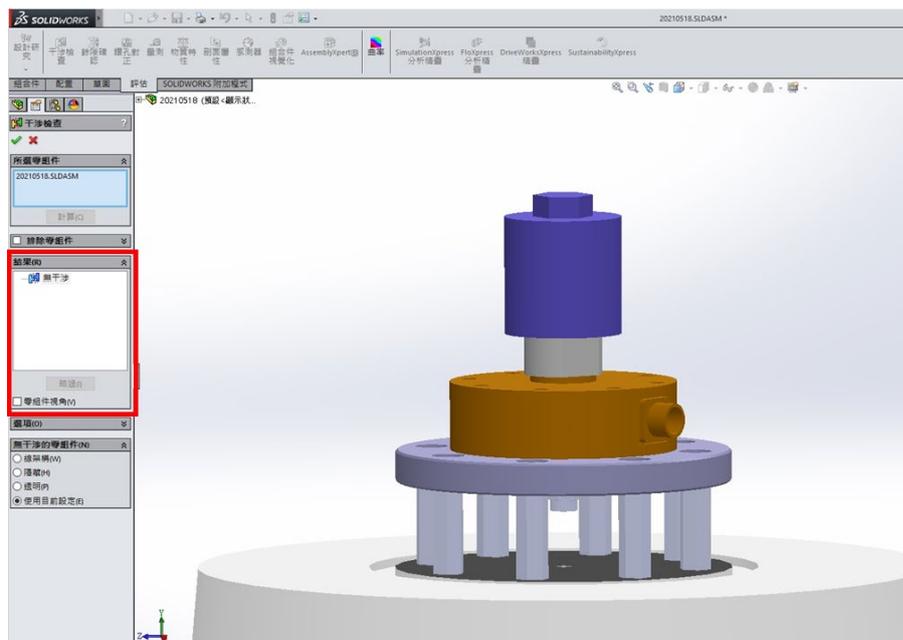


圖 1-1-4、以 Solidworks 軟體執行干涉檢查之結果

組件干涉檢查之目的在於加工製造前先確認所設計之連接座能否與法碼、力量傳感器與振動試驗機之螺孔結合，以避免因干涉問題產生意外之幾何誤差或無法組裝。此外，各組件設計圖有考慮公差修正以避免各組件之荷重造成形變造成無法結合，完成法碼與各連接座之製作後，各部件均可妥善連接，力量傳感器亦可固定於振動試驗機上。

依據牛頓第二定律 $F=ma$ ，動態力量量測系統之性能受法碼質量與加速度之影響，各部件之製造與組裝可以分成下列兩項討論：

- (1) 質量：法碼除了須與連接座緊密接合，其加工製造需符合國際規範關於質量精度之要求：1 kg、2 kg 與 5 kg 之法碼其質量差值須分別控制於 1.6 mg、3.0 mg 與 8.0 mg 以內。完成法碼質量校正後，確認法碼質量符合 OIML R111-1 E2 等級之法碼質量最大允許誤差之要求，且最大之質量相對擴充不確定度為 $4.4 \times 10^{-5} \%$ 。
- (2) 加速度：加速度是透過雷射干涉儀量測單位時間內位移變化所決定，各部件組裝之穩定性可由位移之重複性來確認，計畫之年度目標為頻率與振幅之重複性 $\leq 3 \%$ 。

2. 驗證法碼質量不確定度： $\leq 0.01\%$ (查核點編號 A1-3)

標準質量(法碼)之製作規格係參考法碼校正之國際規範 OIML R111-1 而訂定，使法碼質量最大允許誤差(maximum permissible error)與法碼密度符合 E2 等級之要求。為降低質量校正之不確定度，法碼之質量須為 1、2、5 之倍數，考慮振動試驗機之加速度與目標施力範圍，製作質量標稱值為 1 kg、2 kg 與 5 kg 的法碼。法碼製作之材質採用 316 不鏽鋼，且鎖孔尺寸與動態力量量測系統之連接座 2(如圖 1-1-2)匹配，法碼之外觀與參數如圖 1-1-5 所示，各法碼之尺寸參數如表 1-1-3:

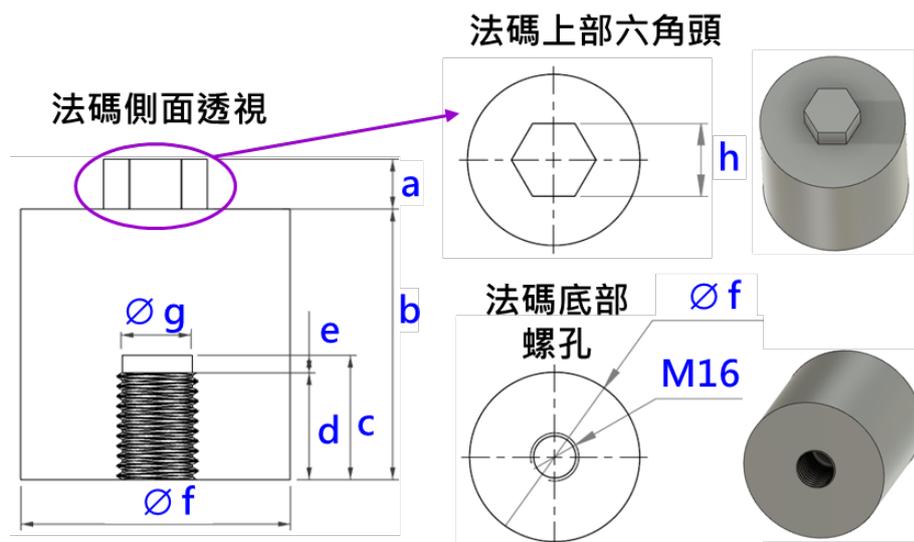


圖 1-1-5、標準質量(法碼)之外觀設計圖

表 1-1-3、法碼標稱值為 1 kg，2 kg 與 5 kg 之法碼尺寸參數

法碼 標稱值	密度 (g/cm ³)	質量 最大允許誤差 (mg)	法碼各部尺寸 (mm)							
			a	b	c	d	e	f	g	h
1 kg	7.98	1.6	10	54.6	25	21	4	53.9992	M16	24
2 kg	7.98	3.0	10	68.5	25	21	4	68.2164	M16	24
5 kg	7.98	8.0	10	93.0	25	21	4	92.5984	M16	24

註：依據 ISO/IEC GUIDE 98-3:2008 Uncertainty of measurement-Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO GUM) 7.2.6: 量測結果及擴充不確定度的數值，宜以適當有效位數表示，通常最多以兩位有效數字來表示，且最後宣稱量測結果的末位應與擴充不確定度的末位對齊。因此，不同標稱值之法碼會對應不同之有效位數。

法碼經加工完成如圖 1-1-6 所示，放置於實驗室 24 小時與室溫 20°C 達到平衡之後，開始進行校正，校正結果如表 1-1-4 所示，法碼質量校正結果顯示法碼之質量符合 OIMLR111-1 E2 等級之法碼質量最大允許誤差之要求，且最大之質量相對擴充不確定度為 $4.4 \times 10^{-5} \%$ (4.4×10^{-7})，優於計畫目標之 0.01 %。詳細校正結果如附件 3、4、5「法碼質量不確定度量測報告 (M210059A、M210060A、M210061A)。

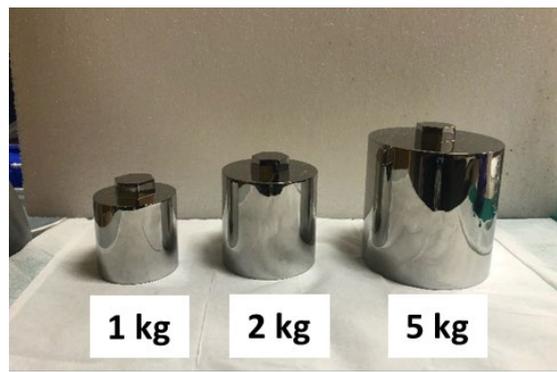


圖 1-1-6、動態力量量測系統特製法碼

表 1-1-4、法碼質量校正結果

法碼 標稱值	E ₂ 等級 最大允許誤差	質量校正結果	與標稱值差值	擴充不確定度	相對擴充 不確定度
1 kg	1.6 mg	1000.000726 g	0.726 mg	0.069 mg	6.9×10^{-8}
2 kg	3.0 mg	1999.99862 g	1.38 mg	0.88 mg	4.4×10^{-7}
5 kg	8.0 mg	5000.0054 g	5.4 mg	1.7 mg	3.4×10^{-7}

3. 動態力量量測系統之振盪器，致動器於最大頻率時，位置重複性 $\leq 3\%$ （查核點編號 A1-2）

動態力量之量測原理為牛頓第二運動定律 $F(t) = m a(t)$ ，量測系統係利用振動試驗機(振盪器)使符合 OIML R111-1 E2 等級之標準法碼 m 產生頻率為 f 之週期性之振動，並透過雷射干涉儀量測單位時間內之位移變化決定加速度 $a(t)$ ，進而以標準動態力校正力量傳感器於動態施力條件下之靈敏度(Sensitivity)。法碼進行週期性振盪時，其最大施力可以下式表示：

$$F_{\max} = m a = m d(2\pi f)^2$$

即最大加速度 a 與振動試驗機所產生之位移 d 呈線性關係，因此，振動試驗機之位移重複性將影響動態力量量測系統之不確定度。本測試於振動試驗機沒有負重之條件下，以計畫目標之最大振動頻率 2000 Hz 進行振動，並量測振幅(位置)之重複性是否符合查核點目標。振動試驗機模組如圖 1-1-7 所示，加速規之功用為量測加速度與振動頻率回饋給控制器以調整輸出，透過振動試驗機之控制軟體“Shaker Control”可設定振動試驗機之振動頻率、加速度、振動位移與持續時間...等資訊。

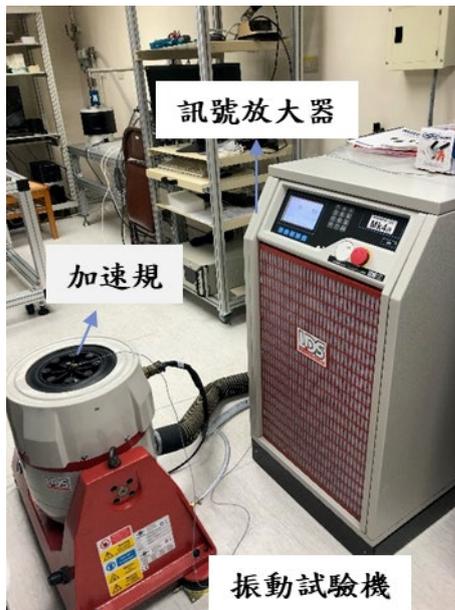


圖 1-1-7、振動試驗機模組

Shaker Control 控制介面設定如圖 1-1-8 所示，振動試驗機以 2000 Hz 之頻率， 200 m/s^2 之加速度進行振動，由控制軟體換算出相對應之振幅(displacement Peak-Peak)為 0.002533 mm；並設定取樣頻率為 24000 Hz:

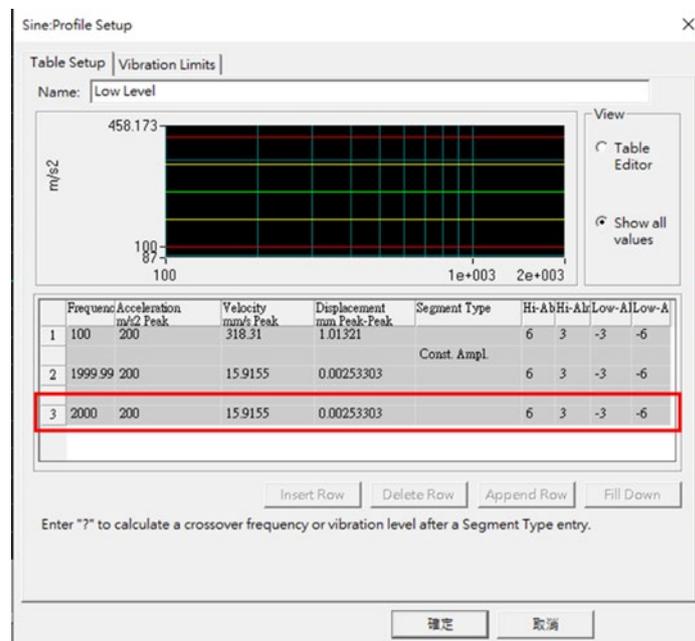


圖 1-1-8、振動試驗機軟體控制介面設定

振動位移隨時間(0 - 0.01) s 之變化如圖 1-1-9 所示，計算之振幅(Displacement Peak-Peak) 如表 1-1-5 所列。

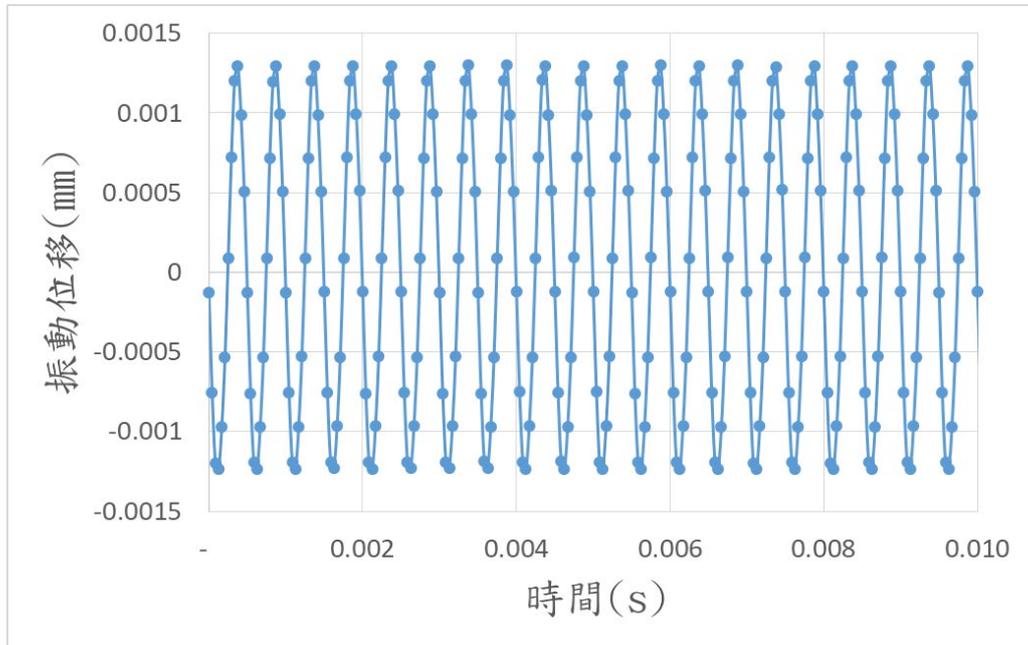


圖 1-1-9、振動位移隨時間之變化(振動試驗機上方無負載質量)

表 1-1-5、振動試驗以 2000 Hz 振動(0 - 0.01) s 間之振幅

振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)	振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)
1	0.0025289	11	0.0025249
2	0.0025298	12	0.0025359
3	0.0025263	13	0.0025270
4	0.0025272	14	0.0025367
5	0.0025274	15	0.0025258
6	0.0025258	16	0.0025330
7	0.0025296	17	0.0025269
8	0.0025327	18	0.0025302
9	0.0025277	19	0.0025334
10	0.0025294	20	0.0025323
平均峰值位移	0.00253		

依據表 1-1-5 計算(0 - 0.01) s 之平均振幅為 0.0025295 mm，標準差為 0.0000034 mm，所得到之重複性為 0.14%。振動試驗機位移重複性測試結果符合計畫目標 A1-2 所列之：動態力量量測系統之振盪器於最大頻率時，位置重複性 $\leq 3\%$ 。

4. 完成動態力量量測系統性能測試與驗證 (查核點編號 A1-4)

- 施力大小: 100 N ~ 1 kN
- 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz
- 頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$

動態力量量測系統之動態力是藉由標準法碼振盪而產生，施力於力量傳感器來進行校正。透過圖 1-1-2 所設計之連接座於振動試驗機上方鎖上待測之力量傳感器、質量為 5 kg 之法碼以及質量為 200 g 之連接座，並於上方固定反射鏡使雷射干涉儀可量測法碼受振動之位移，如圖 1-1-10 所示：

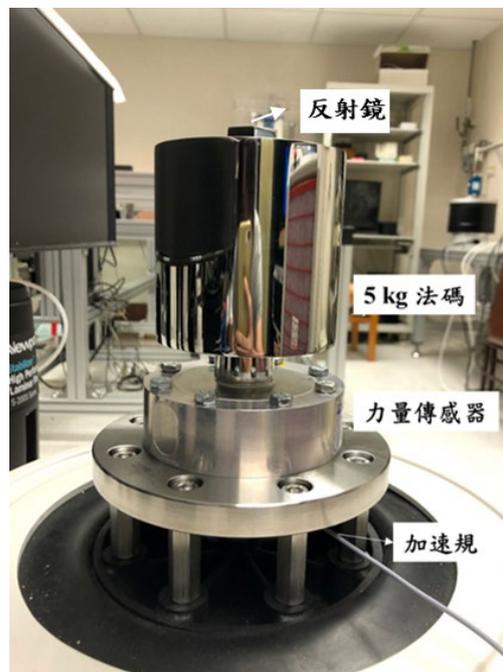


圖 1-1-10、固定於振動試驗機上之力量傳感器與 5 kg 法碼

動態力產生之位移是藉由雷射干涉儀所量測，其硬體架設示意圖如圖 1-1-11 所示，雷射光源以 45 度反射鏡將雷射光導入干涉儀，雷射干涉儀即將光路一分為二，其一入射參考反射鏡(Reference)，另一道則入射至法碼上方的反射鏡，這兩道光自不同的反射鏡會再交會至雷射干涉儀產生干涉，以此可推估兩道光之光程差，當法碼受到振盪時，反射鏡至雷射干涉儀之距離會隨時間變化，兩道雷射之干涉波形便可由訊號接受器接收，並透過干涉儀軸卡換算出法碼受振盪所產生之位移，此外，振動試驗機上固定一經校正之加速規，以驗證動態力量之輸出是否符合計畫目標。

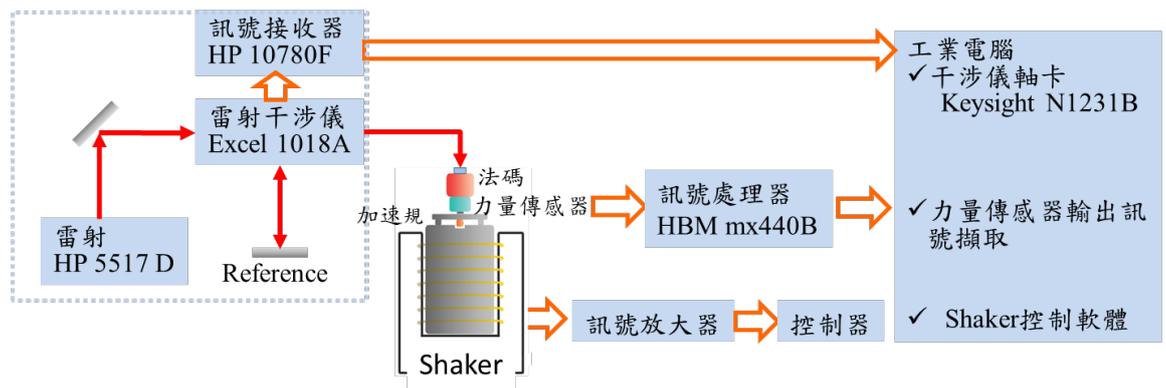


圖 1-1-11、硬體架設示意圖

實際之雷涉干涉儀與振動試驗機定位如圖 1-1-12 所示，圖(a)為俯視圖，干涉儀與鏡組放置於光學桌上，藉由在延伸之鋁擠型支架上面安裝 45 度之反射鏡，使原本水平方向之雷射光轉為垂直方向入射至法碼上方之反射鏡，側視圖如圖(b)所示。

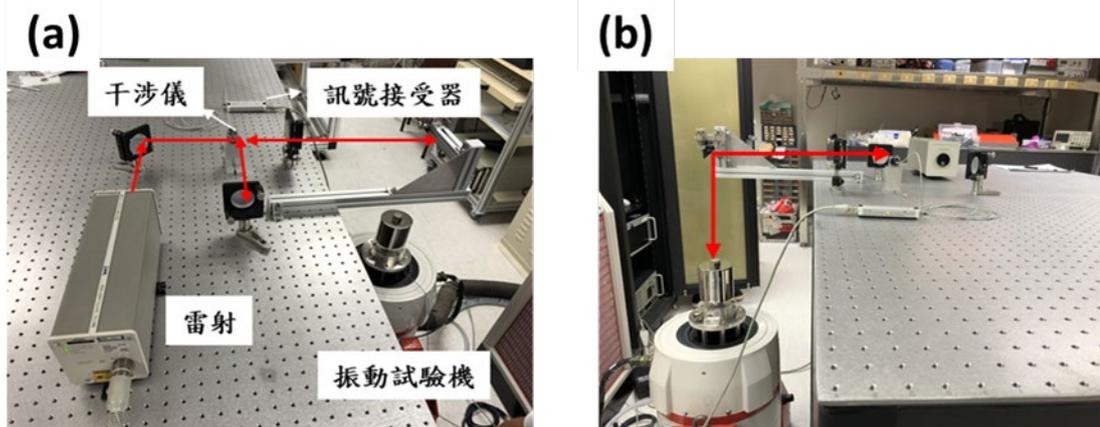


圖 1-1-12、雷涉干涉儀與振動試驗機之定位 (a)俯視圖 (b)側視圖

為驗證系統之動態力符合計畫目標之施力大小(100 N ~ 1 kN)與施力頻率範圍(10 Hz ~ 2000 Hz)，以目標施力與法碼質量之比值設定加速度，其校驗範圍之設定需考慮振動試驗機之規格:最大加速度為 980 m/s^2 ，最大峰值振幅為 25.4 mm 是否能匹配。以 5 kg 法碼為例，並以計畫目標施力(100 N ~ 1 kN)與頻率(10 Hz ~ 2000 Hz)交叉代入計算，如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6、固定力量與頻率，以 5 公斤法碼計算振幅位移

	力量輸出 (N)	法碼質量 (kg)	加速度 (m/s^2)	頻率 (Hz)	峰值位移 (mm)
1	100	5	20	10	10.13
2	100	5	20	2000	0.00025
3	1000	5	200	10	101.32
4	1000	5	200	2000	0.00253

結果顯示組合 3: 施力 1000 N，施力頻率 10 Hz 會超出振動試驗機之位移極限，而第 1、2、4 組中，可透過 1 和 4 之測試涵蓋施力範圍、施力頻率、加速度與對應之振幅位移，故以此兩組之測試結果進行說明。動態力之測試分別以(1)施力之最大值 1 kN 搭配最大輸出頻率 2000 Hz 與(2)施力之最小值 100 N 搭配最小輸出頻率 10 Hz 來進行，並透過(1)加速規量測之加速度以驗證力量輸出與(2)20 次的週期振盪分析輸出峰值位移與頻率之重複性，振動試驗機的控制軟體“Shaker Control”可設定振動相關之參數與流程，而加速度之設定取決於法碼質量與目標施力，本測試以 5 kg 之法碼進行測試，於施力範圍(100 N ~ 1 kN)所對應之加速度為(20 ~ 200) m/s^2 。

(1) 施力之最大值 1 kN 搭配最大輸出頻率 2000 Hz

振動試驗機之軟體控制介面如圖 1-1-13 所示，施力: 1000 N，設定施力頻率 2000 Hz、加速度為 200 m/s^2 ，對應之峰值位移(Peak –Peak displacement)0.00253 mm。

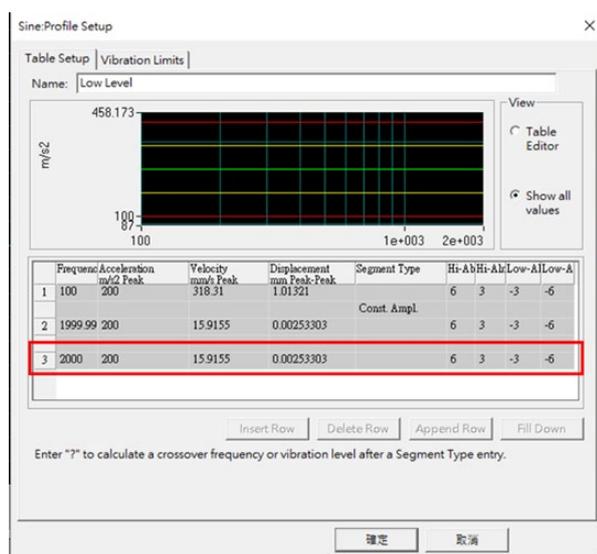


圖 1-1-13、振動試驗機軟體控制介面($f=2000$ Hz, $a=200$ m/s^2)設定

- 施力大小之驗證

以加速規量測振動試驗機輸出之加速度於 10 個週期隨時間之變化，如圖 1-1-14 所示：平均加速度為 198.02 m/s^2 ，乘上施力於傳感器之總質量 5.2 kg ，輸出之力量振幅為 1029.70 N 。

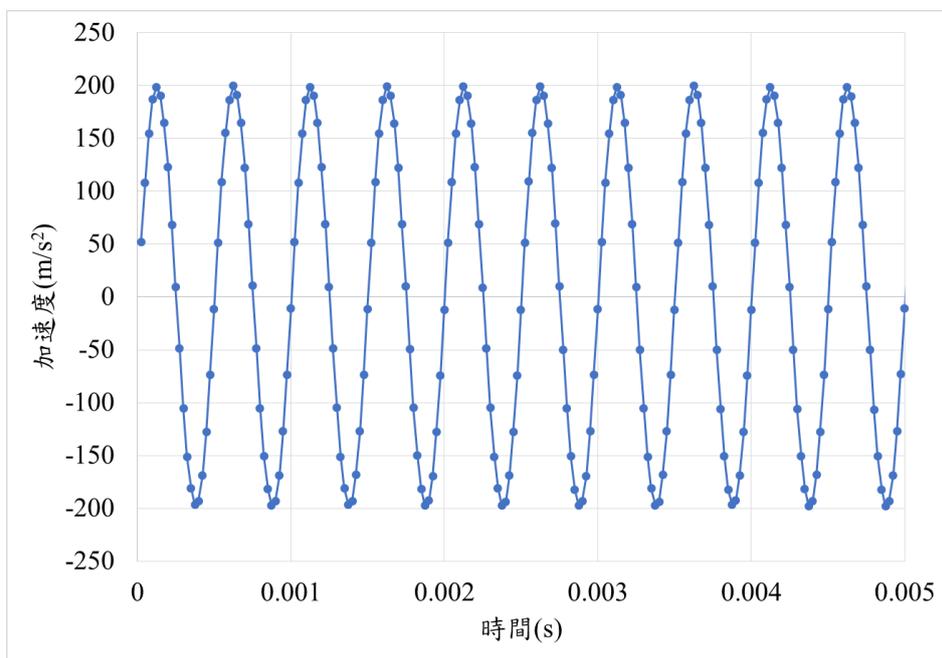


圖 1-1-14、施力頻率 2000 Hz，加速度隨時間之變化

- 施力頻率之驗證、位移與輸出頻率重複性之評估

振動位移隨時間(0 - 0.01) s 之變化如圖 1-1-15 所示，計算之峰值位移(Peak - Peak displacement)，如表 1-1-6 所列，(0 - 0.01) s 之平均峰值位移為 $2.43 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ，標準差為 $1.60 \times 10^{-5} \text{ mm}$ ，所得到之重複性為 $0.000016/0.00243 \times 100 \% = 0.66 \%$ 。

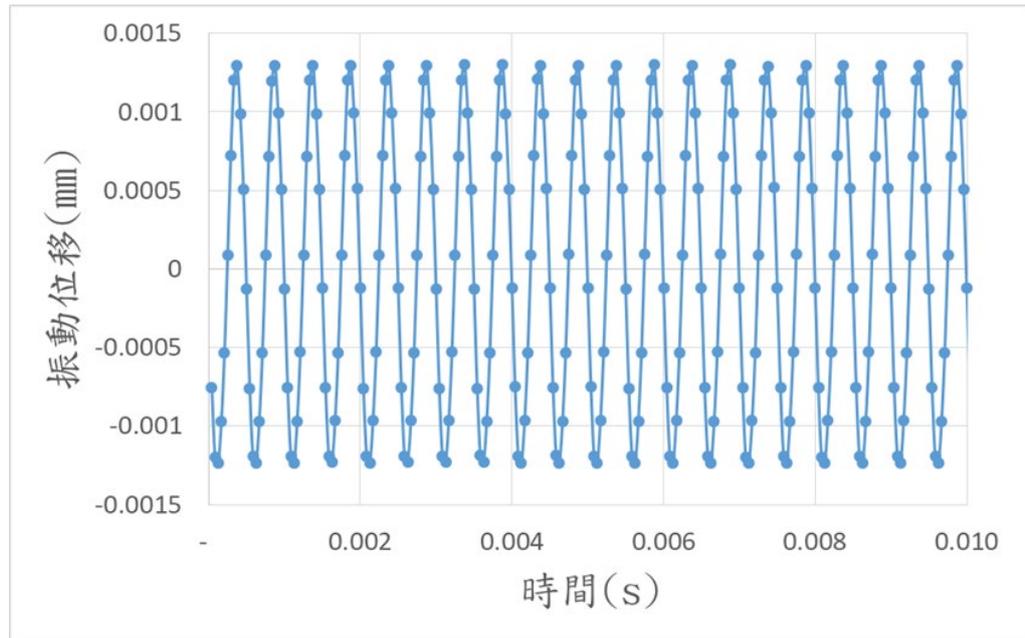


圖 1-1-15、2000 Hz 振動位移隨時間(0-0.01) s 之變化

表 1-1-7、(0 - 0.01) s 間 2000 Hz，加速度 200 m/s² 之峰值位移

振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)	振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)
1	0.002404	11	0.002413
2	0.002449	12	0.002448
3	0.002449	13	0.002420
4	0.002440	14	0.002435
5	0.002414	15	0.002417
6	0.002413	16	0.002445
7	0.002439	17	0.002439
8	0.002460	18	0.002447
9	0.002429	19	0.002422
10	0.002438	20	0.002414
平均峰值位移	0.00243		

另以圖 1-1-15 之數據評估兩峰值之時間間隔作為振動週期，並換算為振動頻率，振動週期與頻率如表 1-1-7 所示，平均振動頻率為 2000.45 Hz，標準差為 8.15 Hz，對應之重複性為 0.41 %。

表 1-1-8、(0 - 0.01) s 間 2000 Hz，加速度 200 m/s² 之振動頻率

振動週期	時間間隔(s)	頻率(Hz)	振動週期	時間間隔(s)	頻率(Hz)
1	0.00050	2000.00	11	0.00050	2000.00
2	0.00050	2000.00	12	0.00050	2000.00
3	0.00050	2000.00	13	0.00050	2000.00
4	0.00049	2028.40	14	0.00050	2000.00
5	0.00052	1980.20	15	0.00050	2000.00
6	0.00050	2000.00	16	0.00050	2000.00
7	0.00050	2000.00	17	0.00050	2000.00
8	0.00050	2000.00	18	0.00050	2000.00
9	0.00050	2000.00	19	0.00050	2000.00
10	0.00050	2000.00			
平均頻率			2000.45		

(2) 施力之最小值 100 N 搭配最小輸出頻率 10 Hz

振動試驗機之軟體控制介面如圖 1-1-16 所示，施力 100 N，設定施力頻率 100 Hz、加速度為 20 m/s²，對應峰值位移 10.13 mm。

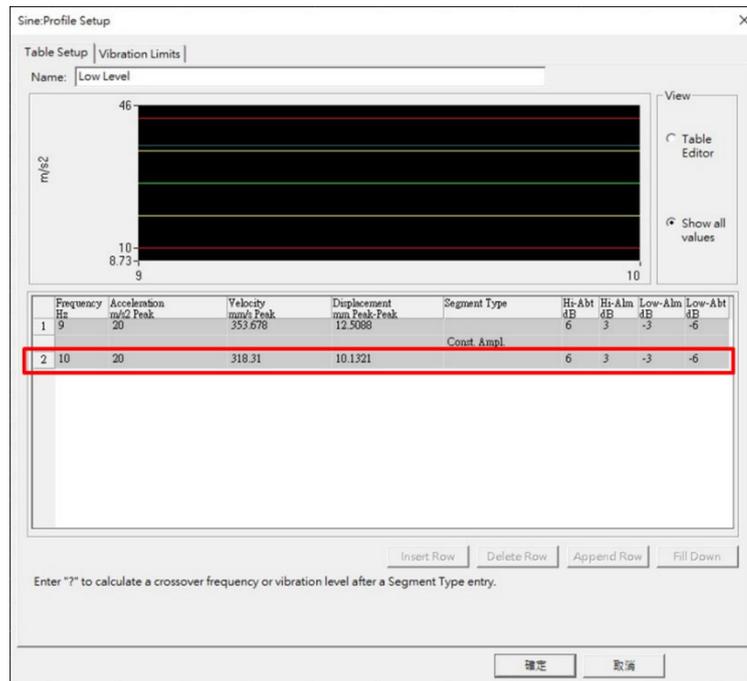


圖 1-1-16、振動試驗機軟體控制介面(f = 100 Hz, a = 20 m/s²)設定

- 施力大小之驗證

以加速規量測振動試驗機輸出之加速度於 10 個週期隨時間之變化，如圖 1-1-17 所示：平均加速度為 21.39 m/s^2 ，乘上施力於傳感器之總質量 5.2 kg ，輸出之力量振幅為 111.23 N 。

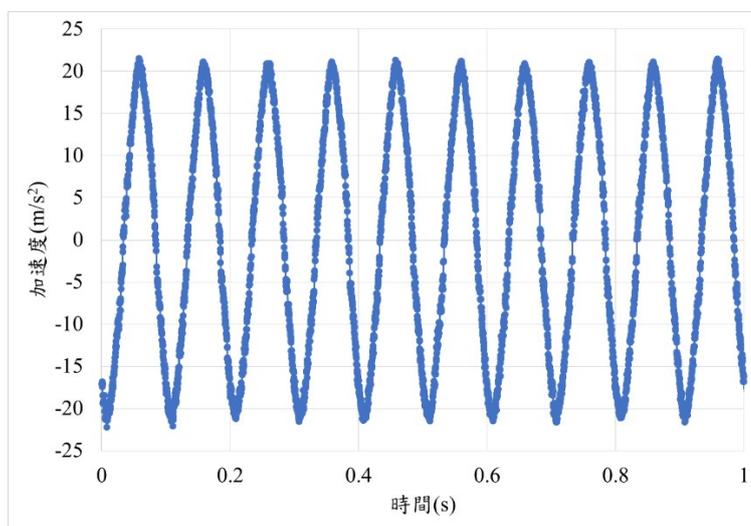


圖 1-1-17、施力頻率 10 Hz，加速度隨時間之變化

- 施力頻率之驗證、位移與輸出頻率重複性之評估

振動位移隨時間(0-2) s 之變化如圖 1-1-18 所示，計算之振幅(Displacement Peak-Peak)如表 1-1-8 所列，峰值位移平均值為 10.83 mm ，標準差為 0.10 mm ，重複性為 0.96% 。

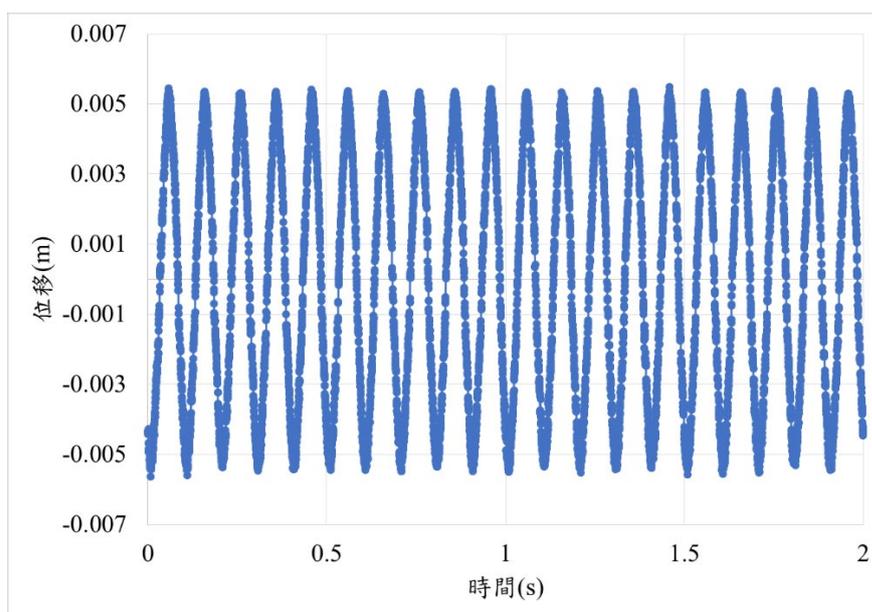


圖 1-1-18、10 Hz 振動位移隨時間(0-2) s 之變化

表 1-1-9、(0 - 2) s 間之 10 Hz 振幅

振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)	振動週期	峰值位移 Peak-peak displacement (mm)
1	11.083820	11	10.836180
2	10.948744	12	10.678590
3	10.678587	13	10.888708
4	10.813666	14	10.776147
5	10.828674	15	10.881205
6	10.821169	16	10.903719
7	10.731120	17	10.896214
8	10.813666	18	10.903717
9	10.708607	19	10.686093
10	10.911223	20	10.753632
平均峰值位移	10.83		

另以圖 1-1-18 之數據評估兩峰值之時間間隔作為振動週期，並換算為振動頻率，振動週期與頻率如表 1-1-9 所示，平均振動頻率為 10.00 Hz，標準差為 0.15 Hz，對應之重複性為 1.50%。

表 1-1-10、(0 - 2) s 間 10 Hz，加速度 20 m/s² 之振動頻率

振動週期	時間間隔(s)	頻率(Hz)	振動週期	時間間隔(s)	頻率(Hz)
1	0.100	9.98	11	0.098	10.18
2	0.102	9.80	12	0.100	10.00
3	0.098	10.23	13	0.101	9.90
4	0.099	10.08	14	0.100	10.00
5	0.103	9.76	15	0.102	9.80
6	0.098	10.18	16	0.098	10.20
7	0.102	9.85	17	0.102	9.83
8	0.099	10.13	18	0.098	10.18
9	0.101	9.93	19	0.100	10.03
10	0.100	10.03			
平均頻率			10.00		

【突破瓶頸】

本計畫動態力量量測技術原理係以牛頓第二定律 $F = m a$ 研發系統架構，以振動試驗機使質量為 m 之標準法碼產生週期性振盪，並以雷射干涉儀量測法碼受振動隨時間變化之位移量求出加速度 a ，進而產生標準動態力以校正力量傳感器。其主要兩大不確定來源即質量 m 及加速度 a ，因此本系統於機構設計主要突破瓶頸可分為2大部分：

1. 質量塊設計方面，為使動態力量量測系統之質量塊於量測過程中不確定貢獻極小，質量塊參考 OIML R111-1 規範設計特殊法碼，選用材質密度符合 $(7.81 \sim 8.21) \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ 之 316 不鏽鋼，和製作滿足 E2 級之最大允許誤差的法碼，除此之外，亦考量法碼與機構的緊密結合，降低干擾因子，故設計一體成形的法碼及相關材質的连接座，並且使相關尺寸及孔位能穩定的連結。此部分製作與台北度量衡公會理事長合作，在製作的過程中以 CNC 加工精準控制尺寸，並控溫在 20°C 下手工打磨量測質量值，以完成符合 OIML R111-1 規範及動態力量量測系統要求的質量塊。
2. 加速度值是透過雷射干涉儀量測時間內位移變化所決定，位移之量測方式是將反射鏡固定於標準質量塊上方，以雷射干涉儀模組量測法碼振盪之位移，故雷射光與動態力量量測系統之對位一致性將影響位移之量測結果甚鉅，本計畫之工作著重於雷射干涉儀與系統之對位與動態位移量測技術之開發，並驗證頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$ 。

(二) 機械聲音之聲學麥克風校正技術

為健全 NML 聲學領域之校正能量，以滿足國內各產業於各項應用之校正追溯需求，本子計畫於 109 年規劃依據 IEC 61094-8，擴建麥克風自由場靈敏度校正能量，除了提供實驗室標準麥克風校正外，亦可擴充至工作標準麥克風，滿足麥克風計量追溯的缺口，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。延續 FY109 麥克風自由場靈敏度校正系統建置完成後，進行系統自動化控制程式的精進與系統查驗，以利提供產業校正服務；並擴充麥克風模數響應及相位響應量測能力，協助產業分析模數衰減(modulus decay)及相位延遲(phase delay)現象，精準的偵測聲音訊號位置，提高聲音訊號的辨識能力。本年度計畫聚焦於兩項任務：(1)完成麥克風自由場靈敏度比較法校正的系統查驗；(2)麥克風相位及模數響應量測技術的建置，計畫完成後的技術能量與 NMIJ 相當，先進國家之麥克風相位與模數量測發展現況如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1、先進國家之麥克風相位與模數量測發展現況

量測系統名稱	技術領先國家現況			NML技術現況	建置後NML狀況	產業界需求狀況
	NPL (英國)	NMIJ (日本)	DPLA (丹麥)			
麥克風相位與模數量測系統						
頻率範圍	2 Hz ~ 10 kHz	2 Hz ~ 10 kHz	1 Hz ~ 12.5 kHz	無	100 Hz ~ 20 kHz	100 Hz ~ 20 kHz
相位量測不確定度	≤ 2 %	≤ 2 %	≤ 1 %	無	100 Hz ~ 10 kHz: ≤ 3 % 10 kHz ~ 20 kHz: ≤ 5 %	100 Hz ~ 10 kHz: 3 % 10 kHz ~ 20 kHz: 5 %
模數量測不確定度	≤ 1 %	≤ 3 %	≤ 1 %	無	100 Hz ~ 10 kHz: ≤ 3 % 10 kHz ~ 20 kHz: ≤ 5 %	100 Hz ~ 10 kHz: 3 % 10 kHz ~ 20 kHz: 5 %

【執行成果】

1. 相位與模數量測的演算法評估(查核點編號 A2-1)

麥克風相位及模數響應量測技術的建立，主要是以標準麥克風的靈敏度為參考值與待校麥克風進行比較，標準麥克風靈敏度的相位與模數的準確與否關係著待校麥克風相位及模數響應的量測結果。因此，首先根據標準麥克風互換法 IEC 61094-2 [1-2-1]進行相位及模數演算法的評估，其量測原理是使用三個相同型式之電容式麥克風，其中兩個麥克風具有互換性，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，置入校正系統之空腔耦合器(coupler)中，藉由量測輸入電流、輸出電壓及聲傳播阻抗(acoustic transfer impedance)，如圖 1-2-1 所示，獲得兩麥克風音壓靈敏度之乘積 $M_{p,1} M_{p,2}$ 如下式

$$M_{p,1} \cdot M_{p,2} = \frac{1}{Z_{a,12}} \cdot \frac{u_2}{i_1}$$

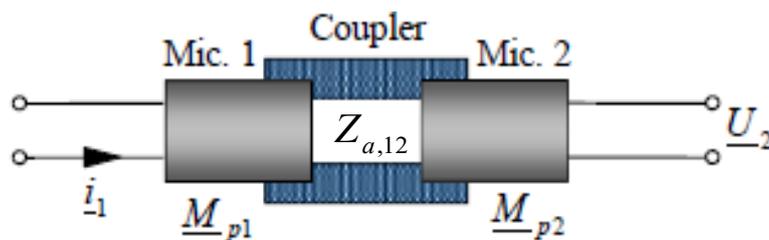


圖 1-2-1、麥克風靈敏度校正原理

其中發音端電流 i_1 量測如下式，是利用其電容及跨接於電容兩端電壓的量測而得

$$i_1 = u_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C$$

u_1 ：跨接於音源麥克風電容兩端之電壓，V

j ： $\sqrt{-1}$

ω ：角速度，rad/s $\omega = 2 \pi f$

C ：電容值，nF

而聲傳播阻抗 $Z_{a,12}$ 則分為 $Z_{a,1}$, $Z_{a,2}$ 以及 $Z_{a,v}$

$$Z_{a,12} = \left(\frac{j \cdot \omega \cdot V}{\kappa \cdot P_S} + \frac{j \cdot \omega \cdot V_{e,1}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} + \frac{j \cdot \omega \cdot V_{e,2}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} \right)^{-1}$$

V ：耦合腔體積， m^3

$V_{e,1}$ 、 $V_{e,2}$ ：麥克風等效體積， m^3

P_S ：量測時之大氣壓力，kPa

$P_{S,r} = 101.325$ ，kPa

k ：比熱比， ≈ 1.4

$$M_{p,1} \cdot M_{p,2} = \frac{u_2}{i_1 \cdot Z_{a,12}} = \frac{u_2}{u_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C_1} \left(\frac{j \cdot \omega \cdot V}{\kappa \cdot P_S} + \frac{j \cdot \omega \cdot V_{e,1}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} + \frac{j \cdot \omega \cdot V_{e,2}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} \right)$$

此處 $R_{12} = \frac{u_2}{u_1}$ ，代入獲得下式

$$M_{p,1} \cdot M_{p,2} = \frac{R_{12}}{C_1} \left(\frac{V}{\kappa \cdot P_S} + \frac{V_{e,1}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} + \frac{V_{e,2}}{\kappa_r \cdot P_{S,r}} \right)$$

由三組聯立方程式解得麥克風之靈敏度為

$$M_{p,1} = \sqrt{\frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}} \cdot \frac{V_{a,12} \cdot V_{a,13}}{V_{a,23}} \cdot \frac{P_{s,23}}{P_{s,12} \cdot P_{s,13}} \cdot \frac{\kappa_{23}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{13}} \cdot \frac{1}{C_1}}$$

其中

$$V_{a,12} = V_{0,12} \text{ Cor}_{HW,12} ; V_{a,13} = V_{0,13} \text{ Cor}_{HW,13} ; V_{a,23} = V_{0,23} \text{ Cor}_{HW,23}$$

由麥克風互換法獲得靈敏度的複數型態如下：

$$M_{p,1} = \sqrt{\frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}} \cdot \frac{V_{0,12} \cdot V_{0,13}}{V_{0,23}} \cdot \frac{P_{s,23}}{P_{s,12} \cdot P_{s,13}} \cdot \frac{\kappa_{23}}{\kappa_{12} \cdot \kappa_{13}} \cdot \frac{\text{Cor}_{HW,12} \cdot \text{Cor}_{HW,13}}{\text{Cor}_{HW,23}} \cdot \frac{1}{C_1}}$$

$$= \mathbf{real} + \mathbf{image} j$$

$$V_{0,xy} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{coup}}^2 l_{\text{coup}} + d_{\text{cav},x}^2 l_{\text{cav},x} + d_{\text{cav},y}^2 l_{\text{cav},y}) + V_{e,x} + V_{e,y}$$

d_{coup} : 耦合腔直徑, m

l_{coup} : 耦合腔深度, m

$l_{\text{cav},x}$ 、 $l_{\text{cav},y}$: 麥克風前腔深度, m

$d_{\text{cav},x}$ 、 $d_{\text{cav},y}$: 麥克風前腔直徑, m

$V_{e,x}$ 、 $V_{e,y}$: 等效體積, m^3

則計算麥克風相位及模數為

麥克風相位 $Phase = \tan^{-1} \frac{\text{image}}{\text{real}}$

麥克風模數 $Modulus = \text{real}$

由上述建立的相位與模數量測的演算法模型(圖1-2-2), 進行在不同量測參數條件下, 包括環境、耦合腔參數及麥克風參數等(如表1-2-2), 評估相位與模數量測的最大影響因子。

有關環境溫濕度、大氣壓力為實驗室環境控制下的變異度, 麥克風電容、共振頻率、前空腔、腔體體積、由儀器商提供之儀器規格誤差評估, 電壓量測則由使用的分析儀校正後之器差百分比評估。

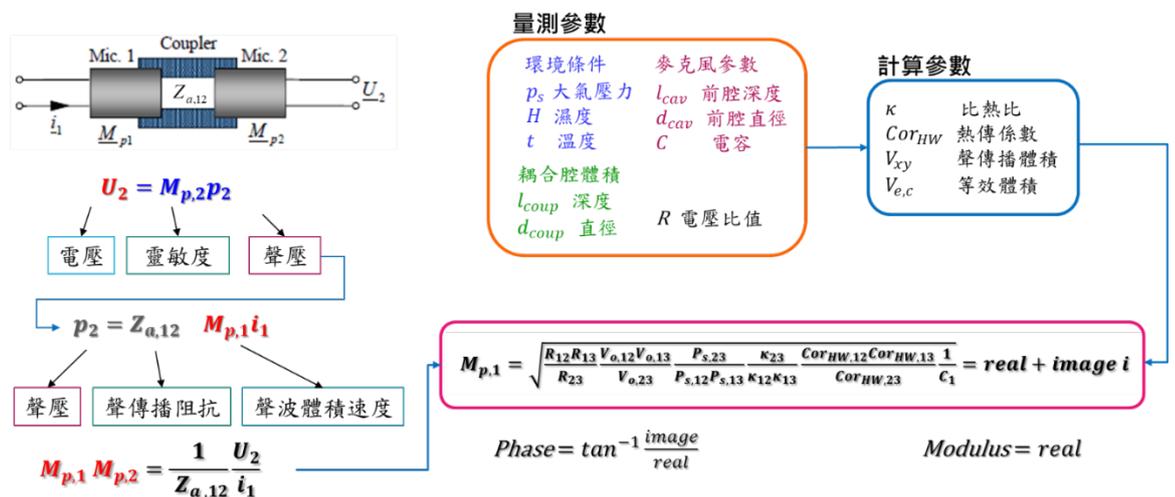


圖 1-2-2、麥克風靈敏度相位與模數量測的演算法模型

表 1-2-2、麥克風靈敏度相位與模數量測變異範圍

量測參數	參考值	變異範圍	單位	變異百分比 (%)
溫度	23	1.5	°C	6.52
濕度	50	5	%	10
大氣壓力	1013.25	2	hPa	0.2
前空腔	0.5	0.02	mm	4
腔體體積	319.27	1.4	mm ³	0.44
麥克風電容	4.7x10 ⁻⁹	0.05	%	0.05
共振頻率	22	1	kHz	4.55
電壓量測	-	0.3	%	0.3

根據演算法評估結果，在量測麥克風靈敏度的模數時，主要的影響因子為校正腔體體積(如圖1-2-3)，因此在互換校正系統中會使用不同體積的耦合腔體進行量測，藉以降低量測的誤差。而在量測麥克風靈敏度的相位時，除了校正腔體體積及麥克風前空腔深度的影響外，共振頻率亦影響相位量測的準確度(如圖1-2-4)，因此一般相位的量測會限制在麥克風共振頻率以下進行。評估的結果將會於後續麥克風靈敏度相位與模數實際校正時之量測不確度中評估。

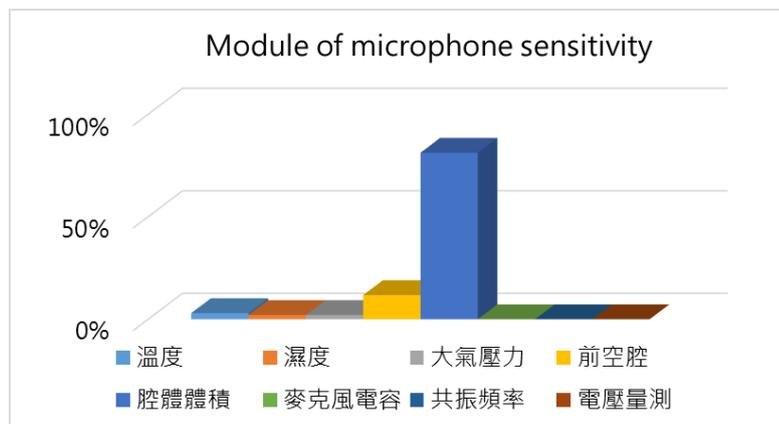


圖 1-2-3、標準麥克風靈敏度模數影響因子

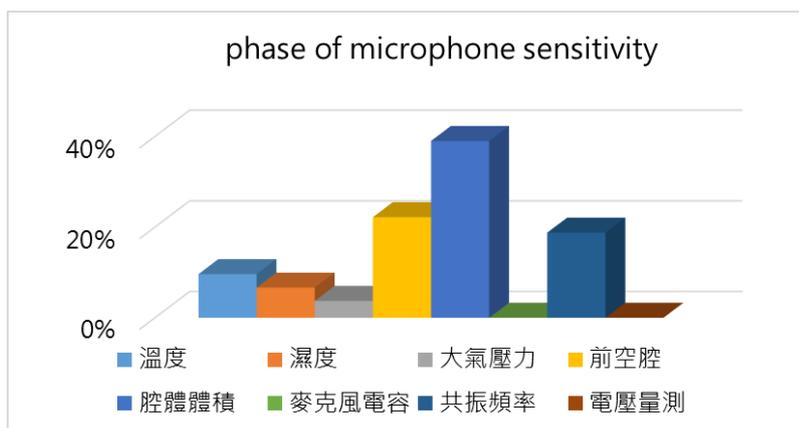


圖 1-2-4、標準麥克風靈敏度相位影響因子

2. 麥克風自由場靈敏度校正系統查驗(查核點編號 A2-2)

本計畫於109年依據IEC 61094-8[1-2-2] 的校正方法，以實驗室標準麥克風的靈敏度追溯值為參考標準，可提供符合IEC 61094-1[1-2-3] LS2及IEC 61094-4[1-2-4] WS2之二分之一英吋實驗室標準及工作標準麥克風(如表1-2-3)，頻率範圍為250 Hz至40 kHz自由場靈敏度的校正，其追溯圖如圖1-2-5。

表 1-2-3、待校麥克風規格

待校麥克風		性能說明
二分之一英吋 實驗室標準麥克風 (IEC 61094-1 LS2)		自由場靈敏度： (-37 ± 3) dB re 1 V/Pa 頻率範圍： 250 Hz to 40 kHz
二分之一英吋 工作標準麥克風 (EC 61094-4 WS2)		自由場靈敏度： (-40 ~ -24) dB re 1 V/Pa 頻率範圍： 250 Hz to 40 kHz

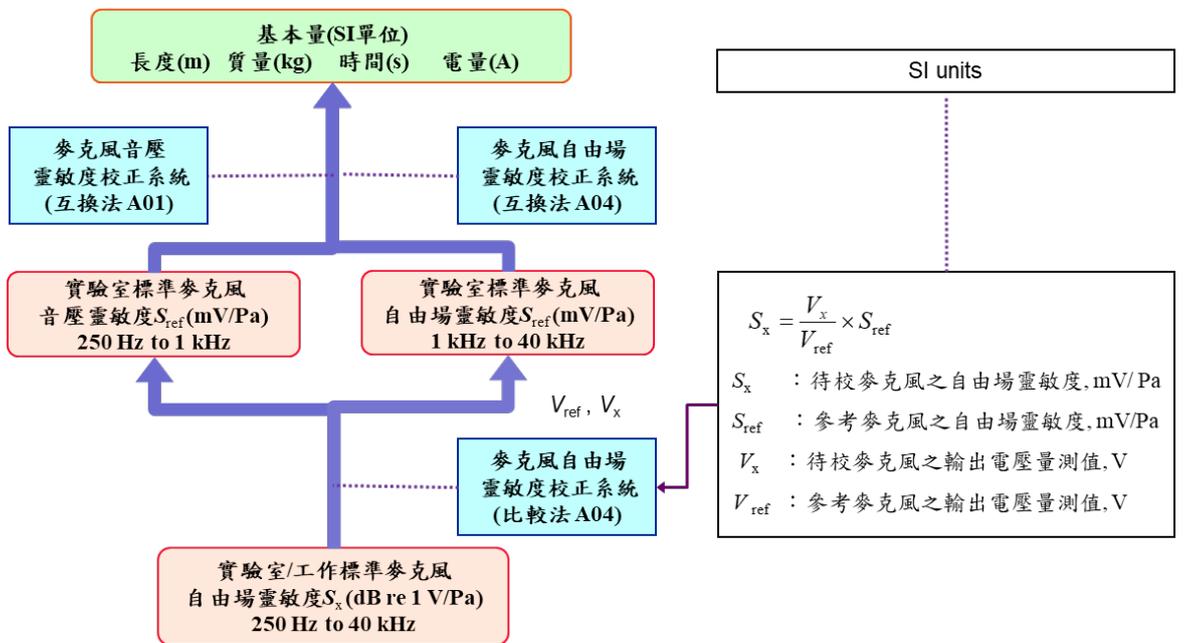


圖 1-2-5、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之量測系統追溯圖

麥克風自由場靈敏度比較校正方法，係利用一已知自由場靈敏度的電容式麥克風為參考標準，以一可調整輸出頻率的音源發出穩定的音壓，藉由待校麥克風與參考麥克風擷取同一音源之音壓後，由輸出之電壓比值計算獲得待校麥克風之自由場靈敏度。

當參考麥克風及待校麥克風接收一音源時，量測其輸出電壓，可獲得參考麥克風的自由場靈敏度 $S_{ref} = V_{ref}/P_{ref}$ ，及待校麥克風自由場靈敏度 $S_x = V_x/P_x$ 。

因在相同的音場中，假設 $P_{ref}=P_x$ ，則待校麥克風之自由場靈敏度為：

$$S_x = \frac{V_x}{V_{ref}} S_{ref}$$

式中

S_x ：為待校麥克風之自由場靈敏度，mV/Pa

S_{ref} ：為參考麥克風之自由場靈敏度，mV/Pa

V_x ：為待校麥克風接收音源之輸出電壓，V

V_{ref} ：為參考麥克風接收音源之輸出電壓，V

實際量測時是採用循序比較的方式量測參考及待校麥克風接收音源後的電壓輸出，為修正音源在不同時間產生的音壓變化，在音源端安裝監測麥克風(如圖1-2-6)，以循序方式量測參考與監測麥克風輸出電壓的比值以及待校麥克風與監測麥克風輸出電壓的比值，再計算待校麥克風自由場靈敏度如下式：

$$S_x = \frac{V_x/V_{monitor}}{V_{ref}/V_{monitor}} \cdot S_{ref} = \frac{V_x}{V_{ref}} \cdot S_{ref} \quad [\text{mV/Pa}]$$

式中

V_x/V_{monitor} ：為待校與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，V/V

$V_{\text{ref}}/V_{\text{monitor}}$ ：為參考與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，V/V

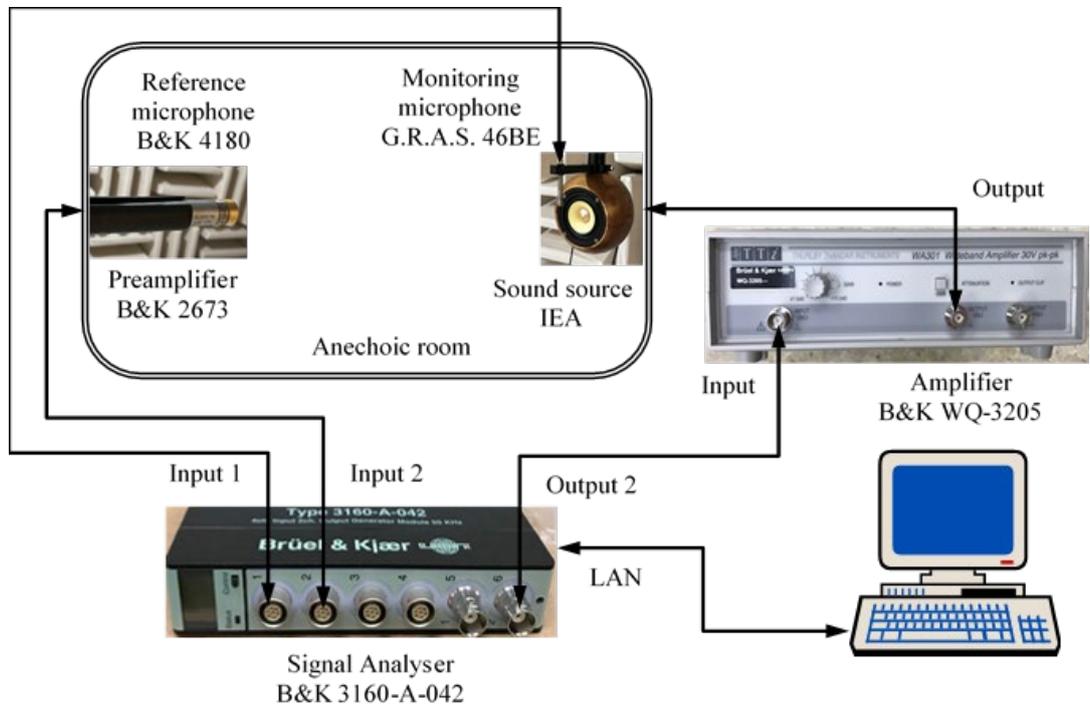


圖 1-2-6、麥克風自由場靈敏度校正系統 - 比較法 系統圖

一般麥克風之自由場靈敏度 S [V/Pa] 通常以自由場靈敏度位準 M [dB re 1 V/Pa] (以下簡稱靈敏度) 表示，因此將上式改寫如下：

$$M_x = M_{\text{ref}} + R_x - R_{\text{ref}}$$

式中

M_x ：為待校麥克風之自由場靈敏度，dB re 1 V/Pa

M_{ref} ：為參考麥克風之自由場靈敏度，dB re 1 V/Pa

R_x ：為待校與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，dB

R_{ref} ：為參考與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，dB

$$M_x = 20 \times \log(S_x/S_0), S_0 = 1 \text{ V/Pa}$$

$$M_{\text{ref}} = 20 \times \log(S_{\text{ref}}/S_0), S_0 = 1 \text{ V/Pa}$$

然而麥克風靈敏度會因環境等因素而變化，故須考慮環境修正因素，由於實驗室環境控制在溫度： $(23.0 \pm 1.5)^\circ\text{C}$ ，相對濕度： $(50 \pm 20)\%$ ，校正時僅對大氣壓力進行修正。修正後得待校麥克風於參考大氣壓力時之自由場靈敏度如下：

$$M_x = M_{ref} + R_x - R_{ref} + \Delta M_{ref,P} - \Delta M_{x,P}$$

$\Delta M_{ref,P}$ ：參考麥克風靈敏度因大氣壓力影響之修正值，dB

$\Delta M_{x,P}$ ：待校麥克風靈敏度因大氣壓力影響之修正值，dB

經由校正方法的確立後，進行自動化校正控制程式的精進，其校正功能透過內插電壓及迴路控制的技術，無須將麥克風與前置放大器分離，即可獲得麥克風的開路靈敏度或麥克風包含前置放大器的靈敏度，如圖1-2-7。

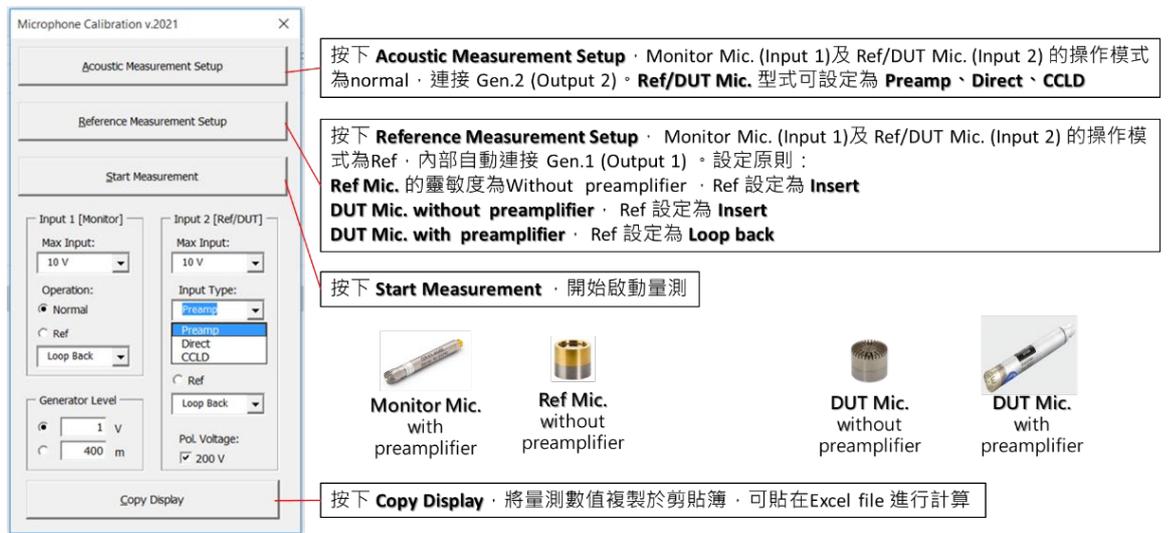


圖 1-2-7、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之自動化操作介面

• 當校正待校麥克風的開路靈敏度時：

根據量測程序中聲學量測的結果是麥克風包括前置放大器和分析儀的輸出電壓，為了確定麥克風的開路靈敏度，必須進行第二次的電訊量測，是將待校麥克風(DUC Mic.)通道進行內插電壓(迴路 a)量測(如圖 1-2-8)，以去除前置放大器及分析儀的負載誤差。因此待校麥克風的開路電壓值為計算聲學的量測值減去內插電壓量測值，如下式：

$$R_x = R_{x,acoustic} - R_{x,insert}$$

$R_{x,acoustic}$ ：為待校與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，dB

$R_{x,insert}$ ：為待校麥克風之內插電壓輸入輸出比值，dB

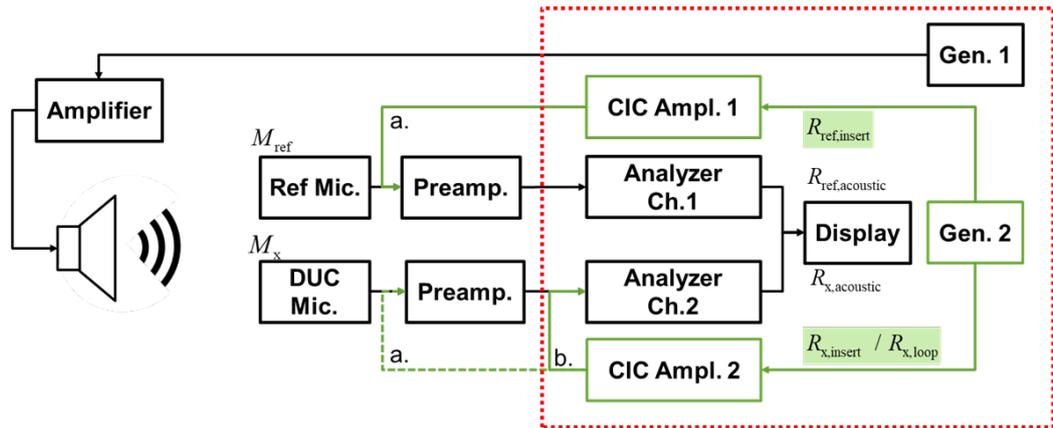
• 當校正待校麥克風包含前置放大器的靈敏度時：

當校正麥克風包含前置放大器的靈敏度時，第二次的電訊量測則是將待校麥克風(DUC Mic.)通道直接連接到分析儀的輸入(迴路 b)進行量測(如圖 1-2-8)，以去除分析儀的負載誤差。因此待校麥克風含前置放大器的靈敏度為計算聲學的量測值減去訊號迴路量測值，如下式：

$$R_x = R_{x,acoustic} - R_{x,loop}$$

$R_{x,acoustic}$ ：為待校與監測麥克風接收音源之輸出電壓比值，dB

$R_{x,loop}$ ：為待校麥克風之訊號迴路電壓輸入輸出比值，dB



- a. Insert : Calibration of DUC Mic (Open circuit sensitivity)
- b. Loop : Calibration of DUC Mic with preamplifier (sensitivity)

圖 1-2-8、麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法之量測系統方塊圖

量測不確定度則是依據 ISO/IEC Guide 98-3:2008[1-2-5]進行評估，包含待校件之影響，在約 95 % 信賴水準下，涵蓋因子為 $k=2$ ，其擴充不確定度評估結果如表 1-2-4。

表 1-2-4、麥克風自由場靈敏度擴充不確定度

頻率 f 範圍	擴充不確定度， U (dB)
$250 \text{ Hz} \leq f \leq 800 \text{ Hz}$	0.40
$800 \text{ Hz} < f \leq 20 \text{ kHz}$	0.45
$20 \text{ kHz} < f \leq 31.5 \text{ kHz}$	0.55
$31.5 \text{ kHz} < f \leq 40 \text{ kHz}$	0.70

系統校正能力的確認則是透過一個可由互換法及比較法校正的實驗室標準麥克風進行校正結果的比較。在頻率範圍為 250 Hz 至 1 kHz，利用麥克風音壓靈敏度校正系統-互換法(系統

代碼 A01)獲得之靈敏度(麥克風在此頻率範圍之自由場靈敏度近似於音壓靈敏度),與麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法(系統代碼 A04, IEC61094-8)獲得之靈敏度,透過計算其 E_n 結果如表 1-2-5 均小於 1。

在頻率範圍為 1 kHz 至 40 kHz,則由麥克風自由場靈敏度校正系統-互換法(系統代碼 A04)獲得之靈敏度,與麥克風自由場靈敏度校正系統-比較法(系統代碼 A04, IEC61094-8)獲得之靈敏度,透過計算其 E_n 結果如表 1-2-6 亦均小於 1,顯示麥克風自由場靈敏度校正結果一致性。

表 1-2-5、麥克風自由場靈敏度比對結果(頻率範圍 250 Hz 至 1 kHz)

Frequency (Hz)	Pressure sensitivity by reciprocity method (dB)		Free-field sensitivity by comparison method (dB)		Difference (dB)	$ E_n $
	Value	Uncertainty	Value	Uncertainty		
251.2	-38.59	0.06	-38.61	0.40	-0.02	0.05
316.2	-38.59	0.06	-38.67	0.40	-0.08	0.20
398.1	-38.60	0.06	-38.60	0.40	0.00	0.00
501.2	-38.60	0.06	-38.69	0.40	-0.09	0.22
631.0	-38.60	0.06	-38.64	0.40	-0.04	0.10
794.3	-38.60	0.06	-38.53	0.40	0.07	0.17

表 1-2-6、麥克風自由場靈敏度比對結果(頻率範圍 1 kHz 至 40 kHz)

Frequency (Hz)	Free-field sensitivity by reciprocity method (dB)		Free-field sensitivity by comparison method (dB)		Difference (dB)	$ E_n $
	Value	Uncertainty	Value	Uncertainty		
1000.0	-38.46	0.22	-38.48	0.45	-0.02	0.04
1258.9	-38.42	0.22	-38.48	0.45	-0.06	0.12
1584.9	-38.36	0.22	-38.41	0.45	-0.05	0.10
1995.3	-38.24	0.22	-38.28	0.45	-0.04	0.08
2511.9	-38.07	0.22	-38.08	0.45	-0.01	0.02
3162.3	-37.81	0.22	-37.82	0.45	-0.01	0.02
3981.1	-37.40	0.22	-37.42	0.45	-0.02	0.04
5011.9	-36.74	0.22	-36.78	0.45	-0.04	0.08
6309.6	-35.72	0.22	-35.74	0.45	-0.02	0.04
7943.3	-34.32	0.22	-34.33	0.45	-0.01	0.02

Frequency (Hz)	Free-field sensitivity by reciprocity method (dB)		Free-field sensitivity by comparison method (dB)		Difference (dB)	$ E_n $
	Value	Uncertainty	Value	Uncertainty		
10000.0	-32.44	0.22	-32.45	0.45	-0.01	0.02
12589.3	-30.39	0.22	-30.39	0.45	0.00	0.00
15848.9	-29.11	0.22	-29.17	0.45	-0.06	0.12
19952.6	-30.03	0.22	-30.09	0.45	-0.06	0.12
25118.9	-33.08	0.22	-33.11	0.50	-0.03	0.05
31622.8	-37.06	0.22	-37.06	0.55	0.00	0.00
39810.7	-42.00	0.22	-42.04	0.70	-0.04	0.05

系統查驗審查會議因疫情關係，於 2021 年 6 月 29 日首次以 MS Teams 視訊方式召開，系統查驗計畫規劃查驗委員包括台大洪振發教授、環保署程惠生研究員、工研院機械所周永樂委員以及標準局長官，針對系統校正程序、評估報告、硬體設備、軟體設備以及實地操作進行審查(如圖 1-2-9)。經查驗委員討論後建議通過，相關意見已於 7 月 30 日完成回覆，標準局亦於 110.9.2 以經標四字第 11000061470 號函同意系統能量的擴充。

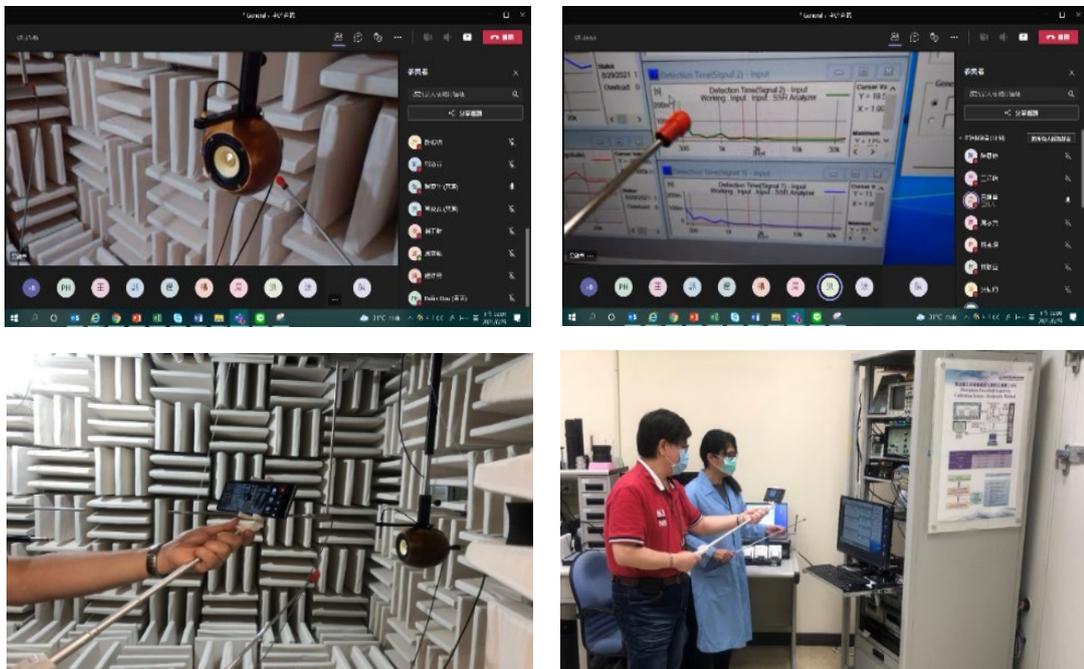


圖 1-2-9、系統查驗審查視訊會議

3. 相位與模數響應實際量測分析 (查核點編號 A2-3)

3.1 建立量測麥克風模數與相位響應量測系統

參考麥克風的模數與相位是藉由互換法獲得，此類型的麥克風需具有互換性，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，耦合於校正系統之空腔中，量測輸入電流、輸出電壓及聲傳播阻抗，獲得麥克風靈敏度的乘積，藉由三組靈敏度乘積，求解獲得麥克風靈敏度的模數及相位。而業界所使用之量測麥克風因為不具互換性，因此本計畫參考 IEC 61094-5[1-2-6]建立量測麥克風模數與相位響應量測系統，根據其量測原理運用耦合空腔提供穩定寬頻的音源，以已知模數及相位之參考標準麥克風 M_{ref} 擷取的聲音訊號 $P_1(\omega_i)$ 為輸入訊號，待校麥克風 M_x 擷取的聲音訊號 $P_2(\omega_i)$ 為輸出訊號(如圖 1-2-10)，經由數位訊號分析獲得系統的頻響函數 $H(\omega_i)$

$$H(\omega_i) = \frac{P_2(\omega_i)}{P_1(\omega_i)}$$

$$= \frac{p_2(\omega_i)e^{j\Phi_2(\omega_i)}}{p_1(\omega_i)e^{j\Phi_1(\omega_i)}} = \frac{p_2(\omega_i)}{p_1(\omega_i)} e^{j(\Phi_2(\omega_i) - \Phi_1(\omega_i))}$$

計算待校麥克風的模數及相位響應分別為

$$M_x(\text{modulus}) = \frac{p_2(\omega_i)}{p_1(\omega_i)} \cdot M_{ref}(\text{modulus})$$

$$M_x(\text{phase}) = \Phi_2(\omega_i) - \Phi_1(\omega_i) + M_{ref}(\text{phase})$$

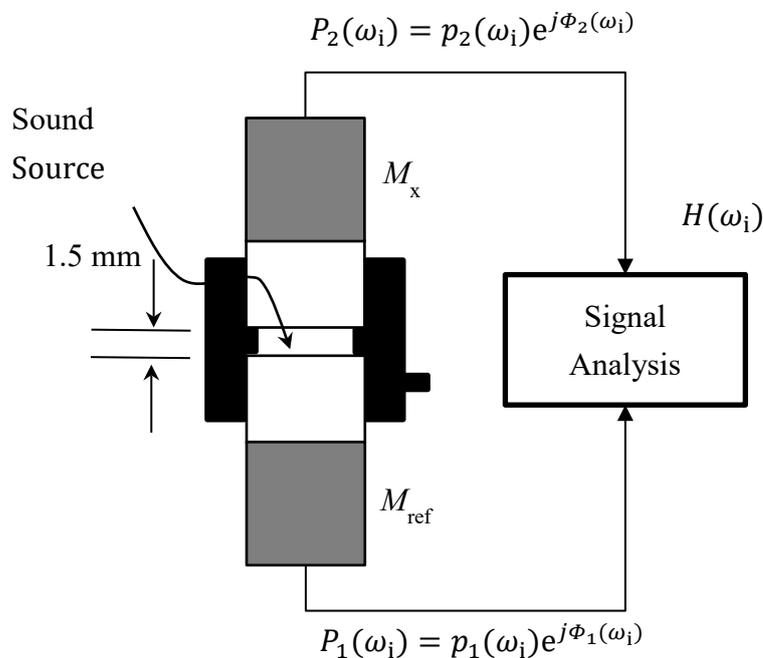


圖 1-2-10、麥克風模數與相位響應量測原理

模數與相位響應量測系統之儀器設備主要需有已知模數與相位校正值的參考麥克風、具有穩定音源的耦合腔以及進行訊號擷取分析的訊號分析儀，儀器設備規格如表 1-2-7。

表 1-2-7、麥克風模數與相位響應量測系統使用之儀器

設備名稱	廠牌/型號	規 格	功能
參考麥克風	B&K/4180	靈敏度： (-37 ± 3) dB re 1V/Pa 符合IEC 61094-1 LS2P麥克風	量測系統標準件
前置放大器	B&K/2673	頻率範圍：30 Hz to 200 kHz 訊號衰減：0.05 dB (Max.)	麥克風阻抗轉換及內插電壓量測電路
訊號分析儀	B&K/3161-A-011	輸出電壓：0 V(AC) to 10 V(AC) 頻率範圍：0 Hz to 200 kHz	提供正旋訊號
訊號分析儀	B&K/3160-A-042	電壓量測：0 V(AC) to 10 V(AC) 頻率範圍：0 Hz to 50 kHz	量測參考及待校麥克風輸出電壓，進行頻譜分析
訊號放大模組	B&K/5001	增益： (14 ± 0.25) dB at 1 kHz 頻率範圍：20 Hz to 50 kHz	耦合腔音源放大電路
耦合腔音源	B&K/WA0817	聲音位準輸出：104 dB 頻率範圍：20 Hz to 20 kHz	提供1.5 mm間距，穩定音源輸出

麥克風模數與相位響應量測系統由訊號分析儀的輸出波道產生頻率由 100 Hz 至 20 kHz 的訊號經過音源模組將訊號放大推動耦合腔音源，使兩個麥克風膜面接收到相同訊號，再由訊號分析儀的輸入端量測參考麥克風及待較麥克風的訊號，經由分析儀的轉換函數功能獲得系統的頻響函數，再計算待校麥克風的模數與相位量測值。量測系統接線圖如圖 1-2-11，實際量測系統圖如圖 1-2-12。

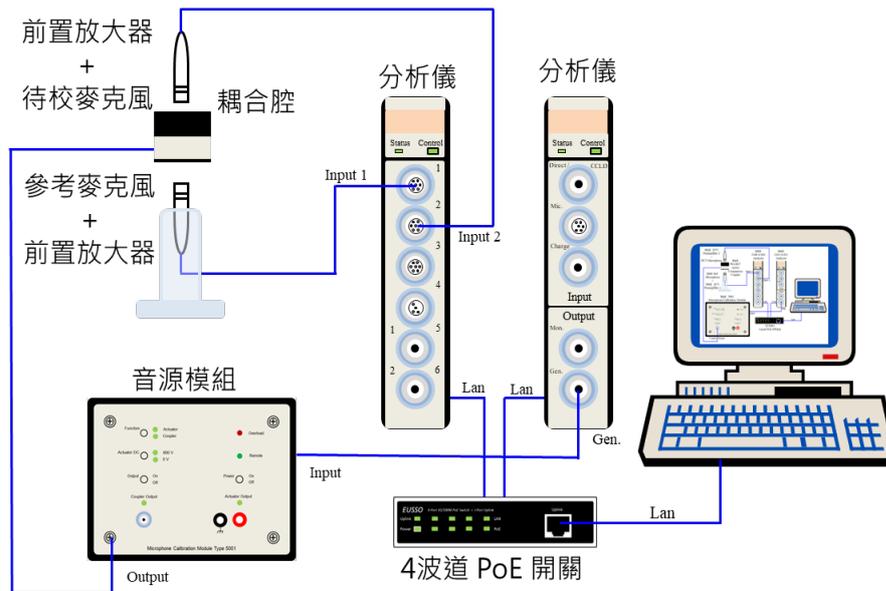


圖 1-2-11、模數與相位量測系統接線圖

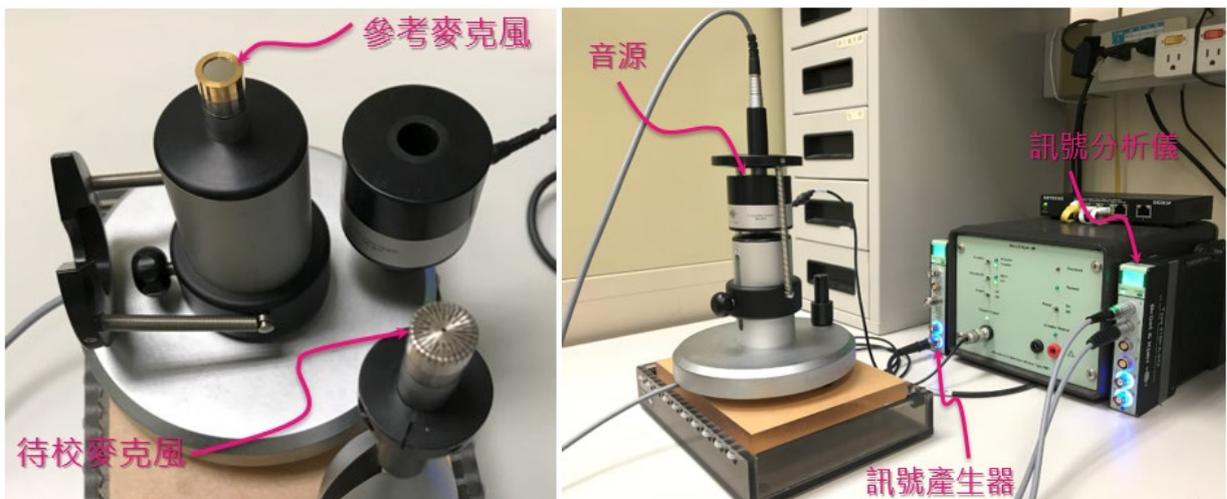


圖 1-2-12、模數與相位響應量測系統

3.2 麥克風模數與相位響應量測數據驗證

為確認量測結果的正確性，以兩只實驗室標準麥克風(B&K 4180)，序號分別為 2889938 及 2889921，藉由依據 IEC 61094-2[1-2-1]規範之互換法系統(原級)的校正結果，與目前根據 IEC 61094-5[1-2-6]規範建置完成可以提供業界麥克風校正的比較法校正系統之量測結果，分析兩者的差異，麥克風序號為 2889938 之模數與相位量測結果如表 1-2-8；麥克風序號為 2889921 之模數與相位量測結果如表 1-2-9。麥克風模數以不同方法量測結果的最大差異為 1.5 %，如圖 1-2-

13；麥克風相位以不同方法量測結果的最大差異為 1.1%，如圖 1-2-14，最大差異主要均落在高頻範圍。

表 1-2-8、B&K 4180 (S/N：2889938) 模數及相位量測結果

頻率 (Hz)	模數量測值				相位量測值			
	互換法 (dB)	比較法 (dB)	差異 (dB)	差異 (%)	互換法 (degree)	比較法 (degree)	差異 (degree)	差異 (%)
100.0	-38.07	-38.06	0.01	0.2	179.50	179.52	0.01	0.0
125.9	-38.08	-38.07	0.01	0.1	179.45	179.44	0.00	0.0
158.5	-38.08	-38.08	0.00	0.0	179.37	179.36	-0.01	0.0
199.5	-38.09	-38.09	0.00	0.0	179.28	179.26	-0.02	0.0
251.2	-38.09	-38.10	-0.01	0.1	179.15	179.15	-0.01	0.0
316.2	-38.09	-38.10	-0.01	0.1	179.00	178.99	0.00	0.0
398.1	-38.10	-38.10	-0.01	0.1	178.79	178.79	0.00	0.0
501.2	-38.10	-38.10	-0.01	0.1	178.53	178.53	0.00	0.0
631.0	-38.10	-38.11	-0.01	0.1	178.19	178.18	-0.01	0.0
794.3	-38.10	-38.11	-0.01	0.1	177.76	177.78	0.02	0.0
1000.0	-38.10	-38.10	-0.01	0.1	177.23	177.25	0.02	0.0
1258.9	-38.09	-38.10	0.00	0.1	176.54	176.58	0.04	0.0
1584.9	-38.09	-38.09	0.00	0.0	175.66	175.70	0.04	0.0
1995.3	-38.07	-38.07	0.00	0.0	174.56	174.60	0.04	0.0
2511.9	-38.05	-38.05	0.00	0.0	173.14	173.19	0.05	0.0
3162.3	-38.01	-38.01	0.00	0.0	171.33	171.33	0.00	0.0
3981.1	-37.95	-37.96	0.00	0.1	169.00	169.05	0.05	0.0
5011.9	-37.86	-37.86	0.00	0.0	165.93	165.98	0.05	0.0
6309.6	-37.72	-37.72	0.00	0.0	161.83	161.86	0.03	0.0
7943.3	-37.52	-37.53	0.00	0.0	156.16	156.17	0.01	0.0
10000.0	-37.27	-37.27	0.00	0.0	148.00	147.97	-0.03	0.0
12589.3	-37.05	-37.04	0.01	0.1	135.90	135.77	-0.13	0.1
15848.9	-37.24	-37.19	0.04	0.5	117.90	117.73	-0.17	0.1
19952.6	-38.64	-38.52	0.13	1.5	94.80	94.89	0.09	0.1

表 1-2-9、B&K 4180 (S/N：2889921) 模數及相位量測結果

頻率 (Hz)	模數量測值				相位量測值			
	互換法 (dB)	比較法 (dB)	差異 (dB)	差異 (%)	互換法 (degree)	比較法 (degree)	差異 (degree)	差異 (%)
100.0	-37.86	-37.85	0.01	0.2	179.43	179.55	0.12	0.1
125.9	-37.86	-37.86	0.00	0.1	179.39	179.46	0.07	0.0
158.5	-37.87	-37.86	0.01	0.1	179.32	179.36	0.04	0.0
199.5	-37.87	-37.87	0.00	0.0	179.22	179.24	0.02	0.0
251.2	-37.87	-37.88	-0.01	0.1	179.09	179.11	0.02	0.0
316.2	-37.88	-37.88	0.00	0.0	178.93	178.94	0.01	0.0
398.1	-37.88	-37.88	0.00	0.1	178.71	178.72	0.01	0.0
501.2	-37.88	-37.88	0.00	0.1	178.43	178.43	0.00	0.0
631.0	-37.88	-37.89	-0.01	0.1	178.07	178.07	0.00	0.0
794.3	-37.88	-37.89	-0.01	0.1	177.61	177.63	0.02	0.0
1000.0	-37.88	-37.89	-0.01	0.1	177.03	177.06	0.03	0.0
1258.9	-37.88	-37.88	0.00	0.0	176.28	176.34	0.06	0.0
1584.9	-37.87	-37.88	-0.01	0.1	175.35	175.38	0.03	0.0
1995.3	-37.86	-37.87	-0.01	0.1	174.15	174.20	0.05	0.0
2511.9	-37.84	-37.85	-0.01	0.1	172.63	172.68	0.05	0.0
3162.3	-37.81	-37.82	-0.01	0.1	170.69	170.71	0.02	0.0
3981.1	-37.77	-37.78	-0.01	0.1	168.18	168.23	0.05	0.0
5011.9	-37.69	-37.71	-0.02	0.2	164.92	164.96	0.04	0.0
6309.6	-37.59	-37.61	-0.02	0.2	160.58	160.59	0.01	0.0
7943.3	-37.45	-37.46	-0.01	0.2	154.66	154.62	-0.04	0.0
10000.0	-37.29	-37.30	-0.01	0.1	146.32	146.12	-0.20	0.1
12589.3	-37.22	-37.22	0.00	0.0	134.4	133.80	-0.60	0.4
15848.9	-37.56	-37.53	0.03	0.4	117.5	116.24	-1.26	1.1
19952.6	-38.99	-38.92	0.07	0.8	96	95.08	-0.92	1.0

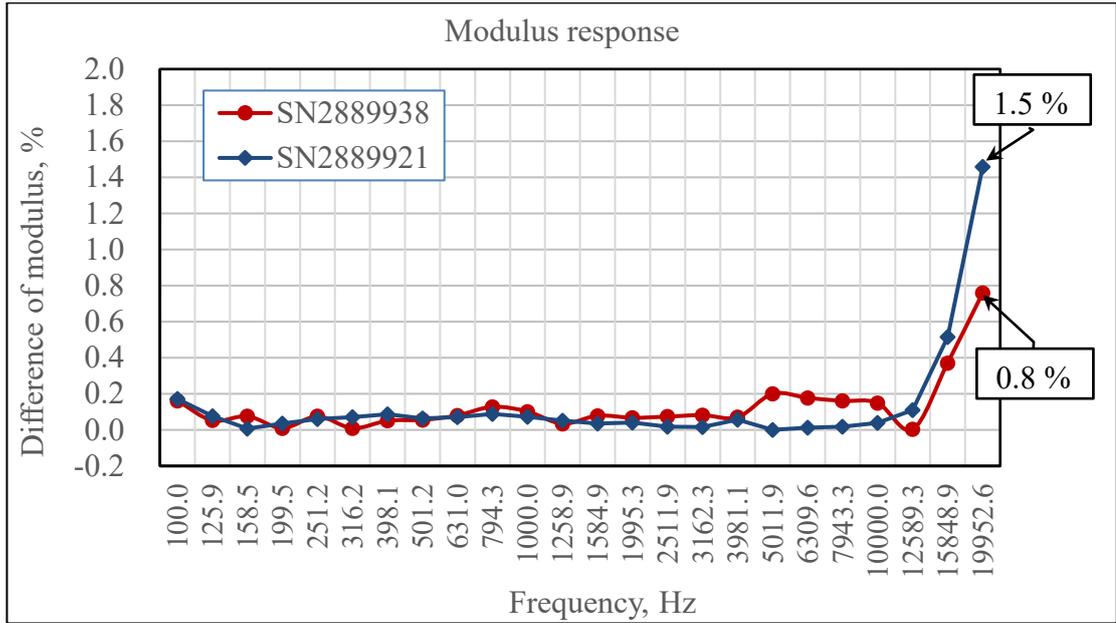


圖 1-2-13、麥克風模數以不同方法量測結果的差異

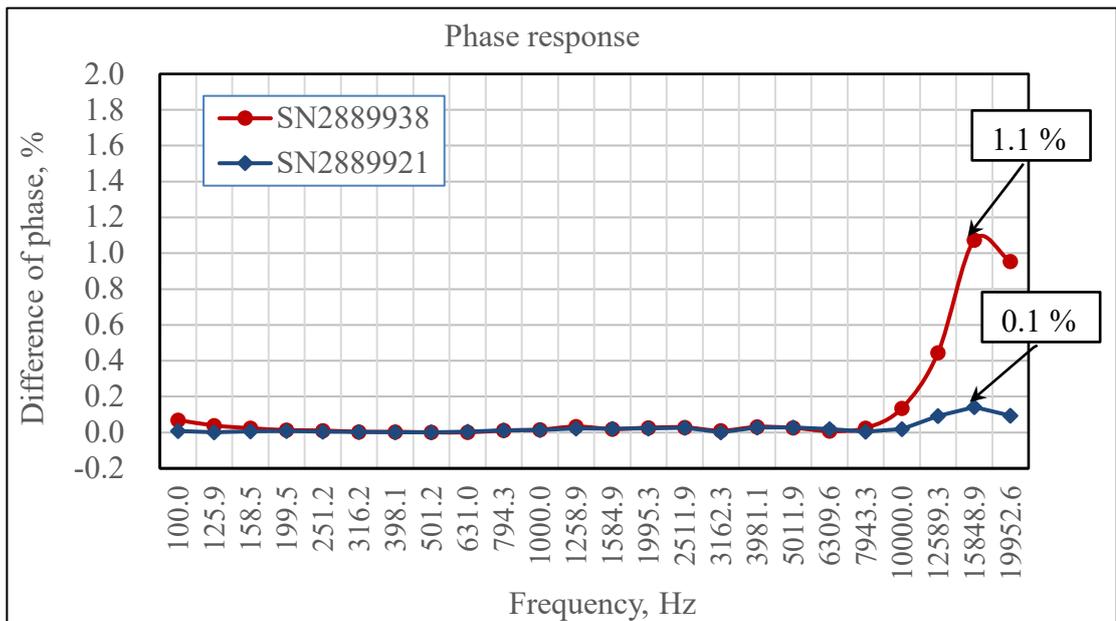


圖 1-2-14、麥克風相位以不同方法量測結果的差異

3.3 麥克風模數與相位響應重複性量測評估

系統建置後為了解系統的再現性，分別以實驗室標準麥克風(laboratory stanard microphone, LS)及工作標準麥克風(working stanard microphone, WS)在不同時間進行重複量測，實驗室標準麥克風共執行 10 次量測，工作標準麥克風執行 7 次量測，每次量測須將麥克風自耦合腔中移除再安裝，藉以涵蓋安裝所造成的誤差。實驗室標準麥克風採用 B&K 4180 麥克風，工作標準麥克風則採用 B&K4134 麥克風，量測結果實驗室標準麥克風之模數響應重複量測標準差 $\leq 0.8\%$ (如

圖 1-2-15)，工作標準麥克風之模數響應重複量測標準差 $\leq 0.7\%$ (如圖 1-2-16)；而實驗室標準麥克風之相位響應重複量測標準差 $\leq 0.7\%$ (如圖 1-2-17)，工作標準麥克風之相位響應重複量測標準差 $\leq 0.8\%$ (如圖 1-2-18)，由評估結果獲得在頻率範圍 100 Hz to 20 kHz，模數及相位響應之重複量測標準差均 $\leq 0.8\%$ 。

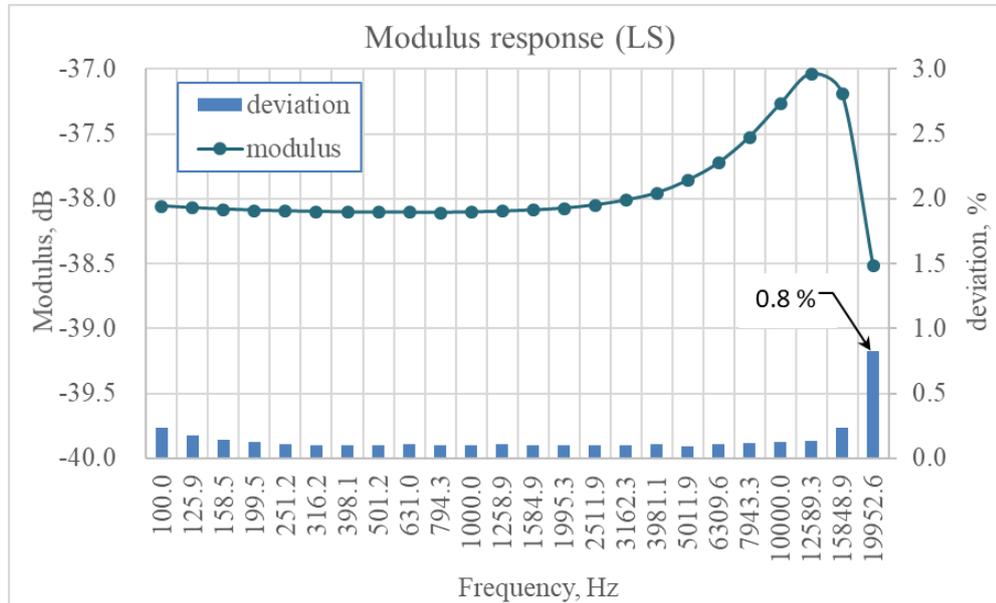


圖 1-2-15、模數響應量測重複性誤差 (實驗室標準麥克風 B&K4180)

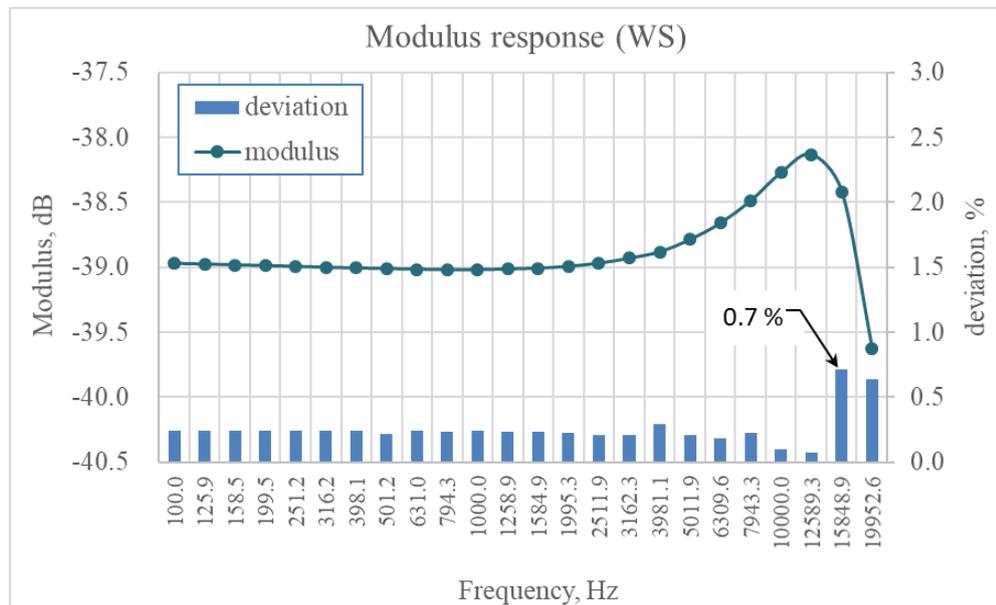


圖 1-2-16、模數響應量測重複性誤差 (工作標準麥克風 B&K4134)

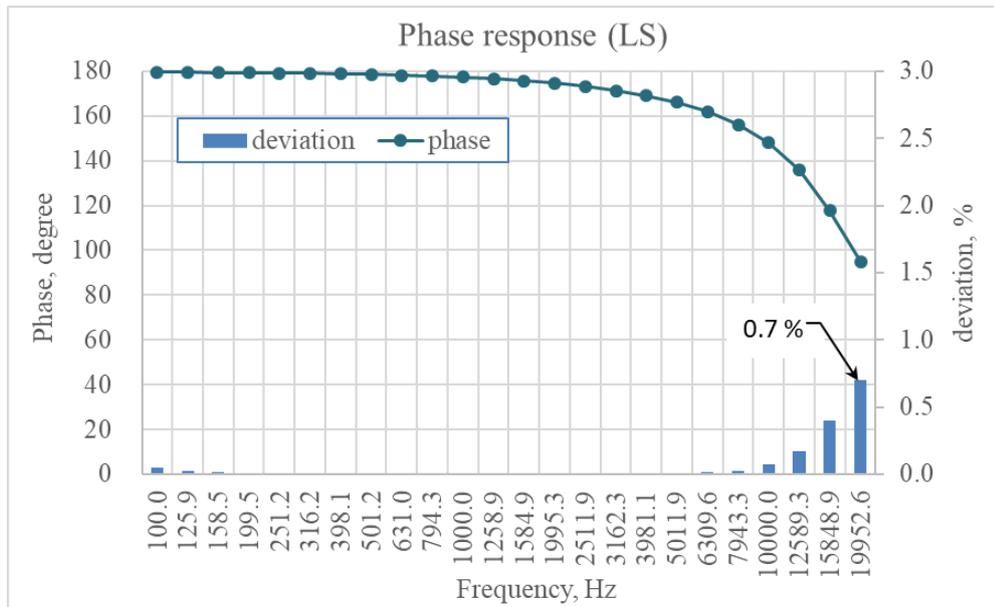


圖 1-2-17、相位響應量測重複性誤差 (實驗室標準麥克風 B&K4180)

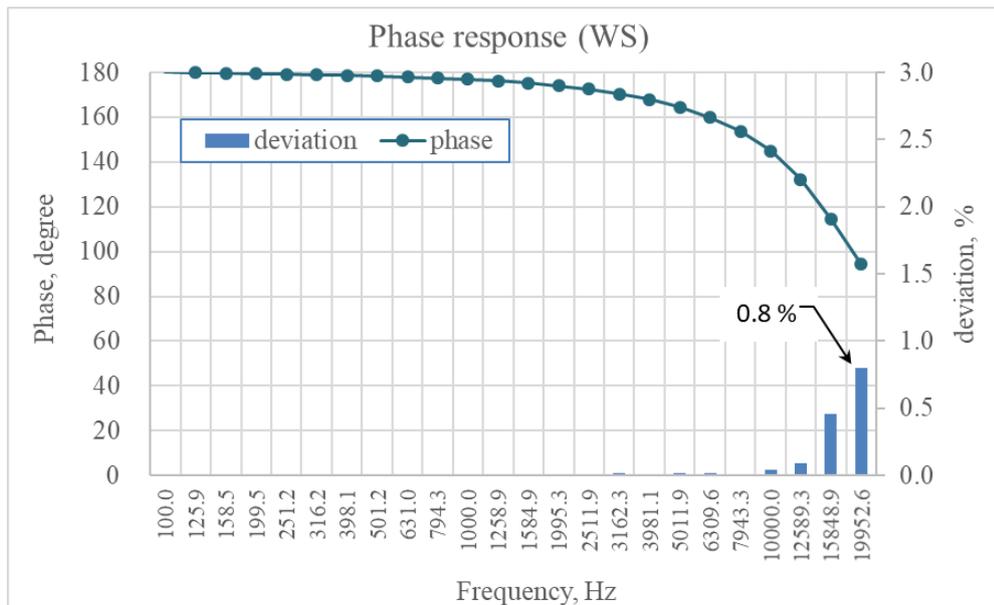


圖 1-2-18、相位響應量測重複性誤差 (工作標準麥克風 B&K4134)

4. 麥克風模數與相位響應量測不確定度評估 (查核點編號 A2-4)

4.1 模數響應量測不確定度分析

由量測原理得知，當待校及參考麥克風接收相同的訊號時，可獲得待校麥克風的模數為

$$M_x(\text{modulus}) = \frac{p_2}{p_1} M_{\text{ref}}(\text{modulus}), \text{ mV/Pa}$$

將上式以 dB 表示，則

$$LM_x(\text{modulus}) = Lp_2 - Lp_1 + LM_{\text{ref}}(\text{modulus}), \text{ dB}$$

式中

$LM_x(\text{modulus})$: 為待校麥克風之靈敏度模數值, dB re 1 V/Pa

$LM_{\text{ref}}(\text{modulus})$: 為參考麥克風之靈敏度模數值, dB re 1 V/Pa

Lp_2 : 為待校麥克風接收音源之輸出電壓幅值, dB

Lp_1 : 為參考麥克風接收音源之輸出電壓幅值, dB

根據不確定度傳播定律, 假設各輸入量無相關性, 得 $LM_x(\text{modulus})$ 之組合標準不確定度為

$$u_c(LM_x(\text{modulus})) = \left[\left(\frac{\partial LM_x(\text{modulus})}{\partial LM_{\text{ref}}(\text{modulus})} \right)^2 \cdot u^2(LM_{\text{ref}}(\text{modulus})) + \left(\frac{\partial LM_x(\text{modulus})}{\partial Lp_2} \right)^2 \cdot u^2(Lp_2) + \left(\frac{\partial LM_x(\text{modulus})}{\partial Lp_1} \right)^2 \cdot u^2(Lp_1) \right]^{1/2}$$

參考 IEC 61094-5[1-2-6] 對於不確定度的分析, 尚包含麥克風電容誤差、阻抗誤差、極化電壓影響誤差、量測系統非線性誤差、修整誤差、重複量測以及不同方法量測結果差異, 因此根據各輸入值的標準不確定度(如表 1-2-10), 計算 $LM_x(\text{modulus})$ 之組合標準不確定度如下式:

$$u_c(LM_x(\text{modulus})) = \left[u^2(LM_{\text{ref}}(\text{modulus})) + u^2(Lp_2) + u^2(Lp_1) + u^2(\varepsilon_1) + u^2(\varepsilon_2) + u^2(\varepsilon_3) + u^2(\varepsilon_4) + u^2(\varepsilon_5) + u^2(\varepsilon_6) + u^2(\varepsilon_7) \right]^{1/2}$$

評估結果模數的組合標準不確定度如圖 1-2-19, 主要的誤差來源為參考麥克風的模數追溯誤差、系統非線性誤差以及重複量測的誤差。

表 1-2-10、模數響應量測不確定度源

符號	不確定度源
$u(LM_{\text{ref}}(\text{modulus}))$	參考麥克風模數追溯之標準不確定度
$u(Lp_2)$	待校麥克風接收音源輸出電壓幅值之標準不確定度
$u(Lp_1)$	參考麥克風接收音源輸出電壓幅值之標準不確定度
$u(\varepsilon_1)$	麥克風電容誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_2)$	麥克風阻抗誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_3)$	極化電壓影響誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_4)$	量測系統非線性誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_5)$	不同方法量測結果差異之標準不確定度
$u(\varepsilon_6)$	修整誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_7)$	重複量測之標準不確定度

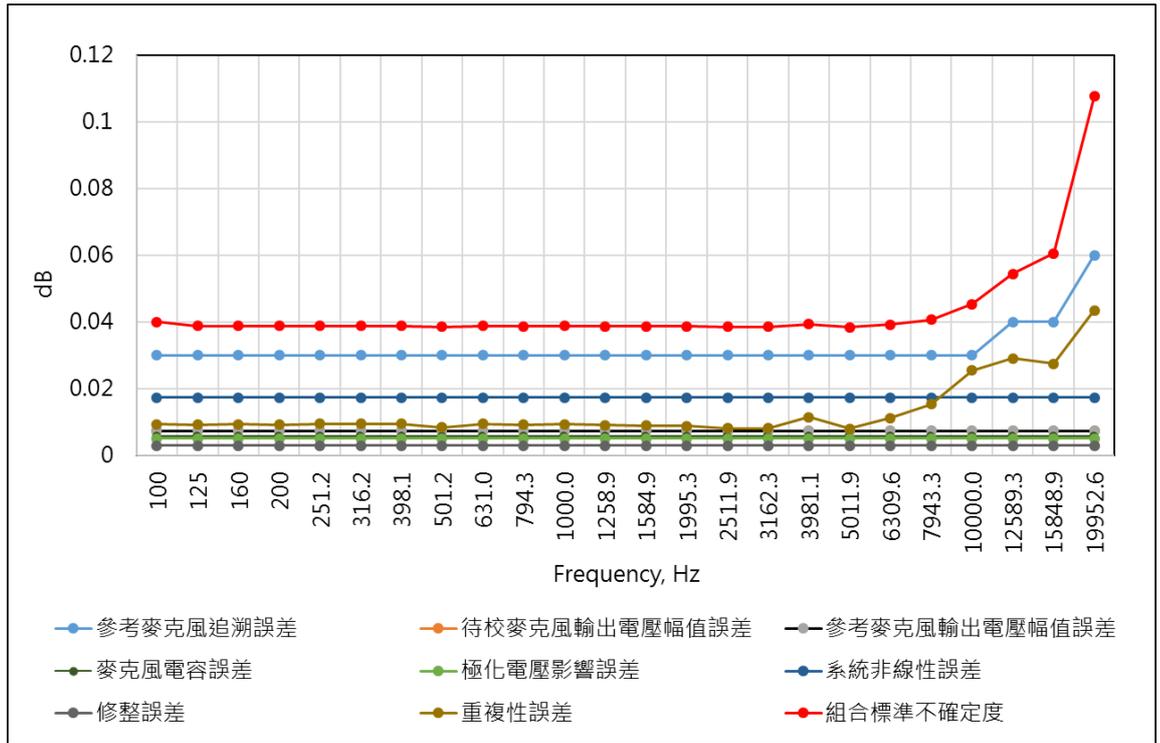


圖 1-2-19、模數響應各輸入值之標準不確定度

4.2 相位響應量測不確定度分析

由量測原理得知，當待校及參考麥克風接收相同的訊號時，可獲得待校麥克風的相位為

$$M_x(\text{phase}) = \Phi_2 - \Phi_1 + M_{\text{ref}}(\text{phase}), \text{ degree}$$

式中

$M_x(\text{phase})$ ：為待校麥克風之靈敏度相位值，degree

$M_{\text{ref}}(\text{phase})$ ：為參考麥克風之靈敏度相位值，degree

Φ_2 ：為待校麥克風接收音源之輸出電壓相位，degree

Φ_1 ：為參考麥克風接收音源之輸出電壓相位，degree

根據不確定度傳播定律，得 $M_x(\text{phase})$ 之組合標準不確定度為

$$u_c(M_x(\text{phase})) = \left[\left(\frac{\partial M_x(\text{phase})}{\partial M_{\text{ref}}(\text{phase})} \right)^2 \cdot u^2(M_{\text{ref}}(\text{phase})) + \left(\frac{\partial M_x(\text{phase})}{\partial \Phi_2} \right)^2 \cdot u^2(\Phi_2) + \left(\frac{\partial M_x(\text{phase})}{\partial \Phi_1} \right)^2 \cdot u^2(\Phi_1) \right]^{1/2}$$

參考 IEC 61094-5[1-2-6] 對於不確定度的分析，尚包含麥克風電容誤差、阻抗誤差、極化電壓影響誤差、量測系統非線性誤差、修整誤差、重複量測以及不同方法量測結果差異(如表 1-2-11)，因此評估 $M_x(\text{phase})$ 之組合標準不確定度為

$$u_c(M_x(\text{phase})) = [u^2(M_{\text{ref}}(\text{phase})) + u^2(\Phi_2) + u^2(\Phi_1) + u^2(\varepsilon_1) + u^2(\varepsilon_2) + u^2(\varepsilon_3) + u^2(\varepsilon_4) + u^2(\varepsilon_5) + u^2(\varepsilon_6) + u^2(\varepsilon_7)]^{1/2}$$

評估結果模數的組合標準不確定度如圖 1-2-20，主要的誤差來源為參考麥克風的模數追溯誤差以及重複量測的誤差。

表 1-2-11、相位響應之不確定度源

符號	不確定度源
$u(M_x(\text{phase}))$	參考麥克風相位追溯之標準不確定度
$u(\Phi_2)$	待校麥克風接收音源輸出相位之標準不確定度
$u(\Phi_1)$	參考麥克風接收音源輸出相位之標準不確定度
$u(\varepsilon_1)$	麥克風電容誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_2)$	麥克風阻抗誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_3)$	極化電壓影響誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_4)$	量測系統非線性誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_5)$	不同方法量測結果差異之標準不確定度
$u(\varepsilon_6)$	修整誤差之標準不確定度
$u(\varepsilon_7)$	重複量測之標準不確定度

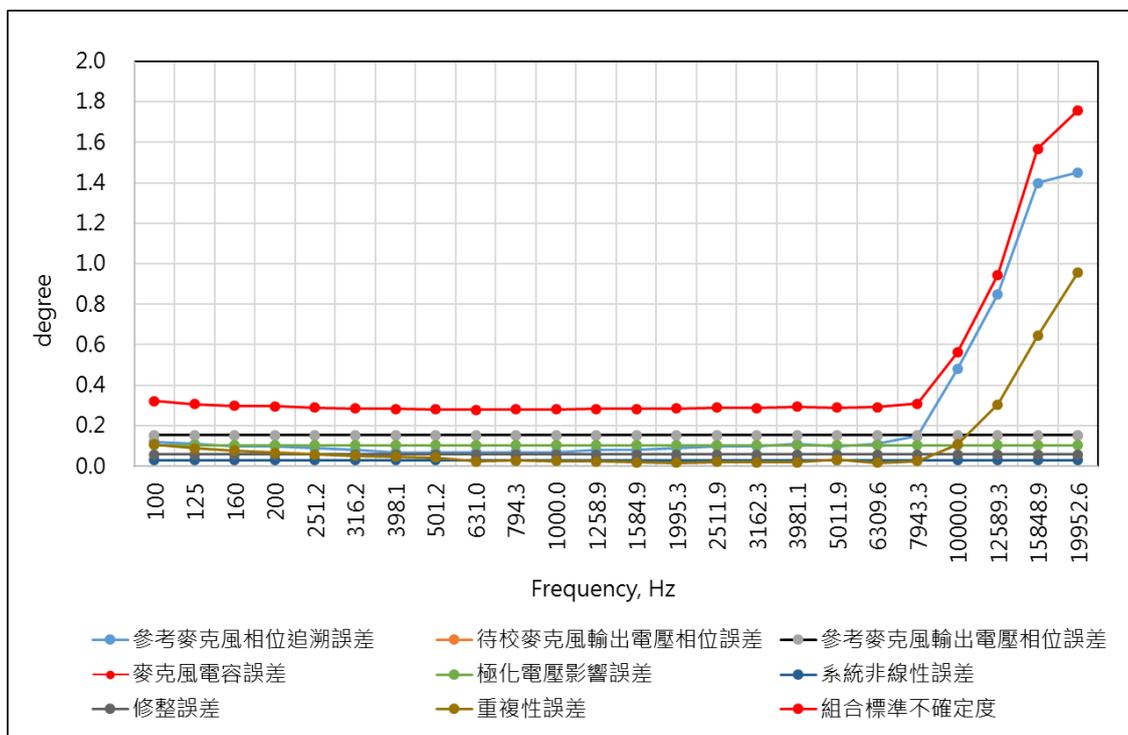


圖 1-2-20、相位響應各輸入值之標準不確定度

最後估算麥克風模數及相位響應量測在 95 %信賴水準時，涵蓋因子 $k=2$ ，擴充不確定度為組合標準不確定度 u_c 與涵蓋因子 k 之乘積，擴充不確定度評估結果如表 1-2-12，模數響應在頻率為 100 Hz 至 10 kHz 之擴充不確定度 $\leq 1.2\%$ ，在頻率為 10 kHz 至 20 kHz 之擴充不確定度 $\leq 2.6\%$ ；相位響應在頻率為 100 Hz 至 10 kHz 之擴充不確定度 $\leq 0.8\%$ ，在頻率為 10 kHz 至 20 kHz 之擴充不確定度 $\leq 3.8\%$ 。符合目標規格 100 Hz 至 10 kHz 之擴充不確定度 $\leq 3\%$ ，在頻率為 10 kHz 至 20 kHz 之擴充不確定度 $\leq 5\%$ ，與國際上先進國家實驗室之量測能力相當(如表 1-2-1)。

表 1-2-12、麥克風模數及相位響應之擴充不確定度

頻率 (Hz)	模數響應			相位響應		
	標準不確定度 (dB)	擴充不確定度 (dB)	擴充不確定度 (%)	標準不確定度 (degree)	擴充不確定度 (degree)	擴充不確定度 (%)
100.0	0.040	0.09	1.1	0.323	0.64	0.4
125.9	0.039	0.08	1.0	0.308	0.61	0.4
158.5	0.039	0.08	1.0	0.299	0.59	0.4
199.5	0.039	0.08	1.0	0.296	0.59	0.4
251.2	0.039	0.08	1.0	0.290	0.57	0.4
316.2	0.039	0.08	1.0	0.286	0.57	0.4
398.1	0.039	0.08	1.0	0.282	0.56	0.4
501.2	0.039	0.08	1.0	0.282	0.56	0.4
631.0	0.039	0.08	1.0	0.279	0.55	0.4
794.3	0.039	0.08	1.0	0.280	0.55	0.4
1000.0	0.039	0.08	1.0	0.280	0.55	0.4
1258.9	0.039	0.08	1.0	0.284	0.56	0.4
1584.9	0.039	0.08	1.0	0.283	0.56	0.4
1995.3	0.039	0.08	1.0	0.286	0.57	0.4
2511.9	0.039	0.08	1.0	0.290	0.57	0.4
3162.3	0.039	0.08	1.0	0.288	0.57	0.4
3981.1	0.039	0.08	1.0	0.294	0.58	0.4
5011.9	0.038	0.08	1.0	0.291	0.57	0.4
6309.6	0.039	0.08	1.0	0.292	0.58	0.4
7943.3	0.041	0.09	1.1	0.310	0.61	0.4
10000.0	0.045	0.10	1.2	0.561	1.12	0.8
12589.3	0.054	0.11	1.3	0.946	1.89	1.4
15848.9	0.061	0.13	1.6	1.568	3.14	2.7
19952.6	0.108	0.22	2.6	1.759	3.52	3.8

【突破瓶頸】

透過麥克風靈敏度相位與模數量測的演算法模型的建立，可快速地評估相位與模數量測的影響因子，作為量測不確定度分析之參考。本計畫建立之麥克風靈敏度相位與模數響應量測系統，提供應用於機器故障分析的麥克風陣列的相位與模數響應的校正，藉以補償聲音訊號衰減及延遲現象，可精確的判斷音源的發生位置，提高機器故障位置的判斷能力。

麥克風自由場靈敏度比較校正系統經過自動化校正控制程式的精進，其校正功能可以透過內插電壓的技術，無須將麥克風與前置放大器分離，即可獲得麥克風的開路靈敏度，減少拆裝

導致麥克風損害的風險。另外校正時在音源端安裝監測麥克風，修正音源可能造成的不穩定性，可提高量測結果的準確度。

二、工具機線上校正技術建立分項

本分項全程計畫的目標為發展具計量追溯之高準確線上量測技術，將“計量”嵌入製造流程，即時提供“可靠”與“正確”的資訊，以提升品質管理效率及產品品質。配合前述國內機械製造產業(工具機及其零組件、汽車零組件、航太)之計量需求調查，本分項計畫分別針對視覺感測器 3D 量測、五軸工具機幾何誤差量測，以建立線上校正技術，並推動計量數位化，實現如即時補償、修正等功能，據此完成具計量追溯之高準確線上量測技術。

110 年度的分項計畫目標主要是完成視覺感測器 3D 量測設備線上參考標準件開發，解決產業在相關量測設備之校正追溯與性能評估之問題，也將以 hole plate 為參考標準件，進行量測、分析與校正五軸工具機中 3 個線性軸之 21 項幾何誤差，以建立五軸工具機進行線上量測之追溯鏈，並配合我國工具機產業之量測資訊數位化應用需求，發展一套控制器誤差補償之參數格式及控制器聯結的轉換介面，簡化工具機機台補償程序。

依據上述目標，本年度完成

(1) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

- 建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序：校正範圍為 800 mm 至 1500 mm (空間體對角線)、校正環境溫度範圍為 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、標準件最大尺寸： $\leq 600\text{ mm}$
- 建立視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術：量測不確定度 $\leq 5\ \mu\text{m}$ (不含待校件)。

(2) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

「擴建角度塊規校正系統(D06)」：環形編碼器校正能量

- 線上加工尺寸量測技術溫度評估：工具機可量測範圍 $\leq 450\text{ mm}$ ；線性軸至少 21 項；適用溫度變異範圍： $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$
- 線上加工尺寸量測技術誤差分析：校正時間 ≤ 2.5 小時；校正五軸工具機 21 項幾何誤差；量測不確定度 $\leq 5.2\ \mu\text{m}$ (不含 20°C 修正)。

(3) 計量數位化推動

- 評估數位校正證明實施架構之可行性：數位校正證明實施評估報告 1 份
- PoCAS 量測資訊之資料輸出示範：數位校正證明 1 案，PoCAS 校正/量測結果輸出- XML 檔案格式、PDF 檔案格式

各子項之年度執行查核點說明如下：

查核點 編號	內容說明	預定完成日期	實際完成日期	差異說明
視覺感測器 3D 量測之線上校正技術				
B1-1	• 完成 3D 球桿標準件設計，產出設計圖 1 份	110.03.31	110.03.31	無差異
B1-2	• 完成量測不確定度評估演算法 1 份	110.06.30	110.06.30	無差異
B1-3	• 完成快速相機校正演算法之量測不確定度評估，次像素分析誤差 ≤ 0.1 pixel • 完成校正程序報告 1 份	110.09.30	110.09.30	無差異
B1-4	• 完成視覺 3D 尺寸量測儀器量測不確定度評估演算法，計算時間 ≤ 10 秒 • 完成量測不確定度評估報告 1 份 • 量測不確定度： $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)	110.12.10	110.12.10	無差異
具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術				
B2-1	• 完成「參考標準件」硬體架設設計，滿足工具機量測範圍 450 mm	110.03.31	110.03.31	無差異
B2-2	• 完成「線上加工尺寸量測技術-誤差分析」之演算法及其影響參數模擬分析 校正參數:線性軸 21 項幾何誤差	110.06.30	110.06.30	無差異
B2-3	• 完成「線上加工尺寸量測技術-溫度分析」之溫度與誤差關係模型 溫度範圍: $(24 \pm 2) ^\circ\text{C}$	110.09.30	110.09.30	無差異
B2-4	• 完成五軸工具機 21 項幾何誤差校正技術 1.溫度變異範圍: $(24 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 2.量測不確定度: $\leq 10 \mu\text{m}$ (不含旋轉軸)	110.12.10	110.12.10	無差異
計量數位化推動				
B3-1	• 完成 XML 檔案格式匯入工具機控制器應用之調查：研究報告 1 份	110.03.31	110.03.31	無差異
B3-2	• PoCAS 校正/量測報告以 XML 及 PDF 資料格式輸出	110.05.31	110.05.31	無差異
B3-3	• PoCAS 實際遊校，輸出 XML 及 PDF 檔案，完成數位校正證明 1 案	110.09.30	110.09.30	無差異
B3-4	• 完成「數位校正證明實施架構之可行性」之評估報告 1 份	110.12.10	110.12.10	無差異

(一) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

為建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正能力，以滿足業界視覺 3D 尺寸量測儀器的校正追溯需求，本子計畫開發視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術，包含視覺參考標準件建立、校正程序建立及量測不確定度評估技術發展，並設計符合 ISO 23165[2-1-1]、VDI/VDE 2634[2-1-2]規範之校正方法。本校正技術適用待校件為結構光條紋投影之視覺 3D 尺寸量測儀器，校正量測範圍為(800 ~ 1500)mm 之中大型量測範圍的視覺 3D 尺寸量測儀器(空間體對角線)，其中量測不確定度目標 $\leq 5 \mu\text{m}$ ，可應用於校正最大允許誤差(Maximum Permissible Error, MPE)規格達 $25 \mu\text{m}$ 的視覺 3D 尺寸量測儀器(量測不確定度占 MPE 的 1/5 以下[2-1-3, 2-1-4])，校正時環境溫度範圍條件為 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。本年度計畫目標如下：

1. 建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序
 - (1)校正程序報告 1 份
 - (2)校正範圍: 800 mm ~ 1500 mm (空間體對角線)
 - (3)標準件最大尺寸: $\leq 600 \text{ mm}$
2. 建立視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術
 - (1)量測不確定度評估報告 1 份
 - (2)量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)

【執行成果】

本年度計畫著重於滿足業界對視覺 3D 尺寸量測儀器的校正需求，參考 ISO 23165、VDI/VDE 2634 標準規範，建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序與量測不確定度評估技術。藉由 108 年度與 109 年度建立的球直徑及球距量測技術，本年度計畫將應用於標準件的開發、設計，以作為視覺 3D 尺寸量測儀器之追溯標準。本年度計畫成果將包含視覺 3D 尺寸量測儀器的校正程序、視覺參考標準件與量測不確定度評估技術，實現視覺 3D 尺寸量測儀器量測的校正追溯目的。完成之查核點及執行成果如下：

1. 完成 3D 球桿標準件設計，產出設計圖 1 份(查核點編號 B1-1)

為建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正能量，滿足現行(800 ~ 1500) mm 空間體對角線量測範圍之儀器校正，本計畫參考 VDI/VDE 2634 標準規範進行 3D 球桿標準件尺寸設計，內容要求球距尺寸至少涵蓋待校儀器空間體對角線的 30%，因此設計 3D 球桿標準件之最大球距為 450 mm，另球徑尺寸為待校儀器空間體對角線的 2%~20%，因此設計 3D 球桿標準件之標準球球徑為 38.1 mm (1.5 英吋)以符合規範。

其中為了達到線上校正溫度環境(24 ± 1) °C、量測不確定度 $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)之需求，本計畫使用碳纖維複合材料(Carbon fiber reinforced polymer, CRPF)設計球桿主體結構，標準球材料選用白色氧化鋁陶瓷(Al_2O_3)進行評估。其中球距尺寸受整體剛性設計影響最大，因此首先分析 3D 球桿標準件重力變形分析，標準球桿上共有 6 顆標準球，適用不同量測範圍之待校件，藉由給定的連接桿剖面尺寸及自由體圖分析，可計算出球距尺寸受重力變形之變化量，最終選用的設計如圖 2-1-1，選用外徑 30 mm、內徑 22 mm 的空心連接桿剖面設計，單側最遠的球距尺寸受單側重力變形量為 $0.86 \mu\text{m}$ ，而標準件為雙側球距，因此最遠的球距變化量為 $0.86 \mu\text{m} \times 2 = 1.72 \mu\text{m}$ 。球徑尺寸由於視覺 3D 尺寸量測儀器屬非接觸式量測，故球徑尺寸並無接觸變形之不確定度來源，在此忽略不計。

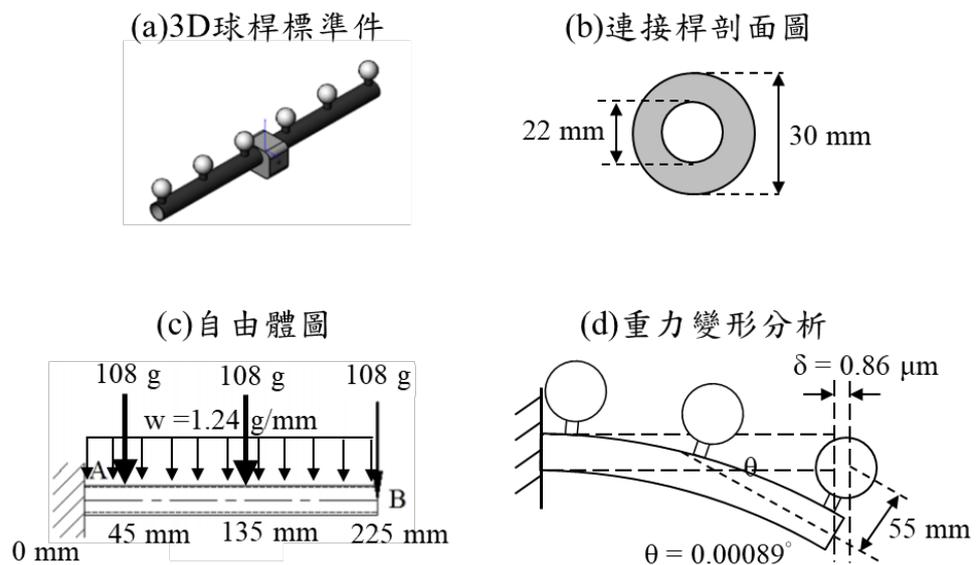


圖 2-1-1、3D 球桿標準件重力變形分析

另一項主要的不確定度來源為熱膨脹效應，球距之熱膨脹係數使用碳纖維複合材料之 $1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 進行評估，在校正溫度環境(24 ± 1) °C 之情況下，與長度校正領域的標準溫度 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 差異為 $3 \text{ }^\circ\text{C} \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ，分析得最遠球距尺寸的熱膨脹量為 $(1.35 \sim 2.25) \mu\text{m}$ 。球徑之熱膨脹係數使用氧化鋁陶瓷之 $7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 進行同上評估，分析得球徑尺寸的熱膨脹量為 $(0.80 \sim 1.34) \mu\text{m}$ 。經過上述量化分析，綜整重力變形與熱膨脹效應影響標準件尺寸之變異(表 2-1-1)，本計畫最終完成之 3D 球桿標準件，球徑尺寸變化量小於 $1.34 \mu\text{m}$ ，球距尺寸變化量小於 $3.97 \mu\text{m}$ ，滿足計畫目標之不確定度 $\leq 5 \mu\text{m}$ 需求，並在確認設計後產出 3D 球桿標準件設計圖如圖 2-1-2。

綜合以上，經過評估與分析，現已完成查核點編號 B1-1，完成 3D 球桿標準件設計，產出設計圖 1 份(圖 2-1-2)，設計圖編號分別為 L407EA1210-A-01、L407EA1210-M-01、L407EA1210-M-02、L407EA1210-M-03。

表 2-1-1、3D 球桿標準件尺寸變化量評估

	標準件圓球(球徑)	標準件連接桿(球距)
使用材料	氧化鋁陶瓷(Al_2O_3)	碳纖維複合材料(CFRP)
尺寸	38.1 mm	450 mm
楊氏係數	380 GPa	138 GPa
尺寸變化量	-	(0 ~ 1.72) μm
熱膨脹係數	$7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
溫度變化量	$24 \pm 1 ^\circ\text{C}$	$24 \pm 1 ^\circ\text{C}$
尺寸變化量(相較於 $20 ^\circ\text{C}$)	(0.80 ~ 1.34) μm	(1.35 ~ 2.25) μm
總尺寸變化量	(0.80 ~ 1.34) μm	(1.35 ~ 3.97) μm

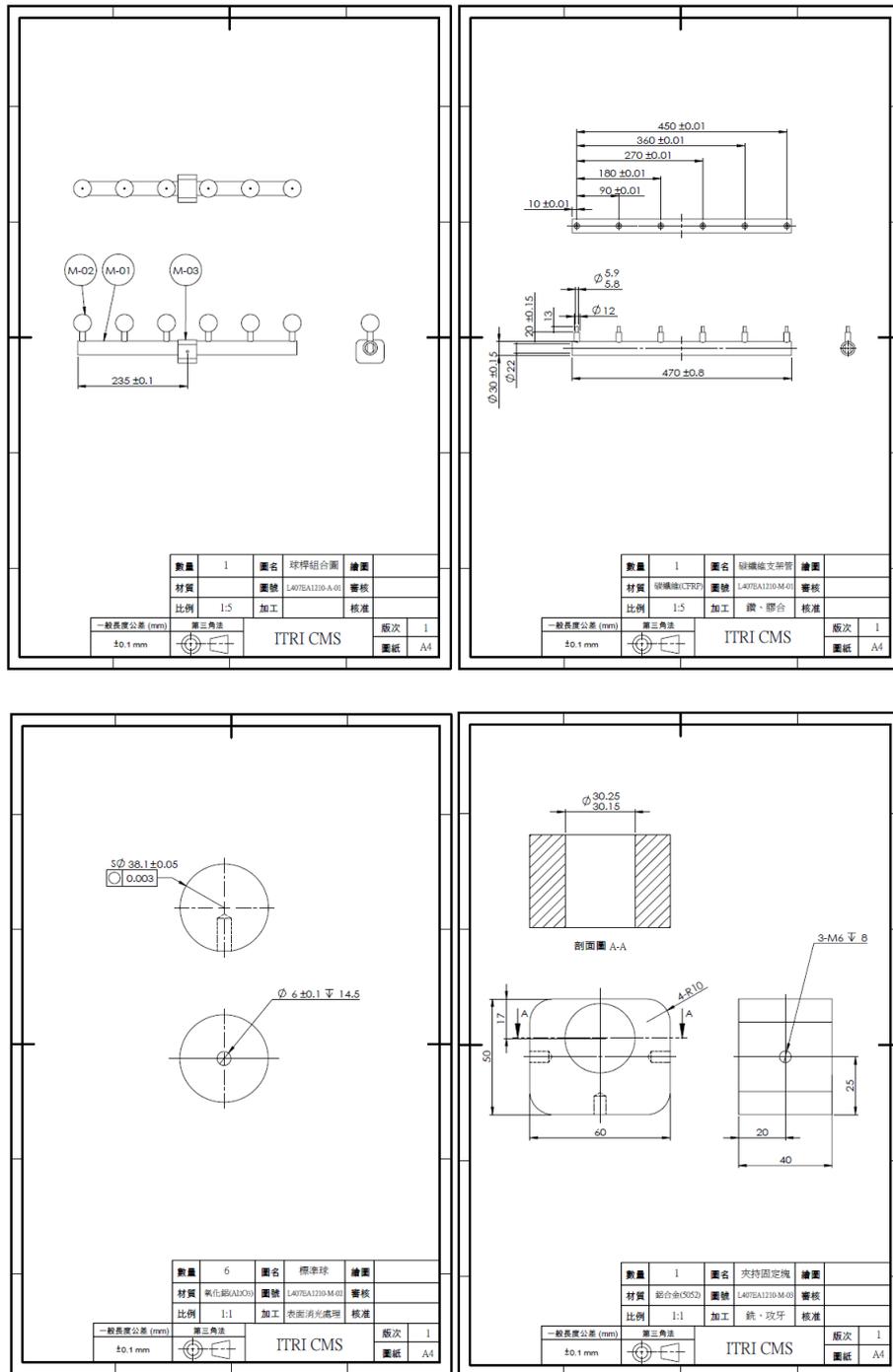


圖 2-1-2、3D 球桿標準件設計圖

2. 完成量測不確定度評估演算法 1 份(查核點編號 B1-2)

為滿足視覺 3D 尺寸量測儀器之校正需求，本計畫研究開發量測不確定度評估技術，並相容於現行 ISO 23165、VDI/VDE 2634 國際規範，實現校正計量之量測不確定度傳遞目的，計畫中開發不確定度評估演算法，目的希望依據不同規格的視覺 3D 尺寸量測儀器，以蒙地卡羅法客製分

析其量測不確定度，以實現校正追溯，首先依據 VDI/VDE 2634 規範的校正方式，建立球徑(probing size)、球形(probing form)、球距(sphere-spacing)三個尺寸的量測方程式如下：

$$d = L_m - L_s(1 + \alpha_s \theta_s)$$

上式的 d 為器差、 L_m 為視覺 3D 尺寸量測儀器之量測值、 L_s 為視覺參考標準件在 20 °C 時之量測尺寸、 α_s 為視覺參考標準件的热膨脹係數、 θ_s 為視覺參考標準件與 20 °C 的溫度差。針對量測方程式的各不確定度來源進行偏微分，可得組合標準不確定度 u_c 與各項靈敏係數：

$$u_c^2 = \frac{\partial d^2}{\partial L_m} u^2(L_m) + \frac{\partial d^2}{\partial L_s} u^2(L_s) + \frac{\partial d^2}{\partial \alpha_s} u^2(\alpha_s) + \frac{\partial d^2}{\partial \theta_s} u^2(\theta_s)$$

上式的靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial L_m} = 1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial L_s} = -1 - \alpha_s \theta_s \cong -1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \alpha_s} = -L_s \cdot \theta_s$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \theta_s} = -L_s \cdot \alpha_s$ 。為了準確量化不確定度來源，將上述 $u(L_s)$ 、 $u(L_m)$ 、 $u(\theta_s)$ 、 $u(\alpha_s)$ 項目進一步分析細項，確立量測不確定度來源魚骨圖(圖 2-1-3)作為後續量化分析之項目。

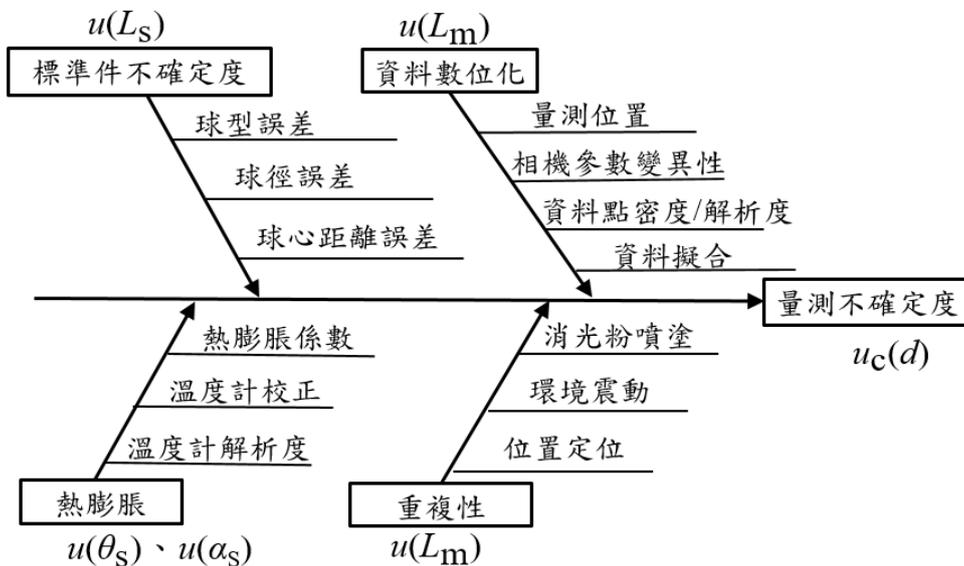


圖 2-1-3、量測不確定度來源魚骨圖

在上圖的量測不確定度來源中，量測值的不確定度 $u(L_m)$ 包含了重複性和資料數位化兩大項，重複性是依據校正時的重複量測數據去計算標準差，而資料數位化部分，本計畫利用蒙地卡羅法模擬進行分析，並以實驗室現有的視覺 3D 尺寸量測系統進行分析評估。蒙地卡羅法不確定評估的演算法流程(圖 2-1-4)首先是藉由點雲及視覺 3D 尺寸量測的內、外部參數，計算出理想視差圖，之後藉由相機校正(Camera calibration)步驟得到的內、外部參數變異量(表 2-1-2)，將同一張視差圖套用常態分佈的內、外部參數，得到不同的 3D 量測點雲，並進一步進行幾何特徵擬合計算球徑、球形、球距等幾何尺寸。實驗室量測系統的不確定度評估結果(圖 2-1-5)，呈現 VDI/VDE 2634 規範訂定的 7 個校正位置下，球徑(D_A 、 D_B)、球形(F_A 、 F_B)、球距(L)的 $u(L_m)$ 分量，圖 2-1-5 中的誤差線為隨機誤差，其數值為 1 倍標準差，即為此量測值的標準不確定度分量 $u(L_m)$ 。

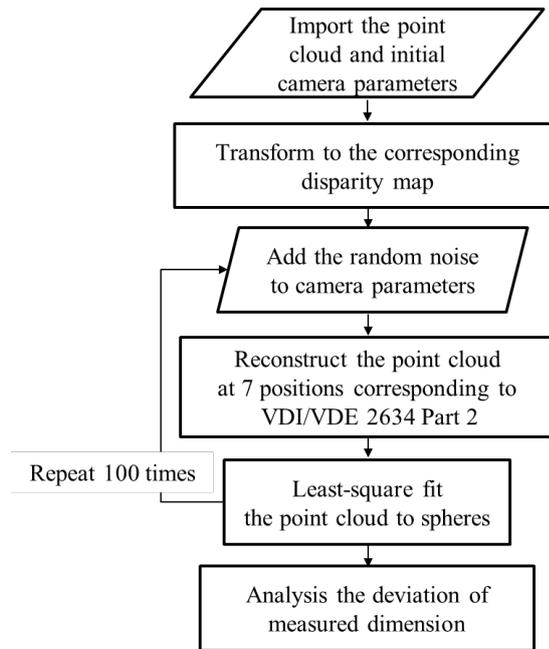


圖 2-1-4、蒙地卡羅法之量測不確定度評估演算法流程圖

表 2-1-2、實驗室視覺 3D 尺寸量測系統之蒙地卡羅法模擬參數

	Initial	Standard Deviation
x axis focal length, f_x	4702.70	1.52
y axis focal length, f_y	4702.47	1.57
principal point, (O_x, O_y)	(3027.85, 1680.43)	(1.07, 1,20)
Base line, $ T_x $	226.03	0.14
Disparity, $D(u_i, v_i)$		0.41

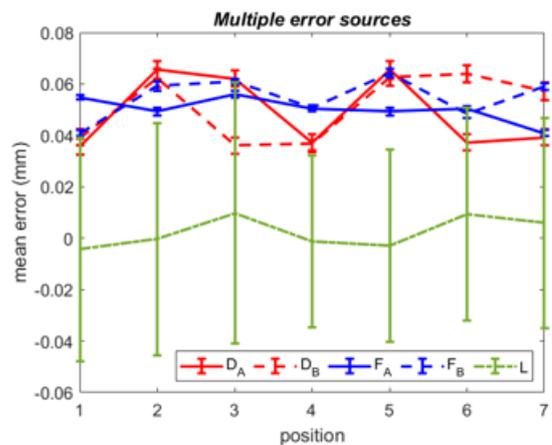
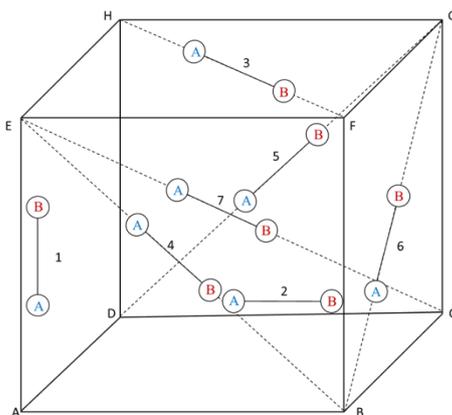


圖 2-1-5、VDI/VDE 2634 規範校正位置及 $u(L_m)$ 量測不確定度評估結果，誤差線數值為 1 倍標準差

之後依序分析各個不確定度分項，其中標準件不確定度 $u(L_s)$ 來自於視覺參考標準件的校正報告，可將數值直接帶入(2)中進行計算。 $u(\theta_s)$ 、 $u(\alpha_s)$ 屬於視覺參考標準件熱膨脹效應的不確定度，包含視覺參考標準件熱膨脹係數、溫度計校正、溫度計解析度三項並帶入(2)式中進行計算。量測值的不確定度 $u(L_m)$ 共有重複性與資料數位化兩部分的不確定度，其中重複性是藉由實際校正時的重複量測數據進行評估，而資料數位化部分的不確定度則使用蒙地卡羅法針對相機參數、資料點密度/解析度、球面特徵擬合進行模擬分析，並藉由方均根運算組合兩項不確定度分項，再帶入(2)式中進行計算，以上步驟皆使用 MATLAB 程式執行，以統整蒙地卡羅法模擬與不確定度計算功能，並產出量測不確定度評估演算法 1 份。

為了驗證 MATLAB 程式計算的組合標準不確定度無誤，本計畫另以手動進行不確定度驗算，將不確定度分量統整於表 2-1-3，並使用計算機計算標準不確定度的方均根數值，手動計算出來的組合標準不確定度為 0.0458 mm、MATLAB 程式計算為 0.0459 mm，些微差異應為四捨五入運算之影響，因此確認程式計算功能無誤。

表 2-1-3、不確定度評估表驗算成果

不確定度源 x_i	Type	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 c_i	標準不確定度分量 $ c_i u(x_i)$
標準值 $u(L_s)$	A	0.001 mm	-1	0.001 mm
量測值 $u(L_m)$		0.0458 mm	1	0.0458 mm
重複性 $u_1(L_m)$	A	$0.05 \text{ mm}/\sqrt{5}$		
資料數位化 $u_2(L_m)$	B	0.04		
熱膨脹係數 $u(\alpha_s)$	B	$1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}/\sqrt{3}$	$-(450 \times 5) \text{ mm}/^\circ\text{C}$	$1.30 \times 10^{-3} \text{ mm}$
溫度量測 $u(\theta_s)$		0.153 $^\circ\text{C}$	$-450 \times 10^{-6} \text{ mm}/^\circ\text{C}^{-1}$	$6.88 \times 10^{-5} \text{ mm}$
溫度計器差 $u_1(\theta_s)$	B	$0.2 \text{ }^\circ\text{C}/\sqrt{3}$		
溫度計不確定度 $u_2(\theta_s)$	A	0.1 $^\circ\text{C}$		
溫度計解析度 $u_3(\theta_s)$	B	$0.01 \text{ }^\circ\text{C}/\sqrt{3}$		
手動計算：組合標準不確定度 $u_c = 0.0458 \text{ mm}$				
MATLAB 程式計算：組合標準不確定度 $u_c = 0.0459 \text{ mm}$				

綜合以上，現已完成查核點編號 B1-2，完成量測不確定度評估演算法 1 份，實現蒙地卡羅法之不確定度評估與組合標準不確定度計算，並以手動重複驗算確認程式計算功能無誤。

3. 完成快速相機校正演算法之量測不確定度評估，次像素分析誤差 ≤ 0.1 pixel；完成校正程序報告 1 份(查核點編號 B1-3)

相機校正(Camera calibration)作為視覺 3D 尺寸量測儀器使用的前置作業，主要目的是最佳化影像座標與空間座標之間的數學模型，因此相機校正結果的誤差與重複性很大程度的影響著 3D 量測數據的好壞。本計畫在實驗室建立視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術之查核系統(圖 2-1-6)，量測範圍為 880 mm x 660 mm x 650 mm (體對角線 1278 mm)，使用棋盤格影像校正板(共 27 x 18 個角點，尺寸為 300 mm x 200 mm)，以 6 個平移位置與 3 個旋轉角度共 18 組影像，涵蓋左右相機的拍攝範圍進行相機校正，每次耗時約 10 分鐘。上述流程重複 8 次實驗，分析結果證實實驗室之查核系統，在使用固定的相機校正手法後，具穩定的重投影誤差(Reprojection error)，8 次實驗的次像素分析誤差最大值為 0.0887 pixel (圖 2-1-7)，符合 ≤ 0.1 pixel 之查核點規格。

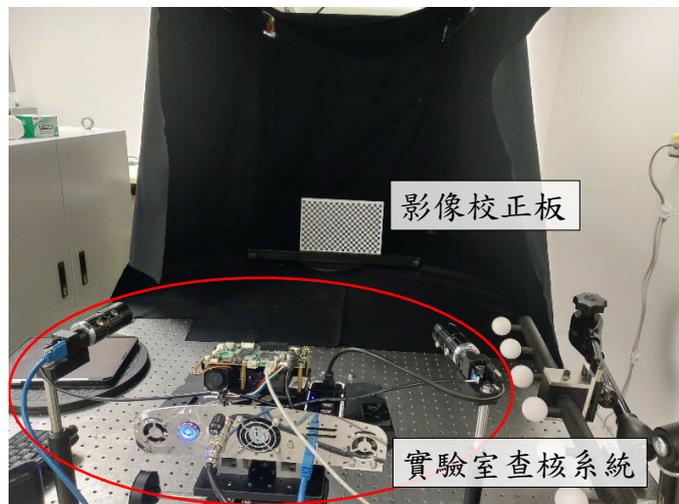


圖 2-1-6、實驗室查核系統與影像校正板

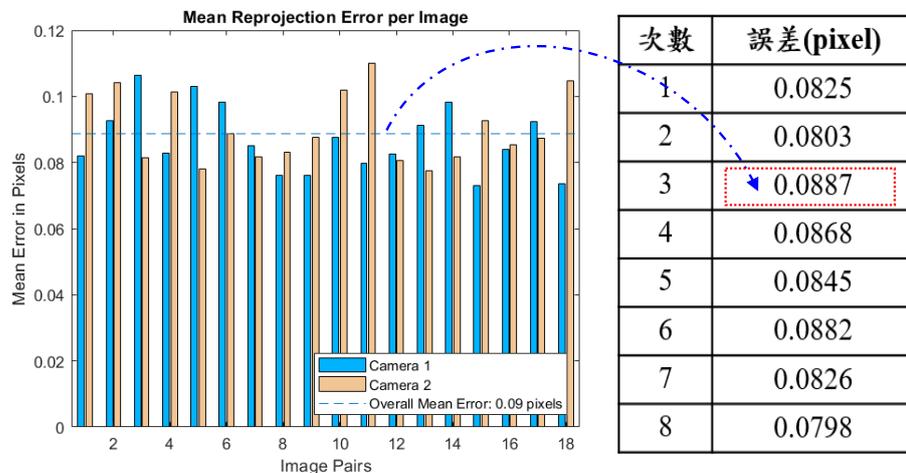


圖 2-1-7、相機校正結果統計

校正程序的目的是控制校正程序中的變因，並加以記錄以確保校正的量測不確定度達到要求內，本計畫的視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序報告依據國家度量衡實驗室的要求，考慮到人、機、料、法、環五個因素，相應項目比如人員需行基本知識受訓、機台規格與操作、標準件清潔、依循 VDI/VDE 2634 規範、環境溫度與震動量測等，校正程序報告的架構如圖 2-1-8 所示。最後的校正結果根據 VDI/VDE 2634 規範中的要求，計算球徑、球形狀誤差、球距三項器差，並依據 ISO GUM 規範計算相應的量測不確定度，結合上述架構與細部內容，產出校正程序報告 1 份(技資登錄編號為 073B00114)。

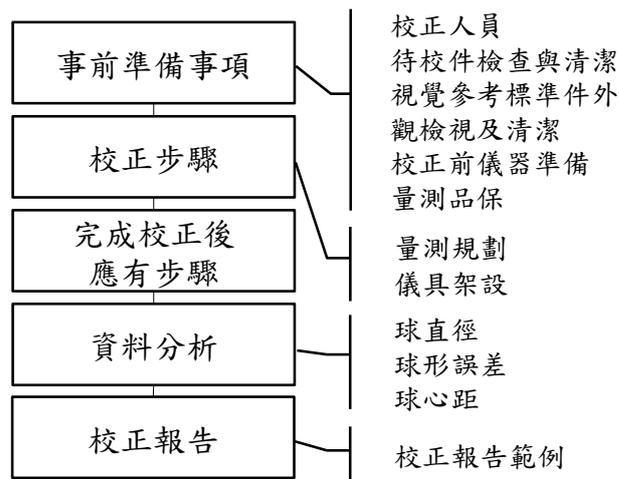


圖 2-1-8、視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序架構

綜合以上內容，現已完成查核點編號 B1-3，完成快速相機校正演算法之量測不確定度評估，次像素分析誤差最大值為 0.0887 pixel，滿足目標之 ≤ 0.1 pixel，並完成校正程序報告 1 份(技資登錄編號為 073B00114)。

4. 完成視覺 3D 尺寸量測儀器量測不確定度評估演算法，計算時間 ≤ 10 秒；完成量測不確定度評估報告 1 份；量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件) (查核點編號 B1-4)

本計畫開發視覺 3D 尺寸量測儀器的量測不確定度評估演算法，目的是達成自動化的線上校正，減少人工操作執行造成的待機時間。目前校正後的器差值已經有現成軟體如 Geomagic Control X、GOM Inspect 可以完成自動分析，但量測不確定度並未有自動化的分析軟體。因此為了更快得到校正後的量測不確定度結果，本計畫開發的量測不確定度評估演算法，利用 MATLAB 程式進行撰寫並導入 gpuArray()指令，將電腦記憶體中的變數搬移到圖形處理器(Graphics Processing Unit, GPU)的記憶體中，在圖形處理器中執行各種運算，以應用圖形處理器的高速計算能力，提升演算法的速度，另外也將原程式碼修改優化，如 for-loop 改以矩陣運算方式、固定記憶體位址與大小

等方法。經過實測，利用 i9-10900 中央處理器、64 GB 記憶體、GeForce RTX 3090 圖形處理器進行計算，統整出最高 800 萬畫素的市售視覺 3D 尺寸量測儀器廠牌、解析度、體對角線(表 2-1-4)，重複執行 10 次模擬以統計不確定度的重複性，其中計算時間最大為 8.7221 秒，符合計算時間≤ 10 秒。

表 2-1-4、計算時間統整表

廠牌	解析度 (pixels)	體對角線 (mm)	計算時間 (sec)
COMET	1.5 M (1480 x 1024)	515	2,5251
AICON	2 M	425	3.0177
SOLOMON	2.3 M (1920 x 1200)	371~1649	3.2852
SOLUTIONIX	5 M	525	5.7852
COMET	5 M (2448 x 2050)	673	5.7963
FARO	5 M	340/680	5.7852
AICON	5 M	1061/1644	5.7852
SOLOMON	5 M (2448 x 2048)	371~1649	5.7963
ATOS	5 M	57~2250	5.7852
COMET	8M (3296 x 2472)	789	8.7221
AICON	8M	848/1379	8.4076
ATOS	8M	57~3000	8.4076

量測不確定度評估參考 VDI/VDE 2634、ISO 10360-13[2-1-5]規範，應用製作完成的 3D 球桿標準件(視覺參考標準件)進行視覺 3D 尺寸量測儀器的校正(圖 2-1-9)，校正時的環境溫度以(24 ± 1) °C 進行評估。

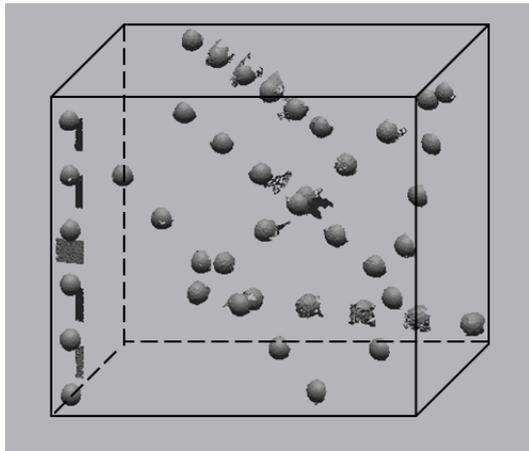
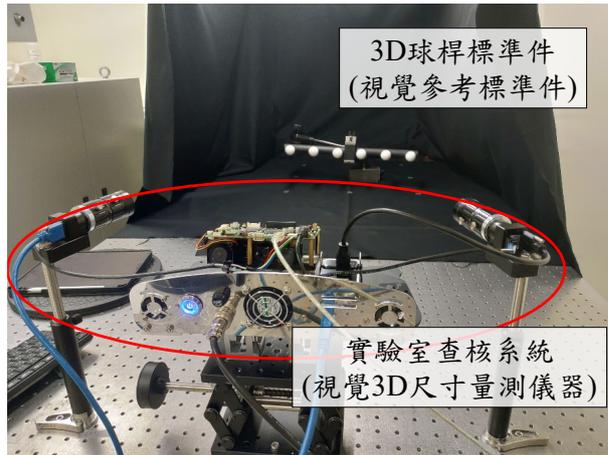


圖 2-1-9、視覺 3D 尺寸量測儀器校正實驗照(左)及量測數據(右)

視覺參考標準件的幾何尺寸參數包括球徑、球形狀誤差、球距尺寸，對於上述的幾何尺寸參數，規範中訂定相應的量測名詞依序為 Probing error size (P_S)、Probing error form (P_F)、Sphere-spacing error (SD)，相較於規範建議的計算方法，本計畫額外考慮較多不確定度分量，量測不確定度的評估公式(不含待校件)與計算結果如下：

$$U(P_S) = k \times \sqrt{u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_\alpha) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{Form}) + u^2(F)}$$

表 2-1-5、Probing error size (P_S)擴充不確定度表

	Type	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(\varepsilon_{cal})$	B	3.73E-01	1.00E+00	3.73E-01	60
熱膨脹係數 $u(\varepsilon_\alpha)$	B	5.77E-07	-1.91E+02	1.10E-04	50
溫度量測 $u(\varepsilon_t)$	B	5.00E-02	-2.67E-04	1.33E-05	60
球形狀誤差校正追溯 $u(\varepsilon_{Form})$	B	2.64E-01	1.00E+00	2.64E-01	60
球形狀誤差 $F/2$	B	9.95E-01	1.00E+00	9.95E-01	60
		組合標準不確定度		1.10	85
			k	1.99	
		擴充不確定度 $U(P_S)$		2.2	μm

$$U(P_F) = k \times \sqrt{u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_\alpha) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{Form}) + u^2(F)}$$

表 2-1-6、Probing error form (P_F)擴充不確定度表

	Type	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(\varepsilon_{cal})$	B	2.64E-01	1.000E+00	2.64E-01	60
熱膨脹係數 $u(\varepsilon_\alpha)$	B	5.77E-07	-9.950	5.74E-06	50
溫度量測 $u(\varepsilon_t)$	B	5.00E-02	-1.393E-05	6.97E-07	60
球形狀誤差校正追溯 $u(\varepsilon_{Form})$	B	2.64E-01	1.00E+00	2.64E-01	60
球形狀誤差 $u(F)$	B	9.95E-01	1.00E+00	9.95E-01	60
		組合標準不確定度		1.07	77
			k	2.00	
		擴充不確定度 $U(P_F)$		2.2	μm

$$U(SD) = k \times \sqrt{u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_\alpha) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{fixt})}$$

表 2-1-7、Sphere-spacing error (SD)擴充不確定度表

	Type	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(\varepsilon_{cal})$	B	6.97E-01	1.000E+00	6.97E-01	60
熱膨脹係數 $u(\varepsilon_\alpha)$	B	5.77E-07	-2250000	1.30E+00	50
溫度量測 $u(\varepsilon_t)$	B	5.00E-02	-7.650E-01	3.83E-02	60
變形量 $u(\varepsilon_{fixt})$	B	1.47E+00	1	1.47E+00	50
		組合標準不確定度		2.08	121
			k	1.98	
		擴充不確定度 $U(SD)$		4.2	μm

上述表格中的 $u(\varepsilon_{cal})$ 為視覺參考標準件尺寸的不確定度分量， $u(\varepsilon_\alpha)$ 為視覺參考標準件熱膨脹係數造成的不確定度分量、 $u(\varepsilon_t)$ 為視覺參考標準件溫度量測造成的不確定度分量、 $u(\varepsilon_i)$ 為視覺參考標準件溫度量測造成的不確定度分量、 $u(\varepsilon_{Form})$ 為視覺參考標準球徑形狀誤差之量測不確定度、 $u(F)$ 為視覺參考標準球徑形狀誤差造成之不確定度分量、 $u(\varepsilon_{fixt})$ 為視覺參考標準件擺設與固定造成的不確定度分量。因此依據規範中訂定的 Probing error size (P_S)、Probing error form (P_F)、Sphere-spacing error (SD) 三個校正項目，其相應的擴充不確定度 $U(P_S)$ 為 2.2 μm 、 $U(P_F)$ 為 2.2 μm 、 $U(SD)$ 為 4.2 μm ，皆符合查核點之量測不確定度 $\leq 5 \mu\text{m}$ 目標，並產出量測不確定度評估報告 1 份(技資登錄編號為 073B00102)。

綜合以上內容，現已完成查核點編號 B1-4，完成視覺 3D 尺寸量測儀器量測不確定度評估演算法，經過實測，計算時間最大為 8.7221 秒，達到計算時間 ≤ 10 秒之目標；並完成量測不確定度

評估報告 1 份(技資登錄編號為 073B00102)；量測不確定度最大為 4.2 μm ，符合 $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)之計畫目標。

【突破瓶頸】

隨著自動化、快速量測的視覺 3D 尺寸量測儀器逐漸被航太、汽車等產業接受應用，視覺 3D 尺寸量測儀器的校正與量測不確定度評估需求成為近期重要的研究領域。本計畫今年完成視覺參考標準件 1 件，可協助業界的視覺 3D 尺寸量測儀器依據 VDI/VDE 2634 規範進行校正追溯，另外目前校正後的器差值已經有現成軟體如 Geomagic Control X、GOM Inspect 可以完成自動分析，但量測不確定度並未有自動化的分析軟體，因此進一步開發視覺 3D 尺寸量測儀器的不確定度評估演算法，應用蒙地卡羅法模擬量測流程，評估 3D 點雲、立體視覺參數變異、幾何特徵擬合等多項量測不確定度分量，建立多筆虛擬量測資料以進行量化分析，實現 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估。上述的視覺參考標準件和不確定度評估方法，可應用至現行各類 3D 尺寸量測儀器，以滿足國內廠商、儀器商之校正追溯需求，最終完成量測不確定度目標 $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)之校正技術，可應用量測範圍 800~1500 mm(體對角線)、最大允許誤差(Maximum Permissible Error, MPE)規格達 25 μm 的視覺 3D 尺寸量測儀器。

(二) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

近年來，五軸工具機搭配 3D 量測測頭已是基本配備，使五軸工具機同時具備加工製造及線上量測功能，如何提升線上量測準確度及建立線上量測不確定評估方法為一重要課題「2-2-1~2-2-3」，考量產線現場(shop floor)環境，線上量測不確定度來源眾多，其中以五軸工具機幾何誤差及溫度變異最為顯著，因此參考國際規範 ISO 15530-3(Geometrical product specifications (GPS) — Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement — Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement)建立線上尺寸量測技術[2-2-4]。

110 年度規劃發展線上尺寸參考標準件(hole plate)，參考目前國產中行程五軸工具機線上量測範圍，設計 hole plate 尺寸規格；當五軸工具機做為座標量測儀進行線上量測時，須先進行五軸工具機幾何誤差校正，建立五軸工具機線上尺寸量測技術之量測不確定度評估，依據主要兩大不確定度來源，分別為幾何誤差及量測環境溫度變異，針對此兩項不確定來源，建立誤差分析及溫度評估，其技術架構如圖 2-2-1；誤差分析為三線性軸 21 項幾何誤差量測技術為開發重點，藉由 hole plate 具低熱膨脹係數特性，可降低五軸工具機產線環境溫度變異對於幾何誤差量測結果的影響，提供更準確幾何誤差分析結果，進行五軸工具機幾何誤差校正，並作為線上尺寸量測量測不確定度來源；溫度評估則考慮五軸工具機線上量測環境溫度變異，建立幾何誤差與溫度關係模型，可更準確分析環境溫度變異對於量測不確定度影響，溫度變異範圍參考國內五軸工具機產線環境溫度，發展溫度評估無任何環境溫度限制，但為確保發展量測技術不確定

度評估結果，需限制溫度變異範圍。發展量測技術可提供國內五軸工具機廠商，從線上尺寸參考標準件、幾何誤差量測至線上尺寸量測不定度評估，提升國產五軸工具機線上量測準確度，及建立線上尺寸量測標準追溯鏈。

本年度計畫目標如下：

1. 線上加工尺寸量測技術-誤差分析

- (1) 工具機可量測範圍： ≤ 450 mm
- (2) 校正參數：線性軸 21 項幾何誤差
- (3) 量測不確定度 ≤ 10 μm (不含 20 $^{\circ}\text{C}$ 修正)
- (4) 校正時間： ≤ 4 小時

2. 線上加工尺寸量測技術-溫度評估

- (1) 完成溫度與誤差關係模型
- (2) 參數：線性軸至少 21 項
- (3) 適用溫度變異： (24 ± 2) $^{\circ}\text{C}$

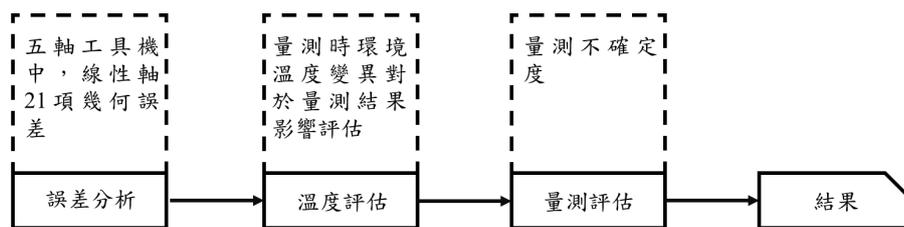


圖 2-2-1、量測技術架構圖

【執行成果】

1. 完成「參考標準件」硬體架設設計，滿足工具機量測範圍 450 mm (查核點編號 B2-1)

開發技術所用「參考標準件」為低熱膨脹係數之 hole plate 如圖 2-2-2 (a)所示，材質為 NEXCERA 及膨脹係數值為 $0.03 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，架設於工廠產線內溫度變異範圍 $(24 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 內，hole plate 尺寸變異量小於 0.07 μm ，可降低產線環境溫度變異對於標準件影響，同時降低校正時的量測不確定度，調查國內五軸工具機廠商於中形成機型，線上量測使用範圍約為 550×550 mm^2 ，因此以此範圍設計為 hole plate 的尺寸規格，可滿足工具機量測範圍 450 mm (查核點編號 B2-1)。

hole plate 中有 44 個圓柱孔，直徑標稱值為 20 mm，每個圓柱孔間距標稱值為 50 mm，以圓柱孔 1 作為座標原點，圓柱孔 1 至圓柱孔 12 方向作為 hole plate 之 X 軸，圓柱孔 1 至圓柱孔 34 方向作為 hole plate 之 Y 軸，每個圓柱孔中心座標位置 (S_x, S_y) 皆經由 CMM 校正追溯後，作為標準座標位置；hole plate 單一架設方向僅能量測平面座標位置，因此需於量測機台上進行不同方向

架設，以達到三維方向量測結果，硬體架設設計可分為水平架設及垂直架設，圖 2-2-2 (b)為水平架設硬體設計圖，採用 3 點支撐方式設計，每個支撐點間距為 400 mm，可將 hole plate 架設於量測機台 XY 平面方向，圖圖 2-2-2 (c)為垂直架設硬體設計圖，採用 2 點支撐方式設計，兩支撐點間距為 430 mm，可將 hole plate 架設於量測機台 XZ 平面方向及 YZ 平面方向，達到 3 個方向架設及量測。

2. 完成「線上加工尺寸量測技術-誤差分析」之演算法及其影響參數模擬分析；校正參數:線性軸

21 項幾何誤差(查核點編號 B2-2)

根據國際標準 ISO 230-1 規範[2-2-5]，定義 3 個互相正交的線性軸分別為 X 軸、Y 軸及 Z 軸，而旋轉軸分別為 A 軸、B 軸及 C 軸，其中繞 X 軸旋轉稱為 A 軸，繞 Y 軸旋轉稱為 B 轉，繞 Z 軸旋轉稱為 C 軸。每 1 個線性軸有 6 個自由度誤差及因兩軸間不垂直造成影響的誤差，分別為一個沿著線性軸本身移動方向的定位誤差(Positioning Error)、與線性軸本身垂直方向上的 2 個直線度誤差(Horizontal Straightness Error, Vertical Straightness Error)、線性軸對應 3 個旋轉角度誤差(Roll Error, Pitch Error, Yaw Error)及兩兩不同軸之間垂直度誤差(Squareness Error)，總共 7 項幾何誤差，故在三個線性軸所組成的座標系統總共含有 21 項誤差。如圖 2-2-3 所示。

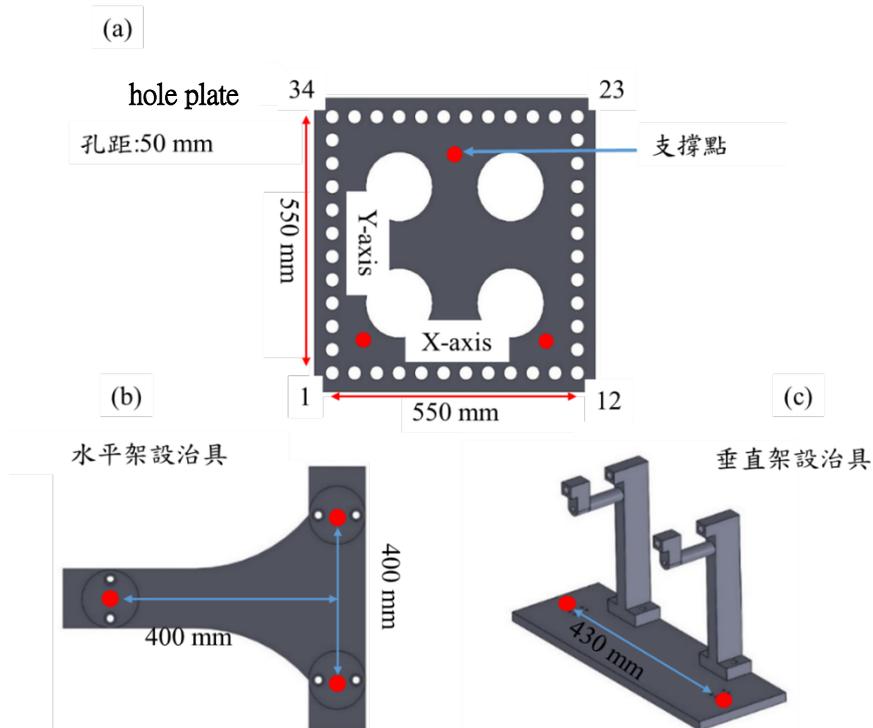


圖 2-2-2、hole plate 硬體設計示意圖

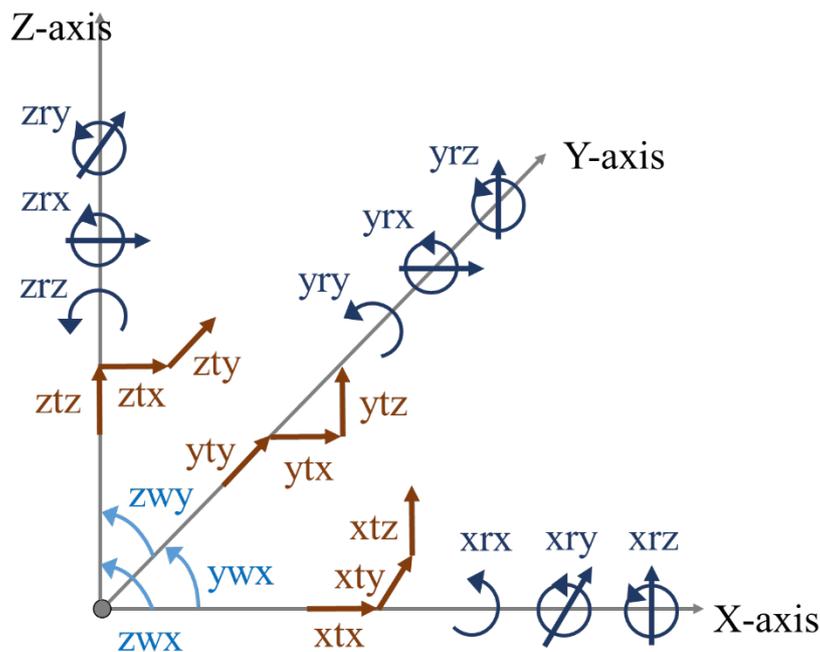


圖 2-2-3、三線性軸幾何誤差示意圖

其中各符號可表示為

xrx: X 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度誤差(Roll Error)

xry: X 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度誤差(Pitch Error)

xrz: X 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度誤差(Yaw Error)

xtx: X 軸運動造成 X 軸方向的線性定位誤差(Positioning Error)

xty: X 軸運動造成 Y 軸方向的直線度誤差(Horizontal Straightness Error)

xtz: X 軸運動造成 Z 軸方向的直線度誤差(Vertical Straightness Error)

yrx: Y 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度誤差(Roll Error)

yry: Y 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度誤差(Pitch Error)

yrz: Y 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度誤差(Yaw Error)

ytx: Y 軸運動造成 X 軸方向的直線度誤差(Positioning Error)

yty: Y 軸運動造成 Y 軸方向的線性定位誤差(Horizontal Straightness Error)

ytz: Y 軸運動造成 Z 軸方向的直線度誤差(Vertical Straightness Error)

zrx: Z 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度誤差(Roll Error)

zry: Z 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度誤差(Pitch Error)

zrz: Z 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度誤差(Yaw Error)

ztx: Z 軸運動造成 X 軸方向的直線度誤差(Positioning Error)

zty: Z 軸運動造成 Y 軸方向的直線度誤差(Horizontal Straightness Error)

ztz: Z 軸運動造成 Z 軸方向的線性定位誤差(Vertical Straightness Error)

ywx: Z 軸在零點的垂直度誤差(Squareness Error)

zwy: Z 軸至 Y 軸的垂直度誤差(Squareness Error)

zwx: Z 軸至 X 軸的垂直度誤差(Squareness Error)

評估五軸工具機做為 CMM 提供線上尺寸量測之量測不確定度，其主要不確定度來源為工具機之幾何誤差，因此以 hole plate 為標準件，建立誤差分析之演算法，分析幾何誤差。實驗驗證及影響參數分析，則先以使用高精密度座標量測儀(Leitz, PMM-C Ultra, 571)進行量測評估，以座標量測儀作為五軸工具機，評估其 3 線性軸，分析 21 項幾何誤差。量測時需將 hole plate 於床台上進行 3 個不同方向架設及量測，分別為量測座標位置為(M_X, M_Y)於 XY 平面、量測座標座標位置(M_X, M_Z)於 XZ 平面及量測座標座標位置(M_Y, M_Z)於 YZ 平面，量測速度設定為 30 mm/s，操作指引如圖 2-2-4 所示，每個方向量測因為探針方向不同皆須先進行測針校驗，之後將 hole plate 架設於床台上，並調整 hole plate 軸線與床台軸向之間對準(alignment)，圖 2-2-5 (a) hole plate 安裝於 XY 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於座標量測儀之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向座標量測儀之 Y 軸向，圖 2-2-5 (b)為 hole plate 安裝於 YZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於座標量測儀之 Y 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向座標量測儀之 Z 軸向，圖 2-2-5 (c)為 hole plate 安裝於 XZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於座標量測儀之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向座標量測儀之 Z 軸，每個架設方向需先利用測針量測圓柱孔 1 中心點座標位置，確認整個 hole plate 於床台上空間位置，由座標量測儀軟體自動生成所有 hole plate 圓柱孔(2~44)量測路徑，根據 ISO 230-2(Test code for machine tools — Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes)規範需進行正向及反向量測[2-2-6]，每個方向量測時間約為 50 分鐘，經由不同方向安裝，使 hole plate 可量測三維空間座標位置(M_X, M_Y, M_Z)，全部量測流程需將 hole plate 架設 3 個不同方向，總共 3 次量測結果，包含測針校驗、hole plate 架設及量測，量測時間可於 4 小時內完成；含前置作業之量測時間可縮短至 2.5 小時(實際量測時間 105 分鐘)，其時間為五軸工具機三線軸幾何誤差量測，包含量測測頭量測時間及尺寸參考標準件(hole plate)架設時間；後續會持續精進量測技術，幾何誤差參數由三線性軸提升至整機，符合國內五軸工具機實際量產產線的需求。

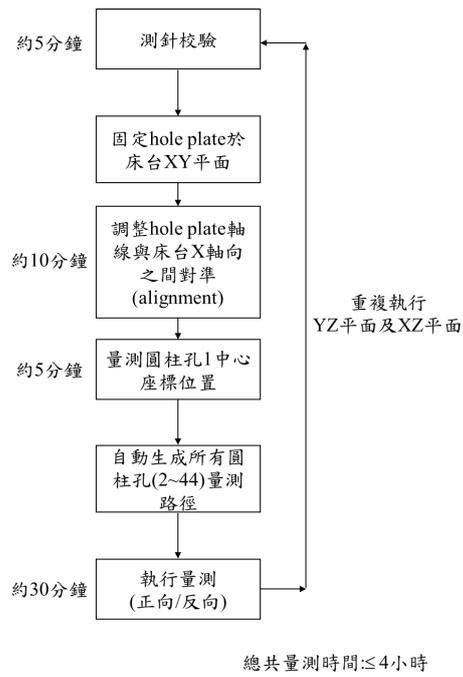


圖 2-2-4、操作指引圖

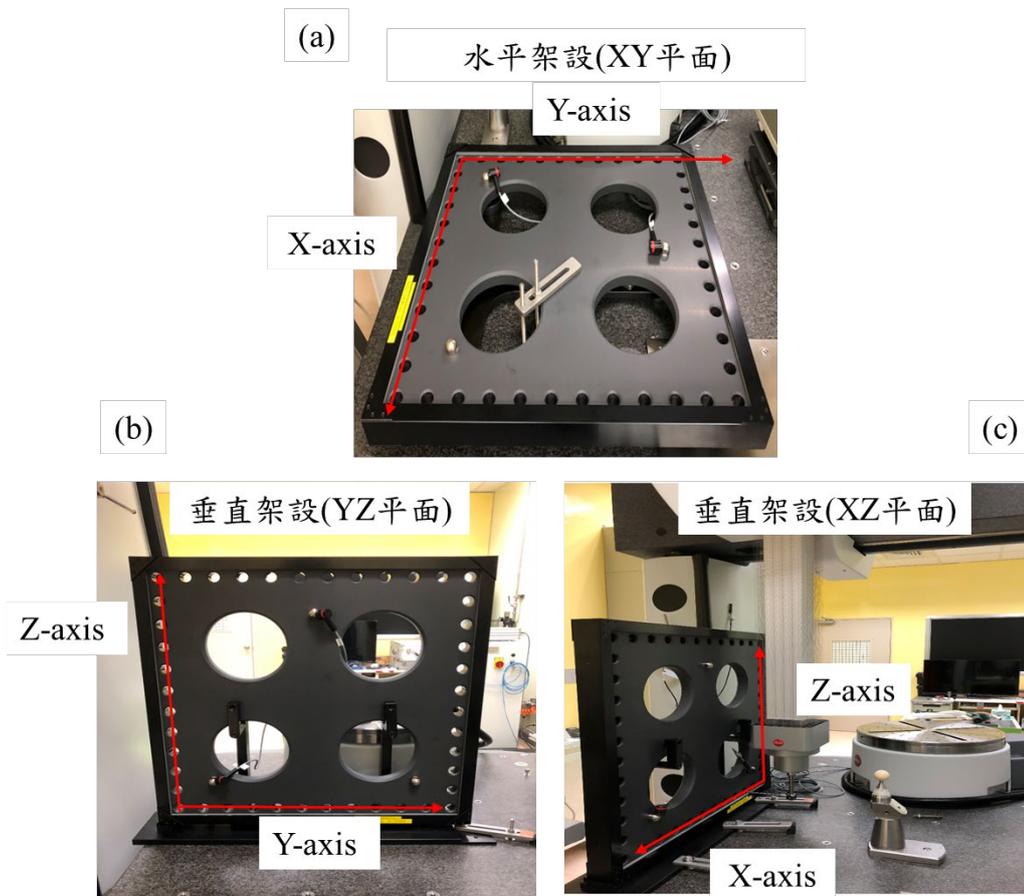


圖 2-2-5、hole plate 架設方向示意圖

圖 2-2-6 為龍門型座標量測儀結構關係，hole plate 固定於 X 軸移動平台上，X 軸移動系統安裝在床台上，Y 軸移動系統安裝於立柱上，Z 軸移動系統安裝於立柱上，Z 軸沿立柱上下移動，量測測頭則安裝於 Z 軸上，為了描述座標量測儀座標軸與 hole plate 座標間的關係，使用齊次座標轉換矩陣(Homogeneous Transform Matrix, HTM)表示相鄰座標軸間相互關係，建立 21 項幾何誤差分析，其方程式(2-2-1)所示

$${}^W T_X = {}^W T_S \quad {}^S T_Z \quad {}^Z T_Y \quad {}^Y T_X$$

其中 ${}^W T_S$ 表示 hole plate 座標位置相對於立柱之齊次座標轉換矩陣，內含 3 項垂直度誤差 (ywx、zwy 及 zwx)，依序為 ${}^S T_Z$ 表示立柱相對於 Z 軸移動系統之齊次座標轉換矩陣，內含 Z 軸 6 項幾何誤差(zrx、zry、zrz、ztx、zty 及 ztz)， ${}^Z T_Y$ 表示 Z 軸移動系統相對於 Y 軸移動系統之齊次座標轉換矩陣，內含 Y 軸 6 項幾何誤差(yrx、yry、yry、ytx、yty 及 ytz)， ${}^Y T_X$ 表示 Y 軸移動系統相對於 X 軸移動系統之齊次座標轉換矩陣，內含 X 軸 6 項幾何誤差(xrx、xry、xrz、xtx、xty 及 xtz)。利用量測測頭量測 hole plate 中各個圓柱孔的中心座標位置，由量測所得到之圓柱孔的座標位置(M_X, M_Y, M_Z)，計算理想 hole plate 之圓柱孔的座標位置與實際 hole plate 之圓柱孔的座標位置之間的器差值($\Delta M_X, \Delta M_Y, \Delta M_Z$)，其器差值顯示量測機台於此座標點整體誤差結果，由齊次座標轉換矩陣推導 21 項幾何誤差分析，依序分析垂直度誤差、定位誤差、直度誤差及角度誤差，如圖分析流程圖如圖 2-2-7 所示。

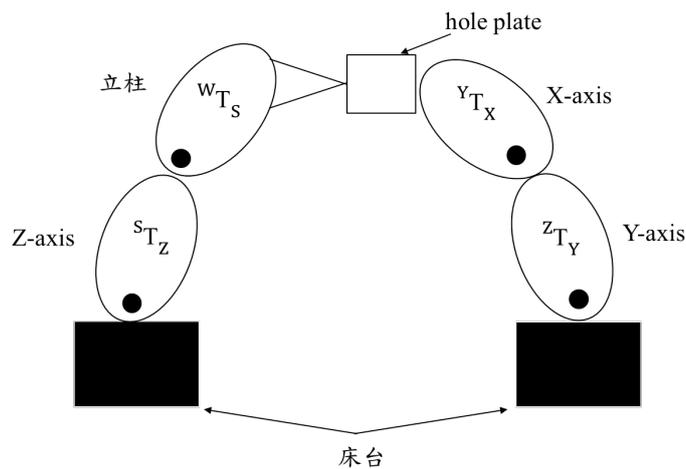


圖 2-2-6、座標量測儀機構關係圖

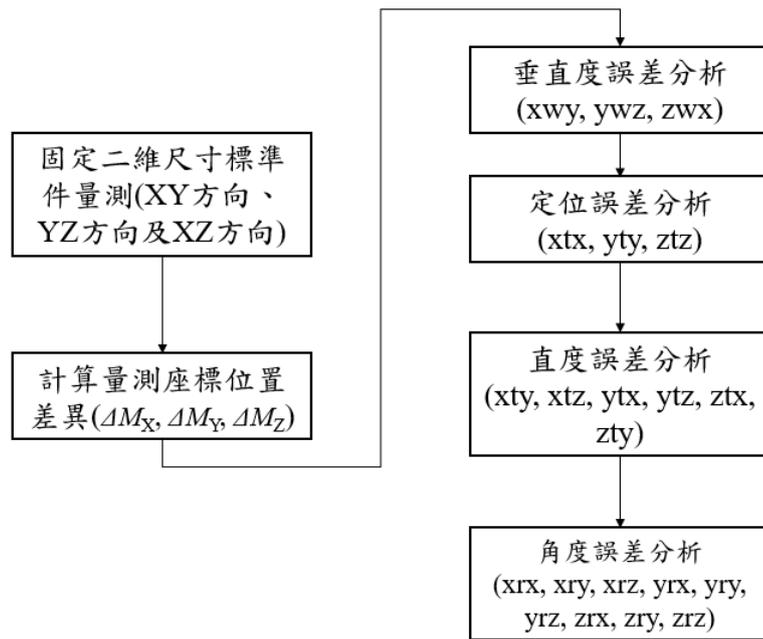


圖 2-2-7、線性軸幾何誤差分析流程

將 hole plate 架設於座標量測儀上，實際量測並分析 21 項幾何誤差，結果整理於表 2-2-1，每個誤差量測範圍為 0 mm ~ 550 mm，總共 12 點數且量測間距為 50 mm，表格結果顯示每個誤差平均值(mean positioning deviation of an axis)，與現有標準件量測結果進行比較如圖 2-2-8 所示，分別為雷射干涉儀、自動視準儀及直角規，現有標準件量測位置與 hole plate 量測位置相同，由線性誤差分析結果(xtx、yty 及 ztz)與雷射干涉儀量測結果比較，差異值平均最大為-0.30 μm，符合產業規格需求為小於± 5.0 μm，角度誤差分析結果(xry、xry、xry、yry、yry 及 zry)與自動視準儀量測結果比較，差異值平均最大為-0.78"，符合產業規格需求為小於± 7.0"，垂直度分析結果(xwy、ywz 及 zwx)與直角規量測結果比較，差異值最大為 4.54"，符合產業規格需求為小於± 15"，完成查核點編號 B2-2「線上加工尺寸量測技術-誤差分析」之演算法，量測參數為線性軸 21 項幾何誤差，達到計畫目標。

表 2-2-1、21 項幾何誤差量測結果

誤差項目	量測值平均	誤差項目	量測值平均
xtx	0.99 μm	yrx	-0.18"
yty	-0.68 μm	yrz	0.02"
ztz	-0.29 μm	zrx	-0.25"
xty	0.49 μm	zry	-0.07"
xtz	-1.00 μm	xrx	0.10"
ytx	0.24 μm	yry	0.30"
ytz	0.19 μm	zrz	0.55"
ztx	-0.07 μm	ywx	89.99857°
zty	0.18 μm	zwy	89.99966°
xry	0.99"	zwx	90.00075°
xrz	-0.07"		

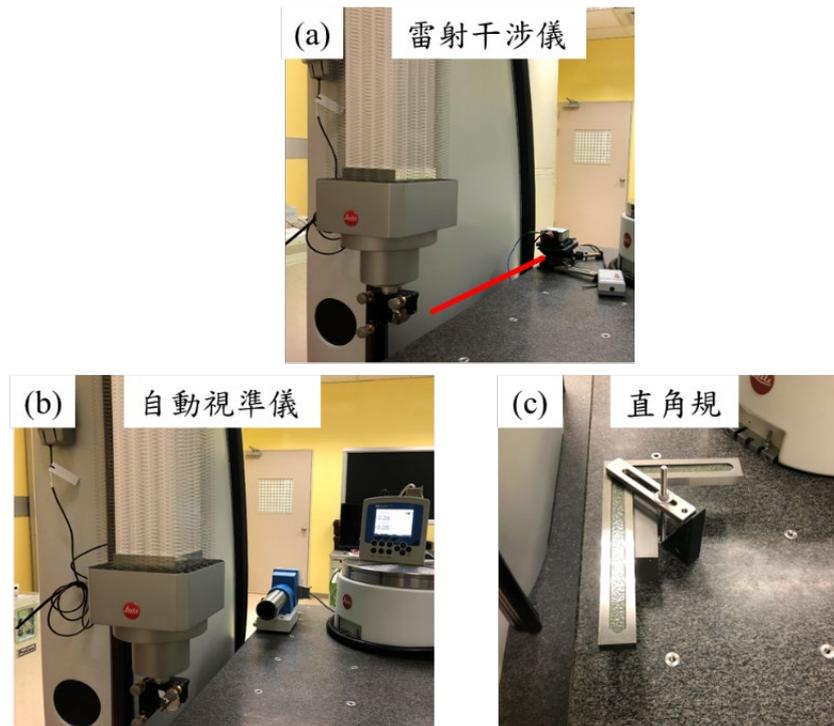


圖 2-2-8、現有標準件比較

3. 完成「線上加工尺寸量測技術-溫度分析」之溫度與誤差關係模型；溫度範圍： $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ (查核點編號 B2-3)

五軸工具機線上尺寸量測技術之量測不確定度，其第二主要不確定度來源量測環境溫度變異，建立溫度與幾何誤差關係模型，評估溫度對於幾何誤差量測不確定度影響，誤差分析可分析五軸工具機幾何誤差量測結果於不同空間位置，其幾何誤差結果只與空間位置相關，溫度分析則增加溫度參數，使幾何誤差與空間位置及溫度兩個參數相關，經由幾何誤差與溫度關係不確定度模型可獲得更準確量測不確定度，其不確定度模型流程圖如圖 2-2-9，首先建立不確定度模型方程式，方程式計算結果為幾何誤差，方程式變數為兩個參數：幾何誤差及溫度，幾何誤差分析採用最小平方法，選取階數為 6 階，在單一溫度下，由幾何誤差量測結果進行最小平方法分析，得到 6 階中每個參數，溫度分析則利用斜率方法，判別溫度對於幾何誤差影響，在不同溫度下，由幾何誤差量測結果分析斜率數值，最後建立幾何誤差與溫度關係不確定度模型，分析量測不確定時，其中一項不確定度源為機台溫度變異，由建立幾何誤差與溫度關係不確定度模型，於量測期間內，收集幾何誤差量測儀於不同溫度下，評估此項不確定源。

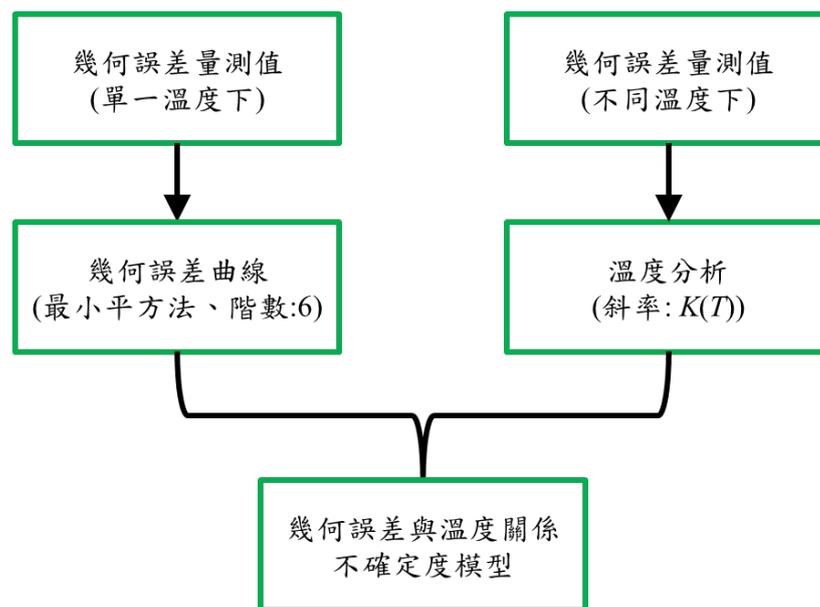


圖 2-2-9、溫度與幾何誤差關係不確定度模型流程圖

以高精密度座標量測儀(Leitz, PMM-C Ultra, 571)作為量測對象，進行溫度與幾何誤差關係不確定度模型建立實驗，將 hole plate 架設於座標量測儀上，實際量測於不同溫度下，溫度範圍為 $19.42^\circ\text{C} \sim 19.58^\circ\text{C}$ ，由 21 項幾何誤差分析結果，量測重複性最大值為幾何誤差線性定位(xtx)，因此，由 X 軸線性定位(xtx)量測結果，根據溫度與幾何誤差不確定度關係模型流程圖，進行不確定度分析評估，首先，建立方程式(2-2-2)所示

$$E_{\text{ctx}}(x, T) = E(x) + K \times (T - 20) \times x$$

其中， $E(x)$ 為幾何誤差曲線與空間位置相關， K 為溫度分析斜率， T 為溫度值(單位: °C)， x 為空間位置，首先於溫度 19.42 °C 下，幾何誤差量測結果由最小平方法(階數為 6)進行分析，參數結果為 $a_0 = -0.001$ 、 $a_1 = 0.006$ 、 $a_2 = -1.07 \times 10^{-4}$ 、 $a_3 = 7.13 \times 10^{-7}$ 、 $a_4 = -2.29 \times 10^{-9}$ 、 $a_5 = 3.51 \times 10^{-12}$ 、 $a_6 = -2.05 \times 10^{-15}$ ，最小平方法分析結果與實際量測結果比較，殘餘值為 0.03 μm ，如圖 2-2-10(a)所示，下一步驟由兩個溫度下所量測幾何誤差結果，分析斜率值，由兩個溫度下幾何誤差量測結果，分別溫度為 19.29 °C 及 19.42 °C 下，經由最小平方法分析斜率值為 0.0031，如圖 2-2-10(b)所示，完成溫度與幾何誤差方程式，並由不同溫度下，實際幾何誤差量測結果與方程式計算結果兩者進行比較，於溫度為 19.58 °C 下，實際幾何誤差量測結果與方程式計算結果，兩者間差異值皆小於 0.11 μm ，此數值將用於量測不確定之機台溫度變異，如圖 2-2-10(c)所示，確認不確定度關係模型準確度，並由此不確定度關係模型可推估溫度範圍於 $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下幾何誤差變化，如圖 2-2-10(d)所示，完成查核點編號 B2-3，溫度範圍: $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，達到計畫目標。

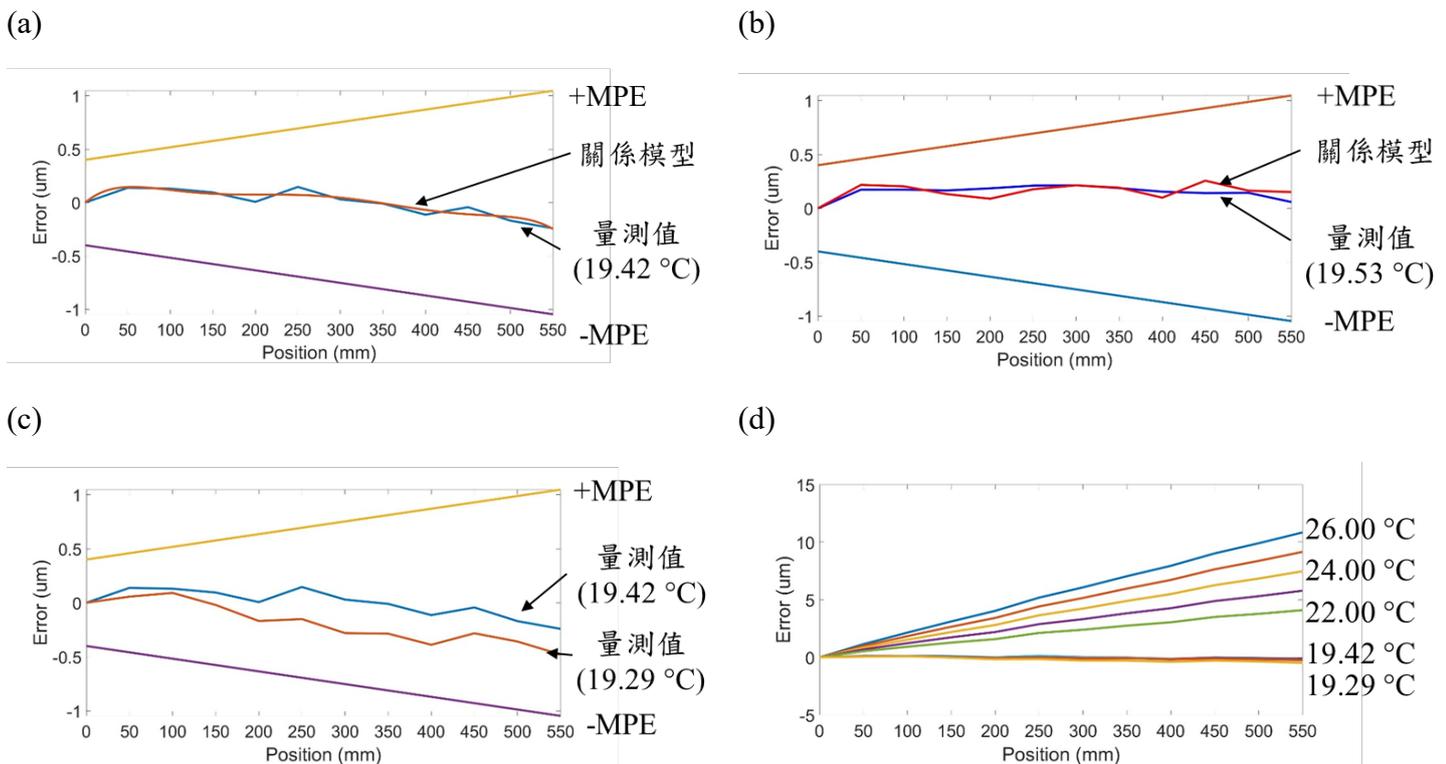


圖 2-2-10、溫度與幾何誤差關係不確定度模型相關數據圖

4. 完成五軸工具機 21 項幾何誤差校正技術：溫度變異範圍：(24±2) °C、量測不確定度：≤10 μm(不含旋轉軸) (查核點編號 B2-4)

於台中精機進行幾何誤差量測及量測不確定度評估，量測機台為五軸工具機(型號: AX630) 搭配 3D 量測測頭(廠牌: Heidenhain TS 460)，控制器為西門子(型號: 840D)，量測不確定度評估方法參考座標量測儀量測不確定度評估規範 ISO 15530-3(Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement - Use of calibrated workpieces or measurement standards)，依據量測值及 hole plate 標準值建立量測方程式如下：

$$l_s = l(1 + \alpha \Delta T) \rightarrow d = l - l_s(1 - \alpha \Delta T)$$

其中， d 為器差值， l 為五軸工具機在 20 °C 時的量測尺寸， α 為五軸工具機的熱膨脹係數， ΔT 為五軸工具機的環境溫度與 20 °C 的溫度差， l_s 為 hole plate 在 20 °C 時的尺寸，依據上式量測方程式得知不確定度源共有 3 項，分別為 hole plate 之標準不確定度 $u(l_s)$ 、溫度之標準不確定度 $u(\Delta T)$ 及五軸工具機之標準不確定度 $u(l)$ ，針對量測方程式的各不確定度來源進行偏微分，可得組合標準不確定度 u_c 與各項靈敏係數：

$$u_c^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial l}\right)^2 u^2(l) + \left(\frac{\partial d}{\partial l_s}\right)^2 u^2(l_s) + \left(\frac{\partial d}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial d}{\partial \Delta T}\right)^2 u^2(\Delta T)$$

其中靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial l} = 1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial l_s} = 1 - \alpha \Delta T \cong 1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \alpha} = l_s \cdot \Delta T$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \Delta T} = l_s \alpha$ 。為了準確量化不確定度來源，將上述 $u(l_s)$ 、 $u(\alpha)$ 、 $u(\Delta T)$ 、 $u(l)$ 項目進一步細項分析：

標準件之標準不確定度 $u(l_s)$ 可分 2 項不確定度來源：校正追溯 $u(l_{s1})$ 及架設準直誤差 $u(l_{s2})$

- (1) 校正追溯 $u(l_{s1})$: hole plate 尺寸標準追溯至日本國家計量研究院(NMIJ)，追溯報告編號為 193071，由追溯報告查得標準不確定度 $u(l_{s1})$ 為 0.68 μm/2
- (2) 架設準直誤差 $u(l_{s2})$: hole plate 架設需調整床台上時需進行準直調整，使 hole plate 量測軸向與床台移動軸平行，準直調整允許值需於 50 μm 內，所造成架設準直誤差由公式計算為 $L = (1 - \cos(50 \mu\text{m}/550 \text{ mm})) = 0.002 \mu\text{m}$ ，可求得標準不確定度 $u(l_{s2})$ 為 $0.002/2\sqrt{3} \mu\text{m}$

溫度之標準不確定度可分 3 項不確定度來源：待校件熱膨脹係數 $u(\alpha)$ 、溫度計校正追溯 $u(\Delta T_1)$ 及機台溫度變異 $u(\Delta T_2)$

- (1) 待校件熱膨脹係數(α): 溫度變化會使床台產生變形，導致量測誤差如伸長或縮短等，床台軸向材料為鋼質，其熱膨脹係數為 $(11 \pm 1) \times 10^{-6}$ ，量測值會先經由熱膨脹係數修正，此項評估熱膨脹係數變異量，標準不確定度 $u(\alpha)$ 為 $10^{-6}/\sqrt{3}$
- (2) 溫度計校正追溯 $u(\Delta T_1)$: 量測時使用溫度計標準追溯至國家度量衡實驗室(NML)，追溯報告編號為 D200566，由校正報告查得標準不確定度 $u(\Delta T_1)$ 為 0.08/2 °C

(3) 床台溫度變異 $u(\Delta T_2)$:量測期間，床台溫度值範圍為 24.3 °C ~ 25.4 °C，最大變異值為 1.1 °C，標準不確定度 $u(\Delta T_2)$ 為 $1.1/2\sqrt{3}$ °C

五軸工具機之標準不確定度亦可分為 3 項不確定度來源:幾何誤差 $u(l_1)$ 、解析度 $u(l_2)$ 及重複性 $u(l_3)$

(1) 幾何誤差 $u(l_1)$:由 3 次幾何誤差量測結果取平均值，其最大值為 7.66 μm ，標準不確定度 $u(l_1)$ 為 $7.66/\sqrt{3}$ μm

(2) 解析度 $u(l_2)$:五軸工具機量測解析度為 1 μm ，標準不確定度 $u(l_2)$ 為 $1/2\sqrt{3}$ μm

(3) 重複性 $u(l_3)$:重複進行幾何誤差量測 3 次，其重複性最大值為 3.05 μm ，標準不確定度 $u(l_3)$ 為 $3.05/\sqrt{3}$ μm

表 2-2-2 彙整線上加工尺寸量測技術各誤差源、不確定度分量及靈敏係數等，以計算發展技術之組合標準不確定為 5.2 μm ，完成查核點編號 B2-4，量測不確定度: $\leq 10 \mu\text{m}$ (不含旋轉軸)，達到計畫目標。因各類型五軸工具機量測重複性不同及量測環境差異，可套入此不確定度分析表，即時更新五軸工具機量測不確定度，將此不確定度傳遞至線上尺寸量測。

表 2-2-2、組合標準不確定度分析表

不確定度源 x_i	變異範圍	Type	標準不確定度 $u(x_i)$	單位	靈敏係數 c_i	單位	不確定度分量 $ c_i u(x_i)$	單位
標準件校正追溯(l_{s1})	0.68	B	0.34	μm	1	μm	0.34	μm
架設準直誤差(l_{s2})	0.00	B	0.00	μm	1	μm	0.00	μm
待校件熱膨脹係數(α)	0.00	B	0.00	1/°C	82500	$\mu\text{m}^\circ\text{C}$	0.05	μm
溫度計校正追溯(ΔT_1)	0.08	B	0.04	°C	6.05	$\mu\text{m}/^\circ\text{C}$	0.24	μm
機台溫度變異(ΔT_2)	1.10	B	0.32	μm	6.05	μm	1.92	μm

不確定度源 x_i	變異範圍	Type	標準不確定度 $u(x_i)$	單位	靈敏係數 c_i	單位	不確定度分量 $ c_i u(x_i)$	單位
幾何誤差 (l_1)	7.66	A	4.42	μm	1	μm	4.42	μm
待校件解析度 (l_2)	1.00	B	0.58	μm	1	μm	0.58	μm
待校件重複性 (l_3)	3.05	A	1.76	μm	1	μm	1.76	μm
組合標準不確定度: 5.2 μm								

【突破瓶頸】

本子計畫於執行過程中主要突破瓶頸為開發線上尺寸量測技術，包含三線性軸 21 項幾何誤差誤差分析及溫度評估，目前商用設備及軟體未有線上尺寸量測不確定度評估方法，因此發展技術以 hole plate 作為線上尺寸標準件，誤差分析參考 ISO 230-1(Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions)國際標準，可直接量測三線性軸中完整 21 項幾何誤差(明年度五軸工具機 43 項幾何誤差)，與誤差分析相關標準機構發展 21 項幾何誤差的量測技術或設備，比較於表 2-2-3，國內工具機廠商常使用市售量測設備雷射干涉儀(Renishaw XL-80)搭配光學鏡組或雷射干涉儀(Renishaw XM-60)，現有商用設備需搭配光學鏡組，且量測線性、角度及垂直度不同幾何誤差時，需選用不同光學鏡組，才得以完成單線性軸 6 項及垂直度 1 項幾何誤差量測，使用上需重複架設且耗時，雷射干涉儀約需 16 小時以上，而雷射干涉儀(Renishaw XL-80)搭配無線旋轉軸校正儀((Renishaw XR20-W)，可量測雙旋轉軸角度定位誤差 2 項，量測時間需 1 小時以上；eTALON 公司開發 LaserTRACER 可進行線性軸 21 項幾何誤差及旋轉軸 20 項幾何誤差，量測時間需 14 小時以上，因設備成本昂貴，國內僅有研究機構擁有此量測設備；因此，所發展之技術可突破此量測限制，僅需單一線上尺寸標準件 hole plate，無須搭配額外標準件及裝置，省去多種架設及程式設定等的繁複步驟，完整量測及分析 21 項幾何誤差，含前置作業之量測時間可縮短至 2.5 小時(實際量測時間 105 分鐘)，其時間為五軸工具機三線軸幾何誤差量測，包含量測測頭量測時間及尺寸參考標準件(hole plate)架設時間，加上雙旋轉軸 22 項幾何誤差，總共所需時間約 4 小時，搭配發展溫度評估，可用於溫度變異範圍為 $(24 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 內，評估溫度變異對於線上尺寸量測不確定度影響，可提供國內五軸工具機廠商，從幾何誤差量測至線上尺寸量測評估，提升國產五軸工具機線上量測準確度，及建立線上尺寸量測標準追溯鏈；今年度擴建的真圓度量測系統，量測系統規格與國際標準實驗室比較如表 2-2-4。

表 2-2-3、目前標竿機構量測技術與發展技術比較表

量測技術 (標竿機構)	幾何誤差項目	量測規格
XL-80+光學鏡組/XM-60 (Renishaw)	7 項幾何誤差: 6 項線性軸誤差 1 項垂直度誤差	準確度: $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$
LaserTRACER (eTALON)	線性軸:21 項 雙旋轉軸:20 項	量測不確定度: $0.2 \mu\text{m}$
計畫發展技術	21 項幾何誤差: 18 項線性軸誤差 3 項垂直度誤差 (明年度五軸工具機 43 項 幾何誤差)	量測不確定度: $0.5 \mu\text{m}$

表 2-2-4、目前國際標竿實驗室之真圓度量測發展現況

	NIST(美國)	NML(臺灣)
量測範圍	$(0 \sim 0.5) \mu\text{m}$	$(0.01 \sim 2) \mu\text{m}$
量測不確定度	6 nm	16.4 nm

【執行效益】

五軸工具機搭載 3D 量測測頭已成為發展主流，然而空間定位精度與先進國家之五軸工具機有一定程度之差異，國產五軸工具機空間定位精度約為 $40 \mu\text{m}$ ，日德國際五軸工具機大廠空間定位精度約為 $20 \mu\text{m}$ ，造成國內工具機業者在工件線上量測(On-line metrology)的準確度始終受限，透過計畫發展五軸工具機線上尺寸量測技術，包含誤差分析(三線性軸 21 項幾何誤差)及溫度評估，可提供國內五軸工具機廠商，從幾何誤差量測至線上尺寸量測評估，提升國產五軸工具機線上量測準確度，及建立線上尺寸量測標準追溯鏈；檢測設備成本方面，開發量測技術僅有單一標準件 hole plate，使用上搭配五軸工具機中已有 3D 量測測頭，無須添購額外標準件或配件，相較於國內工具機大廠使用量測設備 Renishaw 的 XL-80 或 XM-60，必須購買雷射干涉儀且需添購額外光學鏡組，研究機構使用 LaserTRACER 之價格則比雷射干涉儀昂貴，故評估本發展技術將可有效降低量測設備成本。

(三) 計量數位化推動

因應我國數位轉型與各國推動計量領域數位化之趨勢，本子計畫之 110 年度目標為參考 PTB 推動之數位校正證明架構，評估我國數位校正證明實施架構之可行性；同時，配合我國工具機產業之量測資訊數位化應用需求，以計畫中的參考標準件發展成果-PoCAS 為示範，將量測結果輸出，XML 及 PDF 資料格式，以確保後續控制器補償、生產回饋與我國數位校正證明等數位化應用。下表為本年度之工作項目及產出指標。

工作項目	說明	產出指標
評估我國數位校正證明實施架構之可行性	NML 目前仍以紙本校正報告發行為主，但目前 PTB 推動之數位校正證明實施架構涉及多個面向，如歐洲市場監督管理、產業應用等，故須審慎評估相關限制及面臨挑戰，以利後續 NML 推動計量數位化。	數位校正證明實施評估報告 1 份
PoCAS 量測資訊之資料輸出示範	量測資訊之輸出格式於計量資訊的數位化推動過程中相當重要。XML 格式，可搭配工具機之控制器進行參數回饋及補償；PDF 格式則有助於 NML 於校正報告之無紙化及後續數位化。	數位校正證明 1 案，PoCAS 校正/量測結果輸出： <ul style="list-style-type: none">• XML 檔案格式• PDF 檔案格式

【執行成果】

1. XML 檔案格式匯入工具機控制器應用之調查(查核點編號 B3-1)

可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)是一種標記式語言。透過此種標記，電腦之間可以處理包含各種資訊之文件，被廣泛地用於跨平台之間數據的互動形式。因為此特性，XML 標記式語言已被各國之國家計量研究機構作為數位轉型過程中，必須使用的有效工具之一。例如，在 2010 年時，美國國家標準與技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST) 與美國數位計量標準協會(Digital Metrology Standards Consortium, DMSC)提出品質資訊框架(Quality Information Framework, QIF)一詞，以 XML 標記式語言做為傳送及攜帶資料資訊之檔案格式，目的是為了解決現今設備、系統間的資訊傳遞與解讀問題，從最開始的產品設計圖面與製造資訊之數位化整合，延伸至產品生產過程中，各項量測方案擬定、執行自動化等品質管理障礙。此外，德國聯邦物理技術研究院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB)則以數位化品質基礎建設(digital quality infrastructure)為目標，提出「SmartCom (Communication and validation of smart data in IoT networks)」計畫，以 XML 標記式語言作為共通的數位資料交換格式，針對計量資訊(包含量測資料)發展資料交換架構，用以確保未來法定計量管理和物聯網(IoT)中數位化計量資訊之相互可操作性。

相較於前述兩者之發展，台灣製造業目前正處工業 4.0 的開端，若欲加快腳步跟上國際浪潮，則發展的核心目標則需結合物聯網、人工智慧與大數據分析等技術，以虛實整合系統(Cyber-Physical System, CPS)的概念，建立統一的數位資料交換格式-XML 標記式語言，將加工製造、量測過程等資訊帶入數位領域。但以工具機產業之發展為例，目前市售多軸工具機量測儀器皆只能產生量測數值與量測趨勢曲線，使用者往往需根據所得到的量測值，以人工方式將偵測之誤差訊號，手動輸入至各家控制器廠商開放的補償表，因此在使用與判讀上，多有不便之處，常因使用者輸入異常的補償值，而造成斷刀、撞機等意外事故。因此，本子項發展一套控制器誤差補償之參數格式轉換及控制器聯結的人機介面，運用於工具機產業之中。透過此介面，使用者可輸入補償參數，並連結控制器以簡化工具機機台補償程序。

工具機廠牌種類許多，就業界常用的三家控制器包含 Funuc(FOCAS 函式庫)、海德漢(RemoTools SDK 函式庫)及西門子，皆有提供支援網路連線的版本來達成線上調整 CNC 控制參數，其中又以西門子特別考量連線安全性，必須搭配人工操作 CNC 面板來完成寫入動作，防止加工中被遠端誤植參數；另外，控制器常見傳輸協定如 OPC UA 或 MTConnect，雖都以 XML 當作傳輸格式，提供程式人員用來開發加工的操作與狀態顯示介面(如西門子 EasyXML)，但尚未提供直接對應控制器中補償參數的功能，因此本年度計畫將此列入執行項目之一，並以 Siemens 840D sl 控制器作為示範例，示範旋轉軸角度定位補償自動匯入控制器內，將有助於計量數位化推動，圖 2-3-1 之流程圖是以 Siemens 840D sl 控制器為參考對象，分別闡述業界常用手法與 CMS 提出技術之差異性。首先，圖 2-3-1 左圖為業界目前進行旋轉軸誤差補償之流程，仍人工方式進行精度量測，再將量測檔案轉換為特定之補償表格式後，以 NC code 方式將補償值匯入至控制器的參數補償路徑完成補償程序。然而，本計畫提出之技術，如圖 2-3-1 右側所示的「自動判定補償值寫入路徑」之操作程序，在使用 PoCAS 進行旋轉軸角度定位誤差量測後，直接將 XML 格式的量測資訊匯入至工具機控制器中進行參數補償，大幅簡化傳統過程的繁複轉檔程序(.rta→.MPF→NC code)。此外，將使用 XML 標記式語言做為傳送及攜帶量測資訊之檔案格式，基於 XML 的腳本元素(XML-based script element)，於建立使用者對話框與調試對話框過程中，依據自身需求進行操作介面的自定義設計，如圖 2-3-2 所示之控制面板自行設定之簡易參數，如 IP 設定、控制器廠牌、控制器型號等，便能快速完成與控制器進行連線。

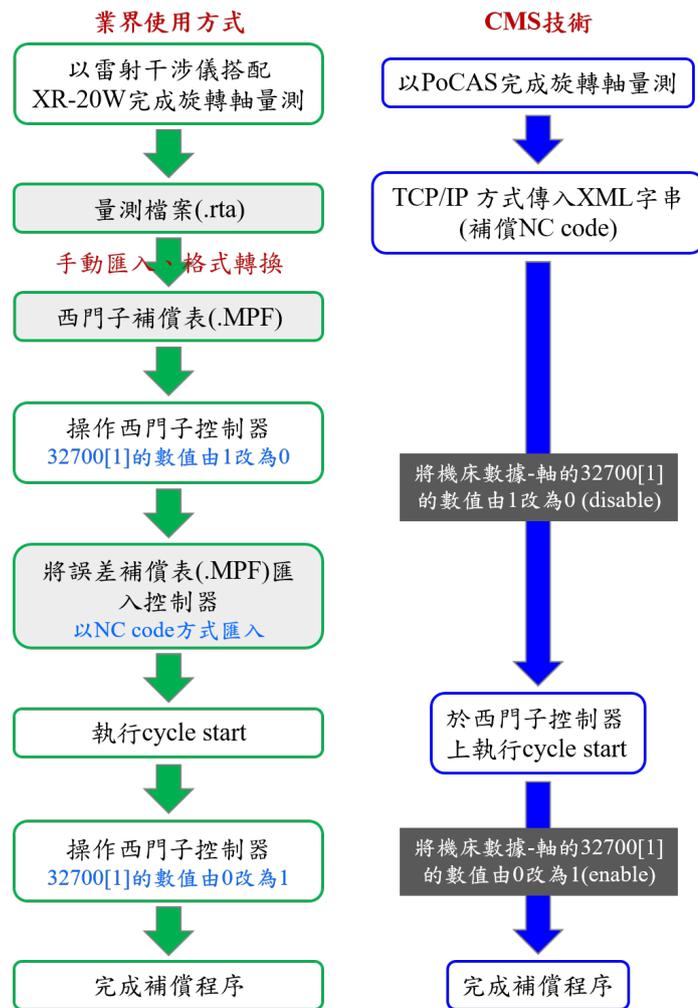


圖 2-3-1、業界/CMS 技術於進行旋轉軸誤差補償之流程

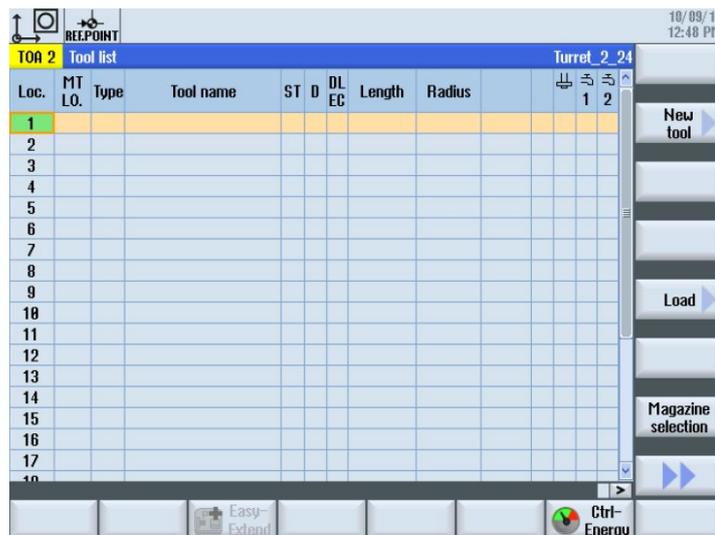


圖 2-3-2、Siemens 840D sl 控制器之操作介面

2. PoCAS 校正/量測報告以 XML 及 PDF 資料格式輸出(查核點編號 B3-2)

如圖 2-3-3，參考 D06 環形編碼器校正系統之報告格式與內容，分別建立機器可讀取之量測資料與人類可讀取之量測資料兩大系統。於機器可讀取方面，使用 XMLSpy 軟體針對 PoCAS 輸出的量測數據進行建模並編輯。匯出之 XML 檔案格式如圖 2-3-4 所示，分為行政管理資訊與量測數據兩項內容，此將有助於後續工具機控制器之誤差補償人機介面之開發。於人類可讀取方面，系統主要藉由 MATLAB 軟體建置完成，其系統執行步驟如下所示：首先，讀取 D06 環形編碼器校正系統所提供之資訊，依序讀入行政管理資訊如：待校環形編碼器製造商、型號、序號、校正日期、執行校正的環境參數等，再將環形編碼器校正系統得到的量測數據讀入系統內，依據所得之資訊計算器差值。最後，將量測數據匯出為 PDF 格式，以便使用者閱讀與使用，其結果如圖 2-3-5 所示，此 PDF 檔案可提供使用者檢視資料如下所示：待校環形編碼器製造商、型號、序號、校正日期、執行校正的環境參數以及量測標稱值、量測值與器差等。

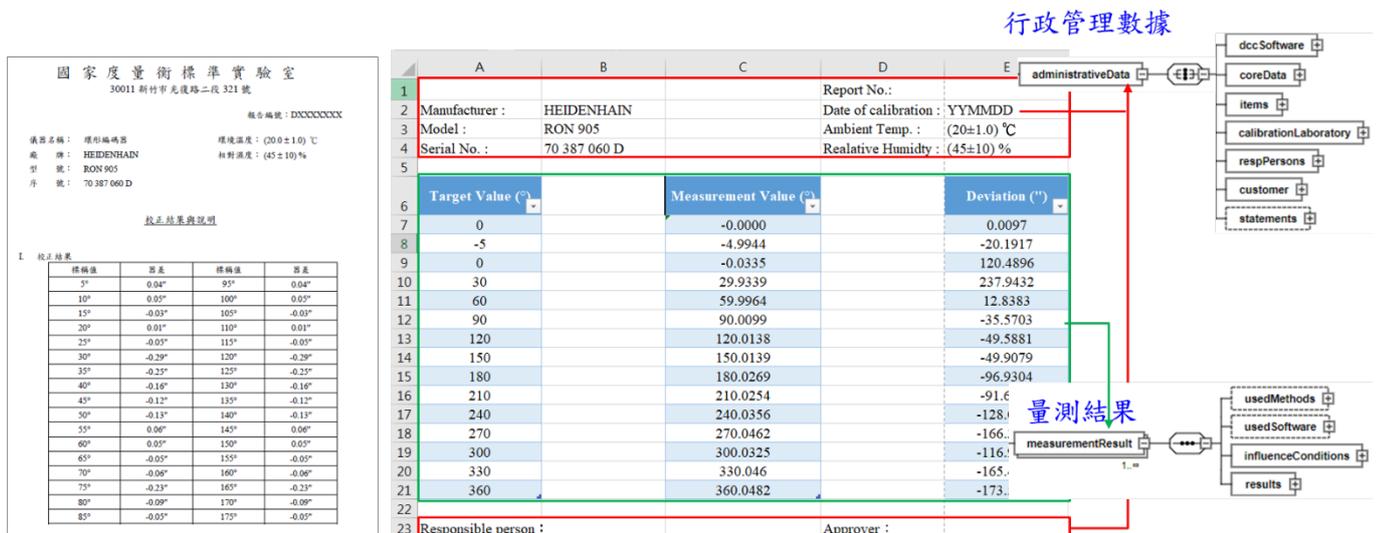


圖 2-3-3、環形編碼器校正報告格式與 PoCAS 量測數據

	A	B	C	D	E
1				Report No.:	
2	Manufacturer :	HEIDENHAIN		Date of calibration :	YYMMDD
3	Model :	RON 905		Ambient Temp. :	(20±1.0) °C
4	Serial No. :	70 387 060 D		Relative Humidity :	(45±10) %
5					
6	Target Value (%)		Measurement Value (%)		Deviation (")
7	0		-0.0000		0.0097
8	-5		-4.9944		-20.1917
9	0		-0.0335		120.4896
10	30		29.9339		237.9432
11	60		59.9964		12.8383
12	90		90.0099		-35.5703
13	120		120.0138		-49.5881
14	150		150.0139		-49.9079
15	180		180.0269		-96.9304
16	210		210.0254		-91.6065
17	240		240.0356		-128.0606
18	270		270.0462		-166.3695
19	300		300.0325		-116.9296
20	330		330.046		-165.4523
21	360		360.0482		-173.5677
22					
23	Responsible person :			Approver :	

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
2 <PoCAS xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
3 <administrativedata>
4 <manufacturer>
5 <manufacturer>Manufacturer</manufacturer>
6 <value>xxxxx</value>
7 </manufacturer>
8 <model>
9 <model>Model</model>
10 <value>xxxxx</value>
11 </model>
12 <serialno>
13 <serialno>Serial No.</serialno>
14 <value>xxxxx</value>
15 </serialno>
16 <reportno>
17 <reportno>Report No.</reportno>
18 <value>xxxxx</value>
19 </reportno>
20 <dateofcalibration>
21 <dateofcalibration>Date of Calibration</dateofcalibration>
22 <value>xx.xx.xxxx</value>
23 </dateofcalibration>
24 <ambienttemperature>
25 <ambienttemperature>Ambient No.</ambienttemperature>
26 <value>20.0±1.0 °C</value>
27 </ambienttemperature>
28 <relativehumidity>
29 <relativehumidity>Relative Humidity</relativehumidity>
30 <value>45±10 %</value>
31 </relativehumidity>
32 </administrativedata>
33

```

(a) 行政資訊內容

	A	B	C	D	E
1				Report No.:	
2	Manufacturer :	HEIDENHAIN		Date of calibration :	YYMMDD
3	Model :	RON 905		Ambient Temp. :	(20±1.0) °C
4	Serial No. :	70 387 060 D		Relative Humidity :	(45±10) %
5					
6	Target Value (%)		Measurement Value (%)		Deviation (")
7	0		-0.0000		0.0097
8	-5		-4.9944		-20.1917
9	0		-0.0335		120.4896
10	30		29.9339		237.9432
11	60		59.9964		12.8383
12	90		90.0099		-35.5703
13	120		120.0138		-49.5881
14	150		150.0139		-49.9079
15	180		180.0269		-96.9304
16	210		210.0254		-91.6065
17	240		240.0356		-128.0606
18	270		270.0462		-166.3695
19	300		300.0325		-116.9296
20	330		330.046		-165.4523
21	360		360.0482		-173.5677
22					
23	Responsible person :			Approver :	

```

33 <experimentresults>
34 <experimentresults>
35 <targetvalues>0</targetvalues>
36 <measurementvalues>-0.0000</measurementvalues>
37 <deviation>0.0097</deviation>
38 </experimentresults>
39 <experimentresults>
40 <targetvalues>-5</targetvalues>
41 <measurementvalues>-4.9944</measurementvalues>
42 <deviation>-20.1917</deviation>
43 </experimentresults>
44 <experimentresults>
45 <targetvalues>0</targetvalues>
46 <measurementvalues>-0.0335</measurementvalues>
47 <deviation>120.4896</deviation>
48 </experimentresults>
49 <experimentresults>
50 <targetvalues>30</targetvalues>
51 <measurementvalues>29.9339</measurementvalues>
52 <deviation>237.9432</deviation>
53 </experimentresults>
54 <experimentresults>
55 <targetvalues>60</targetvalues>
56 <measurementvalues>59.9964</measurementvalues>
57 <deviation>12.8383</deviation>
58 </experimentresults>
59 <experimentresults>
60 <targetvalues>90</targetvalues>
61 <measurementvalues>90.0099</measurementvalues>
62 <deviation>-35.5703</deviation>
63 </experimentresults>
64 <experimentresults>
65 <targetvalues>120</targetvalues>
66 <measurementvalues>120.0138</measurementvalues>
67 <deviation>-49.5881</deviation>
68

```

(b) 量測數據內容

圖 2-3-4、機器可讀取之量測資料系統(XML)

```

1 options.format = 'pdf';
2 options.showCode = false;
3 reportname='TestReport';
4 publish([reportname, '.m'],options);
5 %% open the file automatically
6 filen=['html/',reportname, '.pdf'];
7 winopen(filen)

```

(a)

```

1 %% National Measurement Laboratory
2
3 % UNIFORMED TEXT
4 % 321, Sec. 2,Kuang Fu Road, Hsinchu, Taiwan 30011, R.O.C
5 CoverData.title='Manufacturer';Model';Serial No.':'Date of calibration ':'Ambient Temp.':'Relative Humidity';
6 Description=['HEIDENHAIN';'RON 90S';'70 387 060 D';'YYMMDD':'(20.0 ± 1.0) °C';'(45 ± 10) %'];
7 covT1 = table(Description,CoverData.title);
8 covT2 = table(Description,'RowNames',CoverData.title);
9 %disp(T);
10 %disp(covT1);
11 disp(covT2);
12 %d=[CoverData.title,CoverData.data];
13 %disp(d)
14
15 %% Calibration Results and Description
16 xx=['Target Value (°)';'Measurement Value (°)';'Deviation (°)'];
17 data = xlsread('POCAS data.xlsx','sheet 1', 'A7:C21');
18 % tv=[0;-5;0;30;60;90;120;150;180;210;240;270;300;330;360];
19 % mv=[0;-5;0;30;60;90;120;150;180;210;240;270;300;330;360];
20 % dev=[0.0097;-20.1917;120.4896;237.9432;12.8383 :-35.5703;-49.5881;-49.9079 :-96.9304;-91.6065;-128.0606;-166.3695;-116.9296;-165.4523;-173.5677];
21 % cal=[tv,mv,dev];
22 % CalT = table(tv,mv,dev,'VariableNames',xx);
23 CalT=array2table(data,'VariableNames',xx);
24 % disp(CalT);
25 disp(['Responsible person:', ' ', 'Approver:', ' ']);
26
27

```

(b)

National Measurement Laboratory

Description

Manufacturer	['HEIDENHAIN']
Model	['RON 90S']
Serial No.	['70 387 060 D']
Date of calibration	['YYMMDD']
Ambient Temp.	['(20.0 ± 1.0) °C']
Relative Humidity	['(45 ± 10) %']

Calibration Results and Description

Target Value (°)	Measurement Value (°)	Deviation (°)
0	0	0.0097
-5	-4.9944	-20.192
0	-0.0335	120.49
30	29.934	237.94
60	59.994	12.938
90	90.01	-35.57
120	120.01	-49.588
150	150.01	-49.908
180	180.03	-96.92
210	210.03	-91.606
240	240.04	-128.06
270	270.05	-166.37
300	300.03	-116.93
330	330.05	-165.45
360	360.05	-173.57

Responsible person: Approver:

Published with MATLAB® R2020a

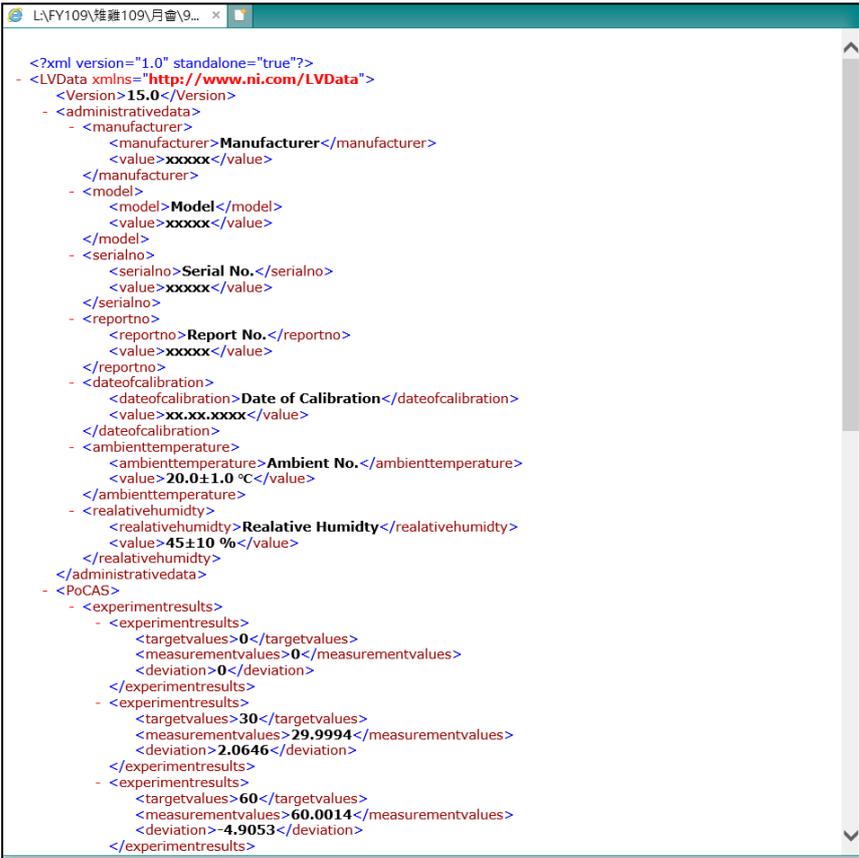
1

(c)

圖 2-3-5、人類可讀取之量測資料系統(PDF)

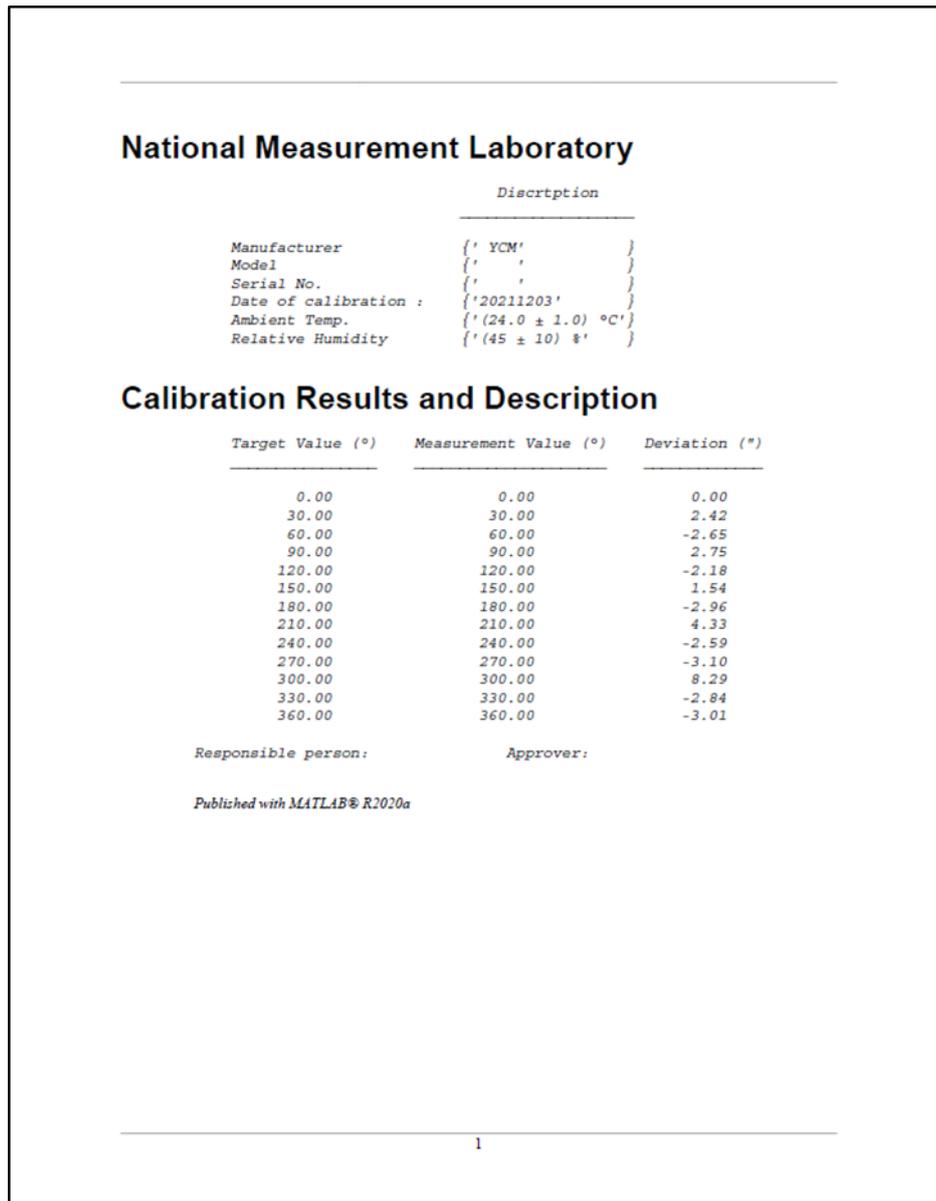
3. PoCAS 實際遊校、輸出 XML 及 PDF 檔案，完成數位校正證明 1 案(查核點編號 B3-3)

以西門子 840D sl 為目標，利用 OPC UA 建立連線，並完成控制器自動補償的機制與軟體 1 套，運用該軟體執行 PoCAS 量測之旋轉軸角度定位誤差後，進行自動匯入、補償的動作。最後再使用 C#進行工具機與控制器之連線程式之撰寫，並前往永進機械以型號為西門子 840D sl 之控制器做為連線對象進行實際的程式測試。測試結果可成功將 PoCAS 實測得到之旋轉軸角度定位誤差補償數據，傳輸至控制器對應的節點位置，並同樣成功地將 PoCAS 量測所得之數據輸出為 XML 及 PDF 檔案格式，兩種檔案格式之數位校正證明，其結果分別如圖 2-3-6(a)與圖 2-3-6(b)所示。



```
<?xml version="1.0" standalone="true"?>
- <LVData xmlns="http://www.ni.com/LVData">
  <Version>15.0</Version>
  - <administrativedata>
    - <manufacturer>
      <manufacturer>Manufacturer</manufacturer>
      <value>xxxx</value>
    </manufacturer>
    - <model>
      <model>Model</model>
      <value>xxxx</value>
    </model>
    - <serialno>
      <serialno>Serial No.</serialno>
      <value>xxxx</value>
    </serialno>
    - <reportno>
      <reportno>Report No.</reportno>
      <value>xxxx</value>
    </reportno>
    - <dateofcalibration>
      <dateofcalibration>Date of Calibration</dateofcalibration>
      <value>xx.xx.xxxx</value>
    </dateofcalibration>
    - <ambienttemperature>
      <ambienttemperature>Ambient No.</ambienttemperature>
      <value>20.0±1.0 °C</value>
    </ambienttemperature>
    - <relativehumidity>
      <relativehumidity>Relative Humidity</relativehumidity>
      <value>45±10 %</value>
    </relativehumidity>
  </administrativedata>
  - <PoCAS>
    - <experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>0</targetvalues>
        <measurementvalues>0</measurementvalues>
        <deviation>0</deviation>
      </experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>30</targetvalues>
        <measurementvalues>29.9994</measurementvalues>
        <deviation>2.0646</deviation>
      </experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>60</targetvalues>
        <measurementvalues>60.0014</measurementvalues>
        <deviation>-4.9053</deviation>
      </experimentresults>
    </experimentresults>
  </PoCAS>
</LVData>
```

(a) XML 檔案格式



(b) PDF 檔案格式

圖 2-3-6、PoCAS 於旋轉軸角度定位誤差補償數據之輸出格式

如圖 2-3-7，使用以 Labview 系統工程軟體針對 PoCAS 「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發進程式碼之撰寫。再運用執行檔方式，將 XML 轉換軟體與「計量資訊交換之介面軟體」進行整合以完成操作介面。

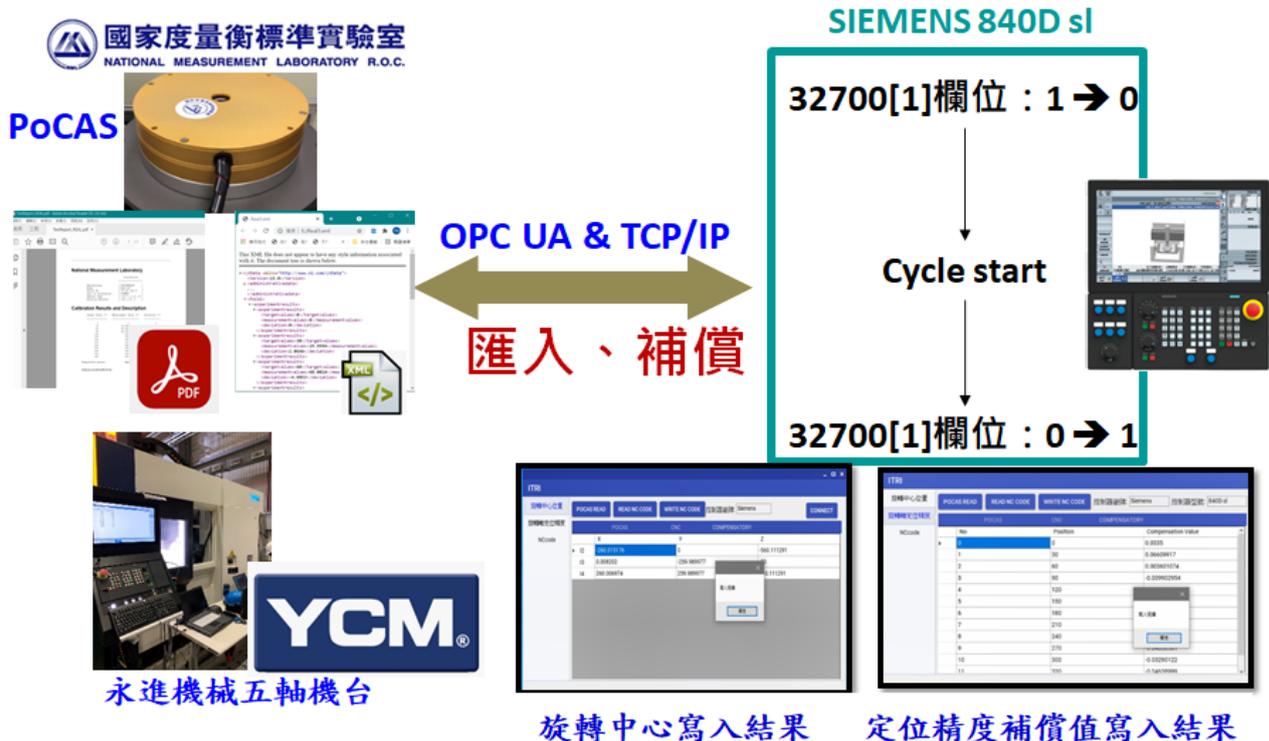


圖 2-3-7、PoCAS「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發流程與測試結果

4. 數位校正證明實施架構之可行性評估報告 1 份(查核點編號 B3-4)

由於台灣製造業目前正處於第四次工業革命的開端，亦即工業 4.0。其核心在於結合物聯網、人工智慧與大數據分析等技術，以虛實整合系統(Cyber-Physical System, CPS)的概念，將加工製造、量測過程等資訊帶入數位領域。此外，PTB 以“歐洲計量雲(European Metrology Cloud)”的建置為主軸，欲藉由計量技術的發展與管理，以統一的量測數據交換格式，進行量測設備的校正追溯以滿足符合性評鑑機制，或是後續的市場監督管理。因此，PTB 規劃以全球既有的 SI 單位制度為基礎，將 XML 語言作為共通數位資料交換格式，且訂定資料交換架構，使得 IoT 內傳遞之計量資料皆可以具備有“數位校正證明(Digital Calibration Certificates, DCC)”，讓各種機器能在滿足計量追溯的情況下，直接使用該數位化內容，實現如即時補償、修正等功能，並能在符合現有的國際校正追溯體系下，達成線上校正並協助品質管理等。

各國發展現況

以下概述當今歐洲最先進的校正證書處理方法，並以三個代表性國家作為範例：德國，英國和愛沙尼亞。

【德國】

德國的校正鏈如圖 2-3-8 所示[2-3-1]。圖表最上方為德國的國家計量機構-德國聯邦物理技術研究院(PTB)。PTB 為具有可代表 SI 單位，提供與通過國家標準的法律授權計量機構，每年約執行 5000 次校正量。校正鏈中第二層級包含了由“Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, DAkkS” (德國 NAB)觀察與測試後，所有經過認可的校正實驗室。針對工作標準和工廠標準頒發校正證書，這些證書皆由參考標準中獲得。DAkkS 實驗室每年進行的校正量大約是 PTB 的 10 倍。第三層則為內部校正實驗室，此類型的實驗室乃根據上述經認可之校正實驗室發行的校正證書來控管公司的內部量測設備。內部校正量約為 DAkkS 實驗室進行的校正量的 10 倍。然而，位於校正鏈最底層則為所有在生產上進行工業量測和測試的公司部門。

負責單位	量測設備	校正或量測文件
PTB	國家標準	參考標準的校正證書
受認可校正實驗室	參考標準	工作標準或工廠標準的 校正證書
內部校正實驗室	工作標準 工廠標準	測試設備的工廠校正證 書或校正標誌等
工業量測	檢測設備	校正標誌等

圖 2-3-8、德國校正鍊[2-3-1]

【英國】

在英國，位於校正鏈最頂層的國家標準計量單位為國家物理實驗室(National Physical Laboratory, NPL 認證為 ISO/IEC 17025:2017)管理；法定計量則由產品安全和標準辦公室(Office for Product Safety and Standards, OPSS)管理。NPL 通常每年執行 7000 次校正量。此外，某些研究所(DIs)在特定領域執行校正業務。例如，國家工程實驗室(National Engineering Laboratory, NEL)進行流體流動的計量。英國國家量測實驗室(National Measurement Laboratory, NML)進行化學和生物的量測。此外，英國皇家認證委員會(United Kingdom Accreditation Service, UKAS)屬於英國國家認證機構(NAB)，負責為公共利益確定組織的技術能力和完整性，例如提供測試、校正和認證服務。而在校正鏈最下層為工業組織內部的計量能力，其營運與產品從根本上取決於可追溯的準確性，例如，航空引擎製造業。然而，作為 NPL 電磁和電化學技術部門試驗程序的一部分，目前提供客戶經過簽名的 PDF 版本的校正證書。這是邁向數位校正證書的第一

步，從某種意義上說，文件已經過電子簽名，但證書並未完全數位化，仍需由螢幕查看以提取相關資訊。就此計畫之目的而言，它不是“機器可讀的”。

【愛沙尼亞】

愛沙尼亞的計量業務由經濟事務及通訊部管理。可提供計量服務的組織包括：中央計量局、國家標準實驗室、參考標準實驗室、法定計量和認證機構以及認可的校正和驗證實驗室。這些從事計量服務的機構可確保國家計量和私法計量的可追溯性。其中，中央計量局(Metrosert)根據與經濟事務和通訊部達成的協議，做為愛沙尼亞於 EURAMET 中的代表機構，將履行計量主管部門和國家標準實驗室的職務。並獲得愛沙尼亞認證中心(Estonian Accreditation Centre, EAK)的認可，確保該實驗室符合 EVS-EN ISO/IEC 17025：2017 的要求。

此外，Metrosert 作為受認可的實驗室，每年執行之校正量約 15,000 次，驗證量約 1,500 次(具有證書為 4000 次)，其中約 95 %的校正與驗證程序將在 2019 年以電子簽章 PDF 的形式交付。此數位簽章程序已獲 EAK 批准。而使用之數位簽章是藉由使用金鑰容器(hardware token)執行，此服務由 SK.ee (SK ID Solutions)提供予 Metrosert，由愛沙尼亞資訊系統管理局以愛沙尼亞 ID-Card 軟體進行管理。每次進行數位標記時，都會向 SK.ee 進行查詢。此外，Metrosert 在內部運用特殊的 IT 解決方案 MÕIS，藉此管理數位簽章 PDF DCC 的產生過程，允許客戶管理其量測設備的數據。此平台有助於查看設備的校正歷史記錄、附加證書以及具有數位簽章的 DCC。

雖然愛沙尼亞案是利用現有國家認可的工具進行數位簽章和數位文件交換的綜合例子，但並未包含機器可讀的校正數據。PDF 格式是一種人類可讀取的數位檔案格式。但它不能為校正數據提供共通、可交換和機器可讀的穩定格式。因此，對於自動化與軟體控制的製造系統產生之 PDF，僅能實現人類可讀數據之可相互操作性。

DCC 資訊結構之基本規範與撰寫指南

如圖 2-3-9 所示，數位校正證明架構共由三個部分組成，第一個部分是必須滿足國際標準的要求，包含使用 SI 單位、依循 VIM 與 GUM、採用 CODATA、符合 ISO/IEC 17025；第二個部分則是校正資訊所涵蓋之內容，可依序分為行政管理資訊、校正結果、補充資訊、文件編碼格式 4 大類別；第三個部分則是國際通用之 XML 數據交換格式。以下將針對各個部分包含之項目與詳細內容進行說明：

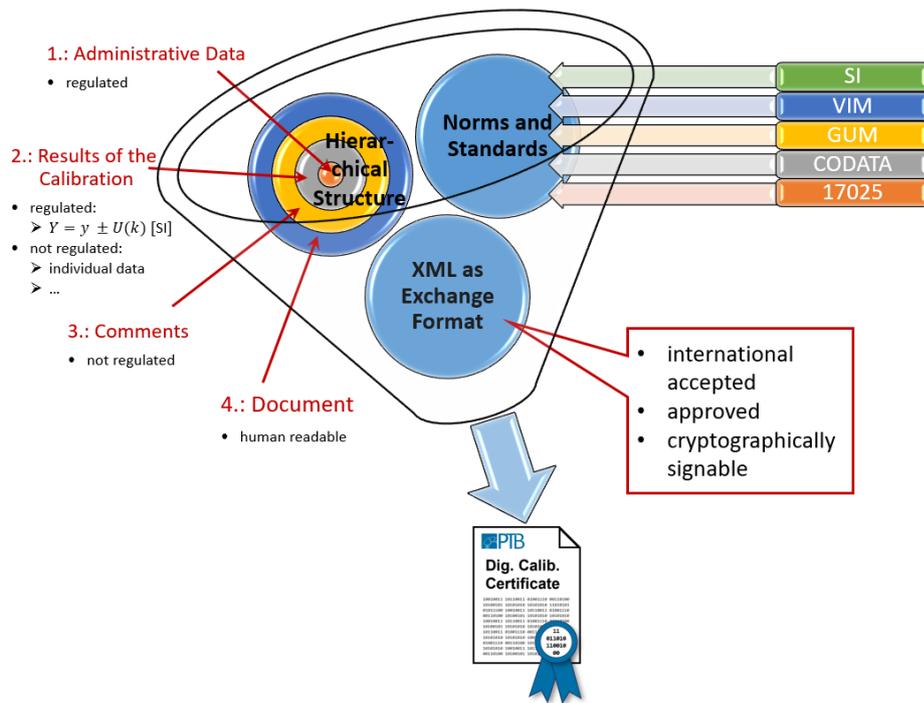


圖 2-3-9、數位校正證明架構

【基本規範與國際標準】

- SI 單位手冊：國際度量衡局(BIPM)編輯的「SI 單位手冊」是使用 SI 單位的重要指南。手冊提供了當使用 SI 單位時，推薦的 ISO 80000 標準第一部分之數量與單位的彙編。並包含原子與自然常數之列表。
- GUM：「量測不確定度表示指南」定義了表示量測值與理論上準確量測值偏差的要求。因此，擴充量測不確定度對於被量測的量測值是最基本的要求。此不確定度表示了與量測值對稱的涵蓋區間長度的一半，其中包含具有定義涵蓋機率量測值的分散程度。不確定度的數值是由量測的標準不確定度乘以涵蓋因子而獲得。除了擴充量測不確定度之外，非對稱的涵蓋區間也是可行的。
- CODATA：CODATA 組織定期發表包含基本物理常數當前數值的列表。這些常數包含將構成未來所有 SI 單位定義的基礎自然常數。對於每個實際量測結果而言，潛在的 CODATA 數值於量測時，為有效的數值。
- VIM：「國際計量學詞彙」將數量的概念定義為物體、材料與物質的基本可量測特性。每個數量以一個數量值表示。一個實際量測結果由一個數值表示，亦稱為量測值。這個量測值包含一個數字與一個做為參考的量測單位。量測的單位也是一個實際的純量，一般縮寫為 Unit。
- ISO 80000 系列：標準的系列-在本文中特指為 ISO 80000 標準之第一部分，定義了數

量與單位指示的要求。最重要的部分為國際量制(ISQ)與指定給它的國際單位制(SI)的規範。

以下將以溫度量測值作為範例進行上述計量規範的應用說明：

$$20.1(5) \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (k=2 \text{ 且 } p=0.95)$$

根據 VIM 的要求，量測值的正確表示值由數字“20.1”與量測單位“ $^{\circ}\text{C}$ ”(攝氏溫度)表示。符號單位“ $^{\circ}\text{C}$ ”由 ISO 80000 標準與 SI 手冊指定為溫度。此外，量測值的準確度由不確定度“(5)”表示，根據 ISO 80000 標準，該不確定度“(5)”表示絕對不確定度數值“ $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ”。根據 GUM，該不確定度是一個擴充不確定度，並指出其涵蓋機率(信賴水準)為“0.95”，由涵蓋因子“2”計算而獲得。量測單位攝氏溫度是由 SI 基本單位克耳文定義的，克耳文是由當前 CODATA 的波茲曼常數所定義的。

【校正資訊內容結構】

如圖 2-3-10(a)所示之範例，符合 DCC 之 XML 文件內容乃由行政管理資訊、校正結果、補充資訊與文件編碼格式四個項目組成。圖 2-3-10(b)則為體積量測之數位校正報告示範案例。此範例使用特定的元數據擴充 D-SI 資訊，例如 content lang="en" 代表使用之語言為英語、influenceCondition 為影響條件。

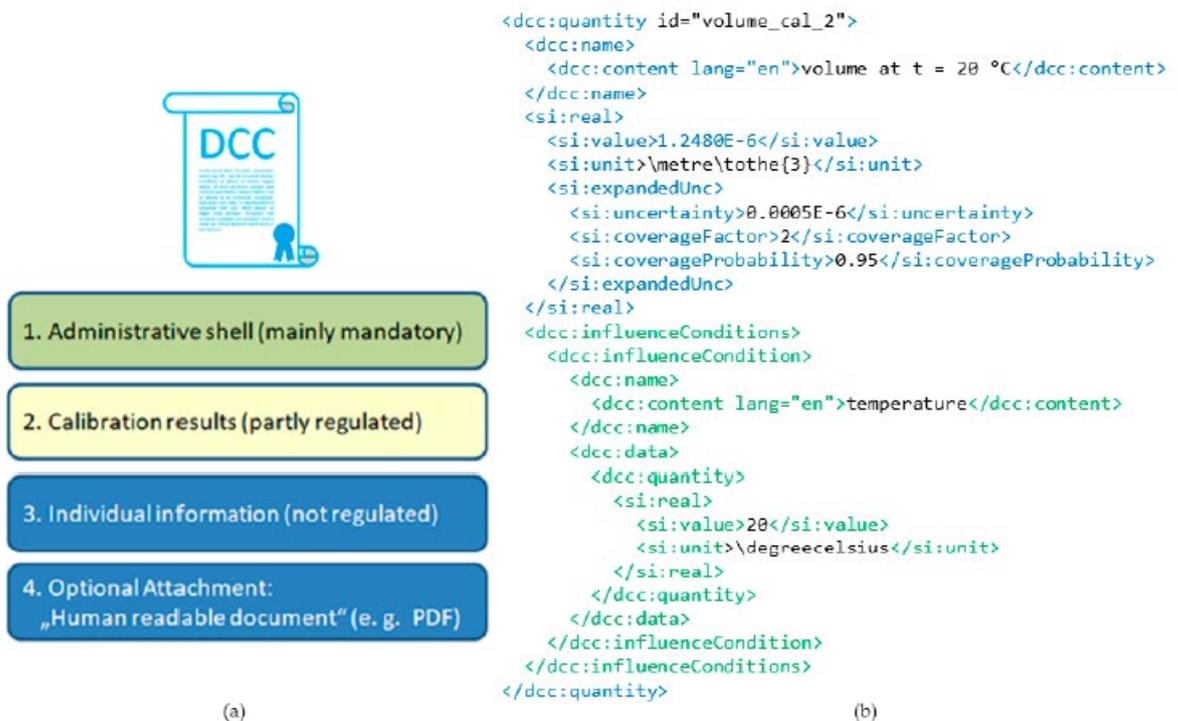


圖 2-3-10、(a)DCC 資訊組成架構及(b)XML 示範案例

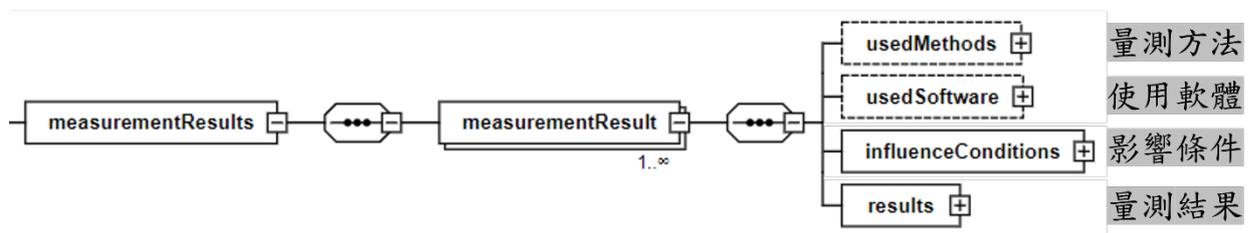
然而，由行政管理資訊、校正結果、補充資訊與文件編碼格式四個項目組成之數位校正報告所包含之內容及資訊分別為下列所示：

- 行政管理資訊: DCC 之識別標誌、受校正項目、客戶及校正實驗室之資訊；
- 校正結果: 用於校正的被測量物、影響條件、測量設備及校正方法；
- 補充資訊: 非受管制的部分，用於附加信息，例如注釋，與校準結果無關的數字特定領域特定的數據格式等，這類資訊不一定是機器可讀的；
- 文件編碼格式: 用於人類可讀的數據格式，例如常規的模擬校正證書(如 PDF)。

其中，行政管理資訊與校正結果，為數位校正報告中必須具備之內容。因此，以圖 2-3-11 說明前述兩個項目之 XML 結構包含之資訊。依據上述資訊架構及統一且易於使用的計量數據規範，本子計畫所輸出之 XML 檔案內容將包含校正項目、被量測物及量測設備等，架構如圖 2-3-11。



(a)行政管理資訊



(b)校正結果

圖 2-3-11、數位校正報告之 XML 結構

【XML 數據交換格式】

下一步，將以溫度的量測值為範例，說明如何運用 XML 數據交換格式將人類可讀取之格式轉換至機器可讀取之格式。

```
<si:real>
  <si:label>temperature</si:label>
  <si:value>20.1</si:value>
  <si:expandedUnc>
    <si:uncertainty>0.5</si:uncertainty>
    <si:coverageFactor>2</si:coverageFactor>
    <si:coverageProbability>0.95</si:coverageProbability>
    <si:distribution>normal</si:distribution>
  </si:expandedUnc>
</si:real>
```

每一個原始的溫度值都被封裝在一個結構元素中，每個結構元素的名稱是唯一的，並根據計量學指南的定義命名。將所有結構元素封裝在上層元素“ si:real ”中表明它是一個實際量測的數值，並以“ si ”表示所有訊息皆來自於基於 SI 單位制所控制與約定的命名空間。以下將以表 2-3-1 與表 2-3-2 之內容說明如何在 XML 數據交換格式中建構單位的語義。

表 2-3-1、BIPM 單位組別與 SI 單位格式之識別碼範例

單位組別	名稱	符號	識別碼
SI 基本單位	米	m	\meter
	公斤	kg	\kilogram
具有專門符號的 SI 導出單位	牛頓	N	\newton
	攝氏溫度	°C	\degreecelsius
允許與 SI 單位並行使用的單位	時	h	\hour
	公噸	t	\tonne
	電子伏特	eV	\electronvolt

表 2-3-2、導出單位之範例

量測單位	符號表示	SI 單位格式之表示
弧度	$\frac{m}{m}$	<code>\metre\metre\tothe{-1}</code>
帕斯卡	$\frac{kg}{ms^2}$	<code>\kilogram\metre\tothe{-1}\second\tothe{-2}</code>
牛頓	$\frac{mkg}{s^2}$	<code>\metre\kilogram\second\tothe{-2}</code>
歐姆	$\frac{m^2kg}{s^3A^2}$	<code>\metre\tothe{2}\kilogram\second\tothe{-3}\ampere\tothe{-2}</code>

(4)實施構想與方法

目前已參與 PTB 提出之 SmartCom 計畫，進行量測數據交換格式規範之先期研究。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。

以工具機產業為例，目前市售多軸工具機量測儀器皆只能產生量測數值與量測趨勢曲線，使用者往往需根據所得到的量測值，以人工方式將偵測之誤差訊號，手動輸入至各家控制器廠商開放的補償表，因此在使用與判讀上，多有不便之處，常因使用者輸入異常的補償值，而造成斷刀、撞機等意外事故，隨著工具機控制器數位化技術的發展，本子項預計發展一套控制器誤差補償之參數格式轉換及控制器聯結的轉換介面，運用於工具機產業之中。透過所發展的工具機控制器補償人機介面，使用者可透過此介面輸入補償參數，連結各大控制器之中如 Fanuc、海德漢等，簡化工具機機台補償程序。如 Reinshaw 公司生產之 XR20-W 搭配雷射干涉儀，用於旋轉軸角度定位誤差之量測，其量測所得之數據僅能以人工抄寫方式，匯入至控制器中進行儲存並補償旋轉軸的角度定位誤差，使其能達成產品的準確度要求。

(5)問題與挑戰

目前許多關於加密保護數位校正驗證(Digital Calibration Certificates, DCCs)的應用已被證明相當複雜，至今尚無國際標準同時針對安全傳輸、數位圖章、簽名以及數據提取做規範。以下為進行國際上統一時，普遍將會面臨的挑戰和問題：

首先，由於目前尚不明確在未來的計量應用中，國際上需要多高層級的加密安全性。因為各區域內每天要進行數千次校正，所以非常需要區域層級的認可，但國際統一的必要性可能僅在各國家計量組織之間需要。此外，在發展國際可接受的加密方法來保護 DCCs 的過程中，必須組織包含來自國際品質基礎設施的利益相關者，但這些利益相關者不直接參與加密及 ICT 領域。最後，在法定計量受到嚴格監管的領域中，當需求多樣化時，很可能無法實現完全的國際統一。不過即使僅針對特定的測量設備類別(例如衡器)進行數據通信的統一，也可以為國際計量學帶來極大的好處。

除了上述挑戰之外，若要使用相關加密方法執行 DCCs 的安全傳輸，則必須滿足以下各項最低要求之條件：

- 保持可讀性，完整性和真實性[2-3-2, 2-3-3]。
 - 數據不脫離上下文使用
- 長期保存資訊[2-3-2, 2-3-3]。
- 穩定的數據格式[2-3-2]。
- 使用(合格/高級)電子簽章[2-3-5, 2-3-6]。
 - 確保文件來源和完整性的確定性[2-3-4]。
 - 允許指派代表：可以接受法人授權代表的合格電子簽章[2-3-4]。
- 簽名時可證明用戶驗證的存在[2-3-2]。
 - 確保長期有效的法律效力(與將來的技術變更無關) [2-3-2, 2-3-4]。
 - 有效期限文件[2-3-3]。
- 確認主張特定身份的人實際被分配該特定身份[2-3-4]。
- 允許跨界相互承認[2-3-4, 2-3-6]。
- 歐盟及全球適用。
- 處理和存儲個人數據，遵守隱私政策[2-3-2, 2-3-3, 2-3-4, 2-3-7]。
- 互通性：允許[2-3-2]。
 - 不同應用系統之間的文檔交換
 - 在應用系統中更改數據格式
 - 更換整個應用系統或單個組件
- 保持數據的可控性[2-3-8]。
- 允許確校/驗證數據[2-3-3]。
- 確保可用性：確保無特殊知識的可用性[2-3-8, 2-3-9]。
- 可擴展性和模塊化。
 - 允許補充、修改和替代[2-3-8]。

-明確標識修改部分。如果是全新報告，需明確引用原始文件[2-3-3]。

- 允許撤回[2-3-5]。
- 設計安全性(端到端加密) [2-3-8, 2-3-10]。

目前，仍未有單一的技術解決方案，可用於建立全球或大部分地區具有法律約束力的數位簽章。例如，歐洲和亞洲使用的技術解決方案已存在極大差異。

歐洲目前仍遵循 eIDAS 法規，如長期密鑰的使用、政府發行的智能卡與相關的 X.509 公鑰憑證標準格式[2-3-11]；而亞洲大部分地區則遵循網路快速身份認證標準(Fast Identity Online, FIDO)，這是一種基於生物特徵認證而產生的短期密鑰。上述兩個系統是否可對接以進行技術簽名文件是一個難解的問題。此外，對於不具有法律約束力的情況，全球有兩種基礎架構被使用：

- 對於網際網路安全的傳輸層安全協定(Transport Layer Security, TLS)，存在由主要操作系統供應商(Microsoft、Apple 等)和主要瀏覽器供應商(Google、Mozilla 等)維護的基礎架構。傳輸層安全協定的密鑰管理基礎架構是基於 ITU-T(國際電信聯盟)建立的 X.509 標準[2-3-13]。TLS 被用於保護網頁訪問權限(HTTPS)和保護電子郵件(S / MIME)等。
- 對於網際網路的網域名稱系統(Domain Name System, DNS)，存在網域名稱系統安全擴充(Domain Name System Security Extensions, DNSSEC)的基礎架構，該基礎架構仍處於採用階段。DNSSEC 是由網際網路工程任務組(Internet Engineering Task Force, IETF)所制定，並與 DNS 系統本身並行維護。該系統不適用於具有法律約束力的簽名。

除了用於 TLS 和其他協議的網際網路協定 X.509 以及 DNSSEC，似乎沒有其他重要的加密密鑰管理基礎架構可在全球使用。

結論

在 NMI 或任何產生校正證書的組織中，存在可追溯的認證與授權鏈，以及產生校正證明流程中的人員、過程與設備的身份驗證。將來，這種複雜的層次結構必須轉變為數位化。實體簽名將被數位簽名取代。當前，度量衡界尚未正式存在支持這些數位化轉換的 IT / IS 基礎架構，即作為公開金鑰基礎架構(Public Key Infrastructure, PKI)一部分的證書頒發機構(certification authority, CA)。由於在 SmartCom 計畫中，已對計量之外存在的當前數位基礎架構進行分析，因此 SmartCom 建議，作為公開金鑰基礎架構(Public Key Infrastructure, PKI)一部分的證書頒發機構(certification authority, CA)應運用 IT / IS 基礎架構。對於如何確切地進行，以及支持與反對任何形式的論點不在當前計畫的範疇內，但可在未來的計劃中考慮。

近來，與設備中運行軟體有關的 OIML 與 WELMEC 法定計量標準受限於自主運作的儀器[2-3-12, 2-3-13]，這些儀器最多通過從區域網路(Local Area Networks, LAN)至簡單的周邊設

備進行溝通，而不是在網際網路之類的廣域網路(Wide Area Networks, WAN)上溝通。SmartCom 的另一項建議是，制定可涵蓋透過公共網絡傳輸的數位化計量通訊安全性的標準。如前所述，確保所有數位計量通信安全的需求，將不可避免地意味著這些標準也將與科學及工業計量相關的通訊以及法定計量有關。

一般來說，計量資訊概念化的想法需要在 SmartCom 當前的範疇之外做進一步發展。為了在兩個設備之間、或機器與人之間交換數位計量資訊(無人工干預)，則有必要清晰且明確地描述這些資訊所包含的真正意義。因此，以台灣製造業目前在數位轉型推動的過程中，可在現有的基礎上再從兩個面向進一步加強以下：

(一) 鼓勵各類產業機械設備與資訊服務業者與法定計量組織共同合作，發展共通的數位資料交換格式並訂定資料交換架構，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，以機械設備硬體做為載具輸出並遠端連結平台服務，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。

(二) 鼓勵業者嘗試藉由資料的可視化，蒐集並累積生產製程與量測設備的數據資料；並進一步與擁有數據資料分析、人工智慧與智慧機械等專業人才之單位或是法定計量組織共同合作，藉由設置示範場域以加速數位校正證明之成功案例的有效擴散。此外，可同時協助業者進行數位轉型程度的自我評估並擬定執行方向及策略。

【突破瓶頸】

由於業界對工具機旋轉軸定位精度及旋轉中心位置之誤差補償方式，多使用人工方式將量測儀器偵測之誤差訊號，手動輸入將控制器頁面切換至各家控制器廠商的補償參數表路徑，接著填入適當的補償值。由於各廠牌控制器之參數表路徑和名稱不盡相同，對於使用者之操作要求度較高。因此，藉由示範線上校正技術，將參考標準件-PoCAS 輸出之量測資訊搭配工具機控制器進行參數回饋及補償。以統一的量測數據交換格式- XML 作為資料輸出格式，可使各種設備能在符合現有國際校正追溯體系下，進行資訊傳遞以強化設備間的相互可操作性，並協助產業達成線上校正及品質管理。此外，提供一個簡化的設定介面，以更便利的方式協助使用者即時進行補償值設定，降低人為數入錯誤的發生率，提升業界加工產能與效率。

三、產業線上量測標準商用場域試煉

具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術導入場域

●台中精機

「線上尺寸標準件」於台中精機進行商用場域試驗，量測機台為五軸工具機(型號: AX630) 搭配 3D 量測測頭(廠牌: Renishaw)，控制器為西門子(型號: 840D)，參考標準件 hole plate 架設於

床台上，控制器須預先規劃量測路徑(量測程式: Cycle 997)經由 3D 量測測頭量測 hole plate 中每個孔洞座標位置，透過計畫開發「線上加工尺寸量測技術」，使用情境為五軸工具機每日工作清單，包含加工及線上量測，hole plate 安排於第一道流程及最後一道流程，第一道流程先透過 hole plate 確認開始製作加工前五軸工具機幾何誤差狀態，而後五軸工具機依據工作清單進行加工或線上量測，至最後一道工作流程 hole plate 再次使用，五軸工具機經過整日工作流程後，確認五軸工具機幾何誤差變異，每次量測結果皆經由控制器回饋至線上量測，確保線上量測準確度。



圖 3-1-1、台中精機五軸工具機(型號: AX630)。

●永進機械

「可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)」於永進機械進行商用場域試驗，量測機台為五軸工具機(型號: NFP 500A-5AX)，控制器為西門子(型號: 840D)，可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)透過五軸工具機主軸固定，C 軸旋轉軸旋轉不同角度，分析旋轉軸角度定位誤差，產生控制器補償檔案，軟體自動將西門子控制器頁面切換補償參數表路徑，接著填入適當的補償值，進行參數回饋及補償，結果如圖 3-1-4(d)，整個流程以統一的量測數據交換格式-XML 作為資料傳輸格式。

計量數位化推動導入場域

●永進機械

如圖 3-1-2，前往永進機械以型號為西門子 840D sl 之控制器做為連線對象進行實際的程式測試。測試結果可成功將 PoCAS 實測得到之旋轉軸角度定位誤差補償的數據傳輸至控制器對應的節點位置，並同樣成功地將 PoCAS 量測所得之數據輸出為 XML 及 PDF 檔案格式。並使用以

Labview 系統工程軟體針對 PoCAS 「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發進行程式碼之撰寫。再運用執行檔方式，將 XML 轉換軟體與「計量資訊交換之介面軟體」進行整合以完成操作介面。

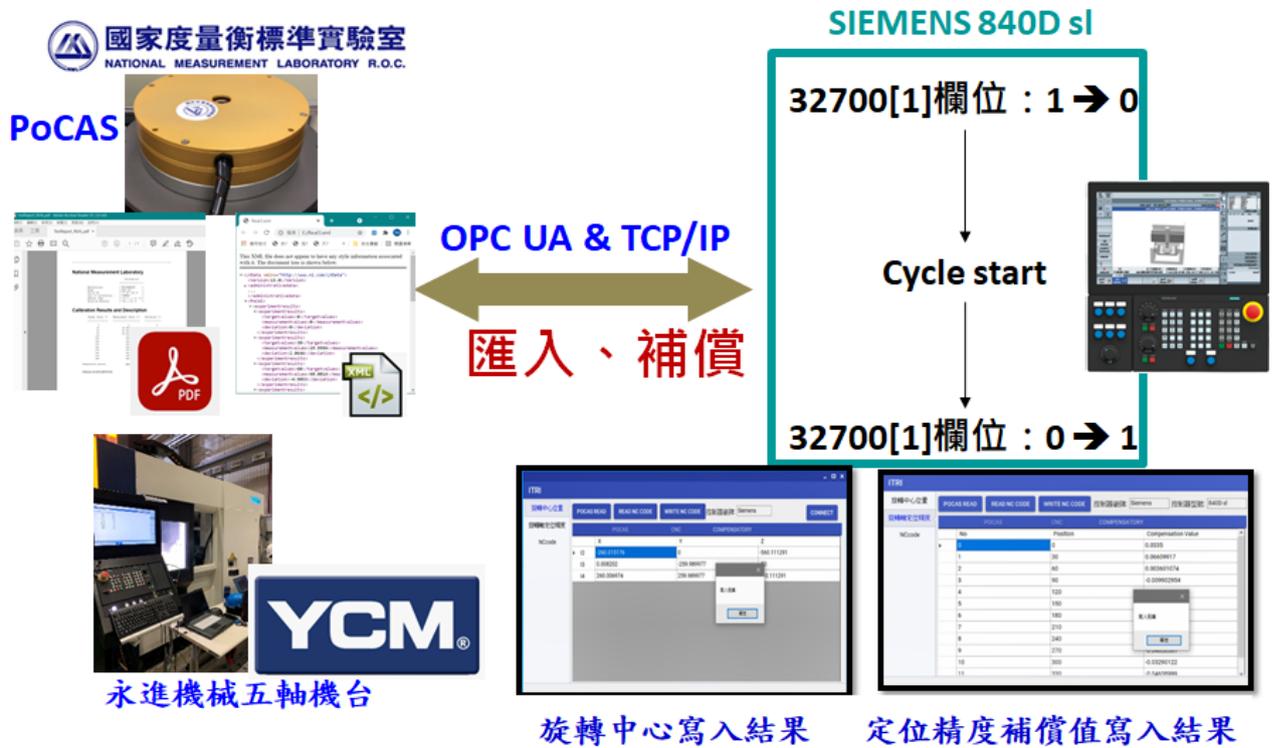


圖 3-1-2、PoCAS 「旋轉軸旋轉中心」與「角度定位誤差參數補償」的軟體功能與介面開發流程與測試結果

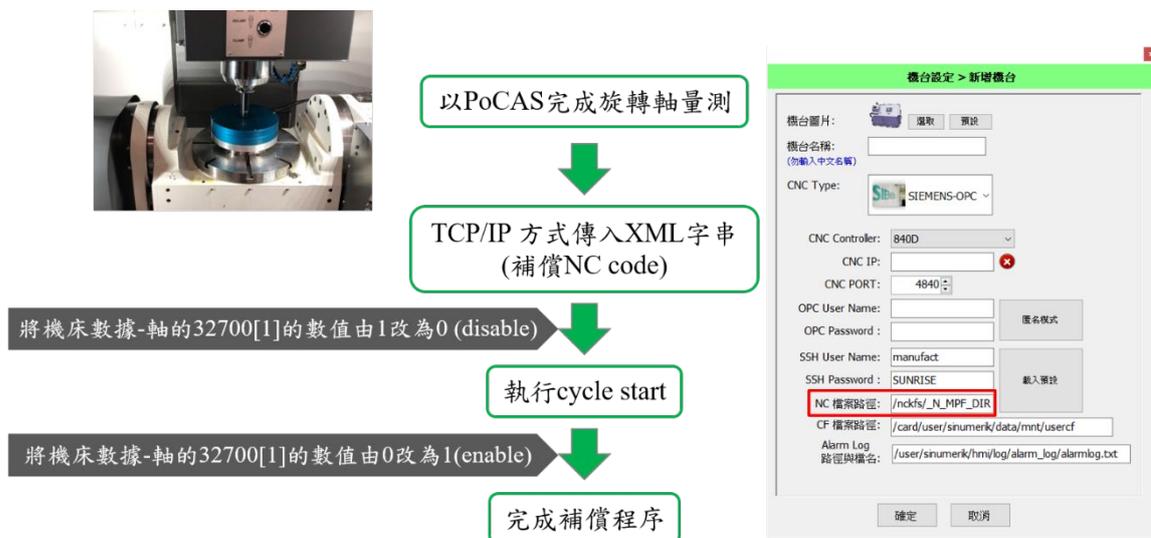
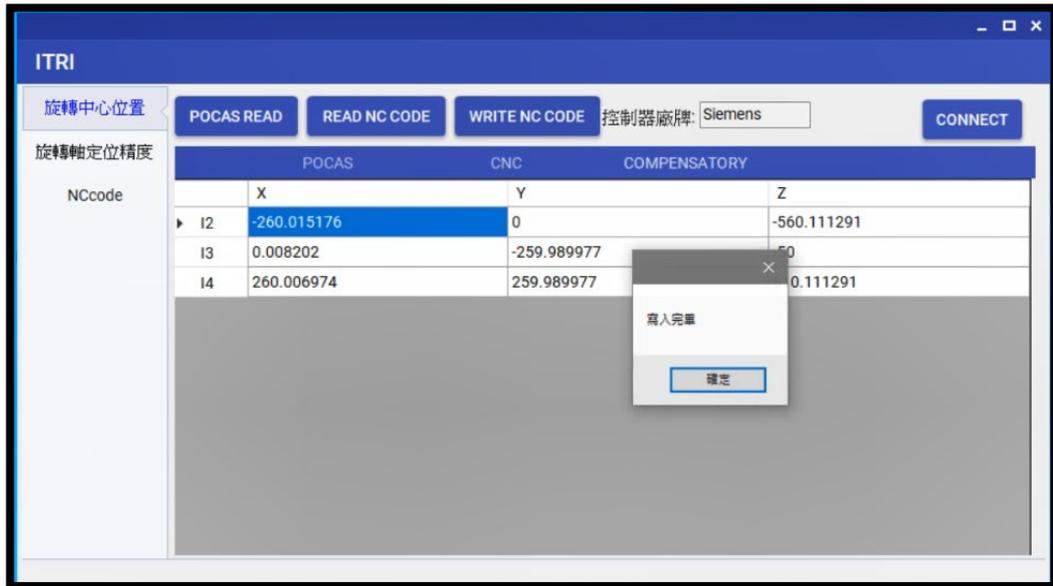
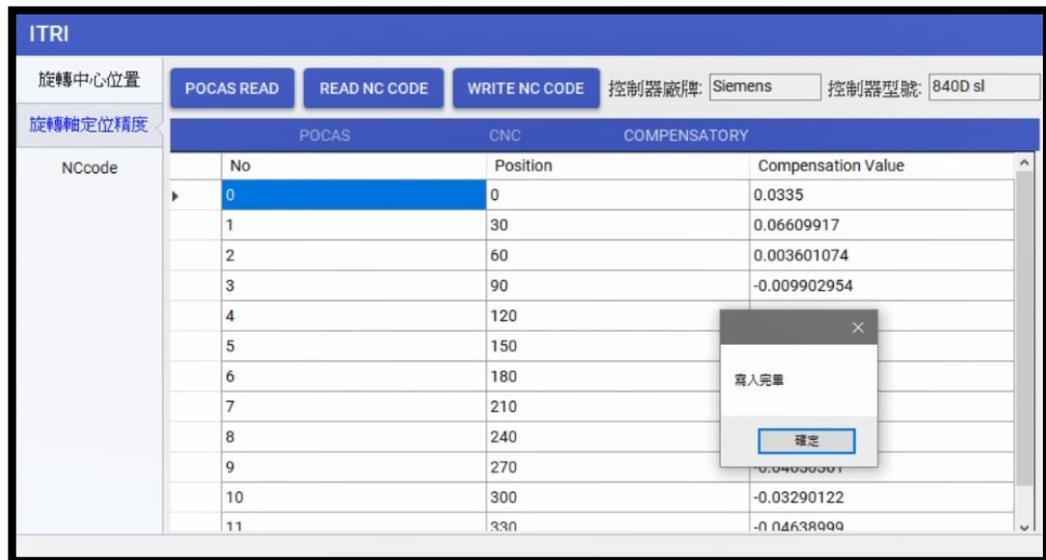


圖 3-1-3、操作流程



(a) 旋轉中心寫入結果



(b) 定位精度補償值寫入結果

```
L:\FY109\稽籍109\月會\9... x
<?xml version="1.0" standalone="true"?>
- <LVData xmlns="http://www.ni.com/LVData">
  <Version>15.0</Version>
  - <administratedata>
    - <manufacturer>
      <manufacturer>Manufacturer</manufacturer>
      <value>xxxx</value>
    </manufacturer>
    - <model>
      <model>Model</model>
      <value>xxxx</value>
    </model>
    - <serialno>
      <serialno>Serial No.</serialno>
      <value>xxxx</value>
    </serialno>
    - <reportno>
      <reportno>Report No.</reportno>
      <value>xxxx</value>
    </reportno>
    - <dateofcalibration>
      <dateofcalibration>Date of Calibration</dateofcalibration>
      <value>xx.xx.xxxx</value>
    </dateofcalibration>
    - <ambienttemperature>
      <ambienttemperature>Ambient No.</ambienttemperature>
      <value>20.0±1.0 °C</value>
    </ambienttemperature>
    - <realativehumidty>
      <realativehumidty>Realative Humidty</realativehumidty>
      <value>45±10 %</value>
    </realativehumidty>
  </administratedata>
  - <PoCAS>
    - <experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>0</targetvalues>
        <measurementvalues>0</measurementvalues>
        <deviation>0</deviation>
      </experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>30</targetvalues>
        <measurementvalues>29.9994</measurementvalues>
        <deviation>2.0646</deviation>
      </experimentresults>
      - <experimentresults>
        <targetvalues>60</targetvalues>
        <measurementvalues>60.0014</measurementvalues>
        <deviation>-4.9053</deviation>
      </experimentresults>
    </experimentresults>
  </PoCAS>
</LVData>
```

(c) 補償前 XML 檔

本會總計轉知 31 件國家標準制修訂業務及商品列檢訊息於工總國際經貿服務網及每週二發送之電子報；協助委辦單位與產業間之溝通，如 1.舉辦「我國產品出口歐盟技術性貿易障礙座談會」蒐集產業界所面臨之障礙情事向歐盟反應，亦作為將來雙邊對話的重要基礎、2.協助了解 19 項 TBT 特定貿易關切案之業者意見、3.推動業者訂閱「TBT 資訊暨強制性商品檢驗規定資料庫」，協助業者可更快速掌握各國之技術性法規之變動及最新情形、4.協助提供涉及我國重要出口產品之 TBT 通知文件清單相關公會總計 275 件、5.協助委辦單位就我國與泰國正在協商之商品檢驗合作，徵求產業相關意見、6.刊登「善用 MRA 排除出口障礙」文章於工總產業雜誌 8 月號，說明我國 MRA 合作現況，提醒業者可善用 MRA 排除技術性貿易障礙，減少出口成本與程序、7.舉辦理「印度符合性評鑑制度及 Reach 法規」說明會，邀請國內專家解說印度 ISI 標誌、強制性登錄制度及 Reach 法規，業者可充分瞭解印度相關強制性檢驗制度，減少不必要的檢測成本及作業時程。完成宣導推廣「TBT 資訊暨強制性商品檢驗規定資料庫」，以期業者掌握各國之技術性法規，瞭解出口市場規定，內容包含辦理 1 場次外國法規制度說明會、刊登各國產品檢驗制度及法規措施資訊、轉知外國重要法規草案等。

(二) 金屬工業中心:智機產業技術推動及服務

- 為優化汽機車之成型製造產業及設備產業生態系發展環境，有助於強化健全線上量測標準、促進產製數量與產製品質提升及健全產業跨界媒合加值機制等，本委託案藉由產業推廣及草案先期意見徵求及審查辦理，經過廠商需求訪視、專家座談辦理，協助廠商技術應用導入以推廣法人相關研發能量，推動產品技術發展升級。
- 盤點國內汽機車零組件產業趨勢及技術能量，針對臺灣汽機車成型製造及設備業者進行拜訪，藉以瞭解廠商技術需求，包括：設備線上校正、智慧生產調和檢測技術，從智慧機械感測器與關鍵零組件之準確與溯源展開，建立其線上校正技術與計量標準，累計完成智機廠商線上量測標準與校正需求調查訪視 21 家次。
- 辦理「電動車產業智慧感測器計量標準建置產業專家座談會」1 場次，透過產業應用深度座談以歸納產業共通問題，擬定策略規劃以勾勒未來重點發展方向，活動分享計量標準建置計畫及未來預計於電動車產業推動智慧感測之作法，會中總共 9 個單位(16 人次)參加，其中包含 6 家次(6 人次)業界廠商，以祈提昇台灣電動車產業業者建立線上即時校正之能量。隨電動車銷量崛起，研析國內外車輛產業之汽機車(燃油車、電動車)零組件製造業發展概況，我國可思考佈局及累積以小博大技術，打造全球電動車輛研製及試營運重鎮定位，針對產業特定痛點或未來議題提供解決方案，展現電動車輛可扮演角色，完成撰寫產業需求調察分析與策略建議報告 1 份。
- 針對「視覺 3D 尺寸量測儀校正技術自我運用」及「加工尺寸標準件量測技術自我運用」兩項，協助技術導入廠商應用 5 家次，達成技術/專利應用繳庫數金額為新台幣 60 萬元整(含稅)。

- 有關機械類國家標準草案，依國家標準草案先期審查會議作業程序辦理，函送預審審查委員建議名單，邀集委員針對 1 份機器人及 3 份工具機之草案條文，完成先期意見徵求，並辦理先期審查會議。

(三) 工研院資訊與通訊研究所: 智慧機械資訊安全風險分析

- 完成智慧機械資訊安全風險分析一份，根據我國產業現況，對智慧機械相關產業的技術走向與其所需面對的惡意攻擊，進行資訊安全狀態之評估分析。IT 與 OT 結合為現今我國產業趨勢，導入大量智慧機械設備必會增加資安攻擊突破口，且由於 OT 產業有其固有的特殊問題包含部分機台由經銷商維護、產線有部分老舊系統、大內網設計以及員工資安意識不足，僅使用內網隔離進行防護並非洽當作法，提升智慧機械自身之資訊安全防護能力應是企業重點目標。
- 有鑑於本計畫的分析，執行智慧機械設備主機資訊安全掃描，並提供企業智慧機械資訊安全規畫建議。依據 IEC 62443 與 ISO 27001 的資安標準，提出六大項建議分別為「安全自動化」、「端點設備/系統安全性」、「傳輸安全性」、「資訊安全分析」、「政策管理與教育訓練」和「內部稽核與持續改善」，基於以上建議事項，期望計畫推廣導入企業時，建立安全製造與生產、供應鏈資訊系統整合等資安強固，使智慧機械相關產業能擁有更強大的資安防護網。

肆、資源運用情形

一、人力運用情形

- 人力配置

主持人	計畫名稱	預計人年	實際人年
傅尉恩	智慧機械產業計量標準建置加值計畫	18.6	18.04

- 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
110	預計	15.01	3.59	0	0	0	6.5	9.18	1.5	1.42	-	18.6
	實際	12.10	3.87	2.07	0	0	5.45	9.16	2.01	1.42		18.04

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	23,866,000	35.56	23,866,000	35.56
(2)管理費	5,656,000	8.42	5,656,000	8.42
(3)其它直接費用	13,879,000	20.67	13,879,000	20.67
2.公費	283,000	0.42	283,000	0.42
經常支出小計	43,684,000	65.07	43,684,000	65.07
(二)資本支出				
1.土地				
2.房屋建築及設備				
3.機械設備	23,450,000	34.93	23,450,000	34.93
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	23,450,000	34.93	23,450,000	34.93
合 計(A)	67,134,000	100.00	67,134,000	100.00

• 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}	4,000,000	4,034,030	
	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		4,000,000	4,034,030	

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	標準局回覆同意備查文號
1	因應立院預算刪減，計畫總經費由簽約數 69,300 千元調整為 67,134 千元；人力由 19.6 人年調整為 18.6 人年；暫停動態扭矩量測技術研發工作項目；智機產業技術推動及服務勞務委託研究預算由 3,900 千元調整為 3,700 千元。	110.3.12 工研量字第 1100004636 號	110.3.31 經標四字第 11000021010 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、量化成果彙總表

屬性	績效指標類別	績效指標項目	目標數	達成數
學術成就 (科技基礎研究)	A.論文	篇數	7	12(含2篇SCI)
	B.合作團隊(計畫)養成	機構內跨聲學、力學、精密機械、溫度領域之感測器計量標準、與工具機線上校正技術團隊數	2	2
	C.培育及延攬人才	博碩士培育/訓人數 ^{註1}	5	8
	G.專利	專利申請(件數)	3	3
	H.技術報告及檢驗方法	技術報告 (含 ICT/MSVP 撰寫修訂)	9	16
	I1.辦理技術活動	辦理專家座談會	1	1
	J1.技轉與智財授權	技術/專利應用(件)	5	19
	J1.技轉與智財授權	技術/專利運用收入(元) ^{註2}	4,000,000	4,034,030
	S2.科研設施建置及服務	量測標準系統擴建(套)	3	3
		擴建系統部分設備(套)	2	2
線上視覺參考標準建立(件)		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) ^{註3}	3	4
其它	產學研合作	國內分包研究(件)	1	1
		國內分包研究(金額-元)	600,000	600,000
	國際合作	技術引進(件)	-	-
		技術引進(金額-元)	-	-
	成果擴散	廠商訪視推廣(家)	12	16

註1：本計畫委託學術單位進行相關智慧化研究1案、聘請大學教授為顧問，擴大相關碩博士生人力之培訓。此外，計畫亦辦理座談會，擴展培育對象至產業從業人員，人才培育數目已遠大於實際數。

註2：技術/專利運用推廣歲入繳庫金額，為技術/專利運用收入金額其60%繳庫。

註3：協助標準局針對機器人及工具機等機械領域之國家標準草案，進行「徵求意見」及「審查」工作，標準草案名稱：(1)機器人—服務型機器人之性能準則及相關試驗法—第2部：導航(2)工具機—安全—冷金屬鋸床(3)機械安全—緊急停止功能—設計原則(4)工具機安全—切削中心機、銑床、傳送機—第1部：安全要求。

二、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:

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	動態力量量測系統	工研院 量測中心	台	1	6,150,000	1	B & K
2	塊規干涉儀	工研院 量測中心	台	1	17,300,000	1	Mitutoyo

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，由執行單位自行籌款購置，計畫編列設備使用費分年攤提。
- 3.本設備於11/26經獲4位委員審查同意通過，完成資本設備驗收。

三、國外出差人員一覽表

短期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/ 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	計畫書 項次
無							

長期訓練

項次	出差性 質	主要內容	出差 機構/ 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
無							

四、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		件 次	家 次	項	家 次	場 次	人 數	日 數
智慧機械產業計量標準建置 置加值計畫	-	3	-	8	4	16	-	-	-	-	-	-	-	19	19	18	78	1	16	0.5

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。出國情形一覽表

五、技術/專利應用一覽表

本年度合約數 6,973,380 元，累計收入數 6,723,380 元，繳庫累計數 4,034,030 元

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
1	迴轉工作台	上銀科技股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「單旋轉軸快速量測標準件」的產業應用案，廠商利用該技術進行單旋轉軸角度定位誤差快速量測，滿足單旋轉軸產品檢測時角度定位誤差需校正要求。	2,500,000	2,250,000	1,350,000	110	
2	EMC 場地特性量測技術運用	強電企業有限公司	技術授權	運用計畫建立之「EMC 測試場地之特性規格驗證」的產業應用案，廠商利用該技術，進行各類機械設備、機電產品測試，滿足其 EMC 之安規檢測驗證需求，有助於國內廠商所生產設備及產品之販售與出口。	200,000	200,000	120,000	110	
3	EMC 場地特性量測技術運用	強電企業有限公司	技術授權	是運用計畫建立之「EMC 測試場地之特性規格驗證」的產業應用案，廠商利用該技術，進行各類機械設備、機電產品測試，滿足其 EMC 之安規檢測驗證需求，有助於國內廠商	140,000	140,000	84,000	110	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
				所生產設備及產品之販售與出口。					
4	黑體溫度測溫計量技術運用	優力國際安全認證有限公司	技術授權	運用計畫建立之「熱輻射測溫技術」的產業應用案，廠商利用該技術，進行溫度計準確度驗證、廠內標準中間查核、現場即時校正管理，解決其量測結果飄移之問題、滿足溫度量測結果可與國際接軌、縮短校正追溯檢測需求。	113,850	113,850	68,310	110	
5	訊號擷取分析驗證技術運用服務	貝爾聲學科技股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「聲學音場性能驗證技術」進行聲學音場的驗證評估，滿足建置聲學無響室的性能驗證需求，建立標準的聲學測試環境，提升產品檢測結果的一致性。	162,000	162,000	97,200	110	
6	訊號擷取分析驗證技術運用服務	基太克國際股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「聲學音場性能驗證技術」進行聲學音場的驗證評估，滿足建置聲學無響室的性能驗證需求，建立標準的聲學測試環境，提升產品檢測結果的一致性。	260,000	260,000	156,000	110	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
7	溫度校正器(溫度校正爐)可攜帶式技術運用服務	長庚醫學科技股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「熱輻射測溫技術」的產業應用案，廠商利用該技術，進行溫度計準確度驗證、廠內標準中間查核、現場即時校正管理，解決其量測結果飄移之問題、滿足溫度量測結果可與國際接軌、縮短校正追溯檢測需求。	225,000	225,000	135,000	110	
8	QA501 Plus 電競鼠標高速線性測試機台性能評估服務案	漢宸科技有限公司	技術授權	運用計畫建立之「訊號擷取分析技術」進行 QA501 Plus 電競鼠標高速線性測試機台的性能評估，滿足於半導體製程中測試機台的性能檢測需求，提升產品檢測的準確度。	171,000	171,000	102,600	110	
9	聲學音場性能驗證技術	貝爾聲學科技有限公司	技術授權	運用計畫建立之「聲學音場性能驗證技術」進行聲學音場的驗證評估，滿足建置聲學無響室的性能驗證需求，建立標準的聲學測試環境，提升產品檢測結果的一致性。	191,250	191,250	114,750	110	
10	奈米壓痕量測薄膜	思達科技	技術授權	運用計畫建立之「小力量校正技術研發」的產業應	105,000	105,000	63,000	110	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
	技術運用服務			用案，廠商利用該技術，以奈米壓痕量測金屬薄膜以調整研發中產品的製程參數改善或提升良率，加速其產品開發效率準確與精密的量測能力；或以小力量拉伸機械性質(≤ 10 N)量測服務以滿足檢測需求。					
11	訊號擷取分析驗證技術運用服務	知洋科技股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「聲學音場性能驗證技術」進行聲學音場的驗證評估，滿足建置聲學無響室的性能驗證需求，建立標準的聲學測試環境，提升產品檢測結果的一致性。	306,000	306,000	183,600	110	
12	鋼軌探傷車採購與審驗委託專業服務	交通部台灣鐵路管理局	技術授權	運用計畫建立之「線上加工尺寸量測技術」的產業應用案，利用校正過的座標量測儀對驗證軌進行形貌確認，因此可將標準傳遞至業者所採購的設備，滿足業者驗收需求。	720,000	720,000	432,000	110	
13	PVC發泡厚度線上量測系統	普裕興業股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「高反光物件量測技術」進行產業應用，廠商利用該技術，	250,000	250,000	150,000	110	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
	開發計畫委託技術服務			建立線上自動化的量測產線，實現金屬反光物(導輪)、漫反射白紙(離型紙)、不同顏色樹脂(PVC)共三種反射率表面的輪廓量測，改善原有的手動、接觸式量測方法，建立更完整的製程管理數據以防止品質異常。					
14	手持 UT 鋼軌焊道檢測標準作業程序制定	交通部台灣鐵路管理局	技術授權	運用計畫建立之「線上加工尺寸量測技術」的產業應用案，利用校正過的座標量測儀對驗證規塊進行缺陷位置確認，因此可將標準傳遞至所採購的規塊，滿足計畫對超音波檢測能力驗收需求。	900,000	900,000	540,000	110	
15	視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術自我運用	飛特精密股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術」的產業應用案，廠商利用該技術評估視覺 3D 尺寸量測儀器的準確度，確保儀器準確度符合規格，滿足廠內儀器管理之要求。	102,856	102,856	61,714	110	
16	視覺 3D 尺寸量測	台灣喬哈斯科技股	技術授權	運用計畫建立之「視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術」	102,856	102,856	61,714	110	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
	儀校正技術自我運用	份有限公司		的產業應用案，廠商利用該技術評估視覺3D尺寸量測儀器的準確度，確保儀器準確度符合規格，滿足廠內儀器管理之要求。					
17	視覺3D尺寸量測儀校正技術自我運用	帕圖科技有限公司	技術授權	運用計畫建立之「視覺3D尺寸量測儀器校正技術」的產業應用案，廠商利用該技術評估視覺3D尺寸量測儀器的準確度，確保儀器準確度符合規格，滿足廠內儀器管理之要求。	102,856	102,856	61,714	110	
18	加工尺寸標準件量測技術自我運用	鉞順自動化企業社	技術授權	運用計畫建立之「尺寸參考標準件」的產業應用案，廠商利用該尺寸參考標準件，應用自動化產品檢測時尺寸標準溯源。	102,856	102,856	61,714	110	
19	加工尺寸標準件量測技術自我運用	宏惠光電股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「尺寸參考標準件」的產業應用案，廠商利用該尺寸參考標準件，應用光學產品檢測時尺寸標準溯源。	102,856	102,856	61,714	110	
20	小力量拉伸機械性質量測技	東海大學	技術授權	運用計畫建立之「小力量校正技術研發」的產業應用案，廠商利用該技術，以奈米壓痕量測金屬薄膜	15,000	15,000	9,000	109	

項次	技術項目	廠商	運用模式	授權案與計畫建立的關鍵技術之關聯性	合約數(元)	累計收入數(元)	累計繳庫金額(元)	簽約年度	備註
	術運用服務			以調整研發中產品的製程參數改善或提升良率，加速其產品開發效率準確與精密的量測能力；或以小力量拉伸機械性質($\leq 10\text{ N}$)量測服務以滿足檢測需求。					
21	手推式軌道線形量測儀開發案	台灣高速鐵路股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「線上加工尺寸量測技術」的產業應用案，校正如軌距尺寸之標準件，因此可將標準傳遞至技術所發展儀器，滿足高鐵儀管所需校正追溯需求。	100,000	100,000	60,000	109	
22	校正實驗室座標量測儀校正能量提昇	台灣三豐儀器股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「線上加工尺寸量測技術」的產業應用案，校正實驗室內座標量測儀中不同尺寸標準件，可將標準追溯至技術所發展幾何標準件，滿足實驗室內標準件需校正追溯需求。	100,000	100,000	60,000	109	
合計					6,973,380	6,723,380	4,034,030		

※目前收入數：表示 110 年度已認列數。 ※目前繳庫金額：表示收入數依據合約規定比例(60%)進行繳庫。

六、論文一覽表

期刊論文 8 篇(含 2 篇 SCI)、研討會論文 4 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
1	Adhesion of spider cribellate silk enhanced in high humidity by mechanical plasticization of the underlying fiber	吳忠霖	Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials(SCI)	2021/02/01	9	荷蘭	期刊
2	麥克風陣列聲源定位技術	黃彥淳,郭淑芬,涂聰賢,	量測資訊	2021/07/01	5	中華民國	期刊
3	In-process dimensional measurement for geometric errors analysis	林明賢,謝宗翰,許博爾,	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation	2021/10/30	1	中華民國	研討會
4	In-process dimensional measurement for temperature uncertainty evaluation	謝宗翰,林明賢,葉冠霆,許博爾,	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation	2021/10/30	1	中華民國	研討會
5	Calibration of rotary tables using a shift angle method	謝宗翰,渡部司,許博爾	Measurement Science and Technology(SCI)	2021/08/03	9	英國	期刊
6	3D 視覺感測技術於智慧製作之應用	何炳林,張國明	量測資訊	2021/07/01	10	中華民國	期刊
7	Analysis and Determination of Geometric Distortion for Stereo Vision System by VDI/VDE 2634 Guideline	吳雅菁,何炳林,林浩沅,李朱育,歐陽盟	2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)	2021/09/09	5	保加利亞	研討會
8	Development of Information Exchange through Angular Positioning Error Measurement Instrument Used in Machine Tools	陳智榮,徐凡嬰	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation	2021/10/30	1	中華民國	研討會
9	工具機幾何誤差量測於智慧製造之應用	林明賢,謝宗翰	機械工業雜誌	2021/10/01	7	中華民國	期刊

項次	名稱	作者	會議/期刊名稱	發表日	頁數	國別	類別
10	線上量測尺寸參考標準件	謝宗翰,林明賢,許博爾	量測資訊	2021/07/01	5	中華民國	期刊
11	數位計量資訊於製造業之應用與發展	徐凡嬰,陳智榮,吳相儒,張明倫,吳雅菁,謝宗翰,	量測資訊	2021/07/01	7	中華民國	期刊
12	數位計量資訊交換發展-以工具機旋轉軸角度定位誤差補償為例	徐凡嬰,陳智榮,吳相儒,張明倫,吳雅菁,謝宗翰	機械工業雜誌	2021/10/01	9	中華民國	期刊

七、研究報告一覽表

項次	資料名稱	產生日期	院文件編碼	語文	機密等級	作者/修訂者	頁數
1	麥克風自由場靈敏度校正系統評估報告－比較法	2021/05/31	073B00058	中文	非機密	郭淑芬	34
2	麥克風自由場靈敏度校正程序－比較法	2021/05/31	073B00057	中文	非機密	郭淑芬	20
3	真圓度標準件校正系統評估報告－轉盤旋轉式	2021/09/17	073B00125	中文	非機密	蔡錦隆	12
4	真圓度標準件校正程序－轉盤旋轉式	2021/09/17	073B00124	中文	非機密	蔡錦隆	15
5	計量控制器連線交換介面開發期中執行報告	2021/09/11	073B00117	中文	非機密	吳相儒,徐凡嬰,陳智榮	14
6	視覺 3D 尺寸量測儀器-校正程序報告	2021/9/24	073B00114	中文	機密	吳雅菁,何炳林	10
7	視覺 3D 尺寸量測儀器-量測不確定度評估報告	2021/11/25	073B00102	中文	機密	吳雅菁,何炳林,洪聖翔	6
8	線上加工尺寸量測誤差分析技術	2021/11/25	073B00173	中文	非機密	林明賢,謝宗翰,	14
9	線上加工尺寸量測溫度評估分析	2021/11/25	073B00174	中文	非機密	謝宗翰,林明賢,	15
10	數位校正證明實施架構之可行性評估	2021/11/24	073B00179	中文	機密	徐凡嬰,陳智榮	18
11	計量控制器連線交換介面開發期末執行報告	2021/12/02	073B00199	中文	非機密	吳相儒,徐凡嬰,陳智榮	14
12	智慧機械計量政策與產業發展推廣服務案期末工作報告	2021/11/30	073B00198	中文	非機密	于心怡	143
13	智機產業技術推動及服務計畫期末成果報告書	2021/11/10	073B00197	中文	非機密	蔡修安	141
14	智慧機械資安風險分析	2021/11/30	523B00754	中文	非機密	連政杰	18
15	動態力量量測系統性能測試報告	2021/11/22	073B00183	中文	非機密	吳玉忻	11

項次	資料名稱	產生日期	院文件編碼	語文	機密等級	作者/修訂者	頁數
16	麥克風靈敏度模數及相位響應量測不確定度評估	2021/11/23	07-3-B0-0182	中文	非機密	郭淑芬、盧奕銘	27

八、專利申請

項次	類別	專利名稱	申請國別	申請案號	件編號	申請人
1	發明	旋轉軸的幾何誤差的獲取方法與獲取設備	中華民國	110144733	P07100012 TW	謝宗翰,許博爾,林明賢
2	發明	旋轉軸的幾何誤差的獲取方法與獲取設備	中國大陸	202111468063.6	P07100012 CN	謝宗翰,許博爾,林明賢
3	發明	雙旋轉軸幾何誤差分析方法	中華民國	110144976	P07100011 TW	許博爾,謝宗翰,林明賢,陳智榮

九、座談會一覽表

項次	名稱	舉辦期間(起~迄)	舉辦地點	廠商家數	參加人數
1	電動車產業智慧感測器計量標準建置產業專家座談會	110.10.29	經濟部傳統產業創新加值中心 Q317 會議室	9	16

十、碩博士生培育

●感測器計量標準建構分項：

- (1) 陳延淋/清華大學動力機械所碩士/ 1-8 月：陳延淋同學主要協助收集有關力量感測器國際的研究趨勢，以及國際計量組織如美國 NIST 與德國 PTB 所發表有關靜態與動態力量校正相關的研究資訊。例如，美國 NIST 已獲得可攜式動態力接觸器的專利(Patent Number：10,641,663)，提供動態力量校正感測器並追溯至國際 SI 單位；而德國 PTB 則是發表力量與力矩的多軸力量感測器動態力量特徵研究論文。此外，亦透過此計畫使學生瞭解傳統上利用靜法碼校正力量傳感器的靜態力量校正技術與目前開發中的動態力量校正技術在使用與追

溯上的差異性。透過法人研究單位與學校合作，培養在校生瞭解計量追溯的重要性，以利國內計量領域產業發展。

- (2) 石思宇/清華大學電機工程學系碩士/9-12 月：石思宇同學主要協助動態力量量測系統之數據量測與分析，包含振動試驗機之操作、實驗執行、訊號擷取與數據整理等工作，除此之外，石思宇同學亦參與雷射干涉儀調整與光路對位之工作，透過此計畫使學生瞭解系統內各模組之整合方法，並建立系統不確定度評估之概念。
- (3) 丁彥翔/陽明交通大學機械所碩士/9~12 月：丁彥翔同學主要協助有關聲學感測器應用於機器運轉的異音偵測，執行計畫所需論文瀏覽、實驗執行以及數據分析等工作內容，目前完成聲學類比數位訊號轉換數值分析，進行麥克風模數及相位量測不確定度的評估，以及基於卷積神經網路及混合特徵偵測異音的論文分享，協助計畫執行場域應用時相關資料的蒐集，亦有助於其碩士論文之研究與撰寫。

●工具機線上校正技術建立分項：

- (1) 林浩沅(中央大學機械所)/碩士/2-9 月：執行計畫所需論文瀏覽、實驗執行、數據整理、程式撰寫等工作內容，並每周以報告方式分享進度，現已完成如量測誤差來源分析歸納、蒙地卡羅法模擬演算法程式架構建立等工作任務，除了協助計畫執行視覺 3D 尺寸量測儀器不確定度評估所需之研究與開發外，亦有助於其碩士論文之研究與撰寫，培育 3D 視覺技術領域的研究人才。
- (2) 林宥均(中央機械所)/碩士/5-7 月：協助建立幾何誤差量測技術可視化界面，計畫開發雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術及可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)皆應用於旋轉軸幾何誤差量測，透過 3D 繪圖軟體建立虛擬量測時境，將旋轉軸、標準件安裝、治具調整及量測步驟等，皆呈現於虛擬軟體中，推廣或使用旋轉軸量測技術時，可快速了解量測技術及操作步驟。
- (3) 王立愷(清華大學電機系)/學士/7-8 月：協助執行計畫所需之論文及相關資料瀏覽，並每周回報進度；並協助建立控制器誤差補償之參數格式轉換及控制器聯結的人機介面，使用 C#進行工具機與控制器之連線程式之撰寫，以利 PoCAS 進行旋轉軸角度定位誤差量測後，可直接將 XML 格式的量測資訊匯入至工具機控制器中進行參數補償，大幅簡化傳統過程的繁複轉檔程序(.rta→.MPF→NC code)。
- (4) 曾瀚廣(中央大學機械所)/碩士/11-12 月：協助執行視覺 3D 尺寸量測儀器校正與不確定度評估技術，現已完成 VDI/VDE 2634 規範的校正實驗執行，並使用 3D 點雲處理軟體(Geomagic)進行數據的尺寸特徵分析，此外也包含相機校正與不確定度評估演算法驗證等工作。合作中帶領研究生了解視覺 3D 尺寸量測儀器的校正追溯方法，並協助其瞭解相關的國際規範與計量領域知識，了解校正追溯的重要性，執行的工作項目亦有助於其發想論文的研​​究方向，從計量與準確度的觀點進入 3D 量測的研究領域，培育計量領域與 3D 量測技術的專業人才。

- (5) 葉冠霆(清華大學機械工程學系)/學士/7-9月：協助建立可攜式連續角度參考標準件之訊號處理功能，可攜式連續角度參考標準件內多數讀頭同時讀取角度值，由計數卡設定訊號處理功能作為量測數據暫存位置，同步讀取多個光學之角度值，建立訊號讀取雜訊抑制、自動化角度量測值擷取及軟體介面撰寫等，培養學生軟體程式及訊號處理技能。

十一、廠商訪視

●感測器計量標準建構分項：

(1) 貝爾聲學科技股份有限公司：

A.時間：110年3月1日

B.廠商受訪人員：蘇鈞立 經理

C.訪談內容：貝爾聲學公司期望國家度量衡標準實驗室能提供聲學計量標準的追溯，透過驗證聲學測試場地的規格，以及聲學訊號分析儀的校正，確保各實驗室在測試結果的一致性。該公司表示在近期疫情的衝擊下，聲學訊號分析儀無法送往國外校正，希望能解決儀器無法送往國外校正的窘境，並減少送國外校正的費用及時程。

D.執行團隊後續因應：經了解該公司相關需求後，由於國家度量衡標準實驗室在聲學計量能力的擴充，可以運用聲學音場性能驗證技術提供其聲學測試場地的驗證；另外針對聲學訊號分析儀的校正，可運用訊號擷取分析驗證技術進行評估，解決儀器無法送往國外校正的問題。

(2) 優肯科技

A.時間：110年4月14日

B.廠商受訪人員：黃豐村董事長、謝亞倩經理、紀佑孟經理共3人

C.訪談內容：本次拜訪優肯科技公司主要為未來發展之動態力量校正系統進行技術推廣，該公司之動態疲勞試驗機最大施力為10 kN、最大振動頻率為800 Hz。因現今疲勞試驗機所採用的力量傳感器皆採取傳統靜態力量校正手法，即利用靜法碼機台或利用兩台力量傳感器進行比較式校正，然而，疲勞試驗主要目的為模擬預估結構持續受到動態變化的應力而產生結構破壞時的疲勞壽命(S-N curves)，而控制動態力量產生的力量傳感器，此時的變動施力與設定的頻率有關，不再是處於靜態的條件下，在頻率影響下，力量施加的精準度受到影響。因此，力量傳感器受頻率影響產生施力的準確性變得極為重要。

D.執行團隊後續因應：本次計畫開發的動態力量校正系統力量校正範圍為100 N ~ 1000 N，頻率範圍為10 Hz ~ 2000 Hz，後續將可提供疲勞試驗機採用的力量傳感器進行動態校正，藉由本次拜訪優肯黃董事長向其說明動態力量校正的重要性。經黃董瞭解後，說明該公司目前有開發多軸疲勞試驗的測試機台，於五月初進行裝機測試，邀請我們在廠房完成裝機後前往

參觀，我方已於 5 月 6 日再次前往參觀，瞭解實際機台現況與洽談進一步合作的可能性。

(3) 台灣電力公司綜合研究所

A.時間：110 年 5 月 12 日

B.廠商受訪人員：王派毅 主任

C.訪談內容：台電綜合研究所表示近年風機噪音抗爭事件頻傳，希望藉由聲學攝影機搭配聲音模擬技術，找出造成風機噪音惱人之成因，以提出相關減噪策略。期盼國家度量衡標準實驗室能提供聲學定位技術與聲學計量標準的追溯，確保風機噪音量測結果的正確性。

D.執行團隊後續因應：風力發電機葉片屬於需要預防性維護之零組件，錯失維修時機可能導致災難性損壞，經了解現場營運端檢測需求後，可以運用聲學模數及相位響應量測技術，進行風力發電機葉片損壞異音的偵測，建議可朝向同種風機分群的方式建立診斷機制，並且提供場域執行成果驗證，期盼解決營運端人工巡檢效率不彰之問題。

(4) 煜昕科技公司

A.時間：110 年 6 月 7 日

B.廠商受訪人員：陳昱廷工程師共 1 人(電訪)

C.訪談內容：本次電話訪問煜昕科技陳昱廷工程師，向其說明目前中心正在發展之動態力量校正系統，說明開發中的系統力量校正範圍為 100 N ~ 1000 N，頻率範圍為 10 Hz ~ 2000 Hz。待系統完成後可用來協助校正該公司研發的力量傳感器或荷重元等產品，用以確認力量傳感器或荷重元的動態力量特性，評估力量傳感器或荷重元受頻率變動影響時偵測力量的準確性，將能對其公司在研發力量傳感器或荷重元有所助益。藉由此次電訪向該公司說明動態力量校正的重要性，經陳工程師瞭解後，表示希望動態力量校正系統在年底完成系統性能測試之後，可前來中心參觀系統，以瞭解系統實際現況，並確認後續的合作方式。

D.執行團隊後續因應：預計年底在完成系統性能測試與驗證之後邀請陳工程師前來中心參訪，以實際系統說明力量傳感器如何進行動態校正，以利確認後續合作之可能性。

(5) 睿克科技有限公司

A.時間：110 年 9 月 6 日

B.廠商受訪人員：周欣瑞 技術副理共 1 人

C.訪談內容：睿克科技有限公司主要業務為 IC 設計公司，從事傳感器，混合訊號積體電路設計，專注在微機電領域之產品研發、製造及銷售。周副理表示目前人工智慧崛起，為強化語音辨識能力，促使語音成為重要人機介面，應用層面從相當廣泛，進而帶動市場對以半導體製程微機電(MEMS)麥克風的需求，因此公司積極開發

微機電麥克風，但對於開發出的麥克風特性無法掌握，希望實驗室可以提供 MEMS 麥克風相關的測試驗證。

D.執行團隊後續因應：由訪談中了解該公司的需求，並告知麥克風的相關特性，包括靈敏度，自雜訊，模數響應及相位響應等，亦表示以目前實驗室發展的麥克風量測技術，若再配合 MEMS 麥克風治具的設計製作以及訊號擷取方式後，應可在目前的技術能力下，先行評估其研發階段產品。近日睿克科技已提供相關 MEMS 麥克風樣品，委託實驗室進行評估。

(6) 巨大機械工業股份有限公司

A.時間：110 年 10 月 26 日

B.廠商受訪人員：林崇偉資深工程師共 1 人(電訪)

C.訪談內容：本次電話訪問功率計開發部門的林崇偉資深工程師，以了解功率計產品之力量校正需求，林工程師表示曲柄式、牙盤式、鎖踏式的功率計所使用之測力計/力量傳感器會送至國內二級實驗室進行追溯與校正，校正範圍為 2 kN。目前功率計以頻率為 10 Hz、施力為 1 kN-2 kN 之正弦波形來模擬自行車踩踏之情境，但僅以正弦波形之施力無法精準模擬實際騎乘時來自路面地勢之起伏與衝擊，施力之變化 $F(t)$ 應為正弦波(sinsodial wave)與脈衝(pulse)形式之結合，對功率計輸出之精準度會更有幫助。

D.執行團隊後續因應：本次訪問介紹了動態力量校正系統之系統建置，以正弦波施力為主，施力介於 100 N- 1000 N，施力頻率範圍介於 10 Hz-2000 Hz 之間，系統亦可透過振動試驗機之設定產生正弦波與脈衝形式之加速度，預計於明年系統建置完成後邀請巨大機械之功率計開發團隊前來參觀以利確認後續合作之機會。

●工具機線上校正技術建立分項：

(1)普裕興業

A.時間：110 年 3 月 4 日

B.廠商受訪人員：許玉昌總經理、許博凱經理、品保課李世仁課長、生產課林旻志課長共 4 人。

C.訪談內容：普裕興業希望建立 PVC 樹脂發泡厚度製程的線上量測系統，代替現行的人工量測方法，並想了解非接觸式光學量測技術導入的可行性。因此視覺子項計畫執行團隊針對普裕興業需求進行技術評估，並規畫解決方案，協助其建立快速、自動化的線上量測方案。其中量測系統使用到的 3D 視覺量測儀器需要同時量測三種材質，包括金屬反光物(導輪)、漫反射白紙(離型紙)、不同顏色之樹脂(發泡 PVC)，因此有機會導入多曝光影像合成技術與曝光時間自動判斷技術，提

升量測穩定性且減少人工調整量測參數之步驟，提供自動、智慧化的線上量測系統，並可提供視覺參考標準件，滿足量測系統品保之定期校正查核用途。

D.執行團隊後續因應：現已提供規畫方案與執行時程，並完成量測系統硬體與軟體的設計評估，目標是使此線上 3D 視覺量測系統的誤差為發泡厚度公差 0.1 mm 的 1/10 至 2/10。目前普裕興業內部仍在確認前後製程的對應配套措施，以因應目前規畫完成之自動化線上量測方案，因此相關製程管理流程、技術可行性細節仍持續與對方討論評估，以實現最有利的解決方案導入，協助業者最大化效益。

(2)滿景資訊

A.時間：110 年 3 月 19 日

B.廠商受訪人員：楊仁村總經理、陸光榮前瞻技術專員、郭士誠研發工程師共 3 人

C.訪談內容：滿景科技應用視覺 3D 量測儀器進行智慧化應用，如人流監控、人物感應、無柵欄安全系統等案例，因為將 3D 點雲資訊加入智慧化判斷功能中，可進一步將準確度由 90%提升至 99.9%。在此產品特性下，對方希望建立可靠、穩定的公司內部品保方案，包含標準件規格訂定、校正流程最佳化、系統查核方案等需求，故我方介紹相關實驗室建立之規範與視覺 3D 量測儀器校正之相關能量與技術，以期協助滿景資訊維持產品品質。

D.執行團隊後續因應：了解滿景資訊現行品保方法及待校儀器規格、標準件規格、不確定度需求等參數，擬規劃視覺 3D 量測儀器準確度品保方案，可應用本計畫之標準件校正技術、不確定度評估技術，協助其建立合適的內部品保流程，確保產品品質。

(3)馬路科技

A.時間：110 年 5 月 3 日

B.廠商受訪人員：蕭偉鎮協理、李啟憲經理共 2 人

C.訪談內容：馬路科技希望了解視覺 3D 尺寸量測儀器校正追溯的規範和現有校正能量，協助其客戶建立可靠之儀器校正管理方案，滿足客戶生產品保的視覺 3D 尺寸量測儀器(ATOS、TRITOP 儀器)年度校驗需求，並取得 TAF、ILAC 標章以服務其客戶實現國內儀器之校正追溯，因此我方介紹 ISO 17025 校正實驗室認證與儀器校正之相關能量，內容包含(1)球桿標準件在台灣驗證流程、(2)第三方單位設備儀校、(3)經銷商量測系統校驗、4. ISO 17025 實驗室認證規範。

D.執行團隊後續因應：了解馬路科技的待校儀器規格、現有標準件種類、實驗室環境、實驗室人員等現況後，規劃評估視覺 3D 尺寸量測儀器之校正認證實驗室建立方案，以協助其建立 ISO 17025 認證之校正實驗室，本案將應用校正程序建立、不確定度評估技術、標準件追溯校正等技術，建立視覺 3D 尺寸量測儀器的計量追溯方法，以符合相關國際規範需求，原預計送校德國原廠校正時程須 1 個月，國內校正時程將可縮短至 1 周，

預估每年服務 20~30 套儀器之校正追溯，效益可擴散至裕隆、長榮等國內汽車及航太製造廠商。

(4)大銀微系統

A.時間：110 年 5 月 3 日

B.廠商受訪人員：陳燦林助總及徐志豪博士共 2 人

C.訪談內容：大銀微系統為國內少數高精度環型編碼器製造商，近年來投入大量經費致力於高精度環型編碼器研發。

1.介紹計畫建置環型編碼器校正系統，其能量可滿足大銀微開發環型編碼器規格需求。

2.大銀微說明開發環型編碼器需量測誤差項目，分別為四項誤差:正向與反向角度定位誤差、週期誤差及遲滯誤差，計畫建置校正系統可滿足四項誤差量測需求。

3.大銀微說明廠內缺少環形編碼器產品量測設備，現有廠內僅有旋轉軸量測設備。

D.執行團隊後續因應：規劃與大銀微系統合作環形編碼器檢測

1.大銀微將開發環型編碼器送至量測中心，由計畫建置環型編碼器校正系統進行四項誤差量測，確認開發環型編碼器精度規格及誤差項目。

2.與大銀微合作開發於廠內建置環形編碼器產品檢驗系統，其系統由計畫開發可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)作為角度標準，目前正積極洽談中。

(5)台中友嘉

A.時間：110 年 5 月 5 日

B.廠商受訪人員：繆武良副總、吳奕賢襄理及張耀升副課長共 3 人

C.訪談內容：針對工具機產業提出經時精度與數位化計量校正等相關技術，欲藉由工具機各部件於組裝過程的誤差分析與不確定度評估，進行精度預測及補償，以延長工具機的 MTBF。此外，藉由蒐集組裝過程中的功能參數與量測數據，建立各部件的數位檢驗資料，提供客戶線上校正追溯的服務。

D.執行團隊後續因應：對於我方提出之五軸工具機線上加工尺寸量測技術，將與研發課吳奕賢襄理進行洽談，預計將此技術發展之線上參考標準件 hole plate 結合友嘉生產之五軸工具機進行量測。此外，亦與品保部門進行聯繫，了解目前友嘉使用之量測設備是否具有數位化功能或有利於日後數位轉型之要求。

(6)永進機械

A.時間：110 年 4 月 23 日

B.廠商受訪人員：劉旻欣副理、林育舟課長及田麒璋工程師共 3 人

C.訪談內容：永進機械為國內五軸工具機整機大型製造商，近年來投入不同構型五軸工具機及工具機智慧化功能開發

1.介紹計畫開發可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)於旋轉軸及 hole plate 於五軸工具機整機幾何誤差量測，可應用於五軸工具機組裝產線中組立作業檢測或整機調教。

2.永進機械介紹目前最新廠內開發五軸工具機，其機台構型與永進機械主力產品 C 型工具機不同，未來可將計畫開發幾何誤差量測技術以此新開發機台作為量測對象

D.執行團隊後續因應：規劃與永進機械合作五軸工具機幾何誤差量測，已與永進機械溝通及安排量測時程，後續將可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)及 hole plate 帶至永進機械廠內，進行五軸工具機旋轉軸及線性軸幾何誤差量測

(7)邁萃斯精密股份有限公司

A.時間：110 年 11 月 2 日

B.廠商受訪人員：高明輝處長、吳宗翰課長共 2 人

C.訪談內容：邁萃斯精密為國內齒輪刀具及 CNC 齒輪磨床製造商，研發高精度、高效能的各機型齒輪磨床為公司發展主軸。

1.介紹計畫建置環型編碼器校正系統，及校正系統延伸自動視準儀及無線旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W)等角度量測設備校正能量。

2.介紹計畫開發尺寸參考標準件 hole plate 於幾何誤差量測及分析，可應用於分析磨床機之幾何誤差，提供控制器準確補償值，並可應用於尺寸線上量測，可提升線上量測準確度。

3.邁萃斯介紹齒輪磨床搭配 3D 量測測頭為未來趨勢，然而線上量測受限於磨床本身幾何誤差，因此加工工件完成後尺寸量測，主要採用傳統方式，以座標量測儀量測結果為主；工廠內角度量測儀器如環形編碼器及自動視準儀，因國內無校正能量，需定期送至國外實驗室進行校正追溯。

D.執行團隊後續因應：了解邁萃斯使用角度量測儀器規格及類型，建議邁萃斯後續將量測儀器送至國家度量衡標準實驗室進行校正追溯，可節省校正時間及費用，相較於送至國外實驗室，邁萃斯也表達高度意願；邁萃斯目前廠內皆為訂單磨床，尚無機會至廠內了解磨床機台誤差量測及調教，後續會與邁萃斯保持連繫，了解磨床發展及線上量測

(8)台中精機股份有限公司

A.時間：110 年 10 月 15 日

B.廠商受訪人員：盧春生協理、黃騰毅副理共 2 人

C.訪談內容：台中精機為國內五軸工具機整機大型製造商，近年來投入不同構型五軸工具機及工具機智慧化功能開發。

1.介紹計畫建置環型編碼器校正系統，及校正系統延伸自動視準儀及無線旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W)等角度量測設備校正能量。

2.介紹計畫開發可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)於旋轉軸及 hole plate 於五軸工具機整機幾何誤差量測，可應用於五軸工具機組裝產線中組立作業檢測或整機調教。

D.執行團隊後續因應：規劃與台中精機合作五軸工具機幾何誤差量測，後續將可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)及 hole plate 帶至台中精機廠內，進行五軸工具機旋轉軸及線性軸幾何誤差量測

(9)元正儀器股份有限公司：

A.時間：110 年 10 月 4 日

B.廠商受訪人員：袁奕文 經理

C.訪談內容：元正儀器股份有限公司為國外美系溫濕度校正儀器與感測器代理商，期望國家度量衡標準實驗室能提供高溫輻射溫度計的即時校正與性能確認，以協助國外代理之輻射溫度計的性能確認與驗收。同時，協助已販售之輻射溫度計定期進行現場校驗的問題，以減少送往國外校正過程所造成停機、拆裝、傳遞與校正時程的成本。

D.執行團隊後續因應：經了解該公司相關代理與現場校驗情形後，可以運用黑體模擬器技術來實現即時高溫校正與滿足廠內遊校的需求，並以租借方式或協助代理販售的商業模式進行合作。此外，廠商建議黑體模擬器體積與對位方式可朝向手提式微型化與光路可撓式來改進，期盼提高現場線上使用率，後續在完成相關設計後，將導入現場合作適用之可能性。

(10)光洋應用材料科技股份有限公司：

A.時間：110 年 9 月 17 日(電訪)、110 年 10 月 18 日(TEAMS 視訊)、11 月 15 日(實際訪廠)

B.廠商受訪人員：品質課余昶慶、廖文豪副理、王俊翔、葉書宏、胡良奮、郭建志等共 6 人

C.訪談內容：光洋應材為全台第一大回收貴金屬靶材供應商，提出 1.非接觸溫度校正需求，2.建立溫度二級校正實驗室，包含廠內自校與遊校。該廠往年因應校正追溯需求，每年需委託固定代理商送境外原廠廠商進行校正、調整並取得原廠報告。因應客戶端碳足跡以及源頭品質管理標準，下游客戶已經將相關溫度量測不確定度報告書以及和溫度實驗室校正溯源納入進廠規範，規格日趨嚴格，廠商除希望有效降低成本，將行之有年的委外校正追溯就近在地化、並在廠內具備線上校正與校正調整能力。

D.執行團隊後續因應：首先 1.溫度團隊利用線上會議介紹本中心能量與可提供服務之議題，2.再對廠商說明其提出現行溫度計使用注意方向以及 3.推廣介紹模擬黑體之對於廠商產線之應用與滿足廠內追溯之優點。廠商指出，明後年將持續擴廠，預計增加兩倍產線，滿足半導體製造商需求，初估輻

射溫度計校正量是現階段的 2 倍。然目前因該公司內部董事會改選之故，確定相關擴廠計畫暫緩至明年 2 月。期間本團隊會積極與對方密切聯繫後續合作技術需求規格，作為本團隊技術優化的指標。

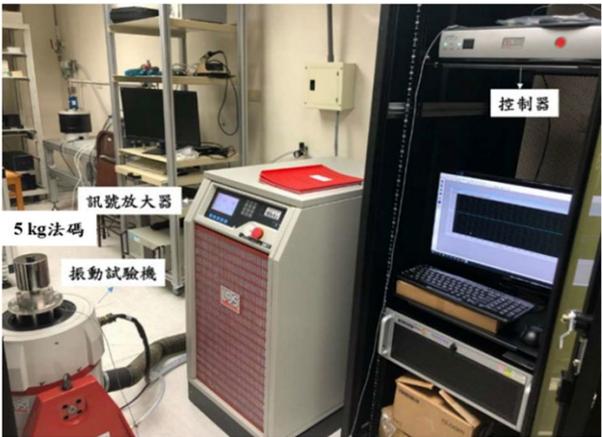
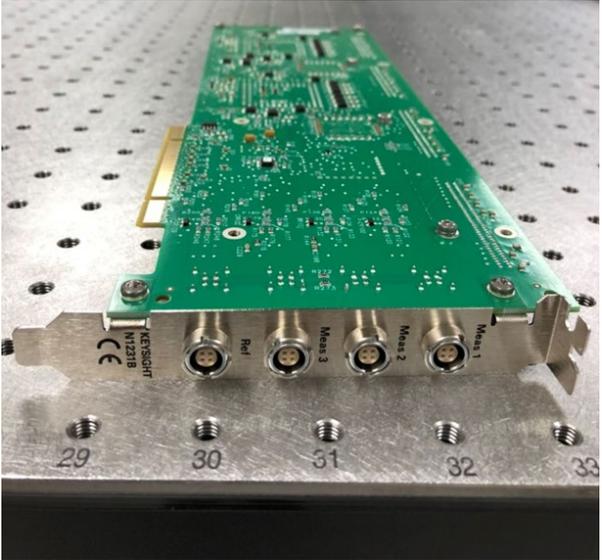
附錄一、參考文獻

編碼	說明
1-1-1	Traceable dynamic calibration of force transducers by primary means, Nicholas Vlajic and Ako Chijioke, 2016, Metrologia 53 S136-S148.
1-1-2	Traceable periodic force calibration, Ch Schlegel1, G Kieckenap, B Glöckner, A Buß and R Kumme, 2012, Metrologia 49, 224–235.
1-2-1	IEC 61094-2 Measurement Microphones Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique, 2009.
1-2-2	IEC 61094-8 Measurement microphones Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard microphones by comparison, 2012.
1-2-3	IEC 61094-1 Measurement microphones Part 1: Specifications for laboratory standard microphones, 2000.
1-2-4	IEC 61094-4 Measurement microphones Part 4: Specifications for working standard microphones, 1995.
1-2-5	ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
1-2-6	IEC 61094-5 Electroacoustics - Measurement microphones - Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison
2-1-1	ISO 230-1. Test code for machine tools — Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions. International Organization for Standardization (2012)
2-1-1	ISO/TC 23165:2006. Geometrical product specifications (GPS) — Guidelines for the evaluation of coordinate measuring machine (CMM) test uncertainty. International Organization for Standardization (2006)
2-1-2	VDI/VDE 2634-2. Optical 3-D measuring systems — Optical systems based on area scanning. The Association of German Engineers (2012)
2-1-3	Recommendations for an acceptance and verification test of optical 3-d measurement systems, Thomas Luhmann, Klaus Wendt, ISPRS Archives, 2000, Vol. XXXIII, Part B5
2-1-4	ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications. International Organization for Standardization (2017)
2-1-5	ISO 10360-13:2021. Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) — Part 13: Optical 3D CMS. International Organization for Standardization (2021)
2-2-2	Traceability of on-machine tool measurement: Uncertainty budget assessment on shop floor condition, Unai Mutilba, Alejandro Sandá, Ibon Vega, Eneko Gomez-Acedo, Ion Bengoetxea, Jose A. Yagüe Fabra, Measurement, 2019, 135, 180–188

編碼	說明
2-2-3	Uncertainty assessment for on-machine tool measurement: An alternative approach to the ISO 15530-3 technical specification, Unai Mutilba, Eneko Gomez-Acedo, Alejandro Sandá, Ibon Vega, Jose A. Yagüe-Fabra, Precision Engineering, 2019, 57, 45–53
2-2-4	ISO 15530-3 Geometrical product specifications (GPS) — Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement — Part 3: Use of calibrated workpieces or measurement standards (2011)
2-2-5	ISO 230-1. Test code for machine tools — Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions. International Organization for Standardization (2012)
2-2-6	ISO 230-2 Test code for machine tools — Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes (2014)
2-3-1	DAkkS-Schrift 71 SD 0 006, Rückführung von Mess- und Prüfmitteln auf nationale Normale, 2010.
2-3-2	BSI Technische Richtlinie 03125 – Beweiserhaltung kryptographisch signierter Dokument, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Version 1.1, 2011.
2-3-3	DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, German and English version, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
2-3-4	“Regulation (EU) No 910/2014 of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 on electronic identification and trust services for electronic transactions in the internal market and repealing Directive 1999/93/EC”, Official Journal of the European Union, L 257, pp.73-115, 2014.
2-3-5	S. Hackel et al., “The Digital Calibration Certificate”, Metrology for the Digitalization of the Economy and Society, PTB-Mitteilungen 127 (2017), Heft 4, doi: 10.7795/310.20170403
2-3-6	Hoppe and Klein, “Remote-Erstellung von qualifizierten elektronischen Signaturen bei Vertrauensdiensteanbietern”, 15. Deutscher IT-Sicherheitskongress, BSI, Bonn, May 2017.
2-3-7	General Data Protection Regulation. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC, Official Journal of the European Union (OJ), L 119, pp. 1-88, 2016.
2-3-8	R. Fay et al., “Gefahrlos durch den Nebel – Ein Sicherheitskonzept für das Fog-Computing”, 15. Deutscher IT-Sicherheitskongress, BSI, Bonn, May 2017.
2-3-9	G., Peter. “Lessons Learned in Implementing and Deploying Crypto Software”, In Proceedings of the 11th USENIX security symposium, pp. 315-325. 2002.

編碼	說明
2-3-10	B., Elaine. “Recommendation for Key Management, Part 1: General”, NIST Special Publication 800-57 Part 1 Revision 4, Section 5, pp. 29–61, January 2016. http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-57pt1r4 (accessed February 2020)
2-3-11	“Information technology - Open Systems Interconnection - The Directory: Public-key and attribute certificate frameworks”, ITU-T Recommendation X.509, 2019, https://www.itu.int/en/publications/ITU-T/Pages/default.aspx (accessed February 2020)
2-3-12	OIML D 31, General requirements for software controlled measuring instruments, Edition 2008 (E), https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d031-e08.pdf (accessed November 2019)
2-3-13	WELMEC 7.2, Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU), 2019, https://www.welmec.org/fileadmin/user_files/publications/WG_07/Guide/WELMEC_Guide_7.2_Software_Guide_2019.pdf (accessed February 2020)

附錄二、資本門設備說明

資本門 設備項目	設備對計畫效益	佐證設備照片
<p>動態力量量測系統</p>	<p>動態力量量測系統為建置動態力量量測技術開發之重要設備，該技術之開發可提供國內力量傳感器於動態條件下之力量校正與追溯，並可提供力量傳感器於靜態與動態力量校正之靈敏度修正係數，使校正結果更貼近真實使用情境。</p>	 <p>振動試驗機模組</p>  <p>雷射干涉儀軸卡</p>

塊規干涉儀

- 塊規尺寸原級追溯:建立國內原級追溯，有效確保業界使用的量測準確性，協助業者開發產品的品質，健全我國於塊規的量測技術發展，提供與國際等同的量測標準。
- 輔助 CMM 標準件之二維孔(或球)板校正能量建立:端點尺寸量測為可用來作為 CMM 標準件之二維孔(或球)板校正能量建立之後，不管是供 CMM 幾何誤差分析結果確認或是補償後驗證，因不確定度要求到 1.2 微米等級，因此塊規干涉儀有其購入之必要性。
- 輔助旋轉軸幾何誤差量測技術研發:端點尺寸量測為工具機幾何尺寸誤差中最基本的量測項目，此系統購入將有助於業者於使用量測儀器對工具機機台的量測，不管是在研發、製造或組裝過程，幾何誤差量測結果的正確性，並作為幾何誤差的驗證補償效果之確認用。



塊規干涉儀

附錄三、滿足至少 40 家次企業之校正追溯與能力試驗要求

序號	廠商名稱	報告編號	運用技術
1	十大科技股份有限公司	11007D00001-01 技術服務	高速連網設備電磁安全量測標準技術
2	強電企業有限公司	11007D00009-01 技術服務	高速連網設備電磁安全量測標準技術
3	台灣積體電路製造股份有限公司	11007C03531 11007C01185 11007C01863	電磁場強度量測技術
4	台灣應用材料股份有限公司	11007C02129	電磁場強度量測技術
5	艾克爾先進科技股份有限公司	11007C01861	電磁場強度量測技術
6	巨申興業股份有限公司	11007C03429	訊號擷取分析驗證技術運用於樓板衝擊隔音檢測評估
7	貝爾聲學科技股份有限公司	11007C00900 11007C00901	訊號擷取分析驗證技術運用於聲學儀器性能評估
8	貝爾聲學科技股份有限公司	11007C00270 11007C00271 11007C00273 11007C00274	聲學音場性能驗證技術應用於無響室音場性能評
9	知洋科技股份有限公司	11007C02247~250 11007C02615~616 11007C02247 11007C03570 11007C03573	訊號擷取分析驗證技術運用服務於聲學儀器性能評估
10	漢宸科技有限公司	07-3-B0-0069	QA501 Plus 電競鼠標高速線性測試機台性能評估
11	基太克	技術服務	訊號擷取分析驗證技術應用於振動感測器性能評估
12	鴻齡	11007C00212	參考音源聲功率評估
13	東科聲學股份有限公司	11007C00469 11007C00470	聲學音場性能驗證技術應用於無響室音場性能評
14	德凱宜特股份有限公司	11007C01258 11007C01262	聲學音場性能驗證技術應用於聆聽室音場性能評
15	和旭機械	11007C01115	參考音源聲功率評估

序號	廠商名稱	報告編號	運用技術
16	東研信超	11007C00912 11007C00922 11007C00925	訊號擷取分析驗證技術應用於人偶模擬器性能評估
17	中山科學研究院	11007C01204	聲學感測器性能測試技術
18	長庚醫學科技股份有限公司 - 高雄	11007C04018	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
19	長庚醫學科技股份有限公司 - 桃園	11007C00554	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
20	優力國際安全認證有限公司	11007C01663	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
21	和德科儀企業有限公司	11007C00125	黑體溫度測溫技術運用
22	台灣積體電路製造股份有限公司(三廠)	11007C01501	黑體模擬光源校正
23	台灣積體電路製造股份有限公司(十二廠)	11007C01991	黑體模擬光源校正
24	台灣積體電路製造股份有限公司(八廠)	11007C02789	黑體模擬光源校正
25	台灣積體電路製造股份有限公司(二廠)	11007C01584	黑體模擬光源校正
26	台灣積體電路製造股份有限公司(南科)	11007C02158	黑體模擬光源校正
27	香港商優比快科技有限公司台灣分公司	11007C01557	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
28	瀚生醫電股份有限公司	11007C03056-1	藉由自我校正行角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
29	聯嘉光電股份有限公司	11007C02949-1 11007C02947-1	藉由自我校正行角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
30	默克先進科技材料股份有限公司	11007C02452-1	藉由自我校正行角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
31	台灣高速鐵路股份有限公司	11007C01282-1 11007C01281-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行尺寸標準校正
32	昭俐有限公司	11007C03664-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行尺寸標準校正
33	歲立機電股份有限公司	11007C03178-1	藉由自我校正行角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正

序號	廠商名稱	報告編號	運用技術
34	財團法人台灣商品檢測驗證中心	11007C02488-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行尺寸標準校正
35	上銀科技股份有限公司	11007C02082-1 11007C02081-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行空間尺寸標準校正
36	台灣東電化股份有限公司	11007C02078-1	藉由自我校正行角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
37	台灣檢驗科技股份有限公司	11007C00754-1 11007C00753-1 11007C00039-1 11007C00037-1 11007C03663-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行尺寸標準校正
38	高僑自動化科技股份有限公司	11007C00069-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
39	財團法人國家實驗研究院國家太空中心	11007C00234-1 11007C04282-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
40	穎明工業股份有限公司	11007C00236-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
41	台灣國際航電股份有限公司	11007C00252-1 11007C00254-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
42	台灣檢驗科技股份有限公司	11007C00433-1 11007C02566-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
43	千附精密股份有限公司	11007C01057-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
44	揚明光學股份有限公司	11007C01078-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
45	勞動部勞動力發展署中彰投分署	11007C01403-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
46	宇正國際檢測股份有限公司	11007C02833-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
47	盈錫精密工業股份有限公司	11007C03112-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
48	昭俐有限公司	11007C03904-1	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正

附錄四、審查意見回覆

建議事項	委辦單位回復說明
A 委員	
<p>1. 在智慧製造的發展中，感知器訊號的可靠度與正確性是關鍵，本計畫針對標準、檢測與認證系統的研究與能量建立，並能與國際標準接軌，這對未來台灣智慧製造的發展極為關鍵。</p>	<p>感謝委員的肯定與支持。</p>
<p>2. 計畫期間，相關人員對使用者的訪談的投入頗多，因此計畫執行的內容明顯貼近未來的需求與使用情境，成果相當可以期待。</p>	<p>感謝委員的肯定與支持。</p>
<p>3. 由於此計畫內容為未來發展的必要技術，須考量未來需求增加時的能量，是否也應該評估相關技術的技轉，讓其他學研單位、感知器廠商，甚至使用者都能有不同等級的基本的檢校能力？</p>	<p>感謝委員的建議與指導，團隊與不同屬性的客戶溝通時，除傾聽對方的需求，並會主動推廣已建立的核心技術，期以關鍵技術展開不同的應用，如技轉學研協助其研發、技轉產業界協助產品品管、或協助廠商進行採購驗收檢測...等，期能以精準的量測值，支持研究推動提升產業競爭力，也促使不同的使用者，都能有不同等級的基本的檢校能力。</p>
<p>4. 五軸的空間精度量測與補正技術是台灣工具機產業未來的競爭力，期望能持續增加這方面的投入，另外，量測時間4小時雖為計畫目標，但未來希望能再挑戰更短、更快，以符合量產產線的需求。</p>	<p>感謝委員的肯定與支持，由實際商用場域試煉結果，含前置作業之量測時間可縮短至2.5小時(實際量測時間105分鐘)，其時間為五軸工具機三線軸幾何誤差量測，包含量測測頭量測時間及尺寸參考標準件(hole plate)架設時間；後續會持續精進量測技術，幾何誤差參數由三線性軸提升至整機，符合國內五軸工具機實際量產產線的需求。</p>
B 委員	
<p>5. P48，line 3，”法碼”多了一個空格。line 4，”固定”多了一個空格。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已修訂於審後第二版結案報告中，如下：...已完成法碼與各連接座,,,；...力量傳感器固定於振動試驗機...。</p>
<p>6. P64，倒數第二行，”亦是影響相位量測的準確度...”應為”亦影響相位量測的準確度...”。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已修訂於審後第二版結案報告中，如下：...共振頻率亦影響相位量測的準確度...。</p>
<p>7. P67，Sx 單位[mV/Pa]位置偏低，請調整。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已修正並更新於審後第二版結案報告中。</p>
<p>8. . P73，H(ω_i)算式中的ω_i有幾處錯誤，請修正。另</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已修正並更新於審後第二版結案報告中。</p>

建議事項	委辦單位回復說明
<p>H(ω_i)算式中的ϕ_1、ϕ_2、與圖中的ϕ_1、ϕ_2亦有誤，有的下標、有的沒下標，有的看似下標卻字體過大。</p>	
<p>9. P77，兩個圖的橫座標均標註為”Frequenc”，請修正。 P78，兩個圖與 P77 相同問題。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已修正並更新於審後第二版結案報告中。</p>
<p>10.P79，圖中 LS、WS 指甚麼?未定義。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，LS(laboratory stanard microphone)為實驗室標準麥克風，WS(working stanard microphone)為工作標準麥克風。</p>
<p>11.P81，第一條方程式的格式與報告其他方程式均不同，請修正! P81，最後一段文字格式與其他對應段落格式不同，請修正!! 此為土法煉鋼使用 Word 編輯常見的錯誤，建議內部訓練 Word 長文件編輯功能。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，方程式與文字段落縮排位置不一致問題，已修訂於審後第二版結案報告中。</p>
<p>12.P82，第一條方程式打字錯誤，”+.”是甚麼?請修正。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，已將加號後誤植的黑點刪除修正，並修訂於審後第二版結案報告中。</p>
<p>13.P83，“可以提供應用於機器故障分析的麥克風陣列的相位與模數響應的校正，提高機器故障診斷的能力”，這句話意味：經過校正的麥克風陣列，其對機器故障的診斷能力會提高，會嗎?校正對感測器的量測能力能提高嗎?請解釋清楚，否則造成誤解!!</p>	<p>感謝委員的建議與指正，已修正如下，並更新於審後第二版結案報告中。“本計畫建立之麥克風麥克風靈敏度相位與模數響應量測系統，提供應用於機器故障分析的麥克風陣列的相位與模數響應的校正，藉以補償聲音訊號衰減及延遲現象，可精確的判斷音源的發生位置，提高機器故障位置的判斷能力。”</p>
<p>14.P84，溫度範圍 24 ± 2 °C 對工具機應用偏小，這個計劃目標設定如何形成?宜說明清楚。</p>	<p>感謝委員的提問，溫度範圍(24 ± 2) °C 為參考國內五軸工具機產線環境，國產五軸工具機做為座標量測儀進行線上量測，根據 ISO 15530-3 評估工具機量測不確定度，其中一個不確定度來源為環境溫度，因此以此溫度範圍進行量測不確定度評估。</p>
<p>15.P86，“本校正技術適用待校件為結構光條紋投影之視覺 3D 尺寸量測儀器”再看到 2.建立視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術，(1) 量測不確定度..... (2) 量測不確定度:</p>	<p>感謝委員的提問，本計畫的量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)，是指透過視覺參考標準件來校正市面上的結構光 3D 機台時，校正方法本身產生的量測不確定度。因為在校正時，視覺參考標準件所處的環境溫度、本身的熱膨脹係數、不同擺放角度的受力變形及視覺參考標準件本身的校正追溯結果，皆會影響到校正時的量測不確定度。因此本計畫量化分析不確定度來源的數值，並依據 VDI/VDE 2634 規範訂定的三個校正項目，Probing error size (PS)、Probing error</p>

建議事項	委辦單位回復說明
<p>≤5 μm (不含待校件)”目前市面上結構光 3D 機台的解析度約 50 μm 附近，透過視覺參考標準件來校正這些機台，如何能得出量測不確定度≤5 μm？或許我有誤解，此處請說明清楚。</p>	<p>form (<i>PF</i>)、Sphere-spacing error (<i>SD</i>)進行評估，並，最終量測不確定度(擴充不確定度)結果分別為 $U(PS)$ 為 2.2 μm、$U(PF)$ 為 2.2 μm、$U(SD)$ 為 4.2 μm，因此得出滿足計畫目標「量測不確定度: ≤5 μm (不含待校件)」的結果。</p>
<p>16.P90 起，方程式出現編號，使得整個報告的方程式的格式出現不一致，請修正。此類格式不一致問題不應該出現在國家標準實驗室的報告中。另，報告中所有方程式下一行的符號說明，不應該縮排，才是正確的寫法，請修正!!</p>	<p>感謝委員的建議與指導，計畫會全面檢視，做統一的修訂。</p>
<p>17.P90，最後一段開頭，”其中....”，指甚麼？一個段落的開頭出現”其中”，就英文來看，這個其中的”其”對應 it 代名詞，則 it 指的是前面提到的，但段落開頭的”其”，就非常不清楚，究竟是指甚麼!!!國家標準實驗室的報告，用字遣詞請仔細斟酌。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，針對本段內容，已加入文字詳細說明：「在上圖的量測不確定度來源中，量測值的不確定度 $u(Lm)$ 包含了重複性和資料數位化兩大項，重複性是依據校正時的重複量測數據去計算標準差，而資料數位化部分，本計畫利用蒙地卡羅法模擬進行分析...」。</p>
<p>18.P90，”實驗室量測系統的不確定度評估結果(圖 2-1-4)呈現....”，但報告中的圖 2-1-4 為一個流程圖，乃誤植，請修正!!</p>	<p>感謝委員，本段文字中的圖號誤植已修訂於審後第二版結案報告中，如下：...實驗室量測系統的不確定度評估結果(圖 2-1-5)呈現 VDI/VDE 2634 規範訂定的 7 個校正位置下...。</p>
<p>19.P91，圖的格式與前不一致，未置中!! 表格參數似剪貼來的，why?</p>	<p>感謝委員的建議與指導，圖的格式已於審後第二版結案報告中修訂置中。表格參數的來源為本計畫投稿之論文內容(論文請參見結案報告陸、成果說明下六、論文一覽表第 7 項)，使用圖片的原因，為擬減少彙整時表格格式變動的機會，已於審後第二版結案報告中，建立表格呈現。</p>
<p>20.P91，圖 2-1-5 mean error 為重要結果數據，然繪圖品質不佳，建議重繪過。圖中 DA DB FA FB L 均未定義，請補上。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，圖 2-1-5 已進行重繪，加粗線條與放大座標軸數字使資訊更清楚。圖中的 <i>DA DB FA FB L</i> 參數，已在 P.90 的內容中補上定義：「...實驗室量測系統的不確定度評估結果(圖 2-1-5)，呈現 VDI/VDE 2634 規範訂定的 7 個校正位置下，球徑(<i>DA</i>、<i>DB</i>)、球形(<i>FA</i>、<i>FB</i>)、球距(<i>L</i>)的 $u(Lm)$ 分量...」。</p>
<p>21.P92，第一行，”...其中標</p>	<p>感謝委員的建議與指導，本段文字中的 $u(Ls)$ 已修正為斜體的 $u(Ls)$。</p>

建議事項	委辦單位回復說明																
準件不確定度 $u(Ls)$ 來自於...”， $u(Ls)$ 格式與他處不一致，請修正。																	
22. 方程式的符號格式應整篇報告前後一致，不應該有的斜體、有的沒斜體，純憑個人喜好，正式報告這是不可以的。請修正!!	感謝委員的建議與指導，計畫會全面檢視，做統一的修訂。																
23. P92，用手算驗證蒙地卡羅法的計算結果，並做出結論，建議解釋計算過程。	感謝委員的建議，針對本段內容，已加入文字解釋計算過程：「為了驗證 MATLAB 程式計算的組合標準不確定度無誤，本計畫另以手動進行不確定度驗算，將不確定度分量統整於表 2-1-3，並使用計算機計算標準不確定量的方均根數值，手動計算出來的組合標準不確定度為 0.0458 mm、而 MATLAB 程式計算為 0.0459 mm，些微差異應為四捨五入運算之影響，因此確認程式計算功能無誤。																
24. P108、P109、P110，符號格式不一致! 多處，請修正。	感謝委員的建議與指導，已修訂於審後第二版結案報告中。																
25. P111，”eTALON 公司開發 LaserTRACER 可進行線性軸 21 項幾何誤差及旋轉軸 20 項幾何誤差，因設備成本昂貴，國內僅有研究機構擁有此量測設備；因此，所發展之技術可突破此量測限制，僅需單一線上尺寸標準件 hole plate，無須搭配額外標準件及裝置，省去多種架設及程式設定等的繁複步驟...”，則 LaserTracer 的建置意義為何？建議說明清楚 LaserTracer 的定位以及它與本項技術的區隔，否則會有自我否定的疑慮。	<p>感謝委員的提問，發展技術與 LaserTRACER 規格比較整理於下表中，根據 ISO 230 規範，五軸工具機整機共有 43 項幾何誤差，LaserTRACER 可分析其中 41 項幾何誤差（三線性軸 21 項及雙旋轉軸 20 項），使用 hole plate 可完整分析 43 項幾何誤差（三線性軸 21 項及雙旋轉軸 22 項）；量測時間方面，LaserTRACER 所需時間為 14 小時，而 hole plate 所需量測時間則可縮短至 4 小時內。</p> <table border="1" data-bbox="560 1144 1409 1691"> <thead> <tr> <th>量測設備</th> <th>量測參數</th> <th>量測規格</th> <th>量測時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Renishaw (XL-80+ 光學鏡組、XR20-W)</td> <td>三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 2 項幾何誤差</td> <td>線性準確度: $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$ 角度準確度: $\pm 1''$</td> <td>三線性軸: 16 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 1 hrs</td> </tr> <tr> <td>LaserTRACER</td> <td>三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 20 項幾何誤差</td> <td>標準不確定度: $0.2 \mu\text{m} + 0.3 \mu\text{m}/\text{m}$</td> <td>三線性軸: 8 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 6 hrs</td> </tr> <tr> <td>Hole plate</td> <td>三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 22 項幾何誤差</td> <td>標準不確定度: $0.45 \mu\text{m}$</td> <td>三線性軸: 2.5 hrs 雙旋轉軸: 1.5 hrs</td> </tr> </tbody> </table>	量測設備	量測參數	量測規格	量測時間	Renishaw (XL-80+ 光學鏡組、XR20-W)	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 2 項幾何誤差	線性準確度: $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$ 角度準確度: $\pm 1''$	三線性軸: 16 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 1 hrs	LaserTRACER	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 20 項幾何誤差	標準不確定度: $0.2 \mu\text{m} + 0.3 \mu\text{m}/\text{m}$	三線性軸: 8 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 6 hrs	Hole plate	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 22 項幾何誤差	標準不確定度: $0.45 \mu\text{m}$	三線性軸: 2.5 hrs 雙旋轉軸: 1.5 hrs
量測設備	量測參數	量測規格	量測時間														
Renishaw (XL-80+ 光學鏡組、XR20-W)	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 2 項幾何誤差	線性準確度: $\pm 0.5 \mu\text{m}/\text{m}$ 角度準確度: $\pm 1''$	三線性軸: 16 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 1 hrs														
LaserTRACER	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 20 項幾何誤差	標準不確定度: $0.2 \mu\text{m} + 0.3 \mu\text{m}/\text{m}$	三線性軸: 8 hrs / 1 m 雙旋轉軸: 6 hrs														
Hole plate	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 22 項幾何誤差	標準不確定度: $0.45 \mu\text{m}$	三線性軸: 2.5 hrs 雙旋轉軸: 1.5 hrs														
26. P111，校正所需時間 4 小時，甚長，為何？有改進的空間嗎？可以在半小時內完成嗎？其方案為何？	感謝委員的提問，由實際商用場域試煉結果，含前置作業之量測時間可縮短至 2.5 小時(實際量測時間 105 分鐘)，其時間為五軸工具機三線軸幾何誤差量測，包含量測測頭量測時間及尺寸參考標準件 (hole plate) 架設時間；比較目前市售商用儀器，於 21 項幾何誤差所需量測時間，開發技術皆優於商用儀器。																
C 委員																	

建議事項	委辦單位回復說明																														
<p>27.動態力校驗系統以質量塊配合產生的加速度，產生動態力，而動態力感測器的感測能力除有頻率範圍的限制外，尚有加速度範圍的限制，會反應在感測器輸出訊號與雷射干涉儀位移訊號的相位是否同相，應先確認。另外，校驗用加速度參數應使用數個具代表性的加速度與質量進行比對，確認系統對加速度的校驗範圍。</p>	<p>動態力感測器為系統之待校件，感測器內之感測元件，如：應變片，受外力影響使內部電阻值發生形變，進而改變感測器之電壓輸出，因此，感測器將以其型號所示之最大力量值作為校驗上限，而感測器之施力頻率校驗上限則受訊號處理器(signal conditioner)或訊號放大器(Amplifier)之更新頻率而訂定，一般來說，訊號處理器之更新頻率須為目標施力頻率之 5 倍以足以解析動態力量之效應。另外，感測器結合訊號處理器之輸出電壓，訊號輸出延遲會在 $\mu\text{s} \sim \text{ms}$ 之尺度，而雷射干涉儀位移訊號之時間延遲屬於 ns 尺度，會在感測器校驗過程中進行同步取樣，並將相位延遲列入考慮。</p> <p>動態力之施力振幅 $F_{\text{max}} = m a = m d (2\pi f)^2$，$m$ 為法碼質量，d 為法碼位移振幅，f 為施力頻率。以目標施力與法碼質量之比值設定加速度，其校驗範圍之設定需考慮振動試驗機之規格：最大加速度為 980 m/s^2，最大位移振幅為 12.7 mm 是否能匹配，以 5 kg 法碼為例，並以計畫目標施力($100 \text{ N} \sim 1 \text{ kN}$)與頻率($10 \text{ Hz} \sim 2000 \text{ Hz}$)交叉代入計算：</p> <table border="1" data-bbox="560 808 1481 1099"> <thead> <tr> <th></th> <th>力量輸出(N)</th> <th>法碼質量(kg)</th> <th>加速度(m/s^2)</th> <th>頻率(Hz)</th> <th>振幅位移(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>5</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>5.066059</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100</td> <td>5</td> <td>20</td> <td>2000</td> <td>0.000127</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1000</td> <td>5</td> <td>200</td> <td>10</td> <td>50.660592</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1000</td> <td>5</td> <td>200</td> <td>2000</td> <td>0.001267</td> </tr> </tbody> </table> <p>結果顯示組合 3:施力 1000 N，施力頻率 10 Hz 會超出振動試驗機之 位移極限，而另外第 1、2、4 組中，可透過 1 和 4 之測試涵蓋施力範圍、施力頻率，加速度與對應之振幅位移，故結案報告以此兩組之測試結果進行說明。</p>		力量輸出(N)	法碼質量(kg)	加速度(m/s^2)	頻率(Hz)	振幅位移(mm)	1	100	5	20	10	5.066059	2	100	5	20	2000	0.000127	3	1000	5	200	10	50.660592	4	1000	5	200	2000	0.001267
	力量輸出(N)	法碼質量(kg)	加速度(m/s^2)	頻率(Hz)	振幅位移(mm)																										
1	100	5	20	10	5.066059																										
2	100	5	20	2000	0.000127																										
3	1000	5	200	10	50.660592																										
4	1000	5	200	2000	0.001267																										
<p>28.麥克風校正具有互換性，一個為音源，一個為接收器，置入空腔耦合器中，校驗數據應於音源和接收器的放置在耦合器的位置無關，是否有音源和接收器互換後取得相同數據的測試資料。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，互換校正是採用三個麥克風，以每兩個為一組進行校正，一個為音源，一個為接收器，分別置入校正系統之空腔耦合器中，例如麥克風 1 為音源與麥克風 2 為接收器，量測獲得麥克風 1 與麥克風 2 靈敏度乘積，再以麥克風 1 為音源與麥克風 3 為接收器，量測獲得麥克風 1 與麥克風 3 靈敏度乘積，最後以麥克風 2 為音源與麥克風 3 為接收器，量測獲得麥克風 2 與麥克風 3 靈敏度乘積，由此三組麥克風靈敏度乘積的聯立方程式，求解獲得每個麥克風之靈敏度，音源和接收器互換後取得的數據資料都會納入靈敏度模數及相位的計算。</p>																														
<p>29.視覺感測器 3D 量測校正系統，應用攝像機進行結構光條紋投影之視覺 3D 尺寸量測，校正量測範圍為 $800 \sim 1500 \text{ mm}$ 之中大型量測範圍，不確定度要達微米級，因光學鏡頭有光學繞射極限問題，報告中未提及相關光學系統規格驗證。</p>	<p>感謝委員的建議，本子項計畫應用的查核系統(視覺感測器)，光學規格為焦距 16 mm、光圈 8 mm，在可見光波長範圍 $360 \text{ nm} \sim 830 \text{ nm}$ 的光學繞射造成的艾里斑直徑為 $1.76 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ 之間，約為查核系統使用感光元件的像素尺寸($3.45 \mu\text{m}$)，光學繞射的影響並不明顯，進一步分析不確定度來源，較多是來自於待校件的立體視覺參數(焦距、主軸點、鏡頭畸變)以及標準件的不確定度(環境溫度、本身的熱膨脹係數、不同擺放角度的受力變形)。</p> <p>另外本計畫旨在提供可靠的校正方法，因此計畫目標的微米級不確定度為校正方法的不確定度，其中的不確定度來源包含視覺參考標</p>																														

建議事項	委辦單位回復說明
	準件使用的環境溫度、本身的熱膨脹係數、不同擺放角度的受力變形造成的不確定度，此外視覺參考標準件本身的校正追溯是使用微米級的座標量測儀進行校正追溯(誤差規格為 $0.4+L/850$ ，L 單位為 mm)，因此綜整上述的不確定度，可得最大的量測不確定度(擴充不確定度)為 $4.2\ \mu\text{m}$ ，達到計畫中「量測不確定度： $\leq 5\ \mu\text{m}$ (不含待校件)」的目標。
D 委員	
30.依書面報告內容，各工作項目及查核點均能依規畫進度執行。	感謝委員的肯定與支持。
31.依書面報告內容，各工作項目達成內容均能符合需求規範書。	感謝委員的肯定與支持。
32.對於相關技術未來的技轉(應用情境)，建議團隊可多找產業界做腦力激盪。	感謝委員的建議與指導，業界的需求一直是計畫所重視的，並是規劃內容的重要依據，團隊會多拜訪產業界及相關工業同業公會，也期待產業界及相關工業同業公會能不吝指教。
33.要多思考如何將成果以產業界更易理解的方式表達。	感謝委員的建議與指導，團隊將透過增加與產業的對話，並將成果更清楚呈現，讓產業界更易理解計畫已建立的技術能量，讓需求與技術能量連線。
E 委員	
34.本計畫年度之執行進度及經費之運用，符合預期目標。此外，個研發之技術效能大多優於標竿技術效能，值得肯定。	感謝委員的肯定與支持。
35.本計畫已將研發成果包括訊號擷取分析驗證技術、黑體溫度測溫計量技術運用、奈米壓痕量測薄膜技術等 17 項技術移轉至基太克、優力國際等 19 家業者，累計 IP 收入達 5,608,380 元，並滿足至少 78 家次企業之校正追溯與能力試驗要求，成效陸續顯現。	感謝委員的肯定與支持。
36.各研發技術之產業效益已進行初步盤點，建議後續可以將應用於各產業實質效益統整，以展現本計畫執行亮點。	感謝委員的建議與指導，計畫會統整建立技術於各產業應用的效益案例，促使清楚呈現執行亮點。
37.建議思考大學研究端、NML 端及產業端之連結運	感謝委員的建議與指導，計畫會思考大學研究端、NML 端及產業端之連結運作，以形塑正向 Ecosystem 運作。

建議事項	委辦單位回復說明
作，以形塑正向 Ecosystem 運作。	
38. 本計畫部分成果可減少國內二級實驗室送國外校正所需之時間與費用，請說明是否有與國外檢測單位取得合格開立檢測報告之資格。	感謝委員的建議與指導，本計畫所建立之校正能量，納入國家度量衡標準實驗室進行維持與管理，我國國家度量衡標準實驗室於 91 年 6 月正式加入國際度量衡大會(CGPM) 之仲會員及簽署全球相互認可(MRA)協議，即各國相互承認各國家計量院所核發之校正或測試報告，亦即相互承認各 NMI 之量測能力。
39. 宜補充說明年度目標達成情形(重大效益)	感謝委員的建議與指導，本年度計畫有以下超越目標的達成： (1)5 個子計畫中，有 4 個子項的達成技術規格超越目標。 (2)技轉收入數 6,723,380 元，繳庫累計數 4,034,030 元，目標達成率 100.85%。 (3)論文達成率 171.4%、技術報告達成率 177.8%。 (4)碩博生培育達成率 160%。 (5)廠商訪視達成率 133.3%。
40. 本計畫人力並未達原規劃，宜說明原因。	感謝委員的建議與指導，計畫人力於一年執行中有離職、新進同仁、或因須突破未預期的困難需調整職級人力，故在總人事費固定、且不同職級有不同的人事費率下，人力動支不等於原先規劃人年數，但符合標準局規定的正負 10% 內。
41. 本計畫各量化指標大致符合預期規劃，後續宜評估推動效益，並展現亮點成果。	感謝委員的建議與指導，計畫會統整建立技術於各產業應用的效益案例，促使清楚呈現執行亮點。
42. 本計畫之研發成果擴散在國內外是否有機會擴散至國際，以強化國際影響力。	感謝委員的建議與指導，計畫建立之校正系統，均會定期與各國標準實驗室進行比對，確保量測能力一致；關鍵技術亦會透過期刊論文發表或國際研討會，與該領域專家交流並建立專業形象，以強化國際影響力。而透過線上量測設備的建置，不但可提供國內產業使用，預期亦可提供國外相關產業使用。
43. 宜建立計量資料庫，以利後續各產業依據指引。	感謝委員的建議與指導，計量資料庫實為本計畫之長期目標之一，線上量測設備的建置即是其中一環，後續計畫會思考如何整合線上量測設備所獲取之計量數據，建立計量資料庫，以利後續各產業依據指引。
44. 委外智慧機械資訊安全風險分析之成果，宜確認與其他科技專案不同。	感謝委員的建議與指導，本計畫所委託部分僅先針對計畫中開發之線上量測設備做資安風險之管理與預防。而就與其他科技專案不同之處，會在請該委託案進行相關確認。
45. 目前 open-Lab 開放予廠商短暫使用之情形，請說明。	感謝委員的建議與指導，本計畫實驗室屬國家度量衡標準實驗室，校正系統須維持與國際接軌的量測精度，提供產學研校正追溯，故不開放廠商短暫使用，如有需求之廠商，計畫則透過技術合作發展之模式，由實驗室同仁代為操作，進行使用。
46. 線上量測之效能宜評估，以利技術移轉至線上之效能損失。	感謝委員的建議與指導，計畫建立之線上量測技術，均陸續展開場域試煉，即是考慮實驗室建立之量測技術，能更貼合產業現場實際情形，滿足產業需求。

建議事項	委辦單位回復說明
47.數位簽章後續可以依循數發部擬成立之部會之規範運作。	感謝委員的建議與指導，配合國家度量衡標準實驗室之規畫，引用適用數發部之規範於計畫內運作。
48.本計畫成果報告中所列參考文獻太舊，建議後續研發可以多參考近期文獻，以利強化的研發成果之創新價值。	感謝委員的建議與指導，計畫會再全面檢視引用文獻，並更新至最新期之參考文獻。