

經濟部科技專案期末成果報告書

111 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 111 年 01 月至 111 年 12 月止

中華民國 111 年 12 月

目錄

壹、基本摘要	8
貳、計畫目標與產業需求	12
一、全程計畫目標	12
二、國家度量衡標準實驗室定位與任務	15
三、產業需求	15
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	36
參、年度計畫目標及執行情形	44
一、感測器計量標準建構分項	45
(一) 力量感測校正技術	49
(二) 機械聲音之聲學麥克風校正技術	68
二、工具機線上校正技術建立分項	94
(一) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術	95
(二) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術	107
(三) 計量數位化推動	127
三、產業線上量測標準商用場域試煉	139
四、本年度技術亮點	146
五、技術推廣影片	153
六、後續技術與系統成果應用與服務之擴散規劃	153
七、委託執行情況	154
肆、資源運用情形	156
伍、計畫變更說明	159
陸、成果說明	160
附錄	
附錄一、參考文獻	179
附錄二、資本門設備說明	180
附錄三、滿足企業之校正追溯與能力試驗要求	180
附錄四、量測系統審查意見回覆單 - N02 靜法碼量測系統擴建	184
附錄五、量測系統審查意見回覆單 - D02 塊規干涉校正系統擴建	192
附錄六、OKR 目標與達成一覽	196
附錄七、全程技轉及服務之統計	197
附錄八、審查意見回覆	199

圖目錄

圖 0-1、世界經濟論壇-產業發展之科技驅動力	12
圖 0-2、國際 AI 趨勢與現況 (AI Index 2018 Report)	14
圖 0-3、2018 年機械設備製造業分布	16
圖 0-4、工具機高效能智慧化	18
圖 0-5、我國之標準、計量、檢測、認驗證體系	21
圖 0-6、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	22
圖 0-7、PTB 計量與管理平台	24
圖 0-8、NIST 品質資訊架構流程圖	25
圖 0-9、計畫全程架構	26
圖 1-1-1、以 N02 系統量測靜態靈敏度之架設圖	50
圖 1-1-2、力量傳感器之輸出電壓隨施力與激發電壓乘積之變化	52
圖 1-1-3、動態靈敏度架設示意圖	54
圖 1-1-4、動態靈敏度 $S(f)$ 隨施力頻率之變化，並與靜態靈敏度 S_s 比較	56
圖 1-1-5、動態靈敏度修正值 S_D 隨施力頻率之變化，並與靜態靈敏度 S_s 比較	57
圖 1-1-6、系統查驗會議記錄	68
圖 1-2-1、陸域風力發電機葉片運轉噪音量測流程圖	71
圖 1-2-2、彰工風場機組相對位置(鳥瞰圖)	72
圖 1-2-3、現場量測示意圖	72
圖 1-2-4、風機葉片噪音聲壓隨時間的變化	74
圖 1-2-5、波行裁切後的時域訊號	75
圖 1-2-6、風機葉片噪音頻譜分析	76
圖 1-2-7、損壞風機葉片噪音於各頻段之訊號強度變化	78
圖 1-2-8、正常風機葉片噪音於各頻段之訊號強度變化	79
圖 1-2-9、擷取風機葉片噪音特徵之演算法流程圖	80
圖 1-2-10、資料拆分成五個堆疊的交叉驗證示意圖	82
圖 1-2-11、決策樹結構示意圖	83
圖 1-2-12、決策樹模型學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)	83
圖 1-2-13、隨機森林演算法與其架構視覺化	85
圖 1-2-14、隨機森林演算法學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)	86
圖 1-2-15、極限梯度提升(XGBoost)演算法示意圖	87
圖 1-2-16、XGBoost 演算法之學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)	87
圖 1-2-17、四湖風力發電站(左)、風機葉片檢測中(中)與量測儀器_積分噪音計(右)	89
圖 2-1-1、3D 球桿標準件示意圖	97
圖 2-1-2、3D 球桿標準件設計圖	98

圖 2-1-3、量測不確定度來源魚骨圖	99
圖 2-1-4、球體定位誤差模擬示意圖	100
圖 2-1-5、MATLAB 組合標準不確定度模擬與估算圖形介面.....	101
圖 2-1-6、視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序架構	102
圖 2-1-7、球體定位誤差模擬示意圖	104
圖 2-2-1、hole plate 硬體設計示意圖	109
圖 2-2-2、三線性軸幾何誤差示意圖	110
圖 2-2-3、雙旋轉軸幾何誤差示意圖	111
圖 2-2-4、旋轉軸幾何誤差分析流程圖	113
圖 2-2-5、座標量測儀旋轉軸實際圖	114
圖 2-2-6、現有標準件比較(a) 24 面多邊規搭配自動視準儀、(b)電子水平儀.....	115
圖 2-2-7、hole plate 架設方向示意圖(a) XY 平面、(b) XZ 平面、(c) YZ 平面、(d) 旋轉軸.....	116
圖 2-2-8、量測不確定度來源魚骨圖	119
圖 2-2-9、溫度與組合標準不確定度分析流程圖	121
圖 2-2-10、hole plate 水平架設方向示意圖(a) 水平架設:XY 平面、(b) C 旋轉軸、(c) B 旋轉軸..	122
圖 2-2-11、hole plate 垂直架設方向示意圖(a) 垂直架設:XZ 平面、(b) 垂直架設:YZ 平面.....	123
圖 2-3-1、座標量測儀 21 項幾何誤差量測數據格式轉換	130
圖 2-3-2、線性軸 21 項幾何誤差補償之流程	130
圖 2-3-3、座標量測儀校正報告格式與 hole plate 量測數據	132
圖 2-3-4、機器可讀取之量測資料系統(XML).....	132
圖 2-3-5、人類可讀取之量測資料系統(PDF).....	134
圖 2-3-6、人機介面軟體功能	135
圖 2-3-7、人機介面量測數據格式轉換	135
圖 2-3-8、補償檔格式轉換	136
圖 2-3-9、實機測試，進行五軸工具機量測	137
圖 2-3-10、實機測試，進行 XML 量測檔案讀取格式轉換上傳	137
圖 2-3-11、實機測試，補償參數確認	138
圖 2-3-12、執行計畫與現有補償方式比較	138
圖 4-1-1、國內儀器校正追溯現況	146
圖 4-1-2、3D 球桿標準件	146
圖 4-1-3、量測不確定度來源魚骨圖範例	147
圖 4-1-4、友嘉實業案例說明	148
圖 4-1-5、大銀微系統及上銀科技案例說明	149
圖 4-1-6、非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術之現場量測示意圖	150
圖 4-1-7、黑體溫度線上校正擬真器未來的擴大應用	151
圖 4-1-8、風力發電機葉片損毀案例	152
圖 4-1-9、風力發電機葉片運轉聲音檢測	152

圖 4-1-10、機械聲音智能特徵檢測技術應用	153
-------------------------------	-----

表目錄

表 0-1、我國工具機產業應用領域	16
表 0-2、世界各國工具機產業應用領域	17
表 0-3、我國工具機智慧化功能項目	19
表 0-4、智慧化感測器於工具機之量測區域	19
表 0-5、國家度量衡標準實驗室對感測器校正之技術盤點圖	20
表 0-6、計畫分年關鍵里程碑	27
表 1-1-1、先進國家之動態力量發展現況	49
表 1-1-2、力量感測器量測與內插曲線數值	51
表 1-1-3、靜態靈敏度之不確定度來源列表	52
表 1-1-4、靜態靈敏度各項不確定度之計算結果	53
表 1-1-5、動態靈敏度量測數據	55
表 1-1-6、10 Hz~150 Hz 內部質量計算結果	56
表 1-1-7、位移 d 列表	59
表 1-1-8、 v_{plat} 自由度列表	60
表 1-1-9、位移標準不確定度各項分量數值表	62
表 1-1-10、空氣阻力標準不確定度表	63
表 1-1-11、標準動態力的標準不確定度及自由度	63
表 1-1-12、力量傳感器組裝誤差的標準不確定度表	64
表 1-1-13、力量傳感器輸出電壓重複性的標準不確定度表	65
表 1-1-14、傳感器輸出電壓之標準不確定度表	65
表 1-1-15、系統擴充不確定度表	67
表 1-2-1、國內陸域風力發電廠彙整表	70
表 1-2-2、風機葉片噪音現場量測資訊	73
表 1-2-3、風機葉片噪音特徵擷取項目	77
表 1-2-4、調整後的風機葉片噪音特徵擷取項目	81
表 1-2-5、各項特徵在所有特徵之中對於決策樹模型的影響力比例	85
表 1-2-6、決策樹、隨機森林與極限梯度提升之性能比較	88
表 1-2-7、各項特徵在所有特徵之中對於 XGBoost 的影響力比例	88
表 1-2-8、2022/09/15 風機葉片噪音現場量測資訊	90
表 1-2-9、2022/09/15 風機葉片損壞預測結果與實際狀況比對(每架隨機取 1 組測試)	90
表 1-2-10、2022/09/15 風機葉片損壞預測結果與實際狀況比對(每架隨機取 5 組採多數決測試)	91
表 1-2-11、2022/11/15 風機葉片噪音現場量測資訊	91
表 1-2-12、2022/11/15 風機葉片噪音現場量測資訊	92
表 2-1-1、分析特徵(球徑、球形誤差、球距)之標準件校正不確定度	103

表 2-1-2、球徑組合標準不確定度分析表	105
表 2-1-3、球距組合標準不確定度分析表	105
表 2-1-4、球形組合標準不確定度分析表	106
表 2-2-1、年度計畫目標比較	107
表 2-2-2、座標量測儀旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果	115
表 2-2-3、五軸工具機三線性軸 21 項幾何誤差量測結果	117
表 2-2-4、五軸工具機 C 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果	117
表 2-2-5、hole plate 幾何誤差量測結果與 Renishaw XL-80 雷射干涉儀量測結果比較	117
表 2-2-6、hole plate 幾何誤差量測結果與 Renishaw XR20-W 旋轉軸校正儀量測結果比較	118
表 2-2-7、組合標準不確定度分析表	120
表 2-2-8、組合標準不確定度分析表	121
表 2-2-9、五軸工具機(第二台)三線性軸 21 項幾何誤差量測結果與雷射干涉儀(Renishaw XM-60)量測結果進行比較	124
表 2-2-10、五軸工具機(第二台)C 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果	125
表 2-2-11、五軸工具機(第二台)B 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果	125
表 2-2-12、五軸工具機(第二台)雙旋轉軸 2 項幾何誤差量測結果與雷射干涉儀(Renishaw XR-20W)量測結果進行比較	125
表 2-2-13、業者採用方法與發展技術比較表	126
表 2-2-14、目前商用量測技術與發展技術比較表	127

壹、基本摘要

科資中心編號	PG11103-0038			
計畫名稱	111 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	111-1402-04-22-05	
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	111 年 01 月 13 日 至 111 年 12 月 31 日			
計畫經費	58,216,000 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	100	100	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	58,216,000 元	58,057,077 元	99.73
	全程	312,567,000 元	311,706,077 元	99.72
註:				
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。				
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		
	陳生瑞	Sheng-Jui Chen		
	饒瑞榮	Ray-Rong Lao		
	陳智榮	Jr-Rung Chen		
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"> ●年度目標： <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； -不確定度 ≤ 2 % ●執行成果： <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； -不確定度：1.8 % (超目標) <p>【標竿比較】</p>			

PTB 能量：施力至 2 kN；頻率 50 Hz 至 2 kHz；不確定度 $\leq 2\%$ （本計畫不確定度目標 $\leq 2\%$ ）

●完成後之影響與產業效益：

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

●年度目標：

-機械智能聲音特徵檢測技術：

- 頻率範圍：100 Hz to 20 kHz
- 損壞判定準確率： $\geq 90\%$
- 導入場域測試及應用 1 家廠商

●執行成果：

-機械智能聲音特徵檢測技術：

- 頻率範圍：100 Hz to 20 kHz
- 損壞判定準確率： $\geq 98\%$ (超目標)
- 導入場域測試及應用 1 家廠商(台灣電力公司)

【標竿比較】

國內技術現況(人工聽覺檢測)：頻率 20 Hz 至 20 kHz，損傷判定準確率約 70%(本計畫開發之機械智能聲音特徵檢測技術適用頻率範圍在 100 Hz 至 20 kHz，損傷判定準確率大於 90%)

●完成後之影響與產業效益：

聲音異音檢測常被應用於旋轉機械診斷，本計畫建立之機械智能聲音特徵檢測技術可協助風電營運商針對常損壞之葉片組件，進行非接觸式的巡檢作業，以客觀且快速的篩檢劣質，取代原先的人工檢測技術，解決人工檢測有聽覺疲勞、誤判機率高問題。且檢測過程無須停機，穩定綠能供電效率，提升巡檢維護整體效率，降低風電營運成本，避免災難性的設備損壞。

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

●年度目標：

- 建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序：校正範圍為 1600 mm 至 3300 mm(空間體對角線)、校正環境溫度範圍為 $(24 \pm 6)^{\circ}\text{C}$ 、標準件最大尺寸： $\leq 1000\text{ mm}$
- 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)

●執行成果：

- 完成視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序：校正範圍為 1600 mm 至 3300 mm(空間體對角線)、校正環境溫度範圍為 $(24 \pm 6)^{\circ}\text{C}$ 、標準件最大尺寸： $\leq 1000\text{ mm}$
- 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 $\leq 3.2\ \mu\text{m}$ ，滿足 $\leq 5\ \mu\text{m}$ (不含待校件)的目標(超目標)

【標竿比較】

校正能力滿足產業界現行量測範圍 1600 mm 至 3300 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 μm 、AICON 為 44 μm)

●完成後之影響與產業效益:

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 1600 mm 至 3300 mm、最高精度達 7.6 μm 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

●年度目標:

-線上加工尺寸量測技術溫度評估: 適用旋轉軸盤面: $\leq 550\text{ mm}$ (直徑); 參數: 整機至少 43 項幾何誤差; 適用溫度變異: $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$

-線上加工尺寸量測技術誤差分析: 適用旋轉軸盤面: $\leq 550\text{ mm}$ (直徑); 整機 43 項幾何誤差; 量測不確定度(標準不確定度) $\leq 20\ \mu\text{m}$ (不含 20°C 修正)

●執行成果:

-發展線上參考尺寸標準件 hole plate, 尺寸為 $550\text{ mm} \times 550\text{ mm}$, hole plate 有 44 個 hole 及間距為 50 mm, 應用於三線性軸量測, 及 5 顆標準球應用於雙旋轉軸量測, 適用五軸工具機旋轉軸盤面小於 550 mm, 並實際將 hole plate 安裝於友嘉五軸工具機進行實驗, 量測時將刀具交換為 3D 量測測頭, 量測固定於水平架設及垂直架設之 hole plate 後, 完整分析整機 43 項幾何誤差; 根據國際規範 ISO 230-9, 評估量測結果組合標準不確定度為 2.6 μm ; 利用 Monte Carlo Simulation 方法, 量測期間溫度變異為 $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$ 下, 對於組合標準不確定度影響, 分析結果組合標準不確定度為 $(2.0 \sim 14)\ \mu\text{m}$ 。

【標竿比較】

本子計畫之發展技術可完整量測 43 項幾何誤差, 以工具機的 3D 量測測頭, 量測固定於 3 方向之 hole plate 後, 即可分析整機所有幾何誤差, 優於目前國內工具機業者使用的雷射干涉儀(Renishaw XL-80/XM-60)及旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W)設備, 省去多種光學鏡組架設、程式設定等的繁複步驟。

●完成後之影響與產業效益:

提供國內工具機廠商整機 43 項幾何誤差量測技術, 國內廠商目前使用為線性軸幾何誤差量測設備, 現有量測方法多利用雷射干涉儀(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, 而旋轉軸幾何誤差量測設備由旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W), 僅能量測 1 項角度定位幾何誤差; 透過本子項開發 43 項幾何誤差量測技術, 使用上優於現有量測技術, 由加工刀具與 3D 量測測頭經過線上交換, 量測具低熱膨脹係數 hole plate, 可完整分析 43 項幾何誤差, 量測時無須搭配額外標準件及裝置, 標準件具低熱膨脹係數, 可降低環境造成量測影響, 取得可準確五軸工具機幾何誤差量測值。

(三)計量數位化推動

●年度目標:

-計量資訊數位化實施例推廣: 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套

	<p>-工具機控制器之幾何誤差補償-場域試煉： hole plate 實際遊校 1 案、幾何誤差補償人機介面軟體一套，hole plate 校正/量測結果輸出- XML 檔案格式、PDF 檔案格式</p> <p>●執行成果：</p> <p>-完成計量資訊數位化實施例推廣： 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套</p> <p>-完成工具機控制器之幾何誤差補償-場域試煉： hole plate 實際遊校 1 案(符合目標)、幾何誤差補償人機介面軟體一套，hole plate 校正/量測結果輸出- XML 檔案格式、PDF 檔案格式</p> <p>【標竿比較】</p> <p>國內工具機業者仍以手動方式將工具機線性軸幾何誤差的補償值寫入至控制器 → hole plate 結合 XML 可即時補償線性軸之空間幾何誤差，進而提升加工產能</p> <p>●完成後之影響與產業效益：</p> <p>藉由示範線上校正技術，將參考標準件- hole plate 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、線上加工尺寸量測技術、線上尺寸量測與幾何誤差不確定度評估技術...等技術移轉至璽合康、台鐵、速聯...等 26 家次業者，累計簽約金額計 7,149,195 元(佔經常門 13.4%)，繳庫金額 5000,000 元。滿足 73 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 680 仟元；與交通大學、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；與精機中心共同合作，健全智慧機械產業量測追溯架構；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) 規劃拜訪至少 12 家相關業者(完成 15 家)，說明計畫服務並提供諮詢，增強橫向連結。</p>
報告頁數	207 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。

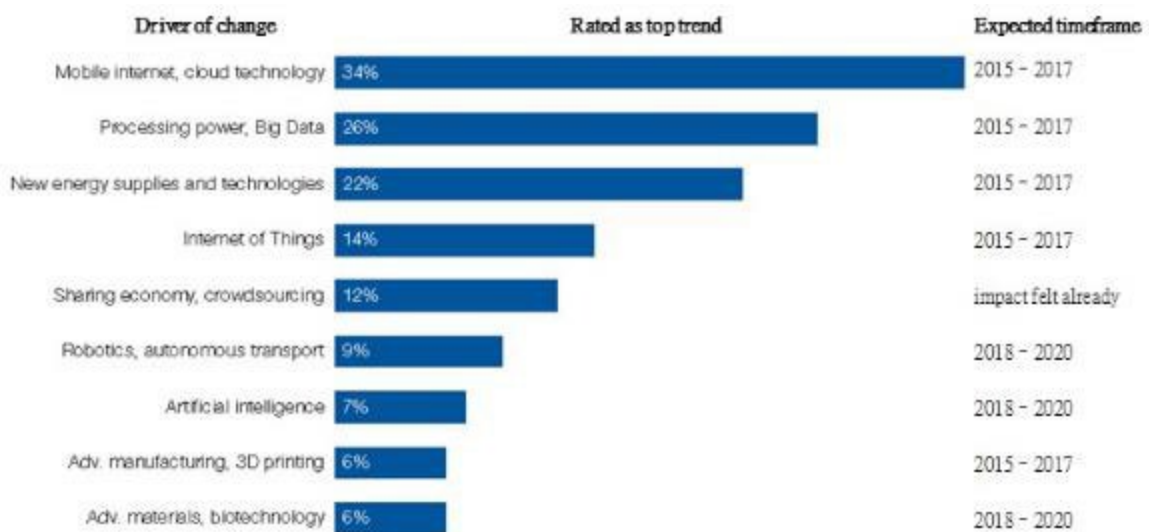


圖 0-1、世界經濟論壇-產業發展之科技驅動力

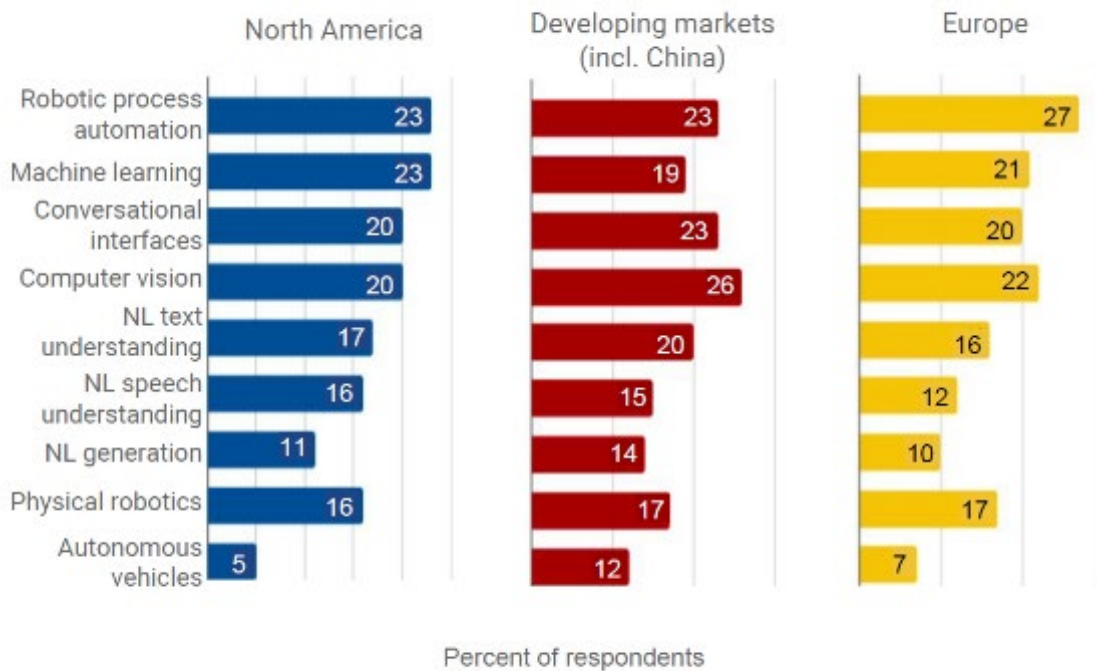
在此發展趨勢下，我國政府也積極推動相關政策，智慧機械產業推動計畫即為政府五加二產業創新之一，其目的即是協助臺灣的精密機械升級為智慧機械，並推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。智慧製造的核心是善用數位化(IT)技術，使產品製造過程中能夠自動收集和分析資料，而在持續積累製造數據下，導入 AI 應用將可進一步做出更明智的決策並優化生產。其中，將涉及大量部署的物聯網以蒐集來自感應器和機械設備的資料，實現資料快速交換、流動

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(Preventative 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。

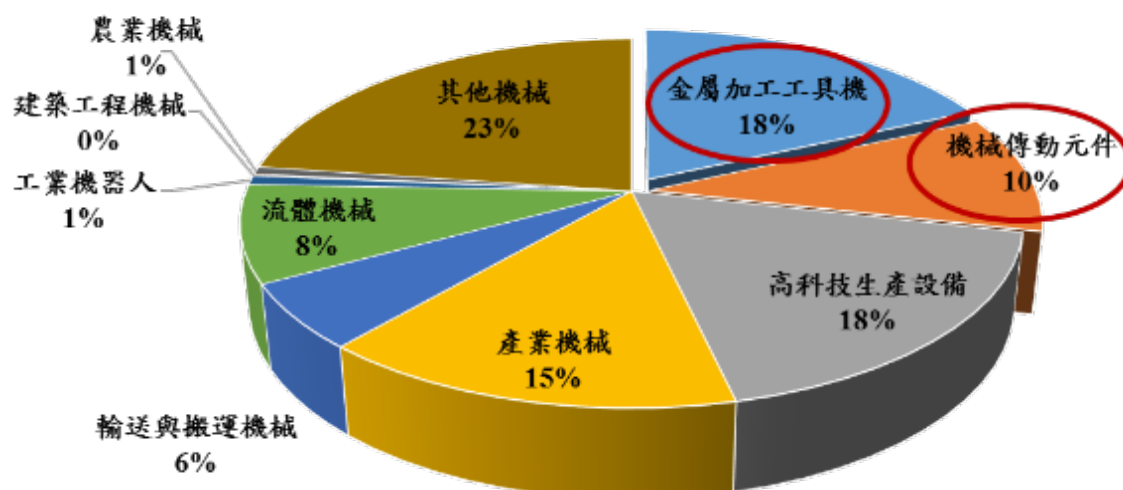


圖 0-3、2018 年機械設備製造業分布

表 0-1、我國工具機產業應用領域

產業別	產值	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。

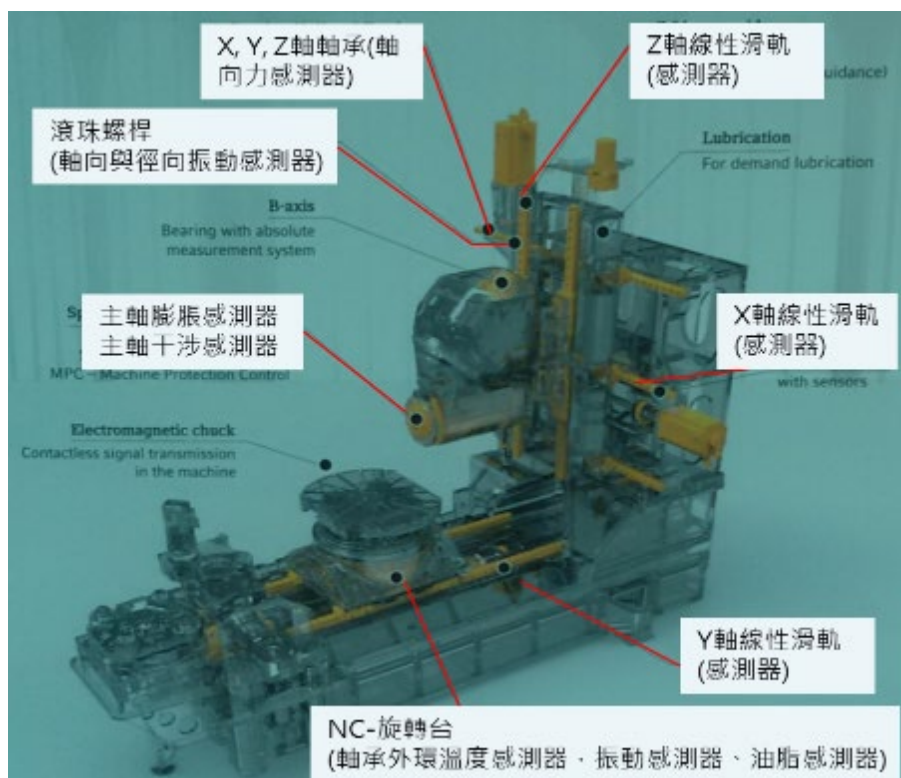


圖 0-4、工具機高效能智慧化

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。表 0-5 為盤點 NML 既有能量後，於本計畫建立擴充量測校正的能量。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。在力量，則在本計畫將能力擴充至小力量的校正能量，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。

表 0-5、國家度量衡標準實驗室對感測器校正之技術盤點圖

參數項目	NML 現有能量	說明
光學尺	已建置	環形編碼器任意角度(0° ~ 360°)校正能量 (已於 109 年完成建置)
力量	部分已建置	(10 mN ~ 10 N)校正能量(已於 109 年完成建置) 動態力量校正能量(已於 111 年完成建置)
3D 視覺	未建置	缺標準件校正能量(已完成球徑、球距標準)
麥克風	部分已建置	缺(10 Hz ~ 20Hz)、(25 kHz ~ 40 kHz)校正能量 (已於 110 年完成建置)
扭力	部分已建置	缺(0.1 N·m~10 N·m)校正能量 (暫訂於第二期計畫規劃建置)

參數項目	NML 現有能量	說明
溫度	已建置	滿足目前產業使用範圍
電壓、電流	已建置	
轉速	已建置	
流量	已建置	
壓力	已建置	
單軸加速度	已建置	
三軸加速度*	未建置	國際未有明確校正規範

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加值計畫」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、系統的技术發展。

同時，以我國之標準、計量、檢測、認驗證體系(如圖 0-5)，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。

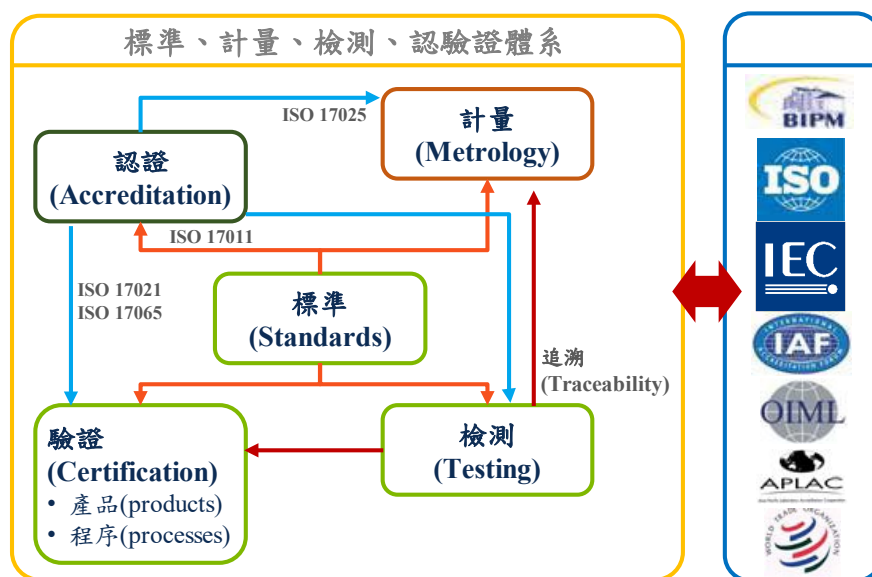


圖 0-5、我國之標準、計量、檢測、認驗證體系

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 0-6 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。

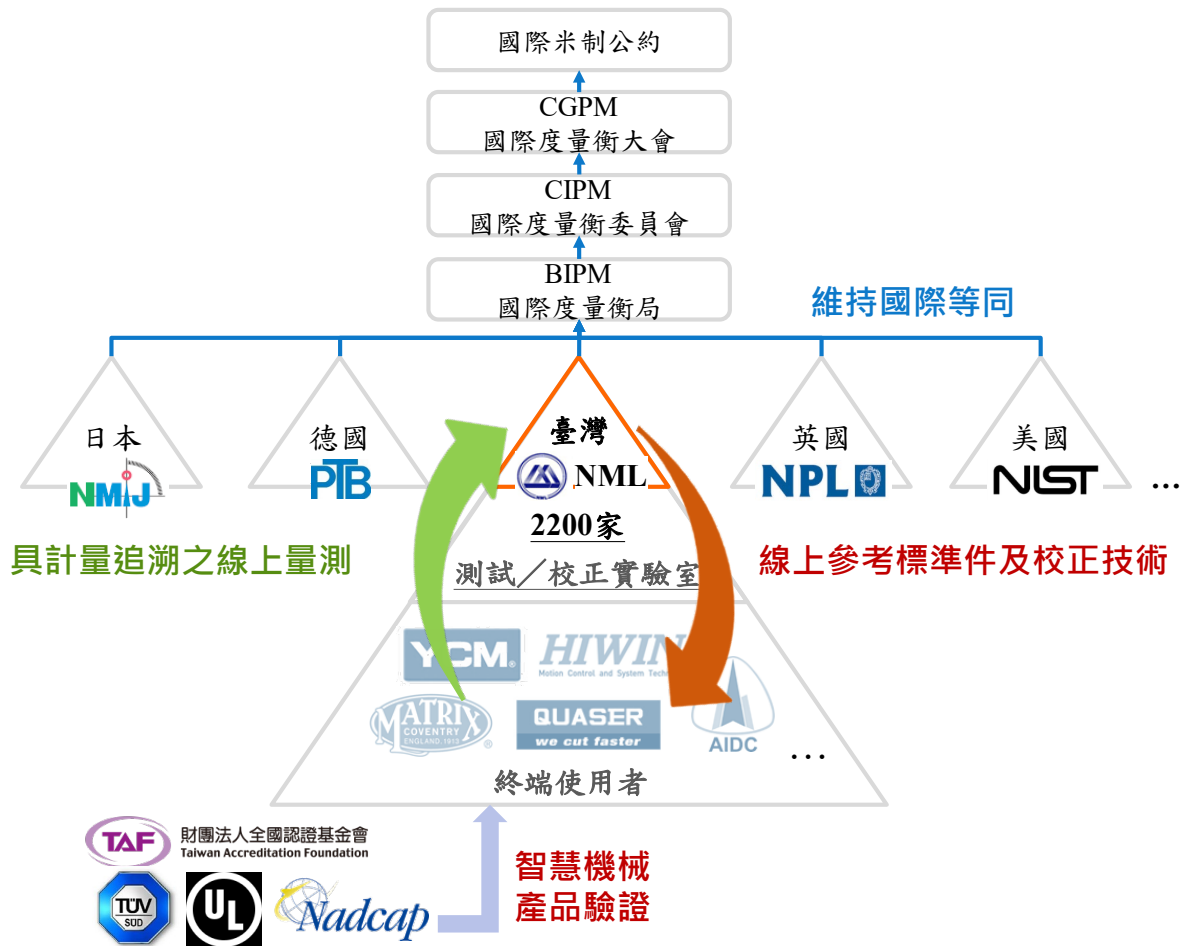


圖 0-6、以“Shop Floor as NMI(計量標準實現於生產線)”為概念之計畫規劃構想

計畫的執行規劃，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。

目前已有多個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)。

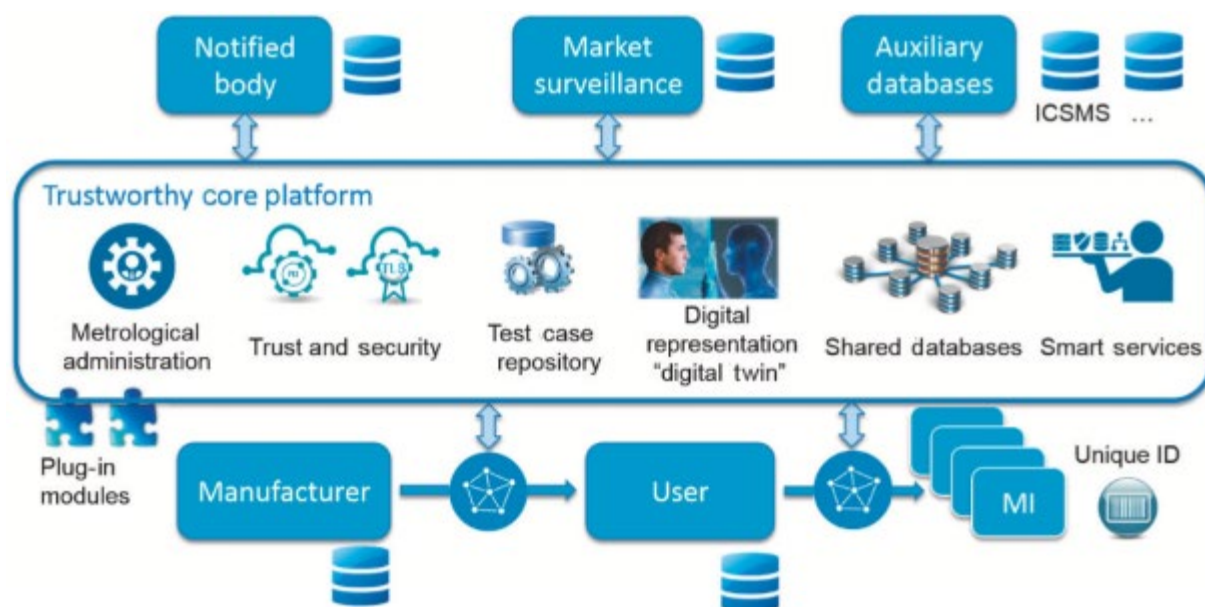


圖 0-7、PTB 計量與管理平台

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)。

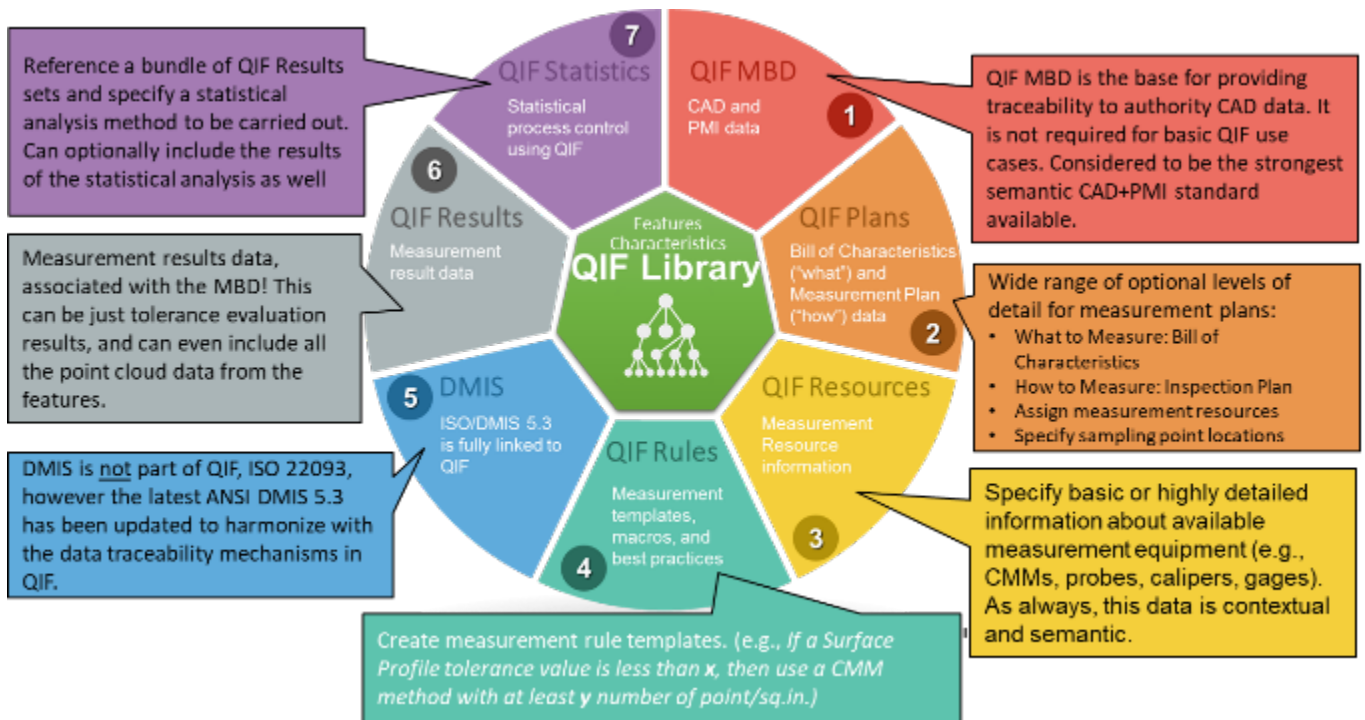


圖 0-8、NIST 品質資訊架構流程圖

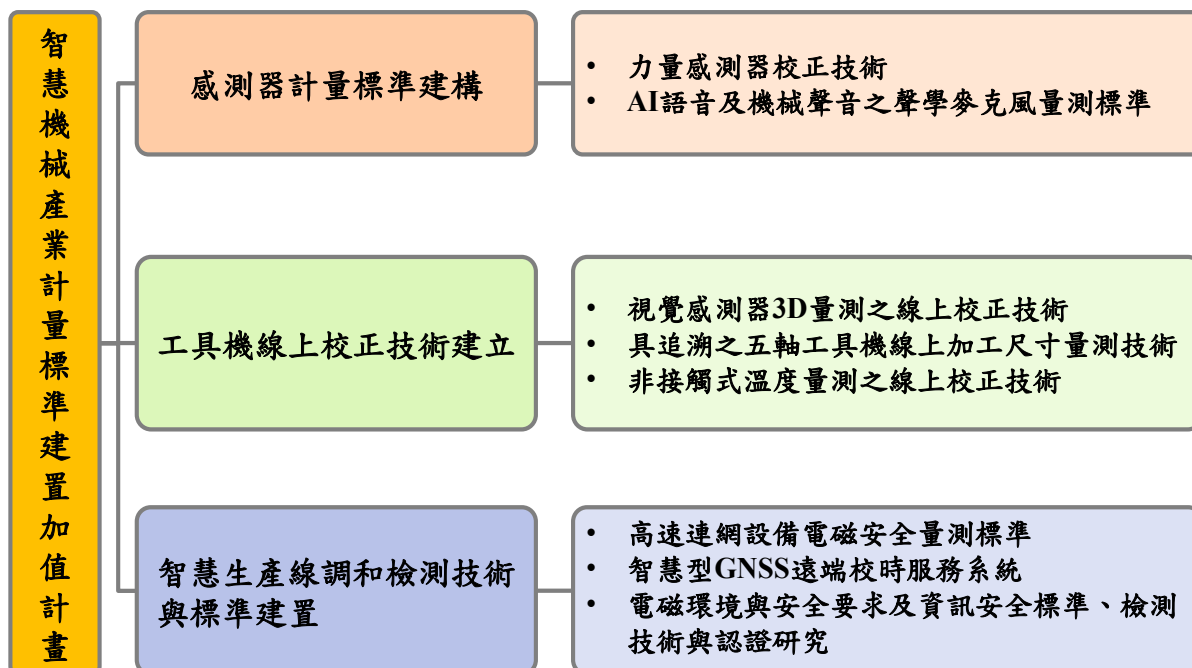
總和上述，本計畫將藉由出國參訪持續蒐集數位化發展下的各項技術發展現況，並就各國最高計量單位之發展規劃進行整理與分析，特別是數位雙生(Digital Twin)模型、QIF、X-ray 電腦斷層掃描儀(X-ray Computed Tomography, XCT)、積層製造及 SmartCom 等議題，以及取相關研究機構與團隊之經驗加速國家度量衡標準實驗室建構與國際等同之高效率線上校正基礎設施，並透過與產業界之合作，示範線上校正與量測對於生產效率提升之功效。同時，本計畫也將針對計量標準、線上校正與量測及檢驗證等，辦理說明會、研討會、及訓練課程等，提升相關人員之職能。

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 0-9，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

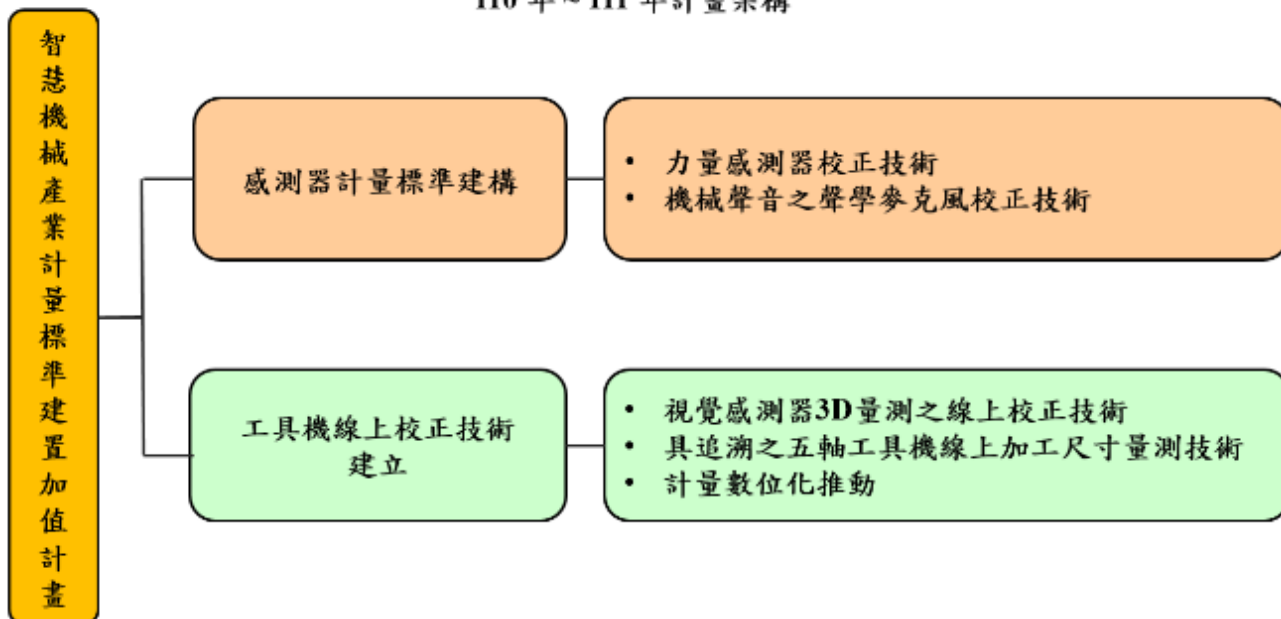


圖 0-9、計畫全程架構

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 0-6。

表 0-6、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：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 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. 計量資訊數位 化實施例推廣
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 962 °C，提供產業	2-1 進行視覺 3D 尺 寸量測儀器之校正 技術，提升量測效 率(1 小時 → 6 分 鐘內) 2-2 進行五軸工具 機線上尺寸量測技 術研究(1/2)，可提 供 21 項幾何誤差 補償，簡化量測設 備及安裝程序、時 間縮短至 4 小時以 內	2-1 完成線上(In- process)視覺 3D 尺 寸量測儀器之校正 追溯(國外原廠耗 時 1 個月 → 國內 校正耗時 1 週)，並 完成商用場域試煉 1 處 2-2 優化五軸工具 機線上尺寸量測技 術(2/2)，完成 43 項幾何誤差補償， 並完成商用場域試 煉 1 處

		線上量測服務，完成商用場域試煉 1 處 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		
	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	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 3-2 與 3 家先進國家實驗室共同推動數位校正憑證 (DCC)	3-1 數位校正證明實施案例至少 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	3-1 擴充數位化實施案例，將 hole plate 量測工具機所得之 21 項幾何誤差結果進行控制器補償，完成場域試煉

【全程計畫結論】

分項一：感測器計量標準建置

	年度目標	關鍵成果	產出成果說明
第一年 民 108 年	針對智機相關產業進行量測缺口盤點調查，瞭解廠商需求	1-1 開 2 次說明會及專家研討會，完成計量標準建置規劃	1-1 辦理下列技術研討會(含專家座談會)，邀請專家學者共同研討，完成計量標準建置的規劃，使計畫研發符合產業需求走向： (1)台灣工業用機器人EMC和安全規範研討會，108.8.23，台北； (2)AI語音與機械聲音之聲學麥克風校正技術研討會，108.10.18，新竹； (3)聲學麥克風校正技術與應用研討會，108.10.24，新竹；

			<p>(4) 自動化機械暨智慧製造展，108.11.07-108.11.11，台中；</p> <p>(5) 智機計畫產業計量標準建置技術交流會，108.11.08，台中。</p>
<p>第二年 民 109 年</p>	<p>擴建量測標準 系統3套</p>	<p>1-1擴建量測系統 3套(D06、N11、 A01)</p>	<p>1-1</p> <p>(D06)以自我校正型角度量測設備作為標準件完成角度塊規校正系統的擴建，提供機械產業對環形編碼器的校正需求，所建立的量測能力(量測範圍: 0° ~ 360° 任意角度；量測不確定度: $\leq 0.2''$)為全球第三，僅次於PTB及NMIJ。</p> <p>(N11)以自行研發之力量傳感器校正系統，建立符合ISO 376力量傳感器校正規範的小力量校正系統，解決廠商對小力量產品檢測之硬度計無法取得校正追溯的問題。擴建後的量測能力(量測範圍: 10 mN ~ 10 N；量測不確定度: 4.1×10^{-3})與PTB(量測不確定度$\leq 10^{-2}$)相當。</p> <p>(A01)藉由擴充系統的訊號產生/分析模組及標準麥克風，運用聲學互換原理與聲場量測分析技術，完成麥克風互換校正系統的能量擴充，可提升國內二級實驗室對實驗室標準麥克風的校正需求。擴建後的量測能力(頻率範圍: 10 Hz ~ 25 kHz；量測不確定度: 0.06 dB ~ 0.20 dB)與NMIJ(量測不確定度0.2 dB ~ 1.0 dB)相當。</p>
		<p>1-2滿足至少20家 次國內產業及二 級實驗室校正追</p>	<p>1-2以建構的角度量測、聲音訊號擷取分析驗證、力量校正…等國家量測標準追溯體系，提供技術服務，傳遞標準至台灣佑能工</p>

		溯需求，減少送國外校正之費用及時間(55家次)	具、生醫電、漢翔航空、東海大學…等各實驗室及業界作為研發、生產製造、認證、驗證等品質管理與活動的基準。
第三年 民 110 年	擴建量測標準系統3套	1-1擴建量測系統3套(A04、D12、U06)	<p>1-1</p> <p>(A04)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，所擴建的量測能力(頻率範圍250 Hz~40 kHz；量測不確定度0.4 dB~0.7 dB)與NMIJ(頻率範圍250 Hz~100 kHz，不確定度為0.2 dB~1.0 dB)相當。</p> <p>(D12)完成真圓度量測系統的升級，精進後的量測能力(量測範圍0.001μm~2 μm；量測不確定度16.4 nm)與NIST(量測範圍0 μm~0.5 μm，量測不確定度6 nm)相當，可提供國內機械產業對圓度、真直度、平行度、圓柱度、角度的高精度量測需求。</p> <p>(U06)以橫電磁波室及電波暗室等設備完成電磁場強度量測系統的擴建(頻率0.1 MHz~8 GHz；最高場強200 V/m；量測不確定度0.70 dB~0.95 dB)，擴建後在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，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。。</p>

		1-2滿足至少30家次國內產業及二級實驗室校正追溯需求，減少送國外校正之費用及時間(74家次)	1-2以建構的電磁場強度量測、溫度量測、聲學音場性能驗證…等國家量測標準追溯體系，提供技術服務，傳遞標準至台灣應材、強電、台積電、長庚醫學科技、知洋科技…等各實驗室及業界作為研發、生產製造、認證、驗證等品質管理與活動的基準。
第四年 民 111 年	擴建量測標準系統2套	1-1擴建量測系統2套(N02、D02)	<p>1-1</p> <p>(N02)本年度以增加動態力量的校正能量，完成N02靜法碼校正系統的能量擴充，解決廠商對動態力量感測器標準件無法於國內進行校正追溯的困境。擴建後的量測能力(頻率範圍10 Hz~2 kHz；力量範圍100 N~1 kN；量測不確定度 1.8%)與PTB(頻率範圍50 Hz~2 kHz；力量範圍至2 kN；量測不確定度2%)相當。</p> <p>(D02)藉由設備的汰換與量測不確定度的評估，完成D02塊規校正系統之精進，完成後的系統能量。量測範圍0.5 mm~100 mm；量測不確定度鋼質：$[22^2 + (0.43 L)^2]^{1/2}$ nm，涵蓋因子$k=2.13$ (信賴水準95%)；陶瓷：$[22^2 + (0.42 L)^2]^{1/2}$ nm，涵蓋因子$k=2.13$ (信賴水準95%)，可滿足國內智慧機械產業二級校正、測試、及產品驗證等對長度校正追溯與能力試驗之需求。</p>
		1-2滿足至少40家次國內產業及二級實驗室校正追溯需求，減少送國外校正之費用及時間(73家次)	1-2以建構的視覺3D尺寸量測儀校正技術、尺寸參考標準件、標準球徑量測技術、黑體模擬光源校正技術…等國家量測標準追溯體系，提供技術服務，傳遞標準至福宮通商、中山科學研究院、台灣檢驗科技、台灣三豐儀器、亞迪電子…等各實驗室及業界作為研

			發、生產製造、認證、驗證等品質管理與活動的基準。
--	--	--	--------------------------

分項二：工具機線上校正技術建立

	年度目標	關鍵成果	產出成果說明
第一年 民 108 年	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	2-1 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完成可攜式單一旋轉軸幾何誤差線上快速量測技術之驗證平台，並完成角度定位準確度(ECC)之誤差分析，比較日本NMIJ發展之SelfA量測方法與傳統方法(利用自動視準儀及多邊規量測方法)，其平均差異值約為0.7角秒。
	計量資訊數位化研究	3-1 參與歐盟 SmartCom 計畫	3-1與PTB共同合作進行量測數據交換格式規範之先期研究，該合作計畫名稱為「Communication and validation of smart data in IoT-networks (SmartCom)」，參與國家還包含英國 NPL、捷克 CMI、韓國 KRISS、中國 NIM、斯洛維尼亞 UM；國際指標公司包含三豐 Mitutoyo、蔡司 Zeiss、海克斯康 Hexagon、莎多利斯 Sartorius，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。
第二年 民 109 年	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/精進溫度與角	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	2-1可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, PoCAS)使用於工具機旋轉軸檢測，可同時分析角度定位(準確度 $\leq 0.5''$)、2方向偏轉(準確度 $\leq 1.5 \mu\text{m}$)之幾何誤差，實現提供3項誤差量測。 2-2進行非接觸式工具機單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術之量測評估，使用

	<p>度線上校正參考標準件2件</p>	<p>2-2完成工具機雙旋轉軸16項誤差量測技術</p> <p>2-3完成非接觸式固定點溫度量測技術(962 °C)</p> <p>2-4完成固定點黑體模擬器及精進單轉軸量測標準件，共2件</p>	<p>單一標準件及追蹤式雷射干涉儀，可實現分析雙旋轉軸全部16項幾何誤差，並以蒙地卡羅法進行不確定度評估，角度誤差之量測不確定度皆小於0.6"、線性誤差之量測不確定度皆小於0.3 μm。</p> <p>2-3 完成固定點黑體模擬器之傳遞(參考)標準件，可於30分鐘內升溫至962 °C、穩定度達± 0.5 °C，確保高溫非接觸式量測之準確度。</p> <p>2-4 成固定點黑體模擬器之傳遞(參考)標準件1件，具有高自由度、不佔空間、低耗電之綠能標準源，提供產業線上隨時、隨手進行線上品保，大幅提升競爭力。精進可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, PoCAS)並使用於工具機旋轉軸檢測，其檢測時間縮短至30分鐘內。</p>
	<p>參與國際標準制定</p>	<p>3-1完成QIF標準制訂草案1案</p> <p>3-2與先進國家實驗室共同推動數位校正憑證(DCC)</p>	<p>3-1與中華民國品質學會合作，進行QIF標準草案與辦理先期審查會議，並參考ISO 23952:2020，完成召開5場次之先期審產會議並產出標準草案建議稿1件，審閱節次由標準名稱至3.4.143，內容皆依委員建議進行修改。</p> <p>3-2完成國際合作 1案，與德國PTB、英國NPL、捷克CMI等國家實驗室共同參加歐盟 Communication and validation of smart data in IoT-networks (SmartCom)計畫，示範與推動“數位校正憑證(digital calibration certificate, DCC)”實施。</p>
<p>第三年</p>	<p>研發線上量測技術1項，滿足</p>	<p>2-1五軸工具機之線上尺寸量測技</p>	<p>2-1完成建立線上加工尺寸量測技術誤差分析，根據ISO 15530-3評估五軸工具機線上</p>

民110年	5軸工具機產業量測需求；完成視覺感測器線上標準件1件	術研究(1/2)，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 視覺3D尺寸量測儀器之校正技術，提升量測效率(1小時→6分鐘內)	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，無再須使用多套儀器或量具，降低檢測設備成本至少30%，且儀器架設及量測時間僅需2.5小時，達成校正時間 ≤ 4小時及可提供校正五軸工具機21項幾何誤差之目標； 2-2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。另外建立視覺3D尺寸量測儀器量測不確定度評估演算法，計算時間≤10秒，減少人工操作執行造成的待機時間，大幅提升量測效率。
	校正資訊數位化導入產業試煉	3-1數位校正證明實施案例至少1件確保後續控制器補償、生產回饋等數位應用	3-1完成線上校正技術示範案例1件，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
第四年 民111年	研發及精進線上量測技術各1項，滿足智慧機械及五軸工具機產業視覺量測線上校正需求	2-1完成線上視覺3D尺寸量測儀器之校正追溯(國外原廠耗時1個月→國內校正耗時1週)，並完成商場域試煉1處 2-2優化五軸工具機之線上尺寸量	2-1完成馬路、福宮商用場域試煉2處，運用計畫建立之視覺感測器3D量測之線上校正技術來評估儀器的準確度，確保準確度符合規格，滿足廠商儀器管理之要求，並輔導馬路科技建立實驗室，解決原本須送原廠耗時1個月之不便利性。 2-2於友嘉完成商用場域試煉1處，量測機台為友嘉生產之五軸工具機，搭配3D量測測頭(廠牌: Heidenhain TS 460)及海德漢控制

		測技術(2/2)，完成43項幾何誤差補償，並完成商用場域試煉1處	器(型號: TNC 640)，尺寸參考標準件hole plate架設於五軸工具機旋轉軸上，經由3D量測測頭量測hole plate，並分析完整五軸工具機43項幾何誤差。
	計量資訊串聯應用測試	3-1五軸整機之三線性軸幾何誤差補償及數位校正資訊輸出	3-1以具追溯之hole plate標準件，使用於五軸工具機之三線性軸幾何誤差量測擴充數位化實施示範案例，案例中將量測結果之“參數補償位置表”轉檔輸出成XML及PDF資料格式，藉由自行開發之工具機誤差補償人機介面，將「線上尺寸參考標準件」技術與「計量數位化推動」技術於友嘉實業機台上進行商用場域試驗，成工hole plate量測工具機所得之21項幾何誤差結果上傳至控制器補償。

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子計畫

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) <ul style="list-style-type: none"> 設計與製作小力量量測系統，力量量測範圍 10 mN ~ 10 N 多軸力量感測器開發(I) <ul style="list-style-type: none"> 正向力力量感測器元件開發 力量範圍: 0.01 N ~ 0.5 N 靈敏度: 1.8 fF / mN 	小力量校正技術研發(II) <ul style="list-style-type: none"> 量測不確定度(相對標準不確定度) $\leq 5 \times 10^{-3}$ 多軸力量感測器開發(II) <ul style="list-style-type: none"> 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(I) <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 $\leq 3\%$ 	動態力量量測技術研發(II) <ul style="list-style-type: none"> 施力大小: 100 N ~ 1 kN 施力頻率範圍: 10 Hz ~ 2 kHz 量測不確定度(相對擴充不確定度) $\leq 2\%$
關鍵技術			
1. 小力量校正技術	1. 小力量校正技術	1. 動態力量量測技術 2. 光學式位移量測技術	1. 動態力量量測技術

2. 正向力量感測器元件設計、模擬、製程等技術	2. 剪力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	3. 力量剪力力量量測技術		
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。	1. 完成實驗室小力量範圍 10 mN 至 10 N 系統評估，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。	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	1. 建置動態力量計量技術，提供動態力量測試服務 ≥ 3 件次。
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 (≥ 1.8 fF/mN)。	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)。	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，頻率與振幅之重複性 $\leq 3\%$	2. 提供小力量校正系統(N11)小力量傳感器校正服務 ≥ 10 件次
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)。		3. 提供 N11 小力量校正系統校正能量	3. 導入廠商場域測試及應用 1 件次
		<ul style="list-style-type: none"> • 量測範圍: 10 mN ~ 10 N • 量測不確定度: 4.1×10^{-3} 	

分項一:機械聲音之聲學麥克風校正技術子計畫

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
擴建麥克風音壓靈敏度低頻互換校正技術 <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 10 Hz ~ 25 kHz • 麥克風型式:實驗室標準麥克風 	建立工作標準麥克風自由場校正技術 <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 250 Hz to 40 kHz • 量測不確定度(擴充不確定度): ≤ 1 dB • 麥克風型式:工作標準麥克風 	建立相位響應量測技術 <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz • 量測不確定度(擴充不確定度): $\leq 5\%$ 	建立機械智能聲音特徵檢測技術 <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz • 損壞判定準確率: $\geq 90\%$ • 導入場域測試及應用 1 家廠商
擴建麥克風自由場靈敏度高頻互換校正技術		建立模數響應數位分析技術	

<ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 1 kHz ~ 40 kHz • 麥克風型式: 實驗室標準麥克風 		<ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz 至 20 kHz • 量測不確定度(擴充不確定度): $\leq 5\%$ 	
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. 同時及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. 聲音數位訊號處理技術 2. 聲音訊號特徵擷取技術 3. 聲音訊號大數據分析技術
效益			
<ol style="list-style-type: none"> 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 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 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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校正追溯需求至少 10 件 2. 提供包括貝爾聲學、聲譜等公司聲學音場環境及訊號分析驗證技術運用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以機械聲音特徵檢測技術取代人工聽覺檢測, 滿足旋轉機械設備的損壞檢測需求, 損壞判定準確率達 90%。可達減少人力, 提升效率的目的 2. 建立機械聲音特徵檢測技術, 並實際導入國內風電營運商至少 1 家廠商

分項二: 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術子計畫

年度目標			
108 年度	109 年度	110 年度	111 年度
高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 <ul style="list-style-type: none"> • 提升反光待測面之條紋影像對比度至 30% 以上 	自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 <ul style="list-style-type: none"> • 高反光表面金屬工件: $0.8 \mu\text{m} \leq$ 表面粗糙度 (Ra) $\leq 4.9 \mu\text{m}$ 	建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序 <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) 	建立視覺 3D 尺寸量測儀器點雲拼接之線上校正程序 <ul style="list-style-type: none"> • 校正程序報告 1 份 (含點雲拼接)

<ul style="list-style-type: none"> • 建立實驗平台，結合光柵投影系統與取像系統 1 組 • 開發多曝光影像合成演算法軟體 1 套 <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 • 球徑量測不確定度(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: $\pm 50 \mu\text{m}$ <p>評估用標準件: 球徑 ≤ 50 mm ; 球距 ≤ 500 mm</p> <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 • 球距量測不確定度(標準量測不確定度): $u \leq 1.5 \mu\text{m}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • 標準件最大尺寸: ≤ 600 mm(球距) <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(擴充確定度): $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件) 	<ul style="list-style-type: none"> • 待校件量測範圍: 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線) • 標準件最大尺寸: ≤ 1000 mm(球距) <p>建立視覺 3D 尺寸量測儀器點雲拼接之線上量測不確定度評估技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 量測不確定度評估報告 1 份(含點雲拼接) • 量測不確定度(擴充確定度): $\leq 5 \mu\text{m}$ (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"> 1. 多曝光影像合成技術 2. 標準球徑量測技術 3. 標準球距量測技術評估 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自動化高反光物件視覺 3D 點雲量測技術 2. 標準球距量測技術 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 視覺 3D 尺寸量測儀器之校正程序 2. 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"> 1. 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 2. 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. 滿足如速聯、漢翔航空、揚明光學、所羅門...等至少 10 家國內單位校正追溯需求</p> <p>2. 廠商服務件數至少 1 件(如速聯、揚明光學、所羅門...等)，提供線上高反光物件量測技術，提升量測效率(相較於接觸式座標量測儀方法，1 小時 → 6 分鐘內)</p>	<p>1. 廠商服務件數至少 1 件(如保來得、漢翔、所羅門、馬路科技等)，導入 3D 視覺線上校正技術，滿足線上視覺 3D 尺寸量測儀器之校正追溯(國外原廠耗時 1 個月→國內校正耗時 1 週)</p>
---	--	--	--

分項二:具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術子計畫

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(標準不確定度) <ul style="list-style-type: none"> - 角度: ≤ 2" - 線性: ≤ 4 μm <p>可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 單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(標準不確定度) <ul style="list-style-type: none"> - 角度: ≤ 0.8" - 線性: ≤ 3 μm 	<p>非接觸式單及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(標準不確定度) <ul style="list-style-type: none"> - 角度: ≤ 1" - 線性: ≤ 2 μm <p>可攜式單一旋轉軸誤差線上快速量測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 單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(標準不確定度) <ul style="list-style-type: none"> - 角度: ≤ 0.5" - 線性: ≤ 1.5 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 • 最大允許誤差 30 μm ~ 50 μm 之五軸工具機(不含旋轉軸) <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 	<p>線上加工尺寸量測技術溫度評估(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑) • 參數: 整機至少 43 項幾何誤差 • 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(II)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑) • 整機 43 項幾何誤差 • 量測不確定度(標準不確定度) ≤ 20 μm (不含 20 °C 修正)

<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 $(20.0 \pm 1.0) ^\circ\text{C}$、梯度變化需小於 $0.3 ^\circ\text{C}$ 濕度須達 $(45.0 \pm 10.0) \%$ <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>角度塊規校正系統 (D06)擴建</p> <ul style="list-style-type: none"> 量測範圍: $\pm 1000''$ 量測不確定度(標準不確定度): $0.2''$ 	<ul style="list-style-type: none"> 校正五軸工具機 21 項幾何誤差，量測不確定度(標準不確定度) $\leq 10 \mu\text{m}$ (不含 $20 ^\circ\text{C}$ 修正) 	
關鍵技術			
<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"> 非接觸式單及雙旋轉軸幾何誤差 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"> 塊規
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，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，提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. 提供國內業者單旋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)，並完成商用場域試煉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，提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旋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廠商</p>
---	--	---	--

分項二:計量數位化推動子計畫

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 校正及量測結果輸出: <ul style="list-style-type: none"> - XML 檔案格式 - PDF 檔案格式 	<p>計量資訊數位化實施例推廣</p> <ul style="list-style-type: none"> • 工具機 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式1套 • hole plate 校正及量測結果輸出: <ul style="list-style-type: none"> XML 檔案格式 PDF 檔案格式 • 工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體一套 <p>工具機控制器之幾何誤差補償-場域試煉</p> <ul style="list-style-type: none"> • hole plate 實際遊校，完成場域試煉1處

關鍵技術		
		校正系統之自動化數據擷取及數位化格式轉換技術 <ul style="list-style-type: none"> • 量測原始數據 • 環境溫度 • 濕度 量測不確定度分析技術
		機器對機器的自動化通訊協定 <ul style="list-style-type: none"> • MTConnect • OPC UA 工具機 21 項幾何誤差分析
效益		
		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，並協助產業達成線上校正及品質管理(商用場域試煉：永進機械)
		1. 藉由 110 年數位化技術之成果，將單轉軸量測標準件 (PoCAS) 成果延伸至工具機量測標準件 (Hole plate)，進行計量資訊之履歷整合技術及健全管理，協助產業計量資訊品質管理

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 • 量測不確定度: 1.8 % 	<p>機械智能聲音特徵檢測技術</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頻率範圍: 100 Hz ~ 20 kHz • 損壞判定準確率 91.67% ($\geq 90\%$) • 導入場域測試/應用 1 家廠商(台灣電力公司) 	<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 1600 mm 至 3300 mm (空間體對角線, 含點雲拼接) • 標準件最大尺寸: ≤ 1000 mm(球距) <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 $\leq 3.2 \mu\text{m}$ (不含待校件) 	<p>線上加工尺寸量測技術溫度評估 (II)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑) • 參數: 整機至少 43 項幾何誤差 • 適用溫度變異範圍: $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$ <p>線上加工尺寸量測技術誤差分析 (II)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑) • 整機 43 項幾何誤差 • 量測不確定度(標準不確定度): $(2.0 \sim 14) \mu\text{m}$ (不含 20°C 修正) 	<p>計量資訊數位化實施例推廣</p> <ul style="list-style-type: none"> • 工具機 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套 • hole plate 校正/量測結果輸出: XML 檔案格式及 PDF 檔案格式 • 工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體一套 <p>工具機控制器之幾何誤差補償-場域試煉</p> <ul style="list-style-type: none"> • hole plate 實際遊校, 完成場域試煉 1 處
國際現況	PTB 能量: 施力至 2 kN; 頻率 50 Hz 至 2 kHz; 不確定度 $\leq 2\%$	Trinity College Dublin: 頻率 80 Hz 至 16 kHz, 損壞判定準確率 89.8 %	全球領先廠牌需求: ATOS 為 $7.6 \mu\text{m}$ 、AICON 為 $44 \mu\text{m}$	• RWTH Aachen University (德國) 標準不確定度: $15 \mu\text{m}$	PTB 於真空標準領域實驗室與設備儀器進行軟體測試及數位化校正證明(PDF)

				<ul style="list-style-type: none"> • IK4-Tekniker (西班牙)標準 不確定度: 10 μm 	
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	提供陸域風力發電機葉片快速篩檢技術, 可應用頻率範圍至 20 kHz, 損傷判斷準確率至少 80 %。檢測過程不須停機, 穩定發電效率, 有效掌握設備健康狀態, 避免人為誤判及檢測人力消耗	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: $\leq 30 \mu\text{m}$	產業進行數位化轉型, 將計量資訊導入至量測設備, 藉此簡化誤差補償程序與縮短時間, 有效整合廠內眾多硬體設備及應用系統, 以利產業之數位化及智慧化之發展

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與量測技術, 除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外, 也開發相關的線上量測技術, 以能導入實際場域的線上量測應用。111 年度的分項計畫目標主要是開發動態力量校正技術, 以及建立機械智能聲音特徵檢測技術。動態力量校正技術建置, 本年度完成了 N02 靜法碼校正系統的能量擴充, 增加動態力量的校正能量, 解決廠商對動態力量感測器標準件無法於國內進行校正追溯的困境, 並將原本需花 1~3 個月的國外校正時間, 顯著縮短為 1~2 週(國內校正)即可, 而且費用也可顯著降低。機械智能聲音特徵檢測技術的建立, 開發了機械智能聲音特徵檢測技術, 運用於旋轉機械線上監測及異常預測。並以旋轉機械的風力發電機作為目標場域, 實際導入驗證測試, 未來可運用於機械產業旋轉工具機之運轉監測, 預知設備故障前的徵兆, 及早進行預防保養, 降低設備非預期性故障所造成的龐大損失。此外, 延續 110 年塊規校正系統汰換, 也完成了 D02 塊規校正系統之查驗, 系統可達到校正範圍 0.5 mm~100 mm, 量測不確定度為(22~49) nm, 與德國 PTB(量測不確定度 20 nm~27 nm)及日本 NMIJ(量測不確定度 24 nm)能量相當。建置完成後, 可滿足國內智慧機械產業二級校正、測試、及產品驗證等校正追溯與能力試驗需求。

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 ISO 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，111 年度完成動態力量量測系統之系統評估，使系統可達到施力頻率範圍 10 Hz~2 kHz，施力大小 100 N~1 kN 之動態力量量測能力，且量測不確定度 $\leq 2\%$ 。建置完成後可擴增 NML 力量傳感器之服務能量，由靜態力校正擴展至動態力校正，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…等量測儀器製造廠商，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 N ~ 500 N	0.01 Hz ~ 300 Hz
	醫療/生物材料	0.001 N ~ 200 N	0.00001 Hz ~ 100 Hz
動態機械分析儀 Dynamic Mechanical Analyzer	材料機械屬性分析	0.001 N ~ 500 N	0.01 Hz ~ 200 Hz
自行車功率計		1000 N	50 rpm ~ 170 rpm

旋轉機械為常見之機械設備，其運作原理適合用聲音訊號作為損傷判定依據，111 年度選定屬於旋轉機械的風力發電機作為驗證對象，建立聲音特徵檢測技術，從運轉聲音中計算聲音頻譜，從中辨識風機葉片損壞，提供風場營運單位快速且準確的檢測方法，未來預計將此技術擴展至工具機產業，作為工具機損壞監測使用。風機葉片檢測屬於快速篩檢之工作，如果能夠在不停機的狀態下得知零組件健康狀態，對於提升發電效率、控制成本皆有非常大的幫助[1-2-1]，非接觸式的聲音檢測便是方案之一。國內目前風機葉片異音檢測仍倚賴線上人員每個月進行人工判斷，損壞判定準確率約 70%，實際需求為 80%。111 年度建立的機械聲音訊號擷取與處理技術，以旋轉機械作為檢測對象，分析運轉中產生之聲音訊號，進行智慧化損壞檢測，透過與零組件實際健康

狀態之比對，驗證損壞判定準確率。此演算法未來可應用機械聲音介於 100 Hz 至 20 kHz 之旋轉機械，損壞判定準確率大於 90 %。

依據上述目標，本年度完成二套量測系統擴建如下：

(1)N02 靜法碼量測系統：

系統擴建建立動態力量量測系統，系統可提供力量傳感器於不同頻率及力量搭配下之動態靈敏度校正；本系統於 10 月 31 日召開查驗會議通過，委員有王郁仁、徐炯勛、陳昌明及標檢局代表，系統將於完成核定規費後開放提供服務。

- 頻率範圍：10 Hz ~ 2 kHz
- 力量範圍：100 N ~ 1 kN
- 擴充不確定度：1.8 %

(2)D02 塊規干涉校正系統：

量測能力與 NMIJ 相當；本系統於 10 月 26 日召開查驗會議通過，委員有潘吉祥、盧聖華、柯明男及標檢局代表(以上敬稱略)。

- 量測範圍: 0.5 mm ~ 100 mm (K 級鋼質或陶瓷矩形塊規)
- 量測不確定度:
鋼質： $[22^2 + (0.43 L)^2]^{1/2}$ nm，涵蓋因子 $k = 2.13$ (信賴水準 95 %)
陶瓷： $[22^2 + (0.42 L)^2]^{1/2}$ nm，涵蓋因子 $k = 2.13$ (信賴水準 95 %)
其中 L 為以 mm 為單位之塊規標稱長度值。

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	• 完成力量傳感器靜態靈敏度量測，施力範圍 100 N~1 kN，量測不確定度(相對擴充不確定度) $\leq 0.5\%$	111.03.31	111.03.31	無差異
A1-2	• 完成力量傳感器頻率響應量測，施力範圍 100 N~1 kN，頻率範圍 10 Hz~2 kHz	111.06.30	111.06.30	無差異
A1-3	• 完成系統不確定度評估，量測不確定度(相對擴充不確定度) $\leq 2\%$	111.09.30	111.09.30	無差異
A1-4	• 完成系統查驗	111.11.30	111.10.31	提前完成
機械聲音之聲學麥克風校正技術				
A2-1	• 完成檢測流程標準化建立，產出檢測流程指引 1 份	111.03.31	111.03.31	無差異
A2-2	• 完成聲音數據蒐集及特徵分類，頻率範圍 100 Hz~20 kHz	111.06.30	111.06.30	無差異
A2-3	• 完成數位訊號處理與演算法開發，損壞判定準確率 $\geq 90\%$	111.09.30	111.09.30	無差異
A2-4	• 完成旋轉機械故障診斷場域應用 1 家廠商	111.11.30	111.11.30	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，於 110 年度及 111 年度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 ^[1-1-1] (美國)	PTB ^[1-1-2] (德國)			
動態力量量測系統					
頻率範圍	10 Hz ~ 2 kHz	50 Hz ~ 2 kHz	無	10 Hz ~ 2 kHz	~ 1 kHz
力量範圍	2 kN	2 kN	無	100 N ~ 1 kN	~ 1 kN
不確定度	1.2 %	2 %	無	1.8 %	6 %

本年度之工作重點為完成動態力量量測系統之不確定度評估，首先進行力量傳感器之靜態靈敏度校正，作為動態靈敏度修正之依據；接著進行力量傳感器靈敏度之頻率響應量測，施力範圍是 100 N ~ 1 kN，施力頻率為 10 Hz ~ 2000 Hz；靈敏度之不確定度來源分別為標準動態力、力量傳感器輸出電壓、激發電壓，於下半年完成系統不確定度評估與系統查驗，並達成目標相對擴充不確定度 < 2 %，與德國 PTB 能量相當。

【執行成果】

1. 完成力量傳感器靜態靈敏值量測，施力範圍 100 N ~ 1 kN，量測不確定度(相對擴充不確定度) ≤ 0.5% (查核點編號 A1-1)

力量傳感器之靈敏度為輸出電壓值與傳感器受力、激發電壓之比值，以下式表示，其中 f 為施力頻率、 S 為靈敏度、 V 為力量傳感器之輸出電壓， V_{ex} 為力量傳感器之激發電壓，而 F 為標準施力。

$$S(f) = \frac{V(f)}{F(f) \cdot V_{ex}} \quad (1-1-1)$$

隨著施力頻率 f 之增加，靈敏度於動態施力與靜態施力 ($f=0$) 之電壓輸出差距亦隨之增加，故使用於動態模式下之力量傳感器需進行動態力量校正才可維持施力之準確性。理論上，動態靈敏度於低頻施力之模式下，其所展現之靈敏度應與靜態一致，然而，動態力量量測過程中，

除了外加法碼質量之外力量，傳感器之內部質量(internal mass)亦是施力的來源，導致低頻施力之動態靈敏度與靜態靈敏度數值無法一致，因此，欲校正力量傳感器之動態靈敏度，力量傳感器需同時校正靜態與動態靈敏度，進而求出 internal mass 的質量以進行動態靈敏度數值之修正，才可提高力量傳感器於高頻施力之準確性。

力量傳感器之靜態靈敏度以 N02 靜法碼量測系統進行量測，架設如圖 1-1-1 所示。靜法碼為 N02 系統施力之來源，其量測原理為利用不同質量之靜法碼在地球重力場內受重力影響所產生的力($F = mg$)，經空氣浮力修正後得一標準力，此力作用於待校之力量傳感器上。力量傳感器與訊號放大器為待校件，於圖 1-1-1 以藍框標示，其中力量傳感器之廠牌型號為 HBM U10M 2.5 kN，即力量傳感器可承受之最大施力為 2.5 kN；訊號放大器可輸出類比電壓訊號，分別連接至 6 ½位數位電表量測力量傳感器之激發電壓 V_{ex} 與 8 ½位數位電表量測力量傳感器之輸出電壓 V 。

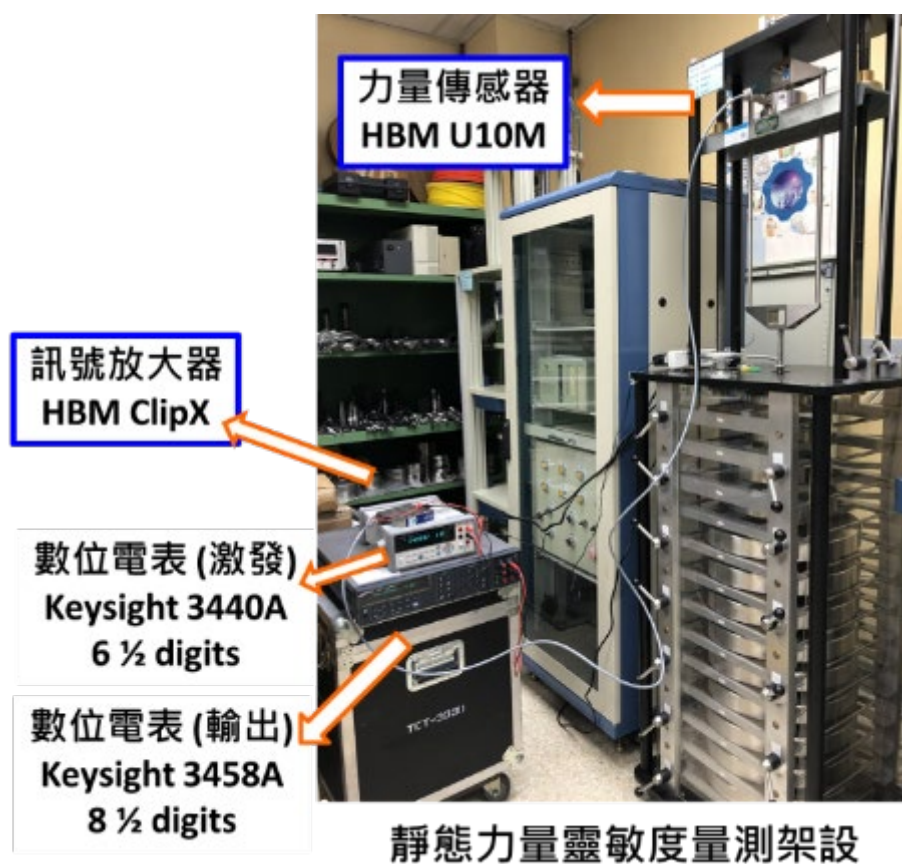


圖 1-1-1、以 N02 系統量測靜態靈敏度之架設圖

力量傳感器校正程序與不確定度評估參考: ISO 376:2011 “Metallic materials - Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines”，施力範圍: 100 N 至 2.5 kN。量測過程中，力量傳感器會以施力軸為旋轉軸，進行 3 個角度之旋轉，即 0° (Run

1 & 2)、120° (Run 3 & 4)、240° (Run 5 & 6)，在 Run 1 與 2，力量傳感器均由無負載開始進行量測，並逐步增加附載直至力量傳感器之可施力最大值 2.5 kN；Run 3 與 4，Run 5 與 6 則是由無負載開始量測直至 2.5 kN，再以負載施加的順序逐步減少負載，並記錄完全卸除負載之電壓讀值。

力量傳感器量測結果如表 1-1-2 中 Run 1 ~ 6 所列：其中 0° (Run 1)、120° (Run 3)、240° (Run 5)用以評估力量傳感器電壓讀值之再現性(reproducibility)；固定於 0° (Run 1 & 2)之兩次量測評估力量傳感器之重複性(repeatability)；並在力量傳感器旋轉至 120° (Run 3 & 4)、240° (Run 5 & 6)時，藉由改變靜法碼之組合，逐漸增加施加於力量傳感器之標準力，直到力量傳感器之受力最大值後，再逐步減少施力，進而評估傳感器之遲滯效應；量測數據(Run 1 & 3 & 5)以迴歸分析求最適合之二次方程式，並以此二次式計算內插曲線數值 x_1 ，內插數值如表 1-1-1 中最右一欄所示：

表 1-1-2、力量感測器量測與內插曲線數值

	RUN	1	2	3	4	5	6	X_1
法碼 (kg)	力量 (N)	0 deg. (up) 輸出電壓 (V)	0 deg. (up) 輸出電壓 (V)	120 deg. (up) 輸出電壓(V)	120 deg. (down) 輸出電壓(V)	240 deg. (up) 輸出電壓(V)	240 deg. (down) 輸出電壓(V)	內插曲線值 (V)
0	0.00	0.01259	0.01263	0.01265	0.01263	0.01268	0.01273	0.0129
10	98.07	-0.03687	-0.03708	-0.03777	-0.03781	-0.03745	-0.03741	-0.0376
50	490.33	-0.23831	-0.23864	-0.24062	-0.24018	-0.23915	-0.23890	-0.2396
100	980.67	-0.49180	-0.49237	-0.49443	-0.49394	-0.49214	-0.49195	-0.4922
150	1471.00	-0.74456	-0.74566	-0.74680	-0.74647	-0.74435	-0.74445	-0.7448
250	2451.66	-1.25090	-1.25280	-1.25230		-1.25150		-1.2499
	0.00	0.01263	0.01265					
激發電壓 V_{ex}			4.9935			V		

靜態靈敏度係透過量測數據(Run 1 & 3 & 5)之輸出電壓 V 隨施力 F 及激發電壓 V_{ex} 乘積之變化斜率，以 $y = ax + b$ 擬合求得，如圖 1-1-2 所示，其中斜率 $a = -0.103 \text{ mV N}^{-1} \text{ V}^{-1}$ 即為該力量傳感器之靜態靈敏度。

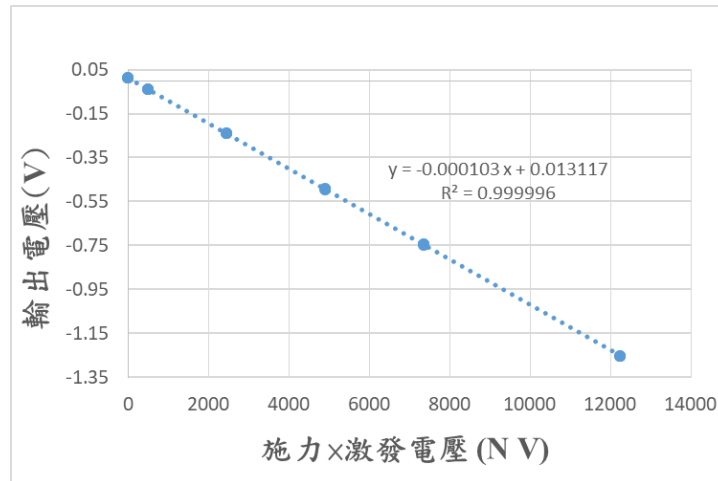


圖 1-1-2、力量傳感器之輸出電壓隨施力與激發電壓乘積之變化

依據靜態靈敏度量測方程式(1-1-1)，靜態靈敏度之組合標準不確定度 u_c 可表示為下式：

$$\begin{aligned}
 u_c(S_s) &= \left[\left(\frac{\partial S_s}{\partial V} \right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial S_s}{\partial V_{ex}} \right)^2 u_{V_{ex}}^2 + \left(\frac{\partial S_s}{\partial F} \right)^2 u_F^2 \right]^{1/2} \\
 &= \left[\left(\frac{\partial S_s}{\partial V} \right)^2 (u_b^2 + u_b'^2 + u_r^2 + u_{fc}^2 + u_{f_0}^2 + u_{f_\lambda}^2 + u_{cr}^2) + \left(\frac{\partial S_s}{\partial V_{ex}} \right)^2 (u_r^2 + u_{cr}^2) + \left(\frac{\partial S_s}{\partial F} \right)^2 (u_w^2) \right]^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{1-1-2}$$

其中各項不確定度來源如表 1-1-3 所示：

表 1-1-3、靜態靈敏度之不確定度來源列表

符號	不確定度源	計算方式
u_b	力量傳感器重現性之標準不確定度	$\frac{ \text{Max}(\text{Run } 1, 3, 5) - \text{Min}(\text{Run } 1, 3, 5) }{2\sqrt{3}}$
u_b'	力量傳感器重複性之標準不確定度	$\frac{ \text{Run } 1 - \text{Run } 2 }{2\sqrt{3}}$
u_r	數位電表解析度之標準不確定度	$\frac{\text{Resolution}}{2\sqrt{3}}$
u_{fc}	內插誤差之標準不確定度	$\frac{ x_I - \bar{x}_{1,3,5} }{\sqrt{3}}$

符號	不確定度源	計算方式
u_{f0}	零點誤差所引起的之標準不確定度	$\frac{\text{傳感器於 Run 1, 2, 3 \& 4, 5 \& 6 之零點最大差值}}{\sqrt{3}}$
u_{λ}	遲滯性誤差所引起之標準不確定度	$\frac{ (Run\ 3 - Run\ 4) + (Run\ 5 - Run\ 6) }{2\sqrt{3}}$
u_{cr}	來自電表校正報告之標準不確定度	電表校正報告/涵蓋因子
u_w	NO2 校正系統之標準不確定度	0.001 %

透過表 1-1-2 之量測數據與公式(1-1-2)，即可計算出靜態靈敏度之標準不確定度，計算結果如表 1-1-4 所示，組合標準不確定度為 $9.6 \times 10^{-5} \text{ mV N}^{-1} \text{ V}^{-1}$ ，涵蓋因子為 2，擴充不確定度為 $1.9 \times 10^{-4} \text{ mV N}^{-1} \text{ V}^{-1}$ ，相對擴充不確定度為 $1.9 \times 10^{-4} \text{ mV N}^{-1} \text{ V}^{-1} / -0.103 \text{ mV N}^{-1} \text{ V}^{-1} = 0.19 \%$ 。

表 1-1-4、靜態靈敏度各項不確定度之計算結果

	不確定度來源			靈敏係數	單位	組合標準不確定度	單位
			單位				
V	重現性	4.0×10^{-4}	V	8.2×10^{-5}	$\text{N}^{-1} \text{ V}^{-1}$	9.6×10^{-5}	$\text{mV N}^{-1} \text{ V}^{-1}$
	重複性	5.5×10^{-4}	V				
	電表解析度	2.9×10^{-9}	V				
	內插誤差	9.5×10^{-4}	V				
	零點誤差	2.3×10^{-5}	V				
	遲滯誤差	1.2×10^{-4}	V				
	電表校正	5.0×10^{-7}	V				
V_{ex}	電表解析度	2.9×10^{-6}	V	2.0×10^{-5}	$\text{N}^{-1} \text{ V}^{-1}$		
	電表校正	5.0×10^{-7}	V				
F	系統不確定度	2.4×10^{-2}	N	4.2×10^{-8}	N^{-2}		

2. 完成力量傳感器頻率響應量測，施力範圍 100 N ~ 1 kN，頻率範圍 10 Hz ~ 2 kHz (查核點編號 A1-2)

力量傳感器頻率響應量測之目的在於取得力量傳感器受到相同施力、不同施力頻率之條件下，力量傳感器之靈敏度隨施力頻率之變化。施加於力量傳感器上之標準動態力將進行週期性之振盪，其最大施力 F_{max} 可以下式表示：

$$F_{\max} = m a = m d (2 \pi f)^2 \quad (1-1-3)$$

其中 m 是法碼與連接座質量之總和，加速度 a 是法碼振動位移 d 與振動頻率 f 平方之乘積。力量傳感器之動態力量校正步驟參考美國 NIST 的文獻“ Traceable dynamic calibration of force transducers by primary means ”^[1-1-1]，考量振動試驗機(shaker)於低頻振動時，受限於機台之最大振動位移無法直接產生最大動態力 1 kN，因此在振動頻率 10 Hz 至 400 Hz 的區間，動態力由 100 N 線性上升至 1 kN，並於 400 Hz 至 2 kHz 之區間維持標準動態力為 1 kN，以進行力量傳感器之靈敏度量測。

靈敏度 $S(f)$ 之量測方程式如公式(1-1-1)，其量測示意圖如圖 1-1-3 所示：待校件為力量傳感器與其後段之訊號處理器，以淺綠底標示，固定於力量傳感器上方之連接座與法碼總質量 m 為 5.2 kg，法碼藉由振動試驗機產生加速度為 a 之動態力施於力量傳感器，加速度 a 會先透過加速規量測，並與法碼質量相乘，以初步確認是否為目標之施力振幅與頻率，若否，將進行振動試驗機參數之調整使法碼之加速度符合預期；若是，則以雷射干涉儀進行對光並量取法碼振盪位移隨時間之變化，並換算為加速度 a 。同時量測力量傳感器之受到動態力施加時，輸出電壓隨時間之變化，以計算靈敏度 $S(f)$ 。

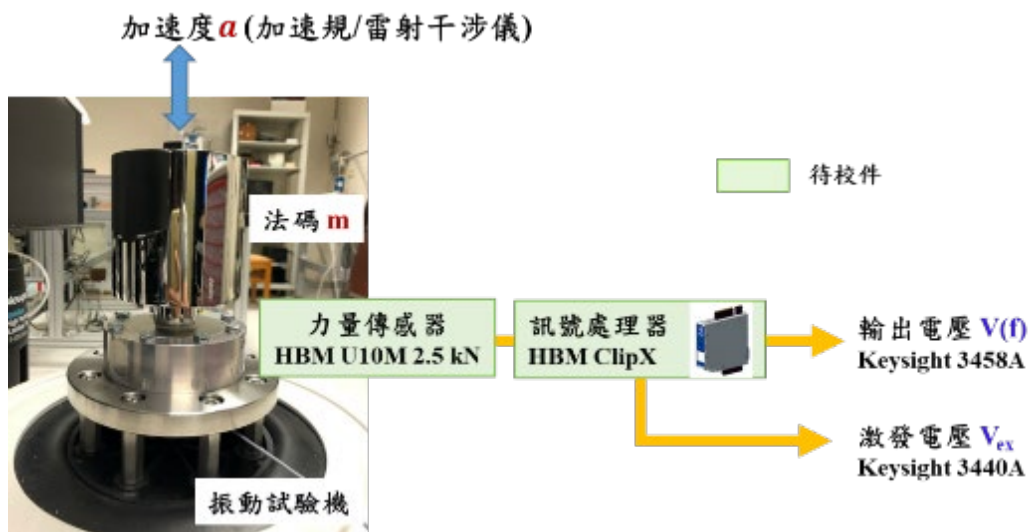


圖 1-1-3、動態靈敏度架設示意圖

動態靈敏度量測數據如表 1-1-5 所列，施力頻率介於 10 Hz 至 2 kHz 之間，力量範圍介於 99 N 至 1067 N，於固定頻率下，量測輸出電壓 V 受週期性施力所產生之電壓振幅與激發電壓 V_{ex} ，並計算輸出電壓與力量之比值，求得動態靈敏度 $S(f)$ ，如圖 1-1-4 所示：

表 1-1-5、動態靈敏度量測數據

頻率	輸出電壓	激發電壓	加速度	力量	動態靈敏度 $S(f)$	靜態靈敏度 S_s	動態靈敏度修正 S_D
Hz	V	V	m/s ²	N	mV V ⁻¹ N ⁻¹	mV V ⁻¹ N ⁻¹	mV V ⁻¹ N ⁻¹
10	0.05620	4.9935	19.1468	99.5632	0.1130	0.1030	0.1043
50	0.0925	4.9935	32.0412	166.6143	0.1111	0.1030	0.1025
100	0.1422	4.9935	49.1418	255.5372	0.1114	0.1030	0.1028
150	0.1645	4.9935	57.0343	296.5785	0.1111	0.1030	0.1025
200	0.2407	4.9935	85.6570	445.4166	0.1082	0.1030	0.0998
250	0.2476	4.9935	88.6127	460.7860	0.1076	0.1030	0.0993
300	0.3510	4.9935	129.4478	673.1285	0.1044	0.1030	0.0963
400	0.5488	4.9935	200.0424	1040.2204	0.1056	0.1030	0.0974
500	0.5296	4.9935	194.5614	1011.7194	0.1048	0.1030	0.0967
600	0.5528	4.9935	204.8818	1065.3856	0.1039	0.1030	0.0959
700	0.5827	4.9935	217.0861	1128.8477	0.1034	0.1030	0.0954
800	0.5390	4.9935	205.2960	1067.5390	0.1011	0.1030	0.0933
900	0.5196	4.9935	197.5902	1027.4688	0.1013	0.1030	0.0934
1000	0.5234	4.9935	201.7882	1049.2984	0.0999	0.1030	0.0921
1200	0.5159	4.9935	204.5246	1063.5278	0.0971	0.1030	0.0896
1400	0.4794	4.9935	196.0961	1019.6997	0.0941	0.1030	0.0868
1600	0.4578	4.9935	194.2308	1009.9999	0.0908	0.1030	0.0837
1800	0.4906	4.9935	198.0705	1029.9665	0.0954	0.1030	0.0880
2000	0.4589	4.9935	197.1154	1025.0000	0.0897	0.1030	0.0827

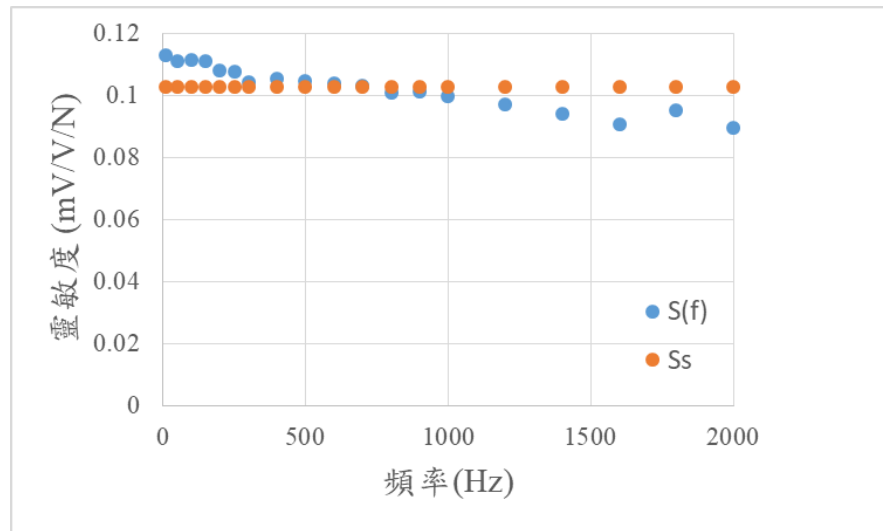


圖 1-1-4、動態靈敏度 $S(f)$ 隨施力頻率之變化，並與靜態靈敏度 S_s 比較

由數據可看出 $S(f)$ 與靜態靈敏度 S_s 於低頻施力下之數值並不吻合，這是由於動態力量的施力過程中，力量傳感器除了受法碼 m 施加之力量，傳感器之內部質量 m_i 亦是施力的來源，內部質量 m_i 可透過修正低頻之動態靈敏度使其與靜態靈敏度數值一致計算之。量測之動態靈敏度 $S(f)$ 於 10 Hz ~ 150 Hz 之 4 個數據點之數值較為接近，顯示動態靈敏度在此頻率區間之表現應接近靜態靈敏度，故以施力頻率 10 Hz、50 Hz、100 Hz 與 150 Hz 之 4 個數據點計算內部質量 m_i ，再取其平均值代入以作為動態靈敏度修正之參考。

力量傳感器內部質量計算公式如下：

$$m_i = \frac{V(f)}{S_s \times a(f) \times V_{ex}} - m \quad (1-1-4)$$

其中靜態靈敏度 $S_s = 0.103 \text{ mV V}^{-1} \text{ N}^{-1}$ ，激發電壓 $V_{ex} = 4.9935 \text{ V}$ 、法碼質量 m 為 5.2 kg 代入 10 Hz ~ 150 Hz 所量測之輸出電壓 $V(f)$ 與加速度 $a(f)$ 進行計算，對應之內部質量如表 1-1-6 所列：

表 1-1-6、10 Hz~150 Hz 內部質量計算結果

頻率	電壓	激發電壓	加速度	靜態靈敏度	內部質量
Hz	V	V	m/s ²	mV V ⁻¹ N ⁻¹	kg
10	0.0562	4.9935	19.1468	0.1030	0.507
50	0.0925	4.9935	32.0412	0.1030	0.410
100	0.1422	4.9935	49.1418	0.1030	0.424
150	0.1645	4.9935	57.0343	0.1030	0.409

依據計算結果，內部質量 m_i 之平均質量為 0.438 ± 0.023 kg，不確定度來源主要為二：分別為重複性 5.25 % 與靜態靈敏度 0.095 %，相對標準不確定度為 5.3 %。接著將平均內部質量代入下式以完成施力頻率 f 介於 10 H 至 2 kHz 之動態靈敏度修正：

$$S_D = \frac{V(f)}{(5.2+0.438) \cdot a(f) \cdot V_{ex}} \quad (1-1-5)$$

修正數值如表 1-1-5 最右欄，動態靈敏度修正值 S_D 隨施力頻率之變化如圖 1-1-5 所示：

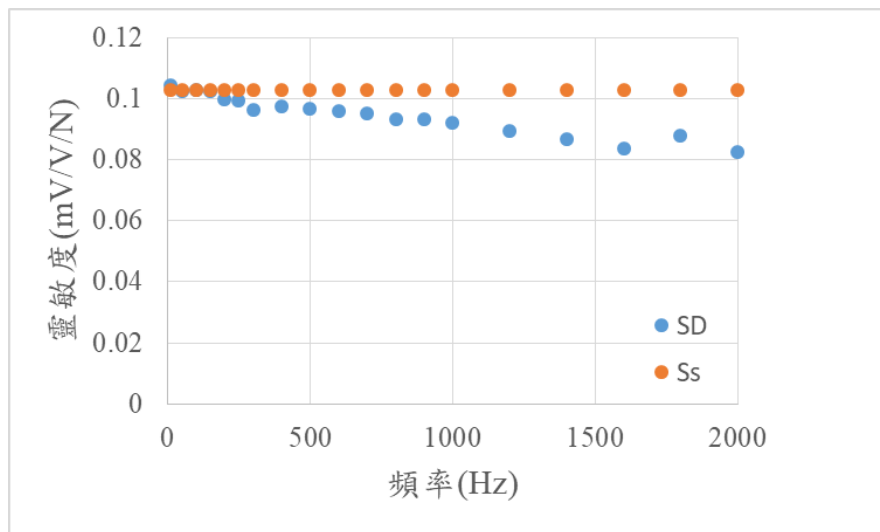


圖 1-1-5、動態靈敏度修正值 S_D 隨施力頻率之變化，並與靜態靈敏度 S_s 比較

3. 完成系統不確定度評估，量測不確定度(相對擴充不確定度) $\leq 2\%$ (查核點編號 A1-3)

動態力量量測系統之校正目標為校正力量傳感器之輸出電壓值與標準力量間之靈敏度對應頻率之關係，靈敏度的數學模式可以式(1-1-6)表示。

$$S(f) = \frac{V(f)}{F(f) \cdot V_{ex}} \quad (1-1-6)$$

其中

$S(f)$ ：待校件之動態靈敏度 [N^{-1}]

$V(f)$ ：力量傳感器之輸出電壓 [V]

$F(f)$ ：動態力 [N]

V_{ex} ：力量傳感器之激發電壓 [V]

由式(1-1-6)可知，動態靈敏度之三大不確定度來源分別為標準動態力、傳感器輸出電壓以及傳感器的激發電壓。此章節將針對此三大不確定度源進行分析，評估與計算其中的每一項不確定度來源大小。

本章節之靈敏度不確定度評估係依據 ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement

— Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement 規範估算，動態靈敏度的組合標準不確定度 $u_c(S)$ 公式如下所示。

$$u_c(S) = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial F}\right)^2 u_F^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)^2 u_V^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial V_{ex}}\right)^2 u_{V_{ex}}^2} \quad (1-1-7)$$

其中

$u_c(S)$ ：動態靈敏度量測的組合標準不確定度

u_F ：動態力的標準不確定度

u_V ：傳感器輸出電壓的標準不確定度

$u_{V_{ex}}$ ：傳感器激發電壓的標準不確定度

$\frac{\partial S}{\partial F}$ ：動態力的靈敏係數

$\frac{\partial S}{\partial V}$ ：傳感器輸出電壓的靈敏係數

$\frac{\partial S}{\partial V_{ex}}$ ：傳感器激發電壓的靈敏係數

依循式(1-1-7)中各項來源之標準不確定度估算方法分述如下。

3.1 標準動態力的標準不確定度 u_F

標準動態力的量測方程式如下所示。

$$F(f) = ma = md(2\pi f)^2 \quad (1-1-8)$$

標準動態力的標準不確定度如下所示。

$$u_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial m}\right)^2 u_m^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial d}\right)^2 u_d^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial f}\right)^2 u_f^2 + u_{drag}^2} \quad (1-1-9)$$

其中

u_m ：標準質量的標準不確定度

u_d ：位移的標準不確定度

u_f ：標準頻率的標準不確定度

u_{drag} ：空氣阻力的標準不確定度

式(1-1-9)中各靈敏係數分別如下所示。

$$\frac{\partial F}{\partial m} = d(2\pi f)^2, \quad \frac{\partial F}{\partial d} = m(2\pi f)^2, \quad \frac{\partial F}{\partial f} = 8md\pi^2 f$$

其中標準質量 m 為 5 kg，位移 d 由實測結果所得，位移 d 與各靈敏係數如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7、位移 d 列表

頻率 (Hz)	力量 (N)	d (m)	$\frac{\partial F}{\partial m}$ (m/s ²)	$\frac{\partial F}{\partial d}$ (kg/s ²)	$\frac{\partial F}{\partial f}$ (kg·m/s)
10	100	2.53E-03	9.986	1.97E+04	9.986
100	173.45	6.96E-05	27.464	1.97E+06	2.746
300	336.75	2.14E-05	76.072	1.78E+07	2.536
500	500	1.77E-05	174.570	4.93E+07	3.491
1000	1000	8.03E-06	317.161	1.97E+08	3.172
1200	1000	2.63E-06	149.539	2.84E+08	1.246
1500	1000	8.56E-07	76.029	4.44E+08	0.507
1800	1000	4.86E-07	62.195	6.40E+08	0.346
2000	1000	1.60E-07	25.189	7.90E+08	0.126

各項標準不確定度估算茲分述如下。

3.1.1 標準質量的標準不確定度 u_m

標準質量的標準不確定度可以依據 5 kg 法碼之校正報告所得，擴充不確定度為 1.7 mg，涵蓋因子為 1.96，則標準質量之標準不確定度為 8.673×10^{-7} kg。校正報告中所述之涵蓋因子為 1.96，由 t 分布表查表可得自由度 $\nu_m = \infty$ 。

3.1.2 位移的標準不確定度 u_d

位移之標準不確定來自雷射干涉儀，雷射干涉儀實際量測到的位移量 d ，可以表示為

$$d = \delta_{\text{plat}} + \delta_{\text{int resol}} + \delta_{\text{int bak}} + \delta_{\text{rep.ITF}} + N \frac{\lambda}{2048} C_{\text{WCN}}$$

其中

δ_{plat} : 干涉儀因平台受外部振動影響產生位移偏差

$\delta_{\text{int resol}}$: 干涉儀因解析度所產生位移偏差

$\delta_{\text{int bak}}$: 干涉儀背景值所產生位移偏差

$\delta_{\text{rep.ITF}}$: 干涉儀重複性造成位移偏差

C_{WCN} : 干涉儀所量測位移

N : 整數

λ : 干涉儀的雷射光波長 633 nm

其中 C_{WCN} 的不確定度主要來自於重複性，其標準不確定度可歸在 $\delta_{\text{rep.ITF}}$ 中計算，依據干涉儀雷射光波長之校正報告中的波長校正結果，波長值為 0.6329913813 μm ，相對擴充不確定度為 2.5×10^{-9} ，涵蓋因子為 2.00，可計算得其標準不確定度為 8.0×10^{-16} m (= $(6.329913813 \times 10^{-7} \text{ m}) \times (2.5 \times 10^{-9}) / 2$)，此項標準不確定度非常小，可予以忽略，則位移的標準不確定度算式如下所示。

$$u_d = \sqrt{u_{\text{plat}}^2 + u_{\text{int resol}}^2 + u_{\text{int bak}}^2 + u_{\text{rep.ITF}}^2} \quad (1-1-10)$$

其中

u_{plat} ：平台隔震的標準不確定度

$u_{\text{int resol}}$ ：干涉儀解析度的標準不確定度

$u_{\text{int bak}}$ ：干涉儀背景值的標準不確定度

$u_{\text{rep.ITF}}$ ：干涉儀量測加速度重複性的標準不確定度

各項標準不確定度估算茲分述如下。

(i) 平台隔震的標準不確定度 u_{plat}

由振動試驗機啟動時，光學桌與振動試驗機的加速度振幅比值乘上振動試驗機位移振幅得到，如式(1-1-11)。

$$u_{\text{plat}} = \frac{\text{光學桌加速度振幅}}{\text{振動試驗機加速度振幅}} \times \text{振動試驗機位移振幅} \quad (1-1-11)$$

平台隔震的標準不確定度經過計算後可以整理如表 4，自由度 ν_{plat} 如表 1-1-8 所示。

表 1-1-8、 ν_{plat} 自由度列表

頻率(Hz)	力量(N)	ν_{plat}
10	100	322
100	173.45	504
300	336.75	259
500	500	258
1000	1000	259
1200	1000	258
1500	1000	258
1800	1000	258
2000	1000	287

(ii) 雷射干涉儀解析度標準不確定度 $u_{\text{int resol}}$

假設雷射干涉儀解析度的機率分布為矩形分布，則雷射干涉儀解析度的標準不確定度為

$$u_{\text{int resol}} = \frac{\text{resolution}}{2\sqrt{3}} \quad (1-1-12)$$

雷射干涉儀解析度標準不確定度經過計算後為 8.91×10^{-11} ，估計其相對不確定性為 10%，可得到其自由度為 50。

(iii) 雷射干涉儀的背景值標準不確定度計算 $u_{\text{int bak}}$

雷射干涉儀的背景值之標準不確定度計算是取振動試驗機啟動時，干涉儀所量測到的背景位移量，以 10 秒鐘進行評估，計算公式如下所示。

$$u_{\text{int bak}} = \frac{S_{\text{bak}}}{\sqrt{n}} \quad (1-1-13)$$

雷射干涉儀的背景值標準不確定度經過計算後為 1.30×10^{-10} ，自由度 $\nu_{\text{int.bak}}$ 為 65534。

(iv) 雷射干涉儀的位移重複性標準不確定度 $u_{\text{rep.ITF}}$

雷射干涉儀的位移之重複性不確定度之計算方式為評估 10 個週期之下位移的重複性，計算公式如下所示。

$$u_{\text{rep.ITF}} = \frac{S_{\text{rep.ITF}}}{\sqrt{n}} \quad (1-1-14)$$

雷射干涉儀的位移重複性標準不確定度經過計算後可以整理如表 4，自由度 $\nu_{\text{rep.ITF}}$ 為 9。

除以上幾項不確定度來源，在空氣中的雷射光波長需要根據空氣密度變化進行補償，空氣密度是溫度、濕度及壓力變化的函數，根據雷射干涉儀之操作手冊中所述，環境中若產生 1 °C 溫度變化、2.5 mmHg 的壓力變化或是 80% 的相對溼度變化，所貢獻之相對不確定度為 3×10^{-6} ，相較其他不確定度來源貢獻極小，並考量實驗室之溫濕度及壓力皆控制在特定範圍之內，溫濕度及壓力變化極小，因此可忽略。

綜前所得之估算結果，位移標準不確定度 u_d 計算式如下所示。

$$u_d = \sqrt{u_{\text{plat}}^2 + u_{\text{int resol}}^2 + u_{\text{int bak}}^2 + u_{\text{rep.ITF}}^2}$$

應用 Welch-Satterthwaite 公式，可計算位移的自由度 ν_d ，其公式如下

$$\nu_d = \frac{u_d^4}{\frac{u_{\text{plat}}^4}{\nu_{\text{plat}}} + \frac{u_{\text{int resol}}^4}{\nu_{\text{int resol}}} + \frac{u_{\text{int bak}}^4}{\nu_{\text{int bak}}} + \frac{u_{\text{rep.ITF}}^4}{\nu_{\text{rep.ITF}}}}$$

估算出各不確定度來源之不確定度並進行組合標準不確定度計算後，各項分量數值及位移

標準不確定度之數值如表 1-1-9 所示。

表 1-1-9、位移標準不確定度各項分量數值表

頻率 (Hz)	力量 (N)	u_{plat} (m)	$u_{\text{int resol}}$ (m)	$u_{\text{int bak}}$ (m)	$u_{\text{rep.ITF}}$ (m)	u_{d} (m)	ν_{d}
10	100	1.93E-07	8.92E-11	1.40E-10	4.23E-07	4.65E-07	13
100	173.45	7.44E-08	8.92E-11	1.40E-10	2.04E-07	2.17E-07	11
300	336.75	1.41E-07	8.92E-11	1.40E-10	5.65E-08	1.52E-07	200
500	500	2.05E-09	8.92E-11	1.40E-10	7.32E-08	7.32E-08	9
1000	1000	1.65E-10	8.92E-11	1.40E-10	2.34E-08	2.34E-08	9
1200	1000	2.81E-10	8.92E-11	1.40E-10	2.00E-08	2.00E-08	9
1500	1000	1.06E-09	8.92E-11	1.40E-10	1.15E-08	1.16E-08	9
1800	1000	1.75E-10	8.92E-11	1.40E-10	8.77E-09	8.77E-09	9
2000	1000	4.08E-10	8.92E-11	1.40E-10	3.27E-09	3.30E-09	9

3.1.3 頻率的標準不確定度 u_f

由計頻器之校正報告中擴充不確定度除以涵蓋因子，可計算得到頻率的標準不確定度 u_f 為 1.00×10^{-6} Hz。並由校正報告之涵蓋因子為 2，查 t 分布表中的 $t = 60$ ，可得自由度 $\nu_f = 60$ 。

3.1.4 空氣的阻力標準不確定度 u_{drag}

空氣阻力 D 之計算公式如下。

$$D = 0.5C_d\rho V^2 A \quad (1-1-15)$$

其中

C_d ：阻力係數

ρ ：法碼之密度

V ：法碼之體積

A ：法碼之表面積

估計空氣阻力的機率分布為矩形分布，則空氣阻力標準不確定度 u_{drag} 為

$$u_{\text{drag}} = \frac{D}{2\sqrt{3}} \quad (1-1-16)$$

依據 5 kg 法碼之體積、表面積及密度參數計算過後，可以得到空氣阻力標準不確定如表 5 所示。估計其相對不確定性為 10%，則自由度 ν_{drag} 為 50。

表 1-1-10、空氣阻力標準不確定度表

頻率 (Hz)	力量 (N)	u_{drag} (N)
10	100	7.30E-04
100	173.45	6.99E-04
300	336.75	6.30E-04
500	500	5.61E-04
1000	1000	3.89E-04
1200	1000	3.20E-04
1500	1000	2.17E-04
1800	1000	1.14E-04
2000	1000	4.50E-04

綜合以上所得之估算結果，由式 (1-1-9) 可計算得標準動態力之標準不確定度 u_F ，應用 Welch-Satterthwaite 公式可計算得自由度 ν_F 如下式。

$$\nu_F = \frac{u_F^4}{\frac{\left(\frac{\partial F}{\partial m} u_m\right)^4}{\nu_m} + \frac{\left(\frac{\partial F}{\partial d} u_d\right)^4}{\nu_d} + \frac{\left(\frac{\partial F}{\partial f} u_f\right)^4}{\nu_f} + \frac{u_{\text{drag}}^4}{\nu_{\text{drag}}}}$$

標準動態力的標準不確定度 u_F 及自由度 ν_F 估算結果如表 6 所示。

表 1-1-11、標準動態力的標準不確定度及自由度

頻率 (Hz)	力量 (N)	u_F (N)	ν_F
10	100	0.00920	13
100	173.45	0.42865	11
300	336.75	2.70018	200
500	500	3.61370	9
1000	1000	4.61921	9
1200	1000	5.68565	9
1500	1000	5.12985	9
1800	1000	5.61097	9
2000	1000	2.60516	9

3.2 傳感器輸出電壓標準不確定度 u_V

傳感器輸出電壓不確定度的量測方程式為

$$u_V = \sqrt{u_{cr1}^2 + u_{ang}^2 + u_{rep.V}^2} \quad (1-1-17)$$

其中

u_{cr1} : 來自電表校正報告之標準不確定度

u_{ang} : 力量傳感器組裝誤差造成之標準不確定度

$u_{rep.V}$: 力量傳感器輸出電壓重複性之標準不確定度

3.3.1 電表追溯校正之標準不確定度 u_{cr1}

由電表 (Keysight 3458A) 的校正報告，將電表校正報告中 100 mV 範圍的擴充不確定度 (0.005 mV) 除以涵蓋因子 ($k=2$) 計算得到電表追溯校正的標準不確定度為 2.5×10^{-6} V。校正報告所述之涵蓋因子為 2，由 t 分布表查表可知 $t=60$ ，自由度 $\nu_{cr1}=60$ 。

3.3.2 力量傳感器組裝誤差之標準不確定度 u_{ang}

力量傳感器組裝誤差的量測方式為量測模擬傳感器在最大可能偏位角度的電壓輸出最大值與最小值，並假設力量傳感器組裝誤差的機率分布為矩形分布，則力量傳感器組裝誤差的不確定度 u_{ang} 為

$$u_{ang} = \left| \frac{V_{max} - V_{min}}{2\sqrt{3}} \right| \quad (1-1-18)$$

計算過後可以得到力量傳感器組裝誤差的標準不確定表如表 1-1-12 所示，估計其相對不確定性為 10%，則自由度 ν_{ang} 為 50。

表 1-1-12、力量傳感器組裝誤差的標準不確定度表

頻率 (Hz)	力量 (N)	u_{ang} (V)
10	100	0.00019
100	173.45	0.00027
300	336.75	0.00076
500	500	0.00125
1000	1000	0.00083
1200	1000	0.00217
1500	1000	0.00116
1800	1000	0.00777
2000	1000	0.00052

3.2.3 力量傳感器輸出電壓重複性之標準不確定度 $u_{rep.V}$

電壓輸出重複性之標準不確定度計算方式為評估 80 個週期之下電壓輸出的重複性，標準不確定度 $u_{rep.V}$ 計算公式如下，計算結果如表 1-1-13 所示。因重複次數為 80，則自由度 $\nu_{rep.V}$ 為 79。

$$u_{rep.V} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1-1-19)$$

表 1-1-13、力量傳感器輸出電壓重複性的標準不確定度表

頻率 (Hz)	力量 (N)	$u_{rep.V}$ (V)
10	100	8.98E-05
100	173.45	9.89E-05
300	336.75	1.00E-04
500	500	1.20E-04
1000	1000	1.72E-04
1200	1000	1.92E-04
1500	1000	1.59E-04
1800	1000	1.09E-04
2000	1000	1.23E-04

綜合以上所得之估算結果，由式(1-1-17)可計算得傳感器輸出電壓之標準不確定度 u_V ，應用 Welch-Satterthwaite 公式可計算得自由度 ν_V 如下式。

$$\nu_V = \frac{u_V^4}{\frac{u_{cr1}^4}{\nu_{cr1}} + \frac{u_{ang}^4}{\nu_{ang}} + \frac{u_{rep.V}^4}{\nu_{rep.V}}}$$

傳感器輸出電壓的標準不確定度 u_V 及自由度 ν_V 估算結果如表 1-1-14 所示。

表 1-1-14、傳感器輸出電壓之標準不確定度表

頻率 (Hz)	力量 (N)	u_V (V)	ν_V
10	100	0.00021	72
100	173.45	0.00029	63
300	336.75	0.00077	51
500	500	0.00126	50

1000	1000	0.00085	54
1200	1000	0.00218	50
1500	1000	0.00117	51
1800	1000	0.00079	51
2000	1000	0.00054	55

3.3 傳感器激發電壓的標準不確定度 $u_{V_{ex}}$

本項不確定度源來自電表 (Agilent 34410A) 追溯校正的標準不確定度，由電表的追溯校正報告，將電表校正報告中 1 V 範圍的擴充不確定度 (0.001 mV) 除以涵蓋因子 ($k=2$) 計算可得到標準不確定度為 5×10^{-7} V。校正報告中所述之涵蓋因子為 2，由 t 分布表查表可得 $t = 60$ ，自由度 $\nu_{V_{ex}} = 60$ 。

3.4 擴充不確定度

綜合前述各不確定度之估算，並依據式 (1-1-7) 計算量測系統之組合標準不確定度 $u_c(S)$ ，應用 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度 $\nu_{\text{eff}}(S)$ 如下式所示。

$$\nu_{\text{eff}}(S) = \frac{u_c^4(S)}{\frac{\left(\frac{\partial S}{\partial F} u_F\right)^4}{\nu_F} + \frac{\left(\frac{\partial S}{\partial V} u_V\right)^4}{\nu_V} + \frac{\left(\frac{\partial S}{\partial V} u_{V_{ex}}\right)^4}{\nu_{V_{ex}}}}$$

在信賴水準為 95 %，各力量標準值之相對擴充不確定度為涵蓋因子 k 與組合相對標準不確定度 $u_c(S)/S$ 之乘積，如式 (1-1-20) 所示。

$$U_r(S) = k \times u_c(S)/S \quad (1-1-20)$$

計算結果如表 1-1-15 所示，取各校正點中最大相對擴充不確定度 $U_r(S)$ 為本系統之量測能力，因此可宣稱本系統之量測能力為 1.8×10^{-2} ，涵蓋因子 k 為 2。

表 1-1-15、系統擴充不確定度表

頻率 (Hz)	力量 (N)	S (N^{-1})	$u_c(S)$ (N^{-1})	$\nu_{\text{eff}}(S)$	k	$U_r(S)$
10	100	1.336E-04	4.19E-07	72	1.99	6.3E-03
100	173.45	1.163E-04	4.39E-07	45	2.01	7.7E-03
300	336.75	1.179E-04	1.05E-06	250	1.97	1.8E-02
500	500	2.059E-04	1.57E-06	11	2.20	1.7E-02
1000	1000	2.329E-04	1.09E-06	9	2.26	1.1E-02
1200	1000	7.424E-05	6.07E-07	31	2.04	1.7E-02
1500	1000	3.759E-05	3.03E-07	39	2.02	1.7E-02
1800	1000	2.285E-05	2.03E-07	40	2.02	1.8E-02
2000	1000	1.776E-05	1.17E-07	63	2.00	1.4E-02

4. 完成系統查驗 (查核點編號 A1-4)

於 2022 年 10 月 31 日完成靜法碼量測系統(二)系統擴建查驗會議，地點於工研院光復院區 16 館 223 室，查驗委員包含王郁仁教授、徐炯勳教授、陳昌明總經理及標檢局代表，除標檢局代表提出校正程序及系統評估報告中文字的錯誤建議修改以外，其餘委員所提出意見皆為對於提升系統量測能力之相關建議，諸位委員皆同意系統查驗通過，量測系統審查意見回覆請參考附件四。

【突破瓶頸】

建立力量傳感器的動態力量校正技術，能獲得力量傳感器在不同施力頻率、力量大小下的動態靈敏度，可提供國內力量傳感器動態模式運用的追溯源頭。在產業應用面上，為了達成所謂智慧製造的目標，在加工用設備、機台或機械手臂上會有大量安裝力量傳感器的需求，將力量傳感器的動態靈敏度資訊回饋至裝配力量傳感器的設備之控制系統，可避免力量傳感器於靜態與動態之電壓輸出差異所導致的訊號失真，可提升力量傳感器於動態模式操作之準確性。

【本年度結論】

本年度所完成系統之施力範圍 100 N ~ 1 kN，頻率範圍 10 Hz ~ 2 kHz，系統之量測不確定度(相對擴充不確定度)為 1.8 %，達成相對擴充不確定度 < 2 % 之目標，與技術領先國家所建系統量測能力等同，所建系統可提供力量傳感器之動態靈敏度校正，滿足國內之動態力量校正需求。

經濟部標準檢驗局

「靜法碼量測系統(二) (N02)」擴建查驗會議紀錄

- 一、時間：111 年 10 月 31 日(星期一) 下午 2 時整
- 二、地點：財團法人工業技術研究院量測技術發展中心 223 會議室
- 三、主持人：孫簡任技正元平
紀錄：侯沛霖
- 四、出席委員及列席人員：
出席委員：王委員郁仁、徐委員炯勛、陳委員昌銘
列席人員：傅尉恩、許俊明、王品皓、陳生瑞、呂錦華、羅宇然、洪辰昀
- 五、主席致詞：略
- 六、受託單位報告：如簡報資料。
- 七、委員審查意見：如委員審查意見表。
- 八、會議決議事項：本案經與會委員審核後，系統技術文件及相關資料符合需求，本系統查驗通過。惟須依委員審查意見確實改正，請工研院於 111 年 12 月 31 日前將委員同意後之審查意見回覆單併同查驗報告提送本局核准，俾利本局辦理「靜法碼量測系統(二) (N02)」擴建事宜。
- 九、臨時動議：無
- 十、散會時間：111 年 10 月 31 日下午 3 時 30 分整。

圖 1-1-6、系統查驗會議記錄

(二) 機械聲音之聲學麥克風校正技術

本子計畫應用聲學感測器擷取旋轉機械運作狀況產生之聲音訊號，建立機械智能聲音特徵檢測技術，透過計量追溯提升聲音訊號擷取的準確性，運用於旋轉機械在線監測及預測技術。並以屬於旋轉機械的陸域風力發電機作為目標場域，利用聲學感測器感知設備關鍵組件(葉片)之運轉狀態，擷取來自聲學數據的訊息開發損壞檢測與預測演算法，比較正常與損壞葉片的聲音特徵差異，例如聲紋和聲結構參數，透過聲學大數據分析技術建立深度學習模式，從資料中自動分析獲得規律，並利用規律對未知資料進行預測，提升整體損傷判定準確率。設法從中找出設備發生故障前的先期徵兆，提早進行預防保養，降低設備非預期性故障所造成的龐大損失。

本年度計畫目標如下：

建立機械智能聲音特徵檢測技術

- 頻率範圍: 100 Hz to 20 kHz

- 損壞判定準確率: $\geq 90\%$
- 導入場域測試及應用 1 家廠商

於 111 年完成旋轉機械異音檢測技術開發，應用於陸域風力發電機葉片檢測作業，達成損壞判定準確率 90% 以上，滿足業界異音檢測需求。

【執行成果】

1. 完成檢測流程標準化建立(查核點編號 A2-1) (查核點編號 A2-1)

機械智能聲音特徵檢測技術主要是以聲學感測器蒐集風機葉片運轉聲音，針對音檔做聲音訊號處理，從代表性的頻譜特徵進行機械異音檢測。計畫過程須經由實驗設計、現場量測、數據蒐整分析等過程，完成風機葉片損傷判定的機器模型。我國目前陸域風力發電機分布廣泛，風力發電機的廠牌型號多元，包括 Vestas-V80、ENERCON-E70、GE-1.5se 等廠型的風機，然而不同廠型風機因幾何外型尺寸不盡相同，運轉產生的葉片噪音特性也不完全相同。因此，本計畫先選定一種廠牌型號作為目標機組，至現場量測聲音數據，進一步開發損傷判定演算法。

統整目前國內本島陸域風力發電廠的機組廠牌與數量(表 1-2-1)，其中 Vestas-V80 以 51.3% 的比例占比最高，為國內陸域風機的大宗，且尺寸也比其他風機大，日常維護工作較為不易。綜整上述原因，選定 Vestas-V80 作為本計畫的目標機型，並考量各風場的機組數量，以彰工風場作為測試場域，雲麥風場與四湖風場為備選場域。其中彰工風廠有 35 架 V80 型風機，雲麥有 23 架、四湖有 14 架，三個風場皆坐落於中部沿岸，風機周遭環境寬敞，適合風機葉片噪音蒐集。

彰濱工業區的風力發電場簡稱彰工風場，隸屬於台灣電力公司，該風場所使用之風機機型全為 Vestas-V80，額定功率為 2 MW，由丹麥風力發電機製造商(Vestas)製造。根據原廠所提供之規格規格資料^[1-2-2]，啟動風速(cut-in wind speed) 3.5 m/s 為風機開始旋轉產生電力所需的最低風速，切出風速(cut-off wind speed) 25.0 m/s 為製造商為了避免轉速過快導致機組故障所設定的最高運轉風速，葉片直徑 $2R = 80\text{ m}$ ，葉片轉速最低 $\omega_{min} = 9\text{ rpm}$ 、最高 $\omega_{max} = 19\text{ rpm}$ ，以上兩種葉片轉速資訊將輔助進行聲音特徵擷取。

選定目標機組與測試風場後，依照風力發電機運轉特性，將風機葉片噪音檢測流程標準化，制定流程指引作為後續現場數據蒐集和檢測作業上的參考依據。陸域風力發電機葉片運轉噪音檢測流程指引(M407EA1120-D100-001)適用於陸域風力發電機葉片損壞檢測工作，適用機組為 Vestas 公司製造的 V80 型風力發電機(以下簡稱風機)，額定發電量為 2 MW。風力發電機葉片運轉噪音檢測流程指引內容包括以下章節：

- 適用範圍
- 儀器設備
- 測量前準備

- 干擾
- 測量步驟
- 品質管制
- 參考文獻

表 1-2-1、國內陸域風力發電廠彙整表

風場名稱	風機組數	單機容量 (MW)	機組廠牌-型號	塔柱高度 (m)	啟動風速 (m/s)	轉速範圍 (RPM)
石門	4	0.66	Vestas-V47	45.0	4.0	~ 28.5
林口	3	2.0	Vestas-V80	78.0	3.5	9 ~ 19
蘆竹	8	0.9	ENERCON-E44	45.0	2.5	12 ~ 34
大潭	3	1.5	GE-1.5se	64.7	4.0	11.1 ~ 22.2
	3	2.0	Vestas-V80	78.0	3.5	9 ~ 19
	2	2.3	ENERCON-E70	64.0	2.5	6 ~ 21.5
觀園	20	1.5	GE-1.5se	64.7	4.0	11.1 ~ 22.2
香山	6	2.0	GAMESA-G80	67.0	4.0	9 ~ 19
中港	13	2.0	Zephyros-Z72	65.0	3.0	~ 24
中火	1	2.0	Zephyros-Z72	65.0	3.0	~ 24
彰工	35	2.0	Vestas-V80	78.0	3.5	9 ~ 19
王功	10	2.3	ENERCON-E70	64.0	2.5	6 ~ 21.5
永興	4	2.0	ENERCON-E70	64.0	2.5	6 ~ 21.5
雲麥	23	2.0	Vestas-V80	78.0	3.5	9 ~ 19
四湖	14	2.0	Vestas-V80	78.0	3.5	9 ~ 19
恆春	3	1.5	GE-1.5se	64.7	4.0	11.1 ~ 22.2

整體流程可參考圖 1-2-1，出發前先與營運單位確認風力發電廠內各機組的運轉狀況，是否有機組停機進行例行性維護，事先規劃檢測路線與順序。測量位置選擇為風機輪轂投影至下方的地面上，該點即為最佳測量位置。但因風機擺頭方位會根據現場風向而有所不同，風機輪轂正下方可能被附近樹木所遮蔽，無法架設三腳架，此時位置選擇應以風機作為中心點，向兩邊圓弧兩側移動，直到不受干擾即可。測量時需距離主要反射面至少 1 m，測量位置皆距離地面 0.8 m。噪音計架設於噪音計專用三腳架上，確認噪音計穩固不會有傾斜(倒)之虞，將聲音感應器(外加防風罩)朝向欲測發音源(風機葉片)。現場測量前噪音計應依儀器原廠說明使用聲音校正器進行確認，不可進行任何調整並記錄確認結果，並將確認信號(音量)儲存，其呈現值與聲音校正器校正報告真實值，兩者差值的絕對值不得大於 0.7 dB，且前後兩次呈現值差之絕對值不得大於 0.3 dB。量測前確認完成後，即可開始執行量測，量測時間依當日任務目標調整，如為大量數據之蒐集工作，每架風機建議測量時間為 10 分鐘以上；如為例行性巡檢工作，每架風機建議測量時間為 30 秒，取得代表性風機葉片運轉噪音即可。現場測量完畢後以聲音校正器重複量測前的校正步驟，確認噪音計呈現結果符合品質管制要求。量完該架風機後，依據事先規劃的路線移動至下一架風機，重複上述步驟，完成整個風場的風機葉片運轉噪音檢測工作。

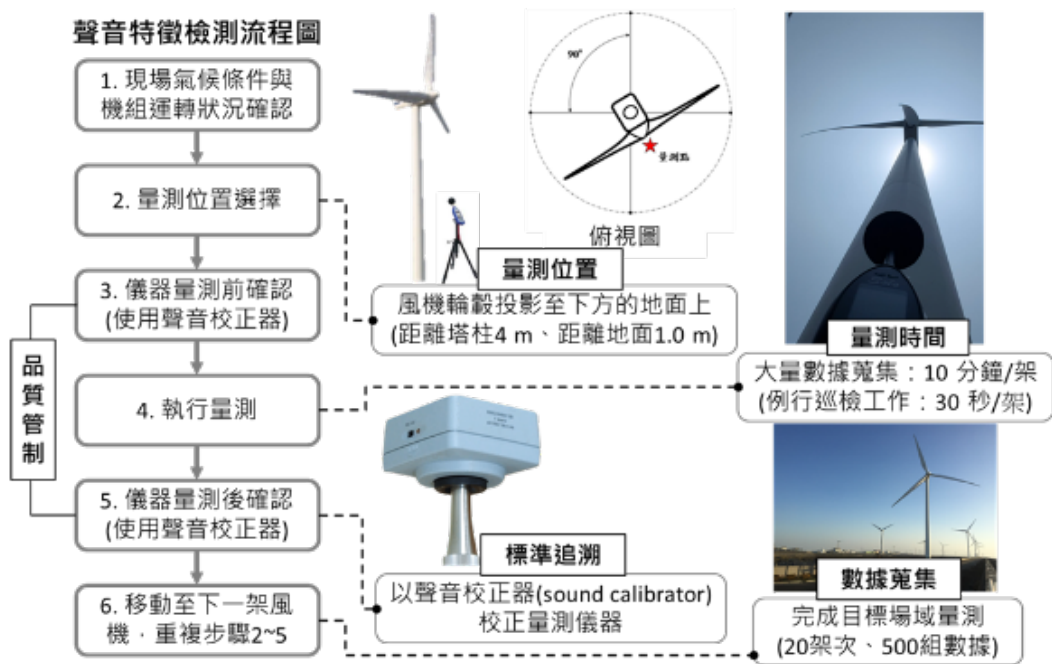


圖 1-2-1、陸域風力發電機葉片運轉噪音量測流程圖

陸域風力發電機葉片運轉噪音檢測流程指引(M407EA1120-D100-001)明確指出量測當下必須為無雨的氣候狀態，因雨滴聲會造成檢測結果的誤差，且水分容易造成儀器損壞。風速條件也必

須達到風機的啟動風速，機組正常運轉才能量測到風機運轉過程產生的葉片噪音，本技術建議使用的風速條件為 4.0 m/s 至 10.0 m/s。測量過程，如遇到明顯的外在環境音干擾(風機葉片旋轉風切聲以外之噪音)，應確實將事件發生的時間與原因註記在紀錄單中，以便後續訊號分析參考，剔除受干擾的音檔數據。

2. 完成聲音數據蒐集及特徵分類(查核點編號 A2-2)

本計畫於四月份展開現場量測工作，根據氣象預報資料排定量測日期，量測當天須為無雨天，且風速須達 3.5 m/s 以上。最後選定 4 月 15 日和 4 月 20 日至彰工風場進行風機葉片運轉噪音量測。彰工風場位於彰化縣沿岸，風機相對位置圖可參考圖 1-2-2，風機分佈主要分為兩區塊，每個機組之間，相隔至少 500 m 以上，因此，位於機組下方量測葉片噪音不會受到鄰近風機所影響。量測過程參照流程指引架設儀器設備，現場情況可參考圖 1-2-3。

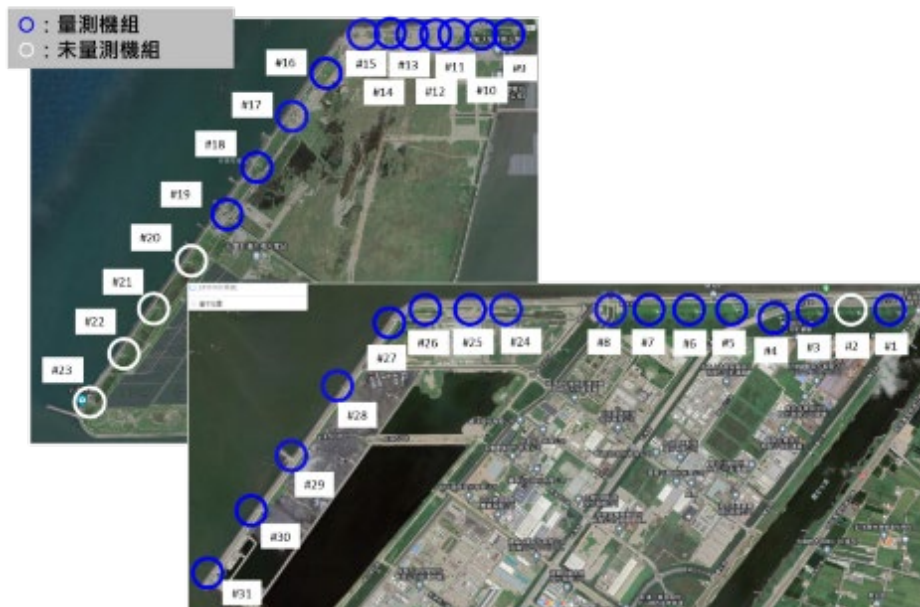


圖 1-2-2、彰工風場機組相對位置(鳥瞰圖)



圖 1-2-3、現場量測示意圖

量測當天完成之機組數量可參考表 1-2-2，4 月 15 日的風速約 10 m/s ~ 12 m/s，當天完成 11 架次的風機葉片噪音量測，每架次量測時間為連續 10 分鐘；4 月 20 日風速約 10 m/s ~ 12 m/s，完成 23 架次的風機葉片噪音量測，每架次量測時間為連續 10 分鐘。綜整兩次的現場量測，編號 #2、#20、#21、#22、#23 風機因處於維修停機狀態，因此本次為進行數據蒐整。累積 34 架次的數據資料，如果以 30 秒切分為一組數據，具有 680 組數據，後續將依訊號分析過程，調整數據切割長度。

表 1-2-2、風機葉片噪音現場量測資訊

量測日期	2022/04/15 (五)	2022/04/20 (三)
風速狀況	10.0 m/s ~ 12.0 m/s	4.0 m/s ~ 6.0 m/s
風機編號	# 01、# 03、# 04、# 06、# 08、# 26、# 27、# 28、# 29、# 30、# 31	# 01、# 05、# 07、# 08、# 09、# 10、# 11、# 12、# 13、# 14、# 15、# 16、# 17、# 18、# 19、# 24、# 25、# 26、# 27、# 28、# 29、# 30、# 31
量測架次	11 架次	23 架次
量測時間	10 分鐘/架次	10 分鐘/架次
備註	共累積 34 架次，680 組數據(30 秒/組)	

根據風場維護人員提供之人工巡檢結果資訊，標記量測數據之標籤(實際葉片狀況)。表層無損壞，無須停機修補的葉片稱為「正常風機」樣本；表層有腐蝕、脫層、破裂，需要安排停機檢查或修補的葉片稱為「異常風機」樣本。兩天共蒐集到 26 架次(520 筆)的正常風機樣本，8 架次(160 筆)的異常風機樣本，後續會將上述資料切分為訓練集與測試集，並從訓練集中提取特徵參數，從中有效辨識機械損壞。

一般來說，深度學習僅依靠其強大的性能與龐大的訓練資料庫，不需繁瑣的前處理程序即可訓練出有效的模型，但風機運轉噪音資料獲取不易，資料量尚不足以如此簡單直接的方式達到理想的損傷判定準確率，再加上風機葉片狀態的診斷不需考慮即時性，因此本計畫在前處理會執行較多程序，以便獲取最精簡、有效的特徵。取得風機葉片原始音檔後，分別對正常樣本與損壞樣本進行訊號處理，找出能夠辨識出異常狀態的聲音特徵，以下將說明音訊特徵擷取演算過程。量測儀器所錄製之資料為麥克風輸出之電壓，需除以麥克風靈敏度轉換為聲壓(sound pressure)，圖 1-2-4 為正常與損壞樣本聲壓隨時間的變化，電壓轉聲壓轉換公式如下，此時的時間域訊號仍無法分辨出異常狀態，需再進一步處理。

$$P = V/S \quad (1-2-1)$$

V ：原始音訊電壓，單位 V

P ：原始音訊聲壓，單位 Pa

S ：麥克風靈敏度，單位 V/Pa

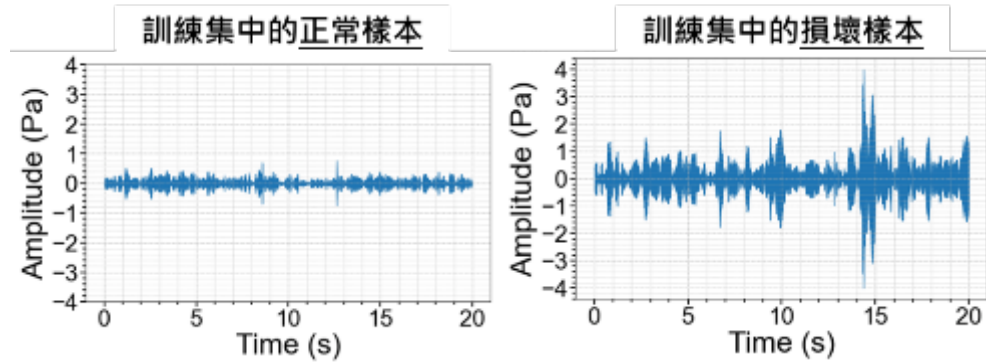


圖 1-2-4、風機葉片噪音聲壓隨時間的變化

風力發電機運轉時，葉片產生之風切噪音屬於較高頻的聲音，約在 4000 Hz 以上，因此，將以帶通濾波的方式排除低頻聲音，降低環境低頻噪音所產生的影響。所使用數位帶通濾波器低頻和高頻的截止頻率分別為 4 kHz 及 20 kHz，階數為 8 階。

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_Nz^{-N}}{a_0 + a_1z^{-1} + \dots + a_Nz^{-N}} \quad (1-2-2)$$

$$X_f(t) = H(t) \times X'(t)$$

$H(z)$ ：濾波器轉移函數

$H(t)$ ：時域的濾波器轉移函數

$X_f(t)$ ：濾波後的訊號

N ：濾波器階數

a, b ：濾波器係數，可由 MATLAB 或是 Python 相關設計濾波器的工具得到

兩次移動平均找出波形趨勢，並尋找所有局部最低點，裁切單一葉片的區間移動平均演算法 (一個固定長度窗格逐點掃描，並得出每個窗格內的平均值)

$$MA[i] = \frac{\sum_{i-M}^{i+M} X_f[i]}{2M+1} \quad (1-2-3)$$

MA : 平均移動計算後的值

I : X_f 之中樣點的順序

M : 要計算的點向左右延伸的樣點個數，移動平均總樣點個數為 $2M+1$

如果計算時，窗格內的原始訊號長度不足，則使用原始訊號端點數值填滿 (padding) 窗格。

接著用線性搜尋和比較 MA 某一點附近 K 個點大小的方式，找出移動平均後之訊號所有的相對最小值位置，並分割出每支葉片掃過間隔。圖 1-2-5 中，紅色音框為葉片旋轉經過塔柱產生的風切聲，由於待測件是水平軸的三葉片型風機，因此三個音框可視為一個旋轉週期。

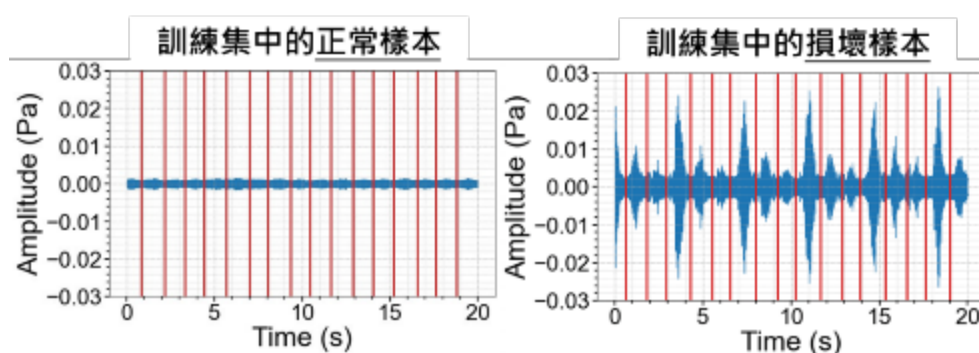


圖 1-2-5、波行裁切後的時域訊號

經由比較正常與損壞樣本裁切後的時域訊號，發現在損壞的樣本中，三支葉片所對應的聲音能量大小有明顯的差異，反觀在正常的樣本中，三支葉片所對應的聲音能量大小則無明顯差異。訊號能量的均方根值是一個能夠辨識出來的聲音特徵，其計算公式如下：

$$RMS_i = \sqrt{\frac{\sum (X_f^i)^2}{\text{length of } X_f^i}} \quad (1-2-4)$$

i : 表示間隔的順序

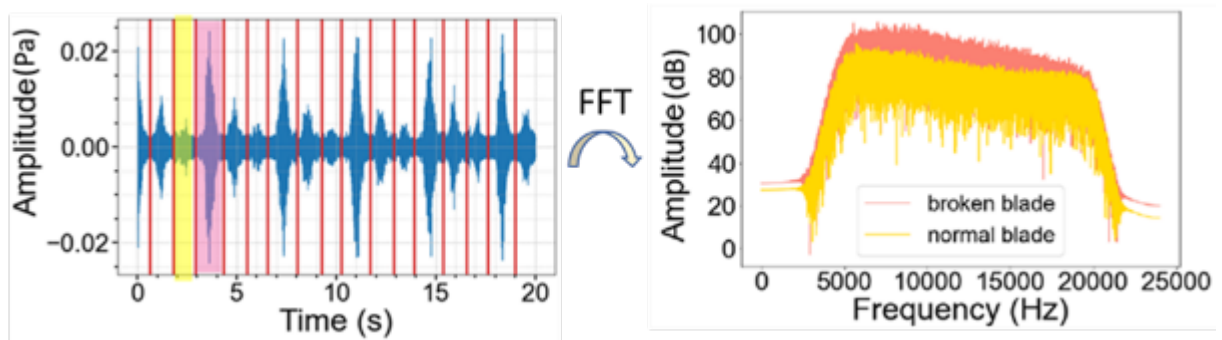


圖 1-2-6、風機葉片噪音頻譜分析

除了時間域的聲音特徵，嘗試於頻率域找出有差異的特徵。從圖 1-2-6 的正常葉片(黃底)與異常葉片(紅底)，擷取該時段的聲音訊號，分別作快速傅立葉轉換，從頻譜圖中可得知，兩者在 4 kHz 以下與 20 kHz 以上，由於帶通濾波的處理，能量明顯被壓下來。而 5 kHz 至 20 kHz 之間則可明顯看出損壞葉片的頻譜能量大於正常葉片，表示當葉片表層有損壞時，旋轉經過塔柱時產生的風切音在高頻段(5 kHz 至 20 kHz)有較高的能量表現，頻譜質心也會有所差異，能作為辨別異常的聲音特徵。頻譜圖中的頻譜質心計算公式如下：

$$X_F(f) = FFT(X_f)$$

$$Spectral\ Centroid[i] = \frac{\sum_m X_F^2(m) \cdot f(m)}{\sum_m X_F^2(m)} \quad (1-2-5)$$

M : 單一間隔 i 內，頻譜的樣點順序

X_F : 濾波後訊號 X_f 的快速傅立葉轉換結果

FFT : 快速傅立葉轉換

綜整上述對於原始音訊檔作的訊號處理，首先，透過帶通濾波和移動平均找出波形趨勢，以波形趨勢的判斷機制，分割出三支葉片掃過的時間間隔，裁切範圍內的三個間隔為一組，每個間隔代表其中一支葉片。每個間隔皆可產生自己的指標性聲音特徵，分別為時間域的訊號能量均方根，以及頻率域的頻譜質心。另外，計算特徵值過程，採用同個音檔內的三支葉片自己做比較，確保量測數據當下的運轉條件一致，具有相同的比較基準。每個運轉周期之間，再計算三支葉片的 RMS 與頻譜質心之比例關係，增加數據特徵值的多樣性。每組資料皆可產生如表 1-2-3 所示的 12 個特徵值。後續將採取「決策樹」這項分類工具，使資料自己擬合出合適的判斷標準。風機葉片有 A、B、C，但是每次量測的第一支葉片音訊不一定是同一支葉片，本身存在機率問題。承上，本身有機率問題，特徵值的趨勢也有所浮動，因此需要加入統計學的方法建立一個判斷機制。另，決策樹演算法容易實現，完全根據其觀察到的資料生長出節點與分枝，每個節點都是根據資料建立的邏輯判斷式。

表 1-2-3、風機葉片噪音特徵擷取項目

		訊號能量 RMS	頻譜質心	訊號能量 RMS 的相對比例	頻譜質心的相對 比例
同一架風 機	葉片 A	RMS_t_1	sc_f_1	RMS_t_1_prop	sc_f_1_prop
	葉片 B	RMS_t_2	sc_f_2	RMS_t_2_prop	sc_f_2_prop
	葉片 C	RMS_t_3	sc_f_3	RMS_t_3_prop	sc_f_3_prop

3. 完成數位訊號處理與演算法開發，損壞判定準確率 $\geq 90\%$ (查核點編號 A2-3)

根據表 1-2-3，自風機葉片噪音中分別擷取出時域訊號能量與頻譜質心，但是在後續的研究之中發現，頻譜質心值之大小變化趨勢相較時域訊號變化之程度不明顯，且損壞風機葉片掃過塔柱產生之噪音經過時頻分析，其能量強度在低頻段、中頻段與高頻段皆有能量上的提升，造成整體的頻譜的平移現象，因此頻譜質心值幾乎無改變，難以用頻譜質心數據直接地觀察出風機葉片是否損壞。除此之外，風機葉片噪音量測之現場干擾眾多，若採取先前裁切出單支葉片掃過塔柱時間間隔的作法(將時域訊號依照旋轉週期裁切)，有機率將受干擾之音訊特徵當作訓練資料，模型將會擬合錯誤的結果，在裁切時間間隔的過程之中，也有機率因為資料之雜訊而誤判時間間隔長度。有鑑於上述的考量，對於最終的音訊處理演算法改採時頻分析(同時具有時間與頻率的資訊)，同時考慮訊號在時域與頻域上的能量變化，並自時頻分析結果擷取出機器學習模型所需之特徵。

首先，為了避免量測訊號過程中之短時間干擾影響音訊處理的結果，且同時希望使用更短的量測資訊即可獲得有效的分類結果，在此階段將原先 30 秒鐘長度的訊號採樣規格改成採用 10 秒鐘長度之音訊，而 10 秒內包含了 2~3 次的風機旋轉週期，因此即使在短時間內有環境事件音干擾某一個風機葉片旋轉週期，仍有其餘的週期可以提供正確之資訊。接著，此 10 秒鐘訊號會先進行帶通濾波(2 kHz 至 16 kHz)。會留下此頻段內的資訊，目的在不失去太多風機葉片本身頻域資訊的前提下，將 2 kHz 以下的風機機組本身噪音、周圍低頻干擾等聲音濾除；透過分析大量量測訊號的時頻圖之後，歸納出不論正常與損壞的風機葉片，其在 16 kHz 以上頻段的能量變化皆不明顯，因此事先濾除這些資訊。

先前的訊號分析結果顯示，時域訊號的變化相較於頻域訊號上的變化明顯許多，因此在只擷取時域特徵且又得涵蓋頻域資訊的前提下，最終採取訊號處理演算法將帶通濾波處理後的時頻圖(可以看作一個陣列資料)，在頻域上每隔 1031.25 Hz 進行一次裁切，並將每個頻域間隔內的訊號能量加總，進而獲得數個固定頻寬內的時域訊號能量變化情形，產生如圖 1-2-7 與圖 1-2-8 之結

果。為了保留訊號強度「變化趨勢」較明顯與訊號週期變化較規律者，最終採用 7218.75 Hz 至 17531.25 Hz 之間的訊號，總計 10 個頻段。

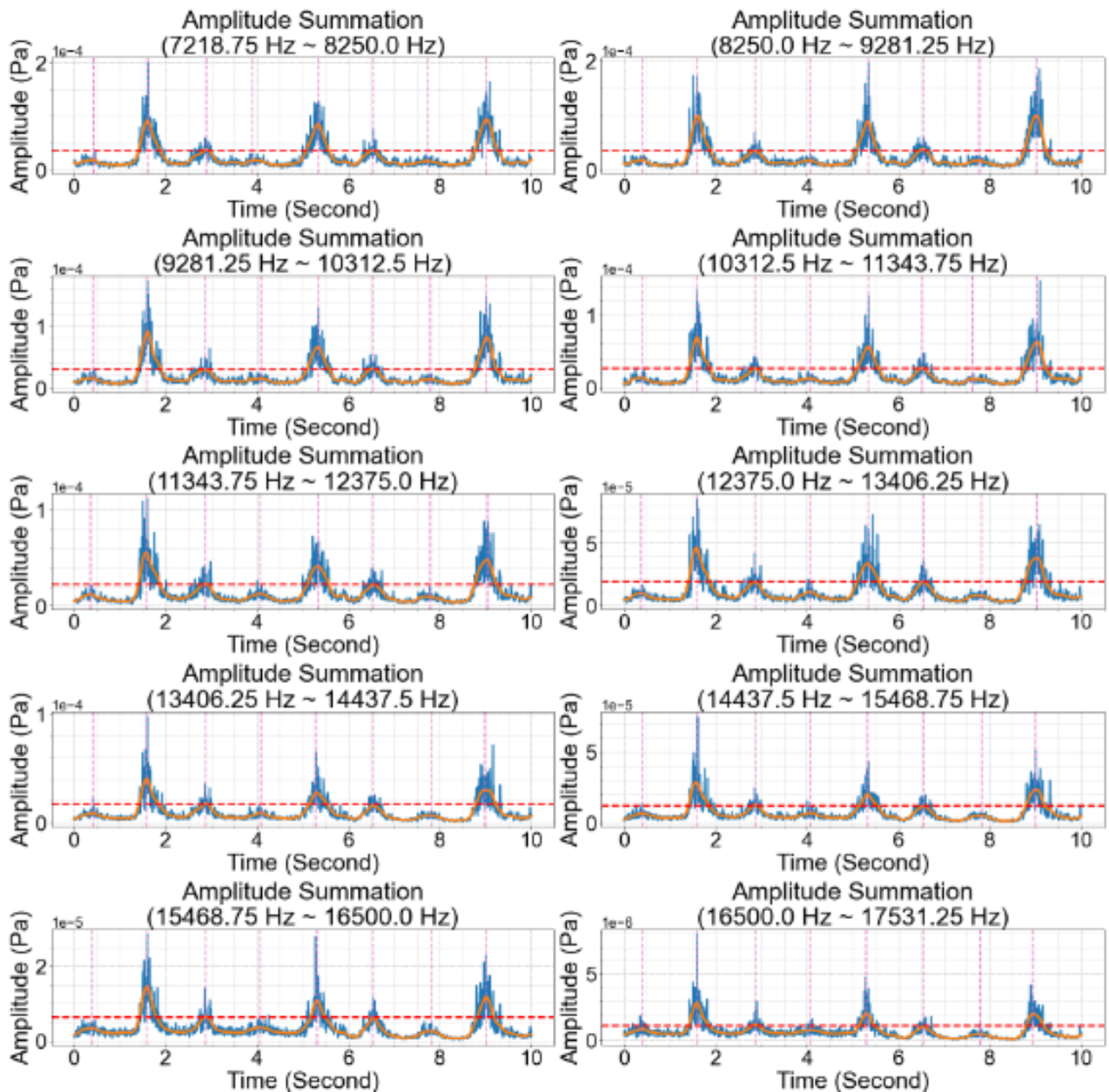


圖 1-2-7、損壞風機葉片噪音於各頻段之訊號強度變化

本計畫定義機器學習模型的輸入為風機葉片噪音量測結果之訊號變化趨勢特徵，輸出即判定此風機葉片是否存在損壞風險。為了得知訊號的趨勢變化，本計畫對原始訊號進行移動平均得出訊號變化趨勢（橘色線段）之後，再擷取出每個頻段內 10 秒鐘之訊號波峰值（圖 1-2-7 之中粉紅色虛線位置），進而計算波峰值平均值、波峰值中位數、波峰值標準差、波峰值最小值與波峰值最大值與風機旋轉週期，共六項特徵。

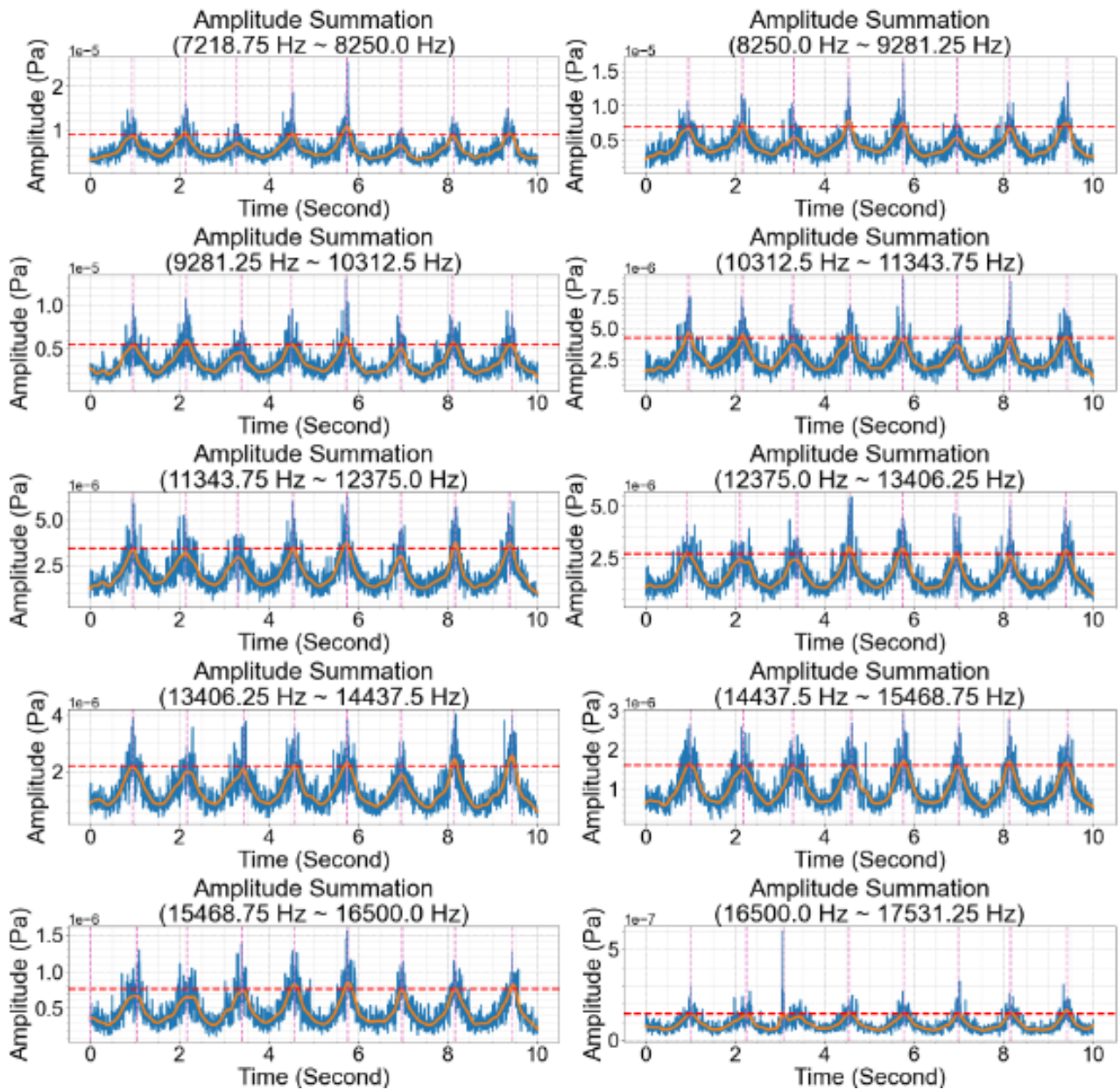


圖 1-2-8、正常風機葉片噪音於各頻段之訊號強度變化

前五項特徵為每個頻段內皆擷取一次，風機旋轉週期是將各個頻段內計算出的結果進行平均，因此 10 秒鐘的音訊藉由時頻分析、頻段切割、移動平均擷取訊號波峰值與計算波峰值分布特徵等作法，共可得到 51 項特徵值。除此之外，透過比較圖 1-2-7 與圖 1-2-8，可以發現正常風機之訊號波峰值皆靠近波峰值平均值（紅色虛線），峰值分布的標準差值理論上會很小，而損壞風機樣本的峰值分布則反之，因此本計畫也假設某一頻段內的特徵之中，標準差值對於分類結果的影響會是最大的，不過這仍需要透過機器學習方法進一步驗證。

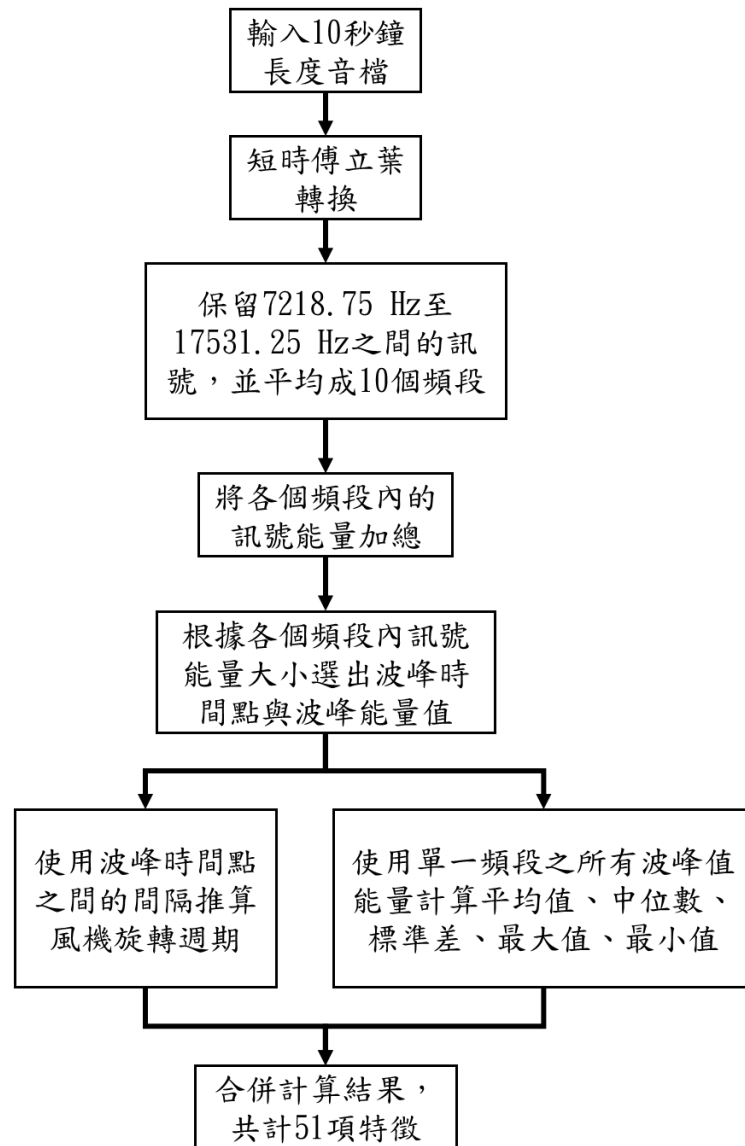


圖 1-2-9、擷取風機葉片噪音特徵之演算法流程圖

圖 1-2-9 將訊號處理與特徵擷取的演算法以流程圖闡釋。更改成此演算法擷取風機噪音特徵之後，同一風機架次之特徵數量由 9 項提升至 51 項；除了風機旋轉週期之外的特徵，其餘特徵皆涵蓋時域與頻域之資訊，相較於先前的特徵值，單一特徵值包含的意義更為豐富。

另，考量到訓練資料數量受到風機量測數量與量測次數限制，難以擁有大量的樣本，因此本計畫以在訊號上每 2 秒鐘的位移就裁切出 10 秒鐘長度之訊號為原則，將單一風機噪音量測結果（10 分鐘長度之音訊），裁切出大量 10 秒鐘長度之訊號，裁切順序的前後訊號會有部分重疊，藉此可以達到資料擴增的效果，也可模擬未來實際場域應用時，於隨機的時間點開始量測風機葉片噪音進行檢測的步驟。

表 1-2-4、調整後的風機葉片噪音特徵擷取項目

同一架風機	頻段編號	頻率區間	峰值平均值	峰值中位數	峰值標準差	峰值最大值	峰值最小值
	0	7218.75 Hz ~ 8250.00 Hz	mean_0	median_0	std_0	max_0	min_0
	1	8250.00 Hz ~ 9281.25 Hz	mean_1	median_1	std_1	max_1	min_1
	2	9281.25 Hz ~ 10312.50 Hz	mean_2	median_2	std_2	max_2	min_2
	3	10312.50 Hz ~ 11343.75 Hz	mean_3	median_3	std_3	max_3	min_3
	4	11343.75 Hz ~ 12375.00 Hz	mean_4	median_4	std_4	max_4	min_4
	5	12375.00 Hz ~ 13406.25 Hz	mean_5	median_5	std_5	max_5	min_5
	6	13406.25 Hz ~ 14437.50 Hz	mean_6	median_6	std_6	max_6	min_6
	7	14437.50 Hz ~ 15468.75 Hz	mean_7	median_7	std_7	max_7	min_7
	8	15468.75 Hz ~ 16500.00 Hz	mean_8	median_8	std_8	max_8	min_8
9	16500.00 Hz ~ 17531.25 Hz	mean_9	median_9	std_9	max_9	min_9	
風機旋轉週期		period					

本計畫根據以上訊號處理演算法與特徵擷取演算法，將先前兩次(2022/04/15 與 2022/04/20)共 34 架次之噪音量測結果，擴增至 10136 筆資料，每組資料共有 51 項特徵。在機器學習模型訓練階段，所有資料皆保留特徵擷取後的原始資訊，不進行其他處理方式；除此之外，所有資料拆分成五個堆疊輪流進行交叉驗證，每一堆疊皆 20%的資料量，分批作為訓練階段的驗證集，其餘資料皆為訓練資料，藉此可以避免模型過度擬合或是受到異常極值影響模型效能。

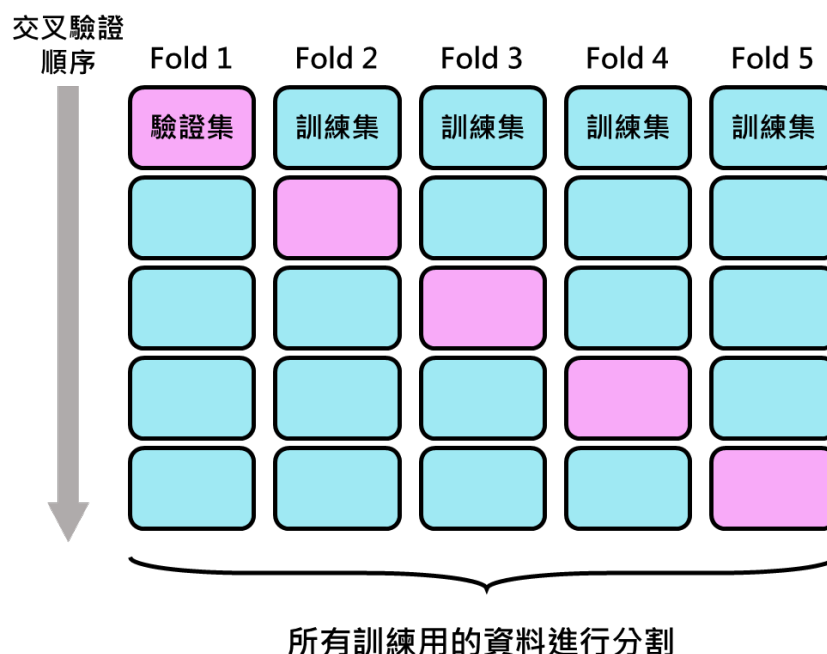


圖 1-2-10、資料拆分成五個堆疊的交叉驗證示意圖

本計畫首先選擇決策樹演算法(Decision tree)作為機器學習模型。決策樹的架構與樹狀資料結構相似，節點包含了一個或多個決策機制，這些決策機制依據資料單一或是部分特徵值將該筆資料分群，節點後的分枝即為資料分群結果，以此類推，圖 1-2-11 為決策樹架構之示意圖。模型在訓練階段會先根據資料的特徵值隨機初始化每個節點之中的決策機制，產生的決策結果與實際分類進行比對，微調每個節點的決策機制，使模型決策的結果與實際類別愈來愈相近。

人為資料分類是依靠觀察每個特徵的數值分布狀況，並進行合理推論與解釋數據，最終決定數值在某種分布情況下屬於某個分類，而決策樹演算法的優點在於推論過程與人為資料分類的過程相似，不僅適用於此情境，也因此減少人為資料分類過程的時間成本。

在訓練階段，將大量資料匯入模型進行擬合，同時，每次的擬合結果皆進行一次資料驗證，期望在所有資料皆擬合過一次之後，訓練資料與驗證資料的學習曲線會逐漸收斂並相互靠近。訓練的過程中，本計畫採用準確率 (Accuracy) 作為機器學習模型調整決策機制的指標，目的是使模型能夠將正常與損壞之樣本皆分類正確，根據圖 1-2-12 之左圖，其顯示利用交叉驗證方法進行訓練所獲得的學習曲線，圖中綠色曲線上的每個樣點是五個驗證資料堆疊的平均準確率。根據圖 1-2-12 之右圖，決策樹演算法在擬合完畢全部資料之後，驗證集之準確率為 70.42%，其中 0 表示正常風機的標籤，1 表示損壞風機的標籤，每個區塊之中第二列的數字表示樣本數量，第三列的數字表示第二列之樣本數量在總樣本數量之中佔據多少百分比。

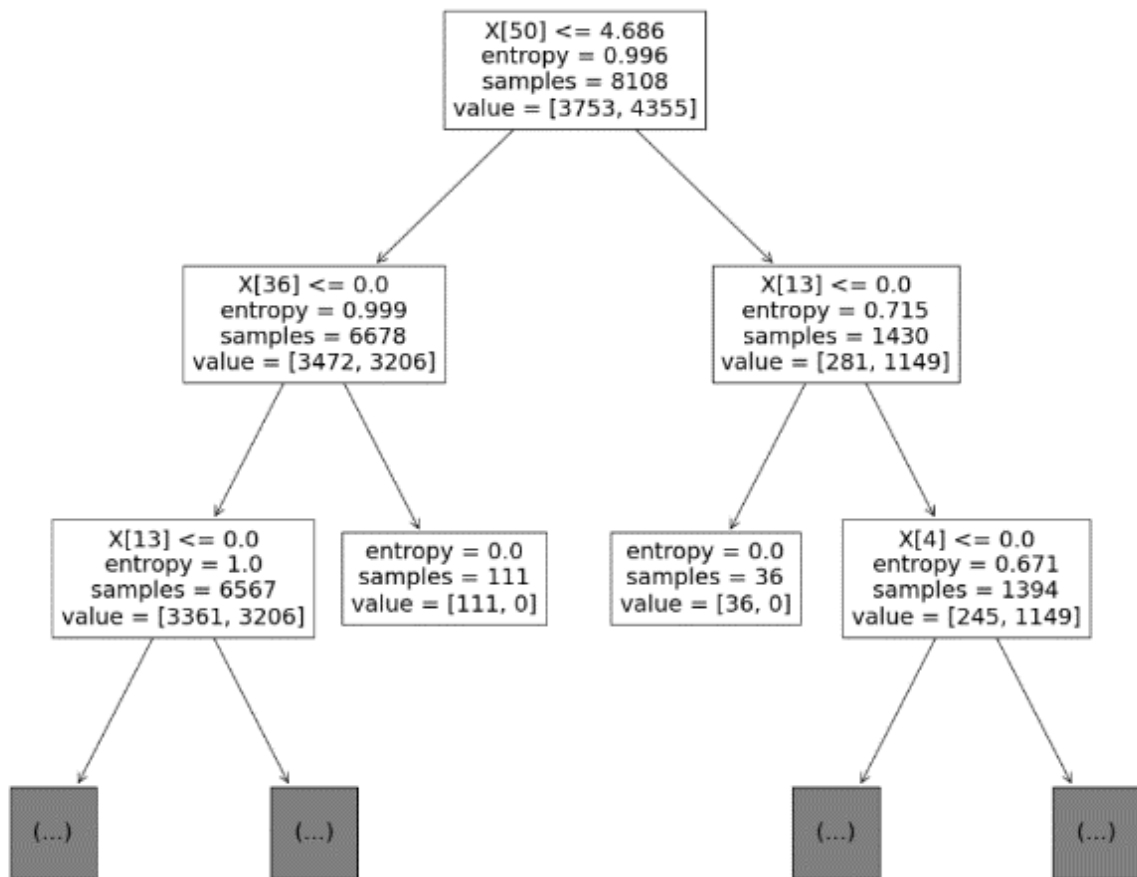


圖 1-2-11、決策樹結構示意圖

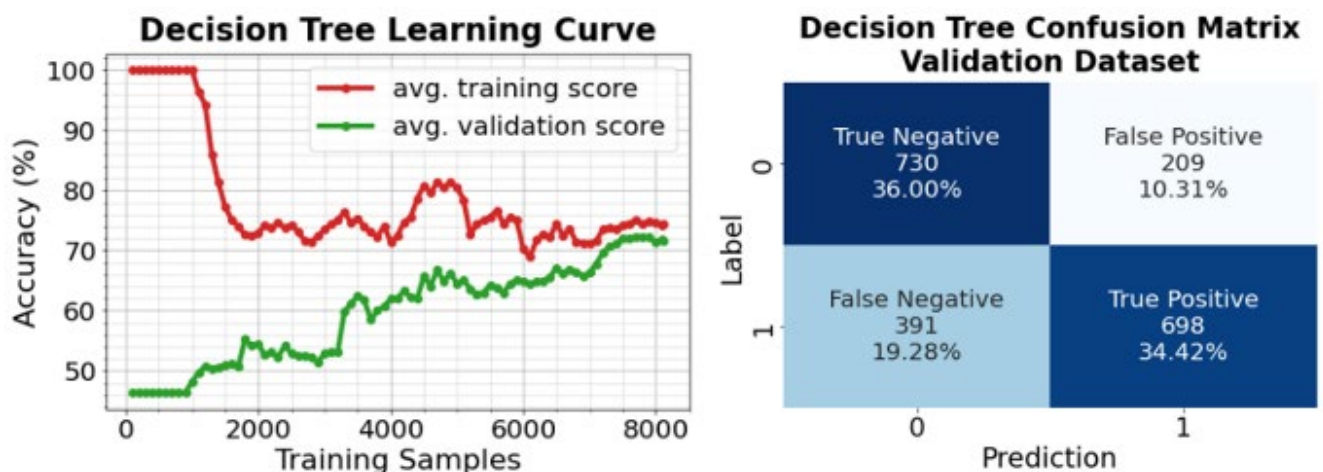


圖 1-2-12、決策樹模型學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)

然而，在風機葉片噪音檢測應用的領域之中，更希望將真正有損壞之風機樣本預測出來，因此本計畫除了使用準確率之外，額外加入召回率 (Recall) 指標；同時，本計畫也期望預測為損壞

之樣本是真正有損壞的，因此也額外加入精確度 (Precision) 作為評斷機器學習模型優劣之指標。最後，F1-score 是上述兩者個調和平均數，此分數越高代表模型在召回率與精確度方面同時擁有優秀的效能。以上三者的計算方式如下：

$$Recall = True\ Positive / (True\ Negative + True\ Positive)$$

$$Precision = True\ Positive / (False\ Positive + True\ Positive) \quad (1-2-6)$$

$$F1\ score = 2 \cdot Precision \cdot Recall / (Precision + Recall)$$

依據上式計算出決策樹演算法應用於風機葉片噪音檢測之效能，可以得到模型在驗證集上的召回率為 64.09 %、精確度為 76.96 %、F1-score 為 0.70。由於精確度較召回率高，因此決策樹在此資料集上的分類機制較為寬鬆，在預測風機葉片存在損壞風險的前提下，已經盡量分辨出真正損壞的樣本，但是仍有相較少部分的預測錯誤與許多真實損壞之風機樣本未被判斷出來。

在分析決策樹模型效能的最後，已知決策樹演算法的決策過程與人為資料分類的過程相似，因此可以根據表 1-2-5 得知，決策樹演算法根據資料進行擬合後，判定出風機旋轉週期值是影響分類結果最重要的因素，其次是各個頻段之中訊號能量加總後的峰值最大值，此結果與本計畫初始的假設不一致。不過，因為模型準確率尚未到達 90 % 以上，尚未有足夠的能力正確分類出正常風機與損壞風機，在這條件之下，真正影響分類結果的特徵是有機會與決策樹之特徵重要度相異，因此首要之務是改善演算法，並提高模型分類準確度。

為了改善機器學習模型效能，本計畫採用的下個候選模型為隨機森林演算法(Random forest)。決策樹的缺點在於只憑藉著一顆分類樹進行所有樣本的決策，因此若訓練這一棵分類樹的資料存在許多極值或是正常風機與損壞風機的樣本比例落差懸殊，則有可能降低決策樹的決策效能。隨機森林演算法針對以上決策樹的不足進行改善，採用整體式的學習方式 (Ensemble learning)，先在所有樣本中隨機取樣部分樣本，並由取樣出的樣本生成一顆決策樹，接著再次取樣出同樣數量的部分樣本，且該次取樣的樣本之中可以包含前次取樣的樣本，取樣完成後也生成一顆決策樹，以此類推。憑藉上述操作，可以獲得根據不同樣本生成的多棵決策樹，每顆決策樹皆產生一個預測結果，在最後階段，所有決策樹進行多數決，得到的結果即是隨機森林演算法之預測結果。

表 1-2-5、各項特徵在所有特徵之中對於決策樹模型的影響力比例

同一架風機	頻率區間編號	峰值 平均值	峰值 中位數	峰值 標準差	峰值 最大值	峰值 最小值
	0	0.18	1.31	1.81	10.35	3.01
	1	0.99	1.08	0.54	6.87	1.31
	2	1.11	0.86	0.54	8.46	0.63
	3	0.46	0.10	0.35	1.41	1.11
	4	0.34	0.32	0.60	7.51	1.83
	5	0	0.15	0.80	3.90	0.87
	6	0.35	0.25	0.99	5.51	0.66
	7	0.44	3.87	0.24	3.05	0.65
	8	0.57	0.21	0	2.29	0.10
	9	0	0	0	0	0
風機旋轉週期		22.04				

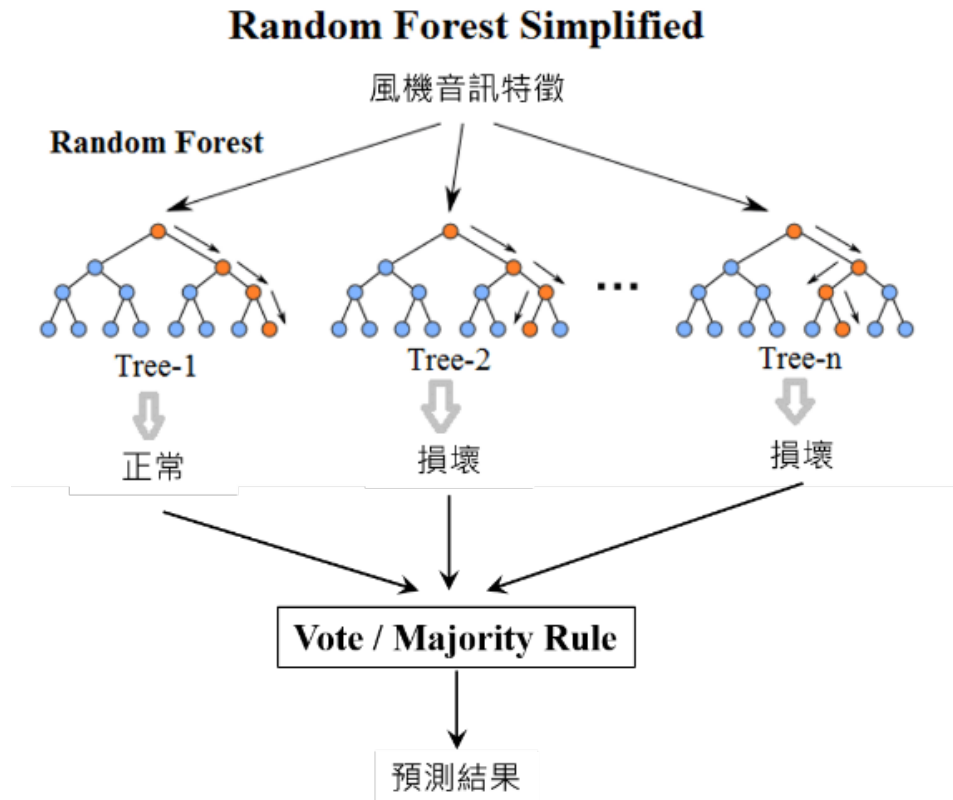


圖 1-2-13、隨機森林演算法與其架構視覺化

隨機森林演算法採用與決策樹相同的音訊處理與特徵擷取方式，也使用相同的方式進行交叉驗證，得到圖 1-2-14 的學習曲線與混淆矩陣。由學習曲線可以得知，訓練集與驗證集最終的準確率收斂至 80 % 附近，由混淆矩陣可以計算出驗證集準確率為 79.88 %、召回率為 74.84 %、精確度為 85.88 %、F1-score 為 0.78，隨機森林演算法的效能與決策樹演算法相比有所提升，在準確率部分提升 13.43 %、召回率提升 16.77 %、精確度提升 11.59 %，最後 F1-score 提升 14.36 %，由此可見隨機森林演算法的整體式學習方式是優於決策樹的單一決斷機制。

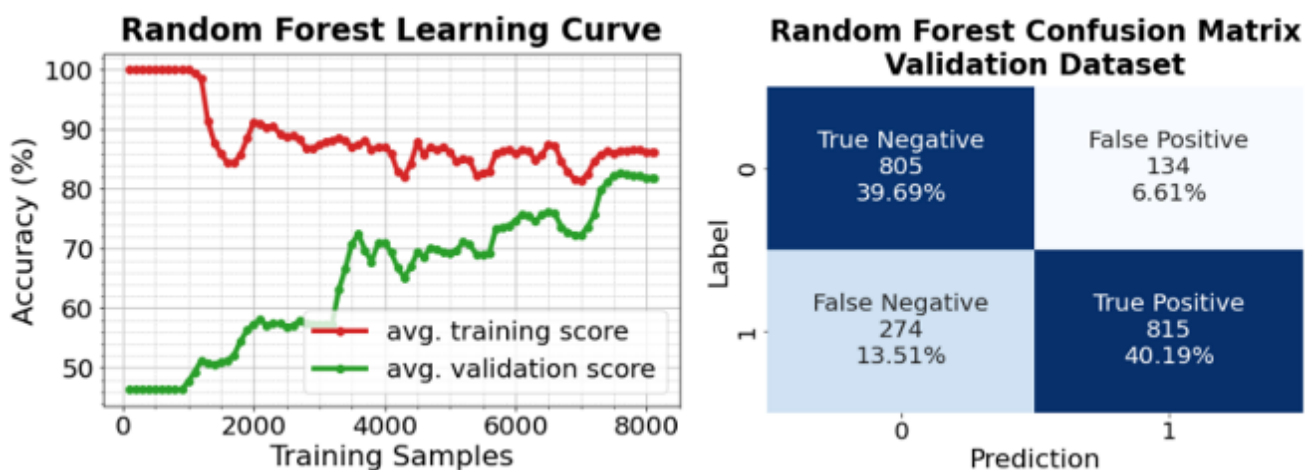


圖 1-2-14、隨機森林演算法學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)

為了再次提升機器學習模型效能，最後的候選機器學習演算法為極限梯度提升 (Extreme gradient boosting, XGBoost)。極限梯度提升之原理與隨機森林演算法類似，皆屬於整體式學習，其相異處在於新生成的每顆樹皆會針對前一棵決策樹之不足 (圖 1-2-15 之中的殘差) 有所調整，因此往後新生成的樹會不斷地被優化。此外，隨機森林在所有決策樹生成完畢之後，是由多數決進行篩選出預測的二元分類結果，極限梯度提升則是將所有生成的決策樹結果進行加總，並利用邏輯迴歸的方式進行最終二元分類。

以相同的資料進行 XGBoost 的訓練與驗證，也採用同樣的方式進行交叉驗證，獲得圖 1-2-16 的學習曲線與驗證集混淆矩陣。根據學習曲線，訓練集曲線與驗證集曲線最終收斂至 95 % 以上，而根據混淆矩陣，可以計算出 XGBoost 演算法在驗證集上之準確率為 96.20 %、召回率為 98.16 %、精確度為 94.94 %、F1-score 為 0.97。XGBoost 在準確率方面相較於決策樹提升 36.61 %，相較於隨機森林提升了 20.43 %；在召回率方面相較於決策樹提升 53.16 %，相較於隨機森林提升了 31.16 %；在精確度方面相較於決策樹提升 23.36 %，相較於隨機森林提升了 10.55 %；在 F1-score 方面相較於決策樹提升了 37.58 %，相較於隨機森林提升了 20.31 %。

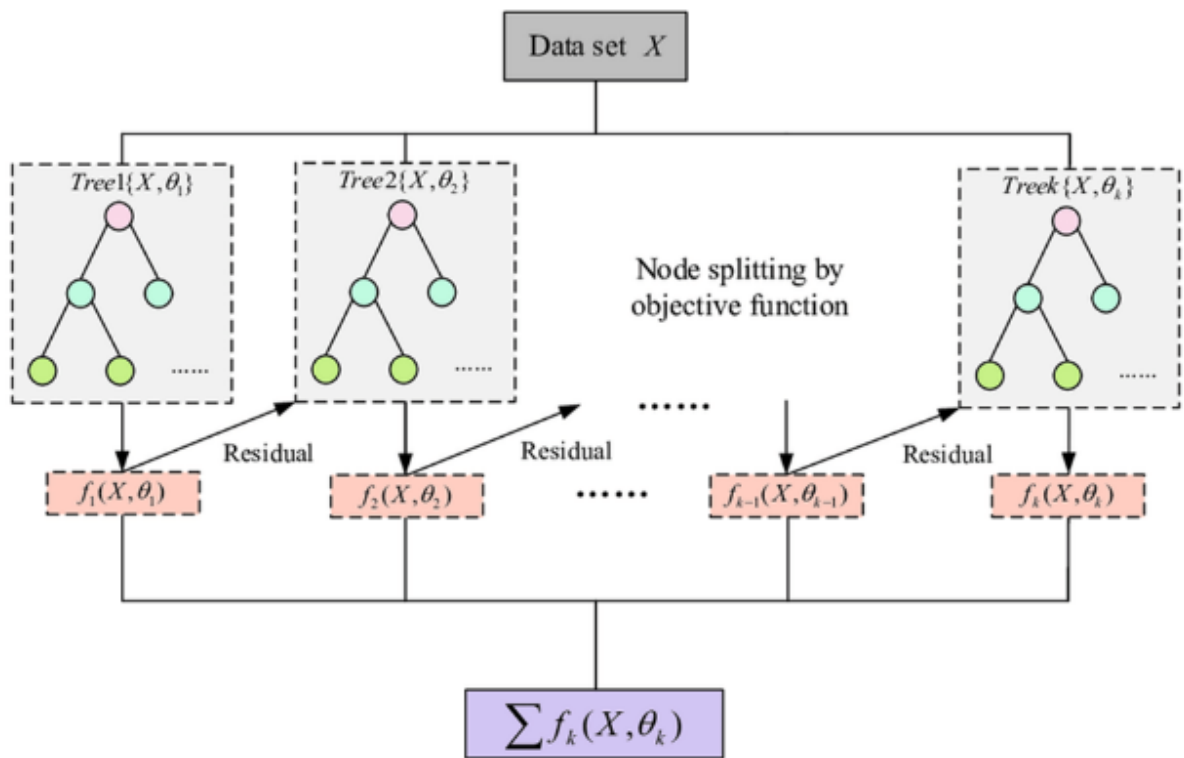


圖 1-2-15、極限梯度提升(XGBoost)演算法示意圖

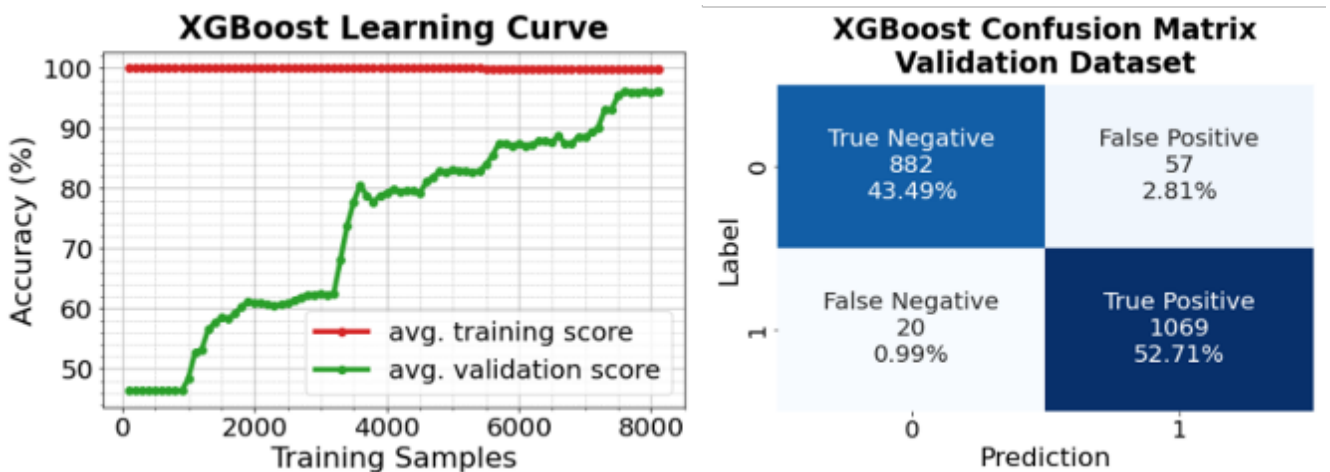


圖 1-2-16、XGBoost 演算法之學習曲線(左)與驗證集混淆矩陣(右)

除了比較三種機器學習模型之外，本計畫將三種演算法用於預測驗證集結果的執行時間（推論時間）計算出來，並與其他性能指標整理成表 1-2-6。根據表 1-2-6 的資料進行綜合考量，本計畫最終採用極限梯度提升演算法，雖然其執行時間較決策樹稍久，但是除了這項劣勢之外，在其他四項指標上，極限梯度提升是有最大的優勢。

表 1-2-6、決策樹、隨機森林與極限梯度提升之性能比較

性能指標	決策樹演算法	隨機森林演算法	極限梯度提升
準確率	70.42 %	79.88 %	96.20 %
召回率	64.09 %	74.84 %	98.16 %
精確度	76.96 %	85.88 %	94.94 %
F1-score	0.6994	0.7998	0.9652
推論時間	0.998 ms	25.932 ms	2.967 ms

表 1-2-7、各項特徵在所有特徵之中對於 XGBoost 的影響力比例

同 一 架 風 機	頻率區間編號	峰值 平均值	峰值 中位數	峰值 標準差	峰值 最大值	峰值 最小值
	0	1.55	2.29	5.97	1.97	1.77
	1	1.07	4.68	6.57	0.73	0.93
	2	0.60	1.65	0.76	1.08	1.35
	3	0.87	1.77	0.90	1.12	2.42
	4	0.75	1.12	1.94	0.97	2.82
	5	0.70	1.25	1.29	0.98	0.82
	6	1.22	1.22	3.80	0.88	1.17
	7	5.11	1.56	1.17	1.58	0.81
	8	5.67	1.62	1.58	2.95	1.22
	9	4.62	1.45	1.95	0.99	2.70
風機旋轉週期	4.02					

最後，表 1-2-7 將使用極限梯度提升模型考量的資料特徵重要度列出，其中可以發現影響模型表現最重要的特徵是 8250.00 Hz 至 9281.25 Hz 之間訊號能量加總之峰值標準差，與本計畫在初始階段進行人為分析時提出之假設相符合。若以表 1-2-7 之中影響力比例超過 4% 的特徵進行分析，可以觀察到在較低頻率區間之中，峰值標準差的影響力較大，可以解釋成，若風機葉片損壞時，其訊號峰值位於 7218.75 Hz 至 9281.25 Hz 之間產生的高低起伏差異較大；在較高頻率區間則是峰值的平均值影響較大，可以解釋成若風機葉片損壞時，所有頻段的訊號能量皆會提

高，模型在高頻率的區間較關注於峰值平均值是否相對於正常的風機有所提高。綜整本項查核點工作，藉由聲音特徵擷取項目的調整，以及使用數據庫測試不同機器學習演算法，再透過模型效能分析評訓練成效，完成數位訊號處理與演算法開發，預測模型於驗證集上的損壞判定準確率 96.20 % ($\geq 90\%$)。

4. 完成旋轉機械故障診斷場域應用 1 家廠商 (查核點編號 A2-4)

在完成演算法 (預測模型) 建立後，與風場營運廠商 (台灣電力公司) 商討進行場域測試，執行方式為利用本項技術進行全場域的陸域風力發電機葉片巡檢，藉由預測模型診斷葉片健康狀態，判斷結果再與廠商所提供之設備現況進行比對，可得到場域測試的損傷判定準確率，驗證機械智能聲音特徵檢測技術於現場應用的可行性。現場測試地點安排於雲林的四湖風力發電站，該場的風機與先前數據採集工作的彰工風力發電站相同，為 Vestas 公司製造的 V80 型風機。四湖風力發電站於 2010 年 10 月完工啟用，目前有 14 架風機商轉中。團隊安排於 2022/09/15 至現場進行場域巡檢，相關資訊如表 1-2-8 所示，當天氣候為無雨路乾，風速約 4.0 m/s ~ 5.5 m/s。巡檢當天廠商通知風機編號#1 與#12 正在進行機艙保養，風機為停機狀態，無進行葉片檢測，故本次共進行共進行 12 架風機葉片巡檢作業。且設備商今年度第三季剛完成合約年限內的大保養，目前該風場的風機葉片狀態皆為正常無損，因此狀況標記皆為“正常”，以下將說明本次場域測試的檢測方式。



圖 1-2-17、四湖風力發電站(左)、風機葉片檢測中(中)與量測儀器_積分噪音計(右)

當天檢測方式採用兩種方法進行測試，一種自每架風機量測結果取隨機 10 秒訊號提取特徵，並匯入模型獲得結果，目的在於模擬實際應用情況，測試模型準確率。第二種方式為自每架風機 10 分鐘的量測數據中，隨機抽樣 5 組 10 秒鐘音訊，匯入模型獲得結果之後，每架風機的結果進行多數決獲得預測結果，希望隨機取樣測試，評斷模型的可靠度，也藉由多次評斷提升準確率。

模型於巡檢測試中的預測結果顯示，第一種方式(表 1-2-9)在#3 時出現了樣本誤判的情形，其餘 11 個結果都預測正確，整體測試準確率為 91.67 %。第二種方式(表 1-2-10)在#04、#06 與#010 在預測時出現了 1 至 2 組樣本被誤判的情形，其餘風機架次在隨機抽樣的五組樣本中皆預測正確，在多數決預測下，整體測試準確率為 100 %。最後經由時頻分析結果探討模型誤判的原因，可能在於抽樣到的樣本在量測的時間點下存在外在干擾，導致擷取出的特徵數值遠離了正常風機特徵數值之分佈。若每架次風機將抽樣五組的結果進行多數決，則所有風機架次的預測皆正確，因此在場域應用時，每架次風機採取多次取樣、多次預測的方式，並以多數決的方式判定預測結果，不僅提高模型的可信度，也可將誤判結果對於最終判定結果的影響降低。

表 1-2-8、2022/09/15 風機葉片噪音現場量測資訊

量測日期	2022/09/15 (五)											
風速狀況	4.0 m/s ~ 5.5 m/s											
風機編號	# 02	# 03	# 04	# 05	# 06	# 07	# 08	# 09	# 10	# 11	# 13	# 14
狀況標記	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
量測架次	12 架次											
量測時間	10 分鐘/架次											

表 1-2-9、2022/09/15 風機葉片損壞預測結果與實際狀況比對(每架隨機取 1 組測試)

編號	損壞標記	預測結果
# 02	正常	正常
# 03	正常	損壞
# 04	正常	正常
# 05	正常	正常
# 06	正常	正常
# 07	正常	正常
# 08	正常	正常
# 09	正常	正常
# 10	正常	正常
# 11	正常	正常
# 13	正常	正常
# 14	正常	正常

表 1-2-10、2022/09/15 風機葉片損壞預測結果與實際狀況比對(每架隨機取 5 組採多數決測試)

編號	損壞標記	預測結果					
		隨機 1	隨機 2	隨機 3	隨機 4	隨機 5	多數決結果
# 02	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 03	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 04	正常	損壞	正常	損壞	正常	正常	正常
# 05	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 06	正常	正常	正常	正常	損壞	正常	正常
# 07	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 08	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 09	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 10	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	正常
# 11	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 13	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
# 14	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常

鑒於 2022/09/15 場域測試當天，現場無葉片損壞的風力機組，過於偏差一邊的樣本，導致無法真正評斷模型效能。因此，本計畫於 2022/11/15 再次進行實際場域應用，此次執行場域為彰化的彰工風場，雖然該風場為訓練資料採集場域，但是場域測試當天距離訓練資料採集已經過了 7 個月，這段期間設備長期於戶外運轉，葉片表層狀態已不同，可將測試資料視為未參予訓練過程表 1-2-11 顯示當天測量的風機葉片損壞情況，當天氣候為無雨路乾，風速約 5.0 m/s ~ 9.0 m/s。巡檢當天廠商通知風機編號#1、#3、#9、#16、#18~23 與#28 正在進行設備保養與更換，風機為停機狀態，無進行葉片檢測，故本次共進行共進行 20 架風機葉片巡檢作業。

表 1-2-11、2022/11/15 風機葉片噪音現場量測資訊

量測日期	2022/11/15 (五)
風速狀況	5.0 m/s ~ 9.0 m/s

風機編號	02	04	05	06	07	08	10	11	12	13	14	15	17	24	25	26	27	29	30	31
狀況標記	損壞	正常	正常	正常	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	正常	正常	損壞	損壞	正常	正常	正常	正常	正常	正常
量測架次	20 架次																			
量測時間	10 分鐘/架次																			

本次測量的結果採取與 2022/09/15 相同的評斷方式，針對每架次風機進行抽樣 1 組與抽樣 5 組的測試。根據表 1-2-12，若以一筆隨機測資評斷準確率為 90.00%，但以隨機抽樣 5 組測資並以多數決方式決定單一風機葉片的損壞預測結果來評斷，準確率為 95.00%。另，表中較多預測結果顯示損壞，可能的原因在於 11/15 測量當日之風速較大，接近技術應用風速範圍上限，因此測量結果在頻譜上的高頻能量有增長，也提高被判定為損壞的機率。

表 1-2-12、2022/11/15 風機葉片噪音現場量測資訊

編號	損壞標記	預測結果						多數決結果
		隨機 1	隨機 2	隨機 3	隨機 4	隨機 5		
#02	損壞	損壞	損壞	正常	損壞	損壞	損壞	
#04	正常	損壞	損壞	損壞	損壞	正常	損壞	
#05	正常	正常	損壞	正常	正常	損壞	正常	
#06	正常	正常	正常	正常	損壞	損壞	正常	
#07	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	
#08	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	正常	
#10	損壞	損壞	損壞	損壞	損壞	損壞	損壞	
#11	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	正常	
#12	正常	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	
#13	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	
#14	正常	正常	正常	正常	正常	損壞	正常	
#15	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	

#17	損壞	損壞	正常	損壞	損壞	損壞	損壞
#24	損壞	正常	損壞	損壞	損壞	正常	損壞
#25	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
#26	正常	正常	正常	正常	損壞	正常	正常
#27	正常	損壞	正常	正常	正常	正常	正常
#29	正常	正常	正常	損壞	損壞	正常	正常
#30	正常	正常	損壞	正常	正常	正常	正常
#31	正常	正常	損壞	正常	損壞	正常	正常

【突破瓶頸】

旋轉機械發生故障的主要特徵是機器伴有異常的振動和噪音，其訊號從時域和頻域反映了機器的故障資訊。藉由聲學感測器量測機械運轉聲音訊號，將這些聲訊號透過數位訊號處理技術對類比訊號進行加工處理，選擇適合訊號的表達特徵域，包括原始的時域訊號，以及經短時傅立葉分析轉換的時頻資訊。並透過聲音訊號特徵擷取技術將聲音的特徵參數提取出來，從而判定出噪音的屬性，研究旋轉機械設備常見故障特徵，建立機組故障原因樣本以及故障推理機制。

透過風力發電機葉片運轉噪音檢測流程指引的建立，將檢測流程標準化，每一次現場檢測可快速地找到儀器架設位置，準確量測風機葉片運轉噪音，以便進行損壞診斷分析。經由現場數據的蒐集與損傷特徵擷取，找出正常與損壞葉片的聲音特徵差異，導入機器學習理論，建立機械智能聲音特徵檢測技術，並於場域測試中，將檢測結果與設備實際狀況做比對，驗證模型損傷判斷準確率達 90% 以上，滿足產業目前對於陸域風力發電機葉片的快篩(損傷判段準確率至少 80%) 需求。

本技術設法從中找出設備發生故障前的先期徵兆，加速例行性巡檢作業，提早進行預防保養，降低設備非預期性故障所造成的龐大損失。此檢測方式應用於風機葉片巡檢具有安全、花費低、方便執行等優點，也比傳統人耳主觀判定的方式更為客觀，且過程無需停止風機運轉

【本年度結論】

建立機械聲音訊號擷取與處理技術，分析旋轉機械運轉中產生之聲音訊號，導入機器學習理論，進行智慧化損壞檢測。以屬於旋轉機械的陸域風力發電機作為驗證對象，透過聲音特徵檢測技術之建立，有效辨識風機葉片損壞，並於場域測試中，將檢測結果與設備實際狀況做比對，完成導入場域測試廠商 1 家，分類模型可應用頻率範圍 100 Hz ~ 20 kHz，達成損傷判斷準確率 ≥ 90% 目標，滿足產業目前對於陸域風力發電機葉片的快篩(損傷判段準確率至少 80%) 需求。

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，建立智慧機械產業相關計量標準及線上參考標準件開發，完成具計量追溯之高準確線上量測技術，並透過與產業界之合作，示範線上量測、線上校正等，對於未來智慧製造發展之助益。

111 年度的分項計畫目標主要是完成視覺感測器 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的開發，並進行計量數位化推動；其中，視覺感測器 3D 量測之線上校正技術於今年涵蓋大尺寸點雲拼接之線上校正應用，並參考 2021 年發佈之 ISO 10360-13 規範，及習用的 VDI/VDE 2634 規範，適用在校正範圍 1600 mm ~ 3300 mm 量測範圍的視覺 3D 尺寸量測儀器。具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術的開發則延續去年 110 年度之三線性軸，今年更加上雙旋轉軸使延伸至五軸工具機整機，於五軸工具機進行誤差分析及溫度評估，分析的幾何誤差項目也由 21 項之三線性軸幾何誤差，延伸至含 22 項雙旋轉軸之總共 43 項幾何誤差項。計量數位化推動計畫，則將 110 年具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術計畫之發展成果 hole plate 作為示範，將 hole plate 於五軸工具機之三線性軸幾何誤差量測結果，藉由人機介面，完成實機驗證補償功能之場域測試。

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	• 完成視覺參考標準件設計，尺寸≤1000 mm(球距)，產出設計圖 1 份	111.03.31	111.03.31	無差異
B1-2	• 完成量測方程式與靈敏係數評估，產出計算程式 1 套(含點雲拼接)	111.06.30	111.06.30	無差異
B1-3	• 完成校正程序報告 1 份(含點雲拼接) • 校正範圍 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線)	111.09.30	111.09.30	無差異
B1-4	• 完成量測不確定度評估報告 1 份(含點雲拼接) • 校正環境溫度範圍(24±6) °C • 量測不確定度: ≤ 5 μm(擴充不確定度)(不含待校件)	111.11.15	111.11.15	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「hole plate」硬體架設製作，滿足工具機旋轉軸盤面直徑≤550 mm	111.03.31	111.03.31	無差異

B2-2	• 完成「線上加工尺寸量測技術-誤差分析(II)」之演算法 量測參數:43 項幾何誤差	111.06.30	111.06.30	無差異
B2-3	• 完成「線上加工尺寸量測技術-溫度分析(II)」之溫度與幾何誤差關係評估 溫度範圍: (24 ± 6)°C	111.09.30	111.09.30	無差異
B2-4	• 完成五軸工具機線上尺寸量測技術 1.溫度變異範圍: (24 ± 6)°C 2.量測不確定度: ≤ 20 μm (不含 20 °C 修正)	111.11.15	111.11.15	無差異
計量數位化推動				
B3-1	• 完成 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套	111.03.31	111.03.31	無差異
B3-2	• 完成 hole plate 校正及量測報告，以 XML/PDF 資料格式輸出	111.06.30	111.06.30	無差異
B3-3	• 完成工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體一套	111.09.30	111.09.30	無差異
B3-4	• 完成 hole plate 實際遊校，場域試煉 1 處	111.11.15	111.11.15	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，本子計畫開發視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術，包含校正程序建立及量測不確定度評估技術發展，並參考 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 規範，滿足業界視覺 3D 尺寸量測儀器的校正追溯需求。目前的推廣規劃為輔導馬路科技成立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正實驗室，取得 TAF、ILAC 認證，提供視覺 3D 尺寸量測儀器(ATOS 儀器)年度校驗服務，預計每年服務 20~30 套儀器之校正追溯，並縮短校驗時程(原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)，未來亦可提供 3D 尺寸量測儀器使用者(如裕隆、長榮等國內汽車及航太製造廠商)送校需求。

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(1600~3300)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≤5 μm，可應用於校正最大允許誤差(Maximum Permissible Error, MPE)規格達 25 μm 的視覺 3D 尺寸量測儀器(量測不確定度占 MPE 的 1/5 以下)，校正時環境溫度範圍條件為(24 ± 6) °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: 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線)
 - (3) 標準件最大尺寸: ≤ 1000 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(含點雲拼接)
- (2) 量測不確定度: $\leq 5 \mu\text{m}$ (不含待校件)
- (3) 校正環境溫度範圍: $(24 \pm 6) ^\circ\text{C}$

【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 10360-13、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、110 年度建立的視覺 3D 尺寸量測儀器單一量測空間(無拼接點雲)之校正技術，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。期中完成之查核點及執行成果如下：

1. 完成視覺參考標準件設計，尺寸 $\leq 1000 \text{ mm}$ (球距)，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(1600 ~ 3300) mm 拼接空間體對角線量測範圍之儀器校正，本計畫參考 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 標準規範進行 3D 球桿標準件尺寸設計，目前設計 3D 球桿標準件之球距為 1000 mm，另球徑尺寸為待校儀器單一空間體對角線的 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。

其中為了滿足線上校正溫度環境 $(24 \pm 6) ^\circ\text{C}$ 、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，熱膨脹係數為 $1.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，標準球材料選用白色氧化鋁陶瓷(Al_2O_3)進行評估，熱膨脹係數為 $8.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。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，標準球桿上共有 6 顆標準球，適用不同量測範圍之待校件，藉由分析軟體模組 ANSYS Mechanical，可計算出球距尺寸受姿態不同時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 50 mm 的實心連接桿，並用艾利點(Airy point)設計支撐點，使兩端點可為最小變形量，並從分析不同姿態下產生的球距位移，球距最大差異量為 $0.398 \mu\text{m}$ 。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。

另一項主要的不確定度來源為熱膨脹效應，評估球距在校正溫度環境 $(24 \pm 6) ^\circ\text{C}$ 之情況下，與長度校正領域的標準溫度 $20 ^\circ\text{C}$ 差異為 $-2 ^\circ\text{C} \sim 10 ^\circ\text{C}$ ，為得碳纖維複合材料熱膨脹係數誤差造成之不確定度量，估計碳纖維複合材料熱膨脹係數誤差範圍為 $\pm 0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，且機率分布為矩形分布，得最遠球距尺寸(1 m)的熱膨脹量造成之不確定度分量最大為 $2.89 \mu\text{m}$ ($(0.5 \times 10^{-6} / \sqrt{3}) \times 1 \times 10 = 2.89 \times 10^{-6} \text{ m}$)。經過上述量化分析，本計畫最終完成之 3D 球桿標準件，可

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(圖 2-1-2)後，已完成製作發包。

綜合以上，故經過評估與分析，現已完成查核點編號 B1-1，即完成 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 M407EA1210-A-01、M407EA1210-M-01、M407EA1210-M-04、M407EA1210-M-06。

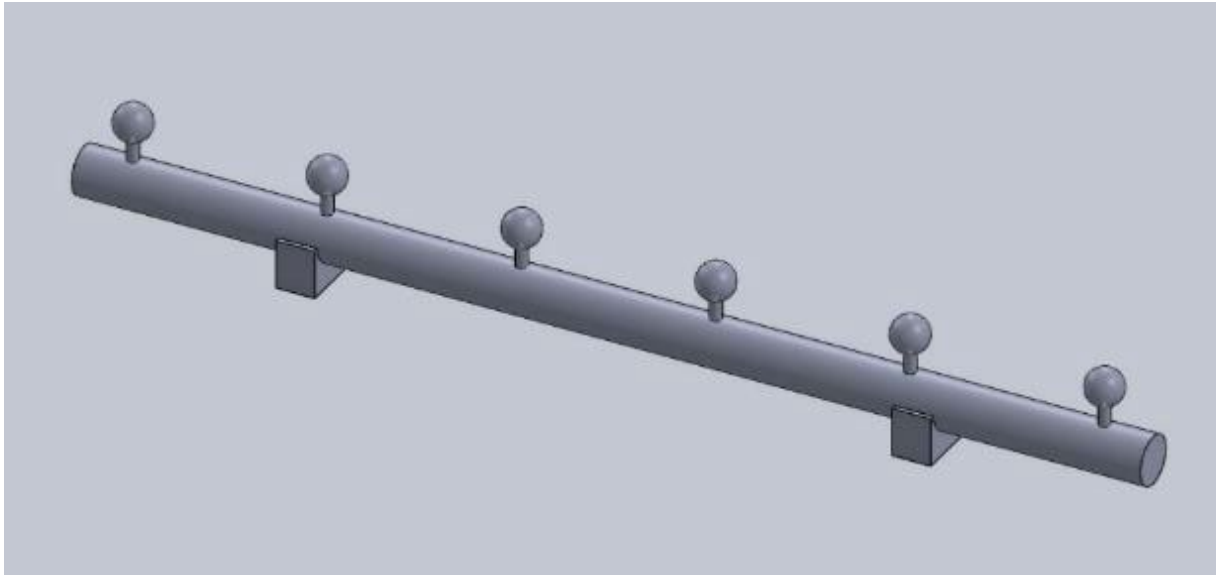


圖 2-1-1、3D 球桿標準件示意圖

2. 完成量測方程式與靈敏係數評估，產出計算程式 1 套(含點雲拼接)(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 10360-13、VDI/VDE 2634 之國際規範，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：

$$d=L_m - L_s(1+\alpha_s\theta_s) \quad (2-1-1)$$

其中 d 為器差、 L_m 為視覺 3D 尺寸量測儀器之量測值、 L_s 為標準件在 20°C 時之量測尺寸、 α_s 為標準件的熱膨脹係數、 θ_s 為標準件與 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，可得器差之組合標準不確定度 u_c 與各項靈敏係數：

$$u_c(d)^2=u^2(L_s)+(-L_s\cdot\theta_s)^2u^2(\alpha_s)+(-L_s\cdot\alpha_s)^2u^2(\theta_s)+u^2(L_m) \quad (2-1-2)$$

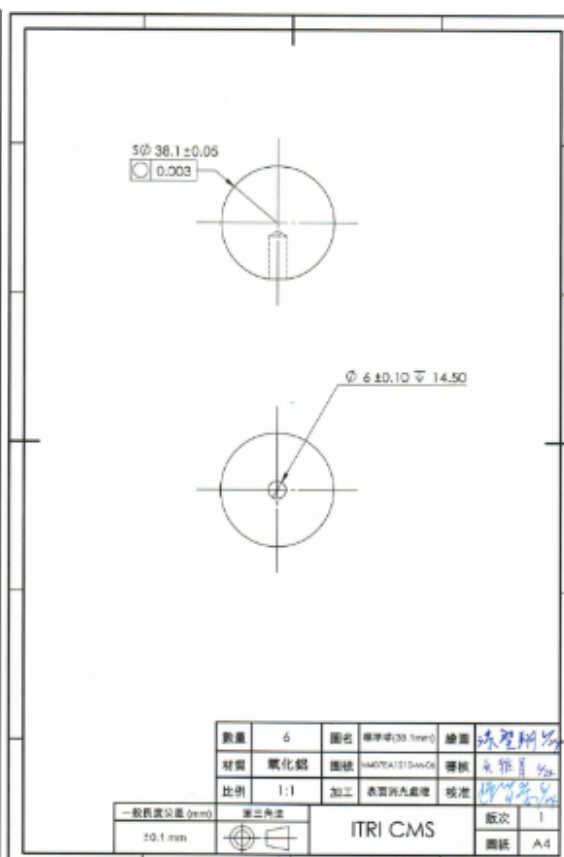
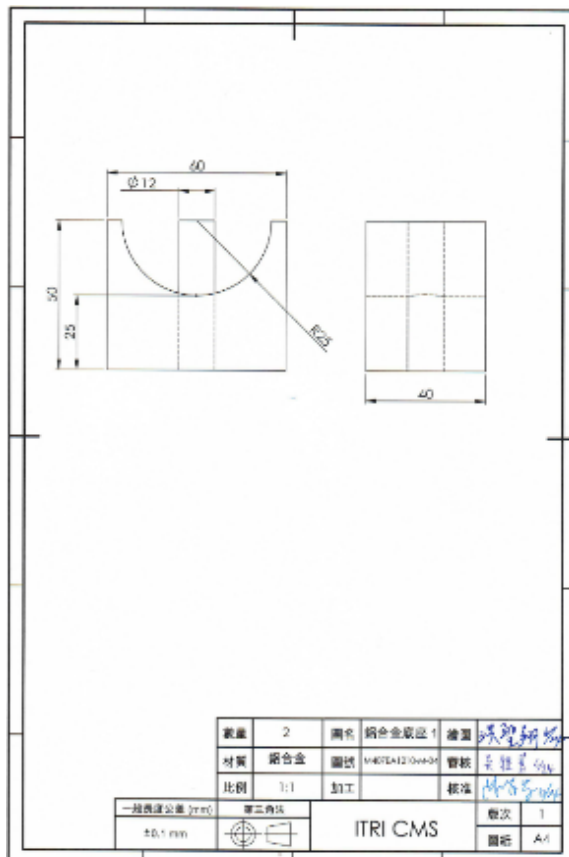
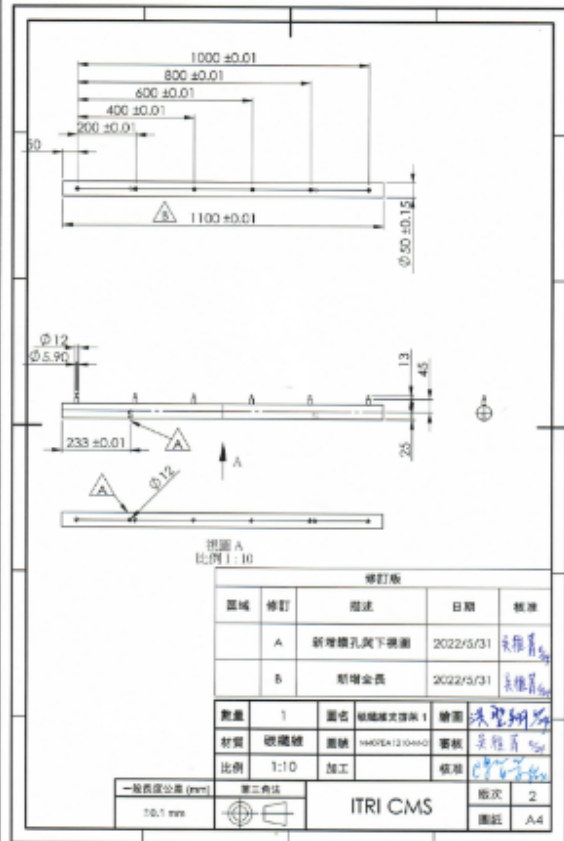
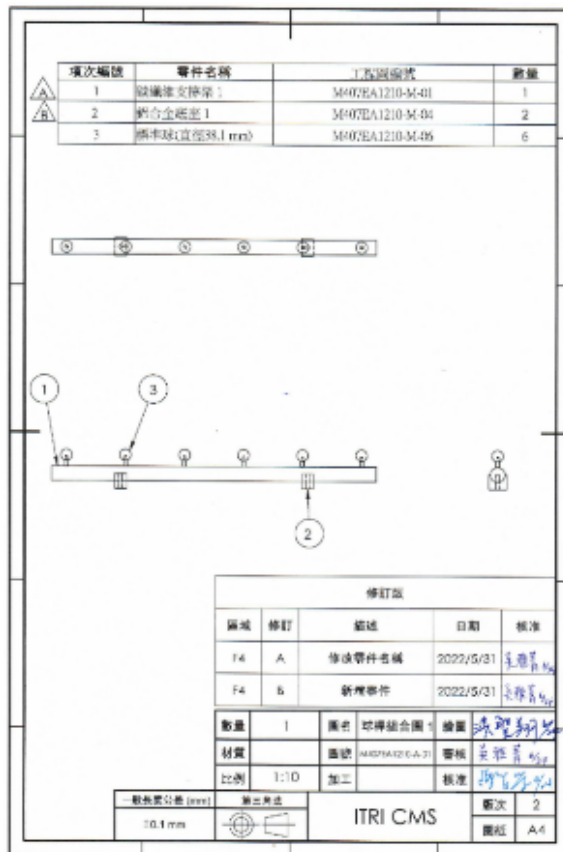


圖 2-1-2、3D 球桿標準件設計圖

其中靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial L_m}=1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial L_s}=-1-\alpha_s\theta_s\cong-1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \alpha_s}=-L_s\cdot\theta_s$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \theta_s}=-L_s\cdot\alpha_s$ 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。

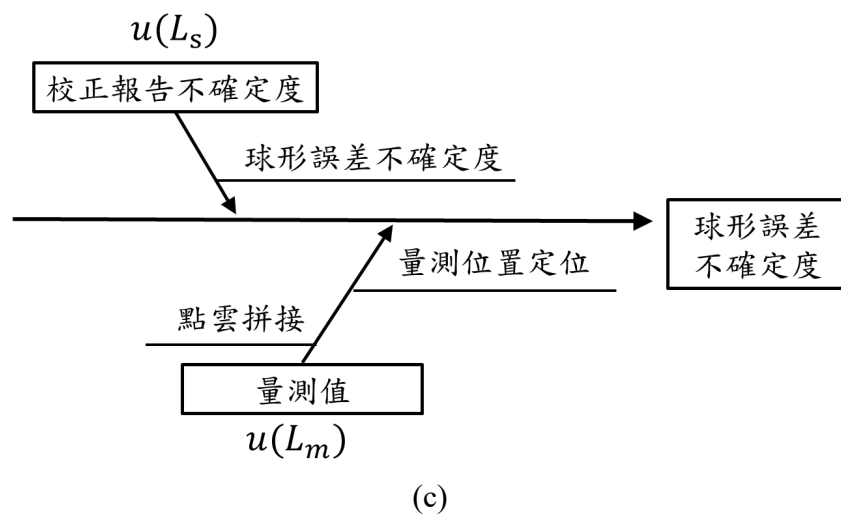
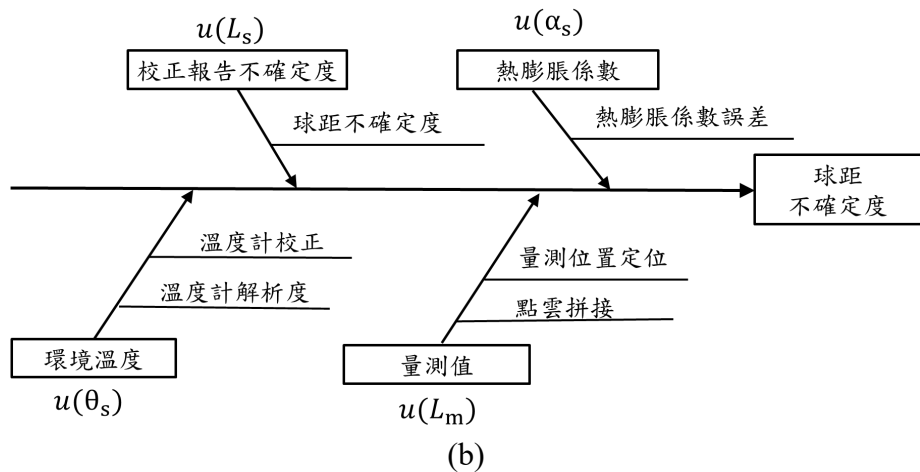
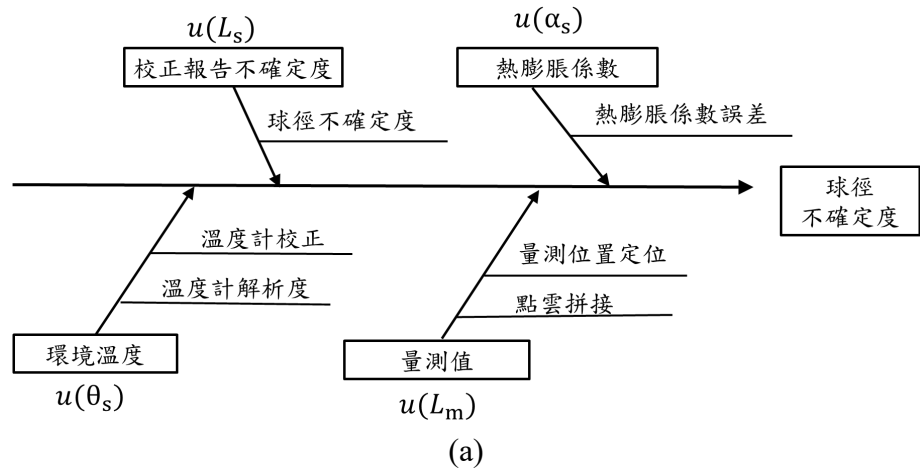


圖 2-1-3、量測不確定度來源魚骨圖

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 3D 球桿標準件的校正報告，可將數值直接帶入(2)中進行計算。 $u(\theta_s)$ 、 $u(\alpha_s)$ 屬於標準件熱膨脹效應的不確定度，包含標準件熱膨脹係數、溫度計校正、溫度計解析度三項並帶入(2)式中進行計算。量測值不確定度 $u(L_m)$ 共有量測位置定位與點雲拼接兩部分的不確定度，量測位置定位部分，計畫利用蒙地卡羅法模擬進行分析，本計畫先以實驗室現有的視覺 3D 尺寸量測系統進行分析評估，藉由理想點雲及視覺 3D 尺寸量測系統的內、外部參數，計算出於影像上之理想視差圖，當球心位置代入變異量，導致計算出的視差圖產生誤差時，再套入內、外部參數，得到不同的 3D 量測點雲(圖 2-1-4)，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。其中點雲拼接的部分，因為實際量測中經常取得多組變異位置或角度的點雲，進行點雲拼接才為最終結果，故點雲拼接不確定度藉由模擬多組理想點雲所得，使用迭代最近點演算法(Iterative Closest Point, ICP)之拼接演算法重複拼接多次，分析其量測數據進行評估，即可得到點雲拼接的不確定度。藉由均方根運算組合兩項不確定度分項，再帶入(2)式中進行計算，以上步驟可透過 MATLAB 程式撰寫組合標準不確定度模擬與估算，產出計算程式，並設計一套圖形介面(GUI)方便輸入相關參數，如圖 2-1-5。

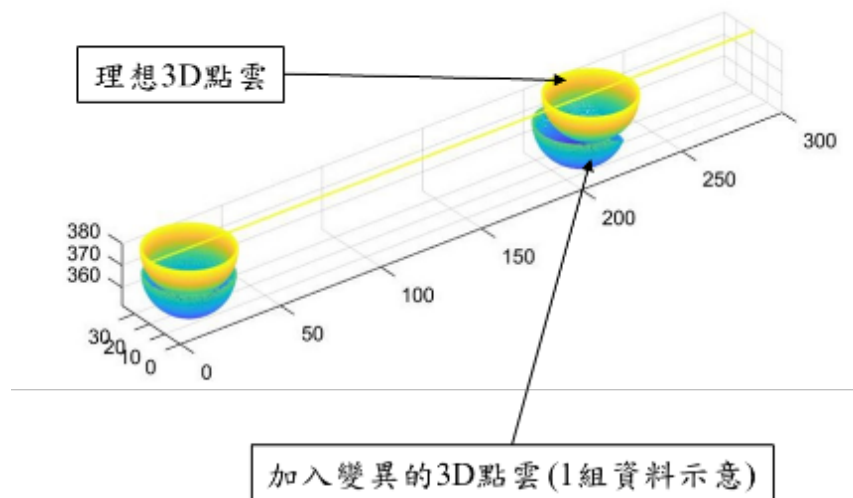


圖 2-1-4、球體定位誤差模擬示意圖

Characteristic: Diameter(Probing_Size)

Nominal size (mm): 38

Temperature(°C): 20.5

CTE (10⁻⁶ /°C): 8.4

Uncertainty Source	Value	DOF
Reference length (L _s)		
Certificate u (μm)	0.086	29
Temperature (θ _s)		
Thermometer cert. u (°C)	0.0508	50
Thermometer resolution (°C)	0.0289	50
Thermal Expansion (α _s)		
CTE unc. (10 ⁻⁶ /°C)	0.144	50
Measurand length (L _m)		
Positioning simulation (μm)	0.000936	499
Point cloud registration (μm)	1e-05	50

Calculation for Combined Uncertainty

Standard uc. (μm): 0.11

Combined DOF: 55

Exit

M407EA1210-Code-v.1

圖 2-1-5、MATLAB 組合標準不確定度模擬與估算圖形介面

綜合以上，現已完成查核點編號 B1-2，即完成量測不確定度評估演算法 1 份。

3. 完成校正程序報告 1 份(含點雲拼接)；校正範圍 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線) (查核點編號 B1-3)

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。視覺 3D 尺寸量測儀器泛指以雙目立體視覺拍攝工件，透過三角量測取得工件的 3D 尺寸輸出成點雲進行拼接的量測儀器。故本計畫的視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序報告參考相關國際規範(VDI/VDE 2634、ISO 10360-13)細項，並依據國家度量衡實驗室對校正系統評估經驗設計校正程序，可提供人員進行視覺 3D 尺寸量測儀器之校正方法及步驟。同時可供新進人員教育訓練及提升技術能力之使用。程序需考慮校正人員、機台量測原理與規格、標準件清潔、環境溫度等因素來撰寫校正程序，校正程序報告的架構如圖 2-1-5 所示。最後的校正結果根據規範中的要求，計算球徑、球形誤差、球距三項器差，並依據 ISO GUM 規範計算相應的量測不確定度。

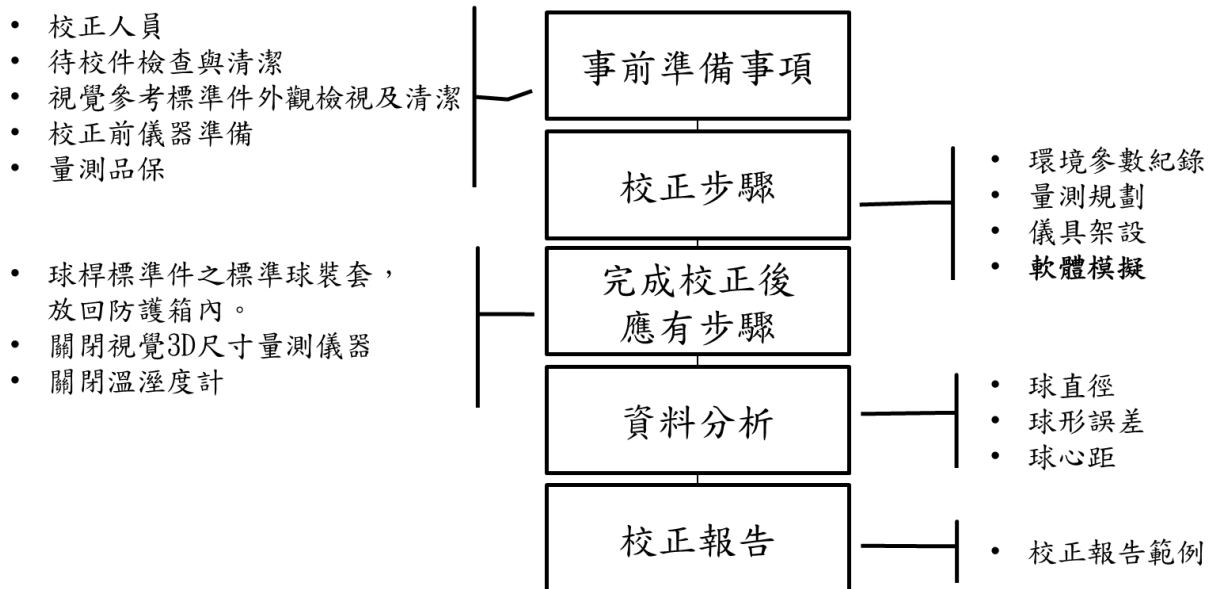


圖 2-1-6、視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序架構

因為校正範圍較大，需進行點雲拼接，此程序書亦設計評估量測值之不確定度分量之方式。

綜合以上內容，現已完成查核點編號 B1-3，完成校正程序報告 1 份(含點雲拼接)，適用校正範圍 1600 mm ~ 3300 mm (空間體對角線)，技資登錄編號為 073B10205。

4. 完成量測不確定度評估報告 1 份(含點雲拼接)；校正環境溫度範圍(24 ± 6) °C；量測不確定度: ≤ 5 μm(擴充不確定度) (不含待校件) (查核點編號 B1-4)

本校正系統的量測不確定度評估流程主要為球桿標準件與環境影響因素之不確定度分析，相容於現行 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 之國際規範，實現校正計量之量測不確定度傳遞目的。

4.1 數學模式的推導

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)三個尺寸的器差量測方程式如下：

$$d = L_m - L_s(1 + \alpha_s \theta_s) \quad (2-1-3)$$

其中 d 為器差、 L_m 為視覺 3D 尺寸量測儀器之量測值、 L_s 為標準件在 20 °C 時之量測尺寸、 α_s 為標準件的熱膨脹係數、 θ_s 為標準件與 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，可得器差之組合標準不確定度 u_c 與各項靈敏係數

$$u_c(d)^2 = (-1)^2 u^2(L_s) + (-L_s \cdot \theta_s)^2 u^2(\alpha_s) + (-L_s \cdot \alpha_s)^2 u^2(\theta_s) + u^2(L_m) \quad (2-1-4)$$

其中各分量之靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial L_m}=1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial L_s}=-1-\alpha_s \theta_s \cong -1$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \alpha_s}=-L_s \cdot \theta_s$ 、 $\frac{\partial d}{\partial \theta_s}=-L_s \cdot \alpha_s$ 。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。須注意，球形的器差量測為真圓度，其量測探討的是輪廓相對性的關係，對環境條件的敏感性不若尺寸量測般嚴重，故在球形評估將量測環境條件之影響忽略不計。

4.2 誤差來源與分析

4.2.1 設定球桿標準件不確定度 $u(L_s)$

球桿標準件的不確定度是追溯至 NML 座標量測儀之標準，以 30 次量測數值之重複性進行標準件不確定度評估，故自由度為 29。以下表格為量測數據與估算不確定度。

表 2-1-1、分析特徵(球徑、球形誤差、球距)之標準件校正不確定度

類別	最大標準差	估算標準件不確定度
球徑	0.47 μm	$\frac{0.47}{\sqrt{30}} \mu\text{m}=0.086 \mu\text{m}$
球形誤差	0.24 μm	$\frac{0.24}{\sqrt{30}} \mu\text{m}=0.044 \mu\text{m}$
球距	0.92 μm	$\frac{0.92}{\sqrt{30}} \mu\text{m}=0.17 \mu\text{m}$

4.2.2 校正過程中的溫度不確定度項 $u(\theta_s)$

在量測尺寸時，溫度為重要影響因素，影響校正溫度的要因有二：1. 溫度計的校正不確定度結果；2. 溫度計的解析度。測試區的溫度是由 Rotronic 溫度計所量測出來的，此溫度計經由校正後得到擴充不確定度為 0.1 $^{\circ}\text{C}$ ，因擴充因子 $k=1.97$ ，故標準不確定度為 $\frac{0.1}{1.97}=0.0508 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，估計相對不確定性為 10%，其自由度為 50。另溫度計的解析度為 0.1 $^{\circ}\text{C}$ ，以矩形分布處理其數值為 $\frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ }^{\circ}\text{C}=0.0289 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，假設其相對不確定性為 10%，自由度為 50。

4.2.3 球桿標準件熱膨脹係數的不確定度項 $u(\alpha_s)$

為妥善評估球徑與球距因熱膨脹造成之不確定度，透過目前使用的球桿標準件材料進行評估。球徑評估量主要受球體影響，特徵球體材料為陶瓷，陶瓷熱膨脹係數為 $8.4 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ，評估其熱膨脹變異範圍之全寬為 $1 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ ，並假設呈矩形分布，所以此項要因於球距之標準不確定度評估應為 $u(\alpha_s)=\frac{0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} / ^{\circ}\text{C}=0.29 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 。假設其相對不確定性為 10%，自由度為 50；球

距評估量主要受球桿標準件支架影響，球桿標準件支架為碳纖維複合材料，碳纖維熱膨脹係數為 $1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，評估碳纖維熱膨脹變異範圍之全寬為 $5 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ，並假設呈矩形分布，所以此項要因於球距之標準不確定度評估應為 $u(\alpha_s) = \frac{0.25 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} / ^\circ\text{C} = 0.144 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。假設其相對不確定性為 10%，自由度為 50。

4.2.4 在量測過程中量測儀器讀值所產生的不確定度 $u(L_m)$

(1) 量測位置定位誤差

因為視覺 3D 尺寸量測儀器之量測為透過儀器與量測物之相對位置影響，故使用蒙地卡羅模擬演算法。藉由理想點雲及視覺 3D 尺寸量測系統的內、外部參數，計算出於影像上之理想視差圖。當球心位置代入變異量，導致計算出的視差圖產生誤差時，再套入內、外部參數，得到不同的 3D 量測點雲(圖 2-1-4)，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。重複實驗 500 次的狀態下，分析球桿位移誤差 5 mm 的範圍內，造成量測值變異，估算其標準誤差，得球徑不確定度 $0.01 \mu\text{m}$ 、球距不確定度為 $0.47 \mu\text{m}$ 、球徑不確定度 $0.08 \mu\text{m}$ 。

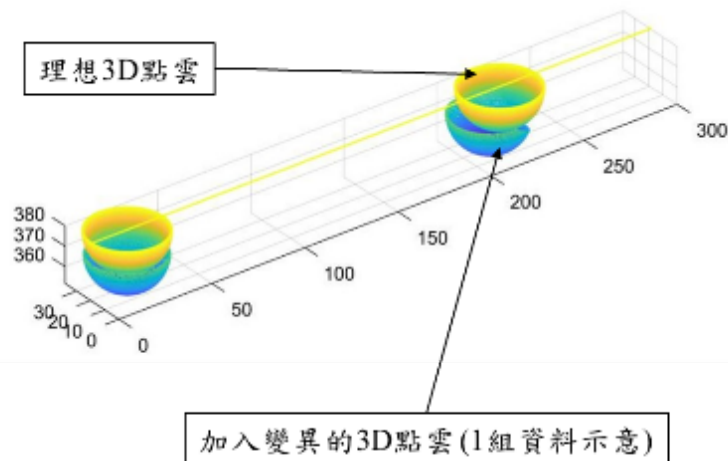


圖 2-1-7、球體定位誤差模擬示意圖

(2) 點雲拼接

因為實際量測物體超過視覺 3D 尺寸儀器單次量測範圍，就需要使用拼接演算法取得量測點雲結果，即透過取得多組變異位置或角度的點雲，進行點雲拼接演算法處理才為最終結果，故點雲拼接不確定度藉由模擬多組理想點雲所得，使用迭代最近點演算法(Iterative Closest Point, ICP)之拼接演算法重複拼接多次，分析其量測數據進行評估，即可得到點雲拼接的不確定度，以 Geomagic 拼接軟體重複實驗後，其誤差數值 $< 10^{-5} \mu\text{m}$ ，故使用此軟體可以不計拼接演算法造成之不確定度。

4.3 組合標準不確定度

下表彙整視覺 3D 尺寸量測儀器之量測標準不確定度之各誤差源、標準不確定度分項、靈敏細數及自由度等，以計算本校正系統之組合標準不確定度。

表 2-1-2、球徑組合標準不確定度分析表

球徑評估	機率分布	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(L_s)$	常態	0.086×10^{-3} mm	-1	0.086×10^{-3} mm	29
量測值 $u(L_m)$	常態	9.36×10^{-6} mm	1	9.36×10^{-6} mm	499
熱膨脹係數 $u(\alpha_s)$	矩形	0.144×10^{-6} °C ⁻¹	-(38 × 10) mm °C	5.48×10^{-5} mm	50
溫度量測 $u(\theta_s)$		0.0584 °C	$(-38 \times 8.4 \times 10^{-6})$ mm °C ⁻¹	1.86×10^{-5} mm	79
溫度計校正 θ_1	常態	0.0508 °C			50
溫度計解析度 θ_2	矩形	0.0289 °C			50
組合標準不確定度				0.00011 mm	55
k				2.0	
擴充不確定度 $U(PS)$				0.22 μm	

表 2-1-3、球距組合標準不確定度分析表

球距評估	機率分布	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(L_s)$	常態	0.17 μm	-1	0.17×10^{-3} mm	29
量測值 $u(L_m)$	常態	0.00045 mm	1	0.45×10^{-3} mm	499
熱膨脹係數 $u(\alpha_s)$	矩形	0.144×10^{-6} °C ⁻¹	-(1000 × 10) mm °C	1.44×10^{-3} mm	50
溫度量測 $u(\theta_s)$		0.0584 °C	-1000×10^{-6} mm °C ⁻¹	5.84×10^{-5} mm	79
溫度計校正 θ_1	常態	0.0508 °C			50
溫度計解析度 θ_2	矩形	0.0289 °C			50
組合標準不確定度				0.0016 mm	63
k				2.0	
擴充不確定度 $U(SD)$				3.2 μm	

表 2-1-4、球形組合標準不確定度分析表

球形評估	機率分布	標準不確定度	靈敏係數	不確定度分量	自由度
校正追溯 $u(L_s)$	常態	4.38×10^{-5} mm	-1	4.38×10^{-5} mm	29
量測值 $u(L_m)$	常態	8.07×10^{-5} mm	1	8.07×10^{-5} mm	499
熱膨脹係數 $u(\alpha_s)$	矩形	$0.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} / 2\sqrt{3}$	$-(0.0024 \times 10) \text{ mm } ^\circ\text{C}$	3.45×10^{-9} mm	50
溫度量測 $u(\theta_s)$		0.0584 $^\circ\text{C}$	$-0.0024 \times 10^{-6} \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1}$	1.17×10^{-9} mm	79
溫度計校正 θ	常態	0.0508 $^\circ\text{C}$			50
溫度計解析度 θ	矩形	0.0289 $^\circ\text{C}$			50
組合標準不確定度				9.2×10^{-5} mm	335
				k	1.96
擴充不確定度 $U(\text{PF})$				0.18 μm	

羅列上述不確定度的評估結果， $U(\text{PS})$ 為 0.22 μm 、 $U(\text{PF})$ 為 0.19 μm 、 $U(\text{SD})$ 為 3.2 μm ，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 073B10237。

綜合以上內容，現已完成查核點編號 B1-4，完成量測不確定度評估報告 1 份(含點雲拼接)，評估校正環境溫度範圍(24 \pm 6) $^\circ\text{C}$ ，量測不確定度最大為 3.2 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、汽車等產業接受並應用在生產線上，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，相關的國際規範也持續訂定中。其中量測不確定度評估為儀器校正的重要關鍵，本計畫除了建立球桿標準件的校正技術，在今年進一步執行至視覺 3D 尺寸量測儀器拼接點雲的校正技術建立。由於視覺 3D 尺寸量測儀器的量測結果包含 3D 點雲、立體視覺參數變異、幾何特徵擬合、拼接點雲等多項步驟，為了進行量測不確定度評估，本計畫應用蒙地卡羅法模擬量測流程，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，此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。

【本年度結論】

為建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正能力，滿足業界視覺 3D 尺寸量測儀器的校正範圍 1600 mm~3300 mm (空間體對角線)之追溯需求，本子計畫開發視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術，參考 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 規範，產出視覺參考標準件設計圖 1 份，尺寸 ≤ 1000 mm(球距)。並完成量測方程式與靈敏係數評估，產出 MATLAB 計算程式 1 套(含點雲拼接)。完成校正程序報告 1 份(含點雲拼接)與量測不確定度評估報告 1 份(含點雲拼接)，評估校正環境溫度範圍(24 \pm 6) $^{\circ}$ C 狀況下，量測不確定度最大為 3.2 μ m，達成校正環境溫度範圍(24 \pm 6) $^{\circ}$ C，量測不確定度 ≤ 5 μ m (不含待校件)之計畫目標。

(二) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

111 年度延續 110 年度之發展成果，兩年度主要計畫目標整理於表 2-2-1，110 年度已完成三線性軸 21 項幾何誤差之誤差分析(I)及溫度評估(I)，111 年度規劃為誤差分析(II)及溫度評估(II)，以五軸工具機做為座標量測儀時，進行線上尺寸量測，其中 2 個旋轉軸幾何誤差量測與分析技術為開發重點，110 年度及 111 年度發展成果，整合為五軸工具機整機 43 項幾何誤差之誤差分析與溫度評估，且量測不確定度需小於 20 μ m；發展技術藉由低熱膨脹係數的 hole plate 作為尺寸參考標準件，可降低產線環境溫度變異對量測結果的影響，同時減少量測時的量測不確定度；使用時，透過五軸工具機搭載 3D 量測測頭，進行 hole plate 量測，並分析五軸工具機整機幾何誤差，及建立完整不確定度評估方法，包含最大影響因子溫度，由 hole plate 尺寸標準傳遞至五軸工具機線上量測，建立完整追溯鏈。

表 2-2-1、年度計畫目標比較

	110 年度	111 年度
計畫目標	誤差分析(I) 參數:三線性軸 21 項幾何誤差 量測不確定度: ≤ 10 μ m	誤差分析(II) 參數:整機 43 項幾何誤差 量測不確定度: ≤ 20 μ m

本年度計畫目標如下:

1. 線上加工尺寸量測技術誤差分析(II)
 - (1) 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑)
 - (2) 整機 43 項幾何誤差
 - (3) 量測不確定度(標準不確定度) ≤ 20 μ m (不含 20 $^{\circ}$ C 修正)
2. 線上加工尺寸量測技術溫度評估(II)

- (1) 適用旋轉軸盤面: ≤ 550 mm(直徑)
- (2) 參數: 整機至少 43 項幾何誤差
- (3) 適用溫度變異: (24 ± 6) °C

【執行成果】

1. 完成「hole plate」硬體架設製作，滿足工具機旋轉軸盤面直徑 ≤ 550 mm (查核點編號 B2-1)

開發技術所用「hole plate」如圖 2-2-1(a)所示，hole plate 尺寸為 550 mm \times 550 mm，可滿足工具機旋轉軸盤面直徑 ≤ 550 mm，hole plate 中有 44 個 hole 及 5 顆標準球，直徑標稱值為 20 mm，每個 hole 間距標稱值為 50 mm，hole 應用於三線性軸幾何誤差量測，而標準球應用於雙旋轉軸幾何誤差量測；材質(NEXCERA)具低熱膨脹係數，根據日本國家計量研究院(NMIJ)校正報告(Certificate No.193071)顯示膨脹係數值為 0.05×10^{-6} /°C，於工廠產線內溫度變異範圍 (24 ± 6) °C 內，hole plate 尺寸變異量小於 0.3 μ m，可降低產線環境溫度變異對於標準件影響，同時降低量測時的量測不確定度。

三線性軸幾何誤差量測時，以 hole 1 作為座標原點，hole 1 至 hole 12 方向作為 hole plate 之 X 軸，hole 1 至 hole 34 方向作為 hole plate 之 Y 軸，每個圓柱孔中心座標位置(X_C, Y_C)皆經由校正追溯作為標準座標位置；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 2-2-1 (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，於 XY 平面架設調整，三線性軸之 X 軸與 hole plate 之 X 軸，最大偏移量需 ≤ 10 μ m，架設調整對於量測結果影響，會納入量測不確定度評估中，圖 2-2-1 (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，於 XZ 平面架設調整，三線性軸之 X 軸與 hole plate 之 X 軸，最大偏移量需 ≤ 10 μ m，相同流程下，於 YZ 平面架設調整，三線性軸之 Y 軸與 hole plate 之 Y 軸，最大偏移量需 ≤ 10 μ m，達到 3 個方向架設及量測。

雙旋轉軸幾何誤差量測時，架設方式如同水平架設，hole plate 中有 5 顆標準球呈現十字排列如圖 2-2-1 (d)，中心標準球(M)應用於 hole plate 與旋轉軸中心對心，要求值 10 μ m，此數值會放入不確定評估項中評估，標準球排列($C_1 \sim C_2$)對齊 C 軸旋轉軸零點，應用於旋轉軸 C 軸，標準球排列($A_1 \sim A_2$)對齊 A 軸旋轉軸零點，應用於旋轉軸 A 軸，每顆標準球座標位置，皆經由校正作為標準座標位置。

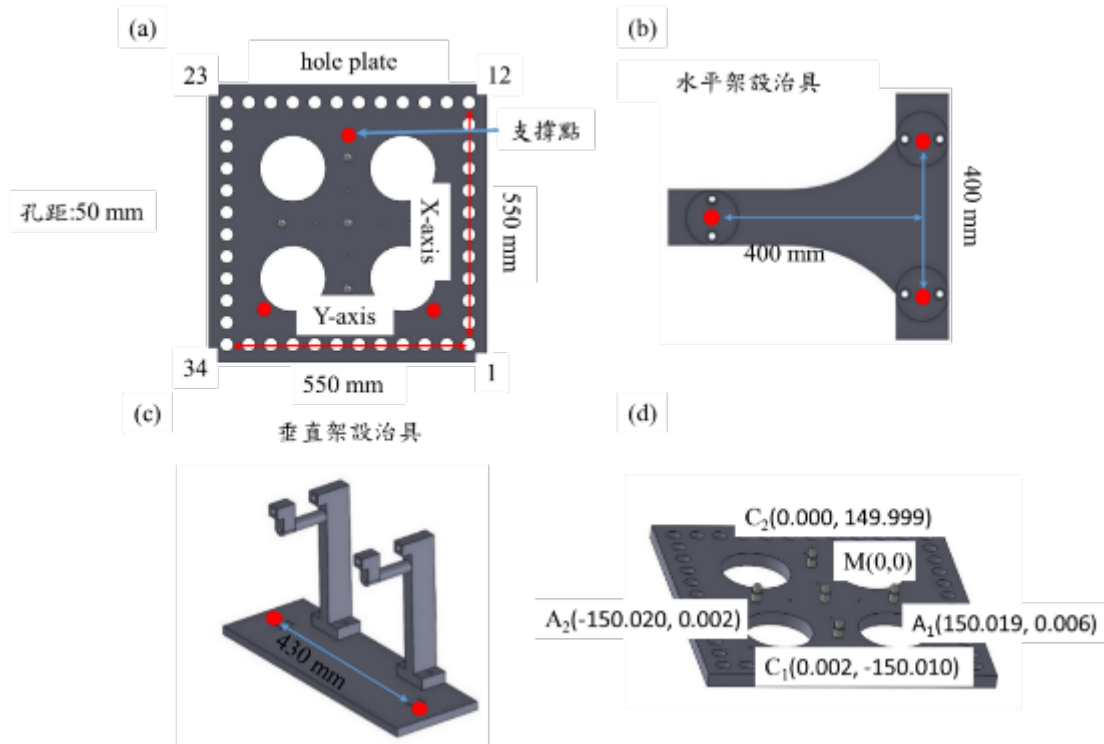


圖 2-2-1、hole plate 硬體設計示意圖

2. 完成「線上加工尺寸量測技術-誤差分析(II)」之演算法，量測參數: 43 項幾何誤差(查核點編號 B2-2)

前期實驗以座標量測儀旋轉軸作為實驗對象，分析旋轉軸 11 項幾何誤差，實機實驗以友嘉五軸工具機作為實驗對象，分析三軸線性軸 21 項幾何誤差、旋轉軸 11 項幾何誤差，總共量測參數為 43 項幾何誤差，詳細說明如下：

●43 項幾何誤差說明

根據國際標準 ISO 230-1 規範，定義三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。每一個線性軸有六個幾何誤差及因兩軸間不垂直造成影響的幾何誤差，分別為一個沿著線性軸本身移動方向的線性定位幾何誤差(Positioning Geometric Error)、與線性軸本身垂直方向上的兩個直線度幾何誤差(Horizontal Straightness Geometric Error, Vertical Straightness Geometric Error)、線性軸對應三個旋轉角度幾何誤差(Roll Geometric Error, Pitch Geometric Error, Yaw Geometric Error)及兩兩不同軸之間垂直度幾何誤差(Squareness Geometric Error)，總共七項幾何誤差，故在三個線性軸所組成的座標系統總共含有二十一項誤差，如圖 2-2-2 所示。21 項幾何誤差量測與分析技術為 110 年度之發展成果。

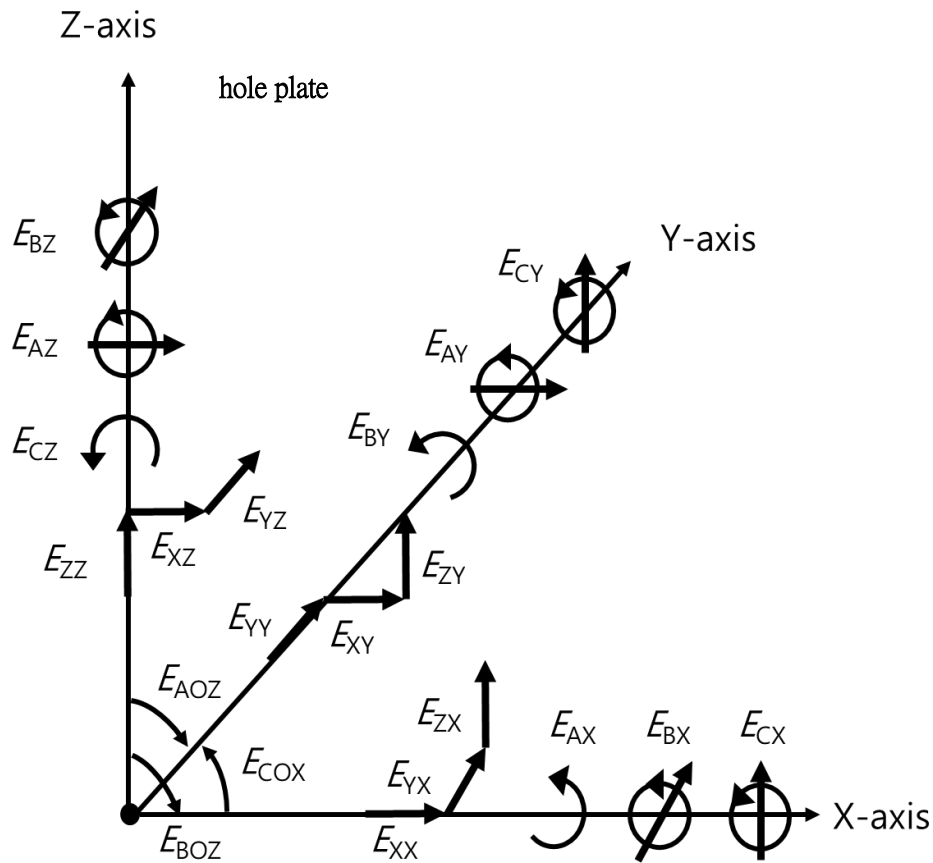


圖 2-2-2、三線性軸幾何誤差示意圖

其中各符號可表示為

- E_{AX} : X 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度幾何誤差(Roll Geometric Error)
- E_{BX} : X 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度幾何誤差(Pitch Geometric Error)
- E_{CX} : X 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度幾何誤差(Yaw Geometric Error)
- E_{XX} : X 軸運動造成 X 軸方向的線性定位幾何誤差(Positioning Geometric Error)
- E_{YX} : X 軸運動造成 Y 軸方向的直線度幾何誤差(Horizontal Straightness Geometric Error)
- E_{ZX} : X 軸運動造成 Z 軸方向的直線度幾何誤差(Vertical Straightness Geometric Error)
- E_{AY} : Y 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度幾何誤差(Roll Geometric Error)
- E_{BY} : Y 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度幾何誤差(Pitch Geometric Error)
- E_{CY} : Y 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度幾何誤差(Yaw Geometric Error)
- E_{XY} : Y 軸運動造成 X 軸方向的直線度幾何誤差(Positioning Geometric Error)
- E_{YY} : Y 軸運動造成 Y 軸方向的線性定位幾何誤差(Horizontal Straightness Geometric Error)
- E_{ZY} : Y 軸運動造成 Z 軸方向的直線度幾何誤差(Vertical Straightness Geometric Error)
- E_{AZ} : Z 軸運動造成 A 軸方向旋轉角度幾何誤差(Roll Geometric Error)

E_{BZ} : Z 軸運動造成 B 軸方向旋轉角度幾何誤差(Pitch Geometric Error)

E_{CZ} : Z 軸運動造成 C 軸方向旋轉角度幾何誤差(Yaw Geometric Error)

E_{XZ} : Z 軸運動造成 X 軸方向的直線度幾何誤差(Positioning Geometric Error)

E_{YZ} : Z 軸運動造成 Y 軸方向的直線度幾何誤差(Horizontal Straightness Geometric Error)

E_{ZZ} : Z 軸運動造成 Z 軸方向的線性定位幾何誤差(Vertical Straightness Geometric Error)

E_{COX} : X 軸至 Y 軸的垂直度幾何誤差(Squareness Geometric Error)

E_{AOZ} : Z 軸至 Y 軸的垂直度幾何誤差(Squareness Geometric Error)

E_{BOZ} : Z 軸至 X 軸的垂直度幾何誤差(Squareness Geometric Error)

在兩個旋轉軸所組成的座標系統中，每一個旋轉軸有六個與旋轉角度相關幾何誤差及五個旋轉角度非相關幾何誤差，總共有 $6 + 5 = 11$ 項誤差，而兩個旋轉軸總共有 22 項幾何誤差。每個旋轉軸旋轉時造成的六項幾何誤差，與旋轉角度相關，分別為兩個徑向幾何誤差(Radial Geometric Error)、一個軸向幾何誤差(Axial Geometric Error)、兩個傾斜幾何誤差(Tilt Geometric Error)、一個沿著旋轉軸旋轉方向的角度定位幾何誤差(Angular Positioning Geometric Error)，總共包含三個線性幾何誤差及三個角度幾何誤差，另外，每個旋轉軸有五項幾何誤差，與旋轉角度非相關，旋轉軸兩個位置幾何誤差(Position Geometric Error)、旋轉軸兩個方向之方向幾何誤差(Orientation Geometric Error)及旋轉軸零點幾何誤差(Zero Position Geometric Error)，如圖 2-2-3 所示。

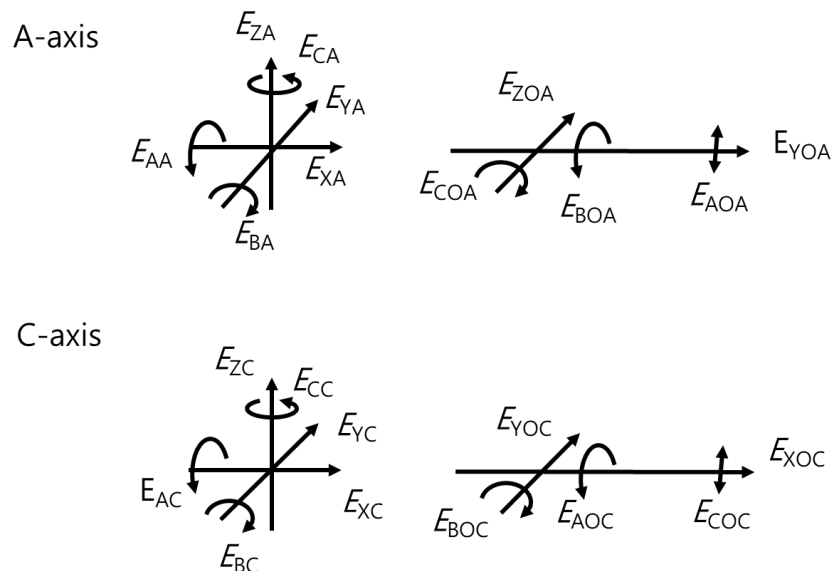


圖 2-2-3、雙旋轉軸幾何誤差示意圖

其中各符號可表示為

E_{AC} : C 軸運動造成 A 軸方向傾斜幾何誤差(Tilt Geometric Error)
 E_{BC} : C 軸運動造成 B 軸方向傾斜幾何誤差(Tilt Geometric Error)
 E_{CC} : C 軸運動造成 C 軸方向角度定位幾何誤差(Angular Positioning Geometric Error)
 E_{XC} : C 軸運動造成 X 軸方向的徑向幾何誤差(Radial Geometric Error)
 E_{YC} : C 軸運動造成 Y 軸方向的徑向幾何誤差(Radial Geometric Error)
 E_{ZC} : C 軸運動造成 Z 軸方向的軸向幾何誤差(Axial Geometric Error)
 E_{XOC} : C 軸運動造成 X 軸方向位置幾何誤差(Position Geometric Error)
 E_{YOC} : C 軸運動造成 Y 軸方向位置幾何誤差(Position Geometric Error)
 E_{AOC} : C 軸運動造成 A 軸方向之方向幾何誤差(Orientation Geometric Error)
 E_{BOC} : C 軸運動造成 B 軸方向之方向幾何誤差(Orientation Geometric Error)
 E_{COC} : C 軸運動造成 C 軸零點幾何誤差(Zero Position Geometric Error)
 E_{AA} : A 軸運動造成 A 軸方向角度定位幾何誤差(Angular Positioning Geometric Error)
 E_{BA} : A 軸運動造成 B 軸方向傾斜幾何誤差(Tilt Geometric Error)
 E_{CA} : A 軸運動造成 C 軸方向傾斜幾何誤差(Tilt Geometric Error)
 E_{XA} : A 軸運動造成 X 軸方向的徑向幾何誤差(Radial Geometric Error)
 E_{YA} : A 軸運動造成 Y 軸方向的徑向幾何誤差(Radial Geometric Error)
 E_{ZA} : A 軸運動造成 Z 軸方向的軸向幾何誤差(Axial Geometric Error)
 E_{XOA} : A 軸運動造成 X 軸方向位置幾何誤差(Position Geometric Error)
 E_{YOA} : A 軸運動造成 Y 軸方向位置幾何誤差(Position Geometric Error)
 E_{BOA} : A 軸運動造成 B 軸方向之方向幾何誤差(Orientation Geometric Error)
 E_{COA} : A 軸運動造成 C 軸方向之方向幾何誤差(Orientation Geometric Error)
 E_{AOA} : A 軸運動造成 A 軸零點幾何誤差(Zero Position Geometric Error)

因此五軸工具機一共含有三線性軸 21 項幾何誤差加上兩個旋轉軸 22 項幾何誤差，共有 43 項幾何誤差。

●旋轉軸幾何誤差分析

旋轉軸幾何誤差分析流程圖如圖 2-2-4 所示，首先 hole plate 架設於旋轉台上，標準球 M 調整於旋轉台中心，量測標準球(C_i 、 $i=1\sim 2$)球心，旋轉 C 軸旋轉軸於不同量測角度，每個量測角度皆需要量測標準球，並計算標準球球心器差值(ΔX_i 、 ΔY_i 、 ΔZ_i)。

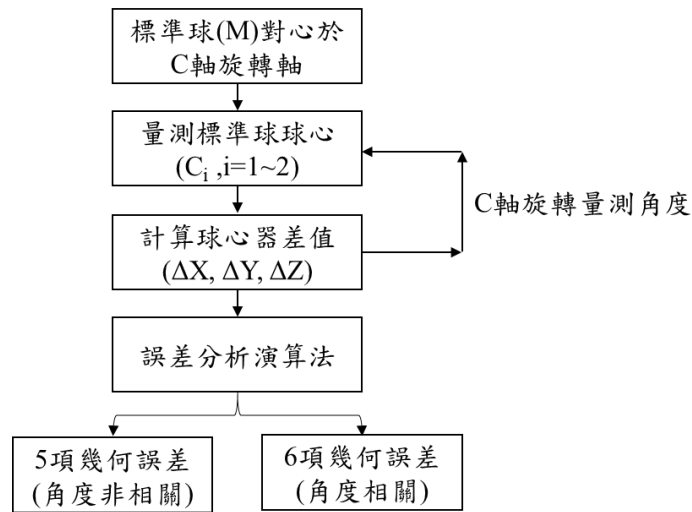


圖 2-2-4、旋轉軸幾何誤差分析流程圖

單旋轉軸總共有十一項幾何誤差，其中有六項與旋轉角度相關幾何誤差，使用齊次座標轉換矩陣(Homogeneous Transform Matrix, HTM)建立分析方程式，其方程式(2-2-1)所示

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & Z\sin\theta & Z\cos\theta & -X\cos\theta - Y\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & -Z\cos\theta & Z\sin\theta & -Y\sin\theta + X\cos\theta \\ 0 & 0 & 1 & -Y & -X & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} E_{XC} \\ E_{YC} \\ E_{ZC} \\ E_{AC} \\ E_{BC} \\ E_{CC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} \quad (2-2-1)$$

其中 E_{AC} 、 E_{BC} 、 E_{CC} 、 E_{XC} 、 E_{YC} 、 E_{ZC} 表示六項幾何誤差， X 、 Y 、 Z 表示標準球初始座標位置， θ 表示旋轉軸旋轉角度， ΔX_i 、 ΔY_i 、 ΔZ_i 為理想標準球的座標位置與實際標準球座標位置之間的器差值。

另外，4 項與旋轉角度非相關幾何誤差，亦使用齊次座標轉換矩陣(Homogeneous Transform Matrix, HTM)建立分析方程式，其方程式(2-2-2)所示

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Z \\ 0 & 1 & -Z & 0 \\ 0 & 0 & X\sin\theta + Y\cos\theta & -X\cos\theta + Y\sin\theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} E_{XOC} \\ E_{YOC} \\ E_{AOC} \\ E_{BOC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} \quad (2-2-2)$$

其中 E_{AOC} 、 E_{BOC} 、 E_{XOC} 、 E_{YOC} 表示四項幾何誤差， X 、 Y 、 Z 表示標準球初始座標位置， θ 表示旋轉軸旋轉角度， ΔX_i 、 ΔY_i 、 ΔZ_i 為理想標準球的座標位置與實際標準球座標位置之間的器差值。

零點幾何誤差(E_{BOC})需透過量測標準球座標位置，分析軸平均線(axis average line)，計算線性軸軸向與軸平均線之角度。

●幾何誤差分析於單旋轉軸實驗

以高精密度座標量測儀(廠牌: Leitz、型號:PMM-C Ultra)搭配旋轉軸(廠牌: Leitz、型號: LRT 4)作為量測對象，座標量測儀三線性軸量測已於 110 年度完成，111 年度實驗對象為旋轉軸，量測時將 hole plate 架設於旋轉軸上如圖 2-2-5 所示，如同三線性軸量測時 XY 平面架設，標準球 M 需調整於旋轉軸中心，要求值需小於 $10\ \mu\text{m}$ ，由座標量測儀軟體(QUINDOS 7)自動生成所有 hole plate 上標準球量測路徑，分析座標量測儀旋轉軸 11 項幾何誤差，結果整理於表 2-2-2，其中六項與旋轉角度相關幾何誤差(E_{AC} 、 E_{BC} 、 E_{CC} 、 E_{XC} 、 E_{YC} 、 E_{ZC})，量測角度間距為 15° ，總共 24 個量測點數，依據 ISO 230-1 定義，量測值表示為最大值減去最小值，另外，五項與旋轉角度非相關幾何誤差(E_{AOC} 、 E_{BOC} 、 E_{COC} 、 E_{XOC} 、 E_{YOC})，由單一量測值表示。與現有標準件量測結果進行比較如圖 2-2-6 所示，包含 24 面多邊規搭配自動視準儀及電子水平儀，量測角度位置與 hole plate 量測角度位置相同，由角度定位幾何誤差分析結果(E_{CC})與 24 面多邊規搭配自動視準儀量測結果比較，差異值最大為 $2.27''$ ，方向幾何誤差分析結果(E_{AOC} 及 E_{BOC})與電子水平儀量測結果比較，最大差異值為 $0.48''$ 。

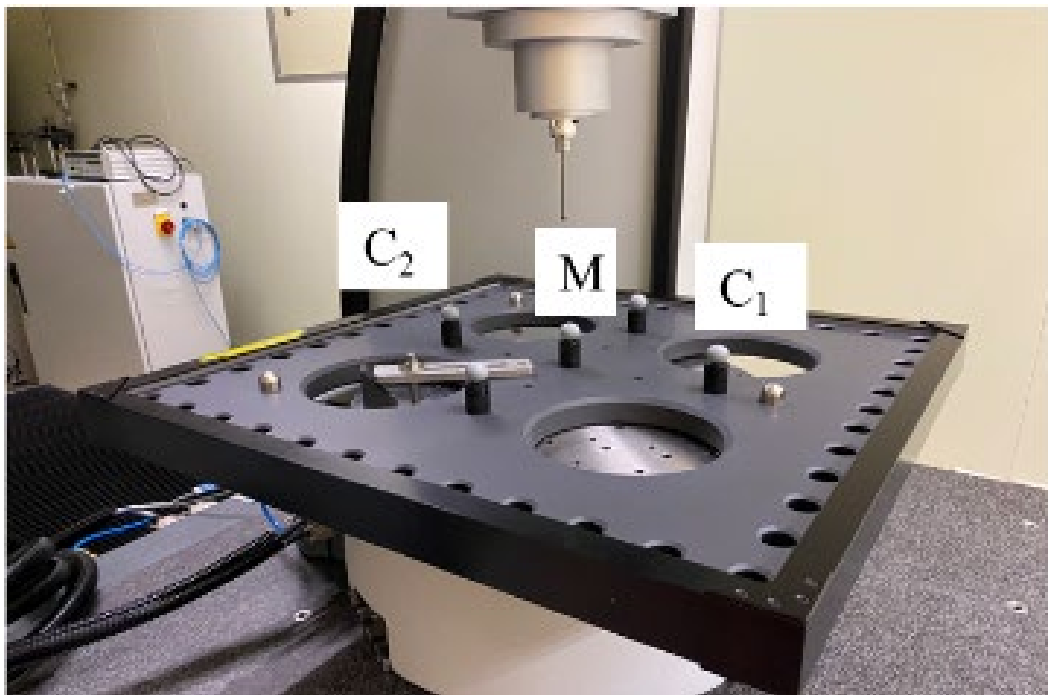


圖 2-2-5、座標量測儀旋轉軸實際圖

表 2-2-2、座標量測儀旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果

項次	誤差項目	量測值	項次	誤差項目	量測值
1	E_{AC}	1.26"	7	E_{AOC}	-0.03"
2	E_{BC}	1.79"	8	E_{BOC}	0.59"
3	E_{CC}	2.94"	9	E_{COC}	0.19°
4	E_{XC}	1.26 μm	10	E_{XOC}	-0.35 μm
5	E_{YC}	0.78 μm	11	E_{YOC}	0.48 μm
6	E_{ZC}	0.48 μm	X		

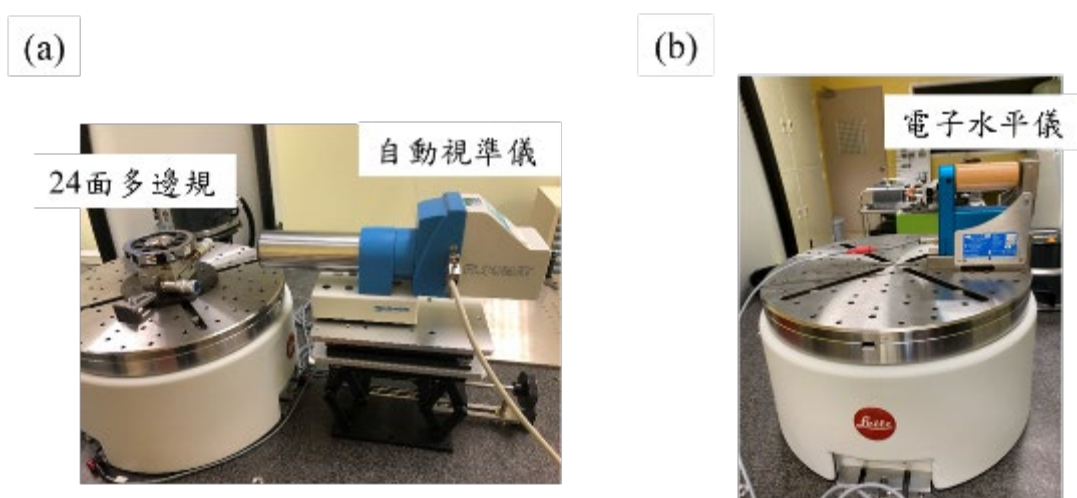


圖 2-2-6、現有標準件比較(a) 24 面多邊規搭配自動視準儀、(b)電子水平儀

●幾何誤差分析於五軸工具機實驗(第一台)

以友嘉五軸工具機作為量測對象，控制器為 Heidenhain TNC 640 及 3D 量測測頭為 Heidenhain TS 460，量測時將 hole plate 架設於床台上，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，圖 2-2-7(a) hole plate 安裝於 XY 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機儀之 Y 軸向，圖 2-2-7(b) 為 hole plate 安裝於 YZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 Y 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機之 Z 軸向，圖 2-2-7(c) 為 hole plate 安裝於 XZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機之 Z 軸，每個架設方向需先利用測針量測 hole 1 中心點座標位置，確認整個 hole plate 於床台上空間位置，由控制器自動生成所有 hole 量

測路徑(cycle 412)，圖 2-2-7(d)為旋轉軸量測架設方式，如同 XY 平面架設，標準球 M 需架設於 C 軸旋轉軸中心。

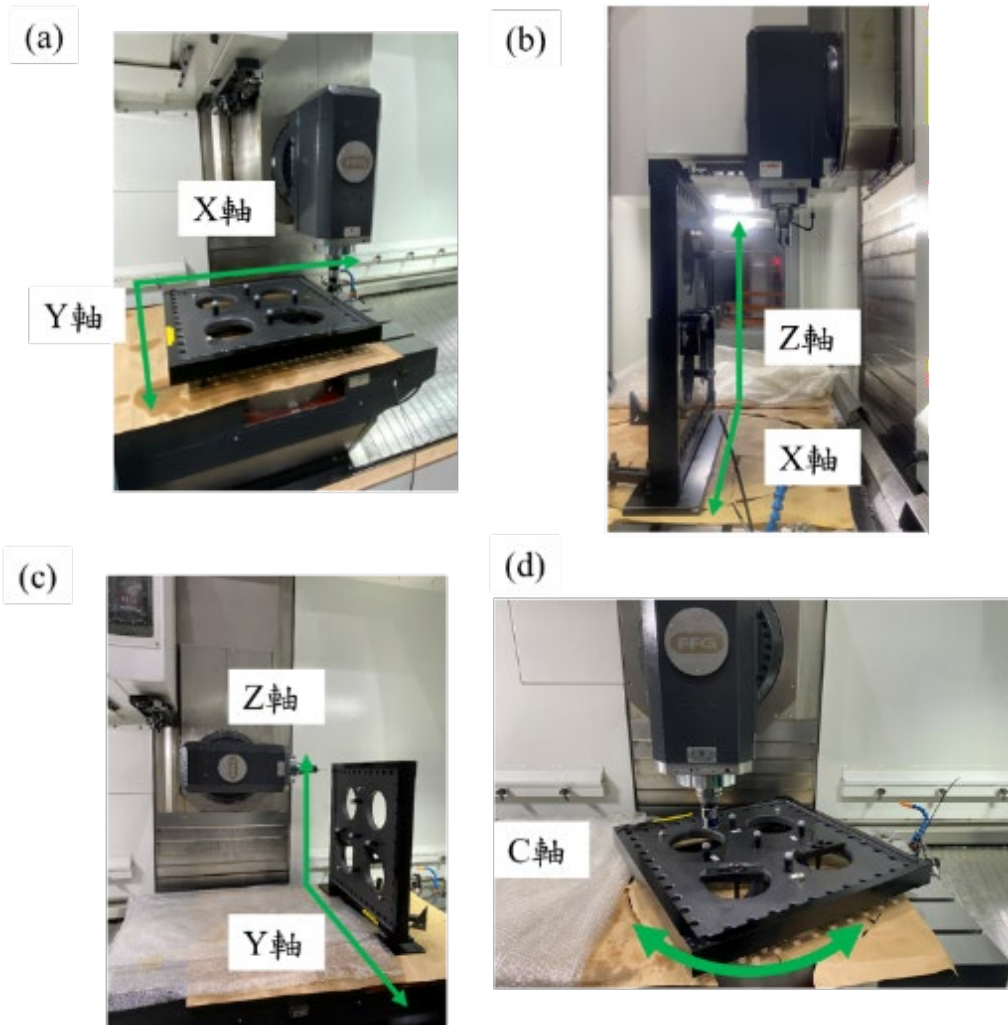


圖 2-2-7、hole plate 架設方向示意圖(a) XY 平面、(b) XZ 平面、(c) YZ 平面、(d) 旋轉軸

三線性軸量測範圍為 $550\text{ mm} \times 550\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ 空間範圍，量測間距為 50 mm ，旋轉軸量測範圍為 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，量測角度間距為 30° ，三線性軸 21 項幾何誤差分析結果整理於表 2-2-3，依據 ISO 230-2 定義^[2-2-3]，量測值(systematic positioning error of the axis, E)表示為每項幾何誤差量測範圍中，數據最大值減去數據最小值，量測值表示為最大值減去最小值，線性定位誤差分析結果(E_{XX} 、 E_{YY} 及 E_{ZZ})與雷射干涉儀(Renishaw XL-80)量測結果比較，單旋轉軸 11 項幾何誤差分析結果整理於表 2-2-4，量測值表示為最大值減去最小值，角度定位幾何誤差分析結果(E_{CC})與旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W)量測結果比較，比較表整理於表 2-2-5，線性誤差最大差異值為 $2.02\text{ }\mu\text{m}$ ，符合 ISO 10791-4 規範^[2-2-4]及 CNS 15074-4 規範^[2-2-5]，線性定位誤差值需小於 $10\text{ }\mu\text{m}$ ，角度誤差最大差異值為 $1.26''$ ，符合 ISO 10791-4 規範^[2-2-4]及 CNS 15074-4 規範^[2-2-5]，角度定位誤差值需小於 $10''$ 。

表 2-2-3、五軸工具機三線性軸 21 項幾何誤差量測結果

項次	誤差項目	量測值	項次	誤差項目	量測值
1	E_{XX}	5.05 μm	12	E_{AX}	3.15"
2	E_{YY}	1.39 μm	13	E_{BX}	4.78"
3	E_{ZZ}	4.78 μm	14	E_{CX}	3.80"
4	E_{YX}	6.52 μm	15	E_{AY}	5.40"
5	E_{ZX}	4.33 μm	16	E_{BY}	2.37"
6	E_{XY}	4.41 μm	17	E_{CY}	4.61"
7	E_{ZY}	4.39 μm	18	E_{AZ}	7.39"
8	E_{XZ}	1.73 μm	19	E_{BZ}	2.46"
9	E_{YZ}	0.88 μm	20	E_{CZ}	3.38"
10	E_{COX}	1.78"	21	E_{AOZ}	4.45"
11	E_{BOZ}	-2.32"	X		

表 2-2-4、五軸工具機 C 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果

項次	誤差項目	量測值	項次	誤差項目	量測值
1	E_{AC}	0.74"	7	E_{AOC}	-0.03"
2	E_{BC}	1.02"	8	E_{BOC}	0.36"
3	E_{CC}	0.84"	9	E_{COC}	2.04"
4	E_{XC}	1.84 μm	10	E_{XOC}	-0.50 μm
5	E_{YC}	1.63 μm	11	E_{YOC}	-0.59 μm
6	E_{ZC}	1.03 μm	X		

表 2-2-5、hole plate 幾何誤差量測結果與 Renishaw XL-80 雷射干涉儀量測結果比較

誤差項目	量測值	
	hole plate	Renishaw XL-80 雷射干涉儀
E_{XX}	5.05 μm	3.0 μm
E_{YY}	1.39 μm	3.4 μm
E_{ZZ}	4.78 μm	4.9 μm
E_{CC}	0.84"	2.10"

表 2-2-6、hole plate 幾何誤差量測結果與 Renishaw XR20-W 旋轉軸校正儀量測結果比較

誤差項目	量測值	
	hole plate	Renishaw XR20-W 旋轉軸校正儀
E_{CC}	0.84"	2.10"

3. 完成「線上加工尺寸量測技術-溫度分析(II)」之溫度與幾何誤差關係評估；溫度範圍： $(24 \pm 6)^{\circ}\text{C}$
(查核點編號 B2-3)

本子項計畫開發線上加工尺寸量測技術進行量測不確定度評估，評估方法參考國際規範 ISO 230-9^[2-2-6]，依據量測值及 hole plate 標準值建立量測方程式如下：

$$l_s = l(1 + \alpha \Delta T) \rightarrow d = l - l_s(1 - \alpha \Delta T) \quad (2-2-3)$$

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：

$$u_c^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial l}\right)^2 u^2(l) + \left(\frac{\partial d}{\partial l_s}\right)^2 u^2(l_s) + \left(\frac{\partial d}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial d}{\partial \Delta T}\right)^2 u^2(\Delta T) \quad (2-2-4)$$

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，確立量測不確定度來源魚骨圖如圖 2-2-8 所示，作為後續量化分析之項目。

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 $0.68 \mu\text{m}/2$
- (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 $50 \mu\text{m}$ 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 $u(l_2)$ 為 $0.002 \mu\text{m}/2\sqrt{3}$

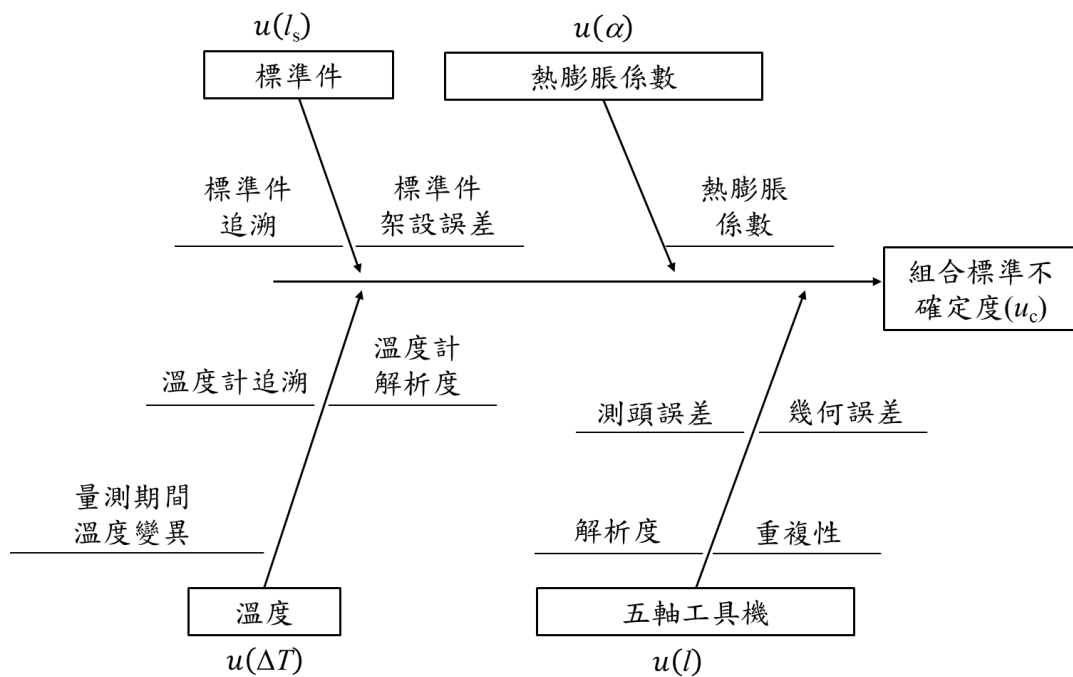


圖 2-2-8、量測不確定度來源魚骨圖

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 $u(\Delta T_1)$ 、溫度計解析度 $u(\Delta T_2)$ 及機台溫度變異 $u(\Delta T_3)$

- (1) 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 $(10.5 \pm 1) \times 10^{-6}$ ，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 $0.08 \text{ }^\circ\text{C}/2$
- (3) 溫度計解析度 $u(\Delta T_2)$: 溫度計解析度為 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，標準不確定度 $u(l_2)$ 為 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}/2\sqrt{3}$
- (4) 床台溫度變異 $u(\Delta T_3)$:量測期間，床台溫度值範圍為 $25.6 \text{ }^\circ\text{C} \sim 26.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ，最大變異值為 $1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ，標準不確定度 $u(\Delta T_2)$ 為 $1.2 \text{ }^\circ\text{C} / 2\sqrt{3}$

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

- (1) 測頭誤差 $u(l_1)$:根據海德漢 TS 460 量測測頭原廠資料，準確度規格為 $1 \mu\text{m}$ ，標準不確定度 $u(l_1)$ 為 $1 \mu\text{m}/2\sqrt{3}$

- (2) 解析度 $u(l_2)$:五軸工具機量測解析度為 $1\ \mu\text{m}$ ，標準不確定度 $u(l_2)$ 為 $1\ \mu\text{m}/2\sqrt{3}$
- (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 $2.56\ \mu\text{m}$ ，標準不確定度 $u(l_4)$ 為 $2.56\ \mu\text{m}/\sqrt{3}$

表 2-2-7、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})	0.01	B	0.01	μm	1	μm	0.01	μm
待校件熱膨脹係數(α)	1×10^{-6}	B	5.77×10^{-7}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	2.75×10^5	$\mu\text{m}^{\circ}\text{C}$	0.16	μm
溫度計校正追溯(ΔT_1)	0.08	B	0.04	$^{\circ}\text{C}$	5.78	$\mu\text{m}^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.23	μm
溫度計解析度(ΔT_2)	0.10	B	0.03	$^{\circ}\text{C}$	5.78	$\mu\text{m}^{\circ}\text{C}^{-1}$	0.17	μm
量測期間溫度變異(ΔT_3)	1.20	B	0.35	$^{\circ}\text{C}$	5.78	$\mu\text{m}^{\circ}\text{C}^{-1}$	2.00	μm
測頭誤差(l_1)	1.00	B	0.29	μm	1	μm	0.29	μm
解析度(l_2)	0.10	B	0.06	μm	1	μm	0.06	μm
重複性(l_3)	2.56	A	1.48	μm	1	μm	1.48	μm
組合標準不確定度: $2.6\ \mu\text{m}$								

根據表 2-2-7 評估線上加工尺寸量測技術-誤差分析組合標準不確定度，實際量測期間溫度變異為 $1.20\ ^{\circ}\text{C}$ ，得到組合標準不確定度評估結果為 $2.6\ \mu\text{m}$ ，由組合標準不確定度分析表中可知，主要不確定度來源為重複性，此項由五軸工具機機台造成，次要不確定度來源為量測期間溫度變

異，此項由環境因素影響，參考國內五軸工具機組裝產線環境溫度，及國內工具機使用者操作環境溫度，環境溫度變異為 $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$ ，實際上，難以在此溫度變異下進行實驗，因此以模擬方法評估量測期間溫度變異對於組合標準不確定度影響，經由 Monte Carlo Simulation 方法進行模擬，圖 2-2-9 為溫度與組合標準不確定度分析流程圖，假設量測期間溫度變異為 $\pm 6^\circ\text{C}$ ，溫度變異呈現常態分佈，進而計算量測期間溫度變異不確定分量，根據分析圖，不同不確定度分量值對應不同模擬次數，標準差為 $4.4 \mu\text{m}$ ，最後將模擬結果輸入表 2-2-7 組合標準不確定度，得到組合標準不確定度範圍為 $(2.0 \sim 14) \mu\text{m}$ ；Monte Carlo Simulation 方法需輸入模擬次數，評估不同模擬次數下影響最後模擬結果，表 2-2-8 整理不同模擬次數下，由結果顯示，於模擬次數為 10,000 下，最終組合標準不確定度分析結果會趨於常態。

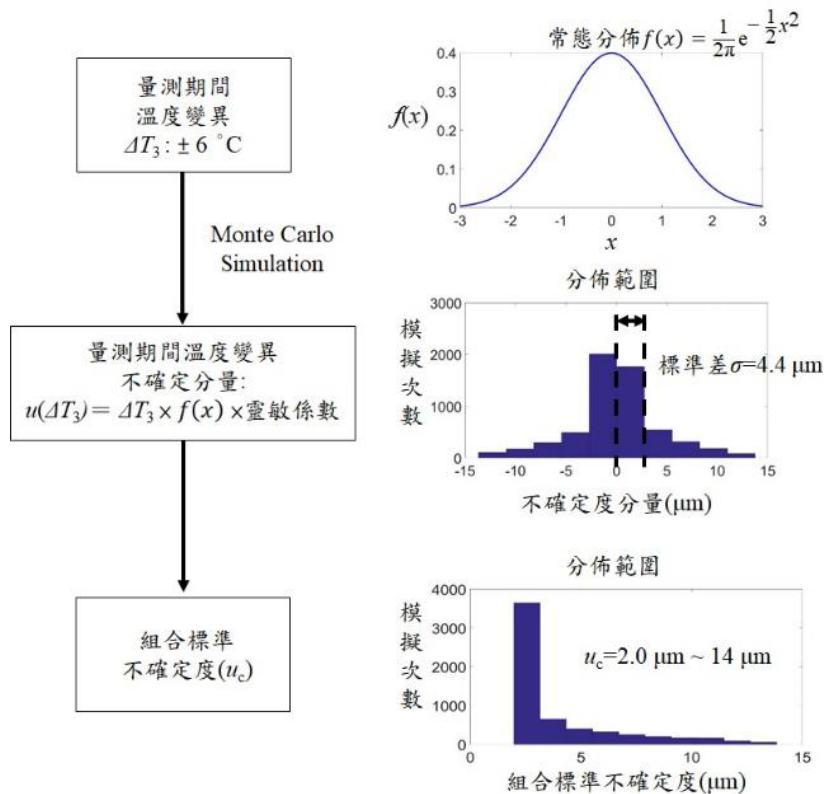


圖 2-2-9、溫度與組合標準不確定度分析流程圖

表 2-2-8、組合標準不確定度分析表

參數	變異範圍	機率分佈	模擬次數	組合標準不確定度
量測期間溫度變異	$\pm 6^\circ\text{C}$	常態	2,500	2.0 ~ 13.8
			6,000	2.0 ~ 13.9
			10,000	2.0 ~ 14.0
			15,000	2.0 ~ 14.0

4. 完成五軸工具機線上尺寸量測技術：溫度變異範圍： $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$ 、量測不確定度： $\leq 20 \mu\text{m}$ (不含 20°C 修正) (查核點編號 B2-4)

• 幾何誤差分析於五軸工具機實驗(第二台)

今年度第二台實際量測為友嘉五軸工具機，控制器為 Heidenhain TNC 640 及 3D 量測測頭為 Heidenhain TS 460，量測時將 hole plate 架設於床台上，量測三線性軸情境，需進行 2 次架設，分別為水平架設及垂直架設，然而，量測雙旋轉軸情境，因為架設位置與量測三線性軸之水平架設相同，無需額外增加架設流程，圖 2-2-10(a)為 hole plate 水平架設，hole plate 安裝於 XY 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機儀之 Y 軸向，量測座標位置為 (M_x, M_y) 於 XY 平面，標準球 M 需架設於 C 軸旋轉軸中心，控制器軟體設定需先利用量測測頭，量測 hole 1 中心點座標位置，確認整個 hole plate 於床台上空間位置，由控制器自動生成所有 hole 量測路徑(cycle 412)；相同水平架設時，如圖 2-2-10(b)所示，進行雙旋轉軸量測，量測 C 旋轉軸時，C 旋轉軸旋轉不同量測角度，首先，C 旋轉軸旋轉至 0° ，由量測測頭量測 hole plate 之 5 顆標準球，計算每顆標準球球心位置 (X, Y, Z) ，確認 hole plate 之 5 顆標準球於床台上空間位置，由軟體 Siemens NX 自動生成 C 旋轉軸所有量測角度之量測路徑(probe 444)並匯入控制器，量測時，C 旋轉軸旋轉至每個量測角度時，執行量測路徑，量測測頭量測 5 顆標準球，並輸出所有量測點空間座標位置 (X, Y, Z) ，由方程式(2-2-1)及方程式(2-2-2)分析 C 旋轉軸幾何誤差；量測 B 旋轉軸時，無需額外調整 hole plate 架設，如圖 2-2-10(c)所示，由軟體 Siemens NX 自動生成 B 旋轉軸所有量測角度之量測路徑(probe 444)，量測時，B 旋轉軸旋轉至每個量測角度時，執行量測路徑，量測測頭量測 5 顆標準球，並輸出所有量測點空間座標位置 (X, Y, Z) ，由方程式(2-2-1)及方程式(2-2-2)分析 B 旋轉軸幾何誤差。

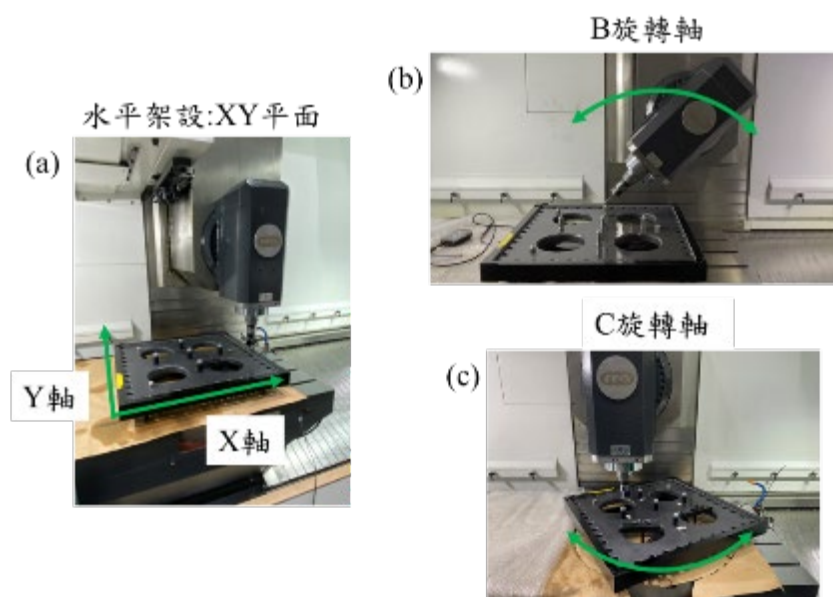


圖 2-2-10、hole plate 水平架設方向示意圖(a) 水平架設:XY 平面、(b) C 旋轉軸、(c) B 旋轉軸

圖 2-2-11(a) 為 hole plate 垂直架設，hole plate 安裝於 YZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 Y 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機之 Z 軸向，控制器軟體設定需先利用量測測頭，量測 hole 1 中心點座標位置，確認整個 hole plate 垂直架設於床台上空間位置，由控制器自動生成所有 hole 量測路徑(cycle 412)，量測座標座標位置(M_Y, M_Z)於 YZ 平面，圖 2-2-11(b)為 hole plate 於 XZ 方向，C 旋轉軸旋轉 90 度，hole plate 由 YZ 方向旋轉至 XZ 方向，以 hole plate 之 X 軸線對準於五軸工具機之 X 軸向，而 hole plate 之 Y 軸線則指向五軸工具機之 Z 軸，量測座標座標位置(M_X, M_Y)於 XZ 平面。

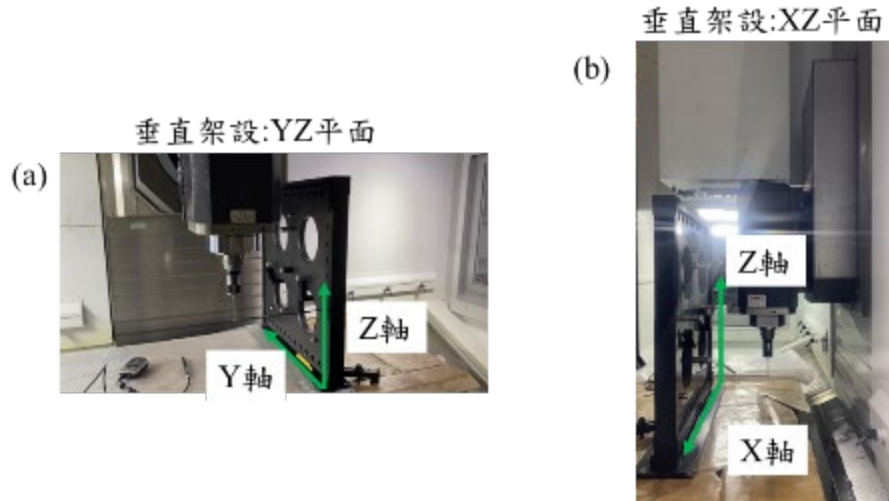


圖 2-2-11、hole plate 垂直架設方向示意圖(a) 垂直架設:XZ 平面、(b) 垂直架設:YZ 平面

三線性軸量測範圍為 550 mm × 550 mm × 500 mm 空間範圍，量測間距為 50 mm，C 旋轉軸量測範圍為 0° ~ 360°，量測角度間距為 30°，B 旋轉軸量測範圍為 -45° ~ 45°，量測角度間距為 15°，三線性軸 21 項幾何誤差分析結果整理於表 2-2-9，依據 ISO 230-2 定義^[2-2-3]，量測值(systematic positioning error of the axis, E)表示為每項幾何誤差量測範圍中，數據最大值減去數據最小值，18 項幾何誤差量測結果與雷射干涉儀(Renishaw XM-60)量測結果相互比較，線性誤差最大差異值為 3.83 μm，角度誤差最大差異值為 3.89"，C 旋轉軸 11 項幾何誤差分析結果整理於表 2-2-10，B 旋轉軸 11 項幾何誤差分析結果整理於表 2-2-11，B 旋轉軸角度定位幾何誤差分析結果(E_{BB})及 C 旋轉軸角度定位幾何誤差分析結果(E_{CC})與旋轉軸校正儀(Renishaw XR20-W)量測結果比較整理於表 2-2-12，差異值為 1.23"；所有分析結果與商用量測儀器量測結果結果進行比較，差異值皆符合 ISO 10791-4 規範^[2-2-3]及 CNS 15074-4 規範^[2-2-4]，角度定位誤差值需小於 10"，符合 ISO 10791-4 規範^[2-2-3]及 CNS 15074-4 規範^[2-2-4]，線性定位誤差值需小於 10 μm；根據表 2-2-9 至表 2-2-11 中 43 項幾何誤差量測結果，每項幾何誤差結果為量測 3 次之平均值，其中重複性最大值為 2.56 μm，由表 2-2-7 組合標準不確定度分析結果，得到組合標準不確定度評估結果為 2.6 μm，假設量測期間溫度變異為 ±6 °C 下，由 Monte Carlo Simulation 模擬方法分析溫度變異對於組合標準不確定度影

響，在模擬次數為 10,000 下，得到組合標準不確定度範圍為(2.0 ~ 14) μm ，符合計畫目標不確定度小於 20 μm 。

表 2-2-9、五軸工具機(第二台)三線性軸 21 項幾何誤差量測結果與雷射干涉儀(Renishaw XM-60)量測結果進行比較

項次	誤差項目	量測值		差異值
		hole plate	Renishaw XM-60	
1	E_{XX}	2.84 μm	3.60 μm	0.76 μm
2	E_{YX}	5.23 μm	2.50 μm	2.73 μm
3	E_{ZX}	3.71 μm	3.90 μm	0.19 μm
4	E_{AX}	3.35"	4.10"	0.75"
5	E_{BX}	4.88"	2.80"	2.08"
6	E_{CX}	3.57"	2.40"	1.17"
7	E_{XY}	5.37 μm	3.70 μm	1.67 μm
8	E_{YY}	6.53 μm	2.70 μm	3.83 μm
9	E_{ZY}	3.22 μm	1.90 μm	1.32 μm
10	E_{AY}	4.63"	3.30"	1.33"
11	E_{BY}	2.37"	1.40"	0.97"
12	E_{CY}	4.64"	1.20"	3.44"
13	E_{XZ}	4.49 μm	7.00 μm	2.51 μm
14	E_{YZ}	1.14 μm	2.00 μm	0.86 μm
15	E_{ZZ}	5.17 μm	4.20 μm	0.97 μm
16	E_{AZ}	5.79"	1.90"	3.89"
17	E_{BZ}	3.64"	1.00"	2.64"
18	E_{CZ}	3.68"	1.30"	2.38"
19	E_{COX}	1.81"	X	
20	E_{AOZ}	-6.23"		
21	E_{BOZ}	-2.42"		

表 2-2-10、五軸工具機(第二台)C 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果

項次	誤差項目		量測值	項次	誤差項目		量測值
1	位置相關 (angular position dependent)	E_{XC}	2.74 μm	7	非位置相關 (angular position independent)	E_{XOC}	0.02 μm
2		E_{YC}	1.96 μm	8		E_{YOC}	0.48 μm
3		E_{ZC}	1.54 μm	9		E_{AOC}	-4.07"
4		E_{AC}	1.86"	10		E_{BOC}	-1.95"
5		E_{BC}	2.14"	11		E_{COC}	4.14"
6		E_{CC}	1.70"				

表 2-2-11、五軸工具機(第二台)B 旋轉軸 11 項幾何誤差量測結果

項次	誤差項目		量測值	項次	誤差項目		量測值
1	位置相關 (angular position dependent)	E_{XB}	1.44 μm	7	非位置相關 (angular position independent)	E_{XOB}	0.20 μm
2		E_{YB}	1.24 μm	8		E_{ZOB}	0.23 μm
3		E_{ZB}	1.08 μm	9		E_{AOB}	1.28"
4		E_{AB}	2.55"	10		E_{BOB}	3.56"
5		E_{BB}	1.67"	11		E_{COB}	-0.10"
6		E_{CB}	2.25"				

表 2-2-12、五軸工具機(第二台)雙旋轉軸 2 項幾何誤差量測結果與雷射干涉儀(Renishaw XR-20W)量測結果進行比較

項次	誤差項目	量測值		差異值
		hole plate	Renishaw XR-20W	
1	E_{BB}	1.67"	2.90"	1.23"
2	E_{CC}	1.70"	1.60"	0.10"

發展技術全程操作時間為 4 小時，透過 Heidenhain 控制器量測程式(cycle 412)產生自動量測路徑後進行自動量測，三線性軸量測操作時間約 2.5 小時，旋轉軸量測，透過 Siemens NX 軟體產生量測路徑(probe 444)並匯入 Heidenhain 控制器，雙旋轉軸量測操作時間可於 1.5 小時完成;國內

工具機業者目前常採用方法，三線性軸幾何誤差量測使用 Renishaw 量測設備(XM-60)，量測參數為 18 項幾何誤差，操作時間約為 2.5 小時，且雙旋轉軸幾何誤差量測，則同樣使用 Renishaw 量測設備(XR20-W)，量測參數為 2 項幾何誤差，操作時間約為 1 小時，雖然大多商用儀器僅利用準確度僅說明儀器規格，然而不確定度需包含儀器及五軸工具機，Hole Plate 則是用不確定度進行評估，同時評估包含 Hole Plate 及五軸工具機兩者於量測流程中所有誤差源，因此利用不確定進行評估能更貼近實際量測情境，相關比較整理於表 2-2-13。

表 2-2-13、業者採用方法與發展技術比較表

量測設備	量測參數	量測時間	量測規格
Renishaw (XM-60、XR20-W)	三線性軸: 18 項幾何誤差 雙旋轉軸: 2 項幾何誤差	三線性軸: 2.5 小時 雙旋轉軸: 1 小時	線性準確度: ± 0.5 μm/m 角度準確度: ±1"
hole plate	三線性軸: 21 項幾何誤差 雙旋轉軸: 22 項幾何誤差	三線性軸: 2.5 小時 雙旋轉軸: 1.5 小時	標準不確定度: 0.5 μm(不含五軸工具 機)

【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加工尺寸量測技術-誤差分析，以 hole plate 作為線上標準件，參考國際規範 ISO 230-1(Test code for machine tools - Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions)，可直接量測五軸工具機 43 項幾何誤差，與商用儀器應用於幾何誤差，比較於表 2-2-7，而就使用便利性來討論，國內工具機廠商而言，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)，但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，使用上需重複架設且耗時(雷射干涉儀方式約需 1 天以上)，旋轉軸則為旋轉軸校正儀(Renishaw XR-20W)，僅能量測角度定位幾何誤差；至於 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，國內僅有研究或法人機構擁有此量測設備，且量測三線性軸及雙旋轉軸需 5 個工作天，量測時間耗時；因此，所發展之技術可突破此量測限制，僅需單一標準件，搭配五軸工具機中已有 3D 量測測頭，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，可完整量測及分析 43 項幾何誤差。

【本年度結論】

發展線上參考尺寸標準件 hole plate，尺寸為 550 mm × 550 mm，適用五軸工具機旋轉軸盤面小於 550 mm，並實際於友嘉五軸工具機進行實驗，完整分析整機 43 項幾何誤差，評估量測結果組合標準不確定度為 2.6 μm，由 Monte Carlo Simulation 方法，模擬量測期間溫度變異為 (24 ± 6) °C 下，分析結果組合標準不確定度為(2.0 ~ 14) μm，達到計畫目標小於 20 μm。

表 2-2-14、目前商用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/XR-20W(Renishaw)	線性軸: 21 項 雙旋轉軸: 2 項	線性軸準確度: ± 0.5 μm/m 旋轉軸準確度: ± 1"
LaserTRACER(eTALON)	線性軸: 21 項 雙旋轉軸: 20 項	量測不確定度: 0.2 μm
計畫發展技術	線性軸: 21 項 雙旋轉軸: 22 項	量測不確定度: 0.5 μm

(三) 計量數位化推動

本子計畫延續 110 年推動計量數位化技術發展之成果，以計畫中的參考標準件發展成果-PoCAS 為示範發展 PoCAS 數位校正。111 年度數位化則以具追溯之 hole plate 標準件，使用於五軸工具機之三線性軸幾何誤差量測為示範，將量測結果之“參數補償位置表”轉檔輸出成 XML 及 PDF 資料格式，藉由自行開發之工具機誤差補償人機介面，完成 hole plate 之幾何誤差控制器補償應用，並以實機方式驗證補償功能完成場域測試。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
計量資訊數位化實施例推廣	針對生產現場之機台及設備間產生的資訊斷接問題，可運用機器對機器的自動化協定，如 MTConnect 或 OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)，嘗試將量測設備與控制器(西門子 840D sl 或海德漢 TNC 640)進行連結。將 hole plate 產出之 XML 檔案量測結果匯入工具機控制器中進行誤差補償，透過由人機介面提供的簡易參數，藉此簡化誤差補償程序與縮短時間，有效整合廠內眾多硬體設備及應用系統，以利產業之數位化及智慧化之發展。	21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套 完成 hole plate 校正/量測結果輸出： -XML 檔案格式 -PDF 檔案格式 -工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體一套
工具機控制器之幾何誤差補償-場域試煉	將量測資訊匯入工具機控制器，使用自行開發之誤差補償人機介面，進行參數補償，並搭配計畫建立之 hole plate 標準件來進行補償效果確認	• hole plate 實際遊校，完成 21 項幾何誤差補償，場域試煉 1 處

【執行成果】

1. 完成 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套(查核點編號 B3-1)

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。無論工業 4.0、IoT 或是 AI，其衍生的商機持續不斷的獲得政府及業者的重視，目前德國聯邦物理技術研究所(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB)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滿足符合性評鑑機制，或是後續的市場監督管理。如何完整迅速完成工具機幾何誤差與分析，並藉由控制器補償效簡化工具機機台之補償程序是國內工具機產業的重要議題。PTB 規劃以全球既有的 SI 單位制度為基礎，將可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)作為共通數位資料交換格式，且訂定資料交換架構，讓各種機器能在滿足計量追溯的情況下，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。因此，本子項將參考國內工具機產業於線上校正及量測等相關計量技術發展的需求，延續 110 年度之數位化發展成果與具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術計畫成果，規劃在 111 年度將數位化發展技術成果應用至二維標準件-hole plate，擴充數位化實施案例。從單旋轉軸補償實例推廣至工具機整機線性軸幾何誤差補償實例。將量測技術應用延伸至工具機，將量測結果之參數補償位置表轉檔輸出成 XML 資料格式，其輸出的量測資料之 XML 檔案內容包含工具機機台型號、幾何誤差量測結果等相關資訊，待讀取 XML 資料後進行控制器連線設定，再使用自行開發之誤差補償人機介面，確

認參數補償位置表，輸入補償值、產生 NC 碼並寫入至控制器，藉此完成 hole plate 之幾何誤差補償。

如圖 2-3-1 所示，已完成 21 項線性軸幾何誤差之 XML 資料格式轉換程式 1 套，以 hole plate 量測 21 項幾何誤差結果為參考開發一資料格式轉換程式，其原本之量測數據輸出格式為 XLS 資料格式，藉由 XMLSpy 軟體針對量測數據進行建模及編輯，匯出 XML 檔案格式，該程式有利於之後下半年度進行場域試煉時，可在現場直接將量測工具機所得到之線性軸 21 項幾何誤差量測結果直接套入該程式簡化轉檔過程，以利進行後續補償程序作業。進而待讀取 XML 資料後直接執行控制器連線設定，再使用自行開發之誤差補償人機介面，確認參數補償位置表，輸入補償值、產生 NC 碼並寫入至控制器，藉此執行 hole plate 所量測工具機之幾何誤差進行參數補償，完成場域試煉。

目前市售量測儀器運用於工具機大部分是使用手動補償，以人工方式將偵測之誤差訊號，Key In 至各家控制器廠商中的補償表，因此在使用與判讀上，會有不便之處，因此本計畫將自動化補償技術搭配工具機量測技術，針對目前業界需求開發出一套自動化補償量測系統，有效簡化補償順序與時間。利用各家所控制器所提供的連結方式對機台進行以連線，例如：海德漢的 RemoTools SDK 函式庫、發那科的 FOCAS 函式庫，FANUC FOCAS 主要是提供開發者進行通訊並且應用於加工稼動率的監測，今年將透過 PMC 之 SKYMARS MEASURE 軟體整合多種不同控制器，透過連線對控制器上傳檢測路徑，並依讀取機台位置達到自動取樣的效果，再透過讀或寫各控制器 PLC 參數記憶體位置達到補償的作用。目前檢測路徑都是使用量測員在需檢測機台寫入檢測路徑，耗時又容易出錯，因此，即時補償系統將提供一個簡化的設定介面可消弭輸入錯誤的情形，以更便利的方式協助使用者進行補償值設定。控制器通訊方式會受到廠牌、款式、版本問題影響，需要各廠牌控制進行測試及驗證，為了因應各家控制器參數讀寫部分的差異，因此頁面有所差異，如海德漢控制器偏心誤差補償設定為 KINEMATIC 表，因此必須由 PC 對控制器下達下載 KINEMATIC 表，再勾選補償位置進行補償，再將 KINEMATIC 表回傳到控制器內，而發那科補償則是直接撰寫 PLC 參數位址即可達成補償效果。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，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，並以控制器西門子 840D sl 或海德漢 TNC 640 中進行誤差補償控制器作為示範例，藉此簡化誤差補償程序與縮短時間，有效整合廠內眾多硬體設備及應用系統，示範 hole plate 量測工具機之線性軸幾何誤差補償匯入控制器內，將有助於計量數位化推動。圖 2-3-2 之補償程序流程圖是以海德漢 TNC 640 控制器為參考對象，規劃於下半年實現之連線與補償方式，在使用 hole plate 進行量測線性軸 21 項幾何誤差後，透過委託 PMC 所開發之 SKYMARS MEASURE 軟體與控制器(例如：海德漢 #18 HEIDENHAIN DNC: communication over COM component)連線，將量測檔案進行計算及控制器補償格式轉換後，以 XML 格式的量測資訊匯入

至工具機控制器中進行參數補償，輸入至控制器使補償生效，大幅簡化傳統過程的繁複轉檔程序。今年針對工具機廠商配有西門子 840D sl 或海德漢 TNC 640 控制器之五軸工具機進行場域試煉，將 hole plate 量測工具機所得之 21 項幾何誤差結果進行參數補償，完成場域試煉。未來規劃應用至 FANUC 與三菱控制器，擴大發展技術應用範圍。

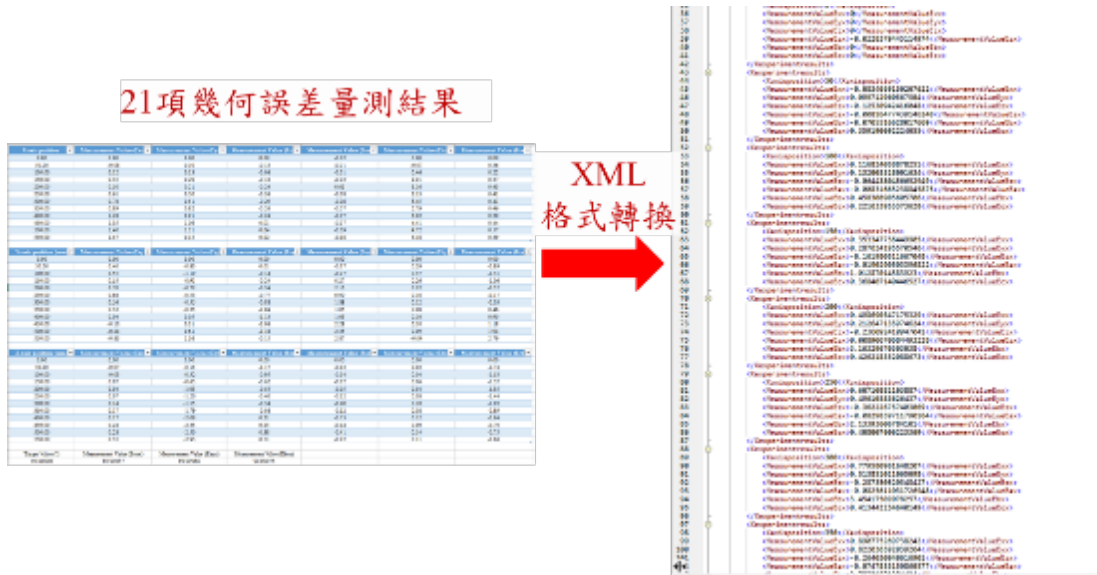


圖 2-3-1、座標量測儀 21 項幾何誤差量測數據格式轉換

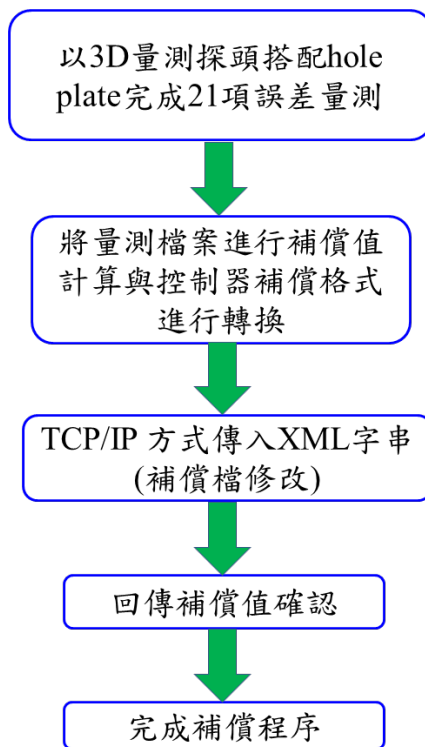


圖 2-3-2、線性軸 21 項幾何誤差補償之流程

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

因應數位化轉型及智慧製造的趨勢下，為了配合國內製造業與計量技術發展的需求，欲利用數位化計量資訊以實現品質管理。運用統一的數位資訊交換格式，建立資料交換架構，使得 IoT 內傳遞之計量資料皆具備“數位校正報告(Digital Calibration Certificates, DCC)”之特性，使各種硬體設備可在滿足計量追溯的情況下，直接使用該數位化資訊，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。如圖 2-3-3，PTB 提出之數位校正報告結構共由三個部分組成^[2-3-1]，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 International vocabulary of metrology Basic and general concepts and associated terms (VIM) 與 Guides to the expression of uncertainty in measurement (ISO GUM)、採用 Committee on Data for Science and Technology (CODATA)、符合 ISO/IEC 17025；第二個部分則是校正資訊所涵蓋之內容^[2-3-2]，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認可、電子簽章。雖然此計畫針對計量領域制定數位校正報告之架構，但由於其基於統一的數位資料交換格式進行資訊及數據的傳遞，對於生產製造與量測設備、生產製造相關管理系統等，也相對造成一定地影響。

如圖 2-3-3，參考 NMLD29 座標量測儀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，使用商用 XMLSpy 軟體針對 hole plate 輸出的量測數據進行建模及編輯，匯出之 XML 檔案格式如圖 2-3-4 所示，其中 XML 內容依據 PTB 於「DCC 2020 International Conference」研討會中所發表之資訊，含有行政管理資訊與量測數據兩項內容，可提供後續工具機控制器之誤差補償人機介面之開發使用。於人類可讀取方面，參照 PTB 所指示之文件編碼格式轉為 PDF(Portable Document Format, 可攜式語言格式)，系統主要藉由 MATLAB 語言撰寫建置完成，其系統執行步驟如下所示：首先，讀取 D29 座標量測儀校正系統所提供之資訊，依序讀入行政管理資訊如：待校件廠牌名稱、型號、序號、校正日期、執行校正的環境參數等，再將座標量測儀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：待校件廠牌、型號、序號、校正日期、執行校正的環境參數及量測值等。

The image shows the MATLAB Editor interface with the following code in the editor window:

```

1 -   clc;clear;
2 -   options.format = 'pdf';
3 -   options.showCode = false;
4 -   reportname='TestReport';
5 -   publish([reportname, '.m'],options);
6 -   %% open the file automatically
7 -   file=['html/',reportname, '.pdf'];
8 -   winopen(file)
9 -

```

The interface includes a ribbon with tabs for HOME, PLOTS, APPS, EDITOR, PUBLISH, and VIEW. The EDITOR tab is active, showing various editing tools like Insert, Comment, Indent, and Find. The PUBLISH tab contains Run, Run and Advance, and Run Section buttons. The file path is C:\Program Files\MATLAB\R2015b\bin. The editor window title is 'Editor - D:\DCC\Publish_0523_v2\run_pdf.m'.

(a)

The image shows the MATLAB Editor interface with the following code in the editor window:

```

1   %% National Measurement Laboratory
2
3   % (MONOSPACED 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   Discription={ 'FELLER'; 'UB660'; 'SF017'; '20221026'; '(26.0 ± 1.0) °C'; '(50 ± 10) %' };
7   covT1 = table(Discription,CoverData_title);
8   covT2 = table(Discription, '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
17  xx={'X_axis' 'Exx' 'Eyx' 'Ezx' 'Eax' 'Ebx' 'Ecx'};
18  data = xlsread('HolePlate_data3.xlsx','Sheet 1', 'A2:G13');
19  CalT2=array2table(data, 'VariableNames', xx);
20  disp(CalT2);
21
22  xx={'Y_axis' 'Eyx' 'Eyy' 'Ezy' 'Eay' 'Eby' 'Ecy'};
23  data = xlsread('HolePlate_data3.xlsx','Sheet 1', 'A16:Q27');
24  CalT2=array2table(data, 'VariableNames', xx);
25  disp(CalT2);
26
27  xx={'Z_axis' 'Exz' 'Eyz' 'Ezz' 'Eaz' 'Ebz' 'Ecz'};
28  data = xlsread('HolePlate_data3.xlsx','Sheet 1', 'A30:Q41');
29  CalT2=array2table(data, 'VariableNames', xx);
30  disp(CalT2);
31

```

The interface includes a ribbon with tabs for EDITOR, PUBLISH, and VIEW. The EDITOR tab is active, showing various editing tools like Insert, Comment, Indent, and Find. The PUBLISH tab contains Run, Run and Advance, and Run Section buttons. The file path is C:\Program Files\MATLAB\R2015b\bin. The editor window title is 'Editor - D:\DCC\Publish_0523_v2\run_pdf.m'.

(b)

National Measurement Laboratory

	Discription
Manufacturer	'FELLER'
Model	'UB660'
Serial No.	'5F017'
Date of calibration :	'20221026'
Ambient Temp.	'(26.0 ± 1.0) °C'
Relative Humidity	'(50 ± 10) %'

Calibration Results and Description

X_axis	Exx	Eyx	Exz	Eax	Ebx	Ecx
0	0	0	0	-0.022	0	0
50	-0.083	0.099	-0.125	-0.008	-0.07	0.359
100	0.116	0.132	-0.064	-0.008	0.458	0.221
150	0.353	0.287	-0.161	-0.019	1.012	0.368
200	0.498	0.212	-0.236	0.008	3.163	0.426
250	0.607	0.496	-0.362	-0.082	2.133	0.408
300	0.779	0.513	-0.287	-0.082	3.454	0.413
350	0.89	0.822	-0.264	-0.074	2.793	0.464
400	1.284	0.912	-0.243	-0.066	3.021	0.196
450	1.351	1.062	0.01	-0.165	4.411	0.438
500	1.395	1.213	0.043	-0.092	4.718	0.569
550	1.571	0.151	0.021	-0.157	5.164	0.387

Y_axis	Eyx	Eyy	Ezy	Eay	Eby	Ecy
0	0	0	0	0	0	0
50	0.402	-0.83	0.013	-0.366	0.29	-0.894
100	0.546	-1.19	-0.142	-0.265	0.373	-1.313
150	0.546	-0.905	-0.238	0.274	0.26	-1.062
200	0.702	-0.721	-0.337	2.132	0.223	-0.566
250	0.883	-0.527	-0.767	0.9	0.156	-0.174
300	0.557	-0.545	-0.876	1.882	0.116	-0.029
350	0.32	-0.25	-1.044	1.049	0.076	0.462
400	0.04	0.048	-1.133	1.027	0.096	0.9
450	-0.095	0.311	-1.056	2.279	0.103	1.183
500	-0.241	0.611	-1.181	2.351	0.086	1.937
550	-0.828	1.361	-0.15	2.871	-0.039	2.794

Z_axis	Exz	Eyz	Ezz	Eaz	Ebz	EcZ
0	0	0	0	0	0	0
50	-0.067	-0.15	-1.169	-0.132	0.025	-1.744

(c)

圖 2-3-5、人類可讀取之量測資料系統(PDF)

3. 完成工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體一套(查核點編號 B3-3)

完成工具機控制器 21 項線性軸幾何誤差自動補償的機制與軟體 1 套，以友嘉實業提供之海德漢控制器 TNC 640 為連線對象進程式撰寫與測試，使用 C#進行工具機與控制器連線程式之撰寫，人機介面軟體以 TCP/IP 方式對控制器建立連線、匯入及補償。執行 hole plate 量測之 21 項

線性軸幾何誤差後，運用此人機介面軟體執行 hole plate 量測計算後之 21 項線性軸幾何誤差 XML 檔進行匯入的動作，並且透過此人機介面軟體，進行控制器補償檔格式的轉換及將補償檔匯入至控制器進行幾何誤差補償，測試結果可成功將 hole plate 實測得到之 21 項線性軸幾何誤差補償數據，傳輸至控制器對應的節點位置。如圖 2-3-6，以 C#工程軟體針對 hole plate 之 21 項線性軸幾何誤差補償的軟體功能與介面開發進程式碼之撰寫，人機介面功能有對控制器連線功能確認、讀取 XML 幾何誤差補償檔、控制器補償檔格式轉換及補償檔格式上傳至控制器等功能。如圖 2-3-7，以人機介面軟體針對 hole plate 量測之幾何誤差 XML 檔案進行檔案讀取，並且將原本量測所得之 21 項線性軸幾何誤差 XML 檔案格式轉換成海德漢控制器 21 項線性軸幾何誤差之 kco 補償檔，補償檔格式轉換如圖 2-3-8 所示。

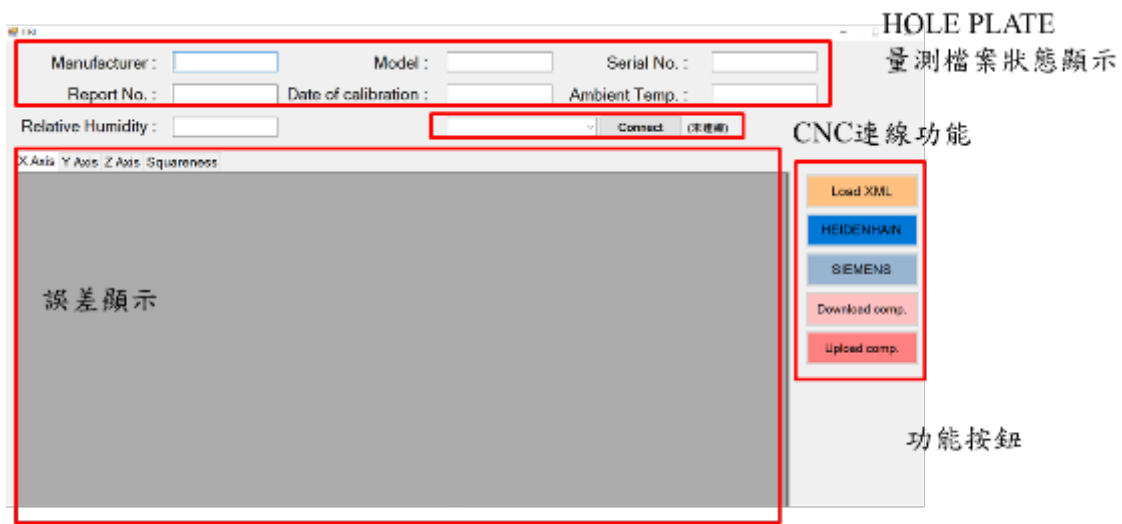


圖 2-3-6、人機介面軟體功能

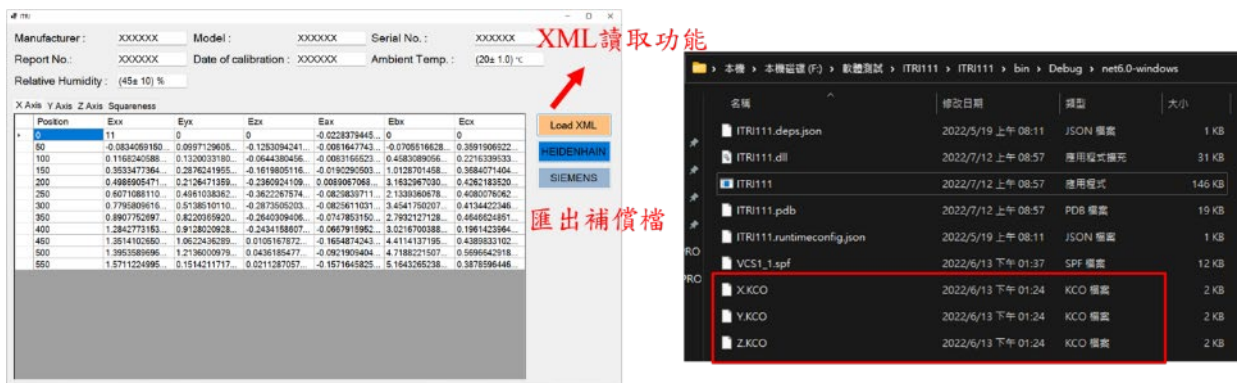


圖 2-3-7、人機介面量測數據格式轉換

XML 檔-XYZ三軸量測誤差內容

Position	Err	Eye	Ear	Err	Eye	Ear	Err	Eye	Ear
50	-0.013449195	0.009712903	-0.125504241	-0.059164743	-0.070051628	0.009190622	0.000000000	0.000000000	0.000000000
100	0.116204698	0.132031190	-0.054430466	-0.091194324	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
150	0.252341794	0.281524193	-0.161905116	-0.073023953	1.072070458	0.004671624	0.000000000	0.000000000	0.000000000
200	0.408802447	0.431747139	-0.266024169	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
250	0.567100616	0.600153382	-0.362267674	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
300	0.726802646	0.811881910	-0.457406263	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
350	0.887075967	0.922336930	-0.546604064	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
400	1.047747193	0.912623938	-0.634818867	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
450	1.207412556	0.962320439	-0.691607677	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
500	1.366282666	1.121020379	-0.606195177	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
550	1.524124896	0.915421177	0.021128767	0.157164503	0.164202528	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000

X.KCO/Y.KCO/Z.KCO 檔案內容

Position	Err	Eye	Ear	Err	Eye	Ear	Err	Eye	Ear
50	-0.013449195	0.009712903	-0.125504241	-0.059164743	-0.070051628	0.009190622	0.000000000	0.000000000	0.000000000
100	0.116204698	0.132031190	-0.054430466	-0.091194324	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
150	0.252341794	0.281524193	-0.161905116	-0.073023953	1.072070458	0.004671624	0.000000000	0.000000000	0.000000000
200	0.408802447	0.431747139	-0.266024169	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
250	0.567100616	0.600153382	-0.362267674	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
300	0.726802646	0.811881910	-0.457406263	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
350	0.887075967	0.922336930	-0.546604064	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
400	1.047747193	0.912623938	-0.634818867	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
450	1.207412556	0.962320439	-0.691607677	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
500	1.366282666	1.121020379	-0.606195177	-0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
550	1.524124896	0.915421177	0.021128767	0.157164503	0.164202528	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000

量測誤差轉換為補償值



圖 2-3-8、補償檔格式轉換

4. 完成 hole plate 實際遊校，場域試煉 1 處(查核點編號 B3-4)

以計畫中的線上尺寸參考標準件 hole plate 為示範，進行數位化實施案例，與國內指標工具機廠友嘉實業合作，將「線上尺寸參考標準件」技術與「計量數位化推動」技術於友嘉實業進行商用場域試驗，友嘉實業的五軸工具機機型為 UB-660 及控制器型號為海德漢 TNC 640。將 hole plate 於五軸工具機線性軸幾何誤差量測結果，藉由自行開發計量資訊交換之人機介面，完成 hole plate 之幾何誤差控制器補償。如圖 2-3-9 所示，首先架設 hole plate 於五軸工具機上，量測時需將 hole plate 於機台上進行不同方向架設及量測，並依據演算法進行量測數據之統計與分析，此處演算法是由齊次座標轉換矩陣推導，建立工具機與 Hole plate 兩者之間的座標關係，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，依序分析出垂直度誤差、定位誤差、直度誤差及角度誤差。進行計畫數位化推動場域試驗時，首先參考 PTB 規劃之可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)作為共通數位資料交換格式，讓各種機器能在滿足計量追溯的情況下，完成 XML 量測檔案之讀取及對海德漢控制器進行 21 項誤差補償檔案格式轉換，透過海德漢控制器# 18 功能建立空間補償位置及路徑及# 52 通訊功能進行資料上傳，如圖 2-3-10 所示。如圖 2-3-11 所示，進行 21 項誤差補償參數位數確認，經測試後可補償至小數點後七位數，滿足業界到小數後 4 位數之需求，僅補償單向量測結果，不補償反向及背隙，最大補償效果為 X 軸線性幾何誤差，由±20 μm 降低至±2 μm。圖 2-3-12 為本執行計劃與現有補償方式比較圖，藉由本研究計畫完成線上尺寸參考標準件 hole plate 量測技術與控制器通訊技術整合，協助產業串流數位計量資訊至智慧化系統，進而協助提升國內工具機加工業者之加工品質。今年度實際完成以三線性軸補償檔以 XML 格式，進行控制器補償檔轉換，未來由今年度三軸發展成果延伸至五軸，擴大發展技術應用範圍，更貼近產業需求。



圖 2-3-9、實機測試，進行五軸工具機量測



圖 2-3-10、實機測試，進行 XML 量測檔案讀取格式轉換上傳

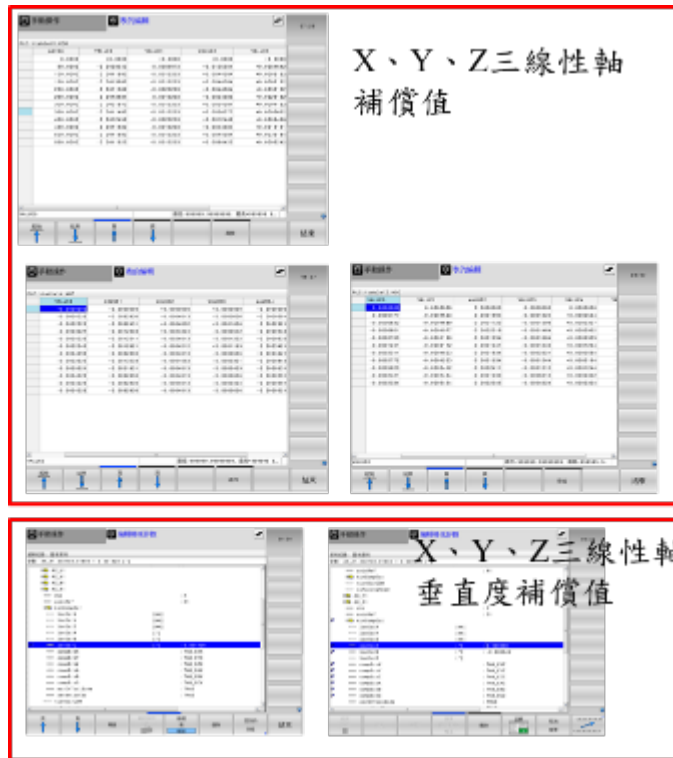


圖 2-3-11、實機測試，補償參數確認



圖 2-3-12、執行計畫與現有補償方式比較

【突破瓶頸】

由於業界對五軸工具機幾何誤差之補償方式，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，但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- hole plate 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，提供一套自行開發之工具機誤差補償人機介面，以更便利的方式協助使用者即時進行補償值設定，降低人為輸入錯誤的發生率，提升業界加工產能與效率。

【本年度結論】

本年度完成工具機 21 項線性軸幾何誤差補償人機介面軟體，完成量測報告以 XML 及 PDF 資料格式輸出，達成人機介面可讀取 21 項線性軸幾何誤差 XML 檔案格式及進行補償檔案格式轉換與檔案上傳至控制器之目標，於友嘉實業進行場域試驗，在計量追溯的情況下實現即時補償功能，滿足國內計量技術發展需求。

三、產業線上量測標準商用場域試煉

(一) 力量感測器校正技術

●祥固有限公司

祥固有限公司目標開發之具國際競爭力之震撞指示器產品，震撞指示器可貼在產品外包裝上，當物流公司配送途中，可顯示易碎產品在運輸或存放期間受到的潛在破壞性撞擊，從而防止誤操作並減少與損壞有關的成本。廠商預計開發出觸發加速度介於 5 g ~ 50 g 之七種規格震撞指示器，精準度(Accuracy)小於 15 %。

震撞指示器需要透過實驗驗證震撞指示器能夠在理想的加速度之下觸發，因此需要建立一測試平台，本研究根據所開發之技術建立一震撞指示器測試平台，協助廠商進行震撞指示器商品之測試，可用於驗證最大觸發加速度規格可達 80 g 之震撞指示器。

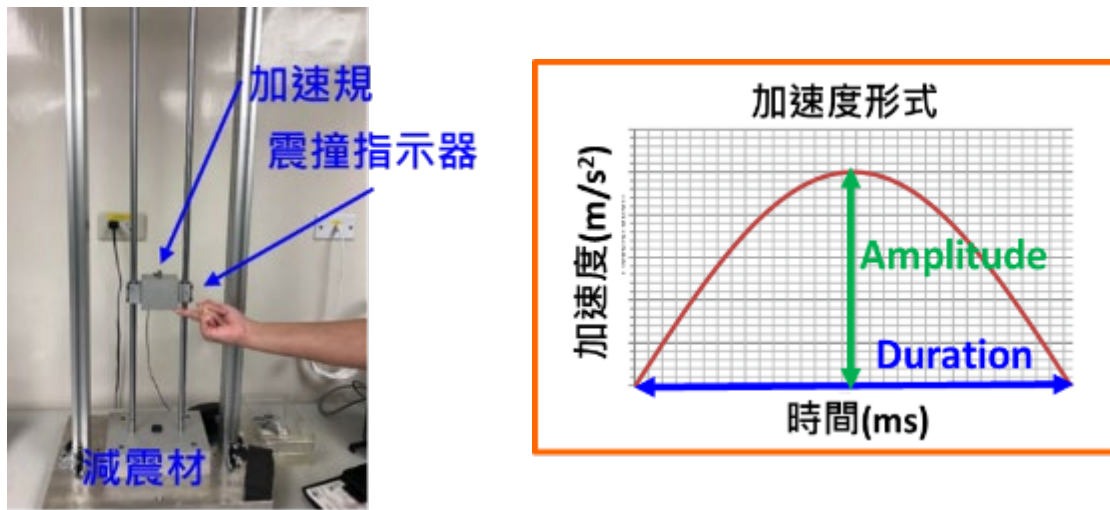


圖 3-1-1、震撞指示器測試平台及震撞指示器受觸發所顯示之加速度形式示意圖

(二) 機械聲音之聲學麥克風校正技術導入場域

• 台灣電力公司

台灣電力公司配合政府推動再生能源發展，積極建置與發展風力發電機，目前，台電擁有全臺數量最多的陸域風力發電機，風場分布全臺。風機長期於沿岸運轉，高溫、高濕及高鹽份的氣候條件，使得風機葉片表層容易損耗，屬於需定期維護保養的關鍵零組件，如果疏於維護可能會影響發電效率，嚴重可能導致設備損毀（圖 3-1-1）。現有風機葉片檢測倚賴資深人員進行人工診斷，但人工檢測有聽覺疲勞問題，誤判機率高，且巡檢作業必要時需將機組停止運作，嚴重影響綠能供電效率。產業需要一個快速篩檢的方式，輔助風機葉片的運轉維護工作，損傷判定準確率至少 80%。

本計畫所開發之機械智能聲音特徵檢測技術利用聲學感測器感知設備關鍵組件（葉片）之運轉狀態，開發損壞檢測演算法，比較正常與損壞葉片的聲音特徵（圖 3-1-2）。並將聲音標準導入機器學習理論，自主開發分類模型，建立現場標準量測方法，設法從中找出設備發生故障前的先期徵兆，提早進行預防保養，降低設備非預期性故障所造成的龐大損失。相關技術可作為風場葉片巡檢作業使用，降低人力資源消耗，提升損傷判斷準確率。

本技術提供風機葉片自動化檢測服務，協助業者完成線上損傷檢測，檢測過程無須停機；每架次的檢測時間從原本的 30 分鐘縮減為 5 分鐘，由於檢測時間的縮短，可將原先兩個月一次的巡檢頻率，提升為每兩周進行一次，藉由更頻繁的例行性檢查，有效掌握每架風機的葉片健康狀況，適時安排修補作業，延長設備壽命。



圖 3-1-2、風機葉片損毀案例

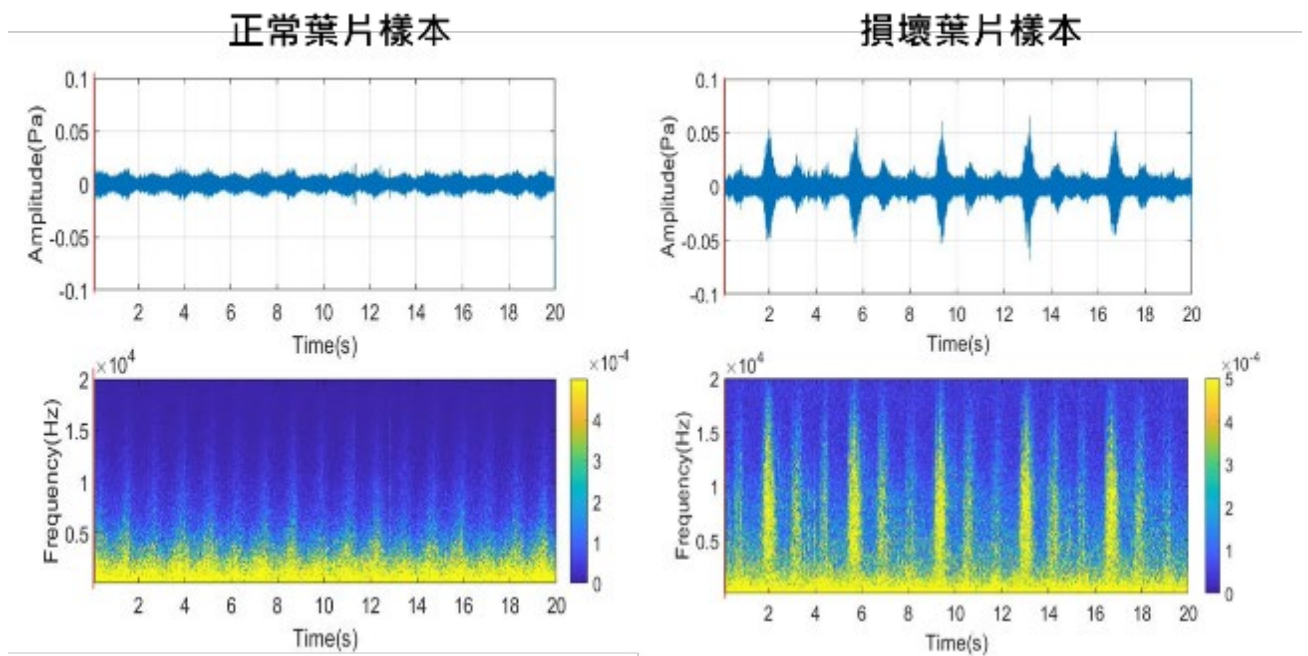


圖 3-1-3、風機葉片聲音特徵比較

(三) 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術

• 福宮通商

福宮反應視覺 3D 尺寸量測儀器的量測結果無追溯性，量測客戶提供的工件時，只能比對客戶提供工程圖上的尺寸，若量測結果有差異，無法確認是儀器量測準確度的問題，還是客戶工件加工精度的問題。因此，運用計畫建立之視覺感測器 3D 量測之線上校正技術評估儀器的準確度，確保準確度符合規格，滿足廠商儀器管理之要求。

此計畫導入遵循國際規範設計的球桿標準件與校正流程技術。球桿標準件經過 NML 座標量測儀校正得到標準值，再依照校正流程使用福宮儀器量測球桿標準件，協助評估福宮儀器。圖 3-1-4 為場域試煉現場拍攝照片。



圖 3-1-4、福宮通商試煉現場拍攝照片

依循校正流程量測球桿標準件，可得到福宮儀器(實驗儀器)的器差最大為 0.051 mm，重複性為 0.016mm。經由校正結果確認儀器是否符合出廠時規格，了解儀器量測的準確度，提升福宮客戶對於儀器的信心。搭配定期進行校正，確認校正結果是否在最大容許誤差範圍內，提升儀器量測的可靠度。

(四) 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術

• 友嘉實業

五軸工具機之工件尺寸線上量測及空間精度，受限於機台幾何誤差，以至於線上量測準確度及空間精度無法提升，現有五軸工具機幾何誤差量測，使用 Renishaw 雷射干涉儀(XM-60、XR20-W)及 Renishaw ballbar QC20，僅能量測 23 項幾何誤差，發展線上尺寸參考標準件(hole plate)建立尺寸線上量測評估方法，及分析完整五軸工具機 43 項幾何誤差，量測時只需將刀具轉換為量測測頭，僅用單一標準件，即可提升線上量測準確度及空間精度；商用場域試驗於友嘉實業進行，量測機台為五軸工具機，搭配 3D 量測測頭(廠牌: Heidenhain TS 460)及海德漢控制器(型號: TNC 640)，尺寸參考標準件 hole plate 架設於五軸工具機旋轉軸上，控制器需要預先規劃量測路徑，經由 3D 量測測頭量測 hole plate 中每個孔洞座標位置及標準球座標位置，即

可分析完整五軸工具機 43 項幾何誤差，未來可做為國內工具機廠商整機幾何誤差量測技術，提升線上量測準確度及空間精度。

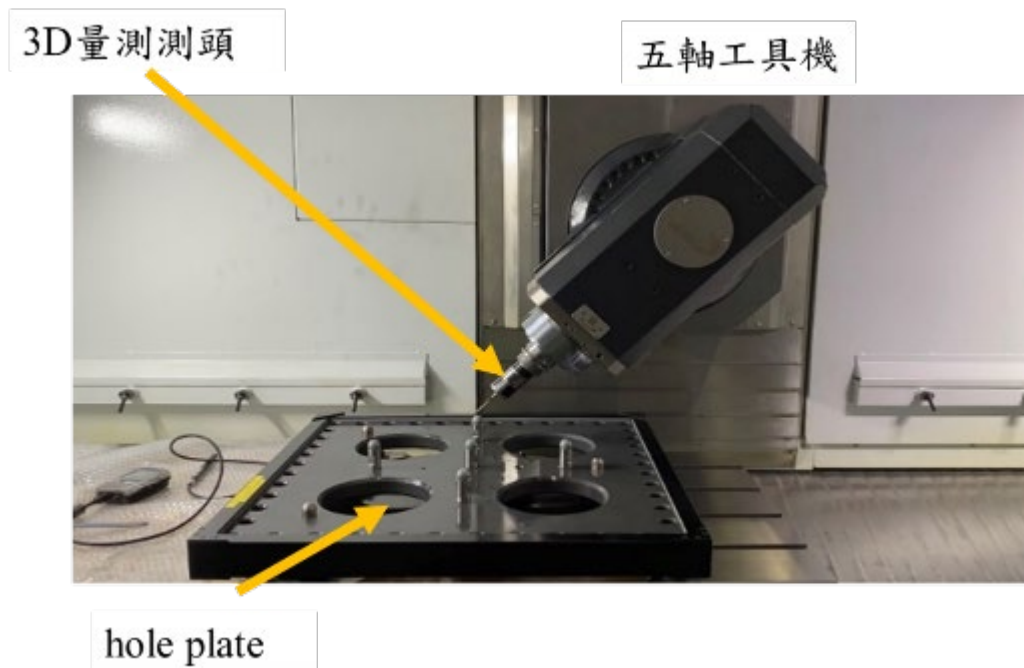


圖 3-1-5、友嘉實業五軸工具機

(五) 計量數位化推動

• 友嘉實業

目前市售多軸工具機量測儀器皆只能產生量測數值或量測趨勢曲線，儀器之量測結果格式無法直接匯入設備進行補償，進行工具機誤差數值補償大部分是使用手動輸入，以人工方式將計算之補償資訊輸入至各家控制器廠商開放的補償表，易造成輸入錯誤，造成斷刀、撞機等意外事故，因此在使用與判讀上有不便之處，因此本計畫將自動化補償技術搭配工具機幾何誤差量測技術，針對目前業界需求開發出一套自動化補償量測系統，有效簡化補償順序與時間。

本計畫 111 年度將數位校正之成果延伸至 110 年具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術計畫，以計畫中的參考標準件發展成果-hole plate 為示範。透過 C#開發一套具人機介面的工具機線性軸即時校正系統，除了能大幅減少使用的操作難度外，同時能即時補償空間幾何誤差，進而提高加工業者之產能。本計畫以控制器海德漢 TNC 640 中進行誤差補償控制器作為示範，整合硬體設備及應用系統，將可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)作為共通數位資料交換格式，且訂定資料交換架構，讓各種機器能滿足計量追溯。以人機介面將量測檔案進行補償格式轉換後，將 XML 格式的量測資訊匯入至控制器中實現即時補償，經測試後可將參數補償至小數點後七位數，僅補償單向量測結果，不補償反向及背隙，最大補償效果為 X

軸線性幾何誤差，由 $\pm 20\ \mu\text{m}$ 降低至 $\pm 2\ \mu\text{m}$ ，此人機介面能讓使用者可以藉由此介面設定系統參數，並且自動補償工具機幾何誤差，可適用於主流控制器廠牌，如 HEIDENHAIN、SIEMENS，人機介面具有下述功能。

- (一) 支援海德漢控制器 TNC 640 控制器連線功能
- (二) 可以讀取 Hole plate 所產生之 21 項幾何誤差 XML 檔案格式
- (三) 可以進行控制器補償檔案格式轉換功能
- (四) 將 21 項線性軸精度補償值寫入至控制器相應參數表位置

由 hole plate 量測工具機所提供之 XML 檔案格式，透過人機介面模組進行資料交換，並取代傳統人工手鍵輸入之麻煩工序，對於線性軸 21 項幾何誤差補償值輸入至控制器，可從 30 分鐘縮短至僅 5 分鐘左右，且不用擔心人為輸入錯誤。

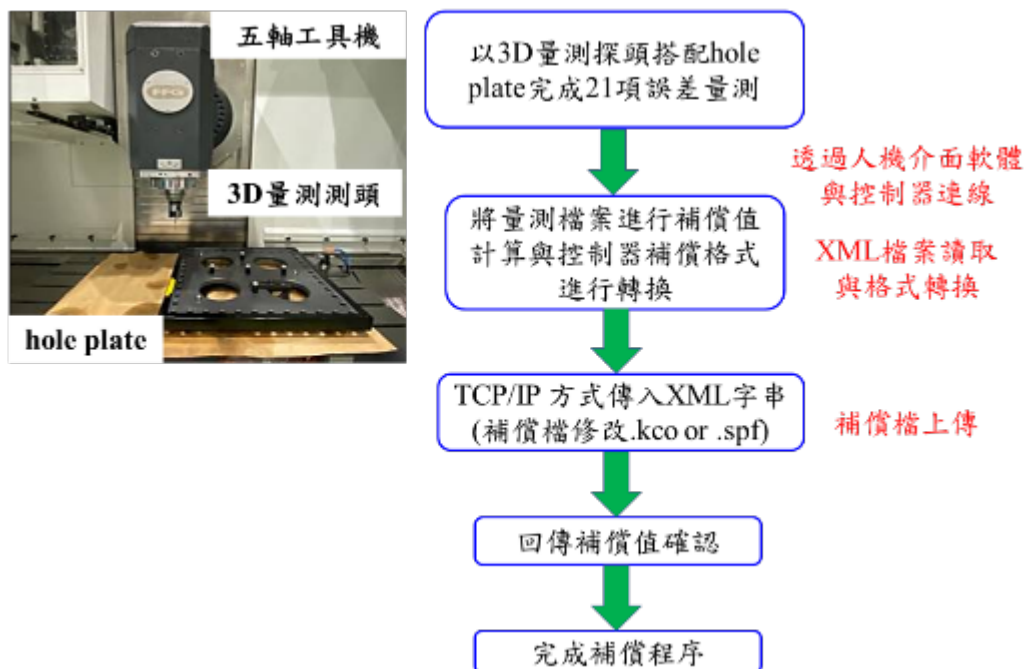
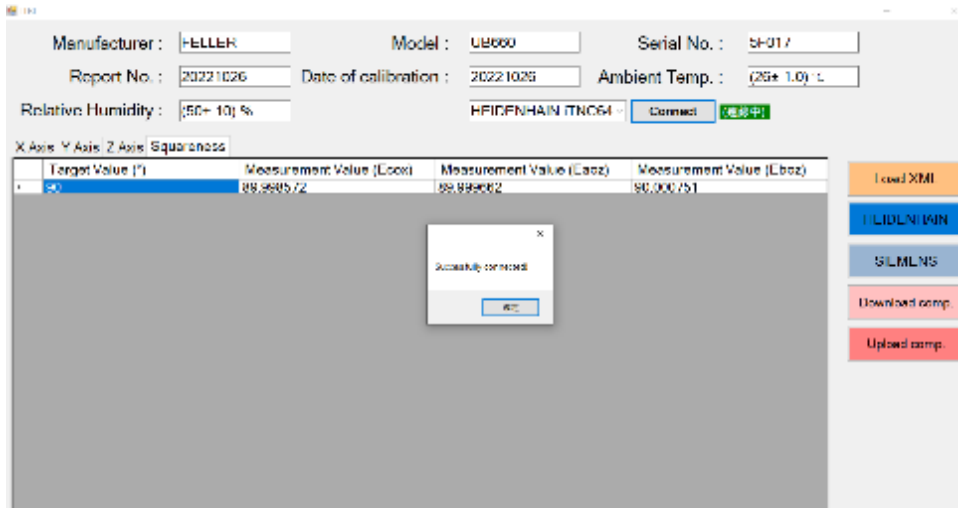
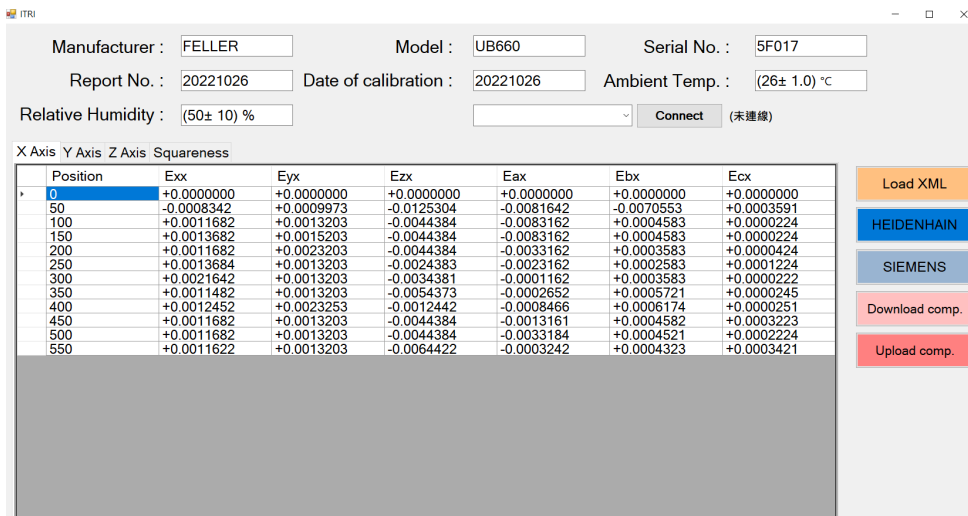


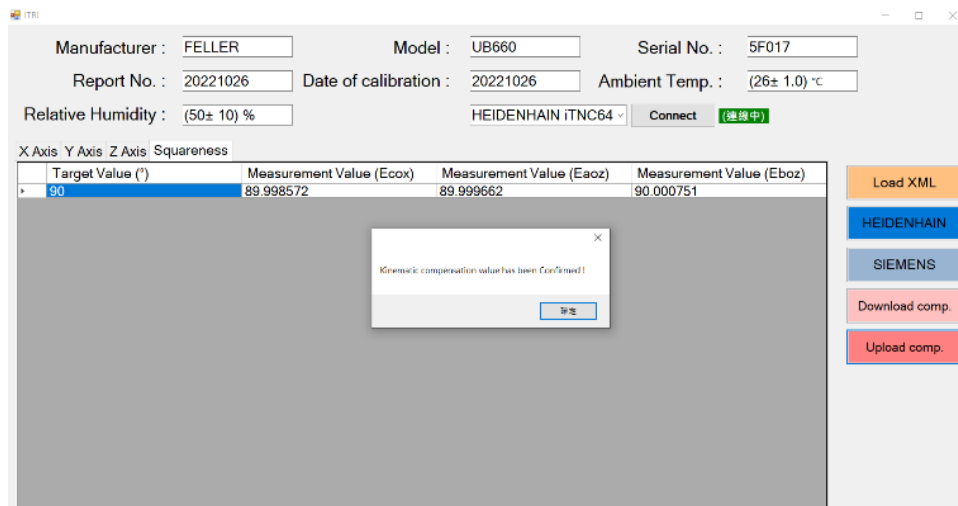
圖 3-1-6、儀器輸出補償檔及連線控制器進行補償之流程



(a) 控制器連項狀態確認



(b) XML 檔案格式讀取結果



(c) 幾何誤差上傳補償檔案數值確認功能

圖 3-1-7、計量數位化於工具機線性軸量測推動成果

四、本年度技術亮點

(一) 視覺 3D 尺寸量測儀器之量測不確定度評估技術

為建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正能力，本子計畫開發視覺 3D 尺寸量測儀器校正技術，包含校正程序建立及量測不確定度評估技術發展，並參考 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 規範，滿足業界視覺 3D 尺寸量測儀器的校正追溯需求。目前的推廣規劃為輔導馬路科技成立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正實驗室，取得 TAF、ILAC 認證，提供視覺 3D 尺寸量測儀器(ATOS 儀器)年度校驗服務，預計每年服務 20~30 套儀器之校正追溯，並縮短校驗時程(如圖 4-1-1，原送校德國原廠校正時程須 1 個月)，未來亦可提供 3D 尺寸量測儀器使用者(如裕隆、長榮等國內汽車及航太製造廠商)送校需求。



圖 4-1-1、國內儀器校正追溯現況

為建立視覺 3D 尺寸量測儀器之校正能量，滿足現行(1600 ~ 3300) mm 拼接空間體對角線量測範圍之儀器校正，本計畫亦參考標準規範進行 3D 球桿標準件尺寸設計，目前設計 3D 球桿標準件之球距為 1000 mm，另球徑尺寸為待校儀器單一空間體對角線的 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。最終選用的設計如圖 4-1-2、選用外徑 50 mm 的實心碳纖維連接桿，降低環境溫度變化而有熱膨脹效應造成之影響，並用艾利點(Airy point)設計支撐點，使兩端點可為最小變形量。

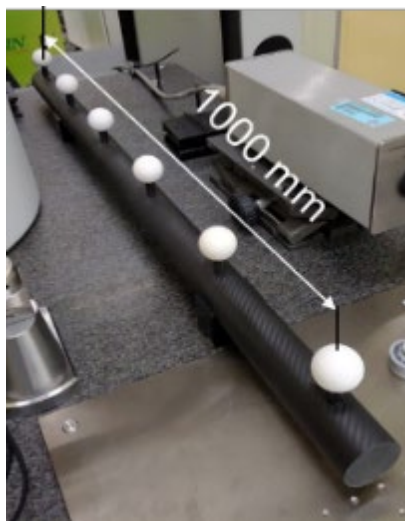


圖 4-1-2、3D 球桿標準件

本計畫產出之視覺 3D 尺寸量測儀器校正程序報告與量測不確定度評估研究報告，亦參考相關國際規範(VDI/VDE 2634、ISO 10360-13)細項，並依據國家度量衡實驗室對校正系統評估經驗設計校正程序與評估研究報告，可提供廠商操作人員參考，進行視覺 3D 尺寸量測儀器之校正方法及步驟。同時可供新進人員教育訓練及提升技術能力之使用。程序需考慮校正人員、機台量測原理與規格、標準件清潔、環境溫度等因素來撰寫校正程序。評估流程主要為球桿標準件與環境影響因素之不確定度分析(如圖 4-1-3)，相容於現行 ISO 10360-13、VDI/VDE 2634 之國際規範，實現校正計量之量測不確定度傳遞目的，滿足 TAF 實驗室認證。

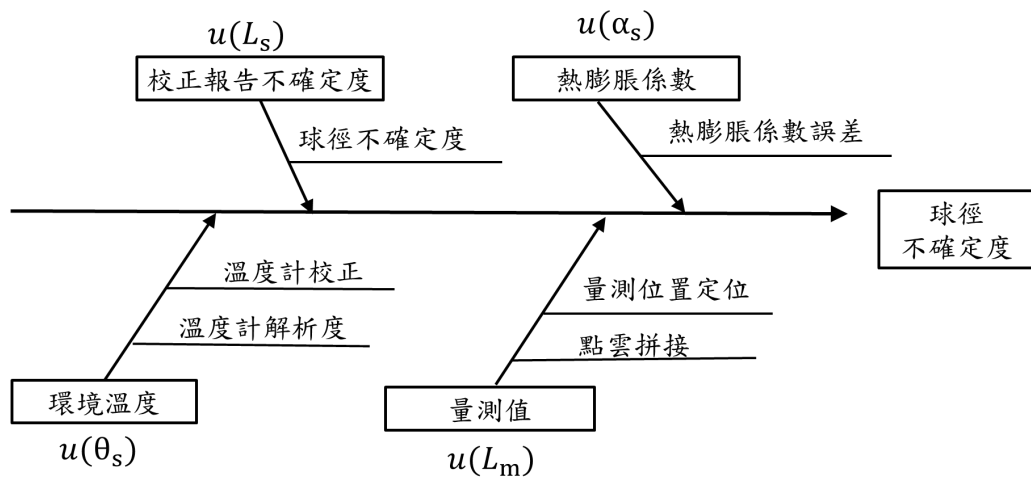


圖 4-1-3、量測不確定度來源魚骨圖範例

(二) 五軸工具機線上量測幾何誤差補償技術

國外五軸工具機大廠如 DMG MORI 及 MAZAK，已將 43 項幾何誤差量測列為高階五軸工具機整機量測流程中，國內五軸工具機廠商如友嘉實業，受限於現有商用量測設備與量具，無完整分析 43 項幾何誤差(三線性軸:21 項及雙旋轉軸 22 項)之量測儀器應用於整機規格量測，目前常使用幾何誤差商用量測設備為 Renishaw 雷射干涉儀(Renishaw XL-80、Renishaw XR20-W 及 Renishaw XM-60)，量測使用上需搭配多套量測設備使用且需要更換不同光學鏡組，只能提供 23 項幾何誤差(三線性軸:21 項及雙旋轉軸 2 項)，難以達到歐日工具機大廠規格(規格:10~20 μm)。

計畫發展線上尺寸參考標準件(hole plate)，量測使用上，搭配線上量測測頭，可量測分析整機 43 項幾何誤差(三線性軸:21 項及雙旋轉軸:22 項)，並於友嘉廠內五軸工具機進行測試，評估結果於溫度變異為 $(24 \pm 6)^\circ\text{C}$ 下，組合標準不確定度範圍為 $(2.0 \sim 14) \mu\text{m}$ ；此外，與國內五軸工具機廠商永進機械合作，將發展技術應用於特定五軸工具機機型，將線上尺寸參考標準件(hole plate)簡化為敏捷式查核件，量測關鍵垂直度幾何誤差，並進行控制器誤差補償，另外，將 43 項幾何誤差分析方法，整合至組裝產線 MES(Manufacturing Execution System)系統，從應用於整機幾何誤差

量測，延伸至組裝產線量測，結合物聯網雲國際平台，蒐集組裝量測數據，進行幾何誤差分析，提升組裝精度及延長精度使用壽命。

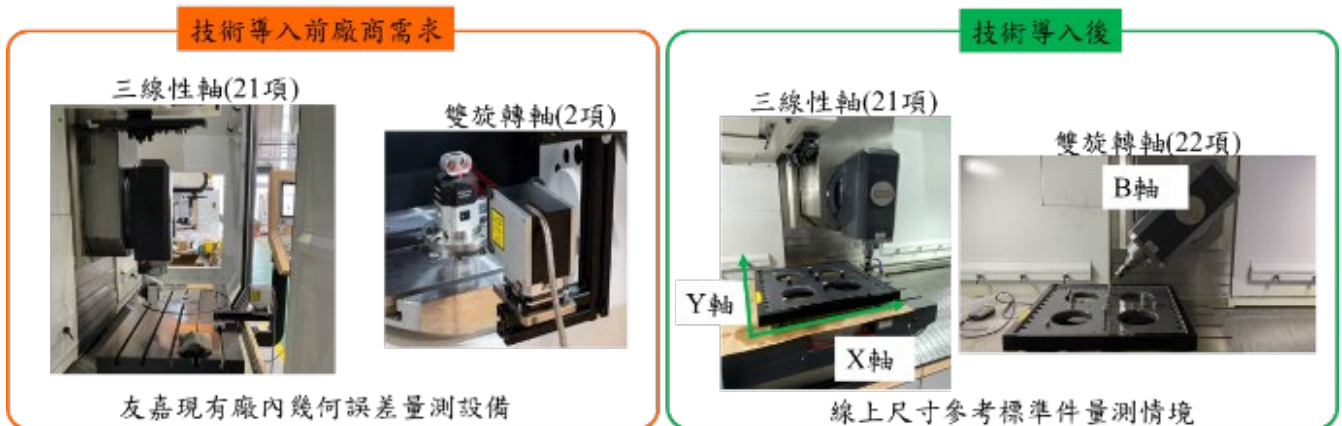


圖 4-1-4、友嘉實業案例說明

(三) 迴轉工作台量測技術

目前國內智慧機械廠商，使用高精度環形編碼器多選用國外大廠如 Heidenhain 及 Renishaw，已經有國內廠商投入高精度環形編碼器研發如大銀微系統，環形編碼器組裝完成後，需檢測環形編碼器角度誤差(規格: 5)，目前廠內缺少單獨檢測環形編碼器角度誤差量測設備，當環形編碼器安裝於旋轉軸內，例如上銀科技製作旋轉軸，需將環形編碼器角度誤差補償至旋轉軸控制器；此外，德國兩大旋轉軸廠商如 Kessler 及 Peiseler，近年來，陸續發表高速旋轉軸(最高轉速至 1500 rpm)產品，上銀科技也投入高速旋轉軸，高速旋轉時需特別量測偏轉速度作為產品規格檢測。

計畫發展環形編碼器校正系統及開發迴轉工作台量測系統，解決環形編碼器角度誤差量測需求及高速旋轉時偏轉速度量測需求，由國家度量衡標準實驗室提供大銀微系統環形編碼器角度誤差值，進行控制器補償，提升角度精度，安裝至上銀科技高速旋轉軸內，由迴轉工作台量測系統內轉速感測器及偏擺速度感測器，量測不同轉速下，確認偏擺速度量測值(規格: 10 $\mu\text{m/s}$)；此外，與國內五軸工具機廠商東台精機合作，由發展技術可攜式角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, PoCAS)，應用於中科院多軸旋轉平台(Gimbal)，量測各軸轉動角度誤差，包含多軸旋轉平台組裝量測及定期量測維護。

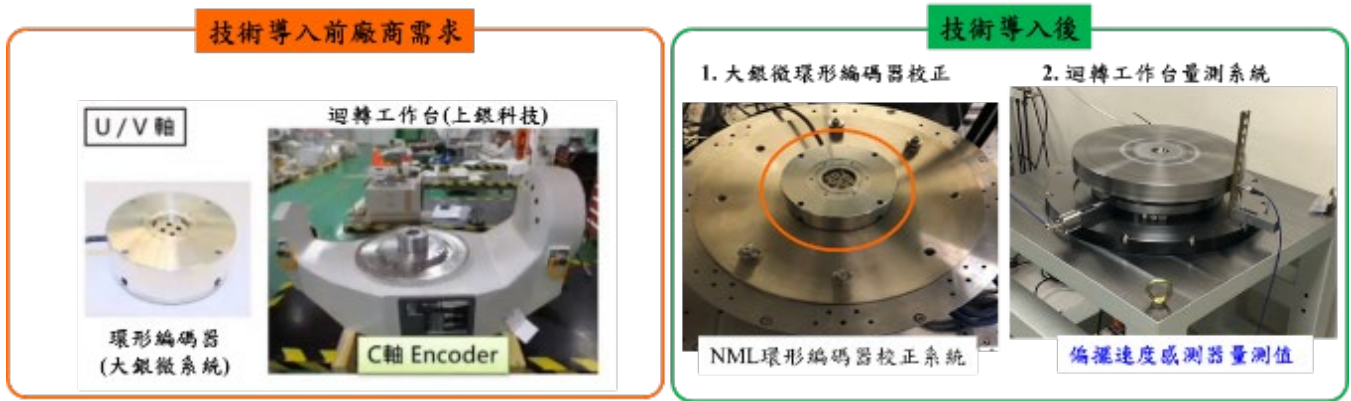


圖 4-1-5、大銀微系統及上銀科技案例說明

(四) 工具機單/雙旋轉軸線上快速量測技術

規格：

完成非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術之量測評估，使用單一標準件及追蹤式雷射干涉儀，可分析雙旋轉軸全部 16 項幾何誤差，以蒙地卡羅法進行不確定度評估，角度誤差之量測不確定度皆小於 0.6"、線性誤差之量測不確定度皆小於 0.3 μm 。

導入成果說明：

非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術應用於雙旋轉軸產品組裝量測流程，以單一標準件追蹤式雷射干涉儀作為標準件，參考 ISO 230-7 國際標準，可直接量測雙旋轉軸中 16 項幾何誤差。而既有工廠端量測方法，需搭配不同量具及標準件，且無法量測雙旋轉軸全部幾何誤差，標準件及量具本身誤差及重複性，有著角度約 10"、長度約 10 μm 的量測極限，因此，所發展之技術可突破此量測限制。

此技術已向上銀科技推廣，作為產品組裝時標準量測技術，確保產品生產穩定性，透過“非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術”的開發，可在生產現場直接利用追蹤式雷射干涉儀，無須大型工具機，於組裝鞍座上直接進行量測、調整，協助工具機雙軸旋轉軸的組裝人員進行旋轉中心及其他幾何誤差(共 16 項)的量測與調整，同時，降低角度類誤差的量測不確定至 1"、線性類誤差的量測不確定至 2 μm ，組裝人員後續可透過該數據判定是否需要重新調整旋轉中心之位置或旋轉軸之傾斜角度；此外，非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術特點為單一標準件且無須任何移動平台作為量測基準，相較於現有商用量測設備(如 eTALON 及 IBS 等)量測雙旋轉軸時，需移動平台或無法量測全部幾何誤差等限制，發展技術可突破現有商用量測儀器使用限制，因此品管人員也可參考此數據，就各軸於角度及線性誤差表現進行判斷，確保產品性

能符合產品規格。而此技術發展於 108 年也促成上銀集團以「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。

非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術，具單一標準件之特點，架設簡易且快速量測方法，而工廠端既有量測方法，需搭配不同標準件及量具，如直角規及千分錶等，發展之技術可持續推廣並提供國內工具機旋轉工作台製造商，進而協助業者提升工具機整機組裝品質。

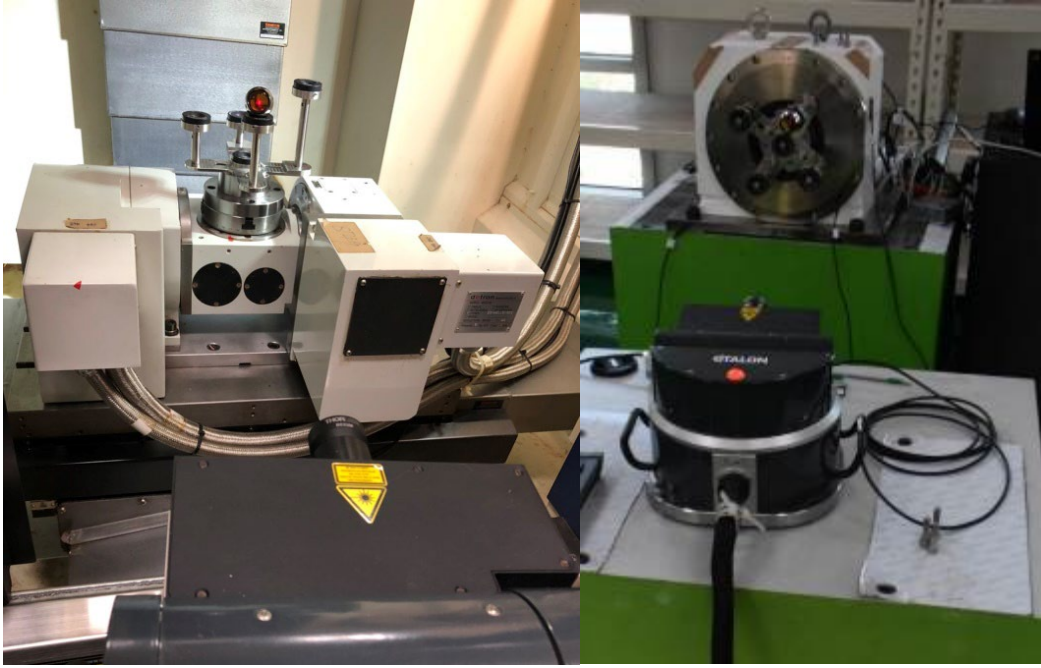


圖 4-1-6、非接觸式單/雙旋轉軸幾何誤差線上量測與分析技術之現場量測示意圖

(五) 黑體溫度線上校正擬真器

技術導入前：

傳統的黑體爐校正方式需將待測物拆卸後送至實驗室進行，大約需要 3 天左右的時間，會影響到廠商的產能。此外，傳統黑體爐因高溫熱對流容易造成準確度大於 3 °C 的問題，而且因黑體爐體積龐大(64 cm × 50 cm × 55 cm)以致無法在現場使用，同時有高溫危害(962 °C 以上)及高耗電產生的風險。每年定期的校正追溯不只在時間上曠日廢時，高溫校正開爐耗材、以及舟車往返等成本也偏高。此外，現場感測器對位困難耗時，拆裝機又不方便。為因應產業需求，工研院在經濟部標準檢驗局支持下，開發「黑體溫度線上校正擬真器」，可大幅改善廠商在校正所需的成本及時間。

技術導入後：

黑體溫度線上校正擬真器可降低廠商校正費用、運送成本與停機檢修時間。實現現場端即時溫度量測校正，有效縮短送校時間，並於 5 分鐘內完成即時校正，縮短校正時間 95%，且無熱對流問題，並免除因設備拆裝所造成之量測變異能，準確度誤差小於 0.5 °C，提升準確度 80%，此

設備採用高功率光源，發熱量低 ($< 32^{\circ}\text{C}$)、降低耗能 99 %。手持式校正設計，體積縮減 92 %。黑體擬真器可應用於高溫鋼鐵產業溫度儀器校正，撓曲的光纖光導管設計，解決感測器對位困難，實現無拆裝與快速對接校正。即使處於環境或溫度條件較惡劣之情況，亦可執行現場量測。

成果:

黑體溫度線上校正擬真器可提供各類型輻射溫度計即時校正需求及準確度壽命狀態，並且符合國家淨零碳排政策，能滿足高頻率 Plan-Do-Check-Act (PDCA) 循環式品質管理以及降低檢測成本。具備方便、直覺且符合人體工學等優勢設計，可提至現場校驗。有助於焚化爐、火力發電廠以及三代半導體高溫長晶良率的關鍵溫度需求，具體達到節能減碳的目的。



圖 4-1-7、黑體溫度線上校正擬真器未來的擴大應用

(六) 機械聲音智能特徵檢測技術

風力發電機長期於沿岸運轉，嚴苛的氣候條件導致風機葉片表層容易損耗，屬於需定期維護保養的關鍵零組件，如果疏於維護可能會影響發電效率，嚴重可能導致設備損毀。

根據風場營運商之經驗分享，風機葉片檢測屬於快速篩檢之工作，如能有效在不停機的狀態下得知零組件健康狀態，對於提升發電效率、控制成本皆有非常大的幫助。國內目前風機葉片異音檢測仍倚賴線上人員每個月進行人工判斷，損壞判定準確率約 70 %。但人工檢測有聽覺疲勞問題，人耳對超高頻或極低頻的聲音不敏感，可能導致判別失誤。且人工聽覺診斷之技術人員培養不易，需耗費大量的企業成本培育專業的技術人員。若能在線即時檢測和以人工智能分析機械設備的當前狀態，則可以隨時、科學、有效地揭示機械設備當前的工作狀態，事先安排修補作業，延長風機設備使用壽命，避免不可逆的零組件損壞發生。



圖 4-1-8、風力發電機葉片損毀案例

本計畫所開發之機械智能聲音特徵檢測技術利用聲學感測器感知設備關鍵組件（葉片）之運轉狀態，比較正常與損壞葉片的聲音特徵。並將聲音標準導入機器學習理論，自主開發分類模型，建立現場標準量測方法，設法從中找出設備發生故障前的先期徵兆，提早進行預防保養，降低設備非預期性故障所造成的龐大損失。相關技術可作為風場葉片巡檢作業使用，降低人力資源消耗，提升損傷判斷準確率。本技術提供風機葉片自動化檢測服務，協助業者完成線上損傷檢測，檢測過程無須停機；每架次的檢測時間從原本的 30 分鐘縮減為 5 分鐘，由於檢測時間的縮短，可將原先兩個月一次的巡檢頻率，提升為每兩周進行一次，藉由更頻繁的例行性檢查，有效掌握每架風機的葉片健康狀況，適時安排修補作業，延長設備壽命。



圖 4-1-9、風力發電機葉片運轉聲音檢測

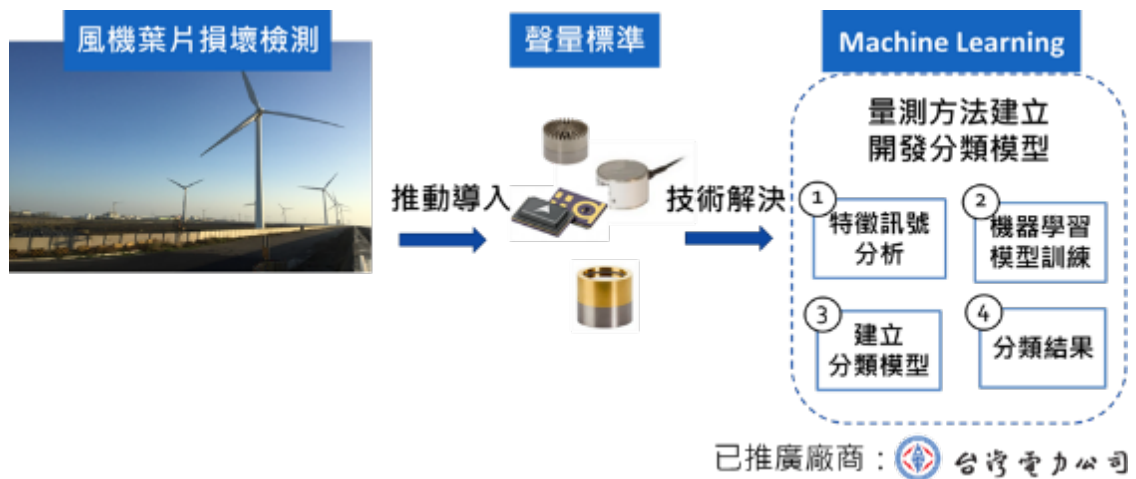


圖 4-1-10、機械聲音智能特徵檢測技術應用

本計畫先選定屬於旋轉機械的陸域風力發電機作為驗證對象，透過聲音特徵檢測技術之建立，有效辨識風機葉片損壞，驗證技術可行性。未來期望將此技術擴展應用至工具機產業，根據設備運轉特性調整感測器布置位置、演算法，以聲音的非接觸式量測優勢，滿足不同旋轉機械檢測需求。

五、技術推廣影片

為推廣本計畫之技術應用，共拍攝 6 部主要技術推廣影片，技術名稱如下：

- 視覺感測器 3D 量測之線上(In-Process)校正技術
- 力量感測器校正技術
- 工具機線上(In-Process)校正技術-計量數位化推動
- 機械聲音特徵檢測技術
- 非接觸式溫度量測之線上校正服務(黑體溫度線上校正擬真器)
- 工具機線上(In-Process)校正技術-二維標準件(hole plate)

六、後續技術與系統成果應用與服務之擴散規劃

整體計畫面仍持續以座談會、研討會等進行廣宣，同時與 PMC、金工中心、智機中心等合作，直接與產業進行連結，將量測技術深耕於產業，各技術項目後續之應用與服務擴散規劃如下：

- 動態力量量測技術：技術成果除提供產業對於力量傳感器之動態力靈敏度校正服務外，將與計畫執行中所訪視之廠商進行技術應用推廣，包含力量傳感器的動態效應測試與動態力量測系統的建置輔導等。

- 機械智能聲音特徵檢測技術：本計畫先以陸域風力發電站作為測試場域，開發後端分析演算法，進行技術可行性驗證，後續此技術可導向巡檢/監測設備開發，進行現場即時檢測。此技術後續也可針對不同旋轉機械的運轉特性，進行其它設備異音檢測/監測之應用。
- 視覺感測器 3D 量測之線上校正技術：協助視覺儀器相關廠商完成 TAF 實驗室建立，並將校正技術推廣，讓 3D 視覺感測器使用者在量測時更具信心，也讓 3D 視覺感測器應用在更多產業之產線上，尤其是大型加工件居多的航太產業。
- 具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術：持續推廣讓更多工具機業者能完成 43 項幾何誤差量測與分析，得以與國外工具機大廠之檢測能力相當，未來亦可將量測分析結果整合至組裝產線(MES)系統上，提升組裝精度及達品質長效之效果。
- 計量數位化推動：此技術後續會配合計畫所開發之標準件如二維標準件(Hole Plate)及可攜式角度參考標準件(PoCAS) 來推動將可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)作為共通數位資料交換格式，並嘗試整合至業者組裝產線(MES)系統上或進行機台健康監測過程資料交換時之使用格式。

七、委託執行情況

本年度計畫委託各單位持續進行瞭解產業界需求並進行相關成果技術推廣，各委託項目與工作成果如下說明。

(一) 全國工業總會：智慧機械計量政策與產業發展推廣服務

本計畫智慧機械產業及其他相關產業計量政策與技術領域宣導與溝通事項等，以向廠商進行量測標準或技術發展之推廣。

- 協助佈達商品列檢及檢驗規定制修訂訊息至相關公會與業者。
- 於產業雜誌刊登「法定度量衡器檢定合格單導入 QR code 介紹」，與產業進行宣導。
- 發送意見調查表至 158 位會員公會轉知業者，彙整意見調查表，並進行相關數字之統計分析，協助調查國內產業碳排放階段性查證之需求。
- 推動業者訂閱「TBT 資訊暨強制性商品檢驗規定資料庫」，以定期寄送 WTO/TBT 通知文件，協助業者掌握各國之技術性法規，並針對中國大陸進口食品境外生產企業註冊管理規定之進度及意見，通知相關公會其涉及我國重要出口產品之 WTO/TBT 通知文件清單；於工總經貿服務網完成刊登國外汽車產業及能源轉型重要計量技術與法規；於經貿服務網及產業雜誌刊登意見調查表，並發送至 158 個會員公會，協助了解業者較少使用我國與其他國家簽署相互承認協議(MRA)之原因，彙整並分析調查表；辦理「泰國強制性驗證 TISI 認證檢驗流程線上說明會」協助我國業者充分瞭解泰國之檢驗制度，以節省業者檢測成本及作業時程。

- 辦理「智慧讀表資訊整合格式規範線上說明會」協助國內智慧讀表產業掌握未來民生用表智慧讀表發展方向與相關技術規範。

(二) 精機中心:智機產業技術推動及服務

本計畫為整合國內工具機及相關零組件產業能量，綜整國內專家學者與指標性廠商之建議，分析國內外產業趨勢及臺灣相關零件廠商能量，盤點國內可能必要發展之工具機及相關零組件產業技術項目，規劃後續技術應用與發展策略，並鏈結公協學會及各廠進行諮詢與線上量測標準與校正技術推動。

- 結合相關法人、學者專家組成服務團隊，針對工具機及相關零組件業者進行需求訪視，瞭解廠商技術需求，輔導廠商技術升級，包括：工具機線上校正、智慧生產檢測技術，從智慧機械感測器與關鍵零組件的準確與溯源展開，建立其線上校正技術與計量標準，並掌握業者對相關技術的實際需求與技術期待；透過問卷調查方式，共收集 21 家次廠商，並分析其線上量測標準與校正需求。
- 協助 3 項草案進行「徵求意見」及「審查」兩階段工作，標準草案為切削中心機之試驗條件—第 1 部：具水平主軸(水平 Z 軸)機器之幾何試驗、切削中心機之試驗條件—第 6 部：速率及內插之準確度與積層製造檔案格式(AMF)第 1.2 版之規範，共計辦理 14 場次審查會議。
- 協助計畫技術成果真正落實於工具機產業，完成技術導入工具機製造直接相關之廠商應用 5 家次，產業服務收入金額為新台幣 112.6 萬元整(含稅)。
- 辦理「智慧機械產業智慧化線上計量標準建置計畫專家座談會」1 場次，本次活動分享計量標準建置計畫以及分享與討論產業界對於線上量測技術之期許與需求，並交流相關對於產業提升之建議同時，以祈提升台灣工具機產業建立線上量測與即時校正能量。會中總共 27 個單位，共計 27 人次參加，其中產業界共 20 個單位，主辦及承辦共 3 個單位，公會及推動辦公室共 4 個單位，學界共 1 個單位。
- 辦理「工具機的幾何精度檢測技術應用分享工作坊」1 場次，鎖定精度議題，安排介紹工具機的幾何精度觀念與量測經驗分享、數位化檢測量具導入與傳統量測方法的原理差異及結果比較，透過探討線性軸導軌組裝允收值分析對空間精度的影響，讓參與廠商瞭解工具機精度檢測技術的重要性，也介紹及推廣工研院量測中心所發展之技術，供現場與會廠商來賓了解相關計量技術，同時透過現場經驗交流，讓參與廠商可以重新檢視廠內工具機精度檢測方式的適切性，有助於提升工具機加工品質及加工效率，進而增加臺灣工具機產業的整體競爭力。會中總共 15 個單位共 30 人次參加。

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	17.6	16.5

- 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
111	預計	15.85	1.49	0.22	0	0	4.76	7.97	2.5	2.37	-	17.6
	實際	10.24	2.92	2.76	0.58	0	4.95	8.94	1.67	0.94	0	16.5

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	23,000,000	35.51	23,000,000	39.61
(2)管理費	5,497,000	9.44	5,497,000	9.47
(3)其它直接費用	24,621,000	42.29	24,621,000	42.41
2.公費	259,000	0.45	259,000	0.45
經常支出小計	53,377,000	91.69	53,377,000	91.94
(二)資本支出				
1.土地				
2.房屋建築及設備				
3.機械設備	4,789,000	8.22	4,630,277	7.97
4.交通運輸設備				
5.資訊設備				
6.雜項設備				
7.其他權利	50,000	0.09	49,800	0.09
資本支出小計	4,839,000	8.31	4,680,077	8.06
合計(A)	58,216,000	100.00	58,057,077	100

• 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}	5,000,000	5,000,000	
	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		5,000,000	5,000,000	

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	依立法院決議事項刪減計畫經費，由原編列新臺幣 6,181 萬元，變更後經費為新臺幣 5,821 萬 6,000 元。	111.3.7 工研量字第 1110004027 號	111.3.11 經標四字第 11100531700 號
2	檢送第一次計畫變更後之已用印契約書(含計畫書)正本二份副本八份至局，並獲局同意。	111.3.24 工研量字第 1100005212 號	111.3.31 經標四字第 11000021010 號函
3	因應計畫執行人員離職、育嬰假、單位內轉調，調整執行人員名單，辦理計畫執行人員變更	111.7.7 工研量字第 1110013793 號	111.7.14 經標四字第 11100050350 號
4	因應計畫執行人員離職及新進，調整執行人員名單，辦理計畫執行人員變更	111.9.27 工研量字第 1110019909 號函	111.9.30 經標四字第 11100071960 號
5	因應計畫專利獲證，辦理資本門項下之機器儀器設備科目預算流用 50 千元至其他權利科目，以支應專利獲證。	111.11.16 工研量字第 1110024072 號	111.12.1 經標四字第 11100707470 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	8
	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	7
	G.專利	專利獲證	0	1
	H.技術報告及檢驗方法	技術報告 (含 ICT/MSVP 撰寫修訂)	7	13
	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	26
	J1.技轉與智財授權	技術/專利運用收入(元) ^{註2}	5,000,000	5,000,000
	S2.科研設施建置及服務	量測標準系統擴建(套)	2	2
擴建系統部分設備(套)		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	3
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)	680,000	680,000
	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	15

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。

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) ISO/ASTM 52915:積層製造檔案格式(AMF) 1.2 版、(2) ISO 10791-1:切削中心機之試驗條件-第 1 部:具水平主軸及(3) ISO 10791-6 切削中心機之試驗條件-第 6 部: 速率及內插之精準度。

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	端點尺寸量測系統	工研院 量測中心	台	1	USD 146,195	1	廠牌: Pratt & Whitney Measurement Systems, Inc. 型號: LabMaster Universal Model 1000M

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 111.12.1 經獲 3 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	1	-	-	2	6	13	-	-	-	-	-	-	-	18	26	16	73	1	52	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

◎全年度累計簽約金額計 7,149,195 元，繳庫 5,000,000 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	訊號擷取分析驗證技術運用服務	璽合康股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「訊號擷取分析驗證技術」進行振動感測器的性能評估，提升產品量測結果的一致性。	235,000	235,000	141,000	111	
2	五軸工具機幾何誤差量測及組裝公差智慧化分析計畫	台中精機股份有限公司	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，工廠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，滿足標準件需校正追溯需求。	183,000	183,000	109,800	111	
3	實驗室品質管理及校正／測試系統建置暨顧問服務計畫	馬路科技顧問股份有限公司	技術授權	利用計畫發展之視覺3D尺寸量測系統校正技術輔導廠商發展其量測儀器之校正實驗室能量。	238,095	238,095	150,357	111	
4	尺規 Scale Bar 長度量測技術運用	漢翔航空工業股份有限公司	技術授權	運用標準球距量測技術，協助廠商進行廠內球桿標準件尺寸量測。	192,000	192,000	115,200	111	
5	奈米壓痕液下環境與拉伸機械性質量測技術運用服務	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，客戶利用該技術，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	108,000	108,000	64,800	111	

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
				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。					
6	聲學音場性能驗證技術運用服務	景笙有限公司	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。	153,000	153,000	91,800	111	
7	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「訊號擷取分析驗證技術」進行聲學量測儀器的性能評估，提升產品檢測結果的一致性。	453,600	453,600	272,160	111	
8	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「訊號擷取分析驗證技術」進行聲學量測儀器的性能評估，提升產品檢測結果的一致性。(一分項提供，待收到會計報表後確認)	150,000	150,000	90,000	111	
9	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「訊號擷取分析驗證技術」進行聲學量測儀器的性能評估，提升產品檢測結果的一致性。	385,000	385,000	231,000	111	

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
10	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「訊號擷取分析驗證技術」進行聲學量測儀器的性能評估，提升產品檢測結果的一致性。(一分項提供，待收到會計報表後確認)	180,000	180,000	108,000	111	
11	軌道光學式建築限界量測設備國產化開發設計	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，研發中心內座標量測儀中不同尺寸標準件，追溯至技術項目所需之尺寸標準件，滿足標準件需校正追溯需求。	1,050,000	1,050,000	850,483	111	
12	座標量測儀之量測不確定度評估能力輔導	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	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，研發中心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，滿足標準件需校正追溯需求。	330,000	330,000	198,000	111	
13	遊憩海域安全動態資訊監測系統之環境電磁場測試	聚恆科技股份有限公司	技術授權	運用計畫建立之「電磁場量測技術」的產業應用案。廠商利用該技術，進行遊憩海域安全動態資訊監測系統之環境電磁場測試，以確保監測系統周遭之環境電磁場強度	300,000	300,000	180,000	111	

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
				符合相關規範的限制值，確保在該環境中民眾的安全。					
14	非接觸式遠紅外線評估技術運用服務	南臺學校財團法人南臺科技大學	技術授權	運用計畫建立之「非接觸式遠紅外線評估技術運用」的產業應用案，廠商利用該技術，使用於產品在紅外波段之效能管理，解決其量測問題、滿足量測結果之計量追溯需求。	123,750	123,750	74,250	111	
15	非接觸式遠紅外線評估技術運用服務	南臺學校財團法人南臺科技大學	技術授權	運用計畫建立之「非接觸式遠紅外線評估技術運用」的產業應用案，廠商利用該技術，使用於產品在紅外波段之效能管理，解決其量測問題、滿足量測結果之計量追溯需求。	123,750	123,750	74,250	111	
16	EMC 場地特性量測技術運用	弘安科技股份有限公司	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。	120,000	120,000	72,000	111	

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
17	線上加工尺標準件量測技術自我運用	台灣麗馳科技股份有限公司	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，工廠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，滿足標準件需校正追溯需求。	214,000	214,000	214,000	111	
18	線上加工尺標準件量測技術自我運用	毅德機械股份有限公司	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，工廠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，滿足標準件需校正追溯需求。	214,000	214,000	214,000	111	
19	線上加工尺標準件量測技術自我運用	新衛電腦機械股份有限公司	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，工廠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，滿足標準件需校正追溯需求。	214,000	214,000	214,000	111	
20	視覺3D尺寸量測儀器校正技術自我運用	福宮通商股份有限公司	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	108,000	108,000	108,000	111	

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
				符合規格，滿足廠內儀器管理之要求。					
21	線上加工尺寸標準件量測技術自我運用	高鋒工業股份有限公司	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，工廠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，滿足標準件需校正追溯需求。	214,000	214,000	214,000	111	
22	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。	250,000	250,000	150,000	110	
23	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。	360,000	360,000	288,000	110	
24	PVC 發泡厚度線上量測系統開發	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，建立線上自動	250,000	237,500	142,500	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
	計畫委託技術服務			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。					
25	UT檢測人員訓練管理	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	572,400	110	
26	校正實驗室座標量測儀校正能量提升	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				7,149,195	7,136,695	5,000,000		

六、論文一覽表

期刊論文 2 篇(含 1 篇 SCI)、研討會論文 6 篇，總計 8 篇

項次	名稱	作者	會議/期刊名稱	發表日	頁數	國別	類別
1	Assessment of infrasound and Presence of a Prominent Tonal Component in Wind Turbine Noise	羅芳鈞,涂聰賢,	中華民國振動與噪音工程學會	2022/07/09	4	台灣	國際研討會
2	力量傳感器於高頻施力下之效應	羅宇然	中國機械工程學會年會	2022/12	3	台灣	國內研討會
3	Calibration of Rotary Encoders Using a Shift-Angle Method	謝宗翰、渡部司、許博爾	Applied Sciences(SCI)	2022/05/16	13	瑞士	國外期刊
4	五軸工具機整機幾何誤差與 Hole plate 之簡介	謝宗翰、林明賢	量測資訊	2022/07/25	15	台灣	國內期刊
5	Evaluation of Point Cloud Distortion Using Image Distortion Coefficient in Stereo Vision System	吳雅菁	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation(IMETI)	2022/10/26	1	台灣	國際研討會
6	Uncertainty Evaluation of 3D Point Cloud Stitching Algorithm	洪聖翔	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation(IMETI)	2022/10/26	1	台灣	國際研討會
7	Calibration of a rotary encoder and a polygon using a two-autocollimator method	謝宗翰、葉冠霆、林明賢	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation(IMETI)	2022/10/30	1	台灣	國際研討會
8	Development of Data Exchange through Linear Geometric Error Compensation Technology for Machine Tools	林明賢、謝宗翰	International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation(IMETI)	2022/10/30	1	台灣	國際研討會

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	動態力量量測系統校正程序	2022/09/30	073B10203	中文	非機密	吳玉忻,羅宇然	14
2	機器學習應用於陸域風力發電機葉片聲音檢測	2022/09/13	073B10195	中文	機密	羅芳鈞,郭淑芬,	9
3	動態力量量測系統評估報告	2022/10/13	073B10217	中文	非機密	吳玉忻,羅宇然	19
4	視覺 3D 尺寸量測儀器線上校正程序報告	2022/09/30	073B10205	中文	機密	洪聖翔,吳雅菁,	11
5	計量資訊交換之工具機介面開發期中報告	2022/08/09	073B10174	中文	非機密	林明賢,陳智榮,	15
6	視覺 3D 尺寸量測儀器量測不確定度評估報告(含點雲拼接)	2022/11/30	073B10237	中文	限閱	洪聖翔,吳雅菁,	13
7	五軸工具機線上尺寸量測技術	2022/11	073B10241	中文	限閱	謝宗翰	10
8	塊規校正系統評估報告—塊規干涉儀	2022/10/04	073930132	中文	非機密	張明偉,張國明,洪聖翔	14
9	塊規校正程序—塊規干涉儀	2022/09/26	073930141	中文	非機密	張明偉,張國明,洪聖翔	14
10	座標量測儀量測程序	2022/06/08	073B10141	中文	機密	林明賢,謝宗翰	15
11	計量資訊交換之介面開發期末執行報告	2022/11	073B10239	中文	非機密	林明賢,陳智榮	16
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	2022/11/10	073B10235	中文	非機密	于心怡	66
13	智機產業技術推動及服務計畫期末成果報告書	2022/11/10	073B10236	中文	非機密	吳相儒	187

八、專利獲證

項次	件編號	中文專利名稱	發明人	官方申請日	申請案號	專利證號	專利分類	獲准日
1	P07100011TW	雙旋轉軸的幾何誤差的獲取方法與獲取設備	許博爾,謝宗翰,林明賢,陳智榮	20211202	110144976	I785914	發明	20220926

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	智慧化線上計量標準建置計畫專家座談會	111.8.23	集思台中新烏日會議中心 4F 富蘭克林廳	28	52

十、碩博士生培育

●感測器計量標準建構分項：

- (1) 丁彥翔(交通大學機械工程研究所)/碩士/1-8月：協助現場風機噪音量測工作、數據蒐整、演算法評估、程式撰寫等工作，每兩週以報告的方式分享工作進度，目前已完成機器學習應用研究蒐整(支持向量機、隨機森林、核方法等)、損壞樣本聲音特徵擷取(能量鈎方根、頻譜質心、能量邊際頻譜)。計畫過程藉由聲音數據之量測與分析，推廣與使用旋轉異音檢測技術，使學生瞭解校內所學習到的理論如何實作與應用，並培養學生瞭解計量追溯的重要性。
- (2) 林昀萱(清大工科所)/碩士/10-12月：協助完成動態力量量測系統的儀器操作、實驗數據擷取，不定期以口頭方式分享工作進度。目前已完成動態力量量測系統相關文獻的研讀，熟悉系統運作原理，可完成實驗數據之分析，使同學可藉由實作了解教科書所學習到的理論如何應用至實務面，實習的過程中也讓同學接觸計量追溯的相關知識，培養計量追溯之觀念及其重要性，也可讓同學增加執行計畫的經驗，有助於其碩士論文之研究及撰寫。

●工具機線上校正技術建立分項：

- (1) 曾瀚廣(中央大學機械所)/碩士/2-10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，並每週以線上會議分享進度報告，現已完成如相機校正之程序架構、模擬扭曲參數對相機取像影響之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，亦有助於其士論文之研究與撰寫。
- (2) Piercius, Freud L. Lewis (清華大學電機工程學系)/碩士/1-6月：協助計畫執行中所需之印刷電路板(PCB)設計與製作，工作項目包含 schematic 繪製、PCB layout 與元件焊接，電路項目則有穩壓電源電路、光源驅動電路、感測器放大電路、訊號分流緩衝與類比數位轉換電路等 PCB 製作。
- (3) 葉冠霆(清華大學電機工程學系)/學士/1-6月：協助建立尺寸量測技術於五軸工具機量測路徑功能撰寫，透過尺寸參考標準件 hole plate 3D 模型，匯入至 Siemens NX 軟體，可編輯 hole plate 之 hole 及標準球量測路徑，包含量測路徑規劃及量測點數設定，可輸出量測路徑檔(H 檔案)，檔案傳輸至海德漢 HEIDENHAIN 控制器 TNC 640，進行 hole plate 量測。
- (4) 李宗諭(台灣大學電機工程學系)/學士/7-8月：協助建立幾何誤差分析程式撰寫，可讀取控制器實際量測座標位置檔案(txt 檔案)，自動排列量測座標位置資料，開發最小平方法，由量測座標資料分析標準球中心位置，進行幾何誤差計算。

- (5) 張家瑜(清華大學中國文學學系)/碩士/3-6月：協助計畫資料處理及彙整，包含二分項月會報告內容、每月進度會議簡報內容的潤飾，並紀錄會議要點及委員建議事項，轉知予團隊成員，輔助分/子項負責人們掌握進度及文書處理。

十一、廠商訪視

• 感測器計量標準建構分項：

(1) 全立衡器

A.時間：111年4月22日

B.廠商受訪人員：溫立成 經理

C.訪談內容：本次拜訪全立衡器為未來發展之動態力量校正系統進行技術推廣，該公司為本公司是美國 Transcell 在台分公司，主要業務為力量傳感器及工業儀表的製造與銷售，亦會依照客戶的使用需求協助送校。目前該公司之力量感測器皆沒有使用動態力校正的經驗，但是會進行疲勞的試驗，疲勞試驗的輸入則是使用特定頻率的正弦波，力量大小則沒有特別要求。溫經理表示未來若是系統建置完成後，他們有意願將感測器送到我們的系統進行校正，瞭解感測器的性能在不同頻率的力量輸入下是否產生改變。溫經理也介紹維格工業與我們洽談動態力量校正之需求。

D.執行團隊後續因應：溫經理提出是否有參觀力量校正系統的機會，將於年底完成系統性能測試與驗證之後安排參觀行程，以實際系統說明國家度量衡標準實驗室如何進行力量傳感器之靜態、動態力校正，以利確認後續合作或是儀器送校之可能性。

(2) 維格工業

A.時間：111年6月6日

B.廠商受訪人員：呂明貴 總經理

C.訪談內容：維格工業主要從事自行車零組件生產製造，呂總經理表示公司正在研發踏板式功率計，於功率計上黏貼4個應變規量測踩踏力量，應變規與訊號處理之電路整合，顯示出力量隨時間之變化，以計算騎乘者踩踏產生之功率，需要我們協助驗證的項目包括：(1)應變規或是後端訊號處理的更新速度(100 Hz)是否足夠解析動態力量之變化；(2)訊號更新速度是否有如規格宣稱達到100 Hz；(3)該應變規於動態力量下之效應為何。並表示該公司未來需要建立一套動態力量測試系統，當功率計開始量產可以進行良率之檢測。

D.執行團隊後續因應：我們建議應變規之動態效應與訊號處理之速度可以透過我們現有的動態力量量測系統進行量測，呂總經理已將固定應變規之軸心與測試套筒設計圖提供給我們，後續我們將協助設計治具，直接在中心進行應變規動態效應之測試。

(3) 知洋科技股份有限公司：

A.時間：111 年 03 月 02 日

B.廠商受訪人員：湛翔智 總經理

C.訪談內容：知洋科技公司主要業務包含利用水下聲學儀器監測風機基樁以及周圍土壤穩定性。然而儀器的佈放方式、佈放位置以及資料如何及時的回傳目前仍然處於開發與優化階段。該公司提出工研院的智慧機械異音檢測技術可以提供學界以及業界作為系統研發的基礎，開發系統同時監測風機噪音對於水下環境及生態的影響，以及風機運作時產生的振動是否造成基樁以及周圍土壤改變。水下聲學的儀器校正上，業界也提出相關需求，目前對於聲納系統測繪的標準並沒有完善的規範，只能利用多種系統及演算方法做比較，聲納系統的校正也需要建立一個完善的實地校正。

D.執行團隊後續因應：由訪談中了解該公司的需求，並推廣本次計畫所開發的機械智能聲音特徵檢測技術，可適用頻率範圍為 100 Hz 至 20 kHz。未來可參考旋轉異音檢測機制，開發離岸風機監測系統，除了對於零部件的監控，同時監測噪音對於水下環境及生態的影響。水下聲學的儀器校正議題，未來國家度量衡標準實驗室可考量學界及業界的需求，依照國際規範擴充聲學計量能力，提供相關的計量校正。

(4) 普森精密主軸工業有限公司：

A.時間：111 年 06 月 08 日

B.廠商受訪人員：謝明宏 技術部經理(電訪)

C.訪談內容：普森公司致力於工具機精密主軸之開發與製造，擁有深厚的專業知識及主軸設計和研發能力，能根據客戶特殊需求提供完善的解決方案。本次訪談向該公司推廣本次計畫所開發的旋轉機械聲音異音檢測技術，詢問工具機主軸廠商在這聲音檢測方面的應用需求。謝經理提到目前的主軸生產完畢輸出至整機廠前，須將產品送至跑合實驗室進行測試，跑合過程透過溫度與聲音等參數的量測，對產品品質進行管控。然而，目前廠內對於主軸異音檢測仍採人耳聽覺檢測，師傅以螺絲起子貼在主軸上，運轉過程中異常的頻率聲音，此種檢測方式主觀且缺乏數據證明，急需相關檢測技術應用於跑合測試過程，從頻率變化判斷主軸異常之情形，減少人工漏判的機率。

D.執行團隊後續因應：藉由此次電訪向該公司說明產品異音檢測技術，經謝經理瞭解後，表示非接觸式的產品檢測技術對於品管效率有很大的幫助，希望待本計畫旋轉機械聲音異音檢測技術建置完畢後，可前往廠內瞭解廠域實際狀況，洽談後續合作可能性。

(5) 亞東公證

A.時間：111 年 11 月 14 日

B.廠商受訪人員：陳偉君 先生

C.訪談內容：本次電訪之對象為亞東公證公司，為今年度所發展之動態力量校正系統進行技術推廣，該公司為獨立的第三者檢測服務機構，成立於1976年。設有2座ISO 17025 認可校正實驗室，提供扭力裝置與環、牙、線規校正及五金緊固件與工具相關零組件的專業現場檢測服務、廠商設備審查報告與技術支援。本次電話訪問向其介紹了所建立之動態力量量測系統，也向我方詢問建立的緣由以及基本原理，目前亞東公證公司已有定時送力量傳感器到NML校正，但校正範圍基本上皆為25 kN以上，但未來或許會有較低校正範圍的需求，可考慮將力量傳感器送至NML進行動態靈敏度校正。

D.執行團隊後續因應：因陳先生表示對動態力量的量測有興趣，但沒辦法到現場了解操作原理，未來可安排一次實地的參訪，了解動態力量量測系統的操作，若是未來有力量傳感器的動態校正或是合作需求，陳先生也樂於和我方進行交流。

(6) 台灣電力公司綜合研究所：

A.時間：111年11月14日

B.廠商受訪人員：石振宇 研究員(電訪)

C.訪談內容：台電綜合研究所為台電具有核心技術與專業技能的單位之一，致力於建構公司中長程研究規劃與試驗技術創新應用方向，同時藉由核心技術建立及新科技引進，以提升經營績效降低營運成本。本次訪談與該公司討論機械智能聲音特徵檢測技術應用於風機檢測的場域試驗成果，對方對於技術可行性與檢測成果表示樂觀其成，自動化的巡檢作業能夠改善目前人工作業方式，大幅減少現場端的人力消耗。廠商表示檢測過程不用停機對於風電營運很有幫助，未來如有機會，除了葉片檢測外，也能將聲音檢測技術應用至風機其他零部件，例如機艙內的齒輪箱、發電機等。

D.執行團隊後續因應：藉由此次電訪向廠商報告本次場域試驗成果，並討論技術後續的推廣與應用，未來將依待測零組件的運轉特性調整演算法，有效找出設備運轉之聲音特徵並進行異音偵測，將此技術擴展至其他零部件，甚至不同產業。

• 工具機線上校正技術建立分項：

(1) 友嘉實業

A.時間：111年1月13日

B.廠商受訪人員：繆武良副總、李俊良經理、吳奕賢副理、孫宏揚副理、盧賞銘襄理及賴宜輝工程師共6人

C.訪談內容：友嘉實業為全球前三大CNC工具機集團，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，可應用於分析五軸工具機之幾何誤差。

- 2.友嘉實業說明廠內缺少五軸工具機完整 43 項幾何誤差量測，現有廠內僅有雷射干涉儀量測設備量測 21 項線性軸幾何誤差及 2 項角度定位幾何誤差。
- 3.友嘉實業說明缺少線性軸 21 項幾何誤差補償，僅能針對線性軸線性定位幾何誤差進行誤差補償。

D.執行團隊後續因應：規劃與友嘉實業合作五軸工具機幾何誤差量測

- 1.於友嘉廠內進行標準件 hole plate 於五軸工具機整機幾何誤差量測，目前已分析線性軸 21 項幾何誤差、旋轉軸 11 項幾何誤差，可應用於五軸工具機整機精度量測。
- 2.規劃至友嘉商借有海德漢 TNC 640 控制器且可安裝參數補償功能機台(# 18 HEIDENHAIN DNC 及# 52 KinematicsComp)，進行五軸工具機完整 43 項幾何誤差量測及幾何誤差補償等相關技術。

(2) 台中精機

A.時間：111 年 2 月 09 日

B.廠商受訪人員：盧春生協理、研發黃副理

C.訪談內容：就智機成果與未來規畫進行討論，會後建議包含(1) 利用 hole plate 能解出完整的幾何誤差，可考慮於未來用於整機健康監測用，不過得再思考便利性。(2)組裝線上量測儀器開發，應考慮低價位、容易操作等。(3) 主軸健康監測的開發的方向，建議朝實用性發展，如溫度校正、轉軸偏擺監測的必要性，可多詢問其他廠商。

D.執行團隊後續因應：協理希望工研院能加入公司內部定期舉辦的生產履歷改版討論會議，及提供計量相關訓練課程。

(3) 富田電機

A.時間：111 年 3 月 01 日

B.廠商受訪人員：品保課長(sally)、專案經理(richard)

C.訪談內容：量測中心團隊說明智機於 3D 量測儀器開發成果，會後富田提出馬達定子矽鋼片量測與缺陷檢測需求，主要是針對定子錯片進行檢出和量化提出建立系統之需求。

D.執行團隊後續因應：富田提供更多的缺陷和尺寸規格以利評估量檢測功能的完整性，並以此加入其 A+計畫團隊。

(4) 東培工業

A.時間：111 年 3 月 0 日

B.廠商受訪人員：俞副總、許屬生經理、江峰維經理、湯榮濱副理

C.訪談內容：東培會議中說明目前在線上量測的開發成果，供量測中心於智機發展參考，包含(1)使用自製環形加速規，可直接緊貼主軸上，有別於傳統貼在鑄件上，來對

軸承做健康監測，(2) 軸承測試過程會有監測溫度與振動兩個項目，目前溫度監測最高溫不超過 70 度，設定轉速為 1 萬到 1 萬 5 千 RPM。

D.執行團隊後續因應：後續可先從"齒輪量測"的議題來展開雙方技術合作交流。

(5) 東台精機

A.時間：111 年 3 月 22 日

B.廠商受訪人員：馮威強副理、楊三賢課長及范詠宸課長共 3 人

C.訪談內容：東台精機是全球第二大 PCB 鑽孔機生產廠商，近年來投入工具機系統整合及智慧化服務開發。

1.介紹計畫開發可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)於五軸工具機旋轉軸幾何誤差量測，可應用於五軸工具機組裝產線中組立作業檢測。

2.目前東台精機正規劃與中科院合作，進行國產化三旋轉軸(Gimbal)開發，目前缺少角度誤差量測設備應用於三旋轉軸。

D.執行團隊後續因應：規劃與東台精機合作三旋轉軸(Gimbal)角度誤差量測，目前針對三旋轉軸角度誤差量測，可分為兩個方向進行:一為三旋轉軸內環形編碼器拆卸下來，利用工研院內環形編碼器校正系統，進行角度誤差量測；二為角度參考標準件安裝於 Gimbal 上，進行角度誤差量測。

(6) 炳碩生醫 (線上會議)

A.時間：111 年 4 月 21 日

B.廠商受訪人員：Eddy Lin 副理共 1 人

C.訪談內容：炳碩生醫主要表示想要新產品為使用反光物件(反光球)，此反光件可搭配 3D 量測儀器進行導航的手術機器人設備，副理表示目前炳碩生醫欲提出反光物件的新商品開發計畫，希望由熟悉 VDI2634 之量測中心團隊來協助產品開發驗證技術部分，所以於會議中討論上述反光球之量測技術，期望建立合作，將技術導入到廠內成為產品開發驗證時的工具。

D.執行團隊後續因應：了解炳碩生醫現行品保方法及物件規格、不確定度需求等參數，因敝團隊僅熟悉長度標準、TAF 認證等相關知識技能，故建議廠商若要共提用於醫療產品計畫，需有一個生醫背景團隊主導，以利後續產品醫療之 CE 認證。

(7) 馬路科技

A.時間：111 年 6 月 15 日

B.廠商受訪人員：李啟憲經理、洪文展主任與陳亦璇共 3 人

C.訪談內容：針對馬路科技欲取得 TAF、ILAC 標章以服務其客戶實現國內儀器之校正追溯之需求，本次訪談聚焦在馬路科技撰寫的品質手冊修訂。修訂內容包含(1)公司組織架構、(2)實驗室人員能力基本要求、(3)實驗室人員業務職掌、(4)文件編號等。除此之外，以馬路科技的 ATOS 視覺 3D 尺寸量測儀器對計劃設計之標準件進行量測，取得量測數據評估校正流程、相關不確定度。

D.執行團隊後續因應：準備後續文件、流程，持續協助馬路科技取得 TAF、ILAC 標章。包含，並於 7 月初前取得品質手冊修正版，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。

(8) 亞崴機電、程泰機械

A.時間：111 年 6 月 16 日

B.廠商受訪人員：亞崴：葉瑞銘副總、石師學研發副理、陳明正品保副理、李昆諺經理、程泰：陳深祥副總、JAME HSU

C.訪談內容：會議先簡介量測中心相關標準與智機計量技術的發展現況、包含量測中心執行智機第一期執行成果及智慧機械產業計量標準建置增值計畫規劃，簡報後討論內容主要聚焦於 hole plate 技術之是否有機會導入亞崴機台上之可行性討論，如機台架構及控制器限制、量測探頭是否可支援多廠牌探頭、以及量測完之誤差是否需要手動輸入進控制器進行補償、補償成效確認及與市售量測儀器功能之差異性。

D.執行團隊後續因應：可再約下一次會議，進一步討論有關 hole plate 如何應用在廠內之生產機台中。

(9) 普裕興業

A.時間：111 年 7 月 29 日

B.廠商受訪人員：許博凱經理、李仕仁副課長

C.訪談內容：針對 PVC 發泡厚度線上量測系統已開發的部件至現場架設，並討論細部功能，包含(1)確認線掃描量測面不包含導輪、(2)依照現場使用情形，討論碼布計歸零方式與(3)確認其餘部件(如:觸控螢幕、電控箱……等)擺放與架設位置。

D.執行團隊後續因應：依照會議中討論內容團隊進行統整以及內部討論，後續因應如下幾點
(1)因線掃描量測面不包含導輪，故系統改為不以導輪作為線掃描量測歸零基準(2)現場預計在每天的一開始碼布計進行歸零，故系統不需做變動(3)依據現場平台大小規劃觸控螢幕與電控箱擺放位置。


附錄

附錄一、參考文獻

項次	編碼	說明
1	1-1-1	Nicholas Vlajic and Ako Chijioke, “ Traceable dynamic calibration of force transducers by primary means”, Metrologia 53 (2016) S136 - S148
2	1-1-2	Ch Schlegel1, G Kieckenap, B Glöckner, A Buß and R Kumme, “ Traceable periodic force calibration”, Metrologia 49 (2012) 224 - 235
3	1-1-3	Ako Chijioke, Rick. L. Seifarth, Zeina J. Kubarych, “ NIST 1-kilonewton Dynamic Force Calibration Facility” ,NCSLI Workshop and Symposium 2013.
4	1-2-1	W. Yang, C. Crabtree, “Cost-effective condition monitoring for wind turbines”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, pp. 263-271, 2010.
5	1-2-2	John Lindberg, Ground Based Inspection and Monitoring of Wind Turbine Blades, EPRI Joinal, 2016.
6	2-1-1	Thomas Luhmann, Klaus Wendt, “RECOMMENDATIONS FOR AN ACCEPTANCE AND VERIFICATION TEST OF OPTICAL 3-D MEASUREMENT SYSTEMS”, ISPRS Archives, Vol. XXXIII, 2000.
7	2-1-2	Grand View Research, “3D Scanning Market Size, Share & Trends Analysis Report”, 2019.
8	2-1-3	International Data Corporation, “Worldwide 3D Scanner Forecast 2020 - 2023 (IDC#US44631819)”, 2020.
9	2-1-4	International Organization for Standardization, “ISO 10360-13:2021, Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) - Part 13: Optical 3D CMS”, 2021.
10	2-2-1	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)
11	2-2-2	ISO 230-7 Test code for machine tools - Part 7: Geometric accuracy of axes of rotation (2015)
12	2-2-3	ISO 230-2 Test code for machine tools — Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes (2014)
13	2-2-4	ISO 10791-4 Test conditions for machining centres — Part 4: Accuracy and repeatability of positioning of linear and rotary axes (1998)
14	2-2-5	CNS 15077-4 切削中心機之檢驗條件-第 4 部:線性軸與旋轉軸之定位精度與重現性
15	2-2-6	ISO 230-9 Test code for machine tools — Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to series ISO 230, basic equations (2005)

16	2-3-1	Hackel, Siegfried, et al. "The fundamental architecture of the DCC." Measurement: Sensors 18 (2021): 100354.
17	2-3-2	Hackel, Siegfried, et al. "The digital calibration certificate." PTB-Mitteilungen 127.4 (2017): 75-81.

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
端點尺寸量測系統	本項設備為「國家度量衡標準實驗室」之「端點尺寸量測系統」重要設備，用於直徑之標稱尺寸相對校正，提供線上尺寸參考標準件，以利智慧機械技術發展	

附錄三、滿足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	強電企業有限公司	11107D00021-01 技術服務	高速連網設備電磁安全量測標準技術
2	財團法人台灣商品檢測驗證中心	11107C01759 11107C01760	電磁場強度量測技術
3	台灣積體電路製造股份有限公司	11107C01030 11107C01676 11107C01758 11107C03899 11107C03642	電磁場強度量測技術
4	台灣應用材料股份有限公司	11107C02282	電磁場強度量測技術
5	台灣平田機工股份有限公司	11107C03525	環境電磁場量測技術
6	倍科檢驗科技有限公司	11107C00035	訊號擷取分析證技術運用於人耳模擬量測系統性能評估
7	美律實業股份有限公司	11107C00207 11107C00208	聲學音場性能驗證技術運用於無響室音場性能評估

序號	廠商名稱	報告編號	運用技術
8	微星科技股份有限公司	11107C00921 11107C00922 11107C00923	聲學音場性能驗證技術運用於無響室音場性能評估
9	佳能企業股份有限公司	11107C04279 11107C04280	聲學音場性能驗證技術運用於無響室音場性能評估
10	貝爾聲學科技股份有限公司	11107C00926	訊號擷取分析驗證技術運用於聲學儀器性能評估
11	知洋科技股份有限公司	11107C00594	訊號擷取分析驗證技術運用於聲學儀器性能評估
12	洋聲股份有限公司	11107C02849	訊號擷取分析驗證技術運用於聲學儀器性能評估
13	基太克國際股份有限公司	11107C03540 11107C03541	訊號擷取分析驗證技術運用於振動感測器性能評估
14	陽鼎實業股份有限公司	11107C00285	聲學量測技術運用於參考音源聲功率評估
15	台達電子工業股份有限公司	11107C01375	聲學量測技術運用於參考音源聲功率評估
16	奇鎡科技股份有限公司	11107C02985	聲學量測技術運用於參考音源聲功率評估
17	康舒科技股份有限公司	11107C03258	聲學量測技術運用於參考音源聲功率評估
18	福宮通商股份有限公司	11107D0005001	運用視覺 3D 尺寸量測儀校正技術，協助廠商進行掃描儀規格驗證
19	台灣檢驗科技股份有限公司	11107C04102-1 11107C01290-1 11107C01291-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
20	同欣電子工業股份有限公司	11107C02470-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
21	普裕興業股份有限公司	11107C01990-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
22	國家中山科學研究院化學研究所	11107C01717-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
23	長榮航太科技股份有限公司觀音分公司	11107C01451-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
24	台灣積體電路製造股份有限公司	11107C01292-1	藉由尺寸參考標準件，協助廠商進行尺寸標準校正
25	隼星科技有限公司	11107C01345-1	藉由自我校正型角度量測技術，協助廠商進行角度標準校正
26	亞崴機電股份有限公司	11107C00674-1	藉由自我校正型角度量測技術，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
27	瀚生醫電股份有限公司	11107C03246-1	藉由自我校正型角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
28	財團法人台灣商品檢測驗證中心	11107C01898-1	藉由自我校正型角度量測技術,協助廠商進行角度標準校正
29	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	11107C01963-1 11107C01567-1	藉由尺寸參考標準件,協助廠商進行尺寸標準校正
30	高僑自動化科技股份有限公司	11107C00959	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
31	宇正精密科技股份有限公司	11107C03308	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
32	台灣檢驗科技股份有限公司	11107C00979	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
33	工業技術研究院量測技術發展中心	11007C04539	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
34	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03353	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
35	工業技術研究院量測技術發展中心	11007C04282	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
36	台灣國際航電股份有限公司	11107C00954	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
37	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03356	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
38	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03357	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
39	台灣國際航電股份有限公司	11107C00956	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
40	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03355	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
41	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03352	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
42	工業技術研究院量測技術發展中心	11107C02173	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
43	揚明光學股份有限公司	11107C01921	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
44	順德工業股份有限公司	11107C04143	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正

序號	廠商名稱	報告編號	運用技術
45	台灣三豐儀器股份有限公司	11107C03354	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
46	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	11107C04464	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
47	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	11107C04465	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
48	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	11107C04466	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
49	愛爾蘭商速聯股份有限公司台灣分公司	11107C04467	運用標準球徑量測技術,協助廠商進行標準球校正
50	長庚醫學科技股份有限公司 - 土城	11107C01507	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
51	長庚醫學科技股份有限公司 - 林口	11107C00645	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
52	長庚醫學科技股份有限公司 - 嘉義	11107C04077	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正
53	原相科技股份有限公司	11107C01231	黑體溫度測溫技術運用
54	台灣積體電路製造股份有限公司(三廠)	11107C02897	黑體模擬光源校正
55	台灣積體電路製造股份有限公司(南科)	11107C01284	黑體模擬光源校正
56	台灣積體電路製造股份有限公司(八廠)	11107C02941	黑體模擬光源校正
57	台灣積體電路製造股份有限公司(三廠)	11107C01754	黑體模擬光源校正
58	台灣積體電路製造股份有限公司(竹科)	11107C01753	黑體模擬光源校正
59	亞迪電子股份有限公司	11107C01716	藉由黑體溫度測量技術,協助廠商進行溫度標準校正

附錄四、量測系統審查意見回覆單 - N02 靜法碼量測系統擴建

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）（N02）

編號：1111031-01-4

審查意見回覆：

陳昌銘委員之意見及回覆：

Q1：後續資料建議增加數位濾波功能提升量測準確性。

A1：謝謝委員的建議，未來會在電腦軟體端針對雷射干涉儀與力量傳感器訊號擷取分別加入適合之數位濾波功能，並與原先數據進行比較，評估是否能有效提升量測的準確性。

Q2：政府應持續投入經費支持研究計畫，持續充實設備。

A2：謝謝委員的支持，未來會持續努力。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-3

審查意見回覆：

徐焜勳委員之意見及回覆：

Q1：未來可增添設備，確認欲校正力量傳感器之不同共振頻率與振型，以確保避免共振問題造成量測結果之影響。

A1：謝謝委員的建議，目前可先以現有的工具如有限元素分析軟體方式進行力量傳感器的共振頻率及振型分析，了解其對系統量測結果的影響。

Q2：可減少雷射干涉儀之光程對於光學干涉儀量測位移與後續所獲得之加速度之影響。

A2：謝謝委員建議，會再就這一點進行研究，評估光路是否能夠進行改善，提高雷射干涉儀的量測準確度。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-2

審查意見回覆：

王郁仁委員之意見及回覆：

Q1：建議本系統在使用時，先確定振動方向與安裝對位的同心度，避免其它方向振動力量的干擾，也可進行三軸向加速度量測。

A1：謝謝委員的建議，未來會依委員所提建議對系統上不同位置進行多軸向加速度的量測，根據量測結果評估系統的機構是否有需要進行改善，增加系統量測的準確度。

Q2：動態力量校正對於業界很重要，建議量測中心可以持續深耕。

A2：謝謝委員的肯定，未來會持續努力。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 5 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統 (二) (N02)

編號：1111031-01-1

審查意見回覆：

孫元平委員之意見及回覆：

Q1：動態力量量測系統校正程序

1. 第 3 頁第 3.1.1 節中「... 整個校正程序¹及儀器使用說明書。」，其上標 1 係指參考文件，故建議修正為 [8.1]。
2. 第 3 頁第 3.1.3 節中「...對送校之送校件作...」，建議刪除「送校之」文字。
3. 第 4 頁第 3.1.11(1) 節中「...附錄 8.1...」，查僅有「附錄 9.1」，請確認是否誤繕。
4. 第 5 頁第 3.2.1 節中「... 整個校正程序¹及儀器使用說明書。」，其上標 1 係指參考文件，故建議修正為 [8.1]。
5. 第 5 頁第 3.2.8 節中「如圖 1」，查該圖為靜法碼機而非震動試驗機，請確認文字。
6. 第 6 頁第 4.1 節中「...ISO 376 規範²...」，其上標 2 係指參考文件，故建議修正為 [8.2]。
7. 第 13 頁附錄第 9.1 節紀錄表中標準值之施力頻率及振幅，與第 3.2.4 節選定校正點似不同，請說明。

A1：謝謝委員意見，已依委員所提出之內容進行修訂，如附件 1。

Q2：動態力量量測系統評估報告

1. 第 5 頁第 3.1.2 節中有「 $\delta_{\text{int.res}}$ 」及「 $\delta_{\text{int.resol}}$ 」，請確認文字。
2. 第 6 頁「 $u_{\text{int.bak}}$ 」及第 7 頁公式 7「 $u_{\text{int.bak}}$ 」，請確認文字。
3. 第 10 頁第 3.2.1 節中「由電表...的追，...」，是否為誤繕，請確認文字。
4. 第 15 頁未見公式 (17)(18)(19)，卻有 (20)(21)，是否為誤繕，請確認文字。

A2：謝謝委員意見，已依委員所提出之內容進行修訂，請參考附件 2。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 2 頁，共 5 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-1

附件 1 動態力量量測系統校正程序修訂說明

A1-1：修改參考文件編號與“8. 參考資料”章節的編號一致，即修改為“[8.1]”，如下圖所示。

3. 準備事項
3.1 靜法碼機校正準備事項
3.1.1 開始校正前必須先熟讀整個校正程序 [8.1] 及儀器使用說明書。

A1-2：已依委員意見修改如下圖所示。

3.1.3 對送校件作先行檢查該件是否正常及清潔。

A1-3：確認附錄編號誤植，已修正為“附錄 9.1”如下圖所示。

3.1.11 校正前之操作
(1) 準備如附錄 9.1 之“力量校正記錄表”，並填寫校正數據欄外之其他資料。

A1-4：已依委員意見修改，並考量前後文邏輯進行修改如下圖所示。

3.2.1 開始校正前必須先熟讀本校正程序及儀器使用說明書。

A1-5：已依委員意見及前後文進行修改 3.2.8 節如下圖所示。

3.2.7 依照校正點之施力大小與頻率選定固定於力量傳感器之法碼質量，並選擇適當之夾治具以配合送校件之安裝。
3.2.8 振動試驗機要保持水平，可由四支可調整腳座進行調整。
3.2.9 將力量傳感器安裝於振動試驗機之連接座上，並在其上方鎖上選定之法碼（如圖 4），並確認各部件是否已穩固地鎖定與接合。

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 3 頁，共 5 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-1

A1-6：修改參考文件編號與“8. 參考資料”章節的編號一致，即修改為“[8.2]”，如下圖所示。

4. 校正步驟

4.1 以靜法碼機進行力量傳感器之靜態校正，校正步驟依據 ISO 376 規範 [8.2]，其步驟如下。

A1-7：有關前後所列之校正點不同，經檢查後編輯時版本更新之疏忽，已進行統一，3.2.4 節之內容所列之 400 Hz 內容修改為 500 Hz。

3.2.4 選定校正點

(1) 視送校件能量、特性及顧客要求，選擇適當之施力與頻率校正點。

(2) 若無特殊要求，則以力量傳感器之全負荷為參考。

(a) 若全負荷 < 1 kN，則頻率 10 Hz 之週期性施力為 10 % 之全負荷，而後施力隨頻率線性增加，直至 500 Hz 時施力達到全負荷，並於 500 Hz 至 2 kHz 維持施力為全負荷，頻率上升間隔為 100 Hz。

(b) 若全負荷 ≥ 1 kN，則頻率 10 Hz 之週期性施力為 0.1 kN，而後施力隨頻率線性增加，直至 500 Hz 時施力達到 1 kN，並於 500 Hz 至 2 kHz 維持施力為 1 kN，頻率上升間隔為 100 Hz。

I. 校正結果

標準值		器示值		靈敏度 (mV V ⁻¹ N ⁻¹)	靈敏度相對 擴充不確定度 (%)
施力頻率 (Hz)	施力振幅 (N)	激發電壓 (V)	輸出電壓 (mV)		
10	100				
100	174				
300	337				
500	500				
1000	1000				
1200	1000				
1800	1000				
2000	1000				

註：本校正件搭配使用的指示器為 Teclock S/N：xxxxx

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 4 頁，共 5 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-1

附件 2 動態力量量測系統評估報告修訂說明

A2-1：已確認“干涉儀因解析度所產生位移偏差”之符號應為 $\delta_{\text{int resol}}$ ，已修正如下圖所示。

3.1.2 位移的標準不確定度 u_d

位移之標準不確定來自雷射干涉儀，雷射干涉儀實際量測到的位移量 d ，可以表示為

$$d = \delta_{\text{plat}} + \delta_{\text{int resol}} + \delta_{\text{int bak}} + \delta_{\text{rep.ITF}} + N \frac{\lambda}{2048} C_{\text{WCN}}$$

其中

- δ_{plat} ：干涉儀因平台受外部振動影響產生位移偏差
- $\delta_{\text{int resol}}$ ：干涉儀因解析度所產生位移偏差
- $\delta_{\text{int bak}}$ ：干涉儀背景值所產生位移偏差
- $\delta_{\text{rep.ITF}}$ ：干涉儀重複性造成位移偏差
- C_{WCN} ：干涉儀所量測位移
- N ：整數
- λ ：干涉儀的雷射光波長 633 nm

A2-2：已確認“干涉儀背景值的標準不確定度”之符號應為 $u_{\text{int bak}}$ ，已修正公式 (7) 如下圖所示。

$$u_d = \sqrt{u_{\text{plat}}^2 + u_{\text{int resol}}^2 + u_{\text{int bak}}^2 + u_{\text{rep.ITF}}^2} \quad (5)$$

其中

- u_{plat} ：平台隔震的標準不確定度
- $u_{\text{int resol}}$ ：干涉儀解析度的標準不確定度
- $u_{\text{int bak}}$ ：干涉儀背景值的標準不確定度
- $u_{\text{rep.ITF}}$ ：干涉儀量測加速度重複性的標準不確定度

(iii) 雷射干涉儀的背景值標準不確定度計算 $u_{\text{int bak}}$

雷射干涉儀的背景值之標準不確定度計算是取振動試驗機啟動時，干涉儀所量測到的背景位移量，以 10 秒鐘進行評估，計算公式如式 (7)。

$$u_{\text{int bak}} = \frac{S_{\text{bak}}}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 5 頁，共 5 頁

量測系統名稱：靜法碼量測系統（二）(N02)

編號：1111031-01-1

A2-3：已確認原文為誤植，已修正內容如下圖所示。

3.2.1 電表追溯校正之標準不確定度 u_{cr1}

由電表（Keysight 3458A）的校正報告（報告編號：E220148A），將電表校正報告中 100 mV 範圍的擴充不確定度（0.005 mV）除以涵蓋因子（ $k=2$ ）計算得到電表追溯校正的標準不確定度為 2.5×10^{-6} V。校正報告所述之涵蓋因子為 2，由 t 分布表查表可知 $t=60$ ，自由度 $\nu_{cr1}=60$ 。

A2-4：已確認原文為誤植，已更新方程式編號如下圖所示。

本系統在不同的時間對校正系統進行長時間多次的量測後，所得之量測值做為訂定管制界限之依據，查核參數經 25 次量測後，可得查核參數分別為 $X_1、X_2、\dots、X_n$ ，則其平均值（ \bar{X} ）可利用下列公式來計算：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i \quad (15)$$

（ n 為量測個數； X_i 為獨立之查核值）

$$\sigma = \sqrt{(X_i - X_{i+1})^2 / n} \quad (16)$$

其中 σ 為標準差，則管制圖及管制界線計算公式如下。

X 管制圖之管制界線：

$$\text{管制上限} \quad UCL_X = \bar{X} + 3\sigma \quad (17)$$

$$\text{管制下限} \quad LCL_X = \bar{X} - 3\sigma \quad (18)$$

管制圖如圖 4 及圖 5 所示。若有查核值落於管制界限外或查核值有其它異常趨勢，則應即調查其可能原因並加以排除，以落實標準之維持。

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

附錄五、量測系統審查意見回覆單 - D02 塊規干涉校正系統擴建

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：塊規干涉校正系統 (D02)

編號：1111026-01-1

審查意見回覆：

孫元平委員之意見及回覆：

Q1：程序書第 1.2 節表 1 待校項目規格表，但其表欄項目為「待校項目」、「性能說明」、「校正方法」，似與表 1 標題不同，請確認。

Q2：程序書第 3.3.1 節圖 2 內仍有圖片次要標題，建議次要標題前增加 (a) (b) (c) 以區別，另第 4 行「...如果雷射無法順利穩頻則，電源供應器...」建議修改為「...如果雷射無法順利穩頻，則電源供應器...」。

Q3：程序書第 7.1 節引用參考資料 [8.7]，但未見其資料，請澄清。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：塊規干涉校正系統 (D02)

編號：1111026-01-2

審查意見回覆：

潘吉祥委員之意見及回覆：

Q1：影響量測不準確度分析結果的因素很多，包括校正系統評估報告引用之公式（數學模式）(3) 或 (8)，以及不確定度量測之誤差因子。請就引用之公式 (3) ~ (8) 的依據及正確性能在報告中更清楚說明，讓送件者對於 (D02) 塊規干涉校正系統的量測校正之準確度及穩定性能有更大信心。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：塊規干涉校正系統 (D02)

編號：1111026-01-3

審查意見回覆：

盧聖華委員之意見及回覆：

Q1：MSVP pages 3 ~ 5，請檢查 λ , λ_{air} 及 n 的使用是否正確。

Q2：MSVP page 9，請確認光纖 core 的尺寸。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

量測系統審查意見回覆單

第 1 頁，共 1 頁

量測系統名稱：塊規干涉校正系統 (D02)

編號：1111026-01-4

審查意見回覆：

柯明男委員之意見及回覆：

Q1：塊規校正系統評估報告—塊規干涉儀 (07-3-93-0132)，第 5 頁中靈敏係數目前以公式表示，建議推導出實際狀況。

Q2：3.2.6 扭合誤差部分建議將後續長期重複性代入，可能可降低不確定度。

系統負責人：_____ 量室經理：_____

審查人員複核：

簽名：_____

【註】本表若不敷使用，請另以 A4 紙撰寫。

E00-P-03-03

附錄六、OKR 目標與達成一覽

全程總目標(End-points)：

- 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。
- 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。
- 三:研發工具機幾何誤差之**控制器補償技術**，協助產業**串流數位計量資訊整合**，實現即時補償功能並協助品質管理。

	108年度(已完成)	109年度(已完成)	110年度(已完成)	111年度
年度目標	盤點智機量測缺口	擴建量測標準系統3套	擴建量測標準系統3套	擴建量測標準系統2套
	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	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/精進溫度與角度線上校正參考標準件2件	研發線上量測技術1項，滿足5軸工具機產業量測需求；完成視覺感測器線上標準件1件	研發及精進線上量測技術各1項，滿足智慧機械及五軸工具機產業視覺量測線上校正需求
	計量資訊數位化研究	參與國際標準制定	校正資訊數位化導入產業試煉	計量資訊串聯應用測試
關鍵成果	1-1召開2次說明會及專家研討會，完成計量標準建置規劃(5場)	1-1擴建量測系統3套(D06,N11,A01) 1-2滿足至少20家次國內產業及二級實驗室校正追溯需求，減少送國外校正之費用及時間(55家次)	1-1擴建量測系統3套(A04,D12,U06) 1-2滿足至少30家次國內產業及二級實驗室校正追溯需求，減少送國外校正之費用及時間(74家次)	1-1擴建量測系統2套(D02,N02) 1-2滿足至少40家次國內產業及二級實驗室校正追溯需求，減少送國外校正之費用及時間(73家次)
	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(√) 2-2完成工具機雙旋轉軸16項誤差量測技術(√) 2-3完成非接觸式固定點溫度量測技術(962 °C)(√) 2-4完成固定點黑體模擬器及精進單轉軸量測標準件，共2件(黑體模擬器之傳遞(參考)標準、可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, PoCAS)共2件)	2-1五軸工具機之線上尺寸量測技術研究(1/2)，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視覺3D尺寸量測儀器之校正技術，提升量測效率(1小時→6分鐘內)(√)	2-1完成線上視覺3D尺寸量測儀器之校正追溯(國外原廠耗時1個月→國內校正耗時1週)，並完成商用場域試煉1處(馬路、福宮商用2處) 2-2優化五軸工具機之線上尺寸量測技術(2/2)，完成43項幾何誤差補償，並完成商用場域試煉1處(友嘉1處)
	3-1參與歐盟 SmartCom計畫(√)	3-1完成QIF標準制訂草案1案(1案) 3-2與先進國家實驗室共同推動數位校正憑證(DCC)(√)	3-1數位校正證明實施案例至少1件確保後續控制器補償、生產回饋等數位應用(1件)	3-1五軸整機之三線性軸幾何誤差補償及數位校正資訊輸出(√)

附錄七、全程技轉及服務之統計

1.技轉廠商之產業別家次及佔比統計

	108 年度		109 年度		110 年度		111 年度		合計	
	家次	%	家次	%	家次	%	家次	%	家次	%
電子產業	3	20.0	5	27.8	6	27.3	4	15.4	18	22.2
機械產業			2	11.1	3	13.6	7	26.9	12	14.8
其他(環境工程、合成樹脂及塑膠製造、水下工程、消防、)	5	33.3	1	5.6	2	9.2	2	7.8	10	12.3
測試實驗室	1	6.7	2	11.1	2	9.2	3	11.5	8	9.9
軌道產業		0.0	2	11.1	3	13.6	3	11.5	8	9.9
半導體產業	3	20.0	3	16.6	1	4.5	0	0.0	7	8.7
學校	2	13.3	1	5.6	1	4.5	3	11.5	7	8.7
工具機及工具機零組件產業	1	6.7			1	4.5	2	7.8	4	4.9
精密儀器產業					3	13.6	1	3.8	4	4.9
航太產業			2	11.1			1	3.8	3	3.7
總 計	15	100.0	18	100.0	22	100.0%	26	100.0	81	100.0

2.提供追溯服務的廠商之產業別家次及佔比統計

	109 年度		110 年度		111 年度		合計	
	家次	%	家次	%	家次	%	家次	%
機械產業	9	16.4	21	28.4	29	39.7%	59	29.2
電子產業	19	34.5	16	21.6	20	27.4%	55	27.2
半導體產業	5	9.1	10	13.5	13	17.8%	28	13.9
測試實驗室	5	9.1	10	13.5	5	6.9%	20	9.9
其他(環境工程、水下工程、玻璃製造、光學模具、國防、醫療器材、精密儀器)	6	10.9	7	9.5	2	2.7%	15	7.4
航太產業	5	9.1	4	5.4	3	4.1%	12	5.9
工具機及工具機零組件產業	4	7.3	4	5.4	1	1.4%	9	4.5
軌道產業	1	1.8	2	2.7			3	1.5
學校	1	1.8					1	0.5
總 計	55	100.0	74	100.0	73	100.0%	202	100.0

附錄八、審查意見回覆

審查意見表

計畫名稱：111 年智慧機械產業計量標準建置加值計畫

111 年度

中綱

期中報告

期末報告

建議事項	委辦單位回復說明
A 委員	
1. 動態力量校正系統之系統評估考量周詳且完整，達成計畫目標。	感謝委員的肯定與支持。
2. 機械智能聲音特徵檢測技術應用於的陸域風力發電機葉片檢測作業，損壞判定準確率 95%，達成計畫目標。除判斷損壞外，可否搭配損傷分類判定與音頻特徵的關聯性。	本技術因應使用端之需求，以陸域風機葉片損壞「快篩」作為技術應用目標，輔佐現場人員在巡檢作業中快速找出異常風機。此技術具有非接觸式、無須停機的優勢，當找出異常葉片時，維護人員會安排停機，做進一步的損壞類別辨識，並適時安排維護作業；未來此技術可朝向損傷分類判定精進，但仍需蒐集更多不同損傷類別的樣本，從聲音特徵上的差異，建立分類模型。
3. 智慧機械產業計量標準計畫經歷年計畫之執行已建立許多產業的計量標準，除開放產業界校正服務外，相關標準是否皆已納入 TAF 的認證。	本計畫於前兩年所建立的多項標準技術，包括標準麥克風互換校正(A01)、麥克風自由場靈敏度互換校正(A04)、高場強電磁場強度校正(U06)等計量標準，均已於近兩年取得 TAF 認證，並開放服務國內相關產業；計畫於近兩年所建立的計量標準，後續也將申請 TAF 評鑑，取得認證。另外計畫中所建立之視覺感測器 3D 量測之線上校正技術的成果也已輔導廠商來建立 TAF 實驗室，預計 2023 年底可取得認證。
B 委員	
4. 第參章執行情形之第五章技術推廣影片，建議說明預計完成日期及發行計畫。	6 部主要技術推廣影片，均已完成製作，且均為本計畫執行建立之技術，可提供予產學研參考，並透過公協會分享相關應用產業。
5. P.154 專家座談會之技術分享及交流活動，建議增加次數及活動廣告，以提升整體產業應用效益。	感謝委員的建議，在 112 年度計畫會朝增加技術分享與交流活動次數的方向進行規劃，並增加活動廣宣管道，以提升整體產業應用效益。
6. P.159 技術報告及檢驗方法之分享或查詢管道為何？	感謝委員的建議，依工研院機密資訊管理辦法，訂定包含標示、登錄造冊、保管、流通、變更機密等級與保密期限、及洩密通報等六項文件管理措施，擬調閱者於提出流通申請並依權責主管核定後，由機密文管人員執行流通分發事宜，如為院外人員時，須於流通核定前簽署保密約定；結案報告

建議事項	委辦單位回復說明
	P.169~170 列出技術報告及論文每篇作者，本計畫可針對委員有興趣的部份，安排作者進行技術交流討論。
C 委員	
7. 有關五軸工具機線上加工尺寸量測技術對台灣工具機產業的基礎理論研究與量測技術應用頗有助益，且其成效皆已達到設定目標。	感謝委員的肯定與支持。
8. P136 中所述“最大補償效果為 X 軸線性幾何誤差，由 $\pm 20 \mu\text{m}$ 降低至 $\pm 2 \mu\text{m}$ ”，此補償值為單軸線性軸的補正，為多數工具機廠可達到的目標，建議能以空間精度或多軸合併誤差等改善為指標較為貼近現況產業需求。	感謝委員的指導，空間精度或多軸合併誤差需考慮五軸整機補償，為未來規劃發展技術目標；今年度實際完成以三線性軸補償檔以 XML 格式，進行控制器補償檔轉換，未來由今年度三軸發展成果延伸至五軸，擴大發展技術應用範圍，更貼近產業需求。
9. P136 中提到“量測時需將 hole plate 於機台上進行不同方向架設及量測，並依據演算法進行量測數據之統計與分析”，請問描述中的“演算法”與目的為何？	感謝委員提問，“量測時需將 hole plate 於機台上進行不同方向架設及量測，並依據演算法進行量測數據之統計與分析”，此處演算法乃應用「線上加工尺寸量測技術」所開發之成果，目的為利用工具機測頭量測 Hole plate 所得到的量測數據，代入開發的演算法來分析出工具機之 21 項幾何誤差，演算法主要是由齊次座標轉換矩陣推導而來，建立工具機與 Hole plate 兩者之間的座標關係，計算理想 Hole plate 之圓柱孔的座標位置(參考標準)與實際 Hole plate 之圓柱孔的座標位置之間的器差值，依序分析出垂直度誤差、定位誤差、直度誤差及角度誤差，即為量測結果，最後將量測結果之“參數補償位置表”轉檔輸出成 XML 及 PDF 資料格式。
10. P147 中所述“另外，將 43 項幾何誤差分析方法，整合至組裝產線 ERP 系統，提升組裝精度及延長精度使用壽命”中使用“ERP”似乎較不適合，建議可以改為“MES”(Manufacturing Execution System) 較為貼切	感謝委員的建議，已經修正計畫書內容，將 ERP (Enterprise Resource Planning) 系統修正為 MES(Manufacturing Execution System)系統；計畫中發展 43 項幾何誤差分析方法，從應用於整機幾何誤差量測，延伸至組裝產線量測，結合物聯網雲國際平台，蒐集組裝量測數據，進行幾何誤差分析。
11. 表 2-2-13 中，市售儀器的量測規格採用的是“準確度”，但 Hole	感謝委員的提問，準確度僅說明儀器規格，然而不確定度需包含儀器及五軸工具機；市售儀器大多以準確度表示，

建議事項	委辦單位回復說明
Plate 用的是“不確定度”，請問這樣比較的原因是甚麼？	僅說明市售儀器量測誤差規格；Hole Plate 用不確定度進行評估，需同時評估包含 Hole Plate 及五軸工具機兩者於量測流程中所有誤差源，利用不確定進行評估能更貼近實際量測情境。
D 委員	
12.本計畫藉由國家度量衡標準實驗室之計量技術研究與量測系統開發，建立智慧機械線上校正技術與計量標準，及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，進而發展工具機之幾何誤差之檢測與補償，以促進產業關鍵零組件、整機、系統的技术發展。整體方向以符合政府智慧機械的推動方向；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。計畫大方向明確且有豐碩實質成果。	感謝委員的肯定與支持。
13.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。未來可往虛擬量測(Virtual Methodolgy)為發展方向，雲端運算以整合現有單元檢測技術至次系統檢測技術。	感謝委員的建議與指導，本計畫所開發之技術包含線上量測與校正及共通量測語言等主題之開發內容，的確有機會延伸至虛擬量測，可以幫助工具機產業在加工或量測前，先在雲端進行模擬加工，更精確地預測加工狀況及結果或量測結果，團隊後續規畫會持續依產業需求狀況，將虛擬量測、雲端運算等主題納入，使有更完整之系統整合。
14.如表 0-5、國家度量衡標準實驗室對感測器校正之技術盤點圖；如光學尺、力規、3D 視覺、麥克風等皆為相當重要之基礎量測參數；電性物理參數於半導體產業亦非常重要，貴單位與其他部門亦可整合，依相同模式嫁接到半導體產業。	感謝委員的建議與指導，配合標準局定位與任務，依產業發展需求，國家度量衡標準實驗室進行各產業所需之計量標準與校正系統建置，例如建立具良好追溯性的奈米標準量測系統與計量技術，包括晶圓表面奈米微粒粒徑校正、線距校正、薄膜量測、片電阻....等半導體產業計量技術與校正系統，均已提供半導體產業送校服務。而針對智機產業，分別於 108~111 年度及 112~115 年度，規劃兩期程，建立與國際等同的量測標準，滿足智機產業計量需求。

建議事項	委辦單位回復說明
<p>15.本計畫的執行規劃，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。此部分請在加強說明。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，本計畫以建立之力量感測器校正技術為例，協助祥固有限公司開發震撞指示器產品之產品測試，驗證最大觸發加速度規格可達 80 g 之震撞指示器。又如以計畫發展的環形編碼器校正系統、迴轉工作台量測系統，提供大銀微系統環形編碼器角度誤差值，進行控制器補償，提升角度精度，均是以具追溯性的量測數據，協助產業進行產品研發或品管的最佳例子。</p>
<p>16.本計畫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；方向明確且正確，可快速將技術擴散至產業面。建議未來可往虛擬量測（Virtual Methodolgy）為發展方向，雲端運算以整合現有單元檢測技術至次系統檢測技術。</p>	<p>感謝委員的寶貴意見，虛擬量測、雲端運算、Data Science 的確是未來的科技發展方向，本計畫建立的機械智能聲音特徵檢測技術，利用聲學訊號及大量數據，應用於風機葉片巡檢，除節省時間、無須停機，穩定發電效率外，也排除人工檢測有聽覺疲勞問題，誤判機率高的問題，未來期望將此技術擴展應用至工具機產業，滿足不同旋轉機械檢測需求；另計畫建立的計量資訊數位化幾何誤差補償技術，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>17.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，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。其中虛擬量測亦是 NIST 的發展重點。可將單元技術整合成模組實體與虛擬檢測系統，以利台灣產業技術提升。另如何有效結合 Domain Knowledge + Data Science，以提升檢測技術亦是重要一環。</p>	<p>感謝委員的寶貴意見，虛擬量測、雲端運算、Data Science 的確是未來的科技發展方向，本計畫建立的機械智能聲音特徵檢測技術，利用聲學訊號及大量數據，應用於風機葉片巡檢，除節省時間、無須停機，穩定發電效率外，也排除人工檢測有聽覺疲勞問題，誤判機率高的問題，未來期望將此技術擴展應用至工具機產業，滿足不同旋轉機械檢測需求；另計畫建立的計量資訊數位化幾何誤差補償技術，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>

建議事項	委辦單位回復說明
18.計畫成果說明中，全數達成 KPI 之需求；成果豐碩。	感謝委員的肯定與支持。
19.在技轉與智財授權技術/專利應用(件) 26 件，遠超過 KPI：5 件，但在技轉與智財授權技術/專利運用收入(元) 5,000,000 與 KPI 要求：5,000,000 相同；請說明。	感謝委員的建議與指導，配合標準局的定位與計畫屬性，建立之計量標準量測技術難以進行獨家授權，故授權方式會以多家的方式進行，故件數會較多，但計畫仍努力達成目標金額，下年度將考慮因應實際環境面，進行件數目標的調整。
20.未有國外出差短期與長期訓練，未來可規劃以吸取國外技術（如至 NIST 做技術交流）。	因應疫情及各國邊境管理措施，許多國際活動都改由線上方式進行，配合邊境開放，計畫於 112 年度已規劃出國項目，進行國際研討會發表論文與國家實驗室交流等活動。
21.專利獲證數，未來建議可做為重要 KPI 選項。	感謝委員的建議與指導，已將專利申請列為下一期計畫之重要產出，但專利提出申請後，於不同國別依其程序進行相關審核答辯流程，專利分類的不同，審查時間也不同，較難預期獲證年度。
22.在論文指標上，可鼓勵將研討會論文轉化成國際期刊論文，以提升國際能見度。國際企業越來越重視發表研究成果於國際知名研討會及期刊。	感謝委員的建議與指導，計畫會再審視相關核心技術，將研討會論文轉化成國際期刊論文，增加國際能見度。
23.本計畫已擴散重要技術於相關廠商，如東台精機是全球第二大 PCB 鑽孔機生產廠商，近年來投入工具機系統整合及智慧化服務開發。開發可攜式連續角度參考標準件(PoCAS)於五軸工具機旋轉軸幾何。此規劃是非常好的場域驗證，建構模組系統以利該機台進行參數校正。	感謝委員的肯定與支持。
24.綜論，本計畫已擴散重要技術於相關廠商，所有 K P I 皆達標，且一些指標也超過標準要求；成果豐碩。	感謝委員的肯定與支持。
E 委員	
25.本計畫執行進度、各項量化指標、經費運用等皆已達年度計畫	感謝委員的肯定與支持。

建議事項	委辦單位回復說明
變更後預期目標，值得肯定。	
26.本計畫雖為1年期計畫，但此年度為本期最後一年計畫，所以除各項年度目標成果外，應該有綜整亮點成果論述，以展現最終效益之達成。	<p>感謝委員的建議與指導，補充綜整亮點成果論述如附件一。</p>
27.本計畫各成效宜有明確之評估佐證，以利成效評估。如減少國外校正所需之時間與費用等。	<p>感謝委員的建議與指導，本計畫於國內建立智機產業所需之標準追溯體系，可減少廠商送國外校正所需時間及費用。</p> <p>力量校正送日韓德需3個月，由國家度量衡標準實驗室提供校正服務僅需1個月；聲音音壓靈敏度與自由場靈敏度送丹麥校正須3個月，由國家度量衡標準實驗室提供校正服務僅需1個月；電磁場強度送英美校正須須2-3個月，由國家度量衡標準實驗室提供校正服務僅需2週。</p> <p>視覺感測器3D量測之線上校正技術，可節省標準件維護成本與送校之校正時間，由原耗時3個月降至1個月；五軸工具機線上加工尺寸量測技術可提供國內業者單旋轉軸快速量測標準件，可節省迴轉工作台(旋轉軸)角度定位幾何誤差校正時間由原8小時降至30分鐘，另外五軸工具機線上尺寸量測技術之二維標準件，可執行五軸43項幾何誤差量測及分析，且量測時間能在4小時以內，遠優於目前商用儀器LaserTRACER的14小時。</p>
28.場域驗證鏈結準確度宜國外典範指標可以依循，以利成效評核。	<p>機械智能聲音特徵檢測技術：愛爾蘭貝爾實驗室同樣以聲學感測器搭配Machine Learning進行風機葉片損壞判定之研究，研究成果損傷判定準確率為89.8%，本計畫最終成果損傷判定準確率為91.67%，與其相當。</p> <p>五軸工具機線上加工尺寸量測技術：於友嘉實業進行場域試煉，可分析完整五軸工具機43項幾何誤差，並與業界習用商用儀器進行比較，差異值符合國際ISO 10791-4規範，即角度定位誤差值需小於10角秒及線性定位誤差值需小於10 μm，除此之外，比較使用之商用儀器為干涉儀，亦為國際規範ISO 230、ISO 10791等工具機幾何誤差檢驗相關規範所允許之量測方法。</p>

建議事項	委辦單位回復說明
29. 「完成後之影響與產業效益」大多以執行單位的角度論述，建議可以多從企業的角度評估。	感謝委員的建議與指導，計畫之後會透過各種與產業接觸及成果推廣的機會，蒐集企業角度的意見，回饋技術發展規劃及服務方式，期能對產業提供最有效且即時的協助。
30. 本期末報告中尚有「預計於 111 年完成建置」，宜確認是否已達成，以利評核成效。	感謝委員的指正，計畫已依原訂目標規劃完成相關工作，誤植文字會於第二版結案報告中修正。
31. 全程總目標中有提及量測資料品質，宜說明數據資料品質。此外，目前強調數據加值應用之效益，後續可以啟發或引導企業數據加值應用。	感謝委員的建議與指導，計畫全程 OKR 對應達成情形請參見附件二。數據加值應用之效益，在動態力量標準方面，為了準確產生動態力量，待校力量傳感器內部質量需進行修正，發展出對應之內部質量量測技術，修正動態靈敏度量測結果，並提升力量傳感器於高頻時的量測準確度達 20%，進而提升高頻力量量測數據資料之品質。
32. 本期計畫結束後，後續技術與系統成果應用與服務之擴散規劃宜有論述。	<p>感謝委員的建議與提醒，整體計畫面仍持續以座談會、研討會等進行廣宣，同時與 PMC、金工中心、智機中心等合作，直接與產業進行連結，將量測技術深耕於產業。</p> <p>動態力量量測技術：技術成果除提供產業對於力量傳感器之動態力靈敏度校正服務外，將與計畫執行中所訪視之廠商進行技術應用推廣，包含力量傳感器的動態效應測試與動態力量測系統的建置輔導等。</p> <p>機械智能聲音特徵檢測技術：本計畫先以陸域風力發電站作為測試場域，開發後端分析演算法，進行技術可行性驗證，後續此技術可導向巡檢/監測設備開發，進行現場即時檢測。此技術後續也可針對不同旋轉機械的運轉特性，進行其它設備異音檢測/監測之應用。</p> <p>視覺感測器 3D 量測之線上校正技術：協助視覺儀器相關廠商完成 TAF 實驗室建立，並將校正技術推廣，讓 3D 視覺感測器使用者在量測時更具信心，也讓 3D 視覺感測器應用在更多產業之產線上，尤其是大型加工件居多的航太產業。</p> <p>具追溯之五軸工具機線上加工尺寸量測技術：持續推廣讓更多工具機業者能完成 43 項幾何誤差量測與分析，得以與國外工具機大廠之檢測能力相當，未來亦可將量測分析結果整合至組裝產線(MES)系統上，提升組裝精度及達品質長效之效果。</p>

建議事項	委辦單位回復說明
	<p>計量數位化推動：此技術後續會配合計畫所開發之標準件如二維標準件(Hole Plate)及可攜式角度參考標準件(PoCAS)來推動將可延伸標記式語言(Extensible Markup Language, XML)作為共通數位資料交換格式，並嘗試整合至業者組裝產線(MES)系統上或進行機台健康監測過程資料交換時之使用格式。</p>
<p>33.本計畫針對所研發之議題皆有提出「突破瓶頸」、「本年度結論」及「企業訪談內容」是不錯的鋪陳。建議如果有後續可以精進之處，亦可以補充說明。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，計畫後續會再蒐集產業需求，評估技術發展方式後，朝校正系統能量擴建、或線上校正量測技術的量測時間縮短、量測不確定度降低....等方向進行研究規劃。</p>
<p>34.因大部分都是高階研究人力參加此計畫，宜有完善之技術傳承規劃。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，工研院針對新人或計畫主持人或主管，均訂有相關應接受訓練的課程，研究工作亦以 2-3 人以上小組方式展開，即可期能做好完整的傳承工作。</p>
<p>35.建議列表 4 年內技轉或服務之各次領域企業數量統計(含技轉項目、企業各次領域家數、服務相關次領域企業之比率..等)，以利了解本案對整體產業(各次領域)之貢獻面。</p>	<p>感謝委員的建議與指導，計畫會依委員建議進行統計分析，補充第二版結案報告中。</p>

