

出國報告（出國類別：訪問）

赴德國聯邦物理技術研究院(PTB)與  
漢諾威工具機展(EMO)  
出國報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：張朝欽副組長

派赴國家：德國

出國期間：中華民國 112 年 9 月 16 日  
至 9 月 23 日

報告日期：112 年 11 月 16 日

# 摘 要

為瞭解國外量測技術及先進五軸工具機等產業發展現況，藉由參訪德國聯邦物理技術研究院 (PTB) 及漢諾威工具機展，蒐集相關資訊作為我國智慧機械量測追溯之未來方向規劃參考。

本次參訪 PTB 布倫瑞克院區，主要對象為精密工程組及計量數位轉型部門。本報告中針對深刻的儀器設備如：大齒輪量測、參考牆、XCT 實驗室、奈米比較儀、角度量測實驗室等，做簡要介紹。另「計量數位化」亦是本次參訪 PTB 交流重點，特別簡述 PTB 在 DKD、Digital Twin 及 DPP (數位產品護照) 的發展與規劃。

本次出國計畫另一重點是參訪 2023 德國漢諾威工具機展，今年展覽主題為「Living innovation, shaping change」，各大廠均聚焦數位化、自動化、多工整合、永續節能之趨勢。本報告以「從參展企業看板宣傳重點看產業發展方向」、「參訪友嘉實業與永進機械主題館」、「DMG MORI CITY」、「Umati—讓機器講同樣的語言、用同樣的字典，了解彼此。」等主題切入，分享參展所見。

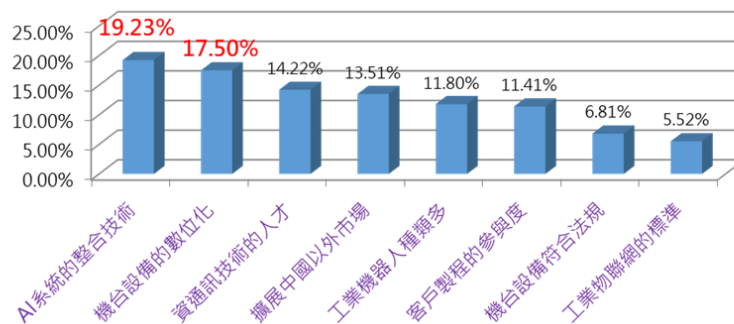
本局委託工業技術研究院量測中心執行國家度量衡標準實驗室及智慧機械科專計畫，期待本次出國所見與心得建議，有助於計畫推動及未來規劃。

# 目 次

壹、目的.....	3
貳、過程.....	3
一、 本次參訪行程.....	3
二、 主要參訪之詳細內容.....	4
(一) 德國聯邦物理技術研究院 PTB.....	4
(二) 德國漢諾威工具機展.....	17
參、心得及建議.....	22

# 壹、目的

本局於 108 年至 111 年，委託工業技術研究院量測中心執行「智慧機械產業計量標準建置計畫」工作，配合產業感測器校正缺口，持續精進與擴建現有國家計量標準系統，以滿足廠商需求。目前，正接續前項計畫自 112 年起至 116 年，辦理「智慧機械產業智慧化線上計量標準建置計畫」(以下稱智機計畫)，以躍升五軸工具機空間幾何線上量測精度，完善品質長效線上量測能力，與德國工具機相當，引領工具機產業搶佔高階智慧製造市場為計劃目標。依工研院產科國際所調查(如圖一)，智慧製造面臨的主要問題是 AI 系統的整合技術與機台設備的數位化，換句話說，如何讓高可靠度的感測器量測正確大量資料後，再與 AI 結合進行後續之數據判讀分析，於每個階段導入預測、決策、學習及調整功能讓工件品質具可追溯性，是智慧製造最重要之工作。為掌握先進五軸工具機產業智慧機械等領域發展現況與技術，盤點國內產業欠缺或與國際接軌之實際需求，藉由參訪德國聯邦物理技術研究院 (PTB) 及漢諾威工具機展，期瞭解相關領域之最新發展，並確認我國於智慧機械量測追溯未來發展方向，作為本局系統建置規劃參考。



圖一、國內廠商智慧製造面臨的主要問題分析圖

# 貳、過程

## 一、本次參訪行程

本次參訪先至德國 PTB 布倫瑞克(Braunschweig)院區進行交流，後至德國漢諾威參訪 2023

年歐洲工具機(Exposition Mondiale de la Machine-Outil, EMO)展，參訪日程為 9 月 16 日至 9 月 23 日，完整行程如表一：

表一、本次參訪行程表

參訪日期	參訪地點與機構	參訪主題及實驗室
9/16-17	9/16 搭機啟程，9/17 抵達德國布倫瑞克	
9/18-9/19	德國 PTB (布倫瑞克院區)	參訪該院第 5 組精密量測實驗室(座標量測、奈米尺寸量測、位移干涉量測及長度與角度量測)及第 9 組計量數位轉型部門，並進行技術與管理經驗交流。
9/20-9/21	德國漢諾威工具機展	瞭解國際工具機廠商因應數位轉型及淨零排放等議題之產業與技術發展。
9/22-9/23	9/22 搭機回程，9/23 回抵國門	

## 二、主要參訪之詳細內容

### (一) 德國聯邦物理技術研究院 PTB

1、PTB 簡介—” The Kilogram, the metre and the second are just as at home here as all the other physical units”

從布倫瑞克火車站搭 461 巴士約半個小時抵達終站 PTB，入口警衛親切給了張院區地圖，以大寫字母及顏色標示 1 平方公里院區內各建築物，讓初來乍到的訪者很容易可找到目的地。又地圖上歡迎詞寫著” PTB，公斤、公尺、秒及其他物理單位的家，因為 PTB 是德國國家度量衡機構，所有與正確及精密量測有關議題的最高主管機關。”，清楚且堅定的表達 PTB 的角色定位。

德國聯邦物理技術研究院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt，PTB)成立於 1887 年，目前總部就設在布倫瑞克院區，另柏林設有柏林研究所及威利維恩實驗室。PTB 為世界上最早

之計量標準機關，為德國國家度量衡標準實驗室所在，隸屬於德國聯邦經濟事務和能源部 (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, BMWi)，授權該國最高量測標準，計有 9 個分組、2 個管理部門，及 6 個創新集群。其中 9 個分組包含：力學與聲學(Mechanics and Acoustics)、電學(Electricity)、化性物理與防爆(Chemical Physics and Explosion Protection)、光學(Optics)、精密工程(Precision Engineering)、游離輻射(Ionizing Radiation)、溫度與同步輻射(Temperature and Synchrotron Radiation)、醫學物理與計量資訊科技(Medical Physics and Metrological Information Technology)、以及法定計量組(Legal and International Metrology)；另值得關注的是，經比較 PTB 2023 年與 2018 年之組織架構，發現包括數位化、能源、環境與氣候、健康、量子技術、系統計量等 6 個創新集群 (Innovation Clusters) 及本次安排參訪的度量衡數位轉型部門(屬第 9 組法定計量組)，均為近年因應國際情勢與新興科技發展而陸續整合設立；PTB 組織架構如圖二。

德國的品質基礎設施 (QI; Quality Infrastructure) 是其經濟成功的重要因素，此乃植基於計量、標準化、認證、符合性評鑑和市場監督的相互作用，而 PTB 依其核心法律任務之一《單位和時間法》確保計量的一致性、測量真實性、測量穩定性和可測試性，並大力支持這些領域的國際協調，在這方面扮演著非常重要的角色。舉例而言，為了能夠在數位化世界中實現這些目標，PTB 正在開發數位校正證書等應用程序，此次參訪第 9 組法定計量組度量衡數位轉型部門，即就其數位校正證書(DCC)計畫進行瞭解與交流。此外，為保證電動車充電及交易過程準確且透明，同時也積極支持德國聯邦政府的電動車國家發展計畫，PTB 在 2018 年頒發電動車供電設備 (electric vehicles supply equipment, EVSE) 型式認證證書，並強制要求電動車供電設備須符合法規規定，也因目前此領域國際上強制要求國家並不多，PTB 做法成為我國近期修訂相關規定的重要參考依據。

2023 年，PTB 年度預算約 2.6 億歐元，另為研究項目籌集的額外第三方資金約 2400 萬歐元。目前員工近 2100 人，其中 1700 人在布倫瑞克院區，據訪談得知，員工多數為正式公務員，僅少數為契約人員，員工離職率很低，每年約僅 1-2%。院區內林蔭綠草處處，環境清靜宜人，院內設有員工餐廳，有三樣主餐及飲料熱湯可供選擇。另此次參訪在院區內經過一營運中的員工托兒所，有戶外遊憩場及室內教室，且正擴大整建並將於近期完工，足見頗重視



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
National Metrology Institute

<b>Presidential Board</b> President Prof. Dr. C. Datz	<b>View-president</b> Dr. Prof. h.c. F. Häg	<b>Member of the Presidential Board</b> Dr. A. Röhger	<b>Presidential Staff Office</b> Dr. M. Stein	<b>Press and Information Office</b> Dr. Dr. J. Simon	<b>Head of the Berlin Institute and the President's Representative in Berlin</b> Prof. Dr. T. Schiller
			<b>Presidential Staff Office for Communication</b> Dr. J. Teuch	<b>Confidentiality Assessment</b> Dr. Prof. h.c. F. Häg	<b>Internal Auditing</b> S. Eichenhorn

## Organization Chart

As of October 01, 2023

<b>Div. 1</b> Mechanics and Acoustics Dr. T. Schreiber Dep. 1.1 - Mass Dr. D. Klotz Dep. 1.2 - Solid Mechanics Dr. R. Krumm Dep. 1.3 - Velocity Dr. R. Myrland Dep. 1.4 - Gas Flow Dr. J. Häg Dep. 1.5 - Liquid Flow Dr. C. Kruer Dep. 1.6 - Sound Dr. C. Reich Dep. 1.7 - Acoustics and Dynamics Dr. T. Bruns JRG 1.02 - Infrasonic Dr. S. Jacob	<b>Div. 2</b> Electricity Vize-Prof. Dr. U. Sogner Dep. 2.1 - Direct Current and Low Frequency Dr. R. Jochenke Dep. 2.2 - High Frequency and Ultramagnetic Fields Dr. T. Kleins-Ottmann Dep. 2.3 - Electrical Energy Measuring Techniques Dr. E. Morris Dep. 2.4 - Quantum Electronics Dr. M. Biber Dep. 2.5 - Semiconductor Physics and Magnetism Dr. H. W. Schumacher Dep. 2.6 - Quantum Electrical Metrology Dr. H. Schuler	<b>Div. 3</b> Chemical Physics and Explosion Protection Dr. B. Giller Dep. 3.1 - General and Inorganic Chemistry Dr. R. Stroh Dep. 3.2 - Biochemistry Prof. Dr. G. O'Connor Dep. 3.3 - Physical Chemistry Prof. Dr. R. Remaneke Dep. 3.4 - Analytical Chemistry of the Gas Phase Prof. Dr. V. Ebert Dep. 3.5 - Explosive Protection in Energy Technology Dr. D. Markus Dep. 3.6 - Explosion Protection in Sensor Technology and Instrumentation Dr. M. Thiemers Dep. 3.7 - Fundamentals of Explosion Protection Dr. M. Bayer	<b>Div. 4</b> Optics Vize-Prof. Dr. S. Kock Dep. 4.1 - Proximity and Spectroscopy Dr. A. Sperrig Dep. 4.2 - Imaging and Wave Optics Dr. G. Eitel Dep. 4.3 - Quantum Optics and Unit of Length Dr. C. Lipold Dep. 4.4 - Time and Frequency Dr. E. Falk Dep. 4.5 - Applied Radiometry Dr. S. Winker	<b>Div. 5</b> Precision Engineering Dr. R. Bross Dep. 5.1 - Surface Metrology Dr. U. Brand Dep. 5.2 - Dimensional Metrology Dr. J. Rögge Dep. 5.3 - Coordinate Metrology Dr. K. Kroll Dep. 5.4 - Interferometry on Material Measures Dr. R. Schold Dep. 5.5 - Scientific Instrumentation Dr. F. Löffler	<b>Div. 6</b> Working Radiation Dr. J. Steiger Dep. 6.1 - Radioscopy Dr. D. Arnold Dep. 6.2 - Dosimetry for Diagnostic Radiology Dr. U. Altmann Dep. 6.3 - Radiation Protection Dosimetry Dr. O. Hüpe Dep. 6.4 - Neutron Radiation Dr. A. Zumbal Dep. 6.5 - Operational Radiation Protection Dr. R. Simmer	<b>Div. 7</b> Temperature and Synchronisation Prof. Dr. M. Rothler Dep. 7.1 - Radiometry with Synchronised Radiation Dr. F. Schobe Dep. 7.2 - X-Ray Metrology with Synchronised Radiation Dr. M. Krumm Dep. 7.3 - Detector Radiometry and Radiation Thermometry Dr. C. Moritz Dep. 7.4 - Temperature Dr. S. Buchst Dep. 7.5 - Heat and Vacuum Dr. K. Joubert Dep. 7.6 - Cryosections Dr. J. Bayer	<b>Div. 8</b> Medical Physics and Technology Prof. Dr. T. Schiller Dep. 8.1 - Biomedical Magnetic Resonance Dr. B. Reimann Dep. 8.2 - Biogratals Prof. Dr. P. Köger Dep. 8.3 - Biomedical Optics Prof. Dr. R. Macdonald Dep. 8.4 - Metamaterials Modelling and Data Analysis Prof. Dr. M. Bär Dep. 8.5 - Microbiological Information Technology Dr. R. Thiel Dep. 8.6 - Technical scientific Infrastructure Berlin Dr. F. Meibohf JRG 8.04 - Machine Learning and University Prof. Dr. S. Haeuble	<b>Div. 9</b> Legal and International Metrology Dr. F. Jansen QIZ - Staff Unit for Quantum Technology Competence Center Dr. N. Speitmann Sec. 9.11 - Industrial Metrology Dr. W. Schmidt International Office L. Schausen DND - German Calibration Service Dr. M. Cziske Dep. 9.2 - Local Metrology and Economy Assessment Dr. D. Ratschko Gps. 9.3 - International Cooperation Dr. M. Städt Sec. 9.31 - Europe and the CIS C. Wiegelt Sec. 9.32 - Asia U. Meisner Sec. 9.33 - Latin America and the Caribbean U. Sailer Sec. 9.34 - North Africa and the Middle East J. Flecker Sec. 9.35 - Sub-Saharan Africa Dr. B. Seigmund Dep. 9.4 - Metrology for Digital Transformation Dr. S. Eichstädt	<b>Div. 10</b> Cross-Sectoral Services M. Glawns 0.01 - Staff Unit for Security Dr. D. Stöckl Sec. 0.11 - Academic Library Dr. J. Meier Sec. 0.12 - Translation Office C. Chenuet Gp. 0.2 - Technical Infrastructure D. Grönbach-Damm Sec. 0.21 - Occupational Safety and On-Site Security M. Fritze Sec. 0.22 - Technical Service Braunschweig C. Engler Sec. 0.23 - PTB Fire Brigade M. Vogt Sec. 0.24 - Building Organization P. Schulz Gp. 0.4 - Information Technology Dr. M. Gubrod Sec. 0.41 - Metrology Networks R. Werra Sec. 0.42 - P-Base Dissemination of Time G. Yaffel Sec. 0.43 - Events-IT Dr. M. Gubrod Sec. 0.44 - Support IT Specialists K. Huber Sec. 0.45 - High Performance Computing (HPC) JRG Junior Research Group Dr. D. Libbert *performed by	<b>Div. 11</b> Administrative Services S. Wiseman Sec. Z.11 - Budget and Procurement M. Wernau Sec. Z.12 - Personnel B. Tittel Sec. Z.13 - Legal Matters R. Gassel Sec. Z.14 - Organization and Controlling M. Jacmann Sec. Z.15 - Berlin Administration M. Jacmann Sec. Z.16 - Internal Services A. Grub Sec. Z.17 - Training B. Wehe Sec. Z.18 - Business Applications M. Babin
---	--	--	---	---	--	---	---	--	--	---

圖二、PTB 組織架構圖

## 2、PTB 參訪行程及重點

本次參訪 PTB 共 2 天行程，主要對象為第 5 組精密工程 (Precision Engineering) 組 (包括 5.3 座標計量(Coordinate metrology)及 5.2 奈米尺寸(Dimensional Nanometrology) 部門) 及第 9 組國際與法定度量衡(Legal and International Metrology)組之 9.4 計量數位轉型 (Metrology for Digital Transformation)部門。於每場交流會議開始，均由同行之我國家度量衡實驗室工研院林明賢博士先分享目前智機科專計劃有關線上量測及數位化成果；包括以座標量測儀測量 Hole Plate 並將工具機 21 項幾何誤差量測結果轉成 XML 檔並傳至工具機控制器進行補償之作法(如圖三)，再由 PTB 部門專家進行業務簡報及赴實驗室說明量測技術發展現況。本次 PTB 參訪行程如表二；謹將參訪重點說明如下：

表二、PTB 參訪行程表

Monday, September 18, 2023

Time	Topic	Location	Contact	Lab visit
10:00-12:00	Visit to Department 5.3 “Coordinate Metrology”	Entrance Hall of Bessel-Building 1	Dr. Karin Kniel Dr. Daniel Heiβelmann	WG 5.31- 5.34
12:00	Lunch	Canteen	Dr. Daniel Heiβelmann Dr. Sascha Eichstadt	
13:00-	Visit to Department 9.4 “Metrology for Digital Transformation”	Z-Building, R.001	Dr. Sascha Eichstadt Dr. Daniel Hutzschenreuter Dr. Tomas Krah Mr. Helga Hansen Mr. Michael Ulbig	

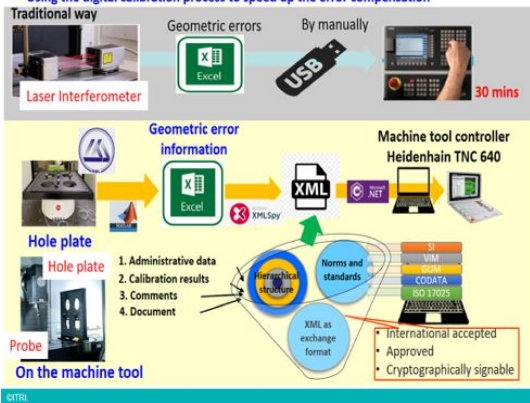


Tuesday, September 19, 2023

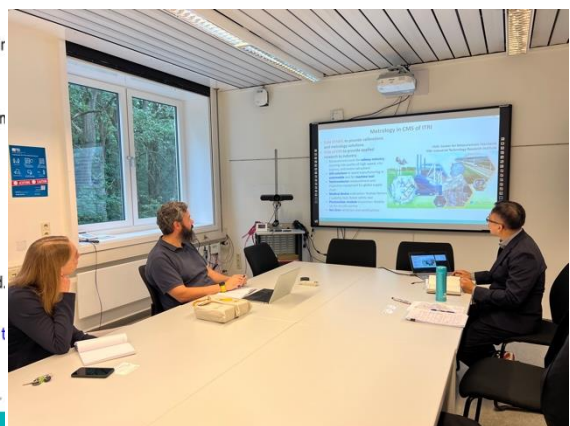
Time	Topic	Location	Contact	Lab visit
10:00-10:30	Introduction to Department 5.2 “Dimensional nanometrology”	Abbe-Building	Dr. Jens Flügge	
10:30-12:30	Visit to Working Group 5.22 “Displacement Interferometry”	Abbe-Building	Dr. Jens Flügge	WG 5.22
12:30-13:30	Lunch	Canteen	Dr. Jens Flügge Dr. Ralf Geckeler	
13:30-15:00	Visit to Working Group 5.21 “Length and Angle Graduations”	Clean Room Centre	Dr. Ralf Geckeler	WG 5.21

### DCC and In-Process Calibrations

- Measure the Hole plate on the five-axis machine tool and obtain 21 geometric errors
- Using the digital calibration process to speed up the error compensation



- The demo site was built in machine tool industry.
- Error compensation information was based on Digital Calibration Certificates (DCC) and Extensible Markup Language (XML).
- Error compensation information can be automatically transferred.
- Digital calibration can reduce the time from 30 to 5 minutes.



圖三、工研院林明賢博士分享智機計畫成果

- 三維大尺度量測—大齒輪量測與參考牆（由 Dr. Daniel Heißelmann 解說）

- 大齒輪標準件及量測系統

因應全球氣候變遷，歐盟設定的目標是到 2030 年再生能源佔總能源的比例為 32%，惟目前持續成長前景可能會因風能系統 (WES) 的機械故障而受到影響，究其原因，測量不準確可能會導致渦輪傳動系統過度磨損，而表面缺陷也會降低齒輪的可靠性，因此需要可追溯的測量標準和精確的表面品質測量技術來提高大型 WES 零件的可靠性並增強競爭力。為透過實現更可靠、更有效率、更安靜的傳動系統組件來支援產能擴張並提高風能聲譽，PTB 風能能力中心於 2021 年啟用，以建立 WES 組件的測量技術和可追溯的測量標準及不確定行評估，並開發設計模組和數值模型來模擬測量大型零件時的誤差來源，使組件製造商能夠提高傳動系統的可靠性。

PTB 建立的大型齒輪量測標準件，直徑 2 公尺，重約 3 公噸，量測儀器則為一大型座標量測儀，量測範圍為 4 公尺 x 5 公尺 x 2 公尺（如圖四）。透過控制良好的量測環境（溫度變化小於 0.1 °C，並將待測物先存放 5~7 天使溫度穩定）、幾何誤差量測與補償等，達成低於 3.5  $\mu\text{m}$  ( $k = 2$ ) 的量測不確定度。



圖四、大型齒輪量測標準件及 CMM

## ■ 參考牆

目前大體積物件的量測(3 立方公尺以上)在工業應用上仍有相當挑戰，為確保所使用的移動式 3D 量測系統(Mobile 3D measuring systems)之量測準確與可靠度，並兼顧成本效益及測量技術易於執行，PTB 遂研究建立參考牆，以進一步評估雷射量測時場域內光學儀器之空間安排及相關攝影機位置的相互影響。

於 PTB 院區二戰時保留的建築內，沿著花崗岩旋轉樓梯扶搖而上，可到達 PTB 為校正雷射追蹤儀所建立長達 12 m（對角線長度）的參考牆（reference wall；如圖五），以熱膨脹係數低的碳纖維強化塑膠材料且無應力地安裝在牆上作為測試長度標準。此參考牆可分 5 個部份：一垂直線（3m）、二對角線（均為 12m）及二水平線(分別為 6m 及 10m)，這些測試標準線以可微調的裝置(nest)連結，以配合環境監測結果搭配追蹤標靶-貓眼(targets and markers；具磁性可吸附在 nest 上)及雷射追蹤儀做修正。透過從不同位置測量測試長度，該測試相當於在 10 m × 6 m × 3 m 的大測量體積內對雷射追蹤儀進行測試。實驗室監控環境溫、濕度及氣壓，並考慮降低振動影響，於不同特定測試長度的擴充測量不確定度 (k=2) 可達 5  $\mu\text{m}$ ，可用於校正雷射追蹤儀符合「座標量測儀 (CMM) 驗收和複檢測試」的 EN ISO 10360 系列標準，並聲明符合最大允許長度之測量誤差。目前該設備除提供雷射追蹤儀校正業者或製造商使用外，並作為研究及開發量測技術用。



圖五、PTB 參考牆

- **XCT 實驗室** ( 由 Dr. J. Flügge 解說 )

XCT；工業用 X 光電腦斷層掃描儀，是利用 X 光的穿透性，以 360 度拍攝千百張物體的 2D 影像，再透過電腦斷層技術重組成一個 3D 透視影像，可完整看到物體內部複雜的結構、氣孔、裂縫等，因無需破壞樣品，是非破壞檢測的重要工具。尤其近年航太、汽車及醫療等產業已廣泛採用積層製造技術，XCT 結合工業自動化及大數據的分析運算能力，可協助製造商透過其尺寸及基準定位、結構分析、缺陷分析及逆向工程等功能，有效改進產品設計並降低開發成本，據日商環球訊息 (GII) 調查，全球 XCT 市場規模在 2023-2028 年期間，成長率可達 5.8%。

PTB 有關 XCT 主要負責部門為座標計量部門中的“Multisensor-Coordinate Metrology”，該部門主要針對座標計量中非接觸式的相關量測技術進行研究，除 XCT、CMM 上的非接觸式測頭外，視覺 3D 量測也屬於該部門的發展範疇。

PTB 是第一個操作自己 XCT 的國家度量衡機構，在此領域一直是專業領先者，並積極參與相關國際標準制定工作。目前 PTB 所擁有的 XCT 是 Nikon MCT 225 (如圖六)，能量為 225 kV，溫度控制在  $20^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  時，最大容許誤差(MPE)為  $9\ \mu\text{m}$  以上，最大量測物體尺寸為 250 mm，典型量測工作包括：取得塑膠零件和小型金屬零件的完整幾何形狀、規則幾何形狀、自由曲面與內部幾何形狀的測量，所進行的相關研究期在改善量測的精確度、追溯性及減少量測所需時間，並評估模擬軟體之量測不確定度。

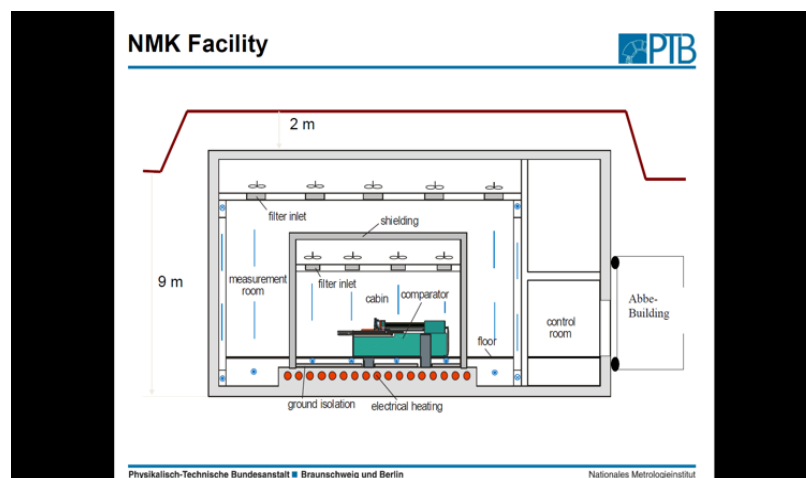
因 XCT 之操作程序、溫度控制、物件與光源及檢測器間距離等因素均影響量測結果；又鑒於國內目前尚缺乏 XCT 校正追溯能力，亦無經 TAF 認證之 XCT 校正實驗室，工研院為協助產業導入運用並突破國產化 XCT 設備發展瓶頸，於 2023 年起於智機計畫編列預算建置相關 XCT 設備，並參考 VDI/VDE 2636，研發國內 XCT 參考標準件與驗證校正技術及量測不確定度，PTB 在此領域的投入與經驗，應可持續關注並尋求與其交流學習機會。



圖六、PTB Dr. Ulrich 說明 XCT 之腔內構造及掃瞄影像

- 奈米比較儀 (Nanometer Comparator)

為滿足半導體結構尺寸等量測要求，提供遮罩比較器 (Mask Comparator) 及光學 CMM 追溯，PTB 正與該國 HEIDENHAIN 及 Werth 公司合作，在 Abbe-Building 旁的高 2 公尺的草地下（深 9 公尺）建立奈米比較儀 (Nanometer Comparator；如圖七、圖八)，量測範圍達 610 mm，量測不確定度為 5nm，可提供精確且具可追溯性的奈米尺寸量測，並對幾何結構檢測進行基礎研究。PTB 為減少環境對比較儀內雷射折射及量測結果的影響，除設備技術的精進與調整外，不論是氣溫、相對濕度、氣壓、真空的控制，甚至採用花崗岩基座、滑軌、波紋管及實驗室設置地點的許多細節，看得出為降低量測不確定度投入相當心力。



圖七、奈米比較儀設置環境簡圖

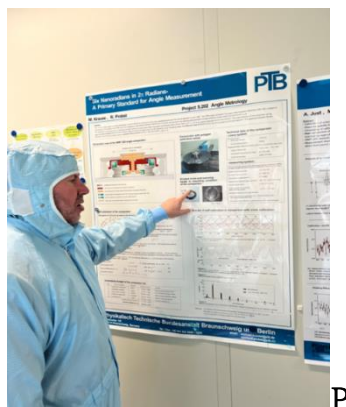




圖八、PTB Dr. J. Flügge 說明奈米比較儀設備建置重點

- 角度量測實驗室（由 Dr. Ralf Geckeler 解說）

精密角度測量廣泛應用在科學和工業，例如精密工程、光學、同步加速器束線計量、航空航太、大地測量、導航和天文學等。PTB 為及時提供必要的校正方法和設施，並靈活地回應工業和科學的需求，以應用為導向，發展角度測量系統的精確量測，並投入新測量程序和數學演算法的基礎研究，及角度測量儀器設計的改進。角度量測實驗室設置於 PTB 的潔淨中心(Clean room center)中，使用德國 Johannes Heidenhain 製造的高精度角度比較儀 WMT 220 作為角度測量的主要標準器，它安裝在無塵室設施中，並維持高度穩定的環境溫度(  $\Delta T < 0.05K$  )、低振動和穩定的層流氣流，量測不確定度可達 0.001 arcsec。另 PTB 發展出藉由封閉圓原理實現自我校正之環形編碼器，其量測不確定度為 0.005 arcsec，目前該系統可提供如環形編碼器、方規、自動視準儀等的校正（如圖九）。



圖九、PTB Dr. Ralf Geckeler 說明角度量測標準發展

- 計量數位化之討論（與 Dr. Sascha 團隊交流）

自 2013 年德國《高技術戰略 2020》十大未來專案納入工業 4.0 項目，在全球掀起風潮，轉眼至今已 10 年。綜觀工業 4.0 的價值，是利用物聯網、感測技術連結萬物，機械與機械、機械與人之間可以相互溝通，將傳統生產方式轉為高度客製化、智慧化、服務化的商業模式，可以快速製造少量多項的產品。感測器的發展可視為工業 4.0 的主要驅動關鍵，惟因應快速變化的市場，其複雜度與挑戰與日遽增。目前 PTB 計量數位轉型部門推動重點即在於如何產出及運用機器可讀的資料與數位校正報告（Machine readable data & DCCs (Digital Calibration Certificates)），相較於實體校正報告，數位校正報告之優點為無偏剖性、連續性的資料，適合永久且較為經濟的保存，並可迅速的標準化，如為機器可讀資料，則對加速自動化有很大幫助。

本次 PTB 負責說明數位轉型的 9.4 部門主管 Dr. Sascha，目前亦擔任 OIML 數位化工作小組主席，此外包括 CIPM 資料機器可讀、推動 DCC 及數位品質基礎架構等 PTB 專家，亦於雙方交流過程分享經驗（如圖十）；另工研院林博士的智機經驗分享與本局分享度量衡器檢定合格單加上 QR code 提供消費者查詢檢定履歷的做法，亦獲得 PTB 參與團隊的敲桌肯定。



圖十、在 PTB 9.4 部門與 Dr. Sascha 團隊交流

以下僅就 PTB 在 DKD 運作、數位雙生應用研究及數位產品護照等主題說明如下：

■ DKD (德國校正服務)：

DKD ( Deutscher Kalibrierdienst ; German Calibration Service )由 PTB 及德國 400 多家經認證的校正實驗室與公司所組成，發展校正指引並積極參與國際校正規定制定，此外亦提供度量衡相關諮商交流及辦理課程及研討會。DKD 結合 PTB 的計量專家與業界實務，可強化跨領域合作。為推廣且逐步落實校正數位化，並加速校正資料於自動化的可用性，DKD 成立次級委員會聚焦 DCC 發展，目前已在多項度量衡器建立 DCC 的良好作業規範、調和格式與字碼及專家報告(如圖十一)；由此看出，PTB 正全面性推動校正數位化，涉及單位、領域雖多且複雜，惟正一步步朝設定目標邁進。

Measurand	Harmonised wording	Good practice	Expert report
Mass	✓	✓✓	✓✓
Scales	✓	✓✓	✓✓
Temperature	✓	✓	✓
Humidity	✓	✓	✓
Length	✓	✓	✓
Air pressure	✓	✓	✓
Torque	✓	✓	✓
Force	✓	✓	✓
Electr. measurands	✓	✓	✓
Chem. measurands	✓	✓	✓
Laboratory medicine	✓	✓	✓

[www.ptb.de/cms/en/metrological-services/dkd/publications.html](http://www.ptb.de/cms/en/metrological-services/dkd/publications.html) → tab Expert Reports  
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig und Berlin  
 18.09.2023  
 DKD Nationales Metrologieinstitut  
 Visit of ITMI

✓✓ Ready to use  
 ✓ Work started  
 ✓ Planning started

圖十一、DKD 推動數位校正報告各項量測領域之現況

■ The Digital Twin ( 數位雙生 ; Hands-on Experience from Coordinate Metrology )

去年智機計畫建立一量測五軸工具機 43 項幾何誤差的 hole plate，惟此誤差量測與補償是否可藉由工具機數位雙生執行？此次參訪 PTB 見到類似作法。事實上，PTB 建立虛擬座標量測儀 ( VCMM ; Virtual Coordinate Measurement Machine ) 的概念自 1990 年代就已提出，並自 1994 年在歐盟資助下開始專案投入，惟因需以數位方式表示座標量測儀、工件及環境，相關性質的物理、數學模式及各項參數的決定均十分複雜，量測不確定度亦不易評估，目前仍持續研究精進中。數位轉型除資訊方面專家參與外，很重要是需各方專業投入實現；此次分享案例為 5.3 座標量測部門推動 VCMM 的經驗 (如圖十二)。



## Summary

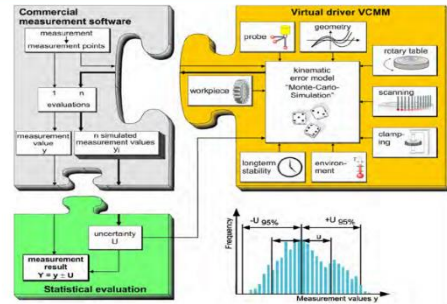


### State-of-the-art VCMM is available:

- Scanning, stylus changes, form and roughness considered
- Utilized for MU determination and pre-planning
- Accreditation by DAkKS finalized

### Future tasks:

- Rotary table module (verification of model required)
- Optical CMM/probing

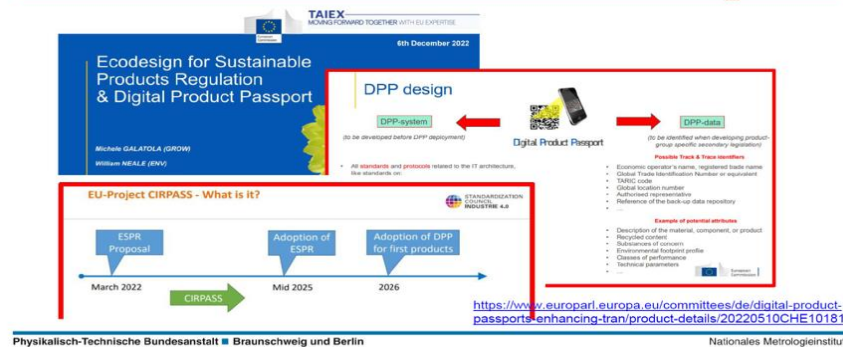


圖十二、PTB 發展虛擬座標量測儀(VCMM)之現況

## ■ DPP (Digital Product Passport ; 數位產品護照) :

據本次 PTB 專家說明，歐盟為支持產品的生態設計、延長產品壽命、提高材料回收率，根據永續產品的生態設計規範( Ecodesign for Sustainable Products Regulation)，預計自 2026 年起，將強制規範進入歐盟境內的部分商品須標示如二維條碼的數位產品護照(如圖十三)，第一批管制商品可能為一定容量的電池商品，未來將陸續納入紡織品、玩具等。透過數位產品護照，相關利害關係者可獲取商品資訊(包括原料來源、產地、運輸過程、合計二氧化碳排放量等)及安全要求、符合性評鑑等資訊，促使產品的維修或回收更加容易，並加速淘汰非永續的產品。為使消費者方便由手機從 DPP 上掃描獲取足夠必要且值得信任的資訊，未來數位產品護照將會與數位校正證書等資訊結合，PTB 亦正研究條碼表示內容、方式及相關資安架構，並說明強制實施前會完成前置作業。

## Trust and confidence in digital information

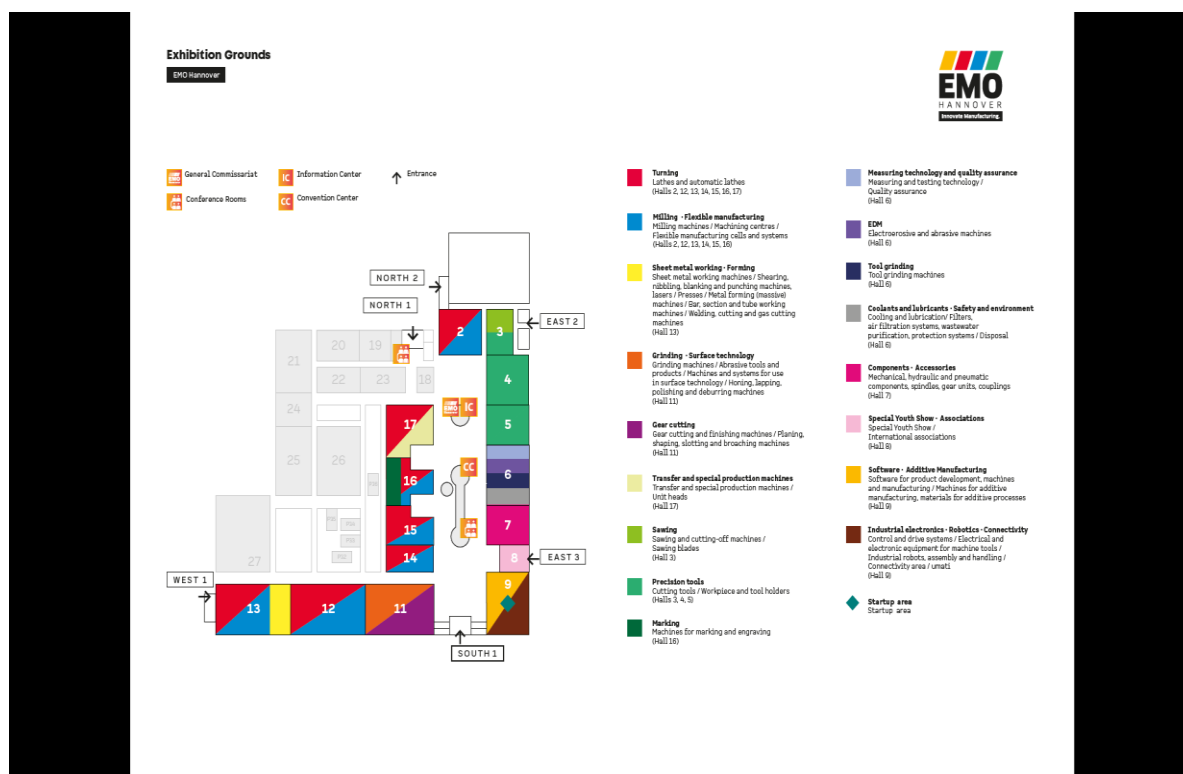


圖十三、歐盟 DPP 數位產品護照之設計及推動期程

## (二) 德國漢諾威工具機展

### 1、展覽背景簡介

2023 年德國漢諾威工具機展（EMO HANNOVER 2023）展期自 9 月 18 日至 9 月 23 日，本次 EMO 展覽主題為「Living innovation, shaping change」，以持續創新因應環境及產業的形態變革，引領全球工具機產業迎接未來商機與連接永續製程。因疫情影響睽違四年再次在漢諾威開幕，各大廠聚焦數位化、自動化、多工整合、永續節能之趨勢。展場平面圖如圖十四（計 17 個展館，與 2019 年展館數相比，少了部分展示車床、銑床的 3 個展館）。據大會資料，今年 EMO 展共有來自全球 42 個國家，包括切削及成型加工機、製造系統、精密工具、自動物件處理、電腦技術、工業電子及零組件等約 1,750 家製造業者參展，期透過此世界首屈一指的生產技術展場，介紹最新的設備與技術並爭取好的業績。今年國內參展的工具機與零組件廠商達 144 家，包括永進機械、東台精機、台中精機、程泰機械、友嘉實業、上銀科技、台灣麗偉等皆參展。受全球景氣復甦緩慢影響雖略有縮減參展規模態勢，但參展廠商均精銳盡出，期盼在本次展會能拿到訂單。



圖十四、2023 EMO 平面圖

## 2、展場所見介紹

EMO 展場很大，相當 10 幾個南港展覽館，為方便來自各方參觀人潮，從漢諾威展



場車站( Hannover Messe )出站後即有長約 2、300 公尺的平面手扶梯可往返展區，免除太陽下走路或拖拉行李時不便（如圖十五）。另展區內設有環繞園區行駛的紅、綠兩線免費接駁巴士，方便參覽者在各展館間快速移動。園區內在展館間的戶外草地有一些賣咖啡、熱狗、三明治的小吃攤，可解決午間出外不便的民生問題。因此次出國行程安排只有一天半時間看展，僅就所見重點整理如下：

圖十五、車站往返展場的平面手扶梯

- 從參展企業看板宣傳重點看產業發展方向

配合本屆 EMO 展覽主題「Living innovation, shaping change」，偌大的展場裡，各大參展業者為吸引更多眼光及駐足，紛紛以大型看板及展場布置，內容鎖定永續、節能、數位化的創新轉型，並強調自家專業強項及企業理念，以期獲得更大共鳴。表三為展場所見企業看板宣傳標語，可看出各家業者發展重點。其中於永進機械展位附近的韓國工具機廠商 DN SOLUTIONS，為 2022 年由韓國斗山機床更名，強調欲成為製造解決方案的領導者，現場除展出五軸工具機等大型加工機外，另設專區介紹其以西門子控制器開發的數位雙生系統，加上頗具規模的展位設計，看得出其不小的企圖心。

表三、部分參展企業看板宣傳一覽表

企業名稱	看板宣傳重點
DMG MORI	MX – MACHINING TRANSFORMATION EVOLUTION OF PROCESS INTEGRATION, AUTOMATION, DIGITAL TRANSFORMATION [ DX ] AND GREEN TRANSFORMATION [ GX ]

SIEMENS	Accelerate transformation for a sustainable tomorrow
FANUC	WHERE THERE' S INNOVATION THERE' S FANUC
OKUMA	OPEN POSSIBILITIES
DN SOLUTIONS (韓)	Next Greatness for Green Future
FFG(友嘉)	Innovative Manufacturing Strong Partner for Your Production Worldwide
YCM(永進)	Make it Better, Together Green x Smart — Realizing Your Smart Factory Dream

● 參訪友嘉實業與永進機械主題館

「他鄉遇故知」可謂人生一大樂事，本次參訪德國漢諾威工具機展在友嘉實業及永進機械二家國內大廠展區時，分別由高桂樟經理及許嘉偉工程師（如圖十六）對其公司產品作詳細介紹，讓身處國外陌生環境且在偌大展場思考如何運用有限時間的我們，備感親切。



圖十六、與友嘉高桂樟經理及永進許家偉工程師於展場合影

從訪談中瞭解，二位工程師均由國內出差，於開展前一、二個星期前就到德國佈展，相較於目前展覽期間有空調及小吃攤等，因佈展時展場周圍不見商家，不僅工作繁多且整天多以麵包裹腹，其辛苦不難想像。

不同於 3 月初台北國際工具機展，友嘉集團當時主題為「智慧賦能，綠色永續」，於本次 EMO 展友嘉以「Strong Partner for Your Production Worldwide」為題，可能希望吸引更多世界各地的廠商，並成為其創新解決方案提供者。友嘉高經理分享工具機在線上量測及感測器的應用，並說明透過智慧機上盒，可進一步監控機台運作，達到損害預測及有效提高稼動率。對於今年智機計畫探討之 MTBF 平均故障間隔(Mean Time Between Failure；即產品在操作狀態下的平均連續無發生故障的時間)，業者目前仍多以保固期限來彰顯機台可靠度，若未來 MTBF 定義及評估方式能更明確，且能找出方法加以提升，將有助於國內業者更準確訂定產品保固期，協助廠商降低成本及增加競爭力。

由於歐洲電費高漲，今年國內工具機大廠展示多項以節能為訴求的綠色工具機產品，永進許工程師分享，工具機雖尚未列入歐盟碳邊境調整機制 (CBAM) 第一波高耗能產品名單，但因應氣候變遷與淨零減排已成國際趨勢，永進工具機已於今年 2 月取得 ISO 14955 工具機環境評估－能源效率的證書，並希望藉由精實管理、數位轉型，及提升能源轉型技術，實現淨零排放的目標。

- DMG MORI CITY



圖十七、DMG MORI 形象看板

德馬吉森精機 DMG MORI 一直是各屆 EMO 展中的焦點，除產品結合德、日在傳統機械領域精湛工藝外，擅長藉由全面的品牌溝通，為冷冰冰的工具機產業加添了人性與科技魅力，常能令人驚艷。本次 DMG MORI 展區以加工轉型為主題，搭配金色蝴蝶象徵加工世代的蛻變 (如圖十七)，展區佔一整個個展館，現場以 DMG MORI CITY 為名，並以路牌指示加工整合、自動化、數位轉型及綠色轉型各大區域，方便參觀者依需求觀展。現場所展示工具機，先不談功能性，其媲美大型高級家電的外型設計，就足依讓人眼睛為之一亮。



隨航太、風機、半導體及醫療等產業需求增加，加工型態有別以往大量生產模式，朝少量、精緻、大型或微小化發展，DMG MORI 展場中有許多配合產業特色所提供的解決方案，結合五軸工具機、大型刀塔、協作機器手臂及無人搬運車等，可在無需拆卸工件下完成精密加工，有效提升加工精度及效率、並減少能源損耗。

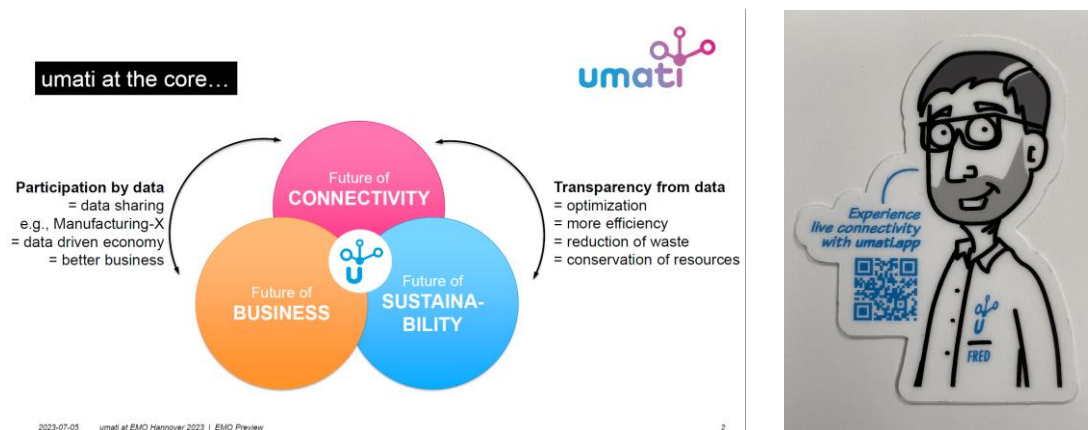
DMG MORI 現場也展示數位雙生成果，透過數位化模擬整機反應與控制，除加速生產減少能耗，並可達到預防加工碰撞及提升員工訓練功能。展區內其子公司 WALC Inc.亦展示所開發的工具機健康監視維護預測方案（WALC CARE），透過工具機監控資料（如馬達電流大小等）及趨勢分析，可在機台故障前就發出警示，提醒預先更換軸承等零部件，有效減少停機時間與維修成本。此外，DMG MORI 機台搭配自家建立工具機軟體相關解決方案平台 CELOS，以協助其他工具機業者數位轉型；其中 CELOS 結合演算法、人機界面、雲端，以及領域知識，可快速協助業者將日常工具機台營運資料上雲運算，達到預測性維護的效能。另在節能減碳方面，DMG MORI 宣稱透過煞車電力回饋、採用 LED 燈、進階高效冷卻、自動節電 Stand-by 與 weak-up、最適化進料、冷卻液壓力流向控制、AI 切屑移除等，可大幅減少工具機 30%以上的能耗。

- **Umati ( universal machine technology interface) —讓機器講同樣的語言、用同樣的字典，了解彼此。**

長久以來，工業製造領域多種廠牌的機器設備各自依自己設計的軟體運作，因彼此互不相容，造成監控困難，需耗費相當大的成本，才能連接各種軟硬體設施或僅能臨機操作。為改善此一困境，微軟( Microsoft )公司建立 OPC ( OLE for Process Control )通訊協定，遵循此規範的軟硬體可相互連結流通資料。之後由 OPC 基金會推動並不斷演進，於 2008 年推出 OPC UA；Open Platform Communications Unified Architecture，一個獨立於平台的通訊標準，且在 IEC 62541 中被列為國際標準，得到全球自動化領域硬體和軟體供應商的支援。OPC UA ( Unified Architecture ) 可支援嵌入式系統、微處理器平台及 https 加密、憑證授權等，並可直接瀏覽到本機或遠端網路的 UA server，具數值更新通知功能，且可跨 PC、PLC、ARM、Windows、Apple OS、Linux、Android 等平台。

德國工具機製造公會 VDW 與德國機械設備製造業聯合會 VDMA，從 2017 年起，以

商標「umati」來行銷推廣 OPC UA 標準在工具機等機械設備上的應用。西門子、三菱、FANUC 等超過百家企業都參與了制定 umati 標準的工作小組；台灣的工研院也是其中的研究夥伴。umati 是「通用機械技術介面(Universal Machine Technology Interface)」的縮寫，代表了機械設備專用 OPC UA 的通用規格，目標在 OPC UA 基礎上，各種系統、設備、機械、機器人之間的混合與互動所形成的「生態系」間能沒有隔閡、隨插即用，除為終端使用者節省大量時間與金錢，也是工廠智慧化的基礎。umati 的初步成果已在 2019 年德國漢諾威工業展上展示，即時地對分散於會場各地的 110 組機台同時進行連線操控。今年 Hannover EMO 展 umati 設有一展區，有超過 300 家業者參與，其中德國以外廠家佔一半以上。透過現場解說人員協助，手機掃描 QR code 下載 umati.app (如圖十八)，即可立即透過雲端進入儀錶板，看到世界各地連線工具機即時使用狀況，包括機台類型、廠牌、型號、位置及運作狀態等訊息。



圖十八、umati 角色與功能及 QR code

## 參、心得及建議

- 一、 PTB 設立於 1887 年，比我國度量衡國家標準實驗室(NML)早了 100 年；以其今(2023)年 2.6 億歐元預算經費，約為我 NML 的 30 多倍，另員工數 2,100 人，亦約為 NML 的 14 倍，由以上比較，可看出德國在度量衡基礎建設投注相當多人力物力。另 PTB 近年組織架構新設包括數位化、能源、環境與氣候、健康、量子技術、系統計量等 6

個創新集群及度量衡數位轉型等部門，均緊密扣合目前國際情勢與科技發展方向。此外，在與產業合作部分，本次參訪的多項實驗室，包括較早期的自校型環形編碼器，及近期建置的大齒輪標準件量測系統、參考牆及尚在研發中的奈米比較儀等，處處可見 PTB 配合產業需求與業者合作開發的案例。考量目前 NML 年度經費似僅足以支撐一般維運，為利新興領域的開發與拓展，建議可持續關注產業需求，並尋求與其合作機會，以共創互利與永續發展。

- 二、 去年智機計畫曾運用座標量測儀將透過 hole plate 所量測之工具機幾何誤差傳予控制器進行補償（於本次與 PTB 交流時由工研院進行案例分享），其中發現因各感測器及控制器間尚缺乏共通格式或語言，當量測數據欲傳予控制器，或面對不同廠牌型號控制器欲自動進行誤差補償時，仍須逐一修正破解。為克服自動化技術運用及發展上的瓶頸，國際標準組織 ISO/IEC 正推動 SMART( Standards Machine Applicable Readable and Transferable )標準，歐盟與 PTB 亦已積極投入，除推動 umati、數位校正報告 DCC 外，在國際法定計量組織 OIML 成立數位化工作小組（Digitalization Task Group；DTG），並由 PTB 數位轉型部門主管 Dr. Sascha 擔任該小組主席；目前該工作小組核心工作為製作相關建議與標準，並與國際標準組織、實驗室及認證組織共同探討法定計量數位化的機會與益處。鑒於計量數位化已成趨勢，且與未來工具機等產業發展息息相關，建議國際組織在此一領域的發展，宜持續觀察並適時參與。
- 三、 感測器是發展工業 4.0 的主要驅動關鍵，因應節能減碳、少子化等挑戰，數位化亦是工具機產業必然趨勢。本次參訪 PTB 及 EMO 展，可發現不論是量測技術發展或智慧機械應用，均與數位轉型密切結合。然國內工具機業者是否已做好準備？智機計畫 112 年期中報告中幾家業者反應，目前工具機產業使用各種感測器進行狀態監測行之有年，但缺乏將訊號整合並判斷主軸狀態的智慧診斷模組（Smart Box），除國內無此技術，國外廠商也不願進口，為台灣工具機產業的痛點。此外，對於量測技術，目前工具機產業最大困難點在於原始資料的運用難度高。因此，為協助國內業者突破瓶頸，工研院於智機計畫中已投入建置線上量測技術的研究與開發，建議未來能多與產業需求連結並整合相關資訊，結合場域試煉成果，運用大數據及人工智慧，建立最佳解決方案，相信對國內業者升級應可提供很大助益。
- 四、 在與 PTB 數位轉型部門交流過程得知，歐盟正規畫推動數位產品護照，經回國後再上網查詢相關案例，其中歐盟委員會於 2023 年起草歐盟安全玩具法案，提及將以產



品護照(Product Passport)取代符合性聲明書(Declaration of Conformity, DoC)，並要求產品護照應根據產品設計，以數位條碼的方式標示在產品、包裝或是隨附文件，且能清楚說明產品資訊、安全要求、符合性評估等資訊，以利消費者、市場監督機構、海關當局、發證機構等進行掃描及瀏覽。如 PTB 專家提及，為證明產品的永續性聲明，如電池、玩具、紡織品商品等可能陸續被要求提出數位產品護照，雖目前實施項目及時程尚須進一步觀察，惟因屬強制性，建議相關主管機關及企業，能及早瞭解數位產品護照所涵蓋的安全和符合性資訊，以預為因應。