



出國報告（出國類別：訪問）

赴德國參加歐洲國家計量組織聯盟
(EURAMET)舉辦之工作小組會議及至
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：侯技正沛霖

派赴國家：德國

出國期間：中華民國 108 年 9 月 15 日
至 9 月 23 日

報告日期：108 年 12 月 6 日

摘 要

我國智慧機械產業當前面臨各項感測器之量測精度不足，造成產品良率無法提升，及國內欠缺高端校正能量，廠商須送國外校正等問題所衍生之計量需求。因此，本局於 108 年至 111 年執行智慧機械產業計量標準建置增值計畫工作，配合目前產業感測器校正缺口，本局將持續精進與擴建現有國家計量標準系統，以滿足廠商需求，據以提升國家度量衡標準實驗室校正能量及研發智慧機械產業相關線上量測技術。

惟考量需國際趨勢與領先國家之精密機械與精密量測相關領域量測技術方向，以進一步協助產業升級提供完善之計量追溯環境，本計畫規劃至德國 PTB 針對尺寸量測部分設備進行參訪並參加歐洲漢諾威工具機展，瞭解先進國家實驗室量測技術之進程與國際工具機領先量測技術之發展，以作為本局系統建置規劃參考。

另歐盟考量智慧機械眾多品牌感測器量測數據交換之問題，已開始進行量測數據交換格式規範之先期研究，以提供機器與機器、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，及物聯網網絡中智慧化數據(Smart Data)的通信和驗證，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。

本次出國相關結論與建議將作為規劃未來智慧機械產業計量標準建置增值計畫之參考，並瞭解歐盟對於未來量測數據交換方法相關規範內容並提供我國產業相關資訊，以滿足我國產業界將所遭遇之問題及缺口，提升我國產品國際競爭力。

目 次

壹、前言	3
一、 智慧機械產業量測之需求	3
二、 國家度量衡標準實驗室對於智慧機械產業的定位.....	4
三、 本計畫出國目的	4
貳、過程	5
一、 本次參訪行程	5
二、 主要參訪之詳細內容.....	7
(一) 歐洲國家計量組織聯盟工作小組會議	7
(二) 拜訪 PTB 精密量測實驗室	10
(三) 德國漢諾威工具機展.....	16
參、心得及建議.....	18
肆、參訪相關照片.....	20
伍、中英文對照表.....	28

壹、前言

一、智慧機械產業量測之需求

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 億元，為我國出國大宗之產業。近年來，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”，以協助臺灣的精密機械產業升級為智慧機械產業，用以推升智慧製造或是工業 4.0，並推動同時導入人工智慧(AI)應用於生產體系，提升智慧製造能力。藉由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，進而推升智慧製造或是工業 4.0，並推動生產體系導入 AI 應用，提升智慧製造能力。

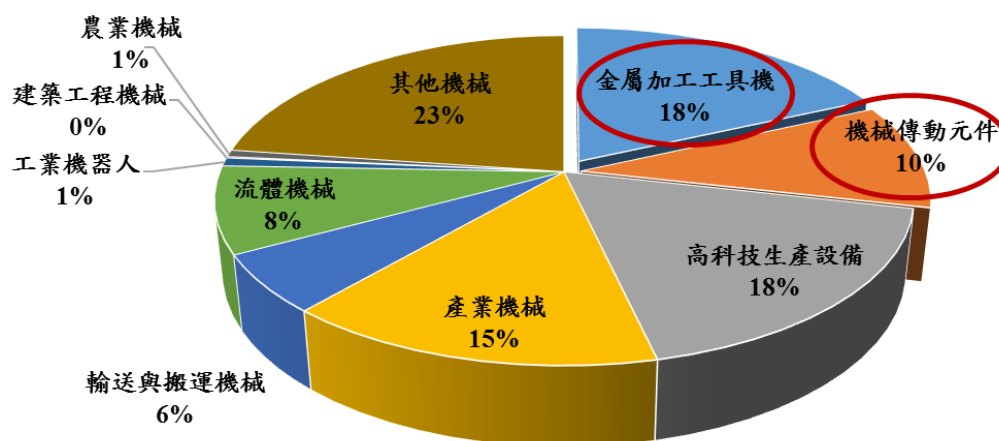


圖 1 2018 年機械設備製造業分布

而要導入 AI，第一步即是數據的截取與建立，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。

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。感測器的可靠性與正確性，成為升級智慧機械產業之根本與關鍵。



圖 2 智慧機械產業推動方式

二、國家度量衡標準實驗室對於智慧機械產業的定位

經濟部標準檢驗局為我國標準、度量衡及商品檢驗主管機關，負責編修我國國家標準、推行品質管理系統、建立我國認驗證環境，推動國際合作及相互承認、以及劃一全國度量衡，確保計量準確性與追溯性並提供相關校正服務。在度量衡部分，本局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 條規定委託財團法人工業技術研究院成立國家度量衡標準實驗室，協助本局執行相關法定業務，包括全國度量衡最高標準 17 個領域(長度、力量、質量、溫度、電流等)之研究實驗、建立、維持、保管、供應、校正及其他相關事宜。

NML 以“校正”方式傳遞計量標準，以確保我國智慧機械產業感測器量測資料的可靠性與正確性，並協助解決我國智機產業量測技術問題，進而協助我國機械產業升級，持續作為國家政策執行之基磐而努力。

三、本計畫出國目的

配合目前產業感測器校正缺口，本局將持續精進與擴建現有國家計量標準系統，以滿足廠商需求。惟考量需國際趨勢與領先國家之精密機械與精密量測相關領域量測技術方向，以進一步協助產業升級提供完善之計量追溯環境，本計畫規劃至德國 PTB 針對尺寸量測部分設備進行參訪並參加歐洲漢諾威工具機展，瞭解先進國家實驗室量測技術之進程與國際工具機領先量測技術之發展，以作為本局系統建置規劃參考。

另歐盟考量智慧機械眾多品牌感測器量測數據交換之問題，已開始進行量測數據交換格式規範之先期研究，以提供機器與機器、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，及物聯網網絡中智慧化數據(Smart Data)的通信和驗證，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。此項工作將影響我國智慧機械產業之發展，本計畫將參加歐盟歐洲國家計量組織聯盟工作小組會議，瞭解並追蹤相關議題內容後提供我國產業瞭解相關資訊。

貳、過程

一、本次參訪行程

本次參訪德國 PTB 布倫瑞克(Braunschweig)院區，參加歐洲國家計量組織聯盟舉辦之工作小組會議(會議名稱:自動化及數位化校正工作探討;Insights in Calibration Automation and Digitalisation)，後續並參訪 PTB 尺寸及角度實驗室，最後至德國漢諾威參訪 2019 年歐洲工具機(Exposition Mondiale de la Machine-Outil, EMO)展。本次參訪日程為 9 月 15 日至 9 月 22 日，完整行程如下：

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
9/15-16	9/15 搭機啟程，9/16 抵達 PTB 布倫瑞克院區	
9/16-9/17	德國 PTB (布倫瑞克院區)	參加歐洲國家計量組織聯盟工作小組會議 (會議主題:自動化及數位化校正工作探討 ;Insights in Calibration Automation and Digitalisation)
9/18	德國 PTB(布倫瑞克院區)精密量測實驗室 (Precision Engineering Division) (第 5 組)	參訪該院精細量測實驗室 (尺寸量測及角度量測部分)，並進行技術與管理經驗交流參訪。
9/19-9/20	德國漢諾威工具機展	瞭解工具機領先廠商之感測器及精密量測相關領域之產業與技術發展。
9/21-9/22	9/21 搭機回程，9/22 回抵國門	

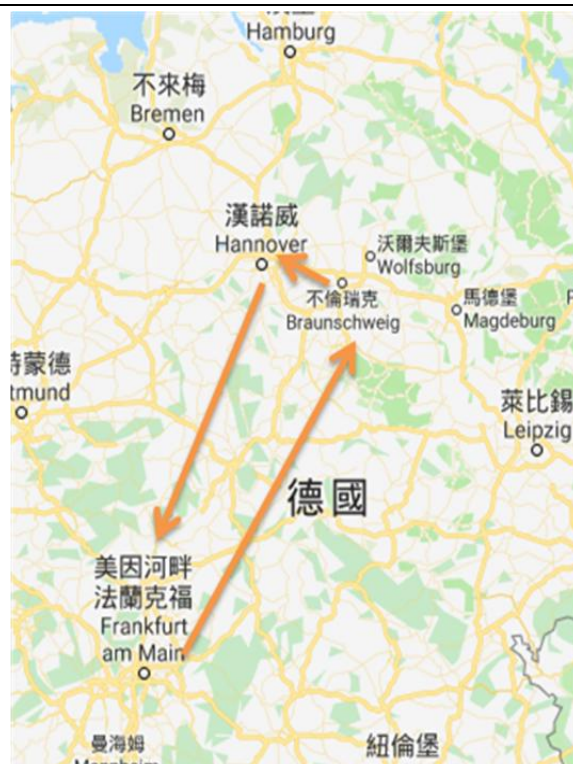


圖 3 參訪行程示意圖

二、主要參訪之詳細內容

(一) 歐洲國家計量組織聯盟工作小組會議

1. 歐洲國家計量組織聯盟 (European Association of National Metrology Institutes) 成立於 2007 年，係屬於歐洲國家度量衡標準實驗室之組織，其中正會員需隸屬於歐盟或參加歐洲貿易聯盟之國家度量衡標準實驗室，目前有 38 個正會員及 78 個仲會員參加。本次參加之工作小組係由歐洲國家計量組織聯盟主辦，其會議名稱為「自動化及數位化校正工作探討」 (Insights in Calibration Automation and Digitalisation)，會議將討論數位校正驗證系統、感測器量測數據交換方法及格式、物聯網網絡中智慧化數據(Smart Data)的通信和驗證及自動化校正實驗室及智慧工廠參訪，以下為實際參加內容概述。



Insights in Calibration Automation and Digitalisation
PTB, Braunschweig, Germany, 17 – 18 September 2019
Agenda Draft 2019-07-08

Tuesday, 17 September 2019, Room 133, Vieweg-Bau

08:45	Registration	
09:00	Opening	
09:10	Overview of aspects of digitalisation in metrology	Sascha Eichstädt
10:30	Coffee break	
11:00	Basics of digital calibration certificates system	Siegfried Hackel
12:30	Lunch	
13:30	An example of automation of processes in a calibration laboratory (CleverLab)	Christian Rohrig
14:30	Laboratory visit	
16:00	Discussion	
16:15	Participants' experiences	all
17:00	End of day 1	

Wednesday, 18 September 2019, Room 302, Bessel-Bau

08:40	Transport to company Perschmann Calibration	More details to be announced
09:00	Automation of logistics and workflow – site visit to company Perschmann Calibration (presentation, site visit)	Perschmann Calibration
11:30	Transport to PTB	
12:00	Lunch	
13:00	Communication and validation of smart data in IoT-networks	Thomas Wiedenhofer
14:00	Roundtable discussion	
15:00	Conclusions	
15:30	End of day 2	

Notes:

Please note that photographs and video footage may be taken during the event/meeting. By participating in photo and/or video shoots you grant EURAMET the right to use such material in print, digital, video or web-based format for its promotional and archival purposes. If you do not want any photographs and film footage you appear on taken beyond the scope of the aforementioned (e.g. overview or documentary images) to be published, please inform EURAMET.

2. 課程內容

(1) 第一天課程心得

首先，先由 PTB 負責數位校正驗證(Digital calibration certification, DCC)系統同仁介紹該院 DCC 程式如何建立。而 DCC 係依據量測標準的傳遞、正確的單位、量測不確定的評估、量測技術與數據格式標準及 ISO 17025 進行數位校正的驗證，而數位校正報告相較於實體校正之報告內容之優點為無偏剖性、連續性的資料、永久保存、可迅速的標準化、保存較為經濟。

PTB 已經建立 DCC 程式且正在測試中，正再嘗試於不同領域之校正資料是否可以順利製作相關內容，並持續考慮選用適合的程式進行相關工作，預計於 2020 年逐步上線。從開始校正到數據的收集與分析，皆使用 XML 格式進行編寫，使相關資料格式可以統一，且電子化相關資料。

PTB 希望未來可以提供顧客儀器校正之 XML 電子檔案並將相關校正資料上傳雲端，客戶後續可利用雲端來列印紙本資料(如有需要)，或利用電子檔之完整校正數據來進行後續應用，未來上線後預計可以涵蓋九成的 PTB 校正領域之校正報告(目前一年平均校正量為 5500 件/年)。

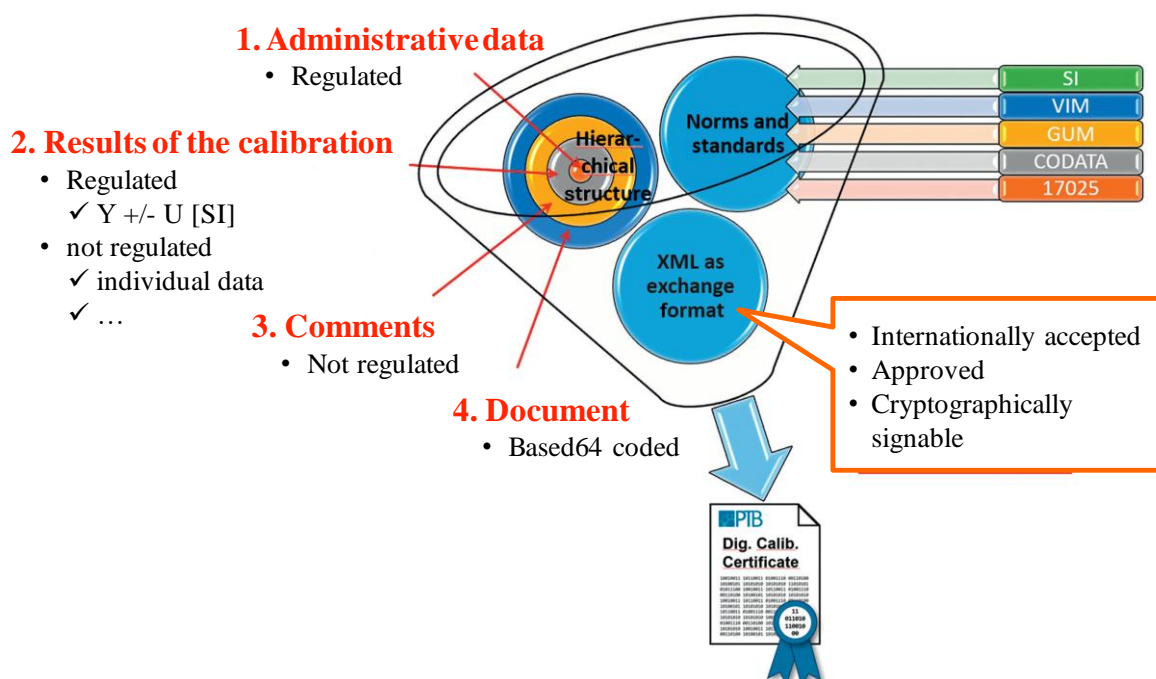


圖 4 PTB 規劃之數位校正報告內容

PTB 在 2017 年起進行計量領域數位化之工作，目前 PTB 至少有上百人參與該計

畫，希望透過新的工作流程、措施、設備及量測技術與方式，將目前的校正技術及相關規範帶入數位化流程中，確保數位計量領域的數據及演算法的一致性，也透過 PTB 的 e-file system 確保個資保密集及資訊安全的等問題，除了校正資料無紙化外相關資料亦上傳雲端保存，以提供客戶產製報告並分享校正資料，更可以與認證機構進行資料連線，省去人力認證之問題。數位化將於明年 6 月開始上線，先以紙本與數位校正資料並行之方式提供給顧客。

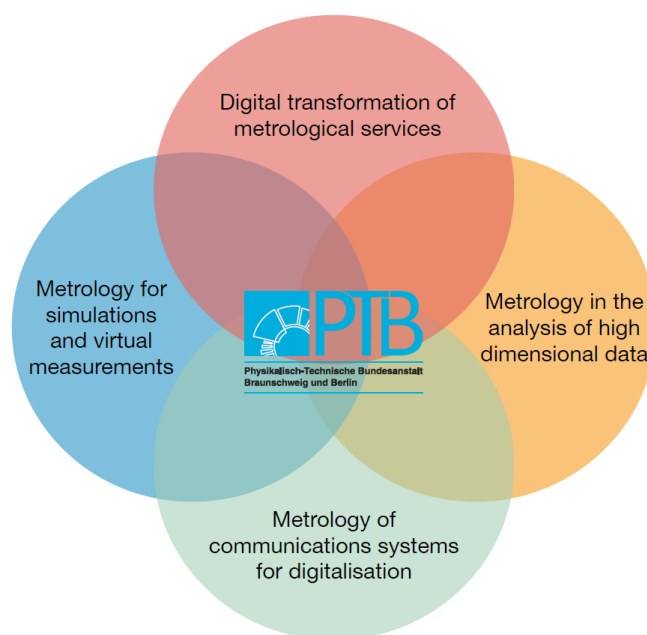


圖 5 PTB 於數位化趨勢之發展重點

另 PTB 針對其擬定的 4 個核心領域進行相關技術發展，現階段已有至少 14 項規模不一的計畫正積極執行，其中也包含我方參與的 SmartCom 計畫。PTB 擬定此 4 大核心領域主要任務為：

- A. 針對產業界開發國際認可且機器可讀的數位化證明，並建立相應的基礎結構以支持、確保驗證結果的有效性；
- B. 針對模擬與虛擬量測，進行跨領域的研究以解決各項基礎性的問題，包含信任、機器學習的不確定度等；
- C. 發展可測試、一致的演算法，提供可靠的數據評估方法；
- D. 發展必要的高頻量測技術以支持 5G 基礎建設的持續發展。

(2) 第二天課程心得

本日參訪德國 Braunschweig 近郊的 Perschmann Calibration，該集團成立於 1866 年，至今已有約 150 年的歷史，於歐洲有數十個據點，主要分布在德國、波蘭及丹麥，主要生產機械類工具、量測工具(主要為尺寸及力量部分)等產品，每年一千二百萬歐元營業額，目前有一百五十名的員工受聘，因該公司係歐洲前五大製造商且地理環境靠近 PTB 之因素，與 PTB 持續有進行相關技術合作專案。

該集團於 1994 建立校正實驗室，提供尺寸量測的校正服務，在 2001 起提供扭力校正的服務，之後逐漸建置電量等領域的校正服務，目前可提供共 85 項量測校正服務。在 2015 起甚至為較偏遠且有需求之顧客，提供移動式的扭力校正實驗室，每年提供 50 萬件的校正報告。該公司表示，校正服務已無法獲利，已開始尋求新型態的商業模式，如後續的售後服務(如使用及自行校正等教學訓練)來增加營收。自 2017 年開始，每年校正收入可達 1 千萬歐元以上，每天約有 3000 件的校正服務，因此該實驗室有一套完整的數位化流程，以處理數量龐大、種類繁多的校正服務。Perschmann 校正公司服務的 4 項重要處理事項，包含：收件：提供收納硬盒給客戶，除供待校件較佳的防護外，亦方便其運送單位識別；電子識別：設計 QR code 於待校件清潔、分類時貼上，之後每一程序皆可利用掃描器進行資訊收集與應用；校正執行：由人工或半自動方式進行校正，半自動校正部分係以座標量測儀(Coordinate Measuring Machine, CMM)搭配機器人所設計的半自動化校正系統。目前該校正系統仍以環規等尺寸量測標準器為主，系統的操作流程首先是由校正人員針對 CMM 上的不同位置，個別設定量測路徑，待確定並無干涉、碰撞等風險後，再由機器人將待校件自動的擺設於 CMM 工作檯上校正，同時系統中並設置有視覺感測器，藉以掃描各待校件上的電子識別，記錄其校正進度、結果；排程與進度控管：配合電子識別，瞭解待校件目前位置、校正執行進度等資訊。

(二) 拜訪 PTB 精密量測實驗室

德國聯邦物理技術研究院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB)成立於 1887 年，為世界上最早之計量標準機關，亦稱為德國國家度量衡標準實驗室，為全球盛名度量衡標準機構之一的計量技術先進國家。

PTB 為德國國家級計量機構，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，分組包含有力學與聲學(Mechanics and Acoustics)、電學(Electricity)、化性

物理與防爆(Cheical 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)、以及法定計量部門(Legal and International Metrology)，德國透過多邊協定及合作計畫，直接或間接協助超過 80 個發展中或新興國家建立計量基礎建設，包含技術諮詢，技術協助及提供訓練、協助計量基礎建設等，為計量技術之先進國，下圖為 PTB 組織架構。

Organization Chart

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

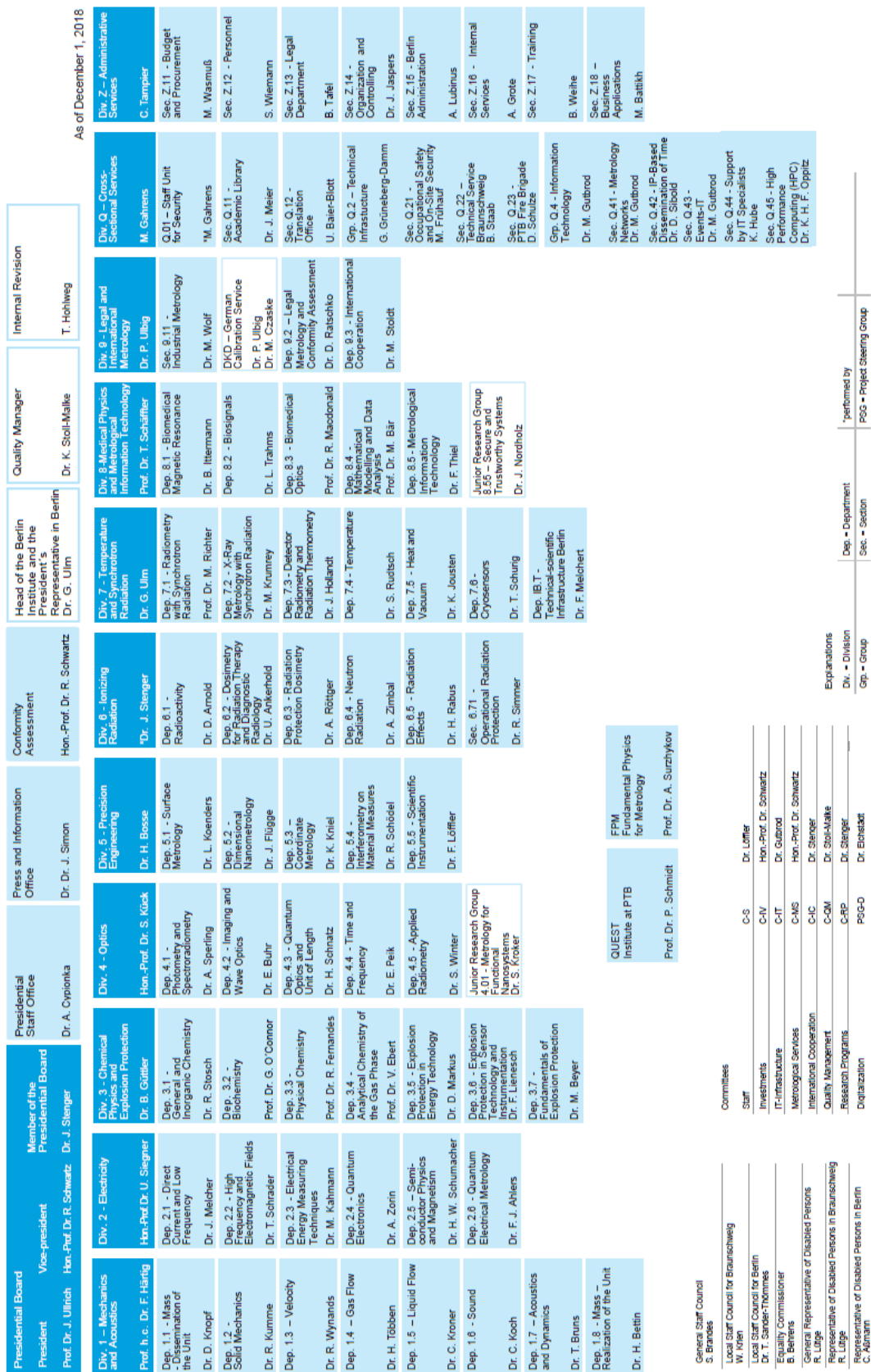


圖 6 德國聯邦物理技術研究院組織架構圖

本次拜訪之 PTB 第 5 組之 5.3 座標計量(Coordinate metrology)及 5.2 奈米尺寸(Dimensional Nanometrology) 部門，其中 5.3 部門主要針對齒輪與 XCT(X-Ray Computed Tomography)；而 5.2 部門則針對角度計量，如環形編碼器、空間角度等，進行相關量測及校正技術的瞭解。下表為 PTB 針對我方拜訪需求所提之規劃，訪問內容如下：

PTB 拜訪行程表

Time	Description	Contact	Location
09:30 - 11:00	Gear Metrology	Dr. Karin Kniel Head of department “Coordinate Metrology”	Bessel-Building 1, Room 215
11:00 - 12:30	Computed Tomography	Dr. Ulrich Neuschaefer-Rube Head of working group “Multisensor-Coordinate Metrology”	Bessel-Building 1, Room 204
12:30 - 13:30	Lunch	Dr. Karin Kniel, Dr. Ulrich Neuschaefer-Rube	PTB canteen
13:30 - 15:30	Angle Metrology	Dr. Ralf Geckeler Head of working group “Length and Angle Graduations”	Clean room center PTB
15:30 - 17:00	SmartCom	Dr. Thomas Wiedenhöfer Project Coordinator	Leibniz- Building, Room 3006

1. 齒輪量測訪談

齒輪量測技術主要藉由準確地齒輪參數量測，如節距、壓力角、齒形等來建立齒輪標準件，並提供產業界所需之校正追溯。因其結構與量測空間的關係，無法如座標量測儀(coordinate measuring machine, CMM)可利用塊規、階規、雷射干涉儀等完成校正追溯。另傘齒輪加工是目前國內機械產業發展技術之關鍵，從齒輪工具機的開發、刀具設計與製作、齒輪成品評估等，皆有相關的計量需求，但因其與自由曲面無異，如何確保其量測準確度、相關的校正追溯等，目前仍未有一定論。

PTB 利用 Leitz PMM-C Infinity 建立齒輪標準件，透過控制良好的量測環境（溫度變化小於 0.1 °C）、幾何誤差量測與補償等，達成低於 1 μm 的量測不確定度。針對傘齒輪量測不確定度降低之方式，係利用標準球上的任意一段曲線作為接觸點的基準，透過找尋傘齒輪上某一段具有相同接觸點的曲線，以評估探測誤差。然而此方法必須透過嚴謹的量測程序與治具，確保量測時的重複性，相關技術細節將針對 PTB 相關研究論文進行瞭解。

2. XCT 實驗室參觀

PTB 有關 XCT 主要負責部門為座標計量部門中的“Multisensor-Coordinate Metrology”，該部門主要係針對座標計量中，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。

目前 PTB 所擁有的 XCT 是 Nikon MCT 225，能量為 225 kV，準確度約為 9 μm 以上。主要待校件為是與細微尺寸的量測有關，如醫療用針頭的形貌、小模數齒輪等，目前正發展 XCT 的幾何誤差量測（包含熱變形），以建立其虛擬量測模型，評估 XCT 於自由曲面、粗糙度、待測工件材料上的影響，並健全其追溯鍊。

3. 角度量測實驗室參觀

PTB 的角度量測發展係由 5.2 部門所負責，實驗室設置於 PTB 的潔淨中心(Clean room center)中，溫度的穩定度為±0.005 °C，實際可達±0.002 °C。PTB 發展自我校正技術用之環形編碼器，是由 HEIDENHAIN 公司所製造，其整體的解析度（含電子細分割）可達 0.0012"，為藉由封閉圓原理實現自我校正之硬體配置、規格、演算法、量測不確定度評估之資訊。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，量測能力領先全球。現階段，PTB 正積極將該設備應用於陀螺儀校正。

4. SmartCom 計畫未來合作之討論

本次與 SmartCom 相關負責人員討論後續合作之內容，規劃未來合作方向將以建立我國 DCC 之示範情境，提供後續國家度量衡標準實驗室推動 DCC 時之參考，相關系統係根據 PTB 的 DCC 架構所規劃。將以 NML 與上銀公司的合作案為基礎，當其需要國家度量衡標準實驗室對其單軸迴轉工作台進行校正時，我方將依目前之校正預約制度受理其

需求，以下依序說明基於 DCC 下的校正執行規劃與開發重點。

- (1) 受理校正需求並登錄於系統中；
- (2) 於預定校正時間，攜帶“可攜式連續角度參考標準件(Portable Continuous Angle Standards, PoCAS)”至生產現場執行校正
 - a. 校正過程中的各項資訊將“自動”的匯入與紀錄，並彙整成一個 XML 檔案；
 - b. XML 校正結果審核通過後，系統將發行一電子簽章(electronic signature)，同時利用與 PTB 約定好的演算法，計算出該 XML 的 Hex number；
- (3) 將 Hex number 上傳至 PTB 所建立的資料庫，並提供 XML 檔案與上銀公司（校正服務客戶）；
- (4) 上銀公司可根據該 XML 檔案中的 Hex number，詢問 PTB 的資料庫以確認該 XML 內容是否有效；
- (5) 因 XML 係以待校件（此為單軸迴轉工作台）為主，無論其轉賣、租借等，XML 皆隨著該待校件，因此上銀公司的客戶，如邁萃斯精密也可利用該單軸迴轉工作台的 XML 檔案中的 Hex number，詢問 PTB 的資料庫以確認該 XML 內容是否有效。

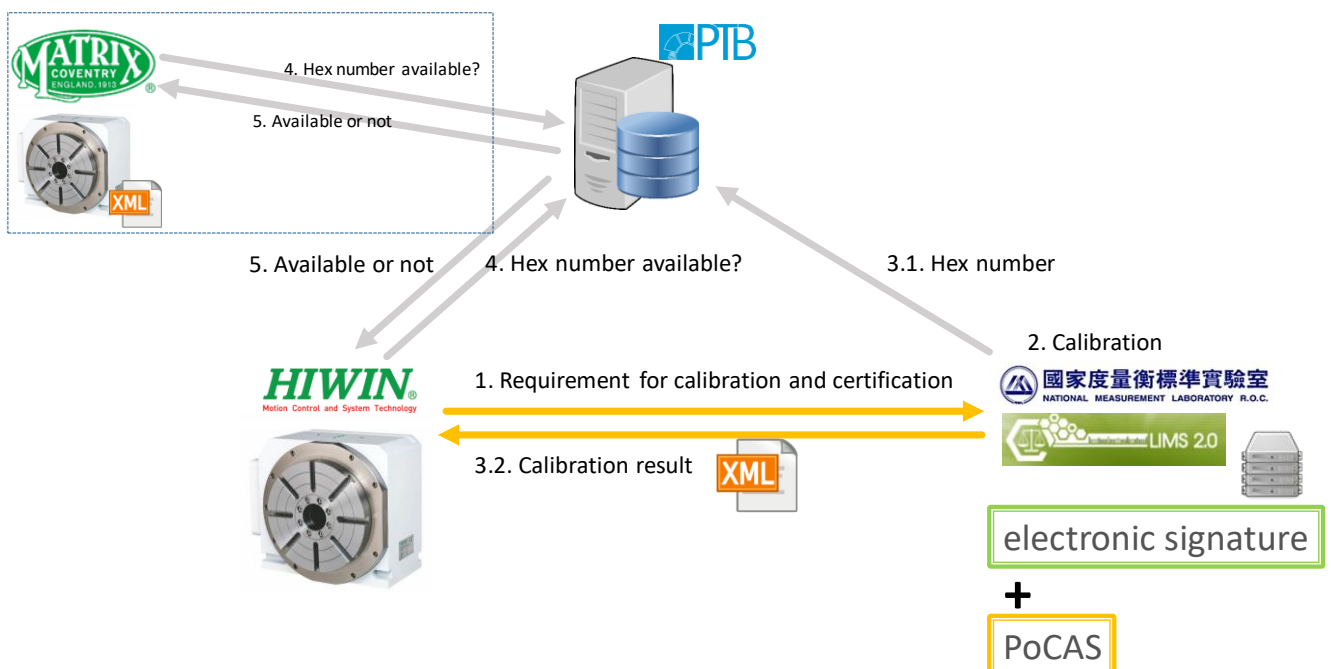


圖 7 SmartCom 之我方執行架構

(三) 德國漢諾威工具機展

漢諾威的 EMO 歐洲工具機展是由歐洲工具機業合作委員會(European Committee for Cooperation in the Machine Tool Industry, CECIMO)主辦，該會目前收納了 15 個國家的國內工具機業組織，並代表西歐所有主要工具機製造商。其會員總數超過 1,500 家企業，為國際工具機市場潛力最大的單一資源。1999 年歐洲工具機業合作委員會會員佔有世界產值的 49%，全球市場銷售的 54%。

諾威 EMO 歐洲工具機展將使用 27 個展覽館逾 20 萬平方公尺的展示面積。換句話說，漢諾威 EMO 歐洲工具機展的規模是美國芝加哥 IMTS 展的兩倍。就展覽館的規模而言，漢諾威的領先地位是其他展覽會場所無法比擬的。EMO 歐洲工具機展涵括了全球市場上 90%的產品與系統。製造商謹慎地選擇以 EMO 歐洲工具機展作為展示他們技術與能力的舞臺。製造商為了在兩年一次的 EMO 歐洲工具機展中表現，已經準備好他們的研究與發展計畫。也因此，創新確實扮演著極重要的角色。而第 22 屆漢諾威歐洲工具機展 (Exposition Mondiale de la Machine-Outil (Machine Tool World Exposition, EMO)，將於 2019 年 9 月 16 至 21 日在漢諾威開幕，今年以「智慧科技驅動未來生產製造」為主題，聚焦數位化與工業 4.0 在金屬加工業中的重要性，展出未來智慧解決方案，另設有全球首座展場 5G 技術測試區。以下即針對各大廠、智慧解決方案等，針對產線自動化、線上與現場檢測及數位分身(Digital Twin,DT)展出內容摘要說明。

展厅内还提供按照以下机床组分类的产品与服务：

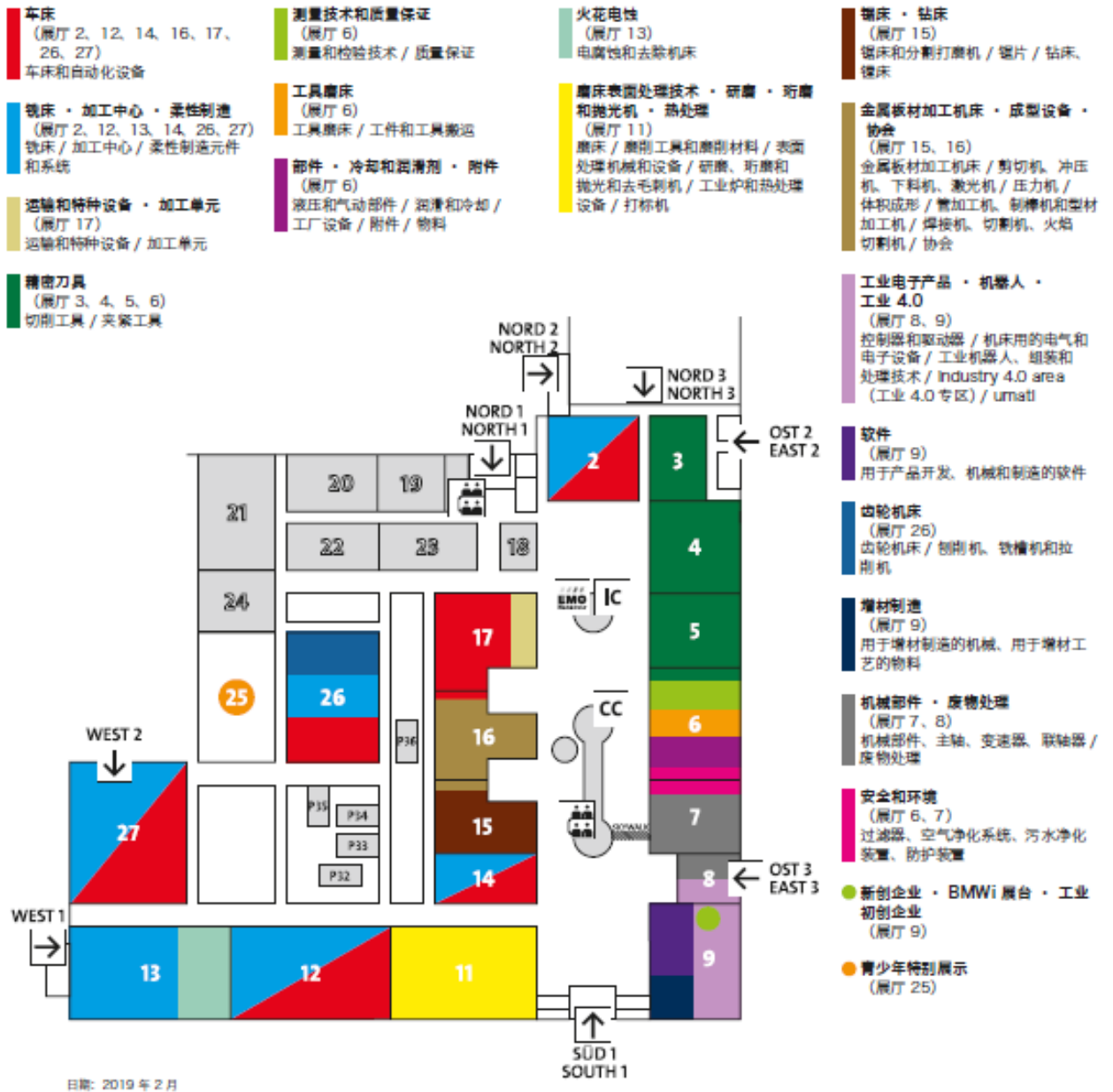


圖 8 2019 EMO 平面圖

德馬吉森精機 DMG MORI 是 EMO 展中，承租地 2 場館的公司，其展出內容不單僅有各種應用、構型的工具機，更包含刀具、工具機旋轉軸關鍵模組、自動化、積層製造、數位分身等。若以智慧生產線為目標，DMG MORI 今年展出的重點為 IOT 與自動上下料的兩項技術。其中，針對 IOT 的部分，只要是 DMG MORI 的工具機，花費 999 歐元即可獲得；而自動上下料除利用機器人外，也包含具備 AGV 功能的搬運車，以便於將工件直接固定於盤面上，提供自動上下料功能。線上量測功能部份，包含有機上尺寸量測與刀具檢測。其中，刀具檢測更是本次 EMO 展的重要項

目之一，許多工具機廠皆將其納入自動化的一環中，且量測方式大部分採用刀刃影像判別。數位分身(Digital Twin, DT)的部分，其功能可提供加工路徑模擬、機台運轉狀況與保養通知、刀具管理等，根據其統計相關使用者的成果，提供更短的加工前置作業時間，以縮短產品上市的時間。EMO 展中，僅有 DMG MORI 特別以數位化作為展出主題，其餘大部分的工具機廠商(日系廠商 MAKINO、美系廠商 MAZAK 等)仍以加工能力作為主要賣點。

另西門子本次的展覽主軸是“工具機數位化生產(Digitalization in Machine Tool Manufacturing - Thinking further)”，並以 DT 作為技術核心，提供 DT 功能予工具機製造及其關鍵零組件廠商，其主要功能為加工路徑模擬以預防碰撞。

EMO 量測儀器設備部分，會場中的量測儀器設備產出面積雖然與工具機、刀具等面積無法比擬，但已與機器人、虛擬整合等類型的產出面積相當。目前雖未有新量測方法或設備的推出，但相關設計規畫皆以線上、現場量測為主軸，強調其與生產設備、生產流程的整合能力。

台灣現為全球第七大工具機製造國、第四大工具機出口國，擁有維持產業競爭力的現代製造技術。針對兩年一度全球製造業的最大盛會 EMO 2019，台灣今年有近 200 家工具機廠及零件業者參展，包括友嘉集團、百德機械、上銀科技、台中精機等。EMO 漢諾威歐洲工具機展是全世界最重要的工具機展會舞台，有很多值得台灣學習的地方，尤其台灣在應用層面還需要多努力，像是 EMO Hannover 2019 舉辦的數位化創新競賽、青年教育數位化，還有 5G 試營運領域等方面都很值得台灣學習、探討，並善用自身硬體與速度優勢，增進與國際合作的機會。

參、心得及建議

- 一、 校正流程及證書之數位化已然成為計量領域未來趨勢，德國聯邦物理研究院與歐盟組織已有完整的策略性規劃，我國國家度量衡標準實驗室應及早針對相關議題之技術發展與配套的法令進行規劃。
- 二、 工具機線上量測技術已成為應用於產業中之重要發展趨勢，廠商可利用光學方式進行快速的相關幾何尺寸的量測，縮短儀器設備之自我校正時間，建議旨揭計畫應持續投入長度領域於光學之研發。
- 三、 工具機未來重點將包括數位分身(Digital Twin, DT)相關應用，DT 將可使用者提供加

工路徑模擬、機台運轉狀況與保養通知、刀具管理等工作，根據其統計相關使用者的成果，亦可提供更短的加工前置作業時間，以縮短產品上市的時間，旨揭計畫將投入相關資源進行研究工作。

- 四、 本次參訪德國小型量具製造公司 Perschmann 成立之實驗室，該實驗室已建置自動校正之相關設備，包括座標量測儀(Coordinate Measuring Machine, CMM)搭配機器人與視覺感測器所設計的半自動化校正系統。利用機器人將待校件自動的擺設於 CMM 工作檯上校正，同時系統中並設置有視覺感測器，藉以掃描各待校件上的電子識別，記錄其校正進度、結果。該實驗室自動校正方式可供本局度量衡領域校正未來規劃參考。
- 五、 我國工具機精度與穩定度不如德國與日本，另考量數位分身需透過多個感測器提供準確數據，本局除計量標準傳遞外，應持續業者合作進行感測器及線上校正等技術研發工作，並建議開始針對 DT 技術進行研究。

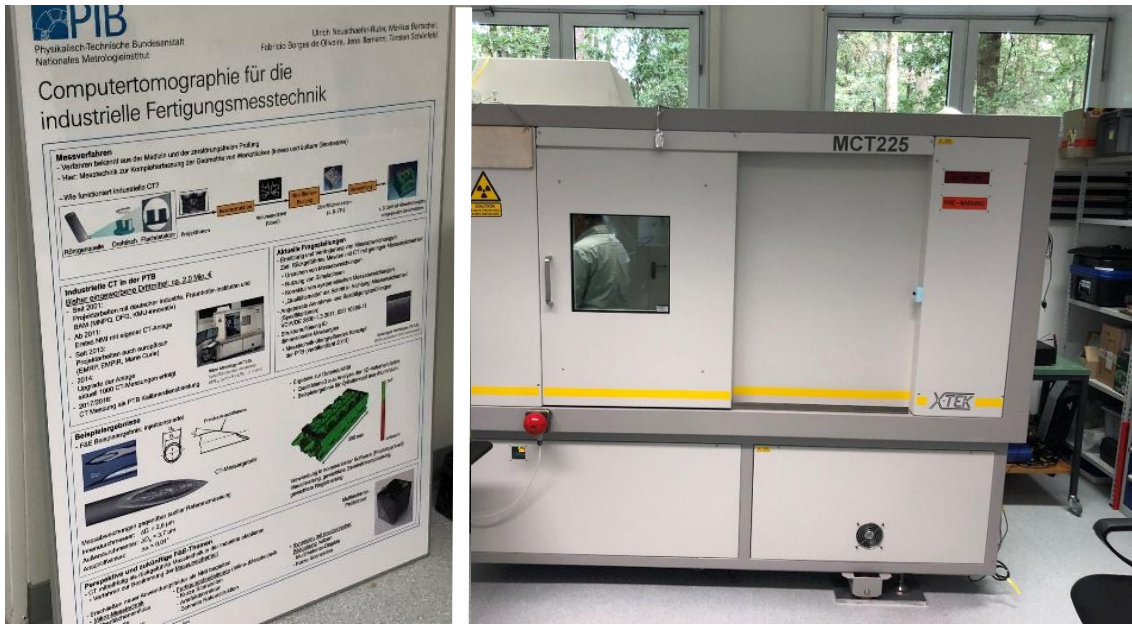
肆、參訪相關照片



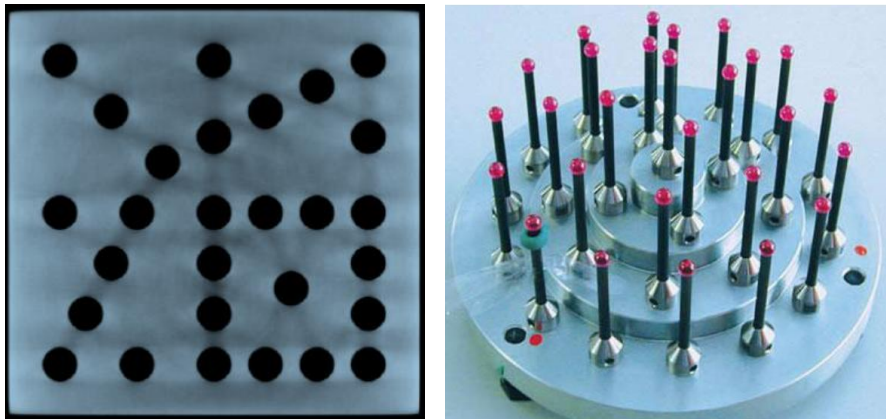
照片 1 電量實驗室之校正方法與軟體介面展示



照片 2 參訪之 DAKKS 二級實驗室 - Perschmann



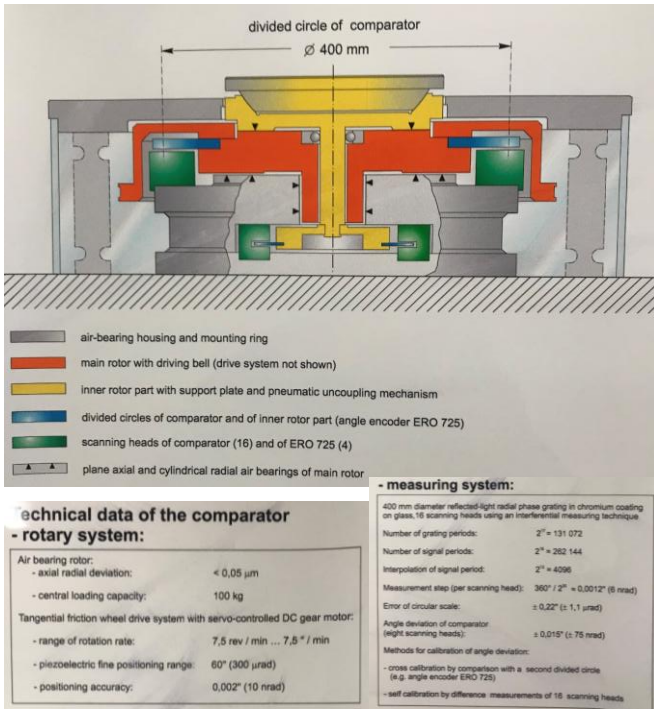
照片 5 XCT 與其原理及應用介紹



照片 6 XCT 性能評估之標準件



照片 7 發展自我校正技術用之環形編碼器



Self-calibration of the comparator:

Arrangement of 16 scanning heads on the divided circle of the comparator:

Eight diametrical pairs of scanning heads form angular segments of:
 $360^\circ / 2^n \quad (n = 1 \dots 7)$

- : eight scanning heads to be used for measurement (8 x 45°)
- ▲ : eight additional scanning heads to be used for self-calibration (22,5° ... 2,81°)

Mathematical description of the angle positions of the scanning heads on a unit circle by the complex exponential:
 $e^{j2\pi m/N}$

with $N = 2^7 = 128$ and $m = 0, 16, 23, \dots, 120$ indicating the positions as shown in the diagram.

Procedure and evaluation of self-calibration:

Simultaneous sampling of 15 - N angle differences $f_{m-1} - f_m$ between 15 scanning heads $m = 16, 23, \dots, 120$ and reference head $m = 0$ in $N = 128$ equal angle steps ($0 \leq k \leq N-1$) during one continuous revolution of the divided circle (time = 160s/rev).

Evaluation of the absolute values f_k and f_{m-1} from the measured differences ($f_{m-1} - f_k$) on the basis of the following Discrete Fourier Transform (DFT) algorithm:

Definition of DFT: $f_k \leftrightarrow F_k$ F_k : Fourier coefficients, ($0 \leq k \leq N-1$) (1)

Shift property of DFT: $f_{m-1} \leftrightarrow F_k \cdot W^{km}$ with: $W = e^{-j2\pi/N}$ (2)

Sum of differences (2) - (1): $\sum_{m=1}^{15} (f_{m-1} - f_k) \leftrightarrow F_k \cdot S$ with: $S = \sum_{m=1}^{15} (W^{km} - 1) = 0$ (3)

Evaluation scheme: $(f_{m-1} - f_k) \cdot (3) - F_k \cdot (1) \rightarrow f_{m-1}$

Uncertainty budget of the comparator [3]:

Type	Source of uncertainty	Distribution	Standard uncertainty	Comment
A	Repeatability of measurement	normal	3,8 nrad / 0,0038°	16 self-calibrations during 20 minutes
A	Repeatability of calibration	normal	2,4 nrad / 0,0024°	16 cross-calibrations during 10 months
B	Repeatability of calibration	triangular	10,2 nrad / 0,0021°	difference of the two calibration methods
B	Repeatability of measurement	rectangular	1,7 nrad / 0,0004°	resolution of each scanning head
B	Interpolation error	normal	3,0 nrad / 0,0008°	according to Heideckhan [1]
Combined standard uncertainty u_c			11,7 nrad / 0,0033°	
Expanded uncertainty U ($k = 2$)			23 nrad / 0,0067°	

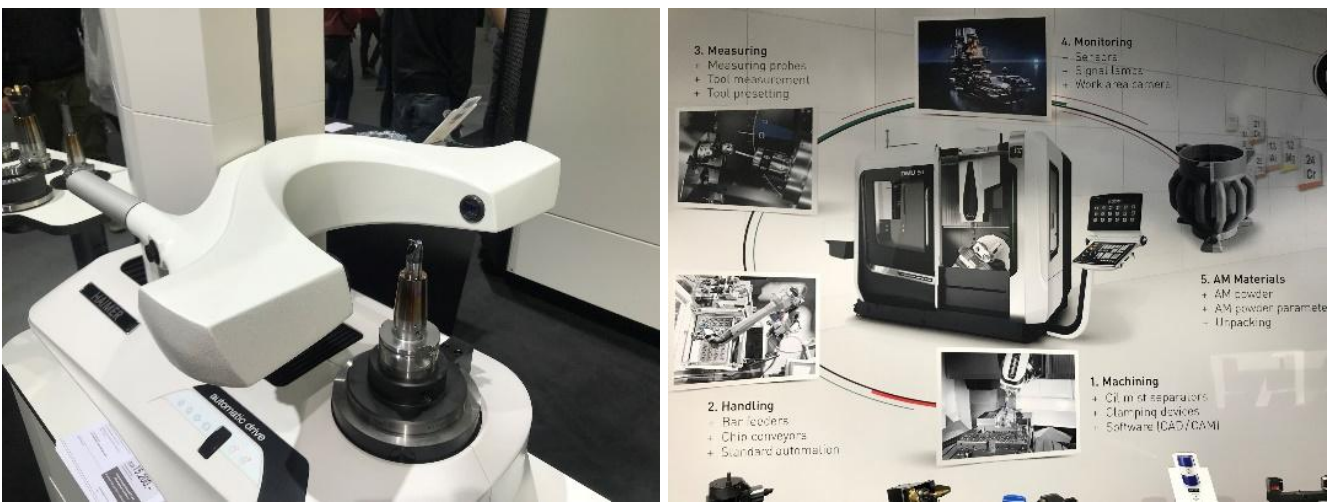
照片 8 自我校正之硬體與演算法原理 (含量測不確定度評估)



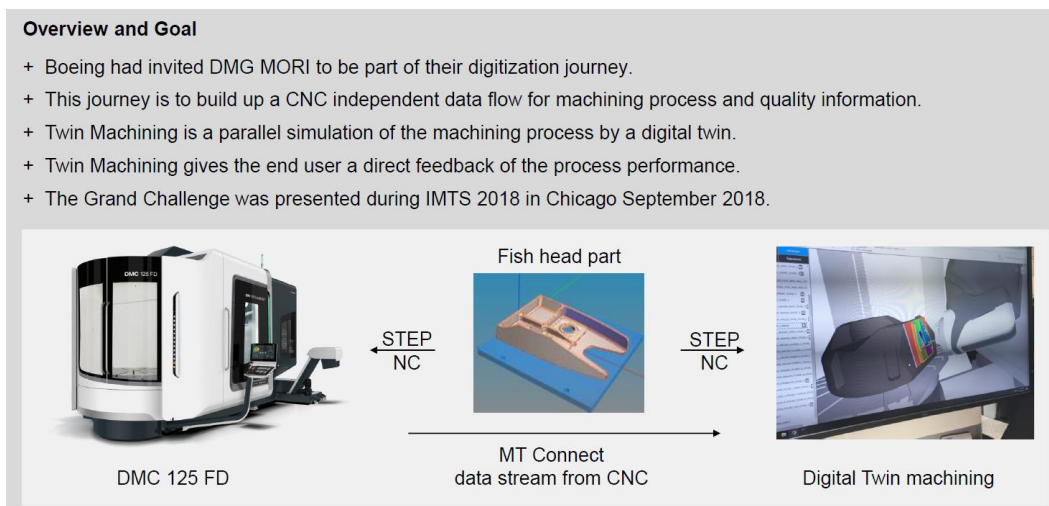
照片 9 環形編碼器、方規、自動視準儀校正系統



照片 10 DMG MORI 設備展示自動上下料



照片 11 DMG MORI 線上量測



照片 12 DMG MORI 數位分身模型

DMG MORI Digital Twin



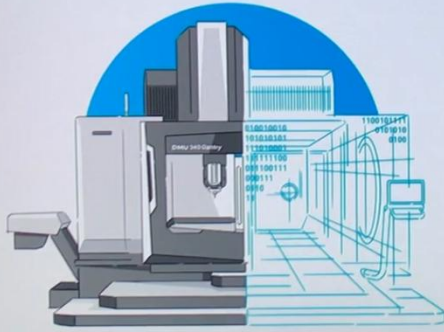
PARTNERSHIP



TIME SAVINGS



QUALITY
IMPROVEMENT



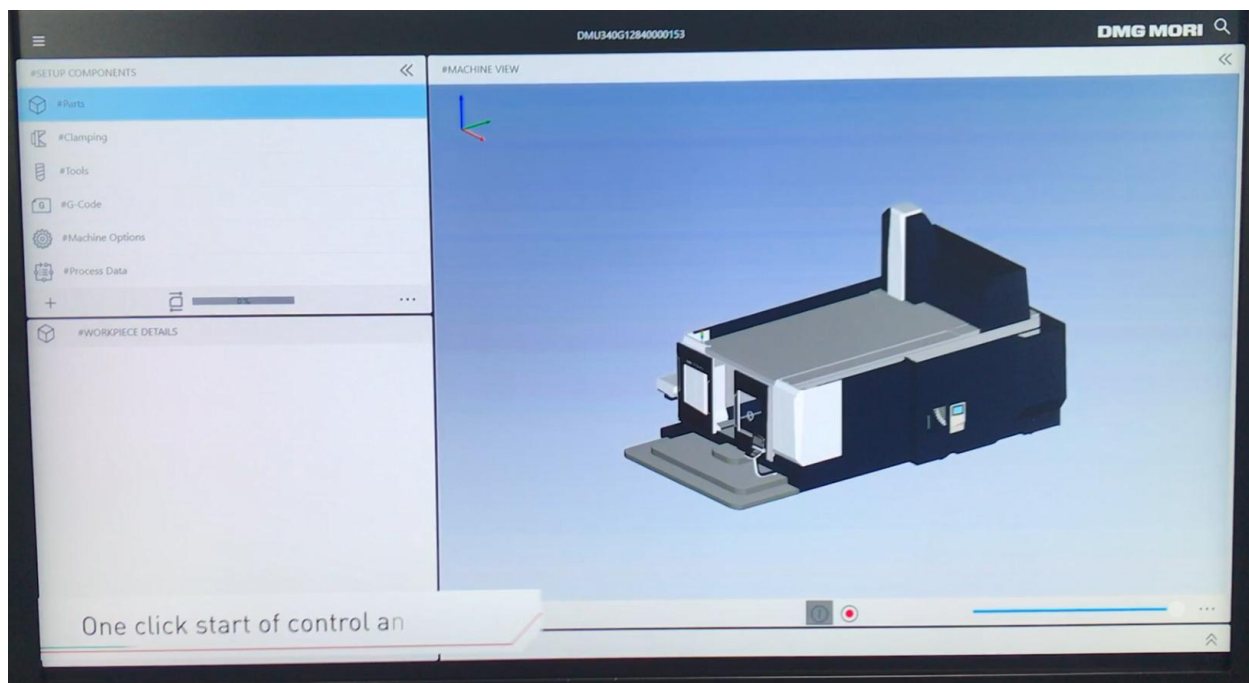
100 % REPLICA OF THE ENTIRE CUSTOMER-SPECIFIC MACHINE

> 50 % FASTER TIME TO MARKET

80 % FASTER START OF PRODUCTION

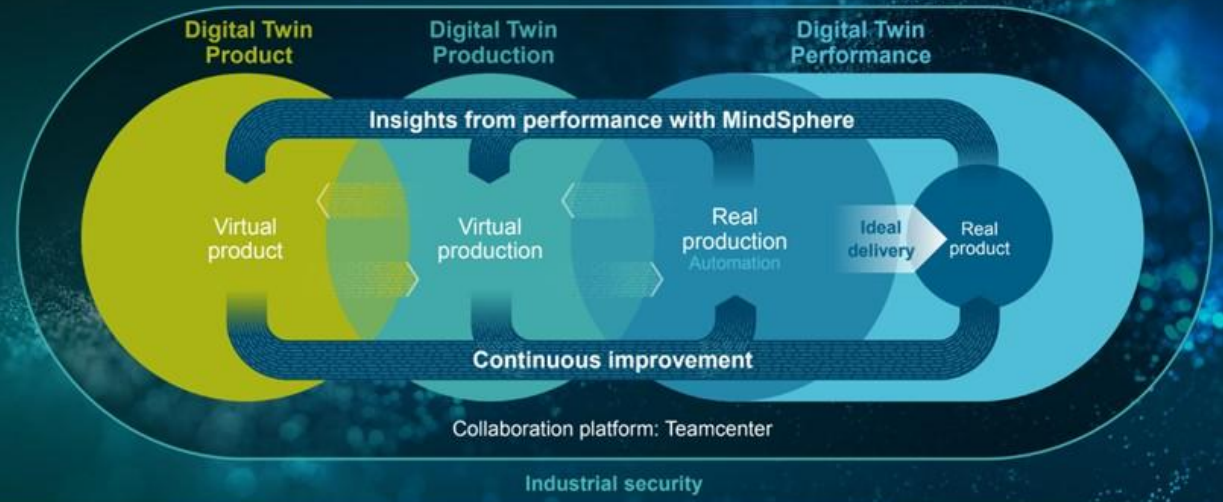
100 % MAIN TIME PARALLEL VIRTUAL PLANNING

30 % FASTER CHIP-TO-CHIP TIMES FOR NEW WORKPIECES

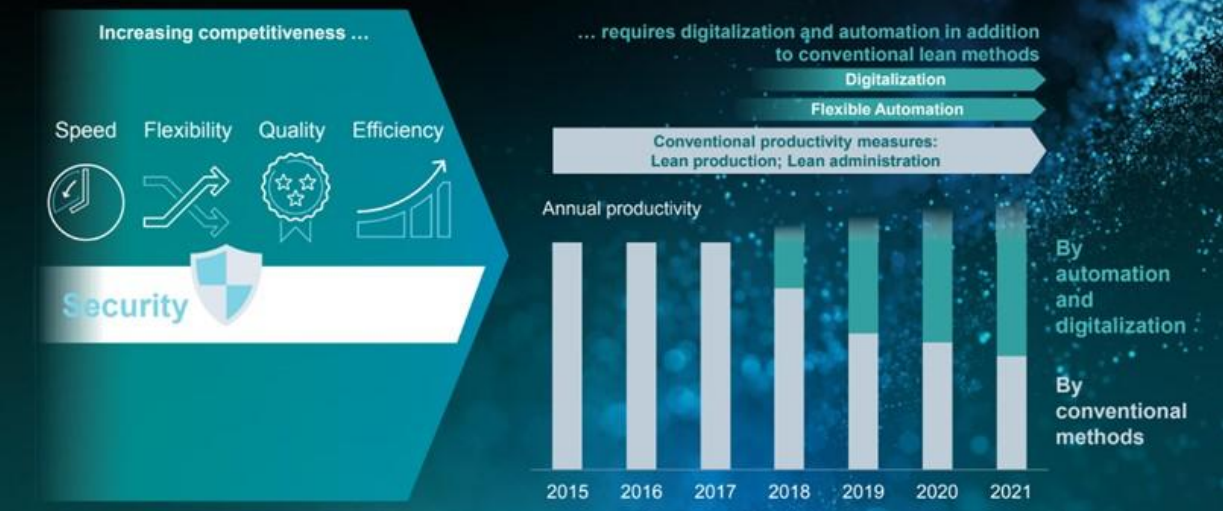


照片 13 DMG MORI 數位分身效益與操作畫面

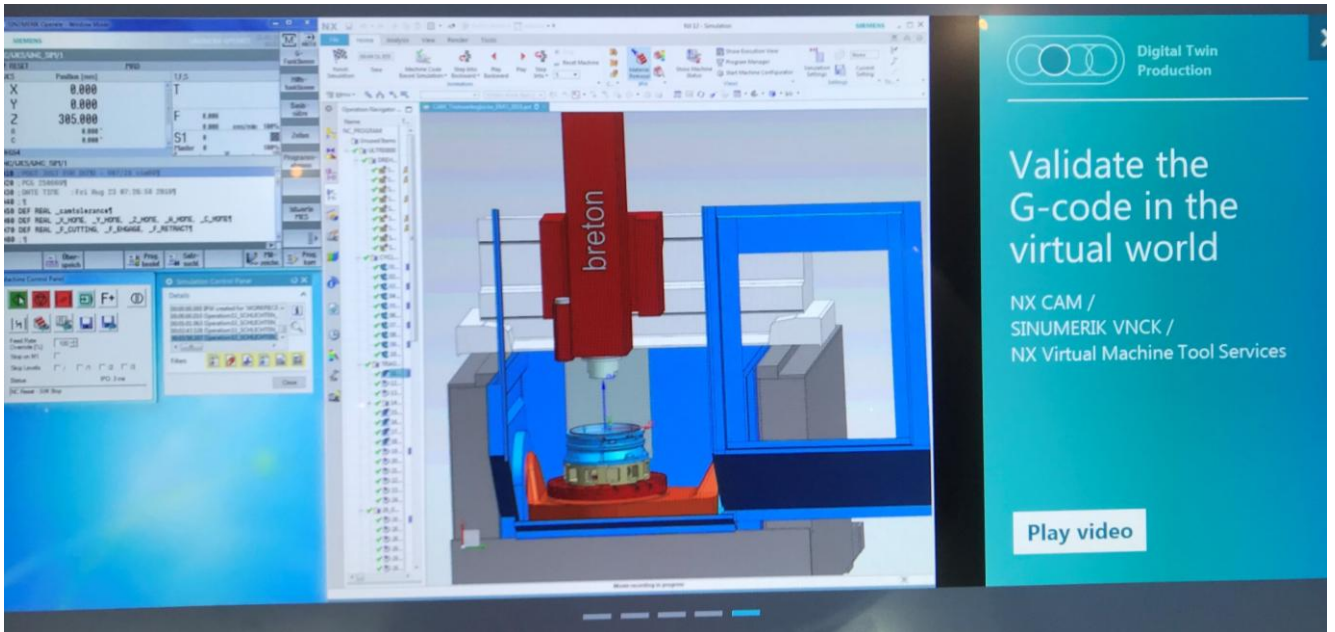
The digital twins seamlessly connect the steps of the value chain both for product manufacturer and machine builder



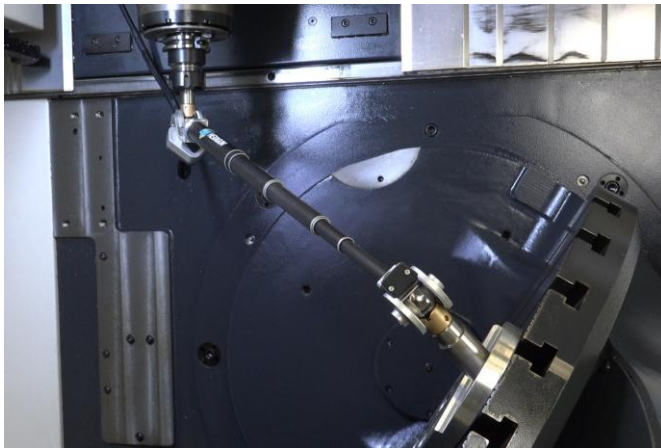
Digitalization and flexible automation enhance successful lean methods to further increase factory competitiveness



照片 14 西門子控制器提供之數位分身服務



照片 15 西門子工具機控制器之 DT 功能



X-AX LASERBAR



LaserTRACER - MT

照片 16 Etalon 公司新產品 X-AX LASERBAR(尺寸量測)

伍、中英文對照表

英文縮寫	英文全稱	中文翻譯
AGT	Acoustic Gas Thermometry	聲學氣體溫度系統
ART	Absolute Radiation Thermometry	絕對輻射溫度系統
BIPM	Bureau international des poids et mesures (法文)	國際度量衡局
BMWi	Federal Ministry for Economic Affairs and Energy	德國聯邦經濟事務和能源部
CA	Conformity assessment	符合性評鑑
CAB	Conformity Assessment Body	符合性評鑑組織
CIPM	Comité international des poids et mesures (法文)	國際度量衡委員會
CGPM	Conférence générale des poids et mesures (法文)	國際度量衡大會
DBT	Doppler-broadening Thermometry	都卜勒加寬溫度系統
DCGT	Dielectric-constant Gas Thermometry	介電常數氣體溫度系統
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes	歐洲國家計量組織聯盟
iMERA	Project of Implementing the Metrology European Research Area	歐洲計量實現研究領域計畫
IPK	International prototype of kilogram	國際公斤原器
ISO	International Organization for Standardization	國際標準化組織
JNT	Johnson Noise Thermometry	強生雜訊溫度系統
MID	Measuring Instruments Directive 2014/32/EU	歐盟量測儀器指令
NAWID	Non-Automatic Weighing Instruments Directive 2014/31/EU	歐盟非自動衡器指令
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準與技術研究院
NML	National Measurement Laboratory	國家度量衡標準實驗室
NPL	National Physical Laboratory	英國國家標準實驗室
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	德國聯邦物理技術研究院
SI	Système International d'Unités (法文)	國際單位制
UHV	Ultra-high Vacuum	超高真空

XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy	X 射線光電子頻譜技術
XRCD	X-ray crystal density method	X 光晶體密度法
XRF	X-ray Fluoresce Spectroscopy	X 射線螢光頻譜技術