

出國報告（出國類別：其他）

出席德國中央聯邦技術院技術交流會議  
報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：林青青技正/李新民技士

派赴地區：德國

出國期間：中華民國 102 年 12 月 3 日至 12 月 12 日

報告日期：中華民國 103 年 2 月 24 日

# 目 次

頁次

壹、摘要 .....	2
貳、目的與緣起.....	3
參、過程 .....	4
肆、心得及建議 .....	23

附圖：德國中央聯邦技術院（Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt）組織架構圖

附件：

1. SIOS 公司 Laser Interferometer 簡介
2. Etalon 公司 Laser Tracer 簡報
3. Etalon 公司 Absolute Multiline Technology 簡報
4. Leitz 公司 Leitz PMM-C 簡介

## 壹、摘要

工具機乃用來製造各種生產機台設備零組件的加工機械，其發展象徵國家產業發展的重要基礎，也是工業的重要命脈。因此素有「工業之母」之稱，隨著消費需求與消費型態的改變，市面上產品的功能也隨之日新月異，對於使用工具機加工的產品，也就愈趨向輕、薄、短、小，而製造過程中，失之毫釐的精度可能就會造成產品瑕疵，也因此，高精密的量測儀器與技術，將是工具機產業提升競爭力與產品高值化不可或缺的一環。

近年來，三維系統在國際間發展快速，其中三維列印、工具機三維加工或三維量測等，皆是未來發展的重點工作，為協助我工具機產業，標準檢驗局規劃於 103 年至 105 年透過國家度量衡標準實驗室之產業計量子項計畫，建置三維座標量測系統(Coordinate Measuring Machine，以下簡稱 CMM)，協助產業解決精密機械最重要的加工精度問題，增加國產商品之附加價值，由於德國中央聯邦技術院(Physikalisch-Technische Bundesanstalt，以下簡稱 PTB)已發展出軸向長度 2m 以上之大型三維座標量測系統之校正方法，故與其技術交流，為本次出國的主要目的。

本次行程首先參訪德國雷射干涉儀製造廠 SIOS 公司、世界最高精度座標量測系統製造廠 Leitz 公司以及雷射追蹤儀製造廠 Etalon 公司，之後赴德國 PTB 出席技術交流會議，以做為未來國內三維座標量測系統建置與發展方向之規劃參考。

## 貳、目的與緣起

工具機為工業之母，所有機械的生產都必須使用工具機，在科技與經濟發展面臨紛湧而至的新世紀競爭之際，不論是傳統的紡織、製鞋產業，汽車、航太、鐵路產業，甚至是資訊電子、半導體、精密機械、生物工程、光電等等高科技產業，其生產所需的工具機，莫不紛紛朝向高精度化、高速化以及多機能化發展，此外由於產品趨於微小化，在微小化的製造過程中，更需要有精密的製造與檢測技術，來提升微小化產品的品質與可靠度，而這些品質與可靠度的要求，使得高精度的量測儀器與技術更形重要。

我國度量衡業務之權責機關為經濟部標準檢驗局（以下簡稱標準局），為協助我工具機產業，標準局規劃於 103 年至 105 年透過國家度量衡標準實驗室之產業計量子項計畫，建置三維座標量測系統 (Coordinate Measuring Machine, CMM)，三維座標量測系統是目前全世界最廣泛應用於量測物體之幾何、尺寸、輪廓…等三維幾何尺寸的儀器，藉由三維座標量測系統之建立，可提高量測儀器之精度或加工機具之加工準確度，並提升國內三維尺寸之量測能力與機械產品價值，增進與歐美日先進高階工具機之競爭實力。

此次出國主要是與德國 PTB 之 Working Group 5.32(Coordinate Measuring Machines)進行技術交流，瞭解 PTB 在三維座標量測系統 (CMM)之校正方法與量測不確定度評估方法，雷射追蹤儀(Laser tracer)或傳統雷射干涉儀應用於 CMM 檢測之優缺點交流與討論，由於三維座標量測系統中，量測儀器特性為重要關鍵，因此亦將拜訪 CMM 製造大廠 Leitz 公司、雷射追蹤儀製造廠 Etalon 公司與擅長於量測系統整合之 SIOS 公司，蒐集三維尺寸量測之校正追溯鏈

與相關量測技術以及國際發展趨勢資料，以為國內建置三維座標量測系統之參考。

## 參、過程

本次行程自 102 年 12 月 3 日出發，102 年 12 月 12 日結束返國，行程主要分為四部分，首先參訪位於伊爾默瑙(Ilmenau)之 SIOS 公司，之後拜訪 CMM 製造大廠之 Leitz 公司及雷射追蹤儀製造之 Etalon 公司，最後至總院區位於布蘭斯維克(Braunschweig)的德國 PTB 進行技術交流會議，希望能藉由本次行程，汲取德國經驗，做為國內三維座標量測系統未來建置規劃之參考，詳細行程如下表：

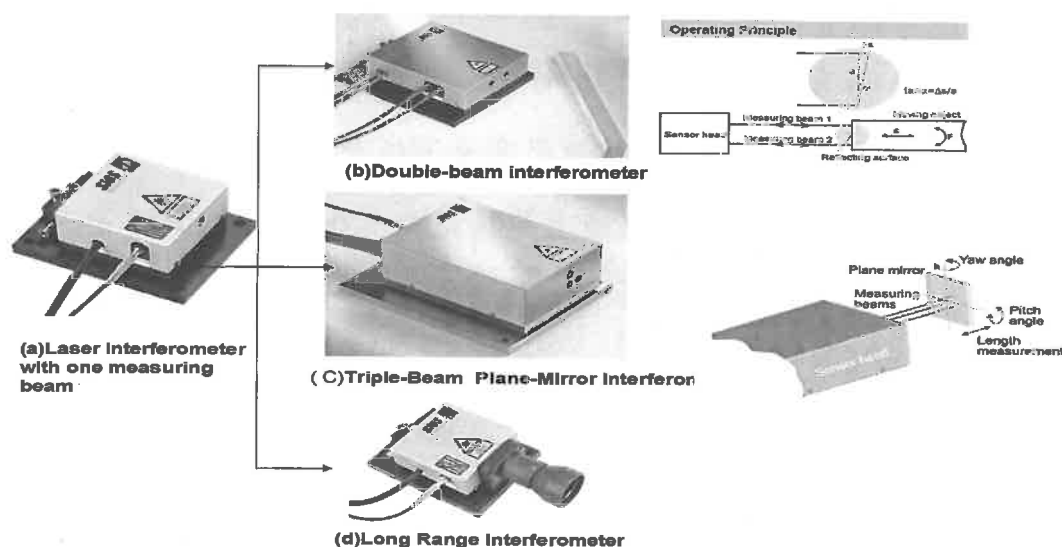
出國行程說明			
預定起訖日期	天數	到達地點	工作內容簡述
102 年 12 月 3 日 (二)	1	啟程：台北	台北出發前往德國法蘭克福
102 年 12 月 4 日 (三)	1	伊 爾 默 瑙 (Ilmenau)	抵德國法蘭克福後，搭乘火車至伊爾默瑙(住宿)，隔天參訪雷射干涉儀製造廠 SIOS 公司
102 年 12 月 5-6 日(四-五)	2	韋茨拉爾 (Wetzlar)	參訪世界最高精度座標量測系統(CMM)製造廠 Leitz 公司 (12 月 5 日由伊爾默瑙至韋茨拉爾)

102年12月7-9日(六-一)	3	布蘭斯維克 (Braunschweig)	參訪雷射追蹤儀製造廠 Etalon公司 (12月7日由韋茨拉爾至布蘭斯維克)
102年12月10日(二)	1	法蘭克福 (Frankfurt)	出席德國中央聯邦技術院 (PTB) Working Group 5.32 (Coordinate Measuring Machines)技術交流會議 (12月10日由布蘭斯維克 至法蘭克福)
102年12月11-12日(三-四)	2	回程：法蘭克福- 台北	從法蘭克福返程回台北
	(共10天)		

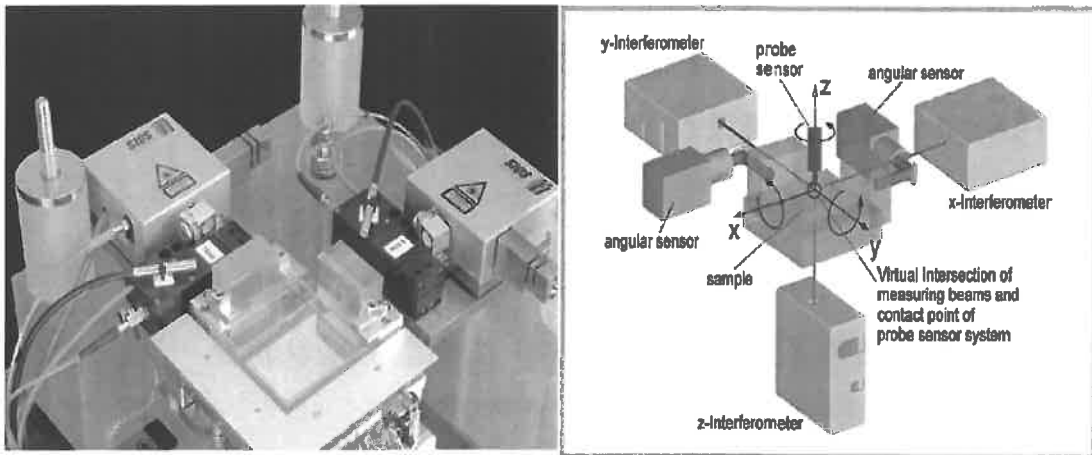
## 一、 參訪 SIOS 量測技術有限公司

SIOS 量測技術有限公司(以下簡稱 SIOS 公司)係德國伊爾默瑙 (Ilmenau)科技大學教授 Dr. Gerd Jager 於 1991 年創立，該公司目前員工約 46 人，現任 CEO 為 Dr. W. Schott，此次拜訪即是由 Dr. Schott 負責向我們解說，SIOS 公司規模雖不大，但產品種類約有 15-20 項，因是研發重鎮，只在 show room 及會議室可以拍照，實驗室內是無法照相。

SIOS 公司的主要技術是雷射干涉儀(Laser Interferometer)，單軸雷射干涉儀如圖一之(a)，再以此單軸雷射干涉儀為基礎，擴展出雙軸(如圖一之(b))與三軸雷射干涉儀(如圖一之(c))，多軸雷射干涉儀可用來量測角度，發展這些多軸雷射干涉儀主要目的，是應用在高精密度定位平臺，要能量測位移軸之俯仰角(Pitch)與偏搖角(Yaw)，才能補償這兩方向所造成之定位誤差，Dr. Schott 進一步說明，可利用奈米級解析度之多軸雷射干涉儀，搭配三維移動台，結構上使用 Invar 與 Zero dur 等低膨脹係數材質，配合自動定位控制系統，即可組裝成長行程奈米移動台(NMM-1)(如圖二)。



圖一、雷射干涉儀

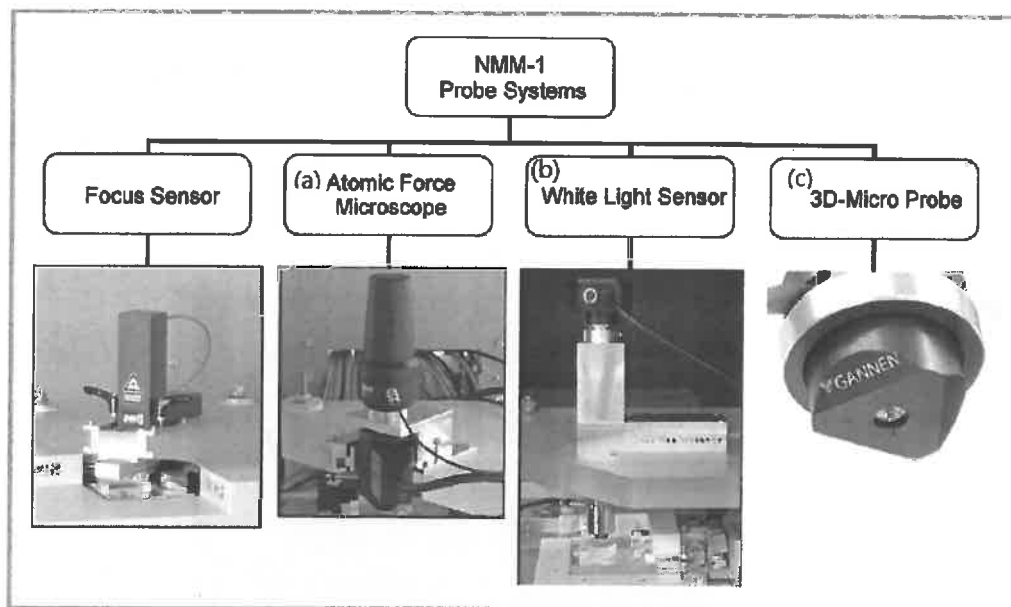


圖二、長行程奈米移動台(NMM-1)

SIOS 公司之營運主軸有兩個，一為單軸到多軸雷射干涉儀應用，提供全球研究機構與儀器設備廠商應用到不同領域，例如加上擴束光學成為長距離雷射干涉儀，可量測到 80 m 距離遠，或將單軸雷射干涉儀應用到振動量測，發展出奈米振動分析儀(Nano vibration Analyzer)等量測儀器。

另一主軸為結合不同量測探頭與長行程奈米移動台，組合成各式奈米級量測儀器(如圖三所示)，當與原子力顯微鏡(AFM)結合，就成為非常知名的計量型原子力顯微鏡，如新加坡度量衡國家實驗室(NMC)，就有使用此計量型 AFM；當與 3D micro probe 結合，就成為計量型微奈米 CMM，可以用來量測微米到奈米工件之三維尺寸。這些系統開發，在量測探頭上是採用商品化產品，SIOS 公司將其組裝到長行程奈米移動台，再開發應用軟體，長行程奈米移動台成為各式應用之高精度載具。





圖三、長行程奈米移動台與量測探頭結合應用

此次還想要瞭解的是雷射追蹤儀(Laser Tracer)的製造，Laser tracer 是由 PTB 與英國國家物理實驗室(NPL)合作發展出來，再由 PTB 所 spin-off 的 Etalon 公司來經營 Laser tracer 之推廣與應用，其中 Laser tracer 使用 SIOS 之雷射干涉儀，且整體結構之組裝製造，也是 SIOS 負責。參觀 SIOS 公司，最令人驚訝的是 SIOS 公司除了 4-5 台 CNC (電腦數值控制, Computer Numerical Control) 工具機或 NC(數值控制, Numerical Control) 加工機外，還有一台五軸加工機，技術人員也一直在加工工件，這表示 SIOS 公司之產量應不少，且其加工精度也應相當高。

SIOS 公司是一儀器開發，由學界轉換到產業界成功例子，產品特色是獨一無二、專精、易擴充應用，以光機整合為主，雷射干涉儀與精密光機整合之長行程奈米移動台為基礎，產品在開發上與其他商品有差異性，雷射干涉儀體積小、重量輕，適合整合到量測系

統內，所以廣泛應用到全球研究單位與儀器設備廠；長行程奈米移動台之特色是奈米級與長行程，這也是世界獨一無二，配合不同量測探頭，將量測能力只有厘米級的量測範圍，提升到微米級量測範圍。



圖四、SIOS 產品展示櫃



圖五、於 SIOS 公司會議討論場景

## 二、 參訪韋茨拉爾(Wetzlar)之 Leitz 公司

在一般人心中，大家都知道 Leica 相機是相機中極品，卻少人知道 Leica 相機的由來是 Leica = Leitz Camera。

Leica 在早期只是 Leitz 的相機製造部門，瞭解到這點，就值得對 Leitz 肅然起敬，因為在精密機械產業，Leitz 也是世界精度最高三維量測儀器大廠，由圖六、Leitz 發展簡介，可看出 1979 年 Leitz 的 PMM CMM，量測準確度就可以到 2.3  $\mu\text{m}$ ，到 1989 年 PMM-C CMM，量測準確度已提升到 0.6  $\mu\text{m}$ ，台灣精密機械廠目前仍無一能達到此一精度，而 2006 年推出的 Inifinity 機種，精度更是提升到 0.3  $\mu\text{m}$ 。

即使技術能力是如此高人一等，Leitz 還是步入被併購宿命，從 HEXAGON 公司進入計量領域之後，它先後收購了 Leitz、DEA、TESA、Brown & Sharpe、Sheffield、m&h.....，同時也收購全球最大的軟體的開發商 PC-DMIS 與 QUINDOS，HEXAGON 成為全球唯一擁有完整計量產品線以及軟體、探測系統開發製造能力的計量業全球老大。除了所有權歸 HEXAGON 以外，這些品牌仍然保留著原有的特性。也因擁有多家儀器公司，所以 HEXAGON 除了有 Leitz 產品外，也包含其他中、低價位與精度產品，能為客戶提供整套解決方案(Total Solution)，在客戶的發展過程中，HEXAGON 能適時推出適應客戶需求的產品、方案或服務。

本次參訪 Leitz 公司之解說人員為負責亞太地區銷售的經理 Mr. Juergen Roos，Leitz 主要成功產品為 PMM 系列，之前提到 1989 年 PMM-C CMM(如圖七)，量測準確度已達 0.6  $\mu\text{m}$ ，這一系列也包含更高階之 Ultra(量測準確度為 0.4  $\mu\text{m}$ )與 Infinite(量測準確度為 0.3

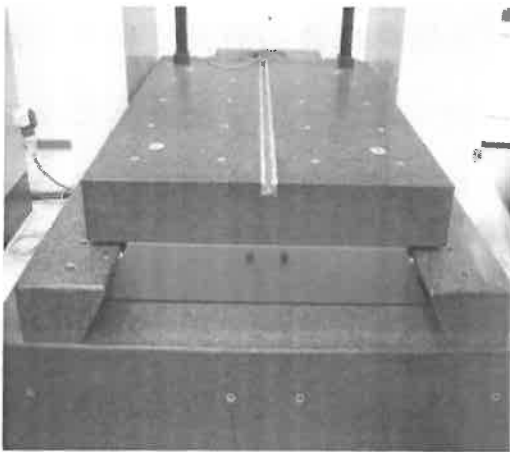
$\mu\text{m}$ )；Leitz 的 CMM 的優點在那裡？除了機械結構穩定、定位精度高之外，在設計上亦有其特別之處，例如在機械結構上是工作台移動(如 PMM-C)，而不是量測的 sensor 移動，因量測 sensor 移動，會產生額外的誤差影響；舊型 CMM 導軌是組合成型再固定(如圖八)，新型的 CMM 導軌則是一體成型(如圖九)，一體成型的導軌不會因用久之後導軌外形有變異，所以 Leitz 新型的 CMM 導軌皆是一體成型，其花崗岩來自南非，品質佳且長度夠長，最長 8m 以上都有；此外，Leitz 採用金屬材質之高精度光學尺，因高精度量測工件之材質大部份是金屬，所以用相同材質，溫度變化之膨脹影響可以降到最低，一般 CMM 採用玻璃光學尺，其與金屬之膨脹係數值有約  $2.5 \times 10^{-6}$  變異量；Leitz 的 CMM 規格，是唯一對各式探頭(probe，如圖十)都適用，因 CMM 是用接觸式探頭接觸工件，當探頭愈長，接觸力所造成之探頭結構彎曲愈大，當然誤差就變大，Leitz CMM 設計有探頭變異補償簧片，大大減少誤差產生；一般 CMM 量測齒輪外形，需配合高精度轉盤，Leitz 的 CMM 可直接用來量測齒輪外形(如圖十一)，不需使用高精度轉盤，因其各軸向之定位夠準確且垂直角度誤差小。



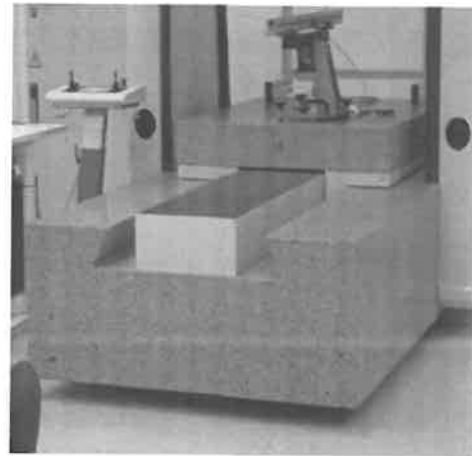
圖六、Leitz 發展歷史



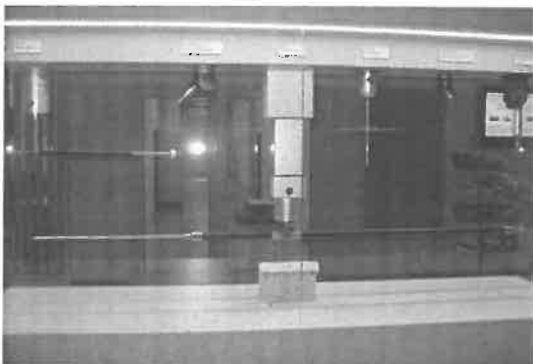
圖七、Leitz PMM-C CMM



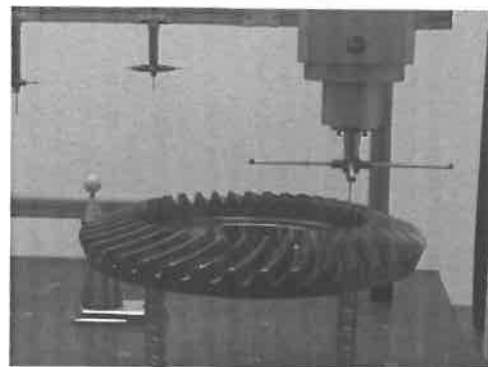
圖八、組合形導軌



圖九、一體成形導軌



圖十、Leitz 各式 probe



圖十一、量測齒輪參數

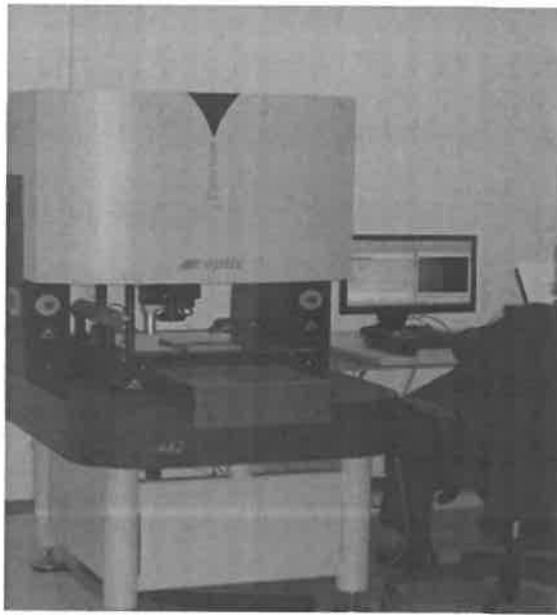
Leitz 工廠(如圖十二)大小約 60 m x 20 m，高約 12 m，溫度控制在 $(20 \pm 0.3)^\circ\text{C}$ ，中間是挑空到頂，兩側二樓以上是安裝空調設備，總共有兩組空調設備，可以輪流運作，以避免故障造成停機，所有之組裝、檢測都在這一廠區，能確保製造出之 CMM 完全符合 SI unit 規定 $(20^\circ\text{C})$ ，使溫度不會對 CMM 造成膨脹變形，影響精度。

CMM 校正方法是我們所關心的，出廠前之校正是採用雷射干涉儀，將量測後得到之修正補償參數輸入控制器，廠商交貨後之系統定期維護，則採用長塊規組，進行檢驗。

Leitz PMM 是最成功系列，而最特別的是 Leitz SIRIO(如圖十三)，Leitz SIRIO 是專為在生產環境下而設計，主要應用於車輛零件生產，即使被現場的油污污染，它還是能夠以最高的精度和可靠性進行工作；整台機器，包括立柱和導軌，就像一個完整的單元在工作，每一個支撐點都配有減振墊。這使得 Leitz SIRIO 不會受到旁邊的任何其他設備振動的影響，並且不需要其他特殊的地基。配備有線上溫度補償設計，使整機設備在超大環境變異情況下，仍可提供可靠的量測能力，所以能將計量帶到了生產現場；要達到如此特別規格，必需在任何溫度條件下，有極高重複性，在各個不同溫度條件下，建立溫度補償參數資料庫。



圖十二、Leitz 工廠外觀



圖十三、CMM-SIRIO

### 三、 拜訪布蘭斯維克(Braunschweig)之 Etalon 公司

本次拜訪 Etalon 公司，係由該公司 CEO Dr. Heinrich Schwenke 親自向我們解說，Etalon 公司目前員工人數約 20 名，主要產品有 3 種：Laser tracer、Laser tracer-MT 與 Absolute Multiline-Technology。

Laser tracer 的使用目的，是建置三維座標量測系統與技術時，會先以 Laser tracer 來校正 CMM、工具機或機械手臂等，以往有類似的自動追蹤干涉儀器稱為 Laser Tracker，其量測精度為微米級，對於較高等級的工具機或是 CMM 來說是不適用的。為了提升精度及減少量測的不確定度，Etalon 開發出一套新型的自動追蹤干涉儀，稱之為 Laser Tracer(如圖十四)。Laser Tracer 是在 2000 年由英國國家物理實驗室(NPL)開始研究，後與德國 PTB 合作，成功後，由 PTB spin-off 成立 Etalon 公司，並由原任職 PTB 的 Dr. Schwenke 與幾位同仁經營。Laser Tracer 能將精度提到次微米的關鍵，主要係利用 GPS 的定位原理來進行三維空間的位置量測，量測精度可達  $0.3\mu\text{m}/\text{m}$ 。由圖十四(右)光路，可以得知，光路中使用標準鋼球，可自動補償轉動時，軸向偏移所造成誤差，所以不論轉動到那一角度，都是以鋼球球心為量測距離之起點，以確保量測精度。

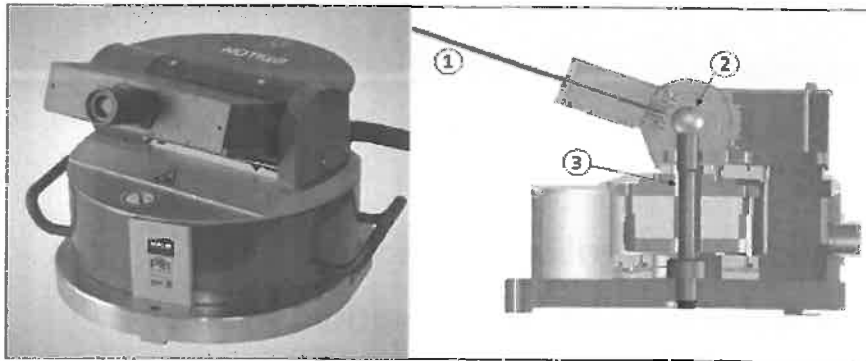
傳統校正 CMM 或檢測工具機要量測出三軸 21 自由度，要耗費 2 日時間，使用 Laser Tracer，只要 2 小時；新型控制器都有提供體積誤差補償功能(圖十五)，當量測點數非常多時(分佈空間體積所有位置)，使用傳統量具是很難達到，而使用 Laser Tracer，移動到空間所有位置，就可馬上得到空間體積誤差，可直接將誤差傳入到控制器，進行體積誤差補償。Laser Tracer 有快速追蹤能力，Dr. Schwenke



拿著追蹤標靶-貓眼，在空中寫出 CMS(如圖十六)，果然由電腦銀幕中馬上顯示出 CMS。

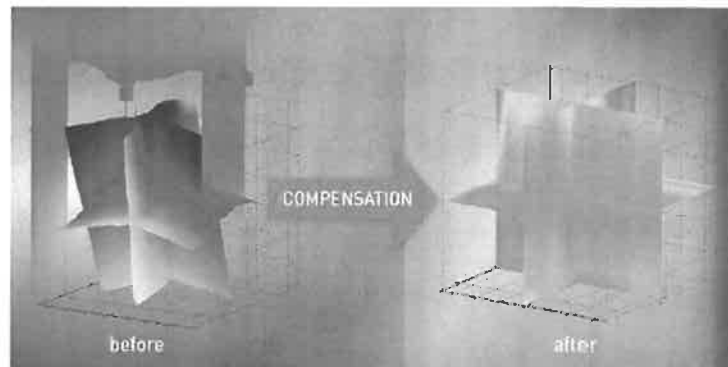
Etalon 公司的絕對多線量測技術(Absolute multiline technology，如圖十七)是 Etalon 公司新產品，可同時作多個通道(channel)之絕對量測(24 channels)，在 2 秒內可以完成所有量測計算，可用於多個尺寸同時量測與監控，例如工具機加工時，結構易因環境溫度變化而膨脹造成結構扭曲變形，同時監測各軸長度，就可知道其外形結構變形，使用修正模型，可回饋補償誤差，進而改善加工精度，工具機就能在任意環境下，都能維持良好的加工能力，性能會比 Leitz 的 Sirio 為佳，但目前問題在於只能用軟體計算，計算時間太久。

## The LaserTRACER



圖十四 Laser Tracer 與其架構

## Generation of an error map for volumetric compensation



圖十五、體積誤差補償



圖十六、移動追蹤標靶-貓眼，Show 出 CMS

## *Absolute Multiline-Technology*

**A world innovation in length metrology**



圖十七、 Multiline technology

#### 四、 與德國 PTB 的 Working Group 5.32 進行技術交流會議

與德國 PTB 的 Working Group 5.32(Coordinate Measuring Machines) 進行技術交流是本次出訪的主要目的，德國中央聯邦技術院 (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB) 成立於 1887 年，為世界上最早的計量標準機關，PTB 隸屬德國聯邦經濟與技術部 (BMWi)，係德國科學計量標準之最高科技研究單位及政府機關，主要業務包括計量標準制定與技術發展、法定計量單位 SI 的維護與擴散、技量技術之移轉等。PTB 目前員工人數約有 1800 名，年度預算約 1.4 億歐元，其組織架構(詳如附圖)為院長、副院長之下，設有 9 個技術業務組，包括：

第 1 組 力學和聲學(Mechanics and Acoustics)

第 2 組 電量(Electricity)

第 3 組 化學物理和防爆(Cheical Physics and Explosion Protection)

第 4 組 光學(Optics)

第 5 組 精密工程(Precision Engineering)

第 6 組 游離輻射(Ionizing Radiation)

第 7 組 溫度與同步輻射(Temperature and Synchrotron Radiation)

第 8 組 醫學物理計量與資訊科技(Medical Physics and Metrological Information Technology)

第 Q 組 跨領域之科學技術(Scientific-technical Cross-sectional Tasks)

在上述各技術業務組下，依專業再分設部門，部門下並設工作小組。由於德國中央聯邦技術院的組織相當龐大，專業分工又非常細，因此本次赴德國進行技術交流會議，即是與 PTB 第 5 組精密工程

(Precision Engineering)下之 working group 5.3.2(亦即 Coordinate Measuring Machines 工作小組)討論大型三維座標量測儀之校正方法。

在 PTB 的行程，首先係由 PTB Working Group 5.3.2 的 Mr. Nobert Gerwien 展示 CMM 校正方法，之後再與 Dr. Klaus Wendt 進行討論。Mr. Gerwien 在 PTB 已工作 35 年，是很資深的技術人員，展示 UPMC 1200 CMM(如圖十八)，已是很舊的 Zeiss 機型，但校正結果還不錯，空間不確定度最好為  $0.8\ \mu\text{m}$ ；環境溫控相當好，是這個實驗室特點，從天花板懸吊很多溫度計在 CMM 周遭，以監控實驗室溫度，圖十九是實驗室溫度變化情形，平時保持溫度在  $0.04\ ^\circ\text{C}$  之變化內，我們進入實驗室內後，溫度升到  $20.1\ ^\circ\text{C}$ ，就啟動溫控，將溫度回控到  $20.0\ ^\circ\text{C}$ ，這種精確的溫度控制能力，令人驚訝。

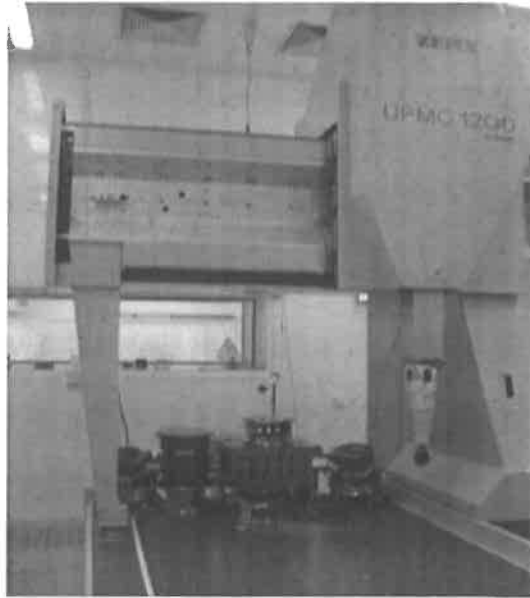
Mr. Nobert Gerwien 說明 ZEISS UPMC 1200 CMM 過去校正時，曾使用過長塊規、雷射干涉儀、球板(Ball plate)以及洞板(Hole plate)等，目前則改用 Laser Tracer；Laser Tracer 校正速度快、精度高是其優點，但價格昂貴，PTB 共有 8 具，量測時可用 8 具一起量測，最少用 3 具即可(如圖二十)，在實驗室時留意到 3 具 Laser Tracer 放置在不同的高度位置，由於使用 Laser Tracer 時，不需知道每一具 Laser Tracer 位置，是先做起始化，隨意移動量測貓眼到幾個不同位置，就可反求出每具 Laser Tracer 位置，實務上，Laser Tracer 放置的位置會影響量測精度，最好是分散到要量測範圍區域內，均勻放置。完成初始化動作後，設定量測位置，就可讓控制介面控制 CMM 自行移動到每一量測點，並由 Laser Tracer 自行量測，此時 CMM 速度

會放慢，所以要花約 2 hr 時間，但相較傳統其他方法，還是可節省約 1/10 時間。

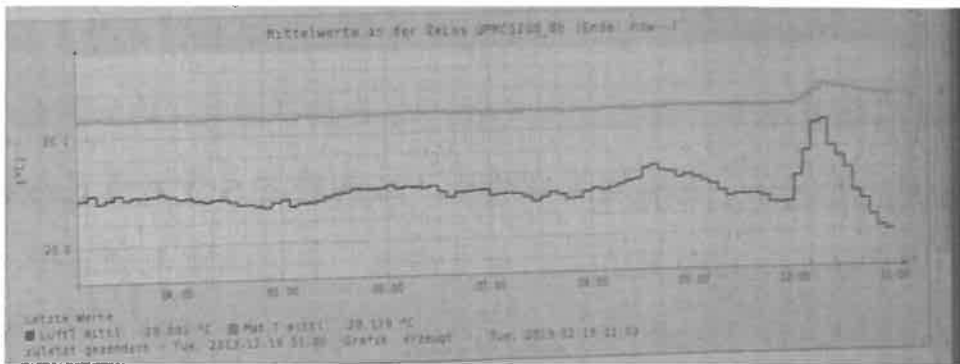
量測結束後，控制電腦會進行量測數據分析，對應得到各軸參數之誤差曲線(如圖二十一)，如果有 CMM 伺服控制器對應軟體，就可把修正參數直接輸入到伺服控制器內，進行誤差修正。Mr. Gerwien 同時也展示 PTB 自行開發 VCMM 軟體(如圖二十二)，可作為校正系統評估工具。

下午與 Dr. Klaus Wendt 進行技術交流會議時，就直接提出一些相關工具機校正問題，Laser Tracer 用多台同時校正 CMM，與只用一台 Laser Tracer，再以多次變換位置量測之差異性？以愈多個 Laser Tracer 同時量測任一點之空間座標一定是最準確的，但如假設 CMM 重複性是足夠好，且環境沒有變化，那兩種方式量測結果應有一致性，但實務上，這兩個假設都會有問題，要修正成何種條件，才能使用一具 Laser Tracer 進行多次量測？此外，在量測不確定度估算時，機台重複性會是影響主因之一。採用一具 Laser Tracer 多次量測時，若把 Laser Tracer 分別放置在 CMM 之四個角度，當貓眼要對準 Laser Tracer 時，貓眼須轉動角度來對準，旋轉之偏擺或偏位是否會影響量測結果？Laser Tracer 與 Leitz 的 CMM，二種量測方法不確定度大概在同一等級，何者準確度較高？Dr. Wendt 認為還是 Laser Tracer 較準確，但要留意要有好的量測環境，其準確度才能確保。

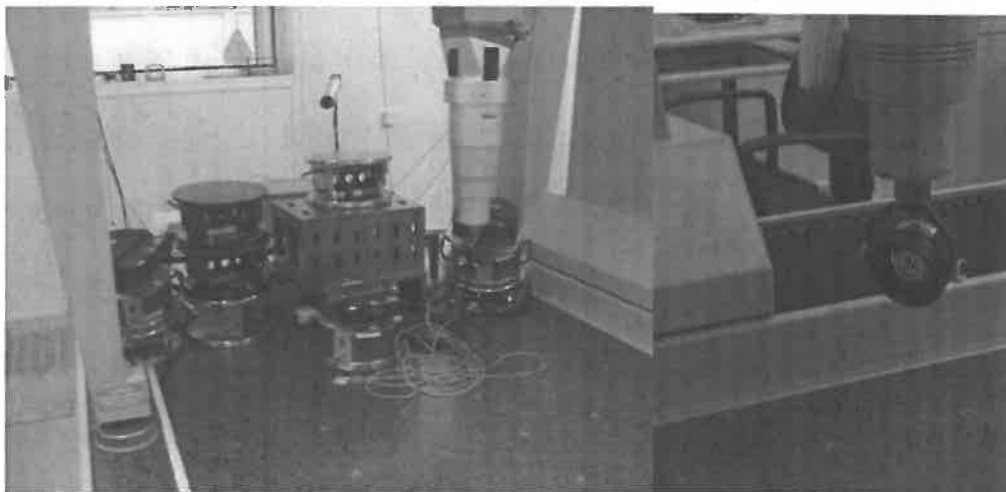
由於 PTB Working Group 5.32 在 CMM 校正與評估有相當多經驗，自行開發 VCMM 軟體，除可進行評估校正 CMM 量測不確定度外，也能應用於分析與評估結構設計對加工影響的模擬，因此本次能與 PTB Working Group 5.32 進行技術交流，可謂獲益良多。



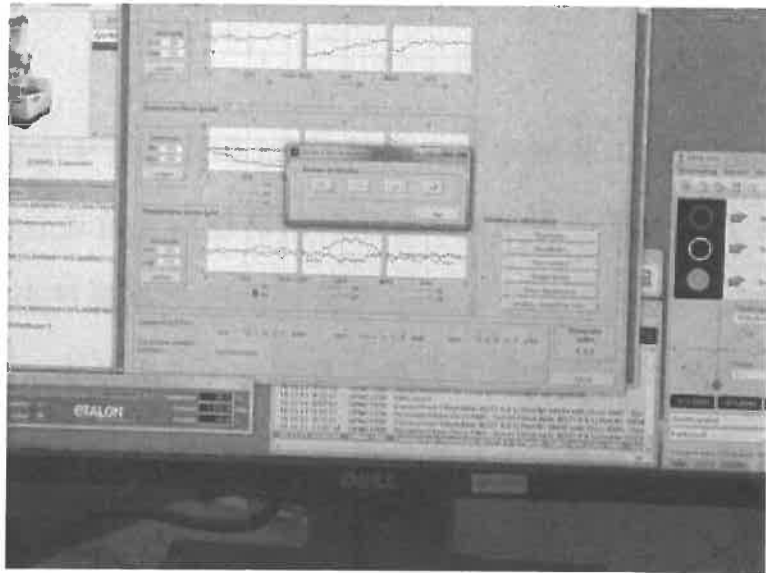
圖十八、ZEISS UPMC 1200 CMM



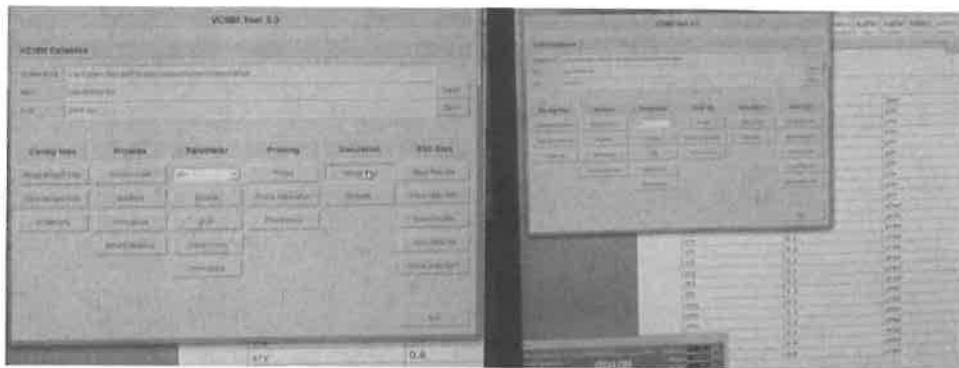
圖十九、實驗室溫度變化



圖二十 Laser Tracer 校正 CMM



圖二十一 Laser Tracer 量測結果數據分析



圖二十二、VCMM 分析軟體

## 肆、心得及建議

- 一、目前我國工具機雖能以高性價比(品質與價格均佳)之單機產品在全球佔有一席之地，但面臨的困境則是製造技術還處於傳統階段，除了系統整合能力及製造服務化之應用尚待提升之外，尺寸加工精度尚無法與德、日相比，在大陸十二五計畫、四縱四橫鐵道計畫、美國先進製造夥伴計畫等政策帶動下，預期未來全球對於複合、高精度、高效率工具機的需求將逐漸增加，本次參訪期間即得知，大陸、韓國等已積極布局並購置高精度量測系統，尤其韓國挾其與各國洽簽 FTA 之優勢，去(2012)年其全球工具機市場占有率已超過我國，面對全球競爭壓力，國內亦應儘速建置三維座標量測系統，以協助國內工具機產業，提升其尺寸加工精度與附加價值，進而切入高值化工具機的市場。
- 二、購置高精度 CMM 量測系統成本不菲，因此了解 CMM 的校正方法與量測不確定度的評估，係維持高精度量測系統功能之重要課題，本次拜訪德國 SIOS、Leitz 與 Etalon 公司，都是高精度與高科技公司，PTB 更是德國相當重要的計量研究單位，透過本次交流研討，對於 CMM 設計上影響量測的重點、CMM 的校正方法、Laser Tracer 在量測原理與使用方法等，都有進一步的認識與了解，同時對於國內未來擬建置之三維座標量測系統，亦有相當之助益。
- 三、本次參訪過程中發現不論是研究單位的 PTB，或是高科技的 SIOS、Leitz 及 Etalon 公司等，對於環境的控制均相當關切並



投注大筆經費改善，例如 Leitz 投入約 400 萬歐元新建具絕佳溫控條件( $20\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ )的廠房，除了中間挑空，兩側共兩組空調設備輪流運作，避免故障造成停機的廠區溫度變化外，於規劃建廠時，已考慮將牆壁的厚度增厚、玻璃窗戶採雙層夾板等方式，使室內與室外溫度絕緣，確保產品的一致性；而 PTB 即便是小型的實驗室，亦會於天花板懸吊多支溫度計在 CMM 周遭，以監控實驗室溫度，當人員進入實驗室，溫度升到  $20.1^{\circ}\text{C}$ ，立即啟動溫控，將溫度回控到  $20.0^{\circ}\text{C}$ ，這種注重實驗環境的基礎建置與精確的溫度控制能力，非常值得國內試驗單位與生產廠商學習。

- 四、 德國 PTB 為德國科學計量標準之最高科技研究單位及政府機關，亦為國際知名度量衡標準機構之一，本次能與之技術交流，除在技術層次上獲益匪淺之外，能夠與國際計量政府機關持續維持良好互動關係與實務往來，亦為我政府機關人員出國之重要任務之一。
- 五、 本次出國觀察到德國是個工作非常勤奮且注重基礎技術研發、產學合作以及學用合一的國家，同時政府對基礎科學亦強力支持，此應為德國所以能在精密機械工業一直位居國際領先地位之主因，例如本次拜訪的德國科技公司中，其中 SIOS 公司即是由學界(Ilmenau 科技大學)轉換到產業界的成功例子，目前 SIOS 公司仍維持著與 Ilmenau 科技大學產學合作，使學生得以學用合一，SIOS 公司在光機電整合能力，另人刮目相看，全世界許多研究單位所使用的雷射干涉儀，國家級計量研究單位使用的長行程奈米定位台以及 Laser Tracer 等，都是由

SIOS 公司所組裝；而 Etalon 公司則是從政府的研究機構 PTB 所 Spin-off 出來，雖才成立不久，但其 3 個產品都有獨特性，也都是目前世界上唯一的產品，例如 Laser Tracer 能協助 CMM 準確度提升，Laser Tracer-MT 可取代現有的 ball plate，Absolute Multiline technology 則是能同時做多軸向量測與監控；在政府的支持度方面，由於近 2 年歐洲金融風暴影響，歐洲各國政府莫不大幅削減員工人數與政府支出，PTB 卻仍可維持其員工人數與年度預算，德國政府注重基礎技術研發，可見一斑。