

出國報告（出國類別：學術交流）

## 日本 YASDA 工具機參訪報告

姓名職稱：鄭志鈞教授、蔡孟勳教授、程文男博士後研究  
員、郭育昕同學、劉崇慶同學

服務機關：國立中正大學機械工程學系

派赴國家：日本

出國期間：民國 105 年 5 月 23 日至 105 年 5 月 26 日

報告日期：民國 105 年 6 月 23 日

## 摘要

具有 85 年歷史的日本工具機大廠 YASDA(日本安田工業株式會社)向來以超高精密之工具機聞名於世，此次參訪 YASDA 主要著眼點在於參觀其在高精密工具機相關技術的發展，藉由實地參訪與討論，以了解 YASDA 高精度工具機冷卻、組立、量測相關技術的發展過程與現況；其中，並參加民間公司(義高工業、立承精密)購買 YASDA 工具機相關之驗機工作，建立工具機廠商(日商愛帝愛)、加工業者與學界三者之間的溝通與技術交流管道。

## 目次

- 壹、 活動緣起
- 貳、 目的
- 參、 參觀訪問過程
- 肆、 活動心得
- 伍、 建議
- 陸、 活動照片

## **壹、 活動緣起：**

五月二十三日至五月二十六日至日本工具機大廠安田工業株式會社(YASDA)參觀，參訪團由 YASDA 臺灣代理商(日商愛帝愛股份有限公司)、兩間民間公司(義高工業股份有限公司、立承精密有限公司)與本校師生(鄭志鈞教授、蔡孟勳教授、程文男博士後研究員、博士生郭育昕、劉崇慶)組成，共 12 人。因義高工業股份有限公司赴日本 YASDA 驗收購買之高精度加工中心，而受邀前往參與驗機。

## **貳、 目的：**

具有 85 年歷史的日本工具機廠 YASDA 向來以超高精密之工具機聞名於世，此次參訪 YASDA 主要著眼點在於參觀其在高精密工具機相關技術之研發，藉由參訪過程瞭解 YASDA 高精度工具機冷卻、組立、量測相關技術的發展現況，也希望能藉此加強與工具機使用者之溝通管道，使加工與量測技術的相關研究能夠更貼近實際使用現況。

## **參、 參觀訪問過程：**

- 一、五月二十三日中午搭機至日本大阪，並搭新幹線轉至離 YASDA 工廠較近之福山市。
- 二、五月二十四日一早即參訪位於岡山里庄附近的 YASDA，與其研發人員進行技術交流，並參與民間公司購買 YASDA 工具機相關驗機工作。YASDA 參訪與驗機行程結束後轉至廣島。
- 三、五月二十五日於廣島與義高工業、日商愛帝愛工程人員進行技術討論。結束後轉至大阪。
- 四、五月二十六日於大阪與立承精密、義高工業及日商愛帝愛進一步意見交流。結束後搭機返國。

## 肆、 活動心得及建議

鄭志鈞：

這次參觀 YASDA 是一次非常非常難得的經驗，了解一台工具機如何成為頂級產品，也許只看到一部分，但卻獲益良多。YASDA 並未使用時下許多時髦的智能化技術，其主要憑藉非常嚴謹的加工、組裝與量測技術(例如鏜花與組立技術)以達世界頂級工具機品質，以往參觀工廠往往淪於走馬看花，這次在義高工業、立承精密與日商愛帝愛公司的安排下得以現場參觀 YASDA 製造、組裝與量測，更為難得是在日商愛帝愛公司郭總經理與義高工業郭總經理的安排下能與 YASDA 的工程技術部門人員座談，以問答方式進行技術溝通，參觀工廠機台組裝時，日商愛帝愛公司郭總經理全程擔任口譯與介紹，義高工業與立承精密各購買 YASDA 工具機一台，我們也參與相關之驗機工作，逐一校驗機台精度，此對於我們正執行之科技部大產學與工業 4.0 整合型等計畫具有一定觀念與啟發作用。再者，在三天之行程裏，與日商愛帝愛與義高工業公司的技術交流與互動，也為以後產學互動建立很好的管道。

蔡孟勳：

這次參訪日本 YASDA，是繼 2012 年參訪 Mazak 之後，另外一次參訪日本工具機廠商的行程，這次參訪讓我印象深刻，而且對於臺灣工具機廠商的定位以及努力的目標有了更為明確的想法。過去我對於參訪臺灣工具機廠的經驗相當多，無論是台中精機、東台、高鋒、永進、麗偉等公司，我都有相當程度的接觸，但是 YASDA 這家公司給我截然不同的感受。他是一家 1964 年重整後的公司，他的定位非常清楚，不求多只求最好，去年一年只賣 243 台，平均一個月 20 台左右，規模比臺灣不少工具機廠還小，但是卻是國內外知名廠商，並且號稱是工具機業的勞斯萊斯。不少日本或是臺灣的工具機業者購買 YASDA 的機台來當成加工工具機零組件的機台，所以可以稱為工具母機的母親也不為過。機台的精度能達到 0.1 $\mu\text{m}$  以內，要達到此目標並不容易，以下是我個人針對其機台特性的心得。

一、全廠溫控的組立廠: YASDA 為了得到組立的精度，組立廠的溫度控制在 0.5 度以內。由於工具機的精度受到在不少因素的影響，但是溫度影響為

50~60%，因此如果要購買YASDA的機台，必須要求其客戶能有溫控的環境，這一點臺灣機台短時間內是不可能要求客戶達到此目標的。因此臺灣要學習的是OKUMA的智能化溫度補償系統。而並非與YASDA有相同的目標。

二、全機溫控系統: 除了在組立時必須要求全廠溫控，對於機台的溫度控制也有相當高的要求，幾乎採用全機冷卻的方式來進行機台溫度控制。所有發熱源包含軸承、螺帽、滑軌都有冷卻導管，進行水冷或是油冷控制。對於主軸以及機台熱變位的影響有非常高程度的計算以及預防熱變形。

三、鏟花技藝: 一個相當讓人難以超越的技術，乃是鏟花技藝。公司裡面有1/3的人員從事鏟花相關的工作。每一個接合面都必須要鏟花，鏟花除了要求接合面界面剛性、阻尼之外，也要求直線度、垂直度以及褶合面等幾何精度，有幸的是，在現場我們看到不少鏟花師傅的鏟花過程，也看到YASDA公司對於鏟花過程的要求。立柱由於重力影響，因此鏟花面乃是直接以現有的立柱作鏟花組配。工夫深，所有YASDA一直不避諱別人參觀，他們認為別的廠商沒辦法做到那樣的精度。臺灣呢？鏟花師傅並不容易訓練，因為工作重，而且重複性高。是否有其他的替代方案呢？

四、主軸設計: 由於這次帶我們參觀的是臺灣總代理的郭育成總經理，他幾乎可以帶我們到任何一個廠參觀，因此我們也參觀了他們的加工廠，令我相當驚訝的是，他們的加工機都是高齡的機台，如何維持精度，可能都是靠後續的精加工。而且主軸加工廠的環境並不如我們想像地那麼好，油氣味道還是很重，我們沒有參觀主軸的組裝與測試，但是主軸的設計、偏擺測試以及軸承、拉刀機構等都讓我們相關驚訝。回程中，有一張關於軸承損壞的歸納圖，倒是令我相當好奇。如下圖所示，由於這是Koyo軸承對於可能發生軸承damage的summary，在開發智能化檢測技術時，必須對於每一種damage所產生的訊號進行分析，這對於臺灣學術界日後希望利用訊號處理的方式來判斷軸承damage會有不少幫助。

五、控制參數調校: 雖然郭總也安排了他們的電控人員對於控制參數調校做介紹，但是並沒有討論到核心的技術，似乎YASDA主要利用KGM進行參數調校或是servo guide與實際切削來調整控制器參數，因此這部分並沒有太多的討論。

這次參訪的主要的感想是機械必須要一步一腳印的做出來，才有可能達到如YASDA機台的境界。但是臺灣並不需要學YASDA的方法，因為全機冷卻、全機鏟花以及機台環境溫度控制都不是目前臺灣工具機業者鎖定的目標。但是YASDA組立以及設計的概念以及做法則是臺灣業者可以學習的目標。無法做到溫度控制，那麼智能化溫度補償則是臺灣可以走的方向。這次全程由郭總經理陪同，也得到了很多業界寶貴的經驗，臺灣零組件如果都是用買的，那麼工具機只剩下設計、加工與組立了，如何在這三方面做到極致。個人覺得對於加工品質的檢測、組立過程的要求以及對於特性的影響都必須回歸到基本面。建立一套專屬於臺灣機台以及組件的測試標準，包含靜剛性、動剛性、幾何精度、主軸偏擺等精度等乃是未來可以努力的目標。



圖1. 軸承損壞的可能發生原因的彙整

程文男：

安田工業株式會社(YASDA)為開發工具母機之日本廠商，每年生產數量約230台，其中5軸加工機佔約三分之一，總廠員工數約在三百多人，規模不算很大。然而安田能在工具機廠商中佔有一定地位，主要在於其市場策略或目標專注在高精度機台之開發，圖2為全球主要工具機生產國家對於製造產品之市場分佈，安田就定位在金字塔最上端區域，也是在日本工具機廠商中最頂端之位置。

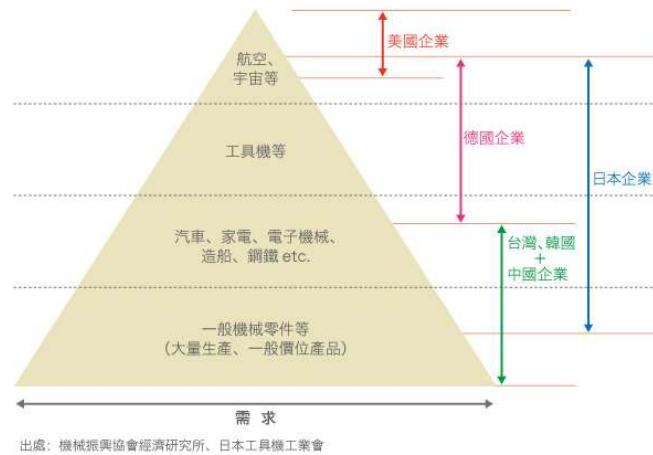


圖 2 主要生產工具機國家之國際性佈局

根據工具機的母性原則，加工物件精度絕不會高於加工所使用之工作機械，因此機台本身精度越高，加工產品才有可能獲得更高之精度。安田的工具機以高精度著稱，要較精確來定義何謂高精度工具機，應該是指在長時間使用後，仍能維持在一定精度以上，才能稱為高精度機台，即同時擁有高穩定性，而安田要達到如此高精度，其機台在製造、組裝與實際加工具備一些要素：

#### 一、剛性提升設計與主軸預壓控制

在結構設計上，不同機型會完全採用鋼材，或是鋼材與鑄件混用來提升機台剛性，進給軸傳動常使用之滑軌則改以鋼軌取代，如圖 3 所示。主軸預壓會隨轉速提高而增加，如圖 4(a)所示，因此為維持主軸在常用工作轉速範圍之預壓，通常主軸商會設計較低預壓，以便在工作轉速時提昇至目標預壓，因此導致低轉速切削時剛性不足之問題，安田在直結式主軸上有一主軸預壓調整機構，以維持主軸在不同轉速時仍擁有相同預壓狀態，如圖 4(b)所示。

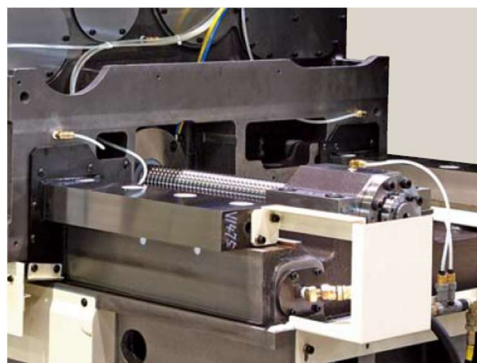


圖 3 鋼軌設計



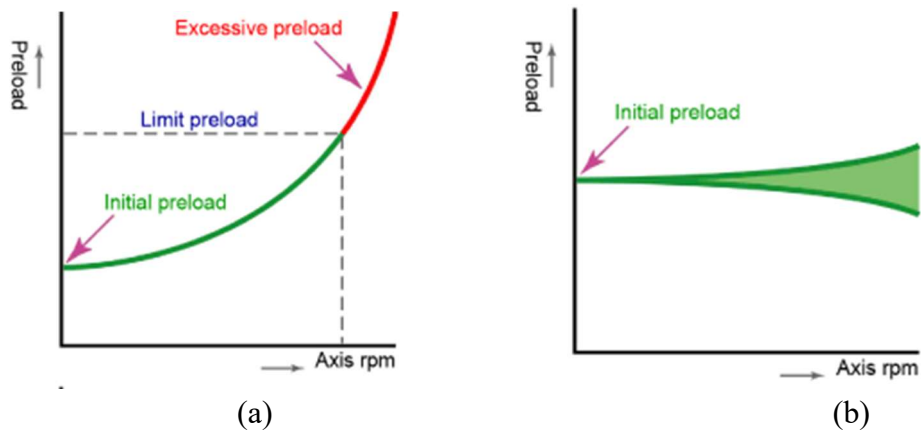


圖 4 主軸預壓調整設計：(a)未彈性調整；(b)彈性調整

## 二、組件精加工研磨與鏟花技術

主要組件進廠後，例如床身、立柱、工作轉台...等，會在接合面進行精加工；而鋼軌也會再進行研磨手續，以確保精度達到要求。在組裝過程中，由於組裝接合面不平整，或以螺栓鎖固時施力不當，會造成圖 5(a)之組裝誤差，而鏟花技術則可確保組裝面之平整性，以維持組裝機台之精度與穩定性，如圖 6 所示

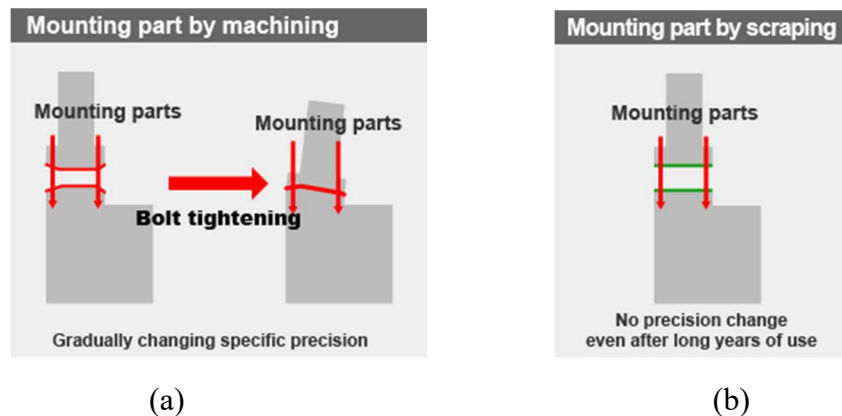


圖 5 組件接合：(a)螺栓鎖固；(b)鏟花



(a)



(b)

圖 6 接合面鏟花：(a)工作轉台；(b)鋼軌

### 三、熱膨脹控制

機台熱膨脹是精度難以提升之關鍵因素，安田除將機台設計盡量保持對稱結構，以平衡熱膨脹後保持仍中心對稱外，主要從兩方面處理此問題，第一為環境溫度控制，圖 7 為安田工廠之恆溫設計，將機台安置於冷房之中，調節溫度隨季節控制在 20~24°C，誤差控制在±0.5°C 內，來降低環境溫度對於機台之影響；第二為機體冷卻設計，圖 8 為安田機台之水冷系統，其在主軸、立柱、床身...機體內讓冷卻液循環之水匣設計，以強制冷卻方式來避免熱膨脹效應，且將溫度控制在±0.2°C。

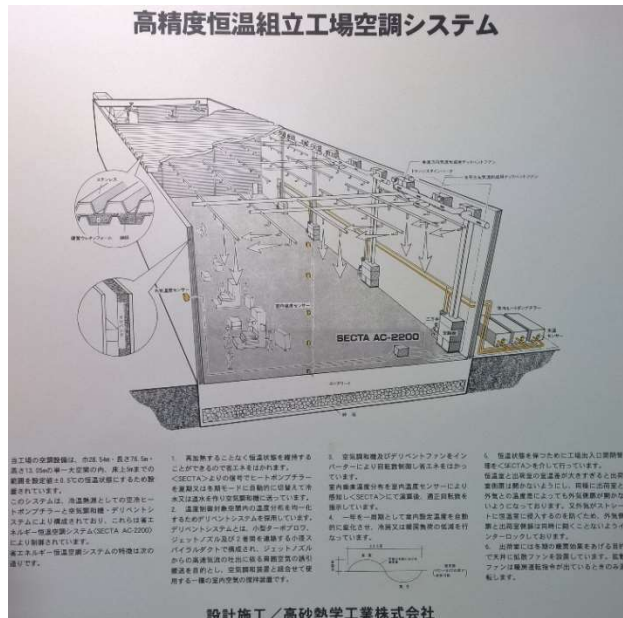


圖 7 安田工廠之恆溫系統

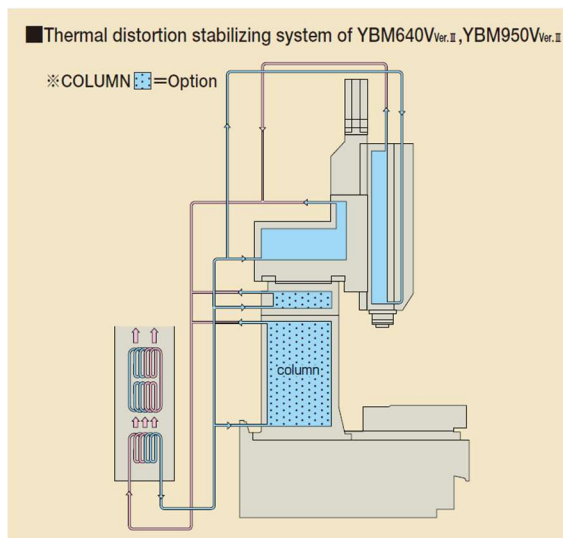


圖 8 機體水冷系統設計

參訪安田工廠的過程，深刻感受到其為在市場的金字塔頂端發展，在機台上所下的功夫，以及多年累積所紮的基礎底子，才可以打造出高穩定性，精度落在 $\mu m$ 等級的加工機台。回頭來看臺灣工具機相關廠商，雖主要市場未與安田重疊，精度要求較低，提升精度方式也相異，例如在熱膨脹問題之處理方式，安田以環境與機體熱抑制為主，大多數工具機廠商則以彈性熱補償為目標，所謂他山之石，可以攻錯，借鏡或仿效安田的相關做法，應可讓工具機之精度與穩定性再進一步提升，甚至擴展至其他市場。

### 劉崇慶：

YASDA的公司目標為『不求最大、只求最好』，其工廠占地面積與它的目標相同，並無佔有很大的面積，其規模與高雄東台或是台中高鋒佔地面積差不多。但對於加工與組立工廠廠內溫度有著苛刻的要求，廠內溫度必須在設定溫度攝氏正負0.5度內。YASDA的三軸機售價約為國內類似機種的3倍以上，價格在加工機中算是十分的高，但YASDA也強調，他們的客戶回頭率十分的高，主要原因是其產品品質非常好，另外，日本國內工具機廠有7成以YASDA機台製作該公司的零件，由此可見YASDA對日本整體工業的重要性。

究竟為何YASDA的機台為何精度如此的高呢？個人認為主要可以分為以下幾點原因。

#### 一、專注於目標且勇於創新

YASDA的機台與其目標相同，為了機台精度無所不用其極，如”全機液冷卻系統”，溫度對於各工具機廠來說都是十分頭痛的問題，而YASDA正視溫升問題，將全機機台內部中填充了液循環系統，這些液體在機體內流動帶走加工所產生的熱，這些液體最終留到冷卻機當中，如此使得YASDA的機台能夠始終保持穩定的溫度。為了避免機台產生熱的效應快過壓縮機冷卻速度，YASDA所使用液體的量所佔整台機台之體積與重量十分的高，目測鑄件與液體比例約1:1，這也使得YASDA的機台重量約為國內相同機種的數倍，但此設計確實讓機種穩定，猶如同大面積的海洋恆定了地球表面溫度一般。另一件讓我驚豔的

事是YASDA採用了鋼板做底座，而非鑄件，一般國內的機台9成以上都是採取鑄件做為底座，但YASDA大膽的採用鋼性更高的鋼板配合焊接做為機台的底座，而這樣的做法會使得底座體積縮減50%以上。

## 二、傳統技藝的傳承

YASDA機台於每個組立接合面與機台運動底面都必須鏟花，這也是機台精度高的主要原因之一，而據我觀測現場的鏟花人員超過十位以上，而每位的年齡平均大約30歲，當然還有幾位非常資深的技術人員，但這樣的年齡層在國內不多見的，這樣的問題恐使臺灣未來將遭遇到鏟花的經驗斷層。而主軸的組裝與測試也對於工具機十分的重要，YASDA主軸安裝人員當天只看到一位，年約70歲的技師，其在比廠內更嚴苛的恆溫室進行主軸的裝配與測試，想必他是不肯退休且對於技術有不肯放手的堅持吧！

## 三、以數據為絕對參考標準

YASDA組立廠看到的量測設備有KGM、電容式位移感測器、Ball-bar、加速度規、雷射干涉儀與12面鏡，以及最傳統的千分錶。現場有機台各個階段的檢測，主軸檢測採用電容式位移感測器觀察主軸的偏擺量；單軸Pitch位移採用雷射干涉儀做量測，而旋轉軸用雷射干涉儀與搭配12鏡做個角度的檢測；組立後，平面採取KGM做平面量測與Ball-bar進行循圓量測。各階段的檢測最終都將整理成一份報告。而最終機台驗機時也有一套完整且獨特的方法，其主要可分為『純量測』與『加工檢測』，純量測的概念是以一塊標準塊架設置平台中，再由各軸移動觀察千分錶的變化，此量測方法可量到各軸間的垂直度、Pitch誤差，而具我觀察千分錶於500mm的線性移動時誤差不超過1um，十分令人震驚！至於『加工檢測』方面，以五軸為例，YASDA根據不同的加工將一平面切成9宮格，宮格中每個加工姿態都不同，可以供給驗機客戶很直覺得觀察出機台的精度！

還記得第一次看到YASDA的驗機報告我還以為自己看錯了，但現場看到師傅驗機機台精度確實如報告書所寫的，千分錶貼在標準件上位移連飄移都沒有

還是令人非常難以言喻，只能說日本頂級工業還是令人震懾，臺灣工具機要追還有一段路要走。每次到日本參觀工廠都會有些令人印象深刻的話，上次到 OKUMA 學到了它們要用一千年的信念經營公司，而這次 YASDA 告訴我，『不求最大、只求最好』專注的重要。

**郭育昕：**

做為高精度的工具機，YASDA 的機台製作上除了纖細入微的加工因素考慮外，設計的思考方向與精度結果驗證上也令人大感驚艷。

在加工製造上，對於任何會造成幾何精度誤差的面，YASDA 皆在研磨過後以產花處理。其場內零件的加工大量的採用了各家高精度的工具機車、銑與磨，也將部品以一條龍產線的方式加工與組裝，逐步驗證各階段的結果。加工廠內也達成無紙化目標，將圖紙以螢幕呈現並網路化與中央系統連接，隨時可作生產的變化與修正。場內大量設置從地面至高空的溫度感測器，全程監控加工與組裝廠的溫度，並以定量與定速的全廠循環風流控溫，確保溫升變形對於工具機的製造過程不會造成任何的影響。

在設計思考上，工具機各個與接觸剛性有關的零組件皆有特殊的設計與開發。例如傳統的硬軌部分以鋼軌或方軌取代，線軌以特殊八迴流道設計，搭配特製的大量小型鋼珠分散承载力，著力在幾何公差抑制與剛性提升；熱變形影響上，同時考慮預負載、溫升補償與強制冷卻，以穩定機台整體溫差為目標。特殊的直截式主軸搭配可調整預壓的設計，將震動與發熱可維持在穩定的範圍中，但仍能維持主軸的扭矩力道。

精度的驗機方式，基本上採用與 ISO 相關的檢驗方式。其工作空間在 1000×500×350 的立式三軸加工中心在尚未以控制器補償前，普遍的幾何移動誤差即已達到 3~5 μm 以內，在調教與補償後更可落在 1~4 μm 不等的誤差以內，定位誤差更是在 0.1 μm 以內，非常驚人。另外也於參觀過程中幸運地遇上了組裝中機台主軸運轉震動測試的檢驗，與螺桿組上機前的前置量測作業。

這次的參觀體認到有經驗與技術的指標性廠商對於製造與組裝過程細節的

苛求，以及對設計思考的未雨綢繆。很多詢問是否有刻意過度設計的部分，得到的答案卻認為是必要的需求。個人認為因 YASDA 不只是追求高精度，更重要的是追求高精度下的長期穩定，故對於 YASDA 而言這些設計需求都必須納入，以達成誤差因素的風險管理。

這次除了第二日參觀 YASDA 外，第三與第四日與日商愛帝愛、義高工業及立承精密的技術意見交換，也讓學生對於業界實際的加工需求以及實際會面臨的問題有更深刻的體會。使用工具機生產零件更多時數的，是購買的工具機的廠商。站在會碰到各種不同產業零件加工需求的加工業者角度，跳脫純粹機械設計者的思考邏輯，也是這次參訪的一大收穫。

## 伍、 建議

- 一、國立中正大學前瞻製造系統頂尖研究中心主要進行的研發項目為：精密機械、即時多工智慧控制、智能化無線感測、與智能化產業應用與管理。這些是高階製造系統的關鍵技術，同時也是未來工具機發展的趨勢潮流，但是高精度工具機中重要之關鍵其中之一就在組立與量測；亦即在發展工具機智能化技術上，也須同時發展能改善臺灣工具機精度與可靠度之相關技術。
- 二、利用此次參觀YASDA機會，與YASDA工程師實地訪談、座談討論後對於高精度工具機組立技術的認識有非常大的幫助，也參與民間公司(義高工業、立承精密)購買YASDA工具機相關之驗機工作，建立工具機廠商(日商愛帝愛)、加工業者與學界三者之間的溝通與技術交流管道，據此可了解國內加工業者對於國內工具機與國外頂級工具機之評語。
- 三、國內目前工具機產業專注於大量生產與外銷，但這樣的做法短期來看是成功，長期來看依然無法打入加工機的金字塔頂端，2015年國內就因日幣大幅度貶值，使得工具機外銷出現了嚴重下滑的現象，反之當初專注於高精度加工的機台並無受到這一波的影響。

四、臺灣當時也不該放棄發展性可能不高的鑄造，甚至某些高工的鑄造科目都已經廢掉了，十分可惜，日本國內還有四大鑄造廠在生產高品質的鑄造件，YASDA也因為有這些鑄造廠的存在才得以發展出液循環系統。

五、日本的企業文化與它們的古蹟文化一樣，十分重視經驗的傳承與保護，這在國內是比較少看到的，日前國內研究大多強調科學量化數據，但這樣忽略了數十年來現場師傅的可貴經驗，因此建議國內碩士班研究可以與廠內老經驗師傅配合傳承經驗。



## 陸、 活動照片



圖 9 YASDA 公司入口歡迎海報

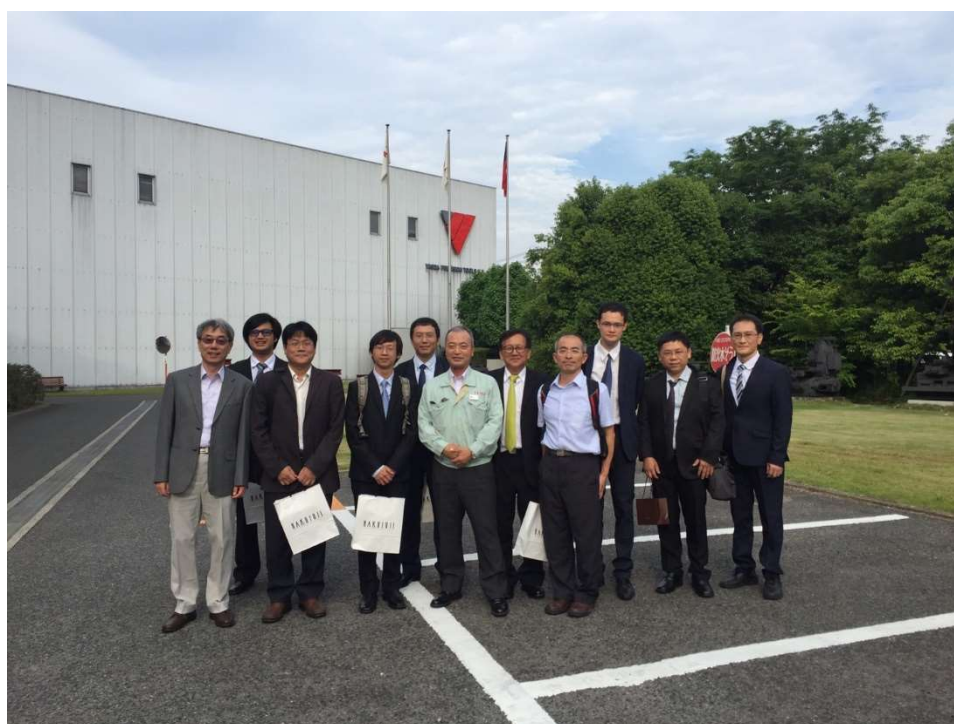


圖 10 YASDA 部長與參訪團





圖 11 YASDA 工藝表現



圖 12 YASDA 工具機驗機

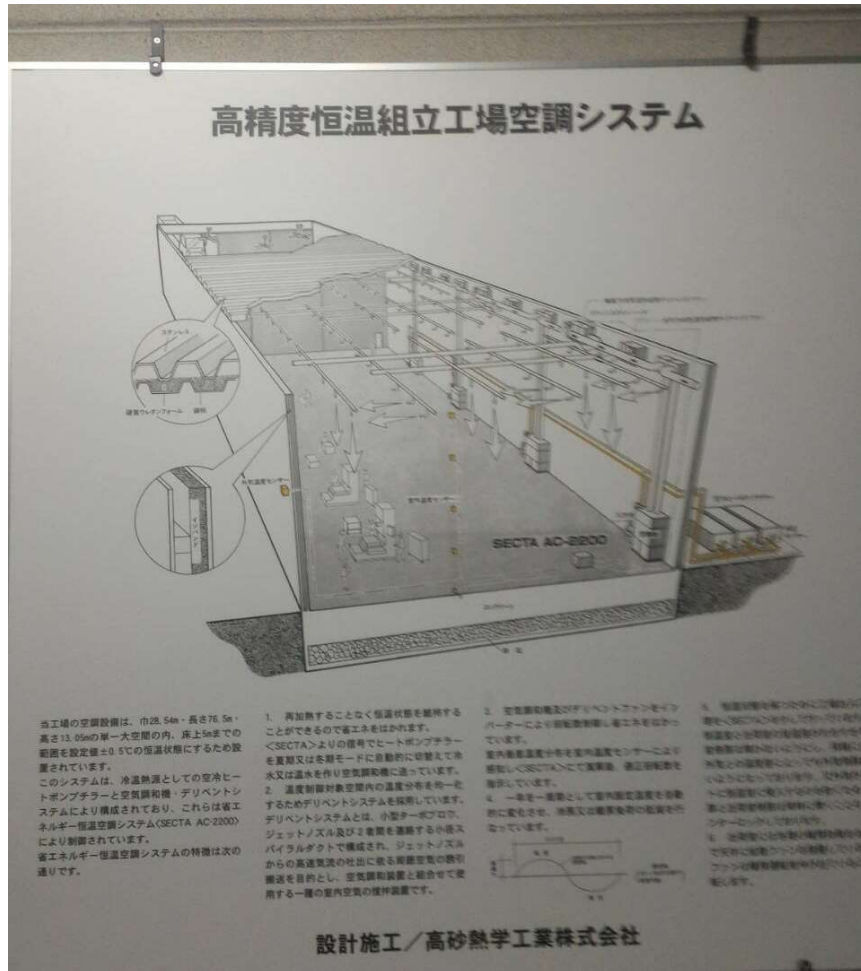


圖 13 YASDA 高精度組立工場温控示意