

出國報告（出國類別：研究）

台澳科學合作協定－赴澳大利亞
新南威爾斯大學(UNSW)進行研究訪問

服務機關：國立高雄第一科技大學

姓名職稱：劉永田教授

派赴國家：澳大利亞

出國期間：102年1月30日至7月21日

報告日期：102年8月17日

～ 摘 要 ～

依據台澳雙邊科技合作協定執行 2012 年度研究訪問計畫，前往位於雪梨(Sydney)之新南威斯大學(UNSW)機械與製造工程學部(School of Mechanical and Manufacturing Engineering)所屬之精密和奈觀加工實驗室(Laboratory for Precision and Nano Processing Technologies)進行研究訪問，以推動雙方在奈米科學與奈米科技領域的合作交流。研究訪問中，針對非球面超精密切削加工課題，以反應曲面法(Surface Response Method)及因子分析(Dimensional Analysis)探討加工參數對奈米尺度之形狀精度的影響；參與實驗室成員之進度發表，以了解研究現況，並觀摩研究指導方式；參與學校及學部所舉辦之各項研究成果發表，以拓展研究視野；另外，參訪相關研究領域的他校研究學者，促進交流，期待未來合作機會。

關鍵詞：台澳科技合作協定、新南威斯大學、奈米科技、非球面超精密加工、反應曲面法、因子分析

~ 目 錄 ~

壹、	目的	1
貳、	過程	1
	2.1 受訪實驗室之簡要介紹	2
	2.2 簽證申請作業	2
	2.3 擔任訪問學者	3
	2.4 研究課題	3
	2.4.1 實驗設備	4
	2.4.2 研究過程與實驗規劃	5
	2.4.3 研究成果	9
	2.5 研究室進度發表會	10
	2.6 學校及工學院研究發表會	10
	2.7 參訪他校相關研究	11
	2.7.1 臥龍崗大學	11
	2.7.2 昆士蘭大學	11
參、	心得及建議	11
附件	訪問研究活動照片(I)	13
	訪問研究活動照片(II)	14

壹、 目的

近年來，隨著3C產品的日新月異，帶動精微光學零組件的高度需求，諸如手機內藏型之高畫質數位相機的鏡片、藍光DVD讀取頭、高精密度測用光學繞射格子等。而用於大量生產這些零組件的模仁，一般均利用超精密加工機進行切削、研磨作業，使其表面粗度及形狀精度達到奈米等級的高精密品質水準。然而，由於超精密加工機及相關量測儀器的價格高昂、屬戰列管製品不易購置，以及加工技巧大多列為機密不便對外發表等因素，造成國內學界在超精密加工領域之人才培育及研究成果上的匱乏，而值得業界參考或引用的相關技術資料也相當欠缺。

超精密加工與量測技術，乃支援高科技產業發展的關鍵基礎技術，若學術界具備研發能力，進而能投入尖端議題的研究並培育高科技專才，對提昇國家產業競爭力有十足正面效益。有鑒於此，個人藉由台灣與澳大利亞科技合作交流的機會，申請前往在奈米科學及奈米科技深具國際知名度的新南威爾斯大學(UNSW)由Liangchi Zhang（章亮熾）教授所領導之精密和奈觀加工實驗室(LPNPT, Laboratory for Precision and Nano Processing Technologies)進行研究訪問，針對非球面超精密切削加工課題，以因子分析(Dimensional Analysis)及反應曲面法(Surface Response Method)探討加工參數對次微米／奈米尺度之形狀精度的影響。除此之外，積極參與實驗室之研究進度發表會，對於先進材料加工技術、奈米尺度加工力學，及奈米摩擦學等課題，能進行廣泛的學習，以吸收新知並瞭解國外相關技術之發展趨勢，期能拓展研究視野、精進未來研究課題、豐富教學課程內容，以及促進與澳大利亞學者之科技合作。

貳、 過程

有關2012年度國科會與澳大利亞科技合作交流的申請作業於2012年2月初開始受理申請，並於6月底核定計畫。核定後，依個人的訪問時程，進行簽證申請及準備出國事宜。本人原核定研究訪問期間為2013年2月1日至6月30日，但考量所訪問的實驗室在奈米科技的研發上享譽國際，因此，申請延長在暑假期間的訪問研究時程。本人於2013年1月30日由高雄搭機前往桃園機場轉機，於1月31日抵達雪梨(Sydney)，隨即於次日前往新南威爾斯大學新南威爾斯大學(UNSW)機械與製造工程學部(School of Mechanical and Manufacturing Engineering)辦理報到手續，開始在新南威爾斯大學的訪問研究生活。在新南威爾斯大學期間，除了專注於針對非球面超精密切削加工課題之研究外，亦積極參與精密和奈觀加工實驗室的研究進度發表會，定期與Liangchi Zhang教授討論研究進度，並常參加由工程學部所舉辦的研究

成果發表會。另外，在訪問研究即將結束前，拜訪臥龍崗(University of Wollongong)大學及昆士蘭大學(University of Queensland)在相關研究領域的學者。個人於 2013 年 7 月 21 日返抵國門，順利圓滿完成訪問研究。以下，簡要介紹受訪單位及描述個人在這一段期間的體認與心得。

2.1 受訪實驗室之簡要介紹

本次研究訪問之受訪機構為位於雪梨市之新南威爾斯大學，由機械與製造工程學部 Liangchi Zhang 教授所領導之精密和奈觀加工實驗室 (<http://www.manufacturing.unsw.edu.au/>)。Zhang 教授專攻的研究領域包含先進材料之特性研究、固體力學及計算力學、奈米科技（含奈米力學、奈米材料、奈米摩擦學、奈米／微米加工製造）、摩擦學，及多尺度精密製造等。Zhang 教授的研究成果豐碩，現榮任澳洲 Scientia 教授、國家研究院教授研究員 (Australian Professional Fellow)、澳大利亞工程院院士 (FASE, Fellow of the Australian Academy of Technological and Engineering Sciences) 等要職。近期，更被國際奈米製造學會 (International Society for Nanomanufacturing) 選為院士，在奈米科技領域具有舉足輕重的學術地位。目前 Zhang 教授所領導的實驗室成員，包含博士研究員 8 人、碩博士研究生 8 人、技術官員 2 人，不定期的訪問學者；至於研究實驗室的設備，可謂完整彙集了世界最先進之奈觀尺度的超精密加工及量測設備，例如具備能安裝快速刀具伺服機構 (FTS, Fast Tool Servo) 之超精密加工機 (Nanotech 350FG, Moore)、運用白光掃描干涉技術具縱向解析度達 0.1 nm 之 3D 表面輪廓儀 (NewView 700, Zygo)、可快速及高精密度量測光學元件之干涉儀 (Verifire XPZ, Zygo)、量測薄膜及材料結晶用 X 光繞射儀 (Rigaku X-Ray Machine and Defractory)，以及諸多加工、量測設備等。Zhang 教授所領導的研究實驗室，不僅擁有眾多表現優秀的專才，而且具備完善的尖端設備，是超精密加工及量測的極佳研究機構。

2.2 簽證申請作業

本次研究訪問在出發前，在簽證申請作業上，從瞭解整個簽證申請作業程序到簽證核發，大約經歷超過兩個月的時間，如此長時間的申請作業，主要的原因可以歸納如下：

- 1) 澳大利亞商工辦事處 (<http://www.australia.org.tw/tpeichinese/home.html>) 目前僅辦理有關投資、移民、留學等事宜，其他訪問學者簽證必須直接向澳洲總領事館（香港）申請。

- 2) 雖然國內有旅行業者可以代辦打工、留學、觀光簽證，且能以網路遞件申請，但訪問學者簽證，因件數少而要求文件複雜，旅行業者並無意願代辦亦不能網路遞件，僅能以郵寄方式親自向香港澳洲總領事館申請。
- 3) 原澳大利亞訪問學者簽證 (APPLICATION FOR VISITING ACADEMIC VISA -SUBCLASS 419)變更為 402 Training and Research Visa，需重新檢視相關規定。
- 4) 不諳各項文件的申請程序及項目，以致增添等待時間，如特定健康檢查的醫院及時段、保證人(UNSW)證明文件、國內良民證（無刑事案件紀錄）、個人戶口名簿、投保健康保險證明文件...等。

2.3 擔任訪問學者

新南威爾斯大學為高度國際化的學校，對於國際交流活動已建立完善的制度。訪問學者向各系所報到後，即成為該系所的成員，享有與教職員、學生相當的身分，如身分證、個人電郵、辦公室、門禁鑰匙、校內電話，甚至配有桌上型個人電腦等。個人在研究室成員的熱心協助下，於 2 月 1 日報到後就迅速地融入學校的生活，展開研究活動。

機械與製造工程學部所屬的研究室與實驗室均設有嚴格的刷卡門禁管制，尤其對於要在實驗室進行實驗或觀察實驗的所有人員，包含學生、研究員、老師、訪問學者等，均有嚴謹的規範，人員必須先上網接受相對應的訓練並經測驗合格後，方能獲准(Laboratory Access Approval Form)進入實驗室。訓練項目包含 MECH Laboratory Safety Awareness Course 及 Green Laboratory (Environmental Compliance for UNSW Laboratories)等。除了學部所屬的共通實驗設備外，屬各別教授單獨負責的專門設備，亦必須獲得負責教授的書面許可後，才能使用設備。另外，實驗室主任（負責教授）對於各個研究課題，會要求成員簽署保密協定(Confidentiality Deed Poll)，以慎重保護受訪單位的研究成果。在所配屬之個人電腦的使用上，均透過資訊中心(Information center)進行網路管控，使用者要安裝任何應用程式，即使是免費的開放軟體，也必須經過核可後才能安裝。

2.4 研究課題

這次研究訪問在計畫申請之初即已決定大抵的研究方向，原擬針對「利用干涉術系統之奈米量測技術」為主要研究議題，但在實際了解實驗室的設備功

能並與 Zhang 教授深切討論後，乃決定以能同時兼備「奈米量測」與「超精密加工」為主軸之「以因子分析及反應曲面法探討加工參數對次微米／奈米尺度之形狀精度的影響」為課題進行研究。這項課題，亦能延續個人在超精密加工領域的研發成果。以下簡要描述實際的研究情形。

2.4.1 實驗設備

這次能很順利地進行有關「奈米量測」與「超精密加工」的研究，除了仰賴 LPNPT 的貴重設備外，亦受惠於該實驗室所配屬專精技術官員(Technical Officer)的熱心協助，因而能有效率地進行各項實驗驗證。實驗所使用的主要的研究設備包含五軸超精密加工機、3D 表面輪廓儀，及 Verifire XPZ 干涉儀等。以下介紹其主要功能特點。

1) 五軸超精密加工機

澳洲是一個地大物博資源豐富的國家，多年來對於礦產、農業、能源、材料、生物科技、環境保護等議題的研究十分重視，但在精密機械工業的研發上，似乎是在這幾年才開始積極投入，尤其是與光學加工有關的超精密加工技術。這次很幸運地能有效使用到的五軸超精密加工機為 Nanotech 350FG (Moore Nanotechnology Systems)，據聞該加工機是目前澳洲最先進的唯一設備，而且也是由澳洲幾所著名大學的實驗室所合資購置。該加工機具備 XYZ 三個直線軸及 BC 兩個旋轉軸，程式撰寫的解析度為 0.01 nm 主軸轉速達 60,000 rpm。在附屬設備上，包含有快速刀具伺服機構(FTS, Fast Tool Servo)、研磨及微銑削裝置、外徑測量儀，以及具機上(On-machine)量測功能之 0.1 μm 以下形狀精度的工件量測及誤差補償系統(Workpiece Measurement & Error Compensation System, WECS)。由於配備相當完整，能針對非球面、非軸對稱鞍型曲面(Toroidal surfaces)、自由曲面、線性饒射(Linear diffractive)元件、稜形光學結構進行超精密加工。這次的研究課題，為針對非球面模仁進行超精密切削加工，除了加工機本體外，使用到的配件包含所使用的外徑測量儀、機上量測裝置、影像監測裝置等。

2) 3D 表面輪廓儀

經非球面超精密加工後的工件模仁，乃使用 3D 表面輪廓儀(NewView 700, Zygo)量測加工面的奈米形狀外觀及表面粗度，該輪廓儀採白光干涉原理，縱向解析度高達 0.1 nm，可觀察待測物的微結構及形貌。

3) Verifire XPZ 干涉儀

此干涉儀量測系統(ZYGO's Verifire XPZ interferometer)可用於量測平面或球面光學元件及組件的精確尺寸，其量測方式乃利用機械式的精密相位調整裝置進而獲得待測物細部尺寸，但僅適合用於平面或球面元件，而不能用於非球面模仁的量測。本次研究課題，乃運用於精確調整鑽石刀具與主軸的對心。

2.4.2 研究過程與實驗規劃

Zhang 教授所建置的實驗室設備相當完善，並配屬有專門人員負責設備的操作及維護，其規模可能比國內多數的系所還齊全。雖然如此，該實驗室對於實驗項目的進行非常謹慎，儘量避免非必要的實驗。個人在訪問研究期間，亦多次先和 Zhang 教授討論細節，獲得首肯後，才能進行實驗。以下針對研究過程與實驗規劃進行報告。

1) 研究背景與實驗規劃

經多次與技術官員討論設備的功能，並確認可對加工件進行高精密度量測後，個人在例行研究進度會議(Group meeting)中進行第一次口頭發表(2/27)，內容包含自我簡介、先前相關研究成果、實驗規劃，及預期的研究成果等。發表後，Zhang 教授提出研究必要性的問題，並建議應提出更細部的實驗規劃。

2) 確認課題及細部實驗規劃

在口頭發表後，根據 Zhang 教授在的建議，收集相關資料並研讀論文，最後提出實驗計畫書(3/28)，擬以反應曲面法(Response surface methodology)探討加工參數對非球面(Aspheric surface)超精密補正加工的影響，並規劃更細部的實驗內容，在獲得首肯後，進行超精密加工實驗。

3) 加工系統性能測試

在進行非球面超精密切削加工實驗前，為實際了解加工機及機上量測系統的特性，先針對球面(Spherical surface)進行超精密切削加工，並撰寫分析程式。實驗結果發現有如下問題點(4/15)：

- a) 工件的量測結果發現，中心點的突波(Spike，俗稱肚臍)太大，顯見刀尖與主軸未能完全對心。

- b) 加工機本身所提供的 G-code 指令與自己所撰寫的程式會產生不同的刀具路徑。
- c) 誤差補償系統(WECS)所顯示的刀具補正路徑與機上量測的結果有明顯差異。

4) 解析加工系統指令

針對上述的問題點，為避免中心點的突波，必須由技術人員再精確調整刀尖與主軸的對心，但對於刀具路徑及量測結果的問題，則必須從加工指令與量測數據中逐步解析，因此，開始著手撰寫分析程式，以便在完全了解整個加工系統的細節後，進行後續所規劃的實驗。藉由所撰寫的程式，比較理論式所導出的加工指令與機器本身所提供的加工指令間的差異，再經實驗驗證後，已能完全掌握刀具路徑及量測結果的意涵。細部的工作內容如下(4/24)：

- a) 檢查粗加工的 G-code 指令，了解 G41 對刀具半徑補償的功能。
- b) 根據具 G41 指令之加工程式進行粗加工，並以機上量測系統獲得量測數據。
- c) 檢查根據量測結果之加工系統所產生的補正加工程式。
- d) 比較所撰寫之程式與加工系統程式的差異。

5) 無刀具半徑補償功能之實驗測試

一般的 NC 傳統加工所撰寫的程式，為適用於各種不同的刀具，常使用 G41 指令，其特點為只要在機器上設定刀具直徑而不需重新撰寫程式就能進行刀具半徑補償。然而，對於超精密加工，由於加工曲線通常需由專業人員自行計算，再加上尺寸的表示達奈米尺度之高精度範疇，因此，泛用的 G41 指令並不常用，而是在程式中直接考量刀具半徑補償。先前的加工測試所發現之撰寫程式與加工機程式不同，乃肇因於此。為進行無 G41 指令之實驗驗證，細部的工作內容如下(5/8)：

- a) 檢查無 G41 功能之粗加工 G-code 指令，並與撰寫的程式進行比較。
- b) 進行粗加工，並以機上量測系統獲得量測數據。
- c) 撰寫量測數據的處理程式，以便進行分析。
- d) 撰寫根據量測數據所產生的補正加工程式。

- e) 比較所撰寫之補正加工程式與加工系統所提供之程式的差異，獲悉補正方法。

6) 非球面超精密加工實驗

藉由上述對於加工系統的實驗測試，已充了解加工程式及量測數據的細節，接著進行研究內容相關的實驗，以反應曲面法預測非球面超精密切削加工的形狀誤差(5/29)。

參數規劃

本項研究採用兩個控制參數，為主軸轉速(S)及切深(D)，如下表所示，分別具有三個水準數(-1, 0, 1)，中間水準數(0)重複四次實驗的目的乃為預估純差(Pure error)，目標函數設定為形狀誤差。

Table Factorial experiment:

Trail No.	Rough cutting		Level of factors (coding)	
	Spindle speed (S , rpm)	Depth of cut (D , μm)	x_1	x_2
1	500	2.4	-1	-1
2	2000	2.4	1	-1
3	500	15	-1	1
4	2000	15	1	1
5	1000	6	0	0
6	1000	6	0	0
7	1000	6	0	0
8	1000	6	0	0

形狀誤差模型

參照上述控制參數的水準數進行超精密加工實驗，並針對機上量測系統的量測結果，進行數據處理及分析，根據反應曲面法的線性回歸方式，可求得形狀誤差的預測模型如下式：

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

其中， b_k ($k=0, 1, 2$)為模型係數； b_0 為控制參數為零時，即 $x_1 = x_2 = 0$ 時之目標函數的值； b_1 及 b_2 為斜率。

3D 反應曲面圖

根據實驗所求得之形狀誤差的預估模型，撰寫程式以繪製 3D 反應曲面圖，如下圖所示，能清楚獲悉主軸轉速(S, x_2)及切深(D, x_1)對峰對谷(PV)之形狀誤差的影響。

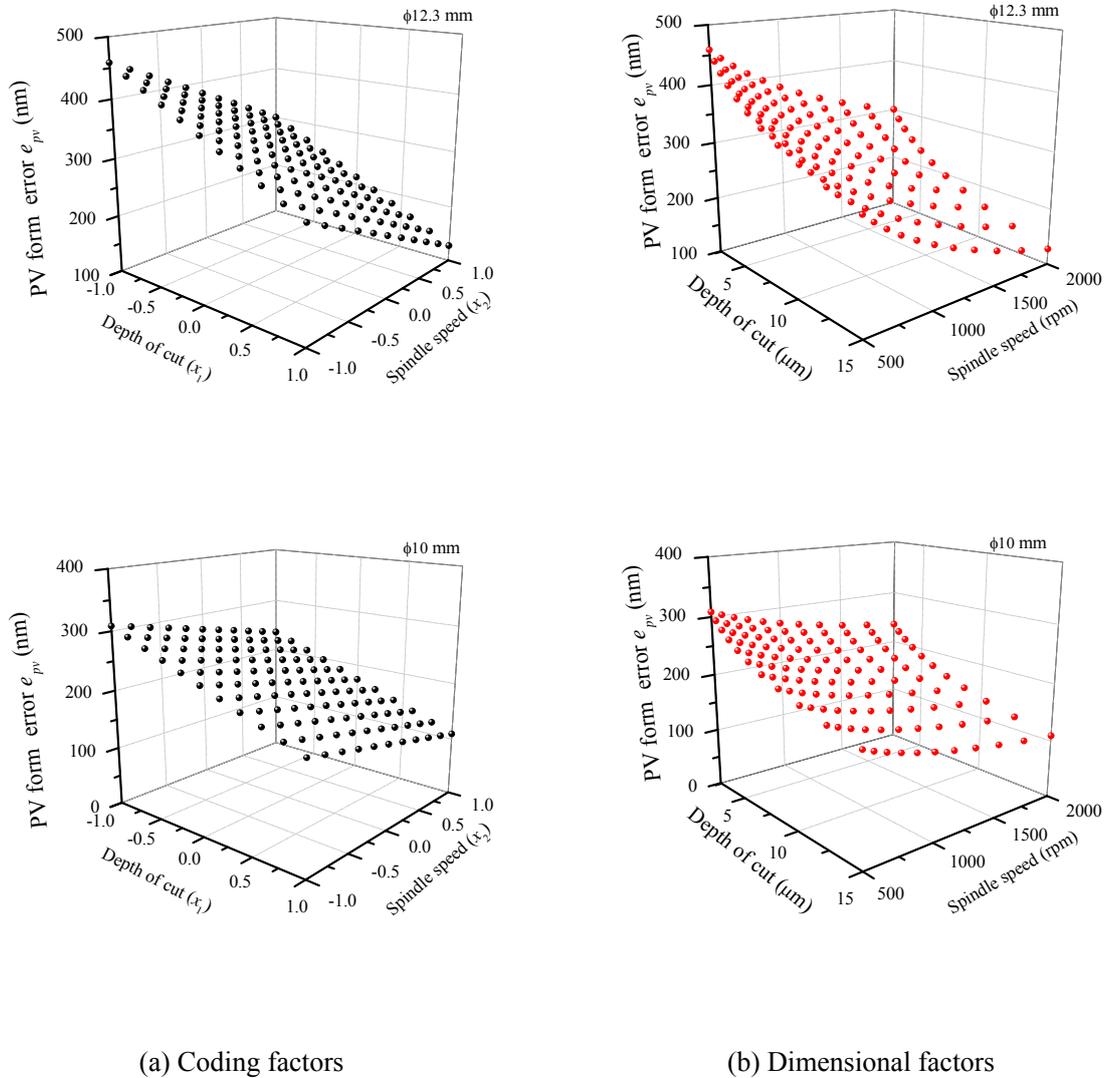


Figure 3D plot of surface response of form error.

7) 以因子分析探討非球面超精密加工

上述之研究課題，僅以主軸轉速(S)及切深(D)兩個參數探討其對形狀誤差的影響。事實上，影響超精密加工精度的因子非常複雜，因此，乃嘗試以因子分析的手法探討超精密加工特性，將影響誤差的主要因子歸納為如下式(6/18)：

$$e = f(M, T, W)$$

其中 M, T, W 分別為機器本體、刀具，及工件等。但考量實際加工情形，可控制因子，可獲得方程式如下：

$$f_1(e, v, f, d, r) = 0$$

其中， v, f, d, r 分別為工件切線速度、徑向進刀速度、切深，及刀鼻半徑。

參數規劃

針對上述對於各主要參數的組合，規劃分別具有三個水準數(-1, 0, 1)的實驗參數，如下表：

Table Coding and level of factors

Factor	Unit	Symbol	Coding	Level of factors		
				Low	Medium	High
1. Tangent speed/ In-feed rate	mm × rpm mm/min	v f	x_1	$\frac{500}{10}a$	$\frac{1,000}{10}a$	$\frac{2,000}{10}a$
2. Depth of cut/ Nose radius	μm/mm	d r	x_2	$\frac{2.4}{0.523}$	$\frac{6}{0.523}$	$\frac{15}{0.523}$

$$(a = \pi D = 12.3\pi)$$

實驗結果的反應曲面

根據上述的參數規劃進行實驗，同樣可運用反應曲面法的線性回歸方式，求得形狀誤差的預測模型如下式：

$$\hat{\pi}_3 = C \left(\frac{v}{f}\right)^\alpha \left(\frac{d}{r}\right)^\beta$$

其中， C, α, β 為根據實驗數據所求得係數。由於實驗的時程較晚，目前尚在整理階段。

2.4.3 研究成果

藉由上述對於研究過程的概要說明，從一開始解析實驗設備的指令細節到最後實際進行加工實驗，可彙整的研究成果如下：

- 1) 獲悉先進超精密加工機的組成及主要特性。
- 2) 瞭解機上量測系統的組成及操作原理，可做為國內實驗室未來進行性能改良、擴充的參考依據。

- 3) 藉由加工實驗實際瞭解反應曲面法及因子分析的理論細節，可擴散研究成果在教學與研究上。
- 4) 獲悉影響非球面超精密加工形狀精度的因子，可作為業界參考依據。
- 5) 預定投稿兩篇研究論文：
 - a) Form Error Prediction of Aspheric Ultraprecision Machining Based on Response Surface Methodology.
 - b) Modeling of Form Error of Aspheric Ultraprecision Machining Based on Dimensional Analysis and Response Surface Methodology.

2.5 研究室進度發表會

精密和奈觀加工實驗室(LPNPT)通常每週會舉行進度會發表會，實驗室成員依自己的研究進度及意願向大家報告成果，Zhang 教授要求成員在發表會前先上傳資料，即使出國在外，也會藉由 Skype 進行視訊會議，以掌握成員的研究進度。個人除了積極參與 LPNPT 的進度發表會外，對於國內所指導的學生，也是以 Skype 進行視訊會議指導學生。

2.6 學校及工學院研究發表會

除了 LPNPT 的進度發表會外，學校含學部及工學院亦會不定期舉辦演講或研究發表會，亦常抽空參加，議題可列舉如下：

- 1) Few-Mode Optical Fibres, Prof. John Love, Physics Education Centre, The Australian National University, Canberra ACT, 15 Feb.
- 2) ACSER Distinguished Guest Lecture - Curiosity on Mars, René Fradet, Deputy Director of Engineering & Science Directorate, Jet Propulsion Laboratory, NASA, 21 Feb.
- 3) Low temperature anodically grown silicon dioxide films for solar cell applications, Nicholas Grant, 9 May.
- 4) Air Liquide Group and Photovoltaics, Christian Dussarrat, Core Global Lab Director, 7 June.
- 5) Shape-adaptive Composite Marine Propellers, Ganga Prusty and Manudhath, 14 June.
- 6) Numerical prediction and control of the vibro-acoustic responses of an underwater vehicle, Nicole Kessissoglou, 28 June.

2.7 參訪他校相關研究

研究訪問即將結束之前，分別於 6 月 19 日及 7 月 18 日參訪臥龍崗大學及昆士蘭大學。

2.7.1 臥龍崗大學

臥龍崗大學(University of Wollongong)在雪梨南方約 75 公里處，屬澳洲 8+2 大學（8 所澳洲頂尖大學加 2 所具有優良聲譽的大學）之一，臥龍崗大學附近有著名煉鋼廠，因此，該大學對於軋鋼壓延成型的研究頗負盛名，這次所拜訪的對象為機械學部朱洪濤(Hongtao Zhu)博士。Zhu 博士除了在壓延成型的研究外，對於奈米薄膜特性的探討亦有所著墨。在參訪機械學部的實驗設備後，Zhu 博士很熱心地帶領參訪位於臥龍崗市由台灣宗教界所興建的南天寺。之後，結束參訪行程。

2.7.2 昆士蘭大學

在規劃研究細節時，研讀“Profile error compensation approaches for parallel nanogrinding of aspherical mould inserts”與超精密補正加工相關的文獻，作者為昆士蘭大學(University of Queensland)機械學部的 Han Huang 教授，經連繫後獲准參訪。Huang 教授的研究成果相當突出，今年剛被選為澳洲科學院的院士(ARC Fellow)。參訪中，Huang 教授很熱心地介紹他在奈米結構量測上的重要研究成果及設備，言談中獲悉，這次在 UNSW 所使用的超精密加工機，他也分攤了部分的購置費用。近期，他也將購置高階設備，以進行超精密研磨的相關研究。除了介紹研究設備外，Huang 教授亦帶領參觀目前在澳洲盛行的該學部透明式辦公室，主要是以美觀的玻璃替代傳統牆壁，可善用陽光減少照明電力。雖然 Huang 教授相當忙碌，但在短暫 2 個小時的參訪行程中，對昆士蘭大學已有初步認識。

參、心得及建議

這次非常榮幸有機會在澳洲雪梨的新南威爾斯大學，進行為期五個多月的訪問研究。受惠於多人的熱心協助，行程得以順利展開並圓滿結束，在此致謝。訪問研究的這一段期間，不論是在生活或研究上，均有深刻的體認。

雪梨是一個國際知名的大都會，每日遊客如織。得天獨厚的蜿蜒海灣美景，處處可見大小不一的遊艇倘佯在藍天碧海中，不勝暇意。繁華熙攘的城市中，常見草

地碧綠如茵的廣大公園，特地豎立「歡迎踐踏」的告示牌，也有數座叢林般的國家公園，提供林間散步(Bush walk)。要親近大海者，則有多處美麗的白砂海灘，享受游泳、衝浪、潛水的樂趣。雖然只是短暫的過客，也可以感受到澳洲人喜好大自然、愛運動、注重休閒的特質。

在學校的研究活動上，身為機械學部的訪問學者，能感受到學校非常注重實驗安全，也嚴格管控電腦的應用軟體，學校藉由網路的管理方式，能落實安全訓練及管制軟體安裝。在參與實驗室研究進度發表會上，能深深體認到 Zhang 教授對於學術研究所堅持的嚴謹態度，也能確實掌握每位成員的研究細節，值得借鏡學習。該實驗室在研究上非常重視理論基礎的敘述，畢竟研究的目的是在於追求新知、創造知識，因此，研究的進行方式，亦常以理論為主而實驗驗證為輔。

至於個人的研究課題上，由於天時、地利、人和的巧運，有機會使用到澳洲最先進的設備進行超精密加工實驗，能精進個人在該領域的知識與技術，期望回國後能擴散研究訪問成果。除了習得之超精密加工技術外，亦專研反應曲面法及因子分析的基礎，並應用於探討加工參數對超精密加工精度的影響。彙整主要成果如下：

1) 精進於與超精密／微細加工相關之奈米科技研究課題

本次研究訪問，深入探討加工參數對次微米／奈米尺度之形狀精度的影響，預期可整理研究成果發表為論文。另外，積極參與實驗室的研究進度發表會，了解相關領域的研究現況。

2) 擴散研究訪問成果於教學、研究、服務

藉由加工實驗實際瞭解反應曲面法及因子分析的理論細節，除了能豐富教學內容外，對於啟發更深入的研究課題有所助益，亦期待擴散研究訪問成果於專業服務上。

3) 促進國際學術交流

藉由研究訪問，實際進行課題研究，促進台澳雙方在科技領域的瞭解與認識，更可期待未來再進一步推動國際共同合作案的機會。

附件 訪問研究活動照片(I)



機械工程大樓前



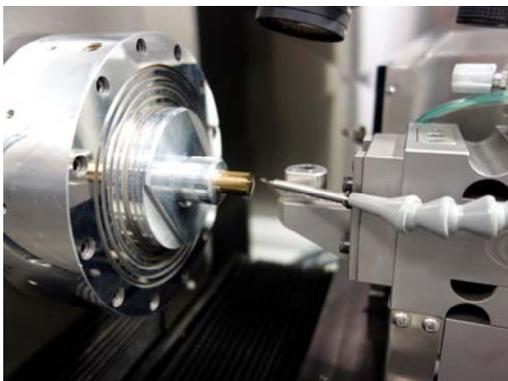
研究室



參加研究進度發表會發表研究課題



Zhang 教授主持研究進度發表會



超精密加工實驗情形



技術官員協助運用干涉儀量測情形

訪問研究活動照片(II)



精密和奈觀加工實驗室(LPNPT)研究成員



UNSW 開學期間社團招生盛況



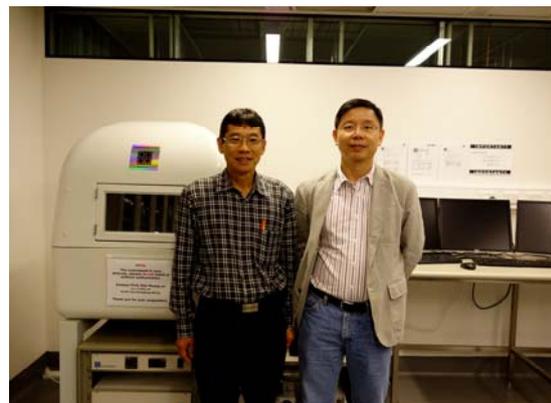
好奇號噴射推進實驗室主任發表火星探測計畫現況



UNSW 自製太陽能車參加縱貫澳洲比賽的進度發表會



與臥龍崗大學 Dr. Zhu 在奈米薄膜量測儀前合影



與昆士蘭大學 Prof. Huang 在奈米壓印設備前合影