

出國報告（出國類別：其他 研習）

工業 4.0 德國阿亨工業大學學習之旅

服務機關：國立高雄第一科技大學工學院

姓名職稱：林栢村院長

派赴國家：德國

出國期間：106 年 9 月 12 日至 30 日

報告日期：107 年 2 月

摘要

本次德國阿亨工業大學工業 4.0 學習之旅收獲很多，除了瞭解工業 4.0 的定義與核心精神，更瞭解如何有系統的建購，以及其在德國工業的應用現況。此外，見識德國大學在整合本系及外系教授一起研究技術的做法，更進一步，結合業界，在校園內研究創新及應用技術，最後，透過固定且持續的研討會，來推廣學校的概念，技術與服務。其具體做法，值得台灣高等教育學習。

本次學習的後續動作，除了邀請本校參與工業 4.0 的所有教授成立工業 4.0 的研究小組，進行工業 4.0 的推廣。並且，在校通識課程，擬合開”工業 4.0 簡介”課程，讓學生認識工業 4.0，並將學生分組，利用期末專題，完成工業 4.0 的實際演練。

目次

摘要	2
一、目的	1
二、過程	1
三、心得及建議	8
附錄	9

一、目的

本次學習之旅的目標，首先是瞭解工業 4.0（或是智能製造）的定義，接著是學習如何在機器整合感測器，最後是觀摩智能製造在德國的應用實例。

二、過程

(一)簡介：(9/12~9/16)

阿亨工業大學創立於 1870 年，260 個研究所，496 位教授，4500 位研究員，共有 38000 位學生，5750 位博士生，經費 7 億 8 千 8 百萬歐元。其中，機械工程系 61 位教授，1050 位研究員，共有 10980 位學生，863 位博士生，經費 2 億 7 千 2 百萬歐元。

本次學習之旅的目標，首先是瞭解工業 4.0（或是智能製造）的定義，接著是學習如何在機器整合感測器，最後是觀摩智能製造在德國的應用實例。

1. 以德國柏林與法國巴黎的交通圓環為例，柏林在循規蹈矩，巴黎亂中有序。
2. 工業 4.0 為阿亨工業大學所創，係透過（人，事物和系統）即時且透明的資訊，來創造動態，自組織和優化，產生跨公司增值連接。工業 4.0 的定義為“The term Industry 4.0 stands for the fourth industrial revolution. “ Best understood as a new level of organization and control over the entire value chain of the life cycle of products, it is geared towards increasingly individualized customer requirements. (...) The basis for the fourth industrial revolution is the availability of all relevant information in real time by connecting all instances involved in the value chain. The ability to drive the optimal value-added flow at any time from the data is also vital. The connection of people, things and systems creates dynamic, self organizing, real-time optimized value-added connections and across companies. (...)”。
3. 以技術角度(Technology Field)而言，工業 4.0 的四大要素(Enablers) 為：感測器 Sensor（感測系統 Sensor system 及致動系統 Actuator System）、網絡 Network（連接 connect、安全 Security 與雲端 Cloud 系統）、資料 Data（解析 Analytics、語義 Semantics 及資料管理 Data

Management) 及人機介面 Human Machine Interface (合作的機械手臂 Collaborative Robotics、**遊戲化** Gamification 及**擴增**與**虛擬實境** Augmented & Virtual Reality)。

應用手法 Application：智能創新 Smart Innovation、智慧網絡 Smart Network、智慧製造 Smart Production 及智慧答案 Smart Solution。

獨特性 Uniqueness: 新的數位商業模式 New Digital Business Models。

價值 value：心態 Mindset, 文化 Culture, 架構 Structure；能力 Capabilities, **稱職** Competences, **戰略** Strategy

4. 機會與挑戰 (Enable and challenge)

感測器 (Sensor)：越來越小 (Smaller)、越來越便宜 (cheaper)、更多樣 (more versatile)、量更多資料 (measure more data) 及 能彼此互動 (interact with each other)。

網路 (Networks)：具**無線網路點對點傳輸模式**(Ad-hoc networks)、資料轉換率高 (data transfer rates)、網路夥伴數量多 (number of network partners)、強健 (robustness)、低耗能 (low energy)、可按需求提供 (on demand available)。

資料 Data:從大數據到智能數據 (From big data to smart data)，**各種各樣的來源** (heterogeneous sources)，描寫的 (descriptive)、診斷的 (diagnostic)、預測的 (predictive) 及因時效而獲得的解析 (prescriptive analytics)，語義的分析 (semantic analysis)。

人機介面 (HMI)：合作的機械手臂 (Collaborative Robotics)，**擴增實境** (Augmented reality) 與**虛擬實境** (Virtual Reality)。

挑戰 (Challenge)：缺乏標準 (lack of standard)，孤立的解答 (Isolated solution)，高成本 (high cost)，太慢規範標準 (too slow norming standards)，劫持機密資料 (hijack confidential data) 及電腦相關之任何事物破壞 (cyber sabotage)。

5. 智能數位系統係 (Smart (digital system))：使用感測器感應**情況** (using sensor (sense condition))，透過連接網路取得資料 (get data (connect Network))，再解析及預測資料 (analyze data (analyze & Predict)) 最後利用 視訊與適應提供資料 informatize data (Visualize & Adopt)。

6. 革命從來沒有在事先預測。

7. 成為工業 4.0 (How to be Industry 4.0) 必需做的工作流程 (Job to be done)：以分析客戶需求 to analyze customers need (process)-從趨勢開始 start from Trend- 設訂規格 set requirements (特定事物 specific things)- 獲得解答 get solutions (技術事物 technology things)。

8. 必需做的工作流程：構想 (Idea) - 規格 (requirement) - 產生模式 (generation patterns) - 解答 (solutions)。

9. 大趨勢 (Mega Trend) 包括：個人化 (individualization)、健康 (health)、

新創生態 (neo-ecology)、銀髮社會(silver society)、聯結(connectivity)、都市化 (urbanization)、女性主義(female shift)、全球化(globalization)、移動性 (mobility)、新工作(new work)及持續學習 (future learning)。

10. 創新模式 (Innovation patterns)：透明 (transparency)、聯接 (connection)、預測 (prediction) 及動作 (Action)。

11. 智能服務是依賴於智能產品的物理和數位增值服務的結合 (Smart service are a combination of physical and digital value-added services that rely on smart products)。

(二)一般德國教授研究經費來源有三：第一種來源是政府所提供基本設施的營運費用，本部份在政府的預算編列，約佔 1/3；第二種來源是政府，如台灣教育部、科技部、經濟部等單位編列的應用研究經費，此部份的經費是教授（或與廠商）向政府單位爭取之應用研究計畫經費；第三種來源是廠商針對新核心技術，所提供之應用研究經費，本部份約佔所有經費的 30~50%。

(三)德國對育成中心的認知係僅培育新創公司，但是台灣對育成中心的認知，不僅培育新創公司，亦協助既有公司研發新技術。目前，德國阿亨工業大學各研究單位的作法的不僅培育新創公司，亦協助既有公司研發新技術。

(四)工業 4.0 內涵的商業應用 (9/19)

阿亨工業大學的研究、創新與體現(FIR)——目標：探索現實問題，轉換創新解答，來操作組織與企業的網路技術，藉以數位化網路經濟。每年執行 100 個計畫及許多技轉活動。方向為生產管理，服務管理，資訊管理與商業轉型。FIR 滿意的代表作係依據當代住題發展。FIR 部門製造管理的目標係公司的數位整合。其方向包括：公司製程的懂事故與適當組織係根據公司內部互相的價值鏈、所有規劃級別的垂直與水平整合，以及，透過 SCM，ERP 及 MES 等商業應用系統，以最佳支援商業製程。

商業應用的系統圖如 p10 所示，訂貨流程的概要圖像如 p15 所示。整體而言，要支援製造公司的商業製程，許多商業應用軟體已存在。ERP 及 MES 軟體是支援訂貨流程的核心商業應用軟體。實際操作 SAP 軟體非常繁複，需有專業訓練。在工業 4.0 的環境，ERP 不但要強化其功能與角色，還需要適應工業 4.0 的需求。FIR 利用分析、選擇與定義等三階段概念，來選擇 ERP 及 MES 的軟體。

啤酒遊戲係藉由供應商，製造商與銷售商在需求面資料的不透明，所造成供應商原料訂購的大幅增加與波動。

未來發展方向：數位化資料，數位陰影，大數據細膩化成智慧數據，操作形態為快速與反覆，

(五)工廠參觀 (9/20)

今天參觀的第一家工廠是 Beyers，該公司是一家電子產品的 OEM 廠商，

有 1 千多種產品，約有 5 百家零件供應商，及 20 家客戶。該公司在三年前開始規劃，經過兩年完成全公司工業 4.0 ERP 系統建構。進料時另貼黃色，並以 RFID 輸入該系統，隨後，生產流程的在各個工作站（包括：材料的存取料，加工，組裝，品檢測生及最後的出貨）記錄，以透明化整個生產流程資料，並希望透過該等資料的進一步分析，來提昇生產流程的效率與彈性。目前，約可掌控 8 成的生產流程，但有 2 成仍在改善。今天參觀的第二家工廠是 Opel 汽車公司。汽車的精實生產，再搭配一般客戶可從經銷商或汽車公司的生產網路，瞭解其下訂車輛的生產狀況是工業 4.0 的最佳典範。由於今天的參觀路線係供一般民眾參觀，其中雖可見識到該公司的利用機器手臂的彈性製造與整體流程的精實生產，然而並沒有看到該公司針對工業 4.0 發展與應用的技術。

(六)工廠參觀 (9/21)

早上參觀 Brehmer，該公司主要業務係開發摩托車相關的感測器，員工有 67 人，年營業額約 3 百萬歐元。該公司近年來曾通過德國政府 120000 歐元發展鍊條力量感測器的計畫。雖然，計畫沒有成功。但該計畫與工業 4.0 相關，值得參考。其作法係在鍊條的一節裝設應變計，透過電子硬體，轉換成鍊條受力值，並將資料傳到系統，以進行後續之資料分析與建模。其應用領域除車輛引擎的維修外，亦可在食品加工產業。此外，公司老板結束大公司的專業經理職位後白手起家。老板強調其創業係有滿腔的熱情與滿腦子的點子。目前該公司也與學校合作，並提供實習名額。其手下的專業經理就是 8 年前的實習生。

下午參觀的是 PICAVI，該公司產品係提供取貨專用智慧眼鏡。該項產品較適合在工作內容單純的環境使用。這家新創公司是由教授主導，其啟始點子出自合股夥伴，教授藉由商品化發展取得主導權。其作法係撰寫軟體，自 ERP 或 MES 取得取貨資料，並整合入 google 等公司之智慧眼鏡，並增加外掛腰部電源，以沿長工作時間。使用時，透過眼鏡螢幕，顯示取料號碼及數量，就定位後，再利用眼鏡掃瞄功能確認物品，最後，進行取貨。隨後，再進行下個任務，直到完成階段任務。此外，當使用公司現有系統無最佳化取貨流程功能時，該公司有另一套軟體，可處理相關問題。該公司未來發展的方向為：強化真實(Augmented Reality)，室內導航及書寫辨識。

(七)虛實整合系統 (cyber-physical system) 亦可說是"Internet of Things"(9/22)

虛實整合系統的發展，在德國阿亨工業大學隸於製造技術研究所，該所係涵蓋製造管理、製造機械、製程技術與製造品質等四大領域，並由四位教授所組成的製造管理部門，成功的規劃，操控與發展製造相關技術，包含：精實製造 (lean production)、工業 4.0 (industry 4.0)、製造基準 (benchmark) 以及學習遊戲 (learning games)。

虛實整合系統的發展係持續在製造廠增加生產效率，以增加競爭力。人

機系統係透過資料與創新驅動潛在的彈性，以增加顧客對送貨時間及可靠度的期望。

目前，製造公司的核心挑戰涵蓋廠內的平行網路技術基礎建設，過時的機械環境與高技術需求，以及廠外的競爭增加，軟體主宰世界與創新主宰世界。因此，在工業 4.0 的時代，製造商必須能夠設法解虛實整合系統組織。虛實整合系統 (Cyber-Physical-Systems, CPS) 的定義係在設備、建築、運輸、醫療過程、運籌過程及製造系統等事務，把軟體嵌進整合系統。虛實整合製造系統(Cyber-Physical Production Systems, CPPS)係透過感測系統即時蒐集資料，記錄並分析資料以創造模型，與實物與數位世界的主宰者及人類 (透過人機介面) 互動活動。透過，以及，透過數位通訊介面連接各項事物。

數位陰影 (digital shadow) 將可讓工廠成為工業 4.0 工廠。工廠數位陰影的發展與建構流程為：定義目標，分析所需資料，比較所需資料與現有資料，蒐尋可能科技，檢驗現有科技，發展及定義所需科技，建構科技系統，開始測試階段，及資料蒐集與驗證。

虛實整合製造系統組織包括四個區域的動作，(規劃端) 製造策略，製造結構，製造規劃與控制及製造管制 (實物端)。

虛實整合生產控制的學習遊戲：產線管理涵蓋：符合 KPI 的操控與管制，現問題的解決及持續改善流程。此次遊戲係體驗在資訊不透明的無法及時對應與解決製造過程的問題。

互動案例演練：本案例係以樂高玩具的組裝為主題，利用 WoPS4.0 所建構之虛實整合系統，讓學員瞭解實際的虛實整合系統，以及其在樂高玩具的組裝的效益。

(八)加法製造 (additive manufacture)亦稱 3D 製造 (9/23)

加法製造的優勢係製造複雜(complex parts, GE Fuel nozzle tip)、個人化 (individualized parts, 假牙)、少數 (small output quantities, 雛型產品) 及快速 (spatially remode demand parts, 太空站維修零件) 的產品。目前，金屬產品的需求約佔總體需求的 1/10，但金屬產品的需求有增加的趨勢，比較多的應用領域係航太及醫療產業。由於目前加工成本高 (為尺寸的四次方)，符合其優勢的需求不多，實際在工業的應用不多。目前，台灣的发展方向係個人化產品 (customer+ producer= prosumer)。德國阿亨工業大學在 3D 製造亦有深入研究，目前該項技術歸在雷射加工研究所，並往高幾何自由度、可操控的材料結構、複合多種金屬材料的應用以及不需再加工產品的製造等方向研究，並廣範運用於飛機相關零件的修補，例如：螺旋槳葉片，渦輪發動機葉片，鎂合金變速箱。

(九)智慧眼鏡體驗日 (9/26)

阿亨大學在工業 4.0 的展望(The Aachen perspective)：數位(Digitalisation) 與連結 (Connection) 及整合基礎技術 (Integrative Basic Technologies)

以創新的產品開發 (Innovative Product Development)、可達成的適應製造 (Scalable adaptive Production) 及智慧化產品與服務人類 (Smart Products & Services Human)。

隱藏在工業 4.0 背後的目標及技術：利用工業軟體系統 (Industrial Software Systems)、訊息技術硬體 (IT-Hardware)、合作 (Cooperation) 與自動化技術 (Automation)，以共同研究生產力 (Collaboration productivity)，逐步達成工業 4.0 (Step-by-step to Industrie 4.0)。研究與發展主題包括：連接與網絡技術及製程竅門、線上／離線製程及程序鍊的適應性及高科技製造所需基礎技術的竅門。

數位雙胞胎的概念 (Concept Digital Twin) 宜概觀產品生命週期的資料流 (Overview of a Product Life Cycle Data Stream) 及整合公司的資料流 (Integration of company data streams)。至於其業界計畫係以水幫浦製造為例 (Industrie 4.0 production for water pump systems)。

未來的工作場所將以人為中心發展 (The workplace of the future: a human-centric approach)。工業 4.0 能夠成功，唯有如雇主的需求被及早考慮。現有疑慮包含：法規 (個資法) 障礙 (Legal Barriers)、工作心理 (Work Psychology)、使用者接受度 (User Acceptance) 及改變經營 (Change Management)。

穿戴科技 (wearable technology) 四個案例：第一個案例係取料 (pick and location)，利用智慧手錶 + 軟體程式，進行下料訂單讀取，再到倉儲系統的料架讀材料件號，並進行確認。第二個案例係遠端專家 (remote expert) 利用智慧眼鏡，在螢幕顯示眼睛看到的情境。第三個案例係 (guidance & documentation)，利用智慧眼鏡，顯示工作程序或說明，並可用掃描功能記錄工作執行成果。第四個案例係擴增實境 (augmented reality)，一為利用智慧眼鏡，進行與 3D 虛擬實境的互動；另一為利用 twin model，同步顯示實體與虛體，並隱藏虛體，只顯示實體及虛體的說明。

智慧穿戴系統建構的五階段流程 (5 Main Steps of the Wearable Potential Check)：第一階段為選擇一個適當的內容給 (Phase 1: Choosing a suitable use context for deployment)、第二階段為定義使用者需求 (Phase 2: Define user requirements) 第三階段為決定一個適當的穿戴軟硬體 (Phase 3: Selection of Wearable, Phase 3: Smart Wearables Decision Tree)、第四階段為實際建構系統 (Phase 4: Action Implementation) 及第五階段為持續審查及評估 (Phase 5: Continuous Review & Reevaluation)。

(十) 新的商業模式：(9/27)

以車輛為例，傳統的創新模式考慮加速，設計，速度快，聲音；數位化創新模式考慮使用者資料點，行為，自動化，服務模式。

商業模式是公司如何為客戶產生增值的邏輯連接的典型代表，並確保收入的組織。在銷售模式的客戶部分在其具體要求事項各不相同，需要不

同的服務。始終符合市場的需求。而且，客戶不只是購買產品，他們要完成一項工作！（註：在建構時，除了 job to be done, 亦需 Trend analysis）在價值創造的配送通道部分：一個合適的分銷渠道的決定必須符合特定客戶、產品與國家需求，以得到理想的結果。使用一種創新傳播，銷售和分銷渠道的方式，來開發市場，銷售和供應產品。

在客戶關係部分：塑造客戶關係在具體的商業模式的內涵。建構一個可長可久的顧客關係，以獲得新客戶，保留現有的並增加銷售。收入流部分：使用基於所述組織的目標支付方法，以增加現金流。

服務提供

提供必要的物力，財力和人力等關鍵資源，為了能夠瞭解夠不同的業務模式的效能。智能地分配資源，為了專注於最大的附加價值的活動。建立高效的關鍵合作夥伴關係，為了減少風險或取得必要的資源和能力。優化成本結構取決於商業模式，為了發展適合商業模式驅動的成本和價值結構。

商業模式分析：商業模式的必要建構基石，設計模型元素方法，可視化的商業模式方法，Epi-中心與關係的商業模式。

商業模式發展，評估與建構：

商業模式設計，發展新的商業模式的程序，成功商業模式的典型，適應和建構商業模式，跨行業潛能的鑑定，商業模式背景的雛型建模，商業模式的評估，商業模式雛型建構的方法。

最後，在建構商業模式時，除了可參考相似工業的類似元準則，亦可截取 Gassmann(2013)提出的 55 種商業模式典型。

(十一)創新研討會（9/28~9/29）

創新研討會是阿亨工業大學配合工業 4.0 的研究，所搭配的兩天推廣活動，本活動已舉辦 10 屆，與會者涵蓋德國各大公司的經理級人員。研討會中主要是報告其在工業 4.0 的最新觀念與成果，並有實驗室參訪活動，以大力促銷大學的理念，產學合作與產品。此外，亦邀請優良研發廠商報告其創新研發過程，以及國際知名廠商報告該公司建構工業 4.0，如何應用工業 4.0，或是發展的工業 4.0 產品。其做法，值得學習。

(十二)認證考試（9/30）

今天是上課的最後一天，一早將這三個星期的學習內容重點復習，隨後，進行一小時的認證考試。午後，隨即頒發學習證書，並進行大合照。

三、心得及建議

本次德國阿亨工業大學工業 4.0 學習之旅收獲很多，除了瞭解工業 4.0 的定義與核心精神，更瞭解如何有系統的建購，以及其在德國工業的應用現況。此外，見識德國大學在整合本系及外系教授一起研究技術的做法，更進一步，結合業界，在校園內研究創新及應用技術，最後，透過固定且持續的研討會，來推廣學校的概念，技術與服務。其具體做法，值得台灣高等教育學習。

本次學習的後續動作，除了邀請本校參與工業 4.0 的所有教授成立工業 4.0 的研究小組，進行工業 4.0 的推廣。並且，在校通識課程，擬合開”工業 4.0 簡介”課程，讓學生認識工業 4.0，並將學生分組，利用期末專題，完成工業 4.0 的實際演練。

附錄

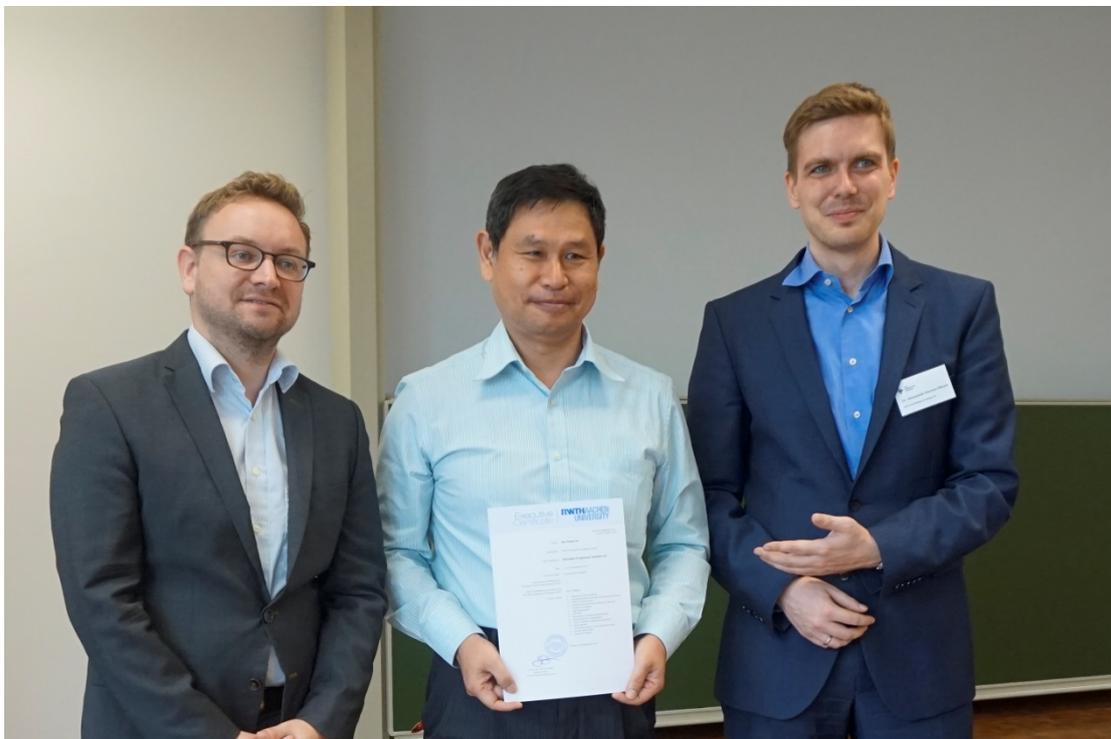


圖 1.頒發學習證書



圖 2. 大合照