

# 基於工業 4.0 的產品生命週期管理技術之教學實踐研究

## 107 大專校院教學實踐研究計畫

### 一. 報告內文(Content)

#### 1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

##### (1)教學實踐研究計畫動機

本研究通過校企合作，將德國工業 4.0 的產品生命週期管理（Product lifecycle management, PLM）教學概念，發展以課堂講授、情境教學與 PLM 軟體 Teamcenter 實作的綜合教學。

工業 4.0 的核心是利用數位化的資訊科技，促進自動化製造技術與企業，面向新時代的市場需求並與全球價值鏈與全球市場同步，實現永續的經營發展。为了更好的服務消費者，工業 4.0 技術將各個生命週期的實體產品予以資訊化，以便企業能夠充分掌握產品動態訊息，提供客戶更加人性化的加值服務。虛實整合系統（Cyber-physical system, CPS）是工業 4.0 的重要核心[1]。為達成 CPS 願景，數位雙胞胎（Digital twin）相關技術也被重視[2]。歐美實際 PLM 應用案例中顯示，PLM 並非只是在大型公司實施；一般來說，在超過 20 位設計人員的中小企業，即可根據企業的特性，打造定製化的 PLM 平台，來保持企業的競爭力（如圖一）。

在德國工業 4.0 平台規劃中，德國工業科學家指明了工業 4.0 的教育是重要的一環。同時，教育專家認為工業 4.0 教育是跨多專業整合的系列課程，而其教育方式需要從單純的一對多講堂式教學，轉變為與體驗教育、軟體輔助教育、小組專案研究等綜合教育手法[3]。



圖一、企業對於產品生命週期管理需求的情境案例  
（取材自西門子培訓教材）。

西門子工業軟件公司是全球領先的產品生命周期管理（PLM）和生產運營管理（MOM）軟體、系統與服務提供商，擁有超過 1,500 萬套已發售軟體，全球客戶數量達 140,000 多家。自 2016 年以來，逢甲大學與西門子工業軟件公司在工業 4.0 技術教研上合作緊密。雙方都有意願在 GOPLM 體系（Global Opportunity PLM）[4]教學上進行深入合作。

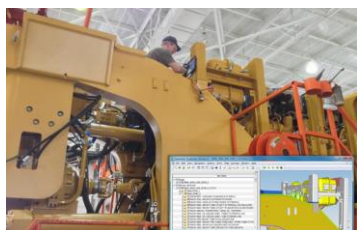
本研究將配合本校高校深耕計畫之「落實教學創新」的精神，深化 CDIO 從構思到實踐的連貫式成果導向教育模式。逢甲大學以特案指派計畫申請人於 2017 年 9 月前往西門子工業軟件公司上海研發中心，進行了 18 周的工業 4.0 技術學習與研討。於本研究中，西門子軟件公司亦同意與逢甲大學進行此次的教學實踐研究，在教材與西門子專業認證考試上進行合作，共同探索在臺灣實踐大學 PLM 教育的方式。

### (2)教學實踐研究計畫主題及研究目的

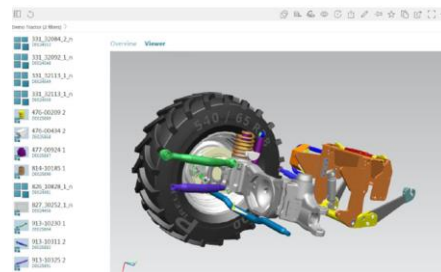
本研究的主題是發展基於工業 4.0 的 PLM 大學教育的方法與教材研究，其方法是通過大學與全球領先的工業軟體公司合作，將工業 4.0 核心的產品生命週期管理技術，以課堂講授、情境教學與 PLM 軟體實作的綜合教學方式，與逢甲大學 CDIO、學用合一教育特性予以融合；並參考歐美大學 PLM 教學經驗，打造適合於臺灣學子的 PLM 教學平台。

### (3)教學實踐研究計畫研究目的及目標

在教學內容上，將分成初階與進階兩學期共一整學年的系列課程，由淺入深地涵蓋 PLM 技術三大支柱：產品資訊、標準流程和資訊系統等科技管理技術。在課堂講授之外，引入 PLM 軟體實作以及「虛擬企業」與「虛擬產品」的情境教學。使學生在模擬實際企業的狀況下，以可視化模型（Visualization model）方式（圖二），實作並體驗數位雙胞胎。預計培養包含 PLM 專業使用者、客制化工程師與系統管理師等不同專業的學生，提供臺灣產業。另一方面，根據本研究之教學內容/方法，編寫中文 PLM 教材。且根據一般課程的開設教材，重新編排之後將匯入本校創能學院之微學分課程，以多個單元性的短期課程，實現跨專業領域的教學目標。



(a)



(b)

圖二、可視化技術在 Teamcenter 上的應用：(a)實際工件與 Teamcenter 可視化技術(b)以可視化技術分解產品的物料清單（BoM）

## 2. 文獻探討(Literature Review)

### ● 工業 4.0 與產品 PLM 技術

在工業 4.0 資訊技術的引領之下，以製造運行管理系統（Manufacturing Operation Management, MoM）技術幫助生產價值鏈中的供應商獲得並交換實時的生產資訊，是工業 4.0 製造技術趨勢之一。MoM 的施行有賴於虛擬模擬與真實物理世界的完美融合。Kagermann 等人組成的工業 4.0 專家小組針對德國工業 4.0 的政策發展提出了技術願景與實施方案，認為虛實整合系統（Cyber-Physical System, CPS）[5, 6]為技術核心，而 PLM 技術是串接 CPS 的核心知識。

2005 年，Aberdeen Group 的 Brown 提出了全球化設計與製造趨勢，並且認為重要企業都在多個散布在全世界的設計中心進行產品設計工作[7]，其中成本與全球化競爭是最主要的原因。而中小企業也需要利用 PLM 管理體系與軟體來達到企業成長的目標[8]，並且與供應商協同開發[9, 10]。在同年的另一項分析中，則發現近半數的頂級企業都將企業資源管理系統（Enterprise Resource Plan, ERP）與 PLM 系統安裝到位並且與 MoM 關聯，以實現全面性的數位化製造管理[11]。

Stark 詳細的分析了 200 多家企業設計與執行產品生命週期的方法，總結出產品生命週期可以分為：概念、設計、製造、使用、回收等五大週期；而配合這五大週期，則有對應的不同管理方式[12-16]。Kiritsis 則認為，利用閉環生命週期管理技術（Closed-Loop Product Lifecycle Management），不但可以較好的管理產品資訊，並且可以與物聯網技術相結合[17, 18]。研究者提出了以 PLM 與 ERP 並行的機制，用以控管開發計劃的產品品質與開發資源[19]。

### ● 旗艦級 PLM 軟體 Teamcenter

Teamcenter 作為西門子旗艦級產品生命週期管理平台，在產品資訊的管理上，其特性在於將在資料庫中的靜態資料予以物件化，讓使用者以物件導向（Object-Oriented）方式。因此 Teamcenter 也提供了 Business 物件的繼承(Inheritance)與封裝（Encapsulation）功能。在管理 Business 物件時，Teamcenter 提供了 BMIDE(Business Modeler IDE)工具來實現[21]。從 Teamcenter 的客戶端（Client）定制化和外部連接來說，目前 SOA(Service-Oriented Architecture)是較好的選項[22]。

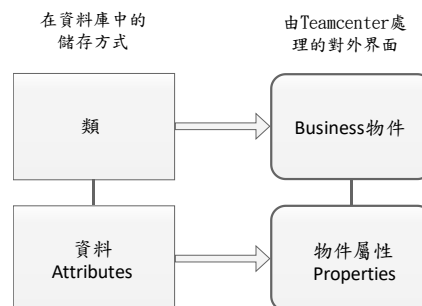


圖 三、Teamcenter 的資料物件結構

Teamcenter 提供了從世界各地以網路安全的獲取與管理產品資訊的方法、控制設計變更與簽核、並且提供與其他企業級應用（如企業資源管理，Enterprise resource planning, ERP）的途徑。圖 四（左）為 Teamcenter 之 Rich 客戶端登入畫面，而其右圖為登入後之畫面。然而不如此，Teamcenter 另外提供了 Thin 客戶端，讓使用者無須安裝軟體，即可以利用具有 Java 功能的瀏覽器（如 IE）進行基本的操作。

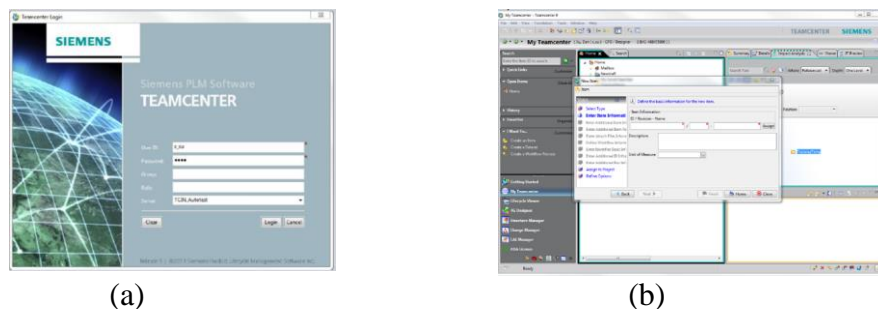


圖 四、Teamcenter Rich 客戶端：(a)起使畫面與(b)登入後畫面

- PLM 教學實踐方法發展現況

自 2009 年起，Tomovic 等教育專家研究 PLM 教育實踐方法，其中提出了 PLM 教育應該分成基礎教育和應用教育兩個部分[3]。其中基礎教育在於理解 PLM 方法，並且熟悉軟體操作。而應用教育則是屬於客制化 PLM 平台的訓練。

Maranzana 等人研究在 PDM 課程中使用自由軟體抑或商業解決方案何者較佳的問題[22]。其結果顯示，有工業級的 PLM 軟體能夠使學生在團隊合作中導致較少的錯誤，產生較高的學習效益，因此學生學習興趣與總體成效也比較高。Edl 以其自身在捷克西波希米亞大學（University of West Bohemia, Czech Republic）機械研究所（包含碩士與博士班）設置 PLM 課程經驗[15]，認為在課程中設計一「虛擬企業」，讓學生熟悉 CAD/CAM/CAE、開發管理等是重要的關鍵。

Gandhi 針對 PLM 之大學教育的施行狀況，以普渡大學（Purdue University）、密西根科技大學（Michigan Technological University）和奧克蘭大學（Oakland University）等為例子進行了深入的研究[23]。該校同時也鼓勵學生參加 PACE 專項（課程 ENG1102），與美國重要企業合作（如 GM、西門子、HP 等）讓學生實際參與企業的需求。奧克蘭大學以 PLM 中心的方式推廣，其中包括 PLM、ERP 和 MES 等系統，強調該三系統相互的連結與各自的特性。

Fielding 等人針對美國與法國學生特性，設計 PLM 課程[24]，該課程涵蓋 CAD、CAM、CAE、產品數據管理（PDM）和系統工程（System Engineering）。因此，該課程並非單一課程，而是結合機械與資訊相關課程的綜合學程。Pernelle 等人根據遊戲學習理論，在闖關角色扮演遊戲的架構下設計適合於企業培訓用的 PLM 教材軟體[25, 26]。

Sauza Bedolla 等人利用實際的機械零部件，開發包含需求管理、開發管理、品質管理、產品設計、製造設計、變更管理等 PLM 課程。該課程主要是利用「虛擬產品」，並且在 PLM 軟體中以可視化方法來解說 PLM 的觀念。若授課對象為碩士生以上，共 6 天 27 小時[27]；如果在大學部授課，則包含了 18 小時的理論課與 22 小時的實作課[28]（如圖 五）。該研究也指出了可視化技術對於 PLM 理論理解有正面的幫助。

Goto 等人發展一套適合於大學在中小企業進行 PLM 培訓的教材[29]。Fradl 等人認為 PLM 是個複雜但是對當前企業重要的課題，而如果只講述理論的話，只有少部分學生能夠掌握 PLM 的精髓。因此，在課堂上建立具有產品、組織、工作流程和工具的「虛擬企業」，讓學生在這個環境下體驗 PLM。而教師提供具有機電整合特性的、基於 LEGO/Arduino/3D 列印的「虛擬產品」，在具備完整 PLM 功能的軟體平台上進行教學，比較能夠獲得比較好的成果[30]（如圖 六）。

2017 年，Bedolla 等人研究在義大利與法國的大學中各種等級（大學生、碩士、博士）的 PLM 教育[27]。研究中指出，PLM 課程大多開設在大專和碩士等級，開課系所有跨專業的特性，包含機械、管理、資訊、工業工程管理等。

以美國的工程教育為例，1980 至 1990 年成果導向教育成為主流[31]，而 2000 年之後，則趨向 CDIO 模式。CDIO 旨在促進學生主動學習、實踐所學、加強課程間的聯繫與統整，藉以培養學生工程專業能力[32, 33]。逢甲大學教學目的是讓學生畢業後能順利與職場接軌，實現教育部目標之「有效縮短學用落差」[34-38]。而配合 CDIO 的實踐，逢甲大學以學生學習成效為主體，在教學評量上則推廣以 Rubrics 方法來檢核學生學習成效。而逢甲大學也將 Rubrics 推廣至全校教育目標中（如圖 七）。

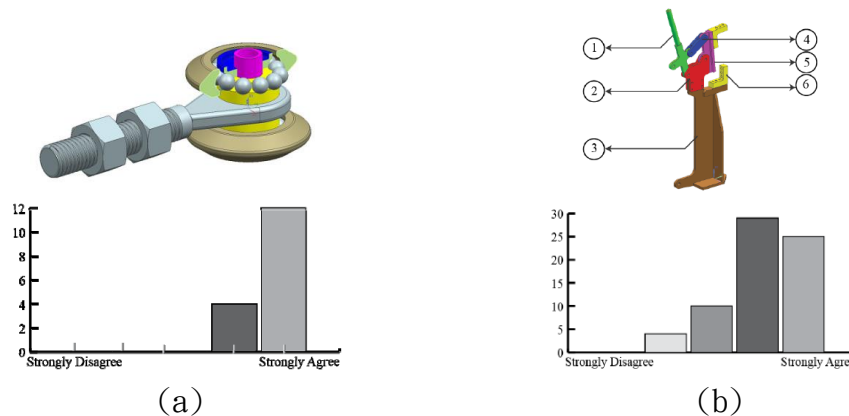


圖 五、Sauza Bedolla 等人的 PLM 教學設計：(a) 碩士以上授課[27] (b) 大學部（不同國籍、英文授課）[39]，「虛擬產品」設計（上方），和學生的學習成效評量（下方）。

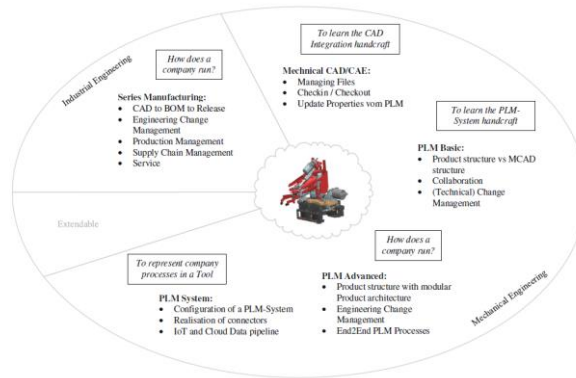


圖 六、Fradl 等人的 PLM 教學設計：在「虛擬企業」中以 LEGO/Arduino/3D 列印進行「虛擬產品」開發[30]

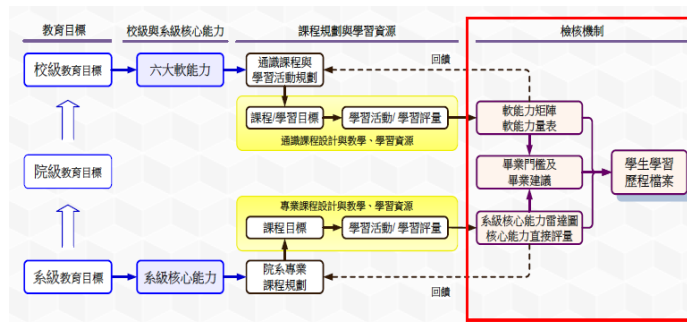


圖 七、逢甲大學之學生核心能力的檢核及持續改善流程圖

### 3. 研究方法(Research Methodology)

#### (1)研究說明

本研究將以結合課堂講授、情境教學與工業級 PLM 軟體實作（如圖 八）的方式結合。課堂講授後教師協助學生組成團隊創建「虛擬企業」；並以「虛擬產品」為標的物，在專業 PLM 軟體上進行開發與記錄。根據這些記錄，教師回到課堂上進行更深入的講授與指導：

- 學生在企業的氛圍中，在教師輔導下建立自己團隊的「虛擬企業」，並使用 PLM 軟體設計基於 LEGO/Arduino 的「虛擬產品」。不但做到「虛擬產品」可見，而且在軟體中可視。使得學生可以在數位雙胞胎（Digital Twin）情境下學習 PLM，將可以收到事半功倍的功效。
- 在專業 PLM 軟體的輔助下，將基於 LEGO/Arduino 的「虛擬產品」予以可視化，以此實際操作 PLM 管理教學中的產品資訊管理、標準流程管理（變更管理）等。
- 為了讓學生充分的體驗 PLM 可視化，進而感受工業 4.0 之數位雙胞胎（Digital twin）概念，本研究特別採用數量不足的 LEGO/Arduino 機電整合模組，並且要求各「虛擬企業」定期上台以實物做口頭報告。

- 導入 CDIO 從構思到實踐的連貫式成果導向教育模式：逢甲大學為臺灣第一所加入 CDIO 國際合作組織的大學，本研究將朝向學校推動之 CDIO 12 項教育標準[33]邁進。

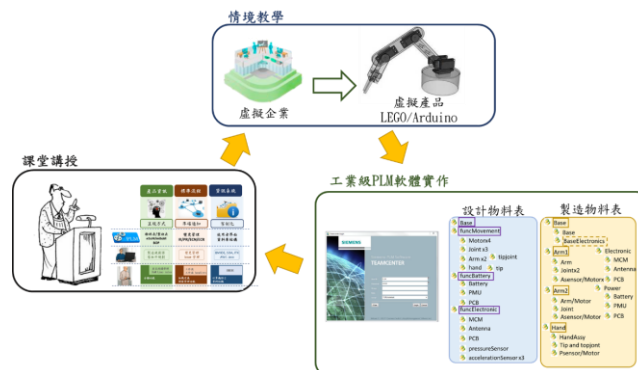


圖 八、結合課堂講授、情境教學與工業級 PLM 軟體實作的教學策略

## (2) 研究步驟說明

### A. 研究架構

若將計畫管理 (Project Management) 單列出為一個獨立學科，根據 Stark 的分類[12-16]，即可將 PLM 教學分為三大支柱 (如圖 九)。而本研究的課程規劃即按照此三大支柱而來：

- 產品資訊管理：其核心在於該資訊的呈現方式；對不同的使用者來說，應該具備不同的呈現方式，以期在適當場域下得到最佳的結果。在實際 PLM 使用上，多採用設計物料表/製程物料表 (eBoM/mBoM) 的方式，或者是製程清單 (Bill of Process) 的方式。在教學上，基礎為文件系統、產品結構管理、產品 (零件) 分類等 (以上規劃於初階課程中)，進階則為製造規劃器、零組件製造規劃等 (以上規劃於進階課程中)。
- 標準流程管理：其核心在於準確地通知某個事件給需要知道的工作者；其中一個明顯例子是「設計變更的通知」。在實際的 PLM 使用上，多採用基於 CMII [40] 的變更管理方式，使得整個變更動作的歷史資料能夠良好保存，比如 IR (Issue Report)、PR (Problem report)、ECR (Enterprise change request) 和 ECN (Enterprise change notification) 等。在教學上，基礎為組織定義、權限定義、工作流 (Workflow) 等 (以上規劃於初階課程中)。進階有工作流變更 (以上規劃於初階課程中)、變更管理、Issue 管理等 (以上規劃於進階課程中)。
- 資訊系統管理：其核心是要針對企業甚至企業中不同的使用者的軟體界面進行客制化，以期 PLM 在企業的實施更為順暢、使用者能夠快速的上手。在教學上，基礎為程式語言、PLM 物件架構 (以上規劃於初階課程中)，進階為 BMIDE、SOA、AWC Java 等 (以上規劃於進階課程中)。



圖九、PLM 教學架構

## B. 研究假設

- 假設一：情境教學能夠加強學生在 PLM 理論學習注意力，在課堂解說外
- 假設二：使用專業的 PLM 軟體，能讓學生增進學習，因為學生會較少遇到軟體崩潰 (Crash) 而造成的學習挫折。
- 假設三：導入專業認證將可以促進學生學習的興趣，而不會造成學習偏頗。

## C. 研究範圍

本研究將規劃一系列包含初階到進階的課程。預計課堂學生約 45-70 人，每 5-8 人分成一小團隊，組成 8-9 個「虛擬企業」。使用之軟硬體資源包含：

- PLM 軟體 Teamcenter 虛擬機 (具備模型可視化功能)：9 套 (含客戶端共 70 套)
- LEGO/Arduino 機電整合模組 3 套
- 定期報告之實體投放設備：1 套

初階課程 (第一學期) 以講授基本理論、體驗「虛擬產品」開發並掌握 PLM 軟體基礎使用為核心，評量方式除個別作業和「虛擬企業」之「虛擬產品」團隊作業 (40%)、平時表現 (20%) 外，另計西門子提供之專業筆試 (40%)。課程單元規劃如錯誤! 找不到參照來源。。於「虛擬產品」開發時，按照文獻之教育經驗，以使用較複雜的機電整合較佳。為了使得機電整合之專業不會影響 PLM 教學，因此將採用 LEGO/Arduino 機電整合之創客開發平台；在 PLM 軟體教學方面，則使用西門子 Teamcenter 虛擬機 (Virtual machine) 的方式，讓學生自行管理自己團隊的 PLM 伺服器，加強學生責任感，提供更多「動手做」的機會。



進階課程（第二學期）從工業 4.0 製造相關的產品生命週期技術開始，講授 PLM 軟體客制化的技術與實作。本課程分成兩大區塊：首先從進階製造管理與供應鏈管理開始，配合「虛擬企業」建立與 PLM 軟體實作，使學生理解客制化的需求，以及案例企業如何進行客制化實施的概念與成果。其次，第二區塊主要教授 PLM 客制化的方法，並且在 PLM 軟體實作。除了課堂講授、軟體實作外，並且將於西門子工業軟件公司合作，讓公司提供實際（簡化）案例供學生進行兩個小型專題。評量方式為第一區塊之個別作業和「虛擬企業」之「虛擬產品」團隊作業（40%）、平時表現（20%）外，另外兩個小型專題（40%）由學校與西門子共同評分。學生通過了初階課程的筆試與進階課程的專題實作，即可發與由西門子認證的 Teamcenter 證書（樣本如圖 十）。本研究將設置公開網站，按照課程進度流程，將課程內容大綱、Teamcenter 虛擬機設置技巧、程式設計技巧等，對於教育與專業社群無償公開，並且將會定期上傳情境教學實況（在全體學生同意之下）；並且在學期間，配合學校活動，將公開展出本研究結果，其中也將包含具有數位雙胞胎的「虛擬產品」。



圖 十、西門子工業軟件公司專業證照樣本

#### D. 研究對象

本教學實踐之研究對象為工程、資訊與管理相關科系大三（含）以上學生，具備基礎之工程或管理的基礎課程（有其中之一即可）、具備團隊合作經驗，對於未來企業在工業 4.0 的方法上有興趣的學生。一次班級人數約在 45 至 70 人，以 4-8 人分做一小型團隊，約有 8-9 個團隊（「虛擬企業」）。

#### E. 研究方法及工具

學生之學習評量將以 Rubrics 為核心，配合逢甲大學一貫教學政策施行。除了學生學習總成績的評量外，本研究將以兩階段之第三方（西門子）認證成績、證照取得-參與學生數比例，配合學生問卷來進行資料的收集與分析。學生問卷將針對上課學生採用不記名方式，以網路方式填寫。問卷將採用李克特量表（Likert Scale）的方式，分成 5 個級分。

#### 4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

##### (1) 教學過程與成果

採用 LEGO/Arduino 機電整合模組的原因，除了吸引學生注意力外，並由於其複雜程度，學生勢必要藉由媒介（紙筆、相機、PLM 軟體等）的幫助下，進行組裝的紀錄以便重現。並且由於 LEGO/Arduino 模組的數量不足，因此幾個小組必須共用某些關鍵部件。經由教師的引導，可吸引學生採用 PLM 軟體的零件分類方法記錄「虛擬產品」的設計。另外，PLM 軟體之可視化功能也可以將「虛擬產品」呈現於電腦上，進行開發與再改良。使各「虛擬企業」定期（約 2-3 周/小組，時間約 5-10 分鐘，採交錯式），以實際 LEGO/Arduino 組裝進行口頭報告。以此確保學生在使用電腦進行設計時，不忘實際的產品組裝。

##### (2) 教師教學反思

在實際教學上，一般學生對於產業界的現況，在課堂講授時大多難以理解。這源自於學校的環境，較難具備產業界的競爭氛圍。而該產業經驗往往需要在特定的環境下親身感受，其中包括企業環境、產品開發與製造、專業軟體使用等各個方面。並且，PLM 教學含有高度的跨領域特性，如：工科、資訊、管理等，使得 PLM 教學充滿挑戰。因此，為了因應全球工業 4.0 的發展趨勢，大學需要快速的吸收 PLM 專業知識，並且參考歐、美、日等工業大國的教育經驗，研究適合於臺灣的 PLM 教育。

##### (3) 學生學習回饋

課程中接觸到多面向的知識及觀念，除了學習如何使用 TC 軟體外，也了解到如何去控制成本、產品開發設計、以及產品生命週期等等相關知識。從產品的發想開始，經過小組討論的方式，一步一步設計自己的產品，利用 NX 繪圖軟體將產品的概念繪製出來，隨著概念圖的誕生開始估計使用之材料、製作成本等等數據，從中計算該產品的生產成本及可以壓縮之成本，藉由 TC 將各資訊串接起來，再使用這些數據結合產品的設計概念篩選適合的顧客群，並針對顧客群去思考宣傳的方式及內容，同時也開始模擬整個產品的生產時間及生產流程。

## 二. 参考文献(References)

- [1] H. Kagermann, J. Helbig, A. Hellinger, and W. Wahlster, *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*: Forschungsunion, 2013.
- [2] T. Hemmelgarn, "The Digital Twin," presented at the Siemens PLM Connection Americas 2017 Users Conference, Indianapolis, IN, 2017.
- [3] C. Tomovic, H. Anderson, A. Anglin, L.-V. Barreto, S. A. Frillman, T. J. Georgiades, *et al.*, "Social Issues of Product Lifecycle Management: Developing Cross Cultural Virtual Teams; Supporting Today's Green Manufacturing Imperative; Educating and Preparing Tomorrow's Workforce; and Impacting Inter-Organizational Relationships in Supply Chain Management," in *Product Realization: A Comprehensive Approach*, M. Tomovic and S. Wang, Eds., ed Boston, MA: Springer US, 2009, pp. 1-33.
- [4] SIEMES. (2017). *Academic Program*. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/academic/>
- [5] E. A. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges," pp. 363-369, 2008.
- [6] R. Baheti and H. Gill, "Cyber-physical systems," *The impact of control technology*, vol. 12, pp. 161-166, 2011.
- [7] J. Brown, "The Global Product Design Benchmark Report -- Managing Complexity as Product Design Goes Global," Aberdeen Group2005.
- [8] J. Brown, "The PLM for Small to Medium-Size Manufacturers Benchmark Report - - Enabling Profitable Growth for SMEs," Aberdeen Group2006.
- [9] B. Ball, "Supply chain 2030: Consideration for the Future," Aberdeen Group2016.
- [10] H. A. Akkermans, P. Bogerd, E. Yücesan, and L. N. van Wassenhove, "The impact of ERP on supply chain management: Exploratory findings from a European Delphi study," *European Journal of Operational Research*, vol. 146, pp. 284-301, 2003.
- [11] R. Paquin, "Preparing Yourself for the Smart Connected Factory " Aberdeen Group2016.
- [12] J. Stark, *Product Lifecycle Management* vol. 1. Switzerland: Springer, 2015.
- [13] J. Stark, *Product Lifecycle Management: Paradigm for 21st Century Product Realisation* vol. 2. Switzerland: Springer, 2016.
- [14] F. Ameri and D. Dutta, "Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops," *Computer-Aided Design and Applications*, vol. 2, pp. 577-590, 2005.
- [15] M. Edl, "Educational Framework of Product Lifecycle Management Issues for Master and PhD Study Programmes," in *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2012, Rhodes, Greece, September 24-26*,

- 2012, *Revised Selected Papers, Part I*, C. Emmanouilidis, M. Taisch, and D. Kiritsis, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 614-621.
- [16] M. Eigner, M. von Hauff, and P. D. Schäfer, "Sustainable Product Lifecycle Management: A Lifecycle based Conception of Monitoring a Sustainable Product Development," in *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd - 4th, 2011*, J. Hesselbach and C. Herrmann, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 501-506.
- [17] D. Kiritsis, "Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things," *Computer-Aided Design*, vol. 43, pp. 479-501, 2011.
- [18] D. Kiritsis, A. Bufardi, and P. Xirouchakis, "Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 17, pp. 189-202, 2003.
- [19] H. Yang, Q. Su, S. Jing, S. Cheng, and M. He, "The Research of Product and Project-based Aerospace Product Lifecycle Management," in *Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge: New Manufacturing Techniques and their Role in Improving Enterprise Performance*, X.-T. Yan, C. Jiang, and B. Eynard, Eds., ed London: Springer London, 2008, pp. 131-136.
- [20] SIEMENS, "Teamcenter 9.1 Business Modeler IDE Guide," 2012.
- [21] SIEMENS, "Teamcenter's Service Oriented Architecture," 2010.
- [22] N. Maranzana, F. Segonds, F. Lesage, and J. Nelson, "Collaborative Design Tools: A Comparison between Free Software and PLM Solutions in Engineering Education," in *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises: IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, 2012, Revised Selected Papers*, L. Rivest, A. Bouras, and B. Louhichi, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 547-558.
- [23] P. Gandhi, "Product Lifecycle Management in Education: Key to Innovation in Engineering and Technology," in *Product Lifecycle Management for a Global Market: 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, Revised Selected Papers*, S. Fukuda, A. Bernard, B. Gurumoorthy, and A. Bouras, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 121-128.
- [24] E. A. Fielding, J. R. McCardle, B. Eynard, N. Hartman, and A. Fraser, "Product lifecycle management in design and engineering education: International perspectives," *Concurrent Engineering*, vol. 22, pp. 123-134, 2014.

- [25] P. Pernelle, J.-C. Marty, and T. Carron, "Serious Gaming: A New Way to Introduce Product Lifecycle Management," in *Workshop on Learning Technology for Education in Cloud (LTEC'12)*, L. Uden, E. S. Corchado Rodríguez, J. F. De Paz Santana, and F. De la Prieta, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 89-100.
- [26] P. Pernelle, T. Carron, S. Elkadiri, A. Bissay, and J.-C. Marty, "PLM Serious Game Approach Available Both for Change Management and Knowledge Assessment," in *Product Lifecycle Management for a Global Market: 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, Revised Selected Papers*, S. Fukuda, A. Bernard, B. Gurumoorthy, and A. Bouras, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 323-332.
- [27] J. Sauza Bedolla, G. D'Antonio, F. Segonds, and P. Chiabert, "PLM in Engineering Education: A Pilot Study for Insights on Actual and Future Trends," in *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future: 14th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2017, Seville, Spain, July 10-12, 2017, Revised Selected Papers*, J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, and S. Fougou, Eds., ed Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 277-284.
- [28] J. Sauza Bedolla, F. Ricci, J. Martinez Gomez, and P. Chiabert, "A Tool to Support PLM Teaching in Universities," in *Product Lifecycle Management for Society: 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings*, A. Bernard, L. Rivest, and D. Dutta, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 510-519.
- [29] S. Goto, O. Yoshie, S. Fujimura, and K. y. Tamaki, "Preliminary Study on Workshop Facilitation for IoT Innovation as Industry-University Collaboration PLM Program for Small and Medium Sized Enterprises," in *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future: 14th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2017, Seville, Spain, July 10-12, 2017, Revised Selected Papers*, J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, and S. Fougou, Eds., ed Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 285-296.
- [30] B. Fradl, A. Sohrweide, and F. Nyffenegger, "PLM in Education – The Escape from Boredom," in *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future: 14th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2017, Seville, Spain, July 10-12, 2017, Revised Selected Papers*, J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, and S. Fougou, Eds., ed Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 297-307.
- [31] 李坤崇, "成果導向的課程發展模式," *教育研究月刊*, vol. 186, pp. 39-58, 2009.
- [32] E. Crawley, J. Malmqvist, S. Ostlund, and D. Brodeur, "Rethinking engineering education," *The CDIO Approach*, vol. 302, pp. 60-62, 2007.

- [33] The CDIO INITIATIVE, "12 CDIO standards," ed, 2010.
- [34] 鄧鈞文, "成果導向教育革新及逢甲大學實踐經驗," *教育研究月刊*, vol. 201206, pp. 25-35, 2012.
- [35] 鄧鈞文, 林宜嫻, "從善意的眼到反思的心—透過教學觀察評分量表 (rubrics) 凝聚教師學習共同體," 論文發表於 [教育領導與學習共同體] 國際學術研討會. 臺北市, 淡江大學, 2013.
- [36] C.-W. Teng and C.-Y. Lee, "Planning and Implementation of a Talent Nurturing Mechanism with Knowledge-action Integration: Using the Experience of Feng Chia University in Promoting Course Streaming as an Example," *Jiaoyu Yanjiu Yuekan= Journal of Education Research*, p. 18, 2015.
- [37] 邱創乾, 許盈松, 鄧鈞文, "翻轉學習路徑—提供多元實習 落實學用合一," *評鑑雙月刊*, pp. 22-26, 2015.
- [38] C.-W. Teng, "The New Approach of Cultivate Talent: From Outcome-based Education to CDIO Engineering Education," *Jiaoyu Yanjiu Yuekan= Journal of Education Research*, p. 32, 2016.
- [39] J. Sauza Bedolla, J. Martinez Gomez, and P. Chiabert, "A Short Portable PLM Course," in *Product Lifecycle Management for a Global Market: 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014, Revised Selected Papers*, S. Fukuda, A. Bernard, B. Gurumoorthy, and A. Bouras, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 111-120.
- [40] Institute of Configuration Management, "CMII Standard for Enterprise Configuration Management," ed, 2016.

### 三. 附件(Appendix)

<b>課程意見調查表</b>					
對下列各題目，請在□打√表達你的同意程度	很 同 意	同 意	普 通	不 同 意	很 不 同 意
	1	2	3	4	5
<b>一、虛擬企業</b>					
1.本課程分組組成虛擬企業，讓學生了解公司運作	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.藉由分組讓學生了解公司每個職位工作取向	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.分組讓學生表達各自想法及聆聽不同意見	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.學生學習到上台闡述產品特型及功能	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.學生是否能各司其職	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.藉由分組了解產品變更所涉及的各種角色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.學生能夠了解企業的標準流程	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.學生透過虛擬企業更了解團隊合作	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.學生了解企業產品營利	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.學生了解企業人力資源運用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.學生了解企業產品物料表規劃	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.學生了解企業產品製程規劃	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>二、PLM 軟體</b>					
13.學生能了解工作流程	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.學生可以使用軟體分析實際案例	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.學生無法了解工作流程的變更	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.學生了解跨國企業產品設計及製造流程	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.學生了解各 BOM 的使用	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.學生能使用軟體設計 EBOM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>