

教育部教學實踐研究計畫成果報告(封面)

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：PMN107022

學門分類/Division：生技醫護

執行期間/Funding Period：自民國 107 年 8 月 1 日起至民國 108 年 7 月
31 日

(計畫名稱/Title of the Project) 設計思考整合動手實作之跨領域專案式學期課程:智慧醫療領域
/ Designing a project-based learning (PBL) course combined with design thinking concept and digital
fabrication skill (maker education) for smart healthcare

(配合課程名稱/Course Name) 生醫設計與實作/ Bio-Design and Implementation Course

計畫主持人(Principal Investigator)：陳冠宇

共同主持人(Co-Principal Investigator)：無

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：電機學院/生醫工程研究所

繳交報告日期(Report Submission Date)：2019/09/13

設計思考整合動手實作之跨領域專案式學期課程:智慧醫療領域/ Designing a project-based learning (PBL) course combined with design thinking concept and digital fabrication skill (maker education) for smart healthcare 報告內文(Content)(至少 3 頁)

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

高等教育生技醫療領域存在著學用落差的問題

目前就讀生技醫療領域的在學生與生技醫療產業脫軌，產業實習課程也多為提供公私機構參觀或邀請業界人士講座，極度缺乏將學校所學的知識及技能與產業及社會做連結的創新課程，造成學生並不了解產業現況，更無從發現產業目前正在面臨的問題，導致學生在學習知識技能的過程當中找不到與社會連結的學習動機，產業界也招募不到具備解決問題能力的跨領域創新人才。

智慧醫療領域-從學術研究到實作的落差

現階段交大已將資通電科技轉型導入生醫領域，近年來亦積極推動生醫資電聯盟計畫、籌建 BioICT 新大樓及推動智慧醫院，建立在既有資源下，推動 BioICT 的發展勢必能克服當前世界上許多待解之重要臨床問題，像是阿茲海默症、心血管疾病及癌症之精準診斷及治療。然而對於在推動「ICT-生醫工程-臨床應用」之整合過程中，我們觀察到學生雖然有許多生醫之創意發想，甚至在許多生醫設計競賽中屢獲佳績，但最終往往流於「發想」、「創意」及「我們未來預計要...」等階段，在學生畢業後這些發想也隨之沉寂。有鑑於此，我們希望藉由教學上的對策來解決當前問題，借鏡過往推動「Maker 教育」之創意實作成功經驗，導入智慧醫療領域之教學，也冀望能在教學實踐研究計畫支持下培育出多位優秀人才，從人才培育的角度維持及提升優勢領域。

申請人之教學實踐研究計畫主題為「設計思考整合動手實作之跨領域專案式創新產品開發課程規劃:智慧醫療領域」(PBL-D&T-Maker 教學方法)，透過以學習者為主體的翻轉教學方式，引導學生學習創新思考流程，培養學生具備獨立思考、動手實作、創新創意、溝通合作與解決問題等能力，此學期課程將帶領學生透過設計思考(Design thinking)流程，觀察分析現今生技/智慧醫療體系中的真實問題，並設計出具影響性及可行性之解決方案，且在課程中學習如何使用數位製造工具(3D 列印、雷射切割、Arduino 開發板等)，發揮 Maker 創客精神，將解決方案轉化為實體雛型(Prototype)，最後進入現實生技醫療體系中測試，進而帶動青年「智慧醫療」創新創業風氣。整體課程是以專案式學習法(Project-based learning)為課程設計核心，學生必須自行提出專案、設計專案、執行專案、檢驗專案、報告專案，專案式學習給予學生明確的學習目的，並在 Maker 動手實作的過程中，確實將自己所學應用於現實問題中，同時也學習到創造物品所需的數位加工技能工具，如 3D 列印技術、雷射切割/雕刻技術、Arduino 單晶片微控制器等。此研究計畫之目的為探討此課程設計是否能提升學生對生技/智慧醫療產業的產業熟悉度及加強跨領域學生之間的合作深度。

此計畫之目的為探討此課程設計是否能：1. 加強生技醫療領域學生之跨領域整合能力。2. 解決高等教育生技醫療領域學用落差的問題，讓學生與產業界接軌。3. 研發生技/智慧醫療領域創新實作學期示範課程，建立 SOP 標準流程，以利未來教案分享及複製。

2. 文獻探討(Literature Review)

請針對本教學實踐研究計畫主題進行國內外相關文獻、研究情況與發展或實作案例等之評析。

(1)專案式教學法(Project-based Learning)介紹：

專案式教學法和傳統教育單向式知識性傳輸截然不同，學生並不是安靜坐在教室裡聽課，而是必須親身體驗並動手實作解決真實世界中的問題(real-world problems)。根據 Barron, B.與 Darling-Hammond, L.教授在 2008 年的研究中(請參考文獻 5-1)指出專案式教學法通常具有以下特性：

- A. 學生必須學習與專案相關知識，並實際解決專案中的存在的問題。
- B. 學習者為主體，學生對於學習歷程的自主性高。
- C. 教師扮演的角色為「教練(Coach)」或「引導者(Facilitator)」，針對學生提出的疑問引導學生自己找到解答，或適時提供外部資源協助。
- D. 學生通常以組別為單位進行學習。

Barron, B.與 Darling-Hammond, L.教授也發現學生透過專案式教學法會產生學習動機、並對未知的知識產生疑惑、且對獲得的新知有判斷及修正的能力。除了知識層面外，學生在批判性思考、共同合作、溝通協調、論證能力、資料分析、挫折容忍力(resilience)等能力都有大幅提升。

Strobel, J.與 van Barneveld, A.教授於 2009 年的論文(請參考文獻 5-2)中統計 1993 至 2005 年 8 篇專案式教學法的研究論文(請參考文獻 5-3 至 5-10)，他們將 8 篇研究中的的研究指標統整歸納成以下量測指標：學習滿意度、短期知識記憶力、長期知識記憶力、案例分析能力、觀察力、口說表達能力等，我們從比較圖(圖 1)中可以發現 PBL 專案式教學法的學生在長期知識記憶、問題解決能力、溝通合作能力、學習積極度等學習表現都比傳統教學法來的好。

			STUDIES	1	2	3	4	5	6	7	8	Overall ES Trends	Favours	
NON-PERFORMANCE, NON-SKILL, and NON-KNOWLEDGE-BASED	Satisfaction	Student		+	+			+				+	PBL	
		Faculty		+	+							+		
	Residency	1 st choice				+						+		
KNOWLEDGE ASSESSMENT	Short-term	NBME 1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	Trad'l Learning	
		MCQ			-				-	-	-	-		
		ShortAns							+		+	+		
		Progress							-		-	-		
		Free Recall							+		-/+	+		
	Long-term	Retention		+					+		-/+	+		
PERFORMANCE or SKILL-BASED ASSESSMENT	Case Analysis	NBME 2		+	+	+	+		+		+	+	PBL	
		Sims							+		+	+		
		Case-based	Cases							+	+	+		+
			MEQ				+			+	+	+		+
			Essay							+		+		+

1 = Albanese & Mitchell (1993)

2 = Vernon & Blake (1993)

3 = Berkson (1993)

4 = Kalaian, Mullan, & Kasim (1999)

5 = Colliver (2000)

6 = Dochy, Segers, Van den Bossche, & Gijbels (2003)

7 = Newman (2003)

8 = Gijbels, Dochy, Van den Bossche, & Segers (2005)

	Observation	Rating										
MIXED KNOWLEDGE and SKILL	Oral											
	USMLE 3											

圖 1. (+)號代表教學效益偏好 PBL 專案式教學法，(-)號代表教學效益偏好傳統單向教學法。

(2)Maker 自造者教育(Maker Education)介紹：

Maker 自造者運動從 2006 開始已掀起一波被譽為第三次工業革命的浪潮，華爾街日報及 Wired《連線》雜誌編輯 Chris Anderson 在 2012 出版的《自造者時代-啟動人人製造的第三次工業革命》一書中提到：「自造者運動的寶貴契機在於：事業可以小規模又國際化，求工藝又求創新，高科技又低成本，小資成立又能成就大事。更重要的是，自造者將打造出全世界還不知道，但知道後會想要的產品。」(請參考文獻 5-11)，確實點出這波自造者運動將帶來高度多樣性的創新產品及新創公司，也會是一股不可抵擋的未來趨勢，因此面臨即將到來的第三次工業革命，如何訓練學生能具備自造者精神越發重要。

自造者運動當中最具代表的變革是「數位加工技術的應用」，由於開源(open source)硬體及軟體資源的普及，我們可以利用雷射切割機、3D 列印機、Arduino 開發板等工具製作實體物件，加速創意產品的開發速度，日本慶應義塾大學的田中浩也教授在《FabLife-衍生自數位製造的「製作技術的未來」》一書中寫下：「當數位工具機的個人化與製造技術的交換與分享開始兩軌並行，每個人都可以依照自己的個性、需求與願望來製作專題，而數位和桌上型製造技術就是讓這些人的個性與創造性產生強烈連結的技術之一，個人製造將促進製造業走向多種類、少產量的需求導向生產方式。」(請參考文獻 5-12)，由此可知數位加工技術將大幅提升創新產品的研發速度及產量，因此麻省理工大學媒體藝術科學所(Media Arts & Science)的 Neil Gershenfeld 教授設計一學期的課程《How to Make (Almost) Anything》，課程中學生將會學習自造者運動當中會使用到的數位加工技術如：CAD/CAM/CAE 建模軟體、NC 工具機、3D 列印機、水刀切割機、PCB 電路設計、3D 列印技術等，並要求學生在期末發表一項創新實體產品。

但是 Maker 教育除了數位加工技術的教學外，更重要的是 Maker 素養的培養，哈佛教育所(Harvard Graduate School of Education)在 2015 年執行的 Project Zero 白皮書當中提出 Maker 教育的新概念：Maker Empowerment(請參考文獻 5-13)，學生必須透過建造、修補或重新設計的過程中，培養出對物品或是系統的設計敏感性。意即學生在動手創作的歷程中才能確實深入了解整體系統或產品，並從中找尋問題，並養成願意親手改善問題的執行力。

(3)Design Thinking 設計思考介紹：

『設計思考』(Design Thinking)源自於全球頂尖的設計公司 IDEO，其創辦人 David Kelley 在擔任史丹佛大學設計學院(d.school)院長時，把過去幾十年來從設計角度思考解決問題的經驗，萃取成一門碩士級學程，建立起『設計思考』的學術地位；而 IDEO 的 CEO Tim Brown 也曾在哈佛商業評論(Harvard Business Review)提出最初衷的定義：「設計思考是以人為本的設計精神與方法，考慮人的需求、行為，也考量科技或商業的可行性。」而隨著設計意識及創新概念的抬頭，設計思考也成為了企業輔導及學校教育的方法主流之一。

根據 d.school 提出的設計思考的五大流程依序為：Empathy（同理心）、Define（需求定義）、Ideate（創意動腦）、Prototype（製作原型）、Test（實際測試）。（請參考文獻 5-14），從圖 2 中可以發現設計思考是一個不斷反覆驗證的開發流程，開發者必須以同理心找尋使用者的關鍵需求，並腦力激盪處多個解決方案，接著動手製作實驗雛型（Prototype），最使用雛型進行使用者驗證，通常在雛型製作或使用者驗證時就會遇到需要到前一步驟重新開始流程，設計思考的開發流程繁複，但其強調的重點在於如何把產品研發端和使用者/客戶端直接連結，避免開發出「沒人愛」的產品或服務。

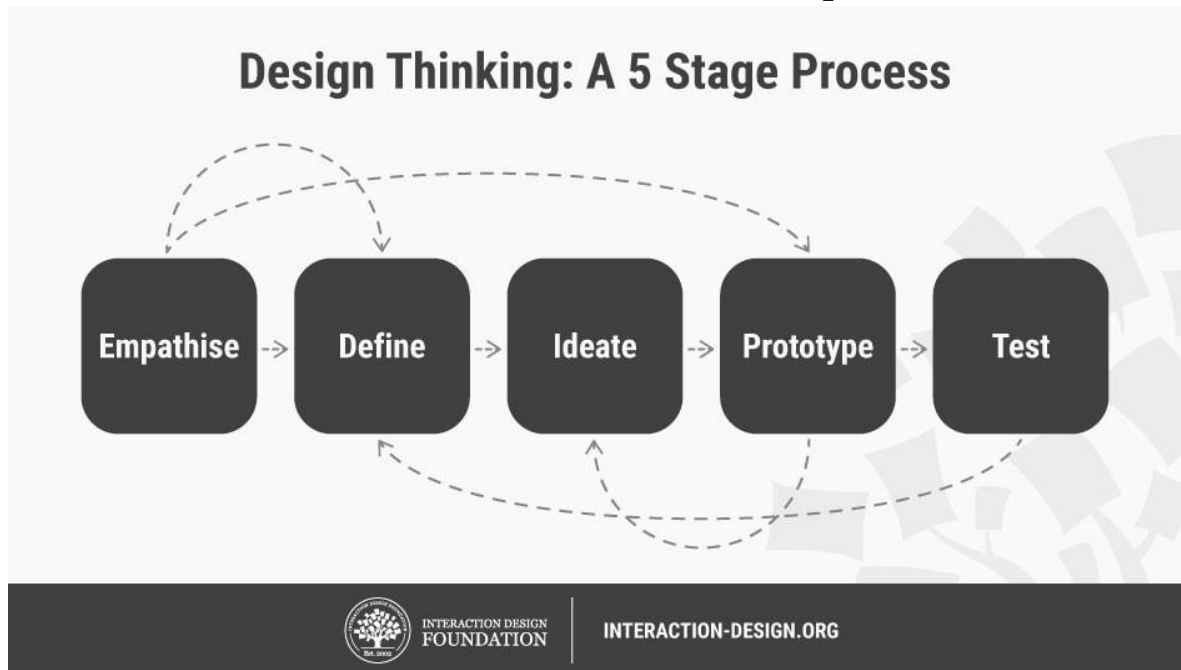


圖 2. 設計思考五大流程(請參考文獻 5-15)

英國設計委員會(The British Design Council)則是提出設計流程是經過兩次發散及收斂雙鑽石模型(Double Diamond Model)(圖 3)，第一次的腦力激盪是為了探索造成使用者困難的原因，接著進行第一次收斂，定義出具有影響力、市場性的關鍵問題。第三階段針對關鍵問題進行第二次的腦力激盪，讓創意點子相互碰撞，提出解決方案並製作雛型，經過使用者驗證雛型後，進行第二次收斂，決定最後的解決方案。

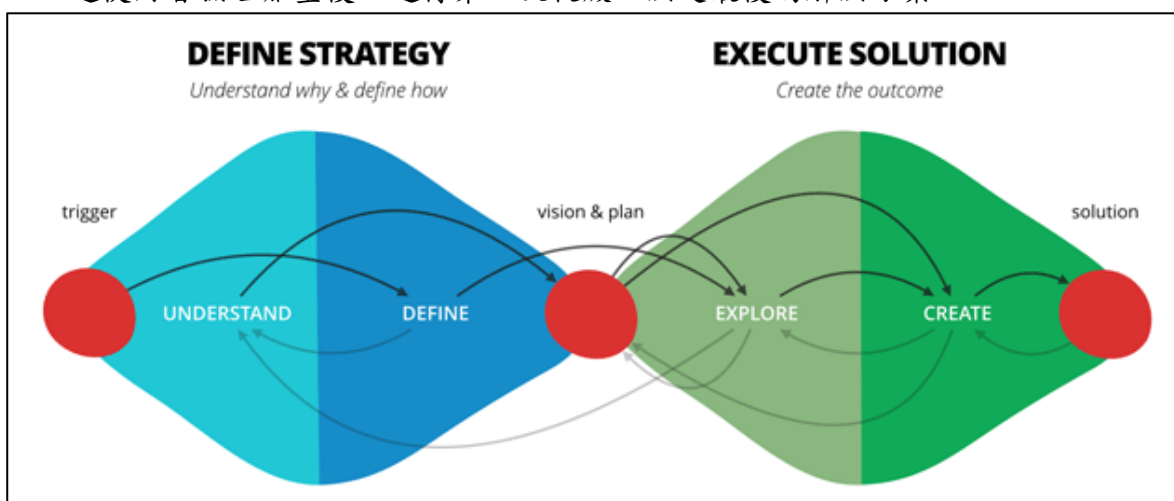


圖 3. 設計思考流程雙鑽石模型(請參考文獻 5-16)

3. 研究方法(Research Methodology)

(1)研究說明

有鑑於生技醫療領域之大學生/研究生缺乏跨領域整合能力及與產業出現學用落差等問題，為引導學生了解產業現況、設計及製造能應用於產業的創新產品，並提出產品研發計畫，最後於期末舉行成果發表會，邀請業界、使用者、學者蒞臨指導。申請人將於學期初及學期末進行問卷調查，取得前測、後測之量化數據，並於課程中取得學生期中提案報告、期末成果報告、學生互評報告、助教觀察紀錄、專家意見回饋等質化數據，在取得以上量化及質化數據後即可針對資料進行分析，驗證「設計思考整合動手實作之跨領域專案式學期課程:生技醫療領域」課程是否能夠「提升學生對生技/智慧醫療產業的產業熟悉度」及「加強跨領域學生之間的合作深度」。

為了提升計畫成效，本課程將與 WeSchool 維創教育股份有限公司進行合作，WeSchool 團隊致力於推動台灣「自造者運動(Maker Movement)」，於 2015 年 1 月在清華大學成立新竹首間創客空間(Maker Space)，為了更進一步將自造者運動推廣至一般民眾，WeSchool 分別在 2015 年、2016 年舉辦兩屆 Hsinchu Mini Maker Faire，此活動是台灣唯一取得國際授權的國際型自造者活動，新竹市林智堅市長也特地前來 2016 年的 Hsinchu Maker Faire 致詞鼓勵，此活動每年聚集 100 位 Maker、吸引近 8000 人次參觀，主題橫跨科技、藝術、農業等豐富內容。WeSchool 除了是台灣自造者運動重要推手外，也是亞洲第一個結合 PBL 主題式學習法與 Maker 創客學習法的教育品牌，WeSchool 帶領每位學生都能透過「動手實作的主題式學習」，有意識的學習知識技能，並找到學習熱情。

WeSchool 的加入將提供本計畫 Maker 課程資源的協助，如自造空間、數位加工設備、數位加工技術課程、數位加工技術諮詢、數位加工耗材來源、Maker 產業連結、Maker 社群宣傳效應等，緊密的合作，將擴大此課程對教育圈、自造者社群、生技醫療產業的影響力。

(2)研究步驟說明。

A.研究架構圖

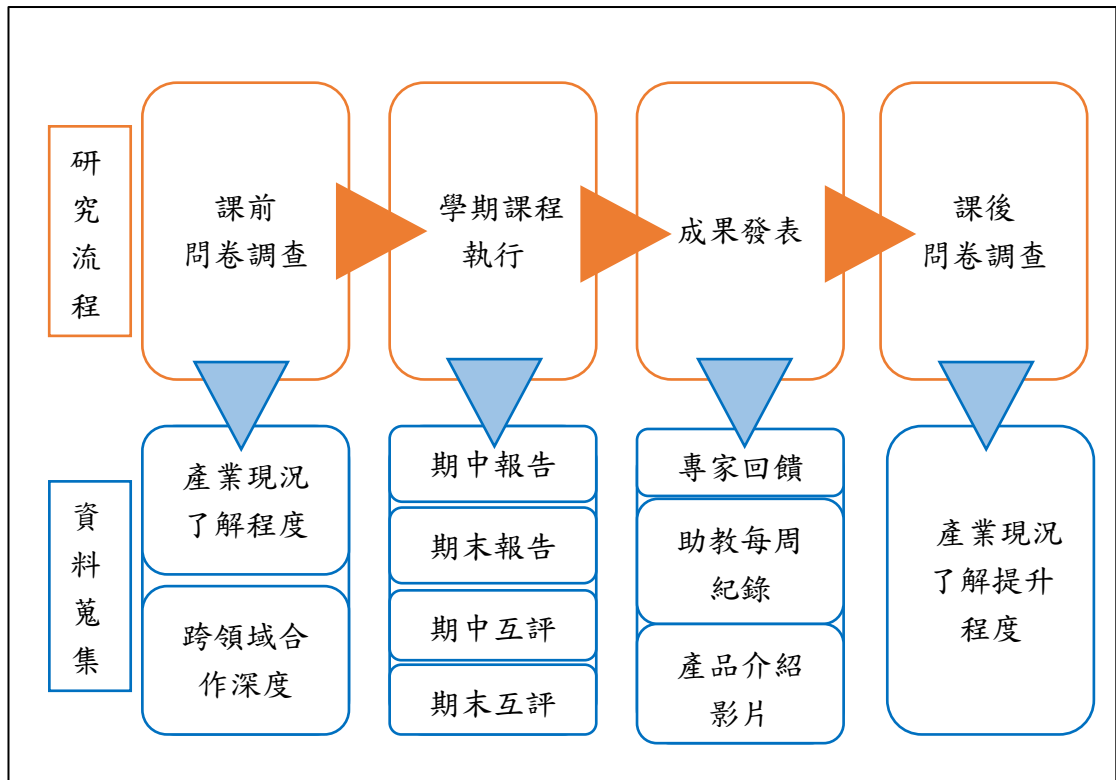


圖 4. 本計畫之研究架構圖

B.研究假設

我們假設學生對目前生技醫療產業現況了解程度不足，以及與不同領域的同學合作專案的經驗及深度都較少。而學生能透過一學期的專案式課程：1. 將深入了解產業現況並發現產業中存在的問題。2. 將學習從使用者調查、資料分析、腦力激盪、實作測試等創新產品設計流程。3. 將具備提出解決產業問題的解決方案的能力。4. 將具備與不同領域之專才溝通協調的專案整合能力。5. 將學習專案的所需的數位加工技術。6. 將學習完成專案所需的實作執行能力。

C.研究範圍

學期前半段透過設計思考概念，引導學生挖掘產業中現存問題，並提出具社會影響力及可行性的解決方案，學生必須學習如何訪談、資料蒐集、以創意思維(Creative Thinking)發想產品點子、以批判性思考(Critical Thinking)評估可行性；課程後半段進入實作技能學習及產品製作階段，將訓練學生分工合作及專案執行力。(課程概念如圖 5)。

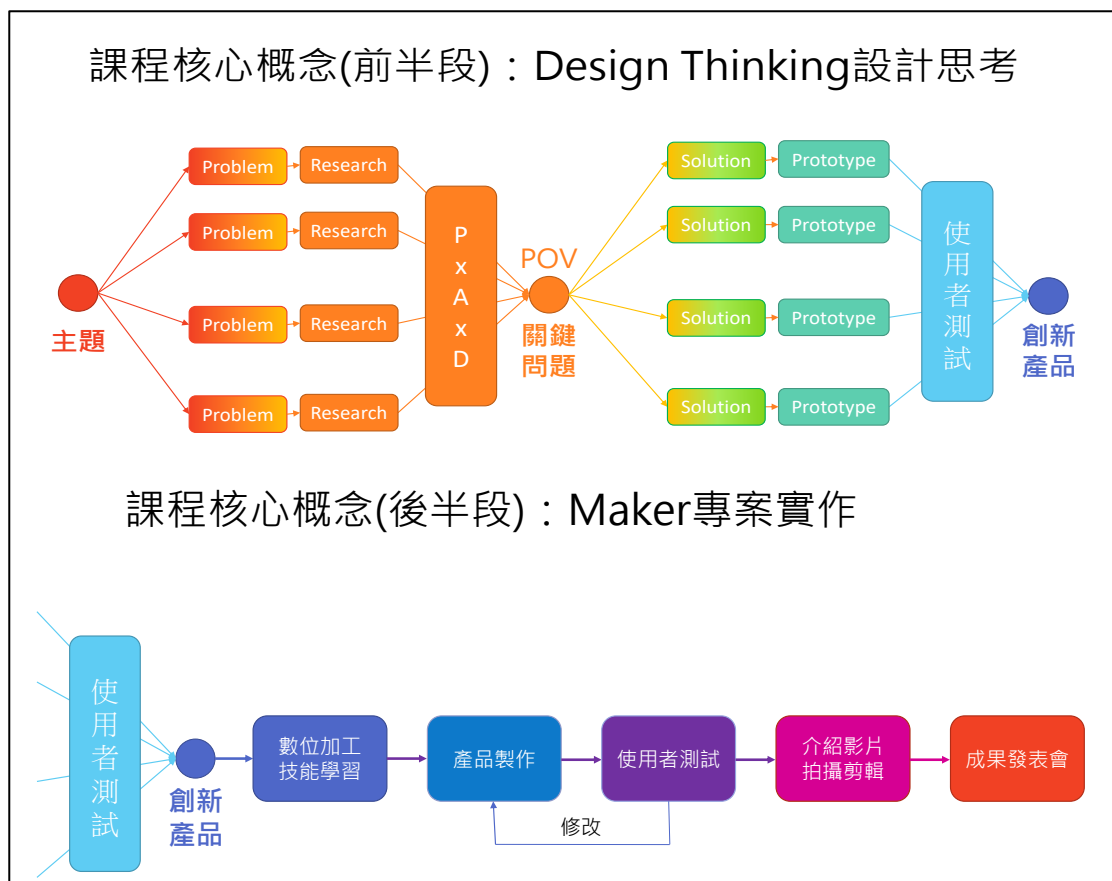


圖 5.課程核心概念及流程圖。

D.研究對象

以國立交通大學生醫工程研究所學生為主，並結合其他系所大四以上之學生，每班學生 50-60 位，4-6 位學生為 1 組，並維持每組學生的科系組成為 40% 生醫領域，60% 其他領域專長的學生組成。

E.研究方法及工具

在量化分析部分，我們將採取前後測之統計方法(Pre-test and Post-test)，課前取得學生對生技醫療領域產業現況熟悉度及跨領域合作深入度的問卷調查數據，並在學期末時進行第二次問卷調查，最後分析兩次問卷的進步分數(Gain scores)。在質化分析部分，學生必須在課堂中進行兩次報告及一次成果發表，學期中每周小組討論時，助教將觀察並記錄團隊討論中的學生參與狀況及學習歷程，：

F.實施程序

1. 期初問卷調查：

- 甲、調查學生在課程前對生技醫療產業的熟悉程度，包含產業架構、工作流程、專案結構、目標市場、市場中使用者形象等。
- 乙、調查學生在課程前的跨領域合作經驗及深度，包含跨領域合作經驗、合作次數、完成之合作專案數等。

2. 期中專題報告-檢驗學生對產業現況了解程度及提出解決方案之能力：期中報告的內容包含產業問題找尋、使用者分析、解決方案介紹、文獻回顧、製作成本估算、產品製作流程規劃、團隊分工狀況、產品預期效益等，此報告為模擬公司內部創新產品研發提案報告。
3. 期中學生互評報告：期中報告後進行學生互評，學生依照市場性、可行性、產業影響力、產品創新性等面向評論其他組別的創新產品報告，給予個人的實質建議並提交書面報告，同時學生必須以企業的角度分配預算至不同組並提出原因。
4. 成果發表會：邀請產業界、產品使用者及相關科系學者到場指導，並獲得產品使用回饋。
5. 期末專題報告及專題影片-檢驗學生專案完成能力及專案表達能力：期末報告的內容包含產品介紹、介紹影片、使用者測試回饋報告、預期效益達成度、改進報告。
6. 助教學習歷程紀錄：每周課程時助教必須從旁觀察學生學習狀況及合作習慣，記錄小組討論概況及每位學生在每周課程的討論參與度。
7. 期末問卷調查：再做一次期初問卷，檢驗學生對生技醫療產業的熟悉程度、跨領域合作深度是否有提升。
8. 期末學生互評報告：再次使用期中互評時採用的面向(市場性、可行性、產業影響力、產品創新性等)評論其他組別的創新產品成品，並以產業面角度給予其他組創新產品的未來發展可能性或改善建議，讓學生學習如何從產業角度去發展產品。最後學生再次以企業角度重新分配各組預算，並提出原因。
9. YouTube 網路平台分享教學成果：我們會將學生實作出之專案成品拍攝成影片，並於交大生醫所之臉書專頁中進行宣傳，並統計觀看次數，去年課程的成果影片已高達7萬人累計觀看人次。
10. 「設計思考整合動手實作之跨領域專案式學期課程」之課程流程。

此課程分組進行：4-6 人 1 組		
每堂課程結束前需與助教報告進度		
週	課程名稱	課程目的
1	課程介紹、數位工具介紹、課程前問卷調查	讓學生了解課程及能使用之工具
2	主題介紹+使用者分析	讓學生了解這次的主題及尋找目標使用者
3	決定參訪+行程/訪綱設計	學生設計參訪行程、訪綱設計、採訪演練
4	參訪行程 1 & 參訪行程 2	質化分析：觀察法+訪談法
5		與醫院醫師合作進入現場訪查。
6	Problem 發想	分享每個人的故事、問題發想時間、分類並投票出 3 個類別、設計 PAD 調查方法

7	Solution 發想及決定 Prototype 設計	發想 Solution，並依照可行性 1 人選出 2 個 Solution 進行 Prototype 設計(列出材料清單)
8	製作 Prototype I~III	使用簡單素材製作雛型，將概念實體化。
9	實地參訪	使用者測試雛型+決定 Solution
10	期中報告、期中學生互評	報告 Solution 及產品設計圖
11 12 13	技能學習+ Solution 實作時間	針對每個學生的 Solution 給予不同的技術： 3D 列印繪圖、雷射切割繪圖、Arduino 程式。
14	Solution 測試時間及介紹影片拍攝(實地測試)	學生帶創意產品至實地測試、獲得使用者回饋，並拍攝產品介紹影片
16	期末 Presentation	產品介紹、使用者測試回饋報告、預期效益達成度、改進報告。
17	成果發表會、課後問卷調查、期末學生互評	

表 1: 「設計思考整合動手實作之跨領域專案式學期課程」課程流程

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

配合本計畫開設之生醫設計與實作課程，此次課程也吸引超過超過 60 位來自 8 個不同系所學生的參與，並以改善日常生活品質、增加醫護工作效率、提升醫護品質及醫護輔助應用等四大主題概念為方向，八項任務目標，並於期末在交大交映樓之演講廳進行公開之成果發表。

這四項主題包含能改善日常生活品質的博士輪、增加醫護工作效率的智能醫材運輸系統、提升醫護品質的 E-手指、醫護輔助應用的藥櫃輔助系統……我們親身走入現今各大醫院調查，這些裝置都是為改善在現今醫療領域裡曾碰過的困擾，為使智慧醫療更有效率以及減緩病患、醫生以及護士的負擔，此課程藉由學生發想出未來可用在醫院便利的裝置，在申請人課程的學生只花半年就讓它成真了！學生從最貼近自身的課堂出發，並將發想實作出成果，簡列如下。

✚ 體能不好的物理治療師協助病人轉位時是一大困擾，「**博士輪**」利用自動摺疊輔助裝置輔助病人起身、分離式摺疊輪椅省去轉位時所需要的力氣以及手機遙控系統遙控移動輕鬆不費力。

✚ 為改善在醫院需要用到點滴的所有病患，因出入病房或上廁所都會造成不便、需要麻煩別人且點滴線容易絆倒病患，可使用「**點滴蛋營養**」使病患不再被舊式點滴架束縛，方便攜帶、客製化造型設計

✚ 當手術過程中所需器材不足時，護理師要即時往返耗材室及手術間，若是較為困難的手術，常常在護理師身心靈方面都感受極大壓力，「**Swifty**」智能醫材運輸系統可減少手術室人力、更快速準確的運送醫療耗材。

✚ 候診間病患等待時間過長，可能感到無聊、飢餓，且會交叉傳染，但又怕離開

候診間會過號，「**病人呼叫器**」用來通知每個有掛號的病人，顯示目前的看診進度，這樣可以在醫院任意處自由移動不怕過號了！

✚ 針對急診區的診間護士以及一般候診民眾，可以給予他們一個更方便以及減少衝突的溝通方式，「**醫療即時通**」以輸入病人資訊，透過即時通知訊息知會病患需到診。

✚ 為了防止病患在醫院診間中迷路，「**E-手指**」可提供看診相關資訊即可指引病患診療程序。

✚ 「**小白人驚魂夜**」使用重力感測器感測病患重量避免病患自行下床造成傷害，並通知醫護人員或床邊照護人。

✚ 「**藥櫃輔助系統**」用一款簡單的程式就能幫助藥師因疲勞導致開錯藥的疏失，降低失誤率、提升抓藥速率、降低工作壓力以及為病人健康安全把關。

✚ 「**Keep in touch 面紙盒**」用一款簡單的程式就能幫助病人與醫護人員溝通、解決問題。

總結來說，有些發明看起來有點無厘頭，但這正是課程要教給學生大膽想像、動手實踐的精神(實作成品請詳見圖 6)。

1. 博士輪



2. 藥櫃輔助系統



3. Swifty



4. E-手指



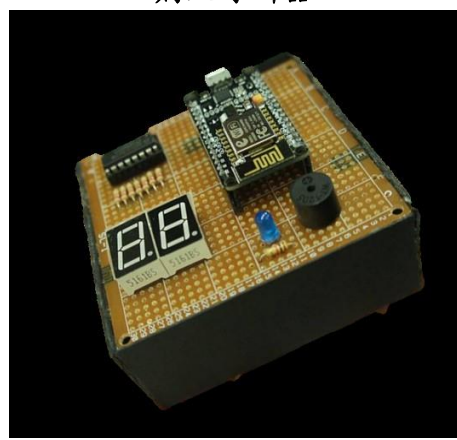
5. 醫療即時通



6. 點滴蛋營養



7. 病人呼叫器



8. 小白人驚魂夜



9. Keep in touch 面紙盒



圖 6. 學生於申請人之實作課程中發揮創意所時做出之成品，每組學生數約 4-6 人，皆為跨領域之背景組合。

本課程除了於交大交映樓進行公開之成果發表會外，也將學生實作出之9項成品分別拍攝成三分鐘內之影片，並於交大生醫所之臉書專頁中進行宣傳，影片在公開後僅一週內就創下高達3萬人次的總點閱率(圖7)，學生為此感受為之榮耀。第一屆成果發表會之內容後續也在交大友聲電子刊第501期中進行專訪(圖8)以及第二屆成果發表會皆順利發展成功(圖9)。

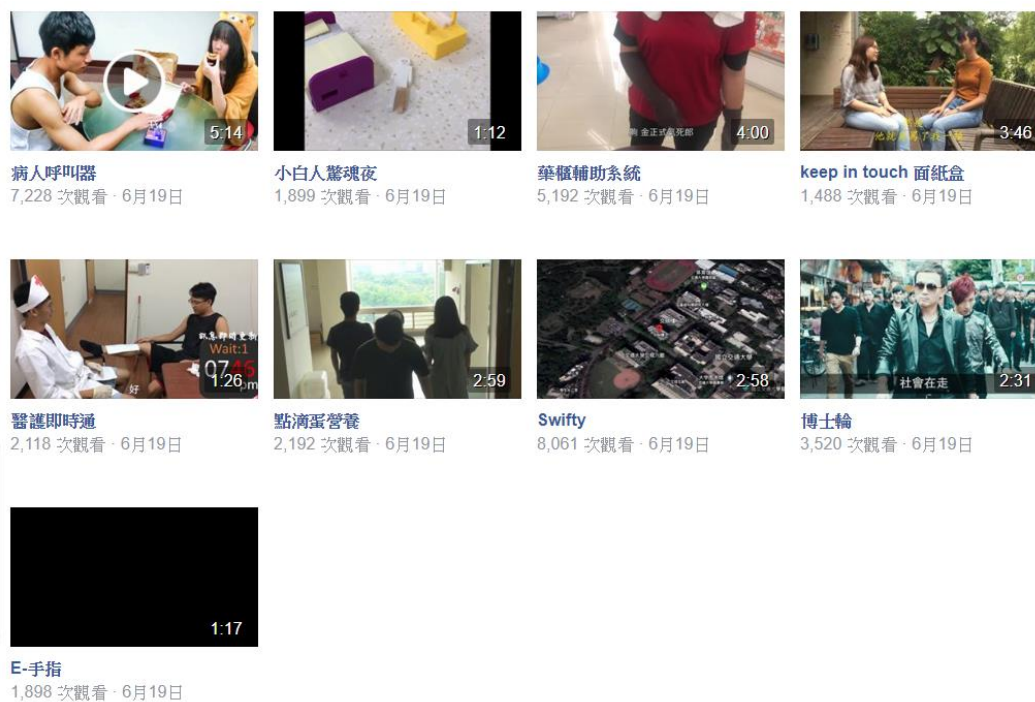


圖7. 學生實作出之9項成品拍攝成影片，並於交大生醫所之臉書專頁中進行宣傳，影片在當時僅一週內就有高達3萬人次的總點閱率。



圖 8. (A)第一屆成果發表會開始之前之致詞。(B)第一屆成果發表會圓滿落幕後師生之小組合照。(C)第一屆成果發表會圓滿落幕後之大合照，包含生醫所林顯豐所長及多位教師之參與。

(A)



(B)



圖 9. (A) 第二屆發表會圓滿落幕後師生之小組及工作人員合照。(B) 第二屆成果發表會圓滿落幕後之大合照，包含生醫所林顯豐所長及多位教師之參與。

一. 參考文獻(References)

- 5-1. Barron, B., & Darling-Hammond, L. (2008). Teaching for meaningful learning: A review of research on inquiry-based and cooperative learning
- 5-2. Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1). Available at: <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
- 5-3. Albanese, M. A., & Mitchell, S. (1993). Problem-based learning: A review of literature on its outcomes and implementation issues. *Academic Medicine*, 68, 52-81.
- 5-4. Vernon, D.T.A. & Blake, R.L. (1993). Does problem-based learning work? A meta-analysis of evaluative research. *Academic Medicine*. 68, 550-563.
- 5-5. Berkson, L. (1993). Problem-based Learning: Have the expectations been met? *Academic Medicine*, 68(10), S79-S88.
- 5-6. Kalaian, Hripsime A., Mullan, Patricia B., & Kasim, Rafa M. (1999). What can studies of problembased learning tell us? Synthesizing and modeling PBL effects on National Board of Medical Examination performance: Hierarchical Linear Modeling meta-analytic approach. *Advances in Health Sciences Education*, 4, 209-221.
- 5-7. Colliver, J. A. (2000). Effectiveness of problem-based learning curricula: *Research and theory*. *Academic Medicine*, 75(3), 259-266.
- 5-8. Dochy, Filip, Segers, Mien, Van den Bossche, Piet, & Gijbels, David (2003). Effects of problembased learning: a meta-analysis. *Learning and Instruction*, 13, 533–568.
- 5-9. Gijbels, David, Dochy, Filip, Van den Bossche, Piet, & Segers, Mien (2005). Effects of Problem-Based Learning: A Meta-Analysis from the Angle of Assessment. *Review of Educational Research*, 75(1), 27-61.
- 5-10. Newman, Mark(2003). Special Report 2: A pilot systematic review and meta-analysis on the effectiveness of Problem Based Learning. ITSN Learning and Teaching Support Network. Middlesex University, UK.
- 5-11. Anderson, C., *Makers: The New Industrial Revolution*, Crown Publishing Group, p.19, 2012.
- 5-12. Tanaka, H. *FabLife*, O'Reilly Japan, 2012.
- 5-13. Maker-Centered Learning And The Development Of Self: Preliminary Findings Of The Agency By Design Project. *A White Paper Presented By Agency By Design Project Zero, Harvard Graduate School Of Education*.
- 5-14. 圖片來源：<https://www.interaction-design.org/literature/article/5-stages-in-the-design-thinking-process>
- 5-15. 圖片來源：<https://www.thoughtworks.com/insights/blog/double-diamond>