

整合PBL及STEAM方法進行機器人 教具開發及教學實務研究

鄭瑞鴻* 劉玄堂**

摘要

本文主要整合PBL問題導向學習（problem-based learning），以及STEAM（science, technology, engineering, arts, and mathematics）多元跨領域教學方法，進行機器人教具產品開發及教學實務研究，將科學、科技、工程、藝術、數學予以整合，連結真實世界問題，協助學生思考，找出解決問題方案。設定使用者為喜愛動手研究組裝機器人初學者，及協助沒有經驗或非專業工程背景教師，應用紙機器人教具，教導學生從動手實作中，學習如何進行結構設計、電控設計、程式編程、藝術美學等課程活動內容。研究成果除驗證教具產品設計之外，在學習認知、學習興趣、及學習延伸等，都有顯著提升。本研究不單只是學術研究產物，而更具有市場價值。

關鍵詞：工程科學教育實作、多元跨領域學習、問題導向學習、產品設計、機電整合



DOI: 10.6870/JTPRHE.202306_7(1).0001

投稿日期：2021年10月12日，2022年5月5日修改完畢，2022年5月23日通過採用
本作品於「2021年大學教師優良創新課程及教學競賽」獲獎為特優

* 鄭瑞鴻，國立高雄科技大學模具工程系副教授，E-mail: rick.cheng@nkust.edu.tw

** 劉玄堂，國立高雄科技大學模具工程系碩士生

壹、前言

本研究以整合PBL問題導向學習（problem-based learning），以及STEAM（science, technology, engineering, arts, and mathematics）多元跨領域教學方法，進行機器人創新教學實務研究為主題，以PBL問題導向學習及STEAM跨學科領域的科學教育方法與精神，透由開發紙機器人教具產品設計為例，將科學、科技、工程、藝術、數學予以整合，連結真實世界問題，協助學生思考及研究，找出解決問題方案。在課程背景與動機方面，主要由於作者於相關機器人及機電整合課程教學現場，試圖解決以下問題，包括：(1) 解決學習動機，提升課程學習成效；(2) 改變教學方法，自行創新研發教材及教具；(3) 採取產學共教模式，改善學用落差；(4) 團隊激勵共學，模擬產業場域等。

一、解決學習動機，提升課程學習成效

現今在產業界，模具設計及生產製程，已經進步到智慧製造及機器人應用跨領域技術整合。但多數模具工程背景學生，礙於現實環境條件，無法了解所學用於何處，缺乏實際系統操作，以及觀察了解理論與實務的差異。亦少有動手做及動手學的樂趣，特別是與機器人相關的機電整合專業科目，以及程式寫作能力薄弱，導致學習動機及興趣不高。作者曾服務於產業界的上市櫃科技公司、及美商公司，任職高階研發工程主管20多年，本身為國立高雄工專模具工程科80年畢業（2014年獲選為傑出校友），三年前有感於目前臺灣技職的相關機電整合教育，包括：產品設計、機械／模具工程技術、自動化生產、智慧製造等方面，與企業所需相關技術人才的學用落差太大，認為有必要親自參與技職教育改革，翻轉傳統技職教學方式，因此在2018年從產業界回學校模具工程系任職。但從產業界回到學校授課過程中，發現學生對於相關機器人及機電整合專業科目，大都認為傳統上課內容古板或純理論，導致學生專注力低落、學習動機、或學習興趣不高等問題。進一步分析後，主要原因是學生不了解方面書本理論與產業實務應用的關連性，需要有業界經驗教師有效的引導、缺乏團隊合作機制、溝通及表達能力的訓練、

個人生涯規劃的不確性、以及不知未來進入職場如何實際應用所學知識等。因此，本研究透由開發紙機器人教具產品設計為例，解決學生的學習動機，提升課程學習成效。

二、改變教學方法，自行創新研發教材及教具

為解決學生在機器人及機電整合技術教育的學用落差，改善這種沒有目標的學習動機及方向等問題，本研究以開發紙機器人教具產品設計為例，及以科學教育實作研究為導向，將紙機器人教具產品設計開發，當成教學研究範例，教導學生與透由提升學生實務操作技能之專業能力為課程規劃核心。藉由此科學教育實作型成品設計製作研究，來強化本研究之規劃與推動。目前全球一些先進國家，對於發展國民科學素養，以及培育科技人才越來越重視。特別是具備科學、科技、工程、藝術與數學跨領域整合與實作，訓練學生進入職場的關鍵能力及素養，包括：溝通與合作、資訊應用、創造性與問題解決、自我認識與調控、學會如何學習、自我省思及社會參與等。故本研究採用近年來國內外大學課堂教學與學習有效教學策略之一的問題導向式學習方法（PBL），以及多元跨領域的STEAM教學（Sigit et al., 2022），結合科學、技術、工程、藝術，以及數學的跨學科教學方法，與動手做課程活動，透過相關課程內容設計，將五大領域的知識結合起來，補強不同學科間的隔閡，讓學生在不同的環境及專案活動中，以多重管道的知識來源解決問題，同時讓學生在數學邏輯的基礎下，藉由動手建構工程與呈現藝術美學，學習科學和技術的內涵。而且在跨學科領域的教學架構下，由於學生有不同個性、專長、背景等，故可以把重心放在特定議題上，不被侷限於某單一學科界線，學生可以適性練習用不同的觀點切入思考，在多元發展下培養出跨界溝通的能力，藉由主題式學習，與生活中有趣、富挑戰性的情境相結合，能夠點燃學生的好奇心與探究欲望。

本研究透由開發機器人教具產品設計，結合史丹佛大學PBL Lab的Fruchter與Lewis（2003）所提出的P5BL學習法（project, problem, product, process, people, P⁵ Based Learning），包括：計劃管理（project）、問題解決（problem）、產品開發（product）、產品設計

與製造過程（process）、組員（people）間的團隊合作，透由自學整合個別項目的新知與新技術，再深入進行機器人及機電整合概念與技術原理，模擬產業或生活上，各種問題解決活動，以提高學生團隊合作精神、增加跨領域學習能力、並改善學生的學習動機及學習興趣等問題，進而提升學生整體學習成效。同時配合科技部推動應用資訊科技，發展國家優勢及我國科學教育特色，透由科學教育實作型產品及系統研發，與科學教育實作中，提升學生學習品質，並培養各類科學教育實作型成品的設計研發人才。藉由本研究STEAM教育訓練成果，也能夠培養複合型創新人才，成為提升國家科技競爭力和創新人才培養的關鍵因素。因此，未來也能進階設計開發小型教學設備機臺，使其具備智慧化功能，成為提供全面解決方案的智慧型製造生產設施之資源整合。提升傳統製造產業進展到「智慧化」、「智動化」生產線的新境界，增加科技產業國際競爭力。為真實模擬機器人及機電整合所面臨的問題，將教師自行開發紙機器人教具產品，設計PBL課程教案，以及實作課程分組合作機制，協助學生整合控制板，及各種感測器套件，配合程式編寫（coding）教學寫作，進行不同任務目標的機器人及機電整合應用，及充分發揮學生想像力及創造力，說明如下：

1. 讓學生親自動手組裝，訓練觀察力與空間轉換的能力。
2. 讓學生親自撰寫程式，訓練專注力與邏輯思考的能力。
3. 讓學生親自實際測試，訓練驗證力與問題解決的能力。

三、採取產學共教模式，改善學用落差

本研究主要目的是為解決學生在機電整合教育的學用落差，改善這種沒有目標的學習動機及方向等問題。由於企業需要不同應用類型人才，在此目標的教育模式，必須強化學校與產業、科研單位等人才培養。因此，亦透過業師協同或結合產學合作等做中學的課程規劃，培養學生將所學知識轉化為實務技能之能力，提升學生實務應用的專業技能或就業準備度，以減少學用落差。除了課程傳授專業知識，更直接引進實際經驗和有實務能力為主的實務業師，從企業角度來教導學生未來進入職場應有的態度及職能，能在就學期間，提前準備。此外，學校與產

業界透過密切的合作關係，可彼此資源研發能量共享，讓學界協助企業界解決創新之需求，亦讓企業界協助學校提供實習場所給學生，進而建立良好夥伴關係，以達到雙贏為目標。

課程安排採取適性分組方式，鼓勵學生自我思考，透由即時操演練習，並配合業師協同教學來進行。在進行過程中搭配業師共同教學與產業接軌，強調以PBL及STEAM教學模式，調整機器人及機電整合的工程科學教育實作內容，且課程設計能夠模擬企業所面臨的實際問題，藉此培養學生應用機器人及機電整合技術之能力。在完成每週學習任務目標及課程內容後，最後進行小組成果發表，透過360度及業師共同評量，來達到PBL及STEAM教學目的。除強化學生的本職學能之外，更可培育跨領域專業人才，與相關產業接軌及建立互動機制。領域創新教學方法及課程內容，透由技術實作進行科教實作產品或系統研發，提升學生STEAM跨領域素養，更可解決學生與產業需求人才的學用落差、培養產業需求人才與產業接軌、提升學生之產業問題探就及問題解決能力，以及激發學生創造力等，來改善傳統教學式未具趣味性、啟發性，或沒有目標的學習動機及方向等問題。而且經過上述課程規劃後，學生可透由機器人及機電整合實作技能課程的成果，從產品設計、機電整合、樣品製作、模具設計、智慧製造、產品檢測、品質管理、產品包裝、到品牌行銷等，模擬產業界一條龍類產線模式，與企業產學合作無縫接軌。提升傳統製造產業進展到智慧化、自動化生產線的新境界，增加科技產業國際競爭力。

四、團隊激勵共學，模擬產業場域

由於企業需要不同應用類型人才，在此目標的教育模式，必須強化學校與產業、科研單位等人才培養。除了課程傳授專業知識，更直接引進實際經驗和有實務能力為主的實務業師，從企業角度來教導學生未來進入職場應有的態度及職能，使其能在就學期間，提前準備。協助學生將PBL專題製作過程與產業實際問題解析結合，當成學習目標。此外，學校與產業界透過密切的合作關係，可彼此資源研發能量共享，讓學界協助企業界解決創新之需求，亦讓企業界協助學校提供實習場所給學

生，進而建立良好夥伴關係，達到雙贏為目標。

本研究透由提高團隊合作精神、增加跨領域學習能力、來改善學生的學習動機及學習興趣等問題，更有助於提升課程進行長期的教學實踐，進而提升學生整體學習成效。特別是從產學合作培育模式中，同時建立類師資培訓模式，與業師共同訓練學生當助教及課輔小老師。另外，透過實作課程分組合作機制，運用自行開發紙機器人教具產品，培訓學生發揮創意，整合機電系統控制板，及各種感測器套件，再配合程式編程教學寫作，充分發揮學生想像力及創造力。而且團隊由學生輪流擔任組長及組員，分派工作包括：組織任務（組長與組員）、問題解析（團隊合作）、設計及可行性評估（電路及零件組裝）、程式撰寫及測試驗證（程式除錯），來模擬企業實際各專案所需的專案經理（PM）、產品工程師、機構工程師、電控工程師、程式設計師、製程工程師、品保工程師、行銷工程師等職位。

貳、教材設計理念及理論基礎

一、PBL問題導向學習，與STEAM多元跨領域教學

現今工程科學教育工作者和政策制定者越來越強調，國家經濟發展需要跨領域技術性人才。但在目前技職人力及能力不足下，如何增加真正從事技職工作的學生人數，並提升本質學能，是迫切需要解決的問題。對學生來說，透由模擬職場體驗，了解各項職務所需的專業技能，來學習未來謀職能力，能夠增加學習的興趣及動機。而對於跨領域整合性的技職教育來說，是一項相當複雜的活動，需要不斷進行多項決策，並在執行預先計劃的規定任務時，採取各種回應行動。但目前在教育界，急須各種STEAM教育，為學生提供體驗現實世界中，學習各種科學、技術、工程、藝術和數學的機會。LaForce等人（2017）認為可以透由PBL問題導向，及STEAM教學活動，來整合科學、技術、工程、藝術和數學等跨領域學習，以及使用精心設計的觀察評量工具，來評估教學成效。而Stearns等人（2012）以及S. Han等人（2015）也同樣認為，對於原本表現不佳的學生，透過整合PBL及STEAM學習後，學習成效明顯

高於原本表現良好的學生，能夠縮小整體學習表現的差距。對於教學實踐研究來說，特別有意義。Asghar（2012）則提到重點仍在於聚焦如何讓學生了解問題，透由跨領域及專業技術學習，應用此概念來實解決現實生活中問題的可行解決方案。Mong與Ertmer（2013）也認為藉由PBL及STEAM方法，以學生為中心的課程教學方法，透由積極追求解決現實世界的問題，更被認為是國家的科學和經濟發展關鍵，以及存在極大的發展潛力。

二、產學合作共教模式，減少學用落差

Tamaki等人（2015）、Hong等人（2017）、Szücs（2018）以及Nomakuchi與Takahashi（2015）都認為無論從學術單位、企業界或是政府的角度來看，架構三軌合作提供各自的資源，能夠提高該國經濟競爭力，創造出三贏的局面，這樣的成功案例常常發生在務實的技職教育與產學合作。政府若能積極擔任合作的夥伴角色，加強科技立法，更能促進技職教育與產業研發成果轉化，推動和激勵企業發展。S. S. Han與Yim（2018）、Seo等人（2016）以及Bao等人（2016）也提到如從研發成果到人才培訓來看，大學透過與產業之間資源的投入與互動，能夠帶動區域發展。因此，各國政府也紛紛制定相關政策給予支持，提供各種誘因，加以規劃落實再造方案。這是相當具體而可行的做法，亦是衡量績效的指標。Franco與Haase（2015）、Bae等人（2015）以及Shen等人（2018）則認為透由整合教師的教學研究及產業服務，二種不同價值活動，落實價值創造，致使產官學研合作的風氣，在世界各地盛行，也能使教育、學術、及技術研發成果有效移轉，提升學生學習成果，來協助企業提升競爭力。Hartmann與Germain（2015）、Hehenberger等人（2016）以及Koller與Ricardez-Sandoval（2017）提到在智慧製造及機電整合的技職教育中，產品整合設計被定義為：產品從一開始的原料，到成品的過程中，甚至最後到消費者手中經過如此多的階段，設計者必須能夠清楚知道每個階段、每個流程，公司生產供應的原料，甚至的使用原料商、良率、生產日、交貨日等都能夠相當清楚，更甚者，能有效提供革新式創新能力。Liu等人（2016）、Naghizadeh等人（2017）以

及Nguyen與Martin（2015）則認為在整體產品設計創新中，需要的是選擇、歸納和有效的整合。具機電整合的產品整合設計，是一種新時代的設計理念，越來越受到學術界及企業界的重視，這也是企業專案產品創新設計的重要模式之一。Shou等人（2017）與Tao等人（2017）特別強調具機電整合的產品整合設計，可以整合不同資源，包括：企業組織、設計創新、加工製造、價值提升、與產品行銷等，結合產品設計發展背景，面對不同的產品設計需求，能提供增加學生在學期間與產業實務的磨合，提升學生學職興趣，以及本身的核心競爭能力。

三、機器人創新教學及實務應用

在機器人技術融入教育領域方面，為配合未來科技及技術發展人才培育，結合STEAM教育將機器人產品運用於教育中，能激發學生對於學習科技領域興趣。但許多現有昂貴的教育機器人教具產品成為廣泛使用的障礙，如果能透由一種簡單低成本機器人教具產品開發，適合從小學或中學階段開始，就可以輕鬆地進行入門編程編寫和機器人教學。Rubenstein等人（2015）認為以開源硬件及免費軟體，如果將每個機器人造價降到約為10~35美元左右時，則可使每個學生擁有自己的機器人成為可能，也能透由各種感測器套件，擴充成不同型式等應用，同時仍包含可進行各種活動的豐富傳感器套件。同樣的，Arvin等人（2019）則認為將機器人課程導入在高等教育科學與工程教學中，可發揮重要作用，因為它提供靈活平臺，能讓學生探索和學習機械、電子、和軟體等機電整合廣泛主題。學習運用機器人來解決生活日常中所遭遇到的問題，可促進學生思維往多方向發展、跨領域體驗不同的事物發想更多創意思想、增強學生動手做的實務能力以及學習製作與控制機器人。

López-Rodríguez與Cuesta（2016）也提到利用Arduino這種低成本控制板及感測器等零組件架構的機器人，在技術學習方面，透由結合機械機構原理、電路感測器元件、電腦程式邏輯編寫及人工智慧等技術，可以培養學生多方向能力，包括：學習理解機器人的發展與應用，了解理論概念及運作原理。學習感測器的作用並編寫控制程序，提高學生分析和解決問題能力；透過組別分工合作完成機器人製作，培養團隊

默契及增進人際關係；藉由機器人競賽完成任務目標，觀摩更多不同種類做法；將機器人的應用實際運用在生活當中，讓生活更加便利。Belk（2016）提到機器人分成各種不同種類廣泛運用在教育、工廠生產、餐廳服務等各種領域，用來協助或取代人類完成各式各樣的工作，依照不相同的需求、工作對象、移動方式，延伸出許多不同種類機器人，分別依照產業類型分成以下幾個種類，包括：(1) 工業型機器人可協助執行具有高度危險性作業、高重複性及極精密動作，主要目的為製造產品生產，借助機器人快速、準確等特性，加快生產速度與提高產品品質；(2) 教育型機器人可培育學生透過機器人學習科技技術層面各種知識，包括：機構設計、電路控制、程式編輯、人工智慧等，以實務的方式激發學生學習興趣；(3) 服務型機器人則直接對消費人群提供服務，該機器人需對周遭環境有較高的感測及辨別能力，需進一步自我判斷及執行相對應的行動，又稱作智能機器人；(4) 農用型機器人可協助農民在廣大的農田中，種植、施肥、澆水等植物種植作業，並監控農作物生長狀況，在畜牧方面運用智能化系統監視動物健康狀態。因此，機器人教育開始在中小學校環境逐漸發展，許多學校創立機器人社團、執行機器人相關體驗活動、設立機器人中心及積極鼓勵學生參與機器人競賽等。

Karim等人（2015）也提到，如果要導入中小學校中，仍有以下幾項問題待解決：(1) 在經費缺乏導致採購機器人教具數量不足方面，例如機器人零組套件、電路感測元件、主控制板等零件等，相當昂貴。單隻高階可作複製動作的機器人價格都在萬元以上。因此，許多學校沒有足夠資金能夠採購充足機器人教具來用於課堂教學；(2) 在缺乏課程規劃及課程教材方面，機器人依照教學對象年級層不同，所用的教學內容難易度，也需要進行調整，但教師常無完善教學教材能夠進行教學；(3) 在授課師資缺乏方面，許多學校老師專業技能非機械及電機背景，也沒有足夠能力可以再多方面研究機器人，並規劃課程內容為學生講解，導致缺乏專業師資問題。

特別是隨著時代及科技的多元和廣泛的發展，學生的學習方式及來源很多，反而會失去學習焦點。而且各國文化不同，如何結合在地元素以啟發學生的多方面學習，值得深入探討。但不可諱言，一旦陷入資訊繁多的困境中，學習具機電整合的產品設計，也同樣會遭遇相同問題。

因此，在產品設計創新中，需要的是選擇、歸納和有效的整合，協助學生從各面向的學習中，找到有興趣發展的方向，例如：**PBL**的問題解析方法、**STEAM**課程的相關科學（science）、技術（technology）、工程（engineering）、藝術（arts）和數學（mathematics）等，訓練學生親自動手作、進行系統規劃、分工合作進行組裝及測試，到最後的成果發表等技能。在經過此訓練後，未來學生能夠應用所學等機電整合技能，來快速進行創新構想發展，透由動手實作過程中，來開發新技術和產品，成為未來致勝的關鍵。這種機電整合技職教育的學習方式，對於未來進入企業界，從事產品整合設計工作時，將有利於批量生產的可行性評估，成為持續發展要素關鍵及優勢。因此，藉由本機器人教具產品設計、及科學教育實作研究成果，更將成為學生進入工業4.0的第一步，讓學校教師利用**PBL**及**STEAM**教學模式，培養學生具有跨領域專業技能。由此可知，以整合**PBL**及**STEAM**方法，來提升機電整合技術教育，將會有很大的教學成效。如再接軌產學合作實施，技職教育會較一般普通教育更為務實，創造產官學三贏局面。

參、課程設計及教材研發

本教學實務研究在教學設計與規劃說明方面，以國立高雄科技大學模具工程系五專生為對象，從「機器人學與應用」課程中，進行多元學習、及參與多款機器人教具產品開發。配合學生先前學習過的計算機概論、機器人學及應用、微機電系統、智慧製造專題實務等課程，所規劃的教學目標、教學方法、成績考核方式、各週課程進度、學習成效評量工具等，如下說明：

一、教學目標

本研究主要整合**PBL**問題導向學習，以及**STEAM**多元跨領域教學方法，以開發紙機器人教具產品設計為例，進行教育科學實作課程研究。因為科學玩具能夠刺激學生對於科學、數學或空間概念的理解，若越能貼近學生的真實世界，更有助於學生的科學學習，及提升機電整

合技術教育變革成效。藉此讓學生完成從產品設計及機電整合的各種基礎訓練，解決學生在機電整合教育的學用落差，及改善這種沒有目標的學習動機及方向等問題。更可透由業師協同或結合產學合作等做中學的課程規劃，培養學生將所學知識轉化為實務技能之能力，提升學生實務應用的專業技能或就業準備度，以減少學用落差。本教學目標主要透由PBL及STEAM教學方式，以產業實際問題當成目標，透由學習機器人及各種機電整合所需的各項控制版、感測器、自動化零組件等進行IoT應用、了解APP程式撰寫架構，以及開發產品設計、生產設備、工具機與手持式裝置之互聯機制，期以能有效應用IoT技術於製造產業，達到工業4.0智慧化機械製造之目的，並利用多元跨學科領域教學模式過程，培養學生將知識學習與技術應用能力進行整合之教學創新。

本課程強調模擬企業所面臨的實際問題，透過產學合作共教模式，培養學生應用機電整合技術觀念，及實際撰寫程式，內容包括：從環境建置（課程融入場域模擬：國立高雄科技大學模具工程系的產品整合設計暨試量產研發中心：<https://youtu.be/nZVTyYbDWDU>）、搭配產學合作課程與實作調整、建立類師資培訓模式（訓練學生當助教及課輔小老師），與產業接軌建立產學合作培育模式。透過跨領域創新教學方法及課程內容，透由技術實作進行科教實作產品或系統研發，不僅可提升學生STEAM跨領域素養，以達到學習產品設計、生產設備、工具機與手持式裝置之資訊互聯之目的，更可解決學生與產業需求人才的學用落差，以及培養產業需求人才與產業接軌，提升學生針對產業問題探就、及問題解決能力，激發學生創造力等，來改善傳統教學式未具趣味性、啟發性，或沒有目標的學習動機及方向等問題。

二、教學方法

本研究主要目的是為解決學生與產業界在機器人及機電整合教育之學用落差，並改善這種沒有目標的學習動機及方向等問題。課程之安排係採取適性分組方式，鼓勵學生自我思考，透由即時操演練習，並配合業師協同教學來進行資料蒐集與分析。在透過業師協同或結合產學合作等做中學的課程規劃中，培養學生將所學知識轉化為實務技

能之能力，提升學生實務應用的專業技能或就業準備度，以減少學用落差。在教學創新方法方面，作者曾連續三年榮獲教學創新方法的優良PBL課程傑出獎，包括：(1) 計算機概論：創新課程教學成果，榮獲107年第一學期教學創新獎勵；(2) 機器人學及應用：創新課程教學成果，榮獲107學年第二學期教學創新優良PBL課程傑出獎（<https://youtu.be/qG73DmhxpY>）；(3) 微機電系統概論：創新課程教學成果，榮獲108學年第二學期教學創新優良PBL課程優良獎（<https://youtu.be/0pYETK2TMZQ>）；(4) 智慧製造專題實作：榮獲109學年第一學期教學創新優良PBL課程優良獎（<https://youtu.be/HAMOb9YQ9fw>）。2020年更獲選為國立高雄科技大學菁英教師殊榮，主要創新教學方法係整合PBL及STEAM方法進行機器人創新教學實務研究的課程架構，並納入STEAM多元跨領域學習內容，包括：S（science）：AI人工智慧、T（technology）：通訊、E（engineering）：機構與電控、A（arts）：外形/設計、以及M（mathematics）：程式編程邏輯，如圖1說明：

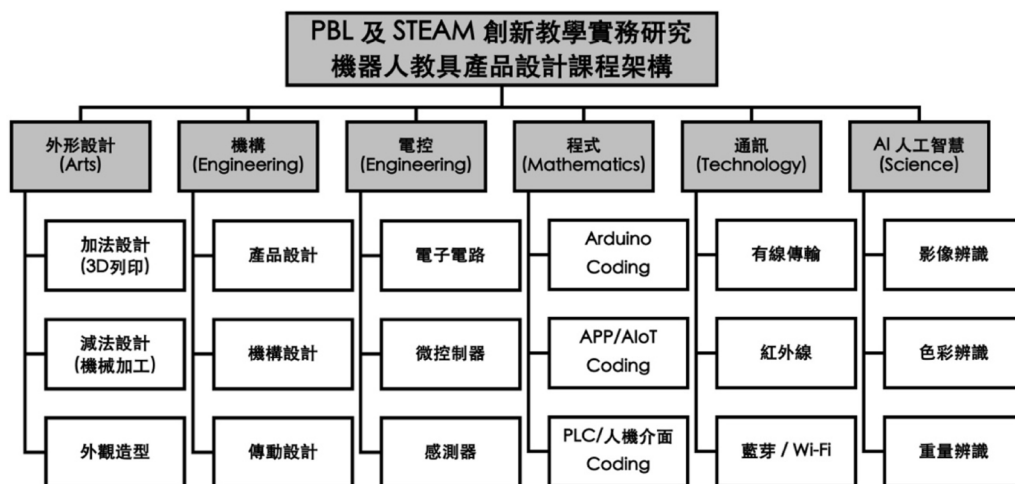


圖1 整合PBL及STEAM方法進行機器人創新教學實務研究的課程架構

三、各週課程進度

本研究之機器人學與應用課程開在五專部，主要是以五專生（高中程度）為目標，課程會依不同程度之學生以及其特性，進行深入或減化調整。本文中所提到的大學生，是參與課程的助教、或是有興趣的大學生，主要是協助五專生進行課程。大學生可從課程中再深入探討進一步的學習及課程設計，例如程式改寫、DIY零組件改裝等，也從協助教學中，依學生不同程度背景，再減化課程學習深度，陪伴及協助國中小學生進行課程活動。為了從基礎概念引導、到進階實作應用，啟發學生結合理論與實作練習，導入產業實務的跨領域教學模式，課程流程依不同程度之學生學習狀況進行規劃，如圖2所示。課程學習的第一階段，主要介紹在機器人及機電整合實務中的各種產品設計、控制設備開發的機電整合原理及應用，包括：基本電學概念、機電整合技術、交直流電、電磁效應、電動機、發電機、馬達控制、邏輯控制等課程，使學生了解基礎機器人及機電整合相關知識及技術如何應用於產品設計，及半／全自動化夾治具／設備等。第二階段，則是透由分組方式，以Arduino/ESP8266/ESP32控制板、各種感測器、馬達、及電子零組件等，學習電路設計、程式編程寫作、與進行測試及修正。每週課程的第一節課為進行各種感測器、馬達、及電子零組件的基礎原理教學及應用說明，第二節課則透由範例製作練習電子零組件組裝，以及APP程式寫作編譯及除錯。最後，教師依當週學習的重點，模擬產業界實務中可能會面臨的問題，讓學生依照所學的內容，分組討論問題定義、解析解決方案、分工合作進行電路設計、組裝，以及變化APP程式內容，並進行整合性測試以及小組成果發表，以達到PBL及STEAM教學目的。有關規劃機器人及機電整合實作課程學習內容，茲舉幾個教學參考範例，說明如下：

1. LED基本應用設計：透由LED燈之開或關及其時間變化，當成PBL問題改善點，進行生活方面的設計應用，來開發LED顯示、多彩LED照明的APP、及電腦控制與顯示等例如：交通號誌的單閃黃／紅燈、平交道的雙閃紅燈、路口的紅綠燈變化、以及多燈不同顏色的廣告燈組合等新教材。在產業應用方面，開發例如設備或機臺之單閃黃燈（待機模式）、長亮綠燈（正常運行）、長亮紅燈（緊急或停試狀

態)、機臺雙閃紅／黃燈警示、不同紅綠黃燈變化組合以呈現不同機臺的使用狀況等，當成STEAM教材及課程內容。

2. 蜂鳴器進階設計應用：透由利用不同聲音頻率及時間參數，當成PBL問題改善點，開發例如單音或立體聲的各種電話／門鈴聲、設備或機臺的動作或警示音等，當成STEAM教材及課程內容。

3. 超音波整合設計應用：透由超音波結合蜂鳴器的設計整合應用方面，當成PBL問題改善點，開發例如倒車雷達、車輛行進時的防追撞警示系統等，當成STEAM教材及課程內容。

4. 紅外線進階設計應用：透由利用不同編碼參數，當成PBL問題改善點，開發例如使用紅外線搖控器來操作各種產品、設備、機臺等，當成STEAM教材及課程內容。

5. 馬達控制整合設計應用：透由搖桿結合馬達的設計整合應用，當成PBL問題改善點，開發例如模擬機臺加／減速、前進／後退的變化方向、上坡或平面駕駛情境等，當成STEAM教材及課程內容。

6. 無線通訊及物聯網應用：透由物聯網及無線通訊應用（IoT & Wireless Applications）結合APP的設計整合應用，當成PBL問題改善點，開發例如以手機或行動裝置控制各種電氣產品或機臺設備，未來可望進階成為智慧家庭或智慧工廠等，當成STEAM教材及課程內容。

課程流程圖

從基礎概念引導、到進階實作應用，啟發學生結合理論與實作練習，導入產業實務的跨領域教學模式

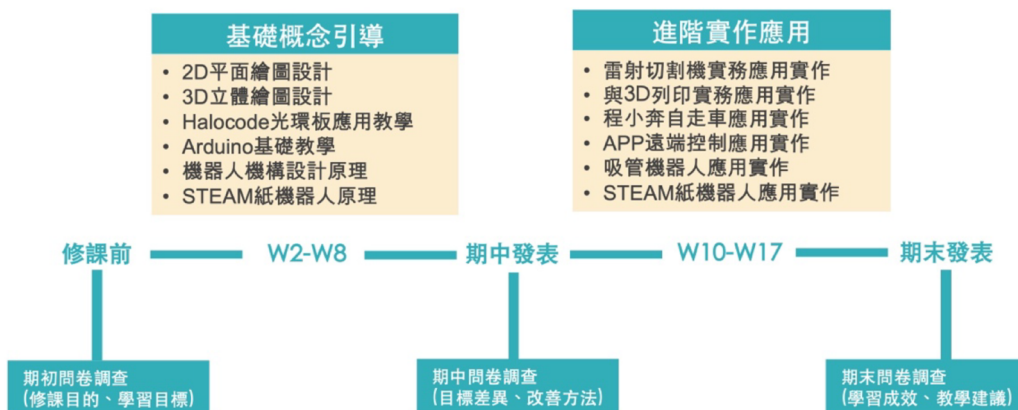


圖2 課程流程圖

四、學習成效評量工具

本研究之評量方式分成量化及質性評量。量化評量包括：學業學習成效、主動學習動機、學習態度與興趣、問題解決能力等面向，進行學習前後測評量，再加以比較分析；質性評量則包括學生深度訪談，做為教學成效衡量指標之一。由於本課程主要採取360度評量方式，透過學生自我評量、小組成員的同儕評量、其他組的評量等，教師再考量學生整體學習成效後，做出最客觀之評量成績。而且各小組成員在學習過程中，也要進行思考與反思，彼此給予行動建議。透過小組成員的溝通互動模式，在同儕互評的調節過程中，亦將影響到學生客觀的學習動機，特別是在小組成員被分派工作任務後，每位學生對自我工作勝任感也會提升。透過多維度評量方式，教師對於各組所提出的問題解析對策，就其在創意度及執行度方面的學習成果提出建議，而非純數字成績。

因此，修課學生在選課開始時，除要求每週填寫心得及建議之作業外，更要求填寫課程學習三階段（期初、期中、及期末）的課程問卷調查表（圖3），讓學生思考學習動機並設定學習目標，包括：為什麼要來修實作課程？希望在這堂課學習到甚麼？是否有信心在學期結束時完成預設目標？在學期中、以及學期結束後，再來檢測是否達成？自我分析說明未達成目標原因，以及如何應用PBL與STEAM方法來解決未來的學習問題。課程規劃在期中考前，教導基本機器人及機電整合理論及應用範例；在期中考之後，則是以PBL問題導向及STEAM跨領域學習的教學方式，進行分組實作及練習。在完成每週學習任務目標及課程內容後，期末進行小組成果發表，並透過360度及業師共同評量，以達到PBL及STEAM教學目的。除強化學生的本職學能之外，更可培育跨領域專業人才，與相關產業接軌及建立互動機制。成績考核方式，包括：出席狀況及學習態度占20%，期中考試占20%，各週作業及心得發表占30%，期末專題發表占30%。本課程成績考核設計，主要為360度評量方式，透過學生自我評量、小組成員的同儕評量、其他組的評量等，教師再考量學生整體學習成效後，做出最客觀的評量成績。

Figure 3 displays three screenshots of the PBL course evaluation forms for Robotics and Application. The forms are titled "機器人學與應用PBL課程-期初問卷調查", "機器人學與應用PBL課程-期中問卷調查", and "機器人學與應用PBL課程-期末問卷調查". Each form contains sections for "在學課程前" (Before the course), "在學課程中" (During the course), and "在學課程後" (After the course), with various questions and checkboxes for student feedback.

Figure 3 課程期初、期中及期末課程問卷調查表（以機器人學與應用PBL課程為例）

圖3 課程期初、期中及期末課程問卷調查表（以機器人學與應用PBL課程為例）

本PBL教學課程的學生學習成果，必須包括：

1. 結果呈現方式：各組團隊成員依每週所分工進行各項任務指派，包括：機器人及機電整合實作的各種微機電系統控制板、感測器套件設計組裝、APP程式編程寫作、系統性能測試及實驗紀錄（拍照、攝影）等，予以記錄、分享、報告及發表等。

2. 流程改造及創意商品化模式：每週實驗完都要交作業，透由各組在期中及期末的發表過程中，其他小組可以回饋不同的看法及建議，包括微機電系統設計實作測試創意、報告及簡報檔製作、小組成員上臺發表準備程度、發表口說技巧、臺風等，彼此學習觀摩，累積多元化不同面向的思考模式，以增進後續思考的廣度及深度等。

而參與的學生從上述機器人及機電整合實作PBL教學，以及在執行各週課程進度中，將可學得問題定義、解析、執行，以及資料蒐集、分析和歸納等能力，說明如下：

1. 參與學生從STEAM教學中，可學得跨領域知識與技術，了解自己性向所長，適性發展，增加學習興趣及學習成效。

2. 參與學生透由教師及業師的引導，可學得正確的職場態度、相關技術能力、以及團隊合作與發表能力等。

3. 參與學生從各種感測器之理論與實務學習中，可獲得機器人及機電整合技術，以及相關知識與開發經驗，更可學習應用手動或搖控方式，進行機械操控與感測技術。

4. 參與學生可學得企業的產品整合設計暨試量產標準流程，進行智慧化創新產品開發之相關知識與開發經驗。

5. 參與學生透由360度多面向評量方式，包括：學生的自我評量、小組成員的同儕評量、其他組的評量等，以及教師再考量學生整體學習成效後，能夠得到最客觀評量成績，並透由執行度與創意度屬性地圖，呈現出學生作品屬性及學生成效（圖4）：

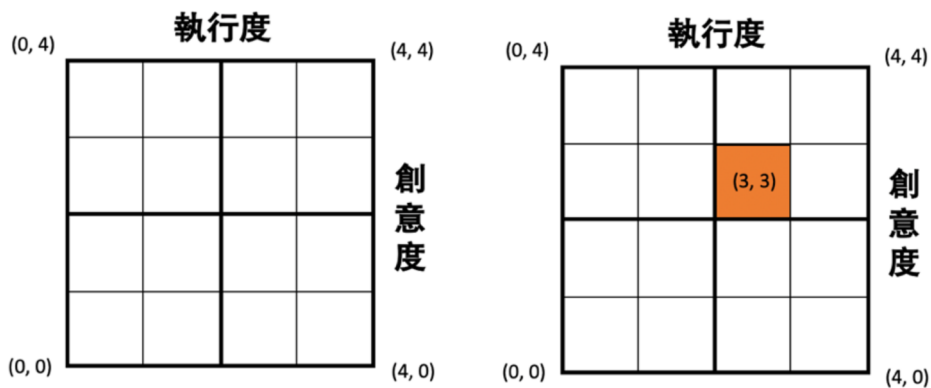


圖4 執行度與創意度屬性地圖

此外，PBL & STEAM機器人及機電整合實作課程，為適性發展學生專長，將學習力指標設為6個向度，包括：外形（設計）、機構、電控、程式、通訊、人工智慧的難易度變化進行命題（如圖4所示），以培養學生邏輯思考與動手做的學習能力，強調學生動手實作的多元化學習成效評量。在定性評量方面：透過雷達圖診斷，協助學生進行生涯探索，診斷學習歷程成效。在定量評量方面：則以期末作品發表評分表之數據值進行診斷，提供學生往多元性（廣度）學習、或往專注性（深度）學習，以及對未來生涯適性發展之參考，亦可做為產業界人才培育與招募評估依據。而透由產學合作共同教學，依產業需求調整課程及學習內容，除可快速且精準地與產業接軌，更可以解決學用落差等問題。

在圖5左側評分表主要以定性評量，來呈現學生作品的學習力6向度指標屬性，而右側評分表，則是用來量化評量團隊的整體學習表現。

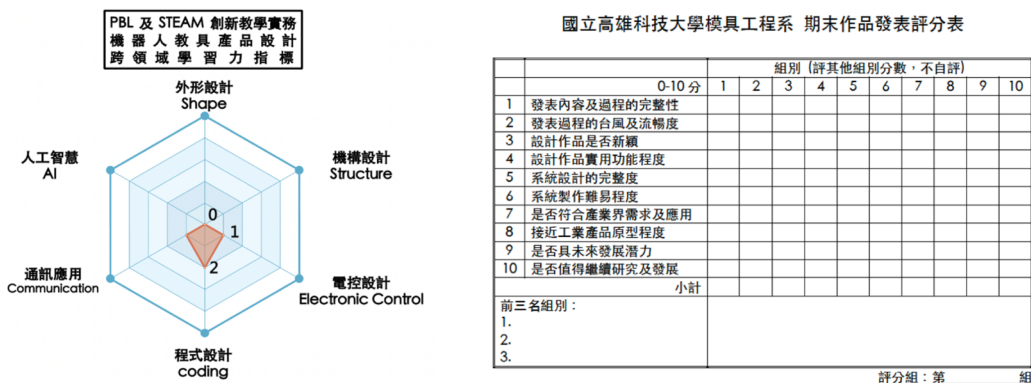


圖5 實作課程學習力指標6向度

肆、紙機器人教具產品設計開發

一、相關機器人教具產品研究

(一) 常見市售機器人教具產品

本研究藉由PBL問題導向學習，以及STEAM多元跨領域的科學教育方法與精神，以紙機器人作為教具實例，將科學、科技、工程、藝術、數學予以整合，連結真實世界中的問題，協助學生思考及研究，找出解決問題的方案。老師可利用紙機器人教具，教導學生從動手實作中，學習如何運用機器人以進行結構設計、電控設計、程式編程、藝術美學等課程活動內容，並透由實體教具及科學書籍商品化成果，對外進行市場銷售。在與產業鏈結方面，透由舉辦各種成果發表分享或競賽活動，傳承給無經驗研究者，協助將創新開發成果向外推展，增進專利申請及授權談判經驗，或促成學校採購推廣，來達成產學合作雙贏的正向影響力。在市場定位方面，目前學校課程大都採用現成市售機器人教具，例如9453自走車、mBot、程小奔、Lego EV3等標準型機器人，各廠商的差異性不大，而這些機器人的價錢都過於昂貴，售價大約在1,500~25,000元不等。這些教具產品的問題在於除課程內容過於制式、樣板化、可

變化性不大之外，因為大多是由國外廠商設計生產製造（mBot、程小奔），較少是國內廠商自己開發，教材購置成本過高（Lego EV3），導致採購教材數量不足，不易推展到每一位學生身上以增加練習機會。

（二）產學合作廠商紙機器人教具產品分析

分析完常見市售機器人教具產品問題之後，接下來與產學合作廠商（睿揚創新科技）討論如何針對其現有紙機器人教具產品進行分析，從中找出問題點，並進行新版本紙機器人教具產品的設計開發。從產學合作廠商的產品中，發現有幾項缺點，說明如下：

1. 整體外觀造型複雜，太多造型細節，對於學生而言製作難度較高（圖6）。
2. 現有紙模型產品接合方式，採用黏合及扣合方式，容易鬆散導致零件掉落。
3. 內部用紙模結構，不易固定馬達組裝，因結構強度不足，運作時容易偏移（圖7）。
4. 紙機器人教具產品整體重心在身體及頭部，在運作時很容易傾倒。
5. 其主控制板及感測器，放置在頭部位置，無明確的線路規劃，不易固定組裝。
6. 在頭部空間的光敏感測器、避障感測器、及光源模組等，採用黏貼方式，零組件位置很容易偏移，導致數值干擾（圖8）。



圖6 合作廠商紙機器人

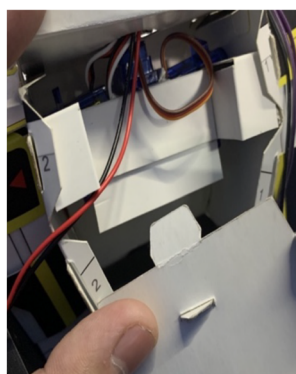


圖7 內部紙結構強度不足

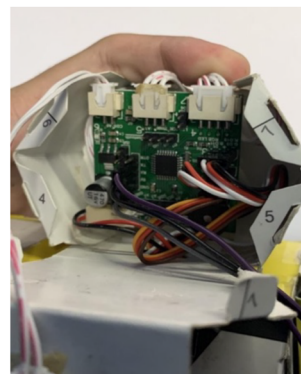


圖8 頭部線路放置

完成紙機器人之問題分析後，接下來以PBL問題導向模式，進行問題定義，再利用STEAM多元跨領域方法，進行提出各種問題的解決方案加以改善，並透由DFM與DFA易組裝製造的設計方法（design for manufacturing and design for assembly），進行本研究的紙機器人教具產品設計目標，說明如下：

1. 此紙模型產品結構，利用不同尺寸簡易幾何立體，來設計紙機器人各部位尺寸，並簡化組裝方式。
2. 強化紙機器人內部結構強度，易於組裝固定馬達、感測器等元件，使電路模組位置不隨意偏移。
3. 規劃整體紙機器人元件重心平衡，以及電路控制板、導線、相關電子零組件擺設位置。
4. 配置明確各電路元件線路位置及組裝順序，以利於學生安裝及測試。
5. 強化紙模型接合方式，全改為相互扣合尺寸方式，防止各部位鬆散。

（三）紙機器人教具產品設計目標及規格

在分析了市售及合作廠商的產品問題後，為改善上述問題，作者使用較簡易取得的材料，進行本土自有機器人教具產品開發之研究。透由使用低成本的結構材料，如紙材、木材、薄型鋁材、碳纖維複合材料等，俾利學生自己設計及加工製作。本研究開發的紙機器人教具產品設計，設定學生為喜愛動手研究組裝機器人的初學者，以及協助沒有經驗、非專業工程背景的教師將機器人作為機電整合科學教育的上課教材，可快速學習上手。本產品與現有市售品進行市場區隔，預計售價訂在800元以下，主要目標在於利用紙材質當作機器人的外部造型及內部結構，減少製造成本，吸引更多使用者能用低價來學習機器人，研究各項作動模式、程式設計、外觀設計等，以降低學習機器人門檻。如圖11所示，本研究將先以紙材設計機器人的初步結構，並結合Arduino單晶片主控板，及模組化積木排列的方法，來編寫機器人程式，控制LED光線、馬達轉動角度等動作，培養學生程式撰寫的邏輯思維，以及了解程

式與動作之間的關係，使機器人能夠做出不一樣的動作型態，並能夠與人交流互動。本研究規劃先以人型及輪型機器人作為整體構造的基礎，紙張表面採用UV噴墨技術，使墨水附著在紙面上有2.5D立體的效果呈現，學生可自行設計不同的造型圖案，讓每一組的機器人有不一樣的樣式。除此之外，本研究亦提供空白模板的機器人基本造型款式，讓學生以自造者（**maker**）的創造精神，將腦海中的機器人造型設計及繪製出來，培養學生具有設計、製造、程式、美感等多種能力。在教材開發成果方面，未來可規劃出教科書及科學教具套件模式；在包裝設計內容方面，紙包裝盒前頁直接印刷紙機器人組裝說明，及相關基本原理技術，後頁內容則設計置紙機器人身體結構展開圖及電子相關元件說明等。透由寓教於樂的遊戲過程中，改變教條式的教育方式，以翻轉知識傳授模式。

二、紙機器人教具產品設計開發流程

從上述紙機器人系統架構圖說明，先進行紙機器人結構規劃（圖9）、電路控制板規劃設計後（圖10），再利用不同性質紙材（種類、紙張磅數等），進行機器人結構雛型試作（**prototyping**）。有了初步的機器人尺寸規劃後，開始著手每一部件的細節設計尺寸，並利用雷射切割機或手工切割，進行紙材及木板模型打樣，並結合控制電路板與零組件組裝的測試。接下來模擬使用者在組裝過程中，可能會遇到那些尺寸或組裝等問題，進行調整修正後，做出完整的紙模型機器人。在調整紙機器所有配合尺寸、強度等設計細節後，則可進行2D圖面展開，及機器人外觀彩繪構思，確認外形樣貌及整體結構。因考慮到紙機器人製作成本，先挑選出基本款機器人所需的功能，初步設定紙機器人形式具有足部結構，內置電池盒，足部不會移動；設置3個伺服馬達，來驅動機器人的雙手前擺、或後擺，以及機器人頭部能夠轉動，並搭配聲音及燈光效果，學生可利用範例程式寫作，變更參數內容，使機器人具有變化多端的動作，再透由3個按鍵式按鈕，來設定驅動機器人作動，及自訂義編譯機器人組合動作。由初步的測試結果，確認此方法是可行的。

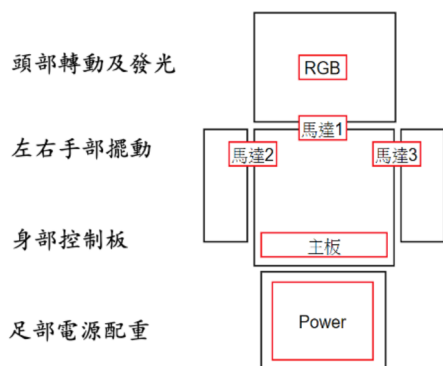


圖9 紙機器人結構規劃

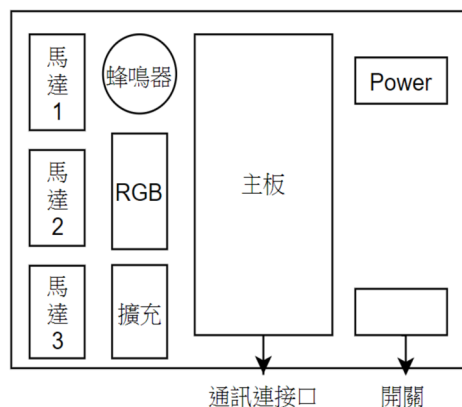


圖10 控制板規劃設計

本研究之紙機器人教具產品設計的開發流程包括：紙機器人結構設計、外觀設計、電路及程式設計、包裝設計、以及導入科學教育實作等。

1. 結構設計：收集紙機器人相關資料進行初步結構設計，利用3D建模軟體設計紙機器人結構進行2D圖面展開，以及依結構設計選定不同性質的紙材。

2. 外觀設計：設定基本結構圖後，可依不同任務需求，設計不同部件或圖案，利用機器噴塗列印或手工彩繪，讓紙機器人在基本外形下，產出更多款式變化。

3. 電路及程式設計：由於採用紙材，因此在配置紙機器人電路設計、電線接法、及相關零組件擺放位置等，須作配重及平衡分析，再針對這些馬達、感測器等應用，進行編寫紙機器人的移動、聲音、光源等效果程式設計，並進行整體機器人控制測試，是否正常運作，以及進行程式編程修正。

4. 包裝設計：完成紙機器人產品的設計開發後，運用環保紙材加以包裝設計。為減化製作操作使用說明書，亦可直接印在紙包裝盒上，達到綠色環保設計的教育理念。

5. 科學教育實作：透由科學教育實作課程的規劃，將此科學教具產品設計予以商品化，並與合作廠商討論出版教科書及教材／教具，以及規劃相關學習活動，將經驗分享給更多學校教師，來教導學生依此模式進行DIY，期能從玩的過程中，達到PBL及STEAM的寓教於樂目標。

伍、紙機器人教具產品測試驗證

一、產品概念試作：紙機器人教具產品初步概念設計及打樣測試

（一）紙機器人教具產品初步概念設計及尺寸限制

在紙機器人教具產品概念設計及樣品製作方面，先收集類似機器人教具之產品資訊，在成本考慮下，限制整體尺寸擬定規格。在外觀紙模型整體尺寸限制規劃方面，對於紙機器人教具產品的外部結構之材質，以學生容易取得的紙模型，做為製作機器人的基本訓練。因為紙材具可塑性且容易加工，模型造型能夠進行多元變化設計，建置初步3D立體圖面，構形出初步外型及內部架構後，利用簡易幾何立體圖形不同尺寸比例長方體、與正方體來組成頭部、身體、足部、及手部等，再從3D立體建模軟體中模擬機器人頭部及手部轉動空間（圖11）。然後再繪製設計2D平面展開圖，並將2D展開圖限制在一張A4紙張大小空間內（圖12），並討論製作材質、整體運作的功能等需求。

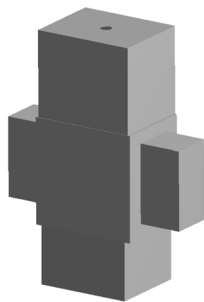


圖11 建置初步3D立體圖面

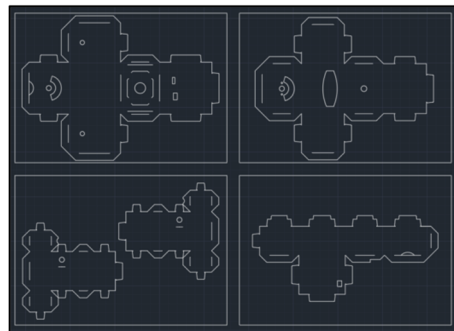


圖12 繪製2D平面展開圖

（二）結構設計

首先用AutoCAD平面繪圖軟體設計外部紙模造型及內部木結構模型，並繪製各部位公差配合尺寸、規劃佈置各模型在圖面上的擺放位置

之後，匯出至Illustrator平面繪圖軟體，進而繪製各零件編號、說明文字及LOGO圖面等，最後輸出到Laserbox雷射軟體，擺放模型在圖面上的切割位置，並調整功率及速度參數，分析切割路徑傳輸至雷射切割機之後，進行切割。在紙機器人教具產品的內部結構設計製作過程中，讓學生嘗試運用三種不同材質及加工方式進行設計，包括：1. 不同紙材及磅數紙模，彎折成立體內部結構（圖13）；2. 運用3D列印方式印製PLA塑膠材質，當成內部結構模型（圖14）；3. 移用雷射切割椴木板材質，透由平面片狀零件，組裝成立體內部結構（圖15）。在紙結構方面，紙模立體結構使用不同磅數紙張所彎折成的立體結構，無法用螺絲鎖附方式，來確實固定電子元件，而且在安裝過程當中，很容易位置偏移、或往內部坍塌，組裝複雜程度也困難許多。在3D列印結構方面，PLA塑膠立體結構與片狀木板立體組裝結構，均有穩固強度能夠支撐機器人內部，且能夠以螺絲鎖附方式，固定電子元件結構，但是木板立體組裝結構的好處在於尚未組裝狀態前，能以平面攤平狀態進行包裝，會比PLA塑膠立體結構節省包裝及收納空間，而且加工技術簡易且成本低廉，較符合本產品的開發需求。因此，本研究採用雷射切割椴木板結構設計方式，以簡易幾何立體圖形，用不同尺寸比例長方體與正方體來組成頭部、腳部、手部及身體等四種基礎人體結構，內部結構則由雷射切割加工的椴木板組裝成人型骨架，以補足整體強度，其結構固定每個電路元件的位置，使機器人的每個部位都能確實運作。

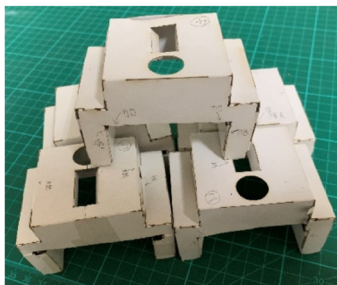


圖13 紙模結構

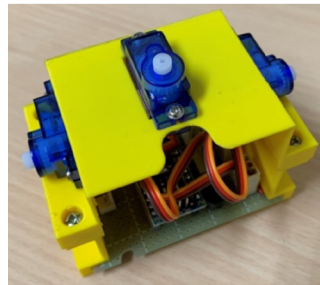


圖14 3D列印塑膠結構

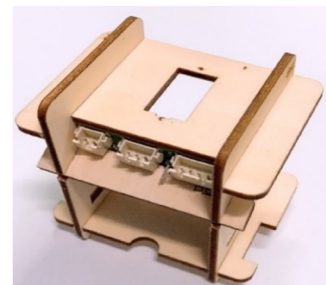


圖15 椴木板結構

（三）電路及程式設計

在尚未正式製作電控板之前，先利用電木洞洞板，模擬每個電子元件的腳位及供電配置雛形。為利於拆裝，先採用快速插頭方式安裝RGB光源、光敏等元件，避免小朋友在安裝時，將正負極安裝錯誤，導致電子元件受損。初步設計的電控板，包括：電容、電阻等穩壓元件。在程式設計深度及編譯方面，可隨著不同學生程度，除利用圖像化積木式程式（mBlock, Scratch）之外，亦可透由進階程式語言（Arduino IDE），編寫邏輯動作，並進行初步電路組裝及程式編程測試。

（四）外觀設計

首先，使用AI平面繪圖軟體設計紙機器人造型，再利用彩色噴墨列印方式，印製紙機器人模型的外觀圖案。背面空白模板則運用各種美術工具，包括：彩色筆、色鉛筆、壓克力顏料等，進行彩繪塗鴉，以激發學生的想像力及創意表現（圖16）。紙機器人組裝後的立體外觀樣式，如圖17所示。



圖16 進行彩繪塗鴉紙機器人

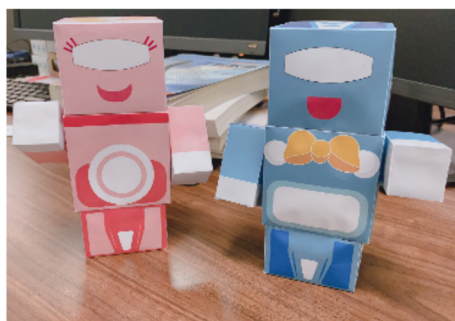


圖17 紙機器人立體外觀樣式

（五）包裝設計

在完成初步之紙機器人產品設計開發後，將產品包裝尺寸設計為一般書籍常用的A4大小尺寸，以環保紙材進行包裝。至於紙機器人教具產品的組裝說明書，則以電子檔無紙化方式，利用QR code掃描連線多媒體教材，直接觀看組裝示範，減少一次性紙本輸出，也能同時達到綠色

環保設計的教育理念。

二、正式產品試作：紙機器人教具產品試量產

經由紙機器人教具產品概念原型製作發現問題點後，接下來進行紙機器人教具產品試量產的修正改善。

（一）椴木板平面展開最佳化佈局

關於紙機器人內部結構設計規劃方面，先以2D平面繪圖軟體方式進行圖面設計，再利用雷射切割技術，將椴木板切割成各部位片狀模型零件，同時將編號雕刻在每片零件上，如圖18所示。另外，整體圖面佈置之每片木模型需有2~3mm的間距相互隔開，內部零件與外框需相隔5mm防止木板切割時斷裂，且各零件需在邊框留2~3個0.5mm支撐腳，使零件在下料時，能完整留在邊框上不輕易掉下來，方便產品包裝作業，也便於後續在組裝時，只要用手指輕輕下壓，就能輕易取下零件，如圖19所示。

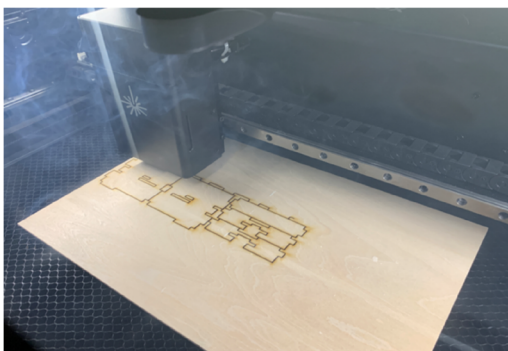


圖18 雷射切割加工椴木板結構

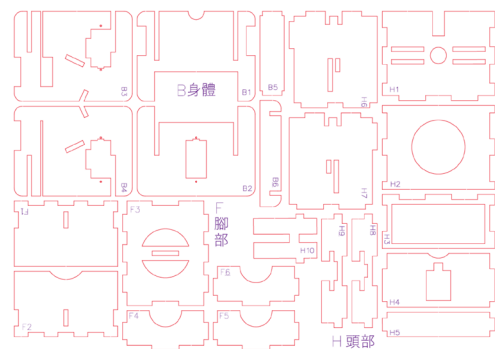
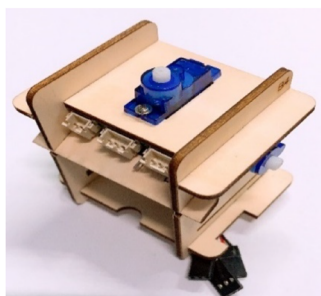


圖19 整體椴木結構展開最佳化佈局

（二）紙機器人內部木結構設計及組裝

接著，利用立體拼圖概念設計進行各種部位之立體木結構的製作，分別為身體、頭部、足部等三種內部結構部位，如圖20所示。在各部位

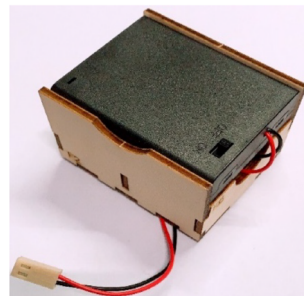
木結構組裝後，可強化紙機器人內部結構的強度，並確實固定相關控制元件及感測元件的位置，如此一來，在搬動或翻轉機器人時，較不容易發生電路元件偏移，造成機器運作不順暢、或感測器數值容易變動等影響。



身體的木結構



頭部的木結構



足部的木結構

圖20 紙機器人內部各部位木結構設計

紙機器人的身體以片狀木模型相互扣合成井字形結構，主控制板以直立傾斜方式固定，使RGB光源及光敏感測器電路母座開口朝頭部方向，電池盒電源線路則朝腳部方向，以方便安裝，並將針腳安裝位置放於機器人後方，以利程式燒錄器、藍芽等模組之安裝。頭部及雙手之三顆伺服馬達，則分別用螺絲鎖在木板結構平面上（圖21）。紙機器人頭部為方框結構，用肋條交錯方式組裝與固定RGB光源模組及光敏感測器模組，RGB光源模組放置在眼睛位置，向前照射，並調整適當距離，使光源能均勻地照射在導光罩表面上。光敏感測器元件則安裝於紙機器人頭頂上方，使其能夠從頂部洞口感測周遭光源數值變化。而在紙機器人足部結構方面，為防止紙機器人在運作時，因重心不穩固而傾倒，所以將電池盒平躺放置於紙機器人底部，使機器人能夠穩定地站立於平面上。整體紙機器人的電源開關與電池盒為一體式，將開關位置朝下，方便使用者控制電源開關操作（圖22），並設計了木結構限制電池盒，以防止滑動導致開關錯位。在組裝過程中要特別注意的是，在紙機器人身體的主板後方需留存空間，以方便馬達電線收納，並注意紙機器人身體的頭部電路安裝位置，使頭部在轉動時，不會因電線纏繞而無法正常轉動。

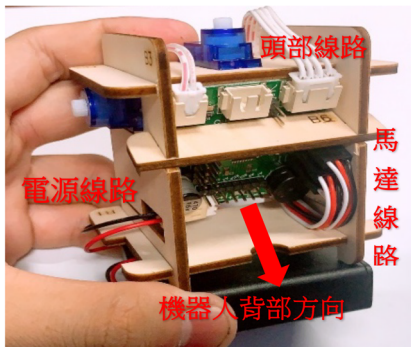


圖21 身體的電路安裝位置



圖22 足部的電池盒擺放位置

（三）電路設計規劃及零組件測試

在紙機器人整體電路設計規劃方面，首先，依照紙機器人電路控制需求，挑選適當規格之電路元件，繪製電路平面位置架構（圖23），包括：身體固定主控制板、聲音模組及三顆SG90伺服馬達，再將馬達旋轉舵片分別固定於雙手及頭部，使馬達在轉動時，即能帶動紙機器人相對應部位旋轉。在紙機器人頭部電路控制方面，將RGB LED光源放置於眼睛位置，向前照射在導光罩上；光敏感測器則固定在頭頂上，接收照射燈光數值。在紙機器人足部電路控制方面，則將較重的電池盒放置在底部，當成整體重心，防止機器人在運轉時，向旁邊傾倒。在組裝機器路之前，要先測試所有零組件是否都正常運作，以防某零件故障時，要再次拆下機器人。因此，要將這些電路模組，搭配麵包板進行電路設計測試，透由電腦USB連接線供應5V電源，來驅動整體電路（如圖24所示），並上傳簡易程式檢測元件運作狀況，量測電路特性，驗證電路設計功能是否能正常運作。如果發現錯誤時，能夠即時更換零件及修改電路設計，以節省電路測試及除錯時間。在模擬整個紙機器人教具產品電控運作模式的過程中，以下項目皆要正常運作：

1. 能控制三顆伺服馬達，驅動雙手及頭部0~180度旋轉運動。
2. 能運用RGB光源模組，照射出不同顏色的燈光，投射在紙機器人的眼睛導光罩上。
3. 能調整不同音頻訊號，配合程式時間延遲，產生不同的音樂及節奏。

4. 能藉由光敏感測器監測周遭環境光源，並依照光源數值變化切換不同動作。
5. 能用紅外線避障感測器，偵測與物體的距離數值，當達到預設數值時，將產生對應動作。
6. 應連接藍牙模組與手機、平板等行動裝置，進行藍芽通訊以控制紙機器人。

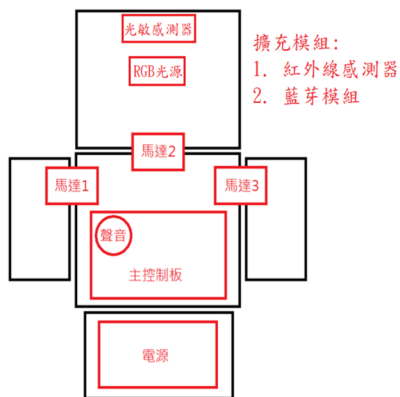


圖23 紙機器人電路設計規劃

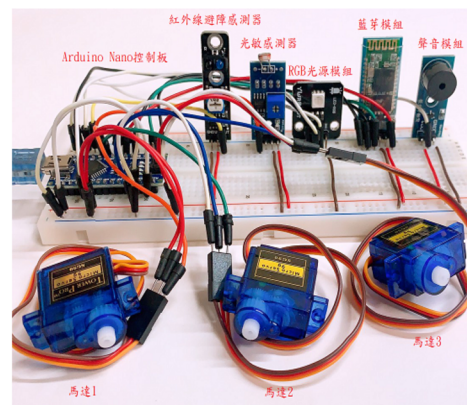


圖24 紙機器人零組件測試

(四) 外觀紙模型製作

紙機器人在紙模型接合時，主要以卡扣方式進行組裝，但是紙機器人的足部與身體在組裝時，因底部需要承受電池重量，故採用交錯扣合方式加強支撐，以防止學生在拿取紙機器人過程中，因電池重量過重而導致紙機器人的底部脫落。針對年紀比較小的國小低年級學生，或低成本教具預算者，本研究亦推出純紙機器人模型教具產品，成為全民運動。此時，在完全沒有電控零組件狀態下，紙機器人的身體、手部及頭部之組裝方式，係直接用雙腳釘將各部位旋轉孔位固定在紙機器人的身體上。外觀紙模型的生產製作流程：圖紙印刷、表面上膜、紙張裁切、表面壓線痕等，如下說明：

1. 圖紙印刷：如少量製作時，可利用彩色噴墨印表機，將依照電腦繪製完成的紙機器人外觀圖案，直接噴塗在A4圖紙表面上。設計成四張

A4尺寸為一組的好處是，很容易適用於各類型印表機之列印頭部、身體、腳部、及手部等單面印刷。如果是大量製作時，為節省成本及製作時間，可直接發包給印刷廠製作。

2. 表面上膜：為加強紙張拆裝強度，可在紙張印刷完成後放入壓模機中，通過機器內滾筒壓合技術，在印刷圖紙表面平整貼上一層霧面冷裱膜。如此，可增加紙張材質強度，防止學生在拆裝紙模型時，因用力過度而撕破紙張。

3. 紙張裁切：如少量製作時，可利用雷射切割加工方式，裁切外觀紙模型展開圖形狀，以模擬刀膜生產時裁切的成品。接下來試折紙膜的扣合尺寸，是否產生容易鬆散、或無法扣合組裝等狀況。如果是大量製作時，為節省成本及製作時間，可發包給印刷廠製作刀模，直接壓合下料成型。

4. 表面壓線痕：因為學生在製作紙機器人過程中，常因不熟悉組裝動作及流程，反覆拆裝紙模型而彎折到紙張表面，導致紙模型組裝品質不佳或無法搭配扣合。為防止紙張表面在彎折時產生偏移或皺褶而影響表面品質，如少量製作時，可利用壓線筆的筆前端圓球處，在圖紙表面需彎折處，製作壓線痕。如果是大量製作時，為節省成本及製作時間，可直接發包給印刷廠製作刀模，直接壓合下料成型及壓折線痕。

（五）包裝設計修正

在完成紙機器人產品之設計開發後，以環保紙材進行包裝設計。原本將產品包裝設計為一般書籍常用的A4大小尺寸，而紙機器人教具產品組裝說明書，則以電子檔無紙化方式，利用QR code掃描連線至多媒體教材，直接觀看組裝示範，減少一次性紙本輸出，也能周時達到綠色環保設計的教育理念。然而，以紙盒包裝產品的方式，因涉及包裝成本進而影響到最終售價，比較適合用於相關科學教育博物館、紀念品販售區、書局等場所之零售販賣上架擺設方式，或是網購之寄送保護。若是相關教學機構在大量採購及訂購之情況下，為節省包裝設計成本，可以考慮採用最簡單的方式交貨，因此，經由與產學合作廠商、國立科學工藝博物館以及有興趣導入紙機器人課程的相關教學機構討論後，最終選

擇以透明夾縫袋包裝出貨，以期降低紙機器人教具之產品售價，利於教學機構大量採購並導入教學及推廣。

三、紙機器人教具產品系列性教學實作課程及學習回饋

本研究的實作成果為：完成開發系列性的六款機器人，其中四款為紙機器人，包括：1. A、B版之廠商客製化男女版本紙機器人；2. C、D版之科工館客製化男女版本紙機器人；3. 上述二款的消防機器人；4. 服務型機器人。另外，除了與產學合作廠商（睿揚創新科技）在學校課堂上進行系列性教學實作課程之外，也與勁園國際（iPOE國際學院）簽約，執行iPOE國際學院科技教育人才培育計畫的產學合作計畫，進行科技教育之人才培育，以及開發與推廣系列性的六種機器人之創新教學實務課程，包括：2D平面繪圖與雷射切割機實務應用教學（課程特點為外形、機構）、立體繪圖與3D列印實務應用教學（課程特點為外形、機構）、Halocode光環板應用教學（課程特點為電控、程式）、程小奔自走車應用教學（課程特點為電控、程式）、Arduino基礎教學及APP遠端控制（課程特點為電控、程式、通訊、人工智慧）、吸管機器人機構設計，與仿生獸及人形機器人實作（課程特點為外形、機構、電控）、STEAM紙機器人實作教學（課程特點為外形、機構、電控、程式、通訊）。每一堂課程完成作品後，部分作品可以帶回家繼續玩及練習，而且每位學生更可以獲得該門課學習歷程認證。

（一）STEAM 紙機器人教具試用教學的問卷設計

本研究以問卷調查的方式，調查學生在參與課程前、後的學習成效，先招收30位參與者進行測試。從調查與課程內容相關的問題回饋及評量中，分析此STEAM紙機器人課程教學，對於科學教育實作的學習成效是否有提升。包括以下內容：參與背景（基本資料、性別、職業、年齡）、滿意度評量（學習認知、學習興趣、學習延伸）、系列教具體驗（喜愛課程、教具費用、教學資源、學習心得、課程建議）等。因為問卷是以Google問卷方式，雖有包括學號、姓名等未去識別資訊，但並

不影響成績評定。除教師的Google問卷方式之外，本研究亦有學校期末教學意見調查表，此部分則是去識別資訊，可以更客觀了解學習與教學的回饋與建議。

表1

問卷調查架構

項目	問題種類	題目
參與背景	基本資料	姓名、學校、E-mail
	性別	男、女
	職業	學生、教師、其他
	年齡	國小、國中、高中、大學、其他
滿意度評量	學習認知	1. 我知道如何整合科學、科技、工程、藝術、及數學知識
		2. 我了解機器人在真實生活中的應用方式
		3. 我會運用學習到的科技知識解決生活上的問題
		4. 藉由紙機器人讓我產生更多的創意點子
	學習興趣	5. 我喜歡用動手製作的方式學習科技知識
		6. 我喜歡組裝紙機器人的實作過程
		7. 我喜歡編寫程式控制紙機器人
	學習延伸	8. 我未來想參與更多的科技實作課程
		9. 我未來想體驗更多不同種類的機器人
		10. 我未來想學習更多的科技工程知識
教具體驗	喜愛課程	1. 2D平面繪圖與雷射切割機實務應用教學
		2. 立體繪圖與3D列印實務應用教學
		3. Halocode光環板與程小奔自走車應用教學
		4. Arduino基礎教學與APP遠端控制
		5. 吸管機器人機構設計及機器人實作
		6. STEAM紙機器人實作教學
	教具費用	1000元以下、1001~3000元內、3001~5000元、5001元以上
	喜愛教具	紙機器人、吸管機器人、其他
	教學資源	紙本、影片
	學習心得	對於課堂學習的心得感想
	課程建議	對於課程時間、內容、環境等規劃

（二）受訪者背景分析

本研究活動的STEAM機器人相關課程，配合108年新課綱、及教育部技職司政策，將產業知識及發展訊息，透由科學實作活動，推展技職教育向下紮根，故亦邀請國小、國中、高中（五專）等學童參與。因其尚未成年，故有要求家長陪同及簽署同意書。亦已通過IRB/REC審查核准，核准編號為：成大倫審會（簡）字第109-145-2號。主要針對各不同年級的學生進行分析，在受訪者中，男性學生20名、女性學生10名，合計共30名學生，受訪者以大學生（含助教培訓）人數為最多，占33%，其次為五專／高中職生（27%），最後為國中及國小生（20.0%）。從男女比例數據中得知，機器人類型的課程內容，較吸引男性學生參與課程，如表2所示。

表2

受訪者背景分析表

年級	男生	女生	合計	百分比
國小	4	2	6	20%
國中	4	2	6	20%
五專／高中職	6	2	8	27%
大學	6	4	10	33%
合計	20	10	30	100%

（三）滿意度評量

本研究參考Apriyani等人（2019）及Lu等人（2021）在PBL及STEAM教學問卷調查的學習成效模式，在學習成效滿意度評量內容方面主要採用成對樣本 t 檢定的方式，分析受測者參與課程前後，對於課程之學習認知、學習興趣及學習延伸，是否產生正向的教學效果，如表3所示。本研究的學習成效整體滿意度，在經過前後測驗比較後，確實有明顯提升，如圖25所示。此外，因研究對象包括了國小學童，為避免其識字量不足，影響其對問卷的理解性及填答時間，故委由家長陪同讀

出問卷的問題內容，由學童回答後，並協助填入問卷中。此代為填寫問卷方式，並不影響整體結果。

1. 學習認知：由參與前的平均分數（ $M = 3.15$ ）與參與後的平均分數（ $M = 4.49$ ）做成對樣本 t 檢定分析所得之顯著水準值（ $p = .03, p < .05$ ），表示學生參與課程後，對於STEAM教育整合知識的認知有顯著提升，並了解機器人在現實生活當中的應用方式，且能夠運用課程中學習到的科技知識來解決真實生活當中的問題。

2. 學習興趣：由參與前平均分數（ $M = 2.98$ ）與參與後平均分數（ $M = 4.46$ ）做成對樣本 t 檢定分析所得之顯著水準值（ $p = .02, p < .05$ ），可了解到學生在參與活動課程後，對於動手組裝機器人的學習興趣有顯著提升。

3. 學習延伸：由參與前平均分數（ $M = 2.83$ ）與參與後平均分數（ $M = 4.52$ ）做成對樣本 t 檢定分析所得之顯著水準值（ $p = .04, p < .05$ ），表示學生將來想參與更多不同種類的機器人組裝課程的意願程度有顯著提升，故未來能夠透過這類型的科技實作課程，讓更多學生學習更多的科技工程知識。

表3
學習成效滿意度評量的前後測驗成對樣本 t 檢定結果

項目	題目編號	學習前		學習後		t 值	顯著值
		M	SD	M	SD		
學習認知	1	3.33	0.84	4.43	0.5	7.94	0.01
	2	3.47	0.57	4.57	0.5	9.92	0.04
	3	2.87	0.94	4.47	0.51	10.25	0.01
	4	2.93	0.91	4.47	0.51	9.76	0.04
	平均	3.15	0.82	4.49	0.51	9.47	0.03*
學習興趣	5	2.93	0.94	4.37	0.49	9.15	0.01
	6	3.03	0.89	4.47	0.51	9.61	0.02
	7	2.97	0.81	4.53	0.51	11.09	0.03
	平均	2.98	0.88	4.46	0.5	9.95	0.02*
學習延伸	8	2.9	0.74	4.57	0.57	12.84	0.01
	9	2.73	0.69	4.53	0.51	13.80	0.04
	10	2.87	0.78	4.47	0.51	11.38	0.03
	平均	2.83	0.74	4.52	0.53	12.67	0.04*

註：*表示 $p < .05$ 有顯著提升

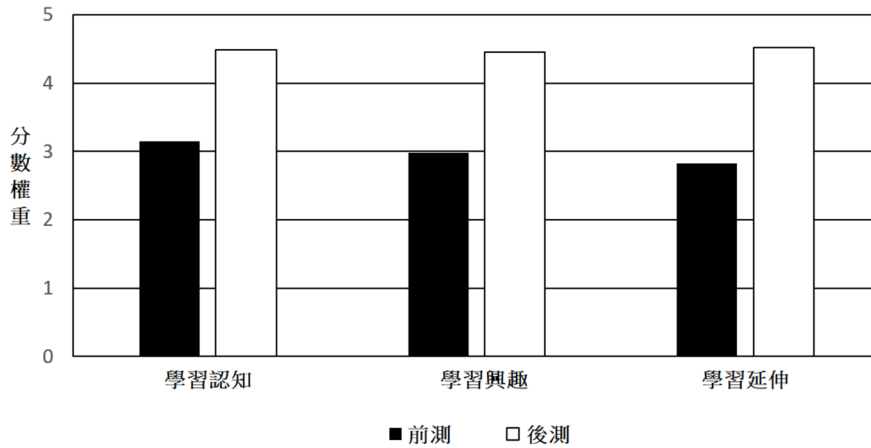


圖25 學習成效滿意度評量的前後測驗比較

(四) 教具體驗

系列性課程的教具體驗包括：喜愛課程、教具費用、教學資源、學習心得、課程建議等，分析如下：

1. 喜愛課程：在系列性的六種機器人創新教學實務課程中，以STEAM紙機器人實作教學課程最受到喜愛，占27%，其次為吸管機器人機構設計及機器人實作實作課程（20%），可得知多數學生喜歡體驗組裝機器人的實作類型課程。上述課程中除了體驗機器人結構安裝之外，也能依任務需求，學習撰寫程式，讓機器人產生不同動作。Halocode光環板與程小奔自走車應用教學課程、及Arduino基礎教學與APP遠端控制課程，占17%。這二門課程比較注重程式的編程設計驗證與電路線安裝，沒有機構外殼組裝。而2D平面繪圖與雷射切割機實務應用教學課程、立體繪圖與3D列印實務應用教學課程，也各占10%，主要教導學生如何繪製2D與3D圖面，並使用設備製作出實體物品，沒有電控安裝與程式設計內容。上述六種課程的內容及教學特點，如表4所示。

表4

喜愛課程問卷調查結果

課程內容	教學特點	人數	百分比
1. 2D平面繪圖與雷射切割機實務應用教學	外形、機構	3	10%
2. 立體繪圖與3D列印實務應用教學	外形、機構	3	10%
3. Halocode光環板與程小奔自走車應用教學	電控、程式	5	17%
4. Arduino基礎教學與APP遠端控制	電控、程式、通訊、人工智慧	5	17%
5. 吸管機器人機構設計及機器人實作	外形、機構、電控	6	20%
6. STEAM紙機器人實作教學	外形、機構、電控、程式、通訊	8	27%

2. 教具費用：從教具費用的調查分析結果得知，大多數參與課程的學生，能夠接受教具的售價在1,001~3,000元內，占53%，其次依序為1,000元以下（27%）、3,001~5,000元內（13%）、5,001元以上（13%），如表5所示。就以前二大項結果來看，能夠接受教具的售價為3,000元以內，即占了80%。因此，可以用3,000元（約USD100）以下的教具銷售價格，做為教具在材質選用、加工方式、結構形式的設計參考依據。此分析結果，也符合Urdiales（2012）所提到的，如果要推廣機器人融入教育領域時，必須考慮到使用者需求，以及在其可負擔的技術及成本下、盡量採取低成本機器人設計的製造概念，約為USD100左右，來降低學習門檻與推廣。

表5

教具費用問卷調查結果

教具售價	人數	百分比
1,000元以下	8	27%
1,001～3,000元內	16	53%
3,001～5,000元內	4	13%
5,001元以上	2	7%

3. 喜愛教具：從不同課程所使用的教具中分析，以STEAM紙機器人教具的學習項目較為彈性，喜愛人數最多，占23%；其次為吸管機器人教具，占20%；而Arduino基礎套件教具、APP遠端控制套件教具、及Halocode控制板教具等，主要為電控板與電子零組件的實體安裝，以及程式撰寫，都是占17%。在學習Arduino基礎套件後，可進階延伸到STEAM紙機器人課程內容。除了組裝機構及電控外，亦能夠透由編輯程式，讓機器人產生各種動作。而吸管機器人教具，則不需使用電控程式，其主要採取不同長度的吸管，來設計機器人外型，並以電池直接驅動馬達，來轉動機構使機器人產生動作，如此可設計出簡單動作的機器人。這三門課程雖然可搭配零件互相組合，但完成後的機器人作品，由於沒有完整外殼實體，較難吸引學生目光。而程小奔自走車教具，僅占7%，其雖然有完整的機構外型，也能快速編寫程式，並驗證機器人動作，但外殼結構不能進行改裝，無法讓學生體驗組裝機器人的樂趣。整體而言，STEAM紙機器人教具因可依教學進行不同變化，靈活程度較高，故較受學生喜愛，問卷調查結果如表6所示。

表6

喜愛教具問卷調查結果

教具品項	教學特點	人數	百分比
STEAM紙機器人教具	外形、機構、電控、程式、通訊	7	23%
吸管機器人教具	外形、機構、電控	6	20%
Arduino 基礎套件教具	電控、程式、通訊、人工智慧	5	17%
Arduino APP遠端控制 套件教具	電控、程式、通訊、人工智慧	5	17%
Halocode控制板教具	電控、程式	5	17%
程小奔自走車教具	電控、程式	2	7%

4. 教學資源：從課程教學資源分析可得知，較多人喜愛採用影片方式，進行課程內容教學，占63%；而喜歡採用傳統紙本教材的人，則占37%。由於目前網路媒體工具盛行，因此，學生比較喜歡透過動態多媒體影片，來了解如何組裝機器人結構、及電路安裝位置。雖然紙本教材內容寫的非常詳細，但有些安裝步驟，即使學生閱讀圖片或文字，仍無法理解如何進行組裝，故需依賴教師或助教示範解說，問卷調查結果如表7所示。

表7

教學資源問卷調查結果

教學資源	人數	百分比
紙本	11	37%
影片	19	63%

5. 學習心得：有關學生在參與STEAM紙機器人課程後，對於課堂學習的心得感想，筆者整理之幾個重要的回饋內容如下：

(1) 此課程活動具有教育意義，拉近人與人之間的距離並強化學以致用觀念。

(2) 我覺得課程的活動內容十分豐富，學習到許多科技相關的知識內容。

(3) 學習到不同領域的東西，從中也能知道自己喜歡、或是擅長的地方。

(4) 學習到機器人遠端控制程式設計，與實務操作技能。

(5) 參與課程後，對以後的學習方向、及未來規劃更有想法。

(6) 從組裝過程中，了解機器人結構與外觀知識，相當的有趣。

(7) 對科技知識產生濃厚的興趣，未來想進一步研究。

(8) 從實際體驗完成組裝機器人，非常有成就感。

(9) 學習到電控安裝、及程式編程的實務概念。

(10) 吸引我對工程科技知識方面的學習興趣。

6. 課程建議：針對STEAM紙機器人課程規劃，筆者整理之幾個重要的建議如下：

- (1) (可以依不同年級，設定課程難度內容，來吸引更多不同年齡層學生參與。
- (2) 對於沒學過程式編程的小朋友來說，如直接採取Arduino IDE程式，可能會有點困難，可從更簡單的圖形化遊戲程式著手。
- (3) 善用提問的方式，了解學生對於課程內容的理解情況。
- (4) 可用適當的語調或肢體動作，吸引學生的注意力。
- (5) 多以動態簡報或影片方式表達，加深學生學習印象。
- (6) 對於年齡層較大的學生，可增加更多學術理論及觀念，讓課程更加豐富。
- (7) 從分組學習過程中，能增進學生互動及溝通能力。
- (8) 能夠善用多元教學方法，來提升學習成效。
- (9) 課程多設計一些問題，讓學生學習自我思考。
- (10) 需有效掌握教學節奏與課程時間。

陸、結論與建議

一、創新教具產品特點

本文之紙機器人教具產品設計及科學教育實作研究，是假設學生在生活或職場中，所面臨的相關機電整合應用的問題。所以在進行課程時，教師先教導相關感測器，或電子零組件的基本原理，以及範例程式（sample code），讓學生依教材執行實驗，後依這些感測器或電子零組件的特性，由教師設定問題及變化應用題型，再加些參數變化，使學生熟悉電路設計及程式編程撰寫。待大部分的學生都能掌握學習的內容及技術後，教師會請學生依據所學，提出如何改善在生活中的問題，達到落實機器人及機電整合技術的學習成效。如此，未來進入職場時，也能了解故障原因，並進一步修復，解決學用落差的問題。由於學生親自參與體驗及操作，能夠立即看到自己的實作成果，可增加學習之成就感，以及提升學習動機與興趣。從研究成果的SWOT分析來看，優勢在於有廣大教育市場可利於發展，且教具研究成果的售價不高，能夠大幅降低學習門檻；而劣勢在於使用紙材，相對於塑膠、或金屬材料，其結構強

度較弱，或不耐水，但可從選擇磅數較大、及表面貼膜方式來克服。在機會方面，因目前全球之STEAM與Maker實作教育盛行，以及配合國內108年新課綱教育之新政策，亦有利於推廣。在威脅方面，面臨市售類似低價產品之競爭，有可能會被仿冒盜版，因此，本研究成果會採取申請專利方式以保護智慧財產權。在本次紙機器人教具產品系列性教學實作課程中，培訓之學生及老師總共達120人次以上，參與學員包括：大學及高中職老師、家長、研究生、大學生、五專生、國中小生等，成為適合全民的機器人課程，達成寓教於樂及親子共學互動的學習效果。在紙機器人教具產品售價方面，1,000~3,000元的區間雖是大多數人能接受的範圍，但仍希望將價格壓在1,000元以下，由於教具是自己開發製作，採用紙材、木板雷切、組裝零組件等，故將教具售價訂為800元，以利推廣及行銷。這與先前國外相關研究中，低成本機器人教具產品的價格區間，也是落在35美元以作對應。在教學媒體方面，相對於紙本教材，大多數人比較喜歡透由多媒體影片方式來學習。這些教學回饋成果，都與設定的研究目標相符，且整體課程教學滿意度更高達4.6，證明教學成效相當顯著。

二、對產業發展的貢獻

本研究場域主要在國立高雄科技大學模具系產品整合設計暨試量產中心，模擬產業界，從產品設計、機電整合、樣品製作、模具設計、工程分析，進行紙機器人教具產品設計與製作。目前入門級低成本的紙機器人，未來將更改為與木板結合及將紙外型進階為金屬材料，並配合模組化設計，擴充機器人功能，導入進階工業級的機電整合技術教育。特別是本研究開發的科學玩具套件，除具有產品創新性、提升功能性、具經濟性、及商品化等之外，亦具備互動性、教育性、趣味性、及啟發性等教育目標。除教導學生透由動手做課程的活動，將STEAM五大跨領域的知識結合起來，補強不同學科間的隔閡，讓學生在不同的環境及專案活動中，使用多重管道的知識來源以解決問題之外，同時讓學生在數學邏輯基礎訓練下，融合工程技術與藝術美學的內涵，且在跨學科領域的教學架構下，協助學生在特定議題上學習，以避免被侷限於某單一學

科知識之界線內。因此，學生可以適性練習用不同的觀點切入思考，及培養出跨界溝通的能力，更藉由主題式學習，與生活中有趣、富挑戰性的情境相結合，點燃學生的好奇心與探究欲望。本研究成果在整體的貢獻說明如下：

1. 落實STEAM教育推動，使紙機器人教具及教材，能夠當成學校課堂教材。
2. 透過相關創客或科學教育機構的推廣，藉由紙機器人教具，開設活動課程。
3. 培養學生對於科技教育的興趣，從中找尋自己未來的目標。
4. 促進國內機器人活動競賽。
5. 透過紙機器人實作教學，學生可提升相關專業設計能力，如：程式、結構、電路等。

特別是本研究成果已進入商品化階段而實際貼近市場，更與多家機器人及機電整合等科學教育機構交流，及簽訂多件產學合作案，進行產品技術轉移，與市場面接軌，對於推廣科學教育成效顯著。此在PBL及STEAM相關學術研究課題，是屬創新的作法，不單只是學術研究之產物，而更具有市場價值，

三、對教學成效的貢獻

本研究訓練學生以PBL及STEAM的核心素養為發展主軸，從基本能力的教學，改變成以素養為導向的課程。搭配P-TECH企業及業師，從實驗測試及教學引導中，置入各行業所需的機電整合知識及技能，完成具新穎性、產業利用性等之機器人及各種機電整合技術基礎訓練的新教材，奠定產品設計的基礎能力。從機器人及機電整合的相關課程教學成效來看，作者近三年的教學評鑑回饋平均值為4.6（Likert scale 5 point），不外乎是以實務研究方式，協助學生透由理論與實務整合，訓練學生在不同行業別的基礎能力，獲得多項全國性校外、校內的產業專題實務、及創新創業之獎項，並培養學生能夠學以致用的能力，快速掌握產業趨勢。而本研究成果，未來也能向下紮根，配合十二年國教新課綱精神，培訓多元發展能力，例如：國文的文字說明、圖表理解力（AI

人工智慧的自然語言判斷）、英語的簡報撰寫及口說技巧能力（AI人工智慧的多國語系自然語言判斷）以及數學的邏輯思考力（程式編程寫作）等。此外，亦將自然的注重科學時事議題、圖表判讀、及轉譯能力（科學、工程及技術），以及社會的常見生活情境、跨領域統整及推理力（藝術美學及設計）等相互結合。因此，本研究透由PBL問題導向學習以及STEAM多元跨領域教學方法，整合了各種產品設計、機器人、機電整合、加工製造、科學教育實作課程、以及商品化的技術與概念，教導學生了解紙機器人教具設計、製作知識理論，並運用動手實作進行機器人創新教學之實務研究，於解決機電整合技職教育的學用落差問題部分是可行的方向。綜合上述，本研究所獲得之具體有效結果，除可建立學術研究能量與人才培育訓練外，也能駕馭國內的重點研發中心和產業在前瞻性工程技術之研發，以提升其在傳統產業的升值計畫，並擴展智慧製造、機械模具、光電和材料相關產業之應用範圍，落實學術、研究和產業經濟之多軌道連結。

誌謝

感謝科技部提供本研究之計畫經費（計畫編號：109-2511-H-992-001 -），以及睿揚創新科技提供產學合作計畫之經費、與商品化推廣。

參考文獻

- Apriyani, R., Ramalis, T. R., & Suwarma, I. R. (2019). Analyzing students' problem solving abilities of direct current electricity in STEM-based learning. *Journal of Science Learning*, 2(3), 85-91.
- Arvin, F., Espinosa, J., Bird, B., West, A., Watson, S., & Lennox, B. (2019). Mona: An affordable open-source mobile robot for education and research. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 94(3), 761-775.
- Asghar, A., Ellington, R., Rice, E., Johnson, F., & Prime, G. M. (2012). Supporting STEM education in secondary science contexts. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6(2), 4.

- Bae, S. J., Kim, T. Y., Han, H. W., & Kim, Y. (2015). A study on the methods to improve records management of the national university: Focused on industry-university cooperation center of the foothold national universities. *Journal of the Korean BIBLIA Society for library and Information Science*, 26(4), 151-178.
- Bao, X. Z., Dong, Y. H., & Wang, Y. (2016). R&D cost allocation and income sharing for industry-university cooperation in open innovation context. *NTUT Journal of Intellectual Property Law and Management*, 5(1), 11-32.
- Belk, R. (2016). Understanding the robot: Comments on Goudey and Bonnin (2016). *Recherche et Applications en Marketing (English Edition)*, 31(4), 83-90.
- Franco, M., & Haase, H. (2015). University-industry cooperation: Researchers' motivations and interaction channels. *Journal of Engineering and Technology Management*, 36, 41-51.
- Fruchter, R., & Lewis, S. (2003). Mentoring models in support of P5BL in architecture/engineering/construction global teamwork. *International Journal of Engineering Education*, 19(5), 663-671.
- Han, S. S., & Yim, D. S. (2018). Path dependence in industry-university cooperation—In terms of industry's voluntary participation. *The International Journal of Industrial Distribution & Business*, 9(3), 45-56.
- Han, S., Capraro, R., & Capraro, M. M. (2015). How science, technology, engineering, and mathematics (STEM) project-based learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently: The impact of student factors on achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089-1113.
- Hartmann, J., & Germain, R. (2015). Understanding the relationships of integration capabilities, ecological product design, and manufacturing performance. *Journal of Cleaner Production*, 92, 196-205.
- Hehenberger, P., Vogel-Heuser, B., Bradley, D., Eynard, B., Tomiyama, T.,

- & Achiche, S. (2016). Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems: Methods and applications. *Computers in Industry*, 82, 273-289.
- Hong, E. Y., Choi, J. I., & Kwon, K. H. (2017). Study on the sustainability of the industry-university cooperation center: Focusing on the US industry-university cooperative research centers (I-UCRCs) and Korea SMEs industry-university cooperation center. *Korean Business Education Review*, 32(1), 79-100.
- Karim, M. E., Lemaignan, S., & Mondada, F. (2015). A review: Can robots reshape K-12 STEM education? *Proceedings of the 2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO)*, 1-8.
- Koller, R. W., & Ricardez-Sandoval, L. A. (2017). A dynamic optimization framework for integration of design, control and scheduling of multi-product chemical processes under disturbance and uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 147-159.
- LaForce, M., Noble, E., & Blackwell, C. (2017). Problem-based learning (PBL) and student interest in STEM careers: The roles of motivation and ability beliefs. *Education Sciences*, 7(4), 92.
- Liu, J., Cheng, Z., & Ma, Y. (2016). Product design-optimization integration via associative optimization feature modeling. *Advanced Engineering Informatics*, 30(4), 713-727.
- López-Rodríguez, F. M., & Cuesta, F. (2016). Andruino-a1: Low-cost educational mobile robot based on Android and Arduino. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 81(1), 63-76.
- Lu, S. Y., Lo, C. C., & Syu, J. Y. (2021). Project-based learning-oriented STEAM: The case of micro-bit paper-cutting lamp. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-23.
- Mong, C. J., & Ertmer, P. A. (2013). Addressing STEM education needs: The case for adopting a PBL approach. *Educational Technology*, 12-21.
- Naghizadeh, M., Manteghi, M., Ranga, M., & Naghizadeh, R. (2017).

- Managing integration in complex product systems: The experience of the IR-150 aircraft design program. *Technological Forecasting and Social Change*, 122, 253-261.
- Nguyen, V. D., & Martin, P. (2015). Product design-process selection-process planning integration based on modeling and simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 187-201.
- Nomakuchi, T., & Takahashi, M. (2015). A study about project management for industry-university cooperation dilemma. *Procedia Computer Science*, 64, 47-54.
- Rubenstein, M., Cimino, B., Nagpal, R., & Werfel, J. (2015). AERobot: An affordable one-robot-per-student system for early robotics education. *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 6107-6113.
- Seo, B. D., Park, M. K., Ju, J. Y., & Lee, W. H. (2016). Developing a core competence model for LINC (leaders in industry-university cooperation) at K-University: A case study. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 10(2), 171-180.
- Shen, J. F., Zhu, Y. X., & Ye, C. D. (2018). Research on the integrated synergy mechanism of industry-university-research cooperation in continuing engineering education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(5), 1597-1603.
- Shou, Y., Li, Y., Park, Y. W., & Kang, M. (2017). The impact of product complexity and variety on supply chain integration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(4), 297-317.
- Sigit, D. V., Ristanto, R. H., & Mufida, S. N. (2022). Integration of project-based e-learning with STEAM: An innovative solution to learn ecological concept. *International Journal of Instruction*, 15(3), 23-40.
- Stearns, L. M., Morgan, J., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2012). A teacher observation instrument for PBL classroom instruction. *Journal of STEM Education: Innovations & Research*, 13(3), 7-16.

- Szücs, F. (2018). Research subsidies, industry-university cooperation and innovation. *Research Policy*, 47(7), 1256-1266.
- Tamaki, K. Y., Park, Y., & Goto, S. (2015). A professional training programme design for global manufacturing strategy: Investigations and action project group activities through industry-university cooperation. *International Journal of Business Information Systems*, 18(4), 451-468.
- Tao, J., Chen, Z., Yu, S., & Liu, Z. (2017). Integration of life cycle assessment with computer-aided product development by a feature-based approach. *Journal of cleaner production*, 143, 1144-1164.
- Urdiales, C. (2012). *Collaborative assistive robot for mobility enhancement (CARMEN)*. Springer.

The Teaching Practice of Robotics Development Using PBL and STEAM Approaches

Jui-Hung Cheng* Xuan-Tang Liu**

Abstract

This study integrated the PBL (problem-based learning) and STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) methods for robot teaching aid design by combining science, technology, engineering, arts, and mathematics to connect real-world problems, assist students in contemplating, and identify solutions to problems. This study set the students as beginners who preferred to study and assemble robots using their hand skills. It assists teachers having no experience or nonprofessional engineering backgrounds in using robots as teaching materials for mechatronics science education to learn quickly. Teachers can use robots to teach students how to conduct structures, circuits, coding, aesthetics, and other course activities through hands-on practice. The study aims to enable five-year junior college students for the “Robotics and Application” course to conduct diversified learning and participate in the product development of various robotic teaching aids to enhance learning motivation and reduce learning gaps. Through the process of commercialization of industry-university cooperation, it can quickly integrate with the industry. In addition to verifying the product design of the teaching aids, the results revealed significantly improved learning cognition, interest, and extension. In the series of courses, students preferred learning through practical courses of assembly experience, with self-developed low-cost teaching aids, free to create changes, and increased flexible use of learning. The average value of the overall teaching evaluation feedback was 4.6, proving that it was a product of academic research and market value.

Moreover, this is an innovative approach to PBL and STEAM educational research.

Keywords: engineering science education practices, STEAM, PBL, product design, mechatronics



DOI : 10.6870/JTPRHE.202306_7(1).0001

Received: October 12, 2021; Modified: May 5, 2022; Accepted: May 23, 2022

* Jui-Hung Cheng, Associate Professor, Department of Mold and Die Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology, E-mail: rick.cheng@nkust.edu.tw

** Xuan-Tang Liu, Master Student, Department of Mold and Die Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology