

科技與人力教育季刊

105年09月號

第三卷第一期

- ◎ 主編的話 01-04

- ◎ 於高中實施工程設計專題製作活動課程設計之探討 05-11

- ◎ 高中工程設計實作教學活動之設計與發展
-以乒乓球發射器為例 12-31

- ◎ STEM取向準工程課程設計：以二氧化碳賽車單元為例 ... 32-52

- ◎ STEM教育應用於機器人教學-
以6E教學模式結合差異化教學 53-75

主編的話：STEM 專題實作活動

Editor's Note: STEM Project-based Learning Activity

林坤誼

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

Kuen-Yi Lin

Department of Technology Application and Human Resource Development,
National Taiwan Normal University

摘要

本文主要介紹本期主題「STEM 專題實作活動」的意涵，並針對現行十二年國民基本教育科技領域課程綱要的一些現況與問題進行討論，期望能夠藉此釐清科技教師的疑慮，並讓讀者更了解本期主題所能提供的可能助益。依據此一目的，本文針對高中階段 STEM 專題實作活動所論述的課題主要包含以下三點：(1) 僅於高中階段強調透過專題實作活動以落實 STEM 跨領域統整；(2) 高中階段的 STEM 專題製作活動設計應該兼顧教與學；(3) 高中階段的主軸是工程設計而非工程專業知識的學習。透過此三點的論述，期望讓科技教師能夠逐漸建立以下共識：「至少目前的科技領域課程綱要暫時穩住了科技教育的地位，有關科技領域課程綱要的不足之處，未來都還可以持續溝通和討論，並於未來的課程綱要中進行修改，但我們得先共同努力讓科技教育領域再度茁壯，讓社會大眾皆能體會到動手實作課程的意義與價值。」

關鍵詞：STEM、十二年國民基本教育、科技領域、專題製作活動

STEM 專題實作活動主要是指科學、科技、工程與數學 (Science, Technology, Engineering, & Mathematics, STEM) 跨領域統整的專題實作活動，亦即，結合目前 STEM 教育潮流與科技教育的專題實作活動而成。美國在推動 STEM 教育時有幾個主要的因素，一則是因為其國內的科技與工程人才有相當大的比例皆是源自於國外，而其國內的科技與工程優秀人才卻逐漸減少，再者，則是其 15 歲的國中階段學生在國際學生能力評量計畫 (the Programme for International Student Assessment, PISA) 中的表現不佳，導致許多不同領域的學者都期盼能夠透過 STEM 教育的推動，改善前述教育現場的問題，也因此有關 STEM 教育的議題便愈來愈受到重視。反觀臺灣本次的十二年國民基本教育課程改革，在科技領域課程綱要中雖然亦強調 STEM 跨領域的統整，但其內容並非僅是移植美國的 STEM 教育改革，而是針對臺灣現有科技教育實施現況與問題進行反思，並以能夠兼顧在地化與國際潮流的方式，規劃出現行的科技領域課程綱要草案。然而，由於科技領域課程綱要在公聽會舉辦的過程中，無法妥善的與全國的科技教師進行溝通與連結，導致部份科技教師對於科技領域課程綱要的內容產生不明確的看法，為了減少這些不明確的看法所可能產生的後續問題，筆者依據參與科技領域課程綱要改革歷程的經驗，提出以下幾項關鍵重點以藉此釐清部份科技教師的迷思概念，說明如下：

一、僅於高中階段強調透過專題實作活動以落實 STEM 跨領域統整

在十二年國民基本教育科技領域的課程綱要中，主要強調 STEM 跨領域統整的部份以高中階段的學習重點為主，因此並非從國小、國中階段就必須開始進行 STEM 跨領域統整，此一作法便與美國從 K-12 年級皆推動 STEM 教育便有很大的差異。換言之，國中階段的課程綱要強調在「創意設計」，期盼學生能夠針對日常生活問題發揮創意思考的能力，並透過設計與問題解決的步驟，以實際製作出解決問題的成品，故在這個階段並未強調 STEM 跨領域統整的學習。然而，當進入高中階段的課程綱要之後，學生便不應該再像以往僅憑直覺的創意設計方式來解決問題，應該要思考如何妥善的運用科學、數學等相關的學科知識，才能真正落實理論導向設計 (theory-based design) 的理念。舉例而言，當學生在設計一台乒乓球發射機時，不能夠僅憑其經驗或直覺，隨意的設計可以把乒乓球發射出去的機構即可，而是應該真正的去探究乒乓球發射機所應用的相關原理，並據此設計出更趨近於真實世界的科技產品。因此，科技領域課程綱要所強調的 STEM 教育，並非擺脫傳統問題解決的理念和精神，而是植基於對於傳統問題解決教學的反思，而期望藉此深化專題實作活動的學習。

二、高中階段的 STEM 專題製作活動設計應該兼顧教與學

許多科技教師在面對十二年國民基本教育課程綱要時，比較偏重於希望能夠獲得具體的實作活動教學案例，希望大家能夠告訴科技教師應該「如何教？」然而，對筆者而言，提供具體的實作活動教學案例並不困難，但困難的是倘若教師在教學的過程中不能夠深切的體悟課程綱要的理念，即使提供具體的實作活動教學案例，學生在科技領域的學習仍舊無法擺脫傳統的框架，因此，STEM 專題製作活動的教學應該要先了解訴求，再思考怎麼教？以及學生如何學？而並非只是把比較偏工程的材料發給學生，然後持續再讓學生發揮創意設計、解決問題，這樣的作法便無法讓國中生的問題解決能力有所提升，更無法讓學生有機會學習如何進行理論導向的設計。此外，在設計 STEM 專題實作活動時，許多老師會偏重在介紹與該活動相關的科學、數學、科技與工程知識，但實際上許多國內外研究發現，由於這些相關的知識太多，假使科技教師沒有在設計與製作的過程中有效的進行引導的話，學生在這些相關知識的認知學習成就上是不會有幫助的。因此，依據筆者從事 STEM 研究的經驗，建議 STEM 專題製作活動應該以培養學生對科學或數學或科技或工程的態度為主，讓學生有機會試探其對於這些領域的興趣，才可能有機會解決科技或工程人才短缺的問題。此外，在進行 STEM 跨領域統整時，應該以關鍵的知識為主即可，而並非期望學生能將所有與該活動相關的科學、數學、科技與工程知識，都能夠透過 STEM 專題製作活動進行統整，亦即，當學生在設計解決問題的方案時，哪些科學、數學、科技或工程的知識會有助於學生進行設計，教師便應該結合日常生活中的實例進行介紹，並讓學生學習進行理論導向設計，這樣才能夠深化學生的問題解決能力。

三、高中階段的主軸是工程設計而非工程專業知識的學習

雖然目前科技領域課程綱要尚未公布，但是已經有許多科技教師對於課程綱要有許多的誤解，例如高中強調 STEM 教育是捨本逐末，抑或者高中階段強調工程專業的學習難以落實等。有關 STEM 教育的部份前面已經做了說明與解釋，此處筆者想要釐清的是後者的迷思概念，在科技領域課程綱要中強調高中階段的主軸是工程設計，而並非工程專業領域的知識學習。亦即，高中階段主要應培養學生具備工程設計的能力，而並非將大學工程相關系所的專業知識淺化後，移植到高中階段來教授，如此一來不僅教學時數不夠，且有可能會和技術型高中的工程科別之教學內涵重複。反觀工程設計能力，工程設計是一種歷程，工程師為了解決工程問題所採用的解決程序或步驟，此一步驟與國中階段所應用的問題解決步驟或設計步驟能夠銜接，亦即，國中階段所培育的問題解決能力在高中階段就可藉此進階為工程問題解決能力，而其中工程設計的流程便是主要的認知結構。因此，若以必修的每週兩節課而言，

若透過專題製作活動來培養學生工程設計的能力，不僅能和國中階段有所區隔和銜接，也可避免傳統以來國中和高中常被會話病學習內容可能重疊的問題。因此，對筆者而言，教導學生工程設計的能力是主題，科技的應用中所規劃的機構與結構、機電整合與控制等內容，則是開放由科技教師設計 STEM 專題製作活動的領域，例如乒乓球發射器便是建議高中階段可以應用的有趣主題。此外，若各校願意開設選修課程的話，在工程設計專題製作的內涵中便規劃有更廣泛的科技主題，讓所有生活科技教師都能夠妥善發揮自己的專長，設計自己偏好的 STEM 專題實作活動，甚至可藉此結合科展活動，讓學生能夠實際將成果與他校學生進行觀摩、競賽。

綜上所述，本期的 STEM 專題製作活動主要期望能夠供生活科技教師一些具體、可供參採的專題製作教學活動案例，但更重要的還是希望科技教師們應該嘗試著了解課程綱要改革的理念與訴求，而不要僅憑片面的資訊來論斷課程綱要的好壞，尤其是在課程綱要的發展過程中，無論是委員會的成員，抑或者在規劃國中與高中階段的學習內容時，都有相當大量的國、高中生活科技教師參與、主導，並非僅由少數人參與和規劃。至少，目前的科技領域課程綱要暫時穩住了科技教育的地位，讓在職老師、職前教師都還能夠有機會持續為了這個領域努力，目前課程綱要不足的地方，未來都還有機會修改，但是我們得一起努力先讓科技領域再度茁壯，才能有機會在下一次的課程改革中繼續精進我們的課程規劃，希望這期的內容會對大家有幫助，也謝謝所有投稿者所付出的心力與奉獻，您的付出會是我們科技領域持續往前的重要動力。

於高中實施工程設計專題製作活動課程設計之探討

An Exploration of Project-based Engineering Design Curriculum in Senior High School

張芳瑜

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系 碩士班

Chang, Fang-Yu

National Taiwan Normal University

Department of Technology Application and Human Resource Development

摘要

依據十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案，高中階段生活科技課程將「工程設計」視為重要內涵，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習，並藉此發展其在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。本文將依據課程改革之理念，從工程設計專題製作活動的發展基礎、教學題材及策略與所應考量之面向，探討工程設計專題製作活動在高中生活科技課程中的定位及其所扮演的角色，並考量現行高中生活科技教學活動，舉出施行與生活議題相關之專題製作活動、將工程設計流程作為教學活動之主軸、及藉專題目標傳授工程設計核心概念等觀點，並針對工程設計專題製作活動之課程規劃提出具體建議。

關鍵詞：工程設計、專題活動、課程設計

壹、前言

十二年國教 107 課綱將科技與工程之內涵納入科技領域課程規劃中，並將生活科技課程的目標定位為：教導學生如何從生活中的需求中去設計與製作有用及適用的物品，且學生應在實作的過程中，學習如何從嘗試錯誤以至系統性思考（國家教育研究院，2016）。

依據十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案（國家教育研究院，2016），科技領域包含生活科技與資訊科技兩個科目，高中階段之生活科技與資訊科技必修課程各為兩分，科技領域選修共八學分。

而在普通型高中的兩學分必修課程中，「科技的本質」、「設計與製作」、「科技的應用」及「科技與社會」四個類別的學習內容涵蓋：工程的概述、工程的內涵、工程、科技、科學、與數學的統整與應用、工程設計與實作、機構與結構的設計與應用、機電整合與控制的設計與應用、工程科技議題的探討等面向。可見高中階段生活科技課程將「工程設計（Engineering design）」視為重要內涵，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習，並藉此發展其在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。

在新課綱正式實施前，探討工程設計專題製作活動在高中生活科技課程中的定位及其所扮演的角色，進而著手進行相關課程規畫是重要課題。本文將依據課程改革之理念，考量現行高中生活科技教學活動，從工程設計專題製作活動的發展基礎、教學題材及策略與規劃工程設計專題製作活動所應考量之面向等，探討如何進行課程設計，以達成上述教育目標。

貳、施行與生活議題相關之專題製作活動

依據生活科技課程之目標，高中階段的工程相關學習內容應重視課程與生活環境的相關性，以及學生在日常活動中的應用與實踐。既欲達成課程目標，課堂活動即應與學生的生活相關且能營造學習需求與使用所學的環境。借鏡國外工程教育對專題導向學習（Project-based learning）的研究，可以發現專題導向的活動普遍聚焦於探討真實世界的議題，以尋求解決方案，並且提供考量現實情況的評估歷程，且活動中應用和整合先備知能的過程有助於學生驗證已習得的知識（Chandrasekaran, Littlefair, Joordens, & Stojcevski, 2012）。

除此之外，由於專題較問題解決實作活動更接近真實情況，以專題製作活動作為教學媒

介，在動機和學習者的參與程度上，專題能提供學生持續進行自我導向學習的過程，以發展個人參與動機、興趣和經驗，而教師的角色也從向學生傳遞知識轉變為促進學生學習，有助於培養學生自主學習，並將課堂所學實際應用於生活中（Kolmos, 1996；Mills & Treagust, 2003）。

值得注意的是，曾有學者提出若活動的待解決問題並未涉及計畫與評估，則僅可稱為主題導向活動，而不能算是專題導向活動之疑慮（Olsen, 1993），因此，若要讓學生透過工程設計的專題製作活動發展在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力，教師除了提供學生適合探討的議題，還需要適切的教學設計與引導策略。

參、將工程設計流程作為教學活動之主軸

於普通型高中實施工程設計專題製作活動的目的，應在於將生活科技的課程內涵與專題結合，並以工程設計的系統化思考歷程貫串教學活動，使學生在專題製作活動中既習得相關知識技能，亦可針對議題進行有深度的思考，並實際動手解決問題。

工程設計是一套設計者生成、評估並決定構想的系統化、合理化程序；而其產物：裝置（device）、系統（system）或程序（process）的型態及功能，需在符合特定條件限制的情況下滿足客戶目標或使用需求（Felder & Silverman, 1988）。教師在安排專題製作活動流程時，可參考課綱中列舉的界定問題、蒐集資料、發展方案、預測分析、測試修正、最佳化等步驟，亦或是依據教學內涵與實作活動的性質採用不同工程設計程序。換言之，可將工程設計視為解決問題所採用的步驟或流程，重視分析、計畫及評估，教學重點在於透過系統化的思考歷程來發展解決方案，而非傳授一套正確的工程設計步驟供學生依循（Morgan, 2012）。

就性質而言，工程設計專題製作活動將課程內容與待解決之問題相結合，使學生能夠實際運用知識技能進行議題探索及實作活動以達成目標。然而，工程問題往往包含多方評估、涉及較複雜的取捨關係，加上與工程相關的知識概念，常具多層次的架構，對專業背景及經驗不足的學生而言，在知識獲取及建構上可能不足以符應工程問題的規模與系統（Mills & Treagust, 2003），而解決問題的過程中，需要相當程度的內容知識（Content knowledge）以進行批判性思考，並依據有限的知識在短時間內找出解決方案，因此，教師必須教導學生哪些

知識過去曾經成功地解決問題，及其背後的原因（Carson, 2007）。是故教師以工程設計流程引導學生著手解決問題的過程中，亦需適時引入活動所欲傳授之核心概念。

肆、藉專題目標傳授工程設計核心概念

為與學科知識充分連結，如何適時融入課綱中所規範的學習領域，串聯「科技的本質」、「設計與製作」、「科技的應用」及「科技與社會」四個類別的學習內容，以教授學生必要的工程設計相關概念是教師規劃課程時所應考量的重要因素，因而工程設計專題製作活動的目標必須明確，使學生能夠在有限的時間和範圍內完成議題探索並且實際動手執行。

至於如何透過專題製作活動來傳授工程設計概念，一項旨在為「專題式設計導向學習」（Project oriented design based learning）發展教學架構的工程教育研究，比較來自不同大學工程教育工作者的看法，發現教師對於「工程設計」一詞的內涵與學生能從專題式設計導向學習活動中習得的知能各有見解，除了認識工程設計流程、了解工程相關專業知能並透過實際的問題來強化學習、整合應用各學科專業知識，與促使學生積極主動地解決生活周遭的相關問題等核心價值，各類課程所聚焦的設計面向不盡相同，且多數教師都有其獨特的教學方式（Connor et al., 2014）。也就是說，只要能正確傳遞課程目標所設定的核心概念，工程設計專題製作活動中的教學素材並無限制，是故現職教師仍能保有其教學自由度，可依照個人專長並考量學生背景挑選適切的教學題材。

而根據 Kolmos 的研究，課堂中的專題活動（project work）按專題議題與學科之間的連結性做區隔，可分為三種類型：任務型專題（Assignment project）、學科型專題（Subject project）及疑難型專題（Problem project）。舉例而言，假設以「解決 X 生產廠內某老舊機器的噪音問題」為專題目標，若教師將此活動設定為任務型專題，學生被賦予的課題是：測量該老舊機器的噪音級別、計算所需的降噪幅度，並找出適切的消音器以降低生產廠內噪音；若是學科型專題，則開放學生採用多元方法解決該老舊機器噪音過大的問題；而疑難型專題，則是僅以生產廠內的噪音過大為題，由學生自行找出產生噪音的源頭，並設法解決。三種型態的專題活動皆涵蓋分析、界定問題、解決問題、總結和發表等歷程，階段性的實施不同類型專題可幫助學生建構工程相關知能。其中，任務型專題活動的特點在於專題活動的議題與解決問

題所需要的學科知識由教學者預設，由於欲探討的範圍與內容相當明確，學生在進行專題活動時，所選擇的解決方法可說是經過教師設計安排的，教學目標容易掌控（Kolmos, 1996）。

因此，在兩學分的必修課程中採用任務型專題的模式來安排工程設計專題製作活動，不僅容易連結欲傳授的學科知識，學生能立即驗證所學，教師亦可掌握學生的學習歷程；而強調加深加廣的選修課程則較適合實施開放學生在學科內容中自由選擇議題，或在指定的問題下，自行發展解決辦法的學科型專題與涉略範圍廣泛且考量層面多元的疑難型專題。

伍、 規劃工程設計專題製作活動所應考量之面向

舉常見的建造橋樑活動為例，課程通常是從介紹幾種橋樑結構開始，認識相關受力分析方法，接著帶到活動的目標與限制，然後進行實作活動並測試結果。活動主題橋樑雖與學生的生活經驗相關，但若將活動目標設定為建造一座橋梁，就偏離了能活用所學的本意，而取其連接和支撐的特性，尋找能夠運用之處加以設計製作是較為適切的作法。

同理，在限制條件下達成活動目標的流程設計，雖然能藉由分析測試結果來探討橋梁設計的關鍵因素，但如果單純依據理論建造出理想上最耐重的模型，又沒有測出極限，就無法深入研究成功達成目標的原因。

由於專題活動目標是要成功解決問題，而學生必須設法避免失敗，所以傾向以最安全、最保守的設計來達成任務，因此也就很難創新。但在工程設計的思維中，參考過去的失敗經驗一直是非常重要的環，因為在大部分的實例中，過去成功的例子並不保證在新的項目中也能通過考驗，失敗的例子則提供了線索，讓我們真正了解到材料、結構、建造及使用方式上的限制等，提醒設計者應該考量的因素與面向，而這些是實驗室裡的測試結果或簡單的模擬計算所無法做到的（Petroski, 1985）。如此一來，既要學生發揮創意，又要求其成功達成目標，勢必得提供使學生能夠大膽嘗試的機會，在達成目標前，讓學生願意提出創新的想法，嘗試進行思考與實驗，在探索、實驗和失敗的經驗中同時強化認知、技能及態度面向的成長，直至成功達成任務。

另外，雖然基於建構學習的觀點，學者普遍同意在教學時提供專題導向的問題，讓學生藉由思考、探索和實驗的方式發展出能達成具體目標的解決方案，有助於促使學生主動學習，

但教師在引導學生解決問題的過程中，卻可能因為預設立場，導致學生在發展構想的方式和類別上，受預期結果所影響而產生限制，因而並沒有真正培養學生發散思考或展現創造力（Chandrasekaran, Littlefair, Joordens, & Stojcevski, 2014）。唯有當教師支持學生從失敗經驗中學習，重視失敗後的檢討分析，學生才有機會多嘗試一些出乎意料之外的構想，也更能藉由探索和試驗來學習，長遠看來對於學習者的學習效果可能更有助益。

陸、結論

總結而言，專題製作活動本身提供學生跨學科知識整合的學習情境，因而在規劃活動時，應以欲傳授的課程內容為主，訂定專題的學習目標，挑選合適的議題，透過工程設計歷程進行活動，而設計、創新、批判思考等高層次思考能力，需從活動過程中的嘗試、實驗與分析、檢討，以及成果報告和經驗分享中培養，教學時可由議題出發，藉專題導出欲傳授的知識，引導學生思考、蒐集資料、分析及定義問題，進而發展構想、實際執行。

目前的問題解決教學活動，若能融入生活情境和課堂外的延伸價值，從小處著手探尋能夠發展之處，重視過程中所應考量的面向、衡量各項相關條件以取得適切的解決辦法，審慎規劃過後實際動手執行，即可成為工程設計專題活動。

而欲透過工程設計專題活動培養學生系統化思考及相關工程設計概念，關鍵在於依照學生的背景規劃教學題材及活動目標，透過專題製作活動，引導學生發掘並設法解決生活周遭的問題，同時養成學生自主學習的習慣，教師可以依照自己的專長設計課程，不需十項全能。

綜合上述所言，欲實施工程設計專題製作活動，可依下列面向進行規劃：

1. 在教學議題上，選擇與生活相關或對生活產生影響的問題，尋找能夠運用，且最終成果可回饋予生活之處，作為供學生進行探索、評估與設計製作的專題活動，題材不限。
2. 在內容知識上，課程需包含生活科技課程之重要學習內容，在活動中授予學生相關的知識技能，藉由專題情境引導學生進行系統化思考，在工程設計過程中同時進行學習與反思。
3. 在教學策略上，依據工程設計程序引導學生進行活動，重視從失敗經驗中習得的經驗，鼓勵學生提出創新的想法，嘗試進行思考與實驗，並依學生程度給予指導和協助。

4. 在活動安排上，讓學生藉由團隊合作來解決問題，並盡可能提供學生自主發展的空間，養成學生自主學習的習慣。

參考文獻

- Carson, J. (2007). A problem with problem solving: Teaching thinking without teaching knowledge. *The Mathematics Educator*, 17(2), 7-14.
- Chandrasekaran, S., Stojcevski, A., Joordens, M., & Littlefair, G. (2012). "Learning through projects in engineering education", in: *The 40th SEFI Annual Conference 2012*, Thessaloniki, Greece.
- Chandrasekaran, S., Littlefair, G., Joordens, M., & Stojcevski, A. (2014). A comparative study of staff perspectives on design based learning in engineering education. *Journal of Modern Education Review*, 4(3), 153-168.
- Connor, A. M., Berthelsen, C., Karmokar, S., Marks, S., Kenobi, B., & Walker, C. (2014). An Unexpected journey: Experiences of learning through exploration and experimentation. In: *DesignEd Asia Conference 2014*. Honk Kong Design Institute, Honk Kong.
- Felder, R. M., & Silverman, L. K. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering education*, 78(7), 674-681.
- Hynes, M. M. (2012). Middle-school teachers' understanding and teaching of the engineering design process: A look at subject matter and pedagogical content knowledge. *International journal of technology and design education*, 22(3), 345-360.
- Kolmos, A. (1996). Reflections on project work and problem-based learning. *European Journal of Engineering Education*, 21(2), 141-148.
- Mills, J. E., & Treagust, D. F. (2003). Engineering education – Is problem-based or project-based learning the answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, 3(2), 2-16.
- Olsen, J. B. (1993). *Kreativ voksenindlæring: En indlæringspsykologisk og videnskabssteoretisk analyse og nyvurdering af problemorienteret projektarbejde på Åben Universitet* (Creative Adult Learning: A Learning Psychological and Epistemological Analysis and Reevaluation of Problem-Centered Project Work at Open University), Aalborg Universitetsforlag, Aalborg.
- Petroski, H. (1985). *To engineer is human: The role of failure in successful design*. New York, N.Y: St. Martin's Press
- 國家教育研究院 (2016)。十二年國民基本教育課程綱要—中小學暨普通型高級中等學校—科技領域課程綱要草案。2016年8月30日，取自：
http://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/92/pta_10229_131308_94274.pdf

高中工程設計實作教學活動之設計與發展

—以乒乓球發射器為例

Design and Development of Senior High School Engineering

Design Practical Teaching Activities

— Taking Table Tennis Launcher Lesson as an Example

姚經政、林呈彥

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

Jing-Jheng Yao、Cheng-Yen Lin

Department of Technology Application and Human Resource Development,

National Taiwan Normal University

摘要

隨著十二年國教即將上路，科技領域課綱將工程設計視為高中階段的主軸，其立意良好，但由於大多數的中學教師對工程教育的教學方法和教材不甚熟悉，可能會導致課綱實施的困難。因此，本文依照 Atman(2007)的工程設計流程為基礎，以乒乓球發射器為例，提供中等教師一個適切的工程教育教學活動，幫助教師進一步設計工程教育教案。此外，也針對乒乓球發射器提出省思與建議如下：(一)應適當的控制變因數量，不可過多導致學生學習意願降低。(二)工程設計流程能夠整合知識與技能，為高中工程教育所重視的教學方法。(三)和傳統生活科技課程不同，工程教育強調透過適當的教學策略加入工程相關知識，進而提升學生的工程興趣，在生活上不僅具實用價值，並且注重學生的思考能力，為生活科技未來的主軸。(四)本活動強調機構的設計，建議教師應於實作前先與學生進行討論並且實施建模，此外，也應鼓勵學生進行評估與分析，而非單純的嘗試錯誤。

關鍵字：工程教育、STEM、工程設計流程、乒乓球發射器

壹、前言

臺灣即將上路的十二年國教科技領域課綱將工程設計視為高中階段的主軸，希望學生面對問題時，運用所學過的數學、科學知識搭配工程設計流程，如模擬、評估、最佳化等步驟進行動手實作，提供學生知識與技能並重的課程。工程教育的立意良好，但問題也在推動前夕伴隨而來，目前最緊迫的問題是工程教育首次在臺灣推動，大部分的中學老師對其並不熟悉，若希望工程教育能在未來順利推動，需要開發適當的教學範例，提供生活科技教師參考，如此才能將有效落實新課綱的教育理念。本文主要以工程教育理念為基礎，結合Atman等人（2007）提出的工程設計思考流程，以乒乓球發射器做為主題，設計一工程教育實作活動，提供生活科技教師參考，藉此培育高中生的工程態度以及工程設計思考的能力。

貳、文獻探討

一、十二年國教科技領域之工程教育內涵

在 2015 年《十二年國教科技領域課程綱要草案》中，提到高中生活科技課程的主軸著重在工程教育，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科、STEM 知識整合的學習。林坤誼（2014）提到 STEM 的科際整合教育議題在近年來受到許多的關切與重視，顯示工程教育的重要性不容忽視，各國皆盼望透過這樣的教育有效活用學生的知識與技能，並藉此發展學生在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。

提倡工程教育的原因主要有兩點，由於臺灣各大專院校皆有以工程為元素之科系，但高中生選填志願時卻從來不知道何為工程，為改善這樣的情況，我們必須在高中階段就將工程的教育帶入，協助學生了解工程的意涵。另一點則是以往科技教育的形式以「嘗試錯誤」最為普遍，但欲整合知識，在活動的設計上就應該有其脈絡與邏輯性，因此導入工程的教育並藉機培養學生跨科整合的能力，希望老師提供活動中的重要變項，學生透過模擬、預測來得知自己將會得到怎麼樣的成果，改善過往的科技教育。

在上述理念之下，臺灣的科技教育學習內容分為四個主題：科技的本質、設計與製作、科技的應用、科技與社會，工程的部分為高中必修課程，其學習內容整理如下表 1 所示（十二年國民基本教育科技領域課程綱要委員會，2015）。

表 1 十二年國教科技教育學習內容簡述表

一、科技的本質	
工程的概述	介紹科技、科學與工程關係，使學生能理解重要且兼具實用性的重要工程概念知識。
工程的內涵	介紹現代社會中重要的工程內涵，包含機械、機電、電子、土木、環境以及建築等領域。
工程、科技、科學與數學的統整與應用	藉由 STEM 科際整合進行教學，綜合工程、科技、科學與數學 4 大領域的學習與應用
二、設計與製作	
工程設計與實作	學生能夠了解並應用工程設計流程，包含界定問題與條件、解決方案與策略、預測分析、最佳化。
電腦輔助設計與製造	培養學生透過電腦進行繪圖、設計並進行製造的能力。
三、科技的應用	
結構設計與材料工程	以設計能力為培養主軸，包含空間與結構工程、產品設計與製造工程。
機電整合與系統控制工程	學習機電以及自動化控制，包含機械與機電控制工程、能源與運輸工程。
四、科技與社會	
工程科技議題的探究	經由對於科技與工程的學習後，由教師引導帶領學生討論目前社會上的工程科技議題，並進行探究。

具體而言，臺灣高中階段的工程教育內容包含科技的本質、設計與製作、科技的應用、科技與社會四個主題，希望生活科技課程能夠讓學生知道何謂工程，並透過活動整合學生的能力，讓學生在知識、技能的運用上都得以學習，進而培養學生的科技與工程素養。

二、工程設計之意涵與流程

(一) 工程設計的意涵

NCETE (The National Center for Engineering and Technology Education) 在工程設計領域提出三個核心能力，這三個工程能力為限制 (Constraints)，最佳化 (Optimization) 和預測分析 (Predictive Analysis)，簡稱 COPA(Merrill, Custer, Daugherty, Westrick, & Zeng, 2008)，本文整理如表 2。

表 2 工程設計三大核心能力

能力	內涵
限制 (Constraints)	限制往往在設計開始前進行，其意涵為在教學中要求學生盡可能的考慮各種現實的客觀限制，包含成本、可行性、時間、材料和環境影響等因素。
最佳化 (Optimization)	最佳化意指「最好」的設計，而欲達到該目標，所需考量的因素不單只是設計上的考量，而更牽涉更多層面，包括生產力、強度、效率、利用率及使用年限等在內，都必須於構思設計的過程反覆考量。
預測分析 (Predictive Analysis)	預測分析常於構思結束後進行，並對於各種可能嘗試進行模擬，嘗試尋找最佳的方案。Eekels(1995)認為在工程設計時，若無進行預測分析的步驟，那麼在行動時只能以嘗試錯誤的方式進行，更有可能陷入永無止境的徘徊尋找一個解決方案的窘境。

綜上所述，工程設計強調想先於做，重視「先思考，後執行」，而不是一昧的嘗試錯誤。

(二) 工程設計流程

Atman(2007)提出了工程設計流程，為個體在面對複雜問題時可以採用的建議步驟，並且對應於限制、預測分析、最佳化等三個核心概念。此外，他認為問題解決是工程設計的重要目的，因此工程設計的流程就成為工程發展的重點。其程序包含：確認需求、定義問題、蒐集資訊、產生想法、建構模型、可行性分析、評估、決定、溝通協調、實踐等步驟。

1. 確認需求：

首先需要了解所遇到的需求是什麼？將所有可能得需求一一條列下來後再進行討論並進行增減。

2. 定義問題：

接著從提出的需求中，定義出所面臨的問題與限制。

3. 蒐集資訊：

尋找並蒐集相關的資訊，運用小組討論、資料蒐集、腦力激盪等方式幫助學生建構自身對學習主題之理解。

4. 產生想法：

發展出可能的構想與解決方法。學生解釋並重新思考設計問題，藉此確認每一需求所包含的意義，並繪製設計圖及與組員討論、發表。學生亦須針對製作流程進行解說，以確認學生對於加工程序的規劃能力。

5. 建構模型：

描述該如何實現這些構想與方法。可用簡單的材料進行建模，用容易改造的材料模擬構想中的發射器，材料的耐久程度其次，只要能夠取得同機構結構上的效果即可算是成功的建模。

6. 可行性分析：

分析所有建模的可行性，如果替換成實際加工的材料是否會有困難，選擇的替代材料是否有符合限制。

7. 評估：

比較所有建模中可行的方法，尋找合適的設計，學生在做評估的時候要考慮到機構的穩定度、結構的強度、發射器的力道、加工的方式等，促使學生對所學內容作深度探討，將簡單學科概念轉換為複雜問題的解決能力。

8. 決定：

選出效果最好的方法或是成功率最高的方法。

9. 溝通協調：

與其他人進行討論，小組中的成員可能會有人認為其他的設計比較好，為了達成共識，組員間必須跟其他人傳達自己的評估與決定結果，並說服或是妥協其他組員。

10. 實踐：

確實依照計畫實現構想，並將之進行紀錄。並針對測試結果進行分析其優缺點以其進行改善。

本文將以工程設計流程做為本教學活動的架構，引導教師與學生在進行工程導向之課程時可以更有系統的進行教學課程活動，並且讓學生能夠有清楚的指引進行課程。

參、教學設計

本教學活動為工程取向課程，教學內容涵蓋科學、科技與數學之學科內容。透過活動整合學生知識與實作技能，進而製作出一台能夠發射不同球路的乒乓球發射器。教學流程使用 Atman 等人(2007)提出的工程設計流程，盼學生能夠了解工程的意義與重要性，更希望此活動能作為一範例提供給生科教師參考，詳細如表 3。

表 3 工程設計流程與課程之對應

工程設計流程	課程內容
1. 確認需求	本次乒乓球發射器是為了模擬實際的回擊練習，所以需要能夠射出會旋轉的球。而且球的類型要能夠變換，這樣才能夠達成實際發球的練習。本活動透過專題式的學習，建立「乒乓球回擊練習」的情境，對製作目標進行說明。
2. 定義問題	請學生考量限制，例如本次活動的經費扣除工具以及板材，材料費必須壓在 500 元以內，而且不能使用現有的電器產品進行拆解。
3. 蒐集資訊	請學生進行資料蒐集的工作，並於課堂提出來一同討論。老師可以提供獲得資料的管道或是方法。同時指點學生用現有材料如何製作符合限制條件的發射器。
4. 產生想法	挑選幾種可行的方案繪製成設計圖，並同時提出重點和特徵進行文字描述。
5. 建構模型	使用厚紙板或是西卡紙進行建模。
6. 可行性分析	透過建模進行可行性分析，重點必須考量若將其替換成真實的材料是否在製作上、成本上會遭受到阻礙或困難。
7. 評估	比較所有建模模型中可行的方案，考量的因素包含結構穩定、強度、材料的使用、是否能達到需求等。
8. 決定	選出最佳方案。
9. 溝通協調	確認小組中的成員是否對於該方案有疑義，若有其他意見可在此階段提出並進行討論，組員間必須跟其他人表達自己的想法，最終能讓小組的作品更加完善。
10. 實踐(製作)	實際將設計付諸執行，並測試發射器是否有如目標需求一般的功能。如果有，則須詳細分析裝置成功之因素，並紀錄於學習歷程檔案。如果無，需進一步提出改善構想，並針對構想的方案進行改進，以達成目標。

肆、高中工程教學活動範例—以乒乓球發射器為例

一、活動情境

班上最近迷上了桌球，每位同學都積極尋找練習對象增進自己的實力，不過難免找不到夥伴陪同一起練習，即使有夥伴又不可能要求對方能夠完全照著自己的需求陪同練習發球，這時候就萌生了購買發球機的想法。但是一台發球機動輒數萬元，身為一名學生根本無法負擔的起，但如果能夠請教學校的生活科技老師，請老師指導我們用簡單的材料與零件製作，說不定能滿足我們的需求。因此本次活動所要解決的工程問題，便是設計與製作一台乒乓球發射器。

二、活動簡述

(一) 教學對象：

此活動以工程設計流程作為主軸，建議教學對象以高中學生為主。

(二) 教學時數：

10 節課 500 分鐘。

(三) 評量標準：

學生必須透過工程設計流程製作一台電動乒乓球發射器，除了發射直球之外，還必須有發旋球的功能，此外必須能連續發射 10 顆球以上。

(四) 使用材料與工具：

本活動使用的材料詳列如表 4，工具詳列如表 5，材料圖片呈現如圖 1。

表 4 乒乓球發射器活動材料表

項次	項目名稱	數量	範例規格	價格	用途
1	水管(直)	2	外徑 48mm 內徑 44mm 長度 15cm	50 元/1 根	進球及發射裝置主材料
2	水管轉接頭(45 度)	1	外徑 55mm 內徑 48mm	30 元/1 個	連接進球裝置及發射裝置

3	橡皮車輪	1	綠色小口徑輪 +真空胎避震 胎 15239	15 元/1 個	旋轉球體
4	四驅車馬達	1	15487 TORQUE- TUNED	99 元/1 顆	發射裝置動力
5	減速齒輪組	1	144:1	100 元 /1 組	進球裝置動力，含馬達
6	木心板	2	200*200*18 (mm)	20 元/1 片	底板材料
7	密集板	1	200*200*6 (mm)	20 元/1 片	支撐架材料
8	電池盒	1	4 入	22 元/1 份	發射裝置電源供應
9	電池盒	1	2 入	18 元/1 份	進球裝置電源供應

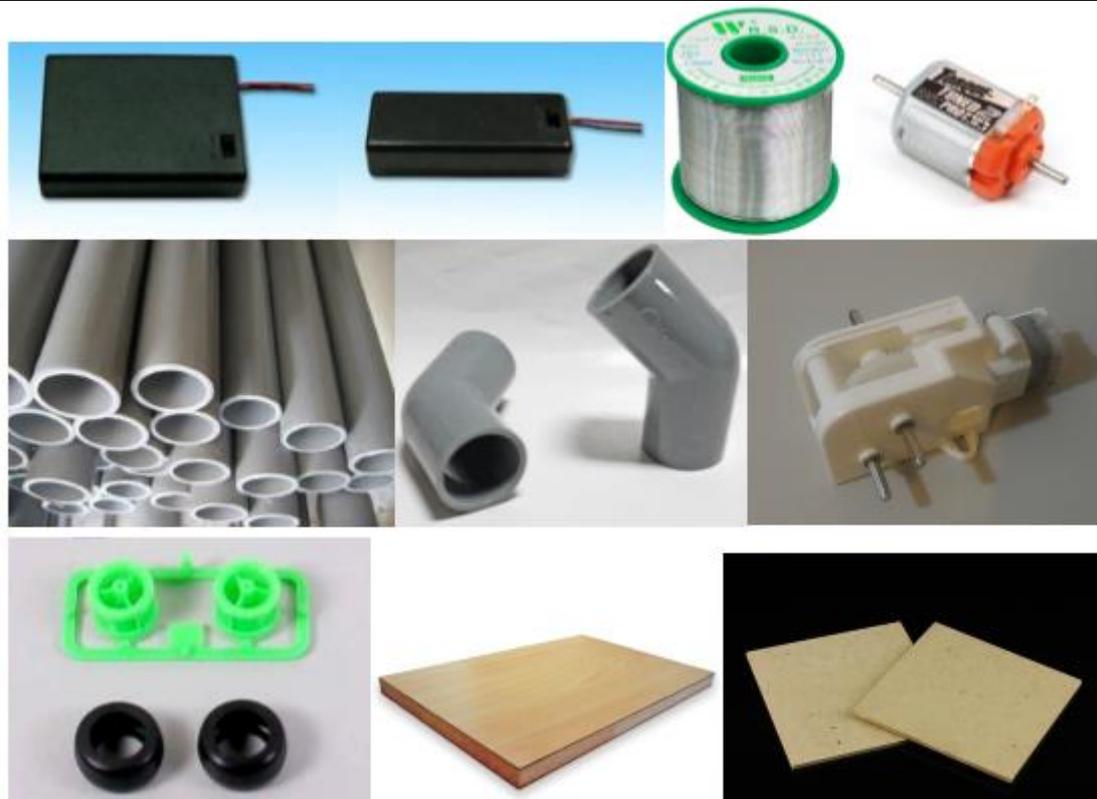


圖 1 製作材料

表 5 乒乓球發射器活動工具清單

項次	項目名稱	數量	規格
1	線鋸機	1 台	MSJ401
2	鑽床	1 台	EDP20013B
3	銼刀	1 把	扁銼
4	鐵尺	1 把	30 公分
5	熱熔膠槍	1 把	小/15W
6	烙鐵	1 把	木柄式 40W 烙鐵
7	電工膠帶	1 網	3M 絕緣膠帶

三、課程目標

本教學活動為工程取向之科際整合課程，故課程包含科學、科技、工程與數學之學科內容、基本操作能力與核心素養。而課程目標以十二年國教科技領域課程綱要，高中科技領域核心素養具體內涵為主。

- (一) 具備系統思考與分析探索的能力，並能運用科技工具與策略有效處理並解決人生各種問題。
- (二) 具備統整科技資源進行規劃、執行、評鑑及反省的能力，並能以科技創新的態度與作為，因應新的情境與問題。
- (三) 具備利用科技以妥善組織工作團隊與溝通協調，以進行合作共創的能力。

四、製作流程

乒乓球發射器主要分為兩個部分，發射裝置與導球裝置。發球裝置的製作流程搭配圖片整理如下表 6；導球裝置的製作流程搭配圖片整理如下表 7。

表 6 發射裝置製作步驟

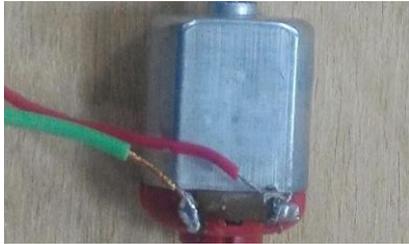
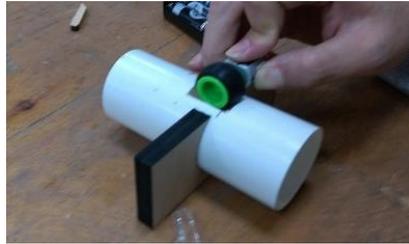
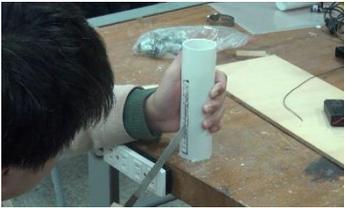
步驟 1	步驟 2	步驟 3
<p>裁切水管約 15cm。</p>	<p>用鑽床挖孔，孔徑大小約與輪胎直徑相同。</p>	<p>用銼刀修飾挖孔邊緣直至光滑。</p>
		
步驟 4	步驟 5	步驟 6
<p>用線鋸機切割密集板，製作馬達依靠的固定點。</p>	<p>用烙鐵及鉛錫將馬達與電池盒連接。</p>	<p>測試馬達旋轉時，橡皮輪能夠順利運轉。</p>
		
步驟 7	步驟 8	步驟 9
<p>使用熱熔膠固定電池盒、水管及馬達，再纏上電工膠布。</p>	<p>內側出口貼上砂紙或泡棉膠，增加摩擦力。</p>	<p>完成，試射！</p>
		

表 7 導球裝置製作步驟

<p>步驟 1</p>	<p>步驟 2</p>	<p>步驟 3</p>
<p>裁切水管約 15cm</p>	<p>用鑽床挖孔，孔徑大小約與導輪直徑相同</p>	<p>用銼刀修飾挖孔邊緣直至光滑</p>
		
<p>步驟 4</p>	<p>步驟 5</p>	<p>步驟 6</p>
<p>使用線鋸機切削一月形導輪。</p>	<p>組裝減速齒輪組。</p>	<p>將減速齒輪組的鐵桿穿過導輪中心。</p>
		
<p>步驟 7</p>	<p>步驟 8</p>	<p>步驟 9</p>
<p>用線鋸機切割密集板，製作齒輪組依靠的固定點。</p>	<p>用烙鐵及錫將馬達與電池盒連接。</p>	<p>確認旋轉是否順利</p>
		
<p>步驟 10</p>	<p>步驟 11</p>	<p>步驟 12</p>
<p>使用熱熔膠固定電池盒、水管，並鎖上減速齒輪組。</p>	<p>用水管彎管連接發射裝置跟進球裝置</p>	<p>製作腳架，完成。</p>
		

五、製作注意事項

製作的注意事項分為三大部分，包含：發射裝置、導球裝置以及主體架構，針對每個部件說明注意事項如下：

(一) 發射裝置

由於要發射旋球，發射器的重點就在於如何將球順利的發射出去，以及如何改變球的旋轉方向。筆者的範例使用的是四驅車馬達將球擠出，需要特別注意的是輪胎與球一定要接觸並擠壓，如此才有發射的力量，為此輪胎與馬達的位置都要固定好。球的旋轉方向部分，由於筆者使用水管彎頭連接發射與導球裝置，因此發射裝置的PVC直硬管是可以轉動的，如此便解決旋轉方向的問題。

(二) 導球裝置

為了讓球以固定的時間差發射出來，導球裝置的主要目的就是將球分開導入發射裝置，因此我們使用密集板設計出一次只能導入一顆球的月形裝置（見圖1）。唯獨需要注意的是開口寬度需要比乒乓球大，而後藉由減速馬達的帶動，機器平均3秒鐘才會發一顆球，目的為切合練習之發球頻率。

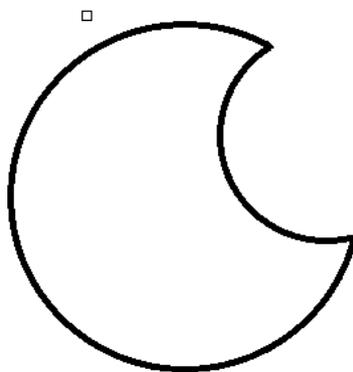


圖 2. 導球裝置的設計

(三) 主體架構

主體架構分為固定架、腳架與底板，固定架的意思是使用板材固定馬達、輪胎、導球板、電池盒的相對位置；腳架的目的是為了撐起整個發射裝置，使其能夠站立；底板的目的是將整個發射裝置固定在上面，並在底板另一側攻螺紋，使整個裝置能固定在相機腳架上，方便調整高度。

六、教學設計

本活動共分為 10 節課實施，流程的進行以工程設計流程為主，按照確認需求、定義問題、蒐集資訊、產生想法、建構模型、可行性分析、評估、決定、溝通協調、實踐等步驟進行。本教學活動將以節次進行內容的說明，搭配工程設計流程理論詳述如表 8。

表 8 教學內容工程設計流程之對應

節次	教學內容	工程設計流程	備註
1	老師： 解說本次乒乓球發射器之專題製作內容與目標。並對製作的過程提出評分規則與材料工具的限制。 透過情境教學引導學生進入活動的發射器主題，以市售之發射器為比較對象，讓學生設計。	確認需求 定義問題	學習歷程檔案為學生進行討論、設計、製作與檢討之依據。學習歷程檔案內容則採用工程設計程序的 10 個步驟編製而成。 請每位學生至少提出 5 個以上，可能碰到的問題。
2	引導學生蒐集可用的資訊，提供可以獲得資料的管道或是方法。同時指點學生用現有材料如何製作符合限制條件的發射器。	蒐集資訊 產生想法	老師於此階段再對問題進行解釋，例如：球要能夠是旋球，而且能自行調整方向。 請每位學生至少準備 5 份以上的相關資料。
3-4	讓學生用紙筒及厚紙板進行簡單的模型製作，製作完畢後可以進行測試。老師依據學生設計過程填寫檢核表。	建構模型	以步驟為工程設計與問題解決不同的主要差異，應讓學生自行設計不同建模方式以測試構想。
5	分析測試作品的功能是否有符合可以旋球的發射器。 建模作品的加工及材料替換，是否符合本次專題製作的條件限制。	可行性分析	讓學生分析建模，預測建模的能力與不同類型建模應該出現的差異。

6	比較建模中可行的方法，分析每個模型的優缺點。 選出效果最好的方法或是成功率最高的方法。 與其他組員進行討論，並提出改進的方法與建議。	評估 決定 溝通協調	數據化的紀錄建模的結果。依據建模的測試結果進行有系統的分析，教師可以給予回饋，引導學生進行設計上的修改。
7-9	學生依據組員共同檢討之結果，使用老師所提供的材料，再次進行裝置的設計與製作。本次實際製作必須包含腳架的設計。	實踐	
10	各組組員上台進行成果發表與報告，展示裝置運行的成果與改善的方案，最後繳交學習歷程檔案。	實踐	老師可視時間長短給予各組回饋。

伍、教學省思與建議

一、活動的設計

筆者認為生活科技課程必須學生解決問題的環境，透過工程教育的應用，更是有機會訓練學生知識與技能的整合能力。要注意的是活動給予的問題不宜有太多變因，否則學生會難以進行討論與探究，感到艱澀難學；教師也不容易就每個環節、每個不同的理論替學生做解釋。本活動讓學生主要探討如何發射球，以及如何讓球發射出去後具有旋轉的效果，只要教師將變因控制在 1-2 個，可以在教學中請學生持續深化思考，如此學生更能抓到學習的方向與重點。

二、教學模式的使用

工程設計流程強調以工程的流程進行教學活動，學生必須透過界定問題、模擬、製作、評估等步驟，達到最佳化的目的。這樣的教學能夠建立學生對於工程的概念，整合學生的知識與技能，是推動高中工程設計教育所應重視的教學方法。

三、與傳統生活科技課程的差異

傳統的生活科技課程強調作品的實作以及材料加工方法，希望培養學生帶得走的能力，教案的設計上也都以讓學生製作出一個具有實用性的產品為主。但中學工程教育的教學活動之目的，是藉由適當的教學策略與活動來增進學生的工程相關知識，進而提升學生對工程的興趣，以面對未來之所需。美國總統 Obama (2009) 認為：「要鼓勵年輕人成為事物的決策者，而不只是消費的決策者」，意即為了面對未來，提升國家的競爭力，應當要培養年輕世代工程設計的能力，即是發明、製作、評估、改進相關的能力，而不是只能使用。若適當的在生活科技課程中加入工程教育，便有機會培養學生工程設計能力，以及訓練學生整合知識與技能的能力，在生活上不僅有實用的價值，還注重學生的思考，是生活科技課程未來前進的方向。

四、教學建議

此活動的重點在於機構結構的設計以及學生實作的方法，因此製作之前一定要請學生確認相關的設計都規劃好之後再進行。為避免學生的成品成效不佳，需要請學生與教師共同討論機構的可行性，如網路上有相似範例更好。另外需要準備簡單的材料供學生進行測試，例如使用衛生紙捲筒代替水管，確認其效果能夠達到教師及學生的目的，再行製作。

確認設計沒有問題、模擬的情況也相當正常後，學生即可使用板材依照模擬製作時的經驗製作出一個成品，有別於以往科技教育利用嘗試錯誤慢慢試出成品，學生可能做出來但依然無法掌握影響成品的關鍵要素。

參考文獻

一、中文部分

十二年國民基本教育科技領域課程綱要委員會 (2015)。十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案。取自 <http://web.cmgsh.tp.edu.tw/mediafile/20290013/knowledge/176/19/248/2015-11-30-11-56-29-nf1.pdf>

林坤誼 (2014)。STEM 科際整合教育培養整合理論與實務的科技人才。科技與人力教育季刊, 1 (1), 1。

二、外文部分

Atman, C.J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. J. (2007).

Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379

Obama, B. (2009). *Remarks made by the President at the National Academy of Sciences annual meeting*. Retrieved from http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Remarks-by-the-President-at-the-National-Academy-of-Sciences-Annual-Meeting/

Eekels, J. (1995). Values, objectivity and subjectivity in science and engineering. *Journal of Engineering Design*, 6(3), 173-189.

Merrill, C., Custer, R., Daugherty, J., Westrick, M., & Zeng, Y. (2008). Delivering core engineering concepts to secondary level students. *Journal of Technology Education*, 20(1), 48-64.

附件一：乒乓球發射裝置學習歷程檔案

● 確認需求

我們需要一台乒乓球發射器來做為練習工具，要能夠模擬對手發球的各種變化。所以，該發球裝置要能夠射出不同旋轉方向的旋球，而且要一顆一顆有間隔的發射。

評量重點：學生能夠清楚的知道任務的需求。

● 定義問題

一個發射出去的球如何讓它旋轉？如何讓球有次序的進入裝置內而不會像是步槍一樣掃射？

評量重點：學生能否有系統的整理問題。

● 蒐集資訊

讓學生蒐集已知的資訊，尋找相關的設計構想。

評量重點：學生尋找的方案是否符合問題

● 產生想法

將設計構想畫下來，並且以圖文的形式呈現。

評量重點：學生是否能明確表達構想。

● 建構模型

依據想法，用樂高建模。

評量重點：模擬發射器運作的方法與構想是否正確。

● 可行性分析

分析使用樂高建模後構造上的可行性，是否符合問題的限制。如何用老師提供的材料完成成品。

評量重點：用樂高建模後要如何改用別的材料來替代。

● 評估

提出多種建模的設計後進行分析。

評量重點：能否指出各種建模範例的優缺點。

● 決定

從範例中選出現在最適合的方法，並解釋。

評量重點：選擇最適合方法的過程理由是否合乎設計原則。

● 溝通協調

與其他人進行討論，並提出改進的方法與建議。

評量重點：與其他人進行討論時，討論的內容是否足夠具體。

● 實踐

報告任務執行結果的成敗。若任務失敗，請你提出具體的改善構想。若任務成功，也請你詳細分析裝置成功的因素，以及所運用的科學原理，以供未來執行任務之參考。

評量重點：失敗組別必須提出具體可行之改善構想，成功組別則須詳細分析裝置成功的原因。

附件三：加減分檢核表

規準		品質		
評量內容		可改進(-1)	普通(0)	優良(+1)
實作 表現	學生能選用正確的材料、工具於製作過程中	危險操作工具 材料選用不當	能安全加工 不了解材料特性	能使用合適的材料進行安全加工
	學生能把握時間及正確程序的加工作品	想到什麼做什麼	程序及時間把握尚可，步調急促	有預留測試及改良的時間
團隊 合作	與夥伴交流情況	產生爭執，而且雙方都沒有妥協	無交集	互相關心進度 互相幫助
	工作分配	未做好工作分配	工作分配不均或工作分配不清	清楚知道自己的工作有哪些
學習單 (附錄 X)	發射器的設計圖與基礎的材料選用	空白或是缺少發射器需要的功能構造	完整的完成基礎的設計，不過材料並未確定	完整有結構的設計出發射器，並規劃材料應用
	材料表規劃	空白，或是未能如表填寫	雖然有紀錄材料表，不過並未寫出使用方法。	內容完整，使用方式條理分明
	工作分配表	空白或是未做好工作分配	工作分配不清，閃爍其詞	清楚知道各自的工作範圍
學習單 (附錄 X)	設計流程紀錄	空白或是連基礎的兩個零件(發射器、進球裝置)都有缺漏紀錄	有完成紀錄兩個重要零件的製作順序	包含馬達擺放以及各零件的位置固定等等都有詳細紀錄
	挑戰活動紀錄	未記錄	部分紀錄(含老師簽章)	完整紀錄(含老師簽章)
	反思與回饋	未能說出自己發射器的優缺點	至少能各寫出自已發射器的一項優缺點	除了能寫出優缺點之外，也能寫上下次改進的方法

STEM 取向準工程課程設計：以二氧化碳賽車單元為例

Design of STEM-based Pre-engineering Curriculum:

An exemplar of Carbon Dioxide Dragster Race

簡佑宏、張玉山、簡爾君

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

摘要

為因應工業化成長與現代社會的需要，STEM 教育(科學 Science, 科技 Technology, 工程 Engineering, 及數學 Mathematics)在廿一世紀的教學中越來越重要，而且透過 STEM 的學習成就也直接影響學生日後選讀 STEM 科系的意願。十二年國教高中生活科技之理念著重在「工程設計」，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習。故本文目的在於探討 STEM 的發展及教學設計，並利用二氧化碳賽車單元為例，提出一個 STEM 取向之準工程課程的實例，提供給老師們參考。

關鍵詞：STEM、準工程設計、二氧化碳賽車

壹、前言

在全球激烈競爭的時代，科技創新是國家競爭力的主要來源，先進國家多以提升科技實力作為驅動國家經濟成長的主要動能。換言之驅動國家競爭力與經濟力必須重視工程與科技教育(Basalyga, 2003)。因此加強工程與科技教育為各國一致的發展方向。而 STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)正是整合科學、科技、工程與數學的學科，目的在於培養國家未來的人才，並藉由此科際整合課程，增加學生對於這些學科的興趣，並與現代科學科技接軌(張玉山、楊雅茹，2014)。

且近年來教育部正進行十二年國民基本教育的推廣，高中生活科技之理念著重在「工程設計」，希望藉此發展學生在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力，同時增加將來選讀相關科系的人才。然而面臨升學時，大學科系越趨多元，一般高中生並不像高職生直接學習專業科目(李隆盛，1998)，學生經常性的對選擇系所不太了解，故如何在高中時期利用準工程教學課程強化學生對工程的瞭解甚為重要。

因此，本文先探討 STEM 取向之準工程設計課程之教學模式，再以二氧化碳賽車為例，提出教學設計的實例，供老師們參考。

貳、STEM 取向的準工程課程

一、STEM 取向課程之定義與學科素養

STEM 課程著重培養學生 21 世紀的 STEM 素養。其主要內容如下(Toulmin & Groome, 2007)：

科學素養(Scientific literacy):指運用科學知識理解自然界並參與影響自然界的有關決策，主要包括三大領域：生命與健康科學、地球與環境科學、以及科學技術。

科技素養(Technological literacy):指在現代社會中使用、管理、理解與評價技術的能力。學生應當知道如何使用科技，瞭解科技發展的歷程，並具備分析科技對自身、國家乃至全世界所可能造成之影響的能力。

工程素養(Engineering literacy)：工程設計是把科學與數學原理系統地、創造性地用於實踐的結果，其中包含：設計、生產、運作效能、機械、流程和系統等內涵，工程素養即是瞭解科技是如何透過工程設計的歷程而產生。

數學素養(Mathematical literacy)：面對不同情境之數學問題時，能有效的進行分析、推斷、並透過假設、闡述，解決、表達和解釋等數學解題之技巧，正確的傳達自身之想法。

二、準工程課程的發展

工程教育對於現代化國家具有舉足輕重的地位，但是許多國家(含我國)直到學生進入大學以後才有機會接觸到相關科目(林坤誼、顏郁欣，2000)。美國等國家亦注意到工程教育的重要性，NAE(National Academy of Engineering)與 NRC(National Research Council) 也將工程教育融入科學、科技與數學(MST)的課程研發(陳志嘉、謝淑惠，2008)。因此，以 MST 教育結合工程之 STEM 教育，成為美國快速發展的教育計劃，並逐漸受到重視(李博宏，2006)。圖 1 為 STEM 課程整合發展圖。

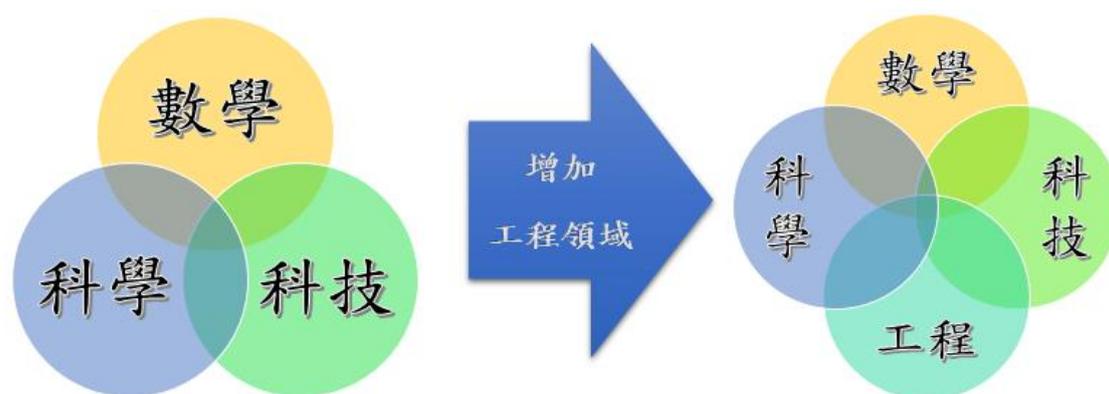


圖 1 整合性 STEM 課程的變化圖示

在高中以下的教育中，STEM 之本質為跨科際整合課程，具體的教學是以科技情境與工程設計為主體，融入數學與科學的概念以進行科技教育教學模組織發展，進而形成 STEM 取向之科技與工程教育課程(羅希哲、陳柏豪、石儒居、蔡華齡、蔡慧音，2009)。

然而準工程課程主要是做為銜接大學工程教育的準備課程，屬於探索性的(exploratory)、預備性的(preparatory)性質，目的在於培養基礎的工程素養，而非專業性或職業性的課程(林坤

誼，2001)。具體而言，需要降低專業科目的技術比重，且更著重於預測分析、邏輯推演能力的培養。

參、準工程課程的設計

Hynes 等人(2011)認為，工程設計程序在高中的 STEM 教學活動中，可以分成九個步驟：

(1)定義問題(identify and define problem)、(2)找尋資料(research the need or problem)、(3)發展解決方案(develop possible solutions)、(4)選擇最佳方案(select the best possible solution)、(5)製作原型(construct a prototype)、(6)測試與評估(test and evaluate the solution)、(7)溝通方案(communicate the solution)、(8)再設計(redesign)、(9)完成(completion)。

從單一的工程設計活動來看，Hynes 等人(2011)提出的工程設計程序和環狀問題解決模式相當接近，是常見的工程設計之實施程序，適合用在專業的工程設計教學上。然而如前文所說，準工程課程是屬於探索性的(exploratory)、預備性的(preparatory)性質。需要降低專業科目的技術比重。故 Pitsco Education (2016)提出了簡易的工程設計步驟：

1. 定義問題：確定問題或想法。
2. 確定細節：
 - A. 研究：尋找問題補充知識的階段。
 - B. 構想草圖：提出可能實行的構想。
 - C. 繪製設計圖：將構想具體清楚的呈現。
 - D. 原型建模：製作簡易的構想模型。
 - E. 測試：測試和驗證結果。
 - F. 重新設計：如果結果不如預期，找出問題並修改。
3. 設計完成：設計完成或生產。

此簡化步驟的內容可與 Hynes 等人(2011)提出的九步驟互相對應如表 1，圖 2 則為 Pitsco Education (2016)提出的簡易的工程設計循環。

表 1 不同工程設計程序對照表

流程	Hynes 等人(2011)	Pitsco Education (2016)
1	定義問題	定義問題
2	找尋資料	研究
3	發展解決方案	構想草圖
4	選擇最佳方案	繪製設計圖
5	製作原型	原型建模
6	測試與評估	測試
7	溝通方案	
8	再設計	重新設計(如果需要, 回流程 2.研究)
9	完成	設計完成

考量到準工程課程的探索性質以及臺灣生活科技課程推廣的普遍性，比起強調專業的工程設計九步驟，Pitsco Education (2016)簡化過的設計循環圈要更容易實施，亦更能達到推廣的效果。因此，我們在發展教學活動的時候，首先必須(1)研究：給與學生活動主題的科學知識，並協助學生建立觀念；(2)構想草圖：引導學生從生活經驗提出想法；(3)繪製設計圖：讓學生將構想具體的以圖紙方式表達出來；(4)原型建模：製作簡易的構想模型；(5)測試：測試並比較自己與他人的設計差異與驗證結果；(6)重新設計：尋找可改良的設計，並且於修改後重新製作；(7)完成：製作完成最後的產品。



圖 2 設計循環步驟

資料來源：Pitsco Education (2016). The design process. Retrieved from https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Engineering?art=8067

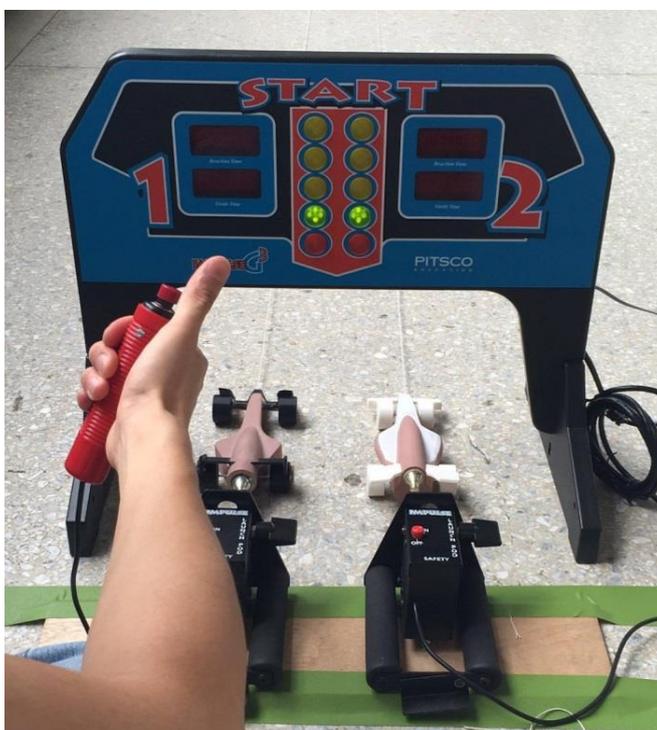


圖 3 二氧化碳賽車試射

肆、二氧化碳賽車(CO₂ car race)的活動設計

二氧化碳賽車(CO₂ car race)的動力來源是來自於車體後方的二氧化碳鋼瓶，噴發的氣體動力與火箭升空的原理相似，而高速的賽車會受到哪些因素影響，亦可從實際車輛設計的規則上找到原因。且本課程配合十二年國民教育科技領域課程內涵、國家扶植 3D 列印產業鏈國產化和 3D 人才永續培育的政策，以 3D 列印技術輔助二氧化碳車之模型製作。圖 3 為本研究發展課程時所實施之賽車試射活動。

一、活動目標

本教學活動為配合十二年國教的 STEM 取向準工程課程，故活動目標包含科學、科技、工程與數學之學科內容、基本操作能力與科技領域之核心素養。

- (一) 能善用 STEM 知識理論進行結構設計。
- (二) 能結合工程設計步驟與製圖技術完成車體模型。
- (三) 能從 STEM 的角度，分析、預測、解釋並改善結果。

表 2 核心能力對照表

生活科技學習重點		科技領域核心素養
學習表現	學習內容	
生 k-V-1	生 N-V-2	科-S-U-A3
能了解工程與設計的基本知識。如：工程設計流程、結構設計、工程材料。	工程的內涵。	具備統整科技資源進行規劃、執行、評鑑與反省的能力，並能以科技創新的態度與作為，因應新的情境與問題
生 s-V-1	生 P-V-1	
能運用工程繪圖軟體或相關科技以表達工程設計構想。	工程設計與實作。	
	生 A-V-1	
	機構與結構的設計與應用。	

二、教學設計

(一) 科學概念(S)

1. 牛頓第二、第三運動定律

當兩個物體彼此施加力於對方時，會產生一道力稱為「作用力」；而另一道力則稱為「反作用力」其大小相等、方向相反，且兩力必會同時出現。如圖 4，當二氧化碳鋼瓶的瓶口開啟，加壓的二氧化碳受壓力作用而噴出時產生作用力，而搭載了鋼瓶的二氧化碳賽車本體則承受著反方向的反作用力而前進。



圖 4 以 CO₂ 鋼瓶說明牛頓第三運動定律

資料來源：Pitsco Education (2016). Expanding gas: Boyle's law. Retrieved from

https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Science

當車開始移動時，根據牛頓第二運動定律。物體的加速度(a)與淨外力(F)成正比，與物體的質量(m)成反比。可以得出： $a = F / m$ 。換句話說，車的重量越重的時候，車子的加速度就越小。所以必須減輕車子的重量。

2. 空氣阻力

空氣阻力亦稱為流體阻力，是物體在流體中相對運動所產生與運動方向相反的力。空氣阻力會與流體密度(ρ)、速度平方(v^2)、風阻係數(C_d)、正面面積(A)成正比。標準公式為： $F = 1/2 \rho v^2 C_d A$ 。由於流體(空氣)密度不可控制。為了減少空氣阻力，必須減少車體正面的截面積以及風阻係數。

3. 風阻係數

阻力係數(常表示為 C_d)和物體的形狀及其表面特性有關(McCormick & Barnes, 1979)，當物體在流體中運動時，因外觀或構造上的設計導致流體無法順利流出而滯留時，阻力係數就會上升。如圖 5，在二氧化碳車的外觀設計上，要避免過深的凹槽或是正對前進方向的平面。



圖 5 空氣流動示意圖

資料來源：Pitsco Education (2016). Fluid friction. Retrieved from

https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Science

(二) 科技概念(T)

1. 三視繪圖與 3D 建模

二氧化碳賽車的製作中，無論使用何種加工方式，都會需要繪製車體的三視圖。教師可運用 CAD (Computer Aided Design) 相關軟體進行教學，例如免費軟體 123D Design (<http://www.123dapp.com/design> 官網可免費下載) 之介面既可幫助學生學習三視圖(圖 6)，同時在操作繪圖軟體的過程中，亦可以反覆修正並且將 3D 模型的資料數據化(體積、正投影面積等)，並在最後搭配 3D 印表機，將建構好的模型精準的完成。而在列印完成後，以手工具組裝金屬零件即可完成二氧化碳賽車。

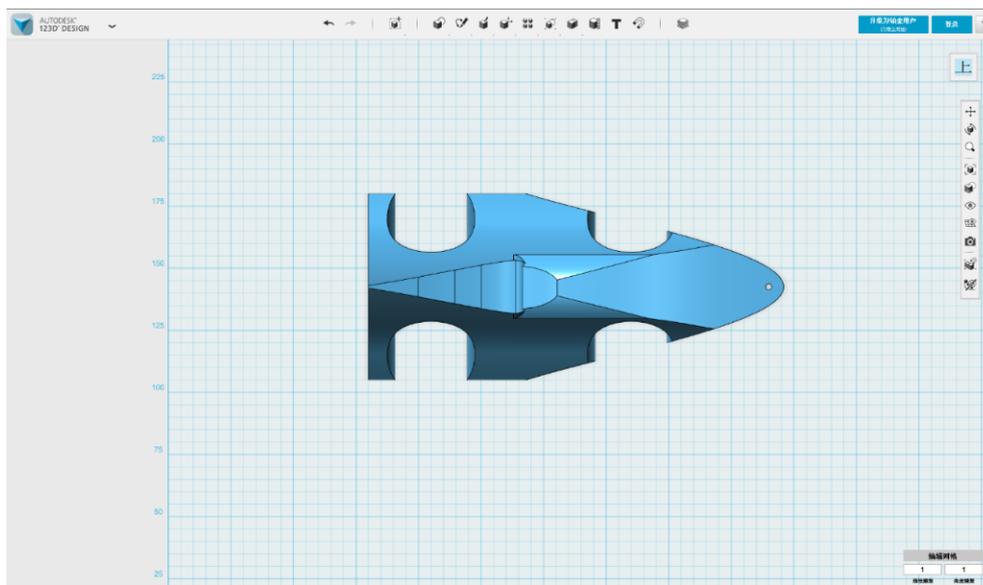


圖 6 123D Design 之 3D 繪圖軟體建模

2. 手工具使用

工欲善其事必先利其器，手工具的使用主要在於正確的步驟以及加工的工具選用使否適切，如果選用不適合的工具不止難以加工也會破壞材料。以下用二氧化碳車實作時使用的工具進行舉例：

(1) 修整車體表面—什錦銼、砂紙

當車體從 3D 列印機上取下後，應優先將支撐材去除，並且砂磨車體表面。如果先組裝好才砂磨車體表面，首先可能會磨損到其他零件，並且如果將手壓在車上來固定車體同時砂磨(如圖 7)，還會因為重量而導致車軸彎曲。此外，砂磨的工具應該從小挫刀→240#砂紙→400#砂紙...逐漸變細的順序來進行，才有辦法將表面的紋路去除。

(2) 修剪車軸—鋼剪、鋼線鉗

原始材料的車軸長度如果過長(如圖 8)會導致車輛行駛時左右搖晃，勢必得把車軸剪短至能夠倚靠車身。而修剪車軸的工具建議使用專門的工具-鋼剪、鋼絲鉗(如圖 9)，其他的切斷工具(如金工弓鋸)在修剪時很有可能會折彎車軸導致車軸彎曲。

(3) 固定車輪—鐵槌

當要固定車輪時，請務必在桌面平臺上進行。首先將車軸輕置於車輪孔位上，旋轉下壓直至前端稍微進入軸孔(如圖 10)，方可以依靠鐵槌輕敲車軸。如果一開始就使用鐵鎚敲擊，可能擊碎車輪或是造成車軸彎曲。



圖 7 錯誤的砂磨動作與步驟



圖 8 修剪不確實的車軸



圖 9 鋼剪&鋼絲鉗

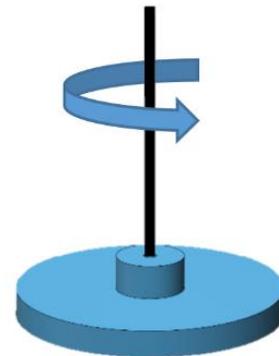


圖 10 旋轉插入

(三) 工程概念(E)

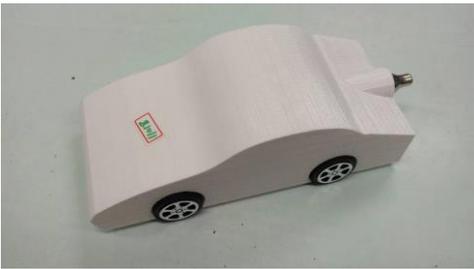
根據設計循環步驟，二氧化碳賽車的工程設計流程如下表 3。

為符合高中準工程課程之工程素養之培養，在測試前將學生的作品一字排開，並將紀錄下的數據資料公開檢視。讓學生以數據為基礎，從 STEM 的觀點出發，讓學生將車體之數據記錄於學習單上(可參考附錄 1 與表 4)，彼此交叉比對車體的數值，並將所學知識中，影響車體速度的變數當作參考，用來預測班級中比賽結果的排名，藉此培養學生之工程預測分析的能力。

表 3 二氧化碳賽車的教學流程

設計循環步驟	具體設計行為
研究	學習科學知識(牛頓運動定律、摩擦力、空氣阻力) 並提出目標(直線 20 公尺競速活動，不能損毀) →競速排名 & 以 2 秒內抵達終點為佳
構想草圖	蒐集資料提出構想，盡量參考生活中的例子
繪製設計圖	將設計圖繪製在方格紙或 CAD 軟體中
原型建模	製作初版原型
測試	第一次測試，並記錄數據
重新設計	藉由數據與他人比較並參考，學習優良的設計並改造
生產(循環→測試)	第二次成品製作，並測試

表 4 二氧化碳賽車 STEM 觀點預測分析範例

範例	對作品點評
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重量約 167 克。 2. 車體正面面積約 3242mm^2。 3. 造型：車頭有壓低，正面呈現弧線，可略降低風阻。 4. 組裝缺失：車軸過長。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重量約 302 克。 2. 車體正面面積約 5114mm^2。 3. 造型：車頭有壓低，正面呈現弧線，可略降低風阻。 4. 組裝缺失：無。

預測可能：重量上，B 的重量比 A 重快兩倍，代表加速度 B 會輸給 A。

面積上，B 的面積比 A 大，所受風阻會比 A 大，最高速度 B 會輸給 A。

A 由於車軸過長，會有相對不穩定的變數，如果車軸沒有彎曲則影響不大。

結果：

A：1.657 秒/20 公尺。

B：2.274 秒/20 公尺。

(四) 數學概念(M)

在設計二氧化碳賽車的過程中，會運用各種不同的數學概念，例如幾何繪圖、正投影面積計算、車體重量預測等。此外，在製作二氧化碳車直到完成的過程中，會讓學生記錄各項數據以及資料，包含了車體重量、車頭之正投影面積、測驗時間等。這些記錄下來的數據，可以提供學生做為車速預測分析的資料。

(五) 教學活動

1. 教學對象：此活動為準工程設計為主軸，建議教學對象為高中學生為主。
2. 教學時數：上課時間為八週，每週兩節課，共 800 分鐘。
3. 評量標準：學生須透過準工程設計流程完成一輛二氧化碳賽車，除了 2 秒內抵達終點外，還必須完成學習單的設計與製作步驟記錄及比賽預測分析表。
4. 使用工具與材料：本活動使用的材料詳細如表 5，工具詳細如表 6。

表 5 二氧化碳車材料表

項次	項目名稱	數量	規格	價格	用途
1	3D 列印線材	-	材質 PLA 線徑 1.75mm	600 元/800 克	3D 列印車身之主材料
2	鐵車軸	1	直徑 2mm 長度 200mm	5 元/1 根	車軸零件
3	塑膠車輪	4	直徑 30mm 厚度 20mm 孔徑 1.9mm	1 元/1 個	車體四輪 (可讓學生自備)
4	羊眼釘	2	環直徑 10mm 長度 22mm	150 元/500 個 (量影響價格)	勾住往終點的導引線。
5	二氧化碳鋼瓶	2	總重量 30g 直徑 18mm 口徑 9mm	12 元/1 個	二氧化碳車動力來源。

表 6 二氧化碳車加工工具清單

項次	項目名稱	規格或型號	功能
1	3D 印表機	MakerBot Replicator 5th	列印 3D 模型
2	砂紙	240#、400#	砂磨表面
3	鋼剪	FGC-200	剪斷車軸
4	鐵槌	1 吋尖尾槌	敲緊車軸
5	方格紙	A4	設計圖專用
6	挫刀	什錦銼	銼削、砂磨表面

5. 教學活動程序

本文根據前述之設計步驟將二氧化碳賽車的教學流程編寫如下表 7，製作歷程如下表 8。

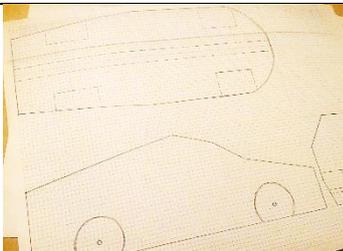
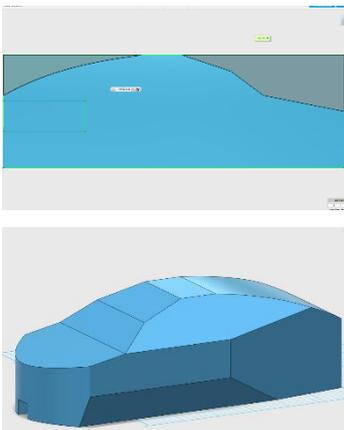
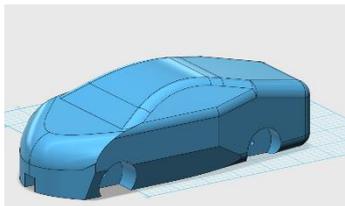
表 7 二氧化碳賽車的教學週次表

週次	設計步驟	教師活動	學生活動	教材教具
備課		準備二氧化碳車材料、工具、學習單、影片等。		
1	研究 構想草圖	<ol style="list-style-type: none"> 科學原理介紹：介紹相關原理的裝置，例如：火箭升空。 告知單元目標、提供的資源及製作上的限制條件。 提供相關原理的介紹與設計參考雛形。 引導學生發現優良範本的共通點，此時可讓學生從學習單記錄的知識中找答案，或是拿現實中賽車與卡車的造型設計差異做為聯想的啟示。 (優良的設計通常具有以下共通點：車體曲線呈現流線型、受風面積小、內部空心或體積小以減輕重量等特徵。) 	<ol style="list-style-type: none"> 紀錄學習單。 蒐集相關設計資料。 與同學討論設計差異之影響。 	簡報檔 案、影片、學習單、範本

2	繪製設計圖	<ol style="list-style-type: none"> 1. 三視圖繪圖教學 2. 設計要點告知，以 STEM 整合的角度提出可以注意的地方或是改善的要點，必須要厭其煩的告知學生影響車體速度的關鍵因素與我們繪製模型的關聯。 (重量直接影響加速度，車體越重起跑加速越慢。 面積與外觀曲線影響受風阻力，直接影響車子的最大速度。) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從構想中根據所學習到的科學知識選出最佳設計的方案。 2. 學習繪製三視圖，並繪製完成。 	方格紙
3	繪製設計圖 原型建模	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軟體操作技巧訓練。 2. 幫助學生利用 3D 繪圖軟體將三視圖繪製的設計草圖轉換成 3D 模型。 (123D Design 有前視圖、後視圖、俯視圖、仰視圖、右側視圖、左側視圖等六個正投影視圖的角度控制選項) 3. 將 3D 模型的檔案輸出至 3D 列印機完成車體列印。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實際操作工具並完成作業。 2. 紀錄製作步驟。 	電腦設備、3D 列印機。
4	原型建模	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助學生準時完成。 2. 幫助學生改良作品。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實際操作完成作業。 2. 簡易測驗作品品質。 	電腦、3D 列印、手工具。
5	測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 架設跑道。 2. 紀錄學生測驗數據。 3. 整理歸納測驗結果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預測作品於比賽之成績。 2. 預測、測試作品成績。 3. 紀錄作品成績，可與同學互相比較，提出改善的構想。 	鋼瓶發射器、計時裝置(閘門)、跑道。

6	重新設計 生產	1. 從 STEM 的角度提出可改善的建議。 例：起跑快的車有時候會被超車，代表第一輛車重量雖然比較輕，起使加速的比較快，可是最高速度(受風阻影響)輸給起跑慢的車，可能是正面面積過大或是車體有造成擾流的結構，導致最高速度較慢。	1. 重新繪製設計圖 2. 再次進行操作與完成作業。	電腦、3D 列印機。
7	生產	1. 再次進行加工指導以及協助。	1. 加工作品直至完成，並將與第一次測驗之不同處予以紀錄並提出改善的依據。 2. 簡易的作品自我檢測。	電腦、3D 列印機、 手工具。
8	測試	1. 架設跑道。 2. 紀錄學生測驗數據。 3. 整理歸納測驗結果，並根據兩次測試的結果給與短評。	1. 預測作品於比賽之成績。 2. 測試作品成績紀錄作品成績。 3. 接受老師點評。	鋼瓶發射 器、計時 裝置(閘 門)、跑 道、紀錄 單。

表 8 製作歷程

步驟 1	步驟 2	步驟 3
將設計構想簡易繪製於方格紙上。	等比例的將設計圖外框於 3D 軟體中完成。	修飾邊框與外表精緻化。
		
步驟 4	步驟 5	步驟 6
轉檔輸出至 3D 列印機	取件後修飾外觀(拔掉輔助支撐、砂磨表面)	裝金屬零件(車軸、底部羊眼)及車輪。
		

伍、結論與建議

本教學活動主要透過 STEM 取向之準工程設計課程提供學生跨學科知識整合的學習，以及科技、工程之設計與操作技能。針對課程的規劃與實施方式，茲提出下列三點建議以做為未來教師實施教學之參考：

(一) 材料使用的建議

原先進行教學時有設定給學生車體造型長、寬、高的限制，避免學生做出過大過重且不符合設計原理的車輛，可是仍有學生刻意做出公車的造型，長、寬與高雖勉強符合限制條件，整體卻不符合設計原理。因此，建議之後的條件限制追加體積方面的設定，可以避免材料被無謂的浪費。

另外，一輛正常設計的二氧化碳賽車只計算 3D 耗材時，重量約 50~100 克，換句話說，班上所有學生假設 30 人都列印完成大約會消耗 6 卷的列印材料，從成本的角度考量並不符合效益，建議進行教學時以 3 人為一組，建模完成後先讓同學進行小組討論。故建議教師可事先說明測試規則以及重述判斷車輛優良與否的依據，讓小組討論能夠有所依循。

(二) 設備與空間使用的建議

3D 列印一輛二氧化碳車需要約 2~3 小時的時間，而且模型繪製的時間長短也會根據每個同學的能力不同而有所差異，如果統一收作業及列印作品，一來會造成老師體力上的負擔，同時也會有時間上的壓力。故建議老師可以於前置課程中進行 3D 列印機操作與問題排除的教學並規劃空間開放的時間，讓學生能在課程以外的時間也能自行操作機器完成作品。

STEM 取向之準工程課程目的在於培養學生之基本工程素養以及提升學生對工程學科的了解。對科技領域來說，STEM 的目的在於將數學與科學的知識導入工程設計的步驟中，例如車體重量對車速有影響，所以必須測量相關數據(如圖 11)，並用實際的教學活動給予學生知識與現實的連結(圖 12)，提供一個擁有根據及意義的預測、分析、解釋流程。換句話說，希望學生於學習該課程之後，在解決問題的方法上，能夠有別於傳統的試誤方法，改用合理的邏輯思考來解決問題。故該課程比起測驗出來的比賽結果，學生是否能對比賽的結果進行預測及解釋要來的更重要。



圖 11 重量測量



圖 12 二氧化碳車競速活動

十二年國教的理念中，STEM 整合及工程教育是重要的目標。但是工程教育在實施上仍有挑戰；工程教育的內容龐大，如果沒有完善的課程規劃，將會消耗許多時間讓學生進行冗長的紀錄與解釋，反而消耗了學生對學習的熱情。因此，審思如何透過準工程教育，協助學生具備關鍵能力、科技與工程素養，深具重要性。

參考文獻

一、中文部分

- 李隆盛(1998)。高中實施「工程科技」的可能性。《中學工藝教育月刊》，31(5)，2-7。
- 李博宏(2006)。STEM 教育中，T&E(科技－工程)課程發展近況。《生活科技教育月刊》，39(7)，108-109。
- 林坤誼、顏郁欣(2000)。以準工程取向建構高中科技教育。《生活科技教育》，33(8)，13-19。
- 林坤誼(2001)。高中開設準工程取向科技教育課程之研究。國立臺灣師範大學工業科技教育學系碩士論文，未出版，台北市。
- 陳志嘉、謝淑惠(2008)。美國近代科技教育發展與現況。《生活科技教育月刊》，41(6)，18-36。
- 張玉山、楊雅茹(2014)。STEM 教學設計之探討：以液壓手臂單元為例。《科技與人力教育季刊》，1(1)，2-17。
- 羅希哲、陳柏豪、石儒居、蔡華齡、蔡慧音(2009)。STEM 整合式教學法在國民中學自然與生活科技領域之研究。《人文社會科學研究》，3(3)，42-66。

二、英文部分

- Basalyga, S. (2003). *Student Interest in Engineering is on Decline*. Retrieved from <http://djcoregon.com/news/2003/06/11/student-interest-in-engineering-is-on-decline>
- Hynes, M., Portsmouth, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). *Infusing engineering design into high school STEM courses*. Retrieved from http://ncete.org/flash/pdfs/Infusing_Engineering_Hynes.pdf
- Pitsco Education. (2016). *The design process*. Retrieved from http://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Engineering?art=8067
- Toulmin, C., & Groome, M. (2007), *Building a science, technology, engineering, and math agenda*. Retrieved from ERIC database. (ED496324).

● 附錄 1 檢核表

小隊代號：_____

開始測試前，請填寫下表

車體長度	mm	面積(前視圖為準)	mm ²
車體寬度	mm	底盤距離地面高度	mm
車體高度	mm	車輪轉動順暢	(YES / NO)
車體總重量	g	車身為流線型	(YES / NO)

比賽預測

()你覺得你的賽車成績會落在？A. 前 25% B. 前 25~50% C. 後 25~50% D. 後 25%

你認為哪一隊的賽車速度會最快？_____。(實際上最快的是_____)

測試評估

本次 CO2 F1 賽車，我的賽程跑道距離為_____公尺。

跑完全程所花費的時間為_____秒(四捨五入到小數第二位)。

初步計算，我的賽車速度為_____公尺/秒，等於時速_____公里/小時。

測試的結果中，你的車子有沒有符合你對它的預測？(YES / NO)

如果選擇是 YES，請告訴我，你使用了哪些資料當作預測的依據？(150 字以內)

如果選擇是 NO，請思考一下，是什麼造成預測與現實產生落差？(150 字以內)

STEM 教育應用於機器人教學——以 6E 教學模式結合差異化教學

The Application of STEM Education in Robot Teaching- Combination of 6E Teaching Mode and Differentiated Instruction

姚經政、林呈彥

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

Jing-Jheng Yao、Cheng-Yen Lin

Department of Technology Application and Human Resource Development,

National Taiwan Normal University

摘要

本文機器人教學為主軸以落實 STEM 教育，再應用 6E 教學模式以培養學生的設計與探究能力，並輔以差異化教學的觀點，進行教學活動的設計。除了依據 6E 教學模式與差異化教學理念以發展教學活動之外，本文也同時編製一份自製講義與檢核表，並實際應用於台師大科技系所開辦的機器人營隊中，藉此觀察學生的學習成果，指出需要改進與修正之處。本文主要的研究成果如下：（1）學生遇到困難時，應以引導的方式取代給予正確答案；（2）機器人的教學涉及 STEM 學科，學生能力會有差異，因此必須以差異化教學的觀點因材施教；（3）確認學生的邏輯觀念正確是機器人教學中最重要的一環。

關鍵詞：STEM、機器人教學、6E 教學模式、差異化教學

壹、前言

科學、科技、工程與數學 (Science, Technology, Engineering, Mathematics, 簡稱 STEM) 的科際整合教育議題在近年來受到許多的關切與重視 (林坤誼, 2014), Bybee (2013) 更直接點出高品質的 STEM 教育與培養 21 世紀關鍵能力與維持全球競爭力之間有密切關聯。當學生面對問題時, 運用所學過的數學、科學知識搭配規劃程序、動手實作, 便是訓練學生整合理論與實作能力的機會, 這是 STEM 重要的核心理念之一, 更是生活科技學科的主軸。

機器人在 STEM 教育中是相當具有代表性的教材, Casad 和 Jawaharlal (2012) 將機器人引入工程教學, 認為這是相當切合 STEM 教育的主题。機器人教學的優點在於學生不僅需要使用他們在科學、數學方面的知識, 更必須動手製作機構、結構, 挑選適當的材料與零件進行實作, 達到知識與實作並重的目的。而 Burke (2014) 針對 STEM 教育提出了一套「6E 教學模式」, 這套以學生為中心的教學模式, 目的是強化 STEM 教育中的設計 (Design) 與探究 (Inquiry) 能力, 搭配機器人教材的特性相當適合。但目前機器人教學在各校的教學方法不盡相同, 且以數學、科學作為理論基礎的教學主题很容易出現學生間能力上的明顯差距, 為了確認學生在學習的過程中能夠培養科際整合的基礎能力, 也不因學科能力上的差異造成太多自信上的消磨或課程進度上的延宕, 差異化的教學會是重點。因此本文將以 STEM 為主要核心理念, 搭配適合機器人的 6E 探究教學模式作為教學模式, 再輔以差異化教學的觀點進行教學設計, 說明機器人教學的流程, 期盼能培育學生在教學過程中使用 STEM 基礎知識展現出的設計與探究能力。

貳、文獻探討

本文以 STEM 為核心概念, 使用 Burke (2014) 提出的 6E 探究教學模式作為教學流程, 目的是為了強化 STEM 教育中, 學生的設計與探究能力, 另搭配差異化教學進行教學設計, 而其理論內涵將分別於敘述之:

一、STEM

Bybee (2013) 在「The Case for STEM Education Challenges and Opportunities」一書中提

到了 STEM 的定義，是科學、科技、工程、數學四個學科的縮寫，由於此四學科相輔相成，許多不同領域的學者認為 STEM 有潛力為教育提供重要的創新機制，也可做為未來教育改革的重要元素。目前世界上有不少以 STEM 教育為主的教學活動與競賽，Casad(2012)在 STEM 的課程中以機器人作為主要教材，Eguchi (2016) 提到學校透過培養學生參加青少年機器人世界盃 (Robo Cup Junior) 來增加 STEM 學科的經驗，Sevil (2015) 更是直接透過實驗指出 STEM 取向的課程計畫對學生學習的成果具有顯著提升。在教師方面，Kim (2015) 等人針對職前教師以機器人為教材進行 STEM 教育，發現教師的各面向的投入程度大幅提升，影響了教師課程設計的情感與認知，或許更能間接未來建構學生 STEM 學科基礎知識的可能性。台灣的教育環境各科分明，要實施 STEM 的教學實屬不易，目前生活科技科是最有能力擔當 STEM 教育的推手，隨著各界研究成果發表，若正面成果能得到認同，終有機會進入教育體系的。

二、6E 探究教學模式

美國科學課程促進學會 (Science Curriculum Improvement Study, SCIS) 於 1960 年提出一個基礎的教學模式，對於科學教育提出了一套教學流程，包含了「探索、發明、發現」三步驟。而科技教育領域中則由 Barry(2014)根據 5E 教學環進行修正，提出 6E 教學模式，以學生為中心，目的是強化 STEM 教育中的設計與探究能力，其六大流程包含：

1. 概念導入 (Engage)：

教師確認適合的課程內容，利用講義、教具等教學工具，引起學生的好奇、興趣、和投入，並定義此單元的學習概念、學習目標、重要性。在教學現場可以先展示成品，讓學生覺得這堂課結束後我也可以做到相同的事情，藉此激發他們的興趣

2. 自身理解 (Explore)：

提供學生建構自身學習經驗的機會，教師利用多個領域的知識設計簡單的問題供學生思考，使學生對熟悉教材的使用方式、活用學習到的基礎知識，達成經驗的累積。例如讓學生組成小組，相互討論教材使用的方式，交流彼此的意見，加深他們的基礎認知。

3. 解釋與定義 (Explain):

學生解釋所學到的東西，並加以改良。教師在這個階段需要組織學生系統性、結構性的認知，因此需要指出學生先前常犯錯誤之處，複習教材的要點。在這個過程，教師可以透過提問來確認學生對於課程的掌握度，同時藉由問答引導學生討論，澄清迷失的概念。

4. 深度理解 (Extend/Elaborate):

學生應用所學基礎知識，運用材料、工具製作出能夠解決當前問題的原型，透過知識、能力的整合，獲得更深的理解。教師可以實境設計出需要解決的狀況，讓學生必須整合學到的知識與技能，才能順利解決問題。

5. 深化經驗 (Enrich):

將所學作更深更廣的探究與應用，即是提升深度理解的廣度，讓學生做更多不同面向的練習，以便將所學應用到更複雜的問題。教師提供資源讓學生將設計概念作新的應用，使學生了解自己的所學可以有更廣的應用。

6. 評量成果 (Evaluate):

讓師生彼此瞭解學習的效果。教師訂立測驗標準，利用測驗工具測知學生的學習需求和不足。

6E 教學模式每一個循環即是代表一個完整單元的歷程，由於需要學生在過程中不停思考，會是相當適用於 STEM 教學的教學流程。

三、差異化教學

差異化教學(differentiated instruction)起源於 1980-1990 年代美國的融合教育，也就是不論是什麼樣的學生皆可在最大限度內享有平等的學習環境，但也因應學生的多元化，差異化教學也成為課程設計的必要的措施。根據美國的主要提倡者 Tomlinson 將其定義為「重新調整教學流程以及課程的進行，讓學生在取得知識和概念的過程能有多種選擇」(Hall, Strangman, & Meyer, 2003; Tomlinson, 2001)。此外，Tomlinson 指出課程計畫的過程以及實施的過程當中，教師可以透過課程內容 (Content)、課程的過程 (Process) 以及課程的成果 (Product) 三項因素中進行調整以實施差異化教學。而實施的方式應當是教師在進行教學活動規劃時，

多方考量學生的個體差異、起點行為以及學習特質，並根據學生的學習需求安排多元的教學活動以因應個體差異(Hall, Strangman, & Meyer, 2003)。

與過去傳統課堂有所區別，差異化教學重視課程設計不應拘泥於單一或是只重視少數學生的學習狀況而設計，更不應當使用單一教材對不同程度和能力背景的學生進行教學，應該多應用多元的教學方法和策略，並搭配多元教學內容和教材，並且持續地為不同學生規畫個體的專屬教學環境(Tomlinson, 1999)。本文以機器人教學為主題，採用 Pollow、Patton、Serna 和 Bailey (2013) 針對差異化教學提出四大項的調整方式和項目，包含：課程教材、教學、作業與評量以及成績計算，並搭配 Tomlinson (2001) 所提出三項差異化教學中必須調整的內容，詳細對照如表 1。

表 1 差異化教學應用於機器人教學之方式與內涵

調整向度	項目	機器人教學中應用的方式
內容(Content)	課程教材	<ol style="list-style-type: none"> 1. 地圖關卡的設計根據難度具有多元化設計 2. 訂定每個單元不同程度的教學目標
過程(Process)	教學	<ol style="list-style-type: none"> 1. 教學的過程依照學生程度差異可以進行調整 2. 依照學生程度，實施異質分組教學。
	作業與評量	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對不同學習狀況給予不同的作業，並依此作為調整課程的依據。
成果(Product)	成績計算	<ol style="list-style-type: none"> 1. 並非採用過關數量作為唯一評量標準，而是觀察其產出的機器人設計與想法作為依據。 2. 觀察其學習歷程作為評量的標準之一。

在 STEM 的核心理念下，6E 探究教學模式建立了完整的學習歷程，以求強化學生的設計與探究能力，從理論到實際經驗，從教師教學到個人理解，提供學生一個整合知識與技能的過程。差異化教學的理論提供了因材施教的概念，在有限的資源下提供學生最大限度的個別教學，因此本文將以 STEM 教育為主題，使用 6E 探究教學模式，輔以差異化教學的概念作為機器人教學的歷程。

參、運用 6E 模式的教學設計

一、教學設計說明

- (一) 教學對象：機器人教學涉及抽象思考與邏輯觀念，建議教學對象為國中生。
- (二) 教學時數：8 節課 360 分鐘。
- (三) 課程簡介：本課程教材以樂高機器人為主，使用 6E 教學流程介紹各感應器的應用，搭配教師自行開發的主題式關卡地圖(小 city)作為驗收學生學習成效的工具。
- (四) 使用教材：樂高 EV3 機器人 45544 教育套件。
- (五) 教材零件：本課程學生使用的教材零件詳列如表 2。

表 2 樂高 EV3 機器人教材零件表

項次	品名	數量/每人 or 每組
1	EV3 主機	1 臺
2	觸碰感應器	2 顆
3	光源感應器	1 顆
4	超音波感應器	1 顆
5	大型馬達	2 顆
6	中型馬達	1 顆
7	連接線	7 條
8	USB 連接線	1 條

二、課程目標

本文以STEM教育為核心理念，機器人作為教材，機器人教學有兩大重點，分別是機械結構與程式撰寫，整體而言是為了培養學生的設計與探究能力，因此使用Barry（2014）針對STEM教育中設計與探究能力而提出的6E探究教學模式為教學流程，並輔以差異化教學的觀點進行課程設計，整體教學目標如下所示：

- (一) 能運用 STEM 知識設計可用的機械結構。
- (二) 能運用 STEM 知識撰寫合適的控制程式。
- (三) 能運用 STEM 知識針對失敗處進行檢討與改進。
- (四) 能運用自身對 STEM 知識的掌握程度，解決教師安排的狀況。

三、STEM 知識、6E 教學流程與機器人教學關聯之簡述

本活動共分為 8 節實施，課程一開始使用講義、投影片導入機器人各感應器介紹與使用方式。設計課間小關卡，讓學生熟練程式的撰寫、機器人的操作方式、訓練邏輯思考，建立其自身理解。教師可自行設定課程大段落，透過提問以確認學生對於機器人認知的正確程度。

至此學生開始綜合前面所學進行解題，透過教師積木組裝的教學，學生配合欲解之關卡組出對應機構，以綜合題型為主要挑戰關卡。教師在此時透過綜合題型瞭解學生學習狀況，給予差異化的關卡設計，目的是讓學生在活動中皆有成就感。由於上述流程相當重視學生運用 STEM 知識為基礎的設計與探究能力，因此本教學活動之流程搭配 Barry(2014)針對 STEM 提出的 6E 學習理論，學習理論流程簡述如表 3，課程設計詳述如表 4。

表 3 6E 流程簡述

6E 階段	於機器人教學之應用
概念導入(Engage)	使用講義、投影片導入機器人各感應器介紹與使用方式。
自身理解(Explore)	學生透過課間小關卡，熟練程式的撰寫、機器人的操作方式，建立自身理解。
解釋與定義(Explain)	在一個大段落後，教師透過提問以確認學生對於機器人認知的正確程度。
深度理解(Extend/Elaborate)	透過教師積木組裝的教學，學生配合欲解之關卡組出對應機構。
深化經驗(Enrich)	設計綜合題型 (小 City)，學生運用所學嘗試解題
評量成果(Evaluate)	透過綜合題型瞭解學生學習狀況，給予差異化的關卡設計。

6E 教學模式的基礎是屬於 STEM 取向的，因此每個 STEM 學科都可以分別提出在 6E 教學模式上的實際應用。如下表 4 所示，筆者整理出 STEM 學科、機器人相關知識、6E 教學模式相互之間的關聯，釐清彼此間的關係。並在表 5 說明預計進行的 8 堂課如何與 6E 探究教學模式結合。

表 4 6E 在 STEM 中的應用情形

評量項目	機器人 STEM 知識	STEM 能力應用說明	6E 探究流程
S 科學原理	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 力的大小 	馬達的轉速會影響機器人的行走速度，行走速度過快、過慢都會影響距離與循線的準確度，也會影響機器人搬運的物品的力量，與力相關的知識屬於科學的能力。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 概念導入 ➢ 自身理解 ➢ 深度理解
T 科技應用	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 測量工具的使用 ➢ 簡易機構 ➢ 教室安全概念 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 解題過程中，使用測量工具（尺、輪子圈數、量角器）使機器人進行精準的行動是必要的，使用工具屬於科技的能力。 ➢ 機構會影響機器人的行動的成功率，如何設計與製作屬於科技的能力。 ➢ 如何妥善運用教室環境與器材，不做出危險動作，屬於科技的能力。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 概念導入 ➢ 自身理解 ➢ 解釋與定義所學
E 工程程序	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 程式運作流程 	程式的運作，涉及一連串的限制，模擬機器人運行的過程，以及將數據最佳化，屬於工程的能力。	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 解釋與定義所學 ➢ 評量成果

M 數學概念	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基礎計算 ➢ 數的關係 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 距離的測量、力的大小，都會用到數學的能力 ➢ 數據之間的關聯性，需要用到數學的計算能力來推算。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 概念導入 ➢ 自身理解 ➢ 深化經驗 ➢ 評量成果
--------	--	--	--

表 5 教學流程詳述

節次	教學內容	6E	備註
1	教導學生基礎馬達控制，讓車子可以行走。發放講義，搭配投影片進行授課，本節預計進度達成後運用小關卡的練習瞭解學生的學習成效，重點幫助學習進度落後的學生。	概念導入 自身理解	預計進度：馬達的使用與車子的行走。 小關卡：測量距離、轉彎。
2	教導學生觸碰感應器的使用。發放講義，搭配投影片進行授課，運用小關卡的練習瞭解學生的學習成效，重點幫助學習進度落後的學生。	概念導入 自身理解 解釋與定義所學	預計進度：觸碰感應器的使用、Loop 指令 小關卡：避障車
3	教導學生超音波感應器的使用。發放講義，搭配投影片進行授課，運用小關卡的練習瞭解學生的學習成效，重點幫助學習進度落後的學生。	概念導入 自身理解 解釋與定義所學	預計進度：超音波感應器的使用、switch 指令 小關卡：避障車、指定距離停下
4	設計複合關卡，讓學生自由運用觸碰及超音波感應器解題，關卡設計重點在於解答不只一種	解釋與定義所學 深度理解 深化經驗	預計進度：觸碰、超音波感應器綜合應用

節次	教學內容	6E	備註
5	教導學生光源感應器的使用。發放講義，搭配投影片進行授課，運用小關卡的練習瞭解學生的學習成效，重點幫助學習進度落後的學生。	概念導入 自身理解 解釋與定義所學	預計進度：光源感應器的使用 小關卡：偵測黑線停止
6	複習 switch 功能，透過投影片講解，引導學生解循跡關卡	概念導入 自身理解 解釋與定義所學	預計進度：光源感應器的活動 小關卡：循跡
7	利用主題式小 city，設計各種不同面向的關卡，讓學生自由運用各種感應器解題	深化經驗 評量成果	預計進度：小 city 綜合關卡
8	利用主題式小 city，設計各種不同面向的關卡，讓學生自由運用各種感應器解題。最後由教師評估學習狀況做結。	深化經驗 評量成果	預計進度：小 city 綜合關卡

上述八堂課程設計教學活動之流程，搭配 6E 學習理論，希望用循序漸進的方式，讓學生逐步踏實的學習，令教師更容易掌握學生的學習狀況以應對，最終強化學生的設計能力、探究能力。本課程設計著重於解題的多元及靈活性，只要是能夠達成教師設定的目標，都是好答案，皆應給予學生成就感，使其學習動機更加強烈。

四、講義、投影片講述教學

樂高機器人在程式撰寫部分相當容易理解，且非常好上手，但由於偏記憶性，學生若沒多次練習會很容易忘記部份指令，在四週八堂課的規劃中，學生忘記指令的情形會頻繁出現，因此建議教師搭配自己的教學，規劃講義及投影片，讓學生能夠做筆記方便參照重點。附件 1 為自行設計之講義範例，提供各生科教師參考。

五、主題式關卡地圖（小 City）的使用

主題式關卡地圖在 6E 教學流程中主要用於深化經驗、評量成果兩個階段，目的是透過複合式的關卡讓學生自由思考解題方法及機構設計，藉此驗收學生的綜合能力，且因顧及學生的個體差異，設置練習與進階關卡，練習關卡的程度即是學生能掌握樂高機器人的基礎使用方式；進階關卡則是學生已經能活用樂高機器人面對不同的狀況。

下圖 1 為筆者設計之主題式關卡地圖，以環境保護為主題，共有 4 個關卡，學員可自由運用觸碰、超音波、光源等三種感應器進行解題。筆者另將各關卡的任務、圖片、說明整理如表 4。

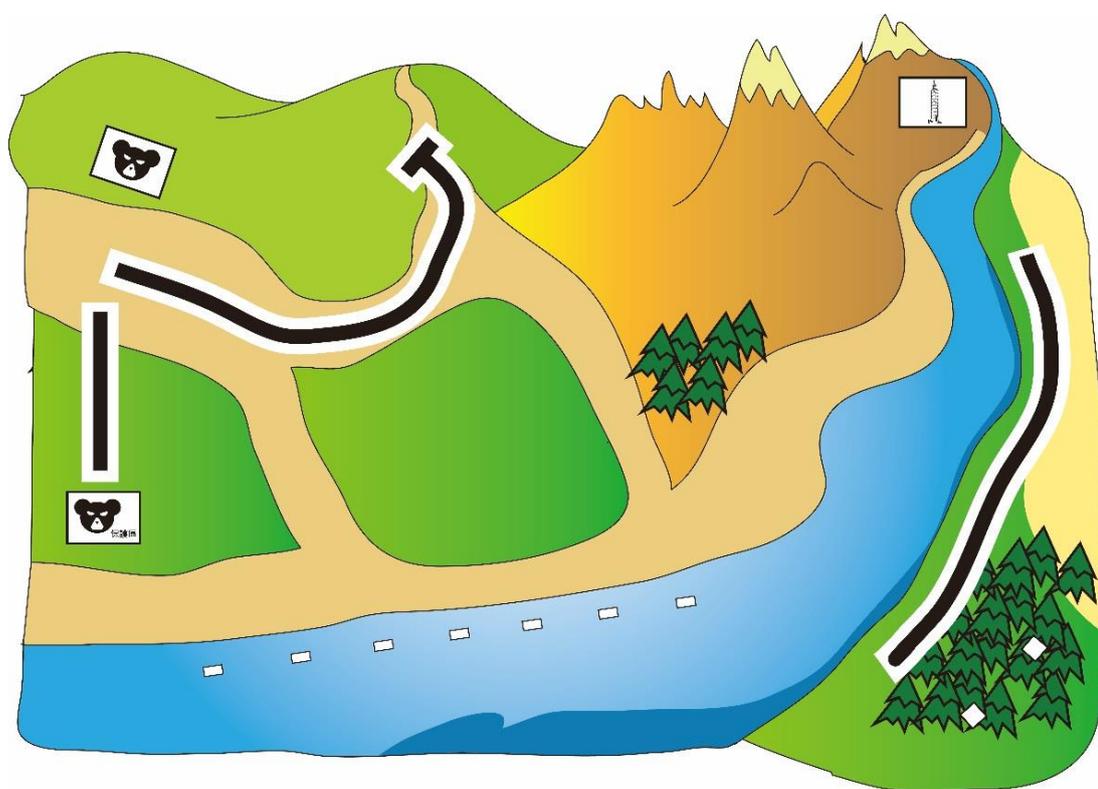
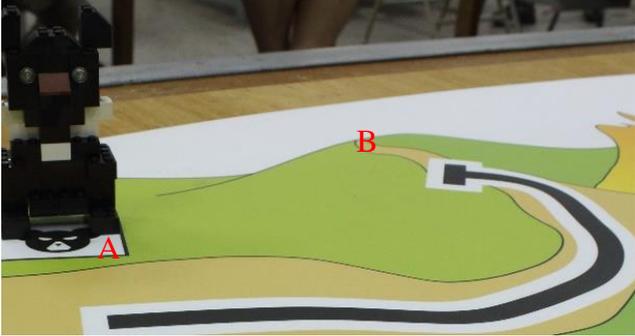
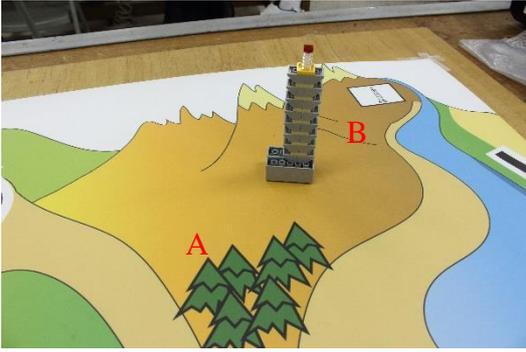
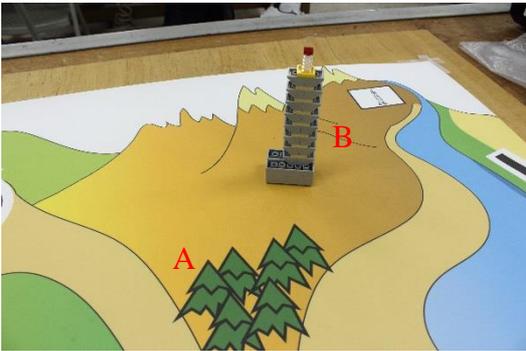
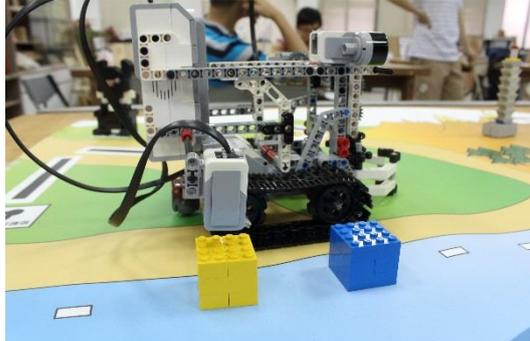
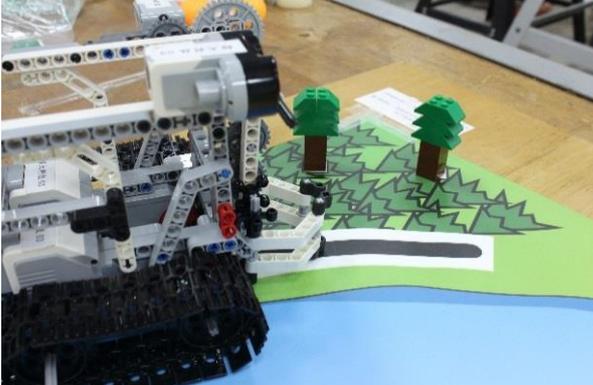


圖 1 主題式關卡地圖設計

關卡	任務	圖片說明
一、保護動物	<p>練習：由地圖左側出發，一開始載著台灣黑熊，直到路線盡頭後放下。</p> <p>關卡目的：使用光源感應器循跡，並能使用第三個馬達。</p>	<p>一開始機器人載著黑熊，循跡從 A 點開始運送到 B 點。</p>
<p>圖片</p>		
		
	<p>進階：由地圖左側出發，直到路線盡頭後捧起台灣黑熊，將其放到另外的保護區內。</p> <p>關卡目的：除了循跡，必須加入觸碰或紅外線感應器偵測黑熊，且要計算距離才能將黑熊移到另外規劃的區域。</p>	<p>從 A 點出發到達 B 點，車子轉身抓起黑熊，而後將熊運送至 C 點放下。</p>
<p>圖片</p>		
		

關卡	任務	圖片說明
二、阻止盜採砂石	<p>練習：由山附近的小森林出發往山的區域前進，使用紅外線感應器偵測到目標物的存在後，加速將其撞飛。</p> <p>關卡目的：練習使用紅外線感應器。</p>	<p>一開始將感應器方向對準建築物，偵測至固定距離後加速衝撞。</p>
圖片		
		
	<p>進階：由小森林出發，目標物與車子起始位置不會在一直線上，必須讓車子移動、轉動，直到偵測到目標物後加速將其撞飛。</p> <p>關卡目的：練習用紅外線感應器偵測環境。</p>	<p>一開始感應器的方向由老師隨意擺，學生必需讓車子轉圈，直到找到目標後加速衝撞。</p>
圖片		
		

關卡	任務	圖片說明
三、拯救河川	<p>練習：讓車子沿著河川邊走，尋找到黃色的廢水，將其抓起。</p> <p>關卡目的：運用光源感應器，偵測到特定顏色後做反應</p>	<p>車子偵測到黃色方塊必須抓起，另一個顏色的方塊則不動作。</p>
	<p>圖片</p>	
		
	<p>進階：讓車子沿著河川走，會有數個乾淨的水以及兩個廢水，將其抓起並放在車上。</p> <p>關卡目的：練習使用第三個馬達，利用兩個目標物來確認程式撰寫的準確度。</p>	<p>車子偵測到黃色方塊必須抓起，其他顏色的方塊則都不動作。</p>
	<p>圖片</p>	
		

<p>關卡</p>	<p>任務</p>	<p>圖片說明</p>
<p>四、搶救樹木</p>	<p>練習：森林的樹倒了，必須沿著黑線到盡頭後將樹木扶起。</p> <p>關卡目的：光源感應器、機構設計、第三個馬達的運用</p>	<p>沿著黑線走到盡頭後，抓起旁邊的樹木並立直。</p>
<p>圖片</p>		
		
<p>任務</p>		<p>圖片說明</p>
<p>進階：沿著黑線，將沿路倒地的樹木全部扶起。</p> <p>關卡目的：必須加入其他感應器偵測樹木的存在，才能完成任務。</p>		<p>沿著黑線，沿路倒下的樹木都要抓起並立直。</p>
<p>圖片</p>		
		

本教學活動設計將對象設定為國中生，以 6E 教學模式進行課堂的安排，共分為 8 節，其中搭配 STEM 學科的各项能力進行規劃，並在課程最後使用主題式關卡對學生進行樂高機器人學習成果的驗收。在課程安排方面，6E 教學流程不僅適合機器人教學，還可讓教學更有系統，並能強化 STEM 教育中的設計與探究能力；成果驗收方面，讓學生自由發揮，不強調單一正確答案，由於 STEM 教育容易出現學生個體能力上的差異，所以將差異化教學的概念帶入，利用初階、進階關卡瞭解學生學習狀況的差異，盼這樣的教學模式能讓學生得到更多收穫。

肆、6E 模式下機器人教學的評量方式

一、檢核項目

科技教育的課程中，學生的課程參與程度、使用工具的熟練程度、完成任務的表現等是相當重要的評量項目，透過檢核表可以清楚評量學生的表現。因此在機器人的課程中，筆者將以「檢核表」做為工具評量，由於綜合題型能夠看出學生對於所學的整合，包含知識的吸收程度、機器人使用的熟悉度，以及解題的思維，因此使用檢核表的時機便是進行主題式關卡地圖之時。

檢核的項目筆者建議以兩點做為基礎，以下是詳細說明。

(一) 學生程式邏輯以及對其解釋是否正確

要能完成關卡，最重要的就是程式撰寫的邏輯，也就是理論方面的知識是否正確。若學生在邏輯思考方面有著優異的表現，那麼在解題方面將會非常順利。邏輯正確有極高機率能通過關卡，但不一定保證過關，因環境的狀況會造成些許的誤差。

(二) 學生是否能通過主題式關卡的入門與進階關卡

配合差異化教學，關卡分為入門與進階，入門關卡的難度即是能夠正常使用機器人的功能；進階關卡的難度則需要深入的思考方能解出，透過這樣的檢核方式，能更加準確掌握學生的學習狀況。

二、檢核表的設計

檢核的項目依照上段所歸納出的兩點進行設計，另外加入 STEM 的評量，評量的依據為若學生完成某項關卡，則判定該生具有 STEM 學科的某樣能力。附件 2 為筆者設計之檢核表，透過檢核表的評量，該生的學習狀況將會一目瞭然。

筆者欲透過檢核表評量學生的學習狀況，其中包含知識部分與實用部分，另外涵蓋 STEM 能力的評量，能夠快速瞭解學生的學習狀況，教師也能透過檢核表隨時對學習狀況較不佳的學生進行加強，以求達到預期成果。

伍、教學實施與建議

一、教學結果

本文的教學實施於台師大科技系所辦理的樂高機器人暑期營隊中（圖 2、圖 3），將期望成效設定在每位學生都能學會基礎的樂高機器人程式與指令，並在過程中培養設計與探究的能力，以下條列從中觀察而得知結果。

1. 在主題式關卡的挑戰過程中，會有較快成功的學生與動作較慢的學生，因此便能讓較快的學生嘗試挑戰進階題，較慢的學生繼續破解入門題，如此不僅能達到差異化的教學，也讓每位學生都不至於空閒下來。
2. 主題式關卡相較於課間小關卡，學生解題的動力提升不少，筆者認為是學生的思考空間變廣了，因此認為題目更加有趣而造成的。
3. 在過程中嘗試讓學習較優異的同學擔任小老師，讓學生遇到問題時都可以找到發問的對象，雖然學生還是傾向詢問老師，但也是有得到同儕幫助而成功解題的學員，不僅穩固了小老師的解題能力，發問的同學也更敢大膽提問，相得益彰。
4. 機器人的邏輯觀念是課程中最重要的一環，由於國中生基礎能力與知識優於國小生，在多次舉辦的營隊中，面對進階的題目時，國中生較有自己解題的能力，國小生則是模仿解題成果為多數。



圖 2 台師大樂高機器人暑期營學員使用本文提出之主題式地圖



圖 3 台師大樂高機器人暑期營學員使用本文提出之主題式地圖

二、教學建議

(一) 確認學生程式邏輯正確

樂高機器人一切的基礎都建立在程式的撰寫與設計，要能完成關卡，最重要的就是程式撰寫的邏輯，也就是理論方面的知識是否正確。若能引導學生擁有正確且通順的邏輯概念，絕大多數的關卡都可以靠學生自己的能力解開，因此筆者認為邏輯是本教學活動中最重要的一環。

(二) 各關卡應有差異化的難度分別

差異化的關卡設計不僅能讓教師確實掌控不同學生的學習狀況，也能讓每位學生在教學時間內都有任務在身，教師僅需訂立一個基礎的通過標準，也就是入門題，其餘便實施差異化教學。

(三) 學生遇到狀況時應使用引導性的思考

學生發問時大多都希望教師能夠給一個肯定的答案，但在機器人的教學活動上，除非是基礎知識，否則不適合直接給學生正確答案，因有可能扼殺掉學生的創意思考，且減少學生探究問題的機會。當學生發問時，教師應迅速掌握學生的問題在哪裡，而後利用引導的方式讓學生做出正確的決定。筆者常用的方式是請學生解釋一次自己的程式，若學生觀念清楚，在解釋的過程中便會自覺錯誤；若學生沒有發現，則由邏輯的角度進行引導，如此學生才有自我檢討的能力。

(四) 教師應適度根據學生學習狀況做出關卡的調整

在教學過程中，難免會出現學生普遍認為題目過簡單或是過難的情形，教師此時應適度調整關卡，將難度修正至學生普遍水平，讓學生能順利通過增加成就感與信心，如此學生才會更有動機，而非覺得無聊或是出現挫敗感。

三、後續研究建議：本次教學可修正之處

本次的教學主要在機構的說明上有所不足，學生大多是沒有系統的拼湊積木，或是模仿學習程度較好同學的機構。筆者認為教師應配合設計的關卡，提供簡略的機構說明與教學，如此會讓學生在解題時更流暢，更有系統的規劃自己的解題程序，相信對於教師及學生方都有所幫助。

陸、結語

STEM 科際整合教育的重要性日益浮現，原因是學生面對問題時，展現出的整合理論與實作能力的表現，是 STEM 重要的核心理念之一，是生活科技學科的主軸，更是 21 世紀不可或缺的高層次能力。由於機器人在 STEM 教育中是相當具有代表性的教材，本文以機器人教學為主題，搭配與機器人教學相性良好且能夠強化 STEM 教育中設計與探究能力的 6E 探究教學模式，為彌補 STEM 教育中會出現的學生個體能力差異，以差異化教學的概念說明機器人教學的流程。其中主題式關卡地圖的設計是檢核學生能力的關鍵，透過教師創造一個情境，學生更能身歷其中，教師可自由設計欲檢核之學習目標，設計不同的題目。在本文最後也點出檢核的重點與教學上應注意之事項，盼望這篇文章機器人教材與 STEM 結合與教學的方式能作為讀者的參考。

附件 1、講義範例

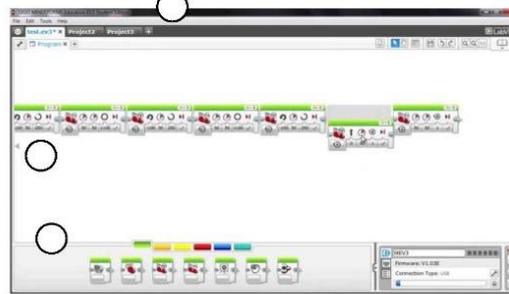
科技探索課程 — 智慧機器人實作

班級：_____ 座號 _____ 姓名 _____

EV3 軟體

一、EV3 程式主視窗介紹。

1. _____：視窗最上方，包含一般軟體常見的設定相關基本指令。
2. _____：提供命令方塊(程式)，共分為六大區塊，其中較常用的有三個區塊：
 - 動作指令區-綠色
 - 流程指令區-橘色
 - 感應器指令-黃色
3. _____：撰寫 EV3 程式的主要區域。



二、編寫程式

1. 編寫程式時，從命令面板中拖曳所需要的 _____ 出來，如欲增加方塊，則拖曳至前一個方塊後面即可。
2. 如果方塊間沒有正常連接，則未連接上的方塊顏色會 _____，此方塊也無法作用。
3. 在編寫的過程中，如果不小心誤刪或做錯，按下工具列上的 _____ 可回復到上一個狀態。

三、執行程式的步驟

1. 使用 USB 連接線連接 NXT 主機與電腦。
2. 點選 Download 下載寫好的程式，聽到主機發出聲音後即可將線拔除。
3. 執行程式：文件夾圖示→Project→程式 (到這裡，你已經能夠讓車子執行所寫的程式了。)

四、感應器介紹

1. 觸碰感應器：透過按壓感應器來進行感應，又可分為壓下時、放開後、壓下並放開後三種反應模式。
2. 光源感應器：透過光線反射的係數來感應，EV3 的光感應器內部建有顏色(預設色)辨識的功能。
3. 超音波感應器：透過接收反射回來的聲波，判定前方物體距離。
4. 陀螺儀感應器：透過陀螺儀來偵測轉動的角度。

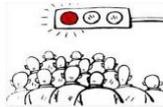
五、邏輯思考原則

想像機器人就是人類，馬達上的輪子是四肢，感應器是感官，我們要先具體定義一個任務，並且拆解這個任務的所有動作流程。

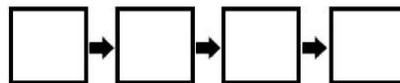
舉例：小明從住處出發，前進了 100 公尺後遇到紅燈並停了下來

我們可以拆解成以下步驟：

1. 小明前進了 100 公尺，
2. 小明看到了紅燈，
3. 小明停了下來。



因此上題在程式中，程式的寫法應為：

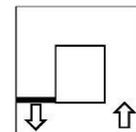


替機器人寫程式也是相同的方式，試著將下列任務拆解成動作流程：

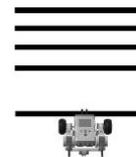
機器人不斷前進直到感應器碰到牆壁，接著後退 100 公尺後停下。

六、實作與挑戰

練習：編寫一組程式，使車子能夠繞出如右圖所示之迷宮，並使車子停在終點的黑線上。



練習：利用光源感應器，讓車子停在第五條遇到的黑線上，期間車子不可有停下的動作。



練習：使用超音波感應器，製作一台避障車。

附件 2、檢核表參考範例

	程式邏輯		實際運行	
	達成	未達成	達成	未達成
感應器基礎概念檢核				
馬達使用 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
馬達使用 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
觸碰感應器任務 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
觸碰感應器任務 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
超音波感應器任務 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
超音波感應器任務 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
顏色感應器任務 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
顏色感應器任務 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
小 City 關卡檢核				
1.保護動物	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(進階)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.阻止盜採砂石	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(進階)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.拯救河川	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(進階)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.搶救樹木	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(進階)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

參考文獻

- Burke, B. N. (2014). The ITEEA 6E Learning ByDesign™ Model: Maximizing Informed Design and Inquiry in the Integrative STEM Classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 73(6), 14-19.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. National Science Teachers Association.
- Casad, B. J., & Jawaharlal, M. (2012, June), *Learning through Guided Discovery: An Engaging Approach to K-12 STEM Education*. Paper presented at 2012 ASEE Annual Conference & Exposition, San Antonio, Texas. Retrieved from <https://peer.asee.org/21643>
- Ceylan, S., & Ozdilek, Z. (2015). Improving a Sample Lesson Plan for Secondary Science Courses within the STEM Education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 177, 223-228.
- Eguchi, A. (2016). RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 692-699.
- Kim, C., Kim, D., Yuan, J., Hill, R. B., Doshi, P., & Thai, C. N. (2015). Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching. *Computers & Education*, 91, 14-31.
- Tomlinson, C. A. (2001). *How to differentiate instruction in mixed-ability classrooms*. ASCD.
- Logan, B. (2011). Examining differentiated instruction: Teachers respond. *Research in Higher Education Journal*, 13, 1.
- Hall, T., Strangman, N., & Meyer, A. (2003). Differentiated instruction and implications for UDL implementation. Wakefield, MA: National Center on Accessing the General Curriculum.
- Pollow, E., Patton, J., Serna, L., Bailey, J. (2013)。特殊需求學生的教材教法。林素貞、朱思穎、陳佩玉、王秋鈴、黃湘玲、蔡曉楓等譯，台北：華騰。
- 林坤誼(2014)。STEM 科際整合教育培養整合理論與實務的科技人才。*科技與人力教育季刊*，1(1)，1。
- 洪儷瑜(2014)。教室內實施差異化教學的策略。*教育專論*，190，45-50。