

# 機器人跨領域STEM主題式統整課程與任務導向式教學的設計及評鑑

張基成<sup>1,\*</sup> 陳怡靜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立臺灣師範大學 科技應用與人力資源發展學系

<sup>2</sup>臺北市立大直高級中學

## 摘要

本研究以跨領域主題統整模式之網狀式方法，建構出帆船機器人跨領域STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)統整課程之知識圖，並結合線串式方法來呈現各相關知識之間的連結關係。另運用重理解的課程設計模式發展出帆船機器人跨領域STEM統整課程。採立意取樣針對某高中一年級某班42位學生(男35人，女7人)，由一位教師進行任務導向的教學。學生採分組合作學習方式，每2位1組，共21組。研究結果顯示，在七個領域的知識測驗成績皆有顯著的進步。技能表現方面，學生在程式設計的表現最佳，其次為帆船設計、機構組裝，且皆達顯著水準。學生對STEM的態度有顯著的提升。五個顯著提升的興趣依序為工程設計；程式設計；想繼續就讀工程、科學或科技相關科系；未來想從事工程或程式設計相關工作；機器人」。三個未顯著提升的興趣依序為「數學」、「科學」、及「未來是否想從事數學或科學的工作」。本研究發展的帆船機器人跨領域STEM統整課程及任務導向教學策略，可供後續發展相關主題統整課程與教學之參考。

**關鍵詞：**主題統整、任務導向式教學、統整課程、跨領域STEM、機器人

## 壹、前言

### 一、研究動機

為了迎接工業4.0時代的來臨，先進國家積極投入機器人的研發與中小學機器人教育(Alimisis, 2013)。機器人的組成不單是感測器輸入裝置、數位控制處理器、伺服馬達輸出裝置及自動控制等科技產物，更重要是透過

工程設計、科學探究與數學計算及科技實作來解決真實世界的複雜問題。可見機器人的本質就是跨領域的整合，包括數學、物理、電機、電子、資訊、光電、機械、材料、設計等(Avsec, Rihtarsic, & Kocijancic, 2014; Doerschuk et al., 2016)。因此，於中學階段將機器人與現有課程整合有其必要性(López-Rodríguez & Cuesta, 2016; Rihtaršič, Avsec, & Kocijancic, 2016)。

\*通訊作者：張基成，samchang@ntnu.edu.tw

(投稿日期：民國107年9月3日，修訂日期：民國107年12月4日，接受日期：民國107年12月10日)

學生對機器人的興趣持續增加，使得機器人教育不只出現在自己本身的領域，也扮演著其他相關領域的教學工具(Rihtaršič et al., 2016)。近年來歐美先進國家積極推動整合科學、科技、工程及數學(Science, Technology, Engineering, and Mathematics, STEM)的教育計畫，以培育具備跨領域STEM統整的人才，使其能統整相關知識來解決問題，以提升國家競爭力。一些研究指出機器人教育可培養問題解決、批判思考與創造力等高層次認知能力(Barak & Zadok, 2007; Nugent, Barker, Grandgenett, & Adamchuk, 2010)。因此，機器人教育有助STEM教育的推動。

然而，目前機器人課程與教學仍存在一些問題，譬如課程內容較偏重機器人本身的知識概念(Benitti, 2012)、較缺乏科學與數學概念的融入、教學策略與學習成效仍待評鑑等(Altin & Pedaste, 2013; Sullivan & Heffernan, 2016)、機器人教具的成本高、組裝費時或相容性低(Bers, Flannery, Kazakoff, & Sullivan, 2014)、較缺乏跨領域統整(Benitti)等問題。雖然目前已有一些機器人STEM課程與教學的研究，但仍缺乏具體的跨領域統整、系統化教學設計及多面向的成效評鑑，且多為教師或學生參加小型營隊活動後之態度或認知的實證研究(Alimisis, 2013; Benitti)。有鑑於上述研究呈現之缺口，本研究欲設計機器人STEM統整課程與教學，並發展學習成效的評鑑工具(譬如：STEM統整知識、技能及態度)來瞭解機器人STEM統整課程對高中生學習成效的提升。

機器人可以用來探究知識與技能，但學生喜歡立即獲得成果的教學方式；若使用探究教學(inquiry teaching)、專題導向或問題導向的教學可能較為費時(Altin & Pedaste, 2013)。任務導向教學(task-based instruction)策

略透過不同階段的任務教學，累積學生的知識與技能，可以讓學生有效完成任務(Merrill, 2009)。相較於專題導向教學，任務導向教學策略較少使用於機器人教學，結合STEM與任務導向的教學更有待發展及研究。然上述跨領域主題統整課程與任務導向教學策略是否真正適合機器人STEM統整課程的實施？需要再進一步探究。

由於知識、技能與情意以一種整合的方式融入到實際的跨領域統整課程中。因此評鑑本身不再只是學科本位的評鑑，而是對學生綜合表現的評量，以獲知學生的統整與解決問題的能力(Drake, 2012)。本研究以高中生為對象，根據跨領域主題統整概念採用任務導向教學策略，期望能瞭解機器人主題統整課程對STEM知識、技能與情意之提升，以作為未來設計機器人STEM課程與教學之參考。STEM知識、技能與情意乃指學生對於科學、科技、工程及數學的瞭解、所擁有的技能及態度與興趣。

## 二、研究目的

本研究根據前述背景，旨在設計機器人STEM課程與教學，並針對個案學校實施與評鑑該課程。具體研究問題如下：

- (一)如何設計帆船機器人為主題的跨領域STEM統整課程？其課程架構為何？
- (二)如何設計符合跨領域STEM主題統整概念之任務導向教學？其教學活動為何？
- (三)帆船機器人STEM課程與教學的評鑑成效為何？學生STEM知識、技能與情意之進步情況為何？

## 貳、文獻探討

### 一、統整課程

統整課程是將零散分立的課程或學科加以關聯與整合(Beane, 1997; Fogarty & Stoehr, 2008)，旨在改善傳統課程因學科的分化而流於零碎知識，並與生活脫節之問題。從課程內容涵蓋範圍大小的角度來看，統整課程的類型可分為以學科、主題為基礎的統整兩大類型。從學科界限之明確與否的角度來看，課程統整的類型可以細分為單一學科(single-disciplinary/intra disciplinary)、跨學科(或跨領域)(cross-disciplinary)、科際整(融)合(interdisciplinary)、多學科(multidisciplinary)、及超學科或橫貫學科(transdisciplinary)等的統整(Beane; Drake, 2012; Fogarty & Stoehr)。單一學科統整：單一學科內教材的重新組合，並以單一學科領域進行教學，如科學或數學；跨學科統整：學科的界限清楚，但各科的教學活動是以相關的主題相互配合連結起來，亦即若干科目以某種超越共同主題或議題的方式，建立內部的連結；科際融合課程：學科的界限已被打破，取而代之的是依照知識性質合併的學習領域，譬如：科技學習領域融合了科學、數學、工程等不同的議題；多學科統整：若干學科透過一個主題或議題加以連結，在相同的時間但不同的教室學習；超學科統整：此類的統整課程完全以學生生活經驗及生活重點作為課程設計的原則；橫貫學科統整：超越若干學科並有多種形式，強調學習者個人的成長及社會責任(游家政，2000；Beane; Drake; Fogarty & Stoehr)。

Fogarty與Stoehr (2008)以單一學科、跨學科、及學習者本身與學習者之間的課程統整類型，提出十種適用於這三種類型的方

法：(一)單一學科統整類型適用：1.分立式(fragmented)：只有一個方向、單一觀點；專注於一學科，各學科被視為單純且獨自存在的實體；學科之間的關係由學生自己產生連結，此類似於傳統課程分科型態。2.聯立式(connected)：學科分離，但將單一學科中的同類型主題加以關聯，單元與單元相連結。3.窠巢式(nested)：藉由多面向觀點，探究某一概念、主題或單元。(二)跨學科或科際統整類型適用：1.並列式(sequenced)：將兩個以上學科，以分立的方式重新安排教學順序；將各學科中的類似概念相互配合，為相關的概念提供寬廣框架，但學科仍分離。2.共有式(shared)：兩個學科同時分享其概念與技能上重疊部分；兩學科以相互重疊的概念做為課程組織基礎，進行主題教學。3.網狀式(webbed)：各學科以單一主題為中心進行統整，並將此主題覆蓋在所有學科之上，此類似於核心或基礎課程。4.線串式(threaded)：常試用於多元學習理論的後設課程，把原有教材內容擱置一旁，以一條內含多個主題概念的主線串連全部的學習領域。5.整合式(integrative)：以科際整合(interdisciplinary integration)方式找出學科的重疊知能、概念和態度，做為整合的主題，加以統整成新的型態。(三)學習者本身與學習者之間的統整：1.沉浸式(immersed)：為促進學習動機與自發性的學習活動，依個人興趣來過濾知識內容；所有內容以興趣和專長為前提，由學習者依自己的興趣深入去消化及統整。2.網路式(networked)：學習者主導，於學習情境中完成科際的整合與貫通，形成學習網路；此法亦屬於科際整合的一種，只是由學習者主導而非由課程設計者主導(游家政，2000；Fogarty & Stoehr)。

上述三種不同的課程統整類型有其各別



適用的具體統整方法。Fogarty與Stoechr (2008)指出可利用主題來進行跨領域統整，其統整方法可使用並列式、共有式、網狀式、線串式、整合式。其中的網狀式並結合其他方法的「主題式跨領域統整」或「跨領域主題式統整」，是以單一主題概念為中心進行跨學科統整，並將此主題置於所有學科之上。其特色為領域界線適中，介於清楚與模糊之間，類似於核心或基礎課程。線串式是以含主題概念的連結線串連全部的學習領域，其優點為易於透過技能來連結相關的知識概念(Fogarty & Stoechr)。綜上所述，本研究以跨領域統整之網狀式並結合串連式方法來發展STEM主題統整課程。

## 二、機器人課程與教學策略

有些機器人課程中，科學及數學原理的知識比重較低甚至沒有(Bers et al., 2014; Williams, Ma, Prejean, Ford, & Lai, 2008)，這導致學生的學習成效較難達成，例如：課程目標為學生需瞭解機器人的速度、馬力及加速度等知識，並能解釋速度為每秒行駛的距離，但學生僅能回答快或慢(Petre & Price, 2004)。學生也不易瞭解機器人無法順利爬坡到底是什麼問題造成的，例如：機器人的重心、摩擦力等科學問題，或是機械結構造成的(Williams et al.)。

Altin與Pedaste (2013)針對機器人教育文獻的後設分析，發現運用機器人在教育上的教學策略，包括探究式學習、發現式學習、合作學習、問題解決式學習、專題導向學習、競賽導向學習等。不同的教學策略強調的重點不同，哪一種教學策略最有效，目前尚未有定論。任務導向教學策略將教學任務分解成數個子任務，每個子任務有不同的教學內容與實作活動。透過不同階段的任

務教學，可以讓學生有效達成3E的成效，即效果、效率及投入(effective, efficient, and engaging)(Merrill, 2009)。任務導向教學策略強調教師只需教授該階段跟任務有關的知識與技能，且教導的新知識及技能隨著時間遞減，讓學習者有更多的時間去理解並應用所學的知識與技能，來逐步完成任務(Kirschner, Sweller, & Clark, 2006)。在任務導向教學的活動中，學生們需要學會將每個問題拆解成數個任務，進而分析任務，最終獲得最佳化完成任務的解法，可以培養學生有效解決問題的能力(Rihtaršič et al., 2016)。綜上所述，任務導向教學策略強調達成階段性任務，學生藉由各階段執行任務的達成，不但可累積知識及技能，且能有效地完成任務及解決問題。

## 三、機器人STEM課程與教學成效

機器人本身即為科學、科技及工程等領域統整創造的產物，可以藉此讓學生瞭解跨領域的整合知識(Doerschuk et al., 2016; Nugent, Barker, Grandgenett, & Welch, 2016)。目前STEM課程多以問題導向及專題導向進行教學設計，且問題導向與專題導向都以解決問題為核心(Hernandez et al., 2014)。Nugent等研究發現學生從機器人課程中可以學到STEM的知識與技能，對於STEM相關職業也能有所認識，進而具備STEM素養。由以上可知，機器人教育與STEM教育可相輔相成，且息息相關。機器人課程可以針對STEM知能進行跨領域統整課程的規劃與實施。

目前機器人逐漸成為教育科技的工具之一(Altin & Pedaste, 2013)，可以用在許多領域的學習。要學會設計機器人，需要有機械結構、電子電路或電腦程式之相關知識(Barak & Zadok, 2007)。透過機器人課程可以讓學

生聚焦在電腦程式語言、問題解決及運算思考的學習(Eguchi, 2016; Sullivan & Heffernan, 2016)，且有助於科學的學習(Benitti, 2012; Williams et al., 2008)，也對數學的學習有幫助(Eguchi, 2016; Nugent et al., 2010)。Sullivan與Moriarty (2009)指出機器人課程能增加學生對機器人的認識，還能提升動手操作、科學探究與問題解決的能力。機器人可用來提升學習動機、問題解決能力等(Barak & Zadok; Eguchi; Sullivan & Heffernan)。

Barker與Ansorge (2007)發現大多數的機器人教育成效之研究，以探討學生學習感受為主，較缺乏學習成效之量化或質化的評鑑。他們因此透過量表發現32位學生在機器人課程學習後在科學、工程及科技概念的學習成效上有明顯的進步。但是Nugent, Barker與Grandgenett (2012)發現機器人STEM課程對於學習成效(包括數學、地理空間概念、工程設計及電腦程式)沒有顯著的提升，但在STEM態度方面有顯著增加。Williams等(2008)發現機器人課程有助於學生物理知識的提升。例如：牛頓運動定律、摩擦力、速度、電流等物理知識。Abdel-Salam, Sawaf與Williamson (2009)發現透過機器人課程，88%的學生認為有助於發展動手做的技能。83%學生認為有助於學習更多的科學、科技、工程及數學的知識。綜上所述，本研究欲探討學生學習機器人STEM統整課程的成效。

## 參、帆船機器人STEM主題統整課程之設計與發展

### 一、主題可行性分析

由2位物理老師、1位資訊老師及2位生活科技老師，共5位教師，參考Campbell與Harris (2001)的統整課程之主題分析的六個項

目，進行分析與討論，最終決定以帆船機器人為主題。

#### (一)教育價值

目前中小學階段的機器人課程多以輪型機器人為主，強調積木或機構的組裝。以使用樂高教具居多，多數船為遙控或快艇(無帆船)型式，尚未有以帆船機器人為主題的課程內容。

#### (二)教學材料的準備與相關費用

Arduino UNO是目前體積較小、重量較輕且購置成本最低的控制器，教具取得容易，且因為是開放源碼的硬體，所有軟硬體相關資源皆採開放式。故本研究採用Arduino UNO為機器人控制器。

#### (三)適合統整教學的程度

透過STEM統整課程概念，統整科學知識(浮力、帆的受力)、科技知識(感測器、控制器及程式)、工程知識(工程設計、問題解決、最佳化)及數學知識(浮力及排水量的體積計算、三角函數)。學生將這些知識統整應用於帆船機器人的實作任務中，帆船機器人將可自動感測光源的方向讓航行方向改變，並能根據風向的變化自動調整帆面角度乘風而行。

根據以上分析，此課程目標為：1.學生學會帆船機器人相關的STEM知識；2.學生能將這些知識統整應用於帆船機器人的實作任務技能中，帆船機器人可自動感測光源的方向讓航行方向改變，並能根據風向的變化自動調整帆面角度乘風而行；3.提升學生對機器人與STEM的態度與興趣。

## 二、帆船機器人教具分析

以往關於機器人的教學與研究的大多以樂高教具為主(Benitti, 2012)，但因其基本教學套件費用昂貴(一套約新臺幣1.5萬元)，導致不易提供足夠的教具進行教學(Rihtaršič et al., 2016; Sullivan & Moriarty, 2009)。近幾年因為電子元件的發展日益開放，例如Arduino則是一個成功的開放式晶片，可與許多軟硬體相匹配，且已有許多學校採用作為機器人的控制器。譬如Arduino UNO控制器及電子零件費用相較於樂高基本教學套件便宜(Valero-Gómez, González-Gómez, & Treviño, 2013)。其體積小、價格低且程式易學，開放資源多，因此讓使用者能很快的上手並從事機器人實驗(Araújo, Portugal, Couceiro, & Rocha, 2015)。

許多研究強調機器人教育應強化科學及相關知識內容的學習，減少組裝零件與步驟複雜度對學習的干擾(Bers et al., 2014; Sullivan & Moriarty, 2009)。因此，本研究帆船的船體與風帆讓學生根據科學原理及工程設計的概念自行設計。其材料則採用容易取得價格低廉且可讓學生自行設計造型的巴爾沙木、珍珠板及厚紙板，船的桅桿則提供免洗筷或細木棍讓學生自行設計，機構連桿的製作則採用鐵絲讓學生可以自行設計、調整並組裝。

## 三、課程架構設計

根據Rihtaršič等(2016)提出機器人課程內容主要分為電子工程、資訊科學及機械工程三大領域，且學習目標必須妥善定義並連結學生學習活動。其中電子工程包括馬達及電子元件的認識與應用；資訊科學則包括數位類比訊號、控制程式、控制程式與電子零件的操控與應用；機械工程包含機械元件的認識、建構(construct)與應用。

帆船的知識內容則參考Jaulin與Le Bars (2013)的自主航行帆船的設計概念，將帆船機器人的知識分為風帆、船體及控制三大概念，詳如下與圖1：

- (一)帆的概念：針對帆的阻力與升力科學原理進行說明及數學運算，並進行帆的設計與製作、風帆船(車)的實作任務。
- (二)船體的概念：船體的科學知識(包括船體的穩定：排水量、浮力與重心；船體的形狀：減少阻力與流線型；船舵：操控方向與舵的設計)及數學運算，並進行船體的設計與製作、船體水上測試及實作任務。
- (三)自動控制的概念：主要為輸入(可變電阻、光敏電阻與風標設計)、處理(控制器與控制程式)及輸出(伺服機、簡單機械與連桿)三個部分。結合電子電路、機器人控制器、感應器、伺服機等電子零件的操作應用、控制程式的撰寫等實作任務。

將帆船機器人知識與STEM知識加以對應後，採用Fogarty與Stoechr (2008)的跨領域主題統整模式之網狀式方法來建構帆船機器人STEM主題統整課程的知識架構，如圖1所示。網狀式乃各領域以單一主題為中心進行統整，並將此主題覆蓋在所有領域之上。因此，以帆船機器人主題為中心出發，將與主題有關的不同知識及跨領域知識加以分析與歸類。藉由帆船機器人主題來統整不同的知識，每個知識中可包含許多子知識，於子知識中進行跨領域的知識統整。由於帆船機器人的主題目標明確，容易找出與主題連結的知識，也利於連結跨領域的知識。另結合Fogarty與Stoechr之線串式方法來呈現各相關知識之間的連結關係，亦即以多條具技能性

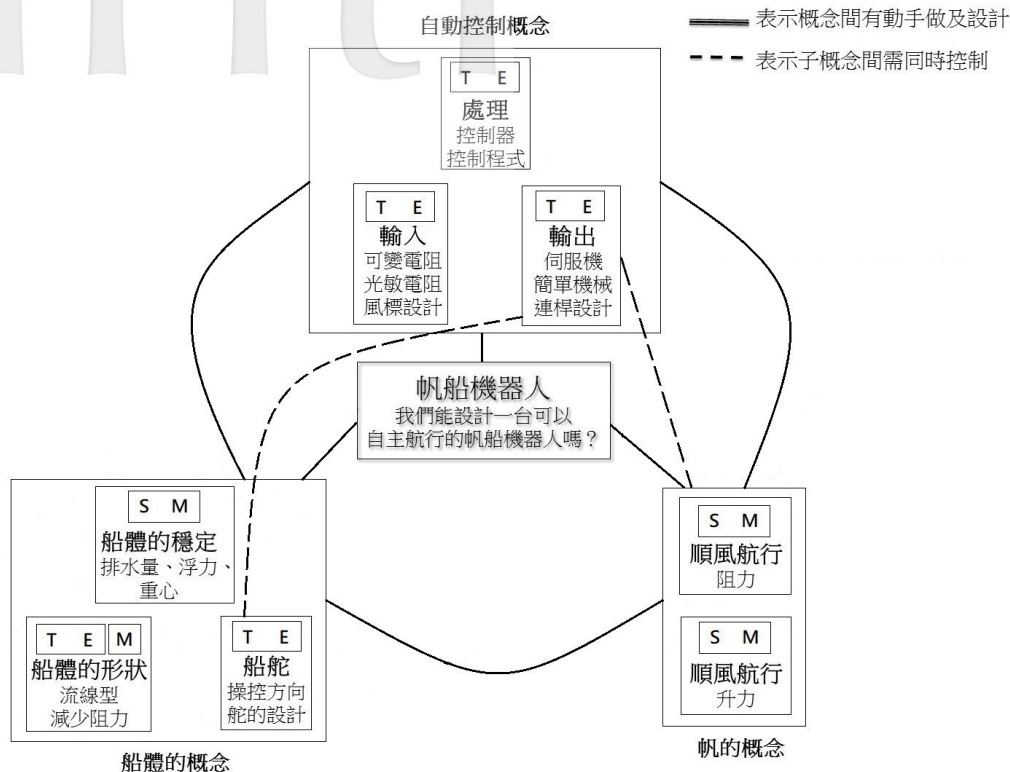


圖1：帆船機器人STEM主題統整課程之知識架構圖

註：圖中的S表示科學、T表示科技、E表示工程、M表示數學。

質的連結線來串連不同領域的知識，亦整合知識與技能，可補強網狀式各領域的知識之間及知識與技能之間連結之不足。

#### 四、機器人STEM主題統整課程之UbD設計模式

Wiggins與McTighe (2011)「重理解的課程設計」(Understanding by Design, UbD)其理念特色強調課程設計旨在增進學生對重要概念的真正理解，是一種以學生為中心的逆向式設計。逆向設計是有別於傳統課程設計的流程，是先確認課程目標、基本問題與學生應理解的關鍵知能(即教學內容)(階段一)，再根據教學內容決定評量方法與標準(階段二)，最後才是決定教學策略與活動(階段三)。基

本問題可以激發學生在課堂上的討論，讓學生深思與探究，進而對學科內容更深入的理解。UbD方法可以透過教學活動及多元評量讓學生從學習過程中建構關鍵知識與能力，瞭解達成目標的過程與方法(Wiggins & McTighe)。因此，本研究另使用UbD模式來發展課程。此模式包括三個階段：(一)確認學習目標與成果，包括：期望的學習目標或任務目標、學生應理解的主要概念、學生能回答的基本問題、學生學到的關鍵知識及技能；(二)決定評量方法與標準，包括：評量方法與工具、學生能達成任務的標準、及評量項目；(三)決定教學策略與設計教學活動(Wiggins & McTighe)。

Jojoa, Bravo與Cortes (2010)及Rihtaršič



等(2016)將機器人課程分為數個循序漸進的任務單元，讓學生運用課程知能並搭配實作任務，逐步完成最終教學目標。因此，第三個階段參考Merrill (2007)的任務導向教學策略來設計教學任務與活動。為了達成課程目標，將教學分解成8個任務，各任務及其教學活動與STEM知識，如表1所示。

以任務4為例，其先備知識及技能為能瞭解何謂機器人的控制器、輸入(可變電阻、光敏電阻)及輸出(伺服馬達)等電子元件及量測。任務4的UbD課程設計的三階段詳如附錄，其教學內容、流程與活動詳如表2。

## 肆、教學實施與評鑑

### 一、教學實施與對象

教學分8週進行，每週一個前述的教學任務，每個任務5小時，共40小時。採立意取樣針對某高中一年級某班42位學生(男35人，女7人)，進行課程的教學實施與評鑑。採分組合作學習方式，每2位學生一組，共21組。有3位學生曾接受過機器人的課程，有1位學生曾接受過帆船設計的課程，但沒有學生曾同時接受過機器人與帆船設計的課程。有2位學生曾接受過基礎程式設計的課程，但並非Arduino程式。全部學生已具備比例、體積、

表1：任務導向教學活動與機器人STEM知識

任務	教學活動	知識概念	S	T	E	M
任務1：調整並設計帆面讓風帆車能順風或側風前進	DME	帆的力、帆的設計與測試	阻力 升力 重力	剪刀 螺絲起子 三用電錶	船的設計 Arduino 麵包版	面積 體積 浮力
任務2：簡易帆船製作與測試，完成簡易帆船，學習重心、浮力與船舵的操控	DMEP	帆的力、排水與浮力、重心與穩定、操控與舵、船體的設計	浮力 重心 電流 電壓 串連	風帆 帆船 機器人 控制程式 變數宣告	電線線材 電阻元件 發光二極體 可變電阻 光敏電阻	三角函數 數值轉換
任務3：認識及測試電子元件	DE	三用電錶、電子元件、輸入／出裝置、控制器	並聯 電阻 通路 斷路	數位 類比 迴圈指令 判斷指令	伺服機 旋轉電位計 最佳化	
任務4：能設計並組裝依據輸入訊號之變化，自動調整伺服機旋轉角度並能正確驅動連桿機構	DEP	控制程式、伺服機與連桿				
任務5：設計並組裝可程式化控制的帆船之船體	DEA	任務1～4知識統整				
任務6：製作帆與舵的連桿裝置，讓船能自動受風前進	EA	工程設計最佳化任務1～5知識統整				
任務7：帆船機器人能順利在水中自動乘風而行	A	任務1～6知識統整				
任務8：帆船機器人最佳化的競賽	R	任務1～7知識統整				

註：D：教師講解示範；M：多媒體模擬試驗；E：科學實驗；A：實作調整測試；P：動手製作雛形；R：實作競賽。



表2：任務4的任務導向教學內容、流程與活動

任務導向教學內容與流程	教學活動
1.最終任務為設計並組裝能依據輸入訊號自動調整伺服馬達旋轉角度並驅動連桿機構的裝置。	DEP
2.運用任務三的知識及技能。	DEP
3.Arduino程式撰寫概念。	→ DEP
4.自動控制及流程圖的概念介紹。	→ DEP
5.伺服馬達與連桿機構介紹與動手實做。	→ DEP
6.撰寫可變電阻控制伺服馬達程式，計算伺服馬達角度與機構角度。	DEP
7.撰寫光敏電阻控制伺服馬達程式。	DEP
8.運用流程步驟2～7的知識及技能，完成設計並製作以伺服馬達驅動連桿機構。	
9.各組結果發表、分享與討論。	

註：→：新的知識或概念；D：教師講解示範；E：科學實驗；P：動手製作雛形。

面積及四則運算的數學知識，尚缺浮力計算的知識。關於理化方面，學生具備基本的浮力概念，但對阻力、升力等流體力學的知識尚未接觸，教師會在課堂上教導上述不足的先備知識。學生具備電腦及手工具(例如：美工刀、剪刀)基本的操作能力。

授課教師有兩位，一為高中物理教師，亦熟悉Arduino機器人原理，負責教科學原理與帆船設計。一為高中科技教師，負責教Arduino機器人實作與程式設計，兩人曾獲數次世界機器人競賽獎牌。教學方式採協同教學，相互支援。當一位教科學原理與帆船設計時，另一位則在臺下協助指導帆船製作。當一位教機器人原理與程式設計時，另一位則在臺下協助指導程式設計實作。

## 二、評鑑架構與流程

課程與教學的評鑑方式分專家評鑑與學習者評鑑(Diamond, 2008)。專家評鑑是透過開放式問卷來瞭解專家對於機器人STEM課程的意見，以確保課程品質。進行方式是先郵寄給三位專家課程資料，內含課程目標、課程大綱、課程結構、課程內容、教材與教具、教學方法、教學活動等，並請專家們填寫開放式問卷。三位專家分別是STEM教育

專長且熟悉Arduino機器人技能之大學教授、熟悉機器人科技之大學工程科系教授、及高中科技與工程專長資深教師(熟悉Arduino機器人)，後兩位亦瞭解STEM課程與教學原理。開放式問卷的題目有四：「請寫下您對於此課程內容的意見，譬如：課程目標的恰當性、課程內容的難度、有何內容需增刪或修正等」、「請寫下您對於課程結構的意見，譬如：課程之知識架構圖的恰當性、課程單元配置的恰當性、各單元時間配置的恰當性、有何需修正等」、「請寫下您對於教學設計的意見，譬如：教材組織與編排的恰當性、教具的恰當性、機器人組件與材料的恰當性、教學方法的恰當性、教學活動的恰當性等、有何需修正等」、「請寫下您對於課程統整的意見，譬如：跨領域STEM統整的恰當性、統整性是否足夠、不同領域的連結性、有何需修正等」。

學習者評鑑採用Kirkpatrick與Kirkpatrick (2006)的評鑑四個層次：反應／感受(reaction/perception)、學習(learning)、行為(behavior)與結果(result)中的反應／感受與學習。反應／感受主要評鑑學生對課程與教學的滿意度反應與學習感受。學習則採取Kraiger, Ford與Salas (1993)的學習成果／效(learning

outcomes/performances)之分類，包括認知／知識、技能與情意。本研究根據Rihtaršič等(2016)與Nugen等(2016)，另將情意細分為態度與興趣，因此學習成效評鑑學生的知識、技能、態度與興趣。資料蒐集兼採量化與質化方式。在知識、態度與興趣的評鑑上，採單組前、後測方法。於課程實施前先進行機器人STEM知識、態度與興趣前測，於課程實施後進行知識、態度與興趣後測。使用相依樣本 $t$ 檢定，以瞭解課程實施前後知識、態度與興趣的進步情況。在技能與滿意度方面，採單組後測方法。於課程實施後進行技能評量與課程滿意度施測，使用單一樣本 $t$ 檢定，以瞭解課程實施後學生技能表現與課程滿意度。

另透過教室觀察、實驗記錄簿與開放式問卷，來進一步瞭解學生對於機器人STEM課程的感受與學習表現。教室觀察由教學助理根據學生上課與實作情況，記錄下與本研究有關的事件。實驗紀錄簿由學生寫下實作的心得與遭遇的問題。開放式問卷於課程結束後請學生填寫，題目是「請寫下你對於此課程與教學的意見，譬如：學到了什麼、對於學習內容有什麼心得、學習時遭遇到哪些困難、對此課程與教學有什麼感想、有什麼建議等等」。這些質性資料可補足量化數據的不足，使課程與教學的評鑑更為完整與深入。

### 三、工具與信效度

#### (一)帆船機器人STEM知識測驗

STEM知識測驗以Nugen等(2016)的機器人STEM知識測驗的題目為基礎，包括科學(探究)、數學(包括分數及比例)、電腦程式(例如迴圈及條件敘述)、機械及電子元件概念

(例如齒輪及感應器)及工程設計5個向度。該測驗的信度係數為.82，顯示測驗具高信度。唯該測驗缺乏機器人知識向度，故另參考Rihtaršič等(2016)研發之機器人測驗題目，配合本研究之課程內容加以修改，加入帆船的知識測驗。測驗的發展過程為先進行文獻分析，並根據上述測驗修改及擬訂測驗草稿。經過與授課教師討論並修正後，形成測驗初稿，提升測驗的表面效度。再透過機器人與STEM相關領域的專家(共5位)的檢視及修正後，完成專家內容效度的檢核，形成正式測驗卷。

測驗向度包括帆船設計(10分)、科學知識(18分)、數學運算(10分)、機械(6分)、電子元件(6分)、電腦程式(16分)、及STEM統整知識(10分)。題型包括選擇題(8題，每題2分)、填充題(15題，每題4分)。共計23題，總分為76分。各測驗向度之題項舉例如下：1.帆船設計：帆船(側視圖)船底凸起的龍骨，是利用何種方式增加穩度？2.科學知識：下圖為三個面積相同的平板物體，想做揮動，何者阻力最小？3.數學運算：若船隻總重量為160克，船底面積為200平方公分，請問船吃水幾公分？4.機械：連桿裝在機舵角的越外側，移動的行程會如何？5.電子元件：按壓開關未壓之前，選擇下列何者之電路會導通？6.電腦程式：用程式判讀旋轉電位計裝在Arduino擴充版上的第幾個腳位？7.STEM統整知識：下列哪一組機器人元件可以操控舵讓船的重心穩定，並可自動感測光源的方向讓航行方向改變，進而控制船順風行進至終點？(註：此題含科技、科學、工程知識)

針對前、後測回答結果進行項目分析。測驗總分高、低分組之後，每一題項的兩組 $t$ 檢定的 $t$ 值(或決斷值)皆達顯著( $p < .05$ )，顯示每一題項皆具鑑別度。每一題項分數與總

分的Pearson相關係數均達顯著( $p < .05$ )，顯示全部題項之間具內部一致性。帆船設計、科學知識、數學運算、機械、電子元件、電腦程式、與STEM統整知識之前、後測各向度的庫李二十號公式(Kuder-Richardson formula 20, KR20)信度係數除了電腦程式大於.70，其餘向度、皆大於.80，顯示絕全部向度具良好的信度。

## (二)帆船機器人STEM技能評量表

技能量表目的在瞭解學生能運用不同的技能完成機器人任務(Nugent et al., 2016)。本研究採用Bers (2007)的機器人技能評量表包含工程設計、程式設計及機構組裝三個向度。另參考Abdel-Salam等(2009)之實作任務評量規準，並配合本研究任務內容進行修改。評量表內容由三位專家協助審閱，逐題自「完全不適當」到「完全適當」等5分法給予評分(總分5分，最低分1分)及提供意見，保留4分以上問卷題目，每題的平均得分介於4.5至4.8分之間。最後得出帆船設計(5項)、程式設計(5項)及機構組裝(3項)，共三個向度。每一題的評分結果以1 ~ 5分計分，「優良」5分、「良好」4分、「一般水準」3分、「低於一般水準」2分、「不通過」1分。由2位資深機器人授課教師分別獨立進行帆船機器人STEM技能評量。以Pearson相關係數檢定兩位評分者評分的一致性，兩人在帆船設計、程式設計及機構組裝之Pearson相關係數分別為.72 ( $p < .01$ )、.81 ( $p < .001$ )、.68 ( $p < .01$ )，

且達顯著水準，顯示兩人評分結果具一致性。

## (三)帆船機器人STEM統整課程之態度與興趣量表

本量表整合Rihtaršič等(2016)之機器人興趣量表(其信度為.73)及Nugen等(2016)之機器人STEM態度與職業興趣量表(其信度為.97)。經過三位專家修正後為本研究之機器人STEM態度與興趣量表。量表採用Likert五等第量尺，5表示非同意，分數越低表示同意度遞減，共15題，題目詳如下小節。態度及興趣兩個量表前測的Cronbach's  $\alpha$ 信度值分別為.86及.90，後測的Cronbach's  $\alpha$ 信度值分別為.89及.95，顯示量表具高信度。

## (四)課程滿意度量表

本研究參考Avsec等(2014)的課程滿意度量表(括課程內容、教師教學向度)。另參考Merrill (2007)時間規劃與難易度兩個向度，共四個向度來瞭解學生的課程滿意度。每個向度8題，共32題。採用Likert五等第量尺，5表示最滿意。如表3，各向度前、後測的Cronbach's  $\alpha$ 信度值皆大於.70，顯示各向度具足夠的信度。

# 伍、評鑑結果與討論

## 一、專家課程評鑑

由以下專家評鑑結果，顯示此課程具備

表3：課程滿意度量表前、後測之信度係數

向度	Cronbach's $\alpha$ 值	
	前測	後測
課程內容	.82	.84
教師教學	.81	.81
時間規劃	.84	.92
難易度	.79	.80

足夠的品質，足以進行教學實驗。

### (一)課程內容

專家們認為課程目標恰當，課程內容的難度亦適中，學生可以學到機器人的跨領域知識與技能。有兩位專家提到程式設計對沒有學過電腦程式的學生可能有些困難，教師在教學上需要更多的關注。

E1：課程內容包括數學、科學、科技及工程，學生可以學到多元學科的知能。以機器人為主題，符合目前科技的潮流，可以增加學生對新興科技的瞭解。課程內容頗為恰當，也不會太難，課程目標可以達成。

E2：機器人組裝課程從小學到大學都有，已十分普遍，且內容都能被學生接受，此課程亦不例外。尤其是此課程結合帆船設計，更能吸引學生投入學習，對於學過國中物理與數學的學生，應該是滿適合的，但對於沒有電腦程式背景的學生可能有些困難。

E3：此課程結合機器人與帆船，十分少見。課程內容對國高中生皆很適合，但其中的程式設計對邏輯概念較弱的學生，可能較難，應多加指引。

### (二)課程結構

專家們認為課程結構完整且恰當，課程之知識架構圖亦頗為適切，各單元配置亦相當恰當。有兩位專家皆認為因程式設計因較難，時間可以再增加。

E1：此課程以帆船機器人為主題，課程結構具體明確，各單元內容亦

劃分明確且具連貫性，學習者當能按步就班循序漸進地完成學習任務。

E2：此課程結構頗為扎實，學生應能學到跨領域知能。各單元內容及各週活動配置恰當。建議若時間允許，程式設計的時間配置可以再延長。實作活動多雖讓學生能學到科技與工程技能，但科學原理亦不能忽視，以避免過多嘗試錯誤。

E3：此課程的知識架構圖可以讓人清楚瞭解帆船機器人主題的各學科知能，課程結構恰當且各單元完整。因程式設計對背景較差學生可能較難，時間可以考慮增加。

### (三)教學設計

專家們認為教材的組織與編排、Arduino教具、機器人組件與材料恰當，而任務導向教學策略與活動亦值得嘗試，應能讓學生學得如何拆解任務，有效解決問題。有一位專家提醒實作活動科學原理亦不能忽視，兩位專家提到程式設計實作活動十分重要。

E1：大部分機器人教學大多採專題導向教學，此課程採任務導向教學策略頗為難得。實作活動雖有利學生學到科技與工程技能，但科學原理亦不能忽視，以避免過多嘗試錯誤。

E2：因費用與便利性的關係，愈來愈多機器人教學使用Arduino，而非樂高。Arduino機器人組件使用方便，而帆船材料包由作者自行發展，頗為難得。任務導向教學策略應適合機器人任務拆解實作活動，



程式設計實作活動可彌補教學時間之不足。

E3：教材的編排、Arduino教具、機器人組件與材料皆恰當。任務式教學活動用在機器人教學，應能發揮解決問題功效。程式設計應多由實作來瞭解程式運算與邏輯思維原理。

#### (四)課程統整

專家們認為課程之知識架構圖能具體呈現課程統整的樣貌，也建議有更具體的統整教學教案，始能畢其功於一役，從課程到教學皆達到跨域統整之目標。

E1：此課程以帆船機器人為主題，採用網狀式方法來繪製主題統整課程的知識架構，並以線串式方法來呈現概念知識之間的連結關係，具有足夠的課程統整理論基礎。

E2：以帆船機器人為主題十分適合統整不同領域的學習，但除了課程內容的統整，在統整的教學策略及活動上可以有更多的發揮。

E3：從課程的知識架構圖來，課程應該是具有統整性，不同領域之間的連結性亦恰當。若能有詳細的統

整教學的教案，則更能確保實際教學時的統整性。

## 二、知識表現

帆船機器人STEM知識測驗前測成績( $M = 42.62$ )與後測成績( $M = 76.14$ )的相依樣本 $t$ 檢定達顯著水準( $t = 9.89$ , Cohen's  $d = 2.58$ ,  $p < .001$ )，表示學生在接受STEM統整課程的任務導向教學之後，成績有顯著進步。在帆船設計、科學、數學、機械、電子元件、電腦程式及STEM統整七個領域上的知識皆有顯著的提升，詳如表4所示。這個結果與前人的一些研究結果一致，譬如：機器人課程可以讓學生瞭解跨領域STEM的知識(Doerschuk et al., 2016; Nugent et al., 2016)；機器人課程使學生在科學、工程及科技概念的學習成效上有明顯的進步(Barker & Ansorge, 2007)；機器人課程有助於科學的學習(Benitti, 2012; Sullivan & Moriarty, 2009; Williams et al., 2008)，也對數學的學習有幫助(Eguchi, 2016; Nugent et al., 2010)；機器人課程能增加學生對機器人學的認識(Sullivan & Moriarty)。但是，與本研究不同的是這些研究大多未比較哪些領域知識的進步較大。從效果量來看，學生對於帆船設計知識的進步幅度最高(Cohen's  $d = 4.26$ )，其次為科學(Cohen's  $d = 2.51$ )、機械

表4：機器人STEM知識前、後測 $t$ 檢定

向度	前測		後測		$t$ 值	顯著值	效果量
	$M$	$SD$	$M$	$SD$			
帆船設計	4.14	1.77	11.66	3.71	12.68	$p < .001$	4.26
科學	11.45	3.47	20.14	4.96	10.67	$p < .001$	2.51
數學	8.28	1.99	10.69	1.87	6.41	$p < .001$	1.22
機械	2.71	0.98	5.14	1.38	9.36	$p < .001$	2.49
電子元件	3.36	1.81	7.14	1.44	9.10	$p < .001$	2.09
電腦程式	6.28	3.28	12.83	6.08	7.21	$p < .001$	2.00
STEM統整知識	6.41	2.53	10.41	2.23	8.06	$p < .001$	1.58
總體	42.62	13.00	76.14	23.62	9.89	$p < .001$	2.58

(Cohen's  $d = 2.49$ )及電子元件的知識(Cohen's  $d = 2.09$ )。這對機器人教育是一個重要的啟示，因為Sullivan與Heffernan (2016)研究亦發現機器人課程可以培養學生的科學素養；且如同Nugent等(2016)研究發現學生可透過機器人的課程獲得科學知識、機械及電子元件的知識也明顯增加；Avsec等(2014)也強調電子學是機器人領域的重要知能；Nugent等(2016)機器人課程可以強化工程領域知能。

帆船設計知識的進步幅度最高的原因可能是從任務1至任務8中，只有兩個任務沒有進行帆船實作測試，可見動手實作有助於增進知識的理解與應用，進而提升學習成效。學生對於數學(Cohen's  $d = 1.22$ )及電腦程式知識(Cohen's  $d = 2.00$ )的進步幅度較少，這個結果也可從學生的實驗紀錄及教室觀察中發現，46%學生對於數學的運算與電腦程式流程圖的實驗紀錄填寫不完整。另外，這也顯示相對於其他領域，數學運算與電腦程式對高中生而言，是較為困難的學科。

從學生的實驗記錄簿得知，對於任務1約有90% (38/42人)的學生能確實記錄風帆車的實驗數據。關於任務2中對於船體的體積與浮力的計算與記錄，83%的學生能善用方格法確實計算並運用所學浮力知識加以計算。有關任務3中的電子元件的名稱與測量的紀錄，有66%的學生記錄完整。有54%的學生對於任務4中，程式流程之記錄及程式碼的填寫較為確實完整。在任務5中，學生皆能確實繪製船體設計圖，對於所設計的船體零件總重所需的浮力計算與量測，約有86%的學生記錄完整。於任務6中，每位學生都能確實將帆船機器人的檢修及測試的要項加以確實檢測並記錄，也能根據遭遇的問題提出解決的方式。

學生們於實驗記錄中寫下問題解決的方法，摘錄如下：

G10：為了讓光源感應器能抗拒其他光源的干擾，自行設計遮板。

G2及G11：為了避免船艙進水，下水測試後漏水處運用保麗龍膠填補。

G12：為了避免船身傾斜時進水，因此將船身加高。

G11：發現光敏電阻只有一邊有作用，在程式碼正確的狀況下，更換光敏電阻後可順利驅動。

G11：發現帆與舵無法順利轉動，所以試著改變鐵絲長度與舵片的中心點後獲得改善；並發現因為連桿長度太短導致無法讓馬達帶動舵片，增加長度後就能順利驅動；但因時間來不及，故無法讓風標順利帶動旋轉電位計以及帆與舵的連桿裝置都無法順利完成驅動，需要學會有效地掌握時間。

G18：我們製作三艘不同的帆船來測試，看哪一艘性能較好。

### 三、技能表現

每個任務皆以兩位學生一組共同完成，最後目標是各組製作一艘能自主航行的機器人並參加競賽。船體的長度需小於30公分，於長約1公尺寬約50公分的水槽中進行比賽。從帆船機器人STEM技能評量結果得知，學生在帆船機器人實作技能的表現如表5所示。三類實作技能之單一樣本 $t$ 檢定皆達顯著水準(比較值3)( $p < .001$ )。程式設計的表現最佳，其次為帆船設計、機構組裝。若標準提高(比較值3.5)，帆船設計、程式設計實作技能表現仍達顯著水準( $p < .05$ )，但機構組裝未達顯著水準，這顯示機構組裝實作技能表現仍可強

表5：機器人STEM實作技能表現單一樣本 $t$ 檢定

向度	$M$	$SD$	$t$ 值(比較值3)	顯著值	$t$ 值(比較值3.5)	顯著值
帆船設計	3.87	0.97	4.88	$p < .001$	2.06	$p < .05$
程式設計	3.93	0.94	5.41	$p < .001$	2.51	$p < .05$
機構組裝	3.57	1.10	2.81	$p < .001$	0.33	$p > .05$
平均	3.79	0.94	4.61	$P < .001$	1.69	$p > .05$

化。此結果大致上與Nugent等(2016)研究發現一致，亦即學生從機器人課程中可以學到STEM的技能，但此研究並未說明是哪些領域的技能。Yuen等(2014)研究發現學生們在進行合作學習時，動手組裝機器人的時間比撰寫機器人控制程式的時間多，且學生們對動手組裝機器人的興趣也高於撰寫程式。換句話說，學生在機構組裝實作花時間較久且較有興趣，但可能較為困難且較難達到預設的標準。

學生雖然在電腦程式的知識測驗的進步幅度較少(上一小節)，但在程式設計實作技能的表現卻達顯著水準，這應該是學生透過不同階段任務的實作體驗而提升了程式設計實作的技能。此結果可以呼應前人的研究結果，亦即機器人課程可以讓學生聚焦在電腦程式語言、問題解決及運算思維的學習(Eguchi, 2016; Sullivan & Heffernan, 2016)，及提升動手操作與問題解決的能力(Sullivan & Moriarty, 2009)。事實上，程式設計實作即是問題解決、運算思維及動手驗證的極佳體現。從任務達成結果發現，學生對於任務8的目標達成率為85.7% (18/21組)，亦即僅有三艘帆船機器人無法順利於3分鐘正確航向終點。只有一艘船於航行10秒後航程為74公分時沉沒，沒有完成任務。表現最佳的帆船機器人的總航行時間為4.4秒，其次有三艘在5.6秒內完成，這些表現顯示學生的機器人實作技能大體上是足夠的。符合Park與Kim (2011)所發現，學生運用價格低且開放的機器人教

具，搭配手工具及有限的材料(例如：木片及珍珠板)，能激發學生興趣與動手做的能力。

#### 四、態度與興趣

學生對機器人STEM的態度前測平均分數( $M = 2.94$ )與後測平均分數( $M = 3.89$ )的相依樣本 $t$ 檢定達顯著水準( $t = 2.26$ , Cohen's  $d = 0.97$ ,  $p < .05$ )，表示學生在接受STEM統整課程的任務導向教學之後，態度有顯著進步。此結果驗證了Nugent等(2012, 2016)的發現，即機器人課程可以增進學生對於STEM的正面態度。在七個題項上皆有顯著的提升，詳如表6。從效果量來看，進步幅度最大是會運用課程所學的跨領域知能來解決生活上的問題(Cohen's  $d = 1.64$ )，其次是與同學合作並分享知識(Cohen's  $d = 1.14$ )，以及認為跨領域整合能力與真實世界的經驗有關係(Cohen's  $d = 1.03$ )。進步幅度最少的是會整合跨領域的知識來解決其他課程學習上的問題(Cohen's  $d = 0.29$ )及動手做的能力可用於驗證科學、數學或工程知識(Cohen's  $d = 0.56$ )。由以上結果可知，學生會運用課程所學的跨領域知能來解決生活上的問題，而這些跨領域整合能力與真實世界的經驗有關係；但相對於其他態度上的認知，卻認為較不擅長整合跨領域的知識來解決其他課程學習上的問題。這可能是因為其他課程都是分科教學，較少用到統整知識；反而是在生活上會碰到較多需要跨領域整合知能的問題，譬如：平日在家自己組裝機具、家電設備或模型飛機等。

學生對機器人STEM的興趣前測平均分數( $M = 2.85$ )與後測平均分數( $M = 3.42$ )的相依樣本 $t$ 檢定達顯著水準( $t = 5.82$ , Cohen's  $d = 1.68$ ,  $p < .01$ )，表示學生在接受STEM統整課程的任務導向教學之後，平均整體興趣有顯著提升。如表7，從效果量來看，五個顯著提升的興趣依序為工程設計(Cohen's  $d = 1.94$ )；程式設計(Cohen's  $d = 1.20$ )；想繼續就讀工程、科學或科技相關科系(Cohen's  $d = 1.10$ )；

未來想從事工程或程式設計相關工作(Cohen's  $d = 0.82$ )；機器人(Cohen's  $d = 0.62$ )。這結果驗證了前人的研究，譬如：透過機器人課程能增進學生對工程領域的興趣(Nugent et al., 2016)，增加學生對於STEM領域的興趣(Doerschuk et al., 2016; Nugent et al., 2010)，及增進學生對STEM領域的研讀興趣與職業傾向(Eguchi, 2016)。三個未顯著提升的興趣依序為科學(Cohen's  $d = 0.16$ )、數學(Cohen's

表6：機器人STEM態度前、後測 $t$ 檢定

題項	前測		後測		$t$ 值	顯著值	效果量
	$M$	$SD$	$M$	$SD$			
1.我知道整合運用科學、科技、工程及數學知識的重要性。	3.03	0.68	3.62	0.94	4.05	$p < .01$	0.87
2.動手做的能力可用於驗證科學、數學或工程知識。	3.52	0.91	4.03	0.63	3.36	$p < .01$	0.56
3.我覺得可以動手設計的帆船機器人比只能拼裝的機器人更有用。	2.72	0.84	3.48	0.95	3.02	$p < .01$	0.91
4.我有很高的意願與我的同學合作並分享所學到的跨領域知識。	2.77	0.90	3.80	1.22	6.66	$p < .001$	1.14
5.我認為科學、科技、工程及數學的跨領域整合能力與真實世界的經驗有關係。	2.77	0.90	3.70	1.02	5.64	$p < .001$	1.03
6.我會整合科學、科技、工程及數學的知識來幫我解決其他課程學習的問題。	3.59	0.83	3.83	0.71	2.54	$p < .01$	0.29
7.我會運用課程所學的跨領域知能來解決生活上的問題。	2.59	0.63	3.62	0.63	6.77	$p < .001$	1.64
平均	2.94	0.98	3.89	0.68	2.26	$p < .05$	0.97

表7：機器人STEM興趣前、後測 $t$ 檢定

題項	前測		後測		$t$ 值	顯著值	效果量
	$M$	$SD$	$M$	$SD$			
1.我喜歡用科學概念來幫我學習其他學科。	3.45	1.06	3.62	0.90	0.69	$p > .05$	0.16
2.我喜歡撰寫程式。	2.40	0.89	3.47	1.07	5.96	$p < .001$	1.20
3.我對繪製設計圖及工程設計感興趣。	2.45	0.69	3.79	0.90	7.44	$p < .001$	1.94
4.我喜歡將數學當作工具來幫助我學習其他學科或解決其他學科的問題。	3.00	0.71	3.21	1.05	1.80	$p > .05$	0.30
6.我喜歡學習機器人相關知識。	3.41	0.68	3.83	0.83	2.46	$p < .01$	0.62
7.我未來想繼續就讀工程、科學或科技相關的大學科系。	2.48	0.69	3.24	1.09	4.92	$p < .001$	1.10
8.我未來想從事工程或程式設計相關工作。	2.90	0.62	3.41	0.83	4.05	$p < .001$	0.82
9.我未來想從事科學或數學的相關工作。	2.57	0.82	2.60	1.09	0.25	$p > .05$	0.04
平均	2.85	0.34	3.42	0.62	5.82	$p < .01$	1.68



$d = 0.30$ )、及未來是否想從事科學或數學的工作(Cohen's  $d = 0.82$ )，這可能是因為數學較難，而科學相較於工程與科技則較為理論。這與時下高中生選擇升學科系或未來職業的傾向大致上頗為一致。

## 五、課程滿意度

關於課程滿意度，課程內容、教師教學、時間規劃及難易度四個向度的滿意度是針對任務導向教學之各階段任務來加以分析，可以獲知各階段任務較詳細的滿意度，教師可隨時改善教學，如表8所示。關於課程內容向度，以任務8的滿意度最高，其次為任務6。就教師教學的向度而言，以任務6及8的滿意度最高，其次則為任務1及4。關於課程的時間規劃，以任務4的滿意度最高，此向度與其他四個向度相較，滿意度平均值較低。任務5在課程難易度的滿意度最高，可能是因為任務5完全由學生運用之前四個任務的知識與技能，自行實作測試與製作雛形，學生因此覺得可以盡情發揮。同樣地，任務6延續任務5的模式但加入教師的講解示範，在課程內容及教師教學的滿意度較高，可能因為教師的適當介入與指導讓學生增加與達成任務的相關知能。教師教學在8個任務中，滿意度平均數皆大於4，顯示教師於各個任務中能給

予適當的指導、示範與協助，因此滿意度較高。由以上結果可知，學生對不同的任務有不同的滿意度。

如表9所示，課程滿意度各向度之單一樣本 $t$ 檢定皆達顯著水準(比較值3) ( $p < .001$ )。以教師教學之滿意度最高，其次依序為課程內容、難易度，滿意度最低為時間規劃。這可能是因為課程時間較為緊湊，學生沒有足夠的時間吸收知識及實作，加上課程內容對高中低年級而言可能有一定程度的困難度。若標準提高(比較值3.5)，則僅教師教學之滿意度達顯著( $p < .01$ )，這顯示課程與教學相關措施尚有提升空間。

學生在開放式問卷寫下對於課程滿意的想法如下：

S11、S25、S41：運用滑車與測試帆船的角度與推力的關係實驗的難度較高，且時間太短。

S9、S15、S18、S19、S25：覺得控制程式的設計較難且需要花多點時間學習，因為要寫很多程式碼。

S11、S27：覺得帆船製作的時間可以增加。

從上述的學生感受可知，需適當的調整任務完成的時間，並考量任務的難易度以及

表8：任務導向教學各階段任務之課程內容、教師教學、時間規劃及難易度之滿意度

任務	課程內容		教師教學		時間規劃		難易度	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
任務1	3.77	1.01	4.03	1.03	3.63	0.93	3.60	0.97
任務2	3.80	0.96	4.00	1.02	3.60	0.93	3.67	0.96
任務3	3.83	1.05	4.00	1.15	3.63	0.96	3.60	1.04
任務4	3.70	1.06	4.03	1.16	3.77	0.97	3.67	1.12
任務5	3.87	0.97	4.00	1.05	3.60	0.93	3.87	0.97
任務6	3.90	1.00	4.10	1.06	3.63	0.96	3.77	1.01
任務7	3.77	0.94	4.00	1.02	3.67	0.96	3.73	1.02
任務8	3.93	0.94	4.10	1.06	3.67	0.99	3.83	0.99

表9：課程滿意度

向度	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> 值(比較值3)	顯著值	<i>t</i> 值(比較值3.5)	顯著值
課程內容	3.82	0.86	5.22	$p < .001$	2.04	$p > .05$
教師教學	4.03	1.03	4.77	$p < .001$	2.82	$p < .01$
時間規劃	3.65	0.87	4.10	$p < .001$	0.95	$p > .05$
難易度	3.72	0.89	4.41	$p < .001$	1.33	$p > .05$

學生實作所需的時間，以避免壓縮教學的時間。正如同Yarker與Park (2012)所認為，想要有好的跨領域統整課程，仍有很多工作需通盤考量。就各個學習任務而言，有些學生未能理解任務內容或因時間不夠無法即時完成任務。因此，透過任務之考驗可以讓學生再次應用課程所學的知識及技能來修正並達成目標。由此可見透過任務導向教學策略來統整教學內容，將可修正以學科為導向的教學問題。

學生在開放式問卷寫下學習感受，從以下描述可知學生對課程與教學持正面的感受。

S3：剛開始學Arduino時覺得有點難，後來經過老師示範講解後，加上看到自己的帆船可以透過Arduino來控制，就覺得其實沒有很難啦！我覺得老師很認真，謝謝老師。

S27：這個課程讓我學會浮力、升力、阻力也可以用在帆船和飛機的設計。

S4、S16：我會將材料妥善應用甚至可以做三艘帆船來測試，覺得自己很棒。

S8：我每次上完課回家後還會想著如何運用珍珠板或木頭DIY做一艘船。

S27：能自己動手切割珍珠板完成一艘帆船，雖然很累，但很有成

就感，最重要的是可以帶回家做紀念，我上過其他的機器人課程都不能把成品帶回家。

S40：我本來不會畫設計圖，現在知道可以利用方格紙並根據老師的指導與示範，我也能製作一艘帆船。

S18、S21、S30：我從這個課程學到很多，更學到與同學溝通合作並知道如何把問題簡化(減少變因)，循著老師的教學步驟來逐步完成帆船機器人的任務。

S12：希望學校可以再開設這樣的課程。

## 六、綜合討論

學生經過帆船機器人STEM統整課程的任務導向教學，可從實作過程中去體會科學探究、科技應用、工程設計與數學運算，也能整合應用跨領域知識來做出實體作品。從實作雛形、實驗、測試、修正與改進，進而達成任務目標，提升學生知識、技能及態度。Hernandez等(2014)也證實，學生學習統整課程後，對於STEM統整知識、技能與態度有所提升。本課程以帆船為主題可以讓學生需要運用到數學計算與科學知識，而非嘗試錯誤才能達成任務；也印證Eguchi (2016)「學生能從機器人競賽及任務的完成過程中獲得問題解決、除錯、製作雛形、將大問題拆解成小問題、邏輯思考、按部就班的建構及分析問題的能力」。

本研究發現帆船機器人STEM統整課程對學生學習有正向的提升。學生藉由製作帆船機器人的過程中，學到繪製帆船設計圖的基本技巧(工程設計)，並且將物理學到的流體力學、重心與浮力原理(科學、數學)和電子零件與控制程式(工程、科技)加以整合應用，故能在STEM統整知識上有明顯的進步。相較於陸上行駛的機器人，水上的載具需要科學知識考量的問題更多，例如：浮力是否足夠承載笨重的電子裝備、船艙是否會進水、帆船受風後是否會翻覆、帆船受風後能否自動調整帆的方向等，這些問題需要先克服才能順利讓船在水上行駛。這更證實了López-Rodríguez與Cuesta (2016)「機器人可統整科學、科技、工程、數學、電子學、程式設計等成為一個具備特定目標的學科，還可運用機器人來讓學生團隊合作進行學習」。

本研究採用開放性且容易加工的控制器與珍珠板等作為組裝套件(construct kits)，以取代昂貴積木的堆砌與組裝，可以訓練學生運用工具進行實作的能力。如同Sullivan與Heffernan (2016)所言，開放性機器人組裝套件能提供學生學會規劃機器人，並思考如何寫程式讓機器人執行動作。Rihtaršič等(2016)指出讓學生運用易於拆解或組合的自製零件，可以讓學生學會運用各種材料與工具來組裝機器人。Fortunati, Esposito, Ferrin與Viel (2014)指出學生運用開放資源軟體與硬體，並使用簡單的工具和材料(螺絲起子、剪刀、膠水、貼紙、紙板)創作機器人，於課程後其機械知識明顯增加，動手裁切珍珠板及運用電子零件建構機器人方面的技能也增加。此外，由於材料便宜，課程結束後可由學生自行將船體攜回保留，可增加學生對教學活動的記憶。研究結果對教學實務可以有如下啟示。

### (一)善用主題統整課程與任務導向教學之優勢

對教師而言，透過本研究發展的主題統整課程與教學，教師可盤點與主題相關的學科知識，並參考本研究的任務導向活動，讓學生可以循序漸進地完成任務。透過本研究，教師可瞭解主題統整課程與教學的設計流程，可使用任務導向教學來提升實作任務的成效，可使用單元任務的設定讓學生以漸進累積方式整合學科知識與實作技能，可使用單元任務來檢視學生在不同階段的學習成果與表現。對學生而言，學生可藉由每個單元任務將課堂所學的知識，透過實際動手的實踐來製作作品並完成任務：可以即學即用並同時整合運用知識及技能，於每個單元任務完成階段性之具體的作品。

### (二)採用開放式機器人控制器與自製材料包

本研究採用價格平實的Arduino開放式機器人控制器及零件，學生容易組裝與學習、有利於教師教學及推廣。船體與風帆材料採用容易取得的巴爾沙木、珍珠板及厚紙板，可讓學生自行設計造型。船的桅桿材料為免洗筷或細木棍，可讓學生自行設計功能。機構連桿材料為鐵絲，可讓學生自行調整與製作。學生使用教師事先準備好的材料包，根據科學原理及工程設計的概念，使用簡易手工工具自行設計與製作出帆船的船體與風帆，最後組裝出帆船機器人。

### (三)教師應加強數學、科學、電腦程式及機構組裝教學

學生在數學與電腦程式的知識測驗的進步幅度較其他領域為少，因此教師應加強數學與電腦程式的教學。學生在機構組裝的技能表現較其他技能表現為低，教師可以加強

機構組裝的實作教學與示範。由於學生對科技與工程的興趣有顯著提升，但對數學與科學的興趣卻未顯著提升；尤其是學生對數學的進步幅度最少，對數學興趣的提升幅度也最低，因此教師對數學與科學的教學方式應再更生動活潑，以吸引學生興趣與動機。

#### (四)其他單科導向教學應提供真實學習情境

在態度上，學生認為較不擅長整合跨領域的知識來解決其他課程學習的問題，也較不容易透過動手做的能力來驗證跨領域知識；但學生認為跨領域整合能力與真實世界的經驗有關係，因此其他單科導向的課程(譬如：數學、物理、化學)的教師在教學上應提供學生能與真實世界連結的學習情境與經驗，以提升學生跨領域整合能力。

#### (五)重視程式設計實作之重要性

學生雖然在電腦程式的知識測驗的進步幅度較其他領域為少，但在程式設計實作技能的表現卻達顯著水準；這應該是學生透過不同階段任務的實作體驗而提升了程式設計實作的技能，可見實作對程式設計的重要。

#### (六)提升科學探索與應用之教學情境

學生對於科學知識的進步幅度頗高(僅次於帆船設計知識)，但對於科學的興趣也低(僅次於數學)。這也可能是學生從帆船設計與製作過程(即工程與科技)有實際驗證與體會到科學原理的應用，但相對於工程與科技的實用性，學生對科學理論的興趣也就相對較低，是需要注意的問題。

## 陸、結論與建議

### 一、結論

根據前述研究結果，得出研究結論如下。

#### (一)任務導向教學策略適用於機器人為主題的跨領域STEM統整課程

本研究以跨領域主題統整模式之網狀式方法建構出帆船機器人跨領域STEM統整課程的知識架構圖，並結合線串式方法來呈現各相關知識之間的連結關係。此課程不但整合不同領域知識，亦整合知識與技能。另運用UbD的課程設計模式發展出帆船機器人跨領域STEM統整課程，並透過任務導向教學策略可以有效達成課程預定的教學目標。此課程及教學策略可供後續發展相關主題統整課程與教學之參考。

此課程與傳統的機器人課程主要的不同是此課程具跨領域STEM統整特性，可彌補傳統的機器人課程在科學與數學概念融入的不足；系統化的課程統整與教學設計亦可減低部分號稱機器人STEM課程缺乏具體且科學化統整方法的問題。這些都可由專家評鑑與學習者評鑑結果獲得明證。學習成效評鑑指標之一為STEM統整知識，且達顯著水準，這亦是傳統的機器人課程較難達成的。

#### (二)帆船機器人STEM統整課程與任務導向教學能促進學生知識、技能與情意之進步

此課程的預期目標是讓高中學生能建構在水上自主航行的機器人，有超過八成的學生達成目標。藉由任務導向的實作活動，學生能瞭解與帆船機器人相關的STEM知識，對STEM知識、技能與態度有顯著的提升；亦能促進對STEM課程的興趣，進而傾向從事與STEM相關的職業。學生透過帆船機器人



的製作，能瞭解帆船機器人的許多跨領域知識。知識的進步依序為帆船設計、科學、機械、電子元件的知識、電腦程式、STEM統整知識及數學。過往研究大多未比較哪些領域知識的進步較大。實作技能表現依序為程式設計、帆船設計、機構組裝。學生雖然在電腦程式的知識測驗的進步幅度較少，但在程式設計實作技能的表現卻最好，這應該是專家評鑑建議的程式設計宜多些實作時間的效益。態度進步依序為：會運用課程所學的跨領域知能來解決生活上的問題、與同學合作並分享知識、認為跨領域整合能力與真實世界的經驗有關係、及動手做的能力可用於驗證科學或數學或工程知識、會整合跨領域的知識來解決其他課程學習上的問題。學生較會運用課程所學的跨領域知能來解決生活上的問題，卻較不擅長整合跨領域的知識來解決其他課程學習上的問題。興趣提升依序為工程設計、程式設計、想繼續就讀工程或科學或科技相關科系、未來想從事工程或程式設計相關工作、機器人、未來想從事科學或

數學的工作、數學、科學(後三項未顯著)，這與高中生升大學選擇工程重於科學的思維一致。因為帆船材料及機器人材料價格低，預期學生能在未來生活中運用跨領域STEM統整知識在其他機器人的製作上。

## 二、限制與未來研究建議

學生對教師教學的滿意度高於對課程內容的滿意度，這顯示課程內容尚需做調整。至於需調整哪些內容，有待進一步研究。相較於其他機器人課程，本研究需要額外準備水槽及風扇陣列，可能造成一些教學負擔。在師資方面，除了需具備程式與機構的知能外，亦需要科學及電子電路的知能。因此未來可辦理師資培訓，且自行發展教材及材料包，以利後續的推廣。未來可將任務示範教學製作成影片，置於網頁上供學生自學或複習。在未來的研究中可以增加參與的學生人數，以提高學習成效的準確性與推論性。未來可進一步比較機器人STEM統整課程與一般機器人課程在學習成效與態度上的差異。

## 參考文獻

1. 游家政(2000)。學校課程的統整及其教學。《課程與教學》，3(1)，19-37、140。
2. Abdel-Salam, T., Sawaf, N. E., & Williamson, K. (2009). Robotics explorations to enhance information technology literacy in rural schools. *Journal of Communication and Computer*, 6(3), 55-63.
3. Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science & Technology Education*, 6(1), 63-71.
4. Altin, H., & Pedaste, M. (2013). Learning approaches to applying robotics in science education. *Journal of Baltic Science Education*, 12(3), 365-377.
5. Araújo, A., Portugal, D., Couceiro, M. S., & Rocha, R. P. (2015). Integrating Arduino-based educational mobile robots in ROS. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 77(2), 281-298.

6. Avsec, S., Rihtarsic, D., & Kocijancic, S. (2014). A predictive study of learner attitudes toward open learning in a robotics class. *Journal of Science Education and Technology*, 23(5), 692-704.
7. Barak, M., & Zadok, Y. (2007). Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(3), 289-307.
8. Barker, B. S., & Ansorge, J. (2007). Robotics as means to increase achievement scores in an informal learning environment. *Journal of Research on Technology in Education*, 39(3), 229-243.
9. Beane, J. A. (1997). *Curriculum integration: Designing the core of democratic education*. New York: Teachers College Press.
10. Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988.
11. Bers, M. U. (2007). Project interactions: A multigenerational robotic learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 16(6), 537-552.
12. Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157.
13. Campbell, D. M., & Harris, L. S. (2001). *Collaborative theme building: How teachers write integrated curriculum*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
14. Diamond, R. M. (2008). *Designing and assessing courses and curricula: A practical guide* (3rd ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass.
15. Doerschuk, P., Bahrim, C., Daniel, J., Kruger, J., Mann, J., & Martin, C. (2016). Closing the gaps and filling the STEM pipeline: A multidisciplinary approach. *Journal of Science Education and Technology*, 25(4), 682-695.
16. Drake, S. M. (2012). *Creating standards-based integrated curriculum: The common core state standards edition*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
17. Eguchi, A. (2016). RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 692-699.
18. Fogarty, R., & Stoehr, J. (2008). *Integrating curricula with multiple intelligences teams, themes, & threads* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Corwin.
19. Fortunati, L., Esposito, A., Ferrin, G., & Viel, M. (2014). Approaching social robots through playfulness and doing-it-yourself: Children in action. *Cognitive Computation*, 6(4), 789-801.
20. Hernandez, P., Bodin, R., Elliott, J. W., Ibrahim, B., Rambo-Hernandez, K. E., Chen, T. W., et

- al. (2014). Connecting the STEM dots: Measuring the effect of an integrated engineering design intervention. *International Journal of Technology and Design Education*, 24(1), 107-120.
21. Jaulin, L., & Le Bars, F. (2013). An interval approach for stability analysis: Application to sailboat robotics. *IEEE Transactions on Robotics*, 29(1), 282-287.
22. Jojoa, E. M. J., Bravo, E. C., & Cortes, E. B. B. (2010). Tool for experimenting with concepts of mobile robotics as applied to children's education. *IEEE Transactions on Education*, 53(1), 88-95.
23. Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating training programs: The four levels* (3rd ed.). San Francisco, CA: Berrett-Koehler.
24. Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
25. Kraiger, K., Ford, J. K., & Salas, E. (1993). Application of cognitive, skill-based, and affective theories of learning outcomes to new methods of training evaluation. *Journal of Applied Psychology*, 78(2), 311-328.
26. 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.
27. Merrill, M. D. (2007). A task-centered instructional strategy. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(1), 5-22.
28. Merrill, M. D. (2009). Finding e<sup>3</sup>(effective, efficient, and engaging) instruction. *Educational Technology*, 49(3), 15-26.
29. Nugent, G., Barker, B., & Grandgenett, N. (2012). The impact of educational robotics on student STEM learning, attitudes, and workplace skills. In B. S. Barker (Ed.), *Robots in K-12 Education: A new technology for learning* (pp. 186-203). Hershey, PA: IGI Global.
30. Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391-408.
31. Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Welch, G. (2016). Robotics camps, clubs, and competitions: Results from a US robotics project. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 686-691.
32. Park, I.-W., & Kim, J.-O. (2011). Philosophy and strategy of minimalism-based user created robots (UCRs) for educational robotics-education, technology and business viewpoint. *International Journal of Robots, Education and Art*, 1(1), 26-38.
33. Petre, M., & Price, B. (2004). Using robotics to motivate "back door" learning. *Education and Information Technologies*, 9(2), 147-158.
34. Rihtaršič, D., Avsec, S., & Kocijancic, S. (2016). Experiential learning of electronics subject

- matter in middle school robotics courses. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(2), 205-224.
35. Sullivan, F. R., & Heffernan, J. (2016). Robotic construction kits as computational manipulatives for learning in the STEM disciplines. *Journal of Research on Technology in Education*, 48(2), 105-128.
  36. Sullivan, F. R., & Moriarty, M. A. (2009). Robotics and discovery learning: Pedagogical beliefs, teacher practice, and technology integration. *Journal of Technology and Teacher Education*, 17(1), 109-142.
  37. Valero-Gómez, A., González-Gómez, J., & Treviño, R. (2013). A new paradigm for open robotics research and education with the C++ OOML. *Autonomous Robots*, 34(3), 233-249.
  38. Wiggins, G., & McTighe, J. (2011). *The understanding by design guide to creating high-quality units*. Alexandria, VA: ASCD.
  39. Williams, D. C., Ma, Y., Prejean, L., Ford, M. J., & Lai, G. (2008). Acquisition of physics content knowledge and scientific inquiry skills in a robotics summer camp. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(2), 201-216.
  40. Yarker, M. B., & Park, S. (2012). Analysis of teaching resources for implementing an interdisciplinary approach in the K-12 classroom. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 8(4), 223-232.
  41. Yuen, T. T., Boecking, M., Stone, J., Tiger, E. P., Gomez, A., Guillen, A., et al. (2014). Group tasks, activities, dynamics, and interactions in collaborative robotics projects with elementary and middle school children. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 15(1), 39-45.



## 附錄：任務4的UbD課程設計三階段

### 一、階段一：確認學習目標和結果

#### (一)任務目標：

能設計並組裝依據輸入訊號之變化，自動調整伺服機旋轉角度並能正確驅動連桿機構。

#### (二)學生應理解的主要概念

- 1.何謂機器人的訊號處理器、輸入(可變電阻、光敏電阻)及輸出(伺服馬達)？
- 2.何謂機器人的控制程式，控制程式的語法與編輯？
- 3.何謂連桿機構？
- 4.連桿機構與輸入及輸出電子零件的關係為何？
- 5.控制程式如何讓輸入裝置正確帶動伺服機連桿裝置？

#### (三)學生能回答的基本問題

- 1.控制程式是否正確驅動控制器及輸出裝置(伺服馬達)？
- 2.控制程式是否能正確判斷輸入裝置的數值？
- 3.控制程式是否能正確完成相對應的輸出動作？例如：旋轉可變電阻是否能帶動伺服馬達調整到正確角度？
- 4.連桿機構是否能配合機器人控制器及輸出入裝置正確連動？

#### (四)能學到的知識

- 1.認識機器人控制程式。
- 2.瞭解輸入訊號、處理資訊、輸出動作的機器人控制概念。瞭解機器人的控制器及輸入(感應器)、輸出裝置(伺服馬達)之函數對應關係。
- 3.電子元件的數位與類比訊號之判讀。
- 4.認識流程圖概念及自動化與回饋概念及應用，並撰寫機器人控制程式。
- 5.瞭解連桿機構。
- 6.瞭解連桿機構與輸入及輸出電子零件的關係。
- 7.運用連桿、力矩及力臂的概念搭配控制程式讓輸入裝置正確帶動伺服馬達之連桿裝置。

#### (五)學生學會的技能

- 1.編輯並修改機器人控制程式。

- 2.能撰寫程式來處理輸入(光敏電阻、可變電阻)訊號並控制輸出裝置(伺服馬達)。
- 3.能設計並製作以伺服馬達帶動連桿機構。

## 二、階段二：決定評量標準與方式

### (一)學生能達成任務的標準

- 1.能正確驅動機器人控制器。
- 2.能正確讓可變電阻、光敏電阻透過程式帶動伺服馬達。
- 3.能設計並製作以輸入裝置透過控制程式帶動伺服馬達轉動的連桿機構。

### (二)評量方法、工具與標準

- 1.教室觀察(如：課堂表現、問答、小組互動等)
- 2.實作評量(任務評量規準)
- 3.實驗記錄簿
- 4.單元任務完成程度

## 三、階段三：決定教學策略與設計教學活動

教學活動強調動手操作，教師先講解與示範本次任務的概念(約10～15分鐘)後，隨即讓學生動手實作並驗證教師所教的內容。任務4的教學內容、流程與活動詳如前面表2。

# Evaluation and Design of Cross-Disciplinary Robotics STEM Curriculum Based on Thematic Integration and Task-Oriented Instruction

Chi-Cheng Chang<sup>1,\*</sup> and Yiching Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Technology Application Human Resource Development, National Taiwan Normal University

<sup>2</sup>Taipei Municipal Dar-Ze High School

## Abstract

This study has constructed a knowledge map of cross-disciplinary integrative STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) curriculum on robotic sailboat by using the webbed approach in the Cross-Disciplinary Thematic Integration Model. The thread method was used to display the linking relationships among relevant concepts on the map. Moreover, the Understanding by Design Model (UbD) was used to develop cross-disciplinary integrative STEM curriculum with robotic sailboat. Purposive sampling approach was adopted to select 42 first-grade students (35 males and 7 females) from one class in a senior high school. An instructor undertook task-oriented instruction and students undertook task-oriented hands-on activity. There were totally 21 teams with 2 members in each team via cooperative learning. Research results showed that students made significant progress on 7 fields of the test. Regarding skill performance, students made the highest performance on programming design; followed by sailboat design, mechanism assembling and installing, and significant level were reached in all activities. Attitude toward STEM showed significant improvement. Five significantly enhanced interests were engineering design, programming design, intention to study engineering or technology, intention to work in engineering field, and robotics. Three insignificantly enhanced interests were mathematics, science, and intention to work in mathematics or science field. The cross-disciplinary integrative STEM curriculum on robotic sailboat and the task-oriented instructional strategy might be the references for future development in integrative course and instruction of relevant themes.

**Key words:** Thematic Integration, Task-Oriented Instruction, Integrative Curriculum, Cross-Disciplinary STEM, Robot

---

\* Corresponding author: Chi-Cheng Chang, samchang@ntnu.edu.tw