

設計 STEAM 課程的協同教學—— 以「感控式綠建築」為例

盧秀琴*

國立臺北教育大學自然科學教育學系

洪榮昭

國立臺灣師範大學工業教育學系

陳芬芳

臺北市仁愛國民小學

跨領域 STEAM 課程的協同教學能培養國小學生「探究與實作」的能力；這是全球的教育趨勢，亦是台灣十二年國教的教學重點。本研究採個案研究法，以國小六年級一班共 26 位學生為研究對象。三位協同教師設計 STEAM 課程和教學，指導學生執行「感控式綠建築」的專題研究，內容包含：繪畫設計圖、編寫 Arduino 程式以操縱感控式設備、組裝綠建築。本研究以 STEAM 教學過程卡、「感控式綠建築」作品、半結構式晤談、教學省思札記等資料進行詮釋分析。研究結果如下：（1）三位教師協同教學 STEAM 課程，能協助各組學生建構「感控式綠建築」，符合日常節能標準，並達到美觀和實用的效果；（2）各組學生在建構「感控式綠建築」的歷程中，學會 STEAM 跨科跨領域的技能，以及溝通協調、合作學習的態度。

關鍵詞：STEAM 課程；協同教學；專題研究；感控式綠建築

* 通訊作者：盧秀琴（luchowch@tea.ntue.edu.tw）。

前言

研究的理念和重要性

自 21 世紀以來，美國積極推動 STEM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics）課程的改革（Herschbach, 2011; Toulmin & Groome, 2007），以培養科學家和工程師人才，做法深受世界各國推崇並跟隨。但教育學者認為藝術的價值跟科技工程同等重要，偏重科學技術無法達到全人教育的目標（陳怡倩，2017）。Maeda 於 2011 年提出 STEAM（Science, Technology, Engineering, Art, & Mathematics）一詞，在 STEM 教育的基礎上加入藝術的教育理論，表現人類獨有的情感和創意，打造機器人搶不走的創造力，於是美國開始 STEAM 教育（陳怡倩，2017；Ayres, 2011; Maeda, 2013）。南韓、新加坡在 2010 年推動 STEAM 教育，中國內地在 2015 年將 STEAM 列為國家教育的重要方針，而台灣決定在 2018 年將 STEAM 落實於十二年國教之中（邱紹雯、許家齊、竇靜蓀，2017）。STEAM 教育的理念是以數學為基礎，通過工程和藝術解讀科學和科技，支援學生以學科整合的方式認識世界，培養他們解決問題的創新能力，並提升他們的就業競爭力（趙慧臣、陸曉婷，2016）。台灣在 2019 年開始實施十二年國教課程，自然科學領域重視「探究與實作」，強調建構基本的科學素養，具備基本的科學知識，從探究與實作中培養解決問題、終身學習的相關知能（國家教育研究院，2016）。十二年國教亦講究跨科、跨領域的概念，強調 STEAM 的課程設計主要是使未來的學童不僅擁有知識，更具備解決困難問題的能力，懂得實證精神，並能將各種資訊整合為可用資源（國家教育研究院，2016；教育部，2014）。目前，台灣各級學校實施 STEAM 課程設計方興未艾，大都著重於雷射雕刻、3D 列印的創客自造課程研究，較少應用於解決日常生活的問題；另一弱點是台灣學生在 PISA 數學、科學的知識性評比表現很強，但很少有機會將這些知識運用於日常生活需求中，發展成解決人類問題的科技產品或技術。本研究希望改善上述缺點，從學生如何解決日常生活的問題去發展 STEAM 課程。

位於台灣雙北都會區的國小，為了在炎熱的夏天令學生有舒適的學習環境，教室都會裝設冷氣機。學校會教導學生實踐綠能行動，履行節能減碳，盡量減少冷氣使用量。然而，許多學生一到學校就開冷氣來消暑，而不是開窗戶令空氣流通。根據這種現象，本研究希望在「生物與環境」單元配合 STEAM 教育，指導學生製作「感控式綠建築」的專題研究，使學生透過環境觀察、發現問題、擬定計畫、實作與反思等方法，培養珍惜自然資源的態度，實踐綠能行動，以解決生活實際的問題。但國小教師並非全能者，必須協同其他專業教師統整課程，才能達到效果。「統整」是指課程內容橫向和縱向的聯繫，在於企圖解決知識的零碎分化，即時幫助學生解決問題（鐘兆慧，2002）。統整課程會選擇與生活相關的經驗整合不同科目的知識內容，令

學生能將知識與生活經驗連結，達到最佳的學習效果（蔡釋鋒，2016）。本研究將協同自然科教師、資訊教師、美勞教師來整合科學、科技、工程、藝術、數學等成為統整課程，要學生實作「感控式綠建築」的專題研究。

研究目的

本研究以個案研究來培育國小學生學習 STEAM 課程，以 26 名國小六年級學生為研究對象，採用協同教學來教導他們「生物與環境、感控式綠建築」的相關知能，並觀察他們如何設計與實作「感控式綠建築」。因此，本研究探討下列兩個問題：（1）跨領域 STEAM 課程的協同教學，國小學生實作「感控式綠建築」的學習歷程為何？

（2）跨領域 STEAM 課程的協同教學，國小學生組裝「感控式綠建築」的學習成效為何？

文獻探討

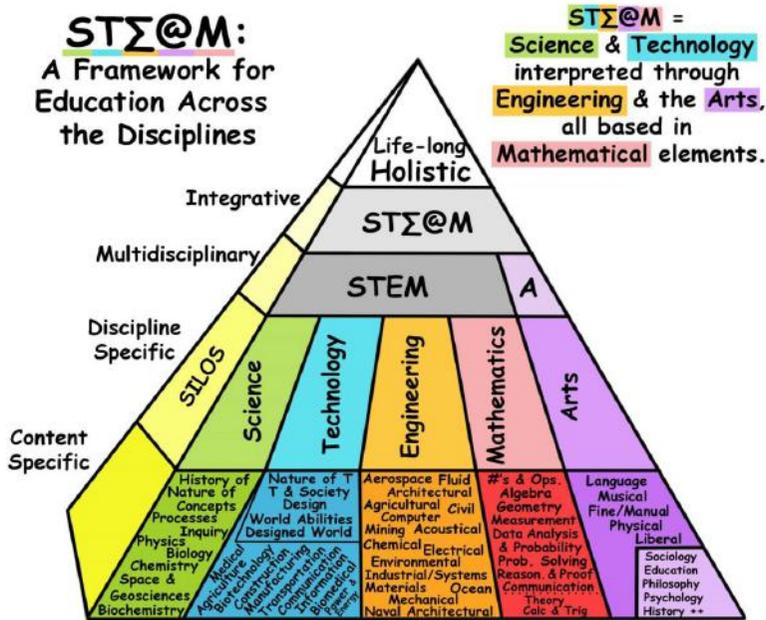
STEAM 教育的課程設計

STEAM 課程是結合科學、科技、工程、藝術和數學的跨領域教學架構，讓學生在數學邏輯的基礎上，藉由工程和藝術的展示，學習科學和科技的內涵（陳怡倩，2017）。在 STEAM 教育中，科學支援人們認識世界的規律，工程和科技支援人們根據社會需求改造世界，藝術說明人們以美好的形式豐富世界，數學則為人們發展和應用科學、工程、藝術及科技提供思維方法和分析工具（趙慧臣、陸曉婷，2016）。美國馬里蘭大學的 Michael G. Pecht 教授曾提出兩種課程整合的模式，一種是相關課程，另一是廣域課程（broad field curriculum）。相關課程是將各科目保留為獨立學科，但各科目教學內容的安排注重彼此的聯繫，以此建立 STEAM 教學模式；廣域課程則取消了學科之間的界限，將所有學科內容整合到新的學習領域，以此建立 STEAM 教學模式，重視問題解決模式（引自趙慧臣、陸曉婷，2016；Lou, Liu, Shih, & Tseng, 2011）。本研究中的 STEAM 教學模式為廣域課程。STEAM 教育的核心理念是跨學科、跨領域，透過知識的整合，使學生綜合運用各種學科知識，創造性地解決實際的問題（陳瑩，2015）。

美國教育學者 Yakman（2010）及其團隊建立的 STEAM 教育框架，是五層「金字塔」狀，形成從具體到抽象的框架（圖一）：由下而上第一層為具體內容層級，呈現具有科學、科技、工程、藝術和數學等學科特點的課程內容（趙慧臣、陸曉婷，2016）；往上第二層為特定學科層級，深入探討不同領域內容的學科（蔡釋鋒，2016）；第三層是「STEM+A」，主要強調藝術的滲透、人文的需求（郭禎祥，2000）；第四層強調

STEAM 教育在科學、科技、工程、藝術和數學等跨學科視角下，整合實踐方式去發現和解決問題（陳瑩，2015）；第五層級則談 STEAM 整體最終目標為培養學生終身學習的知能和意識，使其適應不斷發展的社會需求（趙慧臣、周昱希、李彥奇、劉亞同、文潔，2017；Long & Davis, 2017）。

圖一：STEAM 教育框架



資料來源：取自 Yakman (2010)；獲 STEAM Education (<https://steamedu.com/>) 授權轉載。

賓靜蓀 (2017) 認為 STEAM 教育的課程設計應具備五個精神：(1) 跨領域專題學習，打破科目框架；(2) 「動手做」的學習，實踐以學生為中心的價值；(3) 生活應用，引發學生探究的好奇心；(4) 解決真實世界問題，感覺自己有影響力 (Hong, Hwang, Szeto, Tai, & Tsai, 2016)；(5) 五感學習，知識不能只是用腦學習。目前有較多 STEM 課程的實徵研究，例如：STEM 課程有助於提高學生的學習意願 (Olds, Patel, Yalvac, Kanter, & Goel, 2004)、動機和興趣 (Fang, 2013; Feldman, Sternheim, & Adams, 2008)、成績表現 (Klein & Sherwood, 2005)、溝通和合作技巧 (Zarske, Kotys-Schwartz, Sullivan, & Yowell, 2005)、擬定解決生活問題的計畫和任務 (Zarske et al., 2005)、培養創新並與真實世界接軌 (Watters & Diezmann, 2013)，但 STEAM 課程的實徵研究仍缺乏。綜合上述 STEAM 教育框架和課程設計的精神，本研究規劃在 STEAM 教育框架的第二層，以自然領域課程延伸「感控式綠建築」專題來建構學科具體知識，在第三層引導學生整合 STEM 和 A 去構思「感控式綠建築」設計圖，在第四層學生

實作「感控式綠建築」專題去發現和解決問題，在第五層學生展示「感控式綠建築」並說明自己的學習歷程。

協同教學的統整課程解決 STEAM 教學的困難

柯啟瑤（2000）認為協同教學是由教師組成小組協同指導學生的一種教學方式，其特徵有：（1）教師和學生群組具有緊密的協同關係，互相搭配合力完成教學和學習活動，充分發揮教與學團隊的精神（Robinson & Schaible, 1995）；（2）由兩人以上的教師構成，教師依個人專長和興趣分工合作教學，共同設計教學計畫，實施教學和評量（鄭博真，2002）；（3）教學時，教師視教學內容調整教學方式，包括個別教學、小組教學、團體教學（黃永和、莊淑琴，2004）。教育部（2003）公布《國民中小學九年一貫課程綱要》中指出：「學習領域之實施應以統整、協同教學為原則」。由於 STEAM 教學需要各領域專職的教師，但每位教師的學習各有所長，無法兼顧所有領域的學習，因此 STEAM 課程經常採用協同教學來達成目標（蔡釋鋒，2016）。協同教學的核心概念在於強調教師群的合作、整合，發揮教師專長，建立目標導向的專業關係；能有效運用現有教學環境，規劃和善用教材和教具，運用多元的教學策略和評量方式，達到適應學生個別差異的適性化教學目標（Baeten & Simons, 2016）。STEAM 教育的協同教學主要培育學生組織和連貫各種學科知識，找出不同學科觀點間的共通點，建構出目前社會生活所需的多元價值觀和解決問題所需的宏觀視野，而非要學生漫無系統地依照學科的分類去吸收知識（Wynn & Harris, 2012）。

研究方法

研究設計

本研究以自然領域為主軸，採用一學期的協同教學，培育國小學生學習 STEAM 教育的統整課程，指導他們設計「感控式綠建築」的專題研究。在「生物與環境」單元的延伸學習中，三位協同教師一起設計環境議題的問題情境，提供給學生並引導他們學會解決問題以獲得 STEAM 知能。所有學生分成六組，一組 4-5 位，以 Yakman（2010）設計的 STEAM 教學過程卡（STEAM Teaching Process Card）進行教學活動，並實作「感控式綠建築」。步驟包括：準備階段、實施和改進階段、反思階段等。協同教學說明如下：

1. 準備階段，計畫主持人和 3 位協同教師討論課程的設計和流程，整理說明如圖二所示；引導各組學生討論建構「感控式綠建築」的要素與材料。

2. **實施和改進階段**，先由研究者教導學生綠建築、熱輻射、熱對流和熱傳導等科學原理、圖表數據和空間形狀等數學概念，指導各組學生構思綠建築的可行模式（4 節）；然後，洪老師教導感控式設計，使用 Arduino 擴充板程式設計以操控零件組裝感控式設備（5 節），研究團隊從旁協助；當學生學會感控式設計後，由楊老師和研究者合作，先播放綠建築影片給學生觀摩，再指導各組學生繪製「感控式綠建築」設計圖，各組學生選擇最佳建材來組裝感控式遮陽板、感控式天窗於綠建築中並測試結果（2 個月）。
3. **反思階段**，專題研究以學生為中心，從問題分析、資料蒐集、設計與實作、成果展現、觀摩別組作品到互評、反思評鑑，都是小組集思廣益合作完成，老師只是協助者、引導者。

本研究檢核各小組的「感控式綠建築」作品、STEAM 教學過程卡，並以半結構式晤談、互評分數、教學省思札記等，探討國小學生如何設計和組裝感控式綠建築。

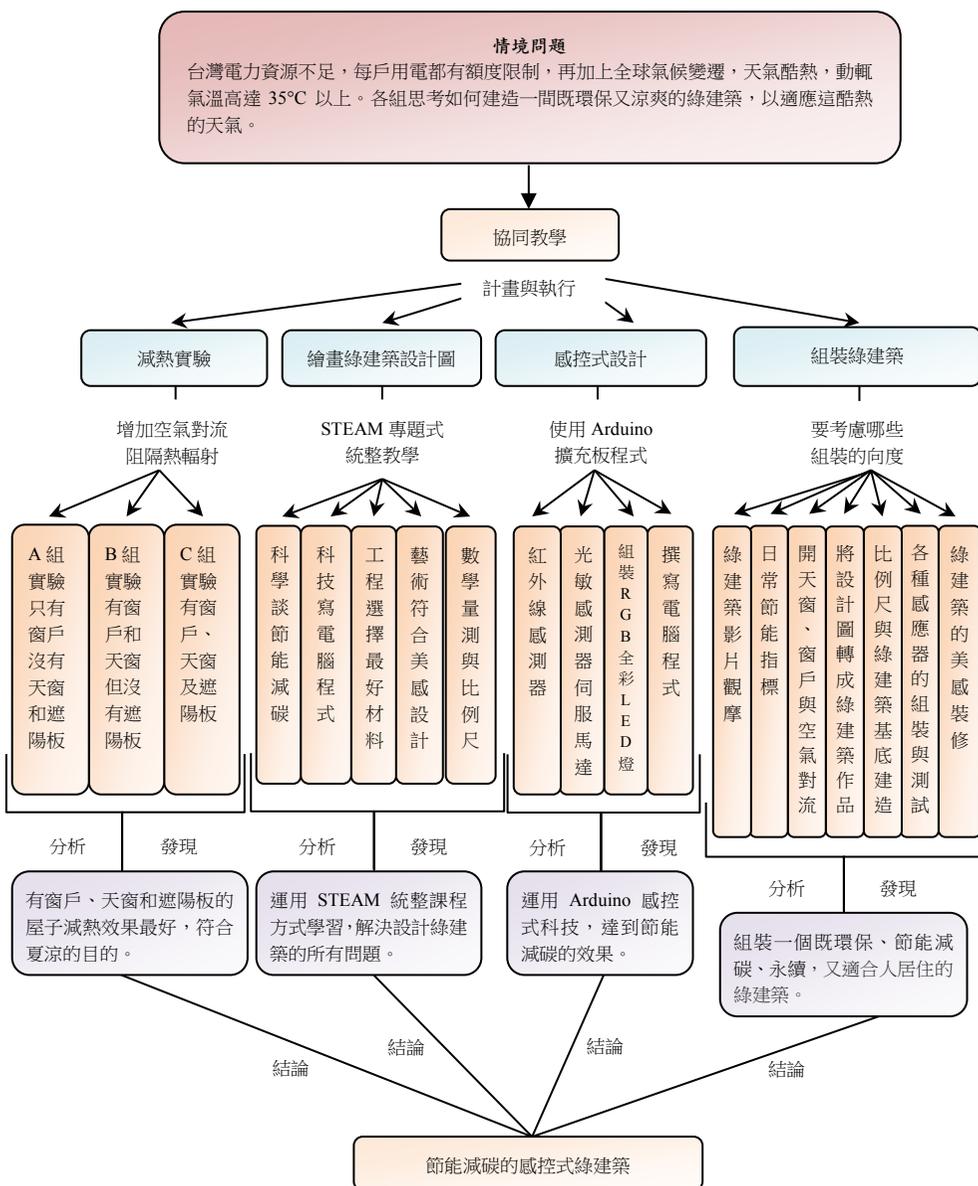
協同教學

本研究採用廣域課程的 STEAM 教學模式，取消學科界限，將所有學科內容整合到「建構綠建築」的學習。本研究由三位協同老師共同擬定教學目標、教學內容、教學方式和教學時間，研究者全程參與所有教學過程。研究者主要擔任自然、數學的教學，教導學生有關綠建築指標、熱輻射、熱對流、熱傳導等科學知識和尺度測量、圖表解讀等數學知識。聘請外校資訊專家洪老師擔任科技課程的教學，教導學生 Arduino 的程式設計、操控各種感控式零件的組裝，使其能在綠建築中作用。本校楊老師和研究者擔任藝術、工程的教學，教導學生繪製感控式綠建築的設計圖，根據設計圖利用冰棒棍、壓舌板、圓柱木頭……等建材組裝出感控式綠建築，一邊組裝一邊修正設計圖或材料搭配，最後每組都完成設計圖和綠建築的組裝。

研究對象

本研究採方便取樣，從研究者任教的台灣某大型國小六年級選擇一個班級共 26 位學生為研究對象，其中男生 12 人，女生 14 人。研究對象跟其他同年級的 12 個班級都是電腦常態編班，而且自然科的學期成績跟其他班級沒有差異，協同教學的楊老師剛好是該班的美勞老師。研究對象已經在「生物與環境」單元中學習了生物、資源、污染、熱傳導等自然知識，但對於熱對流、熱輻射等概念尚未實際運用；他們知道 Scratch 數位科技，但尚未接觸過 Arduino 的程式操作；在工程和藝術方面，他們曾做過冰棒棍小木屋，但未繪畫過房屋設計圖；他們有學過空間、圖表、測量等數學概念和技能，但未實際運用於作品的設計。

圖二：國小「感控式綠建築」專題研究的设计與流程



研究工具

STEAM 教學過程卡

本研究修改 STEAM 教學過程卡 (Yakman, 2010) 來執行「感控式綠建築」專題研究的內容，安排教學過程：(1) 準備階段，討論要素和材料，以及要如何使用；(2)

實施階段，討論要怎麼做，過程有哪些？做出來的結果如何？（3）改進階段，在製作過程中，我發現了甚麼？哪些事項值得思考？我最有興趣的地方是甚麼？（4）反思階段，觀摩別人作品的優點，反思和修正自己的作品，並將作品重要內容記錄於過程卡的背面。STEAM 教學過程卡的設計說明如表一所示。

表一：「感控式綠建築」專題研究的 STEAM 教育教學過程卡

準備階段	實施階段
要素和材料——有甚麼（科學）	組裝過程——做甚麼（科技與工程）
設備——用甚麼（科技）	輸出——結果是甚麼（科技與工程）
改進階段	反思階段
發現——學到甚麼	觀摩他人作品的優點
觀點——對於實用性，我該怎麼思考（藝術）	修正自己的作品
興趣——最有趣的點是甚麼	將圖片、算術和筆記，記在背面

資料蒐集和分析

表二顯示根據研究問題需蒐集的相關資料和分析資料的方式；表三則顯示資料項目、代號及編碼、代表意義。本研究採用各種方法收集 STEAM 教學過程卡作答內容、半結構式晤談、教學省思札記、感控式綠建築作品、作品評量等質性資料，並將所有質性資料編碼。當中，內在效度的建立是由三位研究者和三位自然科資深教師共同閱讀所有質性資料，給予分類和說明，達到一致的共識為止；而外在效度的建立則由三位研究者和三位自然科資深教師將各種質性資料加以整理、分析歸納、解釋描述，透過三角校正持續比對，最後形成主張，用來詮釋國小學生的「學習歷程」和「學習成效」所產生的意義。「感控式綠建築」作品評量是在課堂上根據各組的評審和三位協同教師的評審，統計在黑板上，大家共同討論取得共識後，給予各組各項度的分數，建立評分者信度。

表二：本研究所探討的研究問題、資料蒐集和分析資料方式說明

研究問題	資料蒐集	資料分析
（一）跨領域 STEAM 課程的協同教學，國小學生實作「感控式綠建築」的學習歷程為何？	1. STEAM 教學過程卡 2. 半結構式晤談 3. 教學省思札記	1. 分析 STEAM 教學過程卡內容 2. 綜合分析半結構式晤談和教學省思札記，詮釋結果
（二）跨領域 STEAM 課程的協同教學，國小學生組裝「感控式綠建築」的學習成效為何？	1. 感控式綠建築作品 2. 半結構式晤談 3. 教學省思札記	1. 感控式綠建築作品評量 2. 綜合分析半結構式晤談和教學省思札記，詮釋結果

表三：研究資料代碼

資料項目	代號及編碼	代表意義
基本代號	STC-1	STEAM 教學過程卡第 1 組
	GHD-1	綠建築設計圖第 1 組
	GHP-1	綠建築成品第 1 組
	Int-1-20180227	1 號學生 2018 年 2 月 27 日之訪談記錄
	TN-20180218	2018 年 2 月 18 日之教師省思札記

研究結果與討論

國小學生實作「感控式綠建築」的學習歷程

各組討論綠建築指標，繪畫綠建築設計圖

教學後，老師要小組討論綠建築的九大指標，提出組裝「感控式綠建築」需要哪個指標，最後得出要使用「日常節能」指標。教師要求每組學生將「『感控式綠建築』要素和材料有甚麼？」寫在 STEAM 教育教學過程卡中。幾乎每組學生都能整理出看法，圖三例示第一組學生的作答說明。

圖三：第一組 STEAM 教育教學過程卡的學習紀錄

<table border="1"> <tbody> <tr> <td>生物多樣性</td> <td>基地保水</td> <td>日常節能</td> </tr> <tr> <td>廢棄物減量</td> <td>綠建築指標</td> <td>污水垃圾改善</td> </tr> <tr> <td>CO₂ 減量</td> <td>室內環境</td> <td>綠化量</td> </tr> </tbody> </table>			生物多樣性	基地保水	日常節能	廢棄物減量	綠建築指標	污水垃圾改善	CO ₂ 減量	室內環境	綠化量	水資源
生物多樣性	基地保水	日常節能										
廢棄物減量	綠建築指標	污水垃圾改善										
CO ₂ 減量	室內環境	綠化量										
感控式綠建築要素和材料有甚麼？（科學） <ol style="list-style-type: none"> 1. 熱的傳導有熱傳導、熱對流、熱輻射。 2. 室外的氣溫每上升 1°C，冷氣空調的耗電量會上升 6% 左右。所以阻止熱的傳播是節能減碳、珍惜資源的重要課題。 3. 感控式綠建築就是利用開天窗來增加空氣對流、裝設遮陽板來阻隔熱輻射，感控式電燈發亮減少電的使用量，來達到節能減碳、珍惜資源的效果。 												
			(STC-1, 2018.02.27)									

因為「感控式綠建築」需要阻隔熱輻射和增加空氣對流，所以教師介紹房子的遮陽板能阻隔熱輻射，分為「外遮陽」和「內遮陽」，並解說兩者對減少空調耗能的效益；接着介紹在房子中如何增加空氣的對流，主要概念為「進風口低，出風口高」。然後，教師要小組討論「組裝『感控式綠建築』的設備用甚麼？」寫在 STEAM 教育教學過程卡中，幾乎每組學生都能寫出帆布遮陽棚、窗簾能阻隔熱輻射，增加開窗率或開設天窗有利於空氣的對流。例如，第二組學生的作答如下：

帆布遮陽棚、窗簾、百葉窗等遮陽裝置能夠把太陽的輻射熱隔絕在外面。利用熱氣上升的原理，讓熱空氣從上方開口出去，將冷空氣從下方的開口引入，房子就能對流通風。所以，可以開天窗把熱空氣引出去，下面多開窗戶讓冷空氣進來。（STC-2, 2018.02.27）

六組學生都完成「感控式綠建築」設計圖。各組所採取的策略有「臨摹或自創」，呈現方式有「視圖或透視圖」，畫法有「細線法或混合法」。設計圖可歸納為三類（見圖四）：有 4 組採用自創設計，2 組採用臨摹設計；有 4 組採用視圖，2 組採用透視圖；有 4 組採用混合法，2 組採用細線法。第一類設計圖傾向透視圖，屋內的擺設很清楚，會開天窗和很多窗戶，符合將冷空氣從下方開口引入、熱空氣從上方開口出去的概念，並且會在綠建築外面種樹和種草皮來降溫，符合降低熱傳導的概念（GHD-1）。第二類設計圖傾向臨摹圖，就是參考教師所給的資料來臨摹，設計圖繪畫得很豪華而複雜，歐式建築風格，有寬敞的落地窗和天窗（GHD-2）。第三類設計圖傾向自創設計的視圖，除了開設多扇窗戶、遮陽板、開天窗造型外，還思考淹水問題，把房屋架高，並且在屋頂架設太陽能板，降低熱輻射；亦有採用雨水收集槽，將收集的雨水用來澆花，具有環保概念（GHD-4）。

圖四：列舉三類感控式綠建築設計圖和設計說明

		
GHD-1：自創、透視圖、混合法	GHD-2：臨摹、視圖、混合法	GHD-4：自創、視圖、細線法
為符合綠建築指標，小組討論採用落地窗、開天窗、遮陽板，增加空氣對流；綠建築外面種樹和種草皮來降溫。	設計圖採用內倒式窗戶、圓弧式造型，大量使用落地窗、開天窗、窗戶、遮陽板等，增加空氣對流。	設計圖採用柱子架高房子、多窗造型，增加空氣對流；採用太陽能發電，阻隔熱輻射；採用雨水收集槽來收集雨水。

註：插圖獲授權轉載。

各組學習 Arduino 程式設計、組裝感控式設備

洪老師介紹 Arduino 套件的擴充板和感測器、Arduino 擴充板上的符號、數位輸出／輸入接腳（0~13）、PWM 接腳（3、5、6、9、10、11）、類比輸入接腳（A0~A5）

等。然後，教師教導連接 RGB 全彩 LED 燈，請學生仿照老師來操作和連接。最後，教師教導學生撰寫 Transformer 中介程式開啟連線，撰寫 Scratch 2.0 程式產生離線效果以解決感控式電燈發亮的問題。學生各組開始「感控式綠建築」的專題研究，學習「感控式綠建築」要如何組裝傳輸線、Arduino 擴充板、RGB 全彩 LED 燈、伺服馬達、光敏感測器。各組學生撰寫 mBlock 程式，以光敏感測器操控伺服馬達；撰寫 Transformer 和 Scratch 2.0 程式，操作 RGB 全彩 LED 燈的配色。教師要求學生將「組裝過程做甚麼？」和「輸出結果是甚麼？」寫在 STEAM 教育教學過程卡中。

每組學生利用每週一、二、四、五午休時間分梯次跟老師學習 Arduino，按教學計劃循序漸進，多數學生對學習 Arduino 科技展現濃厚興趣。例如，各組學生的主要作答說明如下：

撰寫 Arduino 程式以紅外線感測器控制 RGB 全彩 LED 燈，可以調出各種顏色的燈，尤其是紫色的燈。(STC-1, STC-6, 2018.03.24)

把 2 個伺服馬達、1 個光敏感測器、1 個 RGB 全彩 LED 燈與 Arduino 擴充板，成功安裝到感控式綠建築模型上。(STC-3, STC-5, 2018.4.24)

撰寫 Arduino 程式以光敏感測器控制伺服馬達，可以把綠建築的天窗和遮陽板同時開啟。(STC-2, STC-4, 2018.04.24)

從半結構式訪談可以發現學生學習 Arduino 擴充板程式設計的成就感：

當照度大於 1000 流明時，2 個伺服馬達由角度 45 轉到角度 135；當照度小於 1000 流明時，2 個伺服馬達要由角度 135 轉回角度 0 的程式，終於可以完成了。(Int-7-20180317)

我們的程式設計為當光敏感測器感受到 1000 流明光時，2 個伺服馬達的轉動不同，會使天窗開啟 90 度、遮陽板開啟 180 度。(Int-15-20180317)

我們撰寫感控式電燈程式設計在 RGB 全彩 LED 燈中，將紅、綠、藍色調都做調整，因此有紫色、綠色、淡紫色的呈現。(Int-19-20180416)

協同教師亦發現學生對於 Arduino 擴充板程式設計的學習進步很快，尤其是自己組別想要自我精進的時候，例如：

老師輪流巡視各組以便指導時，聽到驚呼聲不斷，第一組用程式將 RGB 全彩 LED 燈調出夢幻的紫色，第四組調出象徵環保的綠色，第二組調出藍、紫色輪流替換的色調。(TN-20180415)

各組組裝自己的「感控式綠建築」

美勞老師教導學生使用冰棒棍和選擇最佳材料組裝感控式綠建築，資訊教師教導學生運用 Arduino 建立居家監控系統。研究者分析各組學生 STEAM 教育教學過程卡中「發現學到甚麼？」的作答內容，發現每組學生都認為自己學到如何運用 Arduino 擴充板撰寫程式，運用光敏感測器、紅外線感測器等零件組裝感控式綠建築。有些組別則意識到團隊合作的重要性，只靠一人之力要完成感控式綠建築專案是不可能的，例如第六組學生的作答如下：

綠建築可以和 Arduino 結合，運用光敏感測器及伺服馬達轉動來設計感控式天窗和遮陽板；我們知道團結合作的重要，深刻理解到要完成感控式綠建築專案，只靠一人之力是辦不到的。(STC-6, 2018.05.29)

分析各組學生撰寫 STEAM 教育教學過程卡中「對於實用性，我該怎麼思考？」，發現每組的「感控式綠建築」想法都不相同，第一組除講究實用性外，亦考慮到它的豪華舒適感；第二組模仿歐洲古堡的感覺來設計綠建築；第三組、第四組以高腳屋鋪上綠草坪的設計來吸引眾人目光，並把 RGB 全彩 LED 燈調成綠色；第五組的設計符合美感色彩，紅外線感測器感應到人走近時會變成綠光；第六組使用紅色玻璃紙做遮陽板，隨着光的明暗，一張一合之際有如孔雀開屏，光彩奪目。例如，第五組學生的作答如下：

組裝綠建築時，使用 Arduino 程式來控制感測器就能把天窗和遮陽板同時開啟，為了跟其他組別不一樣，我們用玻璃紙裝飾遮陽板，RGB 設計成伺服馬達轉動時是藍光，紅外線感測器感應到人走近時變成綠光。(STC-5, 2018.05.29)

分析各組學生撰寫 STEAM 教育教學過程卡的「最有趣的點是甚麼？」，發現有三組認為裝上 RGB 全彩 LED 燈和紅外線感測器是最有趣的點；有三組認為用 Arduino 擴充板寫程式，用伺服馬達成功開啟天窗和遮陽板是最有趣的點。例如，第四組學生的作答如下：

團結合作一起完成綠建築，學習 Arduino 擴充板寫程式，控制伺服馬達等感測器成功開啟天窗和遮陽板是最有趣的點。(STC-4, 2018.05.29)

六組皆完成「感控式綠建築」的組裝屋，圖五列舉三組的作品，各組會依據自己的設計圖組裝綠建築的室內設備（第四組）；設計出有創意的感控式燈光，例如紫色光（第一組）；組裝完畢後，測試各種感測器是否都成功（第五組）。

圖五：列舉三組感控式綠建築的組裝內容

		
第四組創意綠建築的室內組裝	第一組設計出創意感控式紫色光	第五組測試 Arduino 感應器是否成功

國小學生實作「感控式綠建築」的學習成效

各組學生設計的「感控式綠建築」能符合評審標準

評審「感控式綠建築」，選出最符合綠建築指標、實用性和美觀的作品。評審標準有四：（1）能加強「空氣對流」、減少「熱輻射」的設計；（2）符合綠建築的日常節能標準；（3）能應用 Arduino 擴充板靈活操控零件；（4）符合美觀和實用的價值。請各組以上述標準互評，每項最高得 6 分，其次 5 分，依此類推。三位協同教師和六組學生討論互評並達到共識後，將互評結果整理如表四。

表四：六組「感控式綠建築」的互評結果

組別	評分項目				總分
	1. 能加強「空氣對流」、減少「熱輻射」的設計	2. 符合綠建築的日常節能標準	3. 能應用 Arduino 擴充板靈活操控零件	4. 符合美觀和實用的價值	
1	6	5	3	4	18
2	5	6	6	6	23
3	1	3	3	2	9
4	2	3	6	4	15
5	4	5	6	5	20
6	3	3	3	2	11

1. 能加強「空氣對流」、減少「熱輻射」設計。將 6 組作品同時放在太陽下曝曬 1 個小時後測量室內溫度，溫度最低者得最高分（6 分），依此類推；結果第一組降溫效果最好。
2. 符合綠建築的日常節能標準。綜合綠建築的開窗率、有無外遮陽、屋頂隔熱、斜屋頂、落地窗及天窗設計等向度來評分；結果第二組作品有落地窗，窗臺都有屋簷遮陽，天窗有採光及遮陽板，選用斜屋頂遮陽隔熱，獲得第一名。

3. 能應用 Arduino 擴充板靈活操控零件。結果第二、四、五組的 Arduino 創意程式都能成功令感控式電燈、天窗和遮陽板運作自如，都獲得 6 分。
4. 符合美觀和實用的價值。以綠建築造型、室內裝潢和室外降溫設施來評分，結果第二組設計大型落地窗和天窗增加空氣對流，採巴洛克風格很美觀，獲得第一名；第五組屋頂設計有太陽能板，不管室內、室外都裝飾完美，獲得第二名。
5. 總評結果，第二組獲得第一名，第五組獲得第二名，第一組獲得第三名。教師反映各組學生互評很公平而決斷，楊教師認為：「剛開始時以為學生的票選會有英雄主義，可能不準；後來發現各組學生都能以溫度量測來評量降溫效果，每一項評審時都能先討論評審的標準，大家取得共識後再評審，所以評審的結果六組都沒有爭議，很有公民素養」（TN-20180602）。

各組學生能觀摩別組的優點，學會選擇材料、設計感應器來精修自己的作品

在整個實作過程中，各組學生互相觀摩、擷取優點來修正自己的作品，圖六顯示六組「感控式綠建築」修正作品的圖示和內容說明。

分析 STEAM 教育教學過程卡「觀摩別人作品的優點，反思修正自己的作品」的作答內容。第一組因為房屋做太大、太複雜，做不完，所以改成平台式的綠建築，精緻化室內各種設備。第二組發現設計圖太複雜，決定拆除重建，捨棄太陽能板而加強遮陽板，仿效別組開兩個天窗和四個大窗戶，門前設有鞦韆架可以玩耍。第三組沒有精準測量，造成高架屋不穩定，最後將三樓層變成二樓層，認為做之前必須先正確測量後再進行；他們仿效別組大開天窗通風。第四組亦因為高架屋不穩固，取消高架屋設計，改成平底屋，改用大型落地窗、天窗、斜屋頂、綠草坪來降低溫度。第五組因為屋內空間不足，放置感應器、家具產生困難，認為需要把房屋蓋大一點；他們又跟別組一樣取消高難度的沖水馬桶、滲透式地板、污水處理箱，改成落地窗、天窗、綠草皮和太陽能車。第六組亦因為空間不足，固定天窗、遮陽板感控式零件、擺設家具都產生困難，認為需要把房屋蓋大一點；又效法別組改作斜屋頂和大型落地窗，比較容易達成目標。

從訪談學生發現，他們最大的困擾就是測量不夠精準，結果要拆屋重建，例如幾位學生指出：

我學到做之前必須先思考如何正確測量所有東西的長度後再進行，避免要拆掉重蓋的窘境。（Int-1,10,12-20180612）

圖六：六組「感控式綠建築」修正作品的圖示和內容說明

		
第一組：因作品較大，不好做成斜屋頂，小組討論後決定降低難度，改為平台式的綠建築，精緻化室內的各種設備。（STC-1, 2018.06.12）。	第二組：太陽能發電、風力發電、儲水槽、綠化等難度太高，小組決定取消，豐富巴洛克風格的外型構造。（STC-2, 2018.06.12）	第三組：因設計圖的高架屋不穩定，決定降低三樓層為二樓層結構，不做屋頂的太陽能板和透水地板。（STC-3, 2018.06.12）
		
第四組：因為高架屋不穩固，取消高架屋設計，改用大型的落地窗、天窗、斜屋頂、綠草坪來降溫。（STC-4, 2018.06.12）	第五組：取消沖水馬桶、滲透式地板、污水處理箱等難度高的組裝，改成落地窗、天窗、綠草皮和太陽能車。（STC-5, 2018.06.12）	第六組：太陽能板、自動灑水、種植樹木、再生建材都覺得太難而捨棄，改成斜屋頂和大型落地窗。（STC-6, 2018.06.12）

其次，學生認為最大的得着是知道甚麼是綠建築，並了解如何選擇建材、設計 Arduino 感控式設備和設計空氣對流的開窗方式，以達到綠建築的「日常節能」標準。例如，幾位學生認為：

學習 Arduino 感控式材料操作很有科技感，最特別的是自動化居然能節能減碳！（Int-6,7,15-20180612）

我覺得自己是綠建築通，從畫設計圖到真的實作後，我更知道怎麼選綠建材、使用 Arduino 解決感控式天窗及遮陽板問題。（Int-22,17-20180612）

我還發現綠建築的大小要適中，斜屋頂要 60 度就好，開窗戶要測試空氣對流的問題。（Int-26,11-20180612）

有些學生認為團隊合作很重要，大家有共識後再進行才能收事半功倍之效，例如：

我覺得全組要一起討論，大家都同意後再動手做綠建築，才不會吵來吵去。
(Int-7,11-20180612)

大家有共識才能合作，看到建築物被我們慢慢蓋起來，就有成就感，有種站在同一陣線的默契。(Int-16,11-20180612)

綜合討論

設計「感控式綠建築」的協同教學，探討各組學生的學習歷程

三位協同教師共同設計「感控式綠建築」的 STEAM 課程，採用團體教學、小組教學和個別教學，互相商量可以協助的時間、可以提供的材料、如何引導學生學習，充分發揮團隊精神。探討各組學生所撰寫的 STEAM 教學過程卡和實作「感控式綠建築」，發現各組學生能根據三位協同教師的引導去繪製「感控式綠建築」設計圖；雖然有兩組學生沒有精準測量各部位的結構，造成綠建築傾斜、倒塌或「感測器」放不進綠建築內的窘境，最後在協同教師耐心教導下拆除重建，但他們因此學會比例尺、精準測量的重要性。黃永和、莊淑琴（2004）說明協同教學的優點，就是教師能根據自己的專長和興趣來教學，又能分工合作、互補不足，比較容易有成功的經驗。其次，在三位協同教師共同引導下，各組學生都能完成「感控式綠建築」專題，面臨問題會隨時討論、省思、改變策略去解決問題，例如：上下開窗戶要幾扇才能達到空氣對流的最好效果？設計圖太難要如何修正和改善？怎麼學習 Arduino 程式設計以完成「感測器」的操作？可見，各組學生已經逐漸學會 STEAM 素養的整合實踐能力。范斯淳、游光昭（2016）和 Hong et al.（2016）的研究說明，學生以整合實踐的方式去發現和解決問題，能運用科學知識來辨識科學問題、解釋科學現象，能理解工程設計和選擇材料來解決所面臨的問題。從各組學生開始繪畫「感控式綠建築」設計圖，到組裝「感控式綠建築」，各組每位學生都表達自己的觀點，希望自己的想法得到採用，這當中產生一些爭執和溝通不良的事件，但最後每組學生都能溝通協調，取得共識，並互相幫忙完成「感控式綠建築」作品，故小組的專題研究能增進同學之間互相溝通、合作學習的技巧。Zarske et al.（2005）說明溝通協調策略的重要性，組內的同學必須不斷討論、溝通以達到共識，才能執行長期的專題計畫。

「感控式綠建築」的 STEAM 專題研究探討各組學生的學習成效

各組學生實作「感控式綠建築」的 STEAM 專題研究時，他們最感興趣的是科技領域的 Arduino 程式設計；為了使紅外線感測器、光敏感測器、伺服馬達和 RGB 全彩 LED 燈能有效操縱綠建築的感應，他們聚精會神撰寫 Arduino 擴充板電腦程式設計去

控制這些感測器，雖然學習過程遇到很多挫折，但最後各組都有不錯的創作，例如：RGB 全彩 LED 燈能經由程式設計變成夢幻的紫色光或環保的綠色光，把天窗、遮陽板開閉的角度因為溫度的變化而能從 90 度轉成 180 度，控制天窗和遮陽板可以同時打開或輪流打開。本研究結果與 Fang (2013)、Watters & Diezmann (2013) 的 STEM 研究結果相符，符合 STEAM 教育「金字塔」的第二層特定學科層級，學生能深入探討科技和工程領域的學科知識，從理解到應用的框架，逐一達成他們的需求（趙慧臣、陸曉婷、2016；Lou et al., 2011）。其次，三位協同教師引導各組學生設計「感控式綠建築」造型時，各組學生都能發揮自己的審美觀和創造力，例如有：巴洛克風格、綠草坪的別墅型、感覺涼快的高腳屋等，可見各組學生能將自己的審美觀念和實用性實踐於作品中。這符合 STEAM 教育「金字塔」的第三、四層特定學科層級，第三層強調藝術的滲透，藝術能協助學生的學習，經由同理心、構思、測試的過程設計和創作（郭禎祥，2000）；第四層則強調 STEAM 教育在跨學科的視角下，學生能採用整合實踐方式去發現問題、解決問題，完成 STEAM 的作品（趙慧臣等，2017；Long & Davis, 2017）。

結論與建議

結論

STEAM 課程協同教學能協助各組學生在實作「感控式綠建築」的歷程中，學習跨領域的技能，以及溝通協調、合作學習的態度

觀察 STEAM 課程的協同教學和學生的學習歷程，發現各組學生從繪製「感控式綠建築」設計圖、選用綠建築建材、寫程式操控感應器、組裝綠建築等每個階段，都需要密集討論和學習，放棄個人主義以達到共識，因而學會跨領域的各項技能和溝通協調的態度。在三位協同教師引導下，各組學生從開始構思設計圖到完成「感控式綠建築」組裝，經常碰到困難，必須互相合作、協商討論來解決所面臨的問題，從而學會合作學習。

各組學生實作「感控式綠建築」的 STEAM 專題研究，
提升國小學生的 STEAM 素養

從各組學生實作「感控式綠建築」STEAM 專題研究的學習成效分析，他們學會精準測量各種建材的結構以鞏固綠建築，並有足夠空間組裝各種感應器；又學會如何操縱 Arduino 程式，設計自己創新獨特的「感控式綠建築」，同時將自己的審美觀念

落實於綠建築風格中，形成巴洛克、斜屋頂、高腳屋等多元風格的綠建築。各組學生為符合綠建築的日常節能標準，精準計算綠建築的開窗率、外遮陽、屋頂隔熱、斜屋頂、落地窗和天窗等。因此，實作「感控式綠建築」的 STEAM 專題研究能提升他們的 STEAM 素養。

建議

跨領域 STEAM 課程適合開發成「校本課程」，
共同在學校的彈性時間實施

本研究為一學期「感控式綠建築」的專題研究，由於美勞課和自然課都有既定課程，專題研究必須轉在早、午休時間來進行；此外，本研究聘請洪老師協同教學 Arduino 課程才能順利完成。因此，建議將跨領域 STEAM 課程開發成「校本課程」，由學校自組教師團體，每個團體都有專精的各科教師，共同在學校的彈性時間實施，引導學生進行 STEAM 課程實作。這將符合 STEAM 教學框架的最頂層目標（即 life-long holistic），是一項終身、整體的教育系統，而不是階段性、分散式的學習活動。

結合 Arduino 程式設計的 STEAM 專題將來可應用於課程的延伸學習

從跨領域 STEAM 課程的協同教學，發現學生最感興趣的就是學習 Arduino 程式設計。訪談學生發現他們還想使用 Arduino 程式設計來製作感溫式灑水器、感控式馬桶等。所以，結合 Arduino 程式設計的 STEAM 專題將來可應用於課程的延伸學習，設計非結構性問題，例如：電磁鐵單元可以設計「感控式的電磁車競賽」，讓學生應用 Arduino 程式設計進行 STEAM 專題探討，可使教學內容更豐富多元，亦能訓練學生在未來世界的競爭力。

參考文獻

- 邱紹雯、許家齊、賓靜蓀（2017）。〈美感教育——STEAM 新素養二部曲〉。《親子天下》，第 90 期，頁 78-107。
- 柯啟瑤（2000）。〈協同教學初探——理論篇〉。《翰林文教雜誌》，第 15 期，頁 8-35。
- 范斯淳、游光昭（2016）。〈科技教育融入 STEM 課程的核心價值與實踐〉。《教育科學研究期刊》，第 61 卷第 2 期，頁 153-183。doi: 10.6209/JORIES.2016.61(2).06
- 國家教育研究院（2016）。《十二年國民基本教育課程綱要：國民中小學暨普通型高級中等學校——自然科學領域（草案）》。台北，台灣：國家教育研究院。
- 教育部（2003）。《國民中小學九年一貫課程綱要》。台北，台灣：教育部。

- 教育部（2014）。《十二年國民基本教育課程綱要總綱》。台北，台灣：教育部。
- 郭禎祥（2000）。《藝術欣賞課程教師手冊：中學美術篇》。台北，台灣：國立台灣藝術教育館。
- 陳怡倩（2017）。〈從 STEAM 的 A 來看美國 STEAM 教育〉。《香港美術教育期刊》，第 1 期，頁 4–9。
- 陳瑩（2015）。〈STEAM 教育，玩的就是學科「跨界」〉。擷取自 https://read01.com/mQGokP.html#.WZp7x_gjGzc
- 黃永和、莊淑琴（2004）。〈「協同教學」的回顧與展望〉。《教育研究月刊》，第 117 期，頁 64–77。
- 賓靜蓀（2017）。〈5 大精神，培養 STEAM 新素養〉。擷取自 <https://flipedu.parenting.com.tw/article/3393>
- 趙慧臣、周昱希、李彥奇、劉亞同、文潔（2017）。〈跨學科視野下“工匠型”創新人才的培養策略——基於美國 STEAM 教育活動設計的啟示〉。擷取自 <https://www.jianshu.com/p/e42188a428c4>
- 趙慧臣、陸曉婷（2016）。〈開展 STEAM 教育，提高學生創新能力——訪美國 STEAM 教育知名學者格雷特·亞克門教授〉。《開放教育研究》，第 22 卷第 5 期，頁 4–10。doi: 10.13966/j.cnki.kfyyj.2016.05.001
- 蔡釋鋒（2016）。《STEAM 課程統整模式運用於國中生活科技教學對於學生知識整合應用之研究》（未出版碩士論文）。國立高雄師範大學，高雄，台灣。
- 鄭博真（2002）。《協同教學：基本概念、實務和研究》。高雄，台灣：復文。
- 鐘兆慧（2002）。〈視覺藝術教育在課程統整中所扮演的地位〉。《國教新知》，第 48 卷第 3 期，頁 45–52。doi: 10.6701/TEEJ.200203_48(3).0004
- Ayres, C. (2011). *Getting STEAMy in Rhode Island*. Retrieved from <https://www.core77.com/posts/20692/getting-steamy-in-rhode-island-20692>
- Baeten, M., & Simons, M. (2016). Student teachers' team teaching: How do learners in the classroom experience team-taught lessons by student teachers? *Journal of Education for Teaching*, 42(1), 93–105. doi: 10.1080/02607476.2015.1135226
- Fang, N. (2013). Increasing high school students' interest in STEM education through collaborative brainstorming with Yo-Yos. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 14(4), 8–14.
- Feldman, A., Sternheim, M., & Adams, B. (2008). *NSTA presentation: STEM RAYS*. Retrieved from <http://umassk12.net/rays/dissemination/NSTA.ppt>
- Herschbach, D. R. (2011). The STEM initiative: Constraints and challenges. *Journal of STEM Teacher Education*, 48(1), 96–122. doi: 10.30707/JSTE48.1Herschbach
- Hong, J. C., Hwang, M. Y., Szeto, E., Tai, K. H., & Tsai, C. R. (2016). Positive affect relevant to epistemic curiosity to reflect continuance intention to join a hands-on making contest. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(9), 2267–2279. doi: 10.12973/eurasia.2016.1276a

- Klein, S. S., & Sherwood, R. D. (2005). *Gender equitable curricula in high school science and engineering*. Retrieved from <https://peer.asee.org/gender-equitable-curricula-in-high-school-science-and-engineering.pdf>
- Long, R. L., II, & Davis, S. S. (2017). Using STEAM to increase engagement and literacy across disciplines. *The STEAM Journal*, 3(1), Article 7. doi: 10.5642/steam.20170301.07
- Lou, S. J., Liu, Y. H., Shih, R. C., & Tseng, K. H. (2011). The senior high school students' learning behavioral model of STEM in PBL. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(2), 161–183. doi: 10.1007/s10798-010-9112-x
- Maeda, J. (2013). STEM + Art = STEAM. *The STEAM Journal*, 1(1), Article 34. doi: 10.5642/steam.201301
- Olds, S. A., Patel, C. D., Yalvac, B., Kanter, D. E., & Goel, N. (2004). *Developing a standards-based K–12 engineering curricula through partnerships with university students and industry*. Retrieved from <https://peer.asee.org/developing-a-standards-based-k-12-engineering-curricula-through-partnerships-with-university-students-and-industry.pdf>
- Robinson, B., & Schaible, R. M. (1995). Collaborative teaching: Reaping the benefits. *College Teaching*, 43(2), 57–59.
- Toulmin, C., & Groome, M. (2007). *Building a science, technology, engineering, and math agenda*. Retrieved from ERIC database. (ED496324)
- Watters, J. J., & Diezmann, C. M. (2013). Models of community partnerships for fostering student interest and engagement in STEM. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 14(2), 47–55.
- Wynn, T., & Harris, J. (2012). Toward a STEM + Arts curriculum: Creating the teacher team. *Art Education*, 65(5), 42–47. doi:10.1080/00043125.2012.11519191
- Yakman, G. (2010). *What is the point of STE@M? — A brief overview*. Retrieved from https://www.academia.edu/8113832/What_is_the_Point_of_STEAM_A_Brief_Overview_of_STEAM_Education
- Zarske, M. S., Kotys-Schwartz, D., Sullivan, J. F., & Yowell, J. L. (2005). *Creative engineering: Helping ninth-grade students discover engineering*. Retrieved from <https://peer.asee.org/creative-engineering-helping-ninth-grade-students-discover-engineering.pdf>

Designing a Collaborative Teaching of the STEAM Course: The Case of “Green Building With Sensor-controls”

Chow-Chin LU, Jon-Chao HONG, & Fen-Fang CHEN

Abstract

Collaborative teaching of cross-field STEAM course can develop primary students' ability to “explore and implement.” It is both the global education trend and the target of Taiwan's 12-year compulsory education. This study adopted a case study in a sixth-grade class of an elementary school with 26 students as research subjects. Three collaborative teachers designed STEAM courses and guided students to construct “green building with sensor-controls,” including drawing design diagram, writing Arduino programs to manipulate sensory devices, and assembling green building with sensor-controls. The data collected included STEAM teaching process card, works of green building with sensor-controls, semi-structured interviews and teaching notes. Results found that: (a) the collaborative teaching of STEAM courses to help each group of students construct the green building with sensor-controls met the daily energy-saving standards and achieved beautiful and practical effects; (b) in the course of constructing the green building with sensor-controls, each group of students learned the cross-field skills of STEAM and ways of communication and coordination, as well as cooperative learning attitude.

Keywords: STEAM course; collaborative teaching; subject study; green building with sensor-controls

LU, Chow-Chin (盧秀琴) is Professor in the Department of Science Education, National Taipei University of Education, Taiwan.

HONG, Jon-Chao (洪榮昭) is Professor in the Department of Industrial Education, National Taiwan Normal University, Taiwan.

CHEN, Fen-Fang (陳芬芳) is a teacher in Taipei City Ren-Ai Elementary School, Taiwan.