

探討國小學生科學知識信念與關鍵能力表現之關聯：以問題導向機器人課程為例

Explore the relationships between scientific epistemic beliefs and performance of critical skills in an elementary problem-based robot project

胡哲瑋¹ 王嘉瑜²

Hu, Che-Wei¹ Wang, Chia-Yu²

¹ 國立臺灣科技大學 數位學習與教育研究所 研究生

¹National Taiwan University of Science and Technology of Graduate Institute of Digital Learning and Education Student

Email : jason9676@gmail.com

² 國立台灣科技大學 數位學習與教育研究所 副教授

²National Taiwan University of Science and Technology of Graduate Institute of Digital Learning and Education Professor

Email : chiayuwang@mail.ntust.edu.tw

摘要

本研究以問題導向引導融入機器人課程為情境，探討小學生的科學知識信念與關鍵學習能力表現之影響。本研究以 19 位北台灣小學中、高年級為對象，進行為期一週、共五堂的機器人專題，並於專題前、後分別實施科學信念問卷、關鍵學習能力問卷，並針對學習單回答進行質性編碼和評分，做為機器人專題課程表現。研究發現，經過機器人課程後，雖量表分析結果顯示整體關鍵學習能力未有顯著提升，但「問題解決」有些微上升，顯示學習單的題目設計對學生在問題解決能力的提升有所助益；另外，科學知識信念中「知識來源」與關鍵學習能力中「創造性思考」及「創造知識效能感」後測呈低度顯著關聯，顯示在機器人專題課程中，學生對「科學知識來源」觀點越成熟，「創造性思考」之表現越佳，對「創造知識」的信心程度也越高。

關鍵字：問題導向、機器人課程、科學知識信念、關鍵學習能力

Abstract

This study investigated the impact of elementary school students' science knowledge beliefs and critical skills performance by integrating a problem-based approach into the robotics curriculum. In this study, 19 elementary school students from 3-6 grader in Northern Taiwan were enrolled in a one-week, five-lesson robotics project. The Science Epistemic Beliefs Questionnaire and the Critical Skills Questionnaire were administered before and after the course, and the learning unit responses were qualitatively coded and scored to determine the performance of the robotics project. It was found that after the robotics course, the results of the scale analysis showed that the overall critical learning skills did not improve significantly. However, there was a slight increase in "problem solving", indicating that the design of the learning sheet questions helped students to improve their problem-solving skills. In addition, there was a low significant correlation between "source" aspect in scientific epistemic beliefs and "creative thinking" and "knowledge creation efficacy" in the post-test of critical learning skills. This indicates that the more mature the students' views on "sources of scientific knowledge", the better their performance on "creative thinking",

and the higher their confidence in "knowledge creation" in the robotics course.

Keywords: *Problem-based, Robot course, Science epistemic belief, Critical skill*

壹、緒論

為了因應資訊社會及網路世代的潮流，科學素養的培育成為當今主要的課題之一，學生需要多方拓展在各種層面上的知識與能力。學生在進行科學相關的學習活動時，其對於科學知識的看法會對其學習表現產生影響(陳荻卿、張景媛，2007)。在研究者擔任國小社團或才藝課程動力機器人老師的數年來，觀察到國內的中小學生在課堂上的機器人組裝與程式設計表現形態可大致分為高、低兩個層次，低層次的學生無論是組裝機器人的結構，或是編寫供機器人動作的程式架構時，較容易全然依照課本或手冊上所給予的步驟，一個指示、一個動作；相反的，高層次的學生常常會在機器人結構上或者程式編寫內容出現出人意料的些微改動；在活動過程中，相較於高層次的學習者，低層次的學生較缺乏自身對於手中零件與機器人的認同感，難以對機器人作品進行創意改裝與功能發想。研究者根據 Kuo 等人(2021)針對機器人課程中學習者的學習動機與創造性思考相關研究成果來推論，認為造成此差異可能原因是：較低層次的學生在學習上欠缺「自我精進」以及「創新應變」能力之素養，對運用批判性思考、創造性思考或問題解決等關鍵能力感到困難，而可能需要額外的協助。而根據李隆盛與楊秀全(2019)的研究，透過「範例引導」及「問題導向」兩種不同的教學策略，分別得以提升學習者的問題解決等能力以及促進學生主動練習與反覆思考；本研究期望融合上述兩項教學策略，以達到協助低層次學生排除在學習上的困難之成效。

本研究欲以 STEM 程式動力機器人課程為情境，透過課程融入範例及問題導向引導，培養學生在設計和製作機器人的高層次關鍵學習能力，並在此情境中探討學生所持有的科學知識信念與學生的關鍵學習能力是否有關？整理三項研究問題如下：(1)接受範例引導及問題導向機器人專題課程後，學生的關鍵學習能力是否有所提升？(2)學生持有的科學知識信念以及課前的初始關鍵學習能力表現，與經歷機器人專題製作後的關鍵學習能力表現是否有關？有何關聯？(3)學生所持有的科學知識信念與經歷機器人專題製作後的工程設計表現是否有關？有何關聯？

貳、文獻探討

一、STEM 教育與工程設計

Granovskiy (2018)提到，STEM 教育一詞泛指科學(science)、科技(technology)、工程(engineering)及數學(mathematics)領域的學習，通常涵蓋了全年齡的教育活動。而 STEM 教育整合多項主題的特性，使其在運算思維及工程設計等概念整合性的領域皆有其強烈的關聯性。

STEM 教育著重於多個領域的整合，而運算思維便是解決各領域複雜問題的關鍵技能之一(Kale et al., 2018)。近五年，美國制定了《制定成功路線：美國的 STEM 教育戰略》(2018)，計畫中制定了多個目標，其中「運算思維(Computational Thinking)」的培養更是主要的方向之一，此項技能的運用不僅止於更有效率的使用電腦設備，更需要透過取得各項數據來解決各種複雜的問題，期望使運算思維成為所有教育的必要元素。我國同樣期望能透過科技相關主題作為媒介，培養學生的科技素養，偕同發展其基本的關鍵學習能力(教育部，2014)，在國小階段經由程式設計相關課程奠定的基礎邏輯思考能力，將成為往後國、高中時期重要的先備知識來源。

由前述之國內的 108 課綱與美國制定之 STEM 教育計畫可知，工程設計是美國和台灣欲推行和強調的素養能力之一，Honey 等人(2014)表示，工程設計流程(Engineering design process,

EDP)係指工程師透過數學或科學知識來解決技術難題的方法，且其具有目的性及受規格及條件限制；English 與 King(2019)將其整併為六個循環階段，包含問題界定、產生想法、設計建造、對成品測試與反思、重新設計並重新建造及反思與交流等六項。進行工程設計的過程牽涉到多項能力的運用，如批判性思考(Caratozzolo, Alvarez-Delgado, & Hosseini, 2019)、創造性思考(Huang, Chang, & Chou, 2020)等，因此訓練工程設計的同時，能夠整合多種不同的能力一次性提升。訓練工程設計同時也是 STEM 的目標之一，透過硬體（如動力機器人）或軟體（如程式設計）等媒介，讓工程設計技能的訓練門檻降低，小學生也能使用樂高(LEGO)等機器人套件，實現工程設計的培養，並協助學生學習設計、建造、解決問題等技能(Bethke, & Rogers, 2013)。

綜合以上文獻，可發現融入 STEM 活動的工程設計課程得以使學生多方面的能力有所提升，另外，透過動力機器人課程，培養工程設計的適齡降低，學生得以在較早的學習階段為 STEM 的學習扎根；然而，研究者發現，當前的文獻中，鮮少在小學以下的機器人課程中融合工程設計概念與 STEM 教育的相關研究。因此，本研究設計一套融合 STEM 方法以及工程設計流程概念的程式化機器人課程，期望透過課程教導學生基本的工程設計及程式概念以及培養學生的關鍵學習能力。

二、 問題導向機器人課程

Toh 等人(2016)分析應用教育機器人的研究，發現在課程中使用機器人可以幫助兒童發展各項學術技能，如理解科學過程、發展數學概念及實質上的提高成績；此外，也能提升學生對於 STEM 領域的興趣。Barak 與 Zadok(2007)的研究指出，學生使用組裝式機器人進行學習時，經常會想出具創造性的解決方案，並透過專題目標的設立，學生經由不斷的試錯循環累積經驗，進而能想出更多新穎的解決方法。而結合問題導向學習(problem-based learning, PBL)的機器人課程能提升學生在運算思維(李隆盛、楊秀全，2019)與問題解決 (Caliskan, 2020)方面的相關能力，且以問題為中心的教學引導能使學生從課堂開始就有效的參與到課堂討論中，並持續到所有的課程階段，同時促進師生及學生之間的互動(Deek et al., 1998)。根據李隆盛及楊秀全(2019)針對範例引導及問題導向兩種學習方式的研究發現，在運算思維能力上，問題導向組別顯著優於範例引導組別，而在範例引導組別則可透過解題範例的演練，減少因不熟悉解題方法而造成思路中斷，增進解題效率的同時也促進問題解決的成效；另外，在課程中的溝通互動可以相互檢視程式的正確性，進而提升學習者的溝通應用與協同合作等能力，顯示問題導向和範例引導的活動引導設計，各有其優點。

本研究欲採用範例引導以及問題引導來設計課程，範例引導的部分，將應用在課程前期利用互動式教學影片介紹科學(紅外線)與技術(齒輪)的知識點。而問題導向引導之設計，則透過機器人專題學習單的引導，分階段先激發學生對生活周遭所遇到的問題有所感知與發想，接著思考並形成問題的解決方案，再執行機器人專題、組裝相關元件、實踐問題解決之計畫、發表作品並評估成果，期望學生在接受問題導向機器人專題課程後，其關鍵學習能力會有所提升。

三、 關鍵學習能力

美國的二十一世紀關鍵能力聯盟(Partnership of 21st Century skill)提出的「二十一世紀學習框架」，用以說明學生在生活、工作中取得成功所需具備的知識及技能(Partnership for 21st Century Skills, 2019)。Chai 等人(2015)基於過去研究發展出〈二十一世紀關鍵學習因素量表〉，量表包含自主學習等七項關鍵能力。而在關鍵學習能力與工程設計的相關性方面，Putra 等人

(2023)針對印尼地區十二名高中十年級的學生於物理課堂使用工程設計流程進行批判性思考技能使用的相關研究，研究成果顯示，工程設計流程確實得以輔助學生使用其批判性思考技能，學生在計畫、嘗試及測試階段進行論證，而在決議階段進行了自我審視，審查自己與其餘小組的異同，在在顯示其在工程設計流程中運用批判性思考的關聯性及全面性。另外，Huang 等人(2020)也發現學生在工程設計的創造力表現與創造性思考呈現低中度至中度的關聯性。

以上研究顯示，工程設計對於發展特定關鍵學習能力有一定的助益；因此，研究者參考 English 與 King(2019)所整理的工程設計六階段，用以設計機器人專題課程中，引導學生進行問題解決機器人設計的學習單。而關鍵學習能力問卷評量的部分，則參考前述 Chai 等人(2015)的關鍵學習能力量表，以其中自主學習、批判性思考、創造性思考、真實的問題解決及創造知識的效能感等五項與本研究問題導向機器人課程之內容較為相關之能力進行施測。

四、科學知識信念

科學知識信念係指人們對科學特定領域的看法，舉凡科學知識的性質、獲取，以及科學知識的可靠性與有效性，皆為科學知識信念的範疇(Kaya, 2017)。Conley 等人(2004)根據 Elder(2002)的研究成果以及 Hofer & Pintrich(1997)所假設的知識信念模型—知識的性質(確定性與簡單性)以及認知的性質(來源與驗證)，將前人研究(Schommer, 1990; Schraw et al., 2002; Elder, 2002; Hofer, 2000; Hofer & Pintrich, 1997)所提出的知識信念向度修改為來源、確定性、發展、驗證四個面向。Lee 與 Chan(2015)則依其質性研究結果修改 Conley 等人的科學知識信念問卷，將其分為科學知識來源、科學知識的確定性、科學知識的複雜性、以及科學知識的驗證等四個面向，以探討探討科學知識信念與批判性思考、後設認知、自我調節、學習方法以及學術表現之間的相關性；經分析後發現，知識信念複雜性與批判性思考、後設認知及自我調節呈現正相關，表示學生對知識複雜性的看法與高層次思考及策略有所關聯。Tsai 等人(2011)以台灣高中生為對象，測量學生在科學學習上的學習概念及自我效能感，以探討科學知識信念與科學學習概念以及自我效能之相關性。其研究發現，學生的科學知識信念對其科學學習概念以及科學學習自我效能感有顯著關聯。Kapucu(2021)則針對學生的科學知識信念、物理學習概念以及物理學研究意願，進行相關性分析，結果顯示，科學知識的發展與驗證，與高層次的物理學習概念如知識的增加、應用和以新的方式理解和觀察等項目呈顯著正相關，該研究也發現學生在科學知識的確定性、發展及驗證面向信念越成熟，他們進行物理學研究的意願就越高。綜合以上文獻，研究者發現學生所持有的科學知識信念與其擁有的關鍵學習能力之間有密切的關聯性，同時在科學概念的學習品質也會受到科學知識信念的成熟與否所影響。因此，本研究欲針對科學知識信念以及關鍵學習能力之關聯進行探討。

參、研究方法

一、研究架構與設計

本研究架構圖如圖 1 所示，以機器人關鍵學習能力量表前、後測進行相依樣本 t 檢定分析，以了解學生接受範例及問題導向引導的機器人專題課程後，關鍵學習能力表現是否有所提升。另外，對科學知識信念表

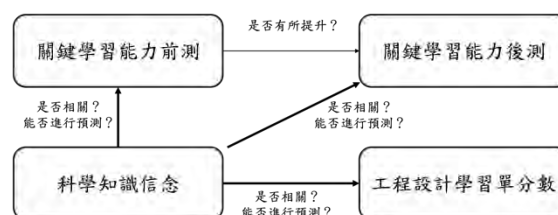


圖 1、研究架構圖

現、關鍵學習能力問卷前測、關鍵學習能力問卷後測、以及專題實作學習單的工程設計表現得

分，進行相關性分析。

二、 教學工具

(一) 機器人套件暨應用程式

本研究使用 WhalesBot 所開發的 AI Module 1Mini 套件進行機器人實驗專題課程，套件內含有多種長度及形狀的結構樑、不同大小的齒輪零件及連接軸套件需搭配「鯨魚機器人」專屬手機應用程式使用，應用程式內包含多種不同機器人的組裝手冊，組裝步驟如圖 2 上所示；圖塊式程式設計範例如圖 2 下所示，使用者可依照程式範例拖拉程式方塊，完成該機器人的基本動作程式。

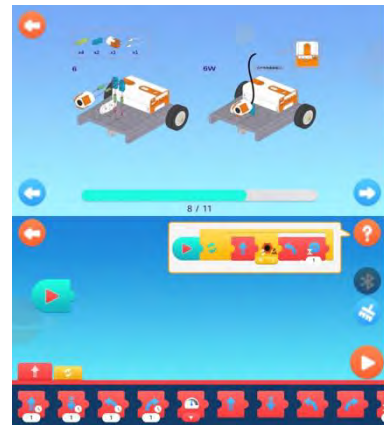


圖 2、鯨魚機器人應用程式範例

(二) 網路影音學習平台—EDPuzzle

本研究使用 EDPuzzle 平台(www.edpuzzle.com)輔助互動式教學影片製作，研究者透過此平台匯入教學影片，並根據影片內容設計數題選擇題、簡答題或教學筆記，提供學生透過多媒體影音學習機器人的機構設計與相關概念(例如如何利用不同的齒輪組合改變輪軸的轉速等)，並進行即時的概念應用練習。

三、 教學設計與流程

機器人專題教學流程共五堂課，每堂皆為九十分鐘，教學內容設計參照李隆盛與楊秀全(2019)的範例引導及問題導向教學策略。課程分為前三堂的「範例引導」階段及後兩堂的「問題導向」階段，實驗課程內容與流程如下：

(一) 範例引導

1. 認識鯨魚機器人：教師進行機器人基本元件及小車組裝介紹，學生觀察應用程式之小車組裝步驟圖，並實際依照步驟組裝出機器人小車與完成小車對應的程式。於本堂課課前進行科學知識信念問卷及關鍵學習能力量表前測的施測。
2. 齒輪概念介紹暨「智能防禦系統」機器人組裝實作：本堂課程前半，教師播放齒輪主題之互動式教學影片，學生觀賞影片並進行互動式問答；課程後半，學生參照老師所介紹的基本元件及應用程式之步驟圖，組裝出「智能防禦系統」機器人。
3. 紅外線概念介紹暨「智能防禦系統」機器人程式練習：本堂課程前半，教師播放紅外線主題之互動式教學影片，學生觀賞影片並進行互動式問答；課程後半，學生參照程式範例進行「智能防禦系統」機器人的程式編輯與測試。

(二) 問題導向

4. 機器人專題實作：教師講解學習單題目敘述，同時引導學生發想欲解決的問題，以完成學習單「設計前」部分；而後進行專題機器人的發想與機器人原型製作與測試，在製作同時依循教師的引導完成學習單「設計中」部分，以及進行機器人調整與修改。
5. 機器人專題成果反思：教師引導學生透過學習單「設計後」部分進行機器人原型的調整、反思與改進。於本堂課課後進行關鍵學習能力量表後測的施測。

四、 研究工具

(一) 科學知識信念問卷

本研究採用 Lee 與 Chan (2015)所建置的“14-Item Epistemic Beliefs Questionnaire”作為科

學知識信念的測量工具，試題內容將科學知識信念分為來源、確定性、複雜性及驗證四個面向，各面向二至四題不等，Cronbach's alpha 信度值為 0.77；學習者於某面向得分越高，表示其於該面向之科學知識信念越成熟，反之則越質樸。

(二) 關鍵學習能力量表

本量表參考節錄自〈二十一世紀關鍵學習因素量表〉(Chai et al., 2015)，自原始問卷的七個因素中節錄自主學習、批判性思考、創造性思考、真實的問題解決及創造知識的效能感等五個因素進行測量，各因素三至五題不等，前測之 Cronbach's alpha 信度值為 0.92，後測之 Cronbach's alpha 信度值為 0.93；參與者在某個因素所得到的分數越高，代表其在該關鍵學習因素的能力越強，反之則越弱。

(三) 機器人工程設計學習單

學習單題目內容皆依照 English 與 King(2019)所整併的工程設計六階段進行學習單設計。學習單分為「設計前」、「設計中」、「設計後」三個設計階段：設計前階段以實際範例啟發學生對於生活中的不便及因應的對策進行思考，包含問題界定與產生想法二工程設計階段，共兩題；設計中階段引導學生針對自製機器人的特點進行思考，並輔以表格協助學生歸納整理機器人的設計及各部位的不同因素帶來的影響，包含產生想法、設計建造及測試反思三工程設計階段，共三題；設計後階段用以引導學生對自己所設計的機器人進行評鑑及反思，包含測試反思、重新設計與建造、反思交流三工程設計階段，共四題。分數判別分為 L0~L3 四個等第，用以評判學生所運用的工程設計能力熟練與否。

肆、研究成果

一、 關鍵學習能力

根據表 1 所示，學習者在接受機器人課程前、後所持有的關鍵學習能力在各因素皆無顯著差異；然而，由數據仍可看出，問題解決因素前測平均值為 3.73，後測平均值為 4.03，是唯一有成長的關鍵能力，其餘各因素皆呈負成長，其中又以創造知識的效能感下降最為接近顯著。

表 1、關鍵學習能力前、後測描述性和推論性統計分析

因素	題數	前測		後測		平均差		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	
自主學習	5	4.27	0.76	4.18	0.78	-0.09	0.82	.424
批判性思考	3	4.15	0.71	4.12	0.72	-0.03	0.31	.761
創造性思考	4	4.25	0.61	4.05	0.72	-0.20	1.34	.198
問題解決	5	3.73	0.79	4.03	0.64	0.30	-1.41	.177
創造知識效能感	5	4.15	0.70	3.91	0.85	-0.14	1.79	.091
Total	22	4.10	0.62	4.05	0.65	-0.05	0.50	.622

註：* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

二、 科學知識信念與關鍵學習能力之相關性

根據表 2 及表 3 分析結果，學生所持有之科學知識信念與其課前之關鍵學習能力在各面向上皆無顯著相關；而在關鍵學習能力後測部分，科學知識信念的來源面向與創造性思考及創造知識的效能感等關鍵學習能力呈現顯著正相關，顯示學習者接受機器人課程前、後，其科學知識信念來源面向與創造性思考能力及創造知識的效能感的相關性係數從不相關轉為顯著相關，表示經歷過機器人課程的學習者，其科學知識信念來源面向的成熟或質樸，轉而與創造性思考能力及創造知識的效能感產生關連。

表 2、科學知識信念與關鍵學習能力前測相關性分析表

	來源	確定性	複雜性	驗證
自主學習	.09	.04	.31	-.03
批判性思考	.28	-.12	-.01	.15
創造性思考	.13	.03	-.10	.04
問題解決	.20	-.21	-.01	.05
創造知識效能感	.35	-.01	-.12	.12

** 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。

* 相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

表 3、科學知識信念與關鍵學習能力後測相關性分析表

	來源	確定性	複雜性	驗證
自主學習	.28	.01	.01	.18
批判性思考	.29	.36	.09	.43(*)
創造性思考	.47*	.13	-.03	.18
問題解決	.23	.09	-.16	.16
創造知識效能感	.47*	.01	-.09	.18

** 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。

* 相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

三、科學知識信念與工程設計能力之相關性

根據表 4 的分析結果，可看出在科學知識信念的確定性及驗證面向與工程設計的產生想法階段表現呈現中度顯著正相關；另外，科學知識信念複雜性面向與工程設計的反思交流階段表現近似於顯著正相關。

表 4、科學知識信念與工程設計表現相關性分析表

	來源	確定性	複雜性	驗證
問題界定	-.24	.18	-.04	.22
產生想法	.24	.72**	.09	.73**
設計建造	.10	-.09	.01	.17
測試反思	.02	.25	-.03	.21
重新設計	-.22	-.05	.03	.07
反思交流	-.10	.10	.40(*)	.31

** 相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)。

* 相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

伍、討論與結論

一、研究問題一：接受範例引導及問題導向機器人專題課程後，學生的關鍵學習能力是否有所提升？

根據表 1 結果顯示，學習者在接受機器人課程前後所持有之關鍵學習能力並無顯著差異，表明本研究進行的範例引導與問題導向教學設計無法提升學習者之關鍵學習能力。欲究其原因，研究者認為課程時數過短是其主因，依照李隆盛與楊秀全(2019)的研究推估，小學機器人課程時長約在 14~15 節，每節 40 分鐘，共約 560~600 分鐘；而本研究受時空範圍限制，總課程時長僅 450 分鐘，稍低於預計的時長下限，因而導致研究成果未達預期。

此外，Slangen 等人(2011)認為機器人技術的認識對於科技化社會中成長的孩子是至關重要的，學生透過對機器人不斷的分析、推理、測試來完善其概念及知識技能；因此，研究者認為機器人相關知識技能皆較為著重於經驗的累積，學生需透過較長時間的摸索以獲得所需的機器人相關知識，較難於短時間內快速理解動力機械結構，並實際應用於機器人原型製作；課程時長過短同時也縮短學生熟悉機器人零件的時間，導致學生在還未對各機器零件了解透徹前，就需要面對「製作原型以解決問題」的課題，自然難以將機械結構概念完整吸收且融會貫通，無法於機器人原形的製作上使用自如，更遑論針對其產生新想法或個人的解釋。

根據 Kim 等人(2018)針對鷹架系統的研究，本研究採用問題導向學習單作為其鷹架系統，以輔助學習者進行機器人專題之原型設計；學習者在未接受課程前，問題解決因素平均得分較低，而機器人課程的專題設計階段導入問題導向學習單作為其專題製作的輔助系統，後設認知鷹架系統引導學生透過其生活經驗，進行問題及其解方的發想，而策略性鷹架提供學生解決問題策略的指導，減少學生在製作機器人時的挫折感；藉由此種循序漸進的學習單編排方式，學

生得以進行階段性的思考，其自身問題解決的能力可以進而凸顯出來。

二、 研究問題二：學生持有的科學知識信念以及課前的初始關鍵學習能力表現，與經歷機器人專題製作後的關鍵學習能力表現是否有關？有何關聯？

根據表 3，研究者認為針對「知識來源」的觀點，若學生認為知識來源僅止於專家或權威，則該學習者的表現會較傾向於「跟隨著規範行事」，而這恰巧與「創造性思考」及「創造知識」的概念背道而馳；另外，根據 Tsai(2011)的研究成果，台灣的學生被期望尊重提供正確答案的老師，不鼓勵學生挑戰權威。因此，在機器人課程製作專題的過程中，科學知識信念來源面向較為質樸的學習者的想法與計畫受限於教師所講授的知識，因而難以展現創造性思考能力，同時不易呈現創造知識的表現。因此，在機器人課程製作專題的過程中，科學知識信念來源面向較為質樸的學習者的想法與計畫受限於教師所講授的知識，因而難以展現創造性思考能力，同時不易呈現創造知識的表現；而該面向的知識信念較成熟的學習者則得以從教學影片、同儕互動及機器人製作的過程中獲取新知，進而提升其創造性思考及創造知識效能感等能力。

三、 研究問題三：學生所持有的科學知識信念與經歷機器人專題製作後的工程設計表現是否有關？有何關聯？

根據表 4 分析結果，可看出學生所持有的確定性及驗證兩面向科學知識信念皆與其在工程設計「產生想法」階段的表現具有較高的相關性。根據 Conley 等人(2004)對確定性面向的定義，若學習者認同繁複的問題有一個以上的答案的可能性，則其於該面向具備較成熟的觀點，而工程設計的產生想法階段正是鼓勵學生針對欲解決的問題提出多個解方，認同「問題可以有多个答案」的學生自然會運用其成熟的觀點，由多個角度思考解決問題的方式。而在驗證面向，King & Kitchener(1994)透過反思驗證模型給出了解釋，他們認為具備高層次反思性思考的學習者會認為知識建立在資訊的基礎上，且須透過多方證據、資訊進行驗證，而在工程設計的產生想法階段，學生於前一階段進行了問題的界定，並確立了條件的限制，成熟觀點的學生會在當前所具備的資訊之下，針對眼前的問題進行分析與驗證，進而有效率的產生出自己的想法；反之，較為低層次的學生則容易被問題的條件限制所捆綁，因此較難對於問題有所見解，從而導致其在「產生想法」的階段表現較差。

四、 結論

綜合以上研究成果，研究者發現，學習者在接受機器人專題課程前後，雖然其關鍵學習能力沒有顯著的提升，但從科學知識信念與關鍵學習能力的相關性分析結果來看，各方面的科學知識信念確實會影響學習者在不同層面的能力表現，其中又以部分工程設計表現的提升最為顯著。本研究受時空與環境限制，授課時間與受試者樣本數皆較為短少，因此，研究者期望未來能夠將實驗歷程拉長至十六至十八週，進行兩個循環的問題解決及工程設計流程，並增加學生樣本數，從而觀察學生較長期且多次接受機器人專題課程後的各項能力變化，以期實驗結果更加具有說服力。

參考文獻

一、 中文部分

李隆盛, & 楊秀全. (2019)。範例引導學習與問題導向學習之教學策略對國小學生機器人程式學習的影響. 數位學習科技期刊, 11(4), 77-104.

范信賢.(2016)。核心素養與十二年國民基本教育課程綱要：導讀《國民核心素養：十二年國教課程改革的DNA》。國家教育研究院教育脈動電子期刊，5，1-7。

陳菽卿, & 張景媛.(2007)。知識信念影響學習運作模式之驗證. 教育心理學報, 39(1), 23-43.

教育部.(2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。

蔡清田.(2015)。課程發展與設計的關鍵 DNA: 核心素養. 台灣五南圖書出版股份有限公司。

二、 英文部分

Barak, M., & Zadok, Y. (2009). Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, 19, 289-307.

Bethke Wendell, K., & Rogers, C. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513-540.

Caliskan, E. (2020). The effects of robotics programming on secondary school students' problem-solving skills. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 12(4), 217-230.

Caratozzolo, P., Alvarez-Delgado, A., & Hosseini, S. (2019). Strengthening critical thinking in engineering students. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13, 995-1012.

Chai, C.-S., Deng, F., Tsai, P.-S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2015). Assessing multidimensional students' perceptions of twenty-first-century learning practices. *Asia Pacific Education Review*, 16(3), 389-398. doi: 10.1007/s12564-015-9379-4

Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I., & Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary educational psychology*, 29(2), 186-204.

Deek, F., Kimmel, H., & McHugh, J. A. (1998). Pedagogical changes in the delivery of the first-course in computer science: Problem solving, then programming. *Journal of Engineering Education*, 87(3), 313-320.

Elder, A. D. (2002). Characterizing fifth grade students' epistemological beliefs in science. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Eds.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 347-363). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

English, L. D., & King, D.. (2019). STEM Integration in Sixth Grade: Designing and Constructing Paper Bridges. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(5), 863-884. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9912-0>

Granovskiy, B. (2018). Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: An Overview. CRS Report R45223, Version 4. Updated. Congressional Research Service.

Hofer, B. K. (2000). Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. *Contemporary educational psychology*, 25(4), 378-405.

Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of educational research*, 67(1), 88-140.

Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, A. (2014).STEM integration in K-12education: status, prospects, and an agenda for research. Washington: National Academies Press.

- Huang, N. T., Chang, Y. S., & Chou, C. H. (2020). Effects of creative thinking, psychomotor skills, and creative self-efficacy on engineering design creativity. *Thinking skills and creativity*, 37, 100695.
- Kale, U., Akcaoglu, M., Cullen, T., Goh, D., Devine, L., Calvert, N., & Grise, K. (2018). Computational what? Relating computational thinking to teaching. *TechTrends*, 62, 574-584.
- Kapucu, S.. (2021). The Relationships Among High School Students' Scientific Epistemic Beliefs, Conceptions of Learning Physics and Willingness to Perform Scientific Studies in Physics. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 17(2), 141–150. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v17i2.30088>
- Kaya, G. I. (2017). The Relations between Scientific Epistemological Beliefs and Goal Orientations of Pre-Service Teachers. *Journal of Education and Training Studies*, 5(10), 33-42.
- Kim, N. J., Belland, B. R., & Axelrod, D. (2018). Scaffolding for optimal challenge in K–12 problem-based learning. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*.
- King, P. M., & Kitchener, K. S. (1994). Developing reflective judgment: Understanding and promoting intellectual growth and critical thinking in adolescents and adults. San Francisco: Jossey–Bass.
- Kuo, H. C., Yang, Y. T. C., Chen, J. S., Hou, T. W., & Ho, M. T. (2021). The impact of design thinking PBL robot course on college students' learning motivation and creative thinking. *IEEE Transactions on Education*, 65(2), 124-131.
- Lee, W. W., & Chan, C. K. (2015). Identifying and examining epistemic beliefs among college students in Hong Kong. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 24(4), 603-612.
- Partnership for 21st Century Skills. (2019). Framework for 21st century learning. Retrieved from <http://www.battelleforkids.org/learning-hub/learning-hub-item/framework-for-21st-centurylearning>
- Putra, P. D. A., Sulaeman, N. F., Supeno, & Wahyuni, S.. (2023). Exploring Students' Critical Thinking Skills Using the Engineering Design Process in a Physics Classroom. *The Asia-pacific Education Researcher*, 32(1), 141–149. <https://doi.org/10.1007/s40299-021-00640-3>
- Schommer, M. (1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of educational psychology*, 82(3), 498.
- Schraw, G., Bendixen, L. D., & Dunkle, M. E. (2002). Development and validation of the Epistemic Belief Inventory (EBI). In P. R. Pintrich (Ed.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 261–276). Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Slangen, L., Van Keulen, H., & Gravemeijer, K.. (2011). What pupils can learn from working with robotic direct manipulation environments. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(4), 449–469. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9130-8>
- Toh, L. P. E., Causo, A., Tzuo, P. W., Chen, I. M., & Yeo, S. H. (2016). A review on the use of robots in education and young children. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(2), 148-163.
- Tsai, C. C., Ho, H. N. J., Liang, J. C., & Lin, H. M. (2011). Scientific epistemic beliefs, conceptions of learning science and self-efficacy of learning science among high school students. *Learning and Instruction*, 21(6), 757-769.