

科技與工程 教育學刊

Journal of
Technology and
Engineering
Education

2019年12月 第49卷第1/2期

ISSN : 1025-7578
DOI : 10.6232/JTEE

無人車試乘之使用行為意圖探討
—以整合型科技接受模式觀點
蔡至誠、羅希哲. 01-22

應用化學學習策略評量工科學生演算與概念的理解能力
蘇金豆. 23-44

探索科技教材融入中學科學教學之優勢與困境
—以單晶片酸鹼指示計教材開發為例
徐式寬、沈弘俊、吳杰穎. 45-64

結合學習診斷系統之翻轉教室教學策略對學生學習軟體工程之影響
林彥廷. 56-90

核心能力素養之潛在動態因素模式探析
洪來發. 91-114

無人車試乘之使用行為意圖探討—以整合型科技接受模式觀點

Study on Use Intentions of Smart Car Test Drive- Based on the UTAUT Model

蔡至誠、羅希哲*

國立高雄師範大學工業科技教育系

*國立屏東科技大學技術及職業教育研究所

Chih-Cheng Tsai, Shi-Jer Lou*

Department of Industry Technology Education, National Kaohsiung Normal University

*Graduate Institute of Technological and Vocational Education, National Pingtung University
of Science and Technology

摘要

物聯網的演進與技術的發展已全面啟動智慧化產業革命。從工業物聯網到車聯網的應用，交通運輸移動的方式亦朝「智慧運輸」邁進，世界各國莫不趁此風潮在進行無人駕駛車輛的實測試驗。承辦 2017 年「生態交通全球盛典」的高雄市為落實生態交通的理念，透過低碳運輸示範計畫積極引入智慧運輸服務，提供民眾試乘自動駕駛巴士體驗，成為第二個在現實環境試驗自動駕駛接駁巴士的亞洲城市。經相關文獻彙整後，以整合性科技接受模式為理論基礎，從績效期望、努力期望、社會影響、無人車體驗民眾之使用意圖等層面進行相關分析。本研究採量化研究設計，正式問卷發放 114 份，回收 96 份有效問卷，以 SmartPLS(偏最小平方方法)進行測量與結構模型分析，包含測量模型的之信度與效度分析，結構模型中的模型解釋力與路徑係數進行檢定、估算，並探討構面與構面之間的因果關係，以及檢驗各構面的關係分析，以驗證本研究架構之適用性。研究結果發現：體驗民眾對於無人車試乘之績效期望、努力期望與社會影響，皆正向直接影響其使用意圖。尤以社會影響最為顯著，即體驗民眾在社會群體裡的重要關係人推薦或正在使用之情況下，其使用意圖就會相對地提高。本研究結果期望提供未來無人公車相關開發研究之參考，期能更符合普羅大眾的接受度以提升其使用意願，並朝大眾運輸市場需求而延伸更多元的應用。

關鍵字：物聯網、無人車、整合型科技接受模式

* 通訊作者：羅希哲，E-mail: lou@mail.npust.edu.tw

Abstract

Development of Internet of Things (IOT) has brought revolutionary impact on intellectualized industries such as Industrial Internet of Things (IIOT) and Internet of Vehicles (IOV). To follow the trend of "smart transportation", people around the world are now conducting tests on smart cars.

Being the host of EcoMobility World Festival 2017, Kaohsiung City actively implemented the concept of ecological transport through the demonstration project of low-carbon transport and public test ride experience of self-driving shuttle bus, and later became the second Asian city with autonomous public transportation. This study adopts the UTAUT Model to analyze the use intentions of smart car experiencers, based on expectations of performance and effort, and social influence. The research study was designed to be quantitative research. The researcher analyzed and verified the verification of the applicability of its framework by SmartPLS (partial least squares). 114 formal questionnaires were issued and 96 valid questionnaires were recovered. The result shows that the expectations of performance and effort and social influence have positively and directly effects on the experiencers' intentions of use. Social influence is particularly significant, which means that the intentions of use will be relatively improved if one's significant other is using it or recommending using it. The results of this study are expected to provide a reference for future researches on unmanned buses, to meet the market demand and extend the use of diversity applications.

Keywords : IOT, smart car, driverless car, Unified Theory of Acceptance and Use of Technology ,
UTAUT

壹、緒論

聯合國氣候變遷專家小組 (IPCC, 2013) 的評估報告指出氣候暖化元凶是肇因於人類的活動。2014 年 IPCC 又提出警示：除非能有效的控制溫室氣體排放量，否則氣候變遷之衝擊可能越來越嚴重。處於地狹人稠的台灣，截至 2017 年全台機動車數量高達 21,704,365 輛，排放的溫室氣體總排放量從 1990 年 138.09 百萬公噸二氧化碳當量大幅上升至 2017 年 269,210 百萬公噸二氧化碳當量。根據世界衛生組織 (WHO) 統計，全球於 2016 年因交通事故傷害造成 140 萬人死亡，排名十大死因的第 8 名，因交通事故所付出的經濟代價亦相當驚人，其損失佔全球每年國內生產總值 (GDP) 約 3%。相較於全球交通事故所帶來的經濟損失，台灣則為 4,750 億元，占國內 GDP 2.8~3.3%，因此交通事故不僅帶來人員的傷亡，還會損耗國家及全球經濟，可知移動工具的演化與安全問題深深地影響人類生存與經濟環境。

面對全球暖化與環境變遷，各國紛紛致力於溫室氣體減量以因應氣候變遷減緩之際，高雄市亦以實際行動投入溫室氣體減量，並營造使之成為永續綠色生態新城市為目標，更將「低碳」列為城市發展之重要願景，以「綠色經濟、企業減碳、節能建設、低碳運輸、綠色生態、低碳教育」為主軸，務使碳排放量在 2020 年減至 2005 年排放量的 20% 以下。因此在 2006 年加入 ICLEI (地方政府永續發展理事會)，2013 年又加入「生態交通聯盟」，強調永續、韌性、宜居及低碳環境，2017 年更主辦「世界生態交通盛典」，活動有靜態展覽與動態試乘，最引人注目的活動莫過於生態智慧運輸—無人駕駛小巴的試乘體驗。行動通訊、融合感測器雲端服務平台與大數據分析已全面啟動智慧化產業的革命，從工業物聯網到車聯網的應用，人類移動的方式正邁向「智慧運輸」的夢想。各國莫不趁此風潮在進行無人駕駛車輛的實測試驗，如：Google 的無人車在加州封閉測試軌道上試運、CityMobil2 在歐洲數個城市施測自動化道路運輸系統、荷蘭 WEpods 的無人駕駛公車於 2016 年開始在瓦赫寧根火車站與赫寧根大學及研究中心之間進行測試 (Nordhoff, 2016)、希臘特里卡拉 2015 年開始提供無人駕駛的公車服務 (雷科技, 2017) 等，從上述實例可知世界無人駕駛汽車或公車正飛速地朝向商業化之目的。因此本研究探討國內無人車產業正蓬勃發展之際，消費者對無人車的接受程度，此為本研究動機之一。

鄒倫、張學孔 (2018) 在諸多研究指出，推估 2025 年後，自駕車將逐漸成為移動工具的

主流，於 2040 年全面普及後，自駕車的發展及應用將對運輸服務、產業發展、社會經濟、生活環境等面向，帶來重大影響與衝擊。其相關文獻也發現，自駕車可提高乘載率，減少車輛需求而降低道路塞車情況，且自駕車服務品質均一化更能提升運輸服務品質，有助偏鄉運輸服務及提升行人與自行車安全，或作為第一哩路與最後一哩路的新選擇等優點，但也有可能因效率提升與增加使用的情形反而導致塞車。因此無人駕駛車輛雖然具有提高運輸安全性與高效率的研發潛力，但要如何提昇消費者的使用意願正是當前重要的研究課題。在近幾年無人車的相關研究有：Koul 與 Eydgahi (2018) 以「科技接受模型」為理論框架，對無人駕駛汽車技術的實用性，無人駕駛汽車技術的易用性，多年的駕駛經驗，年齡和使用無人駕駛汽車的意圖的關係進行研究；Rahman 等人 (2017) 對先進駕駛輔助系統 (Advanced Driver Assistance Systems; ADAS) 的行為意圖進行建模與評估；Schoettle 與 Sivak (2014) 的研究則提供了有關無人駕駛汽車技術對於潛在消費者之普遍認知；Lee 等人 (2017) 研究美國 1765 名成年人接受自動駕駛汽車的關鍵因素，並探討年齡和其他特徵對自動駕駛汽車的看法和態度之相關性，以了解潛在用戶對無人車駕駛技術的接受程度。反觀國內雖自 2017 年起，在台北與高雄等地舉辦無人車的試乘活動，使民眾開始高度關注無人駕駛車發展之議題，但至今尚未看到有關無人車運輸系統在使用意圖相關領域之研究，並探究影響國內消費者真實的使用意願因素與疑慮，此為本研究動機之二。

隨著自動化運輸系統創新形式的研究不斷發展的過程，重要的是我們必須了解影響採用這些系統成功的因素，故探究影響無人車接受的因素就至關重要。Nordhoff 等人 (2017) 指出無人車研究的下一步是使用已被驗證的模型系統來了解影響用戶對無人車接受程度，而首次將無人駕駛巴士引進台灣的 EasyMile，台灣合作夥伴喜門史塔雷克 (7Starlake) 總經理丁彥允表示「搭乘行為數據蒐集」是試運行的重點 (DIGITIMES, 2017)。在瀏覽國外有關無人車駕駛的研究文獻，均採用「整合型科技接受模式 (UTAUT)」為主要框架，對使用者在各個研究領域之接受程度進行研究 (Madigan et al., 2016; Madigan, Louw, Wilbrink, Schieben, & Merat, 2017; Rahman, Lesch, Horrey, & Strawderman, 2017; Adnan, Md Nordin, bin Bahrudin, & Ali, 2018; Davis, 1989; Nordhoff, 2016; Nordhoff et al., 2017; Riga, 2015)。故本研究將以「整合型科技接受模式 (UTAUT)」來探究影響國人對無人車試乘的行為意圖，此為本

研究動機之三。

根據上述動機，研究者以「2017年生態交通全球盛典無人車試乘活動」為研究主題，探討「無人車試乘之使用行為意圖」。其研究目的如下：

- 一、瞭解績效預期對無人車試乘者的行為意圖的影響。
- 二、瞭解努力預期對無人車試乘者的行為意圖的影響。
- 三、瞭解社會影響對無人車試乘者的行為意圖的影響。
- 四、瞭解本研究架構與參考文獻之差異性。

藉本研究使試乘者了解未來無人化的交通運輸形式，再將結果提供給相關單位參考，以瞭解國人對未來智慧交通發展趨勢，提高無人車駕駛的接受程度與期許，作為替代目前大眾運輸工具與模式，期能在享受科技創新所帶來的便利性時，亦能兼顧環保、降低汙染，進而落實永續發展的目標。

貳、文獻探討

本研究以「整合型科技接受模式 (UTAUT)」探討試乘者對無人車運輸系統模式的使用意圖，故研究者對無人車、車聯網、整合型科技接受模式說明如下。

一、無人車

為尋求更有效率的移動方式及解決目前道路擁擠，石油資源的依賴，停車位不足，空污、噪音、行車安全與社會生活質量惡化等運輸問題，各國莫不致力改善交通運輸方式，又適逢人工智慧與物聯網的快速發展，最有潛力的替代方案——「無人車駕駛系統」就因應而生了。「無人車駕駛系統」具有可提高車輛乘載率、提高道路交通流量、降低公共運輸使用成本、滿足公共運輸之需求、有助於偏鄉運輸服務、提升行人安全與慢行交通友善環境等優點（鄒倫、張學孔，2018）。以目前無人駕駛巴士為例，主要應用於三種情境，一是「市區專用型」，如棋盤式交通路網；二是「點對點的最後一哩」，如兩地點間的接駁；三是「封閉式社區」，如大型社區內之接駁。

「無人車」主要是仰賴先進駕駛輔助系統 (ADAS) 與車聯網等科技為基礎，以光達感測器 (LiDAR)、高精度地圖為媒介，而「車聯網」更是 AI 運算中的關鍵，是車輛載具和交

通運輸在物聯網上的應用，透過感測元件運作、電腦計算與判定、車輛系統分析、行車資訊傳遞、網絡連結、道路系統整合、雲端管理等設備和環境間的多工整合作業，串聯人、車、路三者和雲端運算系統，提供傳統車輛無法達到之諸多功能(林建良、郭廷甫、姜嘉瑞，2019)。因此無人駕駛車輛的關鍵在於不需人為的干涉與操作，機器便會自動感知，根據所收集到的環境數據加以綜合分析與判斷後，自動做出決策並自動駕駛。

2017 年生態交通盛典所引進的無人車駕駛巴士屬於 SAE4，車輛在特定條件下，能自動運行，無須駕駛員操作，車身無前後之分，採無人駕駛感測技術，透過車身搭載光達 (LiDAR) 及前後攝影機—感知層、慣性導航元件與全球定位系統 (GPS) 進行訊息融合 (sensor fusion) —傳輸層，再透過人工智慧平台分析演算—應用層，車輛依偵測的「環境參數」進行駕駛決策控制，如此一來不僅能提升運輸效能與降低耗能，更能減少一般民眾運輸工具穿梭於城市之中，達到節能減碳與舒緩交通壅塞之現況，以符應「生態交通」之實。

目前產業界對自駕車的定義普遍採用美國汽車工程師協會 (SAE) J3016 標準和美國高速公路安全局 (NHTSA)，依車輛自動化程度區分為 Level 0~Level 5 共 6 等評價，如表 1 (陳敬典，2018)。

表 1
自動駕駛分級表

自動駕駛級別		自動駕駛水準	細節描述
美國汽車工程師協會 (SAE)	0	0	無自動化
	1	1	輔助駕駛
	2	2	部分自動化
	3	3	有條件自動化
	4	4	高度自動化
	5	5	完全自動化
美國高速公路安全局 (NHTSA)			由駕駛人全面進行駕駛操作，也可以經由警告與介入駕駛系統獲得協助。
美國高速公路安全局 (NHTSA)			根據駕駛環境的資訊，由系統進行操控或速度控制中的一項動作，其他則由駕駛人進行。
美國高速公路安全局 (NHTSA)			根據駕駛環境的資訊，由系統進行操控或速度控制中的多項動作，其他則由駕駛人進行。
美國高速公路安全局 (NHTSA)			由自動駕駛系統進行所有的駕駛與操控。系統提出操作判斷要求時，駕駛人必須適當地回應。
美國高速公路安全局 (NHTSA)			由自動駕駛系統進行駕駛與操控。系統提出操作判斷要求時，駕駛人不一定需要回應。受限於道路及環境條件。
美國高速公路安全局 (NHTSA)			由自動駕駛系統全面進行駕駛與操控。在車子可行駛的道路及環境條件下進行自動駕駛。

資料來源：陳敬典車測中心 (ARTC) 本研究整理

本研究以「2017 年生態交通盛典的 SAE4 無人車試乘活動」探討試乘者對無人駕駛巴士

的接受程度而進行預測。

二、整合型科技接受模式 (UTAUT)

當創新科技產品問世時，希望能受到普羅大眾的接受與採用，而有關使用新科技產品或創新服務之理論，最為廣泛應用即 Davis (1986) 的科技接受模式 (Technology Acceptance Model, TAM)，但 TAM 的研究模型隨著時間推演與觀念創新，不斷加入新元素與研究變項，Venkatesh 等人 (2003) 融合了 8 種不同的行為理論與科技接受模式，提出「整合性科技接受模式」(Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT)，其理論與模式有 TAM、DoI 理論、理性行動理論 (TRA)，而 UTAUT 模型則有四個核心變量 (預期績效，預期工作量，社會影響力和促進條件) 和四個調整變量 (性別，年齡，經驗和使用自願性)。UTAUT2 模型於 2012 年提出 (Venkatesh, Thong, & Xu, 2012)，涵蓋個人和社會層面因素，並將 UTAUT 中的三個構造 (享樂動機，價格價值和習慣) 納入，將個體差異 (年齡，性別和經驗) 設置為調節變量，以緩和這些構造對行為意圖和技術使用的影響。

Venkatesh 與 Davis (2000) 指出 UTAUT 對不同科技意圖的使用已經高達 70% 以上的解釋變異量，顯示 UTAUT 是一個較廣泛完整的模型，能提供管理階層一種評估工具，以衡量試用者是否接受新科技的導入，並對使用者在新科技的行為意圖與實際使用行為進行預測與解釋，Madigan 等人 (2016) 指出 UTAUT 模式的績效預期、努力預期以及社會影響等構面都是影響 SAE4 高度自動化無人車的預測因素；Nordhoff (2016) 開發 UTAUT 模型，整合了全面的變量來解釋、預測和提高無人駕駛車輛的用戶接受程度；Nordhoff 等人 (2017) 研究指出無人駕駛車輛在公共交通工具的接受和使用上受到認知有用性 (績效預期)、認知易用性 (努力預期) 及社會影響等因素影響；Adell (2010) 採用了整合性科技接受模式 (UTAUT)，發現績效期望和社會影響力積極影響了使用先進駕駛輔助系統的行為意圖；此外亦有其他以 UTAUT 所提出的因素進行有關無人車駕駛員接受度的新模型研究 (Osswald, Wurhofer, Trösterer, Beck, & Tscheligi, 2012; Henzler, Boller, Buchholz, & Dietmeyer, 2015; Kervick, Hogan, O'Hora, Sarma, & Prevention, 2015; Rahman, Lesch, Horrey, & Strawderman, 2017)。

無人駕駛汽車有諸多優點，不僅可以超越由人駕駛汽車的安全記錄，亦能提高乘客的表現 (Kyriakidis et al., 2015)。搭乘無人駕駛汽車來通勤，將使通勤者有很多空閒時間專心於公

務，以提升工作成果與績效，尤其是在長途旅行 (Bansalet al., 2016)，但採用無人駕駛汽車所面臨的挑戰是大眾對無人駕駛汽車的信任 (Bansal et al., 2016; Kyriakidis, Happee, & de Winter, 2015; Kaur & Rampersad, 2018)，因此從上述文獻的研究結果證實：整合性科技接受模式 (UTAUT) 確實可以應用於無人車的相關研究，並為無人車的接受程度提供了相當程度的基礎論述，故本研究以「整合型科技接受模式 (UTAUT)」為研究模型，探討試乘者對無人車運輸系統之使用意圖。

參、研究方法

一、研究模型假設

根據 Merat 等人 (2017) 在國際運輸論壇的文獻探討大眾接受自駕車共乘之社會心理因素，利用問卷方式，調查有私人或共享自駕車者的使用經驗，並以「整合性科技接受模式 (UTAUT)」探討影響使用者對自駕車接受度的因素，研究結果指出：除了享樂動機因素對使用者接受自駕車有最大的影響，性能期望、便利條件與社會影響也是影響使用者再度使用自駕車的判斷因素。

本研究以「整合型科技接受模式 (UTAU)」為主要架構，探究影響使用者的行為意圖，而決定其使用行為的四個主要構面—績效期望 (Performance Expectancy, PE)、努力期望 (Effort Expectancy, EE)、社會影響 (Social Influence, SI) 及促成因素 (Facilitating Conditions, FC) 與四個干擾變數—性別、年齡、經驗及自願性。參考相關文獻後，唯促成因素的效果並不能解釋對行為意圖的差異性 (Venkatesh et al, 2003)，以及受限於主辦單位與廠商簽訂之合約而無法進行民眾試乘後之問卷調查，再者受試學生之背景變項相近，因此本研究將促成因素構面及調節變項排除在外。

(一) 績效期望 (Performance Expectancy, PE)

Venkatesh 等人 (2003) 定義「績效期望」為「使用者個人認知使用該系統將有助於提升其獲得工作績效的程度」，其內涵認為「社會影響 (social influence)」和「實質認知 (cognitive instrumental)」是影響使用者的兩個主要變數，與「科技接受模式 (TAM)」的感知有用性非常相似。

雖然有研究預測指出自動駕駛汽車將比傳統的非自動駕駛汽車具有更高的性能 (Paden, Čáp, Yong, Yershov, & Frazzoli, 2016), 且根據 Schoettle 與 Sivak (2014) 調查美、英、澳洲等國受訪者: 認為自動化車輛可減少 70% 的意外事故、64% 排放量及 72% 燃料消耗, 可改善交通者佔 52%; Bansal 等人 (2016) 的研究指出受訪者最關注與自動駕駛有關的三項問題是降低碰撞, 更低的排放及更佳的燃油經濟性。

由於無人駕駛車輛系統尚未發展成熟, 故其性能都在測試而難以預測, 且零組件或傳感器之一的任何故障都可能導致致命事故, 因此在研發過程階段, 普羅大眾對無人駕駛車輛系統高性能之要求相較於傳統移動工具格外注重。因此本研究假設:

H1: 績效期望對試乘者使用無人駕駛系統的行為意圖具有正向影響。

(二) 努力期望 (Effort Expectancy, EE)

Venkatesh 等人 (2003) 定義「努力期望」為「個別使用者對新科技、系統、應用的使用相關的輕鬆程度」, 其內涵為認知易用性 (Perceived of use; TAM/TAM2)、複雜性 (Complexity; MPCU), 與「科技接受模式 (TAM)」的感知易用性非常相似。

許多研究人員發現, 期望工作量對新技術的採用意願有重大影響 (Alraja, 2015; Changet al., 2007; Schaper&Pervan, 2007; Gupta et al., 2008; Al-Shafi, 2009)。Kyriakidis 等人 (2014) 的研究亦證實了努力期望的相關性, 全自動駕駛比手動駕駛更容易, 而不像部分和高度自動駕駛那樣困難 (Nordhoff, 2016); 此外 Nordhoff (2016) 亦假設無人車輛比傳統車輛或公共運輸交通工具更容易操作, 並解釋了刪除「促進條件」構面的原因, 因為無人駕駛車輛的使用受限於提供導航輸入, 且人機介面與操作系統亦會影響個人對科技的接受程度。故本研究假設:

H2: 努力期望對試乘者使用無人駕駛系統的行為意圖具有正向影響。

(三) 社會影響 (Social Influence, SI)

個人可以透過許多管道, 如朋友、家人和鼓舞人心的人物, 對他人產生人際關係的影響, 即個人觸發自願性行為意圖之社會壓力的感知 (Mathieson, 1991); Lu 等人 (2005) 亦提供了類似的社會影響的定義, 即通過社交網絡決定某種行為而產生的感知壓力。社會影響的相關概念是個人行為受重要或他人意見的感知影響 (Holden & Karsh, 2010; Venkatesh et al.,

2003)。Venkatesh 等人 (2003) 將「社會影響」定義為「個別使用者能夠認知到重要的他人認為應使用新科技或系統的程度」。對使用者而言，接納和使用新科技會受到他人影響的程度。其內涵為主觀規範 (Subjective Norm; TRA/TAM2/TPB/DPTB/ C-TAM-TPB) 、社會因素 (Social factor; MPCU)、公眾形象 (Image; IDT)。

Kockelmam, Bansal 與 Singh (2015) 在採用自動化車輛的研究上，有 50% 的受訪者表示會受到同儕壓力的影響，寧願在家庭、朋友或鄰居採用自動化車輛前，先採用自動化車輛，但 Li (2010) 指出「社會影響」在用戶接受度方面的結果為參差不齊，因此 Lee 等人 (2003) 研究認為，未來在不同環境進行研究時，仍需將「社會影響力」納入探索因素。因此本研究假設：

H3：社會影響對試乘者使用無人駕駛系統的行為意圖具有正向影響。

(四) 行為意圖 (Behavior Intention, BI)

Ajzen (1991) 指出行為意圖是一個人是否願意執行特定行為的指標，被認為是行為的直接前因，其研究結果發現，若研究建立良好，則意向與行為的關係將是積極且重要的，因此為了從意圖中可靠地預測目標行為，必須明確制定執行行為的情況與時間。此外，Abayom 等人 (2016) 研究指出有些因素會決定以技術為主的使用者之行為意圖，其因素有內部結構，例如：績效預期、努力期望、社會影響和促進條件，以及外部變量，例如：性別，年齡和經驗等 (Jung, 2008)。

Phichitchaisopa 等人 (2013) 將行為意圖描述為用戶接受及使用新技術的意圖。另一方面，Kuo 與 Yen (2009) 將行為意圖解釋為用戶對執行特定行為和決定實際使用行為的因素的主觀意識。Fishbein 與 Ajzen (1975) 將「行為意圖」定義為「個人欲進行某種行為的主觀意願的強度」，是決定行為發生與否最直接且重要的因子 (Ajzen, 1985; Fishbein & Ajzen, 1980; Warshaw & Davis, 1985)。因此本研究假設受試者對無人車試乘的行為意圖會受績效預期、努力期望、社會影響等因素影響。

根據上述假設，本研究進行驗證績效期望、努力期望與社會影響等因素對試乘者在無人駕駛系統的使用行為意圖上所產生的影響，因此本研究提出架構如圖 1 所示。

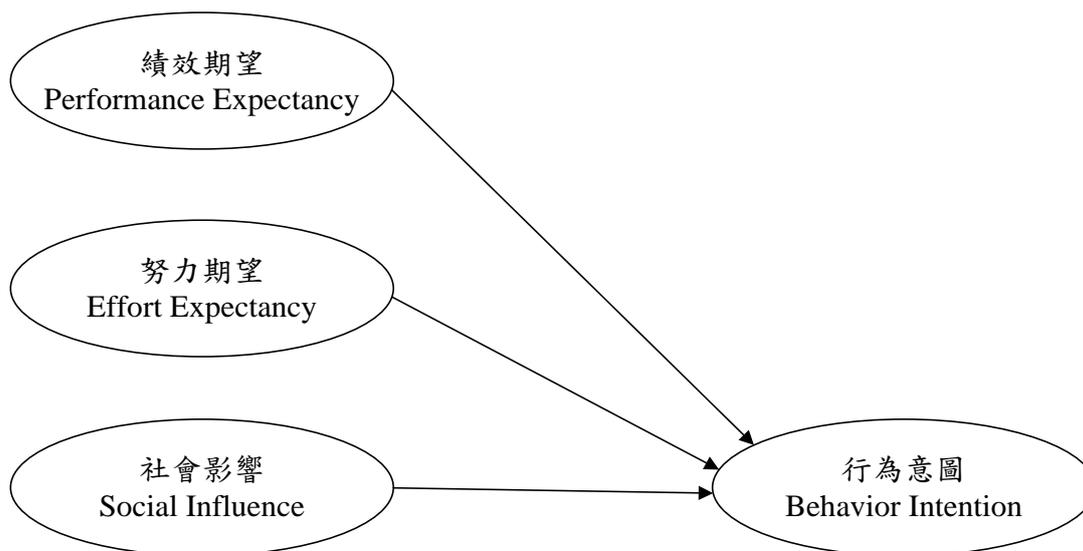


圖 1 研究架構

二、操作型定義及測量方法

本研究探討「無人車試乘之使用行為意圖」，是以技術高中學生為實驗對象，為了瞭解技術高中學生對無人駕駛車輛的試乘與使用意圖之關係，參考 Madigan 等人 (2016) 及 Riga (2015) 等人之量表內容後，將上述之各變數轉為可操作的題項。採用問卷調查法，以李克特五點尺度衡量，在同意程度上，1 分表示非常不同意，而 5 分表示非常同意。各構面的操作性定義與題項整理如表 2。

表 2

各構面之操作性定義與參考文獻

變數名稱	操作型定義	參考文獻	題數
績效期望 (Performance Expectancy, PE)	試乘者感知搭乘無人車運輸系統可提升其工作績效程度。		7
努力期望 (Effort Expectancy, EE)	試乘者感知搭乘無人車運輸系統之容易程度。	Madigan 等人 (2016)	3
社會影響 (Social Influence, SI)	試乘者感知搭乘無人車運輸系統受周遭的人影響的程度。	Riga (2015)	5
行為意圖 (Behavioural Intention, BI)	試乘者想要使用無人車運輸系統的意願強度		5

三、研究對象

由於承辦 2017 年生態交通盛典之主辦城市與引進無人車系統之業者簽有商業協定，無法對本次無人車試乘之民眾進行抽樣調查，故本研究採立意抽樣，以曾參與此次無人車試乘體

驗之本市某所技術高中學生為對象。

四、研究方法

Henseler, Ringle 與 Sinkovics (2009) 指出 PLS 相對於其他統計軟體，所需樣本數較小，亦無需分析樣本資料是否符合常態分配，且可以分析結構更為複雜之模型的優勢能力等。因此本研究在有效樣本數量只有 96 人的情況下，採用 PLS 來分析數據。

本研究採用 Ringle 等人 (2005) 所發展的 SmartPLS 作為分析工具，分兩階段依序進行測量模型與結構模型之分析，前者係針對模型之信度與效度的分析，包含「個別問項的信度」、「內部一致性」、「收斂效度」、「區別效度」；後者是針對結構模型中的模型解釋力 (R-square, R^2) 與路徑係數 (Path Coefficient) 進行檢定與估算，並探討構面與構面之間的因果關係。其測量步驟先確認衡量構面是否具有可信度與效度後，再檢驗各構面的關係，分析方法如下：

(一) 測量模型分析

1. 個別問項的信度

因素負荷量為各個觀察變數對其潛在變數之間的相關性，其觀察值應介於-1~1 之間，且建議其負荷量應在 0.7 以上；反之，若信度小於 0.7 的題項，則將其刪除。根據 Hair 等人 (1998) 建議：良好的收斂效度應是所有題項的因素負荷量均需顯著，即所有題項的因素負荷量均需大於 0.7。

2. 內部一致性

為確保研究構面內部一致性，其組合信度 (composite reliability, 簡稱 CR 值) 與 Cronbach's α 值必須依據 Nunnally (1978) 之建議，只要各構面信度的 Cronbach's α 值介於 0.7 至 0.98 之間，則可判定為高信度水準，若低於 0.35 便需予以拒絕。其次在組成信度方面，依據 Chin (1999) 對 CR 值的建議其門檻值應達 0.7 以上，代表該構面達到內部一致性就愈高。

3. 效度分析

本研究為驗證各個測量變項是否具效度水準，分別進行收斂效度及區別效度分析。收斂效度表示測量一構面中所有的測量變項的相近程度，以該構面所萃取之平均變異量 (average variance extracted, AVE) 來檢驗，依據 Fornell 與 Larcker (1981) 的建議，良好的收斂效度必需大於 0.5 較佳。區別效度則在於檢定形成不同構面之測量變項間的鑑別程度，為了通過

區別效度的檢驗，任一構面之平均變異萃取量 (AVE) 的平方根，需大於該構面與其他構面之相關係數 (Bassellie& Benbasat,2004)。

(二) 結構模型分析

結構模型分析是在研究構面間的關係，由於 PLS 並未提供模型適配度的衡量指標，故以估計路徑係數 (β 值) 及解釋預測力 (R^2 值) 為判斷模型好壞的的依據 (Chin, 1999)。 β 值代表研究變數間之關係的強度與方向，而 R^2 值是指外生變數對內生變數所能解釋變異量的百分比，代表預測研究模型之能力的強弱。

肆、資料分析

本研究樣本資料依上述研究方法分別進行描述性統計、測量模型分析與結構模型分析，其結果如下：

一、描述性統計分析

本研究採自陳量表，總共回收 114 份問卷，扣除無效問卷 18 份，有效問卷 96 份，達 84.2%，男性佔 55.2%，女性佔 44.8%；有搭乘過電動車者佔 57.3%，不曾搭乘過者佔 42.7%。

二、測量模型分析

根據 Hair 等人 (1998) 的研究，當變異膨脹因子值 (Variance Inflation Factor, VIF) 大於 5，會有共線性存在的問題。本研究模型中各項自變數的 VIF 值，除題項 bi3 (5.761) 大於 5 外，其餘均皆小於 5，因此刪除該題項後，本研究模型便無共線性問題。其次為了驗證題項之可靠性，本研究針對各構面的題項進行信度分析 (Cronbach's α)。雖然各構面刪題前之 Cronbach's α 介於 0.822~0.894 之間，然考量因素負荷量以 0.7 為門檻值 (Hair et al., 1998) 作為刪除題項的依據，故依序將績效期望構面中 pe3、pe5、pe6 (負荷量依序為 0.687、0.634、0.502) 及行為意圖構面中 bi3 等題項刪題後，各題項之因素負荷量介於 0.712~0.900，且各構面之 Cronbach's α 亦介於 0.782~0.840，均符合各項門檻最低值之上，結果如表 3。

表 3

研究構面之因素負荷量

構念	問項	平均數	標準差	共線性 (VIF<5)		因素負荷量(>0.7)		Cronbach's α	
				刪除前	刪除後	刪除前	刪除後	刪除前	刪除後
績效期望	pe1	3.66	0.759	2.284	1.883	0.803	0.821		
	pe2	3.71	0.939	1.970	1.867	0.772	0.807		
	pe3	3.37	0.930	1.998		0.687			
	pe4	3.33	0.771	1.681	1.405	0.712	0.725	0.822	0.782
	pe5	4.01	0.984	1.831		0.634			
	pe6	3.58	1.126	1.245		0.502			
	pe7	3.65	0.893	1.752	1.370	0.743	0.756		
努力期望	ee1	3.40	0.957	1.440	1.440	0.841	0.841		
	ee2	3.60	0.934	2.751	2.751	0.860	0.859	0.823	0.823
	ee3	3.56	0.902	2.647	2.674	0.866	0.868		
社會影響	si1	3.16	0.851	1.839	1.839	0.786	0.789		
	si2	3.83	0.892	1.634	1.634	0.741	0.741		
	si3	3.62	0.932	2.088	2.088	0.841	0.838	0.842	0.842
	si4	3.43	0.937	1.744	1.744	0.752	0.754		
	si5	3.28	0.937	2.036	2.036	0.789	0.788		
行為意圖	bi1	3.49	0.928	4.033	3.150	0.908	0.900		
	bi2	3.38	0.955	3.965	2.784	0.873	0.856		
	bi3	3.53	0.962	5.761		0.929		0.894	0.840
	bi4	3.61	1.032	1.843	1.810	0.795	0.819		
	bi5	3.62	0.977	1.519	1.448	0.687	0.712		

資料來源：本研究整理

收斂效度目的在於要求各個構面的一致性，即同一構面題項所衡量的是同一件事情。其檢驗項目包含平均變異數萃取量 (AVE) 與組合信度 (CR)。本研究結果在各構面之平均變異數萃取量值介於 0.605 ~0.732，均高於 Fornell 和 Larcker (1981) 之建議門檻值 0.5；而各構面之組合信度值亦介於 0.859 ~0.894，均高於 0.7 的門檻值 (Chin, 1998)，顯示本研究具有良好的收斂效度，如表 4。

表 4

研究構面之信度分析

構面	問項	組合信度 (CR)	平均變異數萃取量 (AVE)
績效期望	4	0.859	0.605
努力期望	3	0.891	0.732
社會影響	5	0.888	0.613
行為意圖	5	0.894	0.680

區別效度目的在於使不同的構面間之相關性應盡可能的降低，以表示構面間的相關性是彼此獨立。透過交叉負荷量分析進行檢定，其檢驗標準為同一構面的題項之因素負荷量須大於其他構面的題項，經刪減題項後，結果顯示同一構面的題項之負荷量均會比其他構面題項之負荷量大，如表 5。

表 5

交叉負荷量

問項	績效期望	努力期望	社會影響	行為意圖
pe1	0.821	0.332	0.493	0.545
pe2	0.807	0.381	0.500	0.510
pe4	0.725	0.203	0.395	0.483
pe7	0.756	0.424	0.537	0.598
ee1	0.495	0.841	0.561	0.573
ee2	0.234	0.859	0.359	0.346
ee3	0.329	0.868	0.550	0.464
si1	0.535	0.530	0.789	0.535
si2	0.514	0.442	0.741	0.617
si3	0.539	0.443	0.838	0.624
si4	0.380	0.524	0.754	0.466
si5	0.448	0.403	0.788	0.554
bi1	0.625	0.526	0.674	0.900
bi2	0.533	0.467	0.601	0.856
bi4	0.560	0.510	0.586	0.819
bi5	0.561	0.333	0.506	0.712

以平均變異數萃取量之平方根與各構面間的相關性進行比較，Fornell 和 Larcker (1981) 建議 AVE 平方根應大於該構面和其他構面間的相關係數，結果如表 6。

表 6

各構面間之相關係數矩陣

構念	績效期望	努力期望	社會影響	行為意圖	AVE
績效期望	0.778				0.605
努力期望	0.438**	0.856			0.732
社會影響	0.623**	0.594**	0.783		0.613
行為意圖	0.691**	0.562**	0.721**	0.825	0.680

綜上所述，本研究模型之收斂效度與區別效度皆獲得證實具建構效度，因此適合進行下一階段的結構模式分析。

三、結構模式分析

本研究採用 SmartPLS3.2.7 分析研究架構各構面間的路徑分析，透過 Bootstrapping 將資料以 5000 次的重複抽樣方式進行路徑分析並檢定研究假設是否成立。研究架構皆是單一明確的方向性關係，因此本研究使用單尾檢定 (One-tailed test)，以顯著水準 (p 值) 小於 .05 作為判斷標準 (Bassellier&Benbasat, 2004; Anuwichanont, 2010)，統計檢定研究結果如圖 2。

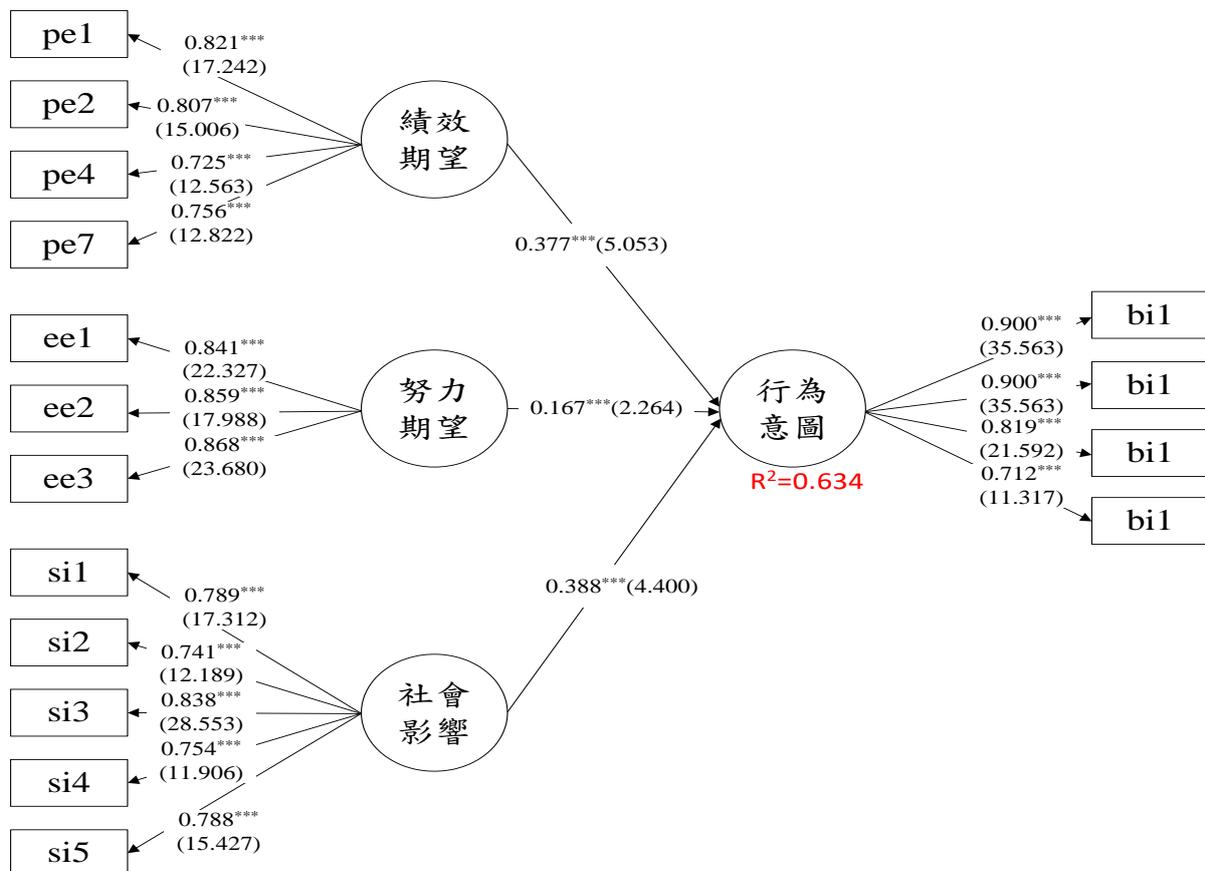


圖 2 研究模型之結果

研究結果顯示績效期望對於使用意圖 ($\beta=0.337$, t -value=5.053)、努力期望對於使用意圖 ($\beta=0.167$, t -value=2.264)、社會影響對於使用意圖 ($\beta=0.388$, t -value=4.400) 均呈正向影響, 此結果與 Kyriakidis 等人 (2015)、Madigan 等人 (2017) 等人之研究相符, 因此本研究之假設 H1、H2、H3 均成立 (如表 7)。亦即績效期望與社會影響對受試者在大眾運輸工具上使用無人車駕駛系統的行為意圖有顯著的影響; 但努力期望對於受試者在大眾運輸工具上使用無人車駕駛系統的使用意圖與 Madigan 等人 (2017) 相左、或 Bansal 等人 (2016) 曾針對美國奧斯汀 347 位居民調查是否願意放棄原本車輛乘坐共享自駕車——僅有 13% 的居民願意放棄原有車輛並乘坐共享自駕車, 35% 的居市民無論使用成本多寡都不願意使用共享自駕車之調查結果不同, 也與 Krueger 等人 (2016) 的研究對 435 位澳洲都會地區的居民進行網路問卷, 調查對共享自駕車的使用意願, 超過 70% 的居民不願意使用共享自駕車的研究結果不同。

在所有構面, 以社會影響對行為意圖的影響性最為顯著, 且績效期望、努力期望、社會影響等構面對行為意圖的總解釋變異量為 0.634, 表示此模型在受試者對於無人車的接受使用上的行為意圖具有良好的解釋力。

表 7

研究假說檢定結果彙整表

研究假設	路徑系數	t 值	結果
H1 績效期望對行為意圖具有正向影響	0.337	5.053	成立
H2 努力期望對行為意圖具有正向影響	0.167	2.264	成立
H3 社會影響預測無人駕駛車輛被接受的程度	0.388	4.400	成立

伍、結論與建議

一、研究結論

智慧運輸的研究與交通自動化的創新不僅解決了都市交通壅塞, 更改變城市運輸方式。目前國內有關研究影響使用者搭乘無人車的使用意願尚未被討論, 本研究基於整合型科技接受理論及其相關理論, 探討影響普羅大眾對無人車駕駛系統試乘之行為意圖的因素並加以印證。從研究結果獲得了強而有力的證據——無人車使用行為意圖會受到「績效期望的因素、努力期望與社會影響」等因素影響, 且彼此間皆呈正向且關係顯著。各構面以社會影響最為

顯著，代表試乘者對無人車使用的行為意圖易受到其他人的影響。其次為績效期望與努力期望，顯示無人車系統對比其他交通系統的表現與使用困難程度亦會影響使用者的使用決策。本研究結論亦顯示整合型科技接受模式可以增加用戶對無人車運輸系統之行為意圖的理解。

本研究在調查結果的基礎上，決策者或供應商在提供無人車服務系統時，應先關注如何拓展試乘者的社交影響能力，唯有借重輿論聲量，才能吸引民眾競相體驗，進而提升民眾對無人車駕駛系統的使用意願。此外本研究結果證明：所引用的理論與問卷設計內容作為確定無人車服務系統的使用意願及意圖的工具是有用、有效的，顯示與國外研究者在相似領域內之研究結果是一致性的。

本研究在管理的意義上，雖然本項研究是在封閉環境中，試行無人駕駛系統所獲得的關鍵因素，但系統供應商可以應用此研究來了解採用無人駕駛系統在推行時應注意的關鍵問題，以利將來技術完全成熟，在開放場域使用時，能夠快速地吸引大眾乘坐無人駕駛系統的使用意圖，進而提高其使用意願。此外，還可通過網站、媒體發布、公開訊息或體驗過無人駕駛系統的民眾來推廣無人駕駛系統，系統供應商亦可以主動提供相關訊息，以降低民眾的疑慮，例如：自動駕駛系統的軟硬體故障頻率、行駛時對行人的安全問題、與傳統移動工具的差異性等，因此在試營運時，最好在無人車中安排一名工作人員，以便發生突發狀況，能立即採取相對應的行動。

二、研究建議

本研究透過整合型科技接受模式，探討民眾對無人車作為智慧運輸系統接受程度，其結果提供無人車系統接受度的初步見解。從可解釋變異佔總變異的比例 ($R^2=63.4\%$) 來看，建議尚可加入其它影響因素來探討，如享樂主義或主觀規範等因素，亦可將各地試乘後收集到的資料，透過大數據分析後，加以比對其結論是否會因地區而有所差異。

儘管本研究所提供的意見是基於一封閉環境試行的案例研究，未來實際將無人駕駛系統於開放場域施行的研究仍存在某些限制條件。然而隨著政府在自駕車相關法規的通過，許多城市亦開始試行無人駕駛系統，這對類似的環境提供了重要參考依據。其他封閉的環境也可能引起人們的興趣，例如：偏鄉載運量不高或公共運輸系統不是非常完善之地區則可作為無人駕駛汽車的早期試實施區域，但實際上目前文獻還很少有相關研究對這些群體進行調查，

以確定他們對無人駕駛系統的看法與使用意願，因此建議後續可再進一步的研究，使這些不同群體的需求得以發聲，並獲得最真實的觀點，而不是以系統供應商的立場來認定最適合他們的情況而做出假設。其他封閉環境，例如機場，當疏運旅客接駁量大增時，機場無法提供及時的運輸服務之人力而面臨航班之延誤時，以無人駕駛巴士替代有駕駛員的傳統運輸工具的需求，將有其必要性。最後建議系統供應商或開發人員在規畫無人駕駛交通工具於開放式場所正式營運時，應考慮上述問題，以實現最後一哩的接駁精神。

參考文獻

- 林建良、郭廷甫、姜嘉瑞(2019)。未來旅程—智慧車遊。科學發展，558，13-17。
- 陳敬典(2018)。自動駕駛車發展現況與未來趨勢【專刊】。財團法人車輛研究測試中心專刊。
- 雷科技(2017) <https://kknews.cc/zh-tw/car/38qoe3y.html>
- 鄒倫、張學孔(2018)。臺灣發展自駕車之挑戰與影響—經濟社會之影響【專題】。財團法人中技社專題報告。
- Abayomi, O. K., Neil, E., & Mhlongo, P. T. (2016). Applying UTAUT in Clinical Informatics Research. *Library Philosophy and Practice*.
- Adell, E.(2010). Acceptance of Driver Support Systems. In *Proceedings of the european conference on human centred design for intelligent transport systems* 475–486.
- Adnan, N., Md Nordin, S., bin Bahruddin, M. A., & Ali, M. (2018). How trust can drive forward the user acceptance to the technology? In-vehicle technology for autonomous vehicle. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118, 819-836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.10.019>
- Ajzen, I. (1985). “From intentions to actions: A theory of planned behavior,” In J. Kuhl., & J. Beckman (Eds.), *Action-control: From cognition to behavior*, Heidelberg: Springer.
- Alraja, M.N. (2015), User acceptance of information technology: A field study of an e-mail system adoption from the individual students’ perspective. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(6), 19-25.
- Al-Shafi, S. H. (2009). Factors affecting e-Government implementation and adoption in the State of Qatar. Brunel University, School of Information Systems, Computing and Mathematics.
- Anuwichanont, J. (2010). Examining the relationship between commitment and airline loyalty and the moderating effect of uncertainty avoidance. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*, 8(9).
- Bansal, P., Kockelman, K. M., & Singh, A. (2016). Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67(Supplement C), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.019>

- Bassellier, G., & Benbasat, I. (2004). Business competence of information technology professionals: Conceptual development and influence on IT-business partnerships. *MIS Quarterly*, 28(4), 673–694.
- Chang, I.C., Hwang, H.G., Hung, W.F., Li, Y.C. (2007), Physicians' acceptance of pharmacokinetics-based clinical decision support systems. *Expert Systems with Applications*, 33(2), 296-303.
- Chin, W. W. (1999). Newsted, P. r. 1999. Structural equation modelling analysis with small samples using partial least squares. *Statistical strategies for small sample research*, 307-339.
- Davis, F. D. (1985). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. doi:10.2307/249008
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1977). Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1980). Understanding attitudes and predicting social behavior.
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics. In: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Gupta, B., Dasgupta, S., Gupta, A. (2008). Adoption of ICT in a government organization in a developing country: An empirical study. *The Journal of Strategic Information Systems*, 17(2), 140-154.
- Hair, F. J., Anderson, E. R., Tatham, L. R., & Black, C. W. (1998). *Multivariate data analysis* (5ed.). NJ: Prentice-Hall.: Englewood Cliffs.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. In *New challenges to international marketing* (pp. 277-319): Emerald Group Publishing Limited.
- Holden, R. J., & Karsh, B.-T. J. J. o. b. i. (2010). The technology acceptance model: its past and its future in health care. 43(1), 159-172.
- IPCC(2013).Summary for Policymakers.*Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,Cambridge:
- Kaur, K., & Rampersad, G. (2018). Trust in driverless cars: Investigating key factors influencing the adoption of driverless cars. *Journal of Engineering and Technology Management*, 48, 87-96. doi:https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2018.04.006
- Kervick, A. A., Hogan, M. J., O'Hara, D., Sarma, K. M. J. A. A., & Prevention. (2015). Testing a structural model of young driver willingness to uptake Smartphone Driver Support Systems. 83, 171-181.
- Kockelman, K.M., Bansal, P., & Singh, A. (2015). Assessing Public Acceptance 9 of and Interest in the New Vehicle Technologies: An Austin Perspective. Under 10 review for publication in *Transportation Research Part C*.

- Koul, S., & Eydgahi, A. (2018). Utilizing Technology Acceptance Model (TAM) for driverless car technology Adoption.
- Kuo, Y.-F., & Yen, S.-N. J. C. i. H. B. (2009). Towards an understanding of the behavioral intention to use 3G mobile value-added services. 25(1), 103-110.
- Kyriakidis, M., Happee, R., & de Winter, J. C. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127-140.
- Kyriakidis, N. C., Kapsogeorgou, E. K., & Tzioufas, A. G. J. J. o. a. (2014). A comprehensive review of autoantibodies in primary Sjögren's syndrome: clinical phenotypes and regulatory mechanisms. 51, 67-74.
- Lee, C., Ward, C., Raue, M., D'Ambrosio, L., & Coughlin, J. F. (2017). Age differences in acceptance of self-driving cars: A survey of perceptions and attitudes. In *International Conference on Human Aspects of IT for the Aged Population* (pp. 3-13). Springer, Cham.
- Lee, H., Irani, Z., Osman, I.H., Balci, A., Ozkan, S., Medeni, T.D. (2008), Research note: Toward a reference process model for citizen-oriented evaluation of e-government services. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2(4), 297-310.
- Lu, J., Yao, J., & Yu, C.-S. (2005). Personal Innovativeness, Social Influences and Adoption of Wireless Internet Services via Mobile Technology. *The Journal of Strategic Information Systems*, 14, 245-268. doi:10.1016/j.jsis.2005.07.003
- Madigan, R., Louw, T., Dziennus, M., Graindorge, T., Ortega, E., Graindorge, M., & Merat, N. (2016). Acceptance of Automated Road Transport Systems (ARTS): An Adaptation of the UTAUT Model. *Transportation Research Procedia*, 14, 2217-2226. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.237
- Madigan, R., Louw, T., Wilbrink, M., Schieben, A., & Merat, N. (2017). What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems.
- Mathieson, K. (1991) "Predicting user intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior", *Information Systems Research*, 2(3), pp. 173–191. <https://doi.org/10.1287/isre.2.3.173>
- Merat, N., Madigan, R., & Nordhoff, S. (2017). Human factors, user requirements, and user acceptance of ride-sharing in automated vehicles.
- Nordhoff, S. (2016). *A Conceptual Model to Explain, Predict, and Improve User Acceptance of Driverless Vehicles*.
- Nordhoff, S., van Arem, B., Merat, N., Madigan, R., Ruhrort, L., Knie, A., & Happee, R. (2017). *User Acceptance of Driverless Shuttles Running in an Open and Mixed Traffic Environment*. Paper presented at the Proceedings of the 12th ITS European Congress.
- Nunnally, J.C. (1978). *Psychometric theory*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Osswald, S., Wurhofer, D., Trösterer, S., Beck, E., & Tscheligi, M. (2012). Predicting information technology usage in the car: towards a car technology acceptance model. Paper presented at

the Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.

Paden, B., Čáp, M., Yong, S. Z., Yershov, D., & Frazzoli, E. J. I. T. o. i. v. (2016). A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. 1(1), 33-55.

Rahman, M. M., Lesch, M. F., Horrey, W. J., & Strawderman, L. (2017). Assessing the utility of TAM, TPB, and UTAUT for advanced driver assistance systems. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 361-373.

Riga, D. (2015). *Hybrid electric vehicles: driving towards sustainability*.

Ringle, C. M., Wende, S., & Will, A. (2005). SmartPLS 2.0 (M3) Beta. In: Hamburg Germany.

Sanaullah, I., Hussain, A., Chaudhry, A., Case, K., & Enoch, M. (2017). Autonomous Vehicles in Developing Countries: A Case Study on User's View Point in Pakistan. In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico, & A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA* (pp. 561-569). Cham: Springer International Publishing.

Schaper, L.K., Pervan, G.P. (2007), ICT and OTs: A model of information and communication technology acceptance and utilisation by occupational therapists. *International Journal of Medical Informatics*, 76(1), S212-S221.

Schoettle, B., & Sivak, M. (2014). A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the US, the UK, and Australia.

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), 186-204.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. doi:10.2307/30036540

Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 36(1), 157-178.

Warshaw, P. R., & Davis, F. D. J. J. o. e. s. p. (1985). Disentangling behavioral intention and behavioral expectation. 21(3), 213-228.

應用化學學習策略評量工科學生演算與概念的理解能力

Applying Learning Strategies of Chemistry to Assessing Engineering Students' Algorithmic and Conceptual Understanding Ability

蘇金豆

宏國德霖科技大學餐旅管理系

King-Dow Su

Department of Hospitality Management, Hungkuo Delin University of Technology

摘要

本研究目的旨在評量工科學生，經學習策略融入化學課程演算的精熟與概念理解程度，學習策略則包含概念圖與動力動畫等視覺模組。以統計分析法，分析學生的特質與氧化還原計量化學學習成就。研究對象以選修化學課程之 165 位工科學生作為研究樣品。研究結果顯示策略學習有助於兩組學生後測學習比較，達顯著差異($p < .001$)且 Cohen 實驗效果量為 $f=0.722$ ；演算與概念成對試題回應百分率，顯示實驗組優於控制組；研究結果也顯示出實驗組學生正面的學習態度和喜歡程度，對學習推論過程較佔優勢。本研究也描述有助於融入式策略課程之研究，應用建構主義設計原理，以增進學生化學學習演算的精熟、概念理解與學習態度。

關鍵字：動畫、概念圖、氧化還原計量化學、演算的精熟

Abstract

This study evaluated engineering students' algorithmic proficiency and conceptual understanding by using strategic learning of integrated chemistry course. The learning strategy of visual model included concept map and dynamic animations. The characteristics of students and their learning achievements toward redox stoichiometry course were analyzed by statistical methods. The samples in this study included 165 undergraduate students who took chemistry. Analytical results indicate that the strategic learning facilitates learning comparisons and out-performances in two groups of students in different post-test ($p < .001$) and Cohe's effect size ($f=.722$). In contrast with statistic finds of post-tests, experimental group students get more formulated goals in answering percentage of algorithmic and conceptual pairs than those of control group students. The experimental group students' positive attitude and learning disposition also provide the predominant advantage for their successful reasoning processes. The study described some helpful approaches to the incorporation of strategic course which utilizing constructivist design principles to facilitate the student's algorithmic proficiency and conceptual understanding toward chemistry learning.

Keywords : Algorithmic proficiency, Animations, Concept map, Redox stoichiometry

壹、緒論

問題解決技巧的發展，對工程學科的學生而言，是一項重要的學習指引，此技巧將有助於提供學生邏輯思考與有效的學習，並評量學生認知創意的競爭力與學習潛能，進而實踐學生在演算的學習與認知技巧的發展 (Barak, 2012; Lazakidou & Retalis, 2010)，這也是本研究的重點方向。然而，許多學生在化學學習過程中，為求及格而採取背誦式的學習模式，學習過程不全然出自自己的需求，是故，無法真正了解化學課程學習的整體觀念與本質 (Cracolice, Deming, & Ehlert, 2008)，因而導致概念迷思或另有概念 (Mayer, 2011; Nakhleh, 1992; Sunyono, Tania, & Saputra, 2016)。迷思概念確實證明了對傳統講述教學的學習產生阻力，若無適時因勢利導，將會降低學生對更高層次問題的概念理解 (Lenaerts & van Zele, 1998; McDermott & Redish, 1999)。Fisher, Wandersee 和 Moody (2000) 研究指出，改善學生高層次思考的教學中，教師應嘗試運用多元的教學方法，並引入支援學生易學習的可能輔具，當學生面臨複雜的學習問題時，易用性的輔具融入式教學，能適時地提供學生由淺而深的漸進式引導 (van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003)，其中動畫融入概念圖的學習是近年來科學教育學者們嘗試使用的一種方法 (Adesope & Nesbit, 2013)，動畫融入概念圖能引導學生建構科學知識，協助化學問題之解決 (Su, 2017, 2018)。動畫融入概念圖，藉著節點 (nodes) 與線 (lines) 的連接，經由命題陳述導引新觀念的建構，適時的動畫融入，輔助教學者澄清抽象而複雜的科學概念 (Adesope & Nesbit, 2013; Hwang, Wu, & Ke, 2011; Simons & Klein, 2007)。輔具的教學提供，將有助於學生深入課程學習。

然而，當學生們解決有關化學平衡 (Cheung, Ma, & Yang, 2009; Jaber & BouJaoude, 2012; Su, 2019; 蘇金豆, 2015)、氧化還原電化學 (Cheung, 2011)、化學動力學 (Cakmakci, 2010; Cakmakci, Leach, & Donnelly, 2006)、計量化學 (Davidowitz et al., 2010; Sanger, 2005; Nurrenbern & Pickering, 1987) 和氣體化學 (Sanger et al., 2013; Su, 2016) 等複雜而抽象的化學概念問題時，學生們不容易統合與理解，尤其是電化學中關乎電子獲得與失去的轉移概念，學習時常常因概念迷思而造成誤解，因此無法形成新知識。在學生的學習過程中，教師扮演科學學習與學生之間的斡旋者與激思者，若能建構學習鷹架，將使問題解決能力過程的養成階段，成為有意義的學習，進而對學習者發揮功能性的影響 (Ausubel, 1968)。當傳統書本的講述教與

學，已經無法滿足學生的學習需求時，學生的學習問題於焉形成，教師們應尋求能整合學習的經驗與方法，使學生尋求更多元的學習路徑，以獲得更多的學習認知技巧，進而使學習變得更豐富、更有意義且富創新性與創意性。再則，學者們的研究（Zahorec et al., 2014; Nasr & Soltani, 2011）發現，正面學習態度有助於提升學生的學習成就，而學習效益將隨其喜歡程度而有所改變。

基於上述論述，本研究設計「化學學習策略」，將氧化還原動力圖結合概念圖中概念的呈現，做為實驗組學生教學之教材，進行工科學生實驗教學，並進一步評量其策略實施與否之兩組學生（實驗組與控制組），其演算的精熟與化學概念的理解程度差異。是以本研究的目的，說明如下三點：

- 一、建構「化學學習策略」，並分析此策略教學實施與否，對工科學生學習成就影響。
- 二、分析「化學學習策略」實施與否，對工科學生演算精熟與概念的理解程度差異影響。
- 三、進一步分析進行「化學學習策略」實驗組學生之學習態度。

故，本研究之問題敘述如下：

- 一、實施「化學學習策略」與否之二組學生，探討其學習成效與差異之原委？
- 二、實施「化學學習策略」與否之二組學生，分析成對試題對學生演算的精熟與概念的理解程度差異之原委？
- 三、實施「化學學習策略」的實驗組學生，其學習態度為何？

貳、文獻探討

一、問題解決策略建構學習技巧

Selvaratnam 與 Canagaratna (2008) 研究指出，問題解決的重要目的有二：一方面為澄清且強化學生對學習領域之概念、原理、定律和應用的認知；另一方面為改善學生們在心智技巧、策略運用和解題步驟之能力，提升其問題解決之心智發展。Cracolice, Deming 和 Ehlert (2008) 指出推理技巧的良莠不齊，將是導致化學概念問題解決能力與演算問題解決能力之間的鴻溝。因此，建構良好的科學學習推理能力，將有助於降低此阻力，而提升化學問題解決能力，是以，「化學學習策略」的應用，將有助於學生化學學習推理能力之建構與增進。

問題解決對大多數學生在化學課程的學習，是一項重要的探究議題，故，教授問題解決的有用方法，一直是有效學習化學的研究重點。

Pólya (1957) 在《怎樣解題》這一本書中，指出問題解決的四個步驟，首先是瞭解問題，繼而想出計畫，再則執行計畫，最後是回頭檢視，並傳授學習者如何解題之過程。學者 Sternberg 與 Williams (2002) 則認為問題解決是從一個待解決的現狀到有解答的過程，並且學生能在此過程上，克服所有的障礙，解決問題。而 Lazakidou 與 Retalis (2010) 則應用同步電腦化和合作學習工具來擴展問題解決技巧，並提出三個解題步驟：第一步是觀察，第二步是協同運作，第三步是半結構式指導等，透過合作學習來達到問題解決能力的目的。學者 Jaber 與 BouJaoude (2012) 和 Treagust、Chittleborough 與 Mamiala (2003) 等人，應用微觀與符號呈現的化學模型，來協助學習者處理有關化學反應的問題解決技巧 (Bodner & Domin, 2000; Justi & Gilbert, 2002)。Madden、Jones 與 Rahm (2011) 應用多重展示鏈結，並組織化學中溫度與壓力的關係，透過多重選擇題來激發學生的創意，啟發學生更進階的問題解決技能。綜上研究論述，可知在問題解決的過程中，學生不僅需要理解相關的知識概念，並且需要統整及應用策略工具融入問題解決技巧中，而「化學學習策略」的應用，則具有此一功能性。

二、建構動畫學習環境

Paivio (1971, 1991) 提出二元編碼理論 (Dual Coding Theory, DCT)，此理論強調記憶與認知的運行，需仰賴語文系統與視覺系統等系統間的相互鏈結，此一系統間的鏈結對資訊科技融入教學更為重要。成功的策略設計與教材內容融入於化學課程學習上，如網路科技融入課程學習 (Own, 2010)、多媒體學習環境融入 (Su, 2008a, 2008b) 等研究，不僅對學生學習動機產生啟發，且對興趣造成衝擊，同時也增進學習成就與學習態度之提升，師生互動關係也因此融入式策略，而變得較為密切。此種策略性的融入式教學，對化學教育之貢獻越來越多，也越來越重要。梁志平與余曉清 (2006) 研究顯示，使用建構主義式的網路科學學習模式，不論在學習成效或學習效果的保留上，皆較傳統教學佳。

學者 Ardac 和 Akaygun (2004) 的研究主張，發揮電腦動畫空間能力，應用符號與分子表徵，呈現化學反應的微小變化，有助於學生對抽象觀念與化學原理的深入理解。Olympiou, Zacharias 和 deJong (2013) 研究指出，應用多重展示連結數字、圖形與符號的功用，可強化

學習觀念，提昇知識的了解層次。因此，結合圖像、動畫、影片、聲效、文字和語音的多媒體技術發展，已是當前教學純熟的基本技能。Schultz (2008) 主張在學生成長的學習認知過程中，重要的教學努力應著重在化學的敘述上，並訴諸於視覺的動畫呈現，來引起學習者對化學的學習興趣，強化其學習環境。為求發展學生對化學學習過程，演算的精熟與概念理解之效能，提升學生們以推理能力來解決問題，隨著動畫融入化學視覺化的優勢，建構多媒體教學環境，激發學生們學習潛能，將有助於增強化學學習的妥適性及有效性。

統合上述文獻內涵，資訊科技融入式學習，除了動畫動力圖引導教學策略外，也強調問題解決的學習環境建構，在解題學習過程需要適當的教學輔具協助，而「化學學習策略」之應用，則對學生在化學學習推理能力之建構發展上，建造了加成性的作用，期能對學生化學問題解決能力的提升深具學習意義。

三、概念圖強化學習氛圍

羅希哲、溫漢儒與曾國鴻(2007)研究顯示，將概念構圖融入氧化還原、溶液、物質等單元，探究男女學生氧化還原之學習成效，結果發現學習成效，呈現有些顯著與有些不顯著。林建良與黃台珠(2010)則運用概念圖與程序 V 圖協助大專生程式問題解決的研究，顯示具概念圖學習經驗的學生，其解題能力顯著優於無概念圖學習經驗的學生，而有無使用程序 V 圖則對解題無顯著差異。林建良與黃台珠研究，指出認知工具的易用性，將有助於學生學習成效的展現。Novak(2003)提出概念圖可以反應學習者學習歷程，幫助學習者辨識主要概念、釐清錯誤概念並解釋知識概念，增強學生對知識的整合，建構成為自己的知識體。Allan(2003)應用概念圖於有機化學之研究，發現學生的學習成就及態度方面皆有正面的成效。Liu, Lin 和 Tsai (2009)則提出概念圖在診斷學生學習迷思概念的三點特性，首先概念圖允許學生在心智發展中，自由自在地建構概念與概念之間的具體關係 (Rebich & Gautier, 2005)；再則，概念構圖允許學生在未預先假設的精熟知識上，探測更複雜的知識；最後，概念構圖對學生知識的結構特性、內容瞭解的干擾或扭曲、克漏的偵檢是敏銳的。因此，概念構圖的應用不只是一種學習策略，同時也是評量學習結果的有效工具。

綜上，本研究設計「化學學習策略」，將氧化還原動畫動力圖，結合概念圖中呈現概念，做為實驗組學生教學內容，進行工科學生實驗教學之研究，進一步評量其策略實施與否之兩

組學生（實驗組與控制組），在演算的精熟與化學概念的理解程度差異。本研究「化學學習策略」，強化學生化學問題解決技巧之建構，應用概念圖增強化學習氛圍，設計互動式動畫動力圖增強化學學習概念，此一科技融入式化學學習，除了概念圖學習策略引導外，也強調問題解決的學習環境建構，在解題的學習過程中，融入氧化還原動畫動力圖，而「化學學習策略」融入教學之應用，則在促進學生化學學習推理能力之建構發展上，建造了加成性的作用，期能對化學問題解決能力的提升，深具學習意義。是以，融合「化學學習策略」，創新學習氛圍，開創學習環境，幫助學生進行有意義的學習策略，進而增進學生化學學習成效。

參、研究方法

一、研究對象

為了研究取樣的有效性，本研究樣本選自作者任教之工程科系選修化學之四班學生 165 人作為預試研究對象，第一階段資格考淘汰未達及格之 1/3 學生；第二階段再進行預試，選取成績在 80 分以上之學生 47 人作為實驗對象。進而將 47 位學生隨機分成實驗組 24 人（教學方法，學生融入化學學習策略，進行教學及氧化還原動畫動力圖實作練習）和控制組 23 人（傳統教學，即一般教科書 ppt 講授式教學），使此策略分組之學生們盡可能有相似的教育背景和學習環境。

二、研究範圍

以大一化學課程中氧化還原化學學習單元做為研究內容。

三、研究步驟

本研究以量化研究為主。為了提升學生化學學習的推理能力，增長學習成就與學習態度，設計如表 1 之準實驗研究法研究模式。在不影響正常教學的大前提下，本研究採用策略分組學習，實驗教學設計模式如表 1 所示。每週 2 小時共為期 4 週，實驗組學生融入化學學習策略，此策略的設計乃在於結合概念圖引導的同時，依序融入電流電池、電解與鐵生鏽等氧化還原化學動畫。實驗後，隔週進行兩組學生之後測，而實驗組學生在後測施測完畢，隨即以學習態度問卷進行調查。兩組學生之學習過程實驗步驟配當表示如表 2。

表 1

準實驗研究實驗教學設計模式

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組	V	A1	V
控制組	V	A2	V

註：V表施測；A1 表有融入化學學習策略；A2 表無融入化學學習策略。

表 2

實驗步驟配當表

步驟	實驗組	對照組
前測	分組與安排位置 填寫基本資料與前測 時間：約需 30 分鐘	分組與安排位置 填寫基本資料與前測 時間：約需 30 分鐘
準備	電化學策略分組教學設計之引導、 目的描述、操作與實驗方法 時間：約需 30 分鐘	一般教科書學習過程設計之引導、 目的描述、操作與實驗方法 時間：約需 30 分鐘
學習過程	方法：自我學習與教師輔助 材料：化學策略分組學習檔案 時間：約需 240 分鐘	方法：自我學習與教師輔助 材料：教科書學習檔案 時間：約需 240 分鐘
後測	單元學習完畢後隔週進行後測並填 寫問卷 時間：約需 90 分鐘	單元學習完畢後隔週進行後測 時間：約需 90 分鐘

四、教學流程

本研究應用化學學習策略做為教學輔具，進行教學學習引導，一步一步建構出學生對電化學的微觀概念問題解決的適當學習方法，減少學生之學習負荷、幫助學生增長能同時處理許多複雜概念題目的能力，就化學領域中抽象，且易造成概念迷思及誤解的電流電池、電解與鐵生鏽等氧化還原電化學概念，依 Bloom 教育分類法在西元 2001 年出刊新修正之記憶、了解、應用、分析、評鑑和創作等六個認知層面命題 (Anderson & Krathwohl, 2001, p.268; 葉連祺、林淑萍, 2003)，設計出前後測電化學的微觀概念試題，結合策略分組，評鑑學習者學習效能，所得結果進一步與相關文獻做比較、分析與批判，研究過程流程圖呈現在圖 1。

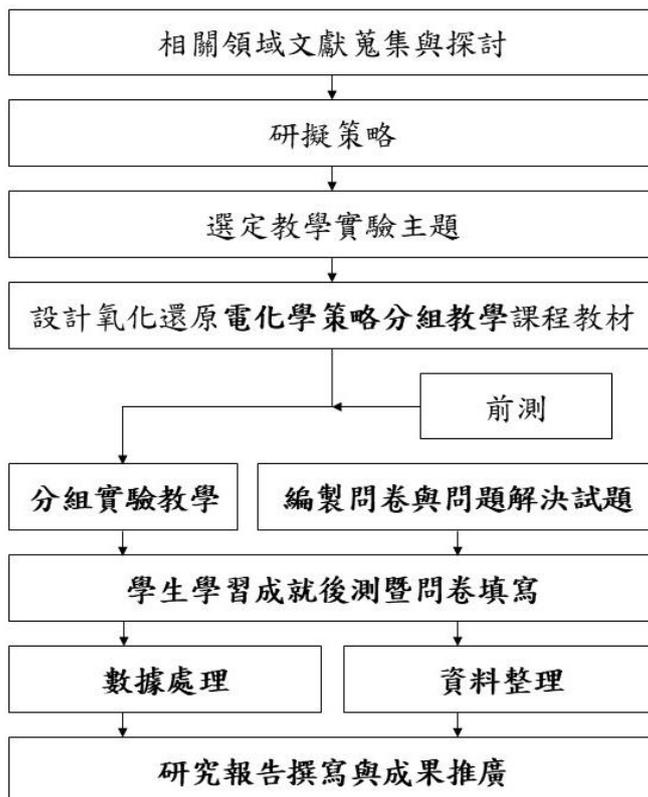


圖 1 研究過程流程圖

五、研究工具

本研究之研究設計包含四個階段，即前測、有無實施「化學學習策略」融入、後測（瞭解學生自我問題解決能力）和學生學習態度問卷等階段，使用之研究工具有前後測試題與學生學習態度問卷等。

（一）化學試題前後測測驗試卷

前後測測驗試卷乃根據學習主題及教學目標，就教材中知識、理解、應用、分析與綜合等五個面向進行命題，並參考學者們（Cracolice & Peters, 2006; Nakhleh, 1993; Nurrenbern & Pickering, 1987; Sawrey, 1990）所編之試題修訂形成初稿，試卷初稿再經校內外資深化學教授 4 人進行邏輯審查後，最後修訂而成計數與概念成對試題，此前後測測驗試題共五對 10 題單選題（摘錄於附件 1），本試卷 Cronbach' s α 值為 0.708, Katerina 與 Tzougraki (2004) 指出 Cronbach' s α 值 .70 是可接受的範圍。

（二）學習態度問卷發展

本問卷採用作者發表之量表作為施測試題，此量表發表在國際期刊（Su, 2016），並將發

展過程描述如下:

1. 內容效度

本問卷採用 Likert 五等量表，選項包含「非常同意」、「同意」、「普通」、「不同意」、「非常不同意」等五種。在內容效度方面，邀請三位科學教育家、二位科學哲學家 and 二位教育心理學家進行問卷審查，並依照專家們所提供之意見做修訂而成初稿，將所形成之初稿進行預試。

2. 建構效度

在建構效度方面，將預試所得之問卷 165 份進行因素分析，得 KMO 值 0.895，Bartlett 球形考驗的 χ^2 值為 3,377.928 達顯著，表示適合進行因素分析。應用主成分分析共萃取出 5 個構面，累積解釋變異量為 71.847%，此五個構面的特徵值分別為 1.247, 1.369, 2.089, 1.620 和 15.615。五個構面依序命名為--La，對融入式課程之學習態度；Lb，對任課教師的教學態度；Lc，對同學的學習態度；Ld，對自我的學習態度；Le，對學習結果之看法（摘錄於附件 2）。應用 Cronbach' s α 進行內部一致性檢視，得 α 值依序為 .856, .835, .910, .884, 與 .924，整體信度 α 值 .917。依據 Gay (1992) 等人之觀點，任何量表之信度係數達 .90 以上，表示其量表之信度甚佳。

(三)「化學學習策略」融入式教材

本研究融入式教材，所設計的「化學學習策略」，乃在於以化學反應動力圖結合概念圖做為引導（蘇金豆, 2011），化學反應動力圖是 Schultz (2008) 根據 Ausbel (1968) 的「意義學習論」所發展出來的一種教學法，其目的是在改善化學教學上的問題解決策略，而獲得良好的回饋。以建構學習論作為基礎，建構視覺化的學習架構，依序融入化學教學過程中方程式、限量與過量等氧化還原物種，其重要莫爾化學計量概念之關聯性（示如圖 2），並融入氧化還原電化學之反應動力圖（示如圖 3），做為「化學學習策略」應用。本教材設計特色有四點：

- 第一，學生在課堂上嘗試繪製氧化還原動畫動力圖，在化學反應方程式中探索已知量；
- 第二，訓練學生化學方程式之平衡；
- 第三，從方程式和已知量，計算出何者是限量試劑、何者是過量試劑；

第四，結合方程式、限量試劑和動畫視覺，順利求得未知量。

結合「化學學習策略」，在融入式教材中，強化學生視覺概念學習環境，結合學習鷹架，引導學生朝向正確的解題技巧。

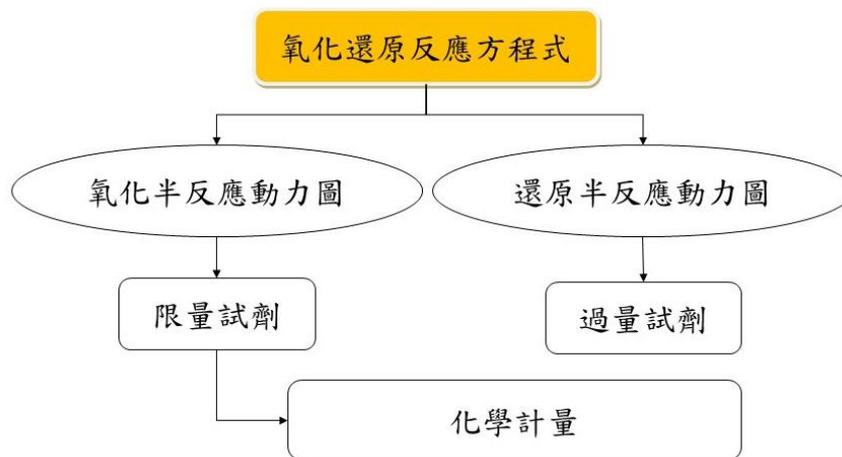


圖 2 氧化還原概念圖摘錄

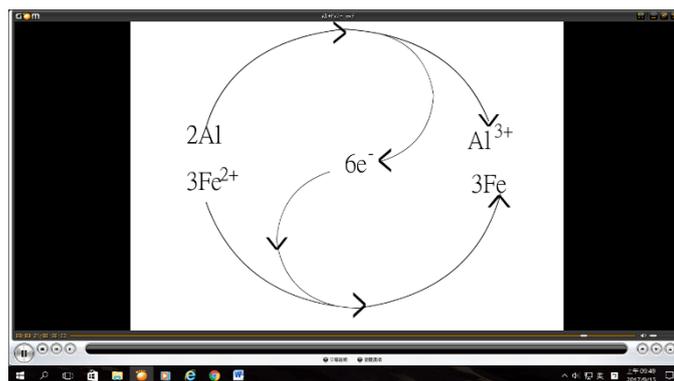


圖 3 氧化還原化學反應動力圖動畫摘錄

(四) 資料處理與分析

實驗教學前後所蒐集之資料，進行電腦英文序號編碼，實驗組如 SE1, SE2, SE3, ...；控制組如 SC1, SC2, SC3, ...。所用統計方法包含：迴歸斜率同質性檢定、共變數統計分析與 Cronbach' s α 值，並以 SPSS for MS Windows 22.0 軟體進行統計分析。

(五) 倫理考量

基於倫理考量，所有有資格參與本研究的學生，皆志願參與研究，且在完成數據分析後，皆以代號（實驗組以 SE 標示，控制組則以 SC 標示）代替姓名，其他足以辨識學生之相關資料也一並移除，以確保個資不外洩（Taber, 2014）。

肆、結果與討論

一、學生學習成就統計分析

經過實驗教學策略後，進行演算與概念之成對試題後測施測，結果敘述如下：

(一) 學習成效描述統計分析

回應研究問題一，實施「化學學習策略」與否之二組學生，探討其學習成效與差異之原委？學生學習成就後測成績之共變數分析，以實驗組及控制組之前測成績為共變項，後測成績為依變項，組別為自變項，進行統計分析。後測成績經迴歸斜率同質性檢定結果顯示，兩組學生在實驗教學前，確認隨機分組之學生，自變項與共變項間的交互作用檢定結果皆無顯著差異 ($p < .5$)，符合共變數分析組內迴歸係數同質性之假定，實驗教學前，兩組學生在化學程度之先備知識相當。因此，繼續進行共變數分析。共變數分析結果顯示，學生在後測成績上，本教學策略與控制組教學方式有顯著差異 ($p < .001$)；由 Cohen (1988) 實驗效果量 (effect size, f) 得知， f 值為 0.722，顯示大以上的實驗效果量 (Cohen 實驗效果量：大, $f = 0.4$ ；中, $f = 0.25$ ；小, $f = 0.1$)。

實驗組與控制組調整後，後測成績平均數結果得知，實驗組學生後測平均成績 (43.33)，明顯優於控制組後測成績 (36.13)。依此「化學學習策略」，後測成績顯著優於控制組。綜上，誠如學者們 (Barak, 2012; Lazakidou & Retalis, 2010) 的研究結論，發展問題解決方法，將提供學生邏輯思考與有效的化學學習，對學生學習潛能與創造力評量是重要的。本研究「化學學習策略」中，功能性的結合，將有助於建造學生認知技巧的教育視野，增強問題解決能力，提升其學習成效 (Selvaratnam & Frazer, 1982; Selvaratnam & Canagaratna, 2008; Su, 2017)。學者們 (Barak, 2012; Lazakidou & Retalis, 2010) 也指出，為達成學生有效的問題解決策略實現，教師不僅需要設計概念圖強化學生認知學習，而且也經由氧化還原動畫動力圖呈現，推論汲取新知識。故，本研究運用「化學學習策略」的教學實踐，型塑學生獨立思考與學習潛能，達成問題解決能力之精進。

回應研究問題二，實施「化學學習策略」與否之二組學生，分析成對試題對學生演算的精熟與概念的理解程度差異之原委？本研究比較實驗教學前測，確認隨機分組之學生，在化學程度演算與概念方面無顯著差異。因此，分析比較兩組學生實驗教學後之後測成績，經統計

分析，結果顯示於表 3，在表 3 中發現實驗組學生實施「化學學習策略」後，實驗組與控制組學生演算與概念成對試題回應百分率，實驗組顯著優於控制組，演算部分較控制組增長 16.9%，概念部分較控制組成長 7.5%；在演算與概念的成長部分，兩組皆優於前測，但實驗組演算部份成長 19.4%，控制組則成長 11.6%；概念的成長部分，實驗組成長 11.4%，控制組則成長 4.0%。

表 3
實驗組與控制組學生演算與概念成對試題回應百分率

成對試題	前測		後測	
	實驗組	控制組	實驗組	控制組
演算 (%)	30.8	31.7	50.2	43.3
概念 (%)	25.2	25.0	36.5	29.0

由上述分析，可知實驗組學生在演算部分與概念部分皆優於控制組。在學生成長的學習認知過程中，應用「化學學習策略」呈現，連結數字、圖形與符號的功用，強化其化學的學習環境，應用微觀與符號呈現的化學視覺，來協助學習者，處理有關化學反應的問題解決技巧，激發學生的創意，啟發更進階的問題解決技能，提昇知識了解層次，達到融入式學習的目的，是本研究回應研究問題二之原委，也是學者們的期許 (Jaber & BouJaoude, 2012; Lazakidou & Retalis, 2010; Madden、Jones & Rahm, 2011; Schultz, 2008)。從實驗組學生的後測回應率，與化學研究學者的研究結果 (Domin & Bodner, 2012; Sanger & Phelps, 2007)，可例證本策略對學生的邏輯推論具適切的影響性。

二、學生學習態度之資料統計分析

回應研究問題三，實施「化學學習策略」的實驗組學生，其學習態度為何?本研究有關實驗組學生，在實施「化學學習策略」態度總量表，其內部一致性信度 Cronbach' s α 值為 0.92，代表內部一致性信度佳。實驗組學生在此單元學習態度之五個層面平均值介於 3.65-3.71，標準差介於 0.45-0.84，由此可知，實施「化學學習策略」，對學生學習態度有正面且積極之影響。

是以，從研究問題三中，本研究以學習態度問卷之五個層面 (La、Lb、Lc、Ld 和 Le) 做為依變數，學生對化學喜歡程度 (1.非常喜歡、 2.喜歡、 3.非常不喜歡) 做為自變數，進行學習態度的深入討論，執行單因子多變量統計分析，其中以 Wilks' Lambda 變數選擇法檢定

多變量的顯著性，單因子多變量統計分析結果呈現。在自變數「喜歡化學程度」的學習態度量表之五個依變數皆達顯著水準，進一步做 Scheffé 事後比較，發現五個依變數在非常喜歡化學課程者也皆優於非常不喜歡化學者；再者，依變數 La、Lb 和 Lc 三構面在喜歡化學課程者優於非常不喜歡化學者；依變數 Ld 則呈現非常喜歡優於喜歡者。而整體量表之 Cohen 實驗效果量 f 值，皆顯現大以上 ($f > 0.4$) 的實驗效果量。

基於上述學習態度問卷之統計分析結果，在氧化還原計量化學學生學習態度方面，實驗組學生例證了更活潑的學習參與，然其學習態度受「喜歡化學程度」的影響深遠，喜歡化學程度，對化學的學習將扮演著重要的角色。誠如學者們的研究 (Zahorec et al., 2014; Nasr & Soltani, 2011) 發現，正面學習態度將提升學生的學習成就。故本研究結果，顯示學生正面的學習態度，其學習效益將隨其喜歡程度而呈現正面表列。

伍、結論與建議

一、結論

綜合上述結果，歸納如下數三點結論：

(一) 工科大一學生，實施「化學學習策略」之實驗組學生，其試題解題後測的平均數高於未使用之控制組學生，將有助於建造學生認知技巧的教育視野，增強問題解決能力，提升其學習成效。

(二) 實施「化學學習策略」與否之二組學生，成對試題對學生演算的精熟與概念的理解程度差異，可知實驗組學生在演算部分與概念部分皆優於控制組學生。推敲其原委，乃學生成長的學習認知過程中，結合微觀與符號的教學融入，啟發學生高階思考層次與認知技巧，有助於實驗組學生，處理有關化學反應的問題解決。

(三) 實施「化學學習策略」的實驗組學生，對化學喜歡程度不同，其學習態度也不同。本研究同時驗證喜歡化學課程的學生，其學習態度較具正面。

「化學學習策略」的功能性結合，有助於引導大一工科學生，解決氧化還原計量化學演算與概念的問題，提昇更進階知識的建構。

二、建議

本研究之結果，雖可提供化學相關領域教學之參考，但礙於樣品數之考量，不做過度之推論，建議未來可朝樣品與範圍的深度與廣度提昇，讓此教學策略更有效的推廣。以下就教學實務與學生研究氛圍作具體建議，說明如下：

(一) 教學實務建議

1. 「化學學習策略」呈現時間，應視學生學習需要，做適度地延長，使學生在概念與概念之間的傳達上，更容易掌握。

2. 動畫是提升學生學習動機的重要教學輔具，因此，適度的增加音效，較能吸引學生的學習目光與增進學習的趣味性。

(二) 未來研究設計建議

1. 礙於學生樣品數的限制，若要進一步引用，須謹慎為之。因此，未來研究將朝取樣之廣度進行，如加入友校之學生作為研究對象。

2. 巨觀、微觀與符號的教學順序組合有許多種，未來研究將以教學順序為操縱變因加以探討，找出教學成效最適化的組合。

誌謝

本研究承蒙行政院科技部提供經費補助，使計畫（MOST103-2511-S-237-001 和 NSC 98-2511-S-237-001）得以順利完成，僅此致謝。

參考文獻

- 林建良、黃台珠（2010）。概念圖與程序 V 圖對大專生程式解題能力之影響。**教學科技與媒體**，**93**，61-76。
- 梁志平、佘曉清（2006）。建構主義式的網路科學學習對國中生力的概念學習之研究。**科學教育學刊**，**14**（5），493-516。
- 葉連祺、林淑萍（2003）。布魯姆[B. S. Bloom]認知領域教育目標分類修訂版之探討。**教育研究月刊**，**105**，94-106。
- 羅希哲、溫漢儒、曾國鴻（2007）。概念構圖融入電腦輔助教學法應用於綜合高中學生化學科之學習成效及態度之研究。**科學教育學刊**，**15**，169-194。
- 蘇金豆(2015)。三階診斷工具的發展和應用--技職學生化學平衡迷思概念評量。**科學教育學刊**，**23**(4)，321-352。

蘇金豆(2013)。融入式化學實驗對工科學生學習成效的正當性。《科技與工程教育學刊》，46(1)，19-30。

Adesope, O. O., & Nesbit, J. C. (2013). Animated and static concept maps enhance learning from spoken narration. *Learning and Instruction*, 27, 1-10.

Allan, A. G. (2003). Cooperative chemistry: Concept mapping in the organic chemistry lab. *Journal of College Science Teaching*, 32, 311-315.

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing*. New York, NY: Longman.

Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 317-337.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

Barak, M. (2012). Impacts of learning inventive problem-solving principles: students' transition from systematic searching to heuristic problem solving. *Instr. Sci.*, 7, 1-23.

Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, 4(1), 24-30.

Cheung, D., Ma, H. J., & Yang, J. (2009). Teachers' misconceptions about the effects of addition of more reactants or products on chemical equilibrium. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(6), 1111-1133.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Cracolice, M. C., Deming, J. C. & Ehlert, B. (2008). Concept learning versus problem solving: a cognitive difference. *Journal of Chemical Education*, 85, 873-878.

Cakmakci, G. (2010). Secondary school and undergraduate students' alternative conceptions of chemical kinetics. *Journal of Chemical Education*, 87(4), 449-455.

Cakmakci, G., Leach, J., & Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1795-1815.

Cracolice, M. S., & Peters, E. I. (2006). *Introductory chemistry: An active learning approach*. Stamford, CT: Cengage Learning.

Davidowitz, B., Chittleborough, G., & Murray, E. (2010). Student-generated submicro diagrams: A useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 154-164.

Fisher, K. M., Wandersee, J. H., & Moody, D. E. (2000). Mapping biology knowledge. Boston: Kluwer Academic.

Gay, L. R. (1992). *Educational research: Competencies for analysis and application* (4th ed.). New York: Macmillan.

Hwang, G. J., Wu, P. H., & Ke, H. R. (2011). An interactive concept map approach to supporting

- mobile learning activities for natural science courses. *Computers & Education*, 57, 2272-2280.
- Jaber, L. Z. & BouJaoude, S. (2012). A Macro–Micro–Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973-998.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modeling in chemical education. In J. Gilbert, O. DeJong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research based practice* (pp. 47-68). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Katerina, S., & Tzougraki, C. (2004). Attitudes toward chemistry among 11th grade students in high schools in Greece. *Science Education*, 88, 535-547.
- Lazakidou, G. & Retalis, S. (2010). Using computer supported collaborative learning strategies for helping students acquire self-regulated problem-solving skills in mathematics. *Computers & Education*, 54(1), p. 3-13.
- Lenaerts, J., & Van Zele, E. (1998). Testing science and engineering students: The force concept inventory. *Physical Magazine*, 20(1), 49-68.
- Liu, T. C., Lin, Y. C., & Tsai, C. C. (2009). Identifying senior high school students' misconceptions about statistical correlation and their possible causes: An exploratory study using concept mapping with interviews. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 791-820.
- Madden, S. P., Jones, L. L., & Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(3), 283-293.
- Mayer, K. (2011). Addressing students' misconceptions about gases, mass, and composition. *Journal of Chemical Education*, 88, 111-115.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource letter per-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry ~chemical misconceptions, *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Nakhleh, M. B. (1993). Are our students' conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Identifying conceptual students in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70(1), 52-55.
- Nasr, A. R., & Soltani, A. (2011). Attitude towards biology and its effects on student's achievement. *International Journal of Biology*, 3(4), 100–104.
- Novak, J. D. (2003). The promise of new ideas and new technology for improving teaching and learning. *Cell Biology Education*, 2, 122-132.
- Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concepts learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64, 508-510.
- Olympiou, G., Zacharias, Z., & deJong, T. (2013). Making the invisible visible: Enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41(3), 575-596.

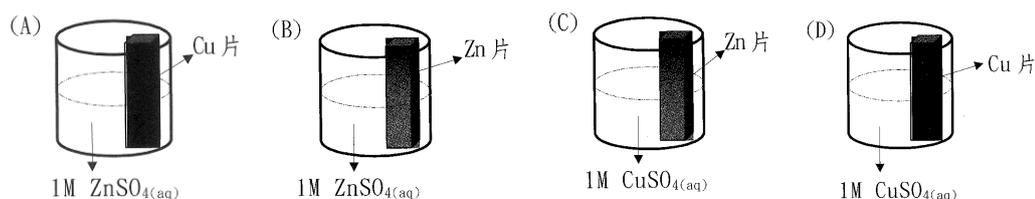
- Own, Z. (2010). The application of on adaptive web-based learning environment on oxidation reduction reactions. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 73-96.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, 45, 255-287.
- Pólya, G. (1957). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Garden City, NY: Doubleday.
- Rebich, S., & Gautier, C. (2005). Concept mapping to reveal prior knowledge and conceptual change in a mock summit course on global climate change. *Journal of Geoscience Education*, 53, 355-365.
- Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82, 131-134.
- Sanger, M. J., Vaughn, C. K., & Binkley, D. A. (2013). Concept learning versus problem solving: Evaluating a threat to the validity of a particulate gas law question. *Journal of Chemical Education*, 90, 700-709.
- Sawrey, B. A. (1990). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67, 253-255.
- Schultz, E. (2008). Dynamic reaction figures: An integrative vehicle for understanding chemical reactions. *Journal of Chemical Education*, 85, 386-392.
- Selvaratnam, M., & Canagaratna, S. G. (2008). Using problem-solution maps to improve students' problem-solving skills. *Journal of Chemical Education*, 85, 381-385.
- Selvaratnam, M., & Frazer, M. J. (1982). *Problem solving in chemistry*. Heinemann Educational Publishers: London.
- Schultz, E. (2008). Dynamic reaction figures: An integrative vehicle for understanding chemical reactions. *Journal of Chemical Education*, 85, 386-392.
- Selvaratnam, M., & Canagaratna, S. G. (2008). Using problem-solution maps to improve students' problem-solving skills. *Journal of Chemical Education*, 85, 381-385.
- Simons, K. D., & Klein, J. D. (2007). The impact of scaffolding and student achievement levels in a problem-based learning environment. *Instruction Science*, 35(41), 41-72.
- Sternberg, R. J., & Williams, W. M. (2002). *Educational psychology*. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Su, K. D. (2008a). An integrated science course designed with information communication technologies to enhance university students' learning performance. *Computers & Education*, 51, 1365-1374.
- Su, K. D. (2008b). The effects of a chemistry course with integrated information communication technologies on university students' learning and attitudes. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 225-249.
- Su, K. D. (2016). Strengthening strategic applications of problem-solving skills for Taiwan students' chemistry understanding. *Journal of Baltic Science Education*, 15(6), 662-679.

- Su, K. D. (2017). Tactic fulfillments of three correlations for problem-solving maps and animated presentations to assess students' stoichiometry performances. *Journal of Baltic Science Education*, 16(5), 733-745.
- Su, K. D. (2018). Innovative perspective of animated concept mapping and cognitive reasoning to enhance students' chemistry learning performances. *Journal of Baltic Science Education*, 17(4), 662-673.
- Su, K. D. (2019). A feasible guidance for ordered multiple-choice items in students' hierarchical understanding levels. *Journal of Baltic Science Education*, 18, pp. (in press)
- Sunyono, S., Tania, L., & Saputra, A. (2016). A learning exercise using simple and realtime visualization tool to counter misconceptions about orbitals and quantum numbers. *Journal of Baltic Science Education*, 15(4), 452-463.
- Taber, K. S. (2014). Ethical considerations of chemistry education research involving 'human subjects.' *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 109-113.
- Taber, K. S. & Coll, R. (2002) Chemical Bonding, in Gilbert, J. K. et al., (editors) *Chemical Education: Research-based Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers BV, pp.213-234.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, L. T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38, 5-13.
- Zahorec, J., Haškova, A., & Bilek, M. (2014). Impact of multimedia assisted teaching on student attitudes to science subjects. *Journal of Baltic Science Education*, 13, 361-380.

附件 1 「化學學習策略」前後測成對試題

選出最適當的答案填入空格內:【原子量 H:1、C:12、O:16、Ag:108、Cl:35.5】

- A1. 化學反應前後,原子不增也不減,故反應前後總質量是相同的,依此論點所證實的定律,稱為下列何項呢? _____ 〈A〉 倍比定律 〈B〉 定比定律 〈C〉 能量守恆定律 〈D〉 質量守恆定律。
- A2. 鋁(Al)氧化生成三氧化二鋁,方程式為 $\text{Al(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{S})$, 三氧化二鋁一般以氧化鋁稱之,在金屬鋁表面形成一層緻密層,可保護鋁,防阻銹蝕,若 9g 的鋁和 9g 的氧完全反應可生成多少克的三氧化二鋁? _____ 〈A〉 18g 〈B〉 27g 〈C〉 36g 〈D〉 45g 。
- B1. 倍比定律由英國化學家道爾頓所提出,又名道爾頓定律。倍比定律內容:若兩元素可以生成兩種或兩種以上的化合物時,在這些化合物中,當一元素的質量固定,則另一元素的質量成簡單整數比。因此,倍比定律和下列何種概念相關呢? _____ 〈A〉 某元素原子具有二種以上原子量 〈B〉 某元素原子具有二種以上同位素 〈C〉 某元素原子具有二種以上原子價 〈D〉 某元素原子具有二種以上物理狀態。
- B2. 氮氣(N_2)和氧氣(O_2)反應,可生成一氧化二氮(N_2O)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO_2)等三種氣體化合物,若將氮的質量固定,則氧的質量比為何? _____ 〈A〉 1:1:1 〈B〉 1:2:4 〈C〉 4:2:1 〈D〉 2:1:4
- C1. 在常溫下,活性大的物質和活性小的物質之化合物,易產生置換反應,依此觀點,下列何組實驗裝置中,可在 5 分鐘內產生明顯,而且肉眼可看得見的化學反應呢? _____



- C2. 現有甲、乙兩種水溶液，甲水溶液為 30.0mL 的 0.100M 氯化鈣(CaCl_2) 水溶液，乙水溶液為 40.0mL 的 0.150M 硝酸銀(AgNO_3) 水溶液，當甲乙兩溶液混合後，產生氯化銀(AgCl) 的白色沈澱物若干公克呢？ _____ 〈A〉 3.00×10^{-3} 〈B〉 0.0861 〈C〉 0.861 〈D〉 8.61 (g)。
- D1. 在同溫同壓下，下列碳氫化合物，何者之蒸氣密度為氧密度的 2.25 倍呢？_____ 〈A〉 丙烷(C_3H_8) 〈B〉 丁烷(C_4H_{10}) 〈C〉 戊烷(C_5H_{12}) 〈D〉 庚烷(C_7H_{16})。
- D2. 含碳氫氧之某化合物，其重量百分組成為碳(40.0%)、氫(6.7%)、氧(53.3%)，則此化合物之實驗式為何呢？_____ 〈A〉 CH_2O 〈B〉 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ 〈C〉 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ 〈D〉 CHO 。
- E1. 有一三輪車製造商，在其車庫中存有 17 張座椅、19 個鈴、37 個踏板和 49 個輪子等四種元件。則下列何者是限制製造新三輪車組裝的元件(假設所有的車輪在每一輛三輪車中都相同)呢？_____ 〈A〉 踏板 〈B〉 座椅 〈C〉 鈴 〈D〉 輪子。
- E2. 氮氣能依此反應在高溫高壓下合成： $2\text{NO}_{(g)} + 5\text{H}_2_{(g)} \rightarrow 2\text{NH}_3_{(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ ，則一氧化氮(NO) 45.8g 和氫氣(H_2)12.4g，最多可合成氨氣($\text{NH}_3_{(g)}$)多少公克呢？_____ 〈A〉 26.0g 〈B〉 41.8g 〈C〉 54.3g 〈D〉 41.6g。

附件 2 學習態度量表

「氧化還原動畫動力圖」融入化學課程之學習態度調查表

親愛的同學們大家好：

你已親身體驗氧化還原動畫動力圖，融入化學課程的學習技巧，本份問卷旨在瞭解你對此種上課方式的學習態度，以作為未來改進教學之參考。本問卷調查結果不影響你的成績，因此，請你依照題目順序，逐一填寫。非常謝謝你的協助與支持。

L_a, 對融入式課程之學習態度

1. 氧化還原動畫動力圖融入教學之課程設計符合我想要的學習。
2. 我會專心學習氧化還原動畫動力圖融入課程內容。
3. 氧化還原動畫動力圖融入課程對我的學習有幫助。
4. 氧化還原動畫動力圖融入教材能提供我在各類科目之學習參考。
5. 我積極參與老師所安排的氧化還原動畫動力圖相關學習。
6. 氧化還原動畫動力圖融入課程讓我對學習充滿信心。
7. 氧化還原動畫動力圖融入課程教學注重各種教材教法。

L_b, 對任課教師的教學態度

8. 老師對我在氧化還原動畫動力圖融入課程的學習表現感到滿意。
9. 擔任氧化還原動畫動力圖融入課程的老師常鼓勵和關懷我。
10. 擔任此課程的老師，關心我的學習成效。
11. 擔任氧化還原動畫動力圖融入課程的老師，教學方式生動活潑。
12. 擔任氧化還原動畫動力圖融入課程的老師，教學能因材施教。

L_c, 對同學的學習態度

13. 同學們能主動積極參與老師的氧化還原動畫動力圖融入教學活動。
14. 同學們是協助我解決氧化還原動畫動力圖學習困難的好夥伴。
15. 同學們皆有閱讀氧化還原動畫動力圖教材的學習風氣。
16. 同學們敬重擔任氧化還原動畫動力圖融入課程的老師。
17. 同學們主動參與氧化還原動畫動力圖之問題討論。

L_d, 對自我的學習態度

18. 我能主動擬訂氧化還原動畫動力圖學習計劃。
19. 我會在課前預習，課後複習氧化還原動畫動力圖融入課程的教材。
20. 透過氧化還原動畫動力圖學習，我更能專心一致的學習。
21. 我能盡力完成老師指定的氧化還原動畫動力圖課業。
22. 我認為氧化還原動畫動力圖融入教學能提高我的課業成績。

L_e, 對學習結果之看法

23. 氧化還原動畫動力圖融入教學能增進我對計量試題的解題能力。
24. 氧化還原動畫動力圖融入教學能增進我對概念試題的解題能力。
25. 氧化還原動畫動力圖融入教學能讓我更想學習相關知能。
26. 氧化還原動畫動力圖融入教學能增進我的學習興趣。
27. 氧化還原動畫動力圖融入教學能激發我追求新知識的意願。
28. 我覺得課堂上繪製氧化還原動畫動力圖能維持我的注意力。
29. 我覺得課堂上繪製氧化還原動畫動力圖能有助於我的學習能力。

探索科技教材融入中學科學教學之優勢與困境—以單晶片酸鹼指示計

教材開發為例

Exploring the advantages and obstacles of integrating technology into secondary science teaching—A case of developing an Arduino pH sensor module

徐式寬、沈弘俊、吳杰穎

國立台灣大學師資培育中心

國立台灣大學應用力學研究所

台北市立木柵高工

Shih-Kuan Hsu, Horn-Jiunn Sheen, Chieh-Ying Wu

Center for Teacher Education, National Taiwan University

Institute of Applied Mechanics, National Taiwan University

Taipei Municipal Muzha Vocational High School

摘要

在課程中將科學與科技之結合的期望，自九年一貫課程便開始。到了十二年國教課綱，更透過科技領域之建立以及自然科的探究與實作的課程要求，促進跨領域的課程與教學。但是因為長久的分科，教師在專業上與課程上均為單科進行，因此在課程內容與教材上的開發上則較缺乏。本研究以新興科技的生醫晶片為基礎，抽離出生醫檢測技術，結合單晶片 Arduino 開發板，以開發酸鹼指示計為跨領域的教材，提供給教師使用，以因應新課綱對於跨領域探究與實作的教材之要求。本研究舉辦了教師研習工作坊，並以問卷調查的方式，了解教師們對於此模組用於未來課程的可行性，以及可能遇到的困難。由 42 位國高中教師問卷的分析發現，有關模組相關知識的教師教學經驗背景，可被分為科學、科技、以及探究三個向度。而教師是否願意將模組材料帶回，嘗試用在課堂上的意願，可能受其過去教學背景的影響，尤其是科技與探究向度的經驗。在預計結合的課程單元上，則是以必修課內有關酸鹼度的概念與量測之融入為主，其次則為科展或專題，再者為多元選修。在可能遇到的困難上，則包括了師生在模組的知能上的掌握、Arduino 科技與程式上的概念、環境與設備等方面。研究顯示要能夠設計與實踐跨領域之課程，仍需要在科學、科技、與探究三方面多提供教師協助。

關鍵字：科技與科學結合、STEM 跨領域教材開發、探究與實作教材設計、動手做活動教師研習、中學科學與科技教師

Abstract

Integrating science and technology has been the curriculum goal since the last curriculum reform in Taiwan. In the recent curriculum reform, technology was even more focused through being a separate discipline area in the new curriculum. In addition, inquiry and practice has become a new course required in the science discipline in the new curriculum. The attempt of connecting the science and technology, however, can face still numerous problems during its implementation, due to the lasting impact of single-discipline culture in the past. In this project, a bio-sensor module using Arduino was conceptualized from the emerging bio-sensing chip technology. A cross-discipline module of Arduino pH sensor was developed to integrate many concepts of science and the practice of technology for secondary to support the inquiry activities requested in school curriculum. Teacher training workshops were conducted and a questionnaire was developed to assess teachers' perception of the module, its potential to be integrated in the classroom, and problems they may encounter during integration. A total of 42 responses were collected and an exploratory factor analysis revealed a structure of science, technology, and inquiry in teachers' expertise and teaching experiences. An examination of teachers' willingness of taking the module to experiment in their class seemed to be influenced by their past experiences and expertise, especially in the area of technology and inquiry. Teachers also indicated their expected integration topic would be in the unit of acid-base concept and measurement in current science curriculum. Other possible areas of integration would be in science fair, graduation project, and elective courses. Problems anticipated included the familiarity of the background knowledge of the module, the knowledge of skill of construction and programming of Arduino, and the support needed for environment and equipment. It was concluded that for teachers to develop cross-discipline lessons, the support for science, technology, and inquiry areas are needed.

Keywords : Integration of science and technology, STEM cross-discipline material development, instructional material design for inquiry and practice, teacher training of hands-on activities, secondary teachers in science and technology

壹、研究背景

一、科技與科學結合的優點

在我國的中學課程中，科技與科學一直都是分開來的。我國的課程標準在九年一貫開始之前的六十四年中，自然科與工藝一直屬於不同的科目。九年一貫課程中雖有自然與生活科技領域的設計，嘗試將自然與生活科技結合成為一個領域。但是在課綱內容上，仍是大致分隔開來的；而在實際運作上，卻也因為與自然融在同一個領域當中，在學校缺乏足夠專長教師的狀況下使得科技容易被忽視，例如許多學校就直接以自然科教師取代生活科技的老師(張永宗、李隆盛，2016)。

十二年國民教育課程著重於核心素養的培養，期許增進國民未來適應社會的能力。十二年國教的課程綱要，強調科技領域的重要性而將其獨立出來，並將探究與實作列為科學學習的必修內涵，強調培養學生探究及解決問題的能力(蔡清田，2014)。這樣的轉變使得科學與科技不但有各自獨特的專業領域，而且還有互相結合的可能。

科技與科學各有其不同特性與獨特之處，但也有其關聯(余鑑，2003)。兩者的結合具有整合、深化、與擴展科學的概念等優點。科技的發明通常是以整合多種科學原理為基礎，且在探索科技的過程中，需要不斷地將科學原理做深入的理解與澄清，甚至解決尚未有解答的問題(范斯淳、游光昭，2016)。此外，科技領域的核心概念與素養，包括動手做與問題解決的能力，也可以運用在科學的探究與實作的過程中(蔡依帆，2017)。科技領域中所提出的問題，通常需要學生經過觀察、分析與合作發想等步驟才能夠解決。例如製作一個可以把手機音樂放大的音箱，可能需要解決多個物理問題，如聲音傳播、共振與音箱製作，這些製作過程對於學生有實際的用途與實質的意義(李文宏，2017)。十二年國教課綱於科學領域所強調之探究與實作提供了科學與科技結合的機會，且新課綱的科技領域也將新興科技以及產業的連結加回到課程當中(陸健榮，2017)，促進科學與科技的長程連結。

二、跨領域的教學設計的需求與基礎

雖然科技與科學結合的活動有其優點，但是跨領域的教學設計有其難度。而其中常見的問題之一是教師的專業背景。在跨領域課程內容與教材的開發上，需要有不同領域專長的人員參與。因為過去歷史發展的背景，教師通常以單科為主，在其培養過程中較少同時取得兩

個領域的專長。若教師未憑藉自我進修的方式習得另一專長，則較難憑一己之力設計出跨領域的教材。雖然學校內的跨領域教師社群可以互相討論，但是不同領域教師要抽出共同時間不一定容易，而且教師在合作之中也有許多互動上的張力（陳斐卿、林盈秀、蕭述三，2013）。若學校教師人數較多且有合作基礎，則有利於跨領域教材的構想與設計；但若條件不足，則個別教師則較難進行教材開發的工作。

另外一個基礎或要件是教師對於探究與實作教學活動的設計經驗。在過去的科學科目的課程與教學中，較為著重與知識的傳遞與考試的準備，較少見到有將科學知識用於問題解決或改善與創新科技的內容與活動（范信賢、尤淑慧，2017）。且長久以來的科學與科技的隔閡，依然普遍地存在教育現場。在自然科課程裡，大多著重於現象的觀察與理論的理解，甚少提及科學原理與生活周遭各種科技的關聯，更少利用科學原理來實際動手做出科技作品。同樣的，目前國中的生活科技課程，主要仍在動手操作的部分，也很少著重於與科學的連結，即使是提到科學原理也僅佔很少的比例（陳立庭，2017）。因此如何在新課綱中的課程中進行跨領域連結，仍是一個艱鉅的任務。

三、科技融入科學教材開發的困難

雖然新課綱推動跨領域的教學創新，但是跨領域的教學內容並非單一領域的既有課程內容，因此教材不易獲得。若學校內的教師能夠自己發展最好，但是若因為以上多種原因，校內教師無法合作或自行設計教案與教材，常見的選擇之一是使用計有的商業的課程與教材產品。但是商業產品亦有其限制。好的科技與科學結合之教學材料，應該要能夠靈活地被教師運用，達到引導學生掌握科學原理之教學目標（范斯淳、游光昭，2016）。在實際教學現場上，教師能夠獲得的常是市面上販售的動手操作半成品。學生在操作時很可能只是將既有的部分組裝起來，不能真正的了解其中物理、化學的原理。在此過程中，學生不一定對於此種教材的操作興起好奇心，也可能難以藉由動手做活動達到對於學理的深入體會。此外，教材零組件還要容易取得。近年來因為科技相關教材受到重視，有許多國內外廠商開發的教材，能夠結合科技領域的學習，如結合程式設計的組裝機器人，便是一個常見的教材（Kim, et al., 2019）。這些教材雖然設計精良美觀，但是許多價格昂貴，一般的教師與學生可能無法負擔。

在跨領域的教材開發上，其中還有一個常見的選擇是由大學教授參與中學教材開發的過

程，例如提出工程設計的教學模式 (Kelley & Knowles, 2016)，或直接提供融合科技的教材，帶領教師進行相關教案的設計 (Moore, Guzey & Brown, 2014)，給予教師進行融入科技的教案與教材設計之指引與協助。過去研究也發現，教師在面對新興的科技議題融入教學時，也可能缺乏信心，需要外力的協助 (林樹聲, 2006)。由大學協助設計出來的教案或教材雛形，有可能比商業教材更具有學科或教學的專業性，在教學內容的設計上也更具有彈性與修改，有機會更符合課綱的要求。

四、科技融入科學之教學應用的時機

當跨領域教材被發展出來後，要實際應用到教學現場時，仍須考慮到各種因素與條件。例如現有的科學教學時間並不充裕，因此科技的融入應該以何種形式進行應該是個議題。目前推動的新課綱當中，要求學校需要開出大量的彈性課程、選修課程、校訂必修課程、跨領域課程等等 (教育部, 2014)，或許是一個推動老師開發新課程與新教材，並且與其他老師共同合作的契機。目前在教學端有如彈性課程與多元選修、探究與實作的需求，鼓勵跨領域的課程；在學生端有自主學習與學習歷程檔案等鼓勵自主性的探究性質學習時機。因此教師如何選擇實踐跨領域課程的時機，應該可以進一步了解。

但即使是在時間較為充裕的多元選修課程中，也有可能要考慮課程的主題是否適合。例如，引入科技進行實作時，科學概念上有可能因為太難或太簡單的學習落差，造成學生在學習時聽不懂或無法作答的情況 (林淑榜、王國華、張惠博、王淑卿, 2014)。因此在設計教材後，仍然需要教師的回饋，才能了解其實際應用於教學時的考量。

五、科學與科技結合之教案開發試探

為了促進教師進行跨領域的教學，本研究透過大學教師與高中教師的合作模式，開發結合科學與科技的教材模組雛型，期望提供給中學教師進行教學應用。本研究所設計的生醫檢測單晶片 (Arduino) 教學模組，以酸鹼檢測為主題，利用 pH 探測器的電化學原理，將輸出電信號透過 Arduino 開發板與程式，將輸出的電壓轉成酸鹼度，並將結果呈現在 LED 燈與面板上 (如圖 1)。本教學模組之內容，結合生物、物理、化學、電子電機原理，再加上程式設計，具有可以與國高中階段多個學科結合的可能性，符合多項十二年國民教育課程綱要之學習表現與學習內容 (請參見附件一)。具體而言，本模組之建構過程，學生除了電流電壓的

理解外，還需要透過程式將電壓轉化為酸鹼度並進行儀器的校正。其檢測後的數據可以做出分析與預測。在與課綱的對應上，舉例而言，要將本模組之酸鹼指示計取得的數據進行繪圖與分析，需要展現符合探究能力中問題解決的學習表現，如 pa-IV-1 能分析歸納、製作圖表、使用資訊及數學等方法，整理資訊或數據。而要將本模組的線路進行了解與組裝，需要運用到設計思維的能力與素養（設 s-IV-2 能運用基本工具進行材料處理與組裝），以及科技領域的學習內容（資 P-IV-1 程式語言基本概念、功能及應用）。因此，不論是自然領域或科技領域的教師，甚至高職的教師，都有可能透過本模組的融入課程之設計，將這些學習表現與學習內容付諸於教學實踐。

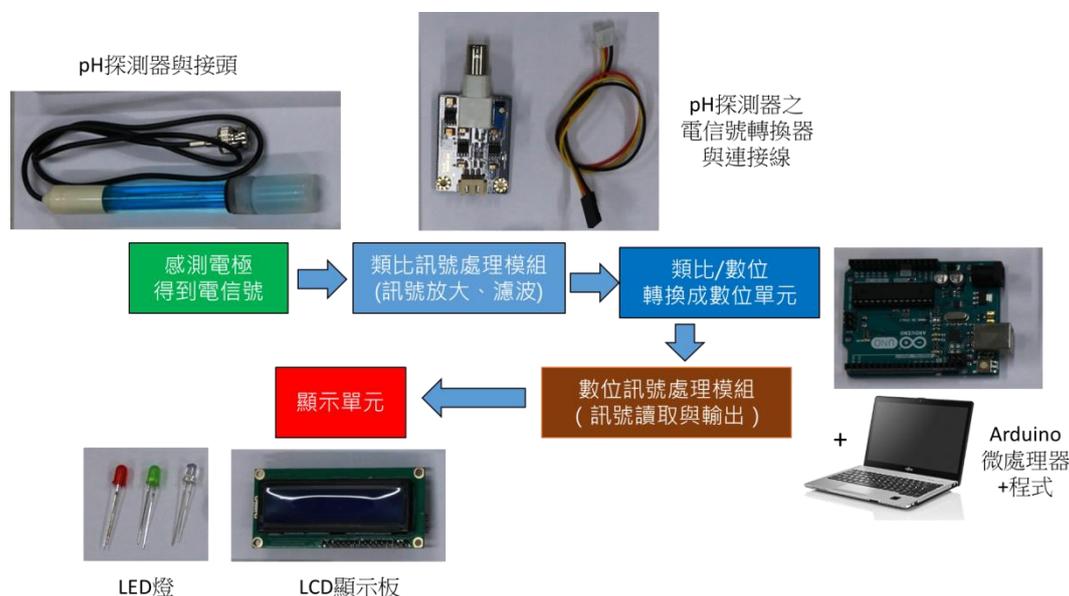


圖 1 單晶片酸鹼指示計模組之結構與原理

本酸鹼指示計模組所用的零件，除了又稱為玻璃電及的酸鹼指示計是由廠商製作的之外，其他的電子零件均可自電子零件行或網路自行購買。教學模組的雛型開發後，便舉辦教師研習工作坊，提供有興趣的教師學習認識與學習該模組的機會。在教師工作坊之後，則透過問卷的方式，了解教師對於該模組的看法，包括其參與此研習的動機以及未來可能融入其學科教學之處。

貳、研究目的

十二年國民教育課綱重視學生核心能力的培養與跨領域的學習。為促進中等學校之跨領

域教學設計與教材發展，本研究開發結合科學與科技的教學模組為雛型，提供教師作為跨領域課程之開發基礎。本研究的目的是在於透過本模組之教學研習工作坊之舉辦與問卷之回饋，了解教師之背景知識與探究實作之相關教學經驗、及其可能運用此模組在教學上之時機，以及實際應用時可能遭遇的問題。

參、研究方法

一、研究架構與研究設計

本研究之目的是在於開發可以在實際教育場合中，適合教師運用來進行探究與實作的科技教材，因此採用了設計研究方法 (design-based research) 來進行研究 (Anderson & Shattuck, 2012)。在此研究方法中，假設科技的發展與改善是一個需要不斷修改的過程。因此最重要的不一定是科技的完整性，而是在於科技設計與發展的過程中，會如何與其所在的環境與關鍵的人員互動的問題，而且研究分析則是以混合方法分析 (mixed methods)。因此本研究之設計，會以對於中學教師之科技教材之設計、發展、與使用有所影響的重要因素為核心，如研究背景中所提及的有關學科教師之科學與科技之背景、以及教師對於探究與實作的經驗與熟悉度、以及在實際實踐中可能會產生的問題與需要的協助等議題。這些與科技教材之發展與使用有關的議題，則形成本研究的問題與研究架構。在研究工具上，則兼採量化題目與質化題目的問卷進行資料蒐集。在研究方法上，則同時使用量化的統計分析與質化的編碼分析。

二、研究對象

為了將酸鹼檢測計模組雛型介紹給教師，本計畫舉辦兩場教師工作坊，廣邀國中、高中、高職的現職教師參與。實際參與工作坊的教師人數每一場約 30 人，兩場共有 57 位教師參與，但是有完整填寫問卷者共有 42 位。因此以下的研究結果，將以這些有填寫問卷資料之教師作為分析對象。在工作坊問卷完整填答的 42 位教師中，來自各個中等學校階層，包括 11 位國中教師、28 位高中教師、以及 3 位高職老師。在教學領域上，則大多為自然科教師 (34 位，81%)，主要的領域為理化老師 (25 位，60%)，並多集中在高中 (17 位)；其次為生物老師，共 8 位 (19%)。其他則還有也有資訊、生活科技、及高職資訊科及汽車科等領域科目老師。教師年資在 6-10 年的有 13 位，16-20 年的也有 13 位，20 年以上的則有 10 位。平均教學年

資為 15 年。以年齡而言，40-49 歲的老師為數較多（26 人，62%）。

三、教師研習工作坊之內容

本研究所舉辦的兩場教師研習工作坊，每場進行 3 個小時。兩場工作坊的內容相同，包括了概念說明與模組實作兩大部分。在概念說明部分，主要介紹生醫科技中重要的生醫檢測核心概念，並以溫度計體重計等檢測器舉例說明。另外亦對電壓電流電阻以及串聯並聯等物理有關電的概念加以說明。此外並對本模組中的各項電子設備與材料，包括 Arduino 開發板、麵包板、電線、電阻、LED 二極體、LCD 顯示面板、以及帶著 BNC 接頭的酸鹼指示計等做了基礎的介紹（參見圖 2）。在電化學方面，亦對含有銀-氯化銀的玻璃電極的結構與原理進行簡介，包括以電化學方程式說明化學反應如何產生能量，並透過指示電極與參考電極的電位差造成電壓。在實作的部分，則帶領老師將麵包板上的單芯線與電阻進行了解與組裝以連結至 Arduino 開發板（模組電路圖請參見附件二）。再透過程式的部分撰寫與調整，將電壓轉換計算之後所得的酸鹼值透過數位腳輸出至 LCD 顯示板及二極體 LED 燈。在實作的最後一個部分，則將組裝完成的酸鹼檢測計模組，進行校正程序。教師需要使用 pH=7 與 pH=4 的標準液來校正組裝好的酸鹼指示計。最後，教師可以將經過校正後的模組用來量測其他的待測液。

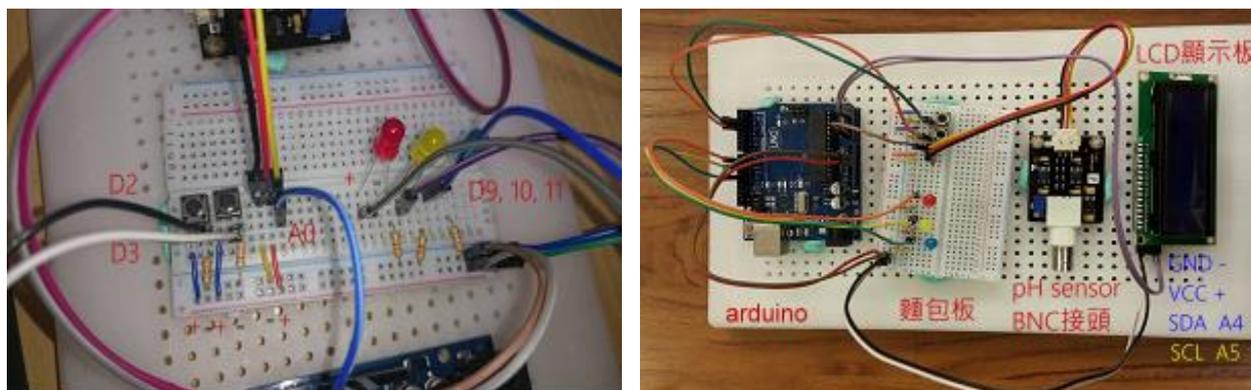


圖 2 Arduino 酸鹼指示計之組裝實物示意圖

四、教師問卷資料之蒐集與分析

在酸鹼指示計的教師專業成長工作坊之中，除了進行模組的教學與實作之外，教師亦填寫研究者自行編製之問卷給予回饋。問卷的第一個部分包括教師的背景資料與參與研習的原因。詢問教師有關參與研習的原因，是希望了解新課綱的跨領域課程要求是否會成為教師尋

找跨領域教材研習的動機。問卷的第二部分則詢問了教師與此模組有關的科學與科技相關知識之教學經驗與熟悉度，以及教師設計探究活動設計的教學經驗。主要希望了解教師有關模組的知識與探究課程之設計經驗，是否會影響其使用模組教學的意願。在評估其相關經驗的熟悉度上，本問卷採用教師對其相關行為頻率之評估，以求回答之具體。最後的一部份問卷，則是詢問教師將未來應用此模組於教學上的可能性，包括是否有意願將模組材料帶回並試作、預計使用模組的時間點、以及預計結合的課程單元，還有預計會遭遇到的困難與可能需要的協助等。問卷之題目向度、問題項目與填答方式請參見表 1。

問卷的分析包括背景變項的描述統計分析、教師經驗之探索性因素分析、以及其與模組之應用可能性之多變項分析。在預計結合的教學單元以及預期困難的開放性問題部分，則使用質化之編碼及分析。

表 1
教師問卷之向度與題目

向度	項目	填答方式
背景資料	學校級別、教學年資、性別、任教科目	填充題
參加這次研習的目的	自我增能、自己課程內的教學創新、領域內的協同課程開發、彈性課程設計發展、跨領域的課程發展、特色課程發展、其他	請至多勾選三項，依重要順序標出 1（最重要）、2（次要）、3（再次要）
過去科學、科技、與探究教學經驗	設計探究與實作的教學活動經驗、物理化學電子相關知識教學經驗、以及程式撰寫經驗（詳見表二）	圈選以下各項您的實際經驗，行為頻率從 1 到 5 標示出熟悉度（詳見表二註 1）
帶回模組使用時機	您有興趣帶這個模組的材料包回去學校嗎？若您會帶，請問您預計利用本模組來設計及開發新教材與教案的時間為何？	無、本學期、暑假、下學期、下學年
預計結合的教學單元	若您有考慮運用在未來的課程中，請問您會希望跟哪一部分的課程結合？	填充題
預期困難與所需協助	在您未來利用本模組來設計課程時，您預期會有什麼困難或需要什麼樣的資源和協助？	開放性問題

肆、研究結果

一、教師參與研習工作坊的動機

教師在參加研習工作坊的動機上，以自我增能以及自己課程內的教學創新為前三參加研習的原因。尤其是自我增能這個項目，有絕大多數的老師都勾選為主要的目的（40 人，95%），

甚至有 24 位老師表示是他們參加這個研習的最重要原因。其次的參與原因為自己課程內的教學創新 (34 人, 81%)。再其次則為跨領域課程以及協同教學之課程設計所需, 大約各有 17-18 位老師勾選, 但是在重要性上則教為後面, 大多為 3, 只有兩位老師排序為 1。另外還有 12 人則選擇協同課程開發為重要目的, 但排序也較為後面。也還有幾位老師表示, 協助學生進行專題研究與科展, 為其參與此研習的原因之一。由上述有關教師的參與此 Arduino 酸鹼指示計的教師研習工作坊動機, 可以觀察到教師之自我增能與教學精進, 仍是教師參與此工作坊最重要的動機, 但是課程改革以及新課綱所要求的教學創新可能也逐漸成為促進教師課程發展的動力。而協助學生進行科展或專題研究等行之有年而方興未艾的教學需求, 也是教師參加各種研習的動力。

二、教師過去有關科學、科技與探究之教學經驗

教師之科學、科技、與探究教學經驗部分, 表二列出項目之平均數與標準差。整體而言, 教師具備相當的科學方面的知識與教學經驗, 對於進行溶液酸鹼度檢測等科學方面的概念上還算熟悉 (mean=2.57)。而有些教師也具備相當的電子及程式撰寫的相關教學經驗及概念。對於 arduino 表示經常進行且擔任講師者高達 8 位。在電腦程式方面, 很有經驗者有 4 位, 而有些經驗者則有 14 位, 且多位老師會 C 語言, 也有老師會 Visual basic、Fortran 及 Labview 等程式。而大多數老師具有設計科學探究的教學活動經驗 (mean=3.07), 有些也有與科技相關的動手作活動經驗 (mean=2.79)。可見會主動來參加這樣跨領域的現職教師, 本身在其原來的教學上就具有較多的探究活動設計經驗, 甚至會融入科技以設計動手做的教學或學習活動。

雖然填答問卷的人數不多 (n=42), 但是運用探索性因素分析 (Exploratory Factor Analysis) 來針對教師過去的教學經驗之分析, 仍然得到三個能夠解釋約 69.7% 的總體變異量的三個項度的結構。根據題項的內容, 可以將之命名為科技 (4 題)、科學 (3 題)、以及探究 (2 題) 三個向度。此三個項度的因素負荷量列於表 2, 而向度之間的相關程度 (Pearson Correlation) 則列於表 3。由相關係數可見, 科技與科學兩向度之相關未達統計顯著水準, 但兩向度皆與探究與實作向度具有顯著的正相關。

表 2

教師過去的科學、科技、與探究之教學經驗

教師過去教學經驗 ¹ (n=42)				向度 ²		
編號	項目	平均數	標準差	科技	科學	探究
Q1	設計科學探究的教學活動	3.07	1.02			0.911
Q2	設計科技相關的動手做活動	2.79	1.05			0.853
Q3	解釋生醫檢測的原理	1.88	1.02		0.690	
Q4	進行溶液酸鹼度檢測之教學	2.57	1.29		0.784	
Q5	運用 pH 檢測儀	2.40	1.17		0.952	
Q6	使用麵包板進行電路連接	2.55	1.25	0.908		
Q7	運用 Arduino 組裝作品	2.29	1.25	0.930		
Q8	撰寫電腦程式	2.17	1.17	0.709		
Q9	撰寫 scrach 或 mblock 電腦程式	1.64	0.88	0.541		
	整體	2.37	0.67			

註 1：1=從未有過，2=偶一為之，3=有些經驗，4=經常進行，5=曾任研習講師

註 2：探索性因素分析使用 Principal Axis Factoring 抽取方式以及 Promax 的轉軸方式。此問卷題項之內部一致性(Cronbach Alpha) 整體為 0.77，科技向度為 0.85，科學向度為 0.84，而探究向度則為 0.88。

表 3

教師教學經驗向度之間的相關

向度	科技	科學	探究
科技	1	-0.084	0.430**
科學		1	0.377*
探究			1

註：皮爾遜積差相關係數 (Pearson correlation coefficient)，*= $p < .05$ ，**= $p < .01$

三、教師未來將此模組運用到教學上的意願

在工作坊結束後，教師們被詢問是否願意將模組的材料帶回，嘗試將此模組應用在學校課程的教學中。有意願將此模組教具帶回的老師，則於問卷中註明預計在未來的那個時間點使用，包括無、本學期、以及一年內。經過研習工作坊之後，有 25 位教師有意願將模組帶回，並且願意在一年內嘗試使用。其中有兩位教師，表示願意在當個學期就加以使用。若以教師之教學經驗背景三個向度來進行變異數分析 (ANOVA)，則會發現教師對於模組使用的意願，有可能受其過去在科學與科技領域的知識或探究教學方法的熟悉度影響。教師若對科技面向較為熟悉，或者對探究面向較有經驗，則其願意嘗試將此模組用於教學中之可能性較高 (參見表 4)。且在事後比較中，可以觀察到，參加工作坊之後，願意立即在當學期內使用模組進

行教學的教師，雖然人數不多 (n=2)，但是他們在科技方面的知能較無意願實踐的教師為高，且在探究方面的教學經驗也較為豐富，兩者均達統計顯著水準 (p<.05)。顯示出這個群組的特殊性。亦即，在這群大多數為自然科教師的參與者中，願意接受且能立即轉化本模組於教學應用者，可能是科技知能高且探究的教學經驗豐富者。

但是在科學知能方面，也就是與此模組相關的科學知識如酸鹼度之量測等，在此案例中，對於其未來使用模組之意願較無明顯的影響。這也有可能是因為參與者大多為自然科教師的關係，在科學方面的教學經驗大多相近，較無法顯示出差異。

表 4

教師預計使用模組時機與其經驗背景之關係

教師經驗面向	科技 ¹		科學		探究		
	人數	Mean ²	SD	Mean	SD	Mean	SD
使用時機							
無	17	1.88 ^a	1.01	2.45	1.09	2.68 ^a	0.92
一年內	23	2.24 ^{ab}	0.79	2.12	0.98	2.98 ^{ab}	0.94
本學期	2	3.63 ^b	1.24	2.83	0.71	4.50 ^b	0.71
整體	42	2.16	0.95	2.29	1.02	2.93	0.98
F		3.546*		0.829		3.568*	

註 1：*= $p < .05$

註 2：ANOVA 的事後比較(Post hoc test)使用了 Sheffe 測試。

四、教師可能結合此模組的課程

教師於問卷中有關未來與課程的結合主題方面之內容，可以分為學校層次與課程型態兩方面來看。學校層次可以分為國中、高中、與高職。在所結合的課程型態上，又可分為正式課程與非正式課程兩種。正式課程之融入，包括專業科目課程、選修課程、以及專題製作等。用於非正式課程部分，則包括科展以及課外活動等應用情境 (參見表 5)。

在與正式課程結合的主題方面，則受教師之主要授課領域的影響。國中部分，共有 9 位國中教師希望可以將模組與酸鹼滴定相關課程結合，包括理化課程中酸鹼滴定實驗、酸鹼鹽以及生物課程中的酸鹼平衡。高中部分，則有 5 位教師希望與自然相關學科課程結合，包括物理、化學、生態探索以及生活科技應用。還有 5 位老師希望能用於開發校內多元選修或特色課程，包括生態探索、生醫檢測、海洋酸化等探究與實作的課程。另外有 3 位老師希望與專題課程做結合，如專題研究、程式課專題以及專題製作。

在教師所預計融入的課程中，大多數老師的模組應用為融入專業科目的正式課程中，例

如理化的酸鹼測試與酸鹼滴定實驗。跨領域的應用，則大多為傳統就存在的國高中科展與高職的專題製作。由教師所提出的課程結合中，可以看出十二年國教的高中選修課程，的確為跨領域實驗與實作之教材與探究活動，提供了課程空間。

表 5
不同學校層級教師預計可能與課程結合之處

學校層級	結合之主題	結合之課程
國中	酸鹼鹽、酸鹼滴定實驗、酸鹼測試方法	課程融入
	國二認識元素	課程融入
	滴定 for- Acid-Base oxidation	課程融入
	reduction of air pollution, pM2.5	課外活動
	科展	科展
高中	多元選修或探究與實作的海洋酸化課程	選修課程
	生態探索、生醫檢測、酸鹼平衡、緩衝溶液	選修課程
	科展實驗 sensor 的組裝	科展
高職	測試汽車電瓶電解液酸性	課程融入
	專題製作或跨領域選修課程	專題製作
	程式課專題	專題製作

五、教師預測將模組融入教學時可能遭遇的問題

除了詢問教師預計使用的課程時機之外，本計畫亦詢問參與教師，在其未來運用本模組的教學上，有可能遇到什麼樣的困難。教師認為的主要困難大約有五個方面：

1. 教師本身對於模組的知能與問題解決能力：教師對於這些系統本身要充分了解，而且在操作上要非常熟練。老師若先備知識不足。操作上的順暢性需要先練習熟悉，否則遇到問題可能無法解決。
2. 電子電路的教學需要更多輔助。Arduino 晶片的組裝過程各接線腳位需要相對應，如果教師本身並非電學專業出身，操作起來會很吃力。教師建議或許可以用電路圖或流程圖等讓學生能清楚理解接線的原理以及程式的指令。
3. 教師與學生均須有 Scratch 或 Arduino 程式的基礎背景。程式運用較為繁雜，教師寫程式編碼的邏輯也需要協助。若學生對 Arduino 或 mblock 模組概念較弱，可能需要先加強其概念。程式撰寫的過程，亦須考量學生的吸收程度。
4. 教學的形式以小班教學為佳：老師們認為班級學生人數多，若能小班教學會較好。

而在不同班級使用時，器材的使用與管理也是個問題。此外，因為班級授課時間有限，學生操作可能另外需要時間練習。

5. 器材採購上的困難：有些老師認為此器材的價格太高（一支 Arduino 酸鹼檢測器需要 1500 元，另外加上其他材料大約一組材料需要 2500-3000 元）。而若學生多則可能器材採購金額很大，不一定能夠負擔。

在希望能夠獲得的未來協助上，教師於問卷中表達，期望舉辦工作坊的計畫團對能夠提供的後續協助，包括程式的諮詢、硬體耗材的支援、程式設計開發的課程、及更多的學習模組發展等。

伍、討論

從過去歷史的發展中，可以看出科學與科技在課程上的分裂與隔閡，並非一朝一夕。如今在十二年國民教育的新課綱當中，要嘗試透過探究與實作的課程內容，以及多元選修課程，進行跨領域的結合（教育部，2014）。這樣的嘗試是一個重要的開端，但是也可能面對艱鉅的挑戰。而居於此挑戰之核心問題之一，是在教師的專業背景長期以來都是以單一領域甚至單一科目為主，較少的老師是具有跨領域的資格與能力的。而在課程的內容中，絕大多數的課程內容也都是以單科的知識為主，即使是相關極為密切的科學與科技領域，也少出現互相連結的延伸擴展與深化的內容（范斯淳、游光昭，2016），乃至於教材與教具。而在十二年國教課程中極為強調的核心素養的培養，亦即在各個領域綱要中所著重的學習表現，包括各種形式的團隊或個人的探究與實作等學習歷程，也可能因為過去長期的教學因為較為著重於知識的傳遞與評量，因此即使是在課綱推動後，這些探究活動在一般的課程與教學中也較為少見（范信賢、尤淑慧，2017）。

本研究嘗試運用生醫檢測的原理，開發一個跨領域的探究與實作教學模組之雛形，提供給教師作為使用。此教學模組可以讓學生自行設計一個可以檢測酸鹼值的酸鹼指示計教具，並由其中學習十二年國教課綱中所揭示的許多自然領域與科技領域的學習內容，例如物理學的電流電阻、化學中的酸鹼度與測量、能量轉換的概念、程式設計、以及科技產品的設計等。在學習表現上，更包括了自然領域的探究，如生醫訊號的測量之問題探究與問題解決等能力，也包括了科技領域的實作，如測量工具的開發與校正等。可以提供教師作為課程融合與跨領

域課程開發之基礎。因此本研究擬透過教師工作坊之問卷，了解教師對於這樣類型的結合科學與科技的教學模組之接受度與未來教學應用之可能性。

根據本研究所進行的研習工作坊之教師問卷資料之蒐集與分析，發現教師之背景知識與教學經驗，的確如所預期，仍有明顯的科學與科技領域之區分。根據探索性因素分析結果，教師之背景經驗產生了三個向度的結構，包括科學、科技、與探究三個不同的向度（表2）。而在此三個向度中，科學與科技的教學知識背景向度，並不具備顯著相關（表3）。但是大部分的教師，似乎都有不少的探究教學活動或科技實作的教學經驗，因此不論是科技向度還是科學向度，都與探究與實作的經驗向度具有顯著正相關。這個結果顯示出雖然過去沒有推展探究與實作的課程，但是國高中的自然領域與科技領域，仍有相當數量的教師，自身願意投入於探究與實作的活動設計。參與本模組的研習工作坊的教師，很可能都具備這樣的能力與特質。因為參加這個研習的許多老師，絕大多數都將自我增能與教學精進，列為最重要的參與研習的原因。也就是他們並不是為了要服膺新課綱而被迫來的，而是主動願意精進自身的教學而來的。

但是在參加完一個三小時的研習工作坊之後，願意將此 Arduino 酸鹼指示計帶回去並付諸教學實踐的教師，則可能仍然會受到其背景知識經驗的影響，尤其可能受到其在科技領域與探究實作經驗背景的限制（表4）。或許因為大部分的教師都是自然科背景，因此在此資料中，教師科學方面的知識背景對使用模組於教學上之意願的影響較不顯著。也誠如老師們在預測將模組融入教學時可能遭遇的問題時所提出，電子電路與程式設計的部分，仍然會擔憂自己與學生能力不足，接受度不夠，以及問題出現時無法控制局面或無法解決等困境。因此教師們具備跨領域的專業知識與經驗，可能仍是實踐跨領域課程的重要因素之一，至少在本研究所調查的、專業知識較高的國高中的階段可能如此。

而在教師們預計要融入課程中的主題與課程形式而言，本研究則發現大多數的老師，可能還是會專注在其本科專業的課程教學上之應用。因此對於本酸鹼指示計的模組而言，最有可能融入的課程單元，則是在知識主題上很直接連結的，有關酸鹼度的概念與量測的國高中化學單元為主，亦有高職階段的老師會考慮用在測試汽車電瓶電解液酸性單元。而在跨領域的探究與實作上，預計會應用的課程形式，則是傳統課程就已經有的國高中的科展，以及高

職的專題課程(表5)。真正會用到高中選修課程的機會，雖然有但是仍屬於少數。而且這些高中選修課程，可能還是跟酸鹼度有關的部分可能會參考連結。至於原本此模組所奠基的生醫感測之跨領域概念與問題解決等較高層次的跨領域結合運用，則是幾乎沒有人可以做到。有可能是生醫感測之主題，目前並不在任何課綱的內容之中，而願意設計與生醫主題相關的選修課程的教師，仍需要相當豐富的相關背景才可行。因此本模組的開發與修改，仍有相當的路要走。

陸、結論

科學與科技在知識內容與探究方式的結合，是新課綱中重要的規劃與期許。但是在推行之時，則需要仔細審視過去的隔閡在教師知識背景與訓練上的影響，以及在跨領域課程之設計與實踐上之問題。跨領域的教材如本研究所開發之生醫檢測教學模組有其重要性，但是在實踐的課程場域、教學的準備、其他設備與支援的提供上，則可能還需要進行多種內容的補足與充實。研究結果發現許多教師，已經具有探究教學發展的經驗，與創新教學的熱誠，因此若能提供教師自身與學生在知識與技能上適當的協助，則結合科學與科技的跨領域教學活動，應該仍有相當的實踐機會。未來有關開發跨領域之融入科技之教材設計時，應該同時著重在協助教師在科學、科技、與探究三個面向上之增進策略之設計。

參考文獻

- 朱耀明、陳姿旭、蔡盛鴻、鄭詠文(2009)。高中推行材料科技課程面臨問題探討。科技教育課程改革與發展學術研討會論文集，210-217。
- 江建昌(2015)。翻水火箭教學—電土火箭。科學教育月刊，380，42-48。
- 余鑑(2003)。科技與科學關係之探討。生活科技教育，36(7)，3-10。
- 李文宏(2017)。動手實作課程分享-音樂盒設計與製作。中等教育，68(2)，176-182。
- 林淑榜、王國華、張惠博、王淑卿(2014)。奈米科技教學模組的發展及融入現有中學科學課程。物理教育學刊，15(1)，25-32。
- 林樹聲(2006)。從爭議性科技議題的教學設計和實踐中詮釋科學教師的角色—個案研究。科學教育學刊，14(3)，237-255。
- 范信賢、尤淑慧(2017)。專題探究—十二年國教課綱及他山之石。教育脈動(11)，50-58。
- 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，61(2)，153-183。

- 張永宗、李隆盛（2016）。國中生活科技課程實施之微觀政治分析。《課程與教學》，**19**（1），27-58。
- 教育部（2014）。十二年國民基本教育課程綱要總綱。取自 https://www.naer.edu.tw/files/15-1000-7944_c639-1.php?Lang=zh-tw
- 陳立庭（2017）。從 STEM 觀點教導造型磁鐵之探討。《科技與人力教育季刊》，**4**（1），46-62。
- 陳斐卿、林盈秀、蕭述三（2013）。教師合作設計課程的困難－活動理論觀點。《教育實踐與研究》，**26**（1），63-94。
- 陸健榮（2017）。高中科學課程之實作復興。《中等教育》，**68**（2），43-60。
- 蔡依帆（2017）。MAKER 精神的初探-螺旋式生活科技課程設計。《中等教育》，**68**（2），150-159。
- 蔡清田（2014）。十二年國教課程綱要核心素養。《師友月刊》，**566**，17-22。
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational researcher*, *41*(1), 16-25.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, *3*(1), 1-11.
- Kim, C., Yuan, J., Kim, D., Doshi, P., Thai, C. N., Hill, R. B., & Melias, E. (2019). Studying the Usability of an Intervention to Promote Teachers' Use of Robotics in STEM Education. *Journal of Educational Computing Research*, *56*(8), 1179-1212.
- Moore, T. J., Guzey, S. S., & Brown, A. (2014). Greenhouse design to increase habitable land: An engineering unit. *Science Scope*, *37*(7), 51-57.

附件一

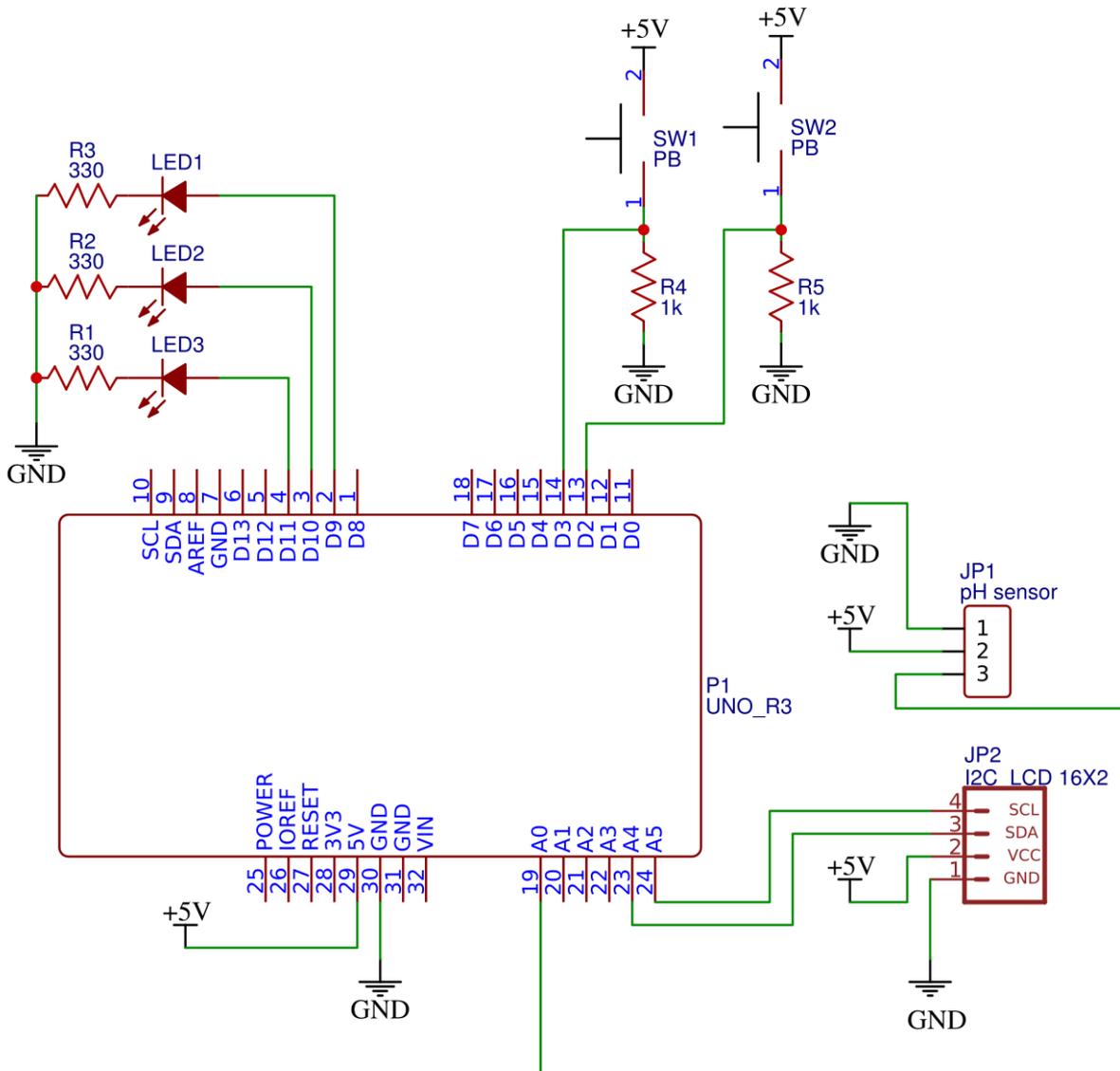
酸鹼檢測計模組內容與十二年國民教育課程綱要中自然與科技領域綱要的對應

模組內容	自然領域學習表現
建立生醫檢測的模型	<p>探究能力-思考智能之建立模型 (m)</p> <p>tm-IV-1 能從實驗過程、合作討論中理解較複雜的自然界模型，並能評估不同模型的優點和限制，進能應用在後續的科學理解或生活。</p> <p>tm-Vc-1 能依據科學問題自行運思或經由合作討論來建立模型，並能使用例如：「比擬或抽象」的形式來描述一個系統化的科學現象，進而了解模型有其局限性。</p>
使用酸鹼檢測器前需要校正	<p>探究能力-問題解決 (p) 之計劃與執行 (e)</p> <p>pe-IV-2 能正確安全操作適合學習階段的物品、器材儀器、科技設備及資源。能進行客觀的質性觀察或數值量測並詳實記錄。</p> <p>pe-Vc-2 能正確安全操作適合學習階段的物品、器材儀器、科技設備及資源，能適度創新改善執行方式。能進行精確的質性觀察或數值量測，視需要能運用科技儀器輔助記錄。</p>
產生出的數據可繪製成圖表，並可將所獲得的數據與酚酞試劑所測定的酸鹼滴定的結果比對	<p>探究能力-問題解決 (p) 之分析與發現 (a)</p> <p>pa-IV-1 能分析歸納、製作圖表、使用資訊及數學等方法，整理資訊或數據。</p> <p>pa-Vc-2 能運用科學原理、思考智能、數學、統計等方法，從探究所得的資訊或數據，形成解釋、理解、發現新知、獲知因果關係、理解科學相關的社會議題、解決問題或是發現新的問題。並能將自己的探究結果和同學的結果或其他相關的資訊比較對照，相互檢核，確認結果。</p>
自行組裝酸鹼檢測器	<p>科學的態度與本質 (a)</p> <p>培養科學探究的興趣 (i) ai-IV-1 動手實作解決問題或驗證自己想法，而獲得成就感。</p> <p>認識科學本質 (n) an-Vc-1 了解科學探究過程採用多種方法、工具和技術，經由不同面向的證據支持特定的解釋，以增強科學論點的有效性。</p>
	自然領域學習內容
氫離子濃度透過銀-氯化銀電池測得電壓變化	<p>能量的形式、轉換及流動 (B)</p> <p>Ba-IV-1 能量有不同形式，例如：動能、熱能、光能、電能、化學能等，而且彼此之間可以轉換。孤立系統的總能量會維持定值。</p> <p>PBa-Vc-2 不同形式的能量間可以轉換，且總能量守恆。能量的形式因觀察尺度的不同，而有不同的展現與說明。</p>
酸鹼滴定中所測得的酸鹼值可以繪製成對數曲線	<p>酸鹼反應 (Jd) Jd-IV-2 酸鹼強度與 pH 值的關係。</p> <p>酸鹼反應 (Jd) Jd-IV-3 實驗認識廣用指示劑及 pH 計。</p> <p>CJd-Vc-3 $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$，此數值可代表水溶液的酸鹼程度。</p>
	科技領域學習表現
實際撰寫程式將	<p>運算思維(運) 之運算思維與問題解決(t) 運 t-V-2 能使用程式設計實現運</p>

電壓轉換成酸鹼值	算思維的解題方法。 資訊科技創作(m) ※運 m-V-2 能利用資訊科技創作解決問題。
組裝 Arduino 電路板與電線，結合酸鹼指示計	設計思考(設) 日常生活的科技知識(k)、態度(a)、技能(s)與統合能力(c) 設 k-IV-3 能了解選用適當材料及正確工具的基本知識。 設 a-IV-1 能主動參與科技實作活動及試探興趣，不受性別的限制。 設 s-IV-2 能運用基本工具進行材料處理與組裝。 設 c-IV-1 能運用設計流程，實際設計並製作科技產品以解決問題。 ※設 c-V-2 能運用科技知能及創新思考以設計並實際製作科技產品。
	科技領域學習內容
Arduino 程式寫作與運算	資 P-IV-1 程式語言基本概念、功能及應用。
整個模組的建置	資 T-IV-2 資訊科技應用專題 生 P-IV-7 產品的設計與發展 生 N-V-2 工程、科技、科學與數學的統整與應用。

附件二

Arduino 酸鹼指示計模組線路圖



結合學習診斷系統之翻轉教室教學策略對學生學習軟體工程之影響

Effects of Incorporating Learning and Diagnosis System in Flipped Classroom on Students' Software Engineering Learning

林彥廷

國立屏東大學資訊科學系

Yen-Ting Lin

Department of Computer Science, National Pingtung University

摘要

近年來，許多國內外機構皆指出軟體發展之重要性，在國內高等教育中，理工學群下所屬之系所的課程架構皆有針對程式設計課程進行規劃，因此相關系所學生於修業期間皆能習得程式設計能力，然而，欲發展具備良好基礎架構的軟體，開發過程中所需之能力不單只是程式語言的撰寫與應用，在發展過程中，軟體專案開發的觀念則更顯重要，這也顯示出軟體工程課程對於培養學生軟體開發能力的重要性。目前國內高等教育軟體工程課程的進行，仍多採用傳統講述式的教學方式，這也使得多數修習完軟體工程課程的學生，未能提升對於軟體工程知識的認知層級，而停留在記憶與理解的階段，進而導致學生在面對軟體開發相關問題時，無法有效的去解決問題。綜觀上述，本研究採用以學生為中心的教學方式「翻轉教室」作為教學法於大學軟體工程課程，並發展一跨平台翻轉教室學習診斷系統，讓學生能夠於課堂外隨時隨地進行自我學習，進而能夠於課堂中與教師及同儕進行充分互動，以提升學生修習軟體工程課程之學習成效，為能評估所發展之策略系統，本研究規劃一實驗組控制組前後測準實驗設計於大學軟體工程課程中進行，研究結果顯示實驗組學生在學習動機、學習態度、學習成效以及問題解決能力皆能有顯著成效。

關鍵字：翻轉教室、軟體工程、學習與診斷

Abstract

In recent years, many institutions indicated that software developments are important to nations, societies, and individuals. With regard to higher education in Taiwan, relevant departments of science and engineering have designed and conducted appropriate programming courses for students. Therefore, the students can obtain the programming skills during their learning processes. However, to develop well software, students not only need to own programming skills but also have to apply the concepts of software project developments. This implies the importance of the software engineering course for the science and engineering students. In Taiwan, most software engineering courses were conducted by using traditional teaching strategy. Most students can only recite and understand the relevant knowledge with regard to software engineering after they learned. In other words, the students cannot effectively and efficiently apply software engineering knowledge to address the relevant software development problems in practice. As mentioned above, this study applied a learner-centered teaching strategy, named Flipped Classroom, in software engineering course. Moreover, a flipped classroom learning and diagnosis system was also developed to facilitate students' self-learning, discussions, and thinking in and out of class. To evaluate the proposed approach, a quasi-experimental design was employed in a higher education software engineering course. The experimental group students learned with the proposed approach, while the control group students learned with the conventional classroom approach. The experimental results showed that, in comparison with the conventional classroom pedagogy, the proposed approach significantly improved the students' learning achievement, learning motivation, learning attitude, and problem solving ability. Moreover, it was also found that most students showed positive perceptions toward the usage of the proposed system.

Keywords : Flipped Classroom, Software Engineering, Learning and Diagnosis

壹、緒論

近年來，許多國內外機構及單位皆指出軟體發展對於國家、社會以及個人之重要性 (Jeannette, 2006; Stross, 2012)，許多專家學者對於未來的世界裡無處無軟體的見解也抱持著一致的看法 (Andreessen, 2011; Meyer, Fritz, Murphy, & Zimmermann, 2014)，上述觀點呈現出軟體開發觀念及技術在現今社會發展的重要性，因此，在台灣高等教育中，理工學群下所屬的相關系所皆已於課程架構中規劃了程式設計的相關課程讓學生修習，以提升學生的軟體開發能力，基於相關課程的設計，多數學生於修業期間能夠習得程式設計能力，然而欲發展一具備良好基礎架構及強健性的軟體，只具備程式設計及撰寫能力對於學生而言尚嫌不足，為此，學生同時需要培養軟體專案開發的知識與技術 (Moreno, Sanchez-Segura, Medina-Dominguez, & Carvajal, 2012)，換言之，學生必須學習如何運用科學的方式對於軟體開發過程中所需要的準則、方法以及程序進行良好的定義，以此為基礎方能夠有效率的發展出滿足使用者需求且具強健性的軟體，這也顯示出軟體工程對於學生的重要性。

一般而言，軟體工程課程較理想的授課方式是以學生為中心進行適當的理論教學、實務操作與師生互動，然而於實際課程執行中，因課程規劃受到學期的限制，大多數的授課教師只能因此而採用傳統教室教學策略以單向傳遞知識的方式進行理論教學，而無法提供足夠的師生互動以及實務操作 (Baker, Navarro, & Van Der Hoek, 2005)，因此大部分的學生在參與完軟體工程的學習之後，往往只能夠記憶及理解相關的知識，換言之，這些學生無法擁有高層次思考能力進而運用習得之軟體工程知識解決實務上相關問題，此現象便會造成學用落差的產生，與高等教育培養學生問題解決能力的目標背離 (Jonassen, 2000; Bransford, Sherwood, Vye, & Rieser, 1986; Heppner & Petersen, 1982)。

基於上述，許多研究已提出應用以學生為中心的教學策略於不同的課程中，以提升學生學習成效 (Jou, Lin, & Tsai, 2016; Kong, 2015; Lin, 2016; Lin, Wen, Jou, & Wu, 2014)。不同於傳統教室教學策略中學生被動且單向的接收知識，以學生為中心的教學策略主要目標在於透過安排適當的學習活動來促進學生思考，進而提升認知層級與問題解決能力 (Baeten, Kyndt, Struyven, & Dochy, 2010; Schultz, Duffield, Rasmussen, & Wageman, 2014; Voogt & Roblin, 2012)。為此，本研究提出以翻轉教室作為以學生為中心的教學策略，並將此教學策略應用於軟體工

程課程中，同時發展一跨平台翻轉教室學習診斷系統用以於課程中支援翻轉教室之進行，為能夠評估所發展之策略系統對於學生於軟體工程課程中學習成效之影響，本研究規劃一實驗以針對以下研究問題進行探討。

(1) 採用本研究所提出之策略系統學習軟體工程的學生，其學習成效是否會優於採用傳統教室教學策略學習軟體工程的學生？

(2) 採用本研究所提出之策略系統學習軟體工程的學生，其學習動機是否會優於採用傳統教室教學策略學習軟體工程的學生？

(3) 採用本研究所提出之策略系統學習軟體工程的學生，其學習態度是否會優於採用傳統教室教學策略學習軟體工程的學生？

(4) 採用本研究所提出之策略系統學習軟體工程的學生，其問題解決能力是否會優於採用傳統教室教學策略學習軟體工程的學生？

(5) 學生對於本研究所提出之系統的有用性觀感為何？

貳、文獻探討

一、軟體工程教育

迄今，從國家的基礎建設到個人的日常應用，軟體的發展已遍及人們生活。就軟體開發而言，軟體是一種抽象的物件，其不受實體物件的限制，所以在軟體開發過程中，經常會遇到各種不可預期的問題，此現象特別容易發生於大規模且複雜的軟體開發過程中，這也因此顯現了軟體工程的重要性(Sommerville, 2010)。

軟體工程的目的是在於讓軟體開發者能夠採用科學的方式對於軟體開發過程中所需要的準則、方法、模型以及程序進行良好的定義，進而能夠有效率的開發出滿足使用者需求的軟體，因此，軟體工程包含了從規格制訂、軟體設計與實作、軟體確認到軟體演進等整個完整的軟體開發生命週期的相關知識，換言之，軟體工程課程就是一門著重在生產軟體各方面知識的工程學科。學生在擁有軟體工程相關的知識後，結合其所習得之程式設計的技巧，便能夠在日後進行軟體開發時，採用適合的軟體工程方法，有效率的規劃出整個軟體開發的生命週期，進而發展出更完善且強健的軟體系統讓客戶使用。

一般而言，軟體工程的課程大多在傳統教室以教師講述的方式來進行，另外有些則是在電腦教室結合相應之實務軟體的操作來進行課程，然而無論是哪種方式，主要的授課方式都是以教師為中心的教學方式，參與課堂活動的學生多數時間仍然處於被動接收知識的角色，如此情況可能導致學生無法將其所接收的軟體工程知識思考活用在實務情境中，日後面臨到相關的問題也無法有效的應用其所學來解決。為此，許多文獻指出軟體工程課程應盡量著重在學生對於實務案例的互動討論與思考，在課堂中應打造以學生為中心的教學環境，培養學生在軟體開發生命週期中如何應用軟體工程的技術解決可能遭遇之問題，此外若能透過外在媒介，如科技及數位資源的輔助，學生能夠更有成效的習得軟體工程問題解決之能力，如此才能夠達到軟體工程教學的主要目標(Chen & Teng, 2011; Hainey, Connolly, Stansfield, & Boyle, 2011; Maratou, Chatzidaki, & Xenos, 2016)。

Hainey、Connolly、Stansfield 與 Boyle (2011)發展了一以遊戲為基礎的應用程式，用來進行軟體工程中需求收集與分析的主題進行教學，此應用程式採用以學生為中心的教學策略進行設計，讓學生能夠融入於虛擬遊戲世界中學習軟體工程知識，其研究結果顯示所提出之應用程式能夠有效的在課程中輔助學生學習相關知識。Chen 與 Teng (2011)提出一系統用以支援軟體工程課程中進行合作學習與專題導向式學習(Project-based Learning, PjBL)，其實驗結果指出所提出之系統能夠有效促進學生以合作學習的方式投入於軟體專案的發展。此外，Maratou、Chatzidaki 與 Xenos (2016)發展一角色扮演的數位遊戲，透過 3D 線上虛擬遊戲世界的建置，促進學生學習軟體工程中軟體專案管理的主題，其研究結果顯示所提出之系統能夠改善學生的學習經驗與學習成效。

二、翻轉教室

2007 年至今，翻轉教室教學策略已經被應用於各種教育層級以及課程之中(Slomanson, 2014; Teo, Tan, Yan, Teo, & Yeo, 2014)，翻轉教室是一種以學生為中心的教學策略，其目標在於將傳統教室教學策略中課堂中與課堂外所進行的教學活動加以翻轉(Chen, Wang, Kinshuk, & Chen, 2014)，在傳統教室教學策略中，教師通常利用課堂中的時間進行教材知識的傳遞與教學，學生則是被動的接收由教師單向傳遞而來的教學內容，此外，為使學生對於課堂中所學之內容能夠進一步進行思考，教師通常會安排作業或實作練習讓學生在課堂外進行，然而，

要完成這課堂外的作業活動，學生通常會需要同儕及教師的討論或協助，以促進其高層次思考能力，進而完成相關作業，換言之，在傳統教室教學策略中，學生往往無法獲得足夠的學習支援來協助其發展高層次思考能力。

不同於在傳統教室中教師授課學生聽講作筆記，課堂外完成回家作業的教學模式，這種以老師為中心的教學型態在翻轉教室中已被顛覆。在翻轉教室中，將原先教師在傳統教室中授課的教學活動移轉到課堂外，而原本需要在課堂外完成的回家作業被翻轉到在教室課堂中運作，換言之，原本在傳統教室中單向的教師授課活動變成利用教學影片的錄製及其他多媒體資源來取代，讓學生能各自在課堂外去完成，而將在教室中有限的課堂時間讓師生用來進行練習、討論、問題解決等教學活動，如此學生能夠真正利用課堂中與老師及同儕面對面的時間進行雙向而非單向的學習互動，以激發學生批判思考、問題解決、社交合作與實作創新等能力(Bergmann & Sams, 2014; Davies, Dean, & Ball, 2013)。

此外，關於翻轉教室應用於高等教育，文獻指出，在高等教育中能夠有效提升教學成效的主要關鍵之一是在於讓學生能夠融入在教學情境中(Barkley, 2010; Coates, 2006)，這樣的觀點也與 Bryson 與 Hand 學者的研究結果一致，其指出在教學過程中，學生更喜歡在老師的輔助之下去進行高層次的思考進而提升教學成效(Bryson & Hand, 2007)，此外在高等教育的課程中，Pluta、Richards 與 Mutnick 指出在課堂中的時間應將活動焦點著重在知識的應用(Pluta, Richards, & Mutnick, 2013)，相關研究也指出，將翻轉教室應用於高等教育中，能夠確實改善學生高等思考及認知的技巧，如問題解決能力(O' Flaherty & Phillips, 2015)。

發展翻轉教室另一個重要的環節在於學生於課堂外的自我學習成效，此成效影響著教師與學生參與課堂中教學活動的狀態(Kim, Kim, Khera, & Getman, 2014)，在課堂外自我學習的環境中，學生很可能無法有效的瞭解個人的學習成效是否達到了課堂中教學活動所需的程度，此現象容易導致學生在參與課堂中教學活動時，因缺乏足夠的先備知識，而無法融入於教學活動之中(Lin, & Huang, 2013)。

基於上述，為能夠發展理想的軟體工程教育，本研究應用翻轉教室教學策略建立以學生為中心的教學環境於軟體工程課程中，並且由於學生於課堂外的自我學習成效將影響著他們參與課堂中教學活動時所具備的先備知識程度，因此本研究發展一翻轉教室學習診斷系統來

支援翻轉教室教學策略的執行，用於協助學生學習與診斷軟體工程知識，以及支援教師管理學生學習狀態。

參、翻轉教室學習診斷系統

本研究應用翻轉教室教學策略於軟體工程課程中，為能夠促進此學習模式之進行，本研究亦發展一翻轉教室學習診斷系統來支援教師及學生進行學習與診斷活動，讓學生在課堂外使用本系統進行自我學習及診斷活動以強化課堂中學習所需之先備知識，並讓教師使用本系統管理學生學習狀態以及相關教學資源。

一、系統架構與實作

為能夠讓教師與學生使用各式教學載具來操作本系統，本研究採用響應式網頁設計 (Responsive Web Design, RWD) 技術來進行跨平台網頁應用程式之開發，基於此開發技術，教師與學生便能夠透過具有瀏覽器軟體的裝置經由網路連線登入並使用本系統，如圖 1 所示，本研究應用 Bootstrap 3 前端開源框架來實作系統介面，採用 PHP 作為網頁應用程式開發語言，以 MySQL 作為開發系統所需之資料庫，其系統結構如圖 2 所示，本系統主要含括 3 個子系統，分別為自我學習系統、診斷系統、管理系統。



圖 1 各式載具所呈現之翻轉教室學習與診斷系統介面

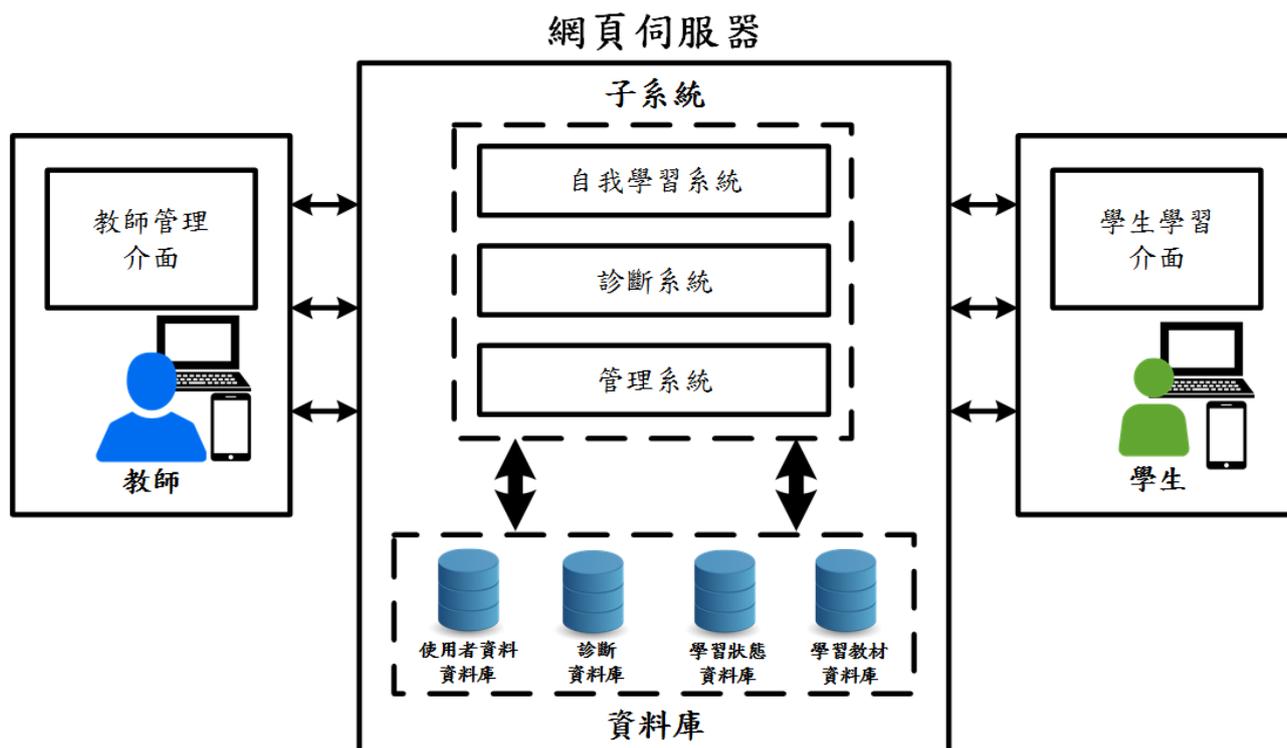


圖 2 翻轉教室學習與診斷系統架構

管理系統提供了教師進行教學資源管理的相關功能，當教師登入至系統後，能夠進行教材、診斷活動、知識庫及診斷結果的管理，其中教材管理可以讓教師新增、修改、刪除教學教材，以便提供合適的學習教材，讓學生在參與課堂前的學習活動中可以獲得良好的學習成效；診斷活動管理可以讓教師編輯所需要之診斷活動，其中包括診斷活動名稱及其所包含之診斷試題，如圖 3；知識庫管理主要提供了知識框架讓老師及領域專家能夠針對學習診斷演算法所需要的相關規則知識與關聯知識進行新增、修改、刪除的動作，如圖 4，如此系統才可以從知識庫中擷取到完整的資料，進而針對學生在課堂前及課堂中之測驗結果加以分析診斷；診斷結果管理能夠讓教師從系統中獲得每位學生對於所參與之診斷活動的結果，其中包含學生姓名、參與時間、答題狀況及診斷結果。

翻轉軟工學習診斷系統
林彥廷 ▾ 登出

概念
題目
概念間關聯表
題目與概念關聯表
課程列表
學生管理

新增影片

標題

Youtube影片代碼

新增影片

新增測驗

標題

已選題目

請選擇
▾

移除此題

未選題目

請選擇
▾

加入此題

新增測驗

新增學習教材及診斷測驗介面

#	類型	標題	順序
<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">編輯內容</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block;">刪除內容</div>	VIDEO	單元01-軟體工程概述	1
<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">編輯內容</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block;">刪除內容</div>	VIDEO	單元02-軟體程序概述	2
<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">編輯內容</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block;">刪除內容</div>	VIDEO	單元03-瀑布式模型	3
<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">編輯內容</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block;">刪除內容</div>	VIDEO	單元04-增量式開發	4
<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">編輯內容</div> <div style="background-color: #c00000; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 3px; display: inline-block;">刪除內容</div>	VIDEO	單元05-再利用導向式軟體工程	5

教材資訊編輯及管理介面

圖 3 學習教材與診斷測驗新增、管理及編輯介面

翻轉軟工學習診斷系統

概念 題目 概念間關聯表 題目與概念關聯表 課程列表 學生管理

#		1	2	3	4	5	6	7
	概念名稱	軟體程序	瀑布式模型	增量式開發	增量式交付	敏捷式方法	極致程式設計	需求工程
1	軟體程序	1	0.8	0	0	0	0	0
2	瀑布式模型		1	0	0	0	0	0
3	增量式開發			1	0.8	0	0	0
4	增量式交付				1	0	0	0
5	敏捷式方法					1	0.8	0
6	極致程式設計						1	0
7	需求工程							1

圖 4 知識庫管理介面

自我學習系統提供了學生於課堂外進行自我學習及討論的功能，當學生登入系統之後，能夠利用系統所提供的學習功能來存取與瀏覽教師所上傳發佈的數位教材，讓學生在正式參與翻轉教室的課堂活動之前有足夠的資源能夠進行自我學習，以獲得對於該課程的基礎認知，爾後才能夠在正式課堂活動中培養更高層次的認知與思考技巧。另外，教師與學生亦能夠透過討論區的功能於課堂外進行文字討論交流，以促進師生於課堂外的互動。

診斷系統提供了學生進行學習診斷的功能，學生於課堂外進行自我學習活動後，能夠參與教師所編輯完成的診斷活動，以針對其所學成效進行評量，如圖 5 所示，診斷系統能夠對於學生於該次評量中每道試題的評量歷程提供學習診斷的服務，系統依據每道試題與概念以及概念與概念間之關聯結合學生答題結果進行概念瞭解程度之診斷運算，讓學生根據診斷的結果有效瞭解個人的學習成效與迷失概念，進而促使學生持續學習以達課堂中教學活動所需

之概念層級，詳細診斷機制之設計描述於下節。

翻轉軟工學習診斷系統 林彥廷 ▾ 登出

課程簡介 課程影片與活動 討論區 管理

成績列表(點擊展開收合)

個人成績

活動時間	答題狀況			學習狀況(瞭解程度/門檻值)				
	1	2	3	軟體程序	瀑布式模型	增量式開發	增量式交付	再利用導向軟體工程
2016年10月06日 11:45	✔	✘	✔	✔ 0.65/0.21	✔ 0.72/0.21	✔ 1/0.23	✔ 1/0.2	✘ 0/0.15

圖 5 診斷結果介面

二、學習診斷機制

為能夠讓所發展之系統可以對學生的評量結果進行診斷，本研究採用以測驗為基礎的方法作為診斷子系統發展的基石(Lin, Lin, & Huang, 2011)，當學生使用本系統進行完測驗評量過後，本系統之診斷子系統便能夠診斷出學生對於所學習的主題其學習問題為何。

為達到此目的，本研究規劃分析出兩種資料，假設學生進行了系統所安排的測驗評量，此測驗評量中包含了 k 道試題，I1, I2, I3, ..., Ij, ..., Ik，此測驗評量包含了 n 個概念在其中，C1, C2, C3, ..., Ci, ..., Cn，其中試題與概念間的關係為 Xij， $0 \leq Xij \leq 1$ ，表示第 i 個概念與第 j 個試題的關聯性，此外，為定義概念與概念之間的關聯，本研究以 Zim 表示， $0 \leq Zim \leq 1$ ，表示第 i 個概念與第 m 個概念間的關聯性。

經由以下公式可以推論出第 i 個概念在該次測驗評量包含之試題中所佔的強度。

$$S(C_i) = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k Z_{im} X_{mj}$$

其中 S(Ci)為第 i 個概念在本次測驗評量欲完成之試題中所佔的強度，其值為 $0 \leq S(Ci) \leq nk$ ；Zim 表示第 i 個概念與第 m 個概念間的關聯性，其值為 $0 \leq Zim \leq 1$ ；Xmj 表示第 m 個概念與第 j 個試題的關聯性，其值為 $0 \leq Xij \leq 1$ 。

此外，經由以下公式的計算可以進而推論出第 i 個概念在本次測驗評量欲完成之試題中

的重要度。

$$IRP(C_i) = \frac{\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k Z_{im} X_{mj}}{\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k Z_{im} X_{mj}}$$

其中 $IRP(C_i)$ 為第 i 個概念在本次測驗評量欲完成之試題中的重要度，其值為 $0 \leq IRP(C_i) \leq 1$ ； Z_{im} 表示第 i 個概念與第 m 個概念間的關聯性，其值為 $0 \leq Z_{im} \leq 1$ ； X_{mj} 表示第 m 個概念與第 j 個試題的關聯性，其值為 $0 \leq X_{mj} \leq 1$ 。

當學生進行完本次測驗評量後，系統便能夠經由學生的相關測驗資訊進行分析，假設總共有 r 位學生參與本次的學習， $S_1, S_2, S_3, \dots, S_l, \dots, S_r$ ，其在回答 k 個試題中， $I_1, I_2, I_3, \dots, I_j, \dots, I_k$ ，所回答的結果是否有答對， R_{lj} 為第 l 為學生在學習過程中是否有對第 j 個試題， R 值在此採用布林值編碼，假如有答對該試題，則 R_{lj} 值為 1，反之 R_{lj} 值為 0。

因此，經由以下公式能夠推論出第 l 位學生在該次測驗評量的結果中對於第 i 個概念的瞭解程度。

$$USS(S_l, C_i) = \frac{\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k R_{lj} Z_{im} X_{mj}}{\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k Z_{im} X_{mj}}$$

其中 $USS(S_l, C_i)$ 為第 l 位學生對於第 i 個概念的瞭解程度，其值為 $0 \leq USS(S_l, C_i) \leq 1$ ； R_{lj} 為第 l 為學生在測驗評量中是否有答對第 j 個試題； Z_{im} 表示第 i 個概念與第 m 個概念間的關聯性； X_{mj} 表示第 m 個概念與第 j 個試題的關聯性。

肆、研究方法

一、實驗設計

為能夠評估所提出之教學策略系統對於學生參與軟體工程課程之成效，本研究規劃一實驗組控制組前後測準實驗設計於大學軟體工程課程，課程教學主題為軟體開發程序，其中包括需求分析、系統設計、系統實作、系統測試、系統演進，此教學主題持續 10 週(25 小時)，參與對象共 2 個班級(34 位大學生)及 1 位授課教師，其中一個班級 19 位學生為實驗組，另一個班級 15 位學生為控制組，實驗組採用翻轉教室教學策略及本研究所發展之系統進行課程教學，控制組採用傳統課堂教室教學策略進行課程教學。

二、研究工具

為評估執行成效，本研究利用先備知識測驗、學習成就測驗、學習動機問卷、學習態度

問卷、系統有用性問卷所收集之相關資料進行分析，其中先備知識測驗設計用於評估學生在參與課程教學前之軟體工程知識程度，學習成就測驗設計用於評估學生於參與課程教學後之學習成果，上述兩測驗皆設計為 10 題單選題，總分為 100 分。

學習動機問卷採用學習動機導向策略量表(Motivated Strategies for Learning Questionnaire, MSLQ)中的內在動機向度設計而成(Lin, Wen, Jou, & Wu, 2014; Pintrich & De Groot, 1990; Wei, Lin, & Lin, 2016)，用於測量學生對於本課程教學活動之重要性與興趣之目標與信念，學習動機問卷包含 9 題，採用李克特 7 等量表，所有參與本實驗之學生對於學習動機問卷前測與後測填答結果之信度(Cronbach's alpha 係數)分別為 0.913 及 0.909。

學習態度問卷採用學習態度量表設計而成(Hwang & Chang, 2011; Hwang, Wu, & Ke, 2011; Lin, Wen, Jou, & Wu, 2014)，用於測量學生對於所參與之教學活動學習態度，學習態度問卷包含 7 題，採用李克特 4 等量表，所有參與本實驗之學生對於學習態度問卷前測與後測填答結果之信度分別為 0.834 及 0.852。

為量測學生問題解決能力，本研究採用問題解決能力問卷來進行設計(劉秀瑛，2007；康鳳梅、戴文雄，2002)，問題解決能力問卷包含 25 題，採用李克特 5 等量表，所有參與本實驗之學生對於問題解決能力問卷前測與後測填答結果之信度分別為 0.769 及 0.780。

此外，為量測學生對於本系統之有用性觀感，採用科技接受模式中知覺有用性向度的題項來進行設計(Davis, Bagozzi, & Warshaw, 1989; Lin, Lin, Huang, & Cheng, 2013; Liu, Chen, Sun, Wible, & Kuo, 2010)，系統有用性問卷包含 5 題，採用李克特 7 等量表，本實驗中實驗組學生針對此問卷填答結果之信度為 0.908。

三、實驗流程

圖 6 為本研究所進行之實驗流程，在進行正式課程教學前，實驗組學生及控制組學生皆受邀參與 4 項前測，前 3 項測驗為填答學習動機、學習態度以及問題解決能力等問卷，用以量測學生授課前學習動機、學習態度以及問題解決能力，第 4 項為先備知識測驗，用以評估 2 組學生對於軟體工程的知識程度是否相等。此外，授課教師會分別利用 30 分鐘的時間針對 2 組學生所採用的教學策略進行說明，並且教師會額外利用 20 分鐘針對實驗組學生說明系統的操作方式以及帳號的註冊。

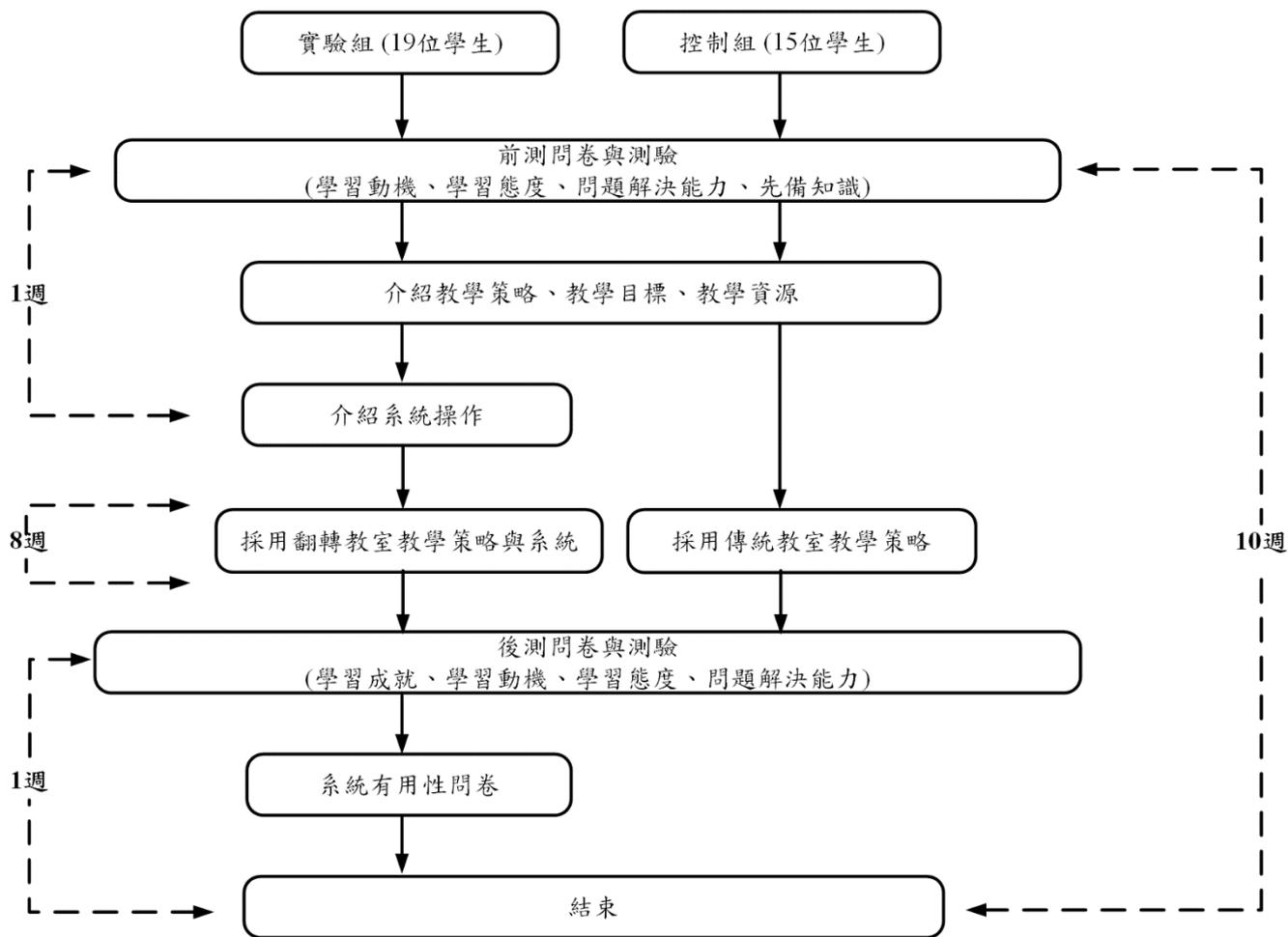


圖 6 實驗流程

在課程教學過程中，針對控制組的學生，教師會利用課堂中的時間透過簡報教授軟體工程相關概念知識，並且會利用課堂時間透過案例分享、討論及練習促進學生高層次思考，此外，在課堂外的時間教師會安排 2 題與當週教學主題相關的開放式問題讓學生完成回答(例如「請說明敏捷式方法如何能夠加速軟體開發與部屬的速度?」)。

針對實驗組，教師會要求學生利用課堂外的時間使用本研究所發展之系統針對當週欲教學之主題進行相關概念知識的自我學習，為此，本系統提供了 61 個相關教學影片讓學生能夠於課堂外隨時觀看學習，如表 1 所示。此外，為能夠使學生於自我學習過程中瞭解個人對於所學概念之學習成效，學生會透過本系統進行教師所設計好的診斷評量活動，透過診斷評量之結果，同時能夠讓教師於課堂前評估學生之先備知識，進而讓教師作為規劃及調整課堂中教學活動之依據。在課堂中的時間，教師會以案例分享、討論及練習促進學生融入於教學活動中，此外會安排 2 題與當週教學主題相關的開放式問題讓學生回答，教師在課堂中會與學

生共同使用本研究所發展之系統診斷學生的學習問題，並且進一步針對診斷結果進行討論以促進學生學習。

在完成所有教學主題與活動後，實驗組與控制組的學生會進行 4 項後測，分別為學習動機問卷、學習態度問卷、問題解決能力問卷以及學習成就測驗，此外，實驗組的學生會受邀填寫系統有用性問卷，以完成本研究所進行之實驗。

表 1

軟體工程數位教材單元主題一覽表

編號	單元名稱	時間長度	編號	單元名稱	時間長度
01	軟體工程概述	07:42	35	設計與實作概論	02:11
02	軟體程序概述	04:59	36	物件導向設計 1	02:57
03	瀑布式模型	07:24	37	物件導向設計 2	04:46
04	增量式開發	06:16	38	物件導向設計 3	03:05
05	再利用導向式軟體工程	05:32	39	物件導向設計 4	02:45
06	軟體規格制訂概述	05:24	40	物件導向設計 5	06:38
07	軟體設計與實作概述	03:07	41	物件導向設計 6	02:54
08	軟體確認概述	03:44	42	實作方面的議題	08:43
09	軟體演進概述	01:34	43	軟體測試概論 1	05:11
10	適應變更方法概述	02:35	44	軟體測試概論 2	05:25
11	建立軟體雛形	02:04	45	測試的階段	02:47
12	增量式交付	05:03	46	開發期間的測試	02:28
13	敏捷式軟體開發概述	06:19	47	開發期間的測試 1	03:53
14	敏捷式方法使用時機	06:01	48	開發期間的測試 2	04:46
15	極致程式設計 1	06:46	49	開發期間的測試 3	02:44
16	極致程式設計 2	06:48	50	開發期間的測試 4	06:15
17	敏捷式專案管理	02:29	51	開發期間的測試 5	04:20
18	Scrum 方法	06:09	52	發行版本的測試 1	03:26
19	需求工程概述	03:08	53	發行版本的測試 2	04:52
20	功能需求與非功能需求	06:26	54	軟體演進概述	04:08
21	軟體需求文件	03:25	55	軟體演進程序 1	03:43
22	需求規格制訂 1	05:52	56	軟體演進程序 2	05:38
23	需求規格制訂 2	03:14	57	軟體維護 1	09:14
24	需求抽取與分析 1	07:51	58	軟體維護 2	04:15
25	需求抽取與分析 2	05:22	59	軟體維護 3	04:34
26	需求確認	04:50	60	軟體維護 4	04:17
27	需求管理	04:57	61	軟體維護 5	08:47

(續下頁)

表 1

軟體工程數位教材單元主題一覽表 (續上頁)

編號	單元名稱	時間長度	編號	單元名稱	時間長度
28	系統塑模概論	05:02	62	軟體專案管理概述	06:04
29	環境模型	01:32	63	軟體專案管理 1	04:50
30	互動模型	07:44	64	軟體專案管理 2	04:29
31	結構模型 1	06:05	65	軟體專案管理 3	02:51
32	結構模型 2	04:49	66	軟體專案管理 4	06:38
33	行為模型 1	04:46	67	軟體專案管理 5	04:45
34	行為模型 2	05:47	68	軟體專案管理 6	08:35

伍、研究結果

基於前述實驗設計所蒐集之資料，本研究結果將從學生學習成效、學習動機、學習態度、問題解決能力以及系統有用性等層面分析與探討所提出之策略系統對於學生學習之影響。

一、學習成效分析

此分析是為評估本研究所提出之教學策略與系統對於學生學習軟體工程課程之學習成效影響，透過先備知識測驗所收集而來的資料進行描述性統計分析，實驗組學生的平均分數為 36.84，標準差為 17.33，而控制組學生的平均分數為 48.00，標準差為 14.73，為能評估 2 組學生於參與教學活動前對於軟體工程之先備知識是否有差異，本研究採用獨立 t 檢定來針對 2 組學生先備知識測驗分數之平均差異進行比較，由於本實驗樣本數低於 50，故先以 Shapiro-Wilk 檢定來檢測樣本是否屬常態分佈，經檢測其值為 0.953 ($p > .05$)，表示樣本滿足常態分佈假設，接著以 Levene's 檢定變異數同質性，其結果顯示為不顯著 ($F = 2.02, p = 0.656 > 0.05$)，因此表示組內變異數視為相等，進而透過 t 檢定來檢視 2 組之先備知識測驗分數是否有顯著差異，結果顯示實驗組與控制組在先備知識測驗分數上無顯著差異 ($t(32) = 1.988, p = 0.055 > .05$)，這結果指出 2 組學生在參與教學活動前，對於軟體工程之先備知識是相等的。

為能夠進一步探討學生學習成效之影響，本研究以單因子共變數分析(ANCOVA)作為學習成就測驗結果之分析方法，用以排除學生因先備知識對學習成就測驗所造成的影響，將學習成就測驗結果設定為依變數，先備知識測驗結果設定為共變量，其回歸係數符合同質性假設 ($F = 0.204, p > .05$)，表 2 呈現了實驗組與控制組學習成就測驗分數單因子共變數分析的結果，實驗組調整後的平均數與標準差為 84.22 及 3.40，控制組則為 72.65 及 3.85，分析結果指

出實驗組學生與控制組學生之調整後的學習成就測驗分數有顯著差異($F(1,31) = 4.779, p = 0.036 < 0.05$)，且實驗組學生之學習成就測驗結果優於控制組學生，此結果顯示本研究所提出之策略系統對於學生學習軟體工程課程之學習成效優於採用傳統課堂教室教學策略進行軟體工程課程學習的學生。

表 2

以單因子共變數分析實驗組學生與控制組學生之學習成就測驗結果

組別	學生人數	平均值	標準差	調整後平均值	調整後標準差	F	p 值
實驗組	19	83.68	8.95	84.22	3.40	4.779	0.036*
控制組	15	73.33	19.15	72.65	3.85		

* $p < 0.05$

二、學習動機分析

此分析是為評估本研究所提出之策略系統對於學生學習軟體工程課程之學習動機影響，本研究以單因子共變數分析作為學習動機問卷結果之分析方法，用以排除學習動機前測結果對於後測結果之影響，將學習動機後測結果設定為依變數，學習動機前測結果設定為共變量，其回歸係數符合同質性假設($F = 0.005, p = 0.942 > 0.05$)，表 3 呈現了實驗組與控制組學習成就測驗分數單因子共變數分析的結果，實驗組調整後的平均數與標準差為 5.77 及 0.12，控制組則為 5.53 及 0.13，分析結果指出實驗組學生與控制組學生之調整後的學習動機量測分數有顯著差異($F(1,31) = 5.818, p = 0.022 < 0.05$)，且實驗組學生之學習動機量測結果優於控制組學生，此結果顯示本研究所提出之策略系統對於學生學習軟體工程課程之學習動機優於採用傳統課堂教室教學策略進行軟體工程課程學習的學生。

表 2

以單因子共變數分析實驗組學生與控制組學生之學習成就測驗結果

組別	學生人數	平均值	標準差	調整後平均值	調整後標準差	F	p 值
實驗組	19	5.72	0.66	5.77	0.12	5.818	0.022*
控制組	15	5.41	0.63	5.35	0.13		

* $p < 0.05$

三、學習態度分析

此分析是評估本研究所提出之策略系統對於學生學習軟體工程課程之學習態度影響，為能評估 2 組學生於參與教學活動前對於軟體工程之學習態度是否有差異，本研究採用獨立 t 檢定來針對 2 組學生學習態度量測分數之平均差異進行比較，由於本實驗樣本數低於 50，故

先以 Shapiro-Wilk 檢定來檢測樣本是否屬常態分佈，經檢測其值為 0.910 ($p=0.073 > .05$)，表示樣本滿足常態分佈假設，接著以 Levene's 檢定變異數同質性，其結果顯示為不顯著 ($F=0.287, p=0.596 > 0.05$)，因此表示組內變異數視為相等，進而透過 t 檢定來檢視 2 組學生之學習態度量測分數是否有顯著差異，結果顯示實驗組與控制組在學習態度量測分數上無顯著差異 ($t(32) = -0.340, p = 0.736 > .05$)，這結果指出 2 組學生在參與教學活動前，對於軟體工程課程之學習態度觀感是相等的。此外，本研究以獨立 t 檢定分析實驗組學生與控制組學生之學習態度後測結果，Shapiro-Wilk 檢定及 Levene's 檢定結果分別為 0.916 ($p = 0.095 > .05$)與 1.960 ($p = 0.171 > 0.05$)，表示樣本滿足常態分佈假設與同質性檢定，對於 2 組學生學習態度後測分數以 t 檢定進行分析，結果顯示 2 組學生在參與教學活動後，對於軟體工程課程之學習態度觀感是相等的。

本研究進一步以成對 t 檢定針對實驗組與控制組學生學習態度前後測量測結果分別進行分析，表 4 呈現了實驗組學生學習態度前後測量測結果有顯著差異 ($t(18) = 3.899, p = 0.001 < 0.05$)，而控制組學生在此項目中則沒有顯著差異 ($t(14) = 1.015, p = 0.327 > 0.05$)，由此結果顯示本研究所提出之策略系統對於學生參與軟體工程課程之學習態度有正面影響。

表 4

以成對 t 檢定分析實驗組學生與控制組學生之學習動機前後測結果

組別	測驗	學生人數	平均值	標準差	t	p 值
實驗組	後測	19	3.330	0.412	3.899	0.001*
	前測	19	3.045	0.316		
組別	後測	15	3.200	0.560	1.015	0.327
	前測	15	3.085	0.381		

* $p < 0.05$

四、解決問題能力分析

此分析是評估本研究所提出之策略系統對於學生參與軟體工程課程之問題解決能力的影響，本研究以單因子共變數分析作為問題解決能力問卷結果之分析方法，用以排除問題解決能力前測結果對於後測結果之影響，將問題解決能力後測結果設定為依變數，問題解決能力前測結果設定為共變量，其回歸係數符合同質性假設 ($F(1,31) = 0.585, p > 0.05$)，表 5 呈現了實驗組與控制組問題解決能力量測分數單因子共變數分析的結果，實驗組調整後的平均數與標準差為 3.732 及 0.062，控制組則為 3.521 及 0.072，分析結果指出實驗組學生與控制組學生

之調整後的問題解決能力量測分數有顯著差異($F(1,31) = 4.855, p = 0.035 < 0.05$)，且實驗組學生之問題解決能力量測結果優於控制組學生，此結果顯示本研究所提出之策略系統於軟體工程課程對於學生的問題解決能力相較於傳統教室教學策略所進行的軟體工程課程有較顯著的提升。

表 5

以單因子共變數分析實驗組學生與控制組學生之問題解決能力後測結果

組別	學生人數	平均值	標準差	調整後平均值	調整後標準差	<i>F</i>	<i>p</i> 值
實驗組	19	3.730	0.315	3.732	0.062	4.855	0.035*
控制組	15	3.522	0.170	3.521	0.072		

* $p < 0.05$

五、系統有用性分析

此分析是為評估實驗組學生對於本研究所發展之翻轉教室學習診斷系統有用性，此問卷填答結果之信度為 0.908，19 位實驗組學生對於系統有用性之填答結果平均為 6.21，標準差為 0.68，此結果顯示 98.9%的學生同意使用本系統於翻轉教室軟體工程課程中之有用性。

陸、討論與結論

本研究應用翻轉教室教學策略於軟體工程課程中，並發展一跨平台學習診斷系統用以支援翻轉教室之進行，並且規劃進行一實驗以評估本研究所提出之策略系統對於學生參與此課程之成效，研究結果顯示相較於傳統教室教學策略，本研究所提出之策略系統對於學生之學習成效、學習動機、學習態度能夠有顯著之改進，參與本研究所提出之策略系統進行軟體工程課程之學生亦能表現出較好的問題解決能力，此外，使用本系統之學生多數同意此系統應用於課程中之有用性。

本研究所提出之策略系統應用於軟體工程課程中對於學生之學習能有正向的影響，從學習成就的觀點而言，文獻指出適當的學習與診斷活動對於學生參與翻轉教室之學習成就有重要的影響(Wang, 2017)，因此本研究所提出之系統提供了教師與學生好的學習與診斷工具輔助其教學；從學習動機觀點來看，過去研究指出在翻轉教室中，能夠將適當的技術或科技應用於其中，對於學生學習動機之影響是重要的指標(Bergmann & Sams, 2012; Davies, Dean, & Ball, 2013)，因此本研究應用了響應式網頁技術來開發跨平台網頁應用程式以提升相關教學資源之

傳遞，此外文獻亦指出足夠的先備知識能夠提升學生的學習動機與學習成就(Lai, & Hwang, 2016; Lin, Lin, & Huang, 2011)；從學習態度的面向來看，過去研究提出發展適合的智慧技術於翻轉教室所應用之線上學習平台，對於學生學習態度將會有正面的影響(Zhai, Gu, Liu, Liang, & Tsai, 2017)，此結果與本研究於系統中所發展之診斷工具一致；從學習活動設計來看，許多研究指出於教學過程中建立適當的診斷活動對於教學成效有正面的影響(Huang, Huang, & Wu, 2014; Hwang, Panjaburee, Triampo, & Shih, 2013; Panjaburees, Triampo, Hwang, Chuedoung, & Triampo, 2013)，此外，文獻指出學生學習態度對於其認知層級有正向影響，因此可間接表示本研究所提出之方法對於學生之軟體工程認知層級有正向的助益(Armbruster, Patel, Johnson, & Weiss, 2009)；文獻亦指出翻轉教室適合進行於學生人數小於 20 人的班級，如此教師能夠盡可能同時的顧及到所有學生在課堂中參與活動的狀態(Galway, Corbett, Takaro, Tairyan, & Frank, 2014; Kerr, 2015)。

本研究進一步以皮爾森積差相關(Pearson Correlation)對實驗組學生之學習態度、學習動機、問題解決能力、系統有用性以及學習成就等項目進行關聯分析，結果顯示學習態度與學習動機($R = 0.596, p = 0.007 < 0.05$)、問題解決能力($R = 0.587, p = 0.008 < 0.05$)、系統有用性($R = 0.542, p = 0.017 < 0.05$)有中度正相關，學習動機與學習成就為中度正相關($R = 0.458, p = 0.049 < 0.05$)，此結果顯示本研究所提出之方法中，學生學習態度在教學過程中為重要之因子。

綜觀上述，本研究主要的貢獻在於促進軟體工程課程的教學，然而本研究之研究限制在於實驗規模不足，因此需要持續應用所提出之策略系統於軟體工程課程中，此外也將規劃不同條件之實驗組來進行軟體工程翻轉教室課程，以期能夠涵蓋更多樣本與提供更多分析結果，在未來，本研究將針對高學習動機、低學習動機、高學習成效、低學習成效等學生進行相關分析，以期能夠深入探究本研究所提出之方法對於各類型學生之影響，此外，本研究將進一步針對學生對於軟體工程開放式問題之回答進行內容分析，以深入探討學生認知層級之差異性，同時，本研究也將持續發展系統相關功能，提供更適切的功能讓師生使用。

誌謝

本研究承蒙科技部 MOST 104-2511-S-153-002-MY2 及 MOST 106-2511-S-153-003-MY2 計畫經費補助，謹此致謝。

參考文獻

- 康鳳梅、戴文雄(民 91)。高工學生交線與展開空間能力與問題解決能力提昇之研究(Ⅲ)。行政院國家科學委員會專題研究成果報告(編號：NSC90-2516-S-003-004)，未出版。
- 劉秀瑛(2007)。問題解決在資訊課程之應用—以程式語言單元為例。高中資訊學科中心電子報，19。取自 <http://icerc.tnssh.tn.edu.tw/download/epaper/epaper19/index.htm>
- Andreessen, M. (2011, August). Why software is eating the world. *The Wall Street Journal*. Retrieved from <https://www.wsj.com/articles/SB10001424053111903480904576512250915629460>.
- Armbruster, P., Patel, M., Johnson, E., & Weiss, M. (2009). Active learning and student-centered pedagogy improve student attitudes and performance in introductory biology. *CBE Life Sciences Education*, 8, 203–213.
- Baeten, M., Kyndt, E., Struyven, K., & Dochy, F. (2010). Using student-centred learning environments to stimulate deep approaches to learning: Factors encouraging or discouraging their effectiveness. *Educational Research Review*, 5(3), 243-260.
- Baker, A., Navarro, E. O., & van der Hoek, A. (2005). An experimental card game for teaching software engineering processes. *Journal of Systems and Software*, 75(1-2), 3-16.
- Barkley, E. (2010). *Student engagement techniques: A handbook for college faculty*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. Eugene, OR: International Society for Technology in Education.
- Bergmann, J., & Sams, A. (2014). *Flipped learning: Gateway to student engagement*. Washington, DC: International Society for Technology in Education.
- Bransford, J., Sherwood, R., Vye, N., & Rieser, J. (1986). Teaching thinking and problem solving: Research foundations. *American psychologist*, 41(10), 1078.
- Bryson, C., & Hand, L. (2007). The role of engagement in inspiring teaching and learning. *Innovations in Education and Teaching International*, 44(4), 349-362.
- Chen, C. Y., & Teng, K. C. (2011). The design and development of a computerized tool support for conducting senior projects in software engineering education. *Computers & Education*, 56(3), 802-817.
- Chen, Y. L., Wang, Y. P., Kinshuk, & Chen, N. S. (2014). Is FLIP enough? Or should we use the FLIPPED model instead?. *Computers & Education*, 79, 16-27.
- Coates, H. (2006). *Student engagement in campus-based and online education: University connections*. London, England: Routledge.
- Davis, F., Bagozzi, R., & Warshaw, R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.
- Davies, R. S., Dean, D. L., & Ball, N. (2013). Flipping the classroom and instructional technology integration in a college-level information systems spreadsheet course. *Educational Technology Research and Development*, 61(4), 563-580.

- Galway, L. P., Corbett, K. K., Takaro, T. K., Tairyan, K., & Frank, E. (2014). A novel integration of online and flipped classroom instructional models in public health higher education. *BMC Medical Education, 14*, 181.
- Hailey, T., Connolly, T. M., Stansfield, M., & Boyle, E. A. (2011). Evaluation of a game to teach requirements collection and analysis in software engineering at tertiary education. *Computers & Education, 56*(1), 21-35.
- Heppner, P. P., & Petersen, C. H. (1982). The development and implications of a personal problem-solving inventory. *Journal of Counseling Psychology, 29*(1), 66.
- Huang, Y. M., Huang, S. H., & Wu, T. T. (2014). Embedding diagnostic mechanisms in a digital game for learning mathematics. *Educational Technology Research and Development, 62*(2), 187-207.
- Hwang, G. J., & Chang, H. F. (2011). A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students. *Computers & Education, 56*(4), 1023-1031.
- Hwang, G. J., Panjaburee, P., Triampo, W., & Shih, B. Y. (2013). A group decision approach to developing concept-effect models for diagnosing student learning problems in mathematics. *British Journal of Educational Technology, 44*(3), 453-468.
- Hwang, G. J., Wu, P. H., & Ke, H. R. (2011). An interactive concept map approach to supporting mobile learning activities for natural science courses. *Computers & Education, 57*(4), 2272-2280.
- Jeannette M. W. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), 33-35.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development, 48*(4), 63-85.
- Jou, M., Lin, Y. T., & Tsai, H. C. (2016). Mobile APP for motivation to learning: an engineering case. *Interactive Learning Environments, 24*(8), 2048-2057.
- Kerr, B. (2015). *The flipped classroom in engineering education: A survey of the research*. Proceedings of 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), 815-818.
- Kim, M. K., Kim, S. M., Khera, O., & Getman, J. (2014). The Experience of three flipped classrooms in an urban university: An Exploration of design principles. *The Internet and Higher Education, 22*, 37-50.
- Kong, S. C. (2015). An Experience of a three-year study on the development of critical thinking skills in flipped secondary classrooms with pedagogical and technological support. *Computers & Education, 89*, 16-31.
- Lai, C. L., & Hwang, G. J. (2016). A self-regulated flipped classroom approach to improving students' learning performance in a mathematics course. *Computers & Education, 100*, 126-140.
- Lin, Y. T. (2016). When Mobile Technology Meets Traditional Classroom Learning Environment: How Does it Improve Students' Learning Performances? In K. Wallace (Ed.), *Learning Environments: Emerging Theories, Applications and Future Directions* (pp. 143-158). Nova Science Publishers, Inc.

DOI:10.6232/JTEE.201912_49(1/2).0004

- Lin, Y. C., & Huang, Y. M. (2013). A Fuzzy-based Prior Knowledge Diagnostic Model with Multiple Attribute Evaluation. *Educational Technology & Society*, 16(2), 119–136.
- Lin, Y. C., Lin, Y. T., & Huang, Y. M. (2011). Development of a diagnostic system using a testing-based approach for strengthening student prior knowledge. *Computers & Education*, 57(2), 1557-1570.
- Lin, Y. T., Lin, Y. C., Huang, Y. M., & Cheng, S. C. (2013). A wiki-based teaching material development environment with enhanced particle swarm optimization. *Educational Technology & Society*, 16(2), 103–118.
- Lin, Y. T., Wen, M. L., Jou, M., & Wu, D. W. (2014). A cloud-based learning environment for developing student reflection abilities. *Computers in Human Behavior*, 32, 244-252.
- Liu, I. F., Chen, M. C., Sun, Y. S., Wible, D., & Kuo, C. H. (2010). Extending the TAM model to explore the factors that affect intention to use an online learning community. *Computers & Education*, 54(2), 600–610.
- Maratou, V., Chatzidaki, E., & Xenos, M. (2016). Enhance learning on software project management through a role-play game in a virtual world. *Interactive Learning Environments*, 24(4), 897-915.
- Meyer, A. N., Fritz, T., Murphy, G. C., & Zimmermann, T. (2014). *Software developers' perceptions of productivity*. Proceedings of the 22nd ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering, 19-29.
- Moreno, A., Sanchez-Segura, M., Medina-Dominguez, F., & Carvajal, L. (2012). Balancing software engineering education and industrial needs. *The Journal of Systems and Software*, 85(7), 1607-1620.
- O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The use of flipped classrooms in higher education: A scoping review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85-95.
- Panjaburees, P., Triampo, W., Hwang, G. J., Chuedoung, M., & Triampo, D. (2013). Development of a diagnostic and remedial learning system based on an enhanced concept effect model. *Innovations in Education and Teaching International*, 50(1), 72-84.
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 33-40.
- Pluta, W., Richards, B., & Mutnick, A. (2013). PBL and beyond: Trends in collaborative learning. *Teaching and Learning in Medicine*, 25(S1), S9-S16.
- Schultz, D., Duffield, S., Rasmussen, S. C., & Wageman, J. (2014). Effects of the flipped classroom model on student performance for advanced placement high school chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 91(9), 1334-1339.
- Slomanson, W. R. (2014). Blended learning: A Flipped classroom experiment. *Journal of Legal Education*, 64(1), 93-102.
- Sommerville, I. (2010). *Software Engineering (9th Edition)*. Boston: Addison-Wesley.
- Stross, R. (2012, March). Computer Science for the Rest of Us. *The New York Times*. Retrieved from <http://www.nytimes.com/2012/04/01/business/computer-science-for-non-majors-takes-many-forms.html>

DOI:10.6232/JTEE.201912_49(1/2).0004

- Teo, T. W., Tan, K. C. D., Yan, Y. K., Teo, Y. C., & Yeo, L. W. (2014). How flip teaching supports undergraduate chemistry laboratory learning. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 550-567.
- Voogt, J., & Roblin, N. P. (2012). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 44(3), 299-321.
- Wang, F. H. (2017). An exploration of online behaviour engagement and achievement in flipped classroom supported by learning management system. *Computers & Education*, 114, 79-91.
- Wei, C. W., Lin, Y. C., & Lin, Y. T. (2016). An interactive diagnosis approach for supporting clinical nursing courses. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 1795-1811.
- Zhai, X., Gu, J., Liu, H., Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2017). An Experiential Learning Perspective on Students' Satisfaction Model in a Flipped Classroom Context. *Educational Technology & Society*, 20(1), 198-210.

附錄

一、學習動機問卷

1. 我喜歡課堂上的活動，因為它具有挑戰性，讓我能夠學習新的東西
2. 我在課堂上學習什麼對我而言是重要的
3. 我喜歡我在課堂上的學習
4. 我認為我將能夠應用我在課堂上的所學於其他課堂中
5. 我時常會挑選一些報章雜誌來閱讀，雖然這會使我的工作量變多，但我將會從中學學習到一些新東西
6. 當我考試不理想時，我會試著從我的錯誤中去學習
7. 我認為我在課堂上的學習對我而言是有用的
8. 我認為我們在課堂上的學習是有趣的
9. 了解這個學科對我而言是重要的

二、學習態度問卷

1. 軟體工程課程有價值且值得我去研讀
2. 軟體工程值得我學習
3. 軟體工程課程值得我去好好學習
4. 多學習關於軟體工程的知識是重要的，像是設計與管理軟體開發程序
5. 知道關於軟體工程新的設計與管理程序是重要的
6. 我將會主動的搜尋更多關於軟體工程的資訊
7. 參與軟體工程課程對每一個人而言都很重要

三、問題解決能力問卷

1. 面對問題時，我常在決定後感到後悔
2. 我常能想出幾種創新而有效的方法來解決問題
3. 遭遇問題時，我常無法確定是否可以解決問題
4. 我相信自己具有面對新問題的解決能力
5. 當面臨問題時，我會衡量每一種解決方法的後果，才做決定
6. 我對於自己所做的決定常感到滿意
7. 當面臨問題時，我常想不出可能的解決方法
8. 當遭遇問題時，我會利用外在資源解決所面對的問題
9. 當遭遇問題時，我會選擇逃避
10. 我有信心面對新的問題情境
11. 只要有充分的時間，我相信能解決所面臨的大多數問題
12. 當遭遇問題時，我會覺得沮喪
13. 在作決定後，我所預期的結果與實際的結果相符
14. 問題儘管已無法被解決，我仍然繼續地解決下去

15. 當被問題所困擾時，我會先瞭解與問題相關的狀況
16. 當感到有問題時，我會先探索問題的關鍵所在
17. 處理問題時，我覺得自己常在摸索與徘徊
18. 第一次遭遇失敗時，我會對自己處理事物的能力感到不安
19. 面對難以解決的問題時，我會冷靜思考解決的方法
20. 我確定可以有計畫的解決所有問題
21. 每當遭遇問題時，我常懷疑自己是否有能力解決
22. 當遭遇問題時，我會因無法解決而自責
23. 當遇到複雜問題時，我會設法發現問題的關鍵所在
24. 當遇到問題時，我會盡自己的能力去想各種解決的方法
25. 當遭遇問題時，我會思考下一步驟要做什麼

四、系統有用性問卷

1. 使用此系統學習軟體工程能使我更有效率診斷與加強軟體工程知識
2. 使用此系統能改善我的軟體工程學習成效
3. 使用此系統學習軟體工程能提升我的學習理解力
4. 使用此系統能讓學習軟體工程更加容易
5. 我能夠發現此系統在軟體工程課程中的用處

五、學習成就測驗

1. 下列何者採用「往覆式」的流程，將一個準備開發的系統拆解成好幾個子系統，然後不斷往覆循環整個開發流程，直到完成最終成品？(1)CASE (2)UML (3)RUP (4)MVC。
2. 何種模型有時又稱為古典生命週期？(1)雛形模型 (2)螺旋模型 (3)遞增模型 (4)瀑布模型。
3. 強調「風險分析」是那一種生命週期模型？(1)瀑布模型 (2)雛形模型 (3)遞增模型 (4)螺旋模型。
4. UML 不包含以下那一關係？(1)相依關係 (2)聚合關係 (3)一般化關係 (4)結構化關係。
5. 下列何者不是極致程式設計的原則？(1)測試優先 (2)瀑布式規劃 (3)重構 (4)客戶參與。
6. 在軟體工程中，將系統開發的各個階段均加以嚴謹定義，任何一個階段必須完成之後才能啟動進入下一個階段，此種方法論稱之為何？(1)增量式模型 (2)噴水池模型 (3)敏捷式開發模型 (4)瀑布模型。
7. 下列何者不屬於「需求文件」該列出的項目？(1)系統目標 (2)物件類別架構 (3)系統整體架構 (4)非功能需求。
8. 所謂的「MVC 架構」中，包含下列何者？(1) Content (2)Vector (3)Model (4)Modify。
9. 有關需求分析，下列敘述何者錯誤？(1)具體成果為「需求規格書」 (2)訪談時須盡量採用技術語以縮短戶對於的落差 (3)須考量技術可行性 (4)須考量社會可行性。
10. 有關程式設計，下列何者錯誤？(1)該為變數的命名訂定一套規則 (2)程式碼應重視排版 (3)不要將多個敘述寫在同一行程式中 (4)為避免程式師灌水，中的註解應要求精簡。

核心能力素養之潛在動態因素模式探析 A Categorical Latent Dynamic Factor Model for Core Competency

洪來發

長榮大學健康心理學系

Lai-Fa Hung

Department of Health Psychology, Chang Jung Christian University

摘要

本研究旨在探討通過 IEET (The Institute of Engineering Education Taiwan) 認證的系所學生核心能力素養之類別潛在動態因素模式(categorical latent dynamic factor model, CLDFM)之分析。針對研究對象，本研究持續追蹤調查三年他們核心能力素養之成長趨勢。調查結果除了考驗信度、效度分析外，還進行因素解釋以及潛在成長模式分析。研究結果顯示：1.核心能力素養成長模式為非線性成長曲線模式。2.核心能力素養之養成過程存在著時間系列自迴歸 AR(2)現象。3.核心能力素養多層次模式優於單一層次模式。4.多向度核心能力素養動態模式比靜態模式更適合。根據研究結果，本研究亦提出一些限制以及未來研究的一些建議。

關鍵字：核心能力素養、自迴歸模式，類別潛在動態因素模式，多層次模式，馬可夫鏈蒙地卡羅

Abstract

The purpose of this study is to explore the categorical latent dynamic factor model of core competency for undergraduates in the departments joining the certificate of the Institute of Engineering Education Taiwan (IEET). This study adopts three-year panel survey to investigate undergraduates entering the college in 2013 as participants. The method of this study is to use factor analysis and latent growth curve analysis in addition to reliability and validity. The study indicates that the growth model of core competency shows a non-linear growth curve model. Second, autoregression is found in the process of core competency. Third, the multilevel model of core competency is better than the single level model. Finally, multi-dimensional dynamic model of core competency is superior to the static model. According to the results, some suggestions are offered for future research and applications.

Keywords: core competency, autoregressive residuals, categorical latent dynamic factor model, multilevel model, Markov Chain Monte Carlo.

壹、緒論

一、研究背景

近年來，國內大專院校工程及科技相關科系面臨全球性產業結構的快速轉變、人口少子化趨勢以及就業市場人力配置板塊移動(楊永斌、葛家豪、張佩芬、劉曼君，2005；資策會，2015)等因素，有的系所調整課程內容以培養出符合業界所需之人才(教育部資料司，2016)；有的系所委請相關產業人員舉辦教育訓練與活動，藉此熟悉業界目前實況(例如國立彰化師範大學工業教育與技術系)；有的系所充分利用區域特性，積極爭取與業界建教合作機會(例如國立台灣科技大學)或與國外公司簽訂產學合作協定，希望藉由學術研究合作計畫提升學生技術、設計與研發能力。面對全球化趨勢帶來的衝擊、競爭與挑戰，如何改善工程教育體質，提升教學品質，並儘早與國際接軌，儼然成為各系所首要目標(蕭介夫，2014)。

國際認證是與國際工程教育接軌的有效方法之一。美國工程與科技認證委員會(Accreditation Board of Engineering and Technology, ABET)為落實工程與科技教育目標，設計出一套評鑑標準(ABET EC-2000)供美國各大學院校工程科系課程採用，目的是希望藉由一系列成果導向(outcomes-based)之自我檢視與持續改進之機制，建立學系的自我特色，幫助學生學習未來執行工程實務時所需的基礎知識以及分析設計與應用軟硬體工具的能力、能與人有效的溝通與合作，並且具備專業倫理素養。ABET 涵蓋十一項核心能力(引自張佩芬，2006)：

- A：運用數學、科學與工程知識的能力。
- B：具有設計工程系統、元件和製程的能力。
- C：設計與執行實驗的能力，以及分析與解釋數據之能力。
- D：具有辨識、系統化和解決工程問題的能力。
- E：使用工程相關科技、技術、儀器及工具的能力。
- F：跨領域跨團隊的合作能力。
- G：有效溝通能力。
- H：了解與掌握時事議題的能力。
- I：了解工程技術對環境、社會及全球的影響。
- J：持續學習的習慣與能力。
- K：專業認知及工程倫理。

國內中華工程教育學會(Institute of Engineering Education Taiwan, IEET)於2003年成立，是國內執行工程及科技教育認證之單位，協助推動ABET國際工程教育認證，並提升國內工程及科技教育品質。認證評鑑作業是以「系所」為本位，「學生成果」為導向，透過定期評估，

持續訪視系所是否提供師生專業成長學習環境，追蹤瞭解系所教育目標是否達成，改善機制是否建立以及執行成效。通過認證的系所畢業生即被認可具備執行專業工作所需的基礎知識與核心能力素養(楊永斌等人, 2005)。在這波與國際工程教育接軌的聲浪中，越來越多國內工程及科技教育系所參與 IEET 認證，如何探究這些具有潛在特質的能力素養以及成長趨勢，是個值得深究的議題。

因核心能力成長並非一夕可及，且潛在特質也會隨著不同年級不同課程學習的發展及情境脈絡的改變而產生動態的變化。因此，本研究主要以追蹤研究方式來探討學生學科知識形塑過程中，IEET 認證規範、系所本身的課程設計以及學生核心能力的養成這三者間之互動與影響。受測對象為某系 102 學年度入學學生，在研究過程中並不參與情境或加入人為影響和干預，所蒐集的資料主要是個人學習成績、問卷調查結果等，對外發表均以群體趨勢呈現。

二、研究目的

基於上述的研究背景，本研究研究目的如下：

1. 探討IEET實施後，學生核心能力素養成長情形。
2. 探討核心能力素養之時間系列前後期的影響。
3. 探討核心能力素養多層次模式關係。
4. 探討核心能力素養多向度測量以及向度與向度間之動態關係。
5. 綜合探討核心能力素養在時間更迭下，不同潛在特質間多層次多向度的動態模式關係。

三、研究問題

基於上述研究目的，本研究研究問題如下：

1. 探討IEET實施後，學生潛在核心能力素養成長曲線模式為何？
2. 探討核心能力素養是否前期對後期有顯著的時間系列影響？
3. 核心能力素養是否存在重複測量多層次模式關係？
4. 探討多向度核心能力素養向度與向度間是否存在著動態(異質性大)關係？
5. 整合上述議題建構出核心能力素養之類別潛在動態因素模式。

貳、文獻探討

一、核心能力素養

核心能力素養 (core competency) 其意是指學生學習成效應具備的綜合統整能力，涵蓋知識 (knowledge)、能力 (ability) 及態度 (attitude) 三個面向，是個體面對現在及未來生活環境需求、解決問題、開發潛能與產生社會效益所須具備的素養(蔡清田, 2016)，核心能力素養的養成過程強調學習不應以學科知識與技能為限，而應關注學習與生活的結合，透過實踐力

行,彰顯學習者的全人發展。李坤崇(2013)指出核心能力素養是個人實現自我、終身學習發展、融入社會就業,所需具備的知識、技能、態度、價值觀,是個人做為公民、社會份子所應具有核心、關鍵與可遷移的能力。楊俊鴻(2018)針對核心能力素養的養成過程提出核心素養導向的課程發展、教學設計與評量方法三者之連動關係,核心素養是教育目的,素養導向的課程、教學與評量是實踐此目的有效途徑。游自達(2019)認為素養導向的課程與教學規劃需從多個面向思考,透過學科素養的本質與知識結構,一方面透過情境的問題探究,發展有組織、有意義的學習,另一方面協助學生在歷程中運用和優化策略,提升學習效率和表現。不同的學習階段中,學科內與跨領域核心素養相關活動的編織交疊,逐步累積涵育,達成核心素養的目標。國外而言,在全球性跨國比較浪潮下,經濟合作與發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)從 1997 年起即進行跨國性閱讀素養、數學素養、科學素養的大型測驗評量比較(<http://www.oecd.org/pisa/>), OECD 提出核心素養是「可透過教育加以引導」、「可透過教學加以培養」、「可透過學習獲得」,強調各種核心能力素養的培養,是終身學習與發展的歷程(OECD, 2016, 2018)。

二、工程教育核心能力素養

Andersson 和 Onarheim (2015)在工程教育相關會議中提出創造力和創新是工程師所需培育的新核心能力素養,如何在教學和學習中發揮創造力,如何將創造力視為一項重要的工程技能,以及如何評量這些核心能力是工程教育重要的新課題。Pellegrino(2017)研究指出核心素養的培養是一種深度學習(deeper learning),強調可移轉的知識(transferable knowledge),這種可移轉的知識可以應用於新情境或新問題的解決。學習過程中,學生不只是學習特定學科的專門知識,也要理解如何應用,同時強調學習遷移(transfer),即在一個脈絡關聯的情境中,學生運用過去的學習經驗以支持新的學習或問題解決的能力。Shengxian (2019)則從高等教育大學生職業核心能力應培養主動性,實用性,連續性,擴展性,交叉性和遷移性的觀點,提出系所應建置專門的模組課程,並著重於整合教學設計和其它學科的領域知識,來培養學生的核心能力。

綜合上述,核心能力素養是指一個人為適應現在生活及面對未來挑戰,所應具備的知識、技能與態度。透過情境脈絡化的學習及生活情境涵育,跨域交叉培養學生主動性,遷移性,擴展性等能力,並能在生活情境中整合及活用實踐。工程教育核心能力素養的培育即藉由一系列的模組課程,培養學生工程專業知識、分析設計現代科技電腦軟硬體能力以及社會人文關懷的素養,畢業後面對環境的挑戰,具有解決問題以及與人有效溝通合作的能力。

三、重複測量模式

在研究實務上，橫斷面通常是分析單一時間點資料。如果要追蹤探討個體的成長情形就必須考慮縱貫面的重複測量(Reng, Schoenau-Fog, Kofoed, & Timcenko, 2018)。問題是傳統的重複測量分析，處理的往往是觀察變項而非潛在變項，且分析重點常常是群體平均趨勢或變異趨勢而非個別成長差異。本研究核心素養成長需要經過一段時間才能看出改變，這類研究議題，歷來有幾種處理方法：

(一)混合效果模式(mixed effects models, Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015)

主要用於長期追蹤研究時，重複測量到的資料之統計分析，其特點是可以同時設定固定效果及隨機效果(fixed effects and random effects)於模式中，當蒐集到的資料只想比較自變項下之特定類別或水準間的差異，而不作其它推論，則可以固定效果模式表徵之；而隨機效果模式則將蒐集到的資料視為從母體抽樣而來，所估得的參數推論為母體模式參數。如果同時探討這二種情況，則以混合效果模式表徵(Farouk & Michael, 2016; Lindstrom & Bates, 1990)。如從不同的測量時間點來看，固定效果模式假定某些類別或水準效果從頭至尾皆未改變，隨機效果模式則假定個體表現效果可能會有所不同，混合效果模式則是將改變及未改變的情況皆納入模式中。

(二)階層線性模式(hierarchical linear model, Bryk & Raudenbush, 1992)

主要用於探討多層次資料(multilevel data)的統計分析，又稱多層次線性模式(Muthén, 1994)，其原理主要處理個體成長中隸屬不同層次所造成的影響，例如受試者來自不同班級，受到不同班風影響，而班風可能受到學區或校風影響。如從不同的測量時間點來看，亦可應用在追蹤研究重複測量資料分析上，第一階層是不同時間點的測量，第二階層則是個人內的成長，第三層則是個人間(群體間)的成長(Mohammadpour, 2013)。

(三)隨機係數模式(random coefficient models, Arminger, Clogg, & Sobel, 1995)

主要將截距及斜率進一步擴展為隨機截距及隨機斜率模式(random intercept and random slope model)，也就是放寬對迴歸截距及斜率項的限制，允許不同的階層可以有不同的成長截距或不同的成長斜率。這幾種處理方法，已廣泛應用於教育、心理、管理、醫衛等領域(Alshehry, 2018; Amsale, Feyisa, & Ferede, 2016; Hanushek & Woessmann, 2015; LaHuis, Hartman, Hakoyama, & Clark, 2014; McNeish, Stapleton, & Silverman, 2017; Olga & Hans, 2016)。

四、潛在成長模式

潛在成長模式認為潛在特質的成長改變與測量時間兩者之間具有某種系統性的關聯存在。如果要探討成長改變的議題，最好的方法就是在研究設計中加入時間因素，也因為時間的更迭，蒐集的資料就是對受試者進行多次的重複測量，這類資料，如前所述，亦視為多層次結

構，研究取向可能是研究對象的成長變化軌跡型態？成長型態的個別差異？隨著年級增加是呈現線性趨勢還是非線性趨勢(Duncan, Duncan, & Strycker, 2006)？又電腦興起後，因為統計軟體計算的便利性、可行性，潛在成長模式由觀察變項深入到潛在變項的探索、由單一特質單向度的測量擴展為多項特質多向度的測量、由單層次資料結構的探討進階到多層次資料結構的探討。

五、潛在動態因素模式

本研究研究資料為重複測量資料，測量工具是五點量表問卷設計(類別選項)，研究變項核心素養屬於潛在變項，核心素養成長有可能是線性成長或是曲線成長，所以研究模式以多層次潛在成長模式為架構(Judy & Jayashree, 2015)，同時將時間系列前期對後期自迴歸(Hung, 2010; Segawa, 2005)的影響以及多個潛在特質(Reckase, 2009)的測量納入考量。針對核心能力素養多個潛在特質在時間的更迭下及學習環境的變遷(Jue & Sheng, 2017)，是否會產生動態的成長變化(Zhang & Nesselroade, 2007)，本研究提出類別潛在動態因素模式(categorical latent dynamic factor model, CLDFM)，以了解通過認證系所學生能力素養之成長變化。CLDFM 有幾項特點：

(一)IEET 涵蓋多個核心能力，具有多個潛在特質屬性，CLDFM 多個潛在特質的多向度分析較單向度分析適合。再者，個體潛在特質及行為的改變過程是複雜的，CLDFM 多個潛在特質的測量比單一潛在特質單向度的測量提供更多的個體測量結果與訊息。

(二)CLDFM 是多向度測量，在時間系列下向度與向度間可能存在著動態關係(即不同的共變數矩陣組合)，單向度測量則無法描述此動態關係。

(三)單向度潛在成長分析和多向度潛在成長分析，雖然兩者都在蒐集不同時間點的資料然後加以分析，但前者著眼於某單一特質，所以研究焦點擺在不同群組間(例如男女)此一特質在不同時間點的成長變化，而後者則因涵蓋多項特質，所以可以就受試者每個人在不同時間點被測量到的多向度特質加以分析。

(四)CLDFM 屬於多層次模式，Level-1 是時間內模式，每個時間點都會有試題或測驗被施測；Level-2 是受試者內模式，每位受試者會有好多個不同時間點的測量，不同時間點的時間序列自迴歸現象以及成長趨勢將被納入分析；Level-3 是受試者間模式，在這個層次可以知道受試者間是否存在個別差異還是這個差異只是隨機造成的變異。質言之，CLDFM 關注的是如何測量這些潛在變項；再者，核心能力成長是連續的，在連續的時間更替下，前後影響為何，如何分析這些影響，如何探討成長趨勢；最後，能力成長是否存在個別差異或只是隨機差異。

過去研究往往將非連續的類別或順序變項資料以連續變項的常態分配加以分析，並藉

由 AMOS, LISREL, HLM 等軟體進行大樣本的最大概似法(maximum likelihood estimation, MLE)或廣義最小平方法(generalized least square)估計參數，本研究則以 WinBUGS 軟體處理這些類別或順序變項，並以適用於小樣本的貝氏法(Bayesian)估計參數。相對於需要較多樣本才能估計更準確的最大概似法，本研究對象參與者人數較少，故以貝氏法分析之。

因為能力素養是潛在特質，宜採因素分析，又多個潛在特質需要較長時間觀察，才能更了解個體行為的改變，所以持續追蹤調查五個學期。相對於傳統有些研究結果主要用來作統計外部推論，本研究樣本並非隨機抽樣或分派而來，研究結果主要探討個體成長發展的連續性、線性或非線性成長趨勢、前後期的影響等議題。正因為樣本是固定的，所以無法藉由隨機方式來排除人為誤差，而是從統計方法來排除。我們利用多層次的統計方法，在每個層次都加入誤差項(詳後面說明)，來排除誤差對估計參數的影響。

參、研究設計

一、研究對象

本研究對象為通過 IEET 認證學系 102 學年度入學之學生，共有 A、B 兩班，將持續進行五個學期(五個時間點)的追蹤研究。研究對象 102 學年度 A 班參與者有 48 人、B 班有 40 人，103 學年度 A 班有 34 人、B 班有 31 人，104 學年度 A 班有 35 人、B 班有 30 人。參與人數的變化，主要因為受到開始簽署同意，後來不同意，或休退學、轉學造成的影響所致。以下就有關研究過程進行的步驟及執行方法分別說明之。

二、研究工具

本研究所採用的研究工具包括該系專業必修科目中 10 門課程的核心能力素養之問卷填答(學生主觀分數)以及這些課程的學期成績(教師效標分數)。10 門課程分別為：大一下學期：微積分、電路學；大二上學期：工程數學(I)、計算機組織；大二下學期：工程數學(II)、超大型積體電路設計；大三上學期：機率與統計、數位系統設計；大三下學期：訊號與系統、通訊系統。問卷設計詳下面的說明。學期成績主要用來探討效標關聯效度，以驗證核心能力問卷學生填答是否屬實有效。

三、研究主軸

本研究主軸分成三大部分，資料蒐集部分、CLDFM 部分及最適模式部分。資料蒐集部分主要是核心能力問卷以及學期成績。核心能力問卷是針對核心能力要素加以設計編製，再經過信度分析、效度分析、因素分析以及效標關聯效度分析驗證。確認問卷有效後再進行 CLDFM 模式分析，最後得出最適模式。

四、研究過程

研究過程第一階段是 IEET 認證規範下，系所課程設計能力指標的審視。第二階段是進行問卷設計，這在每學期的期中即針對研究科目進行問卷設計工作。因為 IEET 認證在實地訪視時，其中重要的步驟是針對認證學系課程配當與培養學生核心能力的對應關係(關聯性)進行評估，問卷設計即植基於此關聯性之基礎上。第三階段是建構 CLDFM 模式，最後階段則是進行問卷分析並探討 CLDFM 模式配適度等議題。分述如下：

第一階段--課程能力指標

這個階段主要就課程內容訂定該課程的能力指標，以及能力指標中要測量的能力要素是甚麼。本研究系核心能力指標如下(能力指標 1~指標 9)：

- 1.具備基礎物理、數學與電腦之科學知識。
- 2.具備分析、設計電腦電機軟硬體之能力。
- 3.設計與執行專案，及分析與解釋數據之能力。
- 4.使用電腦電機工程相關軟體工具、與儀器之能力。
- 5.有效的溝通與團隊合作之能力。
- 6.持續學習與獨立學習的習慣與能力。
- 7.瞭解電腦電機工程技術對環境、社會及全球的影響。
- 8.具備文化內涵與管理素養。
- 9.認知專業倫理及社會責任。

上述每項能力指標中皆含有可測量的能力要素。能力指標 1 測量三項能力要素，分別為具備物理之科學知識能力、數學之科學知識能力與電腦之科學知識能力；核心能力指標 2 測量二項能力要素，分別為分析軟硬體的能力要素及設計軟硬體的能力要素；核心能力指標 3 測量系統化執行能力及解讀資料能力二項能力要素；核心能力指標 4 測量使用儀器的能力要素；核心能力指標 5 測量四項能力要素，分別為文字溝通能力要素、語言溝通能力要素、圖表化溝通能力要素及合作參與的能力要素；核心能力指標 6 測量持續學習能力與獨立學習能力二項能力要素；核心能力指標 7 測量外在環境總體影響評估此一能力要素；核心能力指標 8、指標 9 分別測量管理素養能力要素、專業倫理素養能力要素。

最後是學生課程學習的評量方法，本研究採用自行編製的問卷調查來取得核心能力素養之測量值，並將課程學期成績作為校標，進行效標關聯效度分析。

值得注意的是評量過程中，有可能產生學生在回答是否達成核心能力素養時，會選填令人產生良好印象的作答內容，造成社會期許(social desirability)偏誤。但因本研究為重複測量，

相對橫斷性研究(只測量一次)而言，本研究可以在多次測量中前後驗證，加上 10 門課程由多位教師擔任，研究主題又是測量多項特質，顯然有較多的資訊，較多的差異分析，避免學生答題時有偏差不實的社會期許現象存在。

第二階段---問卷設計

設計問卷時，基於成果導向的工程教育認證機制及理念，課程教師必須進一步依據該課程架構詳細列出核心能力的能力要素以及希望學生達成的 Bloom 認知層次(定義、理解、應用、分析、評價、綜合)來編制能力素養問卷。質言之，問卷設計就是從 Bloom 的認知觀點來探討並進一步了解學生能力要素達成(或具備)的程度。

舉例而言，某個課程的核心能力涵蓋指標 1, 3, 4, 7，在核心能力指標 1 中包含三項能力要素，分別為具備物理之科學知識能力、數學之科學知識能力與電腦之科學知識能力，希望學生達到理解的認知層次，所以課程問卷設計時題目可以是(a).就本課程基本概念而言，我能理解物理、數學及電腦知識的意涵(b).我能理解課程中物理及數學函數描述的現象(c).我能理解物理、數學及電腦在本課程中如何被應用(d).在例題演練中，我能理解模擬得到的資料。核心能力指標 3 包含二項能力要素，分別為系統化執行的能力及解讀資料的能力，學生對於專案必須能達到應用的層次，針對資料數據必須能達到分析的層次，所以課程問卷設計時題目可以是(a).分析複雜問題或專案時，我能適時地做合理的假設以得到簡化的模型(b).針對假設的模型，我能應用所學的理论加以驗證(c).我能將問題或專案建立系統化的流程圖(d).我能分析並解釋資料中的數據、限制、變數、資訊等。核心能力指標 4 包含一項能力要素，即使用儀器能力，學生必須達到應用的層次，所以問卷設計時題目可以是(a).我能應用電腦軟硬體去辨識或解決遇到的問題(b).在做實驗時，我知道有哪些可應用的技巧及工具(c).在做實驗時，我能應用多項工具及技巧解決問題。核心能力指標 7 包含一項能力要素，即環境影響評估能力，學生必須達到綜合的層次，所以問卷設計時題目可以是(a).期末學習驗收時，我能結合課程單元主題與目前科技產業之關係(b).我能了解本課程對社會及全球的影響(c).在解釋科技產業之時事議題時，我能綜合本課程的概念知識來說明。核心能力問卷為五點量表(從非常同意到極不同意)，由修課學生於期末填答。

第三階段---建構 CLDFM 模式

CLDFM 包含三個部分：多變項測量模式、潛在結構模式以及多層次模式。在多變項測量模式中，觀察變項與潛在變項間的線性關係被設定用來描述測量性質(如信度、效度)，並假設此線性關係中截距項與斜率項並未隨著時間而改變(即測量不變性; Sayer & Cumsille, 2001)。在潛在結構模式中，包含成長曲線模式與潛在殘差模式，前者用來描述被觀察者線性或非線

性的平均成長情形，後者用來描述個體序列成長之自相關迴歸殘差(autoregressive residuals; Hung, 2010; Nesselrode, McArdle, Aggen, & Meyers, 2001)情形。在多層次模式中，CLDFM 有三個層次，第一個層次是時間內模式(或測量模式)，在這個層次試題被內巢於時間點內；第二個層次是受試者內模式(或潛在結構模式)，在這個層次時間點被內巢於受試者內；第三個層次是受試者間模式(或個體間差異模式)，每個層次都納入誤差項，以排除誤差對統計推論的影響。以下分述之。

Level-1 Model (時間內模式或測量模式)

令 y_{ipk}^* 為一連續潛在變數， i 表受試者($i = 1, \dots, N$)； t 表時間點($t = 1, \dots, T$)； p 表潛在特質($p = 1, \dots, P$)； k 表試題($k = 1, \dots, K$)。因為 y_{ipk}^* 無法直接觀察，藉由閾域模式(threshold model)，將 y_{ipk}^* 轉換為可觀察的順序變數 y_{ipk} ：

$$y_{ipk} = c \Leftrightarrow \tau_{pk,c-1} \leq y_{ipk}^* < \tau_{pk,c} \quad , \quad (1)$$

這裡 $\tau_{pk,c}$ 表第 p 個潛在變項第 k 題第 c 類別($c = 1, \dots, C$)之閾值。 y_{ipk}^* 與潛在特質 θ_{ip} 的線性關係被設定如下：

$$y_{ipk}^* = \alpha_{0pk} + \alpha_{1pk} \theta_{ip} + e_{ipk} \quad , \quad (2)$$

這裡 $e_{ipk} \sim \text{logistic}(0, \sigma_p^2)$ 。 α_{0pk} 與 α_{1pk} 分別為第 p 個潛在變項第 k 題的截距與斜率參數。

從方程式(2)可以得知 α_{0pk} 與 α_{1pk} 被假設具測量不變性。

令 $F_{ipk,c} = P(y_{ipk} \leq c)$ ，利用 cumulative -logit 得到

$$\text{logit}(F_{ipk,c}) \equiv \log \left[\frac{P(y_{ipk} \leq c)}{1 - P(y_{ipk} \leq c)} \right] = \tau_{pkc} - (\alpha_{0pk} + \alpha_{1pk} \theta_{ip}) \quad , \quad (3)$$

這裡 $F_{ipk,0} = 0$ ， $F_{ipk,C} = 1$ ，且 $P(y_{ipk} = c) = F_{ipk,c} - F_{ipk,c-1}$ (Hung, 2010)。

Level-2 Model (受試者內模式或潛在結構模式)

在這個模式中，包含成長曲線模式與潛在殘差模式。受試者 i 的潛在變項 p 在時間點 t 的模式定義如下：

$$\theta_{ip} = \sum_{m=1}^M \lambda_{im} \eta_{imp} + \varepsilon_{ip} \quad , \quad (4)$$

這裡 η_{imp} 表受試者 i 第 p 個潛在變項第 m 個迴歸項(第 1 個迴歸項是截距項，第 2 個迴歸項是斜率項等等)， λ_{im} 是時間負荷值(loadings)， ε_{ip} 是潛在殘差項(Segawa, 2005)。公式(4)亦

$$\Theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1P} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{T1} & \theta_{T2} & \cdots & \theta_{TP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta'_1 \\ \theta'_2 \\ \vdots \\ \theta'_T \end{bmatrix}, \quad (5)$$

則 θ_i 為多變量常態分配，平均數為 $\sum_{m=1}^M \lambda_{im} \eta_{mp}$ ，共變數矩陣為 Σ 。不同的共變數矩陣組合可顯示模式動態關係。 λ_{im} 為了估計收斂常被中心化(以平均數或中位數為中心)，例如考慮六個時間點，假設成長模式為平方(quadratic)成長模式，則原本

$$\lambda = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ 1 & t_3 & t_3^2 \\ 1 & t_4 & t_4^2 \\ 1 & t_5 & t_5^2 \\ 1 & t_6 & t_6^2 \end{bmatrix}, \text{ 以平均數為中心化} = \begin{bmatrix} 1 & -2.5 & 6.25 \\ 1 & -1.5 & 2.25 \\ 1 & -0.5 & 0.25 \\ 1 & 0.5 & 0.25 \\ 1 & 1.5 & 2.25 \\ 1 & 2.5 & 6.25 \end{bmatrix}。$$

對於 ε_{ip} ，考慮一階自迴歸殘差模式(first-order autoregressive residuals model, AR(1))：

$$\varepsilon_{ip} = \beta \varepsilon_{i-1p} + z_{ip}, \quad -1 < \beta < 1, \quad (6)$$

$$z_{ip} \sim N(0, \sigma_p^2),$$

這裡 β 是自迴歸參數； ε_{ip} 為常態分配，平均數 0，變異數 $\sigma_p^2 / (1 - \beta^2)$ ； z_{ip} 亦為常態分配，平均數 0，變異數 σ_p^2 。AR(1)表示這期結果受到前一期影響。如果 $\beta = 0$ 表示前後期沒有影響，這時 AR(1)變為 AR(0)，AR(0)就是 White Noise model。使用貝氏法估計參數時，需先設定參數的先驗分配(prior distribution)，我們設定 β 的先驗分配為 Uniform 分配(即 $\beta \sim \text{Uniform}(-1, 1)$)，而 σ_p^2 的先驗分配為 inverse Gamma 分配 (Lee & Liu, 2000; Segawa, 2005)。

同理，我們也可以擴展為二階自迴歸殘差模式(second-order autoregressive residuals model, AR(2))：

$$\varepsilon_{it} = \beta_1 \varepsilon_{i-1t} + \beta_2 \varepsilon_{i-2t} + z_{it}, \quad (7)$$

$$\beta_1 + \beta_2 < 1, \quad \beta_2 - \beta_1 < 1, \quad -1 < \beta_2 < 1,$$

$$z_{it} \sim N(0, \sigma_z^2),$$

這裡 β_1 和 β_2 是自迴歸參數，其餘定義同上。使用貝氏法估計參數時，可以設定 $\beta_1 \sim N(0, \sigma_{\beta_1}^2) I(-2, U_1)$ ， $\beta_2 \sim N(0, \sigma_{\beta_2}^2) I(-1, U_2)$ ， $U_1 = 1 - \beta_2$ 且 $U_2 = 1 + \beta_1$ ， $I(\cdot)$ 用來限制抽樣的

Level-3 Mode (受試者間模式或個體間差異模式)

為了進一步探究受試者變異，模式被擴及包含第三層次：

$$\eta_{imp} = \sum_{l=1}^L \gamma_{iml} v_{lp} + \zeta_{imp}, \quad (8)$$

$$\zeta_{imp} \sim N(0, \sigma_{\zeta}^2),$$

這裡 γ_{iml} 是受試者變項(例如性別)， v_{lp} 是迴歸係數， ζ_{imp} 是隨機誤差項。我們設定 v_{lp} 的先驗分配為 $v_{mp} \sim N(0, \sigma_v^2)$ ，而 σ_v^2 仍設定為 inverse Gamma 分配。如果 ζ_{imp} 是固定參數，則稱為固定效果模式，這時模式退回到只有二個層次，固定效果模式表示個體間存在著差異性，而這些差異性並非隨機抽樣所造成的；如果 $\zeta_{imp} \sim N(0, \sigma_{\zeta}^2)$ 表示隨機效果模式，這時模式則有三個層次，隨機效果模式表示個體差異是因從母體隨機抽樣所造成的樣本變異。

現在一些統計軟體如 SAS NLMIXED、Mplus 與 WinBUGS 都可以用來分析 CLDFM。SAS NLMIXED 使用最大概似法估計式，但被限制只能用於二個層次的模式。Mplus 可以使用的估計方法極多(例如，MLE, Bayesian and robust weighted least squares 等)，而 WinBUGS 使用馬可夫鏈蒙地卡羅(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)貝氏估計法。MCMC 方法甚多，比較常用的有 Metropolis-Hastings(M-H)算則和 Gibbs Sampler 算則(Hastings, 1970; Liu & Sabatti, 2000; Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, Teller, & Teller, 1953)。

實務應用上，針對複雜的成長模式使用 MLE-based 軟體有其困難(Lee & Liu, 2000; Pettitt, Tran, Haynes, & Hay, 2006)。相反地，對於模式超過二個層次，貝氏估計法卻是非常實用的(Congdon, 2003)，貝氏估計法已經廣泛應用到潛在成長時間序列研究，尤其在誤差項非獨立情況時扮演極重要角色(De Boeck & Wilson, 2004; Hung & Wang, 2012)。另一方面，追蹤調查研究常因某些因素(例如轉學、退學、休學、生病等)而無法繼續追蹤被觀察的對象，形成 missing data，這時 MCMC 的 Gibbs Sampler 的資料擴增(data augmentation; Tanner & Wong, 1987)方法，亦即將未觀察到或無法觀察到的資料擴增到已觀察到的資料中，將使得後驗分配的抽樣變得更容易進行(Zhang & Nesselrode, 2007)，這是最大概似法估計式無法做到的。

在貝氏估計下，模式配適可以 Deviance Information Criterion (DIC; Spiegelhalter, Best, Carlin, & Linde, 2002)進行評估。其定義如下：

$$DIC = \bar{D} + PD, \quad (9)$$

這裡 $PD = \bar{D} - \hat{D}$ ， PD 是模式中有效率的參數數量， \bar{D} 是偏差函數的後驗平均數， \hat{D} 是

事後分配樣本的平均值與實際值之差異。DIC 值越小，表示模式和資料配適程度越好。

第四階段---問卷分析

這個階段將進行問卷結果分析，包含敘述統計分析和信效度分析等，接著進行潛在動態模式分析。整合上述各項階段，有幾個重點必須檢視：(1)成長趨勢是線性還是非線性迴歸模式(2)若是非線性迴歸模式還須確認誤差項變異數是異質還是同質(3)是前後期互不影響的迴歸模式還是前期會影響後期的自迴歸模式(4)是固定效果模式還是隨機效果模式(5)誤差項是具有一階還是二階自我迴歸過程(6)在個體差異性分析方面，若樣本來自固定群體，則使用固定效果模式較能強調個體的差異性，如果樣本來自群體，則採用隨機效果模式可能較佳。

肆、研究結果

一、信度分析

每門課程問卷填答結果的平均數及標準差，如表 1 所示。課程中以通訊系統核心能力認知層次的平均達成度最低，最高則為機率與統計。A,B 兩班中，又以 A 班較 B 班平均達成度為高(計算機組織除外)，A 班電路學、微積分、機率與統計這三門課程認知層次的平均達成度皆大於 4，而 B 班所有課程的平均達成度則皆小於 4。所有課程問卷標準差約介於 0.697~0.865，差距不大，也就是學生對於核心能力認知層次的填答情形並沒有分立兩端(非常同意、極不同意)而是偏向中間(普通與同意之間)。

表 1
核心能力問卷之平均數(M)與標準差(SD)

班別	102 下學期			103 學年度			104 學年度				
	電路學	微積分	工程數學 I	計算機組織	工程數學 II	超大型積體電路	機率與統計	數位系統設計	訊號與系統	通訊系統	
A 班	<i>M</i>	4.071	4.063	3.619	3.735	3.747	3.833	4.113	3.994	3.543	3.561
	<i>SD</i>	0.697	0.697	0.833	0.715	0.817	0.783	0.751	0.732	0.864	0.784
B 班	<i>M</i>	3.420	3.435	3.525	3.896	3.603	3.683	3.777	3.636	3.204	3.135
	<i>SD</i>	0.748	0.698	0.733	0.771	0.762	0.776	0.771	0.820	0.837	0.865

表 2
核心能力問卷 Cronbach's α 值

課程名稱	核心能力指標	題數	Cronbach's α						項目刪除時的平均 α 值	
			102 下學期		103 學年度		104 學年度		A 班	B 班
			A 班	B 班	A 班	B 班	A 班	B 班		
電路學	1,2,7	10	.54	.76					.531	.758
微積分	1,7	5	.71	.58					.682	.554
工程數學 I	1,7	7			.957	.903			.953	.884
計算機組織	1,2,4,6,7	12			.956	.941			.949	.932
工程數學 II	1,7	14			.961	.957			.956	.953
超大型積體電路	1,2,7	15			.976	.936			.973	.930
機率與統計	1,6,7	14					.980	.949	.979	.945
數位系統設計	1,2,3,4,5	15					.968	.965	.964	.962
訊號與系統	1,2,3,4,5	17					.989	.969	.988	.967
通訊系統	1,2,3,4,5	16					.981	.966	.980	.964

每門課程要測量的核心能力指標、問卷題數以及信度，如表 2 所示。第一次測量(102 學年度下學期)的核心能力問卷 Cronbach's α 信度較低，約介於 0.54~0.76，可能是第一次測量，尚無法確認問卷信度不高的原因是因為核心能力要素、認知評量層次抑或其它因素論述不清、語意不明所造成。在徵詢專家學者意見及建議後，信度大幅提升。103 學年度信度值約介於 0.903~0.976，信度極高且所有問卷修正的項目總相關皆未出現負相關，項目刪除時的平均信度值皆 0.88 以上，表示問卷題目皆不需刪除。104 學年度信度值約介於 0.949~0.989，信度皆極高且所有問卷修正的項目總相關亦皆未出現負相關，項目刪除時的平均信度值皆 0.94 以上，表示所有問卷題目皆不需刪除。

二、效度分析

本研究第一次測量信效度不佳，徵詢專家學者，以專業角度協助檢視問卷內容效度，尤其是問卷中每項核心能力素養之潛在特質構面以及認知層次之審視。接著，以學生的課程學期成績分數為效標，進行效標關聯效度分析。效標關聯效度主要評估核心能力問卷填答結果與課程學期成績之關聯程度，避免出現問卷亂答情況。分析結果並沒有出現負相關(表 3)，顯示在課程學期成績佐證下，各科核心能力素養問卷應無胡亂填答之情況。在社會期許偏誤方面，經由信度分析，效標關聯效度分析以及多門課程(多次測量)、不同教師的前後交叉驗證，學生答題情況應無偏差不實的社會期許現象存在。

表 3

核心能力問卷效標關聯效度值

班別	102 下學期			103 學年度			104 學年度			
	電路學	微積分	工程數學 I	計算機組	工程數學 II	超大型積體電路	機率與統計	數位系統設計	訊號與系統	通訊系統
A	.179	.198	.269	.271	.286	.293	.316	.292	.334	.331
B	.210	.182	.249	.263	.282	.260	.269	.297	.312	.304

表 4

核心能力相關矩陣

	能力1	能力2	能力3	能力4	能力5	能力6	能力7
能力1	1						
能力2	.885	1					
能力3	.840	.837	1				
能力4	.846	.857	.929	1			
能力5	.091	.249	.141	.164	1		
能力6	.881	.899	.866	.902	.131	1	
能力7	.839	.902	.879	.930	.101	.918	1

在構念效度 (construct validity) 方面，又分兩個次類型：(a)聚合效度(convergent validity)：當測量同一構念的多重指標彼此間聚合或關連性較大時。由表 4 可以看出，能力指標 1, 2, 3, 4, 6, 7 有著較高的相關，這是因為它們測量的構念屬性較為相似、聚斂，其中指標 6, 7 會與指標 1,2,3,4 較為相關，是因為這些科技工程專業知識(指標 1,2,3,4)仍須藉由對社會環境產業的關注以及持續學習(指標 6,7)加以精進(b)區別效度 (discriminant validity)：當某一個構念與其相對立之構念的測量指標呈現低相關或負相關時。能力指標 5 測量的構念與其它課程專業知識構念明顯相關程度較低(注意：本研究以必修科目為主，但必修科目並未涵蓋所有核心能力的測量，未涵蓋的核心能力 8 和核心能力 9 由其它科目測量)。本研究暫稱能力指標 1,2,3, 4, 6, 7 為科技工程素養成分，能力指標 5(事實上，能力指標 8 和 9 亦屬於此構念)暫稱人文管理素養成分。

三、因素解釋

本研究所有課程核心能力問卷 KMO 值介於 0.540~0.903，第一年的 KMO 值較低，原因可能是樣本數太少或是題目較少導致(Kaiser, 1974)。本研究是針對同一批學生的追蹤研究，無法增加樣本數，所以第二年即從增加題目數量著手。再者，本研究所有問卷 Bartlett 檢定皆具顯著性(p -value .000)，表示變數間非單元矩陣，可以進行維度縮減之因素分析。反映像相關矩陣主對角線值越接近 1 越適合作因素分析，本研究所有問卷除了通訊系統(3A)主對角線值介

於 0.407~0.848 較低外，其餘幾乎接近 0.9，應可作因素分析。

對於選取幾個因素向來是個棘手問題，選取太多無法將測量變項縮減為少數幾個重要的構念，失去因素分析的意義；選取太少又恐有資訊遺漏之處。對於因素個數選取方法，學者亦多所爭執，有提出特徵值大於 1 的方法(Kaiser, 1974)，亦有提出陡坡圖主觀切割法(Cattell, 1966)，也有認為不應該採取特徵值大於 1 的選取方法(Velicer, Eaton, & Fava, 2000)。針對本研究分析結果，採陡坡圖主觀切割法將所有課程問卷皆選取二個成分(科技工程素養成分、人文管理素養成分)。在因素共通性方面，所有問卷因素分析後所得到的共通性值約介於 0.481~0.937。以選取二個成分來看，這當中可解釋的變異最低值是機率與統計(3B)問卷，約只解釋 62.91%的變異，而可解釋的變異最高值是訊號與系統(3A)問卷，約可解釋 89.81%的變異(有關這個部分的分析請看表 5 之整理，這裡不再贅述)。

表 5
因素分析特徵值

	KMO	Bartlett值(df)	第一個 特徵值	第二個 特徵值	第一個 特徵值 轉軸後	第二個 特徵值 轉軸後	可解釋的 變異(%)
工程數學I(2A)	.565	274.554(21)	5.619	0.634	-	-	89.33
工程數學I(2B)	.797	111.818(21)	4.510	0.775	-	-	75.50
計算機組織(2A)	.678	411.594(66)	8.207	1.112	5.136	4.183	77.66
計算機組織(2B)	.765	278.698(66)	7.338	1.538	5.553	3.324	73.97
工程數學II(2A)	.837	493.434(91)	9.304	1.306	4.335	3.749	71.32
工程數學II(2B)	.836	392.288(91)	9.067	1.107	6.399	3.775	72.67
超大型積體電路(2A)	.903	637.437(105)	11.274	1.071	8.248	4.098	82.30
超大型積體電路(2B)	.747	393.263(105)	8.032	1.836	3.942	3.791	70.53
機率與統計(3A)	.569	1042.277(171)	8.032	0.688	5.758	2.961	74.57
機率與統計(3B)	.652	463.412(171)	6.002	1.130	5.079	2.053	62.91
數位系統設計(3A)	.804	622.439(105)	5.659	0.614	3.226	3.046	77.03
數位系統設計(3B)	.738	528.884(105)	6.983	0.778	4.029	3.732	75.36
訊號與系統(3A)	.777	1181.655(136)	11.079	0.561	-	-	89.81
訊號與系統(3B)	.768	561.962(136)	8.280	0.773	4.534	4.519	74.81
通訊系統(3A)	.540	994.488(120)	7.875	0.663	4.756	3.782	85.02
通訊系統(3B)	.781	547.091(120)	8.183	1.114	5.858	3.439	76.27

- 表示只萃取一個成分，無法轉軸。

四、潛在成長模式分析

在模式與資料配適度(model- data fit)的分析中，潛在成長曲線模式依不同的階層(單一階層、二階層、三階層)、不同的自迴歸型態(AR(0)、AR(1)、AR(2))、不同的線性或非線性模式

進行比較，WinBUGS 分析結果得到 DIC 平均值以單一階層模式最大 7149.41，線性模式又比非線性模式平均而言約大 78.64，其它二階層 AR(0)、AR(1)、AR(2)模式分別平均為 7108.81、7039.93、7016.41，三階層 AR(0)、AR(1)、AR(2)模式分別為 7138.15、7038.07、7026.72。各階層的 Dbar、Dhat、pD 平均值，詳表 6 所示。

表 6
資料與模式之配適度分析

	單一階層	二階層非線性			三階層非線性		
		AR0	AR1	AR2	AR0	AR1	AR2
Dbar	7143.35	6569.31	6433.6	6256.97	6604.12	6420.12	6314.3
Dhat	7137.3	6029.81	5827.28	5497.54	6070.09	5802.18	5601.89
pD	6.054	539.5	606.324	759.434	534.033	617.943	712.414
DIC	7149.41	7108.81	7039.93	7016.41	7138.15	7038.07	7026.72

AR(0) : White Noise model.

AR(1) : first-order autoregressive residuals model.

AR(2) : second-order autoregressive residuals model.

DIC : deviance information criterion. $Dbar = \bar{D}$, $Dhat = \hat{D}$.

表 7
二階層 AR2 非線性成長模式估計值

參數	能力 1	能力 2	能力 3	能力 4	能力 5	能力 6	能力 7
α	1.307	1.276	1.314	1.336	1.245	1.293	1.271
τ_1	-4.368	-4.253	-3.586	-2.631	-3.914	-3.707	-5.079
τ_2	-3.492	-3.387	-2.742	-1.811	-3.049	-2.839	-4.219
τ_3	-1.133	-1.061	-0.447	0.4735	-0.7484	-0.5514	-1.888
τ_4	1.554	1.586	2.239	3.157	1.907	2.066	0.827
	-0.227	-0.170	0.417	1.331	0.1296	0.3284	-1.003
	0.013	-0.007	-0.012	0.064	-0.008	0.008	0.050
v_1	0.004	-0.002	-0.010	0.051	-0.029	0.013	0.008
	0.005	0.007	-0.043	-0.052	0.051	-0.003	-0.043
	0.011	-0.021	-0.047	-0.007	-0.025	-0.033	-0.016
	0.069	0.066	0.062	0.064	0.063	0.067	0.067
	-0.015	-0.013	-0.020	-0.014	-0.010	0.001	0.001
v_2	0.011	0.005	-0.018	0.008	-0.015	-0.008	-0.018
	-0.013	0.002	-0.004	0.014	-0.020	-0.002	-0.016
	0.004	-0.020	-0.005	0.001	0.034	0.037	0.067
	-0.224	-0.220	-0.216	-0.220	-0.221	-0.223	-0.220
	0.003	0.014	0.014	0.028	-0.074	-0.050	0.007
v_3	0.027	0.008	0.039	-0.029	-0.054	0.012	0.053
	0.004	-0.003	-0.034	0.007	0.002	-0.030	-0.010
	-0.004	-0.016	-0.002	-0.005	0.024	-0.020	-0.016

(續下頁)

表 7

二階層 AR2 非線性成長模式估計值 (續上頁)

參數	能力 1	能力 2	能力 3	能力 4	能力 5	能力 6	能力 7
β_1	0.215	0.072	0.234	0.241	0.250	0.252	0.217
β_2	0.390	0.101	0.432	0.465	0.399	0.413	0.441
Σ_p	1.115	0.258	1.07	1.000	0.994	0.888	1.121

根據配適度分析 DIC 的結果，以二階層 AR2 非線性成長曲線為最適模式。限於篇幅，這裡只列出最適模式所有參數的估計值(表 7)。研究結果以第一核心能力為例(其它核心能力依此類推)說明如下：

- (a).在測量模式中，主要探討截距項與斜率項是否隨著時間而改變?研究結果發現斜率項並未隨著時間而改變，也就是測量模式斜率項具不變性(約 1.3 左右)，截距項則被固定為 0(原點)。
- (b).為了模式設定及分析便利，我們將測量同一核心能力的題目以平均數進行分析。因為問卷是五點量表而且是順序變項，所以參數估計值有四個，分別是-4.368, -3.492, -1.133, 1.554。
- (c).在結構模式中，包含成長曲線模式與潛在殘差模式。研究結果：成長模式呈現非線性(quadratic)的模式：

$$\mu_t = -0.227 + 0.069 t - 0.224 t^2 ,$$

而時間系列對潛在特質的影響存在著 AR(2)關係： $\hat{\epsilon}_{it} = 0.215 \epsilon_{it-1} + 0.39 \epsilon_{it-2}$ 。

- (d).由配適度分析結果得知，以二層次成長曲線為最適模式。第三層次的 Σ_c 為 0，所以本分析結果為固定效果模式， v_{ip} 估計值是固定效果模式下的參數估計值。這也符合本研究樣本是固定樣本的真實情境。
- (e).除了探討潛在特質多階層模式外，並以動態模式探討 IEET 核心能力動態變化情形，從 Σ_p (其值約介於 0.258~1.121)可以推知動態模式是存在的，不同的潛在特質有著不同的變異。

伍、結論與建議

一、結論

1. 核心能力素養成長曲線呈現非線性 quadratic 成長情形。

本研究之研究結果顯示這些被觀察者潛在特質核心能力素養成長模式呈現非線性 quadratic 成長情形。

2. 核心能力素養存在著時間系列自迴歸現象。

本研究之研究結果顯示這些潛在特質核心能力素養不僅受到前一期也受到前二期的影響，也就是存在著 AR(2)的現象。

3. 核心能力素養多層次模式較適合。

從表6 DIC值的比較可以看出，多層次模式較單一層次模式更適合。事實上，本研究將該層的誤差項事先納入考量(測量模式有測量誤差，結構模式有結構誤差，個體差異模式有隨機誤差)，排除掉誤差才能提高各層的參數估計正確性。研究結果顯示個體差異為固定效果模式，正切合本研究固定樣本特性。

4. 多向度核心能力素養在時間系列下向度與向度間存在著動態關係。

本研究結果顯示動態模式比靜態模式更適合。這些不同的潛在特質有著不同的變異(異質性)，也就是在時間的更迭下，並沒有出現這些個潛在特質擁有相同的變異數(同質性)的靜態模式出現。

5. 建構核心能力素養之類別潛在動態因素模式

本研究經由資料分析、CLDFM 分析以及 Fit 分析得出最適模式。資料分析包括信度分析、效度分析、因素分析以及效標關聯效度分析。CLDFM 分析主要針對前述研究問題逐一進行檢驗，找出最適模式，建構出核心能力素養之類別潛在動態因素模式。

總結上述，IEET 認證評鑑作業是以「學生成果」為導向，透過定期評估及持續改進，檢視系所是否提供教師及學生一個專業成長的環境，其畢業生是否具備執行專業工作的基本核心能力，進而瞭解該系所是否達成自設之教育目標。認證內容涵蓋認證規範共 9 項，本研究結果涵蓋了其中最主要的 5 項(認證規範 1.教育目標、認證規範 2.學生、認證規範 3.教學成效及評量、認證規範 4.課程之組成、證規範 5.教師)，研究結果可視為官方 IEET 認證評鑑的另一檢視，是從核心能力潛在特質觀點切入，有別於 IEET 認證其教學成效及學生學期成績等評鑑項目，較偏向觀察變項的檢視。從本研究結果可以看出學生非線性的潛在成長趨勢，而且學生學習潛在歷程是前後緊扣的，不僅受到上學期影響也受到上上學期的影響，不同課程潛在特質的學習也存在著課程學習動態差異，有的課程學生的潛在特質學習成效變異較小，有的課程潛在特質學習變異較大，這些研究結果可能是官方評鑑較無法呈現的。

不過，本研究是量化分析的結果，事實上，更重要的是系友的實質回饋，在他們畢業離校後投入職場，這些核心能力指標是否真實對應到職場？本研究分析結果於系友回娘家或透過其它管道，讓系友檢視及回應，對於工程教育核心能力的培育，畢業系友的建議無疑是最直接且最具效益的。另一項有效檢視是業界的的需求檢核，系所核心能力指標符合業界需求嗎？本研究結果可提供給業界參考，再由業界提出培育方法。最後，透過系所諮詢會議，邀請諮

二、限制與建議

本研究採用專業必修科目中 10 門課程，研究對象為二個班級學生。事實上，未來進行類似研究，可以擴大班級數或將其它一些必修或選修的相關課程納入分析，使資料的取得多樣化以提升信效度。

本研究只以某系為例，事實上，在院組織架構下，還有其它參與認證的科系亦可納入比較研究(學院下各系核心能力素養接近但不盡相同)。惟增加研究對象，除了人力成本的增加外，其它如休退學轉學因素、不同科系行政程序業務協調等等，也會增加研究調查的難度。

關於施測結果的運用，本研究採用問卷自我填答方式(主觀分數)做為判斷核心能力養成的依據，雖有學期成績(客觀分數)之效標關聯效度，但仍有改善空間。未來如要進行後續研究，應該與院、校的所有核心能力素養問卷結果加以比較，理論上與院的核心能力素養相關程度應高於與校的核心能力素養相關程度，以確認研究的有效性。

本研究只提出前後期影響的 AR 自迴歸模式。事實上，還有其它像變項和前期誤差項相關的 MA(moving average) 或變項同時和變項的前期以及誤差項的前期相關的 ARMA(autoregressive moving average)模式可以探討。

本研究使用 WinBUGS 軟體分析資料，雖然是免費軟體，但必須自己撰寫程式。反之，目前 Stata 軟體提供諸多指令(例如橫斷面、縱貫面、追蹤資料、非線性、多層次、潛在成長曲線等研究議題)而且操作非常方便，未來如要進行此類研究，Stata 軟體是最值得考慮的分析工具。

參考文獻

- 李坤崇 (2013)。大學生通識核心素養之編制。教育研究月刊，235，137-155。
- 張佩芬 (2006)。工程教育評鑑機制之學生核心能力評估與國際化—子計劃：多元評量方法學(國科會專題研究計畫成果報告編號：NSC 94-2522-S-008-002)。台北：中華民國行政院國家科學委員會。
- 教育部資科司 (2016)。產業創新提升人才培育計畫。台北：教育部資科司。線上檢索日期：2018 年 11 月 14 日。取自：
<http://www.ilvs.ilc.edu.tw/ezcatfiles/cust/img/img/66/edupolicy07.pdf>
- 游自達 (2019)。素養導向教學的實踐：深化學習的開展。臺灣教育評論月刊，8，6-12。
- 楊永斌、葛家豪、張佩芬、劉曼君 (2005)。我國工程及科技教育認證制度之推動現況。國家菁英季刊，1(3)，111-126。
- 楊俊鴻 (2018)。素養導向課程與教學：理論與實踐。台北：高等教育。

資策會 (2015)。台灣產業發展願景與策略。台北：資策會。線上檢索日期：2018 年 12 月 19 日。取自：<https://www.mgt.ncu.edu.tw/~ckfarn/ppt/200705Vision2015.pdf>

蔡清田 (2016)。領域/科目核心素養的課程設計。臺灣教育評論月刊, 5, 142-147。

蕭介夫 (2014)。從評鑑看大學自我品保機制的建立。評鑑雙月刊, 48, 7-11。

Alshehry, A. T. (2018). Case study of science teachers' professional development Saudi Arabia: Challenges and improvements. *International Education Studies*, 11(3), 70-76.

Amsale, F., Feyisa, D., & Ferde, B. (2016). Principal's perceived leadership effectiveness and its relationship with academic achievement among students in secondary school: The Ethiopian experience. *Educational Research and Reviews*, 11(12), 1129-1137.

Andersson, P., & Onarheim, B. (2015). Facilitating Creativity as a core competence in Engineering Education. In Proceedings of the 43rd Sefi Annual Conference 2015: *Diversity in Engineering Education: An Opportunity to face the new Trends of Engineering*, European Society for Engineering Education.

Arminger, G., Clogg, C. C., & Sobel, M. E. (1995). *Handbook of Statistical Modeling for the Social and Behavioral Sciences*. New York: Springer.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.

Bryk, A. S., & Raudenbush, S. W. (1992). *Hierarchical linear models*. Newbury Park, CA: Sage.

Cattell, R. B. (1966). The Scree Test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1(2), 245-276.

Congdon, P. (2003). *Applied Bayesian Modeling*. New York: Wiley.

De Boeck, P., & Wilson, M. (2004). *Explanatory item response models: A generalized linear and nonlinear approach*. New York: Springer-Verlag.

Duncan, T. E., Duncan, S. C., & Strycker, L. A. (2006). *An introduction to latent variable growth curve modeling: Concepts, issues, and applications* (2nd ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Farouk, S. N., & Michael, E. J. M. (2016). Bayesian alternatives to null-hypothesis significance testing for repeated-measures designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 72, 144-157.

Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2015). *Universal basic skills: What countries stand to gain*. OECD Publishing.

Hastings, W. K. (1970). Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications. *Biometrika*, 57, 97-109.

Hung, L. F. (2010). The multigroup multilevel categorical latent growth curve models. *Multivariate Behavioral Research*, 45, 359-392.

Hung, L. F., & Wang, W. C. (2012). The Generalized Multilevel Facets Model for Longitudinal Data. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 37(2), 231-255.

Judy I. M., & Jayashree, N. (2015). Partnering to provide simulated learning to address Interprofessional Education Collaborative core competencies, *Journal of Interprofessional Care*, 29, 258-259.

Jue, W., & Sheng, L. (2017). Multidimensional latent trait linear mixed model: an application in clinical studies with multivariate longitudinal outcomes. *Statistics in Medicine*, 36, 3244-3256.

Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31-36.

LaHuis, D. M., Hartman, M. J., Hakoyama, S., & Clark, P. C. (2014). Explained variance measures for multilevel models. *Organizational Research Methods*, 17, 433-451.

Lee, J. C., & Liu, K. C. (2000). Bayesian analysis of a general growth curve model with predictions using power transformations and AR(1) autoregressive dependence. *Journal of Applied Statistics*, 27, 321-336.

Lindstrom, M. J., & Bates, D. M. (1990). Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measures Data. *Biometrics*, 46, 673-687.

Liu, J. S., & Sabatti, C. (2000). Generalised Gibbs sampler and multigrid Monte Carlo for Bayesian computation. *Biometrika*, 87, 353-369.

McNeish, D., Stapleton, L. M., & Silverman, R. D. (2017). On the unnecessary ubiquity of hierarchical linear modeling. *Psychological Methods*, 22(1), 114-140.

Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21, 1087-1092.

Mohammadpour, E. (2013). A three-level multilevel analysis of Singaporean eighth-graders science achievement. *Learning and Individual Differences*, 26, 212-220.

Muthén, B. O. (1994). Multilevel covariance structure analysis. *Sociological Methods & Research*, 22, 376-398.

Nesselroade, J. R., McArdle, J. J., Aggen, S. H., & Meyers, J. (2001). Dynamic factor analysis models for multivariate time series analysis. In D. S. Moskowitz, & S. L. Hershberger (Ed.), *Modeling individual variability with repeated measures data: Advance & Techniques*. Mahwah, NJ: Erlbaum Press.

OECD (2016). Global competency for an inclusive world. Paris:OECD.

OECD (2018). The Future of Education and Skills Education 2030. Paris:OECD.

Olga, Z. T., & Hans, A. P. (2016). Measurement Advances and Challenges in Competency Assessment in Higher Education. *Journal of Educational Measurement*, 53(3), 253-264.

Pellegrino, J. W. (2017). Teaching, learning and assessing 21st century skills. In Guerriero, S. (Ed.),

- Pedagogical Knowledge and the Changing Nature of the Teaching Profession* (pp. 223-252). Paris: OECD Publishing.
- Pettitt, A. N., Tran, T. T., Haynes, M. A., & Hay, J. L. (2006). A Bayesian hierarchical model for categorical longitudinal data from a social survey of immigrants. *Journal of Royal Statistical Society A*, 169, 97-114.
- Reckase, M., D. (2009). *Multidimensional Item Response Theory: Statistics for Social and Behavioral Sciences*. New York, NY: Springer.
- Reng, L., Schoenau-Fog, H., Kofoed, L., & Timcenko, O. (2018). *Purposive Game Development to foster Technical and Management Skills: A Longitudinal Study*. In Proceedings of the 12th European Conference on Game-Based Learning (ECGBL) (pp. 540-548). Academic Conferences and Publishing International. Academic Bookshop Proceedings Series
- Sayer, A. G., & Cumsille, P. E. (2001). Second-order latent growth models. In L. M. Collins, & A. G. Sayer (Ed.), *New methods for the analysis of change* (pp.179-200). Washington, DC: American Psychological Press.
- Segawa, E. (2005). A growth model for multilevel ordinal data. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 30, 369-396.
- Shengxian, D. (2019). Research on the Characteristics and Methods of Cultivating College Students' Vocational Core Competence. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 356, 169-172.
- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., & van der Linde, A. (2002). Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, 64, 583-639.
- Tanner, M. A., & Wong, W. H. (1987). The Calculation of Posterior Distributions by Data Augmentation. *Journal of the American Statistical Association*, 82, 528-550.
- Velicer, W. F., Eaton, C. A., & Fava, J. L. (2000). Construct Explication through Factor or Component Analysis: A Review and Evaluation of Alternative Procedures for Determining the Number of Factors or Components. In Goffin, R. D., & Helmes, E. (Ed.), *Problems and Solutions in Human Assessment: Honoring Douglas Jackson at Seventy*. Boston: Kluwer Press.
- Zhang, Z., & Nesselroade, J. R. (2007). Bayesian estimation of categorical dynamic factor models. *Multivariate Behavioral Research*, 42, 729-756.