

探討跨領域實作課程對學生合作型問題解決能力之影響

Learning Effectiveness of an Interdisciplinary Capstone Course: The CPS approach

洪明瑄¹ 張佩芬² 楊接期³

HUNG, MING HSUAN¹ CHANG, PEI FEN² YANG, JIE CHI³

¹ 國立中央大學 學習與教學研究所 研究生

¹ National Central University of Learning and Instruction Student

E-mail : minghsuan0917@gmail.com

² 國立中央大學 學習與教學研究所 副教授

² National Central University of Learning and Instruction Associate Professor

E-mail : chang.peifen@gmail.com

³ 國立中央大學 網路學習科技研究所 教授

³ National Central University of Network Learning Technology Professor

E-mail : yang@cl.ncu.edu.tw

摘要

現今國際工程教育重視合作型問題解決能力(collaborative problem solving)之跨領域人才培育。本研究旨在探討跨領域實作課程對學生合作型問題解決能力的影響，並瞭解學生實作的歷程。本研究以北部某國立大學智慧型語言學習系統課程為例，運用評量問卷，實施前後測了解學生的學習成效，以提供教師作為課程改善之依據。研究結果顯示，各項核心能力之後測平均數皆高於前測平均數，而學生在這門課程進步最多的是團隊合作以及問題解決能力。除此之外，學生也從課程中培養跨領域學習的能力。最後，本研究將針對研究結果與未來方向提出結論與建議。

關鍵字：合作型問題解決能力、實作課程、跨領域

Abstract

International engineering education values the cultivation of collaborative problem solving (CPS) skills. The purpose of this research is to evaluate the learning effectiveness which implementing the CPS approach to interdisciplinary capstone course within the Department of Computer Science of a university of northern Taiwan. Results of pre-test and post-test analysis on the Teamwork Competency Test (TWCT) indicate that students enhance the highest CPS competency in the teamwork skills. The second highest improvement is their abilities to compare available software and tools to solve the problems they encountered. Finally, this research will provide suggestions and future directions regarding future improvement for the teaching and assessment in order to further understand students' learning process within the capstone course.

Keyword: collaborative problem solving, capstone course, interdisciplinary

壹、前言

一、研究動機

隨著科技的發展，世界村的時代已經來臨，因而目前工程教育面臨許多新的挑戰。首先是學生的核心能力需要因應科技的進步而改變，因此在相關能力培養的課程設計上必須更具有特色，才能培養出適應未來職場需求的人才。除此之外，大部分的問題並非只有唯一的解決方式或答案，必須評估各種可能性，以尋求適當的方案解決問題，而比較複雜的問題通常需要靠團隊合作來完成，且未來職場在完成專案時也大多採用團隊的方式，只靠個人單打獨鬥已無法突破產業競爭的困境。因此，在資電工程教育中培養學生團隊合作與問題解決能力是很重要的，其中有效的教學方法之一是合作型問題解決模式（Collaborative Problem Solving, 以下簡稱 CPS）。

合作型問題解決模式源於建構主義，強調透過合力探索、協同規劃、監控問題解決歷程，以掌握更理想的問題解決方案（Barron, 2000）。參與 CPS 活動的學生需要協同合作，整合多重觀點，並透過同儕討論結果進行反思，制訂有效的解決方案（Dillenbourg & Traum, 2006）。合作型問題解決模式因具備人際互動與集體創思的特質，現今已成為促進科學知識建構以及提高學生知識理解的不可或缺之教學方法（Hmelo-Silver, Jordan, Liu, & Chernobilsky, 2011; Lin et al., 2013）。

(一) 國際間逐漸重視合作型問題解決能力之跨領域人才培育

國際上，許多先進國家及組織已開始重視合作型問題解決能力，因此在 2015 年，國際學生能力評量計劃(the Programme for International Student Assessment, PISA) 在原有的評核重點內，加上合作型問題解決能力。

雖然目前世界各國尚未有類似的公開檢測分析報告可供比較，但近年來各國開始注重合作溝通與問題解決相關的課程教學與評量(Graesser, Kuo, & Liao, 2017)。國際學生能力評量計畫(PISA)也持續推動開發多元的合作型問題解決模式教材，發展真人線上互動的合作型問題解決模式系統，提供完整的合作型問題解決模式教學平臺與教材讓教師與學生使用。此外也持續研發各領域合作型問題解決模式教材、辦理教師培訓工作坊，使教師能將合作型問題解決模式融入現有課程中，以提升學生合作型問題解決能力(OECD, 2013)。

然而因對合作型問題解決模式的定義因國家和地區而略有不同，且大多數的研究著重於描述和評量此模式中的特定能力，例如團隊合作與問題解決，而溝通和領導等較抽象的概念則較少被探討。因此，未來的研究可以整合合作型問題解決模式的各種能力進行發展與評量。

(二) 國內合作型問題解決模式的實證研究結果呈現分歧

雖然目前已有許多關於團隊合作與問題解決領域的實證研究，但在合作型問題解決能力的實證研究結果仍呈現分歧。例如在 Lin, Hou, Wu 及 Chang, (2014) 的研究中發現，個人獨立解決問題的學生們，比起以小組討論為主的學生們花費更多時間對問題進行理解和實作；而以討論為主的學生組則是缺乏對問題的分析，無法有效地將概念與實作連結起來。

然而，Chang 等人(2017)的研究卻發現，雖然小組合作模式的學生經常討論問題，但在其互動中並沒有觀察到小組成員的討論內容和實作表現之間的連結或相關性；而個人獨立解決問題的學生們雖然表現出較低的合作互動，但卻在問題解決的過程中開始探索問題，並將其各自對問題的反思在問題解決的最後思考階段與其它獨立解決問題的學生們分享。研究結果也指出，儘管小組合作為學生提供更好的集體創思機會，但有時卻可能阻礙學生個人對於欲解決之問題的探索空間。因此，如何在跨領域實作課程中兼顧學生獨立思考與合作學習能力的培育，是當今工程教育刻不容緩的待解難題 (Chang et al., 2017)。

二、研究目的

本研究將以 CPS 模式之學生實作設計行為為研究主軸，以北部某國立大學資電學院之智慧型語言學習系統課程作為課程發展與成效評估對象，並提供一套評量學生合作型問題解決能力之評量方法學。研究方法將主軸放在學習活動參與者主體之研究，探究 Capstone 實作課程對學生課前與課後之核心能力是否有顯著差異。期望建立能夠評估學生的學習成效與合作型問題解決能力的評量模式。

貳、文獻探討

一、合作型問題解決能力的定義

國際學生能力評量計劃 (PISA) 在 2015 年將團隊合作的能力指標納入原有的評核重點。根據 PISA 2015 年針對合作型問題解決能力的評估，主要是培養三種主要核心能力，分別為：(1) 建立和維繫互相理解的能力、(2) 採取適當行為來解決問題的能力，以及(3) 建立和維持團隊合作的能力。這三個核心能力指標再與 PISA 2012 年提出的四個問題解決階段：(1) 探索及理解問題、(2) 表達及解決問題、(3) 計劃及執行以及(4) 檢視及反思問題，形成一個 4x3 的能力矩陣指標架構(OECD, 2013, 表 1)。

表 1 合作型問題解決能力之矩陣(OECD, 2013)

團隊合作 問題解決	(1)建立和維持共同的理解	(2)採取適當行為來解決問題	(3)建立和維持團隊合作
(A)探究及理解問題	(A1)發現團隊成員的觀點與能力	(A2)根據目標發現解決問題的互動型態	(A3)理解在解決問題過程中所扮演的角色
(B)表達及解決問題	(B1)建立共享的陳述和協商問題的意義	(B2)辨認與描述須完成的工作	(B3)描述角色與團隊組織
(C)計畫及執行	(C1)與團隊溝通將要執行的行動	(C2)制定計畫	(C3)遵守約定的規則
(D)檢視及反思問題	(D1)監控與修訂共享的理解	(D2)檢核執行的結果與評價解決問題的成功與否	(D3)檢核、反饋與適應團隊組織和角色

除了 PISA 2015 年建立的合作型問題解決能力架構之外，Oliveri, Lawless, & Molloy (2017)從 1994 年到 2015 年間的 14 篇論文中，將現有的合作型問題解決能力 (CPS) 的定義進行整理，最後歸納成四個主要技能，分別為團隊合作 (teamwork)、溝通 (communication)、領導能力 (leadership)和問題解決 (problem solving)的能力。

(一) 團隊合作又分成五個主要技能 (Oliveri et al., 2017)：

1. 團隊凝聚力 (team cohesion)
2. 團隊賦權 (team empowerment)
3. 團隊學習 (team learning)
4. 自我管理和領導 (self-management and self-leadership)
5. 開放的胸襟，適應和靈活性 (open-mindedness, adaptability, and flexibility)

(二) 溝通有兩個主要技能 (Oliveri et al., 2017) :

1. 積極傾聽 (active listening)
2. 訊息交流 (information exchange)

(三) 領導能力 (leadership) 有五個主要技能 (Oliveri et al., 2017) :

1. 組織活動和資源 (organizing activities and resources)
2. 成效檢視 (monitoring performances)
3. 遇到障礙後重新規劃 (reorganizing when faced with obstacles)
4. 解決衝突 (resolving conflicts)
5. 適才適任的領導力 (demonstrating transformational leadership)

(四) 問題解決 (Oliveri et al., 2017) :

較多的文獻將問題解決分成主要五個階段，分別為：

- 1、 定義問題 (identifying and defining a problem)
- 2、 腦力激盪 (brainstorming)
- 3、 規劃 (planning)
- 4、 解釋和分析訊息 (interpreting and analyzing information)
- 5、 評估和實施方案 (evaluating and implementing solutions)

值得一提的是，Oliveri 等人 (2017) 提到，合作型問題解決(CPS)模式的教學和學習將提高大學畢業生面對未來職場的準備程度，使其在實際工作環境中轉化為更好的團隊合作行為。然而，該能力之評量方法學在國內與國際上的工程教育研究目前是較為缺乏的。因此，尋找如何在整個課程中有效整合教學活動及評量工具，對當今國內外工程教育研究是刻不容緩的迫切議題 (Beddoes et al., 2010)。

二、合作型問題解決能力之重要實證研究

合作型問題解決模式因具備人際互動與集體創思的特質，現今已成為促進科學知識建構以及提高學生知識理解的不可或缺之教學方法 (Hmelo-Silver, Jordan, Liu, & Chernobilsky, 2011; Lin et al., 2013)。接下來將說明一系列相關的實證研究。

在 Adams, Atman, Nakamura, Kalonji 及 Denton (2002)的研究中，以華盛頓大學工程設計課程的大一學生為對象，採用多元方式評量學生合作型問題解決能力的學習成效，研究結果顯示學生均有達成課程目標，且學生能透過課程學習問題解決與參與實作。Adams 等人(2002)的研究也同時分析各項評量工具所評量的學習活動與學習歷程，並開發可以增強合作型問題解決能力的課程，也設計更精確的評量計畫。

而 Chang 等人(2017)的研究中，將 83 位年齡為 17 至 18 歲的高二學生分為兩個組別，分別為個人(individual-based simulation，簡稱 IS)與合作模式

(collaborative simulation, 簡稱 CS), 兩個組別的學生都需要製作一個飛行器的遊戲, 在這個遊戲中, 學生必須從恆定速度 (V_x) 水平飛行的飛機投下炸彈, 以摧毀位於特定距離的雷達站。研究團隊進而從過程中比較兩組學生如何解決此問題。研究結果顯示, 合作模式的學生小組雖然表現出積極參與協同合作, 但他們沒有將討論轉化為可行的解決問題的活動; 而個人模式的學生們剛好相反, 這群學生雖然表現出較低程度的協同合作, 但卻在問題解決的過程中開始探索問題。

根據分析結果發現, 使用獨立作業進行問題解決的學生與小組同儕協同作業的學生, 各自會以迥然不同的模式解決問題。使用同儕協同作業的學生在協同活動期間較為積極參與, 但他們並沒有將討論結果變成具體可行的方案或成果。而獨立作業進行問題解決的學生, 則是參與協作的程度較低, 開始時是先透過獨自探索問題, 然後才進行小組反思。兩組學生的學習表現成績也有顯著差異。

綜上所述, 該研究結果顯示了個人模式小組與合作模式小組在問題解決的歷程、學習表現、團隊合作面向的不同風格。研究發現, 合作模式小組的組員協同合作關係緊密, 傾向以討論作為解決問題的策略, 但卻無法將討論結果轉化成可行的問題解決步驟。因此活動結束後, 合作模式小組在解題的學習表現並沒有提高。相反地, 分配到個人模式小組的成員們在問題解決過程中雖然較少協調合作, 但成員們能在最後階段一起討論各自的解題結果, 而使得解決問題的成效更勝一籌, 且討論內容更具反思性, 有助於成員間充分理解問題的本質。

參、研究實施與設計

本研究為一縱斷面之研究, 評量工具將採用單組前後測設計之問卷調查作為資料蒐集方法, 以下將說明本研究之研究對象、課程實施、研究工具及資料處理與分析等四個部份。

一、研究對象

本研究以北部某國立大學資電學院之選修課「智慧型語言學習系統」為本實驗設計之課程, 本課程共有 9 位學生, 包含 6 位大學生及 3 位博士生。由於學生皆為資電學院的學生, 在溝通與討論上較有共通語言與想法, 且在修課前學生已具備撰寫程式的能力, 但較缺乏語言學習與教學方面的相關經驗與背景。

二、課程實施

本研究之「智慧型語言學習系統」為資電學院的一門課程, 課程主要目標有三: (1) 了解智慧型語言學習系統研究領域的發展、(2) 探討智慧型語言學習系統的相關設計原則、(3) 實際開發一個智慧型語言學習系統。這堂課的實作成品由 2-3 人一組的團隊共同完成, 且每組學生都包含大學生與博士生, 採異質分組 (heterogeneous grouping), 在期末時需完成一套電腦輔助語言教學 (Computers in language learning, 簡稱 CALL) 的遊戲, 此遊戲的類型與內容並無特別限制, 但一

定要具備語言學習的功能。期末報告需以組為單位上台報告，並介紹所開發的數位學習遊戲系統，透過向其他團隊展示與推廣，藉此訓練學生的語言表達與溝通能力。在團隊製作智慧型語言學習系統的過程，也可訓練團隊成員所需的專案管理能力，包含時間管理、團隊工作分配等，培育學生有效率的執行專案規劃並挑戰實際需要解決的問題。

本課程以合作型問題解決模式融入專題實作的方式，課程著重於小組團隊合作，並結合跨領域學習，整合資訊工程、語言學習與教學等三個領域的專業知識與技術。學生藉由本課程可以培養團隊合作、有效溝通、問題解決與跨領域學習等能力。

三、研究工具

本研究為瞭解學生在這堂課的學習成效，實施單組前後測之問卷調查，讓修課的所有學生在課程開始的第三週進行前測，在課程最後一週進行後測，並計算問卷之分數，以了解學生在哪些能力上有顯著提升。

本研究所採用的研究工具為前測與後測問卷，前測與後測的內容除了刪除基本資料中的第五及第六題，其餘的問卷內容與計分方式皆相同。問卷由研究者自編，其編製是依據智慧型語言學習系統課程之授課教師所規劃之「課程之核心能力達成指標」。前測的主要目的為瞭解學生在修習課程之前，課程所要求之核心能力的表現，其中核心能力包含團隊合作與問題解決能力。後測的主要目的則是瞭解學生在修習課程之後，與前測相比是否有差異。以下詳細說明問卷形成、測驗形式與計分方式。

(一) 問卷形成

本問卷共分成兩個部分，第一部分為學生基本資料，第二部分為課程核心能力自評量表，問卷各部分分數如下：

1、學生基本資料

此部分為學生基本資料之調查，為瞭解修課學生的個人背景及偏好，例如：所屬系所、年級、喜歡的教學方式及具備相關能力的程度等。基本資料共有 6 題，為單選或是多選題。

2、課程核心能力自評量表

此份量表是依據課程授課教師制定的「課程之核心能力達成指標」編制而成，先由兩位專家共同進行修訂後，形成預試問卷，預試問卷共有 34 題。由於此份自評量表是自編而成的，為增加其內容效度，研究者再找 3 名碩士生，1 名為資電背景，2 名為教育背景，分別進行放聲思考，確認問卷語詞是否符合資電領域所慣用、各題語意是否通順易懂以及是否有達到問卷目的。修訂完的預試問卷再找 5 名修習過相關課程，且具備此課程所訂定之相關核心能力的碩士生進行預試。

(二) 測驗形式

本研究將會進行前測與後測問卷調查。由於第三週才正式確定選課人數，因此前測在課程開始的第三週施測，採用紙筆測驗的方式進行。而後測訂於課程的最後一堂課施測，採用線上測驗方式填答問卷，將問卷放於 Zuvio 即時反饋系統的課程平台上，讓學生於課堂上上網填答。

(三) 計分方式

學生基本資料的部分，作答方式為單選或是多選題，按照自己的身份背景填答。而課程自評量表的作答方式採李克特四點量表 (Likert-type) 之計分方式，學生依據題目中所敘述之能力，勾選最符合自己學習狀況的答案，由高至低可以分為「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」，分別給予 4 到 1 分，其中第 19、20 及 28 題為反向題，採反向計分方式計分。

四、資料處理與分析

本研究將使用問卷調查的方式來評量學習成效，以下詳述資料分析之方法。

問卷調查所得數據將以 SPSS Statistics 24 之統計套裝軟體進行各項統計分析，並依照量表採李克特四點量表 (Likert-type) 之計分方式，學生依據題目中所敘述之能力，勾選最符合自己的答案，由高至低可以分為「非常同意」、「同意」、「不同意」、「非常不同意」，分別給予 4 到 1 分，並進行各項統計分析，包括平均數、標準差等描述性統計方法，並透過成對樣本 t 檢定檢驗學生前後測之分數。

(一) 描述性統計

以平均數及標準差之描述性統計方法，瞭解修課學生在修課前後，各項核心能力的得分是否有成長與差異，進而描述與分析現況。

(二) 成對樣本 t 檢定

成對樣本 t 檢定旨在指出相同的群體在兩種不同的條件下進行研究，也就是不同的平均數來自於同一個樣本的同一群人，用於前測 (pre-test) 與後測 (post-test) 的研究設計中。本研究將採用成對樣本 t 檢定，參與者將接受兩次測試，為比較修課前與修課後，學生在各項核心能力是否有顯著差異。

參、結果與討論

本研究針對智慧型語言學習系統課程進行一系列深入的評估，完成教學策略發展與學習成效評估，並分析跨領域實作課程對學生學習成效及合作型問題解決能力之影響。

智慧型語言學習系統課程欲培養學生的四大核心能力分別為：

1. 具備撰寫電腦語言程式的能力
2. 具備了解語言學應用於遊戲之原理的能力

3. 具備有效溝通及團隊合作的能力
4. 具備搜尋比較分析可用技術與解決問題的能力

針對學生在這四大核心能力的學習成效之問卷將各題平均數以圖 1 示之，顯示學生的後測平均數皆高於前測平均數。

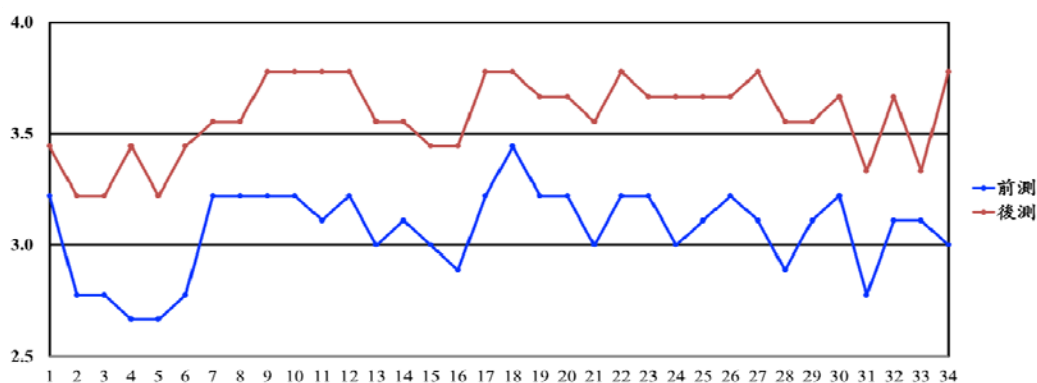


圖 1 各題前後測之平均數折線圖

將學習成效問卷以 SPSS 進行統計分析，計算每項核心能力之平均數與標準差後，再以成對樣本 t 檢定進行前後測的比較，如下表 2 所示。

表 2 有效問卷之學生核心能力分析表

核心能力	平均數	標準差	t 值	
具備撰寫電腦語言程式的能力	前測	2.83	1.89	7.78*
	後測	3.35	1.18	
具備了解語言學習應用於遊戲之原理的能力	前測	3.22	1.10	12.27*
	後測	3.67	0.78	
具備有效溝通及團隊合作的能力	前測	3.12	1.12	23.91*
	後測	3.71	1.11	
具備搜尋與比較可用技術與解決問題的能力	前測	3.05	1.24	10.21*
	後測	3.56	1.60	

* 表示 $p < .01$

根據表 2 的問卷結果顯示，學生在這門課程進步最多的是「具備有效溝通及團隊合作的能力」，其次是「具備了解語言學應用於遊戲之原理的能力」及「具備搜尋與比較可用技術與解決問題的能力」。而進步較少的是「具備撰寫電腦語言程式的能力」，這可能是因為修課學生皆為資工系學生，因此在這項能力的成長較不如其他三項能力。

從上述的研究結果顯示，智慧型語言學習系統課程對於核心能力培養成效較

佳，且學生在團隊合作與問題解決能力均有顯著的提升。除此之外，在跨領域與學科的連結也有顯著提升，表示本研究之實驗課程的整體教學是有效的，且對於合作型問題解決能力也有所幫助。

肆、未來展望

本研究之研究主軸為學生合作型問題解決模式之實作設計行為，並探討在實作課程的輔助之下，學生合作型問題解決能力是否提升。透過問卷調查分析並探討目前跨領域實作課程對學生合作型問題解決能力的影響。以下綜合研究發現與討論，提出本研究的結論及建議。

一、結論

首先，從問卷調查的結果發現學生在四大核心能力：(1)具備撰寫電腦語言程式的能力、(2)具備了解語言學應用於遊戲之原理的能力、(3)具備有效溝通及團隊合作的能力、(4)具備搜尋與比較可用技術與解決問題的能力均有所提升。在實作課程前後，各項核心能力均達顯著差異，此項結果符合 Oliveri 等人 (2017) 歸納出的四項核心能力中的兩項：團隊合作與問題解決。研究者推測是因為本課程為二至三人為一小組，因此較能展現全體團隊成員的參與，且每堂課程都有一項分組作業，給予學生在課堂中與小組成員進行討論與磨合的機會，因此在實作過程中能展現較好的合作型問題解決模式。

二、研究限制與建議

綜合以上的研究發現與結論，針對本研究之限制提出建議與看法，期望增加日後評量學生合作型問題解決能力之效益。

(一) 樣本數之限制

參與本研究的學生僅有 9 位，雖已是全班修課人數，但樣本數仍然太小，可能無法將結果類推至其他實作課程，本研究之評量問卷也無法證明可作為其他課程之參考。倘若教師欲將此研究之評量問卷應用於其他跨領域實作課程，需針對不同課程之核心能力進行問卷之修改，才能使評量問卷發揮其最大功效，但也會造成編制問卷的過程較費時，且無法維持統一標準去評量各種不同的跨領域實作課程，因此期望未來的研究能開發更合適之問卷或量表。

(二) 研究方法無法深入探究學生合作型問題解決模式的歷程

本研究針對學生學期初與學期末的核心能力進行評量，雖然研究結果可回饋給授課教師作為未來教學改善的依據。然而，合作型問題解決能力是一項不只注重結果，同時也注重學習歷程的能力。因此，只使用量表評量學生的核心能力，卻沒有深入探究學生合作型問題解決模式的歷程，是本研究不足之處。期望未來

之研究可以加入課室觀察或是訪談等質性研究方法，更能完整評量學生在實作課程中之核心能力與學習歷程。

(三) 尚未將實作成品分數作為評量的一環

本研究僅對學生自評之核心能力作為評量的依據，但未將學生實作成品與核心能力問卷做對照，無法得知是否前後測分數差異顯著的學生，在實作成品的分數上也較高。對於分析整體課程對學生的影響可能有所不足。因此，期望未來研究可建立與發展一套評量實作成品的標準，並讓老師與學生填寫，未來可以落實較全面之學生學習成效的評量。

(四) 對未來研究之建議

本研究目的雖為探究跨領域實作課程對學生合作型問題解決能力之影響，但是僅以學生為研究對象，沒有從老師的觀點再去看學生的學習情況。建議未來研究者可加入教師評量學生的標準，並針對多門跨領域實作課程進行調查與分析，更能了解合作型問題解決模式對學生的影響。

誌謝

本研究承蒙科技部 MOST 105-2511-S-008-014-MY3 計畫經費補助，在此敬致謝忱。

參考文獻

- Adams, R. S., Atman, C. J., Nakamura, R., Kalonji, G., & Denton, D. (2002). Assessment of an international freshmen research and design experience: A triangulation study. *International Journal of Engineering Education*, 18(2), 180-192.
- Barron, B. (2000). Achieving coordination in collaborative problem-solving groups. *Journal of The Learning Sciences*, 9(4), 403-436.
- Chang, C., Chang, M., Liu, C., Chiu, B., Fan Chiang, S., & Wen, C. et al. (2017). An analysis of collaborative problem-solving activities mediated by individual-based and collaborative computer simulations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(6), 649-662.
- Dillenbourg, P., & Traum, D. (2006). Sharing solutions: Persistence and grounding in multimodal collaborative problem solving. *Journal of The Learning Sciences*, 15(1), 121-151.
- Graesser, A., Kuo, B., & Liao, C. (2017). Complex problem solving in assessments of collaborative problem solving. *Journal of Intelligence*, 5(2), 10.

- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Liu, L., & Chernobilsky, E. (2011). Representational tools for understanding complex computer-supported collaborative learning environments. In S. Puntambekar, G. Erkens & C. Hmelo-Silver (Eds.), *Analyzing interactions in CSCL: Methods, approaches and issues* (pp. 83–106). New York, NY: Springer.
- Lin, P., Hou, H., Wu, S., & Chang, K. (2014). Exploring college students' cognitive processing patterns during a collaborative problem-solving teaching activity integrating Facebook discussion and simulation tools. *The Internet and Higher Education*, 22, 51-56.
- Lin, T., Duh, H., Li, N., Wang, H., & Tsai, C. (2013). An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education*, 68, 314-321.
- Oliveri, M., Lawless, R., & Molloy, H. (2017). A literature review on collaborative problem solving for college and workforce readiness. *ETS Research Report Series*, (1), 1-27.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2013). PISA 2015: Draft collaborative problem-solving framework.
<https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Collaborative%20Problem%20Solving%20Framework%20.pdf>. Accessed 7 October 2016.

