

透過Capstone課程 培育與檢視畢業生核心能力

■ 文／劉曼君·中華工程教育學會辦公室主任兼認證委員會副執行長
／呂良正·國立臺灣大學土木工程學系教授兼系主任
中華工程教育學會副秘書長兼認證委員會副執行長

中華工程教育學會（IEET）已於2014年版之認證規範中要求，未來參與認證的大學部學程必須具備整合設計能力的「專題實作」（Capstone課程），而此項規範是要求103學年度起入學的大一生，必須於畢業前修習該項課程。IEET預計此項認證要求將對我國近期工程科技教育帶來不小影響。目前尚未有此項課程規劃的學系須開始規劃，已有類似課程的學系也須檢視課程內涵是否符合IEET認證要求，尤其是此課程與畢業生核心能力的關連性及相關評量，常是過去大專校院在專題課程上較缺乏的內容。

筆者於去（2013）年3月的《評鑑雙月刊》專文中已初步介紹Capstone課程精神，本文將深入探討Capstone課程和核心能力的連結及評量，藉此加強介紹「成果導向」教學和評量的概念及作法。

問題導向實作課程蔚為主流

問題導向學習（Problem-based Learning, PBL）是醫學院和商學院普遍採用的教學與學習方式，而近一、二十年來美國工程教育也逐步轉型，朝向以實作為主、學生學習成果為導向的教育模式（Loftus, 2013, September 30）。過去的工學院教學重視理論，花費很長的時間傳授理論，但等

到學生終於可以接觸並嘗試解決實務性的工程問題時，許多學生都已在過程中被高深的數理要求淘汰或抹滅興趣了。因此，現在無論是大型的普渡大學（Purdue University）、中型的德拉瓦大學（University of Delaware），或是小而美精緻型的哈維姆德學院（Harvey Mudd College）都紛紛投入問題導向的實作式課程教學（Loftus, 2013, September 30）。

此種教學模式讓學生從入學起即開始體驗經驗學習的方式，挑起主動學習動機，且透過和不同工程領域，甚至不同學院的學生組成團隊，針對實際的工程問題，嘗試提供解決方案。例如，杜克大學（Duke University）和南加州大學（University of Southern California）等校皆有學生組成團隊參與美國工程院（National Academy of Engineering，簡稱NAE）的「重大工程挑戰」（Grand Challenges for Engineering）計畫；此外，羅斯霍曼理工學院（Rose-Hulman Institute of Technology）的學生組成跨領域團隊，透過密集的12個學分研究計畫，為肯亞及其他發展中國家發展太陽能相關的能源替代方案。

問題導向實作課程的教學並非全然鄙棄傳統的課堂講授式教學，然對於教學空間的需求和設計，會打破舊有的思維模式。學生的主要學習場

所是在實作、實驗的空間，而當今最夯的翻轉教室（Flipped Classroom）也是貫穿問題導向實作學習的枝幹。經由問題導向實作課程的教學，包括Purdue和Harvey Mudd都顯示工學院學生的休、退學率從過去的50%減少到10%，可見實作課程大大提高學生學習效果。

除一般實務性課程外，PBL的教學精神更需要充分融入到大四的設計專題課程（Capstone Design Course，以下簡稱Capstone課程）中（Pembridge & Paretti, 2010, June）。雖說PBL具備足夠的吸引力和前瞻性，且相關研究文獻多如繁星，然學者也提醒，此項課程的規劃比傳統式教學更為複雜和重要，否則對提升學生學習動機就無太大助益（Jones et al., 2013）。

Capstone旨在整合及檢視學生所學

早在1995年，美國學者即透過問卷方式了解許多美國的工程學系皆有開設Capstone課程，此類課程不僅受業界支持，教師也一致認為對學生學習有相當大的助益（Todd et al., 1995）。簡而言之，Capstone是大學教育的最後一哩，結合了學生在大學所學的理論和實務訓練，是培育未來年輕工程師的重要關鍵。IEET特別整理了以下內容，作為檢視Capstone課程內涵的依據：

● 名稱

Capstone課程可以是不同名稱，例如總整課程、頂石課程、畢業專題、專題實作、專題製作等，但不是校內／外實習（除非學校有明確嚴謹規劃及要求，讓學生完成一個符合IEET定義的期末成果）、個人學士論文（除非是先透過學生分組學習，再撰寫個人報告或論文）、大會考、專題討論（Seminar）等。

● 目的

學生嘗試以專業人員身分（例如工程師），

解決一個實際且無標準答案的專業問題，藉此進行學習總檢視，並同時了解其不足的知識、技術或態度，進而於畢業前加以充實。學程透過此課程檢視和佐證畢業生具備該有的核心能力。

● 對象

已修習完多數課程（含基礎設計課程），具備一定的知識和技能的大三或大四學生。

● 規劃

課程長度至少一學期；上課方式讓學生分組，實際動手操作，引發其主動學習的動機，避免教師過多的講授。若學程並未開設相關課程，可以從學程的實驗課中選出一門較具整合性的課程，將之稍微擴大延伸，提供學生動手設計並嘗試解決問題的機遇，不一定要開設新的、獨立的課程。

● 特色

課程應能對應多數系上所訂的畢業生核心能力，若該課程僅對應到少數的核心能力，不能被視為Capstone課程。學系透過這個課程檢視和佐證畢業生具備該有的核心能力，尤其是解決問題（彰顯執行設計）的能力。此外，此課程也可檢視和佐證學生的團隊合作、領域整合（和不同專長或領域人士合作）、有效溝通和專案管理（含經費規劃）等能力。

● 評量

須要求書面報告及口頭報告，實作成品則視各領域屬性所要求之。

● 檢討

須定期檢討，了解學生在核心能力上的達成度是否符合期待。

上述定義是將Capstone課程該具備的內涵做了清楚界定和說明，IEET認證團於認證審查中也將檢視相關內容。

Capstone透過工程設計 培育學生解決複雜工程問題的能力

工程師視解決問題為天職，因此培育學生具備充分的問題解決能力是工程教育相當重要的任務。相對的，解決問題的能力是IEET工程教育認證（EAC）、技術教育認證（TAC）、資訊教育認證（CAC）、建築教育認證（AAC）及設計教育認證（DAC）等各項認證規範，所共同要求的畢業生核心能力之一。

對工程教育而言，EAC要求學生於畢業時具備解決複雜且整合性問題（Complex Problem）的能力。工程問題有大有小，但隨著時代變遷、產業發展，工程問題的複雜度只會增不會減，涉及的知識、技術、社會、環境甚至經濟層面都愈來愈廣，因此單憑個別工程師絕對無法獨立解決，幾乎都是藉由跨領域專業人員組成的團隊共同合作解決。複雜且整合性問題有以下特點：

(1)需較深的知識才可以解決的問題。(2)問題本身是多面向的，或是在技術、專業或其他層面上相互衝突。(3)是一個實際的問題，沒有顯而易見的解決方法。(4)須創新應用專業基本原則及實務上最新研究成果才可解決的問題。(5)須考量現實環境中的多方限制，例如人力、成本、設備、材料、資訊及技術等。(6)問題本身可能對社會及環境有廣而遠的影響。

從培育學生具備解決複雜問題的能力出發，工程教育重在訓練學生執行工程設計（Engineering Design），而解決問題的過程其實就是執行工程設計。工程設計的基本流程為：發現問題、建立目標、整合及應用最新的研究成果、分析問題、提出解決問題之可行方案，內涵包括：

1.工程設計是為了因應所需，建立工程系統、元件或製程的過程，在此過程中，學生運用數

學、科學及工程專業知識，反覆調整設計，以最有效的資源利用，解決工程實務問題。

2.工程設計涵蓋以下面向：發展學生創意、使用開放式問題、發展及運用現代設計理論和方法、建構設計問題及規格、考量替代方案、可行性、製造過程、協同設計及詳細的系統描述。

3.除功能性外，也須考量現實的限制，例如經費、安全性、可靠度、美學、專業倫理及社會影響。同時，透過團隊合作執行工程設計也是重要的要求。

一般工程學系在學生四年的課程上，規劃多門的工程設計課程，而Capstone通常是大學教育最後也是最重要的一門設計課程，且是最具整合性的工程設計課程。在引導學生於大三或大四修習Capstone課程前，學系即應規劃基本的設計課程，以奠定學生基本的設計能力。

例如國立臺灣大學土木工程學系，就有培育學生工程設計能力的實作課程三部曲（呂良正，2014）：大一的土木工程概念設計、土木工程基本實作課程（奠基石：Cornerstone）、大二的結構學、流力學加實驗課程（核心石：Keystone），以及大三／大四的土木工程設計實務課程（合頂石：Capstone）。詳見本期另一篇文章〈臺大土木系Capstone課程經驗分享〉。

Capstone培育團隊合作、 有效溝通與專案管理能力

除了培育學生解決複雜問題和工程設計能力外，Capstone課程尚有其他重要功能：培育和強化學生的團隊合作、有效溝通和專案管理（含經費規劃）能力。在當今社會和全球化脈動下，這些軟實力（或稱之為通用實力，亦即無論任何環境、工作都需要的實力）反而是業界選才和儲備未來幹部時最重視的能力。

工程師多是以團隊模式工作來解決專業問題，因此IEET強調Capstone課程應讓學生以分組模式合作，甚至和不同專長或領域的同學合作。在此過程中，訓練學生按時完成所分配的工作、團隊精神和凝聚力等。

另外，Capstone課程也是培育和佐證學生有效溝通能力的最佳方式之一。香港科技大學土木工程系的Capstone課程是四學分，其中一個學分即是著重訓練學生的語言和溝通能力，包括書寫和口語能力。一般而言，Capstone課程期末成果之一通常要求學生以小組方式製作海報和上臺報告。

當然，時間管理、成本分析、經費規劃等專案管理能力也是工程師所必須具備的核心能力。在修習Capstone課程中，學生也勢必會經歷時間規劃、經費處理的過程，學習在有限的資源下，以最有效率的方式分配時間和經費。IEET並非要求學生具備如專案管理證照般的內容，但基本的時間、經費規劃等核心能力的培育和檢視，是可以透過Capstone課程來達到的。

Capstone課程評量與檢討

評量是教學過程中相當重要的一環，教師通

常會在課程綱要中界定該門課程的評量方式，例如考試、實體模型或成品、口頭報告等。此外，IEET認證要求教師界定Capstone課程所對應的核心能力，以使學生更明確知道課程的主要重點和教師的期待為何，所應準備的方向又為何。

在一般課程中，執行評量的當然是任課教師，但針對Capstone課程，任課教師除了是主要的評量者外，許多教師還會邀請業界人士參與，從業界角度提供學生學習的回饋與建議。有些學系甚至邀請業界人士參與授課，在學生修習課程的過程中即時提供建議。對學生而言，有業界人士參與雖然有時是一種壓力，但卻也是實務經驗的增長和累積。

過去教師在評量學生的專題或類似課程中，多數是給學生或學生小組一個分數。在IEET認證的引導下，配合Capstone課程所對應的核心能力（每項核心能力的權重可能不同），教師給予學生的分數將可明確的說明學生在每項核心能力上的表現。當教師整合全班同學的成績後，更可進一步顯示全班同學在核心能力上的整體概況，例如學生在哪些核心能力上的學習較好，哪些核心能力必須加強等。這些資訊可以提供教師具體的課程調整和改進方向參考。

◎參考文獻

- 呂良正(2014年3月)。認識臺大土木系。取自臺大土木系甄試入學家長說明會簡報。
- 劉曼君、呂良正(2013)。Capstone課程——IEET認證的重要佐證。評鑑雙月刊，42，55-56。
- Jones, B. D., Epler, C. M., Mokri, P., Bryant, L. H., & Paretto, M. C. (2013). The effects of a collaborative problem-based learning experience on students' motivation in engineering capstone courses. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 7(2), 34-71.
- Loftus, M. (2013, September 30). College engineering programs focus on hands-on learning. *US News and World Report*. Retrieved from <http://www.usnews.com/education/best-colleges/articles/2013/09/30/college-engineering-programs-focus-on-hands-on-learning>
- Pembridge, J. J., & Paretto, M. C. (2010, June). *The current state of capstone design pedagogy*. Paper presented at the American Society for Engineering Education Annual Conference and Exhibition, Louisville, KY.
- Todd, R. H., Magleby, S. P., Sorensen, C. D., Swan, B. R., & Anthony, D. K. (1995). A survey of capstone engineering courses in North America. *Journal of Engineering Education*, 84(2), 165-174.