

**教育部教學實踐研究計畫成果報告**  
**Project Report for MOE Teaching Practice Research Program**

計畫編號/Project Number：PEE107080

學門分類/Division：工程學門

執行期間/Funding Period：中華民國 107 年 8 月 1 日至 108 年 7 月 31 日止

氫能源發電教學的實踐研究計畫  
Hydrogen energy based teaching practice research project  
配合課程名稱/「生質氫能與應用」、「燃料電池」(學士班與碩士班各一班)

計畫主持人(Principal Investigator)：呂晃志

共同主持人(Co-Principal Investigator)：賴奇厚、鄧鈞文

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：逢甲大學 通識教育中心

繳交報告日期(Report Submission Date)：中華民國 108 年 9 月 15 日

# 氫能源發電教學的實踐研究計畫

## Hydrogen energy based teaching practice research project

### 報告內文(Content)

#### 1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

再生能源的發展與應用在國際社會上已經成為顯學，以台灣鄰近的國家為例，日本長年投入新能源研究也已經有具體的成果，日本首相安倍晉三也已公開宣告將在2020東京奧運的舞台上，以大秀氫氣城的方式，向世人宣示氫能源與氫經濟的時代已經來臨；而國內新政府也設定在非核家園的發展過程中，氫能源屬於戰略選項，2025年勢必有氫能發揮的場域與空間。然而，氫氣與燃料電池，不論在再生能源產業或交通載具產業中，這兩者都不是現今關注的焦點，其發展也非國內之主流產業，因此媒體曝光機會較低，要鼓勵一般民眾愛用該產業之產品，若相關背景資訊尚無法引起消費者共鳴，還需要透過實踐的方式，透過大學教育，馬上導入教學現場，才能夠及時讓新一代勞動力盡快了解。

氫做為燃料能源，有其優越之勢，氫的燃燒熱值高，每1,000克氫燃燒後的熱量約為汽油的三倍，酒精的3.9倍，焦炭的4.5倍。氫燃燒後的產物只有水，對環境無污染。客觀來看，氫能源的時代序幕實際上已經打開了。歐美和日本所研發使用燃料電池的汽車，經由氫和氧的化學反應，產生了電能、熱和水蒸氣，沒有噪音的困擾，也不會排放二氧化碳、產生氮氧化物等有害氣體，可說是零污染排放。正因為氫做為燃料能源不會排放二氧化碳，有助於改善大氣層的溫室效應，對環境保護的效益無可計量；以及受到2001年紐約發生911恐怖攻擊事件的衝擊，美國方面已意識到，發展氫能源是擺脫對中東石油依賴的一條確保能源取得安全新出路，所以布希政府當時編列大筆預算，並與汽車廠合作研發計劃相結合，準備於今後五年內發展氫能源及燃料電池技術，以及氫氣供應基礎設施和先進汽車技術等。

由亞太地區21個經濟體組成的亞太經合會(APEC)所轄之能源工作小組，這幾年來也提出不少有關發展氫能源的研究報告，並積極鼓勵區域內各經濟體把發展氫能源列為新的能源政策，在APEC部長會議的聯合聲明中更呼籲大家應努力發展乾淨的、有效率的氫能源，以減少對化石燃料的過度依賴。除了亞太國家對發展氫能源的高度重視外，歐洲的德國和冰島在發展氫能源領域，早已奠定其領先者地位。綠色概念濃厚的德國能源和汽車工業界，在氫和燃料電池汽車方面的研發技術，以及加氫站本身能夠經由電解水製取氫，均領先世界使用氫能源做為汽車動力之發展趨勢。特別是冰島，為全世界第一個導入「氫經濟」的國家，有「綠色能源之國」的美譽。近幾年來藉由與殼牌石油、挪威水電集團、戴姆勒克萊斯勒公司等跨國企業展開合作，積極投入氫能源的開發和運用，且於2003年建造了冰島第一座加氫站，並希望於2050年之前完全以氫為替代能源，達成國內所有運輸工具、甚至漁船等都不再使用石油產品做為動力能源之理想。由於冰島推動「氫經濟」頗具成效，已吸引不少亞洲國家的能源專家前去學習製取氫之技術，以及運用經驗。

綜觀國內在氫氣及燃料電池領域所投入的教學資源仍有許多進步的空間，而現在，就是建構這些資料的最好時機，除了滿足大眾對此領域知的慾望外，還可鼓勵氫

能源與燃料電池的發展，助於國內節能減碳政策推動。計畫申請人以「生質氫能與應用」、「燃料電池」這些課程作為融入氫能源主題之實踐教學標的課程，希望能觀察到縱使是不同的學生背景，也能透過新式教學，讓學生把該學的內容學好，設定原來僅以講授方式進行的課程，加入可單人操作之微型燃料電池作為教具，用來融入教學，並讓課程全部學生動手參與，發想個人創意，發展實作。

我國的再生能源發展正面臨化石燃料資源枯竭和生態環境惡化的雙重壓力，研究開發無污染、可再生的新能源與新能源的開發利用技術是解決能源危機和環境保護問題的不二法門。因此開設「氫能源」相關課程顯得極為重要且勢在必行，且該課程是理論性和實踐性都很強的課程，知識面廣、內容概念多，授課不能一味要求學生死記硬背一些枯燥的概念，如何在提高學生聽課興趣的同時，合理地安排教學內容，讓學生深入的掌握氫能源方面的知識是授課老師的工作重點，且氫能源被一般人認為是高危險性能源，不管是在產製、儲存、發電應用等方面，若能夠用簡易的教具讓所有學生發揮創意，啟發進行高安全性之燃料電池操作，除了有助於教學實踐研究，更能夠透過創意實作方式，激發學生的創意思考。本計畫會將多媒體與傳統教學融合，建立情境，再以氫能與燃料電池實作內容，引導學生自主學習，並強化學生與教師間的雙向溝通，最後透過 CDIO 作為改革性的考核方法，建立多元性評分平台。

## 2. 文獻探討(Literature Review)

在推動發展氫能源之前，如何製取綠色氫則是一門大學問。目前，以化學方式製取氫較常見的方法有四，其一是利用太陽能產生的電力為催化劑，以水為原料，電解水生成氫和氧；其二是利用鈰氧化物與金組合為催化劑，以天然氣和化石燃料（石油、煤）為原料，經由水和一氧化碳反應生成氫和二氧化碳；其三是利用鐵附加鈰氧化物為催化劑，以天然氣為原料，通過氣態轉化製取氫；其四是利用鎳、鋁和錫合金為催化劑，以動植物廢料為原料，通過高分子碳水化合物氫液態轉型製取氫。此外，前面提及的日本使用非化石燃料製造的氫能源，其中從微生物製取氫方式特別引人關注，專家已探索出地球上 16 種水中綠藻和三種紅藻有產生氫的能力，利用藻類本身產生的脫氫酵素，並在太陽能的光合作用下產生氫；另外還有四種細菌也有產生氫的能力，其中包括：依靠發酵過程而生長的嚴格厭氧細菌、能在通氣條件下發酵和呼吸的兼蓄性厭氧細菌、能進行厭氧呼吸的嚴格厭氧細菌、光合細菌等。至於人類熟悉的大腸桿菌、產氣桿菌和某些芽孢桿菌，以及反芻動物胃中的細菌，也都具有不同程度的產氫能力。

另外，燃料電池（Fuel Cell），是一種發電裝置，但不像一次電池一樣用完就丟棄，也不像二次電池一樣，用完須繼續充電，燃料電池正如其名，是繼續添加燃料以維持其電力，所需的燃料是「氫」，其之所以被歸類為新能源，原因就在此。燃料電池的運作原理，也就是電池含有陰陽兩個電極，分別充滿電解液，而兩個電極間則為具有滲透性的薄膜所構成。氫氣由燃料電池的陽極進入，氧氣（或空氣）則由陰極進入燃料電池。經由催化劑的作用，使得陽極的氫原子分解成兩個氫質子與兩個電子，其中質子被氧『吸引』到薄膜的另一邊，電子則經由外電路形成電流後，到達陰極。在陰極催化劑之作用下，氫質子、氧及電子，在三相介面發生反應形成水分子，因此水可說是燃料電池唯一的排放物。燃料電池所使用的「氫」燃料可以來自於任何的

碳氫化合物，例如天然氣、甲醇、乙醇(酒精)、水的電解、沼氣...等。由於燃料電池是經由利用氫及氧的化學反應，產生電流及水，不但完全無污染，也避免了傳統電池充電耗時的問題，是目前最具發展前景的新能源方式，如能普及的應用在車輛及其他高污染之發電工具上，將能顯著改善空氣污染及溫室效應。

但值得一題的是，上述這些製取氫及燃料電池運作的方法，有的技術還不夠成熟，有的效率不盡理想，有的成本偏高，尤其是貯存氫和輸送氫仍有安全問題；因此，氫要在短期間內成為普及性的燃料能源，的確有其客觀上的限制，必須進一步加以突破和解決，計畫申請人藉由過去執行科普計畫之推廣經驗，認為學習活動透過數位多媒體開場，將有機會內化出更多容易傳遞之資訊，有助於加速氫能認知面之成長；且隨著人類環境保護意識的高漲，以及石油資源的供給有侷限性，這種不排放二氧化碳且不會助長溫室效應的氫氣，因能量效率高、淨潔又無噪音的新能源—綠色氫能，應被視為明日綠色能源之星。相信在人類的科學技術不斷研究發展之下，實現「氫能源時代」的條件和配套必能逐步成熟，或許在不久的將來，我們週遭生活的一切能源事物都與「氫氣」相關。相較目前因政策推動之故而大量曝光的太陽能與風力能技術，資訊曝光不足之氫氣與燃料電池，成為一般人眼中不易了解的抽象科學概念，加上成本及售價較高，普遍上不會被一般消費者接受；故設計製作可強化認知的氫能課程相當重要；計畫申請人依據過去推廣能源科學教育的經驗，找出學生容易接受新概念之媒介，提供學習鷹架的實作教具，以達對此科學領域的學習效果，更能對未來的主人翁產生潛移默化的效果，並增進學習成效。

傳統教學從教育興起至今已經發展到十分成熟的階段，以書本知識為本位，造成重理論、輕實踐，以教師為本位，表現為以教為中心，學圍繞教轉，先教後學，以教案為本位，形成封閉式的教學。近幾年來，隨著電腦技術的高度普及，多媒體教學在大學課堂教學中得到越來越廣泛的應用，它綜合地運用了聲音、文字、圖像、影片，也較傳統板書式教學有一些獨特優勢，易於創設教學情境，教學引入更加自如，使得抽象的東西更加形象，激發了學生的學習興趣和想像力，展示背景資料，使重點、難點更突出。但是自身也有一些無法克服的缺點，包括：多媒體像電影般快閃而過，過分的追求快節奏，使得學生有時會跟不上老師的思維，使得學生放棄了自己的思考，不利於學生思維能力的培養。於是計畫申請人在教學實踐研究過程中，將多媒體與實作兩者有利的結合在一起，使其優勢互補，以便獲得最大的教學效果。

實踐研究課程的考核方法在某種程度上具有導向作用，採取哪種形式進行課程考核，關係到教學效果的好壞和教學品質的高低，同時也會影響到學生的學習態度、方法、方向等，為了提高學習效果，達到開設這門課程的目的，我們對該課程的考核方法進行了改革嘗試：

- (a) 調整平時成績與期末成績所占的比例，傳統的考試就是學期結束，一張考卷決定學生的成績，這樣就給學生造成了一考定終身的感覺，有的學生平時認真學習這門課程了，但是僅僅是考試沒發揮好，就沒有好的成績，而有的學生僅僅是考試之前突擊了一下，就拿到了好成績，這樣會大大挫傷學生的學習積極性，我們通過加大平時成績占總成績的比例，這樣可以很好開發學生的學習潛能，提高學生的學習興趣

(b) 改革考核內容和方式，傳統考試內容基本就是選擇、填空、問答題，由於氫能源相關課程沒有太多的要求學生死記硬背的定義、公式，計畫申請人將嘗試改變考試內容。考試可以通過撰寫論文、辯論等方式讓學生可以充分發揮自身的創新意識，對當今能源領域的一些問題提出自己的見解和看法，考試方式由原來的閉卷開始改為開卷考試，學生可以自由查閱資料、文獻等，這樣即達到了考試目的，也鍛煉提高了學生的自學能力。

國內對於綠色能源的鼓勵不餘遺力，因為在研究路途上都得克服壓力，而這個毅力多源自於從小的興趣，由於科學充滿了驚奇，引領人類不斷前進。但教材要受到學生歡迎的兩項特性是動畫的使用及學習者有能力與教學材料互動(Betrancourt, 2005)。因此，Rieber(1990, 1991)指出，動畫對於引發學生的學習興趣及學習動機有不錯的效果；宋曜廷(2000)也指出動畫教材的加入，可以提升學生的興趣感受，並降低學習的認知負荷；研究者在嚐試運用動畫教材後，發現學習者更專心於學習教材，也更有效率的透過影片、動畫掌握到學習主題的情境脈絡及關鍵概念，於是引起許多研究者想探討多媒體教材對學習成效影響的興趣。傳統的教材是以圖片+文字的方式來呈現，學習者需要在腦海中建構及操作相關的心像(mental image)，但是學習者難以從圖片及文字說明建立起完整的心像，要在腦中操弄心像又更加困難，然而多媒體教材提供了現實的空間及時間裡不易觀察的動態現象的視覺化，可以協助建立心像，若配合互動式的模擬教材，更能協助他們進行心像的操弄並有助於解題。

#### (a) 多媒體式實踐研究融入教學引發學習

Mayer 和 Chandler(2001)提到當學習者可以對動畫進行控制或互動時，學習者將表現的更好，即使只是最小的控制，這讓學習者有時間處理感官及概念上的資訊，而避免了資訊的過度負荷，又因互動模擬教學同時涵蓋了動畫及互動行為，可讓學習者決定動畫每個步驟開始的時間點，因此研究者可探究互動行為是否能提升學習成效。而數位多媒體教育產品的種類繁多，包括電子書籍、電子雜誌、多媒體導覽系統、多媒體資料庫、互動式電腦輔助教材、互編輯及製作多媒體的工具。

#### (b) 實作式實踐研究融入教學提高學習成效

為因應工業化成長與現代社會的需要，目前推動的 STEM 教育（科學／ Science，科技／Technology，工程／ Engineering 及數學／Mathematics）在 21 世紀的教學中越來越重要，而且透過 STEM 的學習成就也直接影響學生日後選讀 STEM 科系的意願（Wang, 2013）。從教學現場來看，實際體驗的動手實作整合式 STEM 教育可以提供各級學生更有意義化的學習，且可以提起學生的學習動機。而學習動機又是一切學習的基礎，不僅是激發主動學習的要件，更是科學數學等學科學習效果的基礎（León, Núñez, & Liew, 2015），若要使學生進行有意義的學習，動機的引起將是首要的條件。藉著 ARCS 動機理論的應用，透過注意、相關、信心及滿足的要素引起學生的學習意願，相信將能更大的提升學習效果。

Keller 在 1983 年發展出的 ARCS 教學模式中，定義出四個提昇學習者學習動機的四個必要要素：注意（attention）、相關（relevance）、信心（confidence）、滿足

(satisfaction)。所謂的 ARCS 模式，其過程是先引起學生對所學習東西的注意與興趣，再讓學習者發現所學的東西與自身生活相關，然後讓學生有信心去學習，最後當學習者完成後會獲得滿意及成就感。也可以說，藉著一連串的策略，強化學習者興趣，以達到促進學習效果的目的。實踐教學研究的介入，根據 ARCS 動機設計模型的流程，讓實施和測試嵌入式單一案例研究的慣例，也提供了紮實的基本功，且積極影響學生的學習動機。具發想性的起始內容將是一個很好的策略方法，可引起注意與興趣、注意切身相關的能源問題、有信心去學習及獲得滿足與成就感。

實作性研究或遊戲放置於教學的應用，國內外在研究或實際教學上早已大量地運用，而且是有助於提升參與者的學習。然而，教學實作的設計原則應包括：(a)遊戲必須有助於教學目標的達成，(b)應讓每個學生都有親身參與遊戲的機會，(c)應讓學生參與教學遊戲的設計，以及(d)影響遊戲輸贏的關鍵因素應包括「努力」與「運氣」，且「努力」宜大於「運氣」。遊戲的相關理論與發展，其實可幫助學生將遊戲融入生活中，以各式各樣的遊戲實務活動，讓學生體會到生活與遊戲是融合在一起，生活因為有了遊戲而多彩多姿。遊戲型態教學方式並非只是單純的玩遊戲，其主要目標是在將遊戲與教育配合。因此，教師可進行教學觀摩活動宣導、成立小組共同研究發展或是學者深究理論舉辦演講，共同擴展遊戲與教育結合的理念。遊戲化策略能夠將教學活動轉變成遊戲活動的方式，增加教學的趣味性、挑戰性、合作性、競賽性又兼具教育性，讓學生學習的過程可以充滿愉悅、互動、具探索性質。教育遊戲可激勵學習者在充滿著娛樂性下，練習及挑戰自我在一個互動形式的遊戲裡。學生參加了活動，增強了感性和演繹推理能力，同時也被教導了不同的解決問題之技巧。從過去的研究顯示，透過積極轉移的方式，可以從指示戰略到解決問題，學生態度的改善，從被動學習到自我解決問題的技巧和知識的提升。

而本計畫希望透過多媒體，製作出更優質的氫能及燃料電池相關之動畫教材，憑藉數位多媒體影片的吸引力，加上氫氣與燃料電池項目進行務實的實作應用，希望能順利推動學生與大眾更了解這項綠色能源。

### 3. 研究方法(Research Methodology)

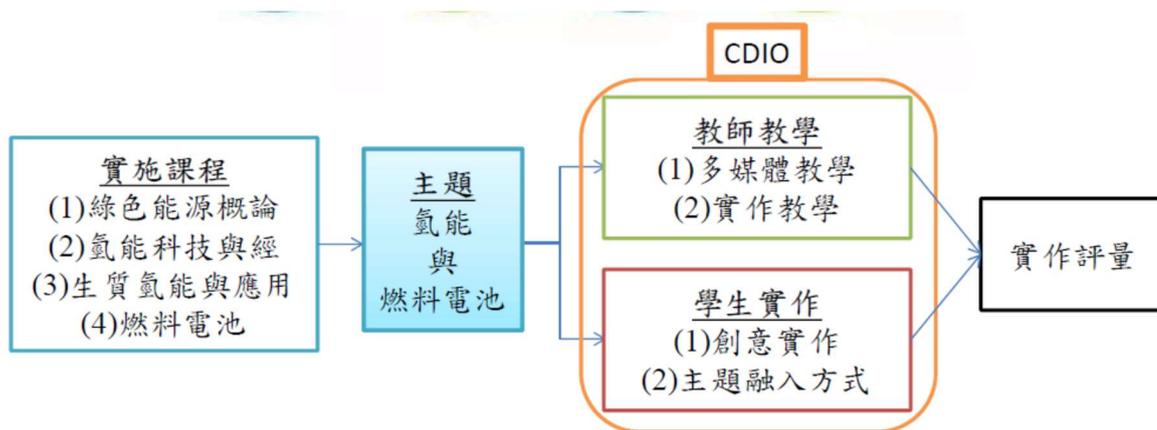
本計畫的研究主體在於實踐研究，整體課程分為多媒體教育及實驗實作兩部分，在計畫申請人所教授的課程中(「生質氫能與應用」、「燃料電池」)，各選定一個月進行實踐研究教學導入，且皆以相同主題進行導入，首先針對氫能及燃料電池進行多媒體教育，利用多媒體動畫帶入課程主體，讓學生由基礎知識進行認知，啟發出先期基本知識，接著再以微型氫氧燃料電池為實作標的，讓學生盡情發想，並獨立將其落實於實際之成果展現。

在單元主題方面，欲讓學生將氫氣及燃料電池結合生活現象融入課本的概念之中，運用啟發式的教學方法將是不可或缺的模式之一。因此教學方法上先將課本中描述的氫氣及其化學現象以隨手可得的材料製作成教學教具，是讓學生親身體驗及引發學習動機最重要的途徑。現行課本內容所提之氫氧燃料電池所需材料不易取得及製備，要以商業化的產品進行較學，相對上是高成本、不易普及以及不易於落實於每位學生操作，欲將其應用於實踐教學演示時，簡易氫氧燃料電池的教具選擇，

就顯得特別重要，方金祥(1994年)研製一款微型的氫氧燃料電池，但僅限於氫氧燃料電池教學實作，並無附加水電解過程的實驗。而本計畫自行改良的簡易氫氧燃料電池，使用的碳棒材料可來自廢棄乾電池、實驗的容器可來自針筒或其他小型塑膠容器、氣體收集裝置來自滴管，因材料容易取得、裝置容易製作、攜帶、操作簡便、且兼具環保概念、並且此實驗裝置除了具有燃料電池的實驗功能外，還具有水電解的實驗功能，電力的供應可以是再生能源，如應用於教學上，配合自製五部多媒體動畫內容，將成為教師教學的一大利器，又因其生動有趣而容易引起學生學習的共鳴，可進一步提升學生學習的動機，也是目前比較能吸引學生注意的方式。

而教學方法上依據逢甲大學目前主推之 CDIO 教學模式，引入成果導向教育 (Outcome-Based Education, OBE)，以學生學習成效為主體，成果導向教育認為，重要的不是學生修了什麼課，而是當學生離開學校後，具備什麼樣的能力才是最重要的；並針對社會需求及產業趨勢，將溝通、團隊合作、問題解決、創新等軟能力元素，納入學生核心能力指標，訂定學生的核心能力，據以進行課程規劃，由授課教師進行教學活動，作業設計透過實作形式，搭配以 Rubrics 工具的評量策略，達成相關之教學品保檢核。

在執行面，步驟如下：本教學實踐研究計畫的主體在於對「氫能與燃料電池」主題進行實踐研究，實施的課程選自申請人授課中的四門科目，分別為「綠色能源概論」、「氫能科技與經濟」、「生質氫能與應用」、「燃料電池」，而執行時，選定兩門科目，各自選定一個月進行實踐研究教學導入，透過 CDIO 的連貫式成果導向教育模式，從教師教學開始，導入多媒體影片教學及實作教學，讓學生融入以 Conceive (構思)、Design (設計)、Implement (實施)、Operate (操作) 的創新教育歷程，最後才透過 rubrics 評分量表，進行自我檢視，在自訂的標準架構下完成目標達成狀況評估。如下示。



本計畫之研究範圍主要針對單一主題—氫能與燃料電池，設計對應性多媒體影片及實作教材，在四周的課程時間操作，每周課程兩小時，細部課程規劃如下：

	課程內容	備註
第一周	氫能源產製與應用	多媒體教學影片撥放

第二周	燃料電池運作原理與應用	此課程需增加多媒體影片
第三周	微型燃料電池實作教學	實作介紹，課後操作
第四周	實作內容報告與評量	學生實作成果操作展示

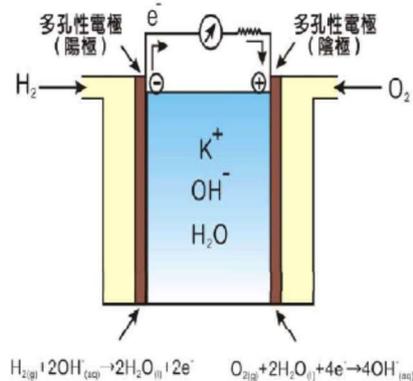
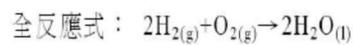
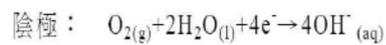
#### 4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

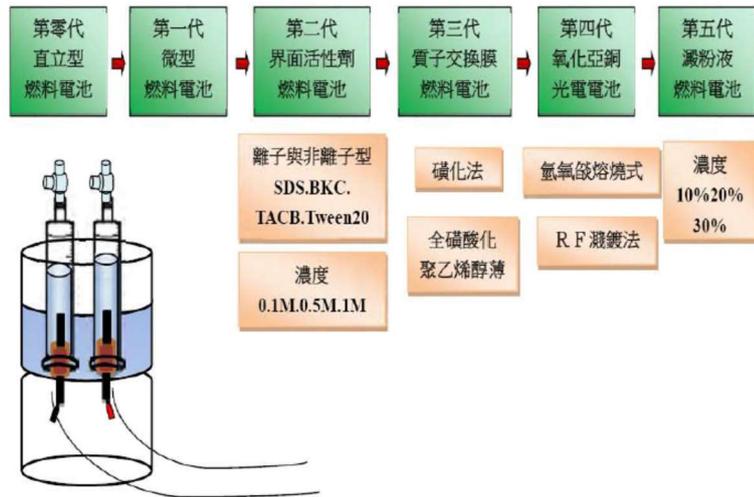
##### (1) 教學過程與成果

##### 前測



##### 課程實踐





學生參與歷程



(2) 教師教學反思

學生課堂實作成果，因受限於固定材料，故樣式統一，不具創意性。

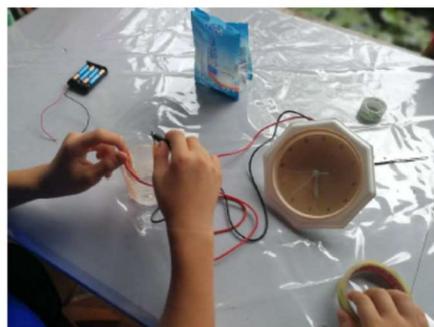
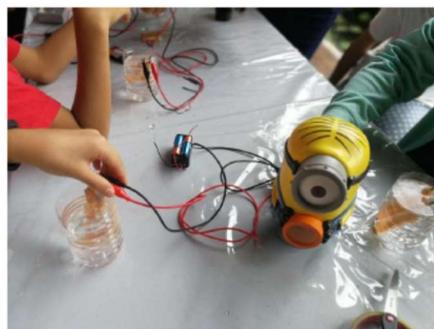


學生延伸課程成果，至校外推廣實作，不限制材料，實作內容活潑。



### (3) 學生學習回饋

計畫中還訓練學生就實作教具進行校外場域推廣教學，學生樂於參與推廣教學，並有許多創意發想。



最後學習成效分析：

根據統計成果，以 CDIO 模式進程來進行評量，在學習成效部分，不分男女，都有顯著成長，男生成長幅度大，但女生得分普遍較高，可見以 CDIO 之工程教育模式，配合實作，可以逐步有效的提升學習成效。

(男+女)

(男)

(女)

	平均	標準差	平均	標準差	平均	標準差
前測(C)	76	11	73	12	78	10
D	79	12	76	14	81	11
I	82	9	81	10	83	8
後測(O)	88	8	87	9	89	7

### 結論

本計畫針對兩門課，三個班級的課程，由原來僅以講授方式進行，加入本計畫開發，可實際操作之微型燃料電池教具，用來融入教學，並讓兩門課程全部可以由學生動手參與，發想個人創意，上學期操作兩班「燃料電池」，下學期操作一班「生質氫能與應用」，而這三班課程在本學年的操作人次共約 180 人，加上校外場域推廣課程，總操作人次可達 300 人。本計畫以申請人在氫能源領域的多年研發成果與經驗，將「氫能與燃料電池」的學術成果轉化為數位資料(動畫影片)，以提供各系所修課學生能先對永續環境、綠色能源科技及燃料電池的進行學習與認識；故計畫執行中配合播出五部數位多媒體動畫(每部兩分鐘左右)，提供更多元、更具吸引力的教學工具。接著將氫氧燃料電池加以微型化，並融入充放電概念及氫氧氣電化學反應原理，並於應用課程中倡導廢棄物再利用，設計一套具有高效能和環境友善的發電裝置，此外，本電化學實驗教具「微型氫氧燃料電池」，所需之藥品很少且皆可回收重複使用，充電時間很短，可使時鐘、計算機等電子元件運轉，更能讓學生實際體驗氫能源發電之應用面。且微型氫氧燃料電池體積小攜帶方便，操作容易又安全，符合環境友善的綠色實驗，極適合於電化學教學演示及學生實作實驗，其中，「生質氫能與應用」還訓練學生就實作教具進行校外場域推廣教學，配合更為生動有趣的課程安排，可推廣至國小、國中、高中學生，經實際操作，可有效提高各級學生學習之興趣及教學成效。

### 一. 參考文獻(References)

- Bagdonis, A. S. & Sailisbury, D. F. (1994), Development and validation of models in instructional design. *Education Technology*, 34(4), 26-32.
- Bartel, C. R. (1976), *Instructional analysis and materials development*, Chicago: American Technical Society.
- Chin-Wen Liao, Shih, Mei-Mei Mary (2005), Application of Teaching Portfolio System to Enhance Teacher Professional Development, *2nd North-East Asia International Conference on Engineering & Technology Education*,

Changhua, Taiwan, 12-15 Des. 2005.

Dick, W. & Carey, L. (1985), *The systematic design of instruction* (2nd ed.), Glenview, IL: Scott, Foreman.

Heinich, R. (1989), *Instructional media and the new technologies of instruction* 3rd ed. New York.:Macmillan.

Kemp, J. E. (1985), *The instructional design process*. New York : Harper & Row.

Kibler, R. J. (1978). *Objectives for instruction and evaluation* (2nd ed.).Boston : Allyn and Bacon.

Betrancourt, M.(2005). *The Animation and Interactivity Principles in Multimedia learning*.In R. E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning*(pp.287-296). New York: Cambridge University Press.

Rieber, L. P.(2005).*Multimedia learning in Games, Simulations, and Microworlds*.In Mayer, R. E., *Cambridge handbook of multimedia learning*(pp.549-568). New York:Cambridge University Press.

宋曜廷(2000)。先前知識文章結構和多媒體呈現對文章學習的影響。國立臺灣師範大學教育心理與輔導研究所博士論文，未出版，臺北。

Mayer, R. E., & Chandler, P.(2001). When learning is just a click away: Does Simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93(2), 390–397.

吳偉全（2016）。創客教育於國小校園推動與實踐。新北教育季刊，18，49。

張玉山（2016）。從創客教育培養創造力、實踐力、以及承受力。新北教育季刊，18，14- 15。

教育部(2003)。創造力教育白皮書。2017年5月3日，取自

<http://ws.moe.edu.tw/001/Upload/3/RelFile/6315/6934/92.03%E5%89%B5%E9%80%A0%E5%8A%9B%E6%95%99%E8%82%B2%E7%99%BD%E7%9A%AE%E6%9B%B8.pdf>

莊明達（2016）。看到教育改變的力量~感動力領導。教師天地，vol 1 (1)。

蔡進雄、林信志（2014）。從翻轉學習看人才培育的新契機。教育人力與專業發展，31（4），1-4。

鄭崇趁(2006)。學校創新經營的積極策略。教育研究月刊，145，50-58。

鄭崇趁(2016)。教育經營學個論-創新、創客、創意。心理：台北市。

親子天下(2015)。翻轉教育2.0：串連改變的力量。2017年5月3日，取自

<https://flipedu.parenting.com.tw/article/153>

張玉山、楊雅茹（2014）。STEM 教學設計之探討：以液壓手臂單元為例。科技與人力教育季刊。1(1)，2-17。

方金祥、游苑平（2004）：氫氧燃料電池之微型化設計及在電化學教學應用之研究。化學，62（4），547-554。

王蘊潔譯（2003）：66 個挑戰創意的科學實驗（瀧川洋二、山村紳一郎 原著）（156-159）台北：世茂出版社。

簡易氫氧燃料電池的設計與教學應用 黃寶鈿 國立臺灣師範大學化學系。國立台灣大學化學系 普通化學實驗 直接甲醇燃料電池實驗。東海大學化學系 無機材料化學實驗 電化學電極電位之測定實驗。

Panisoara, G., Duta, N., Panisoara, I. O. (2015). The Influence of Reasons Approving on Student Motivation for Learning. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197, 1215-1222.

Wang, X. (2013). Why students choose STEM majors: Motivation, high school learning, and postsecondary context of support. *American Educational Research Journal*, 50(5), 1081–1121.

黃朝榮、林修正（2003）：燃料電池的心臟-電極膜組。科學發展，367，26-29。

許寧逸、顏溪成（2003）：由碳能朝向氫能的燃料電池。科學發展，367，6-11。

彭立浩、鍾曉蘭（2001）：燃料電池。南e高中自然教學快訊，2。