

【附件三】教育部教學實踐研究計畫成果報告格式(系統端上傳 PDF 檔)

教育部教學實踐研究計畫成果報告(封面)

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：PMS1090106

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：109/08/01-110/07/31

計畫名稱:沉浸式擴增實境技術對於學習基礎有機化學的輔助：以有機分子立體化學
為例

配合課程名稱:有機化學

計畫主持人(Principal Investigator)：朱智謙

共同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

中山醫學大學/醫學應用化學系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2023 年 9 月 30 日公開)

(計畫名稱/Title of the Project)

一. 報告內文(Content)(至少 3 頁)

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

有機化學為理工醫農領域的核心基礎科目之一，其課程架構與教材、網路開放式資源相對較為完整，因此學生除了可以從課堂講授上獲得知識外，也比較容易取得較多的資源來支持學習。縱然如此，有機化學還是一門相當龐大且繁雜的學科，學生通常以記憶與背誦的方式來學習，對於後續專業課程的銜接常會產生嚴重落差。計畫執行人為大一核心課程的授課老師，是高中生進入大學後第一線的教育工作者，如何銜接高中教育讓學生能夠進入大學學習的軌道中，實為提出此計畫最主要的動機之一。因此我們鎖定學生較難理解的有機分子立體化學作為主題，107 年度執行計畫所開發出來的智慧型裝置輔助教學的概念，搭配翻轉與問題導向式教學，創造出一套複合式的教學模組，並且進一步研究虛擬教具對於學生學習的影響。107 年所開發出來的擴增實境 AR 教具著重學生個人回家後的操作練習與複習，因為實體分子模型只能在課堂上操作，目前並無法普及化讓每位同學帶回家練習；而且對於非化學相關科系的學生來說，價錢較為昂貴的分子模型或化學結構軟體的購買意願偏低。因此在教學實踐研究計畫的支持下，我們開發這一套 app 軟體並且提供同學免費下載，利用普及的智慧型裝置作為媒介，成功達到每個人都可以回家反覆練習立體化學結構表徵法與轉換的目標。

109 年度的計畫主要是延續 107 年度執行計畫所開發出來的教學模組與 AR 虛擬教具，引入沉浸式(immersive)AR 技術，將原本教案中的有機分子結合教學現場，具象化原本摸不到看不見的化學分子，透過與分子之間的互動提高學習興趣與效率。在 107 年執行計畫的過程中，我們發現約有 1/3 的同學可以在 AR 教具的輔助下，在課堂上搞懂原本抽象的三度空間立體化學概念，約

有 1/3 的同學回家後持續使用教具反覆練習後，也可以達到所設定的學習目標，但是約有 1/3 的同學還是無法將 AR 擴增實境的化學分子呈現方式轉換為三度空間的狀態。因為我們原本設計的方式是透過在手機屏幕讓學生以手指操作方式與分子互動，同時透過動畫來呈現各種立體化學表徵法的轉換。但這種方式畢竟還是以二維的方式來操作，對於空間觀念非常薄弱的學生幫助有限。因此我們原本希望採用 VR 虛擬實境的教具，真正達到模擬真實世界三度空間的目標。但是礙於硬體設備單價過高而無法普及，也不可能讓同學能夠回家反覆練習，因此目前在施作上受到限制。另一方面，我們在執行教案與操作教具的過程中也發現，目前 AR 教具的設計讓每個人都可以在自己的手機看到化學分子並與其互動，比較強調的是個人經驗感受；而當我們在課堂上執行翻轉教學，規劃以團體討論與遊戲挑戰等方式來進行課程時，同學們還是會習慣以個別操作的方式來進行，或是同組多人圍觀一支手機上的化學分子，團體互動便與想像上產生落差。而當我們回想同學在實體分子模型的操作經驗時，可能都是團體小組成員圍繞著分子模型，透過相互討論來學習。因此今年計畫所開發的沉浸式 AR 教具，就是彌補課堂翻轉教學與團體討論互動性不足的問題，除了讓虛擬的化學分子結合教學現場外，也特別強調多人即時互動的團體使用經驗。這樣的設計方式除了沿用原本 AR 教具輔助學習的優點外，也比較類似 VR 的使用經驗，不只是用手指在手機屏幕上旋轉分子，而是真的移動身體從不同角度來觀察分子。而使用人人都擁有的智慧型手機當作真實與虛擬世界的介面，更能夠彌補目前 VR 硬體設備不夠普及的缺點。因此今年度研究計畫是除了持續深化原本所開發出來的 AR 虛擬教具，強調的課後自我學習的個人使用經驗，也加入沉浸式 AR 教具以提高多人互動與同儕學習的團體使用經驗。研究的目的是探討這些新型態虛擬教具的輔助，是否能夠透過教學引導與課堂活動的設計，提升學生們在有機分子立體化學的學習成效與興趣。

2. 文獻探討(Literature Review)

我們評估了以分子模型來輔助有機化學的學習效率的文獻，彙整出一些重要

的研究成果來說明，不管是實體或是虛擬分子模型對於抽象觀念的學習輔助都有一定程度的助益。2016年，Stull 等人的研究團隊從學習抽象的三度空間概念的認知負荷理論(cognitive load theory)，說明了大部分的學生對於有機分子立體化學的確比較難以掌握，但是有機分子立體結構與化學反應性之間的關聯性，卻是有機化學中相當基本且重要的觀念 [1]。他們的團隊以最基本的化學結構表徵法與轉換為主題，探討學生們在實體分子模型的輔助下的學習助益。當學生使用分子模型來輔助學習有機分子的三度空間結構時，可以有效地降低他們對於解析抽象空間能力的認知負荷，尤其原本就對於空間觀念就較為薄弱的學生；而一旦這部分的負荷降低，學生們便可以將更多的注意力放在找出化學結構表徵法轉換的規律與邏輯性，因此這方面的學習效率就可能逐步提升。Study 1 為讓學生在回答化學結構表徵法轉換時，放置實體分子模型讓他們自發性的使用，並不作任何模型使用的提示或說明。結果中可以看到約 30%的學生能夠正確的回答問題，但是有超過一半的學生並沒有在答題過程中使用分子模型；而在 study 2 中，他們先將學生區分成 2 組：有置放分子模型讓學生輔助解題與沒有分子模型組(no models)，然後老師先在測驗前以口頭鼓勵擁有模型的學生們善用模型來輔助解題。最後從擁有模型的學生使用狀況又區分成兩組：一組為超過 50%的題目都使用分子模型來輔助(use models)，另外一組則是雖然有模型，但是低於 50%的題目都沒有使用模型(have models)。結果發現這些願意使用模型的同學，約 70%可以正確回答問題。Study 3 是刻意將分子模型與問題中的空間構型一致化後，測試是否能夠增加同學的使用意願與答題正確率，但結果並沒有太顯著的進步。最後在 study 4，老師以前後測的方式，主動”介入”同學們使用模型輔助學習的行為；先在前測中訓練同學們使用模型來解題，然後在後測中蒐集同學們答題正確率的狀況。結果發現約 80%的同學都可以在後測中正確回答問題，且約有 87%的同學在答題中使用了分子模型來輔助。從這些結果，作者歸納了幾點來說明使用分子模型來輔助學習有機立體化學的操作重點。

1. 老師需要主動的以設計好的課程活動，帶領同學操作分子模型來解析三度空間化學結構相關問題，讓同學可以充分體驗分子模型帶來的輔助學習好處。

2. 大部分的同學一開始對於三度空間的立體結構轉換都會覺得困難且複雜，但是透過分子模型教具的輔助學習，空間解構能力可以被增強的，而且對於原本空間觀念就較為薄弱的學生，自身體驗的能力增進更為顯著。
3. 老師們應該要開發以分子模型為基礎的教案或課程活動，讓同學們可以藉由模型來檢核自己的答案，這樣他們更能夠體驗模型帶來的學習好處。
4. 實體與虛擬的分子模型都具有同樣的學習輔助效果，而且以電腦為主體的虛擬教具是值得被開發且引入課堂教學中的

2017 年，Gillette 等人透過教學研究比較兩種方式來學習立體化學，第一是預先錄製操作分子模型的影片，放在 Moodle 平台上讓學生看影片學習立體化學概念；第二種是傳統進入課堂上操作模型輔助學習 [2]。研究結果有趣的呈現出運用兩種方式來輔助教學，學生在最終考試成績表現上並無顯著統計上的差異。研究結果說明了運用實體分子模型來輔助立體化學教學的重要性，也說明了只在家看影片學習成效與實際操作相近的原因之一為學生可以在家裡反覆觀看影片，直到徹底了解為止，但是在課堂上操作則會受到授課時間的限制，因此學習成效會打折扣。這部分的研究成果也呼應了 Stull 等人的概念，使用預錄好的分子模型操作影片來訓練學生，也可以跟課堂上操作分子模型具有類似的學習輔助效果。因此，我們在先前所開發出來的有機立體化學分子 AR 教具就是結合這些觀念，希望能夠藉由虛擬技術來輔助學習困難的三度空間化學結構問題，而同學們可以在家裡反覆操作練習，應該也是傳統課堂上操作實體分子模型所無法比擬的優點。

國立師範大學科學教育所的邱美虹教授的團隊，開發了適用於高中以下課程適用的擴增與虛擬實境教具，幫助學生了解抽象的化學分子三度空間立體結構[3-5]。她們曾經在化學季刊發表有關大一到大三學生，其空間能力與立體化學的學習成就關係。從研究結果發現若能提供更多的空間線索(如前後、大小、角度關係)，則學生在分子的化學結構表徵法的學習效果會更好[6]；若能更進一步使用實體分子模型或圖片來輔助，則學生的學習表現將會更好。因此我們認為新型態 AR 教具就是結合上述研究所提到的教學重點，將複雜或抽象的微觀概念以現今最方便的智慧型裝置具象化，且行動科技的優點就是處處可學習，學生可以透過反覆操作或觀察達到自我學習的功能。

3. 研究問題(Research Question)

本年度計畫是針對有機分子立體化學的學習開發擴增實境 AR 教具，輔助學生理解抽象的三度空間的立體結構概念與二維化學結構表徵法的轉換。我們開發了兩套 AR 教具，分別針對老師課堂即時展演與學生課後自我學習，以及提升團體互動與同儕引領學習兩大教學目標。我們透過挑戰問題的設計，蒐集 AR 教具輔助學生學習的成效統計，探討虛擬教具對於降低抽象的三度空間能力認知負荷，是否與實體分子模型具有一樣的效果。由使用者(學生)的使用經驗，持續提供我們優化教具的相關資訊，研究出更適合學習抽象的立體化學的教學方式、課堂引導活動與 AR 學習介面。

4. 研究設計與方法(Research Methodology)

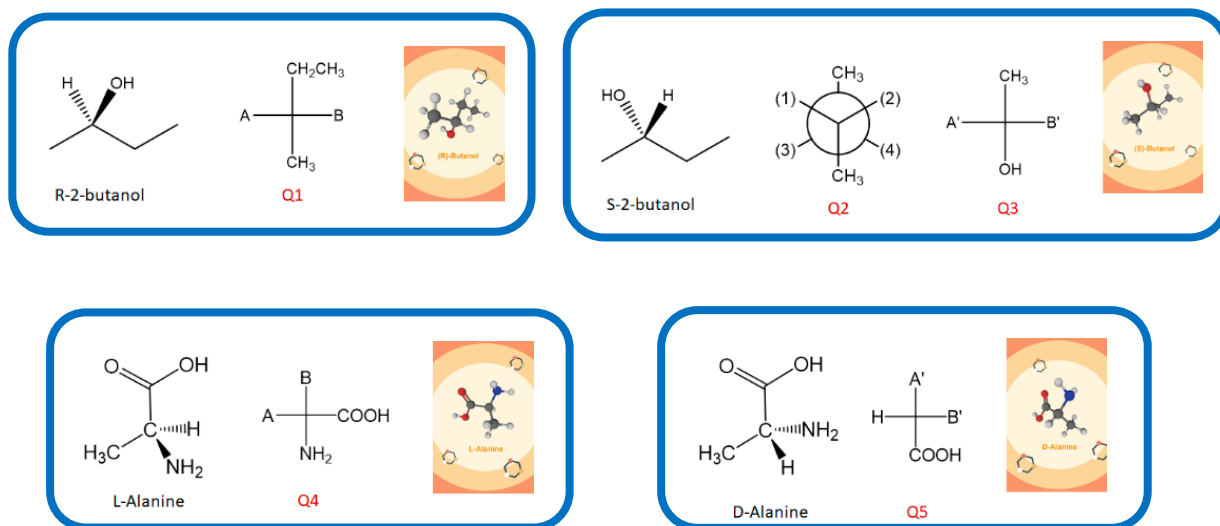
107 年度執行教學實踐研究計畫所開發出的 AR 教具與相關教案的基礎上，我們將補足課堂翻轉教學與團體討論互動性不足夠的問題，引入沉浸式 AR 技術，除了讓虛擬的化學分子結合教學現場外，特別強調多人即時互動的團體使用經驗，讓小組成員站在不同的角度，藉由手機“看到”同一個 AR 分子，然後從不同視角與化學分子進行多人模式的互動，也可以藉由交換彼此位置從另一個角度來觀察分子。這樣的設計概念可以擷取 AR 與 VR 技術各自的優勢，除了深化個人使用與課後自我學習，也加強了課堂上團體互動與多人分享的學習經驗，希望更進一步活化翻轉教學課堂氛圍。實施場域鎖定本校大一學生的基礎有機化學課程(不包含化學本科系)，除了知識的傳授，更期望透過問題討論植入學習基礎科學的能力與態度。教學目標是要協助學生能夠在各種教具與教學方法的輔助下，有效的學習抽象的有機分子立體化學概念，熟悉不同化學結構表徵法之間的轉換，期望學生之後在修習生物化學等進階課程時，辨識分子的立體化學結構時不會產生學習落差。教學方法主要是針對上述特定的立體化學主題，我們將導入 AR 虛擬實境的教具，在課堂上進行針對不同主題以循序漸進的方式分組挑戰老師所設定的題目。成績考核方式主要分成兩個部分，第一為翻轉教學現場分組進行問題挑戰的團體成

績，第二則是在學期測驗的個人成績，我們會將相關主題的考題置入學期測驗的試題中，主要評估出每一位同學在教學模組訓練後的學習成效。對於教學研究來說，最重要的評估將會是透過團體翻轉教學與個人化評量，分析出 AR 虛擬教具輔助下是否有助於整體學生的學習表現，進一步了解虛擬實境的教學方式對於建構有機立體化學概念的可行性。而在學習成效評估工具上，我們主要將仰賴 ZUVIO 雲端及時反饋系統來協助翻轉教學的進行，以及統計數據的即時蒐集與後續的分析。課程規劃主要是以官能基有機化學反應作為基礎，並以有機分子立體化學(stereoisomerism)概念來連結這些化學反應。課程主要分成三個主題：「化學結構表徵法與相互轉換」、「構象與構型異構物」、「鏡像與非鏡像異構物」，接著我們會串聯官能基的有機化學反應與上述立體化學的概念，以凸顯立體化學的重要性；例如烯類的親電子加成反應所衍生出來的 syn-addition、anti-addition 的立體化學選擇性、鹵烷類的親核性取代反應所衍生出來的 inversion configuration 構型翻轉與 racemic mixture 外消旋化等重要觀念。在 107 年度立體化學教案與相關 AR 有機分子的基礎下，我們將開發以沉浸式 AR 技術為架構的虛擬教具，以彌補翻轉教學課堂時團體互動與討論之不足。

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

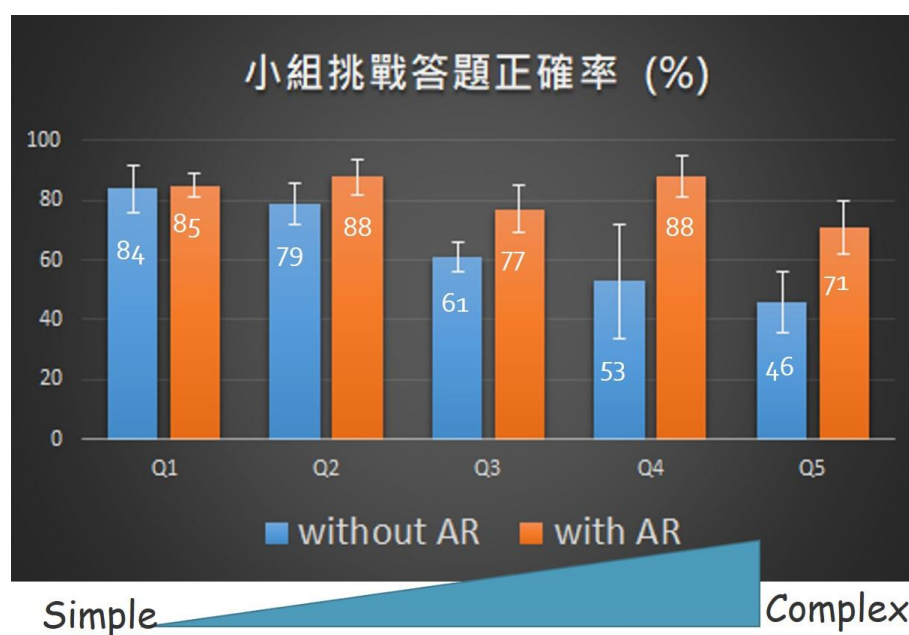
(1) 教學過程與成果

圖一的立體化學挑戰問題 Q1-Q5 都是具有一個立體中心的有機分子，問題設定觀念是「化學結構表徵法的轉換」。課堂活動讓各小組在不使用 AR 教具輔助下解答老師所設定之挑戰題目，請同學透過憑空想像的方式來思考抽象的三度空間分子結構與投影法轉換；接著請各小組使用 AR 教具輔助並重新回答同一個問題，我們所開發出來的教具只需要使用手機或平板直接掃描相對應的卡牌，分子就會以擴增實境的方式出現在屏幕上，學生可以透過與教具互動(旋轉、翻轉目標分子)，讓抽象的三度空間立體化學概念具象化，並且在同儕相互討論下，檢視問題答案是否需要修正。

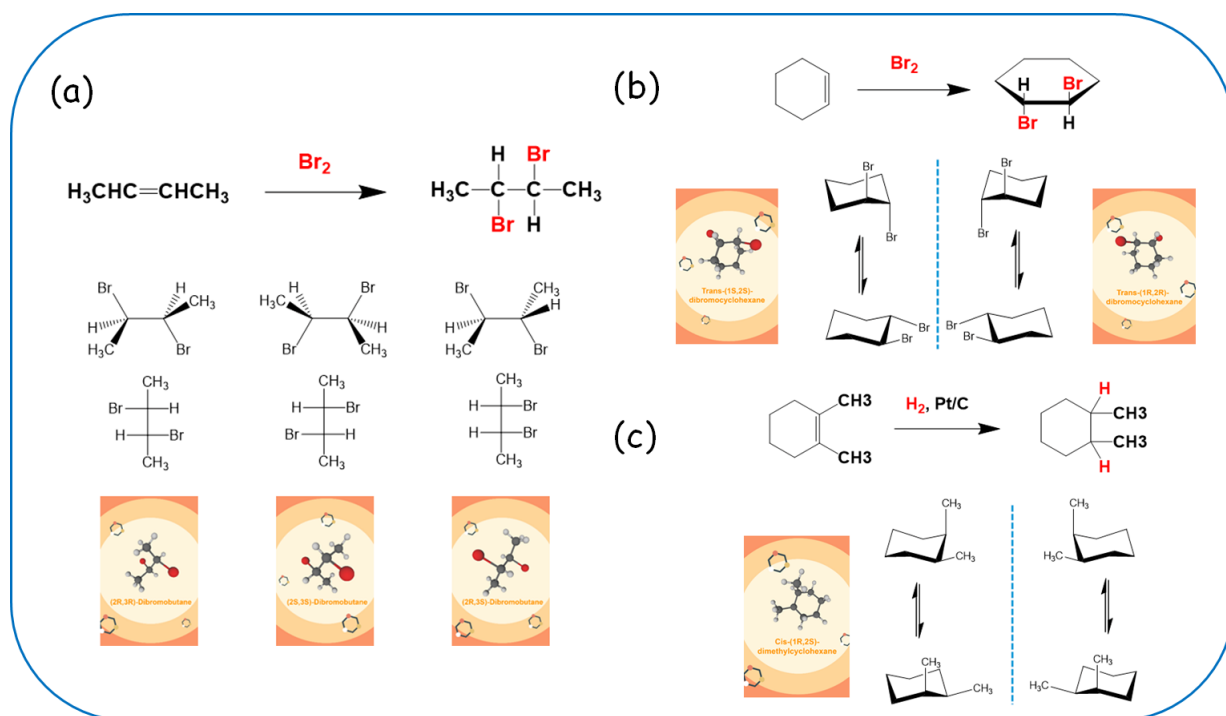


圖一、立體化學挑戰問題 Q1-Q5。

圖二為各小組答題正確率統計，每個問題前後兩條柱狀數據代表無、有 AR 虛擬教具輔助下的數據統計。問題挑戰順序 Q1 到 Q5 是從對於觀察者較為”友善”的觀察角度，一直提升至較”不友善”的觀察角度，也就是初學者越來越不容易憑空想像出分子結構表徵之間的轉換，所以在沒有模型教具輔助之下，各小組的答題正確率明顯下降，且各組間的表現落差較大。我們的 AR 教具對於問題理解的輔助非常明顯，答題正確率都可以在 AR 教具輔助下有效提升。



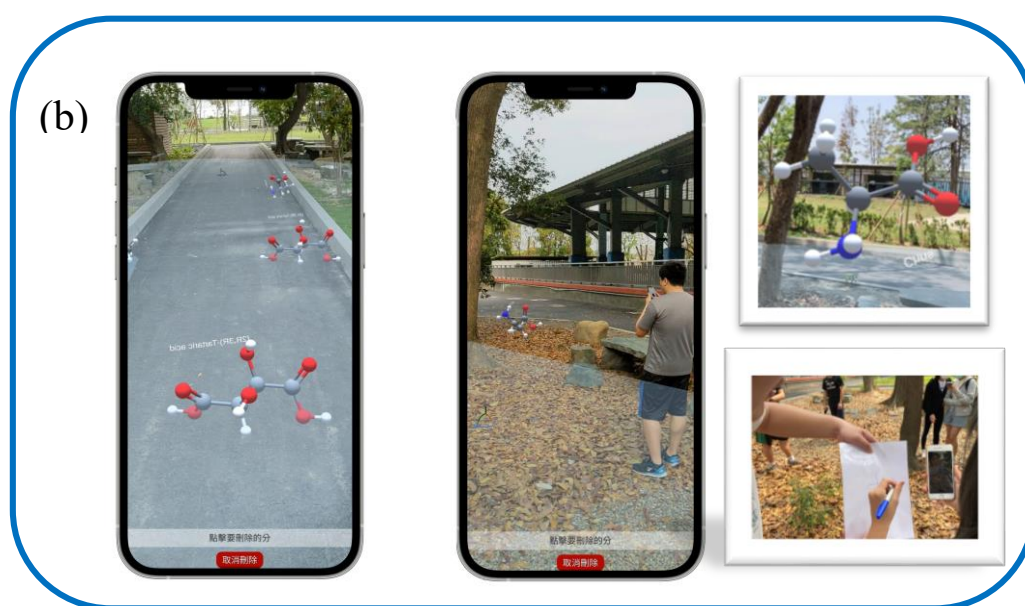
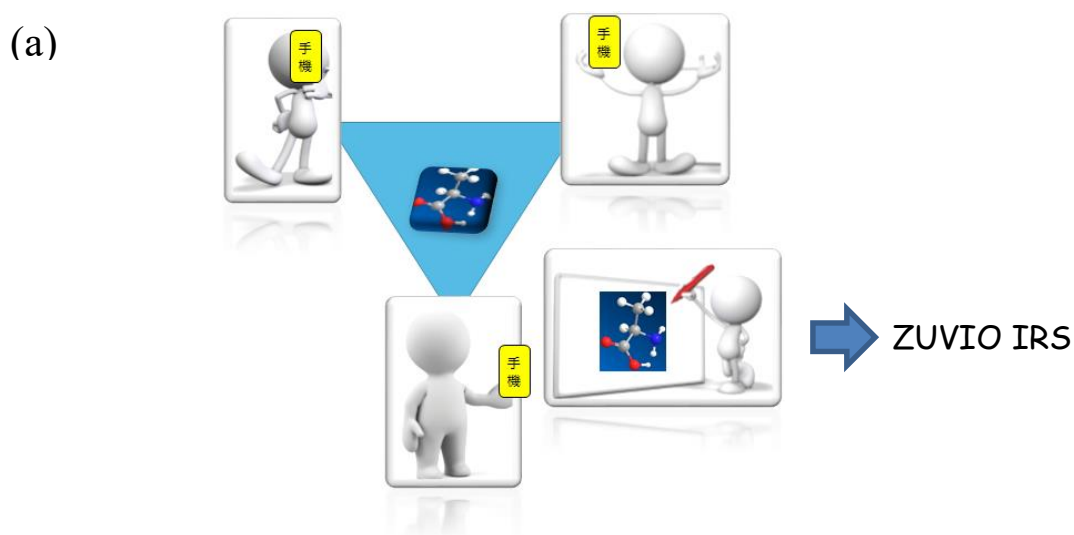
圖二、AR 教具輔助下的小組答題正確率統計結果。



圖三、牽涉立體化學異構物概念的基礎有機化學反應。(a) 2-丁烯的溴化加成反應、(b) 環己烯的溴化加成反應、(c) 1,2-二甲基環己烯的催化氫化還原反應。

圖三為三個具有代表性的有機化學反應：2-丁烯的溴化加成反應、環己烯的溴化加成反應、1,2-二甲基環己烯的催化氫化還原反應等。我們可以透過問題設定並搭配 AR 教具操作，讓學生們先熟悉這些異構物的分子結構間的關係與各種表徵法的轉換，當課堂講授此有機化學反應與機構描述時，學生可以更快速理解異構物產物生成的過程。圖三(a)的反應牽涉到立體化學專一性(stereospecificity)的概念，透過順、反式-2-丁烯不同的起始物之反式加成反應途徑(anti-addition)，得到而兩個具有鏡像關係的立體化學異構物。圖三(b)的反應牽涉到反式加成的反應途徑，但只得到一組具有鏡像關係的異構物，最後透過環己烷的結構翻轉，讓雙軸(di axial)得到較穩定的雙赤道(diequatorial)的構象異構物(conformation isomers)。圖三(c)反應的主要產物則是牽涉到同側加成的反應途徑(syn-addition)，理論上應該要得到一組順式關係的鏡像異構產物。但是這一對鏡像異構物又具有構象異構物的關係，而一樣穩定構象異構物在相互翻轉的過程中達到平衡狀態，因此也可以被視為此反應只得到單一產物且不具有掌性(chirality)。這系列的異構物都具有兩個立體中心，在挑戰問題 Q6-Q9 也同樣可以看到 AR 教具對於同學們解題的幫

助，從未使用 AR 教具輔助下的小組平均答題正確率約為 42%，可以提升到在 AR 教具輔助下的平均正確率為 65%。我們已經將這部分的研究成果發表在 110 年 4 月份化學季刊上，歡迎大家下載參閱完整內容[7]。附件 I-1 為這套 APP 的 下載 QR code 連結，android 與 iOS 手機與平板皆適用；附件 II-1 至 II-7 為相關 教學內容與教具操作影片 YT 連結。



圖四、(a)多人連動操作的課堂團體活動示意圖。(b) 活動照片剪影。

圖四為 109 年度新開發的教具使用畫面以及學生闖關畫面。利用 Google ARCore 的沉浸式擴增實境技術，由教師預先創建與現實世界結合的教學場域，將化學分子灑在環境中。學生加入此教學場域後，可透過手機看見這些虛擬分子，並移動

腳步透過不同的角度來觀察分子，也可以進一步操控分子的翻轉，化學鍵的旋轉等功能。我們發現此教具具備 AR 的操作模式與 VR 的互動視角，同時結合了這兩種虛擬技術的優點。該教具也可以讓同學透過小組合作的方式，同步觀察及一起操作化學分子，提高了同儕學習的效果。我們設計了課堂活動讓小組進行團體接力闖關挑戰。主要分為 4 小關，讓 4 位同學以化學分子為中心圍成一圈：

第 1 小關:教學助理畫出該分子費雪投影題目，第一位同學需利用多人連動 AR 將分子轉成指定的空間幾何關係。

第 2 小關:透過固定角度看第一小關轉出來的分子，並利用紙筆畫出所看到的費雪投影法交給下一小關同學。

第 3 小關:依照第二小關所畫出的費雪投影法，操作多人連動 AR 將分子轉成指定的空間幾何關係。

第 4 小關:操作多人 AR 旋轉分子並判斷 R、S 立體組態，同時擷取該分子的手機螢幕畫面，將答案與照片一併上傳 ZUVIO 平台，由老師或助教統計多人接力闖關的答題正確率。

附件 I-2 為這套多人連動的 APP 的下載 QR code 連結，android 與 iOS 手機與平板皆適用；附件 II-8 至 II-10 為軟體操作使用與課堂團體活動示範影片 YT 連結。

(2) 教師教學反思

我們所開發出來的一系列 AR 擴增實境教具，能夠提供與分子互動的訓練模式，有效加強同學們對於立體化學的觀念理解。AR 教具中的化學分子還是以二維方式呈現，與真正三維的實體分子模型還是有點差距，對於空間概念非常薄弱的同學，訓練效果有限。但是使用沉浸式 AR 教具來輔助學習，將有更為全面的提升效果。智慧型手機的普及率近乎 100%，人手一機的情況下讓 AR 教具可以有效提升每個人在課堂上的學習效率，而 AR 教具能夠提供課後自我學習的優點。

(3) 學生學習回饋

109 全學年總共施作了三個系(營養、醫技與生醫系)，總共約 300 位同學，我

們以 1-10 分的強度量表讓學生自我評估兩項指標：(1)只有透過課堂講授或在家觀看預錄好的課程影片來學習，對於有機立體化學的理解程度。(2)實際操作過 AR 虛擬教具學習後，對於有機立體化學的理解程度。結果顯示第一項指標同學們自評的加權分數約為 5.3 分，而第二項指標明顯進步到 7.2 分，說明了我們所開發出來的 AR 虛擬教具，可以有效幫助他們理解複雜的有機立體化學概念。另外超過 50%的同學在課後有繼續使用 AR 教具輔助學習立體化學，而 80%的同學認同 AR 教具對於學習是有幫助的。

6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

針對 COVID-19 疫情而衍生的線上教學需求，我們也在該學期演練了有機化學課程的線上教學，其中在學習有機分子立體化學時，分別運用兩種教學模組來展演立體化學的概念：一組是面對面的講授型上課模式，老師在課堂上播放 AR 教具演示影片來解釋觀念，同學們則是在台下自行操作或只是觀察影片演示；對照組則是在遠距線上教學時，由老師在電腦播放同樣的影片並即時播送給學生收看，此時同學都各自在宿舍或家裡以筆電或其他工具來上課，同樣可以選擇自行操作或單純收看的方式來學習。課程進行中，我們提出了挑戰問題，請同學操作 AR 教具後擺放出正確的立體化學結構，並且利用螢幕擷取將答案照片上傳至即時反饋的 ZUVIO 平台。我們發現使用 AR 教具教學的特色在於快速檢核學生們對於立體化學的學習效果，同學可以將操作教具後得到各種立體化學表徵結構上傳到 ZUVIO 平台，而老師可以馬上在線上講解正確或錯誤的答案。我們可以感受到這樣的教學模式可能比傳統的課堂講授方式更有效率。


二. 參考文獻(References)

- [1] Stull, A. T., Gainer, M., Padalkar, S., & Hegarty, M. (2016). Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. *J. Chem. Educ.* 93, 994-1001.
- [2] Gillette, A. A., Winterrowd, S. T., & Gallardo-Williams, M. T. (2017). Training Students To Use 3-D Model Sets via Peer-Generated Videos Facilitates Learning of Difficult Concepts in an Introductory Organic Chemistry Course. *J. Chem. Educ.* 94, 960-963.

- [3] 邱美虹 (2014)。科學教學的新典範-行動科技、擴增實境與 3D 實驗影片教學。 *台灣化學教育* 1(3), 251-256。
- [4] 邱美虹、唐尉天 (2014)。行動科技與擴增實境在科學教育上的應用。 *台灣化學教育* 1(3), 257-263。
- [5] 邱美虹、周金城、洪達民、陳怡宏、許晉維 (2018)。中學化學 App 教材與教學:以擴增實境與虛擬實境學習元素與有機分子結構。 *台灣化學教育* 23。
- [6] 邱美虹、廖焜熙 (1996)。立體化學與空間能力。 *化學* 54(2), 145-151。
- [7] 朱智謙、楊孟杰、陳育瑄、莊芯卉、連宇晨 (2021)。擴增實境教具在有機分子立體化學的教學與學習輔助。 *化學* 79(1), 69-78。

三. 附件(Appendix) (請勿超過 10 頁)

I. 兩套可供免費下載的擴增實境 APP 教具 (Android、iOS 手機、平板皆適用)

1. 有機立體化學分子擴增實境
2. 多人有機立體化學分子 AR ( 沉浸式 AR)



II. 相關教學影片與課堂團體活動影片連結:

1. <https://youtu.be/AKuUK3AZiEo> (有機分子結構表徵法的轉換 I)
2. <https://youtu.be/unfFurG4LPQ> (有機分子結構表徵法的轉換 II)
3. <https://youtu.be/VDBP6N6iILw> (鏡像與非鏡像異構物 I)
4. https://youtu.be/GrAwbVvc_m8 (奇妙的環己烷 I)
5. <https://youtu.be/TGA3ILSijBE> (鏡像與非鏡像異構物 II)
6. https://youtu.be/PkzF9Iyin_U (奇妙的環己烷 II)
7. <https://youtu.be/QyoysZvtbAM> (烯類親電子加成反應的立體化學)
8. <https://youtu.be/orihFbwduyg> (多人 AR 操作說明)
9. <https://youtu.be/AIrsCWwZD9c> (多人 AR 操作示範影片)
10. <https://youtu.be/svOuD6EXqoY> (多人 AR 團體活動示範影片)