

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：PMS1100246

學門專案分類/Division：數理學門

執行期間/Funding Period：2021.08.01 – 2022.07.31

學生學習狀況分類與教學強調思考與實際應用知識造成影響學生學習狀況之研究

光學 I 基礎與幾何光學、光學 II 電磁光學、光學 III 波動光學、光學實驗

計畫主持人(Principal Investigator)：鍾德元

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：中央大學光電系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2024 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2022-09-20

學生學習狀況分類與教學強調思考與實際應用知識造成影響學生學習狀況之研究

一. 本文 Content

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

「因材施教」是許多教師亦認同且認為應該實踐的教學方式，然而在大學的教學現場卻無法執行，其中一可能原因是沒有系統性且有效的方式對學生是何種「材」進行學習狀態與特性進行分類判別。以至於無法對應的改變「教」。

理工科系的必修課程都是描述真實世界運作方式的知識，教學目的是期待學生能思考、解釋、使用、延伸，最終期待創造新的知識。然而，在目前教學現場觀察到的現象是學生只會在考試中「使用」這些惰性知識 (inert knowledge)與現實世界脫離。學生對於知識常常無法理解，因此常常會以記憶的方式面對課程內容，認為這就是學習，這也是學生於中學階段習慣的補習教育方式。因此要改變學生的學習方式或許應該由學習環境(包含課程、活動、作業、評量)的重塑開始。

因此本計劃想要研究的兩個主題一是建立有系統分類學生特性與狀況的方法；二是學生無法實際使用知識的問題。前者希望建立對學生的量測與分類方法並確定合理有效，後者為改變教學方式造成對學生的學習驅力改變；有了學生的特性分類的量測方法才能夠進行且確定教材、教法甚至評量的改變是否能驅動學生達成期待的學習目的，進而養成以思考、使用知識的學習慣性而非以「考試快速回答標準答案」為目的。

1. 說明申請人近 5 年課程教學經驗與成果，包含：相關開設課程、學生學習表現、相關教材建構或發表、教學評鑑回饋等。(若未滿 5 年，則說明任教後之課程教學經驗與問題之聯結)

近五年內開設課程包括(括弧內為學分數)：

大學部必修：光學 I(3)、光學 II(3)、光學 III(3)、光電科技概論(3)、服務學習(0)

研究所必修：傅氏光學(3)、書報討論(2)

研究所選修：動物視覺(3)、光電系統(3)

通識課：攝影光學(3)

其中光學 I、II、III 為翻轉教學，教學評量學生意見如附件。

光學 I、II、III 各有影片 50 部左右

各課程教學評鑑皆超過 4.2/5.0

2. 說明申請人近 5 年教學相關成果與本計畫之關聯；若之前計畫成果已有相關研討會或論文發表，可呈現於此。

申請人於 2020 年以光學 I、II、III 之翻轉教學為平台進行教學研究，藉由上一期的教學實踐研究計畫的補助，光學 I 亦於今年(2020)完成教材之設計、編排與影片錄製。本次計畫將以申請人教授之光學 I、光學 II、光學 III 為主要平台，以及該班同學同時修習的其他非翻轉教學必修課程（電路學、電子學、電磁學、近代物理、光電半導體物理）進行學生的時間管理、動機、成效比對與分析。

申請人第一期及第二期教學實踐計畫皆獲通過，也分別於「107 年度教學實踐研究計畫成果交流會」(國立高雄科技大學 2019/9/11)、「108 年度教學實踐研究計畫成果交流會」(國立交通大學 2020/8/24)進行口頭成果發表。另外，於「108 學年度第二學期教學創新與實踐研討會」(國立中央大學 2020/8/12)受邀口頭發表、「109 學年度教學實踐研究研討會」(國立中央大學 2020/11/26)受邀口頭發表。

(二) 計畫執行內容部分

在高教現場觀察有許多奇特的現象，在申請人近年實施翻轉教學與學生接觸更為直接的情況下發現學生考研究所需要去補習班、不仔細讀題目以致答非所問、成績不好的對應

方式是「做考古題」、「代公式」等等說法與做為...皆是以考試為中心且要快速得到正確答案為核心。考完試後再問學生學過的東西卻常常幾無記憶，這也對應到教師們說學生「考過就還給老師」的這種說法。而申請人於必修課中的考試題目基本上沒有考古題，也不以公式計算熟練為主體，通常以概念理解、說明、應用，甚至概念延伸、整合為問題面向給學生，就算延長考試時間，考試結果基本上是常規性的不理想，而在翻轉教學的課堂活動中，申請人也同樣出現學生不仔細讀活動題目，以至於活動進行中還會持續問活動題目陳述過的事情；活動後儘管概念已經解說完畢，有時候課堂時間不足以給完所有的細節，學生對於討論中若沒有給出最後標準答案會出現近乎執著的在意，甚至出現許多抱怨。因此發現學生對「標準答案」、「快速作答」有高度的執著與焦慮。另外，教學現場發現有些學生對課程內容有不錯的理解，有實務動手做的能力，而考試出來的結果卻令人失望，也讓這些學生態度上逐漸退縮。這些學生應該要被鑑別出來，給予其他引導方式甚至評量方式。換言之，學生對於學習本身似乎有奇特的認知與行為。申請人猜測以上這些表象是國高中階段建立起來的學習慣性，學習不該是以通過考試為目的的塞入惰性知識的回溯，理工科系的知識系統更不該如此以記憶、反射、正確為學習的核心。換言之，學生學習的驅力需要進行調整。如前所述，申請人於中央大學光電系近年來必修課教學現場的觀察，所遇到的問題牽連甚廣，絕對不是一年可以解決的，但推測核心問題是國高中階段以考試為中心的學習慣性造成的，到大學階段理工科系的課程中仍有大多課程採用相同的方式驅動學生學習，甚至延伸到研究所。考試本身是公平的，然而考試題目會影響學生的學習慣性，也可能影響不同特質的學生的表現。而不同的學生個體有不同的特性，在無法區分的情況下也不可能針對不同特質的學生予以協助或指導，因此學生學習分類是一個需要先進行的研究，而先期計畫中已經藉由翻轉教學的平台獲得了一些學生的回饋資料，因此已經可以做一些初步的分類，然而需要更為持續的資料蒐集與觀察，藉由這些資料對學生的狀態進行了解與分類，並加入不同的評量方式理解學生的能力，希望以課堂活動的設計與重視思考與使用為方向的評量方式逐漸改變學生對知識的態度與學習的驅力。

1. 計畫創新性或延續性價值(以 300 字為限)

本次提出為延續性計畫，上一期為對於學生學習動機、花費時間、學習成效之連結進行研究。上一期計畫中於光學 I 與光學 II 之研究對像為不同兩屆學生，在課程進程中發現這兩屆學生之表現與行為有些差異，因此對於統計數據上有對照上的困難。然而由於上一期建立的翻轉教學課程安排特性(每周的回饋)，使得各種資料的蒐集相對容易且完整，相對容易進行研究。

由於過去一學期本系進行一些課程改革，之前修習光學 I 的同一批學生由申請人繼續以翻轉教學法教授光學 II 及光學 III，因此可以持續對同一批學生進行統計甚至個案方式研究其各種學習狀況、學生特性分類與成效之評估。由於某些系上行政與傳統的因素，之後將不會有這樣的機會，至少不會在三年內有同樣的機會，另外，光學 II 的部分也可與前期計畫中上一屆的光學 II 統計結果進行比較，而計畫執行後半學期會由計畫申請人教授下一屆光學 II 課程，換言之，光學 II 之資料會有三屆學生，整個計畫會橫跨至少 180 人，300 人次，因此於此次教學實踐計畫中提出。

前期計畫中對學生對必修課的投入時間、學習動機自評、學生認定之課程難度、學習成效自評進行每周的紀錄，而期末成績則為最終成效評估，資料量相對完備。而從前期計畫中之統計結果中得到一些趨勢與推論做為建構今年度之計畫之概念與研究基礎。以下為上一期計畫所得出之推論與數據展現：

A. 學生自評之課程難度隨學期進程無明顯改變但有微幅逐漸增加之趨勢，這部分授課老師大致認同，然而期末的課程內容應該會有明顯的難度增高，學生的反應卻不是如此，因此判斷學生無法客觀評斷課程難度。

B. 學生課堂外投入之時間只有在期中考及期末考前有明顯增加如圖 1 所示，大致上學生於採用翻轉教學的光學 II 課程上比其他科目所花時間要多。然而翻轉教學課堂外有

一部分時間為觀看課程影片，扣除觀看影片時間後，學生於課堂外所花時間大致相同，翻轉教學甚至更少。然而，另外兩門傳統授課課程有作業，換言之，學生並沒有花明顯的時間在做作業！這部分某種程度應證了一個猜測—學生作業很有可能是抄的，延伸的推論是傳統授課方式期待學生會藉由作業學習課程內容是需要重新思考的。

C. 自評學習成效隨學期進程如圖 2，基本上無明顯變化，期中考後出現稍微下降後回升，整體隨時間進程逐漸下降。因此判定學生的自評學習成效無法有效反應真實學習成效。

D. 學習動機隨學期進程如圖 3，無明顯差異，但翻轉教學課程之學習動機接略高於傳統教學課程，表示翻轉教學之實施方式學生有意願投入更多的學習。而教師的主觀的觀察亦符合。

E. 總投入時間與期末成績之關聯如圖 4，大致上呈正相關，總投入時間可以視為行為投入(behavior engagement)之表現或是學生展現的努力，而期末成績則可視為學術表現或學術成就(academic achievement)，基本上符合已發表文獻之結論。然而因為相關性不高，表示學生之學習特性與學習適應狀態可藉此進行分類。此部分即為本期計畫第一部分的核心想法。關於 engagement 與 achievement 將於文獻回顧中仔細說明。

從上一期的研究可發現，學生自評學習動機與自評學習成效目前並不具有明顯可分析之差異。判斷學生無法達成客觀之自評判斷，因此本計劃將著重於時間投入與客觀之期中與期末表現、翻轉教學之 challenge project 成果、加入學生訪談及最後學生的反思。作為資料蒐集之主要方式。

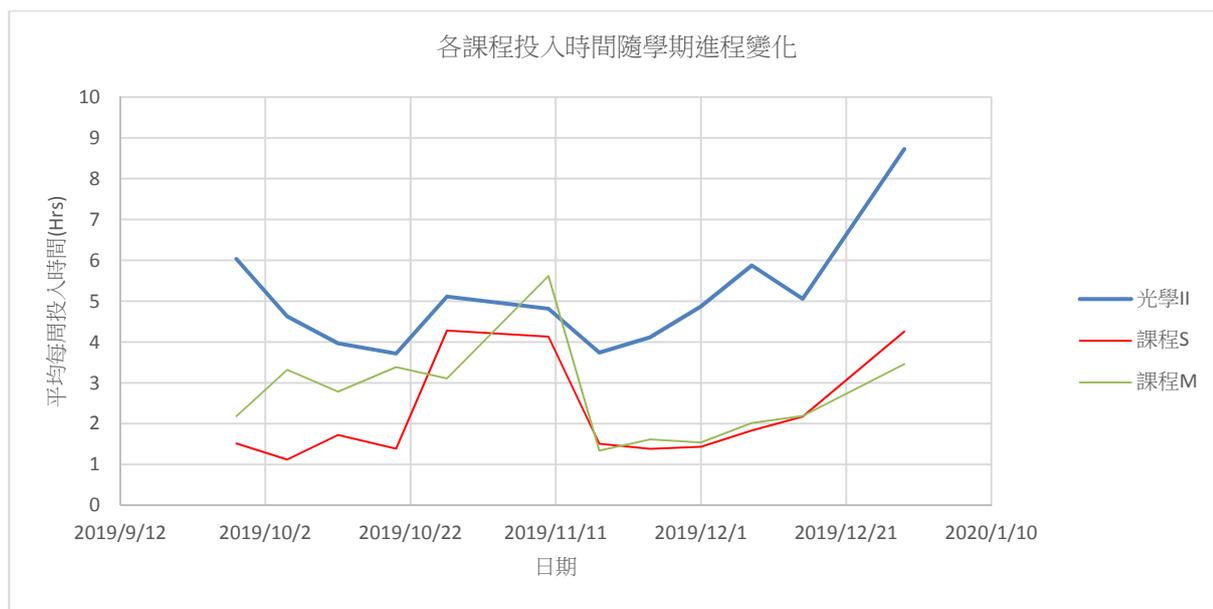


圖 1、學生於光學 II 投入時間隨學期進程變化

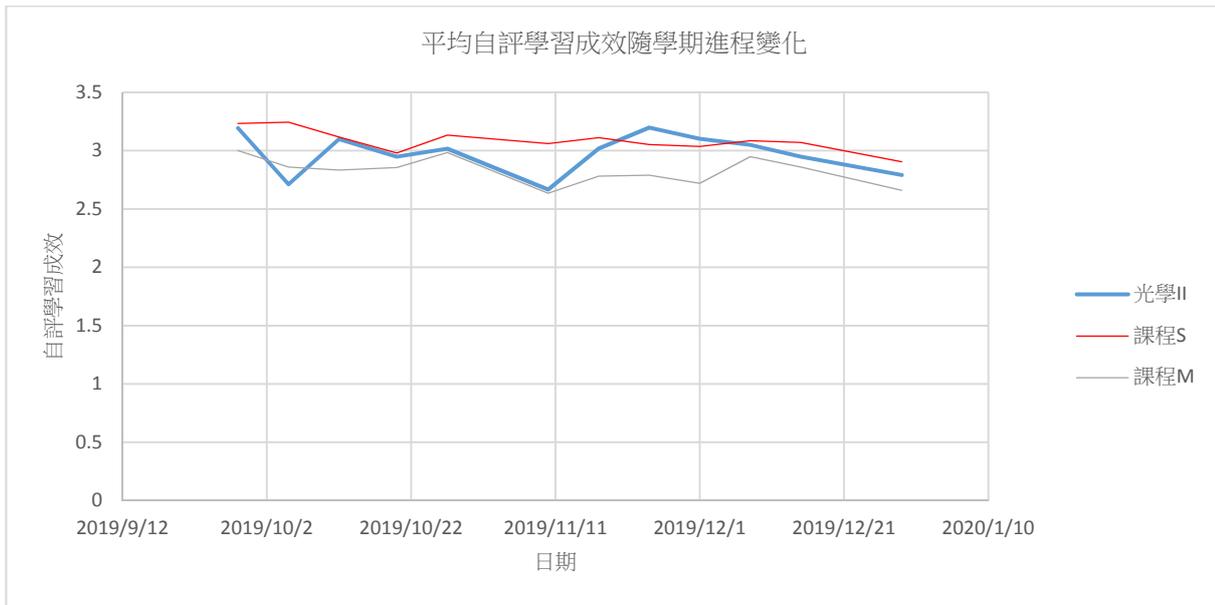


圖 2、全班均自評學習成效隨學期進程變化

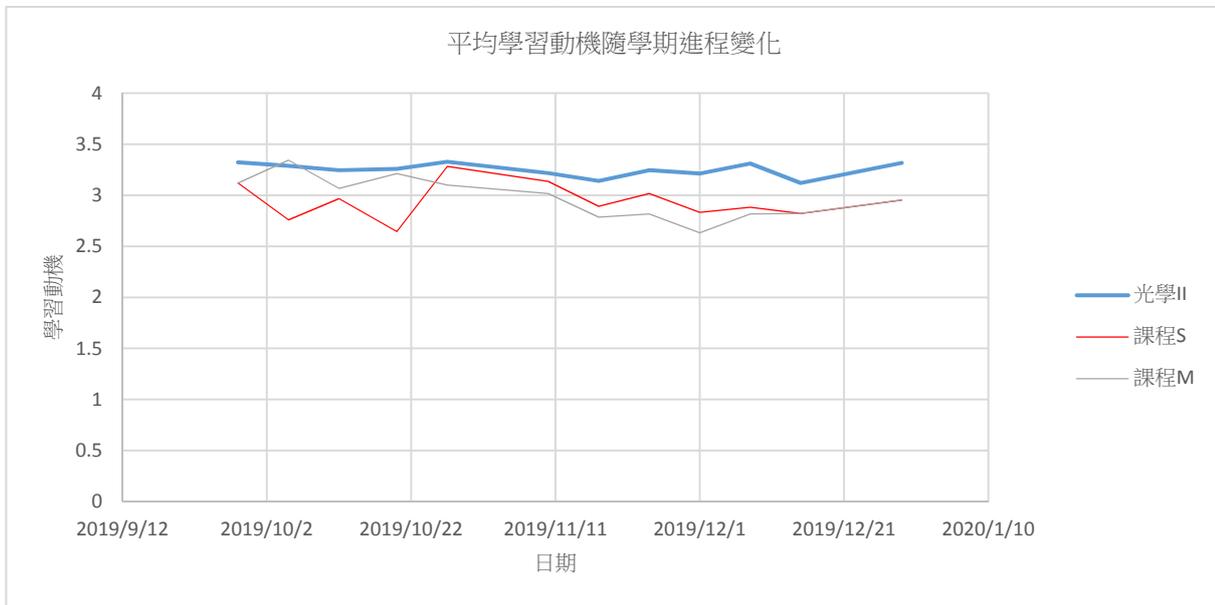


圖 3、全班平均學習動機隨學期進程變化

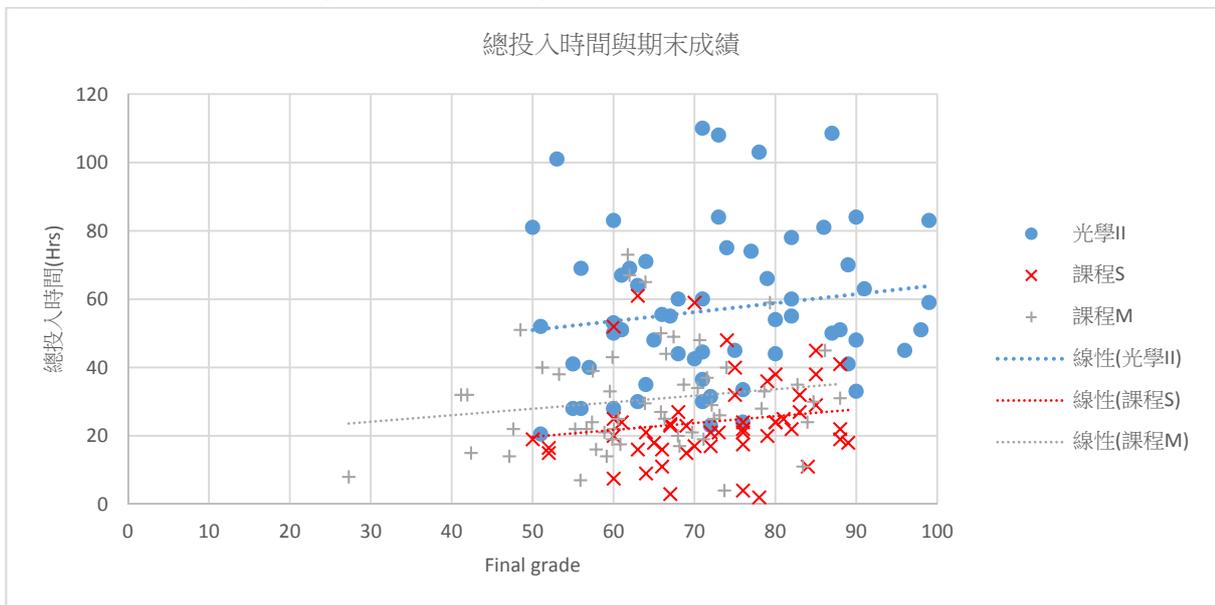


圖 4、每一位學生於不同科目中學期投入總時間對期末成績之關聯

2. 研究動機與目的

(1) 教學實踐研究計畫動機

「因材施教」是孔子提出的教學理念，號稱對後世影響甚鉅，許多教師亦認同且認為應該實踐的教學方式，然而在大學的教學現場卻非如此。目前的理工科系課程因各種原因(班級人數過多、評量方便性、教師沒時間…)大多採取傳統教學，以標準化、公式化的統一授課方式進行，評量則是作業與考試。換言之與「因材施教」完全背離，但也這樣執行了幾十年。要達到因材施教先要能夠判斷學生是何種「材」才能進行後續的「教」的適應改變。「材」是個難以簡單定義的概念，因有大量且細緻的差異性，但可視為是學生特性與學習狀態的分類。對教學熱心的老師們會分享學生的一些學習狀態，但對學生的描述皆相對含糊，如「OO 很聰明」、「XX 沒在念書」這些欠缺客觀甚至只是猜測的陳述，只能成為閒談，甚至只是在人後說話而沒有實質的幫助，遑論依照學生特性與狀態改變教學方式。

理工科系的課程都是描述真實世界運作方式的知識，這些課程的教學目的應該是期待學生最起碼能理解、應該要能解釋、使用、延伸，最終期待是創造新的知識，書面口頭的表達也該正確精煉。大專教師在經過博士的研究訓練後，這些思考、知識使用、表達的能力堪稱已經熟練，也期待研究生會有同樣的能力，新鮮的助理教授期待著「得天下英才教之」的熱血。然而，期待與現狀的差異在目前教學現場觀察到的相去甚遠如表 1。

表 1、期待中的高等教育理工學科學習與現實比較

項目	期待	現實
學習目的	以知識使用為本體的學習	以考試為本體的學習
知識學習過程	思考、核心概念整理	記憶(資料庫)
問題(未見過)解決	邏輯思考分析整合	反射(資料庫搜尋)
解決實務動手問題	能夠規劃動手	無訓練也不在意
資訊輸入(聽, 讀)	詳細理解	看關鍵字不細讀
資訊輸出(說, 寫)	精確精煉	文句零散(無訓練、選擇題)
成績不好的應對	思考核心概念, 整理知識	強化練習

傳統授課老師與學生的互動低，只有考試後以成績來判斷。每每聽到的就是老師說「我出得很簡單了，但學生還是不會寫」，進而直接認為是學生沒唸書或是混。而申請人執行翻轉教學，每一次課堂活動都在觀察學生，首先注意到的是學生並不把課堂活動的 instruction 或問題讀完，就立刻要開始動作，翻找講義中的公式，帶入數字...造成的結果就是答非所問或是進行活動的過程中持續出現問題，然而這些問題都在課堂活動的 instruction 或問題陳述中。而問問題或討論的時候又表達不清楚，常常給的陳述都是片段的不完整句子，甚至只有名詞或動詞。而實驗型的課堂活動，急著拿材料開始亂試，通常的結果又是提出問題。由於這些觀察與一些同學訪談的結果發現這麼急切、缺乏思考、缺乏規劃、不仔細閱讀、不會表達...的種種奇特行為是來自國高中階段因為考試而訓練出來的，不只補習班是這樣，連國高中老師也鼓勵的行為；不仔細閱讀是因為可以看關鍵字大概可以猜出題意，就可以做題目；而找公式帶入數字是最直接簡單的解題方式，國高中的題目大部分是如此，也因此有效；實驗規劃並沒有學過，因為不會考，實驗課也是按照說明操作取資料就結束；不會表達是考試都用選擇題，不需要文字語句表達...中文這種圖形視覺辨認的文字而且是學生的母語可能是有效的，但是對於英文這種拼音文字卻似乎無法由關鍵字猜測句意，更何況對學生而言並非母語；翻講義代公式在高中可能可行，因為沒那麼多公式，但大學理工科系任何一科裡面都是滿佈公式，不同條件，不同限制的公式若是沒有瞭解只會讓代公式成為 garbage-in, garbage-out 的活動；正規教育對實驗的輕忽是個龐大的問題，不會出現在學測，所以學生面對實驗是以交差為原則，並不理解實驗內容；

表達精確精煉似乎是從來沒被提過的事，直到學生需要合作討論...這些現象的核心都是「考試」，換言之知識對學生的用處就是考試可以有成績，好的成績可以考到比較好的學校。而到了大學，知識密度暴增，這種對待知識的方式很容易就失效，學生往往變成只求有過。

依照 Bloom's taxonomy 所分類的學習金字塔中，有許多的層級，每個有熱心的教學者都期待能夠教到學生能夠達到分析(analyze)、評價(evaluation)甚至創造(create)的高階階段如圖 5，然而在多年的教學現場所體會到的學生學習狀況卻是與期待中的相距甚遠，能夠使用(apply)知識的學生已經可以被稱為好學生，大部分的學生甚至不見得能達到理解(understand)的地步，現實中學生只會在考試中「使用」這些只為考試存在的惰性知識 (inert knowledge)，而不會使用這些知識去思考解決真實的甚至陌生的問題。對於練習過、知道類似的題目，學生的反應可以很快，對於陌生的問題，就算告訴學生是哪個部分的概念，學生也不見得能夠自己往前推進，觀察中學生對於知識常常無法理解，因此常常會以「記憶」的方式面對知識，認為這就是學習。學生對於成績不好的對應積極作為是「做考古題」、「做更多的習題練習」，不只大學生如此，許多研究生也一樣。在不理解的情況下寫題目或「應用」到真實世界，出現的結果通常是很有問題的。這也造成了研究生需要一段相對長時間去重新適應研究生的學習方式甚至重新學習思考，更糟的情況是完全無法改變。最常見的理工科系評量方式仍是作業與考試，作業據先前經驗有很大機率是某些學生出了作業版本，其他學生就用抄的；而考試的題目某些課程常使用考古題，或是用課本所附的題目，這種型態的題目很有可能是繼續強化驅動學生的記憶與反射，而不是思考理解，這也是學生於中學階段習慣的補習教育方式，也因為其有效性，造成了學生考研究所還需要去補習的現象；這也是常常聽到老師們說學生「考過就還給老師」的這種說法。整體而言，學生現在呈現的學習樣貌不能只怪補習班，而更要檢討教師是如何用簡化的方式教導學生知識。因此要改變學生的學習方式或許應該由學習環境(包含課程、活動、作業、評量)的重塑開始改變學習的驅動力。研究生被期待的學習與使用知識的思考能力應該提前到大學甚至高中成為一種習慣，才會減少重新學習適應甚至是無法適應的情形。申請人以翻轉教學為平台，已於課堂活動中強調且引導學生適應期待中的學習模式，然而近年來課堂實踐中發現要對學生進行如此大程度的改變非常困難，甚至有可能因為其他課程仍然採行傳統教學方式強調使用公式與做題目，以至於這種思考、應用知識的概念轉變無法成形，似乎有些學生可以接受，但似乎有更多學生不行，就算暫時接受了，其他課程仍然使用傳統方式作業考試，學生仍然可能會選擇習慣的方式繼續面對知識。

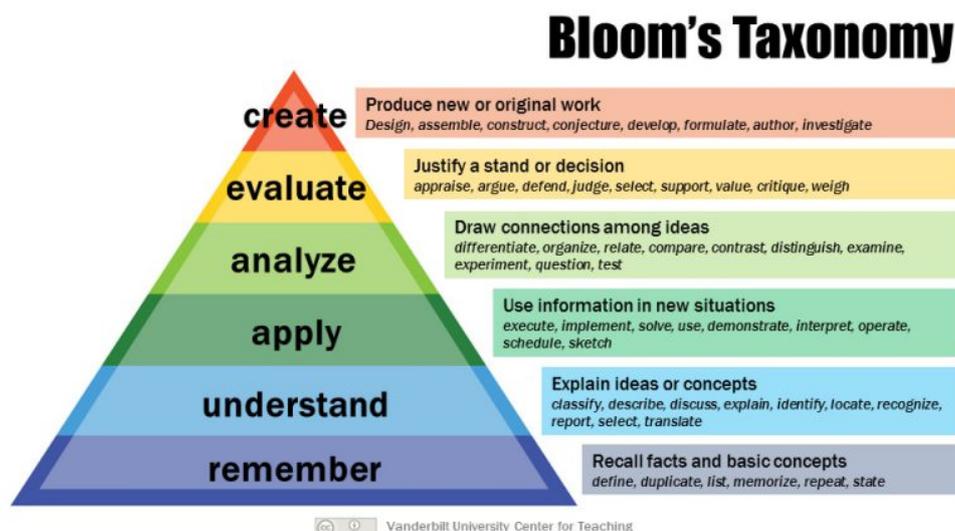


圖 5、2001 年版 Bloom's taxonomy 認知域(cognitive domain)分類

因此本計劃想要研究的兩個主題一是建立有系統分類學生特性與狀況的方法；二是學生無法實際使用知識的問題。前者為對學生的量測與分類，後者為對學生的驅力的改變；

得到了學生的特性分類才能夠進行教材、教法甚至評量的改變以驅動學生達成學習目的，進而養成以使用知識為目的學習慣性而非以「考試快速回答標準答案」為目的建立資料庫型式的情性知識。也必須要有了分類學生特性與學習狀況的方式才有機會確認教學與評量方法的改變是否有成效。

2. 文獻探討 Literature Review

學生的特性分類有許多的研究提出，有許多面相與觀點，是個龐大的系統，學習風格分類本質上是對複雜系統的妥協，本質上是在降維(dimensional deduction)，減少處理的參數數量。數學與統計上有許多工具如 PCA(principle component analysis)、LDA(Linear discriminant analysis)...等等，儘管有工具，但沒有足夠的數據也無法使用。每個學生都是獨一無二的個體，生活背景、成長的過程與人生經歷逐步累積成大學端的每一個不同的學生，會影響學生的參數、維度極為龐大，也難以拆解，也因此學生的分類極度困難。許多的學者提出了很多關於學習風格(learning style)與認知風格(cognitive style)的 models，這些分類都是希望在學習發生前理解學生可能的學習方式，如 Gordon Pask (Carey, 1991)提出學習策略分類 holist 與 serialist，換言之是分類學生學習上是以整體性學習或是序列式學習；Robert Ornstein (Carey, 1991)提出左右半腦理論，分類認知風格，左半腦控制邏輯與分析，右半腦教為整體、直覺與圖像化；Michael Kirton (Kirton 1976)提出 Adaptor 與 Innovator 分類，adaptor 適應接收到的知識，也在既有的知識架構中思考，注重規則；而 innovator 擅長創造新的想法，不在意規則；此種分類有點類似 holist 與 serialist。Liam Hudson (Carey, 1991)提出了 convergent thinkers 與 divergent thinkers 兩種關於思考的分類，convergent thinkers 在意邏輯、客觀、理性、實際、規畫、系統、結構、量化，而 divergent thinkers 在意直覺、主觀、情感、假設、衝動、整體、質化；換言之，convergent thinker 比較類似理工科系在教學上要訓練學生的樣貌。Raymond Cattell (Cattell, 1963)提出流動智力(fluid intelligence)與固定智力(crystalized intelligence)分類，流動智力是指在沒有先備習得知識的狀態下發現新的知識、解決新問題的能力，而固定智力則反之是指使用先前習得知知識或經驗應用於問題解決。VARK(Visual Aural Read/Write Kinesthetic)學習風格是一個發展於 1990 年代的學生學習風格的分類方式(Kolb, 2015)，也有標準的量表可對學生進行分類。然而 VARK 之分類也引發了不少討論，甚至有些學者研究認為這些分類並無法有效的增進學生學習的成效(Carey, 1991)。

Student engagement 或可譯作學生投入或參與，是描述學生對於課程投入的心力，且有許多面向，包含行為(behavior)、情感/心理(emotional/psychological)、認知(cognitive)、學術(academic)四大分類的 engagement (Appleton, Christenson, & Furlong, 2008; Fredricks et al., 2004)，一般而言以 behavior 與 emotional engagement 為主流研究方向，其中 behavior engagement 又分成三種型式：Positive conduct、involvement in learning 與 participation in school-related activity，而 positive conduct 是相對最為外顯的，但是比較接近服從(compliance)或是課堂紀律(disciplinary)等較為被動的行為，而 involvement in learning 中的「完成作業(finishing homework)」也比較屬於這部分。然而 Behavior engagement 中比較主動的項目則可能更能表現出學生對於學習在意的態度，主要分類在 involvement in learning 中的「做出努力(making an effort)」、「貢獻課堂討論(contributing to class discussion)」、「提問(asking questions)」及「額外投入課程相關時間(spending extra time on class-related learning)」，以上內容整理如圖 6。上述的 engagement 項目相當多樣，而且這些指標大多數是個狀態，也有不同程度，難以量化，且應該是一個個隨時間改變的參數，而可以探知 engagement 的方法多半是由問卷回饋得到，且偏向學生主觀認知。學術表現如果以成績來看則相對可以簡單的得到量化數據。

Lee 於 2014 年(Lee, 2014)發表學生 behavior 與 emotional engagement 與閱讀能力(學術表現 academic performance)之關聯性，研究結論是學生有較高的 engagement 會造成較佳的

學術表現。這符合教育者對學生「態度」含糊的印象，換言之對課程有高度 engagement 的學生，表現似乎都不錯，也會被認定是好學生。然而對於有高度 engagement 的學生卻沒有相對應成績的學生，老師們通常會給的評論卻是「很可惜」、「這個學生應該不錯」、「這個學生不會考試」等等，而學生自己也會提出「不會考試」為自己解釋。

就以上所述，應該可以將學生的 engagement 與 academic performance 做為兩個維度，而以正相關為一個判斷基準，將學生於這個二維平面上分布進行更細緻的分類，以了解學生的分類與特性，如前述有很高 engagement 但卻沒有對應 performance 者，應該訪談做為個案研究以了解學生的狀態，而每一門課同一位學生也很有可能會有不一樣的 engagement-performance 表現，而學生在不同科目的分類應該可以給老師及學生一些更為客觀的指標要如何進行教學、輔導與學習方式的修正。

就圖 6 中的 engagement 分類細項在一般傳統教學方式大部分都難以量化，有些項目如貢獻課堂討論或問問題在台灣高等教育數理課程中甚至幾乎不見得會出現，而其他分類為服從或紀律的這些 engagement 在台灣學生身上至少在表象上似乎都會達成，然而「額外投入課程相關時間(spending extra time on class-related learning)」則有機會量化，以台灣學生的狀態而言這部分正是學生於課後投入的時間。課後投入時間應可更為簡稱為「努力」，而翻轉教學提供了一個有可能在教學執行過程中蒐集這部分資料。

而 performance 最簡單的計量方式就是考試，考試對於老師而言是相對簡易且具有相當程度公平性的評量工具，然而短暫且高強度的測驗卻不見得能滿足理工科系課程期待學生理解且能自由使用知識之教學目標，但大多數的理工科系的課程評量仍採取兩次性（期中與期末考）的評量方式評價學生。因此在做不同課程間的比較還是以考試成績作為學習成效為主，會有較佳的泛用性。然而翻轉教學中加入的 challenge 即為實作動手之活動，此部分的成果獨立評量，因此可由此部分分類出實作動手型之學生。

綜上所述，藉由蒐集學生投入時間(engagement)與考試成績(achievement)有機會驗證，engagement-achievement 正相關的結果，另外，本計劃提出以此二維資料進行同一批學生的分類，針對學生在此二維空間中的分佈與定位，於不同科目中是否有變化並進行個案訪談，確認理解分類的有效性。

另外，本計劃中翻轉教學亦可與其他傳統教學之學生分類進行比較分析學生對翻轉教學與傳統教學的偏好、傾向與適應狀況。

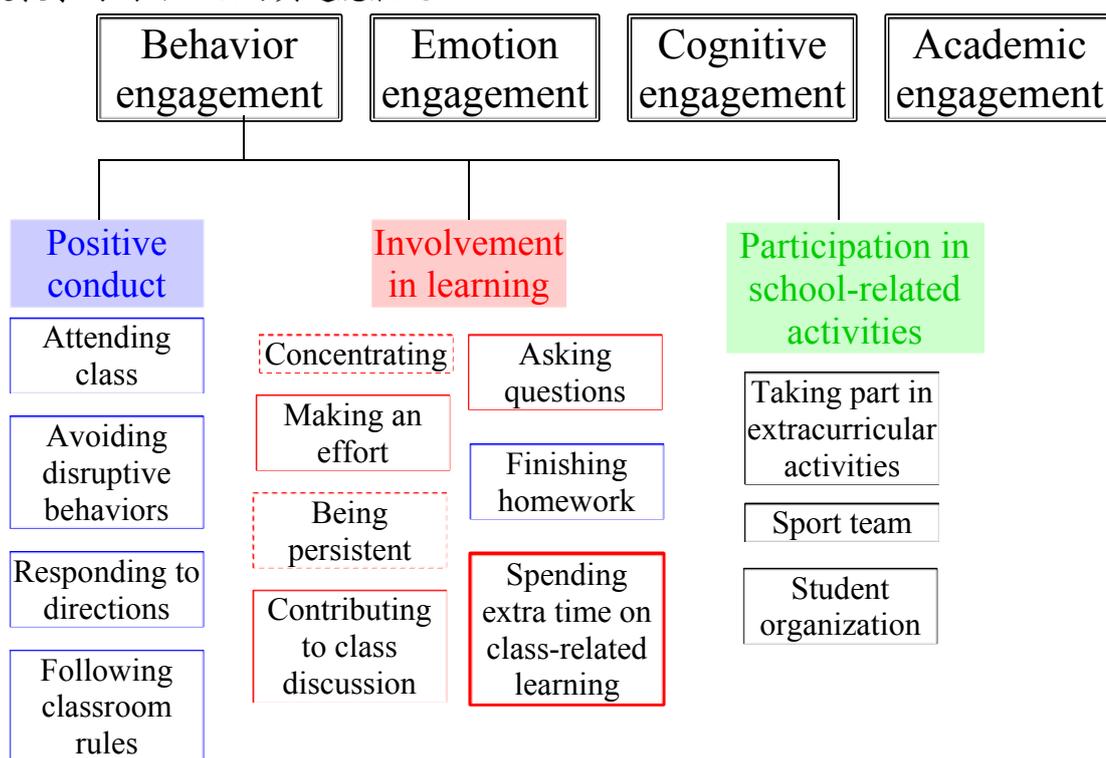


圖 6、Student engagement 之整理，實線部分為外顯的可觀察的部分，藍色外框部分可視為對學生的要求或學生的服從與學習紀律，紅色外框為學生自主控制的部分，虛線為較難觀察或評價的部分，紅色粗實線為本次研究之重點指標

3. 研究問題 Research Question

本計劃之研究主題有兩主要面向，的一部分為使用努力-成效二維參數及實務動手對本系學生進行分類，並對學生於不同學科的分類進行研究，藉以分析學生的狀態，以此分類方式亦將對學生進行個案訪談，確定分類之有效。第二部分為翻轉教學課程執行過程加入大量思考、實務動手之活動及評量，目的希望藉這些改變能夠使學生對於知識的學習態度與方式不再是以記憶與考試為目的。後者之成效需藉由前者之調查資料進行比對與分析，最終希望能夠對不同狀態、特性之學生提出給予適當的輔導、教學、評鑑方式以提升學生學習成效。

4. 研究設計與方法 Research Methodology

(二) 教學設計與規劃說明

光學 I、II、III 皆以翻轉教學方式執行，皆由申請人執行。其他同時調查之課程由本系其他老師擔任；以下簡述翻轉教學及其執行方式。

翻轉教學之概念於 2007 年開始於美國高中教學開始流行，而當時的發想僅是為了幫缺席學生補課，進而逐漸發展成為影片與課堂活動之模式(Tucker, 2012)。約 2013 年於台灣開始發展，是為相對新穎的教學概念。而在高等教育中，因為課程難度較高一般認為翻轉教學並不見得是容易執行的，然而翻轉教學的本質上仍然是教學，本質上是課堂時間之前學生在家看過授課影片，而將上課時間釋出成為課堂活動。而課堂活動的設計則可由授課教師決定如何強化學生的何種能力或知識，最原始而簡單的方式是寫作業，也就是字面上的翻轉。而更進一步的是在課堂上分組討論題目，甚至做實驗...；不論如何皆可使得學生與教師間的互動增加，有了課堂上額外的時間能讓學習變得更多樣(Kim et. al, 2014; Bishop et. al, 2013; Abeysekera et. al, 2014)，教師也能夠給與學生更多的可能性，Sams 與 Bergmann 亦提出翻轉教學的核心並不是影片，而是讓老師思考要如何更有效的利用上課時間，讓學生能夠更深入的思考，達成自主學習(Sam et. al, 2013)。也因為再次以學生學習為中心發想，使得學生的動機(motivation)及參與(engagement)能夠更加提高(Gilboy et.al, 2015)，而一般認為學生產生動機後參與程度才會越高，參與程度高的學生的整體表現(achievement)會更佳(Kahu, 2011; Kuh 2001; Trowler et. al, 2010)。而現在電子平台於移動裝置的普及，也讓翻轉教室的活動與交流越來越有機會趨近學生容易觸及與黏著的平台，也使得學生有更高的動機與意願學習。這樣的學習方式在台灣甚至比在歐美國家更應該被推行，翻轉教學在台灣最大的反對意見是學生認為不習慣，不能在上課時提出問題，然而這因為幾乎所有的台灣教師都會有的抱怨是課堂上沒有人會問問題，這點就跟看影片沒有差異了。而翻轉帶來的好處相當多，光是影片本身就有隨自己需要重複看的好處。課堂活動可以依照老師想要給學生的能力或知識自由設計，學生也不會在課堂上睡覺或玩手機，課程影片也可以單元化的修改或重製。也因如此高的自由度，使得翻轉教學是個做教學實踐研究的好用平台。

光學翻轉教學每學期的進程如圖 7，期初先宣布 syllabus 與課程相關資訊，並簽署教學研究同意書，並完成分組，之後每月重新分組一次；之後每周有課程單元，也於每周蒐集學生之回饋資訊；期中考前宣布期末 challenge project 題目；期末考後舉行 mini-conference 發表 challenge project 成果；考試評量期中考與期末考各一次。

光學翻轉教學課程單元執行方式如**錯誤! 找不到參照來源。**，每周影片發布後助教建立 google 表單要求學生於期限內(課堂時間前)看完填寫回饋表單，學生須提出關於課程的問題(要求學生思考)，同時蒐集學生記錄花費時間及學習相關自評資料。課堂活動執行細

節稍後詳述。課後助教整理學生問題與統計學生回饋資料，教師回覆學生提出之課程相關問題。

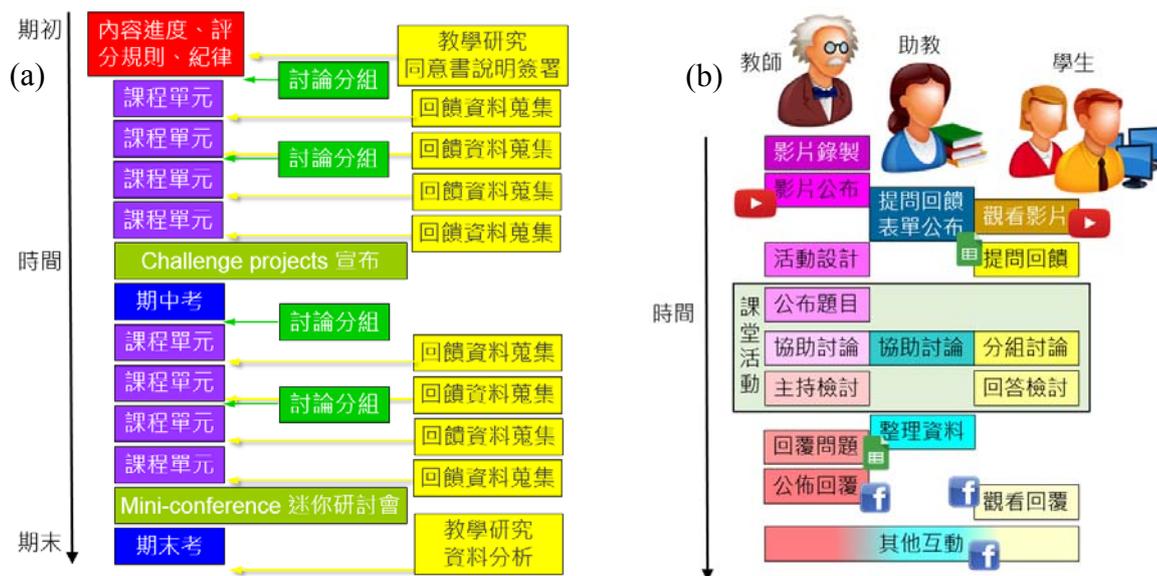


圖 7、(a) 翻轉教學單一學期實施程序概述及 (b) 翻轉教學課程單元執行概述

以下分就課程影片、學生回饋問卷、課堂活動、challenge project、mini-conference、考試等各主要元素進行簡單說明。

A. 課程影片：每次課程影片約 15-40 分鐘，以 youtube 為平台，上課前學生自行找時間觀看。影片內容將投影片與老師授課情形同步並陳如圖 8，學生可以同時看老師上課與投影片，投影片內容以 pdf 電子檔形式給學生。

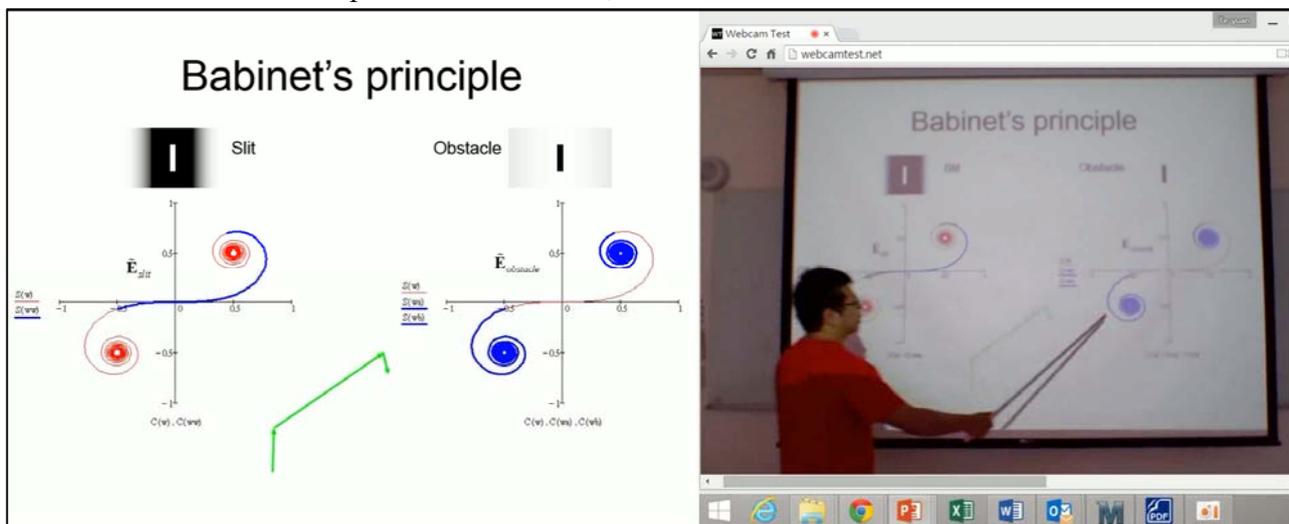


圖 8、課程影片範例，左側為高解析度投影片內容，右側為上課螢幕，兩邊同步，學生可以輕易看到老師在討論的部分。

B. 學生回饋問卷：每周於上課前填寫如圖 9，以 google form 與 google sheet 為平台，其中包括於課程時間外所花費於不同科目之時間，為本計畫核心統計資料之一。另外要求學生填寫關於看完課程影片後提出關於課程內容之疑問，此部分為本計畫第二主題所需要要求學生對於學習到的內容進行思考。

本學期修課狀況(*複選)*

光學 II

光學 III

光電半導體物理

光學 II & III

2020/12/14(一)晚上12點可能會死掉

* Required

姓名*

Your answer

學號*

Your answer

本學期修課狀況(*複選)

光學 II

我認為過去這週在這三門課進度內容難度

我認為過去這週在這三門課進度內只要填有標的課就好

	Trivial	算簡單
光學 II	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
光學 III	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
光電半導體物理	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

我認為過去這週在這三門課分別的學習動機

我認為過去這週在這三門課分別的學習動機只要填有標的課就好

	沒動機	弱	普通	還算積極	強烈
光學 II	<input type="radio"/>				
光學 III	<input type="radio"/>				
光電半導體物理	<input type="radio"/>				

過去這週花在"光學 II"課室外的時間*

(***填數字就好***)，以小時為單位，看影片、念書

Your answer

過去這週花在"光學 III"課室外的時間*

(***填數字就好***)，以小時為單位，看影片、念書

Your answer

過去這週花在"光電半導體物理"課室外的時間*

(***填數字就好***)，以小時為單位，念書、作業、

Your answer

我認為過去這週在這三門課分別的表現

我認為過去這週在這三門課分別的表現只要填有標的課就好

	差	不好	普通
光學 II	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
光學 III	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
光電半導體物理	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

針對"光學 II"，看完過去這週影片後，你有什麼問題想要提出來呢?(必填)*

請清楚地說出是哪個部分，ppt編號頁，並詳細地表達你的問題(沒好就填"無")

Your answer

針對"光學 III"，看完過去這週影片後，你有什麼問題想要提出來呢?(必填)*

請清楚地說出是哪個部分，ppt編號頁，並詳細地表達你的問題(沒好就填"無")

Your answer

我有話想說--- ("ㄟ"/":") (非必填)

考試太難、課程太趕、學業相關課程、補充還可愛(ㄉㄉ).....

圖 9、學生回饋問卷，其中紅色框內為本計畫中核心資訊，藍色框為學生於學習過程中要求他們思考關於課程的問題

C. 課堂活動：課堂活動以組為單位，以每小時一個活動為原則，活動題目或任務如圖 10，為了使學生更仔細地閱讀，要求學生全體起立安靜讀題目 10 分鐘，之後與組員討論對於活動的理解與工作分配。活動設計依據課程進度一一對應，包含較為靜態的課程內容理解、概念整理、概念延伸、討論，到較為實務動手的活動包括程式模擬、觀察、實驗、重製現象，強調思考與討論，以計畫中提到實務與動手活動刺激學生，活動情況紀錄如圖 11。過程中使用平台為 eclass 進行活動結果繳交與互評如圖 12，由同學上台講解，而後互評如圖 12。

(a) Ch.09 – Ex09

10 mins Stand up reading
5 mins Problem understanding
65 mins Complete the task
10 mins Wrap-up
20+ mins Grading and discussion

- Try to derive the radar interferometer result. $z(x)$
- The wavelength used is λ , phase different between P_1 and P_2 is ϕ .
- Note: You might not get the same result as the textbook.
- FYI: $h \sim 400$ km, $a = 60$ m

14:30

(b) Ch.09 – Ex10

10 mins Stand up reading
5 mins Problem understanding
65 mins Complete the task
10 mins Wrap-up
20+ mins Grading and discussion

- Use your laser and transparent cylindrical objects to find the interference rainbow.
- Use different cylinder diameters to demo the fringe spacing relate to the cylinder diameter.
 - Explain why's the trend by sketching the geometry.
- Hint: They are not water. Draw the geometry first.
- Note: Those cylinders are far from perfect. You should rotate them to find a better place.
- Suggestion: You should take pictures to show the trend. Everything should be the same (camera position, height of the cylinders, screen position...) except the cylinder diameters.

14:30

圖 10、課堂活動範例，(a)為計算推導，每個人都要繳交，(b)為簡單實驗，一組繳交一份；兩個活動都需要組員合作，上傳時間 14:30 分，小字部分說明時間分配，要求學生起立 10 分鐘安靜讀題目，之後 5 分鐘與組員討論題目目標、分工與執行方式。繳交活動結果後有 20 分鐘檢討討論。

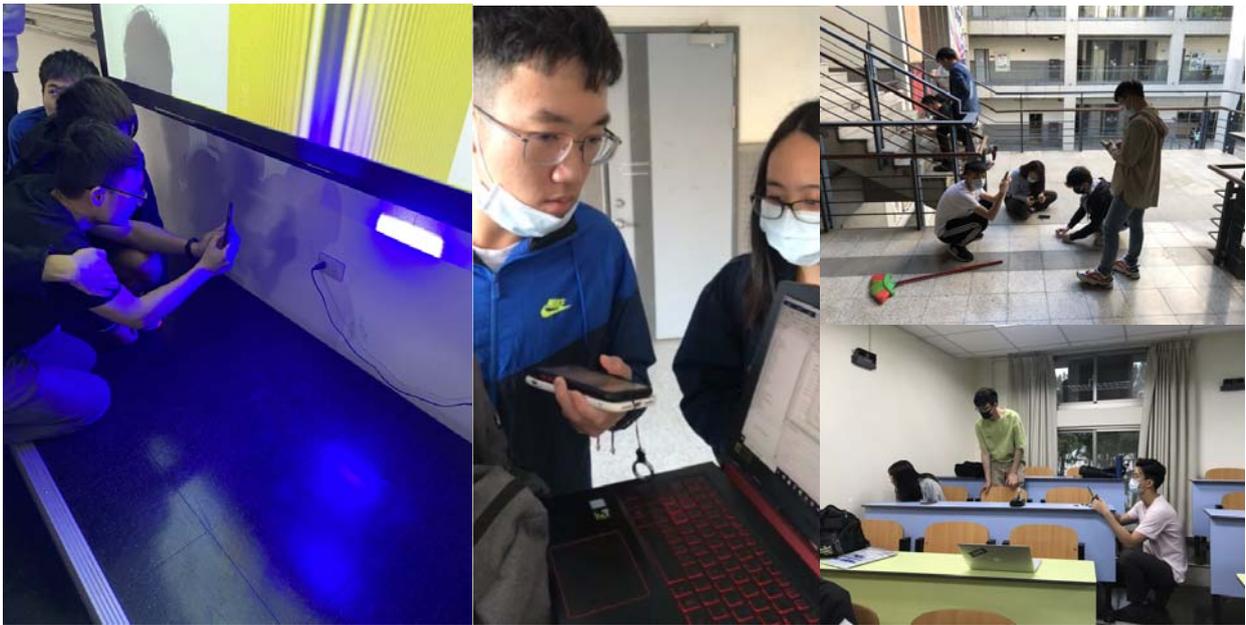


圖 11、各種實驗型的課堂活動紀錄

序次	組別	組員	標題	提交時間	分數	互評	
<input type="checkbox"/>	1	第 13 組	李廷暉	第 13 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:29	7	✓
<input type="checkbox"/>	2	第 10 組	廖梓熙	第 10 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:29	3	✓
<input type="checkbox"/>	3	第 6 組	林昭雲	第 6 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:29	3	✓
<input type="checkbox"/>	4	第 17 組	黃郁萍	第 17 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:29	6	✓
<input type="checkbox"/>	5	第 16 組	陳家蓉	第 16 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:28	5	✓
<input type="checkbox"/>	6	第 7 組	侯博文	第 7 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:28	6	✓
<input type="checkbox"/>	7	第 15 組	阮嘉裕	第 15 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:27	3	✓
<input type="checkbox"/>	8	第 8 組	沈碧粉	第 8 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:27	6	✓
<input type="checkbox"/>	9	第 2 組	黃書安	第 2 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:24	6	✓
<input type="checkbox"/>	10	第 1 組	馮軒	第 1 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:24	5	✓
<input type="checkbox"/>	11	第 14 組	王麗瑩	第 14 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:20	7	✓
<input type="checkbox"/>	12	第 9 組	王德超	第 9 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:17	5	✓
<input type="checkbox"/>	13	第 3 組	劉仲欣	第 3 組_Ch.10 - Ex09	12-03 14:01	9	✓
<input type="checkbox"/>	14	第 9 組	黃家毅	第 9 組_Ch.10 - Ex09	12-03 13:52	6	✓
<input type="checkbox"/>	15	第 12 組	鍾郁宜	第 12 組_Ch.10 - Ex09	12-03 13:40	5	✓
<input type="checkbox"/>	16	第 11 組	蔡聖明	第 11 組_Ch.10 - Ex09	12-03 13:38	3	✓
<input type="checkbox"/>	17	第 4 組	鍾維熾	第 4 組_Ch.10 - Ex09	12-03 13:31	8	✓

圖 12、eclass 平台執行課堂活動繳交與互評



圖 13、同學上台講解課堂活動與互評

D. Challenge project：此為本計劃核心之一，目的為讓學生使用課堂上習得之知識實際使用，讓學生整體性的思考真實系統，與實際問題所需要克服的障礙，極有可能需要額外的資訊，此部分讓學生自主學習，也讓實務動手型的學生有展現了解瞭解知識的機會，也因此可鑑別出這些特質的學生。Challenge project 題目於期中考前宣布，於期末前一週結束。而 Project 題目範例如表 2，需有相當的深度能看出學生的投入與對知識的瞭解，而 challenge project 的成果要求學生以 ppt 形式呈現，設定上以可以讓其他人可直接讀懂 ppt 為原則，其評量方式以 rubric 量表評分，此部分之評量將以額外加分形式計入學期成績；challenge project 成果會以競爭形式給予更高的加分 award，最後選出於 mini-conference 中報告，因此對於實務動手型的學生而言是個補足考試成績不佳的機會，因此會高度投入，也因此可鑑別分類出這些學生特質。

表 2、Challenge project 題目範例

	Challenge project 題目 examples
光學 I	<ul style="list-style-type: none"> A. Homemade microscope for your eye with scale (HM) B. LED to fiber coupling (LFC) C. Homemade porro prism and corner cube prism (PCC) D. Low CRI white light sources (LCRI) E. Homemade Brix refractometer (BR) F. Homemade right-side-up telescope for your phone (RT) G. Halo demonstration (HD)
光學 II	<ul style="list-style-type: none"> A. Spherical object scattering (SOS) B. Homemade circular polarizer (CP) C. TIR phase measurement (TPM) D. Cn equipment (Cn) E. Polarization microscope in optical mineralogy (PM) F. Laser tweezer DIY (LT) G. Polarization art work (PAW)
光學 III	<ul style="list-style-type: none"> A. Beam combining using diffractive optics (BC) B. Temporal and spatial coherence demo (TSC) C. Map soap film thickness (SFT) D. Phase contrast microscope measuring thickness (ϕC) E. Acoustic zone plate (AZP) F. Corona simulation (CS) G. Acoustic Radar Interferometry (ARI)

E. Mini-conference：此部分之設計讓學生能夠有一個場域能發表做出來的東西，同時開放給其他同學觀摩執行上為教師看過所有學生的 challenge project 的 ppt 後選出各題目中做得不錯值得與其他同學分享的成果，於期末選擇這些學生上台報告，也要求成果的 live demo 如圖 14，通常有三個 parallel sessions 才足以放入不錯的成果。這個活動學生有高度評價，認為非常有趣，因為報告的是自己的同學，做的題目也是自己熟悉的，因此參與感非常高，會提出許多的問題；另外，可以選擇自己喜歡的 talk 去聽，相當熱鬧。

Optics I – Mini-conference on challenge projects

TODAY!

2019-06-24

	IL-111	IL-112	IL-113
Presider	王奕辰	黃茂家	胡惟茜
12:00-12:20	李昱萱(LCRI1)	方筱喬 (BR1)	黃崇恩(HM1)
12:20-12:40	胡雅治(RT1)	蔡曼珊(PCC1)	侯博文(HM2)
12:40-13:00	林芯璋(LCRI2)	黃光磊 (BR2)	邱峻嘉(HM3)
13:00-13:20	周育如(RT2)	張鈺謙(PCC2)	許博翔(LFC1)
13:20-13:40	沈君翰(LCRI3)	林承德 (HD1)	阮星翔(LFC2)
13:40-14:00	王國斌(RT3)	謝宇翔(PCC3)	

PSF: PSF of eyes
 MLM: 自製透鏡面鏡
 FL: 透鏡倍長薄面鏡
 SSC: 光譜轉望顯顏色
 BR: 自製薄厚計
 DCV: 透鏡控制
 SHE: 相機攝錄人眼影片

歡迎指教

Additional activity:
Optics show off
SSC live show
BR refractometer

圖 14、Mini-conference 執行，為一個有三個 parallel session 的 conference，內容為各個優秀的 challenge 的成果報告及 live demo

F. 考試：考試方式目前仍以筆試為主，然而考題之設計沒有考古題，以概念為主要評量方式，會加入課堂活動之類似題目，數學上以物理表達為數學式之「翻譯」為主，並不以數學推導或計算為重點，基本上計算以不超過四行為標準，之另外加入操作與實驗題目如圖 15，讓實務動手型學生也有機會表現其長處，考試時間以三小時為原則。



圖 15、期中考加入操作與實驗考題

教學評量如附件，大致上可看出學生對於翻轉教學的意見早期意見多為花太多時間，但多數認為翻轉教學是正面的、有趣的，對於影片也是認為使用上比傳統要方便。隨著時間進展與增加跟學生的互動，學生也逐漸適應且能理解翻轉的好處，對於思考與實作也因為課堂練習的強調而逐漸受到注意，然而可以看得出來學生仍然對於思考與使用知識有相當程度的障礙，也仍然看到學生要立即的答案的傾向。而較為定性與定量關於學生思考能力與動手解決問題的能力的增進正是本計畫期望更仔細探討與研究的部分。

(三) 研究方法與實施步驟說明

A. 研究架構

本計畫之研究架構以中央大學光電系必修課光學 I、II、III 翻轉教學為基礎平台，橫跨其他以傳統教學法授課之必修課包括近代物理、電磁學、光電半導體物理，對前後三屆學生學生進行每周問卷(如圖 9)紀錄、每周課堂活動紀錄、每學期期中期末成績及 challenge project 成果，以這些資料進行學生特性與學習狀況分類，並選擇不同特性分類之學生進行個案訪談以理解分類之合理與有效性，並調查依據學生特性改變之活動與評量方式是否對學生有正面影響。

B. 研究問題/意識

本計畫之核心問題為教師缺乏客觀方法分類學生進而以更為適合個別學生的方式進行教

學與評量上的微調。而教學與評量的微調是否對學生的學習成效有正面的影響也希望在此次研究中確認。

C. 研究範圍

本研究中教學課程範圍與教材與傳統上認定採用的並無明顯差異，在翻轉教學與傳統教學課程中的差異最大的在於翻轉教學大量使用資訊與網路平台，包括 youtube、facebook、google form/sheet、eeclash 等，研究相關最關鍵的部分是學生每周的問卷回饋即使用 google form，具有多重功能，包含追蹤學生學習進度、強迫學生思考提出問題、紀錄學生課外學習時間、主觀自評學習動機與成效。客觀評量工具包含期中期末考試，翻轉教學部份加上 challenge project 成果之 ppt 及成品，以及課堂活動成績(等同於傳統教學作業成績)；傳統教學包含期中期末考試及作業成績。除光學外其他課程教師將提供期中期末考成績以供統計比對。

D. 研究對象與場域

本計劃研究之對象為中央大學光電系大二及大三學生，時間包含前期計畫所教授學生蒐集的資料，因此前後主要橫跨三屆學生，估計約有 180 人共約 300 人次，資料蒐集方式皆為光學翻轉教學所要求學生每周填寫之回饋，以及光學翻轉教學之 challenge project 成果。

E. 研究方法與工具

主要研究方法為問卷資料蒐集、考試成績統計及 project 成果比較，完成資料蒐集後進行統計分析後將學生分類，分類完成後由不同分類中選出不同分類之同學進行個案訪談，根據訪談結果確定分類之合理與有效性，或進行更進一步分類調整。Challenge project 主要為判別學生是否為實際動手型的學生，此部分比較難以定量，因此預計使用 Rubric 方式如表 3 於數個面向評量學生的理解與動手能力，同時比較翻轉教學與傳統教學之學生主觀與客觀反應以及動手型學生是否有因為 challenge project 而獲得更好的學習成效。

F. 資料處理與分析

本計劃基於光學 I、II、III 翻轉教學的架構中每周的回饋與提問中進行學生自主紀錄於各課程於課後所投入之時間此部分資料即為量化之努力或 engagement，另外並依循上一期計畫中紀錄之自評課程難度、學習動機、自評學習成效。而各科目之期中考與期末考為學生之學習成效客觀量化指標，換言之即為 performance。本計劃第一階段將每一個學生於各科目之努力-成效(engagement-performance)二維空間中畫出如圖 4，對所有學生之資料點進行線性回歸，此為一區分軸向；另外，所有學生之成績平均值為另一區分軸，藉由此兩區分軸將學生區分成五類如圖 16，此分類對應於學生對於考試型態評量知識的理解與使用。以下簡稱為「努力-成效分類」，目前猜測各分類暫定之名稱與對應之涵義簡述如下：

1. 努力型：於平均成績-努力成效線性回歸座標中之第一象限，學生相對投入大量時間且成效不錯。
2. 苦讀型：於平均成績-努力成效線性回歸座標中之第二象限，學生投入大量時間卻成效不彰。
3. 低動機型：於平均成績-努力成效線性回歸座標中之第三象限，學生投入少量時間成效也不佳。
4. 適應型：於平均成績-努力成效線性回歸座標中之第四象限，學生投入少量時間卻有不錯成果。
5. 標準型：成效與投入時間大致成正比，分布於努力與成效線性回歸直線上下 0.5 個標準差範圍內。

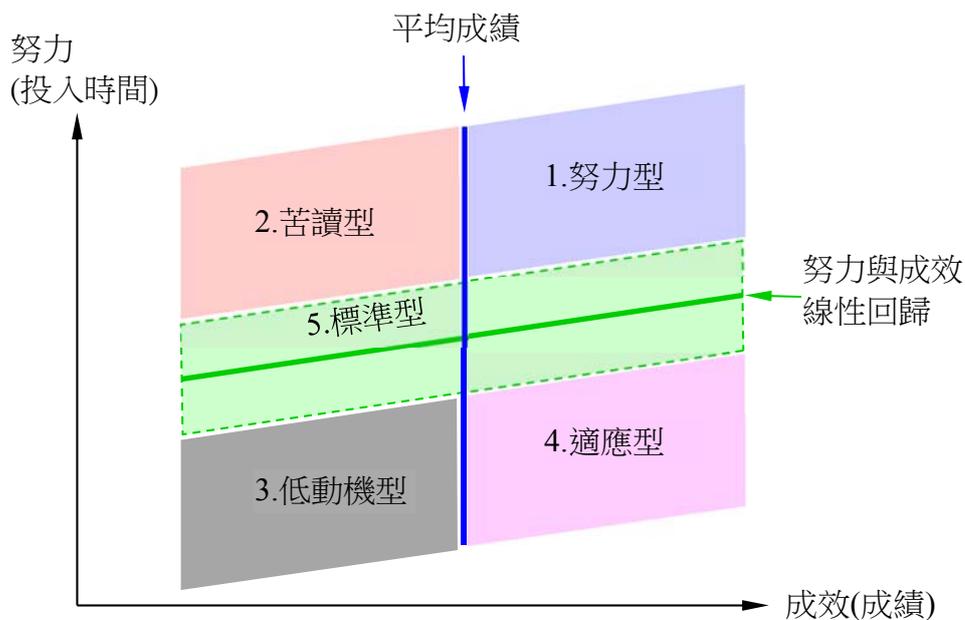


圖 16、本計劃提出之學生努力-成效(engagement-performance)分類座標

由於前期計畫於翻轉教學中加入 challenge-project(包含 mini-challenge)為動手解決實際問題之 project，爾後各光學課程皆加入此 project。如前述，這些 challenge 需要展現對於課程內容之了解，更需要自行尋找資料研讀消化，因此 challenge 可評量學生自主解決問題之能力，因此 challenge 成果可作為判斷學生是否為實務動手型的依據。而 challenge 之成果主要為 ppt 與成品。評估的面向包括對課堂知識的理解、自主學習(額外知識)、實作規劃設計、執行成果、討論與思考、表達，這些面相將以 Rubric 方式進行評估如表 3，對於前四項成績總和達到 12 分者判定為動手型學生。

表 3、Challenge project 成果之評價 rubric 表

	1.不符期待	2.接近期待	3.達成期待	4.超越期待	Score
A. 課堂知識的理解	大量錯誤認知	部分內容認知錯誤	理解使用課程內容	可延伸使用課堂知識	
B. 自主學習(額外知識)	不額外尋找資料	少量額外資料閱讀	完備的資料蒐集學習	額外的資訊學習且理解	
C. 實作規劃、設計	無或混亂	低限度的規劃	完整的規劃與細節	細緻的規劃	
D. 執行成果	無法執行	部分完成	符合預期且滿足完成條件	延伸出額外的成果	
E. 討論與思考	無討論	少量或淺薄的討論	符合比例且展現思考能力	提出足夠深度的討論與延伸	
F. 表達	鬆散、含糊、不明	免強可理解	清楚表達資訊使用 Visual aid	正確精簡，為受眾思考	

實務動手型的學生在成效-努力分類上可並存而不衝突。另外也因為 Challenge-project 獨立於考試評分之評量，因此也可與前面努力-成效分類比較，可以得判別學生的考試評量與動手實作能力之關聯性，初步觀察，的確有一些學生可以在動手做的 challenge 表現很不錯，然而考試表現卻普通，對於這些學生的確應該予以較為彈性的教學方式與評量方式。因為理工科系學生在就業市場上有大部分會成為 engineers，而使用知識並動手實作能力正是 engineers 所需要的能力。

而在不同科目採用翻轉教學或傳統教學的狀態下，學生若有分類上的差異也可看出學生是否適應特定的教學方法如表 4。此部分分類將於訪談後增添修訂。

表 4、學生於不同教學法中分類對照可能之狀態與特性

		翻轉教學				
		1.努力型	2.苦讀型	3.低動機型	4.適應型	5.平均型
傳統教學	1.努力型	真努力	較適應傳統	放棄翻轉	適應翻轉	
	2.苦讀型	較適應翻轉	真苦讀	放棄翻轉	適應翻轉	
	3.低動機型	放棄傳統	放棄傳統	真低動機	適應翻轉	
	4.適應型	適應傳統	適應傳統	適應傳統	真適應	適應傳統
	5.平均型				適應翻轉	真平均

由這些分類，將可針對不同分類的學生進行研究，研究項目如下：

- A. 比對不同學生是否於不同必修科目上是否有維持學習上的慣性與成績上的慣性。
- B. 主觀與客觀分析學生對於翻轉教學與傳統教學是否有偏好以及學習成效差異比較。
- C. 針對不同分類的學生進行訪談了解分類上的成因與改變的可能。

對於不同「努力-成效分類」的學生，授課老師可以更有策略、系統地提供諮詢與協助。對於不同分類的學生，將進行訪談，瞭解是否符合分類預想。這些分類中，苦讀型的學生可能於分類完成後就需要進行輔導，這些學生很有可能就是以記憶做為學習手段的學生，而會在此分類很可能表是記憶不足以負荷(學生主觀認為)高密度的知識。需要的應該是核心概念的整理與讀書方式的重整，另一方面需要對學生的心理狀態進行強化，若不及早輔導很有可能會出現放棄的現象成為低動機型學生；低動機的學生則是其次的訪談對象，有可能出現一些狀況，因此原因需要訪談後才能了解。再其次需要訪談的是努力型，這部分學生也花費大量時間，很有可能表示稍微掌握知識的使用然而卻依舊使用記憶的方式進行學習，有另一個可能是對自己要求很高的學生，整體而言需要的可能是更有效率的讀書方法，這些學生有足夠的動機，因此授課老師的介入或許有機會讓他們往適應型移動；適應型的學生則有機會提供更多的資訊與知識讓他們可以學更多；標準型的學生則可能需要更多的鼓勵或是作業或課堂練習的設計讓他們投入更多的時間。

對於實務動手型的學生，則可以於課堂活動或者其他的活動中增加實驗、操作、程式等非傳統授課方式以額外加分的方式鼓勵參與。

G. 實施程序

整體計畫實施即為正常的光學課程推進，所需資料為每周的問卷回饋、期中考與期末考成績，而 Challenge project 於期中宣布題目，期末完成並發表 mini-conference 亦為蒐集資料整體實施程序如圖 7。

1. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

(1) 教學過程與成果

本計畫執行期間橫跨疫情最嚴重的時期，也因此整體計畫在執行上遇到了許多意外，儘管翻轉教學這個平台以影片方式執行似乎不受疫情遠端授課影響，但實際執行上無法順利進行課堂活動，使得計畫中希望能達成的效果無法展現，學生的反應也不如預期，而學期進行中也加入光學實驗課觀察學生學習狀況，並希望能更明顯的看出學生的分類，然而同樣因為疫情，使得需要考慮遠距實驗課，而遠端實驗需要做到的事情更為複雜，要考慮的事項更多，幾乎所有的精力在處理遠端實驗的器材與實驗狀況。也因為複雜困難的背景，使得學生學習狀況更難以掌控，考試若採取線上考試則有難以防範作弊的不確定性，因此本計畫預計以執行過程中的成績與學生自主填答回饋進行分類，並無法有效控制條件。

在計畫執行期間設計了各種可以低成本建構的光機元件如圖 17。並建立可以 take-home 執行課堂活動之光學架構如圖 18。而執行課堂活動之情況如圖 19。然而由

於使用 webcam 方式執行，同學間無法討論使得執行的效果大打折扣，學生也反應不良。因此對於分類上其實有不良的影響。

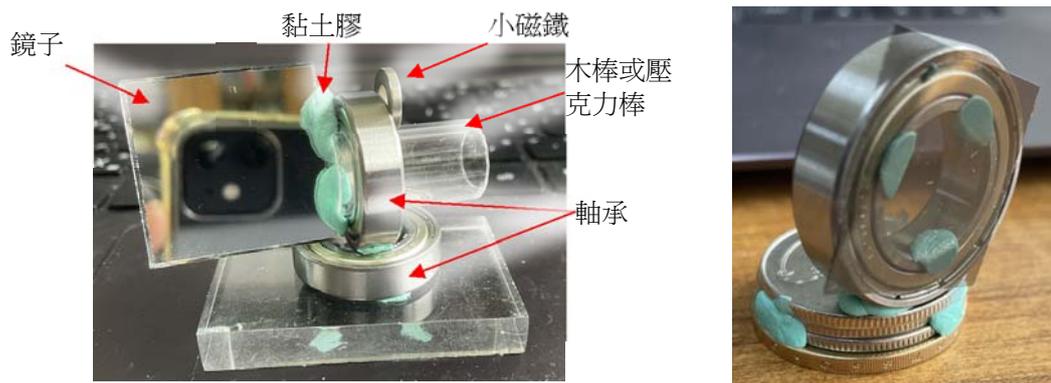


圖 17、簡易自製光學機械元件

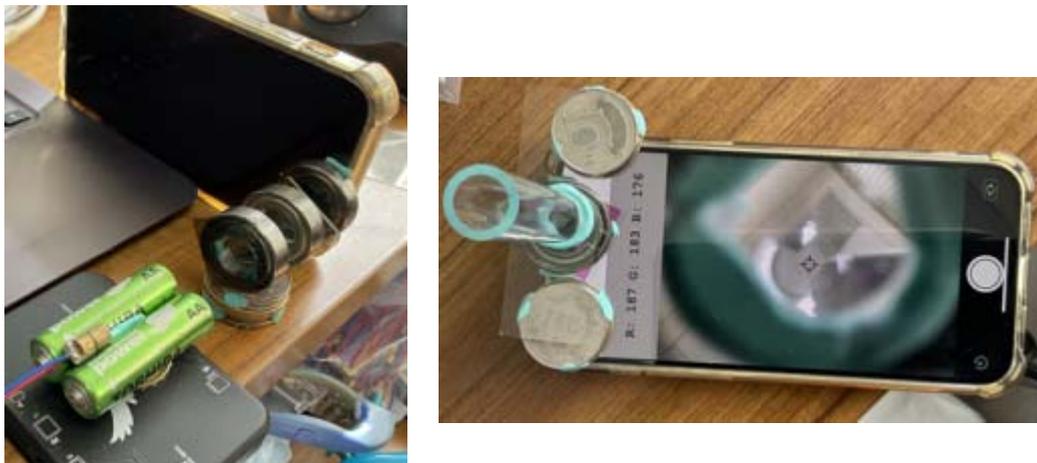


圖 18、可 take-home 執行課堂活動之光學系統架構



圖 19、以遠端方式執行課堂活動

而 Challenge project 則是執行上較為順暢，因學生自行設計與執行，並無規範使用器材，因此學生的執行與回饋較佳，也可看出學生在進行 challenge project 時之投入較高且有更好的學習狀況，回饋也證實這一點。Challenge project 之成果相當好，如圖 20 為以雙折射材料之干涉色製作之影像必須以偏振片才能觀察，明確展現出動手能力；另外為自製 3D laser tweezer 達成空間中懸浮操控粒子之展示，也充分表現學生動手能力。



圖 20、學生動手自製以雙折射材料製造之偏振影像及自製 Laser tweezer

而就分類部分的成果，本計畫分析學生於光學翻轉教學課程與另外兩門傳統授課之課程作為分類基礎，因光學以翻轉教學方式進行並強調動手實作解決問題，而另外兩門必修課以傳統方式授課，強調以研讀書本為主要學習方式，以各科期末成績作圖如圖 21 及圖 22 為分類基礎。以兩門傳統授課之期末成績分布大致上有不錯的線性相關，而光學課程與另外兩門課程之期末成績作圖可發現有學生在光學課程中之表現明顯優於其他兩門課，如圖 21 中之黃同學，而鄭同學則是相反。而在對黃同學的訪談中，黃同學陳述對於動手解決問題而言很有趣也容易理解但在傳統強調書本學習的課程中則相當吃力。對於鄭同學的訪談則是表達不喜歡也不適應動手解決問題而是比較習慣念書考試。因此以期末成績的確可以看出學生的學習傾向分類，也如圖中大致可分類書本型與動手型的學生，整體而言，學生較為傾向動手解決問題而不這麼擅長純粹以書本知識為學習核心。然而由於此兩張圖之學生僅有少數相同，無法進行追蹤比對。

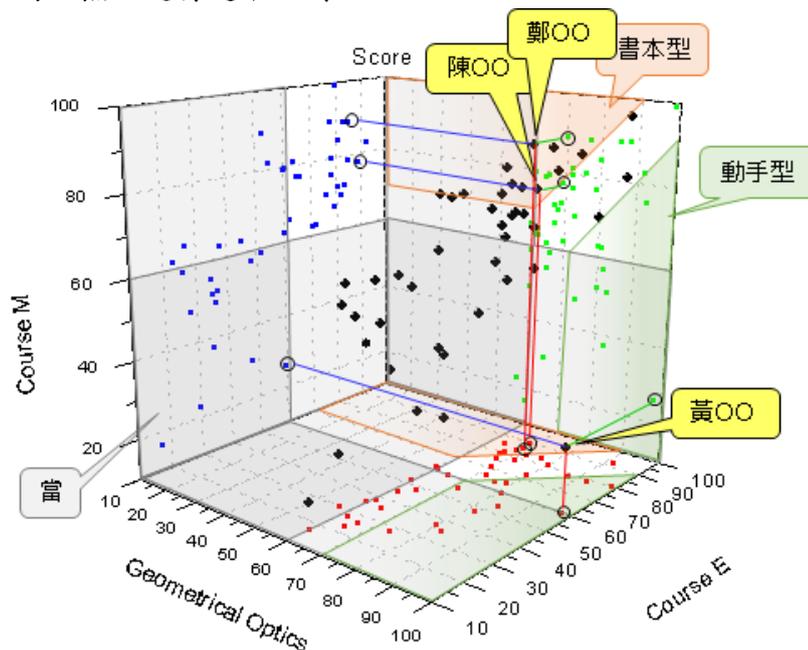


圖 21、光學 I-幾何光學與另兩門必修課期末成績分布圖

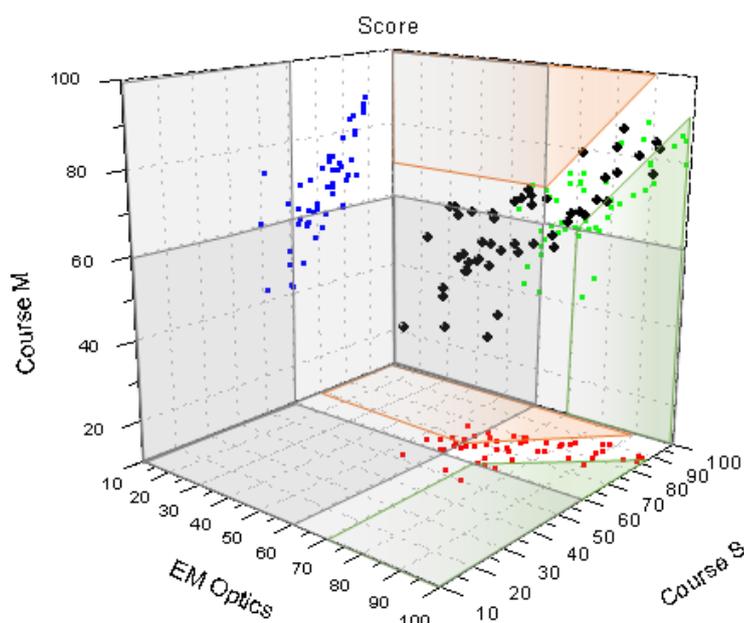


圖 22、光學 II-電磁光學與另外兩門必修課期末成績分布圖

而就分類部分的成果，本計畫分析學生於光學翻轉教學課程與另外兩門傳統授課之課程作為分類基礎，因光學以翻轉教學方式進行並強調動手實作解決問題，而另外兩門必修課以傳統方式授課，強調以研讀書本為主要學習方式，以各科期末成績作圖如圖 21 及圖 22 為分類基礎。以兩門傳統授課之期末成績分布大致上有不錯的線性相關，而光學課程與另外兩門課程之期末成績作圖可發現有學生在光學課程中之表現明顯優於其他兩門課，如圖 21 中之黃同學，而鄭同學則是相反。而在對黃同學的訪談中，黃同學陳述對於動手解決問題而言很有趣也容易理解但在傳統強調書本學習的課程中則相當吃力。對於鄭同學的訪談則是表達不喜歡也不適應動手解決問題而是比較習慣念書考試。因此以期末成績的確可以看出學生的學習傾向分類，也如圖中大致可分類書本型與動手型的學生，整體而言，學生較為傾向動手解決問題而不這麼擅長純粹以書本知識為學習核心。然而由於此兩張圖之學生僅有少數相同，無法進行追蹤比對。然而大致可看出大部分的學生沒有明顯傾向，尤其是圖 22 中各科成績的正相關非常明顯，然而動手型稍微多一些。這也似乎表示大致成績好的學生在各科的表現是差不多的。或許可解讀為學生在學習的過程中對課程了解的程度會設定且達到類似的標準。

而對於學生於整個學期所花在這些課程的時間上也進行了統計如圖 23 及圖 24，途中斜直線為等時間線，也大致可看出學生對於不同課程投入的努力，以整體而言都是光學課所投入的時間較多，在此也以黃同學與鄭同學為例，黃同學明顯的在光學上投入較多的時間，而鄭同學則大致平均的將時間分配在不同科目上，整體而言，黃同學在不同的科目上大致是鄭同學投入時間的兩倍！另外一位陳同學也是屬於書本型，他投入的時間大約只有黃同學的 2/3，在此也可看出一般學生會陳述擅長科目就是指稱少量投入時間而得到較佳成績。而黃同學在光學上獲得的好成績，應該也就是他願意投入更大量的時間獲得的成果，而也明顯可見，黃同學在強調書本學習的學科中有障礙，儘管似乎投入了大量的時間，但是無法有效地獲得成效，也因此這些學生的分類特性可以明顯看出，因此，有機會發展較簡化的版本對於學生的學習特性進行評估而發展適合該生的學習方法，並進行輔導。

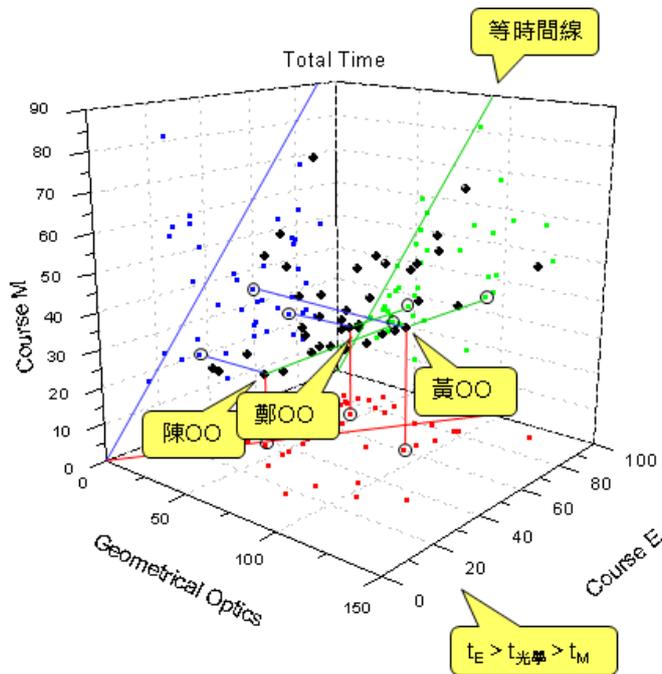


圖 23、光學 I-幾何光學與另外兩門必修課學期中總花費時間圖

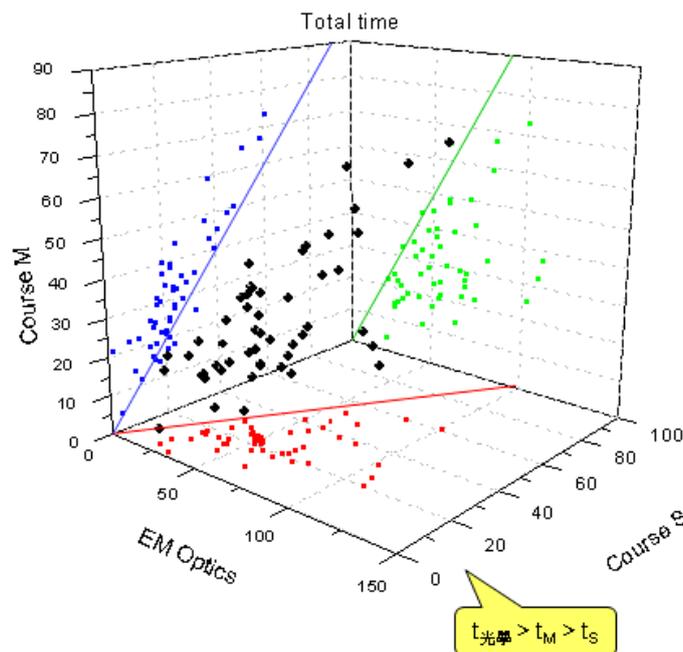


圖 24、光學 II-電磁光學與另外兩門必修課學期中總花費時間圖

(2) 教師教學反思

本計劃執行的過程中適逢疫情高低起伏，使得計畫的執行過程充滿變數，無法有理想的變因控制，由於執行過程中需要考慮疫情、遠距教學等等的現實因素，造成教學上改變教學方法，甚至翻轉教學無法順利進行課堂活動，儘管努力進行嘗試也盡量使用各種軟體輔助，就是無法達到面對面溝通討論的效率與成效，而一旦學生形成了某種抱怨，爾後再採取的任何行為都會被認為是「擾民」。同時間也要處理遠端實驗相關事情，包含了事前的設計實驗、測試、新編教材、採購、分配；執行期間的上課、組裝、線上協助與確認結果新編實驗講義等等都是相當花費時間與資源的，也遇到了系上其他老師有不同意見而造成執行上的阻力。因此整個課程在執行的過程中極度不順遂，而執行過程中學生遇到的問題也因為無法及時且有效的予以

協助，使得學生的反應逐漸變為抱怨，以至於造成學習上不如期待。然而 challenge project 仍然獲得了不錯的回饋，由於 challenge project 為學生自行準備器材達成所需目的，因此學生對自己選用的物件有較高的掌握且認定為自己的責任，因而無抱怨，且以競賽加分的方式學生的動機也更為明顯與強烈，也因此 challenge project 整體而言獲得了正面的回饋，學生也反映真正有學到東西，而不像其他課程只會考試。

整體而言，教學中遠端教學以同步或非同步影片這種單向的方式進行並不會有技術上太大的挑戰除非頻寬或數位設備落差，然而要與老師與學生互動或同儕間互動這種多向的活動基本上是難以達成的，甚至會造成反效果。而線上考試則會直接給學生數位舞弊的平台更是難以公平。Take-home 實驗難度極高，本計畫執行的經驗大致是失敗的，在資源不足的情況下，且學生訓練與知識不足的情況下不太可能在家中進行適當的實驗，再者，缺乏同儕討論與互助的情況下，學習狀況不易掌握也難以協助。所幸如今防疫方向已改，接下來的教學方式可以回歸正常，但應該會有更多的課程開始採行影片等數位教學的方式進行，也會更增加實務的部分，讓學生有更多的機會真正使用知識而非僅拿來考試。而學生的分類也需要開發更為簡便快速的方式讓學生能夠理解自己的學習風格而更有效率的學習。

(3) 學生學習回饋

學生在本計畫執行期間有相當多的回饋，原因之一是需要紀錄各週使用於學習之時間，也在各個階段有問卷回饋，整體而言疫情使得遠端授課成為較為常見的上課形式，學生的接受度尚可，然而翻轉教學的課堂活動基本上無法順利執行，因而造成學生對於教學進行的方式有所不滿，而 take-home 實驗部分是最讓學生抱怨的部分，因為實驗器材無法達成學生期待的穩定性與精度，再者，由於是 take-home 實驗，沒有實驗夥伴討論，透過 webcam 老師與助教也難以察覺學生的錯誤或協助解決問題；而實驗課時間的限制下，學生也急切地想要結束，而心理狀態焦躁下，實驗所需的細心也就更難達成，以至於最終學生對於此部分的動手實作有著高度的不滿。然而對於 Challenge project 學生的反應卻是相當正面，認為真的有學到東西，而不是為了考試而學。以下摘錄相關的回饋：

對於 take-home 實驗

希望能實體上課

比較想要實體上課

很想回到實驗室，享受實驗室的設備，這應該也是我們繳的學費的一部份吧

宿舍桌子比較小的根本超難做實驗

光學桌會讓時間成本大幅增加

影響室友、手邊器材不夠

不懂為何要用不好固定的儀器去做一個很精準的實驗？

可以實體的話就盡早到實驗室會比較好，線上的話在家也不好做實驗，學生不敢問問題，老師跟助教也愛莫能助

超慘，手邊能固定實驗器材的工具不足，材料也未提供

給的器材只有最簡單的 但要我們測出一些數據真的有些許難度

手機偵測器很難每次完全對到一樣位置

花費的時間真的太久了

對於 Challenge project

喜歡課堂活動與 challenge

認為能夠增進思考與動手實作能力

漸習慣使用知識

學習更扎實

花很多時間，希望更早一點給題目

2. 建議與省思 Recommendations and Reflections

本計畫的執行過程相當不順利，然而主要因素是外在的疫情造成的遠距教學問題，使得整個計畫的變因變得相當複雜且難以控制，而動手實作解決實際問題的核心勉強可在 Challenge project 實現，但無法給出很確切的陳述，僅能說許多學生展示出的傾向的確是希望能透過實作解決一個真實問題而確認自己的學習，且得到相當的成就感。然而同時間也發現有學生維持高中受過的訓練而是認為這些活動與 project 是在浪費時間，這些同學明確追求的是考試的成績。也因此課程結束時的一個問卷問題是學生對於修這門課他要的是什麼，在知識與學分兩者間選擇，大約 2/3 的學生選擇的是學分如圖 25。或許並不個意外的結果，作為一個教育者，可能會很悲觀地認為這是功利主義的表象，但或許可以樂觀的認為，這些人是可以被成績所驅動的，我們可以善加利用他們想要的成為蘿蔔去驅動他們，在這個追尋蘿蔔的過程中把該知道的知識傳遞給他們。

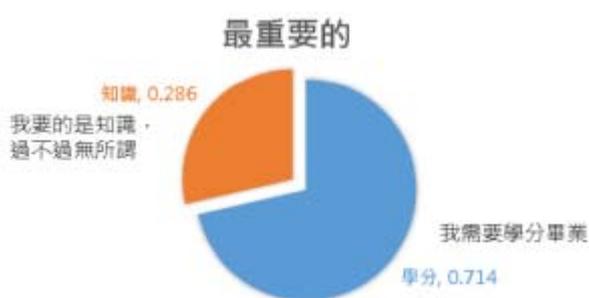


圖 25、學生對於知識與學分的取捨

二. 參考文獻 References

- Abeyssekera, L., & Dawson, P. Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *Higher Education Research & Development*, 2014, Vol. 34, 1–14. doi: 10.1080/07294360.2014.934336.
- Appleton, J., Christenson, S., & Furlong, M. (2008). Student engagement with school: Critical conceptual and methodological issues of the construct. *Psychology in the Schools*, 45, 369–386.
- Bishop, J. L., & Verleger, M. A., “The flipped classroom: A survey of the research”, In ASEE National Conference Proceedings, Atlanta, GA, June 2013.
- Carey, J.M. "The issue of cognitive style in MIS/DSS research", 1991
- Cattell, R. B. (1963). "Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment". *Journal of Educational Psychology*. 54: 1–22.)
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of Educational Research*, 74, 59–109.
- Gilboy, M. B., et. al, ”Enhancing Student Engagement Using the Flipped Classroom,” *Journal of Nutrition Education and Behavior*, January 2015, Vol. 47, Iss. 1, Pp. 109-114.
- Kahu, E., “Framing student engagement in higher education,” *Studies in Higher Education*, August 2011, Vol. 38, Iss. 5, Pp.758-773.
- Kim, M. K., Kim, S. M., Khera, O., & Getman, J., “The experience of three flipped classrooms in an urban university: An exploration of design principles,” *Internet and Higher Education*, 2014, Vol.22, Pp. 37–50.
- Kirton, M. "Adaptors and innovators: a description and measure", *Journal of Applied Psychology* (61:5) 1976, pp 622–629
- Kolb, David A. [1984]. “Experiential learning: experience as the source of learning and development” (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education (2015)

- Kuh, G. D., The national survey of student engagement: Conceptual framework and overview of psychometric properties, Bloomington, IN: Indiana University Center for Postsecondary Research & Planning. 2001
- Lee, Jung-Sook, "The Relationship Between Student Engagement and Academic Performance: Is It a Myth or Reality?," *The Journal of Educational Research*, (2014) 107:3, 177-185
- Sams, A. & Bergmann, J., "Flip Your Students' Learning," *Educational Leadership*, March 2013. Vol. 70. No. 6. Pp. 16-20.
- Trowler, V. and Trowler, P., *Student engagement evidence summary*, York, UK: Higher Education Academy. 2010.
- Tucker, B., "The flipped Classroom," *Education Next*; Cambridge, Winter 2012, Vol. 12, Iss. 1.

三. 附件 Appendix (請勿超過 10 頁)