

教育部 110 學年度中小學科學教育專案期末報告

計畫名稱：以 STEM 跨領域為主的探究與實作

主持人：鐘建坪

電子信箱：hexaphyrins@yahoo.com.tw

共同主持人：張元馨

執行單位：新北市立錦和高中

一、計畫執行摘要

1. 是否為延續性計畫？（請擇一勾選） 是 否

2. 執行重點項目（請擇一勾選）：

環境科學教育推廣活動

科學課程教材、教法及評量之研究發展

科學資賦優異學生教育研究及輔導

鄉土性科學教材之研發及推廣

學生科學創意活動之辦理及題材研發

3. 辦理活動或研習會等名稱：無

4. 辦理活動或研習會對象：無

5. 參加活動或研習會人數：無

6. 參加執行計畫人數：102 位學生，教師、行政人員等共 5 位

7. 辦理/執行成效：（以 300 字以內為原則，若為延續性計畫，請說明與前年度之差異）

探究與實作已在普通型高中開設對應課程，然而國民中學部分因為教學時數的限制，除了課堂正規實驗之外，適合在彈性課程發展相關的探究活動。課程中如何選擇主題進行跨領域探究，讓學生能夠整合科學、技學、數學與工程等領域是一項重大的挑戰。本研究主要設計與規劃飛行器作為探究主題，搭配設計思考，讓學生進行跨領域的 STEM 探究。研究結果顯示學生經過設計思考流程能夠體會探索過程需要不斷修改與調整才能完成優良的成品。因學生對紙飛機主題熟悉並且容易修改，因此學生的探究歷程最大的困難在於如何進行數據分析以及結果呈現的意義。目前課程工程內涵略顯不足，未來課程可以保麗龍滑翔機作為替代，讓學生完成之後滑翔機之後再進行飛行成效的探討，再進一步進行滑翔機的改進。

二、研究計畫之背景及目的

(一) 研究計畫的背景與動機

科學學習與教學的目標在於培養具備科學素養的終身學習者，期待學習者從中習得相關科學概念、藉由手腦並用熟悉科學技能、發展探究能力，以及啟發理性、積極的科學態度。經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）教育 2030 的觀點認為須將知識、技能、態度與價值整合形成素養（competencies），在父母、教師、同儕等互動下，學生透過參與、行動與反思，以達成個人或是社會的美好（OECD, 2018）。

為達成培養科學素養的目標，12年國教自然科學領域綱要揭櫫自然領域學習重點內涵在於引導學生學習科學知識的核心概念、提供學生探究與問題解決的機會以養成科學探究能力，同時協助學生理解知識的生產過程，發展應用科學思考與探究習慣的科學本質與態度（教育部，2018a）。自然與科技領域息息相關，科技領綱亦對應總綱，期待藉由動手操作與動腦思考的平衡，作為整合設計歷程實踐與科技工具的應用，以提升學生問題解決的能力（教育部，2018b），此點與自然領綱相呼應。

適切整合多項核心素養內涵的方式即在於施行跨科或跨領域主題整合的探究與實作學習，藉由進行具備探究本質的實作活動，培養學生自主行動、表達、溝通互動和實務參與等核心素養（教育部，2018a, 2018b）。在國民中學階段在教學節數分配的限制之下，可進行跨領域/科目或結合各項議題的校定彈性學習課程是一個能發展相關統整性主題/專題/議題的探究學習機會。

(二) 文獻探討與理論基礎

一、彈性學習課程

12年國教總綱將課程區分為部定課程與校定課程，其中部定課程為教育部規定不同學習領域所分配的學習重點與節數，而校定課程則屬於彈性學習課程，可由學校依據學校學生能力與所處區域特色進行規劃，包括：專題、社團活動、特殊需求領域或其他類課程。彈性學習課程能夠進行跨領域、跨科或是結合各項議題，發展「統整性主題/專

題/議題探究課程」，強化學生知識、能力與態度的整合與生活情境的運用（教育部，2014）。若以發展統整性的專題或議題課程，不應只著重動手操作的活動，而是應該強調在實作中納入探究的本質。

二、探究與實作

學習科學不僅僅是動手操作的技能學習，更是手腦並用的複雜整合活動。學習者歷經相似科學家的探究歷程不僅能從中獲得科學概念與習得正向的科學態度，尚能培養批判思考、科學論證、團隊合作、問題解決等能力（NRC, 1996; 教育部，2018a）。科學探究歷程具備幾項重要的元素，包括：提出問題、形成假說、設計實驗、蒐集數據、繪製圖表、提出證據與結論等循環且非單向歷程（NRC, 1996）。12年國教自然領綱將相關的探究要素區分出探究學習內容與實作學習內容，其中探究學習內容為發現問題、規劃與研究、論證與建模，以及表達與分享，而在不同探究學習內容中有相對應的實作內容，例如：在規劃與研究中，學生需要尋找研究主題的變因或條件，實際操作時需要判定與研究問題相關的影響因素，分析因素之間的可能關係，並合理預測可能的結果（教育部，2018a）。

雖然目前探究與實作已在普通型高中開設對應課程，然而國民中、小學部分因為教學時數的限制，不易長時間的進行探究活動，若瑣碎地切割發現問題、規劃與研究、論證與建模以及表達與分享，學生則不易以核心概念與能力貫穿整個學習，因此若能藉具探究本質主題活動的彈性課程貫穿整個學習，則能提供機會讓學生經歷完整的探究歷程，進而習得相關的科學概念、過程技能，以及科學探究等相關能力。

三、STEM 架構與教學

STEM（Science, Technology, Engineering, Mathematics）屬於整合性的課程，並非著重單一學科知識而是強調學科之間如何進行整合，讓學生能夠藉由課程學習相關的主題，將不同學科知識與能力整合運用於解決問題。以整合的差異程度而言，分布上可從單一學科未整合至單科主題各自進行（multidisciplinary），再至不同學科相互進行（interdisciplinary），最後深入至跨領域統整（transdisciplinary）（Vasquez, 2015）。

STEM 統整課程的興起主要反思原先單科各自為主的教學模式，期待連結與整合

不同學科讓學生學習解決實際問題。研究顯示以統整、跨科方式教導學生學習科學、科技、工程與數學能促進學生問題解決能力、增加學生學習參與度，以及改進科學與數學學習成果 (Becker & Park, 2011; Tytler et al., 2019)，並且促進學生對於相關生涯的興趣 (Holmes et. al, 2018)。

STEM 教學樣態多樣化，學者 Steffensen 檢視10年級學生對於氣候變遷的爭論，藉由數學、科技與反思多元觀點論證，分析學生的批判思考能力 (Steffensen, 2020)。Touitou 等人採用數學思維與工程設計進行計畫為主的物理學習，結果顯示精緻的課程規劃能夠協助學生運用科學想法與數學思維能力 (Touitou et al., 2020)。Skilling 分析學生參與機器人設計與建構的跨領域 STEM 計畫，結果顯示整合性的 STEM 策略能夠協助學生進行概念知識的連結與思考的發展 (Skilling, 2020)。English 和 King 著重以工程設計方式讓國小學生進行飛行器的設計與操作，經由設計、建構、測試與修正的歷程，讓學生學習整合性的 STEM 教育，結果顯示小學生進行問題解決的設計與實作能力分布廣泛，建議未來教學教師應該在不同步驟提供適切的鷹架協助學生 (English & King, 2015)。

因為 STEM 涉及多種學科，在有限的教學時間，教師需要根據學生的學習需求設定教學目標與其適切的教學模式。雖然 STEM 教學能有不同的學科整合程度，但是若是只讓學生參與不同的動手操作活動，未必能夠激發學生對 STEM 職涯的興趣，能夠啟發的關鍵因素在於教師如何引導學生思考、改良與深化探索歷程，才能有效提升學生的相關興趣 (Fan et al., 2021)。

四、小組互動學習

合作學習具有多種樣態，早期著重小組內不同成員的任務分配，例如：紀錄員負責記錄，而口頭報告則由另一位同學負責。雖然工作任務能夠達成，但是任務切割之後，較易形成各自完成任務，如此組員減少綜觀任務全貌的機會。修正做法不僅著重小組工作分配，亦強調社會互動，讓學生在組內、組間或同質或異質分組之間藉由社會互動獲得成長。研究亦證實，若強調小組合作而非單一切割分配，學生的學習表現較佳 (Jong, 2016)。然而，課室內的社會互動需要課堂運作技巧與適切鷹架才能提升

小組合作的動能。

五、手擲飛行器的 STEM 相關研究

手擲飛行器樣態多樣化，包括：紙飛機與滑翔機等。Puspita 等人探討不同因素對於紙飛機飛行的影響，結果顯示機身重量、機身長度的以及機頭型態具有顯著效果，且三種因素之間具有交互作用 (Puspita et al., 2019)。Simpson 藉由手做紙飛機讓學生理解工藝生產與大量製造之間的差異，讓學生比較單位時間的製造數量得知不同製造方法的優缺點 (Simpson, 2003)。Mayer 和 Mayer 嘗試藉由紙飛機的活動讓學生學習科學概念、探索科學歷程以及思索科學本質，藉由不同的學習目標轉換紙飛機的操作目的，讓學生可以學習工程設計與相關的物理概念 (Mayer & Mayer, 2012)。這些相關研究選擇手擲飛行器作為課堂教學活動的主因在於紙飛機與滑翔機等操作簡易，教學上能有多樣化的設計方式，可以符應教師課堂教學目標的不同需求。

四、理念與研究架構

目前教科書的實驗設計，考量有限教學時間，因此多以食譜式方式呈現，學生在已知研究問題、實驗步驟，甚至實驗結果的情況下，學習操作實驗。若操作有誤，不易再重新進行，或是思考其中可能的誤差來源。研究證實雖然國、高中學生知道科學方法與其歷程，但是實際進行探究學習時，學生仍有許多困難需要克服 (吳百興等人，2010；洪逸文、王靖華，2021)。例如：無法自行觀察現象進而找出可研究的問題與假設、缺少辨識不同變因的關係、未考量可能的干擾因素、缺少自主設計實驗表格的機會、數據關係的繪製仍待加強、通常只以質性關係描述資料結果、實驗成果的呈現較為片段而非統整而全面 (吳百興等人，2010；Apedoe, 2008; Bell, 2002；Krajcik et al., 1998；Jeong et al., 2007)。

教學實務上期待教師能夠提供學生建立、修正與轉變心智模型的機會 (Jong et al., 2015)。在有限時間下，若能以簡易操作的主題，進行探究本質的實作活動，學生更容易經歷完整建立、修正與轉變的探究歷程，建立起動手實作與心智建構的整合。手擲飛行器即是一項短時間學生可自行操作與修正的主題，且學科內容涵蓋科學、科技、工程及數學。科學部分包含飛行器的飛行原理、康頓效應的應用 (張惠貞，2015)，科技涵

蓋生活中飛行器的介紹，包括戰機、客機或是無人機等，工程部分包括飛行器的設計、實作與修正，數學則牽涉運用二元一次方程式，如何將蒐集的數據資料進行建模，作為預測的工具。

Schwarz 和 White (2005) 認為探究歷程中協助學生建立、修正與重建的歷程是重要的，因而提出著重建立模型的科學建模歷程，涵蓋問題、假設、研究、分析、模型與評鑑等階段。Krajcik 等人著重以驅動問題引導學生進行問題解決，以達成計畫為主的學習 (project-based learning)，主要步驟涵蓋形成驅動問題、假設與預測、設計與規劃、研究與實驗、形成結論或產生成品，進一步與他人分享 (Krajcik, et al., 2003)。整合性的 STEM 教學需要涵蓋科學探究與工程的問題解決歷程，學生不僅需要理解科學探究，亦須借助問題解決歷程完成實作成品，藉以融合科學、科技、工程與數學內涵。

圖1融合科學探究與問題解決歷程，呈現整合性的 STEM 探究歷程，藉由驅動問題進行問題界定，接著進行假設與設計規劃，製作目標雛形作品、再以實驗探索、數據分析，進行反覆修正，確認成品後，實際依據數據分析成果建立可預測的質性與量化模型，最後進行表達與分享，讓師長與同儕進行外部評鑑。

以手擲飛行機為例，驅動問題為如何作出一架飛行最遠的手擲機，接著找出各種變因如何影響飛行，與變因之間的關係，建構出可能的假設，例如：當條件相同下，攻角愈大，飛行距離愈遠。接著開始尋找材料製作雛型，並且反覆試驗，確認可行之後，實際進行數據蒐集，依照數據資料分析並建立可預測的質性關係或數學關係式，再來完成成果進行發表，進行同儕與師長的評價。

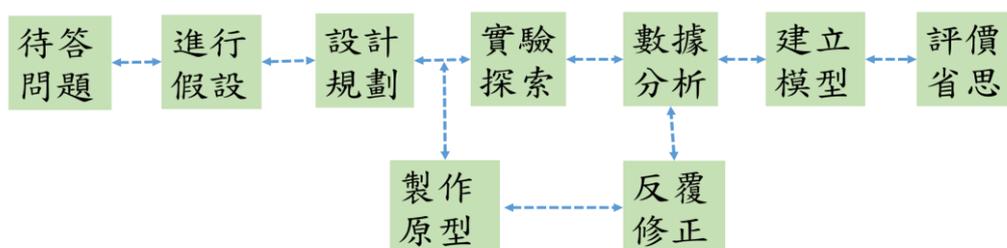


圖1 整合性 STEM 的探究歷程

基於上述文獻分析與探討，本研究目的主要是以整合性的 STEM 探究歷程作為

架構，以手擲飛行器為主題，探討跨領域 STEM 課堂學生的學習表現。研究問題臚列：

1. 教學前、後，國二學生在科學過程技能的表現差異為何？
2. 教學前、後，國二學生自評整合性 STEM 探究能力差異為何？
3. 教學前、後，國二學生科學過程技能表現與自評整合性 STEM 探究能力的相關性為何？
4. 教學前、後，國二學生在小組互動與合作學習意向差異為何？
5. 教師如何規劃教學活動與協助學生優化學習表現？
6. 教學之後，學生對於課程內容的收穫、學習困難、反思與評價為何？

三、研究方法、步驟及預定進度：

(一) 研究對象與情境

研究對象為新北市立某一社區高中，以便利取樣方式選擇國中部8年級學生進行教學模組試驗。該校國中部學生國三模考平均學習成就在全國評比約莫中間至中上。多數家庭經濟情況屬於小康，每班約莫1位低收或中低收入。

(二) 教學活動設計

1. 研究組織架構

本研究工具主要為科學過程技能、整合性 STEM 探究能力自評量表、小組互動與合作問卷、學生製作的成品與簡報內容為主，並輔以課室錄影與課堂學習單（見圖2）。茲分述如下：

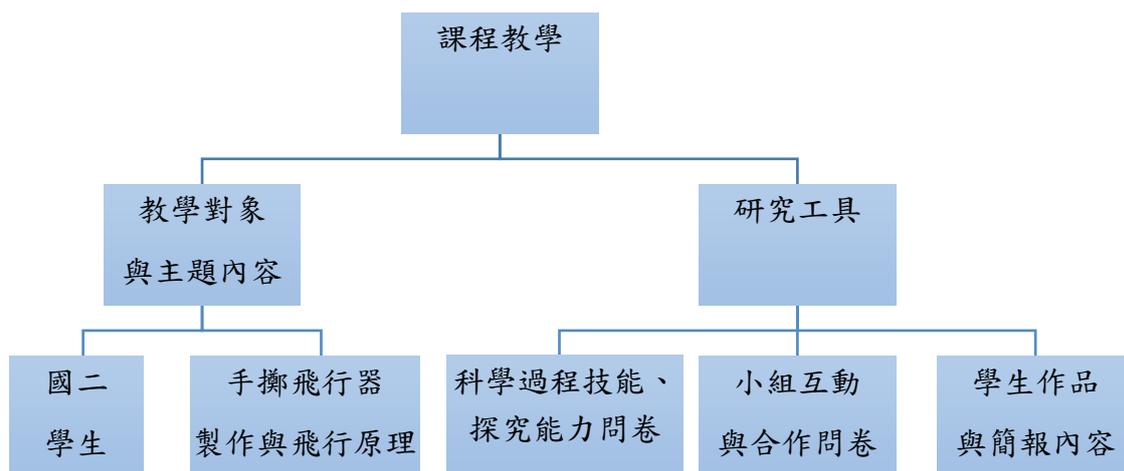


圖2：本研究之組織架構

2. 評量工具

1. 科學過程技能問卷

科學過程技能問卷修改自林俊華（1985）翻譯 Burns、Okey 和 Wise（1985）統整技能問卷 II（TIPSII）的「國中學生科學過程技能成就測驗問卷」，其內容構念包括基礎過程技能：觀察、分類、運用時空關係、預測、運用數字、測量、控制變因、推論；以及統整性的過程技能：形成假說、下操作行定義、解釋資料、溝通以及進行實驗。經因素分析後獲得5個項目，包括：處理變數、形成假說、設計實驗、處理資料以及推論。目前修訂將原先問卷操作變因、控制變因、應變變因9題，各取1題，共3題，形成確認不同變數。另外增加設計實驗驗證假說2題、數據推論1題。問卷進行專家審查與預試後定稿。

2. 整合性 STEM 探究能力自評表

學生探究能力自評量表主要以本研究整合性 STEM 架構為參考依據，包括：確定問題、形成假設、設計規劃、製作雛形、實驗探索、反覆修正、數據分析、建立模型、省思評價等。經兩位科教專家進行內容效度審查，預試並修正後完成量表。

3. 合作學習意向自評問卷

自然領綱核心素養的社會參與面向著重人際關係與團隊合作，在國民中學教育階段期待學生能夠透過合作學習與同儕溝通、共同參與、共同執行與共同發掘科學知識

與問題解決的能力（教育部，2018a）。本研究活動規劃以小組進行，過程中小組之間的互動關係是小組能否共同成長的關鍵，因此藉由小組互動與合作自評量表評估學生小組互動的情形。此量表引用自鐘建坪（2016），其量表主要修改自楊致慧和黎瓊麗（2013）以及鄭景華和湯宗益（2004）之小組互動與合作問卷內容。

(三)教學設計

教學設計主要整合科學、科技、工程與數學內涵，以探究本質進行手擲機製作與飛行教學。首先，介紹設計思考與其運用，讓學生思索科學、科技與工程之間的關係，接著讓學生確認欲研究問題，寫出對應的研究假說，再以小組為單位進行雛型製作試驗的規劃，待雛型完成之後，開始確認繪製欲紀錄的表格以回應操作變因與應變變因，再來實際紀錄數據、整理數據、分析數據，繪製成圖、表，呈現並說明可能的結果，與是否回應研究假說，再實際進行簡報製作與口頭發表，讓學生思索自己與他人結果的差異，評價最佳的解決方案，以及未來可改進的方向。詳細內容如表3所示。

表3 教學模組設計

周次	教學活動內容	成果檢核與評量
1-2	[導入設計思考]	
	● 設計思考與其運用	
	✚ 搭配學習單，讓學生思索設計思考的意涵與科學、科技、工程之間的關聯性	✚ 完成學習單
	[引介科技內容、確認待答問題]	
	● 引介科技內容、找出影響因素	
	✚ 介紹無人機、客機等飛行載具，讓學生思索影響飛行器的因素有哪些?	
	✚ 在學習單中繪製影響變因之間的關係圖	✚ 完成學習單
	● 確認問題	
	✚ 思索如果才能作出飛行最遠或是滯留時間最久的飛機? 請學生寫出待答的研究問題	✚ 完成學習單

3	[提出對應問題的假設]	✚ 完成學習單
	● 提出假設	
	✚ 學生針對待答問題，確認其中的操作變因、應變變因與控制變因，並寫出適切的假設	
3.5	[規劃對應問題的實驗步驟、準備所需器具、進行初步製作]	✚ 準備相關器具
	● 規劃實驗	
	✚ 學生找尋相關的材料、器具、工具，進行作品規劃與製作	
3.5-	[製作雛型、反覆修正]	✚ 完成手擲機
4.5	● 製作雛型、反覆測試	
	✚ 學生初步製作與修正雛型手擲機	
5	[依據假設繪製實驗紀錄表格]	✚ 繪製紀錄表格
	● 設計實驗紀錄表格	
	✚ 學生根據操作變因、應變變因與控制變因的關係，繪製所要記錄的表格	
6-8	[根據操作變因與應變變因收集數據]	✚ 收集實驗數據
	● 收集數據	
	✚ 學生根據繪製的紀錄表格，依序完成實驗記錄	
9-12	[整理與分析收集的資料]	✚ 整理數據、進行作圖、
	● 整理與分析數據	
	✚ 整理收集到的資料、鍵入 EXCEL、進行分析	
	[進行數學建模，呈現圖表證據]	
	● 呈現證據	✚ 繪製圖形、解釋圖形意義
	✚ 將整理的資料繪製關係圖，呈現操作變因與應變變因的關係	
	[根據圖表提出結論]	
	● 提出結論	✚ 說明數據證據與假設關係
	✚ 將探究所得資料結果形成論點	
13-16	[表達結果與反思過程]	✚ 製作簡報

✚ 製作簡報

✚ 學生根據收集的資料進行簡報製作

17-19 [與他人溝通並反思成果]

✚ 口頭報告

✚ 口頭報告

學生口頭報告簡報內容

[評價成果與改進之道]

學生針對自己與他人成果進行評估，並思索改進之道

(四) 資料編碼與分析

本研究蒐集之資料區分為量化與質性資料，其中量化資料包括：科學過程技能問卷、整合性 STEM 探究能力自評問卷、合作學習意向問卷結果，經由 t 檢定分析學生教學前、後表現差異。質性資料部分包括課堂學習單、學生作品、學生簡報與口頭報告，輔以課室錄影作為教師教學與學生課堂表現與小組互動的佐證資料。

四、研究成果

(一) 教學前、後，國二學生在科學過程技能的表現差異為何？

為了解學生教學前、後科學過程技能差異情形，研究者將學生作答情形，依「總分」以及分項構念「處理變數」、「處理資料」、「形成假說」、「設計實驗」、「解釋資料」進行單組前後測 t 檢定，結果整理於表 4。結果顯示學生教學前、後科學過程技能之「總分」($p < .05$)、「處理資料」($p < .05$)、「形成假說」($p < .01$)達顯著差異，而「處理變數」($p > .05$)、「設計實驗」($p > .05$)、「解釋資料」($p > .05$)未達顯著差異。

表 4 整合性 STEM 探究能力單組前、後測 t 檢定($N = 102$)

項目	試驗	平均	標準差	95%信賴區間		t 值	p	Cohen' d
				上界	下界			
總分	前測	24.88	6.98	-1.68	-0.12	-2.302	.023*	0.13
	後測	25.78	6.58					
處理變數	前測	9.67	2.79	-0.71	0.16	-1.246	.216	—
	後測	9.94	2.49					

處理資料	前測	2.04	1.22	-0.55	-0.07	-2.600	.011*	0.26
	後測	2.35	1.14					
形成假說	前測	5.24	1.97	-0.66	-0.12	-2.901	.005**	0.19
	後測	5.63	2.11					
設計實驗	前測	3.98	1.12	-0.07	0.42	1.421	.158	—
	後測	3.80	1.29					
解釋資料	前測	3.96	1.48	-0.32	0.12	-.890	.376	—
	後測	4.06	1.23					

* $p < .05$; ** $p < .01$

(二) 教學前、後，國二學生自評整合性 STEM 探究能力差異為何？

為了解學生教學前、後自評整合性 STEM 探究能力差異情形，研究者將學生作答情形，依「總分」以及分項構念「確定問題」、「形成假說」、「設計規劃」、「製作原型」、「實驗探索」、「反覆修正」、「數據分析」、「建立模型」、「反思評價」，進行單組前後測 t 檢定，結果整理於表 5。結果顯示「總分」($t = -5.650, p = .000 < .000$)、「確定問題」($t = -2.792, p = .006 < .01$)、「設計規劃」($t = -3.777, p = .000 < .000$)、「製作原型」($t = -4.470, p = .000 < .000$)、「實驗探索」($t = -3.723, p = .000 < .000$)、「反覆修正」($t = -4.245, p = .000 < .000$)、「數據分析」($t = -4.552, p = .000 < .000$)、「建立模型」($t = -3.900, p = .000 < .000$)、「反思評價」($t = -3.254, p = .002 < .01$)達顯著差異，而、「形成假說」($t = -1.793, p = .076 > .05$)未達顯著差異。

表 5 整合性 STEM 探究能力單組前、後測 t 檢定($N = 102$)

項目	試驗	平均	標準差	95%信賴區間		t 值	p	Cohen' d
				上界	下界			
總分	前測	96.10	15.28	-9.56	-4.59	-5.650	.000***	0.49
	後測	103.18	13.49					
確定問題	前測	10.45	2.21	-1.04	-0.18	-2.792	.006**	0.31
	後測	11.06	1.73					

形成假設	前測	10.59	2.02	-0.74	0.04	-1.793	.076	—
	後測	10.94	2.05					
設計規劃	前測	10.69	2.14	-1.29	-0.40	-3.777	.000***	0.41
	後測	11.53	1.93					
製作原型	前測	9.90	2.14	-1.39	-0.53	-4.470	.000***	0.45
	後測	10.86	2.15					
實驗探索	前測	10.88	1.96	-1.05	-0.32	-3.723	.000***	0.37
	後測	11.57	1.77					
反覆修正	前測	9.88	2.00	-1.41	-0.51	-4.245	.000***	0.48
	後測	10.84	1.97					
數據分析	前測	9.76	1.89	-1.66	-0.65	-4.552	.000***	0.54
	後測	10.92	2.35					
建立模型	前測	13.29	2.57	-1.30	-0.42	-3.900	.000***	0.34
	後測	14.16	2.50					
反思評價	前測	10.65	2.03	-1.04	-0.25	-3.254	.002**	0.32
	後測	11.29	2.02					

** $p < .01$; *** $p < .001$

(三) 教學後，國二學生科學過程技能表現與自評整合性 STEM 探究能力的相關性為何？

將科學過程技能構念與自評整合性探究能力構念進行相關性分析(見表 6)，結果顯示科學過程技能之處理變數分別與整合性探究能力之確定問題 ($r = .119, p = .045 < .05$)、形成假設 ($r = .298, p = .002 < .05$) 達顯著相關；科學過程技能之處理資料與整合性探究能力之形成假設 ($r = .237, p = .016 < .05$) 達顯著相關；科學過程技能之解釋資料分別與整合性探究能力之確定問題 ($r = .212, p = .032 < .05$)、形成假設 ($r = .238, p = .004 < .05$)、實驗探索 ($r = .265, p = .007 < .05$) 達顯著相關。

表 6 科學過程技能與整合性探究能力之相關性

			科學過程技能				
			處理變數	處理資料	形成假說	設計實驗	解釋資料
Pearson	確定問題	相關係數	.199	.080	.088	.005	.212
統計 量數	整合性 探究 能力	顯著性(雙尾)	.045*	.425	.381	.958	.032*
		個數	102	102	102	102	102
		形成假設	相關係數	.298	.237	.141	.168
		顯著性(雙尾)	.002**	.016*	.156	.092	.004**
		個數	102	102	102	102	102
	設計規劃	相關係數	-.026	-.157	.000	-.109	-.030
		顯著性(雙尾)	.792	.114	.998	.276	.766
		個數	102	102	102	102	102
	製作原型	相關係數	.039	-.028	-.103	-.024	.100
		顯著性(雙尾)	.696	.776	.302	.810	.317
		個數	102	102	102	102	102
	實驗探索	相關係數	.133	.115	-.091	.041	.265
		顯著性(雙尾)	.181	.248	.362	.685	.007**
		個數	102	102	102	102	102
	反覆修正	相關係數	.010	.051	-.152	-.144	.077
		顯著性(雙尾)	.919	.609	.126	.148	.442
		個數	102	102	102	102	102
	數據分析	相關係數	.006	-.071	-.010	-.181	.118
		顯著性(雙尾)	.953	.480	.921	.068	.239
		個數	102	102	102	102	102
	建立模型	相關係數	.062	.154	-.011	.003	.061
		顯著性(雙尾)	.536	.122	.910	.972	.541
		個數	102	102	102	102	102
	反思評價	相關係數	.047	.006	.003	.030	.025
		顯著性(雙尾)	.641	.952	.978	.765	.805
		個數	102	102	102	102	102

* $p < .05$; ** $p < .01$

(四) 教學前、後，國二學生在小組互動與合作學習意向差異為何？

為了解學生教學前、後自評小組互動與合作學習意向差異情形，研究者將學生作答情形，依「總分」以及分項構念「支持」、「分享」、「維持」，進行單組前後測 t 檢定，結果整理於表7。結果顯示「總分」($t = -1.980, p = .050 = .050$)、「支持」($t = -3.261, p = .002 < .01$)、「維持」($t = -2.092, p = .049 < .05$)達顯著差異，而「分享」($t = 0.395, p = .694 > .05$)未達顯著差異。

表 7 合作學習意象自評問卷單組前、後測 t 檢定($N = 102$)

項目	試驗	平均	標準差	95%信賴區間		t 值	p	Cohen' d
				上界	下界			
總分	前測	98.00	21.39	-5.73	0.00	-1.980	.050*	0.14
	後測	100.86	18.58					
支持	前測	40.25	8.78	-3.22	-0.78	-3.261	.002**	0.23
	後測	42.25	8.49					
分享	前測	29.63	6.99	-0.95	1.42	0.395	.694	—
	後測	29.39	6.05					
維持	前測	28.12	6.72	-2.14	-0.06	-2.092	.049*	0.18
	後測	29.22	5.74					

** $p < .01$; *** $p < .001$

(五)教學之後，學生對於課程內容的收穫、學習困難、反思與評價為何？

教學之後，針對本次主題讓學生填寫課程回饋問卷，同時訪談幾位學生，探討學生在本次主題中關於整合性探究歷程的想法與反思，主要區分為5大主題，依次說明如下：

1. 確認待答問題與進行研究假設

學生對於試做紙飛機、進行變因關係圖繪製、確認研究假說等的收穫包括進行紙飛機的實驗探索相對而言較為簡單，比較能夠明確捉到老師設定的主題。雖然紙飛機是一項簡單的摺紙活動，但是部分學生仍然不熟悉，且全部參與的學生從未實際對紙飛機進行深入的探究歷程探討。因此若能藉由情境的引導，從思考架構與學習單的鷹架讓學生能夠深入思考深層的問題則能促進學生反思，例如：當學生一開始容易設定探討紙質與

飛行距離的關係，即應該促進學生反思紙質可能會因為重量與阻力等差異，造成飛行距離有所不同，可能造成實驗完成之後歸因的困難。

一開始我還不會折紙飛機，但後來看到別人折之後我就會了。
施力大小會對紙飛機的飛行距離造成影響，所以我們
大部分都用一樣的力氣。

2XX-12

我們的研究假設是(1) "紙的材質會不會影響到飛行距離"和(2) "紙飛機角度會不會影響到飛行距離"，當初選這個研究假設是單純覺得操作簡易。

2XX-13

2. 設計實驗、規劃器材、實驗探索

當學生完成研究假說之後，開始著手進行實驗材料的設想與組織、依據實驗假說設計實驗紀錄表格，接著進行實驗操作。若研究假說沒有設定明確，學生在此階段容易混淆實驗的內容，例如：若學生探討不同機型對飛行距離的影響，雖然學生能夠摺出不同機型、設計對應的表格，但是不同機型可能因重量、風阻、大小，而影響實驗結果。因此，學生需要在過程中不僅學習如何摺好紙飛機、如何準確紀錄實驗數據、如何有效控制控制變因。

反覆確認才能讓紙飛機原型會一直符合一開始的
假設如存錯的地方要改正這樣才不會偏題。

2XX-19

實驗器材如果沒有確實規畫，可能會影響結果
整個報告會有非常多的問題。

2XX-26

4. 收集數據與反覆修正原型機

在此階段學生需要思考如何收集適切的數據、確認數據的合理性，並從階段的數據中，不斷修正原型機的改進，以確認變因之間的關係。學生在記錄的過程中，會思索自己設計的表格是否能夠幫助自己引導實驗的進行，同時需要在記錄數據時留意有效數字的寫法，並且思索實驗過程針對操作變因的改變是合理的，例如：操作變因若是不同施力大小，則不能只以手執的大、中、小力做出區分，而是需要更能夠準確測量的工具進行。

雖然實驗表格做完了，但也有可能當下沒注意到數據的合理性，在開始著手數據關係圖前，需反覆確認。

2XX-18

- ① 我認為這是實驗中最重要的部份，幾乎等於成果。
- ② 當時太多人了，有時會碰撞到別人
- ③ 我應該先等別人試飛完後再換我，可減少很多誤差

2XX-25

4. 數據分析與建立模型

本階段學生需要根據自己收集到的數據進行分析，透過 EXCEL 繪製數據關係圖，並藉由國一數學統計圖型的概念，判斷自己繪製關係圖的合理性，以及實驗結果與變因之間的關係。對學生而言，此階段是最困難的部分，原因在於學生並不熟悉 EXCEL 的操作，繪製圖形時，無法判別自己研究的數據屬於連續變數或者是類別變數，因此可能繪製錯誤的圖形。當學生完成圖形繪製之後，也不易與自己的研究假說進行連結，往往只能從圖形判斷簡單的質性關係，而缺少量化關係的描述。

進行數據分析的時候我們發現了數據誤差很大，於是我們把數據實在差太多的先刪掉並重測，也有把數據四捨五入，這樣數據的平均值比較漂亮。

2XX-13

開始繪製數據關係圖了，不只前面的數據要注意合理性，這裡繪製出來的圖也要注意，且還需建立合宜的結果陳述，我覺得這是所有步驟裡最難的一個。

2XX-18

5. 表達、分享與省思評價

由於紙飛機的主題對於學生較易捉住重點，因此報告的部分在於簡報的呈現與製作。學生在製作簡報的同時，教師可搭配鷹架幫助學生組織簡報內容，並反思自己操作過程可改進之處，並設定組內的每位同學皆需上台說明報告內容。而聆聽報告的同學需要給予同學回饋，同時老師亦透過回饋促進同學反思與進步。

我覺得除了少數組別的報告，其他的組別報告都還需加強和修改，例：字體、背景顏色、表格...等，我也還在學習如何讓 PPT 變得更好、一目了然，這次大家的 PPT 也是讓我大開眼界。

2XX-13

我覺得老師講的題亮是我沒有想過的問題，所以下次要
把所有有可能發生的問題都^{提出}想一遍。

2XX-12

五、討論及建議（含遭遇之困難與解決方法）

（一）規劃 STEM 整合性教學模組

STEM 的學習層級分布可從單一學科至跨科再至跨領域的整合，本教學嘗試藉由製作手擲機經歷科學、科技、工程與數學的整合探究歷程，讓學生從確認問題開始、進行假設、規劃設備與器材、著手製作雛型、進行測試與探索、簡易收集數據做為修改依據，經過反覆修正之後，著手收集可信的數據，經由彙整、繪製表格、呈現並說明結果關係，接著實際進行簡報與口頭分享，藉由報告過程整理資料並反思過程可改進之處。

（二）提供國中學生跨領域議題學習

藉由手擲飛行器的設計與規劃，融合設計思考、問題解決與探究歷程讓學生可由單一主題經過實質操作與分析的過程，整合相關的學科內容，同時觸及科學、科技、工程與數學的核心素養內涵。課程規劃可讓學生思索科學探究歷程、飛行器在科技上的使用、工程的設計與規劃，以及數學資料的分析與建模。

（三）在探究歷程中，透過小組合作等鷹架協助學生

課綱核心素養強調培養學生人際關係與團隊合作，著重教師教學過程，學生能藉由小組方式進行探索與製作，透過小組之間維持團體動能、成員間樂於分享觀點，以及小組彼此間的支持性，提升人際關係與團隊合作的能力。本教學活動即以異質小組成員方式進行，透過師、生與生、生間的互動，促進學生相關能力。

（四）提供國中課程探究與實作實踐方案

雖然自然領綱部定必修的國中小階段無明確探究與實作的課程名稱，但是校定必修的彈性學習課程是一項適合實施探究與實作的時機。本教學活動強調探究與實作的相關元素，包括：發現問題、規劃與研究、論證與建模，以及表達與分享，亦同時納入科技領域設計歷程的實踐、科技工具技術與應用，以及數學分析數據與資料建模的思考，形

成整合科學、科技、工程與數學的 STEM 探究與實作課程。

六、檢討

(一)如何同時有效整合科學、技學、工程與數學內涵

STEM 為一個統整性課程，如何藉由教學實務的落實進行實踐是一項巨大的挑戰。本研究選擇飛行器作為主題進行探索，在科學面向涵蓋氣流變化如何造成飛行與轉彎，技學著重飛行器的發展，工程部分著重在設計思考與飛行器的修正，數學部分著重數據分析與結果圖形繪製。但是仍彼此間的融合程度仍可再精進。

(二)提供鷹架讓學生熟悉數據分析工具與圖形可能意義

雖然電腦課有學過 excel，而數學課學過柱狀圖與摺線圖差異，但是國中學生針對一個主題利用 excel 進行數據分析仍然是陌生的，需要逐步引導學生繪製，並且讓學生反思結果圖形與其研究假設之間的吻合程度。

(三)教師如何同時間兼顧各組的進度與內容

課程設定期許學生能夠在課堂的時間內完成，大部分學生能夠做到，但是少部分學生跟不上進度需要作為回家作業完成，可能會影響家長對學校作業的觀感，因此教學時程的拿捏與親師生的溝通是重要的解決之道。

參考文獻

吳百興、張耀云、吳心楷 (2010)。科學探究活動中的科學推理。**科學教育研究與發展季刊**，56，53-74。

林俊華 (1985)。國中學生科學過程技能學習成就之調查研究。(未出版之碩士論文)。

國立臺灣師範大學物理研究所。

洪逸文、王靖華 (2021)。科學探作與實作：從 why 到 what-探究問題的層次在教學與學習的意義。**臺灣化學教育**，42。取自 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=40257>

張慧貞 (2015)。教科書對於演示實例之理解與誤解。**物理雙月刊**，37(3)，5-20。

教育部 (2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。台北市，作者。

教育部 (2018a)。十二年國民基本教育課程綱要—自然科學領域。新北市：國家教育研究院。

教育部(2018b)。十二年國民基本教育課程綱要—科技領域。新北市：國家教育研究院。
楊致慧、黎瓊麗(2013)。科技大學英文課堂師生互動量表之編製。南台人文社會學報，
10，1-28。

Apedoe, X. S. (2008). Engaging students in inquiry: Tales from an undergraduate geology laboratory-based course. *Science Education*, 92(4), 631-663.

<https://doi.org/10.1002/sce.20254>

Becker, K., & Park, K. (2011). Integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5), 23–37.

Bell, D. (2002). Making science inclusive: Providing effective learning opportunities for children with learning difficulties. *Support for Learning*, 17(4), 156-161.

<https://doi.org/10.1111/1467-9604.00258>

Burns, J. C., Okey, J. R., & Wise, K. C. (1985). Development of an integrated process skill test: Tips II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 169–177.

<https://doi.org/10.1002/tea.3660220208>

English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 2-18. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>

Fan, S. C., Yu, K. C., Lin, K. Y. (2021). A framework for implementing an engineering-focused STEM curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 1523-1541. <http://doi:10.1007/s10763-020-10129-y>

Holmes, K., Gore, J., Smith, M., & Lloyd, A. (2018). An integrated analysis of school students' aspirations for STEM careers: Which student and school factors are most predictive? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(4), 655–675. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9793-z>

Honey, M., Pearson, G.; & Schweingruber, H. (2014). *STEM Integration in K-12 education:*

Status, prospects, and an agenda for research. Committee on Integrated STEM Education, National Academy of Engineering: National Research Council.

Jeong, H., Songer, N. B., & Lee, S.-Y. (2007). Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37(1), 75-97.

<https://doi.org/10.1007/s11165-006-9014-9>

Jong, J. P., Chiu, M. H., & Chung, S. L. (2015). The use of modeling-based text of ideal gas law to improve students' modeling competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018.

<http://doi.org/10.1002/sce.21164>

Jong, J. P. (2016). The effect of a blended collaborative learning environment in a small private online course (SPOC): A comparison with a lecture course. *Journal of Baltic Science Education*, 15(2), 194-203.

Krajcik, J. S., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313-350.

<https://doi.org/10.1080/10508406.1998.9672057>

Krajcik, J. S., Czerniak, C. M., & Berger, C. F. (2003). *Teaching science in elementary and middle school classrooms: A project-based approach*. New York: McGraw-Hill.

Meyer, D. Z., & Meyer, A. A. (2012). Two paper airplane design challenges: Customizing for different learning objectives. *Journal of College Science Teaching*, 41(3), 38-43.

National Research Council, NRC (1996). *National science education standards*. National Academy Press, Washington, DC

NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.

<http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>.

OECD (2018). *The future of education and skills Education 2030*. OECD

[https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf)

- Puspita, A. N. G., Ambarwati, L., Ludfiyanti, E., Tejonugrohol, D. P., & Zen, Y. (2019). Effect of paper weight, paper length, and nose of paper plane on aircraft mileage in paper airplane game. *UI Proceedings on Science and Technology*, 2, 31-35.
- Skilling, K. (2020). Student STEM beliefs and engagement in the U.K.: How they shift and are shaped through integrated projects. In J. Anderson & Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM education: An international perspective*. Cham, Switzerland: Springer.
- Steffensen, L. (2020). Climate change and students' critical competences: A Norwegian study. In J. Anderson & Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM education: An international perspective*. Cham, Switzerland: Springer.
- Touitou, I., Schneider, B., & Krajcik, J. (2020). Incorporating mathematical thinking into high school STEM physics – A case study in the USA. In J. Anderson & Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM education: An international perspective*. Cham, Switzerland: Springer.
- Tytler, R., Williams, G., Hobbs, L., & Anderson, J. (2019). Challenges and opportunities for a STEM interdisciplinary agenda. In B. Doig, J. Williams, D. Swanson, R. Borromeo, & P. D. Ferri (Eds.), *Interdisciplinary mathematics education: The state of the art and beyond* (pp. 51–81). Cham, Switzerland: Springer.
- Vasquez, J. (2015). STEM: Beyond the acronym. *Educational Leadership*, 72(4), 10–15.