

整合TPACK及素養導向的STEAM教學素養內涵初探

周坤億¹ 楊淑晴¹ 羅藝方^{2,*}

¹國立中山大學 教育研究所

²樹德科技大學 人類性學研究所

摘要

目前我國對於STEAM教育的推動，期待建立自然、社會與人我關係的基礎，強調培養21世紀人才，因此深入探討教師的STEAM教學素養，思索價值信念、反思科技人性、創造文明對話與生態永續社會的人文藝術內涵，進而提高STEAM課程與教材的設計能力，並與社會議題、生活經驗進行整合與實踐，具有十分重要的意義。有鑑於TPACK整合性與建構性的觀點，及師資培育轉向素養導向的發展途徑，爰此，本文擬界定STEAM教學素養之意涵，參考相關文獻，將TPACK及素養導向進行整合作為立論基礎，建構STEAM教學素養架構，據以提出STEAM專業教學素養及實踐教學素養兩項分類架構，及知識、技能、態度與價值三大面向，其中兼具「學科知識、跨域課程知能、教學方法與設計、學習評量、教學實施、學習環境營造、核心價值、反思覺察、專業成長」等九項素養內涵。本文期能藉由初探教師STEAM教學素養架構內涵，作為職前教師培育的課程規劃建議和現職教師STEAM教學實踐的依據。

關鍵詞：STEAM教育、TPACK、素養導向教學、師資培育、教學素養

壹、前言

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育是一種強調統整科學、科技、工程和數學知識與技能的跨領域課程之教育理念(湯維玲, 2019)；而結合STEM與人文藝術(Art)的STEAM教育，被賦予了能提高學生關於STEM領域技能和人文思維的新教育學(new pedagogy)，其能增進學生面對環境中的新挑戰時，可乘載傳承文化並增進人與自己、他人、環境之多元且具同理關懷

與永續發展等人文思維觀點，透過創造力、問題解決等思維能力，以更高視野針對未來自發互動與共好社會提出應對之道，並強化學生未來職業和經濟發展所需的團隊合作、溝通、適應能力等就業技能，進而成為對他人和對環境負責之有遠見與責任卓識的公民(Perignat & Katz-Buonincontro, 2019)。

因此繼STEM之後，STEAM在教育改革中受到極大的關注，並得到國際學術界和實務界的認同(黃國禎, 2020)，許多國家更體悟到提升和改善STEAM教育品質，是為所

*通訊作者：羅藝方，a0989909301@gmail.com

(投稿日期：民國111年5月5日，修訂日期：民國111年10月11日，接受日期：民國111年10月17日)

有學生做好21世紀全球公民的準備(Holmlund et al., 2018)。例如，美國總統在2015年簽署《每位學生成功法案》(Every Student Succeeds Act)，作為STEAM和STEM教育相關經費的法源依據(湯維玲，2019)；歐洲聯盟(European Union [EU])推動EuroSTEAM方案，共同制定STEAM教育架構，並在合作夥伴國家內選定學校實施(Belbase et al., 2022)；韓國教育部則在國家課程中明確闡述STEAM教育的必要性，並擴展STEAM示範學校與教師團隊，要求示範學校必須在相關課程中包含至少20%的STEAM學習內容(Park et al., 2016)。由此可見，STEAM教育在不少國家已被視為攸關國家未來競爭力的政策和人才投資，備受關注。

STEAM教育的落實，首要之務是培養有動力且有能力打破傳統學科界線，同時又願意接受STEAM統整式學習之典範教師(Tsybulsky et al., 2018)。然而我國財團法人資訊工業策進會(2018)與親子天下在2018年針對國中小教師進行的「STEAM教育現況教師調查」卻顯示，教師自認缺乏STEAM教育所需的專業知能，對於推動STEAM產生了「心有餘而力不足」的困境。我國以往在職前師資培育或在職教師進修方面，大多僅著重在單一學科的教學訓練，較少針對STEAM教育的跨領域／統整課程教學進行培育，且當前教育現場也仍以分學科教學為主(Quigley et al., 2017; Shernoff et al., 2017)，此皆不利於培養教師對統整課程的認同及掌握。如同林坤誼(2018)指出，缺乏有系統的教師培育以及課程教學專業提升是當前STEAM實施的問題。國外已有國家開始關注教師STEAM教育專業知能支持的重要性(張仁家、林癸妙，2019；Kim & Kim, 2016)，但針對教師本身在進行STEAM教學時所具備的教學素養評估仍有待進一步探討。

另一方面，科技教學內容知識(Technological Pedagogical Content Knowledge, TPACK)被視為當代教師專業知識與素養中極為關鍵的一環(Angeli & Valanides, 2009; Mishra & Koehler, 2006)，良好的TPACK素養可以有效幫助教師進行適切的教學準備、教學設計和教學評量，因而被廣泛應用在不同學科的師資能力培養，且據以發展出教師TPACK的測量工具，以有效評估教師當前的TPACK水平。

針對STEAM，有學者認為TPACK是高素質教師應具備的基本知識素養，TPACK能力不僅應視為STEM教學的核心(Morales et al., 2019; Srisawasdi, 2012)，且可利用TPACK理論架構，據以建構及開發適用於教師STEAM-TPACK能力培訓實踐與測量的方法體系(Morales et al., 2019)。尤其TPACK能為STEAM教育的實踐提供一套據以操作的理論與設計框架，特別是在拆解TPACK核心領域，有意義地深度融合STEAM學科知識(Content Knowledge, CK)、教學法和優化教學設計層面之間動態的關聯(林曉凡等，2018)，讓教師在跨域的教學體驗中，導入藝術素養、人文關懷、社會正義與永續發展的全人教育議題，並經歷「修正、再概念化、實施、確認、落實」的過程，落實STEAM的教育理念(Guyotte, 2020; Taylor, 2016)。

本文試著將STEAM界定為一教學架構，隱含跨領域取向，其中的理論、概念和方法並非單純從某一學科借用於另一學科中，在STEAM教育中，跨領域的實踐超越各學科且模糊了知識的邊界，也呈現教育學科內部存在的複雜性(Guyotte, 2020; Lattuca, 2003; Lloro-Bidart, 2015)，尤其全人統整模式乃以人為本，意義在完整人性的培養而非各類知識的連結而已。據此，本研究建構與整合TPACK及素養導向(competency-based)的STEAM教

學素養模式，使教師能運用指標評估自我在STEAM課堂中的相關教學行為；並建構其教學素養內涵以在準備教學階段時確認自身的教學效能，精進其探索反思和實踐方法，奠定STEAM教育在中小學教學現場的專業發展，希冀作為STEAM素養導向教師教育的實踐策略，以精進教師STEAM素養之落實。

貳、勾勒STEAM教學素養之內涵探析

一、STEAM教育中的教學內涵

STEM可被視為「後設學科」(meta discipline)，以一種教學觀點／架構作為學習方式的教育路徑(Merrill & Daugherty, 2009)，尊重每個學科背後之認識論本質，教師透過跨領域課程統整實作活動，整合科學、科技、工程、數學，將STEM強調的跨域融合、地方本位與經驗探究專題導向之問題解決，植基於情境脈絡和學生中心觀念、方法與技巧，以視域融合(fusion of horizon)與換位思考(transposition thinking)方式，有目的著重培養後設層級能力，讓學生學習整合跨域知識，思考與探究如何將其應用於真實世界的問題中。

有學者關注到傳統的STEM教育很少培養學生的好奇心與自發動機，進而提出納入人文藝術的STEAM教育，主張透過STEAM教育來引起學生對STEM學習的興趣，因為藝術有助於創意思維的培養和實踐，可以促使學生透過探索各種可能性來表達自己對學習材料的理解，並且為複雜的問題尋求多種解決方案(Land, 2013)。世界華人美術教育協會主席陳怡倩(2017)指出，藝術可以幫助學生從不同的管道來理解複雜的社會，且藝術創作過程中所觸發的創造力、問題解決、靈活思

考和勇敢承擔挫折等，都是藝術可平衡科技STEM教育的學習方式。因此，STEAM教育理念即是將學科進行橫向的有機融合，在課程設計、教學方法及科技整合上，培養學生面對問題時的創造性思維能力及統整問題的解決能力。

是故成功的STEAM教育關鍵乃直指教師的教學及其素養，須具備課程統整的設計理念、跨領域合作意願及協同教學。美國STEAM教育專業發展訓練及認證，即在於培訓教師能整合學科知識、設計適當的教學引導學生跨領域學習及解決現實生活問題(湯維玲, 2019; Belbase et al., 2022; Herro & Quigley, 2017)；EU五國的EuroSTEAM計畫，在強調與真實世界的連結，將STEAM假定為一交織複雜的蜘蛛網絡模型，透過師生的互動發展「執行問題的方法」，藉此提升學生對STEAM的學習興趣，並鼓勵從事STEAM研究及發展學生潛力(Haesen & Van de Put, 2018)；香港教育局課程發展議會(Curriculum Development Council, Education Bureau, 2016)於《推動STEM教育——發揮創意潛能》裡更揭示，培養學生成為科學與科技的終身學習者，並將STEM教育視為平衡學生學習興趣與需求、教師間的協同夥伴關係，同時針對教師專業發展提供「小學STEM教育的課程設計、教學法及評估」課程證書；韓國STEAM教育則強調結合自身需求與在地文化特色，從學生對科學與數學學習興趣低落的現實問題出發，關注提升學生學習興趣及重視感覺、體驗及提高溝通與關懷能力，要求學校課程需經過「整合」過程，包含學科與現實生活連結的「學科外整合」、不同學科間的「跨學科整合」及學科內整體關聯性的「學科內整合」，加強學科學習與個人生活經驗間的關聯性，亦即強調教育內容的實用性(Kim & Lee, 2015; Kim et al., 2012)。

綜上所述，STEAM教學可以定義為：藉由不同的學科結合，將其原理原則與藝術涵養整合，發展創意思維及提高學生對學習的興趣和理解，並能夠基於STEAM的教育理念和解決現實世界問題的能力，為學科提供實踐的方法。例如科學原理與創造力的展現、運用科技妥善溝通與合作、運用工程設計思考環境與經濟問題、以藝術視角結合數學模型來解決問題的批判性思維，同時強化職涯和經濟發展所需的就業技能(例如團隊合作、溝通、適應能力)，進而全方位地提高STEAM素養(Haesen & Van de Put, 2018; Perignat & Katz-Buonincontro, 2019; Thuneberg et al., 2018)。

在瞭解到STEAM教學的本質後，需要進一步瞭解如何針對有效的STEAM課程與教學進行設計。Jolly (2012)提出「設計良好STEM課程的12個步驟」，首先為選定主題，引導學生運用跨領域知能解決問題，並將該主題與現實活動連結、明確界定課程中所涉及的學科其挑戰任務為何、以及決定何謂成功的學習結果，接著教師運用工程設計過程來規劃課程。課程進行時，協助學生覺察挑戰任務、團隊合作研究挑戰內容、鼓勵小組透過創意思維解決問題、引導小組進行批判構思、測試及建立原型，再從所建立的原型進行測試與評估中促進參與討論，最後教師可引導學生針對他組的觀摩來重新修正設計。在教學歷程中，教師扮演極重要的角色，強調提供較多的鷹架而非教導，讓學生瞭解錯誤也是一種學習，體認STEAM教學非線性過程，需要適時的因應調整。Chan等(2019)提出有效的STEM/STEAM教學，揭示教師不應只關注學科內容知識的發展，應以問題為導向進行課程與教學設計，讓學習連結生活情境，培養學生創新的問題解決與探究能力，進而激發學習興趣與發展潛能。

二、STEAM教育中的教師專業素養

成功的教學有賴於教師，教師的素養乃評估其教學品質的重要依據，亦是形塑教學專業的要素。教師的專業素養可界定為教師在各種複雜的教學情境中，所呈現的信念、價值觀、知識、技能與態度之整合，並能據此做出適當決策，以提升學生學習能力(Gump, 1969; Tang et al., 2020; Tigelaar et al., 2004)。EU將素養定義為「整合知識、技能及態度，以符應現實生活情境之需要」，透過從各個核心素養分解出『子素養』(sub-competences)的方式，將抽象的核心素養轉化為可具體描述的項目及細項」。以法國為例，課程通常是依照學科領域進行組織，重要的是藉由素養指引手冊來瞭解核心素養與學科課程的符應程度，依此將素養內涵進行拆解(unpacking)以更清楚如何進行課程設計與教學實施(葉坤靈，2017；Pepper, 2011)。

在素養內涵拆解的概念下，將Fauth等(2019)主張教師專業素養是為滿足教師職業要求所需的特定個人素質，涵蓋知識和信念的認知變項，以及自我效能和熱忱的動機等變項之描述，加以拆解為：1.知識，係指Shulman (1986)的「教學內容知識」(Pedagogical Content Knowledge, PCK)，是教師透過理解、組織和呈現特定學科知識，並使其依據學習者的特性與能力而授業解惑。2.信念，係指建構主義信念，教師應視學生為積極的「知識建構者」，在課堂中致力於激發學生的認知能力。3.自我效能，係指教師在工作中能具有批判意識的自我覺察，偏重教學投入的自我內在動機審查。4.熱忱，係指教師能在專業活動中感到享受、愉悅等動機情感成分的特質，一位熱忱的教師所體驗到的教學內在價值，其成就感的滿足來自於持續挑戰複雜且多元的教學情境，此則

特別有助於營造一種支持性和溫暖的班級氛圍。

因應資訊科技與知識創新的快速更迭，訊息萬變的知識既複雜又迅速流動，教師教學亦須隨之創新調整。聯合國教科文組織(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO])於2009年提出「素養目錄」(competency profile)，揭櫫素養內涵為教師所應具備的知識、技能與觀點，並能有效地在教學中整合不同的數位科技及系統(UNESCO, 2009)。目前我國核心素養與STEAM教育理念，均強調跨領域的科技整合運作，以及關注實際生活情境的問題解決運用。在未來的「教與學」中，更當關注運用當前科技營造真實情境、提供跨領域及生活化的統整學習，以及有效提升溝通表達、團隊合作的教學設計與規劃能力。換言之，STEM教育需要科技與教材、教法之間的緊密相互作用，透過科技知識(Technological Knowledge, TK)及技能的整合，進行有效的教學設計，亦即基於學習內容的差異性決定如何進行教學，同時根據學生的學習狀況調整教學，如此不僅能提升其教學品質，更能讓教師在教學中展現其自身的領導權，以提升學生自主學習(蔡政宏、謝文惠，2011；Baek & Sung, 2021)。

參、STEAM教學素養之多層面構念

為能有效促進教師整合STEAM教學素養，有些國家和組織已在STEAM教育中確定一套核心素養架構，建立以素養為本位的教育學程。美國國家STEAM教育研究所(National Institute of STEM Education [NISE])提供獲得美國STEAM教學國家證書所需的素養本位課程，包含創造學習環境，建立科

學理解，以及讓學生參與科學和工程實踐等三個素養領域。賓夕法尼亞州教育部制定一套支持整合STEM教育計畫的指導方針，其包含19種STEM素養，可歸納為內容、技能和能力、教學實踐與評估等四個層面，為STEAM教學的職前教師做好準備(Corbett et al., 2014)。

Morales等(2019)於高等教育委員會贊助計畫「菲律賓教育中的TPACK」中建構「STEAM教育者能力指標」，該指標從菲律賓政策、標準及理論，描述菲律賓高等教育STEAM教學者的熟練程度，其中提出七個面向的教師專業標準，分別為：一、內容知識和教學法；二、學習環境；三、學習者的多樣性；四、課程和規劃；五、評估和報告；六、社區聯繫和專業參與；以及，七、個人成長和專業發展，並將這些標準對應在TPACK架構的七個向度。

韓國對於STEAM教育推動不遺餘力，有系統地制定政策目標發展教師專業計畫，培養教師STEAM的素養與專業知能，同時透過政策支持教師發展STEAM教育的創新課程模式，不同於以往傳統教學，轉向整合科技以支持體驗探究式的教與學，開發與普及STEAM教育的優質課程(Baek et al., 2011; Kang, 2019)。Kim與Kim (2013, 2016)以韓國在職教師為研究對象，發展STEAM教學能力指標並進行檢驗，其教學架構包含35個指標，可歸納為：一、學科理解；二、教導與學習方法；三、引導學習者參與學習；四、對學習者的理解；五、學習環境和情境；六、學習者評估；七、個人資格等七個領域。同樣地，Han (2015)以20名數學領域的職前教師為對象，進行STEAM教學素養模式驗證，包含知識(理論和實踐)、技能和態度領域的能力。

量的形式掌握學習進程，藉此瞭解學生能否在教學過程中達到一定的STEAM學習目標，大多研究者也關注此內涵以能有效提升教學品質，並幫助教師在進行STEAM教學時的自我評估，本研究界定為「學習評量」。

另外，有研究特別關注在教學實施的歷程，致力運用各種教學策略促進學生積極投入學習(Corbett et al., 2014; NISE, n.d.)，強調在過程中培養問題解決、高層次思維等能力(Quigley et al., 2017)，以及針對學習差異予以適性教學及輔導(Eckman et al., 2016)，本研究界定為「教學實施」。再者，涉及創造自主探究的STEAM學習環境、主動回應學習需求及自發參與學習的動機，本研究則界定為「學習環境營造」。而針對研究者強調教師本身的實踐反思(Eckman et al.)、對STEAM的態度(So et al., 2019)、專業投入(Spyropoulou & Kameas, 2020)，以及強調與社區間的聯繫和社區專家的參與(Morales et al., 2019)，於此本研究認為有必要更關注教師自身對於STEAM教育的「核心價值、反思覺察及專業成長」，以奠定教師在發展STEAM教育時的專業地位。

進一步根據Hwang與Baek (2008)提出的

教學素養類型，分別為展現學科教學的專業基礎的「理論性(theoretical)素養」與實際課堂上有效展現學科教學的「實踐性(practical)素養」，為使本研究所提出的STEAM教學素養內涵架構更為清晰，歸納教學素養內涵如表2所示。教師進行教學時必須具備創意融合人文與科學性思維的STEAM行動和專業發展的智識能力，並理解高層次思維與創造性問題解決能力的各種教學方法與設計知能，本研究界定為「STEAM專業教學素養」；透過全觀反思、倫理價值的覺知以及永續STEAM精神，將理論知識轉化為設計、執行、區辨、評估與促進實踐的能力，本研究界定為「STEAM實踐教學素養」。

肆、從素養導向與TPACK建構STEAM教學素養的核心內涵

一、素養導向觀點的STEAM教學素養

當前世界各國逐漸將教師教育從以往強調傳統課程、教學與評量的知識導向或能力導向，轉向發展為「素養導向」，指引教師在面對教育改革時，需能極富應變挑戰與因應能力，更需承擔自身的教育專業責任，

表2：教師教學素養中理論性素養與實踐性素養之比較

Hwang & Baek (2008)	理論性素養	實踐性素養
	1.學術導向能力 2.通用、一般性能力 3.與形式性陳述性及內容知識高度相關 4.強調理論專家的規準 5.與認知策略高度相關	1.表現導向能力 2.脈絡性與特殊個案技能 3.與內隱性、程序性及方法論知識高度相關 4.強調實務專家的規準 5.與行為策略高度相關
本研究	STEAM專業教學素養	STEAM實踐教學素養
	1.STEAM跨領域知識統整 2.連結STEAM相關學科之課程理論知識 3.瞭解與掌握學習者之學習評量相關知能 4.瞭解學習者之學習知識 5.培養高層次能力之教學方法與設計知能	1.營造創造性與激發STEAM學習情感觸動與認知投入的學習環境 2.促進學生平等合作與教師間的交流分享 3.善用鷹架與科技，提升學生STEAM知識、技能與情意的理解、轉化及遷移 4.實踐反思發展教師專業地位

以培養學生適應未來社會的能力(吳清山, 2018)。關於素養導向的教學設計與實施, 教育部(2014)提出四項基本原則: 1.整合知識、能力(包含技能)與態度; 2.重視情境與脈絡的學習; 3.重視學習的歷程、方法及策略; 4.強調實踐力行的表現。在STEAM教育架構中, 透過跨領域的整合以強調破除知識結構的獨立性, 應用於解決現實生活問題, 並關注問題導向的學習, 以一種創新的觀點且具跨領域、情境的特性, 藉由探究方法挑選感興趣之主題, 從而培養學生對生活情境問題的敏銳分析與解決能力。故STEAM教學素養可依此原則發展, 據而歸納出STEAM教育核心精神作為教學素養之架構。

(一)跨領域的知能整合課程

教師本身除了對於學科知識有一定的掌握外, 也可透過協同教學、專業進修等方式提升專業知能。教師進行課程活動設計時, 需要關注各學科的教學目標與學習重點, 在引導學生高層次的能力(例如: 溝通、合作、批判思考、創造力等)時須符合原先的教學目標, 才能更聚焦在連結舊經驗與新經驗的學習重點上(黃國禎, 2020)。

(二)關注實踐力行的探究教學

STEAM教育重視學習的過程, 主題的探究包含科學、人文藝術、公民社會等議題, 強調從觀察與實作中獲得真實生活經驗, 並在體驗中依據自身所學的知識, 表達意見、反思問題並提出永續行動解決方案, 藉此提高學生的資訊閱讀、批判思考、創意解決問題和溝通協商等能力(黃國禎, 2020), 俾能增進學生新一代創新知識型STEAM素養, 應對了美國國家研究委員會(United States National Research Council)提倡學生需要具備的「21世紀技能」。

(三)情境脈絡化的問題導向學習

STEAM教育強調跨學科的整合, 而素養導向教學則指引教師從教學實踐中掌握核心素養的課程轉化, 強調知識存在於社會情境與文化脈絡中, 不能夠與其分開。教學內容須著重學習問題的情境設計, 強調連結真實、有意義的生活情境, 讓學生在真實情境中思考問題, 運用問題導向的學習方式引導學生探索, 搭配團隊合作的形式進行小組專題, 藉由知識整合的實際應用, 促使學生透過規劃問題提出行動解決方案, 發展獨立探究及解決真實世界問題的能力, 進而培育高層次創意與批判思考(Land, 2013)。

教學素養是提高教師課堂專業性的必要條件(Kim & Kim, 2016), 掌握良好教學素養的教師特徵與Shulman (1986)定義的教師PCK屬性一致(Morales et al., 2019)。在STEAM教學上, 教師需思考如何將STEAM內容知識轉換到教學策略, 幫助學生有效習得STEAM主題的知識、技能與態度, 這種轉換的過程即可稱為STEAM教學內容知識。然而只關注在STEM特定學科知識, 對於學習將不再存有優勢, 納入社會情境等因素, 關注真實生活的需求和期望, 培養學生面對複雜社會的能力, 將在教育上變得更加重要, 因此結合藝術領域之設計、欣賞等觀點的教育逐漸受到重視。學校教師的角色此時顯得格外重要, 需要具備處理問題的實質方法, 並引起學生對學科跨域融合產生興趣, 主動積極運用自身知能提升學生智能發展, 因此提升充實的教學模式和具有實踐教學計畫的能力更受到重視(Pears et al., 2019)。

教學素養是教師實施STEAM教育時必須具備的知識、技能與態度, 欲有效落實STEAM教育的教師不僅應瞭解STEAM的真正意涵, 具備豐富的STEAM教學知識與技

能，還需以開放心態擁抱熱情專注於STEAM教育理念，以在課堂中應用合適的教學方法和技巧來支持學生在STEAM領域的學習(Yıldırım & Topalcengiz, 2018)。Hwang與Baek (2008)及Kim與Kim (2016)歸納出的架構分類把STEAM教學素養劃分為「專業」與「實踐」兩層面，專業教學素養層面較偏向STEAM教育相關的學科知識與課程理論等知識，以及與其相對應的教學設計與評量等技能；實踐教學素養層面則偏向實施STEAM教育相關的歷程，以及能引發學生投入學習等實踐技能，並擴及在實施過程中能引發教師對STEAM教育實施的意識與核心價值的理解，且能從中透過自我省思以提升其專業成長，進而不斷精進專業性素養。要特別強調的是，本文所劃分的專業教學素養與實踐教學素養，如同教學與TPACK並非截然壁壘分明，而是緊密連結的，兩者在流動變化中共同發展，彼此共構動態且循環交流，在跨域知識更迭創新以及多元複雜的變動情境脈絡下，兩者透過教師對STEAM主題與核心價值的掌握與內化而不斷轉化。

二、植基TPACK的STEAM素養

Koehler與Mishra (2009)擴展PCK模式，提出TPACK模式，因其對教學素養架構的靈活性，獲得許多學者的青睞，並在此基礎上，改編擴展了TPACK架構(Schmid et al., 2020)。基本而言，TPACK架構著重於三個核心領域：教學主題的特定內容知識、教學決策和理解，以及對如何選擇和使用科技促進學生學習的理解(Teo et al., 2021)。然而，教師並非以單獨領域的方式建立知識，而應以包裹式的觀點，視之為一種整體性的知識建構，因為任何知識領域的改變，都將牽動其他領域的變化(李佳蓉, 2017; Thompson & Mishra, 2007)。換言之，教師在每一階段的教

學實踐歷程中，都涉及TPACK知識領域的拆解與融合，應從更廣的視野來概述教師所應具備的知識與能力。由此可知TPACK已超越了單純的知識層面，乃是一種教師教學知能的展現。Schmid等(2020)直言，TPACK教師自陳報告不僅只是衡量教師的實際知識，更可能衡量出教師的自我效能，因此將TPACK作為評估教師自我效能的工具，亦可為教學績效研究帶來價值。尤其，TPACK可凸顯教師與學科專家間的差異，故對職前教師的專業發展和在職教師的自我省思，均可發揮正向積極的作用。

由於教學的知識本質是動態而非靜態的(Olofson et al., 2016; Santos & Castro, 2021)，STEAM跨域的知識本質更需靈活機動，因此學者開始將TPACK的關注重點從靜態的領域知識轉移到TPACK知識建構的歷程，透過TPACK的指引來闡述如何進行有效的STEAM課程發展與設計，有效整合科技、教學與學科，以提升STEAM教育品質。Olofson等將TPACK重新解釋為TPACKing，是一種教師在變動複雜的教學環境中，主動建構教學知識的過程。進行TPACKing時，教師透過外在環境與心中知識或思想的內在互動，不斷地充實修練相關知識與教學素養、技巧和態度，機智牽動TPACK各要素間的應變組合與轉換。TPACKing說明教師透過自我察覺、持續學習反思與再建構教學知識，用以提升教學素養的重要性。動態歷程中的TPACK各層知識經不斷激盪互動並產生平衡，雖其理論屬於弱結構，僅規範教師所應具備的素養，但其與STEAM對教師所描述的多層次認知能力是相契合的。

基於TPACK整體性與建構性的觀點，結合教師STEAM教學相關文獻(Anisimova et al., 2020; Corbett et al., 2014; Kim & Kim, 2013,

2016)，建構中小學教師STEAM教學素養，統整STEAM教育的核心概念以作為後續教學素養指標之構面依據。STEAM從過去的STEM概念提升至新層面，除了強調批判思考、問題解決、創造力等認知技能外，還包含溝通協調、領導合作、團隊共好、人際關懷與倫理等社會技能，此為未來人才必備之關鍵能力。此外，亦需鼓勵學生聯結核心領域的學習與藝術元素的精神，除了關注邏輯、數學、工程與科學思維的實證學習外，更能透過運用人文藝術底蘊提升其設計能力，豐富作品的呈現並增加創造性計畫的效率。

作為培育國家未來STEAM人才的教師，除具備STEAM跨領域知能外，具備「教」STEAM的能力更是關鍵。然而，在STEAM

跨領域知能方面，在職教師本身未必具有一定程度的STEAM教學素養，因此持續進修與專業成長至關重要。再者，過去臺灣的職前師資培育課程較少針對STEAM跨領域統整教學進行養成，使得教師實際進入教學場域時，較難發揮與落實STEAM教學策略。因此援引「位階思考」與涵蓋性廣泛的TPACK理論架構於STEAM教學架構中，經由此理論架構可知，除了強調科技的重要性外，更期望能從STEAM教育實踐的歷程中，展現探究實作、參與性學習、問題中心等教學模式的整合，以避免過於偏向科技導向的教學。藉由TPACK動態模式，拆解教師STEAM教學知能以對應TPACK（詳見表3），將STEAM科技、學科、教學之間的動態交互關係產生關

表3：TPACK及STEAM對應內涵表

TPACK要素	TPACK架構內容	TPACK架構對應STEAM內涵
TK	1.科技技能：具備教學時所需的科技技能 2.問題解決：知道如何解決教學中所遇到的科技問題 3.科技學習：能學習與教學相關的科技知識 4.科技相關知識：能認識連結與教學相關的科技知識 5.增進科技知識：會不斷精進與課堂相關的科技知識	善用科技知識進行STEAM教學：與時俱進增強科技知識技能，培養新科技運用能力，從不同視角(觀點樣貌)呈現轉化建構訊息，不盲從科技，而是以內容導向為原則，兼顧學科內容和學習任務屬性，審慎運用科技作為媒介，以激發學習認知思維，進而深化學習者的學習建構。
CK	1.學科知識：具備足以應付教學的充足知識 2.學科思維：能運用STEAM相關的思維模式 3.學科理解：能運用多元方法與策略理解相關學科知識	掌握學科內容建構STEAM知識結構：釐清與科學科技、工程、數學與人文藝術相關教學目標的互動關係，以學科知識為基礎，整合不同範疇的知識技能，重新建構STEAM學科知識結構，有意義融入現行不同階段的學科架構裡。
PK	1.表現評量：知道有效評估學生課堂表現 2.適性教學：能依據學習狀況、興趣與能力調整教學 3.學習評量：以多元方式獲取學生不同階段學習狀況 5.理解學生迷思概念：掌握學生學習時共有迷思概念 6.概念呈現：能將抽象概念以視覺具體化策略呈現 7.班級經營：能維持班級秩序及順利教學	靈活運用教學知能實踐STEAM教學：根據學習特性，掌握學習本質，在探究教學中有意義的聯繫跨領域內容，善用多元鷹架有效組合(如問題情境程序／知識／練習／探究型等)，透過跨域課程設計及協作整合學習，讓學生從綜合運用不同學科知識，從中鞏固深化與活化知識的連結應用，提升STEAM學習興趣、創意科學探究和解決能力。

表3：TPACK及STEAM對應內涵表(續)

TPACK要素	TPACK架構內容	TPACK架構對應STEAM內涵
PCK	熟練多種教學策略，能選擇有效的教學方法引導學生思考與學習相關知識	運用教學策略深化STEAM關鍵能力：掌握傳遞STEAM素養、知識與經驗的有效途徑，透過各種符合日常生活的教學活動設計，強調問題解決、專題探究實作、合作學習等STEAM學習，打破學科間的界限。
TPK	1.選擇相關的科技來提升教學方法與學生的學習 2.深入思索科技如何影響教學 3.不斷更新科技來發展不同的教材教法 4.能評估結合科技對教學所產生的結果與影響	運用科技教學知能建立STEAM情境：強化學科科技教學知能，辨識高低階科技不同特性，配合學習目標與主題，據以援引相關適合的科技資源，精心設計STEAM多元教學策略，並為學生提供自主學習的各式資源。
TCK	無論科技如何更迭，能夠使用有效科技認知工具協助學習者對特定素養知識的學習歷程的理解與掌握	運用科技提供STEAM多元學習鷹架：透過科技的多元性將STEAM學科內容，從現有各式高低階科技網路資源(混成學習、人工智能、體驗科技等)，慎選配合學生與學習任務需求的適切科技，提升學習成效。
TPACK	1.跨領域結合：在教學中能結合不同科技與教學方法 2.決定知識需求：能決定科技、教學與內容知識在教學時需求 3.跨領域的自我評量：能自我評估課堂教學中的科技、教學及內容知識 4.跨領域的自我調整：能依據教學情境調整科技、教學與知識	活用科技、教學及學科知能創造完整STEAM學習歷程：教師透過轉化整合自身的STEAM相關知識技能與態度，因應不同領域知識更新、情境脈絡變動與學習者特性等，進而動態發展與實踐TPACK-STEAM，依照課程主軸、學習主題、問題本位等進行科技整合、優化教學策略對接學習內容創造多元的課程教學與評量。深化探究能力、後設批判、創意思考與合作學習等高層次能力發展。

資料來源：整理自*Exploring the dynamic nature of TPACK framework in teaching STEM using robotics in middle school classrooms*, by S. M. M. Rahman, V. J. Krishnan, & V. Kapila. Paper presented at 2017 ASEE Annual Conference & Exposition, 2017, June, Columbus, OH.

註：TPACK：科技教學內容知識(Technological Pedagogical Content Knowledge)；STEAM：科學、科技、工程、人文藝術與數學(Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics)；TK：科技知識(Technological Knowledge)；CK：學科知識(Content Knowledge)；PK：教學法知識(Pedagogical Knowledge)；PCK：教學內容知識(Pedagogical Content Knowledge)；TPK：科技教學法知識(Technological Pedagogical Knowledge)；TCK：科技內容知識(Technological Content Knowledge)。

聯，有效的整合與應用STEAM的相關教學知能，提供教師多元跨域的學習契機。因此，本研究所界定植基TPACK的STEAM教學素養，係指教師依據學生的學習特性及需求，因應21世紀培養素養導向能力的整體趨勢，整合STEAM相關學科知識、教學情境脈絡等因素，以調整科技、教學及學科內容，使得STEAM教學有效化。

鑑於現階段並無專門從事STEAM教學

的教師，大多數STEAM教學的教師以自然科學、資訊科技、工程科技、數學、社會科學或藝術人文領域為主，若只關注機器人、3D列印等主題式的學習，可能會變相過於強調科技知識(TK)導向的學習，抑或工程導向的STEAM專題，若未能加強學生對科學的實際應用，恐怕僅有STEAM的美好包裝和標籤，卻缺乏探究STEAM意義與價值的實際內容(Guzey et al., 2019)。再者，整合STEAM內容

本身並不能保證學生瞭解各學科在問題解決方案中的貢獻(Moore et al., 2014)，必須規劃綜整STEAM知識的應用與實踐，透過統整跨學科課程的實作活動，將相關學科知識聯繫起來，形成創意融合的學習經驗，提供學生鷹架學習「思考探究」的方法及運用跨域知識來解決真實世界中的問題，進而整合創新跨領域知識並將其應用於生活(周坤億等，2022)。因此植基TPACK的STEAM素養，教師能將科技知識作為一種教學工具，適應科技變遷與社會發展，靈活運用科技建構輔助學習的教學情境，讓學生從情境中進行探究實作、問題解決，提高參與、激發思維，以促進教學成效。

三、整合TPACK與素養導向之STEAM教學素養

囿於目前國內對於教師STEAM教學素養議題論述不多且鮮少專論又多半聚焦學生，

本文擬拋磚引玉，參考相關文獻，融入研究者在STEAM教育現場的經驗與詮釋，透過國內外相關文獻的探究與理解，在視域交融的過程中，希冀進一步理解真正的STEAM教育，以整合TPACK與素養導向作為立論，初探STEAM教學素養內涵，提出研究者觀點(詳見圖1)。並在理論架構基礎下初步形成「STEAM教學素養內涵」(詳見表4)，希望藉由理論觀點探析，作為後續STEAM教學素養指標德爾菲問卷調查研究之基礎。

本文所建構之素養導向STEAM教學素養架構，欲探究實施STEAM教學時教師所應具備的素養，其涵蓋了教師教學能力的評估，同時亦顯現教師於教學歷程中所涉及的決策與實施層面。爬梳前述教學素養相關架構，援引Hwang與Baek (2008)之理論與實踐性素養分類架構，發展出STEAM教學素養架構(如圖2與表4)，分別為「STEAM專業教學素養」與「STEAM實踐教學素養」兩大範疇，

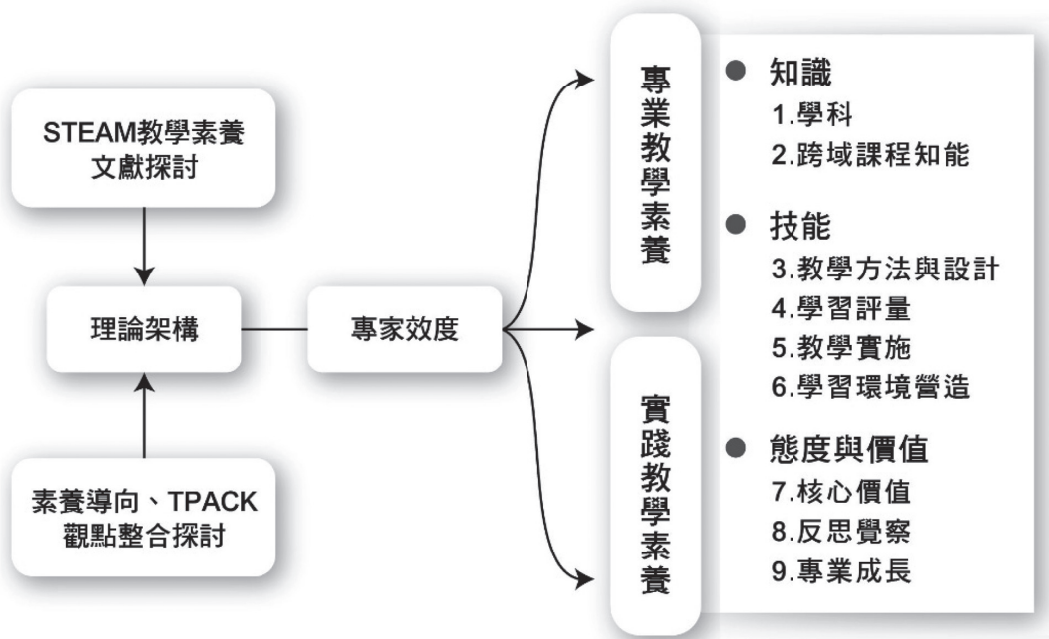


圖1：研究架構

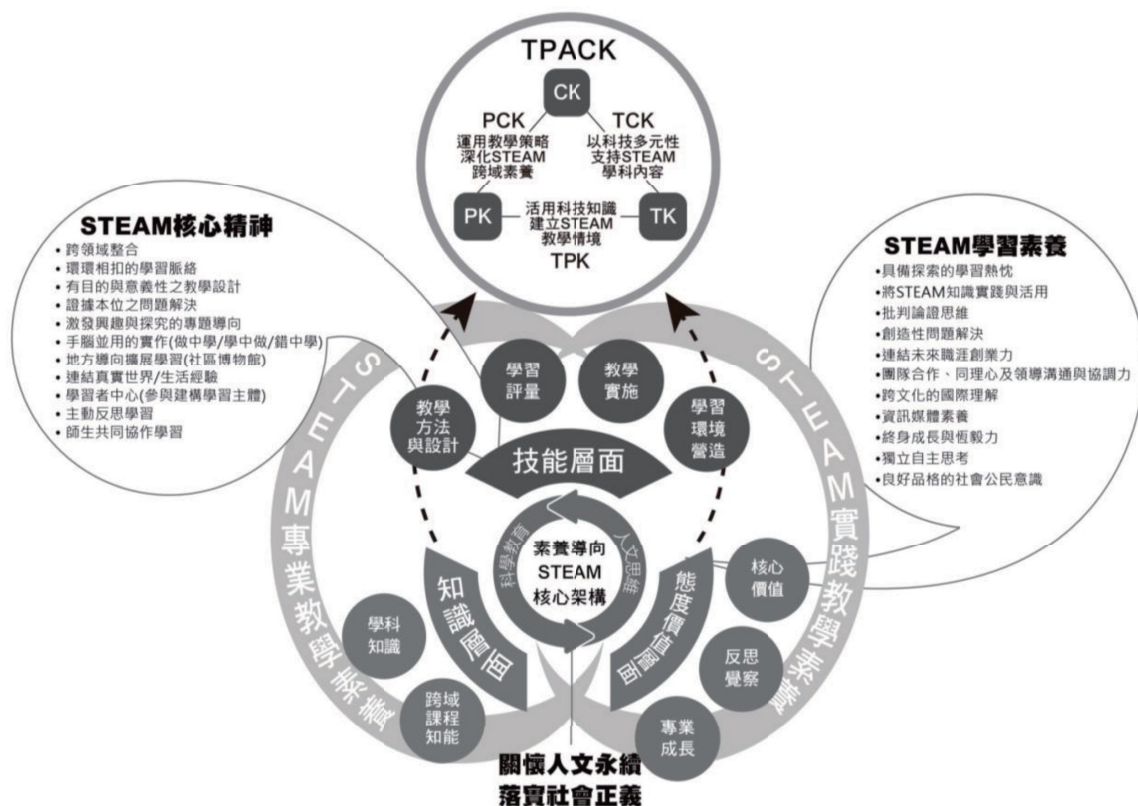


圖2：TPACK素養導向STEAM教學素養模式

以及知識、技能、態度與價值等三大面向和其九項內涵，作為本研究建構TPACK素養導向STEAM教學素養架構之參照。

表4整合TPACK與素養導向之STEAM教學素養內涵，可作為教師在進行STEAM教學時的參照架構。TPACK作為教師知識結構的概念架構，整合了學科內容、教學方法與科技知識，教師的STEAM素養需將STEAM視為一連續的專業教學系統，此系統中的素養內涵彼此關聯、前後牽引，如蜘蛛網般相互連結。依此循環路徑，學科知識(CK)的學習、理解和運用乃為基礎，故教師須具備多學科、跨領域及知識整合的能力，採用基於問題導向的教學引導，以教學法知識(pedagogical knowledge)作為路徑，據此

進行教學活動的設計，有別於傳統以教師為中心的講述式教學法，而轉向多元化的教學法，依據主題與學生學習特性設計活動，使學科知識有效呈現在課堂中並能掌握科技知識(TK)的原理原則作為轉化媒介，亦即，教師須對科技知識本身有一定熟悉度，具備掌握多樣科技的運用原理、原則及方法，發展出符應情境脈絡的使用能力及形成融會貫通的科技思維，在知識、能力及思維三者的相互作用下，促其充分瞭解學習的內容知識，得以評估學生學習過程中所需呈現的概念且加以轉化，並依據學習情況及場域脈絡，擬定學習目標、調整教學策略，以幫助學生建構知識。此種基於問題的學習與教學，其精神在於學生須透過合作，並能運用科技輔助

表4：整合TPACK與素養導向之STEAM教學素養內涵

STEAM專業教學素養		
層面	內涵	說明
知識層面	1.學科知識	專精一個以上的STEAM學科知識體系，掌握STEAM各領域學科知識體系及領域間的有機關聯，並能根據STEAM主題，從各學科核心概念、跨領域概念和創新實踐三個向度，有效連結其他學科的知識圖譜，進而強化STEAM學科思維的加乘與綜效。
	2.跨域課程知能	正確理解STEAM教育價值與精神，具備STEAM學科、跨域內容範疇及其所依循的相關知能，掌握STEAM跨域融合設計，具有分析組織及有效連結跨域內容知能，能透過良好證據本位專題設計，經由探究實作，增潤學生對跨域知識的提煉、建構、重組與整合優化，俾以構築跨域創意融合之實踐導向的動態知識體系。
技能層面	3.教學方法與設計	具備TPACK多元教學動態知能，能掌握轉化本身STEAM跨域融合的深層知識，從教學和學習二層面開展教學設計，實踐跨域教學中教師的多元角色。進而能依據STEAM主題目標、跨域內容範疇及其所依循的學習領域課程方案，呈現真實世界的現象，強調與生活的連結性，以專題探究問題為導向，靈活運用合適教學模式與多重鷹架策略，增進學生STEAM素養。
	4.學習評量	依據STEAM核心能力，確認多元族群、不同程度學生認知情意技能與文化先備知識，透過多元有意義的評量，應用即時反饋和適性化學習系統，如形成／總結性與個別自我發展檔案與同儕評量，掌握動態學習進程，確認教學過程中展現STEAM所有面向能力或學習指標是否達成。
STEAM實踐教學素養		
技能層面	5.教學實施	針對STEAM跨域融合體驗性、悅趣性、美感性、情境性、實作性、實踐性與小組協作性，設計出與STEAM任務解決相關聯的一系列整合學習體驗硬知識與軟技能學習和實踐活動，使學生體驗有目的、有意義地解決實際問題的學習過程，透過多元複合式的鷹架，促發學生主動地參與任務表現形態的活動，以增加獲取和擴展深化有關STEAM跨域相關的知識、技能和情意理解、轉移和適應。
	6.學習環境營造	建立安全關懷、適合開展STEAM探究氛圍之真實豐富學習環境，打造一種互惠式的個別化、自主性、與群組合作之實體與虛擬環境，能回應學生的多元自主學習與需求，透過不同科技輔助與鷹架輔助，豐富學生的知識建構，透過鼓勵和支持創新想像、設計思維的問題解決環境，激發STEAM情感興趣與認知投入，促發心智轉變，培養21世紀STEAM學習素養。
態度價值層面	7.核心價值	認同推展STEAM教育價值，強化高層次創意融合跨域能力與發展永續STEAM認知情意、行動與創新的問題解決能力，著重於思索價值信念、省思科技人性、創造文明對話與生態永續社會的人文藝術內涵，體認STEAM培養具有整全性關懷人文永續與落實社會正義之STEAM素養人才，學習面對與解決複雜的社會、經濟與環境的挑戰，思考個人對全球永續發展應有的社會責任。
	8.反思覺察	以自我導向永續專業成長的STEAM學習設計師自居，尋找STEAM課程設計著力點，強化TPACK-STEAM關聯，持續探研STEAM課程的設計思維和實務運作能力，搭建親師生學習型組織共同學習氛圍，以願景為核心的深層覺知，敏銳覺察實施STEAM相關教學問題，力求證據本位的教學成效，將問題意識轉化為實際行動進行探究，持續修練提升自身的教學專業。
	9.專業成長	教師藉由持續研習進修及提升教師本身對於教學上的信心與自我效能，於反思調整與重塑課程實施中，同時不斷地追求精進自我的專業成長，激化專業學習活水源頭，共創學習型、創新型與研究型TPACK-STEAM動態專業成長的教師系統。

資料來源：研究者自行整理。

表達，提出自己的解決方法，而教師亦須組成教師社群，依彼此專業提升自己的教學方法，在此歷程中，教師知識與外部教學／學習情境之間的互動，藉由科技設計與實施，結合其專業與STEAM教學所產生的綜效，學生即可透過教學的引導，整合運用他們的學科知識，達成跨域及內化的學習成效。

伍、結語

本研究經過相關文獻探討後，強調整合TPACK及素養導向觀點之STEAM教學素養架構，建構STEAM教學素養架構的層面及內涵，反映我國教師在STEAM教育發展上的期待。知識層面中，包含學科知識與跨域課程知能，使得教師在進入教學前，能先充實相關學科的原理原則，同時思考如何運用之以解決問題，以及釐清學科間的關係得以進行整合，甚至跨領域的結合，建立教師同儕間協同支援的精神及協助學生建構整體的知識觀；技能層面中，教師應適當結合科技以整合教學，此外家長、社區及地方的資源更需納入作為可用的教學資源，藉此活化課程，在透過探究與實作課程中，培養學生不同層次的能力(後設認知、自主學習、問題解決等)，亦能進行適當的多元評量，瞭解學生內在(身心)及外在(學習表現)狀況，同時也需要營造適合學習的環境，藉此達到更佳的學習成效；態度價值層面，期望現場教師能在教學歷程中，除了促進自我的專業成長外，更能培養學生認識及實踐STEAM教育的精神，發揮有別於STEM教育的特點，亦即能建立學生在永續發展、在地人文關懷、自我表達與美感方面的知能。

本文援引TPACK及素養導向的觀點進行STEAM教學素養內涵架構的建立，仍應進一步承做量化數據的信效度分析，以使內涵更臻

具嚴謹與客觀性；再則雖已盡力將內涵細目明瞭與具體化，但如何在教學現場中做出更精準的評估，瞭解教師進行STEAM教學的知識掌握度、技能展現狀況及價值態度的內在認識，仍需思考如何確實據以檢核。儘管如此，本研究彙整STEAM相關研究，對於作為STEAM素養導向教師教育的實踐策略，以助增進教師STEAM素養之落實必然具有一定之貢獻，期能助於未來進一步將架構內涵發展為指標，予以精緻修改並透過模糊德爾菲法及層級分析法，檢視指標的一致性與適切性。

本研究對教學的啟示有：一、於職前的師資培育階段養成對STEAM素養認知，以利STEAM素養導向教師教育與未來STEAM課程教育之推動；二、在教學實務現場上，引導教師在進行STEAM教學實踐時能有所依據，以評估自身對STEAM教育在課程、教學、評估與專業的素養知能。因此本文根據STEM/STEAM相關理論建構出的STEAM教學素養指標，期能作為未來在推動相關政策和實踐上的參考，並擬運用多元的研究方法，建立更具有整合性與前瞻性STEAM素養指標內涵建構，據以厚實精進中、小學教師STEAM素養的相關知能，在專業與實踐的雙重效應下，提升課程、教學、評量能力與自我成長。

最後，本研究的主要目的是將STEAM教育理念具體化，並整合TPACK的架構與素養導向的觀點，將指標具象化。然而，有鑑於科技資訊的高變動性，與當前STEAM教育的高發展性，STEAM教學素養內涵的架構需與時俱進，結合社會需求的變化進行調整，才能發展適切的教學素養架構。儘管如此，本研究綜整先前研究之結晶，系統化及架構化STEAM教學素養內涵，仍具有其重要價值。本研究STEAM教學素養指標可作為一

指導方針，據此作為未來設計師資培育之課程大綱，也可適當地因應調整不同教育階段的差異性，將該架構作為進入田野教學現場

觀察的工具，瞭解實務教學工作者如何進行STEAM教育理念的轉化，以驅使本研究之結果能符應教學現場的脈絡。

參考文獻

李佳蓉(2017)。從知識移轉觀論TPACK之不足。臺灣教育評論月刊，6(1)，141-148。

[Lee, C.-J. (2017). On the shortcomings of TPACK from the perspective of knowledge transfer. *Taiwan Educational Review Monthly*, 6(1), 141-148.]

吳清山(2018)。素養導向教師教育內涵建構及實踐之研究。教育科學研究期刊，63(4)，261-293。https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63(4).0009

[Wu, C.-S. (2018). Construction and practice of competency-based teacher education. *Journal of Research in Education Sciences*, 63(4), 261-293. https://doi.org/10.6209/JORIES.201812_63(4).0009]

林坤誼(2018)。STEM教育在臺灣推行的現況與省思。青年研究學報，21(1)，1-9。

[Lin, K-Y. (2018). Reflection on the current situation of STEM education in Taiwan. *Journal of Youth Studies*, 21(1), 1-9]

林曉凡、胡欽太、梁中梅(2018)。基於TPACK的STEM教育優化研究。中國電化教育，380，24-30。

[Lin, X., Hu, Q., & Liang, Z. (2018). Optimize design research on promoting developments of STEM education based on TPACK. *China Educational Technology*, 380, 24-30.

周坤億、楊淑晴、羅藝方、林佳弘(2022)。永續發展教育架構下STREAM跨領域教育之探究。課程與教學，25(2)，87-127。https://doi.org/10.6384/CIQ.202204_25(2).0004

[Chou, K.-Y., Yang, S.-C., Luo, Y.-F., & Lin, J.-H. (2022). Research on STREAM interdisciplinary education under the framework of education for sustainable development. *Curriculum & Instruction Quarterly*, 25(2), 87-127. https://doi.org/10.6384/CIQ.202204_25(2).0004]

財團法人資訊工業策進會(2018)。我國教育創新經營服務認證需求分析書。經濟部工業局。https://reurl.cc/KXYZLM

[Institute for Information Industry. (2018). *Woguo jiaoyu chuangxin jingying fuwu renzheng xuqiu fenxishu*. Industrial Development Bureau, Ministry of Economic Affairs. https://reurl.cc/KXYZLM]

張仁家、林癸妙(2019)。美國STEM教育的發展沿革與經驗——以俄亥俄州為例。科技與人力教育季刊，5(4)，1-25。https://doi.org/10.6587/JTHRE.201906_5(4).0001

[Chang, J.-C., & Lin, K.-M. (2019). A review of the U.S. STEM education—The experience and praxis of the state of Ohio. *Keji yu Renli Jiaoyu Jikan*, 5(4), 1-25. https://doi.org/10.6587/

JTHRE.201906_5(4).0001]

教育部(2014)。十二年國民基本教育課程綱要：總綱。https://reurl.cc/jRyAep

[Ministry of Education. (2014). *Curriculum guidelines of 12-year basic education: General guidelines*. https://reurl.cc/jRyAep]

陳怡倩(2017)。從STEAM的A來看美國STEAM教育。香港美術教育期刊，1，4-9。

[Cooper, Y. (2017). Cong STEAM de A lai kan meiguo STEAM jiaoyu. *Hong Kong Art Education Journal*, 1, 4-9.]

湯維玲(2019)。探究美國STEM與STEAM教育的發展。課程與教學，22(2)，49-78。https://doi.org/10.6384/ciq.201904_22(2).0003

[Tang, W.-L. (2019). Explore the development of STEM and STEAM education in the USA. *Curriculum & Instruction Quarterly*, 22(2), 49-78. https://doi.org/10.6384/ciq.201904_22(2).0003]

黃國禎(2020)。STEM/STEAM與跨學科教育的導入模式及教學策略。教育研究月刊，320，4-22。https://doi.org/10.3966/168063602020120320001

[Hwang, G.-J. (2020). Models and strategies of conducting STEM/STEAM and interdisciplinary education. *Journal of Education Research*, 320, 4-22. https://doi.org/10.3966/168063602020120320001]

楊瑞梅(2021)。STEAM教學能力檢核架構之建構研究。未出版之碩士論文。國立清華大學。

[Yang, J.-M. (2021). *Development of a STEAM teaching competency evaluation framework*. [Unpublished master thesis]. National Tsing Hua University.]

葉坤靈(2017)。由歐盟核心素養的評量省察我國中小學核心素養評量之相關議題。臺灣教育評論月刊，6(3)，7-14。

[Yeh, K.-L. (2017). You oumeng hexin suyang de pingliang xingcha woguo zhongxiaoxue hexin suyang pingliang zhi xiangguan yiti. *Taiwan Educational Review Monthly*, 6(3), 7-14.]

蔡政宏、謝文惠(2011)。應用科技內容教學知識(TPACK)理論架構發展資訊科技融入教學創新教學模式之啟示。新竹縣教育研究集刊，11，43-76。

[Tsai, J.-H., & Shie, W.-H. (2011). An exploratory study of information technology coordinating team by using technological pedagogical content knowledge model. *Journal of Educational Research Hsinchu County*, 11, 43-76.]

Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52(1), 154-168.

Anisimova, T. I., Sabirova, F. M., & Shatunova, O. V. (2020). Formation of design and research competencies in future teachers in the framework of STEAM education. *International*

- Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(2), 204-217. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i02.11537>
- Baek, E.-O., & Sung, Y.-H. (2021). Pre-service teachers' perception of technology competencies based on the new ISTE technology standards. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 37(1), 48-64. <https://doi.org/10.1080/21532974.2020.1815108>
- Baek, Y.-S., Park, H.-J., Kim, Y., Noh, S.-G., Park, J.-Y., Lee, J., Jeong, J.-S., Choi, Y.-H., & Han, H. (2011). STEAM education in Korea. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 11(4), 149-171.
- Belbase, S., Mainali, B. R., Kasemsukpipat, W., Tairab, H., Gochoo, M., & Jarrah, A. (2022). At the dawn of science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) education: Prospects, priorities, processes, and problems. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(11), 2919-2955. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1922943>
- Chan, K. K. H., Yeh, Y.-F., & Hsu, Y.-S. (2019). A framework for examining teachers' practical knowledge for STEM teaching. In Y.-S. Hsu & Y.-F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM teaching practices: From theoretical frameworks to practices* (pp. 39-50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7_3
- Corbett, T., Dumaesq, C. C., Barnaby, T., & Baumer, C. (2014). *The framework for integrative science, technology, engineering, & mathematics (STEM) education endorsement guidelines*. Pennsylvania Department of Education.
- Curriculum Development Council, Education Bureau (Hong Kong). (2016). *Promotion of STEM education: Unleashing potential in innovation*. <https://reurl.cc/eW11lm>
- Eckman, E. W., Williams, M. A., & Silver-Thorn, M. B. (2016). An integrated model for stem teacher preparation: The value of a teaching cooperative educational experience. *Journal of STEM Teacher Education*, 51(1), 71-82. <https://doi.org/10.30707/JSTE51.1Eckman>
- Fauth, B., Decristan, J., Decker, A.-T., Büttner, G., Hardy, I., Klieme, E., & Kunter, M. (2019). The effects of teacher competence on student outcomes in elementary science education: The mediating role of teaching quality. *Teaching and Teacher Education*, 86, Article 102882. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.102882>
- Gump, P. (1969). Reviews: Jackson, Philip W. Life in classrooms. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968. 177 + xi pp. *American Educational Research Journal*, 6(1), 109-112. <https://doi.org/10.3102/00028312006001109>
- Guyotte, K. W. (2020). Toward a philosophy of STEAM in the Anthropocene. *Educational Philosophy and Theory*, 52(7), 769-779. <https://doi.org/10.1080/00131857.2019.1690989>
- Guzey, S. S., Ring-Whalen, E. A., Harwell, M., & Peralta, Y. (2019). Life STEM: A case study of life science learning through engineering design. *International Journal of Science and*

- Mathematics Education*, 17(1), 23-42. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9860-0>
- Haesen, S., & Van de Put, E. (2018). *STEAM education in Europe: A comparative analysis report*. EuroSTEAM. <https://reurl.cc/Z1Vmk6>
- Han, H. (2015). The effect of STEAM course using co-teaching strategies on pre-service mathematics teachers' core competencies for STEAM. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 15(12), 283-317. <https://reurl.cc/nZ8l41>
- Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: Implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>
- Holmlund, T. D., Lesseig, K., & Slavitt, D. (2018). Making sense of "STEM education" in K-12 contexts. *International Journal of STEM Education*, 5, Article 32. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0127-2>
- Hwang, E.-H., & Baek, S.-G. (2008). A comparative research on the results between self-reported evaluation and experts' evaluation of practical teaching competence in secondary school. *Journal of Educational Evaluation*, 21(2), 53-74.
- Jolly, A. (2012). *12 Steps to great stem lessons*. <https://reurl.cc/nZvKGX>
- Kang, N.-H. (2019). A review of the effect of integrated STEM or STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) education in South Korea. *Asia-Pacific Science Education*, 5, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s41029-019-0034-y>
- Kim, B.-H., & Kim, J. (2013). Development of analysis framework for exploring PCK type in STEAM Education. *Korean Journal of Technology Education*, 13(2), 63-85. <https://reurl.cc/VRd2VZ>
- Kim, B.-H., & Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(7), 1909-1924. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1537a>
- Kim, S.-W., & Lee, Y. (2015). The analysis on research trends for STEAM education in Korea. In S. Carliner, C. Fulford, & N. Ostaszewski (Eds.), *Proceedings of EdMedia 2015—World conference on educational media and technology* (pp. 1800-1805). Association for the Advancement of Computing in Education.
- Kim, S.-W., Chung, Y.-L., Woo, A.-J., & Lee, H.-J., (2012). Development of a theoretical model for STEAM education. *Journal of The Korean Association for Science Education*, 32(2), 388-401. <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.2.388>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.
- Land, M. H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>

- Lattuca, L. R. (2003). Creating interdisciplinarity: Grounded definitions from college and university faculty. *History of Intellectual Culture*, 3(1). <https://reurl.cc/bGOe2l>
- Lloro-Bidart, T. (2015). A political ecology of education in/for the Anthropocene. *Environment and Society*, 6(1), 128-148. <https://doi.org/10.3167/ares.2015.060108>
- Merrill, C., & Daugherty, J. (2009). *The future of TE masters degrees: STEM*. The Meeting of the International Technology Education Association, Louisville, KY.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., & Stohlmann, M. S. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- Morales, M. P. E., Anito, J. C., Avilla, R. A., Abulon, E. L. R., & Palisoc, C. P. (2019). Proficiency indicators for Philippine STEAM (science, technology, engineering, agri/fisheries, mathematics) educators. *Philippine Journal of Science*, 148(2), 263-275.
- National Institute of STEM Education. (n.d.). *The national certificate for STEM teaching*. <https://reurl.cc/MXr6bL>
- Olofson, M. W., Swallow, M. J. C., & Neumann, M. D. (2016). TPACKing: A constructivist framing of TPACK to analyze teachers' construction of knowledge. *Computers & Education*, 95, 188-201. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.010>
- Park, H., Byun, S., Sim, J., Han, H., & Baek, Y. S. (2016). Teachers' perceptions and practices of STEAM education in South Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(7), 1739-1753. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1531a>
- Pears, A., Barendsen, E., Dagienė, V., Dolgopolas, V., & Jasutė, E. (2019). Holistic STEAM education through computational thinking: A perspective on training future teachers. In S. N. Pozdniakov & V. Dagienė (Eds.), *Informatics in schools. New ideas in school informatics: 12th International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives, ISSEP 2019, Larnaca, Cyprus, November 18-20, 2019, Proceedings* (pp. 41-52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9_4
- Pepper, D. (2011). Assessing key competences across the curriculum—And Europe. *European Journal of Education*, 46(3), 335-353. <https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2011.01484.x>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM

- teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Rahman, S. M. M., Krishnan, V. J., & Kapila, V. (2017, June). *Exploring the dynamic nature of TPACK framework in teaching STEM using robotics in middle school classrooms*. 2017 ASEE Annual Conference & Exposition, Columbus, OH. <https://doi.org/10.18260/1-2--28336>
- Santos, J. M., & Castro, R. D. R. (2021). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) in action: Application of learning in the classroom by pre-service teachers (PST). *Social Sciences & Humanities Open*, 3(1), Article 100110. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2021.100110>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2020). Developing a short assessment instrument for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK.xs) and comparing the factor structure of an integrative and a transformative model. *Computers & Education*, 157, Article 103967. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103967>
- Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, 4, Article 13. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0068-1>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.2307/1175860>
- So, H.-J., Ryoo, D., Park, H., & Choi, H. (2019). What constitutes Korean pre-service teachers' competency in STEAM education: Examining the multi-functional structure. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28(1), 47-61. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0410-5>
- Spyropoulou, N. D., & Kameas, A. D. (2020). Methodology for the development of a competence framework for STE(A)M educators. *European Distance and E-Learning Network Conference Proceedings*, 162-171. <https://doi.org/10.38069/edenconf-2020-ac0014>
- Srisawasdi, N. (2012). Fostering pre-service STEM teachers' technological pedagogical content knowledge: A lesson learned from case-based learning approach. *Journal of The Korean Association for Science Education*, 32(8), 1356-1366. <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.8.1356>
- Tang, S. Y. F., Wong, A. K. Y., Li, D. D. Y., & Cheng, M. M. H. (2020). Millennial generation preservice teachers' intrinsic motivation to become a teacher, professional learning and professional competence. *Teaching and Teacher Education*, 96, Article 103180. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103180>
- Taylor, P. C. (2016, August). *Why is a STEAM curriculum perspective crucial to the 21st century?* Research Conference 2016—Improving STEM Learning: What will It Take? Melbourne, Australia. <https://reurl.cc/Wq27k5>

- Teo, T., Unwin, S., Scherer, R., & Gardiner, V. (2021). Initial teacher training for twenty-first century skills in the Fourth Industrial Revolution (IR 4.0): A scoping review. *Computers & Education*, 170, Article 104223. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104223>
- Thompson, A. D., & Mishra, P. (2007). Breaking news: TPACK becomes TPACK! *Journal of Computing in Teacher Education*, 24(2), 38-64.
- Thuneberg, H. M., Salmi, H. S., & Bogner, F. X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.07.003>
- Tigelaar, D. E., Dolmans, D. H., Wolfhagen, I. H., & van der Vleuten, C. P. (2004). The development and validation of a framework for teaching competencies in higher education. *Higher Education*, 48, 253-268. <https://doi.org/10.1023/B:HIGH.0000034318.74275.e4>
- Tsybulsky, D., Milner-Bolotin, M., & Chachashvili-Bolotin, S. (2018, November). *STEM or S.T.E.M.? Challenging a traditional paradigm through innovative three-step approach to stem teacher education*. ICERI2018 Proceedings: 11th International Conference of Education, Research and Innovation. Seville, Spain. <https://doi.org/10.21125/iceri.2018.2069>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2009). *ICT competency standards for teachers: Policy framework*. <https://reurl.cc/Z16vyp>
- Yıldırım, B., & Topalcengiz, E. Ş. (2018). STEM pedagogical content knowledge scale (STEMPCK): A validity and reliability study. *Journal of STEM Teacher Education*, 53(2), Article 2. <https://doi.org/10.30707/JSTE53.2Yildirim>

Exploratory Study of STEAM Teaching Competency Connotation by Integrating TPACK and Competency-Orientation

Kun-Yi Chou¹, Shu-Ching Yang¹, Yi-Fang Luo^{2,*}

¹Institute of Education, National Sun Yat-sen University

²Graduate School of Human Sexuality, Shu-Te University

Abstract

At present, Taiwan's promotion of STEAM education is looking forward to establishing the foundation of the relationship among nature, society and human beings, emphasizing the importance of STEAM education for the cultivation of talent in the 21st century in the future. Therefore, it is of great significance to deeply discuss the STEAM teaching competency of teachers, especially focusing on thinking about values and beliefs, reflecting on the human nature of science and technology, creating civilized dialog and the humanistic and artistic connotation of an ecologically sustainable society with the aim of further improving the design ability of STEAM courses and teaching materials, and integrating and practicing with teaching methods in different fields. In view of the holistic and constructive viewpoints of TPACK and the developmental path of competency-based teacher education, this paper intends to define the meaning of STEAM teaching competency, refer to the relevant literature, and use TPACK combined with competency orientation as the theoretical basis to construct the STEAM teaching competency framework. The paper further proposes two classification frameworks of STEAM professional teaching competency and practical teaching competency and three dimensions of knowledge, skills, attitudes and values, including nine competency connotations of "subject knowledge, cross-domain curriculum knowledge, teaching methods and design, learning assessment, teaching implementation, learning environment creation, core values, reflection and awareness, and professional growth." It is hoped that initially exploring the framework of STEAM teaching competency can provide a basis for teachers to confirm their own teaching when preparing and implementing STEAM teaching and to explore and reflect on their own STEAM educational significance and practicality.

Key words: STEAM Education, TPACK, Competency-Based Instruction, Teacher Education, Teaching Competency

* Corresponding author: Yi-Fang Luo, a0989909301@gmail.com