

看見趨勢：機器人在科學 與 STEM 教育的角色及應用

黃國禎

國立臺中教育大學講座教授兼副校長

前言：從「俱身互動的教具」到「跨領域學習環境」

近年來，機器人逐漸進入科學教育現場，從早期作為輔助教具，到現在成為 STEM (science, technology, engineering, and mathematics；科學、科技、工程與數學)、運算思維、專題導向學習 (project-based learning, PBL) 與跨領域探究的重要媒介。機器人在 STEM 與科學教育中的重要性，不僅在於其作為程式設計或工程實作工具，更在於它能提供具體的「俱身互動」(embodied interaction) 學習經驗 (Su et al., 2025)。根據俱身認知理論 (embodied cognition theory)，學習並非只發生在大腦中的抽象符號處理歷程，而是與身體動作、感官經驗、物理環境及社會互動密切連結。當學生操作機器人、組裝零件、調整感測器、觀察機器人的移動軌跡，或透過程式控制機器人完成任務時，他們是在身體行動與環境回饋之間建構科學概念 (Farina, 2021)。例如，學生不只是理解「速度」、「距離」、「角度」與「因果控制」等抽象概念，而是透過機器人的移動、轉向、碰撞、偵測與修正，將這些概念轉化為可觀察、可操作、可反思的學習經驗。因此，機器人可被視為連結身體、工具與概念理解的媒介，使學生在動手做、即時觀察與反覆調整中發展問題解決、運算思維與跨領域整合能力。這也呼應近期機器人融入 STEM 教育的研究觀點：機器人能透過實體操作、協作任務與情境化問題解決，強化學生的學習參與、概念理解與高層次能力發展。

因此，在科學教育中使用機器人，重點不只是讓課程變得新奇有趣，而是讓學習者在真實任務中看見科學概念如何被應用。例如，學生可以透過 LEGO 或 Arduino 探究力、運動、感測、控制與工程設計，也可以透過機器人任務學習資料蒐集、模型修正與團隊合作。這樣的活動尤其適合培養 21 世紀的能力，包括創造力、批判思考、合作、溝通、問題解決、後設認知與科技素養。

本文嘗試透過歸納國際上對於機器人在科學教育應用的觀點，論述機器人融入 STEM 及科學教育的角色及應用方向。

機器人在科學教育應用的國際觀

從國際研究趨勢來看，機器人在科學教育中的應用已由早期的輔助教具，逐漸發展為支援 STEM 整合學習、運算思維培養、專題導向學習與高層次能力發展的重要教育科技。Chiu 等人（2024）回顧 1996 至 2020 年間 56 篇發表於 SSCI (Social Sciences Citation Index, 社會科學引文索引) 期刊的機器人應用於科學教育論文後指出，國際研究主要形成三個主題群：國小科學教育中的機器人、以機器人為基礎的 STEM 活動，以及機器人促進運算思維。這顯示機器人已不只是單一學科中的操作工具，而是被廣泛用於跨領域問題解決、程式控制、合作探究與科學概念具體化。Darmawansah 等人（2023）的系統性回顧亦指出，robotics-based STEM education 多集中於 K-12 教育情境，LEGO 是最常見的工具，專題導向學習是最常被採用的教學策略，而學習與可遷移能力則是最主要的教育目標。進一步而言，近期研究已將機器人教育與 21 世紀核心能力、性別平等、教育背景差異與永續發展目標連結起來。Su 等人（2025）指出，機器人融入 STEM 教育不僅有助於培養學生的 7C 能力，也需要關注學習態度、學習滿意度、性別與教育背景等因素，以促進更具包容性與公平性的 STEM 學習環境。其中 7C 核心能力指的是創造力 (creativity)、批判思考 (critical thinking)、合作 (collaboration)、溝通 (communication)、問題解決 (problem-solving)、後設認知 (metacognition) 與科技素養 (technological literacy) 等 21 世紀關鍵能力。整體而言，國際觀下的機器人科學教育已從「是否有效」的工具導向，逐步轉向「如何設計有意義的學習經驗」的教學導向，強調透過真實任務、身體操作、社會互動與反思歷程，培養學生面對複雜科技社會所需的跨領域素養。

機器人在科學教育的應用趨勢

由研究發表看，共有下列七個應用趨勢：

一、科學教育機器人應用快速成長

1996 - 2010 年間，科學教育機器人研究數量仍相當有限；2011 年後，隨著教育科技、STEM 教育與機器人平台逐漸成熟，研究數量開始增加。2016 -- 2020 年是成長最明顯的階段，共有 42 篇研究發表。這顯示機器人應用於科學教育已從零星創新實驗，逐漸成為教育科技與科學教育研究的重要議題。

二、應用主題逐漸成形

關鍵字分析顯示，科學教育機器人應用大致可分為三個主題群：國小科學教育中的機器人、以機器人為基礎的 STEM 活動，以及機器人促進運算思維。這三個主題反映了機器人教育的發展路徑：從提高學習參與與具體操作開始，逐漸走向跨領域 STEM 任務，最後延伸到程式設計、除錯與運算思維培養。

三、跨領域應用最普遍，但學科深度仍需補強

在應用領域方面，Chiu 等人（2024）指出，跨領域應用，尤其是 STEM 教育，最為普遍，其次是一般科學教育與電腦科學教育。Darmawansah 等人（2023）也發現，在 R-STEM（robotics-based STEM education，機器人導向 STEM 教育）研究中，科技／程式設計是最主要的內容焦點，而科學、工程與數學雖然也被納入，卻常扮演支援或情境化角色。這表示現有研究多能促進跨領域統整，但仍需進一步深化特定科學概念與工程設計概念的學習品質。

四、多元參與及創造力議題需要被重視

現有應用多著重於證明機器人是否能提升學習成就、學習動機、學習態度或學習興趣，但較少深入探討不同性別、年齡、文化背景、能力差異或弱勢學生如何參與機器人學習。Su 等人（2025）補充指出，包容性機器人 STEM 課程有助於降低性別落差並促進女性參與 STEM，同時也提醒教師必須注意不同教育背景學生的支架需求。

五、由「工具」到「學習同伴」的角色轉移

在機器人角色方面，機器人最常扮演「工具」的角色。學生透過操作機器人進行探究、測試、設計與解決問題，符合科學教育重視主動探究與實作的特性。然而，文獻也指出機器人可扮演教師、學習夥伴或被教導者。若能讓學生「教機器人」、與機器人共同完成任務，或比較不同機器人回饋形式，將能促進更深層的解釋、反思與後設認知。

六、專題導向學習最常被採用

專題導向學習是最常見的教學策略。Darmawansah 等人（2023）指出，在 39 篇 R-STEM 研究中，PBL 是最常被採用的教學介入方式，其次包含問題導向學習與寓教於樂活動。這與機器人學習的特性相符，因為機器人任務通常需要學生在較長時間內完成規劃、設計、實作、測試、除錯與成果展示。

七、由認知與情意的評量到學習歷程分析

在評量方式方面，常見方法包含問卷、觀察、訪談與作品評量。這些方法有助於了解學生的學習態度、動機、科技接受度、自我效能、學習經驗與學習成效。然而，若要更完整理解學生如何在機器人任務中發展問題解決與運算思維，未來應增加過程資料，例如錄影分析、程式歷程、除錯紀錄、同儕互動、眼動或腦波等多元資料。

建議

一、機器人不只是工具，而是學習生態的一部分

機器人的教育價值並不等於機器人本身的功能多寡。若課程只是讓學生「照著步驟組裝」或「完成指定程式」，學習很容易停留在操作層次。相反地，若教師能設計具挑戰性的真實問題，讓學生運用科學概念解釋機器人行為、利用數學資料進行判斷、透過工程設計改善結構，並以程式控制進行測試，機器人才會成為跨領域知識整合的媒介。

二、PBL 與經驗學習可作為課程架構的重要元素

Darmawansah 等人（2023）指出 PBL 是 R-STEM 研究中最常見的教學介入；Su 等人（2025）則以 Kolb（2014）的經驗學習理論說明機器人 STEM 活動可包含具體經驗、反思觀察、抽象概念化與主動實驗四個循環階段。這兩者可以整合為一個實用的教學架構：先從真實問題出發，讓學生以機器人進行具體操作；接著引導學生記錄現象與失敗原因；再回到科學概念與程式邏輯進行抽象化；最後重新設計、測試與展示。

三、程式設計是重要的教育目標，但不應取代科學探究

目前 R-STEM 研究中，程式設計與控制是最常見的內容焦點。這具有合理性，因為機器人需要透過程式才能運作，學生也能在除錯過程中發展運算思維。然而，若課程過度偏向程式技巧，可能使科學概念被邊緣化。教師在設計任務時可明確標示「科學概念目標」與「程式控制目標」之間的對應，例如利用光感測器理解光強度、利用超音波感測器討論距離量測、利用馬達控制探討速度與摩擦。

四、性別與教育背景不是附帶變項，而是設計考量

Su 等人（2025）發現，性別在部分學習需求上沒有顯著差異，但教育程度與學習態度會影響 7C 能力表現。這提醒教師不應預設男生一定更擅長機器人或程式，也不應

忽略高低年級、不同背景學生在先備知識與自我效能上的差異。課程設計應提供多層次任務、分段式提示、可視化範例與同儕合作機制，使不同背景學生都能在挑戰中逐步建立成功經驗。

五、評量應從「結果評分」走向「歷程分析」

傳統評量常著重最後作品是否成功，但機器人學習的價值往往出現在失敗、除錯、協商與修正的過程中。若學生能說明為什麼機器人沒有依預期行動，如何根據資料或觀察修正程式，如何與同儕協商不同設計方案，這些都代表重要的學習成果。因此，建議採用作品、歷程檔案、學習單、口頭說明、反思札記與同儕互評等多元評量方式，並對應 7C 能力建立明確規準。

六、以 7C 為導向的機器人 STEM 活動設計

表 1 以 7C 核心能力為導向，整理機器人融入 STEM 教學時可採用的活動設計架構。此表將課程流程分為問題情境、概念連結、設計與實作、測試與除錯，以及發表與反思五個階段，並分別說明教師任務、學生任務與可評量的核心能力。透過此架構，教師可避免將機器人課程簡化為工具操作，而是將機器人活動設計為結合科學概念、工程設計、程式控制、合作探究與反思評量的完整學習歷程。

表 1

以 7C 核心能力為導向的機器人 STEM 活動設計架構

設計階段	教師任務	學生任務	可評量的 7C 能力
問題情境	提出真實且有意義的科學在生活中應用的問題，例如自動避障、環境監測、健康照護或節能任務。	理解問題條件，討論可行策略，提出初步設計想法。	問題解決、溝通、批判思考
概念連結	明確連結科學概念、數學表示、工程限制與程式控制。	把任務拆解為感測、判斷、控制與回饋等子問題。	運算思維、後設認知
設計與實作	提供材料、範例與安全規範，安排小組分工。	組裝機器人、撰寫程式、測試感測器與馬達控制。	合作、科技素養、創造力
測試與除錯	引導學生記錄失敗現象與可能原因。	根據資料修改結構或程式，進行多次測試。	批判思考、問題解決、後設認知
發表與反思	安排成果展示、同儕提問與教師回饋。	說明設計理念、科學依據、程式邏輯與改進方向。	溝通、合作、創造力

例如，在 STEM 活動中，教師可讓學生設計一個「提醒行動或偵測環境狀態」的機器人。學生需先理解情境需求，再選擇合適感測器與控制方式，最後以資料和觀察證據說明作品如何解決問題。這樣的任務不僅能培養程式與工程能力，也能連結 SDG 4 所強調的優質教育，以及 SDG 5 所強調的性別平等與包容性參與。

結論

整體而言，機器人已成為科學教育中具有潛力的學習媒介。它能將抽象的科學與科技概念轉化為具體的操作經驗，也能促進學生在設計、實作、測試與修正中發展問題解決能力。從 1996 年至 2020 年的研究趨勢來看，機器人教育已從早期的輔助工具，逐漸發展為 STEM 教育、運算思維與跨領域探究的重要平台。然而，機器人本身並不會自動帶來良好學習成效。真正關鍵的是教師如何設計有意義的學習任務、如何引導學生觀察與反思、如何安排合作與討論，以及如何運用多元評量了解學生的學習歷程。若能結合 PBL、經驗學習、社會建構觀點、包容性設計與 7C 能力評量，機器人教育將不只是科技課程的一部分，更能成為培養未來公民科學素養與跨域問題解決能力的重要途徑。

對教師與研究者而言，機器人應用於科學教育的核心不應停留在「教學生操作工具」，而應轉向「運用工具促進科學理解與能力發展」。教師在設計機器人課程時，可先確認欲培養的科學概念、探究能力與跨領域素養，再選擇合適的機器人平台、感測器、程式設計任務與問題情境。對課程設計者而言，STEM 不應只是科學、科技、工程與數學活動的簡單拼貼，而應明確安排各學科之間的功能關係，例如以科學概念解釋現象、以數學資料支持判斷、以工程設計回應限制，並透過程式控制將想法轉化為可執行的行動。對研究者而言，未來研究可更重視學習者差異、長期學習歷程、課堂互動、失敗與除錯經驗，以及教師如何依不同學生需求與教學情境提供支架。對政策制定者與學校而言，推動機器人教育不應只聚焦於設備採購，更需要同步投資教師專業發展、教材與評量工具設計，以及支持跨領域教師共同備課與實踐的專業社群。

參考文獻

- Chiu, M.-C., Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2024) . Roles, applications, and research designs of robots in science education: A systematic review and bibliometric analysis of journal publications from 1996 to 2020. *Interactive Learning Environments*, 32 (5) , 1834–1859. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2129392>
- Darmawansah, D., Hwang, G.-J., Chen, M.-R. A., & Liang, J.-C. (2023) . Trends and research foci of robotics-based STEM education: A systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *International Journal of STEM Education*, 10, Article 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>
- Farina, M. (2021) . Embodied cognition: dimensions, domains and applications. *Adaptive Behavior*, 29 (1) , 73-88.
- Kolb, D. A. (2014) . *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT press.
- Su, W.-S., Hwang, G.-J., Yin, C., & Chang, C.-Y. (2025) . Exploring gender and educational background effects on 21st-century competencies in robot-integrated STEM education: The role of learning attitudes and satisfaction. *Educational Technology & Society*, 28 (4) . [https://doi.org/10.30191/ETS.202510_28\(4\).SP11](https://doi.org/10.30191/ETS.202510_28(4).SP11)

