

以 SolidWorks Composer 建構高成本設備操作之互動式虛擬訓練系統與人才 培育模型建構

An Interactive Virtual Training System for High-Cost Equipment Operation Using SolidWorks Composer and a Talent Cultivation Model

賴綢縈^{1*}, 賴嘉均², 楊啟禮³, 賴嘉宏³, 周育樂¹

¹逢甲大學 工業工程與系統管理學系

²臺灣臺中科技大學智慧工程虛實學習辦公室

³臺灣勤益科技大學智慧自動化工程系

* p10000093@o365.fcu.edu.tw

【摘要】隨著高科技產業邁向數位轉型，技術傳承與高成本設備訓練面臨高風險與低效率之挑戰。本研究提出以 SolidWorks Composer 為核心之互動式虛擬訓練系統，並結合成果導向教育（OBE）理念，建構跨領域人才培育模型。系統採三層式架構，整合 3D 操作、分解動畫、步驟導引與互動式 BOM 等功能，支援設備操作訓練與預訓練應用，並形成「虛擬預訓練—實體操作」之學習流程。相較傳統實體訓練，本系統可降低設備損耗風險、提升訓練效率，並強化技術傳承之標準化。初步應用觀察顯示，學習者對設備結構與操作流程之理解有所提升。本研究亦探討其於機電整合、重型機具與無塵室設備之應用潛力，並指出虛實落差與教學設計等限制，未來可結合人工智慧進行學習分析與即時回饋，以提升學習成效。

【關鍵字】虛擬訓練；SolidWorks Composer；互動式學習；工程教育；技術傳承

Abstract: Abstract: This study proposes an interactive virtual training system for high-cost equipment using SolidWorks Composer, integrated with Outcome-Based Education (OBE). The system adopts a three-layer architecture and includes 3D manipulation, exploded animation, step-by-step guidance, and interactive bill of materials (BOM) to support training and pre-training, forming a “virtual pre-training–physical operation” learning process. Compared with traditional training, it reduces equipment risks and improves efficiency. Initial observations indicate improved understanding of equipment structure and procedures. The system shows potential for applications in mechatronics, heavy machinery, and cleanroom environments. Future work may integrate artificial intelligence for learning analytics and real-time feedback.

Keywords: Virtual Training, SolidWorks Composer, Interactive Learning, Engineering Education, Knowledge Transfer

1. 前言

隨著全球製造業與高科技產業快速邁向數位轉型，教育與訓練模式亦逐漸由傳統知識傳遞，轉向強調跨領域整合與系統思維之能力培養。在人工智慧（AI）、人機互動（HCI）及智慧製造技術發展的驅動下，學習者不再僅為被動接收者，而需具備操作複雜系統與解決實務問題之能力。此一轉變亦促使工程教育與產業培訓逐步朝向情境化學習與實作導向之教學模式發展。

然而，在高成本設備操作訓練情境中，傳統教學方式仍面臨多項限制。首先，實體設備價格昂貴且操作風險高，使得學習者可實際操作之機會有限；其次，設備操作過程多依賴專家經驗傳承，缺乏系統化與標準化之教學工具，易造成學習落差；此外，在操作初期，學習者常因對設備結構與流程不熟悉，而產生較高之錯誤率與學習壓力。上述因素皆影響訓練效率與學習成效，增加教學與管理之成本。

在此背景下，本研究以高成本設備操作訓練為情境，結合 3D 互動技術與數位教材設計，提出一套基於 SolidWorks Composer 之互動式虛擬訓練系統，並建構對應之人才培育模型。透過虛擬環境模擬設備操作流程，學習者可在無實際風險之情境下進行預先演練，逐步建立對設備結構與操作程序之理解。

此研究呼應「科技支持的創新學習設計」之理念，強調設計實作、互動學習與系統整合之應用。數位科技已被證實可促進深度學習與知識建構 (Dede, 2014)，而設計導向學習亦有助於培養問題解決與實作能力 (Kolodner, 2002)。在此基礎上，本研究進一步結合虛擬訓練技術與教學設計，發展具應用價值之訓練模式，並嘗試建立一套兼具技術實現與教學意涵之整合架構。

綜上所述，本研究之目的在於透過虛擬訓練系統之設計與應用，提升高成本設備訓練之效率與安全性，並探討其在工程教育與產業培訓中的應用潛力，作為未來數位學習與智慧訓練發展之參考依據。

2. 背景與動機

隨著高科技產業持續推動數位轉型，工程教育與在職訓練模式亦逐漸由傳統知識傳遞，轉向強調系統思維與實務操作能力之培養。在此趨勢下，學習者不僅需要理解設備結構，也需具備操作複雜系統與解決實務問題之能力。

在高科技產業中，技術傳承始終是一項重要課題。隨著資深技術人員逐步退出職場，許多屬於隱性知識 (Tacit Knowledge) (Polanyi, 1966) 之操作經驗，往往難以被完整記錄與有效傳遞。依據知識創造與傳遞相關理論 (Nonaka & Takeuchi, 1995)，如圖 1 所示，知識由來源 (Source) 傳遞至接收者 (Recipient) 的過程，會受到知識特性、傳播能力 (Disseminative Capacity) 與吸收能力 (Absorptive Capacity) 等因素影響，並同時受到組織情境 (Organizational Context) 之限制。當知識高度依賴經驗時，其傳遞難度將進一步提升，進而影響技術傳承之效率。

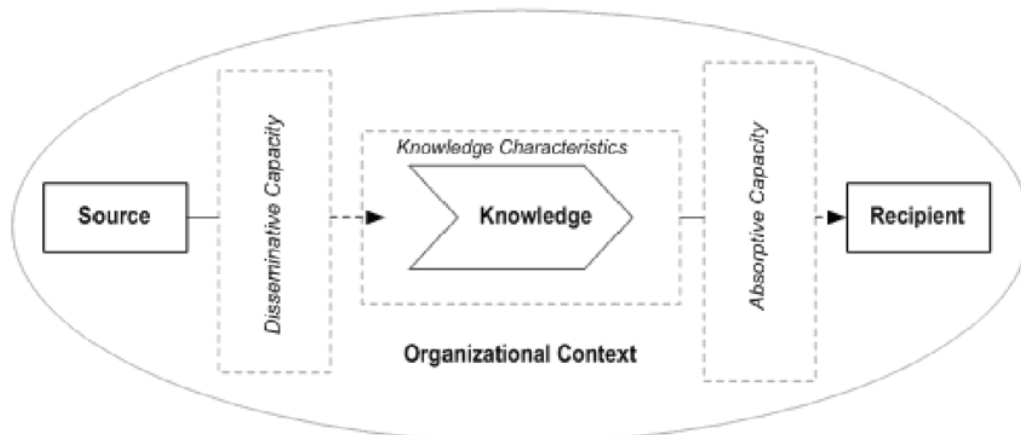


圖 1 知識傳遞模型 (改編自 Szulanski, 1996)

由上述知識傳遞模型可知，當技術知識高度依賴個人經驗時，其轉化與外顯化過程將面臨困難，特別是在缺乏系統化教學工具之情況下，學習者難以有效吸收與應用相關知識。此外，

在高成本設備訓練情境中，實體操作機會受限，使得知識傳遞過程更易中斷，進一步影響學習成效與技術傳承效率。

另一方面，傳統以實體操作為主之設備訓練，在高成本設備情境下，常面臨設備損耗風險高、訓練成本增加及作業安全風險等問題。如圖 2 所示，實體訓練過程中容易形成一種負向循環：設備損耗導致訓練成本上升，進而限制訓練機會；操作不熟悉則增加操作錯誤，進一步提高作業安全風險，最終又回饋至設備損耗，形成持續惡化之循環。此一現象不僅增加企業訓練負擔，也限制了訓練規模與效率。

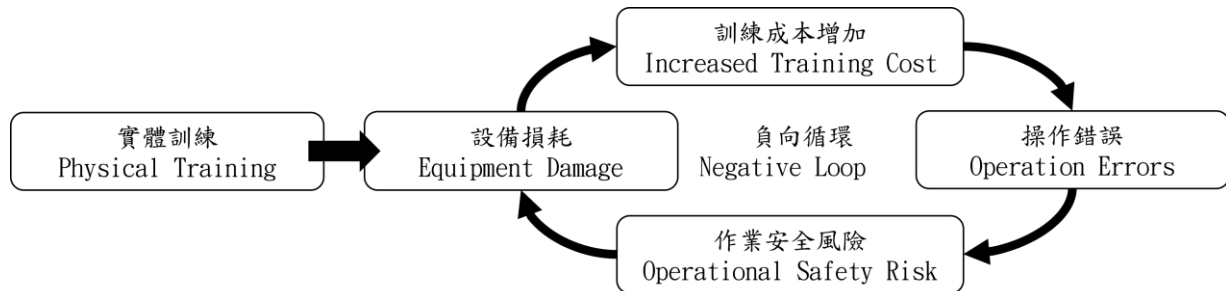


圖 2 傳統實體訓練之問題循環示意圖（本研究整理）

近年來，虛擬訓練技術逐漸被應用於工程教育與產業培訓中（Radianti et al., 2020; Jensen & Konradsen, 2018），其可提供低風險且可重複之學習環境，有助於提升學習者之操作熟悉度。然而，多數虛擬訓練系統仍面臨開發成本高與建置流程複雜等限制，降低其在教育現場的應用可行性。

基於上述背景，本研究以高成本設備操作訓練為情境，建構一套以 SolidWorks Composer 為核心之互動式虛擬訓練系統，並結成果導向教育（OBE）理念，發展相應之人才培育模型。透過數位互動技術與教學設計之整合，期望在降低訓練風險的同時，提升訓練效率，並促進技術傳承之標準化與系統化發展。

本研究之主要動機如下：

- (1) 降低高成本設備訓練之風險與成本
- (2) 建立可快速開發之互動式虛擬訓練系統
- (3) 強化工程教育與數位內容整合之應用能力

3. 系統設計

本研究所提出之互動式虛擬訓練系統，以高成本設備操作訓練為應用情境，並以 SolidWorks Composer 為核心開發工具，建構具互動性與教學導向之數位訓練平台。為提升系統之模組化與可維護性，系統採三層式架構設計，其整體架構如圖 3 所示。

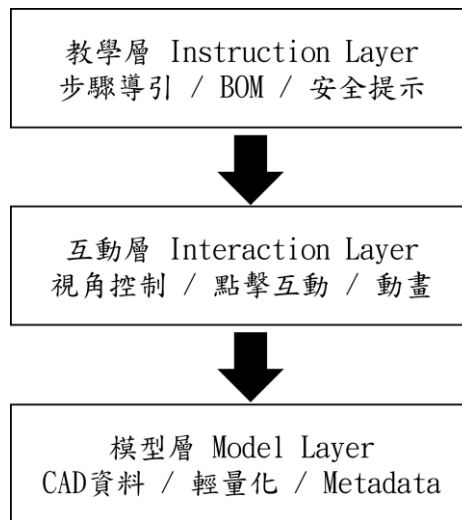


圖 3 系統三層式架構圖（本研究整理）

系統由模型層（Model Layer）、互動層（Interaction Layer）與教學層（Instruction Layer）構成，各層分別負責不同功能模組，並透過分層設計達成功能整合與系統解耦。

3.1 開發工具與設計原則

本研究選用 SolidWorks Composer 作為虛擬訓練系統之主要開發工具，其可直接讀取 CAD 資料，並保留設備幾何結構與中繼資料，同時支援輕量化模型轉換與視覺化內容建構。相較於需透過遊戲引擎進行模型轉換之方式，此工具可降低開發流程之複雜度，並提升系統建置效率。

系統設計原則包含以下三項：

- （1）資料一致性：確保虛擬模型與實體設備在幾何與屬性上的對應關係
- （2）互動直覺性：降低使用者操作負擔，提升學習體驗
- （3）教學導向性：將操作流程轉化為具引導性的學習內容

3.2 三層式系統架構設計

本系統採三層式架構設計，將功能區分為模型層、互動層與教學層，以提升系統之擴充性與維護效率。

（1）模型層（Model Layer）

模型層為系統基礎，主要負責 CAD 資料匯入、模型輕量化處理及中繼資料（Metadata）管理。透過保留設備幾何結構與裝配關係，建立與實體設備一致之虛擬模型，作為後續互動與教學應用之基礎。

（2）互動層（Interaction Layer）

互動層負責使用者與虛擬模型之操作互動，包含視角控制、選取操作與動畫呈現等功能。使用者可透過旋轉、縮放與平移等方式檢視設備內部結構，並透過互動操作觸發零件高亮與透明化效果，以提升空間理解能力（Norman, 2013）。

（3）教學層（Instruction Layer）

教學層為系統之核心學習模組，負責整合步驟導引、互動式 BOM 與安全提示等教學內容。透過將複雜操作程序拆解為序列化步驟，並搭配視覺提示與說明資訊，使學習者能逐步理解設備操作流程與安全規範（Wood et al., 1976）。

透過三層式架構之分層設計，系統可將資料處理、使用者互動與教學內容加以區隔，使各模組具備相對獨立性。此一設計不僅有助於系統後續維護與擴充，亦可提升不同教學情境下

之應用彈性，使系統能依據教學需求進行功能調整與整合。此類分層式架構設計亦常見於系統開發與軟體工程領域，有助於提升系統之模組化與可維護性。

3.3 核心功能設計

本系統之核心功能依據三層式架構進行整合，主要包含以下項目：

- (1) 3D 自由操作與透視檢視：提供多視角觀察功能，並透過透明化機制檢視設備內部結構
- (2) 動態分解與組裝動畫：呈現設備拆裝流程，協助理解零件間之空間關係與作業順序
- (3) 步驟式操作引導：將複雜操作程序轉化為序列化步驟，以降低認知負荷
- (4) 互動式零件辨識 (BOM)：透過零件與清單連動，強化名稱與結構之對應關係
- (5) 局部放大 (Digger) 與安全提示：針對關鍵細節進行放大顯示，並提供作業安全警示

上述功能整合 3D 互動與教學導引，有助於提升學習者之空間認知能力與程序性記憶，並支持訓練歷程與學習理解 (Prince, 2004)。

3.4 系統功能與學習理論對應

為進一步說明系統設計之教學基礎，本研究將核心功能與相關學習理論進行對應分析。如圖 4 所示，本研究將系統功能、學習理論與教學成效整合為一概念模型，用以說明虛擬訓練系統如何透過特定學習機制影響學習結果。

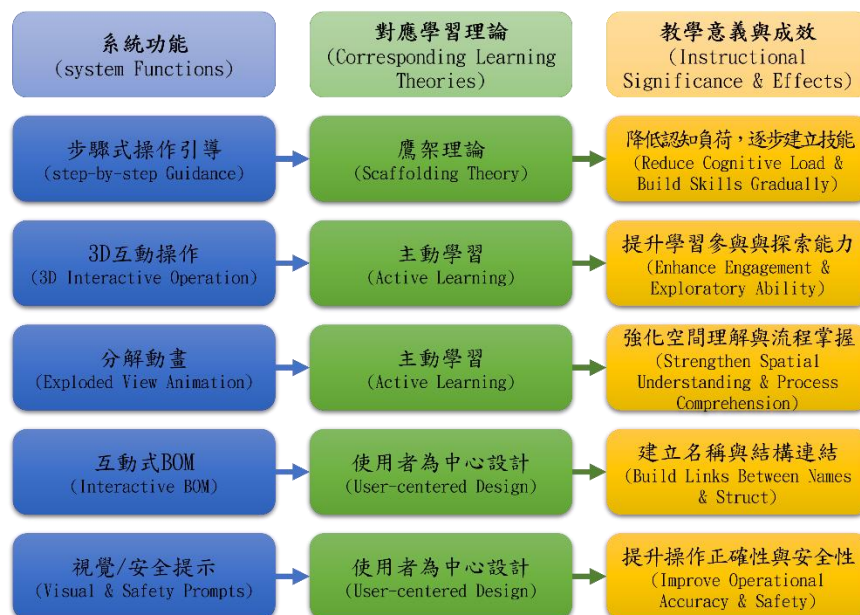


圖 4 系統功能與學習理論對應關係 (本研究整理)

步驟式操作引導透過將複雜任務拆解為序列化步驟，對應鷹架理論 (Scaffolding)，可逐步降低學習者之認知負荷 (Wood et al., 1976)，並協助學習者在有限的認知資源下逐步建立操作技能。3D 互動操作與分解動畫使學習者能主動探索設備結構，符合主動學習 (Active Learning) 之理念，有助於提升學習參與與理解 (Prince, 2004)，並促進學習者透過操作經驗進行知識建構。此外，互動式 BOM 與視覺提示設計則強化人機互動體驗，對應以使用者為中心之設計原則 (Norman, 2013)，有助於建立零件名稱與結構之連結，並提升操作過程之準確性與安全性。

整體而言，上述功能透過不同學習機制 (如認知負荷調節、主動參與與視覺輔助) 影響學習歷程，進而促進空間理解與程序性記憶之形成。透過此一對應關係，系統功能與教學理論形成一致之設計邏輯，使本系統除技術應用外，亦具備明確之教學設計意涵。

此外，此一概念模型亦可作為後續教學設計與系統擴充之依據。透過明確界定系統功能與學習機制之對應關係，可協助教學設計者在不同應用情境中進行功能選擇與調整，並提升虛擬訓練系統之設計一致性與可延展性。

4. 應用場景

本研究所建構之互動式虛擬訓練系統，可應用於多種高成本設備之操作訓練情境（Salas et al., 2009），主要包含以下三類：

（1）機電整合設備訓練：透過 3D 互動與系統拆解功能，協助學習者建立設備整體架構與訊號流之理解，進而提升系統層級之認知能力。此類應用特別適用於結構複雜且涉及多模組整合之設備，可降低學習者在初期理解系統架構時之困難。

（2）重型機具操作訓練：針對具高風險之操作環境，透過虛擬模擬進行操作流程演練，以降低實際作業過程中之工安風險。透過事前演練，學習者可在無實際風險之情境下熟悉操作流程，有助於減少錯誤操作所造成之潛在損害。

（3）無塵室設備預訓練：於進入實際無塵室環境前，先進行虛擬操作訓練，以提升操作熟悉度，並減少實體設備操作時間與錯誤發生之可能性。此一應用亦可降低環境進出成本與設備污染風險。

在教學應用上，以機電整合設備課程為例，學習者可先透過系統進行預訓練，熟悉設備結構與操作流程，再進入實體設備進行實作操作。整體學習流程可概括為：預訓練（虛擬操作）→步驟理解→互動演練→實體操作，逐步建立操作能力。此一流程有助於降低初學者對複雜設備之操作焦慮，並提升其對實際操作情境之適應能力。

在實際教學情境中，以設備拆裝教學為例，學生可先於虛擬環境中觀察設備結構與組裝關係，並透過分解動畫理解各零件之位置與功能。接續透過步驟式引導進行模擬操作，熟悉作業流程後，再進入實體設備進行實作。此一流程有助於降低初學者對複雜設備之操作焦慮，並提升實體操作之準確性與穩定性。其教學應用流程如圖 5 所示。

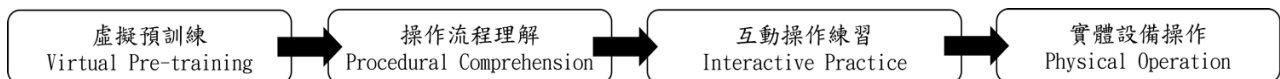


圖 5 教學應用學習流程（本研究整理）

為使系統更貼近實際教學情境，本研究進一步將其融入課程設計中。學生首先透過虛擬系統進行預訓練，建立基本操作概念；接續進入互動演練階段，依據系統提供之步驟導引與動畫進行操作練習；最後再進入實體設備進行實作驗證。此一「虛擬預訓練—互動演練—實體操作」之教學模式，有助於降低學習初期之不確定性，並提升操作信心與安全意識，亦使學習歷程由抽象理解逐步轉化為具體操作能力。

此外，本研究導入預訓練（pre-training）機制，使學習者於實機操作前先完成虛擬環境中的操作演練，有助於降低設備損耗風險，並提升訓練效率。從學習歷程角度觀之，此機制可視為正式操作前之準備階段，有助於強化學習者之先備知識與操作信心。透過虛擬與實體操作之銜接，學習歷程亦更具連貫性與實務性。

在初步應用觀察中，學生於進入實體操作前，多能說明設備主要構成與基本操作流程，顯示其對系統結構已有初步理解。另一方面，教師觀察到學生在實體操作初期之操作猶豫與錯誤次數相較以往有所降低，顯示虛擬預訓練在建立操作信心與降低學習門檻方面具有一定效果。進一步而言，學習者在操作過程中較能依循既定流程進行作業，顯示其程序性記憶已初步形成。雖本研究尚未進行量化分析，但上述觀察結果顯示本系統於教學應用上具備發展潛力，亦為後續進行學習成效評估提供初步依據。

5. 討論

本研究所提出之互動式虛擬訓練系統，以低成本且具互動性之設計，對於改善傳統高成本設備訓練所面臨之限制，展現其於工程教育與產業培訓中的應用潛力。然而，仍有若干議題有待進一步探討。

(1) 缺乏大規模實證數據：

本研究目前以系統建構為主，尚未進行大規模使用者實驗。未來仍需透過學習成效評估與操作表現分析，以進一步驗證系統之應用效益。在評估設計上，可納入前後測比較、操作時間、錯誤率及學習滿意度等指標，以量化分析虛擬訓練對學習成效之影響。

(2) 虛擬與實體操作之落差：

虛擬訓練在觸覺回饋與實際操作經驗上仍存在差異，可能影響技能轉移之效果。未來可透過結合實體操作或發展混合式訓練模式加以補強，以提升學習成果之轉移性。

(3) 教學設計之持續優化：

虛擬訓練系統之成效除取決於技術實現外，亦與教學內容設計密切相關。步驟拆解、提示呈現與互動引導等設計，仍需透過反覆測試與修正，以提升整體學習品質。

綜合上述討論，本研究所提出之系統雖已具備初步應用基礎，但其教學成效仍有賴進一步實證研究加以驗證。透過系統化之評估設計與資料分析，可更具體說明虛擬訓練對學習歷程與操作能力之影響，並作為後續系統優化與教學設計調整之依據。

此外，為補足缺乏實證數據之限制，本研究於初步階段採用專家評估方式，對系統設計與人才培育模型之合理性進行初步檢視。

在系統發展方面，未來可進一步記錄學習者於系統中的操作歷程（如步驟選擇、停留時間與錯誤行為），建立學習行為資料庫，並應用學習分析（Learning Analytics）方法進行模式探勘。隨著人工智慧技術之發展，系統亦可結合機器學習模型，提供即時回饋與個別化學習建議（Holmes et al., 2019; Kasneci et al., 2023），以提升學習成效與教學精準度。同時，亦可進一步整合學習管理系統（Learning Management System, LMS），以支援學習歷程追蹤與教材模組化管理，提升整體教學應用之擴展性。

最後，根據初步課程導入觀察，學生普遍反映透過虛擬系統能更清楚理解設備內部結構與操作流程，特別是在進入實體操作前，已具備基本操作概念。教師亦觀察到學生於實體操作初期之錯誤率有所降低，顯示虛擬預訓練具有一定之輔助效果。

6. 結論

本研究提出一套以 SolidWorks Composer 為核心之互動式虛擬訓練系統，並結合成果導向教育（Outcome-Based Education, OBE）理念，建構具備工程實作與數位內容整合能力之人才培育模型。透過三層式系統架構設計與互動式學習機制，本研究呈現虛擬訓練技術於高成本設備操作訓練之應用潛力。

綜合系統設計與應用分析，本系統在架構設計與教育應用層面具備以下貢獻：

- (1) 降低高成本設備訓練之風險與整體成本，提供安全且可重複之訓練環境
- (2) 提升技術傳承之效率與標準化程度，使操作流程得以系統化呈現與學習
- (3) 建立工程教育與數位技術整合之學習模式，促進理論與實務之銜接

進一步而言，本研究除提出系統架構與功能設計外，亦透過學習理論之導入，建立系統功能與學習機制之對應關係，使虛擬訓練系統不僅為操作工具，亦具備教學設計之理論基礎。

此一設計模式有助於提升系統在不同教學情境下之應用彈性，並可作為後續相關系統開發之參考架構。

整體而言，本研究回應數位轉型與智慧學習之發展趨勢，顯示互動式虛擬訓練系統於工程教育與產業培訓中的應用價值。透過虛擬與實體操作之整合，學習歷程得以更具連貫性，亦有助於降低學習門檻並提升學習成效。

未來研究可進一步結合人工智慧技術，例如即時回饋機制與學習行為分析，以強化系統之適應性與個別化學習成效。同時，亦可透過導入學習成效評估指標（如操作時間、錯誤率與學習滿意度），進行系統之實證驗證，以提升研究之完整性與說服力。透過上述發展方向，可進一步擴展虛擬訓練系統於不同領域之應用潛力，並促進工程教育與智慧學習之整合。

參考文獻

- Dede, C. (2014). The role of digital technologies in deeper learning. *Students at the Center*. <https://studentsatthecenterhub.org/resource/the-role-of-digital-technologies-in-deeper-learning/>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education*. Center for Curriculum Redesign. <https://curriculumredesign.org/our-work/artificial-intelligence-in-education/>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Kasneci, G., Kasneci, E., & others. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kolodner, J. L. (2002). Facilitating the learning of design practices. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3). <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v39n3/kolodner.html>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/the-knowledge-creating-company-9780195092691>
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things* (Revised and expanded ed.). Basic Books. <https://www.basicbooks.com/titles/don-norman/the-design-of-everyday-things/9780465050659/>
- Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/T/bo6035368.html>
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>

- Salas, E., Wildman, J. L., & Piccolo, R. F. (2009). Using simulation-based training to enhance management education. *Academy of Management Learning & Education*, 8(4), 559–573. <https://doi.org/10.5465/amle.8.4.zqr559>
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>