

結合沉浸式虛擬實境之國小數學體積概念教材開發與系統易用性評估

Development of Immersive Virtual Reality Teaching Materials for Volume Concepts in Elementary School Mathematics and Evaluation of System Usability

吳念恩^{1*}, 王政弘², 江孟臻³, 歐沛淳⁴

¹²³⁴ 臺灣高雄大學工藝與創意設計學系

* holmes20031007@gmail.com*

【摘要】體積概念涉及立體結構與空間關係，對國小學生而言較具抽象性。為支持學生進行概念理解與操作學習，本研究設計一套應用沉浸式虛擬實境（Immersive Virtual Reality, IVR）之國小數學體積概念教材，透過立體操作、系統提示與即時回饋，引導學生進行觀察、判斷與修正。研究以臺灣某國小六年級 29 位學生為對象，採用系統可用性量表（System Usability Scale, SUS）評估教材之介面易用性與整體接受度。結果顯示，教材之 SUS 總分為 81.3 分，達可接受範圍且屬 Excellent 等級，表示學生整體上對教材介面與操作流程持正向評價。整體而言，此 IVR 教材具良好可用性，並可作為國小數學體積概念學習之數位媒介。

【關鍵字】 沉浸式虛擬實境；國小數學；教材開發；系統可用性

Abstract: The concept of volume involves three-dimensional structures and spatial relationships, which are relatively abstract for elementary school students. To support students' conceptual understanding and hands-on learning, this study developed an immersive virtual reality (IVR)-based learning material for volume concepts in elementary mathematics. Through object manipulation, system prompts, and immediate feedback, the material guided students to observe, judge, and revise their understanding. The participants were 29 sixth-grade students from an elementary school in Taiwan. The System Usability Scale (SUS) was used to evaluate the usability of the interface and students' overall acceptance of the material. The results showed that the SUS score was 81.3, which fell within the acceptable range and corresponded to an Excellent rating, indicating that students generally held positive perceptions of the interface and operation flow. Overall, the IVR learning material demonstrated good usability and may serve as a digital medium for supporting volume concept learning in elementary mathematics.

Keywords: immersive virtual reality; elementary mathematics; learning material development; system usability

1. 前言

數學是國小階段培養邏輯思維與問題解決能力的重要科目，其中體積單元涉及立體結構與空間關係，對學生而言較具抽象性。研究指出，若數學學習過度偏重符號操作與公式演算，容易忽略學生的感知經驗與空間直觀，造成理解流於表層；學童在表面積與體積學習中，也常出現視覺判斷錯誤、概念混淆與公式誤用等問題（劉君燦，2000；陳鴻綸、曹雅玲，2005）。這顯示，傳統以平面教材或靜態教具為主的教學方式，仍不足以支持學生對立體概念的理解。

在個人化學習觀點下，數學教學除知識傳遞外，也應支持學生依自身理解進度進行操作、觀察與修正。沉浸式虛擬實境（Immersive Virtual Reality, IVR）具備沉浸性、立體呈現與即時互動特性，能提供較具體的操作經驗，有助於提升學習參與，並支持學生進行個別化探索與概念建構。基於此，本研究旨在設計一套運用 IVR 技術之國小數學個人化學習環

境，協助學生透過沉浸式操作、即時回饋與任務引導理解體積概念，並作為未來相關教學應用之參考。

2. 文獻探討

沉浸式虛擬實境近年逐漸應用於教育情境。相關研究指出，IVR 在教育與訓練中整體具有正向學習效果（Conrad et al., 2024），並對數學創造力與學習表現具有支持潛力（Hidajat, 2024）。在 K-12 教育場域中，若 VR 教材具備適切的互動設計與明確的學習任務，亦能提升使用者體驗與學習投入程度（Wang, 2025）。在數學學習脈絡中，知識建構需奠基於具體操作與情境經驗（Piaget, 1952），而幾何概念的發展亦仰賴具象操作與視覺經驗的逐步累積（Van Hiele, 1986）。因此，相較於傳統平面教材，IVR 所提供的觀察、旋轉與操控功能，更能協助學生理解立體空間結構與抽象概念。

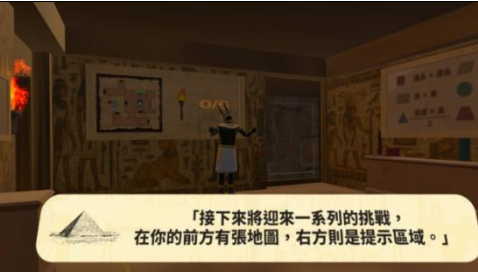
另一方面，遊戲化設計可透過即時回饋、挑戰機制與互動流程提升學習參與及探索意願，其理論基礎亦廣泛應用於嚴肅遊戲與遊戲式學習研究之中（Krath et al., 2021）。此外，教材內容的概念連貫性也是影響數學學習的重要因素；當學生缺乏具體操作經驗時，容易在空間與幾何概念上產生理解落差（鄭章華，2020）。若將 IVR 與遊戲化任務結合，將更有助於支持學生依自身步調進行操作、觀察與修正，作為個人化學習與體積概念建構的適切環境（Lampropoulos & Kinshuk, 2024）。

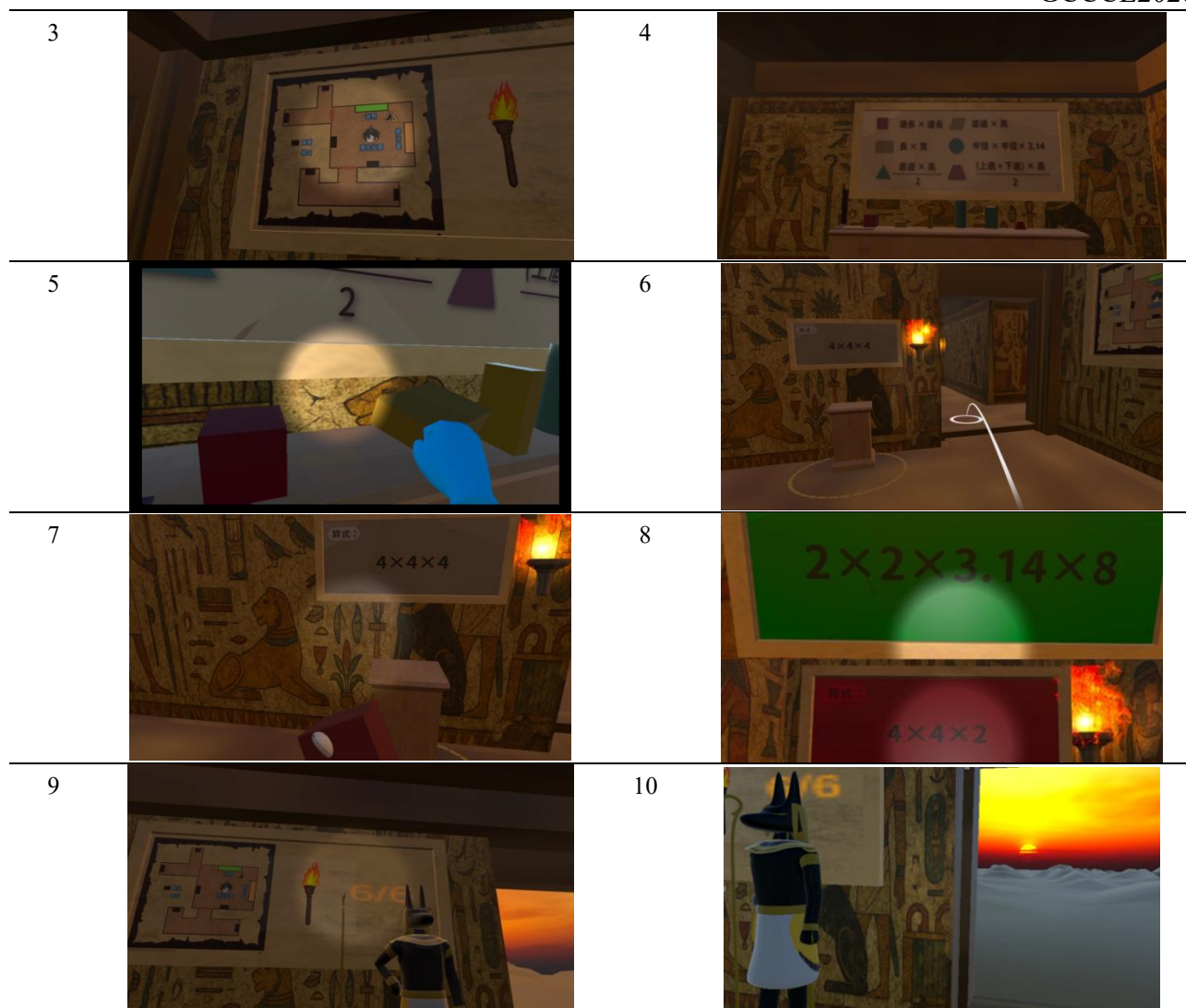
3. 研究設計

在教材開發階段，研究團隊與國小數學教師討論幾何教學中的常見困難，包括學生對立體結構理解不足、缺乏操作經驗，以及傳統教材在空間呈現上的限制。據此，本教材設計聚焦於立體操作、空間觀察與概念理解的支持，並依據體積概念的發展歷程進行內容統整。學生可透過抓取、旋轉與比對虛擬立體模型，配合系統提示與即時回饋，逐步理解立體形體與體積公式之間的關係，進而促進概念應用。

教材流程如圖 1 至圖 10 所示。學生進入 VR 場景後，系統先以語音與視覺提示說明任務與操作方式，再引導其依提示前往各任務位置，透過觀察、操作與判斷完成挑戰。過程中，系統提供算式提示、模型參照、即時回饋與進度呈現，協助學生依自身理解進度進行修正，並掌握學習歷程；完成所有任務後，系統再引導學生進入下一階段。整體設計結合立體操作、任務引導與回饋機制，以支持學生在沉浸式情境中進行個別化探索與概念建構。

表 1 教材流程分鏡畫面

分鏡	運行畫面	分鏡	運行畫面
1		2	



4. 研究結果

本研究採便利抽樣，以臺灣某國小六年級單一班級共 29 位學生為研究對象，受試者皆已於常規數學課程中學習過體積相關內容。研究以 Brooke (1996) 提出之系統可用性量表 (System Usability Scale, SUS) 評估學生對《阿努比斯的審判》IVR 教材之介面易用性、操作流暢性與整體接受度。結果顯示，教材之 SUS 總分為 81.3 分，屬於可接受範圍，並達 Excellent 等級，表示學生整體上對本教材介面與操作持正向評價，亦顯示其具備一定的課堂導入可行性。就題項表現而言，正向題平均值介於 3.86 至 4.62 之間，負向題平均值介於 1.86 至 2.10 之間，顯示多數學生普遍認為系統容易操作，且未感受到明顯的使用困難。其中，第 1 題平均值最高，反映學生對此操作形式具有較高接受度；相對地，第 7 題平均值較低，且第 6 題與第 10 題在負向題中相對較高，顯示部分學生對操作學習速度與介面一致性仍較為保留。整體而言，本教材已具良好可用性，但在新手導引與操作簡化方面仍有優化空間；至於其對數學概念理解與學習表現之影響，仍有待後續研究進一步驗證。

表 2 SUS 易用性分析結果

題號	問項	平均值	標準差
1	我認為阿努比斯的審判是一個親切的操作畫面，我非常樂意使用這個方式的操作介面。	4.62	0.49
2	我認為阿努比斯的審判的操作畫面太過複雜，有多餘的設計。	1.86	0.52

3	我認為阿努比斯的審判的原型介面是好用的。	4.45	0.51
4	我認為阿努比斯的審判的操作畫面讓人感覺很舒服。	4.45	0.57
5	我認為阿努比斯的審判有整合良好的操作畫面設計，可以幫助我順利完成操作。	4.55	0.83
6	我認為阿努比斯的審判的操作畫面有太多的不一致(不協調)。	2.1	1.14
7	我認為大部分的人都可以很快的學會如何操作這個作品。	3.86	1.13
8	我認為這個作品有難以使用的操作畫面。	1.97	1.09
9	對於作品的介面，我有信心能讓人使用正確的方式操作。	4.55	0.57
10	我認為我要花更多的時間才能學會怎麼使用操作作品畫面。	2.03	1.12

5. 結論與建議

本研究以國小高年級體積概念為主題，設計一套結合沉浸式虛擬實境與遊戲化任務之數學個人化學習環境。研究結果顯示，《阿努比斯的審判》IVR 教材之系統可用性量表總分為 81.3 分，達可接受範圍且屬 Excellent 等級，顯示學生整體上對教材介面與操作流程持正向評價，並反映本教材具備一定之課堂應用可行性。

綜合而言，本研究所設計之 IVR 教材可作為支持國小學生進行體積概念學習之數位媒介，並在個人化學習情境中提供操作、觀察與修正之學習支持。然而，本研究樣本數有限，且目前僅就系統可用性進行評估，尚未進一步檢驗其對數學概念理解與學習成效之影響。未來研究可擴大研究對象，並結合學習成效測驗與質性資料，以進一步驗證其教學應用價值。

致謝

本研究獲國家科學及技術委員會大專學生研究計畫（NSTC 114-2813-C-390-007-H）補助

參考文獻

- 陳鴻綸、曹雅玲（2005）。國小學童在幾何問題的解題表現研究—長方體的體積和表面積為例。《國教新知》，52(4)，65-78。
- 鄭章華（2020）。從課程研修探討我國數學教育之問題。《台灣教育研究期刊》，1(1)，177-192。
- 劉君燦（2000）。數理詮釋，虛擬實境，生生為重～談數學，物理，條理。《中華科技史同好會會刊》，1(2)，96-100。
- Brooke, J. (1996). SUS: A “quick and dirty” Usability Scale. Usability Evaluation in Industry/Taylor and Francis
- Conrad, M., Kablitz, D., & Schumann, S. (2024). Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers & Education: X Reality*, 4, Article 100053.
- Hidajat, F. A. (2024). Effectiveness of virtual reality application technology for mathematical creativity. *Computers in Human Behavior Reports*, 16, Article 100528.
- Krath, J., Schürmann, L., & von Korflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification: A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games, and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 125, Article 106963.
- Lampropoulos, G., & Kinshuk. (2024). Virtual reality and gamification in education: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*. Advance online publication.

- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children* (M. Cook, Trans.). International Universities Press. (Original work published 1936)
- Van Hiele, P. M. (1986). *Structure and insight: A theory of mathematics education*. Academic Press.
- Wang, C.-H. (2025). Education in the metaverse: Developing virtual reality teaching materials for K–12 natural science. *Education and Information Technologies*, 30(7), 8637–8658.