

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

虛擬實境空間於自由形體設計過程之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-009-037-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學建築研究所

計畫主持人：劉育東

計畫參與人員：林政緣

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 11 日

中英文摘要

設計媒材的發展歷史中，新設計媒材的出現，除了解決舊設計媒材無法掌握的設計問題，同時也經常引發新的建築形式然而新空間卻衍生新課題：腦中呈現的空間感知與實際呈現的空間感知相同？自由形體建築的特徵是形式的極度自由化和曲線化，因此對應的室內空間很難去定義一般的建築元素如牆、柱、以及屋頂，實體的自由形體建築中，大量而複雜的曲面構件所圍塑的室內空間感，是否確實完整呈現建築師最初的設計概念？數位媒材是否充分地傳達設計者原本十分抽象的設計概念？

虛擬實境的技術應用已逐漸普及化，但目前大部分應用在建築領域的研究僅侷限於傳統建築設計的模擬，而極少將虛擬實境的技術應用在自由形體的設計議題上。本研究試圖先以案例分析的方式整理歸納出自由形體設計流程中各類媒材的重要性分析，再以虛擬實境空間模擬器（VR cave）介入研究案例的設計過程，觀察原本的設計流程是否受到新媒材的影響而產生不同的設計思考，以瞭解新的設計媒材 VR cave 是否能解決過去數位媒材所無法掌握的設計問題，最後再透過一項空間實驗，修正與確認 VR cave 介入後的自由形體設計流程中各類媒材的重要性分析。

透過案例分析的研究方法觀察自由形體建築的設計過程，藉由研究案例資料包含既有素材與過程觀察的彙整與比較分析，整理歸納出自由形體設計過程媒材的重要性，過程中亦發現許多自由形體的設計問題。其次是以 VR cave 媒材參與其設計過程，解決原設計媒材不足的部分，進而建立 VR cave 介入自由形體設計後之初步媒材分析，除了釐清各類媒材在各個設計階段當中的重要性，同時透過 VR cave 在設計過程中解決原本存在的許多設計問題，更確立了虛擬實境媒材在自由形體設計過程中的必要性。最後藉由一項空間實驗的操作，分析比較各類設計媒材在自由形體設計過程中的有效度，進而修正先前所建立的 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析。

As can be seen from this very brief history of the design media, the use of physical models eradicated some of the limitations of 2D drawings; and in the same way digital models make it possible to express abstract design concepts to which the physical model is unable to give expression (Lin, 2002). New design media have been able to solve design problems that conventional media were unable to solve. At the same time, new design media also greatly influenced architectural form (Liu and Eisenman 2001). For example, digital models can make visible free-form space, and in so doing realize the abstract conceptions of the designer. However, the question as to whether or not free-form space can actually serve as the original design concept remains an unanswered question.

This study — which includes an experiment and questionnaires — examined an array of design media, including 2D drawings, three dimensional (3D) physical models, 3D digital models and computer renderings, to determine whether or not they are able to serve as fully accurate representations of free-form space. A series of statistical analyses established that such models were in fact unable to do this. Thus, the study established that digital models and computer renderings could not give complete expression to the designer's concept. As is shown by the history of the design media, when conventional methods are unable to solve design problems, the only solution is to make use of new design technology. Recently, the use of VR has gradually been increasing used in design process. However most of these applications focus on conventional design simulation, and seldom make use of this technology to deal with the issue of free-form space. This study examines the issue of whether or not VR CAVE has the potential to overcome the limitations of computer renderings in respect to free-form space and thus give full expression to the conceptions of the designer.

It is possible that the use of a computer monitor — to render images made by computer models — is not appropriate in respect to certain types of measurements and spaces. The VR CAVE system provided effective simulations in this respect, and offered architects a natural interface through which to navigate. It was able to affect spatial judgments and generally acted to make substantial changes in the computer-generated environment. The designers who have worked with VR CAVE have been able to experience these effects at first hand. The study addresses the problems concerning the limitations of digital models and computer rendering, and explores the possibility of the design process in respect to free-form space design through the use of VR CAVE technology.

一、前言

文藝復興時期的建築設計媒材發展，在設計過程中運用模型除了以掌握量體同時也掌握細節，突破過去二維圖面媒材在處理設計思考上的限制（Recht, 1985; Millon, 1994; Lin, 1999）。然而實體模型雖然彌補二維圖面的不確定性，建築設計卻仍處在具限制的呈現方式，設計者腦中天馬行空般的概念，遠超過當時建築美學與營建技術的極限，如 John Uzon 所設計的雪梨歌劇院，無法完全表達最初設計概念的雕塑造型與戲劇化空間，原因是其建築形式存在許多非幾何的元素，雕塑性強且內部空間變化大，既有的設計媒材無法完成建構與結構分析。沒有最佳的呈現媒材來輔助，設計者必須做出妥協，採取較平穩的空間形式（Mitchell, 1998）。

由於施工技術尚未成熟，雪梨歌劇院歷經 17 年，前後作了 12 次大規模的變更設計才得以完成。然而設計方法與電腦科技之關係日趨密切，使得相關電腦介入設計過程與方法的議題與研究，自九十年代開始浮現（Eastman and Fereshetian, 1994; Goldschmidt 1999; Cao and Protzen, 1999），電腦介入傳統建築設計呈現方式而引發數位化建築思考模式（Liu, 1996; Krawczyk, 1997），建築空間非正交關係的複雜形式表現，並不易藉二維繪圖所完成，若能在三維向度中思考設計，直接借由數位模型的修正則比較容易達到，更進一步能呈現曲率各異、形式各異的精確造型（Lai, 1997; Krawczyk, 1997; Bai and Liu, 2001），電腦中建構模型是塑形最有效的方式，形的產生可以由電腦獨立完成，透過電腦來說明基本的設計原理，創造出個人的設計邏輯與直觀看法（Madrazo, 1999; Lin, 2002）。因此 Frank Gehry 在 Barcelona 為 1992 Olympic 所設計的魚，原本需要十年的時間來完成，卻因為數位媒材的輔助而只花費了二年的時間，自此之後由於幾何曲線建築得以在有限的經費與時間內完工，因而許多其他的建築師開始大量發表此一類型的作品（Mitchell, 1998）。將幾何曲線之造型概念直接轉化為實體建築，精確的模擬建築的形式與結構的分析，藉由數位媒材逾越 2D 圖面的限制，成為可操作的標準設計與施工流程（Rugemer, 2001; Lin, 2001）。

設計媒材的發展歷史中，新設計媒材的出現，除了解決舊設計媒材無法掌握的設計問題（Alexander, 1964; Arnheim, 1969; Liu, 1996），同時也經常引發新的建築形式（Handa, 1999; Liu, 1995; Potier et al., 2000）；例如：數位媒材除了使原有較具變化的幾何曲線空間形式（如雪梨歌劇院）得以實現；也更進一步讓建築師創作更天馬行空的非幾何自由形體空間形式（如畢爾包古根漢美術館），因而建築更趨向純藝術（Liu, 2002）。以畢爾包的古根漢美術館為例，Gehry 利用電腦中產生連續曲面的數位模型，透過電腦的運算充分展露出建築形式與空間的多樣性，跳脫傳統工業的標準化，呈現曲率各異的精確造型（Zaera, 1997; Kolarevic, 2001）。

然而新空間卻衍生新課題：「腦中呈現的空間感知 (mental spatial representation)」與「實際呈現的空間感知 (physical spatial representation)」相同？自由形體建築的特徵是形式的極度自由化和曲線化，因此對應的室內空間很難去定義一般的建築元素如牆、柱、以及屋頂，實體的自由形體建築中，大量而複雜的曲面構件所圍塑的室內空間感，是否確實完整呈現建築師最初的設計概念？數位媒材是否充分地傳達設計者原本十分抽象的設計概念？

虛擬實境的技術應用已逐漸普及化 (Dam, 2000; Bellman, 2001; Li et al., 2001), 但目前大部分應用在建築領域的研究僅侷限於傳統建築設計的模擬 (Setareh et al., 2001; Hill et al., 1999), 而極少將虛擬實境的技術應用在自由形體的設計議題上。基於數位媒材 (影像、2D 圖面、3D 數位模型、以及動畫等) 既然無法在自由形體的建築設計上充分地傳達設計者極為抽象的概念，本研究要探討的是如何運用虛擬實境的技術在自由形體建築的設計上？嘗試透過應用新媒材之虛擬實境來改善數位媒材目前在自由形體建築設計上無法充分傳達設計概念的問題 (圖 1)。

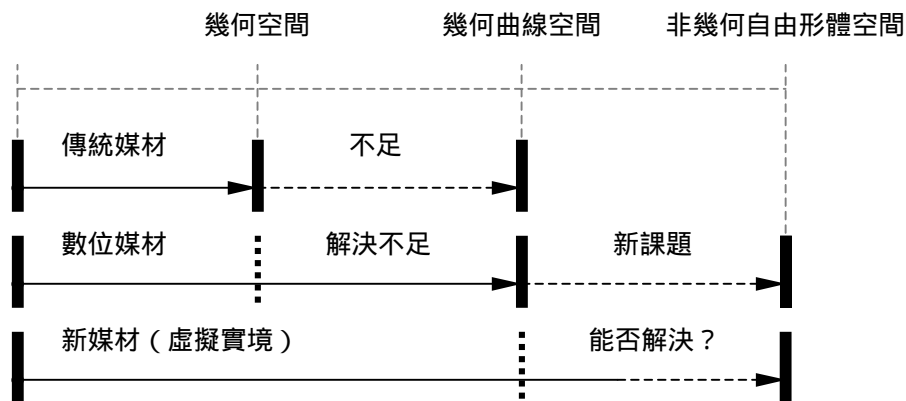


圖 1 傳統媒材、數位媒材、新媒材與建築空間的衍生關係

本研究試圖先以案例分析的方式整理歸納出自由形體設計流程中各類媒材的重要性分析，再以虛擬實境空間模擬器 (VR cave) 介入研究案例的設計過程，觀察原本的設計流程是否受到新媒材的影響而產生不同的設計思考，以瞭解新的設計媒材 VR cave 是否能解決過去數位媒材所無法掌握的設計問題，最後再透過一項空間實驗，修正與確認 VR cave 介入後的自由形體設計流程中各類媒材的重要性分析。

二、研究方法、步驟及執行

首先藉由研究案例資料中的既有素材與過程觀察，依概念設計、設計發展、與細部設計三階段進行案例分析，分析之案例為深圳兆曜電子廠房接待大廳自由形體設計案，以案例資料中的既有素材與過程觀察進行分析，探討各類媒材在自由形體設計過程中所扮演的角色。本案的概念設計階段，設計者所使用的設計媒材除了包含傳統慣用的素描與影像，同時也包含 3D 數位模型。設計發展階段共計運用到的設計媒材包含 3D 數位模型、動畫、影

像、2D 圖面、3D 實體模型、以及 CAD/CAM，其中本研究發現 3D 數位模型與影像輔助設計者完成大部分設計方案的審視以及最終方案的決定，但仍在自由形體的尺度上不容易控制，同時本案內部空間過於複雜，透過數位模型仍難以掌握。在細部設計階段所運用到的設計媒材包含 2D 圖面、3D 數位模型、影像、以及 CAD/CAM，其中 CAD/CAM 為最重要之設計媒材，本階段出現大量的 2D 細部施工圖面供製造與施工之用途，3D 數位模型則是繪製 2D 施工圖面的媒介。

其次透過 VR cave 的媒材特性，在研究案例的各個設計階段中，進行各種設計操作與呈現模擬，探討虛擬實境媒材對於設計的影響力，以及比較分析與其他媒材在輔助設計方面的優缺能力，最後獲得一個 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析。模擬與分析的對象可分為二類，第一是在先前的案例分析中發現媒材不足的部分，透過虛擬實境媒材嘗試解決先前不足的問題。第二是在研究案例中其他設計媒材的各種模擬方案，進而發現虛擬實境媒材在輔助設計上的可能性，以及對於設計問題其他的可能解決方案。將各階段的組織架構作橫向連結，便成為本章一開始所確立的自由形體設計流程之媒材分析架構(圖 2)，每一個交集點的大小代表媒材的主從關係以及重要性，並呈現設計媒材與設計階段之間的關係脈絡。

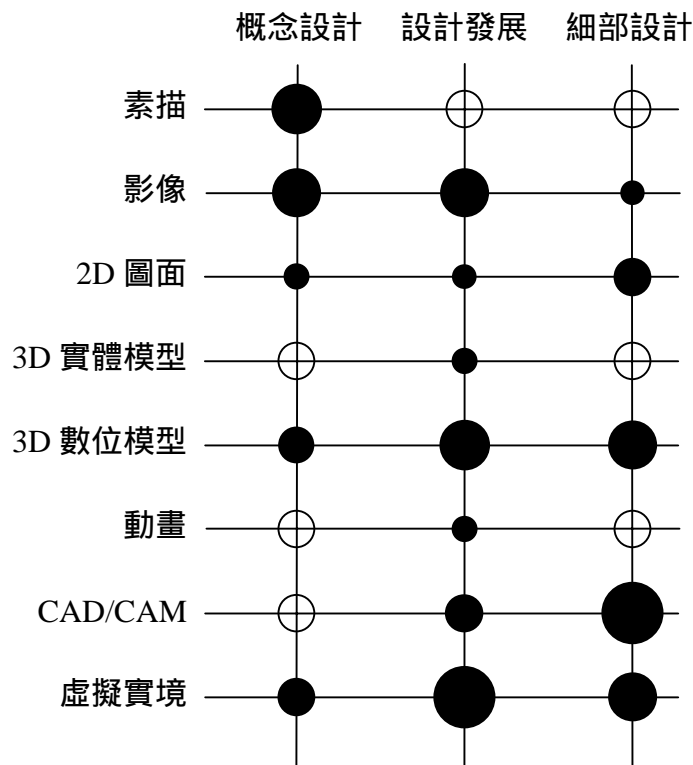


圖 2 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析

最後是操作一項空間實驗，分析比較各類設計媒材在自由形體設計過程中所扮演的角色，進而修正先前所推演虛擬實境介入自由形體設計後的初步媒材分析以獲得確認。空間實驗

案例為台北縣汐止鎮的公信電子公司總部接待大廳設計，選定 20 位介於 22 歲到 35 歲不等的受測者，其受教育程度從大學畢業以上到博士學位之間，必須是受過建築設計或室內設計的專業訓練，也同時必須熟悉電腦相關 2D、3D 繪圖軟體以及多媒體的操作與應用，為了更深入比較獲有現場空間經驗與否，對實驗結果所產生的差異性，因此研究實驗在選擇受測者的過程當中，特別篩選區分為 A 組 10 位曾獲有、另外 B 組 10 位則從未有現場空間經驗的受測者。實驗分概念設計階段、設計發展階段、細部設計階段等 3 大階段進行，在每個階段以 8 種設計媒材作為分析的項目。受測者在填寫每一個設計階段的問卷之前，實驗者會以實驗素材中一系列的圖片，說明實驗案例在每一個階段的設計過程和設計內容，並提供該階段相關之 2D 圖檔及 3D 數位模型檔予受測者即時操作，以獲得更精確的評估，受測者依照媒材順序瀏覽並操作檔案並填寫問卷，此過程中受測者可隨時表達意見或提出問題。填寫完一個設計階段的問卷之後，進入下一個設計階段，實驗者說明設計過程和內容，重複相同的步驟。實驗總共須完成 20 位受測者，彙整 20 份問卷資料與實驗過程紀錄，作為研究分析討論的依據，以下將全部 20 位受測者分三階段作平均數整理如表 1。

表 1 整體設計過程結果

	概念設計階段	設計發展階段	細部設計階段
素描	2.4	N/A	2.0
影像	2.2	2.8	2.4
2D 圖面	2.3	2.3	2.7
3D 實體模型	2.8	2.8	N/A
3D 數位模型	3.3	3.5	3.2
動畫	N/A	3.2	N/A
虛擬實境	3.6	3.8	3.4
CAD/CAM	N/A	3.0	3.6

概念設計階段的實驗結果呈現出所有設計媒材中虛擬實境的有效度最高、影像媒材最低，在設計發展階段整體有效度最高的設計媒材亦為虛擬實境。在實驗過程中受測者先觀看實驗案例的虛擬實境動畫場景，其次再以遊戲搖桿作為操縱介面，自由遊走於本案例的即時瀏覽場景，作為評估虛擬實各項有效度的依據。關於 AB 二組受測者對各項有效度評估的差異值方面（圖 3），在概念設計階段中，二組之間無明顯的差異。設計發展階段二組的最大差異值 0.8 出現 4 次當中有 3 次分布在尺度因子，而自由形體設計最不易掌握的便是三度空間中的尺度感，因此以實驗結果推測，曾獲有現場空間經驗可能影響受測者對於若干不同媒材在尺度方面的評估，其中虛擬實境媒材的尺度因子差異值為負的 0.8，即曾獲有現場空間經驗的 A 組受測者認為虛擬實境在處理尺度的有效程度並不如 B 組受測者所判斷的。

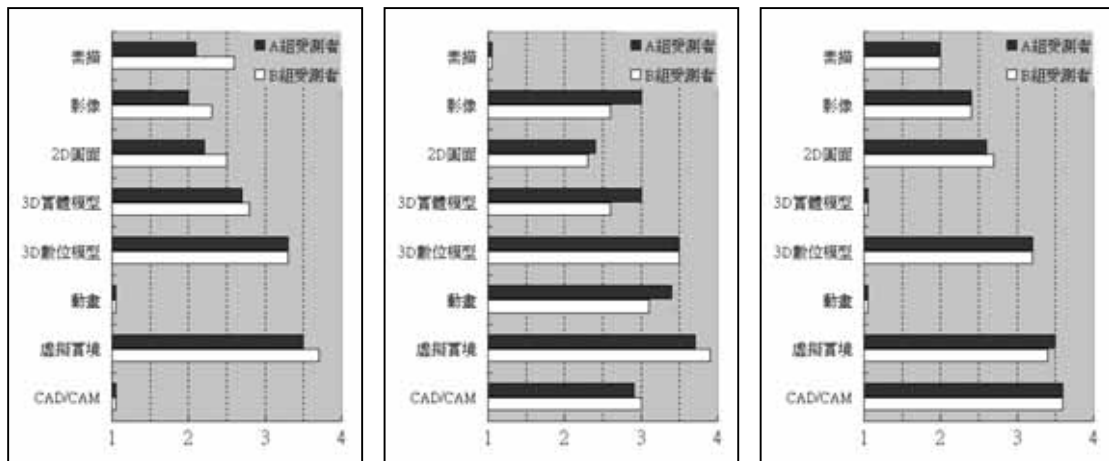


圖 3 二組受測者各設計階段比較圖

綜合設計過程中概念設計、設計發展、與細部設計三階段的整體有效度評估，整理如圖 4 作比較，可發現傳統媒材在自由形體設計的有效度則偏低，3D 數位模型、動畫、以及虛擬實境媒材在全部設計過程中的有效度高出其他媒材許多，其中又以虛擬實境媒材整體為最高，可見虛擬實境媒材在自由形體設計過程的重要性與必要性。所有數據中有效度最高為虛擬實境於設計發展階段；次高為 CAD/CAM 於細部設計階段，以及虛擬實境於概念設計階段；最低則為素描媒材於細部設計階段。

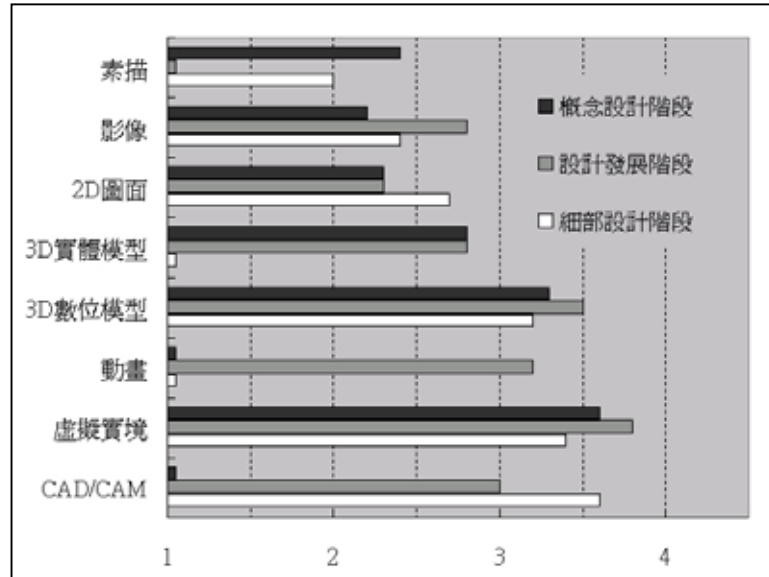


圖 4 各項媒材在設計過程各階段之比較

設計媒材在各設計階段之間的比較中，有效度差異較大的部分為影像媒材在設計發展階段高於其他階段、2D 圖面媒材在細部設計階段高於其他階段、CAD/CAM 媒材在細部設計階段高於設計發展階段。另外受測者認為 3D 實體模型在概念設計與設計發展階段的有效度相同，2D 圖面也是在概念設計與設計發展階段相同，動畫媒材則僅運用在設計發展階段，

因而無法進行比較，此為實驗之研究限制。

三、結論

首先本研究透過案例分析的研究方法觀察自由形體建築的設計過程，藉由研究案例資料包含既有素材與過程觀察的彙整與比較分析，整理歸納出自由形體設計過程媒材的重要性，過程中亦發現許多自由形體的設計問題，如概念設計階段呈現設計概念的媒材缺乏多樣化、3D 數位模型在設計發展階段不易掌握尺度與空間複雜性、實體模型不易製作、缺乏空間內部的動畫媒材呈現、以及細部設計的不足等，都是後續重要的研究議題。其次是實驗性的以 VR cave 媒材參與其設計過程，解決原設計媒材不足的部分，進而建立 VR cave 介入自由形體設計後之初步媒材分析，除了釐清各類媒材在各個設計階段當中的重要性，同時透過 VR cave 在設計過程中解決原本存在的許多設計問題，包含以媒材特性提供設計者不同的設計概念刺激，解決 3D 數位模型不易掌握自由形體內部複雜空間、設計者的尺度感、以及細部設計不足等問題，更確立了虛擬實境媒材在自由形體設計過程中的必要性。最後藉由一項空間實驗的操作，分析比較各類設計媒材在自由形體設計過程中的有效度，進而修正先前所建立的 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析，修正的部分亦即與先前案例研究所做的分析推論之差異性，為修正先前媒材分析的重要依據，差異性較大的部分包含實驗結果中，概念階段的素描與影像媒材重要性要低很多、3D 數位模型與虛擬實境媒材則略高，以及設計發展階段 3D 實體模型與動畫的重要性要增加。

在研究方法與步驟中的空間實驗，由於實驗過程較為繁瑣，因而參與本研究的受測者數量較少，僅能作初步的分析與探討。各類媒材在實驗中所呈現的樣本，也因價值與需求上的不同而造成模擬呈現結果的不同，造成受測者對電腦模擬的接受程度以及有效度問題。另外由於 VR cave 的硬體限制，在使用即時瀏覽模式時支援貼圖數量以及材質、燈光的效果皆有限，以上皆為實驗的研究限制。自由形體空間設計是十分廣泛的研究議題，本文所探討的只是其中一小部份，仍有許多應深入研究而尚未被釐清的問題成為本文的後續研究。而 VR cave 可應用的層面也非常多，除了自由形體的議題之外，還有許多相關建築、相關設計的領域等待探索，也是本文的後續研究。

參考文獻

- Alexander, C. (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Arnheim, R. (1969), *Visual Thinking*, University of California Press, Berkeley.
- Bai, R. Y. and Y. T. Liu. (2001), The Hsinchu Experience: a computerized procedure for visual analysis and assessment, *Automation In Construction*, **10**(3), 337-343
- Belleman, R. G., B. Stolk, and R. Vries. (2001), Immersive Virtual Reality on Commodity Hardware, *Proceedings of the ASCI20010*.
- Cao, Q. and J. Protzen. (1999), Managing Design Information, *Design Studies*, **20**(4), 343-362.
- Dam, V. (2000), Immersive VR for Scientific Visualization: a progress report, *IEEE Computer Graphics and Applications*, **19**(6), 26-52.
- Eastman, C. A. and N. Fereshetian. (1994), Information Models for Use in Product Design, *Computer-Aided Design*, **26**(7), 551-572.
- Goldschmidt, G. (1999), On Visual Design Thinking: the vis kids of architecture, *Design Studies*, **21**(2), 158-174.
- Handa R. (1999), Against Arbitrariness: architectural signification in the age of globalization, *Design Studies*, **20**(4), 205-220.
- Hill, L., C. S. Chan, and C. Cruz-Neira. (1999), Virtual Architecture Design Tool, *IEEE Virtual Reality 1999 Video Proceedings*.
- Kolarevic, B. (2001), Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age, *Proceedings of the eCAADe 2001*, 117-123.
- Krawczyk, R. J. (1997), Representation and design, *ACADIA*, 95-109.
- Lai, C. D. (1997), *A study of architectural representation and architecture form*, Graduate School of Applied Arts, Nation Chiao Tung University, Hsinchu, ROC.
- Li, W. J., C. C. Chang, K. Y. Hsu, M. D. Kuo, and D. L. Way. (2001), A PC Based Distributed Multiple Display Virtual Reality System, *Displays*, **22**, 177-181.
- Lin, C. Y. (1999), The Representing Capacity of Physical Models and Digital Models, *Proceedings of the CAADRIA 1999*, 53-62.
- Lin, C. Y. (2001), A Digital Procedure of Building Construction, *Proceedings of the ICCCB 2002*, 229-234.
- Lin, C. Y. (2002), A Place Where People are Free to Move: exploring dynamic texture mapping in computer graphic systems, *Proceedings of the CAADRIA 2002*, 117-122.
- Liu, Y. T. (1995), Three Factors Influencing Computer Aided Architectural Design, *Chinese Architect* **244**, 92-95, **249** 100-104.
- Liu, Y. T. (1996), *Understanding of Architecture in the Computer Era*, Hu's, Taipei.
- Liu, Y. T. (2002), New Media, New Space, and New Architecture, *Defining Digital Architecture: 2002 Feidad Award*, ed. Yu-Tung Liu, 3-4. Basel, Swaziland, Birkhauser.
- Madrazo, L. (1999), Types and Instances: a paradigm for teaching design with computers, *Design Studies*, **20**(2), 177-194.
- Millon, H. A. (1994), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo*, Rizzoli, New York.
- Mitchell, W. (1998), Articulate Design of Free-Form Structures, *Proceedings of AI in Structural Engineering 1998*, 223-234.
- Potier, S., J. L. Maltret, and J. Zoller. (2000), Computer graphics : assistance for archaeological hypotheses, *Automation in Construction*, **9**, 117-128.
- Recht, R., L. Grodecki, and A. Prache. (1985), *Gothic Architecture*, Rizzoli, New York.

Rugemer, J. (2001), Computer Generated Architectural Design: 160 custom-made, *Proceedings of the eCAADe 2001*, 288-291.

Setareh, M., D. Bowman, and P. Tumati. (2001), Development of a Collaborative Design Tool for Structural Analysis in an Immersive Virtual Environment, *Proceedings of the IBPSA 2001*.

Zaera, A. (1997), *Frank O. Gehry 1991-1995*, el croquis, Madrid, Spain.

附錄

1. 空間實驗問卷

受測者您好！這是一份關於設計媒材分析的調查問卷，純為學術用途，謝謝您的協助與支持。

交通大學建築研究所 敬上

本實驗主要目的是要研究各類設計媒材在自由形體設計過程中每個設計階段的有效度，選定案例為汐止公信電子接待大廳設計案，以下實驗分概念設計階段、設計發展階段、細部設計階段 3 大階段進行，在每個階段以 8 種設計媒材作為分析的項目。

受測者在填寫每個階段之前，實驗者會以一系列的圖片介紹公信電子接待大廳自由形體在該階段的設計過程和設計內容，並提供相關之 2D 圖檔及 3D 數位模型檔讓受測者可隨時操作，以獲得更精確的評估計量。

根據實驗所提供本案在每個設計階段的設計過程所有相關圖片與圖檔，計量評估設計媒材在自由形體設計中對下列各設計因子的有效度，也就是指在自由形體設計上能幫助多少。評估的依據以實驗所提供之本案既有的設計方案與內容為限，站在原設計者的角度作觀察與評估，切勿額外加入個人對於設計方案的其他構想或設計方法。評估的對象為自由形體設計（公信電子接待大廳），而非一般建築設計。

範例

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續
2	4	1	1	5	3	2	3

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

各設計因子之定義

外部造型：建築或空間的形狀。內部空間：空間的種類、機能以及相互關係。比例：物件、空間、或建築自身的長寬比。尺度：構件與構件、人、或空間的相對比例關係。動線：人在建築空間環境中移動的過程、行進的路線。結構：建築的主要架構。材質：提供的材料。視覺連續：設計媒材所能提供動態視覺效果，也就是在視覺上的連續性。

1. 假設以素描作為設計媒材，根據實驗所提供本案於概念設計階段的設計過程所有相關圖片與圖檔，計量評估素描在自由形體設計中對下列各設計因子(詳上述定義)的有效度。評估的依據以實驗所提供之本案既有的設計方案與內容為限，切勿額外加入對於設計方案的其他構想或設計方法。評估的對象為自由形體設計(公信電子接待大廳)，而非一般建築設計。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

2. 假設以影像作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

注意：此處所謂影像指的是 image processing，因此不論有無經過合成處理的影像，只要在設計上有用到的都包含在內。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

3. 假設以 2D 圖面作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

4. 假設以 3D 實體模型作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

注意：由 Laser Cutter 切割後組成的實體模型皆歸類於 CAD/CAM 媒材，而非實體模型媒材。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

5. 假設以 3D 數位模型 作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

6. 假設以 動畫 作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

7. 假設以 虛擬實境 作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

8. 假設以 CAD/CAM 作為設計媒材，與上述相同實驗方法及注意事項，針對下列各設計因子作計量評估。

注意：CAD/CAM 媒材指的是 CNC、3D Scanner、RP、雷射切割等媒材。

外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續

很沒幫助 1 . 2 . 3 . 4 . 5 很有幫助

2. 實驗結果彙整

表 1 概念設計階段實驗初步結果

	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺
素描	2.7	2.9	2.8	2.9	1.6	2.9	1.6	1.7
影像	2.6	2.4	2.3	2.6	2.3	1.5	2.4	1.5
2D 圖面	1.5	3.3	3.4	2.9	3.6	2.0	1.1	1.2
3D 實體模型	3.6	3.1	3.1	2.9	2.5	2.9	1.5	2.8
3D 數位模型	3.9	4.0	3.2	3.0	3.0	3.5	2.5	3.4
動畫	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
虛擬實境	3.6	4.2	3.3	3.4	3.6	3.7	2.9	4.5
CAD/CAM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

表 2 設計發展階段實驗初步結果

	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺
素描	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
影像	2.0	3.6	3.0	3.3	2.5	2.3	3.7	2.0
2D 圖面	2.0	2.4	3.0	2.6	2.9	3.3	1.3	1.4
3D 實體模型	3.2	2.9	3.3	3.3	2.5	3.2	2.0	2.6
3D 數位模型	3.7	4.0	3.6	3.3	3.0	3.8	3.6	3.2
動畫	2.3	3.8	2.9	2.7	3.9	2.6	3.3	4.7
虛擬實境	3	4.4	3.6	3.7	3.9	3.5	3.3	4.8
CAD/CAM	3.2	2.9	3.6	2.8	2.2	4.4	2.2	2.5

表 3 細部設計階段實驗初步結果

	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺
素描	1.6	1.6	2.6	1.7	1.4	3.5	2.4	1.2
影像	1.8	2.8	2.8	2.6	1.7	2.4	3.6	1.4
2D 圖面	2.1	2.0	4.1	3.5	2.0	4.1	2.1	1.4
3D 實體模型	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3D 數位模型	3.3	3.0	3.6	3.2	2.5	4.4	3.1	2.7
動畫	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
虛擬實境	3.0	3.3	3.3	3.3	3.0	4.1	3.3	4.4
CAD/CAM	2.9	3.0	4.6	4.1	2.7	4.7	4.2	2.9

表 5 設計發展階段二組受測者差異性結果

		外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續
素描	去過現場								
	沒去現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
影像	去過現場	2.0	3.9	3.4	3.6	2.5	2.5	3.8	2.2
	沒去現場	2.0	3.2	2.6	3.0	2.5	2.1	3.5	1.8
		0.0	0.7	0.8	0.6	0.0	0.4	0.3	0.4
2D 圖面	去過現場	2.1	2.3	3.1	3.0	3.0	3.6	1.2	1.1
	沒去現場	1.9	2.5	2.8	2.2	2.7	2.9	1.3	1.7
		0.2	-0.2	0.3	0.8	0.3	0.7	-0.1	-0.6
3D 實體模型	去過現場	3.4	3.1	3.6	3.5	2.8	3.2	2.0	2.7
	沒去現場	3.0	2.7	2.9	3.0	2.1	3.1	1.9	2.4
		0.4	0.4	0.7	0.5	0.7	0.1	0.1	0.3
3D 數位模型	去過現場	3.6	4.1	3.7	3.3	2.9	3.8	3.5	2.8
	沒去現場	3.8	3.8	3.4	3.3	3.0	3.8	3.7	3.5
		-0.2	0.3	0.3	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.7
動畫	去過現場	2.4	4.1	3.0	2.7	4.0	2.9	3.3	4.6
	沒去現場	2.1	3.5	2.8	2.7	3.8	2.3	3.2	4.7
		0.3	0.6	0.2	0.0	0.2	0.6	0.1	-0.1
虛擬實境	去過現場	2.9	4.4	3.4	3.3	3.7	3.5	3.2	4.8
	沒去現場	3.1	4.3	3.7	4.1	4.1	3.5	3.3	4.8
		-0.2	0.1	-0.3	-0.8	-0.4	0.0	-0.1	0.0
CAD/CAM	去過現場	3.1	2.7	3.4	2.4	2.2	4.4	2.3	2.6
	沒去現場	3.3	3.0	3.7	3.2	2.1	4.4	2.1	2.3
		-0.2	-0.3	-0.3	-0.8	0.1	0.0	0.2	0.3

表 6 細部設計階段二組受測者差異性結果

		外部造型	內部空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺連續
素描	去過現場	1.2	1.2	2.6	1.7	1.0	3.5	2.8	1.0
	沒去現場	2.0	2.0	2.6	1.6	1.7	3.4	2.0	1.4
		-0.8	-0.8	0.0	0.1	-0.7	0.1	0.8	-0.4
影像	去過現場	1.8	2.7	2.8	2.9	1.4	2.5	3.6	1.1
	沒去現場	1.8	2.9	2.8	2.3	1.9	2.3	3.5	1.6
		0.0	-0.2	0.0	0.6	-0.5	0.2	0.1	-0.5
2D 圖面	去過現場	1.8	1.6	4.3	3.6	1.7	4.3	2.3	1.3
	沒去現場	2.4	2.4	3.8	3.4	2.2	3.9	1.9	1.5
		-0.6	-0.8	0.5	0.2	-0.5	0.4	0.4	-0.2
3D 實體模型	去過現場								
	沒去現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3D 數位模型	去過現場	3.2	2.6	3.5	3.0	2.3	4.7	3.4	2.5
	沒去現場	3.4	3.3	3.6	3.3	2.6	4.1	2.7	2.9
		-0.2	-0.7	-0.1	-0.3	-0.3	0.6	0.7	-0.4
動畫	去過現場								
	沒去現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
虛擬實境	去過現場	2.8	3.3	3.5	3.4	3.0	4.2	3.9	4.1
	沒去現場	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	3.9	2.7	4.6
		-0.4	0.1	0.4	0.3	0.0	0.3	1.2	-0.5
CAD/CAM	去過現場	2.7	2.6	4.6	4.0	2.7	4.7	4.8	2.8
	沒去現場	3.0	3.3	4.5	4.2	2.6	4.7	3.6	3.0
		-0.3	-0.7	0.1	-0.2	0.1	0.0	1.2	-0.2