

國立交通大學

土木工程學系

博士論文

自由形體設計過程中的新媒材研究

A Study of New Design Media in the Process of Free-Form Design



研究生 林政緣

指導教授 劉育東

中華民國九十四年七月

自由形體設計過程中的新媒材研究

學生：林政緣

指導教授：劉育東

國立交通大學土木工程學系

摘要

過去關於設計媒材與設計過程的研究中，數位媒材的精確度確實造就了自由形體建築的實現，但突破與創新經常伴隨新問題的發生，而關於自由形體建築的研究仍十分有限，因此本研究將從數位媒材以及自由形體設計的相關研究推導出新的研究議題，並試圖尋求與新媒材虛擬實境結合的可能性。

本研究試圖透過 VR cave 來介入自由形體的建築設計過程，並搭配目前既有之設計媒材，期望藉由設計與人的互動性，輔助設計者更容易掌握自由形體設計，探討空間感知與設計方法的關聯性，進而獲得自由形體設計流程中各類設計媒材的重要性分析歸納與整理。

當設計問題是既有設計媒材所無法掌握的時候，就必須倚賴更新的設計媒材來解決問題，也就是以新媒材來介入其設計過程。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 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。

A Study of New Design Media in the Process of Free-Form Design

Student : Cheng-Yuan Lin

Advisor : Yu-Tung Liu

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

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.

誌謝

謹將這本論文獻給我的母親 潘聰良女士



目錄

第 1 章 緒論	1
1-1 研究問題	2
1-2 研究目標	5
1-3 研究方法與步驟	6
第 2 章 文獻回顧	10
2-1 自由形體在設計媒材中的發展	10
2-2 虛擬實境在設計媒材中的發展	17
第 3 章 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析	24
3-1 自由形體設計流程的媒材分析架構	24
3-2 案例分析：VR cave 介入自由形體設計前的媒材分析	28
3-3 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析	38
3-4 案例分析：訪談設計者以確認初步媒材分析	41
第 4 章 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析修正與確認	45
4-1 確立設計因子	45
4-2 實驗方法與步驟	49
4-3 實驗結果	56
4-4 實驗分析與討論	62
第 5 章 結論與後續研究	71
5-1 研究結論	71
5-2 研究貢獻	72
5-3 研究限制	72
5-4 後續研究	73
參考文獻	75
個人簡歷	79
附錄一 先期實驗	80
附錄二 設計者訪談內容	84
附錄三 空間實驗問卷與結果	97

第 1 章 緒論

早期在電腦尚未發展成熟時，已有一些關於呈現方式與傳統媒材的研究(Arnheim, 1969; Kostof, 2000)，古代建築師用文字描述抽象的建築設計過程(Hewitt, 1985)，設計過程從「自然」到「刻意」持續演化(Alexander, 1964)，發展至十九世紀之前，二維圖面仍然只傳達了抽象的視覺思考與視覺概念化的語彙(Goldschmidt, 1999)，建築設計仍處在極具限制的呈現方式。文藝復興時期對於設計方法與呈現方式最大的貢獻，就是在設計過程中大量地使用模型，讓造型與空間設計獲得較佳的精確度(Millon, 1994)。直到二十世紀，造型上的限制被少數幾位建築師所突破，這些建築必須靠空間想像力來建造，在歷史上只能期待偶爾出現，而不可能成為一種設計方法。

隨著科技的發展電腦逐漸地參與設計方法與設計過程，新的設計呈現方式，提供了傳統使用圖面與模型之程序以外的可能性(Lai, 1997)。Mitchell(1997)分析整合傳統設計媒材與數位設計媒材，強調電腦應更普遍地延伸並融入設計過程。90年代電腦已能精準的模擬空間形式、光線以及材質的變化，對於瞭解建築設計的議題、概念和發展有相當的幫助。經由數位模型的詮釋與檢討，傳統的建築元素、形式、空間等均有機會被重新定義(Madrado, 1999)。電腦媒材確實影響設計思考與設計過程，有助於設計認知、直覺、與創造力的發揮(Hanna and Barber, 2001)，因而使數位化的建築思考模式逐漸成形(Liu, 1996; Krawczyk, 1997)。

新的設計思考方式引發新的建築形式—自由形體建築，在實務界中最具代表性的例子是當代的 Frank O. Gehry，利用數位 3D 掃描器跨越了 2D 圖面的限制，其作品充分展露出建築形式與空間的多樣性，呈現曲率各異的精確造型。(Zaera, 1997)。數位設計媒材與自由形體建築設計逐漸深入各個建築專業領域，透過電腦輔助製造的技術，將其數位化之造型直接轉化為實體建築，在營造上完全沒有幾何化的妥協(Rugemer, 2001)，數位時代的建築所面臨的挑戰是如何去實現建造，自由形體設計為建築帶來許多新的可能性(Zellner, 1999; Kolarevic, 2001)，並持續的挑戰建築的歷史發展。

數位媒材逐漸在設計方法與設計過程中扮演極為重要的角色(Simon, 1981; Bai and Liu, 2001)，大量的研究持續試著釐清各種不同設計媒材與呈現方式所產生的影響(Eastman and Fereshetian, 1994)。多媒體(multimedia)設計當中相當重要

的一項是虛擬實境 (virtual reality, VR)。虛擬實境可定義為人與電腦所產生的動態虛擬環境 (virtual environment, VE) 所發生的互動關係，其使用者介面完全不同於傳統的電腦輔助設計，徹底改變了研究者的設計思考。目前已經有大量關於虛擬實境的研究 (Belleman et al., 2001)，並將虛擬實境這項科技深入地應用在實際的建築案例上 (Dam, 2000; Li et al., 2001)。目前發展中的虛擬實境系統有許多類型，隨著個人電腦的研發，PC-based 的虛擬實境空間模擬器 (VR cave) 系統愈來愈普及 (Cruz-Neira, 1998; Blach et al., 1998)。

虛擬實境的科技刺激了建築的創造力，VR cave 提供一個可沈浸的虛擬環境，呈現模擬真實環境的視覺效果，透過三維的輸入裝置和相互作用的技術，讓使用者在能夠即時自由創造或者修改 (Paranandi and Sarawgi, 2002; Baker 2000)。當使用者在虛擬實境中從事設計會產生不同的觀點與設計過程，增廣設計者的視野，想像力會更加豐富並刺激各種不同的設計思考，因此設計的品質因而提昇 (Rheingold, 1991; Schnabel, 2003)。

在過去關於設計媒材與設計過程的研究中，數位媒材的精確度確實造就了自由形體建築的實現，但突破與創新經常伴隨新問題的發生，而關於自由形體建築的研究仍十分有限，因此本研究將從數位媒材以及自由形體設計的相關研究推導出新的研究議題，並試圖尋求與新媒材虛擬實境結合的可能性。

1-1 研究問題

每個歷史時期的建築在時間與空間中產生差異性，相對地反應出不同時代的空間觀念與歷史風格 (Handa 1999)，數位時代的建築，所面臨的挑戰不僅止於如何去設計，而且還包含如何去實現設計，如同工業時代來臨之前。Mitchell (1998) 提及，當畢爾包的古根漢美術館完成建造時，最尖端的建築師們開始領悟到新空間形式的時代已經開啟，現今電腦輔助設計與製造的技術讓複雜度、精確度極高的自由形體 (free-form) 建築得以在合理的預算與時程計劃中完成。設計過程與設計媒材息息相關 (Hewitt, 1985; Kouzeli, 2001)，當新媒材逐漸介入設計的過程，便很容易刺激新的設計思考方式，透過各種媒材不同的呈現方式讓建築充分展露出各種不同的多樣性 (Bruggen, 1998; Madrazo, 1999; Liu, 2002)。自由形體建築便是在數位媒材精確運算的特性之下得以實現，因為自由形體的設計中沒有任何一個單元是標準化之模具及尺寸，每個單元皆各自有其不同的角度與曲率，

自由形體建築在生產及測試上特別需要精準度 (Krawczyk, 1997; Saunders, 1999), 因此若缺少數位媒材, 自由形體建築便無法實踐 (Mitchell, 1997; Osman, 2001)。

1-1-1 傳統媒材的不足

建築設計媒材發展至十九世紀之前, 因為沒有實體模型的輔助, 二維圖面仍然只傳達了抽象的視覺思考與視覺概念化的語彙 (Kostof, 1985; Goldschmidt, 1999; Adam, 1990); 文藝復興時期對於設計方法與呈現方式最大的貢獻, 就是在設計過程中大量地使用模型, 除了掌握量體也掌握細部, 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, 即使發展至二十世紀, 造型上的限制被少數幾位建築師所突破, 如 John Uzon 所設計的雪梨歌劇院 (圖 1-1), 但仍然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, 沒有更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); 同時這類建築在歷史上僅能期待偶爾出現, 而難以成為一種設計方法 (Liu, 1996; Liu and Eisenman, 2001)。

1-1-2 數位媒材解決傳統媒材的不足

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, 自九〇年代開始浮現 (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，藉由數位媒材踰越 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）。

1-1-3 數位媒材衍生的新課題

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（圖 1-2），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：能夠實現天馬行空般之造型概念，精準地決定主要結構中每個部份的位置及尺寸，在營造上沒有絲毫幾何化的妥協，是否就意謂著「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？

1-1-4 新課題的探討

為了確認數位媒材在面對自由形體空間設計時的不足，本研究進行了一項先期實驗，以問卷的方式調查現有的設計媒材（包含素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫）所呈現的自由形體之空間感是否與實際空間所呈現的空間感相符合。選定的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（Liu and Lee, 2002），實驗一開始首先獲得此案例所有的原始設計資料，包含素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫以及其他相關圖面（圖 1-3），接著二十位具備熟悉數位設計媒材之有經驗設計者們，在充分仔細的閱讀所有原始設計資料之後，比較腦中呈現的空間感知與現場空間經驗（圖 1-4）所獲得的實際空間感知在各向度的差異性。

所有實驗數據經過整理分析之後（圖 1-5），整體的認同度結果為 37% 很接近或類似，63% 相異或不相同（附錄一），因此，素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫等設計媒材雖然解決了原設計媒材的不足，成就了非幾何自由形體建築，但同時卻也由於新空間形式因而衍生出數位設計媒材自身的不足（圖 1-6）。

1-1-5 新媒材（虛擬實境）的需求

回顧媒材歷史的發展，當舊媒材無法解決設計的問題的時候，就必須依賴新媒材來解決（Alexander, 1964; Liu, 1996）。在先期實驗當中，受測者在空間的尺度、大小、以及室內空間的關係，明顯反應出極大的差異性，而目前在設計領域所研發的各種新設計媒材科技當中，VR cave 繼承數位模型的特質，具備極高的精準度，透過互動性的逼真視覺模擬，使人相信置身於真實的環境中，擁有極佳的空间感知與輔助設計的能力，彌補先期實驗所反應之數位媒材的不足（Chan and Cruz-Neira, 1999; Spalter et al., 2000; Acevedo et al., 2001; Fukuda et al., 2001; Paranandi and Sarawgi, 2002），因此本研究將試圖以虛擬實境之技術運用在自由形體的設計過程中。

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。基於先期實驗針對新課題自由形體設計的分析與推論，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 1-7）。

1-2 研究目標

新設計媒材的出現，解決了舊媒材無法掌握的設計問題，且經常引發新的建築形式，數位設計媒材（影像、2D 圖面、3D 數位模型、動畫等）便是透過其精確的運算能力，建構複雜的建築形體而造就了非幾何自由形體空間形式。然而新的建築形式是建築設計不斷尋求突破與創新的初期成果，無可避免會產生新的設計問題，例如先前在研究問題所確認的數位媒材在自由形體設計上無法充分傳達設計者的抽象概念，而存在著「心智空間呈現」與「實體空間呈現」的差異性，因此

數位媒材雖然解決了傳統媒材的不足，同時卻由於新空間形式因而衍生出數位設計媒材自身的不足。

回顧過去設計媒材的歷史發展，當設計問題是既有設計媒材所無法掌握的時候，就必須依賴更新的設計媒材來解決問題。如先前「研究問題」中之先期實驗之分析推論，數位媒材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，而目前 VR cave 具備極高的精準度與互動性的逼真視覺模擬，彌補先期實驗所反應之數位媒材的不足，因此本研究將探討如何運用虛擬實境的技術在自由形體建築的設計上？目的是使設計者在操作自由形體建築設計時，能更精確地傳達設計概念。

本研究試圖透過 VR cave 來介入自由形體的建築設計過程，並搭配目前既有之設計媒材，期望藉由設計與人的互動性，輔助設計者更容易掌握自由形體設計，探討空間感知與設計方法的關聯性，進而獲得自由形體設計流程中各類設計媒材的重要性分析歸納與整理。



1-3 研究方法與步驟

當設計問題是既有設計媒材所無法掌握的時候，就必須倚賴更新的設計媒材來解決問題，也就是以新媒材來介入其設計過程。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 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。

1-3-1 案例分析：VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析

首先透過案例分析 (case study) 的研究方法進行 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析，案例的資料收集 (collected data) 包含三大類：第一是取得研究案例的既有素材 (existing materials)、第二是觀察研究案例的設計過程 (process observations)、第三是對該案例設計者的訪談內容 (interviews of the designers)。研究方法共分為以下三步驟：

- 整理歸納 VR cave 介入自由形體設計前的媒材重要性分析

- 初步推演 VR cave 介入自由形體設計後各類媒材的重要性
- 訪談設計者以初步確認設計流程中各類媒材的重要性

1-3-1-1 VR cave 介入自由形體設計前的媒材分析

以案例分析的方式探討 VR cave 介入自由形體設計前各類媒材的重要性，為了精確的掌握虛擬實境媒材與設計之間的關係，本研究透過案例資料中的既有素材與過程觀察，全程觀察實際的自由形體建築案例的設計過程，包含設計概念發想與演變過程，獲得最完整的既有原始資料，並深入地探討一般設計媒材的問題，忠實的釐清自由形體的設計問題，以歸納出 VR cave 介入自由形體設計前各類媒材的重要性。而研究案例資料的既有素材收集與過程觀察，必須注意下列幾點：

1. 全程觀察此案之設計過程。
2. 獲得各個階段所有的草圖、概念圖、2D、3D 圖面以及電腦模擬圖。
3. 記錄設計發展的過程。
4. 建立本案完整之檔案資料庫，依時程與檔案類型做好分類與彙整。

本研究選定的案例為位在中國大陸廣州深圳出口加工區的兆曜電子廠房接待大廳設計案，設計單位為交大建築研究所，研究案例為三層樓高之高科技電子廠房建築，佔地約 5000 平方公尺，造價約為二千萬元之工程。由於該案之業主認同自由形體設計（圖 1-8），因此也希望在其電子廠房（圖 1-9）能夠擁有類似的自由形體設計。

1-3-1-2 初步推演 VR cave 介入自由形體設計後各類媒材的重要性

主要是希望在研究案例的設計過程中充分利用 VR cave 來輔助設計的發展，過程分為三階段，概念設計階段、設計發展階段、以及細部設計階段，在每個設計階段中透過 VR cave 的媒材特性，進行各種設計操作與呈現模擬（圖 1-10），探討其對於設計的影響力，以及在輔助設計方面與其他媒材優缺能力比較分析，最後推演出 VR cave 介入自由形體設計後各類媒材的重要性。

本研究所採用的虛擬實境設備是一套以 PC-Based 的三面式背投影設備，共六台單槍投影機，每台投影機由一部電腦控制，六部電腦藉由區域網路相互連結作為 Client 端，另有一台額外的電腦作為 Server 端（圖 1-11），控制六部 Client 端同步顯示，二台投影機同時投射左右眼的即時立體影像，受測者使用時須配戴被動式偏光型立體眼鏡。以高階的運算配合高品質的影像輸出模擬真實度與沉浸感，此系統不但具備沉浸式高真實度的立體視覺效果，同時能透過軌跡控制棒（hand

tracking) 的介面讓使用者與模擬系統作即時的互動。

完成研究案例的 VR cave 模擬與分析之後，了解各類設計媒材在各個設計階段中的重要性與必要性，彙整資料作整理分析與比較，以推演出 VR cave 介入自由形體設計後的媒材重要性，媒材分析之組織架構如圖 1-12 所示。

1-3-1-3 訪談設計者以確認初步媒材分析

在案例資料中包含一項訪談 (interview)，受訪者為研究案例的設計團隊中二位主要的設計者。本研究在獲得一個以 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析之後，將案例研究資料中對設計者的訪談內容 (interviews of the designers) 作為分析依據，進行階段性的確認。

1-3-2 空間實驗：VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析修正與確認

在以案例分析的方式推演出 VR cave 介入自由形體設計後的媒材重要性，本研究接著將進一步操作一項空間實驗，分析比較自由形體的設計過程中，使用傳統 2D、3D 媒材、各類數位媒材以及 VR cave 的優缺點，進而修正並確認 VR cave 介入自由形體設計後的媒材重要性分析。

1-3-2-1 確立設計因子

為了讓各類設計媒材在實驗中有比較的依據，同時確立實驗的可信度與理論基礎，本研究試圖從早期關於設計方法與設計行為的研究中，整理歸納隱含在設計行為中的設計因子，最後確立本研究在操作實驗中的設計因子項目如下：

- 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 (proportion)。
- 尺度：構件與構件、人、或空間的相對比例關係 (scale)。
- 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：提供的材質材料。
- 視覺動態：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。

1-3-2-2 選定受測者

空間實驗選定 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，由於本研究著重於自由形體建築設計與空間認知，因此受

測者必須是建築或設計相關科系的背景，受過建築設計或室內設計的專業訓練，同時在實驗的操作過程中，受測者必須使用各種不同的設計媒材，包含各類的數位媒材，因此受測者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。

1-3-2-3 評估工具

本研究在實驗問卷的部分採等距評量法 (graphic rating scale) 當中的五點尺度評定法 (five-point rating scale)，也是一般研究中最簡單也最普遍的評估方法，作為評估受測者反應的依據 (Likert, 1967)，以形容詞來描述刺激知覺的數值，讓受測者在既定的範圍中選擇最能表現其知覺的項目，以檢測受測者對各項議題的認知程度 (圖 1-13)，此評估方法亦可作為評估態度、信念、或意見等。

1-3-2-4 實驗步驟與方法

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操作檔案並填寫問卷，填寫完一個設計階段的問卷之後，進入下一個設計階段，過程中受測者可隨時表達意見或提出問題，實驗共須完成 20 位受測者 (圖 1-14)。

針對 20 位受測者的回收問卷，依據受測結果作初步分析，以造型、空間、比例、尺度、動線、結構、材質、與視覺動態，作為分析因子，綜合分析結果不斷修正並檢測及確認可信度之後，完成整個 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析。

第 2 章 文獻回顧

2-1 自由形體在設計媒材中的發展

2-1-1 傳統媒材之發展

早期在電腦尚未發展成熟時，已有一些關於呈現方式與傳統媒材的研究 (Arnheim, 1969; Kostof, 1985)，古代建築師用文字描述抽象的建築設計過程 (Hewitt, 1985)，設計過程從自然到刻意持續演化 (Alexander, 1964)，每個歷史時期的建築在時間與空間中產生差異性，相對地反應出不同時代的空間觀念與歷史風格 (Handa 1999)。古埃及時代，許多大型的建築設計案在建造前便先將設計者的概念，透過平面與立面圖畫出來，同時在圖面的呈現上，已經有輔助規線來控制立面的比例，這是建築史上透過二維的呈現媒材來從事設計思考最早的例子 (Millon 1994)。古希臘時代延續古埃及的發展而有更進一步的二維圖面的呈現方式，此時的平面圖表式法已經與現今的方式十分接近，例如以雙線表示牆的厚度，平面圖已能定義到相當明確的程度 (Kouzeli, 2001)。因此，當時二維圖面的使用是建築師表達設計概念的必要方式，建築物的平面與立面基本上十分規律，這種規律性與幾何性大部分來自當時對美感的要求。古羅馬時期二維圖面運用在表達建築概念上，已經發揮的淋漓盡致，由於二維圖面的健全發展，因此在建築設計上已初具空間變化性，但基本上仍然是規律、秩序的東西 (Adam, 1990)。中世紀時期的建築在呈現媒材的發展上並沒有明顯的突破，仍然只依賴圖面來輔助思考未來的空間及量體，而沒有將模型的概念帶到設計過程中，當時的宗教紀念性模型，並非在建造前作為輔助設計的媒材，不過模型的形體與空間開始複雜、求變化，並且有人和尺度的觀念，也有一些比較細緻的裝飾 (Recht et al, 1985)，為文藝復興時期的媒材發展奠定了基礎。建築設計媒材發展至十九世紀之前，二維圖面仍然只傳達了抽象的視覺思考與視覺概念化的語彙 (Goldschmidt, 1999)，建築物的造型還不能展現基本的自由度，腦中的概念無法透過畫圖表現出來，只能完全靠口述形容的，建築設計仍處在具限制的媒材呈現方式。從哥德晚期一直到文藝復興時期，建築形式的變化在建築呈現媒材的發展上產生了推波助瀾的效果 (Kostof, 1985)。

文藝復興時期對於設計方法與呈現方式最大的貢獻，就是在設計過程中大量地使用模型 (圖 2-1)，除了掌握量體也掌握細部，讓造型與空間設計獲得較佳的精確

度 (Millon, 1994)。此時，模型已不再是宗教儀式性質，而是突破二維圖面媒材在處理設計思考上的限制，藉由三度空間的實體模型將建築形式、空間、結構清楚表達 (Lin, 1999)，自文藝復興早期開始，模型的參與已經成為建築設計思考過程不可或缺的媒材，文藝復興以後模型在設計過程中所扮演的角色，就是彌補二維圖面的限制，模型使建築創作者的設計概念更加具體，更能精確地掌握建築形式、空間、結構、與細部，因此文藝復興建築的形式比以往更豐富而多變化性。設計者透過二度空間圖面與三度空間模型相互搭配，在設計的不同階段運用不同的媒材具體呈現抽象概念，一直到今日都是最基本的設計方法與過程 (Liu and Eisenman, 2001)。模型雖然解脫了二維圖面的不確定性，但距離天馬行空般的概念還很遙遠，一直到二十世紀，造型上的限制被少數幾位建築師所突破，包括 Antoni Gaudi 的 Casa Batllo、Le Corbusier 的 Ronchamp Chapel、Rudolf Steiner 的 Goetheanum (圖 2-2)，這些建築在歷史上只能期待偶爾出現，而不可能成為一種設計方法 (Liu, 1996)。

2-1-2 數位媒材之發展

電腦參與建築設計的發展歷史，可以從 1963 年電腦初始具備畫圖能力算起 (Liu, 1995)，科技的日新月異帶動了建築設計的成長，從只有尺和筆作設計的年代，研究者開始將電腦繪圖的能力應用在建築設計上，同時運用電腦處理大量資料的能力，做一些複雜的運算工作與資料儲存，整合其相關的建築圖文資料 (Eastman and Fereshetian, 1994)，藉著軟體的操作以加強設計者與他人之間的溝通，電腦逐漸成為建築設計最重要的革命性工具，即是早期所謂的「電腦輔助繪圖」，屬於設計表現的層面 (Cao and Protzen, 1999)。科技演進至 1993 年，電腦在影像處理與合成技術發展健全，同時電腦模擬與動畫科技也日漸成熟，再加上網際網路的突然興起，為建築帶來更大的衝擊，全球的建築圖文資料也是建築知識都能在網際空間中隨時隨地快速的取得與交流，此時電腦已經超越軟體應用的範圍而進入設計本身，在設計的領域中不再只被視為「工具」，而是進一步成為參與設計思考與施作方式的呈現媒材。

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，自九〇年代開始浮現 (Goldschmidt 1999)。建築空間以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 3D 中思考設計，直接借由電腦模型的修正則比較容易達到 (Lai, 1997)，相對於傳統的設計工具，電腦踢除了許多二度空間的步驟，而避免掉許多錯誤及瑣碎的動作。九〇年代電腦已能精準的模擬空間形式、光線以及材質的變化，對於瞭解建築設計的議題、概念和發展

相當有幫助，不論是在設計的早期或晚期，因而產生了新的視覺衝擊影響評估的設計程序，(Bai and Liu, 2001)。電腦逐漸參與設計方法的過程，設計師抽象的概念，必須藉圖面、傳統模型、電腦模型以及相關模擬的分析，一同搭配來表達，更能清楚地表達其原本抽象的概念，加強設計者與他人之間的溝通，如同 Liu (1996) 提出的當代數位化建築思考模式的初步理論模型，建築的設計過程與設計方法在二維向度、三維向度、以及數位表現三者之間轉換運行(圖 2-3)，強調的是建築設計過程與設計方法的轉換運行。

其他電腦媒材諸如影像處理、動畫以及虛擬實境等等，在設計方法與設計過程中都扮演極為重要的角色，並實際有效地使用在設計過程中各個不同的階段，Simon (1981) 所提出的人類逐漸依賴電腦工具來增加認知能力的論述，從近年來關於呈現方式與傳統媒材的研究得到印證，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)，不論應用在建築教育、網際網路 (Murray, 1997)、甚至古蹟復建的學術研究議題上皆強調概念與呈現媒材是緊密結合在一起的 (Potier et al. 2000)。

如果將建築的形體作為研究探討的主題，其發展的歷程也能夠視為一段完整的建築史。在十九世紀之前，建築物的造型還不能展現像雕塑品般的自由度，主要是因為建築設計仍處在具限制的呈現方式 (Liu, 1996)，設計者經常運用建築的手法，來詮釋許多從自然界觀察所獲得的自由線條與形體，然而眼前的景物與空間的想像雖然無限自由，但落實為建築的形式時，卻受到設計表現法、建築材料、結構與施工技術的限制，最終只能以幾何的線條來轉化自然界自然的形體。這種由觀察到思維，由思維再到創作的侷限性，一直是十九世紀以前建築師所無法突破的困境。

傳統的建築設計透過圖面、模型來從事概念創作，其中模型經常用來解決 2D 圖面所無法解決的複雜問題 (Lin, 1999)，這從文藝復興時期大量使用模型的建築歷史發展可以獲得驗證 (Millon, 1994)。雖然設計者試圖以模型創作的方式突破正交座標的束縛，讓建築創作者在建築形式上有較大了發揮，但卻陷於因施工需求所必須繪於二維平面的窘境，無法克服建築巨大尺度的限制 (Lai, 1997)，最後還是回歸以幾何的線條來轉化自然形體的無奈。

建築形體發展到現代主義之後，愈來愈多的建築師企圖解放這種形體與空間的先天限制，如前述 Antoni Gaudi 的 Casa Batllo、Le Corbusier 的 Ronchamp Chapel、

Rudolf Steiner 的 Goetheanum，以及 John Utzon 的雪梨歌劇院，都展現創造自由形體與空間的理念，然而其設計過程卻必須仰賴建築師過人的空間知覺與空間操作能力，並配合高度專業訓練的工匠進行施工，以釐清建築呈現方式與實際建築物之間的模糊地帶，克服掌握建築量體精準度與自由度的困難，突破當時圖面與模型的侷限，這些成功落實的著名案例再三突顯建築師追求自然與解放建築的渴望（Liu and Eisenman, 2001）。

2-1-3 自由形體設計之浮現

上述這些設計方法與施工方式的限制，隨著九〇年代數位科技的快速發展而逐漸鬆動，電腦在技術上的開發與突破，以 3D 物件取代平面語彙，促使電腦介入了建築設計思考的層次，儼然成為當代新的輔助思考的設計媒材，Sanders 從一個執業者的觀點評論「學設計的人必須知道如何利用電腦軟體在三維向度中思考設計，組織技巧是非常重要的。」教育者和執業者必須能用這些新的科技來重新思考設計的方式，並從各個層面來做建築設計的探究（Mitchell 1997）。這種新趨勢所帶出來的建築特徵，是形式的極度自由化和曲線化，透過電腦模型的製作，精確的模擬建築的形式與結構的分析，從設計到生產，數位一直是必需品，電腦模型的數位資料直接輸出到工廠的製造過程，透過電腦輔助製造的技術，每一塊不同曲率而精準的面板便輕易完成，全球建築界因而陸續產生數位建築並持續快速地增加。

這些數位建築最大的特色就是造型的變化，但不只是設計的邏輯，美學與原創性也是相當重要，設計者在造型的過程中若沒有積極思考，設計是不會發生的，而在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）。電腦運用龐大的記憶與運算的速度，細緻逼真地模擬建築的材質與光影的效果，經由電腦模型的詮釋與檢討，我們所熟悉的建築元素、形式、機能、空間等均有機會被重新定義。

電腦介入傳統建築設計呈現方式，提供了傳統使用圖面與模型之程序以外的可能性，建築空間以非正交關係的複雜形式表現並不易藉二維繪圖所完成，若直接藉由三維電腦模型的修正則比較容易達到，電腦輔助建築設計在建築形式上，更能呈現曲率各異、形式各異的精確造型（Krawczyk, 1997）。在電腦輔助建築設計領域中，許多研究持續發表相關於設計的論述，其中最具衝擊性的爭議在於電腦究竟是設計工具抑或繪圖工具（Cao and Protzen, 1999），基於電腦輔助設計的理论

基礎與軟體發展，使得電腦有機會成為設計早期的設計工具，Hanna 與 Barber 於是嘗試研究電腦是否能成為設計過程中唯一的設計媒材，讓不具電腦經驗的學生接受以電腦作為唯一設計媒材的建築設計課程訓練，結論為電腦媒材確實會影響學生對設計過程的見解，有助於設計認知、直覺、與創造力的發揮 (Hanna and Barber, 2001)。

Mitchell (1997) 所分析的「整合傳統設計媒材與數位設計媒材」，說明實體建築與繪圖、實體模型、數位模型之間的互動關係 (圖 2-4)，強調電腦應更普遍地融入設計過程，並延伸進建築的過程，在那裡更多的價值會被找到。建構的程序讓傳統的平面文件轉成實際的建築；而相對的步驟則是測量繪圖的程序。但存在於三維模型和實際建築之間類似的關係，在今天並不普遍。當設計師開始畫圖的時候，設計與製造之間隔閡就會被開啟 (Mitchell and McCullough, 1995)。在建築專業界與產業界的領域中，電腦不應再只被視為繪圖表現法或只是視為設計意象，而是建築創作在數位時代中前瞻而且必然的發展，在實務設計的過程中，由設計概念一直到營造施工，都有必要去探討數位這項複雜而精確的設計思考媒材，設計者必須擁有數位媒材與建築設計兼備的能力，在設計早期至晚期全程投入，配合材料、營建、施工的需求，完成自由度、複雜度、精確度極高的自由形體建築 (Liu, 2002)。



2-1-4 自由形體建築之實務發展

數位建築在建築實務界中，當代的 Frank Gehry 是最具代表性的例子，Gehry 致力於追求沒有規則的建築，他曾說「我在設計小尺度的結構體時，僅定義線形和外部牆，而讓使用者去安排屬於自己的彈性空間，這樣他便和建築建立了另一層關係」(Gehry, 1976)。而在 1986 年，Gehry 發掘出一套極有效率的方法，能將設計發展至相當細部，並快速地建造完成，他以電腦作為輔助設計的媒材，打破了存在過去的枷鎖，從此改變了他的設計思考模式。這個關鍵性的轉變是他在西班牙巴塞隆納所設計的 Fish Sculpture，也是今日之數位建築的開端。Gehry 首先很快勾勒一個大概的草圖之後，便將此隨性的造型用木條彎曲出初步規模的模型，然後利用數位 3D 掃描器將它輸入電腦，成為數位化的電腦模型，利用電腦模擬進行空間的分析、結構分析、細部的掌握、造型的修飾等等，然後再由電腦模型輸出金屬的實體模型 (Mitchell and McCullough, 1995)，用來與業主檢討設計的發展，以及跟原始的木製模型作對比，最後由電腦模型轉換成各種平面施工圖，以便讓工廠能夠直接輕易地輸出每一個曲率不同的構件，將傳統營造廠所不熟悉的自由形體順利的施作完成 (圖 2-5)。

類似的設計過程也發生在 Gehry 日後所創作的許多設計案中，其中最著名的是西班牙畢爾包的古根漢美術館，Gehry 以未來派的設計風格，賦予美術館喚醒畢爾包過去的鋼鐵造船工業生命力，以及反應出畢爾包未來的遠景，吸引觀光客並且刺激都市的發展，成為世界知名的建築地標。在設計初期，快速勾勒草圖的過程中，經常會有模型的參與，因為 Gehry 操作設計的思考，一向將造型取決於模型的研究階段 (Bruggen, 1998)，然後將一系列粗糙的手工製模型利用數位 3D 掃描器跨越了 2D 圖面的限制，在電腦中產生連續曲面的數位模型，利用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)。接著輸出平滑的實體模型，如此反覆修改設計，而法國航太製造業所研發的軟體 CATIA 便成為 Gehry 工作的利器，CATIA 能精準地決定主要結構中每個部份的位置及尺寸，讓複雜的非幾何造型能夠以簡潔的連接做處理。從畢爾包的經驗中，Gehry 體會到 CAD 也能夠用來做施工前的演練，以獲取最經濟的效益 (Saunders, 1999)。最後電腦模型的每一個構件成為實際的曲面金屬牆或曲面玻璃牆，連接到 CATIA 的雷射測量裝置，能夠精準地放置每個構件，如此大量而複雜的金屬曲面，包被在建築之外依然平坦柔順，就和在電腦中所定義的完全一致，在航太工業中最基本的要求，相對於建築卻是很新的技術 (Osman, 2001)。



經歷若干個設計案之後，Gehry 嘗試過各種不同的設計過程，整體而言，是以數位 3D 掃描器將實體模型輸入電腦成為數位化的電腦模型 (圖 2-6)，再以雷射切割的技術，將電腦模型輸出精確的實體模型，如此反覆操作並加以揣摩檢討，這也正是 Mitchell (1997) 所提出的「整合傳統設計媒材與數位設計媒材」當中最重要的一環。

另一位數位建築的帶領者 Peter Eisenman 則運用電腦記錄了設計過程中的虛與實、存在模糊與清晰之間的另類空間，他曾說「如果不藉助電腦的運用，這些空間的思考是不可能的，電腦確實使他跳脫過去方正傳統、笛卡兒式的思考空間，脫離從前對空間及實體的束縛，電腦是將一個實體像雕刻般切出想要的形體，而他則喜歡在空間中架構形體」(Koch, 1997)。數位時代設計由概念圖中自我衍生，Eisenman 的建築蘊含著強烈的意志力，其空間型態的皺摺與扭曲創造出不同於笛卡兒座標關係的型態，電腦概念圖便發展成電腦繪圖與電腦模型，如果沒有電腦模擬建築涵構於環境中的尺度與關係，設計根本無法產生。

數位建築的發展與落實在 Gehry 以及 Eisenman 的帶領之下，數位設計媒材逐漸深入全世界的各個建築專業領域，舉凡 dECOi、Ocean、UN Studio、NOX 等新生代建築團體，皆不斷地嘗試各種新的數位建築實驗，在台灣所創辦的遠東數位建築獎，便在全球數位建築發展的關鍵初期，透過網際網路的虛擬空間，為新一代的設計者提供一個交流、觀摩、與競爭的機會 (Liu, 2002)。而獲得 2001 年遠東數位建築佳作獎的德國參賽者 Bernhard Franken，其作品 Dynaform-BMW Frankfurt Motorshow 2001 Pavilion，以簡潔流暢的自由形體設計而獲獎，將數位設計媒材落實在建築實務 (圖 2-7)。其設計的過程，是先利用與電腦動畫模擬之互動產生出造型，利用平面與剖面的曲率衍生出偏轉的力矩，作為縱向結構的依據，同時在量體的橫向等距產生剖面，以其剖面線作為橫樑的基本形體，這些都是此設計能夠實現的重要依據，而都必須藉由電腦媒材來完成。此設計已不具備一般的建築元素，如牆、柱、窗、及屋頂，很難去解讀其室內空間的機能，就像是一座獨立的雕塑品，這也是自由形體建築獨特的特徵 (Rugemer, 2001)。最後一個關鍵性的程序，是透過電腦輔助製造的技術，將其數位化之造型直接轉化為實體建築，在營造上完全沒有幾何化的妥協，這一點在自由形體建築的實務的過程中相當不容易達成的。

數位時代的建築，所面臨的挑戰不再只是如何去設計，而且還包含如何去實現建造，就如同工業時代來臨之前。自由形體設計為建築帶來許多新的可能性，電腦輔助製造的參與更激發了數位建築的潛力，建築已改造為形體上的實驗，其中部分為電腦運算的材料製造，部分為動態空間的塑形產生 (Zellner, 1999)。近幾年來，電腦輔助設計與電腦輔助製造對建築設計與營建造成進一步的衝擊，為建構複雜之形體建築提供了新的契機，那是相當困難而昂貴並且無法以傳統的營建技術實現 (Kolarevic, 2001)，當 Gehry 的前衛藝術建築完成的那一時刻，數位媒材設計對建築設計思考的改變是無可避免的，平面圖對於設計已經幾乎不具意義，統一、重複與對稱逐漸為無限的變化所取代，數位科技持續的挑戰建築的歷史發展 (Lin, 2002)。

建築師在從事建築創作的時候，就像藝術家一樣經常有無限的想像，然而受到設計媒材與營造技術的限制，經常必須與現實妥協，而藝術家沒有表現法與建築技術的包袱，創作的自由度遠超過建築設計創作，形成了純藝術與建築之間的差異。數位時代的電腦媒材融入了建築設計思考的過程中，在設計方法上產生的革命性的關鍵改變，因而解放了長久以來建築師受到傳統設計媒材的侷限，形成了完全自由的數位建築，漢寶德先生認為這類因數位科技解放後的空間，讓建築更

趨向純藝術。

2-2 虛擬實境在設計媒材中的發展

多媒體 (multimedia) 設計是最近相當熱門的研究議題 (Dave, 2000)，研究者希望利用多媒體為概念、設計與溝通帶來助益 (Madazo, 2000; Haymaker, 2000)，其中相當重要的一項便是虛擬實境。虛擬實境一詞可定義為人與電腦所產生的動態所發生的互動關係，也是人被三度空間電腦繪圖環境包圍的體驗，而且使用者可以在其中任意遊走、改變視角、抓取物件、或是更改其型態，而虛擬環境 (virtual environment, VE) 的目的是希望透過互動性的視覺模擬使人相信置身於真實的環境中，其使用者介面完全不同於傳統的電腦輔助設計，徹底改變了研究者的設計思考 (Rheingold, 1991)。目前已經有大量關於虛擬實境的研究，包括硬體的開發與系統的應用，虛擬實境可分為被動式 (passive)、探索式 (exploratory)、以及沉浸式 (immersive) 等三大類 (Belleman et al., 2001)。1960 年代，Ivan Sutherland 首次將虛擬實境實際應用在建築方面，到了 1980 年代後期虛擬實境漸漸的受到歡迎而普及化，並於 1990 晚期成為技術研發的主流 (Paranandi and Sarawgi, 2002)，將虛擬實境這項科技深入地應用在實際的建築案例上是有相當的研究價值 (Dam, 2000)。

2-2-1 虛擬實境之硬體設備

目前發展中的虛擬實境的硬體系統有許多類型，例如桌上型螢幕顯示的虛擬實境系統，頭盔式的虛擬實境系統 (head mounted display, HMD)，投影螢幕構成虛擬環境的沉浸式虛擬實境空間模擬器系統等 (Blach et al., 1998)。空間模擬器是一個約房間大小尺度的立方盒，其中三面牆與一面地板為投影之螢幕，由高解析度數位式之投影機，將 3D 立體視覺影像交錯投射至牆面與地板上，所產生的虛擬環境，使用者站在其中，透過所佩戴之主動式液晶遮柵立體眼鏡，將牆面上交錯的畫面正確地分配到左右眼，頭頂並有追蹤裝置以提供使用者與虛擬環境互動。最初由伊利諾州立大學 (Illinois University) 的電子視覺實驗室 (Electronic Visualization Laboratory) 所研發完成 (Cruz-Neira, 1998)，而接著愛荷華州立大學 (Iowa State University) 的人造環境實驗室 (Synthetic Environment Laboratory) 開發了第二代虛擬實境空間模擬器系統。

由於龐大的運算需求，目前虛擬實境空間模擬器大都用工作站等級的 Silicon

Graphics Onyx2 Infinite Reality³ 電腦主機與系統 (Baker 2000)。虛擬實境空間模擬器的設備必須能處理高階的運算並配合高品質的影像輸出，因此通常相當昂貴，其成本關係著模擬的真實度與沉浸感，最近隨著個人電腦的普及化，Li(2001) 研發出了 PC-based 的虛擬實境空間模擬器系統 (圖 2-8)。

直到目前虛擬實境的設備仍因為昂貴的經費需求而並不普及，但目前一般的個人電腦的等級已經能用來發展大型虛擬實境系統的主機。Belleman (2001) 的研究目標就是期望以最一般的硬體設備創造一套沉浸式虛擬實境系統，不但要滿足各類虛擬實境所需的特殊能力，同時盡量降低硬體的コスト。一般高畫質的螢幕是相當合適的顯示設備，但若要供多人使用則有畫面太小的困擾，最快的解決方法是採用高亮度的投影設備作大面積的投射，讓多人能同時觀看與使用，並且採用背後投影的方式讓使用者能自由地在螢幕前移動而不會干擾螢幕的投影。

投影式的虛擬實境系統可分為主動式與被動式二種產生立體影像的方式，主動式投影是同步交錯產生左右二眼的影像，透過偏光濾鏡或立體眼鏡讓左右眼接收到各自正確的影像，為避免造成眼睛疲勞而使影像失真，因此投影設備的顯示頻率必須在 100Hz 以上 (每一眼 50Hz)。立體眼鏡的鏡片使用液晶材質讓系統能透過有線或無線的方式控制其透明與否，因此投影右眼的影像便遮蔽左眼，反之投影左眼的影像則遮蔽右眼，雖然這樣的系統是最普遍的立體影像產生方式，但是硬體設備卻十分昂貴並且不適合長距離使用 (Li et al., 2001)。被動式投影則是透過線性的偏光眼鏡來區隔左右眼的影像，讓左眼接收水平線性影像，右眼接收垂直線性影像 (圖 2-9)，相對的也需要兩台投影機同樣分別透過線性偏光濾鏡投射左右眼的影像以對應使用者所戴的偏光眼鏡，被動式投影的缺點是兩台投影機必須十分準確相對的對齊。

控制影像輸出的系統可分為雙主機雙顯示卡、單主機雙顯示卡、單主機單顯示卡雙輸出孔、以及單主機單顯示卡雙輸出畫面，雙主機是藉由網路相互連結，兩台主機擁有各自的顯示卡，適用於被動式投影系統，最大的優點是能夠以各自的顯示卡同步分別運算各自的圖像 (左眼及右眼)，提昇整體的速度與效能。單主機雙顯示卡的優點則是二眼影像之間連結不必透過網路，直接由單一的系統主機控制，然而目前單一主機不支援雙 AGP 顯示卡，而必須採用一 AGP 顯示卡、一 PCI 顯示卡的方式，大大減低運算的效能，不同規格的顯示卡也會影響二眼影像同步的輸出顯示。單主機單顯示卡雙輸出孔雖然能順暢的同步輸出，但支援的系統與影像處理軟體卻十分有限 (Belleman et al., 2001)。

2-2-2 虛擬實境之使用者介面

關於沉浸式虛擬實境系統的使用介面，相對於 2D 視窗介面（windows，icons，menus，pointing）在結構與外觀上的共通性，3D 使用者介面由於互動空間與自由性的複雜度，因而只用到 2D 介面某些較普遍的準則。

Laviola (2001) 將遊走 (navigation) 從 3D 使用者介面中分為三種不同的類別：探索 (exploration)、搜尋任務 (search task)、策略行動任務 (maneuvering task)，探索是沒有特定目標的任意遊走，搜尋是到達某特定目標的移動，策略行動則是短程而精確的移動且利於執行下一個任務。遊走任務的組成元件包含動態元件——移動 (travel)、以及認知元件——找路 (way finding)，例如在大量的 3D 資料中，使用者必須從一點移動到另一點，並且逐漸在 3D 元件之間找出空間的關聯性。遊走的使用介面可分為五類：第一、利用身體的移動。第二、利用手的動作（如拖曳滑鼠）來移動。第三、僅控制方向的連續性前進。第四、超連結跳躍式移動。第五、指定路線前進。

虛擬實境中的點選與操作介面用來選擇、放置、移動、旋轉物體，傳統的方式是透過手上的追蹤器來操控虛擬手臂或 3D 游標（圖 2-10），缺點是無法控制遠方的物體，新一代虛擬手臂能投射出光束 (ray-casting) 來改善此缺點，但若是非常小的物件則仍不易觸及，因而又發展出如探照燈之類的點選工具。為了加強點選與操作介面的功能而在 3D 環境中加入類似 2D 介面的工具列，更發展出透過手勢和語音在虛擬世界中編修電腦模型、改變物件屬性、錄製電腦動畫。操作介面發展的趨勢是如何加強與使用者之間的互動，例如在虛擬環境中置入與實體介面相同造型的虛擬介面（圖 2-11），在工具與功能之間提供使用者熟悉的轉化介面，減低使用者在認知過程上的負擔 (Alvarado et al., 2001)。

虛擬實境系統的循跡設備是由使用者將追蹤器戴在頭上，讓系統能準確定位使用者所在的座標位置並追蹤移動的距離，軌跡棒則拿在手上與虛擬環境中的物體作互動，如同一支三度空間的滑鼠。循跡技術 (hand tracking) 讓使用者能透過虛擬實境系統的力回饋獲得 3D 物件更多的大小形狀資訊，並且系統也能判斷使用者的正確方位而強化其互動性，在維持上述需求的範圍內尋求最低的製造成本。根據不同的追蹤技術衍生不同的循跡技術，例如：磁力學、音學、光學、以及慣性力學的循跡系統，不同的系統各有其優缺點，而在虛擬實境中運用最普遍的為磁力循跡系統 (Belleman et al., 2001)。

虛擬實境亦可透過軟體結合實體與虛擬的介面，以筆式輸入系統作為輸入介面，在虛擬環境中的虛擬面板點選按鈕或功能表來建構 3D 元件，即時運算受到各種不同的外力參數，並即時在頭盔式顯示器中輸出 (Setareh et al., 2001)。某些虛擬實境系統亦能夠允許多人同時使用，讓虛擬的環境中也能進行討論，改善頭盔式虛擬實境設備只能提供單人使用的缺點。透過左眼與右眼些微不同的影像輸出以產生立體視覺效果，如同在真實世界兩眼所接受到的影像差異，此為虛擬實境設備獨特的特殊能力 (Li et al., 2001)。

在虛擬實境的操作介面中還包含應用程式的控制，負責切換應用程式、改變互動模式、修改參數，操作技術可分為四類：圖形選單、語音指令、手勢互動、以及虛擬工具，這些技術能結合各種不同方法產生混合式介面，使成為更自然、直接的介面。未來應在 3D 互動科技中強化人工智慧的技術，使應用程式能借由演算法自我學習，衍生更新一代的使用者介面 (LaViola et al., 2001)。

1997 年 SARA 計算機與網路中心開始將虛擬實境的設備與技術應用在學術的領域，目前 SARA 發展出一套可以透過聲音及手勢產生互動的虛擬實境技術，並且成功的運用在許多案例上。以一般的硬體設備所組成的虛擬實境系統成本相當經濟，提供充分的效能與高階虛擬實境系統的影像處理能力相當，SARA 計算機與網路中心以此為基礎，透過虛擬實境的技術，短期目標為完成已經在進行的醫學研究，長期目標則為研發多螢幕沉浸式虛擬實境系統 (Belleman et al., 2001)。

2-2-3 虛擬實境在設計之應用

在設計的過程中，電腦科技經常運用在設計的晚期，而比較少介入到設計的早期，同時經常用在大量的圖面與影像，而比較少關心設計的品質。然而虛擬實境的科技刺激了建築的創造力，為了探索電腦在量 (qualitative) 的貢獻，針對創造力所設計的虛擬實境系統，是頭盔式顯示配合追蹤裝置的類型，設計者在其系統中試圖從事初期的概念設計，藉由跟傳統設計過程與方法做比較來檢視虛擬實境的貢獻，結果發現兩者在形的設計不同，使用虛擬實境作設計呈現比較豐富的多樣性以及複雜度，並且於設計的早期使用較頻繁 (Dam, 2000)。

要提昇虛擬實境為設計的媒材，必須提供設計者在設計過程中一個能創造數位模型的虛擬的環境，包含在設計的初期。虛擬實境具備沉浸式的效果以及與設計者互動的特性，設計者能在真實的尺度 (full-scale) 中從事設計，然而當建築設計

在大部分的虛擬環境出現錯誤時，經常無法立即更正，而必須在一般電腦作修改之後，再重新置回虛擬實境系統，這樣的步驟也使得設計者無法在虛擬環境中比較設計修改前後的差異（Alvarado et al., 2001）。

大部分的計劃案都是需要一套虛擬的環境讓使用者完全沉浸在虛擬的世界裡，因此虛擬實境系統必須能感知使用者的動作來和使用者產生互動（圖 2-12），結合視覺呈現與行為互動提昇使用者對虛擬世界的意識（Belleman et al., 2001）。新一代的人機互動工具虛擬實境強化了設計的過程與方法，讓設計產品在最後完成之前，可以用各種比例尺度與向度，從不同角度觀點用不同細節層次檢討設計的可能性，能透過直覺式的設計探索減少時間和成本的浪費（Hill et al., 1999）。

沉浸式虛擬實境系統讓使用者能夠以新的方法從事概念發展，真實世界中因為經費或時間的因素而無法進行的研究，亦或是像火山口、原子內部結構等無法真實體驗的環境，都能夠在沉浸式虛擬實境系統中作積極的模擬，讓抽象的概念在視覺化中互動例如化學方程式研究等（Cruz-Neira, 1998），虛擬環境中探索式的自然學習方式極適合科學家與工程師的培養訓練，是未來個人或合作式遠距學習的理想平台。



Spalter（2000）運用空間模擬器進行色彩學理論的教授，在真實環境中色彩學是十分抽象與多向度的，即使透過圖形或實體模型亦難以清楚說明，電腦模型提供色彩學習上相當有價值的彈性化空間，例如相當容易地快速編修顏色，但仍無法詮釋色彩三度空間性的困難度，以及光線與物體色彩之間複雜的交互作用。在空間模擬器中的色彩博物館，使用者能從各個角度視點甚至沉浸其中充分體驗色彩的空間性，並且運用虛擬實境的視覺與互動技術讓向下飄落的色票隨著不同的色彩空間而即時變換顏色（圖 2-13），在沉浸式虛擬實境系統中的色彩空間經驗與桌上型螢幕的三度空間經驗是完全不同的，這樣的空間經驗有助於使用者更清楚理解色彩結構以及不同空間的相互能力。例如由顏色的連續性、濃淡、彩度所定義的色彩平面，在蒙西爾（Munsell）色彩系統空間中是平坦的，然而在 RGB 或 HSV 的空間卻呈現極度扭曲變形，在空間模擬器中能積極的發掘此二種空間的不同以及體驗非線性的角度變化（圖 2-14）。在博物館其他的展示中，使用者能在 3D 物件上作顏色的混合加減，相對於真實世界更簡易的操控與更多樣性的環境，目前的研究方向為色票因尺度產生的誤導性，以及互動技術的測試。

2-2-4 虛擬實境在建築之應用

虛擬實境的科技在建築領域有相當重要的進展，虛擬實際空間模擬器提供一個可沈浸的虛擬環境，呈現模擬真實環境的視覺效果，透過三維的輸入裝置和相互作用的技術，讓使用者在能夠即時自由創造或者修改。應用在建築設計方面可於電腦虛擬的視覺環境中藉由操控虛擬物體作設計分析，並進一步將互動式感應分析的程式融入虛擬實境模擬器，讓虛擬的幾何形體或非幾何形體在各種載重的條件下產生不同的排列組合，更能夠結合各類操縱介面，在虛擬實境中作力回饋的產生 (Paranandi and Sarawgi, 2002)。

「虛擬實境」是透過外在模擬的互動科技使人相信置身於真實的環境中，在人類的感知系統中（視覺、聽覺、嗅覺、觸覺以及味覺），最常被虛擬實境系統所應用的是視覺，因為視覺對於人類具備最大與最直接的衝擊性。當使用者在虛擬實境中從事設計會產生不同的觀點與設計過程，增廣設計者的視野，想像力會更加豐富並刺激各種不同的設計思考，因此設計的品質因而提昇 (Rheingold, 1991)。

電腦科技的快速發展使建築設計過程產生革命性的改變，並廣泛地影響各類設計行為。現今的建築設計過程中使用者經常必須依賴鍵盤、滑鼠或者是其他的輸入裝置以建構電腦模型，同時搭配操作螢幕上的功能表與選單，並在一個二維的監視器或是更大的屏幕上，以平視或透視的角度觀其設計。Hill (1999) 分析一旦電腦模型被完成即便輸出製作實體的大建築模型，如發現設計有錯誤，則修正電腦模型並且製作另一個大建築模型，這樣的重複過程必須付出相當大的成本。

在建築結構工程的領域中，大部分的結構分析軟體缺乏良好的使用者圖形介面，非專業結構領域的一般使用者在學習過程中不易適應，而反觀具備高畫質圖形的軟體如 AutoCAD 和 3D Studio MAX，雖能創造高解析度的細緻影像但卻缺少計算建築結構的能力。為了改善電腦在建築結構上的分析應用，Setareh (2001) 研究建築結構分析的視覺應用，藉著結合結構分析軟體與虛擬實境軟體，發展一套新軟體 VIRTUAL-SAP 並應用在合作式設計 (圖 2-15)，提供一個虛擬環境讓建築師、結構技師、與業主之間的相互溝通，並且彼此能夠觀察一連串設計變更的結果，進行互動式的電腦輔助建築結構分析，可應用於瞭解不同結構系統、結構材料、與構造行為，以及建築在不同氣候條件下如地震、強風的受影響程度。

最近虛擬實境科技也應用在古代都市重建的研究 (Liu and Tang, 2003)，以數位媒材來整合歷史資料如社會體制、文化活動、以及都市生活，該研究將一千四百

年前的長安古城藉由數位化與視覺化的虛擬實境空間模擬器重新呈現其城市建築與生活。相對於過去的歷史研究，虛擬實境科技在重建過程中提供研究者更為精確地解決問題的方式，其研究目的在於為已消失的歷史城市與生活提出一個數位復建的程序（圖 2-16）。

其研究過程分為五大步驟：資料蒐集與分析、3D 數位資料推論、3D 數位模型建構、整合 3D 數位模型資料與場景劇本、虛擬實境空間模擬器呈現。試圖將靜態圖像呈現，轉換成動態的呈現，製作人物模擬於空間行進的動畫。然而，傳統的模擬人物動畫製作的方式極為複雜而且困難，因此該研究更進一步利用動作擷取技術產生虛擬人物的肢體動作。

另一類在建築上的應用則是利用虛擬實境來提供考古學家挖掘的資料，探討用回覆原貌的虛擬視覺環境讓考古學家有機會用新的方式、動態的方式來重新探索佩特拉的歷史遺址大神廟。將虛擬實境空間模擬器應用在考古研究，另一則是測試 ARCHAVE 系統軟體的使用後評估。結合考古基地與考古文物功能，在虛擬實境中可提供挖掘通道與考古文物的資訊，同時透過操作介面，讓使用者能更容易遊走與查詢資料，使用者亦可從各種型態的考古文物中查詢各種器類如陶器等的發現物（Acevedo et al., 2001）。

Acevedo 讓兩位考古學家使用虛擬實境空間模擬器的設備進行實驗，虛擬的環境中模擬出當初挖掘的通道以及幾個重要文物被發現的位置，兩位考古學家從資料庫中查詢所有的挖掘坑道中的考古發現物。受測的考古學家在虛擬的環境中以各種不同的向度作研究分析（圖 2-17）。先從二維的平面圖以及縮小的整體模型，以整體的概觀分析考古發現物的分布，再藉由一比一的虛擬實境的瀏覽從各個挖掘道分析考古發現物的垂直分布。考古文物在虛擬實境中分成各種圖層（layer），有將器物以類型作分類，亦有將器物以時期作分類，各類的考古文物可以透過虛擬實境的技术同時被呈現（圖 2-18）。

考古專家在虛擬的環境中能定義出過去無法判斷的少數混合沉澱物的區域，某些混合沉澱物代表不同文化時期的物體，透過此研究實驗，他們推論出一些與當年實地探勘不同的觀察結果，而且考古專家認為用傳統的考古方法要做到相同的調查會是一個相當耗費時間與相當複雜度的過程。運用虛擬實境的技术研究挖掘的資料，確定既有的假設，並提出新的理論假設，這是過去尚未研發此系統時所無法發現的（Acevedo et al., 2001）。

第 3 章 VR cave 介入自由形體設計後的初步媒材分析

本研究之研究目標為分析 VR cave 介入自由形體設計後的媒材重要性，為達成此一研究目標，本章將以配合案例分析的方式進行初步分析，首先必須先確立媒材分析架構的定義，其次透過案例資料中的既有素材 (existing materials) 與過程觀察 (process observations) 整理歸納出 VR cave 介入前的設計流程，接著以虛擬實境媒材介入推演初步的介入後自由形體設計流程，最後再以案例資料中的設計者訪談內容 (interviews of the designers) 作初步設計流程的階段性確認。

3-1 自由形體設計流程的媒材分析架構

3-1-1 設計分析架構的早期研究

建築設計經常是在非常緊縮的時程內完成，因此需要一個完整的建築計劃作為設計過程的基準，將設計過程中的資訊重新組織能輔助設計者減少思考上的衝突，避免計劃案超出預算、效率不足、或是必須重新設計的情況發生。William Pena (1987) 於所著 Problem Seeking 一書中提出，一個完整正確的建築計劃書應該包含以下五步驟：目標、事實、概念、需求、以及問題的陳述，其中問題的陳述是發現問題過程中的最後一步，而發現問題是最重要的。

此五步驟的流程要能成功的執行，必須很謹慎的研究與思考問題。問題的定義雖然包含很廣的範圍，但必須被定義在：機能、造型、經濟、與時間等四大領域。換句話說，是要有系統的在機能、造型、經濟、時間四大項目中，分析各自的目標、事實、概念、需求、問題陳述五大步驟 (表 3-1)。

表 3-1 建築計劃過程之分析架構 (after Pena, 1987)

	1	2	3	4	5
Function	○	○	○	○	●
Form	○	○	○	○	●
Economy	○	○	○	○	●
Time	○	○	○	○	●

3-1-2 設計流程的分析架構

在 Pena 所提出的分析架構中的橫軸主要是指前述的五大步驟，詳細的描述為 1. 建立目標、2. 整理分析事實、3. 發想與測試概念、4. 確立需求、5. 陳述問題，此五大步驟為探索問題（problem seeking）的流程，彼此之間具有先後順序的相對關係，因此我們可以將此時間性質的橫軸延伸修正為設計的流程（design process）。

Pena 在此著作中也發表對於設計流程的定義研究，將整個建築案的流程（total project delivery system）依序切分為 1. 建築計劃、2. 概念設計、3. 設計發展、4. 細部設計、5. 招標階段、6. 建造階段，其中又將建築計劃、概念設計、設計發展等三個時期合併定義為設計過程（total design process）。

另外 Liu（1996）則又提出建築設計的過程講求的是建立一套有秩序的大架構，在此架構下考量合理機能、創造性美感、具備深度的建築含意，建築設計過程可區分為六個主要的階段：1. 建築計劃、2. 概要設計、3. 設計發展、4. 細部設計與施工圖、5. 建造施工、6. 使用後評估等。

本研究探討主題為媒材對設計的影響，因此將研究設計流程的定義限制在與設計媒材有相關的時期，在此研究限制下綜合 Pena 與 Liu 的分析，設計流程被重新定義為 1. 概念設計、2. 設計發展、3. 細部設計、4. 建造過程。

將 Pena 提出的架構當中為時間性質的橫軸轉換為設計的流程，並基於本研究對設計流程的定義限制，將設計流程的分析架構重新整理如下表（表 3-2）：

表 3-2 本研究限制定義下的設計流程分析架構

	概念設計	設計發展	細部設計	建造過程
Function	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Form	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Economy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Time	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3-1-3 設計流程的媒材分析架構

本研究所探討的設計流程，以設計媒材對設計過程的影響作為分析的主要目標，其中設計媒材除了包含傳統的素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型之外，亦包含 3D 數位模型、動畫，最後針對本研究的研究問題，再加入最新的設計媒材虛擬實境進行更深入的討論。

在上述之分析架構圖中，除右半部以設計媒材為主要研究內容之外，左半部亦是本研究所討論的設計流程議題，惟對於設計流程其所定義的範疇為針對都市計劃案之用途。因此若將該分析架構圖之左半部視為本研究的設計流程的媒材分析架構之橫軸，包含設計概念、設計發展、細部設計、與建造過程；接著再以設計媒材作為縱軸，包含素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、與虛擬實境，便獲得一個初步的分析架構如下表（表 3-3）：

表 3-3 設計流程的媒材分析架構

	概念設計	設計發展	細部設計	建造過程
素描	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
影像	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2D 圖面	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3D 實體模型	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3D 數位模型	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
動畫	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
虛擬實境	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3-1-4 自由形體設計流程的媒材分析架構

本研究所探討的設計流程，除了以設計媒材為分析的主要目標外，另一個重點是對於設計流程的研究著重在自由形體的範疇內。許多相關自由形體的新研究指出，傳統的設計媒材已經無法完成自由形體的構件生產與模擬組裝，設計者開始嘗試新的媒材如 CNC、3D Scanner、Rapid Prototyping、Laser Cutter、真空成型（Vacuum Forming）以解決問題，構件的生產與模擬組裝讓複雜的結構關係得以

建造，此類原本應用在汽車、航太工業的設計媒材可以統稱為 CAD/CAM (Lim and Liu, 2005; Kolarevic, 2003; Cache, 2002; Simondetti, 2002)。

本研究目的為探討各類媒材在自由形體設計過程所扮演的角色，特別著重如何運用虛擬實境媒材，其中各類媒材除了傳統媒材、數位媒材之外，還包含研究目標的虛擬實境媒材，再增加前述之 CAD/CAM 新媒材使得媒材種類十分複雜。傳統設計在建造過程所運用的設計媒材經常十分單純、或是沒有運用到任何媒材，然而自由形體設計目前仍是極新的研究議題，包含 CAD/CAM 新媒材的各種運用以及建造工法，許多新的研究正在探討重新定義自由形體的設計流程 (Lee, 2005; Lim and Liu, 2005; Kolarevic, 2003)。所以面對本研究複雜的媒材種類，自由形體的建造過程需要運用到哪些設計媒材以及如何運用，可以是一個完整的研究問題，因而本研究將其列為後續研究。

綜合以上分析，前述之設計流程的媒材分析架構仍須再作一些修正，包含在原本縱向的設計媒材增加 CAD/CAM，橫向設計流程中的建造過程階段列為後續研究，最後確立本研究要探討的自由形體設計流程之媒材分析架構 (表 3-4)：

表 3-4 自由形體設計流程的媒材分析架構

	概念設計	設計發展	細部設計	建造過程
素描	○	○	○	○
影像	○	○	○	○
2D 圖面	○	○	○	○
3D 實體模型	○	○	○	○
3D 數位模型	○	○	○	○
動畫	○	○	○	○
虛擬實境	○	○	○	○
CAD/CAM	○	○	○	○

3-2 案例分析：VR cave 介入自由形體設計前的媒材分析

本節透過案例分析的方式探討虛擬實境介入前的設計流程，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歸納出介入前的設計流程，每一小節中依設計媒材使用的順序作為討論先後之依據。

3-2-1 概念設計階段

在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。設計者首先以素描與影像媒材將設計概念作呈現表達，接著再將設計概念以 3D 數位模型的進行模擬，以獲取更多設計方案的可能性，操作與修改設計概念。因而素描、影像、以及 3D 數位模型皆是此階段重要的設計媒材。

3-2-1-1 2D 圖面

如同傳統的設計流程，在腦力激盪概念發想之前須先進行最初始的基地分析，同時作為設計概念重要的依據之一。而研究案例的原始 2D 平面圖即為基地分析最主要之設計媒材（圖 3-2）。



3-2-1-2 影像

進行基地分析所運用到的設計媒材除 2D 圖面以外，另一項則為 2D 影像，其中大部分為基地現場與周邊環境的現況照片。在本案例中影像媒材除了運用在基地分析之外，更進一步也成為發展設計概念的基礎，設計者透過影像處理的方式，擷取基地背後的山稜線（圖 3-3），作為自由形體曲線的參考線之一。

由於本案為電子廠房之大廳設計，且該電子廠房主要為生產電腦相關之各類線材，因此設計者以「電子」與「電腦線材」作為設計概念之發源，並以電線與電線所產生之電磁波的圖片為基礎，以影像的處理方式，試圖表達「電子」與「電腦線材」的科技與美感（圖 3-4）。

3-2-1-3 素描

素描是傳統運用在概念設計階段最普遍而直接的設計媒材，本案在確立前述的初步設計概念之後，隨即發展出二套設計方案，其中有方案 A 除了透過影像處理來發展設計概念之外，素描也是該方案重要的設計媒材之一。設計者透過鉛筆素

描作初步的基地分析，評估自然條件融入設計概念的可能性（圖 3-5），並進而勾勒出自由形體的粗略輪廓設計（圖 3-6）。

方案 B 在概念階段則無運用到素描這項設計媒材。總而言之，素描在設計概念的運用與影像是相輔相成的，目的都是尋求本案形體的發展基礎。

3-2-1-4 3D 數位模型

有別於傳統設計概念發想的過程，此自由形體設計的二套設計方案，皆於概念設計階段將 3D 數位模型作為設計媒材之一，是本研究較為特殊的發現。圖 3-7 為方案 A 設計者所建構的 3D 數位概念模型，展現「電腦線材」科技感融入「建築立面」美感的企圖。

方案 B 如前述在概念階段無運用到素描，因此是本方案大部分依賴 3D 數位模型媒材發展設計概念，設計者以研究案例立面的比例為依據，再搭配先前「電子」與「電腦線材」的概念基礎，發展出如圖 3-8 的 3D 數位概念模型。同時因業主長期駐留大陸，設計者更進一步將此概念模型與基地平面圖加以影像合成處理，便成為方便與業主溝通設計概念的媒介（圖 3-9）。

3-2-1-5 小結

綜合以上概念設計階段之討論，本案所運用到的設計媒材共計包含 2D 圖面、影像、素描、3D 數位模型、以及 CAD/CAM，其中 2D 圖面與素描的運用過程以及方式與傳統設計大致相同。本階段的方案 B 運用 3D 數位概念模型發展設計概念，是在自由形體的設計當中所發現的新現象，然而僅以 3D 數位模型發展設計概念，也顯現設計者在自由形體概念發展的多樣化不足，整體的分析歸納詳如下表（表 3-5）：

表 3-5 概念設計階段的媒材分析組織架構

概念設計階段	
2D 圖面	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案基地分析的依據。 2. 在概念發想之前進行基地分析時，最主要之設計媒材。
影像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 影像為設計概念發展的基礎。 2. 以影像合成的處理方式，表達「電子」與「電腦線材」的科技與美感。

素描	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在概念設計階段最普遍而直接的設計媒材。 2. 亦可以鉛筆素描直接作初步的基地分析，並進而勾勒出粗略的輪廓設計。 3. 部分以數位媒材為主要設計工具的案例中，直接以數位媒材為設計概念發展工具，而省略素描這項媒材。
3D 數位模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計者運用 3D 數位模型發展 3D 數位「概念模型」。 2. 配合影像設計媒材的運用，成為與業主溝通設計概念的媒介。

3-2-2 設計發展階段

在本案的設計發展階段，設計者在設計過程中使用了各類數位媒材，其中更大量運用影像以及 3D 數位模型以操作設計，其他所用到的設計媒材則包含動畫與 3D 實體模型。

3-2-2-1 3D 數位模型

接續先前的概念設計階段，二方案在設計發展階段的初期仍持續同步進行。其中方案 A 依據概念階段的粗略輪廓，以 3D 數位模型媒材發展出如圖 3-10 的自由形體具體設計，並結合圖 3-7 之概念模型設計的主要立面（圖 3-11）。而方案 B 亦根據先前的設計概念發展出另一套自由形體設計（圖 3-12）。二方案經過與業主的溝通以及各方面的評估之後，由於方案 A 的設計是以自由形體的結構取代原建築的主結構，大幅增加營建成本以及施工的困難度，因此最終決定採用方案 B 繼續設計發展階段的中期。

自由形體設計最大的特色就是形式的極度自由化和曲線話，而目前一般常用之 3D 輔助設計軟體諸如 3D Max 以及 Maya，都提供各種動態參數（例如流體力學、磁場、或風向參數）以自動進行形的物理演變，自由形體的產生能藉著數位模型當中參數的變化，由電腦獨立完成，例如本案中的天花板的曲面造型設計就是以這類的功能指令所運算產生（圖 3-13）。透過電腦說明基本的設計原理，創造出個人的設計邏輯與直觀的設計概念。

設計發展階段持續進行設計的修正，也因自由形體的特性，大部分設計的修改，必須依賴在 3D 數位模型的媒材中進行。舉例來說，研究案例中一樓通往階梯教室的入口設計修改前後如圖 3-14，在 3D 的環境中作修正是唯一的方法，而 3D 數位模型是 3D 設計媒材中比較具備效率的做法。其他如自由形體的曲線與形體

簡化、結構分割的方式、骨架上面板比例的調整、以及樓梯造型修正，皆基於相同因素而依賴 3D 數位模型媒材完成。

除了設計的修改之外，3D 數位模型媒材亦具備設計決策的功能，例如材質與顏色的決策，圖 3-15 為研究案例立面之自由形體外觀色彩比較圖，圖 3-16 則為室內自由形體之材料色彩比較圖。圖 3-17 為自由形體表面材質的折板形式與曲面板形式之比較模擬。

在自由形體的設計過程中，3D 數位模型是必要的設計媒材。設計者需要在 3D 的空間中進行設計思考與修改設計，而必須依賴 3D 數位模型，因為自由形體設計的複雜度已經是倍數超越傳統的幾何形體設計。相較於 2D 圖面，自由形體的複雜形式表現不易透過 2D 圖面完成設計，在三維向度中思考設計，直接透過 3D 數位模型的修正比較容易達成，同時亦能呈現曲率各異的精確造型；相較於 3D 實體模型，3D 數位模型能夠進行原本 3D 實體模型不易操作的編修與複製等動作，物件之間可發生交集的關係，容許衝突的物件同時存在，並可做即時任意的排列組合。

3D 數位模型在本案中雖然解決許多自由形體設計上的難題，但另一方面設計者在發展設計過程中，因為自由形體的特性而在尺度上不容易控制，以及內部空間過於複雜，難以掌握自由形體的變化，僅能透過 3D 軟體所提供類似虛擬實境的介面而稍有改善，但仍然十分有限。最後圖 3-18 為設計方案定稿的 3D 數位模型彩現圖。

3-2-2-2 動畫

動畫在傳統設計過程中一般運用在最終設計方案的呈現，然而本文中動畫所扮演的媒材角色已經稍有突破，不只是單純呈現設計的工具。在本案的設計發展階段中，除了以 3D 數位模型、影像模擬圖修正設計之外，設計者製作了以研究設計為目的的模擬動畫（study animations），檢視與修正設計的發展以及各方案的可行性。

設計者在設計發展階段的初期即使用研究模擬動畫作為設計媒材之一，如前所述本階段初期同步發展二套設計方案，設計者便以動畫媒材分別針對二方案進行模擬，作為最後方案決策的其中一項判斷依據。圖 3-19 為動態日照對 A 設計方案主體建築光影變化效果的研究模擬動畫片段，可檢視一天之中日光的不同強弱、

角度、與顏色對建築的影響，圖 3-20 則為 B 設計方案的模擬，設計者在審視研究模擬動畫之後，進行二方案的評估與比較，並針對效果不滿意的部分修改其建築立面設計。

動畫讓設計者更精準的掌握其設計與真實環境之間的關係，在本案中不僅只是設計呈現媒材，同時還是設計研究媒材，呈現設計當中三度空間與第四向度—時間的關係，而發揮了其他數位媒材如 3D 數位模型、影像合成彩現模擬圖所不具備的媒材特性，然而另一方面，本案中動畫僅運用在設計的光影效果部分，而缺少運用在呈現內部空間部分。

3-2-2-3 影像

3D 數位模型經由電腦運算而產生的彩現圖，再以影像合成加工製作之後，成為較易閱讀及較具說服力的設計媒材。過去傳統的設計透過 2D 圖面與 3D 實體模型來從事設計創作，然而透過這類傳統的設計媒材無法提供虛擬真實的模擬圖，設計的概念與細節一旦要落實在營建施工上，便產生若干程度上的落差。

透過建構 3D 數位模型的虛擬 3D 空間環境提供更精確的思考，大幅增加設計內容與建造過程的精確度，同時在與業主的溝通上，創造一個模擬現實的虛擬環境，介面，例如圖 3-21 除了向業主說明自由形體、樓梯、以及櫃檯等空間之間的關係，也利用設計媒材影像合成的方式傳達每個區位的空間機能以及尺度感等相關資訊。

在本案的設計發展階段，設計者透過前述之 3D 數位模型，運算了大量的彩現模擬圖，以進行各類設計方案的審視以及最終方案的決策，包含造型、材質、外觀顏色、光影效果等等。例如圖 3-22 為日間主體建築光影與夜間主體建築光影效果的差異性模擬。圖 3-23 為不同的背景牆立面設計對自由形體的整體視覺影響分析模擬。

3-2-2-4 2D 圖面

2D 圖面在傳統建築設計的設計過程中是最主要的設計媒材，因此具備一定程度的重要性。然而以本案為例，2D 圖面在自由形體的設計過程中，卻是屬於比較無法發揮媒材特性的設計媒材，因其在設計方案的發展過程中，大部分的設計是透過前面幾項數位設計媒材完成，2D 圖面所提供的原基地現場尺寸與相關資訊，已於概念設計階段的初期轉換為 3D 數位格式，因此 2D 圖面沒有被運用在

設計發展階段。

雖然 2D 圖面在設計發展階段沒有發揮其媒材特性，但本階段仍出現如圖 3-24 包含自由形體的 AutoCAD 2D 圖面，原因是在執照行政流程上，2D 圖面是必備的文件，因此設計者在形式上，必須完成 2D 圖面的繪製，以利執照的申請與工程進度的掌控，對於設計發展的過程並沒有太大助益，僅對於建築專業領域的人，可約略看出空間之間的關係。

3-2-2-5 3D 實體模型

3D 實體模型除了具備修改設計的媒材功能，同時也提供設計者釐清構件之間的關係，因為 3D 數位模型在虛擬環境下缺乏物理特性，物件之間可發生交集的關係，因而經常發生在真實環境中的錯誤矛盾，透過實體模型能有效減少類似的情況發生。

傳統設計的模式製作較少牽涉到自由形體的造型，而以製作 3D 實體模型的傳統方式、工具與技術，要製作自由形體模型的各類多樣化之非幾何型體是相當不易的，無法掌握精準度是關鍵因素之一，各個不同的曲面很難以手工製作來控制其曲率。



缺乏精準度的實體概念模型，適合運用在概念階段；而在設計發展階段，設計媒材的需求不同於概念階段，在諸如空間感的掌握以及造型的修正上，實體模型必須是具備基本程度之精準度的設計媒材，因此本案設計者於設計發展階段，製作了一個包含自由形體設計的 3D 實體模型（圖 3-25），其中部分構件是以雷射切割的方式完成，藉由模型製作的過程觀察發展設計、或修改設計，發揮 3D 實體模型在設計發展階段的媒材特性。

3-2-2-6 CAD/CAM

近來相關自由形體設計的研究，常以 CAD/CAM 的技術，將 3D 數位模型的精確數據，輸出精準的 3D 實體模型，每片不同曲率的面板以及非直線的結構構件皆可完成製造。設計者如此反覆操作來修改設計，同時利用實際建構 3D 實體模型理解與領悟設計當中構件與構件之間的關係。

自由形體建築的建造過程要比傳統營建複雜許多，設計者透過 3D 實體模型的製作過程不斷揣摩、測試與研發最佳的營建方式。在本案設計發展階段當中，具備

基本程度之精準度的 3D 實體模型必須依賴 CAD/CAM 的科技，包含使用雷射切割以及 CNC 雕刻機械，製作實體模型來修改設計（圖 3-25）。

3-2-2-7 小結

綜合以上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。與傳統設計相異之處為動畫及 CAD/CAM 發揮其修改設計的媒材功能，而 2D 圖面則非發展設計之媒材。整體的分析歸納詳如下表（表 3-6）：

表 3-6 設計發展階段的媒材分析組織架構

設計發展階段	
3D 數位模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 3D 數位模型是發展設計最主要的設計媒材，大多數的設計修改必須在 3D 數位模型的媒材中進行。 2. 3D 數位模型具備設計決策的媒材功能。 3. 因自由形體的特性，在尺度上不容易控制。 4. 本案內部空間過於複雜，透過數位模型仍難以掌握。
動畫	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般動畫的媒材功能為呈現最終設計方案。 2. 利用動畫結合空間與時間的特性進行模擬。 3. 本案缺少呈現空間內部的動畫。
影像	<ol style="list-style-type: none"> 1. 影像容易閱讀並具說服力，是良好的溝通設計媒材。 2. 影像亦是決策設計的媒材之一。
2D 圖面	<ol style="list-style-type: none"> 1. 自由形體的複雜形式表現不易透過 2D 圖面發展設計。 2. 本階段的 2D 圖面主要是為了因應申請執照的需求。
3D 實體模型	<ol style="list-style-type: none"> 1. 藉由模型製作的過程觀察發展設計、或修改設計。 2. 自由形體的實體模型製作不易，耗費時間。
CAD/CAM	<ol style="list-style-type: none"> 1. 近來相關自由形體設計的研究，CAD/CAM 是操作與發展設計的重要媒材之一。 2. 具備基本程度之精準度的自由形體 3D 實體模型必須依賴 CAD/CAM 的技術。

3-2-3 細部設計階段

在本案細部設計階段的前期，大部分運用到的設計媒材為 2D 施工圖面，而自由形體的施工圖面大部分依賴 3D 數位模型先作構件拆解以及轉檔。在本階段後期構件輸出製造與預組裝測試中，CAD/CAM 則扮演相當重要的設計媒材角色，解決自由形體複雜構件不易製造生產的問題。

3-2-3-1 2D 圖面

傳統建築設計只須藉由各樓層平面圖即可於施工階段進行放樣工程，然而自由形體複雜的曲面配置，若僅依賴設計發展階段的 2D 圖面（圖 3-24）要進行放樣並不足夠，必須繪製更精細的施工大樣圖，將各曲面依照結構關係進行分區，並加註單位度量與曲率角度（圖 3-26），才能夠清楚的界定自由形體每個構件的精確位置。另外為了在材料的使用上有新的可能性，設計者亦得透過施工大樣圖面繪製說明特殊設計的抓具（圖 3-27），才能固定以新材料製作的自由形體面板。

由於本家中先前概念設計階段和設計發展階段絕大多數的資料為 3D 格式，而且是自由形體複雜的曲面資料，然而目前在營建業中電腦 3D 的技術並不普及，大多都僅支援 2D 軟體，支援 3D 的部分則並不普遍亦不成熟。因此設計者必須將自由形體的結構和面板拆解成小構件或小單元（圖 3-28），再將這些小單元的資料由 3D 格式轉換成 2D 格式（圖 3-29），讓複雜的形體有機會被成功製造。同時還要再轉換成製造業所熟悉的特定軟體格式，以本案為例則是以 AutoCAD 所繪製的 2D 施工圖，透過大量的細部 2D 施工圖來說明複雜的自由形體設計。

3-2-3-2 3D 數位模型

雖然本階段絕大多數所運用到的設計媒材為 2D 圖面，但僅依賴 2D 圖面這項媒材是無法繪製施工圖，基於自由形體的特殊性質，因此大部分的 2D 圖面僅是最終與生產工廠之間的轉換與呈現介面，必須先以 3D 數位模型為主要的工作介面，所有單元的拆解動作大部分在 3D 環境下完成，然後再轉換為 2D 圖面作編輯，如圖 3-30 設計者先在 3D 環境中將自由形體的每個構件加以編號，然後再依特定的需求變換視角繪製各種施工圖面（圖 3-26，圖 3-31）。

如同先前特殊抓具的設計，本案的細部設計亦包含天花吊版以及休憩椅的家具設計，其細部施工圖面（圖 3-32）也是由 3D 數位模型的环境下（圖 3-33）變換視角為頂視圖。因此在這樣的定義之下，本階段的設計媒材除了大量的 2D 圖面之外，亦包含 3D 數位模型。

本案所做的細部設計完全如先前 2D 圖面與 3D 數位模型所探討的，共包含骨架與面板的拆解、家具與天花吊板的設計、抓具與接頭的設計。然而自由形體不同於傳統建築，一片曲面牆的側邊都是細部設計所涵蓋的部份，但是在本案例中因為相對於整個複雜形體而顯得太小，所以沒有詳加思考（圖 3-34），導致進入施工階段後才發現許多這類的問題。

3-2-3-3 影像

在自由形體的設計過程中 3D 數位模型經常和影像媒材並存，設計者在 3D 數位模型的工作環境中通常是 wire frame 的線架構模式，然而目前業界對於 3D 軟體並不熟悉，不如 2D 軟體如 AutoCAD 一般普及，因此本案設計者必須透過 3D 數位模型運算之後，再配合影像媒材的處理，才能與業者進行較為良好的溝通。

前述的休憩椅細部設計，傳統的 2D 施工大樣圖面主要是提供給製造業者進行生產（圖 3-35），但對於業主卻不易達成傳達設計概念的目的，過去的解決方案是採 2D 繪圖的模式繪製 3D 透視圖使業者容易閱讀，而本案藉由數位媒材影像處理的模式直接呈現設計，如圖 3-36 是天花吊版包含休憩椅經過影像處理後的 3D 數位模型彩現圖，其他如樓梯索頭與支架亦是同樣的設計過程。

3-2-3-4 CAD/CAM

CAD/CAM 媒材主要是運用在本階段後期自由形體構件的輸出製造與預組裝施工測試當中，而且是相當重要的設計媒材，將符合製造商特定軟體格式的數位資料送至配合的製造工廠，輸出結構體以及曲面面板的每一個小構件（圖 3-37）。本案自由形體所採用的構件材料繁複，主體結構材料包含實心骨材、圓管骨材、方管骨材，面板材料則包含一般折版、曲面成型版、三角玻璃面材。

CAD/CAM 設計媒材的應用層面廣泛，不同材料有不同的製造工法與生產過程。實心骨架採用金屬雷射切割精準度高；圓管的加工方式是採 CNC 數位控制的方式，必須拆解成個別單段並標註內外徑資料；方管則是採取雷射切割四向版材再加以焊接，也是需要加註內外徑資料；折版直接依附骨架的數值資料；曲面成型版是以端版的方式加工製造（圖 3-38）；三角玻璃面材以類似折版的施工方式，但需加註每片面材之間的夾角數據。

過去關於自由形體的研究中，經常發生現場組裝施工時因構件誤差而必須數次來

回加工廠進行修改，耗費相當的成本與時間。本案例在正式施工前先於加工廠進行構件預組裝的施工測試實驗（圖 3-39），目的是發掘先前於紙上作業與電腦操作所無法發現的問題，並回到電腦上解決問題。在預組裝的過程中會修正設計與實際之間的誤差，其中安裝面板的基準是依附骨架的數值資料（圖 3-40），為避免正式施工時產生相同的誤差，標準的解決方法應是以 3D 空間掃描器，掃描已完成預組裝的骨架來取得新的放樣基準。

3-2-3-5 小結

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 數位模型是繪製 2D 施工圖面的媒介，影像處理則是與業主溝通細部設計的工具。另外傳統細部設計當中的 3D 透視圖，已經不需再透過 2D 的繪圖方式。本階段並無使用 3D 實體模型，整體的分析歸納詳如下表（表 3-7）：

表 3-7 細部設計階段的媒材分析組織架構

細部設計階段	
2D 圖面	1. 自由形體設計的放樣施工，以及構件的製造生產都必須透過大量的細部施工圖面。
3D 數位模型	1. 自由形體大部分的 2D 施工圖都是藉由 3D 數位模型改變視角再加以編輯。 2. 取代傳統以 2D 的方式繪製 3D 透視圖。 3. 本案因自由形體構件複雜，許多細部由於太小而沒有考慮到，造成施工階段才發現問題。
CAD/CAM	1. 本階段最重要的設計媒材。 2. 將數位資料送至製造工廠輸出，並於加工廠進行構件的預組裝測試。 3. 構件材料繁複，製造工法與生產過程亦不同。
影像	1. 目前 3D 數位模型的工作環境在業界尚未普及。 2. 與業者溝通細部設計。

3-2-4 VR cave 介入自由形體設計前的媒材分析

以上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，探討各類媒材在自由形體設計過程中所扮演的角色，並於各階段分析的結論中整理出設計媒材重要性的組織架構，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，由於整合後的組織架構較為龐大，本研究以 Laseau (1937) 所提出的矩陣關係圖表示法 (圖 3-41) 簡化之。

最後將歸納出的自由形體設計流程架構簡化為圖 3-42，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，先前所分析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、以及細部設計的不足，都影響其在流程架構中的交集點大小。另外透空的圓圈為本研究案例於該設計階段沒有運用到的設計媒材，但不代表重要性較低或是不必要的媒材，此與建造過程階段相同為本研究之研究限制。

3-3 以 VR cave 介入自由形體後的初步媒材分析

本節將透過 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 介入後的自由形體初步設計流程。

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，雖然設計過程中許多方案在先前的探討分析中並無發現問題，但透過虛擬實境進行相同的模擬，可以比較不同媒材之間的差異性，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。

3-3-1 概念設計階段

本案在概念設計階段所使用的設計媒材包含素描、影像、2D 圖面、以及 3D 數位模型，其中素描與影像是一般在設計中大量用於設計概念發想的重要媒材，然而 VR cave 的基本需求為輸入資料必須是 3D 格式，使用者才能獲得空間的立體感、深度感以及視覺沉浸效果，因此研究案例中各種呈現設計概念的模擬方案，

其原始檔案的屬性必須是 3D 格式，才能在 VR cave 中進行操作、討論、比較與分析。

但設計概念階段的素描及影像媒材在本質上為平面 2D 的屬性，無法以 VR cave 進行模擬與比較，所以研究案例中這一類非 3D 格式的設計方案，僅能就相同或類似的設計議題尋求替代方案來進行討論。

本案在設計概念階段除了以素描及影像媒材發展設計概念之外，設計者也運用 3D 數位概念模型進行概念發想，是本案較不同於一般設計的部分。本研究將案例資料中該 3D 數位概念模型加工製作放入 VR cave (圖 3-43)，模擬設計者發展設計概念的可能性，發現在立體影像的視覺效果中觀看數位概念模型，由於概念模型本身的不確定性加上 3D 視覺空間的深度感，產生更多發展設計的可能性，如同素描的模糊性給予設計者很多不同的刺激。

先前關於在概念設計階段的案例分析中提到，設計方案之一僅以 3D 數位模型發展設計概念，顯示設計者在媒材運用上的多樣化不足，透過 VR cave 刺激概念形成，也是部分解決媒材不足的方法，但 VR cave 的素材製作耗時也是需要考量的因素之一。



3-3-2 設計發展階段

本案於概念階段發展出二套設計方案，至設計發展階段的初期仍持續同步進行。並以 3D 數位模型作為初步發展設計的主要媒材 (圖 3-11, 3-12)，設計方案逐步明確化，雖無細部設計但實質空間的主要構件皆已明確，因此本研究將這個階段的二個方案以 VR cave 進行模擬 (圖 3-44)，試圖以虛擬實境媒材進行設計方案決策之實驗測試。

藉由 VR cave 的呈現，二套設計方案因在視覺上增加空間感，模擬並以人的角度體驗空間觀察設計，因此比較容易理解自由形體複雜的空間關係，與直接以 3D 數位模型操作設計比較有很大的差異性，因此虛擬實境媒材可彌補先前案例分析 3D 數位模型不易掌握自由形體內部複雜空間的問題。

另外本研究也將研究案例在設計發展階段中，自由形體立面的外觀色彩比較方案放入 VR cave 進行模擬 (圖 3-45)，結果顯示 VR cave 中作色彩類別的比較和決策與影像媒材在電腦螢幕上的效果差異性不大。其他如自由形體的材質比較、以

及背景牆立面設計比較，以 VR cave 模擬所得到的效果，與 VR cave 介入前比較也是相同類似的情況。因而虛擬實境媒材在設計發展階段，對於影像媒材的影響並不大。

另外研究案例設計者在本階段透過動畫媒材模擬主體建築光影變化的效果，將其動畫以 VR cave 呈現，雖然在比較光影的效果與 VR cave 介入前差異不大，但因主體建築上增加了立體感，視覺效果較為強烈，因此在媒材功能上虛擬實境媒材可取代動畫媒材。

接著透過案例資料中，設計發展階段最後定案的設計方案進行 VR cave 的模擬，目的是為了檢測案例研究所分析的尺度不易控制的問題，研究結果發現在 VR cave 實際體驗的尺度感，與先前所認為的尺度感差異很大，並且與案例資料中影像媒材所模擬的尺度感大不相同，由於透視角的控制因素，所以影像模擬在尺度上無法十分精準（圖 3-46）。

3-3-3 細部設計階段

本階段在設計媒材上大量用到 2D 施工圖面，但如先前所分析僅依賴 2D 圖面是無法繪製自由形體的施工圖，大部分必須依賴 3D 數位模型先進行構件拆解以及轉檔，本研究試圖將此類 3D 數位模型放進 VR cave 以進行模擬，與設計問題的探討分析。

首先針對案例分析在 3D 數位模型的運用上因自由形體的複雜度導致細部設計不足問題，試圖透過 VR cave 的呈現以改善問題，結果發現在 VR cave 的環境中，藉由 VR cave 的呈現，大螢幕的尺度比較容易做到細部的觀察（圖 3-47），因此在設計階段就能發現問題，避免施工階段才解決問題。

其次在細部設計過程中的大廳家具設計，除了以 2D 施工圖面提供給製造業者進行生產，同時也藉由 3D 數位模型的彩現模擬圖與業主溝通設計，在空間的配置、比例的關係、以及整體的尺度都是影響設計的重要因子，以 VR cave 模擬呈現細部設計，對於業主能更具說服力（圖 3-48）。

VR cave 僅能模擬 3D 數位模型的部分，而 2D 施工圖面中附加的構件編號及文字說明，對於構件的細部設計與施工是必要的，同時必須在 2D 圖面媒材中操作，VR cave 在這方面比較無法進行呈現，因此 2D 圖面在細部設計階段仍為較重要

的設計媒材。

3-3-4 VR cave 介入自由形體後的初步媒材分析

以上透過 VR cave 介入研究案例的設計過程，在自由形體各個設計階段中嘗試解決原本存在的設計問題，以確立虛擬實境媒材在設計過程中輔助設計的能力。在概念設計階段，虛擬實境媒材提供設計者不同的概念刺激，在設計發展階段則是使用最多且最必要的設計媒材，並使動畫媒材的重要性略為降低，在細部設計階段解決自由形體細部設計不足。最後進而修正先前所歸納整理的自由形體設計流程，獲得一 VR cave 介入後的自由形體初步設計流程架構（圖 3-49）。

3-4 案例分析：訪談設計者以確認初步媒材分析

本章是以配合案例分析的方式推演虛擬實境介入後的自由形體初步設計流程，在案例資料（collected data）中包含一項訪談（interview），受訪者為研究案例的設計團隊中二位主要的設計者。本研究在獲得一個以虛擬實境介入後的自由形體初步設計流程之後，以下將案例研究資料中對設計者的訪談內容（interviews of the designers）作為分析依據，進行自由形體初步設計流程的階段性確認。

3-4-1 VR cave 介入自由形體設計前的媒材分析

訪談內容的前半部以二位受訪者（以下分設計者 A 與設計者 B）認為，研究案例之設計過程中各類設計媒材所扮演的角色，以及設計過程中不足與可改善的部分為主，作為本研究前面所歸納分析虛擬實境介入前之自由形體設計流程的確認依據（全文見附錄二）。

3-4-1-1 自由形體設計過程中的重要設計媒材

關於影響自由形體的重要設計媒材，設計者 A 在訪談中提到：

「設計師.....會有邊看、邊想、邊設計的行為，素描在傳統建築佔有重要的地位，可是自由形體是以 3D 數位模型作為設計師在邊看、邊想的過程中的設計媒材。.....準確的提供三維空間的資料，讓我們可以有依據、很精準的輸出需要的數值來進行施工。」

「自由形體就必須要借重很大部分 CAD/CAM 領域的一些知識，我認為這是跟傳統建築最大的不同。」

「製作方法或製造流程.....2D 圖面還是佔有重要性，只是它扮演的角色不一樣。」

因此設計者 A 所認為的重要設計媒材包含 3D 數位模型、細部設計階段的 2D 施

工圖面、以及自由形體設計能否成功的被完成建造的 CAD/CAM 媒材。而設計者 B 認為重要的媒材多了一項影像媒材：

「如果沒有辦法模擬的話，我就沒辦法知道他未來會長什麼樣子，就沒辦法作決定，因此我必須用影像模擬的方法，還有模擬比較顏色或是比較材料、燈光，因為它是自由形體，很難用想像的，它有點複雜，要模擬出來才知道。」

其他重要的媒材與設計者 A 相同，包含最重要的設計媒材 3D 數位模型是整個設計過程都必須用到的，以及細部設計階段的 CAD/CAM 與 2D 施工圖面則解決自由形體的構件輸出與製造的問題。

綜合二位設計者的想法，設計過程中以 3D 數位模型媒材最為重要，而在細部設計階段 2D 施工圖面與 CAD/CAM 媒材，以及設計發展階段的影像媒材亦不可或缺，以上與本研究整理的虛擬實境介入前之自由形體設計流程（圖 3-42），其中各類媒材重要性的歸納大致相同。

3-4-1-2 設計過程中的不足

設計者 A 敘述研究案例過程中最需要改善的如下：

「結構、骨架跟表面一些接頭的作法、樓梯的踏板等等，甚至是圓管跟方管怎麼做接頭.....我們並沒有做的很好，我認為這部分應該多結合一些專業技師的觀念。」

「設計一種模具或一種抓鉤、甚至一種結合的方式，是可以所有的面材和骨架結合可以通用的，.....用模具來生產.....透過電腦分析.....這樣就可以大量減少成本。」

「因為我們的基地在深圳，所以 CAD/CAM 的技術他們用的是比較少.....造成精準度稍微比較低，甚至用手工取代 CAD/CAM 的方法。」

綜合歸納而言，設計者 A 認為在研究案例之設計過程中最需要改善的三點：第一是缺乏專業技師、第二是自由形體構件的模具化、第三是 CAD/CAM 技術運用的不足。設計者 B 則認為需要不足的部分包含：

「設計過程中如果多作幾個實體模型會更好。.....更不足的.....是影響到後面施工的.....細部設計作的太少，而且是非常的少，.....側面收邊會長怎樣不知道，.....當初建 3D 模型的時候就沒有去考慮。」

「當初再用 3D 數位模型操控形體的時候，跟我去現場看真的蓋出來的感覺不大一樣，在尺度上的感覺不一樣。」

其他則與設計者 A 所描述的相同，共計設計者 B 認為需要改善的部分有五項：第一是 3D 實體模型的不足，第二是細部設計的不足，第三是自由形體的尺度感落差的問題，第四是雨批與樓梯的結構設計不良，第五是以人力替代 CAD/CAM

製造問題耗費時間。

藉由以上設計者對於設計過程的分析檢討，描述自由形體設計中所面臨的問題，逐步引導設計者，進行以下虛擬實境設計媒材與自由形體設計問題之間的關聯性思考。

3-4-2 虛擬實境媒材對於自由形體設計的輔助

在訪談的後半部則是以虛擬實境媒材為主題，請設計者敘述以虛擬實境媒材解決前述設計過程不足的可能性，以及設計者對於自由形體設計中運用虛擬實境的想法與意見。二位設計者對於虛擬實境的看法，對本研究所提出的初步設計流程很有幫助，訪談過程中相關的敘述如下：

「假設我現在要做自由形體的設計，從素描到影像我們先看過，然後我看設計的時候是在 VR 裡面，那可能會有一點不一樣。」

「這樣就可以知道實際尺度的感覺，會比實體模型好很多，等於是跑到現場親身體驗的那種感覺，即使它是虛擬的。」

「我們在做 3D 數位模型永遠都是神在看，做久了會麻木、很多問題注意不到，但 VR cave 就會 1 : 1 每一個細部都會被我看到，以及用人的角度會看到的地方。」

「在 VR cave 裡面拉遠一點也能看整體，可以走進去看、還可以飛起來看，反正是在虛擬世界裡面，這樣更好可以神變人、人變神。」

雖然設計者 A 認為嚴重不足的問題大多與人力或設備相關，而在此部份的意見回饋較少，但也說明若在設計過程的早期或中期就能夠在虛擬實境中操作設計或看設計，可能對於空間感或細部設計會有所改變或幫助。

而關於設計者 B 所提到的部分，若能以 VR cave 牆面的高度作為比例基準，以 full-scale 在 VR cave 當中看設計就能獲得準確的尺度感，配合立體的虛擬視覺效果等同是親身體驗現場的感覺。而虛擬實境也有助於研究案例中細部設計不足的缺失，與在電腦螢幕上看 3D 數位模型的感受差異很大，在 VR cave 的 full-scale 環境中，每一個細部都能被檢視到，可減少許多施工過程才會面臨的問題。VR cave 無重力的虛擬本質，以各種視角與各種俯角觀察設計，也能視為一種 3D 實體模型的媒材功能，彌補自由形體的 3D 實體模型製作不易的問題。

本研究先前以虛擬實境媒材進行各類操作模擬之後，所作的優缺點比較與分析探討，與以上研究案例的設計者對於虛擬實境如何輔助自由形體設計的看法，大部分是類似的，在程度上些許驗證了本研究提出的虛擬實境介入後之自由形體初步

設計流程。

3-4-3 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析

訪談的最後是請設計者說明若以虛擬實境介入研究案例的設計過程，各類設計媒材在原設計過程中的重要性會如何改變。設計者 A 認為本質相似的動畫媒材之重要性會減弱，但不會消失，因為以目前虛擬實境的技術，為了達到即時瀏覽與互動的效果，在材質、燈光等等無法如動畫一般擬真。另外某種程度上虛擬實境能視為一個 full-scale 的實體模型，因此亦可與 3D 實體模型共存。還有未來或許大量的各類 2D 圖面能同時融入虛擬實境的 3D 環境，在視覺上發展出新的媒材科技。

設計者 B 則認為虛擬實境可以完全取代動畫媒材，如果在功能、介面、以及效能上更為提昇甚至有機會能取代 3D 數位模型。而在 3D 實體模型方面則因為實體虛擬的本質問題，因此在媒材的重要性只有部分會降低。其他設計媒材如素描、2D 圖面、CAD/CAM 等都不會改變。

綜合以上整體訪談的結果，在主要架構以及設計者想法上，與本研究先前所提出的虛擬實境介入後之自由形體設計流程（圖 3-49）大致相同，完成訪談目的之階段性確認。



第 4 章 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析修正與確認

在前一章以案例分析的方式探討虛擬實境如何介入自由形體的設計過程，本章接續將進一步操作一項空間實驗，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後的自由形體初步設計流程，以獲得確認後的自由形體設計流程。在操作實驗中各類設計媒材比較的依據是設計行為中的設計因子，因此本章首先是實驗設計因子的確認，其次為實驗方法與步驟的說明，接著是實驗過程和實驗結果的比較分析，最後則是修正與確認 VR cave 介入後的自由形體設計流程。

4-1 確立設計因子

為了讓各類設計媒材在實驗中有比較的依據，同時確立實驗的可信度與理論基礎，本研究試圖從早期關於設計方法與設計行為的研究中，整理歸納隱含在設計行為中的設計因子，進而確立本研究在操作實驗中的設計因子項目。

4-1-1 設計因子的早期研究

White (1975) 依據建築設計所涵蓋的事物歸納出五個概括性範疇：機能與分區計劃、空間、動線與造型、環境、建築元素。設計者依據這五類範疇來發展或執行設計概念，其中機能與分區計劃、以及環境涉及現存的狀況；而空間、動線與造型、以及建築元素則是設計者針對設計條件將其演化成實體建築的方法。針對每一個範疇，White 列舉出其中的因子共 105 項，本研究摘錄其重要的部分如表 4-1，設計者必須選擇這 105 項因子先後處理的組合方式，以達到設計最終的目的，設計者受到基本的設計價值觀、設計方法、以及設計程序的控制與限制，不同的設計目的與不同的設計者對於個別因子的先後注意次序以及強調重點會不同。

表 4-1 White (1975) 所提之設計因子

機能與分區計劃	機能、使用者、部門關聯性
建築空間	尺度、空間、建築物入口
動線與建築造型	動線、動態視覺、造型、形式組合
與環境的配合	基地現況、景觀、敷地、氣候、交通
建築元素	結構、材質、地坪天花、樓梯、門窗

Ching (1979) 認為建築通常是在面對及回應一連串現況下所構像與實現的，這些現況包含機能需求、反應社會、經濟、政治等等各種可能性的問題，必須透過設計行為尋求現況的改變與重建，因此建築設計可以被視為一個解決問題的過程，而設計者不可避免的會預測思考可能的各種解決方案，而設計者運用設計因子的廣度與深度，影響其對設計問題的理解、以及解決方案的思考方式。Ching 整理歸納出設計詞彙中的明確因子，以及諸多建築問題的可能性解決方案，讓設計者透過探索、研究、與應用以具備足夠的設計詞彙，共分為主要元素、造型、空間、組織方法、動線、比例、尺度、原理定律等 8 項，這些因子與建造物的整體相互融合是建築秩序 (order) 的構成要素，透過安排、組織、與這些呈現設計因子，以滿足上述之現況改變與重建的需求，並解決建築中機能、目標、以及涵構等問題 (表 4-2)。

表 4-2 Ching (1979) 所提之設計因子

主要元素	點、線、線到面、面、量體
造型	造型的視覺比例、形狀、實體、規則與不規則造型、形的轉變、向度的尺寸變化、形的減法、形的加法、幾何型體的布林、表達造型
空間	垂直元件定義空間、水平元件定義空間、空間品質、空間的開口
組織方法	造型與空間的組織、空間關係、空間與空間的組織
動線	動線元素、建築物入口、路徑規劃、路徑與空間、動線空間的造型
比例	黃金比例、古典建築柱式、文藝復興理論、模矩、人體比例
尺度	一般尺度、人體尺度
原理定律	秩序、軸線、對稱、階層關係、基準、重複規律、轉化

Liu (1996) 對建築設計因子的看法是，建築在機能、美感、與含意上的考量因素是評價建築成功與否的客觀標準，達到建築實際功能的基本要求，是設計行為的先決條件，建築所要滿足的功能比較複雜，而且會因不同的類型而有不同程度的考慮。建築在機能的考慮上有一定的共同因素，首先是針對其所處的自然環境的優劣條件做出合理的決定，方位代表風向和日照的因子、視野是生活的基本需求、建築物對地形的呼應是基本的考慮因子、尺度大的時候要反應到建築群與戶外空間的整體環境關係上。理性的設計原則除了自然環境的相關條件，大部份的建築物都處在具有歷史意義的人為環境脈絡關係中。為了使建築物合乎使用需求，內部組織的是建築是否合乎使用者需求的重要因素，因此動線也是建築的基本考量之一。建築美感的獲得主要來自形式上各種和諧關係與張力的運用，其美感要素的因子包含比例、尺度、平衡、對稱、韻律、統一、變化、對比、色彩、質感等 (表 4-3)。

表 4-3 Liu (1996) 所提之設計因子

理性的設計原則	方位、視野、地形、環境、歷史、機能、動線
建築美感的要素	比例、規線、模距、尺度、空間、平衡、對稱、色彩、材質、風格

Rahman (1992) 所提視覺衝擊影響評估 (visual impact analysis and assessment) 的過程，說明一個初步的電腦介入設計過程後之視覺衝擊影響評估設計程序，包含分析敷地組織 (site organization)、量體組成 (volumetric composition)、二維立面組成 (2D elevational composition)、以及基地外的視覺觀看情形 (off-site viewing condition)。除了建議在視覺衝擊影響評估設計過程中使用傳統媒材之外，Rahman 也分析電腦媒材包含 3D 數位模型與動畫的重要性，並回顧 CAD 在都市計畫案的應用，因為不同的電腦媒材已經實際有效地運用在設計過程中，其中包含使用影像、3D 數位模型、多媒體、動畫、及虛擬實境在各個不同的階段。最後 Rahman 藉由嘗試歸納視覺衝擊影響評估的程序，提出一個設計與視覺準則的對照圖並確認以下設計因子 (表 4-4)。

表 4-4 Rahman (1992) 所提之設計因子

敷地組織	人行動態視覺、車行動態視覺、軸線調整、人造景觀、尺度、自然地形地勢
量體組成	整體造型、形式接合、天際線、建物量體高度、形式轉換、形式聯想反應
立面組成	整體風格、韻律、色彩、材質、細部、質感
觀看情形	太陽光、人工照明、視線阻礙

Schon 與 Wiggins (1992) 在研究中逐步推導出能力是藉由知識、經驗的逐漸學習累積而成，因此價值判斷系統會隨著時間而改變，也會隨著不同的社會文化而有所差異。最後其結論說明設計行為是一種運用符號、標記或塗鴉不斷的產生即時性對話運作的過程，而過程中最重要的是設計與發覺行為的交互作用。其研究結論的獲得是透過案例式的口語分析法，由受測者在操作與分析設計案例的過程中，記錄設計者如何決策以及造成設計決策轉變的因素，並隨著設計因子的進化分析設計過程，下列便是 Schon 與 Wiggins 所歸納出的設計因子 (表 4-5)，包括機能、敷地、構件、空間、造型、結構、比例、經費、建築特性、案例、呈現、說明等等。

表 4-5 Schon 與 Wiggins (1992) 所提之設計因子

機能	建築機能與建築物元件、建築的使用規畫、使用規格說明書
敷地	地形地勢之元素、與建築基地的關係
構件	建築物、建築的組成物件
空間	空間的種類以及相互之間的關係
造型	建築的形狀、幾何型體、空間組織的標記、動態視覺經驗
結構	建築物的主要架構、技術、過程使用
比例	建築及構件相互之間的大小關係
經費	建造過程的費用
建築特性	建築物的種類、風格的符號、建築物的型態
案例	參考其他的建築、風格、或建築模式
呈現	用語言或表示法呈現其他領域的元件
說明	設計者與其他人的交互作用

Miller (1995) 在研究中提到建築與設計是相當複雜的，然而其內在的概念卻相對簡單了許多，因此從概念切入建築是一個很好的開始，蒐集資訊並轉化為知識影響著設計過程與設計品質。藉由結構體的創造，將環境分為室內與室外，設計者不斷地在訓練自己的技巧，設計概念是相當重要的。為了更進一步瞭解什麼是設計概念，Miller 首先將建築的根本分為結構、系統、外牆材質、動線、視野、光影、照明、敷地、景觀、氣候、基地動線、現況、與生態等等，並做下列的歸納與分析 (表 4-6)。

表 4-6 Miller (1995) 所提之設計因子

結構	結構的概念帶到現實中便顯得有些複雜，必須對材料有基本認識。
系統	諸如給排水系統、電力系統、通訊系統.....等等。
材質	如磚牆、預鑄牆、帷幕牆等等，提供防水、隔音、隔熱的功能。
動線	在空間中移動的過程，體驗空間的層次，動線受制於空間的安排。
視野	包含各種不同的尺度，如點到點、空間到空間、室內到室外。
自然採光	交互影響著物理現象、機能使用、與美感經驗。
人工照明	在缺乏自然光時，一樣能產生光影的變化。
敷地	維繫著基地與建築物之間的關係。
景觀	提供不受破壞的自然美。
氣候	設計者必須讓建築防禦當地最惡劣的氣候環境。
基地動線	基地上建築物之外的動線以及與鄰近基地之間的動線處理。
基地現況	包括現存自然及人造環境，擁有歷史的特質。
基地生態	蒐集大量的相關資訊，明確定義設計的目標。

4-1-2 本實驗的設計因子

綜合以上 White、Rahman、Ching、Liu、Miller、Schon 與 Wiggins 的研究，彙集所有提出的設計因子並條列整理如表 4-7，其中出現次數頻繁的設計因子具有其基本重要性與指標性的意義，因此表 4-7 依整體設計因子的出現次數，各列稍作設計因子的先後順序調整，另外選擇實驗研究可操作的設計因子也是重要的考量因素之一。

表 4-7 所有設計因子之彙集整理與比較

White	尺度、空間、動線、造型、結構、材質、動態視覺、敷地、基地現況、景觀、氣候、機能、交通、形式組合、建築物入口、部門關聯性、使用者、構件
Ching	尺度、空間、動線、造型、比例、主要元素、組織方法、原理定律
Liu	尺度、空間、動線、材質、比例、機能、色彩、風格、視野、地形方位、環境、歷史、規線、模距、平衡、對稱
Rahman	尺度、造型、材質、動態視覺、景觀、色彩、風格、地形、人工照明、自然採光、韻律、細部、軸線調整、天際線、形式接合、形式轉換、建物量體高度
Schon & Wiggins	結構、造型、空間、比例、敷地、機能、構件、經費、案例、建築特性、呈現、說明
Miller	結構、材質、動線、敷地、景觀、氣候、視野、人工照明、自然採光、基地現況、基地動線、基地生態、系統

藉由表 4-7 的彙整之後，最終以造型、空間、比例、尺度、動線、結構、材質、與視覺動態，確立為本研究之實驗因子。

4-2 實驗方法與步驟

4-2-1 實驗目的

在確立實驗之設計因子之後，本研究接著操作一項空間實驗，探討各類設計媒材共包含素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、虛擬實境、CAD/CAM 等，在自由形體的設計過程中輔助設計的程度與有效度，期望藉由實驗結果的分析與比較，了解虛擬實境設計媒材在自由形體設計過程中各階段的必要性，進而修正並確認先前以案例分析的方式所推演的虛擬實境介入後之自由形體設計流程。

4-2-2 選定受測者

空間實驗選定 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，由於本研究著重於自由形體建築設計與空間認知，因此受測者必須是建築或設計相關科系的背景，受過建築設計或室內設計的專業訓練，同時在實驗的操作過程中，受測者必須使用各種不同的設計媒材，包含各類的數位媒材，因此受測者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。

雖然實驗所選定的案例與研究問題中之先期實驗相同，但實驗所選定的受測者，不必然需獲有現場空間經驗，因為實驗目的在於探討各類不同設計媒材在自由形體設計過程中所扮演的角色，同時在實驗過程中，實驗者將提供實驗案例充分的設計過程資料。

然而另一方面，在實驗所用到之設計媒材當中的 VR cave，是讓使用者沉浸在 3D 電腦繪圖的虛擬環境中，所以受測者是否曾有現場空間經驗，成為影響實驗結果潛在的變因之一。本研究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 10 位曾獲有、另外 10 位則從未有現場空間經驗的受測者。

4-2-3 實驗案例素材

選定的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，該設計團隊希望藉由小型的實務設計建立自由形體由設計、生產到施工的經驗。此案例從概念設計、初步分析、3D 數位模型及實體雷射切割測試、色彩計劃、材料及結構各方面的測試，為期約一個半月，此案例設計過程中完整的原始設計資料為本研究的主要實驗素材。所有原始設計資料首先依設計過程被整理分類為概念設計階段、設計發展階段、細部設計階段 3 大部分，每一部份再根據媒材性質區分為素描、2D 圖面、影像、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM 等 7 個類別，以下依此主從架構簡要說明該案例之設計資料的內容，並同時呈現其設計概念與設計過程。

4-2-3-1 概念設計階段

本案例的設計團隊認為基地所在的辦公大樓鄰近環山圍繞，順勢而建回應自然的公路與周遭都市幾何建築體形成對比，因此其設計概念是以山稜線的自然線條作為自由形體曲線的依據（圖 4-1），企圖以數位媒材的設計、構造與施工能力，重

新詮釋周遭自然環境所呈現的自由線條與形體。

因此設計者在媒材的運用上先以影像處理為基礎，描繪出鄰近環山圍繞的自然曲線（圖 4-1），作為在 3D 數位模型環境中塑形的依據（圖 4-2），大量的素描是討論概念細節的媒材工具，而辦公大樓 3 樓的原始 2D 平面圖則是基地分析與 3D 模型尺度的依據。在概念設計階段，設計者也製作若干 3D 實體概念模型以獲取更豐富的空間感（圖 4-3），同時概念模型也運用在基地分析以及修正初步概念造型。

本階段在概念設計階段除了上述五種設計媒材，其它包含動畫和 CAD/CAM 在此案例中並無使用。

4-2-3-2 設計發展階段

延續前一階段的設計概念，本案在設計發展階段初期藉由 3D 實體模型持續設計方案的修正，接著大部分透過 3D 數位模型的運用進行設計發展，包含結構的骨架配置、配合現場原有管線的設計修正、外部造型的修改與定案、面板的分割、建築材料的顏色與材質、光線的模擬等等（圖 4-4），因此本階段產出大量的 3D 數位模型及其彩現圖像的設計資料。

自由形體複雜的曲面組合不易在 2D 的環境中處理設計，因而本階段的傳統 2D 圖面媒材（圖 4-5）主要是由 3D 數位模型轉換而來。另外，設計者在設計發展的過程中也透過其他媒材如動畫與影像來模擬設計。

3D 數位模型的環境中缺乏物理特性，無法檢測出物件之間的干涉，會造成後續實際施作上的困難，因此本階段在設計大致定案時，設計者運用 CAD/CAM 雷射切割的技術製作實體模型來找出衝突的矛盾（圖 4-6），相較於先前以傳統手工製作的實體模型（圖 4-7），減少檢測過程中精準度不足的困擾，達到更有效的發現與解決問題的目的。

4-2-3-3 細部設計階段

此案例於細部設計階段運用最為頻繁之設計媒材為 3D 數位模型與 2D 圖面，為了使構件在 CAD/CAM 生產時能輸出製造，設計者必須先分別將自由形體的結構與面板加以編號，由於傳統 2D 施工圖面無法完整呈現自由形體每個構件的相對位置，所以必須藉由 3D 環境直接將編號標註於數位模型的構件表面上（圖

4-8)，然後再將這些小構件拆解，匯入 2D 圖面中作加工編輯（圖 4-9）。另外骨架之間的組裝所採用的凹槽交卡方式，也是透過 3D 數位模型與 2D 圖面完成設計。最後每一個構件才能夠透過 2D 圖面輸出，構件輸出成品之後才能依據 3D 環境的標註系統進行組裝。

本階段以 CAD/CAM 媒材輸出構件可分為骨架、折版、以及曲面版三類，其中骨架與折版採用雷射切割的方式，而曲面板則採用壓克力熱壓成型的方式，製作過程包含製模、成形、與修邊三步驟。CAD/CAM 媒材除構件輸出之外，還包括構件預組裝的施工測試實驗，在測試過程中修正設計與實際之間各種誤差。設計者另外亦透過影像媒材呈現自由形體的細部設計，以及透過素描媒材勾繪出不同構件之間的組裝大樣圖。本階段沒有使用到的設計媒材為實體模型與動畫。

4-2-4 虛擬實境素材

本實驗的目的是探討各類設計媒材在自由形體的設計過程中輔助設計的程度與有效度，特別針對虛擬實境媒材在各階段的必要性，而該案例在原設計過程中並無使用虛擬實境，因此本研究針對每個設計階段製作以下虛擬實境素材。

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，因此本研究將虛擬實境素材的製作，分為動畫場景與即時瀏覽場景二種，使受測者在實驗過程中除了能體驗動畫場景的真實模擬效果，也能體驗即時瀏覽場景的自由遊走與空間觀察。

VR cave 的主要特性就是讓三個投影幕配合左右眼共六個影像同步顯示，因此必須製作六段同步的三面式動畫，結合為一段虛擬實境的動畫場景，本研究針對實驗案例設計過程的概念設計階段、設計發展階段、細部設計階段製作共八段動畫場景，包含設計概念與各類設計方案的呈現（圖 4-10）、構件的組成與細部（圖 4-11）。

本研究採用交大建築所楊凱鳴同學所開發的即時瀏覽程式，將三面式六段同步的 3D 數位模型轉換成可即時瀏覽的場景，並以遊戲搖桿作為操縱介面，讓受測者在實驗中透過即時瀏覽場景體驗虛擬實境，遊走於自由形體空間中。由於 VR cave 大部分的硬體資源已用在即時運算上，因此無法讀取太過於複雜的場景，因此實驗在即時瀏覽的部分只能提供較為簡單的場景，另外再以強調視覺效果的動畫場景作為輔助，圖 4-12 為設計發展階段修正檢討結構部分的即時瀏覽場景。

4-2-5 實驗環境

進行實驗的場所選定在交通大學發展館的虛擬實境展示室，採用具備沉浸式的立體視覺效果的 VR cave。此系統為 PC-Based 的三面式背投影虛擬實境設備，共六台單槍投影機，每台投影機由一部電腦控制，六部電腦藉由區域網路相互連結作為 Client 端，另有一台額外的電腦作為 Server 端，控制六部 Client 端同步顯示，二台投影機同時投射左右眼的即時立體影像，受測者使用時須配戴被動式偏光型立體眼鏡。

另外備有一台 Pentium M 900 的筆記型電腦讓實驗者呈現實驗素材中一系列的資料圖片，向受測者介紹實驗案例的設計過程，同時該筆記型電腦也在實驗者簡報之後，提供受測者瀏覽或操作實驗案例的設計過程相關之影像、2D 圖檔、及 3D 數位模型。

提供使用的 3D 軟體介面以 Maya 為主，3D Max 為輔，2D 軟體介面則為 AutoCAD。實驗中全程以 DV、錄音筆同步紀錄每位受測者的實驗過程，以瞭解受測者對於實驗內容所回饋的意見描述，以及對於問卷的反應。

4-2-6 實驗題目

4-2-5-1 實驗方法

本實驗主要目的是研究各類設計媒材在自由形體的設計過程中輔助設計的程度與有效度，選定案例為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，圖 4-13 為實驗流程示意圖。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。

4-2-5-2 評估工具

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，請受測者填寫問卷，評估各類設計媒材在自由形體設計中對設計因子的有效度，也就是指對於自由形體設計具備多少程度的輔助設計能力。其中受測者需要評估的設計因子為本研究於本章第一節的討論分析中所確立的結論，包含內部空間、外部造型、比例、尺度、動線、結構、材質、與視覺動態等 8 項，在實驗的問卷當中有明確的定義說明如下：

- 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 (proportion)。
- 尺度：構件與構件、人、或空間的相對比例關係 (scale)。
- 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：提供的材質材料。
- 視覺動態：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。

本研究在實驗問卷的部分採等距評量法 (graphic rating scale) 當中的五點尺度評定法 (five-point rating scale)，也是一般研究中最簡單也最普遍的評估方法，作為評估受測者反應的依據 (Likert, 1967)，以形容詞來描述刺激知覺的數值，讓受測者在既定的範圍中選擇最能表現其知覺的項目，以檢測受測者對各項議題的認知程度，此評估方法亦可作為評估態度、信念、或意見等。

評量法採敘述性 (descriptive) 的等差法，評量的題目為設計媒材輔助設計的能力，評量的等級從「很沒幫助」到「很有幫助」劃分為 1、2、3、4、5，五種遞增排列的程度關聯性，例如 3 代表普通、5 代表很有幫助，表 4-8 為本實驗問卷中所提供的填寫範例。

表 4-8 實驗問卷之填寫範例

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

4-2-5-3 問卷內容

問卷內容共分為 A.概念設計階段、B.設計發展階段、C.細部設計階段等 3 大階段，每個階段以 8 種設計媒材作為實驗的問卷題目，每個題目再以 8 項設計因子作為評量的項目（附錄三）。以下節錄實驗問卷中 A.概念設計階段的前二項設計媒材（素描、影像）之問卷內容：

A. 概念設計階段

本案的設計概念是以該棟辦公大樓鄰近環山圍繞的自然線條為自由形體曲線的依據。

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，評量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。評量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

接續為第 3 - 8 項設計媒材，包含 2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型.....等以此類推，其中部分設計媒材有註明特別注意事項，例如 CAD/CAM 媒材指的是 CNC、3D Scanner、RP、雷射切割等媒材；由 Laser Cutter 切割後組成的實體模型歸類於 CAD/CAM 媒材，而非實體模型媒材。讓受測者者更清楚瞭解本研究對於各項媒材的定義規範，避免定義產生混淆而降低實驗的有效性。

以上為 A.概念設計階段之問卷內容，後面依序為 B.設計發展階段、C.細部設計階段，內容大致與 A.概念設計階段相同，以此類推。

4-2-6 實驗中的研究限制

受測者所評估的實際案例為自由形體設計，非一般建築設計。不同的設計者面對相同的建築設計案，受到不同設計價值觀的限制，強調的設計重點會不同，選擇處理設計因子的先後順序與組合方式也會不同（White, 1975），因而在媒材的運用上亦會有些許差異。實驗中受測者評估的依據以本案既有的設計方案與內容為限，並以原設計者的角度作思考與評估，受測者不得額外加入個人對於設計方案的其他構想或設計方法，以免除各種無法驗證可行性的猜測以及不準確的有效度評估，確立本研究的實驗精神。案例之原設計者若在設計過程中不盡完善、在設計方法或設計媒材運用上有瑕疵或若干缺失，皆屬於本研究的研究限制。

另外，本研究在決定實驗的設計因子的過程中，以早期的相關研究論述為依據，因此適用範圍概括廣泛的建築設計案例。國內自由形體案例的數量相當有限，國外的自由形體案例又不易獲得完整的設計過程資料，因而本實驗的案例選擇公信電子接待大廳，然而此案的規模屬於中型，性質較為接近室內設計案例，因此在實驗 8 個設計因子中的「動線」因子較為薄弱，無法完全呼應先前的建築理論，後續在分析討論中若有總體平均整理，將予以加權減低其所佔的權重。



4-3 實驗結果

完成 20 位受測者的實驗之後，彙整所有問卷、受測者的實驗過程紀錄、以及對於實驗內容所回饋的意見描述。以下將回收的問卷分三部份作資料整理與呈現，第一部份為全部受測者對於各項評估的平均數據；第二部分為二組受測者分別對於各項評估的結果；第三部份為各項媒材在各設計階段之有效度總平均。

4-3-1 實驗初步結果

以下將全部 20 位受測者分三階段作平均數整理如表 4-9、4-10、4-11，從表中可看出每一項媒材之有效度的評估數值變化，表中並以粗體字標示出各設計階段中的有效度評估之最高值與最低值。

表 4-9 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 4-10 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 4-11 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

4-3-2 二組受測者差異性結果

以下主要在於呈現曾獲有現場空間經驗（以下簡稱 A 組）與從未有現場空間經驗（以下簡稱 B 組）的二組受測者，分別在各類設計媒材中對各項設計因子的平均有效度，以及二組受測者在各項評估數據的差異性，數據中 N/A 代表實驗

案例於本階段沒有運用到該媒材故無數據，以下分為三個設計階段。

4-3-2-1 概念設計階段

表 4-12 概念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	2.3	2.6	2.5	2.6	1.4	2.8	1.4	1.3
	沒去現場	3.0	3.1	3.0	3.2	1.8	2.9	1.7	2.0
		-0.7	-0.5	-0.5	-0.6	-0.4	-0.1	-0.3	-0.7
影像	去過現場	2.8	2.5	1.9	2.3	2.0	1.4	2.2	1.2
	沒去現場	2.3	2.2	2.6	2.9	2.5	1.6	2.5	1.7
		0.5	0.3	-0.7	-0.6	-0.5	-0.2	-0.3	-0.5
2D 圖面	去過現場	1.3	3.2	3.1	2.7	3.5	1.8	1.0	1.1
	沒去現場	1.6	3.4	3.6	3.0	3.6	2.1	1.2	1.2
		-0.3	-0.2	-0.5	-0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1
3D 實體模型	去過現場	3.4	3.1	2.9	2.8	2.3	3.1	1.6	2.6
	沒去現場	3.7	3.0	3.3	3.0	2.7	2.6	1.4	2.9
		-0.3	0.1	-0.4	-0.2	-0.4	0.5	0.2	-0.3
3D 數位模型	去過現場	3.9	3.9	3.2	2.7	3.1	3.6	2.5	3.3
	沒去現場	3.8	4.0	3.1	3.2	2.9	3.3	2.4	3.5
		0.1	-0.1	0.1	-0.5	0.2	0.3	0.1	-0.2
動畫	去過現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	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	3.8	4.1	3.2	3.0	3.7	3.5	2.5	4.5
	沒去現場	3.4	4.2	3.4	3.7	3.4	3.8	3.2	4.5
		0.4	-0.1	-0.2	-0.7	0.3	-0.3	-0.7	0.0
CAD/CAM	去過現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	沒去現場	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

從實驗結果表 4-12 發現，在概念設計階段 AB 二組受測者無明顯的差異性，最大差異值僅 0.7，共出現 5 次，分布在不同媒材與因子。有效度評估的極高值集中分布在虛擬實境媒材，極低值集中分布在 2D 圖面媒材，且二者皆為對視覺連續因子的評估值（表 4-13）。

表 4-13 概念設計階段有效度極高值與極低值分布情形

	平均有效度在 4.4 以上	平均有效度在 1.2 以下
A	虛擬實境：視覺連續 (4.5)	影像：視覺連續 (1.2) 2D 圖面：材質 (1.0)、視覺連續 (1.1)
B	虛擬實境：視覺連續 (4.5)	2D 圖面：材質 (1.2)、視覺連續 (1.2)

4-3-2-2 設計發展階段

表 4-14 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	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	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

本階段二組受測者最大差異值為 0.8，差異性亦不大，共出現 4 次，但其中 3 次皆分布在尺度因子（表 4-14）。而有效度評估的最高值 4.8 大於前一階段的最高值 4.4，不同因子評估數值之間的差異性較大，值得注意的是二組受測者對於有效度評估數值前三高的分布情形完全一致（表 4-15）。

表 4-15 設計發展階段有效度極高值與極低值分布情形

	平均有效度在 4.4 以上	平均有效度在 1.2 以下
A	動 畫：視覺連續 (4.6) 虛擬實境：視覺連續 (4.8) CAD/CAM：結構 (4.4)	2D 圖面：材質 (1.2)、視覺連續 (1.1)
B	動 畫：視覺連續 (4.7) 虛擬實境：視覺連續 (4.8) CAD/CAM：結構 (4.4)	無

4-3-2-3 細部設計階段

表 4-16 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	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	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	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	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

本階段二組受測者最大差異值為 1.2，差異性偏大，出現 2 次，皆分布在材質因

子。有效度極高值集中分布在 CAD/CAM 媒材，極低值則集中分布於素描媒材。

表 4-17 細部設計階段有效度極高值與極低值分布情形

	平均有效度在 4.4 以上	平均有效度在 1.2 以下
A	3D 數位模型：結構 (4.7) CAD / CAM：比例 (4.6)、結構 (4.7) 材質 (4.8)	影像：視覺連續 (1.1) 素描：外部空間 (1.2)、內部造型 (1.1) 視覺連續 (1.0)、動線 (1.0)
B	虛擬實境：視覺連續 (4.6) CAD / CAM：比例 (4.6)、結構 (4.7)	無

4-3-3 整體設計過程結果

本實驗主要目的是研究各類設計媒材在自由形體的設計過程中輔助設計的程度與有效度，並將設計過程分為概念設計、設計發展、細部設計等 3 階段，為探討最後各類設計媒材在各設計階段的有效度，以下將先前每一項媒材的 8 種設計因子之有效度作總平均整理 (表 4-18)。同時在實驗的研究限制中提到，本實驗案例在 8 個設計因子當中的「動線」因子較為薄弱，因此在各媒材在總平均整理時給予適當的權重處理。

表 4-18 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

從表 4-18 中發現概念設計階段有效度最高的設計媒材為虛擬實境，而 3D 數位模型次之；設計發展階段也相同，且有效度又大於概念設計階段；細部設計階段最高則為 CAD/CAM 媒材，而虛擬實境次之。

4-4 實驗分析與討論

4-4-1 概念設計階段

虛擬實境媒材的重要性

將表 4-9 中概念設計階段的實驗結果以圖 4-14 呈現，可以看出所有設計媒材中虛擬實境的有效度最高、影像媒材最低，傳統設計中重要的設計媒材素描的有效度亦不高，進一步將表 4-9 所有評估數據依設計因子種類作平均數整理如圖 4-15，發現受測者在概念設計階段比較注重自由形體的內部空間議題，其次則為外部造型、比例、與尺度問題。

數位概念模型逐漸取代實體概念模型

如圖 4-14 所示本階段有效度最高為虛擬實境媒材，而 3D 數位模型次之，說明模型在自由形體概念設計的重要性，同時 3D 實體模型有效度亦僅次於虛擬實境與 3D 數位模型，因此本研究為比較 3D 數位模型與 3D 實體模型媒材二者性質相近的設計媒材，將表 4-9 中此二項媒材的數據整理如圖 4-16。

結果發現數位模型在各項因子的有效度皆高於實體模型，特別是在材質與內部空間方面，此結果呈現 3D 數位概念模型的重要性，逐漸在自由形體的概念設計階段中取代 3D 實體模型。前面提到本階段中比例與尺度因子，為受測者較為注重的議題，圖 4-16 中顯示數位模型與實體模型媒材在比例與尺度的有效度相近，且在實體模型的有效度更僅次於外部造型因子，本實驗的受測者共計 20 位，A 組受測者編號為 a 到 j，B 組受測者編號為 p 到 y，其中受測者 c 與受測者 i 同時於實驗過程的概念設計階段中表示：

「在實體模型素材中因為存在人的物件，提高了尺度與比例的有效度。」(圖 4-17)

4-4-2 設計發展階段

數位媒材與內部空間因子的關聯

圖 4-18 為設計發展階段中各媒材的有效度比較，虛擬實境媒材在本階段保持有效度最高。再觀察表 4-10 中的評估數值分布可發現，在設計發展階段中有效度大於 3.5 的數值在內部空間因子的出現次數最多。

深入將該階段二組受測者關於內部空間因子的數字整理出與媒材之間的關係如圖 4-19，圖表顯示 3D 數位模型、動畫、虛擬實境三項設計媒材在內部空間因子

的有效度高於其他媒材，而此三項媒材的共同特性是皆為數位媒材，即大部分的受測者認為數位媒材對於自由形體設計的內部空間因子是相對重要。

再將此三項數位媒材在設計發展階段對於各設計因子的有效度作比較（圖 4-20），發現在內部空間因子的部分此三項媒材同時有極高的表現。另外其中動畫與虛擬實境二種性質較為接近的媒材，對於動線和視覺連續因子的有效度也極高，而在其他因子方面包括造型、空間、比例、尺度、與結構，動畫媒材則比虛擬實境媒材要低許多程度，同時也是動畫媒材偏低的有效度分布。

動畫媒材功能逐漸為虛擬實境媒材所取代

3D 數位模型的有效度也是大部分屬於偏高，僅在動線因子與視覺連續因子部分不如虛擬實境與動畫媒材，呈現不同媒材之間的特性差異。而相較於 3D 數位模型與虛擬實境媒材，動畫媒材在有效度的呈現較微弱，實驗過程中受測者 w 與受測者 a 分別同樣表示：

「動畫媒材在本質上有固定路徑的限制，所以影響媒材在設計上的有效度。」

「與虛擬實境相比較，看動畫就好像只是在看一個東西，並無法感覺什麼東西是在我的上面。」

而受測者 a 在稍後操作虛擬實境媒材時，更進一步反應：

「或許是實際體驗過實驗案例的關係，感覺擁有虛擬實境媒材之後，可以完全不再需要動畫媒材。」

同樣是曾獲有現場空間經驗同時也是該案例設計團隊成員的受測者 e 也表示：

「透過動畫媒材比較不容易感受內部空間，而虛擬實境在這方面的能力則較佳。」

從以上受測者的回應可推測，動畫在自由形體設計過程中的媒材功能，將逐漸為虛擬實境媒材所取代。

虛擬實境媒材在設計發展階段的有效度極高

虛擬實境是在設計發展階段整體有效度最高的設計媒材，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（圖 4-21），即本研究提供的實驗素材。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（圖 4-22），作為評估虛擬實各項有效度的依據。

將實驗結果中二組受測者對虛擬實境在各項因子所分別評估的有效度整理如圖

4-23，二組受測者除了在尺度因子的評估上差距最大，動線因子稍有差距之外，其他各項評估因子的比例都很接近，二組受測者在視覺連續因子方面給予同樣最高的有效度評估，外部造型因子則為最低。

再將全部 20 位受測者的有效度總次數分析整理如圖 4-24，5 代表對設計很有幫助、1 代表對設計很沒幫助，結果呈現超過半數的受測者在大部分的設計因子給予虛擬實境 4 以上的有效度，僅極少數的評估值在 2 以下，其中視覺連續因子的平均有效度達 4.8。

3D 實體模型與 CAD/CAM 媒材的差異

實驗案例在本階段的 CAD/CAM 設計媒材（圖 4-25）是以雷射切割的技術製作實體模型，在媒材功能上與設計過程中以手工製作的實體模型（圖 4-26）十分接近，因此本研究進一步將這二項媒材在表 4-10 設計發展階段的有效度評估作差異性的比較。

如圖 4-27 所呈現 CAD/CAM 媒材對於結構因子的有效度有相當突出的表現，大幅度優於 CAD/CAM 媒材本身所有其他的因子，也優於實體模型媒材的所有設計因子。整體而言受測者認為 CAD/CAM 媒材在各方面的有效度略高於實體模型，顯示 CAD/CAM 媒材的精確尺寸特質確實影響自由形體的設計過程。然而在尺度與動線因子上實體模型些許優於 CAD/CAM 媒材，檢討其原因是實際案例中 CAD/CAM 的素材較少、並且沒有融入整個基地模型，相對地實體模型素材則較為豐富（圖 4-7），比較能發揮媒材對於尺度的功能，此部份為先前所提到的研究限制。

4-4-3 細部設計階段

CAD/CAM 媒材在細部設計階段的重要性

將表 4-11 中細部設計階段的實驗結果以圖 4-28 呈現，可以看出所有設計媒材當中有有效度最高為 CAD/CAM 媒材、虛擬實境媒材次之。從表 4-16 亦可發現有效度在 4.4 以上者共 7 個，其中 5 個集中出現在 CAD/CAM 媒材，顯示 CAD/CAM 媒材在自由形體設計之細部設計階段的重要程度。

將表 4-11 中所有數據整理歸納如圖 4-29，同樣能夠發現 CAD/CAM 媒材在自由形體設計的細部設計階段之重要性，圖表中除了外部造型因子相對稍弱以外，內部空間、動線、視覺連續等設計因子僅次於虛擬實境媒材，其他方面因子的有效

度皆為最高，特別是在結構因子與比例因子方面。而在比例因子當中，有效度表現大部分偏高的 3D 數位模型在這方面則低於 2D 圖面，受測者 u 在本階段的實驗過程中說：

「本階段出現大量的 2D 施工圖面，而因為圖面上的比例尺標示，感覺 2D 圖面在比例因子上的有效度會高於 3D 數位模型與 3D 實體模型。」

從圖 4-29 亦可發現各類媒材在外部造型、內部空間、以及動線因子上的有效度皆呈現偏低的情況，此現象從受測者 s 的反應意見作了回答：

「在細部設計階段中，好像較少關於造型與空間的議題。」

因此與本案細部設計階段的設計行為本質相關，屬研究限制的一部份，而類似情況的動線因子方面則如先前所述為本實驗案例之研究限制。

細部設計階段 CAD/CAM 媒材對於結構因子的有效度高達 4.7，是整個設計過程中，僅次於虛擬實境媒材在設計發展階段對於視覺連續因子的 4.8，將本階段二組受測者對 CAD/CAM 媒材在各項因子所分別評估的有效度整理如圖 4-30，除了在材質因子的評估上差距最大，其餘大部分的評估因子差距都很接近，而二組受測者在結構因子方面給予同樣極高的有效度評估，因此再將全部 20 位受測者的有效度總次數分析整理如圖 4-31，結果全部受測者給予結構因子 4 以上的有效度，顯示 CAD/CAM 媒材對於結構方面相當重要。

從前面的圖表整理得到以下結論，自由形體在細部設計階段，有效度評估的極高值集中分布在 CAD/CAM 媒材，CAD/CAM 媒材同時也是細部設計階段，整體最重要的設計媒材，特別是在結構方面的有效度表現，因此本研究繼續深入探討細部設計階段中 CAD/CAM 媒材所扮演的角色。

CAD/CAM 媒材延伸出新設計階段的浮現

從先前關於實驗案例的分析，以及前一章關於研究案例的自由形體設計過程分析中提到，自由形體設計過程的細部設計階段，除了傳統施工圖面繪製以外，還包含自由形體構件的生產與組裝測試（圖 4-32），也是 CAD/CAM 媒材運用在細部設計階段的部分，其中與結構的議題關係密切。由於自由形體的特性，構件的生產與組裝測試完全必須倚賴 CAD/CAM 才能得以完成，此為細部設計階段後期的重要工作。

因此實驗結果呈現 CAD/CAM 媒材在自由形體細部設計階段的重要性，亦說明構件的生產與組裝測試在自由形體設計過程中的重要性。許多相關自由形體的新研究指出，傳統的設計過程逐漸因自由形體設計的出現而改變，構件的生產與模擬組裝讓複雜的結構關係得以建造 (Cache, 2002; Simondetti, 2002)，因而在設計過程中浮現出新的設計階段程序，此階段目前稱為單元生產階段 (fabrication)，發生在細部設計階段之後、建造過程階段之前 (Lim and Liu, 2005; Kolarevic, 2003)，本研究在細部設計階段的實驗結果分析同時驗證了先前探討單元生產階段的相關研究 (圖 4-33)。

4-4-4 二組受測者的差異性

受測者在設計媒材上的整體差異

將 4-3-3 表 4-18 中各階段的媒材有效度分為 AB 二組受測者作比較，顯示二組受測者在細部設計階段的看法較為一致，而在設計發展階段中 A 組受測者在影像、以及 3D 實體模型的有效度評估高出 B 組受測者許多，在概念設計階段中則是在素描媒材上的有效度評估差距較大 (圖 4-34、4-35、4-36)。

曾獲有現場空間經驗影響受測者在尺度與材質因子上的評估

關於 AB 二組受測者對各項有效度評估的差異值方面，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 (Lee, 2005)，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 (表 4-19)，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。

表 4-19 設計發展階段二組受測者對於各項因子有效度的差異值

	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺
影像	0.0	0.7	0.8	0.6	0.0	0.4	0.3	0.4
2D 圖面	0.2	-0.2	0.3	0.8	0.3	0.7	-0.1	-0.6
3D 實體模型	0.4	0.4	0.7	0.5	0.7	0.1	0.1	0.3
3D 數位模型	-0.2	0.3	0.3	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.7
動畫	0.3	0.6	0.2	0.0	0.2	0.6	0.1	-0.1
虛擬實境	-0.2	0.1	-0.3	-0.8	-0.4	0.0	-0.1	0.0
CAD/CAM	-0.2	-0.3	-0.3	-0.8	0.1	0.0	0.2	0.3

在細部設計階段中，二組之間的最大差異值擴大為 1.2，出現 2 次則都分布在材質因子，且皆為正 1.2，媒材則分別為虛擬實境與 CAD/CAM（表 4-20），同理可推測看過現場材料、材質的 A 組受測者比較認同虛擬實境與 CAD/CAM 媒材在材質方面的能力。

表 4-20 細部設計階段二組受測者對於各項因子有效度的差異值

	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺
素描	-0.8	-0.8	0.0	0.1	-0.7	0.1	0.8	-0.4
影像	0.0	-0.2	0.0	0.6	-0.5	0.2	0.1	-0.5
2D 圖面	-0.6	-0.8	0.5	0.2	-0.5	0.4	0.4	-0.2
3D 數位模型	-0.2	-0.7	-0.1	-0.3	-0.3	0.6	0.7	-0.4
虛擬實境	-0.4	0.1	0.4	0.3	0.0	0.3	1.2	-0.5
CAD/CAM	-0.3	-0.7	0.1	-0.2	0.1	0.0	1.2	-0.2

曾獲有現場空間經驗較易影響受測者出現極低的有效度評估值

觀察所有受測者在全部有效度的表現，將 4-3-2 表 4-13、4-15、4-17 三階段的歸納重新整理如表 4-21，顯示 A 組受測者在概念設計階段，平均有效度低於 1.2（很沒幫助）有 3 項、設計發展階段有 2 項、細部設計階段更高達 5 項；而 B 組受測者在概念設計階段有 2 項、其他階段皆為 0 項。總計平均有效度極低的評估值 A 組受測者有 10 項，B 組受測者有 2 項，呈現曾獲有現場空間經驗的受測者再評估有效度時，比從未獲有現場空間經驗的受測者的評估值要低許多，因而推論曾獲有現場空間經驗會影響受測者對於媒材能力的判斷。

從素描媒材的有效度評估中發現設計者的特質

從 4-3-2 表 4-12、4-14、4-16 可發現二組受測者評估差異值較大的實驗結果出現在素描此項媒材的次數比例偏高，顯示 AB 二組受測者對於素描媒材有效度的看法較有差距。本研究進一步將這些評估差異值較大的實驗數據重新整理，列出全部 20 位受測者的評估數據，A 組受測者為 a 到 j，B 組受測者為 p 到 y，接著再突顯其中造成差異值大的受測者數據（表 4-22）。結果發現突顯的數據當中，受測者 d 與受測者 e 在五項評估差異值較大的題目中全部被突顯，然而在曾獲有現場空間經驗的 10 位 A 組受測者當中，受測者 c、d、e 為該設計案的設計團隊成員，另外受測者 c 在五項題目中亦有四項被突顯。因此從先前 AB 二組受測者對於素描媒材有效度看法較有差距的論述中，能夠再進一步推論設計者評估素描對

於自由形體設計的有效度，與其他受測者差異最大。本研究也以同樣的方法檢驗在其他媒材的差異性較大的數據，則無發現類似的明顯趨勢。

表 4-22 評估差異值較大的題目之所有受測者實驗數據

題號	差值	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y
111	-0.7	3	3	1	1	1	3	2	2	5	2	2	2	4	4	2	4	4	2	5	1
118	-0.7	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	3	2	3	2
311	-0.8	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	3	4	1	1	2	2	3	1	1
312	-0.8	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	4	4	1	1	1	3	2	1	1
317	+0.8	1	3	3	5	5	1	5	1	3	1	1	4	4	1	1	2	3	1	2	1

4-4-5 設計過程的比較分析

虛擬實境媒材在自由形體設計過程中的必要性

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，將表 4-18 整理如圖 4-37 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。

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。

3D 數位模型對於各設計因子跨階段之比較

從圖 4-37 中能夠發現，3D 數位模型媒材與虛擬實境媒材在整體設計過程三階段中皆有運用到，且此二項媒材三階段共六個有效度評估值皆高於其他媒材所有評估值，除了排名次高的細部設計階段 CAD/CAM 之外，因此以下將此二項自由形體設計中之重要媒材，對於各項設計因子在整體設計過程以及每一階段的有效度作整理比較。

受測者在進行每一階段的 3D 數位模型有效度評估之前，需先即時操作實驗案例在該階段之相關 3D 數位模型檔，即實驗者所提供的實驗素材，以作為實驗評估之依據（圖 4-38），其中受測者 a 在操作過程中曾提到：

「在 3D 軟體中類似虛擬實境的環境下，透過 3D 軟體提供的操作介面，我感覺只是假裝在裡面遊走」

3D 軟體雖然都有類似虛擬實境的使用介面，但受測者的感受僅只是假裝在遊走，由此可看出 3D 數位模型與虛擬實境媒材基本上的差異。

將 4-3-1 表 4-9、4-10、4-11 中關於 3D 數位模型的所有評估數據依各設計因子分別作平均，便可獲得 3D 數位模型在整體自由形體設計中對於各因子的有效度比較（圖 4-39），其中以結構方面的有效度最高，其次為內部空間與外部造型，再其次為比例與尺度因子。

若將圖 4-39 各設計因子的有效度細分為設計過程三階段，則能夠比較出 3D 數位模型對於各設計因子在各階段之間的差異（圖 4-40），從圖中可發現 3D 數位模型在細部設計階段對於結構因子的有效度為所有評估數據之最高值，然而相較於概念設計階段與設計發展階段，3D 數位模型在細部設計階段中的有效度評估值反而普遍呈現較低，而以設計發展階段略高些許，其中以空間因子差距最大，因為 3D 數位模型在細部階段的空間因子有效度偏低、結構因子有效度偏高，使得 3D 數位模型在圖 4-39 整體有效度中呈現結構因子高於空間因子。

虛擬實境對於各設計因子跨階段之比較

同樣將 4-3-1 表 4-9、4-10、4-11 中關於虛擬實境的所有評估數據依各設計因子分別作平均，獲得虛擬實境媒材在對於各因子的整體有效度比較（圖 4-41），從結果可以看出各因子的有效度均在 3.1 以上，更顯示虛擬實境媒材在自由形體設計過程中的必要性，其中最高有效度為視覺連續因子，其次為內部空間因子。

圖 4-41 各設計因子的有效度再細分為設計過程三階段，以比較虛擬實境媒材對於各設計因子在各階段之間的差異（圖 4-42），從圖中發現虛擬實境對於視覺連續因子在各階段有效度均極高，而整體在三個階段中以設計發展階段有效度最高。另外在細部設計階段中，虛擬實境對於內部空間因子以及動線因子皆與其他設計階段有相當的差距，而在外部造型因子方面則是概念設計階段大幅高於其他階段，因此虛擬實境媒材相當適合用在自由形體設計的造形概念發展上。

從先前在設計發展階段的分析，以及在整體設計過程中各媒材之間的比較，都獲得虛擬實境為自由形體設計中相當重要設計媒材的結論。另外在實驗過程中受測者 a、g、h 在操作虛擬實境媒材之後（圖 4-43），分別有以下其他的回應：

「虛擬實境讓我感覺到空間的上下左右，也就是某些研究在探討的存在感。」

「用虛擬實境讓工人看即時的施工順序，應該可以解決所有施工上的問題。」

「虛擬實境可以從內部走到外部到更遠，觀看整個外部造型設計。」

以上受測者的回應，顯示虛擬實境媒材在自由形體設計中不但重要，而且還有很廣泛的應用空間。

4-4-6 VR cave 介入自由形體設計後的媒材分析

基於以上對於實驗結果的分析與討論，將先前所推演的 VR cave 介入後的自由形體初步設計流程架構做調整。由於原初步設計流程架構是經過分析推論以及設計者訪談後的確認，因此設計流程架構的調整不會完全依照實驗結果，而是綜合所有考量予以適當的修正。

修正的部分包含在概念設計階段，降低素描與影像、提高 3D 數位模型與虛擬實境的重要性；在設計發展階段，增加 3D 實體模型與動畫的重要性。並以實驗案例有用到的設計媒材，填補部分原初步設計流程架構中透空的圓圈，包含概念設計階段的 3D 實體模型，細部設計階段的素描，其餘仍維持空缺的研究限制狀態。最後獲得確認後的 VR cave 介入後的自由形體初步設計流程架構（圖 4-44）。

第 5 章 結論與後續研究

5-1 研究結論

研究結論可分為四個部分，第一是自由形體設計過程的確立，第二是 VR cave 介入後的自由形體初步設計流程的推演，第三是設計者的訪談與驗證，第四是 VR cave 介入後的自由形體設計流程的修正與確認。

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的設計流程，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 設備參與其設計過程，解決原設計媒材不足的部分，進而建立 VR cave 介入後之自由形體初步設計流程，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。

接著透過與研究案例設計者的訪談進行本研究自由形體初步設計流程的階段性確認，設計者認為在該案例的設計過程中以 3D 數位模型媒材最為重要，其次為細部設計階段的 2D 施工圖面與 CAD/CAM 媒材，還有設計發展階段的影像媒材亦不可或缺。在設計過程中需要改善的部分包含 3D 實體模型的不足、細部設計的不足、自由形體的尺度感落差的問題、缺乏結構設備專業技師、自由形體構件的模具化、以人力替代 CAD/CAM 製造問題耗費時間等等。而設計者對於 VR cave 的意見為，在 full-scale 的 3D 模型當中看設計能獲得準確的尺度感，每一個細部也都能被檢視到，以及取代動畫媒材。因此從訪談內容中獲得設計者對虛擬實境媒材的正面看法。

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 介入後的自由形體初步設計流程，修正的部分亦即與先前案例研究所做的分析推論有差異性，是修正先前設計流程的重要依據，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，以及設計發展階段中 3D 實體模型與動畫的重要性要增加。

以上為實驗結果與案例研究包含設計者看法的落差，基於這些落差將原初步設計流程做綜合評量並予以適當的修正，最後獲得確認後的 VR cave 介入後的自由形體設計流程。

5-2 研究貢獻

設計媒材 3D 數位模型的精確度讓自由形體建築得以建造，但突破與創新經常伴隨新問題的發生，本研究在設計思考與設計過程的領域中，初探數位媒材在自由形體建築設計所衍生之新的設計問題。再藉由新媒材虛擬實境介入設計過程解決自由形體空間的設計問題，提出一個新的 VR cave 介入後之自由形體設計流程，強調新媒材對於影響設計過程的重要性。

自由形體設計流程的確立除了透過案例資料中既有素材獲與過程觀察分析獲得之外，並藉由設計者訪談做確認，同時再經過空間實驗的分析、修正、與確認，因此以 VR cave 介入後之自由形體設計流程研究成果，對於後續相關的研究具備初步的有效性。

5-3 研究限制

本研究在以 VR cave 介入自由形體設計之前，僅透過先期實驗作媒材呈現與實體呈現之差異比較，雖然後續在研究方法步驟中的案例分析再次確認設計媒材不足，但仍為本研究限制之一。數位媒材無法掌握的問題，必須依賴更新的設計媒材來解決，雖然透過先期實驗的分析與相關文獻回顧，選擇以 VR cave 來介入其設計過程，但並不能確認虛擬實境媒材是唯一能解決自由形體設計問題的新媒

材，為本研究的限制。

由於自由形體設計的研究議題、新的設計流程、以及複雜的媒材種類等因素，本研究將設計過程最後的建造階段列為後續研究，是另一項研究限制。另外在本研究所定義的設計流程架構中，透空的圓圈為研究案例於該設計階段沒有運用到的設計媒材，但不代表重要性較低或是不必要的媒材，也因而動畫媒材無法在各階段之間進行比較分析，故為本研究之研究限制。

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，為求實驗結果的可信度與準確性，未來在受測者的增加以及統計理論的應用，都是不可缺乏的因素。受測題目中並不包含認知研究、社會文化、人文歷史等相關問題的探討，單純針對媒材與設計之間的關係而定。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。

空間實驗中受測者評估的依據，以本案既有的設計方案與內容為限，並以原設計者的角度作思考與評估，受測者不得額外加入個人對於設計方案的其他構想或設計方法，以免除各種無法驗證可行性的猜測以及不準確的有效度評估，實驗案例中設計者若在設計方法或設計媒材運用上有瑕疵或若干缺失，例如在設計發展階段 CAD/CAM 的素材較少、並且沒有融入整個基地模型，皆屬於本研究的研究限制。

由於國內自由形體的設計案例有限，國外的自由形體案例又不易觀察設計過程與獲得完整的設計過程資料，因而本實驗案例僅能選擇規模屬於中型的公信電子接待大廳，其性質較為接近室內設計案例，在實驗 8 個設計因子中的動線因子較為薄弱，所以分析討論中各媒材在總平均整理時給予適當的權重處理。

5-4 後續研究

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，包含認知科學、社會科學、心理學等各

方面的議題，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。

傳統設計在建造過程所運用的設計媒材經常十分單純、或是沒有運用到任何媒材，而自由形體設計目前仍是極新的研究議題，包含 CAD/CAM 新媒材的各種運用以及建造工法，自由形體在建造過程中需要運用到哪些設計媒材以及如何運用，可以是一個完整的研究問題，因而本研究將其列為後續研究。另外，若研究環境許可的話，大型的自由形體案例也是必要的後續研究之一。



參考文獻

- Acevedo, D., E. Vote, D. H. Laidlaw, and M. S. Joukowsky. (2001), Archaeological Data Visualization in VR: analysis of lamp finds at the great temple of Petra, a case study, *Proceedings of IEEE Visualization 2001*.
- Adam, R. (1990), *Classical Architecture*, Harry N. Abrams, New York.
- Alexander, C. (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Alvarado, R. G., J. C. Parra, and G. V. Vildosola. (2001), Qualitative Contribution of a VR-system to Architectural Design: why we failed?, *Proceedings of the CAADRIA 2001*, 423-428.
- Arnheim, R. (1969), *Visual Thinking*, University of California Press, Berkeley.
- Austin, A. (2001), Mapping the conceptual design activity of interdisciplinary teams, *Design Studies*, **22**, 211-232.
- 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
- Baker, P. (2000), Visualization Spaces, *Computer Graphics*, **34**(3), 8-10
- Bashir, H. A. and V. Thomson. (2001), An analogy-based model for estimating design effort, *Design Studies*, **22**, 157-167.
- Belleman, R. G., B. Stolk, and R. Vries. (2001), Immersive Virtual Reality on Commodity Hardware, *Proceedings of the ASCI20010*.
- Blach, R., J. Landauer, A. Rosch, and A. Simon. (1998), A Highly Flexible Virtual Reality System, *Future Generation Computer System*, **14**, 167-178.
- Bruggen, V. (1998), *Frank O. Gehry, Guggenheim Museum Bilbao*, Guggenheim Museum Publications, Germany.
- Cache, B. (2002), Gottfried Semper: stereotomy, biology and geometry. *Architectural Design*, **72**(1), 28-33.
- Caldas, L. and J. Rocha. (2001), A Generative design system applied to Siza's school of architecture at Oporto, *Proceedings of CAADRIA 2001*, 253-264.
- Cao, Q. and J. Protzen. (1999), Managing Design Information, *Design Studies*, **20**(4), 343-362.
- Chan, C. S., L. Hill, and C. Cruz-Neira. (1999), Is it Possible to Design in Full Scale, *Proceedings of the CAADRIA 1999*, 43-52.
- Chan, C. S. and C. Cruz-Neira. (1999), An Electronic Library for Teaching Architectural History, *Proceedings of the CAADRIA 1999*, 335-344.
- Ching, F. D. (1979), *Architecture : Form, Space and Order*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Cruz-Neira, C. (1998), Making Virtual Reality Useful: a report on immersive applications at Iowa State University, *Future Generation Computer Systems*, **14**, 147-155.
- Dam, V. (2000), Immersive VR for Scientific Visualization: a progress report, *IEEE Computer Graphics and Applications*, **19**(6), 26-52.
- Dave, B. (2000), Architecture of digital imagination, *Proceedings of the CAADRIA 2000*, 297-306.
- Eastman, C. A. and N. Fereshetian. (1994), Information Models for Use in Product Design, *Computer-Aided Design*, **26**(7), 551-572.
- Fukuda, T., R. Nagahama, A. Kaga, S. Oh, and T. Sasada. (2001), Collaboration Support System for Nightscape Design Based on VR Technology, *Proceedings of the CAADRIA 2001*, 103-111.

- Gehry, F. (1976), The search for a no rule architecture *Architectural Record* **102**.
- 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.
- Hanna, R. and T. Barber. (2001), An inquiry into computer in design: attitudes before-attitudes after, *Design Studies*, **22**, 255-281.
- Haymaker, J. (2000), Filter Mediated Design: generating coherence in collaborative design, *Design Studies*, **21**(2), 205-220.
- Hewitt, M. (1985), Representational Forms and Models of Conception, *Journal of Architectural Education: JAE*, **39**(2), 2-9.
- Hill, L., C. S. Chan, and C. Cruz-Neira. (1999), Virtual Architecture Design Tool, *IEEE Virtual Reality 1999 Video Proceedings*.
- Huang, Y. H., Y. T. Liu, C. Y. Lin, Y. T. Chen, and Y. C. Chiu. (2001), Scenario Scripting in the Design Process, *Proceedings of the CAADRIA 2001*, 231-239.
- Johnson, R. E. and M. J. Clayton. (1998), The impact of information technology in design and construction: the owner's perspective, *Automation in Construction*, **8**(1), 205-220.
- Jozen, T., A. Kaga, L. Wang, S. Oh, and T. Sasada. (2000), The Concept Network Model Database, *Proceedings of the CAADRIA 2000*, 379-388.
- Kostof, S. (1985), *A History of Architecture*, 322-335, Oxford University Press, New York.
- Kostof, S. (2000), *The Architect: Chapters in the History of the Profession*, University of California Press, Berkeley.
- Knight, M. (1999), Working in Virtual Environments through Appropriate Physical Interfaces, *Proceedings of the eCAADe 1999*, 431-436.
- Koch, M. (1997), Interview Peter Eisenman: a post-structural architect, *Dialogue*, **9**, 34-43.
- Kolarevic, B. (2001), Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age, *Proceedings of the eCAADe 2001*, 117-123.
- Kolarevic, B. (2003), *Architecture in the Digital Age: design and manufacturing*, Spon Press, New York.
- Koutamanis, A. (2000), Digital Architectural Visualization, *Automation in Construction*, **9**, 347-360.
- Kouzeli, K. (2001), The Composition and Structure of the Patina on the Parthenon and other Greek Monuments, British Museum Occasional Paper.
- 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.
- Laseau, P. (1937), *Graphic thinking for architects and designers*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- LaViola, J., D. Acevedo, D. Keefe, and R. Zeleznick. (2001), Hands-Free Multi-Scale Navigation in Virtual Environments, *Proceedings of ACM SIGGRAPH I3D 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics*, North Carolina.
- Lee, Y. Z. (2005), *A study on the process of free form design and construction*, Graduate School of Civil Engineering, 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.
- Likert, R. (1967), *The human organization*. McGraw-Hill, New York.

- Lim, C. K. and Y. T. Liu (2005), New Tectonics: new factors in digital spaces, *Proceedings of the CAADRIA 2005*, 45-59.
- 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 ICCBE 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.
- Lin, C. Y. (2003), Introducing Virtual Reality CAVE into Non-geometrically Curved Space Design *Proceedings of the CAADRIA 2002*, 33-36.
- 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.
- Liu, Y. T. and P. Eisenman.(2001), *Emergence of Digital Architecture*, Hu's, Taipei.
- Liu, Y. T. and S. K. Tang. (2003), Space, Place and Digital Media: towards a better simulation for a disappeared city, *International Journal of Architectural Computing*.
- Liu, Y. T. and Y. Z. Lee. (2002), Reception Lobby, Bcom Corporation, *Architecture and Urbanism*, **382**, 110-114, a+u Publishing, Japan.
- Madrazo, L. (1999), Types and Instances: a paradigm for teaching design with computers, *Design Studies*, **20**(2), 177-194.
- Madrazo, L. (2000), Computer and Architecture Design: going beyond the tool, *Automation In Construction*, **9**, 5-17.
- Maher, M. L., B. Skow, and A. Cicognani. (1999), Designing the virtual campus, *Design Studies*, **20**(4), 319-342.
- McCullough, M. (1996), *Abstracting Craft: the practiced digital hand*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Miller, S. F. (1995), *Design Process: A Primer for Architectural and Interior Designers*, VNR, New York.
- Millon, H. A. (1994), *The Renaissance from Brunelleschi to Michelangelo*, Rizzoli, New York.
- Mitchell, W. (1997), The Virtual Studio, *ACADIA Quarterly*, **16**, 6-12.
- Mitchell, W. (1998), Articulate Design of Free-Form Structures, *Proceedings of AI in Structural Engineering 1998*, 223-234.
- Mitchell, W. and M. McCullough. (1995), *Digital Design Media*, John Wiley & Sons, NY.
- Mones-Hattal, B. and E. Mandes. (1995), Enhancing Visual Thinking and Learning with Computer Graphics and Virtual Environment. *Computers & Graphics*, **19**(6), 889-894.
- Murray, J. (1997), *Hamlet on the Holodeck: the future of narrative in cyberspace*, The Free Press, New York.
- Osman, Y. (2001), The Use of Tools in the Creation of Form: Frank L. Wright & Frank O. Gehry *Proceedings of the ACDIA 2001*, 44-51.
- Paranandi, M. and T. Sarawgi. (2002), Virtual Reality in Architecture: enabling possibilities, *Proceedings of the CAADRIA 2002*, 309-316.
- Pena, W. (1987), *Problem seeking: An architectural programming prime*, AIA Press, Washington.

- Potier, S., J. L. Maltret, and J. Zoller. (2000), Computer graphics : assistance for archaeological hypotheses, *Automation in Construction*, **9**, 117-128.
- Rahman, O. M. A. (1992), Visual quality and response assessment: an experimental technique, *Environment and Planning B: Planning and Design*, **19**, 689-708.
- Recht, R., L. Grodecki, and A. Prache. (1985), *Gothic Architecture*, Rizzoli, New York.
- Rheingold, H. (1991), *Virtual Reality*, Summit, New York.
- Rugemer, J. (2001), Computer Generated Architectural Design: 160 custom-made, *Proceedings of the eCAADe 2001*, 288-291.
- Sasada, T. (2002), Computer Graphics and Design: Presentation, Taiwan.
- Saunders, S. W. (1999), From Taste to Judgment *Harvard Design Magazine*, **7**, 3-6.
- Schnabel, M. A. (2003), Creation and Translation: virtual 3D architectural environments, *Proceedings of the CAADRIA 2003*, 371-383.
- Schon, D. A. and G, Wiggins. (1992), Kinds of seeing and their functions in designing, *Design Studies*, **13**(2), 135-156.
- 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*.
- Simon, H. A. (1981), *The Sciences of the artificial*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Simondetti, A. (2002), Computer-generated physical modelling in the early stages of the design process, *Automation in Construction*, **11**, 303-311.
- Spalter, A. M., P. A. Stone, B. J. Meier, T. S. Miller, and R. M. Simpson. (2000), Interaction in an IVR Museum of Color, *Proceedings of ACM Siggraph 2000 Education Program*, ACM Press, New York, 41-44.
- White, E. T. (1975), *Concept Sourcebook: a vocabulary of architectural forms*, Architectural Media.
- Wilkins, B. and J. Barrett. (2000), The Virtual Construction Site: a web-based teaching/learning environment in construction technology, *Automation in Construction*, **10**, 169-179.
- Zaera, A. (1997), *Frank O. Gehry 1991-1995, el croquis*, Madrid, Spain.
- Zeller, P. (1999), *Hybrid Space: New Form in Digital Architecture*, Rizzoli, New York.

個人簡歷

林政緣生於西元 1973 年，1997 年畢業於逢甲大學建築系，2000 年畢業於交通大學應用藝術研究所碩士班建築組，碩士論文題目為「電腦模型的空間與媒材特質研究」，畢業後隨即進入交通大學建築研究所博士班，主修數位建築與創意。研究領域為數位設計媒材與自由形體建築，已發表之國際期刊論文如下：

Huang, Y. H., Liu, Y. T., Lin, C. Y., Chen, Y. T., and Chiu, Y. C., Oh, S.Y., Kaga, A., and Sasada, T. (2001), The Comparison of Animation, Virtual Reality, and Scenario Scripting in the Design Process, *International Journal of Design Computing* Vol. 3.

另於國際學術研討會發表數篇學術論文，表列如下：

Lin, C. Y. (2003), Introducing Virtual Reality CAVE into Non-geometrically Curved Space Design, *Proceedings of the eCAADe 2003*, 33-36.

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.

Lin, C. Y. (2001), A Digital Procedure of Building Construction, *Proceedings of the CAADRIA 2002*, 459-468.

Tang, S. K., Liu, Y. T., Lin, C. Y., Shih, S. C., Chang, C. H., and Chiu, Y. C. (2001), The Visual Harmony between New and Old Materials in the Restoration of Historical Architecture, *Proceedings of the CAADRIA 2001*, 205-210.

Lin, C. Y. (1999), The Representing Capacity of Physical Models and Digital Models, *Proceedings of the CAADRIA 1999*, 53-62.

附錄一
先期實驗



先期實驗問卷

您好！這是一份關於設計媒材研究的調查問卷，主要目的是要比較腦中呈現的空間感與實際參觀現場所獲得的實體空間感，此問卷純為學術用途，謝謝您的協助與支持。

交通大學建築研究所博士班
研究生 林政緣 敬上

基本資料： 年齡_____ 性別_____ 教育程度_____



<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很 接 近	類 似	相 異	不 相 同

1. 請問梯廳的大小，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很 接 近	類 似	相 異	不 相 同

2. 請問梯廳的室內高度，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很 接 近	類 似	相 異	不 相 同

3. 請問梯廳長寬高的比例，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

4. 請問接待櫃檯前的室內高度，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

5. 請問接待櫃檯的大小尺度，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

6. 請問接待大廳的燈光效果，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

7. 請問接待大廳的各類建材的材質與顏色，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。



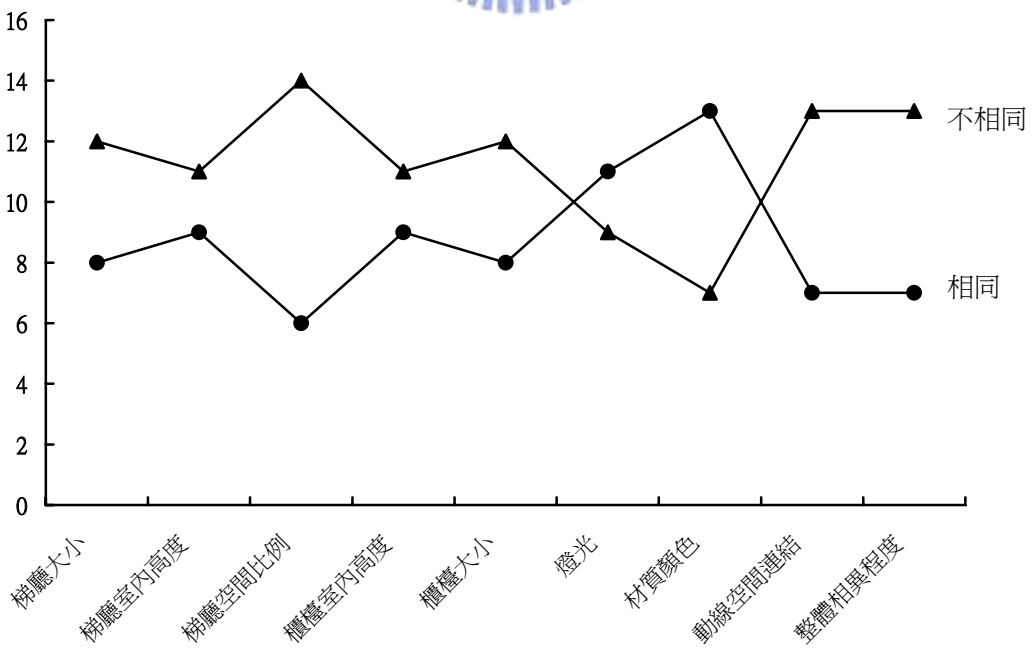
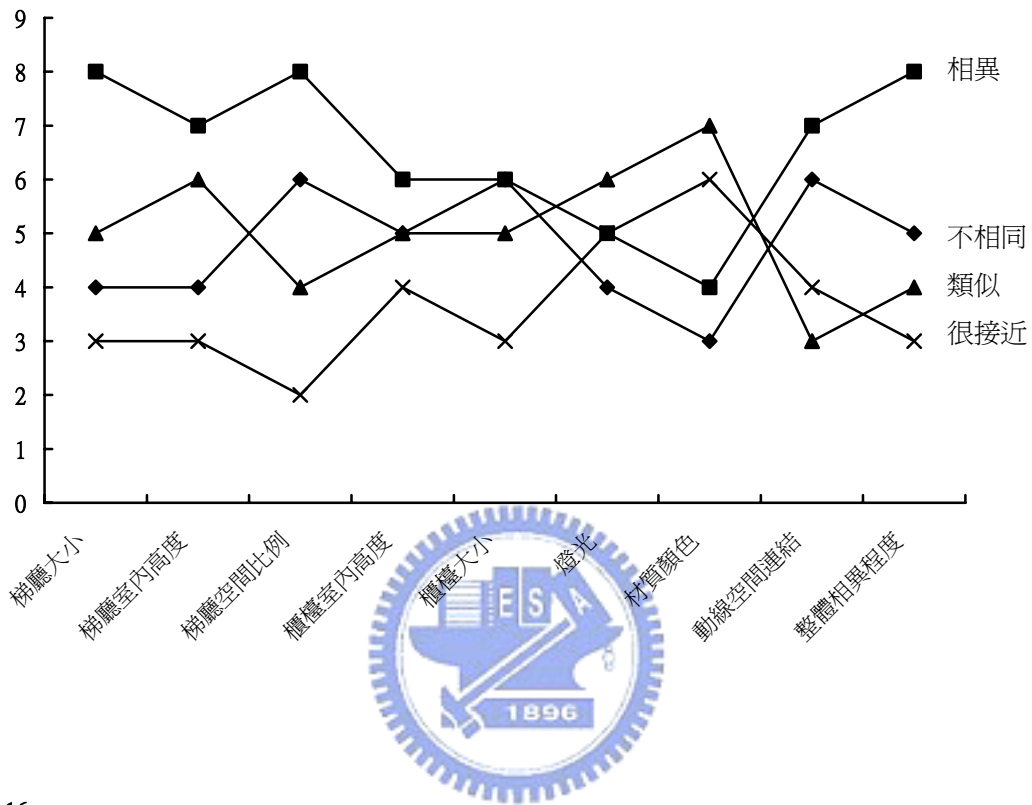
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

8. 請問從電梯到接待櫃檯的動線連結關係，與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
很接近	類似	相異	不相同

9. 請問整體與您在參觀現場之前所預想的相異程度。

先期實驗結果



附錄二

設計者訪談內容



受訪者—研究案例之設計者 A

1. 請問在傳統幾何形體的建築設計中，您認為在「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」等媒材當中，哪些設計媒材是重要的？如何重要法？

以一般建築設計而言，我認為從素描、影像、2D 圖面、到實體模型大概四種媒材，我認為是比較重要的。因為過去我們以傳統建築設計而言，所有的設計師並不是一開始就知道他要的東西是怎樣，設計師在建築設計的過程中，他有一種行為就是一邊做設計，然後設計呈現的圖可以讓他產生一種刺激，他可能會有新的想法，所以，以這樣的行為而言，素描它並不是一個很確定的一種媒材，那它在這樣的一個過程中，它產生了很多不同的可能性，而且它的即時性很高，隨手一畫，它都可以有新的不同的想法，所以我認為素描在一般的設計的早期而言，它是佔有相當的地位。

那以影像而言，設計師在做設計時，他都有一個所謂的概念，當設計師他所看到的影像不一樣的時候，也許他會產生一些不一樣的想法與 idea，所以我認為影像也是蠻重要的一部份。

那 2D 的部份，由於目前 2D 的部份是定義在 AutoCAD，所以 AutoCAD 它其實在落實設計師整個設計的合理性，也就是說，它具有一個精準性。從這裡大概可以產生一個分界，素描跟影像是比較早期的設計，2D 它是進入真正開始設計的部份。2D 有時候它會發現空間、甚至是機能、以及空間感，它會認為說這樣畫起來不是原始所想像的，所以我認為 2D 的圖面設計對一般的建築設計也是有重要影響的因素。

最後以實體模型而言，是前面三種媒材所不能提供的，因為不管是素描、影像或者是 2D 的圖像，它都不能提供空間感，透過實體模型，實體模型的比例越大、越能提供建築物真正被建造起來的真實感，所以它又提供另外一種可能性而去修正這個設計。

我們談到 3D 模型，過去一般傳統垂直水平的建築設計，設計師在建 3D 模型的時候，已經能從 2D、甚至是實體模型去想像 3D 的空間，而且花費在 2D 或素描的時間都是很少的。但是我們在建造出 3D 數位模型時，它要被建造出來必須決定很多事情，比如說：牆必須多高？空間必須多大？甚至是材質、燈光，都必須很精準的被決定。所以大部分

只是看最後的成果，但我認為還是會有一點影響，因為 3D 模型建出來擬真的程度很像，如果跟設計師原本的想像有落差，這時候會修改一點點，但是變動不會很大。

至於在動畫的部份，我認為動畫只是增加使用者行走的一種感覺，但是對真正的設計幫助並不大。

CAD/CAM 的部份，過去建築工業大部分並沒有需要 CAD/CAM 的技術，所以我認為從動畫開始到 CAD/CAM 應該是對於一般建築設計是比較不重要的。

2. 請問在深圳兆曜電子廠房的大廳設計中，針對自由形體相關的部分，您認為在「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」當中，哪些設計媒材是重要的？如何重要法？

自由形體相較於一般的建築，我覺得可以這樣子分，從素描、影像到 2D 圖面，我認為它們是提供一種比較概念性的發展，因此它們沒有太大的差別。可是，就素描而言，由於我們必須大概去抓出形體，素描比較沒有辦法表現，所以這個部份佔的影響性可能會比較低。

我們來看 2D 圖面，以大連這個案例為主，2D 圖面其實對早期設計及設計發展沒有太大的幫助，但是對於施工圖就很具有重要性，因為在施工圖的部份，目前我們的製作方法或製造流程，大部分都需要 2D 的圖面，所以 2D 圖面還是佔有重要性，只是它扮演的角色不一樣。

我們再來看實體模型，分兩部分來說，在設計發展過程，因為製作實體模型花費的時間可能較久，所以在設計發展過程，它可能沒有辦法很快速的幫助設計師產生一些刺激，它可能是在設計最後進行到一個程度再去做一個檢視的功能。

再來看 3D 數位模型，我認為在早期設計、設計發展以及施工圖的輸出，3D 數位模型都是佔有一個非常重要的地位，而過去為什麼會產生一個垂直水平水平的空間？因為我們可以用 2D 圖面再加上設計師過去的經驗，我們大概可以想像這個空間長的怎麼樣，可是自由形體的空間、尤其以大連的例子而言，那樣的空間是我們靠過去的經驗也沒有辦法想像的。所以回到我剛剛所說的，設計師其實沒有辦法一次就做出他想要的結果，所以他會有邊看、邊想、邊設計的行為。素描在傳統建築佔有重要的地位，可是自由形體是以 3D 數位模型作為設計師在邊看、邊想的過程中的設計媒材，因為它製作快速、又能立刻給設計師一種視覺的回饋，甚至進行到施工圖的輸出，數位模型可以很準確的提供三維空間的資料，讓我們可以有依據、很精準的輸出需要的數值來進行施工。

至於動畫的部份，包括燈光、材質、高度等各方面，以大連為例，我們應該是所有的形體都決定之後，我們想走走看、感覺一下空間感。

CAD/CAM 的部份，就跟傳統建築有很大的差別了。由於 CAD/CAM 在傳統建築所扮演的角色並不是很重要，但在自由形體的部份，由於自由形體的所有的單元生產、以及組裝、它的每一片並沒有模具化，所以我們在自由形體就必須要借重很大部分 CAD/CAM 領域的一些知識，我認為這是跟傳統建築最大的不同。

3. 請問您覺得在深圳兆曜電子廠房大廳設計的整個設計過程中，還有哪些不足？ 哪些可以改善的更好？ 如何改善？

在整個大連的設計過程中，我覺得有幾個部分可以更好，首先是細部，第二個是因為自由形體每個東西都是不一樣的，所以它應該怎麼樣跟模具化來接軌，第三個我認為 CAD/CAM 可以再增加一點，我逐項來敘述。

第一個就是細部，當時我們在做設計的時候，其實傳統設計的流程是建築師把設計的整個調性、空間感或材料等等先定下來，但是有一些部份，如骨架怎麼跟基礎表面相接、甚至是防水，或者是一些結構的問題，其實都是交給其他領域的人來做。我們在做設計時，以建築師的角度，大部分只管到整個空間感，落入到整個細部的部份，我認為在整個案子裡面是比較不足的。至於這個部份要怎麼改呢？因為自由形體的整個設計是在 3D 環境裏面設計的，我認為可以改進的部份是增加人力，這些人力必須具有相關專業知識的人，比如戶外防水、結構、骨架跟表面一些接頭的作法、樓梯的踏板等等，甚至是圓管跟方管怎麼做接頭這些事情，其實有一些事情是傳統建築裡面已經很多人知道、而且很會的東西，但是我們並沒有做的很好，我認為這部分應該多結合一些專業技師的觀念。

我以細部舉一個最簡單的例子，一棟建築裡面一定需要有空調，但是一個設計師他對形體的掌握、比例和結構有一定的概念，但他怎麼知道建築空調要怎麼配置？要在哪裡配冰水管？出風口要多大？他怎麼會知道這些事情？但是要完成一棟建築，就代表要完成這些瑣碎的事情，即使是以單體的自由形體設計都有這類事情。

另外比如說結構的例子，我們的大連的案子裡還有雨批、防水、防震、風力的計算、活載重、淨載重這些東西，很多部分不是一個設計師可以掌握的，所以我認為細部設計這一部分應該要增加很多相關專業領域的人力。如果我們針對自由形體本身而言，在大連使用的材料是金屬，不管是骨架、方管、圓管，我認為其實在傳統建築中，鋼結構其實是一個很專門的領域，它裡面有很多事情可以讓自由形體借鏡，而不用在組裝或單元生產的時候才發現這些問題，其實早就可以知道這些問題，比如說，骨架超過多少會沉陷，

其實這種事情我們是不知道的；或者是二塊鋼板相接能細緻到什麼程度？可以完全看不出來嗎？或者是施工的精準度到底可以控制到多少？其實這些都不是設計師該負責的部分，我們在電腦裡面、在 3D 模型裡面，要做什麼都可以，但是有些事情是實際做不到的，那可能是設計師比較沒有辦法掌握的。

另外我覺得在大連的設計過程，比較可惜的是，每一件事情都是我們自己做，但是我認為其實在整個自由形體的設計，不應該每一樣東西都是訂做的，應該是必要的東西才訂做，但是也應該結合一些傳統建築現有的產品、甚至是一些模具化的東西，只是我們用的方式不一樣，我們透過一些模擬、預先知道它到底適不適合，那我覺得在大連整個過程中，大部分的東西都是訂做的，比較少跟傳統的建築產業的一些模具化的產品做結合，我覺得這也是比較可惜的，可能也因為這樣所以我覺得造價比較高一點。

舉個例子，我們傳統的帷幕牆其實在抓具和玻璃之間，事實上是有一個預度是可以被控制的，還有在橋樑的冷縮熱漲這些都可以被控制的。我們在做自由形體設計時，其實可以透過分析的方法，假設我們在設計整個結束之後，我們有一套軟體可以來對整個骨架和面材做分析，所以我們就可以知道最大的預度或最大的轉角在什麼地方，然後我們就可以設計一種模具或一種抓鉤、甚至一種結合的方式，是可以所有的面材和骨架結合可以通用的，像我們只要生產一種抓鉤，或者是一種結合的方式，我們就可以包含所有的自由形體的設計。我們現在都知道每一塊自由形體的大小和折角都是不一樣的，假設是大連，我們整個設計完後，假設所有的面材是八百片，但是八百片面材就有八百個模具，如果我們可以透過分析的方式，用模具來生產的話，把八百片變成用四種或八種的模具，就可以省掉原來的八百個模具，不管是用什麼組合，甚至是不改變整個形體的情況下，透過電腦分析把這些面材合理化，這樣就可以大量減少成本，也就是我剛剛講的模具化的部份，我覺得這部分在大連完全沒有做到，也是造價會比較高的原因。

第三部份，自由形體的設計和建造其實非常仰賴 CAD/CAM 的部分，我覺得最可惜的是因為我們的基地在深圳，所以 CAD/CAM 的技術他們用的是比較少的。當我們在書上看到一些歐美的設計師做出來的東西時，他們其實需要高度使用工業設計的一些知識和背景來做一個 Support，我們在深圳由於這部份比較缺少，很多部分本來應該用 CAD/CAM 來製作、甚至是定位、單元生產或是最後的組裝，這部份是比較少的，所以後來有造成精準度稍微比較低，甚至用手工取代 CAD/CAM 的方法，由於手工是沒有辦法控制它的精準度的。如果大連可以再重做一次的話，應該增加這部份的應用，我相信應該可以提高精準度，而且問題應該不會這麼多。

4. 請問您覺得 VR cave 對於上述不足之處，有幫助嗎？該如何幫助？

如果是真針對上面那些問題的話，用 VR cave 幫助可能有限，但如果是談其他問題的話，

VR cave 就可能會有幫助。因為這裡是以大連為例，而以我在大連的經驗，上面三個例子是我覺得最嚴重不足的問題，該怎麼解決我前面也都敘述過了，但是除了這些以外，還有很多其他設計細部的問題，這些就可能是 VR cave 有幫助的地方。

先談關於細部的問題，假設我現在要做自由形體的設計，從素描到影像我們先看過，然後我看設計的時候是在 VR 裡面，那可能會有一點不一樣。因為作出一塊面板、一根骨架的時候，有人的尺度，甚至在這裡包覆、這裡打開、這裡鏤空、或這裡換個材料，我認為是很有幫助，以大連這個例子，整個過程中，針對設計細部哪些會有問題、哪些會更好、哪些該怎麼改，我認為加入 VR 對這些事情有一定的幫助。

如果說 VR 一開始就已經加入了，那可能我建一個柱子、或是一個面、甚至是一個牆，這個牆到底透空不透空，我認為都會有幫助。雖然 VR cave 跟 3D 數位模型，它們都缺少一個所謂的物理性質，但現在已經有很多軟體可以模擬物理性質。我們實際在做的時候，可能在電腦裡面畫 3D 數位模型沒辦法發現問題，但是在 VR cave 裡面以細部的程度而言，會比在電腦 3D 數位模型裡面容易發現問題，尤其是對於自由形體的設計，這些是跟 VR cave 比較相關的。

我是這樣想的，因為用 VR cave 就像我剛剛講的，真正一開始就用 cave 做設計的時候會有幫助，否則很多地方我只能用想像的。還有就是空間感的問題，VR cave 會有存在空間的感覺，那樣的感覺對設計也會有改變，我認為可以歸類成空間感的認知問題，有時候會有原來這個空間是長這樣子的想法，應該也會因為這類情況而修正設計。

5. 請問您覺得若以 VR cave 介入深圳兆曜電子廠房大廳的設計過程，原本的設計過程會發生哪些改變？特別是在其他媒材的運用上，包含「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」，會有哪些不同與變化？

我認為在 VR cave 應該會和動畫共存，因為 VR cave 和動畫都提供了使用者行進之間、甚至是人類角度的視覺經驗，所以他可以讓一個使用者或設計師在完成設計時、具備強烈的空間感。我為什麼說動畫與 VR cave 會共存呢？以目前的技術而言，動畫可以做的非常擬真，不管是燈光、材質、甚至是人在一個規劃路線行進的感覺。但是以 VR 而言，因為必須即時，所以 VR 在材質上以及燈光上等等，可能就沒有辦法做到那麼擬真，但是它卻提供另一個優點而動畫做不到的即時，它可以讓使用者在任何一個地方往上看、往下看或看任何一個角度。以材質和燈光而言，動畫是比較強的，因為動畫已經預先 render 好了；以空間感和即時的感覺，VR cave 是比較好的。我覺得這兩者是互相彌補對方的不足，而提供一個更完整的空間感，所以我認為 VR cave 和動畫應該會共存的。

素描與影像是屬於概念性，所以是沒有因 VR cave 而發生改變。2D 圖面我認為有，為什麼我說 2D 圖面有呢？因為我最近看過一個 VR cave 做的很有趣的案例，這個案例全部用 2D 圖面，比如說我們過去傳統繪畫的平面圖、剖面圖跟立面圖，但其實我們在 2D 畫的圖其實是一個三維的概念，也就是說，我們畫平面圖時，是畫在 XY 平面、剖面圖是畫在 XZ 平面，那個 VR 實驗是把剖面圖立起來放置在平面圖對應的位置，讓空間感很快的產生，也就是說，我們過去 2D 所畫的圖完全是靠一個設計師想像來體驗那個空間、甚至是預測那個空間，可是經由那個 VR 實驗之後，它透過簡單的 2D 圖面，就可以很快的讓設計師有另外一種對 2D 圖面的看法。不管現在或將來，我認為這有一點點不同於目前對 2D 圖面的一個想法，這應該也是跟 VR 共存的，因為它必須先有 2D 圖面的素材才可以有那種 VR 的效果。

至於實體模型，我認為跟 VR cave 有點接近，因為目前我們無法將實體模型做的很大，可是，實體模型有另外一個好處，就是它的燈光跟材質，尤其是燈光，我們拿在手上那感覺是完全不一樣的，而且實體模型因為有物理性質，假設我們在製作實體模型時發現製作不出來，就可以很快認為這個設計不可行，但是 VR 卻沒有這樣的限制，只要你電腦畫的出來，基本上都可以呈現。所以它們兩個雖然有這樣的不同，但是它們有所謂的共同點是，它們都有一個共同的空間感，只是我認為 VR 在製作上可能比 1:1 的實體模型，更可以讓人進入到 1:1 的空間中，所以實體模型可以跟 VR 共存。



受訪者—研究案例之設計者 B

1. 請問在傳統幾何形體的建築設計中，您認為在「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」等媒材當中，哪些設計媒材是重要的？如何重要法？

我覺得傳統建築設計中，最重要的可能就是 2D 圖面，它幾乎可以表達傳統設計的全部，因為傳統的建築只有垂直水平而已，比較容易想像、也比較簡單，2D 圖面幾乎可以把傳統建築表現完。

素描在傳統設計作概念的階段也是蠻重要，素描為什麼重要？素描是在概念發展時最為重要，所以如果是傳統設計應該從素描開始就很重要。到設計發展時，則是 2D 圖面最重要。

影像應該也是一樣重要，影像合成能夠輔助模擬建築設計以後的樣子，包括顏色、尺度等等，

在 3D 實體模型之前，以上三者都很重要，如果我覺得從 2D 圖面無法讓我想像 3D 的空間，我可以做 3D 實體模型，因為從 2D 圖面作成 3D 實體模型也很簡單，可能就完全不會用到 CAD/CAM，數位模型和動畫則可以協助最後的 present。

2. 請問在深圳兆曜電子廠房的大廳設計中，針對自由形體相關的部分，您認為在「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」當中，哪些設計媒材是重要的？如何重要法？

我覺得哪一些設計媒材比較重要，影像、然後 3D 數位模型、然後 CAD/CAM，依照在大連這個案子裡面我覺得這三個很重要，如何重要法，先講影像，影像很重要是因為綜合整個參與設計的過程，我們需要一直大量使用影像模擬這個媒材，譬如說我們已經到了發展設計的階段，很希望知道它以後會長什麼樣子，然後那時如果沒有辦法模擬的話，我就沒辦法知道他未來會長什麼樣子，就沒辦法作決定，因此我必須用影像模擬的方法，還有模擬比較顏色或是比較材料、燈光，因為它是自由形體，很難用想像的，它

有點複雜，要模擬出來才知道，喔原來是這樣之類的，所以很重要。

然後 3D 數位模型就是從頭到尾都有用到的，因為它在 3D 的環境裡面可以很容易作設計修改，而且我們的設計概念也是從 3D 開始，用素描畫概念的階段很快就跳過了，畫幾張草圖就直接進入 3D 數位模型，從很草很草的模型一直作到後面很精細的模型，都是用 3D 數位模型在作，沒辦法用其他的媒材，其實當初很想做實體模型，如果以有沒有媒材可以取代它而言，可是那個時候覺得太麻煩了所以沒有作，我們那時候沒有 RP、只有雷射切割機，設備不足太麻煩了，那個模型很難做所以就沒有做。

因為問題在於自由形體的空間很複雜，我必須靠 3D 的環境去了解空間的設計，所以要大量用到 3D 數位模型，這樣我才可以掌握那個空間的變化，例如結構問題，以前傳統設計過程裡面要解決一些細部的時候，用 2D 圖面就可以畫了，但自由形體的細部很複雜，不是一般傳統的設計，所以有一些細部很難用平面去表達，必須直接用 3D 數位模型來作一個 3D 的呈現，借助電腦軟體的功能，我能作我要的東西，3D 軟體會提供一些很容易建造自由形體的方式，容易讓我們理解也容易讓工匠們理解。3D 數位模型除了解決空間複雜的問題之外，還有就是因為它很容易修改，如果作一個自由形體的實體模型的話，要改來改去很難改也很難做，3D 數位模型就比較容易修改。

在操作自由形體的 3D 數位模型過程中會有一個問題，因為它的面扭來扭去，它的形狀本來就不是方的，我會搞不清楚它在哪裡，方向感讓我覺得很複雜，我的問題就是沒辦法很快理解那個形體是什麼樣，這時候我就需要一個實體模型讓我看，在軟體裡面並不是介面不夠用，而是比較難掌握整體，我也可以轉來轉去，可是片段的看會亂掉，在作設計的時候是個問題，所以我就不知道要怎麼操作，如果再複雜到某一個程度的時候就比較難理解了。另外我會用 maya 軟體裡面一個叫 x-ray 的功能，它會把 3D 數位模型變成半透明，讓我從前面可以看到後面，借助這種方式就比較容易理解了，否則本來是不透明的會遮住，若是 wire frame 也太亂了，所以會切換這些模式來相互輔助，假裝我是站在很多視角在看那個模型，這是自由形體比較需要的，因為它比較複雜一點。

再來就是用 CAD/CAM 設計與建造的過程，主要是在後期的細部設計階段，對於自由形體而言，構件輸出製造的時候 CAD/CAM 就很重要，這是真實的案子要建造出來的，這麼複雜的形體用傳統工法沒辦法建造，因為很難測量，怎麼把這個複雜形體建造出來，就必須用 CAD/CAM 這數位媒材來解決，CAD/CAM 可以很精準的讓這個形先拆解然後輸出，當時希望的理想是這樣，可是真正的過程裡面，CAD/CAM 沒有完全發揮作用，有幾個該用到 CAD/CAM 精準度重點地方，因為經費的問題，結果實際上都是用人工的，這是工法的部分。

還有實體模型不好做，拿 CAD/CAM 來作模型的話就不會有很難做的問題，或者是很浪費時間的問題，或很浪費金錢的問題，如果我們當時設備齊全的話，就可以多了

CAD/CAM 來作模型，可以很快速的解決，只要將電腦模型轉檔過去，CAM 它就可以直接輸出一模一樣的模型，我們當初只有一個 CAD/CAM 作的模型，可是沒有作的很好。

2D 圖面也蠻重要的在後面細部設計的時候，施工圖一定是重要的，即使一般傳統設計的部分也是很重要的。

這裡我要說動畫的部分，雖然我們過程中只有用動畫來模擬日落下而已，傳統設計也可以這樣模擬，然而我覺得自由形體有一個地方蠻重要的，就是必須去做一些在這個空間裡面的路徑動畫，不只是在外面看而已，這樣我才能去體驗那個空間，除了靜態的瞭解模型，還可以動態的體驗空間感，我們雖然現在設計沒有作，不過我覺得這個蠻重要的。

3. 請問您覺得在深圳兆曜電子廠房大廳設計的整個設計過程中，還有哪些不足？ 哪些可以改善的更好？ 如何改善？

當初是設計過程中如果多作幾個實體模型會更好，雖然我們做了一個大的可是那個媒材作用有限，比較不足多作幾個會比較好。

然後還有一個我覺得我們更不足的，而且是影響到後面施工的一個很重要的步驟，我們的細部設計作的太少，而且是非常的少，我們只有要作接頭的時候才會想到細部設計，很多其他細部也都很重要，可是因為太小我們都沒有考慮到，也沒有作任何設計，都是現場發現這裡怎麼辦、要收，那裡怎麼辦、要收，這樣去解決的，很多這種狀況，雖然這是很多設計會面臨的，但這個設計案好像比較多一點。譬如說一個自由形體牆面，單純的前面後面有版、中間有骨架，但側面收邊會長怎樣不知道，因為我們當初的設計沒有畫到這麼細，當初建 3D 模型的時候就沒有去考慮，其實這些東西都是要在設計過程裡面考慮的，不然蓋出來的時候就是會有問題，我們都是已經蓋出來才發現這裡沒畫到，然後再去叫工人去切版來補。當初我們模型只是做到樣子，丟一個大概的樣子過去，他們那邊幫我們畫細部，但那邊畫的跟我們想要作的又有落差，很多細部的地方沒作或是還不夠細，所以就會有這個問題。如果現在要重作的話，我覺得尤其這個部分能夠注意處理好，只要 3D 數位模型能再作細一點的話，整個看起來會比較好看，我們這邊好像幾乎沒有考慮到這個過程。

另外一個是結構的部分，舉一個例子就是我們的雨批，它的支撐骨架非常的粗而且很醜，我覺得也是當初我們沒有考慮結構的因素而導致的，就是要在設計的階段就先考慮一些風力的問題。我們設計雨批的時候下面的骨架是很細的很漂亮的，結果去到那裡他們說有反風力，不能作太細會整個被翻掉，但是我們當初沒有考慮到，所以結果很不輕巧跟當初想像的很不一樣，當然中間發生什麼問題我不是很清楚，但跟一開始我在想像

這個設計的樣子差蠻多的。第二個結構的部分是樓梯，樓梯我們也是畫的細細的、漂漂亮亮的，結果事實上是不可可能的，到後面就會有一大堆修改的問題，例如用鋼索吊之類、或是如果靠近柱子的地方就弄一個支撐，變成到後面只能找問題的解決方法。還有當初以為不規則的樓梯可行，二座樓梯可以很不一樣，後來變成是規則的二座樓梯，這就是結構上的問題我們沒有考慮到、而且也不懂。

還有我有一個感覺就是我當初再用 3D 數位模型操控形體的時候，跟我去現場看真的蓋出來的感覺不大一樣，在尺度上的感覺不一樣，我在作 3D 模型的時候，我不會覺得它有那麼大，可是結果去到現場看到的就是那麼大，才知道原來跟我用 3D 數位模型作設計的尺度感覺上有那麼大的落差，我一直有那個自由形體沒那麼大的印象。所以我覺得這個比例的問題很重要，如果可以在設計過程中比例跟尺度抓準一點會比較好，就不會到後面嚇一跳怎麼好大一個。

還有一個是後面施工的方式，目前我們面臨很多問題，包含經費問題、時間問題，改善方式就是經費要充足、技術要夠，目前是因為大陸那邊技術不夠，沒辦法以我們想要的過程作，他們都會用另外一種比較省錢的方式來作，雖然結果也還可以，但是很浪費時間，如果依照我們想要的施工方式來作，就會快很多，否則原本可用數位輸出的流程，卻用慢慢修的方式，產生很多要解決的問題，當然剛剛說的細部設計不夠精準，部分在作設計的時候就已經產生誤差，也是問題。



4. 請問您覺得 VR cave 對於上述不足之處，有幫助嗎？該如何幫助？

經費充裕的時候就不要用太多人工的方法，這個部分跟 VR cave 沒關係，只要經費夠就可以解決問題。

再來就是尺度不一樣的感覺問題，這個時候 VR cave 有幫助，因為影像我們怎麼看都是在一個螢幕上看，以 VR cave 目前的設備是在一個很大的螢幕前面看，而且是看到立體的，以我上次去 VR cave 看的感覺，只要在 VR cave 裡面的比例設定好，依照那面 cave 牆面的高度作比例，看 cave 牆多高 model 的比例就建多高，這樣 VR cave 就十分有幫助，我看不到的模型部分就是看不到，要有比例 1:1 的那種感覺，所以假設這個案例是三層樓高，cave 只有三分之二層樓高，用 1:1 的比例去做 VR cave 的動畫，我就只能看到三分之二層樓的部分，其他部分要用抬頭去看，我希望能是這樣子，看不到就看不到除非我抬頭，這樣就可以知道實際的尺度的感覺，這樣會比實體模型好很多，等於是跑到現場親身體驗的那種感覺，即使它是虛擬的。

再來是雨批跟樓梯的結構問題，要靠結構技師來解決問題，cave 沒辦法算結構，所以也跟 VR cave 比較無關。

然後是 3D 數位模型的細部設計，VR cave 也可能會有幫助，依據剛剛那個 1:1 的尺度繼續談下來的話，我在 cave 看這個模型的時候，我看到的東西就可能會比較多，不會因為電腦螢幕很小，然後我轉來轉去都是看整個，我根本不會進去看，cave 就會 1:1 每一個細部都會被我看到，以及用人的角度會看到的地方，我們在做 3D 數位模型永遠都是神在看，做久了會麻木、很多問題注意不到，都要開始實際施工後看到了才會發現，當然也有可能是設計者經驗不足的問題，放在 cave 裡面會增加發現問題的機會，VR cave 若能即時互動可以解決更多問題，如果在設計過程中就能先這樣看過一遍，我覺得施工遇到的問題會減少很多。

實體的模型要多做幾個，原因是我可以多了解這個自由形體的整體，因為我們只做了一個而且只有骨架，當初連面板都不會做，這跟在 3D 數位模型有關係，我就是因為在 3D 數位模型中看不清楚，我才想要把它做出來、而且要多做幾個，如果在 VR cave 裡面 1:1 的工作環境，應該就不會有在 3D 數位模型發生的問題，會解決方向感的問題，而且在 VR cave 裡面拉遠一點也能看整體，可以走進去看、還可以飛起來看，反正在虛擬世界裡面，這樣更好可以神變人、人變神，但是如果同樣的畫面縮小成螢幕上的尺度讓我看的時候，我就會有一點點 lost 掉，感覺像是在看東西，所以在 VR cave 有比例很好，能讓我感覺我人在裡面，就知道它是上面、還是左邊、還是右邊，我比較少有那種感覺。

5. 請問您覺得若以 VR cave 介入深圳兆曜電子廠房大廳的設計過程，原本的設計過程會發生哪些改變？特別是在其他媒材的運用上，包含「素描、影像、2D 圖面、3D 實體模型、3D 數位模型、動畫、CAD/CAM」，會有哪些不同與變化？

即使有了 VR cave，我還是需要 3D 實體模型，因為我需要看整體，除非是室內設計的案例那就不需要看整體，我覺得室內設計跟建築設計不一樣就在這裡，室內設計都以一個面一個面在做。假設用 VR cave 來解決看不清楚與方向感的問題，3D 實體模型仍不會全部被取代，因為我覺得 3D 實體模型還是有它的性質在，因為它實體，VR 不管怎樣它還是虛擬的，這是實體虛擬的本質問題。

在動畫的部分，在電腦裡面看動畫跟在 VR 上面看動畫差別很大，因為 VR 有存在感，然後電腦的螢幕動畫我覺得只是我在看一段動畫，沒有在那個空間裡面的感覺，前面說在空間中的路徑動畫要多做幾個來輔助，當談到 VR 的時候，那個路徑動畫放在電腦跟路徑動畫放在 VR 的話，我當然覺得放在 VR 比較好，如果路徑動畫可以放在 VR 就不需要放在電腦螢幕了，如果放在 VR 不是動畫是可以即時瀏覽的那更好，可以完全取代動畫媒材。

然後假設在 VR cave 中把 model 建的細一點，用 VR cave 做設計的話，那我就會覺得它比 3D 數位模型好，因為看的比較細而且是立體的，所以我覺得如果未來 VR cave 操作 3D 數位模型的功能已經很順暢，不要那麼難操作的話，應該有機會可以取代 3D 數位模型。

如果用 1:1 的 VR cave 做設計，原本用 3D 數位模型的步驟跟設計過程應該會有一點改變，就是做設計的思考會變，原因是用 1:1 做模型的時候，你會用人的角度去想，那 3D 數位模型的時候我會比較做整體，比較沒辦法照顧到細部，那用 1:1 的話我會比較偏細部，會做比較多我們以後會看到的，我覺得 VR cave 對於細部蠻有幫助的，或許以後設計發展或是細部設計的階段可以用 VR cave 來做，模型做好了丟進去然後在裡面瀏覽，看看有什麼地方需要修改的。

其他設計媒材 2D 圖面是不能被去取代的，因為我覺得雖然前面它不重要，但是在後面施工非常重要。素描則因人而異，有些人很愛畫素描，有些人可以不用畫素描直接在 3D 模型裡面做設計了，那 CAD/CAM 在自由形體裡面是很重要的，它的重要性沒辦法被取代，因為自由形體它就是要製造出來。

所以結論是我覺得動畫被取代的可能性最大，然後 3D 數位模型是其次，然後 3D 實體模型是少部分。



附錄三

空間實驗問卷與結果



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博士班研究生 林政緣 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（proportion）。

尺 度：構件與構件、人、或空間的相對比例關係（scale）。

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。

A. 概念設計階段

本案的設計概念是以該棟辦公大樓鄰近環山圍繞的自然線條為自由形體曲線的依據。

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	3	5	1	1	3	3	2	4	
b	3	2	3	4	1	2	1	1	
c	1	1	2	2	1	2	1	1	
d	1	5	1	3	3	3	1	1	
e	1	1	4	4	1	4	1	1	
f	3	3	2	3	1	2	1	1	
g	2	3	4	5	1	4	3	1	
h	2	1	1	1	1	2	1	1	
i	5	3	5	2	1	3	2	1	
j	2	2	2	1	1	3	1	1	
p	2	4	5	4	2	2	1	1	
q	2	2	3	4	3	3	2	2	
r	4	4	1	1	1	2	2	2	
s	4	4	1	4	1	3	1	2	
t	2	1	2	2	1	2	1	1	
u	4	4	5	3	2	4	3	2	
v	4	3	3	4	2	2	2	3	
w	2	3	3	3	2	3	1	2	
x	5	3	4	3	3	4	3	3	
y	1	3	3	4	1	4	1	2	
去過現場	2.3	2.6	2.5	2.6	1.4	2.8	1.4	1.3	2.1
沒去現場	3.0	3.1	3.0	3.2	1.8	2.9	1.7	2.0	2.6
總平均	2.7	2.9	2.8	2.9	1.6	2.9	1.6	1.7	2.4

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	1	1	1	1	3	1	4	1	
b	2	1	2	3	2	1	1	1	
c	1	1	1	1	1	1	1	1	
d	5	5	1	3	1	1	5	1	
e	4	3	2	2	1	2	1	1	
f	2	2	2	2	4	1	1	1	
g	5	5	2	4	3	1	3	1	
h	1	1	1	1	1	1	1	1	
i	4	3	3	2	1	2	1	1	
j	3	3	4	4	3	3	4	3	
p	4	1	4	5	2	2	1	2	
q	4	2	4	4	3	3	3	1	
r	4	4	1	1	5	3	5	3	
s	1	2	4	2	1	1	5	1	
t	1	1	1	1	1	1	1	1	
u	4	1	1	3	1	1	2	1	
v	2	1	3	1	4	2	1	1	
w	1	4	4	4	4	1	4	4	
x	1	1	1	3	1	1	2	1	
y	1	5	3	5	3	1	1	2	
去過現場	2.8	2.5	1.9	2.3	2.0	1.4	2.2	1.2	2.0
沒去現場	2.3	2.2	2.6	2.9	2.5	1.6	2.5	1.7	2.3
總平均	2.6	2.4	2.3	2.6	2.3	1.5	2.4	1.5	2.2

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	1	5	5	5	5	1	1	1	
b	1	2	4	3	3	2	1	1	
c	1	1	1	1	1	1	1	1	
d	1	5	5	5	5	3	1	1	
e	1	4	1	1	5	1	1	1	
f	2	2	4	2	3	1	1	1	
g	1	5	3	3	3	3	1	1	
h	1	1	1	2	2	1	1	1	
i	3	5	3	3	3	1	1	2	
j	1	2	4	2	5	4	1	1	
p	1	2	4	2	2	1	1	1	
q	1	5	2	2	4	3	1	1	
r	4	4	4	2	2	1	1	2	
s	1	2	1	1	3	2	1	1	
t	1	2	5	5	3	1	1	1	
u	2	3	4	2	3	2	1	1	
v	2	4	4	4	4	3	3	2	
w	2	4	5	5	5	4	1	1	
x	1	4	3	2	5	3	1	1	
y	1	4	4	5	5	1	1	1	
去過現場	1.3	3.2	3.1	2.7	3.5	1.8	1.0	1.1	2.2
沒去現場	1.6	3.4	3.6	3.0	3.6	2.1	1.2	1.2	2.5
總平均	1.5	3.3	3.4	2.9	3.6	2.0	1.1	1.2	2.3

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	2	2	2	1	4	3	2	
b	4	2	4	3	2	2	1	1	
c	4	3	4	5	5	4	1	3	
d	5	5	3	5	3	3	3	5	
e	1	1	2	1	1	1	1	3	
f	4	4	1	1	2	2	1	4	
g	1	5	5	4	2	5	2	2	
h	2	2	1	1	1	2	1	1	
i	5	4	4	3	4	5	2	4	
j	3	3	3	3	2	3	1	1	
p	5	1	4	5	2	2	1	4	
q	3	3	4	4	3	5	2	3	
r	4	4	4	4	2	1	2	2	
s	4	2	2	2	3	2	1	2	
t	2	2	2	1	1	1	1	2	
u	4	4	2	3	3	2	1	3	
v	3	4	4	3	3	4	2	3	
w	4	4	3	3	4	2	1	4	
x	4	2	4	2	3	3	2	4	
y	4	4	4	3	3	4	1	2	
去過現場	3.4	3.1	2.9	2.8	2.3	3.1	1.6	2.6	2.7
沒去現場	3.7	3.0	3.3	3.0	2.7	2.6	1.4	2.9	2.8
總平均	3.6	3.1	3.1	2.9	2.5	2.9	1.5	2.8	2.8

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	4	2	2	1	2	5	3	
b	5	4	4	3	4	4	2	4	
c	4	3	2	2	4	4	2	5	
d	5	5	3	3	3	3	5	5	
e	1	1	2	1	3	3	1	3	
f	4	4	2	2	2	2	1	3	
g	1	4	5	5	3	5	2	2	
h	4	4	4	2	3	4	1	1	
i	5	5	4	3	5	5	3	4	
j	5	5	4	4	3	4	3	3	
p	4	2	4	4	2	3	1	4	
q	3	5	5	5	4	4	3	4	
r	4	4	4	4	4	2	3	3	
s	5	5	2	2	1	3	5	4	
t	3	3	3	1	2	3	1	4	
u	5	5	3	3	2	3	3	3	
v	4	3	2	3	2	4	3	2	
w	3	4	2	3	4	4	2	4	
x	4	5	2	4	4	3	2	4	
y	3	4	4	3	4	4	1	3	
去過現場	3.9	3.9	3.2	2.7	3.1	3.6	2.5	3.3	3.3
沒去現場	3.8	4.0	3.1	3.2	2.9	3.3	2.4	3.5	3.3
總平均	3.9	4	3.2	3	3	3.5	2.5	3.4	3.3

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

6. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	1	2	2	2	3	5	4	
b	4	5	5	5	4	4	2	5	
c	4	3	2	2	3	4	2	5	
d	1	5	2	2	2	1	1	5	
e	1	2	2	2	3	2	3	4	
f	5	5	3	3	4	3	2	4	
g	4	5	3	3	4	5	2	4	
h	4	5	4	4	5	4	3	5	
i	5	5	5	3	5	5	3	5	
j	5	5	4	4	5	4	2	4	
p	4	2	4	4	2	4	2	4	
q	4	4	3	4	5	5	4	5	
r	5	5	5	5	5	5	5	5	
s	5	5	2	4	2	2	5	5	
t	3	4	3	3	3	3	2	5	
u	2	4	3	3	2	3	2	4	
v	3	5	4	3	4	4	2	4	
w	2	4	3	4	4	4	4	4	
x	3	4	3	3	2	3	2	4	
y	3	5	4	4	5	5	4	5	
去過現場	3.8	4.1	3.2	3.0	3.7	3.5	2.5	4.5	3.5
沒去現場	3.4	4.2	3.4	3.7	3.4	3.8	3.2	4.5	3.7
總平均	3.6	4.2	3.3	3.4	3.6	3.7	2.9	4.5	3.6

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

B. 設計發展階段

1. 假設以影像作為設計媒材，根據實驗所提供本案於設計發展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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	2	1	4	4	1	1	5	3	
b	2	3	2	3	2	2	3	1	
c	2	5	3	3	4	4	4	2	
d	1	5	3	5	3	1	5	3	
e	1	5	4	4	4	4	4	4	
f	4	4	4	4	3	2	2	1	
g	1	5	4	5	2	5	5	2	
h	1	3	3	3	2	2	2	1	
i	4	4	3	2	2	2	5	3	
j	2	4	4	3	2	2	3	2	
p	4	4	4	4	3	3	4	4	
q	4	3	4	4	3	3	3	1	
r	1	1	1	1	4	3	4	2	
s	1	4	1	4	1	1	4	1	
t	3	2	1	1	1	1	3	1	
u	1	3	3	4	3	1	3	2	
v	2	3	2	3	3	3	3	2	
w	1	4	2	3	2	2	4	2	
x	2	4	4	3	2	2	4	1	
y	1	4	4	3	3	2	3	2	
去過現場	2.0	3.9	3.4	3.6	2.5	2.5	3.8	2.2	3.0
沒去現場	2.0	3.2	2.6	3.0	2.5	2.1	3.5	1.8	2.6
總平均	2.0	3.6	3.0	3.3	2.5	2.3	3.7	2.0	2.8

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

2. 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。

注意：本階段的 2D 圖面皆由 3D 數位模型轉換而來。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	2	3	2	5	4	2	1	1	
b	2	1	4	3	4	4	2	1	
c	4	2	3	2	4	5	1	2	
d	1	2	2	1	2	1	1	1	
e	1	3	3	3	1	5	2	1	
f	3	3	3	3	2	3	1	1	
g	1	2	2	4	3	5	1	1	
h	3	2	4	2	2	4	1	1	
i	1	3	5	5	4	3	1	1	
j	3	2	3	2	4	4	1	1	
p	3	3	4	4	2	1	1	2	
q	1	5	2	2	1	4	1	2	
r	2	2	1	1	4	3	3	2	
s	1	1	3	1	1	1	1	1	
t	2	2	2	2	3	2	1	1	
u	1	1	3	2	1	4	1	1	
v	2	3	3	3	4	4	2	3	
w	3	3	4	3	4	4	1	2	
x	1	2	2	1	3	2	1	1	
y	3	3	4	3	4	4	1	2	
去過現場	2.1	2.3	3.1	3.0	3.0	3.6	1.2	1.1	2.4
沒去現場	1.9	2.5	2.8	2.2	2.7	2.9	1.3	1.7	2.3
總平均	2.0	2.4	3.0	2.6	2.9	3.3	1.3	1.4	2.3

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

3. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	2	4	4	2	4	4	3	
b	4	3	5	3	4	3	2	4	
c	3	3	4	4	3	4	4	2	
d	5	5	3	5	3	3	2	3	
e	1	1	4	4	1	4	2	1	
f	3	3	3	3	3	2	1	4	
g	3	5	5	5	2	5	2	2	
h	3	2	2	3	2	1	1	1	
i	5	5	4	2	5	4	1	5	
j	2	2	2	2	3	2	1	2	
p	5	4	5	5	3	4	1	3	
q	3	4	4	4	3	4	3	4	
r	3	3	2	2	4	4	4	4	
s	3	1	3	3	1	2	1	1	
t	2	2	2	1	1	1	1	2	
u	3	2	2	3	2	2	1	2	
v	3	2	4	3	2	4	3	3	
w	4	4	3	3	2	4	1	2	
x	2	2	1	2	1	2	3	2	
y	2	3	3	4	2	4	1	1	
去過現場	3.4	3.1	3.6	3.5	2.8	3.2	2.0	2.7	3.0
沒去現場	3.0	2.7	2.9	3.0	2.1	3.1	1.9	2.4	2.6
總平均	3.2	2.9	3.3	3.3	2.5	3.2	2.0	2.6	2.8

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

4. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	3	2	2	2	2	5	3	
b	5	4	4	3	3	3	2	4	
c	4	4	4	3	4	5	4	2	
d	1	5	5	5	3	3	3	3	
e	1	4	4	4	1	4	5	4	
f	4	4	3	3	3	3	2	3	
g	3	5	4	5	2	5	5	3	
h	4	4	4	3	3	4	3	1	
i	5	5	4	3	5	5	4	3	
j	4	3	3	2	3	4	2	2	
p	5	4	5	5	4	4	5	4	
q	4	5	5	5	4	4	4	4	
r	4	4	2	2	4	5	4	4	
s	4	4	3	3	1	4	5	1	
t	3	3	3	2	2	3	1	4	
u	4	3	4	2	2	3	5	4	
v	3	4	4	4	4	4	3	4	
w	4	3	2	4	3	3	4	3	
x	3	4	2	3	3	4	4	4	
y	4	4	4	3	3	4	2	3	
去過現場	3.6	4.1	3.7	3.3	2.9	3.8	3.5	2.8	3.5
沒去現場	3.8	3.8	3.4	3.3	3.0	3.8	3.7	3.5	3.5
總平均	3.7	4.0	3.6	3.3	3.0	3.8	3.6	3.2	3.5

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

5. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	5	2	2	5	2	5	4	
b	3	4	3	3	4	3	3	4	
c	2	4	2	2	4	5	4	5	
d	1	5	3	4	3	1	1	5	
e	1	4	2	2	5	3	3	5	
f	4	4	3	3	3	3	3	4	
g	1	4	4	2	5	5	3	5	
h	1	3	3	2	3	2	3	4	
i	4	4	5	3	5	3	4	5	
j	2	4	3	4	3	2	4	5	
p	4	4	3	3	4	3	4	4	
q	3	5	4	4	4	3	4	5	
r	2	2	2	2	5	2	2	5	
s	1	3	1	1	3	1	4	5	
t	3	3	3	2	3	3	1	4	
u	1	3	4	2	4	2	2	5	
v	2	3	2	4	3	2	4	5	
w	2	4	3	3	4	2	4	4	
x	2	3	2	3	4	2	3	5	
y	1	5	4	3	4	3	4	5	
去過現場	2.4	4.1	3.0	2.7	4.0	2.9	3.3	4.6	3.4
沒去現場	2.1	3.5	2.8	2.7	3.8	2.3	3.2	4.7	3.1
總平均	2.3	3.8	2.9	2.7	3.9	2.6	3.3	4.7	3.2

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

6. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	5	2	2	5	2	5	5	
b	4	5	5	5	4	5	4	5	
c	2	5	3	3	4	5	4	5	
d	1	5	3	3	1	1	1	5	
e	1	3	2	2	2	4	3	5	
f	3	3	4	4	4	4	3	4	
g	2	5	2	2	2	5	1	4	
h	4	5	5	5	5	3	3	5	
i	5	5	5	3	5	4	4	5	
j	2	3	3	4	5	2	4	5	
p	5	5	5	5	4	4	3	4	
q	3	5	4	4	5	4	4	5	
r	2	2	2	2	5	2	2	5	
s	1	5	3	5	5	1	5	5	
t	3	4	3	3	3	3	2	5	
u	5	5	5	5	3	4	5	5	
v	3	4	4	3	3	4	3	5	
w	2	4	3	4	5	4	3	4	
x	5	5	4	5	3	5	4	5	
y	2	4	4	5	5	4	2	5	
去過現場	2.9	4.4	3.4	3.3	3.7	3.5	3.2	4.8	3.7
沒去現場	3.1	4.3	3.7	4.1	4.1	3.5	3.3	4.8	3.9
總平均	3.0	4.4	3.6	3.7	3.9	3.5	3.3	4.8	3.8

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

7. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	4	1	2	2	1	5	1	3	
b	5	3	5	4	4	4	4	5	
c	3	3	4	3	2	5	4	2	
d	3	5	5	4	2	5	3	3	
e	1	1	2	2	1	5	5	1	
f	4	4	1	1	4	4	2	4	
g	1	2	5	2	1	5	1	1	
h	2	1	2	1	1	2	1	1	
i	5	5	5	4	4	5	1	5	
j	3	2	3	1	2	4	1	1	
p	4	3	4	4	2	5	2	2	
q	3	4	4	4	3	5	4	4	
r	5	5	5	5	5	5	5	5	
s	1	1	3	3	1	5	1	1	
t	2	2	3	2	1	3	1	1	
u	4	2	4	2	1	3	2	3	
v	4	3	3	3	2	4	2	2	
w	4	4	4	3	2	5	1	3	
x	2	3	3	3	2	5	2	1	
y	4	3	4	3	2	4	1	1	
去過現場	3.1	2.7	3.4	2.4	2.2	4.4	2.3	2.6	2.9
沒去現場	3.3	3.0	3.7	3.2	2.1	4.4	2.1	2.3	3.0
總平均	3.2	2.9	3.6	2.8	2.2	4.4	2.2	2.5	3.0

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

C. 細部設計階段

1. 假設以素描作為設計媒材，根據實驗所提供本案於細部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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	1	1	1	1	1	1	1	1	
b	1	1	3	2	1	4	3	1	
c	1	1	3	2	1	2	3	1	
d	1	1	1	1	1	5	5	1	
e	1	1	1	1	1	5	5	1	
f	2	2	2	2	1	3	1	1	
g	2	1	5	4	1	5	5	1	
h	1	1	2	1	1	1	1	1	
i	1	2	3	2	1	4	3	1	
j	1	1	5	1	1	5	1	1	
p	2	2	2	1	1	2	1	1	
q	3	4	4	3	3	4	4	3	
r	4	4	2	2	4	3	4	2	
s	1	1	1	1	1	3	1	1	
t	1	1	4	1	1	4	1	1	
u	2	1	3	1	1	3	2	1	
v	2	3	3	2	2	4	3	2	
w	3	2	3	2	1	4	1	1	
x	1	1	2	1	2	3	2	1	
y	1	1	2	2	1	4	1	1	
去過現場	1.2	1.2	2.6	1.7	1.0	3.5	2.8	1.0	1.9
沒去現場	2.0	2.0	2.6	1.6	1.7	3.4	2.0	1.4	2.1
總平均	1.6	1.6	2.6	1.7	1.4	3.5	2.4	1.2	2.0

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	2	1	3	3	1	1	5	1	
b	1	2	2	3	1	3	3	1	
c	2	1	3	2	1	4	4	1	
d	1	5	5	5	1	1	5	1	
e	1	1	1	1	1	1	1	1	
f	3	3	2	3	2	2	4	1	
g	1	4	4	5	1	4	4	1	
h	1	2	2	2	1	2	2	1	
i	4	4	3	2	3	4	4	1	
j	2	4	3	3	2	3	4	2	
p	1	1	2	1	1	1	2	1	
q	4	5	4	4	4	4	5	4	
r	4	4	2	2	4	3	4	2	
s	1	1	1	1	1	1	2	1	
t	1	2	2	2	1	1	4	1	
u	1	2	3	2	1	1	3	1	
v	2	3	2	2	2	2	3	2	
w	2	4	4	3	2	4	4	1	
x	1	3	4	2	2	2	4	2	
y	1	4	4	4	1	4	4	1	
去過現場	1.8	2.7	2.8	2.9	1.4	2.5	3.6	1.1	2.4
沒去現場	1.8	2.9	2.8	2.3	1.9	2.3	3.5	1.6	2.4
總平均	1.8	2.8	2.8	2.6	1.7	2.4	3.6	1.4	2.4

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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	1	1	5	5	1	4	1	2	
b	2	2	3	2	1	5	2	1	
c	2	2	5	5	2	5	3	1	
d	2	2	5	5	3	3	2	1	
e	1	1	4	4	1	2	4	1	
f	2	2	2	2	2	4	1	1	
g	1	1	5	4	1	5	2	2	
h	4	2	4	2	3	5	3	1	
i	2	2	5	5	1	5	2	2	
j	1	1	5	2	2	5	3	1	
p	2	2	2	2	1	4	1	1	
q	3	3	4	4	3	2	2	1	
r	4	4	2	2	4	3	4	2	
s	2	3	4	3	2	4	1	1	
t	1	1	5	5	1	4	1	1	
u	3	2	5	5	3	5	3	2	
v	3	4	3	4	2	4	2	2	
w	2	1	4	2	1	4	1	1	
x	3	3	5	4	4	5	3	3	
y	1	1	4	3	1	4	1	1	
去過現場	1.8	1.6	4.3	3.6	1.7	4.3	2.3	1.3	2.6
沒去現場	2.4	2.4	3.8	3.4	2.2	3.9	1.9	1.5	2.7
總平均	2.1	2.0	4.1	3.5	2.0	4.1	2.1	1.4	2.7

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

4. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	5	1	3	3	1	5	3	3	
b	4	3	4	3	2	5	2	4	
c	4	3	4	4	4	5	3	2	
d	1	1	1	1	1	5	5	1	
e	1	2	1	1	1	4	4	4	
f	4	4	4	4	3	4	4	3	
g	2	1	4	3	1	5	4	1	
h	3	3	4	3	3	4	3	3	
i	4	4	5	5	4	5	4	3	
j	4	4	5	3	3	5	2	1	
p	4	2	3	3	2	4	1	2	
q	3	5	4	4	4	4	4	5	
r	5	5	4	4	4	5	4	4	
s	1	1	3	1	1	5	1	1	
t	3	3	4	5	4	3	4	5	
u	3	3	4	3	2	3	2	3	
v	3	3	4	3	3	4	3	3	
w	4	3	3	3	2	4	2	2	
x	4	4	3	4	3	4	4	3	
y	4	4	4	3	1	5	2	1	
去過現場	3.2	2.6	3.5	3.0	2.3	4.7	3.4	2.5	3.2
沒去現場	3.4	3.3	3.6	3.3	2.6	4.1	2.7	2.9	3.2
總平均	3.3	3.0	3.6	3.2	2.5	4.4	3.1	2.7	3.2

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

5. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	2	1	2	3	1	3	3	2	
b	5	4	5	5	4	5	4	5	
c	4	4	4	3	4	5	4	5	
d	1	3	3	3	1	3	5	3	
e	1	4	2	2	1	4	4	5	
f	3	3	4	4	4	4	3	4	
g	1	1	2	2	2	5	5	2	
h	4	5	4	5	4	4	3	5	
i	4	4	5	5	5	5	4	5	
j	3	4	4	2	4	4	4	5	
p	5	5	4	4	3	4	2	4	
q	3	2	2	2	2	4	4	5	
r	5	3	2	2	3	5	4	5	
s	2	3	2	3	2	3	1	4	
t	3	3	3	3	5	3	1	5	
u	3	2	4	2	3	3	2	4	
v	3	4	4	4	2	3	4	5	
w	3	4	4	4	5	5	4	5	
x	2	2	2	3	2	4	1	4	
y	3	4	4	4	3	5	4	5	
去過現場	2.8	3.3	3.5	3.4	3.0	4.2	3.9	4.1	3.5
沒去現場	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	3.9	2.7	4.6	3.4
總平均	3.0	3.3	3.3	3.3	3.0	4.1	3.3	4.4	3.4

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助

6. 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。

受測者	造型	空間	比例	尺度	動線	結構	材質	視覺	平均值
a	1	1	5	5	1	5	5	2	
b	4	3	5	5	4	5	5	5	
c	4	2	2	1	1	4	5	1	
d	2	3	5	5	4	5	5	1	
e	1	4	4	4	5	4	4	1	
f	4	4	5	5	4	5	5	5	
g	2	2	5	4	1	5	5	2	
h	2	1	5	4	1	5	5	5	
i	4	4	5	5	4	5	5	5	
j	3	2	5	2	2	4	4	1	
p	1	1	4	4	1	4	5	1	
q	4	5	5	5	4	5	5	5	
r	4	5	5	4	5	5	5	5	
s	4	2	5	5	3	5	1	1	
t	1	1	5	5	1	5	1	1	
u	4	2	5	4	4	5	4	5	
v	4	5	4	4	3	5	4	4	
w	4	5	5	5	1	5	5	4	
x	3	3	4	4	3	4	1	2	
y	1	4	3	2	1	4	5	2	
去過現場	2.7	2.6	4.6	4.0	2.7	4.7	4.8	2.8	3.6
沒去現場	3.0	3.3	4.5	4.2	2.6	4.7	3.6	3.0	3.6
總平均	2.9	3.0	4.6	4.1	2.7	4.7	4.2	2.9	3.6

很沒幫助 1 · 2 · 3 · 4 · 5 很有幫助