

國立交通大學建築研究所

碩 士 論 文

重新定義數位媒材下之建築元素

Redefining Architectural Elements by Digital Media

研 究 生 梁凱翔

指 導 教 授 劉育東

中華民國九十七年七月

重新定義數位媒材下之建築元素
Redefining Architectural Elements by Digital Media

研究生 梁凱翔
指導教授 劉育東

Student Kai-Hsiang Liang
Advisor Yu-Tung Liu

國立交通大學

建築研究所

碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Computer and Information Science
College of Electrical Engineering and Computer Science
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
In
Architecture

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

摘要

建築元素是一種定義明確的建築單元(unit)，且每個單元皆為建築整體的一部份。建築師以及研究者可以根據建築元素的界定進一步理解建築整體(Norberg-Schulz, 1963)。在設計的過程之中，建築師會根據其機能和概念之需求找出建築元素及建築元素組合的規則及形式(Mitchell, 1990)。設計媒材是指在設計者的抽象概念與實際設計結果間的輔助角色。換句話說，是設計者與設計成果之間的媒介與輔助設計者將概念轉化為實際成品的工具(Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996)。今日建築設計媒材多元，不同的設計媒材會影響設計結果的呈現，設計媒材的選擇對設計者的設計思考帶來限制同時也帶來啟發，進而影響最後設計的結果(Zevi, 1981; Liu, 1996; Lim, 2003)。

本研究討論與分析建築元素與設計媒材之間的關係，觀察新設計媒材是否對於既有的建築元素有所影響？是否有因為使用的媒材不同，而產生無法被既有的建築元素定義的元素，比較這些新的建築元素與既有的、已定義的建築元素有何不同？答案皆是肯定的。進而歸納與定義符合當代的建築元素。本研究以案例分析嘗試定義數位設計媒材與非數位設計媒材對於建築案例的影響，分析過去對建築元素的各種定義並歸納出原則，找出四項定義建築元素的因子：基本幾何、實虛空間、運動向度以及元素機能。從分析與比較非數位媒材建築元素後中歸納出新建築元素，稱之為：數位建築元素，包括以下三種：連續曲面建築元素、複合機能建築元素以及錯縫式開口建築元素。

從分析的結果可以得知，數位建築案例應用數位媒材不但可以運用非數位媒材的既有建築元素，更可以創造非數位媒材所無法產生、未曾定義之新建築元素。同時，歸納出數位建築元素：連續曲面建築元素、複合機能建築元素以及錯縫式開口建築元素。建築元素與設計媒材兩個領域已被探討多年，但兩者跨領域之間的相互關係少有人討論。數位建築不斷有新樣式新結構方式產生，且數位建築元素為已產生且尚未有理論之領域，本研究希望成為建築元素與設計媒材跨領域之間相關研究的初探與基礎，並進而引發一系列之後續研究。

關鍵字：建築元素、數位媒材、數位建築

Abstract

An architectural element is a unit of a construction. Architects and researchers can understand how to design by defining architectural elements (Norberg-Schulz, 1963). In the process of design, architects arrange the rules and form of architectural elements in accordance with design functions and concepts (Mitchell, 1990). Design media act as helping roles between the designers' abstract concept and the concrete composition. In other words, design media are the tools to transform designers' concept into the actual design (Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996). Today, there are many architectural multi-media, and architectures designed by different media have different outcomes. Design media for the architectural design bring restrictions and inspiration, and even affect the representation of the final design (Zevi, 1981; Liu, 1996; Lim, 2003).

This study discusses the relationship between architectural elements and design media, and treats whether digital media impact the existing architectural elements. There are cases from five architects as examples. Each designer has two cases, and one is designed by non-digital media and the other is designed by digital media. These cases are analyzed by four traditional architectural element factors, which include "basic geometry", "solid and void", "movement and dimensions" and "function". It is still a question that whether there are any undefined architectural elements created by different media. This study compares new architectural elements with the traditional ones to find the differences, similarities and the reasons to generalize the definition of new architectural elements created by digital media, and compresses three digital architectural elements are "curvy-surface", "multiple-functions" and "slit-open."

In conclusion, digital media can not only use architectural elements from non-digital media, but also create three new elements, which are "curvy-surface", "multiple-functions" and "slit-open" respectively. This study names them "digital architectural elements". The significance is mainly for the two fields, architectural elements and design media. These two fields have been discussed for many years, but are rarely discussed the cross-cutting scope between them. This study is the foundation of digital architectural elements to raise follow-up research interests.

Keyword: architectural elements, digital media, digital architecture

謝誌

這本論文的產生，前前後後大約花了半年的時間。在這段時間裡，感謝許多人對本論文的批評與指教，讓第一次寫論文的我，有了還不錯的結果。首先要感謝我的指導老師 Aleppo，總是讓老師百忙之中抽空幫我修正我不成文的內容。再來要感謝所有指導過我的老師：君昊老師、李華老師、聖芬老師、迪意老師、匡時老師以及楚卿老師(以上老師按星座排列)，老師們的指導讓我獲益良多，領略更多的知識、涉獵更廣的領域以及開闊更高的眼界。同時，也因此讓我感到自身的不足，因而決定要往學術之路繼續深耕。再來要感謝陪伴我兩年的同學們：振祐、家倫、碩濤、元鈺以及致遠(以上按出生月份排列)，讓我的碩士生活充滿了樂趣，是你們讓我在新竹找到一絲絲溫暖，我充滿感恩。

論文完成感謝老師和同學的幫忙，但心靈上的支持更是我得以繼續研究的動力。我要感謝家人，因為有了家人的大力支持，才能心無旁騖的讀書。我知道父母一直很希望我能夠常回家，也知道家人很擔心我的身體健康，但是我總是日夜顛倒以及徹夜未眠，總是違背家人的期望，藉由這個機會，訴說內心的愧疚與感謝，真的很對不起，讓家人擔心了。也感謝我的妹妹，因為有妳照顧父母，我才能夠自由地做我想要做的事情，有妳真好。

感謝一直陪在身邊、大力支持我的 Ma，給我莫大的安全感以及溫暖的家，即使遲歸也總是願意等我，即使因為忙碌而忽略也總是包容，記得我倆相識之後我的人生就一切順遂，為我做的一切真是點滴在心頭，原諒我因為筆拙無法將心中的感謝完全訴諸文字，就讓我用往後的人生來報答吧。

最後，我感謝我自己，六十分也是及格，九十分也是及格，我選擇走九十分的路，期勉我能繼續堅持下去，感謝自己，感謝吾愛，感謝家人，感謝師長，感謝同學。

目錄

1 導論

1.1	研究背景.....	01
1.2	研究問題與目標.....	02
1.3	研究方法與步驟.....	02

2 文獻回顧

2.1	建築元素.....	08
2.2	建築設計媒材.....	11

3 非數位建築案例

3.1	非數位建築分析.....	18
3.2	討論與歸納.....	30

4 數位建築案例

4.1	數位建築分析.....	34
4.2	討論與歸納.....	47

5 結論

5.1	媒材影響之建築元素之異同.....	52
5.2	數位建築元素.....	55
5.3	研究貢獻.....	56
5.4	研究限制.....	56
5.5	未來研究.....	57

參考文獻



1 導論

1.1 研究背景

建築是一個包含許多領域的學科，包括美學、歷史、工程、社會、科學、哲學等等(Liu,2007)。建築要堅固到可以抵禦外在環境的影響，保護人們的安全，同時還要美觀、賞心悅目反應當代對於美的標準，更要符合機能上的需要，滿足人們一切所需(Vitruvius, 1960)。換句話說，建築不但是一門專業學科，也同時是多種專業的集合。由於建築學橫跨多種專業，對於不同面向的多種領域也就各有不同的解讀方式，例如從歷史脈絡、建築材料、結構方式、使用機能或氣候環境甚至文化。

若單就建築體本身來談建築構成，亦有多種不同的切入點。建築構成包含多種系統，本研究將焦點放在建築元素。建築元素是一種被定義明確的建築單元(unit)，且這些單元皆為建築物整體的一部份。無論是建築師或是研究者皆可以根據元素的界定能夠更清楚地理解整體建築物，包括建築物的造型以及組織層次(Norberg-Schulz, 1963)。而建築師在設計的過程之中，會根據其機能和概念之需求找出建築元素及建築元素組合的規則及形式，最後再加上機能為考量，修正它們機能的關係 (Mitchell, 1990)。研究者亦可從已完工之建築中分析其建築元素，例如形狀文法(Shape Grammar)(Stiny and Gips, 1972)。

設計媒材的選擇對於設計者十分重要。設計媒材是指在設計者的抽象概念與實際設計結果間的輔助角色，是設計者與設計成果之間的媒介與輔助設計者將概念轉化為實際成品的工具 (Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996)。今日建築設計媒材多元，而不同的設計媒材會影響設計結果的呈現，例如利用筆、紙與尺規作圖作為建築設計媒材將會限制圖面的呈現為二度空間，配合三度空間實體模型將可以增加第三向度的思考，設計媒材的選擇對設計者的設計思考帶來限制同時也帶來啟發，進而影響最後設計的結果(Zevi, 1981; Liu, 1996; Lim, 2003)。

隨著設計媒材的演進，從第一階段紙筆繪製相關建築呈現圖面，例如：平面圖、立面圖以及剖面圖，單純作為建築呈現之用；而後第二階段透視圖法的發明使得紙筆建築媒材開始影響建築設計以及設計思考；進而到利用實體立體模型進行設計創作；接著第三階段電腦輔助建築的應用節省不必要的人力時間的需要。不同的設計媒材會影響最後的設計結果，而設計媒材日新月異，從傳統的實體媒材到現在廣為使用的數位媒材，不但產生了新的空間形式，也因而激發了設計師創造力、產生數位構築學的新領域以及新的建築風格(Gao, 2004; Liu, 2006; Chen, 2007)。

1.2 研究問題與目標

過去定義建築元素的學派眾多，本研究將研究建築元素的學派分為非物質建築學派以及物質建築學派兩大類進行討論。所謂物質，即為佔有時間、空間和質量的物體，非物質建築元素學派就是在做建築元素定義時，單元的定義或部分單元的定義屬於非佔有時間、空間和質量的建築元素的學派，與其相對的則是物質建築元素。

在文獻研究中，了解了過去對於建築元素的定義。包括非物質建築學派的數學幾何(Ching, 1979; Cha and Gero, 1999)、實與虛及皮層(Norberg-Schulz, 1963)、環境與自然和建築(Unwin, 1997)、使用者觀點(Tschumi, 1987)以及建築師操作(Kalay and Marx, 2001; Kalay and Marx, 2003)、或是物質建築學派的建築本體與建築表述(Semper, 1851)、幾何學的觀點(Ching, 1979)、建築功能(Atkinson and Bagenal, 1926)以及空間向度系統化(Krier, 1988)。本研究整理相關學派對於建築元素的觀點，基本上可以分為幾種建築元素定義因子，歸納其建築元素因子為：基本幾何(basic geometry)、實虛空間(solid and void)、運動向度(movement and dimensions)以及元素機能(function)。

從過去的文獻中得知，在建築元素的討論中，未曾因為不同媒材所產生的新的建築元素結果而給予新的解釋或是定義，而今日新的設計媒材：數位媒材已經出現，並且成為有效的設計媒材之一(Boden, 1998)。本研究希望討論新的建築設計媒材：數位媒材是否對於既有的建築元素有所影響？數位媒材不僅能達到實體媒材的功能，例如：建築設計的紀錄與呈現以及三度空間的模擬等，數位媒材也對於建築師起了積極性的影響(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)。現今，數位媒材只需要給予設計規則，電腦會計算合理的結果，設計師只需要挑選計算後符合的結果。

因此新風格的建築設計出現(Gao, 2006)，但相對於實體媒材，研究現今使用數位設計媒材的建築設計中，探討建築元素的研究甚少，而建築師使用數位媒材進行建築設計創作的比例日漸增加。本研究希望探討，是否有因為使用的媒材不同：數位媒材與非數位媒材，而產生無法被既有的建築元素定義的實體建築元素，比較這些新的建築元素與既有的、已定義的建築元素有何不同？進而歸納與定義符合數位建築時代的建築元素。

1.3 研究方法與步驟

1.3.1 案例分析

建築元素的定義是一種被明確界定的建築單元(unit)，且這些單元皆為建築物整體的一部份(Norberg-Schulz, 1963)。因此，要研究建築元素，必須要從建築體著手。本研究所選擇的研究方法為案例分析，根據分析這些案例，找出其中的建築元素。由於本研究針對數位媒材與非數位媒材所產生的建築元素，一種案例以數位媒材進行設計創作的為主；另一種則以非數位媒材進行創作。針對這兩種建築類型進行分析。本研究希望探討，是否有因為使用的媒材不同：數位媒材與非數位媒材，而產生無法被既有的建築元素定義的建築元素，並比較這些新的建築元素與既有的、已定義的建築元素有何不同？針對不同的建築設計媒材，包括數位媒材與非數位媒材所產生的實體建築元素。針對這兩種建築類型進行分析。本研究將各選定五個建築案例進行案例分析，並比較其建築元素。

1.3.2 案例選擇

由於建築元素在設計過程中有眾多影響因素，包括個人風格(Liu, 2006)、美學、工程、社會、科學以及哲學(Liu, 2007)。因此，本研究選擇同一位建築師的且使用不同媒材的建築案例進行分析以避免其他因子影響分析結果，同時將所有的問題單純化，將問題限定在設計媒材使用的不同。此外，建築案例多元，有已完工的實體建築或未完工的非實體建築，非實體建築例如：競圖案、紙上建築或是虛擬空間中的建築設計。本研究延續文獻所探討的建築元素，因此，所有的建築元素皆以已完工的建築為主。

有關案例之選擇之母群。為了儘可能做到客觀以及需要大量採樣，本研究以 **a+u** 雜誌 (Architecture and Urbanism) 所刊登的建築物為採樣母群。**a+u** 雜誌創刊於 1973 年，有多種語言版本以及發行全球 70 餘國，本研究採用日與英語雙語版本。同時，為了選出來的案例建築師擁有足夠代表性，本研究統計西元 1977 至 2007 年共三十年份的 **a+u** 雜誌進行分析，將每一位當代使用數位媒材的建築師出現在 **a+u** 雜誌上的刊登次數作排序，並且在先前使用非數位媒材進行設計，於電腦輔助建築設計時代以後，設計媒材則改為數位媒材之建築師。選擇符合前述資格的前五位建築師進行案例分析。

有關於發展數位媒材之建築師如何選擇以及判斷，本研究定義為創作數位建築之建築師為發展數位媒材之建築師。關於數位建築的定義，本研究所採用之定義為：凡是將數位媒材，使用在建築設計過程(任何一個或多個階段，甚至是全部的過程)，其中，電腦數位軟體在建築設計中有關鍵性影響的建築，皆可廣義地視為數位建築(Liu, 2001)。也就是說，電腦數位軟體要對建築設計產生相當的影響，不單作為建築設計呈現的媒材(例如：平面圖、立面圖、剖面圖)，本研究在案例選擇上，會根據建築師所提供的建築設計時的相關圖面(例如草圖)與資料(包括文字相關資料)以佐證建築師所使用的媒材有影響建築設計、建築思考。

因此，本研究選擇五位發展數位建築的建築師，並選擇每一位建築師已完工的實體建築各兩案共十案，將同一位建築師使用非數位媒材的建築設計與使用數位媒材的設計進行比較。由於本研究的兩個研究領域為建築元素以及建築設計媒材，關於建築元素想要探討的是數位建築中，是否有未曾被定義的建築元素，甚至不曾出現於非數位建築的建築元素；關於建築設計媒材想要探討的是建築設計媒材使用的不同所造成的影響。

1.3.3 案例分析因子

本研究將以從過去文獻中歸納得出的五點建築元素分析因子分析五棟非數位建築案例以及五棟數位建築案例，試圖研究既有的元素分析因子對於非數位媒材進行建築創作的建築案例以及以數位媒材進行設計的建築案例，兩者在建築元素之間的差異。之後再將分析結果相互比對，以提出對數位建築元素的進一步解讀與論述。

(1)基本幾何(basic geometry)

基本幾何形為圓形(circle)、三角形(triangle)以及方形(square)，歸納建築元素為基本幾何形體所構成(Ching, 1979)。而基本幾何形體會因為幾種不同的操作方式而出現衍生的形體變化，相關細項包括加成(addition)、貫穿(penetration)、彎折(bending)、截取(intercept)、透視(perspective)以及變形(transform)共六種細項因子(Krier, 1988)。

本研究分析的步驟在基本幾何部份，將會以案例中所取得的平面圖以及立面圖作為分析主體，以上述六種建築元素細項因子進行分析。第一，先描繪出建築圖面中的參考線，包括牆線以及柱樑結構系統的連線；第二，再將參考線進行延長使彼此相交；第三，進而分析出相交得出形狀，是否符合基本幾何建築元素細項因子：加成、貫穿、彎折、截取、透視以及變形(表 1-1)。

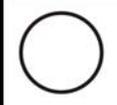
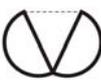
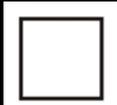
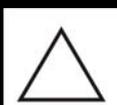
Basic Geometric Forms	Generative Geometric Form Factors					
	Addition	Penetration	Bending	Intercept	Perspective	Transform
						
						
						

表 1-1 基本幾何細項因子

(2)實虛空間 (solid and void)

在已定義的建築元素因子中，實虛空間是很重要的建築元素因子(Norberg-Schulz, 1963)。所謂實體是指佔有時間、空間和質量的物體，例如：牆面、天花板以及地板等；而虛空間在此處定義為根據周圍的實體邊界所圍塑出來的範圍，例如：出入口、牆上的開口甚至是房間(根據四周牆面、天花板以及地板所定義出來的範圍)。

區分實體與虛空間的建築元素，本文稱之為邊界。邊界在過去的文獻中，多不屬於建築元素。根據本研究對建築元素的定義：建築元素為一種被定義明確的建築單元(unit)，且這些單元皆為建築物整體的一部份(Norberg-Schulz, 1963)。這個定義，適用於所有本研究已知的文獻對於建築元素的定義。為了將建築元素定義明確就衍生出「邊界」此一重要建築元素因子。邊界分為三種：空間之邊界(space-boundary)、量體之邊界(mass-boundary)、以及邊界表層(bounding surface)，以上三種邊界的重點皆在於與週遭其他元素的界面(interface)，包含自身的邊界中透明度(transparency)的變化、轉角(corner)的向度、開口(opening)的相對位置以及建築與基地之介面(Interface between the site and the architecture)。因此，實虛空間的相關細項包括透明度(transparency)、轉角(corner)、表層(surface)、開口(opening)以及建築物與建築基地間的介面關係(Interface between the site and the architecture)。

本研究分析的步驟在實虛空間部份，將會以案例中所取得的相片為主，包括室內相片、室外相片以及細部相片平面圖作為分析主體，以上述五種建築元素細項因子分析。透明度部分，先確定建築材料，以建築相關文字資料為主，相關影像資料輔助，確認建築材料以及材料使用方式，並將透明度分為四種等級：完全不透明、部分不透明(透光但只知道材料後面物體的輪廓)、部分透明(透光且看的到部分物體)以及完全透明；轉角部份，是為了了解邊界的細項因子，先了解轉角在平面圖、立面圖、剖面圖等線條圖中是如何表達，例如相鄰的兩面以怎樣的方式相接，包括角度以及建築材料；細項因子表層部分，同樣是為了了解邊界的細項因子，先了解表層的材料以及在相關建築圖面上的表達，並將表層分為三種等級：完全封閉、部分封閉以及完全開放；開口部分是針對在邊界上有開口的部份，例如窗、門以及任何有開洞的部份，同樣是以建築材料、在相關建築圖面上的表達以及相對的位置，開口位置會影響其機能或是開洞的原因，並依照開口大小分成人可以通過的「出入口」、人視線可以通過的「視窗」以及只能讓空氣流動的「氣窗」；在建築物與建築基地間的介面關係部份，包括三個面向進行分析，立面與週遭環境的介面、建築物與地面的介面、動線與周遭道路關係。

(3)運動向度 (movement and dimensions)

在近代建築元素的定義之中，運動向度(movement and dimensions)是一個很重要的概念(Tschumi, 1987; Kalay and Marx, 2001; Kalay and Marx, 2003)。這個建築元素定義將使用者在建築中所發生的活動做為其中一個建築元素，而使用者在建築中的活動是連續且隨著時間有不同變化，換句話說，影響運動有兩種重要的向度：空間與時間。移動是屬於三度空間的行為，

包含前後移動、左右移動以及垂直移動。而活動的過程中，又因為運動的不同而分為三種建築元素，一種是使人停留的「停留空間」(dwelling space)；另一種是連結兩個空間或是動線(circulation)空間的「通道」(path)以及通道與通道轉換的「節點」(nodes)。除了運動本身以外，運動的「限制」也同等重要。限制運動的主要是空間向度中的線(line)、面(plane)以及體(volume)，基本上因空間向度的不同可區分之，一種是不佔實體二度空間的兩個面所交界產生的線以及物體本身的表面；另一種是三度空間中的佔有體積的量體。因此，分析因子「運動向度」的相關細項為停留空間(dwelling space)、通道(path)、節點(nodes)、線(line)、面(plane)以及體(volume)共六種建築元素細項因子。

本研究分析的步驟在基本幾何部份，將會以案例中所取得的平面圖作為分析主體，以上述六種建築元素細項因子分析。六項建築元素細項因子可分為兩部分，前三項為空間運動有關，後三項與空間向度有關。前三項包括：停留空間、通道以及節點，將會透過平面圖以及相關使用機能，配合出入口位置，有停留機能的區域先定義為停留空間；再將串連停留空間的動線，定義為通道空間；最後再定義節點，所謂節點是動線集合的區域。關於線、面以及體建築元素細項因子，線細項元素部份是研究在空間中的線條，包括牆的邊緣線以及面與面的交界線，本研究將線細項元素分為三種：直線、折線以及曲線；關於面細項元素部份是研究在空間中的面，以牆面為主，本研究將面細項元素分為三種：平面、折面以及曲面；關於體細項元素部份是研究在空間中的體，以牆體為主，本研究將體細項元素分為三種：基本幾何體、布林基本幾何以及自由形體。



(4)元素機能(function)

機能性的建築元素定義是一般常見的分類方式(Atkinson and Bagenal, 1926; Gao, 2004)，無論是具有承載力、負重的地板以及天花板；結構系統中的柱、樑、牆以及拱；作為開口開關功能的門以及窗戶；為了讓空間、造型更為流暢而衍生出的建築細部設計以及裝飾，每一種機能所定義出的元素都是物質建築元素，以機能作為彼此的區分，其中，所有因為機能所區分的建築元素皆不重複，也就是說，地板、天花板、柱、樑、牆、拱、門、窗都是明確的單一元素，不會有既是地板又是牆面的建築元素。因此，分析因子「元素機能」為所有建築元素皆為單一機能的相關細項：門(door)、窗(window)、柱(column)、樑(beam)、板(slab)以及牆(wall)共六種建築元素細項因子。

本研究分析的步驟在元素機能部份，以案例中所取得的平面圖以及剖面圖作為分析主體，將以上六種建築元素細項因子分析。分析的步驟分兩部份，第一，先找出所有的元素機能建築元素細項因子，將所有的建築元素細項因子給予標註；第二，並分析其機能與既有元素機能中的定義之異同。門細項因子的機能為出入口；窗細項因子的機能為採光、通風以及室內外介面；柱、樑與板是結構機能，柱元素以點的方式垂直於地面支撐著板，樑以水平方式與柱結合成為結構系統，板是水平支撐上面的荷重；牆建築元素細項因子以垂直方式隔間以及區分室內外空間。

分析因子	相關細項
基本幾何 (basic geometry)	加成(addition)
	貫穿(penetration)
	彎折(bending)
	截取(intercept)
	透視(perspective)
	變形(transform)
實虛空間 (solid and void)	透明度(transparency)
	轉角(corner)
	表層(surface)
	開口(opening)
	建築與基地之介面(interface between the site and the architecture)
運動向度 (movement and dimensions)	停留空間(dwelling space)
	通道(path)
	節點(nodes)
	線(line)
	面(plane)
	量體(volume)
元素機能 (function)	門(door)
	窗(windows)
	柱(column)
	樑(beam)
	板(slab)
	牆(wall)

表 1-2 案例分析因子及其相對應細項因子

2 文獻回顧

2.1 建築元素

2.1.1 定義

什麼是建築元素？建築元素因為不同的時代或領域而有各種不同的定義，最早被定義清楚的說法，是將建築元素視為一種被定義明確的建築單元(unit)，且這些單元皆為建築物整體的一部份。建築元素具有兩種層次的意義：既是獨立且定義清楚的「整體」，同時也是更大尺度與脈絡下的「部分」(Norberg-Schulz, 1963)。在元素的定義過程之中，有幾點共通的原則：根據元素的界定能夠更清楚地理解整體建築物，包括建築物的造型以及組織層次；建築元素的描述要完整構成建築本體，不應有任何闕漏；依據所根據的領域與學科，選取的建築元素應該越少越好，用最精要的定義方式定義元素(Norberg-Schulz, 1963)。換句話說，將元素劃分層級與種類是暫時性的，因為不同的角度觀點以及不同的尺度，元素可以被拆解為更次級的元素。例如一棟建築物在都市脈絡中可視為一個建築元素，但若單看一棟建築物又可以拆解成其他建築元素(Norberg-Schulz, 1963)。



2.1.2 影響力

建築師在設計的過程之中，會根據其機能和概念之需求找出建築元素及建築元素組合的規則及形式。換句話說，設計者會因為其設計思考訂定設計規則，根據這些規則選擇建築元素的形式以及配置建築元素彼此間的空間關係，最後再加上機能為考量，修正它們機能的關係(Mitchell, 1990)。不僅是建築師利用建築元素建構出一套規則，甚至是形式集成以供建築設計，研究者亦可從已完工之建築中分析其建築元素，例如形狀文法(Shape Grammar)(Stiny and Gips, 1972)。研究者根據形狀文法分析出建築元素的規則，透過語法規則的推導找出使用這些形式的可能脈絡關係。建築形狀文法的研究可以找出建築物隱藏的形狀組構規則。一旦規則被發現了，不但可以用以區別類型，更可以利用此規則產生出許多同一類型的建築物，了解建築元素可推論其構成方式與規則。

2.1.3 非物質建築元素學派

建築元素會因為不同的時代或領域而有各種不同的解讀。本節的建築元素為非物質(non-matter)建築元素。所謂物質，即為佔有時間、空間和質量的物體，例如：電子、質子和中子；金屬、化合物、空氣、水、建築體等等。物質皆以固體、液體或氣體相態或混合的形式呈現。非物質建築元素學派就是在定義建築元素時，全部的定義或部分的定義屬於非佔有時間、空間和質量的建築元素的學派。

有研究認為最原始的建築元素為點(point)、線(line)、面(plane)以及量體(volume)，並且彼此的關係是建立在移動(move)而產生，四個建築元素也就代表了四個向度。也就是說，點移動而成為線，此為第一個向度；線挪移(shift)而成為面，此為第二個向度；面提升(rise)而成為體，這是第三個向度。而所有的建築都可以分解為這四個元素，而點、線、面以及量體會因為幾種不同的操作方式而出現衍生不同的形體變化，因而是最原始的建築元素(Ching, 1979; Cha and Gero, 1999)。

也有研究將建築元素分為三種類別：量體類型(mass)、空間類型(space)以及表層(surface)類型。量體類型視為一個整體，是一個三度空間佔體積的「實體」(mass)，例如是古埃及時代的金字塔(Pyramid)建築，量體整體可視為一個單一建築元素，屬於量體類型，是屬於「實」(solid)的建築類型，實體指的是佔有時間、空間和質量的物體；空間類型(space)，是根據周圍的實體邊界所圍塑出來的「虛」(void)的建築類型，例如大廳(lobby)，必須根據周圍的牆面圍塑出的空間；而表層類型(surface)，視為有限的且沒有厚度的表面，表層類型的建築元素一方面可視為區分量體類型與空間類型建築元素的次級輔助元素，另一方面也可以視情況而成為主體，例如沿街面(street facade)的界定(Norberg-Schulz, 1963)。

也有研究從自然界的觀點出發，認為最原始的建築元素是存在於自然界，且一直影響環境。包括與建築材料有關的土地(the ground)；形塑建築虛體部分的空間(space)；與建築結構有關的重力(gravity)；與建築方位有關的光線(light)以及與使用者需求有關的時間(time)四種自然元素(Unwin, 1997)。

研究者也有從使用者的觀點切入，認為可以將建築拆解成三種建築元素，分別為建築物內部使用者活動的區域及身體和物質空間的構成的部份：空間(space)、使用者在空間中移動即將發生的行為及身體在空間中的運動：運動(movement)以及使用者在建築中所發生的故事與使用的方式：事件(event)，此學派認為建築的定義在於當空間(space)、與運動(movement)、與事件(event)產生重合或交錯的場所，建築可分為以上三種建築元素(Tschumi, 1987)。

有以建築設計者為觀點切入的觀點，認為建築物可區分為三種建築元素供建築師操作，三種元素分別為空間(space)、活動(activities)和概念(conception)，此學派認為建築師以這三種元素間的關係來操作建築設計，影響活動有兩種重要的向度：空間與時間。一方面移動在空間中是屬於三度空間，包含水平、垂直以及高度；另一方面又根據時間的不同，活動也會有所不同(Kalay and Marx, 2001; Kalay and Marx, 2003)。

以上對於建築元素的觀點，有從數學幾何的觀點切入(Ching, 1979; Cha and Gero, 1999)；也有從實與虛，以及包被實虛的皮層作為觀點(Norberg-Schulz, 1963)；有研究將環境、自然和建築的關係一起考量，定義出自然觀點的建築元素(Unwin, 1997)，同樣的有從使用者的角度定義建築元素(Tschumi, 1987)；或是由建築師的操作角度作為區分的依據(Kalay and Marx, 2001;

Kalay and Marx, 2003)，以上的學派視為非物質建築元素學派。

2.1.4 物質建築元素學派

十八世紀中期，有學者認為最早的建築元素可分為兩種，一種為建築本體(ontological)的元素，另一種為建築表述(representation)的元素。而這兩種元素又可以衍生出各兩種最基本的建築元素：建築本體底部的土方基礎(mound)以及覆蓋在建築物最頂層的屋頂(roof)；建築表述的元素有二，一者為當時建築物最多人活動且聚集的中心：壁爐(hearth)，另外一個為圍塑、包被虛空間的圍護(enclosure)(Semper, 1851)。

十九世紀後，有研究將空間基本形態分解，將建築元素的定義分為：「頂面」(roof)，由外而內看可以是建築物主要抵抗外在環境的屋頂；也可以由室內到室外是空間遮蔽元素的天花板；「牆面」(wall)，垂直的牆面在視覺上是主要界定與圍底空間的元素；「基面」(base level)，亦即「地面」，可以是建築物理結構支撐或是視覺上所見的建築底座基礎，支撐使用者在建築內的活動(Ching, 1979)。

若以建築本體拆解可得的建築元素作為觀點，也可以說從使用的功能或其發揮的功能的角度出發，建築物可拆解為板、牆、柱、拱、門、窗和裝飾等物件。建築體為這些建築元素的集合，由這些元素可組合成建築體(Atkinson and Bagenal, 1926)。

而到了以空間向度為分類的系統化分類法出現，建築元素包括水平的天花板(ceiling)、地板(floor)以及垂直向度的牆(wall)與柱(column)，再加上與外界聯繫的元素：門(door)以及窗(window)，總共六種建築元素，建築物便由此六種空間元素圍塑而成 (Krier, 1988)。

以上對於建築元素的觀點，有從建築本體(ontological)與建築表述(representation)的元素作為切入觀點(Semper, 1851)；也有從相對高度出發，將建築拆解成頂面、牆面、基面三部份(Ching, 1979)；若以建築的使用功能或其發揮功能的觀點，建築物可拆解為板、牆、柱、拱、門、窗和裝飾等物件(Atkinson and Bagenal, 1926)；亦有以空間向度為分類的系統化分類法出現，建築元素為天花板、地板、牆、柱、門以及窗，建築物便由此六種空間元素圍塑而成 (Krier, 1988)，以上的學派視為物質建築元素學派。

2.1.5 小結

建築元素的分類方式眾多，本研究初步將研究建築元素的學派分為非物質建築學派以及物質建築學派兩大類。以上對於建築元素的觀點，包括非物質建築學派的幾何學(Ching, 1979; Cha and Gero, 1999)、實與虛及皮層(Norberg-Schulz, 1963)、環境和自然(Unwin, 1997)、使用者觀點(Tschumi, 1987)以及建築師操作觀點(Kalay and Marx, 2001; Kalay and Marx, 2003)；或是物質建築學派的建築本體與建築表述(Semper, 1851)、相對高度的觀點(Ching, 1979)、建築

功能(Atkinson and Bagenal, 1926)以及空間向度系統化(Krier, 1988)。

本研究整理相關學派對於建築元素的觀點，基本上可以分為幾種建築元素定義因子，歸納其建築元素因子為：基本幾何(basic geometry)、實虛空間(solid and void)、運動向度(movement and dimensions)以及元素機能(function)。

建築元素學派	建築元素種類
幾何學	點、線、面以及量體
實與虛及皮層	量體、空間以及表層。
環境和自然	土地、空間、重力、光線以及時間
使用者觀點	空間、運動以及事件
建築師操作觀點	空間、活動和概念
建築本體與建築表述	土方基礎、屋頂、壁爐以及圍護
相對高度	頂面、牆面、基面以及地面
建築功能	板、牆、柱、拱、門、窗以及裝飾
空間向度系統化	天花板、地板、牆、柱、門以及窗

表 2-1 建築元素學派整理

2.2 建築設計媒材

2.2.1 定義

什麼是設計媒材？設計媒材是指在設計者的抽象概念與實際設計結果間的輔助角色。一方面為了輔助設計師自我概念的整理與釐清；另一方面，建築師也利用設計媒材表達心中所想要表達的概念。也就是說設計媒材即設計者與設計成果之間的媒介，是輔助設計者將概念轉化為實際成品的工具(Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996)。今日建築設計媒材多元，有各種表現方式，從傳統的筆、紙與尺規作圖，到電腦輔助設計都廣為今日建築設計所使用。如此可見，設計媒材在設計過程是十分重要的，而不同的設計媒材會影響設計結果的呈現，例如筆、紙與尺規作圖將會限制圖面的呈現為二度空間，配合三度空間概念模型的施作可以增加第三向度的思考，設計媒材的選擇將對設計者的思維帶來限制同時也帶來啟發，進而影響設計者的思考模式(Zevi, 1981; Liu, 1996; Lim, 2003)。

2.2.2 非數位設計媒材

建築設計媒材的歷史，現存最早的紀錄來自古埃及時期。古埃及時期的建築師使用紙筆作為設計媒材，用以呈現最終建築設計的結果。在這個時期中，設計媒材之於建築師只是單純作為一種紀錄工具。且古埃及時期建築設計的呈現方式已經非常接近於現今的平面圖。當圖繪製完成之後，施工者利用繪有設計結果的圖紙進行施工，因此設計媒材亦有輔助施工的作用(Millon,

1994; Liu, 1996)。

到了古希臘時期，開始出現一些非紙筆的建築設計媒材，建築師開始製作實體建築模型。本時期的建築模型並非作為呈現建築設計造型之用，因為雖然有比例，但整體外形並不完整，也無法輔助建築設計的過程。此階段的建築模型，是專門針對信仰宗教使用，用來作為儀式中祭祀的道具(Liu, 1996; Smith, 2004)。古羅馬時期，從當時流傳下來的紀錄可以看到完整的建築圖面，包括平面圖、立面圖以及剖面圖，可以說從這個時期開始，建築師開始重視使用建築設計媒材(Vitruvius, 1960)。

接下來的歌德時期，建築設計中裝飾的元素開始出現，煩瑣且精細的細部造成施工上的困難，因此，建築設計媒材在本時期被廣泛的使用，用以輔助建築施工的過程。歷史的記載中，截自歌德時期，建築設計媒材皆以圖面的繪製為主，且為二度空間亦即平面的呈現方式，實體模型等其他類型的使用極少，多非作為設計媒材而作為其他使用(Lim, 2007)。

文藝復興時期，建築設計與建造工法已經相當成熟，不僅是建築設計日趨複雜，單純的二度空間圖面已經不足以說明清楚此時的細部設計，再加上結構也開始需要被研究，需要更精準的建築呈現媒材的需要日增。當時的建築師有鑒於二度空間的設計媒材已經不敷使用，開始使用三度空間的設計媒材，也就是實體模型作為設計媒材，以彌補二度空間平面媒材之不足。當時的建築師為了研究結構，甚至拿掉所有多餘的裝飾，以純粹的呈現結構系統來製作模型。建築師發現實體模型除了作為建築設計的呈現以及建築結構模擬之外，也可以作為其他考量研究之用，例如建築比例、空間尺度甚至是光影變化 (Millon, 1994; Liu, 1996, Smith, 2004)。

實體模型作為設計媒材在文藝復興時期廣泛的使用，模型的製作因為建築師及使用者的需要開始有多種不同的用途。除了先前提到的建築設計呈現、結構系統研究、光影變化等用途之外，文藝復興的實體模型也作為輔助設計思考的媒材，當時的建築師會利用實體模型的製作進行建築設計的討論與研究，因此同一個建築案會有多種不同階段的模型，甚至不只是單純等比例縮小的模型，還有可以從中間分開來體驗室內空間的剖模(Lim, 2007)。

另外，建築設計中除了空間設計外，還有許多方面需要被考慮，例如量體之間的關係、顏色或是材質。實體模型作為媒材相較於二度空間平面媒材更能夠表達多方面的思考，甚至單就建築空間感的呈現而言，也較二度空間的圖面準確(Hohausser, 1970)。同時，實體模型相較於建築圖面容易理解空間關係(Porter and Neale, 2000; Breen et al., 2003; Smith, 2004)。因此，實體模型也作為建築師與業主的討論之用。

二度空間的設計媒材對於設計者而言，若只能作為局部建築設計的呈現，不論是平面圖、立面圖還是剖面圖皆無法呈現建築設計的整體感。因此，有鑒於建築圖面的不足，除了實體模型之外，也發明了新的建築媒材表現法去呈現建築設計：透視圖。透視圖的發展一開始為中央消點透視法，藉此方法二度空間的圖面也能夠以科學的方法紀錄三度空間(Frommel, 1994)。

設計媒材的歷史至此，皆為呈現設計師腦中的意念之用，部分設計媒材可以輔助建築設計，甚至成為建築師的重要媒材(Goldschmidt, 1991; Schon and Wiggins, 1992; Goel, 1995)。但前述所提的設計媒材仍無法脫離垂直水平或簡單幾何所結構而成的建築設計，主要原因是因為媒材的本身限制，當時的建築師多使用紙筆尺規作圖所致。

二十世紀初，當時的建築師爲了要達到建築設計的突破，開始嘗試自製新的設計媒材，例如西班牙建築師高第(Antoni Gaudi)的沙包。建築師高第利用懸掛在天花板的倒吊模型上綁著沙包及細繩，沙包與細繩因爲受到地心引力的牽引形成不同的下垂弧線，再利用當時的照片技術將整體拍攝下來，顛倒照片後加上高第的後製處理可以用來處理特殊建築物的結構計算(Collins, 1960; Futagawa and Borrás, 1997)。

即使能夠如同建築師高第一般，使用自創的設計媒材，以繪製出完整的建築圖面，與建築師配合的施工人員仍然沒有相關技術可以按圖施工，這問題往往使建築師必須被迫更改設計以去配合建築施工人員的施作能力。例如二十世紀中期，約翰烏戎(John Utzon)原始設計的雪梨歌劇院原先的設計便因爲當時施工技術問題而被迫更動，即使是調整之後仍需要大量實體模型及精確建築圖面輔助(Fromonot, 1998; Murray, 2004)。

建築設計媒材的使用，一方面爲了輔助建築師表達心中所想要表達的概念，同時，也幫助建築師自我概念的整理與釐清，可以說是建築師自我內在與外在環境的溝通；另一方面，建築師也利用設計媒材與外界溝通，包括其他建築師、建築施工人員以及業主。因此，建築媒材其中一項很重要的能力就是能夠盡量接近建築師內心的設計，另一方面就是希望能夠呈現最後完成的結果，例如空間尺度、光影變化、顏色以及材料質感(Liu, 1996; Bai and Liu, 1998)。以約翰烏戎的例子，當建築設計媒材無法輔助施工建造，實體建築媒材已經無法滿足建築師的設計需要，建築師便開始尋求其他的設計媒材。

2.2.3 數位設計媒材

二十世紀中期，電腦因爲計算上的需要而發明。同時電腦發展迅速，爲了增進人機互動而發展出圖形化介面，因此提高了視覺回饋的能力。至此，圖形化介面對於設計領域而言已經可以進行操作，並且成爲有效的設計媒材之一(Boden, 1998)。當數位設計媒材剛開始引進設計領域時，電腦輔助設計主要是輔助二度空間圖面的呈現，此時設計界已經出現了使用電腦輔助設計(computer-aided design)的設計師，根據數位媒材快速複製的效率遠超過實體媒材的能力，進而達到節省實體設計媒材爲了重複繪製圖面所必須花費大量時間以及人力。同時，電腦輔助設計與先前實體模型的另一項優勢是能夠精準的繪製圖面，使設計師繪製心中的設計圖時更爲精準(Lim, 2007)。

不但如此，設計媒材是爲了幫助建築師呈現盡量接近建築師內心的設計，與能夠幫助與外

界溝通最後完成的結果。數位設計媒材在這兩方面更勝於實體設計媒材，甚至對於建築師起了積極性的影響。數位媒材相較於實體媒材更能影響建築師在概念發想的階段，能夠引發更多設計的創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998; Chen, 2001)。

法蘭克蓋瑞(Frank Gehry)是第一位將電腦視為建築設計媒材的建築師，當時法蘭克蓋瑞爲了位於巴塞隆納的大型魚型雕塑而尋求麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)的幫助，開啓了電腦輔助建築設計(computer-aided architectural design)與電腦輔助建築製造(computer-aided architectural manufacturing)時代的來臨。根據電腦強大的計算能力，數位媒材得以完整地呈現建築師腦中的設計，並配合相關的數位建模軟體，以往人腦無法計算的結構系統與形式得以實踐。

到了二十世紀晚期，電腦輔助建築設計除了二度空間平面式的輔助繪製建築圖面外，相較實體媒材也有更佳的模擬建築空間之能力。數位媒材所模擬的空間呈現方式爲數位三度空間模型，比起實體媒材也更容易快速建立以及編輯修改(Abadi, 1996)。而電腦輔助建築設計發展至今，數位三度空間模型已經越來越接近於真實完成後的建築，無論是空間形式、光影的變化，顏色材料或是質感，甚至可以進行動態模擬以及根據物理引擎的輔助所模擬的如重力、彈性等物理狀態特性(Lim, 2007)

2.2.4 電腦輔助設計

還沒有電腦輔助設計之前，設計師在設計的過程之中，爲了呈現設計與溝通的需要，必須要不斷地重複繪製相同的圖面，耗費相當多的人力與時間做重複的內容。等到電腦發明之後，開始有人想要利用電腦取代人力，將圖紙轉換成數位檔案，如此一來，就更方便於傳遞與複製，這是電腦輔助設計的起源。

1963年，學界發明以感应手繪圖面時，作用在圖紙上的壓力作爲輸入方式的設計媒材：壓力板(Sketch Pad) (Sutherland, 1963)，此種壓力板讓設計者同樣以手繪的方式將輸出成數位檔，突破以往電腦只能用鍵盤輸入或是利用寫程式控制的方式，以設計師容易理解的圖像介面，配合輸入工具光筆的操作，在壓力板上模擬繪圖，電腦讀取光筆的座標，判別連續的座標連成一條軌跡，並能夠即時在電腦螢幕上反應電腦讀到設計師所繪製的圖像。此爲第一個電腦輔助設計的案例，壓力板(Sketch Pad)爲研究測試用仍未開發完全，而此時的设计媒材在數位空間中仍爲二度空間圖面。

六零年代中期，也開始出現最簡單的三度空間數位建模方式。設計師思考設計仍然以紙筆爲主，此時的數位三度空間模型只是作爲設計呈現之用，三度空間建模系統爲線框造型系統(wire-frame modeling)，此時期的電腦輔助設計已經從開始進入到應用階段。

七零年代，設計師已經普遍使用電腦輔助設計進行創作，當時的三度空間建模系統爲曲面

造型系統(surface modeling)，曲面造型系統是用多個視角來描述同一件數位三度空間模型。也就是說用三視圖等多個視角以及輔助線的幫助來表達三度空間的立體感。

七零年代末期到八零年代中期，工業設計領域已經廣泛的使用電腦輔助設計進行創作，當時的三度空間建模系統為實體造型系統(solid modeling)，主要是用在航太以及航空公司的需要，尚未進入到建築領域。

八零年代晚期至九零年代，三度空間建模系統為參數化實體造型系統(parametric solid modeling)。此系統有別於以往的系統之處在於，以往的建模方式均為建築設計師輸入一個指令電腦完成一個動作，電腦只負責完成當下的指令，每一步動作都是獨立步驟，若其中一個環節想要修改，無論步驟有無因果關係都必須重新計算；而參數化實體造型系統則是設計師輸入的每一個步驟電腦都儲存於記憶體中，也就是說電腦記錄全部的建模過程和其中輸入的所有變數，若設計師輸入的動作有因果關係，則可以隨時回到設計過程中的任何一個環節，更改完畢之後，其原先後續的指令電腦會重新計算，因而省去重複動作的時間(McMahon and Browne, 1993; Lim, 2007)。

九零年代以後，三度空間建模系統為變數化實體造型系統(Variational solid modeling)，此種建模系統較先前參數化實體造型系統開放度更大，無須每一步驟皆輸入準確的參數。因此，在建模過程之中，數位模型尺寸是可以隨時調整與輸入的，甚至，模型間的空間關係可以用聯立方程式的方式求解。

電腦輔助設計至今經歷過多種不同階段，從原先僅僅為取代紙張節省設計師重複動作的功能，而後數位媒材從數位二度空間進展到數位三度空間，此時電腦輔助設計已經加入實體模型的功能。到了參數化實體造型，電腦的計算能力被用來提高設計師的能力，設計師在設計的過程之中，可以隨時來回調整設計，此時的數位媒材能力是全新的使用方式；而變數化實體造型系統的發明，更賦予設計師莫大的設計彈性，無論是形狀或尺度都不必受限制，隨時可以調整，甚至只需要給予規則，電腦會計算合理的結果。不同以往的所有媒材，電腦輔助設計完全開放了設計師的設計思維，進而創造出不同以往的空間形式。

時代	設計媒材	設計媒材影響
古埃及時期	圖面	紀錄
古希臘時期	實體模型	宗教祭祀
古羅馬時期	專業圖面	建築圖系統建立
文藝復興時期	實體建築模型及透視圖	設計思考
二十世紀初	自製設計媒材	既有空間設計突破
二十世紀中	數位設計媒材	設計圖面(節省時間、人力)
六零年代	線框造型系統	數位化手繪圖
七零年代	曲面造型系統	數位化三度空間

八零年代	實體造型系統	數位空間擬真
九零年代	參數化實體造型系統	彈性數位三度空間建模
二十一世紀	變數化實體造型系統	依變數創造多個建築設計

表 2-2 電腦輔助設計年代表

2.2.4 小結

設計媒材是指在設計者的抽象概念與實際設計結果間的輔助角色，一方面爲了輔助設計師自我概念的整理與釐清；另一方面，建築師也利用設計媒材表達心中所想要表達的概念(Schon and Wiggins, 1992; Liu, 1996)。設計媒材的選擇將對設計者的思維帶來限制同時也帶來啓發，進而影響設計者的思考模式(Zevi, 1981; Liu, 1996; Lim, 2003)，從最早的设计媒材之於建築師只是單純作爲一種紀錄工具(Millon, 1994; Liu, 1996)；然後開始製作建築模型，但此時並非有助於建築設計(Liu, 1996; Smith, 2004)；之後實體模型作爲設計媒材，以彌補二度空間平面媒材之不足 (Millon, 1994; Liu, 1996, Smith, 2004)；之後，新的建築媒材透視圖出現，開始有助於輔助設計思考(Frommel, 1994)。二十世紀，建築師爲了要達到建築設計的突破，開始嘗試自製新的設計媒材(Collins, 1960; Futagawa and Borrás, 1997)，但新的媒材仍舊沒有突破設計師思考的窠臼。

數位媒材出現，並且成爲有效的設計媒材之一(Boden, 1998)。一開始電腦輔助設計僅僅輔助二度空間圖面的呈現，節省實體設計媒材爲了重複繪製圖面所必須花費大量時間以及人力，同時，建築圖面也更爲精準(Lim, 2007)，然後，數位媒材對於建築師起了積極性的影響，引發更多創造力(Manolya et al., 1998; Verstijnen et al., 1998 ; Chen, 2001)。到了二十世紀晚期，電腦輔助建築設計有更佳的模擬建築空間之能力，比起實體媒材也更容易快速建立以及編輯修改(Abadi, 1996)。電腦輔助設計後期，電腦的計算能力被用來提高設計師的能力，可以隨時來回調整設計；現今，只需要給予設計規則，電腦會計算合理的結果，達到了電腦自行做設計的程度，設計師只需要挑選計算後符合的結果。

實體設計媒材已經有上千年的歷史，而且在數位媒材出現前，建築師一直使用實體媒材進行建築設計，而後數位媒材的出現，對於建築師在抽象概念與實際設計結果間激發了新的空間可能以及新的創造力。建築數位媒材至今(2008)不到五十年，使用數位媒材的建築師所設計的建築物陸續出現以及完工。數位建築的時代來臨(Liu, 2006)，建築已經出現相關研究仍少，本研究希望討論與比較實體媒材與數位媒材之間的異同以及其對於建築設計所造成的影響。

3 非數位建築案例

本研究所選擇的研究方法為案例分析，根據分析這些案例，找出其中的建築元素。由於建築元素在設計過程中的使用，影響因素眾多。可能因為個人風格(Liu, 2006)或是因為美學、工程、社會、科學、哲學等等(Liu,2007)因素。因此，選擇同一位建築師將可以避免所有其他的因子影響分析結果，將所有的問題單純化，限定在設計媒材使用的不同。針對數位媒材與非數位媒材所產生的建築元素，一種案例以數位媒材進行設計創作的為主；另一種則以非數位媒材進行創作。針對這兩種建築類型進行分析。而本章即針對非數位建築案例進行分析。

建築元素的定義：是一種被定義明確的建築單元(unit)，且這些單元皆為建築物整體的一部份(Norberg-Schulz, 1963)。因此，要了解建築元素，必須要從建築體著手，本研究所選擇的研究方法為案例分析，進而分析這些案例，找出其中的建築元素。本研究希望探討，是否有因為使用的媒材不同：數位媒材與非數位媒材，而產生無法被既有的建築元素定義的建築元素，並比較這些新的建築元素與既有的、已定義的建築元素有何不同？

本研究以 a+u 雜誌 (Architecture and Urbanism)所刊登的建築物為採樣母群。統計西元 1977 至 2007 年共三十年份的 a+u 雜誌進行分析，將每一位當代使用數位媒材的建築師出現在 a+u 雜誌上的刊登次數作排序，並且在先前使用非數位媒材進行設計，於電腦輔助建築設計時代以後，設計媒材則改為數位媒材之建築師。選擇符合前述資格的前五位建築師進行案例分析，並選擇每一位建築師已完工的實體建築各兩案共十案，比較同一位建築師在尚未使用數位媒材進行設計時的建築設計與使用數位媒材進行設計。

本研究將會以五點建築元素分析因子分析五棟非數位建築案例，以既有的定義分解建築案例，試圖研究既有的定義與非數位建築案例以及數位建築內的建築元素之差異，之後再將分析結果相互比對，已提出對數位建築元素的進一步解讀與論述。

- (1) 基本幾何(basic geometry)：基本幾何形為圓形(circle)、三角形(triangle)以及方形(square)，歸納建築元素為基本幾何形體所構成(Ching, 1979)。而基本幾何形體會因為幾種不同的操作方式而出現衍生的形體變化，相關細項包括加成(addition)、貫穿(penetration)、彎折(bending)、截取(intercept)、透視(perspective)以及變形(transform)共六種細項因子(Krier, 1988)。
- (2) 實虛空間 (solid and void)：實虛空間的相關細項包括透明度(transparency)、轉角(corner)、表層(surface)、開口(opening)以及建築物與建築基地間的介面關係(Interface between the site and the architecture)共五種建築元素細項因子。

(2)實虛空間

從圖 3-3 的雙子藝廊實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明以及完全透明，前者例如混凝土部分(圖 3-3A)；完全透明例如玻璃部分(圖 3-3C 天窗)。在「轉角」部份，本案例皆以九十度相接(圖 3-3A)；在「表層」部分，本建築案例的表層為部分封閉(圖 3-3B)，開口佔表層的比例，在「建築與基地之介面」，與週遭環境主要是以同樣的水平垂直分割立面來呼應週遭環境。在建築物與地面之介面部分，由於本案例基地位於坡地，非水平地面(圖 3-3B 黃色部份)，但本案例仍以垂直水準於鉛垂線的手法，進行配置。在「開口」方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-3 雙子藝廊實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 3-4 的雙子藝廊運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，一樓平面如圖 3-4A、圖 3-4B 和圖 3-4C 所示，二樓平面圖如圖 3-4D 以及圖 3-4E 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色為節點，停留空間：通道：節點的比例為 20: 17.2: 1，停留空間與通道的面積在一樓平面的部份幾乎相等，通道空間稍大些，兩者比例為 1: 1.15。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面，只有兩個軸向有變化，第三向度保持一致。在「量體」的元素分析上，每一個量體都是由六面體組成，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-4 雙子藝廊運動向度圖

(4)元素機能

從圖 3-5 的雙子藝廊元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 3-5A、圖 3-5B 以及圖 3-5C)。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-5 雙子藝廊元素機能圖

3.1.2 四號住宅

本件非數位建築案例名稱為四號住宅(House VI)，是西元 1975 年由建築師彼得艾森曼(Peter Eisenman)在美國康乃狄克州康沃爾郡所建的住宅案，建築材料的使用包括木頭的框架以及夾板。本案之設計理念是實踐了建築師的建築理論，以單純的幾何規則設計，並模糊了室內外之分界(圖 3-6)。



圖 3-6 四號住宅

(1)基本幾何

從圖 3-7 的四號住宅基本幾何圖中，可以分析出圖 3-7A 圖、圖 3-7B、圖 3-7C、圖 3-7D 和圖 3-7E 中可以得知本案例之建築元素由多個基本幾何：矩形所結構排列而成；分析本案之建築元素幾何之組成，在平面分割方面從圖 3-7A 和圖 3-7B 中，以直線分割為基礎，分割成多個基本幾何形體矩形，也因此，在平面上有多條單線。矩形與矩形之間再經過「加成」細項因子處理形成基本平面；在剖面及立面方面可以從圖 3-7C、圖 3-7D 以及圖 3-7E 中得知，同樣皆為垂直水準的分割方式，構成多個矩形空間。在本案例中，沒有使用基本幾何的「貫穿」、「彎折」、「截取」、「透視」以及「變形」之手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

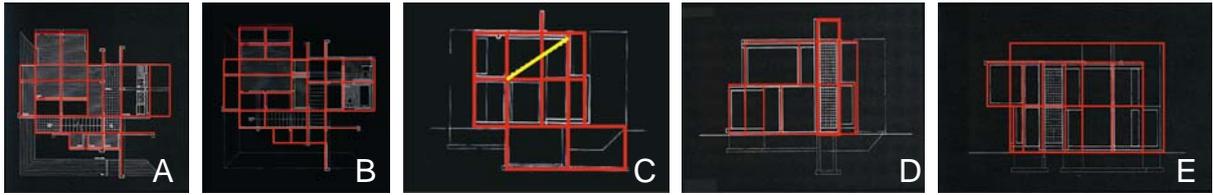


圖 3-7 四號住宅基本幾何圖

(2) 實虛空間

從圖 3-8 的四號住宅實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為三種：完全不透明、部份不透明以及完全透明，前者例如混凝土牆(圖 3-8A)；部份透明例如天窗及部分玻璃(圖 3-8C 及圖 3-8D)；完全透明例如玻璃部分(圖 3-8E)。在「轉角」部分，本案例所有牆面轉角皆以九十度直角方式相接。在「表層」方面，本案例採用整面牆單一材質的方式，例如整面玻璃牆或是整面混凝土牆(圖 3-8D)。在「開口」部分，本案例是由多個板材所組構而成，板材與板材間運用垂直水準的方式卡接，進而產生許多舉行的空隙，在空隙間再放上部份透明或完全透明的玻璃(圖 3-8D)；在「建築與基地之介面」，本案例週遭沒有連接其他建物，週遭環境皆為自然景觀，建築師採用人為與自然對話的方式呼應週遭環境，因此造型為幾何形體以及純粹的顏色。在建築物與地面的介面部分，採用將建物墊高的手法，將地面加高(圖 3-8B)。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以完整詮釋，沒有未定義之部分。

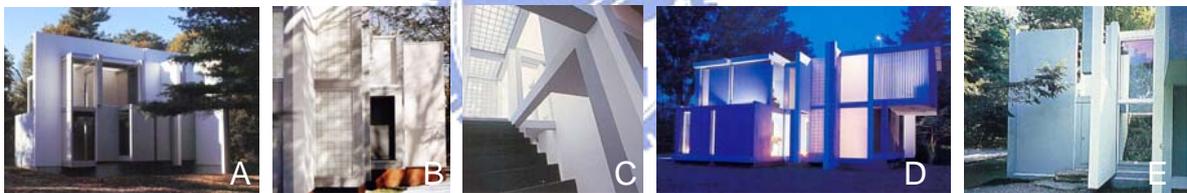


圖 3-8 四號住宅實虛空間圖

(3) 運動向度

從圖 3-9 的四號住宅運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如圖 3-9A 至圖 3-9F 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色為節點，停留空間：通道：節點的比例為 1.49: 1.19: 1。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例為多種板塊互相卡接，屬於布林基本幾何，而互相卡接也使得量體碎化，因此量體感極低。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

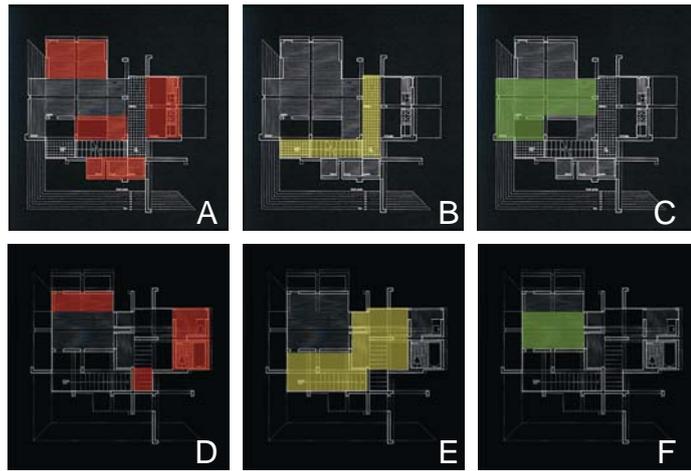


圖 3-9 四號住宅運動向度圖

(4)元素機能

從圖 3-10 的四號住宅元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 3-10A、圖 3-10B 以及圖 3-10C)。本案例之特殊之處在於「牆」的運用，「柱」細項元素因子在本案室內不被獨立存在，有些具有「柱」機能的，實質上為「牆」經過截取之後的結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-10 四號住宅元素機能圖

3.1.3 雙層露臺別墅

本件非數位建築案例名稱為雙層露臺別墅(Two Patio Villas)，是西元 1988 年由建築師瑞姆庫哈斯(Rem Koolhaas)在荷蘭鹿特丹所建的雙併建築案，主要建築材料的使用包括金屬與混凝土的牆體以及為了不同透光程度需要的各種玻璃。本案特別之處在於有兩個不同高差的入口與面向，一側面對高速公路另一側面對樹林，建築師根據不同程度的採光與透明度調整視覺上的穿透程度。本案包括兩個同樣設計之住宅案，本研究僅分析其中一棟建築(圖 3-11)。



圖 3-11 雙層露臺別墅

(1)基本幾何

從圖 3-12 的雙層露臺別墅基本幾何圖中，可以分析出圖 3-12A、圖 3-12B、圖 3-12C 和圖 3-12D 圖中可以得知本案例之建築元素由多個基本幾何：矩形所組構排列組合而成；分析本案之建築元素幾何之組成，在平面分割方面從圖 3-12A 圖和圖 3-12B 圖中，以基本幾何形體矩形為基礎，經過「加成」與「貫穿」後成為平面配置；在立面方面可以從圖 3-12C 圖以及圖 3-12D 圖中得知，垂直水準的分割方式同樣經過形成「加成」與「貫穿」多個矩形。在本案例中，沒有使用基本幾何的「彎折」、「截取」、「透視」以及「變形」之手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

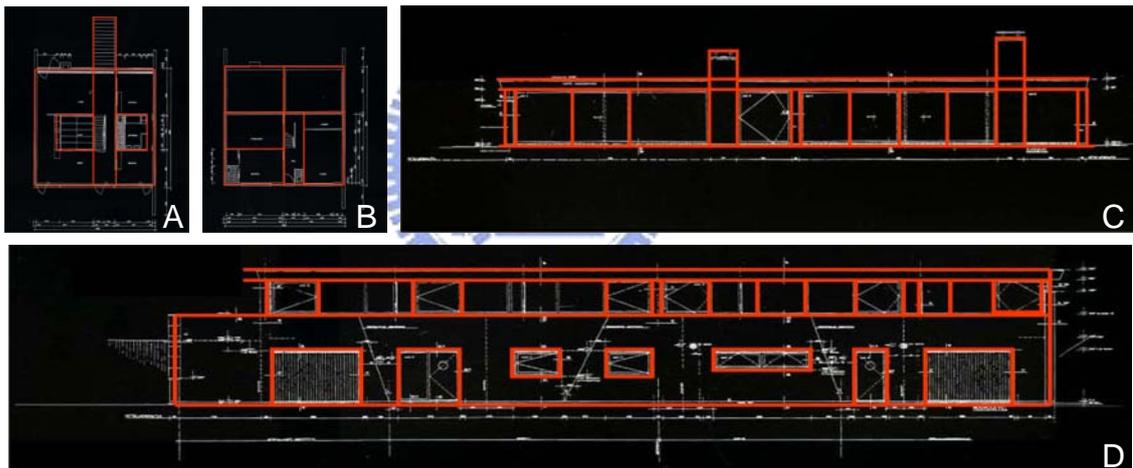


圖 3-12 雙層露臺別墅基本幾何圖

(2)實虛空間

從圖 3-13 的雙層露臺別墅實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」有四種：從完全透明到完全不透明共有五種材質，分別是透明玻璃、磨砂玻璃、青色玻璃、金屬夾絲玻璃以及混凝土牆面，提供不同程度的視覺穿透效果(圖 3-13C 以及圖 3-13D)。在「開口」方面，本案例因為基地高地差的關係，有一前一後兩個主入口(圖 3-13A 以及圖 3-13B)。在「建築與基地之介面」，本案例週遭環境為自然景觀，因此建築師採用人造物對比自然的方式設計造型，因此本案例造型為幾何造型(圖 3-13A)。在動線與週遭道路關係部分，同樣因為基地高低差之故，因此動線也分為前後兩條動線，較高的動線是以人行為主(圖 3-13A)，而較低的動線是以車行為主，包括停車部分(圖 3-13B)，因此動線的安排與基地緊密結合。在「轉角」、「表層」

與方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-13 雙層露臺別墅實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 3-14 的雙層露臺別墅運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如圖 3-14A 至圖 3-14F 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色為節點，停留空間：通道：節點的比例為 10.3: 1.5: 1，將動線放於中間，兩旁為停留空間，仲介於動線與停留空間的部份為節點。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，每一個量體都是由六面體組成，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

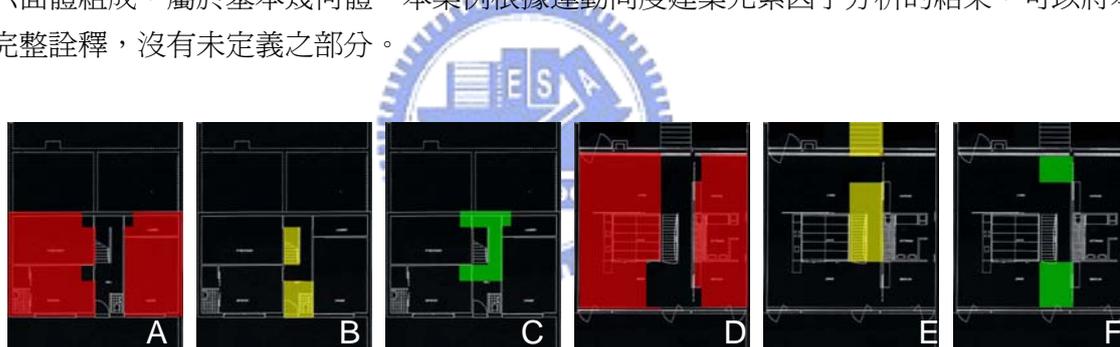


圖 3-14 雙層露臺別墅運動向度圖

(4)元素機能

從圖 3-15 的雙層露臺別墅元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 3-15A、圖 3-15B、圖 3-15C 以及圖 3-15D)。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-15 雙層露臺別墅元素機能圖

3.1.4 馬入澤之屋

本件非數位建築案例名稱爲馬入澤之屋(House in Magomezawa)，是西元 1986 年由日籍建築師伊東豐雄(Toyo Ito)在日本馬入澤地區所建的住宅案，主要建築材料的使用包括表層的混凝土以及鋼骨框架。建築基地位元於一塊新興開發的住宅區，業主是一對夫婦的住宅，包括兩間房間、入口玄關、陽台以及一套共用衛浴(圖 3-16)。



圖 3-16 馬入澤之屋

(1)基本幾何

從圖 3-17 的馬入澤之屋基本幾何圖中，可以分析出圖 3-17A 至圖 3-17F 中可以得知本案例之建築元素由多個基本幾何：矩形以及圓形變形而成的橢圓形所組構而成；分析本案之建築元素形體之組成，在立面造型方面可由圖 3-17C 和圖 3-17D 中明顯看出運用基本幾何形體圓形利用「透視」後成爲橢圓形建築元素，再經過「截取」的手法將橢圓形之下半部「截取」之，使建築元素成爲兩個連續的弧形。而在本案例中，沒有使用基本幾何的「加成」、「貫穿」、「彎折」以及「變形」之手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

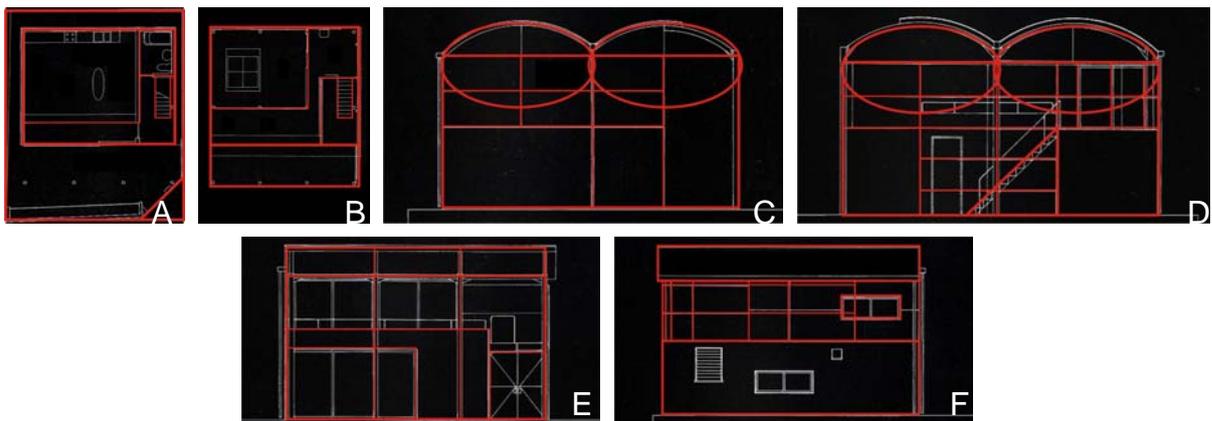


圖 3-17 馬入澤之屋基本幾何圖

(2)實虛空間

從圖 3-18 的馬入澤之屋實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分爲三種：完全不透明、部份透明以及完全透明，前者例如混凝土部分(圖 3-18A 牆面)以及金屬部分(圖 3-18B 屋頂)；部份透明例如金屬網格(圖 3-18C)；完全透明例如玻璃部分(圖 3-18A)。在「轉角」部分，本案例所有轉角皆以九十度直角方式相接，且完全封閉。在「表層」部分，本案例在混凝土的應用上有所不同，室外的部分採用清水混凝土(圖 3-18D)；室內的部份則是上了粉刷(圖 3-18A)，兩種不同的「表層」處理手法，可以用來判別室內室外，依照開放的程度，屬於部份開放。在「建築與基地之介面」，本案例與週遭建築採用不同的材料以及設計手法。在建築物與地面的介面部分，本案例採用灌模的手法，將地面加高。在「開口」方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

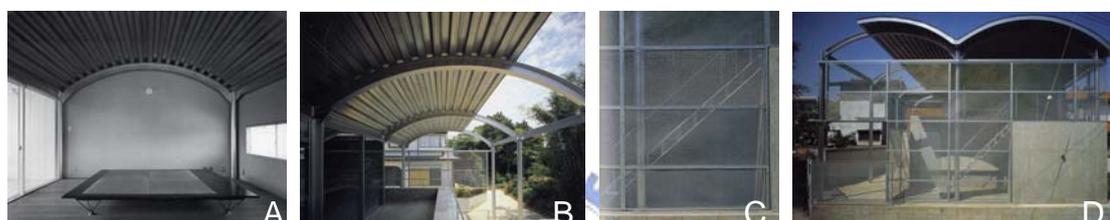


圖 3-18 馬入澤之屋實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 3-19 的馬入澤之屋運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如一樓平面分析圖 3-19A 和圖 3-19B 以及二樓平面圖 3-19C 以及圖 3-19D 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色爲節點，停留空間：通道：節點的比例爲 2.72: 1: 0。在「線」的元素分析上面，可分爲兩種：直線以及仍屬於基本幾何內的拋物線，除了屋頂的兩個拋物線外，其餘皆爲直線。在「面」的元素分析上，皆爲平面，只有兩個軸向有變化，第三向度保持一致。在「量體」的元素分析上，每一個量體都是由六面體組成，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

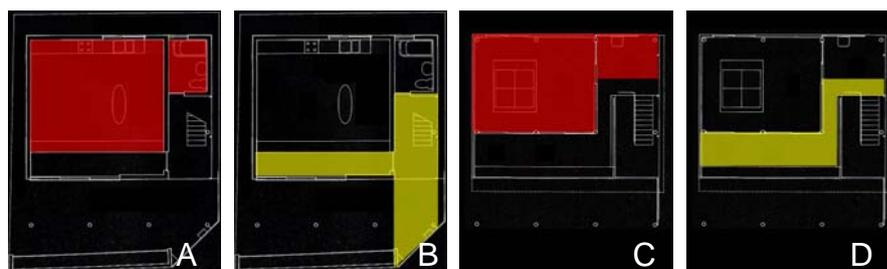


圖 3-19 馬入澤之屋運動向度圖

(4)元素機能

從圖 3-20 的馬入澤之屋元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 3-20A、圖 3-20B 以及圖 3-20C)。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

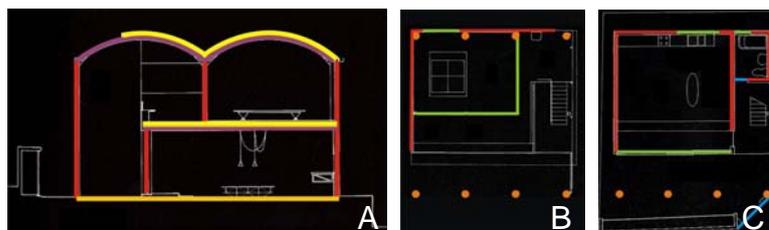


圖 3-20 馬入澤之屋元素機能圖

3.1.5 維特拉消防站

本件非數位建築案例名稱爲維特拉消防站(Vitra Fire Station)，是西元 1990 年由伊拉克裔建築師札哈哈蒂(Zaha Hadid)在德國所設計的公共建築案，主要建築材料的使用以混凝土爲主，配合部分金屬材料。本案位於工業區中，建築師想要根據此設計連接鄰近建物，有和諧於週遭環境又有獨特特色。另外一個特色是建築師希望能以虛空間連結建築物內部與外部，而並非單設計建築內部，也同時考慮與街道、周圍環境的關係(圖 3-21)。



圖 3-21 維特拉消防站

(1)基本幾何

從圖 3-22 的維特拉消防站基本幾何圖中，可以分析出圖 3-22A、圖 3-22B、圖 3-22C 和圖 3-22D 中可以得知本案例之建築元素由基本幾何觀點有三種出發點，分別以紅色、綠色以及藍色分析線標註之。紅色分析線以平行線爲主；可以組成矩形或經過「透視」細項因子成爲梯形；綠色分析線以基本幾何三角形爲主；藍色分析線爲基本幾何矩形之「變形」。在本案例中，沒有使用基本幾何的「加成」、「貫穿」、「彎折」以及「截取」手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

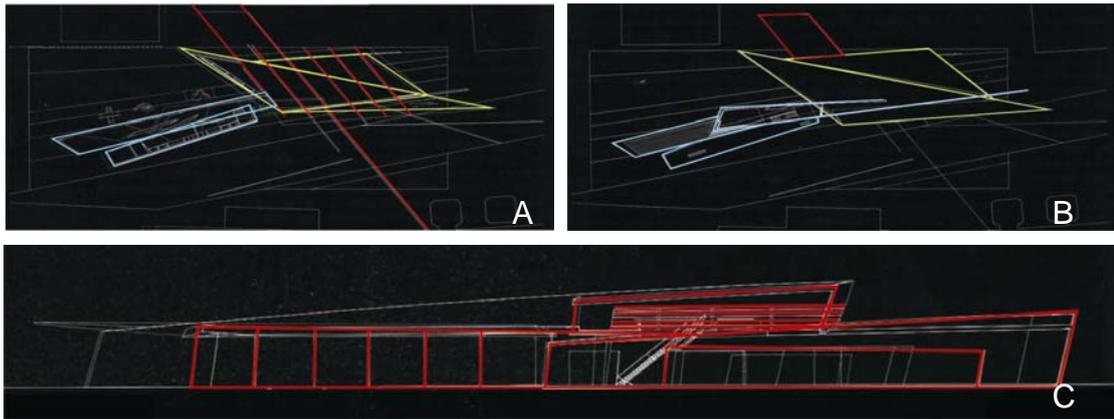


圖 3-22 維特拉消防站基本幾何圖

(2) 實虛空間

從圖 3-23 的維特拉消防站實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明以及完全透明，前者例如混凝土牆部分(圖 3-23A)；完全透明例如玻璃部分(圖 3-23C 左)。在「轉角」方面，本案例因為多塊三角形板以及在平面配置中也有許多銳角的角落空間，因此本案在「轉角」的處理少有九十度直角，形成強烈透視感(圖 3-23B)。在「開口」方面，本案例採用同一面牆同樣材質的方式處理開口，因此，不是一整面混凝土牆就是一整面玻璃。在「建築與基地之介面」方面，本案例在動線與週遭道路關係上，採用跨度極大的出簷，因此能將建築與週遭的道路中，創造出所謂的中介空間，形成半戶外場域，連結聯外動線導引至建築中。在「表層」方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 3-23 維特拉消防站實虛空間圖

(3) 運動向度

從圖 3-24 的維特拉消防站運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如一樓平面圖 3-24A 至圖 3-24C 圖以及二樓平面圖 3-24D 至圖 3-24F 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色為節點，停留空間：通道：節點的比例為 1.2: 1.1: 1，本案三種空間的比例幾乎相等。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，面的形狀基本有兩種，四邊形以及三角形，皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例為多種板塊互相卡接，因此量體感薄弱，屬於布林基本幾何。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以完整詮釋，沒有未定義之部分。

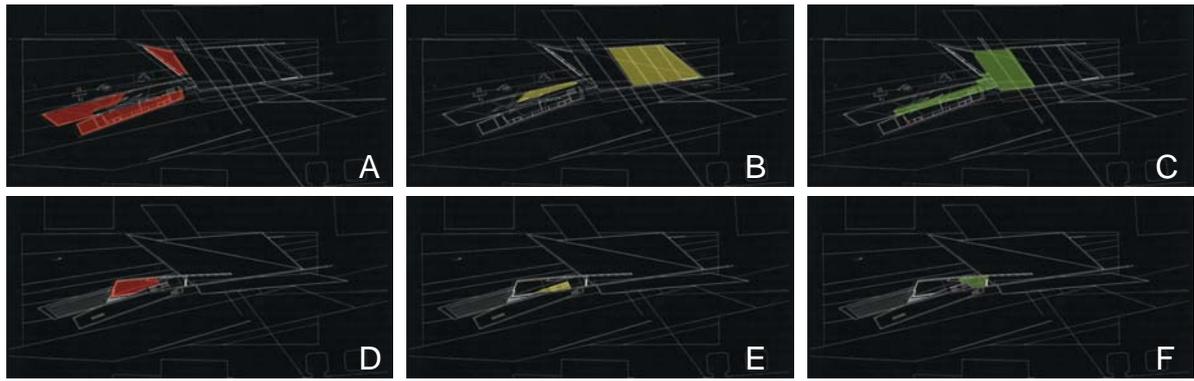


圖 3-24 維特拉消防站運動向度圖

(4)元素機能

從圖 3-25 的維特拉消防站元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 3-25A、圖 3-25B 以及圖 3-25C)。本案例之特殊之處在於「柱」的運用，「柱」細項元素因子在本案室內幾乎不被獨立存在，但在主入口附近卻有許多垂直與有角度的柱列(圖 3-25C)，強化了入口意象，且本身機能反而弱化成為裝飾的一部份。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

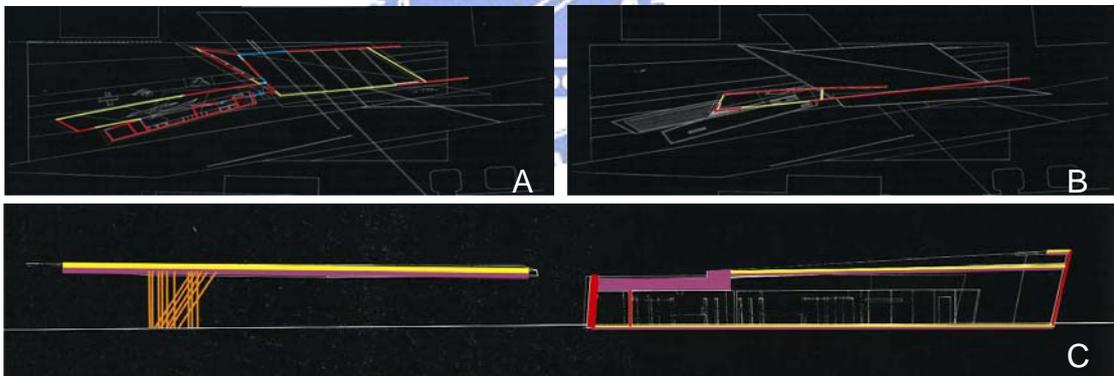


圖 3-25 維特拉消防站元素機能圖

3.2 討論與歸納

有關非數位建築案例部份，本研究選擇了五位建築師各一個案例共五個案例，包括法蘭克蓋瑞的雙子藝廊、彼得艾森曼的四號住宅、瑞姆庫哈斯的雙層露臺別墅、伊東豐雄的馬入澤之屋以及札哈哈蒂的維特拉消防站。五個建築案例透過四項建築元素因子進行分析，包括：基本幾何(basic geometry)、實虛空間(solid and void)、運動向度(movement and dimensions)以及元素機能(function)，每一項再以細項建築元素因子進行剖析，得到以下結論：

(1) 基本幾何(basic geometry)：非數位建築案例之平面以及立面多以基本幾何構成。歸納與分析此現象是由於非數位媒材的限制與機能，因此非數位建築案例的基本幾何多以矩形為主，少數案例有圓形及三角形。

以基本幾何建築元素因子歸納案例雙子藝廊，此案例之建築元素由多個基本幾何：矩形所組構排列組合而成，案例的參考線分析是由媒材的限制與機能得出，垂直水平的切割形成多個矩形。案例雙子藝廊根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例四號住宅，此案例之建築元素也同樣由多個基本幾何：矩形所組構排列而成，但不同於案例雙子藝廊的參考線，本案例參考線是由水平以及鉛直線而得出，平立面以及空間的尺度是經過建築師運用幾何造型的排列組合而得。案例四號住宅根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例雙層露臺別墅，此案例之建築元素同樣由由多個基本幾何：矩形所組構排列組合而成。本案例參考線與雙子藝廊的參考線相同，參考線由媒材的限制與機能得出，案例雙層露臺別墅根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例馬入澤之屋，此案例之建築元素由多個基本幾何：矩形以及圓形變形而成的橢圓形所組構而成，本案例參考線與雙子藝廊的參考線相同，參考線由媒材的限制與機能得出。案例馬入澤之屋根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例維特拉消防站，此案例之建築元素由基本幾何觀點有三種出發點：平行線，可以組成矩形或梯形；基本幾何三角形；變形基本幾何矩形。分析此案例的結果，參考線由媒材的限制與機能得出。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

(2) 實虛空間(solid and void)：非數位建築案例在轉角部份，面與面相接多呈九十度且介面清楚；開口皆呈現垂直水平；建築與基地之介面多採用週遭環境融合的方式進行設計。歸納與分析轉角與開口的現象是由於非數位媒材的限制與機能以及為了施工方便，因此角度多

呈現垂直水平，而若基地周遭的建築物也是以同樣的非數位設計媒材進行設計，會因為有同樣風格，產生與週遭環境融合的感覺；但是若週遭環境為自然環境，則會產生強烈對比。

以實虛空間建築元素因子歸納案例雙子藝廊，此案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明以及完全透明。在「轉角」部份，本案例皆以九十度相接。在「表層」部分，本建築案例的表層為部分封閉。在「建築與基地之介面」，是以水平垂直分割立面來呼應週遭環境。在建築物與地面之介面部分，以垂直水準於鉛垂線的手法，進行配置。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例四號住宅，此案例之建築元素在「透明度」分為三種：完全不透明、部份不透明以及完全透明。在「轉角」部分，本案例所有牆面轉角皆以九十度直角方式相接。在「表層」方面，本案例採用整面牆單一材質的方式。在「建築與基地之介面」，本案例週遭沒有連接其他建物，週遭環境皆為自然景觀，建築師採用造型為幾何形體以及純粹的顏色。在建築物與地面的介面部分，採用將建物墊高的手法，將地面加高。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例雙層露臺別墅，此案例之建築元素在「透明度」有四種：從完全透明到完全不透明共有五種材質，分別是透明玻璃、磨砂玻璃、青色玻璃、金屬夾絲玻璃以及混凝土牆面，提供不同程度的視覺穿透效果。在「開口」方面，有兩個主入口。在「建築與基地之介面」，本案例週遭環境為自然景觀，因此建築師採用人造物對比自然的方式設計造型，因此本案例造型為幾何造型。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例馬入澤之屋，此案例之建築元素在「透明度」分為三種：完全不透明、部份透明以及完全透明。在「轉角」部分，本案例所有轉角皆以九十度直角方式相接，且完全封閉。在「表層」部分，以兩種不同的「表層」處理手法，可以用來區分室內外。在「建築與基地之介面」，本案例與週遭建築採用不同的材料以及設計手法。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例維特拉消防站，此案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明以及完全透明。在「轉角」方面，本案例因為多塊三角形板以及在平面配置中也有許多銳角的角落空間，因此本案在「轉角」的處理少有九十度直角。在「開口」方面，本案例採用同一面牆同樣材質的方式處理開口。在「建築與基地之介面」方面，本案例在動線與週遭道路關係上，採用跨度極大的出簷，因此能將建築與週遭的道路中，創造出所謂的中介空間，形成半戶外場域，連結聯外動線導引至建築中。在「表層」方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

(3) 運動向度(movement and dimensions)：非數位建築案例線條多以直線構成；所有的面，

皆為平面；量體感弱，建築造型多由板片組成，因此量體碎化成多個平面。歸納與分析是由於非數位媒材的限制與機能，因此運動向度多為直線以及由直線所構成的平面，而量體感的塑造，同樣是因為非數位媒材的使用，導致於空間多由平面所構成，量體感因而減弱。

以運動向度建築元素因子歸納案例雙子藝廊，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 20: 17.2: 1，停留空間與通道的面積在一樓平面的部份幾乎相等，通道空間稍大些，兩者比例為 1: 1.15。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例四號住宅，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 1.49: 1.19: 1。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例為多種板塊互相卡接，屬於布林基本幾何，而互相卡接也使得量體碎化，因此量體感極低。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例雙層露臺別墅，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 10.3: 1.5: 1，將動線放於中間，兩旁為停留空間，仲介於動線與停留空間的部份為節點。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例馬入澤之屋，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 2.72: 1: 0。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及仍屬於基本幾何內的拋物線，除了屋頂的兩個拋物線外，其餘皆為直線。在「面」的元素分析上，皆為平面。在「量體」的元素分析上，屬於基本幾何體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例維特拉消防站，此案例停留空間：通道：節點的比例為 1.2: 1.1: 1，本案三種空間的比例幾乎相等。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，面的形狀基本有兩種，四邊形以及三角形，皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例為多種板塊互相卡接，因此量體感薄弱，屬於布林基本幾何。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

(4) 元素機能(function)：非數位建築案例之建築元素之單元清楚，易於根據各種機能拆解每一案例內之建築元素。歸納與分析是因為在非數位媒材所創造的建築元素造型清楚，建築元素隨著機能賦予其造型。

以元素機能建築元素因子歸納案例雙子藝廊、雙層露臺別墅以及馬入澤之屋，此三個非數位案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例四號住宅，此案例之特殊之處在於「牆」的運用，「柱」細項建築元素因子在本案室內不被獨立存在，有些具有「柱」機能的，實質上為「牆」經過截取之後的結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例雙層露臺別墅，此案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例馬入澤之屋，此案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例維特拉消防站，此案例之特殊之處在於「柱」的運用，「柱」細項建築元素因子在本案室內幾乎不被獨立存在，但在主入口附近卻有許多垂直與有角度的柱列(圖 3-25C)，強化了入口意象，且本身機能反而弱化成為裝飾的一部份。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



4 數位建築案例

本章針對數位建築案例進行分析。希望探討是否有因為使用的媒材不同：數位媒材與非數位媒材，而產生無法被既有的建築元素定義的建築元素，並比較這些新的建築元素與既有的、已定義的建築元素有何不同？本研究將會以五點建築元素分析因子分析五棟數位建築案例，以既有的定義分解建築案例，試圖研究既有的定義與非數位建築案例以及數位建築內的建築元素之差異，之後再將分析結果相互比對，已提出對數位建築元素的進一步解讀與論述。五點建築元素分析因子及其相關細項分別為基本幾何(basic geometry)、實虛空間 (solid and void)、運動向度(movement and dimensions)以及元素機能(function)。

4.1 數位建築分析

4.1.1 荷蘭國際辦公大樓

本數位建築案例名稱為荷蘭國際辦公大樓(Nationale-Nederlanden Office Building)，是由建築師法蘭克蓋瑞(Frank O. Gehry)所設計，基地位元於在捷克布拉格，全案於西元 1995 年完工，主要建築材料的使用包括鋼構的框架、以及自由曲面玻璃。本案例為二次世界大戰後為戰後重建計劃，機能包含書店、藝廊、多用途商店(圖 4-1)。



圖 4-1 荷蘭國際辦公大樓

(1)基本幾何

從圖 4-2 的荷蘭國際辦公大樓基本幾何圖中，可以分析出圖 3-25A、圖 3-25B、圖 3-25C、圖 3-25D 以及圖 3-25E 中，分析本案之建築元素形體之組成。無論是平面圖(圖 3-25A 以及圖 3-25B)、剖面圖(圖 3-25C 以及圖 3-25D)以及立面圖(圖 3-25E)皆有兩種顏色：由直線所組成紅色線條與自由曲線組成的綠色線條。紅色分析線除了因為基地形狀限制而在基地線上有些許角度，其餘皆為水準垂直曲線，形成多個矩形空間；綠色分析線則完全由自由曲線所構成，其自由的程度無法用「基本幾何」建築元素因子中的任何一項細項因子解釋之，特別是立面的視窗排列方式(圖 3-25E)，雖然每個視窗皆為矩形，但高低不同形成如同曲線般的效果。而在本案例中，沒有使用任何基本幾何的細項因子。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法

經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構，有無法定義之部分。

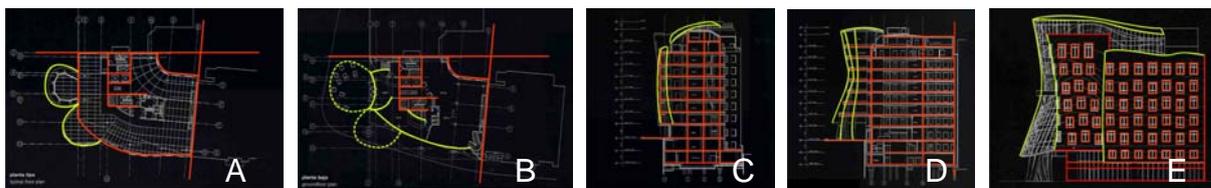


圖 4-2 荷蘭國際辦公大樓基本幾何圖

(2) 實虛空間

從圖 4-3 荷蘭國際辦公大樓實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明、完全透明，完全不透明例如混凝土預鑄牆面(圖 4-3A，牆面部份)；完全透明例如玻璃部分(圖 4-3A 窗戶部份)。在「轉角」部分，本案例在對外部份，例如陽台，轉角多以自由角度處理(圖 4-3B 綠色部分)。在「表層」部分，本案例對於表層和內部空間是兩種處理方式(圖 4-3B)，表層為自由曲面，可依據外型分為三大部分(圖 4-3C)，屬於部份開放。在「開口」方面，立面上有許多大小不一的矩形開口，高低錯落形成動態效果，在地面層的主要入口部分有許多落柱(圖 4-3D)，落柱間錯開的縫隙形成另一種入口意象，無法定義屬於何種開口。在「建築與基地之介面」，本案例地面層與其他樓層的處理方式不同(圖 4-3D 以及圖 4-3E)，在立面與周遭環境之介面的部份，本案例是採用完全不同於周遭環境的方式進行設計，因此本案例在基地環境中十分醒目。在建築物與地面之介面部分，地面層有許多落柱，從立面上塑造建築被「架高」於基地上的感覺，在動線與週遭道路關係部份，由於地面層出入口的部份佔據整個一樓，因此整個沿街面一樓部分都可視為入口。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，在開口部分有無法定義之部分。

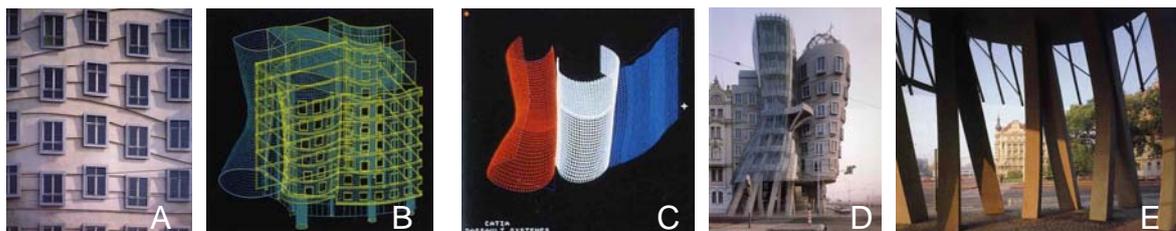


圖 4-3 荷蘭國際辦公大樓實虛空間圖

(3) 運動向度

從圖 4-4 荷蘭國際辦公大樓運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，可分為兩種區域討論：地面層(圖 4-4A、圖 4-4B 以及圖 4-4C)與其他辦公區域(圖 4-4D、圖 4-4E 以及圖 4-4F)，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色部分為節點，地面層之停留空間：通道：節點的比例為 8.11: 21.77: 1；辦公空間之停留空間：通道：節點的比例為 23.66: 6.59: 1，由此可知，地面層之部分多為動線區域，辦公區域多為停

留空間。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線，直線部分是在室內，而自由曲線位於立面。在「面」的元素分析上，自由曲面的立面帷幕牆，形成與其他沿街面簡單幾何且單由水準垂直分割的建築物不同，是曲面。在「量體」的元素分析上，本案例因為立面上有許多開口，因而減弱了量體感，屬於自由形體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

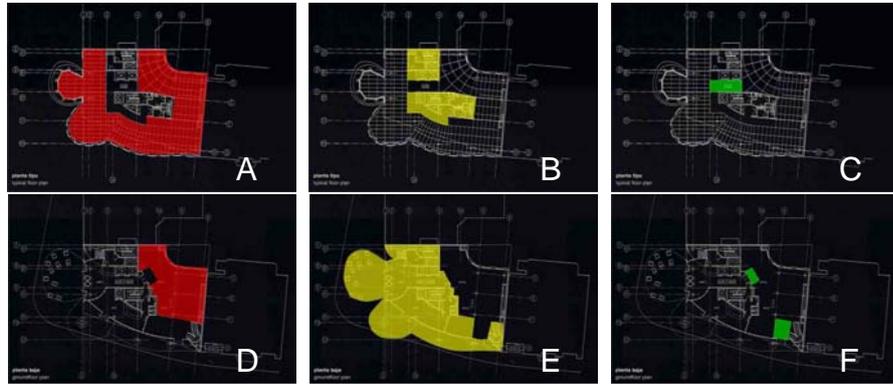


圖 4-4 荷蘭國際辦公大樓運動向度圖

(4)元素機能

從圖 4-5 荷蘭國際辦公大樓元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 4-5A、圖 4-5B 以及圖 4-5C)。本案例可區分為兩大部分，地面層以及其他樓層，其他樓層部分沒有特別的處理手法，但地面層部分有許多不規則之落柱，形成「柱」與「門」無法加以區分之結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「柱」與「門」必須再加以定義。

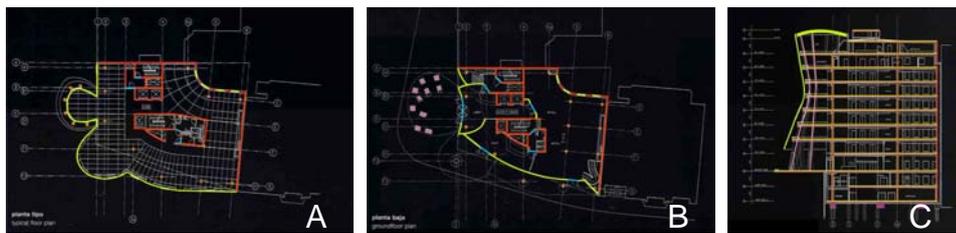


圖 4-5 荷蘭國際辦公大樓元素機能圖

4.1.2 阿朗諾夫設計和藝術中心

本數位建築案例名稱為阿朗諾夫設計和藝術中心(The Aronoff Center for Design and Art at the University of Cincinnati)，是由建築師彼得艾森曼(Peter Eisenman)所設計，基地位於於在美國俄亥俄州辛辛那提大學內，全案於西元 1996 年完工，主要訴求為擴建原本校舍，增加新機能如展覽廳、圖書館、劇場、工作室以及辦公空間(圖 4-6)。



圖 4-6 阿朗諾夫設計和藝術中心

(1)基本幾何

從圖 4-7 阿朗諾夫設計和藝術中心基本幾何圖中，可以分析出圖 4-7 阿朗諾夫設計和藝術中心基本幾何圖 4-7A 及圖 4-7B 中，分析本案之建築元素形體之組成。在平面圖(圖 4-7A)中，有兩種顏色的線條：紅色以及藍色，紅色線條為矩形經過「彎折」、「截取」以及「變形」後的自由曲線四邊形；藍色線條為原有建物之輪廓線，兩種線條都經過多次「加成」、「貫穿」以及「截取」後，經過電腦輔助設計及計算，疊出圖 4-7A 的分析線條。因此，分析的結果得知，平面圖由這兩種基本形狀疊合，線條也多為源自於此兩種原型。本案例在剖面圖(圖 4-7B)中也採用同樣的手法，經過「彎折」、「截取」以及「變形」最後再整理而成。只是因為使用上的需要，因此剖面圖除了兩種形狀的疊合(藍色以及黃色)，還加上垂直水準的紅色線條。本案例中，沒有「透視」基本幾何細項因子。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，因為本案例之設計產生方式是經由電腦輔助設計計算所得，無法用基本幾何建築元素因子分析之。

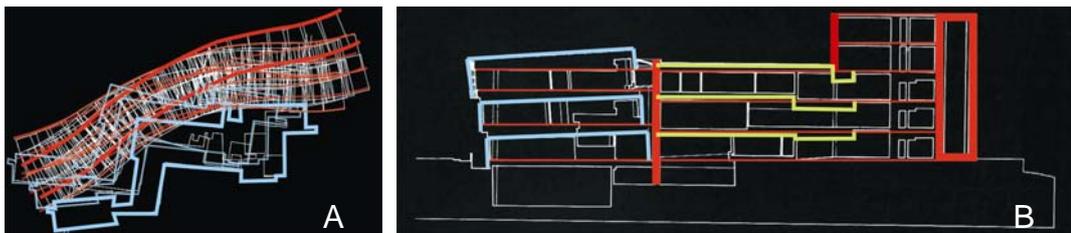


圖 4-7 阿朗諾夫設計和藝術中心基本幾何圖

(2)實虛空間

從圖 4-8 阿朗諾夫設計和藝術中心實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明、完全透明，完全不透明例如外牆(圖 4-8A，牆面部份)；完全透明例如玻璃部分(圖 4-8B，天窗部分)。在「轉角」部分，本案例處理轉角角度自由，因為是經過多種同樣圖形經過加成、貫穿以及截取後再經過電腦數學運算方式旋轉後，疊合而成。因此，轉角之角度多非九十度直角(圖 4-8A)。在「表層」方面，本案有部分室內之開口，是由牆體與牆體間的縫所產生，錯開的縫隙形成另一種開口，屬於部分封閉，因為設計手法，經過疊合之

後之結果，表層彷彿是很多層建築皮層之疊合，表層碎化成很多平面，包括顏色以及開口的處理方式(圖 4-8A)。在「開口」方面，平面因為疊合所產生的結果，經過整理後，產生建物中間的大型開口，也就是形成中庭(圖 4-8C)。在「建築與基地之介面」方面，本案例並沒有特別的運用。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 4-8 阿朗諾夫設計和藝術中心實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 4-9 阿朗諾夫設計和藝術中心運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如圖 4-9A、圖 4-9B 以及圖 4-9C 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色部分為節點，停留空間：通道：節點的比例為 1.87 : 0.47 : 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線，紅色部分為自由曲線，其餘皆為直線。在「面」的元素分析上，本案例在「面」細項元素因子皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例同樣因為碎化，形成多個量體堆集而成之量體感，因為本案例為舊校舍增建分成新舊建築兩部分，舊校舍部分屬於布林基本幾何，新建物部份屬於自由形體，每一個「量體」的特徵十分清楚。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。



圖 4-9 阿朗諾夫設計和藝術中心運動向度圖

(4)元素機能

從圖 4-10 阿朗諾夫設計和藝術中心元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 4-10A、圖 4-10B 以及圖 4-10C)。本案例在「樑」

以及「板」兩項細項元素部份，因為設計處理使用疊合的手法之故，因此有許多疊合出來，雖然有「樑」以及「板」之機能，但是厚度、形狀以及連續性皆不同於其他案子(圖 4-10B)，形成「樑」與「板」或是其他未定義之建築元素無法加以定義與區分。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「板」與「樑」必須再加以定義。

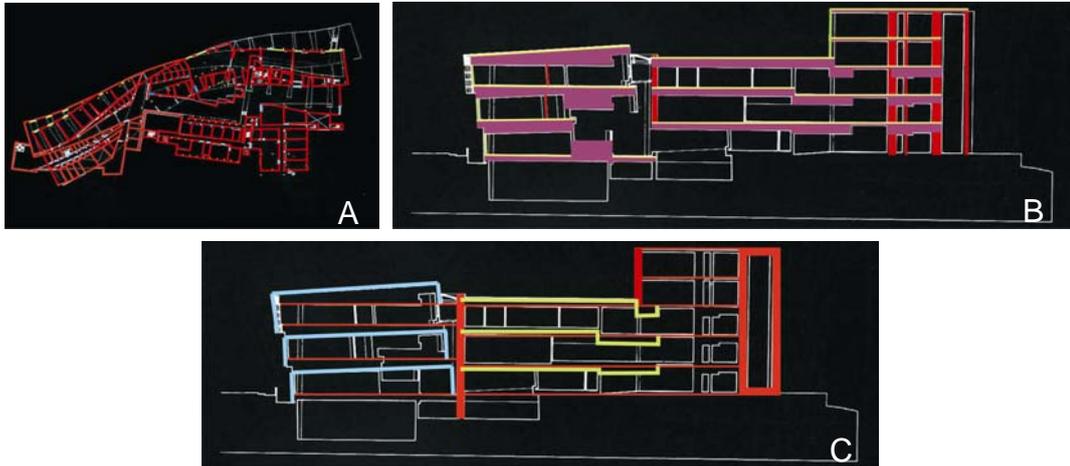


圖 4-10 阿朗諾夫設計和藝術中心元素機能圖

4.1.3 波爾圖音樂廳

本數位建築案例名稱爲波爾圖音樂廳(Casa da Musica)，是由建築師瑞姆庫哈斯(Rem Koolhaas)所設計，基地於在葡萄牙波爾圖市，全案於西元 2005 年完工，主要建築材料以混凝土爲主。建築機能以兩個大型音樂廳爲主，以數個小型音樂廳爲輔，還有餐廳以及彈性公共空間(圖 4-11)。



圖 4-11 波爾圖音樂廳

(1)基本幾何

從圖 4-12 波爾圖音樂廳基本幾何圖圖 4-12A 至圖 4-12E 中，分析本案之建築元素形體之組成。在平面圖(圖 4-12A 以及圖 4-12B)、剖面圖(圖 4-12C)以及立面圖(圖 4-12D 以及圖 4-12E)中，有三種顏色的分析線：藍色、紅色以及黃色。藍色分析線是垂直或水準於鉛垂線，此外，藍色分析線兩兩相交之角度爲九十度直角；紅色分析線爲多邊形，但限制每一邊皆爲直線；黃

色分析線為非直線線條，包括弧形或自由曲線，無法用基本幾何元素因子歸納之。對於立面上的線條，除了屋頂，本案的立面開口皆為大小不一的矩形，而屋頂的開口呈現不規則的形狀(圖 4-12E)，有矩形、梯形以及三角形。這部份配置在多邊形的牆面中是運用「貫穿」以及「透視」的手法。從立面以及剖面可以看出本案在立面上的牆非垂直於地面，這部份運用「彎折」的建築元素細項因子。在本案例中，沒有「加成」、「變形」兩種基本幾何細項因子。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構，有黃色分析線之無法定義部分。

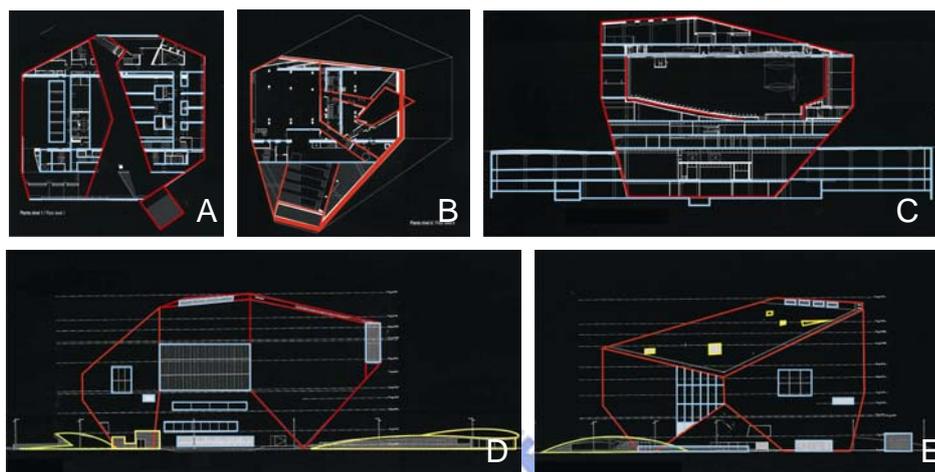


圖 4-12 波尔图音乐廳基本幾何圖

(2)實虛空間

從圖 4-13 波尔图音乐廳實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明、完全透明，完全不透明例如外牆(圖 4-13B，牆面部份)；完全透明例如玻璃部分(圖 4-13A，窗戶部分)。在「轉角」部分，本案例轉角之角度皆非九十度直角(圖 4-13A 以及圖 4-13C)，甚至在轉角處開口，將轉角特性減弱。在「開口」方面，本案有部分室內之開口，是由牆體與牆體間的縫所產生，錯開的縫隙形成另一種開口，被賦予「門」的機能(圖 4-13D)，屬於出入口。在「建築與基地之介面」，在立面與週遭環境部分，建築師採用對比的方式，由於基地位於葡萄牙古城，周圍環境有同樣年代的統一風格，因此本案在週遭環境中十分醒目。在建築物與地面的介面，本案地面層是由木材作為鋪面材料(圖 4-13A)，且地面被刻意抬高形成另一種地景(圖 4-13E)，地景下是另一個主入口，是將建築設計與地景結合。在動線與週遭道路關係部份，本案例特別之處在於醒目的造型但是出入口十分不明顯，採用地景方式將地面稍微掀開作為出入口。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

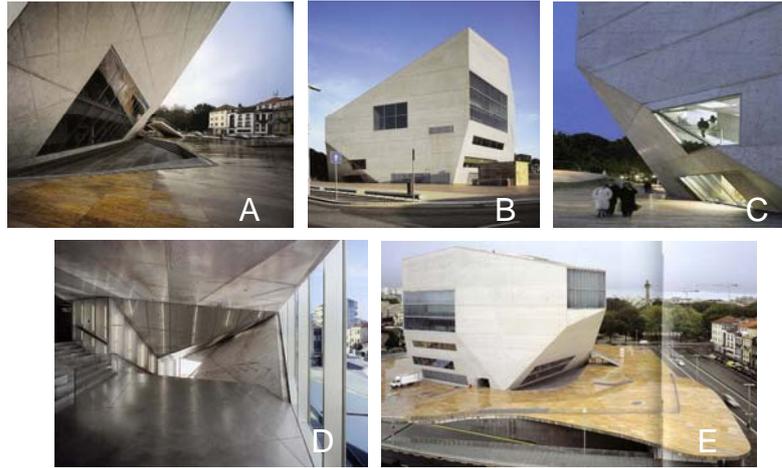


圖 4-13 波爾圖音樂廳實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 4-14 波爾圖音樂廳運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如圖 4-14A 至圖 4-14F 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色部分為節點，可分為兩種區域討論：地面層(圖 4-14A、圖 4-14B 以及圖 4-14C)與其他表演樓層(圖 4-14D、圖 4-14E 以及圖 4-14F)，地面層之停留空間：通道：節點的比例為 0.54: 1.53: 1；辦公空間之停留空間：通道：節點的比例為 0.69: 0.44: 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線，黃色部分為自由曲線，其餘皆為直線。在「面」的元素分析上，本案例在「面」細項元素因子主要是影響在地面層掀起來的開口，屬於曲面。在「量體」的元素分析上，本案例因為立面皆連貫且沒有獨立之板片，因此，所有「量體」的特徵皆十分清楚，屬於布林基本幾何。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

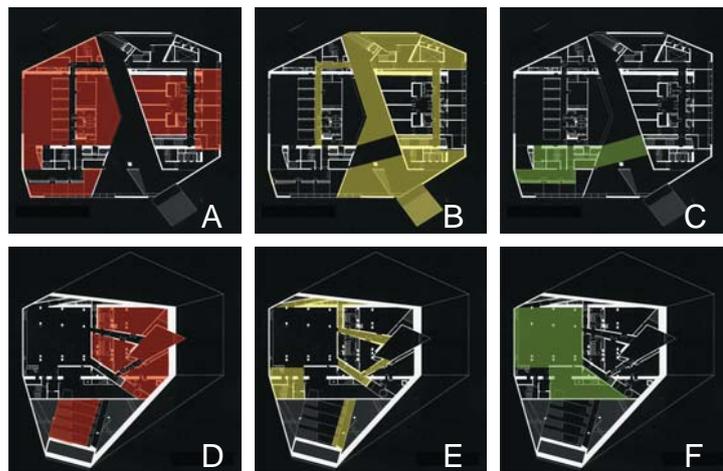


圖 4-14 波爾圖音樂廳運動向度圖

(4)元素機能

從圖 4-15 波爾圖音樂廳元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 4-15A、圖 4-15B 以及圖 4-15C)。本案例分為兩大部分，地面層以及其他樓層，其他樓層部分沒有特別的處理手法，但地面層部分有經過處理的地景，進而產生複合機能如屋頂、樓板甚至是牆面的連續性空間，形成「板」與「牆」無法加以區分之結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「板」與「牆」必須再加以定義。

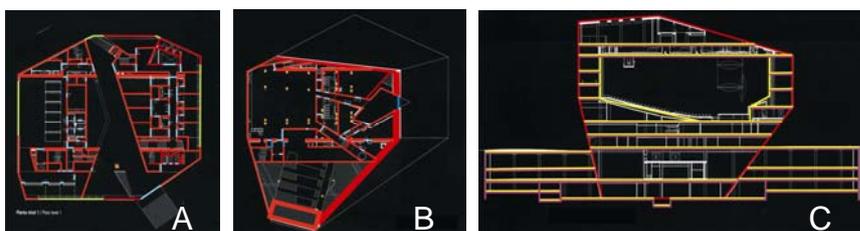


圖 4-15 波爾圖音樂廳元素機能圖

4.1.4 蛇形藝廊展示館

本數位建築案例名稱為蛇形藝廊展示館(Serpentine Gallery Pavilion 2002)，是由日籍建築師伊東豐雄(Toyo Ito)所設計，基地位元於在英國倫敦的海德公園(Hyde Park)，全案於西元 2002 年完工，主要建築材料的使用包括鋼構的框架、鋁製板材面以及玻璃。本案從造型發想階段即使用數位媒材協助設計，地面、立面以及天花的方格狀交錯圖案是利用演算法將正方形一邊轉角度一邊擴大其邊長所得出的線條，再配合結構計算而得出。館中沒有任何柱子以及牆面。本案在海德公園完工後三個月即被拆除，現重建於倫敦泰晤士河畔(Thames)(圖 4-16)。



圖 4-16 蛇形藝廊展示館

(1)基本幾何

從圖 4-17 蛇形藝廊展示館基本幾何圖圖 4-17A、圖 4-17B、圖 4-17C 以及圖 4-17D 中，分析本案之建築元素形體之組成。在平面圖圖 4-17A 以及圖 4-17B 中的紅色及藍色分析線可以看出兩種態度。紅色分析線構成矩形，與鉛垂線呈垂直水準方式，將本設計中的六個面向：

四個立面加地面與天花板規範在矩形內，因此是基本幾何構成；藍色分析線的部份，看似無秩序，實則是數位媒材演算得出的切割線條，採用「貫穿」以及「彎折」之手法，將六個面都劃上分隔線之後，再以西洋棋圖案方式決定板材與玻璃。而在本案例中，沒有使用基本幾何的「加成」、「截取」、「透視」以及「變形」之手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構，沒有未定義之部分。

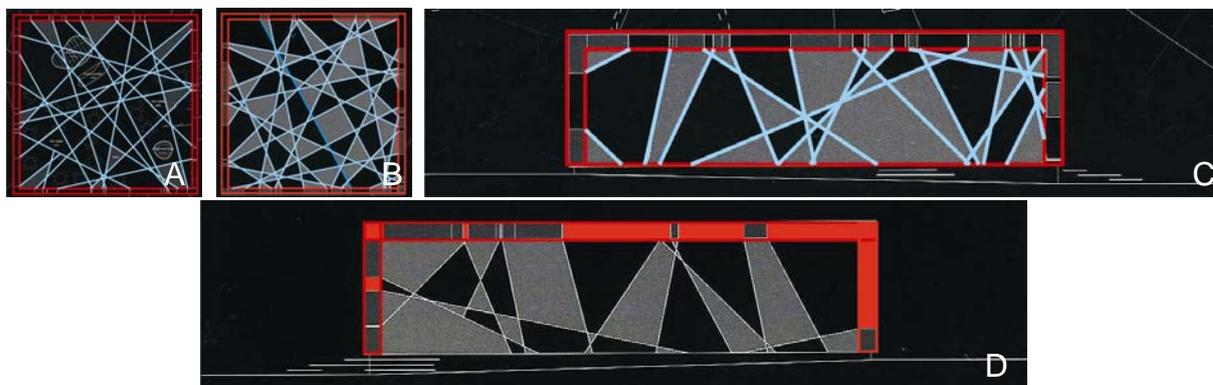


圖 4-17 蛇形藝廊展示館基本幾何圖

(2) 實虛空間

從圖 4-18 蛇形藝廊展示館實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為兩種：完全不透明以及完全透明，完全不透明例如鋁板部分(圖 4-18A)；完全透明例如玻璃部分(圖 4-18C)，可以直接看到室內空間。在「轉角」部分，本案例轉角多以玻璃做轉角處理(圖 4-18A 下方轉角部分)，因此，雖然實際上是矩形外型，但是卻感覺立面是一整體而非清楚定義為四個立面。在「表層」部分，本案例主要表現手法即為表層，除了地面外的五個面有相同的處理方式：鋼構的板交錯成主結構(圖 4-18B)，再配合鋁板以及玻璃交錯封住立面上的開口，因為本設計是在戶外之故，因此表層有內外兩面，屬於部分封閉。在「開口」方面，立面上有許多大小不一的三角形或四邊形開口，其中最接近地面且接近轉角未使用鋁板以及玻璃的開口，裝設簡單的金屬坡道以連結地面與室內，即被賦予「門」的機能，無法清楚區分出入口或是視窗。在「建築與基地之介面」，在立面與週遭環境之部分，本案例採用對比手法，用人造的幾何線條對比公園內的自然環境。在建築物與地面介面的部份，本案例用鋼材將設計架高，並未直接接觸到地面，因而塑造建築被「放置」在基地上的感覺。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，對於開口部分有無法清楚定義之部分。

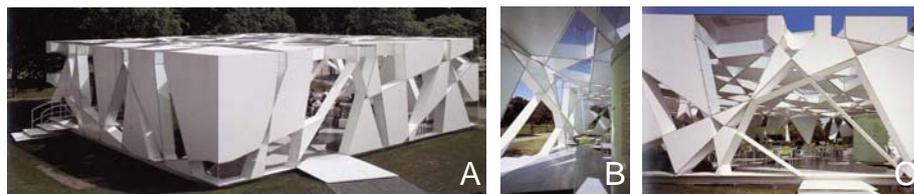


圖 4-18 蛇形藝廊展示館實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 4-19 蛇形藝廊展示館運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如圖 4-19A、圖 4-19B 以及圖 4-19C 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色部分為節點，停留空間：通道：節點的比例為 4.82: 0.04: 1，幾乎沒有動線區域，整個建築空間都是可以停留與節點空間。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，六個面向：四個立面加地面與天花板皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例沒有量體的存在，皆由面與面組構而成，因此屬於布林基本幾何。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

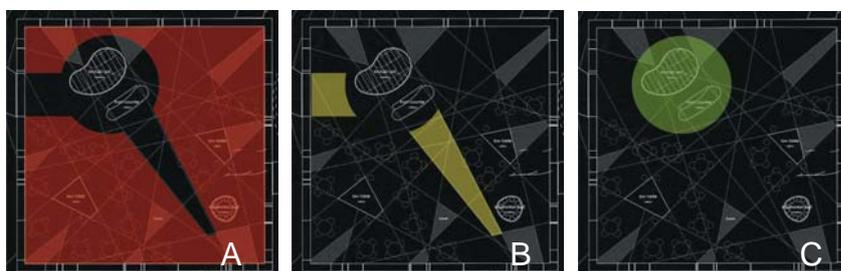


圖 4-19 蛇形藝廊展示館運動向度圖

(4)元素機能

從圖 4-20 蛇形藝廊展示館元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 4-20A 以及圖 4-20B)。本案例因為結構與設計方式，許多細項皆不存在，例如「柱」以及「樑」，另外關於「門」的部份，是因為有坡道的輔助標示(圖 4-20A)，否則無法辨別「門」與「窗」之細項因子。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，沒有未定義之部分。

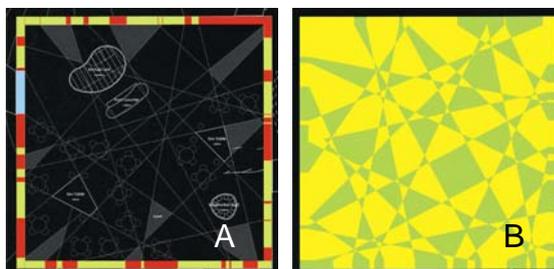


圖 4-20 蛇形藝廊展示館元素機能圖

4.1.5 奧德羅普格園林博物館擴建案

本數位建築案例名稱爲奧德羅普格園林博物館擴建案(Ordrupgaard Museum Extension)，是由伊拉克裔建築師札哈哈蒂(Zaha Hadid)，在丹麥的哥本哈根所建的博物館擴建案，全案於西元 2005 年完工，主要建築材料的使用包括在當地取得並製成材料的黑色混凝土以及鋼骨框架與玻璃。原奧德羅普格園林博物館未增建的部分建於 1918 年，自 1953 年起便從住宅變更為博物館，舊建物充滿丹麥當地風格。奧德羅普格園林博物館擴建案之主要機能包括兩間展覽廳、門廳、販賣部、多功能演講廳以及咖啡店(圖 4-21)。



圖 4-21 奧德羅普格園林博物館擴建案

(1)基本幾何

從圖 4-22 奧德羅普格園林博物館擴建案基本幾何圖圖 4-22A、圖 4-22B 以及圖 4-22C 中，分析本案之建築元素形體之組成。在平面圖圖 4-22A 以及圖 4-22B 的紅色分析線可以看出兩種軸向，但兩種軸向所構成之建築元素基本上並無相交。在分析立面圖 4-22C 中，可以看出立面的切割分成兩種軸向，在圖 4-22C 的左側一開始爲垂直水準之分割，到了右側，使用建築元素因子「透視」將垂直的分割轉爲六十度角。而在本案例中，沒有使用基本幾何的「加成」、「貫穿」、「彎折」、「截取」以及「變形」之手法。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構。

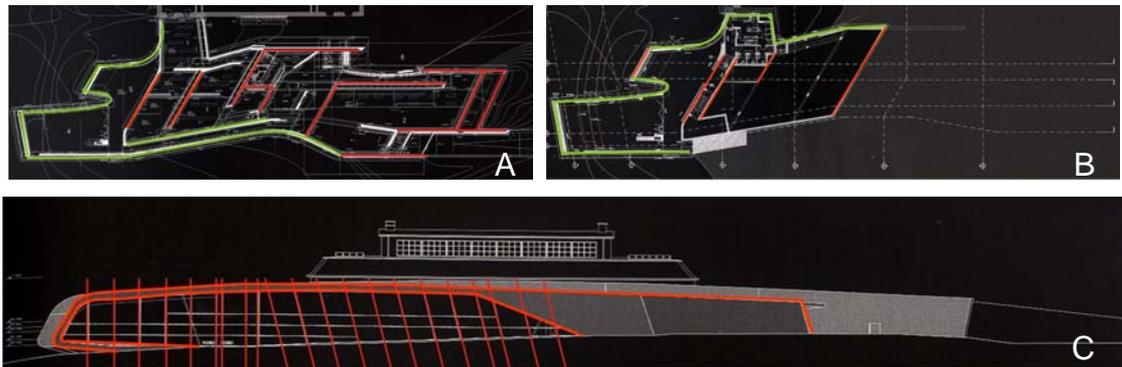


圖 4-22 奧德羅普格園林博物館擴建案基本幾何圖

(2)實虛空間

從圖 4-23 奧德羅普格園林博物館擴建案實虛空間圖中，可以分析出本案例之建築元素在「透明度」分為三種：完全不透明、部份透明以及完全透明，完全不透明例如混凝土部分(圖 4-23A)；部份透明例如反射玻璃(圖 4-23B)，可以從玻璃中看到建築週遭的景象；完全透明例如玻璃部分(圖 4-23C)，可以直接看到室內空間。在「轉角」部分，本案例轉角多以自由角度方式相接(圖 4-23D)，且有一個軸向視線可以穿透，混凝土造成一種連續的皮層效果(圖 4-23A 以及圖 4-23C)。在「開口」方面，在兩道連續的牆面中間錯開一個縫隙 (圖 4-23E)成爲「門」的機能。在「建築與基地之介面」，本案例採用特殊灌模的手法，將模板懸空於地面，因而塑造建築被「放置」在基地上的感覺。在「表層」方面，本案例並沒有特別的運用，歸類於部份封閉。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

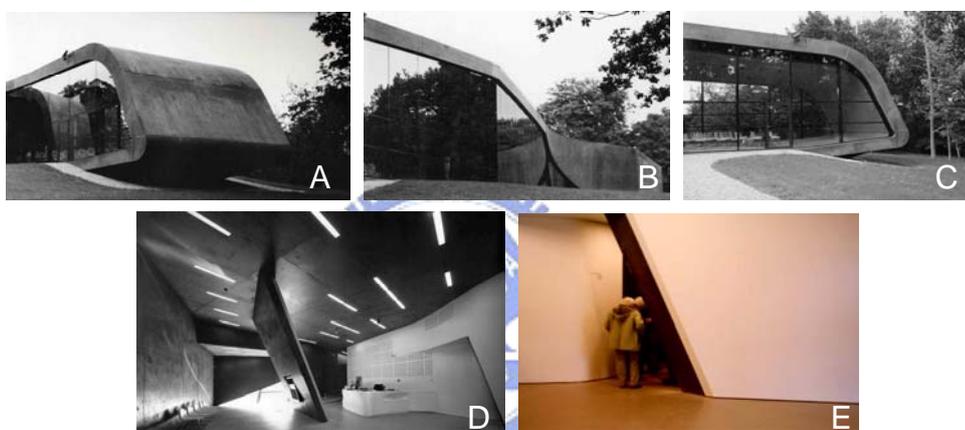


圖 4-23 奧德羅普格園林博物館擴建案實虛空間圖

(3)運動向度

從圖 4-24 奧德羅普格園林博物館擴建案運動向度圖中，可以分析出本案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，如一樓平面圖圖 4-24A 至圖 4-24C 以及二樓平面圖圖 4-24D 至圖 4-24F 所示，紅色部分是停留空間，黃色部份是通道，綠色部分爲節點，停留空間：通道：節點的比例爲 3.22: 2.26: 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線，除了平面的兩個軸向爲直線外，其餘皆爲自由曲線。在「面」的元素分析上，在建築物立面爲曲面，另外室內空間有非垂直於地面之牆面。在「量體」的元素分析上，屬於自由形體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

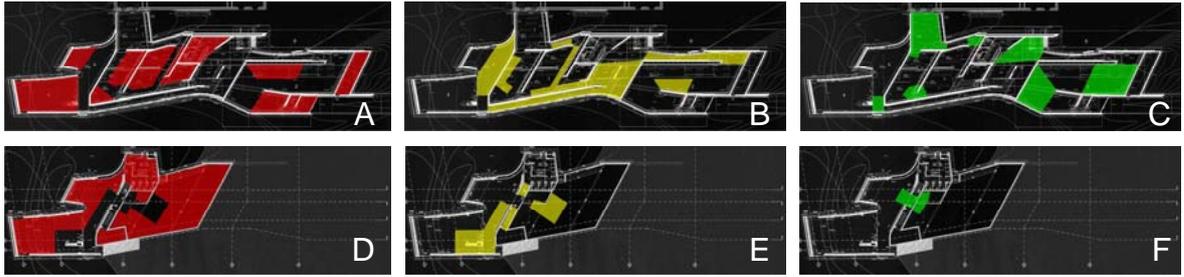


圖 4-24 奧德羅普格園林博物館擴建案運動向度圖

(4)元素機能

從圖 4-25 奧德羅普格園林博物館擴建案元素機能圖中，可以分析出本案例在元素機能建築因子中，不同建築元素因子細項給予不同的顏色標記：「門」為藍色、「窗」為綠色、「柱」為橘色、「樑」為紫色、「板」為黃色、「牆」為紅色(圖 4-25A、圖 4-25B 以及圖 4-25C)。但有未符合定義之部分，例如圖 4-25C 綠色部分，無法判定是牆或是板，另外如圖 4-23E 部分，無法判定是牆或是門。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，有無法判定之建築機能，因此無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構。

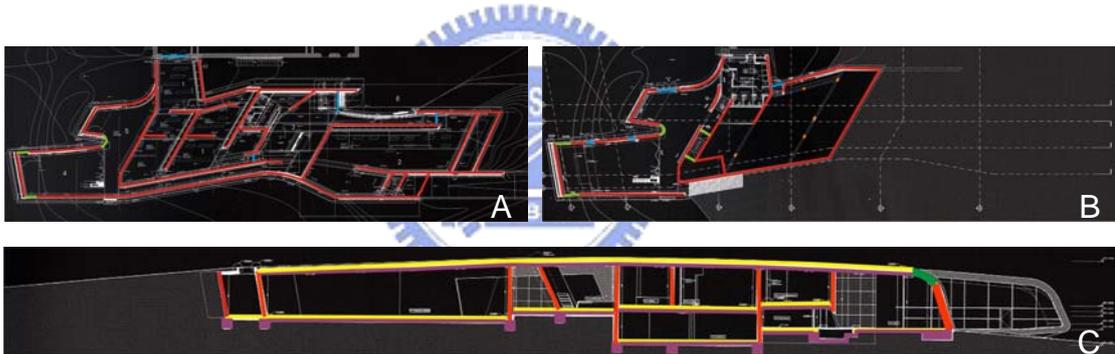


圖 4-25 奧德羅普格園林博物館擴建案元素機能圖

4.2 討論與歸納

有關數位建築案例部份，本研究選擇了五位建築師各一個案例共五個案例，包括法蘭克蓋瑞的荷蘭國際辦公大樓、彼得艾森曼的阿朗諾夫設計和藝術中心、瑞姆庫哈斯的波爾圖音樂廳、伊東豐雄的蛇形藝廊展示館以及札哈哈蒂的奧德羅普格園林博物館擴建案。

五個建築案例透過四項建築元素因子進行分析，包括：基本幾何(basic geometry)、實虛空間(solid and void)、運動向度(movement and dimensions)以及元素機能(function)，每一項再以細項建築元素因子進行剖析，得到以下結論：

(1) 基本幾何(basic geometry)：數位建築案例難以用二度空間圖說解釋清楚，例如平面及立面；平面以及立面多以自由曲線及自由形狀構成；數位案例難以用基本幾何拆解。歸納與分

析此現象是由於數位媒材在進行設計創作時的自由度高，不像非數位媒材受到限制，因此，建築師在進行創作時，也得以使用自由曲線以及自由形狀進行創作。同時，由於空間構成以自由曲線以及自由形狀為主的緣故，因此，數位建築案例少有基本幾何建築元素因子。

以基本幾何建築元素因子歸納案例荷蘭國際辦公大樓，此案例有兩種線條：直線以及自由曲線。直線除了因為基地形狀限制而在基地線上有些許角度，其餘皆為水準垂直曲線，形成多個矩形空間，另外則是由自由曲線所構成，其自由的程度無法用「基本幾何」建築元素因子中的任何一項細項因子解釋之。此案例中，沒有使用任何基本幾何的細項因子。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構。

歸納案例阿朗諾夫設計和藝術中心，此案例有兩種線條：一種為矩形經過變形後的自由曲線四邊形，另一種為原有建物之輪廓線，兩種線條都經過電腦輔助設計及計算，疊出空間平面與立面的最後結果。平面圖由這兩種基本形狀疊合，線條也多為源自於此兩種原型。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，因為本案例之設計產生方式是經由電腦輔助設計計算所得，無法用基本幾何建築元素因子分析之。

歸納案例波爾圖音樂廳，此案例之建築元素形體之組成。有三種線條。第一種，垂直或水準於鉛垂線，且兩兩相交之角度為九十度直角；第二種為多邊形，但限制每一邊皆為直線；第三種為非直線線條，包括弧形或自由曲線，無法用基本幾何元素因子歸納之。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構，有無法定義部分。

歸納案例蛇形藝廊展示館，此案例有兩種線條，第一種分析線構成矩形，與鉛垂線呈垂直水準方式，是基本幾何構成；第二種分析線的部份，看似無秩序，實則是數位媒材演算得出的切割線條。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，可以經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構，沒有未定義之部分。

歸納案例奧德羅普格園林博物館擴建案，此案例之建築元素形體之組成可以看出兩種軸向，但兩種軸向所構成之建築元素基本上並無相交。一開始為垂直水準之分割，到了右側，將垂直的分割轉為六十度角。本案例根據基本幾何建築元素因子分析的結果，無法經由「基本幾何」建築因子將本案例完整解構。

(2) 實虛空間(solid and void)：數位建築案例有關轉角部份，面與面相接介面不清楚，相界面或邊緣呈現多種角度；數位案例表層為一不可切割之整體；開口位置自由且機能無法以既有的開口定義定義之；室內與室外空間界定不清楚，建築與基地介面改變，建築與基地之介面多採用突顯於週遭環境以對比的方式進行設計。歸納與分析是由於數位媒材的打破非數位媒材的限制，因此角度可呈現自由角度，而基地周遭的建築物多為非數位建築案例，與數位建築案例相比風格不同，建築元素也不同，因此產生與週遭環境強烈對比。

以實虛空間建築元素因子歸納案例荷蘭國際辦公大樓，此案例之建築元素在「透明度」分爲兩種：完全不透明、完全透明。在「轉角」部分，本案例轉角多以自由角度處理。在「表層」部分，本案例表層爲自由曲面。在「開口」方面，特別之處在於在地面層的主要入口部分有許多落柱，落柱間錯開的縫隙形成另一種入口意象，無法定義屬於何種開口。在「建築與基地之介面」，本案例地面層與其他樓層的處理方式不同，在立面與週遭環境之介面的部份，本案例是採用完全不同於週遭環境的方式進行設計，因此本案例在基地環境中十分醒目。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，在開口部分有無法定義之部分。

歸納案例阿朗諾夫設計和藝術中心，此案例之建築元素在「透明度」分爲兩種：完全不透明、完全透明。在「轉角」部分，本案例處理轉角角度自由，經過多種同樣圖形經過電腦數學運算方式旋轉、疊合而成。在「表層」方面，表層彷彿是很多層建築皮層之疊合，表層碎化成很多平面。在「開口」方面，平面因爲疊合所產生的結果，經過整理後，產生建物中間的大型開口，形成中庭。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例波爾圖音樂廳，此案例之建築元素在「透明度」分爲兩種：完全不透明、完全透明。在「轉角」部分，本案例轉角之角度皆非九十度直角，甚至在轉角處開口，將轉角特性減弱。在「開口」方面，本案有部分室內之開口，是由牆體與牆體間的縫所產生，錯開的縫隙形成另一種開口，被賦予「門」的機能。在「建築與基地之介面」，在立面與週遭環境部分，建築師採用對比的方式，本案在週遭環境中十分醒目。在「建築物與地面的介面」，本案例特別之處在於採用地景方式將地表掀開作爲出入口。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例蛇形藝廊展示館，此案例之建築元素在「透明度」分爲兩種：完全不透明以及完全透明。在「轉角」部分，本案例轉角多以玻璃做轉角處理。在「表層」部分，以鋼構的板交錯成主結構，再配合鋁板以及玻璃交錯封住立面上的開口。在「開口」方面，立面上有許多大小不一的三角形或四邊形開口，其中最接近地面且接近轉角未使用鋁板以及玻璃的開口，裝設簡單的金屬坡道以連結地面與室內，即被賦予「門」的機能。在「建築與基地之介面」，在立面與週遭環境之部分，本案例採用對比手法，用人造的幾何線條對比公園內的自然環境。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，無法將本案例完整詮釋，對於開口部分有無法清楚定義之部分。

歸納案例奧德羅普格園林博物館擴建案，此案例之建築元素在「透明度」分爲三種：完全不透明、部份透明以及完全透明。在「轉角」部分，本案例轉角多以自由角度方式相接。在「開口」方面，在兩道連續的牆面中間錯開一個縫隙成爲「門」的機能。在「建築與基地之介面」，本案例採用特殊灌模的手法，將模板懸空於地面。本案例根據實虛空間建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

(3) 運動向度(movement and dimensions)：數位建築案例線條多為自由曲線；面多為自由曲面。也就是說，若面存在於幾何空間座標中，三個向度皆為變數；量體感強，建築物造型似量體堆疊或量體切割而成。歸納與分析是由於數位媒材的打破非數位媒材之限制，因此運動向度多使用曲線以及曲面，而量體感的塑造，分析是因為數位模型的使用，相較於非數位媒材，例如實體模型，更容易做造型上的編修，因此空間不必受限於由平面所構成，量體感也因此彰顯。

以運動向度建築元素因子歸納案例荷蘭國際辦公大樓，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，可分為兩種區域討論：地面層與其他辦公區域。地面層之停留空間：通道：節點的比例為 8.11:21.77: 1；辦公空間之停留空間：通道：節點的比例為 23.66:6.59: 1，由此可知，地面層之部分多為動線區域，辦公區域多為停留空間。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線。在「面」的元素分析上，自由曲面的立面帷幕牆為曲面。在「量體」的元素分析上，屬於自由形體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例阿朗諾夫設計和藝術中心，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 1.87 :0.47: 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線。在「面」的元素分析上，本案例在「面」細項元素因子皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例同樣因為碎化，形成多個量體堆集而成之量體感，因為本案例為舊校舍增建分成新舊建築兩部分，舊校舍部分屬於布林基本幾何，新建物部份屬於自由形體，每一個「量體」的特徵十分清楚。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例波爾圖音樂廳，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，可分為兩種區域討論：地面層與其他表演樓層，地面層之停留空間：通道：節點的比例為 0.54: 1.53: 1；辦公空間之停留空間：通道：節點的比例為 0.69: 0.44: 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線，黃色部分為自由曲線，其餘皆為直線。在「面」的元素分析上，本案例在「面」細項元素因子主要是影響在地面層掀起來的開口，屬於曲面。在「量體」的元素分析上，本案例因為立面皆連貫且沒有獨立之板片，因此量體感強烈。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例蛇形藝廊展示館，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 4.82: 0.04: 1，幾乎沒有動線區域，整個建築空間都是可以停留與節點空間。在「線」的元素分析上面，本案例中所有線條皆為直線。在「面」的元素分析上，六個面向皆為平面。在「量體」的元素分析上，本案例沒有量體的存在，皆由面與面組構而成，因此屬於布林基本幾何。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

歸納案例奧德羅普格園林博物館擴建案，此案例在「停留空間」、「通道」以及「節點」細項建築元素因子上，停留空間：通道：節點的比例為 3.22: 2.26: 1。在「線」的元素分析上面，可分為兩種：直線以及自由曲線。在「面」的元素分析上，在建築物立面為曲面，另外室內空間有非垂直於地面之牆面。在「量體」的元素分析上，量體感強烈，屬於自由形體。本案例根據運動向度建築元素因子分析的結果，可以將本案例完整詮釋，沒有未定義之部分。

(4) 元素機能(function)：數位建築案例之建築元素單元因為機能多複合以及造型不受限制，因此，無法根據各種機能拆解每一案例內之建築元素。前者例如樑及板與牆之複合體，後者例如門與牆之錯縫，以上皆無法以傳統建築元素定義定義之。歸納與分析是因為在數位媒材所創造的建築元素造型自由，因此，雖然建築元素的機能仍然存在，但多了新的可能。

以元素機能建築元素因子歸納案例荷蘭國際辦公大樓，此案例在元素機能建築因子中，可區分為兩大部分，地面層以及其他樓層，地面層部分有許多不規則之落柱，形成「柱」與「門」無法加以區分之結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「柱」與「門」必須再加以定義。

歸納案例阿朗諾夫設計和藝術中心，此案例在元素機能建築因子中，因為設計處理使用疊合的手法之故，因此有許多疊合出來，雖然有「樑」以及「板」之機能，但是厚度、形狀以及連續性皆不同於其他案子，形成「樑」與「板」或是其他未定義之建築元素無法加以定義與區分。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「板」與「樑」必須再加以定義。

歸納案例波爾圖音樂廳，此案例在元素機能建築因子中，分為兩大部分，地面層以及其他樓層，地面層部分有經過處理的地景，進而產生複合機能如屋頂、樓板甚至是牆面的連續性空間，形成「板」與「牆」無法加以區分之結果。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，關於「板」與「牆」必須再加以定義。

歸納案例蛇形藝廊展示館，此案例因為結構與設計方式，許多細項皆不存在，例如「柱」以及「樑」，另外關於「門」的部份，是因為有坡道的輔助標示，否則無法辨別「門」與「窗」之細項因子。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，可以經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構，沒有未定義之部分。

歸納案例奧德羅普格園林博物館擴建案，此案例在元素機能建築因子中，有未符合定義之部分，例如無法判定機能是牆或是板，以及牆或是門。本案例根據元素機能建築元素因子分析的結果，有無法判定之建築機能，因此無法經由「元素機能」建築因子將本案例完整解構。

5 結論

5.1 媒材影響之建築元素之異同

本研究針對問題：「使用不同的媒材，例如：數位媒材與非數位媒材，對建築元素有何影響？是否因此產生無法歸納於既有建築元素定義的新建築元素？比較未定義或無法定義的新建築元素與既有的、已定義的建築元素有何異同？」透過前述討論與歸納發現有幾點共同處，包括實虛空間建築元素因子與運動向度建築元素因子，前者包括其細項因子：透明度，後者包括其細項因子：停留空間、通道以及節點，其相關細項說明如表 5-1 所示。

建築元素分析因子	不受媒材影響之建築元素共同處
基本幾何 (basic geometry)	無
實虛空間 (solid and void)	1. 透明度
運動向度 (movement and dimensions)	1. 停留空間 2. 通道 3. 節點
元素機能 (function)	無

表 5-1 不受媒材影響之建築元素共同處

透過前述討論與歸納發現有幾點差異處，五項建築元素因子皆包含在內。在基本幾何建築元素因子方面：非數位建築案例可以以二度空間建築圖面清楚解釋建築；數位建築案例則無法清楚解釋，需要靠三度空間模型輔助說明。非數位建築案例多以基本幾何構成；數位建築案例難以用基本幾何拆解。非數位建築案例以矩形為主，少數案例有圓形及三角形；數位建築案例多以自由曲線構成，若為直線則以自由角度相交。

在實虛空間建築元素因子方面：非數位建築案例面與面相接介面清楚；數位建築案例則面與面相接介面不清楚。非數位建築案例面與面相接多呈九十度相接；數位建築案例面與面相接呈多種角度，部分案例表層為一整體，沒有所謂轉角介面。另外，數位建築案例的建築與基地介面改變。

在運動向度建築元素因子方面：非數位建築案例多以直線構成；數位建築案例線條多為自由曲線。非數位建築案例表面為平面；數位建築案例表面多為曲面。非數位建築案例量體感弱；數位建築案例量體感強。

在元素機能建築元素因子方面：非數位建築案例建築元素單元清楚；數位建築案例建築元素單元不清楚。非數位建築案例根據機能可完整拆解建築；數位建築案例無法根據各種機能拆解 每一案例內之建築元素。如表 5-1 所示。

建築元素分析因子	受媒材影響之建築元素差異處	
	非數位媒材之案例	數位媒材之案例
基本幾何 (basic geometry)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 二度空間建築圖面可以清楚解釋建築 2. 多以基本幾何構成 3. 以矩形為主，少數案例有圓形及三角形 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 二度空間建築圖面無法清楚解釋建築，需配合三度空間模型 2. 數位案例難以用基本幾何拆解 3. 多以自由曲線構成，若為直線則以自由角度相交
實虛空間 (solid and void)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 面與面相接介面清楚 2. 面與面相接多呈九十度相接 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 面與面相接介面不清楚 2. 面與面相接呈多種角度，部分案例表層為一整體，沒有所謂轉角介面 3. 建築與基地介面改變
運動向度 (movement and dimensions)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多以直線構成 2. 表面為平面 3. 量體感弱 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 線條多為自由曲線 2. 表面多為曲面 3. 量體感強
元素機能 (function)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建築元素單元清楚 2. 根據機能可完整拆解建築 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建築元素單元不清楚 2. 無法根據各種機能拆解每一案例內之建築元素

表 5-2 受媒材影響之建築元素差異處

針對基本幾何建築元素部分，在非數位建築案例以及數位建築案例中，沒有任何相同之處。本研究推測這是因為數位建築元素不受非數位媒材建築因子的限制。基本幾何元素產生的根本原因源自三個基本幾何原型：圓形、四邊形以及三角形。這三種造型之產生有其原因，例如受到非數位媒材的限制、方便複製以及容易傳遞。非數位媒材的限制，例如尺與圓規，繪製而成的建築圖面必定限定為尺產生的直線(包括其所產生的四邊形以及三角形)以及圓規所產生的圓形；方便複製是指以傳統建築施工方式，若需要複製多張圖面輔助施工，在幾何平面上要複製一條直線(包括其所產生的四邊形以及三角形)只需要兩點座標即可，要複製圓形需要圓心座標以及半徑即可，因此得證，基本幾何原型方便複製。也因為如此，在非數位媒材輔助建築設計的時代，根據非數位媒材的限制以及方便複製和容易傳遞的原因，非數位建築案例皆以幾何原型

作為建築元素。但是，在數位媒材輔助建築設計的當代，非數位媒材的限制已被解除，現今建築師所使用的軟體，已經能很自由且方便的繪製出各種建築師想要的點、線、面以及體，不再受限。因此，數位建築案例設計不需再以幾何原型作為必要建築元素；此外，當代數位科技發達，建築圖面可轉化成數位檔案進行複製和傳遞，因此，無論何種設計皆得以方便地複製和傳遞，更不用在受限於非數位媒材的限制。

針對實虛空間建築元素部分，相同處只有透明度，建築設計的透明度是根據建築材料決定，因此不受媒材的限制。而實虛空間建築元素因為媒材產生的相異處有四點，第一點：面與面相接介面不清楚與第二點：面與面相接呈多種角度，是以「轉角」以及「表層」建築元素細項因子分析得出。因為數位建築元素所使用的媒材，是在數位三度空間進行建築設計，不必限定以二度空間平面表達。在「轉角」以及「表層」方面便可以以一體成形的造型取代平面卡接式的轉角以及皮層，因此就沒有所謂面與面的相接面。另外，在以數位媒材進行設計思考時，空間的向度全然解放，不再因為前述提到的方便複製和傳遞等原因而將角度限制在特殊角度，例如九十度、四十五度、三十度以及六十度，對於數位檔案的複製和傳遞而言，所有的角度都是一樣的，因此，面與面相接的角度也隨之開放，呈現多種角度。關於第三點：建築與基地介面改變，非數位媒材的案例顯示，對於建築與基地的介面，都將建築與基地分為兩件事來思考，無論是建築物埋入地面、緊貼地面或是建築托高，都是在思考建築與基地間的關係；而數位建築案例則有不同的切入點，分析數位建築案的結果，數位建築案建築與基地視為一體。

針對運動向度建築元素部分，相同處有三：停留空間、通道以及節點，這三個建築元素主要是根據建築機能，不同的建築機能，例如美術館、學校、餐廳或是住宅有機能上對於停留空間、通道空間以及節點空間的需要以及限制，因此，設計媒材影響有限。關於運動向度建築元素在不同媒材產生的相異處有三點：線條多為自由曲線、表面多為三度空間曲面以及量體感強，關於前兩點線條多為自由曲線、表面多為三度空間曲面，也是因為數位媒材解除了非數位媒材的限制，而且，數位媒材包含多種數位塑模軟體，可以輕易經由參數或參考點對數位建築模型進行三度空間的編輯，不再受限於二度空間的建築設計與表現媒材，因此，形成數位案例線條多為自由曲線且表面多為三度空間曲面的結果。關於第三點：量體感強，非數位建築案例多採融入週遭建物與環境的方式，而數位建築案多自明性強，推測是因為數位建築案例因為使用數位媒材的關係自成一格，形成數位風格，因此和週遭環境相較之下顯得突出，又因為前述提到數位媒材在表層部分不同於非數位媒材案例四向立面的概念，表層多為一整體，因此量體的感覺便因此增強。

針對元素機能建築元素部分，相異處有二：建築元素單元不清楚與無法根據各種機能拆解案例內之建築元素。會造成這個原因的部份是因為原先所採用的建築元素定義便是單一機能，而現今數位媒材所設計出的數位建築在設計的過程中，建築機能採用複合方式或是不可分割方式，也就是說，會出現既是牆體又是樓板的建築元素；另外，數位建築案例經過分析後，發現數位建築師在以數位媒材進行設計思考的過程中，並不受原先定義的建築元素定義限制，而試圖以功能導向完成設計。換句話說，建築中只需要應用的功能被滿足即可，因而產生許多複合

機能建築元素。

5.2 數位建築元素

從案例分析的結果得知，數位建築案例應用數位媒材不但可以運用非數位媒材的既有建築元素，更可以創造非數位媒材所無法產生或者先前未定義過之建築元素。以點、線、面以及體為建築元素為例，非數位媒材的點、線、面以及體，除了點元素以外，其他皆由直線構成；但是在數位媒材所形塑的點線面體，跳脫非數位建築媒材的限制，利用數位媒材本身的技術創造出全自由的空間向度，這觀點反應在線建築元素即為自由曲線，反應在面建築元素即為三度空間自由曲面，反應在體建築元素即為自由形體。在以三度空間自由曲面為例，自由曲面的造型自由度遠大於非數位媒材的平面，這是因為自由曲面在數位三度空間建模軟體中操作時，採用了不同於非數位媒材的編輯系統，例如 NURBS 座標系統，因此，面建築元素造型因此更圓滑且自由。因此，數位媒材對於建築元素造型的自由度遠大於非數位媒材。

同時，本研究從分析中找出無法歸納於既有建築元素定義的單元，本研究稱之為：數位建築元素。數位建築元素包括以下幾種：連續曲面建築元素、複合機能建築元素以及錯縫式開口建築元素。

(1) 自由曲面建築元素：

連續曲面是根據既有建築元素因子中的基本幾何、實虛空間兩項建築元素因子皆無法歸納，本研究將其歸納及加以定義。從案例分析中觀察出，數位建築案例中有關於造型部分，多為自由曲面而非既有建築元素的基本幾何構成，甚至沒有所謂實虛空間中轉角部份，而成為一整體的連續性曲面。例如本研究數位建築案例中的荷蘭國際辦公大樓與奧德羅普格園林博物館擴建案皆有自由曲面建築元素。

(2) 複合機能建築元素：

複合機能是根據既有建築元素因子中的運動向度、元素機能兩項建築元素因子皆無法歸納，本研究將其歸納及加以定義。從案例分析中觀察出，數位建築案例中有關於內部空間機能部分，由於建築元素皆為自由曲面之故，因此原先運動向度定義的平面多轉為自由曲面，而元素機能建築元素因子也因為自由曲面的關係，有機會將機能整合與合併，成為複合機能建築元素。例如將地板與牆整合、牆與樑整合以及門與窗整合。本研究數位建築案例中的阿朗諾夫設計和藝術中心、波爾圖音樂廳、蛇形藝廊展示館以及奧德羅普格園林博物館擴建案皆有複合機能建築元素。

(3) 錯縫式開口建築元素：

複合機能是根據既有建築元素因子中的元素機能建築元素因子無法歸納，本研究將其歸納及加以定義。從案例分析中觀察出，數位建築案例中有利用建築元素與建築元素間的錯縫所形成的開口賦予空間機能，形成出入口或窗戶之建築元素，本研究將其定義為錯縫式開口建築元素。由於既有元素機能建築元素因子所定義的每一項機能都可以獨立存在，因此錯縫式開口建築元素不屬於既有元素機能建築元素。例如本研究建築案例中的荷蘭國際辦公大樓地面層柱列形成的入口、波爾圖音樂廳自由曲面牆的錯縫形成樓梯出入口以及奧德羅普格園林博物館擴建案的自由曲面牆的錯縫形成通道出入口。

5.3 研究貢獻

從過去的文獻中得知，在建築元素的討論中，未曾因為不同媒材所產生的新的建築元素結果而給予新的解釋或是定義，特別是針對物質建築元素的研究，而今日新的設計媒材：數位媒材已經出現，並且成為有效的設計媒材之一(Boden, 1998)。本研究發現建築應用數位媒材不但可以運用非數位媒材的既有建築元素，也可以創造非數位媒材所無法產生或先前未定義之建築元素：自由曲面建築元素、複合機能建築元素以及錯縫式開口建築元素。

相對於實體媒材，研究現今使用數位設計媒材的建築設計中，探討建築元素的研究甚少，而建築師使用數位媒材進行建築設計創作的比例日漸增加。本研究希望藉由本研究對於數位設計媒材的探討，提供研究者更多的對於建築元素之理論初探。甚至，由於建築師會根據其機能和概念之需求找出建築元素及建築元素組合的規則及形式(Mitchell, 1990)，能夠在既有的建築元素中多加本研究新定義的三種建築元素進行建築設計的考量。

建築元素與設計媒材兩個領域已被探討多年，但兩者跨領域之間的相互關係少有人討論。數位建築不斷有新樣式新結構方式產生，且數位建築元素為已產生且尚未有理論之領域，本研究希望成為建築元素與設計媒材跨領域之間相關研究的初探與基礎，並進而引發一系列之後續研究。

5.4 研究限制

由於建築元素之定義皆為實際存在且已完工之建築案例為對象，因此本研究選擇實體案例分析為設計方法。為取得客觀之採樣，以 *a+u* 國際建築雜誌作為案例分析母群，因此，雜誌中未曾出現之建築師即為本研究之旨點。另外，本研究之建築案例分為兩種，一種為非數位建築案例，本研究選擇電腦輔助建築技術尚未開始前的建築，另一種為數位建築案例，選擇當代電腦輔助建築技術已成熟之建築。因為要求必須為已完工之建築的關係，為取得此案例之資料，此案例必須有出版品，因此案例分析的資料來源即受限於資料來源，資料來源多為建築相關圖面以及照片，仍可能有所遺漏，以上為本研究之研究限制。

5.5 未來研究

本研究以 a+u 國際建築雜誌作為案例分析母群，在以數位媒材進行建築設計之建築師中，統計刊登數最高的前五名作為案例分析之建築師，再取每一位建築師兩個建築案例，一個為非數位媒材進行創作之建築設計，另一個則為以數位媒材進行創作之建築設計。希望能藉由同一位建築師進行建築設計消弭建築元素運用除了設計媒材本身影響外的其他變因，但同時也因為這五位建築師本身的風格與習慣限制了建築元素的其他可能。因此，未來研究建議可以以其他方式選擇建築案例，例如建築機能或是結構方式，如此將對於本研究中實虛空間與運動向度建築因子有更深入探討的機會。

本研究之研究方法是案例分析，案例分析的資料來源以建築相關圖片、建築評論文字資料以及主觀分析所得，因為未曾訪談過設計師本人的想法，可能有誤解其對於建築媒材在設計思考的可能，建議未來研究者可以將對於設計師本人的訪談列為研究方法之一。另外，本研究先前研究的部份是從歷史的脈絡出發，事實上在歷史關於自由造型的建築出現過幾個階段，包括哥德式建築、有機建築以及當代的數位建築，未來建議未來研究可以針對同樣強調自由形體的建築，探討設計媒材在其中所扮演的角色。最後給未來研究的建議，建築元素的學派事實上除了以物質和非物質區分成兩派，也可以從整體(integration)與細分(subdivision)作為切入點。前者從大方向出發，強調建築最原始的建築元素，例如建築本體以及建築表述；後者例如門、窗、柱、樑、板以及牆的細項的分類，本研究所採用的觀點是將其更細分，因而找到未曾被定義過的數位建築元素，未來研究者也可以從整合建築元素著手，將所有細項的建築元素因子加以整合。

參考文獻

- Abbo, I. A.: 1996, *Effectiveness Of models*, Full-Scale Modeling in the Age of Virtual Reality, 6th EFA-Conference.
- Atkinson, R. and Banegal, H.: 1926, *Theory and Elements of Architecture*. London: Benn.
- Bai, R. Y. and Liu, Y. T.: 1998, *Toward a computerized procedure for visual analysis and assessment*. CAADRIA '98: 67-76.
- Boden, M. A.: 1998, *Creativity and artificial intelligence*, Artificial Intelligence 103, pp. 347-356.
- Breen, J., Nottrot, R. and Stellingwerff, M.: 2003, *Tangible virtuality- perceptions of computer-aided and physical modelling*. Automation in Construction. 12: 649-653.
- Cha, M. Y. and Gero, J.S.: 1999, *Shape Pattern Recognition Using a Computable Pattern Representation*, in Gero, JS and Sudweeks, F (ed), Artificial Intelligence in Design '98. pp 169-187
- Chen, S. C.: 2001, *The Role of Design Creativity in Computer Media*, the 19th eCAADe conference, Helsinki, Finland.
- Chen, Z. R.: 2007, *Design Creativity by Using Conventional and Digital Media*, Master Thesis. Hsinchu: National Chiao Tung University.
- Ching, F. D.: 1979, *Architecture: Form, Space and Order*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Collins, G. R.: 1960, *Antonio Gaudi*. New York: G. Braziller.
- Davidson, C: 2006, *TRACING EISENMAN*, Thames & Hudson, New York.
- Fernando, M. C.: 1995, *frank gehry 1991 1995*, El Croquis Editorial, Madrid, Spain.
- Fernando, M. C.: 1998, *oma/ rem koolhaas 1987- 1998*, El Croquis Editorial, Madrid, Spain.
- Fernando, M. C.: 2005, *TOYO ITO 2001 2005*, El Croquis Editorial, Madrid, Spain.
- Fernando, M. C.: 2007, *OMA REM KOOLHAAS[II] 1996 2007*, El Croquis Editorial, Madrid, Spain.
- Frommel, C. L. and Adams, N.: 1994, *The architectural drawings of Antonio da Sangallo the younger and his circle*, Cambridge, MA: MIT Press
- Fromonot, F.: 1998, *John Utzon: The Sydney Opera House*. Corte Madera, CA: Gingko Press.
- Futagawa, Y.: 1995, *ZAHA M. HADID*. GA, 03.
- Futagawa, Y.: 2001, *Toyo Ito 1970- 2001*. GA, 17.

- Futagawa, Y.: 2005, *GA DOCUMENT* 88. GA, 88.
- Futagawa, Y. and Borrás, M. L.: 1997, *Antonio Gaudí :Casa Batlló Barcelona*, Spain, 1904-06, Casa Mila Barcelona, Spain, 1905-10. GA, 17.
- Forster, K. W.: 1998, *Frank O. Gehry*, The Monacelli Press, New York.
- Gao, W. P.: 2004, *Emerging Phenomena of Digital Tectonics*, Master Thesis. Hsinchu: National Chiao Tung University.
- Goel, V.: 1995, *Sketches of Thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goldschmidt, G.: 1991, *The dialectics of sketching*. Creativity Research Journal. 4(2): 123-143.
- Hohaus, S.: 1970, *Architectural and interior models: Design and construction*. Hoboken, NJ, U.S.A: John Wiley & Sons.
- Kalay, Y. and Marx, J.: 2001, *Architecture and the Internet: Designing Places in Cyberspace*, in, ACADIA, New York, pp: 230-241.
- Kalay, Y. and Marx, J.: 2003, *Changing the Metaphor: Cyberspace as a Place*, in, CAAD Future, Taiwan, pp: 18-28.
- Krier, R.: 1988, *Elements of Architecture*. London: AD Publications.
- Lim, C. K.: 2003, *An insight into the freedom of using a pen: pen-based system and pen-and-paper*, In Proceedings of the 22nd Conference on Association for Computer Aided Design in Architecture 2003, Indianapolis, Indiana, pp. 382–391.
- Lim, C. K.: 2007, *A better digital design and construction process using CAD/CAM media*, Ph. D. Thesis. Hsinchu: National Chiao Tung University.
- Liu, W. U.: 2006, *Attention Shift in Architectural Style Recognition: The Emerging Digital Style*, Master Thesis. Hsinchu: National Chiao Tung University.
- Liu, Y. T.: 1996, *Understanding Architecture in the Computer Era*, Taiwan.
- Liu, Y. T. (ed.): 2001, *Defining Digital Architecture*. Basel. Birkhauser.
- Luis, F. G. (ed.): 1995, *PETER EISENMAN 1989- 1995*, Arquitectura Viva. Madrid.
- Mallgrave, H. (ed.): 1989, *Style: The Textile Art," The Four Elements of Architecture and Other Writings*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Manolya, K., Stephen, A. R. and Linden, J.: 1998, *Structure in idea sketching behaviour*, Design Studies 19(4), pp. 485-517.
- McMahon, C. and Browne, J. 1993. *CAD/CAM - From principles to practice*. UK: Addison-Wesley.
- Meiss, P.:2002, *Elements of architecture: from form to place*, NY: Van Nostrand Reinhold, New York.
- Millon, H. A.: 1994, *The Renaissance from Brvnelleschi to Michelangelo* Rizzoli, New York.
- Mitchell, W. J.: 1990, *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*, Cambridge, MA: The MIT Press.

- Murray, P.: 2004, *The saga of Sydney Opera House: The dramatic story of the design and construction of the icon of modern Australia*. London: Spon Press.
- Norberg-Schulz, C.: 1966, *Intentions in architecture*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Porter, T. and Neale, J.: 2000, *Architectural supermodels*. Oxford: Architectural Press.
- Schon, D. A. and Wiggins, G.: 1992, *Kinds of seeing and their function in designing*, Design Studies, Vol 13 No 2, pp.135–156.
- Semper, G.: 1851, *Die vier Elemente der Baukunst. Ein Beitrag zur vergleichenden Baukunde*, Brunswick.
- Smith, A. C.: 2004, *Architectural model as machine: A new view of models from antiquity to the present day*. Oxford: Architectural Press.
- Stiny G. and Gips J.: 1972, *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*, in C. V. Freiman (ed.), Information Processing 71. Amsterdam: North-Holland. pp 1460-1465.
- Sutherland, I. 1963. *Sketchpad-A man-machine graphical communication system*. Ph. D. Thesis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Tschumi, B.: 1987, *Cin gramme folie: le Parc de La Villette*, Paris, dix-neuvieme arrondissement, Princeton University Press.
- Unwin, S.: 1997, *Analysing Architecture*, Routledge, London and New York.
- Verstijnen, I. M., Hennessey, J. M., Leeuwen, C., van Hamel, R., and Goldschmidt, G.: 1998, *Sketching and creative discovery*, Design studies, Vol. 19, No. 4, pp. 519-546.
- Vitruvius: 1960, *The Ten Books on Architecture*, New York: Dover Publications.
- Zevi, B.: 1981, *The modern language of architecture*: Van Nostrand Reinhold.

劉育東: 1996, *建築的涵意: 認識建築 · 體驗建築 · 並瞭解建築設計*, 胡氏圖書出版社, 台北.