

第二章 先前研究摘要

本論文將設計媒材的先前研究(previous work)整理成兩個部分：設計媒材發展與 CAD/CAM 設計媒材，本章為摘要，完整敘述請見附錄二。

2.1 設計媒材發展

2.1.1 歷史發展

在設計過程中，設計者的設計思考受到所使用的不同設計媒材所影響(Zevi, 1981; Liu, 1996)。Schon(1992)認為設計行為是一種設計者與媒材之間對話的過程，設計是設計者與媒材之間互動的過程，不同媒材有不同的使用方法與呈現方式，會改變設計過程中的設計方法與步驟，因此而影響了設計者的思考。由此可知，媒材在設計過程中扮演著重要的角色。從歷史角度去理解設計媒材與設計思考之間的關係，可以分成幾個主要階段。

從古埃及，希臘，羅馬到中世紀主要以繪製 2D 的平面圖，立面圖及剖面圖來呈現設計想法。當中都有發現一些建築模型，但都屬於宗教祭祀用而非設計過程中呈現設計意念的媒材(Liu, 1996; Smith, 2004)。

文藝復興時期 Filippo brunelleschi 認為 2D 圖面已經不足於呈現腦中想像的複雜形體之間的關係，而且這些僅有二度空間面的表現也無法表達及解決一些結構上的問題，因此，他在佛羅倫斯大教堂圓頂的設計競圖中開始做三度空間的實體模型來輔助思考。接著，米開郎基羅等人也開始利用表現三度空間的模型來考慮設計的空間關係，結構系統，細部裝飾關係，整體比例，甚至掌控空間光影變化等(Million, 1994; Liu, 1996; Smith, 2004)。

1900 年到 2000 年以前，可以從一些造型複雜的歷史建築去探討設計媒材的應用：從 1900 年代 Antoni Gaudi 所設計的體雕性建築、到 1920 年代的 Erich Mendelsohn 及 Rudolf Steiner 的知名作品、1950 年代的建築大師 Le Corbusier 的廊香教堂、1960-70 年代的 Eero Saarinen 的 TWA 候機室及澳洲 John Utzon 的雪梨歌劇院(Corbusier, 1956; Collins, 1960; Von Eckardt, 1960; Fromonot, 1998; Carter, 2003; Steiner, 2003)。這些空間形體解放的建築設計過程中，扮演著輔助設計的重要設計媒材如表 2-1。

表 2-1

	建築師	建築設計案	設計媒材之應用
1900	Antoni Gaudi	Casa Milla, Colonia, Sagrada Familia	2D 草圖，細部圖，Estereo Estatica 結構模型

1920-24	Erich Mendelsohn	愛因斯坦天文台(Einstein Tower)	2D 示意標準圖， 量體模型
1925-28	Rudolf Steiner	瑞士西北角第二人類學哲學學院 (Second Goetheanum)	2D 示意標準圖， 量體模型，單元模型
1951-53	Le Corbusier	瑞士廊香教堂(Chapel of Notre Dame at Ronchamp)	2D 草圖，細部圖， 量體模型，結構模型
1956-62	Eero Saarinen	紐約甘乃迪機場環球航空公司候機 室 (Trans World Airlines, TWA Terminal, Kennedy Airport)	2D 草圖，細部圖， 結構模型(超大型)， 細部模型
1957-73	John Utzon	澳洲雪梨歌劇院 (Sydney Opera House)	2D 草圖，細部圖， 結構模型(超大型)， 細部模型，機械模型

1990 Frank Gehry 開始以數位技術 CAD/CAM 輔助設計的過程，設計與建構造型自由的巴塞隆納魚型雕塑。此後，這種利用數位 CAD/CAM 技術的輔助設計媒材成為數位時代許多知名建築師希望操作的數位設計過程，因為藉由數位媒材的輔助，以往為了設計自由形體的複雜及困難的設計過程得以解決，設計師可以重複建造型體更自由及解放的空間(Lindsey, 2001; Ragheb, 2001; Friedman, 2002)。除了國際知名新一代建築設計師已經開始使用 CAD/CAM 新媒材輔助設計過程之外，台灣的设计團隊 AleppoZone 也運用新技術建造出幾個造型自由的建築設計(Liu et al., 2002; 李元榮, 2005)。

從以上幾個階段的設計案例中，可清楚看出自從文藝復興 Filippo brunelleschi 開始作模型之後，一直延續到現在，模型在設計過程中扮演著很重要的角色。尤其是對於設計形體複雜的設計過程更是大量依賴各式各樣不同的模型來輔助設計思考及解讀複雜的空間形體關係，甚至解決結構問題。從傳統的工匠手製模型或利用各種特殊方式的模型製作方式，到 21 世紀，CAD/CAM 技術的數位輸出模型製作方式，可以看出模型製作方式的演變，這種變化將促使設計過程與步驟的改變。

2.1.2 設計模型

3D 模型在設計過程中扮演重要的角色，其三度空間的特性可以讓設計者更容易理解設計的空間關係(Porter and Neale, 2000; Breen et al., 2003; Smith, 2004)。模型的形式可以從歷史演變的角度分成三大類：手工製作實體模型、電腦數位模型及 CAD/CAM 電腦製作實體模型(圖 2-1)。

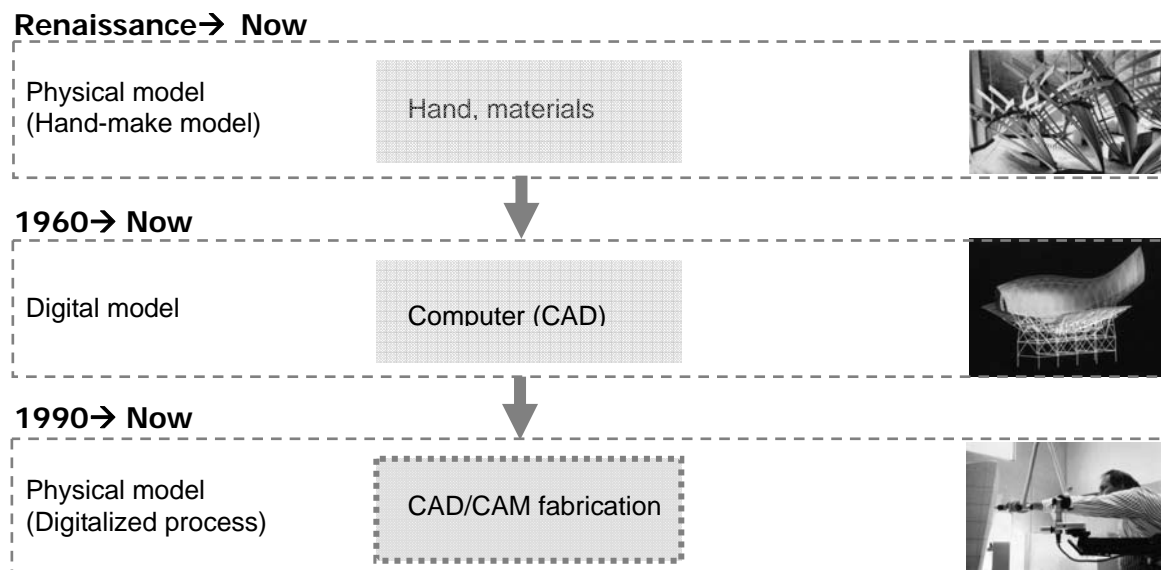


圖 2-1.模型形式的演變

建築設計過程中的模型具有不同的呈現方式，可以輔助不同的設計階段。這些不同呈現的模型大致可以分成四種層級 (Porter and Neale, 2000; Ryder et al., 2002; Seely, 2004)：

1. 概念模型 (conceptual model)
2. 發展模型 (development model)
3. 設計完成後的呈現模型 (presentation model)
4. 1:1 比例的大模型 (mock-up)

模型具有量體、材質、結構等三度空間呈現，是一種比 2D 圖面更可以精準表現空間的設計媒材(Hohausner, 1970)。Abbo (1996)也指出模型的“空間性”特質(spatial characteristic)如深度及距離的表現，讓設計師更容易去理解空間設計的三度空間關係。

2.2 CAD/CAM 設計媒材

2.2.1 CAD/CAM 技術

1963 年 Ivan Sutherland(1963)提出 Sketchpad 之後，其對電腦影像技術的突破促使電腦輔助設計(computer-aided design, CAD)蓬勃發展。而 CAD 發展也從二維發展至三維建模(3D modeling)技術。三維建模技術的發展帶動了之後 CAD/CAM 的發展，以下為 CAD 的三維建模技術之發展歷史 (Chris and Jimmie, 1993)：

60 年代—線框造型系統 (wire-frame modeling)

70 年代—曲面造型系統 (surface modeling)

70 年代末~80 年代初期—實體造型系統 (solid modeling)

80 年代中期~90 年代—參數化實體造型系統 (parametric solid modeling)

CAM 技術源始於 1950~1960 年代，應用於美國軍方。一開始的 CAM 技術為電腦數值控制 (computer numerical control, CNC)技術(Callcott, 2001)。到了 1980 年代才出現另外一種分層製造加工 Layer Manufacturing (LM) 技術，也稱為自由成型加工或快速成型(Solid Freeform

Fabrication or Rapid Prototyping Process (RP)) (Groover and Emory W. Zimmers, 1984; Mitchell and McCullough, 1995; Ryder et al., 2002)。

CNC 技術是一種以減去法(subtractive)的數位生產製作方式。此技術主要大量運用在製造工業上，可以直接把電腦數據利用不同的切割方式精準的生產出來。目前發展的 CNC 技術如下：

1. 電腦數控銑床 (CNC milling)
2. 電腦數控打槽機 (CNC routing)
3. 電腦數控水刀切割 (CNC waterjet machining)
4. 電腦數控雷射切割 (laser cutter)
5. Roland CAMM-1 vinyl cutter

RP 技術也稱為 Layer Manufacturing (LM) 技術，是一種附加法(additive)的數位生產方式，模型操作過程以材料一層一層附加成形而成。LM 技術主要由不同的概念發展出不同的系統：

1. Concept Modeling—此系統可以快速製造出精準度不高而低價位的模型，主要系統稱為 3D 印刷術(3D Printing)，目前市場上的三種 concept modeling 系統設備：a. The Z Corporation Z402 3D printer，b. The 3D system Thermojet 3D printer，c. The Stratasys Genisys 3D Concept Modeller。

2. Rapid Prototyping—此系統主要提供了比較佳的精準度及更多樣的材料使用，但卻比較昂貴及必需具備較多的設備。目前市場上有 4 種系統設備：a. 立體印刷術 (Stereo Lithography, SLA)，b. 熔融擠製成型 (Fused Deposition Modeling, FDM)，c. 選擇性雷射燒結 (Selective Laser Sintering, SLS)，d. 層壓式成型 (Laminated Object Modeling, LOM)。

3D 掃描技術是一種常用於汽車工業的逆向工程(reversed engineering) 的技術—3D 掃描技術。這種技術從 1970 年開始開發，早期以接觸式的 3D 數位探測器(3D digitizer probe)及機械座標測量器(coordinate measuring machine, CMM)發展至目前被廣泛應用的非接觸式小型及大型的 3D 雷射掃描器(3D laser scanner)及光學式 3D 掃描系統(optical 3D scanner)-如 3D 人體掃描器 (3D body scanner)。藉由 3D 掃描技術設計者可以快速將實體模型轉換為數位模型進行編輯與修改(Friedman, 2002)。

2.2.2 CAD/CAM 應用於建築設計

背景發展

從 1970 年代~80 年代，CAD/CAM 在建築專業設計的應用多數以 CNC 輔助建築單元構件的生產與製造為主，如窗戶單元製作，木構造製作等(Hale, 1968; Mitchell and McCullough, 1995)。到了 1980 年代 RP 技術開始發展及商業化，當時 RP 技術被工業設計領域廣泛應用，主要是用來製作設計產品的實體模型(Jacobs, 1992)。直到 1992 年建築設計領域開始利用 RP 來輔助製作設計過程的模型(Streich and Weisgerber, 1996; Simondetti, 1997; Simondetti, 2002)。2000 年開始，CAD/CAM 的 CNC 與 RP 技術在建築設計過程中，對於輔

助模型的製作與建築建造的數位構成(digital fabrication)之角色，開始被研究者與設計者探討 (Bechthold et al., 2000; Kolarevic, 2001; Mitchell, 2001; Ryder et al., 2002)。CAD/CAM 技術應用於建築設計的發展可見表 2-2。

表 2-2

	CAD	CAM	CAD/CAM
1950		NC Milling	
1960	Sketchpad 2D 繪圖系統 3D 線框造型系統	CNC 設備	
1970	3D 曲面造型系統 3D 實體造型系統 • 3D CAD System (CSG) • Build-1 Solid Modeler (B-rep) • PADL-1.0 Solid Modeler	FMS 3D digitizer	CAD/CAM (CNC milling) • POLYSURF • Ukranian Easter Egg
1980	應用於 PC 的 CAD 軟體 3D 實體建模系統(商業化)	Solid Freeform Fabrication/ Rapid Prototyping (RP) Stereo Lithography (SLA)	建築元件製作 (CNC)
1990	3D 參數化實體造型系統	3D Printing (3DP) Fused Deposition Modeling (FDM) Laminated Object Modeling (LOM) Mass Customization	設計模型製作 (RP)
2000	數位建構 (Digital fabrication)		

CAD/CAM 輔助自由形體之設計與建造過程應用

2000 年之後，一些建築師或設計師如 Frank Gehry、Greg Lynn、dECOi、NOX、ONL、Bernard Frankert、UN Studio 等人開始利用 CAD/CAM 新媒材輔助設計與建造造型空間複雜的建築設計(Goulthorpe, 1999; Lindsey, 2001; Friedman, 2002; Luca and Nardin, 2002; Oosterhuis et al., 2004; Spuybroek, 2004)。以下舉出一些利用 CAD/CAM 技術 CNC，RP，3D scanner 輔助設計與建造過程的設計案例。

利用 CNC 作為建構的輔助媒材。Frank Gehry 在他多個設計案中將 CAD/CAM 的 CNC 技術協助自由形體建築外牆的鑄造(casting)過程。如美國洛杉磯迪斯耐音樂廳(The Walt Disney

Concert Hall, 1992-97)的水泥牆面的製作及 2000 年紐約的 Conde Nast Cafeteria 設計案的複雜曲面玻璃壁板製作等(Lindsey, 2001; Glymph, 2003)。德國建築師 Bernhard Franken 應用 CNC milling 技術輔助 BMW IAA'99 Auto Show 展示館-Solar Cloud 的玻璃單元鑄造(casting)製作過程。同時也以 CNC 水刀切割機 (water-jet cutter)切割金屬骨架單元,此技術大量應用於其他 BMW 展示館如 Dynaform 展示館、Branscape 展示館等(Luca and Nardin, 2002; Franken, 2003)。台灣研究自由形體設計團隊 AleppoZONE 在幾個自由形體設計案中也利用 CNC milling 及 CNC laser cutter 技術輔助形體表皮及骨架單元生產的製作。如公信大廳、深圳大連電子大廳設計案等(Liu et al., 2002; Lim, 2004; 李元榮, 2005)。

*利用 CNC 作為表面設計的輔助媒材。*Bernard Cache(1995)所成立的 Objectile,以 CAD/CAM 新媒材來大量輔助新建築表面材料之設計及製作。Cache 以參數化設計產生多種不同形式的錶面樣式,再藉由改變 CNC milling 技術的壓型路徑的花樣(tooling path pattern),來製作不同形式及不同材料的表面設計(Cache, 1995; Cache, 2002)。其它設計師如 Greg Lynn 及 Herzog & De meuron 也利用此技術設計建築表面新材料的表現(Lynn, 1999)。市面上已經有應用 CNC 技術製作建築面板新材料的商業化產品,如法國的 Marotte 材料公司的 Esthetic panels 產品及 Haresh Lalvani 用 AlgoRhythms 技術製作的自由金屬面板等(Hall, 2003)。

*利用 RP 作為設計模型的輔助媒材。*Greg Lynn 已經大量應用 CAD/CAM 新媒材輔助設計過程,也發展出各種的新的設計概念與設計手法。在他的多個設計案中,以製作 RP Stereolithography 比例模型來檢視設計量體,如 Wexner Center 的展覽裝置"Predator", Eyebeam Atelier Museum of Art and Technology, Extension of St. Gallen Kunstmuseum 等(Lynn, 1999; Lynn, 2002; Liu, 2003)。另外 Ocean North 設計團體也在在參加 1999 年 New York Times 舉辦的"time capsule"競圖時,應用 RP 技術作為技術生產整合(technical-productive synthesis)過程的主要媒材(Hensel and Sotamaa, 2000)。

*利用 3D scanner 作為設計模型轉換的輔助媒材。*Frank Gehry 依賴製作實體草模型來發展設計概念與想法,這些實體模型將會依據不同的複雜度應用不同的 3D scanner 技術來轉換成數位模型進行設計編修。譬如 Experience Music Project (EMP)設計案用 FARO converter/digitizer, Disney Concert Hall 設計案的花朵形式水池藉助應用於醫學的腦部斷層切片掃描器 CAT scan (Computerized Axial Tomography),將實體花朵進行切片掃描,再由 CATIA 軟體重建為數位模型(Lindsey, 2001)。

CAD/CAM 輔助自由形體設計與建造專業系統

由於數位 CAD 系統所產生出的自由形體設計比傳統幾何形在執行建構上更複雜及困難,因此許多研究者開始著重於數位建構(digital fabrication)的研究,尤其是探討不同的自由形體建造方式或企圖開發 CAD/CAM 設計與建造系統(Cache, 1995; Mitchell, 1998; Loukissas, 2003; Snoonian, 2003; Dritsas, 2004a; Glymph and Day, 2004)。目前一些由建築專業領域設計師與工程師一起研究開發的 CAD/CAM 設計系統已經在市面上商業化,比較成熟的技術如下:(請見參考文獻的網址)

1. Gehry Technologies (GT) [2002 年由 Gehry Partners 成立]
2. SmartGeometry [2003 年由 KPF, Foster and Partners, Arup Sport, 及 Bentley 組成]
3. Objectile [1996 年由 Bernard Cache 組成]

CAD/CAM 輔助自由形體設計與建造過程研究

此外除了專業領域開發的商業化系統，研究者如美國 MIT 的 Larry Sass、UPenn 的 Branko Kolarevic、Harvard 的 Schodek & Bechthold、澳洲 RMIT 的 Mark Burry 等人也在探討及研究應用 CAD/CAM 新媒材的設計過程，同時也提出一些標準化的階段或輔助設計工具(digital tools) (Mitchell, 1998; Burry, 2002; Kocaturk et al., 2003; Kolarevic, 2003; Dritsas, 2004a; 李元榮, 2005)。Mark Burry (2002,2004)將此新技術應用於造型自由的歷史建築設計與建造的過程中，並整合出一些操作流程。另外，Kocaturk(2003)企圖研究出一套可輔助解決複雜型體執行的運算電腦系統系統資料結構。Mitchell(1998) 以 shape grammar 探討自由形體結構的形成與創造。研究中指出利用 Shape Grammar 的機制可讓自由形體的建構更具自由度。同時也推斷未來的結構設計系統(future structural design systems)會以網際網路(World Wide Web)來呈現設計模擬。MIT Larry Sass 的研究小組如 Yanni Loukisas 及 Stylianos Dritsas(2004a)也試圖開發一些 CAD/CAM 輔助設計工具—MiranScript，主要為了簡化目前使用 CAD/CAM 技術輔助自由形體設計過程時所面臨的繁瑣電腦操作過程。而在台灣研究自由形體的設計團隊 AleppoZONE，也透過利用 CAD/CAM 新數位媒材實作多件小型至大型的自由形體建築案例，分析整合出製作自由形體的初步小型與中型自由形體建造過程，當中也以電腦自動化的方式，來簡化自由形體面板分割後展開(unfold)的過程(李元榮, 2005¹)。

CAD/CAM 媒材於建築教育應用

在建築教育課程中，為了讓學生可以進一步了解複雜形體的設計與建造過程，也逐漸在課程規劃加入 CAD/CAM 數位媒材的教學內容(Campbell, 2006; Garber and Jabi, 2006; Kalay, 2006)。其中 MIT、Harvard、UPenn、Columbia、ETH、AA、RMIT 等歐美知名建築系所已經將 CAD/CAM 媒材之應用同時在研究導向與設計導向的數位設計教學課程中發展。這些課程如 MIT 的 DDFG 課程會結合專業領域所整合的 CAD/CAM 標準化系統如 Gehry Technologies 與 SmartGeometry，作為主要的教學內容或短期工作坊(workshop)教學。另外，以設計導向應用為主的 AA 或 Columbia 則訓練學生大量應用 CAD/CAM 媒材如雷射切割, RP 及 3D 掃描器來製作設計模型外(Hemberg, 2001; Sass, 2006)，還會應用研究者所開發的 CAD/CAM 應用程式如 Gern8, Voronoi 等來作為數位設計過程中形體衍生的操作工具。

CAD/CAM 媒材影響設計思考

藉由電腦 CAD 系統的輔助，設計概念開始被解放。設計師利用電腦動態模擬及自動生成系統來輔助設計思考，產生新的設計形體概念。此外電腦的虛擬狀態衍生出設計概念更多的可能性。Mitchell(1998)在建築構築術的討論中，提出數位技術所引起的反購築(anti-tectonics)本質，數位資訊將使傳統建築的型態瓦解，在電腦虛擬世界中，去物質化的空間與時間創造出新空間。因此新的設計形體概念漸漸趨向於液體狀(liquid)、交疊(folds)、水滴狀(blobs)、表面(surfaces)、動態(dynamic)、去物質化(immaterial)、仿生物之繁衍(breed)等自由形體(free

form) (Lynn, 1995; Zellner, 1999; Leach, 2001; Schmal, 2001; Rosa, 2003; Senosiain, 2003)。

