

1-1 研究問題與目的

設計過程可被分為資料蒐集、構想發展、細部設計與計畫案實現等階段（Jones, 1992）。其中構想發展階段被認為是指導設計創造力的關鍵階段（Huang & Liu, 2001）。設計者在此階段所藉助表達構想的媒材主要為草圖與概念模型，草圖，是一種以圖解的元素將線條和平面呈現出具體想法的媒介（Knoll & Hechinger, 1992）；而實體概念模型，則讓設計者能無拘束的轉移視點並觀察位置的特性，以發現更多細部問題（李惠琳，2002）。另一方面，在構想發展階段，草圖及實體模型也有助於設計進行中的非預期發展，設計者常於繪製草圖時產生出不同的視覺行為（Goldschmidt, 1994；Liu, 1996；Schön & Wiggins, 1992；Suwa et al., 2001），且在製作實體概念模型時運用部分的觸覺經驗來輔助設計思考。

如今電腦新媒材的介入對設計產生更多的刺激，而不同媒材的使用的確也能讓設計者在構想發展階段的設計行為或視覺思考產生了變異（Won, 1999; Wong, 2000; Brady, 2003）。然而，這些新媒材雖能提供多元的功能及快速性（林政緣，2000），但研究者卻觀察到設計者對於新媒材的態度出現了較難適，且明顯地缺乏感受空間真實性環境的課題（Lee et al., 2003）。顯而易見的，只提供輔助視覺的設計媒材工具已無法滿足設計者的需求，於是過去以往較少注意到的觸覺相關的論述與技術研究相繼被提出（Brereton & McGarry, 2000; McDonnell et al., 2001; Bloomenthal & Wyvill, 1990; Markosian et al., 1999），以觸覺為基礎的媒材工具研究也被相繼發表，如產品設計領域中，Wesche & Seidel（2001）提出 Free Drawer 輔助藝術家的 3D Sketch 系統、Schkolne et al.（2001）為工業設計領域開發出的 Surface Drawing 系統及編修曲線工具（Bae et al., 2004），以及具力回饋的 Phantom 雕刻筆（SensAble Technologies, 2004）等均是為求能更符合需求以順利輔助設計者發展創造力而開發的新數位媒材工具。

綜合上述，當輔助設計的新媒材工具逐漸融入設計過程中，設計者從傳統媒材轉而運用新媒材，甚至具有「觸覺」因子的媒材介入時，作者歸納了一些論點。除了 Basdogan et al. (2001) 及 Brereton & McGarry (2000) 曾探討過相關議題外，鮮少研究強調出觸覺在設計者的眼與手中所扮演的重要性，此外，設計者從傳統媒材轉而適應新媒材時，由於設計者觸覺介面的轉變產生一些適應性的課題 (Landay & Myers, 1995; Terry & Mynatt, 2002; Anderson et al., 2003)，Knoll & Hechinger (1992) 與林政緣 (2000) 便曾經在研究中指出，新媒材雖為有效率的表現工具，但實體感受早已喪失；然而，在這些相關研究仍持續在探討的同時，作者發現探討輔助設計構想與發展模型技術的相關研究很多 (Schkolne et al., 2001; Wesche & Seidel, 2001; Igarashi et al., 1999)，但至今卻尚未有人能具體地探討到「觸覺」在構想發展階段中的意義與現象。

因此，本研究將重點放在設計者在構想發展階段的觸覺經驗上，目的是為試圖找出觸覺在發展概念模型的設計過程中所產生的現象，以期將來能更有效率地輔助數位媒材工具發展，創造出能讓設計者更直覺順利地發展設計的平台。



1-2 研究範圍

本研究中所針對的觸覺以設計者的觸覺為主，包括了人類與生具有的生理觸覺機能，以及設計者長期從事設計工作所累積的觸覺經驗。

此外，由於本研究將重點放在概念模型發展階段的觸覺經驗上，因此作者認為首先必須先檢視當今設計媒材的多樣性。由文獻回顧中，我將現今輔助設計者製作概念模型的媒材歸納成兩類，傳統媒材與數位媒材。傳統媒材以實體模型材料為主，設計者常運用美工刀、切割器、粘著劑等工具裁取所需的樣式並組合出想要的概念，這些實體媒材主要有：黏土、紙版、模型版、保麗龍版及其他材質的材料；而數位媒材通常主要指能藉由電腦輔助並結合相關多媒體所綜合呈現出設計效果的數位工具，如今為人已知的數位媒材例如模型快速成形機 (Rapid Prototyping, RP)、Phantom 力回饋雕刻筆，以及利用 VR Cave 與相關技術搭配的新數位媒材等。

基於研究目的，作者試圖想從傳統媒材與數位媒材這兩類中個別挑選出兩種媒材作為認知實驗中輔助設計的媒材，分別為黏土與紙版（傳統媒材）及 RP 與 Phantom 雕刻筆（數位媒材）；然而在作者事先檢視此四個媒材的過程當中發現到，Phantom 雕刻筆能模擬現實中物理碰撞反應，其力回饋機制也有相當真實的感受，但是，Phantom 雕刻筆及與其搭配的軟體 Free Form 仍處於非成熟階段，似乎無法讓受測者有充分的發揮空間，因此，本研究無法理想地以四個媒材進行四個認知實驗，僅能進行三個認知實驗，其 Phantom 雕刻筆的相關認知研究則期待列為未來研究重點之一。

1-3 研究方法與步驟

基於上節對於研究範圍的探討，本研究論文的方法與步驟分為兩步驟來探討：

第一、認知實驗

在尋找符合條件之受測者及設定實驗環境與題目後開始進行三個認知實驗。分別以黏土、紙版（傳統媒材）與 RP（數位媒材）作為三個實驗中的設計媒材。本研究利用口語分析方法（Protocol Analysis）中的放聲思考法（think-aloud），配合幾點問題補充訪談受測者，試圖了解設計者實作概念模型發展構想的觸覺經驗。

第二、編碼與分析

繼承第一步驟的認知實驗成果與過程，作者提出編碼方式，將各個實驗內容詳加編碼與分析，並提出所獲得的分析結果與結論。

認知實驗內容與分析結果將在第三與第四章節中詳細敘述。

1-4 論文架構

本論文架構分成五大章節來陳述研究內容。

第一章：闡明本研究的問題與目的、研究範圍以及研究方法

第二章：針對人類的觸覺、設計過程中的構想階段與數位媒材三大範圍的相關研究做文獻回顧與整理，其中包括：人類生理上觸覺與觸知覺的定義與其相關具觸覺元素之裝置，草圖、視覺思考與實體模型的相關研究，以及數位媒材輔助設計的研究內容。

第三章：設定時驗環境與程序，並整理概述兩位受測者分別在三個認知實驗中使用三種不同媒材發展概念模型的過程。

第四章：建立三組編碼系統後，分別將兩位受測者在三個認知實驗過程中的資料予以編碼分析，小結節錄出分析結果。

第五章：整合研究分析結果提出四點結論，並提出研究貢獻、研究限制與未來後續研究的建議。



第二章 先前研究

由前章所述，基於研究動機與目的，本章首先分別就觸覺、設計過程中的構想發展階段與設計過程中的數位媒材三大範圍進行先前研究探討與回顧，相關領域研究與論述整理如下。

2-1 人類的觸知覺與相關研究

觸覺，不只是一種感覺，它緊密地關係到感覺機制（sensory mechanisms），如物體的壓力、溫度、材質、硬度、重量及形狀等，這些感覺機制主動運作著並自然的探索，緊密地連結肌肉運動的知覺與觸覺感受後再一起定義出觸覺（haptic）的感受。而我們的手是最明確主要發現這些集合知覺的位置（Prytherch, David & McLundie, Mairghread, 2002）。人類藉由真實感的回應知道自己正在觸碰某物或者是某人（Hinckley et al., 1999），並利用智慧及雙手有系統地去探索出物體的屬性（Lederman & Klatzky, 1987）。有時我們亦配合雙手，結合某些動作或手勢去衍生更多的想法（Bolt & Herranz, 1992; Sturman & Zeltzer 1993; Hinckley et al., 1999）。研究者們建議，適時地加入觸覺回饋因子，能讓使用者更有信心去操作（Basdogan et al., 2001; Buur et al., 2004；Sturman & Zeltzer, 1993）。以下便分成兩小節分別敘述人類的觸覺以及具觸覺之裝置與相關研究。

2-1-1 生理上的感覺與知覺

感覺，簡單而言，就是一種辨別事物之狀況及性質的能力。醫學的辭典中，「感覺」被定義為一種動物的機能或官能，藉由外界事物在其身上的某種感覺（指接受器）或感覺器官的影響（刺激效果）來認知外界事物，或感受身體狀況的變化，感覺接受器（Sensory Receptors）是身體內一種能夠接受體外或體內環境所發出的刺激而興奮，並將之轉變成神經衝動傳入大腦，供大腦認知利用的構造（王滿堂，2004）。於是，產生的神經衝動就沿傳入神經系統傳入中樞神經系統引發「感覺」（周先樂，

2004)，而感覺器官，是由感覺接受器與圍繞在它周圍的非神經性構造結合在一起所形成（王滿堂，2004）。人體有許多種形式的感覺，體內之主要接受器與感覺器官如表加以分類說明。

知覺（Perception），是給予「從感覺器官傳入抵達腦部的資訊的整合、詮釋、說明」的過程之名稱。知覺的前提是感覺。感覺是外界訊息進入的關口，而之抉擇是對於這些感覺訊息加以詮釋後的結果；換句話說，感覺必須被認知（知覺作用）。我們只有在”知覺”後才能決定給予”感覺”何種方式的反應。同一事件，每個人的感覺器官雖相同，但卻有不同的”知覺”，依不同標準有不同分類，按知覺的對象是「人或物」分為社會知覺與物體知覺兩類；按知覺對象的「特性」分空間知覺、時間知覺與運動知覺；按知覺過程中佔優勢活動的「感覺接受器」分為視知覺、聽知覺、視聽知覺、嗅知覺與觸摸知覺等（王滿堂，2004）。

以感覺為基礎，判斷自身所在空間與自身周圍空間中各事物之間的關係，包括位置、方位、距離等要素的能力，稱為「空間知覺」。人對客觀世界的空間知覺並非天生而是後天學習獲得的，它是將許多感覺資訊，包括視覺、聽覺、觸覺及嗅覺資訊綜合起來再加以分析後產生的，其中，雖視覺資訊在當中起主要作用，但是單憑視網膜上物象的狀態來判斷可能會造成錯覺或不正確的知覺產生。空間的知覺可簡要分成四種，（1）大小知覺、（2）形狀知覺、（3）方位知覺與（4）深度知覺（距離知覺與立體知覺）。其中一種知覺都必須靠視覺、聽覺、觸摸覺、動覺和平衡覺來協同完成（王滿堂，2004），而當我們已有豐富經驗，各感覺系統形成特定聯繫後，單憑視覺或觸覺也能知覺物體的形狀。

2-1-2 觸覺與觸知覺

「觸覺」的英文相關詞有 Haptic sensation、Tactile sensation、Tactual sensation、Touch sensation 等均指觸覺（王滿堂，2004）。也有另一派說法提到，觸覺（haptic）廣義的來說牽連到觸碰（touch）以及皮膚的感受（coetaneous senses），Haptic 這個字來自於希臘字的”haptikos”，指的是能夠觸摸的意思（able to touch）（Prytherch, David

& McLundie, Mairghread, 2002)。

接觸感覺 (Tactile sensation) 包括一般所謂的觸覺 (Touch)、壓覺 (Pressure)、震動覺 (Vibration)、癢覺 (Tickling and itch)、兩點覺 (Two-point sensibility) 和形體感覺 (Stereo-gnosis)。觸覺是指皮膚接受器受到刺激以後所引起的感覺。壓覺是皮膚較深層組織因受到壓力而變形所引起的感覺。震動感覺則是觸覺、壓覺和其他快速適應接受器受到快速而重複的刺激後所引起的感覺。癢覺是一種輕度的觸覺，其接受器是遊走神經纖維末端，分布於皮膚的表層。兩點覺是皮膚對兩個接觸點的分辨能力，雖然有兩點與皮膚接觸，但僅感覺到只有一個接觸點。形體感覺是一種複合感覺，主要靠觸覺與壓覺來辨別形體大小，而眼睛則是形態感覺的特殊接受器 (周先樂, 2004)。此外，接觸感覺至少有六種不同的接受器，包含 (1) 巴氏小體、(2) 邁氏小體、(3) 克氏小體、(4) 麥氏盤、(5) 盧氏小體與 (6) 游走的神經纖維末端 (周先樂, 2004)，皮膚接觸感覺接受器特性依受刺激的適應狀態不同而產生快速適應或慢適應的現象 (周先樂, 2004)。

我們的觸覺是一種來自於誕生時即擁有的基本感知能力，一種我們去認識實體的知覺，這樣的能力能感受到重量、形狀並且評估其意義 (Hepworth, 1954)，而我們的手是最明確主要發現這些集合知覺的位置，這些感覺連接到最接近於肌肉運動時的知覺 (kinaesthetic senses)，且藉由肌肉與關節中的感覺中樞神經 (sensory nerves)，大腦可察覺到身體的位置及動作，加上身體中內部敏感度的多樣性等，由軀幹的知覺 (somaesthesia) 所蒐集描述而成，就是所謂皮膚的知覺 (Prytherch, David & McLundie, Mairghread, 2002)。觸覺不只是一種感覺，許多觸覺非常緊密地關係到感覺機制 (sensory mechanisms)，如物體的壓力、溫度、材質、硬度、重量及形狀等，這些感覺機制主動運作著並自然的探索，緊密地連結肌肉運動的知覺與觸覺感受後再一起定義出觸覺 (haptic) 的感受。

觸覺，可以輔助人類傳達情感。這樣的知覺機制能讓人覺察到實質感，而人們也總是能自然地覺察到觸覺的存在，它是人體中一個重要的感應媒介 (Hinckley et al., 1999)。1918 年起，開始有研究學者針對於觸覺的過程做有系統且綜合性的科學調查 (Weber, 1995)，其中令人印象最深刻的是 Weber 在觸覺實驗中的研究，他特別

觀察到人在感受到觸覺之前必須先經過一定刺激強度的敏感度才能被察覺到，這就是所謂的 Weber Law 理論。之後，Weber 的學生 Gustav Theodore Fechner 建立了心理物理學（Psychophysics），並延續 Weber 的論述提出相關實驗研究成果（Prytherch, David & McLundie, Mairghread, 2002）。當然 Weber 當時也提到有觸覺的概念，「除非有手指謹慎的移動過物體的表面，否則物體的形狀與質感無法經由觸摸（Touch）而得來...，當我們移動我們的手或者是手指時，我們可以明確得感受到它們與我們之間的方位關係，使得我們得以掌控物體的形狀...」（Weber, 1995）。

1985 年，Klatzky et al. 開始調查研究以手作為探索性動作的自然現象，並將觀察到的行為整理提出，對該物體觸覺感受能重現於人類記憶中。至 1987 年時 Lederman & Klatzky 便提出，人們能利用高度智慧及他們的雙手有系統地去擷取出物體（實體）的性質或屬性。此外，他們還指出，在分析實驗中錄影帶所拍攝下實驗者雙手的動態經過後發現，人們表現出一些非常典型且慣性的探索動作，稱為典型的探索程序（Exploratory Procedures, EP），Lederman & Klatzky（1987）整理出一套最常見的探索程序示意圖，分析出觸覺探索的四個基本程序（Lateral motion, pressure, Contour following and Enclosure）而在他們的實驗當中最重要重點是，人們總會主動且有系統地去探索他們週遭的環境，選擇不同的探索程序（EPs）去符合該觸覺該有的資訊，並且在經過四個基本的探索程序所提供相關於物體的特性知覺資訊後，在與視覺做結合擷取更多資訊。

身體的感覺分有觸覺、嗅覺、味覺、視覺及聽覺五種（黃基礎等，1998），其中觸覺是在所有感覺之中最複雜的機制卻也是最少被了解的部分，也是在各個層面上最基本的要素（Prytherch, David & McLundie, Mairghread, 2002）。值得注意的是，在超過一個世紀的實驗性的感覺心理學中我們所知的卻如此的少（Taylor, M.M., Lederman, J., & Gibson, R.H., 1973）。Hinckley et al. 於 1999 年提到，我們觸摸事物時，我們的知覺會回應我們正在觸摸這個物體。而有時亦配合我們的雙手，猶如溝通的工具般，結合某些動作或手勢去衍生更多的想法（Bolt & Herranz, 1992; Sturman & Zeltzer 1993; Hinckley et al., 1999）。另外，有時候越複雜觸感的物體僅以觸覺去推論是相當困難的，這時候視覺反而便佔了更大的優勢，Revesz（1950）早已提出視覺感官是提供一個完整感覺形狀與覺察到空間所不可或缺的，它是一個主宰的感官，而不可否認且值

得理解的是，實驗已證明觸覺（Touch）與視覺（Vision）是感覺串聯且相互影響對方的。

2-1-3 具觸覺元素之裝置與研究

由於觸覺的機能，使得我們得以感受到真實感，於是許多研究者們便開始加入觸覺性的元素至輸入的工具或介面中，以提供新媒材技術更多的可能性（Basdogan et al., 2001）。我們週遭大部分幾何式的介面均僅利用非直接的方式操作軟硬體（如控制按鈕等），但反之，若能強化使用者自然直覺式的方式操作，便可以加強使用者的真實感經驗。舉例來說，近年有虛擬黏土的開發，是以觸覺為基礎的雕塑工具（haptic-based sculpting tools），讓人們能直接以手捏塑形體且加強了使用者觸覺的感受（McDonnell, 2001），這樣的研究可適用的範圍甚廣，如地質、地形雕塑，甚至教育、外科手術模擬、虛擬實境及娛樂，提供更多的可能性。另外，Rekimoto & Matsushita.於 1997 年提出感知表面（Perceptual surfaces）的想法，結合攝影機與紅外線技術，建構出了一套讓使用者能用手指、手、身體以及其他實體物件與牆面（Holowall）或桌面互動的感知裝置。

相關利用手指產生觸覺的相關研究中，亦有利用光學追蹤原理(optical tracking)讓人們能配合手指與手勢的動作在擴增式的環境(Augmented Environments)中與虛擬環境互動（Buchmann et al., 2004），該作者於研究中提到，我們的雙手使我們在真實世界中能直接與實體物件互動著（Figure 2-1），因此，在擴增實境(Augmented Reality or AR)介面中使用者亦應該更能讓手的動作自由地與虛擬中的物件互動，其不單只是能使使用者的雙手更直覺性的動作，並且也幫助使用者更容易在同時間之內順利且自然地轉換於虛實物體之間。

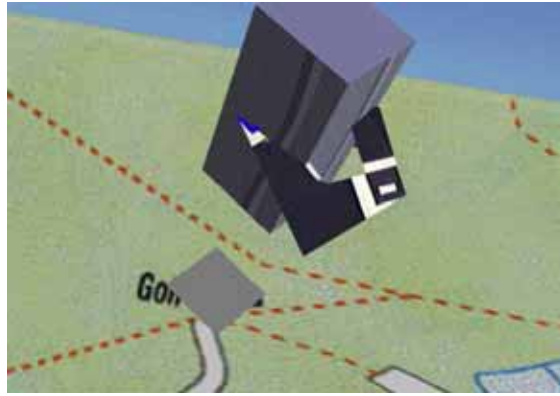


圖 2-1. 利用陰影模擬幫助使用者辨識移動中的建築物的方位（摘自 Buchmann et al., 2004）

除會因為結合基本的光學技術所產生的一些限制外(如遮蔽效應 Occlusion problem)，研究中也探討到使用者在使用時，會因為裝置中適時地加入觸覺回饋因子（haptic feedback）而使得使用者更有信心去操作裝置，與虛擬中的建築物互動。我們可由研究及實驗參考值中獲知觸覺的感知性佔有很大的影響成分（Buchmann et al., 2004）。此外，技術性的發展研究也有藉由電磁原理(electromagnetic)以無線電追蹤物體的定位點與方向的方式將數位資訊呈現在大型桌面裝置上（圖 2-2），並可由實體操作中進而控制資訊呈現的狀態，與其互動（Patten, 2001）。



圖 2-2. 從螢幕中移動資訊到桌面的過程（摘自 Patten, 2001）

另外除了以手指為基礎發展的觸覺研究，如 Rekimoto（2002）建議出利用手指習慣性動作，直接與觸碰式介面接觸與資訊互動（圖 2-3）外。有些研究者利用手勢等肢體動作發展新研究，因此有研究即強調欲設計可觸碰式的互動產品前，應先設計動作（Buur et al., 2004）。在探討各種情況下，人類不單只是使用單手，而會使用兩手的輸入方式，以手勢做為輸入裝置的概念（無論是靜態或動態）（Bolt. & Herranz,

2001)。Buur et al. (2004) 於研究中便強調以雙手做主要肢體動作為出發點，可以幫助使用者理解除電腦與認知以外，身體動作的敏感度及相對應關係。另外，也有提出完全以”手”輸入的方式控制電腦媒體裝置的想法，評估以“Whole-Hand”方式控制的想法需基於三個特色：自然的、能適應的與靈巧的（naturalness, adaptability and dexterity）（Sturman & Zeltzer, 1993）。相關探討介面還有許多，如市面上所推出的 P5 式手套式滑鼠，也是一種將目前使用者介面改良的例子。

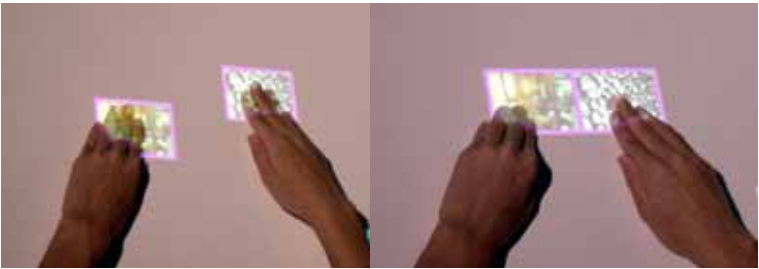


圖 2-3. 雙手的操作會習慣將物體串接在一起（摘自 Rekimoto, 2002）

相關針對觸覺探討概念性的研究或理論。繼承 Ullmer 對於現有的觸碰式使用者介面 Tangible User Interface(TUIs)的分類，研究學者建議出一套制度化的分析方式(TAC Paradigm)來解讀現今 TUIs 的概念架構（圖 2-4），並給予基本的分析原則及其媒材介面的特質與限制，讓想要設計觸碰式使用者介面的研發者作參考（Eduardo et al., 2003）。另外，也有研究以人為主題來探討在合作環境中觸覺回饋所扮演的角色，並以實驗及案例分析方式探討觸覺溝通是否能經由力回饋方式促進臨場感受與另一個遠方夥伴合作互動（Basdogan et al., 2001）。

TAC	Association			Behavior	
	Token	Constraints	Variable	Action	Feedback
1	Note	Board List of Notes	Webpage	Add	Add Note
				Remove	Remove Note
				Tap	Show Menu
2	Enote	Board List of Notes	Webpage	Add	Add Enote
				Erase	Erase note
3	Eraser	Board List of Notes Tool Tray	Webpage	Disconnect from Tray	Activate Eraser
				Connect to Tray	Deactivate Eraser
				Erase	Erase E-ink
4	Pen	Board	Link Form	Disconnect from Tray	Activate Pen
				Connect to Tray	Deactivate Pen
				Link Notes	Show link
				Draw	Show Form
5	Move Tool	Board List of Notes Tool Tray	Webpage	Disconnect from Tray	Activate Move Tool
				Connect to Tray	Deactivate Move Tool
				Move Enote	Move Enote
6	E-menu	Note	Webpage	Close	Close Menu
				Tap	Add or Release Note

圖 2-4. 以制度化的分析方式(TAC Paradigm)解讀現今 TUIs 概念架構（摘自 Eduardo et al., 2003）

綜合上述，可將相關研究大致整理成兩大部分如下：

- (1) 以手指產生觸覺的研究：如 McDonnell (2001) 開發的虛擬黏土及雕塑工具、Rekimoto & Matsushita (1997) 提出的感知表面、Buchmann et al. (2004) 於擴增實境(AE)中與虛擬物件互動之介面、Patten (2001) 由實體操作中與資訊互動，以及 Rekimoto (2002) 所建議的觸碰式介面等；
- (2) 以手勢模擬可能的觸覺感為基礎之研究：如 Bolt & Herranz (2001) 探討以手勢做為輸入裝置的概念、Sturman & Zeltzer (1993) 提出完全以”手”輸入的方式控制電腦媒體裝置的想法以及如市面上推出的 P5 式手套式滑鼠等 (Mindflux, 2003)。

2-2 設計過程中的構想發展階段

設計過程，大致可被分為資料蒐集、構想發展、細部設計與計畫案實現等階段 (Jones, 1992)，其他亦有學者們提出各類的程序模型 (Archer, 1984; Goel, 1995) 來解釋設計過程。Pena(1987)說到設計過程中不僅只是分析到結合，且能從主動尋求問題所在並將問題解決。而設計過程中的構想發展階段不僅被認為是指導設計創造力的關鍵階段 (Huang & Liu, 2001)，其相關的設計思考與行為等議題也在近年來大量的被探討，如草圖與視覺思考 (Goldschmidt, 1991; 1992; 1994)、心像 (Won, 1999) 及專家與生手之間的比較 (Ho, 2001) 等。根據研究指出，構想發展階段佔了設計師所有設計時間的百分之十到三十 (Van Dijk, 1995)。

在設計過程中，構想發展是屬於前期過程，也是早期被人視為黑箱作業的階段 (Rowe, 1987)，設計者經常藉由各類不同的呈現方式，將形式意念逐步轉化，並在其中逐步修正直到設計結果，然而這些建築設計呈現方式的發展並非一夕之間，而是隨著時空轉換在歷史中不斷地改變 (Liu, 1996)。我們賴以表現建築理念的方式，主要是二度空間的各種圖集以及三度空間的實體模型 (physical models) 和電腦模型 (computer model)。這些表現方法在建築歷史上是逐步演進而來，並對建築師的角色、設計方法以及設計的形式，都有決定性的影響 (Liu, 1996)。由過去的研究與理

論可歸納出設計者在早期構想發展階段所藉助的媒材工具主要為草圖與概念模型，且伴隨者草圖與概念模型發展構想的同時也會有不同的視覺思考行為產生。

2-2-1 草圖

草圖是一種媒介，在其中建築師們思考著。雖然草圖會因突然產生的念頭而直接被修改，但卻是在一個抽象且經常是不易明白的層面上，以圖解的元素將線條和平面呈現出具體的想法（Knoll & Hechinger, 1992）。再者，在手繪草圖在設計過程中可以看出藉由手繪行為具有至少兩種重要的角色；設計的重新詮釋（reinterpretation）及設計的不預期發現（unexpected discovery）（Suwa, 1998），因此，除了利用手繪把腦海中的抽象的設計描繪下來之外，也有找尋設計中不預期的發現及重新詮釋設計的意義存在。

設計師習慣將速寫草圖視為設計過程中十分重要的一部分（Lawson, 1994）。Herbert（1993）強調了草圖在設計中的重要性，他提到草圖在設計過程中，不僅是作為紀錄工具之用，同時也積極地參與設計過程中。根據研究指出，在設計構想發展階段，設計者具有一種重要的行為特徵：大量的畫圖行為（drawing）或草圖（sketch）的使用。Ferguson（1992）認為設計師使用草圖去嘗試新的想法，比較替選方案，以及在紙上擷取瞬間的想法，並提出草圖分成三種類型：（1）思考性的草圖（thinking sketch），此類型的草圖能使工程師集中並控制非口語的想法；（2）指示性的草圖（prescriptive sketch），是使工程師領導製圖員產生完成的圖畫；（3）會說話的草圖（talking sketch），是為技術人員互相交換意見中產生，為了要使澄清圖畫中不明確之處。相關論述到草圖的分類又如 Tovey（1986）所指出在將繪圖觀念化時，設計的繪圖有三種主要功能：（1）使設計過程變得容易，（2）使設計過程客觀化，以提供他人參與的機會，（3）能和其他人溝通完整的設計計畫案，如管理者、顧客或是工程師。此外，Rogers（2000）繼 Geol（1995）提出的兩種繪圖過程中的轉換形式：水平轉換與垂直轉換（lateral and vertical transformations）外，另外提出複製（duplication）的說法，指出草圖除了具前兩項特質外，設計者還會把先前的草圖加以複製後修改之。

2-2-2 視覺思考

Goldschmidt (1991,1992,1994) 相繼提出一系列對於草圖與視覺思考的研究，他於 1994 年發表提到，設計過程中包含了腦海中的影像 (mental imagery) 與思考中的視覺成分特質 (visual properties of thinking)；接著，Suwa et al. (2001) 亦說明到設計者在設計過程中看或重新詮釋 (reinterpret) 構想草圖時，會隨著對草圖不同部位的注意 (attending) 而作該部分的構件重組 (regroup part) 以衍生出新的構想。因此對於這種構件重組的視覺思考行為會促進設計中不預期圖形 (unintended features) 的發現；此外，Liu (1995) 提出由五個元素推演人類視覺對於形式重組的模型：input, preattending, selectively attending, encoding, short-term memory (STM)，由此認知與運算模型中可理解到人類視覺的因為選擇性的注意力，且經過重新組合排列後，會有不同的解讀與記憶。

Schön & Wiggins (1992) 提出了相關視覺思考的觀察，強調看的行為 (seeing)，並指出設計是一種「看-動-看」(seeing-moving-seeing) 的過程。另外從其研究中推論出的另一個論點設計是「畫-檢視-修改」(sketch-inspect-revise) 的過程。設計者把腦海中的想法畫在紙上並檢測之，在檢視的同時，又可以從草圖中發現一些無預期的圖形，然後在修改設計。這樣的方式的確闡述了 Suwa et al. (2001) 所看或重新詮釋 (reinterpret) 構想草圖的過程。另一方面，Simon 認為設計的行為是一個基於個人先前經驗而尋求各種不同可能性 (finding alternatives) 的過程；而 Liu (1996) 也提出設計是一個在圖面上看出不同景象而發展的過程。舉例來說，在初期繪製草圖階段時，常用很粗的筆來畫，由於粗筆的線條能提供好幾種隱含不明的組合，各有各的比例關係，不同人在同一張圖上，看到的卻是不同的可能性。因此，視覺活動與設計發展的關係主要和設計者的經驗與記憶有關；設計經驗的多寡，除了影響由記憶轉化而得的思考方向外，也影響了能不能在眾多圖形組合中看出精隨之處 (Liu, 1996)。而我們也能從前述中得知設計者因為不同的視覺記憶與空間經驗所構思出的不同可能性的設計；再者，任何一人從任何一張 2D 圖面或影像所解讀或記憶的特徵也不盡相同，也才能尋求出更多的不可預期性。

2-2-3 實體模型

Gero (2003) 提出人類利用工具建構經驗，並且根據那些建構經驗來適應這些工具，有經驗的設計者便可深刻體驗這個想法。設計時所使用的媒材不僅被認為對設計工作的發展、空間的認知以及設計溝通的方式有直接的影響，同時也暗示著設計可能進行的方式 (Herbert, 1994)。模型，尤其是概念模型及工作模型，是建築工作中及理解能力中伴隨著草圖不可或缺的工具。第一個概念模型亦可滿足草圖的變動和多樣性的要求 (Knoll & Hechinger, 1992)。

此外，亦有針對實體模型與電腦模型作相關的研究，比較其空間與材質間的差異。研究結果提出幾項論點，其中雖然論述到電腦模型的圖層、布林的功能使設計者產生不同設計思考模式，能提升設計與施工在溝通上的精確性，但是以傳統與電腦模型判斷 2D 比例無絕對優劣，再者，在電腦模型的環境中容易喪失尺度感，而實體模型在量體的掌握上佔有較大的優勢 (林政緣, 2000)。許多學者們也觀察到，設計過程中的草圖及實體模型有助於設計中的非預期發展 (Suwa et al., 1998)，實體模型更被指出可提供設計者無拘束的轉移視點與觀察位置的特性，實體模型提供一種全環境的視覺呈現，可掌握整體佈局且可以發現更多細部問題 (李惠琳, 2002)。因此，實體模型的確仍有其存在的必要性。

在傳統的建築設計過程中，使用者習慣用自己的雙手及眼睛去發展創造力。(Schön and Wiggins, 1992)。而設計表達於草圖與模型之中，藉由草圖和模型，設計的過程被紀錄下來並被理解。製作實體模型的材料有許多，依照不同發展階段所藉以表達想法的模型材料不同，最常見的如黏土、紙版、石膏、木材、壓克力等 (Knoll & Hechinger, 1992)。實體的概念模型扮演了很重要的角色，如同代表著一種轉化我們空間想像的元素及更多元的可能性。模型是設計過程的一部分之一，也就是說，他們一再表達出設計上可變動和可變動的情勢。而設計中的每一個階段都會出現模型以輔助自己或他人理解設計，其模型大致可分成三個階段發展：(1) 草圖階段的概念模型，(2) 設計中的工作模型，及 (3) 執行階段的實作模型 (Knoll & Hechinger, 1992)。其中於草圖階段的概念模型即為發展構想的重要媒介。

依據上述整理出幾個學者對於實體模型的論點 (表 2-1) 以更清楚的了解實體模型在

設計中所占的重要性。

表 2-1: 各研究者對於實體模型的觀點整理

研 究 者	針對實體模型所提出之論點
Suwa et al (1998)	設計過程中的草圖及實體模型有助於設計中的非預期發展
李惠琳 (2002)	實體模型可提供設計者無拘束的轉移視點與觀察位置的特性，並且掌握整體佈局且可以發現更多細部問題
Knoll & Hechinger (1992)	實體的概念模型扮演了很重要的角色，如同代表著一種轉化我們空間想像的元素及更多元的可能性

2-3 設計過程中的數位媒材

雖然在一般傳統觀念底下，設計結果（將問題解決）通常是用以圖像方式表達，而設計過程中許許多多的圖集則是被用來表現或者用來重現設計理念的媒介與溝通工具，但是近期我們可以看見至少建築設計者所利用媒材工具的用途已並不僅止於表現最後的設計結果而已，取而代之的，更多新媒材工具佔於設計思考中已有更多不同的定義了。

我們賴以表現建築理念的方式，主要是二度空間的各種圖集以及三度空間的實體模型（physical models）和電腦模型（computer model）。這些表現方法在建築歷史上是逐步演進而來，並對建築師的角色、設計方法以及設計的形式，都有決定性的影響（Liu, 1996）。如今電腦新媒材的介入對設計產生更多的刺激，而不同媒材的使用的確也能讓設計者在構想發展階段的設計行為或視覺思考產生了變異（Won, 1999; Wong, 2000）。因此在設計過程中，設計者仰賴於視覺思考（visual thinking）與所呈現的設計作溝通。而設計者也藉由與不同的媒材應用工具的結合傳達出適當並符合原始設計思考的結果。

2-3-1 一般媒材的發展

今日媒體已融入社會的各個層面，從大眾傳播中的電視、廣播、報紙遍及到世界每日生活中的所有事物，使得我們每天都會有多元化的媒體經驗。舉例而言，如老師們每天都必須使用多種的方式與視聽教材來教導學生們（Hanclosky, 1995）。而 Williams（1981）也提到，無論我們如何定義這些我們所使用的東西，但其中的確有許多不同種類的媒材存在，它們的相異性則仰賴於人們依賴那些媒材的技術或程度上的不同。媒材主要的可分成三類來談：（1）介紹性媒材（Presentational media），（2）表現性媒材（Representational media），及（3）電子機械性媒材（Mechanical/ electronic media）。探討到媒體設計的背景，可以從 Lanswell（1948）發表的研究談起，他提到大眾溝通過程中，需要某個個體提出一個訊息，而那個訊息必須經過某個管道送至接送者那端，並且引起其回應或是影響。為了觀察個人的溝通方式是否關係到其使用的媒材以達到有效率的成果。研究學者們發現，一個人會經過一連串不斷地再要求的條件下，而達成最後想要的成果（Lavidge & Steiner, 1996）；這樣的理論也符合 McGuire（1973）所發展的理論模型（the Matrix of Persuasion Model），其中提到媒材設計者首先必須將資訊重現給他人了解，以至於能讓他們能參與其中並推論之，緊接著，若傳達出的訊息經設計過後其效果若良好，媒體工作者則得以受媒體工具所啟發，而有好的成果或行為產生（McGuire, 1973）。

Hanclosky（1995）進一步說到，事實上，當經歷某些任務時，沒有一個人很難不在一天之中不去扮演著一個專業媒材的製造者。包括了廣泛及非廣泛的媒體領域，媒體提供了個人知識及技術的定位及價值，其多元的媒體應用可分成（1）圖像（2）影像（3）聲音（4）電影（5）視訊及（6）數位媒材（computer technology）六類，作者於研究中分別敘述及討論各個媒體的定位及發展性。如今電腦已經成為媒體中的一個集合式的元素，它被用於敘述、教導學生、管理、創造圖像、豐富影音、轉換及傳達視覺/聽覺/印刷資訊、錄製音樂及影像、創造動畫及特效以及創造多元影像的系統上，並且幫助減少資料或系統的管理，使得使用者得以與其系統中的視訊、圖像影像及聲音互動（Hanclosky, 1995）。然而事實上，數位媒材的定位是來自於各個專門領域學者們之需求而來，包括藉由電腦輔助來幫助教學（CAI）、電腦輔助管理（CAM）、以電腦繪製圖像的相關藝術者（computer graphic artists）、資訊科技人

才、工程師及多媒體影像製作設計者等而來，其他也有應較高等教育領域，音樂研究及圖書館資訊系統所需而開始了數位媒材這個範疇（Hanclosky, 1995）。我們的社會已經逐漸演變成電腦文化，更多的多媒體系統持續增加中，諸如應用於資訊及娛樂工程、訓練、銷售、推銷及文獻整理等，越來越多從單純至精煉的程式提供給各個使用目的者數位媒體的環境。

2-3-2 數位媒材輔助草圖與構想發展

不同時期設計者透過不同表示方法（presentations），將自己的理念表示給自己看，作為自我溝通之用（Liu, 1996）。如今數位媒材與技術的發展，數位媒材成為了能讓設計者表達概念與想像力的強大而有力的生產與表現工具（Brady, 2003）。而自電腦繪圖的開創者 Sutherland 提出了互動式的電腦繪圖系統後，電腦輔助設計系統（computer-aided design, CAD）便逐漸在設計過程中顯露出其重要性，而在 80 年代之後電腦輔助設計系統（CAD）便大量被引用。但是由於當時的 CAD 系統只著重在設計過程後期的完成階段的表現方式，而 CAD 系統則是基層明確且有完整架構的呈現系統（Representation），加上行為受限於介面的問題，因此很難輔助設計者在設計過程早期既模糊又不完整，卻又充滿創造力的構想階段（Gross, 1996）。

為了符合創造力追求的階段，學者們也發現現今的使用者介面均不完全支持使用者實際的需求，取而代之的卻以線性過程簡易地替代之，然而，這樣的方式並無法符合當下對於創造力的追求，因此在其研究當中便分別利用三個案例數據以及 Schön 的「動作中的反應」理論（theory of reflection in action）來探討現今創作者的使用介面不足之處，並進一步提出一系列圖像創作者的介面設計原則（Terry & Mynatt, 2002）其期待能改善今後欲發展的使用者介面問題。

早期設計階段，設計者會利用電腦輔助構想階段（computer aided conceptual design, CACD）的相關技術來設計來發展構想，於是開始有媒材及互動的介面相繼被開發作研究（Landay & Myers, 1995）。也有為了配合設計者在發展構想時發展出一套類似於傳統使用者習慣的工作環境，並圍塑出一個多種影像與資訊重現的虛擬環境（Virtual

Environment, VE)，以協助設計者在早期設計階段的發展（Anderson et al., 2003）。相關於數位媒材輔助草圖發展的介面研究中，有研究認為筆式輸入（pen-based input）方式最適合草圖階段的輔助介面（Plimmer & Apperley, 2002）。為了模擬草圖時的一些特定行為及侷限，也有許多研究者提出不同的看法（Landay & Myers, 1995; Trinder, 1999）。

此外，以 2D 方式將手繪草圖改造成為 3D 模型的技術及研究相繼發表出。如在工業設計領域中，研究者發展出一套工業設計師的外型塑造電腦系統，稱為快速成型設計師（fast shape designer, FSD）。此系統可以由 2D 的草圖轉換建構出 3D 的繪圖系統，讓設計者得以在 2D 或 3D 的環境中快速進行草圖的測試（Van Dijk, 1995）。而在三年後，研究學者根據 FSD 系統原理，進一步發展了具有互動性視窗及快速即時視覺回饋的 CACD 系統，且提供了變形特徵功能（displacement feature function, DFF）讓設計者更能有刺激想法的機會（Elsas & Vergeest, 1998）。



2-3-3 數位媒材輔助建構模型

走過傳統設計過程迄今，設計者清楚的知道媒材的力量，根據對媒材的了解與熟悉度，每一位設計作者將不等程度的媒材元素納入設計過程呈現出不同的決策與表現的方式。回顧過去，從傳統平面圖、立面圖、剖面圖、透視圖及模型等表現媒介到 90 年代電腦在建築設計中所能扮演的角色中早已脫離了平面繪圖，而轉以利用電腦模型的製作，更精確的模擬空間形式的變化及光線與材質，甚至利用動畫（animation）和虛擬實境（virtual reality）等相關技術（Liu, 1996）。然而，我們可以看見的是，早期建築設計過程是由草圖→平面圖、立面圖、剖面圖及透視圖等 2D 圖集繪製→實體模型→3D 模型等階段循序漸進進行，而近幾年間也有些許人先跳過草圖階段，轉而先在 3D 模型製作程式中拉出建築物量體的比例關係→進而再到平面來調整細部設計及比例作設計；然而不論是哪種設計方式，設計者為的就是將腦海中想像的景象，努力的以不同媒材工具及表現手法具體的呈現出來。

Rahman（1992），強調出電腦媒材（如數位模型與動畫）的重要性。隨著電腦科技

的日新月異帶動了電腦輔助設計的成長，從只有尺和筆做設計的年代，如今電腦慢慢地成為當今輔助建築設計最重要的革命性工具，設計者開始利用電腦來做一些複雜的運算工作與資料儲存。電腦輔助設計大致可分成三個層次：（1）設計表現與軟體應用，（2）設計原理與電腦繪圖，及（3）設計思考與電腦智慧（劉育東，1995）。針對建築中 CAD/CAM 的例子相當多，舉例如美國建築師 Peter Eisenman 的 Aronff Center，若不藉助電腦的運用模擬描繪的話，這些空間根本不可能產生的（Koch, 1997）；又如 Gehry 利用電腦跨越了二維圖的限制，豐富的造型及空間變化造就了許多有名的案子相當多（如畢爾包的古根漢美術館，捷克的荷蘭辦公大樓等），其電腦技術部門的經理 Randy Jefferson 便指出，相對於傳統的設計工具，電腦替除了許多二度空間的步驟，避免掉許多錯誤及瑣碎的動作（Zaera, 1997）。

然而數位媒材發展至今，已有如 Wellner (1993)提出的數位平台（Digital Desk），利用電腦投影影像功能，使實體的桌面成為電腦工作站（圖 2-5）；Igarashi, Matsuoka & Tanaka（1999）開發的 teddy system 已可以將使用者所繪製 2D 的自由筆觸（freeform stroke）自動的模擬成 3D 的多邊形面體（polygonal surfaces）；Tango & Sugimoto（2001）發展的 Godzilla System，利用戴上經處理的水晶體遮罩眼鏡（crystal shutter glasses）與擴增實境平台構成一個虛擬的環境，讓使用者可快速看到經由繪製草圖所呈現的立體 3D 空間；另外同樣利用擴增實境的方式，並結合使用者的手勢（圖 2-6），探索出可能互動的模式（Sinclair et al., 2002）。於是，電腦介入建築設計的呈現方式擴展了設計者的創造力，教育學者及執業者們必須能用這些新的科技來重新思考設計的方式，並從各個層面來做設計練習（Mitchell, 1997）。

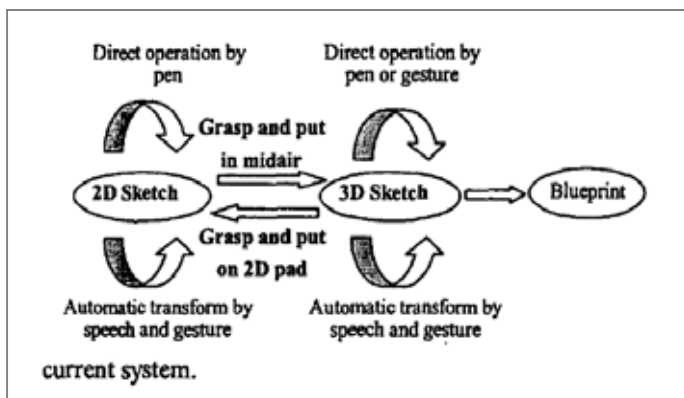


圖 2-5. Godzilla 系統設計流程（摘自 Tango & Sugimoto, 2002）

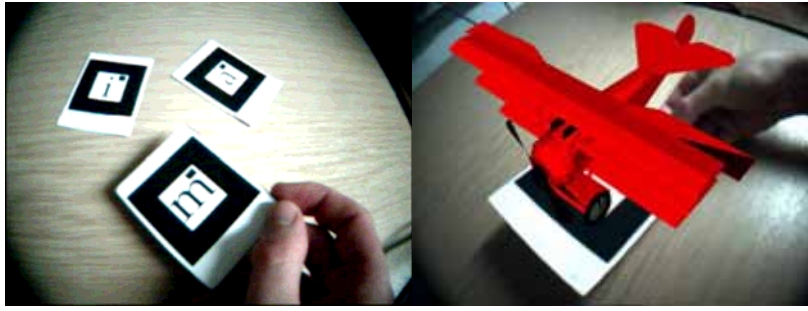


圖2-6. 透過ARToolKit 的標記卡讓虛擬的三翼飛機與實體環境重疊在一起（摘自 Sinclair et al., 2002）

2-3-4 數位媒材輔助設計中相關觸覺之研究

在設計或藝術的領域中，越來越多關於手與觸覺的研究，並且研究者也積極地努力開發更多元的觸覺介面或系統，讓設計者在設計過程中能搭配應用。許多相關以觸覺基礎的建模技術也相繼被提出（McDonnell et al., 2001; Bloomenthal & Wyvill, 1990; Markosian et al., 1999）。雖然逐漸增多的研究集中於擴增實境(Augmented Reality or AR)、觸碰式媒材(tangible media)發展的領域，但我們卻甚少了解到實體與虛擬物體之間是如何支援我們表達設計想法的。因此，有研究即針對一群工程師進行實驗，觀察他們在使用傳統硬體工具（如紙、筆）去執行設計時，所運用的這些有觸覺性的硬體媒材工具在設計思考與溝通過程中所扮演的角色。研究中並指出設計者在設計思考階段相當依賴實體媒材能給予的實質支援性，或許現今的新媒材能達到快速彩現及透視效果(CAD)，但是伴隨著設計者於探索過程中所需的時間因子仍是有必要存在的，設計者會主動去尋找實體的特質後並決定下一個動作（Brereton & McGarry, 2000）。

在產品設計領域中，外觀的視覺造型是發展過程中相當重要的一環，有研究學者便設計了一套 Surface Drawer 系統，此系統並非是要取代傳統設計過程，而是站在設計者立場提出一個簡單的 3D 電腦輔助 Sketch 系統（圖 2-7），已提供設計者開發更多的可能性（Wesche & Seidel, 2001）。此外，Schkolne et al.（2001）提出 Surface Drawing 系統，利用手及可處碰式的工具（the Hand and Tangible Tools），提供給有需要並且有興趣創造出 3D 幾何造型的藝術家（圖 2-8）。配合設計者的需求，媒材工具都共同具有某些應需求而發展的特質，其中一項需求即希望能幫助設計者能更多元方式且快速的來輔助設計，換句話說，也期望媒材輔助工具能讓設計者從手繪草

圖、想像概念圖及影像等 2D 經驗轉換新的 3D 空間型態來。

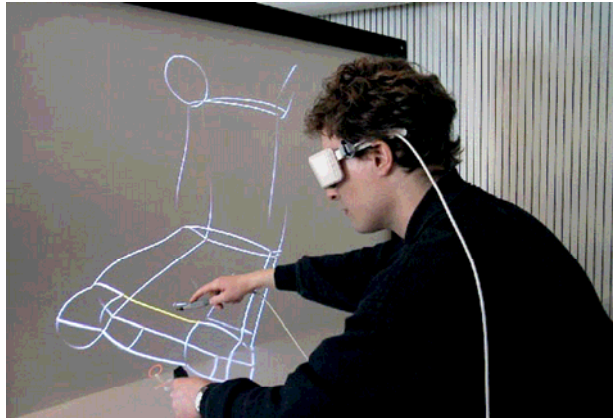


圖 2-7. 在虛擬實境中繪製曲線架構 (摘自 Wesche & Seidel, 2001)



圖 2-8. 在 Workbench 平台中利用手的動作創造造型 (摘自 Schkolne, Pruett, Schröder, 2001)

另一方面為了讓設計者能更直覺透過觸覺性的使用者介面 (tangible user interface) 操作，研究提供設計者一電腦輔助設計的平台，以加強瀏覽及建構模型的工作 (Lee et al., 2003)。從建築師、工業設計師、藝術家及娛樂工業的模型製作者均相當專注於 3D Shapes 的創造。研究者觀察到許多的藝術家卻對於這些 3D 模型的新工具較難適應，並必須配合預先作 Pencil sketches 再於 3D 模型軟體上完成建模。因此，研究學者便希望能結合這兩個階段，利用手在 VR 環境中標示 (mark) 空間，並配合許多的 tangible tools 發展介面編修模型 (Schkolne et al., 2001)。近日，於工業設計領域，亦有日本的研究學者便針對工業設計者早期設計階段之需要，提出一新的編修曲線方法。利用可抓式的透明小圓形板，使設計者能在投射螢幕上與曲線直接互動 (圖 2-9)，這種圓形板亦可以使雙手能直覺且有效的方式生產製作曲線，讓設計者能在早期設計階段時能運用較大的比例規模順利地編修曲線及 3D 模型 (Bae et al., 2004)。



圖 2-9. 在大型展示空間中以有具體觸覺的方式操作曲線（摘自 Bae et al., 2004）

依據研究者們所提出的研究及觀點，上述輔助設計的數位媒材大致可分成三方面：

- (1) 輔助草圖與構想發展：如 Plimmer & Apperley (2002) 的筆式輸入 (pen-based input) 的輔助介面、Wellner (1993) 提出的數位平台 (Digital Desk) 等；
- (2) 輔助發展建構模型：除設計者常使用的 3D Max, MAYA, Form Z, Rhinoceros 等繪圖軟體外，另外如 Tango & Sugimoto (2001) 發展的 Godzilla System、結合作者的手勢探索互動的模式 (Sinclair et al., 2002) 等；另外亦有結合前兩者，以 2D 方式將手繪草圖改造成為 3D 模型的技術 (Van Dijk, 1995 ; Elsas & Vergeest, 1998) 等。
- (3) 輔助設計中相關觸覺之研究：如以觸覺為基礎的建模技術研究 (McDonnell et al., 2001; Bloomenthal & Wyvill, 1990; Markosian et al., 1999)，或如產品設計領域中，Wesche & Seidel (2001) 提出 Surface Drawer 輔助藝術家的 3D Sketch 系統、Schkolne et al. (2001) 為工業設計領域開發出的 Surface Drawing 系統及編修曲線工具 (Bae et al., 2004)，以及具力回饋的 Phantom 雕刻筆 (SensAble Technologies, 2004) 等。