行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

數位紋理之演算法與模型之研究
研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 97-2221-E-032-042-
執 行 期 間 ：97 年 08 月 01 日至 98 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：淡江大學建築學系

計畫主持人：陳珍誠

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理人員：陳宏銘
博士班研究生-兼任助理人員：林俊宏

公 開 資 訊 ：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 98 年 08 月 03 日

一、　前言

裝飾在各個民族（中國、日本、印度、阿拉伯、...等）的設計史上佔有著極為重要的地位，甚至各個民族的文化也可以透過這些裝飾而被強調與區別。在不同時期的設計史上，我們也可以看到裝飾被強調（哥德式、巴洛克、新古典）與被冷落的過程。近代設計史上，十九世紀末的「新藝術運動」（Art Nouveau）及二十世紀「裝飾主義」（Art Deco）強調裝飾造型的設計曾經曇花一現，旋即受到「現代主義」（Modernism）的影響而式微。儉約設計與機械美學曾經有一段時間成為「現代主義」的座右銘，並主導著二十世紀後半葉至今的許多設計原則。

在奧地利建築師 Adolf Loos 於1908 年所著的《裝飾與罪惡》（*Ornament Verbrechen*（德文），英譯為 *Ornament is Crime*），他認為對於設計加以裝飾是件罪惡的事情，因為裝飾是無法反映出現代文化中的機能性、純粹性、與匿名性。Loos 的這篇文章每隔一段時間就會被提出來討論，提醒著人們設計簡潔的重要性，也因此對於二十世紀的建築與設計觀點有著深遠的影響。當然，我們不能將「反對裝飾」的現代設計風潮簡單的歸因於 Adolf Loos 的《裝飾與罪惡》這篇文章。然而，為了因應二十世紀兩次世界大戰後人口激增與大量建設的需求，不帶有裝飾的設計與產品是方便大量機械製造的重要因素之一，尤其是人力與時間被過度資本化之後，繁複的裝飾是無法在充足的時間內被加以生產的。

在歷經過長時間現代主義美學的影響之後，今日，裝飾又被重新提起。裝飾重新被重視與流行的背後當然有許多原因，比方說：我們可以宣稱流行又回頭了，塗鴉與刺青不也流行好一陣了；或是說無遠弗界的媒體與網際網路對於視覺意象的強調，以及方便的影像處理、平面設計、與網頁設計軟體的推波助燃。本研究並非強調「裝飾」在設計上的重要性，而是觀察到由工業化社會步入資訊化社會的過程中，儉約式的設計並沒有單獨成為設計的主流，至少有以下幾點原因：1. 國際化與大量製造的結果，弭平了不同文化之間的許多特色；2. 消費激增的結果，消費者希望追求更具個性化的產品；3. 資訊技術的介入設計，雖然助長了大量製造與生產，同時也提供了人們「大量客製化」（Mass-Customization）的機會。4.順應著電腦程式、電腦繪圖軟體、與電腦科學知識成長的「數位紋理」（Digital Patterns）對於設計的形態學（Morphology）產生了基本上、造型上、與設計哲學上革命性的影響，這也就是本研究將會加以深入討論與研究的方向。

在近代建築理論的發展上，受到18 世紀生物學發展的影響，從 Louis Durand 開始，西方建築學者多以「類型學」（Typology）的角度發展建築理論。在「現代主義」時期，雖然「類型學」歷經了建築材料與技術的改變改頭換面（由磚石構造轉向了鋼筋混凝土構造），但是「類型學」仍然與Walter Groupies（參考《*包浩斯的生產原則*》）與 Mies van der Rohe 的思維不謀而合，一直是西方建築理論的主流。就算是到了1980 年代「現代主義」已經慢慢式微， Mathias Ungers 與Aldo Rossi 等「歐洲理性主義」諸公，仍然在歐氏幾何與理性的範疇思考下，強調對於歐洲舊建築空間型態去除「裝飾」之後的沿用，而不是嶄新形式的創造。另外一方面，受

到「語言學」發展的影響，1960 年代 Christopher Alexander 致力於「模式語言」（Pattern Language）的研究，一開始時亦嘗試透過電腦程式的模擬幫助模式語言的研究。1980 年代 George Stiny 發展了關於「造型文法」（Shape Grammars）的研究，他早期對於中國花窗窗櫺造型文法的研究與本研究有些相關，而 Peter Eisenman 則討論建築型式語言的「深層結構」（Deep Structure），後期 Eisenman 轉向數位建築形態的研究上。

當代設計往往代表著當代工藝、科技與人文的極緻表現與結合。在電腦輔助建築設計（Computer-Aided Architectural Design）萌芽的階段，受限於製造的能力，初期的發展上例如「造型文法」與「參數化設計」（Parametric Design）等，大都停留在笛卡爾座標系統下討論較為「正交」的造型，並設法加速這類設計的推理過程。過去十年來，新一代「數位建築」的努力，年輕的「數位建築」工作者例如：Greg Lynn 開始以電腦程式衍生形體（Generative Form）、電腦動畫軟體產生「動勢造型」（Animate Form）、以及結合電腦輔助製造（Computer-Aided Manufacturing，CAD）與各種數位控制製造機器（Computer Numerical Control，CNC）並以各種不同領域所發展的新合成材料（Trans-Material）加以製造，這些新嘗試勾勒出「數位製造」（Digital Fabrication）的藍圖。也就是藉由更快速的硬體以及更友善的軟體與使用者介面如：非制式理性曲線與曲面（Non-Uniform Rational Bezier Spline，NURBS）、與整合性更佳的軟體系統與環境、與跨領域度更高的技術，將建築設計從概念設計以至於現場施工過程的全面數位化家以實現。此外，建築理論經常反應著時代的精神（*Zeitgeist*）。而伴隨著科技與電腦科學新理論的發展，如：非線性、自我組織、碎形幾何、皺摺、象變、超弦、渾沌、與複雜科學等，改變傳統柏拉圖式的哲學觀、宗教觀與宇宙觀，相對的也改變了人們對於空間的認知與對於建築的看法。這些因為資訊技術的進步所衍生於各個領域中的新觀點，相對的也成為了建築理論的新基礎。

複雜科學的發展逐漸影響建築的結構與形式，也藉由電腦輔助製造工具在設計上的應用，設計者得以生產出許多不規則形體或演算的型態。在這樣的發展中結構工程師扮演建築設計中重要的推手，如 Lab Architecture Studio 在澳洲莫爾本的聯邦廣場設計，透過數學幾何系統組成了鋼與玻璃的雙層網格構件，組構出主次結構相互交錯的風車狀網狀系統。

二、 研究目的

非線性數位設計美學：今日我們擁有新的數位工具，可以將數據分析的軟體、影像處理軟體、影像剪接軟體、與方便的超表面建構具 Nurbs 功能的繪圖軟體，並將這些軟體所生產的二維與三維影像相互結合，產生了許多前所未見的「數位紋理」。甚至更進一步的可以應用動力系統、分子系統、非堅體動力系統等動態模擬系統，這些新的數位工具將產生與傳統幾何美學與機械美學截然不同的數位美學觀點。

向礦物植物動物學習：礦物的組織、結晶、合金，植物的纖維、葉脈、生長，與動物的細胞、表皮、運動等，都啟發著我們的視覺。但是這些紋理的構成原理、組織

脈絡與材料質感等，只有少部份被設計師所理解並將其應用於設計當中。因此，「數位紋理」向大自然學習這部份是值得期待的。

向數學音樂藝術學習：Douglas R. Hofstadter 於1979 年所著的《*Godel，Escher，Bach：an Eternal Golden Braid*》一書中，將數學、音樂、藝術三個不同領域中三位偉大人物哥德爾、艾薛爾、巴哈的作品加以比較並嘗試發現他們之中的關聯性，啟發了我們整合不同領域的思考，並且提示我們未來的認知科學、人工智慧、生物科技、資訊科技等學們互相學習與整合的可能。

數位紋理生產與模型：結合電腦輔助製造（CAD / CAM）的技術，產生三維「數位紋理」的電腦與實體模型，甚至應用於實體建築物之施工上，並結合嶄新的材料、結構計算、與構造技術，將使得設計與其他新穎的工程領域相結合，這將是對於數位時代的構築在家的詮釋。

抽象工藝的數位構築：由於各種材料具有其特殊性，因此即便是當代的數位化工作機具，仍然必須透過對構築材料及其組合方式的了解，才能產生合理而有效的結果。這種新的「數位構築」方式相較於傳統構築方式，產生出「抽象工藝」（Abstracting Craft）的新觀念，設計師不再完全仰賴手工藝匠師，數位工具成為最佳的設計師助手。

三、　重要性

數位紋理可以透過「衍生演算模型」（Generative Algorithmic Modeling）來描述，也就是以數字、數學、計算、參數、演算法等來產生。因為這些紋理是由參數與演算法產生，所以只要將衍生的過程釐清，之後變動相關的參數或程序，很容易產生其他可能的相關變形（Variations）。並且可以將一些關於材料的特性、製造上的限制、與組合的邏輯，甚至是對於環境的回應等因素放入參數或演算法中。因此，產生了一種新的設計方法，設計者不再只是不斷的在電腦繪圖軟體中輸入幾何型體拼湊出設計，而是以理性的方式思考由形式的產生到設計生產的邏輯與意義。

Frampton 在他 1995 年針對構築議題進行探討的《*Studies in Tectonic Culture*》一書中，特別強調當代營建技術對小單元元件以及發展其接合方式的重視。尤其是當代各種新形式的操作，不但在觀念牽涉到許多拓樸形體概念的認識，更必須在實踐的層面上特別重視介於空間整體與局部之間的連結技術。因此，數位紋理的研究勢必對於新材料、新構造、與新工法進行更深入的了解。這不但是當代的建築設計者表達建築本質、空間形態、與實踐空間的重要技能，也是展現數位時代設計意圖最有效的策略。

以我們的鄰國日本為例，可以看到中生代的建築師的作品中亦開始反映「數位紋理」的觀念，例如：渡邊誠的作品飯田橋車站的燈具結構以演算法衍生樹枝狀的鋼結構並以 CNC 生產，牙醫自宅設計中以石材料銑床洗出波浪狀的紋理。阿部仁史的所設計的「青葉亭」中以不同大小的充孔板洞，模擬出樹叢的紋理，這些方案其實都可行易懂但是卻又是匠心獨具。

四、 文獻探討

「數位紋理」的討論是近幾年才開始的研究議題，我們可以在 Greg Lynn與 Hani Rahid 於2002 年合著的《*Architectural Laboratories*》中開始看到一些實驗性的案例。同一年，伊東豐雄於倫敦所設計的 Serpentine Gallery 展覽館中，將一完整之正方體，不斷地碎化為多邊形，建築師起先以手繪思考發展概念雛形，然後運用電腦演算與分析，繪製出展覽館的各向立面。然後將各向立面組成拆解並將單元多邊形抽取出來做為結構支撐與材料的選擇，整體展覽館立面共380 片白色鋁板與玻璃構成，當中沒有兩個物件是相互平行或重覆。之後幾年 Serpentine Gallery 與紐約 MoMA 美術館的 P.S.1 展場中的其他展覽館也有類似的作品。Serpentine Gallery 的數個展覽館幕後都由 Ove Arup 的首席工程師Cecil Balmond擔任推手，Cecil Balmond 重要的顧問工程可以參考日本 A+U 雜誌 2006 年11 月臨時增刊《*Cecil Balmond*》。Cecil Balmond十年前的著作《*Number 9：the Search for the Sigma Code*》一書中，對於數字與幾何呈現一種神秘但是卻又理性的觀察，非常有趣。此外，2008 北京奧運會的「水立方」游泳池，是由 PTWArchitects 委託澳洲的 Ove Arup 擔任工程顧問一起完成的相關案例。

比較早期的關於有機形態的分析可以參考 D'Arcy Thompson的著作《*On Growth and Form*》， Amazon 網路書店票選這本書為20 世紀最重要的100 本書之一。比較早期的作品，可以在藝術家Erwin Hauer 於1960 年代所創作的牆面中發現到，收錄於《*Continua*》一書當中。關於碎形的討論可以參考 Benoit Mandelbrot於1983 年所著的《*The Fractal Geometry of Nature*》，這本書也開啟了其他關於渾沌（Chaos）與複雜（Complexity）科學的討論。如果我們重看 Charles Jencks 於1995 年所著的《*The Architecture of The Jumping Universe*》，會驚訝於12 年前看起來語焉不詳的這部著作中，回過頭來看竟可以發現到許多 Jencks 先生的先見之明。Charles Jencks 的這本著作起源於倫敦「建築聯盟」（Architecture Association，簡稱AA）的一次討論會，因此也預告了AA 近十年來的實驗性數位建築教學的走向。國內阿里山景觀橋國際競圖首獎得主 Reiser+Umemoto 於2006 年所著的《*Atlas of Novel Tectonics*》對於現代主義與數位建築的構築形態之差異以短文與圖解對比呈現，是易懂有趣的入門書籍。其他有趣的燈飾、工業設計、與室內設計的「數位紋理」應用可以參考《*Forms with Fantasy*》。

相關的參考文獻可參考倫敦 WileyAcademic 出版的 Architectural Design 雙月刊，其中以 2002 年的 159 期《*Versioning：Evolutionary Techniques in Architecture*》，2003 年的 162 期《*Surface Consciousness*》， 2004 年的 168 期《*Emergence：Morphogenetic Design Strategies*》， 2005 年的 175 期《*4D Space：Interactive Architecture*》、176 期《*Design through Making*》， 2006 年的 180 期《*Techniques and Technologies in Morphogenetic Design*》、182 期《*Programming Cultures*》、183 期《*Collective Intelligence in Design*》、184 期《*Architextiles*》、185 期《*Elegance*》與本研究較為相關。義大利「IT Revolution in Architecture」系列叢書的30 本小冊中

亦有相關的討論，英國倫敦「建築聯盟」近年的出版品與學生作品集亦可以做為建築教育與未來實驗性方案的參考。

五、 研究方法

本研究將討論的子題與研究架構涵蓋：

（1）「數位紋理」與數字：討論透過簡單的比例、數字、黃金比、Fibonacci 函數、Voronoi 演算…等我們所理解的簡易數學，如何在電腦繪圖的幫助下衍生出複雜的數位紋理。

（2）「數位紋理」的形態：定義目前可以理解數位紋理的形態，例如：Spiraling、Packing、Weaving、Blending、Cracking、Flocking、Tiling、Folding、Branching、Knotting、…等如何在電腦繪圖的世界中被呈現。

（3）「數位紋理」與工具：討論電腦繪圖功能：Displacement、Fold、Morph、…等， 電腦繪圖形態如： Blob 、Patch 、Nurbs 、MetaForm、…等，與電腦繪圖軟體如：FormZ、Rhino、與Maya 等繪圖指令的特性，以及這些特性所可以產生特殊的不同數位紋理。

（4）動態的「數位紋理」：討論因為電腦動畫的介入所產生的動態造型（Animate Form）與關鍵畫面（Key-Frame）所衍生的動力學造型（Dynamic Form）。

（5）「數位紋理」與演算：討論以滑鼠操作電腦繪圖軟體的極限，以及以電腦程式編撰超越這極限之後所可以完成的數位紋理。

（6）「數位紋理」的模型：討論形塑不同數位紋理背後所支持的理論與（數學）模型，例如：有限狀態機（Finite State Automata），L系統與海龜幾何（L-Systems ＋Turtle-Geometry），碎形（Fractals），細胞自動機（Cellular Automata），遺傳演算法(Genetic Algorithms)，非結晶形態計算(Amorphous Computing)與自我組織（Self-Organization）等，其中很大的部份與當代資訊科學、生物科學、渾沌、複雜科學相關。

（7）「數位紋理」與材料：討論抽象的數位紋理系統如何與真實的材料產生關係，進而可以成為可行的真實紋理。

（8）「數位紋理」與結構：討論數位化的二維與三維圖像，如何在不同的尺度下轉變成為合理的結構與組織。

（9）「數位紋理」的案例：包括 Herzog & de Meuron、Toyo Ito、Cecil Balmond等人的作品與當代建築設計作品背後的數位紋理意涵。

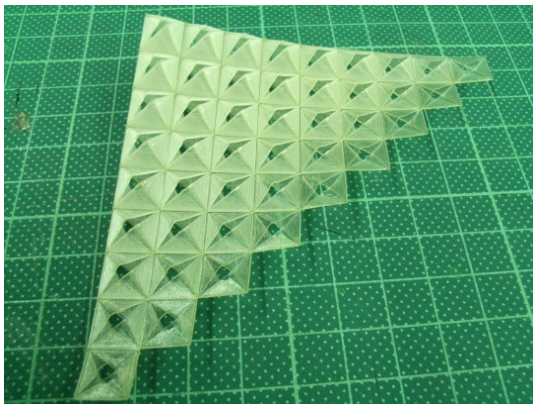
（10）「數位紋理」的美學：目前這方面的討論剛剛萌芽，可能包括：馬賽克美學（Mosaic Esthetics）、消費美學（LV、村上隆）、數位美學、數位藝術等討論。

六、　結果與討論

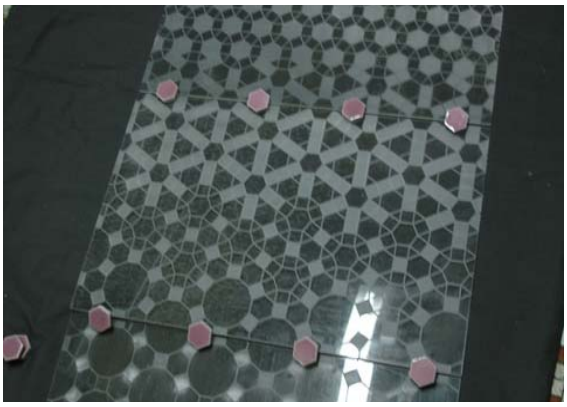
本研究對於「數位紋理」演算法與數位模型之研究，根據複雜度分為「質感構成」（Textile Formation）、「動勢構造」（Motile Tectonics）與「形態發生運算」（Morphogenetic Computing）三大類的「數位紋理」演算工作。同時加入對於「群聚構築」（Swarm Tectonics）－完全由單元所構成之結構形態的討論，研究心得如下：

關於紋理：在《*Li：Dynamic Form in Nature*》一書中（中文譯本為《胚騰：無所不在的模式》，天下文化出版），我們可以發現作者 David Wade 找出了24種不同的紋理，大部分來自天文地理，小部份來自顯微鏡下的動植物紋理。有趣的是，書名中的 Li 字，其實是中文「理」字的英譯，作者引用宋代理學家朱熹理學中的哲學觀點說明紋理，Pattern 一詞在中譯本中被翻譯為「胚騰」亦為一絕。借用書中的觀點可以將 Pattern 與「理」字聯結，並且擴充至織理、肌理、條理、道理、原理、…等。在《Tooling》一書中蒐集了七種紋理，並且以簡單的演算法與設計案例呈現這些紋理。A+U 雜誌《*Cecil Balmond*》一期中意蒐集了十幾種紋理，並且以絢麗的三維電腦繪圖模擬這些紋理。紐約的 Pratt Institute 的 Coersmeier 先生所主持的 SEM Lab（電子顯微研究室）透過高倍率的電子顯微鏡觀察各種生物構造的組織形態，並透過數位運算技術與演算法來掌握該組織形態中的「規則」，衍生出各種非制式的數位紋理。

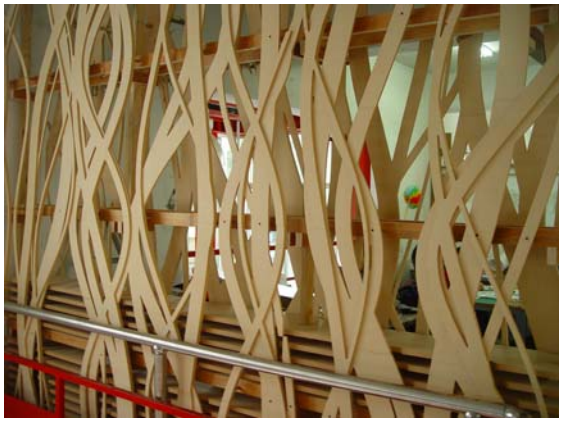
關於數位製造：目前在電腦繪圖與電腦輔助設計的環境下生產出與建築設計相關的數位紋理逐漸可行，然而生產真實尺寸的空間要比想像中複雜許多。雖然 3D Printer 在模型生產階段可以方便生產，然而受限於原料昂貴與機器尺寸無法生產較大型之模型等原因；若以原件方式組合，則受限於材料性，結構強度將會產生問題。若以數位製造的方式生產，三軸的機器是較為可行的平台，然而這部份需要設計者在施工之前的仔細推敲，否則很容易出現差錯。生產時間上亦相當耗時，使用的材料上也有一些限制。



圖一：以3D Printer 所生產之數位紋理。



圖二：以 Laser Cutter 所生產之數位紋理於壓克利表面。



圖三：以數位車床所生產之數位紋理以密迪板材料建構。　圖四：以數位車床所生產之數位紋理以密迪板與紙筒建構。

關於軟體：以目前電腦繪圖中常見的「陣列」（Array）或是「巨集」（Macro）指令無法直接生產數位紋理，因此得依賴「腳本」（Script）的程式撰寫。目前比較常用的腳本程式環境為 Rhinoceros 與 MAYA，因為 Rhinoceros 中的 Script 可以 Visual Basic 完成，對於學習者的門檻較低，是這兩年來廣為被使用的環境；ScriptedbyPurpose 網站可以看到許多新一代設計師的作品，除了以三維的電腦模型呈現外也有許多是結合 CAD/CAM 的作品。另外，ParaCloud 軟體結合 Excel，以「關聯式資料庫」（Relational Database）的方式在 Excel 矩陣式的欄位中描述每一個紋理單元的異質性，簡單易懂。而 Rhinoceros 的外掛程式 Grasshopper 則是以（Data Flow）「數據流」（Data Flow）的方式，結合「階層式資料庫」（Hierarchical Database）與「網絡式資料庫」（Networks）來表達數位紋理。ParaCloud 與 Grasshopper 以資料庫的方式看待數位紋理，就人工智慧中的知識表現法（Knowledge Representation）而言，主要是處理「宣告式的知識」（Declarative Knowledge），而 Script 則是處理較「程序式的知識」（Procedural Knowledge）。而 Rhinoceros 中有一指令「Flow along Surface」適合將平面上的數位紋理衍生到各種不同形態的表面與曲面上。電腦動畫軟體中的「關鍵畫面」（Key Frame）於動畫製作完成後可以被呼叫出現，亦可以「動態造型」（Animate Form）的方式生產數位紋理。至於Bentley 所出產的 Generative Components 最近開始受到注意，然而本研究才剛開始接觸這軟體，目前並沒有很深入的了解。此外，在網際網路上有些現成的演算法與程式可以下載，這其中以 Voronoi 演算法的能見度最高。

關於生態建築：紋理有趣的地方是我們可以在不同尺度下、可見與不可見的自然與人造物中發現到他的存在，所發現的紋理又可應用到不同的尺度，因此設計者可以遊走於不同尺度的發現物與設計中間。應用在建築上，紋理可以被詮釋為材質、脈絡、紋理、組織、結構、裝飾、表皮、與形態…等。向大自然學習到仿生建築，是歷代建築人所探討的重要課題，尤其在提倡生態與永續環境的今天。數位紋理所可以給我們的啟發，不再只是外表裝飾性上的應用而已。「群聚構築」加上「形態發生運算」的應用，有可能產生下一代仿生建築、智慧型建築、與生態建築的原型，讓建築成為有生命的有機體。今天我們看到數位紋理的初步發展，應該只是未來先

進科技建築的先聲，我們可以在 Norman Forster 在倫敦所設計的瑞士再保險大樓看到這樣的端倪，且讓我們拭目以待吧！

本研究的相關研究可參考研究者於 2009 年春季於淡江建築系所指導的大四設計工作室成果《EA408 作品集：織理性表面之建構與設計》－探討如何將各種紙的形變以 NURBS 表面在電腦中呈型，並且在這些表面上覆蓋上不同的紋理以型塑建築空間；碩士論文《數位模擬自然紋理於建築設計的過程》－以各種演算法與電腦程式設計模擬廢墟中之紋理，並將這些紋理衍生於廢墟重建的設計中；與博士論文《陶質建築織理性之建構與研究》－以陶材質的特殊材料性，模擬各種編織之紋理，並且生產各種具有織理性之陶質建築原件。

七、 參考文獻

建築理論：

《*Atlas of Novel Tectonics*》，Reiser+Umemoto，Princeton Architecture Press，New York，NY，2006。
《*Structure in Nature is a Strategy for Design*》，Peter Pearce，The MIT Press，Cambridge，MA，1990。
《*Studies in Tectonic Culture*》，Kenneth Frampton，The MIT Press，Cambridge，MA，1995。
《*The Architecture of The Jumping Universe*》，Charles Jencks，Academy Editions，London，UK，1995.
《*The Function of Ornament*》，Edited by Farshid Moussave and Michael Kubo，European Union，Barcelona，Spain，2006。
《*Trans-Materials*》，Edited by Blaine Brownell，Princeton Architecture Press，New York，NY，2006。

數位建築：

《*An Evolutionary Architecture*》，John Frazer，AA Publications，London，UK，1995。
《*Animate Form*》，Greg Lynn，Princeton Architectural Press，New York，NY，1999。
《*Architectural Laboratories*》，Greg Lynn and Hani Rahid，NAi Publishers，Rotterdam，NE，2002。
《*Cecil Balmond*》，A+U=Architecture and Urbanism，Tokyo，Japan，November，2006。
《*Expressive Form：A Conceptual Approach to Computational Design*》，Kostas Terzidis，Spon Press，New York，NY，2003。
《*Forms with Fantasy*》，Moniek M. Bucquoye and Dieter van den Storm，Page One Publishing，Singapore，2007。
《*Morpho-Ecologies*》，Edited by Michael Hensel and Achim Menges，AA Publications，London，UK，2006。
《*Tooling*》，Benjamin Aranda and Sanford Kwinter，Pamphlet Architecture 27，Princeton Architecture Press，New York，NY，2006。
《*Typological Formations：Renewable Building Types and the City*》，Edited by Christopher C. M. Lee and Sam Jacoby，AA Publications，London，UK，2007。
《*Verb：Nature*》，Edited by Irene Hwang, Tomoko Sakamoto, and etc., European Union，Barcelona，Spain，2006。
《*活潑建築*（*Responsive Volatility*）》，何炯德編著，東海大學創藝院建築研究中心，台中，台灣，2007。

其他領域：

《*Circle and Dots：Communicating with Pattern*》，Mark Hampshire and Keith Stephenson，RotoVision，Mies，Switzerland，2006。
《*Continua*》，Erwin Hauer，Princeton Architecture Press，New York，NY，2004。
《*Godel，Escher，Bach：an Eternal Golden Braid*》，Douglas R. Hofstadter，Basic Books，New York，NY，1979。
《*Harmongraph：A Visual Guide to the Mathematics of Music*》，Anthony Ashton，Walker & Company，New York，NY，2003。
《*Li：Dynamic Form in Nature*》，David Wade，Walker & Company，New York，NY，2003。
《*Number 9: the Search for the Sigma Code*》，Cecil Balmond，Prestel Verlag，Munich，Germany，1998。
《*On Growth and Form*》，D'Arcy Thompson，Cambridge University Press，Cambridge，UK，1961。
《*The Fractal Geometry of Nature*》，Benoit Mandelbrot，Freeman，New York，NY，1983。

碩博士論文：

《EA408作品集：織理性表面之建構與設計》，陳珍誠，淡江大學建築系，台北，台灣，2009。
《數位模擬自然紋理於建築設計的過程》，江青澤，淡江大學建築研究所，台北，台灣，2009。
《陶質建築織理性之建構與研究》，張恭領，淡江大學土木工程研究所建築組，台北，台灣，2009。