



<http://issuu.com/mjchen/docs/portfolio>

數位化設計教育中的理論與實踐

當代建築數位製造歷程

文／陳敏傑

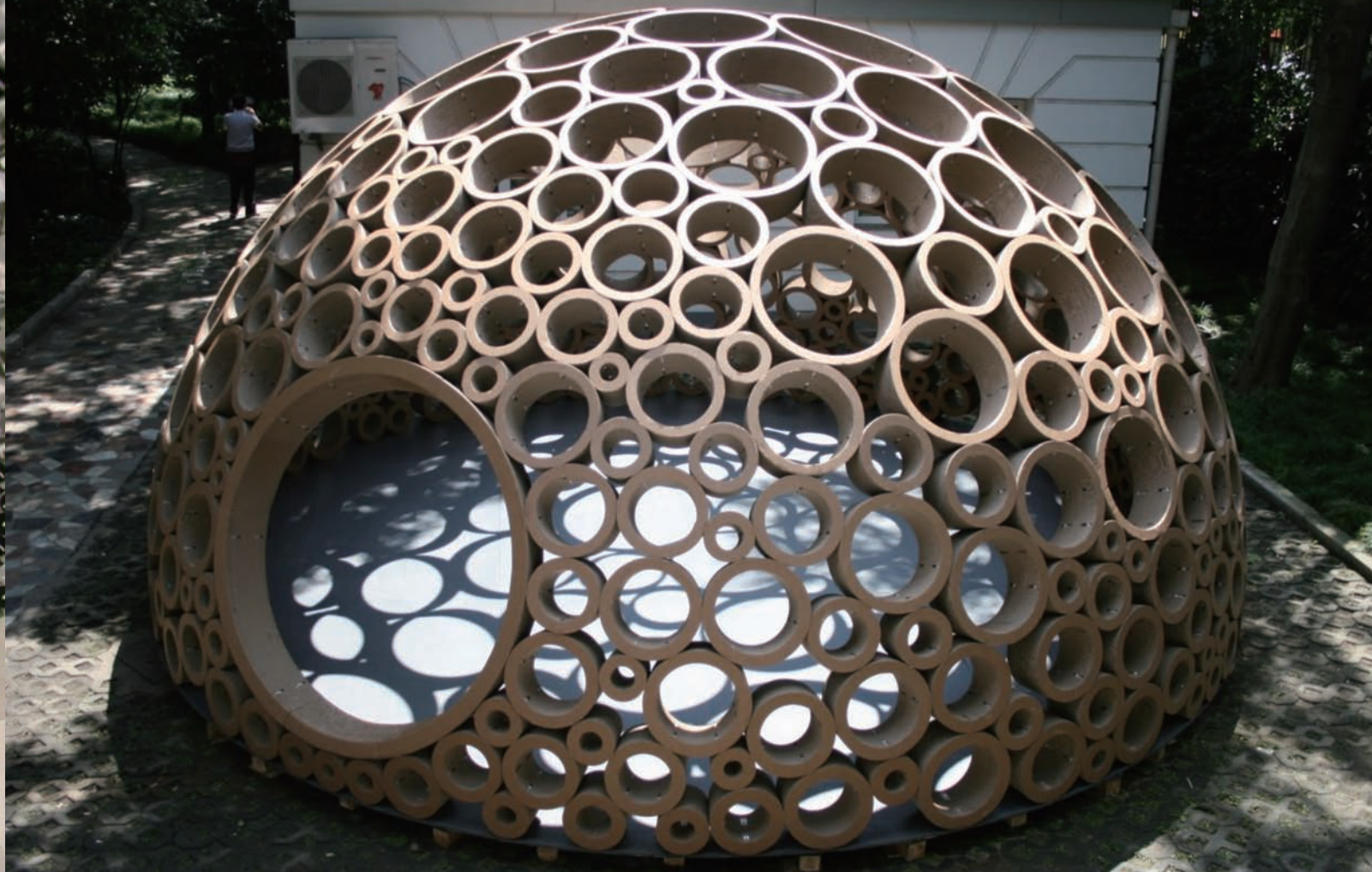
「數位製造」是數位化設計裡一個環節，可視為當代設計者重拾「製造的權力（權利）」的轉折點。由於過程中重度仰賴數位工具做為資訊傳遞的平台，銜接設計從初步發展到最終的落實，流程中無可避免的存在諸多技術門檻與瓶頸；這樣相對封閉的操作模式，過去較常見於工業設計的範疇。近年來，由於外在環境的劇變，不論資訊的快速流動、材料與工法的突破、歐美頂尖建築學院的導向，或是新型態建築所引領的風潮，不難看出數位製造對後數位化建築的影響。



陳敏傑
朗朗設計負責人、成功大學建築系兼任講師

數位實務初探

回顧筆者與數位製造的淵源，始於二〇〇八年在淡江建築系館中庭的改造案。當時，淡江建築系已導入數位化工具的應用；系上除了持續建構硬體設備之外，對於製造生產的流程以及參數



<https://vimeo.com/15067503>

式軟體的設計與活用，這一系列資訊數位化的建築課程，在陳珍誠教授多年推動之下，深深影響著筆者對於數位化建築的想像與認知。承蒙當時系主任吳光庭教授的積極爭取，我們得以在校方同意下，從原本小型的單元試做，進而發展出一系列更大尺度的數位製造嘗試。

以淡江建築系館中庭一隅的作品「the Architects」為例，本案最原始的訴求為美化裸露的大型冷氣風管，並於機能上降低機械運作的噪音。該作品的操作流程可分為五個階段：（1）相關材料收集與測試資料建構，測試以裝蛋紙盒做為吸收噪音的材料（2）形態與材料工法的模擬，思考以單人獨力完成的組構模式（3）資料系統的建立與整理，導入pattern設計（4）數位環境下的擬真模擬與最後驗證（5）自行生產與組裝。

整體設計到施工完成共耗時60工作天，整體費用約25000元；在資源限縮的環境裡，必須同時扮演設計、製造、經費掌控等多重角色，體驗到

數位化設計在實作階段的複雜與垂直整合。

ETH研究專案

二〇〇九年，筆者前往申請的瑞士蘇黎世聯邦理工學院（ETH Zurich）高階碩士課程（MAS）就讀；該學程是針對已具有碩士學歷者，安排單一專業科目的進階學制。以筆者所申請的電腦輔助建築設計（CAAD）為例，授課內容為五個階段的設計課程；包含數位製造（Digital Fabrication）、程式寫作（Rhinoscript／Processing）、互動零件與原型製作設計（Physical Computing／Arduino）、機器手臂輔助金屬焊接製造（Sheet Metal／FiDU），以及最終作品（Pavilion）的發表，為一系列的數位設計鏈結學程（Digital Chain in CAAD and CAAM）。

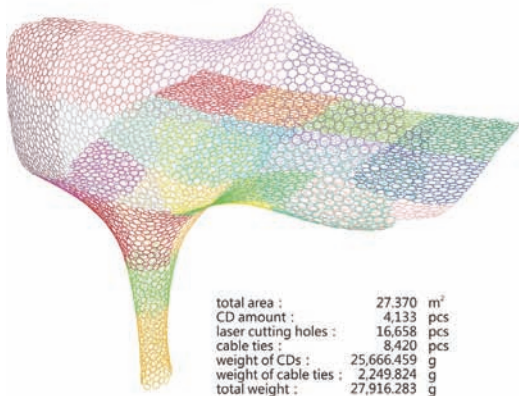
二〇一〇年，筆者有幸參與上海世界博覽會的會外館（Packed Pavilion）瓦楞紙展覽館設計；在過去的操作中，設計者多半被軟體既有的功能所制約；這個設計則是全程由設計者自行撰寫，處

RhinoScript

"RhinoScript is a scripting tool based on Microsoft's VBScript language. With RhinoScript, you can quickly add functionality to Rhino, or automate repetitive tasks." - from McNeel wiki

During the development and implementation of this design, we tried to use scripting language to operate or control the complex, repetitive command input. Converting the spatial model into cutting file processes required altogether five 3 different steps:

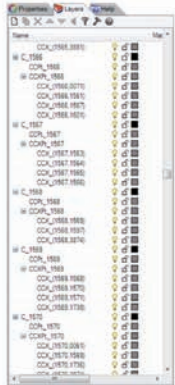
① Geometric surfaces generate different size surfaces, with a diameter ranging from 7-12cm. Separate the components into 23 groups, and arrange them flattened from the 3d modeling space.



③ Components to cutting files



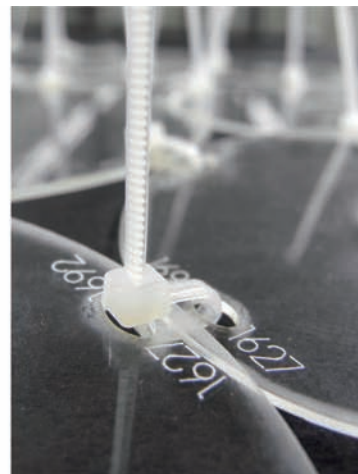
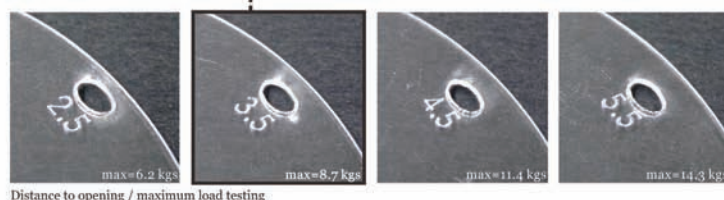
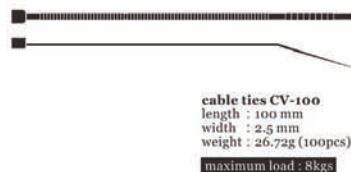
② Provide a name to each curve and establish its own layer. Determine the intersected points from each proximate component, then record their names and set them in related layers.



Component units

CD protective layers are made of an organic chemical known as **Polystyrene** (hereinafter referred to as uncovered CDs), which appear transparent and as if an Acrylic-like material; most uncovered CDs are covered with this material, as well as a reflective surface coating and special chemical coating.

The bare CDs are connected together with 2.5mm wide **plastic cable ties**, and testing determined that a hole of **3.5mm** distance from the edge of the CD to the hole provided the optimal load stress of 8.7kgs, approximately within the 8kgs stress load capacity of the cable ties.



CD components:
unit #1627 connected with unit #1692

理各個作業流程的程式腳本（RhinoScript），從設計的推演到最終電腦切割資料的自動化生產。該展館為一個直徑6公尺、高3公尺的半球體，由409個不同大小的瓦楞紙圓錐（每個圓錐由28層瓦楞紙所堆疊）所組成，共有900個接點，使用1.3公噸的瓦楞紙，35公里的切割路徑，28公里的上膠路徑，切割時數為240小時。

舊材料與新工法

「Rambling façade」為二〇一一年於台北市迪化街「數位迪化設計展」之作品，座落在URS127都市再生基地的騎樓空間；考量到長達數週的戶外展期，本案在材料選用以及工法的挑戰，必須謹慎考量各種物理環境（人為外在因素）的變化。

過去十年，台灣一直是生產光碟片的大國；隨著科技的進步，手機取代了公共電話，電子信件減少日常生活中書信的比重，USB隨身碟的出現也代替了CD這項儲存裝置。在這個作品中，試著挑戰如何將光碟片這樣日漸式微的舊產品，賦予不同的新面貌。透過電腦演算與其精準的輔助，在立體的騎樓空間中，這個作品以「Circle Packing」的幾何語彙，演算出4133片不同的光碟

片，組合而成一個從騎樓蔓生到立面的空間。這個名為「蔓生表面」的作品，並不是要「以新汰舊」，而是透過建立「以新生舊」的精神，從材料的操作來思考「新與舊」（文化／紋理／氛圍），回應屬於在地的共榮與共生。

成大四年級設計課與數位製造

長久以來，瓦楞紙一直是生活中常見的材料，其堆疊的材料特性普遍用於包裝的使用；對於以瓦楞紙做為空間或建築主體的探討，在台灣的建築學習環境卻不多見。感謝成功大學建築系鄭泰昇主任和劉舜仁教授的提攜，以及永豐餘南區設計中心的大力協助，讓筆者有幸能參與二〇一三年的工作營及大學部的設計課程教學。

材料的掌握在數位製造過程中，是必須謹慎面對的關鍵因素；透過嚴謹的測試與記錄，我們得以系統化建立材料的物理特性、各種極限、條件因素，以及誤差的修正，之後再轉化為後續設計上的重要參考與依據。在材料測試的初期，首先要進行多面向的操作嘗試；這個階段適合讓學生們進行多組的獨立操作。這些由學生製作的瓦楞紙材料板，最終組立成一面瓦楞紙的「材料牆」，這個實體的資料庫不僅是材料特性的展

Circle Packing

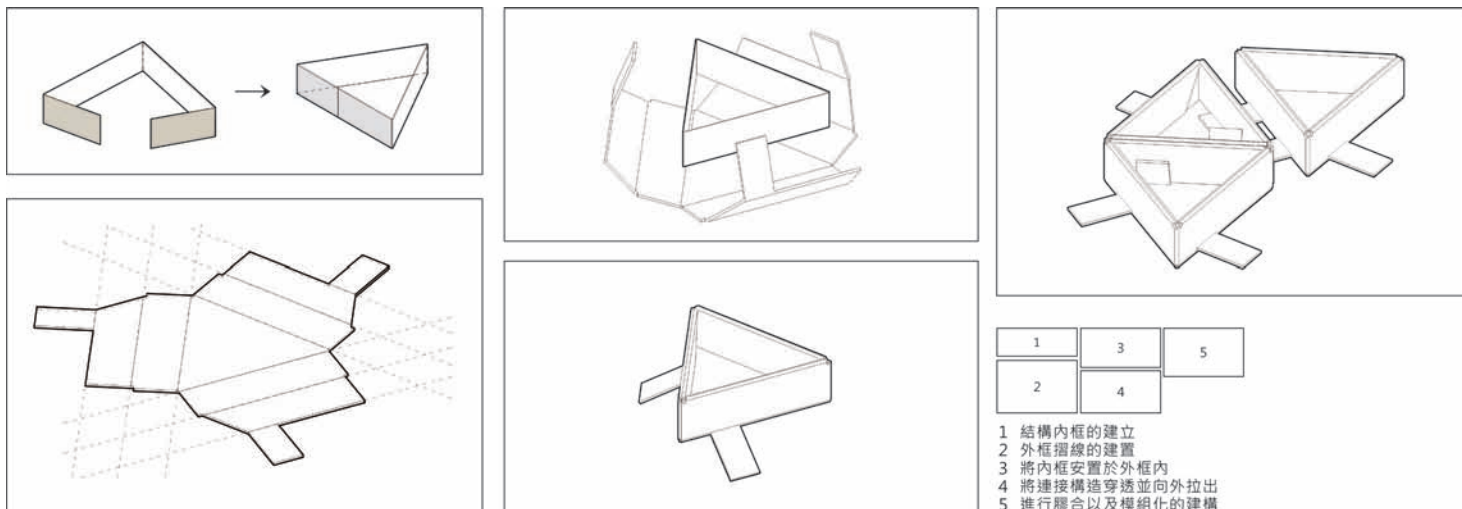
Discussions about *Circle Packing* belong to the fields of topology and geometry. They use circles for *optimal* packing and arrangement media, requiring each adjacent circle to proximately engage their neighbors without stacking, to attain the optimally efficient spatial packing.



Opening Day / Photograph by Yi-Tsu Yuan

http://issuu.com/mjchen/docs/urs127_facade_cht





成大建築四年級設計課學生作品 floating ceiling
 柯驊耕／林立璇／汪欣怡／吳蓓倫／洪普音／郭亭勻／張庭嘉／謝昀昊
<https://vimeo.com/88021013>

示，也為後續相關研究提供參考與借鏡的機會。

有鑑於瓦楞紙是一種具有厚度（約莫6mm）的軟性材料，在切割、彎折、組裝等不同的狀態下都存在不同的變化誤差。運用Rhino與Grasshopper在參數化環境的優勢，可以從中學習如何將這些繁雜而重複的修正步驟，轉換成切割與組裝圖面上的細部。透過軟體協助所生產的各式切割圖面，小量而客製化的單元適合參數式設計的呈現。

製造數位化之轉變

數位製造經過幾次工業與科技的躍進，不僅僅促成設計／製造流程從都市尺度拉近為桌面尺度（平價3d印表機、桌上型CNC機、雷射切割機

等小型設備的普及），在過往「小量委外製造」以及「大量工廠開模」的兩個極端之中，數位製造的發展日漸成熟，從生產彈性與成本控制中都能找到合適的切入點。

數位化建築設計當前蓬勃發展的諸多原因，一部分在於這些工具的使用跳出既有的框架；為了滿足各種設計的需求，不只軟體進行參數化控制或是程式撰寫，許多輔助製造的硬體設備開發，其自行設計與生產的門檻也逐漸將低。拜開源平台（open source）與共享精神所賜，一直以來被工具所綁架的設計者，將有機會從未段的使用者（End user）轉變為自行生產工具的自造者（Maker）。 