

國立交通大學
應用藝術研究所

碩士論文

參數式設計應用於產品創作與探討
Using Parametric Design in Product Creation

研究生：李昇祐
指導教授：林銘煌教授

中華民國一零二年十月

參數式設計應用於產品創作與探討
Using Parametric Design in Product Creation.

研究生：李昇祐 Student：Sheng-Yow Li
指導教授：林銘煌 Advisor：Ming-Huang Lin

國立交通大學應用藝術研究所
碩士論文



October 2013
Hsinchu, Taiwan

中華民國一零二年十月

參數式設計應用於產品創作與探討

Using Parametric Design in Product Creation.

研究生：李昇祐 Student：Sheng-Yow Li
指導教授：林銘煌 Advisor：Ming-Huang Lin

摘要

一直以來，電腦的運用不斷改變設計的流程，從電腦輔助繪圖逐漸演變成電腦輔助設計、設計運算，「參數式設計」被認為是革命性的觀念與方法。以往產品設計中都是型隨機能，或經驗判斷決定設計的形式，參數式設計的出現帶動了不同的思考方式，透過參數模型，設計師能夠即時的評估與判斷產品的可行性，加上近年來數位製造技術的突破，給予了設計師在設計上更多新的可能。

本研究以運用參數式設計工具當作產品創作的主軸，探討如何將參數化設計應用於設計過程中，考慮現有製造流程與參數模型之間搭配的方式，將設計過程及製程和傳統設計方式做比較，整理出參數化設計可能遇到的優缺點，藉此探討參數式設計的思維與創作方式，並可作為後續學習者的參考依據。

最後，研究者希望透過本研究的資料整理與創作成果，讓更多設計者能快速掌握參數式設計工具與方法，進而專注於創作新型態的設計概念。

關鍵字：參數式設計、衍生式設計、數位製造、Grasshopper

ABSTRACT

All along, computer continuous changes the design process, from Computer Aided Drafting and gradually evolved into computer-aided design, design computing. "Parametric Design" is considered as the revolutionary concepts and methods. In the past, product design is always "form follow function" or judges the design through experience. The emergence of parametric design leads to a different way of thinking. Designers can evaluate the product by the parameter model in the short time. With the progress and mature of digital manufacturing, designers have more new possibilities in creation.

By using the parametric design tool as the main product creation, this research examine how the parametric design has been used in the design process. Meanwhile, it will take existing manufacturing processes into account in order to match the parameters models. This research will compare above result with the traditional way in order to sort out the parametric design advantages and disadvantages that may be encountered. At the same time, it will explore the parameters of design thinking that creative ways and can serve as a reference for subsequent learners.

Finally, the researchers hope that, through this study, more designers can quickly grasp the parametric design tools and methods, and then focus on the creation of new types of design concepts.

Keywords: Parametric Design 、 Generative Design 、 Digital Manufacturing 、 Grasshopper

誌謝

終於結束了漫長的研究生涯，雖然辛苦但也十分充實。在創作的過程中曾經有想換題目的念頭，幸好在老師的引導下，重新回到正軌，也才能順利完成本篇論文，希望帶給之後的研究者一些幫助。一路上遇到了許多想像不到的困難與挑戰，特別感謝一路以來林銘煌教授的指導與協助，讓我能沒有顧慮的向前走，並從中學習到了設計該有的方法與態度。

謝謝從碩一以來邊玩邊學習的 IAA99 全體夥伴，每每假期總是一起出遊，充實將來做學生的回憶。特別謝謝一同辦畢業展的適合、轉轉、旺旺、阿蛤、吉你、大佩、瑋姿、靜音、曾晨、瀚云、怡蓓，跟你們共同奮鬥是很開心的經歷，也讓我有一個特別的畢業展。最重要的謝謝家人的等待跟支持，讓我可以專心的將創作完成。最後謝謝所有幫助過我的人、事、物，有你們的幫助才能有現在的我。



目錄

摘要.....	I
ABSTRACT	II
誌謝.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	IX
第一章 緒論	1
1-1 設計背景與動機	1
1-2 設計創作目的	2
1-3 設計創作架構.....	2
第二章 文獻探討.....	4
2-1 參數式設計的演變	4
2-2 參數式設計概述	5
2-3 參數式設計的流程.....	5
2-4 參數式設計工具概述.....	6
2-5 參數式軟體的選擇.....	7
2-6 參數式設計案例.....	8
2-6-1 數位建築設計案例.....	8
2-6-2 產品設計相關作品.....	10
第三章 參數式設計工具	13
3-1 軟體簡介	13
3-2 Grasshopper 的設計觀念.....	13
3-3 Grasshopper 基本介紹.....	14
3-3-1 介面	14
3-3-2 基本運算器介紹	15
3-3-3 參數與運算器的連結方式	16
3-3-4 數據配對(Data Matching)	17
3-3-5 資料結構(Data Tree)	19
3-4 數位製造技術介紹與評估	20
3-4-1 數位製造技法	20
3-4-2 數位製造技術	22
第四章 設計創作	29
4-1 相關設計測試與討論	29
4-2 概念構思	30
4-2-1 製程考量	30
4-2-2 造型概念	32
4-2-3 小結.....	32

4-3 設計創作(一)：矮桌	33
4-3-1 設計構想	33
4-3-2 基本定義與元件	34
4-3-3 構想發展	34
4-3-4 作品呈現	44
4-4 設計創作(二)：吊燈	45
4-4-1 設計構想	45
4-4-2 基本定義與元件	46
4-4-3 構想發展	47
4-4-4 作品呈現	54
4-5 設計創作(三)：花瓶	55
4-5-1 設計構思	55
4-5-2 基本定義與元件	55
4-5-3 構想發展	56
4-5-3 作品呈現	63
第五章 展覽	64
5-1 展覽主題與形象	64
5-2 展覽呈現	67
5-3 展覽期間	68
第六章 設計檢討與建議	69
6-1 設計思維異同	69
6-1-1 設計流程	69
6-1-2 軟體應用	69
6-1-3 製程問題	69
6-2 作品細部檢討	70
6-2-1 矮桌	70
6-2-2 燈	70
6-2-3 花瓶	71
6-3 後續發展與建議	71
6-3-1 軟體學習建議	71
6-3-2 製造上的輔助	73
6-3-3 參數的設計應用	73
第七章 結論	75
7-1 具體成果與貢獻	75
7-2 結論與心得	76
參考文獻	77

圖目錄

圖 1- 1 Pro-E 繁瑣的調整過程、椅子草模、椅子成品.....	1
圖 2- 1 古根漢美術館、Catia 介面.....	4
圖 2- 2 參數式設計流程.....	5
圖 2- 3 參數式設計軟體整理.....	6
圖 2- 4 程式語言介面(圖為 Rhinoscript)、圖形編寫程式語言(圖為 Grasshopper).....	7
圖 2- 5 Grasshopper 與 Generative Components 介面.....	7
圖 2- 6 Swiss Re Tower 的建築外觀.....	8
圖 2- 7 Metropal Parasol 水施工圖(上)及各角度外觀(下).....	9
圖 2- 8 SOHO 銀河 3D 模擬圖(上)及現場照片(下).....	10
圖 2- 9 Breedingtables 工程圖(上)實體照片(下).....	11
圖 2- 10 Morphogenesis 外觀(左)與細節圖(右).....	12
圖 2- 11 Suple Series 的組裝示意圖(上)接點結構(下).....	10
圖 2- 12 Multithread 細部構建(上)產品外觀(下).....	12
圖 3- 1 建模方式的比較.....	13
圖 3- 2 grasshopper 元件(左)、在平面上建立漸變的球體(右).....	14
圖 3- 3 Rhino(左)及 Grasshopper(右)介面.....	14
圖 3- 4 基本元件介紹.....	15
圖 3- 5 元件細部說明.....	15
圖 3- 6 元件顯示說明.....	16
圖 3- 7 兩種建立直線的方式(左)、Rhino 顯示畫面(右).....	16
圖 3- 8 兩組要連線的點(左)、資料的顯示方式(右).....	17
圖 3- 9 常用的資料配對元件.....	17
圖 3- 10 短配對 3 種模式說明.....	17
圖 3- 11 長配對 5 種模式說明.....	18
圖 3- 12 交叉配對 6 種模式說明.....	19
圖 3- 13 資料結構範例(左)、常用的資料分析元件(右).....	19
圖 3- 14 資料結構說明圖.....	20
圖 3- 15 Sectioning 範例.....	21
圖 3- 16 Tessellating 範例.....	21
圖 3- 17 Folding 範例.....	21
圖 3- 18 Contouring 範例.....	21
圖 3- 19 Forming 範例.....	22
圖 3- 20 KUKA 的機器人手臂(左)、MGX 燈具(右).....	23
圖 3- 21 SLA 技術說明.....	23
圖 3- 22 LOM 技術說明.....	24

圖 3- 23 SLS 技術說明	24
圖 3- 24 FDM 技術說明	25
圖 3- 25 3DP 技術說明	26
圖 3- 26 雷切技術說明	26
圖 3- 27 水刀技術說明	27
圖 3- 28 CNC 技術說明	27
圖 3- 29 CNC Bending edge 技術說明	28
圖 3- 30 CNC punching 技術說明	28
圖 4- 1 窗櫺椅、Aluminum rings stool '40.....	29
圖 4- 2 接點參考圖片	30
圖 4- 3 複合媒材參考圖片	31
圖 4- 4 橋接片參考圖片	31
圖 4- 5 線材連結參考圖片	31
圖 4- 6 三角形分割參考圖片	32
圖 4- 7 雙層結構參考圖片	32
圖 4- 8 概念草圖	33
圖 4- 9 Delaunay triangulation 模型、頂燈草模	33
圖 4- 10 Delaunay 三角分割	34
圖 4- 11 運算元件、不同衍生的模型	34
圖 4- 12 建構基本型的參數模型(上)、不同變化的基本型(下).....	35
圖 4- 13 第一次草模測試	36
圖 4- 14 細部調整的參數模型、Rhino 調整的點	36
圖 4- 15 電腦模擬測試(上)、最後定案造型(下左)、輸出的工程圖(下右).....	37
圖 4- 16 第二次草模測試	37
圖 4- 17 先利用燕尾夾快速的固定	38
圖 4- 18 工程圖(一).....	38
圖 4- 19 保護膜有無、毛邊情況	39
圖 4- 20 雷切刻字、正面留下的隱約痕跡	39
圖 4- 21 銳角情況(已裁切過)、鈍角情況	39
圖 4- 22 未內縮接合處、內縮後接合	40
圖 4- 23 模型前測	40
圖 4- 24 未彎折單元(左)、組合測試(右).....	40
圖 4- 25 組裝過程	41
圖 4- 26 工程圖(二).....	42
圖 4- 27 Grasshopper 參數模型	43
圖 4- 28 作品照片	44
圖 4- 29 概念草圖	45
圖 4- 30 拆件測試(上)、3D 列印及鋁管(下左)、3D 列印接頭(下右)	46

圖 4-31 Voronoi 基本定義.....	46
圖 4-32 Voronoi 相關元件.....	47
圖 4-33 基本型參數模型(上)、4 種由不同點數量生成的表面(下).....	47
圖 4-34 草模測試.....	48
圖 4-35 不同疏密的雙層結構.....	48
圖 4-36 節點生成邏輯說明.....	48
圖 4-37 電腦模擬圖單層(上)、雙層(下).....	49
圖 4-38 節點編號、管材長度計算.....	49
圖 4-39 草模測試.....	50
圖 4-40 重新聯集後的模型、管材編號.....	50
圖 4-41 在節點上編號、裁切好的管材.....	50
圖 4-42 外燈與內燈的節點.....	51
圖 4-43 組裝過程.....	52
圖 4-44 GH 參數模型.....	53
圖 4-45 作品照片.....	54
圖 4-46 運用橋接片的模型.....	55
圖 4-47 Panel 元件、生成的圖樣.....	56
圖 4-48 基本型參數模型(上)、不同的基本型(下).....	57
圖 4-49 橋接片測試、收邊試驗.....	57
圖 4-50 彈簧鋼片、可彎板、碳竹薄片.....	58
圖 4-51 模型上的建構線、草模測試、竹薄片收邊測試.....	58
圖 4-52 一比一草模製作.....	59
圖 4-53 製作過程.....	60
圖 4-54 一組雷切工程圖.....	61
圖 4-55 GH 參數模型.....	62
圖 5-1 展覽 DM.....	65
圖 5-2 活動用賓果卡.....	65
圖 5-3 結 KNOT 作品網頁.....	65
圖 5-4 主視覺製作過程與最後成果.....	66
圖 5-5 展場照片.....	67
圖 5-6 展覽期間.....	68
圖 6-1 數據不足的範例.....	72
圖 6-2 不同生成點的方式.....	72
圖 6-3 相互關係的建立.....	73
圖 6-4 同心圓圖案的建構模型.....	74
圖 6-5 桌子造型衍生.....	74
圖 6-6 衍生造型.....	75

表目錄

表 1-1 本研究創作架構.....	3
表 3-1 製造技法類型.....	21



第一章 緒論

1-1 設計背景與動機

回顧以往的設計創作，總是以形隨機能的方式在發展產品的造型；在碩一造型創作課程中，設計了一張以三角形為元素的躺椅，由於造型上為不對稱的設計同時又必需兼顧功能，當研究者透過 Pro-E 反覆微調作品 3D 模型時，發現這樣一來一回反覆修正的過程既耗時又耗費精力，很難快速達到理想的尺寸，也常調整了造型而使功能性降低，無法快速評估各種樣式。讓我開始思考，既然在相同邏輯系統下，如何才能靈活調整或是大量變化出各種尺寸的模型、同時又能保有既有的設計元素？由這個出發點之下我開始找尋各種相關資料，也讓我接觸到了「參數式設計」。



圖 1- 1 Pro-E 繁瑣的調整過程、椅子草模、椅子成品

2008 年的威尼斯建築雙年展中，Zaha Hadid 的合夥建築師 Patrik Schumacher 發表了《參數化主義的建築風格—參數化主義者的宣言》意謂著參數式設計的重要性。近年來，除了學校的設計實驗，許多國外新建築也都出現相關應用的成果作品，由各地越來越多運用參數式設計的建案便可得知，也讓參數式設計成為近年來電腦輔助建築設計的趨勢之一。

參數式設計的出現帶動了不同於以往的思考方式。傳統設計中都是透過紙筆或者滑鼠一筆筆描繪，參數式設計方法則是架構在生成邏輯之上，透過設計師對於設計概念的掌握，釐清相關參數之間的關聯性，定義出一套參數規則做為設計生成的基礎，除了能大量減少以往花在設計修改的時間，也使得許多元素得以加入電腦輔助設計中，從結構、環境、成本等等，藉由動態調整參數化的數位模型，協助設計師作更多元的評估與判斷。

建築和工業設計的發展是密不可分，建築上雖以廣泛運用，工業設計領域在這方面的資訊仍然極其有限，雖然已陸續出現一些具有創造性的成果作品，但對於整個設計過程在應用方式上的討論仍處於較不足的階段。從被它獨特的設計方式吸引，到對於參數式設計如何協助工業設計感到好奇，也讓我決定以此作為本次研究的方向，希望能藉此了解參數式設計的應用方式。

1-2 設計創作目的

參數式設計已是一個新形態的設計方式與概念，我們可從建築領域看到應用參數設計的範例。但在產品設計領域中，實際案例較少，且很多都還停在數位模型階段，或完全使用 3D 列印製作。

本研究以運用參數式設計工具的方式，當作產品設計的主軸，將實際應用作為研究目標下去進行驗證。因此不著墨於複雜的設計理論上，而是討論如何將參數化設計有效的應用在整個設計過程，如何激發、引導設計師產生更多可能性，並在產品本身的限制條件下，考慮現有加工方式與參數式設計之間的搭配性，將設計過程及製程和傳統設計方式做比較，整理出參數化設計可能遇到的優缺點，藉此探討參數式設計的思維與創作方式，並可作為後續學習者的參考依據。希望隨未來參數設計的發展，能在工業設計領域有更多運用的可能性，研究的目標如下：

- (1) 藉由文獻探討，瞭解參數式設計(Parametric Design)的發展與現況，透過實際案例的整理，了解參數式設計目前的應用方式。
- (2) 探討參數式設計工具的基本建模觀念與操作方式，並整理數位製造技術，找出設計思維與技術限制。
- (3) 以運用參數軟體為主軸下去做產品設計開發，透過前期實驗測試與討論，找出適合的加工方式。
- (4) 從設計過程中，檢討參數式設計應用於產品開發的可行性與問題，並整理出未來可能發展的方向與實質建議。

1-3 設計創作架構

本研究主要區分為三個階段：

第一階段以相關的文獻資料為主，分別講述參數式設計相關的歷史脈絡與案例，並針對參數式軟體簡單的分析與介紹，並整理出各種常用數位製造上常用的加工法與優缺點評估。

第二階段則是設計實作與成果展出，說明設計概念所運用的衍生邏輯，並運用參數設計軟體於實作中，同時紀錄使用參數軟體所遇到的困難與過程，分別說明搭配工法的評估過程。

第三階段提出相關建議與修正方向。檢討實作過程中遇到的相關缺失與建議，整理出實質的建議與未來發展方向。研究架構如表 1-1。

表 1-1 本研究創作架構



第二章 文獻探討

2-1 參數式設計的演變

參數式設計的出現深受電腦這個數位產物的影響。電腦輔助設計系統(CAD systems)的起源主要可以追溯到1962年,在美國計算機聯合會的年會上,美國麻省理工學院(MIT)的博士生 Ivan Sutherland 發表了”SKETCHPAD-A”論文,首次提出計算機輔助設計(CAD: Computer Aided Design)的概念;而後在 80 年代的 3D 表面與實體建模軟體、後期從非制式貝茲曲線到參數式模型軟體的出現,電腦開始成為協助設計師的一樣工具。



圖 2-1 古根漢美術館、Catia 介面

蓋瑞(Frank Gehry)曾指出”電腦並不會創造那些線條,而僅僅是個幫我們畫出那些線條的工具而已”這句話貼切的指出電腦早期在設計中所扮演的角色。1997年由蓋瑞(Frank Gehry)所設計位於西班牙的古根漢美術館(圖 2-1),蓋瑞克服了所有大型建築的空間、結構、材料等等困難,雖然他並非直接運用參數式設計,但利用 Catia 將電腦輔助製造(CAD/CAM)運用至建築中,開啟了數位建築的時代。近年來在電腦快速發展的時代下,隨著數位媒材的進步與成熟,已由電腦輔助繪圖逐漸演變成電腦輔助設計、設計運算,也延伸出了動態系統(Kinetic System)、仿生形態生成(Morphogenesis)、參數式設計(Parametric Design)、衍生式設計(Generative Design)等。參數式設計則被認為是一個革命性的觀念與方法。

衍生式設計(Generative Design)常跟參數式設計一起提及的,是一種設計方法。衍生式設計法同樣是基於參數進行設計,是一種仿效自然,運用非線性演算法創造無窮變化的造型手法 (Soddu, 1992)。衍生式設計的特點在於把基因編碼變成一個開放的特徵或一個邏輯系統,結構較為接近於大自然的生成方式,透過基因編碼特徵可以動態的輸出無窮的形式,擁有快速探索設計更多可能性的方法,在同樣邏輯的生成形式中也會各自有不同的地方,也可以說衍生設計的作品具有人工 DNA 特質,我們很容易辨別其所擁有的特徵。

2-2 參數式設計概述

“參數式設計是由上而下的精鍊(Top-Down Refinement)，利用相關的幾何學，參數作為設計技術”(陳珍誠, 資訊文化與建築, 2005)

相較於傳統的設計方式建構於主觀的直覺判斷、經驗及習慣，參數式設計著重的是關係的定義，設定的過程中需要花時間來了解背後之邏輯以及資訊的取舍 Zaha Hadid 相信參數導入設計的過程是有其必要性且能提高設計之可行性 (黃劭暉, 2011)。

參數式設計利用各個特徵的參數規則作為設計基礎，每個參數代表著某個重要的特性，可能是結構、容量、成本甚至是一些物理特質，藉由設計各個特徵的連動結構與資料的相互關係來生成設計所需的基礎形式。參數式設計過程不再是黑箱、不可見，最大的特點在於能藉由動態的控制參數反覆來回調整各元素的數值或條件，讓設計師能即時評估其所訂定的特徵規則，並運用電腦處理複雜的資料運算，減少人工處理大量資料的時間，加上數位製造技術的進步，不只改變了設計方式，同時也加速了整個設計流程。

2-3 參數式設計的流程

根據 Sivam Krish 提出參數式設計的五個步驟(圖 2-2)，1.設計概念、2.定義生成規則、3.參數運算、4.大量參數模型、5.篩選與細部微調，此設計流程是以參數式設計為基礎的電腦輔助設計。設計者不斷修正演算式程序系統及方案的核心任務是基於以設計的最後結果為主要導向，並由那些正在尋找中可實行的設計解決辦法來做為解答問題的空間。(Krish, 2010)

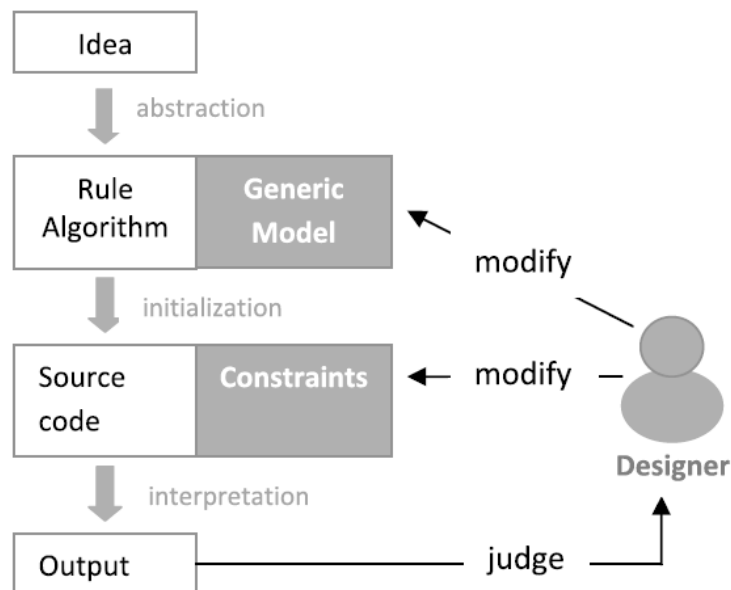


圖 2-2 參數式設計流程

2-4 參數式設計工具概述

在參數式設計應用普及之下，出現了許多參數衍生軟體，圖2-3是Mark Loomis針對參數衍生軟體所製作的表格，大部分參數式軟體都以外掛形式存在，而非獨立的軟體。以介面操作的不同可以簡單的分成兩大類，一部分利用程式語言(Code)，一部分則是透過圖形編寫程式語言(GPL)，下面簡單介紹兩者的差異性。

Parametric Design Software	Developer	CAD Platform(s)	Object Based	Scripting	Plug-ins	Free
Generative Components	Bentley	Stand-alone (formerly MicroStation)	Yes	Yes (language)	Yes	Yes
Grasshopper	McNeel	Rhino	Yes	Yes (visual)	Yes	Yes
Paneling Tools	McNeel	Rhino	Yes	No	No	Yes
RhinoScripts	McNeel	Rhino	No	Yes (language)	No	Yes
ParaCloud GEM	ParaCloud	SketchUp, Rhino, AutoCAD	Yes	No	No	No
ParaCloud Modeler	ParaCloud	SketchUp, Rhino, AutoCAD	Yes	No (spreadsheet)	No	No
GenoForm	Genometri	SolidWorks, Rhino (to be released soon)	Yes	No (spreadsheet)	No	No
Project Vasari (Autodesk Labs)	Autodesk	Revit Architecture	Yes	No	No	Yes
DesignScript (announced at AU 2010)	Autodesk	AutoCAD	Yes	Yes (language)	Yes	TBA

圖 2-3 參數式設計軟體整理

1. 程式語言(Code)：

一般來說，程式語言的操作都是利用文字編寫，需要具備一定的程式編寫能力及知識才能上手，但整體操作上擁有較高的自由度，較適合有程式背景的人士，相關的軟體如Rhino的Rhinoscript和Max的Maxcript。

2. 圖形編寫程式語言(GPL)：

GPL在操作上不用輸入艱深的程式碼，比起程式語言直覺許多，是利用圖形運算器(component)之間相對應的輸出接口連結後產生運算結果，是屬於資料流動(dataflow)的概念，也因此GPL在使用上較容易被一般使用者接受，相關軟體如掛載於Rhino上的Grasshopper等。

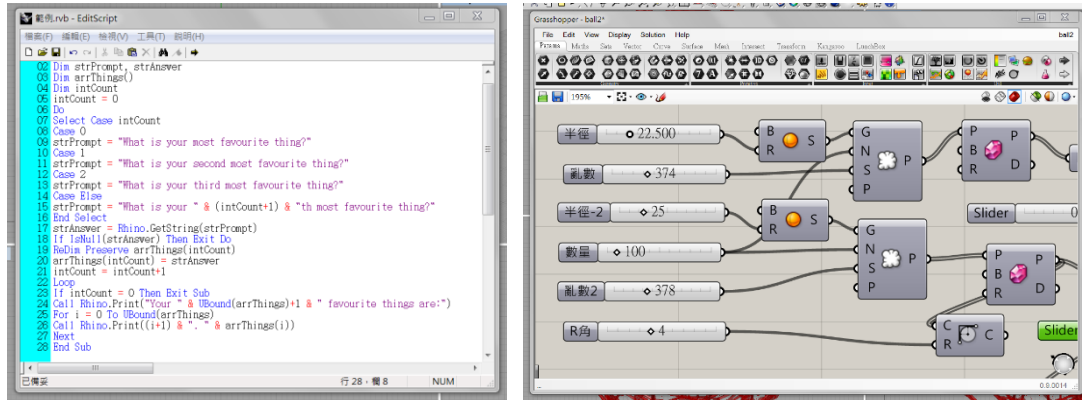


圖 2-4 程式語言介面(圖為 Rhinoscript)、圖形編寫程式語言(圖為 Grasshopper)

簡單的來說，程式語言就像是黏土般，可任意塑形；圖形編寫語言的使用就像積木一般，透過模組化的方式，可以任意堆疊。其他軟體如“Rhino上的”Paneling Tools”是一種以產生表面陣列結構為主的軟體，透過本身軟體的操作可在特定3D模型上衍生出特定的型態，與Grasshopper相比，”Paneling Tools”較像是Rhino的擴充套件而非獨立的外掛程式，也因此自由度上較為狹隘。

2-5 參數式軟體的選擇

由上一章節我們可以知道參數衍生軟體有許多的選擇，Mark Loomis甚至更針對 Generative Components與Rhino的外掛軟體Grasshopper特別作分析比較，也顯示這兩套軟體是大家比較廣為接受的。以這兩套軟體來說，Generative Components在整體設計針對建築、工程相關領域；而Grasshopper則是建立在Rhino之下，並沒有特別的限制。本研究選擇以Grasshopper為主要的設計工具，原因在於Rhino本身就常被工業設計領域拿來當作建模工具，介面上比起GC也容易上手許多，第三章將會針對Grasshopper作詳細的介紹。

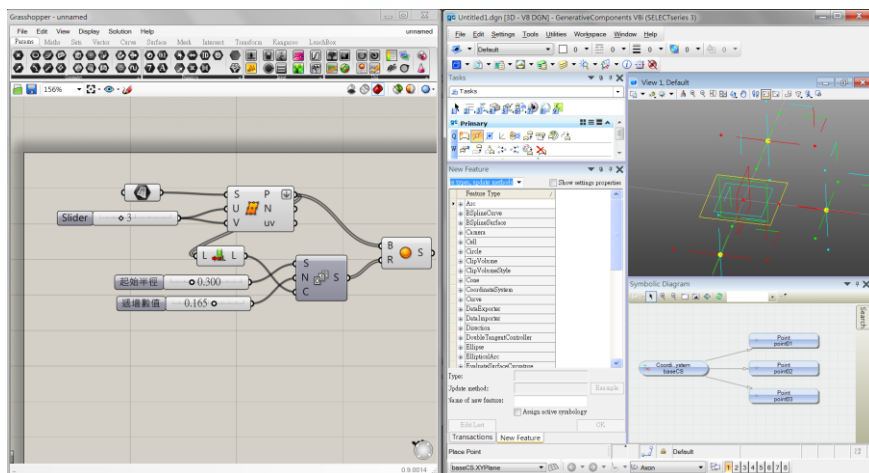


圖2- 5Grasshopper與Generative Components介面

2-6 參數式設計案例

2-6-1 數位建築設計案例

隨著參數式軟體的發展，讓許多建築師紛紛將參數的概念運用於建築設計上，透過參數間的相互關係，將可發展出更多元的建築形式，本節選出三件實際運用參數於建築的案例。

Swiss Re Tower

瑞士再保險公司大樓（Swiss Re Tower）是由建築大師Norman Foster設計，於2004完工，大廈的螺旋狀塔身是利用流體力學軟體計算出最佳輪廓，然後轉化成動態參數模型，控制細部的營造幾何，透過一次次電腦模擬，取得最大程度的自然採光和通風，將耗能減至最低，那些看似彎弧的玻璃則成為自動感應的”氣候牆”，增加空氣的對流，形狀和定位也隨著每次對整體的幾何形狀進行設計調整時自動更新，同時也達到綠色環保設計的概念。



圖2- 6 Swiss Re Tower的建築外觀

Metropol Parasol

Metropol Parasol是由著名的柏林建築事務所J. MAYER H. Architects設計規劃。是塞維利亞Encarnacion廣場改造項目的主體工程，運用參數式設計軟體ArchiCAD+ Rhino及Maya，精準的定位出每片的位置，建築的基座是利用混凝土柱，頂部的木製結構採用獨特的蜂窩狀結構，是整體最複雜也最為耗時的部分。除此之外，雖早在2008年就已經建好，但該項目還採用了最新環保木材和技術，木材外部噴塗聚亞安酯塗料，足以滿足最嚴苛的防火要求，整個項目耗時三年多才最終完工，是目前世界上最大的木造建築物。



圖2- 7 Metropol Parasol水施工圖(上)及各角度外觀(下)

SOHO銀河(Galaxy)

SOHO銀河(Galaxy)是Zaha Hadid為SOHO中國所設計，於2012年落成，是商業及辦公混合的綜合樓群，落成後成為北京的新地標。設計的主題是借鏡中國院落以及傳統梯田的思想，由於是二十一世紀建築，利用可塑的、圓潤的語彙表達出聚結、融合，透過天橋的連結，創造出一個連續的流動空間。

SOHO銀河是利用Autodesk MAYA將橢圓形的建築做快速的設計演化，架構出建築主要型態的參數模型，接著再運用參數化的方式來進行將建築表皮的设计深化以及成本計算。整體建築均經由精準的計算與考量，並使用參數模型與工程師當作溝通的橋梁，不但能監測施工與精準度，亦能趁早發現施工所會遭遇的問題。





圖 2- 8 SOHO 銀河 3D 模擬圖(上)及現場照片(下)

2-6-2 產品設計相關作品

在工業設計領域這幾年來陸續有參數式設計的產品出現，本節收集以參數式設計為主的產品設計作品，當作本研究後續創作的參考資料。

Suple Series

Suple Series為設計工作室gt2p(Great things to people)在2011年所設計，他們將接點的部分參數化，形成接頭生長的DNA，透過3D列印後再利用傳統的鑄造方式製造出金屬的接頭，讓不同的傢俱如椅子、桌子、板凳等等，都可以利用此種方式生產出來。

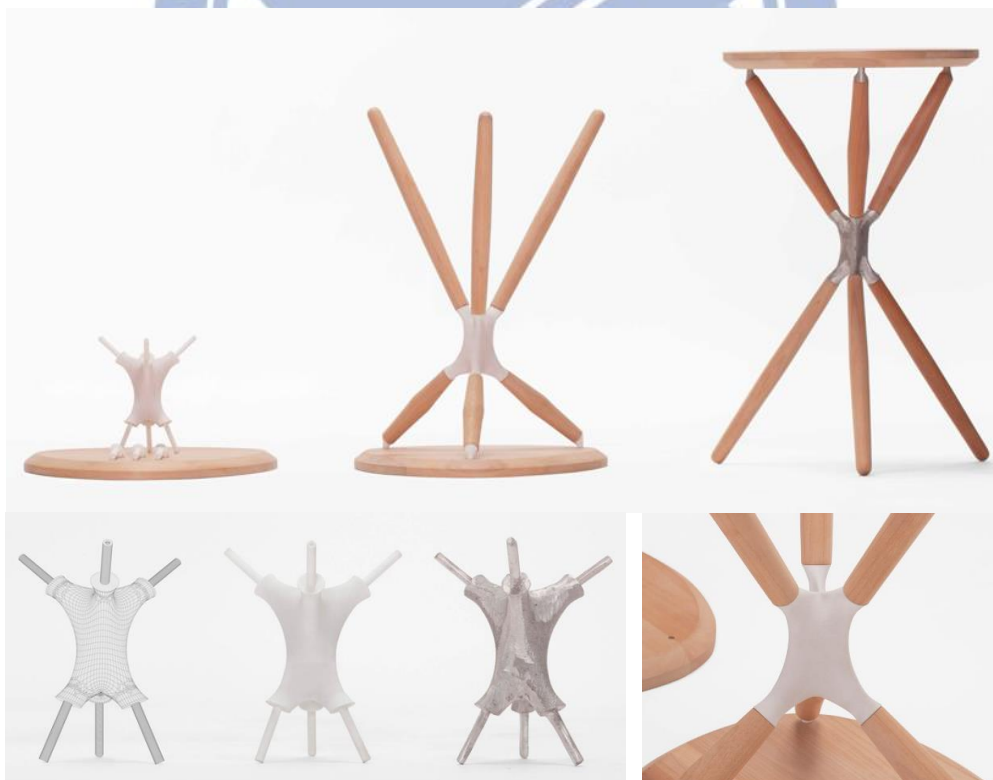


圖 2- 9 Suple Series 的組裝示意圖(上)接點結構(下)

Breeding tables

Breeding tables為KRAM/WEISSHAAR工作室在2003年進行的實際衍生產品設計，他們將生成了邏輯形式表現在桌面下方的金屬支撐件，鈹件的形狀、角度、銜接點都是由演算系統產生，系統會自行設計及計算桌腳結構，上圖只是作品之一，另一張圖則可看出系統如何決定當中的支撐件，透過輸入不同的限制便會產生新的造型。

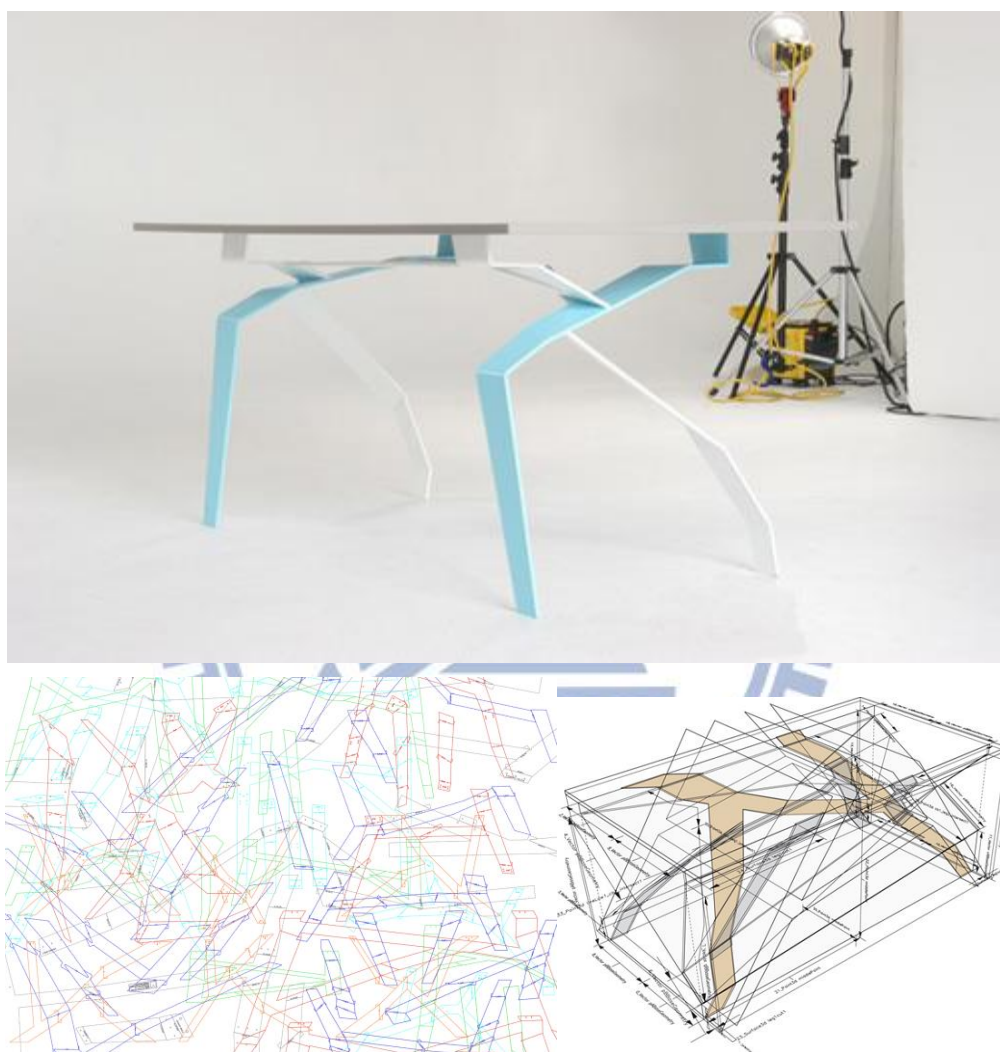


圖 2- 10 Breedingtables 工程圖(上)實體照片(下)

Morphogenesis

“Morphogenesis”的設計師是Timothy Schreiber於2008年所設計。Timothy Schreiber透過研究大自然與微生物的生長過程，將從自然中所得到的生長方式運用在設計中，整體設計在電腦輔助之下運用參數化的方式完成，透過不斷調整參數，來達到結構與造型各方面的要求。



圖 2- 11 Morphogenesis 外觀(左)與細節圖(右)

Multithread

“Multithread”也是由KRAM/WEISSHAAR工作室設計，於2012時為Nilufar所做的作品。他們透過自己研發的軟體來分析關節的受力，首先定義一個水平的基礎，如桌面、檯面等，並讓關節自行去調整以及增加它的形狀以達到平衡，最後利用金屬雷射燒結製造關節的部分同時也利用顏色來表示受力的狀態。



圖 2- 12 Multithread 細部構建(上)產品外觀(下)

第三章 參數式設計工具

3-1 軟體簡介

Grasshopper是Rhinceros的外掛模組之一，由McNeel公司於2007年開始開發的一個參數衍生軟體，以圖形編寫程式語言(GPL)為它主要的操作方式，它將原先Rhino的建模功能分解成可重組的元件，讓設計師可以透過參數以及圖型運算器的連結來建立模型，同時加入一些程式語言才會使用的運算、判斷元件，讓3D模型在建構時，除了是單純數字的使用，亦可透過增加一些判斷式、外在數據等等變數，使原先線性的建模過程轉變為非線性式。Grasshopper目前尚處於開發的階段，但已被廣泛運用到各個領域之中，最新版本是安裝在Rhino5上的Grasshopper 1.0 (0.9.0056)。

3-2 Grasshopper 的設計觀念

Grasshopper(以下簡稱GH)是利用圖形編寫程式語言(GPL)為操作方式的軟體，簡單的說GH是利用Rhino建立基本的2D、3D幾何圖形，透過GH編輯幾何圖形後面生成的邏輯，最後用Rhino當作它呈現演算結果的平台。本節引用Woo Jae Sung編寫教程裡的圖片來說明GH與一般建模的差異。

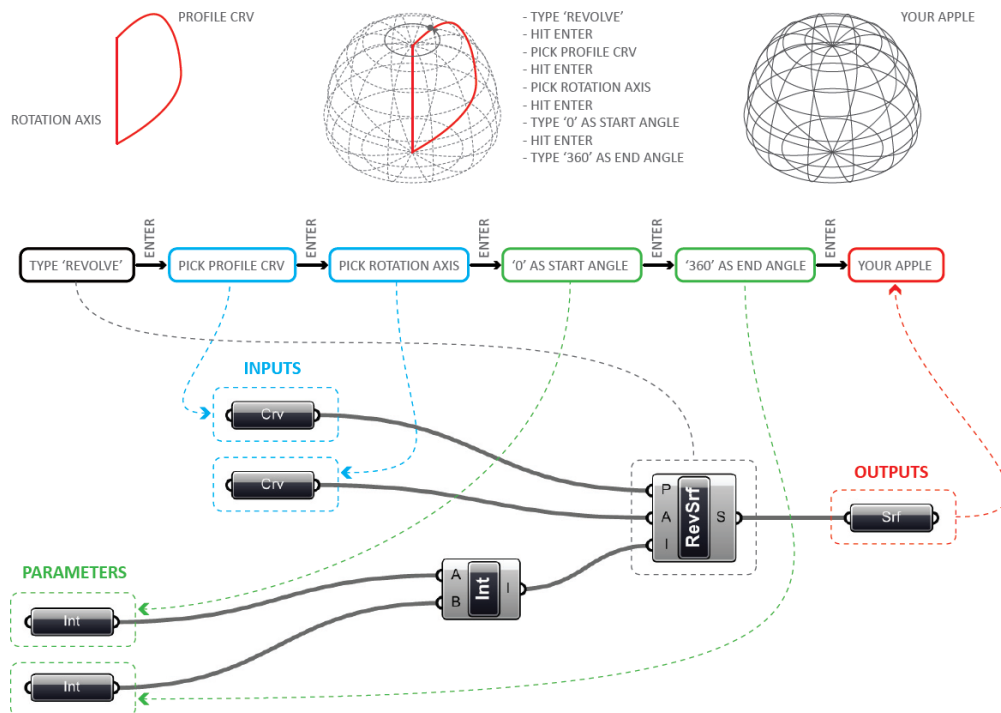


圖 3-1 建模方式的比較

以往在建立一個球面，簡單的可以分成幾個步驟，1.畫出剖面建構線、2.使用旋轉成形(Revolve)指令、3.輸入旋轉角度、4.得到3D模型，整個建構流程見圖3-1，但當我們需要一個半圓的話就得再重新操作一次上述流程。在GH裡，我們只需先找出球面建立中最主要的一個步驟：旋轉成形，了解旋轉成形所需參數，中心線、剖面線以及旋轉角度，透過運算器的彼此連結，最後建構出一個完整球面。下面以球體漸變為例，面上等分出所需的位置，再透過等差數列作為半徑參數，即可完成如右圖的模型，如需更改只要利用調整參數(起始半徑、遞增數值)的方式即可快速產生新的參數模型。

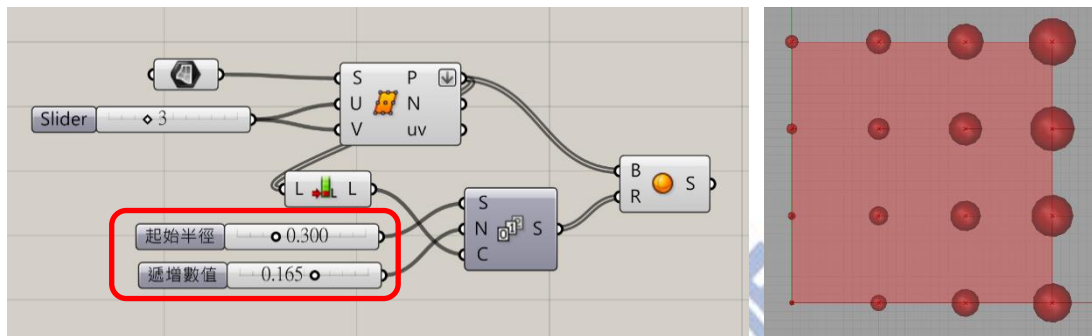


圖 3- 2 grasshopper 元件(左)、在平面上建立漸變的球體(右)

以此類推，當我們建構一個複雜模型時，在建立好運算邏輯後，不需要重覆執行繁瑣的步驟，透過調整參數的方式即可找出我們所想要尺寸，當參數越多整體的靈活度就會越大，GH所建立的不是實體模型，而是生成所需的邏輯。

3-3 Grasshopper 基本介紹

3-3-1 介面

Rhino以及GH的介面如圖3-3。GH屬於Rhino的外掛程式而非單純的擴充套件，不同於一般3D建模軟體，GH並沒有自己顯示模型的視窗，而是透過Rhino顯現運算的最後結果，兩者除了參數的建立上有所互通，在視窗以及功能上皆是獨立分開

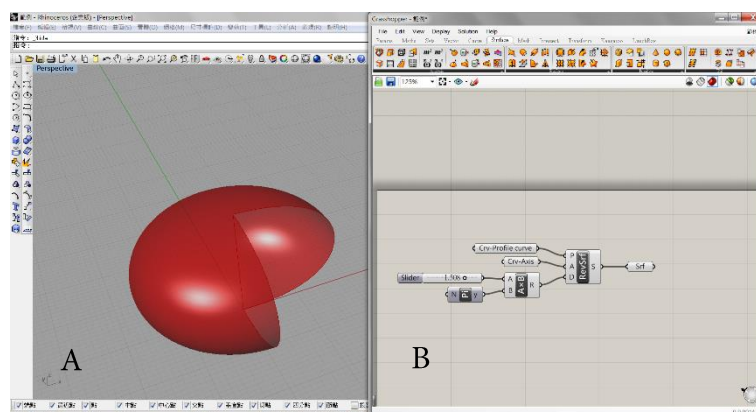


圖 3- 3 Rhino(左)及 Grasshopper(右)介面

3-3-2 基本運算器介紹

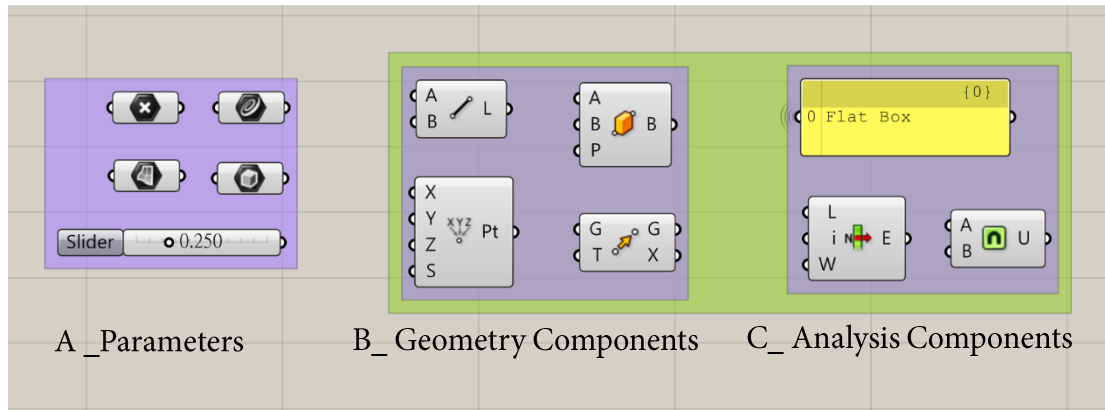


圖 3-4 基本元件介紹

GH的運算方式主要是透過元件彼此連結，透過層層參數運算以及資料分析來產生結果，元件主要分成兩大類型：參數(Parameters)與運算器(Components)。參數元件主要用來表示可變動參數以及訊息或點線面體等幾何數據，在3-2的範例中，參數元件所代表的是輪廓線、旋轉軸、旋轉角度範圍這些可變動的數值或幾何。運算器是GH主要的特點，又可被分為兩種類型，一種為建立幾何定義、一種為資料分析工具，幾何定義運算器跟一般建模所使用的功能一樣，像是4點建面、圓管、長出等等，而資料分析運算器則比較偏向數據上的分類與篩選，後面會有一小節特別討論，下面針對運算器做詳細的介紹，運算器通常都包含輸入與輸出，一般可以細分為五個部分(b~c)：

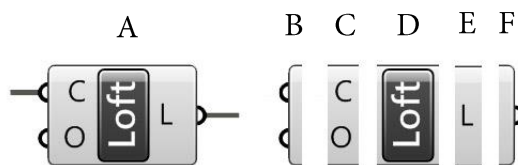


圖 3-5 元件細部說明

- (A) 完整運算器圖示(Component)：左右各有輸入輸出選項。
- (B) 輸入端(Input Grips)：連結參數或其他運算器。
- (C) 輸入選項(Input Option)：所需輸入的參數名稱。C代表著Section Curve、O代表Loft Option
- (D) 運算器名稱(Body)：運算器的功能名稱。
- (E) 輸出選項(Output Grips)：所輸出的參數名稱。L代表著Loft Surface。
- (F) 輸出端(Output Option)：經過運算上所得參數，可繼續連結至其他運算器做運算。

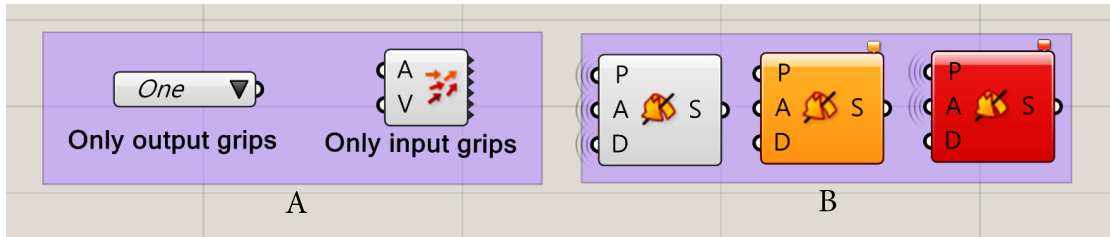


圖 3-6 元件顯示說明

也有元件單純只有輸入或者輸出的功能，如圖3-6A。由於GPL的特點，運算器利用不同的顏色來顯示不同的狀態(圖3-6B)，由左至右分別表示正常狀態、數據不足、數據錯誤，方便設計師能找出對的方式去連結。相較於程式語言需要慢慢一行行校正，此種檢閱方式方便許多。

3-3-3 參數與運算器的連結方式

GH是依參數跟運算器相連結，才能夠做運算，而該如何定義參數便是重點，一般來說，建立GH的參數有兩種方式，第一種是可以透過GH設定，但必須給予比較精細的參數指令，第二種則是在Rhino中定義好再連結進GH裡使用。下圖左兩組連結的方式皆可畫出右邊的直線，差別則在於建立點的方式不同，由圖3-7可以看出一組是透過Rhino兩個點的參數元件，另一組是明確的定義出XYZ的數值，對於結果雖然沒有影響，但會影響之後整體調整的方便性。

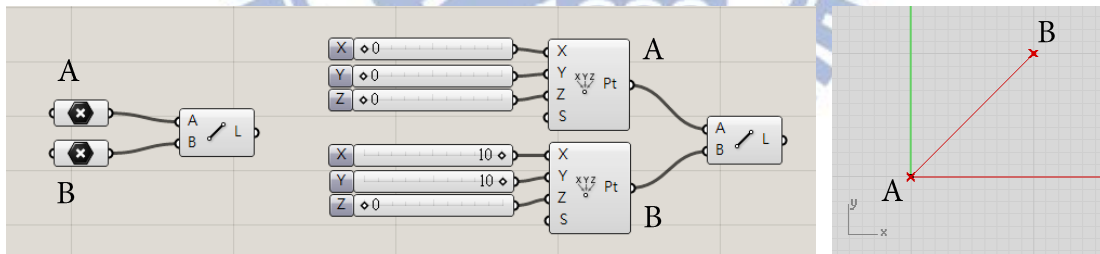


圖 3-7 兩種建立直線的方式(左)、Rhino 顯示畫面(右)

由建構線的例子，便可了解GH的基本建構邏輯，GH將幾何模型都轉化成視覺的圖像，透過分解傳統的建模方式，將以往的步驟轉化成一個或者一組運算器，重新組織新的建模公式，即使是一個點也能轉化成XYZ三個數值，設計者所需要的是釐清各個步驟間彼此的前後順序，並一一的串聯起來，便可快速的架構出一個可自由調整的參數衍生模型。

3-3-4 數據配對(Data Matching)

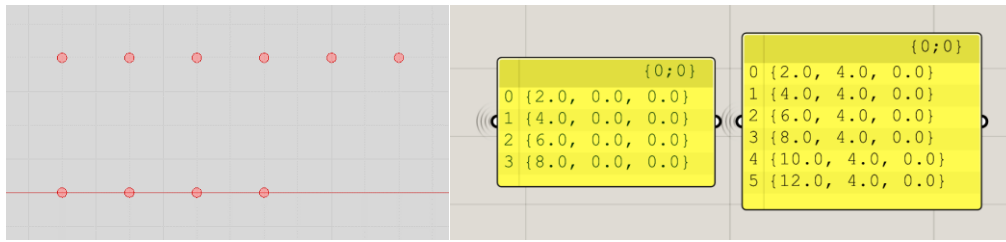


圖 3-8 兩組要連線的點(左)、資料的顯示方式(右)

由於GH透過資料以及數據作為運算的基礎，也因此數據配對在GH裡是非常重要的。原因在於數據資料不會隨時都呈現對稱性的存在，在有多寡的不同的狀況下，數據資料就會出現無法配對的狀況。如圖3-8，當有兩組數量不同的點彼此要做連線配對時，便會出現無法配對的狀況，此時設計者就必須決定彼此間的相對關係，才能繼續進行下一步。GH資料配對元件共有三種類型：(1) Short List, (2) Long List, (3) Cross Reference。

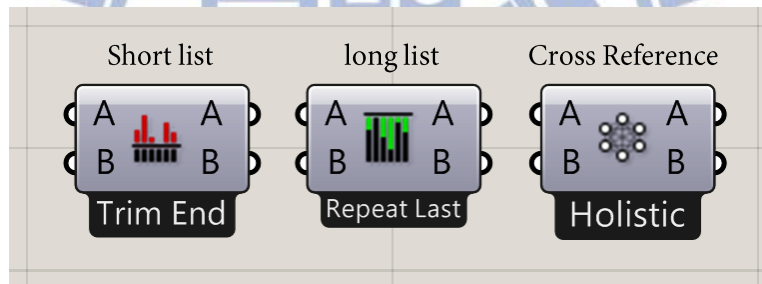


圖 3-9 常用的資料配對元件

(1) 短配對(Short List)

短配對是將數據資料進行一對一配對，直到較少的數據資料配對完即停止。有三種配對模式：Trim Start (去頭), Trim End (去尾), Interpolate (內插法)。其中 Trim End 是預設模式。

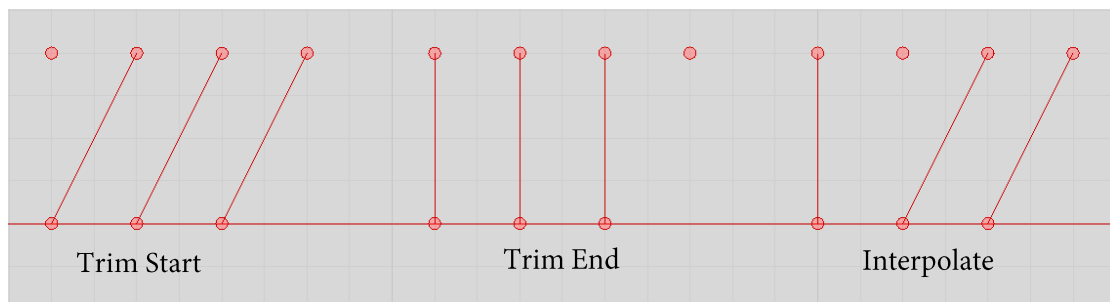


圖 3-10 短配對 3 種模式說明

(2) 長配對(Long List)

長配對是所有元件預設的配對方式，以數據多的數據資料為主，直到資料配對完。有五種配對模式：Repeat First (重複第一項), Repeat Last (重複末項), Interpolate (內插法), Wrap (全部重複), Flip (翻轉)。其中 Repeat Last 是預設模式。

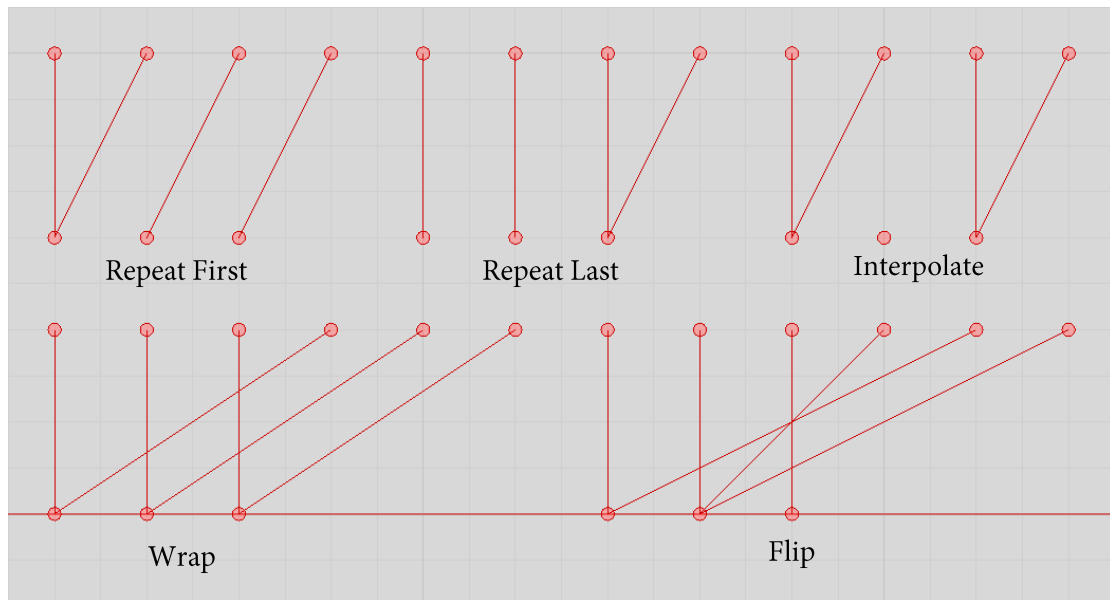
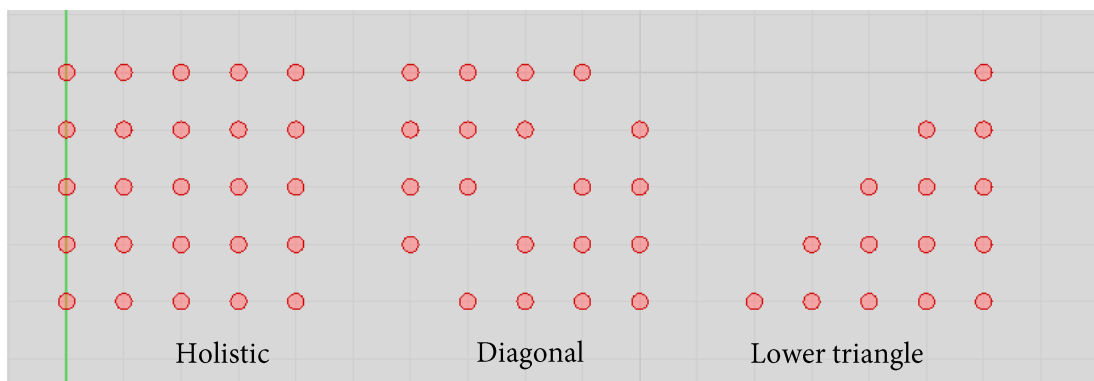


圖 3-11 長配對 5 種模式說明

(3) 交叉配對(Cross Reference)

交叉配對的方式是將所有可能連結進行配對。有七種不同的配對模式：Holistic (完整), Diagonal (對角或斜對稱), Coincident (疊合), Lower triangle (下三角), Lower triangle (strict) (嚴格下三角), Upper triangle (上三角), Upper triangle (strict) (嚴格上三角)。其中 Coincident 要在三維以上的配對才有效果，單以圖片很難看出其邏輯，其定義為：所有配對中的索引值，只要有任意兩個相同時，就不列入配對。由於交叉配對比較複雜，下面將用另一種方式呈現。



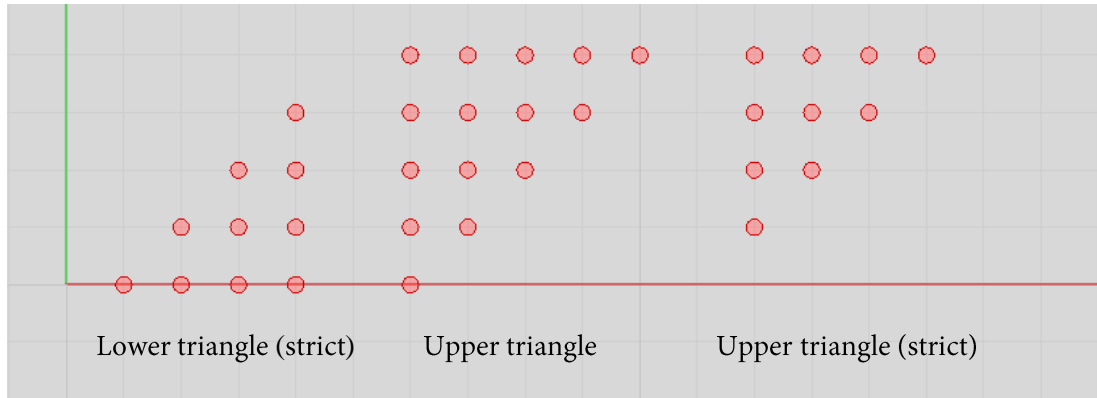


圖 3- 12 交叉配對 6 種模式說明

3-3-5 資料結構(Data Tree)

上一章節，數據配對所介紹的是獨立兩組資料分別有不同數量時彼此的配對方式，而資料結構則是提供一套關聯性邏輯來管理所有資料，在GH裡稱為樹狀資料(Data Tree)，如同座標系統是以XYZ分別表示每一個點的位置，樹狀資料則是用來識別GH中每一個不同的數據。

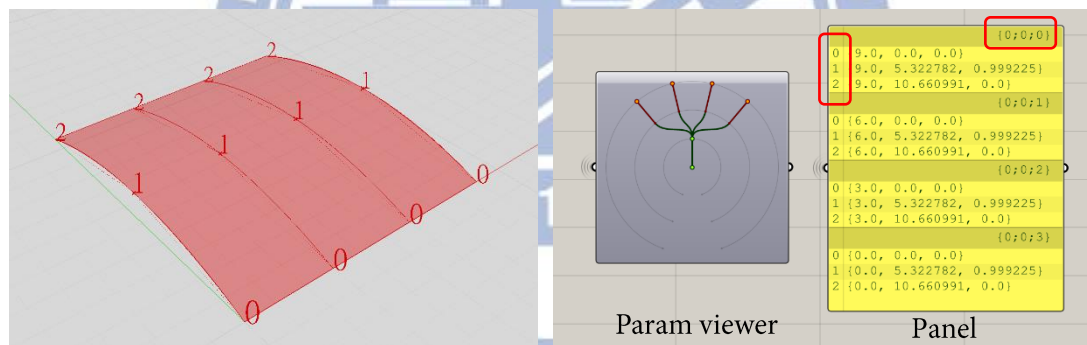


圖 3- 13 資料結構範例(左)、常用的資料分析元件(右)

以圖3-13為例，將一個曲面等分成 3×2 ，找出每一條線段的等分點。利用參數檢視元件Param viewer以及Panel，這兩個檢視元件是GH最常使用的工具之一，讓設計者可以知道各數據走向，能更有效的管理幾何模型。上圖清楚的看出它在樹狀結構具有4個分支以及有4組不同的數據，除了中間座標的數值，其它數字代表的是各階層關係，並不存在實際可以運算的數據。從Panel上第一組的編號我們可以看到右上角有{0;0;0}，括號內的數字代表著階層，三個數字表示它經過了三個階層，當幾何模型經過越多運算時，數字的階層也會更加複雜，而左邊0、1、2分別表示在{0;0;0}組裡各點的編號順序。下面藉由Woo Jae Sung編寫教程裡的圖片來說明各階層的關係。

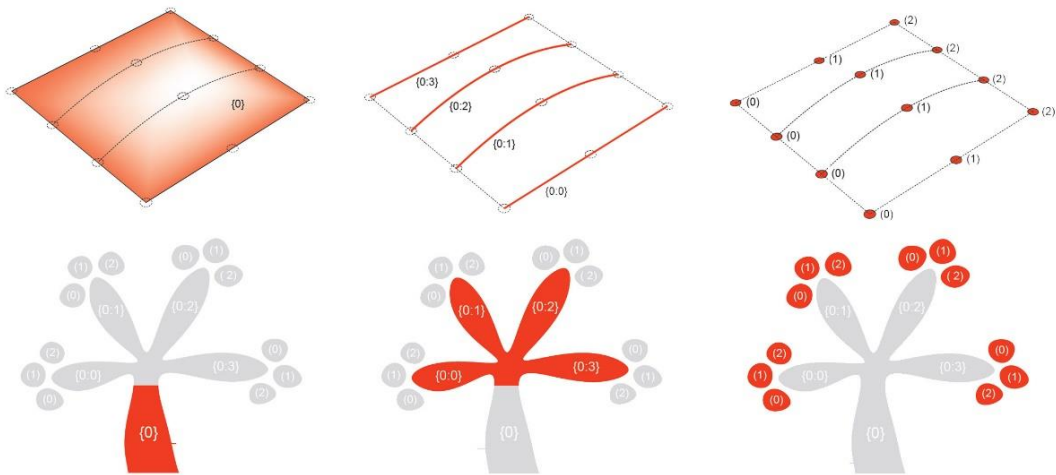


圖 3- 14 資料結構說明圖

如圖3-14，我們由左至右看時可以看到， $\{0\}$ 所代表的是曲面， $\{0;0\}$ 、 $\{0;1\}$ 、 $\{0;2\}$ 、 $\{0;3\}$ 分別代表第二階層的線段的編號，每線段下再區分為 $\{0\}$ 、 $\{1\}$ 、 $\{2\}$ ，一層層如同樹枝般的結構。透過此種結構的配置，能讓資料在配對的時候了解應該選取哪一部分的資料以及它所屬的分支為何，協助設計者在設計過程中處理運算背後龐大的資訊。



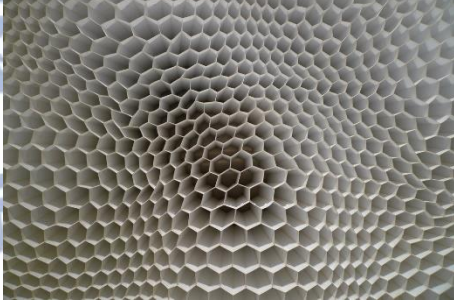

3-4 數位製造技術介紹與評估

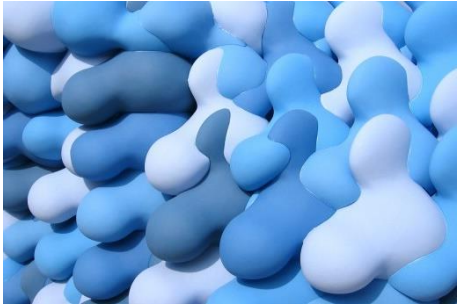
由於現今軟硬體技術已成熟到一個可以互相配合的階段，參數式設計讓設計師在設計上有了更多的發展與突破，而在技術、方式上也因透過電腦控制機具，大大提升製造上的精準度，許多原本受限於傳統製造工法的造型已經獲得解放，但也由於許多的計算、規畫都改變為建立於數位資料中，如何將這些數位資料與製造工法聯結將會變成未來一個很大的課題。下面將分別介紹數位製造的技法與技術。

3-4-1 數位製造技法

在參數化軟體的輔助之下，許多原本標準化設計方式已經被改變，取而代之的是較為自由的建構方式，下面將數位製法技術歸納成五類：Sectioning、Tessellating、Folding、Contouring、Forming。本表格參考曲面空間桁架系統參數化設計與數位構築（王嫻晴，2011）論文中討論之”Digital Fabrications”一書中數位製造技法的分類。

表 3-1 製造技法類型

製造技法類型	技法介紹	應用案例圖片
<p>Sectioning</p>	<p>將複雜的幾何形以投影的方式切割量體，再以切片的方式產生多層截面，即平面及剖面圖，再加以編輯進行骨架之生產製造。</p>	 <p>圖 3- 15 Sectioning 範例 圖片來源 Stefan Schäfer</p>
<p>Tessellating</p>	<p>為板材的組合，板材緊密互相連結，藉此構成平面或曲面。控制分割的圖形和密度即可拼湊任何幾何形體。</p>	 <p>圖 3- 16 Tessellating 範例 圖片來源 Larry Harris</p>
<p>Folding</p>	<p>利用2D平面板材經由摺疊構築成3D的自由構件來組成量體。</p>	 <p>圖 3- 17 Folding 範例 圖片來源 準建築人手札網站</p>
<p>Contouring</p>	<p>以機器加工光滑平整的材料，限定於一個範圍內的材料厚度進行加工，本質上是二維的表面。它是一種技術，重塑一表面創建3D立體物來消除材料的連續層，類似雕刻的模式。</p>	 <p>圖 3- 18 Contouring 範例 圖片來源 architonic.com</p>

<p>Forming</p>	<p>採用經濟、固定的操作模式來產生多個零件，一個小數目模式或一種形式，因此這種技術長被用於大規模生產的產品。在建築屬於建築構件領域，利用此技術來形成構件降低重複性。</p>	 <p>圖 3- 19 Forming 範例 圖片來源 glform.com</p>
-----------------------	---	--

3-4-2 數位製造技術

此一章節，整理至產品製造工法入門與Digital Processes，找出較常見的加工技術，並使用Digital Processes一書中的分類，將數位製造技術分為四大類，Generative procedures、Subtractive procedures、Transformative procedures、Joining procedures，由於Joining procedures在電腦輔助上仍處於開發階段，尚未有太大發展，下面針對前三項作進一步說明。

Generative procedures

Generative procedures 指的是我們現在常聽到的3D列印製造技術，原名為「快速成型製造」(Rapid Prototyping Manufacturing)，簡稱RPM。

由於這類技術的快速發展，讓原先製造上十分困難的參數式設計，有了一個初步的發展空間，透過3D的數位模型，運用粉末狀金屬或塑料等可粘合材料層層精確堆疊的方式來製造出我們所需要的模型，也被稱為累積製造（Additive manufacturing），由於擺脫了傳統切削加工的限制，它可以任意做出精細且非常複雜的模型，甚至無法開模製造的產品也有機會被製造出來，累積製造的特性，能少量化生產無需大量製造，減少了模具的成本跟材料的浪費，並能輔助設計的開發到生產，加快了產品的設計流程，

如圖3-21為KUKA的機器人手臂，它每三十秒可以堆一個磚塊，透過電腦的控制，精準的堆出一道不規則的磚牆。右圖則為MGX這間擁有高科技模具技術的模具廠，透過本身擁有的參數式設計方式搭配3D雷射技術開模，製造出來的燈飾。下面介紹五種常見的3D列印技術。

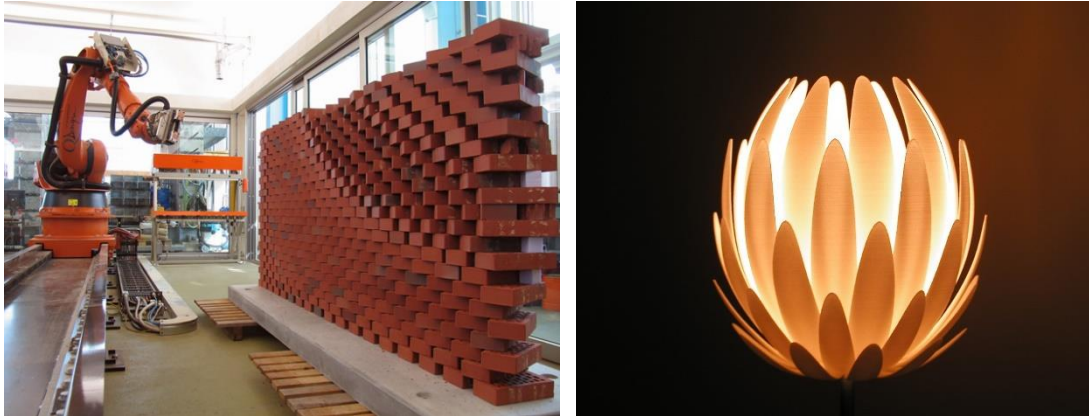


圖 3- 20 KUKA 的機器人手臂(左)、MGX 燈具(右)

1. SLA

光固化成形法（Stereo lithography Appearance，SLA）也稱做光造型、立體印刷，是最早實用化的快速成型技術，此技術是以光敏樹脂為成形材料。SLA的成形過程先將3D模型轉換成一張張截面輪廓，設定好掃描路徑，再利用電腦控制UV Laser掃描器進行各分層的軌跡掃描和工作台的升降；當UV Laser照射到光敏樹脂表面，而使這一層特定區域部分產生光聚合反應固化後，然後工作台在垂直方向移動一個層片的高度，透過這樣的方式層層固化為一個實體，再取出做最後的固化處理。SLA是最早出現的3D列印技術，成熟度較高、成形速度較快，且精度較高，缺點是需要支撐、樹脂固化中往往會有變形的問題。

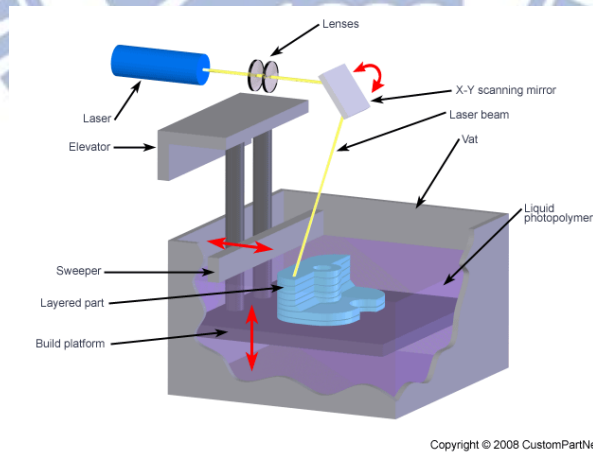


圖3- 21 SLA 技術說明

2. LOM

層疊實體製造法（Laminated Object Modeling，LOM）的成形過程是將單面塗有熱熔膠的箔材（由紙、陶瓷箔、金屬箔等材料所組成）利用雷射切割的方式割出分層的截面輪廓。首先在工作臺上鋪上一片箔材，使用雷射將箔材切割成所製模型的截面輪廓，

鋪上下一層鋁材後利用熱輥加熱使其相黏結，接著切割此層的輪廓，透過這樣反覆的過成堆疊到加工完畢為止，最後把切碎的部分除去留下所需的模型。LOM的特點在效率高製作成本低，缺點是不能做塑料的模型且不能製造有中空的结构體。

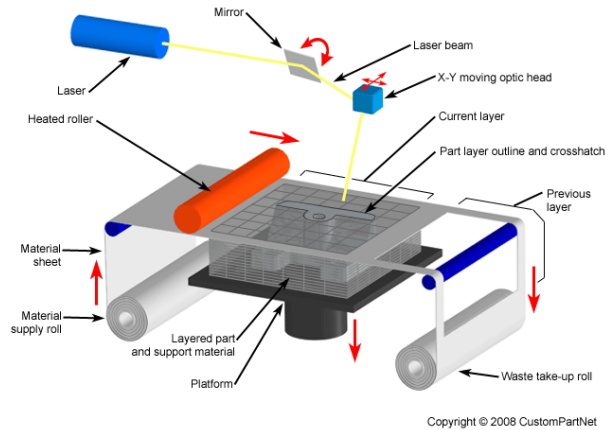


圖3- 22 LOM技術說明

3. SLS

雷射燒結成形（Selective Laser Sintering，SLS）也可稱作粉末材料選擇性雷射燒結/粉末燒結，燒結是指把粉狀物料轉變為緻密體的製程技術，它與SLA有著許多的共通點，常採用的材料有金屬、陶瓷、ABS塑料等材料的粉末作為成形材料。SLS的成形過程是先在工作臺上鋪上所要使用的材料粉末，利用電腦控制採用雷射光在指定的截面輪廓進行掃描，將工作台上既薄又均勻分布的材料粉末燒結，燒結部分便固化成實心的部份，一層掃描後再移動工作平台進行下一層的燒結，結束後去除多餘的粉末，便完成成型的過程。此技術的特點是材料應用較廣，可以生成形狀複雜造型；缺點是表面粗糙需要後加工。

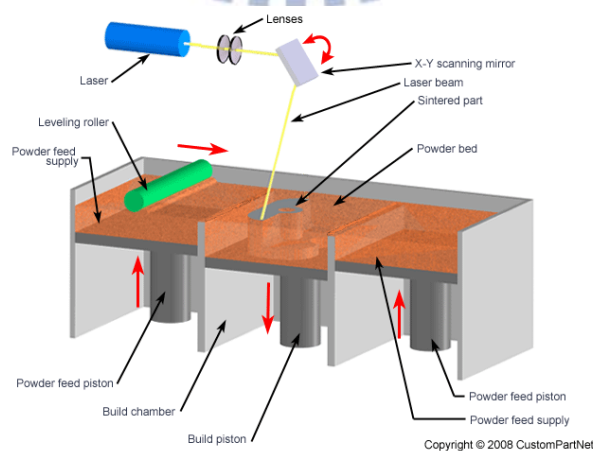


圖3- 23 SLS技術說明

4. FDM

熔融沉積法（Fused Deposition Modeling，FDM）是目前3D印表機裡最常見到的列印技術，由Scott Crump在1988年提出了概念，1992年由美國Stratasys公司開發推出了第一台商業機型3D-Modeler。此技術以熱塑成形的材料絲為主，而其中又以ABS為大宗，因為ABS在此技術上不論強度或者是耐熱程度皆能達到傳統ABS射出的80%品質。FDM的成形過程是透過高溫加熱器融化材料絲，由電腦控制噴頭循著物件的截面路徑運動，擠出的塑料當溫度低於融點時便開始固化，逐層從底到頂堆積成實體模型。此技術的特點是方便操作、成本低，缺點是表面會有紋理處裡不易，是目前3D列印技術中精度最差的。

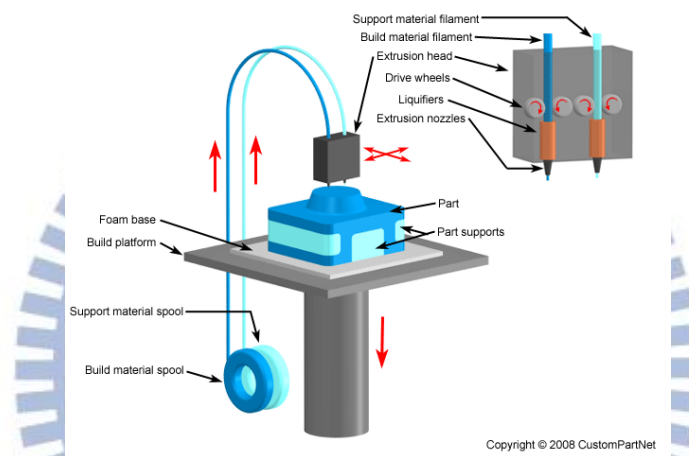


圖3- 24 FDM技術說明

5. 3DP

三維粉末黏結（Three Dimensional Printing and Gluing，3DP）也稱三維列印，由美國麻省理工學院所研發，使用的材料跟SLS一樣為粉末（例如：陶瓷、金屬、塑料粉末），不同於SLS利用雷射燒結，3DP則是利用噴嘴噴出專屬的黏著劑。3DP的技術原理是，先在工作平台上鋪上一層粉末，接著裡用電腦控制路徑，讓噴嘴在所需成形的地方噴出黏著劑，透過黏著劑與材料粉末的相黏形成截面，接著重覆鋪粉與噴膠的動作，最後列印出所需的模型。此技術的特點在於能以全彩的方式呈現，以及無需支撐結構。

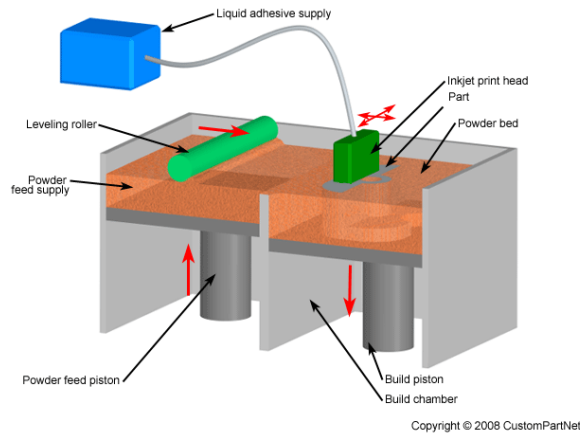


圖3- 25 3DP技術說明

Subtractive procedures

Subtractive procedures則為較傳統的製造技術，利用刀具將材料切割成所需的組件，再結合成型，由於現在許多切割方式皆透過電腦控制(CNC)，也因此能夠和數位資料做直接的連結，大大提升整體的精準度。此種製造程序又稱為”減法式製造”。下面介紹三種透過電腦控制的切割工具。

1. CNC laser cutting

雷射切割(CNC laser cutting)是利用發射雷射的光束通過聚焦鏡頭聚在一個小範圍內，約在0.1毫米和1毫米間，一接觸物質使其熔化或蒸發，可用於切割、蝕刻和標記各種材料，是一種高精度數值加工。許多較自由的造型如上一章所提到Sectioning跟Folding，都適合運用此種方式加工。雷射切割的面積取決於機器的大小，目前有製造船隻在用的雷射切割機，尺寸就大於10*50M以上，因此在運用上十分廣泛。

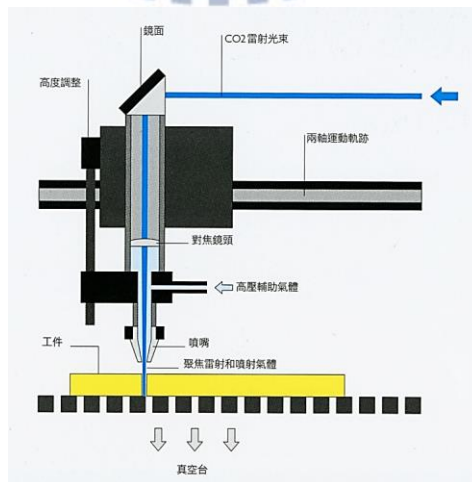


圖 3- 26 雷射技術說明

2. CNC jet cutting

水刀切割 (CNC jet cutting) 主要以超音速水柱混合研磨劑，一般用於2D切割，水刀的切割範圍較廣，從軟泡棉到不鏽鋼、銅、鈦、陶瓷等等，由於切割時不會產生熱影響，切割有印刷或塗層的材料也可以利用水刀，特別是沒有熱影響的特性也是水刀比起雷射切割更適合切金屬的原因。

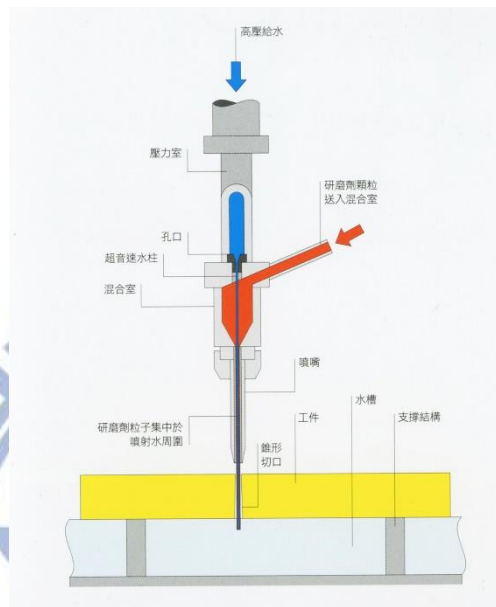


圖 3- 27 水刀技術說明

3. CNC machining

數值加工成型(CNC machining)能協助數位製造的功用在於有多軸的技術，可以用來處理雷射切割及水刀無法處理的造型。設計者透過電腦建立模型，軟體會定位出銑的深度跟速度，便可做出所需的模型。但CNC milling由於有刀頭的限制，造型自由度上不如3Dprinting來的好。

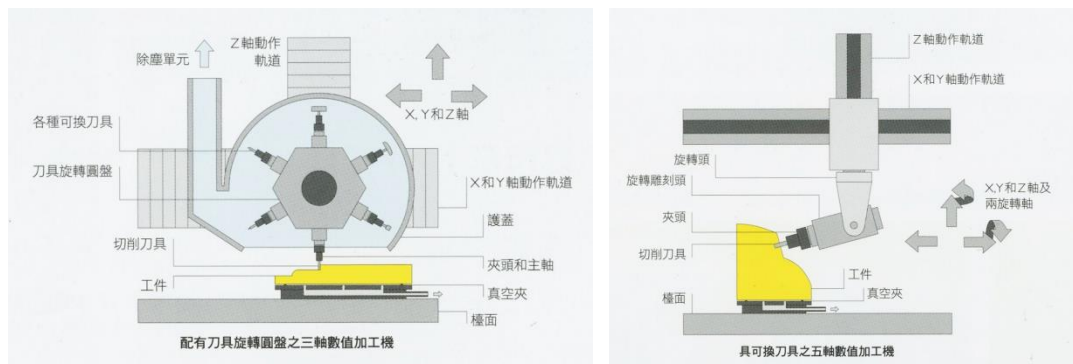


圖 3- 28 CNC 技術說明

Transformative procedures

Transformative procedures指的是一般稱為彎板、沖孔等技術，透過形變的方式讓材料重新塑形，並保留材料原本的強度，大部分以金屬為主要加工材料。下面介紹兩種不同的技術。

1. CNC Bending edge

CNC Bending edge所包含的有彎壓成型(Press Braking)、彎管(Tube and Section Bending)等，由於都透過電腦的控制，代表著高精密度，利用標準模具即可適用於大多數產品，也可使用專用模具製造特殊的造型。

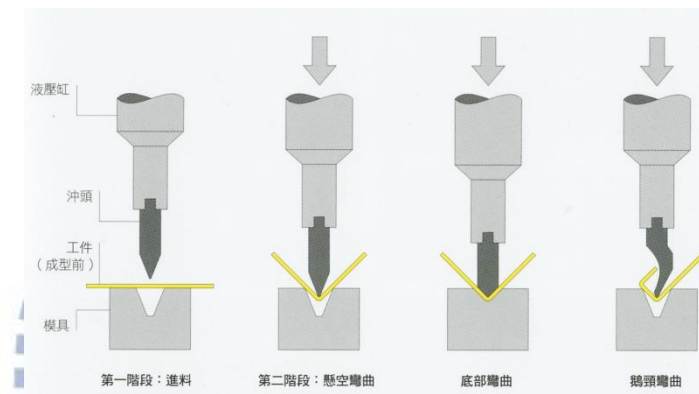


圖 3- 29 CNC Bending edge 技術說明

2. CNC punching

數值控制轉塔沖壓(CNC punching)，在此製程中使用硬化鋼沖頭從板材上切出圓形、正方形或特別輪廓的孔，使用模具可以為專用模或可更換模，取決與幾何形狀和設計的複雜度。

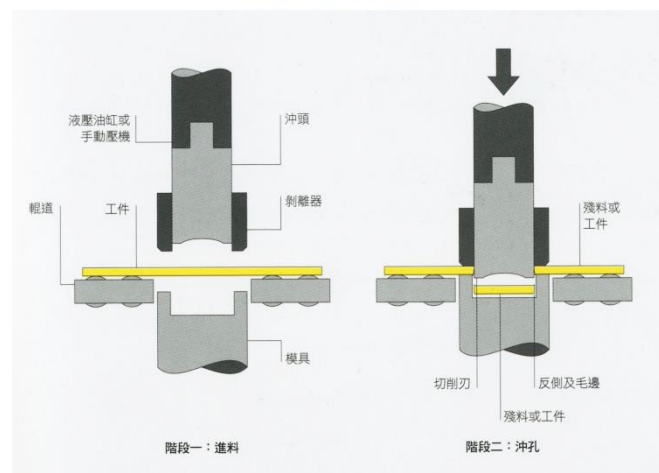


圖 3- 30 CNC punching 技術說明

第四章 設計創作

由於參數式設計仍屬於發展中時期，相關輔助軟體、硬體皆不斷在改善與更新。近年工業設計領域多直接利用 3D 列印生成產品，但在材料與成本的考量上，尚未達到現有產品所需的標準。本研究目的在於探討參數式設計如何應用於產品創作上，第一階段，主要嘗試運用參數衍生軟體 Grasshopper 探索其可能的創作方式，並發展出生成造型的邏輯架構。第二階段找出與衍生造型相互搭配的工法，並利用 GH 輔助輸出工程檔案。預計產出三件，以便實際了解利用參數式設計作為產品創作的可能性，以作為日後改善的參考。

4-1 相關設計測試與討論



圖 4-1 窗櫺椅、Aluminum rings stool '40

在這兩年的期間曾接觸指導教授的兩個設計案，窗櫺椅及 Aluminum rings stool '40，如圖 4-1 為窗櫺椅，此概念運用竹片及韌性特質，將竹片精準裁切成不同的形狀的板材，再進行搭接組合成如中國窗櫺的椅面，並藉由不鏽鋼管的支撐組合成具有現代感的休憩坐椅，當光線投射到竹片時，能夠產生出變化多樣的陰影，讓居家空間中帶有一叢竹林的氣息。此設計應用代表中華文化的竹子為材料，以工業設計的傳統開發流程設計與製作。Aluminum rings stool '40 則是透過參數運算，準確的定位出椅面上線條與金屬環的位置，並提供往後造型上更多不同的變化，不鏽鋼管焊接搭配簡單線條，呈現出整體的結構感。其座面以 Rhino 配合 Grasshopper 施作，可以輕易的調整座面上方密度及管材大小，此設計應用治具與人工焊接不鏽鋼材製造。在接觸過這兩件作品之後，歸納出以下幾點問題，作為日後創作的參考：

- (1) 角度變化多：兩者在造型的圖樣上，都呈現不規則的變化，因此在竹片交接處或不鏽鋼管接點都非固定的角度或者制式的角度。
- (2) 手工誤差：竹片的角度加工是靠人工磨製、不鏽鋼管接點雖有治具輔助但也是師傅慢慢焊接而成，由於大量單元相接最擔心的就是累積公差問題，而利用人工加工難

免會出現誤差。

- (3) 成品脆弱：因圖樣本身並非強韌的造型，加上手工累積誤差的關係，讓整體較不適合載重。
- (4) 加工困難：由於角度的變化，讓每一個單元造型都是獨立存在，像是竹片每一個卡榫的角度都必須照圖模製而成。不鏽鋼管接點利用治具輔助，但也都必須一分段個別裁切。

4-2 概念構思

上一小節的問題整理中可以發現，角度變化為影響參數式設計難以製作的主因，因此在概念發想初期，針對此一問題做為設計發散的主軸之一，並找出相關的參考圖片，希望在確定製作方式後，利用GH去輔助各工法的製造，另一方面嘗試從GH思考各造型的應用方式與造型的變化性。

4-2-1 製程考量

概念(一)：接點與管材

在3D列印的特性之下生成不同的接點，每個接點可以有各種角度的變化，透過與不同管材接合，除了能節省3D列印在製造上的成本，材質上也能有更多可能性。



圖 4-2 接點參考圖片

概念(二)：複合媒材

透過兩種材質交互的結合下，運用材質本身特性克服角度過多問題，像是利用橡膠或布的彈力或張力去將整體的造型塑造出來。



圖 4-3 複合媒材參考圖片

概念(三)：橋接片結構

利用橋接片結構去固定角度，透過設計讓卡榫除了它的功能外，更可呈現出一種圖案上的美感，不單單只是一個結構。GH上可以快速的生成卡榫的工程圖，透過雷切的方式製造出各個零件。



圖 4-4 橋接片參考圖片

概念(四)：線材連結

線材的可變性很高，運用線材去連結各組件，或者透過線材塑造出一個曲面的造型，可先透過GH做出一個計算出基本的型，並留下穿線的孔洞。



圖 4-5 線材連結參考圖片

4-2-2 造型概念

概念(一)：三角形分割

此一概念主要運用三角形分割的方式，希望透過面的切割運算，創造出不規則的表面圖樣。製作上利用彎板或者直接焊接的方式去固定各個切面。



圖 4-6 三角形分割參考圖片

概念(二)：雙層結構

此概念希望透過內外圖案的不同，表達出不同的空間與層次感。小件的造型可利用3D列印的方式或外罩部份必須分成上下蓋等。

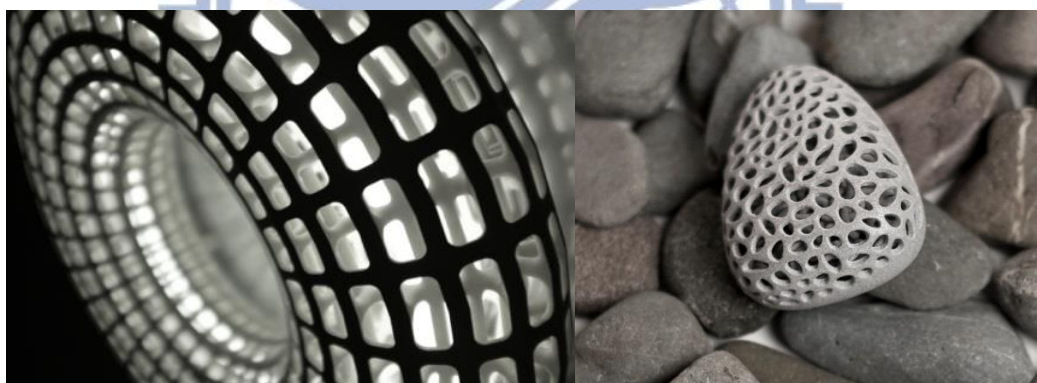


圖 4-7 雙層結構參考圖片

4-2-3 小結

整體構思的方式是主要以製程上做考量，先思考後端製造上的方法再決定產品的類型，跟以往創作上思考功能為主有些不同。透過上面的發散過程，並與指導老師討論後整理出三個主要的設計方向：1. 運算三角形的切割面，呈現不同的光影變化。2. 利用3D列印與管材結合，做出雙層結構的燈具產品。3.使用橋接片做為接合的方式，讓產品在外觀上有圖樣的變化。由於初學GH軟體，在創作初期並無法將整體架構過程釐清的十分清楚，在後面章節會針對各個概念的發展過程做深入的分析與介紹。

4-3 設計創作(一)：矮桌

4-3-1 設計構想

矮桌為前面所提到的方向一：運算三角形的切割面，呈現不同的光影變化。在軟體中”以Delaunay triangulation為主要的運算特徵，Delaunay triangulation的特點便是透過設定點的方式運算三角形切面，因此如何在產品上設定出運算的過程，及如何呈現造型的美感，並設計便成為這次設計創作考慮的重點。

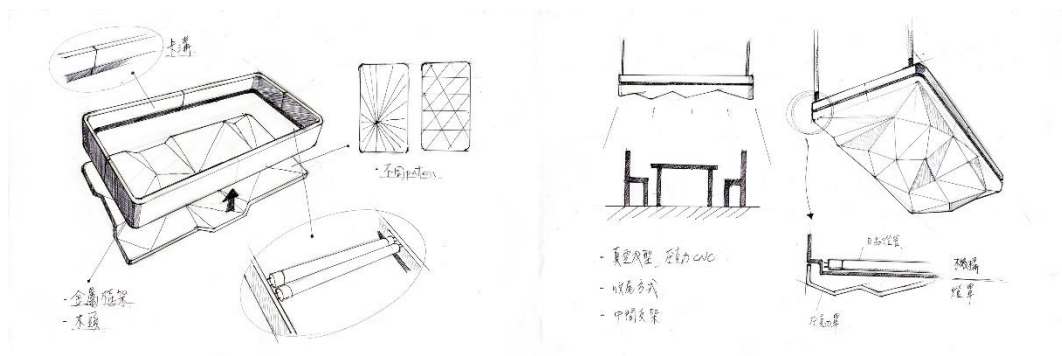


圖 4-8 概念草圖

在構想發展初期，原始的產品設定以大型頂燈為主，希望透過大面積展現切面的美感，製造技術上則設定利用模具製造出切面，搭配壓克力真空成型的方式製造。但在初步設定尺寸並簡單的施作草模與真空成型廠討論後，由於真空成型有一定的大小限制，目前最常做的大小是450*450mm，大型的真空成型製作成本太高，成型後許多原本交接銳利的線條會因此喪失，並考慮加入燈光後，角度不同的切面容易造成光線的混亂，美感上不符合既定的目標。而回歸到Delaunay triangulation本身造型類似寶石、石頭的切面，希望能呈現出一塊原石放在地上，讓觀者能從不同角度去觀賞，因此決定改以功能單純、造型較能變化的客廳矮桌為發展的方向，並搭配3-4所提到數位製造技法中的Tessellating為主。

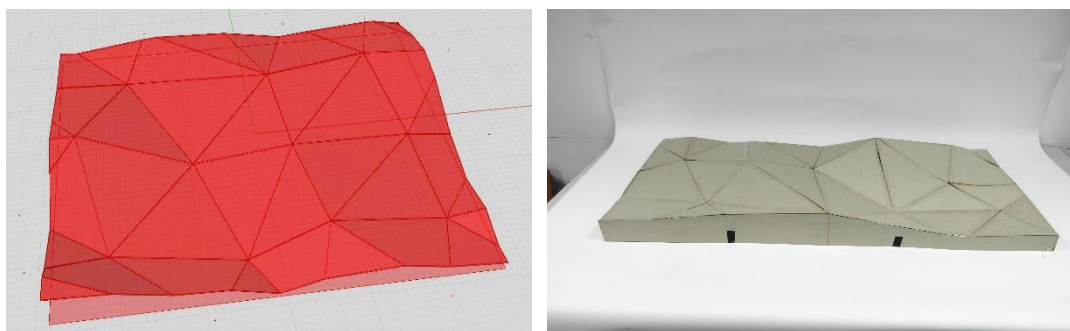


圖4-9 Delaunay triangulation模型、頂燈草模

4-3-2 基本定義與元件

基本定義

許多三維立體模型最常以三角網格為使用的基礎，Delaunay triangulation(簡稱DT)則是其中最著名的演算方式，Delaunay三角分割的定義為：點集合的三角分割中，不存在有任一點被包含在DT分割後的所有三角形內接圓內，見圖。

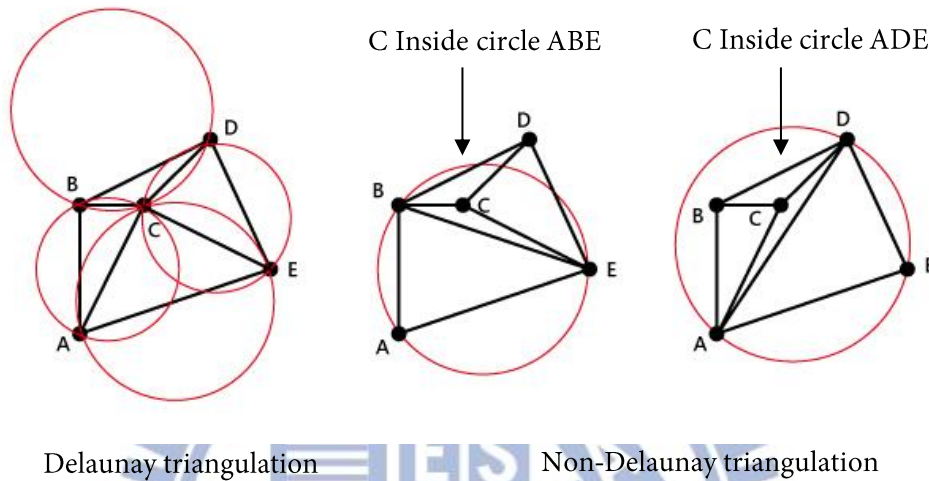


圖 4-10 Delaunay 三角分割

元件介紹

在GH裡面有兩個元件可以做Delaunay triangulation的運算，分別是Delaunay Mesh與Delaunay Edges，由圖示我們便可以簡單的分出一個是生成網格面，另一個則是以生成邊為主。本創作則以圖左的Delaunay Mesh為主要的運算器。Delaunay Mesh的圖形主要是輸入控制點的數量與平面來決定幾何結構，需要輸入三個以上的點數據即可產生圖形。

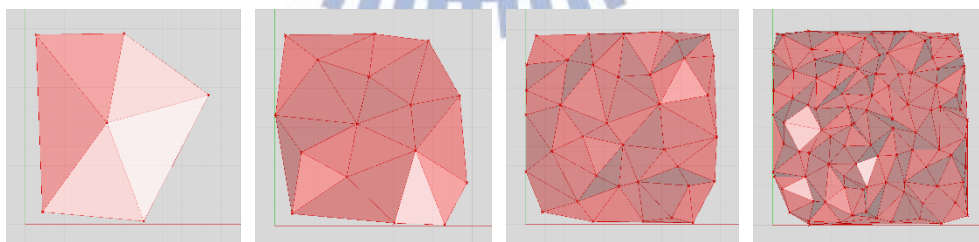


圖 4-11 運算元件、不同衍生的模型

4-3-3 構想發展

參數模型與草模測試

此一小節包含參數模型的建構過程與兩次的草模測試，由於草模的測試關係到參數模型修改，文中將會交互著介紹。此參數模型建構上並非完全在GH裡進行，而是透過Rhino與GH兩邊來回的修改，才達到最後的成果，在建立的過程中必須考慮之後

調整的方便性與製造所需的圖面。在這次參數模型的建構中，主要可以分成三個階段(括號內表示所用到的部分)，1.建立基本型(GH)和草模測試、2.細部調整(Rhino&GH)、3.輔助模型製作(GH)和草模測試。

1.建立基本型(GH)

從設計構想時的Delaunay triangulation為基礎下去做展開，圖4-12為建立基本型的參數模型，矮桌需要一個較接近體的造型，因此在GH裡定義範圍，從中隨機生成點，再利用Delaunay Mesh元件產生造型。基本型所建立的是模型所需的尺寸以及基本造型，再透過參數的調整選出適合的基本造型。

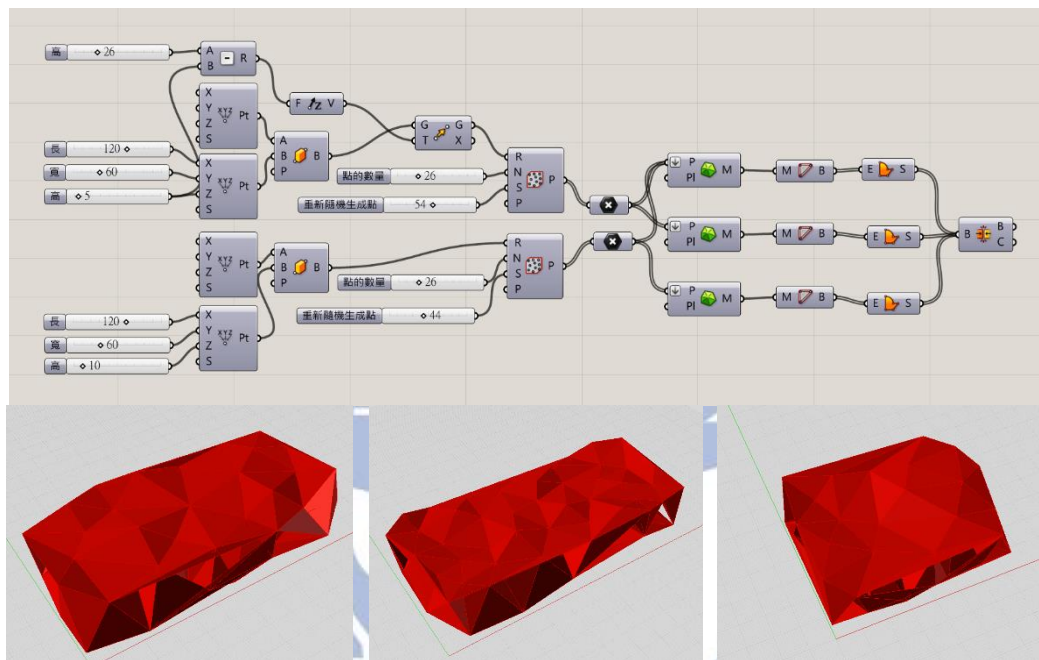


圖 4- 12 建構基本型的參數模型(上)、不同變化的基本型(下)

草模測試 (一)

第一次草模測試發現，即使每一片都已標好號碼，還是很容易有組裝錯誤的情況，正反面容易搞混，一片一片慢慢比對的情況下組裝時間過長，整體在高度上做為矮桌略矮，旁邊收尾的地方太過銳利。而針對這幾點問題找出了後面模型修正的方向，1. 整體比例須重新調整、2. 邊的部分需增加黏貼邊，除了方便接合也可增加強度、3. 桌角的地方需設定好非銳利的收尾、4. 每一邊都須標註號碼。



圖 4-13 第一次草模測試

2. 細部調整(Rhino&GH)

這一部份調整桌面的結構，圖為處理細部結構的參數模型。由於產品設定為矮桌，除了本身基本造型外必須給予它一些功能性的地方，訂定出一些平面，讓矮桌能有地方放置茶杯、水果等物品。主要從Rhino裡手動調整點的高低位置，並藉由GH的運算即時看出變化的程度，功能性部分調整完畢後，也大致確定了模型的基本外觀。

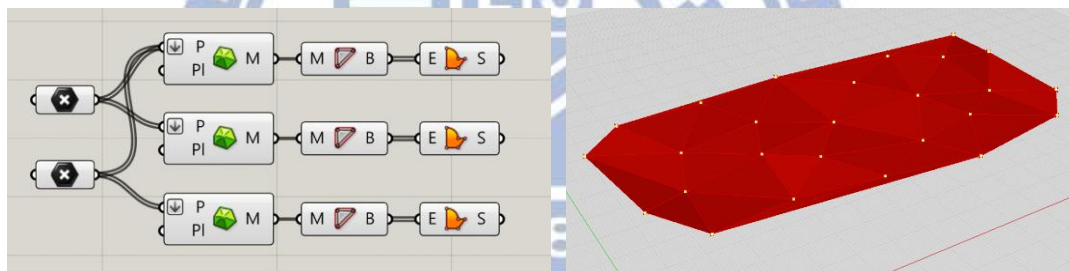


圖 4-14 細部調整的參數模型、Rhino 調整的點

3. 輔助模型製作(GH)

從草模測試(一)所發現的問題下去做修正，這一階段是最耗時也最繁瑣的部分，包含的有：a.計算面與面之間的角度、b.生成黏貼邊及螺絲孔、c.將面攤平並編號。由於需要掌握到產品較多的細節，在GH裡常常會發生許多問題。像是在編寫a.計算面與面之間的角度時候，會發生某些面求出的夾角剛好顛倒，由於每個三角形都不同，總共有64個三角形，就會出現192個角度，很難一一的去調整，因此必須不斷的修改計算的邏輯，才能找出適合的元件。由於GH的各部分參數模型過於複雜，完整參數模型見圖4-27。

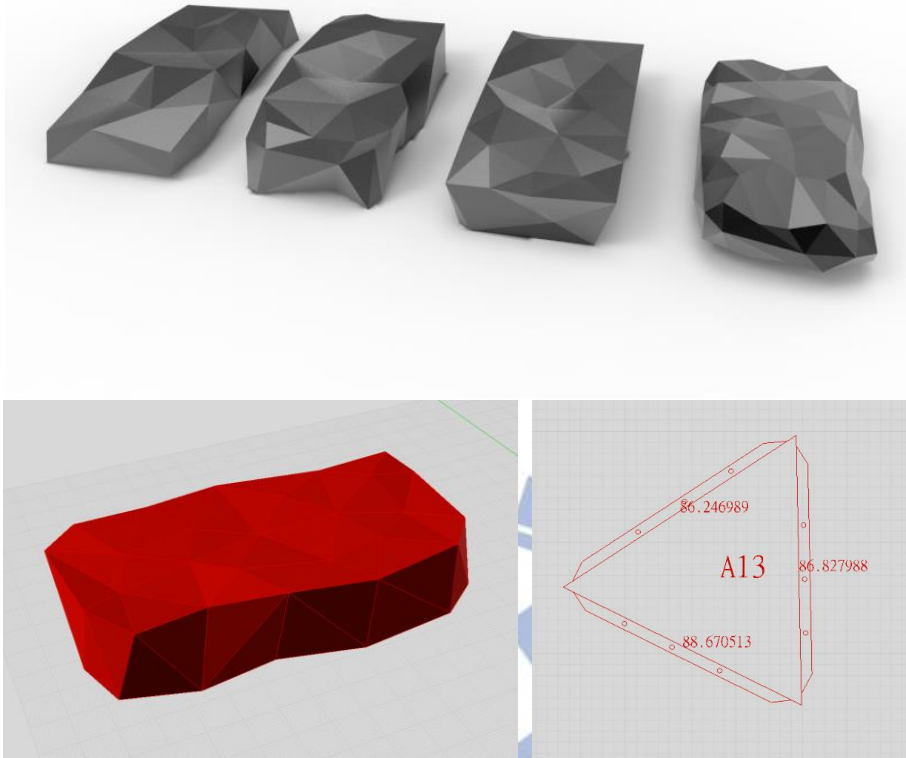


圖 4-15 電腦模擬測試(上)、最後定案造型(下左)、輸出的工程圖(下右)
草模測試(二)

以紙板實際製作出1比1模型，評估整體尺寸是否適當，確認接合方式與標號是否有問題，接著進入實際製程的階段。



圖 4-16 第二次草模測試



圖 4- 17 先利用燕尾夾快速的固定

模型製作

由於強度的關係，最後定案決定由不鏽鋼板材利用螺絲固定進行製作。利用GH軟體的輔助，將每一片攤平並標上號碼以及角度，在雷射切割的同時完成後續繁瑣的標記動作，師傅不需一一比對工程圖，方便製造上加工及後續的組裝。圖為其中三塊工程圖面，中間為板材編號，旁邊為每邊需彎折的角度同時也是之後組合時可以對照的編號。

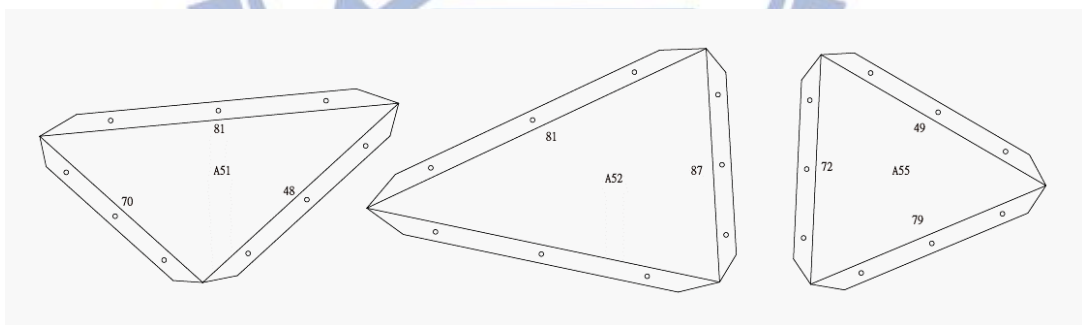


圖 4- 18 工程圖(一)

由於工廠師傅也是第一次遇到不同角度大量彎折的組裝，擔心會產生累積公差的問題，於是製作前期就先以部分作為前測，在與工廠討論與測試後整理出以下幾點問題及解決的方式。

1. 工程圖輸出：在輸出工程圖時需注意板材雷切的方向。當金屬板材過厚，雷切時容易出現毛邊的情況，以及保護膜也是需要考慮的部分。毛邊部分工廠有打磨機可以調整處理。

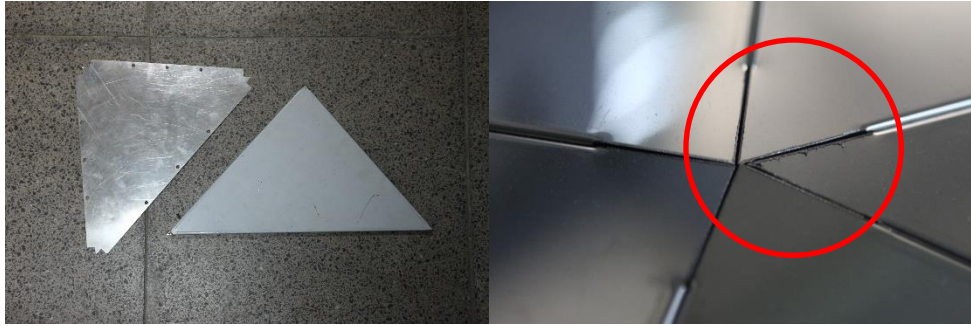


圖 4- 19 保護膜有無、毛邊情況

2. 編號位置：需微調編號位置。當編號在板材中間時，雖已將雷射火力調至最小，仍然容易在正面留下隱約的痕跡，製作時必須將編號設定在黏貼邊上，可防止此種狀況發生。

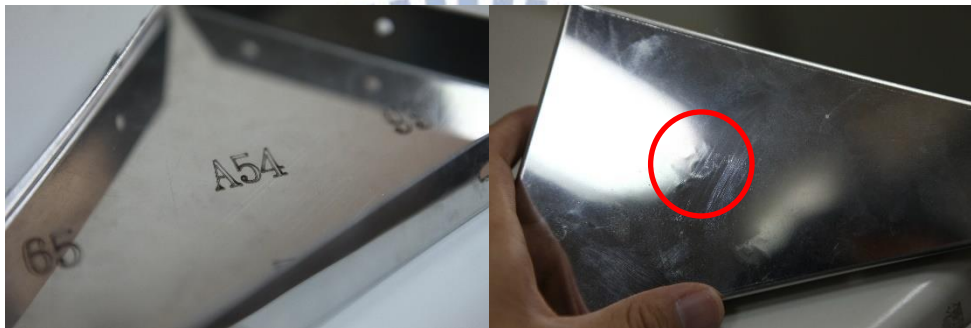


圖 4- 20 雷射刻字、正面留下的隱約痕跡

3. 彎板限制：板材在施作時，每邊需向外偏移複製0.2mm，預留為折角的空間，其中當彎折角度為銳角時，如下圖(以尺為彎折時刀頭)，需注意彎折上會卡到另一個黏貼邊，造成無法施工，因此統一內縮15mm才能閃過刀頭。



圖 4- 21 銳角情況(已裁切過)、鈍角情況

4. 組合細節：一般組合時，頂點部分皆需內縮一小段距離，可讓板材組合相交時更加密合。在此創作中恰巧與第三點的處理方式相同，因此考量整體的美觀性，各邊統一內縮同樣長度，方便彎折也讓接點密合。

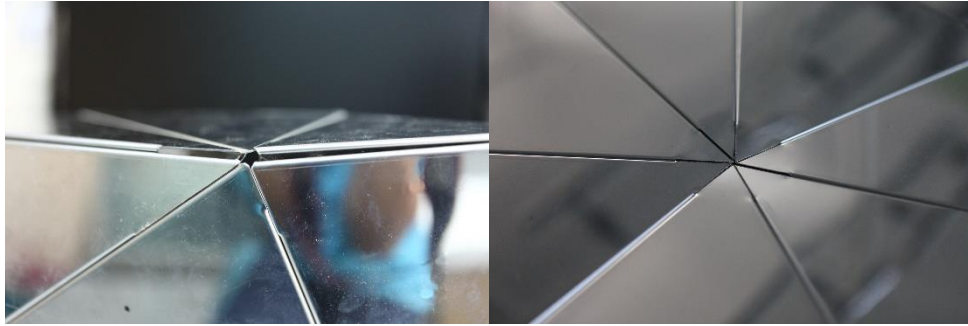


圖 4-22 未內縮接合處、內縮後接合

5. 材料厚度：板材厚度過厚導致重量太重，從1mm下修到0.5mm。



圖 4-23 模型前測

利用前測發現的問題，將所需內縮以及預留的條件，重新進入GH修正參數模型，並再做一次簡單的測試，重新評估板材彎折時是否會再遇到問題，以及變薄後強度上是否足夠。



圖 4-24 未彎折單元(左)、組合測試(右)

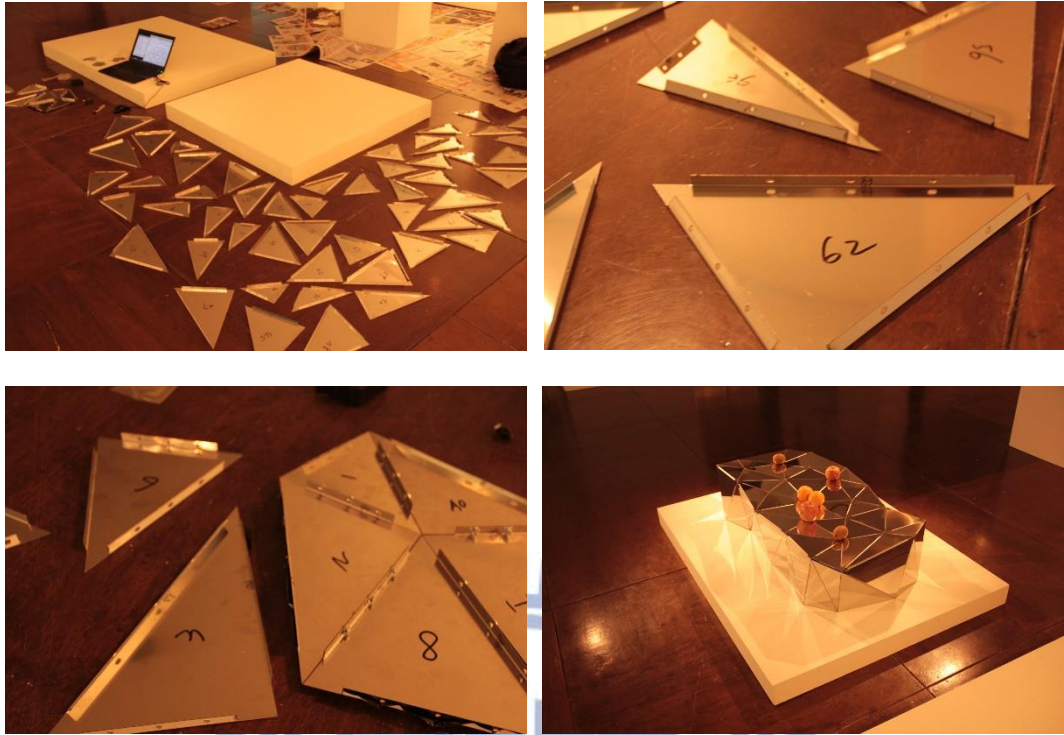


圖 4- 25 組裝過程



工程圖與完整參數模型

圖面檔案總共有64個三角形，下面為根據位置排列後的工程圖。

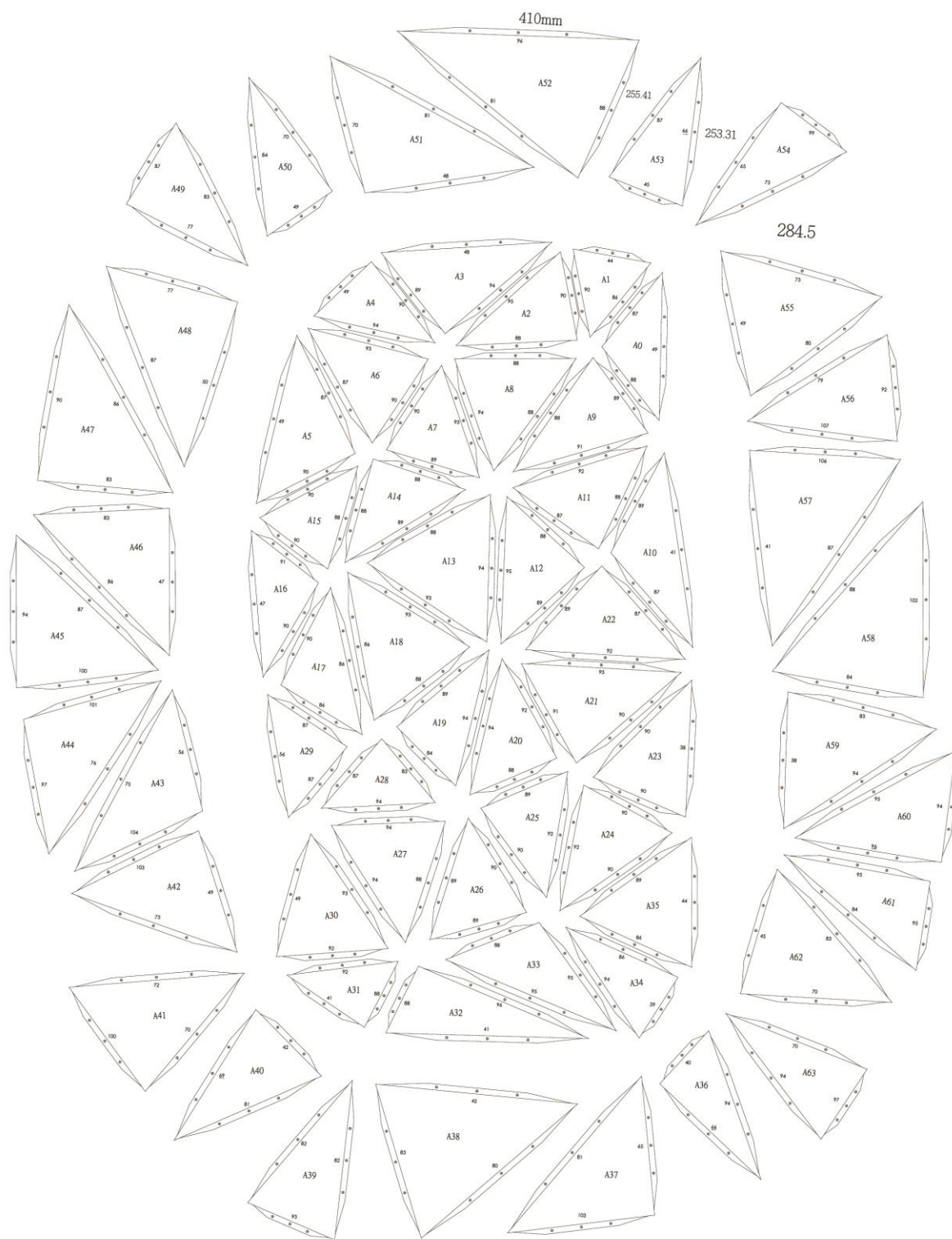


圖 4-26 工程圖(二)

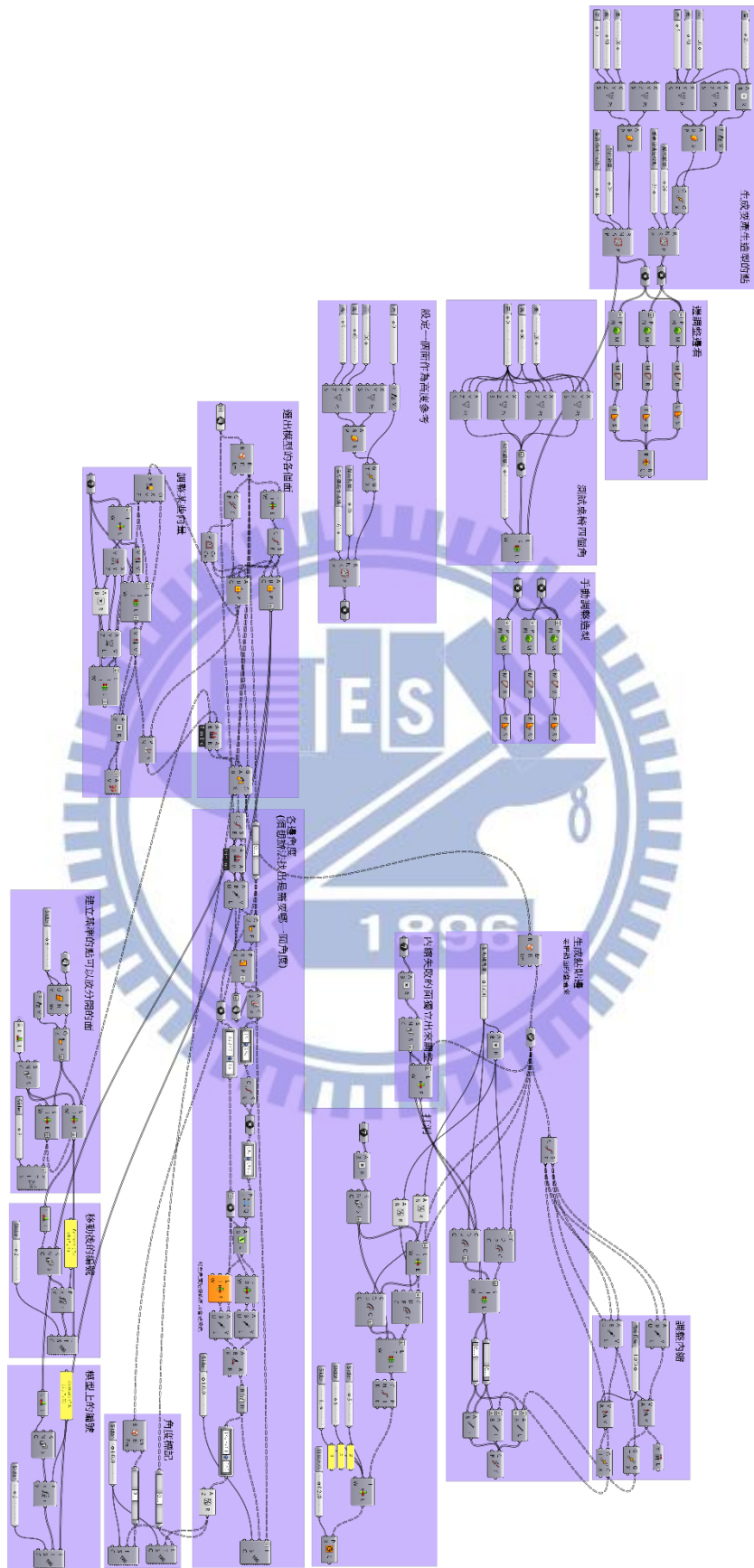


圖 4- 27 Grasshopper 參數模型

4-3-4 作品呈現



圖 4-28 作品照片

4-4 設計創作(二)：吊燈

4-4-1 設計構想

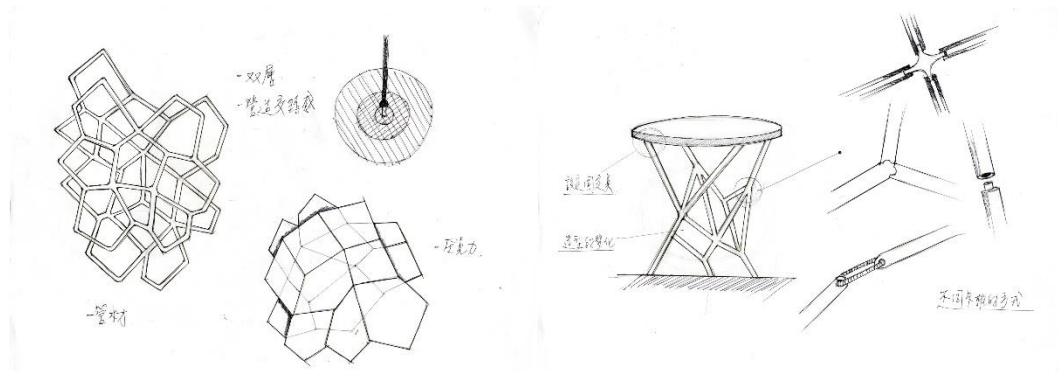
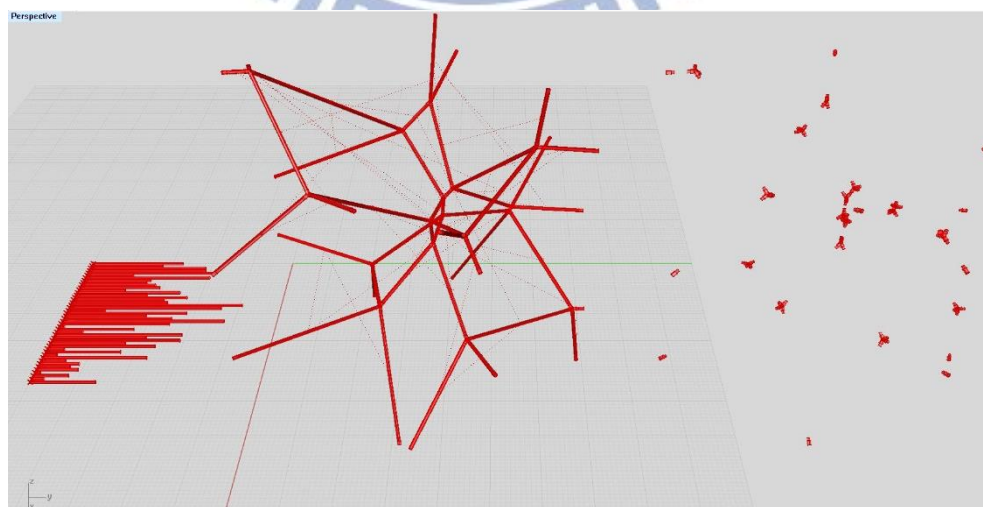


圖 4-29 概念草圖

吊燈為方向二：利用3D列印與管材結合，做出雙層結構的燈具產品。研究者在學習GH時有針對此一概念做了簡單的試驗，同時也對常用在參數式設計的3D列印做深入的了解。3D列印本身仍處於開發階段，雖可以看到許多平價的技術，但與實際產品的品質還有一段距離。整體來說，由於材料的選擇性較少，且成品在表面的精細度還需要後處理整體成本因此偏高。

此一試驗運用3D列印搭配現有管材去組合成所需的造型，透過3D列印處理角度加工困難的問題，而現有管材又可以降低整體製作上的成本，同時增加材料的豐富性，類似在3-4有提到的Forming製造技法。因此決定以當初嘗試的Voronoi Diagram為主要的運算特徵，針對此種加工方式下去做構思。這次的產品的定位設定為燈具，希望利用雙層的結構作為外部燈罩，希望同時也能有特別的燈光效果。



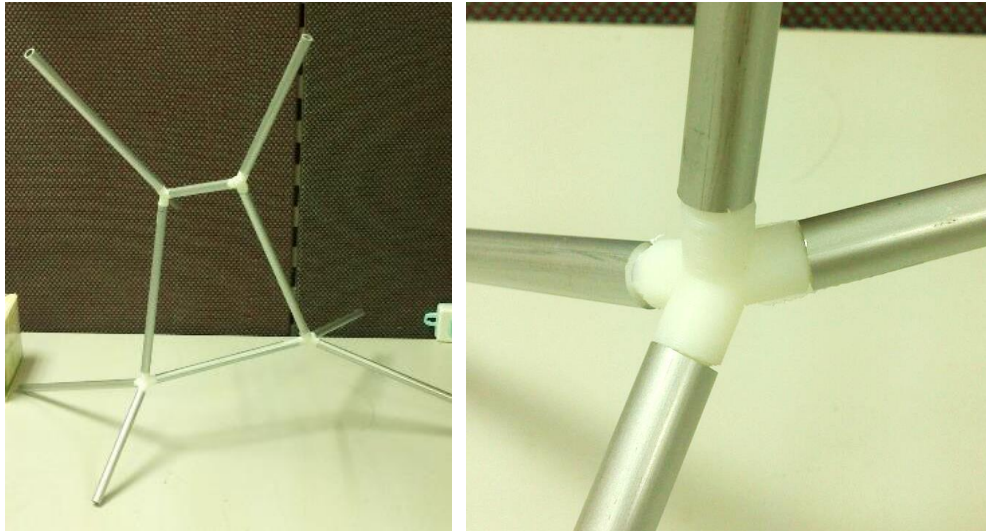


圖 4- 30 拆件測試(上)、3D 列印及鋁管(下左)、3D 列印接頭(下右)

4-4-2 基本定義與元件

基本定義

Voronoi Diagram 是大自然的圖案，如長頸鹿身上的斑紋、葉片的細胞結構等等，應用相當廣泛。Voronoi Diagram 的定義為：在一個平面上數個點，這些點中任意兩個點皆以其中垂線來劃分區域，即是 Voronoi 圖形，見圖。

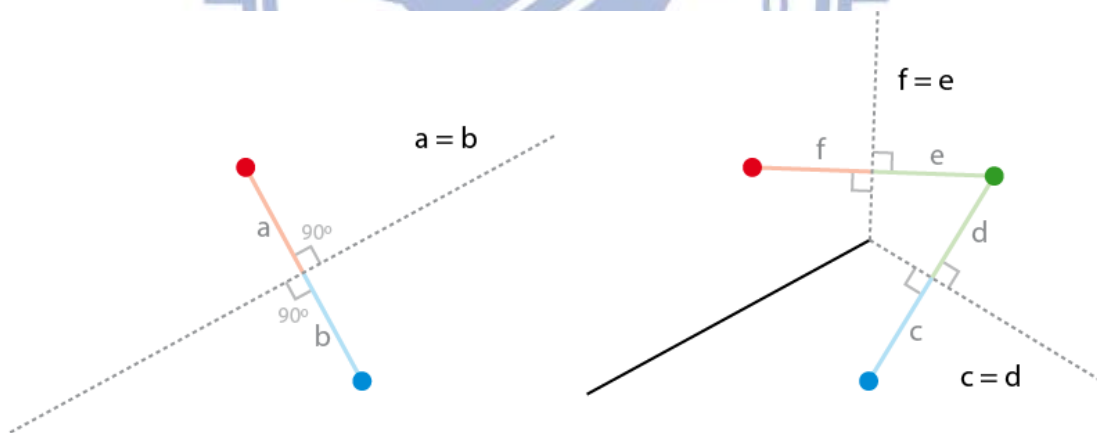


圖 4- 31 Voronoi 基本定義

元件介紹

Voronoi 在 GH 裡就有五種不同元件可以使用，由左而右分別為 Voronoi、Voronoi3D、Voronoi Cell、Facet dome、Voronoi Group，在不同的狀況下會使用不同的元件，像是 2D 及 3D 就會需要不同的元件來運算。本創作則以 Facet dome 為主要的運算器。

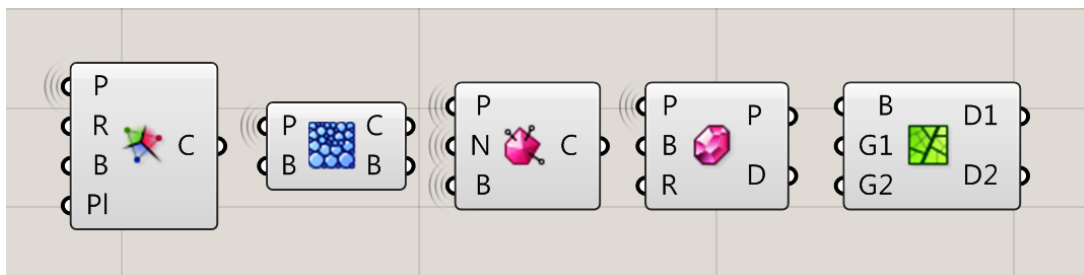


圖 4- 32 Voronoi 相關元件

4-4-3 構想發展

參數模型與草模測試

燈具的參數模型建立中，皆完全使用GH製作，主要可以分成兩個階段，1.建立基本型和草模測試、2.輔助模型製作和草模測試。

1.建立基本型

基本型的參數模型如圖4-33。由於燈具設定為球體，便以在球體內隨機生成點為基本參數，再利用Facet dome元件生成Voronoi的表面，透過GH設定，可以任意的調整點的數量以及模型的大小。

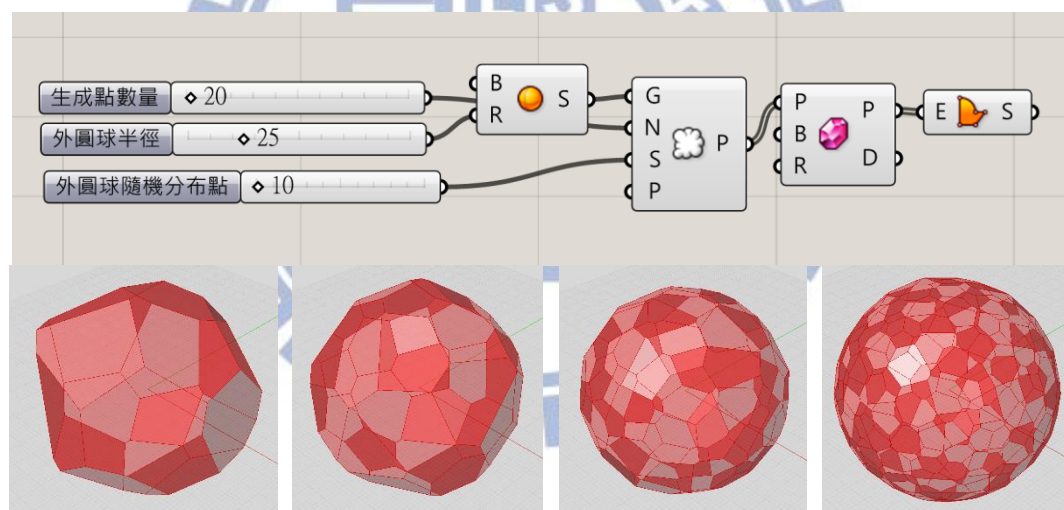


圖 4- 33 基本型參數模型(上)、4 種由不同點數量生成的表面(下)

草模測試(一)

草模測試的目標在於確定模型相關的細節，大小尺寸、表面的疏密以及管材放上去後的比例。草模測試的模型為直徑50公分圓內利用20個點所生成的表面，實際結果表面過於稀疏，需再增加點的數量。而在管材部分詢問過不銹鋼管、鋁管、塑膠管，但不銹鋼管一般使用上以5~6mm為主，3mm以下為醫療級的材料，相較於塑膠管與鋁管重量過重及成本上偏高。塑膠管雖容易處理，但口徑過細後整體結構較為脆弱，比較過後決定以鋁管為主要的材料，管材粗細以6mm為主。

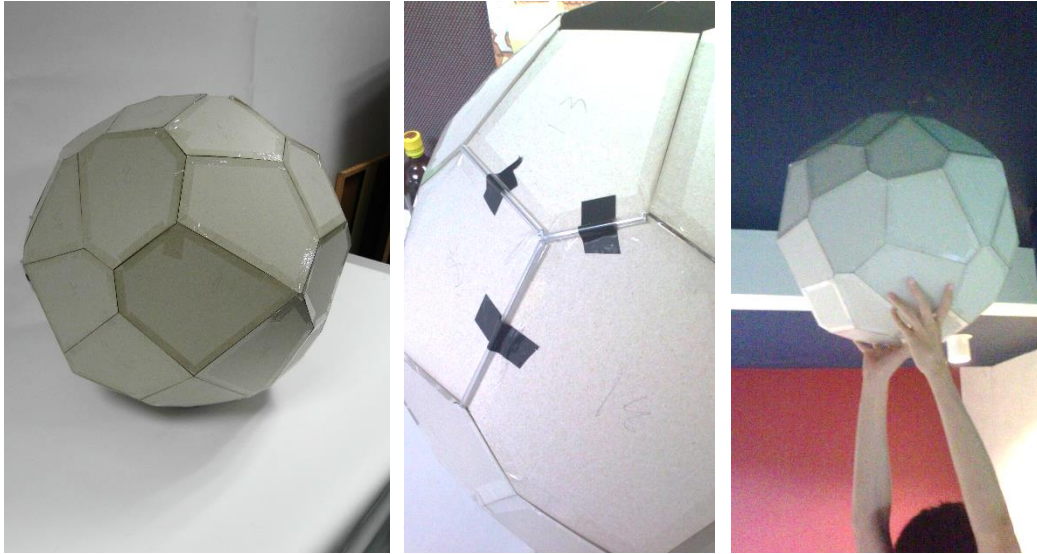


圖 4- 34 草模測試

2. 輔助模型製作和草模測試

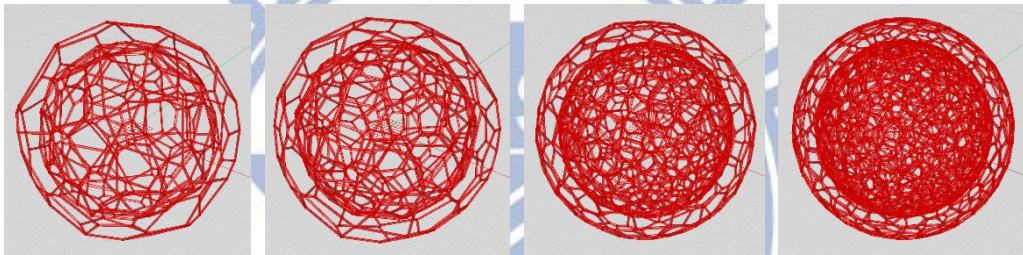


圖 4- 35 不同疏密的雙層結構

統整上述細節後，在這一階段的輔助模型部分是將整體結構拆解成獨立的節點以及計算各管材長度，並針對當初設定的雙層結構做3D模擬及小量的組合測試。雖然在設計構想時已有做過簡單的拆件測試，但隨著參數模型越複雜時，需要編寫出更能夠包含各種條件的邏輯架構。其中最大的問題發生在產生節點的邏輯架構，一開始節點生成方式是利用球去跟線做交集，進而產生節點，但由於Voronoi的表面圖案是隨機且長短不一，當某一個邊過短時(如圖4-36右一)，交集的邏輯便產生錯誤，輸出的模型就會有問題。因此重新回到GH給予新的條件，篩選出長邊與短邊，分開處理不同的節點。參數模型的建構必須根據著需求與問題不斷的做調整。

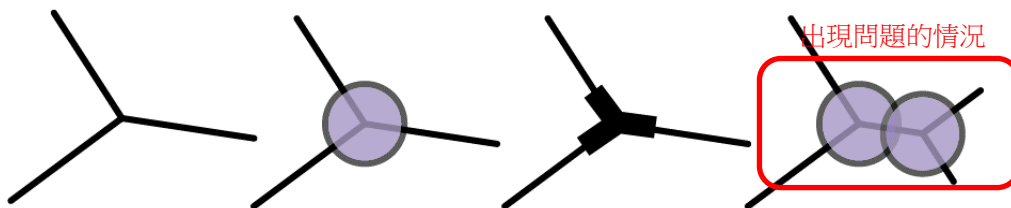


圖 4- 36 節點生成邏輯說明

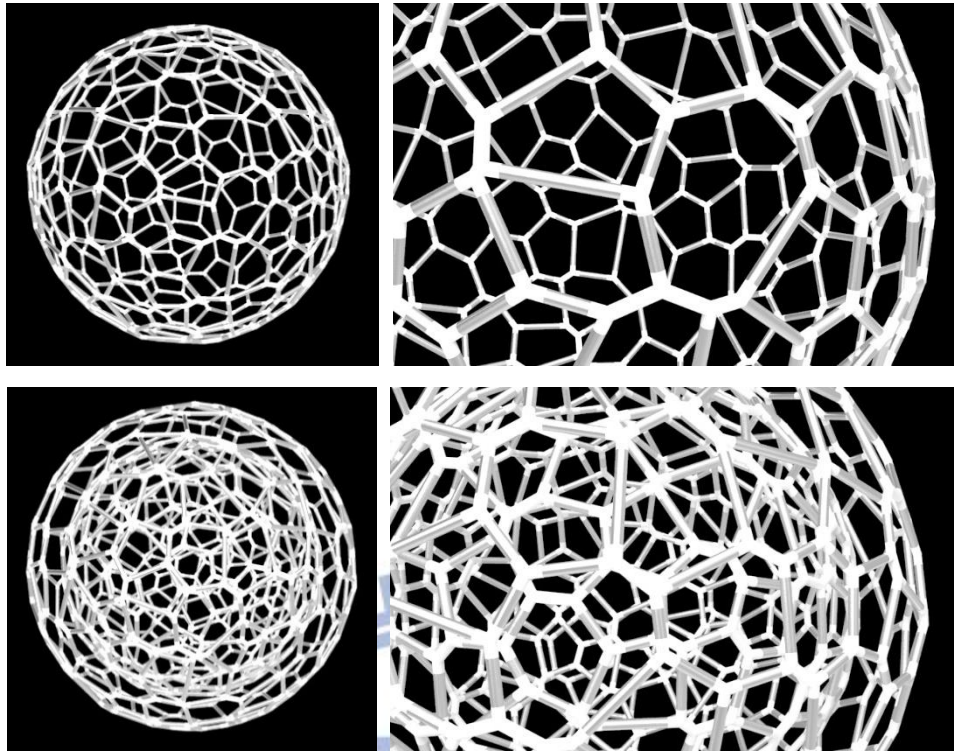


圖 4- 37 電腦模擬圖單層(上)、雙層(下)

在造型確認後，將節點獨立分開並編號，再轉成3D列印所需的格式，管材長度則另外建立表單，方便之後裁切。



圖 4- 38 節點編號、管材長度計算

草模測試(二)

第二次草模主要測試檔案是否能正確印出及組合上的方便性。由於3D列印十分耗時，在測試時僅以簡單的造型為主。測試後發現兩個主要問題，1.在轉檔為STL前，

輸出模型必須聯集為單一個體，否則3D列印時會造成列印失敗的產生。2.個體雖有獨立編號但每個節點都有3個接頭或以上，數量一多便很難分出相對應的方向。因此針對這兩個問題，重新回到Rhino&GH調整，將各接頭再分別長出圓或方塊，利用在3D列印的同時做上記號，並重新聯集各節點。

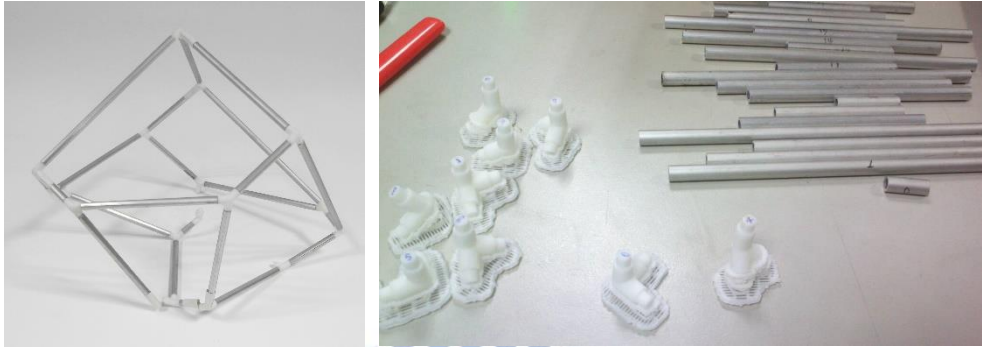
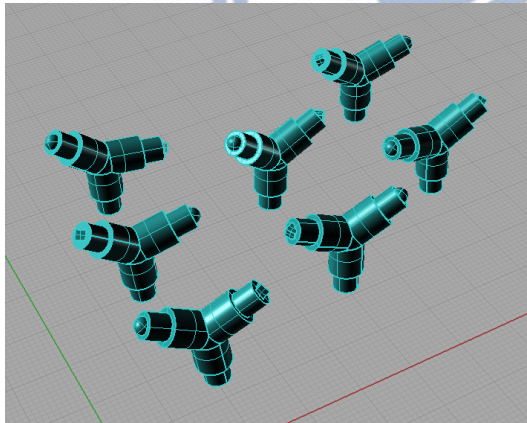


圖 4- 39 草模測試

模型製作

燈具最後的零件數量總計外部共264個節點和462根管材、內部則為183個節點和331跟管材。在經過與工廠討論及成本上的評估，決定利用所上3D列印設備製作節點，管材部分請外面車床工廠加工。由於每2.5小時只能產出7個，節點在整體製作上占去了大部分的時間，管材則先在袋子寫上長度及編號，方便工廠快速處理。



0	7.47	46	3.35	92	3.55
1	3.22	47	4.12	93	4.09
2	3.47	48	1.81	94	2.39
3	4.27	49	1.34	95	4.95
4	3.55	50	4.10	96	4.55
5	4.55	51	5.18	97	3.12
6	4.95	52	2.68	98	5.34
7	3.49	53	3.26	99	5.86
8	1.96	54	3.47	100	2.63
9	4.79	55	5.33	101	3.57

圖 4- 40 重新聯集後的模型、管材編號



圖 4- 41 在節點上編號、裁切好的管材

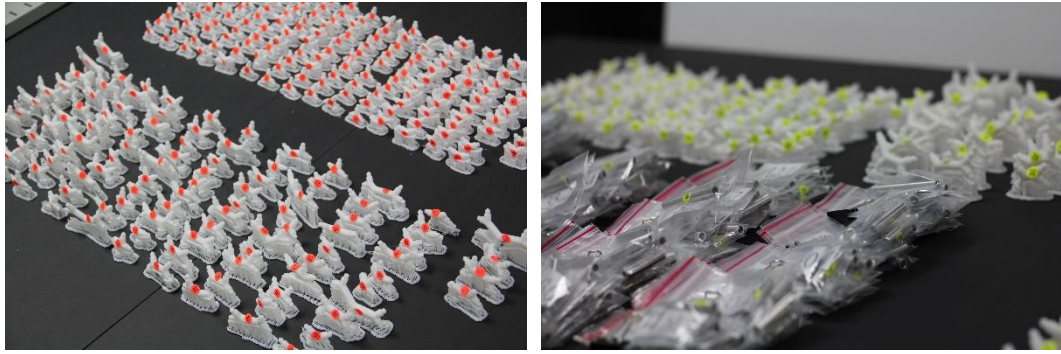
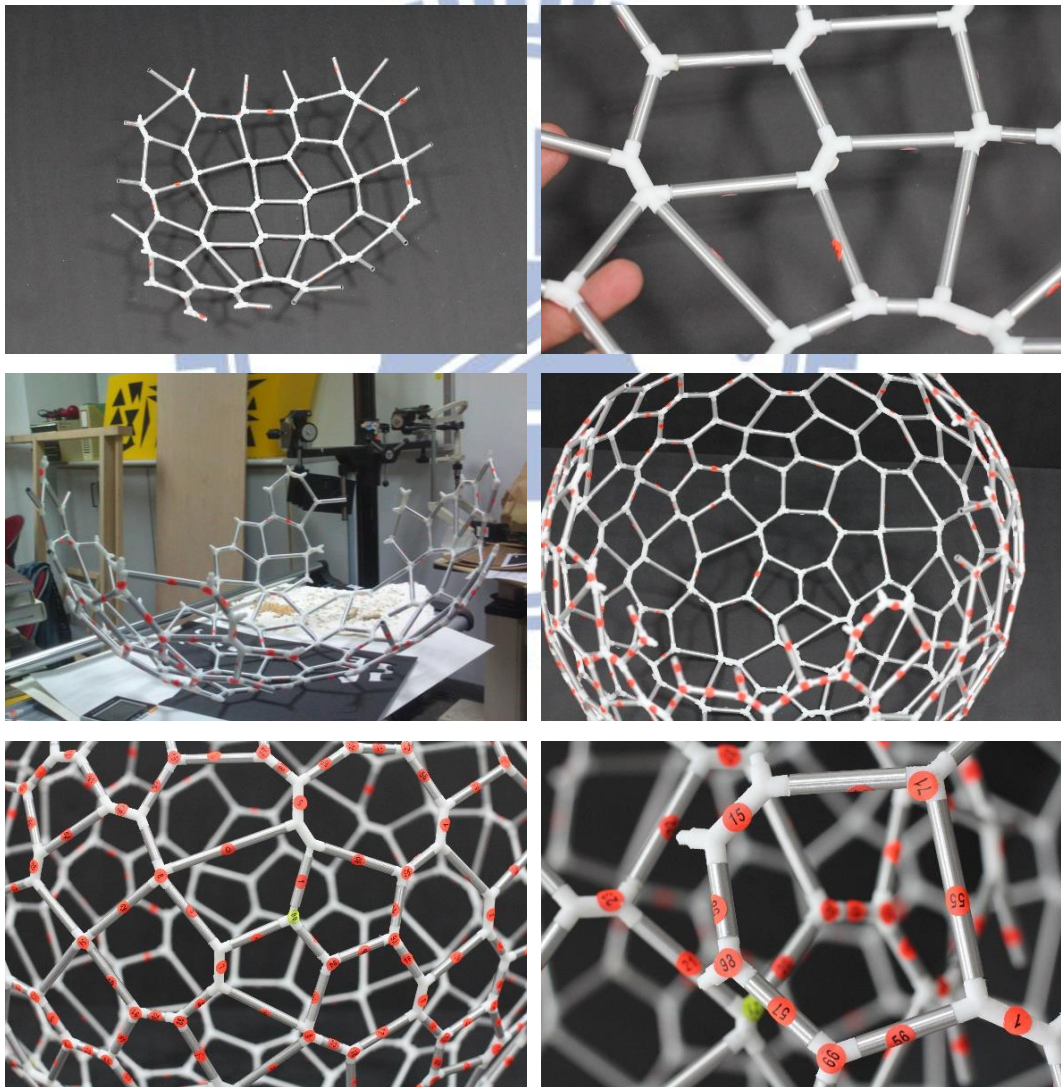


圖 4- 42 外燈與內燈的節點

由於原先設定的內外球在實品過於混亂，且外球因為組裝的順序導致封不起來，最後決定分成兩顆，下面為組裝過程。



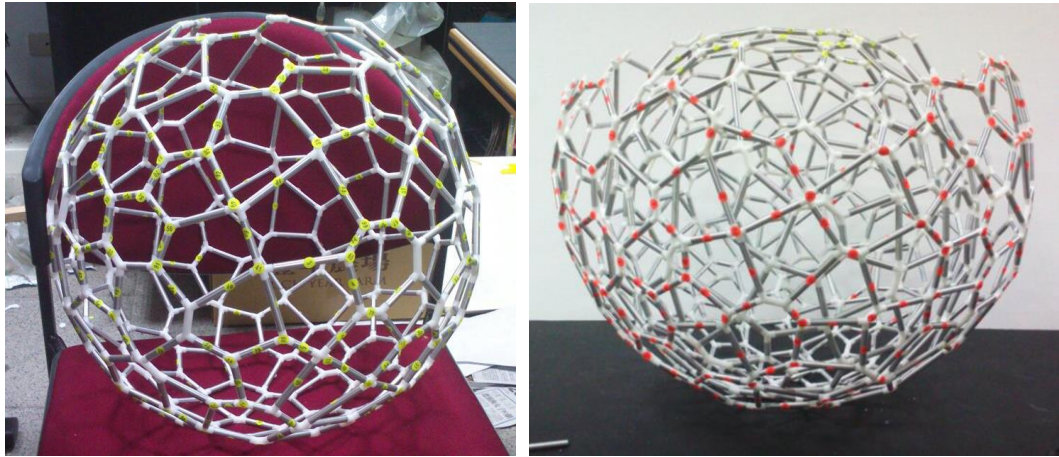
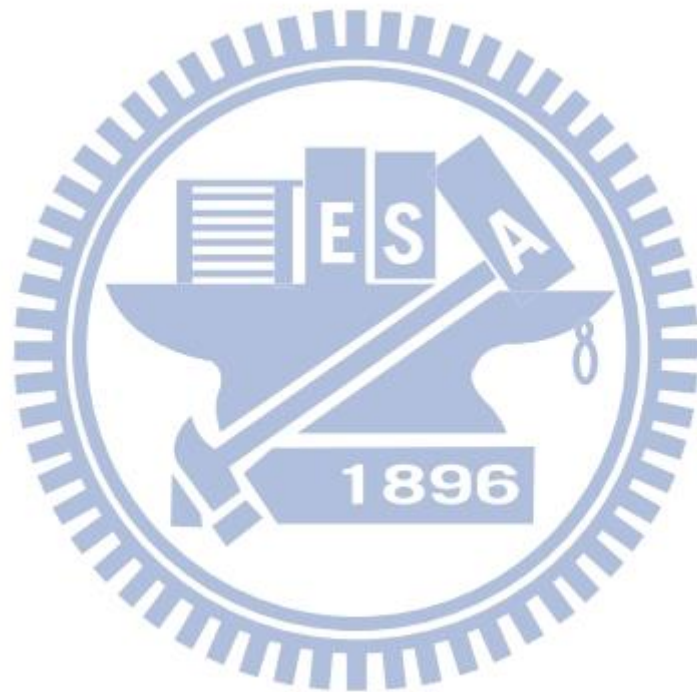


圖 4- 43 組裝過程



完整參數模型

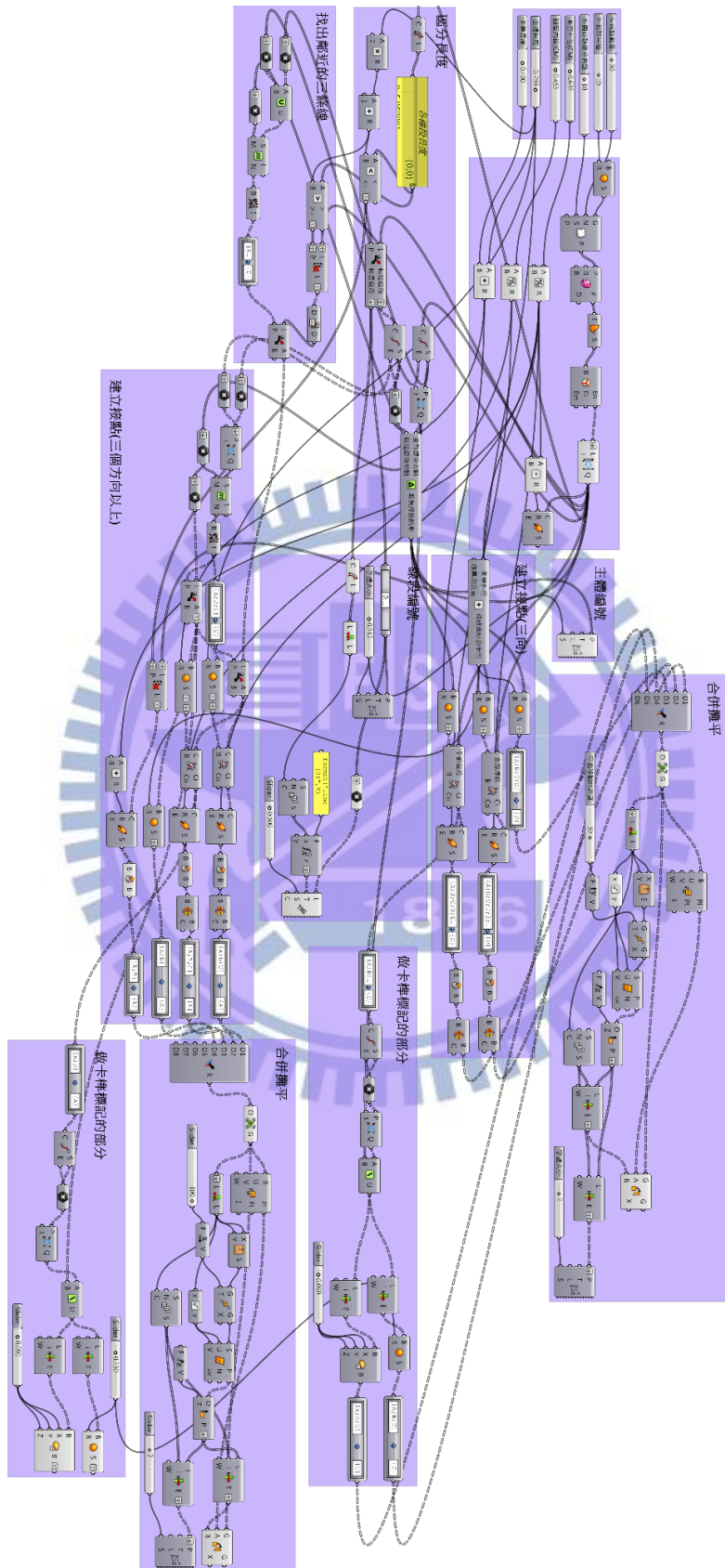


圖 4-44 GH 參數模型

4-4-4 作品呈現



圖 4-45 作品照片

4-5 設計創作(三)：花瓶

4-5-1 設計構思

花瓶為方向三：使用橋接片做為接合的方式，讓產品在外觀上有圖樣的變化。此創作的構想來源是來自建築中的概念模型，建築常透過立體肋架(Ribs)方式來切割3D曲面，如同在3-4-1提到的Sectioning方式搭配雷射切割，能很精準的做出模型，但大多以90度的方式組裝，若遇到其他角度的狀況，則會利用橋接片的方式。因為發現橋接片在組裝時的規律性，能很自然的產生一個圖案，便開始以此種組裝方式下去做構思，希望透過設計橋接片的位置，讓產品表面出現不一樣的變化。由於構思的重點放在圖案的產生，在決定產品類型時，就以裝飾性較強的落地花瓶為創作主題。



圖 4-46 運用橋接片的模型

4-5-2 基本定義與元件

基本定義

Panel並不像前兩個創作介紹的演算法有特別的一套演算理論，它主要的功能是将任意曲面做等分切割，透過輸入曲面以及要分割的數量，即可產出圖形。

元件介紹

Panel不是GH本身內建的元件，而是屬於擴充套件Lunchbox裡的元件，主要可以分成九種不同的分割方式，Diamond Panels、Hexagon Cells、Quad Panels

、Random Quad Panels、Skewed Quads、Staggered Quad Panels、Triangle Panels B、Triangle Panels A、Triangle Panels C，本創作則以Diamond Panels為主要的運算器。

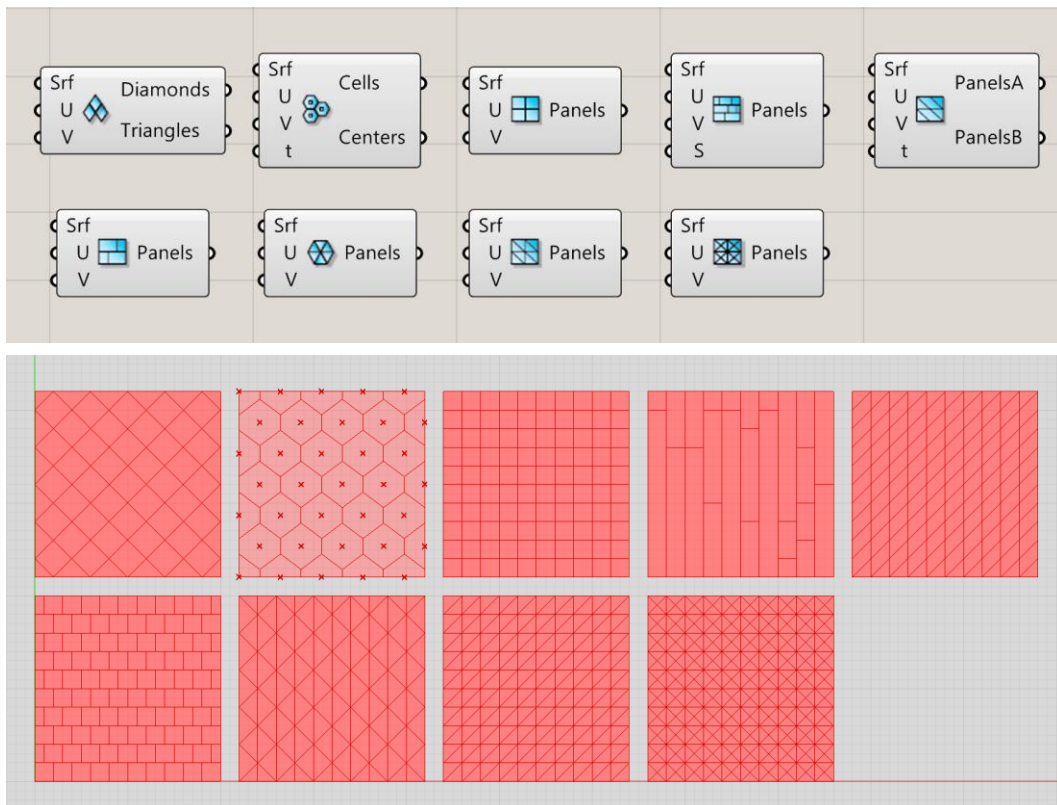


圖 4- 47 Panel 元件、生成的圖樣

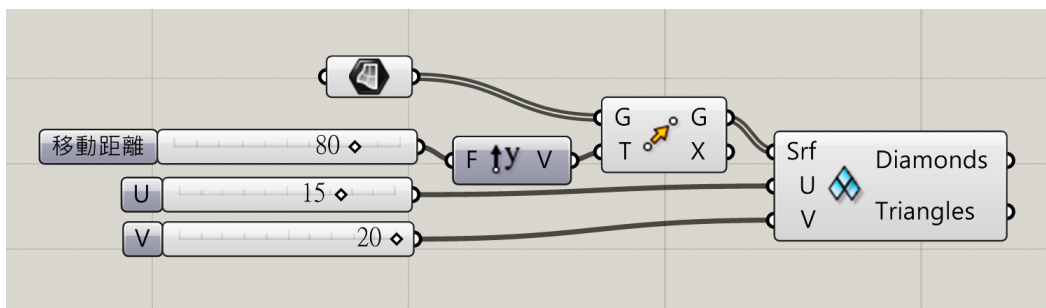
4-5-3 構想發展

參數模型與草模測試

在參數模型建立中，皆完全使用GH製作，主要可以分成兩個階段，1.建立基本型和草模測試、2.輔助模型製作和草模測試。

1.建立基本型

如同4-4-2所介紹，Panel是將任意曲面做等分切割，形成一片片的造型結構，而本創作作品是以Diamond Panels為主要得運算器，如圖4-48為基本形生成的邏輯架構及不同的基本型。



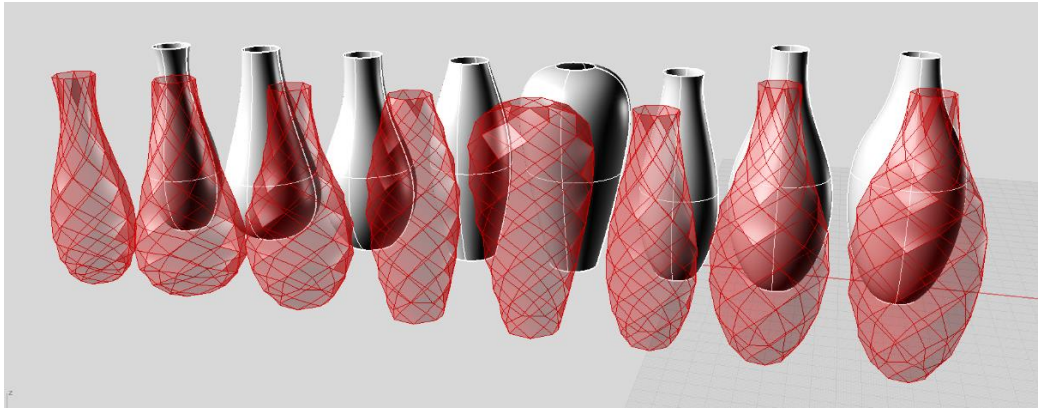


圖 4- 48 基本型參數模型(上)、不同的基本型(下)

草模測試(一)

由於Diamond Panels所做出來的造型每一片材是有曲度的，跟設計構思所提到的建築模型皆為單純平面接合不同，材料及接合的方式便顯得相當重要，因此第一次草模主要針對這兩項作測試，思考如何利用橋接片有效的建立出模型上的曲度。一開始利用PP作為測試的材料，測試時發現單純只有橋接片時，在邊與角的接何處容易出現空隙，且當造型曲度過大時容易彈開，因此嘗試在橋接片間利用縫合的方式將片材拉緊，使之密合。

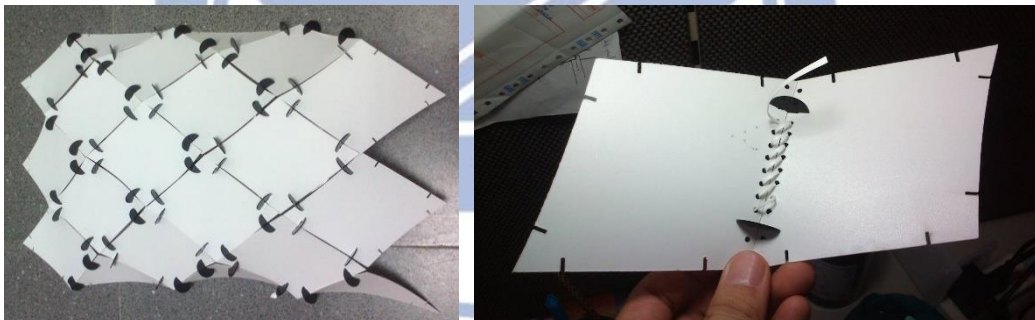


圖 4- 49 橋接片測試、收邊試驗

在經過PP的測試後，開始思考不同材料的可能性，雖然PP有彈性，且做成落地花瓶的材料整體結構強度上不足，外觀上很難使人有精緻的感覺。因此評估了三樣材料，可彎木板、彈簧鋼片、竹薄片，可彎木板為一般裝潢用材料，運用在一些彎曲的造型上當作表皮，但由於方向性過強在一些角度的彎折上容易產生問題。彈簧鋼片則是市面上常作為刮刀用途的金屬薄片，雖在方向性部分合乎要求，但由於金屬薄片的邊十分銳利，很容易割傷。竹薄片也是傢俱在當作貼皮使用的材料，它在方向性上不像可彎木板這麼強，且在邊的收尾比金屬薄片來的安全，也因此選擇作為本創作的材料。



圖 4- 50 彈簧鋼片、可彎板、碳竹薄片

2.輔助模型製作和草模測試

此一創作在輔助模型製作上較上面兩件作品簡單，主要只有兩個部分a.片材上卡溝與收邊孔洞、b.橋接片的建立。在選定材料與結合方式後重新將參數模型做修正，調整整體尺寸與編寫生成孔洞的元件，拆解各橋接片與片材結構並做好標號。並進行第二次試驗。

草模測試(二)

在第二次草模測試中發現，由於基本型在分割時必然會產生一條建構線，因此嘗試使用旁邊同一階程的片材代替。但在測試後發現，雖可成功的組合但整體因彼此的擠壓而形變，破壞整體的造型，決定維持原本模型的分件來製作最後的模型。在實際製作模型前，製作一比一草模檢查各個片材是否有誤，並簡易測試竹薄片實際製作的強度與外觀。

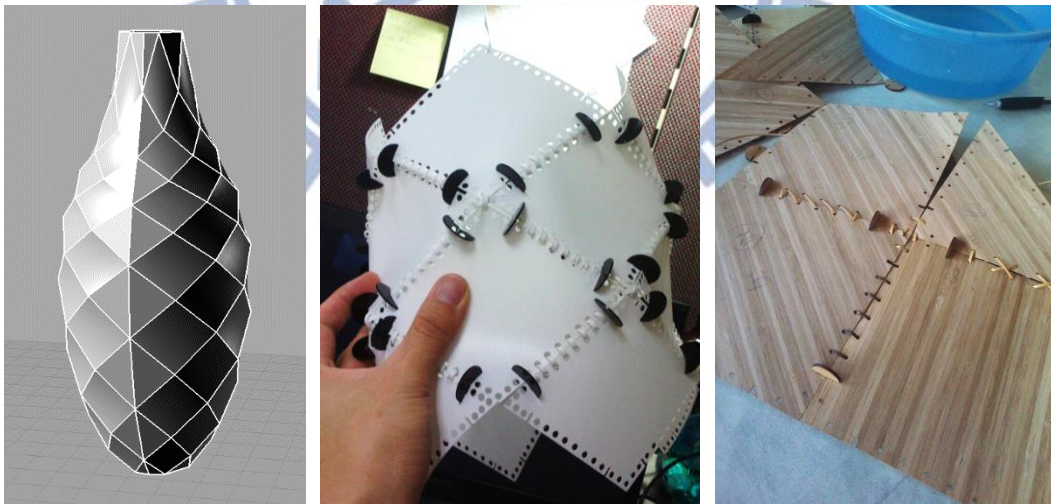


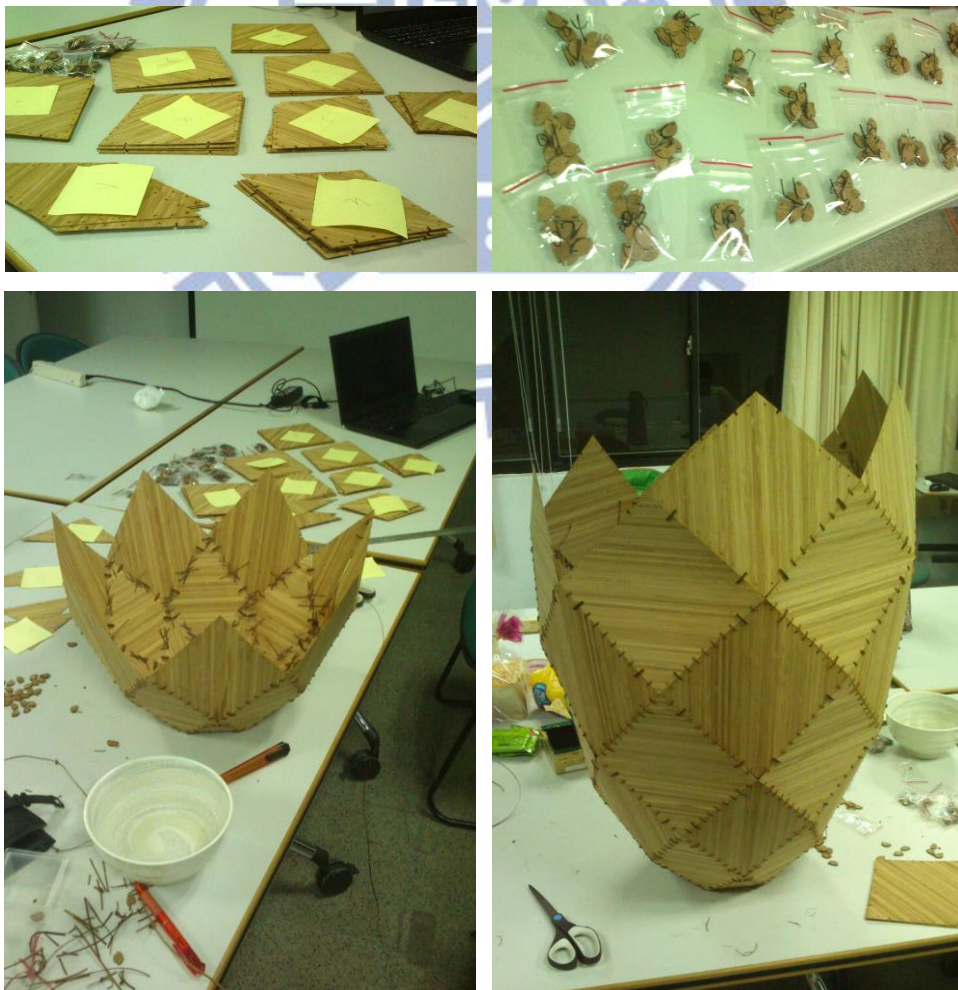
圖 4- 51 模型上的建構線、草模測試、竹薄片收邊測試



圖 4- 52 一比一草模製作

模型製作

花瓶最後的片材數量總計共13組與25組橋接片，材料上使用雙層的碳竹薄片、藤皮與竹積層材，利用雷射切割製作。



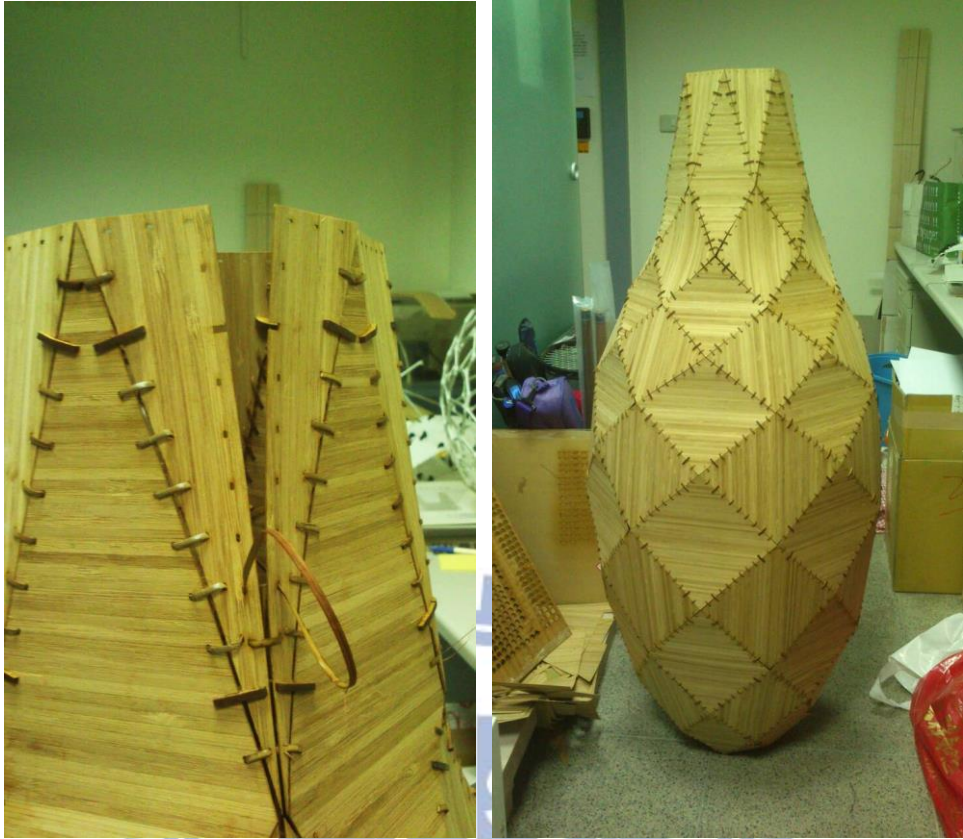


圖 4- 53 製作過程



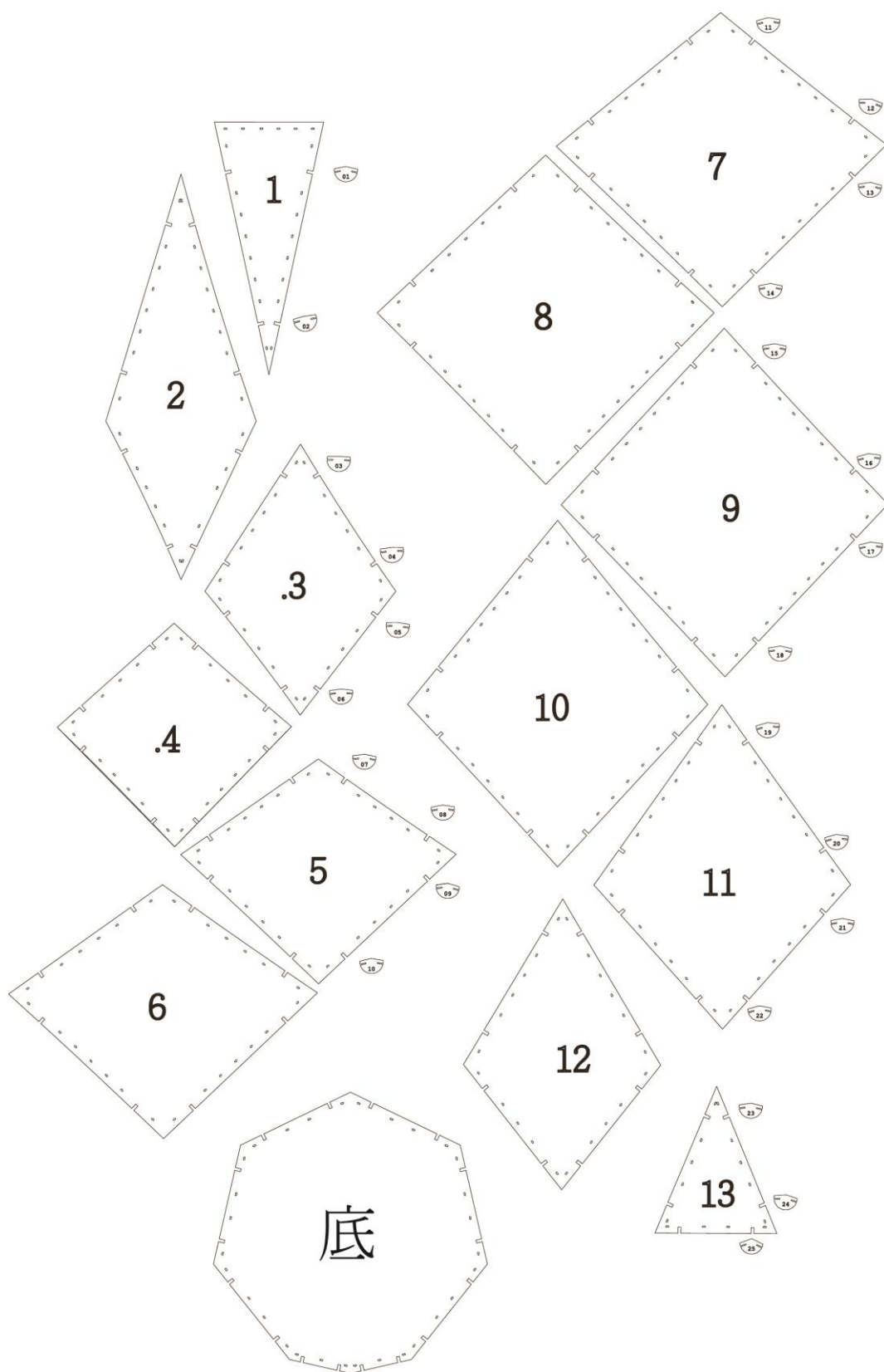


圖 4- 54 一組雷切工程圖

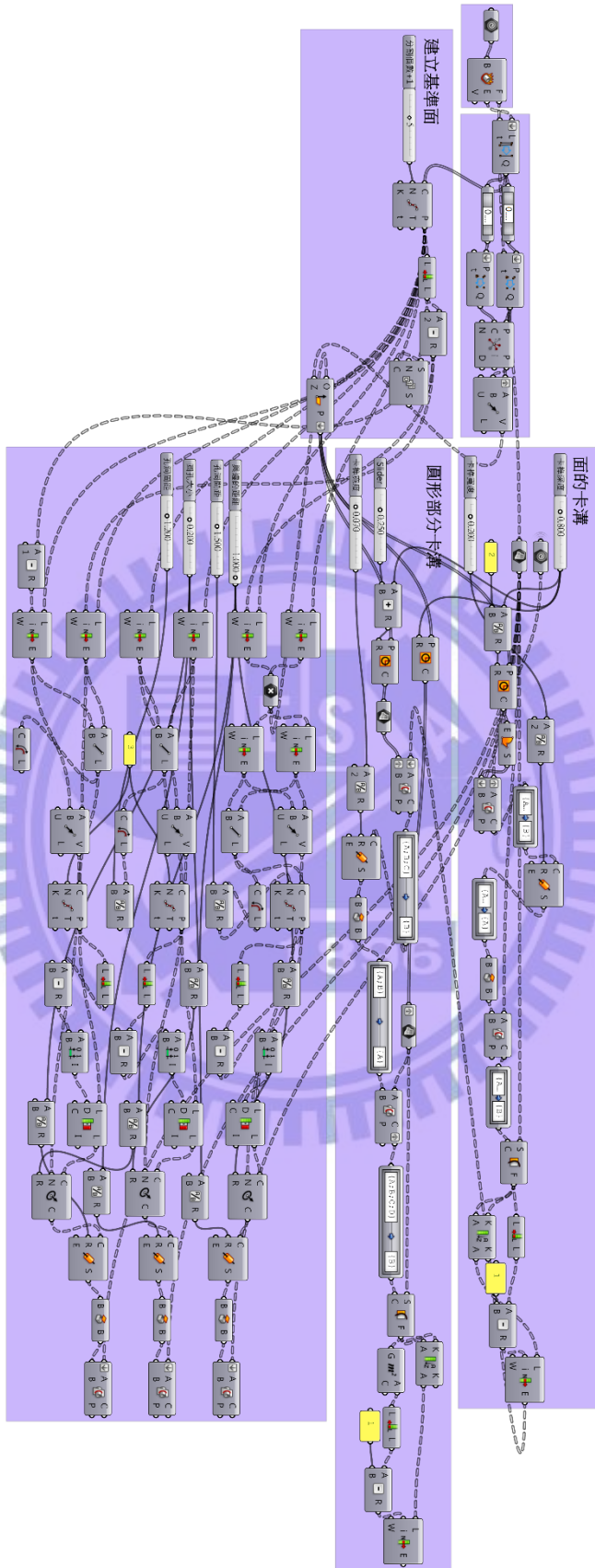


圖 4-55 GH 參數模型

4-5-3 作品呈現



第五章 展覽

5-1 展覽主題與形象

本次展覽主題為「結 KNOT」，為研究者與其它 12 位同學共同策劃的展覽。除了各自展出自己作品外，在展場也可看到我們以「結 KNOT」為發展主題的集體創作及共同製作的商品，在交通大學藝文中心展出。

展覽概念

結 KNOT

「結」是一種技巧、一種記號，更是一種關係，
從相交、相織到相繫，將我們的生活緊密地牽絆在一起。

我們在這裡綁了最後一個結，
不只是結果，更牽繫出另一條，新旅途的開始。

「結」象徵著每一位學生在創作的過程中，反覆地繫上、解開自己的思緒，並將無形的概念繫成有形的作品。同時，這場畢業聯展，也代表一個「結」，每個人尋著不同路徑來到這裡，原本不曾相識的我們，在同一個時間和空間裡相遇，進而產生關係。

這是研究者與參觀者之間的關係，在交流與互動的過程中，為彼此解開混亂的結，繫上乾淨的結，連接出許多新的可能性。

本次展覽為學生們在求學歷程中，最重要的一個階段。展出作品分為工業設計與視覺傳達兩個類別，所延伸出的多種實驗性的創作，包含產品、家具、書禱、繪本、影片等，而內容涉及的領域多元，對於藝術與設計有興趣的朋友們，歡迎於展覽期間前來參觀並給予鼓勵與建議。

展覽官方 facebook 粉絲頁 <https://www.facebook.com/2013KNOT>

結 KNOT 網頁 <http://cargocollective.com/KNOT2013>

展覽宣傳

展覽DM巧妙的利用圖樣的連續性，能夠拼接出大張的宣傳海報，節省了以往DM發不完的浪費情況，本次宣傳除了發放DM與張貼海報，也舉行了全校性的小遊戲，透過簡單的賓果卡，每天公佈一個英文字母，讓參與者除了上網了解展覽的內容，也可增加一些生活的樂趣。



圖 5-1 展覽 DM



圖 5-2 活動用賓果卡

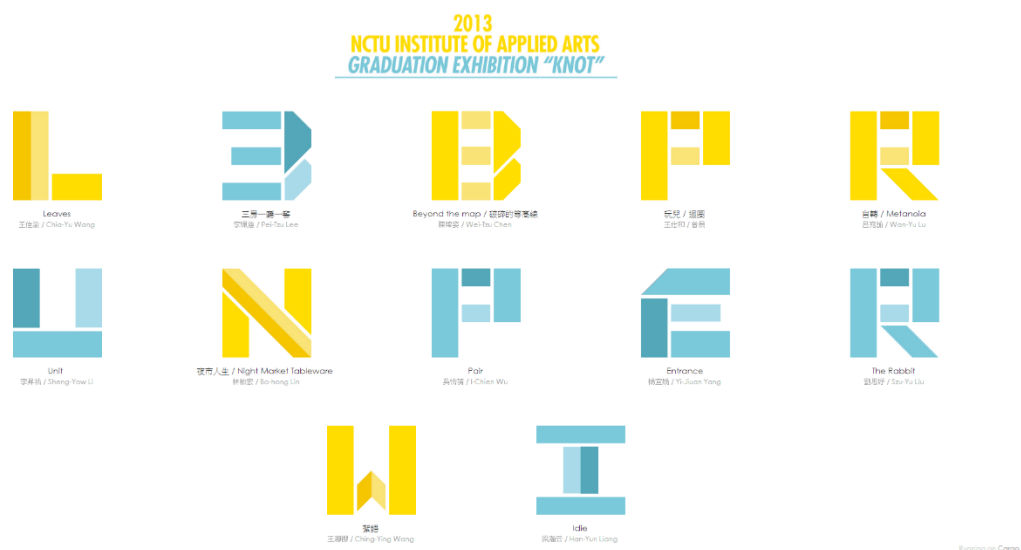


圖 5-3 結 KNOT 作品網頁

展場主視覺

展覽主視覺由研究者與王佳渝同學負責展場的主視覺設計與規劃，設計上配合主題「結」去發想，在經過幾次測試決定利用線材疏密的變化去表現交織的感覺，利用漸層營造整體的層次感，來呼應展覽的主要概念。製作上先在牆上標示出各點的位置，並釘上釘子，最後按照圖面纏上棉線，是 13 位研究者在展場共同的巨型裝置作品，也是整個展場的精神象徵。



圖 5- 4 主視覺製作過程與最後成果

5-2 展覽呈現

創作展區位於藝文空間二樓，由於此次參展人數較往年多，因此與另一位參展人林柏宏的展品一同展出，在展場的佈置上利用簡單的展台展示，希望讓觀者不被其它多餘的佈置所干擾，並能夠從各個度的欣賞作品，。

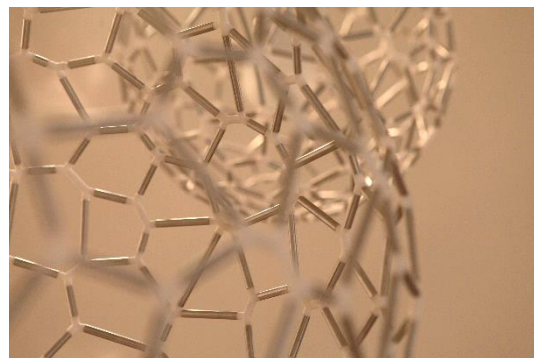


圖 5- 5 展場照片

5-3 展覽期間



圖 5-6 展覽期間

第六章 設計檢討與建議

6-1 設計思維異同

6-1-1 設計流程

在整個創作過程中，可以發現參數式設計與傳統設計流程之間的差異。以往設計者透過逐步的思考決定構想中的細節與特徵，最後再整合成設計；而在參數式設計中則可將思考的過程直接參數化，透過不斷加入特徵及細節，構思一連串的生成方式，反覆的調整與評估設計最後的樣貌。比起傳統設計流程，參數式設計串聯起整個設計流程，從設計發想到生產製造，讓整體在思考上更加的一致與快速。

6-1-2 軟體應用

在軟體的應用上，傳統建模工具較為單純且健全，只要按圖施工便可製作出所需的參數模型。參數式設計工具雖有著極大的自由度，能透過參數的設定在同樣邏輯下衍生出多種造型，但由於參數式設計工具仍處於發展階段，許多功能還不如傳統建模健全，有時必須花費較多的精神才能達到與傳統建模同樣的效果。在本次創作過程與到的最大問題在於細節上的處理。傳統建模工具中，是以直覺式選取所需區域進行修改，在參數化工具中，必須從數據資料中去找尋特定的幾何特徵，進而編寫出所需修改的方式，與傳統建模相比下十分繁瑣複雜。

6-1-3 製程問題

由於透過參數式設計工具所產生得造型，很容易產生如4-1設計討論與測試所提，角度的變化造成每一個單元在加工上必須個別處理，如利用傳統方式加工必然會花費很大的精力與時間。製作上必須考慮不同材質的特性與加工方式，其中在拆件及組裝上，是一個很大的問題。從參數建模開始，每個單元必須獨立輸出工程圖及設定好編碼，組裝上必須一一比對位置，同樣造型下雖比傳統建模快速，仍相當費工費時，而且在單元多的狀況下，容易產生累積公差的問題。

6-2 作品細部檢討

6-2-1 矮桌

造型修改不易

在建立參數模型時考量到建立的困難度，矮桌的模型利用GH建立基本型後，造型的調整則是透過Rhino，再重新回到GH做製程的輔助，造型上一旦要修改會比較麻煩，不如完全用GH建模的方式方便。此問題牽涉到建模者對參數式設計工具的掌握程度，在使用何種軟體協助下能快速達到所需效果才是最重要的。

細節處理問題

雖然有做出紙板的草模，但在實際彎板時，才發現某些角度會造成彎板上的不易，三角形的結構讓刀具在彎折頂點時會撞到另一邊，也因此桌面在角落接合處都有縫細，且在組裝上部份角度過小，讓螺絲在固定時難度十分高。未來必須在前期就針對加工上做更詳細的了解，才能在參數模型時一併考慮進去，組裝上可以思考方便加工的方式。

6-2-2 燈

模型轉檔過程

燈在各個節點都是利用3D列印製作，3D列印必須將3D物件聯集才不會發生錯誤，這也是一般3D列印時容易發生的問題。研究者建模時，並未考慮到Rhino在做布林運算時有它本身的限制，因此必須針對發生問題的節點做單一的修復。

組裝前後順序

在組裝外圓時分成上下組裝再做最後結合，由於3D列印所使用的機器精準度原本就比較不足，分開組裝使得兩邊累積的誤差到最後無法封口。第二顆內圓在組裝時改成由下至上便順利組裝完成。接點在標記時由於設定成外凸，在與管材接合時容易產生卡住的現象。

產品外觀顏色

實際組裝後，因為管材與結點十分複雜，若未放在深色背景前，視覺上前後兩層容易混合在一起，看不出球體的層次感，之後可修正成整體為同色，在展覽時亦可利用深色背景突顯。

6-2-3 花瓶

竹材紋路走向

由於測試時為單層竹薄片，在設定竹材紋路走向時，只先考慮到希望外觀能有變化，而在實際模型為雙層時，紋路走向讓竹材的強度增加，使得造型上有些應該內凹的部分變成外凸，之後在材質的考量上必須更加仔細。

卡榫強度不足

卡榫設計上，竹材本身紋路的關係加上配合角度裁切，讓卡榫結構變的比較單薄，組合時因為竹薄片的彈力易造成斷裂的現象，可以多在卡榫的強度上做測試，避免此種狀況產生。

6-3 後續發展與建議

研究者依本創作參數化過程的經驗，歸納整理出相關的建議，在本節主要論述的有三個方向，1.軟體學習建議、2.製造上的應用、3.參數化的設計應用。

6-3-1 軟體學習建議

Grasshopper的學習方式介於3D建模與程式語言間，對於有3D建模能力的學習者，並不算難上手，研究者本身也是從基礎開始學習，將這一次的創作過程中得到的心得整理成下面三點：

1. 建模的邏輯架構

在學習時必須擺脫以往的建模方式，重新習慣它的邏輯架構。過去在建模時都是針對各個特徵去建立、修改模型，但在GH中，是利用一個個元件發展出生成造型的邏輯，學習時必須清楚的知道每一步驟及參數所代表的功用，並考慮之後重新調整時的方便程度，當邏輯越清楚，就越能在各個參數間取得一個交互的關係，GH就能建立的越完整。

2. 除錯能力的培養

這點與一般在學習程式語言所遇到的問題相同。雖然在GH裡會顯示哪一個元件發生錯誤，但問題並不一定在此一元件上，常會是更前面的架構上就已出現問題，當設定的參數越多時，便越容易出現錯誤，此時除錯能力便顯得相對重要，除錯能力通常會隨著經驗累積而增加。如圖雖顯示為黃色，僅代表數據不足功能上依然存在，並不是需要修正的錯誤，學習時必須多了解各種錯誤的產生原因。

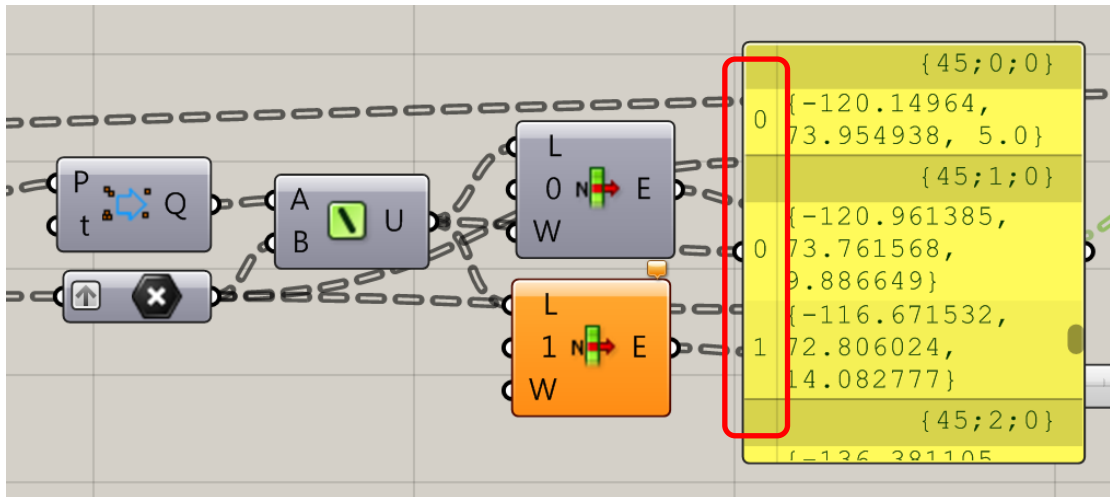


圖 6-1 數據不足的範例

3. 相關檔案的學習

由於相同的造型，GH上的解答並不是唯一的，每個人所使用的方式都會不同，平時可以多研究別人的邏輯架構學習其優點，從中能了解自己在邏輯上的盲點，並增加在使用元件上的廣度，往後能更快速的建立參數模型。以下面建立點(3,5,6)為例，A是利用輸入的打字方式給予數值，可以運用在固定不變的參數上、B是利用slider去調整，適合需要不斷調整的特徵、C也是用slider調整但又多了X跟Y之間的關係，運用在當有兩項數值有連動的關係時，同樣一個點有不同的設定方式，必須考量參數模型的需要去挑選適合的方式。

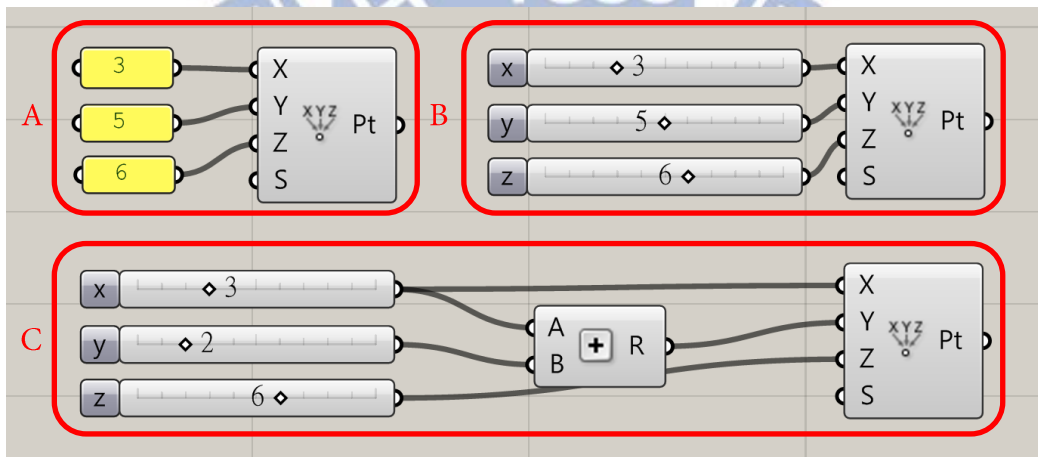


圖 6-2 不同生成點的方式

6-3-2 製造上的輔助

在6-1-1有提到參數式設計串聯起整個設計流程，製造上由於電腦的快速發展，許多的加工機具逐漸運用電腦輔助製造，在透過數據資料的連結與配合下，參數式設計能將機具所限制的公差、尺寸，一併的編寫到軟體中，當參數軟體編寫完整後，可以很輕易的修改或增減各個特徵零件。目前參數式設計在處理單一物件的成熟度還不如傳統建模來的好，但在同時處理許多相同的步驟的邏輯時，傳統建模便遠遠不及參數式設計來的方便，參數式工具的輔助可以讓設計師在思考時能更專注在整體形態的掌握，並及時評估設計在後端製造上會出現的問題，讓整體從設計到製造的流程更加的快速與連貫。圖6-是建立兩個圓，中間間隔必須差距0.5公分，使用如同在圖6-1所提到的C方式，便可在設計時同時寫入公差的數值方便作調整。

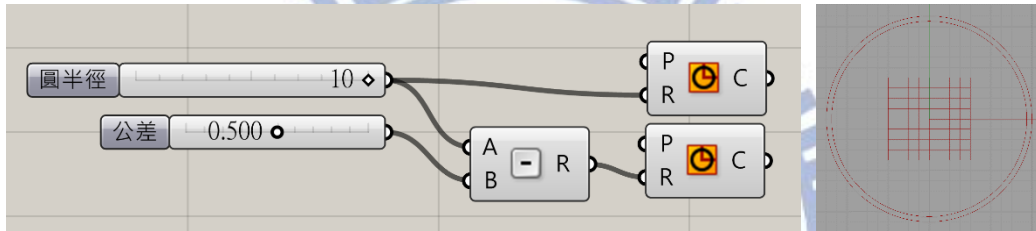


圖 6-3 相互關係的建立

6-3-3 參數的設計應用

參數式設計工具目前多為建築所運用，許多元件的運算也是依照建築需求去考量，在產品設計領域尚未成為主流的作業平台，多為個人設計師或實驗性創作為主，但其特殊的建構方式有優於傳統建模的地方。統整在研究其間與業界設計師討論與本次創作的心得，整理出幾種適合產品設計領域的實際應用方式，

1. 表面樣式的繪製

產品除了外型本身，表面的處理也是一項設計的重點，上方的圖樣及觸感影響著它帶給人的感覺，如筆電在外殼上通常都會有一些裝飾線或者很細緻的咬花等，許多公司也都針對圖樣及工法有獨立的部門在運作，如仁寶、華碩等。一般公司設計圖樣時，都是透過AI繪製，並分開各個圖層輸出成不同的工程圖面，但在修改時就必須重新繪製。如果將參數式設計工具導入，勢必可以節省設計師們的時間與精力，且圖樣在生成上有其固定的邏輯架構，十分符合參數式設計工具的建構方式，未來所需的是將圖案的基本架構建立好，便可快速的發展各種可能，同時加入工法的限制，可避免人工上的失誤發生，下面以筆電常見的同心圓為例。

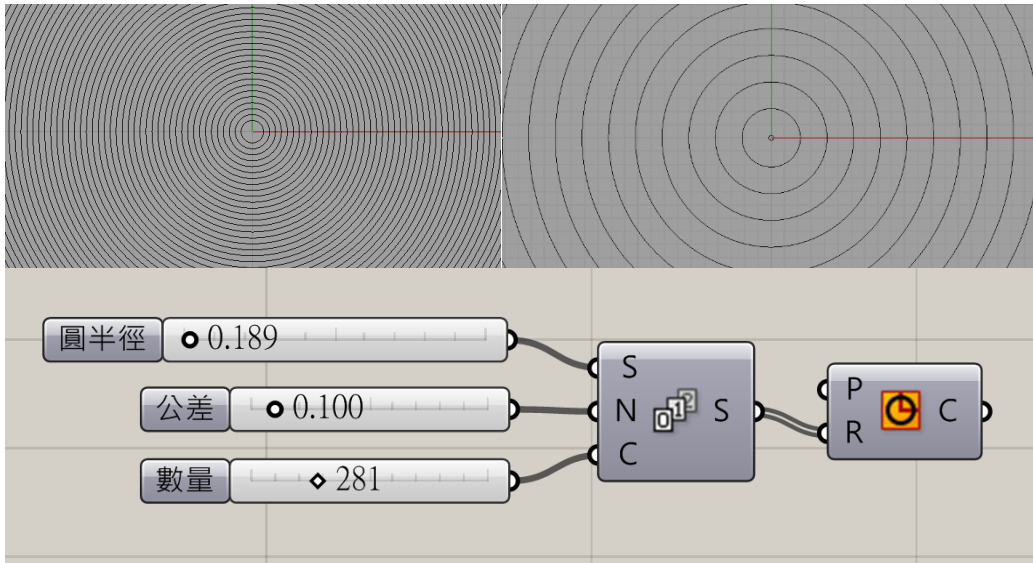


圖 6-4 同心圓圖案的建構模型

2. 設計的快速提案

設計師在產品提案時，往往省略sketch部分直接透過3D的模擬圖來提案，未來可透過參數化的方式將產品特徵都做如同基因的建檔，設計師只要將建模的邏輯建構完整，定義好個特徵的相互關係，透過參數的調整，便可大量生成各種樣式作即時的評估與考量，除了輔助設計師做產品開發，也可加快在提案過後的修改與調整。參數化的設計工具將使電腦更有效率得協助設計師專注設計的本質上，而非單純的電腦繪圖。下面以建構簡單的桌子為例，透過定義特徵，便可以利用反覆調整達到我們所要求。

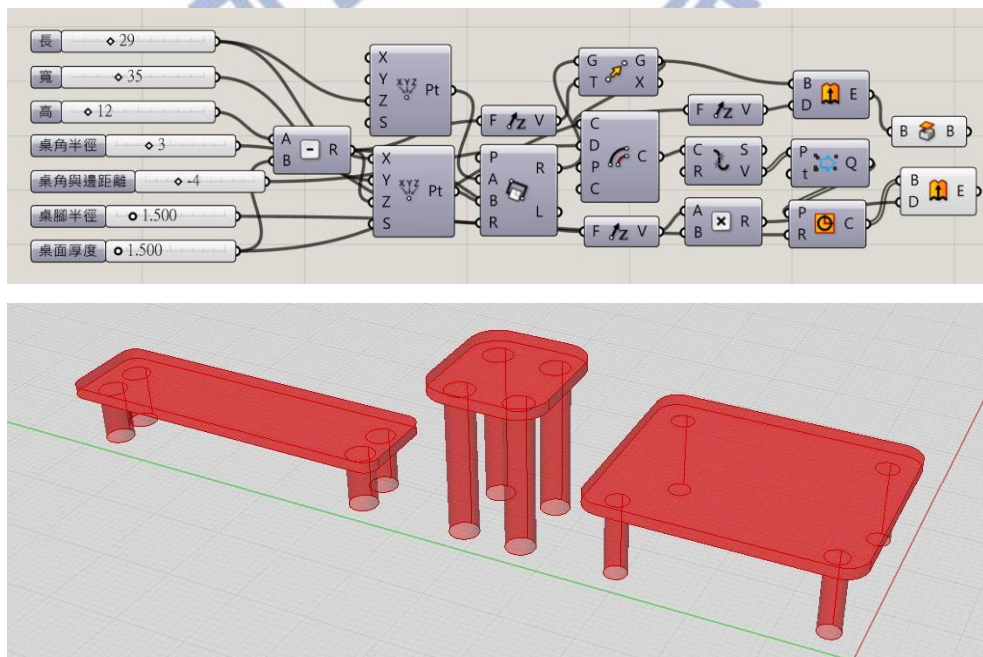


圖 6-5 桌子造型衍生

3. 造型生成的突破

以往在紙筆或者傳統建模工具上，造型上的掌握往往取決於設計師經驗與能力以及製程上的考量。在參數式設計工具的輔助下，可以運用演算法開發出較難掌握的造型，並加入不同的變因產生多種組合，打破一般以點線面思考的造型生成方式，製程上則隨著現在3D列印爆發式的成長，克服了許多傳統技術的障礙，在兩者相輔相成之下，相信未來將會開發出更多元的產品造型。

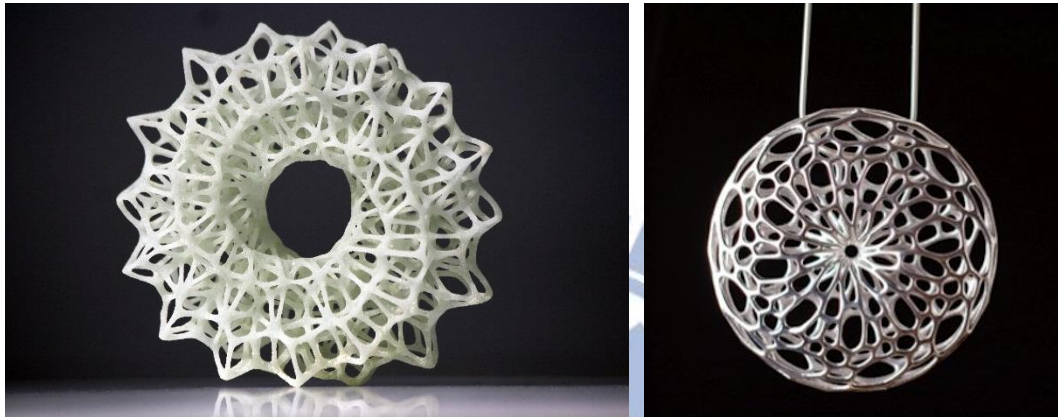


圖 6-6 相關衍生造型

第七章 結論

7-1 具體成果與貢獻

(1) 參數式設計工具的應用過程

參數式設計過程跟以往有很大的不同，它縮短了傳統流程各個步驟間的距離，由於在工業設計領域較少實際應用的案例，或大多只能看到最後成品，並無法確實了解整個流程所遭遇的各種問題。在本研究中整理出的過程與建議，希望藉由本研究能提供設計者更清楚的思考方式，增加在使用參數式設計工具時的效益與品質。

(2) 參數式設計在製程的可行性

在製程上，一直都是參數式設計容易遇到問題的地方，許多的參數式設計往往只停留在電腦模擬或草模概念階段，較難實際做出完整實體。本創作以實際產品材料做考量，並以門檻較低的加工方式製作，說明參數化設計在製程上的可行之處。

(3) 參數式設計工具的學習方式

軟體學習上，工業設計領域與建築領域所講究的方向是不同的，也因此學習所需的重點也會不同，本研究簡單的介紹基本操作概念與原理，並提出創作

上建構時所遇到的問題點，讓初學者可更快的掌握重點，並熟知各種狀況下應該如何面對。

7-2 結論與心得

回顧整個創作歷程中，抱著想做出不同與以往的設計，自己本身非3D狂熱份子，一路上在不斷學習與探索間前進，從拿著網路的教學文件練習、旁聽建築所課程、實際建立參數模型到最後創作的完成，希望能透過新的挑戰來讓自己成長。

參數模型的建立，過程有如在解數學題般的令人頭痛，來回測試不同運算器，試圖拼湊出心目中理想的解答，在製作與組裝時工程之龐大，也是研究者始料未及的，過程中十分擔心組裝與參數模型之間的落差，單元模型一件件編號與輸出，再一一比對組合的位置，單是製作與組裝上就耗費了不少的時間與精力，也不斷考驗著研究者的耐心。

在研究的過程中，讓我實際了解參數式設計能對工業設計領域做出什麼改變、未來會有哪些發展的可能。隨著電腦與製造技術的進步，參數式設計將會被更廣泛的運用至各個領域之中，未來除了協助開發新的造型，更能透過參數將人因、力學等，一併納入參數的計算之中，設計師將可以更即時的做全面性的考量。

參數式設計還在持續的發展中，其特別的建構方法提供了設計師更多新的選擇，希望可以透過本篇創作提供後續學習者的參考依據，讓更多設計師深入探討參數式設計更多的可能性，發展出一套屬於工業設計的方法理論。

參考文獻

1. Frick Ursula. (2011). 生程模型的設計發展. 建築師, 70-71.
2. Hauschild Moritz, & Karzel Rudiger. (2011). Digital Processes.
3. Krish Sivam. (2010). A practical generative design method. Computer-Aided Design.
4. Iwamoto Lisa. (2009). Digital Fabrications
5. 王嫻晴. (2011). 曲面空間桁架系統參數化設計與數位構築.
6. 呂欣侃. (2011). 參數化設計與實務應用. 建築師, 78-81.
7. 邱茂林. (2003). CAAD TALK 1 數位建築發展. 台北: 田園城市.
8. 邱茂林. (2003). CAAD TALK 2 設計運算向度. 台北: 田園出版社.
9. 理查·魏斯頓. (2012). 改變建築的 100 個觀念. 台北: 臉譜出版.
10. 陳珍誠. (2005). 資訊文化與建築. 擷取自
11. 陳珍誠. (2011). 建築設計的數位程序. 建築師, 66-69.
12. 黃劭暉. (2011). 世界級建築的搖籃--Zaha Hadid Architects. 建築師.
13. 劉育東. (2007). 數位建築與東方實驗. 台北市: 天下遠見出版股份有限公司.
14. 劉育東, & 林楚卿. (2009). 新構築. 田園城市文化事業有限公司.
15. 羅伯湯普森. (2011). 產品製造工法入門 產品+家具設計篇.
16. 羅伯湯普森. (2012). 產品製造工法入門 原型製造+少量製造.
17. 張展嘉. (2011). 參數設計與數位製造之操作案例實證.
18. 游勝博. (2012). 自然模式：參數式設計於產品造形創作之應用

網路資料

1. Designplaygrounds <<http://designplaygrounds.com/>>
2. 準建築人手札 <<http://www.forgemind.net/phpbb/index.php>>
3. Grasshopper <<http://www.grasshopper3d.com/>>
4. MGX by Materialise <<http://www.mgxbymaterialise.com/>>
5. 3D 族 <<http://www.3dzu.net/>>
6. KRAM/WEISSHAAR <<http://www.kramweisshaar.com/>>
7. Timothy Schreiber <<http://www.timothy-schreiber.com/>>
8. gt2p <[www.gt2p.com/.](http://www.gt2p.com/)>