

國立交通大學應用藝術研究所  
碩士論文

自然模式：參數式設計於產品造形創作之應用  
Nature's Patterns: Using Parametric Design as a Tool in Product Modeling



研 究 生：游勝博  
指導教授：林銘煌 博士

中華民國一零一年七月

自然模式：參數式設計於產品造形創作之應用

Nature's Patterns: Using Parametric Design as a Tool in Product Modeling

研究生：游勝博

Student : Sheng-Po Yu

指導教授：林銘煌

Advisor : Ming-Huang Lin

國立交通大學應用藝術研究所



Submitted to Institute of Applied Arts  
College of Humanities and Social Science  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
In  
Art in Design

July 2012  
Hsinchu, Taiwan

中華民國一零一年七月

# 自然模式：參數式設計於產品造形創作之應用

Nature's Patterns: Using Parametric Design as a Tool in Product Modeling

學生：游勝博 指導教授：林銘煌

國立交通大學 應用藝術研究所碩士班

## 摘要

隨著電腦輔助設計的相關技術快速進步，數位應用在設計實務中已成為不可或缺的一環，參數式設計（Parametric Design）即為近年來於數位建築領域興起的新形態設計手法。有別於產品設計常用的 3D 建模軟體，參數式設計工具是以參數與運算邏輯之間互相連結以生成幾何型態的設計方式，透過參數與運算元件的調整得以即時得到幾何模型的變化，亦可藉由演算法的加入，使幾何模型依循演算法則的定義產出各種型態。

本研究以自然界通稱為模式（pattern）的幾何秩序與邏輯作為主要的演算法，利用參數式設計軟體 Grasshopper 作為建模輔助工具，嘗試將參數式設計手法應用於產品造形創作，透過設計過程的實驗與測試及最後的作品產出，檢討應用參數式工具於產品創作的可行性，並從設計經驗中提出具體改進建議以提供初探參數式設計手法的產品設計者參考。

最後，研究者期許能透過本研究的資料整理與創作成果，讓更多的設計者接觸並體驗參數式設計概念，進而建構出更適用於產品創作的參數式設計應用。

**關鍵字：**參數式設計、產品設計、模式、Grasshopper

## ABSTRACT

With the progress of computer aided design, digital application plays an important role in design practice. In recent years, parametric design has become a new modeling concept in digital architecture. The modeling method of parametric design is based on the connection of parameters and logic components. The 3D model can be transformed by means of adjusting the parameters and components. It can also be generated via the algorithm.

In this study, it tries to examine if parametric design software is helpful for product modeling. The natural patterns are applied as the algorithm in the parametric design software “Grasshopper” to test the feasibility of the application in product processes. Afterwards, several suggestions of improving the usage are put forward after the use of the program and three projects are design and made.

In conclusion, I hope the knowledge and the creation of this study can attract more product designer to experience the concept of parametric design and construct a better method of applying parametric design in product modeling.

**Keywords:** *Parametric Design, Product Design, Patterns, Grasshopper*

## 誌謝

待在 IAA 的時光終於確定只剩下最後的幾個日子，我想我會非常懷念曾經與你們快樂相聚的日子。謝謝在 IAA 這幾年陪伴在我身邊的每個人，有你們的存在讓我的碩士生活過得極為精彩。

終於來到誌謝，首先最要感謝的就是我的指導老師，林銘煌老師。謝謝老師對我的包容與叮嚀，我知道我論文寫的又慢又龜毛。當初選了這個我們都不熟悉但看似充滿挑戰性的題目時，你支持我試試看，並在過程中遇到各種難題時給予我許多建議的方向，讓我受益良多。

謝謝莊老與台科大鄭金典老師於口試所給予的建議與指教。謝謝建築所介璿的 grasshopper 指導與參數概念講解，讓我這個超級菜鳥也能快速理解入門，謝謝建築所侯君昊老師的許多建議與知識分享，跟你聊天讓我學到很多。謝謝爸媽在趕論文的這段期間的關心與問候，謝謝叔叔嬸嬸讓我在最後的一個半月在新竹有棲身之地可以專心寫論文。謝謝每一個在這段煎熬又漫長的論文奮鬥過程中鼓勵我、關心我的人。

要感謝的人真的很多，為免有所遺漏便不一一贅述，在此以本創作的研究主題建構此誌謝的參數化模型，向本文尚未提及的你/妳/您，獻上最真摯的感謝，非常謝謝，有你們真好。



# 目 錄

摘要.....	I
Abstract .....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X

## 第一章 緒論

1-1 設計背景與動機 .....	2
1-1-1 自然就是美 .....	2
1-1-2 新型態的設計 .....	3
1-2 設計創作目的 .....	5
1-3 設計創作架構.....	6



## 第二章 文獻探討

2-1 自然模式的法則與定律 .....	8
2-1-1 Golden Ratio & Fibonacci sequence .....	9
2-1-2 Voronoi Diagram .....	14
2-1-3 Fractal geometry .....	16
2-2 參數式設計.....	18
2-2-1 參數式設計興起 .....	18
2-2-2 參數式設計概述 .....	19
2-2-3 數位建築設計案例 .....	20
2-3 產品設計相關作品.....	26

### 第三章 參數式設計工具

3-1 參數式設計工具概述.....	31
3-2 參數式軟體評析 .....	32
3-3 參數式軟體 Grasshopper .....	34
3-3-1 基本設計概念.....	34
3-3-2 設計元件 .....	37
3-3-3 數據配對與資料結構.....	40

### 第四章 設計創作

4-1 設計測試與實驗 .....	47
4-1-1 Voronoi diagram 參數模型.....	47
4-1-2 Voronoi diagram 曲面與實體結構.....	49
4-1-3 複雜曲面的投影測試.....	52
4-1-4 3D Voronoi .....	54
4-1-5 小結 .....	57
4-2 設計創作之一.....	58
4-2-1 設計構思 .....	58
4-2-2 設計發展 .....	59
4-2-3 作品呈現 .....	63
4-3 設計創作之二.....	64
4-3-1 設計構思 .....	64
4-3-2 設計發展 .....	65
4-3-3 作品呈現 .....	70
4-4 設計創作之三.....	71
4-4-1 設計構思 .....	71
4-4-2 設計發展 .....	72
4-4-3 作品呈現 .....	75



## 第五章 展覽呈現

5-1 展覽主題與形象 .....	77
5-2 展覽佈置 .....	78
5-2 展覽期間 .....	82

## 第六章 設計檢討與建議

6-1 設計思維異同 .....	84
6-2 設計創作檢討 .....	86
6-2-1 矮桌 .....	86
6-2-2 餐桌 .....	88
6-2-3 燈 .....	91
6-3 後續發展建議 .....	93

## 第七章 結論

7-1 設計創作反省 .....	99
7-2 具體成果與貢獻 .....	100
7-3 心得與研究建議 .....	101

參考文獻 .....	102
------------	-----





## 圖目錄

圖 1-1 Theo Jansen 的仿生獸.....	2
圖 2-1 帕德嫩神廟 ( Parthenon ) 黃金比例結構示意圖.....	9
圖 2-2 黃金比例.....	10
圖 2-3 黃金分割與黃金螺旋.....	10
圖 2-4 黃金角示意圖.....	11
圖 2-5 向日葵種子生長模式示意圖.....	11
圖 2-6 三種發散角的堆排配置.....	11
圖 2-7 費布納西的兔子繁殖問題之樹狀圖.....	12
圖 2-8 向日葵左、右旋螺線的數目.....	13
圖 2-9 建構 Voronoi 圖形示意圖.....	14
圖 2-10 長頸鹿的斑紋(左) 與蜻蜓翅膀的 Voronoi 結構(右).....	15
圖 2-11 Delaunay triangulation 定義.....	15
圖 2-12 卡區的雪花曲線.....	17
圖 2-13 自然界的碎形結構：羅馬花椰菜 ( 左 )、蕨類 ( 右 ).....	17
圖 2-14 參數式設計的設計流程.....	19
圖 2-15 台中大都會歌劇院 ( 上 ) 與衍生式格子系統 ( 下 ).....	21
圖 2-16 台灣大學社科院新館 ( 上 ) 建案造形設計概念 ( 下 ).....	22
圖 2-17 Abu Dhabi Performing Arts Centre.....	23
圖 2-18 Regium Waterfront.....	24
圖 2-19 中國國家游泳中心「水立方」.....	25
圖 2-20 Voronoi Shelf.....	26
圖 2-21 Julia Necklace.....	27
圖 2-22 Morphogenesis Chaise.....	27
圖 2-23 MESA Table.....	28
圖 2-24 Vortexx.....	28
圖 2-25 ANDROMEDA.....	29
圖 2-26 Vuzzle Chair.....	29
圖 3-1 Paracloud GEM 所建構之 3D 模型.....	31
圖 3-2 Generative Components 軟體介面.....	32
圖 3-3 Grasshopper3D logo.....	34
圖 3-4 在 Rhino 中建立蘋果模型的設計流程.....	35
圖 3-5 在 Grasshopper 中建立蘋果模型的邏輯架構.....	36
圖 3-6 Rhino 與 Grasshopper 建構模型的差異與對應關係.....	36
圖 3-7 各種參數元件與運算器元件.....	37
圖 3-8 運算器元件的結構.....	38

圖 3-9	運算器在不同狀態下的顏色.....	38
圖 3-10	示範以 Grasshopper 連結元件以建構直線的設計方式.....	38
圖 3-11	示範以 Grasshopper 建立面的方式.....	39
圖 3-12	示範以 Grasshopper 建立三角柱體的方式.....	39
圖 3-13	數據配對 ( Data matching ) .....	40
圖 3-14	數據配對 ( Data matching ) 的三種規則.....	40
圖 3-15	Longest list 規則的點陣列.....	41
圖 3-16	XY 向量點陣列的兩種配對規則的差異.....	41
圖 3-17	XYZ 三向量點陣列的兩種配對規則的差異.....	42
圖 3-18	利用 Grasshopper 建立圓球的立方體陣列.....	42
圖 3-19	曲面的樹狀資料結構.....	43
圖 3-20	曲面的樹狀資料結構示意圖.....	43
圖 3-21	曲面的樹狀資料結構示意圖 2.....	44
圖 3-22	曲面的樹狀資料結構示意圖 3.....	44
圖 4-1	建構 Voronoi diagram 的參數化模型.....	48
圖 4-2	以本研究所建立的參數化模型所產出的 voronoi 圖形.....	48
圖 4-3	建構曲面的 Voronoi 實體結構.....	49
圖 4-4	單層 Voronoi 曲面結構彩現圖.....	50
圖 4-5	雙層 Voronoi 曲面結構彩現圖 2.....	50
圖 4-6	雙層 Voronoi 曲面結構彩現圖 3.....	51
圖 4-7	在 Panton 椅的表面建立 Voronoi 結構.....	52
圖 4-8	Voronoi 結構的 panton 椅之一.....	53
圖 4-9	Voronoi 結構的 panton 椅之二.....	53
圖 4-10	原版 panton 椅與 Voronoi 結構化的椅面比較.....	53
圖 4-11	3D Voronoi 結構的原理示意圖.....	54
圖 4-12	3D Voronoi diagram 的參數模型.....	54
圖 4-13	3D Voronoi 結構.....	55
圖 4-14	使用 3D Voronoi 腳本檔所切割的幾何模型.....	55
圖 4-15	使用 3D Voronoi 運算器建立參數模型.....	56
圖 4-16	使用圖 4-15 之參數模型所建立的幾何結構.....	56
圖 4-17	Voronoi 家具的概念圖.....	58
圖 4-18	設計創作一：矮桌參數模型.....	59
圖 4-19	設計創作一：矮桌參數模型 2.....	59
圖 4-20	客廳用矮桌的彩現圖.....	60
圖 4-21	客廳用矮桌：圓形玻璃桌面.....	60
圖 4-22	雙層 Voronoi 結構的客廳用矮桌.....	61
圖 4-23	雙層 Voronoi 結構的客廳用矮桌，圓型桌面.....	61
圖 4-24	以真空成形製作的 Voronoi 曲面草模.....	62

圖 4-25	設計創作之一：客廳矮桌的 RP 模型.....	63
圖 4-26	設計創作之二：餐桌的構想圖.....	64
圖 4-27	餐桌 Voronoi 結構的參數模型.....	65
圖 4-28	餐桌的草模製作.....	66
圖 4-29	修正後的 3D 模型.....	66
圖 4-30	餐桌的設計定案圖.....	67
圖 4-31	餐桌結構的展開工程圖.....	68
圖 4-32	製作過程.....	69
圖 4-33	Voronoi 餐桌作品呈現.....	70
圖 4-34	3D Voronoi 燈之概念草圖.....	71
圖 4-35	3D Voronoi 燈之參數模型.....	72
圖 4-36	Voronoi 細胞結構多寡的造形差異.....	73
圖 4-37	燈具設計定案之模擬圖.....	73
圖 4-38	燈罩攤平之展開圖.....	73
圖 4-39	燈具製作過程.....	74
圖 4-40	Voronoi 燈具實體模型呈現.....	75
圖 5-1	「小確幸」展覽海報.....	77
圖 5-2	展覽現場佈置.....	78
圖 5-3	展覽海報 1.....	79
圖 5-4	展覽海報 2.....	80
圖 5-5	展覽海報 3.....	81
圖 5-6	展覽期間與媒體採訪.....	82
圖 6-1	一般設計流程(上)與參數式設計流程(下)的差異.....	84
圖 6-2	矮桌的桌腳厚度不均.....	86
圖 6-3	原參數模型的桌腳(左)與修正後的桌腳(右).....	87
圖 6-4	Grasshopper 幾何模型(紅色)·Rhino 幾何模型(黑色).....	88
圖 6-5	凹槽經彎折後所產生的誤差.....	89
圖 6-6	以立體肋架組織造形.....	90
圖 6-7	以橋接片接合非垂直鑲嵌的板材.....	90
圖 6-8	點與點之間差距過大所造成的細胞空間大小與深度的差異.....	91
圖 6-9	自動生成黏貼面的參數化模型.....	92
圖 6-10	分段式的參數模型建立.....	97
圖 6-11	Grasshopper 模型的輸出與 Rhino 模型輸入.....	97

## 表 目 錄

表 1-1	本研究創作架構 .....	6
表 2-1	本研究整理歸納之自然模式 .....	9
表 3-1	常見參數式設計工具之分析 .....	33
表 6-1	適用於產品設計的參數化設計應用類型 .....	93
表 6-2	適合於不同設計平台的特徵分類 .....	96



## 第一章 緒論

### 1-1 設計背景與動機

1-1-1 自然就是美

1-1-2 新型態的設計

### 1-2 設計創作目的

### 1-3 設計創作架構



## 第一章 緒論

### 1-1 設計背景與動機

#### 1-1-1 自然就是美

“ 我們生活在一個充滿「模式<sup>1</sup>」( pattern ) 的宇宙中。 ”

— Ian Stewart, 1996

行星依循著軌跡運行、樹枝錯縱複雜的結構、大麥町狗身上醒目的斑點...，自然現象裡存在著嚴謹的數學邏輯與幾何秩序，亦可以「模式」稱之，隨著科學的進步與發展，我們發現花瓣依循著特定數列生長，動物毛皮的紋路存在特定模式，甚至雲朵的形狀都不是偶然。

而我對於自然模式的好奇倒是起因於一次偶然的發現：荷蘭藝術家 Theo Jansen 所創作的 Strandbeest ( 台灣以仿生獸稱之 )，他以長期的觀察研究自然生物的移動方式，建構出一組獨特的腳步結構，靠風力驅動連動機構使整個龐然大物彷彿有生命般的移動，牠雖然並非自然產



圖 1-1 Theo Jansen 的仿生獸

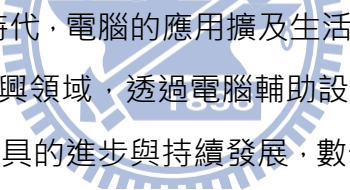
物，但其有如生物般的動態方式竟然具有如此美感，Theo Jansen 的作品使我開始對於自然美感的事物產生興趣，仿生設計 ( Bionics design ) 這個名詞也從我腦海中再次地浮現出來。

仿生設計在各個領域皆有所發展：仿效鯊魚皮膚構造所設計的高科技泳衣、魔鬼氈的靈感來自老是黏在褲管上的芒刺、從蓮花葉上的水滴到奈米科技...，包羅萬象的產品皆取自於大自然鬼斧神工的創意，那麼，產品造形呢？生活中我們經常可以看到一些造形靈感取及於自然生物的設計，模仿自然界生物外形的它們

真的自然嗎？所謂的自然造形又是什麼？那些仿生設計研究自然現象，找出現象的原理並應用到產品上，從那麼自然造形的背後，是否也蘊含著某種規則？利用這些規則是否就能重現大自然的美感？

想做出「真正」的自然設計的想法，開啟了我對於自然界幾何型態的生成秩序與定律的探索，並同時開始思考如何運用這些自然界的構成模式來進行設計，然而在紙上憑著對自然造形的模仿所畫出的設計草圖終究僅是模仿，在現階段不管是手繪或是電腦建模都並無法真正的表現自然模式，於是我開始尋找是否有新的設計方式能夠滿足我的想法，最後，我在建築界找到了一個可能的答案。

### 1-1-2 新型態的設計



我們進入了高科技的時代，電腦的應用擴及生活的每個角落，在建築界則誕生了「數位建築<sup>2</sup>」這個新興領域，透過電腦輔助設計，建築師得以做出過去無法達成的設計，隨著數位工具的進步與持續發展，數位建築在近代開創了一種新型態的設計概念：**參數式設計**(Parametric Design)。

如同它的名字一般，參數式設計將設計過程的所有元素都以數據資料呈現，幾何造形已不再是由紙筆所描繪出的圖形來決定，而是藉由數據與造形邏輯的直接建構來進行創造，其設計建構方式也並非如我們所熟悉的建模軟體中，在 3D 作業空間以點線面等元素，直覺式的進行造形堆疊、拉伸等動作以完成幾何造型的設計手法，而是在有如空白紙般的作業平台上以數據之間的安排與交互連結來編織出設計。

數據的應用讓那些自然模式背後的定義與規則終於有了適合的舞台，參數式設計的概念使得數學定義甚至是各種演算法都得以加入至設計構想之中，藉由數據與演算法的組合，便能創作出依特定邏輯或數學定義而生成的造形，而在數位

建築的發展中，利用自然模式進行設計創作的演算法早有許多實際案例，我想做出「真正」的自然設計的想法藉由參數式設計手法似乎得以實現。

我想所有產品設計的學習者在初次接觸到參數式設計者都會被其獨特的設計方式所吸引吧，然而為什麼這種新的設計概念卻始終沒有進入產品設計領域，電腦輔助設計工具的進步逐漸改變了建築設計的構築方法，而產品設計發展數十年，主要還是以設計者主觀的依照自身經驗決定產品造形的形式，是否是參數式設計並不適用於產品設計，抑或只是還沒有接觸彼此而產生火花？若將參數設計的概念應用於產品設計上，是否能為產品造形的變化創造更多的可能性？

從對自然模式的好奇到思考如何利用自然模式做設計，最後發現了參數式設計這個有別於過去設計經驗的建構手法，本著實驗精神，我決定即以自然模式為設計元素，試圖了解參數式設計的實際應用。



---

<sup>1</sup> 「模式 ( pattern )」這個用詞取自於李國偉為《大自然的數學遊戲》( Ian Stewart, 葉李華 譯, 1996 ) 所撰序文中的解釋：Pattern 標誌了物件之間隱藏的規律關係，而這些物件並不必然是圖畫式的，也可以是數字、抽象的關係、甚至思維的方式，它強調的是形式上的規律，而非實質上的規律，用圖案、花樣、式樣等字眼翻譯則過於具象，因此採用大陸專家討論此方面理論逐漸約定成俗的翻譯法，將 pattern 譯作為「模式」。


<sup>2</sup> 劉育東在其著作新構築一書中提及關於數位建築的演進：電腦與建築設計的關係從初期的「電腦文書資料處理」跟「電腦輔助繪圖」，到中期的「電腦輔助設計」跟「電腦自動衍生設計」，再到後期的「數位媒材設計」跟「數位設計」，「數位建築」在建築實務中越來越標準化，數位應用的革新也讓向來被視為是建築生命的「空間與形體創作」產生全新面貌。



## 1-2 設計創作目的

綜觀近代的設計史，建築領域與產品設計的發展是密不可分的，兩個領域共同經歷強調機能、建築（產品）本質的現代主義，並在 80 年代興起的後現代設計風潮讓設計風格逐漸走向多元化，而近年來，建築領域新興的參數式設計概念的快速發展，彷彿一種全新的設計風格即將成形，此現象從近期世界各地都能看到許多以參數式設計手法所建構的新興建築案便略知一二。

目前在產品設計領域鮮少有參數式設計的實際應用案例，本創作研究試圖深入了解參數式設計的設計思維與創作方式，以釐清其概念中與傳統設計方法的差異，並藉由實際使用參數式設計工具進行產品設計的創作，企圖在設計創作的過程中，了解參數式設計使用於產品創作時的優勢與可能的困難點，以作為後續學習者的參考依據，預期目標如下：

- 
- (1) 藉由文獻探討，瞭解本創作研究所運用的自然模式原理及參數式設計的概念與發展，並藉實際案例的整理，了解應用參數式設計的預期成果。
  - (2) 探討參數式設計工具的操作觀念與設計方式，以提供往後的學習者能快速理解其使用方式。
  - (3) 以自然模式為元素進行參數式設計手法的實際操作，並藉由實驗創作的心得，進行產品設計並產出作品數件。
  - (4) 從設計過程的檢討中提出參數式設計用於產品造形創作的可行性與問題點，並整理成實質建議以提供後續設計參考。

## 1-3 設計創作架構

本研究創作一共分為三個階段，第一階段以研究資料為主，藉由文獻探討整理出自然模式與參數式設計的相關定義與實際案例分析，與參數式設計工具的應用方式研習；第二階段則是設計實作與成果展出；最後藉由實作過程中的檢討，提出相關的缺失與建議。研究者將整體研究架構整理如表 1-1。

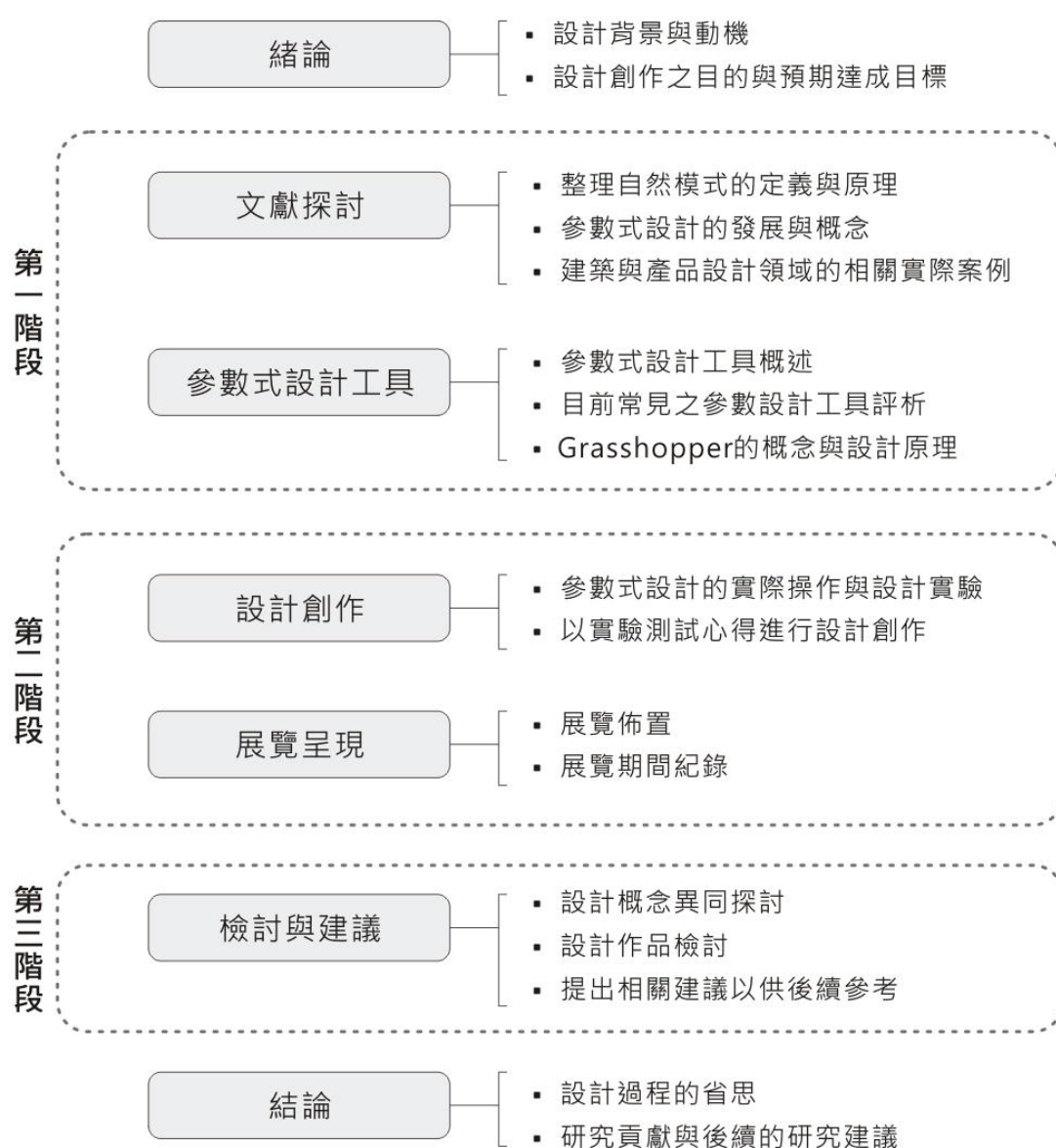


表 1-1 本研究創作架構

## 第二章 文獻探討

### 2-1 自然模式的法則與定律

2-1-1 Golden Ratio & Fibonacci sequence

2-1-2 Voronoi Diagram

2-1-3 fractal geometry

### 2-2 參數式設計

2-2-1 參數式設計興起

2-2-2 參數式設計概述

2-2-3 數位建築設計案例

### 2-3 產品設計相關作品



## 第二章 文獻探討

本創作研究嘗試以自然模式作為產品造形的設計元素，同時引入參數式設計的概念與參數化建模的創作手法。本章節所整理之文獻可分為三大部分，首先研究者整理歸納出常見之存在於自然界的定律或規則，剖析並了解其定義；第二部分將介紹建築領域近年來興起之「參數式設計」的概念，接著提出建築界的實際設計案例，分析其中的設計構思；第三部分則從產品設計領域中收集相關的設計作品，探討其設計元素與自然模式的型態之異同，總結以上各領域資料，以作為本研究的背景知識。

### 2-1 自然模式的法則與定律

“上帝是一位高明的數學家，祂使用高深的數學去構建宇宙。”

( P.A.M. Dirac, 1963 )

人類的心靈與文化逐漸發展出一個認識、分類與利用模式的思想體系，我們稱之為「數學」。藉由數學將我們對模式的概念組織化、系統化，我們發現了一個大秘密：自然界的模式不僅是人們崇拜的對象，更是許多極重要的線索，能夠幫助我們了解主宰自然過程的法則。這些自然界的線索充滿美感，即使未曾受過任何數學訓練，我們也都能夠心理神會。而我們從這些線索出發，推導出基礎的法則與規律性。( Ian Stewart, 1996 )

「師法自然」一直以來都是人類創造事物的靈感來源之一，隨著科學的發展，人們對自然界的認識逐漸加深，早期文藝復興時期，藝術家即懂得運用黃金比例、黃金分割等元素來做為構圖的準則，發展至今日，參數化設計軟體的成熟，使設計者有機會整合運用自然規則，借用這些模式的數學邏輯與幾何秩序進行創作。本研究收集整理常見且較為運用的自然模式如表 1，並逐一介紹其原理。



表 2-1 本研究整理歸納之自然模式

### 2-1-1 黃金比例與費布納西數列

#### (1) 黃金比例 Golden ratio

黃金比例很早就被發現並加以利用，公元前 300 年前後由歐幾里得( Euclid )所撰寫的《幾何原本》中便已詳細記載了黃金分割的論述。黃金比例被認為具有嚴格的比例性、藝術性、和諧性，蘊藏著豐富的美學價值，自古至今許多產品、建築物或藝術品均普遍應用黃金比例，例如著名的希臘帕德嫩神廟 ( Parthenon ) 即是依循黃金比例來建造其主要的結構。

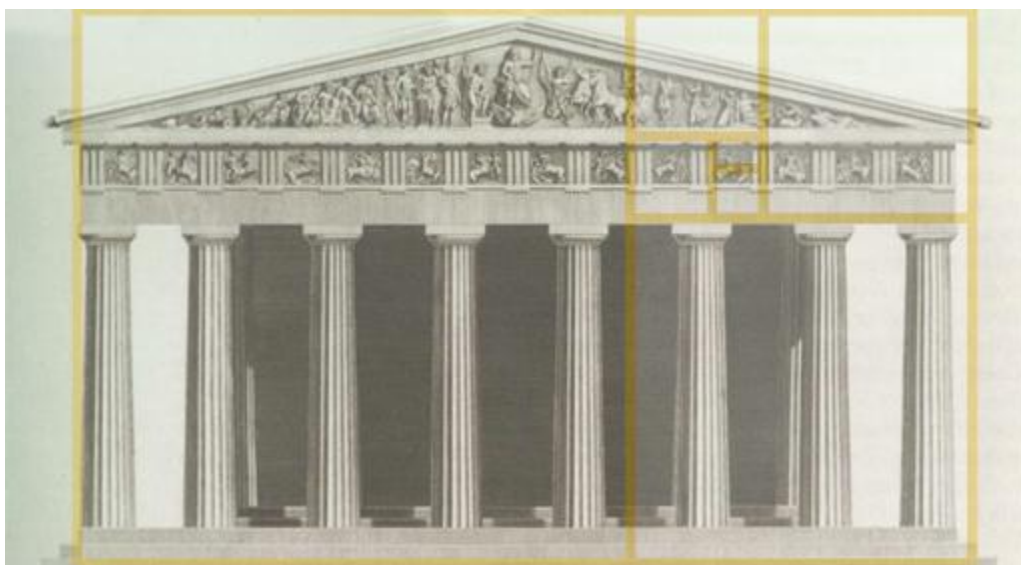
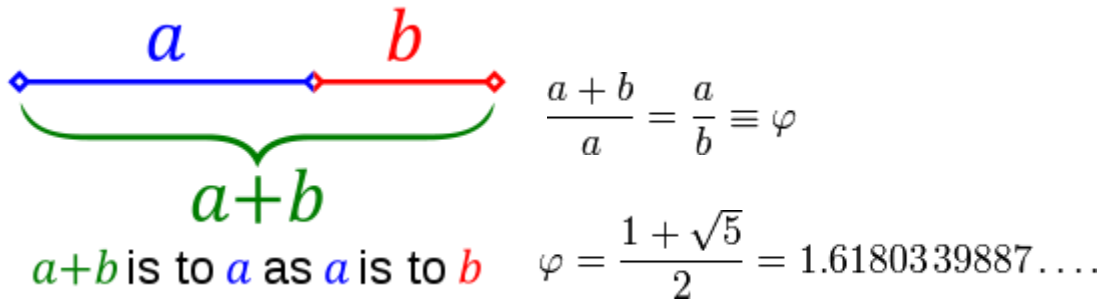


圖 2-1 帕德嫩神廟 ( Parthenon ) 黃金比例結構示意圖

黃金比例 ( Golden ratio,  $\varphi$  ) 是一種數學上的比例關係。其定義是將一條線分割成兩段分別為  $a$  與  $b$ ，那麼總長度  $a + b$  與長度較長的  $a$  之比將會等於  $a$  與長度較短的  $b$  之比，亦可稱為黃金分割，透過數學式的運算即可得出黃金比例為 1.618033...，應用時一般取 1.618 或 0.618。



$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \equiv \varphi$$

$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.6180339887\dots$$

$a+b$  is to  $a$  as  $a$  is to  $b$

圖 2-2 黃金比例 資料來源: www.wikipedia.org

黃金矩形 ( Golden rectangle ) 則是長和寬的比為黃金分割 (  $\varphi$  ) 的矩形。在黃金矩形中以短邊  $a$  為邊長劃一正方形，矩形剩下的部份也是一個較小的黃金矩形，在這個較小的矩形中以同樣短邊再分割出一個正方形，所剩下的矩形也依然是黃金矩形，理論上黃金矩形可以依此步驟無限的切割下去。接著，將重複分割數次之黃金矩形中的正方形，以其各自的邊長為半徑，其中一角為圓心，在正方形內劃出四分之一的圓弧，依照特定的方向與順序將所有正方形以同樣的方式畫弧，再將所有圓弧連結，即可得出一條由內向外逐漸擴張的螺旋線，亦稱為黃金螺旋 ( Golden Spiral )。

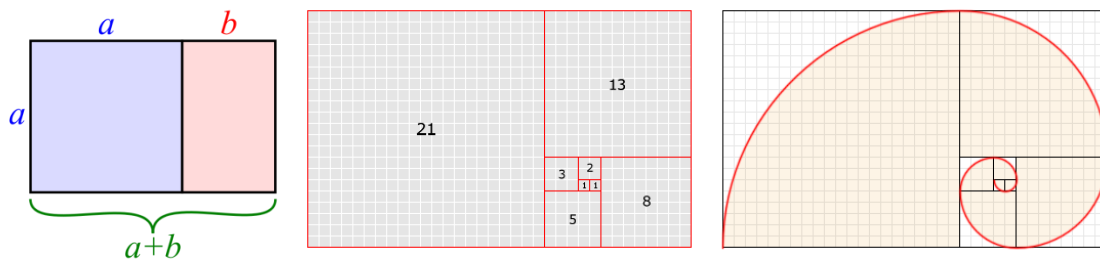


圖 2-3 黃金分割與黃金螺旋 資料來源: etereaestudios.com

黃金角 ( Golden angle ) 則是將黃金比例應用到圓周所得到的幾何特性：把長度為  $c$  的圓周長依黃金比例分割成兩段，各部份長度為  $a$  和  $b$ ，即是符合  $c : a = a : b$  之比例關係，較小弧長  $b$  所對應的圓心角約為  $137.51^\circ$ ，亦稱為黃金角。

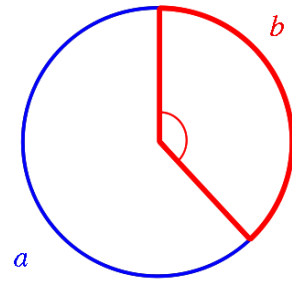


圖 2-4 黃金角示意圖

黃金比例與黃金角度等模式早存在於大自然中，呈現於不少動物和植物外觀裡，例如人體從肚臍至頭頂之距離和從肚臍至腳底的比例即趨近於黃金比；向日葵即是自然界中經典的黃金比例案例，向日葵的種子依照黃金角與黃金螺旋由內向外發散並緊密排列，這是能使種子排列最密實、最有效的排列方式<sup>1</sup>。

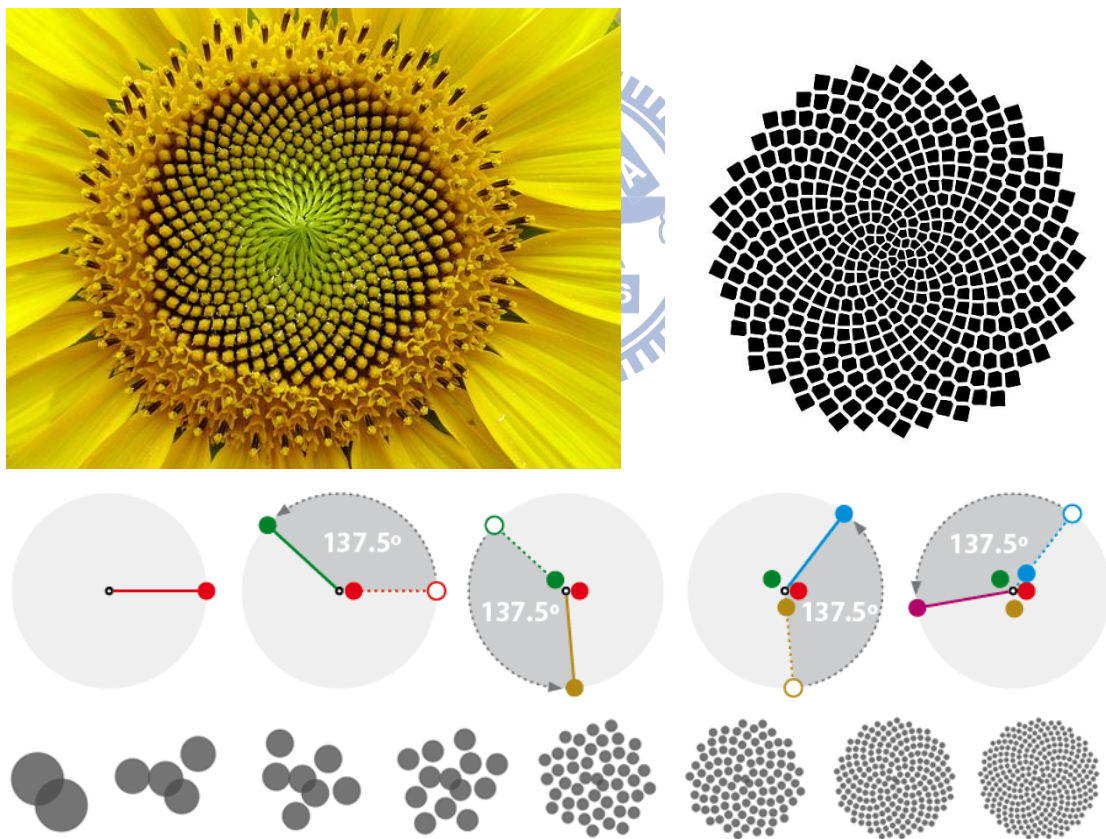


圖 2-5 向日葵種子生長模式示意圖 資料來源: etereaestudios.com

<sup>1</sup> 三種發散角的堆排配置：(a)  $137.3^\circ$ ；(b)  $137.5^\circ$ ；(c)  $137.6^\circ$ ；其中黃金角 (b) 為最有效率的堆排。

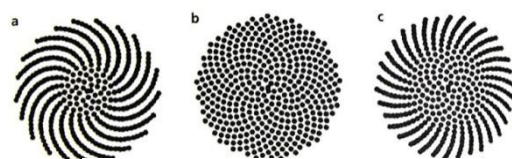
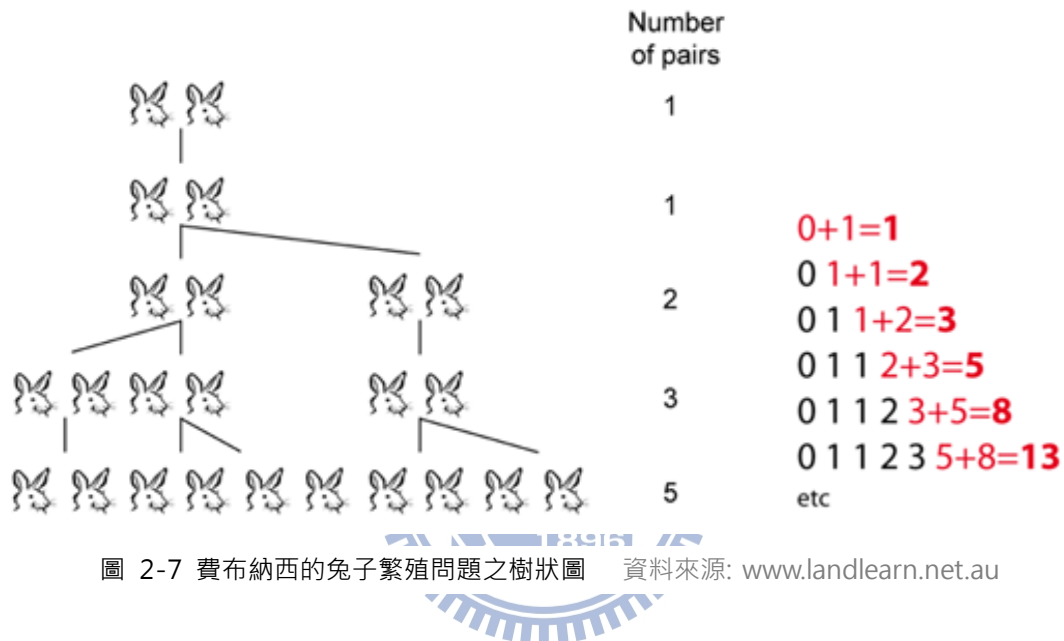


圖 2-6 ( Ian Stewart, 2000 )

## (2) 費布納西數列 Fibonacci sequence

義大利數學家費布納西 ( Leonardo Pisano , Fibonacci ) 在他出版於 1202 年的《算盤全書》( Liber Abaci ) 中提出了一個兔子繁殖的問題：如果一對兔子每月能生一對小兔 ( 一雄一雌 )，而每對小兔在牠出生後的第三個月裡，又能生一對小兔，假在不發生死亡的情況下，由第一對出生的小兔開始，50 個月後會有多少對兔子？



於是我們可以得到從第一個月開始後每個月兔子總數為：

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584 ...

此數列即為費布納西數列 ( Fibonacci Sequence )，數列由 0 和 1 開始，之後的每個費布納西係數即是之前的兩個數字相加之和。數學家發現此數列大量的出現在自然界的現象中：它幾乎囊括了所有花朵的瓣數，而這組數字也同樣出現在向日葵的種子螺旋排列、松果、鳳梨的鱗片排列等，前段所敘述之黃金矩形的正方形面積也隱含著此數列 ( 圖 2-3 )。克卜勒 ( Johannes Kepler ) 則發現數列中前後兩項之比會逐漸接近於黃金比例 (  $\varphi=1.618033\dots$  )：

$$1/1=1 ; 2/1=2 ; 3/2=1.5 ; 5/3=1.67 ; 8/5=1.6 ; 13/8=1.625 ;$$

$$21/13=1.615 ; 34/21=1.619 ; 55/34=1.618 \dots$$



再一次以向日葵為例子，在上段得知，當種子以黃金角與黃金螺線排列後能達到最緊密的排列，如果我們進一步觀察，便能發現排列中的螺線，左旋之螺線與右旋螺線的數目都是費布納西數列中相鄰的兩項，常見的向日葵的左旋數與右旋數各為 21, 34 或 34, 55，更大的向日葵則有 89 和 144，甚至 144 和 233 的排列數。黃金比例、黃金角與費布納西數列的存在並非意外或是偶然，這些數字是普適的幾何原理的結果，是植物結構的晶體學<sup>2</sup>，植物沒有辦法避開費布納西數，就像食鹽晶體不能不是立方體 ( Ian Stewart, 2000 )。

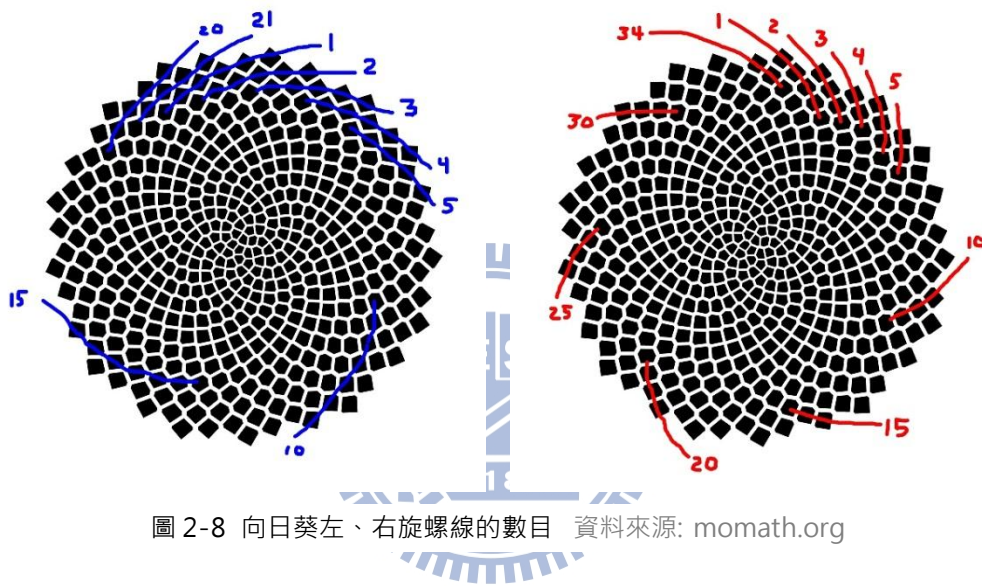


圖 2-8 向日葵左、右旋螺線的數目 資料來源: momath.org

<sup>2</sup> 晶體學，又稱結晶學，是一門以確定固體中原子（或離子）排列方式為目的的實驗科學。「晶體學」( crystallography ) 一詞原先僅指對各種晶體性質的研究如晶體的對稱性、晶體結構以及晶體生長過程和晶體的物理性質等，隨著人們對物質在微觀尺度上認識的加深，其詞義所涉及的領域也逐漸擴充。(Wikipedia)

## 2-1-2 范諾圖 Voronoi diagram

Voronoi Diagram 是一種依據距離來劃分區域的圖形，在 1908 年由俄國數學家 Georgy Fedoseevich Voronoi 命名並把多維度的 Voronoi 區塊圖訂下明確的數學定義。在一個平面上散布著數個點 ( site )，這些點中任意兩個點皆以其中垂線來劃分區域 ( region )，即是 Voronoi 圖形；我們可以理解為，該平面上任何一個位置，各自劃分至最近的點，這些點彼此之間的中垂線，可視為各個區域的分界線，而 Voronoi Diagram 即是這些分界線組成的集合。

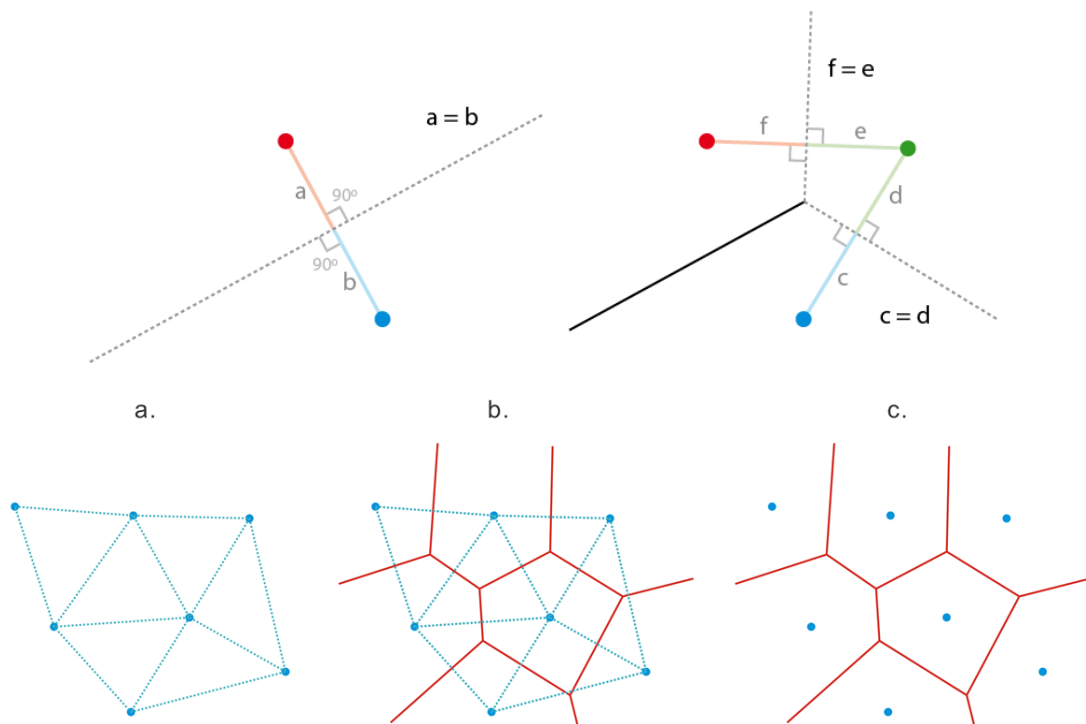


圖 2-9 以任兩點之間的中垂線，建構 Voronoi 圖形 資料來源: etereaestudios.com

如圖 2-9 所示，由平面上任意數點之間彼此的中垂線所構成的即為 Voronoi diagram。它能將幾何空間上的所有點依據距離物件遠近關係作分隔，每個物件 (圖示中的點) 能劃分得到一定區域，在區域內的任意點和該物件的距離皆比其它物件要來得近 (圖 c)。在 Voronoi 圖形中，如果將各點以直線連接所形成之圖形 (圖 a) 則形成三角網格剖分圖 (Delaunay Triangulation)<sup>3</sup>，Voronoi 與 Delaunay Triangulation 彼此為對偶圖的關係 (圖 b)。

Voronoi 圖形由於本身所隱含著圖形中之物件與其鄰近空間「最近距離」的特性，於是被廣泛應用在空間區域規劃或是解決最近相鄰點的問題，例如手機通訊時如何找出最鄰近之基地台、國家經濟地理<sup>4</sup> 的研究或是都市規劃等，在建築、地理學、氣象學、信息系統等許多領域亦有廣泛的應用。Voronoi 圖形也是存在於大自然的圖案，舉凡葉片細胞、長頸鹿的斑紋、蜻蜓的翅膀結構和泡沫結構等，隨處可見。

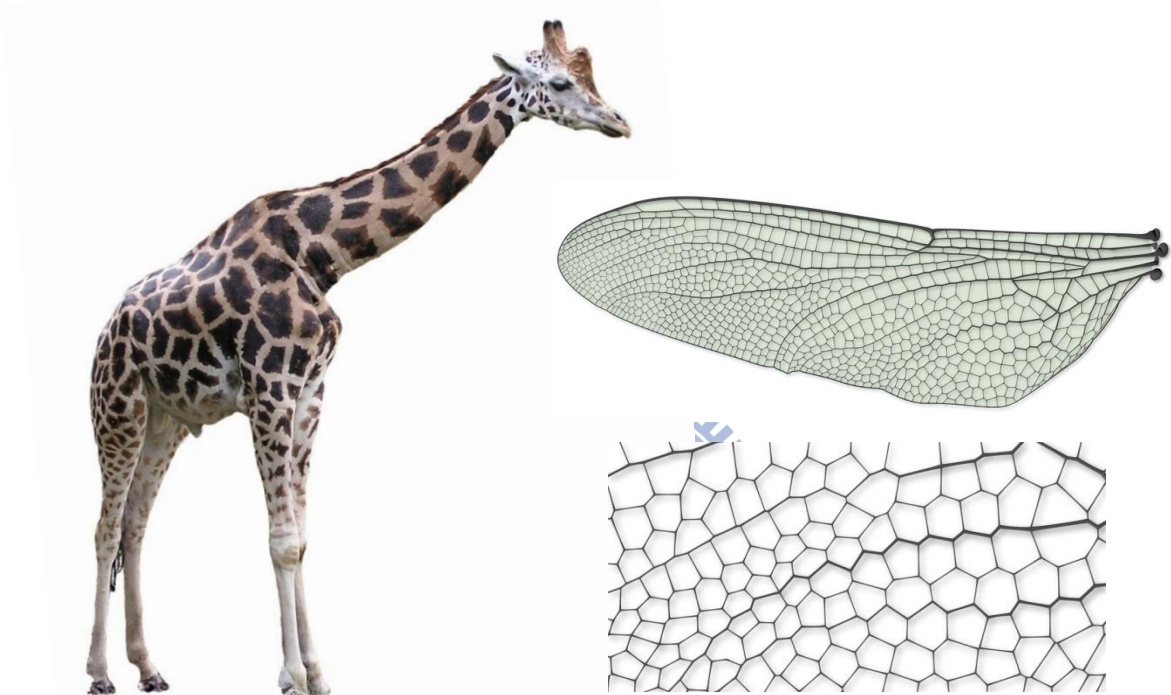


圖 2-10 長頸鹿的斑紋(左) 與蜻蜓翅膀的 Voronoi 結構(右) 資料來源: etereaestudios.com

### <sup>3</sup> 三角網格剖分 (Delaunay triangulation)

Delaunay triangulation 的定義為：平面上存在數點，點與點之間連線（如圖 2-9 之 a），此平面圖形中的任一條線的兩端點同時相交的圓內不存在圖形內的任何點。作為演算法，在 3D 建模軟體中即被應用以產生實體模型的 Surface mesh。

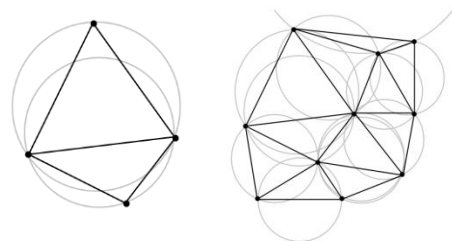


圖 2-11 Delaunay triangulation 定義

### <sup>4</sup> 經濟地理學 (Economic Geography)

經濟地理學是以人類經濟活動的地域系統為中心內容的一門學科，它是人文地理學的一門重要分支學科，包括經濟活動的區位、空間組合類型和發展過程等內容。一般認為，經濟地理學具有階級性、地域性和綜合性的特點。

### 2-1-3 碎形 Fractal geometry

「為什麼幾何學經常被認為生澀無趣？原因之一是它無法用來描述雲朵、山脈、海岸線、或是樹木的形狀。雲朵並非球狀，山也不是圓錐形，海岸線不是圓形，樹皮並非光滑的，而閃電也不是走直線。」這段話是 Benoit B. Mandelbrot 在他 1977 年所著作之《自然的碎形幾何》( The Fractal Geometry of Nature ) 的開場白。他明確地描述了長久以來發展自歐幾里得的幾何學所面臨的問題：歐氏幾何並無法描述自然界極不規則、錯綜複雜的現象。

Mandelbrot 提出的碎形幾何學即是用來解釋這些「非歐氏幾何結構」的型態。「碎形」( Fractal ) 一詞源自於拉丁文 Fractus，原意為“破碎，不規則的碎片”。碎形是極不規則的幾何形態，恰與歐氏幾何形態相反，並具有自我相似性、尺度無關性等多項特徵，整理並歸納其重要性質如下：( Wikipedia、吳文成, 2003 )

1) 在任意小的尺度上都能有精細的結構：碎形具有尺度無關性，對於「同一個」碎形結構，以不同大小的量尺來量度「可觀察的區域」，碎形會具有一致的碎形維度。例如，如果我們不同程度地放大或縮小碎形圖，我們會發現圖形的複雜度、摺疊程度，或粗糙程度並未因此而改變。

2) 碎形具有自我相似性：對於「同一個」碎形結構，自我相似即是尺度一層一層縮小的結構重複性，它們不僅在越來越小的尺度裡重複細節，而且是以某種固定的方式將細節縮小尺寸，造成某種循環重現的複雜現象。

3) 碎形代表有限區域的無限結構：例如卡區的雪花曲線( von Koch curve ) 是一條無限長，而結構不斷重複的線段，被限制在最初三角形的正圓區域內。

4) 碎形隱含一種整體性：我們可以從某一尺度的碎形來推知同個碎形另一尺度的大致樣子，小細節的傾向可以透露大細節的傾向，大細節的絲毫改變可以令所有小細節全面改觀，再造成整個碎形圖形的變化。

5) 碎形是非線性動力過程的結果：大自然的外貌及結構是經由非線性動力過程而產生的結果，我們能在非線性動力現象中發現碎形的蹤跡。比如說，在水的流動或是在晶體成長的現象中發現碎形。

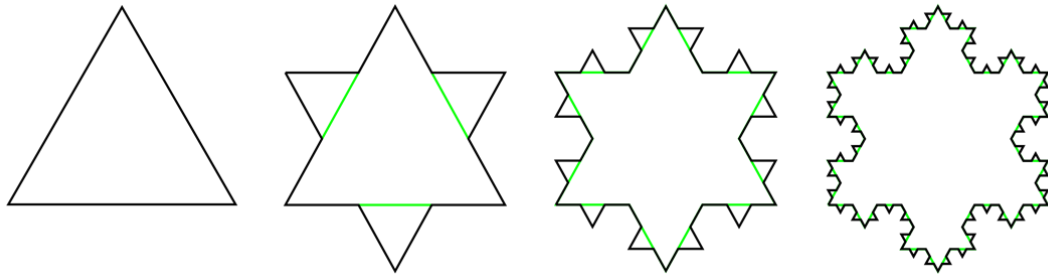


圖 2-12 卡區的雪花曲線 ( von Koch curve )

蕨類、雪花、樹枝等自然生物皆為碎形，碎形幾何學幫助我們了解自然界不規則及非線性動力的秩序，因此在此概念提出之後，人們藉由碎形在許多以往被認為是無法解釋的不規則形態中找出某種規則性。現階段，藝術、建築、電腦科學等等多領域皆有所應用，碎形幾何的建立讓我們得以更加理解與描述許多自然現象，讓大多數的型態皆能有系統的分析研究。

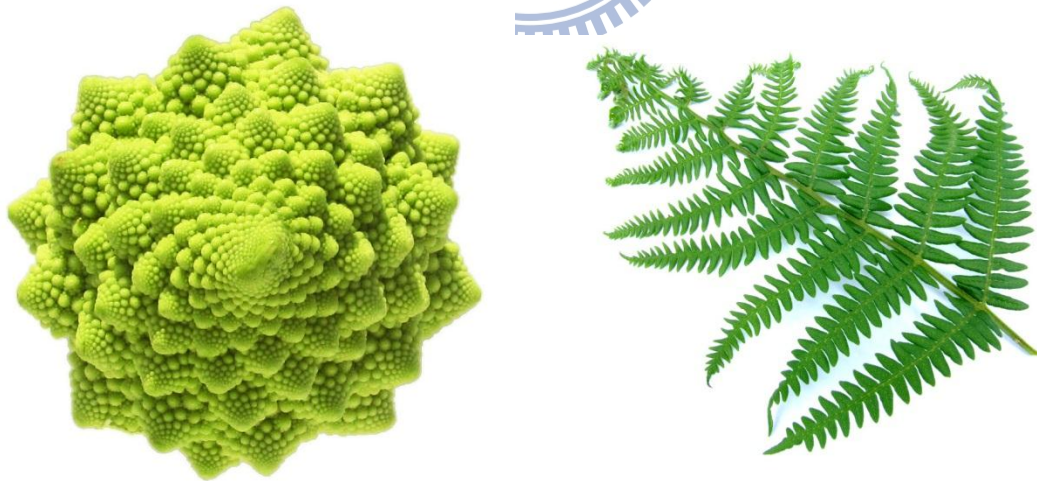


圖 2-13 自然界的碎形結構：羅馬花椰菜 (左)、蕨類 (右)

## 2-2 參數式設計

### 2-2-1 參數式主義興起

Zaha Hadid 建築事務所的合夥建築師 Patrik Schumacher 於 2008 年的第十一屆威尼斯建築雙年展中發表了《參數化主義的建築風格—參數化主義者的宣言》( Parametricism as Style - Parametricist Manifesto )，在其論述中認為後現代主義 ( Postmodernism ) 和解構主義 ( Deconstructivism ) 是經歷長期發展與創新的參數式主義 ( Parametricism ) 的過渡時期，隨著數位媒材的進步與成熟，參數式主義已成為現代主義之後的一個全新建築風格，參數式設計概念儼然成為都市和建築發展中的新趨勢。

建築的數位應用歷經了三個階段：前數位 ( predigital )、數位 ( digital )、後數位 ( postdigital )。自 80 年代後期從非制式理性貝茲曲線 ( Non-Uniform Rational B-spline, NURBS ) 到參數式模型軟體 ( Parametric Modeling ) 的相繼出現，一種以非線性與關聯化的幾何建構方法逐漸成為一些前衛建築師的設計實驗媒介，電腦開始成為思考與呈現設計意念與施作方式的「媒體」( media )，Frank Gehry 將電腦輔助設計與製造 ( CAD/CAM ) 當作強大的設計與製作流程工具，顛覆現代建築以降為主流的空間語彙與生產方式，Greg Lynn 引入法國哲學家德勒茲 ( Gilles Deleuze ) 的皺褶 ( Folding ) 概念奠定其自由與動態形體的理論基礎，開始進入數位建築時代，數位媒材成熟的應用到建築的構築技術，為設計思考帶來了完全的解放，大部分的數位技術與數位過程也在建築實務中越來越標準化。而進入後數位的時代中，3D 建模軟體如 Rhino 之外掛 Grasshopper 等工具的應用、衍生系統與演算法 ( generative system / algorithm ) 帶動參數式設計的深度發展，參數式設計的應用範圍從建築、空間設計擴及到都市規劃，知名設計師如伊東豐雄、Zaha Hadid 的作品也在近年來陸續問世，建築的數位構築正逐漸走向普及化。( 劉育東, 2009、邱浩修, 2010 )

### 2-2-2 參數式設計概述

參數式設計 ( Parametric Design ) 是以定義參數規則與關連過程作為設計基礎的設計方法。有別於傳統設計者慣於根據特定設計條件，透過經驗直接決定設計的形式與造形，參數式設計的設計過程並非直接在處理「造形」，而是設計背後的「邏輯」，藉由動態地控制影響設計的各项參數因子，與各項參數之間的關聯性，來即時生產、評估、調整設計方案之幾何形式的设计方法。

參數式設計的设计步驟則可分為三個階段：

- 1) 設計者初步了解設計概要與輪廓。
- 2) 依照設計目標設定規則、可變參數與演算法，並建構參數模型。
- 3) 最後設計者在產出中挑選出適合的方案。( 劉育東, 2009 )

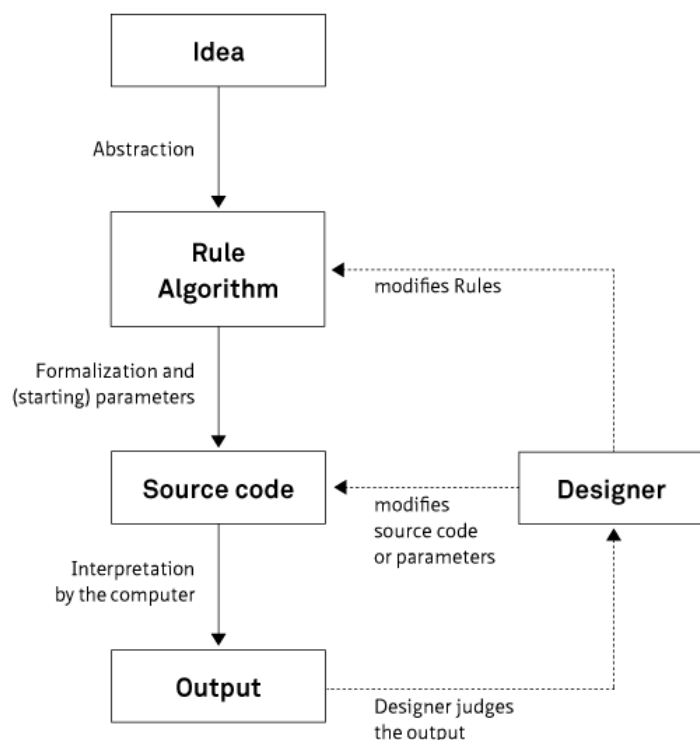


圖 2-14 參數式設計的设计流程 資料來源: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

後現代建築風格的興起，讓建築形式跳脫以往現代主義追求形隨機能下所誕生的簡單、乏味的造形，參數化模型 ( parametric modeling ) 數位工具的出現使得自由形體的造形創作更為便利。自然界所存在的形體幾乎都不符合傳統歐氏幾何的型態，但卻隱含了嚴謹的數學邏輯與秩序，數學家從自然現象中找出的諸多形式規則如本研究前段所提及的費氏數列 ( Fibonacci Number )、Voronoi Diagram、碎形幾何 ( Fractal Geometry ) 等，這些自然模式歷經演化，具有型態的最優化與合理性，若進一步了解這些模式的變因、衍生法則、利用數位模型軟體將這些規則參數化，使其成為型態生成的邏輯、便能透過電腦運算，衍生出各種隱含自然模式的造形，此種利用演算邏輯與參數調整來快速衍生各式各樣型態的設計方法亦稱為衍生式設計 ( Generative Design )。衍生式設計是一種效仿自然，運用非線性演算法創造無窮變化成果的造形手法 ( Celestino Soddu, 1992 )，在現今數位建築裡常被應用在外觀造形或是內部建築結構。

參數化的數位模型 ( Digital Modeling ) 透過數位資料的擷取與分析，能夠快速進行建築物價格與材料的估算，同時關於所設計之建築物的結構計算與建築效能 ( Building Performance ) 也都能夠被評估，更進一步，管線處理與施工排程也都能被自動化的規劃出來 ( 陳珍誠, 2011 )，結合電腦輔助製造工具如 RP 或是 CNC 等，可以快速檢視設計，大大提升了非傳統建築設計的效能與可行性，這種由模型軟體到製造硬體整合運用所產生的數位連續性 ( Digital Continuum ) 逐漸帶動當代數位建築的設計概念到生產方式的全面革新。( 邱浩修, 2010 )

### 2-2-3 數位建築設計案例

隨著數位建築的興盛發展，許多新興建築師紛紛開始投入這塊新興領域，以往看似充滿實驗性的建築概念，近年來已經可以從各大建案的競圖中看到許多造形或結構大大突破傳統建築的前衛構思，也說明了參數化設計的數位構築手法成為現今的主流之一。本節收集並選出幾件近期在世界各地具代表性的參數化設計建築案例作介紹。



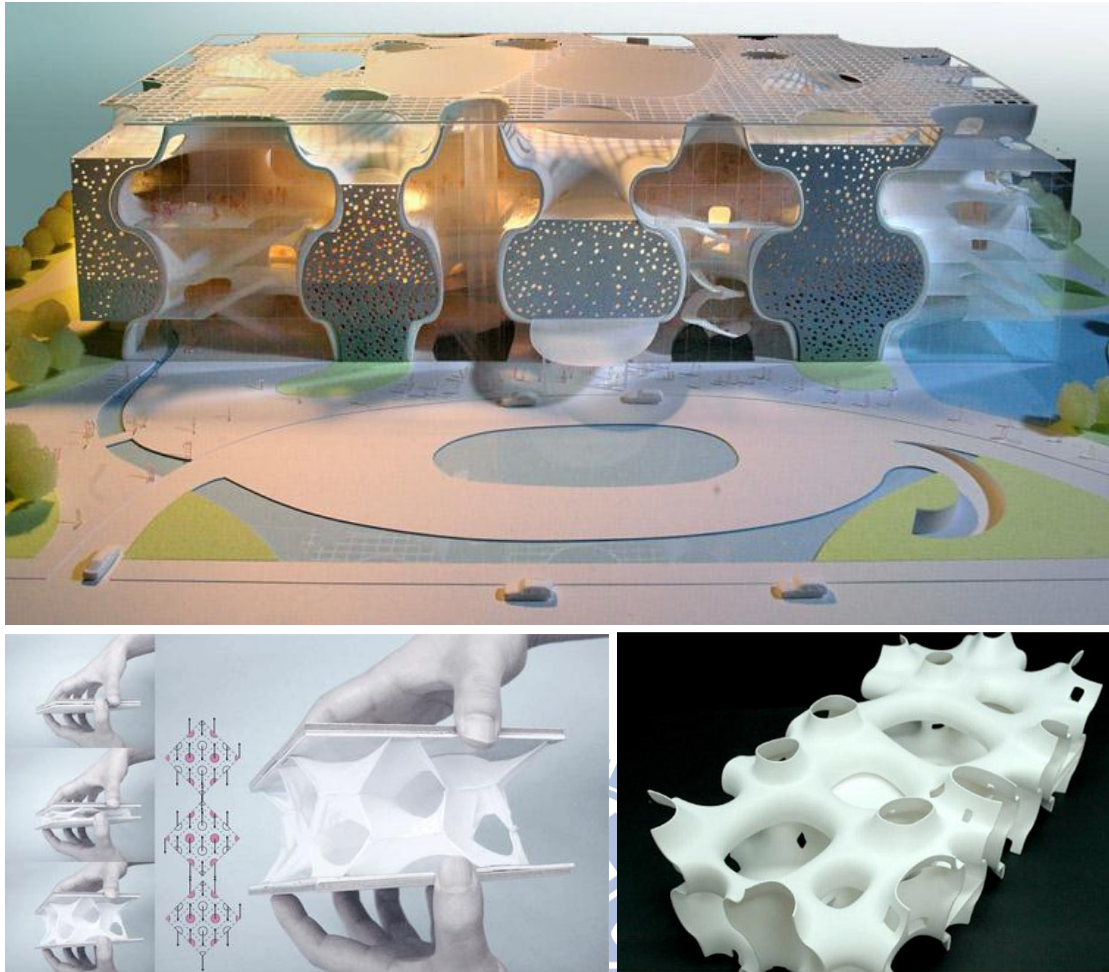


圖 2-15 台中大都會歌劇院 (上) 與衍生式格子系統 (下) 資料來源: [www.tmoh.com.tw](http://www.tmoh.com.tw)

台中大都會歌劇院是 2005 年由伊東豐雄所設計，在國際競圖中獲得首獎的設計案，並於 2009 年開始動工，未來將成為國際性表演藝術的據點，建築內容包含大劇場、中劇場、實驗劇場、購物中心、餐廳、咖啡館等等所構成的複合設施。為滿足眾多的機能性，伊東豐雄提出一種結構：設定兩塊以均質的格子分割的平面，在各平面的格子以市松狀<sup>5</sup>畫出圓，上下兩塊的圓彼此交錯並以具有張力的膜加以連接，兩塊平面之間的空間便會被膜分隔成錯綜的三維空間。伊東豐雄將這種殼狀連續體的系統稱為「衍生式格子系統」(Emerging Grid)，這是可以將硬而無機質的空間轉化為柔軟有機空間的演算設計法，藉由三度空間的曲面不斷連續不斷，使內部空間呈現出連續性的、洞窟般的空間感。

<sup>5</sup> 市松狀是日本布料中一種印染圖騰的專有名詞，意思是指以顏色相互交錯出現所形成的格子狀，如 F1 賽車所使用的指示旗幟即使屬於市松狀的圖樣。

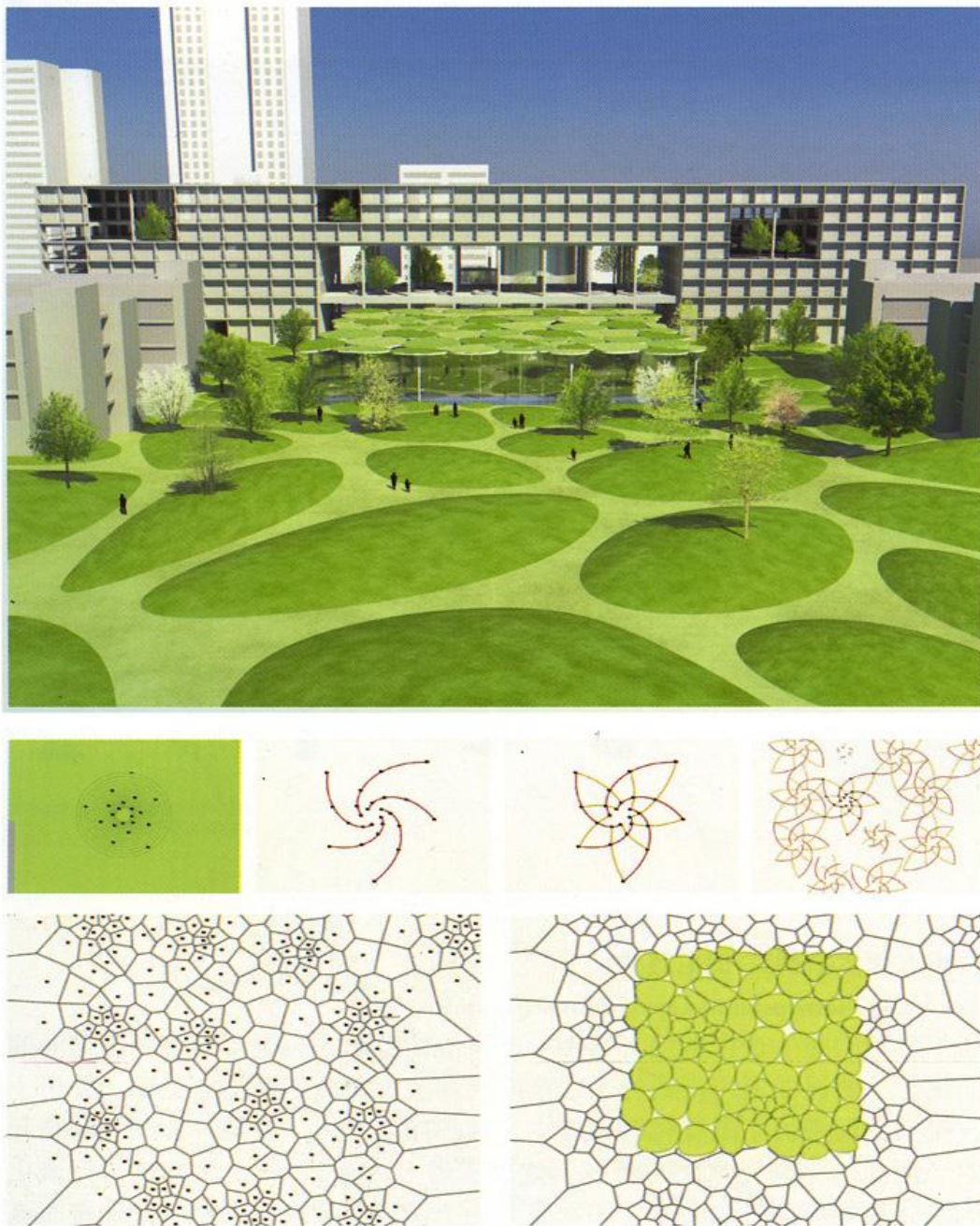


圖 2-16 台灣大學社科院新館 (上) 建案造形設計概念 (下) 資料來源: 新構築, P.180

台灣大學社科院新館是由伊東豐雄於 2006 年提出的設計案。其建築結構來自螺旋幾何的概念，利用一系列規律的螺旋線生成、交叉演化出圓柱的位置，接著再將螺旋結構以 Voronoi Diagram 的演算法產生天花板的型態，並延伸至地坪的設計。運用自然模式為整體結構的主體，使建築得以和自然以及周邊的環境融為一體。

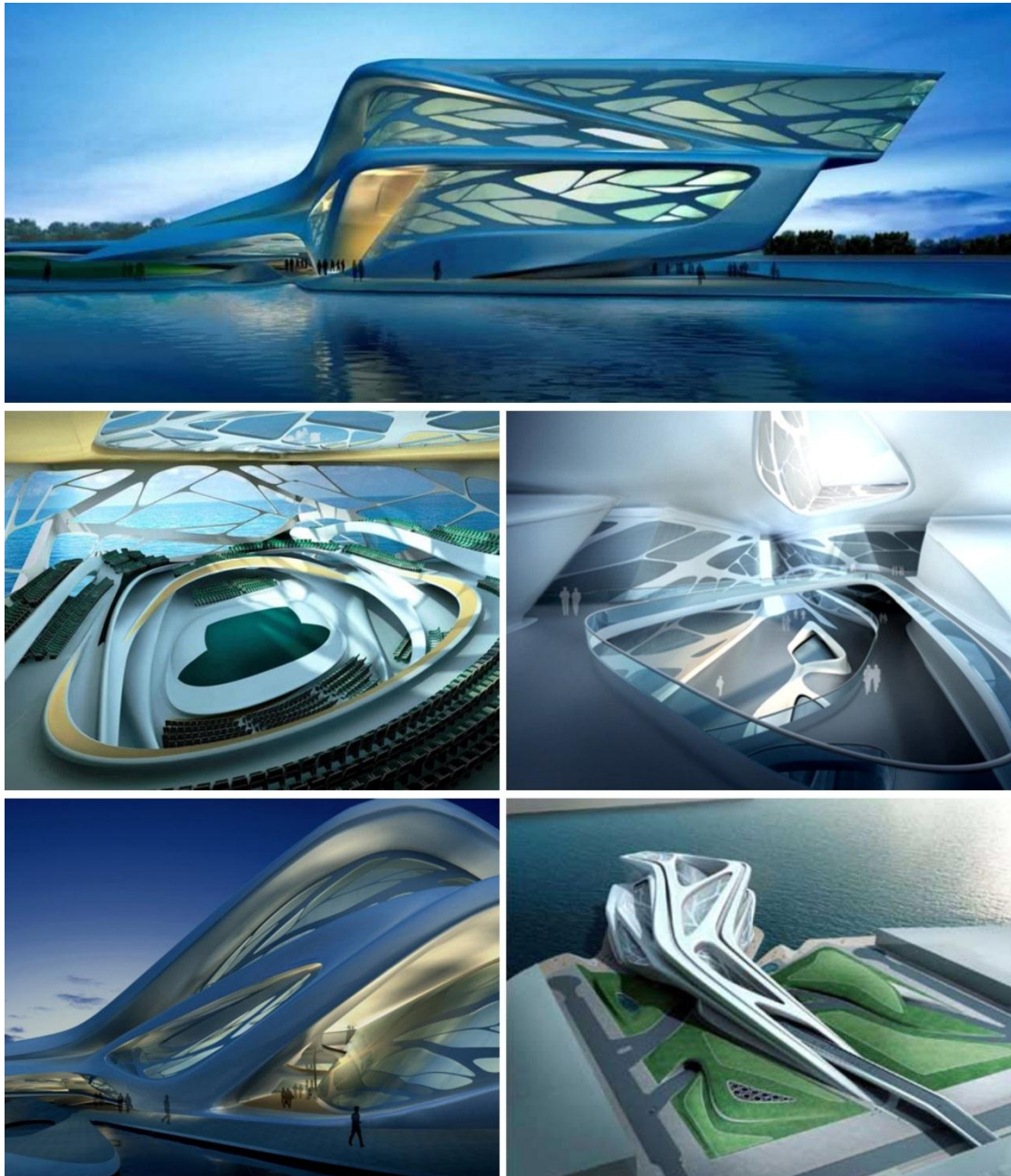


圖 2-17 Abu Dhabi Performing Arts Centre 資料來源: [www.zaha-hadid.com](http://www.zaha-hadid.com)

Abu Dhabi 表演藝術中心是由 Zaha hadid 於 2007 年開始興建的设计案。藝術中心內有五個演出空間，包括音樂大廳、演奏廳、歌劇院、戲劇院和一個可以彈性運用的劇院。Zaha Hadid 以大自然的生成系統作為此表演藝術中心的設計概念，利用樹狀結構演算與生長模擬程序衍生出基本的幾何結構，並依照所需的機能重複堆疊其結構。主要的設計元素採用生物的模式如樹枝、莖、果實、樹葉等型態，並轉化成建築本身的構造設計。

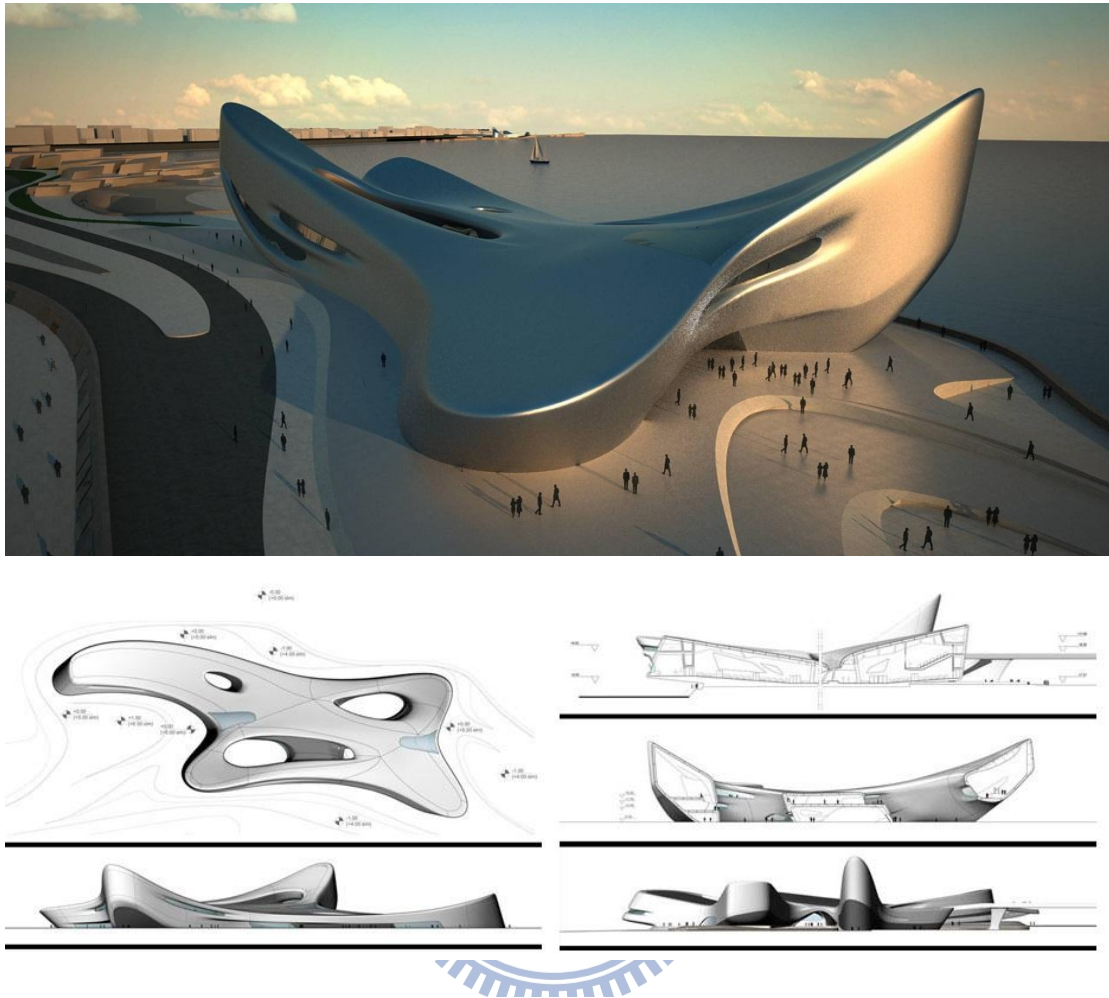


圖 2-18 Regium Waterfront (上) 與其設計圖 (下) 資料來源: [www.zaha-hadid.com](http://www.zaha-hadid.com)

Regium Waterfront 是由 Zaha Hadid 於 2007 年在義大利地中海畔所設計的兩棟式建築，其一為地中海歷史博物館，包含了展覽空間、水族館、圖書館等設施；另一棟建築則是行政辦公室、商店、體育館、電影院、工作室等等的複合式空間。其中博物館的造形靈感來自海星的型態，表面外觀上放射狀的各個空間區塊則分別為各項室內設施，室內動線也順著整體造形在各個空間中彼此連接與流通。

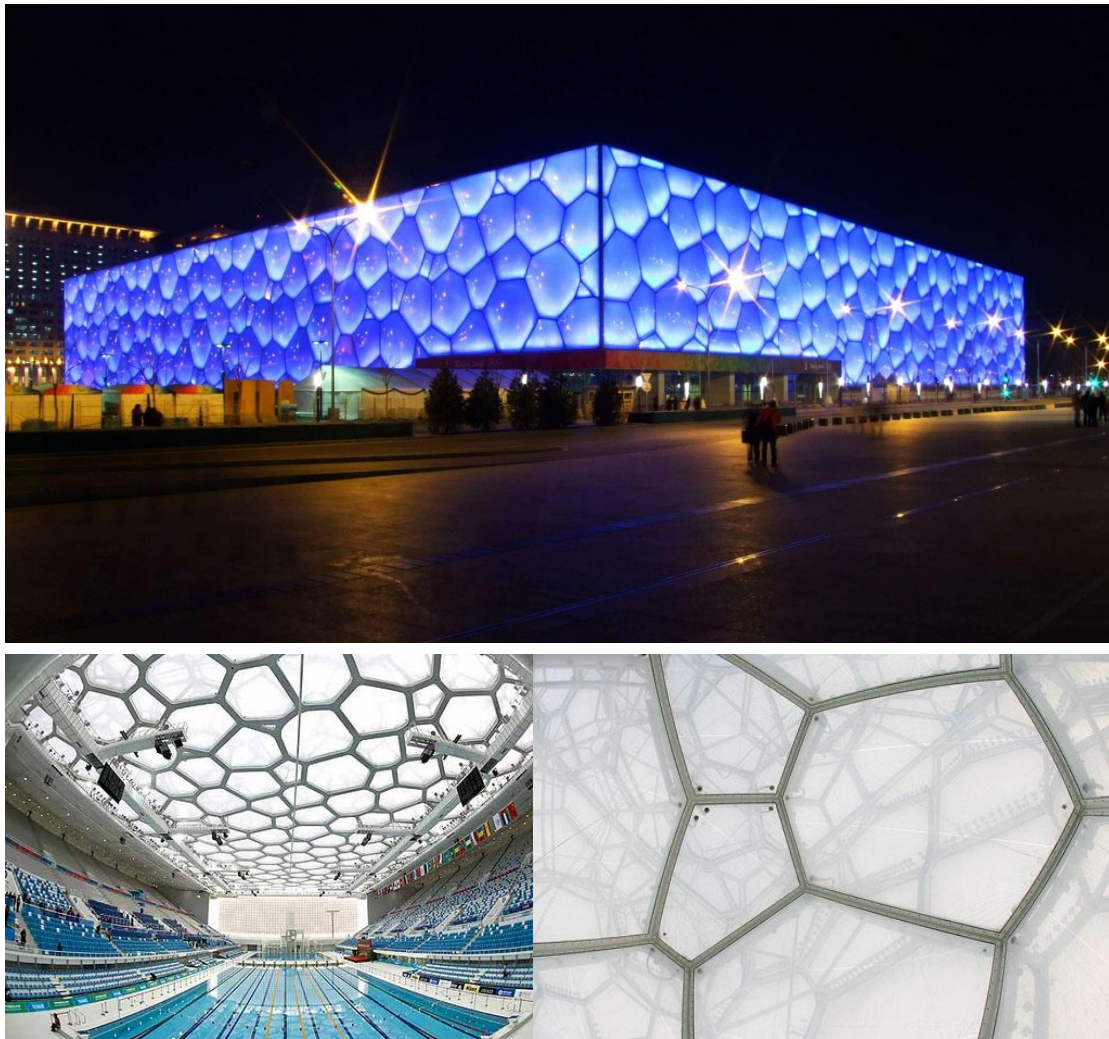


圖 2-19 中國國家游泳中心「水立方」 資料來源: [www.water-cube.com](http://www.water-cube.com)

中國國家游泳中心又名為「水立方」是為北京奧運而新建的體育場，由 PTW Architects, CSCEC, CCDI, Arup 等設計團隊於 2004 年建造。表面看如一個裝滿水的立方體，在外牆上安裝了面積大小不一、鍍點不同的膜結構。當中，共動用了 3000 個膜結構以覆蓋 10 萬平方米的外牆；而膜結構的鍍度不一，可使光折射角度改變，減少場館室溫高而增加用電的情況。水立方表面的膜結構則是採用了從肥皂泡沫自然形成的氣泡型態，亦稱為 Weaire-Phelan structure 的泡沫結構。( wikipedia )

### 2-3 產品設計相關作品

向自然界學習或參考特定要素的仿生設計是產品創新設計時常見的靈感來源與設計手法，在造形設計中也經常可見模仿生物外形的概念，近年來逐漸看到一些設計師也開始應用自然模式或類似的要素來進行設計，本節從近期知名的產品設計師與建築師的作品中選出具自然模式元素的设计單品並各自簡介如下，雖然無法確認其設計過程是否使用參數化的設計手法，但亦可作為與本研究後續的設計創作進行對照與分析的參考資料。



圖 2-20 Voronoi Shelf, Marc Newson, 2007 資料來源: [www.marc-newson.com](http://www.marc-newson.com)

“Voronoi Shelf” 為知名設計師 Marc Newson 於 2007 創作的書架系列，材質採用整塊的白色 Carrera 大理石，限量發行。從產品名字與造形即可知道此作品運用 Voronoi diagram 作為設計元素，將圖形本身的泡泡結構特性作為主要造形與收納物品的隔間。



圖 2-21 Julia Necklace, Marc Newson, 2009 資料來源: [www.marc-newson.com](http://www.marc-newson.com)

“Julia Necklace” 是 Marc Newson 於 2009 年所設計的項鍊，由法國珠寶品牌“ Boucheron” 推出販賣，這個由珠寶工匠耗費 1500 小時製作的昂貴項鍊運用碎形幾何的特性，將鑽石與藍寶石以相同的結構連續自我重複地排列串聯出整體造形。



圖 2-22 Morphogenesis Chaise, Timothy Schreiber, 2008  
資料來源: [www.timothy-schreiber.com](http://www.timothy-schreiber.com)

“Morphogenesis Chaise” 為設計師 Timothy Schreiber 於 2008 年所設計，使用自然界與微生物的結構透過電腦參數化與計算後所設計出的躺椅，整體造形與堅固的結構設計皆完全經由電腦輔助設計所完成，兼具實用與美感。



圖 2-23 MESA Table, Zaha Hadid, 2007 資料來源: [www.zaha-hadid.com](http://www.zaha-hadid.com)

Mesa Table 是由建築師 Zaha Hadid 於 2007 年由其建築案衍生的實驗性創作，她形容此桌子具有其建築中部份空間概念的縮影，整體設計嘗試在兩個水平面（地面、桌面）之間產生結構，Zaha 形容此桌子就像是睡蓮躺在池塘表面上，由看不見的複雜有機結構所支撐著。

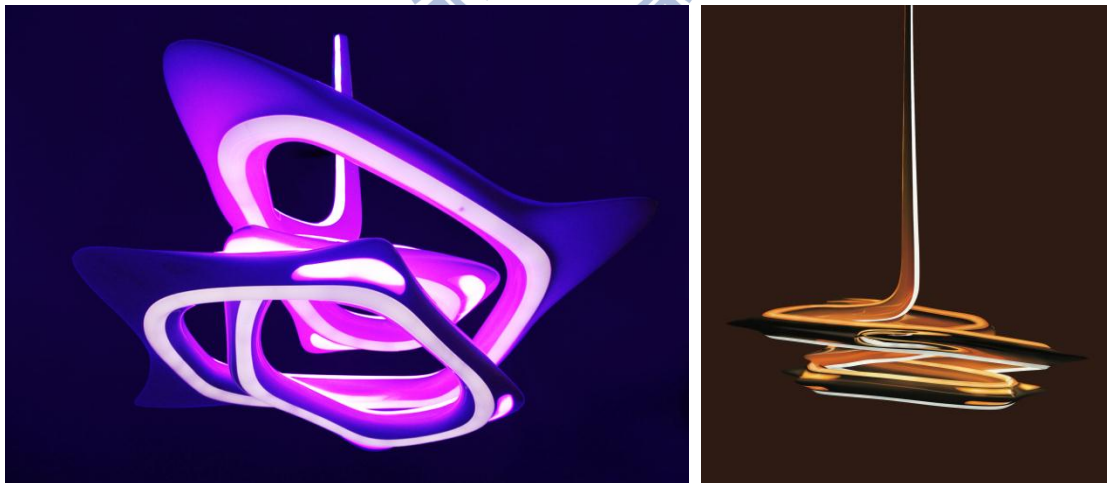


圖 2-24 Vortexx Chandelier, Zaha Hadid, 2005 資料來源: [www.zaha-hadid.com](http://www.zaha-hadid.com)

Vortexx Chandelier 是 Zaha Hadid 於 2005 年的設計。流動性與無縫概念是用來形容這盞 LED 吊燈的最佳詮釋。Zaha Hadid 使用雙螺旋( double helix ) 結構將造型本體的頭尾連接，因此形成一個無盡頭的 LED 光帶，整體造型像是有個離心力使得形體由中心向外突起的星狀，形成具有未來感與流動感的設計。



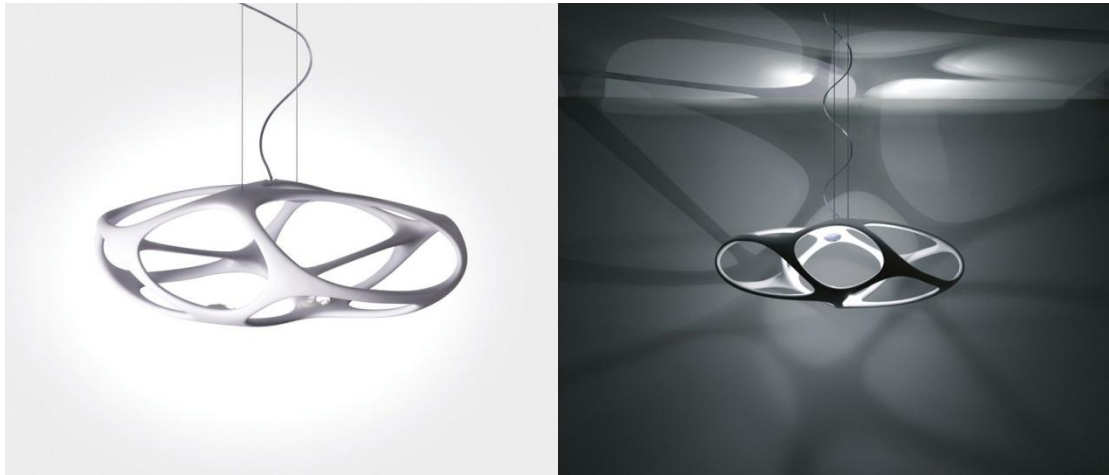


圖 2-25 ANDROMEDA, Ross Lovegrove, 2008

資料來源: [www.rosslovegrove.com](http://www.rosslovegrove.com)

Andromeda 是設計師 Ross Lovegrove 於 2008 完成的設計。他形容此吊燈就像是飄在海底深處的浮游生物。LED 燈的光線穿過燈具結構向外發散到天花板與牆壁上，燈具彷彿漂浮在一個無重力的環境。此吊燈採用硬質 PU 發泡為材質，營造出輕盈的白色水生生物感，為周邊的環境帶來自然感。

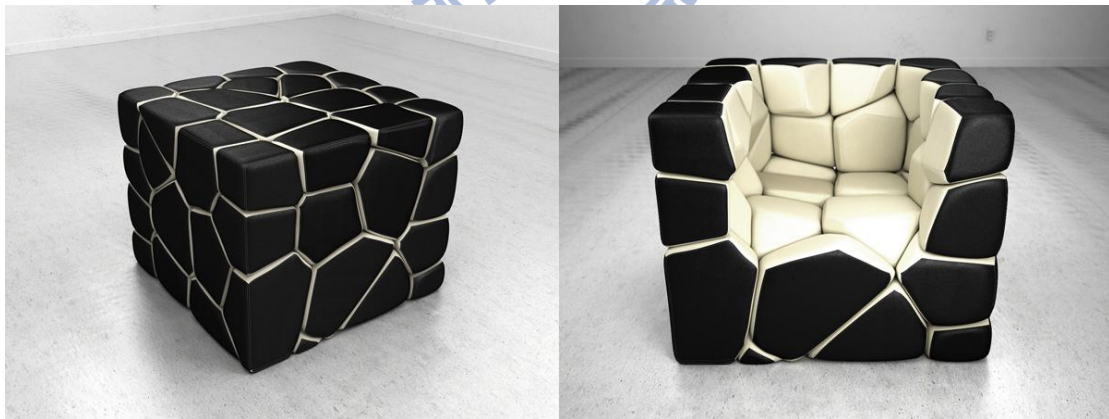


圖 2-26 Vuzzle Chair, Christopher Daniel, 2010

資料來源: [violentvolumes.com](http://violentvolumes.com)

Vuzzle Chair 是由設計師 Christopher Daniel 於 2010 年利用 Voronoi Diagram 結構將一塊長方體切割為 59 塊獨立軟墊的座椅，每塊軟墊內都有強力磁鐵以便互相吸附固定，拿起其中的 13 塊軟墊即變成具有特殊造型的單人沙發，而分離出來的軟墊可作為腳凳或是單獨的小座椅。

## 第三章 參數式設計工具

### 3-1 參數式設計工具概述

### 3-2 參數式軟體評析

### 3-3 參數式軟體 Grasshopper

#### 3-3-1 基本設計概念

#### 3-3-2 設計元件

#### 3-3-3 數據配對與資料結構



## 第三章 參數式設計工具

### 3-1 參數式設計工具概述

近年參數式設計手法的應用逐漸普及，各種以參數式、衍生式設計為概念的 CAD ( Computer-Aided Design ) 軟體也越來越多，然而目前大多數的參數化衍生式設計工具鮮少為單一的獨立軟體，而多是以外掛工具的形式使用於特定的 CAD 平台上。例如由 McNeel 公司開發的參數式軟體 " Grasshopper " 即可安裝在同公司的 Rhinoceros 3D 建模軟體內，可搭配 Rhino 所建構的 3D 模型來設計也能全程在 Grasshopper 內進行設計。" Genoform " 則是以 Solidworks 為平台，透過 Genoform 可以將 Solidworks 內以傳統建模方法所建構的 3D 模型作為基礎並將模型的特徵參數化，以便透過調整各個特徵進而快速產出大量不同型態的設計方案，最新的 Genoform 也可掛在 Grasshopper 以及 Autodesk 的 Inventor 或 Vasari 等軟體內。另外如 " Generative Components " 過去是以 MicroStation 為平台的軟體，現在則是成為獨立的參數化衍生式設計軟體。

目前常見的參數化設計工具中，一部分是以產生表面陣列結構為主的軟體，透過軟體的操作可以將特定的 3D 網格模型依照特定的模式衍生在特定型態的表面上，例如 " ParaCloud GEM " 以及 Rhino 的 " Paneling Tools " 外掛程式即是此種類型的軟體，其特色是可以簡單快速在表面生成複雜的衍生式模型，但在型態或設計的自由度上則有所侷限。

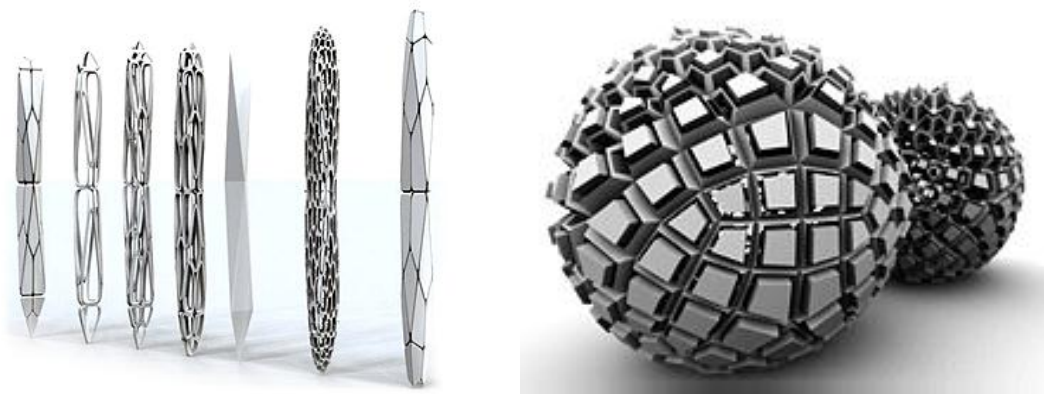


圖 3-1 Paracloud GEM 所建構之 3D 模型 圖片來源: www.detekt.com.tw

另外一種形式的參數化設計工具則是利用腳本語言的編寫 ( Scripting ) · 依照給予的參數與限制來進行設計創作 · 透過編寫好的參數化模型可以輕鬆產出複雜的型態 · Generative Components 與 Rhino 的 Rhinoscripts 及 Grasshopper 即是此類型的參數式軟體 · 大部分此類型的設計工具需具備一定的 Scripting 或 Programming 的知識與能力才能較容易上手 · 但也因為其較高的自由度 · 使得這些軟體在設計時能發揮更大的能力 ·

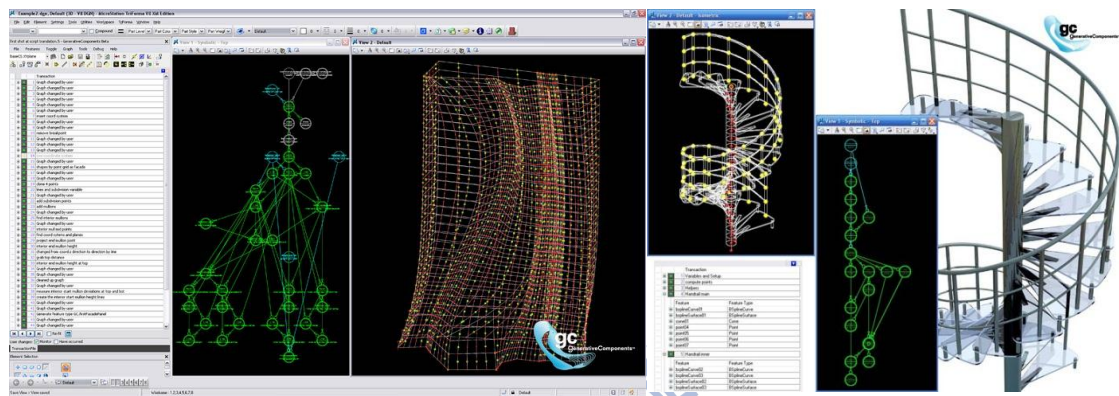


圖 3-2 Generative Components 軟體介面 圖片來源: www.bentley.com

### 3-2 參數式軟體評析

表 3-1 是目前常見的各種參數式設計軟體的綜合評析 · 從圖表中可以看到 Generative Components 與 Grasshopper 這兩套參數化工具都具可透過編寫腳本來進行設計 · 並且有大量的外掛插件可以增加功能或強化其能力 · 同時目前它們都是免費軟體 · 使得這兩套軟體成為目前較為主流的兩套設計工具 ·

兩者互相比較的話 · Generative Components 整體較針對建築領域部分進行設計 · 而 Grasshopper 則較為廣泛運用 · Grasshopper 的腳本語言也不像其它參數化工具是經由語言式的編寫 · 而是經過系統化、視覺化的設計 · 簡化設計過程 · 讓不具備程式語言編寫能力的使用者也能快速地上手 · 讓許多初學者或進階設計師嘗試接觸這套軟體 · Rhino 本身又具備另一參數式工具 Rhinoscripts ·

使其同時擁有視覺式與語言式的設計系統，也因此 Rhino 是目前最主要，也較多人在使用的參數化設計平台。總結以上的比較與歸納，本創作研究選擇 Rhino 的 Grasshopper 作為主要的設計工具，並在下節介紹其架構與操作概念。

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

表 3-1 常見參數式設計工具之分析 圖片來源: Mark Loomis

### 3-3 參數式軟體 Grasshopper

Grasshopper 是由 McNeel 公司於 2007 年起開發的圖形化參數化設計工具，以外掛形式安裝於同公司出品的 3D 建模軟體 Rhinoceros。Grasshopper 目前是處於開發階段的軟體 (Work in progress)，版號更新時經常會新增與調整不少功能。

Grasshopper 主要應用於建立衍生運算法，透過參數與各項運算器的連結設計來建立 3D 幾何模型，程序中的演算法不僅止於數字的使用，文字、影音、觸控應用等形式皆能作為運算或參數的形式。由於建築設計為目前參數式衍生設計法的最主要領域，建築師與相關的學習者為目前 Grasshopper 的主要使用對象，不過其逐漸改良、已趨於完善的圖形化使用介面與操作方式讓其它領域的使用者也開始注意此軟體並作為投入參數化設計的使用工具。



圖 3-3 Grasshopper3D logo

#### 3-3-1 基本設計概念

Grasshopper 是圖形化的演算式編輯器，在 Rhino 裡我們用 2D 或 3D 的幾何圖形來建構模型，而 Grasshopper 則是編輯這些幾何圖形背後的邏輯。在本節裡研究者引用 WooJae Sung 所編寫之教材裡的舉例來說明 Grasshopper 與一般 3D 建模軟體設計過程的差異，來幫助理解 Grasshopper 參數化設計的建模概念。

以往如果我們想蓋出一顆蘋果，以 Rhino 的建模方式為例，首先需要畫出中心線，然後畫出蘋果一半的外輪廓線，接著使用旋轉成形 ( Revolve ) 指令，依序指定中心線為軸、蘋果輪廓為旋轉曲線，然後設定旋轉的起始角度與終點角度，按下確定，即可得到一個蘋果的 3D 模型。整個建構流程如圖 3-4。

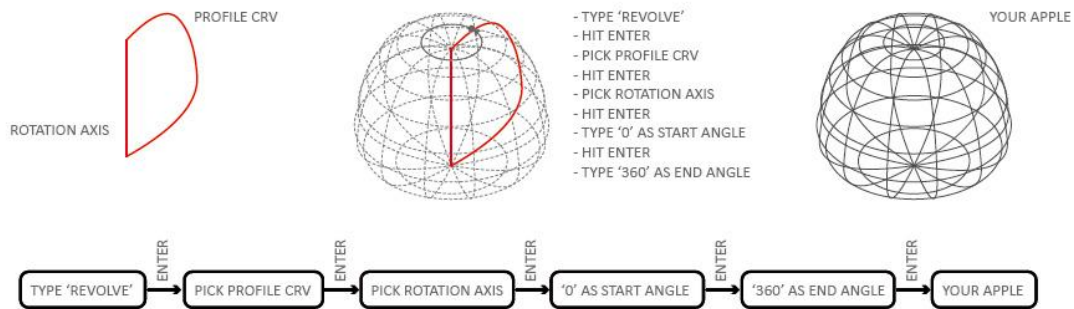


圖 3-4 在 Rhino 中建立蘋果模型的設計流程

圖片來源: WooJae Sung

假設我們需要建構一萬個蘋果，其中五千個是完整的蘋果 ( 360 度 )，三千個一半 ( 180 度 ) 的蘋果，兩千個四分之一 ( 90 度 ) 的蘋果，並將這一萬個蘋果隨機不規則的放置在桌面上的一萬個位置。在 Rhino 裡面，設計者只能各自將不同大小的蘋果分別建好，然後慢慢地用滑鼠將蘋果亂數排列在桌面上。一旦遇到類似這種複雜又大量的資訊處理案例，如果還是在 Rhino 裡作業，只能耗費時間與精力慢慢地完成。

然而在 Grasshopper 裡，設計者並不需要實際建立出蘋果模型，只要將建立蘋果的邏輯編輯好，即可透過蘋果的參數的改變，如旋轉成型的起始角度與終點角度，來快速改變蘋果的大小，也可以經由給予不同的中心線與蘋果輪廓來改變蘋果的形狀。設計者亦可以同時加入多組不同的參數，例如各種相異的旋轉角度來產出各種不同大小的蘋果，加入多組不同的輪廓來建立不同形狀的蘋果。如在後續加入隨機排列相關的運算器，即可輕鬆又快速的將一萬顆不同的蘋果打亂並隨機擺在桌面上，設計者可以有效率的同時管理與變動所有蘋果。圖 3-5 即為此案例在 Grasshopper 建構運算邏輯的實際呈現。

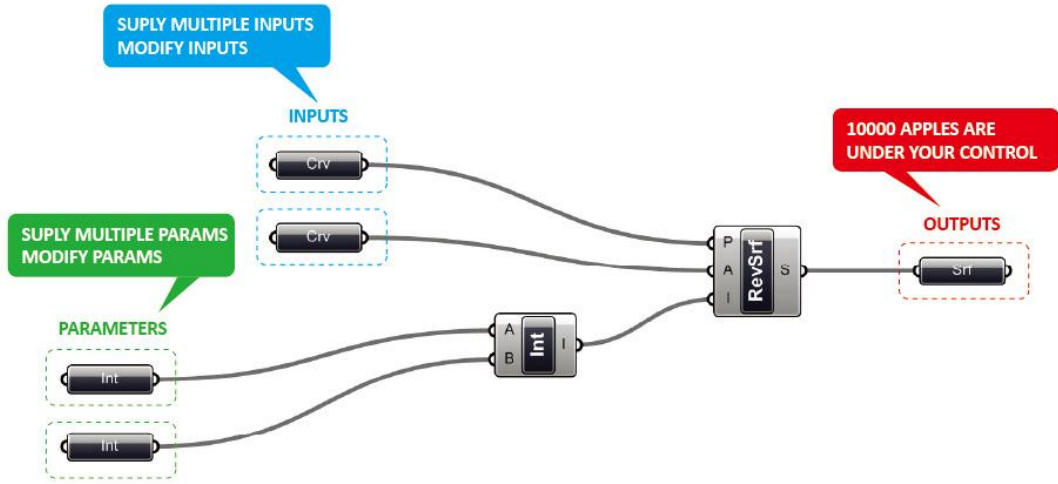


圖 3-5 在 Grasshopper 中建立蘋果模型的邏輯架構

圖片來源: WooJae Sung

如圖 3-6 所示，可以清楚地理解 Grasshopper 與 Rhino 建模方式的差異，中心線、輪廓線、旋轉成型的角度等建模的要素在 Grasshopper 裡都被視為參數，旋轉成型的動作則是一個運算器，整個邏輯結構就像一張交錯的流程圖般，只要將參數做改變，最後的產出也會隨即跟著改變，設計者只要依此將所需參數與運算器連接好，即可創作大量或複雜的設計。

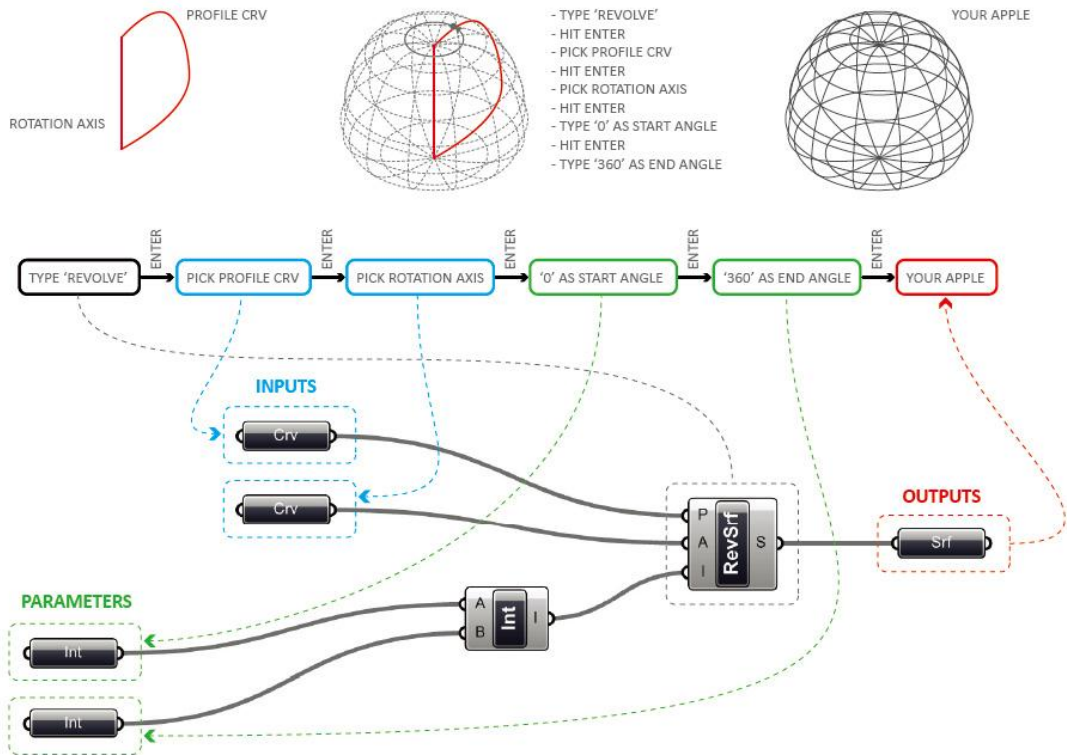


圖 3-6 Rhino 與 Grasshopper 建構模型的差異與對應關係

圖片來源: WooJae Sung



### 3-3-2 設計元件

#### (一) 參數與運算器元件

Grasshopper 內的元件( Objects )最主要的兩大類型: 參數( Parameters ) 與運算器 ( Components )。參數元件可以儲存數據與各項訊息如點線面或幾何模型等，而運算器則是包含了處理訊息的動作。

如圖 3-7 所列出的例子，參數元件有可以儲存幾何資訊的類型如點 ( Pt ) 或曲線 ( Crv ) 等，該參數元件所連結的幾何圖形可以是 Grasshopper 內所建立的圖形也可以連結 Rhino 裡的特定幾何模型，也有可以儲存數字 ( Num ) 或顏色 ( Col ) 等非幾何類型的參數元件，而可調整式的參數元件如 Number Slider 則是很常用的類型，透過此類元件可以快速地調整設定範圍內的參數。運算器元件則有定義幾何圖形的類型如線條 ( Ln )、平面 ( Pl ) 等，也有定義特定動作的運算器如鏡射 ( Mirror ) 和偏移 ( Offset ) 等，這些運算器可以與特定的參數元件做連結，依照參數元件所儲存的資訊來完成該運算器的動作；另外也有如圓周率 ( Pi ) 和黃金比例 ( Phi ) 這類代表特定數值或特定運算法的運算器。

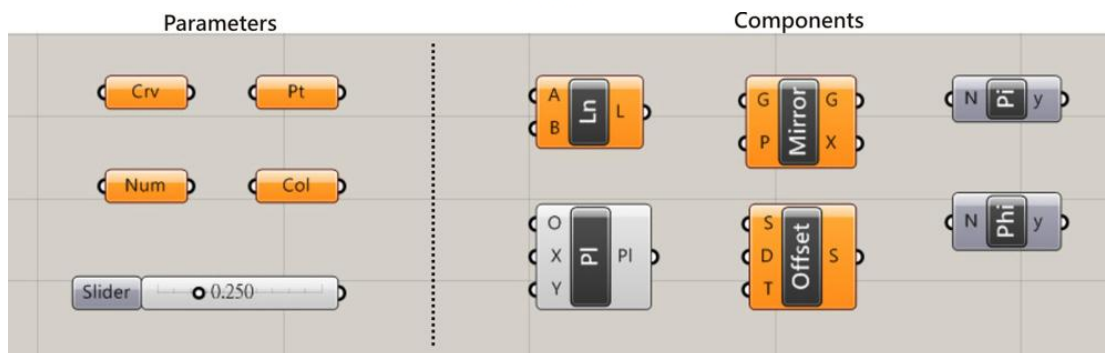


圖 3-7 各種參數元件與運算器元件

運算器元件通常都需要參數的數據才能進行運作，所以大部分的運算器元件的結構都具有三個部分如圖 3-8 所示：

- ( A ) 輸入端 ( Input Grips ) : 連結參數或其他運算器將其資訊輸入此運算器。
- ( B ) 名稱 ( Name ) : 本運算器的名稱。
- ( C ) 輸出端 ( Output Grips ) : 經運算器處理過的數據由此輸出至其它元件。

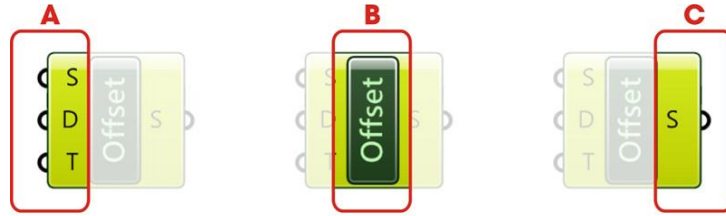


圖 3-8 運算器元件的結構

運算器在不同的狀態則會顯示不同的顏色以方便設計者在分辨其狀況，如圖 3-9 所示，一個未輸入任何數據的運算器會顯示橘色，目前選取中的運算器則是以綠色表示，具有數據輸入並處於正常狀態的運算器則是淺灰色，當輸入之數據具有錯誤時，該運算器則會以紅色表示。

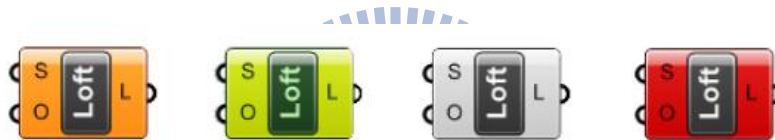


圖 3-9 運算器在不同狀態下的顏色

## (二) 參數與運算器的連結

Grasshopper 基本的設計方式是依照設計邏輯將各元件連結來建立幾何模型。圖 3-10 即是在 Grasshopper 中建立一條直線的方式，在工作區置入兩個點 ( Pt ) 的參數元件，並在 Rhino 工作區中 ( 圖 3-10 右 ) 各自定義兩點的位置，接著置入直線 ( Ln ) 的運算器元件，並將兩點參數元件連結至直線運算器的兩個輸入端，即建立起 A 點與 B 點之間的直線，並呈現在 Rhino 工作區中。

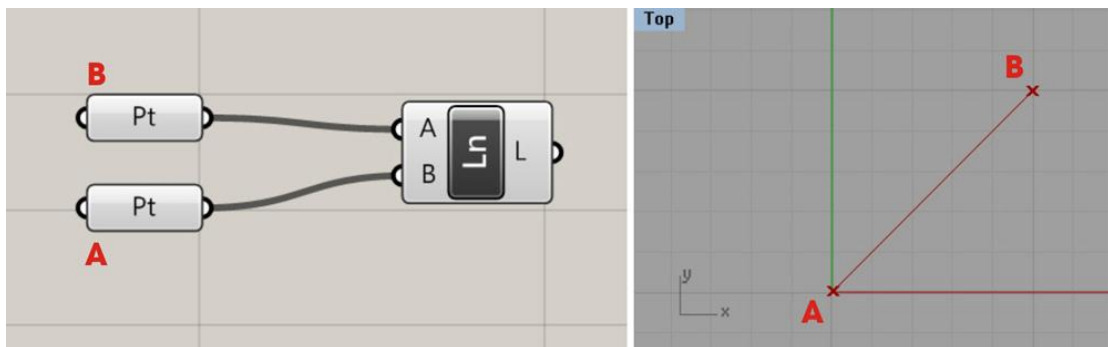


圖 3-10 示範以 Grasshopper 連結元件以建構直線的設計方式

圖 3-11 則是建立平面的方式之一，" Srf4pt " 是以四個點定義平面的運算器，如圖中所示，輸入三個已定義的點參數元件，即可透過運算器建立由 A B C 三點所組成的三角平面。

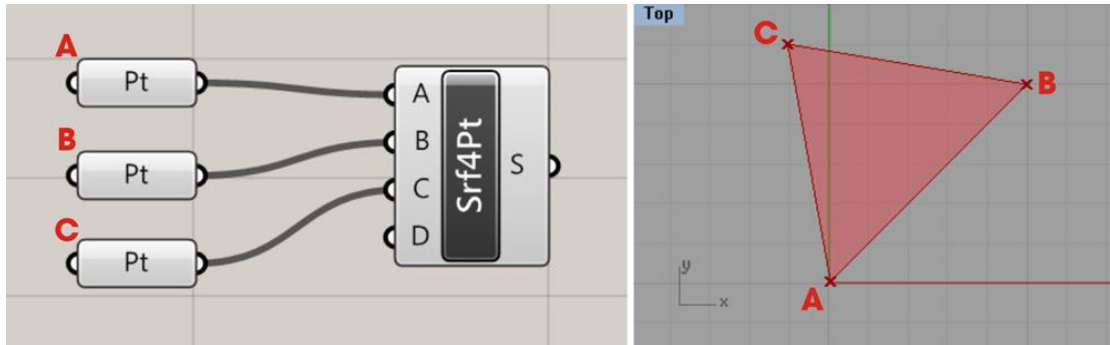


圖 3-11 示範以 Grasshopper 建立面的方式

由圖 3-12 的三角平面繼續延伸，想以此平面建立三角柱狀模型，則可使用擠出平面 ( extrude ) 的運算器 ( 圖 3-12 之 A )，接著給予處理此動作的方向，放入 Z 軸向量的運算器 ( 圖 3-12 之 B )，並加入一個調整參數元件 ( 圖 3-12 之 C )，各自運算器元件連結後，即可藉由調整 Slider 式的參數元件來控制三角平面在 Z 軸方向的擠出距離。

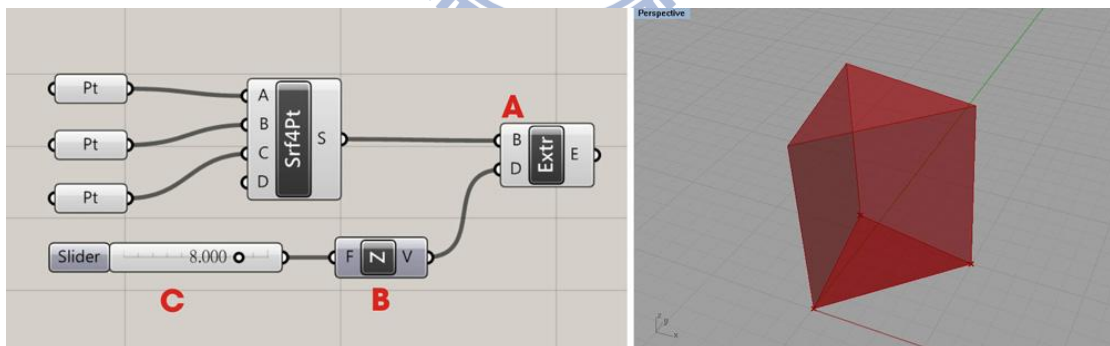


圖 3-12 示範以 Grasshopper 建立三角柱體的方式

藉由以上建立線、面、體的範例，可以理解 Grasshopper 基本的建構方式是傳統 3D 建模步驟拆解、重組並有系統地重新組織的概念，將建模各個動作、數據設定都轉變為視覺化的單一元件，只要熟悉並掌握步驟間的彼此連結關係，即能快速掌握 Grasshopper 的設計方式。

### 3-3-3 數據配對與資料結構

#### (1) 數據配對 Data Matching

前文已提及，Grasshopper 的設計概念主要在於參數元件與運算器之間數據或資料 (Data) 的連結，前者儲存數據，而後者負責執行並處理數據，當運算器所輸入的參數數據具有不同規模時，數據配對 (Data Matching) 的問題便會產生，如圖 3-13 的例子，當兩個點參數的數據資料並無法完全匹配時，設計者就必須決定兩組參數之前連結的關係，Grasshopper 提供了三種不同的配對法來處理此類型的問題，在運算器按下右鍵所跳出的選單裡可以看到 " Shortest list "，" Longest list "、" Cross reference " 的數據配對規則。

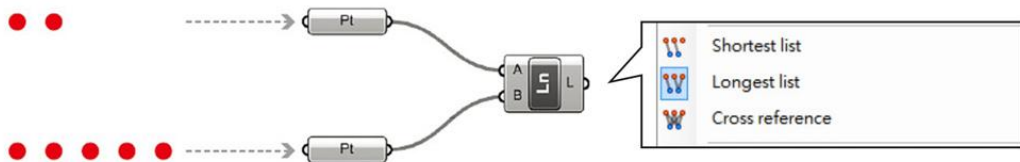


圖 3-13 數據配對 (Data Matching)

如圖 3-14 所示，Shortest list 的配對規則中，運算器會將數據一對一的進行配對，直到其中數據較少的參數組以無資料可以配對為止；Longest list 則是以數據最多的參數組為主來進行配對，直到所有的資料都配對完畢，Longest list 的配對模式也是 Grasshopper 內默認的配對規則；而 Cross reference 則會將所有可能的連結全部配對。

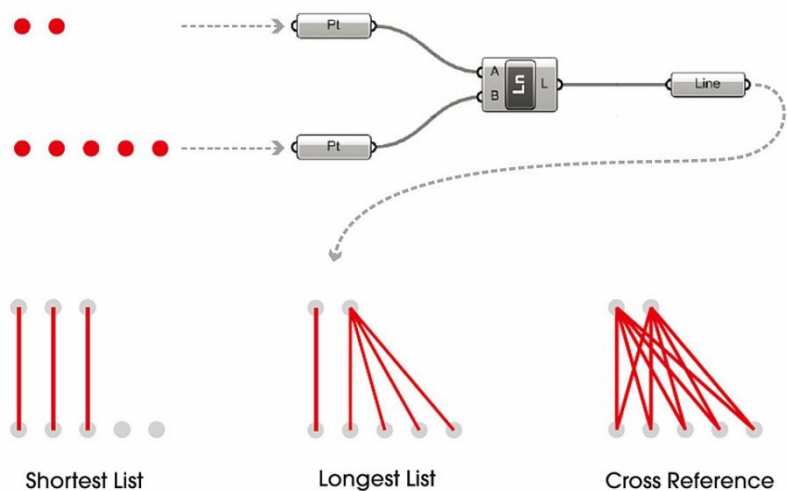


圖 3-14 數據配對 (Data matching) 的三種規則

不同的數據配對方式，會使相同的參數與運算器得到不一樣的輸出結果，理解 Grasshopper 的數據配對規則，能讓設計者在進行建構模型時更為得心應手。以圖 3-15 為例，在 X 向量建立一排點陣列，由於只有一組數列輸入至點運算器的 X 軸，所以使用 Longest list 或 Cross reference 並不會有差異。若是將數列同時輸入至 X 軸與 Y 軸，則會開始有所差異，如圖 3-16，以 Longest list 配對規則處理數據，則所有點會依著 XY 向量的角度排列，Cross reference 的狀態下則會把所有參數交互連結而派列出方形的點陣列。相同的概念套用在輸入三個軸向至運算器時，則會形成如圖 3-17 中兩種不同排列結果，因此只要搭配好參數的連結與彼此配對的關係，較為複雜又大量的幾何型態如圖 3-18 的圓球立方體陣列也能快速的建立出來。

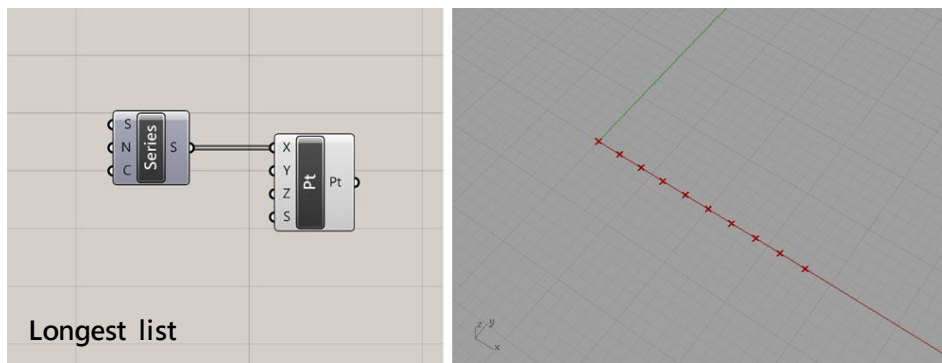


圖 3-15 Longest list 規則的點陣列

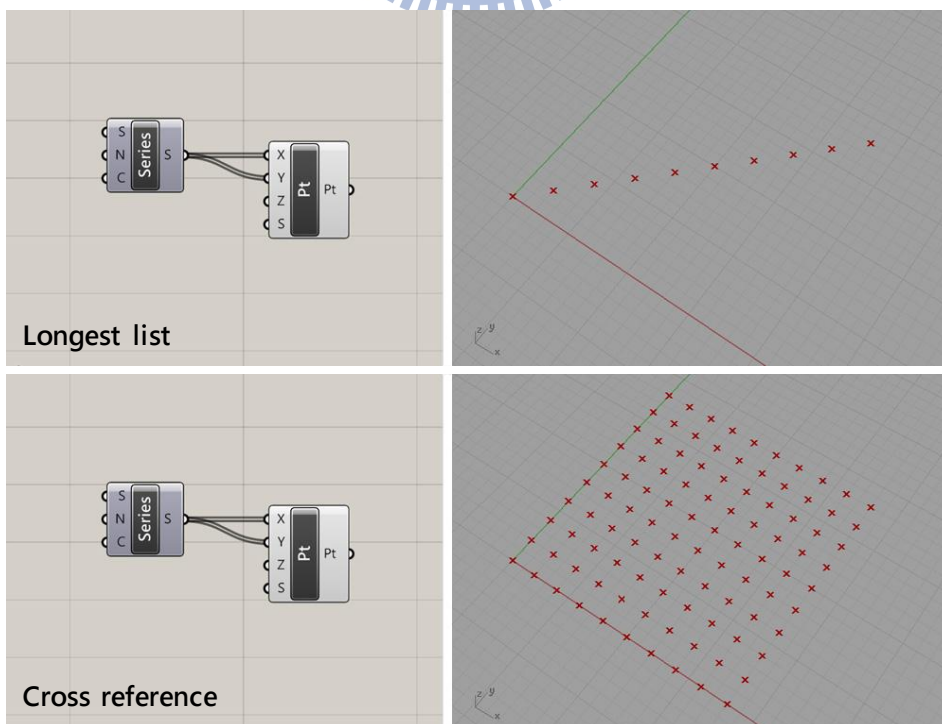


圖 3-16 XY 向量點陣列的兩種配對規則的差異

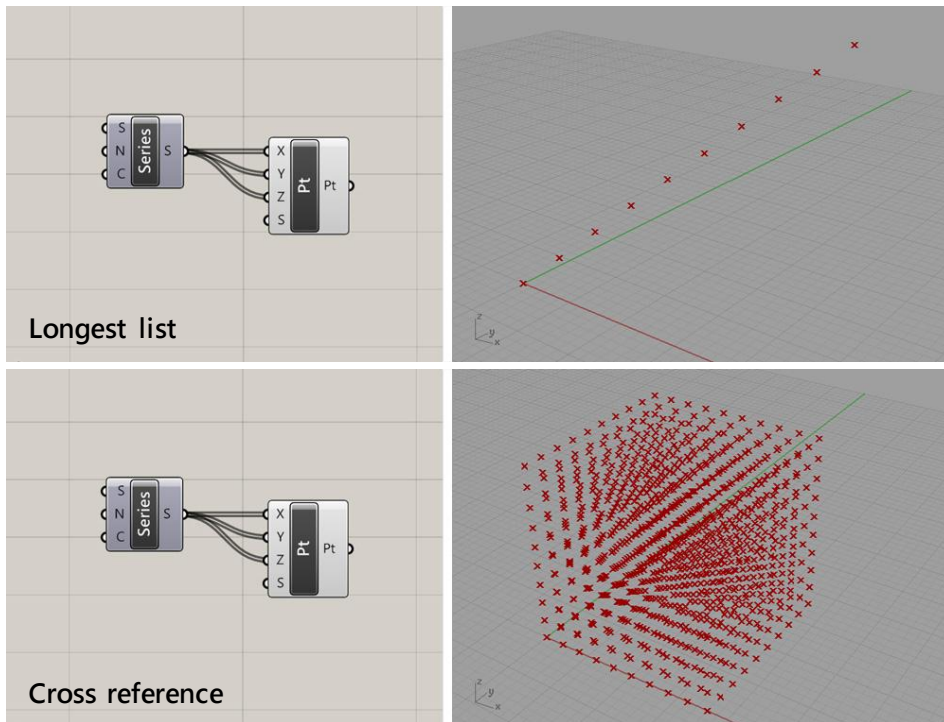


圖 3-17 XYZ 三向量點陣列的兩種配對規則的差異

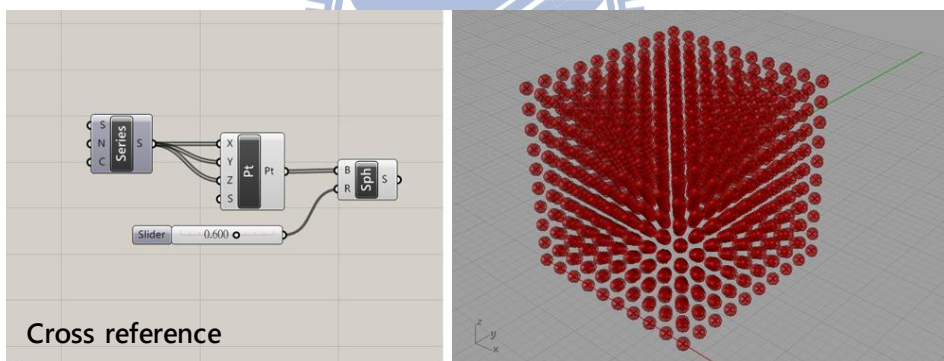


圖 3-18 利用 Grasshopper 建立圓球的立方體陣列

( 2 ) 資料結構 Data Tree

在上節數據配對的概念中，可以得知單一參數元件中允許存在多數的數據資料，整個參數化設計方法將會使得整個設計流程與動作包含著大量的數據，於是必須使用一套關聯性的邏輯系統來管理所有資料，以識別每一個不同的數據，在 Grasshopper 裡存在著分層式的資料管理結構，稱為樹狀資料 ( Data Tree )。

樹狀結構 ( Tree ) 是由複數個樹枝 ( Branches ) 所組成，較複雜的資料結構中，樹枝還能有一層的子分枝，而樹枝的最後層次則存在著參數列 ( Lists )。以圖 3-19 的曲面為例，該曲面是以四條分別具有三個節點的曲線由放樣 ( Loft ) 所建立，利用參數檢視元件 ( Param Viewer ) 即可顯示其樹狀資料結構，可以清楚看出此曲面為具有四個分枝的樹狀結構。

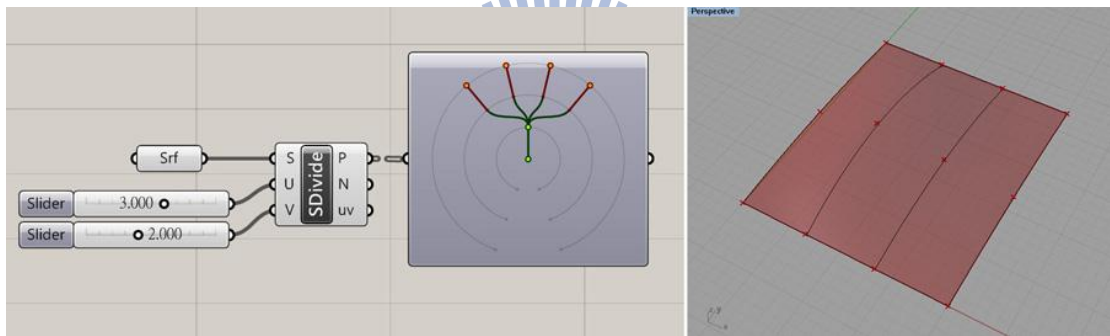


圖 3-19 曲面的樹狀資料結構

在樹枝的最終層次所存在的參數列並不具有分支而是單維數列，而參數列中的每個單一參數各自具有其編號。如圖 3-20 的示意圖，此曲面的樹狀結構具有四個參數列 ( Lists )，而每個參數列中具有三個物件 ( Item )，即是建立此曲面的四條曲線上的每個控制節點的參數，並在各自的參數列中依序編號為 0, 1, 2。

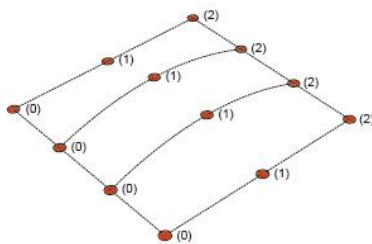
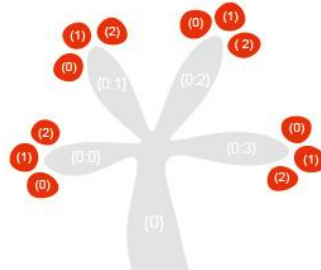


圖 3-20 曲面的樹狀資料結構示意圖



圖片來源: WooJae Sung

如圖 3-21 所示，在 Grasshopper 中，用來建構曲面的四條曲線就像樹枝的四個分支，可以由{0;0}、{0;1}、{0;2}、{0;3} 來表示，在括號內由分號所區隔的數字代表了每一個參數列，這四個分支的參數列則可形成曲面，曲面本身以{0}來表示，數據的表示法清楚地說明了樹狀資料的概念，分號顯示了數據的層次結構，當幾何圖形更為龐大複雜，數據有更多樹狀層次結構時，在括號內會以更多分號與數字來表示。

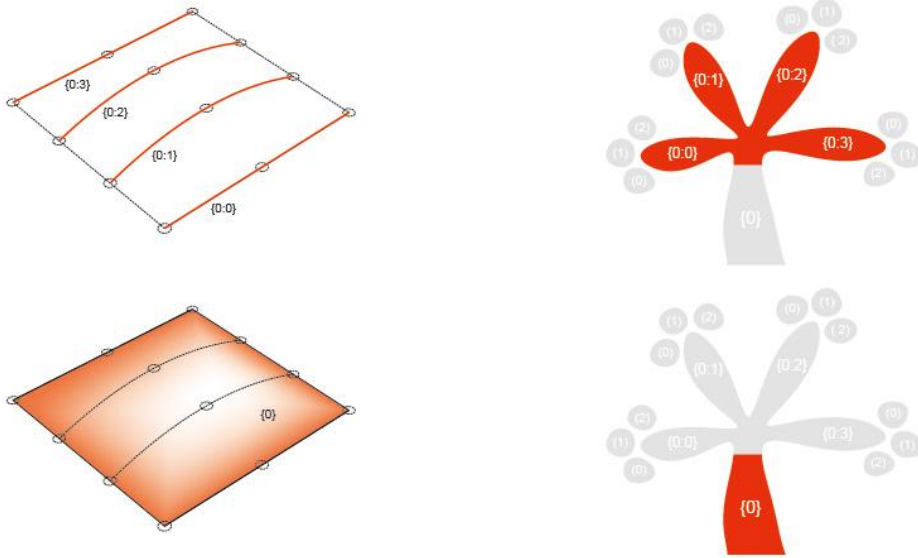


圖 3-21 曲面的樹狀資料結構示意圖 圖片來源: WooJae Sung

圖 3-22 即是此例樹狀資料結構的表示圖，在主要的樹枝 ( Branch ) {0}上，有四個分枝 ( sub branches )，每根樹枝具有一個參數列 ( Lists )，共四個參數列，參數列中共有 12 個數據資料 ( Items )。所有分層樹枝中並不存在數據，而是分類並管理處於最頂層具有數據資料的參數列的系統，以利於設計者在設計過程能夠有效的管理幾何模型。

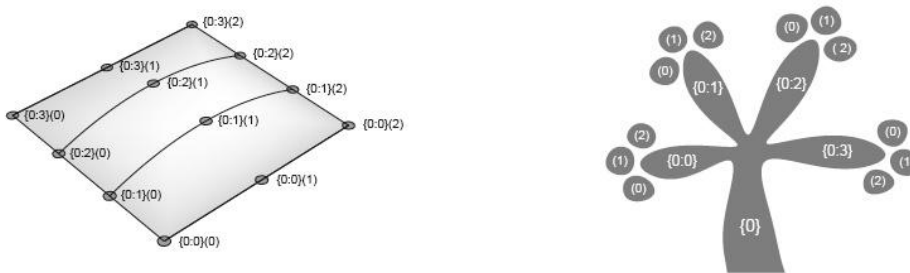


圖 3-22 曲面的樹狀資料結構示意圖 圖片來源: WooJae Sung



## 第四章 設計創作

### 4-1 設計測試與實驗

- 4-1-1 Voronoi diagram 參數模型
- 4-1-2 Voronoi diagram 曲面與實體結構
- 4-1-3 複雜曲面的投影測試
- 4-1-4 3D Voronoi
- 4-1-5 小結



### 4-2 設計創作之一

- 4-2-1 設計構思
- 4-2-2 設計發展
- 4-2-3 作品呈現

### 4-3 設計創作之二

- 4-3-1 設計構思
- 4-3-2 設計發展
- 4-3-3 作品呈現

### 4-4 設計創作之三

- 4-4-1 設計構思
- 4-4-2 設計發展
- 4-4-3 作品呈現

## 第四章 設計創作

本研究創作之目的在於探討參數式設計手法應用於產品設計的可能性，然而參數式設計屬於持續發展中的新興概念，相關輔助工具亦在持續改良與更新，目前在設計相關領域中，發展並廣泛利用參數式設計手法的數位建築領域依然為此概念的主要使用族群，因此在目前參數式設計概念的相關文獻中，多數為近年的建築建案，較少有符合產品設計範疇的資料可供參考，在學界與業界中，目前也很少以參數化設計工具作為主要創作工具的設計案例。

於是本研究在設計創作階段，前期主要以實驗性質為主，嘗試使用參數式設計工具 Grasshopper 建立以自然模式為設計元素的衍生式參數化模型，實驗並探討利用參數化工具作為產品設計平台的可行性。第二階段則運用實驗階段的成果，開始進行參數化的設計創作，產出設計作品數件，以便實際了解利用參數式設計工具作為產品設計的主要創作平台的可行性與不足之處，以作為日後改善並深入應用的參考。

參數式設計其開放式的設計操作平台使得建構模型的手法也非常多元，設計者可以套用傳統建模方式將各種建立幾何造型的動作如堆積木般的方式建構，亦可加入適當的演算法作為輔助以產生出各種造形，此衍生式設計手法更是參數式設計的最大特色與魅力所在，本研究則以常被廣泛使用的自然界模式作此創作實驗的設計主軸，嘗試產出具有自然元素的設計作品，於是本研究創作之設計作品的產出類型，以是否能夠明顯的表達幾何型態為主要考量，一般數位 3C 產品、家電等產品通常受限於內部機構與配置，如將自然模式應用於表面外觀恐怕會變成表面樣式的再設計，因此研究者決定以桌、椅、燈具等較易表現立體造形的單品為設計實驗目標。

## 4-1 設計測試與實驗

在本研究所整理的文獻中，歸納出幾種較為常見的自然模式，其中黃金比例與費式數列分別為特定的比例值與數列，單就數字本身並無法直接定義造形，一般用於輔助幾何型態的變化或控制；碎形則是定義自然界大多數複雜型態的幾何概念；而 Voronoi 圖形則是具有固定邏輯的幾何結構圖，使用其幾何定義即可衍生出明確的圖形，並且依照其定義點的配置，除了 2D 的平面圖形外亦可建構 3D 的 Voronoi 結構，綜合比較的結果下，研究者認為 Voronoi 圖形的結構特性十分適合運用在產品造形創作，文獻資料中亦有一些應用實例，於是在初探參數式設計的實驗階段，本研究以嘗試以 Voronoi 圖形作為主要的造形演算法，進行參數式建模的演練。

### 4-1-1 Voronoi diagram 參數模型



Voronoi 圖形主要是由控制點的數量與相對位置來決定幾何結構，只要輸入兩個點以上的點數據於 Voronoi 運算器即可產出圖形。於是研究者建構一組得以在 XY 平面隨機產生複數點，並以這些點產生 Voronoi 圖形的參數模型如圖 4-1，其中的控制參數如下：

- A 參數：調整隨機佈點範圍的 X Y 向量值以控制幾何模型的位置與尺度。
- B 參數：調整佈點的數目。
- C 參數：產生不同的隨機參數值，得以隨機改變佈點位置。
- D 參數：調整 Voronoi 細胞的大小。

圖 4-2 則是藉由此參數模型的調控所產出的幾個 Voronoi 圖形。

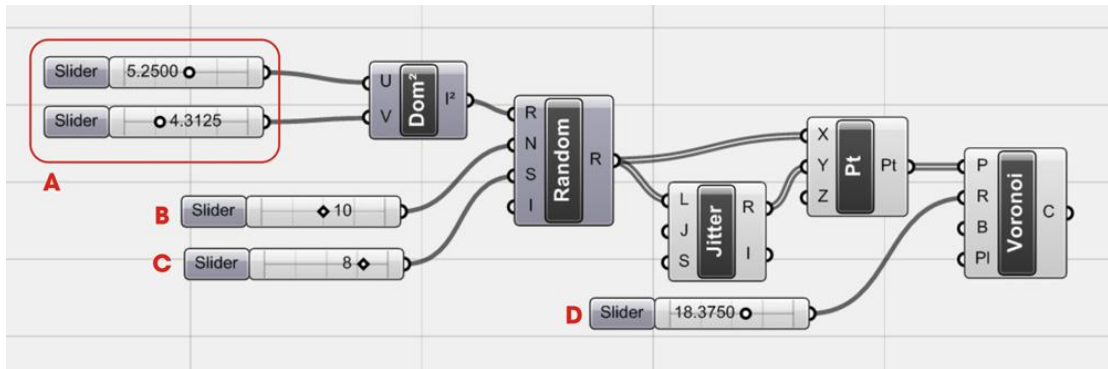


圖 4-1 建構 Voronoi diagram 的參數化模型

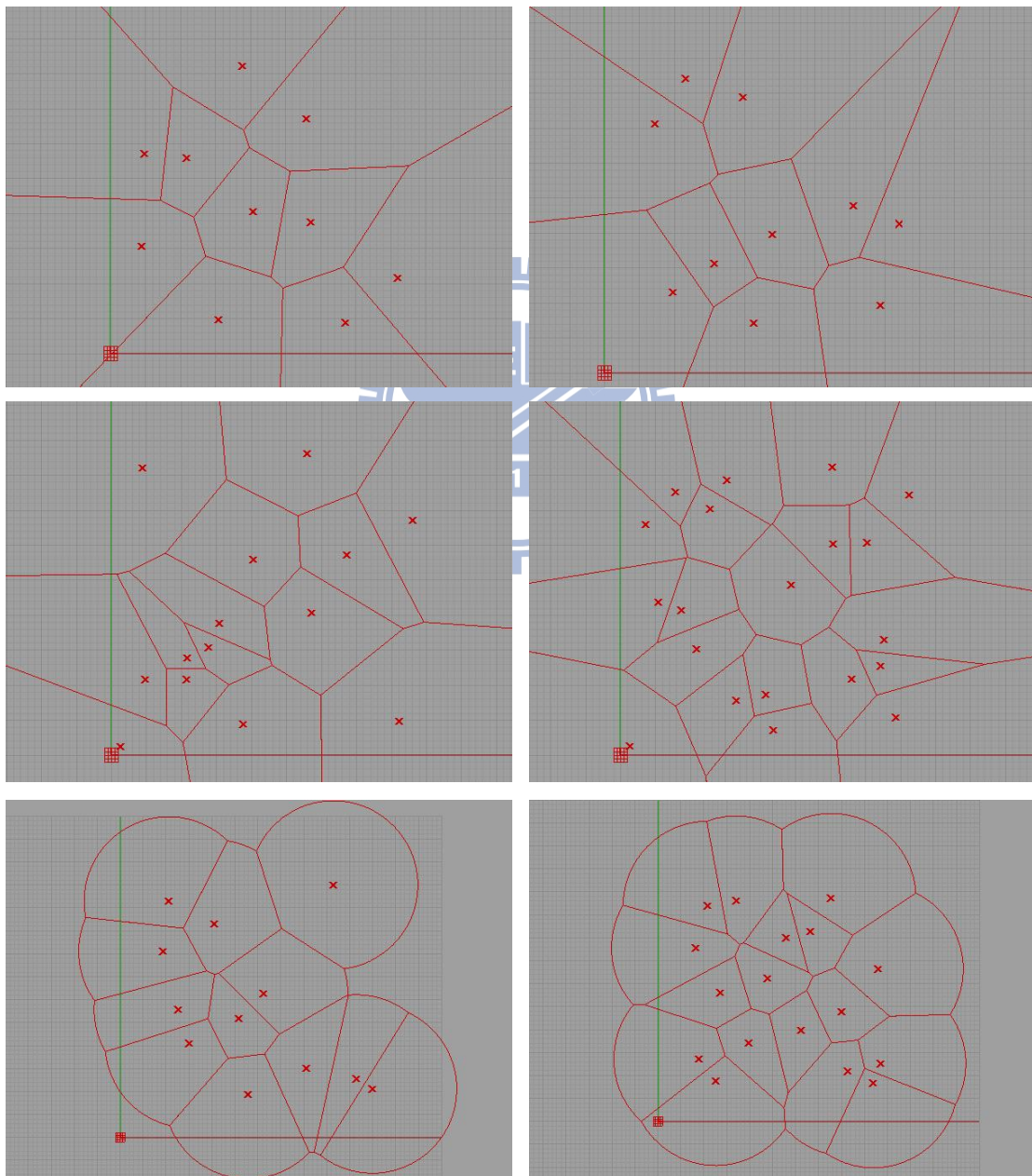


圖 4-2 以本研究所建立的參數化模型所產出的 voronoi 圖形

## 4-1-2 Voronoi diagram 曲面與實體結構

建立起 Voronoi 圖形的參數化模型後，接著開始思考如何將其實體結構化並應用於曲面上，如上節所產出之圖形，目前僅為線條的平面圖形，因此在本階段研究者將圖形做出厚度以建立出實體的幾何模型，並嘗試讓 voronoi 圖形生成在曲面上，然而目前 Grasshopper 內建的 voronoi 運算器並無法直接將圖形建立在平面以外的表面，於是研究者利用投影的方式將圖形投射至曲面，由曲面上的投影曲線來進行實體幾何模型的建立。圖 4-3 為建構曲面 Voronoi 結構的參數模型，本階段嘗試了單層曲面與雙層曲面的 Voronoi 圖形結構，圖 4-4 至 4-6 即是幾何模型的彩現圖。

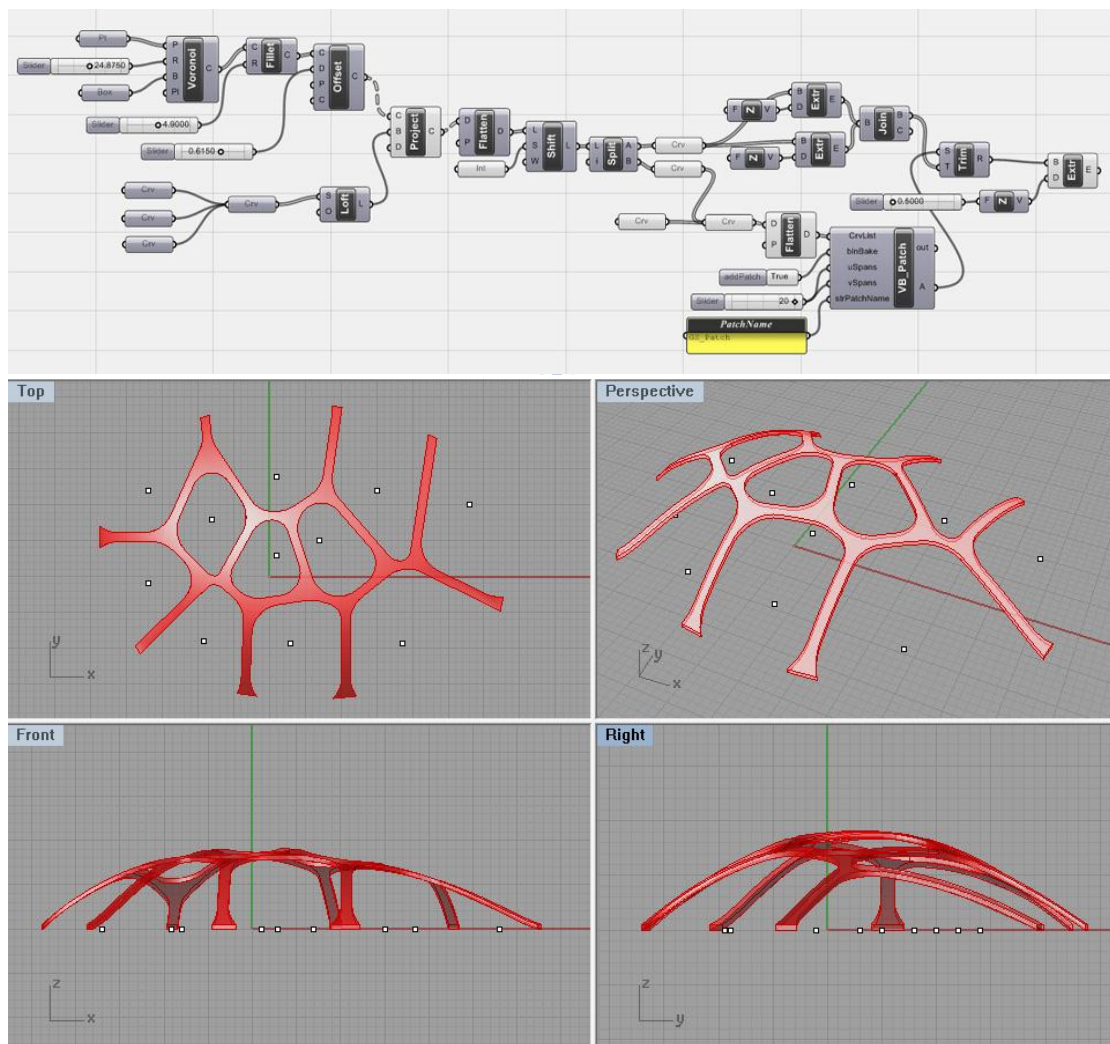


圖 4-3 建構曲面的 Voronoi 實體結構

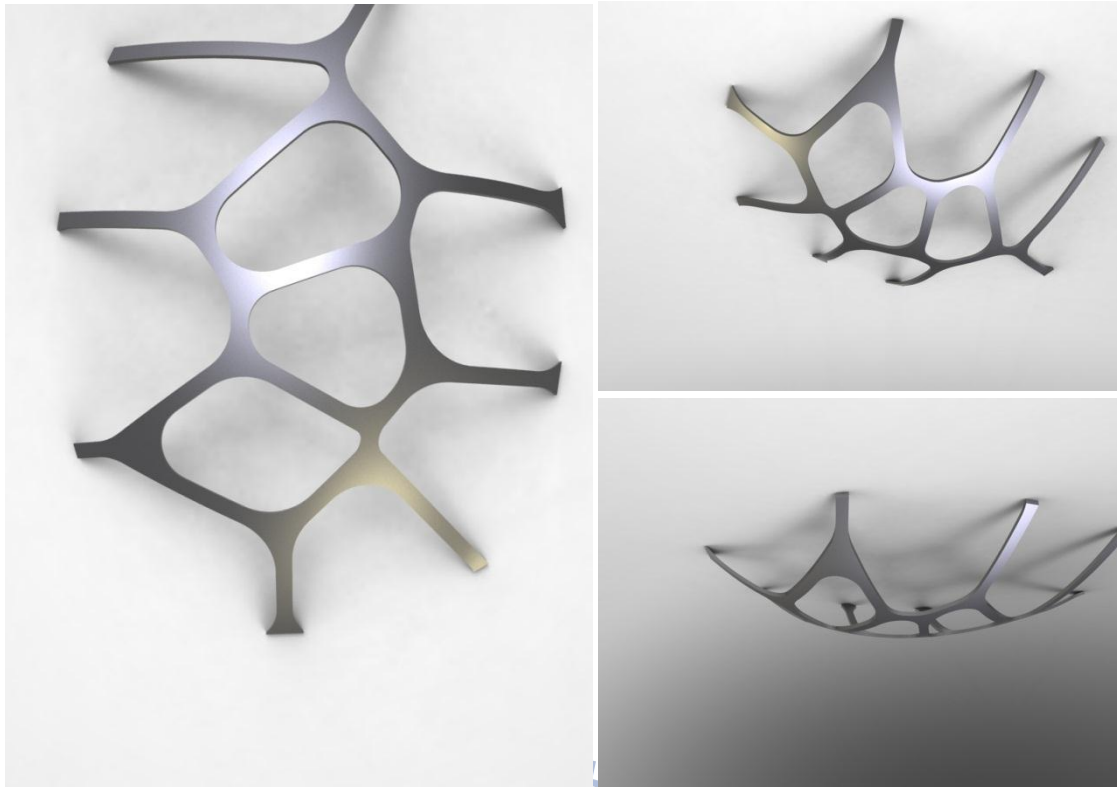


圖 4-4 單層 Voronoi 曲面結構彩現圖



圖 4-5 雙層 Voronoi 曲面結構彩現圖

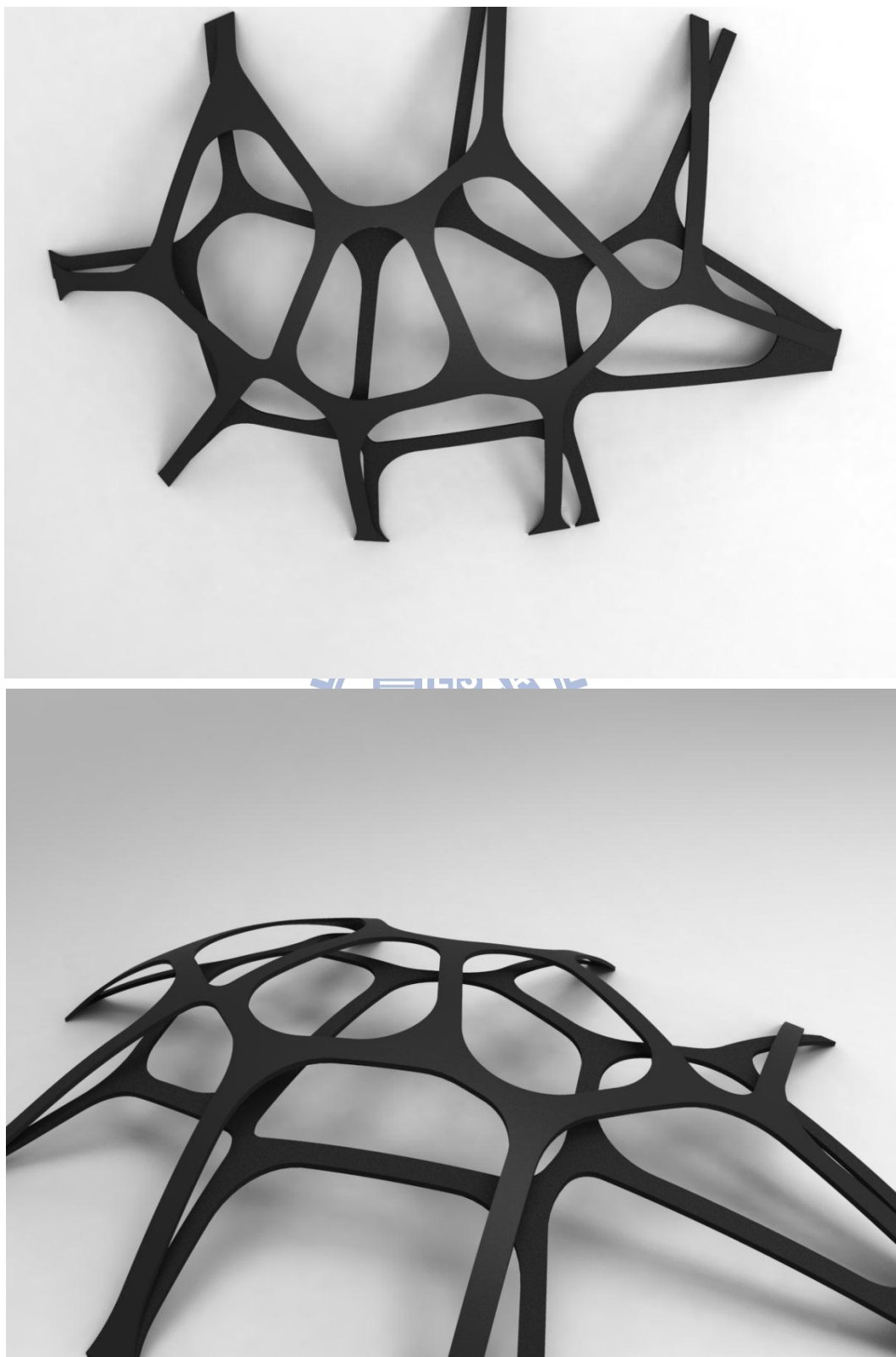


圖 4-6 雙層 Voronoi 曲面結構彩現圖

## 4-1-3 複雜曲面的投影測試

上節所建構的曲面 Voronoi 結構，由於投影目標表面的曲度平緩，造型較為單純，得以順利以投影方式在曲面上建立幾何圖形。本階段則嘗試將 Voronoi 圖形投影在較為複雜的幾何模型上，以測試是否能在具有多方向法向量的曲面上建立 Voronoi 的細胞結構。本節選擇以知名設計師 Verner Panton 的 Panton 椅作為投影目標，建立參數模型並測試如圖 4-7，在參數模型中調整佈點位置與投影方向，椅面的細胞網格結構也會有所變化，如圖 4-8 至圖 4-10 即是細胞結構化的椅面彩現圖，可以發現在曲面較為複雜的幾何模型上，並無法完美的將圖形呈現出來，在與投影方向夾角過小的位置會有結構被拉伸而導致變形的現象，研究者認為，如考慮建構 Voronoi 圖形於複雜曲面時，另尋可以直接將 Voronoi 圖形運算於表面的建構方法可得到更好的呈現結果。

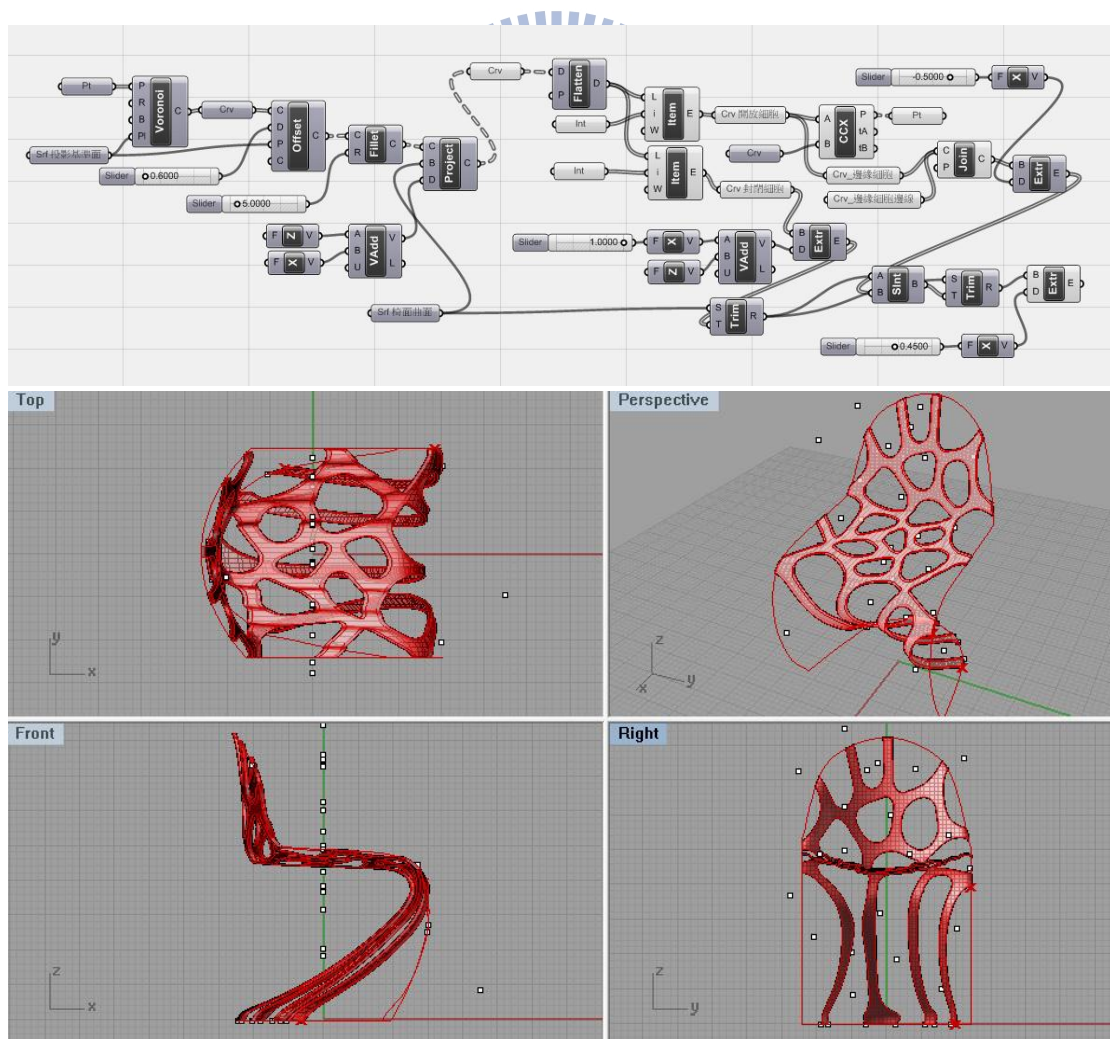


圖 4-7 在 Panton 椅的表面建立 Voronoi 結構





圖 4-8 Voronoi 結構的 panton 椅之一



圖 4-9 Voronoi 結構的 panton 椅之二



圖 4-10 原版 panton 椅與 Voronoi 結構化的椅面比較

## 4-1-4 3D Voronoi

Voronoi 圖形的結構特性同樣適用於 3D 空間的點佈陣，如圖 4-11，藉由數個不屬於同平面的點，經其數學規則可將特定的範圍切割成 3D 的 Voronoi 細胞空間。然而在創作測試階段時的 Grasshopper 版本 ( ver 0.6.0059 ) 還不具備 3D Voronoi 結構的運算器元件，因此如果想建構 3D Voronoi 結構必須自行撰寫演算法，網路上也有許多由設計者自行編寫的運算元件，於是本研究先嘗試使用由他人編寫之元件來輔助 3D Voronoi 結構之建立並呈現結果如下。

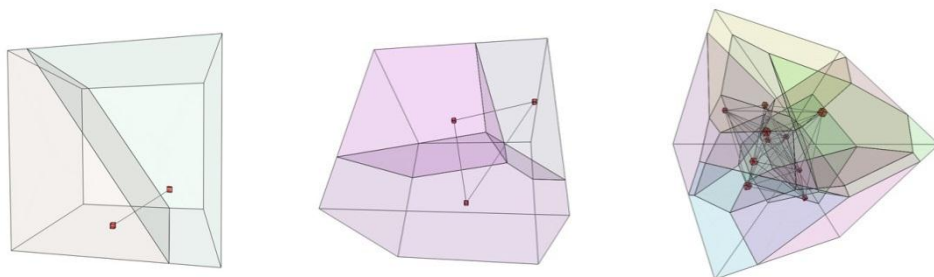


圖 4-11 3D Voronoi 結構的原理示意圖

(1)

本研究使用 [dimitrie.wordpress.com](http://dimitrie.wordpress.com) 所編寫並提供 3D Voronoi 演算模型並自行調整如圖 4-12 所示，此參數模型可以藉由自定義的複數點來生成 3D 化的 Voronoi 結構並控制幾何模型的尺度大小。然而卻無法控制整體幾何模型的框架，所生成的結構會如圖 4-13 所示，呈現如星狀發散式的幾何模型，難以進行後續調整與再設計。

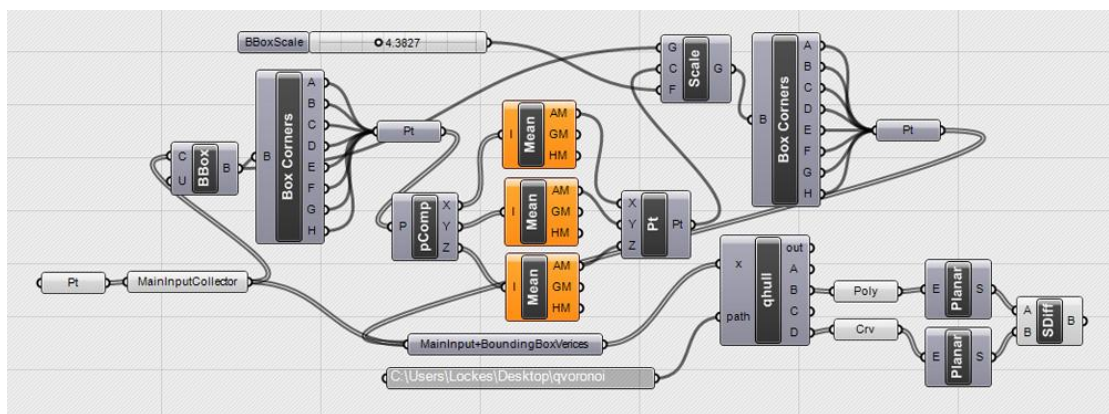


圖 4-12 3D Voronoi diagram 的參數模型

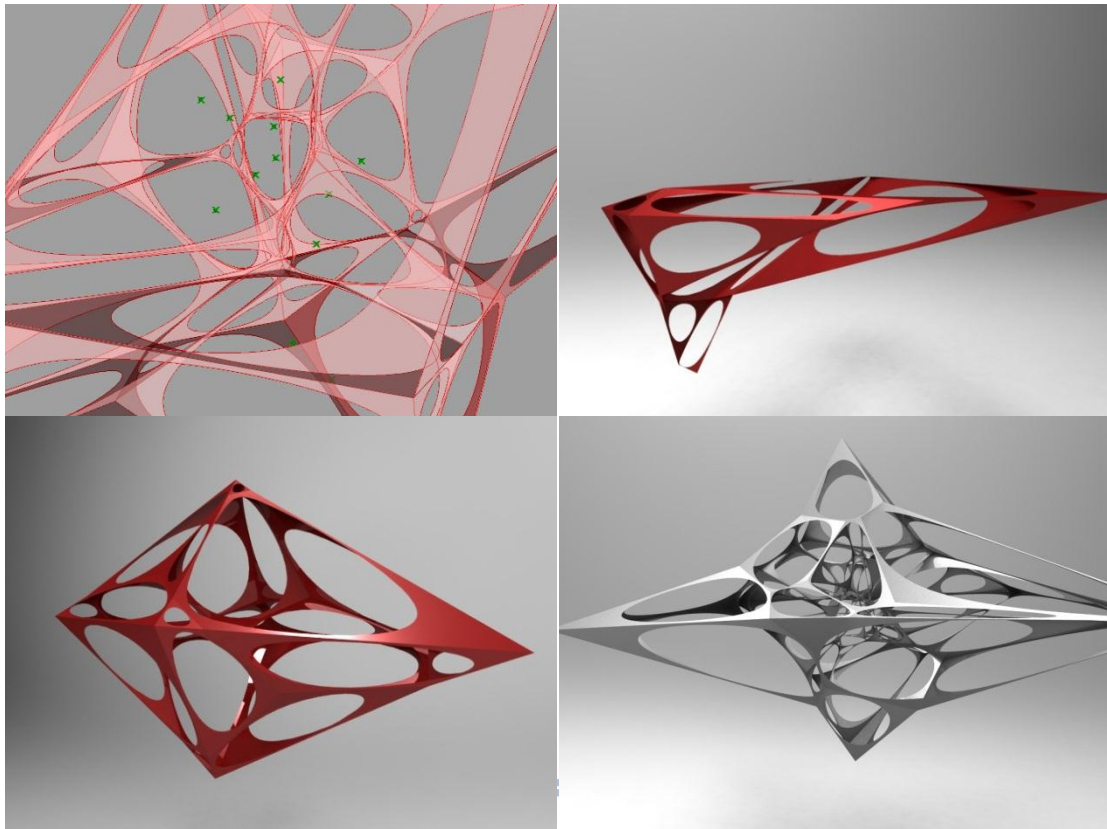


圖 4-13 3D Voronoi 結構

(2)

由 [smedresmania.com](http://smedresmania.com) 所提供的 3D Voronoi Rhino 腳本，則可以將幾何模型利用指定的複數點切割成複數個 3D Voronoi 細胞的幾何圖形，Rhino 腳本可直接於 Rhino 作業平台使用並快速方便的完成 3D 結構，但所生成的幾何模型卻難以再次調整，並不符合參數化設計的概念，不過此腳本可做為快速檢視 3D 細胞結構的型態的輔助工具。

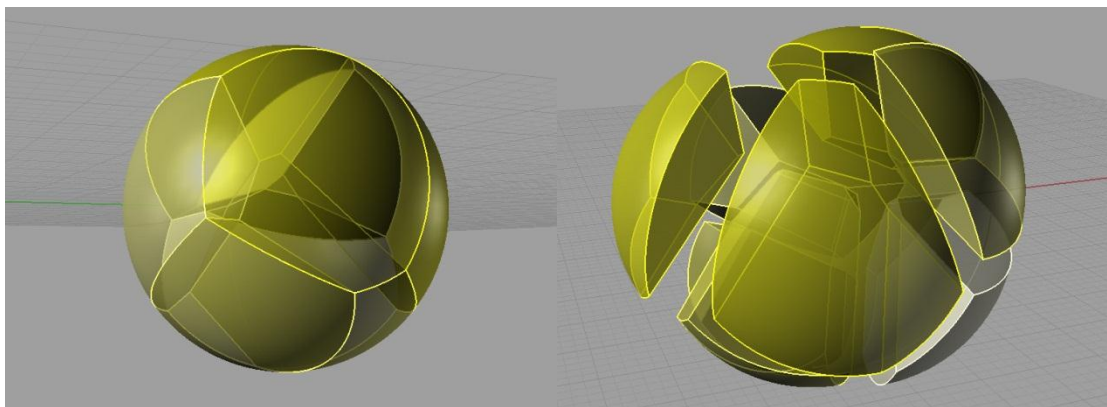


圖 4-14 使用 3D Voronoi 腳本檔所切割的幾何模型

(3)

在本研究所整理之參數式工具的介紹中，提及 Grasshopper 屬於開發中的軟體，版號更新時常常會新增或改善功能，3D Voronoi 的運算器元件即新增於新版號 ( ver 0.8.0062 ) 的 Grasshopper 中 ( 圖 4-15 )，更新後的版本即可透過內建的 3D Voronoi 運算器處理 3D 空間的點數據以建立 3D 結構的 Voronoi 幾何圖形。

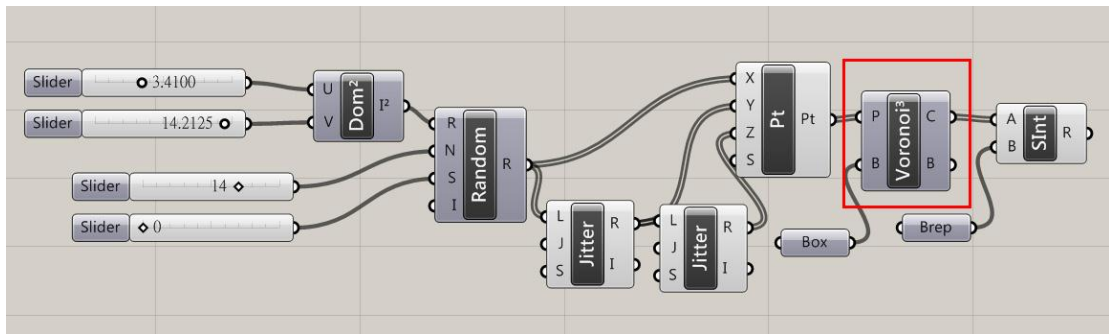


圖 4-15 使用 3D Voronoi 運算器建立參數模型

圖 4-16 則是以新版的 Voronoi 運算器所建立的 3D 細胞結構，與上節使用 Rhino 腳本所建立的 3D 結構相比，在使用烘焙 ( Bake ) 功能將模型轉為 Rhino 模型之前，以 Grasshopper 建構的參數模型可以掌握佈點的控制、Voronoi 切割的控制，所有參數都可以多次調整，而不像腳本所生成的一次性模型每一次的調整都必須重頭做起，讓設計者在編輯或修改時更為便利。

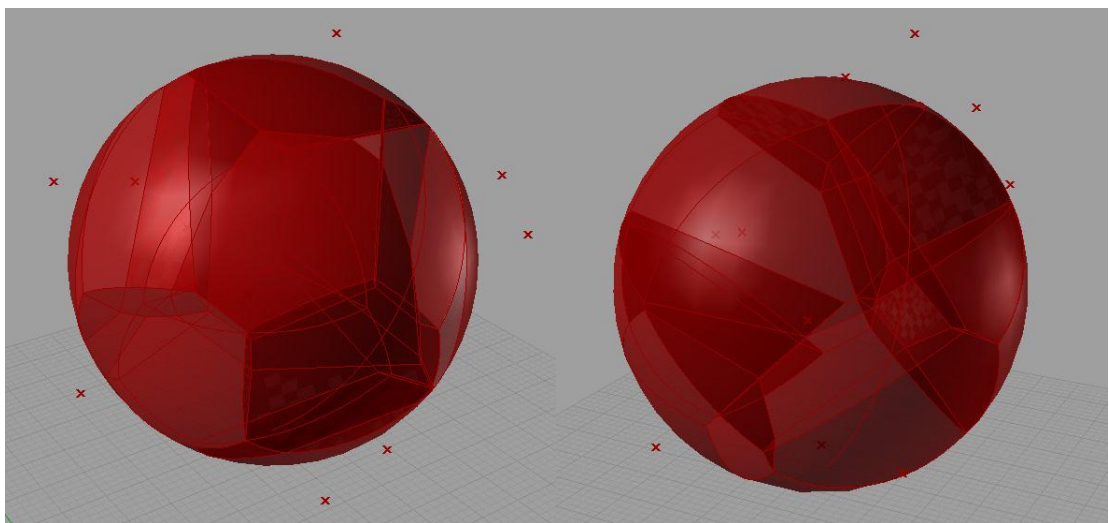


圖 4-16 使用圖 4-15 之參數模型所建立的幾何結構

#### 4-1-5 小結

由於研究者也是初探參數式設計的建模手法，Grasshopper 等相關參數式設計工具的使用不甚熟悉，前期的探索階段花了不少時間在摸索與掌握其設計思維與建構邏輯，在本測試與實驗階段中逐步從建立參數化模型、2D 表面至 3D 空間的幾何模型建構，依序掌握平面、曲面、立體的建模概念，對各種運算器的功能與使用方式也有進一步的了解，對於後續的設計創作有不小的幫助。

如同傳統建模方法，一個幾何造形能夠藉由多種不同的方式或步驟來達到相同目的，參數式建模的設計方式更是如此，在建立參數模型時，對於幾何造形的生成邏輯必須構思清楚，運算器的配置、類型與先後順序都有極大的影響，大部分幾何造形的建構方式並沒有一定的標準程序，在設計階段中經常會發生腦海中有預期的產出幾何型態，但卻建立不出相對應的參數模型的狀況，類似情形一部份是因為設計者對於參數式建模的熟悉度不足，可透過長時間的使用與練習來提升建模的敏感度，另外也有如同 3D Voronoi 圖形的案例，早期版本並沒有相對應的運算器，就必須依靠設計者自行編輯演算邏輯或學習他人經驗來達成目的。

在設計測試階段中，體驗了參數式設計藉由各種元件的組成來自動演算出幾何型態的建模方式，例如在 Voronoi 圖形的參數模型中，設置隨機 ( Random ) 運算器於點參數上，便可產出設計者自己也無法預期的幾何圖形，然而 " 不可預期 " 的型態並不一定符合設計者的需求，若以造形創作為主則無妨，但在產品設計中，則必須遷就主觀美感或結構的限制，於是在參數模型中必須適度保留可供設計者自行手動調整的部分，使模型建立能得到較大的控制。總結以上的心得，在設計創作階段研究者將以 Grasshopper 為主要的設計工具，以 Rhino 等傳統 3D 建模軟體作為輔助，建構本研究創作的設計作品。

## 4-2 設計創作之一

## 4-2-1 設計構思

「具有生物感的设计」為研究者在本創作中想達到的感覺，自然模式的型態是最符合此要件的元素，其中 Voronoi 圖形的細胞結構大量存在於自然界的各種生物中，也是前期實驗階段中練習實作的主要演算法，於是研究者構想創作具有 Voronoi 細胞結構的家具，圖 4-17 即為初步發想時的概念草圖。

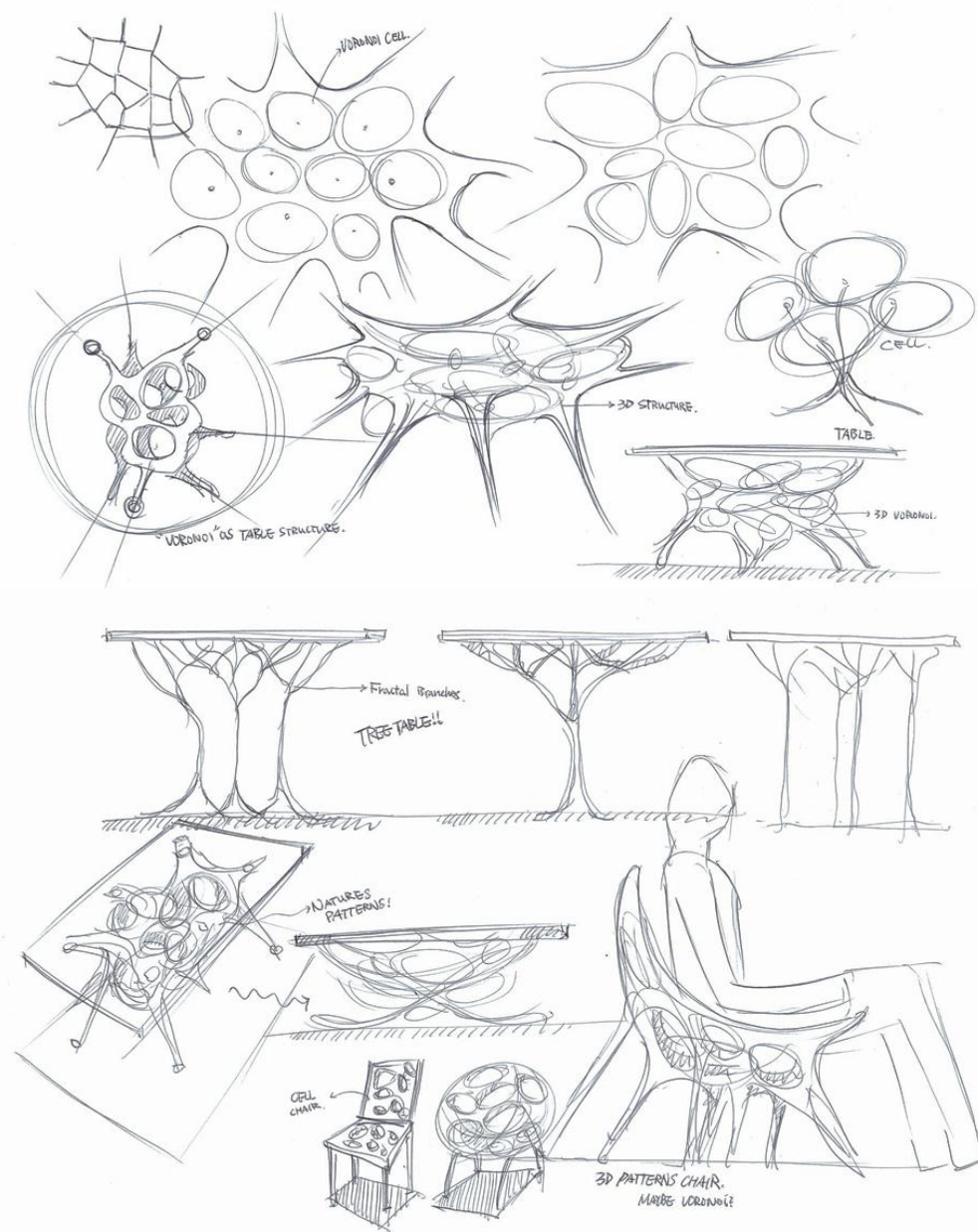


圖 4-17 Voronoi 家具的概念圖

### 4-2-2 設計發展

客廳用矮桌。靈感設計來自實驗階段時的 2D 曲面投影測試，本設計創作嘗試投影至不同形狀的曲面（圖 4-18）以產生具立體感的 Voronoi 結構，利用圖形結構的線條作為客廳用矮桌的桌腳與桌面支點（圖 4-19）。

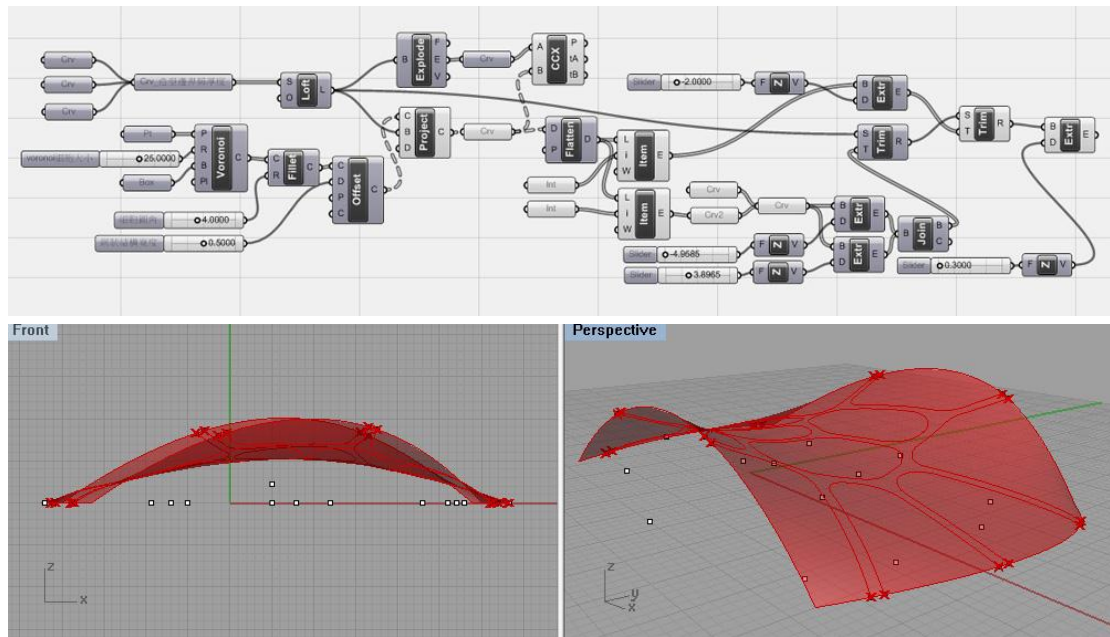


圖 4-18 設計創作一：矮桌參數模型

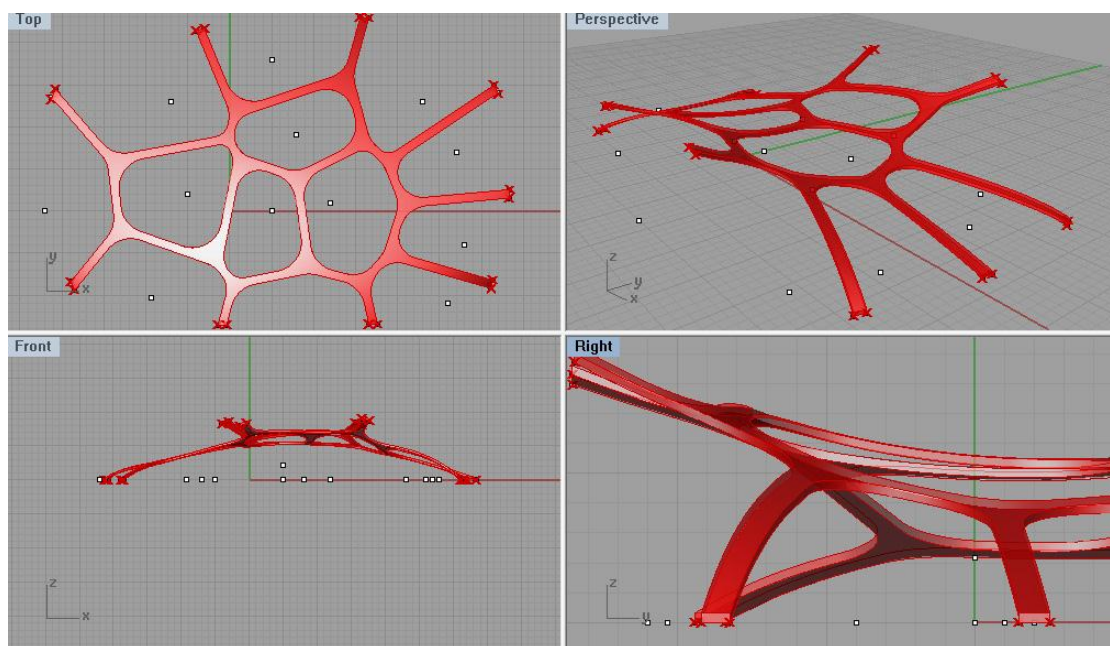


圖 4-19 設計創作一：矮桌參數模型 2

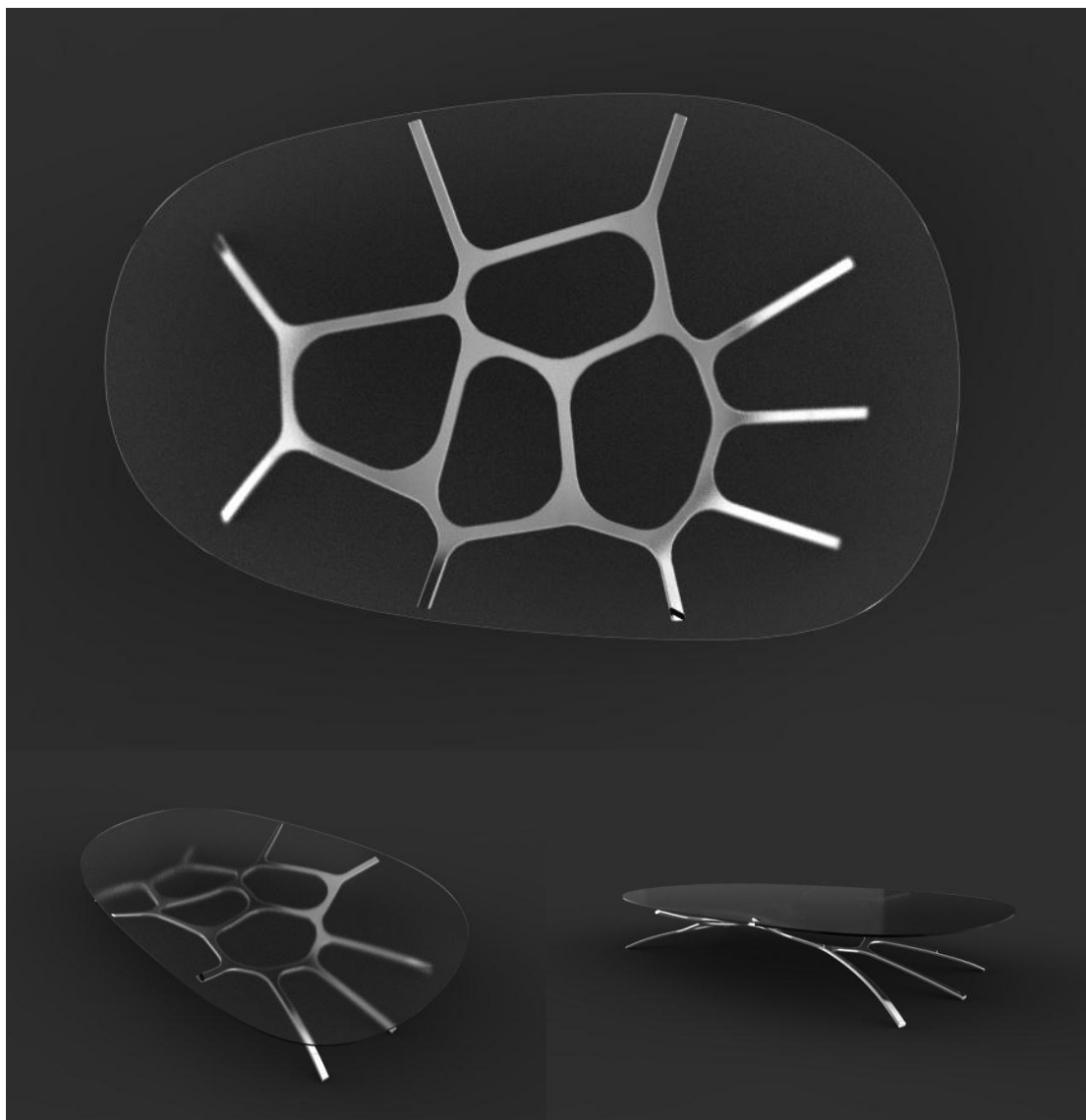


圖 4-20 客廳用矮桌的彩現圖

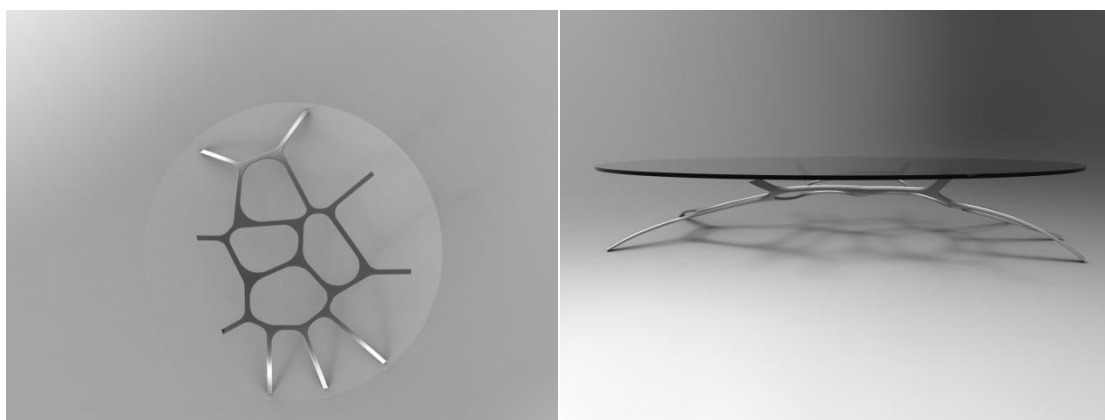


圖 4-21 客廳用矮桌：圓形玻璃桌面



圖 4-22 則是雙層 Voronoi 圖形的桌腳結構，考量若實體化，可增加桌子結構的強度，亦有不同於單層結構的美感。

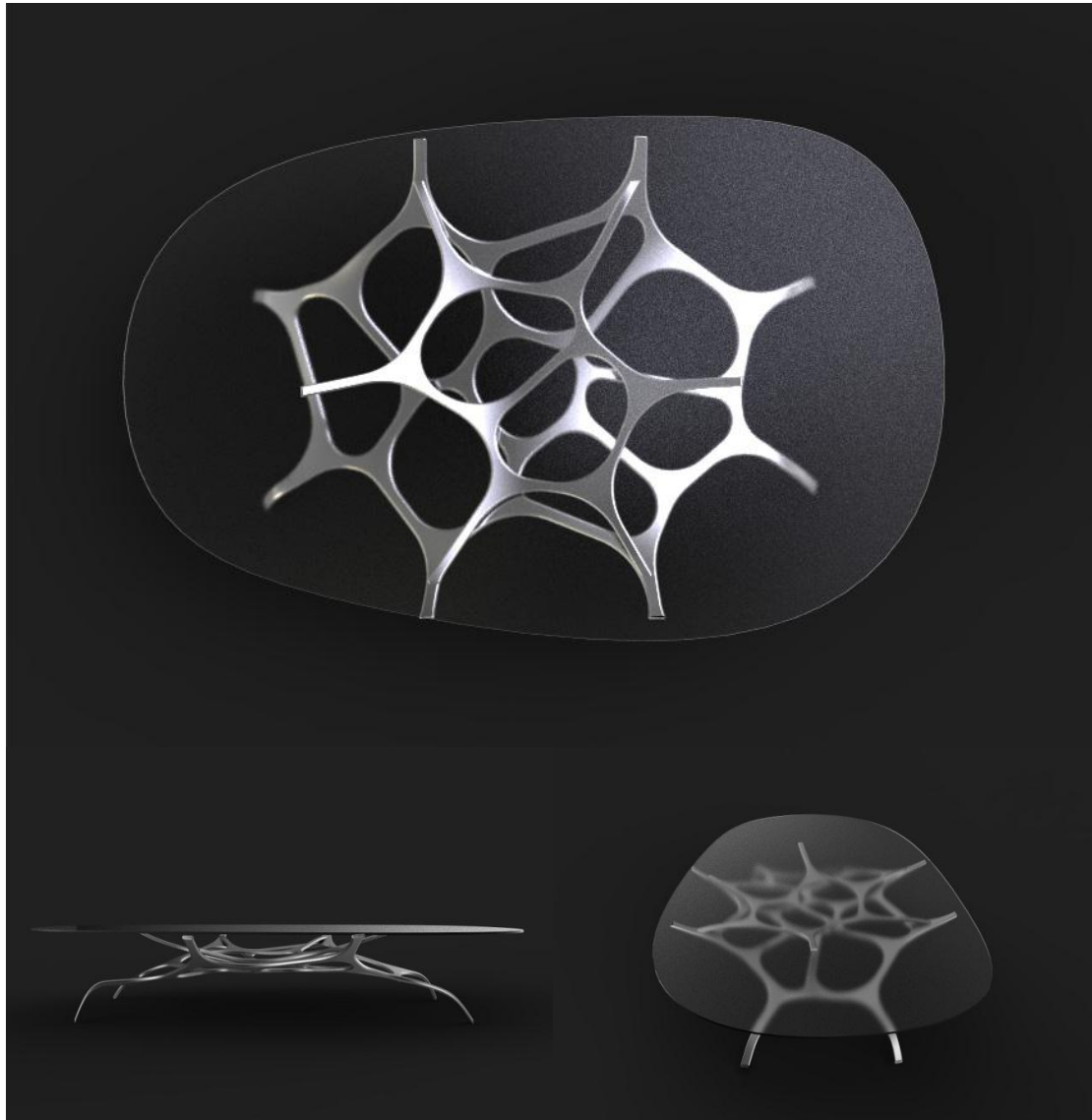


圖 4-22 雙層 Voronoi 結構的客廳用矮桌



圖 4-23 雙層 Voronoi 結構的客廳用矮桌，圓型桌面

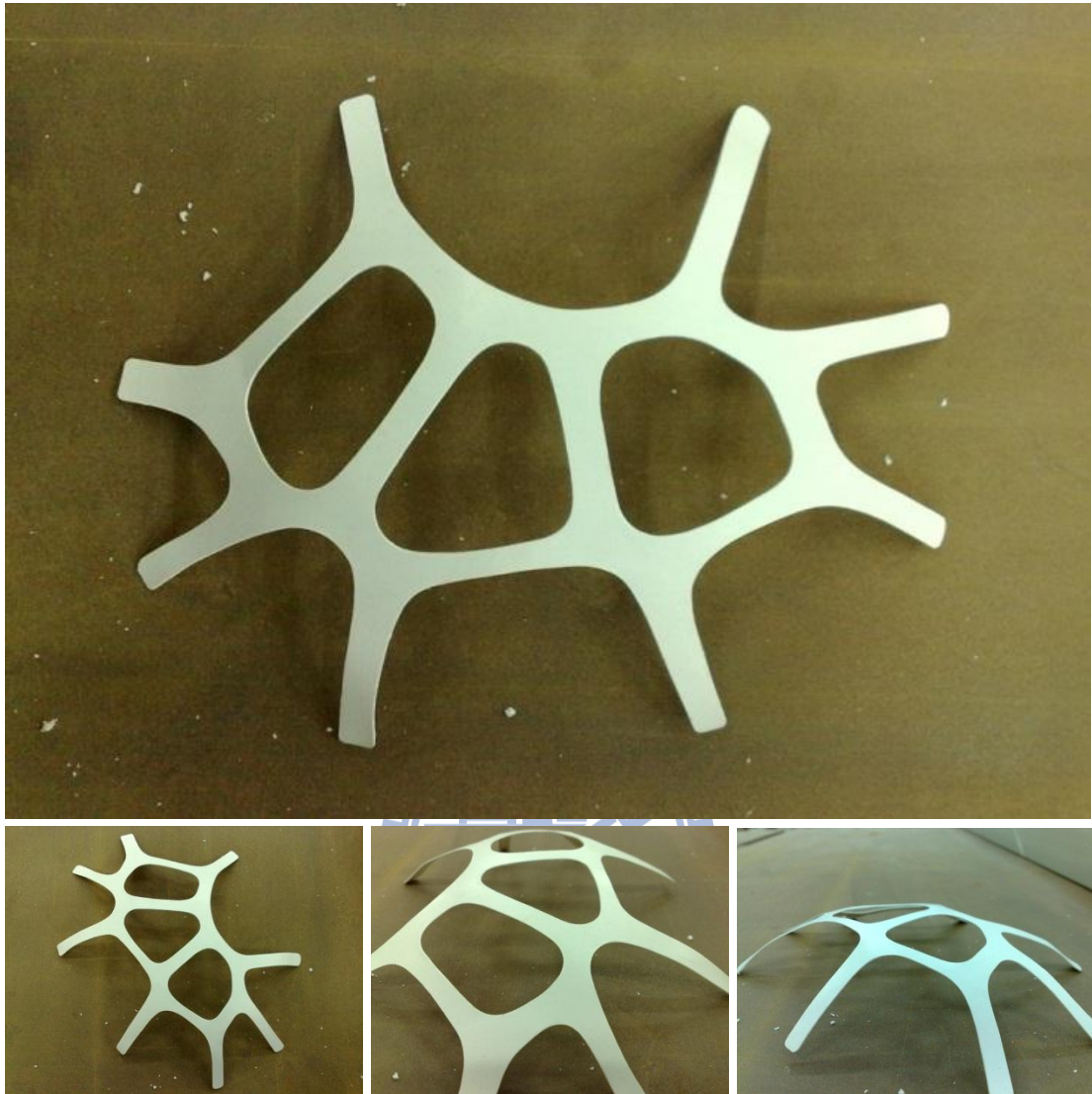


圖 4-24 以真空成形製作的 Voronoi 曲面草模

### 4-2-3 作品呈現

由於桌腳為一體成形的 Voronoi 結構，考量各種製程上都難以製作，且造價過於昂貴，拆件分開製作再組裝的製造成本依然過高，因製作經費有限，最後決定以 RP 成形，製作縮小比例的模型，用以實際呈現此設計概念的生物結構感。

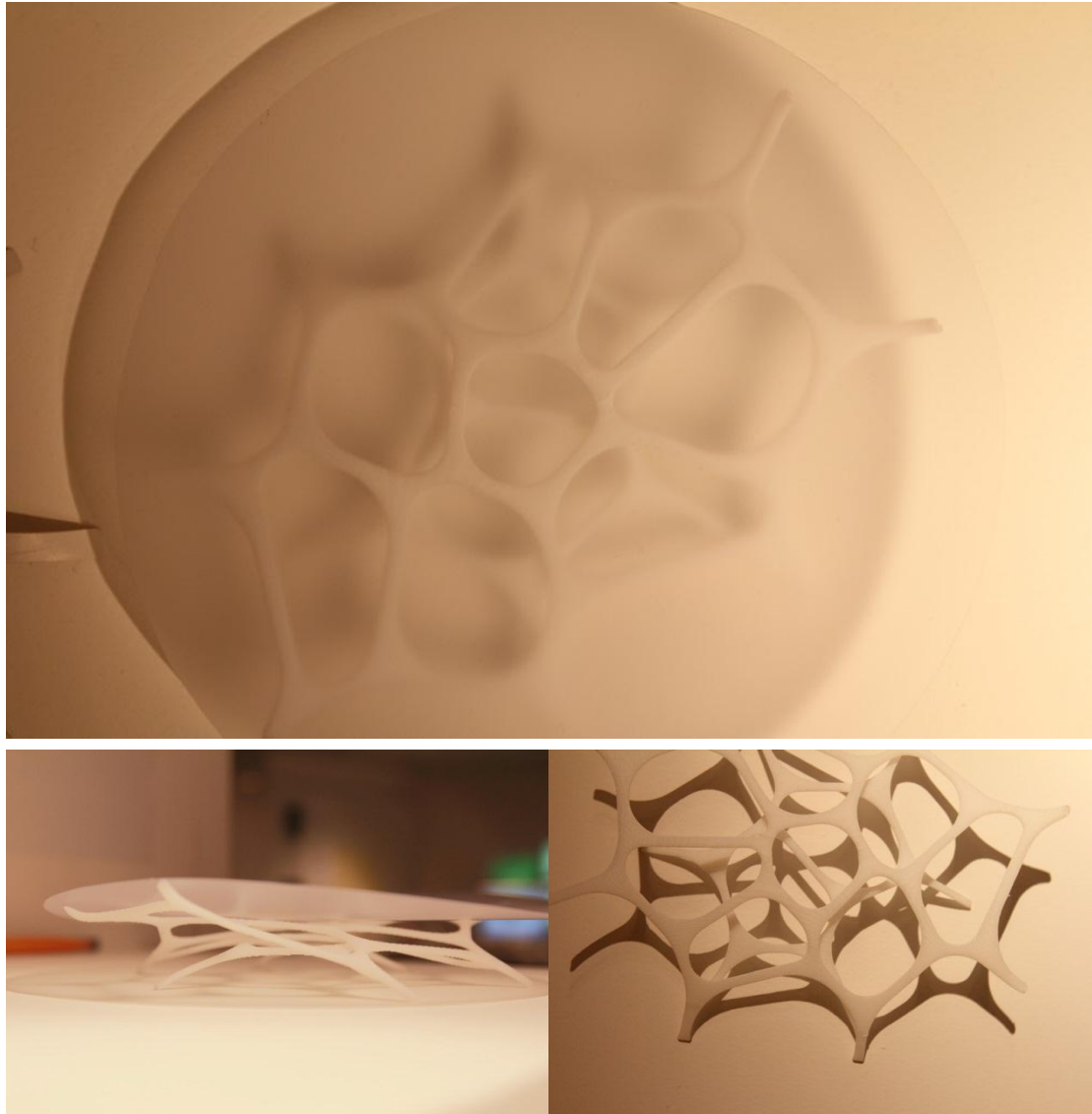


圖 4-25 設計創作之一：客廳矮桌的 RP 模型

## 4-3 設計創作之二

### 4-3-1 設計構思

「餐桌」，此構想為客廳矮桌的延伸。在進行客廳矮桌的設計創作時，造形的設計呈現主要考量如何凸顯細胞結構的有機感，然而在後端要進行實際產出時卻遇到難以製造的問題，於是在思考餐桌的設計時，簡化了 Voronoi 結構的複雜度，決定以類似原始 Voronoi 圖形較為幾何感的效果呈現此作品 (圖 4-26)。

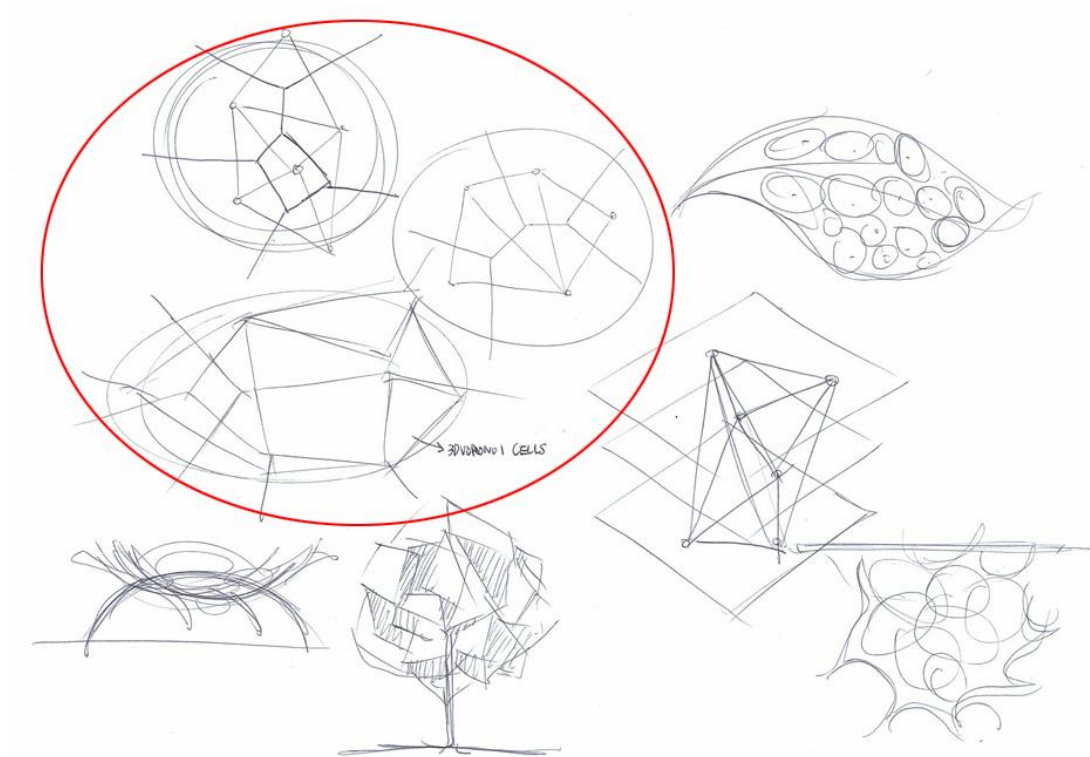


圖 4-26 設計創作之二 · 餐桌的構想圖

## 4-3-2 設計發展

## (1) 參數模型

相較於客廳矮桌的有機生物感，餐桌的造形設計決定以較為簡潔俐落的直線 Voronoi 細胞圖形為主元素，以垂直擠出的板狀造形為主結構，考量後續製作的難度，在餐桌的造形上並沒有處理細胞格狀的圓角處理。

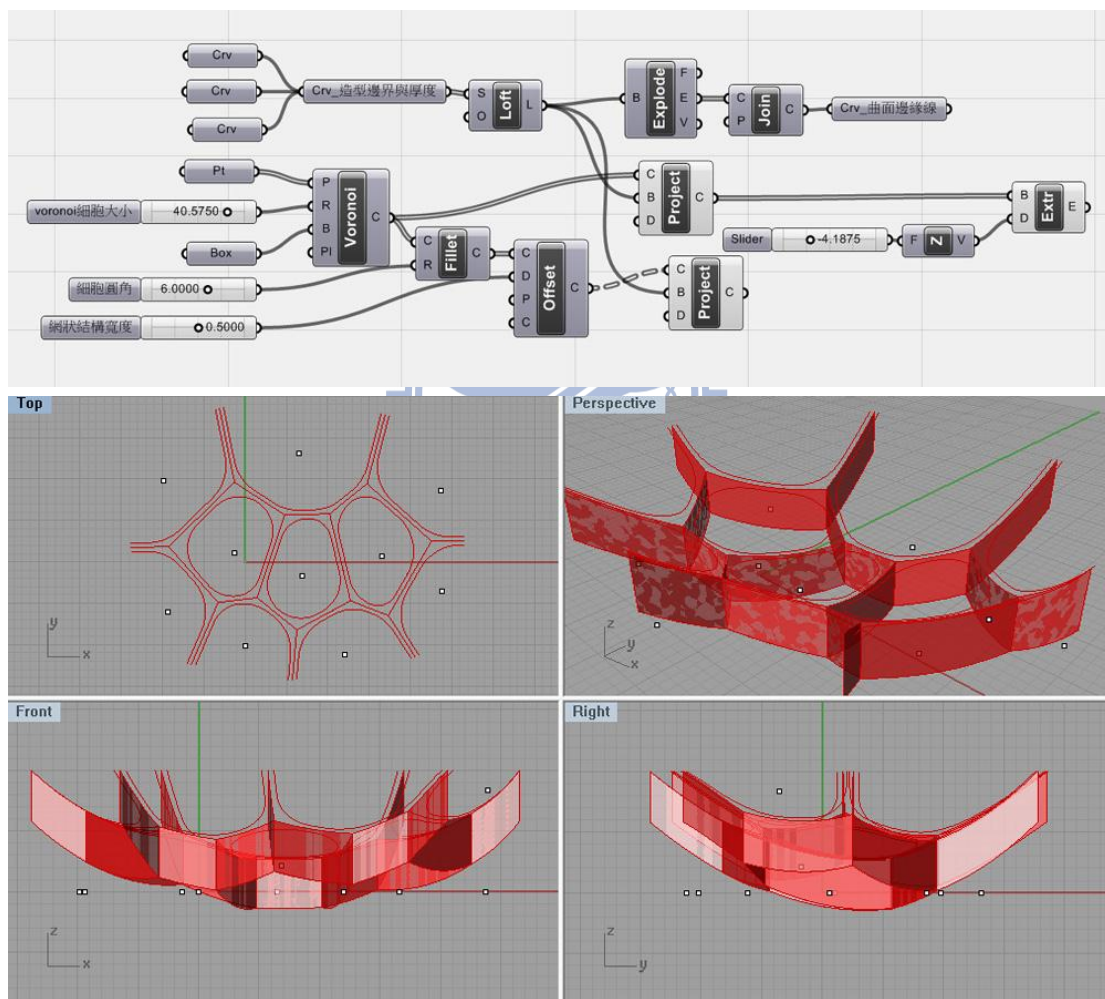


圖 4-27 餐桌 Voronoi 結構的參數模型

## (2) 草模製作與模型修飾

餐桌的細部設計並沒有直接在 3D 模型中建構，而是先以草模製作的方式，在製作過程中考量整體結構強度與美感同時進行造形的修飾(圖 4-28)，經過數次的草模製作與修正後，以定案後的草模造形修改 3D 模型如圖 4-29。



圖 4-28 餐桌的草模製作

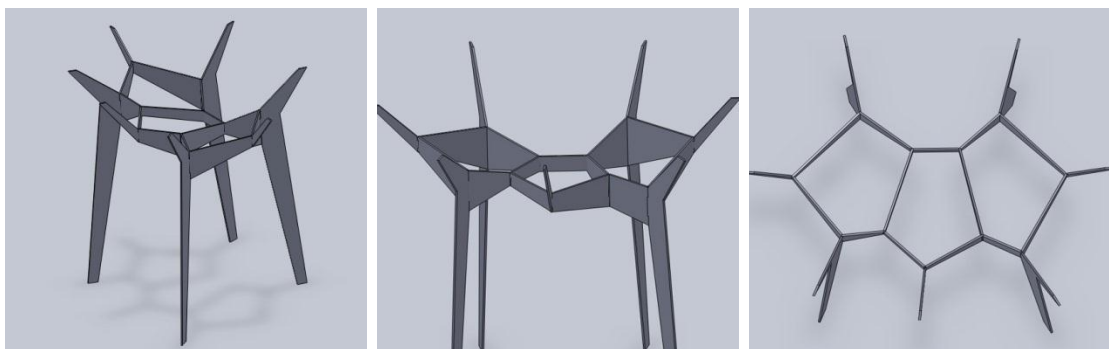


圖 4-29 修正後的 3D 模型

(3) 設計定案



圖 4-30 餐桌的設計定案圖

(4) 設計製作

最後定案的餐桌造形決定以不鏽鋼板材進行製作，將主結構拆解成數個零組件，雷射加工並彎折後，以卡榫互相接合最後以螺絲組裝，圖 4-31 為餐桌結構的展開工程圖。

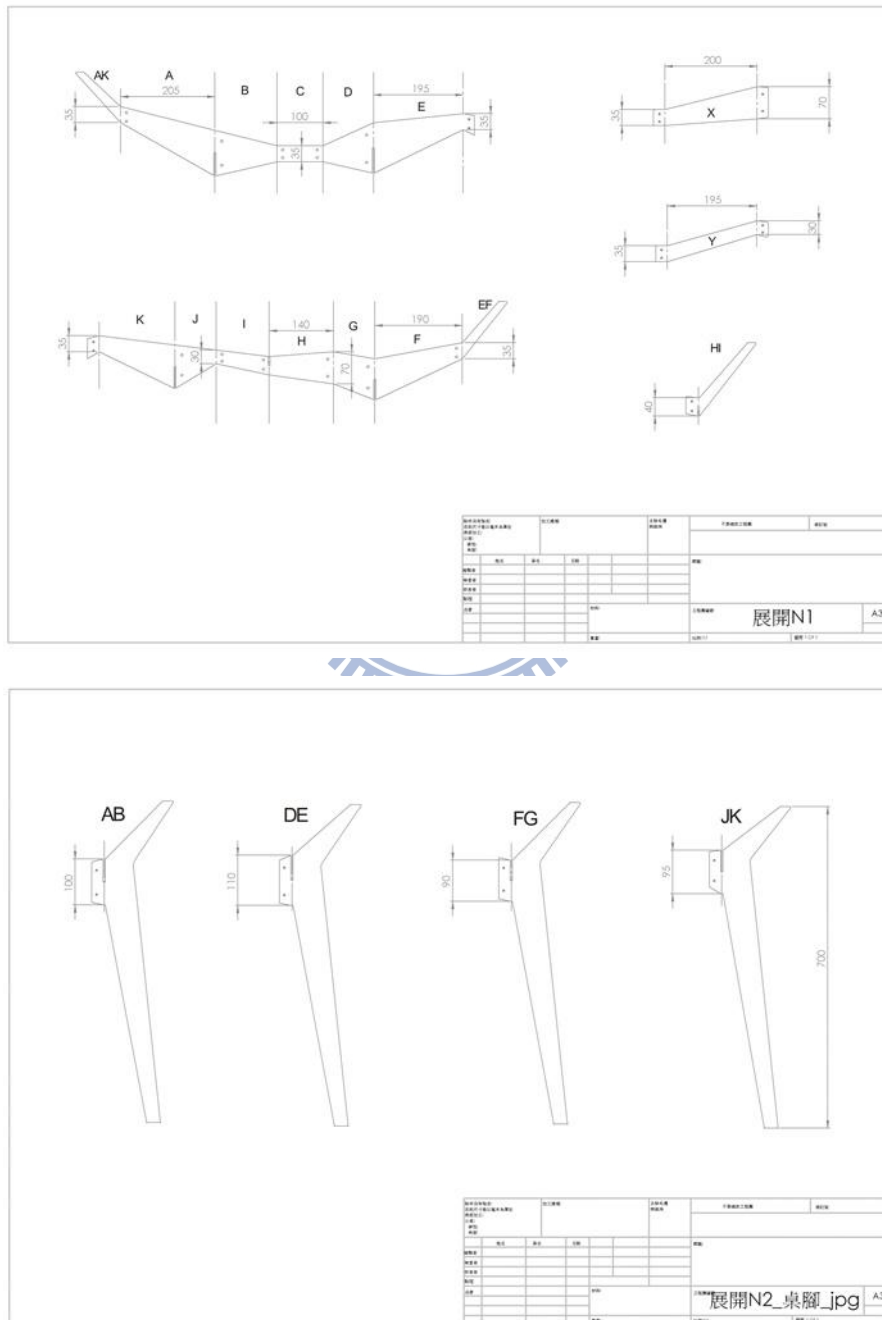


圖 4-31 餐桌結構的展開工程圖





圖 4-32 製作過程

4-3-3 作品呈現

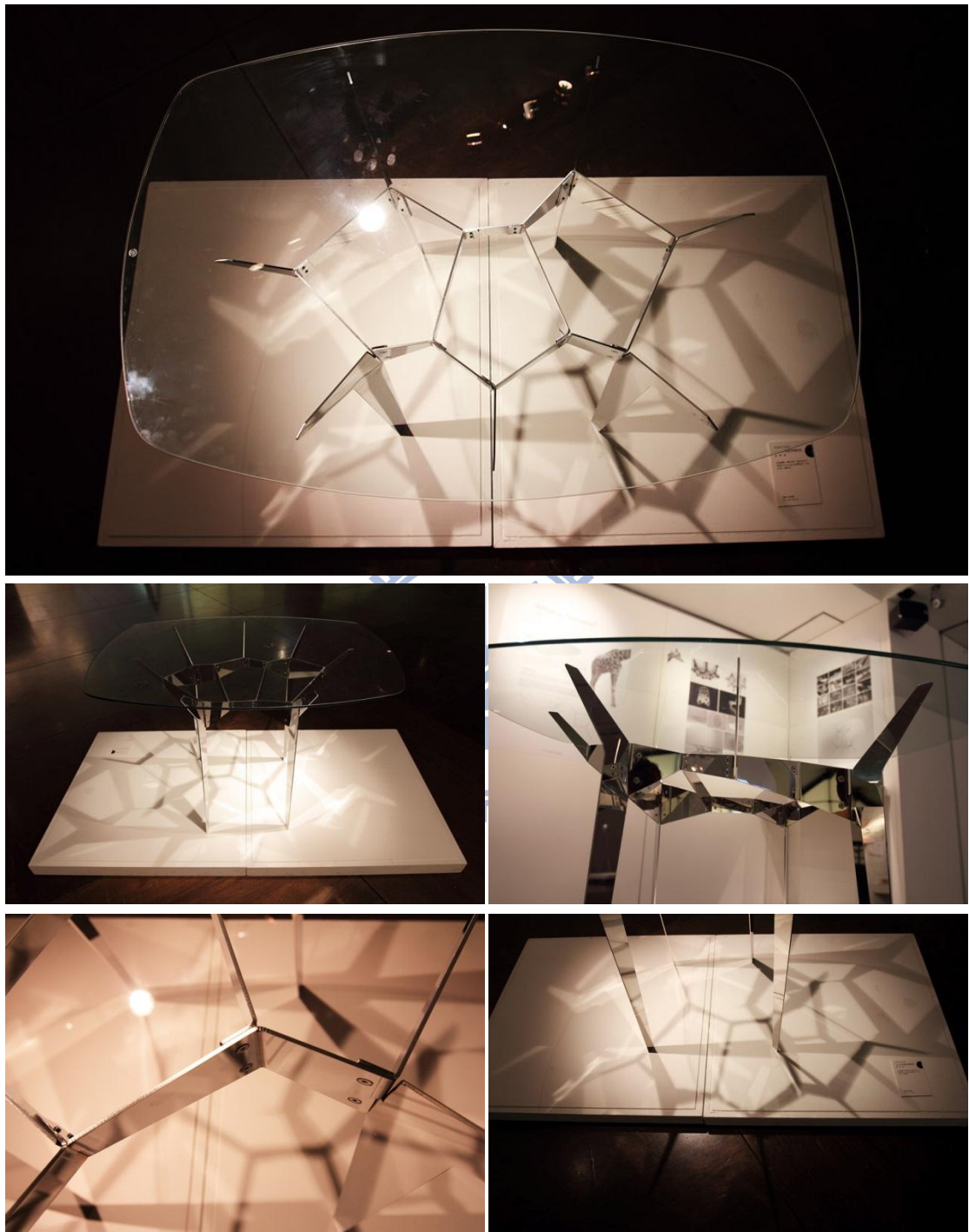


圖 4-33 Voronoi 餐桌 作品呈現

## 4-4 設計創作之三

### 4-4-1 設計構思

研究者嘗試以3D結構的Voronoi圖形作為第三個設計創作的主要演算法，並以燈具作為設計目標，考慮以整體結構作為燈具骨架，或是外部燈罩結構。期望藉由燈光從內部透出，以呈現立體結構的光影感。圖4-34為初步構想時的概念草圖。

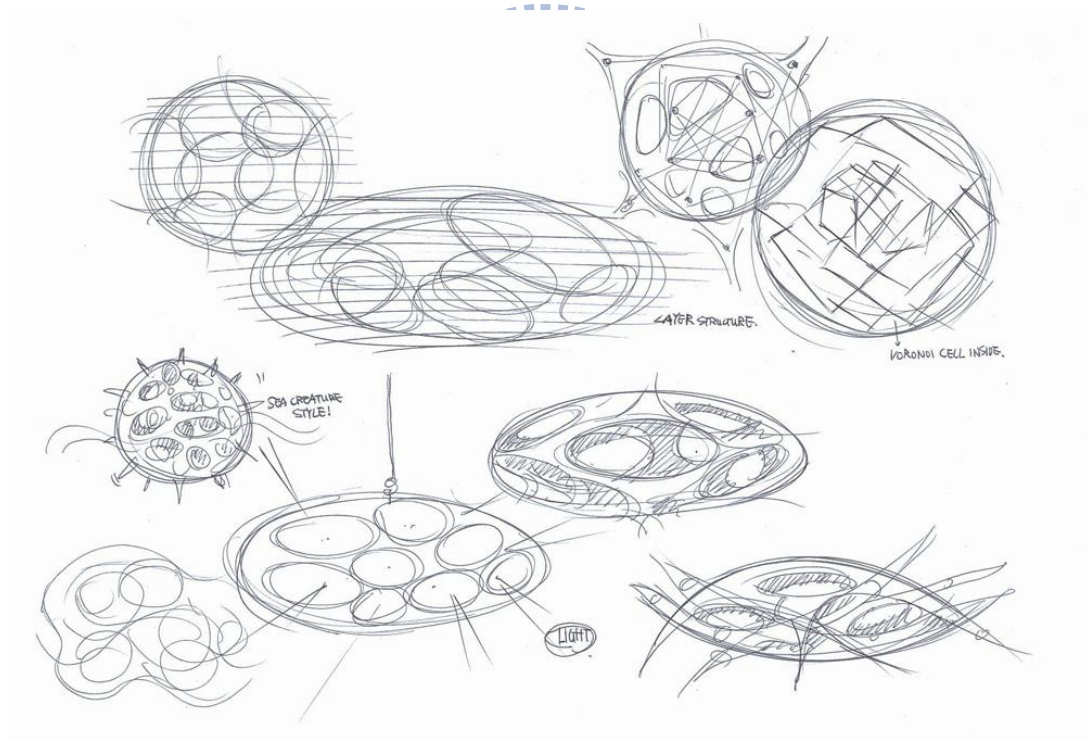


圖 4-34 3D Voronoi 燈之概念草圖

## 4-4-2 設計發展

## (1) 參數模型設計與造形發展

在燈具概念的設計過程中，研究者決定以板材作為主要材料，使用雷射切割處理展開後的結構圖，再將拆解後的各個 voronoi 細胞組裝成燈具。主要型態則採以立體橢圓為原型，使用 3d voronoi 運算器將之切割成多個細胞空間（圖 4-35），細胞的多寡則影響了整體視覺感，較多的細胞結構較能表現出整體的輪廓形狀如圖 4-36 所示。

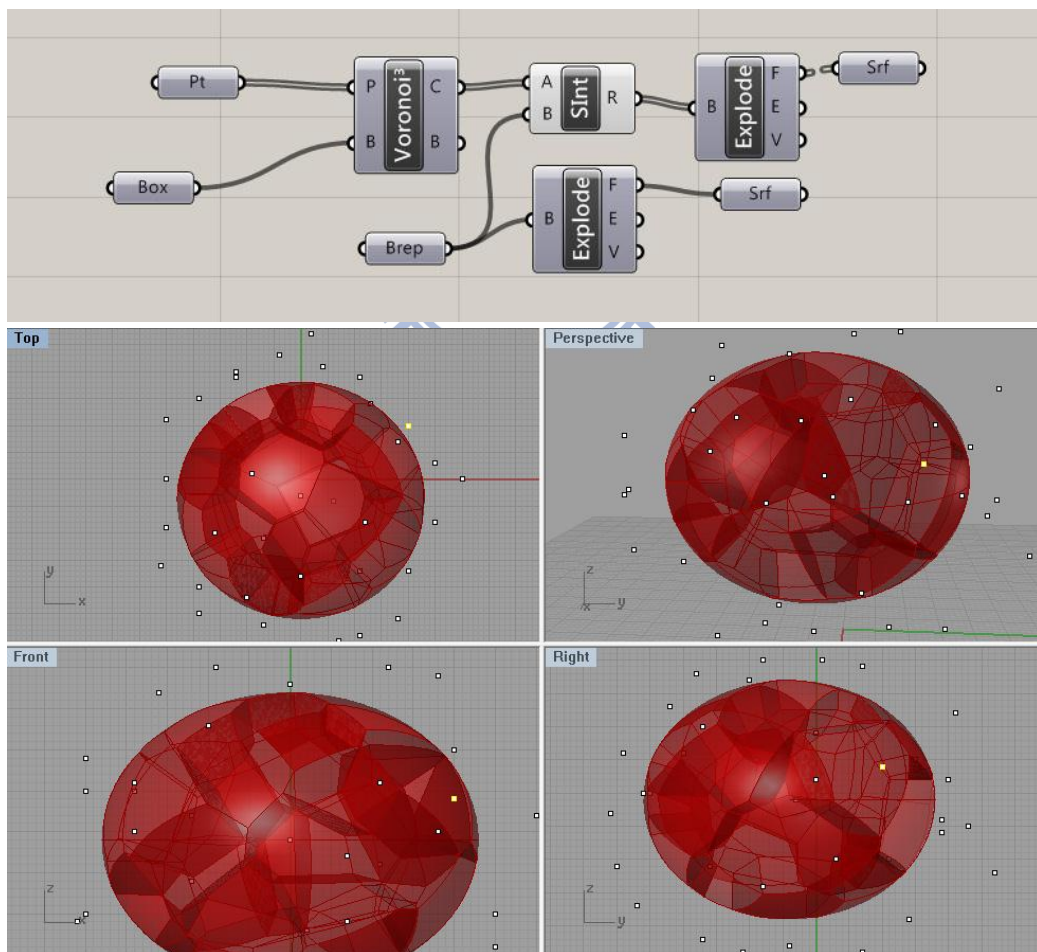


圖 4-35 3D Voronoi 燈之參數模型

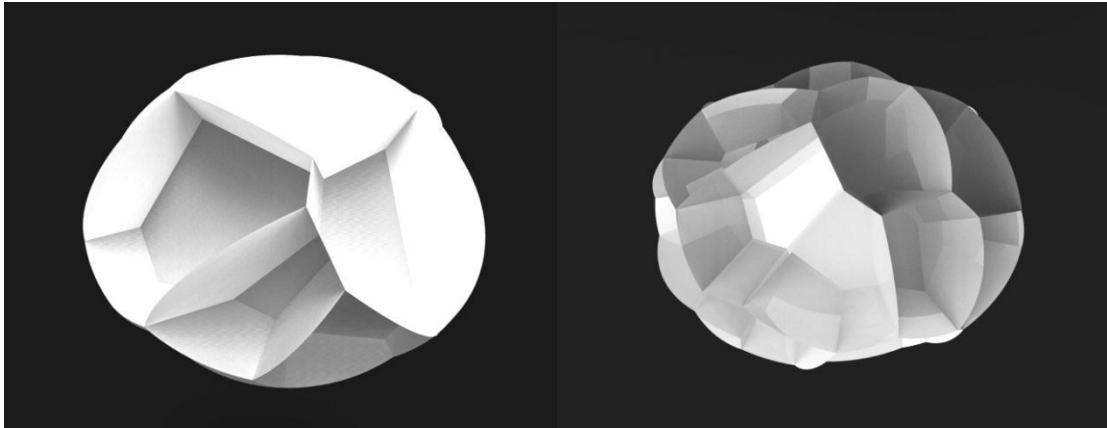


圖 4-36 Voronoi 細胞結構多寡的造形差異

研究者嘗試數種不同的細胞數目與排列，選定以大約 32 個細胞前後的造形作為設計定案，並將所有結構打散並攤平成展開圖以利後續作業。

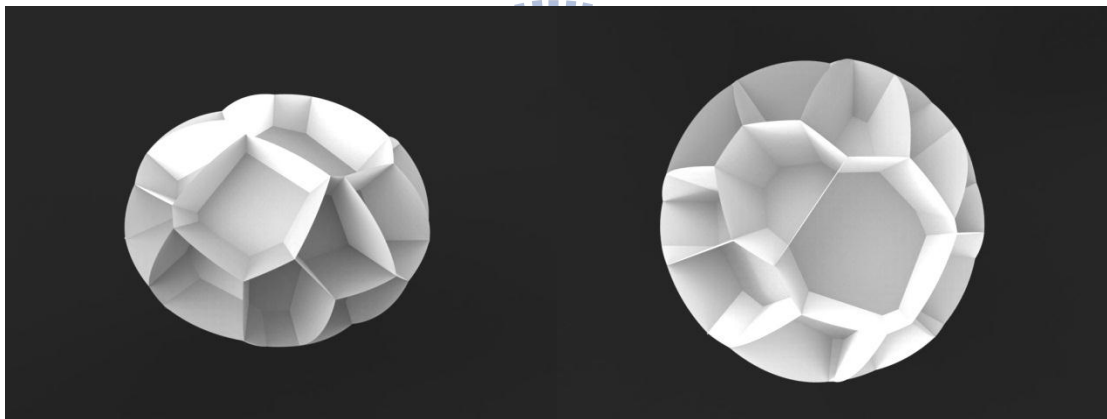


圖 4-37 燈具設計定案之模擬圖

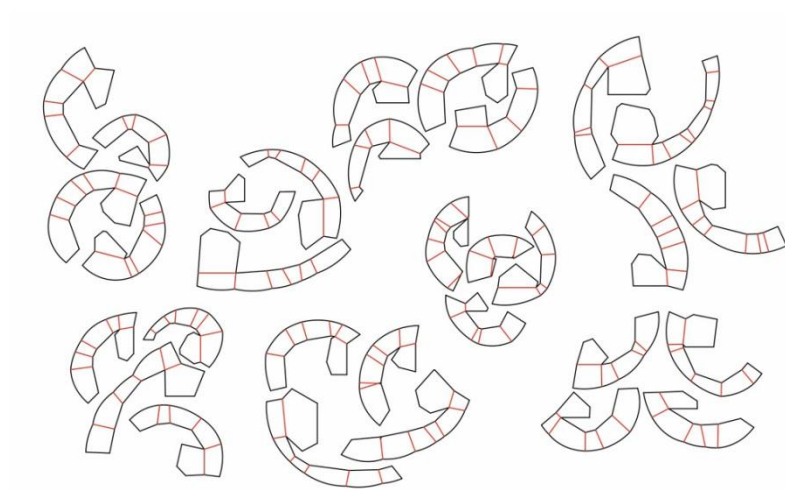


圖 4-38 燈罩攤平之展開圖

(2) 模型製作

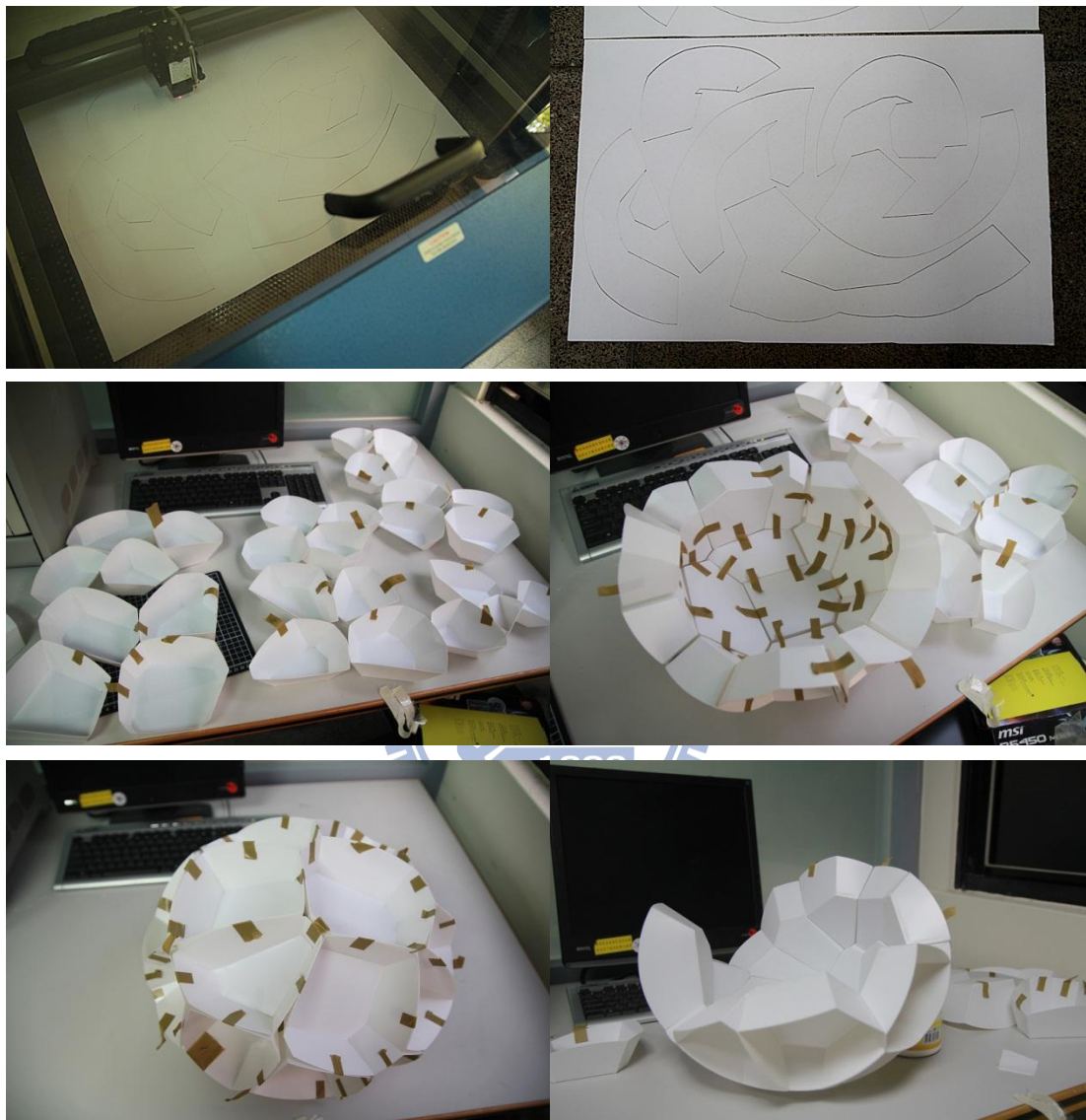


圖 4-39 燈具製作過程

4-4-3 作品呈現



圖 4-40 Voronoi 燈具實體模型呈現

## 第五章 展覽呈現

5-1 展覽主題與形象

5-2 展覽佈置

5-3 展覽期間





## 第五章 展覽呈現

### 5-1 展覽主題與形象

「小確幸」一詞，出於 1986 年出版的《蘭格漢斯島的午后》，即是生活中「微小但確切的幸福」的事：從樹葉縫隙透下來的陽光、媽媽早上泡牛奶攪拌的聲音、把果醬抹在烤得香香酥酥的吐司上...村上春樹：「如果沒有這種小確幸，人生只不過像乾巴巴的沙漠而已」。

小確幸為本次 2011 年交大應用藝術所畢業聯展的主題，一共由 11 位同學共同展出各自屬於自己的創作，如同文宣所描述，我們也期許所有參與者、看展觀眾能在展場中體會並感受作品的意涵與背後的故事，這也是我們在策展期間一點微小但卻確切的幸福。

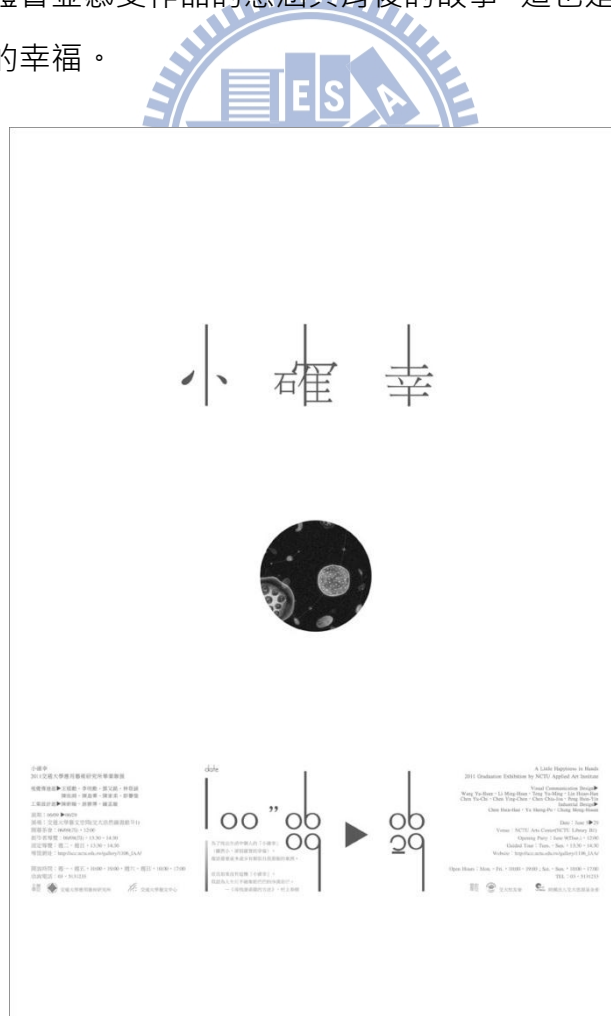


圖 5-1 「小確幸」展覽海報

## 5-2 展覽佈置

展覽現場以白色為基調，不做多餘裝飾，僅在牆面以電腦割字呈現創作主題與張貼作品海報，讓目光集中在展示的 Voronoi 餐桌上，以聚光燈凸顯地面上餐桌的光影結構，並在牆邊展示台放置創作實驗階段的草模與客廳矮桌的比例模型，以開闊、簡潔的空間試圖給予觀眾舒適的看展環境。



圖 5-2 展覽現場佈置

圖 5-3 至圖 5-5 為本次展覽的海報設計。在版面中並沒有刻意介紹參數式設計相關概念，而是以跨頁的長頸鹿吸引觀眾的目光，進而以文字和圖像解說 Voronoi diagram 是存在自然界的幾何圖形，並將實驗階段的各種 3D 模型依序呈現，讓觀眾自然領會本研究創作作品的結構與自然生物身上紋理的相似性。

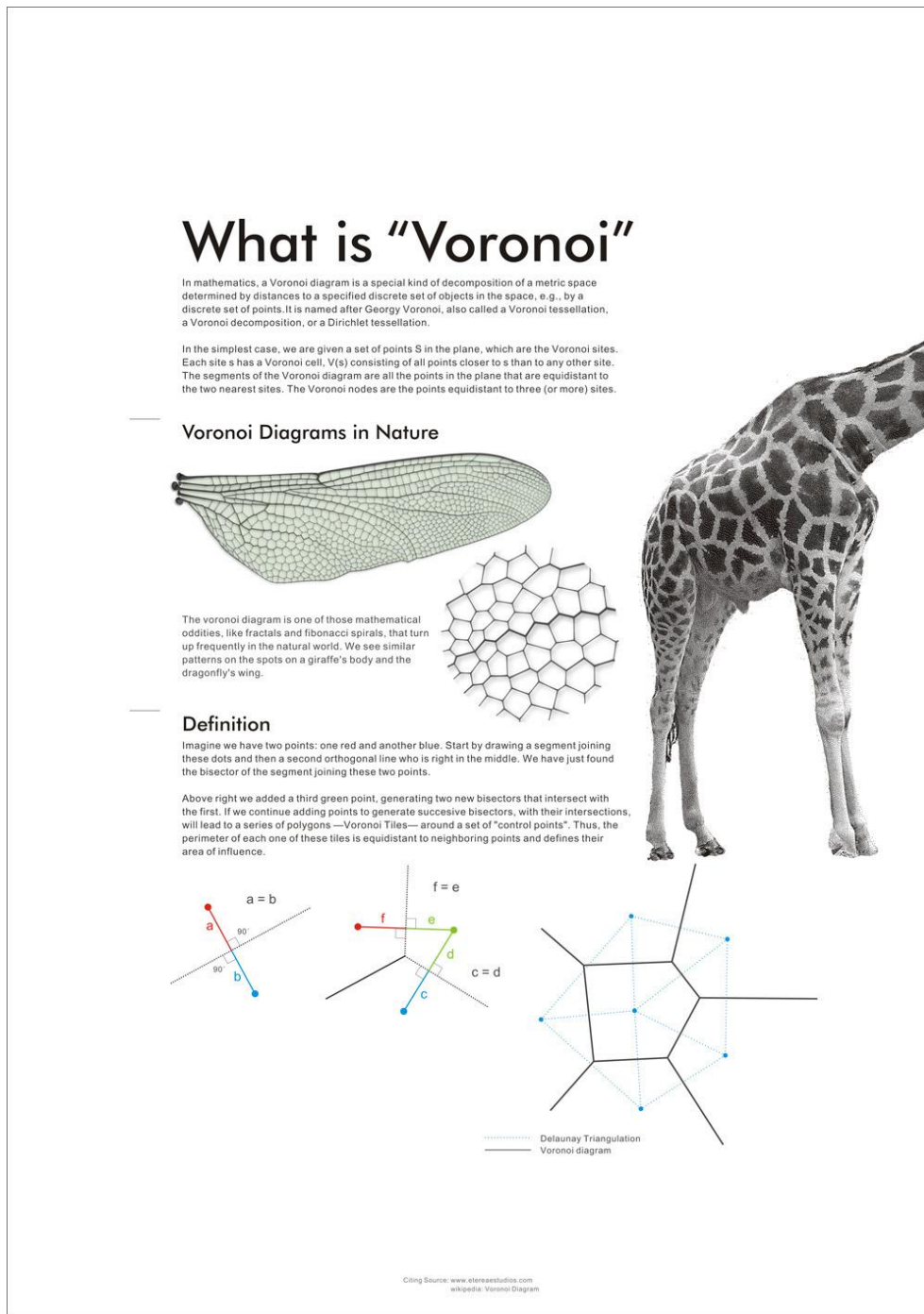


圖 5-3 展覽海報 1

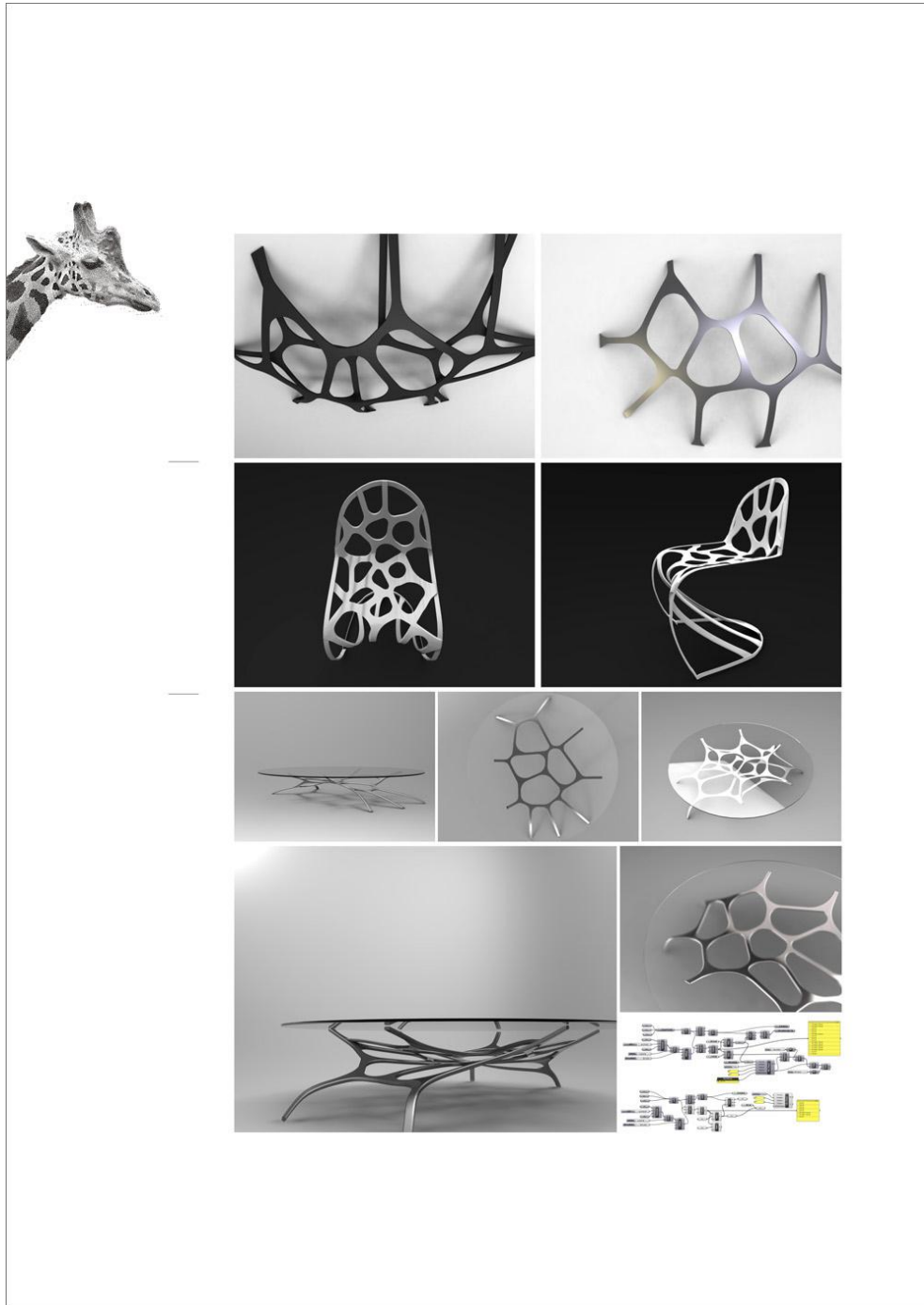


圖 5-4 展覽海報 2

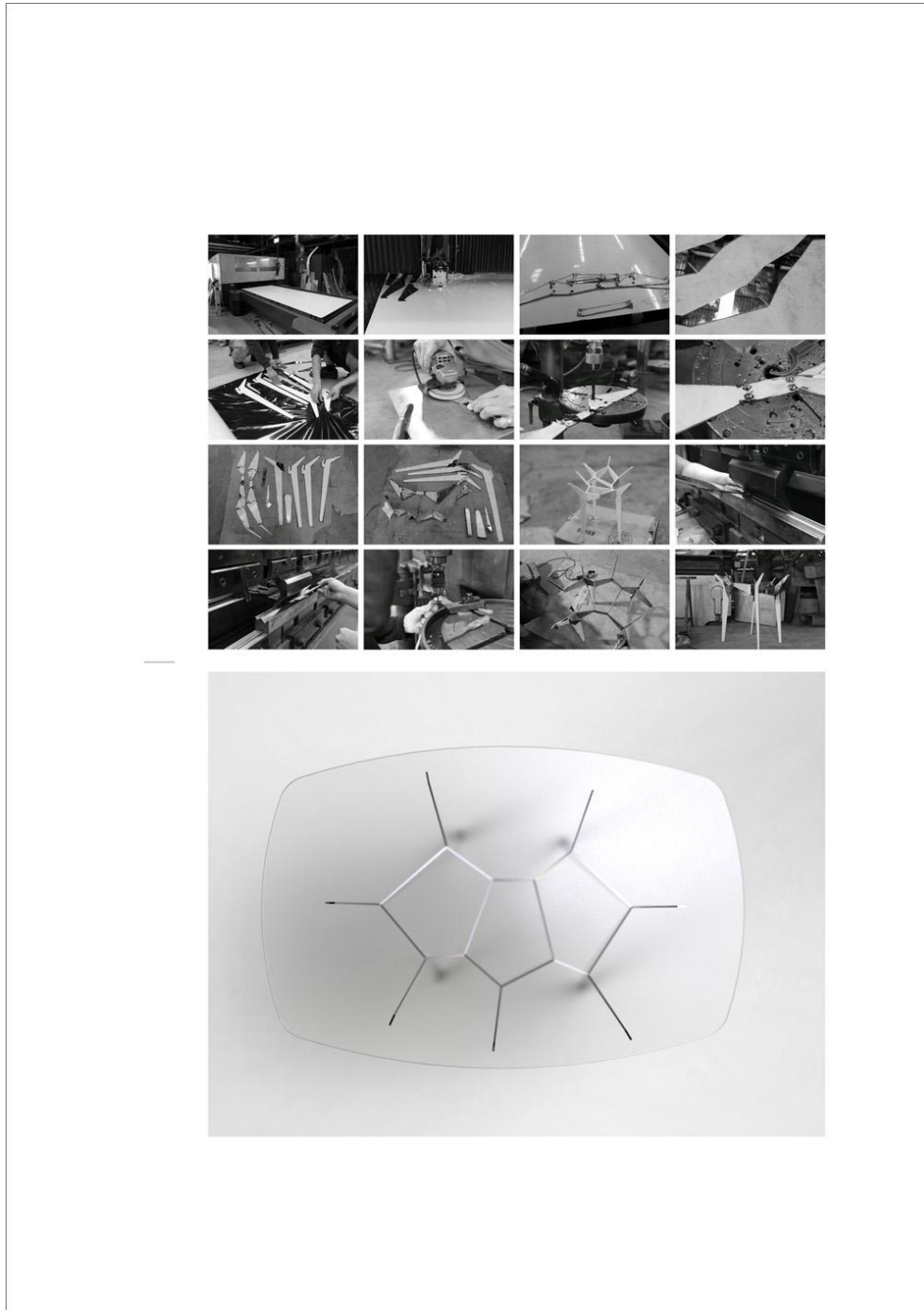


圖 5-5 展覽海報 3

5-3 展覽期間



圖 5-6 展覽期間與媒體採訪

## 第六章 設計檢討與建議

### 6-1 設計思維異同

### 6-2 設計創作檢討

6-2-1 矮桌

6-2-2 餐桌

6-2-3 燈

### 6-3 後續發展建議



## 第六章 設計檢討與建議

### 6-1 設計思維異同

從本研究所整理的文獻資料與設計創作中，可以發現參數式設計的設計思維與傳統建模方式有許多異同之處。在建築設計與產品設計等相關領域，一般的設計流程可大致分為四個階段：初步的設計發想( Concept )、設計創作( Design )、試作與製造 ( Prototyping & Modeling ) 到最後的實際產出 ( Production )。傳統的設計方法往往是由設計者在設計創作階段以描繪出點、線、面，並透過撲面、堆疊、擠出、拉伸等建構方式逐步創造出設計發想階段中所決定的概念，接著製作草模以檢視設計，修改並確認後才會實際產出。

然而參數式設計不同於這種 step by step 的設計流程，它將每個階段緊密的連結並串聯成一個整體的設計流程，運用電腦能即時處理大量的資料運算以及屬性關聯，使整個設計流程變成一種動態的回饋機制，透過變動的設計參數輸入直接轉譯為視覺化的形態輸出，於是設計者在運用參數式設計時，從設計發想、實際創作到模擬彩現的調整與變更的呈現將會更為即時。

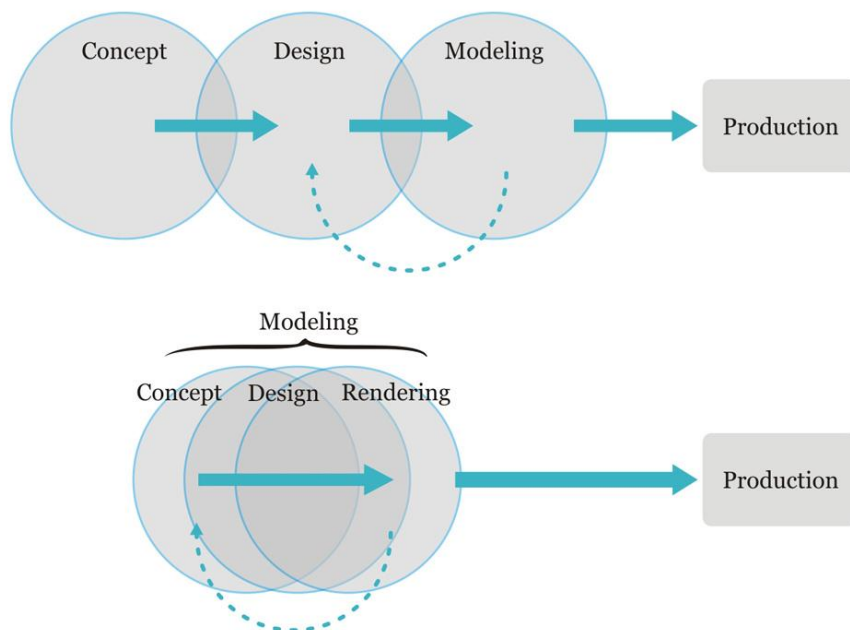


圖 6-1 一般設計流程 (上) 與參數式設計流程 (下) 的差異



上述的概念差異影響了本研究初期構想設計創作時的想法，以往的產品設計在概念階段時，早已把腦中明確的幾何圖形描繪在圖紙上，3D 建模作業僅是將這個平面式圖形逐步建立出來，然而在參數式的設計思考裡，因為演算法衍生造型的可變性，使得建模前腦裡浮現的預想作品產出是模糊的，於是在實際進行設計創作前，*“應該先建構參數模型，衍生出各式各樣的幾何造形再從其形態決定設計，還是得先構思出理想的造形再以參數模型努力去達到目標？”*這樣的矛盾問題使得研究一直躊躇不前。

原因在於研究者對於參數式設計的誤解，後者的設計方法看似與傳統概念大同小異，前者則是參數式設計所特有的設計方法，作為造形創新的應用有很大的幫助，然而研究者忽略了多數設計都存在的設計限制，知名建築師如 Zaha Hadid 或是伊東豐雄近年大膽突破的創新建築設計背後必然隱含了諸多限制條件藏在設計黑箱內，產品設計亦然如此，如採用前者的設計方法，為了符合限制條件，可能得反覆不斷衍生各種形態直到發現合乎預期的目標，這麼一來，不就跟後者的“類傳統設計方法”的過程差不多了嗎？

設計創作期間向交大建築所的侯君昊老師請教時也得到了限制的設定能夠使設計方向更明確的提醒，其實參數式設計思維就如同傳統設計手法，在創作初期永遠都是“想設計什麼？”，而非“參數式設計可以設計什麼？”，這也是本節標題所提及的“相同”處。因為參數式設計的創作方式將構想、設計、產出的距離拉近，在概念構思階段就需要全盤性的思考整個設計流程，從傳統步驟式的設計方式轉換過來，在起頭階段便容易抓不到方向，然而這或許也僅是研究者自身因設計創作初期對新設計概念的不熟悉所產生的迷思，不過還是以本研究所曾面臨的困境，建議初學者無須因為參數式設計之建構手法的不同而忽略了設計創作中的相同本質。

## 6-2 設計創作檢討

參數式設計的演進與其設計理念均是以建築領域為主要對象而發展，然而建築與產品設計的本質雖然都是創造，其各自的成果卻有不小的差異，以參數式建模工具進行產品設計的創作，必然會有因差異而發生的問題存在。

在這節，研究者將本實驗創作過程中所遇到的問題與困境逐一列出並詳述其成因，值得注意的是，這裡所列出的項目有些或許是現階段暫時無法解決的，另外，本節雖然以作品為分段方式各自提出其存在的問題點，然而這些問題點也有可能是所有作品共存的，本研究嘗試在目前可得到的資訊中探討可行的解決方法或可能的修正方向。

### 6-2-1 矮桌

#### (1) 參數模型建構方式錯誤

客廳用矮桌為本研究第一個創作的設計作品，其主要參數模型的建立主要來自於前期測試投影圖形至曲面的經驗，由於實驗階段得知曲率過大的曲面會造成投影的失真，於是本創作選擇以高度較低的客廳用矮桌作為設計目標，然而作為桌腳結構依然有稍微失真的問題，從參數模型檢視設計過程，發現由於整體桌子結構的厚度是以垂直擠出的方式成形，而桌腳也越接近地面而趨於垂直，因而造成桌腳有逐漸變細的情況。

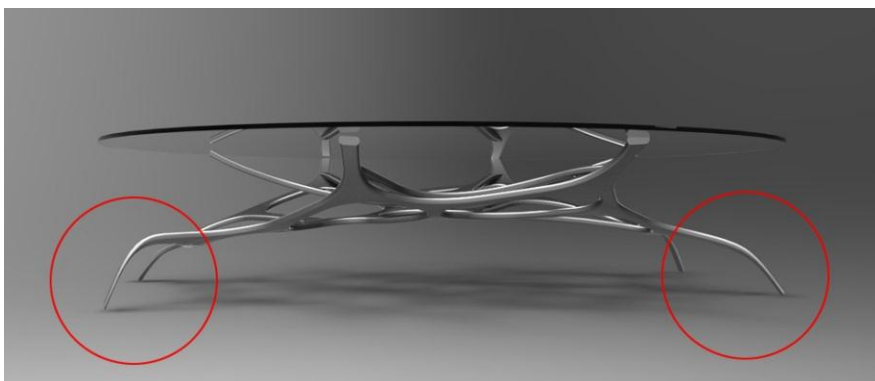


圖 6-2 矮桌的桌腳厚度不均

此失誤是因為建構參數模型時，造型特徵處理失當的原因，由於擠出成型的運算器僅接受單一方向性的動作，在不改變此參數模型建構方式的情況下，只能以調整結構投影面的曲度以維持桌腳的厚度，如圖 6-2 中的示意圖即是經過調整後讓左側原本已破圖消失的桌腳保持最低限度的厚度。

研究者在後續發展重新編輯了參數模型，以偏移曲面 ( Offset ) 的方式建立第二層投影面，並由這兩層曲面建構矮桌的下層 Voronoi 桌腳結構的方式取代原先使用單層曲面擠出的方式以解決桌腳厚度不均的現象。

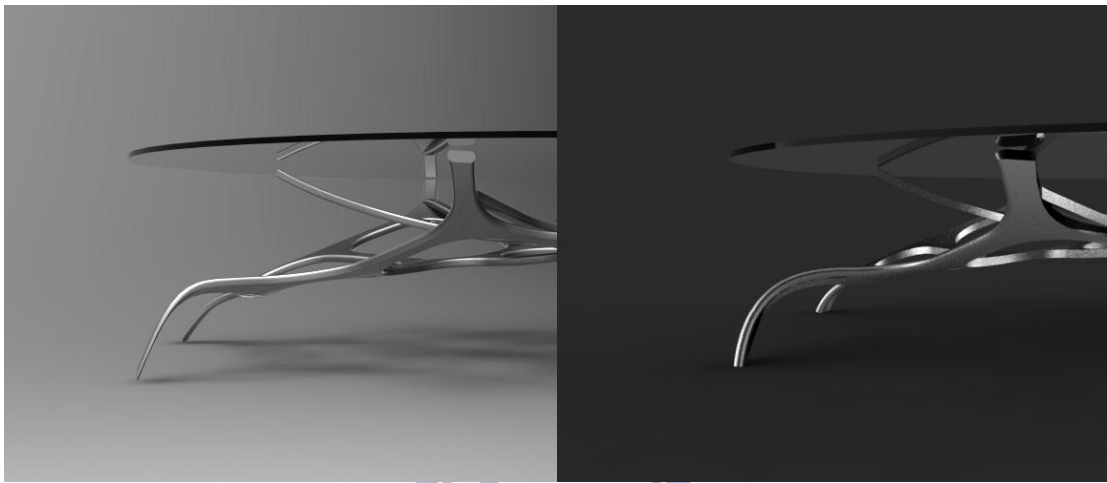


圖 6-3 原參數模型的桌腳 ( 左 ) 與修正後的桌腳 ( 右 )

## ( 2 ) 模型製成困難

在文獻探討章節中本研究列舉了幾件由知名建築師所發表的設計作品，可以發現資料中大部分的作品都是一體成形的結構，鮮少有拆件再組裝的案例，由於大部分建築師所發表的設計作品通常目的在測試他們新的建築概念或建造方法，這些 one piece 的作品幾乎都不以大量生產為目的，於是根本不需要考慮拆件與成本問題。但當設計目標為工業產品時，如何降低成本與如何製造的方法便顯得十分重要。參數化設計方法在建築領域能夠逐漸備受重視的原因之一即是從概念到設計到產出模型進機具做出縮小比例的實體模型非常方便，當目的為產出比例模型時自然不需要考慮拆件等降低成本的問題。

本創作在完成設計後欲實際製作等比例模型時，發現由於結構的複雜度高，即使拆件製作，成本還是非常高昂，假使不考慮成本堅持以拆件處理，拆件點的選擇與組裝後與原設計的差異也會是問題點，製程處理的困難成為本創作的最大難題。經本研究後續注意目前數位建築領域的發展，了解到數位建築已可透過參數化模型自動處理梁柱的分配、窗戶陣列安排與組裝等複雜的計算與配置問題，如何將這類自動化的參數模型改良並應用至產品設計上以解決拆件或製程的難題是本研究日後的研究目標之一。

## 6-2-2 餐桌

### (1) 造形修改不易

不同於矮桌的造形構成是幾乎全程由參數模型所建構出來，餐桌僅有一半是由參數化模型所完成，由於本研究尚屬於實驗創作的階段，考量前作矮桌的經驗與研究者對於深度參數建模的知識不足，在本研究的參數模型建構出桌腳的粗略結構後，其餘細節設定則是藉由草模製作並和老師討論後利用 Solidworks 修正而成，如桌腳的寬度、拆件方式、R 角處理等，此設計方法的好處在於對於後期製作產出的掌握度較好，以直接對模型的控制來避免依靠參數化模型計算處理的不定性，而最明顯的缺點即是當幾何模型需要修正時，必須進行兩段式的調整，前半段在參數模型中的處理還可以依賴參數式設計中更動參數隨即產生對應修正模型的便利，但修正後的 Grasshopper 模型一經烘焙 ( Bake ) 轉化為 Rhino 實體模型後即無法再由參數模型來調整，只能以傳統方式改動實體模型。

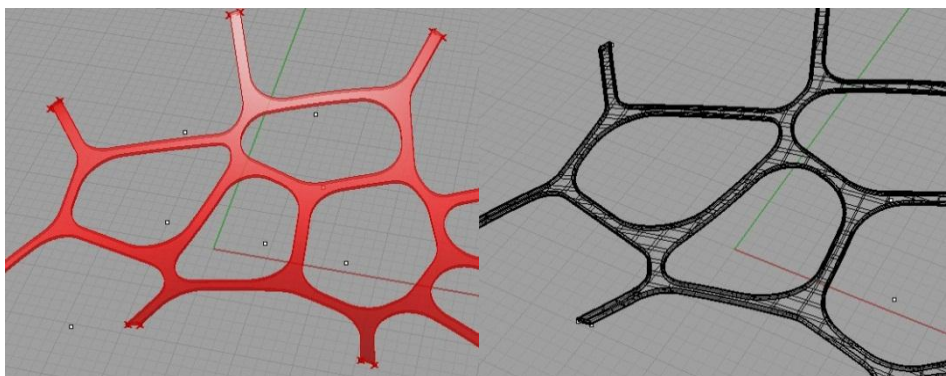


圖 6-4 Grasshopper 幾何模型(紅色) · Rhino 幾何模型(黑色)

為了提升幾何模型修正的控制程度與便利性，當設計需要跨及參數式建模與一般 3D 建模的情況下，應以幾何特徵在各軟體中修改的難易度來分配造形處理的工具，例如桌腳的延伸，在一般建模軟體中如需往四個不同方向延伸，通常需要以四次程序來完成，而在參數模型中可以藉由運算器的控制以同一個動作同時完成。而像是幾何模型的邊角需要導 R 角時，根據研究者的操作經驗，在滿是參數與運算器的參數模型平台中，想快速選取需要導 R 角的邊緣並不是一件輕鬆的事，然而這種型態的幾何特徵更動，在一般建模軟體中可以直接在 3D 幾何模型上進行選取與處理，相對地更為直覺許多。

以同時熟悉傳統建模軟體與參數式軟體的使用者來說，應可具備上述的判斷能力，日後當設計創作需要兩種建模軟體交互時，在設計階段開始前先行思考並分配各自的處理動作，以省下多次修改模型的時間與心力。



## (2) 拆件方式錯誤

餐桌的整體結構是由數片不鏽鋼組件藉由相互卡榫的方式接合，再以六角螺釘固定，因為 Voronoi 結構的特性，所有桌腳與支撐桌面的輔助腳都是接在鋼板的彎折處，因此預先切割好的卡榫凹槽在經由機具彎折後便會產生變形而造成誤差出現如圖 6-5，因板材厚度所產生凹槽前後間距的改變，使得組件之間無法順鑲嵌，最後餐桌的卡榫凹槽是經由工廠以手工打磨調整寬度才順利接合。

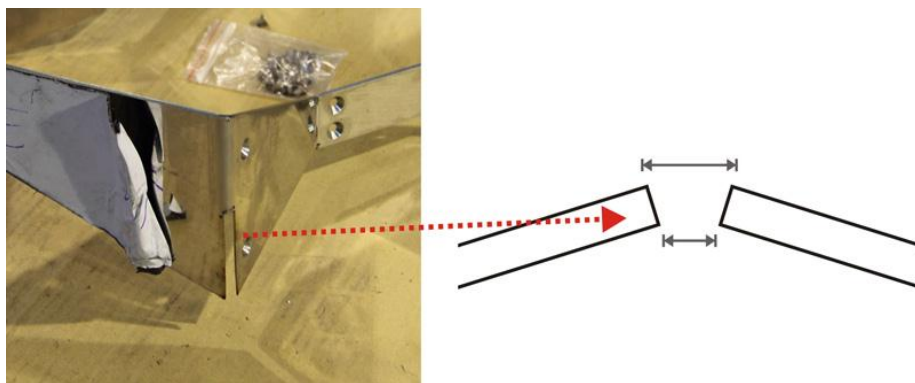


圖 6-5 凹槽經彎折後所產生的誤差

面對此問題，研究者嘗試在建築領域尋找解答，在數位建築中經常以建構立體肋架 ( Ribs ) 的方式來組裝概念模型 ( 圖 6-6 )，然而建築模型的肋架相接大多為九十度的鑲嵌結構，因此鮮少有相同的狀況，再者，此案例的發生原因在於凹槽剛好處於彎折處使得凹槽產生變形，以目前使用雷射切割處理板材的情況，雷射切割並無法以斜角切割物件，以立體肋架組立的模型中若遇到非直角的組合結構，目前普遍採用的手法為再多建立一片橋接板，以橋接板連結兩塊鑲嵌角度非垂直的板材 ( 圖 6-7 )，但此方法僅適合用於草模的組立，並不適用於本創作，除了組合式兒童玩具可能適用外，絕大多數的產品設計並無法接受這種方式。由於卡榫凹槽同時位在彎折處的情況並不常見，在目前尚無有效且漂亮的處理此問題時，研究者認為在建構需組裝的設計作品時應盡力避免類似的結構，或考慮選擇以凹槽互相嵌合以外的組合方式來組裝。

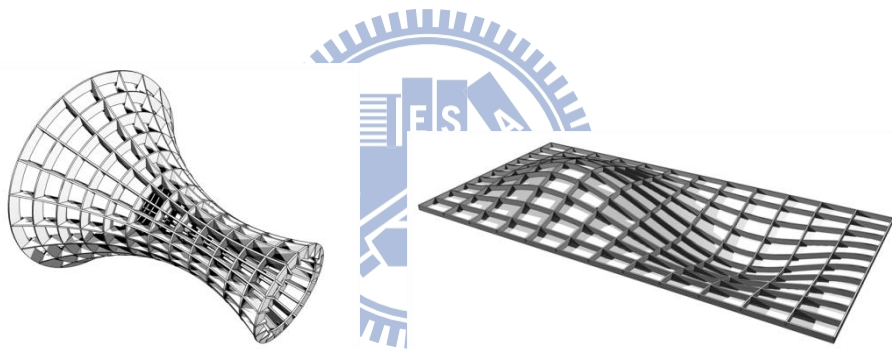


圖 6-6 以立體肋架組織造形

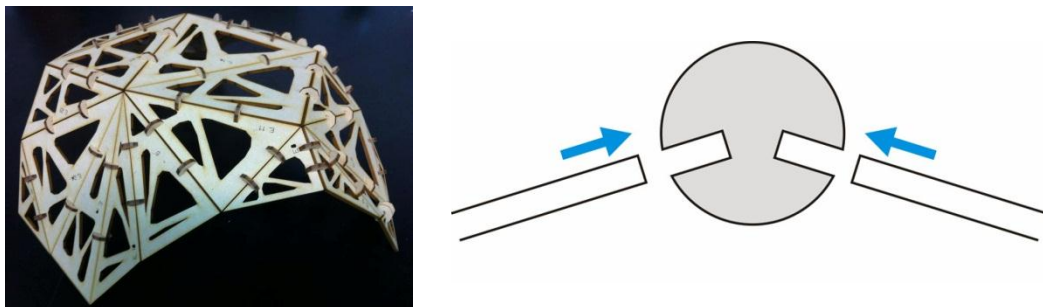


圖 6-7 以橋接片接合非垂直鑲嵌的板材

### 6-2-3 燈

#### (1) 造形與美感的拿捏

雖然透過 Grasshopper 可以快速地建構出 3D Voronoi 結構的細胞空間，但若使用隨機生成的三度空間佈點，由於各點與燈具幾何圖形的距離遠近不一，點與點之間的距離也不具規律，若搭配 Voronoi 本身的生成原理，會產生燈具表面細胞空間大小與形狀差距懸殊的問題（圖 6-8）。

於是透過這個方式生成結構後，需要花費不少時間在處理控制細胞形狀與大小的佈點參數，以調整細胞分佈的美感，並不如我原先所想像的「利用自然模式作為參數法所生成的結構必然具有美感」，原因在於佈點方式的差異，自然界的造形一般多為平均分布，不像參數式工具中的佈點方式通常是以隨機生成或人為決定，當佈點狀態與自然生成型態差距過大即會產生如上段所述的不協調感。

研究者認為，日後在建立 Voronoi 結構的參數模型時，應加入主觀美感的控制方法，如在模型中設定佈點範圍與點之間相對距離的限制，以求產出的細胞結構能接近自然界生成的型態與美感，亦可輔助設計者在後續修改階段能較有效率的微調整體結構。

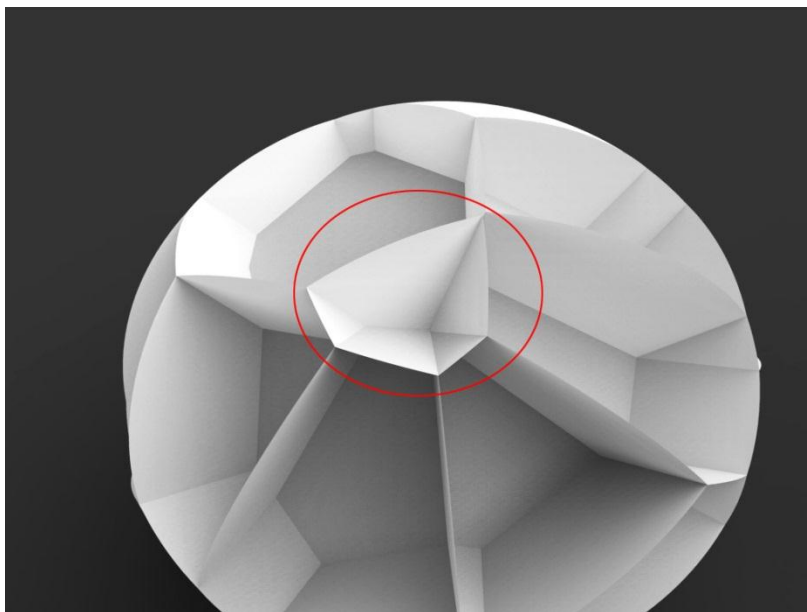


圖 6-8 點與點之間差距過大所造成的細胞空間大小與深度的差異

## (2) 模型製作費時費工

最後定案的燈具結構表面有多達 31 個細胞空間，每個細胞又有好幾個面，細胞面之間的配對編號、組裝、黏接，都非常耗費心力，面與面之前沒有特殊的連接方式也沒有突出的黏貼面，於是在製作模型時花了許多時間。研究者在後續尋找解決方式時，發現由台灣科技大學建築所張展嘉所著之碩士論文《參數設計與數位製造之操作案例實證》中，提出了自動生成黏貼面的參數化模型建構方式（圖 6-9），可供日後進行組裝式的模型實作時做為參考以提升製作效率。

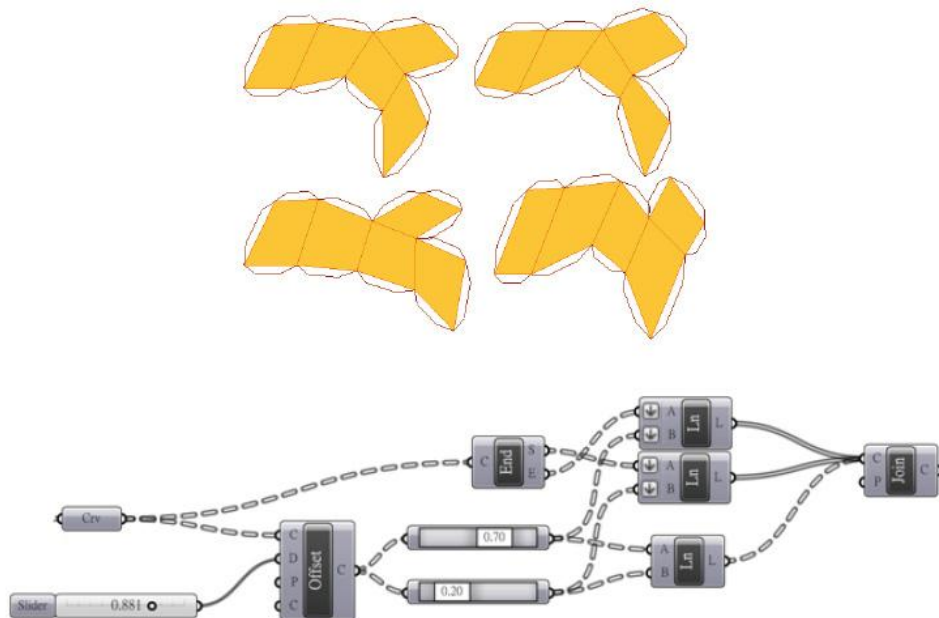


圖 6-9 自動生成黏貼面的參數化模型



### 6-3 後續發展建議

研究者依自身產品設計背景與本創作過程的參數化設計經驗將上節的創作檢討整理並歸納出相關建議，在本節所論述的觀點主要是「以工業產品為設計目標」時使用參數式建模手法所需注意的要點與建議，以一般的創作流程依序探討初期參數化模型的設計應用，到處理模型特徵時建構平台的選擇，以及建模時傳統與參數模型先後處理順序的安排，最後是幾何模型輸出成型的處理思考，以提供給欲接觸參數式建模手法的產品設計者做為參考準則。

#### (1) 參數化模型的設計應用

參數式設計工具的模式建構自由度與加入運算法的設計方式與產品設計者普遍接觸的建模軟體有很大的差異，但其強大而多元的功能並不全然適合用於產品設計的領域，目前產品設計領域也很少有以參數式設計工具為主要作業平台的設計師，初探參數式設計概念的學習者不免會想了解如何適切應用之。研究者以在研究期間與數位建築領域的教授與學生討論的心得、相關文獻的閱讀與本設計創作成果為參考，整理出目前參數式設計於產品設計領域最為合適的應用。



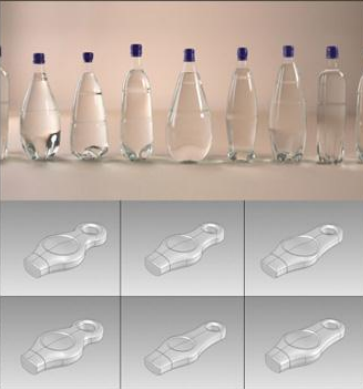
		
<p><b>產品表面樣式的設計</b></p> <p>以參數式設計方式可以快速的建立各式2D或3D圖樣，透過演算法也能建構以往較為少見的變化。</p>	<p><b>以演算法產生的結構設計</b></p> <p>如同本創作所實驗的成果，加入演算法以生成特殊結構作為產品造形的設計元素。</p>	<p><b>設計開發階段的快速提案</b></p> <p>適用於在產品開發初期作為造形提案的輔助工具，參數化模型亦可在幾何結構中加入機構空間的數據限制，使產品造形更動時，皆不影響機構空間。</p>

表 6-1 適用於產品設計領域的參數化設計應用類型

## a) 表面樣式設計

參數式設計工具以參數為主要操作對象的建構方式，可以使設計者藉由數據的調控快速而大量的產生各種複雜圖樣，適用於產品的樣式設計如筆電、手機外殼的紋理、或是包裝圖樣設計等。

## b) 以演算法生成造形、結構設計

演算法的應用是過去傳統建模軟體所不具備的設計方式，也是本研究主要嘗試應用的主題，若是設計者所進行的產品創作可允許在造形創新部分有較大的自由度時，則可以考慮以參數式設計作為造形創作的輔助工具，透過參數式設計工具與演算法的搭配，設計者也能夠建構出以往依主觀經驗較難構思出的結構設計。



## c) 設計開發階段的快速提案

在產品設計開發階段，經常會有需要單一產品提出多種造型變化的例子，設計師可應用參數式設計工具建構相同設計並藉由將各種特徵參數化的方式，利用參數模型的調整快速提出並檢視各種造形變化的成果以作為設計提案的參考與輔助工具。設計者亦可在產品造形中加入特定的限制以提高設計階段的效率，例如滑鼠設計案中，可以在產品內加入機構空間的數據做為限制，往後即使任意更動造形，也可以確保機構空間不被更動。

## (2) 模型特徵的建構平台選擇

在設計檢討章節的第一段有提及，參數化設計工具目前為數位建築領域的主要設計工具，而建築作品的尺度比起產品大上許多，建築設計師運用參數化設計工具以處理建築的複雜架構，但主要很少用來處理「細節」，例如窗戶邊緣是否需要導 R 角，牆壁要鑽幾個孔以便鎖上大門等，然而「細節」卻是產品設計最重要的一個環節，細節處理的好壞對於一個產品美感、質感的影響非常大。

在本研究的設計創作過程中理解到，參數式設計工具並不適合用於處理細節，以處理幾何邊緣的 R 角為例，在傳統 3D 建模軟體中，通常可以直覺式的以滑鼠直接選取並修改，在參數化工具中，如果要順利選取特定線條，必須從參數或運算器元件中尋找該線條的參數資料，而參數式工具的樹狀資料結構也不利於快速尋找，當找到特定的參數資料後，還需以相關的運算器定義選取資料的邏輯以抓取該資料，找出資料後如何建構導 R 角的參數模型又是一項繁複的作業。

總結以上經驗，研究者認為以參數化軟體工具進行產品設計時，並無須全程在參數模型中完成，可以設計特徵建立的難易度選擇將部分的造形處理交由其他建模軟體完成，以提高對幾何模型的掌握，表 6-2 為研究者於本研究創作經驗中整理歸納出的特徵分類，研究者以 Rhino 建模軟體為主要的對照組，建議當設計者在設計創作時可依此表所列的特徵類型，將模型分別於不同平台進行作業。

表 6-2 所分類之特徵分類並不代表該特徵並無法於另一個設計平台完成，而是取決於設計的難易度，以嵌面 ( Patch ) 為例，在 Rhino 軟體中可由數條互相連接的曲線將曲線之間的空間鋪成面，目前於 Grasshopper 中並沒有此功能，但進階的使用者可透過程式語言自行編寫出具有相同功能的運算器，考量並非所有使用者都具備相同的能力，如設計中需要以此功能則可建議交由 Rhino 軟體來完成。而 Grasshopper 不斷的改進，未來或許在處理這些較為困難的特徵有更大的進步空間，不過若以現階段而言，以此分類原則來進行設計創作可幫助使用者的設計過程更為順利。

適合於參數式設計軟體處理的特徵	建議以傳統建模方式處理的特徵 (本表以Rhinceros為例)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 需輔以演算法生成的幾何型態</li> <li>▪ 需要複數資料的動作： 亂數資料(Random) 複數分割(Divide) ⋮</li> <li>▪ 大量幾何型態的處理： 陣列(Array) 網格(Mesh) ⋮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 嵌面(Patch)</li> <li>▪ 圓角(Fillet)</li> <li>▪ 斜角(Chamfer)</li> <li>▪ 曲面接合(Connect Surface)</li> <li>▪ 曲線控制點(Control Point)的調控</li> <li>▪ 幾何模型的組接</li> </ul>

表 6-2 適合於不同設計平台的特徵分類

### (3) 實體模型與 Grasshopper 模型的處理順序

上個段落所提出的跨平台建模作業，有助於設計者對造形處理的掌握度，但兩個平台的幾何模型型態的不同卻會造成修改模型的困難，此問題點即是在設計檢討章節中，於餐桌案例所提及的模型修改問題，尚處於 Grasshopper 幾何模型的型態，都可以藉由參數的控制來進行即時調整，但由 Rhino 軟體所處理的幾何特徵便無法再由 Grasshopper 控制。

研究者建議當設計創作需要由兩平台交互應用時，可嘗試將兩平台的特徵集中處理，如將所有 grasshopper 的作業完成，過程中需要進行的細部特徵則全部保留，最後於 Rhino 中進行處理。反之亦然，如果主要幾何模型為 Rhino 模型，後續需要以 Grasshopper 輔助設計時，建議在進入 Grasshopper 前，將所有可事先處理的細部特徵完成。若是設計創作無法如此歸類，非得交叉進行作業，研究者建議在參數模型的編譯時，以分段式的結構進行設計，如圖 6-10 所示，

在設計建立到一半若需要跳至 Rhino 去處理，則可將所需參數獨立出來，處理完成後再將 Rhino 修改後的幾何圖形輸入至後半段 (圖 6-11)，以這種分段式的參數模型建構手法能幫助使用者較有系統的管理幾何模型並讓參數模型不致過於複雜。

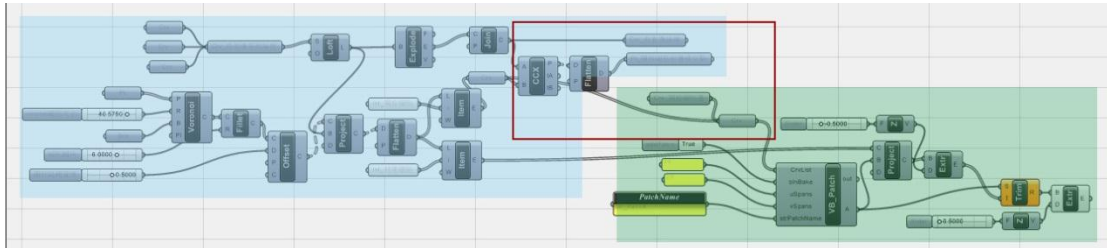


圖 6-10 分段式的參數模型建立

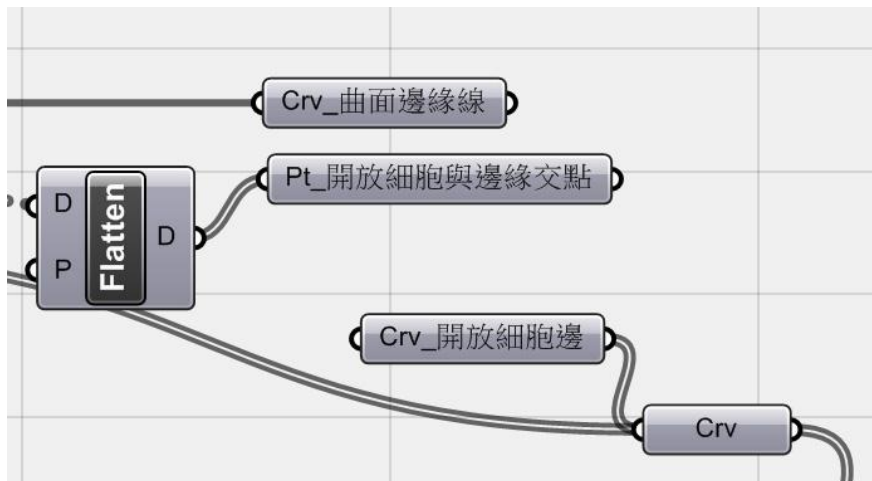


圖 6-11 Grasshopper 模型的輸出與 Rhino 模型輸入

#### (4) 模型輸出成型的處理思考

數位建築領域在使用參數式設計手法時，強調在設計過程中的任何造形處理變化都能及時產出實體模型以檢視設計概念，但其多數的模型大都是以雷射切割後的紙板，再以立體肋架組合的結構，或是直接以 R P 成型。但產品設計在處理後端加工時，必須考量拆件、組裝、成本等要素，本研究創作中所遇到的問題主要在於其結構有拆件上的困難，若是設計創作全程參數軟體建構，而幾何型態相對單純，且結構中有大量相同的組件要素，使用參數模型進行拆件處理亦有很大的幫助，然而若是如同本研究所提出的跨平台設計創作，則建議可依循設計師熟悉的方式於慣用的設計軟體進行後續產出的作業。

## 第七章 結論

7-1 設計創作反省

7-2 具體成果與貢獻

7-3 心得與研究建議



## 第七章 結論

### 7-1 設計創作反省

回顧整個研究創作過程，「參數式設計」的概念並非我原本的初衷，憑著想做出類似 Theo Jansen 的仿生獸一般富有生命力作品的熱血衝勁，不斷思考運用自然模式能做出什麼有趣的東西來，然而在研究探索的同時，我也發現單靠自身的設計能力在紙上畫出的圖形不過就是自然美感的模仿，與心中預期的構想總是有段差距，於是當我從建築領域中發現參數式設計概念時，被其獨特的設計手法深深著迷，毅然決然地就投入的這塊對我來說完全是全新的未知領域。

在研究參數式設計的過程中，也引起了我對於數位建築領域的興趣，逐漸理解位於同系館的建築所他們經常在創作的複雜造形結構是為了什麼，當前各地充滿前衛感的創新建築是如何誕生，然而當我懂得越多，了解得更深入，也開始對於自己能否掌握這門精密而複雜的學問感到迷惑，從未接受過正規數位建築設計訓練的我，真的能夠掌握參數式設計嗎？僅靠著網路各種教學資料和向建築所同學討教的所得到的知識，真的能夠做出符合我期待的作品嗎？在創作前期的實驗設計階段，由於參數工具與過去我熟悉的建模軟體的設計方式有太大的差距，常常因為對於軟體的不熟悉而面臨許多困境，也開始對於自己能否完這個研究創作感到不安。在這裡要感謝在設計過程中老師對於這個題目的支持與鼓勵，在好幾次我遇到瓶頸的時候適時提醒我：「參數式設計是輔助設計的工具，並非得要全程以它完成設計」，打破了我對於自己過度堅持所陷入的困境，也讓我在這個創作過程中，慢慢建立起參數式工具與傳統建模工具交互使用的心得與方法。

雖然過程跌跌撞撞，設計創作的產出自認也不算盡善盡美，然而我還是希望作為產品設計領域初探參數式設計手法的這篇創作研究，可以給予日後對這方面有興趣的學習者有所啟發，並從中得到幫助，更期許自己能持續探索參數式設計的應用使之成為產品造形創作的一項新利器。

## 7-2 具體成果與貢獻

### (1) 參數式設計工具的引入與介紹

參數式設計是新興的設計概念之一，各種參數式設計工具亦在同步的進步與發展中，本研究以目前主流的設計工具 Grasshopper 為主要研習目標，然而 Grasshopper 在台灣僅在建築系所有相關的教學課程，網路上的教學資料參差不齊，難易度亦有差距，中文類的教學資料更是屈指可數。本研究將創作學習階段所吸收的知識與綜合各方教學文件，以獨立章節介紹 Grasshopper 的基本操作概念與設計原理，提供往後入門的設計者能做為基礎學習的參考資料。

### (2) 參數式設計應用於產品造形的設計建議

如上段所述，由於參數式設計概念為較新穎的設計手法，目前在產品設計領域非常少有應用參數設計工具做設計的案例，研究者在本設計創作中所歸納出的心得與建議中亦提出了參數設計應用於產品造形的可行性，以及在設計過程中可能遇到的困難點與相對應的解決方式，期望藉由本研究提出的設計建議能提升設計者應用參數設計工具進行創作的效率與品質。

### (3) 應用自然模式的可行性

本研究探討自然模式應用於產品造形上的可能性，實驗過程考量各模式的差異與圖形化的困難點，選擇以 Voronoi 圖形進行設計測試，提出其應用的方式，並以 Voronoi 圖形作為主要的設計元素以產出數種不同型態的設計作品，說明以自然模式作為演算法產生造形的可行性。



### 7-3 心得與研究建議

從題目訂定、找尋資料到最後的實驗創作，一路以來經常抱著想像不到後續成果的不安感在持續前進，尤其在建立參數模型時，有如在解數學難題一般，運算器之前不斷地來回串接，不斷的 try error，上網找解答，就只是為了一個看似簡單的設計動作，久而久之，這種解題般的痛苦與成功破解的喜悅讓我的研究生生活增添不少刺激感。隨著研究過程中也體悟到，參數設計工具中多達數十種的運算器與參數交互連結所產生的集合實在太過龐大，每一個設計構思都可能會遇到數種難以解決的問題，想深度了解參數式工具的應用只有不斷的實際操作、遇到困難、解題，才能快速的成長。

研究者認為，隨著未來電腦相關科技的持續進步，參數式設計的概念會逐步進入產品設計領域中，本研究起始於對自然模式應用的好奇，並以此做為學習參數式設計的契機，然而參數式設計廣泛的應用方式，不僅止於自然模式的使用，藉由數學公式等規則亦能衍生出許多造形，其開放式的建構方法提供了設計者許多創作的可能性，而這個新概念還在持續成長中，期許未來有更多的產品設計者能深入探究參數式設計的有趣之處，並在未來建立出一套完整的、合乎產品設計範疇的應用法。

## 參考文獻

### 中文

1. Ian Stewart, 葉李華譯, 大自然的數學遊戲, 天下文化, 1996
2. Ian Stewart, 蔡信行譯, 生物世界的數學遊戲, 天下文化, 2000
3. 伊東豐雄, 謝宗哲譯, 衍生的秩序, 田園城市, 2008
4. 劉育東, 為數位建築下定義, 美兆文化, 2001
5. 劉育東、李楚卿, 新構築, 田園城市, 2009
6. 謝宗哲, 建築家伊東豐雄, 天下文化, 2010
7. 陳珍誠, 建築設計的數位程序, 建築師雜誌社 2011 七月號 P. 66, 2011
8. 張展嘉, 參數設計與數位製造之操作案例實證, 台灣科技大學建築所碩士論文, 2011



### 英文

1. Benoit B. Mandelbrot, The Fractal Geometry of Nature, W. H. Freeman, 1982
2. Kimberly Elam, Geometry of Design, Princeton Archit. Press, 2001
3. Zaha Hadid, Zaha Hadid Complete works, Rizzoli, 2009
4. Arturo Tedeschi, Parametric Architecture with Grasshopper, Le Penseur, 2011
5. Woojae Sung, Grasshopper Learning Material, 2010

## 網站

ature by Numbers <http://www.etereaestudios.com>

Mo Math <http://momath.org/home/fibonacci-numbers-of-sunflower-seed-spirals>

Mathworld <http://mathworld.wolfram.com/VoronoiDiagram.html>

Wikipedia, Generative Design [http://en.wikipedia.org/wiki/Generative\\_Design](http://en.wikipedia.org/wiki/Generative_Design)

Zaha Hadid Architects <http://www.zaha-hadid.com>

Patrik Schumacher <http://www.patrikschumacher.com>

Marc Newson <http://www.marc-newson.com>

UN didi <http://dimitrie.wordpress.com/2009/05/01/3d-voronoi-in-grasshopper>

Smedresmania <http://www.smedresmania.com>

About Generative Design platforms by Mark Loomis <http://designplaygrounds.com>

水立方 [http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing\\_National\\_Aquatics\\_Center](http://en.wikipedia.org/wiki/Beijing_National_Aquatics_Center)

碎形 <http://www.atlas-zone.com/complex/fractals/index.html>

數位形構 <http://blog.xuite.net/ironbar2k/digifab>