

國立交通大學建築研究所

碩士論文

聲音資訊之形體化研究

A Study of Cymatics Form of Sound



研究生 李宸安

指導教授 侯君昊

中華民國一〇二年 九月

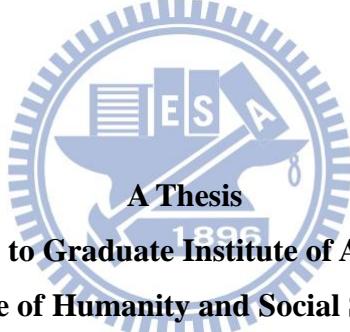
聲音資訊之形體化研究  
**A Study of Cymatics Form of Sound**

研究生: 李宸安      Student: Chen-An Lee  
指導教授: 侯君昊      Advisor: June-Hao Hou

國立交通大學

建築研究所

碩士論文



**Submitted to Graduate Institute of Architecture**

**College of Humanity and Social Sciences**

**National Chiao Tung University**

**Inpartial Fulfillment of the Requirements**

**For the Degree of**

**Master of Science in Architecture**

**September 2013**

**Hsinchu, Taiwan, Republic of China**

中華民國一〇二年 九月

## 摘要

聲音為空間中主要的不可視資訊，其狀態可以由聲波的振動來理解，這股振動的力量可以生成一種動態而且有序的形。將空間中的聲音以形體表現，可與空間形體以最直接的方式呈現其關係。

本研究以單體振動流體產生的 Cymatics 以及非牛頓流體運動分析聲音對於形體的發生以及狀態造成影響做為基礎，分析結果編寫可重現實驗的程式。研究過程以視訊鏡頭捕捉實驗中流體的運動，再將影像資訊轉化為數位模型，與程式運算結果比較，並以實體實驗產生的數據重新調整參數，使程式運算達到逼近實體實驗的結果。

產生可控制的形體程式後，編程聲音程式來獲取實際基地中的聲音資訊，並使用形體程式模擬出空間中聲音資訊所產生的形體與其狀態，以探討聲音產生的力量與形體變化對於空間的影響與可能性。



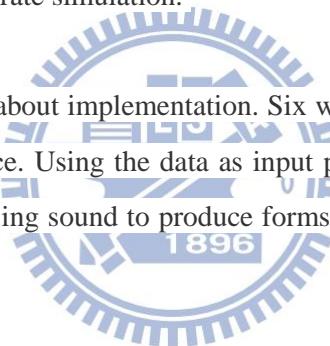
關鍵字: Cymatics、聲波、形塑、非牛頓流體

## **Abstract**

Sound is one of main invisible information in space. We could comprehend its status through vibration of sound waves. The most direct way to display the relation between sound and space is generating animate form with the power of vibration.

This research is based on Cymatics, which studies patterns generated from using different hertz to vibrate water. Non-Newtonian fluid was also used to replace water and to produce forms of sound. The research consists of four parts. The first part is writing a program to recreate dynamic forms of sound from the experiment. The second part is using webcam to catch images of the experiment and analyze the data by means of computer-aided tools. The third part is to compare results from the experiment and the program and correspondingly adjust parameters for more accurate simulation.

The last part of the research is about implementation. Six wireless microphones were used to get data of sound in a real space. Using the data as input parameters, the form of the sound was generated. Possibility of using sound to produce forms and its impact on space has been explored and evaluated.



Keywords: Cymatics, Sound, Form-finding, Non-Newtonian fluid

## 謝誌

能夠完成這本論文首先要感謝我的指導教授侯君昊老師，以及許倍衡老師，數位組兩位老師的教導讓我在研究所的階段學到很多，也更確定了未來的方向。再來要感謝交通大學建築研究所和淡江大學建築系以及所有指導過我的老師們，學校提供的資源和老師們認真的教導，才讓我在學習建築的這條路上順利前進。

再來要感謝家人對我的支持，雖然常常抱怨看不懂我在做什麼，不過都持續給我鼓勵和諒解。朋友們之間的討論也都重要的學習過程，大家一起在工作室吃鼎王，一起去水族館，都是我這兩年最開心的回憶。

在建築的路上這是我第一次完成一份研究，對我而言做研究的壓力比做設計大很多，雖然無法清楚說出做研究跟做設計的差異，不過的確學到很不一樣的東西，希望未來的路上都能持續感受到這種獲得新事物的感覺。



# 目錄

<b>摘要</b>	-i
<b>Abstract</b>	-ii
<b>謝誌</b>	-iii
<b>目錄</b>	-iv
<b>圖表目錄</b>	-vi
<b>1 導論</b>	-01
1. 1 - 研究動機與問題	-01
1. 2 - 研究目的	-03
1. 3 - 研究方法與步驟	-04
1. 3. 1 - 研究系統	-04
1. 3. 2 - 研究評估	-06
1. 4 - 研究架構	-07
<b>2 研究背景</b>	-09
2. 1 - 聲波振動與形體生	-09
2. 1. 1 - Cymatics	-09
2. 1. 2 - 波的分析探討	-10
2. 1. 3 - 非牛頓流體	-14
2. 2 - 動態資訊的形體生成之案例	-15
2. 3 - 電腦輔助設計環境	-20
<b>3 流體成形實驗與程式設計</b>	-25
3. 1 - 實驗與分析	-25
3. 1. 1 - 流體實驗分析紀錄	-25
3. 1. 2 - 流體運動資訊化	-31
3. 2 - 程式設計與運算	-34

3. 2. 1 - 程式發展-----	35
3. 2. 2 - 單波源運動運算與成形-----	37
3. 2. 3 - 多波源運動運算與成形-----	45
3. 2. 4 - 非牛頓流體運動運算與成形-----	51
3. 3 - 小結-----	60
<b>4 資訊比對與雛形生成-----</b>	<b>61</b>
4. 1 - 資訊比對-----	61
4. 1. 1 - 資訊轉化輸入與生成-----	61
4. 1. 2 - 數據比對-----	66
4. 2 - 雛型設計-----	68
4. 2. 1 - 基地分析-----	68
4. 2. 2 - 雛型生成-----	72
4. 2. 3 - 雛型發展-----	82
4. 3 - 結果評估-----	88
<b>5 結論-----</b>	<b>89</b>
5. 1 - 結論-----	89
5. 2 - 研究貢獻-----	90
5. 3 - 研究限制-----	91
5. 4 - 後續研究-----	92
參考文獻-----	93
參考網站-----	94

## 圖表目錄

圖 1-1 Marcel Duchamp, Nude Descending a Staircase, No. 2(1912) -----	01
圖 1-2 振動形體實驗記錄-----	04
圖 1-3 捕捉流體動態的實驗設備-----	05
圖 1-4 研究架構圖表-----	07
圖 2-1 Cymatics 的圖像-----	10
圖 2-2 行波與駐波-----	10
圖 2-3 典型雙波源干擾-----	11
圖 2-4 惠更斯-菲涅耳原理波紋分析-----	12
圖 2-5 建設性干擾點與破壞性干擾點-----	13
圖 2-6 流體微元在正弦波撞擊下的位移狀-----	13
圖 2-7 流體微元在單波源撞擊下的位移狀態-----	13
圖 2-8 非牛頓流體在正弦波撞擊下的形變-----	14
圖 2-9 切應力隨速度梯度的變化-----	15
圖 2-10 Sound Gear by Kimkichul (1999~2002) -----	16
圖 2-11 BUOYANT DEPOSITIONS by Brian Harms(2012) -----	17
圖 2-12 資訊轉化形成形體的程序-----	17
圖 2-13 Responsive Acoustic Surfaces By Peters, Brady , University of Ljubljana-----	18
圖 2-14 資訊轉化形成形體的程序-----	18
圖 2-15 Philip Pavilion Script by Le Corbusier(1958)-----	19
圖 2-16 流體運動實驗過程-----	20
圖 2-17 Max/Msp 的圖像式開發環境-----	23
圖 2-18 RhinoScript 的腳本編程環境-----	23
圖 2-19 Grasshopper 的圖像式開發環境-----	24
圖 3-1 實驗過程照片-----	25
圖 3-2 Cymatis 紋理的變化過程-----	26
圖 3-3 單波源 Cymatis 在各種頻率下的紋理-----	26
圖 3-4 單波源 Cymatis 在各種頻率下的高度變化-----	27
圖 3-5 雙波源 Cymatis 在相同頻率下的紋理-----	27
圖 3-6 雙波源 Cymatis 在不同頻率下的紋理-----	28
圖 3-7 雙波源 Cymatis 在不同頻率差距下的擴散範圍-----	28

圖 3-8 雙波源 Cymatics 在不同頻率差距下的擴散範圍-----	29
圖 3-9 非牛頓流體調配比例-----	29
圖 3-10 非牛頓流體在不同頻率下的運動-----	30
圖 3-11 非牛頓流體在不同頻率下的運動-----	31
圖 3-12 移動平面曲面上控制點的變化-----	32
圖 3-13 曲面變動過程的疊加-----	33
圖 3-14 曲線變動過程的疊加-----	34
圖 3-15 以 RhinoScript 編寫數學式運算生成之圖形-----	35
圖 3-16 正弦波不同頻率變化的過程-----	36
圖 3-17 單波源產生的波紋模型-----	37
圖 3-18 多波源產生的波紋模型-----	38
圖 3-19 Cymatic 程式運算結果-----	40
圖 3-20 干擾點群形成的三維波紋模型-----	41
圖 3-21 Cymatics 點群成形過程-----	42
圖 3-22 Cymatics 點群成形在參數調整下的狀態-----	43
圖 3-23 Cymatics 點群成形在參數調整下的狀態-----	44
圖 3-24 單波源與不規則邊界的運算結果-----	45
圖 3-25 多波源與不規則邊界的運算結果-----	46
圖 3-26 多波源與不規則邊界的運算結果-----	47
圖 3-27 干擾點群形成的三維波紋模型-----	48
圖 3-28 多波源點群在不同參數運算的成形結果-----	49
圖 3-29 多波源點群在不同參數運算的成形結果-----	50
圖 3-30 加權點的位移方式-----	51
圖 3-31 加權值對量值的影響-----	51
圖 3-32 加權值程式運作-----	52
圖 3-33 加權值運算模型生成過程-----	53
圖 3-34 加權值模型運算結果比較-----	54
圖 3-35 非牛頓流體程式流程圖-----	55
圖 3-36 以 Cymatics 點雲執行非牛頓流體程式在不同參數下的變化過程-----	56
圖 3-37 以 Cymatics 點雲執行非牛頓流體程式在不同參數下的變化過程-----	57
圖 3-38 經加權程式運算單波源後點群成形的狀態-----	58
圖 3-39 經加權程式運算多波源後點群成形的狀態-----	59
圖 4-1 實際實驗單位與程式運算單位的對照-----	61

圖 4-2 以他人的實驗結果進行對照-----	62
圖 4-3 實際實驗的資訊轉化-----	63
圖 4-4 將實驗過程的影片轉化為幾何資訊-----	64
圖 4-5 將實驗過程的影片轉化為幾何資訊-----	65
圖 4-6 流體實驗的運動數據化-----	66
圖 4-7 流體實驗的運動數據化-----	67
圖 4-8 數據資料比對-----	67
圖 4-9 基地空間平面圖與波源設定位置-----	69
圖 4-10 收音狀況照片-----	70
圖 4-11 以 Max/Msp 設計之頻率獲取程式-----	70
圖 4-12 收音結果圖表-----	71
圖 4-13 收音結果圖表-----	71
圖 4-14 以穩定且不反射的正弦波表現基地的聲音資訊-----	72
圖 4-15 以漸弱且不反射的正弦波表現基地的聲音資訊-----	73
圖 4-16 不同單位的虛擬頻率在基地模型上產生的干擾點-----	74
圖 4-17 各音源的頻率平均值在映射模型上的值-----	74
圖 4-18 不同單位的虛擬頻率以各音源發散產生的干擾點-----	75
圖 4-19 實際測量數據在基地模型中的運算結果-----	76
圖 4-20 實際測量數據在基地模型中的運算結果-----	77
圖 4-21 同一測量時間以不同參數運算產生的模型-----	78
圖 4-22 各分鐘內基地的聲音資訊形體-----	79
圖 4-23 各分鐘內基地的聲音資訊形體-----	80
圖 4-24 各分鐘內基地的聲音資訊形體-----	81
圖 4-25 實體實驗與虛擬程式的參數對照-----	82
圖 4-26 加權程式運算於基地資訊-----	83
圖 4-27 加權程式運算於基地資訊-----	84
圖 4-28 加權程式運算於基地資訊-----	85
圖 4-29 加權程式運算於基地資訊-----	86
圖 4-30 聲音形體在空間中的形體模擬-----	87
圖 4-31 聲音形體在空間中的形體模擬-----	88

# 1

## 導論

### 1.1 研究動機與問題

形和機能是建築設計最重要的元素，在設計經驗的累積下，靜態的形(Static Form)可以獲得較有效的生產效果，在設計的階段可以有效的檢討空間品質，或是以數據的方式檢視機能上的效益，維護等後續處理上也可以擁有有效的規劃及實施。近年設計推演至新的領域，將動態的因子加入造型生成或設計的層面。Peter Eiseman 與 Greg Lynn 都嘗試創作出包含著動態因子於其中的建築設計，從其獨特的造型中能讀到力量的流動與作用。

現今的空間互動設計已經發展出多樣的互動方式來回應空間環境資訊，Greg Lynn 在其著名著作” Animate Form” (1999)中描述，若以船艇的設計比喻，即時的互動設計如同船帆的機能一般，即時回應著環境的力量，並調整自身的狀態與形體來達到機能上的目的。而他所描述的”動態的形” 則是猶如船身的設計，不只考慮空間配置與裝載等使用上機能的需要，而是將船隻行進的方向以及水流的力量都加入運算而得到的最佳化形體。這樣的形體不是擷取力量流動的瞬間，而是將自身及環境的力量都納入分析後，在整個時間軸上表現最有效益的動態形體。



圖 1-1 Marcel Duchamp, Nude Descending a Staircase, No. 2(1912)

圖 1-1 為 Marcel Duchamp 的畫作”下樓梯的女人”，此作品中人物的動作被重複的堆疊，因此我們可以在靜止的畫面中了解到人物在空間中移動的軌跡，以及對空間狀態造成的影响。空間的狀態是由構成它的實體與虛體來定義的，實體的部分很容易被解析，但虛體的部分卻相較困難。構成空間的虛體是可以移動變形的，也可以在不變的性質下放大縮小，是實際存在且可被理解的力。

力是造成形變化和運動的初始原因，運動和形體被多個相關的向量所控制，這些向量的變化與運動牽動著形的改變。賦予向量實體的屬性，動態形體的設計將從不確定的抽象狀態進入主動的控制狀態，形體的產生也就具有力的資訊。不可視的資訊可能是自然物理環境生成的，也可能是藉由空間中的使用者產生的，不論是何者都具有影響空間狀態的能力。以既有的實體構建構成的空間為基礎，不可視資訊的介入應可以重新定義空間的形狀或狀態，連續性的資訊在對空間產生持續的影響後，將形成穩定的平衡狀態，此狀態的生成可由轉化資訊後重現，將這些不可視的資訊以固定的方式轉化成可視的後，會發現有一定的規則。相較於靜態的形，動態的形可以描繪自身行進的向量，以及環境的力量。動態的方案可以提供我們閱讀到空間的不可視資訊，如溫度濕度，室外的日曆情況，都可以轉化的方式，經由設計過的顯示狀態讓使用者閱讀，讓觀看者與空間力量互動的過程，透過設計讓人感受到周圍空間資訊。

『既然每一個物件都是一種事件，而每一個事件都有如物件般的品質，事件與物件之間就是具有互換性的。』 George Brecht(1961)

Brecht 嘗試提出一種轉換概念，將事件當作一種介於活動與物件之間的空間限制，將時間轉換為空間，能量轉換為物質。由演算出的動態形體表述複雜且不斷變化的資訊系統，都在框架和提高我們對空間中不可視資訊的看法，這些運動的模式都非雜亂或一成不變，他們都隱含著自身的行為模式。空間中有相當多的資訊再流通，人類最容易接收視覺的資訊，但其實聲音氣味或是振動，都不斷的在傳遞資訊，雖然這些資訊不易讓人察覺，但確實都跟我們在空間中的活動以及感知有著密切的關係。

聲音為空間中重要的不可見資訊，除去對於使用者聽覺的影響外，在空氣介質中產生大量的振動。振動是一種密度極高的運動方式，可以藉由介質對其他物體傳遞力量。利用可精準控制的聲波頻率來量化振動的量值以及用裝置來控制振動源和振動方向，即可以利用振動來對目標物傳遞設定的力量。在研究聲音的視覺形體化領域中，一項名為 Cymatics 的研究最具代表性，Cymatics 是以單體振動盛裝於平底容器的流體，流體根據

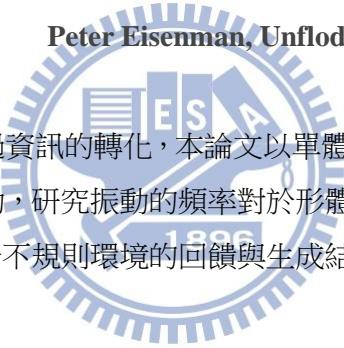
單體頻率的變化，形成不同紋理的複雜形體。

藉由 Cymatics 的實驗可以理解聲音對於形體變化的影響，但實驗的器具無法隨時更動，單體的大小也無法無限制的更換，因此可以使用電腦程式輔助分析並完成更多參數調製下的形體變化。並探討以 Cymatics 為基礎產生的形體於實際空間中，因環境資訊而生成的型態，以及改變空間狀態的可能性。

## 1.2 研究目的

『當代建築的主體(subjective)與客體(objective)已進入了混淆與不穩定的情況，他們是無法被侷限在既定的空間型態的。建築必須被超越，超越出人所能理解的範疇，而這也是何以建築必須隨時以新的形式關係去反映新的社會狀況。』

Peter Eisenman, Unfolding Event, p.423(1992)



聲音資訊要生成形體必須經過資訊的轉化，本論文以單體振動流體產生波紋為轉化過程，並以實際實驗和程式運算輔助，研究振動的頻率對於形體生成的影響。再以非牛頓流體取代牛頓流體，研究振動對於不規則環境的回饋與生成結果，藉此探討空間形式新的可能性。

為了將空間資訊轉化為形體的生成，必須先獲得空間中的資訊，再配合實體實驗的與程式運算結果，進而表現聲音的振動在空間中長時間堆積的影響和強化其效果。空間中的聲音資訊在獲取與定義上，會受到空間本身尺度與限制的影響，因此室內空間較為適合進行實驗。將在選取的基地空間獲取的聲音數據化，以設計的程式運算產生環境中的動態形體，評估各種參數下產生的結果，並以基地的角度進行分析，以此驗證動態的形的產生與設計。

研究目的整理如下：

- (A) 完成 Cymatics 與非牛頓流體運動的程式
- (B) 以電腦輔助分析實體實驗，並與程式運算結果進行比對
- (C) 以聲音資訊完成空間中的聲音形體

## 1.3 研究方法與步驟

### 1.3.1 研究系統

研究過程分為以下三個步驟，藉由各部分的結果與相互輔佐來達到將空間中的聲音資訊轉化為形體的目的：

以 Cymatics 實驗為基礎，完成波紋的程式設計

振動流體的實驗結果可以用以比對不同頻率產生的流體紋理，本研究將以波紋實驗的結果為基礎，設立裝置與紀錄方式，來得到後期研究的參數。振動流體以生成波紋的實驗已經有許多他人的研究結果，不過因裝置的差異以及大量不定因素，結果都將出現差異。而且因實驗後期需要將實驗中產生的形體參數化，因此無法採用他人的實驗結果，需要重新建立實驗並記錄分析過程。圖 1-2 為使用電腦軟體編程控制單體發出的聲音頻率，以及對流體產生形體變化的圖像。

在分析流體形變的狀態後，以實驗結果編寫電腦程式，將可以利用電腦運算的方式獲得更複雜且更精準的流體形變結果。本研初步以惠更斯-菲涅耳原理（Huygens – Fresnel principle）重新分析 Cymatics 紋理，以跟實驗同步調整出的基礎數據及程式，運算實際實驗無法處理的模組，如多點振動源即反射邊界的調整可能。再以牛頓流體的程式為基礎發展非牛頓流體的程式設計，由於非牛頓流體實驗擁有較多變數，所以程式編寫的過程需重複實際實驗以互相輔佐。

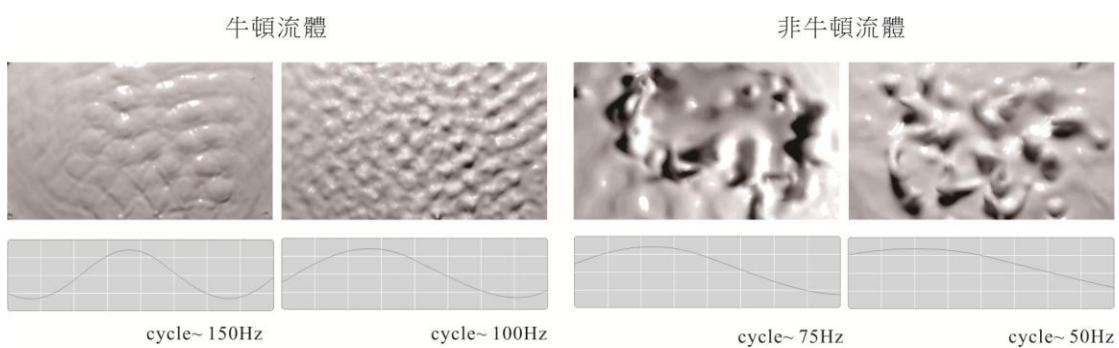
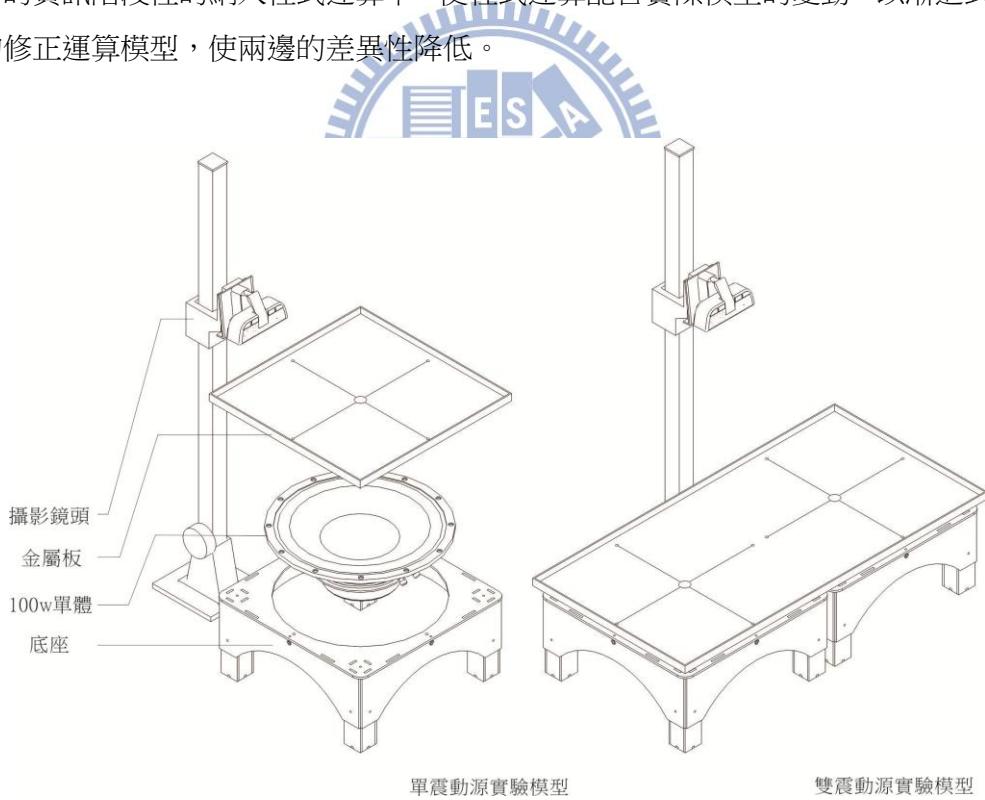


圖 1-2 振動形體實驗記錄

## 以電腦輔助分析實體實驗，並與程式運算結果進行比對

實體實驗的形變結果要進入可分析的狀態，必須將其資訊化。讓實體的模型以資訊的方式進入電腦有許多方式，如較早期的環物攝影或是先進的 Kinect 等，都可以有效的將物體轉化為可匯入電腦的資訊。但環物攝影需要穩定的模型與長時間的拍攝，並不適合用於本實驗，而 Kinect 特殊的深度模型對於本實驗而言又是過於複雜的資訊。因此以簡單的視訊鏡頭拍攝流體運動影像，如圖 1-3 所示，利用程式運算影像的變化產生與實體相對應的點雲，可以藉此點雲生成三維模型，也可以將流體的形體變化紀錄於電腦端，運算各種頻率產生的形體，以及它們的運動過程。

在將實驗的結果資訊化後，可以使獲得的資訊與程式運算的結果以同樣的表現法呈現，如將兩邊的結果都以幾何圖形顯示，或是以同樣的方式形成三維曲面。藉此比對兩邊結果的差異性，此階段的實驗目的為完成與實際實驗相符的程式運算，因此將實體實驗所獲得的資訊階段性的納入程式運算中，使程式運算配合實際模型的變動，以漸進式的方式的修正運算模型，使兩邊的差異性降低。



## 以上列兩項的成果完成基地空間的聲音形體

流體實驗與程式設計的目的是產生聲音在空間中可能造成的形體，因此在完成與實體實

驗相符的程式後，選擇一個實際空間進行環境分析，並收集空間內聲音振動資訊產生動態形體。因產生的形體尺度應與空間相當，因此配合基地環境因子參數產生的模型將以三維印表機生成，並製作基地模型，嘗試調整各種參數產生多個聲音形體模型，放置於基地模型內進行設計評估。評估內容包括空間使用者於重新生成的空間模型內的群聚狀態與位移方式。

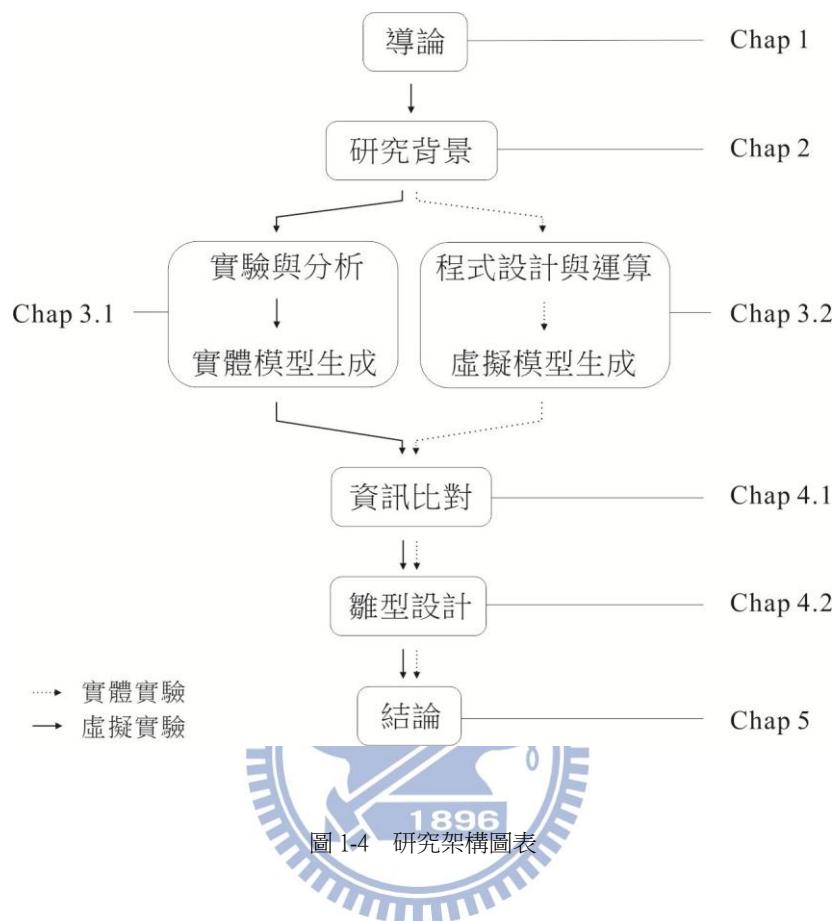
### 1.3.2 研究評估

在實際運用及未來發展可能方面，本研究的目的為探討如何將動態的形之概念發展致空間設計，結合互動資訊的作法，收集環境之聲音振動數據，並以程式運算搭配實體實驗產生之形體回應空間環境。在實際空間設計上可成為設計師探究環境力量與形體關係的手法或媒介。以互動設計的角度，此研究也可以成為互動設計手法的前置資訊轉化方式，當今互動設計方式多以即時反應回應環境資訊，本研究的結果可以對於空間資訊提出長時間的分析並以轉化方式表述。相較於即時互動的方式，提供一個將空間資訊轉化並使空間使用者理解空間狀態改變的新方式。

研究的過程在程式分析的部分，以惠更斯原理為基礎來做運算，與實際流體實驗的結果無法達到完全相同的程度，因程式為數學的方式運算，無法探究物理環境的亂數因子，如單體設備的傳導數據，非牛頓流體的均勻濃度等。實驗前期的程式運算將不與實體實驗做連結，僅以圖像方式比對流體振動產生之正弦波交集點的相似性，以輔佐後期非牛頓流體程式的正確性以可運算性。

以設計的角度來面對資訊的轉化，過程中將會出現資訊的淘汰及轉變，但並不影響振動對於形體變化的本質，在程式運算及實體實驗端都將會出現可由實驗者(使用者)調整的參數，這些參數的變化勢必影響生成結果的形體，參數的可變性在此也納入了設計的過程，轉化資訊生成的動態形體不會只有單一且絕對的結果，而是多樣的狀態且具可調整性。

## 1.4 研究架構



# 2

## 研究背景

### 2.1 聲波振動與形體生成

聲音是經由振動空氣而產生的，藉由將振動的狀態可視化，也讓人可以以聽覺以外的方式了解聲音的狀態。以喇叭單體對盛裝流體的容器振動，使流體表面依據單體發出的不同頻率，產生各式的複雜紋理，是較容易看到的案例，且實驗設備的取得並不困難，因此常常用於科學實驗中。另外，在將普通的流體替換成性質特殊的非牛頓流體後，原本藉由振動產生紋理的流體，開始出現複雜的運動，慢慢組織成不規則且形態特殊的造型。這樣現象的發生是因為非牛頓流體本身具有的特殊物理性質，而在單體發出頻率的不同，非牛頓流體也會產生不一樣的反應。

以上述這兩項實驗來進行對於聲音產生形體的解析，需從 Cymatics 的產生過程、分析波的方式以及非牛頓流體的物理特性開始進行：



#### 2.1.1 Cymatics

Cymatics 這個名詞由 Hans Jenny(1970)發明，是一種利用單體發出不同的頻率，並且將振動傳遞給流體，並以流體當作顯示媒介將聲音頻率變得可視化的技術方法(圖 2-1)。以時代當前的研究而言，在單一振動源影響下的二維的 Cymatics 以及 Chaldni 已經發展的相當成熟，有大量的研究圖像表達水及固定濃度的非牛頓流體在各個頻率下產生的形體。因為其性質可以解釋為聲音的實體視覺化，因此也延伸出了大量的研究在分析如何以視覺的方式解析聲音的構成，而非單純的頻率及分貝的單純組合，而是以更多維的方式解釋音色如何被分析與重新組構。Cymatics 的紋理有無限多種可能性，對於不同的流體以及不同的波源，都會產生不相同的紋理，但不變的邏輯為越高的頻率會使流體產生越複雜的形體，不過就越接近平面的圖像，反之越低的頻率可以產生較簡單，卻較三維的形體。

有研究以 Cymatics 為例研究波的傳導如何進行，也有人用以研究聲音跟形體的具體關係，

相較於偏差值較大的流體，以沙狀顆粒物進行振波實驗的 Chladni 圖形則是繼續發展的結果，將沙覆蓋於金屬板上，利用單體或是其他物件共振金屬板，使上面的沙子呈現不一樣的圖形，隨著頻率增高，圖形也會更加複雜。相對於流體，沙狀顆粒物的分析有較標準化的圖表，不過 Chladni 實驗的結果接近圖樣化的分析，產生的曲線結構難發展成為三維形體的基本構成關係，因此本實驗 Cymatics 進行實驗及分析，以單波源為基礎，進而發展成雙波源，並實驗雙波源以不同頻率給予流體振動產生的形體，及兩個不同的 Cymatics 在新的邊界下碰撞產生的新紋理。新的紋理已經不能稱之為 Cymatics，而是一種以其為基礎發展產生的聲音撞擊流體產生的多變化形體。



圖 2-1 Cymatics 的圖像(<http://axiomatica.org>)

### 2.1.2 波的分析探討

波分為行波與駐波(圖 2-2)，行波是一種機械式運動的波，由創造它的波源且透過介質，通過一個個固定的位置，為一種可傳遞能量的移動。駐波為兩個振幅、波長、週期皆相同的正弦波相向行進干擾而成的合成波，此種波的波形無法前進，因此無法傳播能量。聲音以行波在傳播，但以單體穩定的以同樣頻率的行波振動流體時，流體將以駐波的方式產生變化。

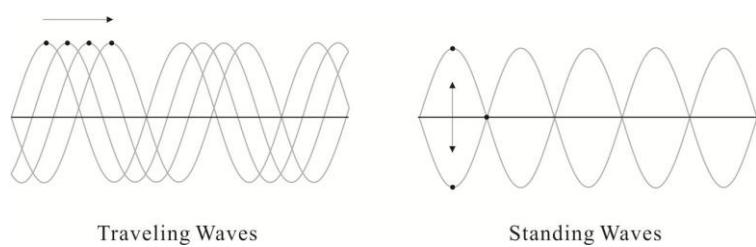


圖 2-2 行波與駐波

惠更斯－菲涅耳原理（Huygens – Fresnel principle）是研究波傳播問題的一種分析方法，它能夠正確地解釋與計算波的傳播。所有的波都具有同樣的傳導性質，在排除傳導介質與環境差異下，傳遞的過程都具有可分析性。以下以簡單的例子解釋惠更斯－菲涅耳原理。假設有兩個緊鄰的房間 1 與房間 2，這兩個房間有一個開放的開口連接，當聲音從房間 1 的任一地方發出時，位於房間 2 的人聽到的聲音都是由連接兩房的開口處傳播而來，此時，對於身在房間 2 的聆聽者而言，聲音的波源就是開口處的空氣振動(圖 2-3)。此原理用以分析物理波動等複雜傳播時必須套用許多數學原理，不過在用以理解聲音的傳導時可以單純以圖像與關係的方式分析，波源撞擊到反射點時形成次等波源，次等波源會再次以同樣的頻率與性質但較小的量值傳播波，以此類推直到波的量值小到不可評估。下圖以一圓形曲線為框架，以曲線中心為波源傳播波，撞擊框架時產生不同數量的新波源，繼續發散波並於原始波源撞擊。

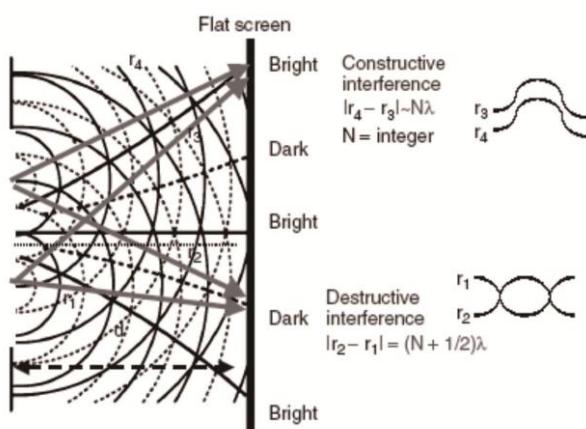


圖 2-3 典型雙波源干擾

(<http://www.globalspec.com/reference/21684/160210/chapter-2-3-classical-interference>)

惠更斯－菲涅耳原理在用以分析聲波時以二維的圖像表示，此原理以波源為中心，產生以等差級數增大的圓，並於設定半徑大小的圓上產生數個同樣以等差級數擴增的圓，藉此圖形來理解波與波之間碰撞的狀態。

以此原理產生圖形的設定中，總共有四個變數可調整：

- (A) 等差級數的大小，此級數增加的差即為波動的頻率。
- (B) 產生第二次圖形的圓，此圓則為初代波源反射產生次代波圓的邊界。
- (C) 在變數二中設定的邊界上，產生次代波源的節數。

(D) 在變數二中設定的邊界上，可反射的波源子代數量。

圖 2-4 設定只能反射到第二代波源的情況下，在調整第二代波源節數的變化，由圖可見，當同心圓的等比級數越小(頻率越大)，且反射的節數越多，則產生的圖形就越密集，而這些圓形代表的就是波峰，而每個圓之間的交點，即為波的干擾點。但實際實驗時流體微元不只受到單點力量的影響，還有地心引力，流體本身微元間的碰撞和受到不同角度的波源撞擊的影響源在。因此若是以動態形體為目的，此分析原理適用於本研究的分析部分，用以評估牛頓及非牛頓流體在不同頻率的正弦波撞擊下產生的傳導波彼此撞擊加權點，意旨用以尋找波與波之間撞擊產生力量的點於二維視圖下的分佈狀態。

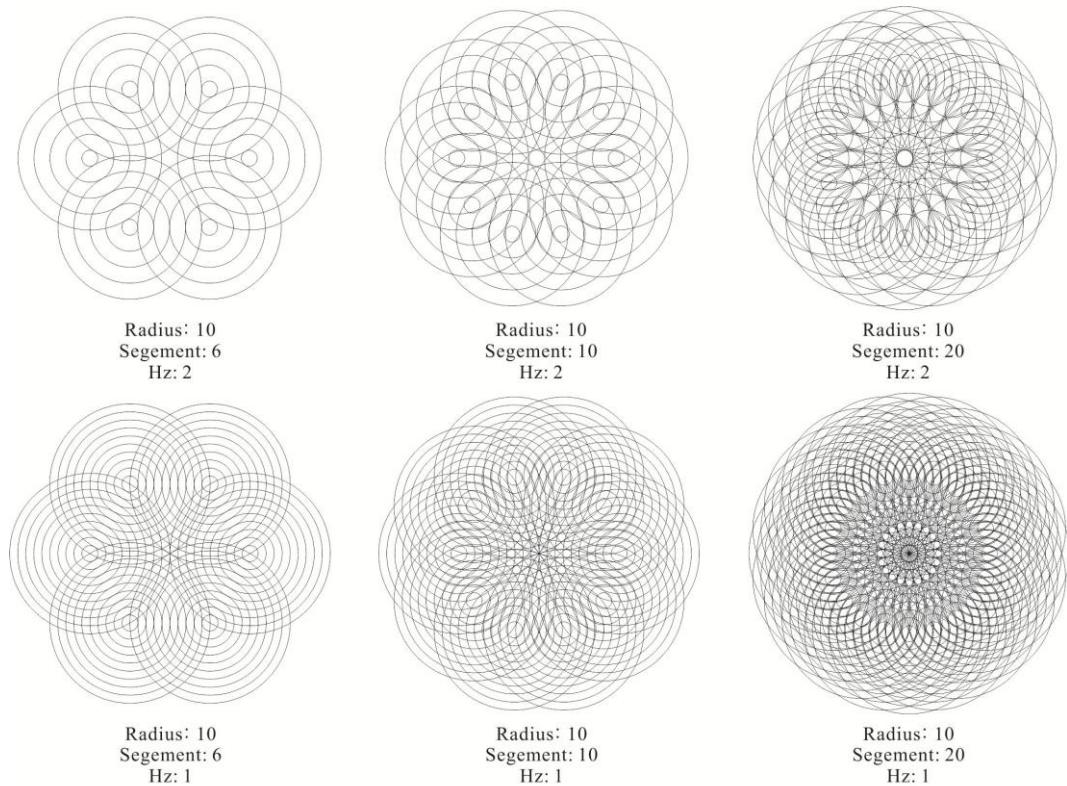


圖 2-4 惠更斯-菲涅耳原理波紋分析

當初代波源發出的波峰及波谷與次代波源的重疊時，即會出現波的干擾狀態。波的干擾分為建設性與破壞性，在這兩種情況下，都是滿足兩波的性質下去影響介質的形狀。而建設性干擾是兩波都偏向波峰的情況下重疊微元(圖 2-5)，介質同時受到同樣方向的力而產生更劇烈的形體變化。相較之下破壞性干擾則是相反。

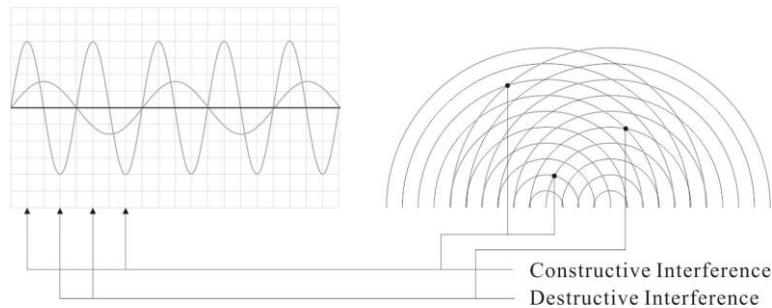


圖 2-5 建設性干擾點與破壞性干擾點

下圖表示流體微元在由下方發散的正弦波撞擊下，在時間軸上的位移狀態，與正弦波的波型大小成正比，而在剖面上，距離波源越遠位置的微元，受到的傳導力也與波源距離成正比在下降，因此相較於波源正上方的微元，越遠的微元就在以更小的幅度上下振動。

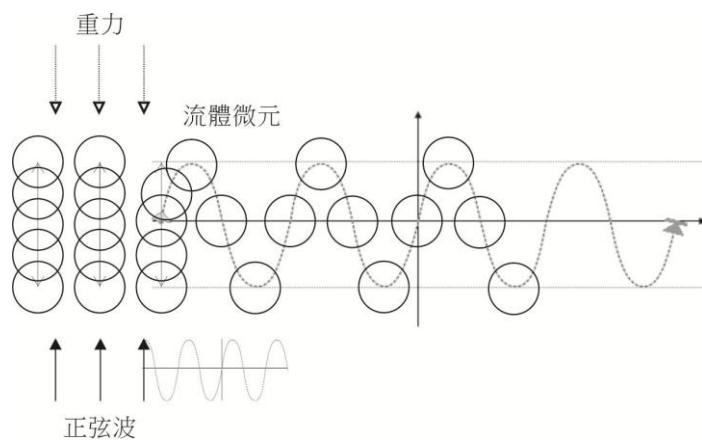


圖 2-6 流體微元在正弦波撞擊下的位移狀態

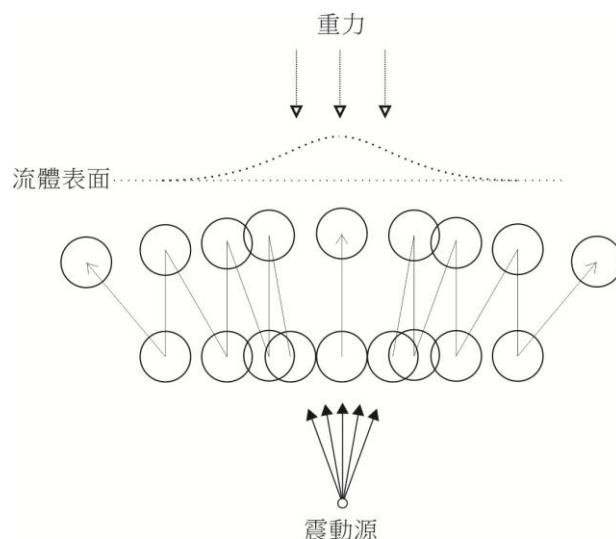


圖 2-7 流體微元在單波源撞擊下的位移狀態

### 2.1.3 非牛頓流體

牛頓流體是最常見的流體狀態，牛頓流體在流動時運動行為符合牛頓黏度定律。非牛頓流體(如融化的塑膠，牙膏等)是流體力學中的一種改念，與牛頓流體(如水)呈現相對的關係與特性。

兩種流體特性上最大的差異就是牛頓流體的黏度不會隨著速度而產生變化，其速度分佈圖呈現拋物線狀，因此任何力量作用於牛頓流體上，都會產生恆定的形體變化規則。單體發出穩定的振動頻率給予牛頓流體，對於牛頓流體而言，只有個單位微元受到的力量大小之分，Cymatic 的形體因而產生，在 Z 軸高度越高的液體微元，即為單體發出之正弦波頂點疊加越多之處。相較於牛頓流體的微元之間呈現互相撞擊影響，非牛頓流體的微元彼此就算沒有發生碰撞，也有產生彈簧力的機會，此效應反應非牛頓流體在運動時的記憶性(圖 2-8)。

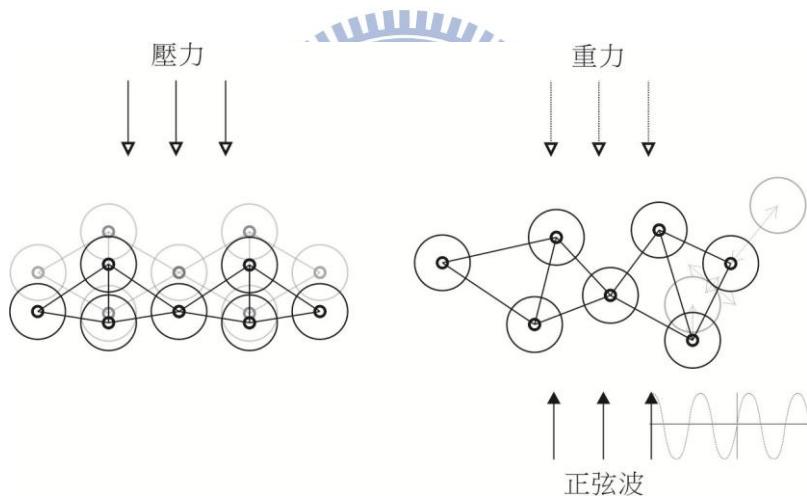


圖 2-8 非牛頓流體在正弦波撞擊下的形變

非牛頓流體的黏度則會跟其流動速度變化，作用於液體微元上的摩擦應力與其當前運動狀態和過去運動狀態都有關係，因此非牛頓流體的運動形體有記憶效應。可以超越牛頓流體在振動的力量影響下，生成更加有變化的形體，且可以給予更多變化參數。其運動的記憶性關係到流體微元群體的濃度，各部分運動的向量以及地心引力等因素，全部的加總導致非牛頓流體產生複雜且不可預計的運動形體。在以程式語言模擬運算的狀況下，兩者的起始點雖為一樣的振動頻率生成的正弦波疊加處，但隨時間軸的變化，勢必會使差距值越來越大。

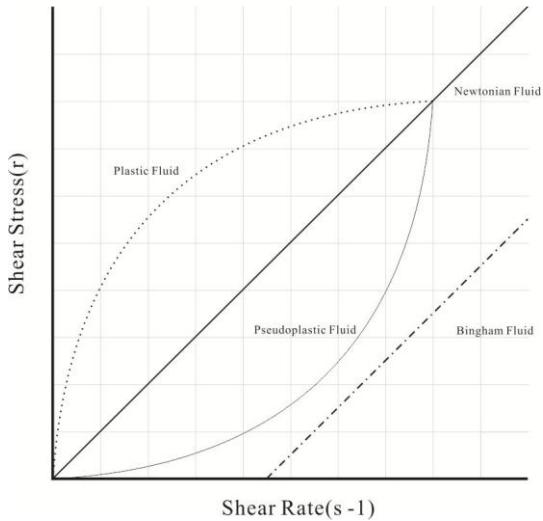


圖 2-9 切應力隨速度梯度的變化

## 2.2 動態資訊的形體生成之案例

形塑在設計領域是一項非常重要的項目，不同的造型可以產生不一樣視覺效果，不一樣的功能，甚至是不一樣的空間。如今在設計研究領域已經有相當多各式各樣產生形體的研究，數位製造(如 CNC，雷射切割機，3D Printer 等)將電腦分析產生的資訊，或是設計者設定的資訊以機具生產出來，就是將資訊轉化為實體造型的過程。

而動態的資訊可能可以藉由特殊的過程，生產出動態的形體，也可能將其變動的資訊累積產生具有長時間資訊的形體。以下的案例使用特殊的生產方式，將不斷變化的資訊轉化為實際可見的形體：

以下為四項案例：

### (A) Sound Gear by Kimkichul (1999~2002)

聲波成形的原理在物理實驗或是裝置藝術作品中時常出現類似圖 2-10 的模型，此裝置作品利用圓筒狀的透明管製造封閉的空氣領域，並於圓筒一端裝置大型單體。以單體為振源對圓筒內部的空氣產生一定頻率的振動，此時空氣已經產生的密度上跟氣流上的變動，為求視覺化在筒內置入小顆的保麗龍球。因保麗龍球重量極輕而受到筒中氣流驅動產生了特殊的運動，每一顆小保麗龍球都反映了氣流於各部分的狀態而使整群球體雕塑出了特殊的動態形體。隨著單體頻率的微小變動，此動態形體亦會立即產生變動。這件作品

讓人以最直接的方式看到聲音如何造成形體的變化，使觀看者聽到聲音的同時直接看到形體的改變，進而理解到原本不可見的資訊再經過簡單的轉譯後，即可成為看的見，甚至摸的到形體。



圖 2-10 Sound Gear by Kimkichul (1999~2002)

(<http://www.youtube.com/watch?v=XBP0jmpjzBw>)

#### (B) BUOYANT DEPOSITIONS by Brian Harms, (2012)

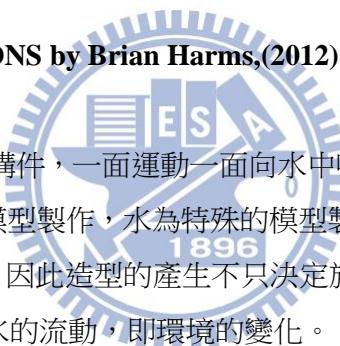


圖 2-11 中的案例使用自製的構件，一面運動一面向水中噴出高速固化物質(熱蠟)來產生特殊的造型。相較於常見的模型製作，水為特殊的模型製造環境，流體自身的粒子運動系統將反映在模型的造型上，因此造型的產生不只決定於材料的輸入條件，而是在造型完全固化前都不斷的在反應水的流動，即環境的變化。

不同於以往做模型的材料，搭配特殊的處理方式，可以給予設計者更多的啟發或是想像，產生不一樣的結構體或是導出新的工法。不過這樣的生產過程出現的問題是，前端的輸入可以調整和控制，但不同於其他成熟的數位製造過程，實際上產出的樣本會有機率的跟運算結果有所差異，但結果不能再做調整，只能重複的嘗試和製作，來完成理想中的模型結果。

本案例的研究結構是將材料的資訊視為形體生成的出發點，經由環境來重整材料的構成資訊，這樣的方式是將實驗的重點呈現在轉化過程的設計，除此之外也以單一轉化方式構成新的形體，也有架構在新的形體生成會導致轉化方式改變的做法。以此案例而言，將物質注入水中後，水構成的環境如果會因為其物質而產生變質或其他影響，進一步改變物質的初始形體，這樣反覆地進行形體生成的更新，直到形體達到穩定值。此架構為生成動態形體的基本架構(圖 2-12)，資訊經由轉化後產生了形體之後，分成兩種狀態，

第一種狀態下，形體還是呈現可以改變的狀態，此時轉化的方式或環境會因為形體的生成而跟著調整，直到形體的改變穩定，或操作者使過程停止。而第二種狀態則為資訊經由轉化後產生固定的形體，完成的形體穩定的表現了資訊的參數。

在第一種狀態下，猶如重複的動作會累積在空間原處，但每增加新的累積體，空間都會因此而限制且改變動作的產生，這樣的研究方式使影響的變數被減少，可以調整的變數剩下環境參數及資訊本體的輸入，藉由調整兩項參數生成的形體可以加以比較和評估，使原始資訊在轉化環境下的形體生成有完整架構與邏輯。

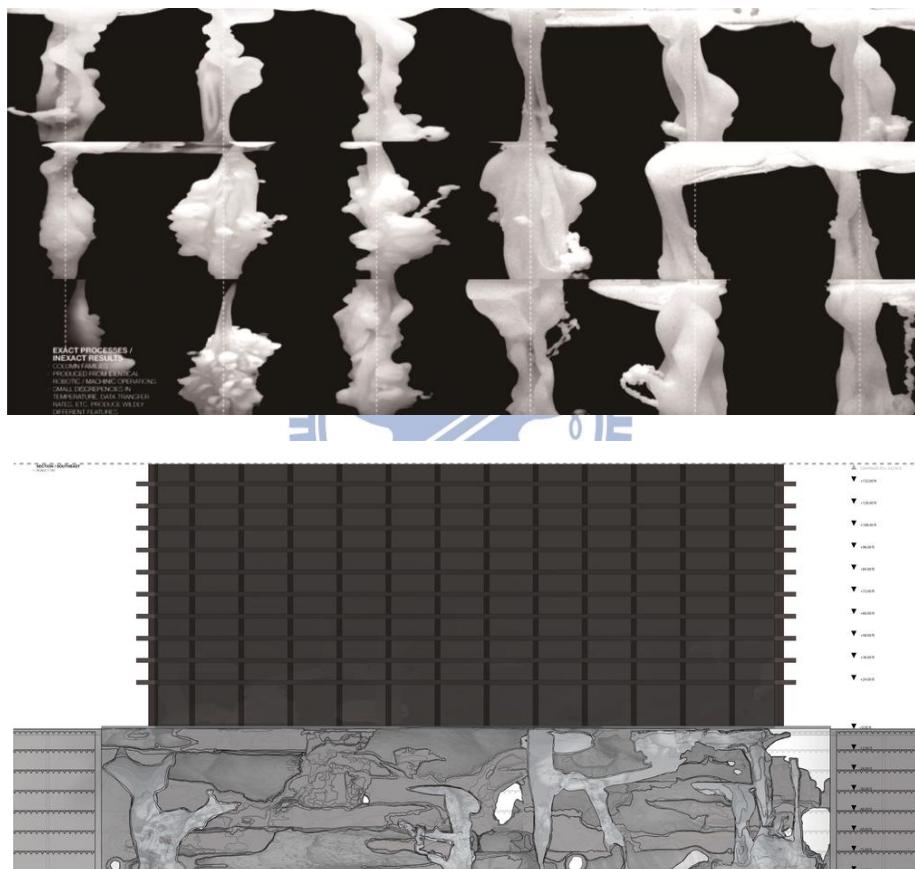


圖 2-11 BUOYANT DEPOSITIONS by Brian Harms(2012)

(<http://nstrmnt.com/#/buoyant-depositions/>)

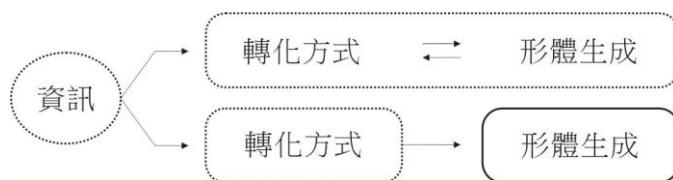


圖 2-12 資訊轉化形成形體的程序

### (C) Responsive Acoustic Surfaces By Peters, Brady , University of Ljubljana

此案例對於資訊轉化為視覺化形體的過程較為複雜，以音波在空間振動與反射作為最初的資訊，進入軟體端分析反射數據後產生了二維的形體，此形體已經可以獨立發展成為一表達聲音資訊的完整模型(圖 2-13)。但此研究在以原始資訊產生了一新的三維反射模型，並將前一階段的資訊數據反映在新的模型上，進而產生一資訊疊加而成的完整形體，相較於階段一的形體生成，階段二的形體已經更加完整的傳達了音波力量在空間傳導及反射時生成的能量與型態。以這樣的模型檢討可完成從一開始即將多元轉化方式加入資訊演算產生來回交互生成的動態形體，並且確實的跟空間資訊開始產生互動。

在這樣的過程中，可以看到資訊轉化為形體的其他架構方式(圖 2-14)，資訊經過轉化後產生的形體，可經由第二次的轉化來達到新的狀態，這樣兩次的轉化過程會使結果產生較大的變異，但依然架構在初始的資訊上。除此之外，若是經過第一次的轉化後，形成的結果是有效的，但可以以加成的方式改進演化過程，將使整個轉化的過程在結果與過程之間來回的交互檢討，以達到最符合設計本意的轉化過程。

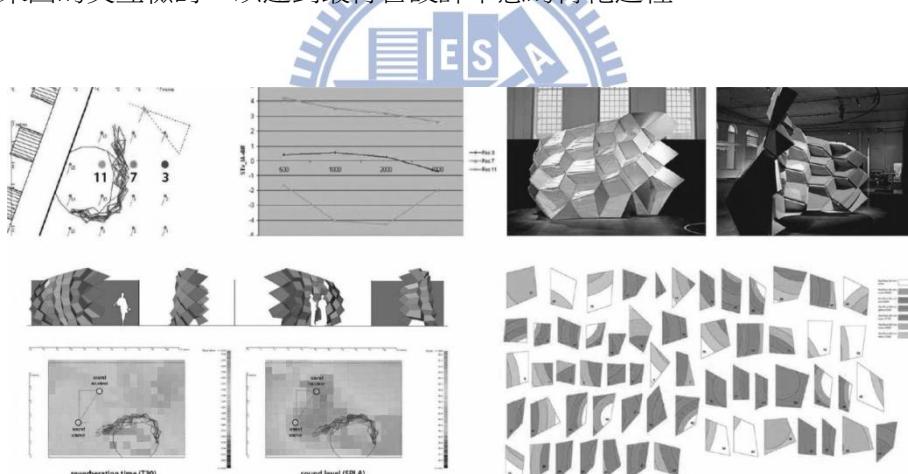


圖 2-13 Responsive Acoustic Surfaces By Peters, Brady , University of Ljubljana

Responsive Acoustic Surfaces, Computing Sonic Effects(<http://www.architexturez.net>)

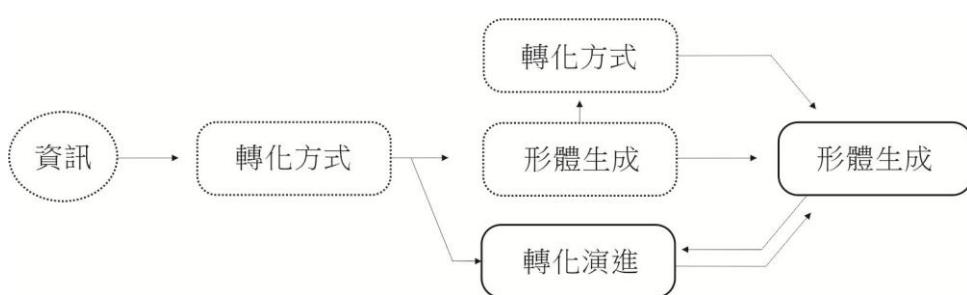


圖 2-14 資訊轉化形成形體的程序

## (D) Poème électronique by Le Corbusier & Edgard Varese (1958)

Brussels 世界博覽會中，由建築師 Le Corbusier 和音樂家Edgard Varese 於 Phillip Pavilion 中演出的聲光實驗作品 Poème électronique，是一項跨時代結合聲光多媒體與建築空間的表演形式。在這項作品中 Corbusier 與 Varese 利用當代的聲音裝置，回應建築空間中聲響的存在與其價值。Varese 在空間中佈局數百個擴音喇叭輸出音樂，其描述作品可透過音量比例的計算，在空間中刻劃出聲音的軌跡。而身為空間設計者，Corbusier 則用一連串人類的故事為觀點，播放影像與在放映機前即時操作各種遮色片，呈現現代主義的過去現在和未來。

在這件相當早期的多媒體作品中，建築師與音樂家同時企圖將聲音與空間之間的關聯表現得更加強烈，並認為空間中的聲響除了單純的聽覺之外還可以有其他被感受的方式，可能是強化空間的感覺也可能是藉由視覺輔助。

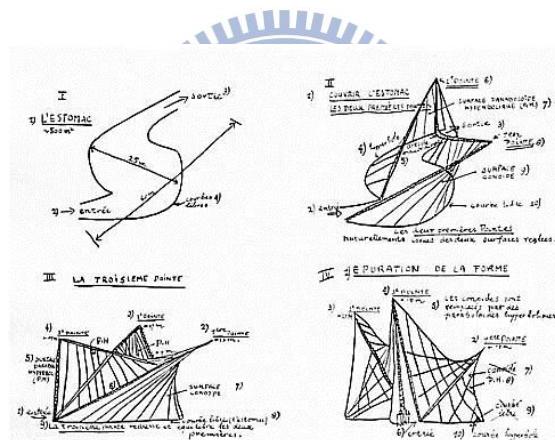


圖 2-15 Philip Pavilion Script by Le Corbusier(1958)

## (E) 前期實驗

前期實驗的目的在於嘗試以案例二(BUOYANT DEPOSITIONS)的架構下，改變環境的資訊，使注入流體 A 中的流體 B 不只受到自身與環境差異的衝擊產生形體，環境也提供改變的資訊加成形體的動態形成。

在以不接觸媒介上，液體和氣體是兩種容易產生的方式，再者有磁力或是聲波，也都可 以有效的使目標物產生形體上的改變，以下的研究以液體開始嘗試，嘗試在水中漂浮油塊，並以四方的孔洞噴出水柱加以衝擊，以改變油塊形體。在液體衝擊的邏輯下，設

計一由六面體構成的空間，地面抽水，左右二面各給予五個進水孔。進水孔由水閥控制，分別打開不同的水閥，藉此觀察滴入設備中的顏料如何因為不同方向的水流衝擊而產生形變。若是無法使測試液體具有自身聚集的力量(如蠟或是油酯)就不能重複的調整測試液體的形體狀態。顏料在進入水中的時向下的力量較強，因此在向下擴散的過程中被水流改變形狀，導致最後在整個實驗空間中散布的區域有所不同。

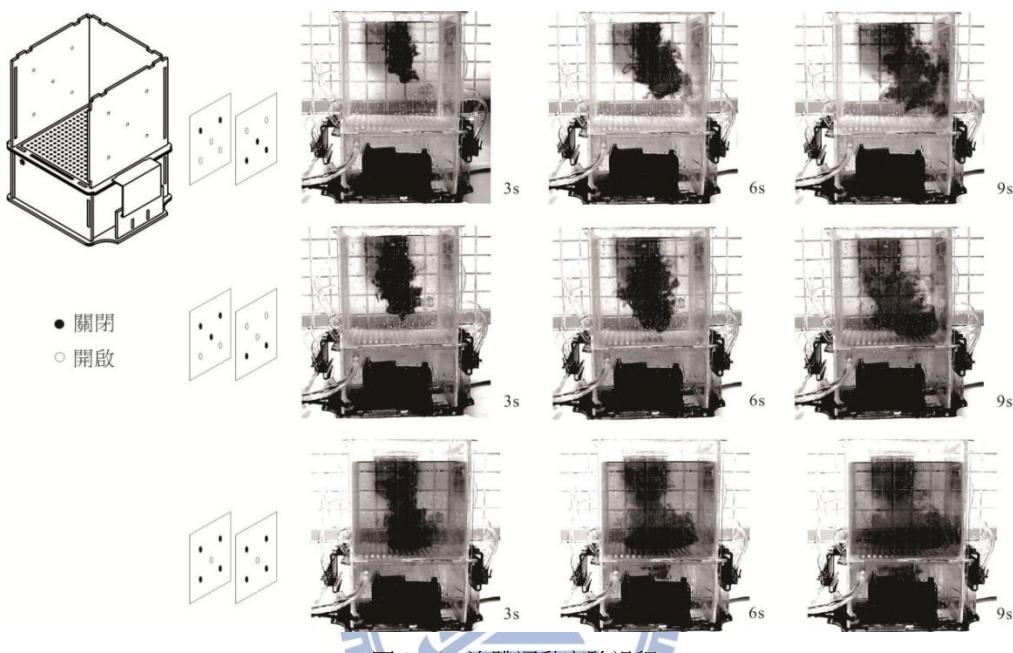


圖 2-16 流體運動實驗過程

相較於常見的數位製造(如雷切機，三維印表機等)，以不同材料與工法可以探討不一樣的製造方式，但是這些較不精準的生產過程需要較大的調整空間，才可以跟前端(電腦)的資訊更加貼合，若是純以自製的工具或是手動將模型呈現，將會與欲表現的資訊產生較大的差異。但把"製造"的過程定義在"產生形體"的話，就不需要從零到有，而是施加力量到既有的形體上，將其改變成預期的形體，如用數位控制的方式來捏黏土，將可把資訊過程中產生的差異性降低。以這樣的觀念去發展，企圖捕捉流體動態的瞬間可以利用可在短時間內改變物理性質的材質來傳遞振動，如調整 Poly 材質的固化劑量，使流體在運動的同時固化，進而得到流體運動的瞬間模型。

空間環境力量的轉化形成的形體(空間)，對於物理環境資訊具有絕對的反應性及存在價值，若以光的資訊組成的動態空間形體，勢必對光線因子有著大量的資訊互動。除此之外，也可嘗試以各種角度去獲取空間的力量資訊，目的不在對空間或是對人的效益或機能。如會因為風吹而全然改變造型的立面，即時並全面的表現建築立面所承受，並造成的氣流狀態。當環境的影響資訊被表現出來時，空間的狀態對人而言已經產生了變化，

資訊的視覺化不只是視覺上的傳達，更是影響我們對空間及環境的認知狀態。

形體為資訊的轉化與堆疊所構成，在常見的狀態下，構成形體的資訊可能大多容易被分析和理解，設計者和使用者都可以因為機能和常見的資訊類型(如日照等)來了解空間形體的構成。這樣的形體無法滿足空間狀態全方位的需求，因此必須在設計階段納入更多平時不容易分析與理解的資訊，來滿足最終形體應有的狀態。

在這樣的概念下，轉化資訊的方式也變得相當重要，因為不容易被解析的資訊，必須經由電腦或是其他方式轉化，才可以構成此資訊在我們對造型產生過程中的想像。上述的案例一中將聲音的振動直接以物理的方式推動保麗龍球，進而產生聲音的造型，而案例三將聲音以電腦進行分析，由經過精密計算的形體來反映實際空間中聲音的反射。相較於案例，本研究企圖將聲音資訊轉化為空間中的形體，因此需要藉由物理實驗來形成造型的基礎，並以電腦編程運算，使尺度較小物理實驗，可以產生於大尺度的實際空間之中產生相同的效果。相較於案例一與案例二，案例三並不是控制輸入的資訊，而是將材質丟入特殊的環境中，使材質產生與以往不同的形變，相較於控制資訊的變化，從環境著手，使資訊(材質)以不一樣的形式轉化，來形成新的形體。以本研究而已，聲音的頻率為輸入的資訊，用來成形的流體為成形的環境，同樣的頻率給予不一樣的流體，即是在探究環境的改變是不是能在同樣的基礎下，對於資訊產生不一樣的詮釋。

### 2.3 電腦輔助設計環境

無論是聲音的研究或是成形的實驗，在實際的實驗完成之後，都需要依靠電腦的輔助來將獲取的資料進行準確的分析，以及進行可控制的轉化。在本研究的實體實驗中，需要控制單體發出的頻率，此部分利用 Max/Msp 來精準控制多顆單體發出不同的頻率。且在獲取基地空間的聲音頻率時，也需要使用 Max/Msp 編寫可以獲得時間軸上平均頻率的程式。

而在將實體實驗的分析編寫為可運算形體的程式時，需要利用可產生三維模型的程式編寫軟體，在本研究中採用 Rhinoceros 建模軟體中的 RhinoScript 編程，以針對聲音成形完成可參數化的研究與更豐富的形體探討。實體模型的資訊要成為可與程式運算結果比較，或是可以納入程式運算的話，需要經過資訊轉化的方式，將實體的模型匯入電腦之中。本研究使用 FireFly 軟體，將經由視訊鏡頭獲取的實驗影像即時運算產生在建模軟體中

的點雲，藉由這樣直接的方式來獲取實體模型變動的資訊。

早期在建築設計上不太需要使用電腦軟體來繪製模型，而是航太工業因為難以在平面的繪圖工具上完成以及討論自由曲面形體的設計，因此發展出利用電腦繪圖工具在虛擬的三維環境下完成各式曲面模型。後來各界設計師們開始加入電腦繪圖的領域，使電腦輔助設計與電腦輔助製造技術產生大量的更新與變動。電腦輔助設計至今已經發展得非常成熟，運用電腦運算的技術來完成以人手難以完成的控制與計算，達到省時且精準易探討的結果，並更進一步給予設計者新的想像與發揮空間。

於設計研究的層面，新開發的軟體環境介面越來越平易近人，早年以程式語言為主流的狀態已經出現變化，圖像式開發環境成為數位設計的主要介面，接觸以數位方式進行設計或製造，已經是全世界設計領域相關行業必進行的過程。設計界研究動態形體的歷史中，曾經以手工的描繪及分析在嘗試理解物體運動以及環境力量造成的空間形變，猶如杜象在描繪”下樓梯的女人”一般。重複的堆疊與想像的累加，確實可以表達動態形體一詞的概念，但在確實的數據評估上卻無法討論以及修正。電腦輔助設計的介入，使動態設計一概念輕易的加入了手工難以描繪的物理及數學運算，產生了參數化的調整可能性，也使轉化過程變得更加精準與完整。

本研究各階段都需要藉由電腦輔助分析並處理資訊，因此分別需要配合不同的軟體來輔助設計與實驗，以下列出本研究使用的軟體開發介面，並解釋於本研究的定位和輔助方式：

以下為三項本研究使用的電腦軟體：

### **Max/Msp**

單體在不同頻率下會產生不同的振動，各種振動也都具有大小幅度的可能性，在控制單體振動的階段，除了架設實驗裝置之外，需要使用到 Max/Msp 這套軟體來達到控制至多兩顆單體的頻率和分貝。Max/Msp 是一款用以發展音樂及多媒體處理的開發環境，本研究為提供各個單體不一樣的頻率控制，以及顯示其頻率的波形，並加以控制。而在研究後期為了達到以基地空間中的聲音產生形體的目的，需利用 Max/Msp 編寫程式，將麥克風收到的音訊轉化為頻率的曲線，以及整條曲線的平均值。產生的資訊即可成為其他程式運算的參數，此為將聲音資訊轉為可運算的數字的重要步驟。

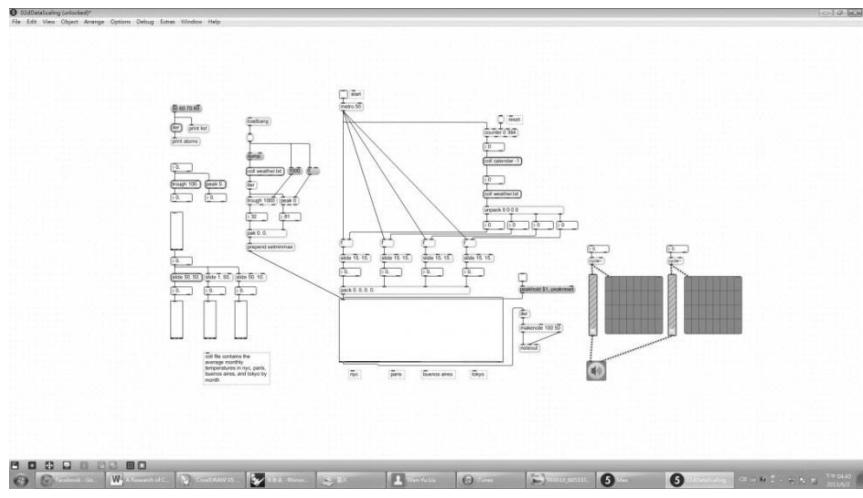


圖 2-17 Max/Msp 的圖像式開發環境

### RhinoScript

在分析聲音資訊後，以程式編程的方式完成可與實體實驗相互比較的程式運算形體，此部分需利用 Rhinoceros 軟體中的程式語言編輯功能完成。

Rhinoceros 為三維建模軟體，其內建的 Visual Basic 程式語言編輯腳本軟體 RhinoScript 為以程式語言建立三維模型的軟體，提供數位設計者不一樣的建立模型方式。相較於平常的幾何模型建立方式，程式語言建立的模型擁有精準的相對關係，並且具有可調整性。設定輸入的參數都可以一再調整，且不影響使用者設計的資訊相對關係。當建模的初衷已經具有數學理論或是相對關係背景時，程式語言的建模方式可以達到最大的效益，成功的完成數據型態的建模過程。

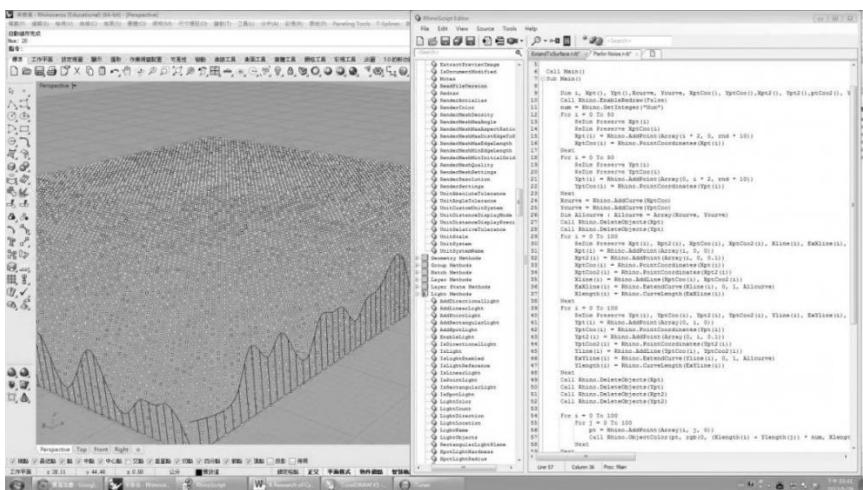


圖 2-18 RhinoScript 的腳本編程環境

## Grasshopper & Firefly

本研究為了將實體實驗的形體變動轉化為電腦可運算的資訊，必須利用特殊功能的軟體來達到目的。Grasshopper 為 Rhinoceros 的外掛圖像式開發環境(以下簡稱 GH)，其提供的圖像式介面為設計者免除了編寫程式語言的步驟，大大降低的數位設計的門檻，也同時提高了數位設計的可能性。

FireFly 為其他開發者為了加強 GH 而產生的軟體，其能力為建立實體資訊與 GH 溝通的橋樑，其中包括影像資訊，感測器數據等，本研究利用 FireFly 來重新定義視訊鏡頭獲取的影像檔案。GH 除了在取代程式語言編輯的複雜度之外，多方開發者也積極的加入外掛開發，使 GH 的能力越來越完整，不只是單純加快並融入參數化的概念於 Rhinoceros 的建模動作，而是使更多的資訊可以進入模型生成的過程。

FireFly 提供了將外部資訊輸入，並轉譯成 GH 可以辨識的資訊，並在轉化完成後，將資訊的編輯重新丟還給使用者，使得創造模型的可能性大大提升。如連接外部的溫度感應器，將實際環境中的溫度數字及時輸入進 GH，成為可即時變動模型的主要參數，則三維軟體中的模型及是外部環境資訊的轉化。

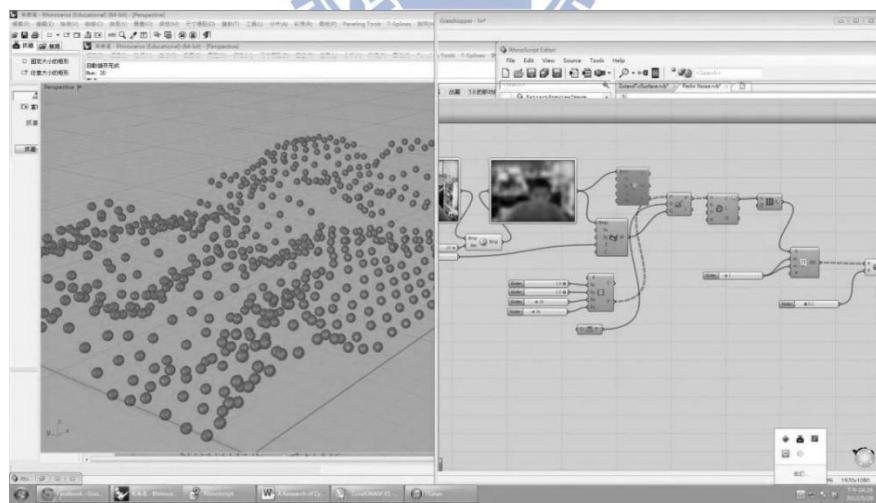


圖 2-19 Grasshopper 的圖像式開發環境

# 3

## 流體成形實驗與程式設計

### 3.1 實驗與分析

本研究以單體振動流體的實驗為基礎，嘗試理解聲音產生形體的過程。由於設備的差異會導致實驗結果的不同，因此無法採用相關的研究結果，必須重新建立實驗。本章節的各個實驗均架設統一的設備，實驗不同變數下流體受振動產生的變化。並以即時攝影的方式記錄分析。

#### 3.1.1 流體實驗分析紀錄

本節實驗的目的為測試並記錄牛頓流體和非牛頓流體在單波源及雙波源的模型下，以不同頻率振動產生的波紋及形變，並分析數據及過程。圖 3-1 為實驗的基礎架設，以 Max/Msp 軟體編程使單體(最大功率 100w)發出各種頻率，振動上方鐵板內盛裝的流體以產生 Cymatics 波紋，並以正上方的視訊鏡頭拍攝，紀錄不同頻率造成的形變。



圖 3-1 實驗過程照片

在單波源的實驗中，以各種頻率振動水，所產生的 Cymatics 紋理隨著頻率而改變。從頻率 1Hz 的振動開始產生波紋，直到頻率達 300Hz 時，波紋變得太過細膩無法以肉眼辨識，

因此紀錄 1Hz 到 300Hz 的波紋變化。整體而言頻率越低的振動會產生較疏鬆的波紋，隨著頻率增高，波紋則越來越緊密（圖 3-2）。

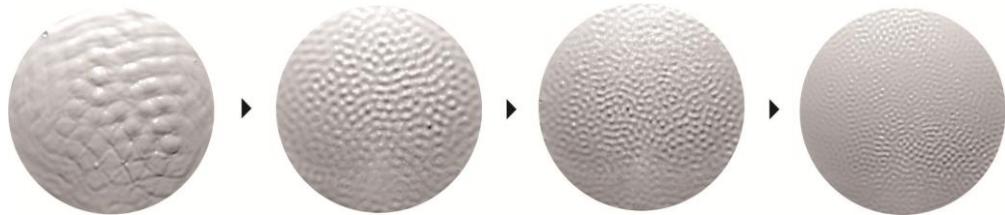


圖 3-2 Cymatis 紋理的變化過程

在多變的波紋種類中，依頻率的變化段落，可以將波紋的狀態分為五種類型(圖 3-3):



圖 3-3 單波源 Cymatis 在各種頻率下的紋理

第一種類型出現在頻率 10Hz 到 30Hz 之間，波紋呈現容易辨認的編織狀，且形體相當平坦。第二類為頻率 30Hz 到 80Hz 之間，波紋與第一類型類似，但更為複雜，且所有的紋路交會處都隆起，使整體的造型成為山谷狀。第三類型為頻率 80Hz 到 150Hz 之間，由前期的波紋繼續複雜化，導致所有的紋路交會處彼此撞擊，因此激起水花，此時的形體為實驗的最高的狀態。第四類型為頻率 150Hz 到 220Hz 之間，波紋不再呈現編織狀，而是以同心圓擴散的細紋，且相較於前期，高度明顯降低。第五類型為頻率 220Hz 到 300Hz 之間，同心圓的波紋開始複雜化，波峰開始碰撞，且激起水花，形體高度提升。

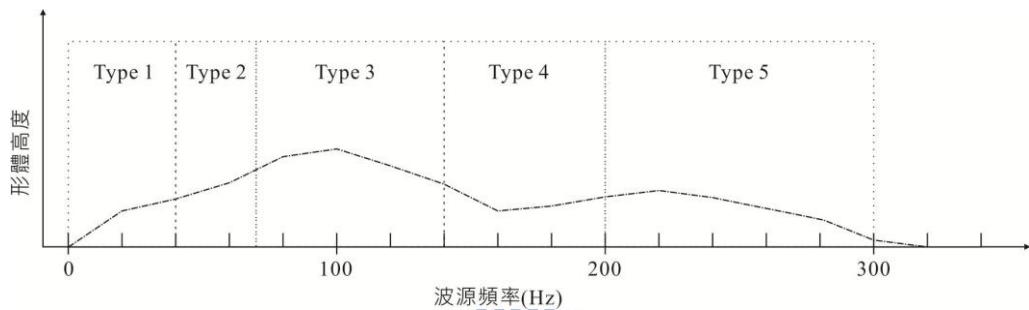


圖 3-4 單波源 Cymatis 在各種頻率下的高度變化

在完成單波源的實驗後，嘗試雙波源的實驗，並觀察雙波源給予同樣的頻率與不同的頻率時產生的差異。在兩個波源的頻率相同時，兩邊的波紋相同，中間的交會處形成一段交會線，整個形體成為對稱的狀態(圖 3-5)。

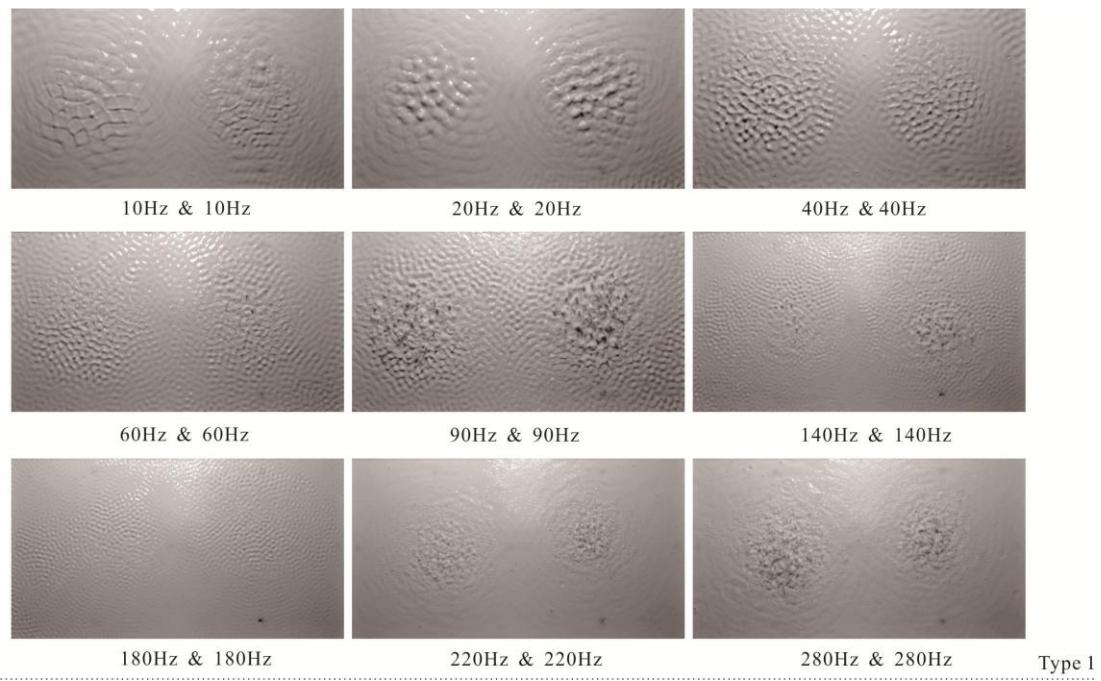


圖 3-5 雙波源 Cymatis 在相同頻率下的紋理

而在兩個波源的頻率不一樣時，頻率較低的波源會產生較具有擴散能力的波紋，因此在其中一邊的波紋擁有較大的影響力時，整體的造型會比較受到低頻率的波所影響，而高頻率產生的細膩紋路則是依附其上。在頻率差距越大時，低頻率波源的擴散能力越強(圖3-6)。而依照上述規則，較低的頻率所產生的波，又會產生較有影響力的擴散(圖3-7 圖3-8)。

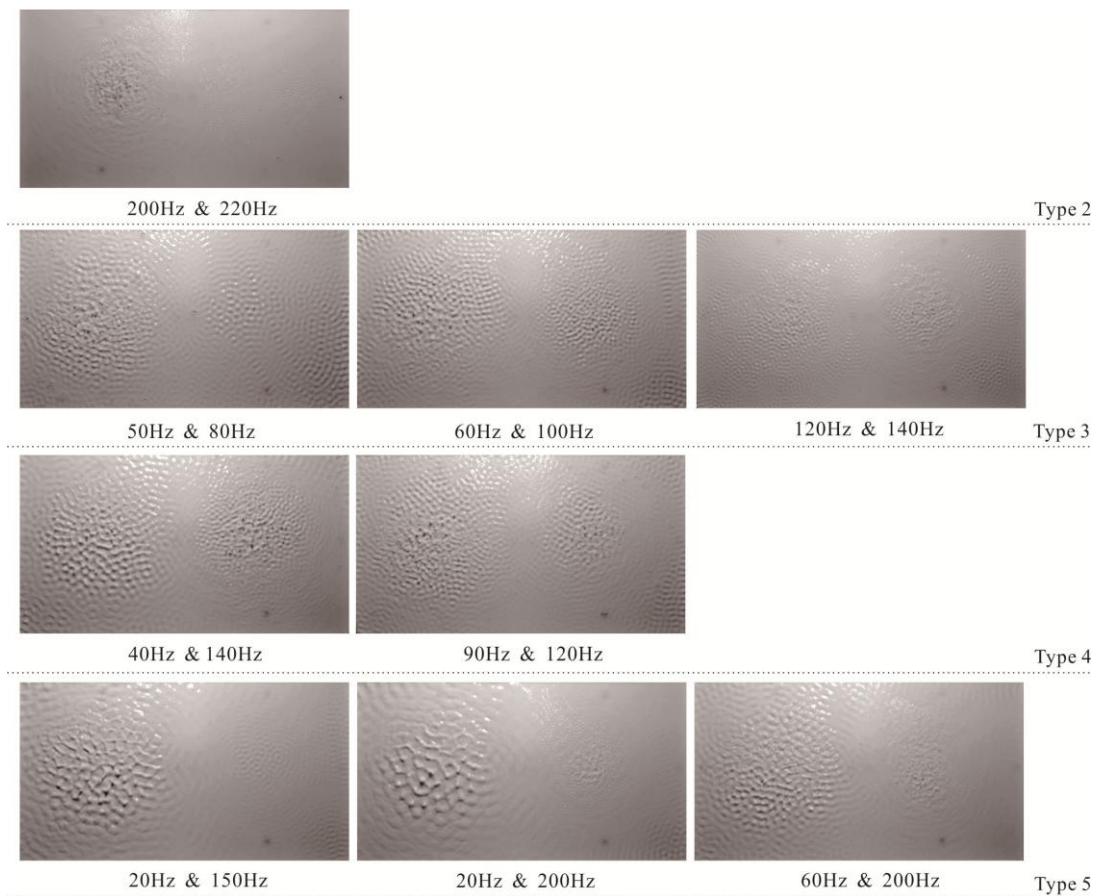


圖 3-6 雙波源 Cymatis 在不同頻率下的紋理

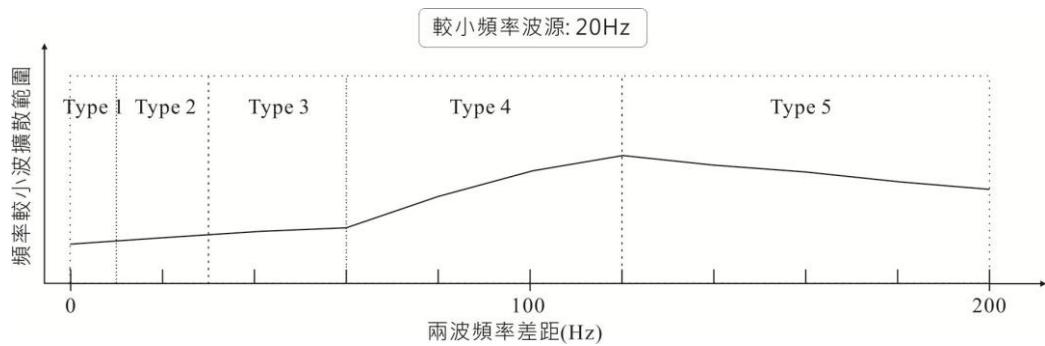


圖 3-7 雙波源 Cymatis 在不同頻率差距下的擴散範圍

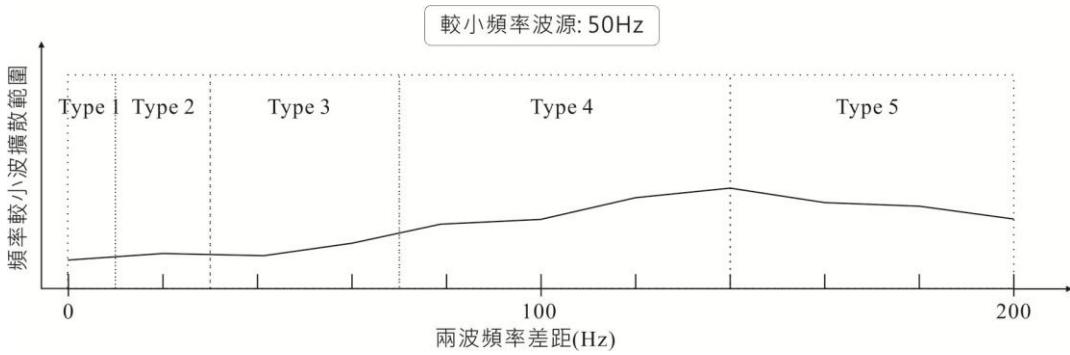


圖 3-8 雙波源 Cymatis 在不同頻率差距下的擴散範圍

在實驗中盛裝與鐵板上的流體如果擁有不同的物理性質，將導致實驗出現不同的結果。與水(牛頓流體)在物理性質上擁有最大差異的流體為”非牛頓流體”。已知方法中有相當多種調配方式可以達成非牛頓流體的條件，本研究嘗試玉米粉，太白粉等多種材質調配，最後選擇最穩定的玉米粉為實驗材料。圖 3-9 為在水與玉米粉的相對比例下，以 20 毫升為一單位，以各種比例調配結果。

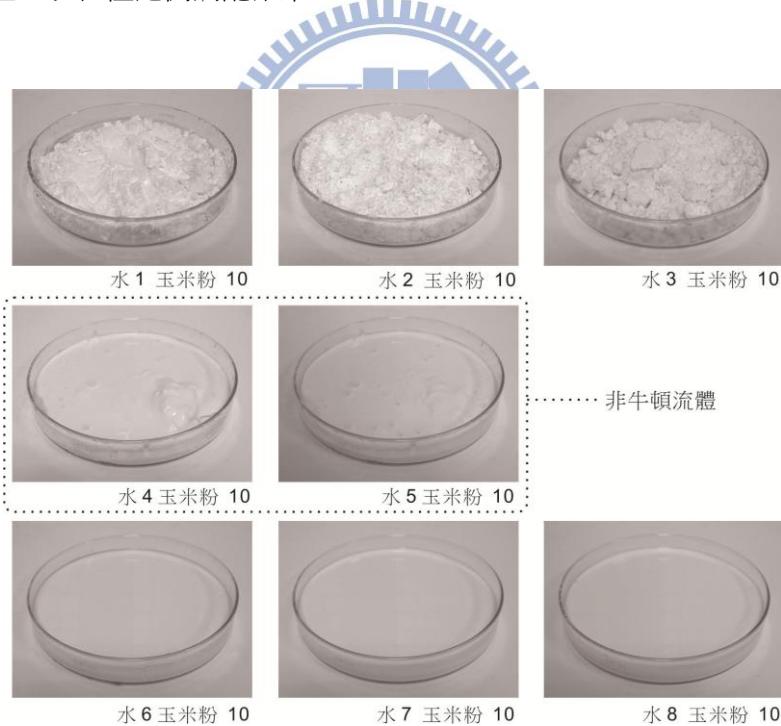


圖 3-9 非牛頓流體調配比例

其中 1:10、2:10、3:10 三種比例呈現粉末或結塊狀，並不屬於流體。10:10、9:10、8:10、7:10、6:10 五種比例的流體呈現濃稠牛頓流體，因此也加以淘汰。剩餘的 5:10、4:10 兩種比例的流體經單體振動測試後為非牛頓流體的運動狀態，因此確定此比例為非牛頓流體。實際用於實驗過程後，因 4:10 的流體均勻度較低，較常出現玉米粉的小型結塊，因

此本研究全程使用水比玉米粉為 5:10 的非牛頓流體進行實驗。

在使用非牛頓流體進行實驗的過程中，可以使流體產生特殊運動的頻率約為 1Hz 到 100Hz 之間，更高的頻率只能使流體產生類似波浪的運動。在實驗的過程中，非牛頓流體的運動分為兩大類型。第一種類型出現在頻率 10Hz 到 50Hz 之間(圖 3-10)，經由低頻率的振動 10 秒左右，流體開始在偏離波源的位置產生缺口，並以缺口為中心向周遭推擠，被推擠的流體開始產生高度，以類似蠕動的方式向上延伸枝狀的結構，碰到其他結構則會合為一體繼續延伸，到達一定高度後倒塌。整個缺口和枝狀的結構，會隨著振動位移，前進方的枝狀結構高度較高，後方則較低。同一類型中，頻率越低的振動會產生越大的缺口，缺口位移速度較慢，周遭的枝狀結構越高。

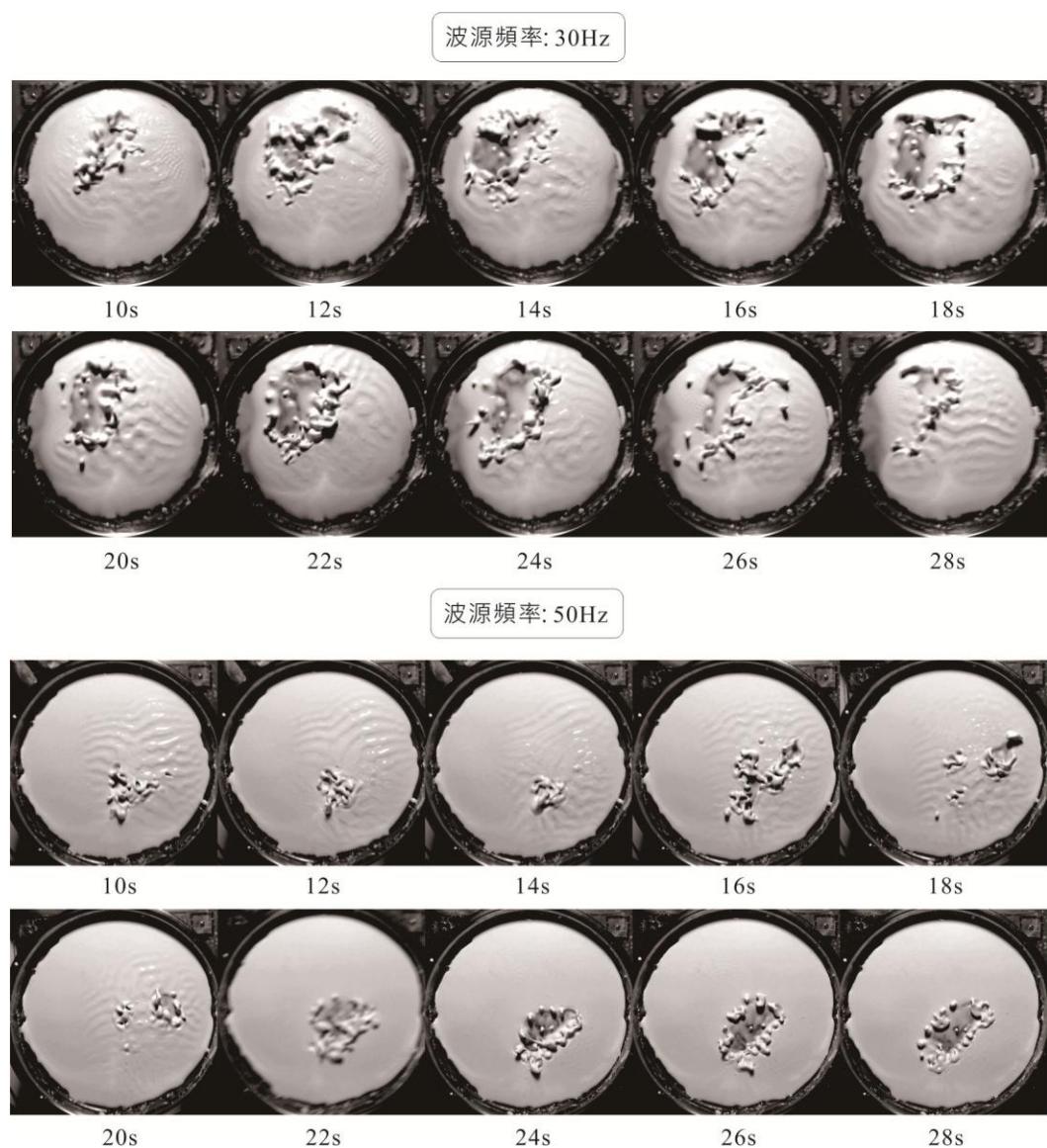


圖 3-10 非牛頓流體在不同頻率下的運動

第二種類型出現在頻率 50Hz 到 100Hz 之間(圖 3-11)，此類型的運動不會產生流體上的缺口，而是於表面直接生成枝狀結構，這些結構的高度均比第一類型的低，且頻率越高，高度就越低。而整個產生枝狀結構的範圍也隨著振動位移，頻率越高時位移的速度越快。產生的結構在範圍內平均的延伸，並無明顯的較高或較低處。

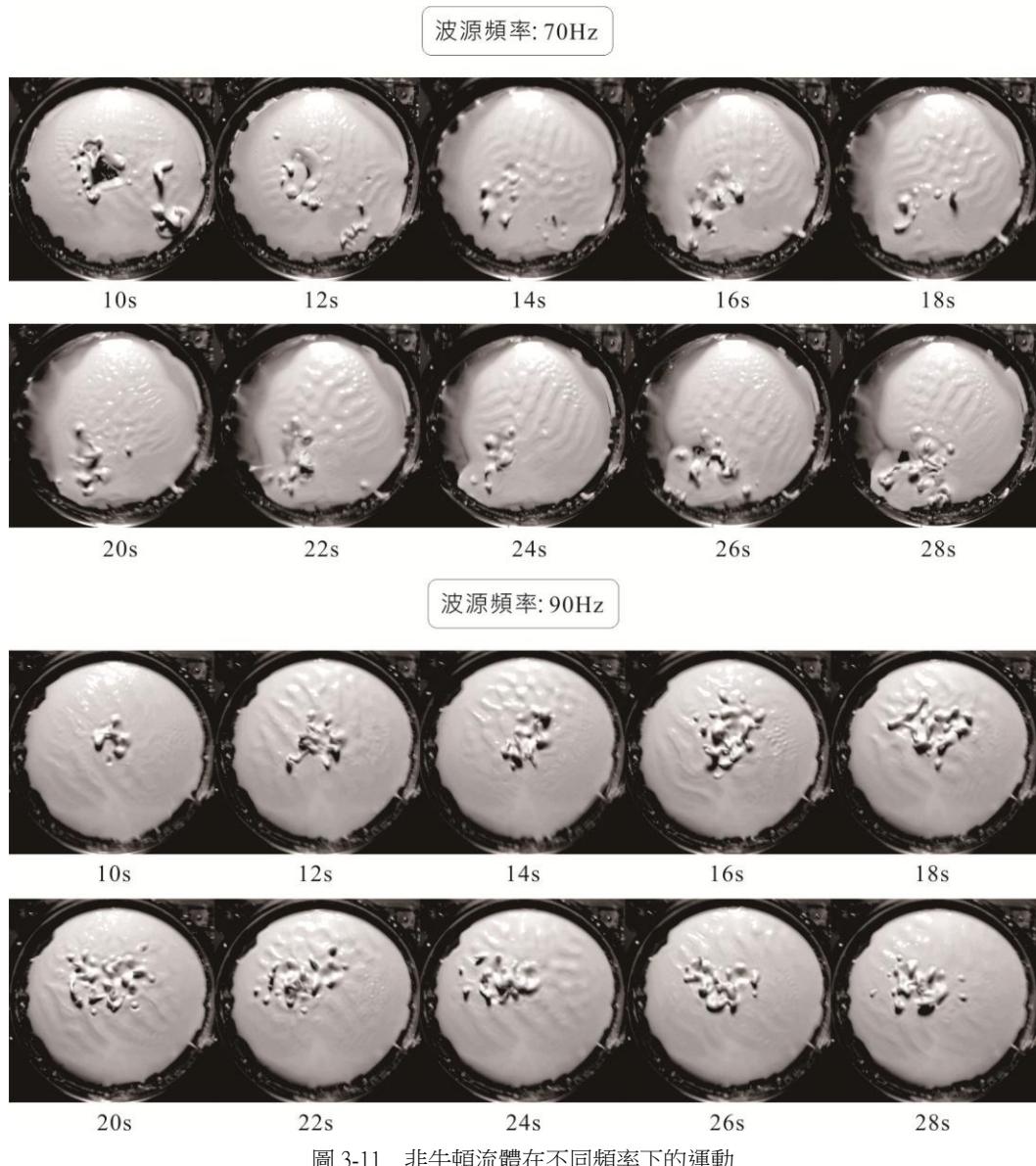


圖 3-11 非牛頓流體在不同頻率下的運動

### 3.1.2 流體運動資訊化

經由觀察分析實體的實驗的結果，可以了解到聲音振動對於形體的影響，但若企圖完成更多的波源在不同的邊界限制下產生的形體，實體的實驗過於龐大的設備與多樣的變數，

必須仰賴電腦輔助的方式來模擬完成。流體振動實驗所產生的形體為波的運動所造成，如企圖編寫可表現振動流體的形體的程式，必須先在程式中利用幾何與數學的關係產生波運動的形體。

牛頓與非牛頓流體在穩定狀態下，表面都必定形成一由容器定義的平面曲面，經由振動或是其他外力使其改變表面平直的曲面。在單體振動牛頓流體的情況下，由下往上垂直穩定的正弦波，且因為地心引力的影響，流體產生駐波型態的垂直運動的駐波。而非牛頓流體的特殊性質在這點上產生了跟牛頓流體最大的差距，非牛頓流體隨速度變化的切應力使流體形體在短時間內可以生成如懸吊出去的造型，意旨在短時間內可以以自身的組織力抵抗地心引力，進而產生非垂直的運動型態。在三維建模的邏輯下，平面曲面的定義由其上的控制點數目以及位置來決定。圖 3-12 為在一平面曲面上等距分布  $10 \times 10$  的控制點，第一部份的程式始控制點在 Z 軸上以隨機高度一單位到五單位變動，使原本的平直曲面變動成一與底部受到撞擊的流體相同型態的形體。第二部份開始讓控制點的移動出現 X 和 Y 軸的偏移，測試不同幅度的隨機移動以模擬流體受到振動或晃動的運動狀態。

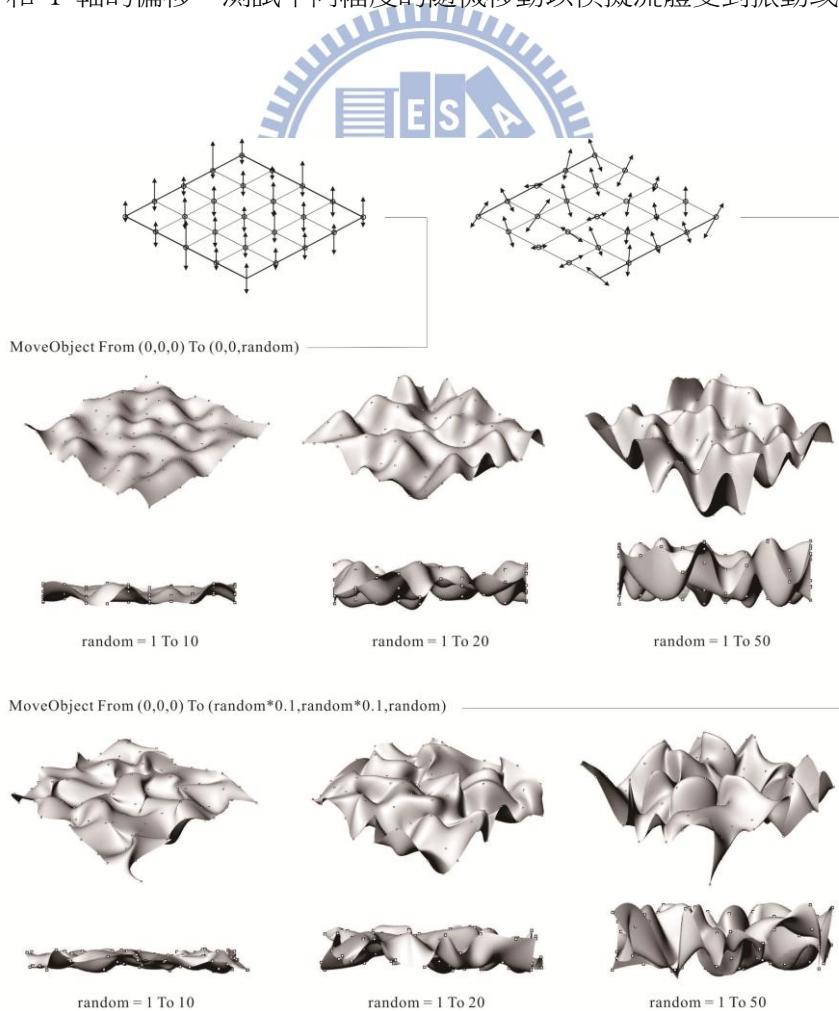


圖 3-12 移動平面曲面上控制點的變化

以控制曲面上的控制點為基礎，利用編寫曲線向量的漸變，使垂直和非垂直變動控制點的曲面產生漸進的變動，並累加每 100 毫秒下的曲面，使之堆疊成為具有參數性質的形體。

由圖 3-13 六種不同參數下累加的曲面隨機變動，可以發現不論是垂直或是不垂直運動，在長時間的累加下，形體的變動都將不斷的可運動範圍內的空間填補到最滿，因此若是形體變動的參數不是固定的值，或是不以穩定的方式變動，將無法控制曲面變動對其活動空間累加的變化。

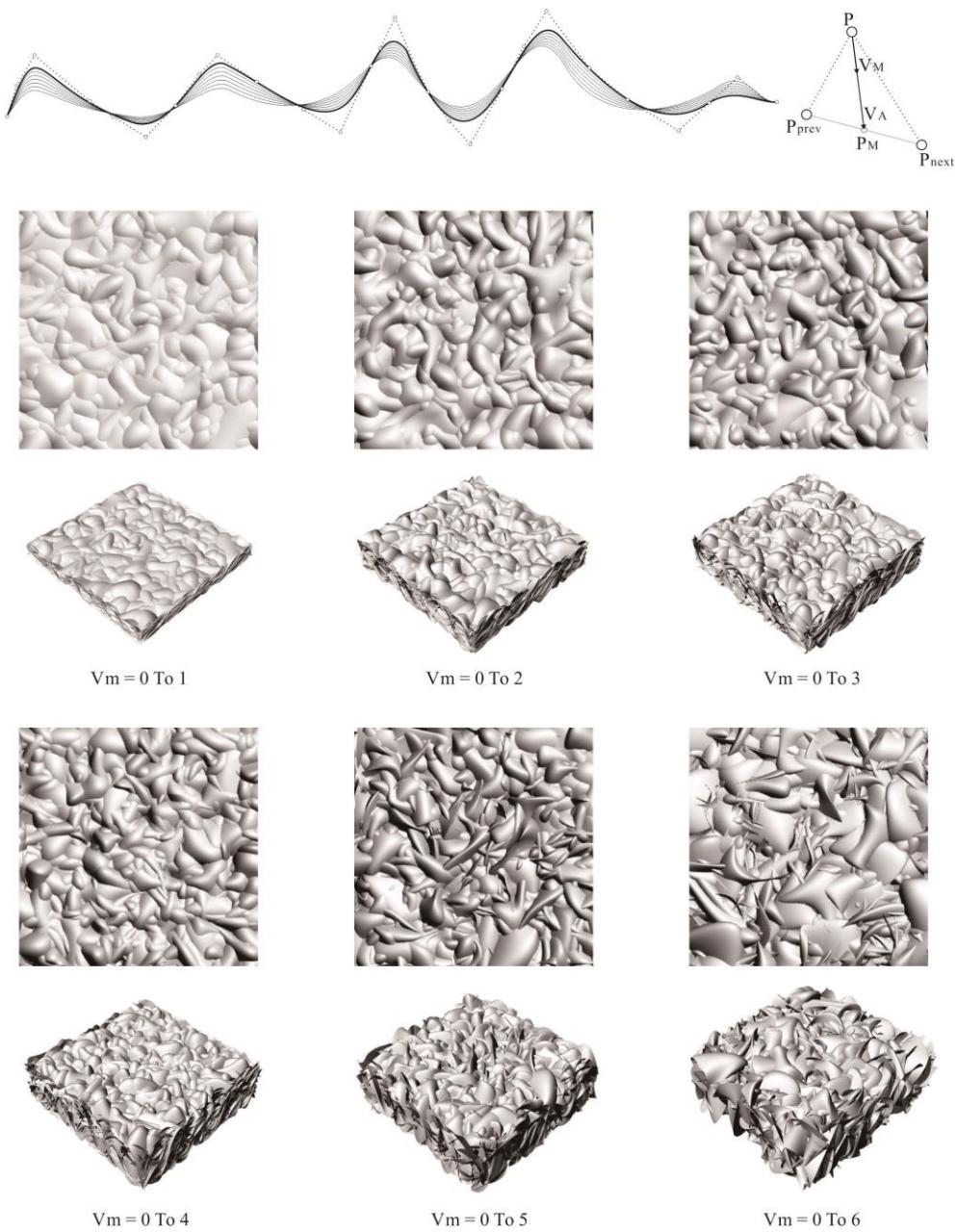


圖 3-13 曲面變動過程的疊加

在不同數據的調整下，平面曲線以控制點位移所造成的形變若是越劇烈，將在其位移領域中疊加越大的面積，且擁有越疏的密度。而當定義曲線上的兩點，兩點之間若維持反比的量值大小關係，兩點中間的疊加將呈現密度極高但疊加面積越小的情況。設想在空間中兩點資訊的變動擁有對比的關係，在這兩點之間所生成的資訊形體將會極小且高密度。

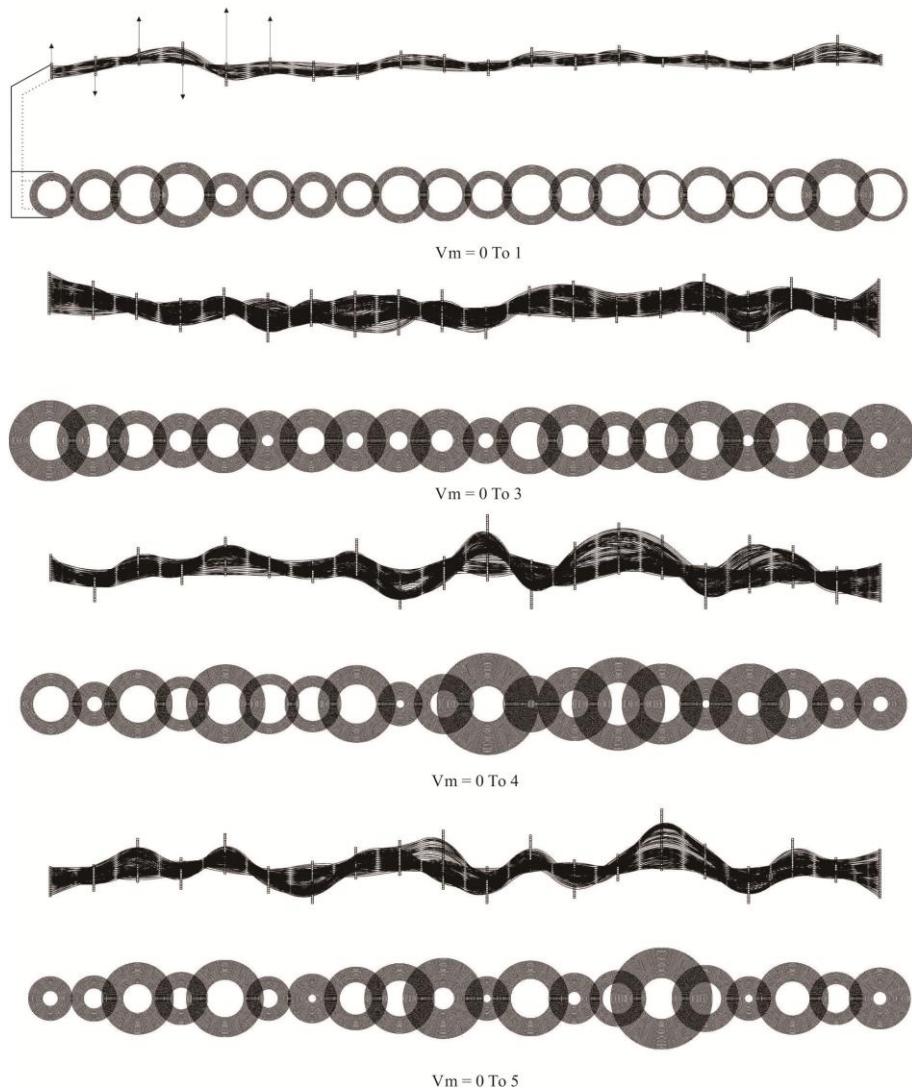


圖 3-14 曲線變動過程的疊加

### 3.2 - 程式設計與運算

在前一章節以程式完成波的運動的編程後，本章節企圖進一步利用程式編程將 Cymatics 的生成數據化，與非牛頓流體在單體振動下的形變數據化，以及探討其發展的可能性。

### 3.2.1 程式發展

在將 Cymatics 的波紋型態由實體實驗轉化為程式的過程中，首先嘗試以 RhinoScript 編寫數學式以定位點的生成(圖 3-15)，在參數漸變的過程中，點的排列在某些參數下可以產生類似 Cymatics 的圖形。但是無法找到其固定的規則，且在特定的參數下無法生成以圓心放射的圖形，而是生成不規則的紋理。此狀況並不符合 Cymatics 在所有頻率下皆可產生相對應紋理的實際情況，且數學式生成之圖形在比較下同質性大，無法達到本研究與實際實驗相對應之目的。

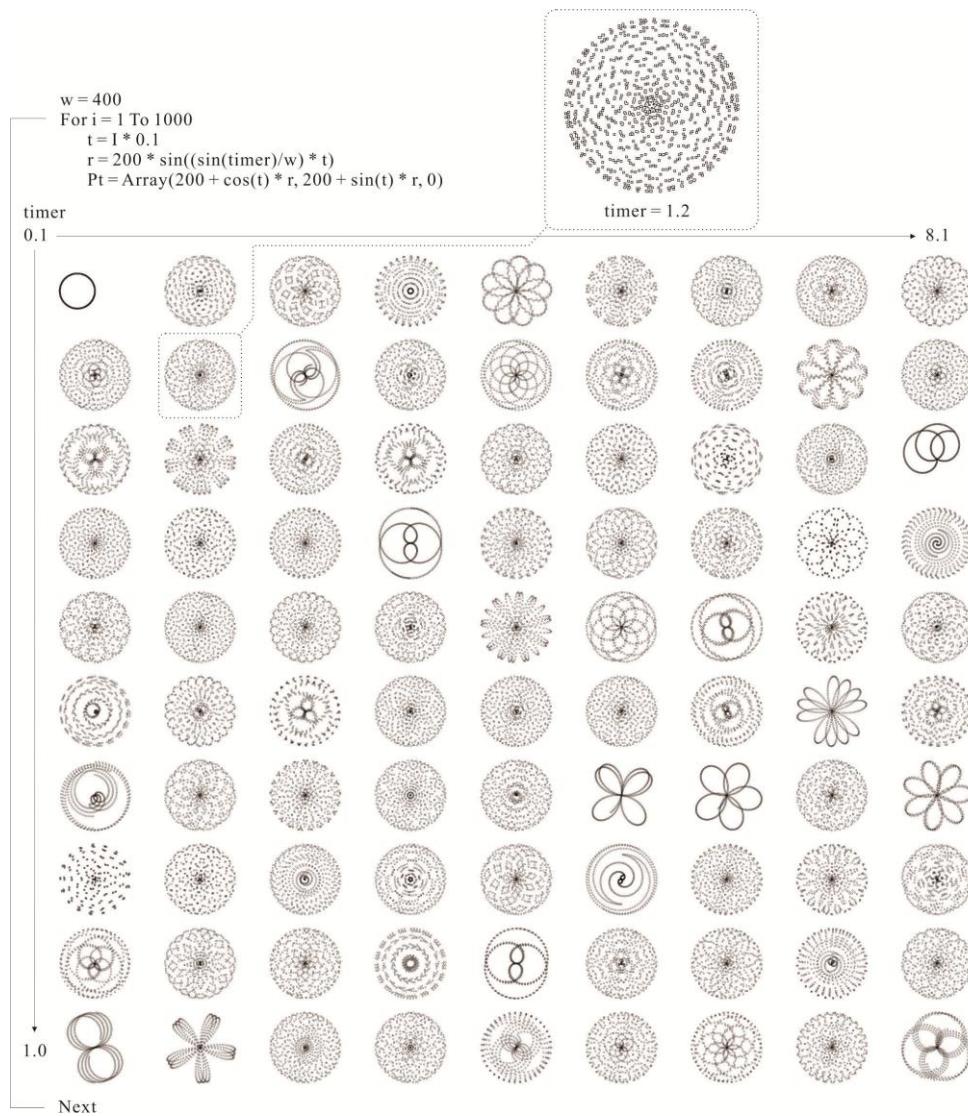


圖 3-15 以 RhinoScript 編寫數學式運算生成之圖形

因在本節前段所描述之數學式運算生成點無法產生正確的紋理基礎，故本研究重新以程

式編寫正弦波的型態來探討流體在振動下的表面剖線。正弦波的定義為正弦函數在線性運動下的變化產生的曲線，單體發出正弦波使流體產生的形變在剖面上表面剖線也呈現正弦波的狀態。

正弦函數的性質而曲線呈現穩定的漸變狀態，如以中心及曲線起點或終點為波源，向外傳遞不連續的波所表現的流體剖面。在與穩定的正弦波重疊比較下，可將各單位的干擾點做建設性及破壞性的分類，兩波皆處於波峰的交集點為建設性干擾點，將在新的波紋生成過程中擔任波峰的位置，相對若有其中一者是處於波谷的交集，將為新成波之波谷位置。將十道漸變的正弦波疊加後可看出在重複的產生波動後，由兩端反彈產生的新波與波源撞擊後生成波相互加成以及相互破壞的位置分佈。

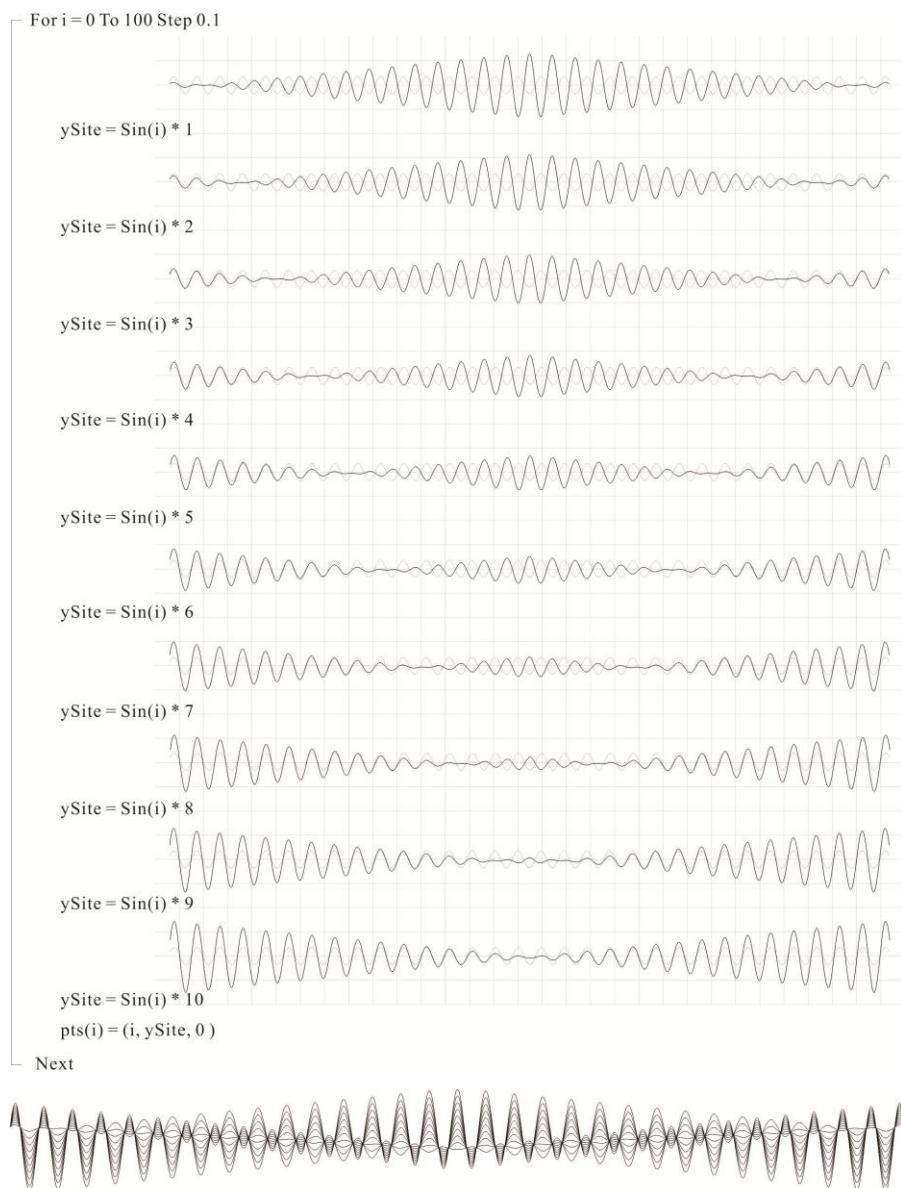


圖 3-16 正弦波不同頻率變化的過程

### 3.2.2 單波源運動運算與成形

在 Cymatics 的產生過程中，單波源的振動為從波源發出穩定的正弦波，對於上方的流體提供穩定的振動，本章節開始以程式編程的方式逐步完成 Cymatics 的生成過程。首先以矩陣的點表現單體上方平均的流體分布，並於點雲中心成立波源，代表波源點對於每一個流體單元點的距離乘以固定的正弦函數，並使得到的數值成為單元點往 Z 軸移動的高度。以這樣的方式運算後，對於圓心波源相同距離的單元點將位移到相同的高度，以圓心發散的同心圓位移將以正弦函數變化的頻率形成三維的正弦波。

在正弦函數變化的頻率較低的時候，點雲可以形成完整的同心圓波紋，但在正弦函數變化的頻率變高後，中心的波源對於矩陣中每一個單元點的距離之間逐漸產生差異，這些差異在低頻率時不會表現出來，而隨著頻率越高，差異逐漸明顯，使三維的波紋模型呈現複雜的紋理。

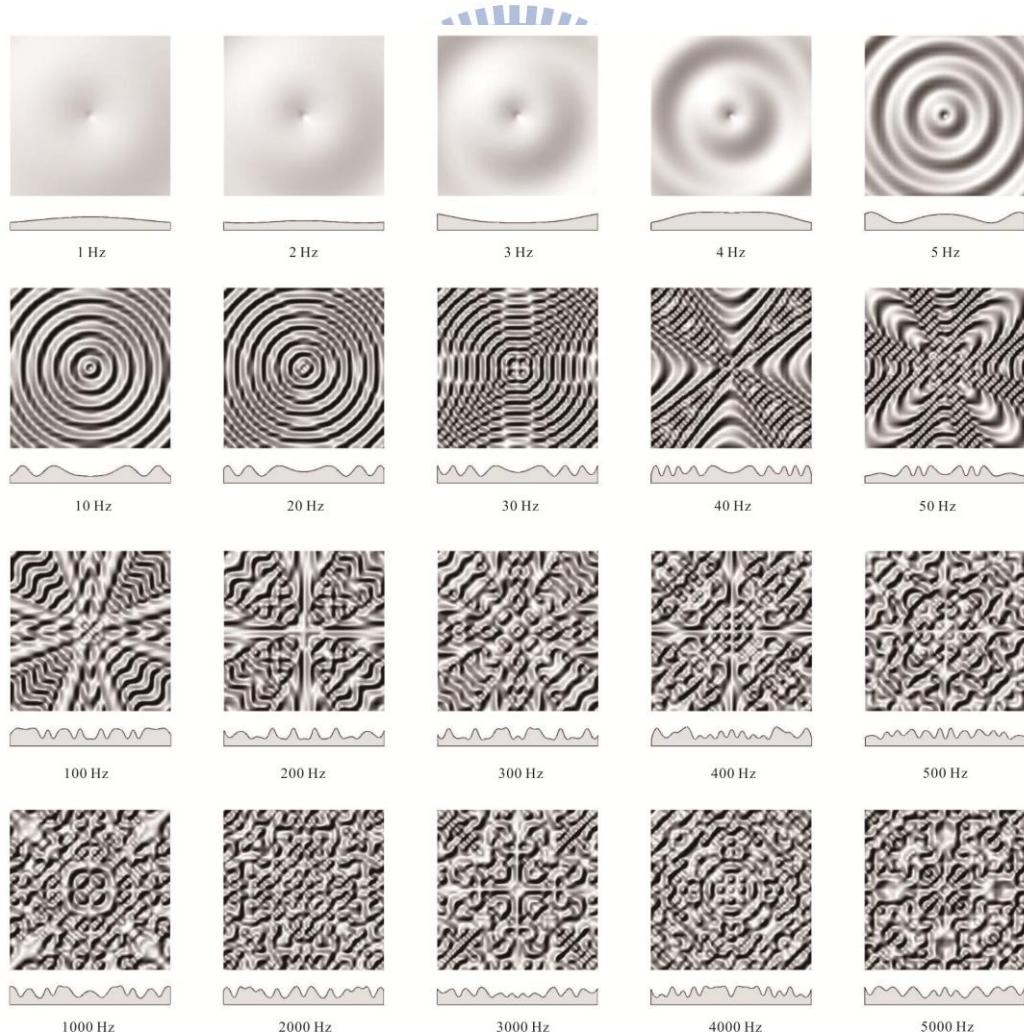


圖 3-17 單波源產生的波紋模型

而在給予多波源的情況下，將各個波源對與每個單元點的距離乘以正弦函數並加總，成為單元點Z軸的高度，以完成的點雲形成的曲面，將為多波源所造成的正弦波曲面變化。當波源的函數變化頻率較低時，彼此間的影響較低，還可以清楚判斷波源的位置與其自身所產生的波紋，而頻率較高時相互的影響將使曲面的變化更加劇烈，形成複雜且無法判斷波原位置的紋理。

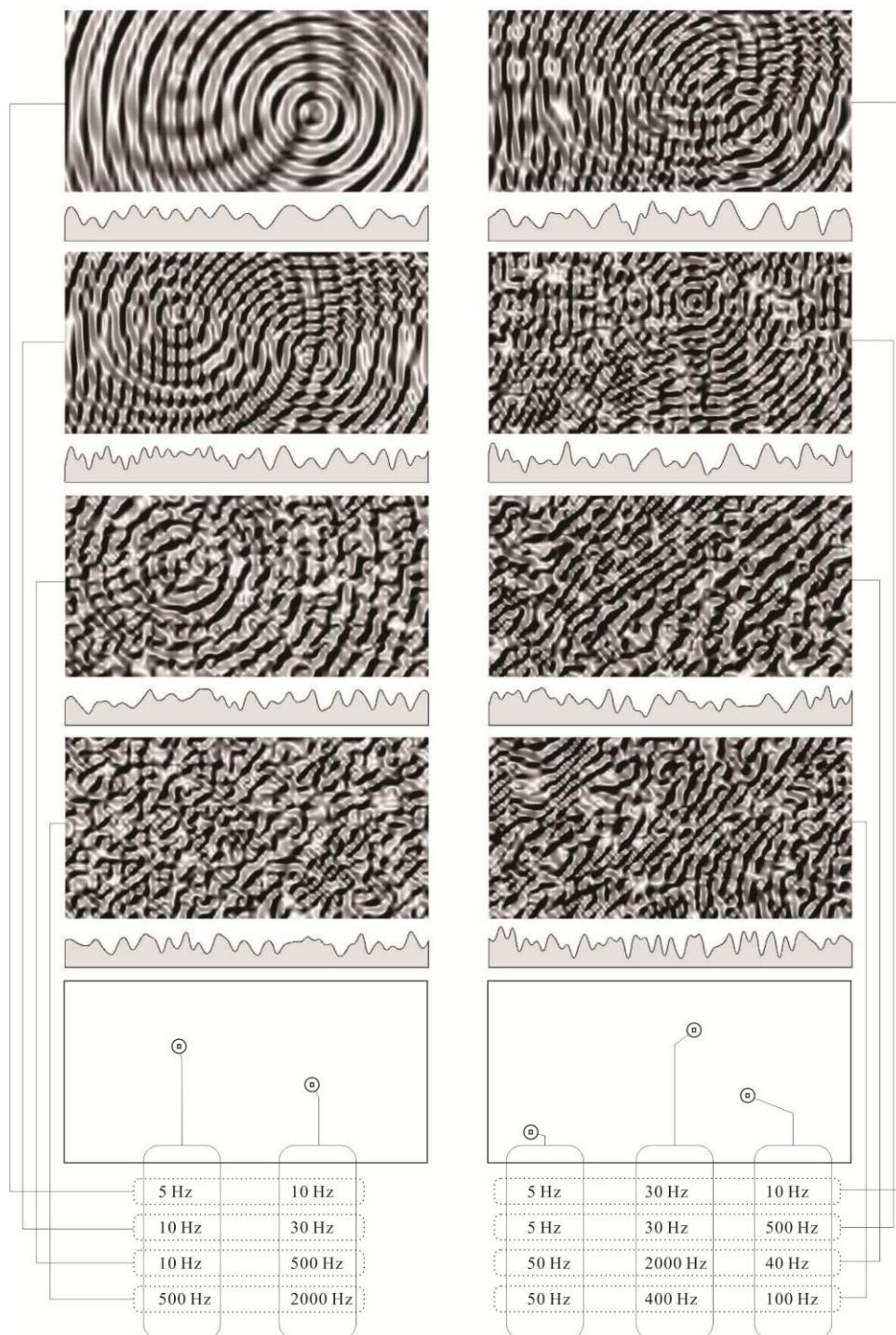


圖 3-18 多波源產生的波紋模型

不過因頻率越低的波源產生的波紋在 Z 軸上的變化越劇烈，且在 XY 平面上的變動越平緩，因此在相互影響中越可以保留自身的波動紋理。頻率越高的波源則具有相反的特性。

以波源對單元點距離的正弦函數發展的三維形體可以表現出具有正弦波獨特性質的紋理與變化，但在生成的結果中，無法正確的表現 Cymatics 的紋理與性質。兩者之間的差異發生在利用正弦波的性質生成的模型所具有的變化特性來自於以不同角度計算波源與單元體的距離產生的微小差異，在這樣的情況下僅適合用以分析頻率較小的聲波成形，無法產生高頻率 Cymatics 細膩的微小變化。Cymatics 的生成主要的原因於初代波源與經由邊界反射產生的次代波源之間的交互關係，大量的正弦波所堆疊出具有規則性的建設性與破壞性干擾點。相較於直接利用大量的正弦波生成的形體，以二維的幾何方式分析初代波源與次代波源產生建設性干擾點的分佈狀態，在以其為基礎生成的三維模型將能正確的定義 Cymatics 形體。

二維的模型以惠更斯－菲涅耳原理進行分析，兩股波在剖面上的干擾點成為評估波紋在上視圖的干擾點位置。在波的上視圖中，若波源提供穩定的正弦波，則次代波源也會產生同樣頻率的波動，兩股同樣頻率的波在撞擊的過程下，產生的建設性干擾點與破壞性干擾點將可以被標示與評估。將建設性干擾點視為波峰高度加成處，破壞性干擾點則相對成為波谷，密度越高的建設性干擾點聚集處在一定範圍內將彼此加成獲得更高的建設性能量，密度越低的干擾點則越接近單位干擾點的建設性能量。

以此架構編寫的程式擁有三項變數，一為波源產生波的頻率，二為以波源為中心生成同心圓邊界的半徑，三為在邊界上生成次代波源的量數。程式運行的步驟以使用者取樣的點為波源，發出設定頻率的同心圓為初代波源之波峰，撞擊邊界產生設定量數之次代波源，次代波源以與初代波源相同頻率產生同心圓波峰，並計算初代與次代波源波峰交集處生成點，以表示此數據運算下波所產生三維形體的二維圖示。在此程式運算所產生的點，並不具有三維高度的性質，在設定上頻率越高的波產生之密度較高的點雲。在實體實驗中頻率越高的狀態下可以產生的三維形體越扁平，而頻率越低則相反，但在程式運算下此研究不保留在實體三維型態產生的變數因子，只保留波與波相互撞擊產生的建設性干擾點位置，以供後續程式為運算基礎。

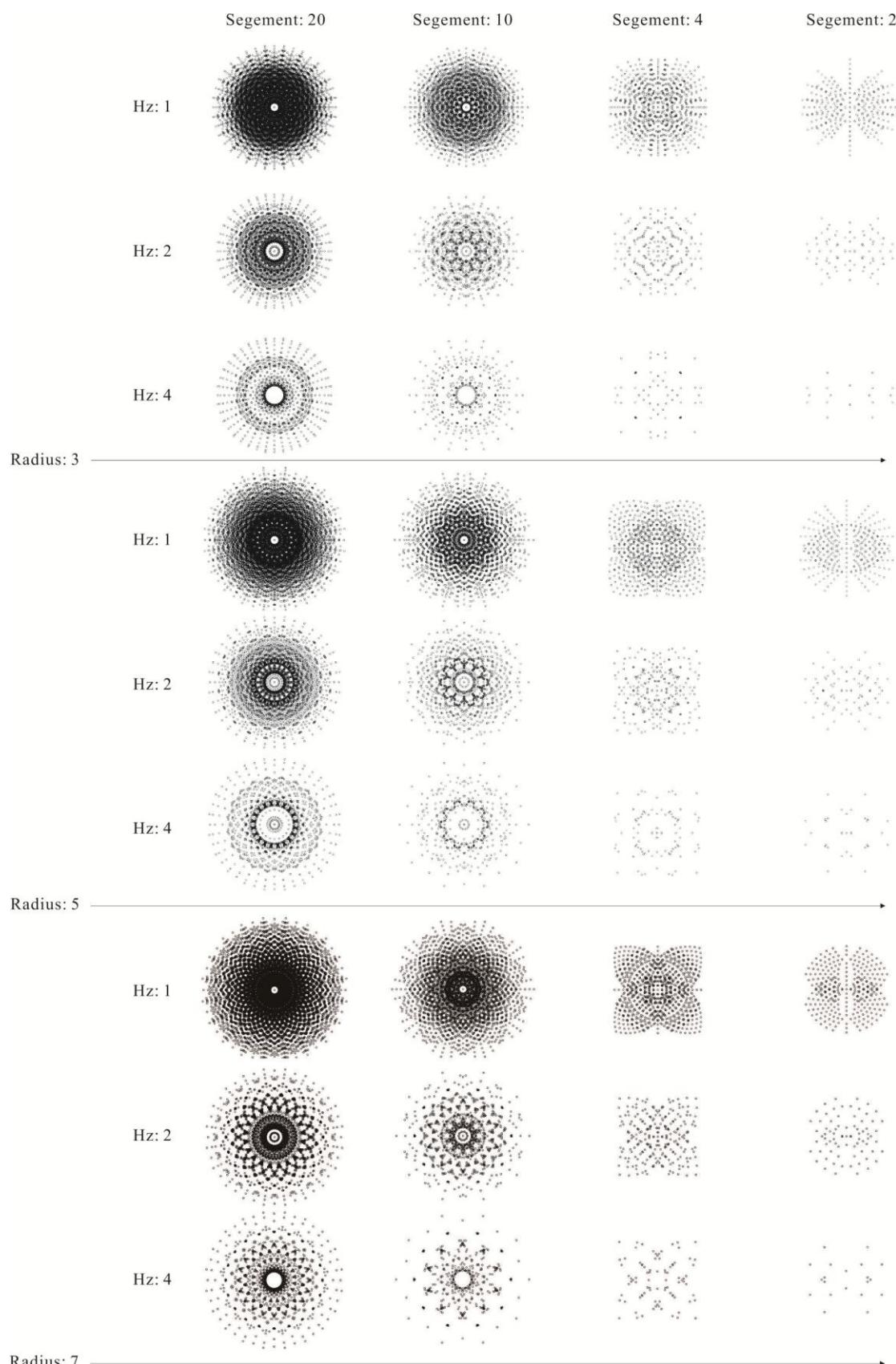


圖 3-19 Cymatic 程式運算結果

由上述方式進行程式的設計並生成的點，代表著符合設定的三項參數下牛頓流體生成的形體基礎，所有的點都表示三維形體的建設性干擾點投影在平面上的位置。圖 3-20 中以兩個步驟定義惠更斯－菲涅耳原理分析產生的點到三維形體的生成。

建設性干擾點為正弦波波峰交疊處，為波紋的高點，步驟一將點與點連線並以線段的中點定義新的點為波紋峰谷，步驟二使所有定義為峰谷的點降至同樣的高度，且抬升波峰的定義點將原始二維的點雲形成三維點雲。以此點雲生成的曲面表現惠更斯－菲涅耳原理生成的點所代表的紋理，在此狀態下單純代表建設性干擾點與破壞性干擾點在分佈後對於流體波紋賦予的性質所產生的圖像。而 Cymatics 的產生為建立在此圖像之上，建設性干擾點彼此之間的距離在一定範圍之內會產生互相加成與影響。

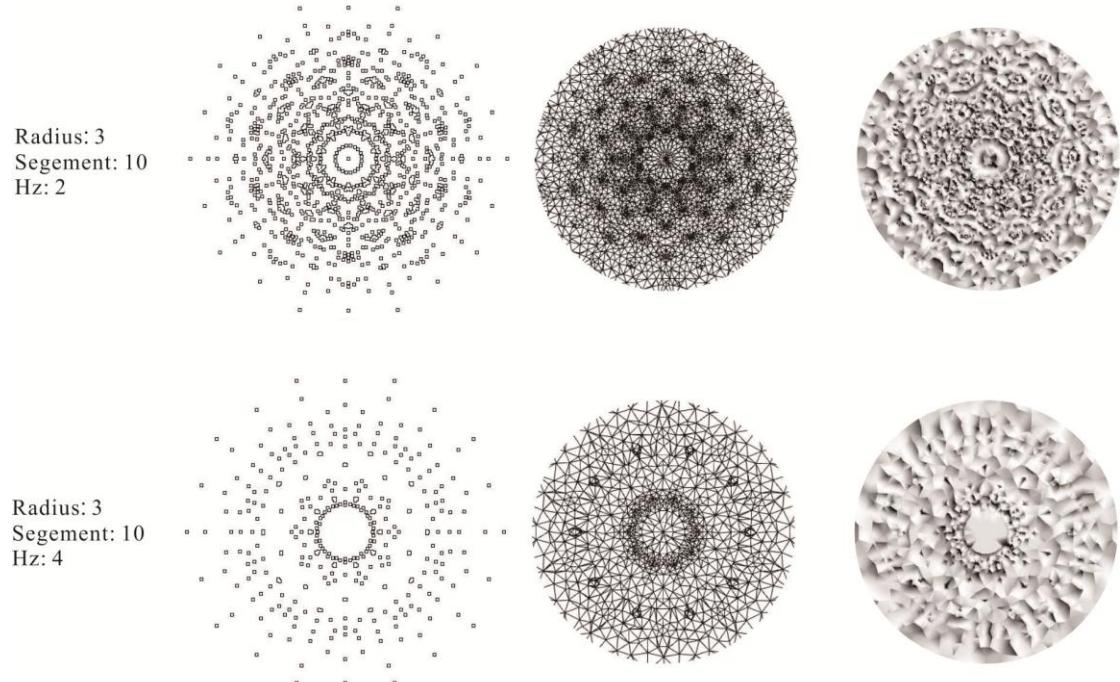
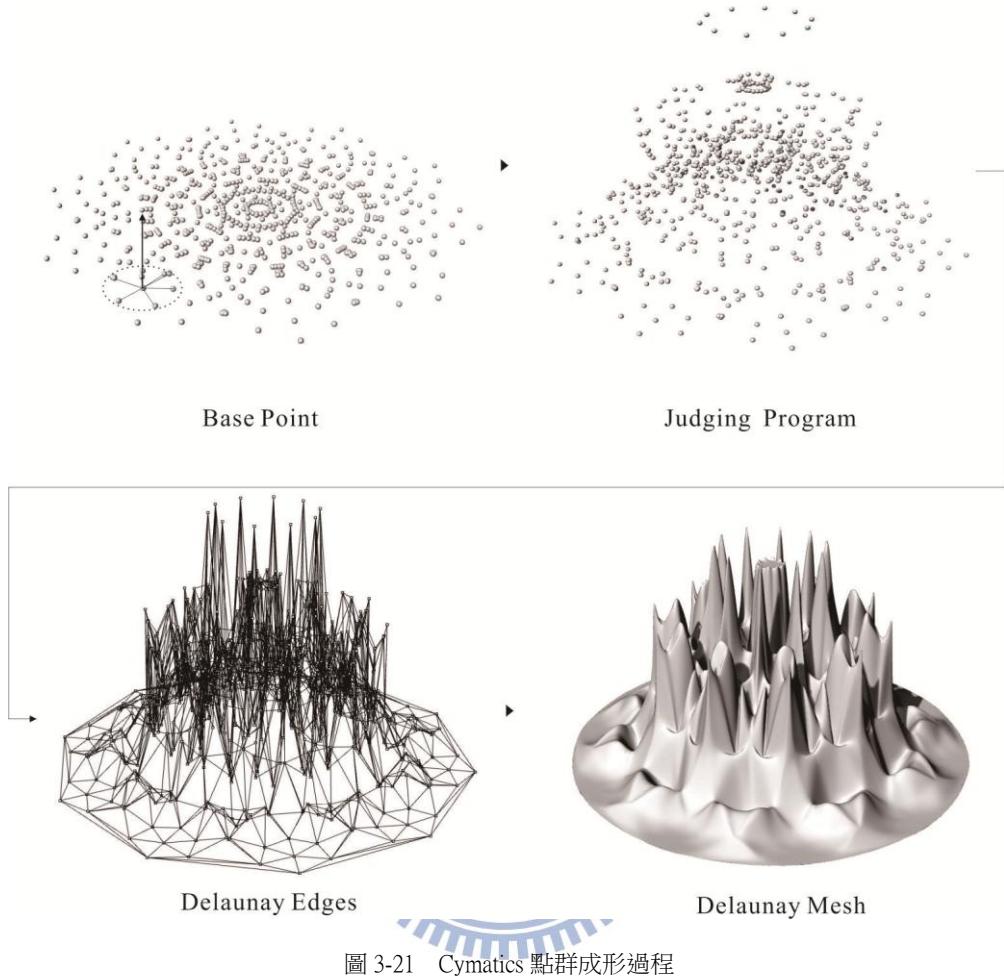


圖 3-20 干擾點群形成的三維波紋模型

經由圖 3-21 的三個步驟將點重新轉譯為三維狀態的形體，第一部分設定判斷範圍的半徑，判斷範圍為以每一個點為圓心生成的圓，位於此圓內所有的點與圓心的距離總合即為圓心點抬升的高度。此規則代表的狀態為，每一個點都會被抬升，但周遭越密集的點所具備的量值越大，抬升的高度越高，密度越低則相反。

第二部分將全部的點以原始平面為基準，與周遭以上視圖相近的點以不相交為基準連線，產生的曲線群已經可以表達三維模型的形體狀態。第三部分再以曲線群建立柔化的網格

曲面，在符合抬升後的點群座標的狀態表現流體在振動下形成的形體並加以強化凸顯局部的差異性。



經由上述的步驟，將不同參數生成的點群，依照三種大小的選取範圍生成不同狀態的形體。在選取半徑較小的情況下各點所定義的族群較小，因此每個族群的性質差異較大，即使距離很近的兩個點在經過程式評估後依然有可能產生相差很大的量值特性，在這樣的情況下生成的形體容易具有變化較劇烈的剖面線，且各部分都較細碎。而隨選取半徑的增大，各點所具有的族群面積增大，距離相近的點會產生相近的量值，因此生成的形體具有較為平緩的剖面線變化在選取範圍的參數變化下，生成的形體有所差異但均符合基礎點的配置。

以下為六種參數所運算出來的點，由這些點為基礎，分別給予選取半徑 0.5 單位，1 單位，以及 2 單位為運算參數，所產生出來的十八組三維模型，由這些模型可以理解，由惠更斯-菲涅耳原理運算出來的點，在不同的參數設定下可以形成什麼型態的 Cymatics:

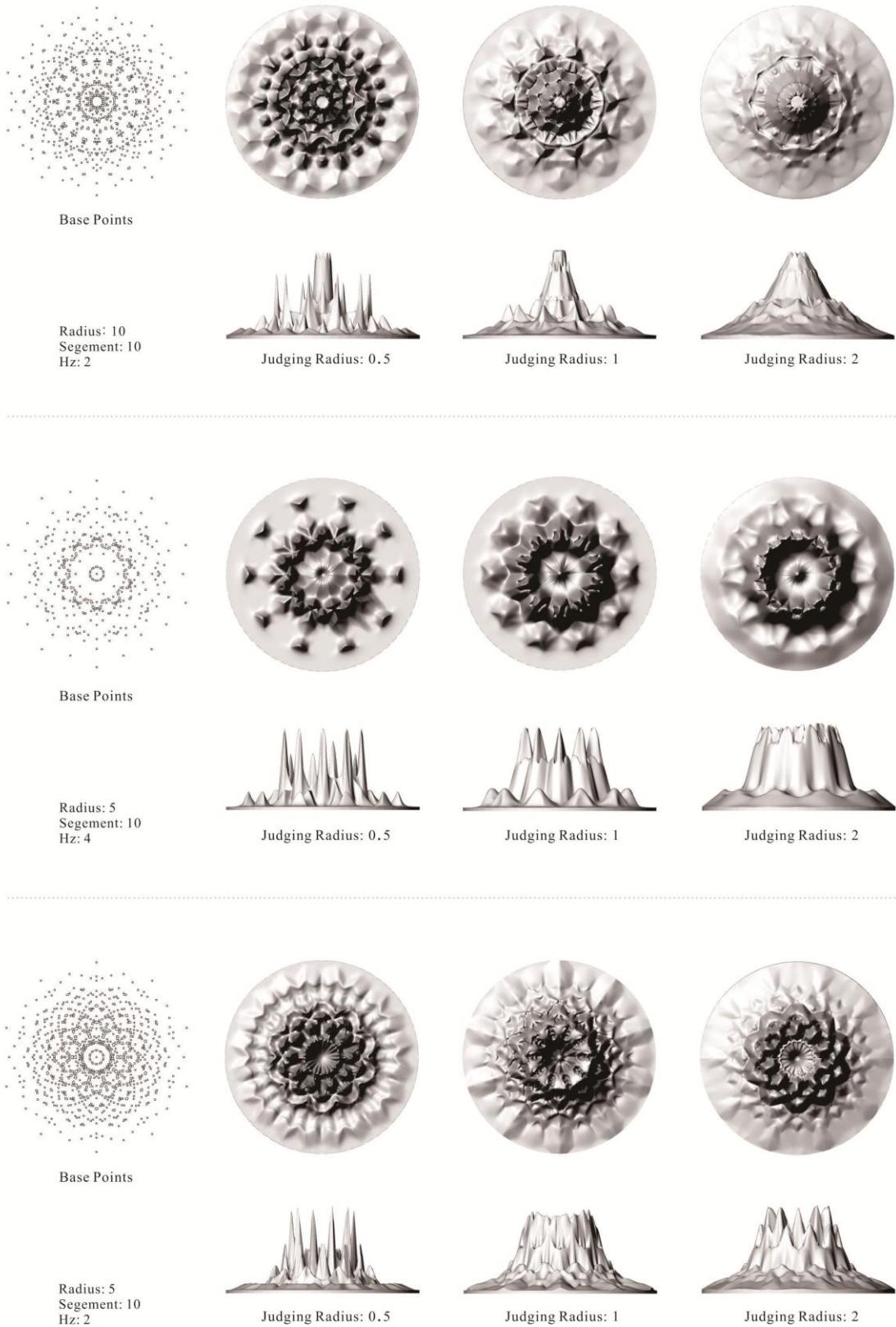
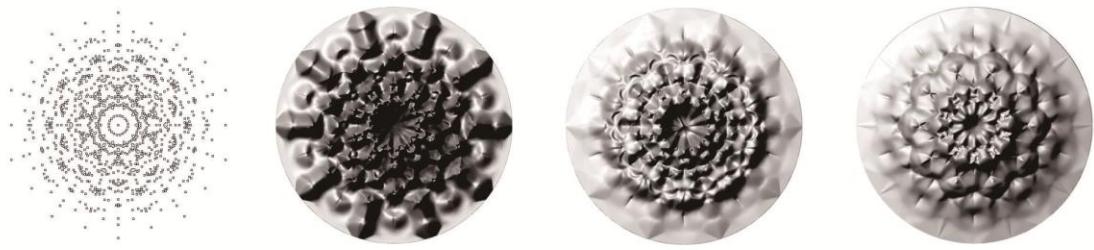


圖 3-22 Cymatics 點群成形在參數調整下的狀態



Base Points

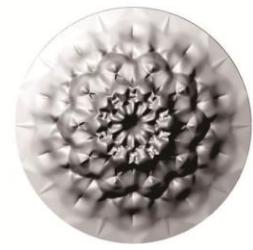
Radius: 3  
Segement: 10  
Hz: 2



Judging Radius: 0.5



Judging Radius: 1



Judging Radius: 2



Base Points

Radius: 7  
Segement: 20  
Hz: 4



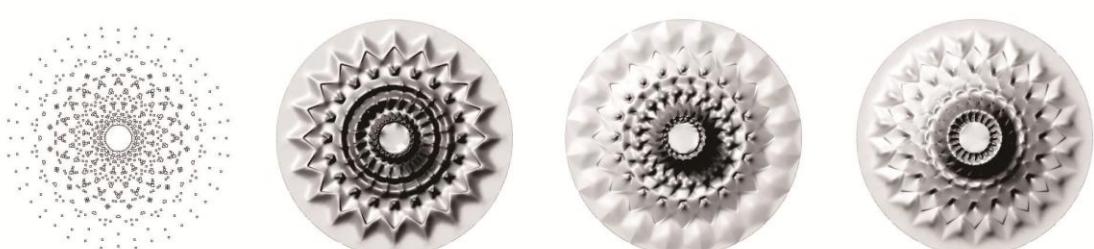
Judging Radius: 0.5



Judging Radius: 1



Judging Radius: 2



Base Points

Radius: 7  
Segement: 10  
Hz: 2



Judging Radius: 0.5



Judging Radius: 1



Judging Radius: 2

圖 3-23 Cymatics 點群成形在參數調整下的狀態

### 3.2.3 多波源運動運算與成形

基礎的 Cymatics 形成狀態為單獨單體在圓形邊界下以圓心振動並在邊框均勻的產生等值的子代波源，子代波源與初代波源撞擊下生成的流體形變。在章節 3.2.2 中運算的程式是在此狀態下生成的結果。以單波源的程式為基礎，本節加入了兩個新的變數進入虛擬的實驗，第一個變數為邊界的變形，第二個變數為波源的數量。圖 3-24 將波源的點設在非圓形的邊界內，並使之偏移於邊界的中心，在以章節 3.2.2 中的程式運算，由結果可看出 Cymatics 的波紋在不同邊界與不同的波源位置下，各種頻率所產生的變化。初代波源的發散點與邊界的距離不會影響子代波源的頻率，但是會影響次代波源的力量，距離波源越近的邊界會反射波產生力量越強的刺代波源，而越遠的則相反，意旨距離初代波源越遠且新生的次代波源能造成的影響越小。

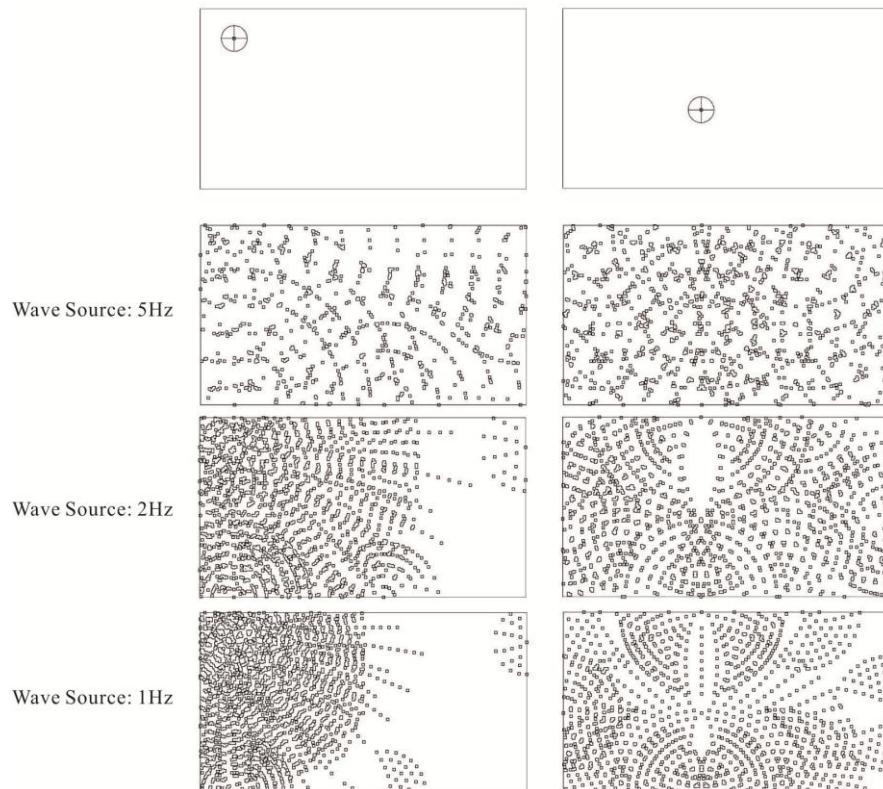


圖 3-24 單波源與不規則邊界的運算結果

圖 3-25 與圖 3-26 為在邊界的內部配置不同位置的波源，並給予相同或是不同的發散頻率，在波源撞擊後生成的建設性干擾點。經由觀察各種運算結果的圖像，可以發現頻率越高的波源與其他波交會後依然會產生越密集的干擾點，頻率越低則相反。而越靠近邊界的初代波源將會產生可把波傳導到更遠的次代波源，因此越靠近邊界的波源，將可以

產生更有影響力的次代波源。因此當波源位於邊界的中心時，運算後將產生較平均分佈於邊界內的建設性干擾點，而若是波源越靠近邊界，運算後的干擾點將會越集中於波源的四周。

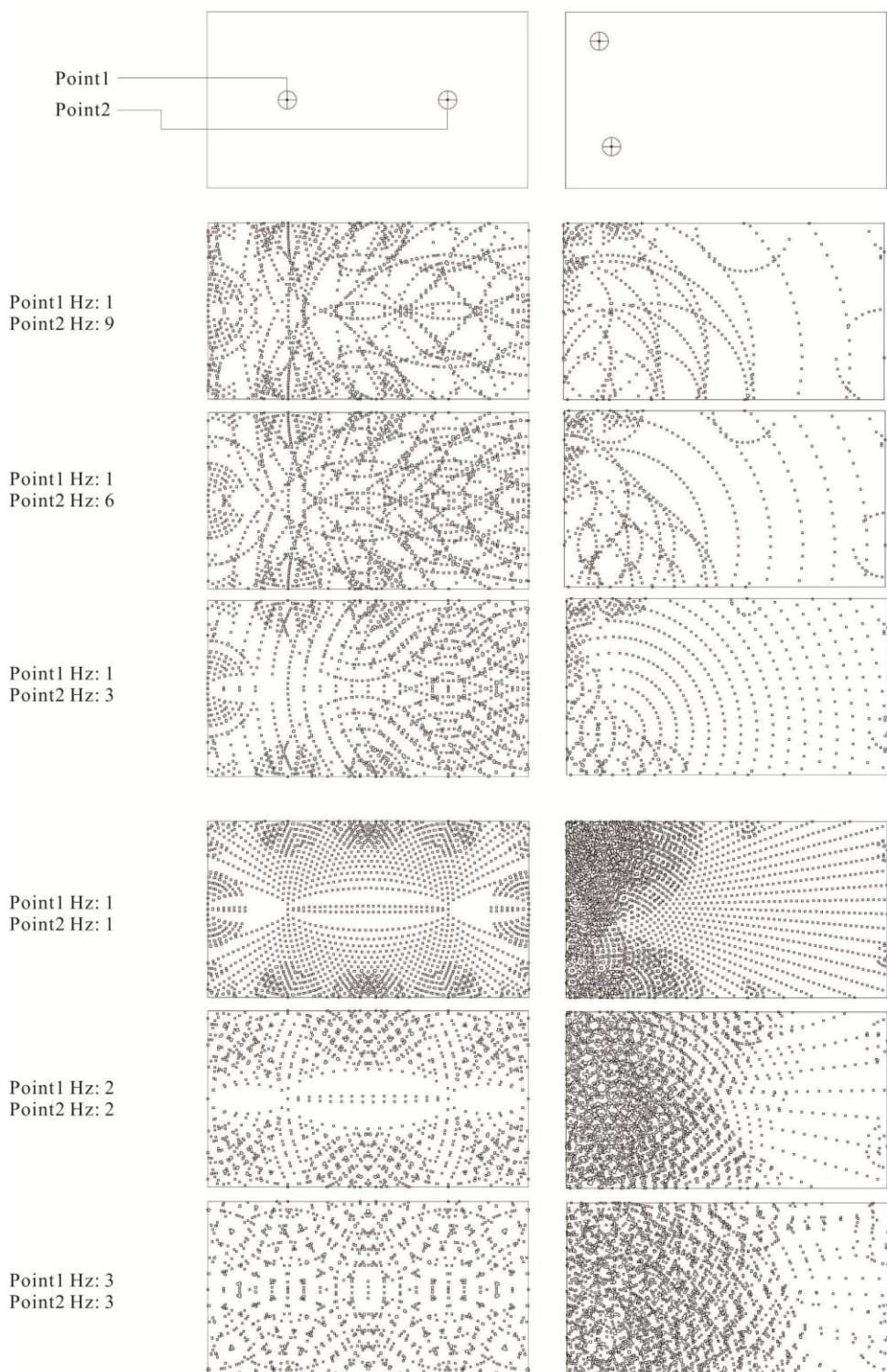


圖 3-25 多波源與不規則邊界的運算結果

在圖 3-25 與圖 3-26 的運算結果中，除了可以觀察到的特性之外，會對最後的運算結果產生很大影響的變數是子代波源的擴散能力。本實驗在程式中的設定讓子代波源的擴散範圍與初代波源到邊界的距離成正比，如圖中所示，離初代越遠的子代，擴散的範圍越小。因此，在成正比的情況下將子代的擴散範圍加大，會使干擾點的密度大為增加。

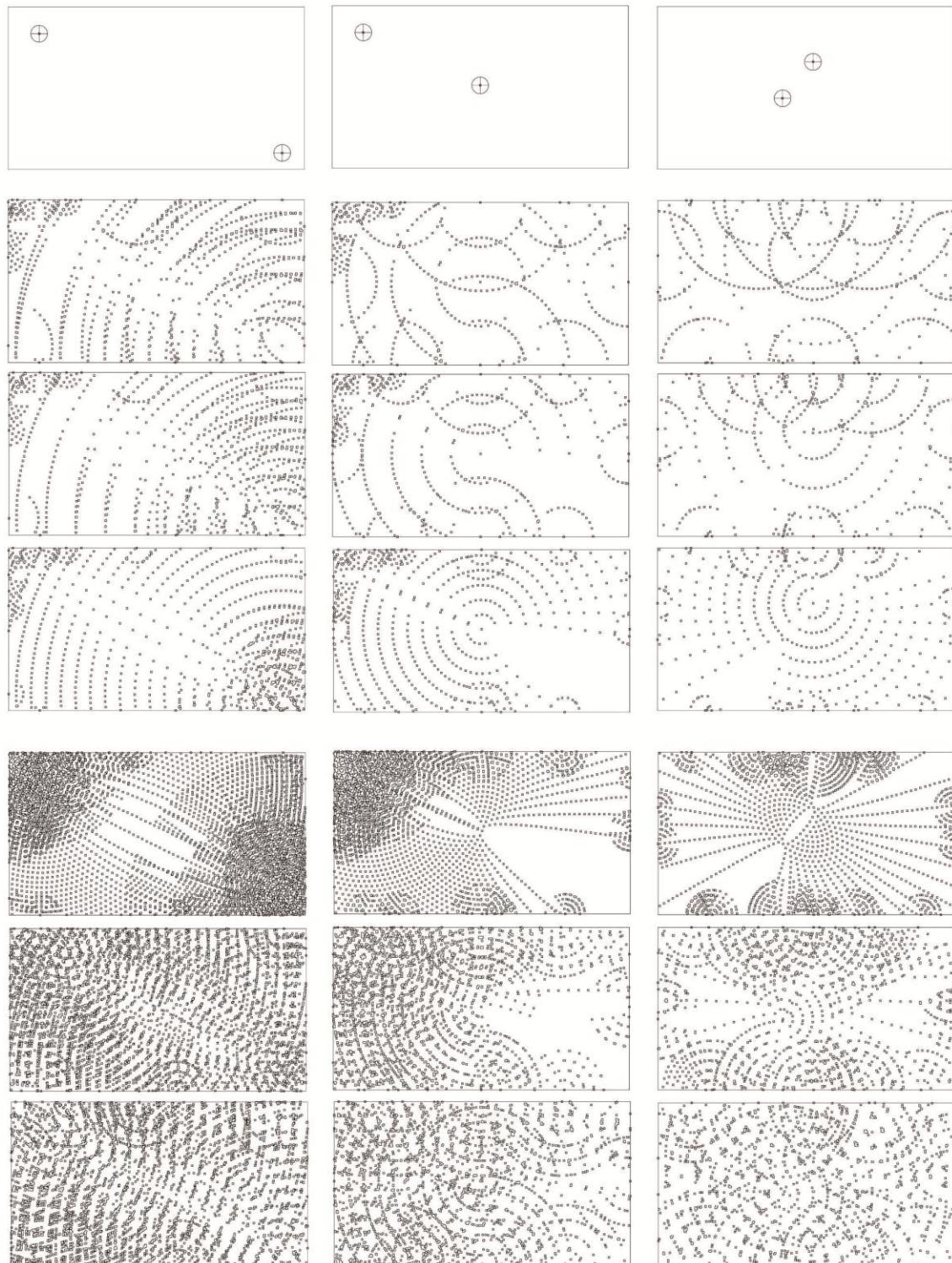


圖 3-26 多波源與不規則邊界的運算結果

以多波源為基礎產生了建設性干擾點的分佈之後，以本節前段描述的步驟將所有的單元點與較接近的三個點連接，並將連接線的中點定義為破壞性擾點。平居的提高所有的建設性干擾點，再以所有的點為基礎形成曲面，將獲得干擾點分佈圖的三維模型。由模型得知，越密集的干擾點在曲面中形成越複雜的部份，越疏的部分將越平坦。

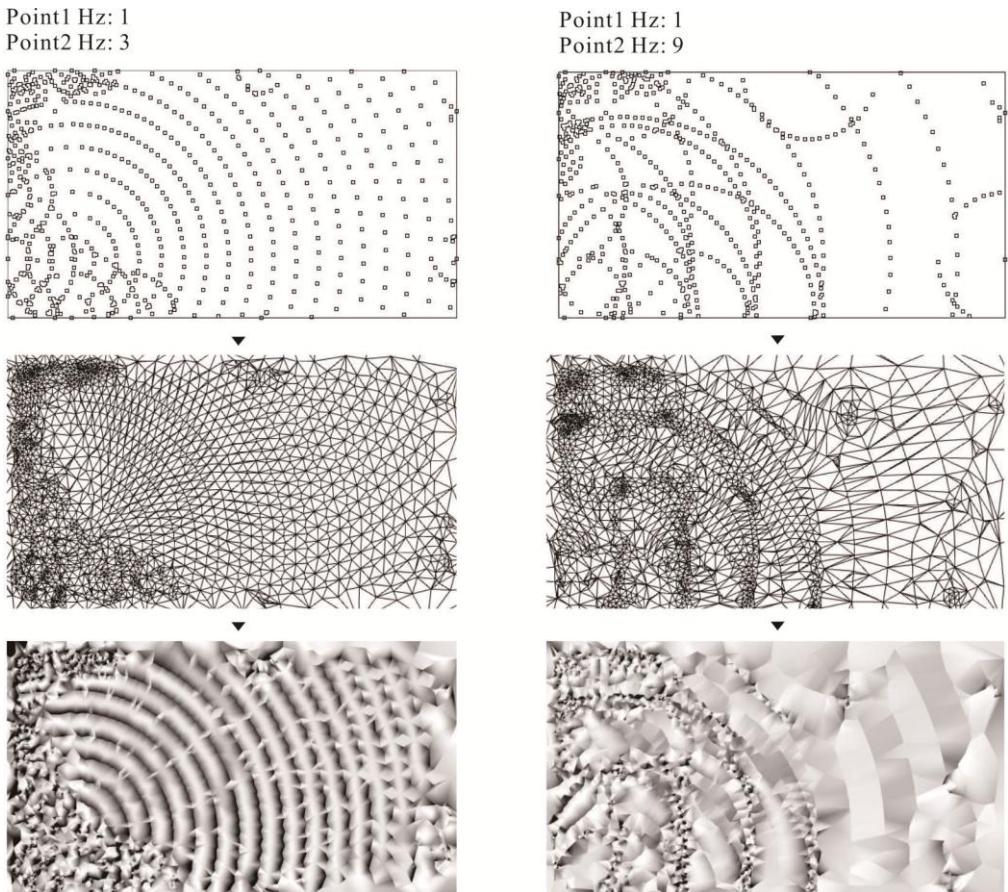


圖 3-27 干擾點群形成的三維波紋模型

以上述步驟完成的模型，並不具有干擾點互相影響的特性，在圖 3-27 中將點與點之間的關係加入判斷，重新運算產生的模型將合理的推演多波源在邊界彼此作用所展生的形體，圖 3-28 與圖 3-29 為各種波源分佈在不同參數下運算的結果。與單波源的三維模型相同，在點與點之間互相影響的半徑參數越大的情況下，產生的形體越能表現出細膩的紋理，但是整體造型的變動將越小，最高點到最低點的距離將縮短。而用於判斷的半徑參數越小時，將凸顯點分佈的性質，越密集的區域越容易表現出與其他區域的差距，因此細膩的紋理將不會出現，而整體造型的波動將會變大。

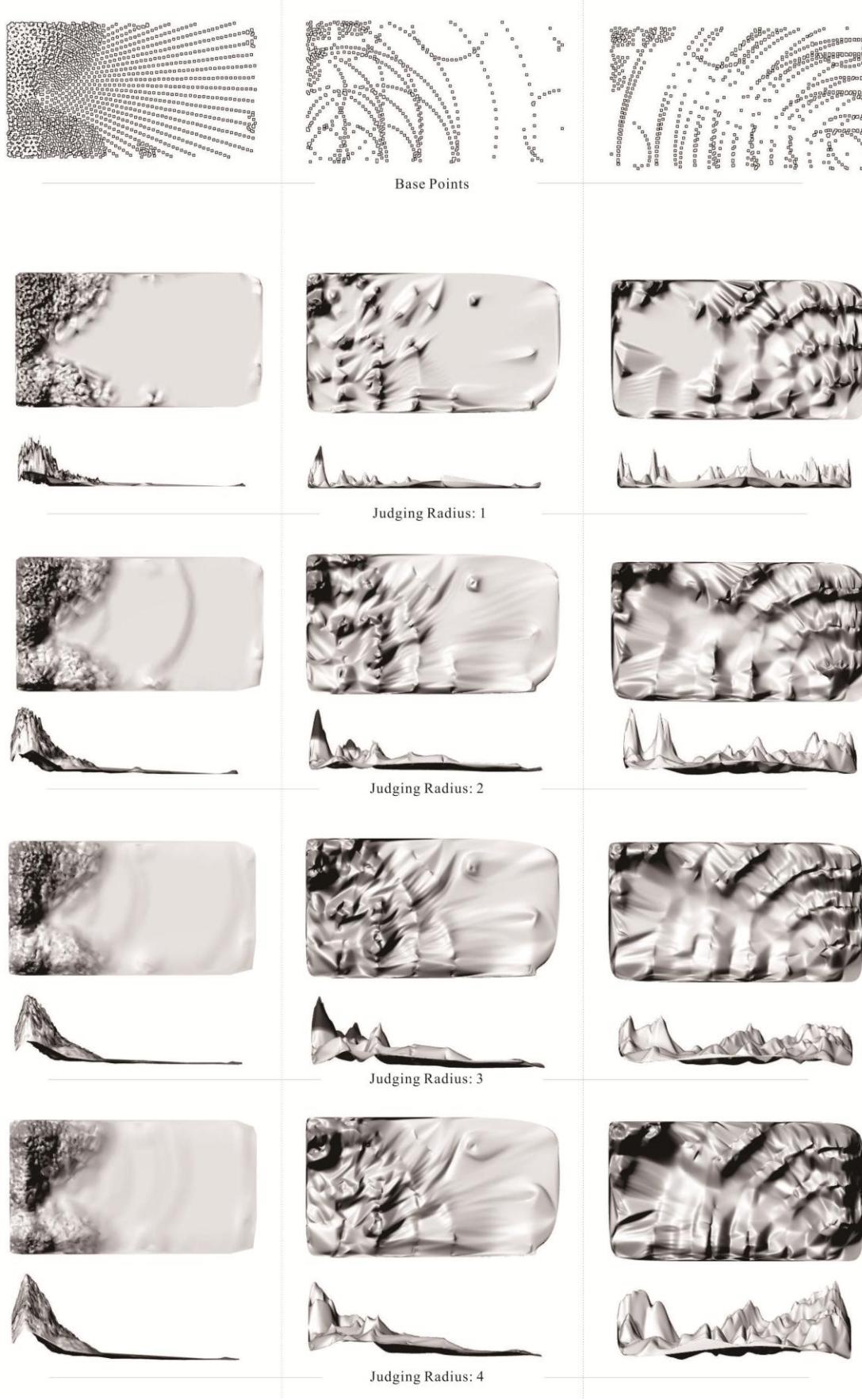


圖 3-28 多波源點群在不同參數運算的成形結果

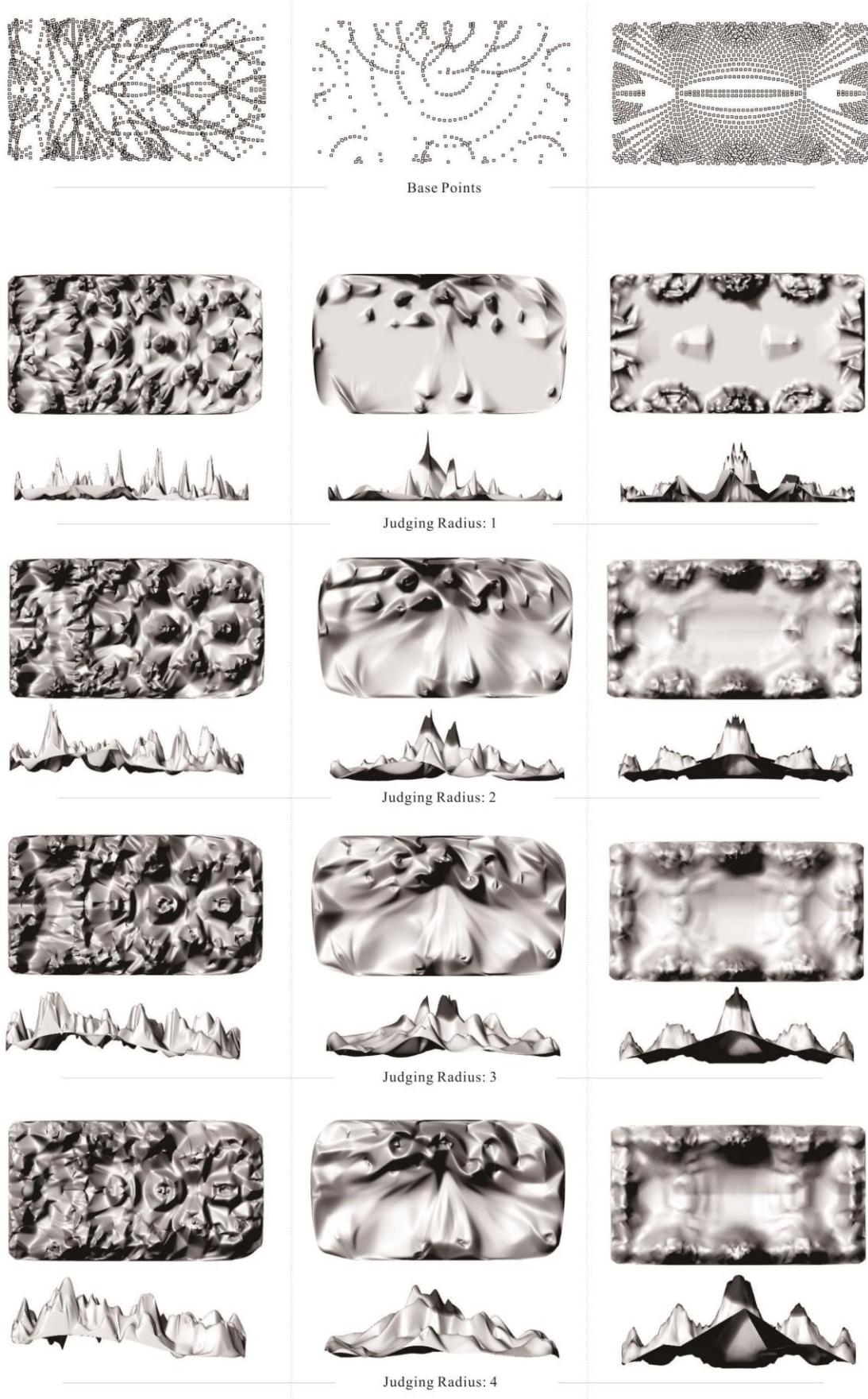


圖 3-29 多波源點群在不同參數運算的成形結果

### 3.2.4 非牛頓流體運動運算與成形

非牛頓流體在受單體振動形變的過程中，因流體本身的密度無法維持均勻，越快速受力且受力越大的區塊，受力瞬間性質就越接近固態。將流體微元視為分佈於設定邊界內的點雲，在受到波源的力量時，代表牛頓流體微元的每個點將在單位時間後，平均的受到波的影響。在二維程式編寫的狀況下，必須賦予每個代表實體微元的點一個量值，此量值的意義為三維實體狀態的微元受力的大小，即是流體在高度上的變化值。

在章節 3.2.2 中運算產生的點密集處，為量值較大處，而在此搭配固定頻率的量值分佈下，非牛頓流體的微元量值將會因為密度的關係收到影響而產生變化。在程式中將這樣的關係以”加權點所賦予之加權值”表現。

加權點程式的概念為：

- (A) 加權點代表密度最高的點，加權點會依據周遭的微元分佈狀態進行向量的計算，並依照與設定半徑內微元的總向量平均產生漸進式的位移。(圖 3-30)。



圖 3-30 加權點的位移方式

- (B) 所有的微元都擁有前期運算累積的量值。  
(C) 越靠近加權點的微元，擁有越高的機率提升自身的量值，相對之下設定距離以外的微元將不受加權點影響。(圖 3-31)

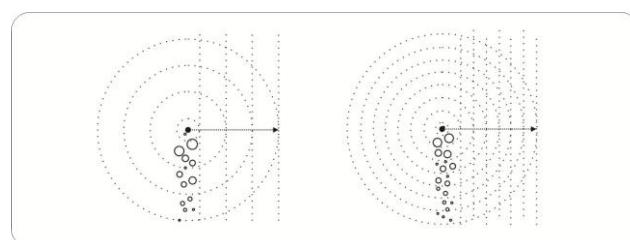


圖 3-31 加權值對量值的影響

在運行章節 3.2.2 所產生基礎點前，以  $10 \times 10$  的基礎點作為加權點程式的測試。測試用的一百個基礎點具有平等的基礎量值(圖 3-32)，並以點為圓心生成以量值為半徑的圓，在受到影響前每個點呈現穩定的圓形。在程式開始運算後，加權點開始藉由與設定半徑內的點相對向量開始進行位移，在位移的過程中越接近加權點的圓形，都越高的機率提升半徑的大小，而距離過遠未受影響的圓，則以百分之五十的機率決定其下一毫秒將提升或降低 0.1 單位的半徑大小。當結束一千毫秒的運算後，原本均質的一百個圓將呈現大小不均的狀態，如非牛頓流體受到單體振動所呈現以均值基礎生成不均勻規則的狀態模型。

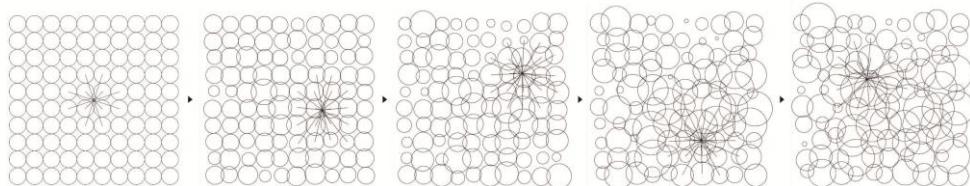


圖 3-32 加權值程式運作

在聲波產生形體的過程與概念中，將環境定為常數，猶如牛頓流體的振動實驗，可以量化實驗及分析結果而得到穩定的數據變化，不過對浮動的空間資訊而言，這樣的分析無法表現及體現空間資訊所表現的動態過程。因環境參數的不穩定，會導致穩定的資訊動態產生不穩定的波動。如在一室內空間中，將人的位置視為波源向外發散波，空氣為環境介質，此情況下空氣不會是均值的穩定狀態，必須將室內外的空氣流動與其他影響空氣流動的因子加入運算。在均值的介質下以人為波源產生的可視化資訊型態，和不穩定且不斷在變化的環境介質下的型態將有所差異。

在不斷浮動的環境下，形體的發生無法擁有穩定的起始值，在概念模型的運算上可以使用隨機的方式給予所有單位起始值以作為浮動環境下資訊形體的運算開端。而在實際給於確定環境和資訊數據的狀態下，依照穩定環境參數下產生的量化資訊，為不穩定環境計算的起始值提供了運算的基礎與可能。加權值程式的發展為表現非牛頓流體在不均勻的環境流質下，依照穩定的振動力量產生的變動狀態與形體生成。在模擬環境資訊的浮動的過程中，可以生成兩項模型描述資訊造成的動態形體。一為將環境視為靜止且穩定均值的，在此環境參數下發出浮動的資訊，並運算資訊在此環境下累加並與自身交互反應後所產生的資訊形體。而為將穩定環境參數下，資訊形體生成的狀態保留，並加入環境浮動變數所產生的二次變動。二次變動生成的形體同時具有原始資訊的性質，亦擁有環境參數所導致的變化。

以加權值程式運算生成的點都具有各自的量值大小(以半徑表示)產生，以生成圓的平面為基準，將點抬升至其十倍半徑的高度並與一定範圍內的其他點作連接，所產生的模型(圖 3-33)為非牛頓流體加權值程式的概念模型，模型隨著程式運行的時間改變呈現漸變的狀態。四個模型為測試時間 40 毫秒至 100 毫秒之間的狀態，運算的時間軸越短，點與點之間量值的差距就越小，時間軸越長則相反，由模型中量值的密集處可評估出加權點移動的軌跡與對點的量值產生的影響。在四個模型上分別測試不同層級的鍵結密度，點與點之間的鏈結使用 IsoSurface 的概念使點與鏈結的線各自生成等值曲面，隨運算時間的漸進，增加等值曲面的生成強度。運算初期量值差距小，與點之間高度差距成正比，等值曲面也於生成初期，因此產生較為平緩，孔隙較大的量體，後期則生成形變劇烈且較接近實體的量體。

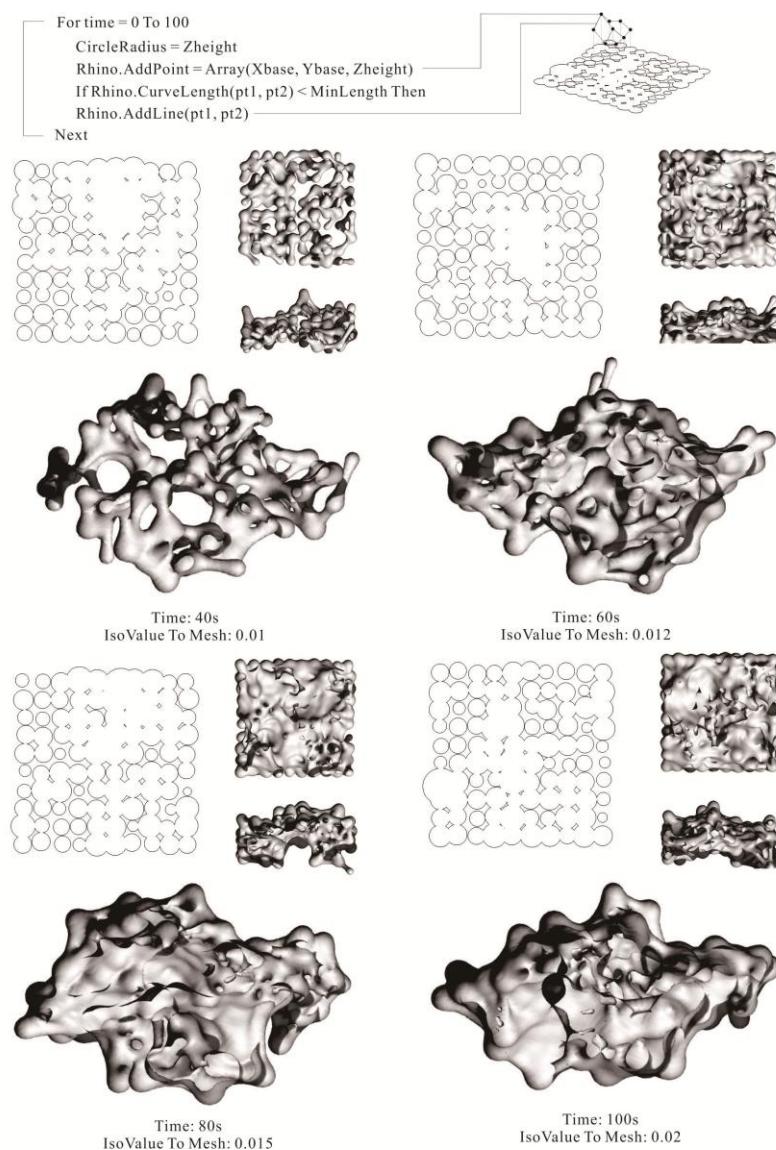


圖 3-33 加權值運算模型生成過程

在圖 3-34 中模型的產生得以評估加權值程式在套用於 Cymatics 程式運算產出的基礎運算點可以達到的效果。在點的密度與設定運算時間軸的變動下，等值曲面的生成必須配合調整才可以達到非牛頓流體在產生形體下所發生的狀態，如流體微元的聚集團塊與團塊之間的鍵結在距離增大時應發生斷裂，而距離過小時團塊會依照流體特性產生凝聚的效果。

將加權值程式運算時間增加至 300 毫秒，並重複運算產生兩個模型，可在模型狀態中發現點與點的量值大小出現了巨量的差距，因此產生了高度較高的模型，且因為等值曲面的參數維持在較小的狀態以利觀察兩次模型運算產生的差異值。在兩個模型比較下可發現加權點的運算最終出現在相似的位置，模型的形體有差異，但點與點的密度和整體的形體狀態呈現相似的狀態，由此可見加權值的機率狀態不呈現隨機，而是在一定的機率下呈現規則的計算。

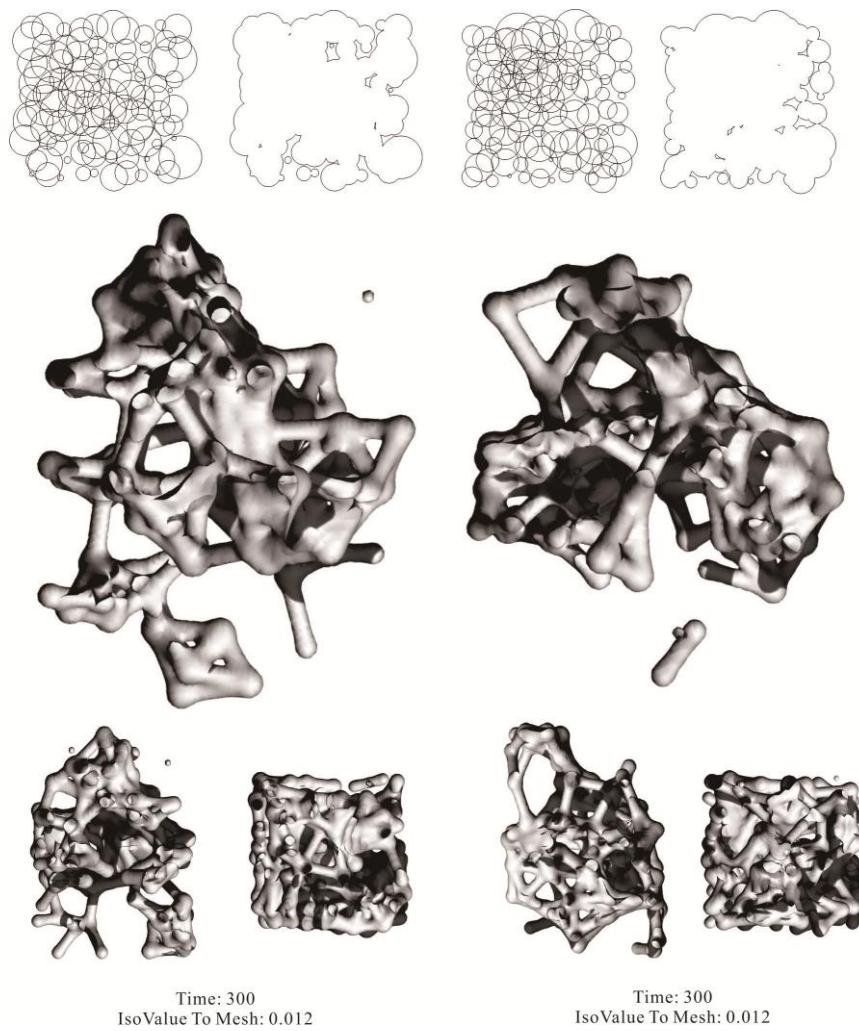


圖 3-34 加權值模型運算結果比較

在完成非牛頓流體運動的加權程式後，需要將其套入本章節前部分產生的 Cymatics 建設性干擾點群，以產生以 Cymatics 為基礎，經由非牛頓流體的特殊物理性運動產生的形體。圖 3-35 為將本節的運算結果整理後完成的運作流程圖，起始需要的參數為點雲以及加權半徑。運算開始時，每一個單元點都擁有 1 單位代表高度的量值，由起始點雲的波源位置出發的加權點，經由每一次的運算判斷周遭點的位置後，朝向密度較高的方向，以與加權半徑內單元點的平均向量前進。在移動的同時，每一個單元點的量值都有增大或減少的機率，加權的半徑分為三個大小，越靠近加權點的單位點將越有機會增大量值。而加權半徑以外的單元點，變大變小的機率則為百分之五十。除了加權值的運算之外，加權點每一次的移動會牽動最大加權半徑內的單元點，所有被加權過的點將以自身對加權點的向量反推移動。

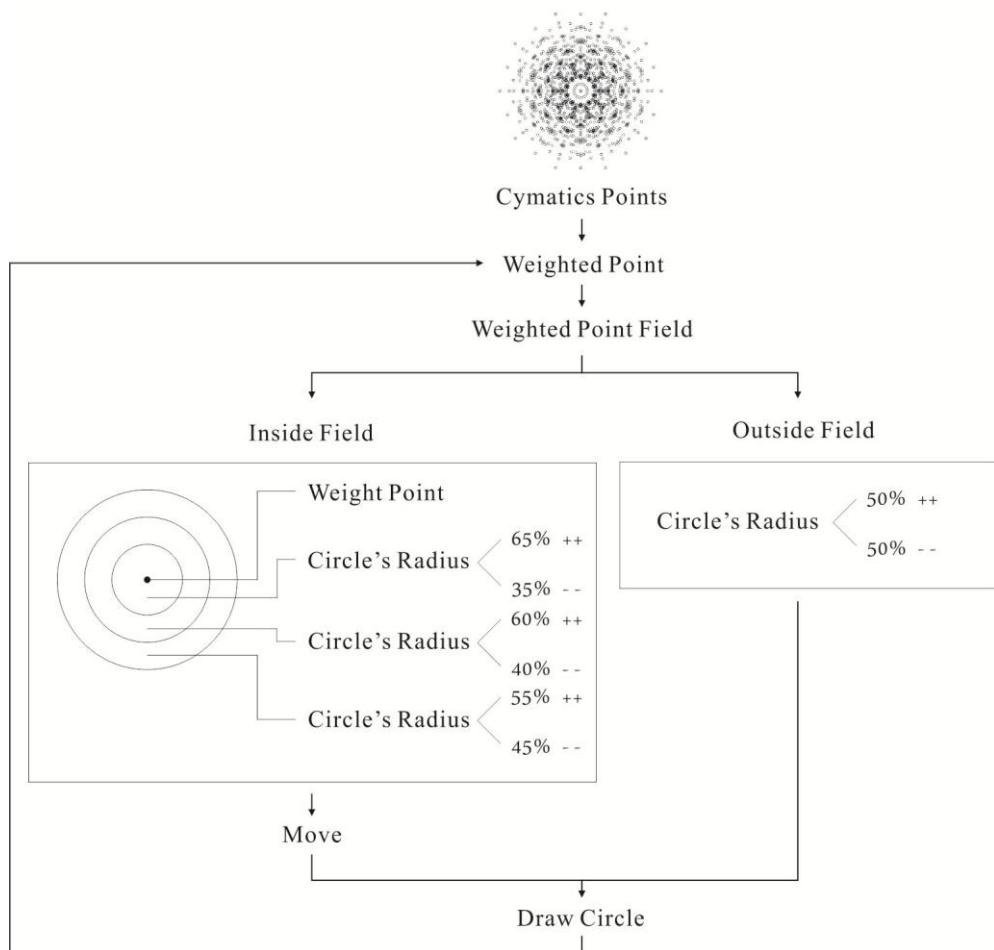
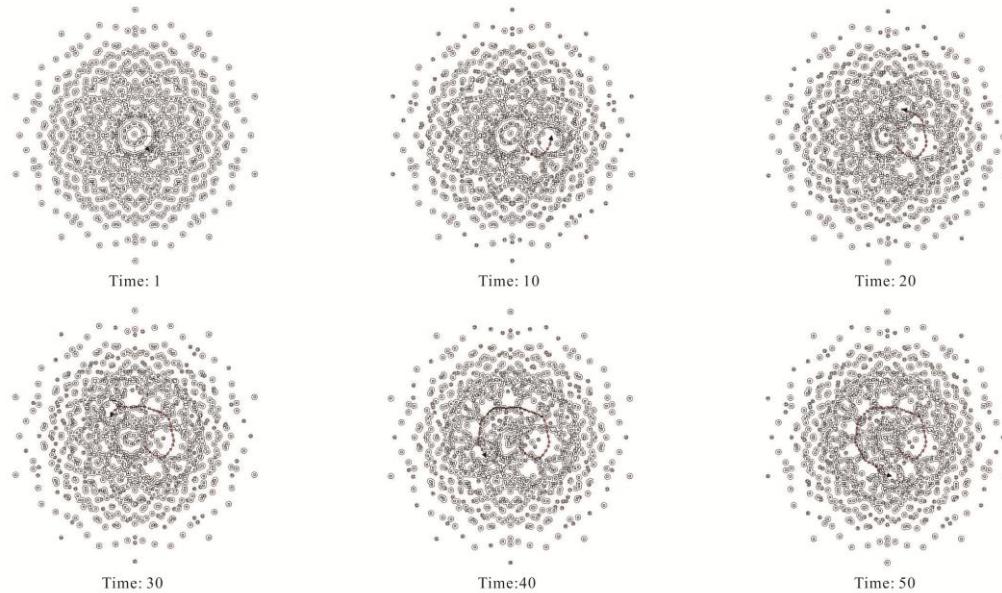


圖 3-35 非牛頓流體程式流程圖

程式以上述的流程運算，起始的運算點選用半徑為 5 單位，次代波源節數為 10 節，正弦函數變化頻率為 2 單位的 Cymatics 點雲。圖 3-36 與圖 3-37 為以四種不同的加權半徑進行運算，加權半徑越大的情況下，運作的過程會使單元點偏移的越劇烈，而隨著運算

進行，加權點位移的距離也會越來越大，而行進方向後方的單元點將脫離加權半徑而不  
再受加權點影響，加權點前進方向的單元點將會呈現密度越來越高的狀態。

Radius: 5      WeightedPoint's Radius: 3  
Segement: 10  
Hz: 2



Radius: 5      WeightedPoint's Radius: 5  
Segement: 10  
Hz: 2

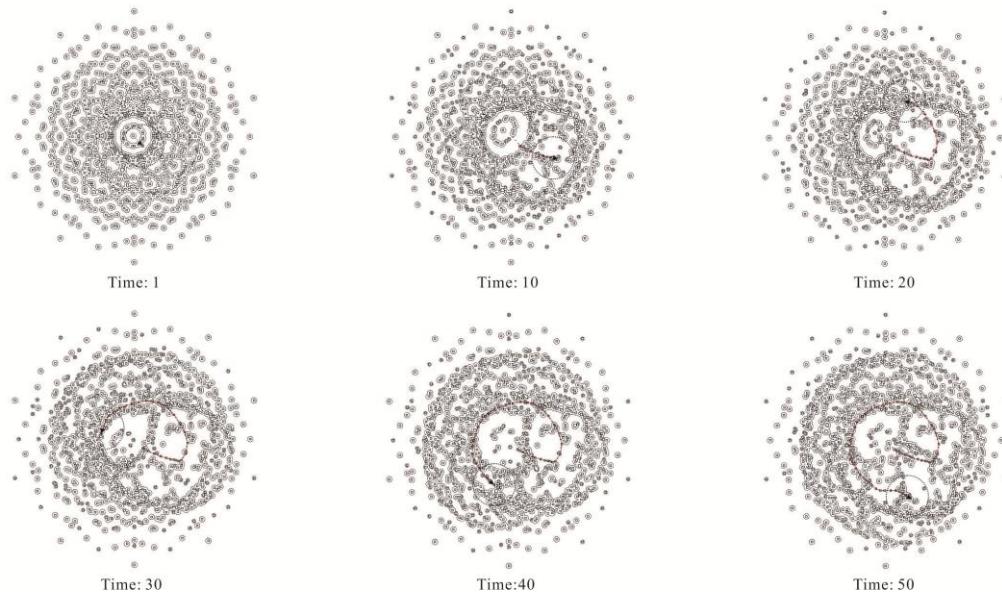
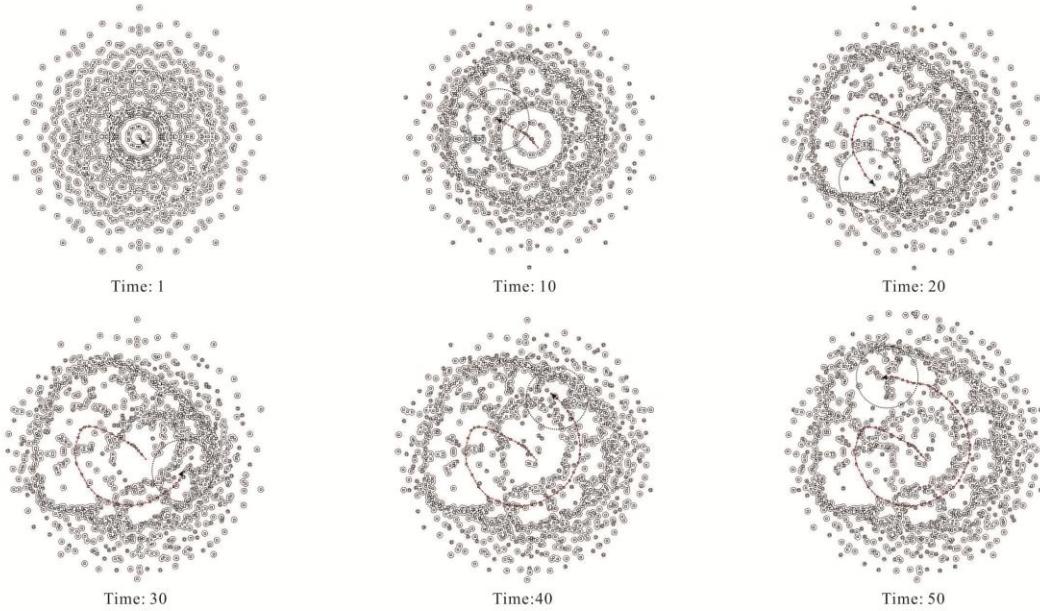


圖 3-36 以 Cymatics 點雲執行非牛頓流體程式在不同參數下的變化過程

Radius: 5      WeightedPoint's Radius: 7  
Segment: 10  
Hz: 2



Radius: 5      WeightedPoint's Radius: 9  
Segment: 10  
Hz: 2

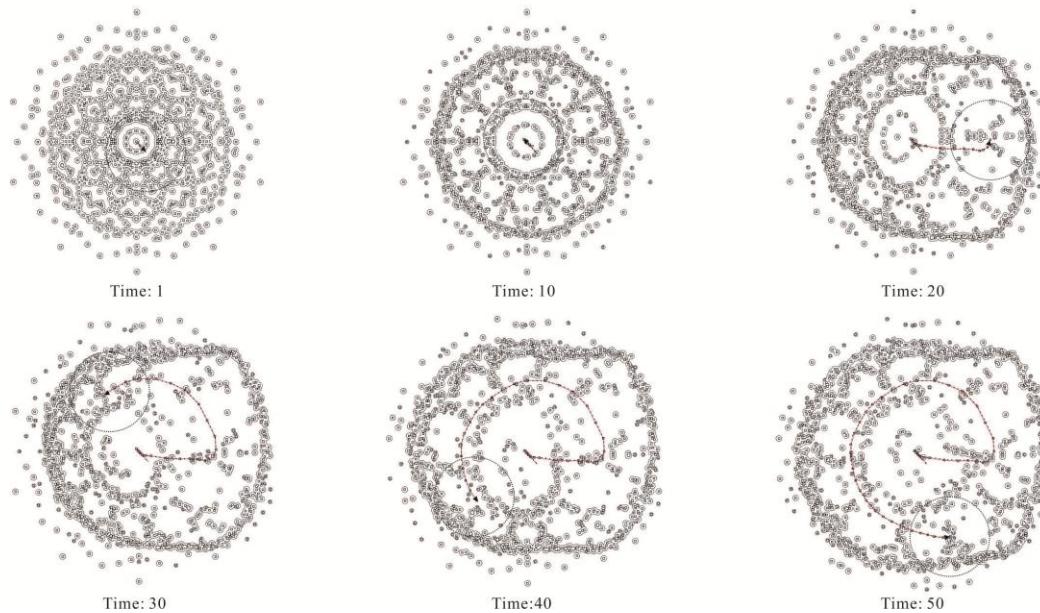


圖 3-37 以 Cymatics 點雲執行非牛頓流體程式在不同參數下的變化過程

將半徑為 5 單位的運算結果以圖 3-21 的步驟形成三維的模型，產生的形體與單純的

Cymatics 模型呈現相當大的差異，經由非牛頓流體加權運算後的形體，在造型上已經無法維持以圓心對稱的狀態，而隨著運算時間的改變，密度最高的干擾點族群也在替換，因此整個形體也會隨之變化。

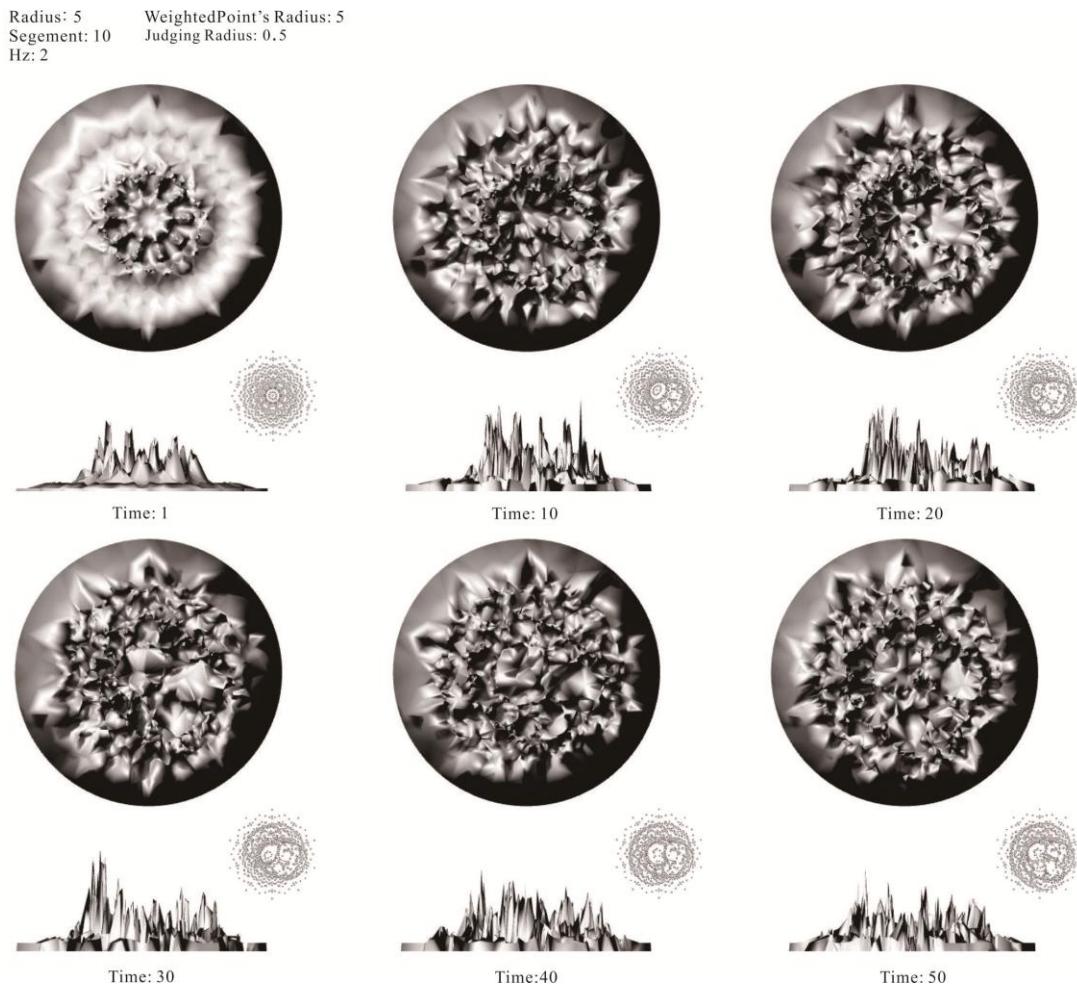


圖 3-38 經加權程式運算單波源後點群成形的狀態

非牛頓流體在單波源的振動下，產生不斷在改變的形體，其特殊的運動過程與流體的密度分布有關，密度越高的部分將會受到越大的力量推擠，而密度越低的部分將越不受影響。但單波源的情況下，密度的變化隨著波源的力量而改變，唯一的變數是波的頻率。但在多波源的情況下，流體的密度將同時受到多個波源的力所影響。圖 3-39 以兩個波源產生的干擾點群為基礎，分別從波源的位置產生不同加權半徑的加權點，波源 A 產生加權點 A，加權半徑為 5 單位；波源 B 產生加權點 B，加權半徑為 7 單位。兩個頻率不同的波源，在作用於非牛頓流體時，互相影響彼此對於流體作用的力，因此流體的密度會以更不規則的方式產生改變，使形體呈現不規則的運動。但整體的運動依然依照前期分析的建設性干擾點為基礎，集中於干擾點密集的區域進行加權和位移，因此在經過一定

時間的運算後，起始值較密集的區域將產生較大的變化，其原始區域周遭將較可能形成新的高密度區。

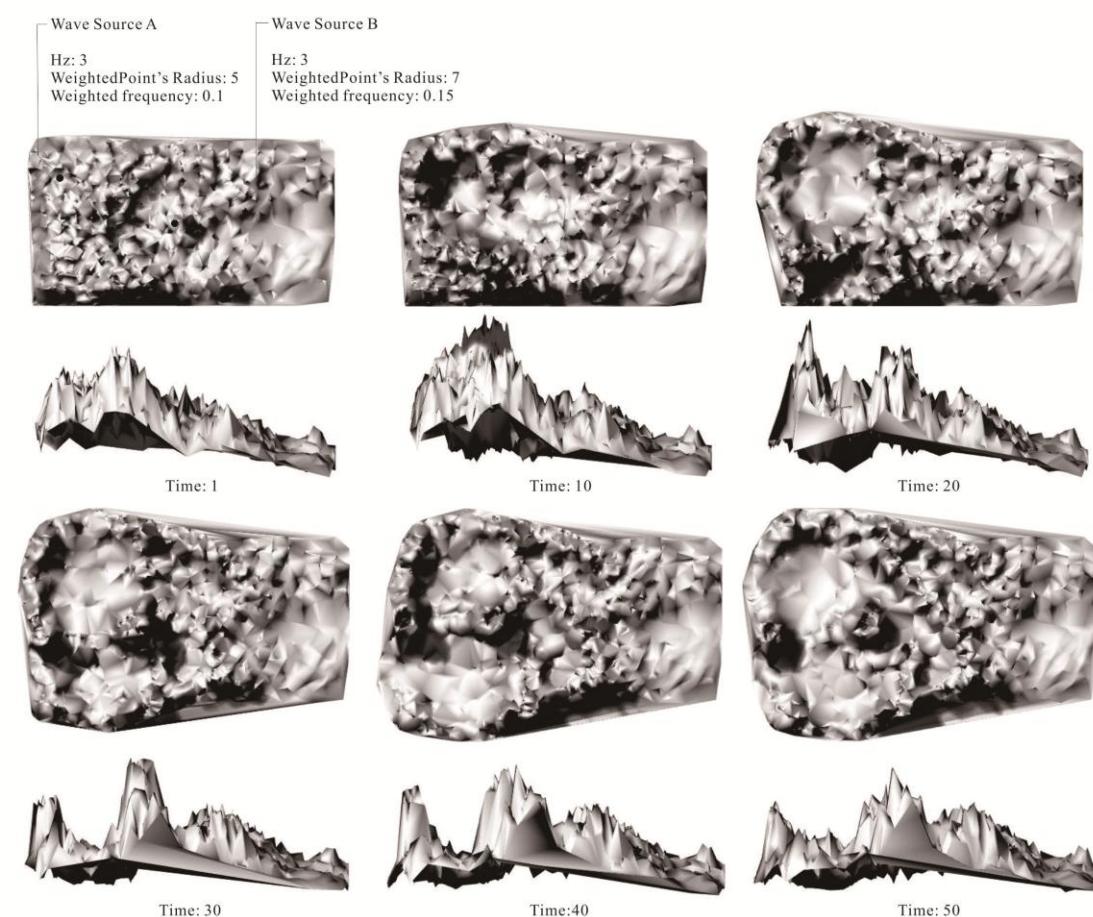
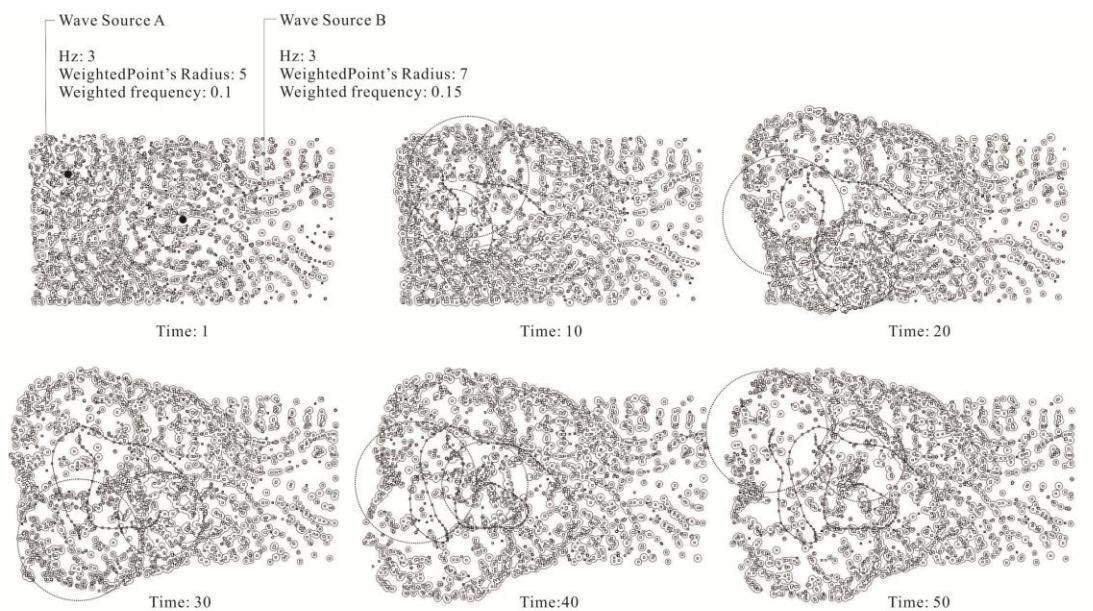


圖 3-39 經加權程式運算多波源後點群成形的狀態

### 3.3 小結

本章節對於單體以不同頻率振動牛頓及非牛頓流體所產生的形體改變進行了實驗與紀錄，並使用多項波的分析方式進行數學與物理圖像式的分析，並以分析結果進行了程式的編寫與設計。設計程式的目的為運算兩種類型流體的形變方式，並使之突破現實受限條件(如實驗裝置大小，流體的量等)在虛擬端產生進一步的形體生成，並符合實體實驗邏輯與分析。

對於牛頓流體產生 Cymatics 的實驗，程式端已經可以掌控各種頻率與力量大小所產生形體的生成狀態，而對於非牛頓流體的不規則形體則發展出相對應的程式以表現非牛頓流體在固定基礎上產生之不規則運動的程式運算。在虛擬端的運算以呈現可以自由設定各項變數而穩定的生成模型，以探討在設定的環境中，聲波的產生與振動使空間中無形資訊的影響力視覺化，並以此包含動態力量的固定形體重新定義空間的狀態。

在完全虛擬的狀態下生成的模型在此階段無法與實際空間作連接，且流體經由振動產生的資訊並沒有與空間狀態產生鍵結，此部分會在下一章節進行進一步的研究。本研究的目的在將空間中的資訊以非牛頓流體實驗轉化，並以程式演算形成形體，因此在下一章節將探討如何將非牛頓流體實驗的資訊與程式運算結合，並選擇基地空間，以實際的空間狀態和聲音資訊來進行實驗和運算。

# 4

## 資訊比對與離型生成

### 4.1 資訊比對

在完成單體振動流體的實驗紀錄，與模擬實驗產生的形體程式後，產生的結果可用數據與圖像的方式進行資料比對，檢討程式設計與實際實驗的差異，並以結果進行程式的修正或是分析出對照的方式。

#### 4.1.1 資訊轉化輸入與生成

在實驗的過程中，單體發出的頻率差距若是過小，產生的波紋並無顯著差異，因此以每 10Hz 的差距為單位進行記錄。將程式產生的圖形與實驗照片對照(圖 4-1)，以邊界的小為規範，將兩項結果調整至相同可比較的大小，可發現實際實驗 20Hz 的波紋大約與程式運算以 8 單位為參數的結果相同，而 30Hz 的波紋約與程式運算 11 單位相同。以此類推的結果，實驗中範圍 20Hz 內的變化，與 8 到 14 單位為參數進行程式運算產生的圖形相同。因此程式運算產生的結果與實際的聲音模型是可以進行對照的，但是兩邊的參數並不是等比的關係，企圖轉換資訊的話必須將其中一邊的參數映射到另外一邊，來得到正確的產出結果。

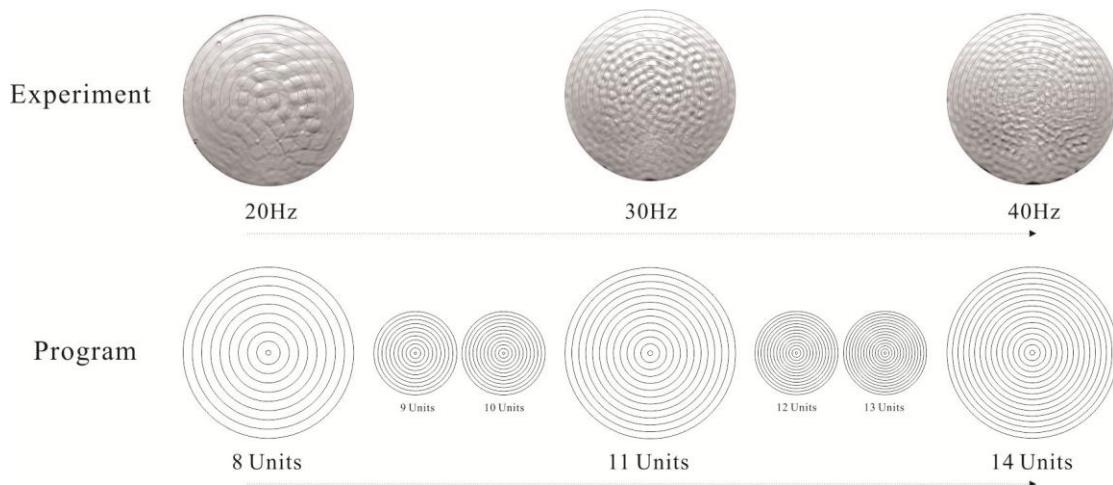


圖 4-1 實際實驗單位與程式運算單位的對照

Jeremy Pfeiffer 是一位 Cymatics 的研究者，他以精密的設備進行了 Cymatics 在不同狀態下的紋路變化，圖 4-2 是他將波源放置在容器下方不同位置，但給予同頻率時產生的波紋差異。將此圖與實驗結果和程式運算結果比較，可發現實驗產生的波紋是不平均的反射下出現的結果，而程式運算則是由正中心點發散的波所產生的紋理。因此實驗的結果無法與程式生程的形體直接對照，而是以圖 4-1 的參數映射方式來理解實驗結果與程式運算的關係。

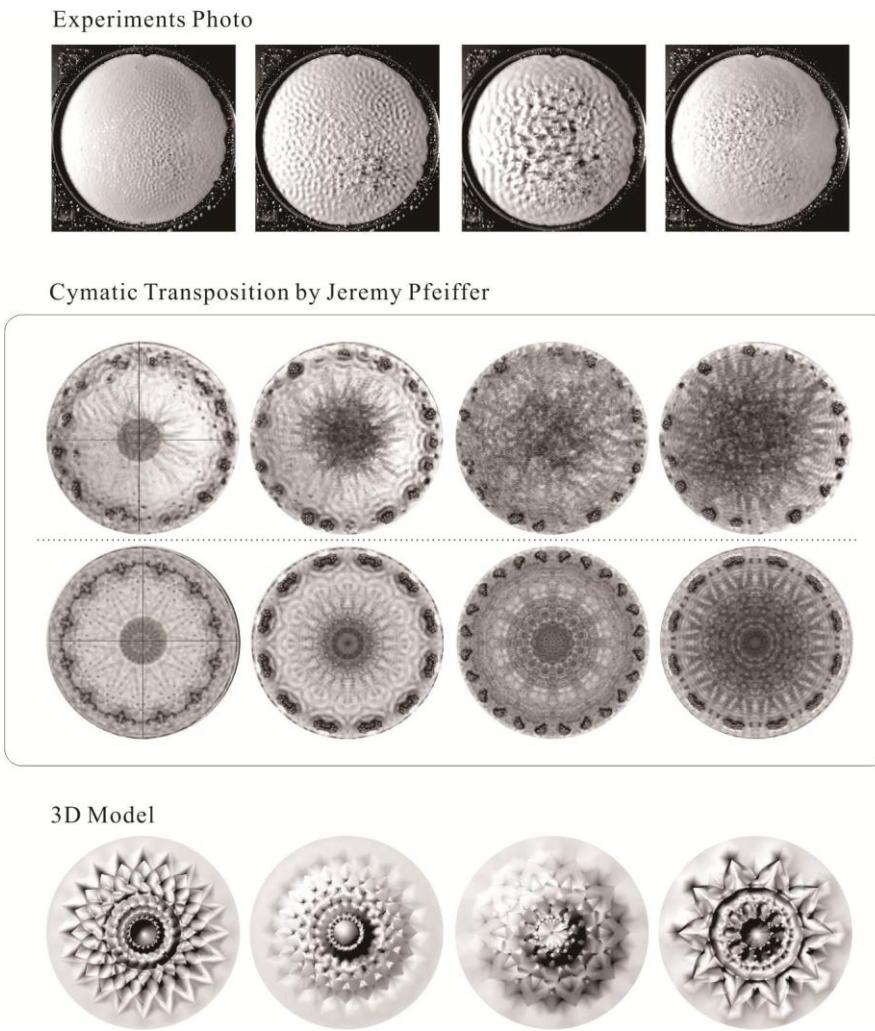


圖4-2 以他人的實驗結果進行對照(<http://cymatics.ning.com/>)

非牛頓流體的實驗結果會因為設備與調配材料的不同而有所差異，因此無法與他人的研究結果做比對。且流體的運動狀態相當特殊，無法以照片或影片的方式記錄分析，因此本章節利用電腦輔助將特殊的流體運動轉化為可閱讀的資訊，來輔助章節 3.2.4 中的程式完成更接近實際狀態的程式運算。

在實驗過程中以視訊鏡頭拍下流體運動影片，並將影片檔案匯入Rhinoceros > Grasshopper > Firefly，並使用上述軟體將影片每個像素的明暗度轉化為三維網格曲面，產生的曲面與實體實驗的形體接近。再將曲面上等距的點投影至平面，並根據各點的高度建立半徑成正比的圓，由半徑大小不同的圓，可以閱讀到電腦程式中的資訊配合流體變動的改變。

在章節3.2.4中的程式是以非牛頓流體產生特殊運動的區域中心為變數在運作的，因此在由實體實驗獲取的資訊，必須判斷出流體產生特殊運動的區域中心。由上述作法產生不同半徑的圓，越大的圓代表投影點的流體運動達越高處，選取半徑最大的二十個圓，即曲面高度最高的二十個點，並以這些點形成最大的區域，區域質心即為程式運算需要的點。

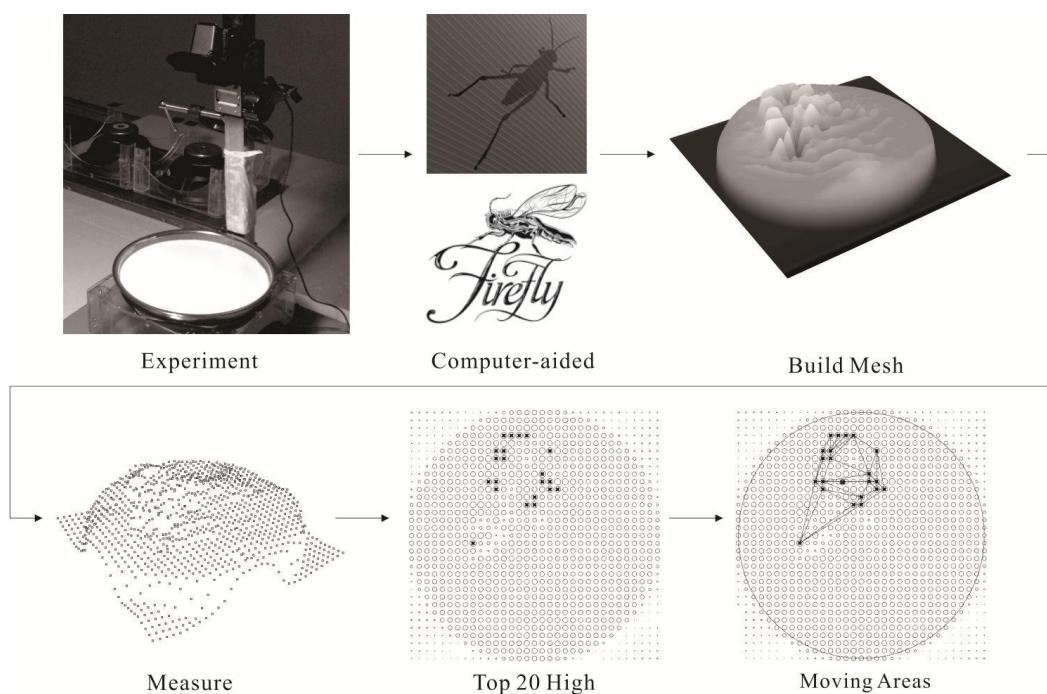


圖 4-3 實際實驗的資訊轉化

由即時運算的程式來分析實驗的影片，將獲得一連串動態的幾何圖像，這些圖像表現了實驗的過程，在將圖像轉化為前期程式運算用的參數前，為了觀察數據與影像的變化關係，將產生的幾何圖像在五個時間點輸出，並與同時間實驗的影像比對，來理解程式分析影像所產生的結果。

以圖 4-3 的流程將 30Hz 到 90Hz 的非牛頓流體的實驗影片進行轉化，由產生的結果(圖 4-4 與圖 4-5)可以看到流體在以不同的狀態運動時，經由轉化產生的質心位移。在頻率為 30Hz 時，雖然流體的運動較為激烈，但是質心的位移卻不大，整體的運動在畫面左上方盤旋。

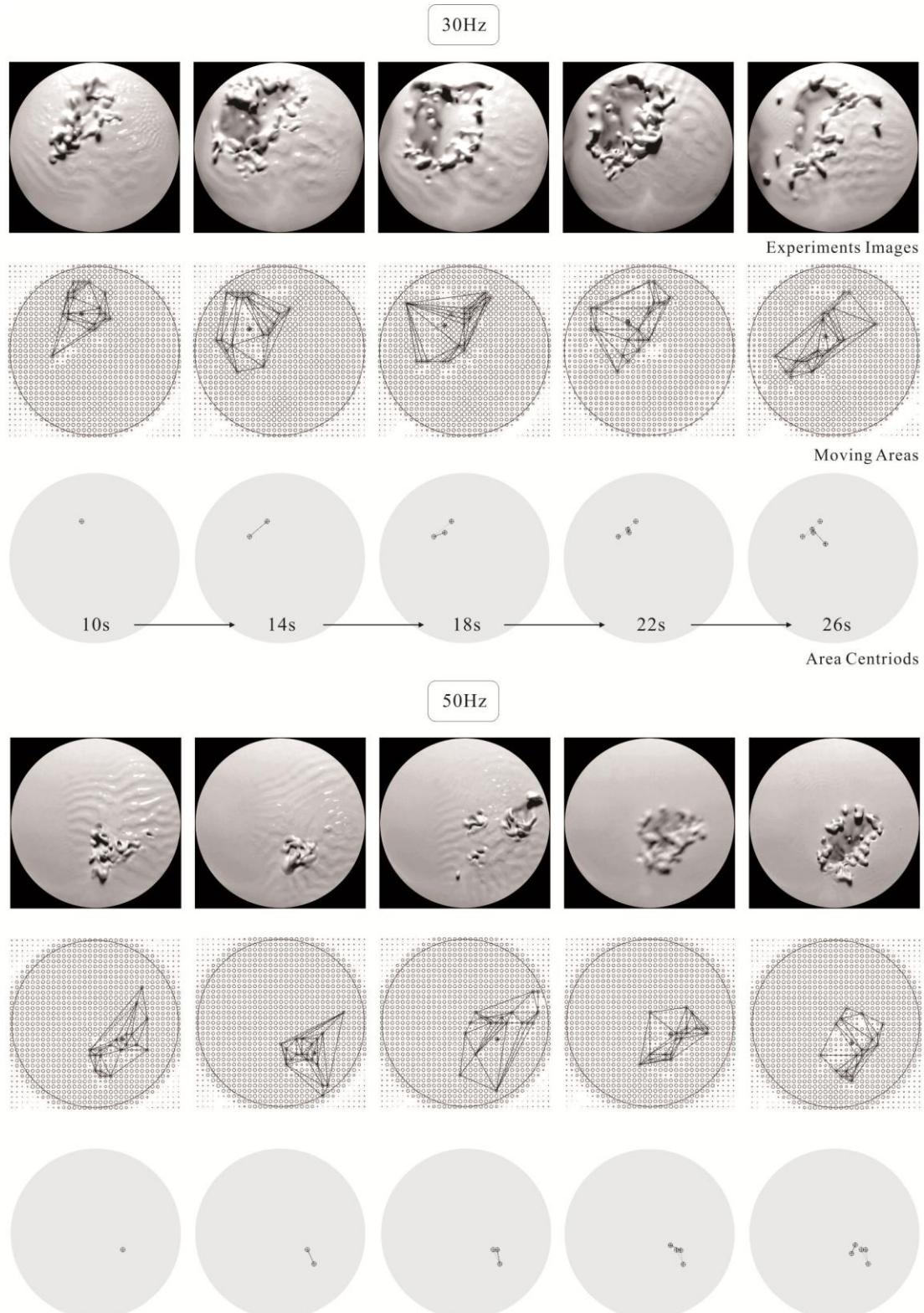


圖 4-4 將實驗過程的影片轉化為幾何資訊

而頻率為 70Hz 到 90Hz 時，流體的運動相對較微弱，無法像低頻率一樣將容器中的流體推擠至周遭，在容器中形成一空洞區域。以目測來看，在高頻率的實驗中，流體運動的質心有較大的位移，但在經過程式的判斷後，位移的程度似乎不比低頻率時大。需以程式輔助將圖像數據化加以比較。

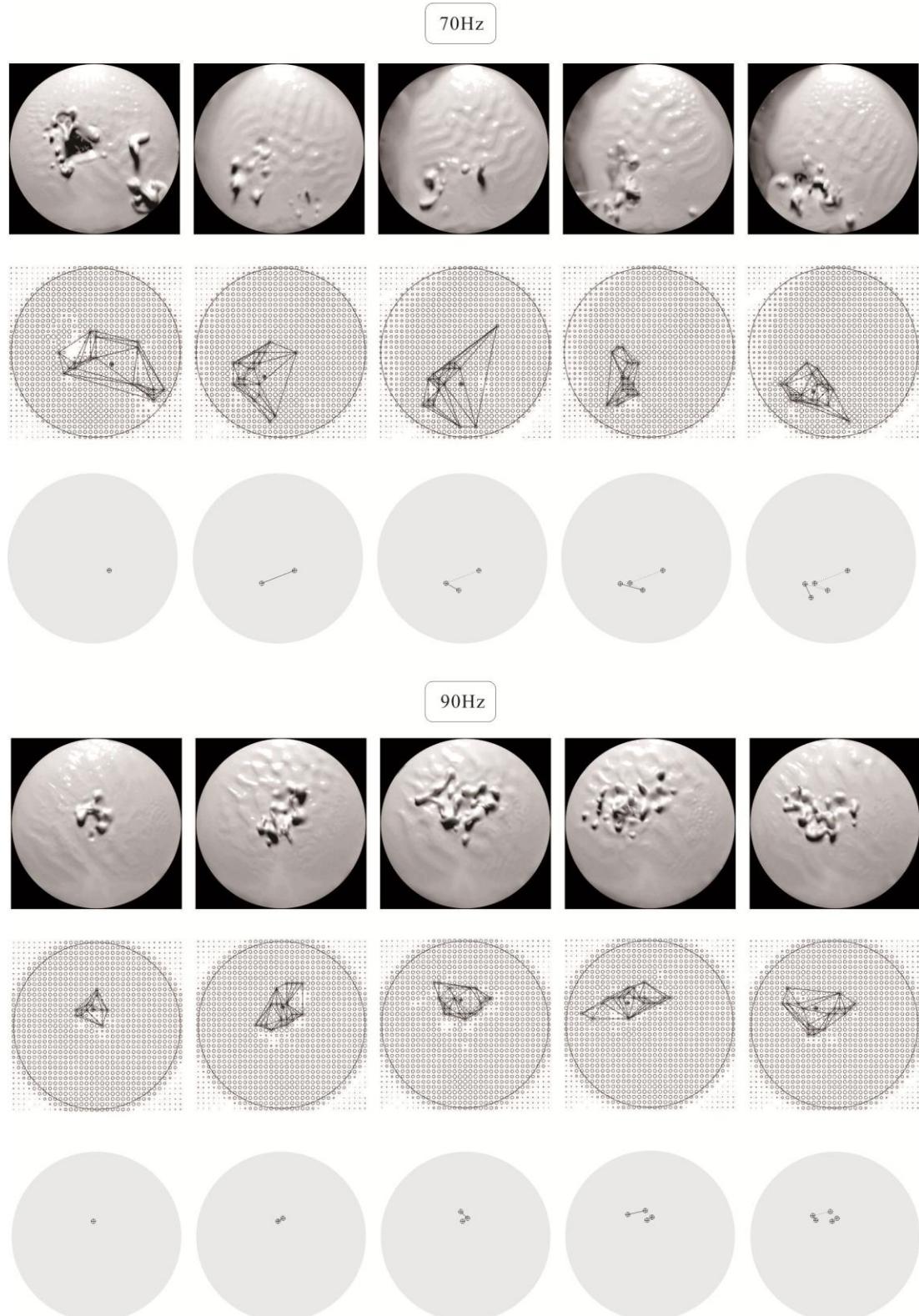


圖 4-5 將實驗過程的影片轉化為幾何資訊

### 4.1.2 數據比對

在以電腦輔助將非牛頓流體的運動狀態以數據的方式呈現後，將可以比較不同頻率下運動的差異性。由這些數據的變化，可以映射到程式中，來決定程式運算的參數與實際實驗參數的關係。

在非牛頓流體運動的程式運算中，首先須以頻率來決定基礎的 Cymatics 佈點，此部分在章節 4.1.1 已經有映射的方法。另外兩項參數分別為加權點的影響半徑和加權點的位移能力。分析過程中，以邊界線的長度作為比較的單位，分別計算實驗過程中流體運動的區域圍塑出的區域的邊長平均，以及中心點位移的長度和邊界線長度的比值。由分析個種頻率的實驗過程影片獲得的數據，來產生與程式參數可比對的值，由運動區域的邊長平均來對應程式中加權點的影響半徑，並由實驗中流體運動區域中心點的位移來對應程式中加權點的位移大小。圖 4-6 和圖 4-7 為頻率 30Hz 到頻率 90Hz 的實驗數據，由數據與邊界長度產生的比值即可反映同頻率的非牛頓程式在企圖與實驗同步時需要的參數大小。

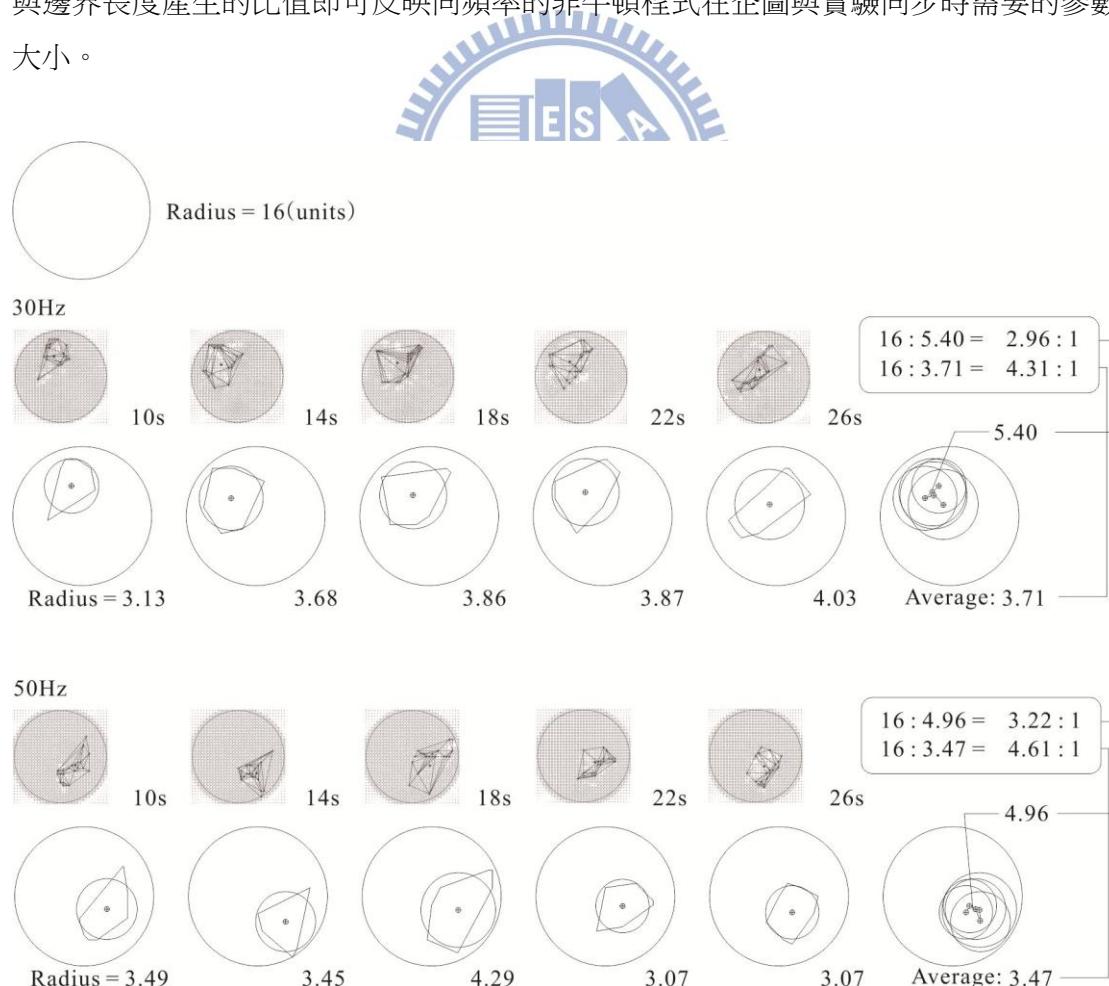


圖 4-6 流體實驗的運動數據化

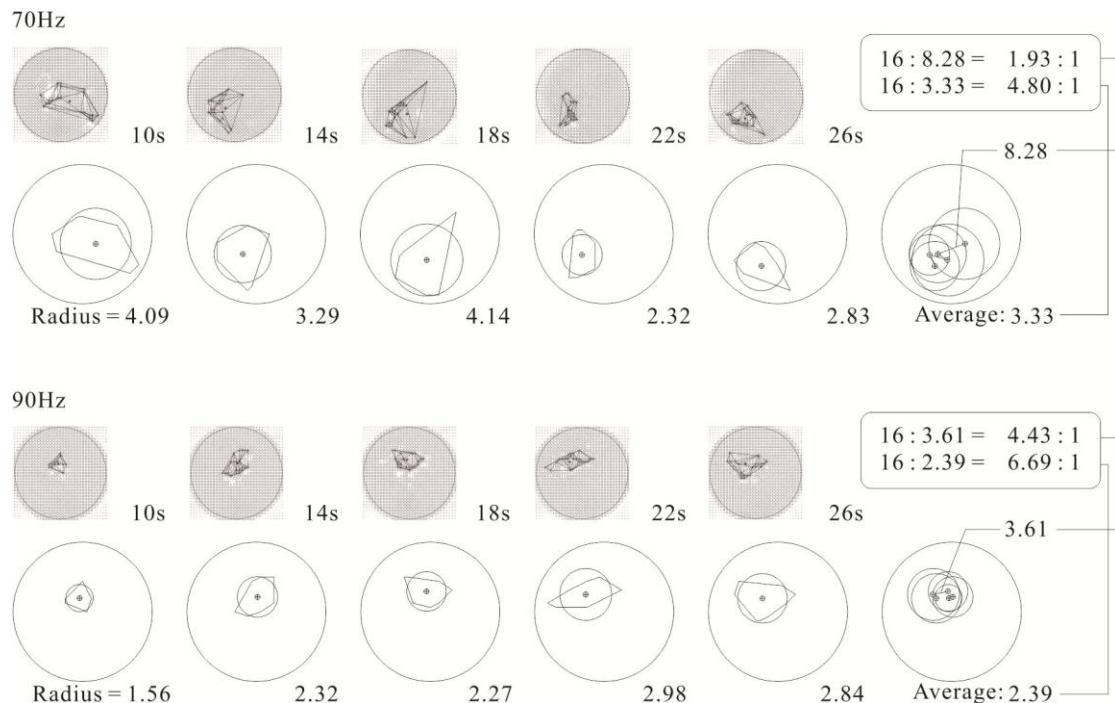


圖 4-7 流體實驗的運動數據化

由數據顯示流體的運動區域隨著頻率增加而縮減，頻率 30Hz 時，運動區域的邊界長度與外框邊界的比為 10 : 2.32，而頻率 90Hz 時，比為 10 : 1.49。可以由此數據映射程式在運算頻率 30Hz~90Hz 的流體運動時需要的參數。而中心點的位移程度由數據可看出並沒有規則，而是趨近於隨機的跳動，此處判斷流體運動區域的位移程度可能與流體個區塊的密度有關，因此無法以視覺或是程式數據來估算運動區域的位移方向及位移的距離。

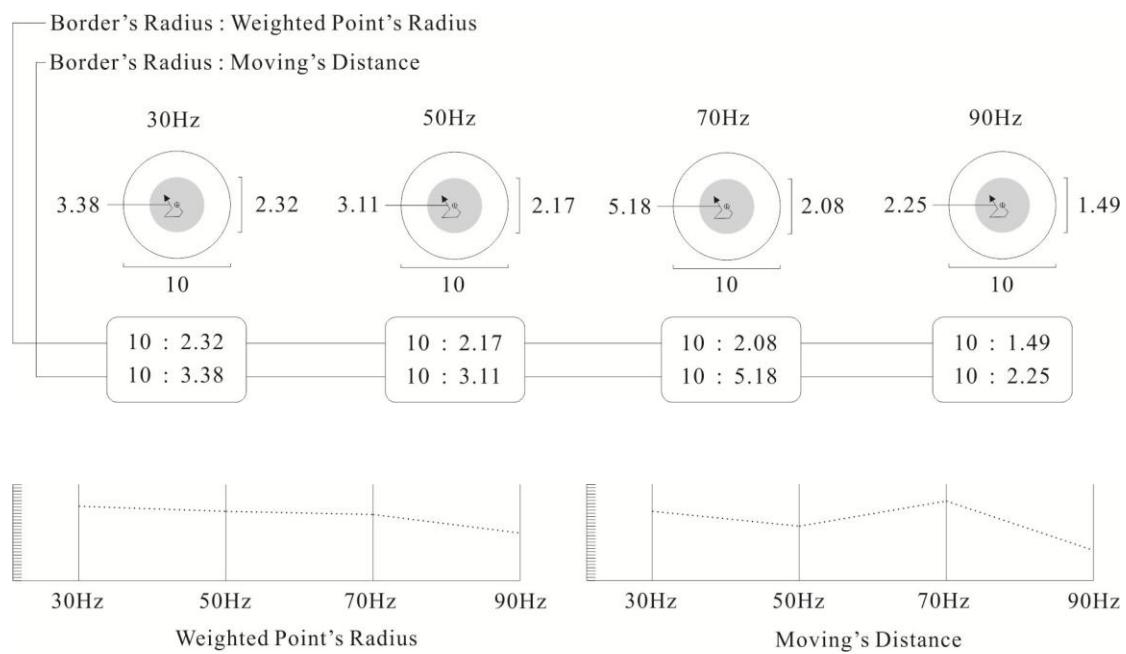


圖 4-8 數據資料比對

## 4.2 雛型設計

經由章節 4.1 的研究分析後，得到經由實體實驗與程式模擬交互比對後升成的形體，此形體為利用實際單體實驗為基礎，模擬聲音在固定的空間邊界下生成的資訊形體。在整個生產的過程中，最重要的兩個變數為聲音資訊的來源，以及空間邊界的定義。在章節 3 的內容中，所有的變數資訊(包括聲音頻率以及邊界限制)都為自訂的參數，藉由在參數的改變下，產生並分析形體的變化。因此在雛形的生成過程中，採取一現實的空間為實驗基地，以基地空間的牆面與柱位定義邊界，並用收音的方式獲得實驗時間範圍內基地中的聲音資訊，由這兩項實際的參數來產生空間中聲音資訊形體的雛型。

### 4.2.1 基地分析

在基地的選擇上，選擇容易定義邊界，且聲音資訊變化較大的室內公共空間。圖 4-9 為基地照片與平面圖，基地空間為一多向開口的大廳，有的開口朝向室外，有的開口則是通往其他空間。

實驗時間: 2013 / 6 / 5 / pm 2:00 ~ pm 2:10



實驗時間內基地空間中的聲音主要有六個來源:

音源 A: 面對馬路的開口，有行人與汽車通行所產生的聲音

音源 B: 通往另一室內公共空間，有人群談話與行走的聲音

音源 C: 空間中主要的交誼區，有人群聚集談話的聲音

音源 D: 通往私密空間的走道，行人步伐的回音為主要聲音

音源 E: 同往上層與下層的樓梯，人群的談話聲與步伐的回音為主要聲音

音源 F: 通往行人綠帶的開口，有行人談話與蟲鳴的聲音

以上述六個位置測試聲音頻率，測試時間為 10 分鐘整，在測試完成後應獲得六段長度為 10 分鐘的聲音，再使用電腦輔助完成這六段聲音的資訊分析。以程式運算的方式使聲音資訊成為可以判讀的數據，並使用本文第 3 章中程式運算這些參數所產生的形體變化，以產生聲音資訊在空間中所造成的形體可能性。

圖 4-9 為基地空間的平面圖，以及六個主要的聲音來源處之空間照片:

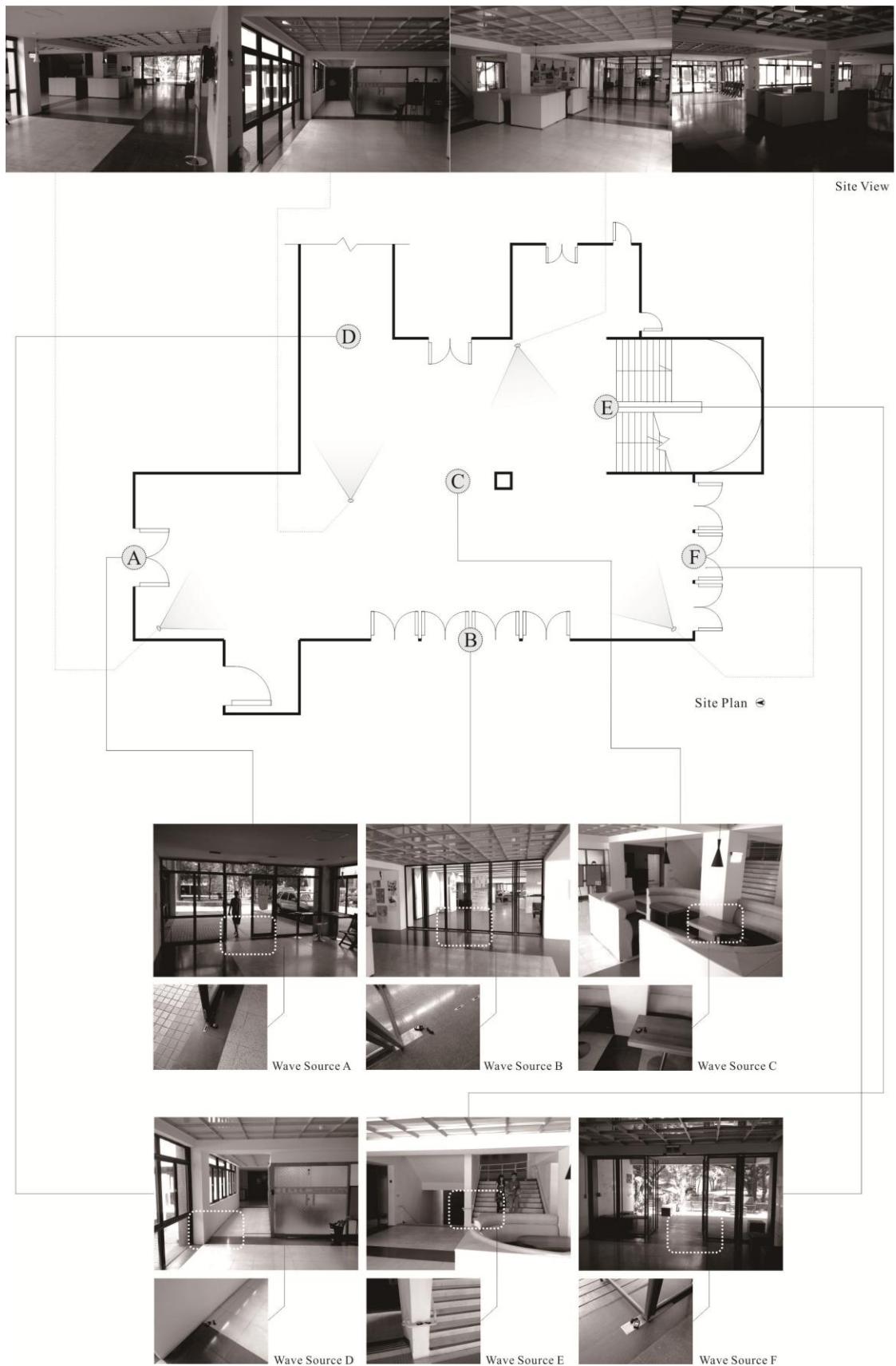


圖 4-9 基地空間平面圖與波源設定位置

下圖為實際測量聲音資訊的狀況照片，在測量的六個點中，有四個點在行人動線上，為了不影響行人的活動，將無線麥克風放置於不影響行人的角落，以獲取正確的聲音資訊。



圖 4-10 收音狀況照片

空間環境中在一時間軸內，將有多個主要的聲音源在產生不同頻率的聲波，並持續的發散至空間內外，並依照空間本身的形體反射與自身和其他波產生彼此間的干擾。使用 Max/Msp 編寫程式對基地空間的波源進行分析(圖 4-11)，此程式的運作方式為將麥克風收到的聲音以每毫秒為單位進行頻率的判斷並記錄，將使用者自訂的運算時間軸內所有單位的頻率加總並產生平均值。產生的平均值為麥克風測試位置的波源頻率。

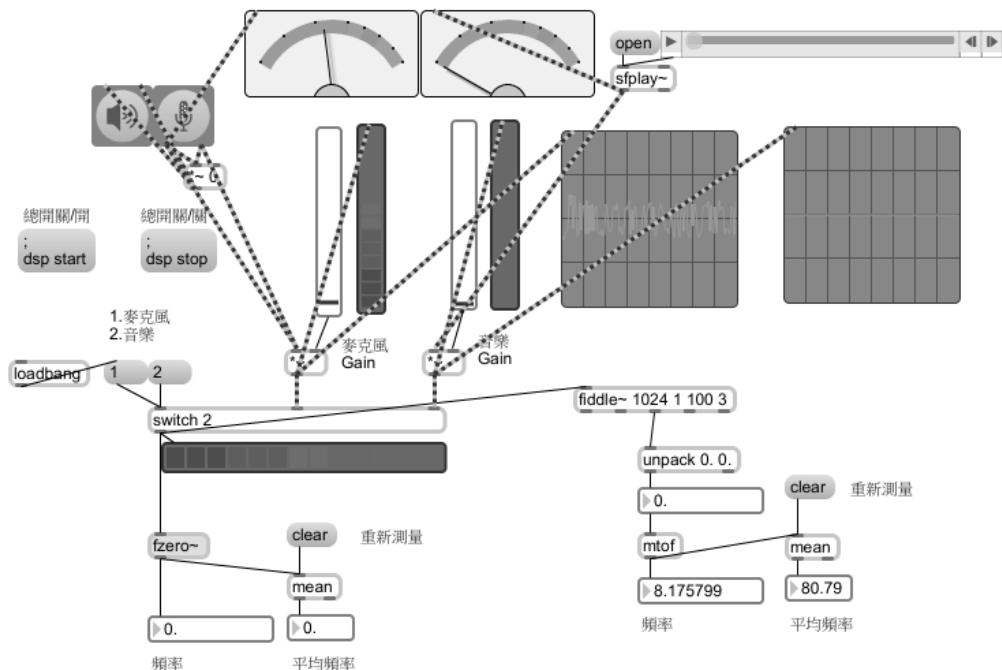


圖 4-11 以 Max/Msp 設計之頻率獲取程式

紀錄聲音頻率的方式如下圖 4-12，每一個音源會擁有十個數字，分別代表每分鐘的平均頻率。以總值的平均來看，音源 A 與 B 的頻率大約在 170Hz 左右，在空間中屬於中間值的頻率，而音源 C 與 E 則約為 210Hz，是空間中較高的頻率，音源 D 與 F 約為 110Hz，是空間中最低的頻率發生處。

	SourceA	SourceB	SourceC	SourceD	SourceE	SourceF
Time(min)	76	223	169	62	193	112
Mean(Hz)	176.4545	170.8182	206.1818	110.0909	209.7273	117.4545

圖 4-12 收音結果圖表

將上圖的數據以折線圖表現，可以看到整個空間內的聲音頻率大小基本上是同步的，在測量時間 0 到 3 分鐘之間，頻率維持在中間偏高的狀態，而測量時間 4 到 6 分鐘時，整個空間內的頻率下降到較低的狀態，測量時間 7 到 10 分鐘內頻率開始回升。因此可以判斷整個空間內的聲音是相互影響的，但是依然保有各自的量值。

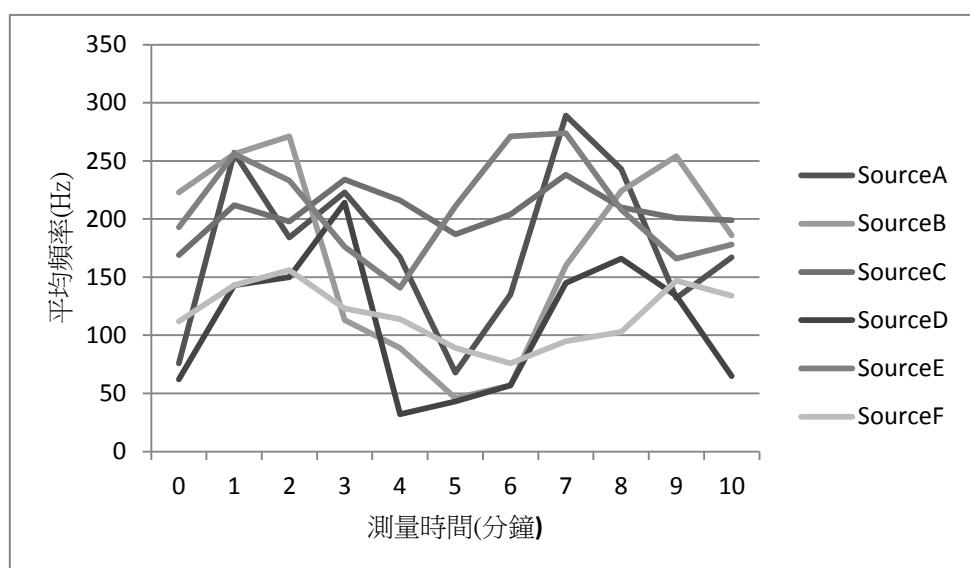


圖 4-13 收音結果圖表

#### 4.2.2 雜型生成

將章節 4.2.1 中獲取的資訊，先以章節 3.2.2 中圖 3-17 的建模方式，產生以各波源為中心發散的三維正弦波模型。在波源頻率與形體的產生過程中，發現若是以實驗的結果對應虛擬的波紋產生，基地上平均 110Hz 到 210Hz 的頻率產生的形體將過於細膩，以致無法達到合理的視覺效果。為了讓視覺化的過程更加有效，將基地中的頻率映射到 10Hz 到 30Hz 的三維波紋模型，並以六份模型相互影響的結果計算出來，產生一個以基地頻率為基礎，但不考慮波的反射，因此不具有 Cymatics 特性的簡單波紋模型(圖 4-14)。

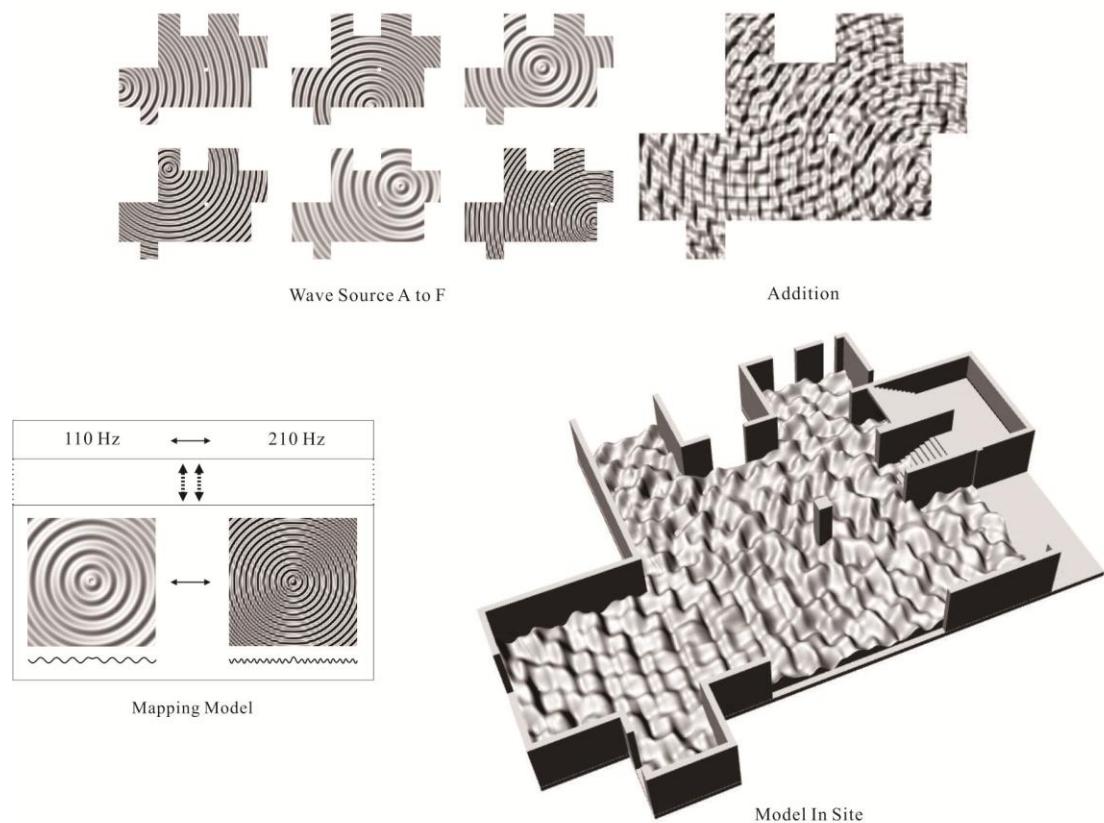


圖 4-14 以穩定且不反射的正弦波表現基地的聲音資訊

由上圖產生的模型可以理解以各波源發散出正弦波，並且相互影響後在基地平面中產生的波紋形體。由波源開始發散後，波在傳遞的過程會產生能量的衰減，無法一直維持同樣的強度，在波紋的模型中企圖將衰減的特性加入運算，並由圖 3-17 為基礎，產生了圖 4-15 中的模型。由具有衰減特性的模型中，可以看到高頻率的波紋依附於低頻率的波紋上，並於波源較密集的區域產生較複雜的波紋。在上述的兩個模型中，波都沒有因為碰到邊界線(基地中的牆和柱)而產生子代波源，也就是波的反射，這樣的狀態會出現兩個問題，第一個問題是波紋會傳導到原本不該到達的區域，二是沒有計算到初代波源們與

子代波源們之間的相互影響。在企圖以 Cymatics 的概念完成模型的狀態下，以惠更斯-菲涅耳原理來完成基地中的模型為較正確的做法。

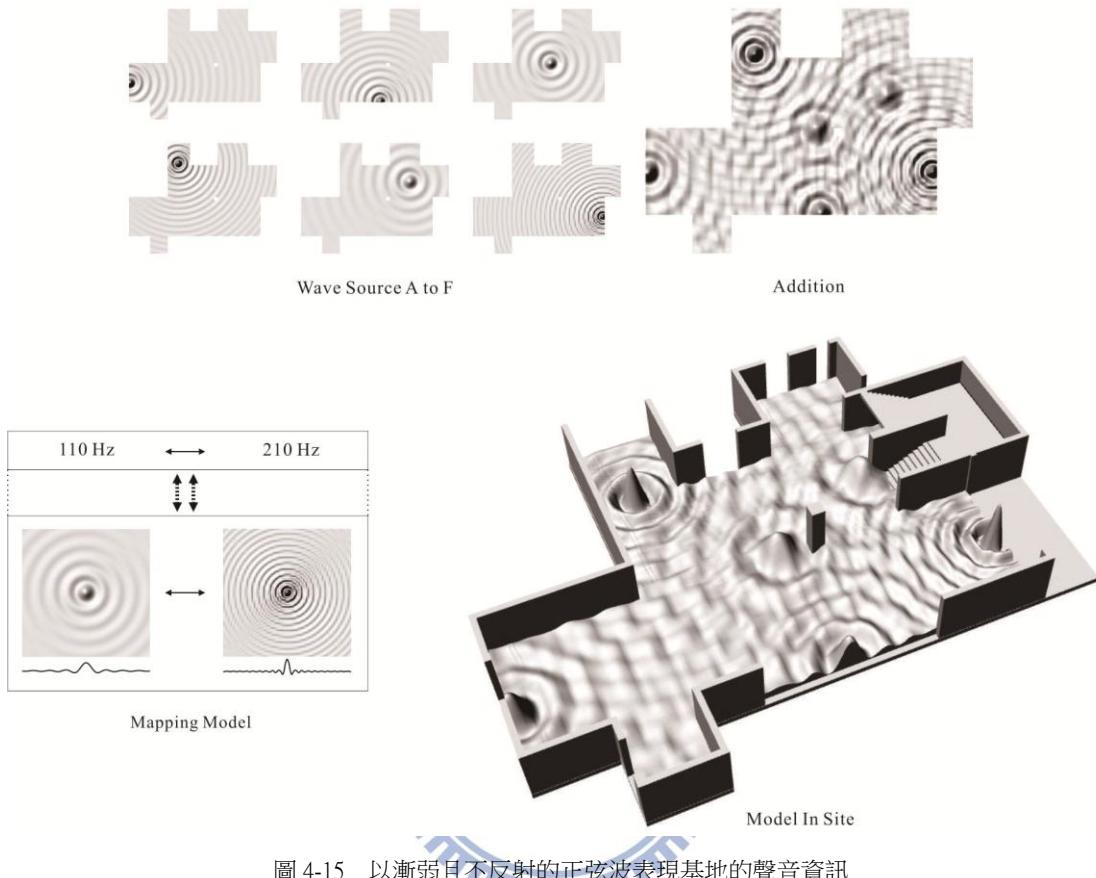


圖 4-15 以漸弱且不反射的正弦波表現基地的聲音資訊

因此將章節 3.2.2 中完成的程式套用於基地上，在基地的邊界下以音源發散，產生空間中聲波的干擾點。此處若是以實際的頻率產生波紋，依然會產生波紋過於細膩的問題，因此以同圖 4-13 的做法，將空間中聲音的頻率映射到我們觀看圖像可以理解的虛擬波紋範圍內，來產生基地上波紋干擾點的模型。

圖 4-16 為以基地中的音源 C 為發散點，基地牆面為邊界，產生單波源並與邊界反射子代波源相互影響的建設性干擾點。此處的虛擬頻率擁有跟真實頻率相同的特性，越細膩的頻率波紋傳遞的能力較差，只能擴散至較近的區域，且產生的子代波源也相對較小，越不細膩的波紋則相反，具有較強的擴散能力，產生的子代也越大。

單位一的頻率產生的點相當細膩，彼此間的間距已經非常小，因此以單位一的虛擬頻率為映射模型的最小值。以一單位為差距，逐次的增加虛擬頻率的值，直到到達單位八時，產生的點已經完整的擴散到基地邊界之中，且可以看見點與點之間的間距已經相當大，

不適合再往上增加，因此以單位一到單位八的虛擬頻率為實際頻率的映射值，藉此來產生圖 4-16 中各音源頻率適合在模型上表現的相對虛擬頻率。

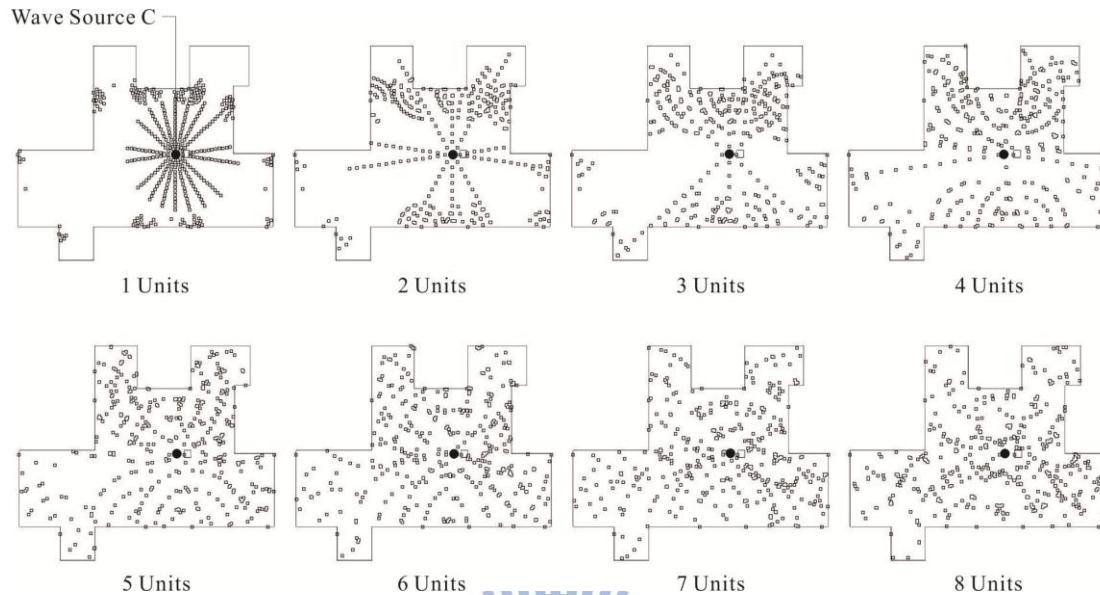


圖 4-16 不同單位的虛擬頻率在基地模型上產生的干擾點

在基地空間中採集到的聲音頻率最低約為 32Hz，最高約為 289Hz，包含於 0Hz 到 300Hz 之間。以上述的方式將單位一至單位八的虛擬頻率映射到 0Hz 到 300Hz，來獲得可配合實際資訊運算程式的參數。下圖 4-17 為六個音源各自的平均頻率對應到虛擬頻率上的數值。單位越小的虛擬頻率會產生越細膩的波紋，越大則相反，因此在映射數值的時候虛擬頻率的大小與實際收音頻率的大小是成反比的對應關係。六個平均值約落在單位三道單位六之間。

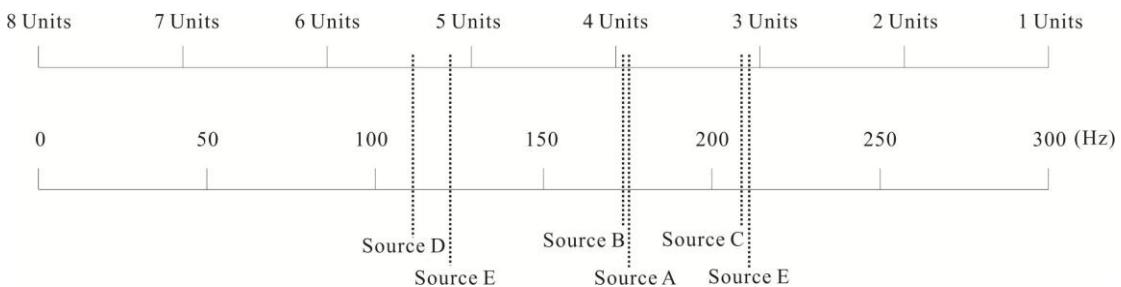


圖 4-17 各音源的頻率平均值在映射模型上的值

在將所有的音源點都納入運算前，先以 2 單位與 7 單位的虛擬頻率運算各個音源點獨自發出波，並與邊界和自己的子代波源撞擊產生的干擾點來理解各個音源點在基地上發出不同的頻率時，會產生的建設性干擾點(圖 4-18)。由兩種參數所產生的結果可以發現小

單位的虛擬頻率若是在較狹窄的空間發散，將會在四周形成密集的反射點，並難以擴散出去，而位於較開闊空間的音源，在遠處產生的子代波源會很微弱。相較之下大單位的頻率的擴散力較好，即使發生於空間狹窄處，依然可以擴散開來，且產生的子代較小單位的頻率擁有更好的擴散能力。

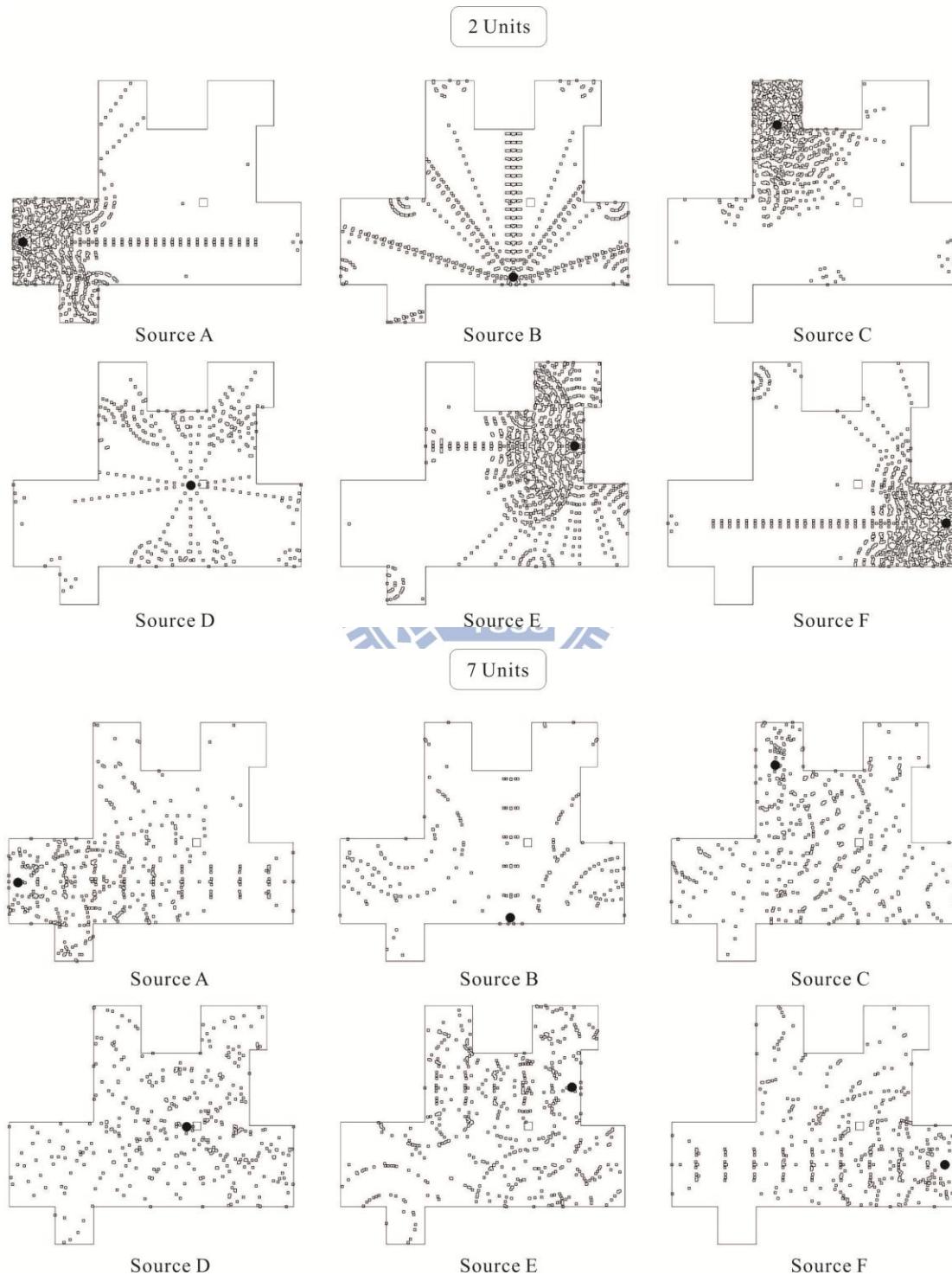


圖 4-18 不同單位的虛擬頻率以各音源發散產生的干擾點

在確認程式套用於基地模型運算的情況和參數的效果之後，將實際測量的數值以映射的方式轉換為程式用的虛擬頻率參數。並以程式運算產生十段時間內各自的六個音源頻率所疊加出來的干擾點。由圖像配對參數的圖表，產生的結果於運算單波源的圖象相同，頻率高的點在靠近自身的區域形成密集的點群，但對於整體的影響力較弱，頻率低則相反。

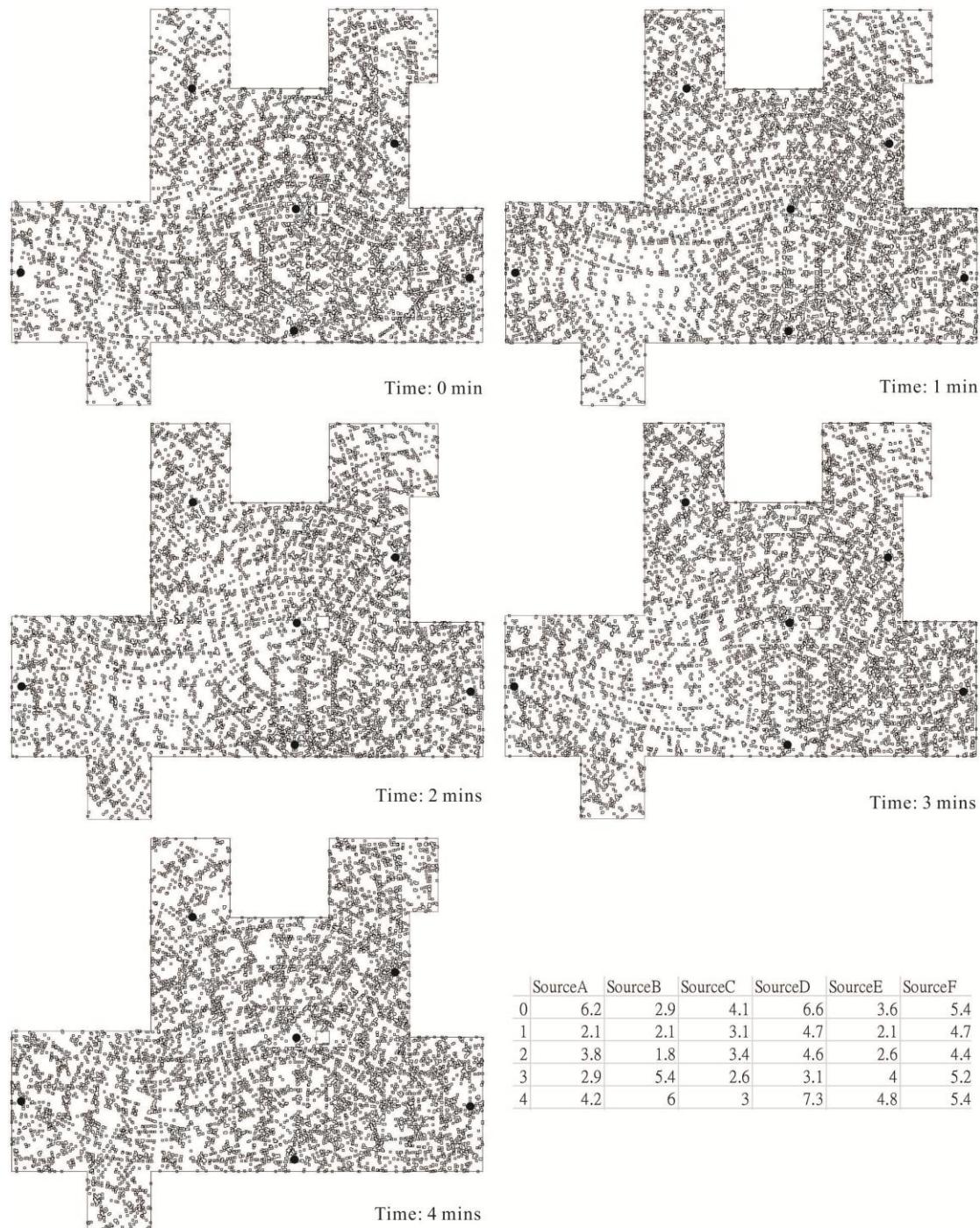


圖 4-19 實際測量數據在基地模型中的運算結果

運算結果的圖像可以反映測量數據的變化，音源頻率高的時候，點的分布就會密集，在圖 4-20 第六分鐘與第七分鐘的運算結果即是此狀態的範例，由音源 E 發出的高頻率於基地樓梯口產生密集的干擾點。音源頻率低的時候點就會較平均的分佈，如圖 4-19 第二分鐘的運算結果，干擾點以較平均的方式分佈，但依然可以從點的分布判斷音源 B 的頻率較高。

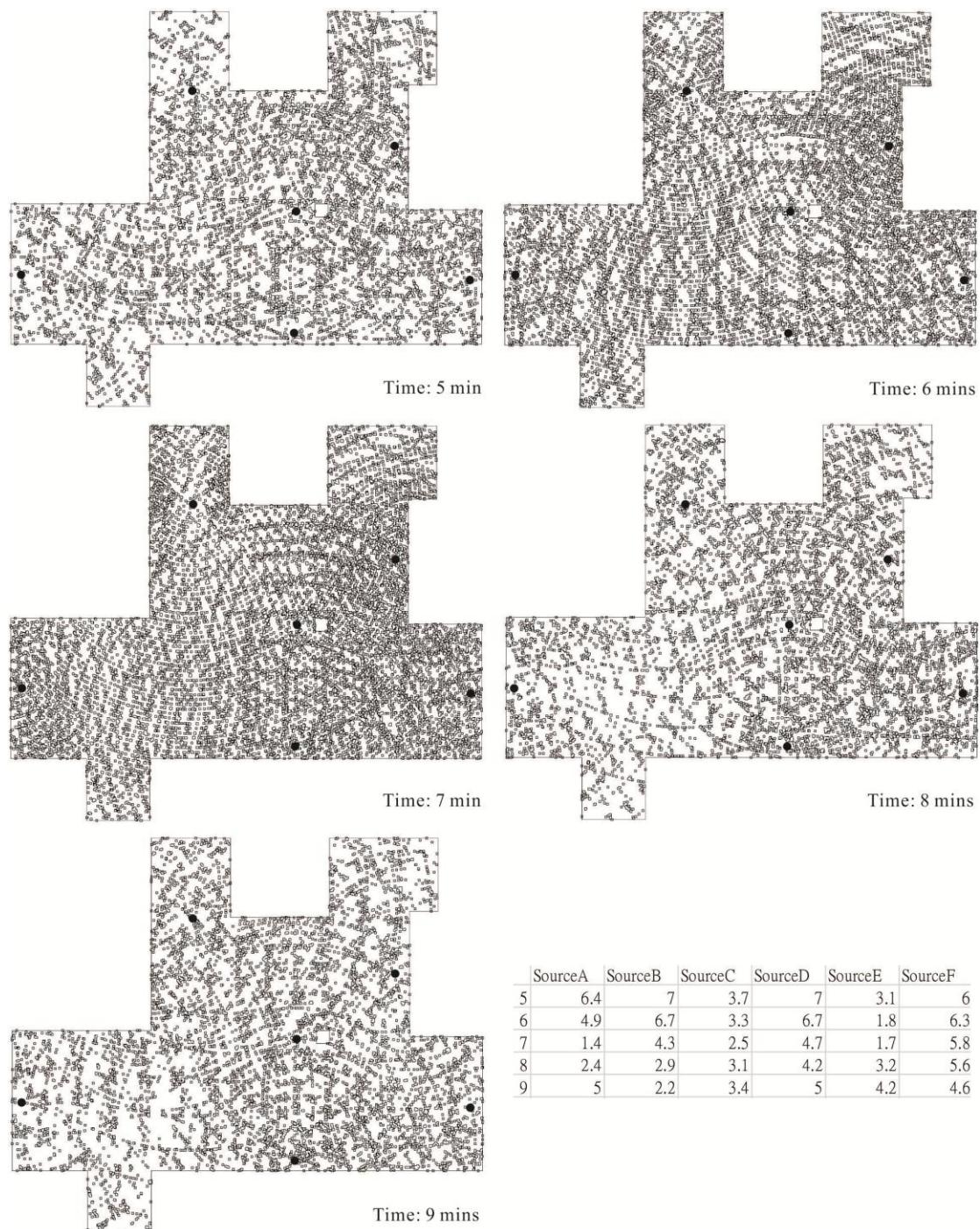


圖 4-20 實際測量數據在基地模型中的運算結果

各分鐘的聲音數據完成的佈點，以圖 3-21 的方式三維化，在此可以調整的參數為各點的選取半徑(圖 4-21)，各點可以判斷以其為中心半徑內其他點的位置與數量來決定自身將提高的高度，當選取半徑越小的時候，各點的性質差異越大，因此小區域的疏密也會清楚的表現再三維形體上，隨選取半徑的增大，各點的差異會逐漸撫平，以致形體表現出較大範圍的區域特性。

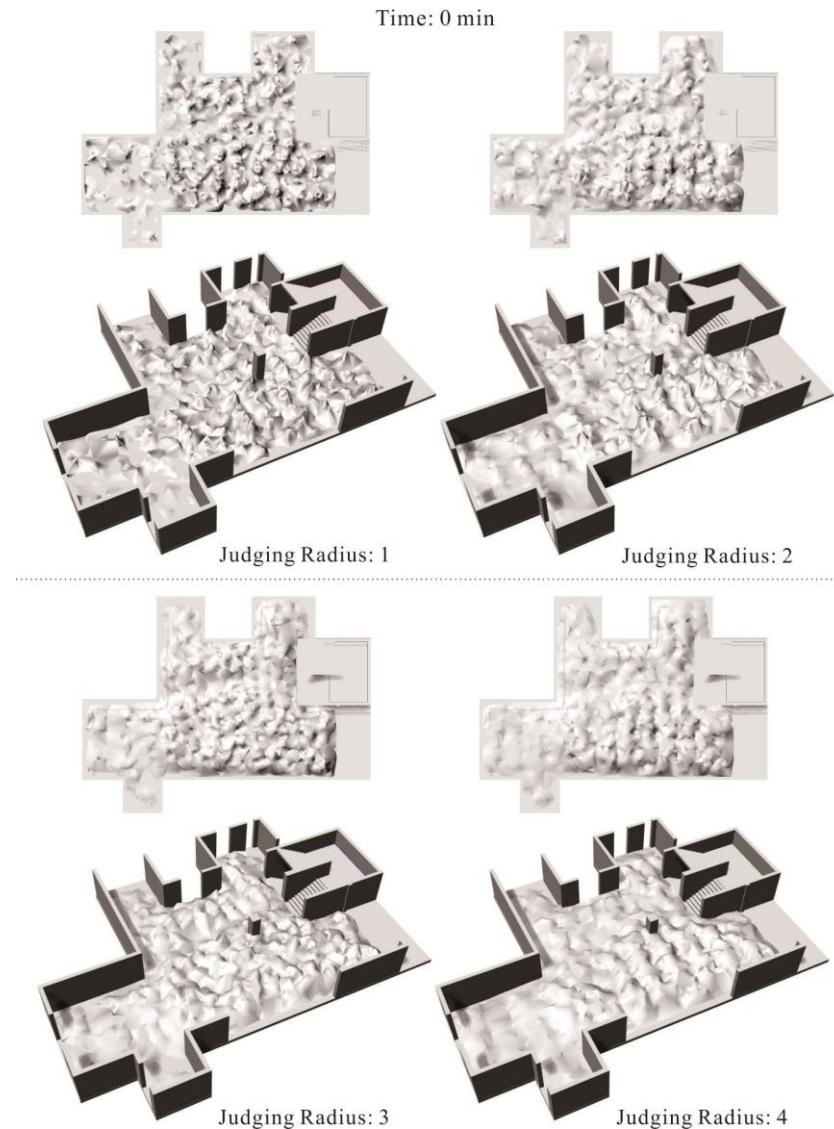


圖 4-21 同一測量時間以不同參數運算產生的模型

為了清楚表現各分鐘內形體的變化與差異，選用最小的選取半徑，套用於圖 4-19 與圖 4-20 產生的點群運算，產生十組不同聲音參數所產生的形體。在模型上越高聳的區塊即為聲波建設性干擾點越密集的區塊，由形體的狀態可以推斷代表的時間內聲音的發生與交互作用。最後將十組模型疊加起來，表現聲音資訊形體的累積。

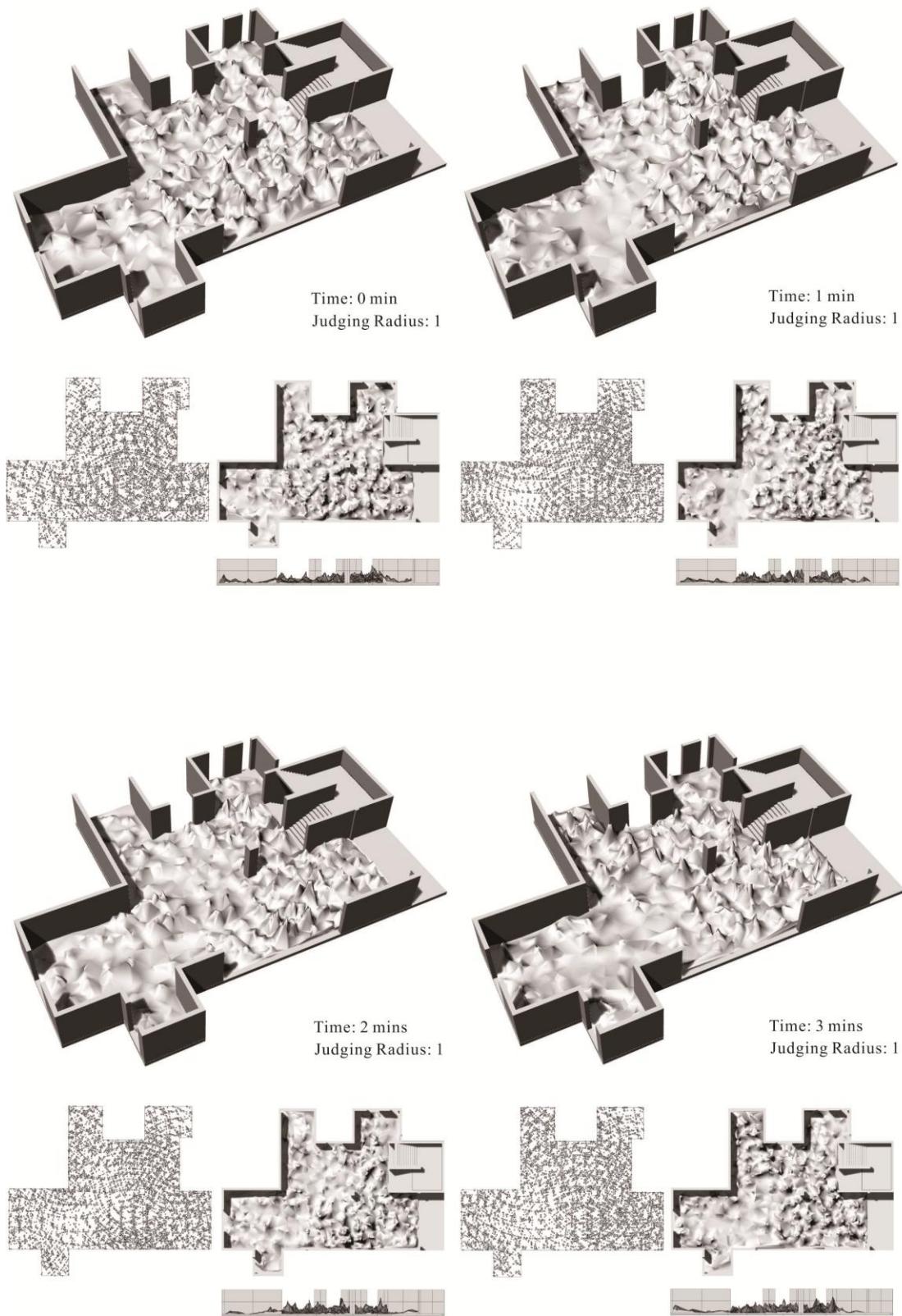


圖 4-22 各分鐘內基地的聲音資訊形體

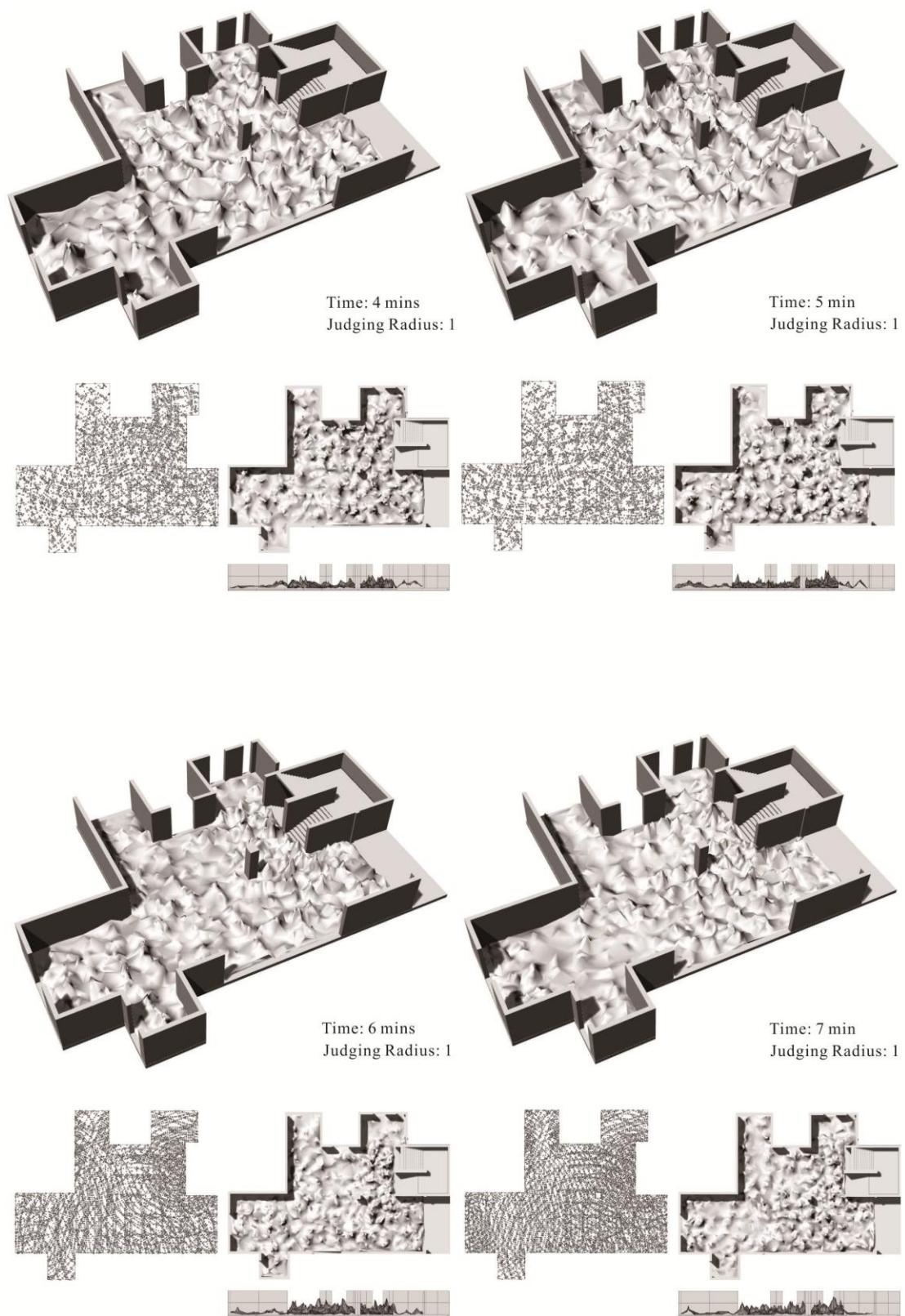


圖 4-23 各分鐘內基地的聲音資訊形體

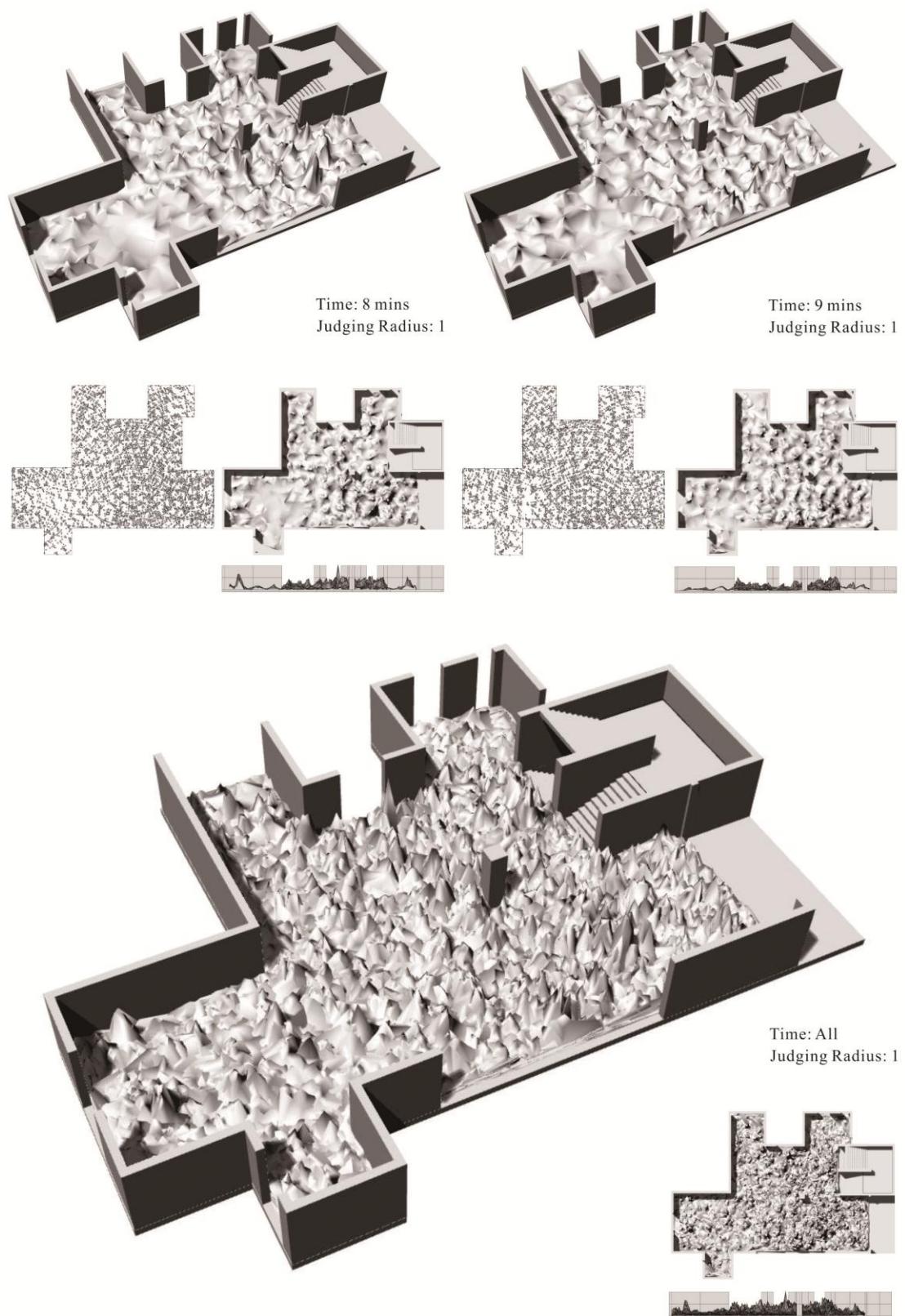


圖 4-24 各分鐘內基地的聲音資訊形體

### 4.2.3 雛型發展

在章節 4.2.2 中，以 Cymatics 的產生方式，完成在基地空間中聲音的形體。這樣的形體是以振動流體的實驗為基礎所完成的，因此在實驗的設定中，如同將空間假設為巨大的容器，並且盛裝大量的流體與其中，由人群和其他外來的聲音資訊為波源，給予流體振動的力量，使空間容器中的流體產生了 Cymatics 般的波紋。這樣的模擬方式，是將現有的實驗方法套用在實際資訊上，來提供將聲音形體化的一種可能性，這樣的可能性不是聲音形體化的唯一可能，但是是具有根據性的，因此可以成為判讀空間中不視資訊的方法。

前期的實驗中，除了以牛頓流體完成波紋實驗，也嘗試以不同特性的流體來產生其他形體的可能性。因此在完成基地空間中的形體時，也將以非牛頓流體的運動程式套用於基地空間資訊上，來產生以非牛頓流體為基礎時，基地聲音資訊形體可能產生的運動及變化。相較於章節 4.2.2 中的實驗，可預期本章節的實驗結果如同非牛頓流體實驗一般，會產生較為特殊的形體運動，且較無法以形體的狀態判讀資訊的原貌。不同於章節 4.2.2 中的形體，經由模擬特殊的材料密度與物理特性下產生的形體，會有變化的過程，在程式運算中，以單一時間點的測量結果為運算基礎，產生運算時間 50 秒內的形體變化。藉此來理解聲音資訊在不穩定的環境變數中，是如何產生形體以及運動。

非牛頓流體在實驗中，只有頻率為 30Hz 到 90Hz 之間時可以產生特殊的運動，為了在模擬實驗中產生微元的運動，需將章節 4.1.2 中分析實體實驗獲得的參數映射到程式運算用的參數(圖 4-25)，來完成模擬流體運動的運算。

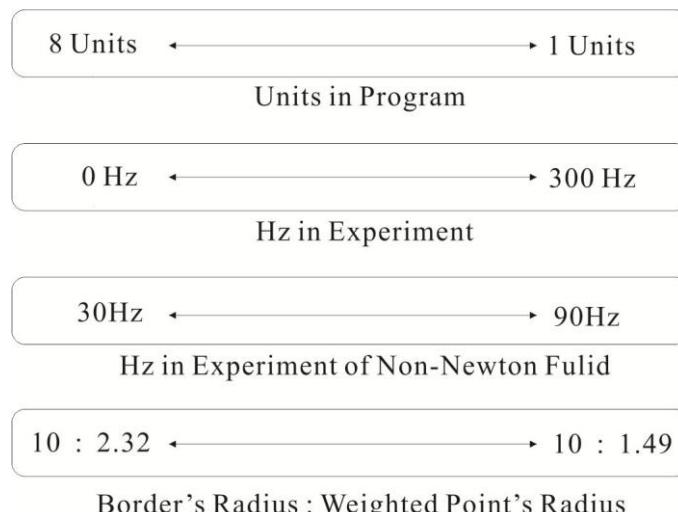


圖 4-25 實體實驗與虛擬程式的參數對照

圖 4-26 與圖 4-27 以測量時間第 0 分鐘所產生的干擾點為基礎，並以加權值的程式進行 50 秒的運算。擷取每隔 10 秒程式運算的結果，以閱讀聲音資訊在經過不穩定的環境參數下產生的形體運動。

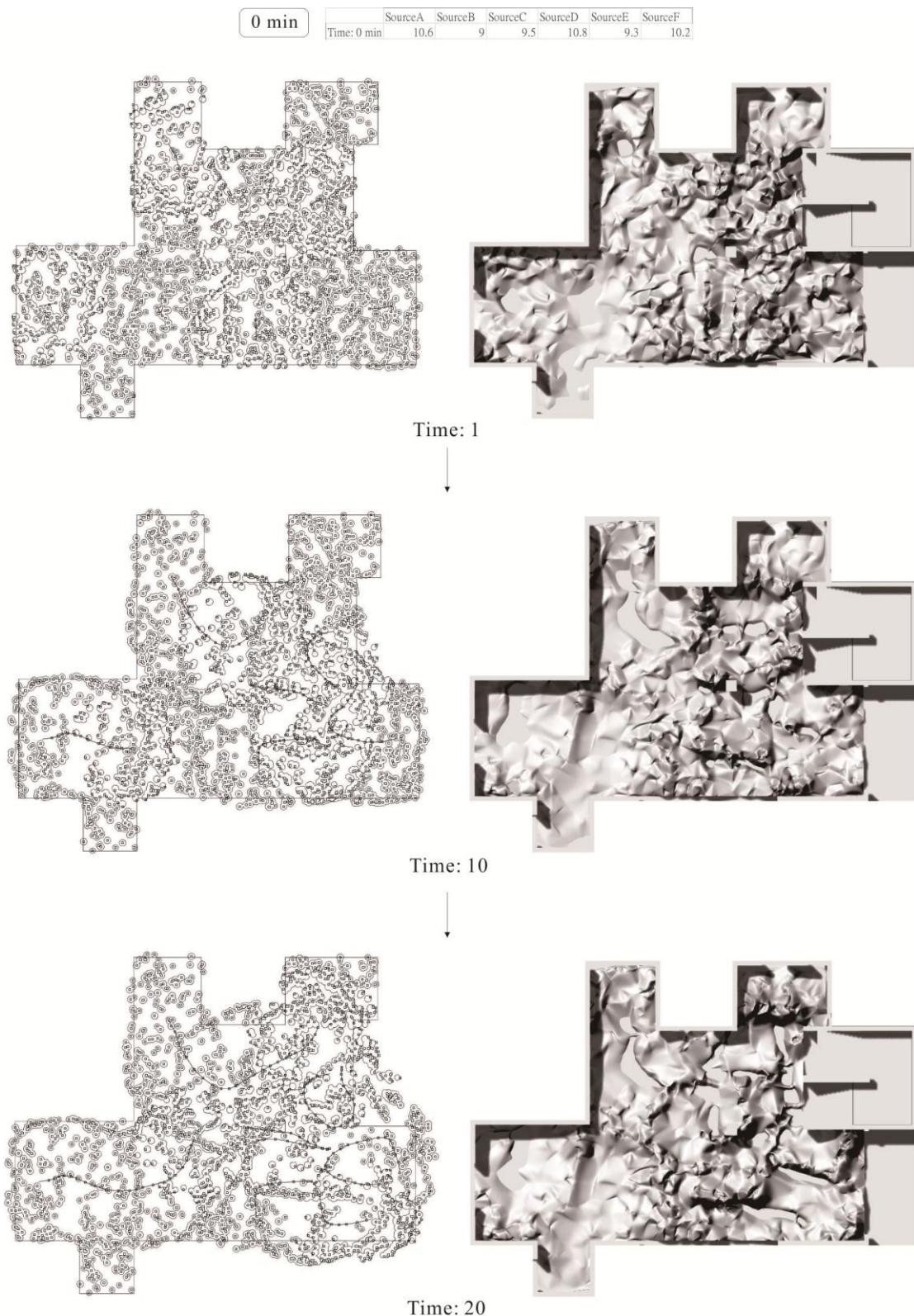


圖 4-26 加權程式運算於基地資訊

聲音資訊的形體在未經過環境的參數改變前，形體以較均質的方式在基地空間中變化。經過環境資訊的變動後，產生的形體高聳的部分慢慢趨近於特別的密集或疏散，此狀態表現聲音資訊形體在環境參數改變下運動的可能性。

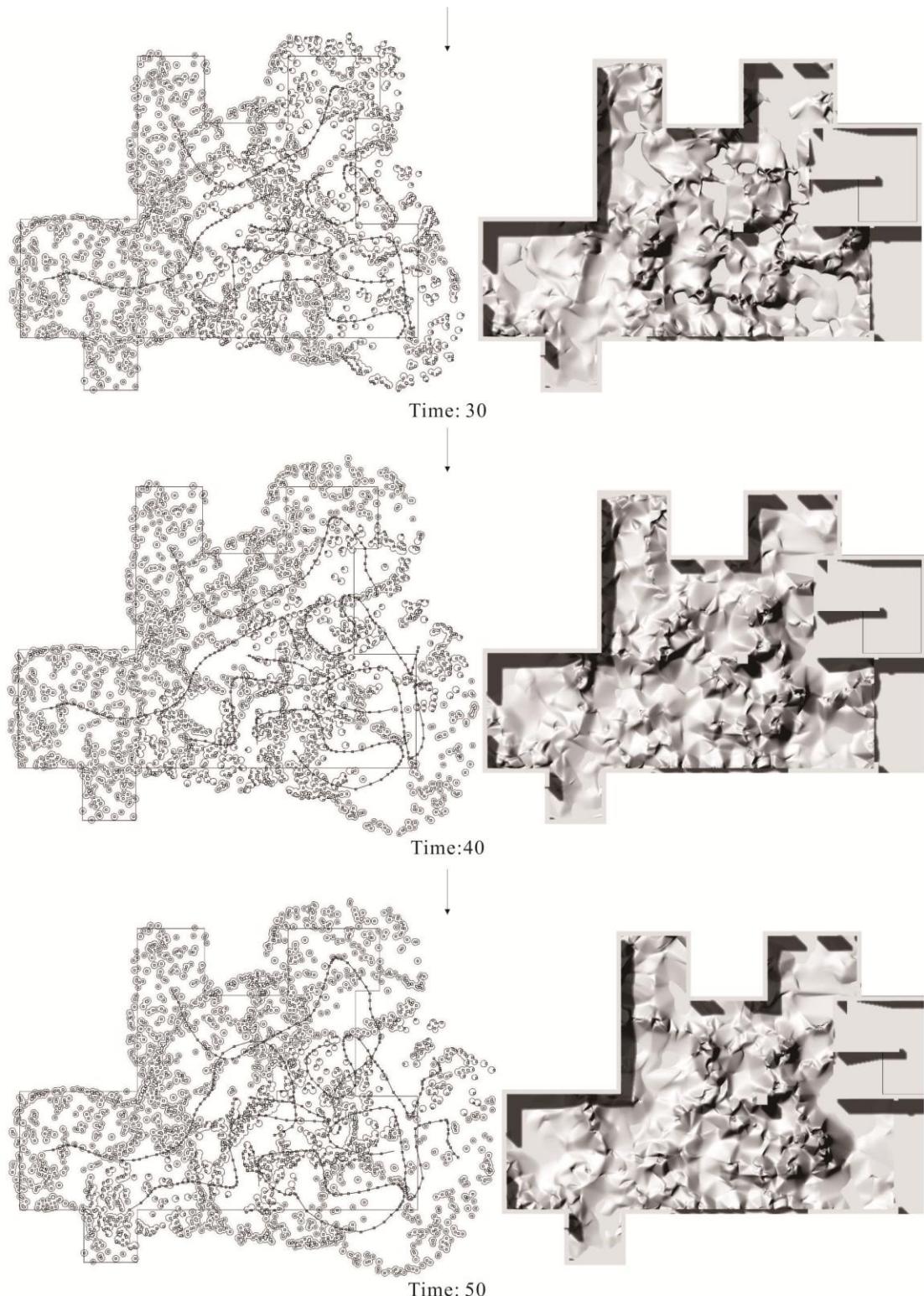


圖 4-27 加權程式運算於基地資訊

圖 4-28 與圖 4-29 以測量時間第 4 分鐘所產生的干擾點為基礎，並以加權值的程式進行 50 秒的運算。擷取每隔 10 秒程式運算的結果，以閱讀聲音資訊在經過不穩定的環境參數下產生的形體運動。

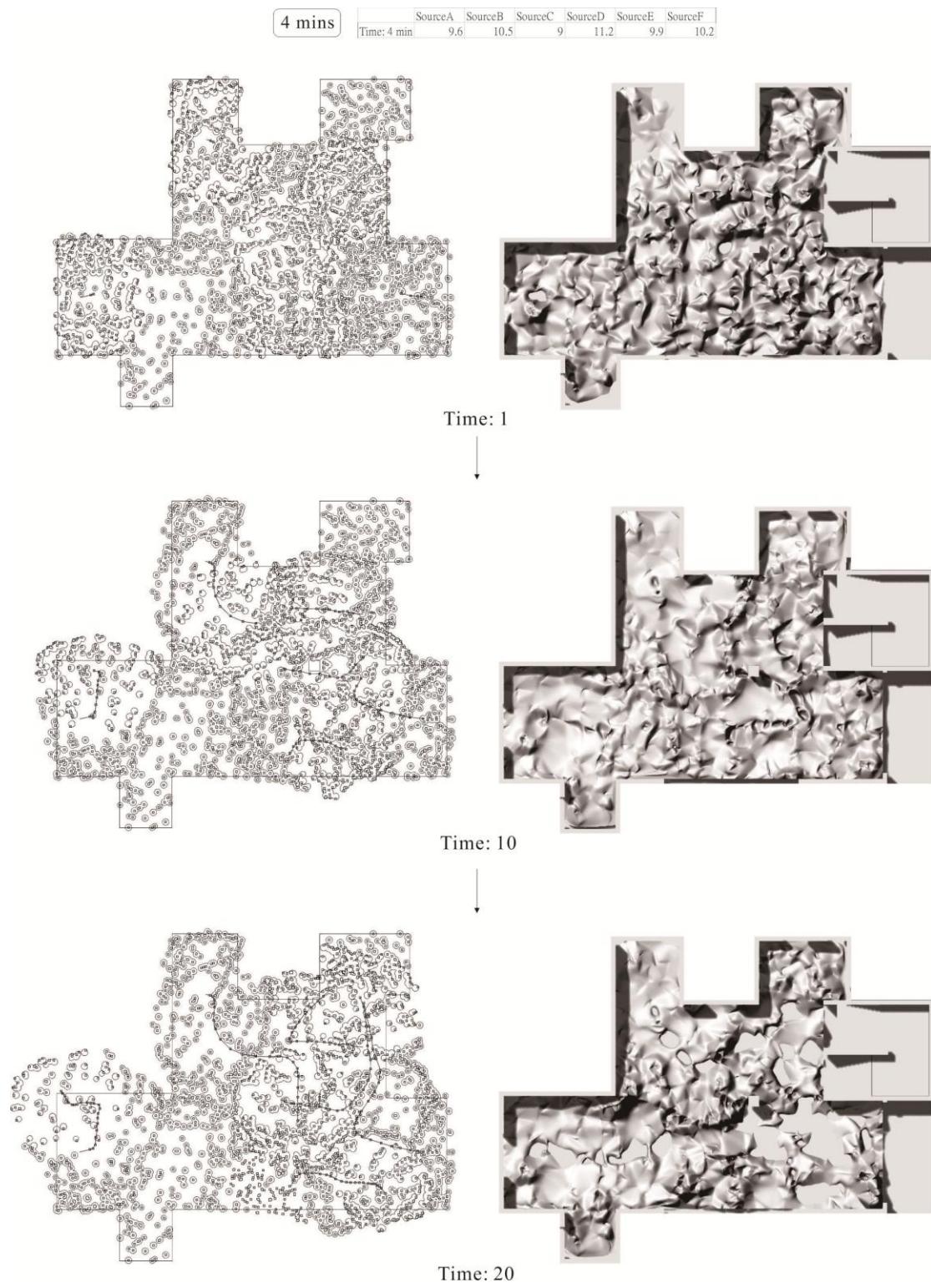


圖 4-28 加權程式運算於基地資訊

由圖 4-29 的運算結果，可看出在以不同的基礎點作為參數下，隨著運算時間的增加，形體的運動也產生越大的差異。以第 0 分鐘的基礎點與第 4 分鐘的基礎點運算的形體，以運算時間 30 秒的狀態相比，已經產生相當大的差距。

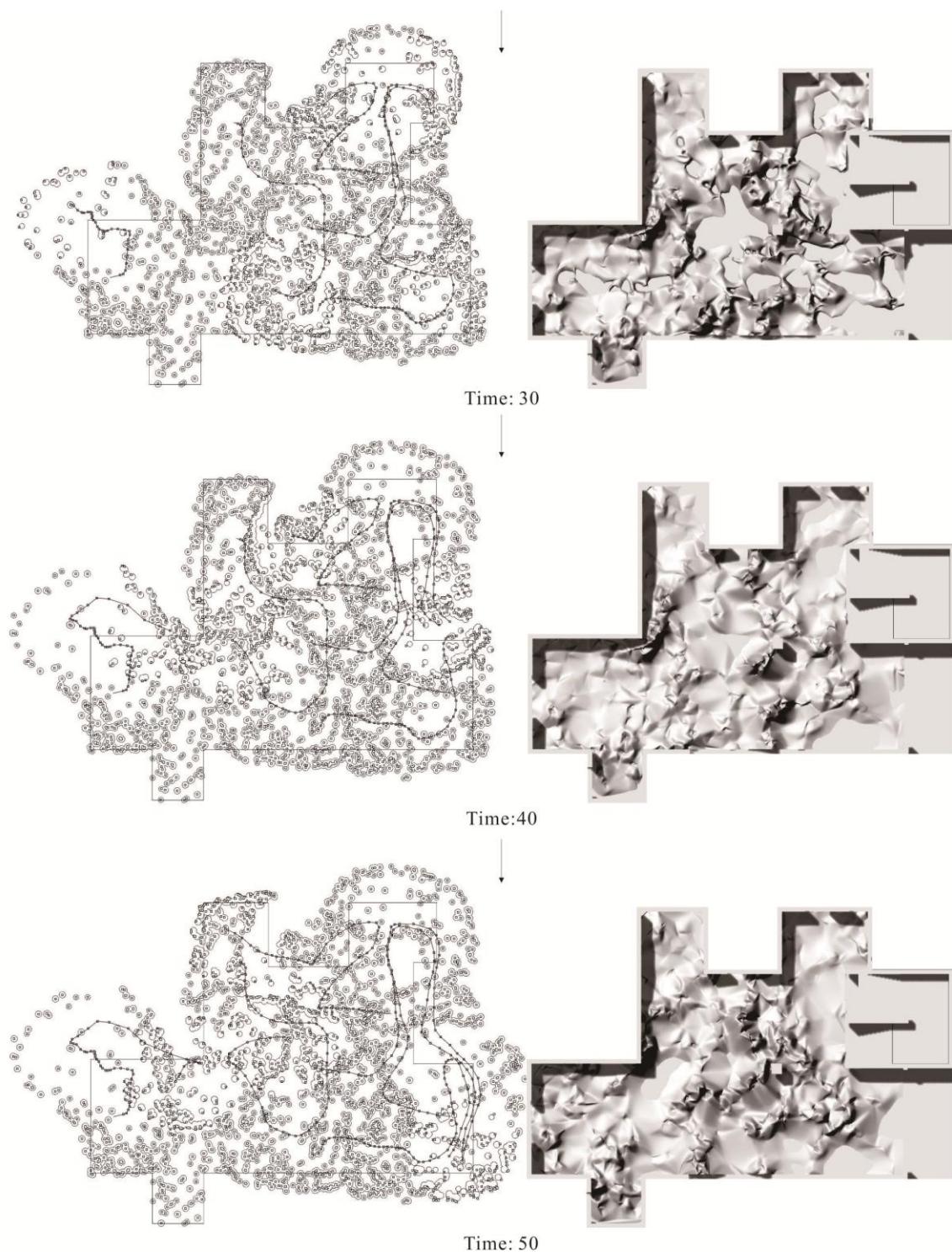


圖 4-29 加權程式運算於基地資訊

圖 4-30 為將圖 4-29 中運算的三個時間點產生的形體，以實際的尺度直接放置於空間中的效果示意，形體的變化表現資訊在不穩定環境中的運動。

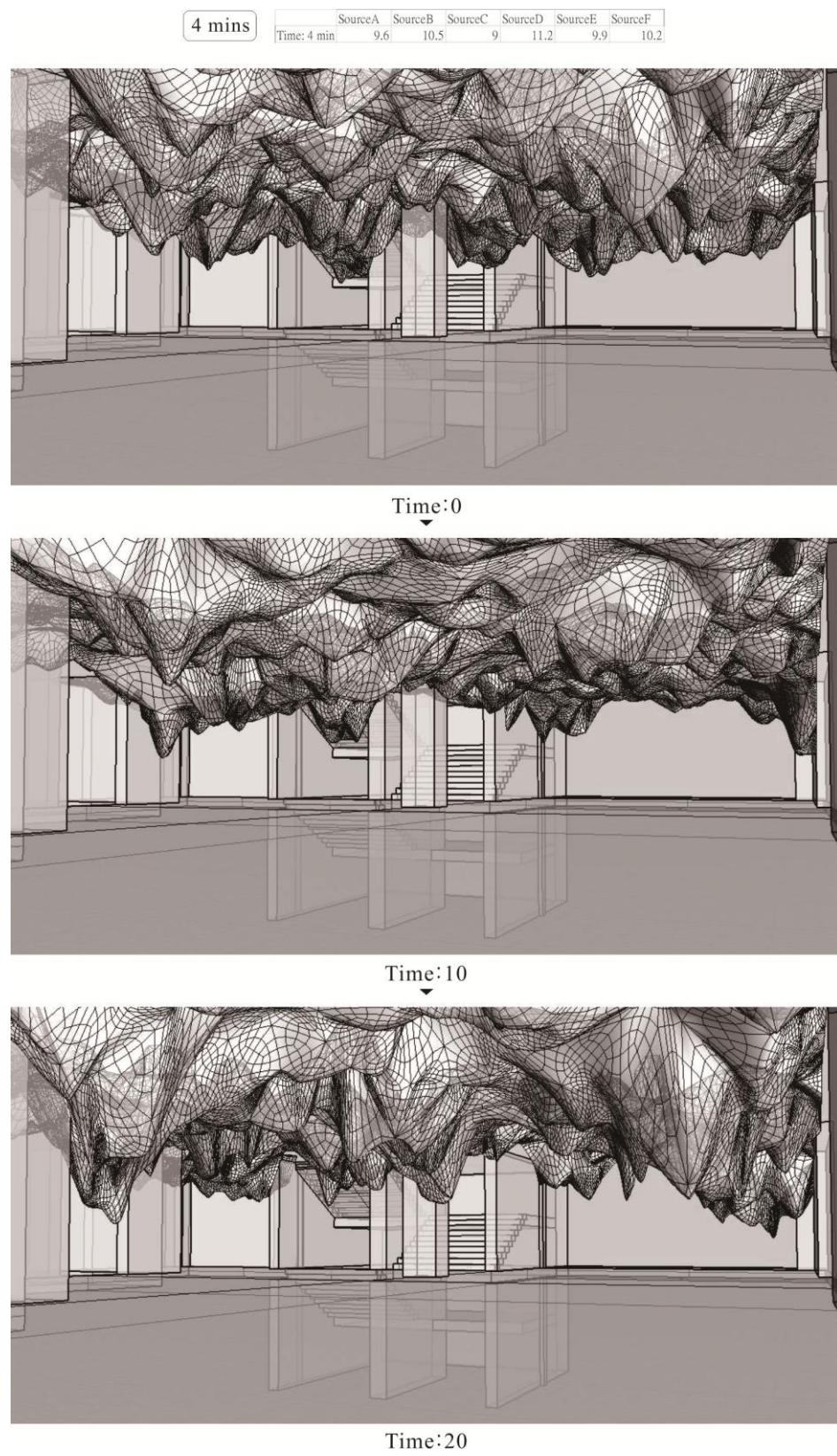


圖 4-30 聲音形體在空間中的形體模擬

圖 4-31 為將圖 4-29 中運算的三個時間點產生的形體，以實際的尺度直接放置於空間中的效果示意，形體的變化表現資訊在不穩定環境中的運動。

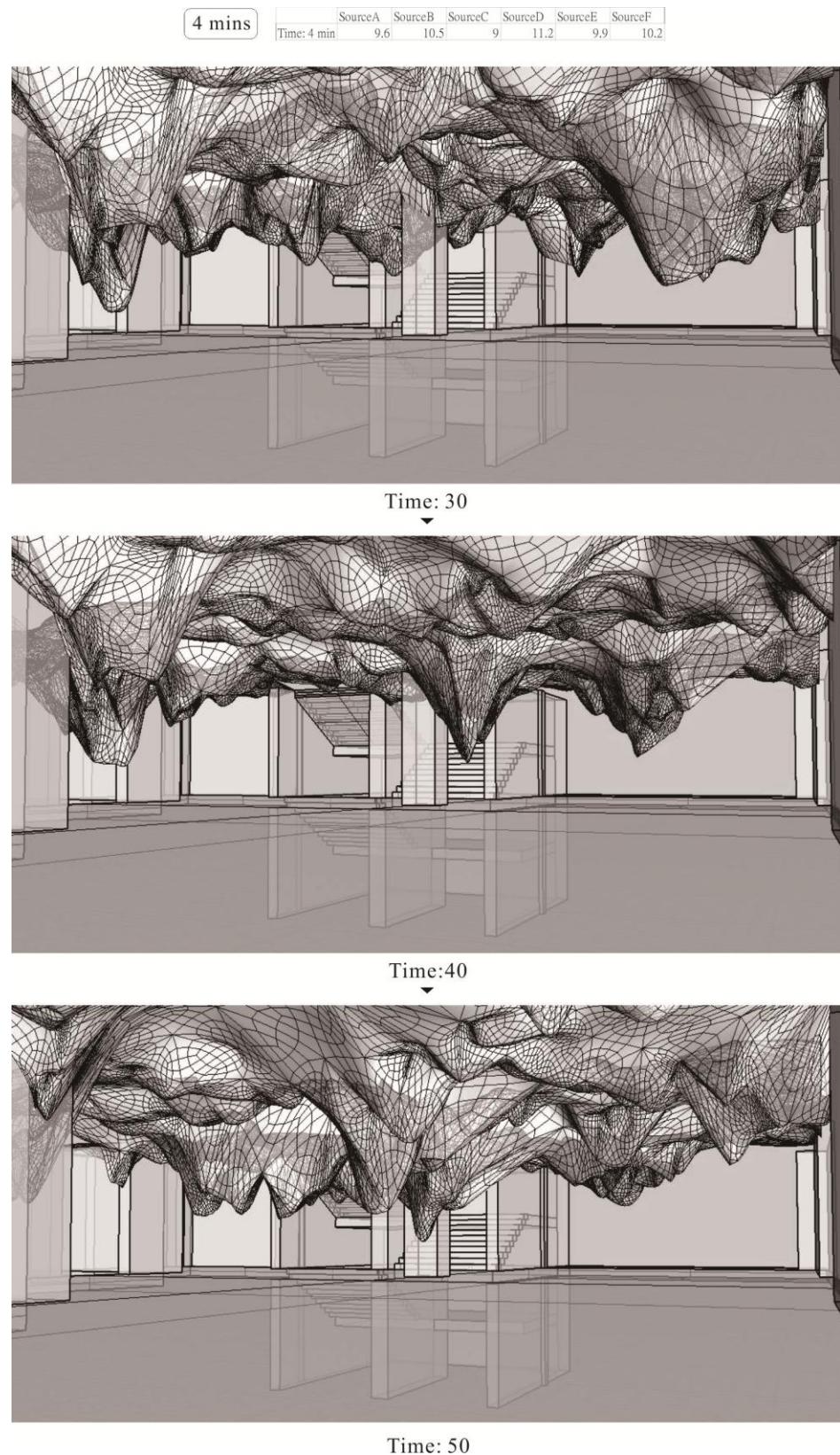


圖 4-31 聲音形體在空間中的形體模擬

### 4.3 結果評估

從無限制的程式運算到以實際空間為基礎時，必須經過參數的轉換，若沒有經過轉換，基地的參數相對於程式的參數將會過大，以至於產生的模型視覺效果不好。參數的轉換經過調整將產生不同的形體，但產生的邏輯與過程相同，因此以主觀的方式轉換參數，並運行程式產生範例結果。此部分以三維模型和小尺度的實體模型來檢討形體的產生於其在空間中的狀態。

聲音在空間中的相互作用關係複雜且相當細膩，於基地模型上產生的模型形體相當複雜，在用以理解實際的聲音資訊稍顯困難，僅能判斷部分音源點頻率較高或較低。在形體的產生過程中，本論文以評估基礎點的距離關係為方式來建立模型，產生的形體可以讓設計者以非數字的方式理解聲音資訊的發生過程與當下的狀態。而實際上要在實際的空間設計中表現資訊，應以本文產生的形體基礎，加入設計者主觀的表現法來呈現。

本章節使用研究前期的成果，並由基地中獲取的聲音資訊為參數，運算程式產生三維的形體。研究在此完成了以實際資訊產生形體的目的，形體對於空間而言是重要的元素，空間本身也可能是形體，本研究對於資訊形體化的目的以聲音實驗為例，但在空間中可以產生形體的資訊不只是聲音，任何在空間中傳遞或是漫遊的資訊，都可能可以透過實驗輔助，或是其他的方式加以轉化，進而完成形體化的過程。



# 5

## 結論

### 5.1 結論

本研究的結論分為以下三個部分：

#### (A) 非牛頓流體的不規則性在程式運算下的落差

在研究及分析 Cymatics 的生成及非牛頓流體在振動下形變的過程中，本研究以程式編程的方式定義了不同性質的流體在受到聲音產生的振動作用後，產生形變的過程與方式。並以同樣的邏輯推演實體實驗難以完成的多變數研究。如多波源，多頻率以及不規則邊界在波的傳遞與成形中所造成的差異與變化。



在 Cymatics 的實驗中，在流體性質固定的情況下可以確立唯一的變數為頻率的改變，但是單體的種類和容器的更換與否為不確定因子，在程式中以分析與邏輯為基礎的編程下無法將上述多項不可預計的變數因子納入程式的規劃。而在非牛頓流體的實驗中，流體微元的密度與濃度在調配中無法獲得完全的標準值，因此此實驗的生成與結果本來就包含不規則性與機率的關係，在不包含任何變數的情況下重複執行實驗亦無法得到相同的結果。但在不相同的結果下經由分析可以發現相同的性質與邏輯，如流體產生三維形變的狀態，因此在納入機率的特性於程式設計中後，程式運算產生的結果如同實體實驗，無法在重複的實驗中獲得完全相同的結果。

程式運算無法和實體實驗獲得完全相同的結果，但是可以同樣的邏輯執行生成的過程，意旨實驗和程式可在分別運行的狀況下完成兩項可能具有差異，但均符合邏輯的結果。在此狀況下本研究以視訊鏡頭的影像捕捉與資訊化，使實驗與程式兩個項目產生鍵結，彼此影響並生成第三項聲波的動態形體可能性。

#### (B) 程式運算賦予聲音成形的效果與可能性

以程式編程來運算形體的生成，與實體實驗的最大差異在於參數的易調整性與誤差值的

縮減。當以理論與觀察分析理解聲音與形體生成的關係後，將實體的運作轉化為程式運作，可以使設計者快速的嘗試以聲音與空間關係為架構所完成的形體設計。

### (C) 於形體設計的實際可能，互動空間的發展性

聲波所造成的形體生成可重新定義設計者對於所有聲音，振動相關的認知與解釋，突破以往以概念方式詮釋不可見資訊的形體產生，為一具有完整邏輯的設計方法理論。以本研究現階段的成果結論，運算產生的形體為單純回應空間內聲音因空間限制與聲音相互影響下所產生的資訊化形體，此形體代表的動態資訊為空間內資訊重複的影響下所疊加並生成的空間狀態。

『當視覺在三度空間中提供我們物件的明確位置與定義時，我們不知不覺的壓抑並無視了世界的其他部分。視線中的物件強迫我們去注意並引導我們的行為，空間成為我們必須去穿越或遠離的對象。』(McLuhan, 1960)



以不可見資訊生成的可見形體，對於空間使用者對空間的認知產生了新的定義，在空間使用者對於空間的資訊產生了認知後，互動式的設計將產生新的可能與發展，在藉由聲波生成的形體建構下，空間中的聲音與其所具有的力量將改變使用者使用狀態。以互動設計的概念操作，可利用此動態形體的生成對使用者的使用產生影響，也可以設定使用者所提供的資訊使其與空間聲音資訊產生互動，重新生成動態形體以定義空間新的狀態。在造型設計的層面，聲音資訊藉由流體震動所產生的特殊造型對於張拉結構的建築設計方式也可以產生想像。如德國建築師 Frei Otto 在慕尼黑設計的奧林匹克運動場一般，可以藉由聲音資訊啟發設計師對於建築造型的想像空間。

## 5.2 研究貢獻

在聲波與形體生成的研究領域中，已經有相當多關於二維紋理的研究整理與觀察紀錄，本研究建設在這些研究之上，藉由各式分析方式將 Cymatics 的三維成形程式編程，以及給予非牛頓流體不規則運動方式合理的邏輯推演分析，將聲波振動成形的過程以單體振動流體的方式完成分析與編程。並套用於實際空間中，發展空間中聲波的產生與相互作用在空間中產生形體的邏輯方式與可能性，並分析空間狀態因聲波動態形體生成所造成

的狀態變化。

對於設計領域而言，本研究的成果可以使設計者重新看待空間的狀態，將原本不可視的聲音資訊，以實際發生於空間中的形體呈現於設計者眼前。無論是環境中的聲音，或是使用者在空間中產生的聲音，設計者可將原本無法理解的資訊納入設計之中，進而產生新的想法。在研究發展的更加完整後，形體將可以回推成聲音資訊，因此設計可以用聲音的方式來表現一個形體，對於形體的描述不再受限於二維圖像或是三維模型，而是經由聲音資訊來表達。對於空間設計者在進行形體的發展時，提供更多的可能性。

經由基地資訊生成的形體即是表現了採集時間參數時，基地空間那段時間的聲音，以一個固定的形體表現空間的某一段時間，也可在藝術價值的觀點加以探討。不同於錄音帶或是音樂唱片，一塊可能是規律或是不規則的造型，即表現了一段聲音，且這段聲音還包括了空間上的意義。

總結以上，本研究的貢獻整理如下：

- 
- (A) 完成牛頓流體和非牛頓流體的震動實驗，並統整實驗結果。
  - (B) 以程式編寫完成單波源與多波源 Cymatics 在不同邊界下的成形程式，讓人可以理解聲音與形體產生的關係。
  - (C) 將實際空間的聲音資訊轉化產生相對應的形體，讓設計者可用不同的觀點重新看待空間中的資訊與空間的狀態。

### 5.3 研究限制

材料的運用與瞬間形體捕捉的技術落差為本研究的主要限制，在流體實驗的過程中以影像的方式記錄流體的形變，並以光影的程度使流體的高度資訊進入電腦端以提供程式運算的基礎，此流程建立在無法長時間的觀察分析流體的形變狀態。以視訊鏡頭或是 kinect 對流體捕捉影像都僅限於但向度的影像分析，在三維的形體變化中，其他向度的形變將無法進入分析系統中。

在這樣的限制下本研究初期以環物拍攝並以拍攝影像建立三維模型的方式嘗試獲取流體形變的模型，但應流體運動速度過快且變化量大，環物攝影所產生的模型將不完整且無法評估。在企圖獲得完整的形變模型下，可快速凝固的材質如保麗膠也成為實驗對象，

但特殊性質的流體在振動的過程無法重現實驗原始牛頓流體(水)在單體振動下形變的過程與狀態，若有可以將水瞬間凝結的相關設備與技術，則可以嘗試將 Cymatics 與非牛頓流體的特殊運動狀態固定，成為動態形體的模型，並重新審視分析形體的方式。在上述的條件下，評估實驗的方式將不同與本研究目前的成果，多向度的分析可以更進一步的了解非牛頓流體特殊的運動方式以產生更明確的研究結果。

## 5.4 後續研究

不可見的空間資訊以相當複雜的狀態散佈在空間之中，若企圖以某類型資訊以視覺化形體的方式產生於空間中並藉此對空間的狀態產生影響，必須以轉化的方式使不可見的資訊視覺化。本論文針對聲波對於物體及介質的振動加以研究，企圖對聲波成形提出空間上的論點。以單體振動使流體受力產生形變為轉化的研究基礎，經由實驗分析及研究發展，對於單體振動流體的形變與過程提出了分析結論與設計可能。對於聲音的分析方式，根據方法及論點的不同而有相當多的種類，而對於聲波的振動與形體生成的關係，也有許多種分析與研究方式，以單體振動流體是對於設計研究者而言較容易並方便設置的方向，以容易操作的方式作為基礎發展形體相關的設計研究，是本論文的研究架構。在後續的研究中，將對於聲波於其不可視的動態形體生成以更多元或更多維度的方式加以分析，並以分析結論探討形體的產生，將獲的更豐富且更具價值的研究結果。

本研究於捕捉實體實驗產生參數並與程式端進行來回檢討運算的部分並無定義絕對的參數獲得方式，在如何了解非牛頓流體在物理運作下產生的效果與形變，可經由更精準工具和方式來獲得參數。在新的參數進入運算後，程式的編程方法必須重新設計，以新的方式運算形體的產生與變動，達到更為精準且限制條件更少的資訊轉化與形體生成。

現階段的程式運行為迴圈方式在執行形體的生成運算，新的資訊加入成為影響因子的方式為設定迴圈長度，並於程式停止時加入新的資訊以重新執行迴圈，這樣的方式可以完成資訊的擴增以重新效調形體的動態生成，但在執行的過程中無法即時的對於幾何物件進行控制。因此在程式的編輯方式若以純顯示資訊的方式完成，並將匯入的資訊視為其中的變化參數，將可以使程式以即時互動的方式運作。可即時互動的程式運算，將可搭配即時的資訊輸入，產生的形體為反映當下空間內的資訊，包括環境變數和使用者本身，隨著兩項變數的改變，動態形體也產生變動。

## 參考文獻

外文書目：

- Banda, Pablo (2010) Parametric Propagation of Acoustical Absorbers, Department of Architecture, Federico Santa Maria University of Technology
- Beilharz, Kirsty.A. (2004) Designing Generative Sound for Responsive 3D Digital Environment Interactionn, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney
- Bonwetsch, Tobias (2008) Adding Performance Criteria to Digital Fabrication, ETH Zurich
- Burrow, Andrew (2003) Visual Sonic Communication Representations To Support Design Interraction, RMIT University, GPO Box 2476V, Melbourne VIC 3000, Australia
- Burry, Mark (1999) Paramorph: Anti-accident methodologies, Hypersurface Architecture 2, ed. Stephen Perella, 78-83. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Burry, Mark (2003) Between Intuition and Process: Parametric Design and Rapid Prototyping, Architecture in the Digital Age Design and Manufacturing, Kolarevic, B., ed., 149-162. New York and London: Spon Press
- Burry, Mark (2011) Digitally Sponsored Convergence of Design Education, Research and Practice, Spatial Information Architecture Laboratory, RMIT University, Australia
- Burry, Mark (2011) Scripting Cultures - Architectural design and programming
- De Bodt, Kathleen (2006) SoundScapes & Architectural Spaces, Higher Institute of Architectural Sciences Henry van De Velde, Antwerp University Association, Belgium
- Egan, David (2007) Architectural Acoustics. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing.
- Garcia, DG (2011) ‘Comment on “Increase in voice level and speaker comfort in lecture rooms”, in J. Acoustc. Soc. Am 129
- Kuttruff, Heinrich (2000) Room Acoustics. London: Spon Press.
- Lee, S. & De Bodt, K. (2007) PLAN\_B , The architectonics of sonic information, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- Long, M (2006) Architectural Acoustics, Elsevier Academic Press, London
- Long, Marshall (2006) Architectural Acoustics London: Elsevier Academic Press.
- Luciana Santos Roça (2011) Hybrid environments: sonic interfaces in public spaces, Nomads.usp, University of Sao Paulo, Brazil
- Lynn, G. (1998) Animate Form, Princeton Architectural Press, New Jersey

- Modeen, Thomas (2003) Using Solid Freeform Fabrication for the Conceptualization and Corporeal Actualization of Architecture, Small-Architecture, United Kingdom
- Moussavi, F (2009) The Function of Form, Actar, Barcelona.
- Peters, Brady (2007) The Smithsonian Courtyard Enclosure. In Expanding Bodies: Art Cities Environment, Proceedings of the 27th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Halifax Nova Scotia 1–7 October 2007, 74–83.
- Peters, Brady (2009) Parametric Acoustic Surfaces, Centre for Information Technology and Architecture (CITA); Royal Academy of Fine Arts School of Architecture, Denmark
- Peters, Brady (2011) Responsive Acoustic Surfaces, Centre for Information Technology and Architecture (CITA); Royal Academy of Fine Arts School of Architecture, Denmark
- Peters, Brady (2011) Responsive Acoustic Surfaces, Centre for Information Technology and Architecture (CITA)
- Petersen, CM (2008) ‘Limiting Annoying Noise in Open-Plan Offices’, in Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, Reykjavik, Iceland.
- Reinemar, Alex (2009) Interview with Alex Reinemar by Chris Barker. InFuture Music no. 212, 44–48. London: Future Publishing.
- Thompson, Emily (2002). The Soundscape of Modernity. Boston: MIT Press

線上資料:

- Cymascope: <http://www.cymascope.com/>
- Cymatics: <http://www.cymatics.co.uk/>
- Grasshopper: <http://www.grasshopper3d.com/>
- M + A Media Lab: <http://h9230669.pixnet.net/blog>
- MSDN: <http://msdn.microsoft.com/zh-tw>
- PhysicsClassroom: <http://www.physicsclassroom.com/>
- Rhinoscript.org: <http://www.rhinoscript.org/>
- School of Cymatics: <http://cymatics.ning.com/>
- Space And Motion: <http://www.spaceandmotion.com/>