

國立虎尾科技大學
工程學院機械設計工程系
專題製作報告

影像辨識在虛實整合機電系統
設計之應用

Application of Image Recognition
in Cyber Physical Mechatronic
System Design

指導老師： 嚴家銘 老師

學 生： 40623124 葉修宏

40623127 張育偉

40623128 張華椋

40623130 陳鉅忠

中華民國 109 年 6 月 6 日

中文摘要

本專題完成一台可人機對打冰球機系統之設計、模擬與製作，目的在驗證影像辨識技術可應用於虛實整合的機電系統。

本冰球機上的所有零件都是透過全雲端電腦輔助機械設計系統 - Onshape 所完成。為了在專案中使用自行開發的大容量 3D 列印機印製零件。專題任務還包括對大容量 3D 列印機的改進、維護與校正。

冰球機的運動控制採用 Arduino，並使用步進馬達與皮帶輪驅動冰球擊錘定位。而冰球機的機電模擬則是在 CoppeliaSim 中完成。冰球的設計採用內置風扇所產生的氣流懸浮來減少與平台的摩擦，從而令其可平順移動。冰球擊錘的虛擬與實體影像辨識流程，則分別利用冰球機模擬場景中的影像感測器與實體攝影機，將平台影像傳至 Python 程式執行辨識，可在人機虛實對打過程中標示出冰球的位置與速度。

本專題最終的人機虛實對打，除了可由實體搖桿操控虛擬與實體冰球機之外，也可以透過遠端全虛擬模式進行，系統會將伺服器中的冰球機模擬場景送至連結端的瀏覽器中，讓多人可同時監控或參與冰球機的對打流程。

關鍵字：影像辨識、虛實整合、冰球機、3D 列印

Abstract

This project completes the design, simulation, and manufacturing of a man vs. machine hockey game platform system. The purpose is to verify that the image recognition technology can be applied to the cyber and physical integrated mechatronic system.

All the parts on this hockey machine are completed by the full-cloud computer-aided mechanical design system - Onshape. In order to use the self-developed large volume 3D printer to print the parts in the project. The tasks also include the improvement, maintenance and calibration of the printer.

The motion control of the hockey machine is implemented by using Arduino 、 stepping motors and pulley-belt system to position the mallet. The mechatronic simulation of the hockey machine is completed in CoppeliaSim. The design of the hover puck uses the air flow generated by the built-in fan to levitate from the platform to reduce the friction, so that it can move smoothly.

For the virtual and physical image recognition process of the hover puck, the image sensor and the web camera are allocated above the scene to transmit the platform image to the Python program to perform the recognition. During the match, the position and speed of the hover puck can be calculated accordingly.

To the end of the project, the virtual and physical hockey machines can not only be controlled by the physical joystick, but also be performed in the full virtual mode. The system will send the simulated scene image of the hockey game in the server to the web browser, which allows multiple users to monitor or participate in the match at the same time.

Kerwords : Image recognition 、 Cyber-Physical System 、 3D printer 、 air hockey table

誌謝

在此鄭重感謝製作以及協助本專題完成的所有人員，首先向大四學長致謝，他們不辭辛勞解決我們所提問的任何問題，甚至從來沒有任何不耐煩，總是貼心的為我們找出最佳解答。再來是我們的指導教授嚴家銘教授，他給了我們全方位的支援，開會時也時不時向我們提出建議以及未來走向，同時也給了我們能自由摸索的空間及時間，最後是由本專題組員同心協力才得以完成本題目，特此感謝。

目錄

中文摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iii
目錄	iv
圖目錄	vii
表目錄	xiii
第一章 前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的與方法	1
1.3 未來展望	2
1.4 規則說明	2
第二章 設計流程	3
2.1 實體初步設計	4
2.2 電路設計過程	4
2.3 程式設計	4
第三章 實體組立	5
3.1 3D Printer 應用	5
3.1.1 使用之軟硬體	6
3.1.2 各機台穩定性及調整部分	6

3.1.3 機台維護歷程及保養與維護手段	7
3.2 列印零組件設計	8
3.2.1 列印零件之外型及設計用意	9
3.2.2 輔助之列印件	11
3.3 冰球設計	13
3.3.1 風扇歷程版本	14
3.3.2 冰球應力分析	16
3.3.3 風扇類型分析	40
3.4 零組件組立	64
3.4.1 組裝歷程	64
3.4.2 組裝歷程更改部分	69
第四章 電路與控制系統.....	70
第五章 CoppeliaSim 模擬	77
5.1 CoppeliaSim 介紹	77
5.1.1 使用 CoppeliaSim 之緣由	77
5.1.2 CoppeliaSim 常用功能	78
5.2 CoppliaSim Remote API	78
5.2.1 CoppliaSim Remote API 雙埠號使用	79
5.2.2 CoppliaSim Remote API 動態連結函式庫與模組	79
第六章 影像辨識	80
6.1 影像辨識介紹	80
6.2 CoppliaSim 與實體影像辨識之差異	80
6.3 RGB 轉換 HSV	81
6.3.1 RGB 與 HSV 介紹	81
6.3.2 RGB 轉換 HSV 之方法	82

6.3.2 RGB 轉換 HSV 之原因	82
6.4 顏色過濾	83
6.5 雜訊過濾	84
6.6 影像校正	86
6.6 計算形心座標	87
第七章 對打程式	88
7.1 冰球之移動速度計算	88
7.2 冰球之路徑預測	88
7.2.1 直線運動	88
7.2.2 反彈運動	88
7.3 網際操作介面	89
第八章 問題與解決方法	90
研究成果及結論	93
參考文獻	94
附錄	95
附錄一 零件表	95
機械零件	95
電子零件	96
列印零件	97
作者簡介	98

圖目錄

圖 3. 1 Onshape 組合圖	5
圖 3. 2 Cura 圖示	6
圖 3. 3 Onshape logo	8
圖 3. 4 X 軸光軸固定座	9
圖 3. 5 X 軸光軸固定座-1	9
圖 3. 6 光軸蓋	10
圖 3. 7 擊球器固定座	10
圖 3. 8 Y 軸皮帶固定座	10
圖 3. 9 X 軸同步輪架	11
圖 3. 10 Y 軸惰輪架 正向(左)、負向(右)	11
圖 3. 11 擊球器	12
圖 3. 12 電路零件固定板	12
圖 3. 13 搖桿盒	13
圖 3. 14 冰球	13
圖 3. 15 風扇最終版	14
圖 3. 16 風扇版本舊到新版(由左到右)	14
圖 3. 17 冰球下蓋上視圖	15
圖 3. 18 Solidworks logo	16
圖 3. 19 Solidworks 零件匯入	16
圖 3. 20 方向調整	17
圖 3. 21 注意事項(一)	17
圖 3. 22 零件結合	18
圖 3. 23 新增轉軸	18
圖 3. 24 開啟 Flow Simulation	19
圖 3. 25 啟用參數設定	19
圖 3. 26 專案命名	20

圖 3. 27 單位調整.....	20
圖 3. 28 單位調整-2.....	20
圖 3. 29 設定說明.....	21
圖 3. 30 氣體給定.....	21
圖 3. 31 流動範圍設定.....	22
圖 3. 32 流動範圍設定-2	22
圖 3. 33 轉速設定.....	23
圖 3. 34 邊界選取.....	23
圖 3. 35 執行畫面.....	24
圖 3. 36 執行畫面-2	24
圖 3. 37 執行畫面-3.....	24
圖 3. 38 分析畫面.....	25
圖 3. 39 執行完成畫面.....	25
圖 3. 40 設定流線範圍.....	26
圖 3. 41 分析完成後.....	26
圖 3. 42 COMSOL 步驟(1).....	27
圖 3. 43 COMSOL 步驟(2).....	27
圖 3. 44 COMSOL 步驟(3).....	27
圖 3. 45 COMSOL 步驟(4).....	28
圖 3. 46 COMSOL 步驟(5).....	28
圖 3. 47 COMSOL 步驟(6).....	28
圖 3. 48 COMSOL 步驟(7).....	29
圖 3. 49 COMSOL 步驟(8).....	29
圖 3. 50 COMSOL 步驟(9).....	30
圖 3. 51 COMSOL 步驟(10).....	30
圖 3. 52 COMSOL 步驟(11).....	31
圖 3. 53 COMSOL 步驟(12).....	31
圖 3. 54 COMSOL 步驟(13).....	32

圖 3. 55 COMSOL 步驟(14).....	32
圖 3. 56 COMSOL 步驟(15).....	33
圖 3. 57 COMSOL 步驟(16).....	33
圖 3. 58 COMSOL 步驟(17).....	34
圖 3. 59 COMSOL 步驟(18).....	34
圖 3. 60 COMSOL 步驟(19).....	35
圖 3. 61 COMSOL 步驟(20).....	35
圖 3. 62 COMSOL 步驟(21).....	36
圖 3. 63 COMSOL 步驟(22).....	36
圖 3. 64 COMSOL 步驟(23).....	37
圖 3. 65 COMSOL 步驟(24).....	37
圖 3. 66 COMSOL 步驟(25).....	38
圖 3. 67 COMSOL 步驟(26).....	38
圖 3. 68 運轉形式.....	40
圖 3. 69 葉片流向圖.....	40
圖 3. 70 軸流&離心風扇 Onshape 圖.....	41
圖 3. 71 軸流式風扇流線分佈.....	41
圖 3. 72 離心式風扇流線分佈.....	42
圖 3. 73 風扇數據分析比較.....	43
圖 3. 74 類型數值比較.....	43
圖 3. 75 軸流式(角度 90 度)分析圖.....	44
圖 3. 76 軸流式(角度 100 度)分析圖.....	44
圖 3. 77 軸流式(角度 110 度)分析圖.....	45
圖 3. 78 軸流式(角度 120 度)分析圖.....	45
圖 3. 79 軸流式(角度 135 度)分析圖.....	46
圖 3. 80 結果參數.....	46
圖 3. 81 角度數值比較.....	47
圖 3. 82 軸流式(二片).....	48

圖 3. 83 軸流式(二片).....	48
圖 3. 84 軸流式(四片).....	49
圖 3. 85 軸流式(五片).....	49
圖 3. 86 軸流式(六片).....	50
圖 3. 87 結果參數.....	50
圖 3. 88 葉片數值比較.....	51
圖 3. 89 軸流式(無圓角).....	52
圖 3. 90 軸流式(有圓角).....	52
圖 3. 91 離心式(無圓角).....	53
圖 3. 92 離心式(有圓角).....	53
圖 3. 93 圓角數值比較.....	54
圖 3. 94 結果參數.....	54
圖 3. 95 導流孔(三、六、十二個).....	56
圖 3. 96 中心孔($R5, 15, 21, 863, 25$).....	56
圖 3. 97 原始設計.....	56
圖 3. 98 下蓋(有、無大洞).....	56
圖 3. 99 $R5$ 孔結果圖	57
圖 3. 100 $R15$ 孔結果圖	57
圖 3. 101 $R21, 863$ 孔結果圖	58
圖 3. 102 $R25$ 孔結果圖	58
圖 3. 103 導流孔三個結果圖.....	59
圖 3. 104 導流孔六個結果圖.....	59
圖 3. 105 導流孔十二個結果圖.....	60
圖 3. 106 原始圖.....	60
圖 3. 107 有大洞結果圖	61
圖 3. 108 無大洞結果圖	61
圖 3. 109 上蓋分析比較圖.....	62
圖 3. 110 下蓋比較圖	62

圖 3. 111 實體組裝圖.....	64
圖 3. 112 搭建外牆.....	65
圖 3. 113 Y 方向光軸架設.....	65
圖 3. 114 X 軸光軸固定座組之組裝.....	66
圖 3. 115 馬達裝設.....	66
圖 3. 116 Y 軸皮帶拉緊	67
圖 3. 117 擊球器固定座組合.....	67
圖 3. 118 擊球器固定座與 X 軸光軸固定座組結合.....	68
圖 3. 119 X 軸皮帶固定	68
 圖 4. 1 不同相馬達圖	70
圖 4. 2 步進馬達步進角說明圖.....	71
圖 4. 3 訊號傳輸圖.....	71
圖 4. 4 A4988.....	72
圖 4. 5 A4988 配線圖	72
圖 4. 6 極限開關	72
圖 4. 7 Joystick 搖桿	73
圖 4. 8 搖桿電阻值移動方向.....	73
圖 4. 9 接線圖	74
圖 4. 10 實體電路接線圖.....	74
圖 4. 11 冰球內部線路.....	75
圖 4. 12 電路圖	75
圖 4. 13 控制流程.....	76
 圖 5. 1 CoppeliaSim Logo	77
圖 5. 2 CoppliaSim 常用工具列一	78
圖 5. 3 CoppliaSim 常用工具列二	78

圖 6. 1 網路攝影機.....	80
圖 6. 2 HSV 表示圖.....	81
圖 6. 3 RGB 表示圖.....	81
圖 6. 4 RGB 轉為 HSV	82
圖 6. 5 過濾後.....	83
圖 6. 6 過濾前.....	83
圖 6. 7 雜訊過濾一.....	84
圖 6. 8 雜訊過濾一.....	84
圖 6. 9 雜訊過濾三.....	85
圖 6. 10 嚴重與攝影機不平行之球檯影像.....	86
圖 6. 11 校正後.....	86
圖 6. 12 過濾藍色膠帶.....	87
圖 6. 13 形心計算後並標記.....	87
圖 7. 1 網際操作介面.....	89

表目錄

表格 1 電池比較.....	15
表格 2 比較參數.....	63
表格 3 代號說明.....	78

第一章 前言

1.1 研究動機

影像辨識與虛實整合系統在未來運用層面越來越廣闊，我們可以將其應用至冰球機上，使其可以藉由影像辨識自行移動或協助操作者判斷移動。

1.2 研究目的與方法

本研究分三大部分，第一運用 CoppeliaSim 進行模擬，第二運用 python 編寫對打與影像辨識程式，第三運用自行維護之 3D 列印機製作冰球桌所需之部分零件。

CoppeliaSim 進行製作實體前模擬，先藉由模擬來發現問題並解決之，同時進行各種設計方案之測試，並找出最適合當前狀況所需之方案再進行製造，同時測試影像辨識與對打程式之功能，可以提早程式編輯之除錯，不必等到實體才能進行控制，也大幅降低由於程式測試損壞零件之狀況。

運用 Python 編寫對打與影像辨識程式，運用影像辨識判斷球體之位置並進行球體移動路徑之預測，並控制電腦移動至相應位置進行反擊，達到人跡對打之功能實現。

藉由維護之 3D 列印機了解列印機之結構與原理，並利用維護時所了解之內容進行冰球機零件之列印參數設定，並製作完成實體冰球機。

1.3 未來展望

未來對打程式可以結合深度學習並利用 CoppeliaSim 進行深度學習之訓練，也可以結合網際之連線進行遠距離之連線對打，或製作行動裝置之操作介面運用網路遠端控制電腦也可達成人機對打之功能，實體方面可以將單手操控改為更多樣的雙手設計，增加可玩性，提升性能方面可以將為位移機構光軸換成傳動更為精密的滑軌。

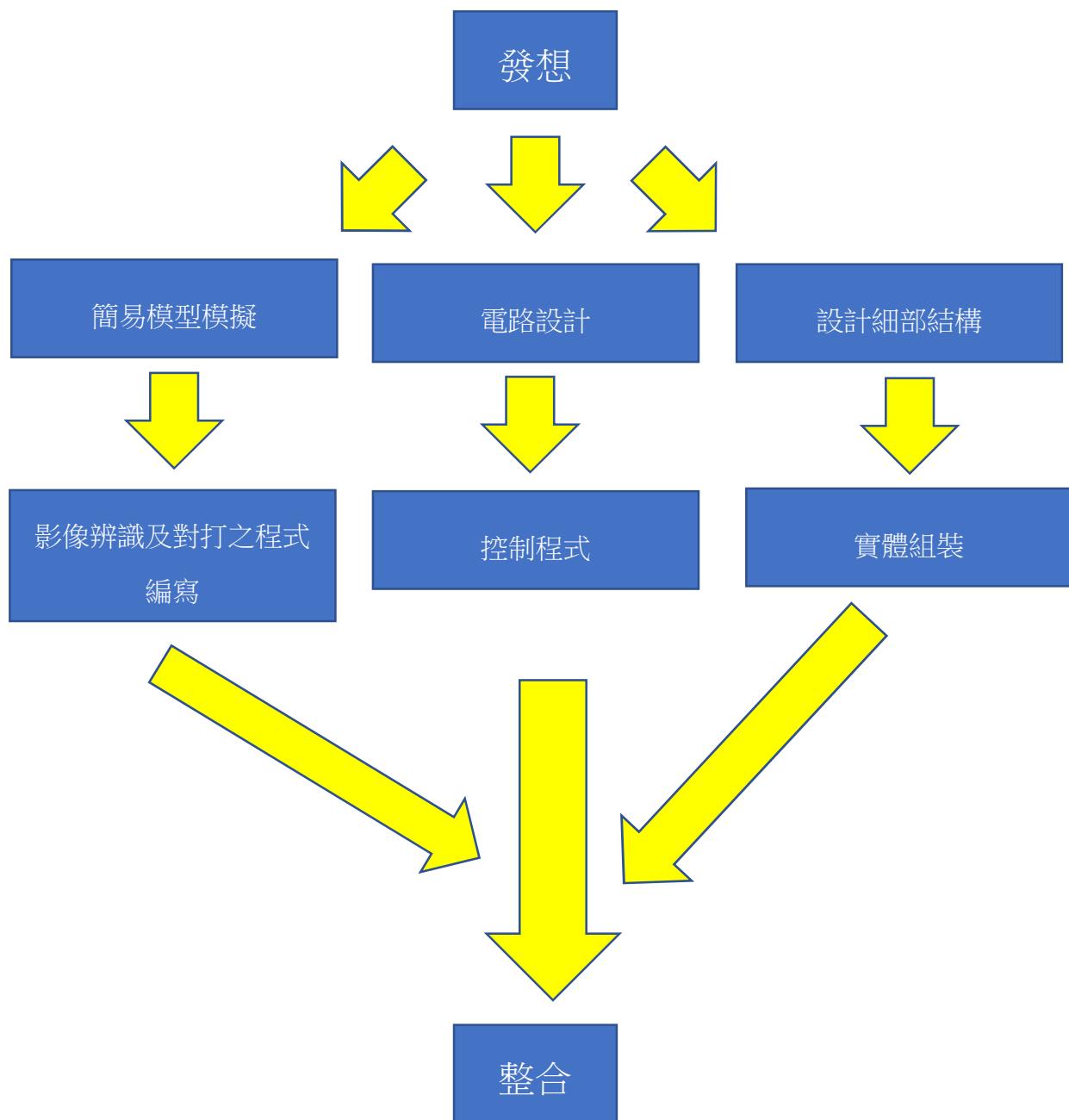
1.4 規則說明

桌上曲棍球遊戲目的單純，以擊球桿將曲棍球射入對方球門即可得分，遊玩人數為 2~4 人，因摩擦力低及球會稍微漂浮於桌上的關係，球最快可以達到每小時 130 公里的速度，通常考驗遊玩者的反應速度以及直覺，遊玩者可以直線或是反射路線的球路進行攻擊，但擊球桿不可跨越中線。

一般遊樂場規則如下：

1. 曲棍球進入對方球門己方得分。
2. 擊球桿不可跨越中線。
3. 不可以擊球桿之外物品干擾曲棍球或對方。
4. 時間結束時最高分者或是率先達到目標分數者獲勝。

第二章 設計流程



2.1 實體初步設計

以遊樂場中的冰球機為原型進行發想，利用攝像頭架設於上方，針對冰球移動的軌跡進行影像辨識，首先就實體構造構思出大概結構，針對外型尋找出合適公件以及型號，比較複雜或是昂貴的部件則採用 3D 列印，列印件則自行設計，並利用線上建模挑出問題來加以修整，最後再在實體組立完後進行評估，選擇弱點進行補強並且設計變更。

2.2 電路設計過程

針對需要的功能進行安裝，為了讓 Y 軸平行而安裝兩顆馬達，但擔心一顆驅動器無法讓兩顆馬達正常運作而多接了另一顆驅動器，之後以防馬達一直撞擊邊界而損壞決定為左右以及後側安裝極限開關，最後還接上了一顆搖桿以方便測試馬達的移動也間接增加可玩性。

2.3 程式設計

根據需要的功能進行編譯，起初只有單純的顏色偵測及馬達簡單的旋轉，經過日積月累地努力慢慢增加到現在包含影像辨識並校正以及多顆馬達同時加減速移動…等功能，讓電腦方能與玩家對打。

第三章 實體組立

本運動方向為 XY 軸之 2 維平面運動，機構為步進馬達帶動皮帶輪及皮帶傳動，傳動之物件固定於光軸滑塊上方連接光軸採單一方向往復運動，結合維護列印機部分，其中連接光軸以及固定皮帶、擊球器夾持等等諸多零件皆為列印件，為了達成在各種大小的桌子都能裝備此裝置的目的，我們將固定光軸的列印件做成通孔，這樣可以使光軸自由的更改長度，牆壁方面在不破壞桌子的前提下，我們採用可以快拆的設計，使用了角鋼板作為牆壁，鋁擠型設為球門旁的牆壁，並以多組 C 型夾具進行固定，拆卸時僅需卸除夾具以及 X 方向的立式軸心固定座即可。

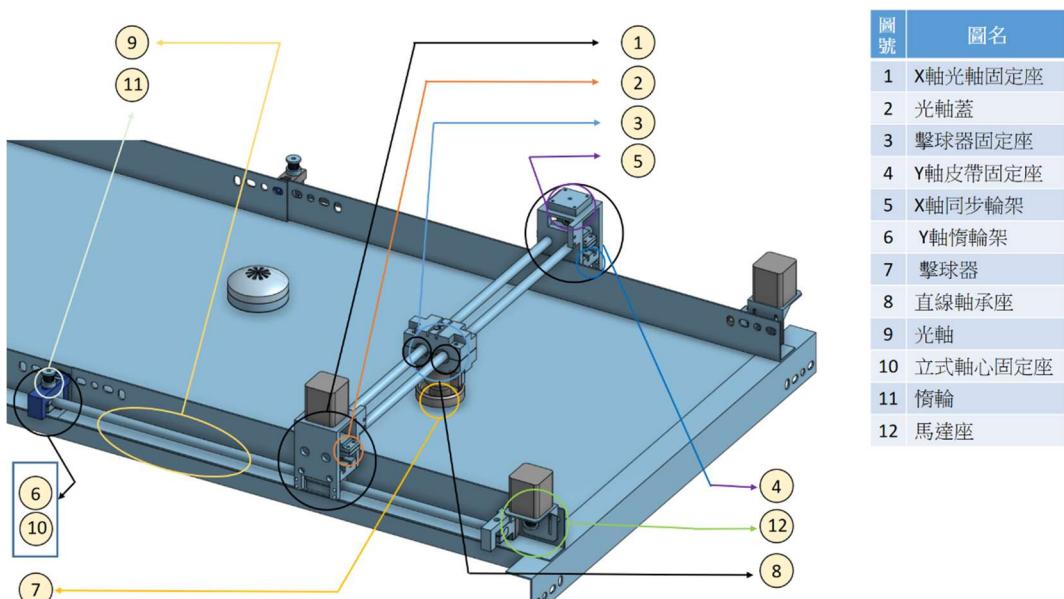


圖 3. 1 Onshape 組合圖

3.1 3D Printer 應用

利用上屆學長姐所做的 3D Printer 專題實務應用之機台，來協助本屆專題實體組立零件之列印。

3.1.1 使用之軟體

使用之軟體部分為開源的 3D 列印機應用程式，此應用程式為 Cura，且如需要將模型檔匯入至此應用程式則必須將用戶所畫的模型檔轉為 .STL 的副檔名，得以匯入至此應用程式中，它將會針對你的模型以及擺放方向來進行切層作業，當中將會設定一些參數，例如：層高、填充率、支撐材、噴頭溫度、列印速度等等，以上這些都是以你的模型大小、精細度以及用途來做調整。

所使用之應用程式圖示：



圖 3. 2 Cura 圖示

3.1.2 各機台穩定性及調整部分

目前本專題所使用到的 3D 列印機之機台為兩台 Delta 3D Printer 以及一台箱型 XYZ 3D Printer，就 Delta 3D Printer 來說它的穩定性比箱型 XYZ 3D Printer 的來的好，原因如下，Delta 的平台是固定的，且它的 XYZ 方向是由垂直滑軌帶動噴頭去移動故機台不會產生水平方向之震動故相對穩定，但也因為它的 XYZ 方向並不是為單一馬達之控制，而是 3 顆共同控制的，所以平台會比箱型 XYZ 3D Printer 難以校準，反之，箱型 XYZ 3D Printer 的平台校準較 Delta 3D Printer 來的容易，本專題所使用到箱型 XYZ 3D Printer 的為 XY 方向固定在一平面，藉由 Z 軸之向下移動來讓模型成形，而校正方

式為 Z 軸方向裝有一個接近開關，裝設接近開關而不是極限開關？利用接近開關配合螺絲的可調性來調整平台與噴頭間的距離，此距離為一張 A 4 紙的厚度恰為剛好。

3.1.3 機台維護歷程及保養與維護手段

本專題因會使用到 3D Printer，故需先了解機台的特性以及在列印過程中所遇到的問題和該如何解決問題。一開始得知要使用學長姐們所組立的大台箱型 XYZ 3D Printer，此機台能列印約長 800 mm、寬 600 mm、高 1000 mm 的模型大小，且因是學長姊們自行組立的，所以有學長姐們可以詢問，但學長姐們給的是大方向的解決方法，小方向的就只能將當時專題發表完所留下的書面資料以及電腦內的資料拿出來自己研究，但也多虧了有學長姐們大方向的指引，才能快速地找出問題的所在。

在維護的過程中，也遇到了許多的問題，這裡先舉出遇到的問題，解決方式在本書面資料最後將會告知如何解決，遇到的問題有，例如：風扇為何有時會轉有時又不會轉？加熱系統為何無法正常加熱？平台的平整度該如何調整？平台與噴頭間的距離如何調整？機台在列印時晃動的問題？列印模型為何會斷層？Z 軸為何左右兩邊移動時不同方向？Y 軸為何其中一邊移動時會延遲？為何畫面顯示無法加熱？在列印時為何模型翹曲？列印時的速度該怎麼設定？等等，但會維護也要懂得保養它，保養機台不外乎是長期不使用的時候該上油的地方要上油，例如：導螺桿、滑軌，簡單幾個步驟就能讓機台延續使用年限。

3.2 列印零組件設計

為測試 3D 列印機精度是否可用於機件間之結合，以及其表面是否平整，因此在經過調整以後，機構之組立採用的部分零件即是列印件。

建立模型繪製所使用的軟體為 Onshape，此軟體的優點在此列出其三，一在於其為網頁建模平台，門檻較低僅需連上網即可開始於網站繪製，亦能免費使用且不須下載任何物件，僅需在繪製完成後將檔案下載下來；其二為支援多人同時設計及變更，即使產生衝突也能從歷程中找出變更者以及所變更項目，再來即能從條目中呼叫出原始零件進行修改，相較於其他建模軟體更具有優勢；其三為建立多項模型的方便處，與 Solidworks 相比較，如同時繪製零件下，Onshape 僅需在下方功能列點擊即可切換，且一系列動作完成後會自動儲存，假設說現在正在建立草圖，在繪製完的同時即會保存下來，但如果是在建立中網路中斷、電腦當機等等導致無法繼續使用的狀況下即無法留存，歷程記錄中亦不會留有。



圖 3. 3 Onshape logo

3.2.1 列印零件之外型及設計用意

(各零件相關位置可參照圖 3.1)

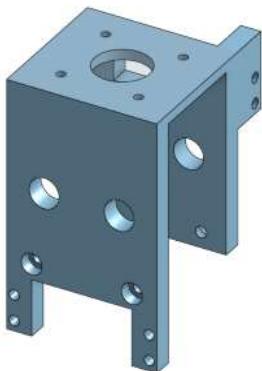


圖 3. 4 X 軸光軸固定座

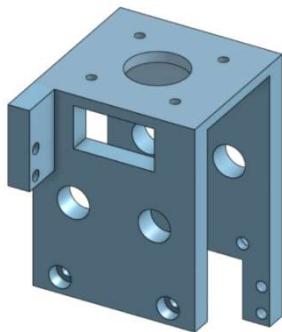


圖 3. 5 X 軸光軸固定座-1

X 軸光軸固定座(圖 3.4)：此零件甚為重要，其為連接 X 軸光軸以及 Y 軸皮帶固定座之重要樞紐，上方孔洞則是固定倒立放置之馬達用，須注意的是如果此組件孔洞稍有歪斜造成的震動就會影響傳動，左下以及右上有兩孔之凸起部分為固定極限開關用，從圖 3.5 方向看，有一長方孔為供皮帶通過之空間。

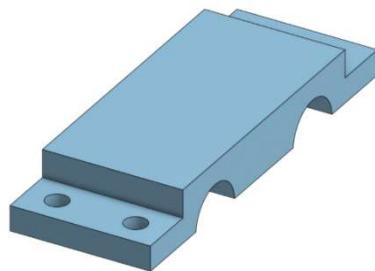


圖 3. 6 光軸蓋

光軸蓋(圖 3.6)：X 軸向兩端之光軸固定，位於 X 軸光軸固定座內部，因 3D 列印機所列印出來之螺紋較難控制尺寸，故採以螺絲自攻上下兩個為一組達成鎖固。

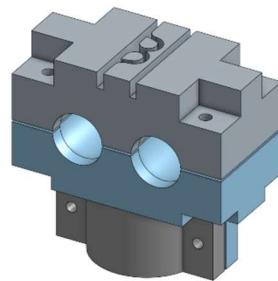


圖 3. 7 擊球器固定座

擊球器固定座(圖 3.7)：由三個零件組成，架設於 X 軸方向兩根光軸上，上方零件用於皮帶固定，下方用於擊球器之固定，中間孔洞放入光軸套筒以便於光軸上滑動。

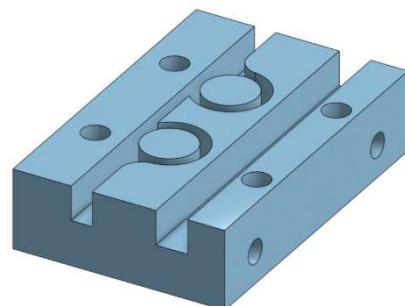


圖 3. 8 Y 軸皮帶固定座

Y 軸皮帶固定座(圖 3.8)：連接 Y 軸方向皮帶用，兩個溝槽處即為皮帶通過之路徑，中間圓柱供皮帶圍繞，後用束帶將之固定，此物件將會與 X 軸光軸固定座以及直線軸承座相連接。

3.2.2 輔助之列印件

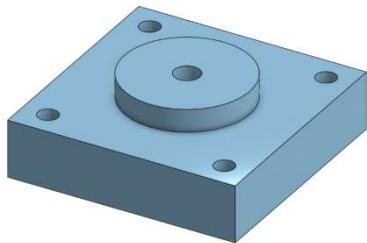


圖 3. 9 X 軸同步輪架

X 軸同步輪架(圖 3.9)：X 軸方向僅有一顆馬達傳動，此組件與馬達同樣為倒立放置，裝在另一端無馬達處的 X 軸光軸固定座上方，鎖上同步輪進行傳動。

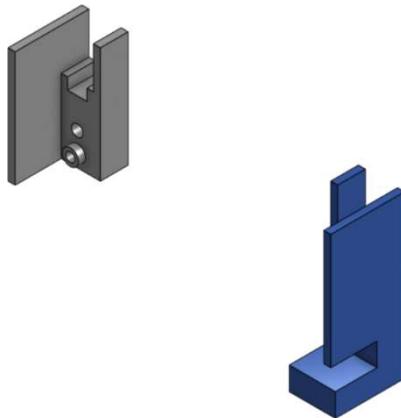


圖 3. 10 Y 軸惰輪架 正向(左)、負向(右)

Y 軸惰輪架(圖 3.10)：裝於 Y 軸直線軸承座上方用於鎖固同步輪用，右圖多出一塊突起用途為供極限開關碰撞用。

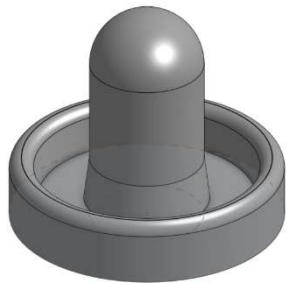


圖 3. 11 擊球器

擊球器(圖 3.11)：為使用者所使用反擊冰球之道具，亦為夾持於擊球器固定座之用。

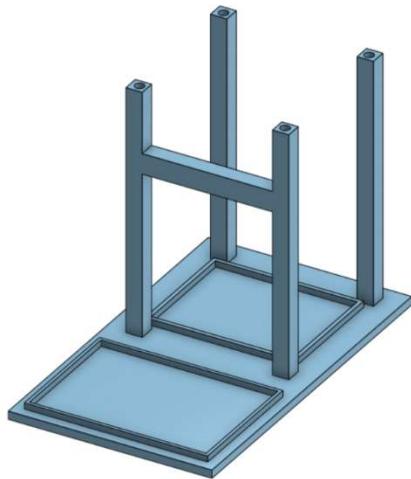


圖 3. 12 電路零件固定板

電路零件固定板(圖 3.12)：四根棍子內的是固定 Arduino 及其控制板 CNC Shield V3，上方裝設風扇散熱，而橫桿的用意為供電線攀附，不讓其直接碰觸到電路零件，另一方格則是麵包板固定用。

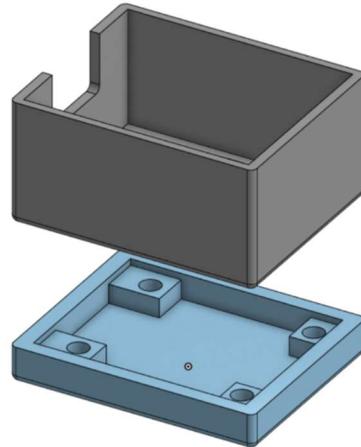


圖 3. 13 搖桿盒

搖桿盒(圖 3.13)：盒子內部裝有手動控制裝置移動的控制器。

3.3 冰球設計

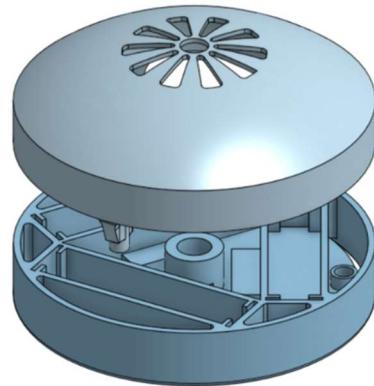


圖 3. 14 冰球

冰球桌所使用的原理為由桌底開無數小洞，且在其底下裝設風扇由風扇產生均勻浮力使球餅可以微浮於球桌上，但是自製的冰球桌問題就在於此，在現有桌子加上此裝置且不破壞桌子的話僅能從冰球上下手，於是決定在冰球內加入風扇，冰球內配重相當重要，因此內部的電池、馬達、風扇等等配件都要盡量讓重量保持均重，才能使冰球啟動時得以在原地浮動。

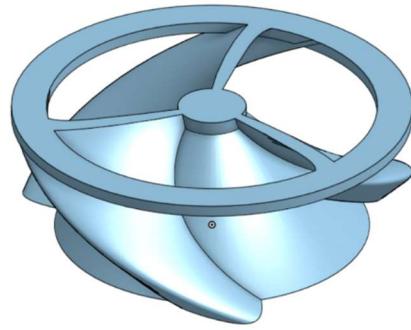


圖 3. 15 風扇最終版

3.3.1 風扇歷程版本



圖 3. 16 風扇版本舊到新版(由左到右)

風扇外殼最初設計即為三個目的，重量平均、高度降低以及輕量化，為了達到減輕重量的目的內部的高度以及牆壁厚度都已大幅度縮減，所採用的馬達也是在馬達中相對較小的 716 小馬達，雖然其容易過熱是個缺點，好在冰球桌遊玩所持續的時間並不算太長，才得以使用其，而電池的選用則是為 A4 電池，若是考慮體積方面的話鈕扣電磁是個不錯的選項，但其價格昂貴，容易過熱等等問題使 A4 成為更為優良的選擇，A4 的三顆電磁排列成三角形，這樣能使冰球更好的達成均重的效果。

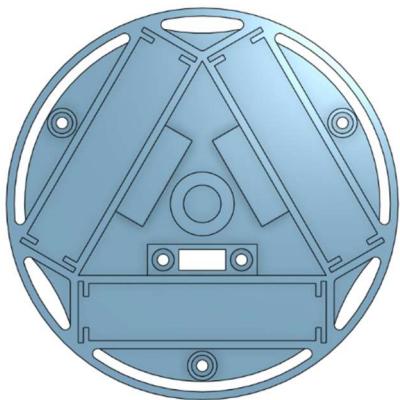


圖 3. 17 冰球下蓋上視圖

電池	鈕扣電池	三號電池(AA)	四號電池(AAA)
體積	最小	最大	次之
電量(mah)	620	2850	1250
價格	相較貴	相較便宜	相較便宜

表格 1 電池比較

從最左邊參考的風扇初版開始，大致形狀便以固定，剩下的部分則是為了排除缺點而進行的修改，像是震動的問題針對葉片大小以及供馬達固定的孔洞進行修正；而如圖 3.15 所示左邊數來第三個的風扇，上方多加了一圓環亦是為了減少震動，但還有兩個作用，一是為了方便除料，用 3D 列印機列印的風扇因為底面有支撑材，如果不加裝圓環會導致拆除時破壞到風扇本體，二是為了減少紊流，圓環的產生有效改變風的流向在下一個小節將會以應力分析的方式詳細介紹。

3.3.2 冰球應力分析

欲了解當冰球風扇運轉時其風力流動之狀況，與在流經外殼排風及進風孔處之流向，同時設計多種不同外形進行分析找出最佳版本，運用 3D 繪圖軟體 Solidworks 的 Flow Simulation 功能以及 COMSOL 模擬分析計算流體力學。

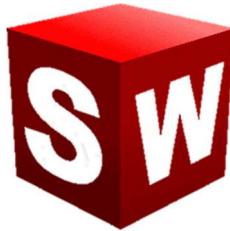


圖 3. 18 Solidworks logo

Solidworks 操作步驟

使用軟體版本為 SOLIDWORKS 2017，點選新增組合件插入事先畫好之零件。

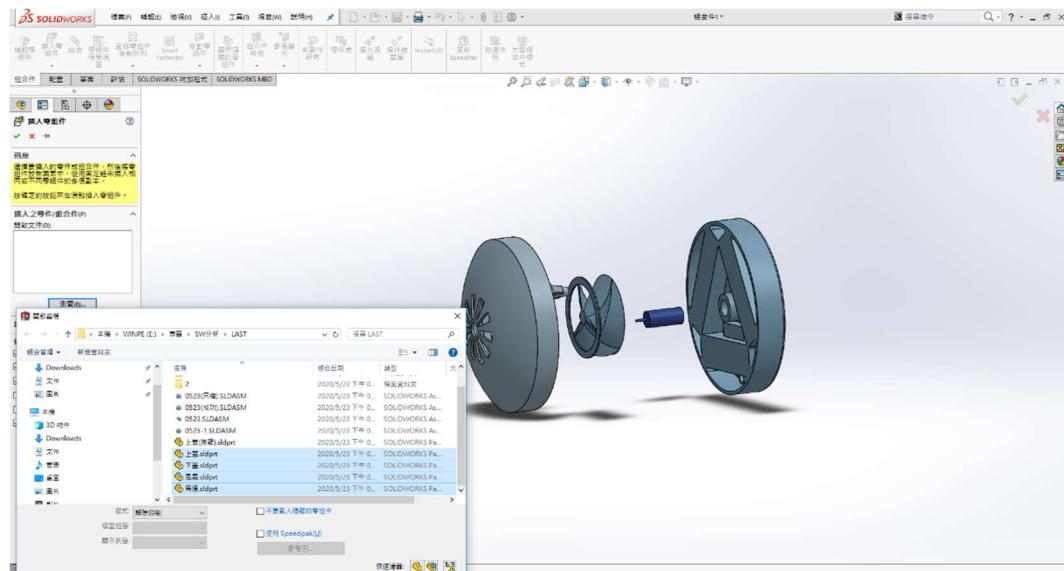


圖 3. 19 Solidworks 零件匯入

結合選擇下蓋的前基準面以及頁面上的特徵上基準面，設定為重合結合，可以使垂直表示的下蓋變成水平放置。

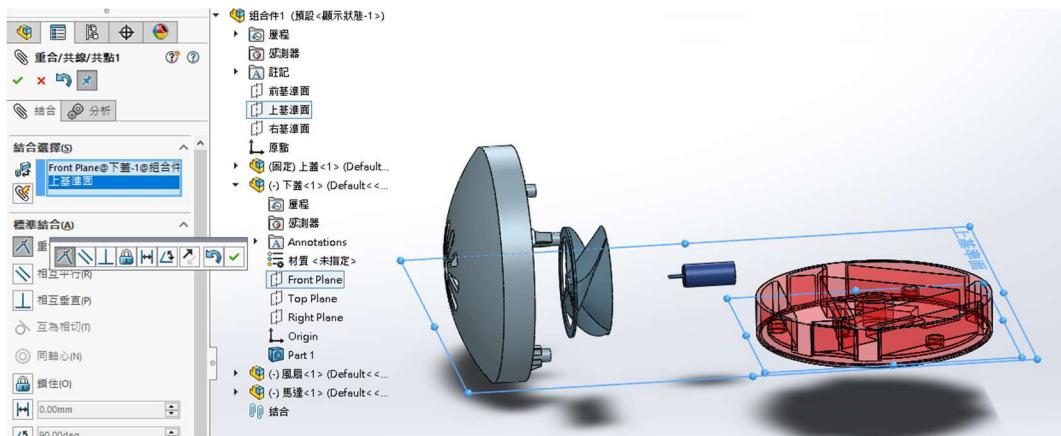


圖 3. 20 方向調整

須注意如果要結合的零件是固定的要在右鍵點選浮動才可以限制。

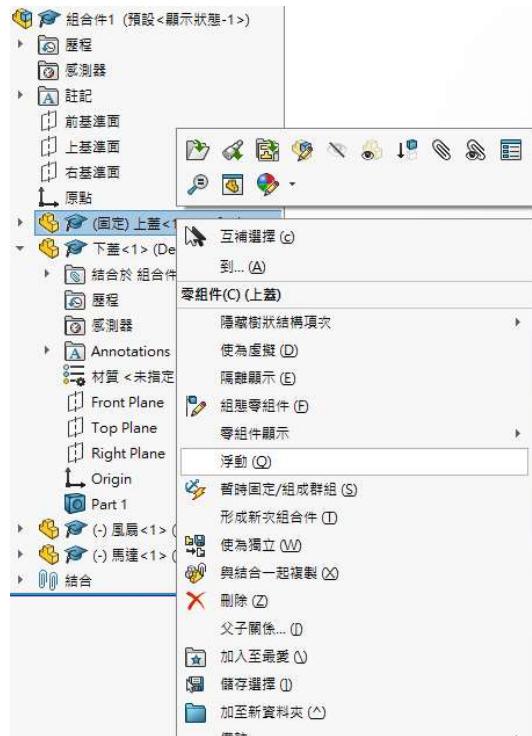


圖 3. 21 注意事項(一)

每件結合選擇為重合以及同軸心，可以勾選提示欄中的鎖住旋轉來固定。

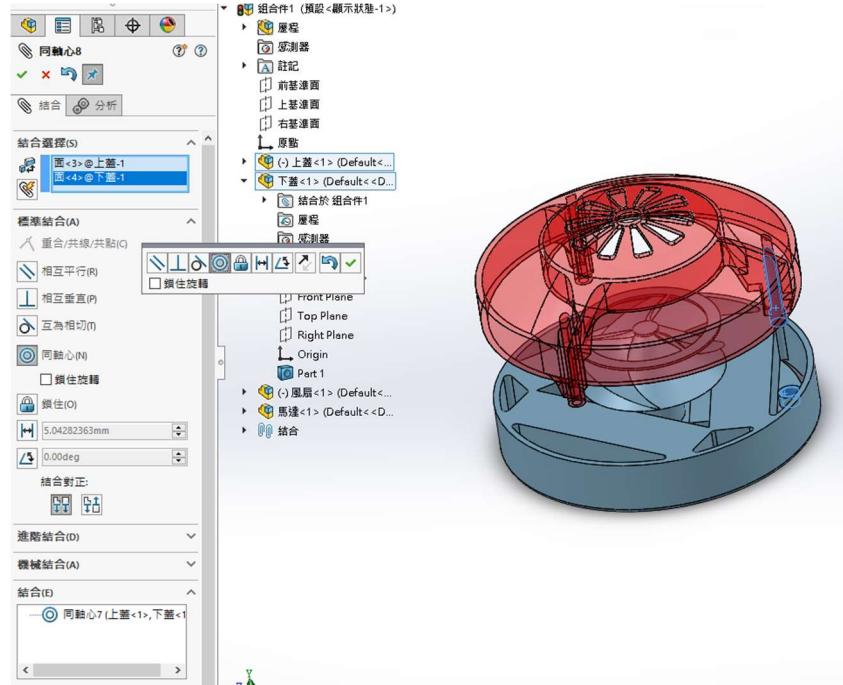


圖 3. 22 零件結合

新增一零件其直徑高度與風扇相同的圓柱，作為轉軸用，並設成隱藏。

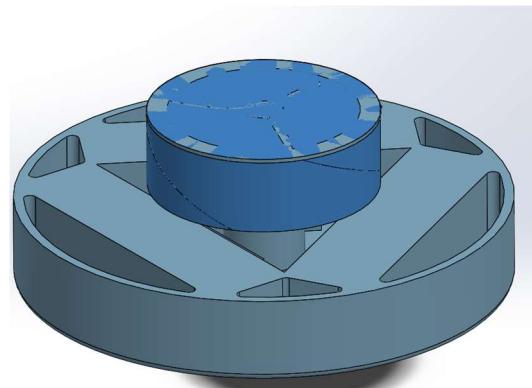


圖 3. 23 新增轉軸

上方欄位中選項處選擇附加程式，點選 SOLIDWORKS Flow Simulation 2017 以及後方啟動框格。

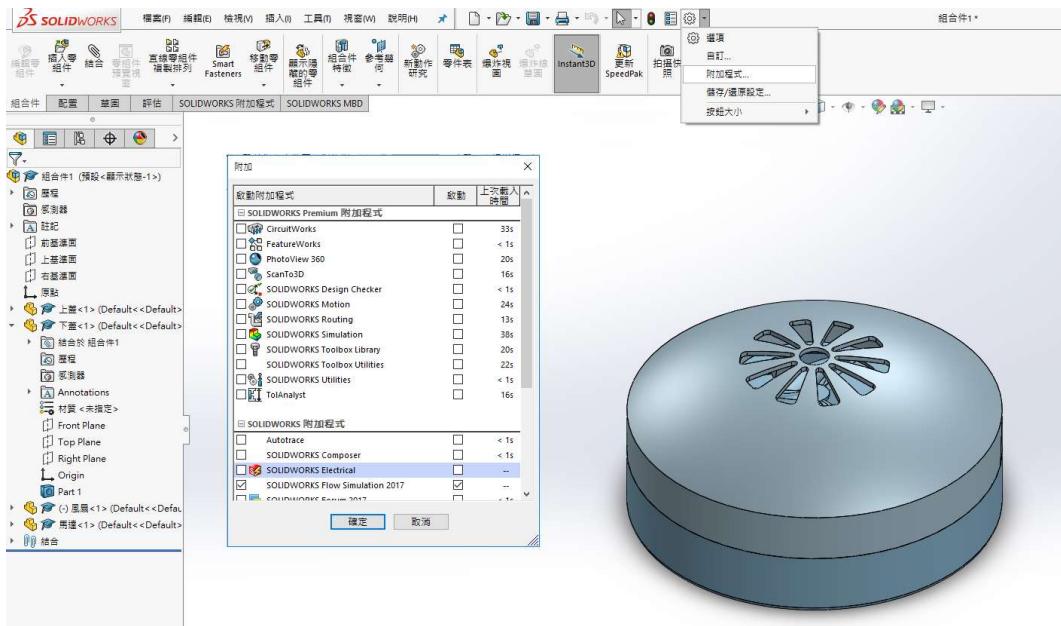


圖 3. 24 開啟 Flow Simulation

點選畫面左上方 Wizard 啟用編輯

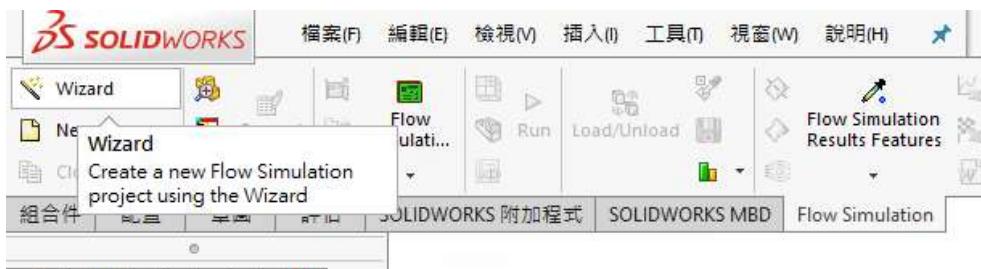


圖 3. 25 啟用參數設定

在 Project name 中輸入專案名。

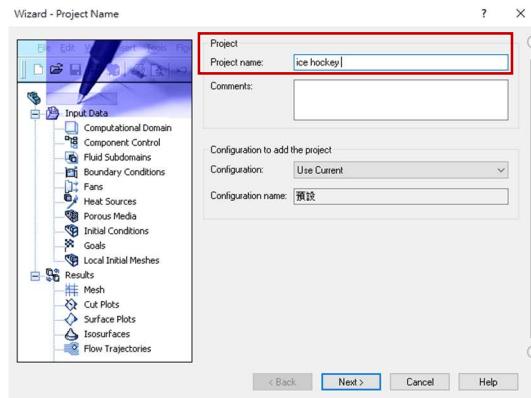


圖 3. 26 專案命名

單位頁面中為了冰球尺寸方便將長度改為 mm，角速度設為 RPM。

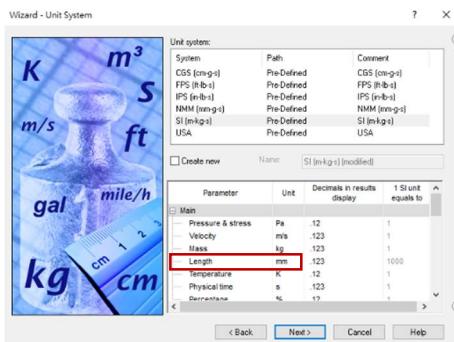


圖 3. 27 單位調整

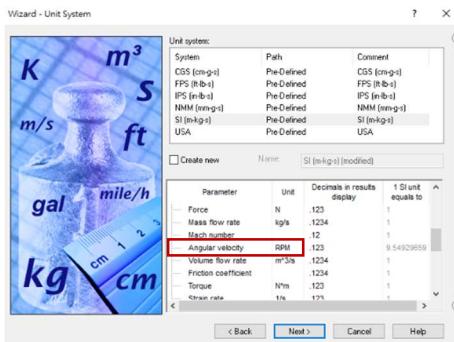


圖 3. 28 單位調整-2

在上方框格中可以選擇分析類型，選擇外部的孔洞分析，如圖所示，第二框格選擇與冰球高度方向平行的 Y 軸，再下方新增轉軸，最下方框格選擇參考軸。

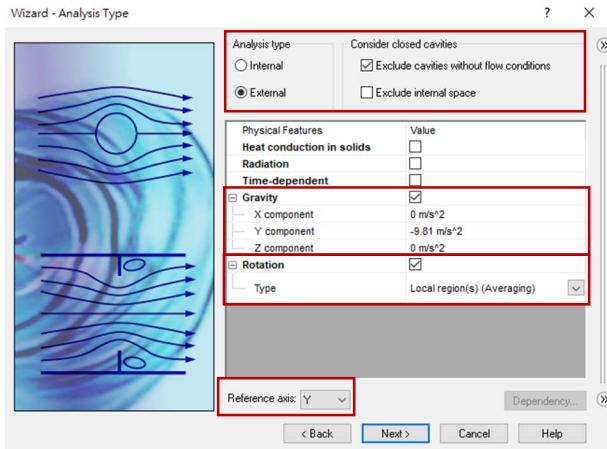


圖 3. 29 設定說明

Add 新增氣體 Air。

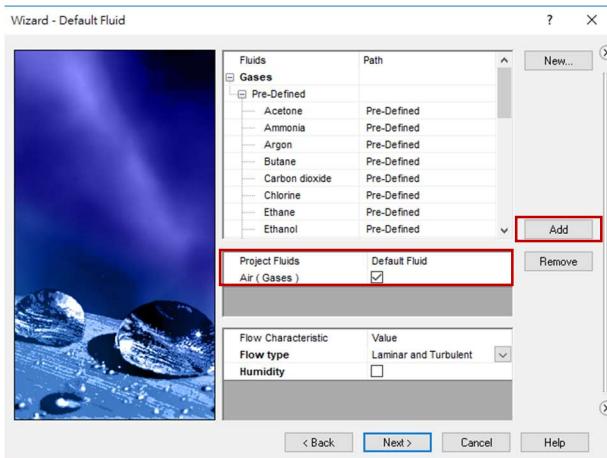


圖 3. 30 氣體給定

後續設定不進行更改最後完成會顯示下方方塊，方格內為流體流動範圍，透過空格內選項設定方格大小。

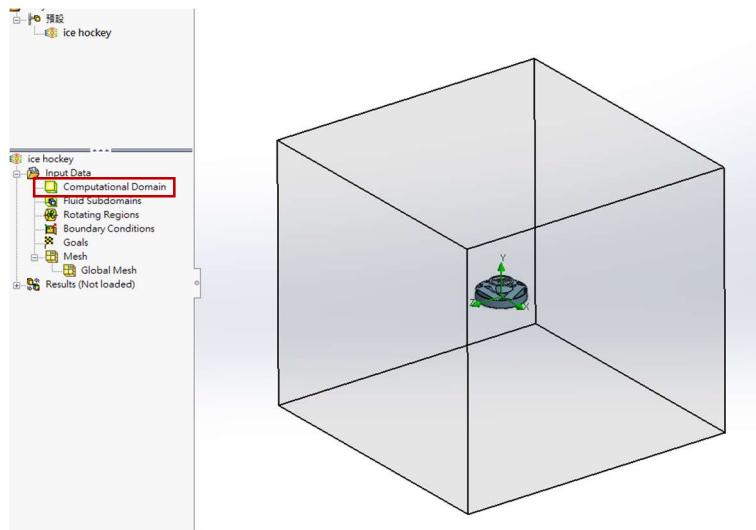


圖 3. 31 流動範圍設定

將大小設定為以下數值

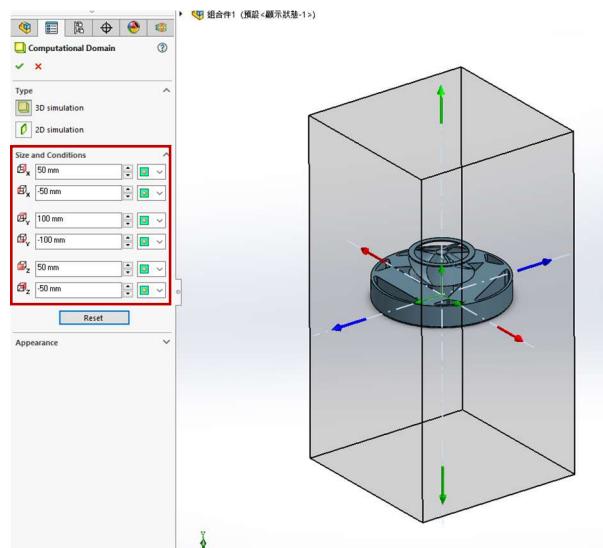


圖 3. 32 流動範圍設定-2

點選 Rotating Region 將隱藏之圓柱設定成旋轉中心，轉速
2000RPM。

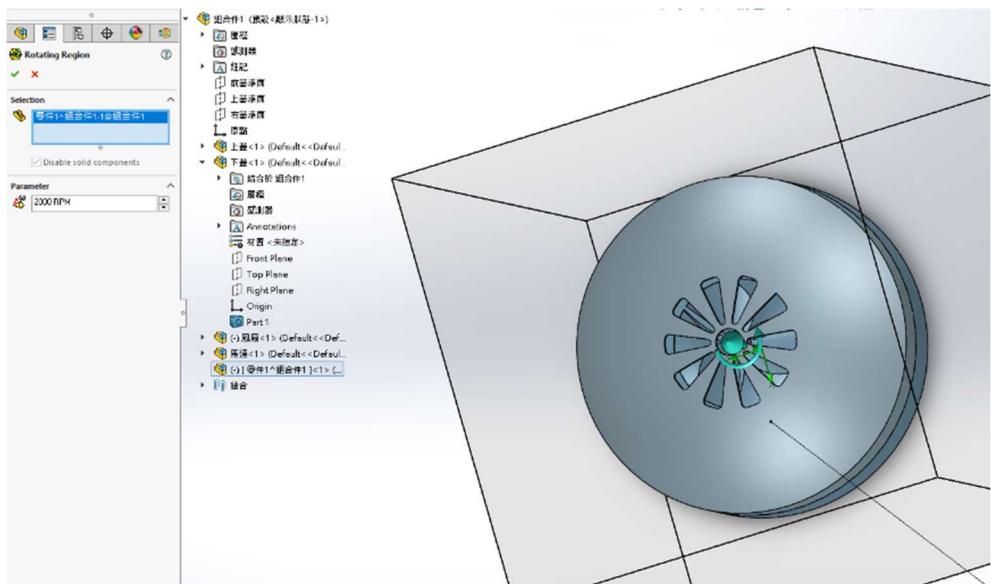


圖 3. 33 轉速設定

點選 boundary condition 將冰球內壁設定為邊界，並勾選 Stator。

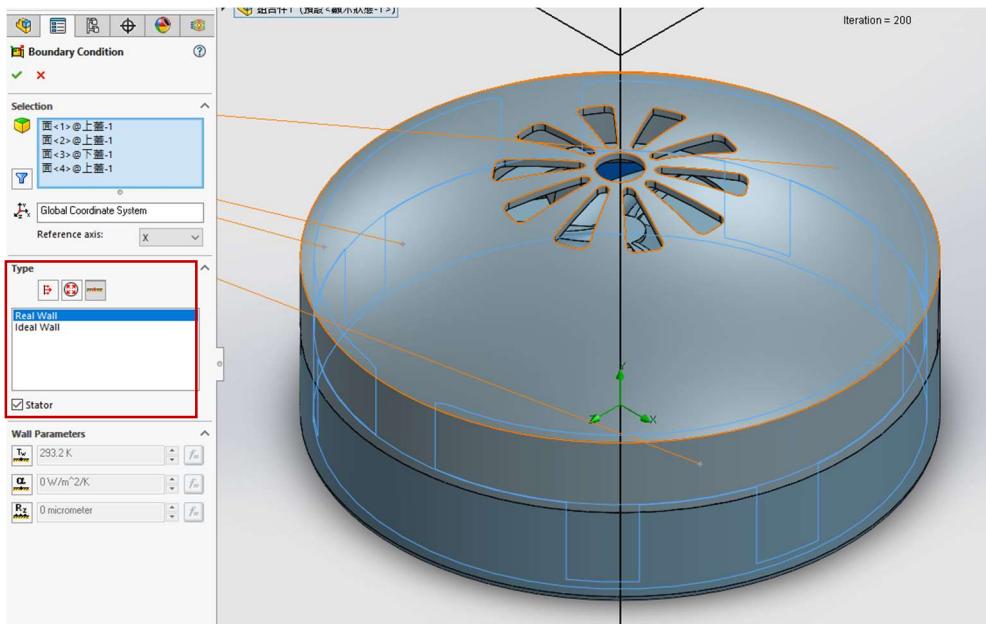


圖 3. 34 邊界選取

設定好選取上方功能欄的 Run 來執行，後再點選 Run 執行。



圖 3. 35 執行畫面

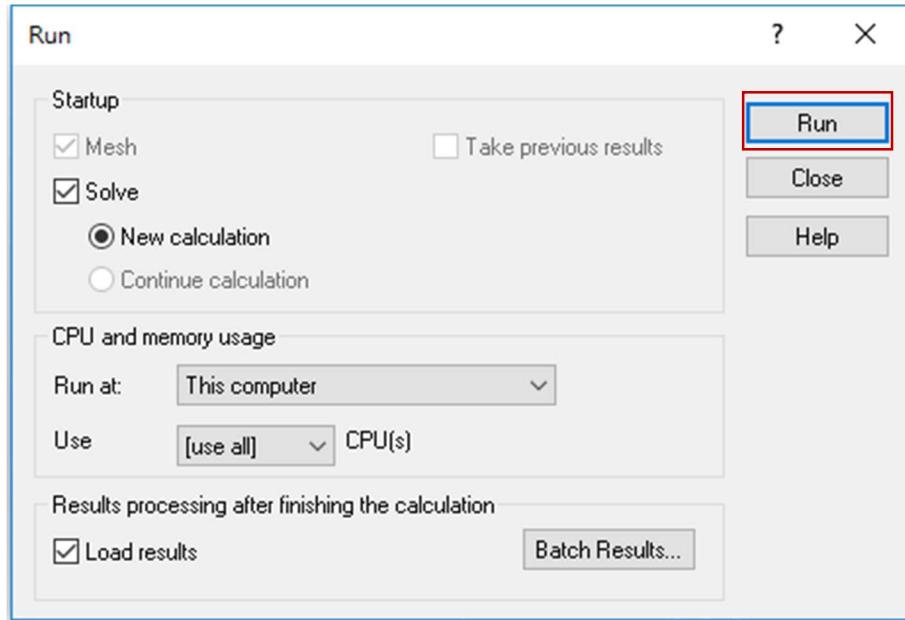


圖 3. 36 執行畫面-2

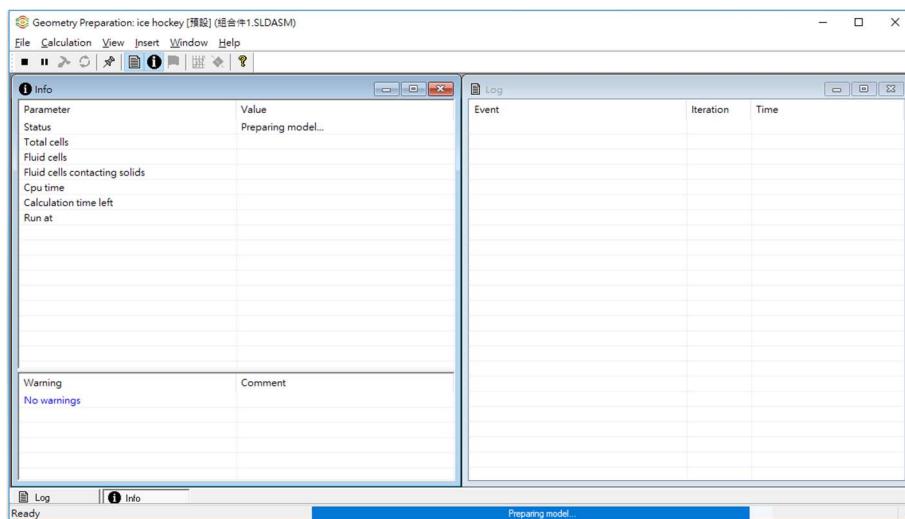


圖 3. 37 執行畫面-3

完成後下方顯示 Solver is finished，即可開始設定分析參數。

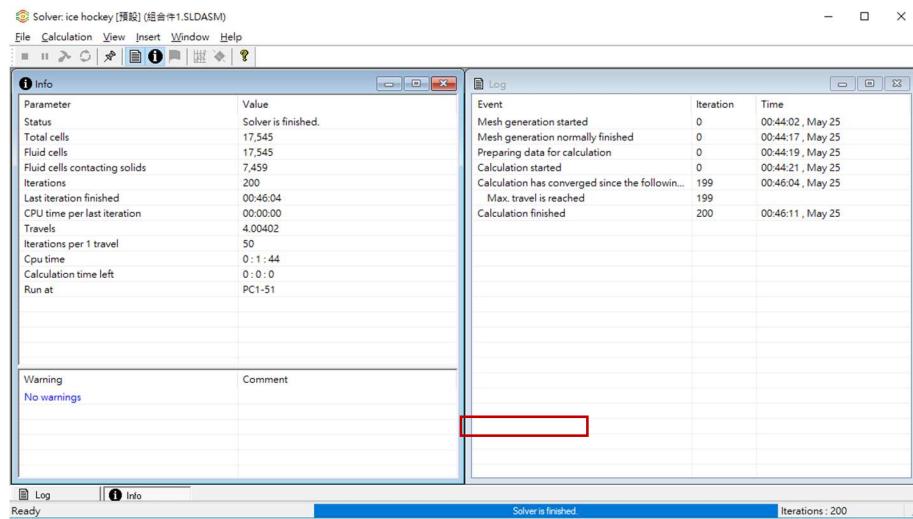


圖 3. 39 執行完成畫面

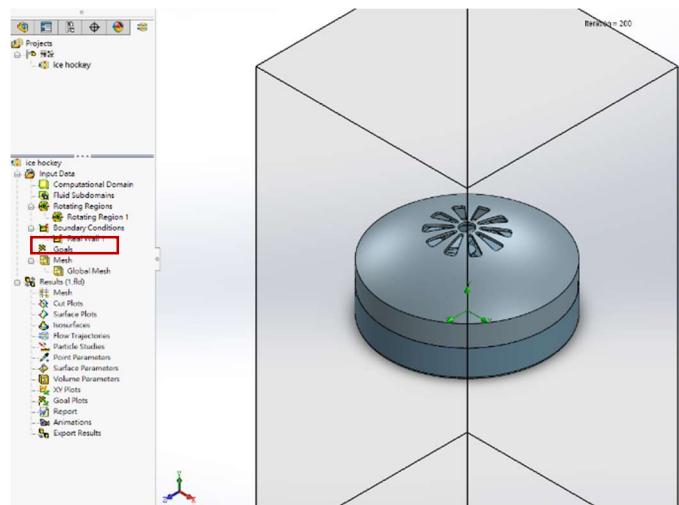


圖 3. 38 分析畫面

點選 Flow Trajectories 設定其空氣流入位置為上基準面向上 45mm，箭頭數 50，下方 Appearance 可以選擇流線外型、尺寸以及顯示數值。

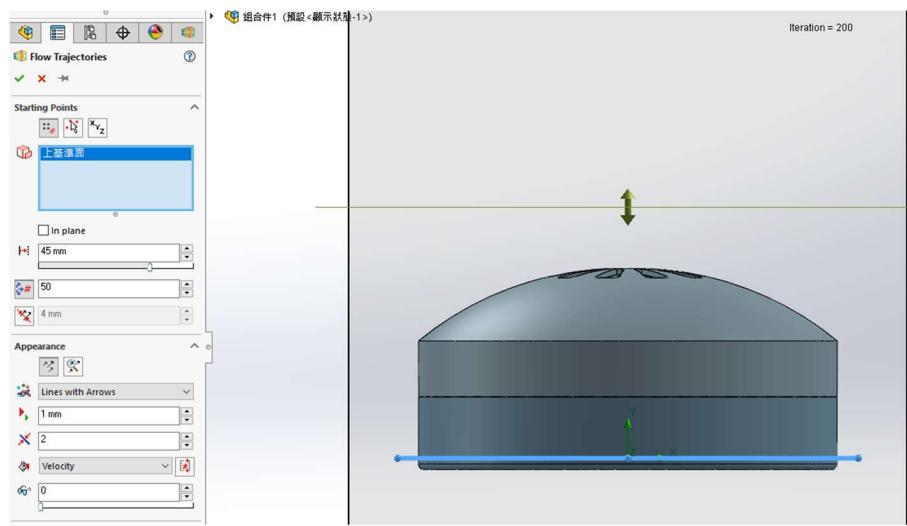


圖 3. 40 設定流線範圍

完成後如圖 3.41 所示，可以看到流線分佈以及各位置流速大小。

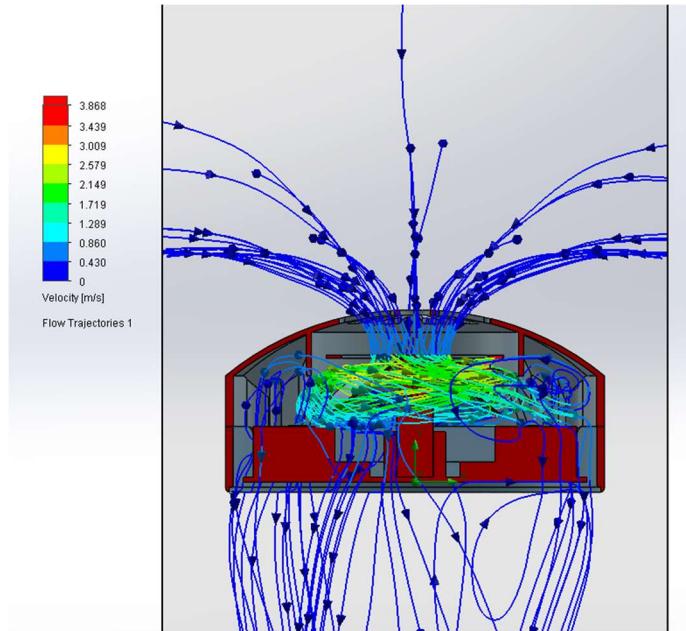


圖 3. 41 分析完成後

Comsol 扇葉分析步驟



圖 3. 42 COMSOL 步驟(1)

打開 comsol 後點選模型精靈。



圖 3. 43 COMSOL 步驟(2)

選擇三維模型。

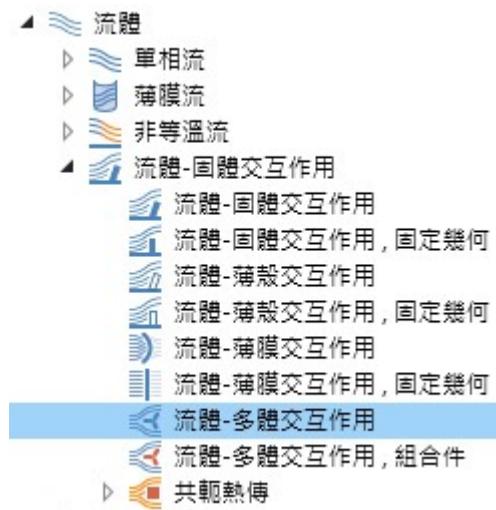


圖 3. 44 COMSOL 步驟(3)

由於是扇葉固體面與空氣流體的分析，選擇流體的多體交互作用。

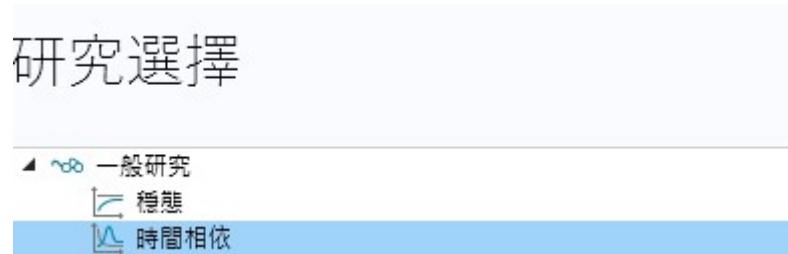


圖 3. 45 COMSOL 步驟(4)

選擇時間相依以便控制輸出



圖 3. 46 COMSOL 步驟(5)

對幾何點滑鼠右鍵選擇載入。



圖 3. 47 COMSOL 步驟(6)

來源選擇任何可載入檔案，這邊建議使用.x_t的圖檔，相較於其他種類較不會破面。

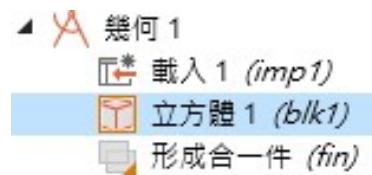


圖 3. 48 COMSOL 步驟(7)

之後對幾何點滑鼠右鍵選擇立方體，這裡為的流體空間。



圖 3. 49 COMSOL 步驟(8)

這邊設定為 50mm 的立方體而生成位置為正中央。



圖 3. 50 COMSOL 步驟(9)

之後點選建立全部，生成幾何圖形。

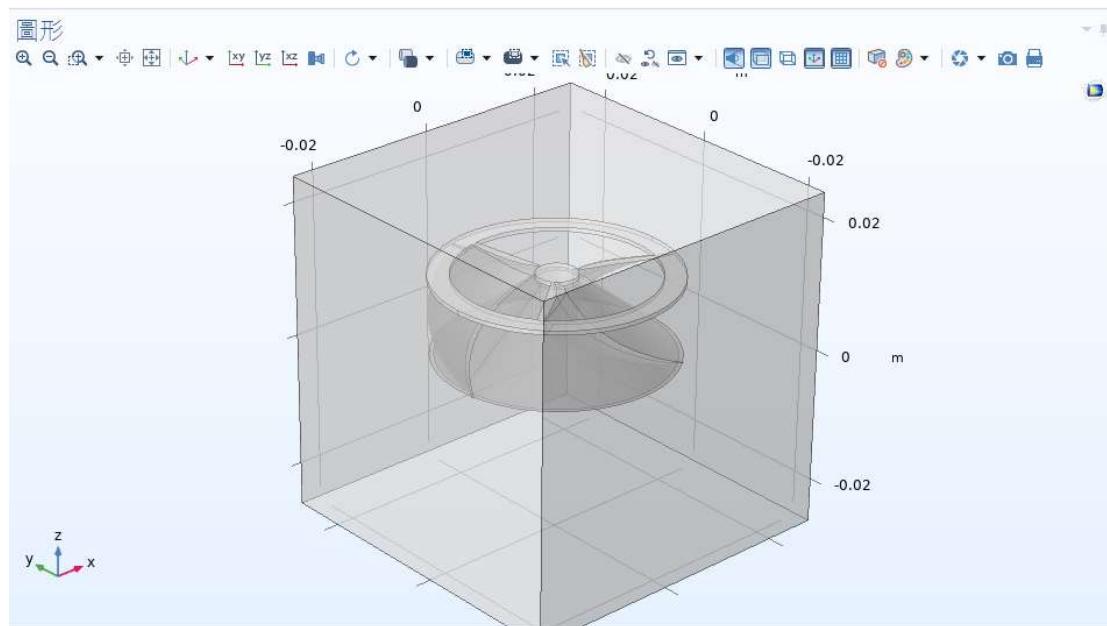


圖 3. 51 COMSOL 步驟(10)

此為生成後的圖檔，軸流式 – 三葉 – 110 度。

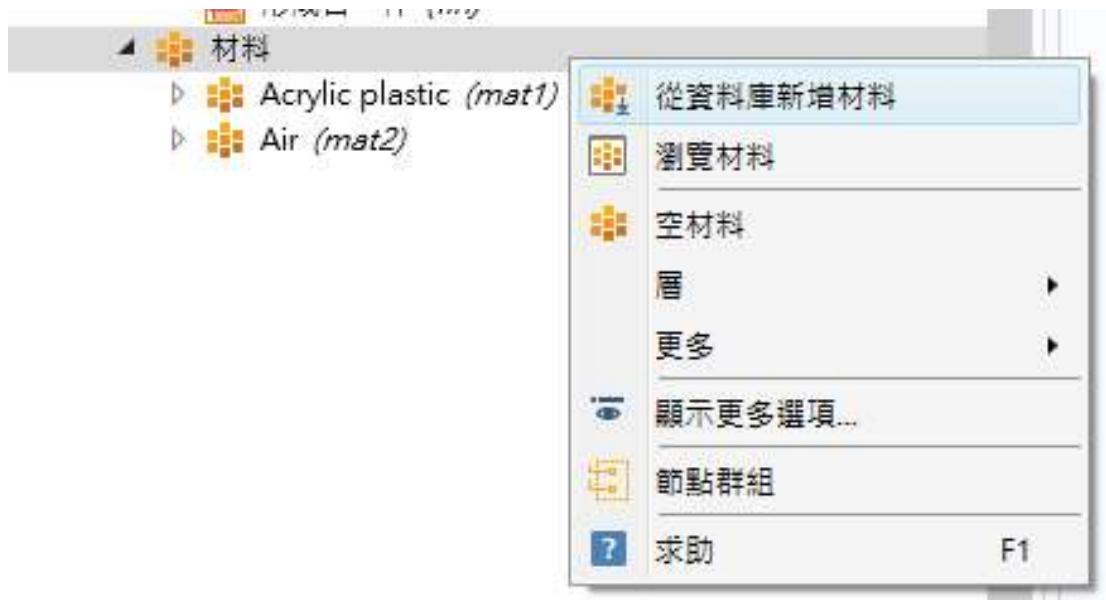


圖 3. 52 COMSOL 步驟(11)

之後對材料點滑鼠右鍵選擇新增材料，這邊選用 Acrylic(壓克力)及 Air(空氣)，這邊注意好材料對應到的幾何圖形並更改選擇區的選項。



圖 3. 53 COMSOL 步驟(12)

點擊層流檢查好對應到的幾何(這邊 1 為立方體)。

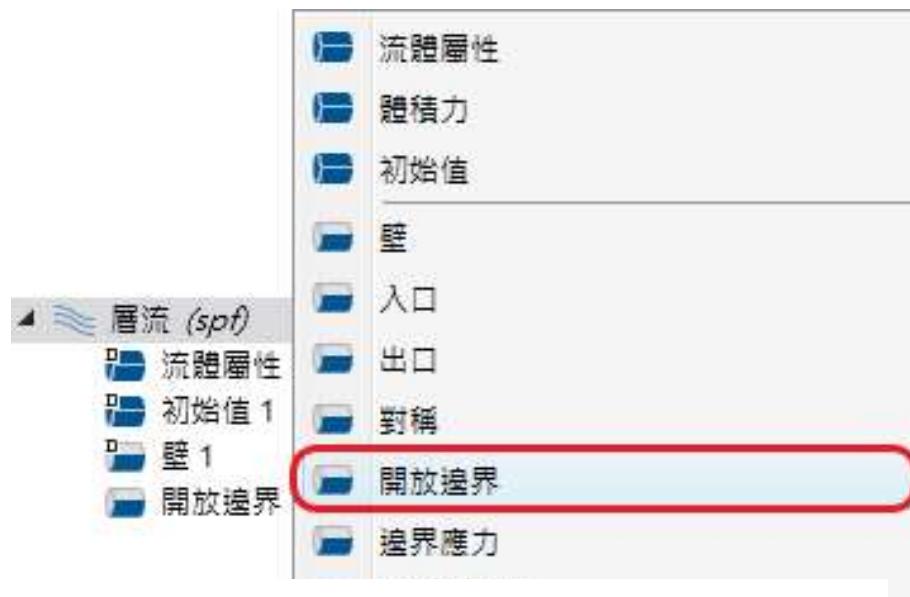


圖 3. 54 COMSOL 步驟(13)

右鍵點擊選擇開放邊界並選擇邊界為立方體的六面。

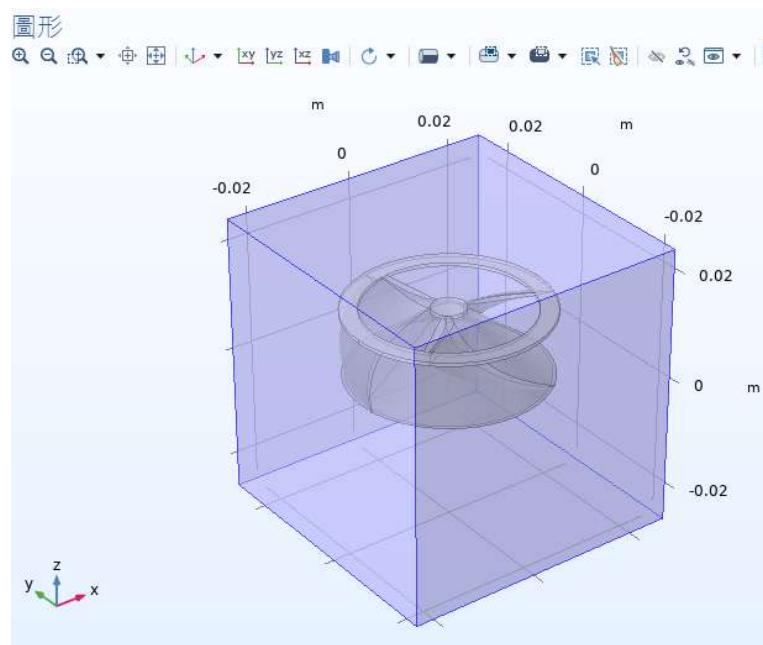


圖 3. 55 COMSOL 步驟(14)

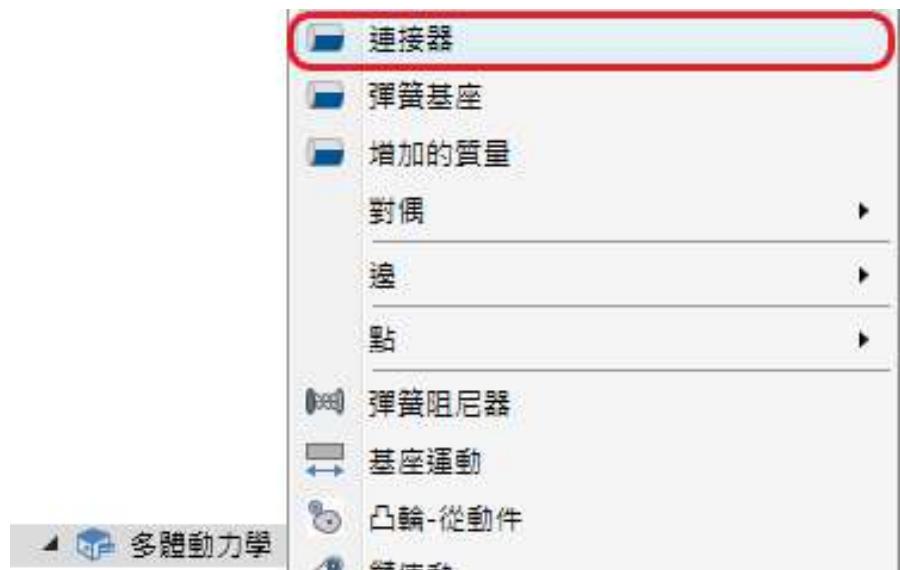


圖 3. 56 COMSOL 步驟(15)

對多體動力學點右鍵選擇連結器。

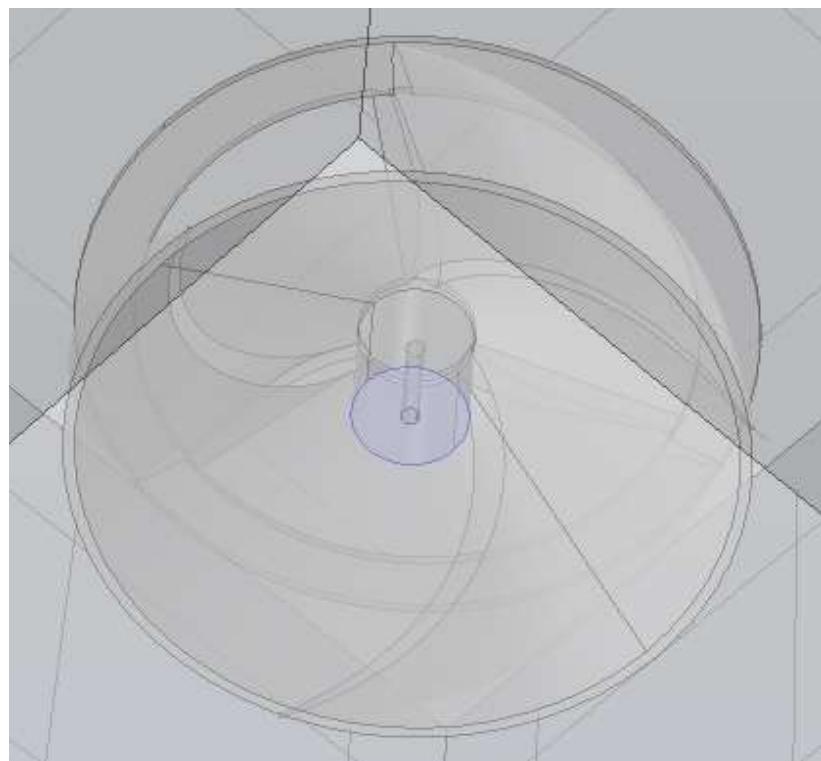


圖 3. 57 COMSOL 步驟(16)

連結器點選風扇底部。

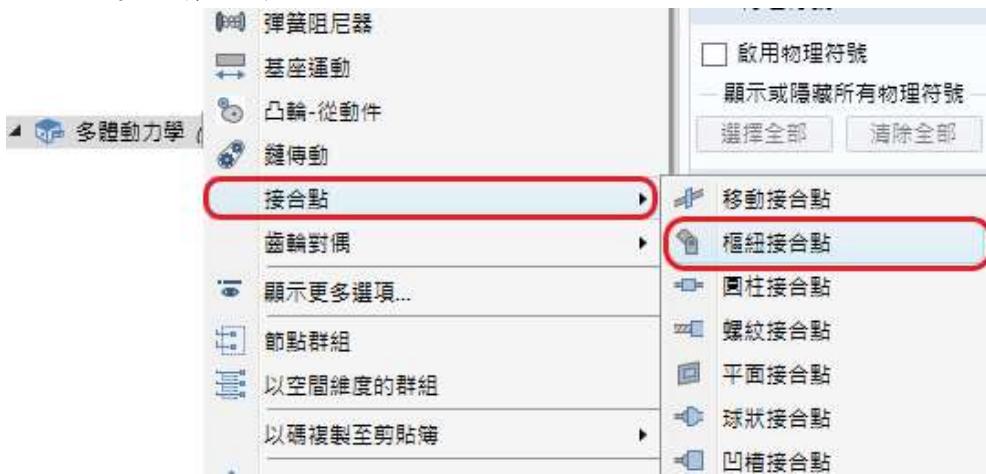


圖 3. 58 COMSOL 步驟(17)

之後選擇樞紐接合點。



圖 3. 59 COMSOL 步驟(18)

確定來源與目的地，就是風扇與馬達連接的那個面也就是剛剛選擇的連接器，並確認好接合點的軸。

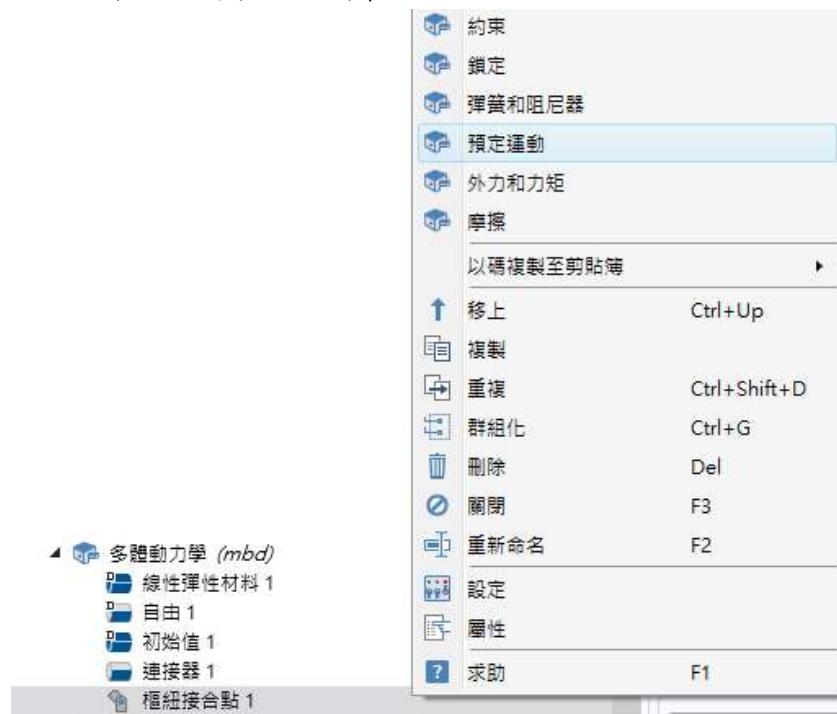


圖 3. 60 COMSOL 步驟(19)

對連接點按滑鼠右鍵選擇預定運動。



圖 3. 61 COMSOL 步驟(20)

設定馬達的角速度，這邊注意單位及轉向，負號為順時針轉動，反之逆時針轉動。

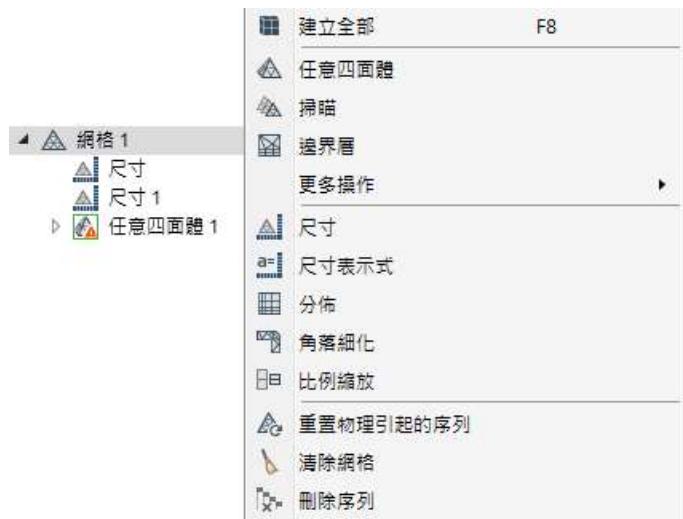


圖 3. 62 COMSOL 步驟(21)

點選網格，設定適合圖檔的網格，若碰到某些面較容易出問題，推薦另外為那幾個面建立”尺寸”挑選適合的粗細，且注意設定的元素尺寸的校正。



圖 3. 63 COMSOL 步驟(22)

設定好要計算的時間參數及細分數量，並點選計算。

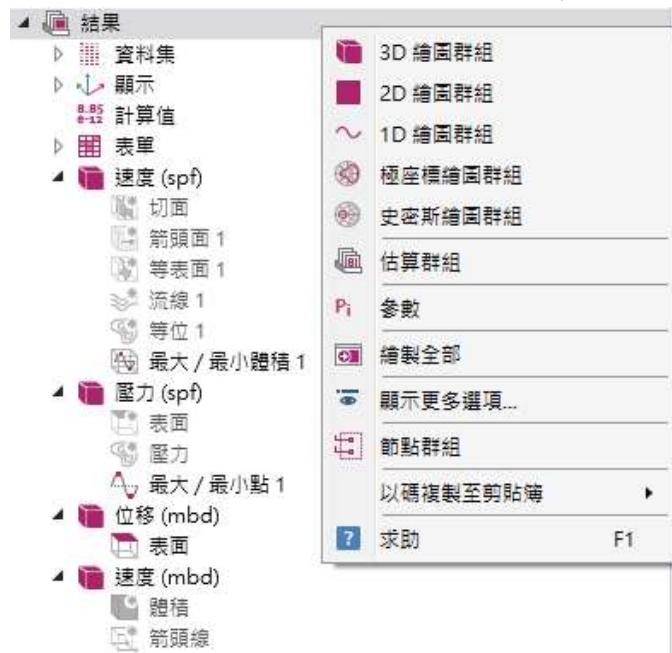


圖 3. 64 COMSOL 步驟(23)

計算好後結果處選擇想看的繪圖群組，這邊第一個速度指空氣的速度，壓力指空氣對模型造成的壓力，位移就幾何的移動，第二個速度指模型移動時的速度。

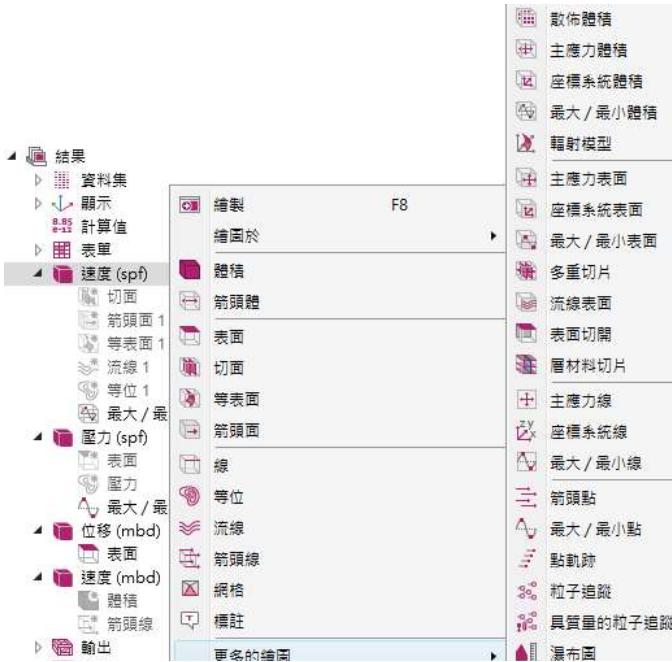


圖 3. 65 COMSOL 步驟(24)

點右鍵可選擇各式繪圖類型，推薦箭頭線、流線、等位及最大/最小。

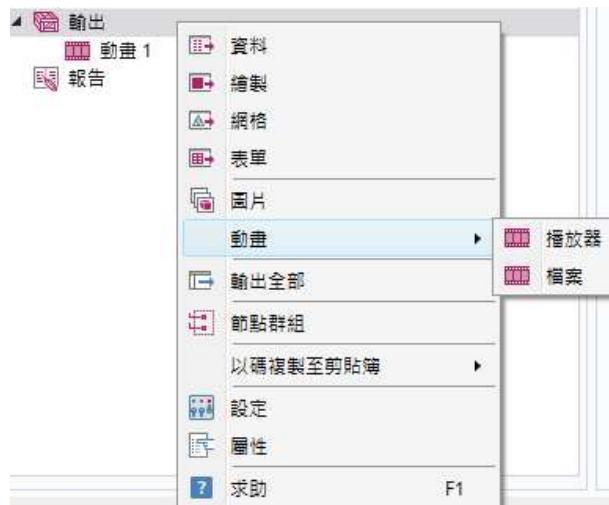


圖 3. 66 COMSOL 步驟(25)

對輸出點右鍵選擇想要的資料。

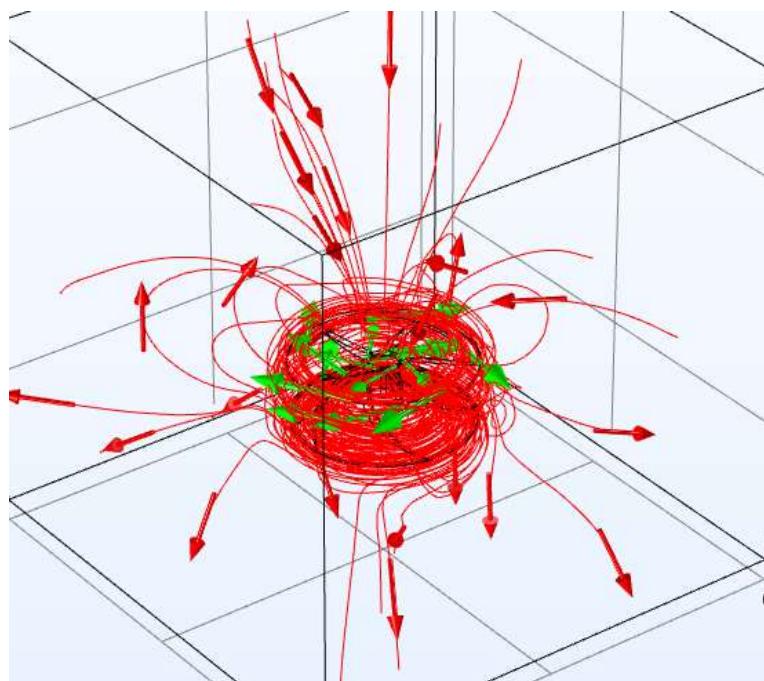


圖 3. 67 COMSOL 步驟(26)

綠色為轉動方向也是氣體流動方向，紅色互動式箭頭為流線剛好符合上方吸引往旁邊出風。

風扇分析結果

流體部分於 Comsol 中利用納維-斯托克斯方程代入流體黏度=0 的歐拉方程計算於 Onshape 上繪製的類似 Low-speed-ULM 外型的風扇，以升力式為主軸來測試，分析了四種可能參數：分別是扇葉角度、葉片、風扇種類、圓角，總共 14 種風扇樣本。

3.3.3 風扇類型分析

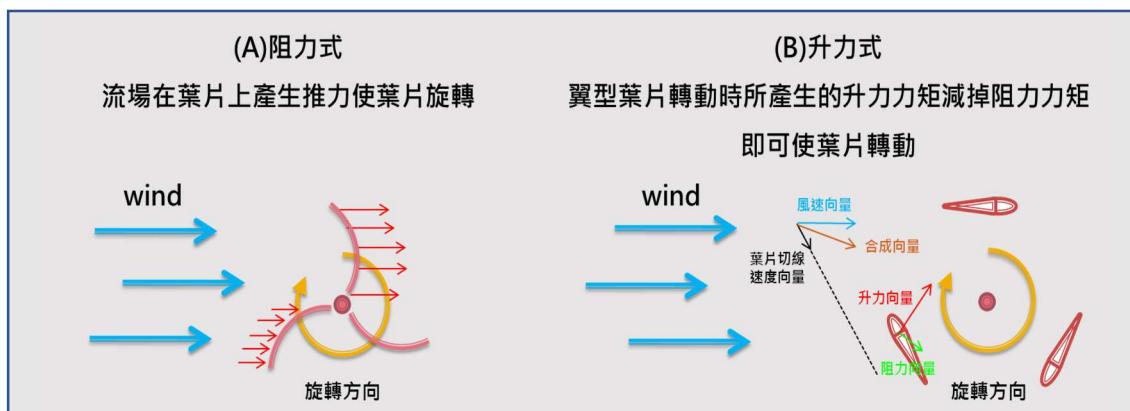


圖 3. 68 運轉形式

種類：

軸流式與離心式，由於進風與出風的流向不同而加裝導流板讓流向一致，為此測試兩種的區別。

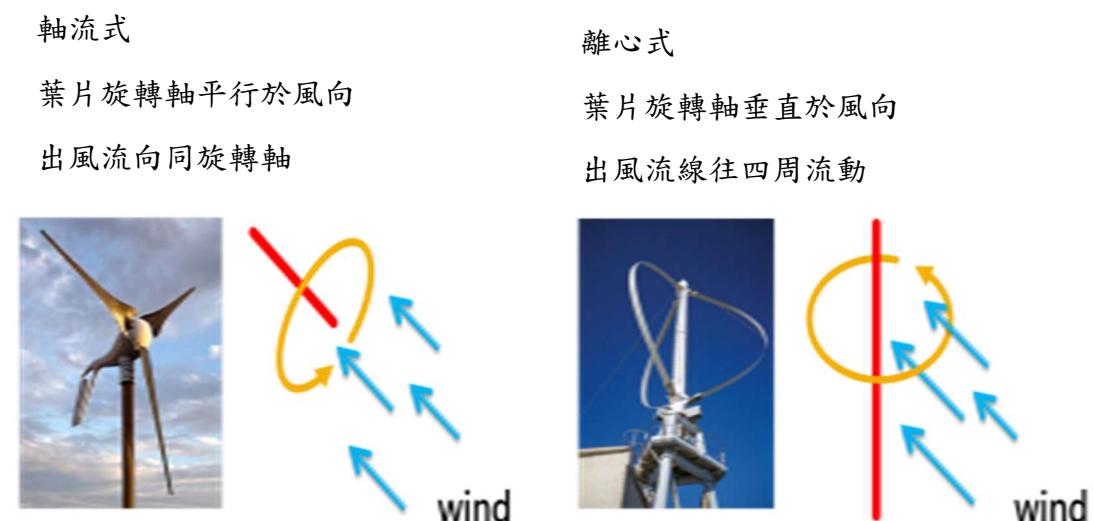


圖 3. 69 葉片流向圖

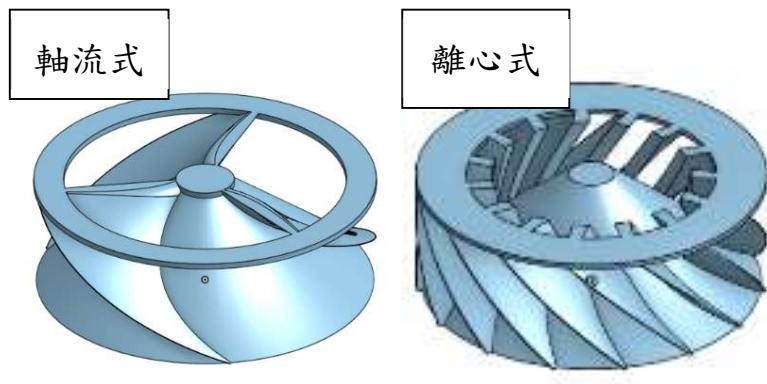


圖 3. 70 軸流&離心風扇 Onshape 圖

軸流式：

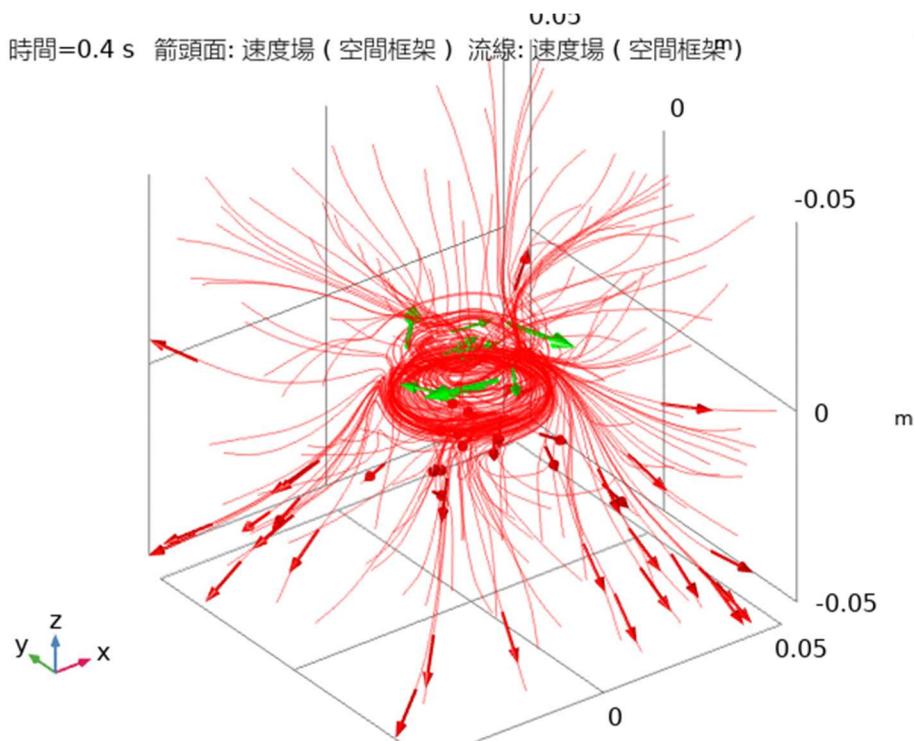


圖 3. 71 軸流式風扇流線分佈

離心式：

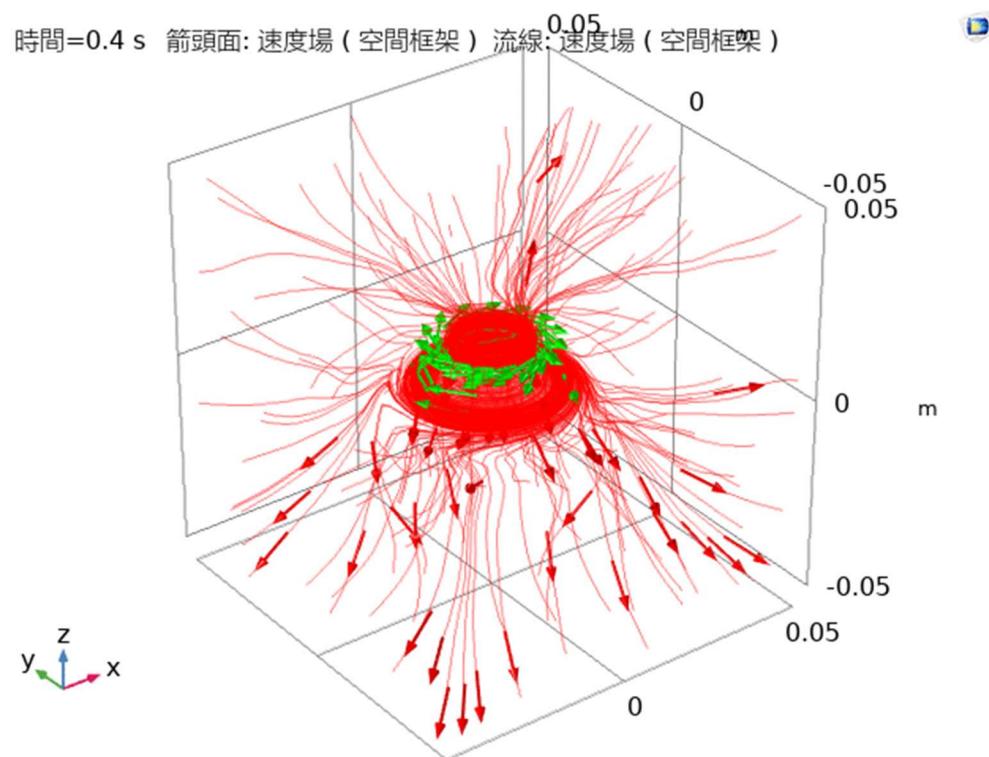


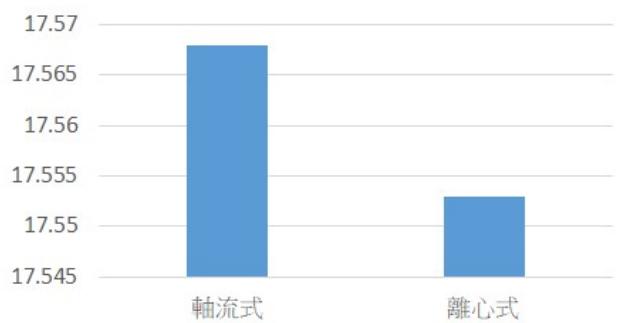
圖 3. 72 離心式風扇流線分佈

分析後取得的數據比較：

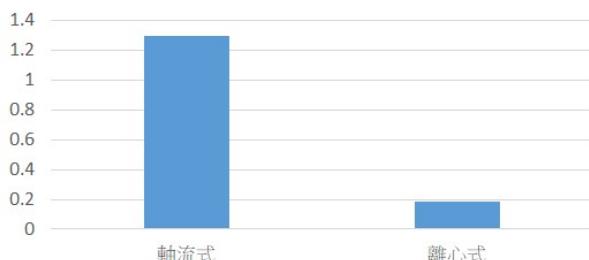
類型	種類	最大速度(mm/s)	轉動前受壓(pa)	運轉時受壓(pa E-4)	網格
	軸流式	17.568	0.068434	1.2964	434308
	離心式	17.553	0.0075797	0.18514	66218

圖 3. 73 風扇數據分析比較

類型 - 最大速度(mm/s)



類型 - 轉時受到阻力(pa E-4)



類型 - 轉動前受到阻力(pa)

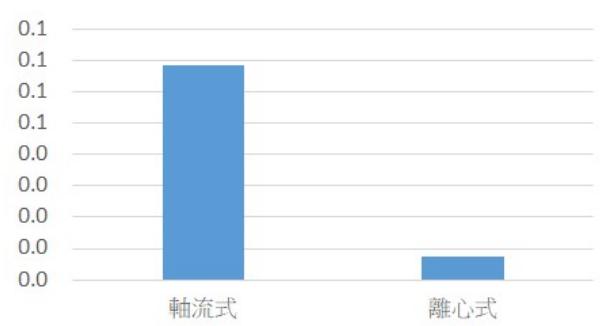


圖 3. 74 類型數值比較

角度：

軸流式(角度 90 度)

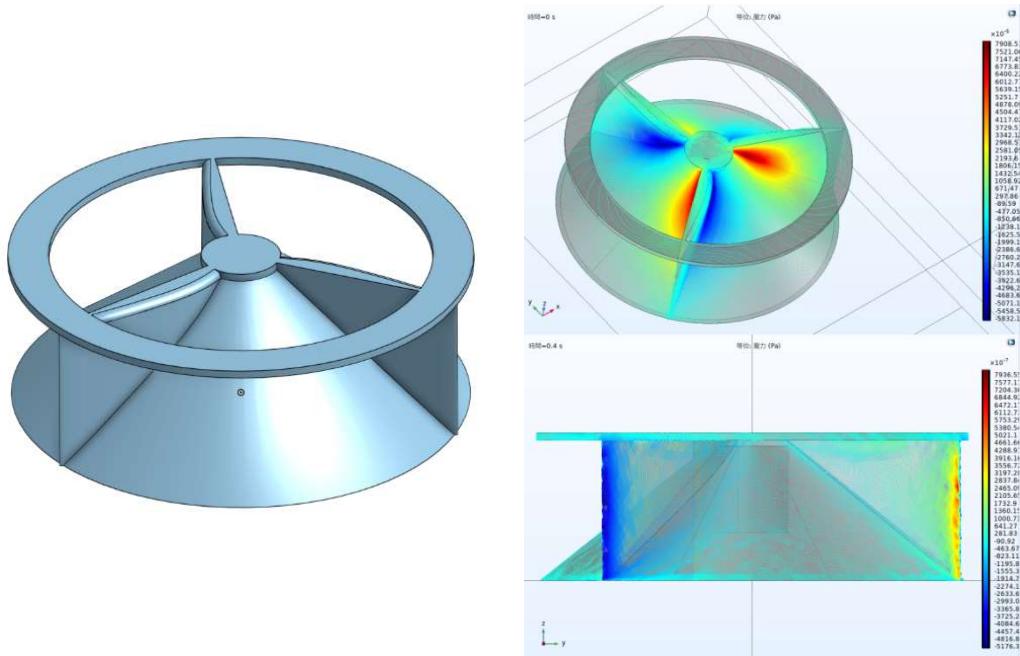


圖 3. 75 軸流式(角度 90 度)分析圖

軸流式(角度 100 度)

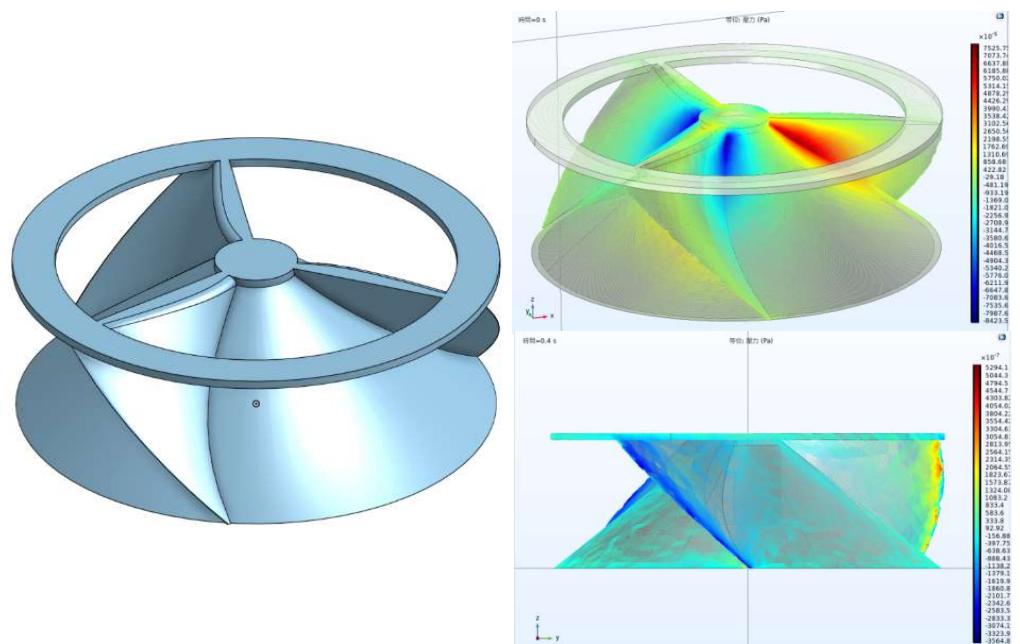


圖 3. 76 軸流式(角度 100 度)分析圖

軸流式(角度 110 度)

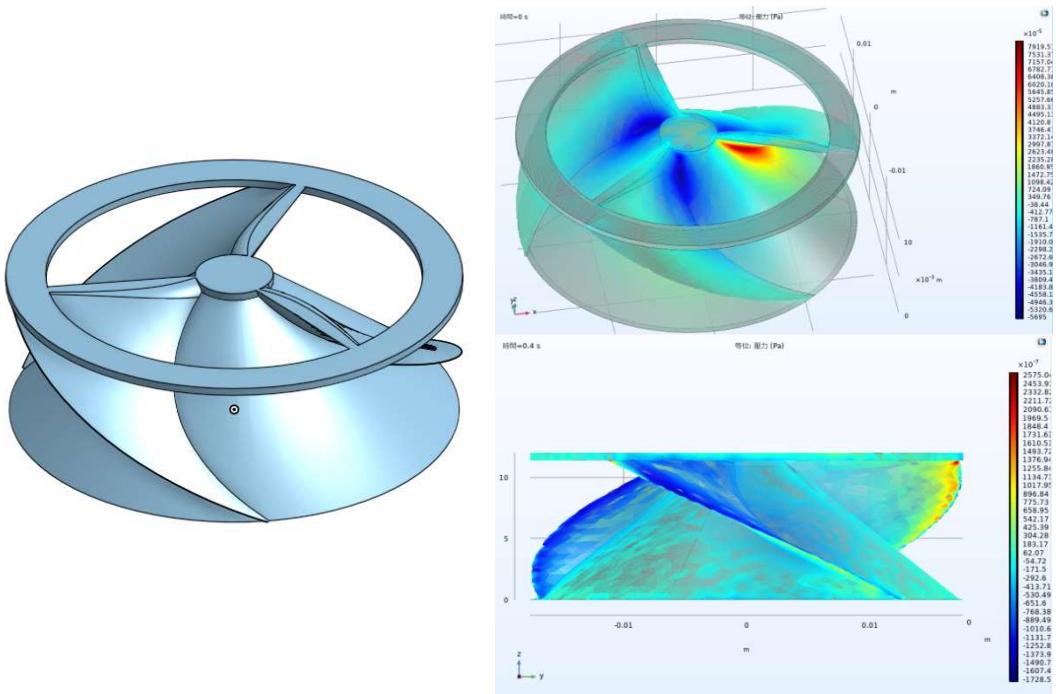


圖 3. 77 軸流式(角度 110 度)分析圖

軸流式(角度 120 度)

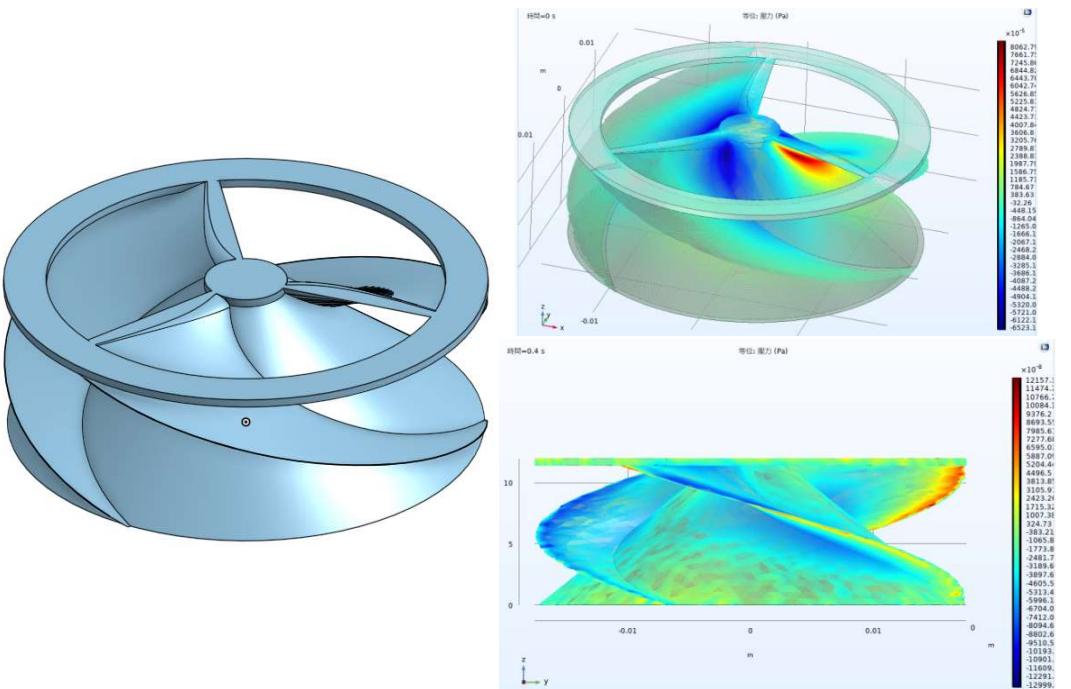


圖 3. 78 軸流式(角度 120 度)分析圖

軸流式(角度 135 度)

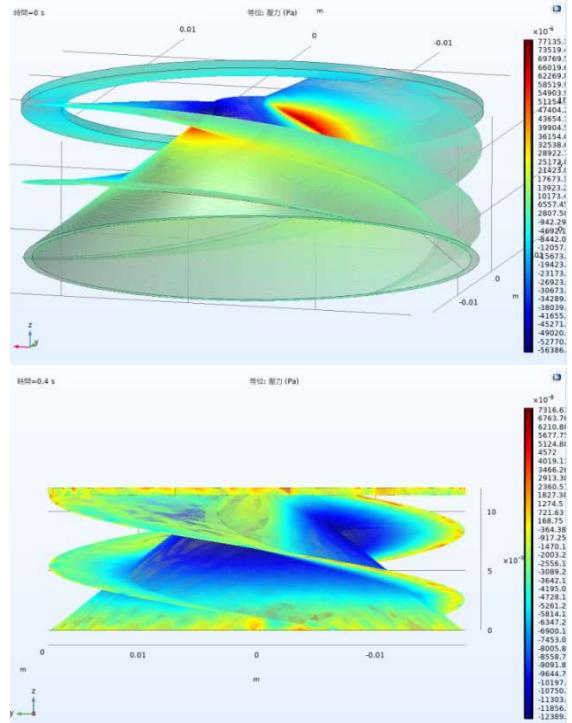
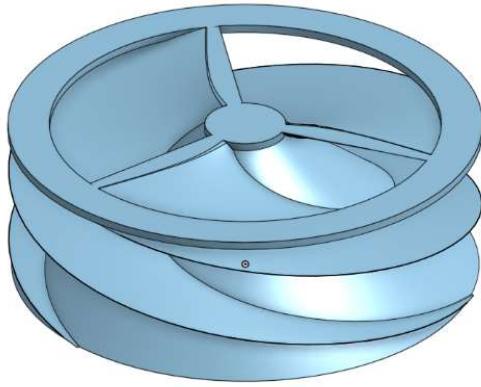


圖 3. 79 軸流式(角度 135 度)分析圖

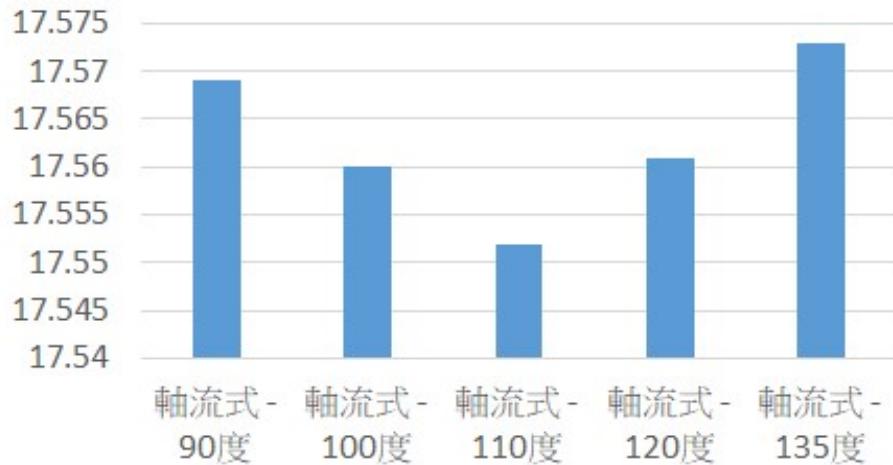
由以上分析可以發現每種角度的起始的風阻及運轉時的風阻分佈都一樣，分別是葉片夾角與葉片外圍。

經過數據比較發現 135 度，會有最大風速。

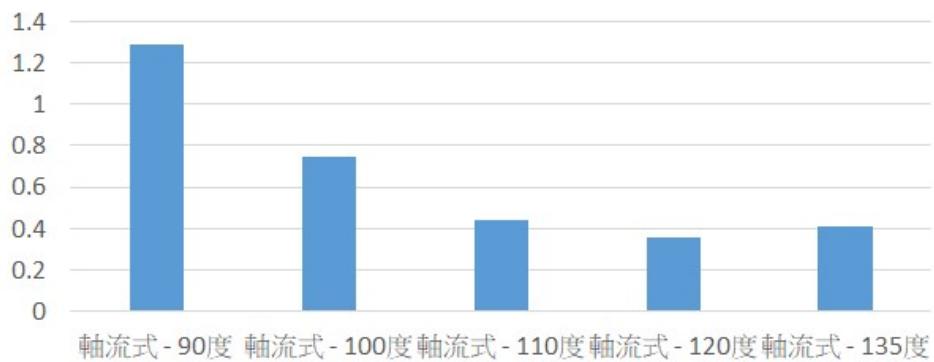
角度	種類	最大速度(mm/s)	轉動前受壓(pa)	運轉時受壓(pa E-4)	網格
	軸流式 - 90度	17.569	0.05531	1.2873	146472
	軸流式 - 100度	17.56	0.050716	0.74766	153218
	軸流式 - 110度	17.552	0.030848	0.44072	136391
	軸流式 - 120度	17.561	0.041311	0.35334	144421
	軸流式 - 135度	17.573	0.041258	0.40763	153976

圖 3. 80 結果參數

角度 - 最大速度(mm/s)



角度 - 轉時受到阻力(pa E-4)



角度 - 轉動前受到阻力(pa)

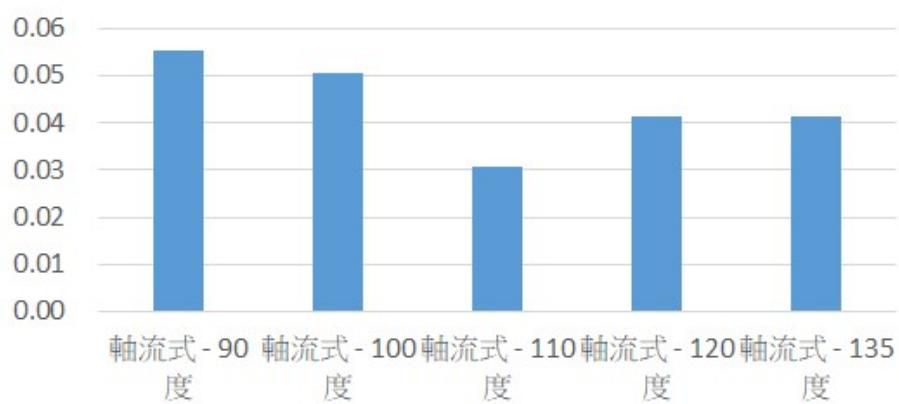


圖 3. 81 角度數值比較

葉片數：

軸流式(二片)

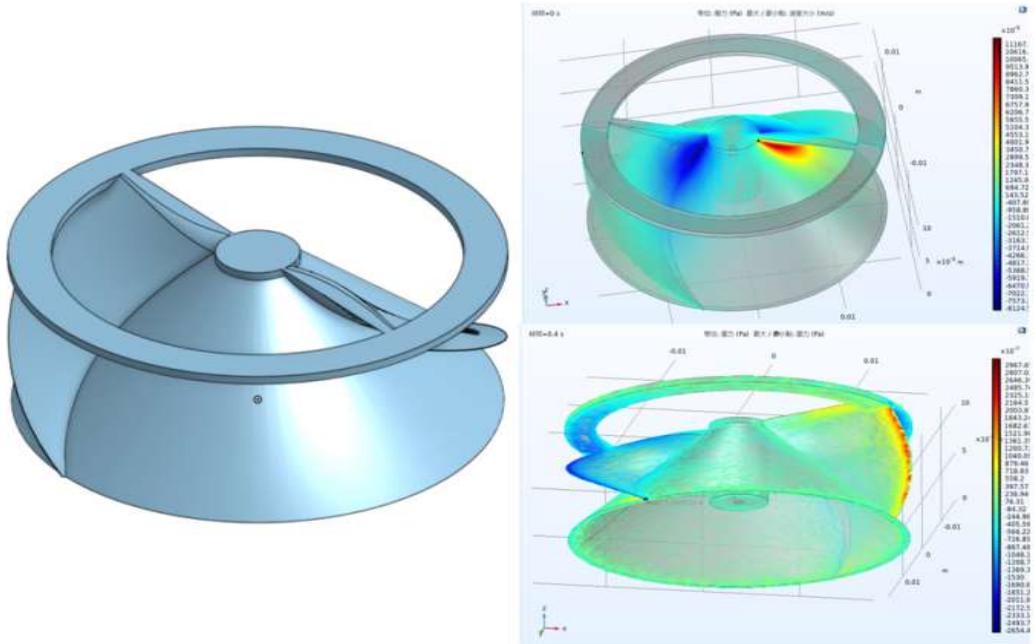


圖 3. 82 軸流式(二片)

軸流式(三片)

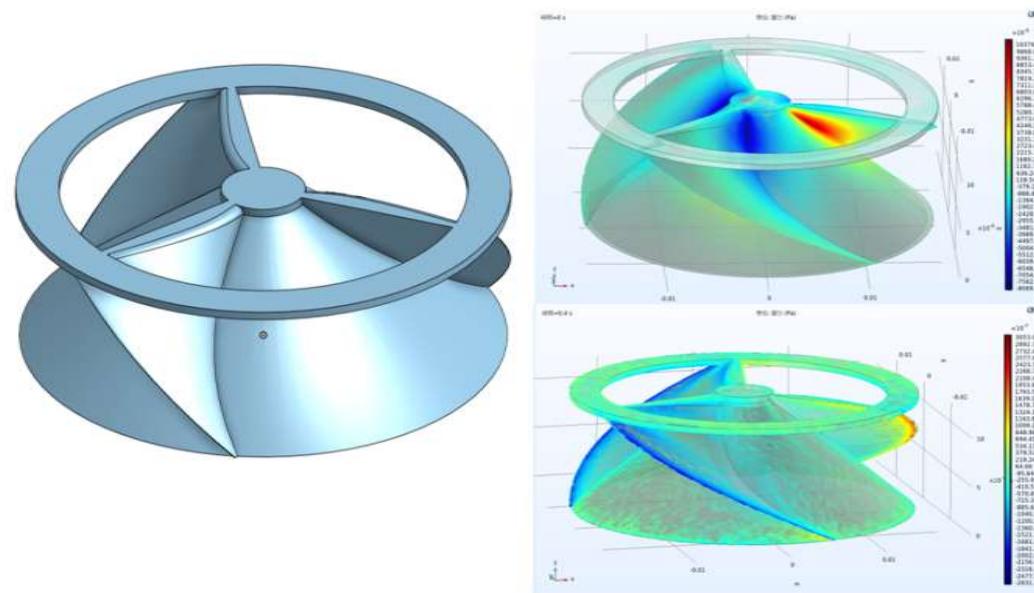


圖 3. 83 軸流式(三片)

軸流式(四片)

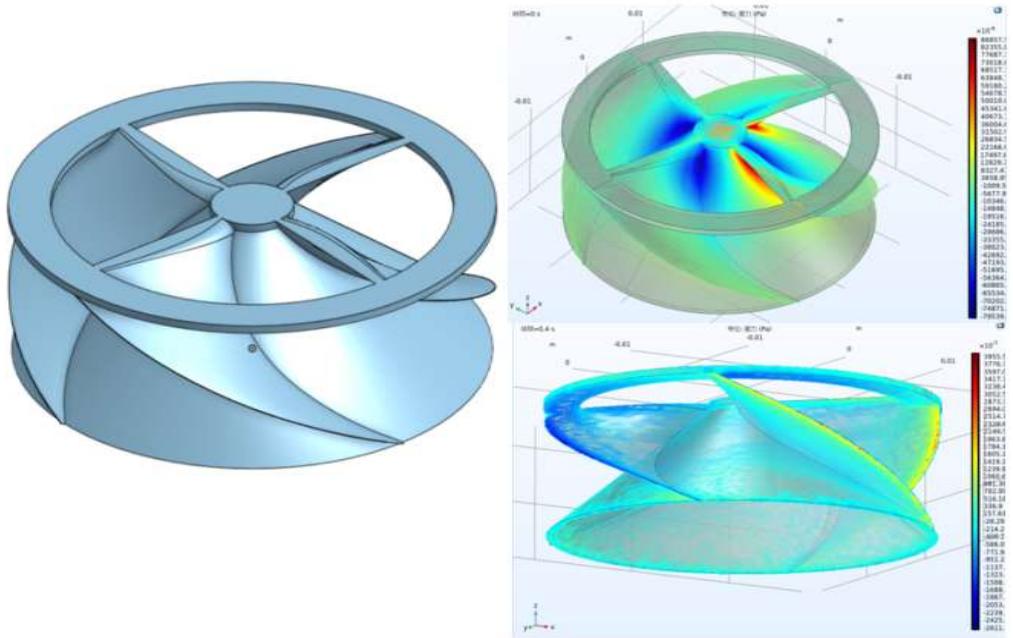


圖 3. 84 軸流式(四片)

軸流式(五片)

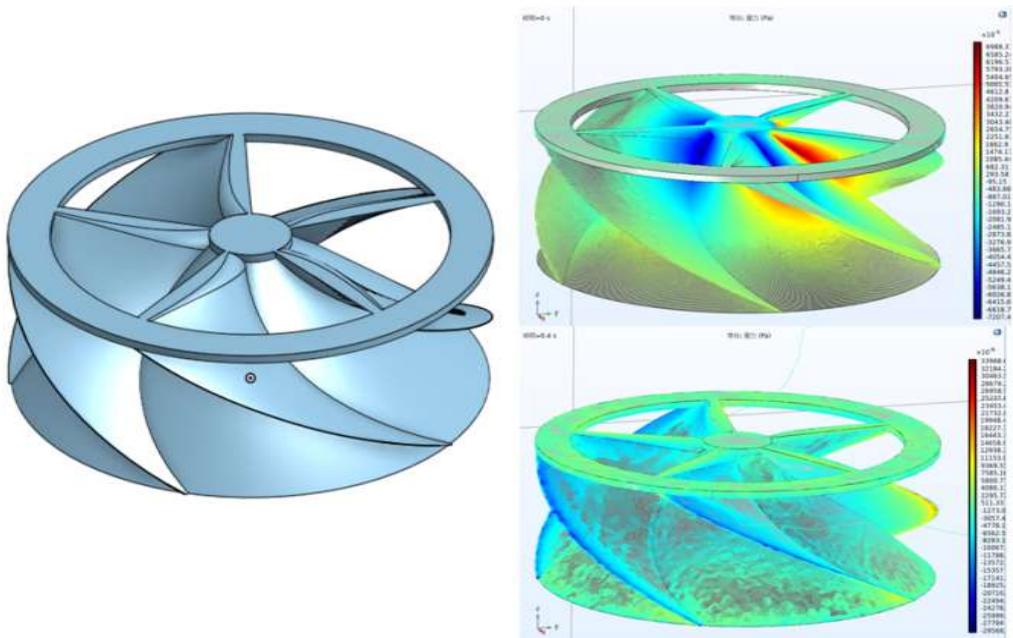


圖 3. 85 軸流式(五片)

軸流式(六片)

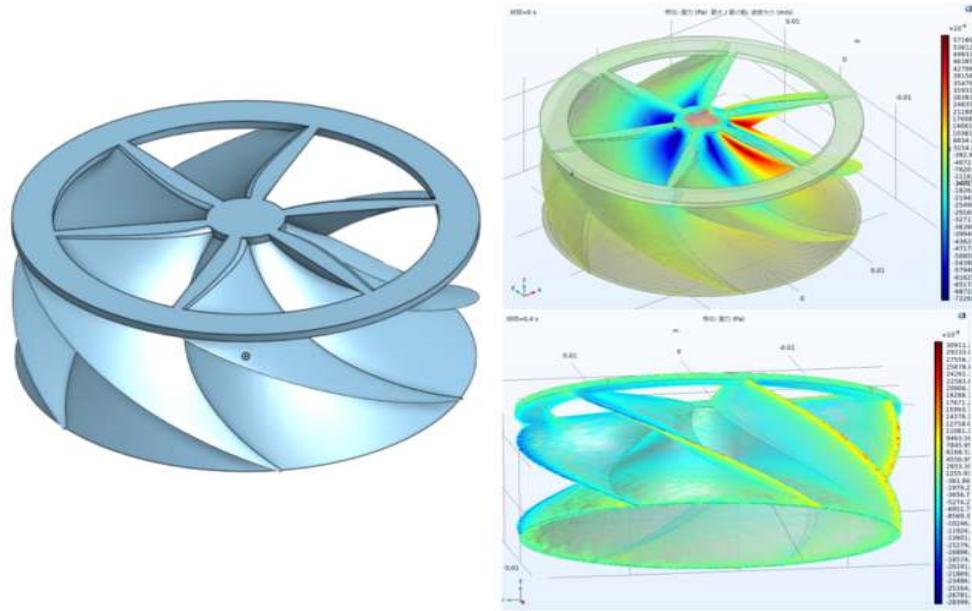


圖 3. 86 軸流式(六片)

可以發現，葉片數三片擁有比其他葉片數多使冰球浮起的可行性。

	種類	最大速度(mm/s)	轉動前受壓(pa)	運轉時受壓(pa E-4)	網格
葉片數					
	軸流式 - 二片	17.5676	0.068773	1.6691	407455
	軸流式 - 三片	17.568	0.068434	1.2964	434308
	軸流式 - 四片	17.564	0.043834	0.75751	466919
	軸流式 - 五片	17.554	0.040842	1.0375	498483
	軸流式 - 六片	17.567	0.0458450	0.832	526773

圖 3. 87 結果參數

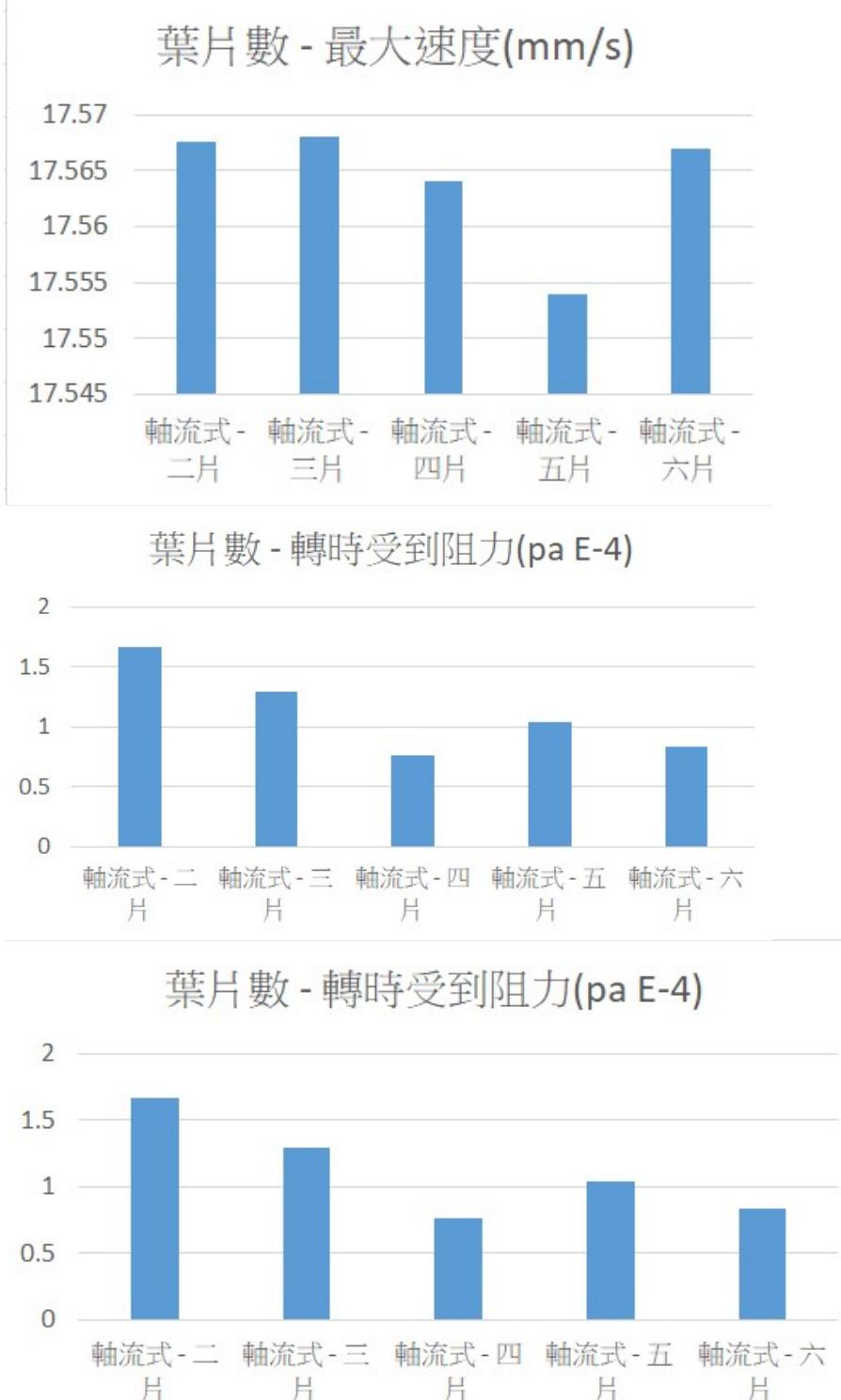


圖 3. 88 葉片數值比較

圓角：

軸流式(無圓角)

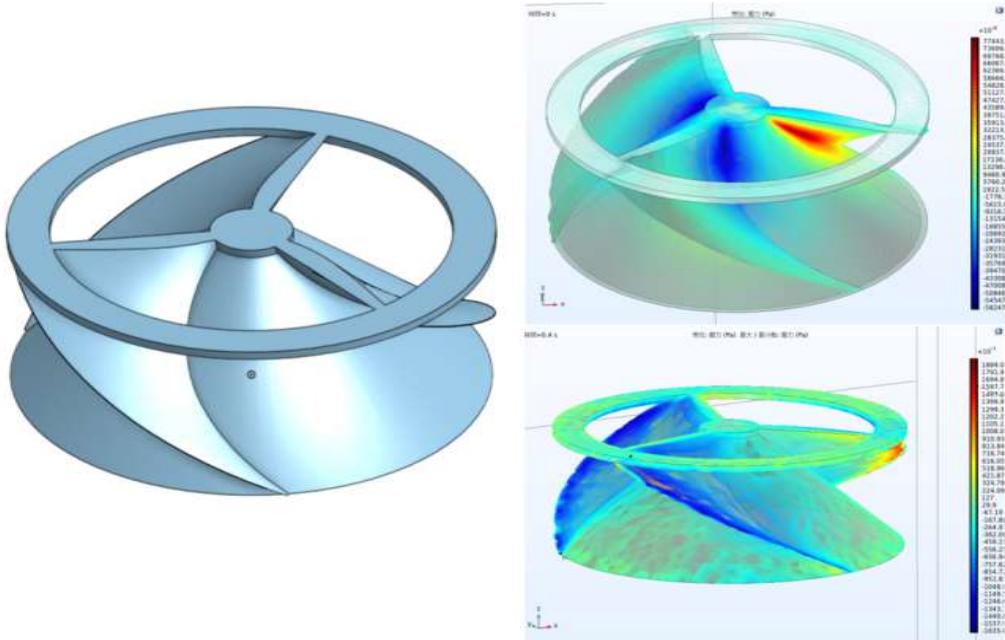


圖 3. 89 軸流式(無圓角)

軸流式(有圓角)

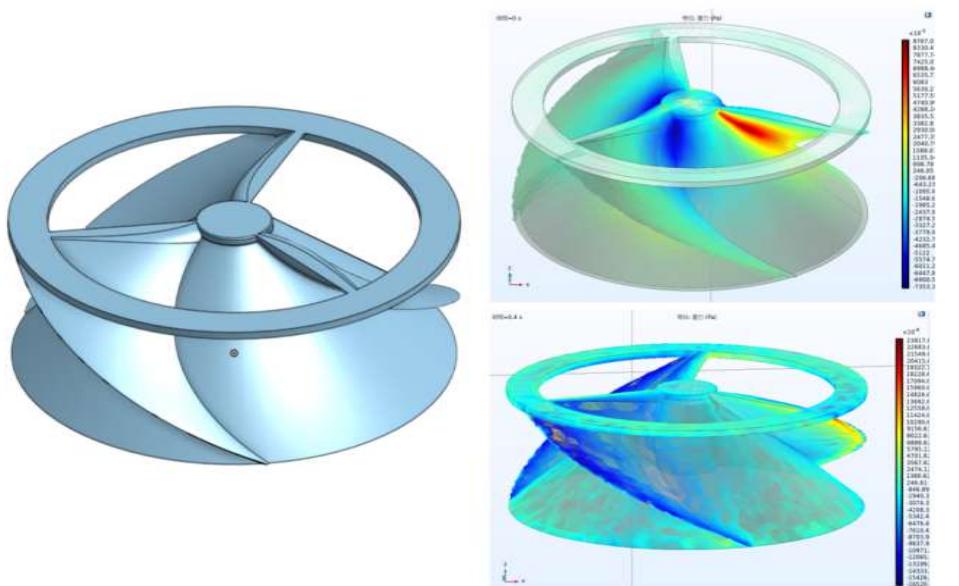


圖 3. 90 軸流式(有圓角)

離心式(無圓角)

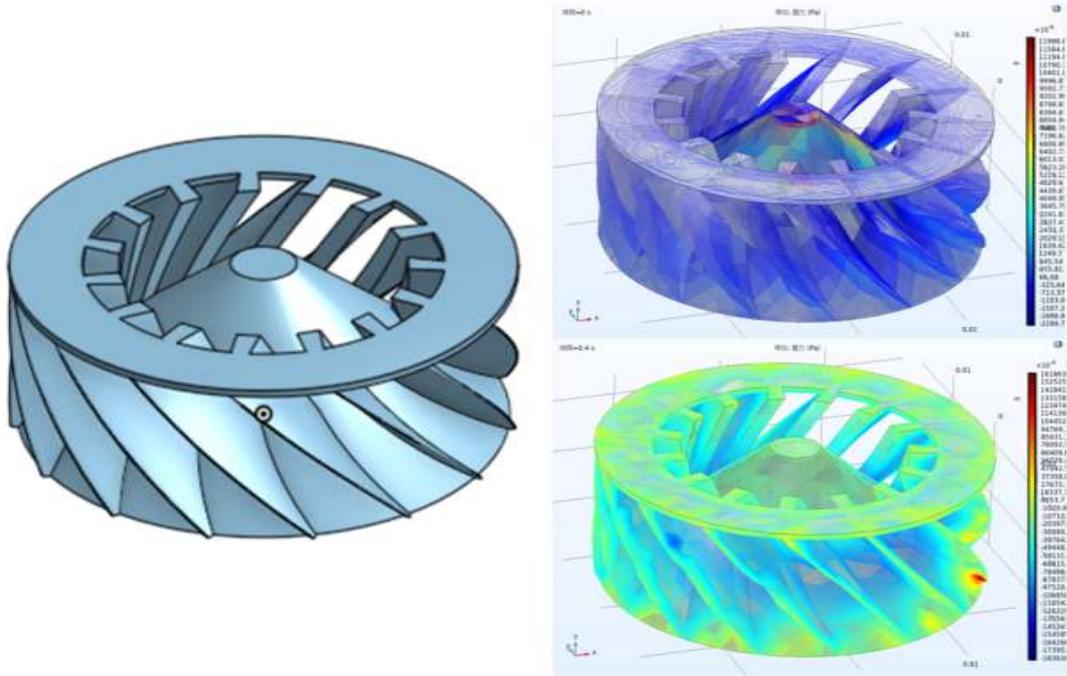


圖 3. 91 離心式(無圓角)

離心式(有圓角)

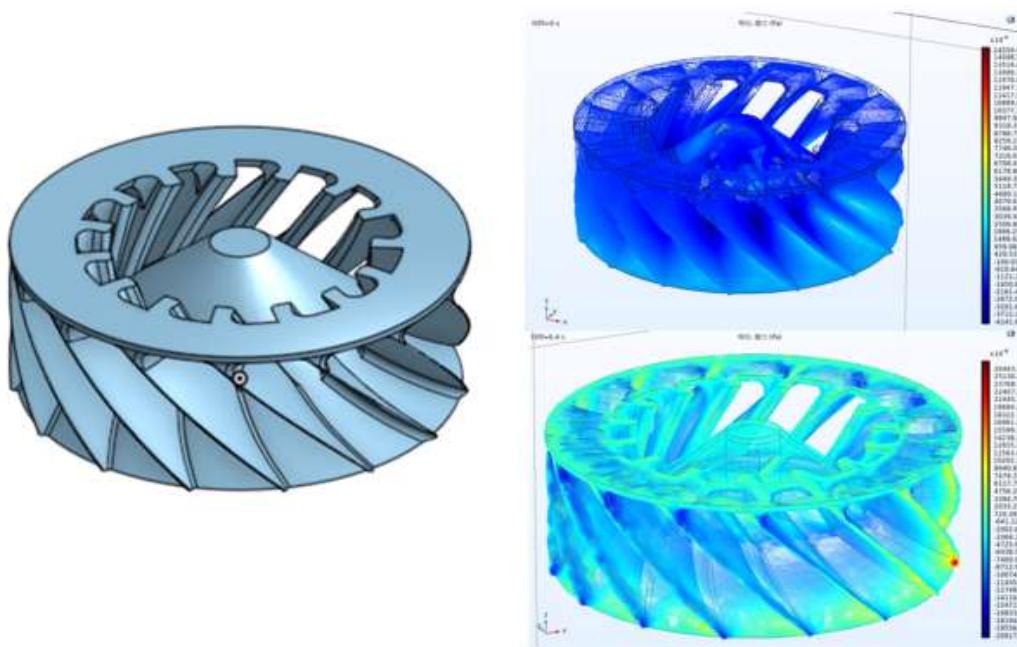


圖 3. 92 離心式(有圓角)

	種類	最大速度(mm/s)	轉動前受壓(pa)	運轉時受壓(pa E-4)	網格
圓角					
	離心式 - 無圓角	17.553	0.0075797	0.18514	66218
	離心式 - 含圓角	17.587	0.0099319	1.1744	367571
	軸流式 - 無圓角	17.569	0.028912	0.34698	131402
	軸流式 - 含圓角	17.578	0.06447	1.2329	151301

圖 3. 94 結果參數

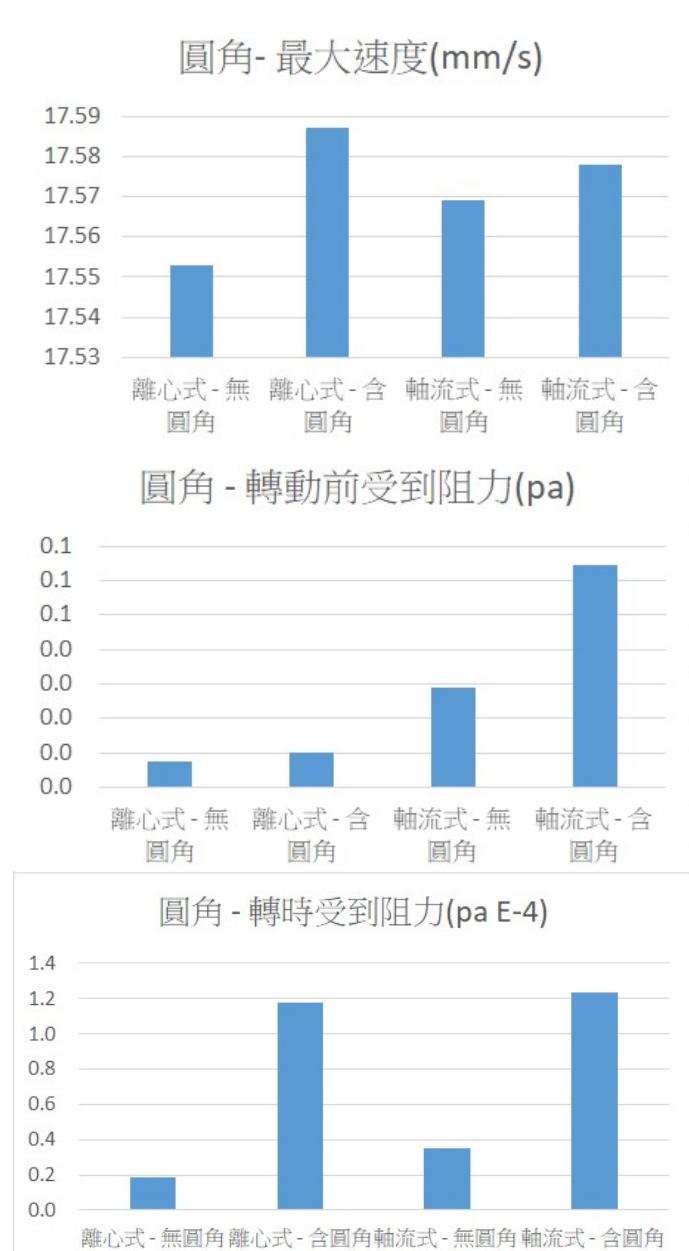


圖 3. 93 圓角數值比較

分析結果

冰球主要是靠出口處的流量來漂浮，流量 $Q = \text{流速 } V \times \text{截面積 } A$ 的乘積，在各參數截面積相同的情況下去比較各分析分項的各個數值。對離心與軸流的流線方向作分析並增加導流板得到的流線方向最後得到結果是方向一致；角度為 135 度的風扇使冰球浮起的可行性較其他角度大；葉片數則因為葉片增加使重量增加也與接觸面積有關，而影響到整體的流速，葉片數三片擁有使冰球浮起的可行性比其他葉片數大；圓角會影響流線的方向也讓接觸面積增加，不管是離心或是軸流的流速都有間接受到影響。之後與用 SolidWorks 分析的球體外殼配合得出使冰球浮起的可行性較大的組合。

分析外殼各項零件外型如下：

上蓋變更



圖 3. 96 中心孔(R5, 15, 21, 863, 25)

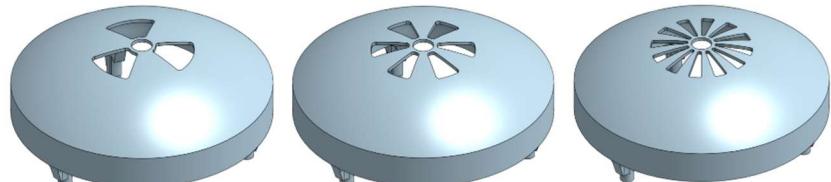


圖 3. 95 導流孔(三、六、十二個)

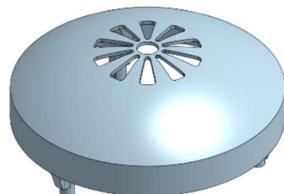


圖 3. 97 原始設計

下蓋變更



圖 3. 98 下蓋(有、無大洞)

上蓋無導流孔，中心孔 R5

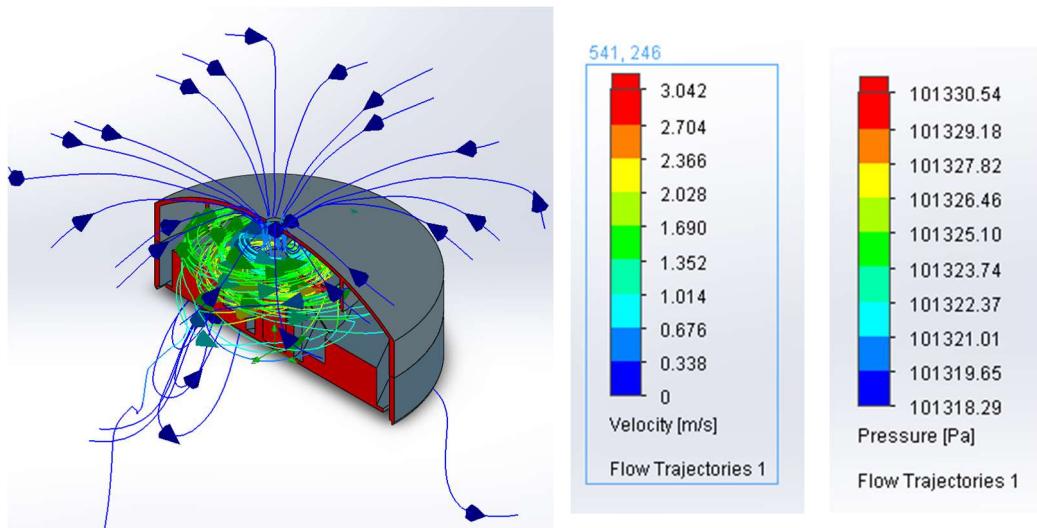


圖 3. 99 R5 孔結果圖

上蓋無導流孔，中心孔 R15

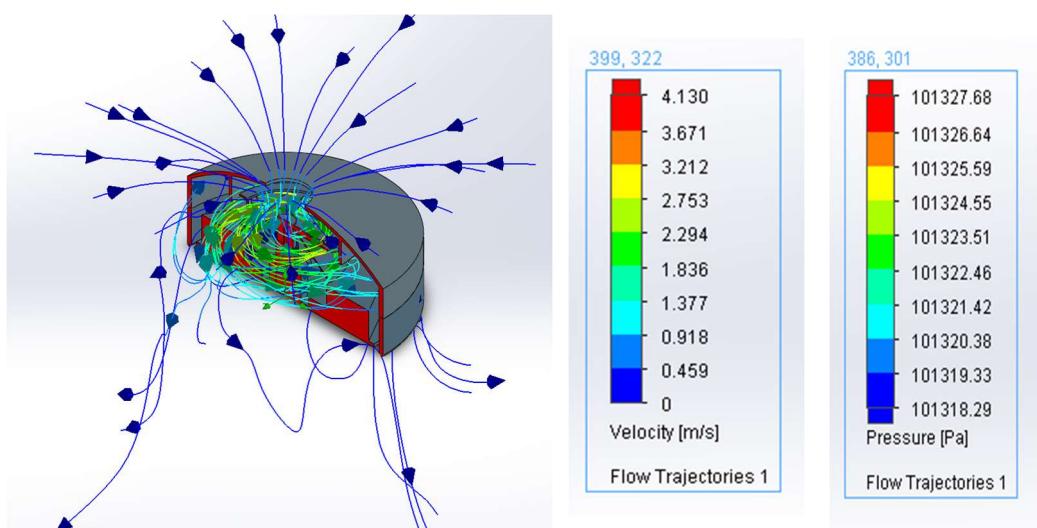


圖 3. 100 R15 孔結果圖

上蓋無導流孔，中心孔 R21.863

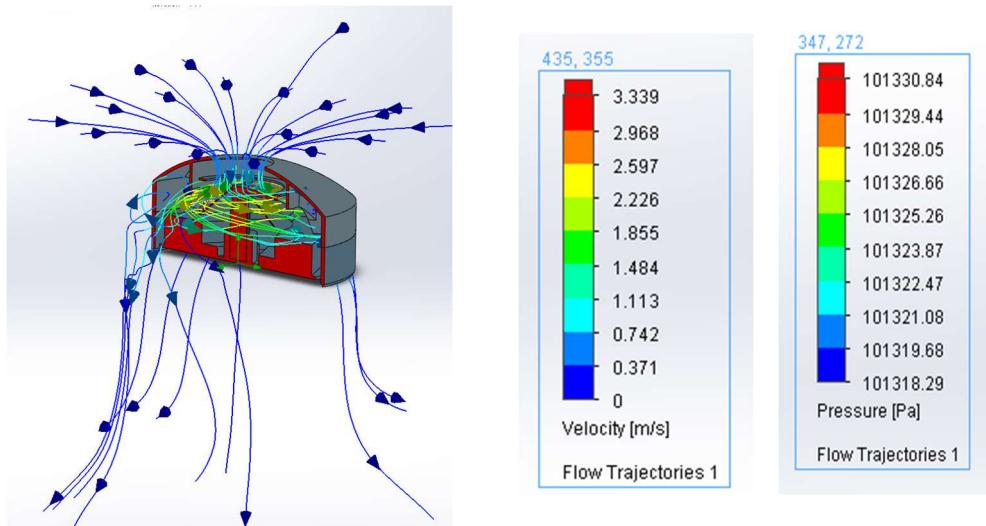


圖 3. 101 R21.863 孔結果圖

上蓋無導流孔，中心孔 R25

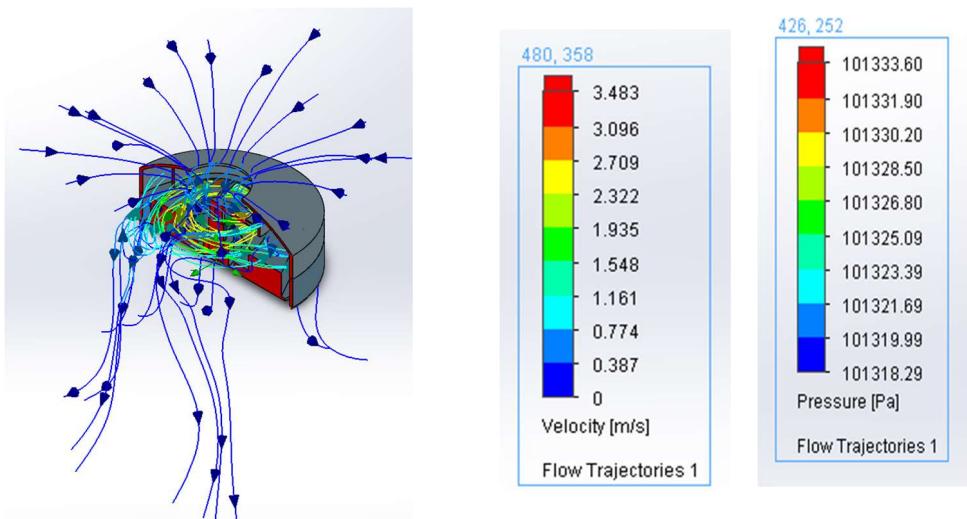


圖 3. 102 R25 孔結果圖

上蓋導流孔三個

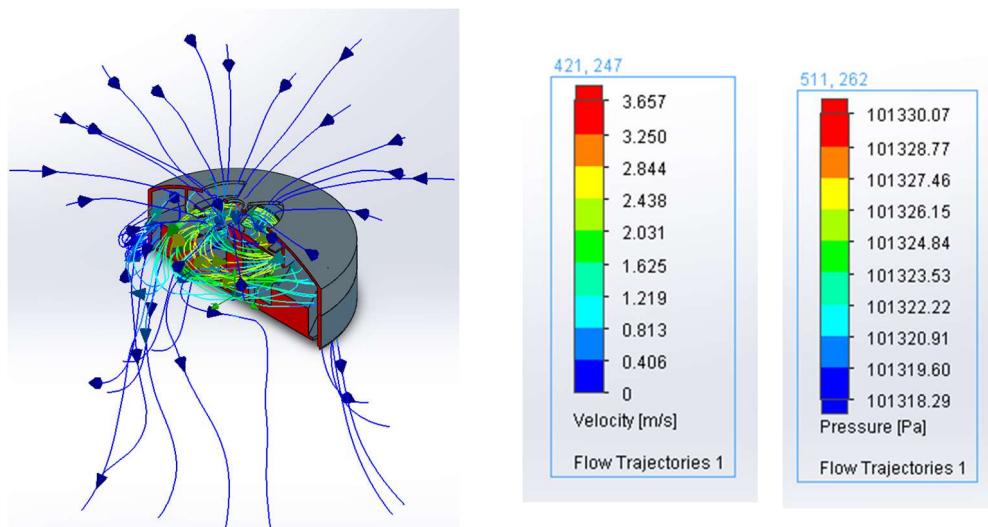


圖 3. 103 導流孔三個結果圖

上蓋有倒流孔六個

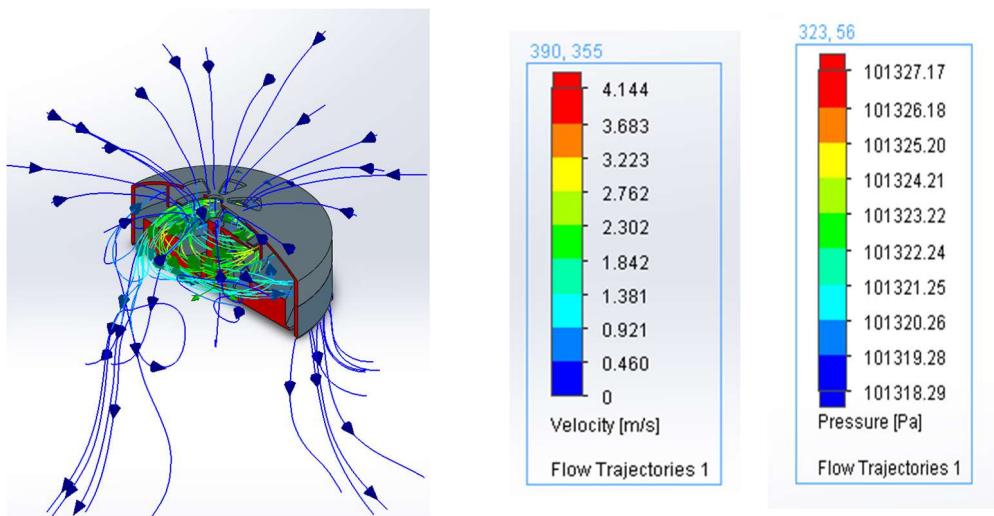


圖 3. 104 導流孔六個結果圖

上蓋有倒流孔十二個

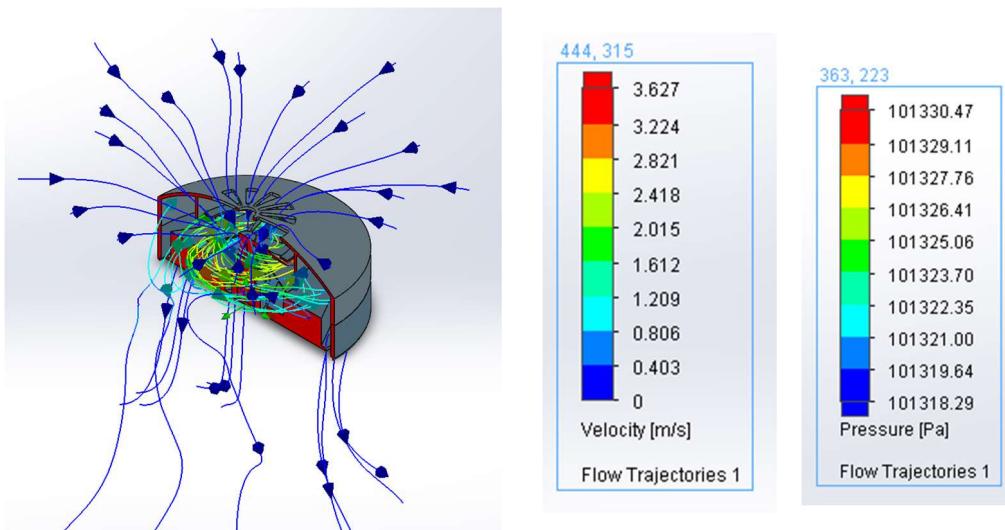


圖 3. 105 導流孔十二個結果圖

上蓋原始設計

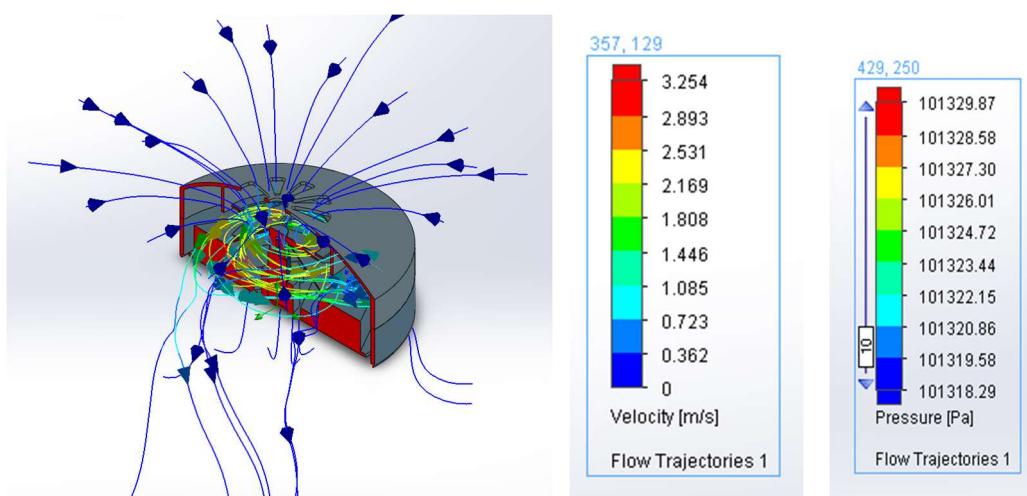


圖 3. 106 原始圖

下蓋有大洞

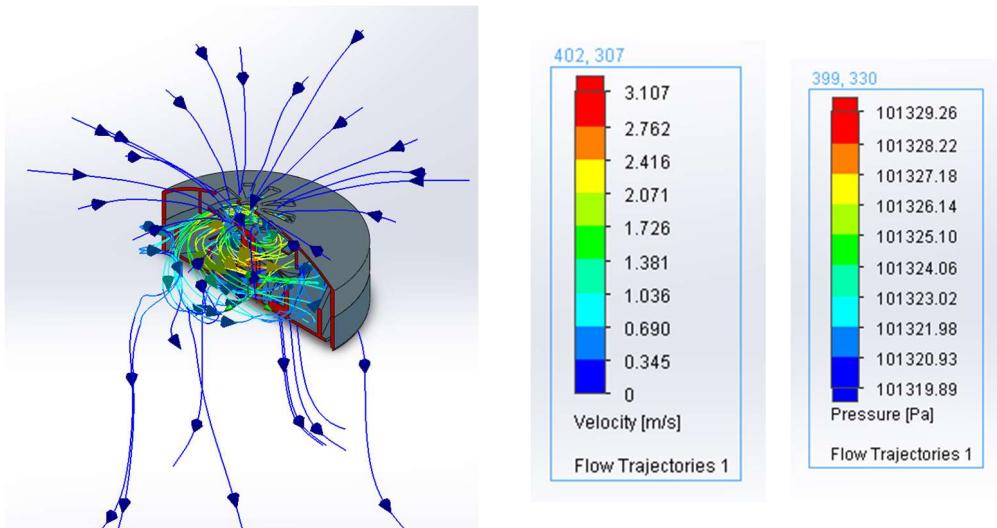


圖 3. 107 有大洞結果圖

上蓋無大洞

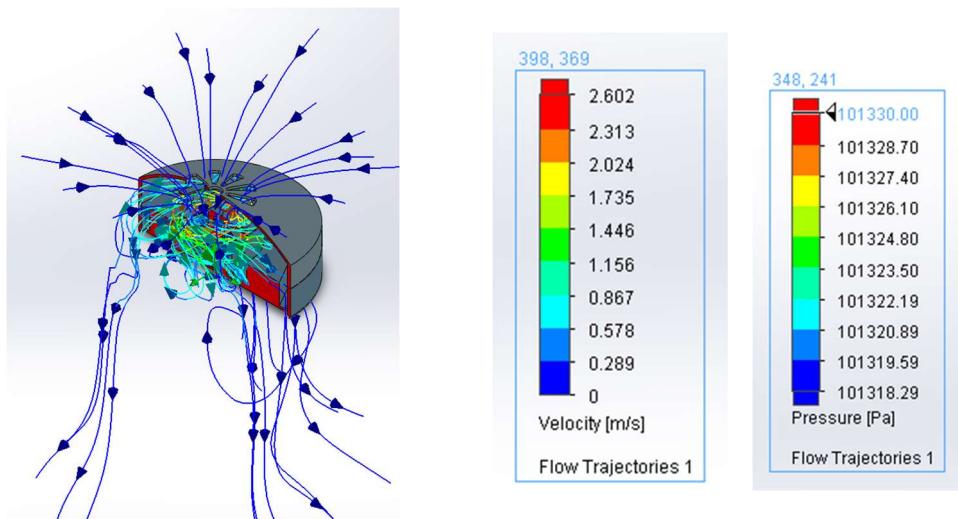


圖 3. 108 無大洞結果圖

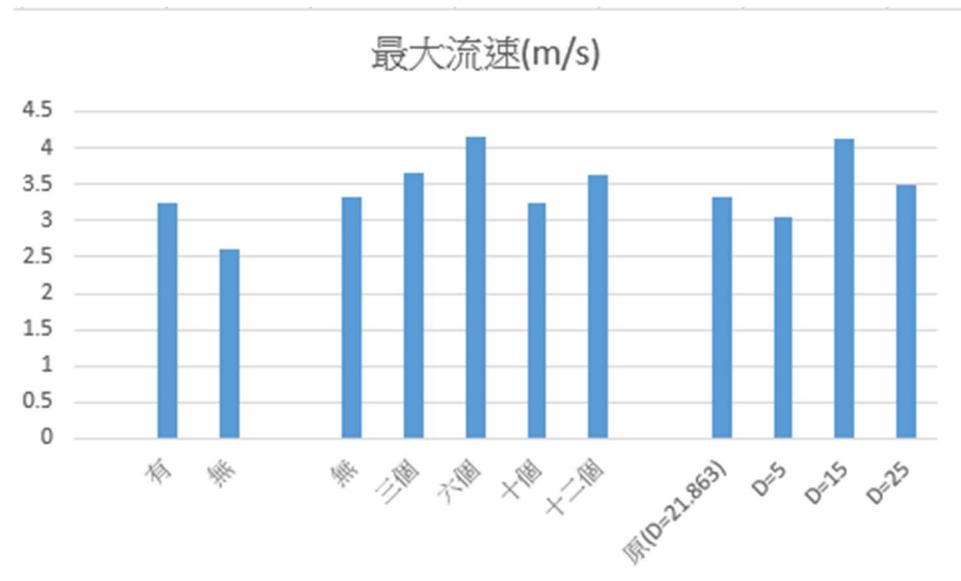


圖 3. 109 上蓋分析比較圖

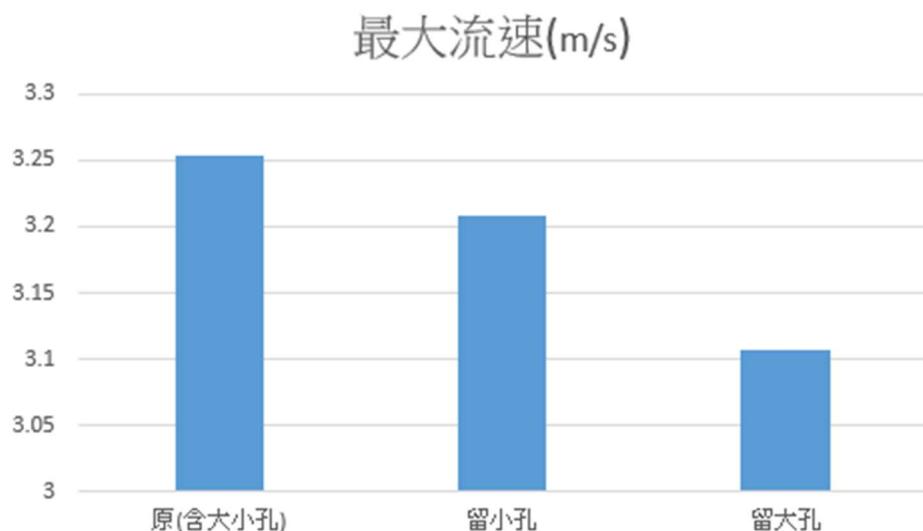


圖 3. 110 下蓋比較圖

本次分析為挑選可用之參數進行組合使用有限元素進行分析，
下圖中紅色部分為較優良的數值，於是挑選出較適當尺寸組合。

		最大流速(m/s)	最大風壓(kpa)
內壁			
	有	3.254	101.329
	無	2.602	101.33
導流孔			
	無	3.339	101.33
	三個	3.657	101.33
	六個	4.144	101.327
	十個	3.254	101.329
	十二個	3.627	101.33
通過截面積 - 無導流孔			
	原(D=21.863)	3.339	101.33
	D=5	3.042	101.33
	D=15	4.13	101.327
	D=25	3.483	101.333
底部			
	原(含大小孔)	3.254	101.329
	留小孔	3.209	101.328
	留大孔	3.107	101.329

表格 2 比較參數

3.4 零組件組立



圖 3. 111 實體組裝圖

3.4.1 組裝歷程

透過組裝過程中慢慢找出可以修正的部分並改正，最後完成最終設定。

步驟 1：搭建外牆

利用實驗室現有的桌子搭配上角鋼板以 C 型夾具於角板兩邊緣處夾持固定，便構成場地以及外牆的部分，角鋼板上有著圓形以及橢圓形的等距孔洞方便後續其他零件之裝設。



圖 3. 112 搭建外牆

步驟 2：Y 方向光軸架設

在桌子場地長邊作為 Y 方向，末端預留之後裝設馬達座的空間，將立式軸心固定座鎖固於角板上，間隔光軸長度約 650mm 另一端鎖上另一個固定座，這一組將佔桌子一半的長度，此範圍內即為自動對打機的活動範圍。

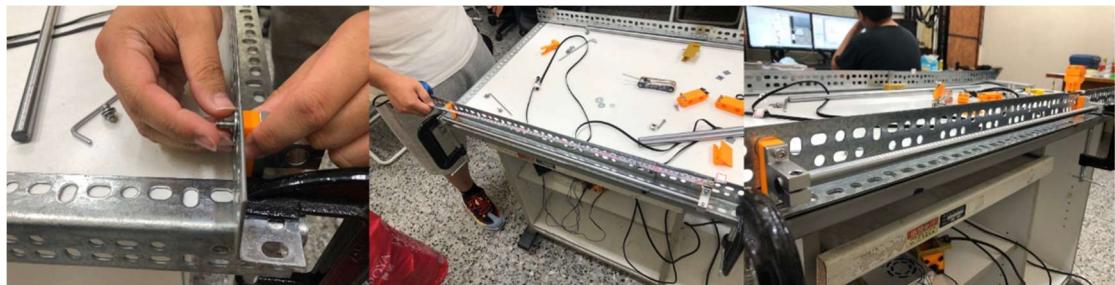


圖 3. 113 Y 方向光軸架設

步驟 3：X 軸光軸固定座組之組裝

在與光軸連接前，首先將馬達倒置與 X 軸光軸固定座上方孔洞鎖固(因 Y 軸僅需一顆馬達，所以在成對的另一個 X 軸光軸固定座上馬達位置改成 X 軸同步輪架)，接著在其下方鎖上再架上直線軸承

座，再將 Y 軸皮帶固定座鎖於直線軸承座上，後將 X 軸光軸固定座與 Y 軸皮帶固定座連接，在使用一般螺絲起子的情況下，如果沒有按照上述順序的話，將沒有螺絲起子進行鎖固的空間。



圖 3. 114 X 軸光軸固定座組之組裝

步驟 4：馬達裝設

在剛剛預留的空間以馬達孔平面朝上的方向裝設馬達座，並將馬達軸心朝下放置，其中高度可以跟 X 軸光軸固定座皮帶位置相對齊，再將 Y 軸惰輪架固定於立式軸心固定座上方，再於 Y 軸惰輪架上方鎖上 2GT 惰輪。

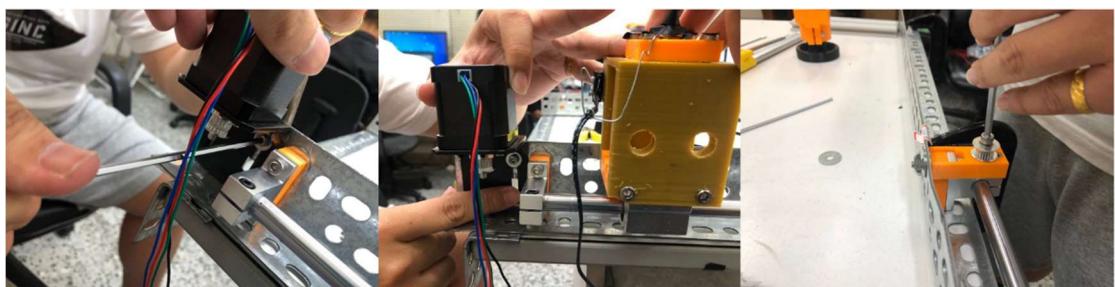


圖 3. 115 馬達裝設

步驟 5：Y 軸皮帶拉緊

將 2GT 同步皮帶沿著步驟 4 所述之惰輪以及馬達上之同步輪為路徑，最後鎖固於 Y 軸皮帶固定座上方(皮帶固定方式詳閱 3.2.1 中 Y 軸皮帶固定座零件說明)。



圖 3. 116 Y 軸皮帶拉緊

步驟 6：擊球器固定座組合

擊球器固定座為三件構成一組，在 a、b 中間放入光軸套筒，b、c 內側夾持擊球器，並以光軸貫穿，暫時將擊球器固定座放置於中央處。



圖 3. 117 擊球器固定座組合

步驟 7：擊球器固定座與 X 軸光軸固定座組結合

上下蓋先用螺絲先稍微鎖固，到至少能讓光軸通過的程度，置於 X 軸光軸固定座中 Y 軸皮帶固定座上方，待之後光軸插入，後將兩根光軸插入 X 軸光軸固定座對應位置，須從後方孔洞突出，這樣另一端才有空間可以放入孔洞內。

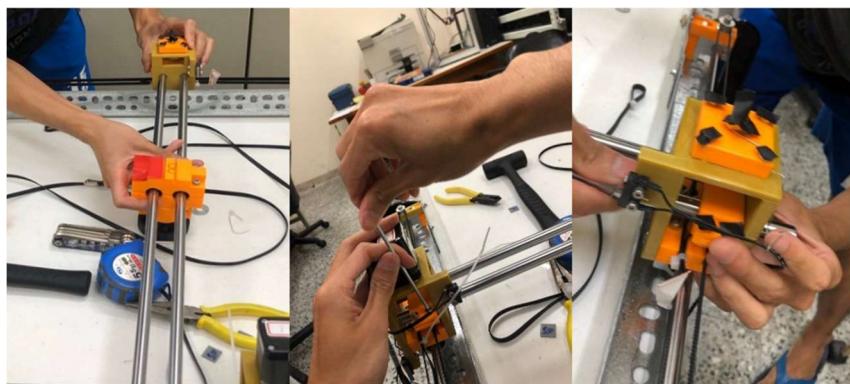


圖 3. 118 擊球器固定座與 X 軸光軸固定座組結合

步驟 8：X 軸皮帶固定

將 2GT 同步皮帶沿著 X 軸光軸固定座上方之惰輪以及同步輪為路徑，最後鎖固於擊球器固定座上方

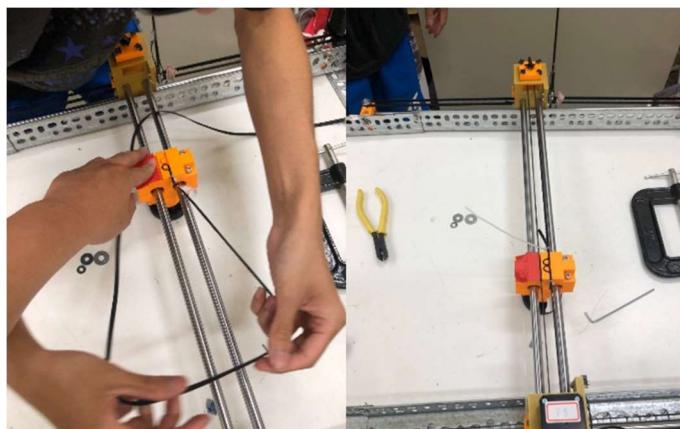


圖 3. 119 X 軸皮帶固定

3.4.2 組裝歷程更改部分

透過組裝時一步一步發現需要修改之問題，並針對列印件進行設計變更，在設計完後還要考慮配線以及電路設備問題，因此進行了小修改。

1. X 軸光軸固定座原先設計為上方馬達在其內部以軸心向上放置，但這致使其高度太高產生不必要之晃動，其連接光軸上中間擊球器固定座也是，擊球時工件力臂太長使整體受到的力過大，因此反轉馬達縮減整體高度解決問題。
2. 極限開關加裝在 X 軸光軸固定座上，針對部件增加安裝空間，並在 Y 軸惰輪架加上碰撞區域，這裡 X 方向的極限開關考慮到電線需牽到擊球器固定座上方跟著移動，以及會增加擊球器固定座之重量等因素，故決定將極限開關加裝在 X 軸光軸固定座上方。
3. 立式軸心固定座因其整體長度不足，致使 X 軸光軸固定座會直接碰觸到角鋼，起先是採用墊片將整組立式軸心固定座墊離角鋼，而後索性直接列印一墊出零件取代原先方法。
4. 因擊球器固定座高度調低的關係，冰球原先高度會碰撞到其上緣，故將冰球上蓋縮減至適當高度。

第四章 電路與控制系統

本專題實體部分，冰球桌共用到 3 顆步進馬達，分別 X 軸一顆、Y 軸兩顆，為了使 Y 軸左右兩端能進行近似平行的移動而左右各一顆。驅動步進馬達通常不會直接與電源相接而是多加一顆馬達驅動器以便操作，藉由馬達驅動器傳輸脈波訊號來控制電力，使馬達一特定角度作動。

馬達驅動器是將所需的輸出條件轉換成命令週期送至馬達，且控制對馬達輸出的電流與電壓大小，確保馬達運作時的準確度與扭矩。本專題選用 A4988，有五種細分等級，並可驅動四線及六線的步進馬達。

步進馬達



圖 4.1 不同相馬達圖

步進馬達擁有各式不同形式的規格，主要有相數和接線數的區別，有兩相四線、兩相六線、三相三線、五相五線…等，相數可以理解成單一個數可產生不同對極磁場的激磁線圈數，數越多相對的可轉的角度越精準。

本專題使用兩相四線的 42 步進馬達，42 指馬達長及寬的尺寸，此馬達為雙極馬達，A 相位與 B 相位的電流會有兩個方向。內部有相互啮合的轉子與定子，藉由對定子線圈的通電電流方向，產生電磁吸引，而馬達的步進角為一個脈波的轉動量，一圈 360 度並切分成 200 步，所以一步即為 1.8 度。

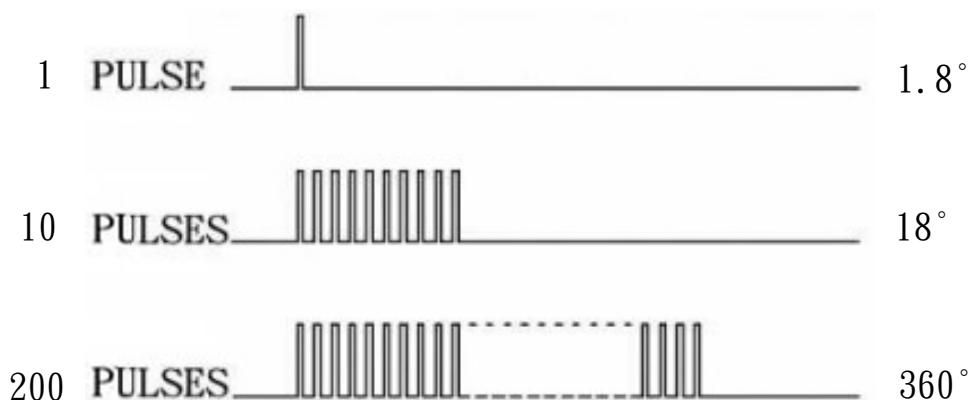


圖 4. 2 步進馬達步進角說明圖

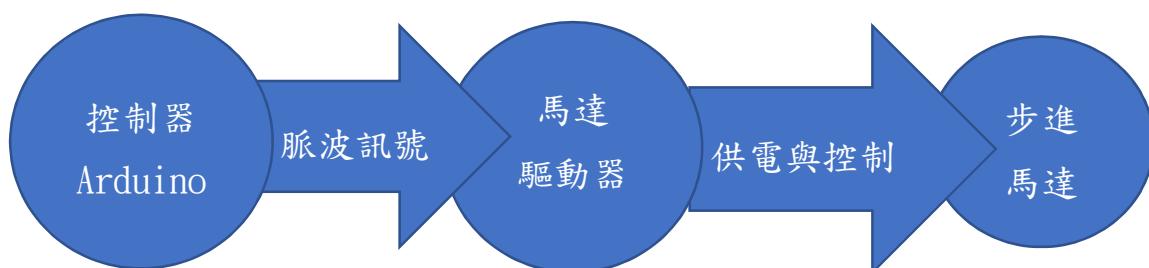


圖 4. 3 訊號傳輸圖

馬達驅動器

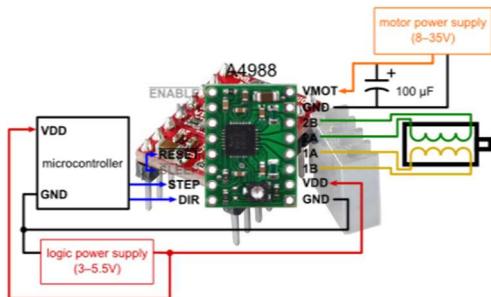


圖 4. 5 A4988 配線圖

本專題選用的驅動器 A4988，可承受外部電壓至多 35V，電流約 $\pm 2A$ ，但若超過 1A 時建議加裝散熱鰭片，超過 1.5A 時建議提供風扇幫助降溫以免燒壞。同時上方有一顆可變電阻，用來控制最大輸出電流，而馬達的輸出與此輸入形成正比；馬達接收有速度及方向的控制，分別是通電週期(速度)與電流移動方向(轉向)

極限開關



圖 4. 6 極限開關

於本專題中，極限開關被用於防止馬達一直衝撞邊界，以及距離的定位使用。內部構造可以理解成一個常開、一個常關一個是目前狀態當彈片沒有被碰撞時，狀態就是斷路，反之彈片被擠壓時變成通路。

Joystick 搖桿



圖 4. 7 Joystick 搖桿

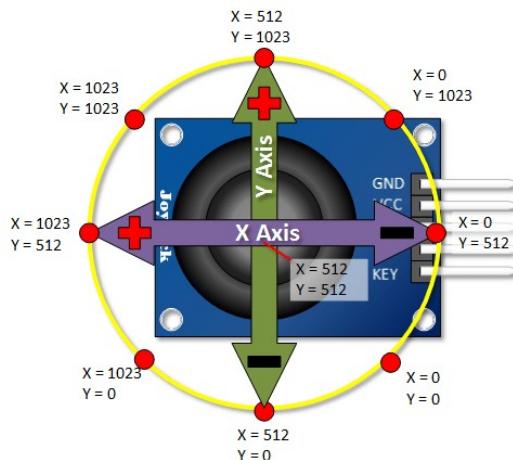


圖 4. 8 搖桿電阻值移動方向

為了馬達加減速的測試以及方便操作而選擇為冰球桌裝上搖桿，簡單來說搖桿就是兩個不同軸向的可變電阻外加一顆按鈕但按鈕沒被使用。需安裝腳位有一個 5V 的火線、一個地線，一個 X 軸訊號輸出與一個 Y 軸訊號輸出。XY 輸出要連接 CNC shield v3 的 Stop (A0) 以及 Abort (A1) 此兩腳位正連接著 Arduino 的數位訊號腳位。

接線圖

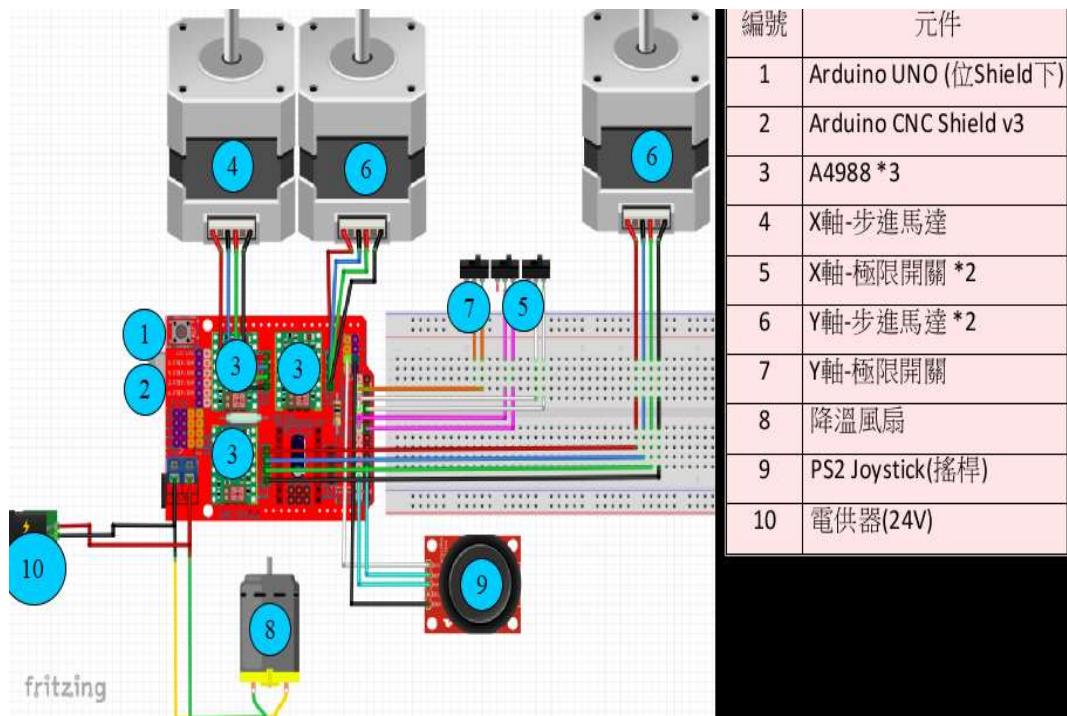


圖 4. 9 接線圖

於 Fritzing 繪製冰球桌的接線圖以及實體電路。

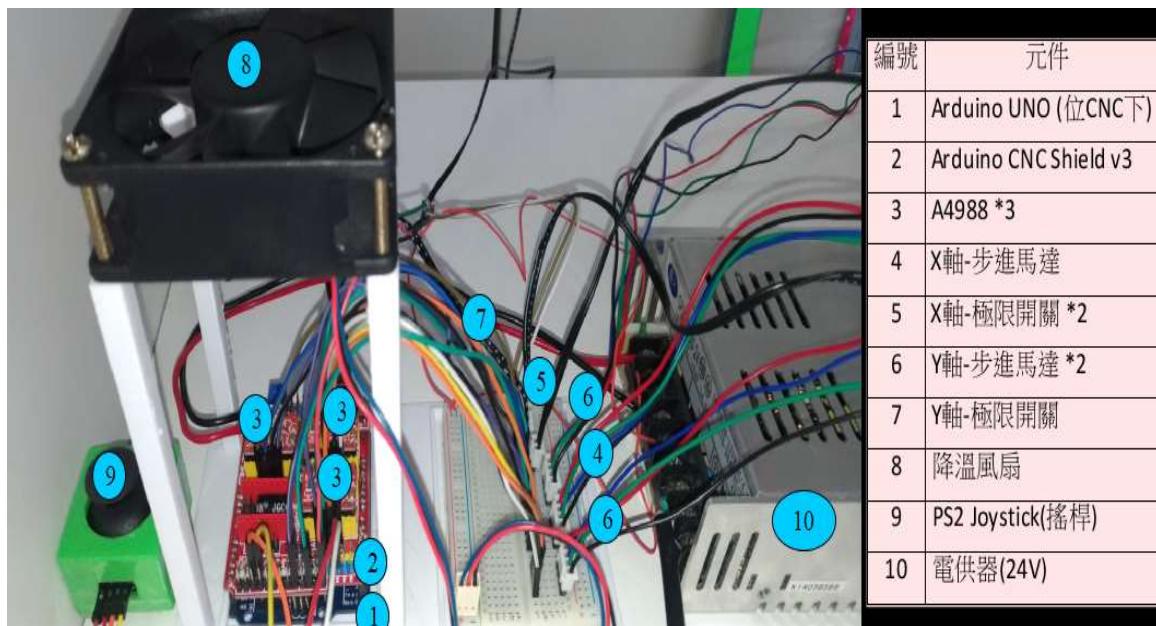


圖 4. 10 實體電路接線圖



圖 4. 11 冰球內部線路

冰球內部的線路系統。

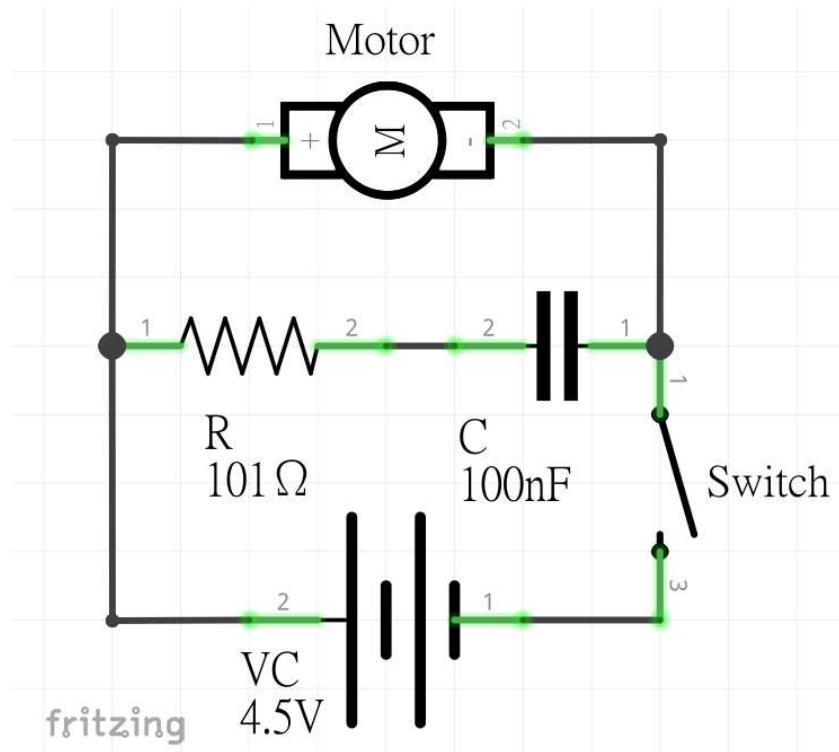


圖 4. 12 電路圖

對小馬達分壓並依靠電容讓整個電路運作較順暢。

Arduino 實體控制系統

本專題使用 Arduino UNO 作為基底，並於上方接上與其相容的主控版 Arduino cnc shield v3，將雷射雕刻機的應用改良成冰球桌的概念，主要包含了主程式、參數設定、多執行序模組、極限開關、步進馬達以及輸入接收端。

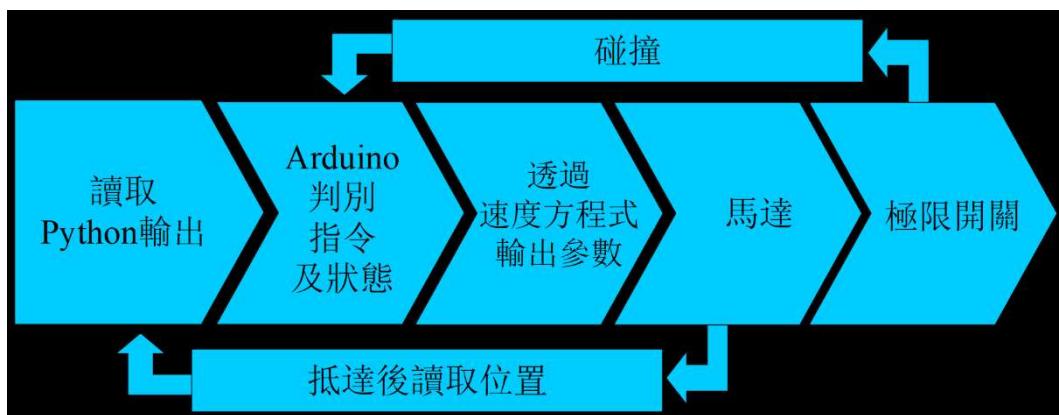


圖 4. 13 控制流程

- 主程式:主要寫入極限開關與虛擬多執行序的命令式。
- 參數設定:用於定義各個參數以及設置各腳位的輸出輸入關係。
- 多執行序模組:名為 Scoop.h 可上網下載並放入資料夾中使用。
- 極限開關:用於防止馬達衝撞邊界與定位。
- 步進馬達:一個讓馬達能持續通電直到命令達成的迴圈。
- 輸入接收端:接收由 Python 輸入過來的命令，同時若沒有命令時可使用搖桿控制，皆有速度方程式輔助，以便讓機器移動時更平順，加減速方程式則使用 matlab 解聯立方程式而得。

第五章 CoppeliaSim 模擬

5.1 CoppeliaSim 介紹

具有集成開發環境的機器人模擬器 CoppeliaSim，基於分佈式控制體系架構：可以通過嵌入式腳本、插件、ROS 或 BlueZero 節點，遠程 API 客戶端或自定義解分別控制每個物件或模型。



圖 5. 1 CoppeliaSim Logo

這使 CoppeliaSim 非常通用，非常適合多機器應用。控制器可以用 C / C ++，Python，Java，Lua，Matlab 或 Octave 編寫。

5.1.1 使用 CoppeliaSim 之緣由

使用 CoppeliaSim 協助產品之開發時程加速並節約成本，具體原因為進行實體製作時，總會遇到許多問題，若可以在事先藉由模擬方式提早發現問題並改良，即可降低金費之浪費，且可以在無實體前進形軟體開發測試，以達到同步進行，不必等實體開發完成才能進行程式之測試，另一個好處是可以進行各式測試，若運用實體測試需耗費大量經費進行場地之布置，但若運用 CoppeliaSim 模擬測試，可節約大量經費，也可運用程式配合 CoppeliaSim 進行程式之訓練。

5.1.2 CoppeliaSim 常用功能



圖 5. 2 CoppeliaSim 常用工具列一



圖 5. 3 CoppeliaSim 常用工具列二

代號	說明	代號	說明
1	顯示畫面平移	8	物件旋轉
2	顯示畫面旋轉	9	加入/移出樹狀結構
3	顯示畫面縮放	10	複製所有設定
4	顯示畫面視角	11	復原與取消復原
5	畫面縮放至適當大小	12	模擬設定
6	點擊選取物件	13	模擬控制
7	物件移動	14	視窗選擇

表格 3 代號說明

5.2 CoppeliaSim Remote API

Remote API 是 CoppeliaSim API 框架的一部份。用來使 CoppeliaSim 與外部程式通訊，是跨平台並支持服務調用或雙向數據傳輸，其中支援的程式語言有：C++、Java、Python、Matlab 與 Lua，而本專題使用 Python 之 Remote API。

5.2.1 CoppliaSim Remote API 雙埠號使用

CoppliaSim 之 Remote API 預設埠號為 19997，由於只有預設埠號可以控制其所有功能，不受該場景是否開始模擬影響，因此需要開啟雙預設埠號之使用，而使用雙埠號之原因為程式使用雙執行緒處理，一個負責處理大量接收之影像資訊，另一個負責控制電腦進行反擊，可以有效降低延遲時間，雙埠號需要開啟安裝之資料夾中的 remoteApiConnections.txt，並新增如下：

```
portIndex@_port = 埠號  
portIndex1_debug = true or false  
portIndex1_syncSimTrigger = true or false
```

5.2.2 CoppliaSim Remote API 動態連結函式庫與模組

Python 之模組位於

安裝之資料夾\programming\remoteApiBindings\python\python

動態連結函式庫位於

安裝之資料夾\programming\remoteApiBindings\lib\lib\作業系統

第六章 影像辨識

6.1 影像辨識介紹

基於機器視覺底下，影像辨識是一種用於識別影像中之物件種類、位置之軟體，本專題所用為 python 之開源套件 Open Source Computer Vision Library(OpenCV)。

6.2 CoppliaSim 與實體影像辨識之差異

CoppliaSim 之視覺傳感器(VisionSensor)經遠程應用程式編程介面(Remote API)接收影像並進行影像辨識之處理，首先須注意影像之格式，由 CoppliaSim 輸出之影像，以一寬與高各為 512 像素之視覺傳感器為例，會接收 $512(\text{寬}) \times 512(\text{高}) \times 3(\text{三原色}) = 786432$ 個影像資料，因此資料之整理就顯得十分之重要，影像整理後會以一個三階串列(list)儲存，當需要時再進行呼叫。

網路攝影機之影像，接收後就會以一個三階串列(list)儲存所以不必進行影像之整理，節省了大量的運算時間。



圖 6. 1 網路攝影機

6.3 RGB 轉換 HSV

6.3.1 RGB 與 HSV 介紹

RGB 為光之三原色，分別代表紅色(Red)、綠色(Green)與藍色(Blue)，HSV 是一種將 RGB 中顏色轉換為圓柱坐標系之表示法，分別代表色相(Hue)、飽和度(Saturation)、明度(Value)。

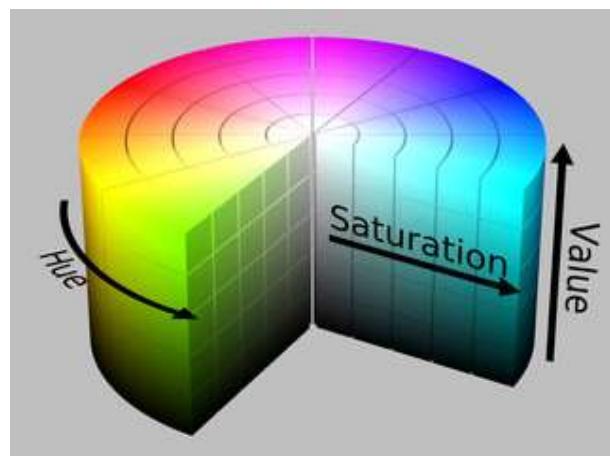


圖 6. 2 HSV 表示圖

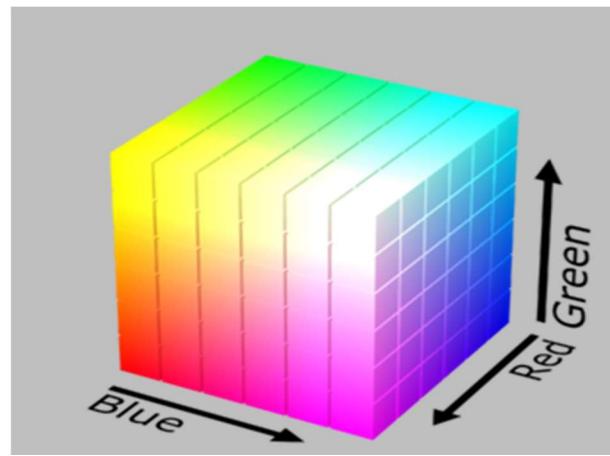


圖 6. 3 RGB 表示圖

6.3.2 RGB 轉換 HSV 之方法

RGB 與 HSV 之轉換規則如圖 6.4，其中 max 與 min 分別代表 RGB 中之最大者與最小者。

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } max = min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{max-min} + 0^\circ, & \text{if } max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{max-min} + 360^\circ, & \text{if } max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{max-min} + 120^\circ, & \text{if } max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{max-min} + 240^\circ, & \text{if } max = b \end{cases}$$
$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } max = 0 \\ \frac{max-min}{max} = 1 - \frac{min}{max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$v = max$$

圖 6.4 RGB 轉為 HSV

6.3.2 RGB 轉換 HSV 之原因

由於 RGB 為三種顏色之混合，在程式編寫時十分不直觀，無法準確給與所要顏色的顏色範圍，若轉換為 HSV，只要確保色相之角度為所要的顏色，再來只要調整飽和度與明度即可。

6.4 顏色過濾

顏色過濾為利用每一像素點所帶有之三個顏色之值，把所要的顏色留下其餘剔除，得到過濾後之影像，過濾時需要給予一顏色之範圍，帶入下式其中 $Lower_{color}$ 為下限顏色， $Upper_{color}$ 為上限顏色 $img(i)$ 為各像素之顏色，過濾效果如圖 6.5 與圖 6.6，過濾範圍下限值(H,S,V)為(-10, 100, 100)，上限值(H,S,V)為(10, 255, 255)。

$$Lower_{color} \leq img(i) \leq Upper_{color}$$



圖 6. 6 過濾前

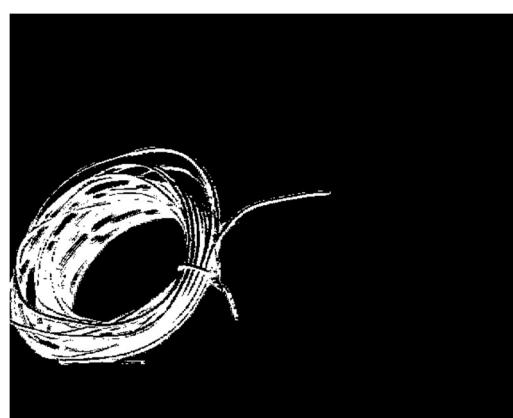


圖 6. 5 過濾後

6.5 雜訊過濾

由於 webcam 所接收之影像會有些微雜訊，因此顏色過濾後往往多出許多白點，如圖 6.7 過濾為圖 6.8 後，可以發現圖 6.8 上多出許多白點，而實際只要紅色矩形，此時只要過濾掉過小的區域留下大面積，過濾後如圖 6.9 就只剩下所要抓取之物件。

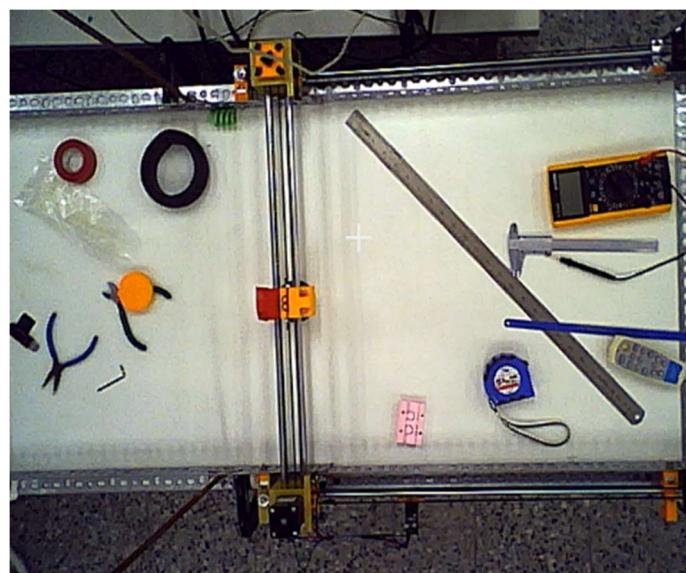


圖 6.7 雜訊過濾一



圖 6.8 雜訊過濾一

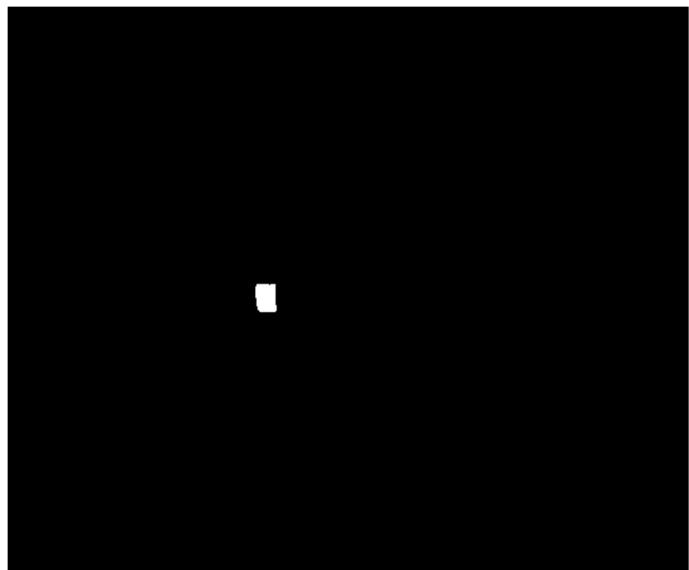


圖 6. 9 雜訊過濾三

6.6 影像校正

由於攝影機有所謂的視角，當視角越大，影像之變形會越嚴重，會嚴重影響影像辨識之準確度，因此需要校正影像來補償誤差，再者也可由影像校正來自動校正準確度，不必特別在意桌檯與攝影機影像是否平行，如圖 6.10 刻意把球桌旋轉且不在球桌至正中間進行攝影機之架設，一樣可以校正為圖 6.11 水平且垂直球桌之影像，如此可以更加精準之判斷球與電腦之相對位置。

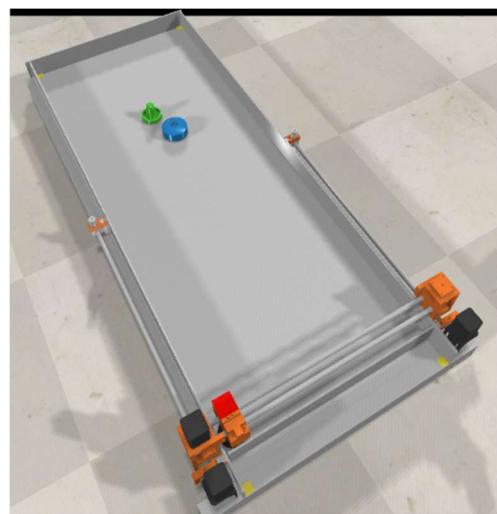


圖 6. 10 嚴重與攝影機不平行之球檯影像



圖 6. 11 校正後

6.6 計算形心座標

運用影像辨識後所獲得的灰度圖來計算形心座標，此形心座標將輸出給程式進行對打運算，而形新座標計算如下，其中 M 與 N 分別代表影像之垂直與水平像素數目， $array(x, y)$ 代表影像之灰度值，灰度值指的是黑白照片中對黑的程度的數值化，白色值為 255，黑色為 0，如圖 6.12 為純黑白圖片再利用其中之值找出形心，如圖 6.13。

$$m_{ij} = \sum_{x,y}^{M,N} (array(x, y) \cdot x^i \cdot y^j)$$
$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$



圖 6.12 過濾藍色膠帶



圖 6.13 形心計算後並標記

第七章 對打程式

7.1 冰球之移動速度計算

影像輸入至處理結束有一段約為 60 毫秒的處理時間，因此影像之幀數約為 17 fps，利用影像處理之時間與前後影像之距離即可計算出速度，但在此須特別注意由於前面所算出來之座標位置為像素格數，若要計算出長度單位，則需要有一段可偵測之固定長度去進行轉換，計算出單位像素之長度，而本專題利用影像校正之黃色標點當作基準長度，除以兩標點間之像素長即可獲得單位像素之長度，再把前面計算所得進行轉換即可獲得長度單位之速度。

7.2 冰球之路徑預測

7.2.1 直線運動

本專題之路徑預測如移動速度之計算，運用影像之處理時間之延遲，抓取前後之位置差異，計算出運動軌跡之方程式，再以同一方程式解出再來的位置，配合前面所求之速度，可求出下一秒之可能位置與行走路徑，且方程式每次運算都會進行修正，所以在協助程式判斷方面，效果十分顯著。

7.2.2 反彈運動

撞牆之反彈，首先需要知道牆壁所在，因此影像校正之黃色標記可以協助判斷牆壁之位置，而本專題假設撞擊後入射角與反射角相等，若入射角與反射角相等可知其斜率相差一負號，因此有了直線運動之方程式加上撞上牆之點，即可求反射後之方程式。

7.3 網際操作介面

網際操作使用 python 之 Flask 配合 Html 建立網頁，由 python 進行影像處理傳輸至網頁並顯示，再利用網頁之 JavaScript 獲取命令傳輸至 python 程式進行對應處理。

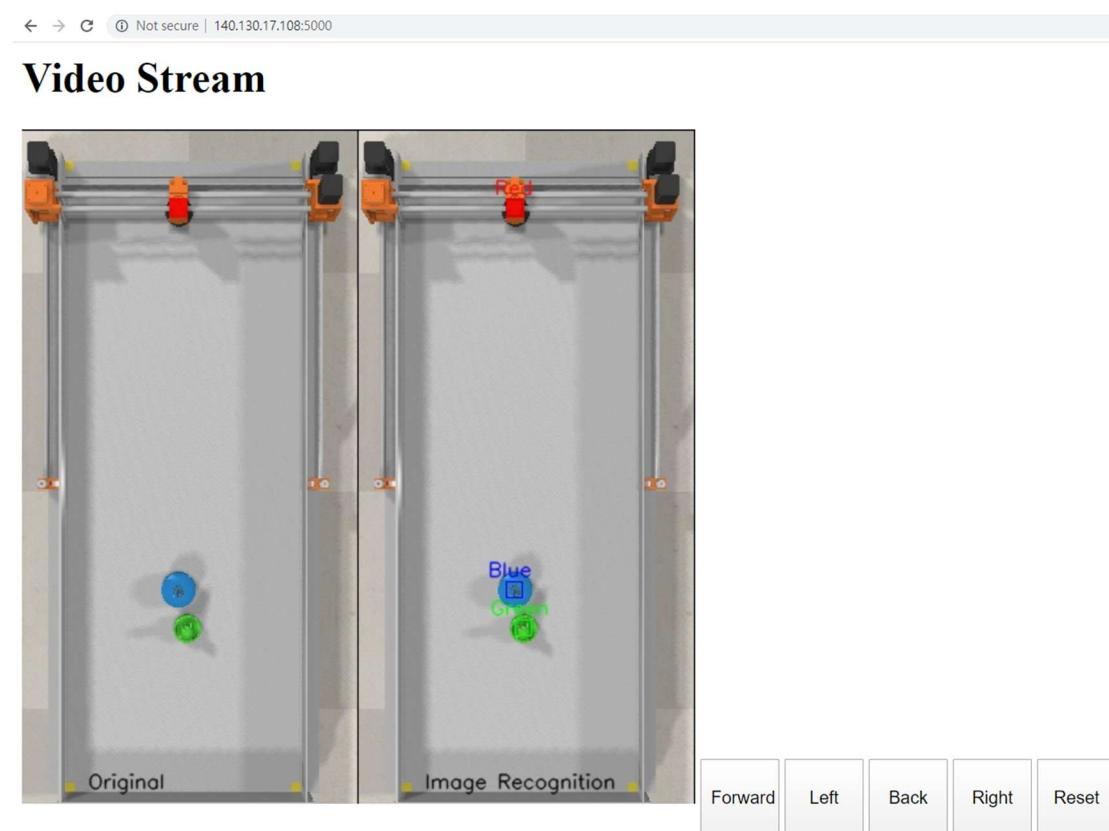


圖 7. 1 網際操作介面

第八章 問題與解決方法

Q：攝像頭出現雜訊影響辨識？

A：影像辨識由於是利用 HSV 顏色範圍進行搜尋，容易受到鏡頭的雜訊影響，造成大量非必要的判定，由於非必要判定都有相同特點，都比必要的小，因此只要設定一個標準大小，刪除比標準小的即可。

Q：3D 列印機所印製之孔軸直徑與圖檔有所誤差？

A：列印件孔的尺寸會比設計圖還要小，需要加大直徑，例:1mm 大小的孔需要擴大約 0.2mm 的尺寸，以擠出線徑粗細來訂就可以。

Q：冰球機 Y 軸正向可能會撞擊到盡頭的光軸支撐座？

A：在邊緣處多增加一極限開關，並在 X 軸光軸固定座進行設計變更，由此將得以保障機構之安全。

Q：原本 5 V 的風扇時好時壞？

A：原 5 V 的風扇是從控制板直接接出，初步懷疑是供電不足，故風扇無法轉動，所以我們將風扇換成 12 V 的直接從電源供應器接出來。

Q：機台列印到一半會自動停止並螢幕顯示加熱失敗停止列印請重新啟動？

A：根據螢幕顯示的畫面，初步判斷是散熱太快，故把風扇的角度做了改變，讓它不對著噴頭直吹，目前改善之後可以正常列印。

Q : 加熱系統為何無法正常加熱？

A : 第一先檢查位於噴頭上的加熱棒是否正常，可使用三用電錶試之。如正常，再者檢查位於加熱棒旁的熱敏電阻是否正常，通常熱敏電阻是最容易壞掉的，因為他小小一個不小心扯到就會斷掉，如都正常，檢查控制板上的插槽是否有確實插緊。

Q : 平台的平整度該如何調整？

A : 因是大平面的壓克力板，故在整個平整度上調整是些許的難度，但利用機台上的兩根橫跨 Z 軸 L 型鋼板的鋁擠製，來墊高比較低的那邊，讓平台能夠平整一點。

Q : 平台與噴頭間的距離如何調整？

A : 在 Z 軸上裝設接近開關，利用接近開關的特性，讓平台的可調性變得簡單。

Q : 機台在列印時晃動的問題？

A : 可以使列印速度降低這樣機台比較不會晃，也可以讓機台較大面積的那面靠著牆，讓機台大大的減少晃動，本列印機才用後者。

Q : 列印模型為何會斷層？

A : 第一可能是列印時 XY 方向的皮帶過鬆或過緊都會造成移位，重新拉緊或放鬆即可。

第二可能是平台與噴頭的距離太遠，調整接近開關與螺絲的距離。

第三可能是列印時機台晃動使得 XY 軸其中一軸跑掉，降低列印速度或讓機台靠牆。

Q : Y 軸為何其中一邊移動時會延遲？

A : 查看電線是否有確實插緊或接好，時間久了會因為震動還是其他原因讓電線鬆脫，所以大部分都是電線的問題並非馬達。

Q : 在列印時為何模型翹曲？

A : 沒有加熱平台設備的機台，通常都會遇到翹曲的問題，解決方式有很多種，這裡舉最常使用的方法，第一在模型最底面增加木筏，第二使用 3D Printer 專用的紙膠帶黏於平台上，第三在平台上塗口紅膠，最好是新增加熱平台的設備。

Q : 列印時的速度該怎麼設定？

A : 大平面列印速度可以快，但小範圍的建議列印速度調慢點。

研究成果及結論

本專題之目的已達到，使用維護之大容量 3D 列印機協助冰球機與冰球之製作，且冰球機能夠藉由影像辨識後得到之資訊進行反應，此系統同時可運用至網際連線遠端控制，且功能皆為虛擬開發再進行實體之實現。

可以運用虛擬模擬程式進行大量嘗試與開發，沒有經費限制，當有了經費再決定要建立之實體規格，可以有效減少開發進程。

參考文獻

<http://www.taiwanfoos.com.tw/html/air-hockey.html>

<https://www.coppeliarobotics.com/>

https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html>

<https://www.opentech.tw/modules/store/?op=itempage&id=41>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AD%A5%E9%80%B2%E9%A6%AC%E9%81%94>

https://www.orientalmotor.com.tw/image/web_seminar/stkiso/20130307_stkiso_seminar.pdf

<http://marsdiy.blogspot.com/2018/05/grblcnca4988.html>

https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf

<http://diy3dprint.blogspot.com/2013/11/4988.html>

<https://www.itread01.com/content/1549704434.html>

<https://www.comsol.com/support/knowledgebase/1172>

<https://medium.com/dayday-space/%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BC%E9%9B%BB-%E9%A2%A8%E6%A9%9F%E8%91%89%E7%89%87%E7%99%BE%E7%99%BE%E7%A8%AE%E4%B9%8B%E9%81%B8%E8%B3%BC%E6%8C%87%E5%8D%97-f5f8d0d52669>

https://etd.lib.nctu.edu.tw/cgi-bin/gs32/tugsweb.cgi?o=dnctucdr&s=id=%22GT070151056%22.&searchmode=basic#XXX_X

<https://www.comsol.com/support/knowledgebase/1172>

<https://www.syndyn.com.tw/syndynnews5.html>

附錄

附錄一 零件表

機械零件

件號	名稱	規格(mm)	數量	備註
1	直線軸承座	SMA 12	2	
2	檯桌桌面	1400x700x20	1	
3	光軸	Ø12x650	4	
4	立式軸心固定座	SK12	4	
5	光軸套筒	LM12UU	2	
6	惰輪	2GT	3	
7	馬達座		2	
8	2GT 同步皮帶	5000	1	
9	同步輪	2GT	3	
10	線性滑軌		1	
11	角鋼		6	球檯外牆
12	C型夾具		8	
13	鋁擠型	15x60x190	2	球檯外牆

電子零件

件號	名稱	規格(mm)	數量	備註
1	散熱風扇	80x80x28	1	
2	極限開關		4	
3	步進馬達驅動器	A4988	3	
4	控制板	CNC Shield V3	1	
5	Arduino	UNO R3	1	
6	步進馬達	42x42	3	
7	視訊鏡頭		1	
8	電源供應器		1	
9	控制搖桿	PS2 joystick		

列印零件

件號	名稱	規格(mm)	數量	備註
1	X 軸同步輪架	40x40x14	1	
2	Y 軸同步輪架		2	
3	Arduino 固定板		1	
4	自製冰球	Ø75x24	1	
5	擊球器固定座		1	由三件列印件組合
6	光軸蓋		4	
7	Y 軸皮帶固定座	60x42x15	2	
8	X 軸光軸固定座		2	
9	擊球器		1	
10	冰球風扇		1	

作者簡介

	<p>姓 名 : 葉修宏 學 號 : 40623124 畢業學校 : 國立虎尾科技大學 機械設計工程系</p>
	<p>姓 名 : 張育偉 學 號 : 40623127 畢業學校 : 國立虎尾科技大學 機械設計工程系</p>
	<p>姓 名 : 張華堯 學 號 : 40623128 畢業學校 : 國立虎尾科技大學 機械設計工程系</p>
	<p>姓 名 : 陳鉅忠 學 號 : 40623130 畢業學校 : 國立虎尾科技大學 機械設計工程系</p>

【14】

分類編號：J-4-APP-3004-影識在虛實整合機電系統設計之應用

一零九級