

機械工程實務

期末報告

GG

組別 06

B06502027 羅恩至

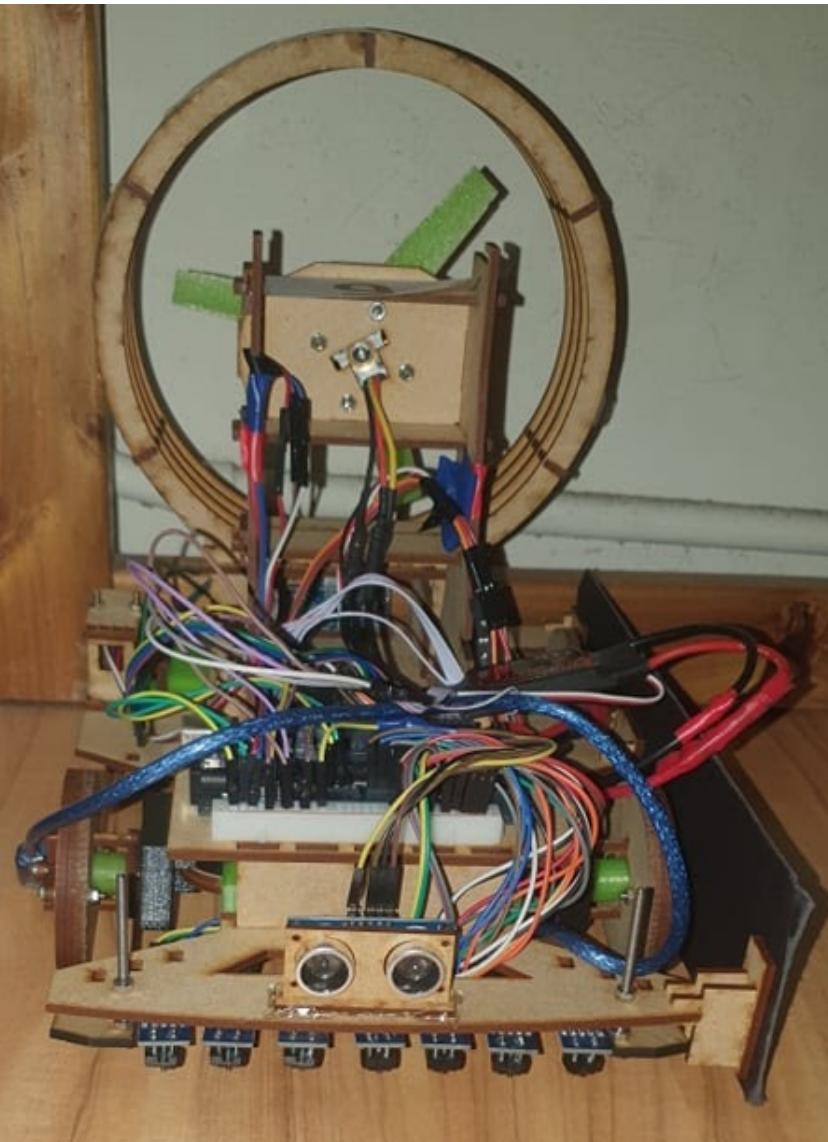
B06502069 林俊宇

B06502072 羅崇榮

B06502124 黃少儀

B06502137 沙雲蓉

B06502138 孟菲斯



教授	詹魁元	楊馥菱	鄭榮和	林沛群	蔡曜陽	陳湘鳳
評分						

目錄

1. 緒論.....	3
2. 功能需求.....	6
3. 設計概念與布置.....	12
3.1 車底板.....	12
3.2 轉向機構.....	16
3.3 輪胎.....	19
3.4 紗車系統.....	21
3.5 風扇罩.....	23
3.6 風扇立柱.....	24
3.7 風扇.....	25
3.8 程式設計與機電系統.....	32
4. 設計分析與驗證.....	72
4.1 實驗.....	72
4.2 風扇應力分析.....	84
4.3 製造.....	85
4.4 驗證.....	85
4.5 總組合圖與零件工程圖.....	95
5. 工作進度與分工.....	96
6. 心得.....	98
7. 參考資料.....	101
8. 附錄.....	102

1. 緒論

在這學期的機械工程實務課程當中，我們的目標是要做一台單純利用風扇作為動力來源的氣動車。這次project不論難度以及所需要的知識而言，都遠比上學期的撞球車還要多上許多，相當具有挑戰性。也因此我們在製作氣動車過程中，常常遇到許多難以解決的困難，不論車體機構以及機電系統都曾無預期地出現各種問題，讓我們難以招架應付，因此最後我們決定將這台車取名叫做「GG」。

在每位組員上網收集資料以及研究去年多組學長的報告後，我們匯集了所有有用的資訊來製作出一台完全出於己手的氣動車，其中有些調整與更改還在測試階段，為了能成功的找出錯誤的地方。

而為了完成氣動車的製作，必須需要有團隊充分的溝通與合作。我們小組每個禮拜都會在固定時間(星期三下午)開會討論，各組員輪流報告當週的執行內容，以檢視製作氣動車的執行進度是否落後，同時組員們也會在會議中互相分享自己的想法與建議，而在每次會議結束前，組長會分配每個人在下次會議前應完成的工作：有些人分配較困難的部分，像是風扇的設計、撰寫程式碼等等；有些人則分配較為簡單但需要花費非常多時間的工作，像是車體機構的設計與工程圖繪製、採買零件等等，雖然每人都有分配自己的工作，但是若有組員遇到困難的話，大家還是會互相幫忙。

以下為我們氣動車的完成組合圖與範疇：

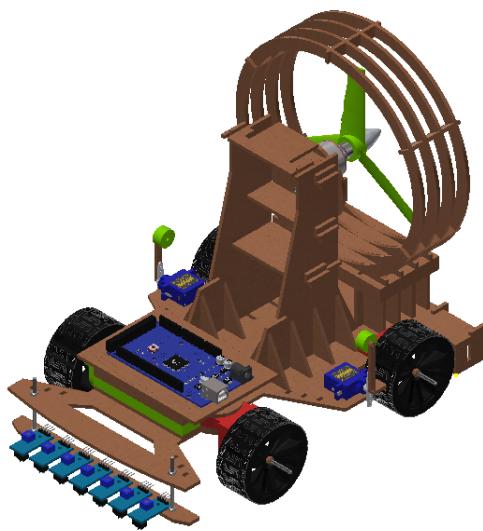


圖 1-1 氣動車完成組合圖(期中測試用)

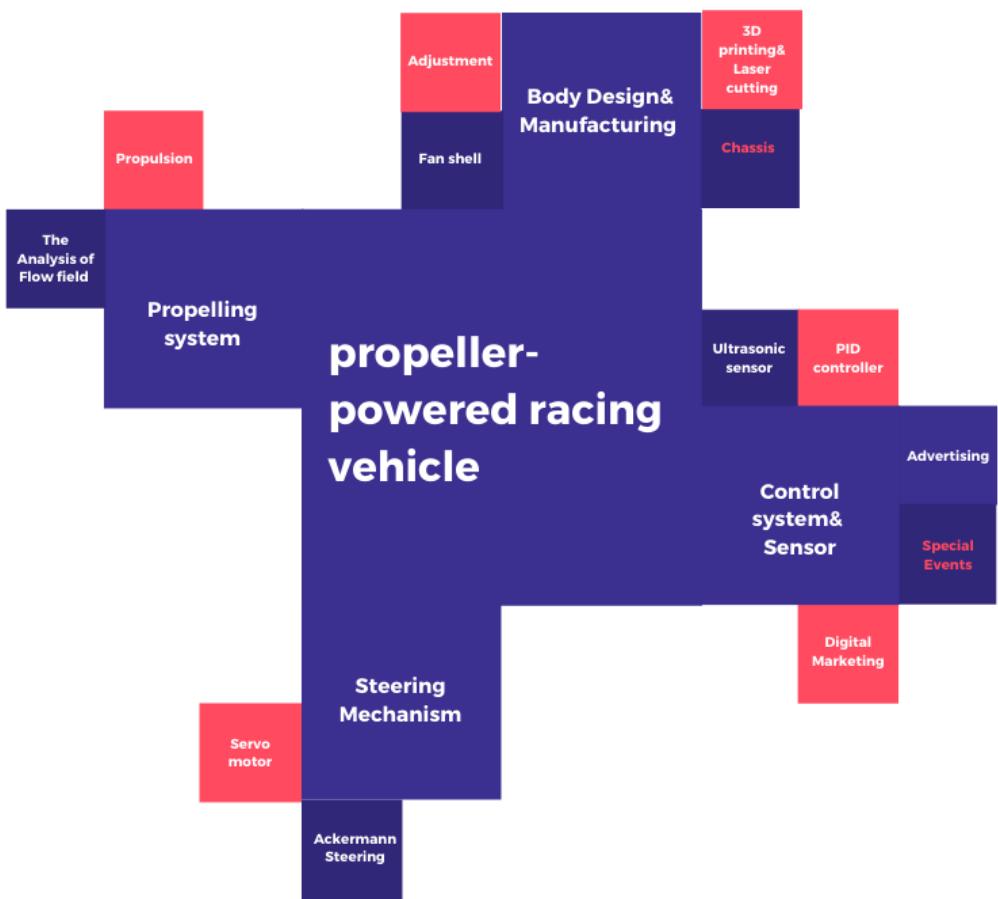


圖 1-2 氣動車範疇

氣動車的零件主要是使用雷射切割後的密集板跟3D列印的零件。而應期中考的需求，我們在氣動車的前端安裝紅外線感應器讓車子能夠循跡，轉向機構則使用阿克曼轉向機構。

而在經過期中測試之後，我們遇到了一些問題。每當遭遇問題時，就會進行開會討論，讓組員們能互相腦力激盪以提出解決方法。以下簡單整理出幾個曾遇到的困難：首先在轉向機構的部分，由於機構本身的摩擦力較大，伺服馬達扭矩不足以讓轉向機構順利轉向，因此在期末的時後調大紅外線轉向的權重，讓機構能順利轉向；再來是輪胎的部分，由於輪胎摩擦力稍大，需要較大推力才能推動車子，因此在期末改成摩擦力較小、表面較光滑的密集板輪子。而由於期末需要進行跟車及超車，因此在車體前後各加裝一顆超音波感測器來感測兩車距離、使用光電編碼器以及自製的光柵計算車子行走距離，並且改用PID來控制馬達轉速，以及控制車子的行進速度。

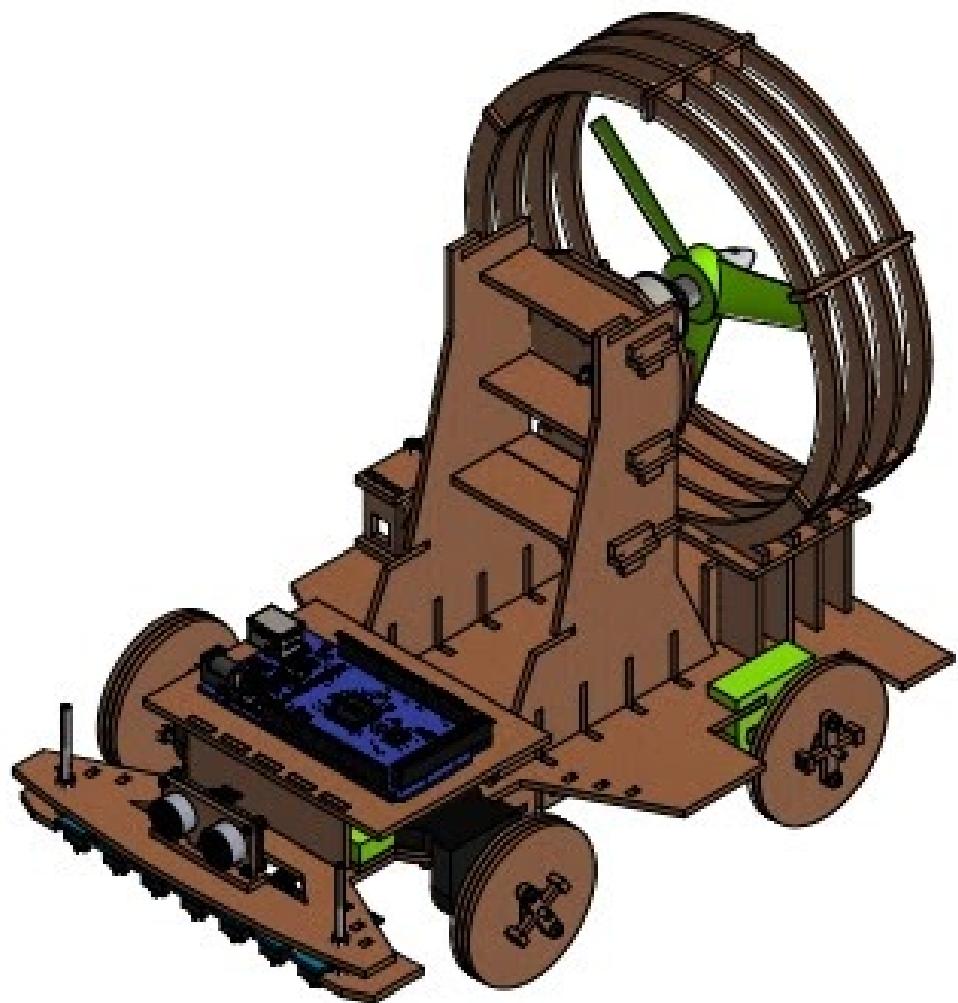


圖 1-3 氣動車完成組合圖(最終版)

2. 功能需求

2.1 期中測試功能需求

2.1.1 賽道



圖 2-1 期中賽道(寬60cm)

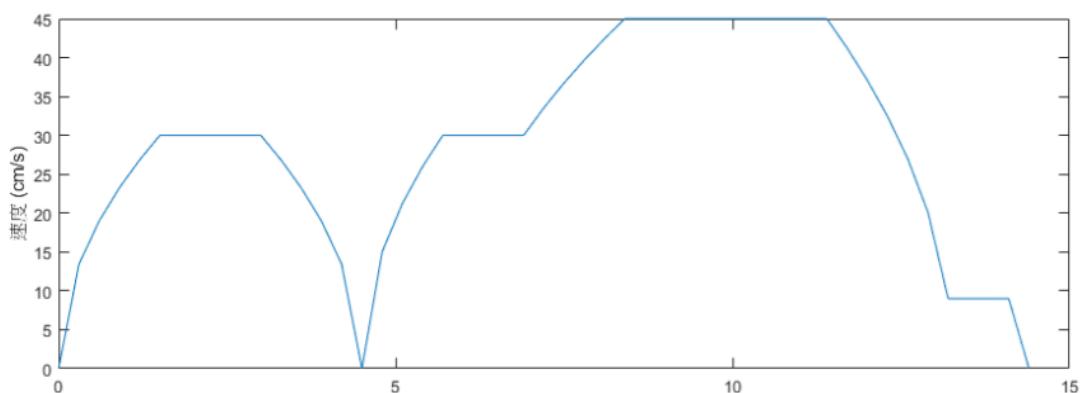
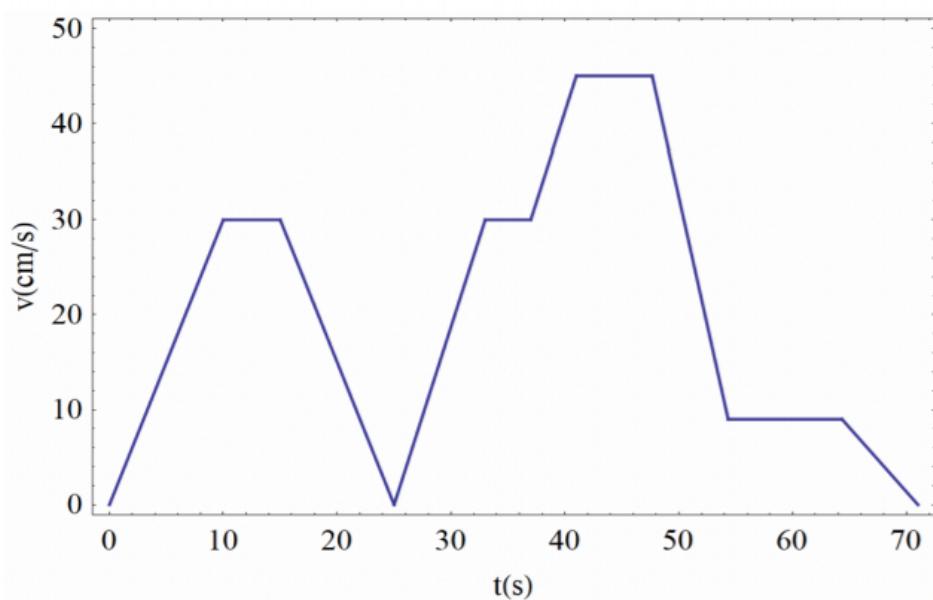


圖 2-2 期中賽道之速度規範 (速度對空間分布)



圖三、期中賽道之速度規範 (速度對時間分布)

圖 2-3 期中賽道之速度規範 (速度對時間分布)

2.1.2 車體配置限制

- A. 車體大小不得大於 A4 尺寸 (21.0cm x 29.7cm)。

- B. 配重 250ml 的未拆封鋁箔包作為車手重量，其位置與角度可任意擺放。
- C. 總成本不得超過新台幣 3000 元。
- D. 螺旋槳需有Helix徑向保護裝置。
- E. 須於車體右側置一黑色紙板(7cm x 29.7cm)，以遮蔽賽道光電開關之光源。

2.1.3 動力需求

以螺旋槳產生之風力來讓車輛達到驅動與制動之所有的動力，除螺旋槳機組外不得有其他動力來源。

2.1.4 循跡需求

- A. 均以全自主循跡，不得以遙控或遠端修改程式控制車輛。
- B. 循跡時需追尋中線，測試過程中車輛出線或碰觸到車體，須返回起始點重新開始，期間不停錶。

2.1.5 時間限制

以五分鐘為限

2.2 期末驗收功能需求

2.2.1 驗收規則

- A. 賽道全長約22.57m，寬65cm，如圖2-4所示，分為四個區段(AC為直線段，BD為彎道段)。測試時間 10 分鐘，車輛全自主循跡(或跟車)，以風力驅動。
- B. 兩輛車皆以逆時針方向跑完賽道三圈，後車跟隨著前車，並在過程中完成兩次超車(前後車互換)。
- C. 依據四個項目(循跡、跟車、超車與平均車速)的完成度或優劣進行評分。
- D. 除風扇產生之風力外，不得以其它動力驅動車輛(如前車拉後車、後車推前車等)，但允許兩車偶有擦撞。若有此情形，需返回起始點重新開始，期間不停錶。
- E. 賽道各處以每 25 公分為間隔設置一光電感測器，並依據感測器量測兩車距離，再做時間平均；以後車行走距離除以行走時間作為平均車速。
- F. 驗收過程中任一車輛出線(車輛投影面積完全沒有在軌道範圍內)或以手(或外物)碰車，須返回起始點重新開始，期間不停錶。
- G. 若前車領先後車超過半圈，視為未跟車，兩車須回起始點重新開始。
- H. 兩車至少皆須跑完第一圈賽道才有分數。
- I. 除了超車時可以循跑道兩側線外，其他時間需以中線為循跡線，不得追跑道兩

側線。

- J. 驗收過程中若欲進行更換、調整、拆卸、添加任何軟、硬體設備等行為，必須回到起始點重新測試。
- K. 完成賽道後可返回起始點重新測試。取單次最高分者為期末驗收分數。

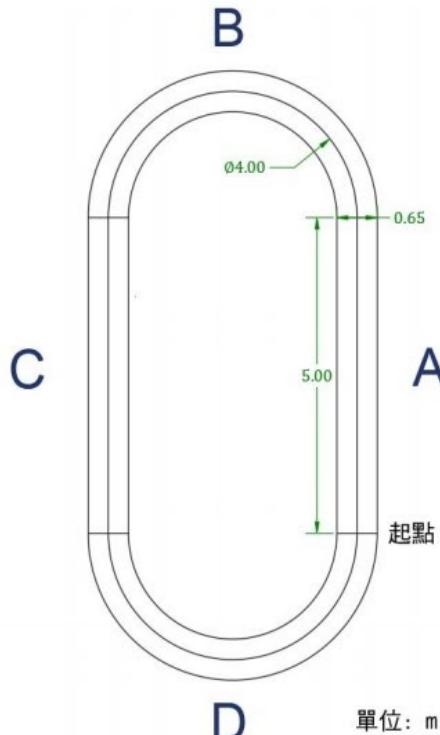


圖 2-4 期末賽道圖

2.2.2 車體配置限制

- A. 車體大小不得大於 A4 尺寸 (21.0cm x 29.7cm)。
- B. 配重 250ml 的未拆封鋁箔包作為車手重量，其位置與角度可任意擺放。
- C. 總成本不得超過新台幣 3000 元。
- D. 螺旋槳需有 Helix 徑向保護裝置。
- E. 須於車體左側置一黑色紙板(7cm x 29.7cm)，以遮蔽賽道光電開關之光源。

2.2.3 動力需求

除風扇產生之風力外，不得以其它動力驅動車輛。

2.2.4 循跡需求

- A. 均以全自主循跡，不得以遙控或遠端修改程式控制車輛。
- B. 除了超車時可以循跑道兩側線外，其他時間需以中線為循跡線，不得追跑道兩側線。

2.2.5 時間限制

時間限制十分鐘

2.3 期中測試功能需求與量化指標

根據期中測驗的規則及需求，本次測試有五大重點：循跡、轉向、車體、風力推進、煞車。而根據這些重點需求，我們希望我們的車子能有以下幾種性能：

2.3.1 準確的循跡

車子需要穩定的沿著黑線前進而不會一直左右晃動。

量化指標：

- A. 紅外線感測穩定度（流明）
- B. 紅外線感測靈敏度（流明）
- C. 紅外線感測器的擺放間隔（公分）

2.3.2 穩定的轉向

循跡定向時車體須能進行精準的控制方向，使前輪盡可能維持固定方向。

量化指標：

- A. 轉向機構迴轉半徑（公分）
- B. 車輪與地面側向摩擦力（牛頓）

2.3.3 車體

整台車的主要結構，由於必須承擔所有重量，因此設計時需考量強度及耐用度。

量化指標：

- A. 車體重量（公斤）
- B. 輪軸與軸承之摩擦力（牛頓）

2.3.4 風力推進

由於需要控制風力的大小，需要可以控制轉速的馬達，而且風扇為唯一推動的動力，需要高轉速。風扇罩若設計良好不僅可以保持安全還可以提高風扇推進效率。

量化指標：

- A. 風扇不同轉速下推力（牛頓）
- B. 車輛行進阻力（牛頓）

2.3.5 煞車

由於期中測驗包含一減速區，因此需要煞車使車速下降。

量化指標：

- A. 紊車距離 (公分)
- B. 紊車阻力 (牛頓)

2.4 期末驗收功能需求與量化指標

根據期末驗收的規則，歸納出以下六大重點：循跡、轉向、車體、風力推進、跟車及超車。根據這些重點需求，我們希望我們的車子能有以下幾種性能：

2.4.1 準確的循跡

車子需要穩定的沿著黑線前進而不會一直左右晃動。如何調整參數，使車子不論在直線及彎道上都能穩定前進而不出線，將是本次期末驗收的重點。

量化指標：

- A. 紅外線感測穩定度 (流明)
- B. 紅外線感測靈敏度 (流明)
- C. 紅外線感測器的擺放距離 (公分)
- D. 每個感測器相對於轉向機構的轉向角度 (度)

2.4.2 穩定的轉向

循跡定向時車體須能進行精準的控制方向，使前輪盡可能維持固定方向。

量化指標：

- A. 轉向機構迴轉半徑 (公分)
- B. 車輪與地面側向摩擦力 (牛頓)

2.4.3 車體

整台車的主要結構，由於必須承擔所有重量，因此設計時需考量強度及耐用度。

量化指標：

- A. 車體重量 (公斤)
- B. 輪軸與軸承之摩擦力 (牛頓)

2.4.4 風力推進

由於需要控制風力的大小，需要可以控制轉速的馬達，而且風扇為唯一推動的動力，需要高轉速。風扇罩若設計良好不僅可以保持安全還可以提高風扇推進效率。

量化指標：

- A. 風扇不同轉速下推力 (牛頓)
- B. 車輛行進阻力 (牛頓)

2.4.5 跟車

期末驗收需要跟車，車距越近分數越高，故風扇轉速需隨著當下兩車距離而做適當調整，避免兩車距離過大或相撞的情形發生。

量化指標：

- A. 超音波測距距離（公分）
- B. 風扇轉速之控制（rpm）

2.4.6 超車

期末驗收需要進行兩次超車，故車體需針對以下因素進行調整，以避免超車未完成或是超車時兩車相撞。

量化指標：

- A. 進行超車與被超車時的風扇轉速控制（rpm）
- B. 進行超車時離開中線以及超完車後離開邊線回到中線的轉向角度(度)

2.5 需求相關性與相依性

本次氣動車的需求主要如下所示：設計規範、行進穩定、行進快速。

2.5.1 設計規範

設計規範規定尺寸限制、整台車的成本，因此與所有需求皆有關聯，故所有的設計均須建立在設計規範的架構下。

2.5.2 行進穩定

行進穩定由循跡的穩定性、轉向機構是否靈敏所決定。

2.5.3 車速控制

車速控制由風扇轉速的控制以及煞車性能所決定。

2.5.4 需求優先順序

以設計規範為首要考量，行進穩定放在第二位，車速控制則與前兩者不抵觸的情況下進行優化。

3. 設計概念與布置

3.1 車底板

3.1.1 設計概念與過程

在設計車底板時，為了確保底板有足夠的空間裝下所有組件，因此我們將車底板的長寬定在規定尺寸的最上限(規定尺寸為A4紙張大小 $297\text{mm} \times 210\text{mm}$ 、將底板尺寸定在 $290\text{mm} \times 200\text{mm}$ ，預留一些誤差空間)。而為了減少行進中的空氣阻力，因此將車體的前端特別設計成圓弧形，而非單純的矩形結構。

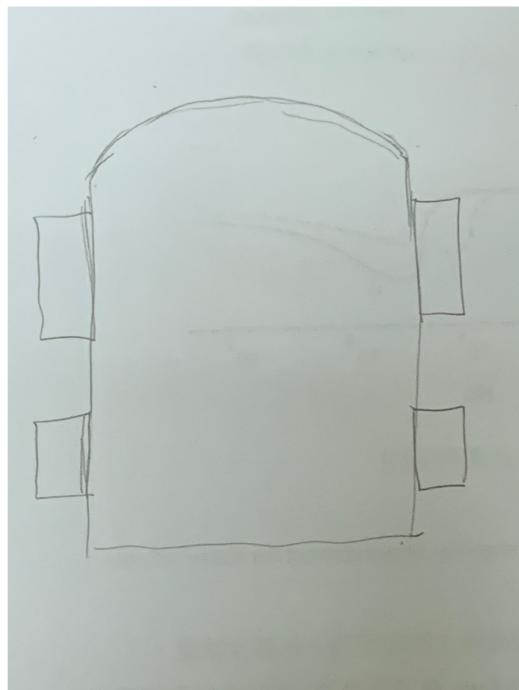


圖 3-1 車底板概念圖

決定好大致的車底板外型後，為了要能夠順利在上面放置風扇罩與風扇立架，因此在車底板上再切數個插口，以便之後能順利接上風扇罩與風扇立架；而由於前輪需安裝轉向系統進行轉向，因此必須預留足夠空間給前輪，讓其能夠順利地左右轉向。如圖3-2所示：

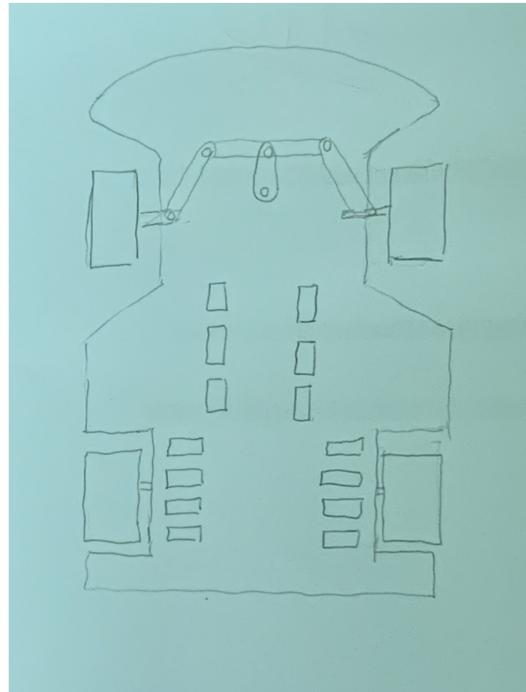


圖 3-2 第二代車底板概念圖

而當決定好所有機構的尺寸以及決定好欲使用的設備種類之後，最終版本的車底板如下圖 3-3 所示，和圖 3-2 不同的是，新的車底板除了增加了螺絲孔、伺服馬達的安裝口以及杜邦線洞口外，也在前輪後方多預留一些空間放置電池、伺服馬達等設備，詳細說明見3.1.2。

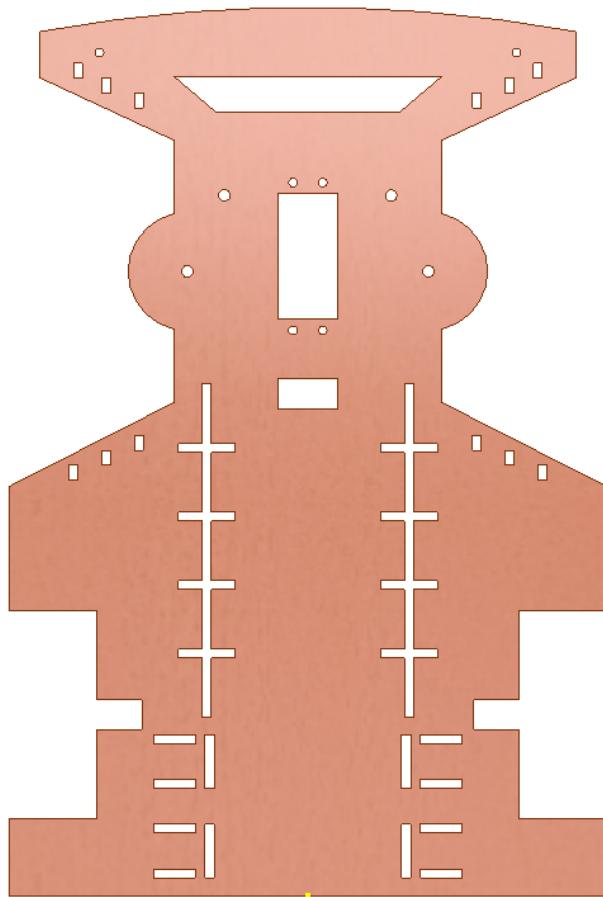


圖 3-3 最終版本的車底板

3.1.2 車底板特色

和別組設計的車底板比較來看，本組的車底板具有3個較為特別之處，分別敘述如下：

1. 紅外線模組支撐板：由於輪胎的半徑較大，提高了車底板的高度，此時若將紅外線感測器直接安裝在車底板上，感測器會離地太遠而偵測不到地板上的黑色膠條。因此為了確保紅外線模組能順利偵測到黑線，我們又特別設計了一塊紅外線模組支撐板，如圖3-4所示，支撐架放置在車底板前端下方，並用兩條長螺絲與上方車底板拴在一起。



圖 3-4 紅外線支撑架

2. 杜邦線洞口：由於我們使用7個紅外感測器，總共會用到21條杜邦線，若未整理妥當，車體前方的線路會相當的混亂，影響美觀。因此為了解決此項問題，我們在車底板前端切了一個方形的洞口，讓線能從控制板穿過此洞，連接到下方的紅外線感測器。
3. 飛機形底板：由於我們的輪胎較大，因此前輪需有較大的空間才能順利完成轉向，而為了要有足夠空間放置電池、伺服馬達等設備，因此將前輪後方的底板向外延伸以增加空間，最後設計成類似於飛機形狀的底板。

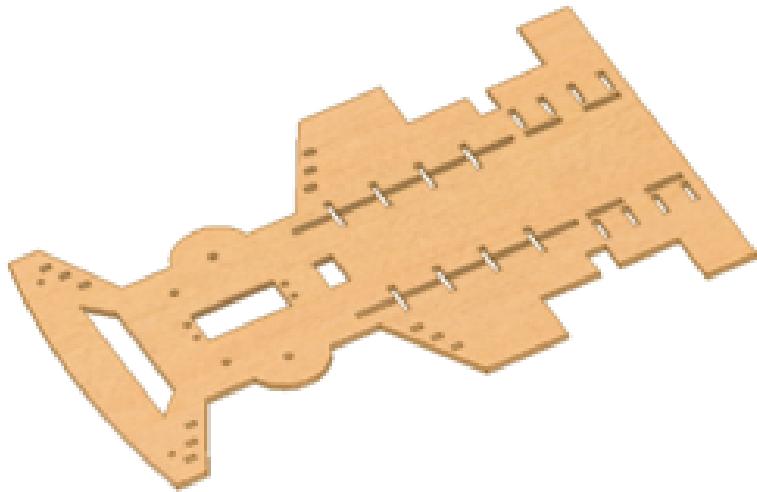


圖 3-5 最終版本的車底板，外型類似於飛機形狀

3.2 轉向機構

3.2.1 轉向機構的種類

車體轉向時，由於內外輪的轉向半徑不同，因此內外輪的角度會不同，若兩輪角度相同會產生額外的摩擦力，降低移動效率。而在蒐集資料後發現現今大部分的車體轉向機構是以Ackermann 轉向機構與 Davis轉向機構為主。

1. 阿克曼轉向機構[2]

阿克曼轉向機構利用四連桿機構，由前後之不等長桿件形成一梯形的結構(如圖3-6所示)。其特點是由於具有不等長之桿件，因此轉向時可以使內外輪具有不同的轉向半徑，讓四個輪子繞著同一個點旋轉。但現實中，由於輪子會產生側滑，因此只有當轉向特定角度時才會滿足四輪繞同一個點。但由於其製造、組裝簡單，因此還是很受歡迎。

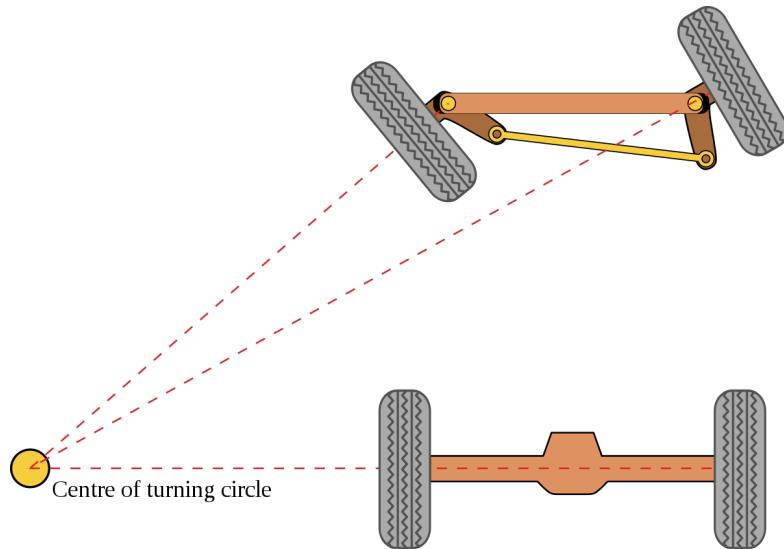


圖 3-6 阿克曼轉向機構示意圖[2]

2. Davis轉向機構

Davis轉向機構是以滑塊與連桿組合而成(如圖3-7所示)，其優點是無論何種轉向半徑都能使四輪繞著同一點旋轉。但是其機構複雜，對於尺寸配合也十分要求，滑動件之間具有高摩擦力，因此壽命不長。

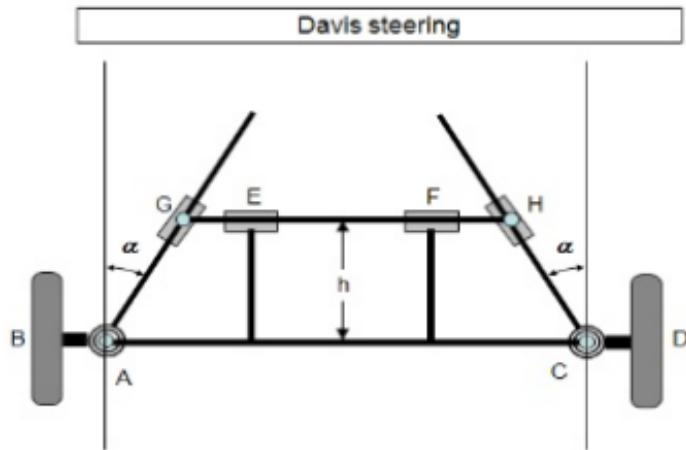


圖 3-7 Davis轉向機構示意圖[1]

3.2.2 轉向機構的選定

綜合以上所述，本組根據現有的能力、設備與需求，判斷應該使用Ackermann轉向機構作為此次專題的轉向機構。首先，本次專題並不需要極度精準的轉向，因此Ackermann轉向機構的精準度應該已經足夠。再來，Davis轉向機構需要有很精密的尺寸配合與耐磨性，實作中心的3D列印機應該無法滿足此項需求，反而可能使得整個機構動彈不得，因此得出採用Ackermann轉向機構的結論。

3.2.3 轉向機構設計

第一代轉向系統

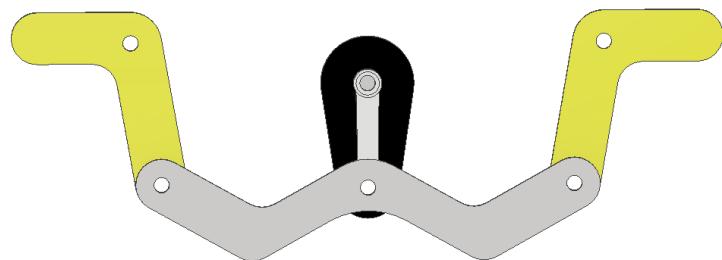


圖 3-8 第一代轉向系統

左右控制桿是採用3D列印的方式，W型桿則是使用雷射切割。在測試的過程中發現此機構用一段時間後會因為自重的關係產生彎曲的現象，使四連桿不再同一平面上，無法順利轉向。

第二代轉向系統

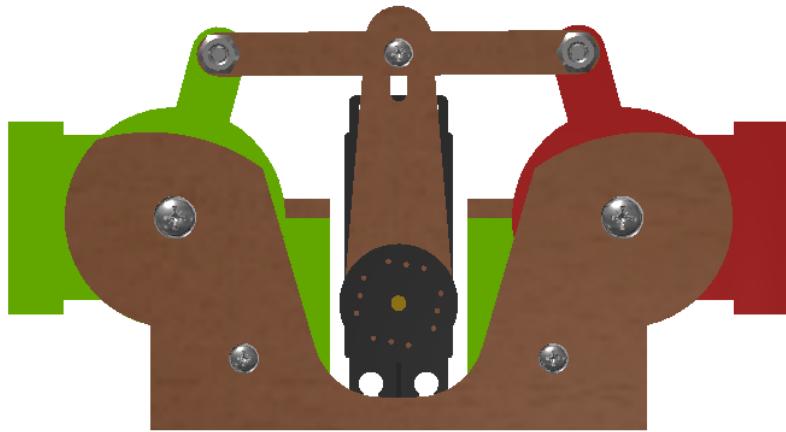


圖 3-9 第二代轉向系統

為了克服彎曲的現象，第二代轉向系統加裝了頂部與底部支撐，並且在左右控制之間也加一支撑，經過測試後發現不會再像第一代轉向系統有彎曲的現象。此外，為了配合底板形狀的變更，也變更了左右控制桿的形狀。

3.2.4 問題與修正

在設計完第二代轉向機構並上傳程式後，實際用手推著車跑一次，發現機構實際的轉向角度與程式所輸出的角度不符，且當輪子觸地之後，由於增加轉向機構與地之間的摩擦力以及輪子的側向摩擦力，導致伺服馬達變得難以帶動整個機構進行轉向，使車子在彎道時容易出線，甚至紅外線有感應到黑線，轉向機構卻卡住而未轉向的情形發生。

而針對這些問題進行修正，首先將機構周圍的杜邦線路重新整理，減少機構在轉向時因扯到線路而無法轉向的機會；並將機構的各個零件重新鎖緊，且增加伺服馬達舵盤的旋轉空間，來增加伺服馬達的旋轉角度，並修改程式來加大每個紅外線所相對應的轉動角度，使車子在行進時，轉向機構能克服摩擦力以順利轉向。

3.3 輪胎

3.3.1 輪胎種類選用

輪胎的選用是決定氣動車是否能順利前進的關鍵之一，組員們在蒐集資料與經過多次的討論過後，將萬向輪、rally tire等不太實用的輪胎種類排除，最後留下有胎紋的輪胎與光滑輪胎兩種做選擇，兩者比較如下表所示：

	有胎紋的輪胎	光滑輪胎
摩擦係數	大	小
耐久性	佳	佳
旋轉穩定度	可	可
重量	較輕	較重
支持	較差	較優
隱憂	摩擦力過大車子跑不動	車子易打滑

表 3-1 兩種輪胎之優劣比較

根據上表之比較，由於我們擔憂若使用光滑輪胎時摩擦力可能過小，導致車子打滑，因此我們決定使用有胎紋的輪胎來進行期中測試。

3.3.2 問題與修正

在期中測試時前我們使用有胎紋的輪胎，雖然車子行進時穩定性夠高，但由於輪胎磨擦力較大，導致風扇需要較大的推力才能使車子移動，而當車子開始移動後，又會因摩擦力變小，使得車子容易爆衝而出線。這也導致我們的氣動車非常難以控制其速度，在測試時往往不是跑不動，就是跑太快爆衝，甚至偶爾出現使用完全相同的程式碼，卻跑出截然不同的結果之情形發生，在來不及改善的情況下，導致我們最終的期中測試成績相當地不理想。

因此在期中測試後我們決定改採用光滑輪胎，而為了節省購買輪胎的成本，我們決定自己製作輪子，以密集板當作材料，再用雷切機將四個輪子切出來，作為光滑輪胎的替代品，如下圖3-10與3-11所示：

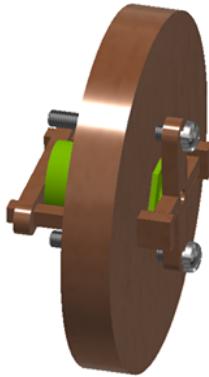


圖 3-10 輪子組合圖



圖 3-11 輪子爆炸圖

而在實際測試後，由於密集板輪子摩擦力較低，馬達僅需較低轉速即可帶動車體前進，控速也變得容易許多；而由於輪子是由2~3層密集板(前輪3層、後輪2層)疊加而成，層與層之間有縫隙，能增加輪子的側向摩擦力，因此車子在行進時不會有側向打滑的情形發生。

3.4 紗車系統

3.4.1 概念設計

煞車系統亦是整台氣動車所有機構中一個非常重要的環節，在參考學長的報告之後，我們決定使用其中2種形式的煞車系統：

Version 1

本組之煞車系統概念設計乃參考去年第七組學長所設計之煞車機構，將伺服馬達放置在輪軸中央，當馬達旋轉時會驅動一S型組件，而此S型組件旋轉後會將兩側的碟煞盤往輪胎方向靠近，並摩擦輪胎以達到煞車效果。

Version 2

第二種煞車系統概念較為簡易：在後輪兩側各放置一個伺服馬達，每個馬達連上一旋轉連桿，連桿上接一圓柱，當欲進行煞車時，改變伺服馬達轉動角度讓圓柱能與輪胎摩擦，以達到煞車效果。

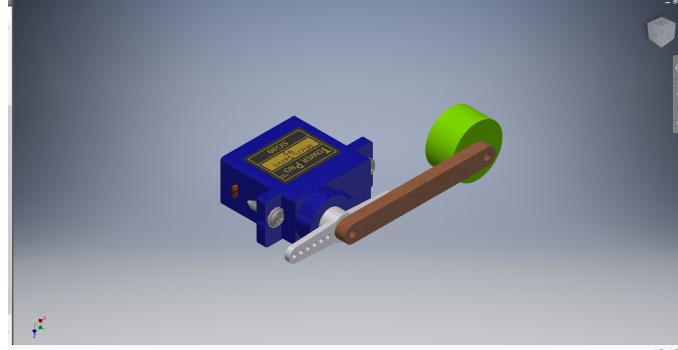


圖 3-12 Version 2 紗車機構

3.4.2 紗車機構的選定與運作方式

考慮到我們使用的兩顆後輪為各自獨立，兩者間並未有輪軸相連的情形，加上考量到使用密集板切割出來的碟煞盤，和輪胎摩擦多次後必定會有磨損，因此最後決定使用Version 2作為我們的煞車機構。

使用較小型且便宜的SG90伺服馬達來進行控制，裝在兩後輪前方的車底板上，40mm長的連桿黏貼在伺服馬達的舵盤上，連桿的另一端則用螺絲鎖上利用3D列印出來的圓

柱(直徑20 mm)，並用此圓柱來摩擦輪胎以達到煞車效果。

將兩顆伺服馬達的初始角度設在90度的位置，此時連桿與圓柱為朝上的狀態，當欲進行煞車時，左後輪的伺服馬達順時針旋轉，右後輪的伺服馬達逆時針旋轉，使圓柱和輪胎接觸，完成煞車動作。

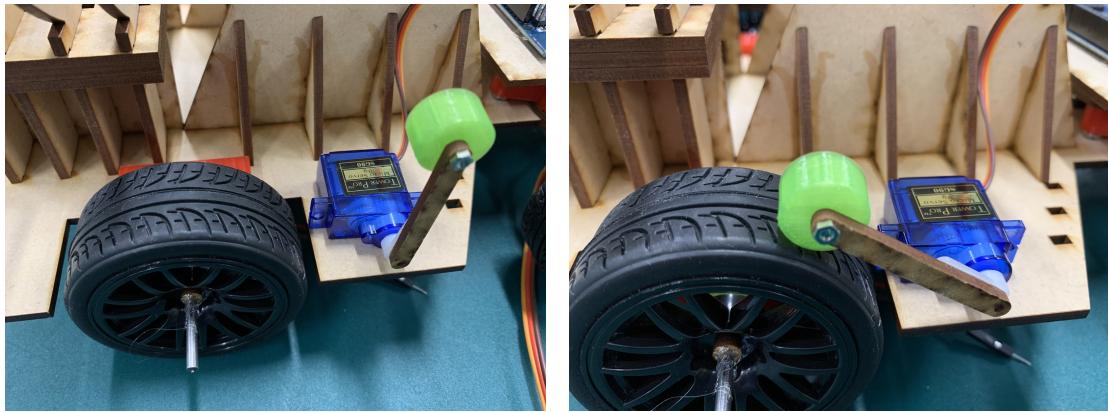


圖 3-13、3-14 煞車系統的運作方式

3.4.3 問題與修正

使用圓柱直接摩擦輪胎的煞車方式，雖然煞車效果不錯，但使用此法的煞車力道過大，無法進行輕微的點煞，故實用性不高。

之後將整個煞車機構改裝在車底板下方，透過摩擦地板的方式來進行煞車，並將連桿長度縮小，來增加伺服馬達之可旋轉角度。

3.5 風扇罩

本組在設計風扇罩時，以尺寸大小、連接車底板的方式及外圍保護裝置的材料等作為設計的考量依據。

3.5.1 尺寸

由於大的風扇能夠產生較大的推力，因此若想採用葉片較大較長的風扇以提高推力，就需增加風扇罩的直徑，然而基於「車體大小不得大於 A4 尺寸」的規定，風扇罩的直徑不得超過 210 mm，因此我們最後將風扇罩的外徑訂為 190 mm；而在內徑部分，為了確保風扇罩結構的穩定性，我們希望風扇架的厚度至少應為 10 mm，因此最後將風扇罩的內徑訂為170 mm。至於長度方面，我們前後共架設4片風扇罩，以確保能

完全包覆住風扇。

3.5.2 連接車底板的方式

根據前方的圖3-2，我們的想法是在風扇罩的底部設計卡榫，卡在車底板的洞中。然而實際雷切下後發現由於風扇罩底部的支撐結構過細，導致卡榫插入後風扇罩仍會前後晃動，表示結構不夠穩固。為了解決此項問題，我們除了增加下方支撐結構的厚度外，也在支撐結構中加上一方形的固定板將4片風扇罩固定住，各個風扇罩之間也每60度設置一固定件，以提升風扇罩結構的穩定性。

3.5.3 外圍保護裝置的材料

我們決定使用膠帶作為我們風扇的保護裝置，一方面膠帶在實作中心即可取得相當方便，另一方面當風扇脫落或斷裂時，膠帶亦可黏住部分噴飛的風扇碎片。



圖 3-15、3-16 風扇罩組合圖與爆炸圖

3.6 風扇立柱

風扇立柱為支撐風扇之機構，設計的原則為當風扇在旋轉時，立架必須穩固而不可隨著風扇振動。基於此原則，我們增加立架與車底板的接觸面積，並在接觸的地方設置強化組件，以提高風扇立架的穩定性。

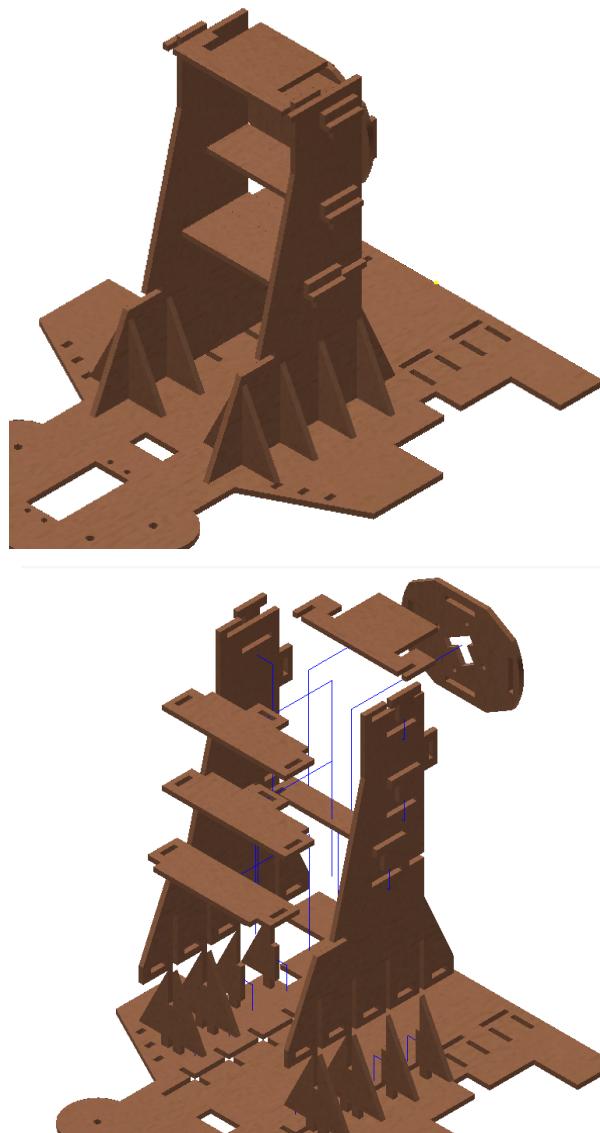


圖3-17、3-18 風扇立架之組合圖與爆炸圖

3.7 風扇

3.7.1 風扇大小

由於氣動車在設計上有規定其大小不得超過一張A4紙，配合車體行進方向的設計，在沒有遮罩的情況下，我們的風扇最大只能到直徑21公分；因此我們初步的構想為將風扇設計在直徑14到15公分。

3.7.2 葉片設計與數量

扇葉數量分為奇偶數與多少數來比較。市面上風扇的數量大多採奇數葉片，偶數葉片形狀對稱，比較容易產生共振。而葉片數量直接影響到風扇的推力和流場的穩定度，但太多的葉片會使製造困難且可能因推力太大發生斷裂，因此本組選擇以3葉的風扇為主要設計方針。

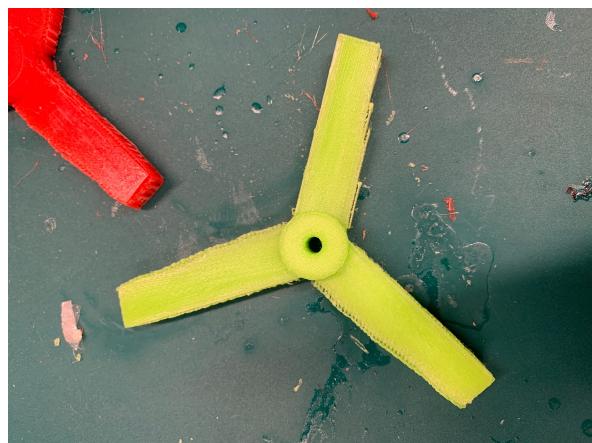


圖 3-19 第一代風扇

3.7.3 翼形與攻角

分析該使用何種翼形，首先要計算不同截面半徑下的雷諾數 Re 。假定所需風扇之最高轉速為 950 rad/s 。已知雷諾數定義為 $Re = VD/v$ ，假設當天室溫為 25°C ，則空氣的動態黏度為 $v = 15.5 \times 10^{-6}$ ， D 為風扇弦長， V 主要考慮軸向速度與截面速度，事實上 V 就是兩速度向量的向量和。截面速度 u_1 忽略渦流影響取 $(R\omega)/2$ ，軸向速度 u_2 估計車子前進速度為 0.3m/s （測試時定速段的速度），而 $V = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2)}$ 。由上述這些資訊推出雷諾數約在6500到66000的範圍，在用Qblade分析後選擇Naca2412的翼形。因為其厚度適中，且在該雷諾數範圍有著不錯的升力與升阻比。在半徑較短的截面由於所受力矩

較小，因此可以比較不用考慮升阻比的大小，可以選擇升力較大的攻角。在半徑較長的截面由於力矩相對較大，因此需挑選升阻比較大，而升力表現不錯的攻角。

在經過測試之後發現，用升阻比選擇出來的攻角並不是很理想，攻角偏小。因此之後嘗試取升力係數最大的角度為攻角，這樣的效果好一些，期末的風扇數據如下

Pos(m)	Chord (m)	轉速 (rad/s)	分段之切線速度 (m/s)	風的速度 (m/s)	合力速度 (m/s)	Re(攻角尚未個別討論)	攻角
0	0.018	950	0	0.3	0.3	298.0132	33.19859
0.0035	0.019	950	3.325	0.3	3.3385	3316.3971	29.90558
0.007	0.02	950	6.65	0.3	6.6568	6612.6790	26.61258
0.014	0.019	950	13.3	0.3	13.3033	13215.2811	22.64948
0.021	0.019	950	19.95	0.3	19.9523	19820.1214	19.80814
0.028	0.018	950	26.6	0.3	26.6017	26425.5215	17.62467
0.035	0.018	950	33.25	0.3	33.2514	33031.1457	15.85796
0.042	0.017	950	39.9	0.3	39.9011	39636.8819	14.87118
0.049	0.016	950	46.55	0.3	46.5510	46242.6821	13.08121
0.056	0.015	950	53.2	0.3	53.2009	52848.5224	12.43474
0.063	0.015	950	59.85	0.3	59.8508	59454.3893	11.896
0.07	0.014	950	66.5	0.3	66.5007	66060.2749	11.4403

表 3-2 風扇分析

3.7.4 風扇繪製

在測試時我們的風扇轉動的聲音很大，可能原因有很多。第一個原因是第一款風扇一開始設計時沒想那麼多，以inventor的內部設定，槳葉會是以各翼型截面的參考坐標系原點連接成軸。根據我們查的資料這並不是一個好的設計，因此我們修改成讓空氣動力中心(AC)共線，空氣動力中心位於四分之一弦長處。空氣動力中心的重要特性是機翼表面各小區塊所受之力，對其空氣動力中心所定義的力矩，不會因為攻角改變而改變，如此可以確保各截面不同攻角的俯仰力矩對於槳葉的影響最小，也希望因此減少風扇的震動和馬達所需功率。

第二個原因是我們的直流馬達固定機構，在馬達轉動的時候會跟著震動，後來有想到一個方法是把機構固定在風扇罩上而不是車體上，但因為時間關係沒有真的做出來。即使如此，因為風扇的改進使得馬達輸出不需要那麼大，轉速沒那麼高的情況下也可以降低轉動時的噪音。

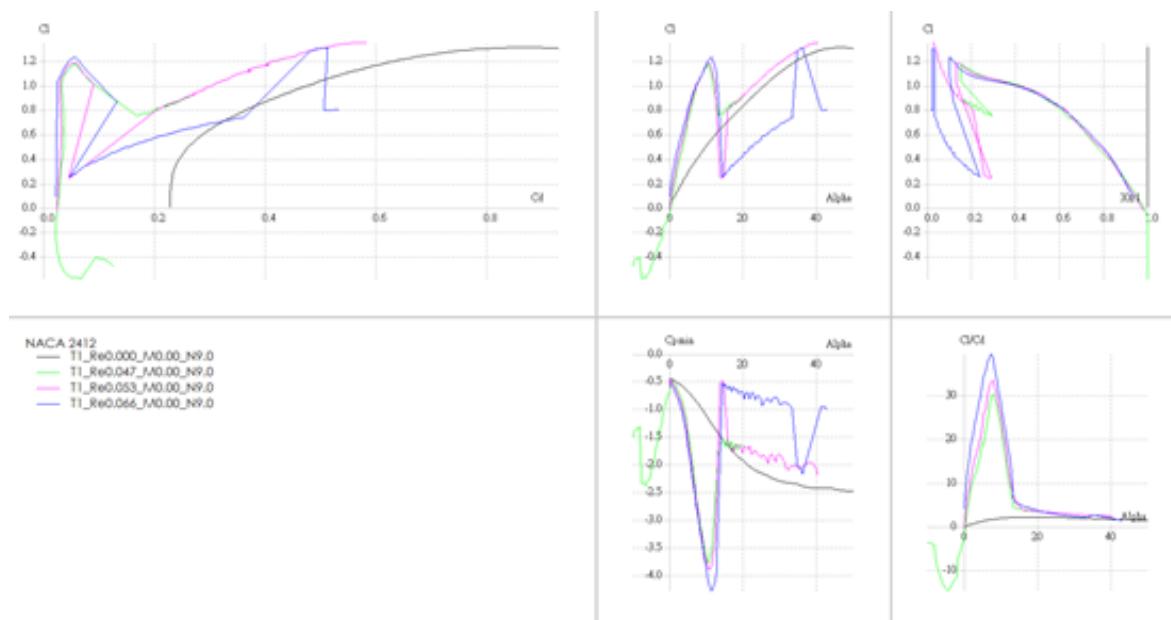


圖3-20 不同雷諾數下 naca2412 的數據

3.7.5 Ansys Fluent 模擬

There are 4 steps in total for Ansys Fluent. Since the steps are quite complicated, it will be explained in detail.

1. First step is Geometry.

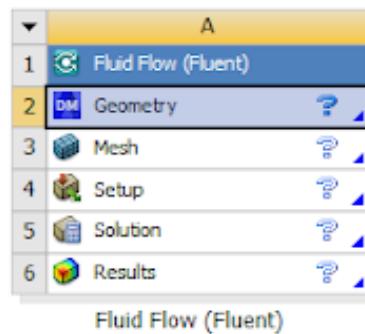


圖 3-21 Geometry

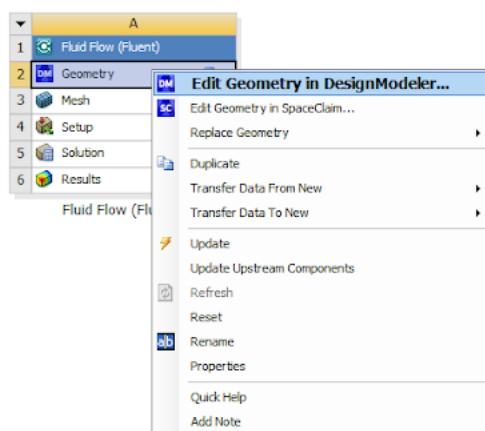


圖 3-22 Geometry

Then, click right for the “Edit Geometry in Designmodeler”,

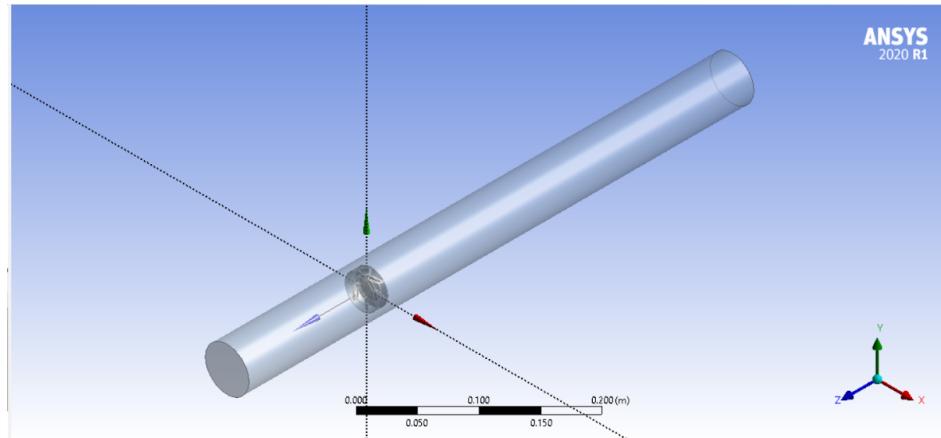


圖 3-23

After that, you have to “Add Frozen” the object, and create the enclosure for the Fan. First enclosure is a cylinder around the fan, We named it “Fan shell”, and the second one is another cylinder enclosure which is longer and bigger, we named it “Cylinder”. Next, we have to create “Boolean”.

- First Boolean → **Subtract** → Target bodies → Cylinder → Tool bodies → Fan shell → **Yes**
- Second Boolean → **Subtract** → Target bodies → Fan shell → Tool bodies → Fan → **No**

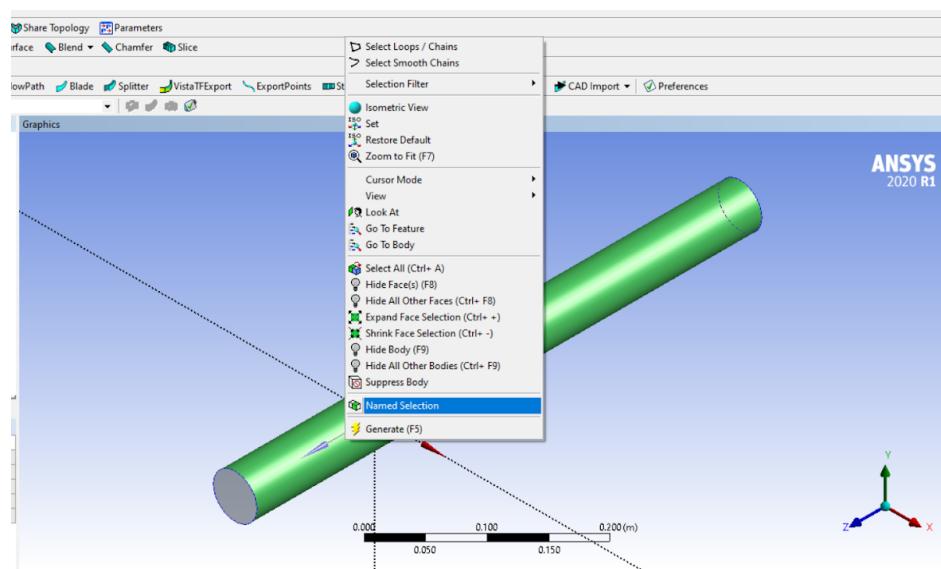


圖 3-24

At the end, we named the selection the inlet, outlet and the walls.

2. The second step is Mesh. Mesh is the most complicated step out of all because Mesh will have a lot of impact later on.

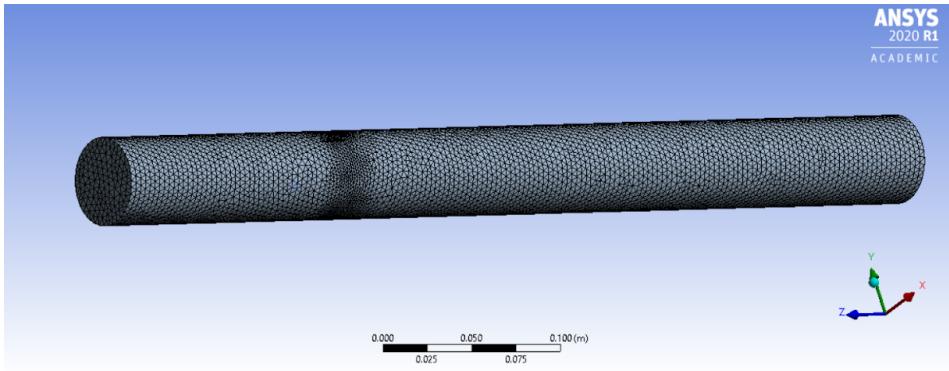


圖 3-25

This is how finished Mesh looked like. We need to add the face sizing and body sizing function, and edit the element size a lot of time for this successful result.

3. The third step is Set up

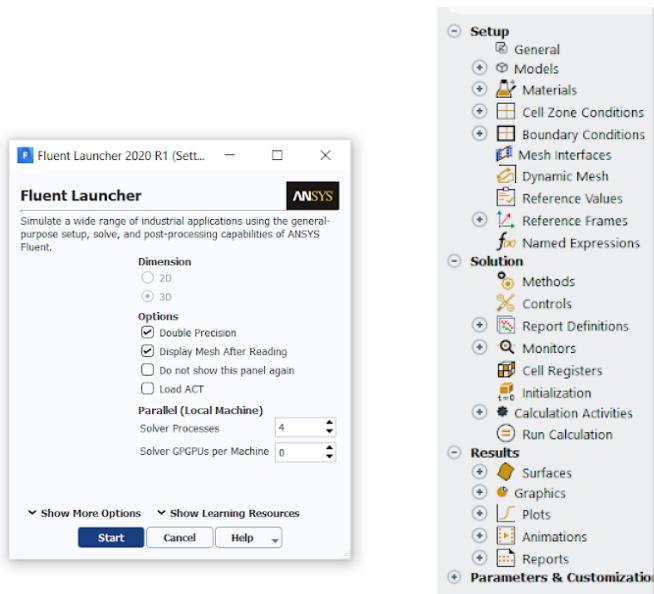


圖 3-26、圖 3-27 Set up

The ones which are important are “General, Cell Zone condition, Boundary Conditions, Solution Initialization, Calculation Activities and Run calculation”

4. Result

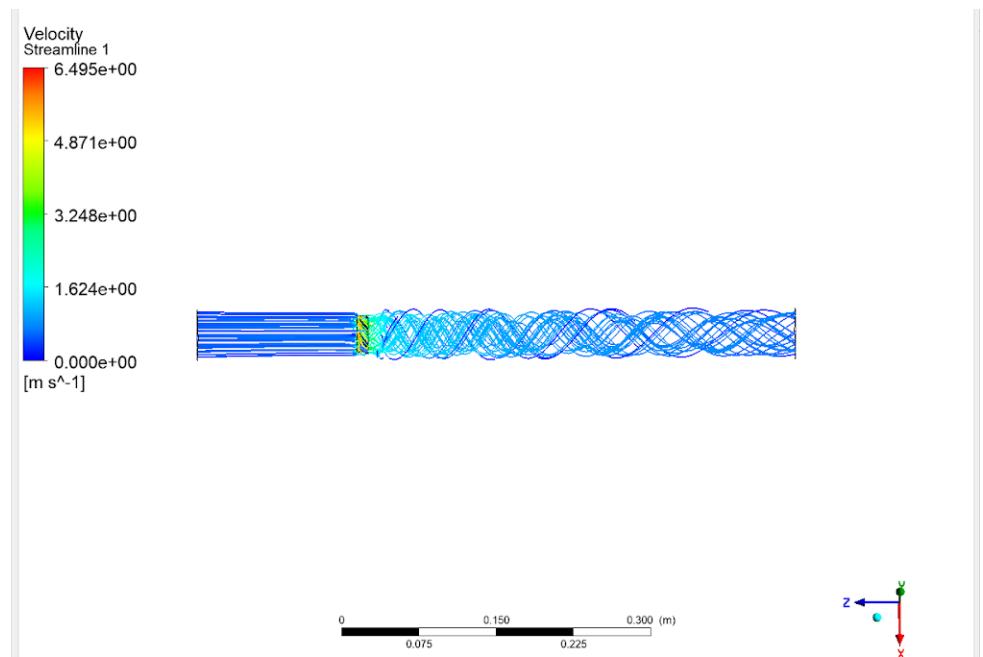


圖 3-28 Result

As you can see from the figure above, This the velocity simulation of the Fan with the streamline. The colors above showed the different velocity in different areas. It shows that the speed is higher at the front area of the fan and it is around 1.624 m/s.

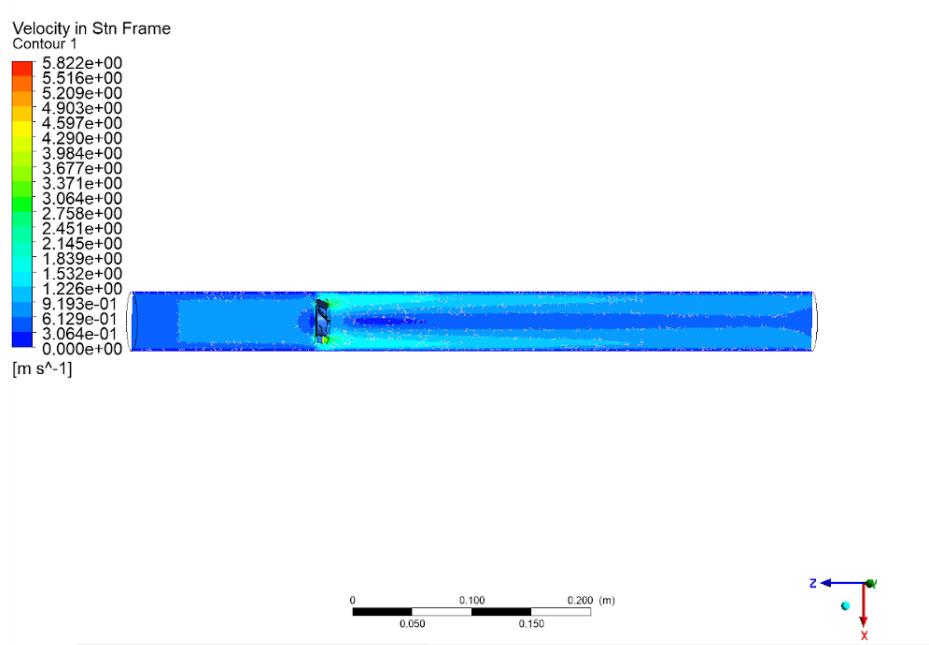


圖 3-29 Result

From this contour figure, you can see that the velocity is higher on the sides of the fan than the middle of the fan.

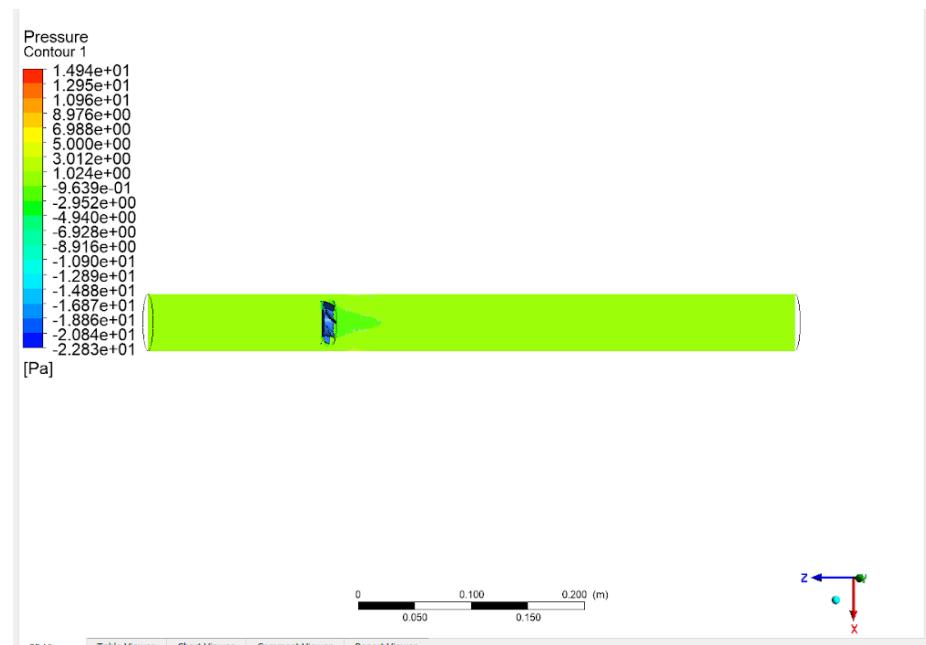


圖 3-30 Result

For the pressure simulation, it shows that the pressure in the middle is lower than the rest of the cylinder.

3.8 程式設計與機電系統

3.8.1 初步想構

3.8.1.1 紅外線循跡

使用紅外線感應器來偵測軌道上黑色膠條，並使用 PID 來控制轉向。

3.8.1.2 馬達轉速控制

透過控制馬達轉速變化，調整氣動車行進的速度。

3.8.1.3 超音波測距

由於期末需進行跟車，故使用超音波感測模組來偵測與前車之距離，並使用PID來調整兩車車距。

3.8.1.4 藍芽模組

使用hc-05藍芽模組，將前車的馬達pwm值傳至後車，盡量使兩車的行進速度一致。

3.8.2 動力與控制系統

3.8.2.1 控制板的比較與選用

1. Arduino[3]

➤ 優點：

- 1) 由於在上學期機械設計原理課程中已有使用過，組員們對其操作方法或多或少都些許概念，且其亦是以 C 語言為基礎開發出來的，因此對已修過大二計算機程式的我們來說，比較能夠輕鬆上手。
- 2) 網路上許多相關的教學影片、教學網站及討論區，且有許多現成的程式碼，若在寫程式上遇到困難，大部分情況下上網即可找到答案。
- 3) 一般的Arduino板約在200~300元左右，價格相當便宜。
- 4) 可簡單地與感測器或如紅外線、超音波、熱敏電阻、光敏電阻及伺服馬達連接等各式各樣的電子元件連接。

➤ 缺點：

- 1) 沒有搭載作業系統，因此一次只能執行一個 Process，功能較為單一。

2. 樹莓派Raspberry Pi[4]

➤ 優點

- 1) 可以運行完整的作業系統，使用者可以採用熟練的語言如Python、Java等和熟悉的庫來進行開發，同時後台也可運行多個Process。
- 2) 自帶的接口比較全面：USB-host、RJ45、HDMI、SD讀卡器等常用接口均有。

➤ 缺點：

- 1) 操作不易：使用者需熟知Linux的基本操作，且在第一次設置需外接螢幕、鍵盤及滑鼠，接下來設置也需透過電腦終端機 ssh 連線進 RPi終端機。
- 2) PWM的輸出效能比Arduino差，而這次的Project需要輸出多腳位的PWM，因此使用樹莓派未必能滿足需求。
- 3) 市面上的樹莓派價格動輒1000元以上，相當昂貴，若使用則容易超過3000元的成本限制。



圖 3-31 樹莓派Raspberry Pi 控制板

	Arduino	樹莓派Raspberry Pi
價格	☆☆☆	☆
運算效率	☆	☆☆
操作容易	☆☆☆	☆
總和	☆☆☆☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆

表 3-3 控制板優劣比較表

根據上表結果，我們決定使用Arduino作為這次氣動車Project的開發版

而市面上有許多種Arduino開發板，其中較常用的為Arduino UNO及Arduino Mega 2560兩種。由於Arduino Mega 2560 體積較大，具有更多的腳位空間，記憶體也比Arduino UNO大了許多，而考量到我們的機電系統總共有7個紅外線循跡模組、三個伺服馬達及一個無刷馬達，需使用Arduino Mega 2560才有足夠腳位可用，因此我們最後決定使用Arduino Mega 2560 作為我們氣動車的控制板。

3.8.2.2 紅外線感應器的比較與選用

1. TCRT5000 [5]

- 優點：可選擇讀取 Analog Input 或 Digital Input，具有兩種辨識黑線的方法。
- 缺點：Digital Input 需要精準的調整閥值。

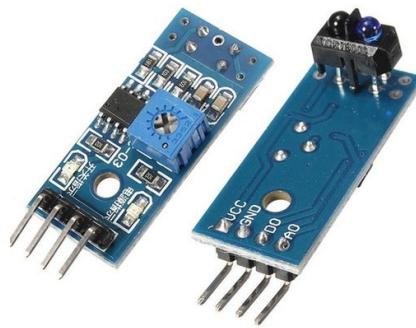


圖3-32 TCRT5000 紅外線感測器

2. KY-033

- 優點：搭載 TCRT5000 的感測頭，價錢亦較 TCRT5000便宜。
- 缺點：只有 Digital Input，且需精準調整閥值。



圖3-33 KY-033 紅外線感測器

考慮到兩種紅外線感測器各自的優缺點後，我們認為TCRT5000略勝一籌，因其可讀取 Analog訊號並將其轉為Digital讀值，在程式撰寫上較為方便，因此最後選用TCRT5000。

3.8.2.3 飼服馬達的比較與選用

1. SG-90

- 優點：工作電壓小，為 4~6.6V，體積小方便放置，且價格僅50元非常便宜。
- 缺點：扭矩較小，塑膠齒輪容易耗損。



圖 3-34 SG-90 飼服馬達[6]

2. MG-90

- 優點：SG-90的改良版，扭矩變大，且齒輪改成金屬齒輪因此較不易毀損。
- 缺點：價格比 SG-90 高。



圖 3-35 MG-90 飼服馬達[7]

3. MG995

- 優點：扭矩大，約在 13 kg/cm 左右。
- 缺點：價格稍貴，約150元，體積較大較佔空間，所需工作電壓也較大，約 7.4V~11V。



圖3-36 MG995 伺服馬達[8]

4. MG996R

- 優點：扭矩稍較 MG995 小，但轉速較 MG995 快。
- 缺點：和 MG995 相同，價格貴、體積大、所需工作電壓也大。



圖3-37 MG996R 伺服馬達[9]

綜合以上分析，由於轉向裝置需要較大的扭矩，才能帶動整個阿克曼機構作轉向，因此伺服馬達應選擇扭矩較大的MG-995跟MG996R兩種較為合適，而最後選擇MG996R；至於在煞車系統方面，由於其並不需要和轉向裝置一樣大的扭力，損耗性也較小，因此選用較為便宜的SG-90作為煞車桿轉動的動力來源。

3.8.3 超音波感測模組

我們使用HC-SR04超音波感測模組來偵測與合作組車輛的距離，由於我們的車輛在期末驗收時只會在中線行駛，故在車輛前後各安裝一個超音波感測模組，來感測與合作組車輛的距離。

超音波模組利用trig腳位發出一至少維持 $10\mu s$ 的高電位信號輸入至模組，觸發模組以發出40 kHz的訊號；而echo腳位則是接收反射的訊號並回傳至Arduino中。

程式設計如下：

1. 設定2個超音波模組的最大距離以及在Arduino板上的接腳位置

```
#include <NewPing.h>

#define MAX_DISTANCE 150

const int trig_front = 6;

const int echo_front = 7;

const int trig_back = 4;

const int echo_back = 5;

NewPing sonar_front(trig_front, echo_front, MAX_DISTANCE);

NewPing sonar_back(trig_back, echo_back, MAX_DISTANCE);
```

2. 在void setup()函式內，將先前定義的引腳設置為INPUT

```
pinMode(echo_front,INPUT);

pinMode(echo_back,INPUT);
```

3. 在loop函式中得到感測的距離值

```
void loop() {
```

```

float cm_front = sonar_front.ping_cm();

// 送出 ping，並取得微秒 microseconds(uS) 時間

//換算時間為公分，如顯示 0，表示超出距離範圍

float cm_back = sonar_back.ping_cm();

// 送出 ping，並取得微秒 microseconds(uS) 時間

//換算時間為公分，如顯示 0，表示超出距離範圍

}

```

3.8.4 紅外線循跡系統

3.8.4.1 使用元件：TCRT5000 紅外線模組

紅外線模組選用市面上最常見的TCRT5000，其優點是可選擇輸出類比訊號或是數位訊號兩種模式，且可利用電路板上的可變電阻來調整模組的敏感度。

3.8.4.2 架設方式

紅外線模組的配置方式為在車體前端的支撐架上架設七個紅外線模組，用來做直線的循跡。在這七個模組中每個模組的間距均相等，且間隔需與測試場地的黑色膠條寬度相當，以確保車子在直行時，只會有一個感測器感測到黑線，而不被其他感測器感測到而被程式判定為需要轉彎的路段。

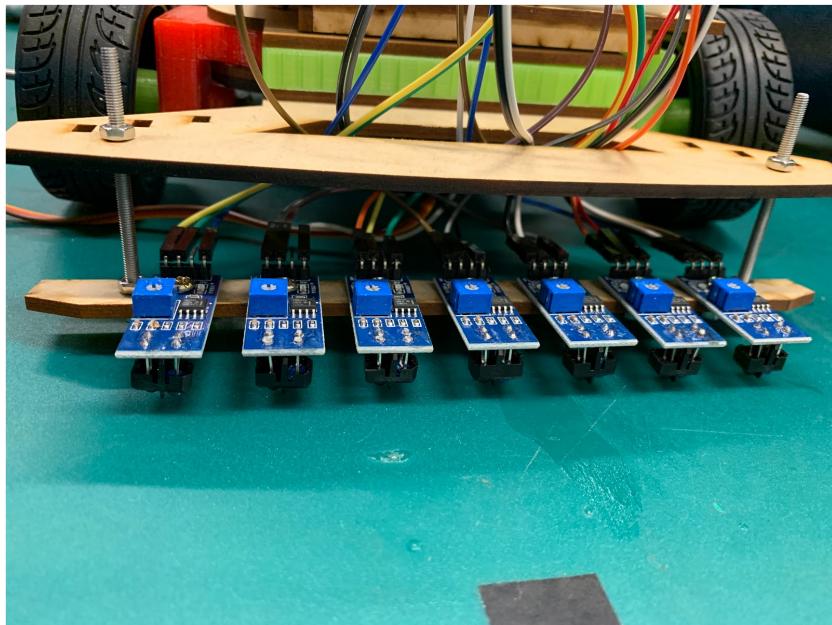


圖 3-38 紅外線模組之架設

3.8.4.3 程式設計：循跡

設定七個紅外線感測器的輸入腳位分別為A0~A5和A7，並測試每個感測器分別感測到黑線與未感測到黑線時的輸出值，從中找出一個適合的閾值，將高於閾值的數值設定為1，代表感測器偵測到黑線；而低於閾值的數值設定為 0，表示感測器沒有感測到黑線。

由於已經先調整好感測器的間距，同一時間只會有一個紅外線感測器偵測到黑線，因此七個感測器總共會有七種不同的狀態，而將左右兩方向分別給定三種轉彎大小，再加上直線前進，同樣也有七種狀態，將這七種狀態互相配對，即完成車子循跡系統的設定。

紅外線感測器的七種狀態分別為：

1000000：向左大轉彎

0100000：向左小轉彎

0010000：車體微幅向左

0001000：直線前進

0000100：車體微幅向右

0000010：向右小轉彎

0000001：向右大轉彎

程式碼撰寫流程如下：

1. 設定7個紅外線模組在Arduino板上的接腳位置

```
const int ir_pin[7] = {A0,A1,A2,A3,A4,A5,A7};
```

2. 定義變數，使我們能夠從紅外傳感器讀取類比訊號

```
int stateLLL;  
int stateLL;  
int stateL;  
int stateM;  
int stateR;  
int stateRR;  
int stateRRR;
```

3. 類比訊號轉換為數位信號

```
int state1;  
int state2;  
int state3;  
int state4;  
int state5;  
int state6;  
int state7;
```

4. 在void setup()函式內，將先前定義的引腳設置為INPUT

```
for(int k=0; k<7; k++){  
pinMode(ir_pin[k],INPUT);} //設定類比腳Ak為含提升電阻的輸入腳
```

5. 設置 ir_track()函式，該函數讀取接收到的類比訊號，轉換為數位訊號，並計算

汽車與行駛路徑中間黑線的距離。然後告訴伺服馬達，它需要轉動汽車多少角度才能繼續行駛。

```
double ir_track()
{
    error = 0; //將誤差歸零

    double weight[7] = {-50,-30, -10, 0, 10, 20,30}; //設置每個感測器的轉向角度權重
    ir[0] = analogRead(ir_pin[0]); //sensor array第一筆 = pinA0讀值

    //A0紅外線模組的黑線讀值落在500~700

    double LLL = (ir[0]-500)/200; //計算digital訊號的讀值大小

    if(LLL<=0.1){ //讀值不夠高視為未感應到黑線
        ir[0]=0;
    }

    else{
        ir[0]=LLL;
    }

    ir[1] = analogRead((double)ir_pin[1]); //sensor array第二筆 = pinA1讀值

    //A1紅外線模組的黑線讀值落在500~650

    double LL = (ir[1]-500)/150;

    if(LL<=0.1){
        ir[1]=0;
    }

    else{
        ir[1]=LL;
    }
}
```

```

ir[2] = analogRead((double)ir_pin[2]); //sensor array第三筆 = pinA2讀值

//A2紅外線模組的黑線讀值落在500~750

double L = (ir[2]-500)/250;

if(L<=0.1){

    ir[2]=0;

}

else{

    ir[2]=L;

}

ir[3] = analogRead(ir_pin[3]); //sensor array第四筆 = pinA3讀值

//中間的紅外線模組作為對準賽道循跡線及調整高度用，並未有轉向功能

ir[4] = analogRead(ir_pin[4]); //sensor array第五筆 = pinA4讀值

//A4紅外線模組的黑線讀值落在500~700

double R = (ir[4]-500)/200;

if(R<=0.1){

    ir[4]=0;

}

else{

    ir[4]=R;

}

ir[5] = analogRead(ir_pin[5]); //sensor array第六筆 = pinA5讀值

//A5紅外線模組的黑線讀值落在500~640

double RR = (ir[5]-500)/140;

```

```

if(RR<=0.1){

    ir[5]=0;

}

else{

    ir[5]=RR;

}

ir[6] = analogRead(ir_pin[6]); //sensor array第七筆 = pinA6讀值

//A6紅外線模組的黑線讀值落在500~750

double RRR = (ir[6]-550)/250;

if(RRR<=0.1){

    ir[6]=0;

}

else{

    ir[6]=RRR;

}

for(int i = 0; i<7; i++){

    error = error + weight[i]*ir[i]; //計算error加權

}

return error; //回傳error值到loop函式中

}

void loop{

angleCommand = PID(); //PID調整伺服馬達轉動角度

driveMotor(); //讓伺服馬達轉動至相對應的角度

```

```

delay(30); //微小的delay，讓伺服馬達做出反應

}

void driveMotor()
{
    angle = angle_straight - angleCommand; //angle_straight = 110
    angle = constrain(angle,100,120); //限制轉動角度不要太大
    Myservo.write(angle);
    delay(10);
}

```

3.8.5 測距

3.8.5.1 UGN3503 Hall effect sensor

我們的初步構想是用UGN3503 Hall effect sensor來計算車子的行駛距離，以便我們能及時

調整速度。霍爾效應是一種integrated circuit，由一塊半導體組成，電流通過該半導體材料

，並連接到側面以量測電位差，此外它亦連接到帶有輸出級的內部放大器。整個組件採用三針的封裝，傳感器元件非常靠近放大器，因此可有效地減少誤差。



圖 3-39 UGN3503 Hall effect sensor

當磁場在垂直平面上通過傳感器時，會改變輸出電壓。在汽車的前輪上安裝一小磁鐵，

當傳感器每次感應到磁鐵經過時會進行感測，透過此種方法來讓我們知道車輪已經轉過的圈數，以推得汽車向前移動了幾個車輪圓周的長度。透過了解車輪轉的圈數並將其乘上車輪的周長，就可以實際推斷出汽車行駛的距離。

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), magnet_detect, RISING);
```

```
//calls the magnet_detect function each time the magnet has passed by
```

```
void magnet_detect() { //this function is called whenever the magnet is detected
```

```
    countRotation++; //count the number of times the sensor detects the magnet }
```

```
//this function calculates the distance traveled based on the countRotation of the wheels
```

```
float GetDistance(){
```

```
    float Sensor_Distance;
```

```
    sensor_distance = circumference*countRotation;
```

```
    return Sensor_Distance;
```

```
}
```

問題與修正：

當我們要將磁鐵安裝在前輪上時，發現車輪的結構難以將其安裝上去，即便成功安裝，

Hall effect sensor也無適當位置可供安裝，而且車體的寬度也將超過A4的尺寸限制，因此

後來我們放棄此種測距方法。

3.8.5.2 旋轉編碼器[10]

編碼器是將信號或資料編制，轉換為可用以通訊、傳輸和存儲之形式的設備。旋轉編碼器

則是一種將旋轉位移轉換為一連串數字脈衝信號的傳感器，利用這些脈衝來控制角位

移。

使用旋轉編碼器的一大優點是可精準的計算距離，由於編碼器旋轉一圈時會移動30小格，

因此可藉由輪子的周長除以30，來得知編碼器走1小格時車子的移動距離，並在車子前進

時計算編碼器旋轉的格數，來推算車子行走的距離。

安裝機構設置如下：

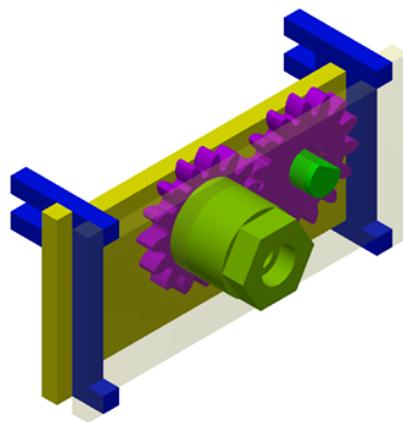


圖 3-40 旋轉編碼器安裝機構

如上圖3-40所示，機構左方為連接輪胎的六角輪柱，右方為旋轉編碼器，並透過兩個齒數

一樣的齒輪將兩者相連接，確保車子在行進時，編碼器轉動的圈數和輪胎轉動的圈數一樣。

問題與修正：

在實際測試時，發現安裝旋轉編碼器後，輪軸的摩擦力過大，以致於對風扇輸入很大的

pwm值，車子仍無法前進，因此我們最終放棄此種測距方法。

3.8.5.3 TCRT5000紅外線感測器

此種測距方法相形之下較為簡單，方法為在左後輪貼上一小段紅色膠帶，並在後方架設一TCRT5000紅外線感測器，透過感測器感應紅色膠帶，來得知車輪轉過的圈數，並推得汽車向前移動的長度。

然而在使用時我們發現以下問題：

- (1) 紅外線感測器容易感測到雜訊，以致於多算圈數，因此每當測試一段時間後，就必需用膠帶將輪胎上的雜物清除以減少雜訊。
- (2) 精度不高：只能感測車子行走的圈數為多少。
- (3) 若欲在輪胎上多貼幾條膠帶以提高精度，將提高讀到雜訊的機會，導致測量的距離會越來越不準確。

3.8.5.4 FC33 光電感應模塊

為了解決TCRT5000紅外線感測器一直讀到雜訊的問題，我們改採用FC33光電感應模塊與光柵片來進行測距。



圖 3-41 FC33 光電感應模塊[11]



圖 3-42 光柵片爆炸圖



圖 3-43 組裝圖

如上圖3-所示，我們將右後輪改成光柵形式，一圈有20個小格，光電感應模塊則置於上方，當輪子轉動時，分別位於輪子兩側的光電感應模塊的發射器與接收器會觀測到透光與不透光兩種訊號。由於我們已知光柵數，因此藉由在一段時間內光電感應模塊偵測到的光柵數量，來推測輪子轉動的角速度值，進而推得車輛前進的速度。

3.8.6 HC-05 藍芽模組

在期末驗收中，我們配置並配對了兩個HC-05藍牙模組，作為Master and Slave devices（前車為Master，後車為Slave）。HC-05模組是藍牙SPP（Serial Port Protocol）模組，這意味著它透過 Serial Communication 與 Arduino 來通信。透過這種傳訊方式，讓我們能在前車與後車的兩個獨立的Arduino板之間建立藍牙通信。

通過此通信方法，我們決定將前車(Master)的無刷馬達pwm值傳輸到後車（Slave），以便後車隨時可以相應地調整其速度：如果前車因為pwm值提高而行駛速度較快，則後車也會跟著做出反應而提高pwm值，進而提高車速；如果前車減速，則後車亦然。因此透過此種方法，我們即可不需要使用利用編碼器所計算的速度值，並且更容易能同步兩輛車的行為。



圖 3-44 HC-05藍牙模塊的正面和背面

Master Slave connection

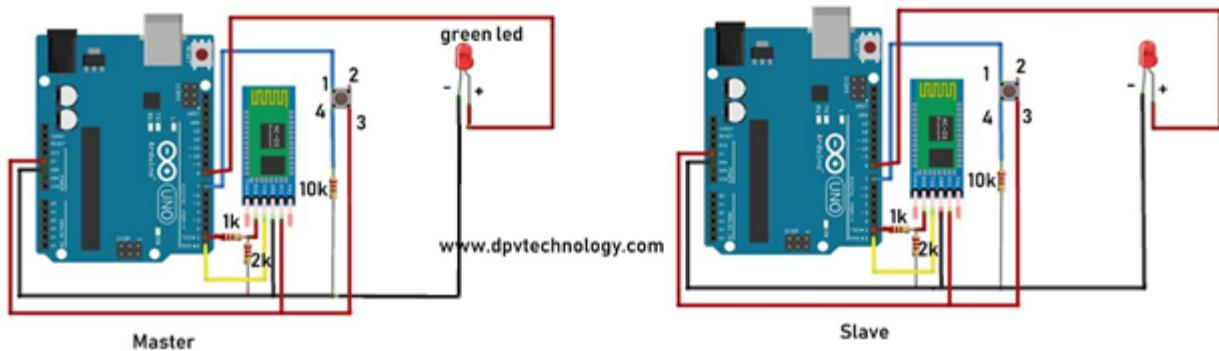


圖 3-45 HC-05藍牙模組的配對和配置（左側為Master端，右側為Slave端）

3.8.7 馬達轉速控制

3.8.7.1 期中測試

而在車體的速度控制方面，透過調整無刷馬達的轉速，來達到期中測試跑道中各路段的速度要求。茲將控制馬達加減速的程式碼附如下方：

```
void loop() {  
    //car follows central line--control the turning angle of the car  
  
    ir_error = ir_track(); //紅外線循跡函式  
  
    angleCommand = PID(); //PID調整伺服馬達轉動角度  
  
    driveMotor(); //讓伺服馬達轉動至相對應的角度  
  
    delay(30); //微小的delay，讓伺服馬達做出反應  
  
    //set the parameters for each section  
  
    //section 1 車子以3cm/s2等加速度行駛  
  
    if (distance<= 150) {  
  
        Brushless.write(100); //風扇pwm值設為100已啟動車子  
  
        //之後隨著車子行走的距離來調整風扇pwm值  
  
        if (distance > 0 && distance<= 19.44) {  
  
            Brushless.write(75);  
  
        }  
  
        if (distance > 19.44 && distance <= 40) {  
  
            Brushless.write(72);  
  
        }  
    }
```

```

if (distance > 40 && distance <= 60) {

Brushless.write(72);

}

if (distance > 60 && distance <= 80) {

Brushless.write(73);

}

if (distance > 80 && distance <= 100) {

Brushless.write(72);

}

if (distance > 100 && distance <= 120) {

Brushless.write(72);

}

if (distance > 120 && distance <= 150) {

Brushless.write(70);

}

}

```

//section 2 車子以30cm/s等速度行駛

```

if (distance > 150 && distance < 300){

if (distance > 150 && distance <= 225) {

Brushless.write(69);

}

```

```

if (distance > 225 && distance <= 300) {

Brushless.write(68);

}

}

//section 3 車子以3.75cm/s2等減速度行駛

if (distance > 300 && distance <= 420){

//or maybe until 430 cm to let the car get into the pause area before pausing it

brushlessSpeed = 68;

if (distance > 300 && distance <= 340) {

Brushless.write(53);

}

if (distance > 340 && distance <= 380) {

Brushless.write(58);

}

if (distance > 380 && distance <= 420) {

Brushless.write(70);

}

}

//Pause 1 進入暫停區

if (distance > 420 && distance <= 440){

brushlessSpeed = 25; //停止風扇

```

```
Brushless.write(brushlessSpeed);

servoBrakeLeft.write(25); //啟動煞車

servoBrakeRight.write(175);

delay(10000); //車子停止10秒

servoBrakeLeft.write(90);

servoBrakeRight.write(90);

Brushless.write(110); //啟動車子

distance = 440.1; //強制進入下個階段

}
```

```
//section 4 車子以3.75cm/s2等加速度行駛

if (distance > 440 && distance <= 570) {

    if (distance > 440 && distance <= 480) {

        Brushless.write(90);

    }

    if (distance > 480 && distance <= 510) {

        Brushless.write(76);

    }

    if (distance > 510 && distance <= 540) {

        Brushless.write(73);

    }

    if (distance > 540 && distance <= 570) {
```

```
Brushless.write(68);

}

}

//section 5 車子以30cm/s等速度行駛

if (distance> 570 && distance <= 690) {

    if (distance > 570 && distance <= 610) {

        Brushless.write(70);

    }

    if (distance > 610 && distance <= 650) {

        Brushless.write(65);

    }

    if (distance > 650 && distance <= 690) {

        Brushless.write(63);

    }

}
```

```
//section 6 車子以 $3.75\text{cm/s}^2$ 等加速度行駛

if (distance > 690 && distance <= 840) {

    if (distance > 690 && distance <= 720) {

        Brushless.write(76);

    }

}
```

```
if (distance > 720 && distance <= 750) {  
  
    Brushless.write(73);  
  
}  
  
if (distance > 750 && distance <= 780) {  
  
    Brushless.write(70);  
  
}  
  
if (distance > 780 && distance <= 810) {  
  
    Brushless.write(68);  
  
}  
  
if (distance > 810 && distance <= 840) {  
  
    Brushless.write(65);  
  
}  
  
}
```

//section 7 車子以45cm/s等速度行駛

```
if (distance > 840 && distance <= 1140) {  
  
    if (distance > 840 && distance <= 940) {  
  
        Brushless.write(68);  
  
    }  
  
    if (distance > 940 && distance <= 1140) {  
  
        Brushless.write(65);  
  
    }  
  
}
```

```
if (distance > 1140 && distance <= 1240) {  
  
    Brushless.write(62);  
  
}  
  
}
```

//section 8 車子以 5.4cm/s^2 等減速度行駛

```
if (distance > 1140 && distance <= 1320){  
  
    if (distance > 1140 && distance <= 1170) {  
  
        Brushless.write(58);  
  
    }  
  
    if (distance > 1170 && distance <= 1200) {  
  
        Brushless.write(67);  
  
    }  
  
    if (distance > 1200 && distance <= 1230) {  
  
        Brushless.write(72);  
  
    }  
  
    if (distance > 1230 && distance <= 1260) {  
  
        Brushless.write(68);  
  
    }  
  
    if (distance > 1260 && distance <= 1290) {  
  
        Brushless.write(55);  
  
    }  
}
```

```

if (distance > 1290 && distance <= 1320) {

Brushless.write(72);

}

}

//section 9 車子以10cm/s等速度行駛

if (distance > 1320 && distance <= 1420) {

if (distance > 1320 && distance <= 1370) {

Brushless.write(66);

}

if (distance > 1370 && distance <= 1420) {

Brushless.write(70);

}

}

//Pause area 2 停止車子

if (distance> 1420) {

brushlessSpeed = 25; //停止風扇

Brushless.write(brushlessSpeed);

applyBreak(); //啟動煞車

}

}

```

3.8.7.2 期末驗收

在和合作組討論過後，期末驗收時我們組的氣動車作為後車，並全程循中線跑完三圈。將單純循跡跑三圈以及跟車程式附在下方：

(1) 單純循跡跑三圈

```
void loop() {  
    //car follows central line--control the turning angle of the car  
  
    ir_error = ir_track();  
  
    if (millis() - timer >= 300){ //每300毫秒更新計算一次速度  
  
        detachInterrupt(0); //計算時停止計時  
  
        // 偵測的格數count * (60 * 1000 / 一圈格數20) / 時間差)  
  
        V_real = (1000 / (double)gridnum) / ((double)millis() - timer)*  
(double)count*2*3.14*3.25/4.2;  
  
        //計算真實速度V_real 值  
  
        timer = millis();  
  
        count = 0; //count歸零  
  
        attachInterrupt(0, counter, FALLING); //Restart the interrupt processing  
  
    }  
  
    angleCommand = PID(); //PID調整伺服馬達轉動角度  
  
    pwmCommand = PID_motor(); //PID_motor調整馬達的pwm值  
  
    driveMotor(); //讓伺服馬達轉動至相對應的角度  
  
    delay(30); //微小的delay，讓伺服馬達做出反應  
  
    //first lap 第一圈  
  
    //section 1 //A段直線
```

```

if (distance<= 500) {

    V_target = 70; //設定目標速度為70

    V_error = V_target - V_real; //計算實際速度與目標速度差 V_error

    Brushless.write(50+pwmCommand); //PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

}

//section 2 //B段彎道

if (distance > 500 && distance < 1128.32){

    V_target = 35; //設定目標速度為35

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(45+pwmCommand);

}

//section 3 //C段直線

if (distance > 1128.32 && distance <= 1628.32){

    V_target = 70;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(50+pwmCommand);

}

//section 4 //D段彎道

if (distance > 1628.32 && distance <= 2256.64) {

    V_target = 35;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(45+pwmCommand);

}

```

```

//second lap 第二圈

//section 1

if (distance > 2256.64 && distance <= 2756.64) {

    V_target = 70;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(50+pwmCommand);

}

//section 2

if (distance > 2756.64 && distance <= 3384.96){

    V_target = 35;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(45+pwmCommand);

}

//section 3

if (distance > 3384.96 && distance <= 3884.96){

    V_target = 70;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(50+pwmCommand);

}

//section 4

if (distance > 3884.96 && distance <= 4513.28) {

    V_target = 35;

    V_error = V_target - V_real;

    Brushless.write(70+pwmCommand);
}

```

```
}
```

```
//third lap 第三圈
```

```
//section 1
```

```
if (distance > 4513.28 && distance <= 5013.28) {
```

```
    V_target = 70;
```

```
    V_error = V_target - V_real;
```

```
    Brushless.write(50+pwmCommand);
```

```
}
```

```
//section 2
```

```
if (distance > 5013.28 && distance <= 5641.6){
```

```
    V_target = 35;
```

```
    V_error = V_target - V_real;
```

```
    Brushless.write(45+pwmCommand);
```

```
}
```

```
//section 3
```

```
if (distance > 5641.6 && distance <= 6141.6){
```

```
    V_target = 70;
```

```
    //V_real = (1.021*0.01)/(timer*0.001);
```

```
    V_error = V_target - V_real;
```

```
    Brushless.write(50+pwmCommand);
```

```
}
```

```
//section 4
```

```
if (distance > 6141.6 && distance <= 7000) { //讓車子多跑一些距離再停止
```

```

V_target = 35;

V_error = V_target - V_real;

Brushless.write(45+pwmCommand);

}

//stop 讓車子停止

if (distance >7000) {

    Brushless.write(25); //停止風扇

    applyBreak(); //啟動煞車

}

}

```

(2)後車跟車程式

```

void loop() {

    //car follows central line--control the turning angle of the car

    ir_error = ir_track();

    if (millis() - timer >= 300){ //每300毫秒更新計算一次速度

        detachInterrupt(0); // 計算時停止計時

        // 偵測的格數count * (60 * 1000 / 一圈格數20) / 時間差)

        V_real = (1000 / (double)gridnum) / ((double)millis() - timer)*

(double)count*2*3.14*3.25/4.2;

        //計算真實速度V_real 值

        timer = millis();

        count = 0; //count歸零

        attachInterrupt(0, counter, FALLING); //Restart the interrupt processing
    }
}

```

```

    }

angleCommand = PID(); //PID調整伺服馬達轉動角度

pwmCommand = PID_motor(); //PID_motor調整馬達的pwm值

driveMotor(); //讓伺服馬達轉動至相對應的角度

delay(30); //微小的delay，讓伺服馬達做出反應

//first lap 第一圈，後車

if(distance<=2256){

    if ((cm_front>=150||cm_front==0)) { //超音波未感測到前車

        V_target = 70; //設定目標速度為70，加速跟上前車

        V_error = V_target - V_real; //計算實際速度與目標速度差 V_error

        Brushless.write(50+pwmCommand); //PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

        brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80); //限制pwm值在20~80之間

        Brushless.write(brushlessSpeed);

    }

    if(cm_front<=150&&cm_front>0){ //超音波感測到前車

        cm_target = 20; //設定目標車距20公分

        cm_error = cm_target - cm_front; //計算實際車距與目標車距差 cm_error

        if(cm_front<=3&&cm_front>0){ //若車距低於3公分時風扇停止

            Brushless.write(25);

        }

        else{

            brushlessSpeed = 50 - pwmCommand_ultrasonic;

            //PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達
    }
}

```

```

brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80); //限制pwm值在20~80之間

Brushless.write(brushlessSpeed);

}

}

}

//second lap 第二圈，進行兩次超車

if(distance>=2256&&distance<=4513){

    if(distance<=2756){

        if ((cm_front>=150||cm_front==0)&&(cm_back<=150&&cm_back>0)) {

            //前方的超音波未感測到車輛，後面超音波也未感測到車輛，表示前車已出線，準備
            要進行超車

            V_target = 90; //設定目標速度為90，加速超過前車

            V_error = V_target - V_real; //計算實際速度與目標速度差 V_error

            Brushless.write(70+pwmCommand);//PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

            brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,50,100); //限制pwm值在50~100之間

            Brushless.write(brushlessSpeed);

        }

        if(cm_back<=150&&cm_back>0){//後面超音波感測到車輛，表示超車完畢

            cm_target = 20;

            cm_error = cm_target - cm_front;

            brushlessSpeed = 50 + pwmCommand_ultrasonic;

            brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80);

            Brushless.write(brushlessSpeed);
        }
    }
}

```

```

}

}

if(distance>=3200&&distance<3800){ //進行第二次超車的距離範圍

    if ((cm_front>=150||cm_front==0)&&(cm_back<=150&&cm_back>0)) {

        //前方的超音波未感測到車輛，後面超音波也未感測到車輛，表示前車已出線，準備
        減速讓前車超越

        V_target = 30; //設定目標速度為30

        V_error = V_target - V_real; //計算實際速度與目標速度差 V_error

        Brushless.write(40+pwmCommand); //PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

        brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,60); //限制pwm值在20~60之間

        Brushless.write(brushlessSpeed);

    }

    if(cm_front<=150&&cm_front>0){ //前方超音波感測到車輛，表示超車完畢

        cm_target = 20;

        cm_error = cm_target - cm_front;

        brushlessSpeed = 50 - pwmCommand_ultrasonic;

        brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80);

        Brushless.write(brushlessSpeed);

    }

}

if(distance>=3800&&distance<4513){ //兩次超車完畢後回復到跟車模式

    cm_target = 20;

    cm_error = cm_target - cm_front;

    brushlessSpeed = 50 - pwmCommand_ultrasonic;
}

```

```

brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80);

Brushless.write(brushlessSpeed);

}

}

//first lap 第三圈，後車

if(distance>=4513&&distance<7000){

    if ((cm_front>=150||cm_front==0)) {//超音波未感測到前車

        V_target = 70; //設定目標速度為70，加速跟上前車

        V_error = V_target - V_real; //計算實際速度與目標速度差 V_error

        Brushless.write(50+pwmCommand);//PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

        brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80); //限制pwm值在20~80之間

        Brushless.write(brushlessSpeed);

    }

    if(cm_front<=150&&cm_front>0){ //超音波感測到前車

        cm_target = 20; //設定目標車距20公分

        cm_error = cm_target - cm_front; //計算實際車距與目標車距差 cm_error

        if(cm_front<=3&&cm_front>0){ //若車距低於3公分時風扇停止

            Brushless.write(25);

        }

        else{

            brushlessSpeed = 50 - pwmCommand_ultrasonic;

            //PID計算傳回pwmCommand值後，寫入馬達

            brushlessSpeed = constrain(brushlessSpeed,20,80); //限制pwm值在20~80之間

```

```

Brushless.write(brushlessSpeed);

}

}

}

//stop 跑完三圈，停止車輛

if (distance > 7000) {

    Brushless.write(25); //停止風扇

    applyBreak(); //啟動煞車

}

}

```

3.8.8 PID control

在程式內可以使用 PID 控制器的原理，來消除穩態誤差。由於紅外線在讀取訊號時並非連續的讀取，每次讀取均有一定的間隔時間，因此在紅外線感測的間隔中，必須對存取先前讀到的數值來進行PID控制，才能確保車子轉向時能保持穩定而不會抖動。以下為PID 的計算方法：

1. P值：乘上當下讀到的誤差。
2. I值：I的效果如同積分，其算法為先記錄前幾次的誤差值再將其相加。
3. D值：D的效果如同微分，其算法為將當下的 error 值扣除上一個狀態的 error 值。
4. Kp的調整：由於Kp對PID_value 的影響最為劇烈，因此最先需要被調整。若 Kp 值調整得當，可有效減少 error tracking 的時間。
5. Ki的調整：調整Ki 值能夠大幅減少穩態誤差，除了可大幅減少震盪大小外，對於伺服馬達旋轉角度的選擇亦有很大幫助。
6. Kd的調整：Kd 可有效減少伺服馬達的震盪時間，對於氣動車轉彎的穩定性有很大的幫助。
7. PID_value : PID_value即為整個系統的誤差值。PID_value 為 0 時代表循跡線為直線，車子直線前進；而當PID_value不為 0 時，代表循跡線與車子有角度

歪斜，系統會偵測出車子需要進行轉彎的動作。

將程式碼附如下：

```
int PID()
{
    int ir_error = error; //P值即為error值(double)
    integral += ir_error; //誤差累加到I值(double)
    derivative = ir_error - lastError; //計算當下error及上次error的差值(double)

    double PID_value = Kp*ir_error/1000 + Ki*integral/1000 + Kd*derivative/1000; //計算
    PID gain(double)

    lastError = ir_error; //記錄該次error算下次derivative(double)

    return int(PID_value); //回傳PID值至loop函式
}
```

而除了紅外線循跡轉向之外，在期末驗收時，我們也利用PID控制，來控制馬達轉速讓車子能等速度行駛，並使用超音波感測器配合PID控制，來調整兩台車的車距。

程式碼如下：

1. 馬達轉速控制(使用 Pcontrol)

```
int PID_motor()
{
    double Velocity_error = V_error; //P值即為Verror值(double)

    double PID_motorvalue = K_motor*Velocity_error/1000; //計算PID gain(double)

    V_lastError = Velocity_error; //記錄該次error算下次derivative(double)

    return int(PID_motorvalue); //回傳PID值至loop函式
}
```

2. 超音波(使用PDcontrol)

```
int PID_ultrasonic()
{
    double Cm_error = cm_error; //P值即為Verror值(double)
    cm_derivative = Cm_error - cm_lastError;

    double PID_motorvalue_ultrasonic = Kp_ultrasonic*Cm_error/1000 +
    Kd_ultrasonic*cm_derivative/1000; //PID gain(double)

    cm_lastError = Cm_error; //記錄該次error算下次derivative(double)

    return int(PID_motorvalue_ultrasonic); //回傳PID值至loop函式}
```

4. 設計分析與驗證

4.1 實驗

4.1.1 摩擦力實驗

實驗目的：了解氣動車輪胎與地面的最大靜摩擦力係數之值

實驗原理：將氣動車放在木板上，慢慢抬升木板，紀錄氣動車下滑時木板與桌面夾角，再計算出氣動車與木板間的最大靜摩擦係數。

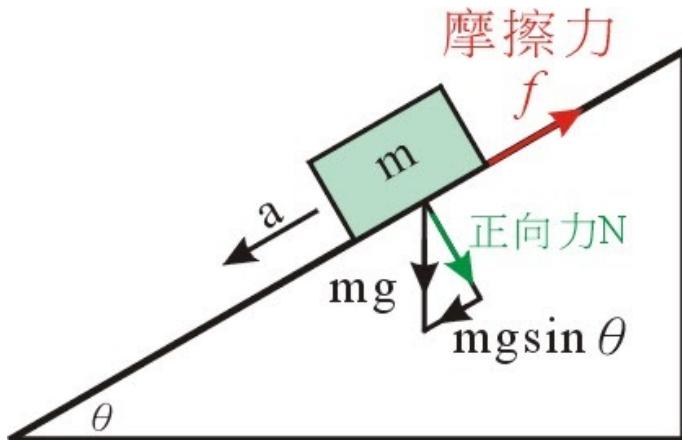


圖 4-1 摩擦力實驗示意圖[12]

根據上圖，可以得到以下關係式

$$mgs\sin\theta = \mu_s N = \mu_s mg\cos\theta, \mu_s = \tan\theta \quad (1)$$

因此透過此關係式，即可藉由測量車子恰發生滑動時的木板角度，來得到靜摩擦係數的值

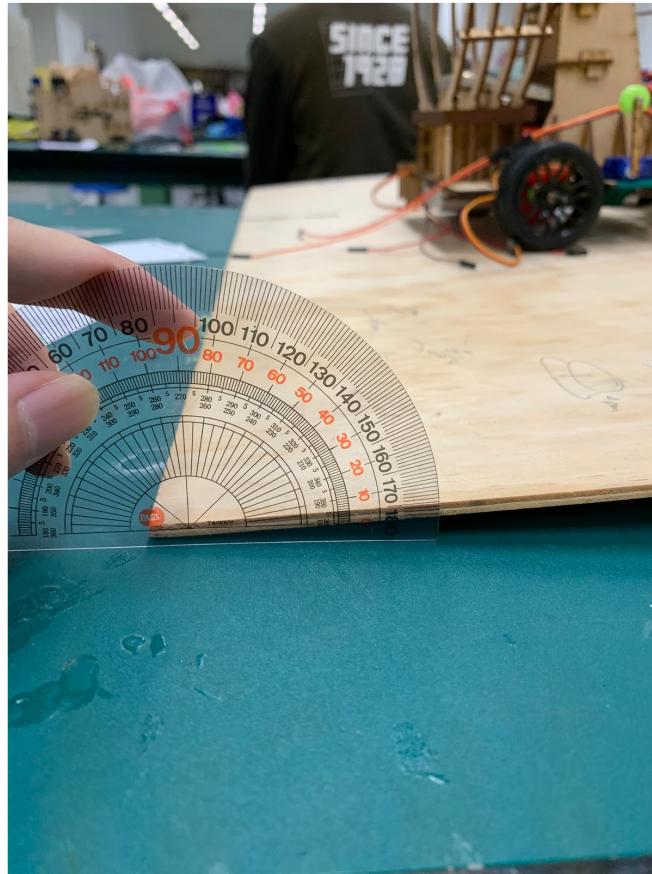


圖 4-2 實際測量情形

4.1.1.1 實驗結果(使用有胎紋輪胎)

木板傾斜方式	角度 θ	最大靜摩擦係數 μ_s
正向傾斜第一次測量	5.0	0.0875
正向傾斜第二次測量	5.0	0.0875
平均	5.0	0.0875
側向傾斜第一次測量	50.0	1.1918
側向傾斜第二次測量	51.0	1.2349
平均	50.5	1.2133

表 4-1

根據上表的實驗結果，我們輪子滾動的最大靜摩擦力約在0.0875左右，車子側向滑動的摩擦力則高至1以上。

在輪子滾動方面，輪子與支架之接觸面、輪胎的材質以及輪胎的光滑程度等均

會影響輪胎的摩擦係數，而直覺上來說摩擦係數應越小越好，但是根據學長的報告及同學們的經驗，若輪胎的摩擦係數過小，車子在加速時輪胎會很容易打滑，不容易控制車子。因此如何根據胎紋種類及輪胎材質，來選擇最合適的輪胎，是十分重要的一件事。

而在側向滑動方面，我們兩次測得車子滑動的角度均在50度以上，算出來的靜摩擦力係數均大於1。這代表我們的車子在行駛過程中不容易打滑，具有很高的穩定性，但相對地風扇也就需要更大的推力才能夠推動車子。

4.1.1.2 實驗結果(使用密集板輪子)

木板傾斜方式	角度 θ	最大靜摩擦係數 μ_s
正向傾斜第一次測量	1.0	0.0175
正向傾斜第二次測量	1.0	0.0175
正向傾斜第三次測量	2.0	0.0349
平均	1.33	0.0233
側向傾斜第一次測量	24.0	0.4452
側向傾斜第二次測量	23.0	0.4245
側向傾斜第三次測量	23.5	0.4348
平均	23.5	0.4348

表 4-2

由於在期中測試過後我們改用密集板切割的輪子，因此重新進行一次摩擦力實驗。根據表4-2，和有胎紋的輪胎(見表4-1)相較下，使用密集板切割的輪子，所量測出來的最大靜摩擦力從原先的0.0875大幅下降至0.0175左右，側向滑動摩擦力也從原本的1.2122降至0.4348左右。

由於摩擦係數大幅降低，因此風扇不須過大的推力即可推動車子，但由於側向滑動摩擦力也跟著減少，故車子在行進及加速時的打滑風險提升。然而期末驗收的賽道並未有上下坡或迴轉半徑小的急轉彎，因此無需有太高的抓地力要求，且我們在測試車子時，也未曾遇過輪子打滑的情況發生。故使用密集板的光滑輪胎是可行的，車子的整體表現也較期中測試前使用有胎紋的輪胎來得好。

4.1.2 轉向實驗

實驗目的：量測氣動車輪胎實際的最大轉向角與在CAD上模擬的差異。

實驗原理：將氣動車兩顆前輪左右轉至最大角度，用量角器測量輪胎與車底板側邊的夾角，此角度即為最大轉向角。

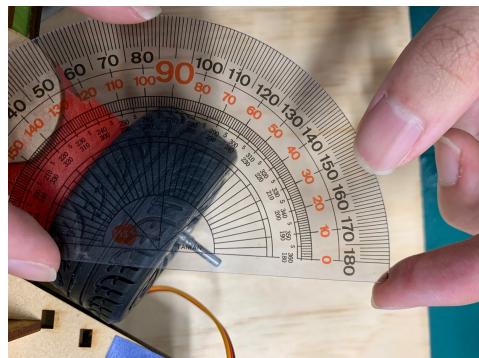


圖 4-3 實際測量情形

實驗結果：

	測量夾角	CAD模擬夾角	誤差(%)
左轉	30.0度	32.0度	-6.25 %
右轉	31.0度	32.0度	-3.13 %

表 4-3

根據上表，可以發現在實際測試時，輪胎的最大轉角稍低於用CAD上模擬出來的最大轉角，大約有3~6 %的誤差。

4.1.3 阻力實驗

實驗目的：將車子至於風洞中，用熱線風速計量測車子前後的風速，以推得車子的阻力。

實驗原理：操作與這學期第一次的量測實驗(Total drag via control volume analysis)的原理類似，先量測在不同duty值下的背景風速值，再將車子至於風洞中央，量測車子前後方不同高度(每6公分量測一次)的風速值，最後再根據得到的數據來算出阻力值。



圖 4-4 實際測量情形

實驗結果：

(1) 第一次實驗

Duty 值(%)	背景風速(m/s)
15	0.19
20	0.37

表 4-4 第一次實驗風洞的背景風速

高度 h(cm)	Duty 20 %		Duty 15 %	
	Uu(m/s)	Ud(m/s)	Uu(m/s)	Ud(m/s)
36	0.47	0.41	0.17	0.19
30	0.48	0.48	0.18	0.18
24	0.48	0.34	0.19	0.07
18	0.47	0.06	0.18	0.10
12	0.43	0.22	0.19	0.06
6	0.37	0.06	0.19	0.04
平均風速(m/s)	0.4500	0.2617	0.1833	0.1067

表 4-5 第一次實驗車子上下游不同高度的風速值

(2)第二次實驗

Duty 值(%)	背景風速(m/s)
15	0.23
20	0.61

表 4-6 第二次實驗風洞的背景風速

高度 h(cm)	Duty 20 %		Duty 15 %	
	Uu(m/s)	Ud(m/s)	Uu(m/s)	Ud(m/s)
36	0.51	0.58	0.30	0.27
30	0.47	0.53	0.21	0.18
27	0.52	0.47	0.23	0.09
26	0.42	0.33	0.29	0.18
25	0.46	0.56	0.23	0.10
24	0.39	0.52	0.31	0.01
20	0.39	0.19	0.27	0.00
16	0.11	0.15	0.19	0.05
12	0.02	0.20	0.08	0.03
8	0.00	0.00	0.08	0.00
4	0.00	0.00	0.04	0.00
平均風速(m/s)	0.2991	0.3209	0.1918	0.0827

表 4-7 第二次實驗車子上下游不同高度的風速值

量測我們氣動車的尺寸為長291.0 mm、寬200.5 mm、高233.5 mm，可將此區域設定為一個Control volume，而從流體力學課本[11]中得知，對於一個Control volume system，其所受阻力可以下方公式表示[13]：

$$D = \int \rho U_u U_u(y) dy - \int \rho U_d U_d(y) dy \approx \rho \Delta y W \sum [U_u^2(y) - U_d^2(y)] \quad (2)$$

其中 ρ 為空氣密度 1.2 kg/m^3 (20°C)，W為Control volume 寬度200.5 mm，h為233.5 mm， Δy 為高度，因此可算出車子在兩種不同Duty值下的阻力，結果如下表所示：

Duty 值 (%)	Drag (N)
20	0.004395 N
15	0.000595 N

表 4-8 第一次實驗兩種Duty的阻力值

第二次實驗時室溫約為 30°C ，故空氣密度約為 1.146 kg/m^3

Duty值 (%)	Drag (N)
20	-0.001079 N
15	0.001622 N

表 4-9 第二次實驗兩種Duty的阻力值

從第一次的實驗結果可知，當流速越快，阻力會越大，兩者呈正相關；而從另一個觀點來看，由於流體在和地板接觸的地方為No slip condition，其流速為0，因此在相同的Control volume下，最下方的流速為0，而頂部的煙管為平流狀，故流速快時底部到頂部的變化會較大，阻力相對也會較大。

然而在第二次的實驗結果中，在duty 20%這筆數據由於量測出來的下游速度多大於上游速度，因此最後算出來的阻力值為負值。推測可能的原因為：

- (1) 量測時風速計並未與氣流方向垂直，產生量測的誤差
- (2) 風速計儀器本身的隨機誤差
- (3) 第二組實驗的Control volume取得太大，取到的h值較實際的高，導致將較高點不受影響的流速也算到阻力公式中，唯兩次實驗的車子高度相同，應未有此項問題。

綜觀上述實驗結果，不考慮阻力值為負值的誤差情形下，可得到以下結論：

- (1) 阻力值與平均流速應呈正相關
- (2) 由於靠近車身底部的流速過小，以致於熱線風速計難以讀取數值，在計算阻力時只能計算車身上半部的流速值，因此實際阻力值應較實驗結果來得更大
- (3) 和車體所受的摩擦力(見實驗4.1.1)相比較，阻力值遠小於摩擦力，故在分析車體動態時幾乎可以忽略

4.1.4 轉速實驗

實驗目的：測量無刷馬達在不同pwm值下的轉速值。

實驗原理：在風扇其中一個扇葉上貼一小反光貼片，用轉速計的雷射光瞄準貼片位置來測量風扇的轉速。

實驗結果：

電池電壓：12.34 V

馬達pwm值	風扇轉速(rpm)
40	4685
45	5352
50	5785
55	6187
60	7039

表 4-10 不同馬達pwm值下的風扇轉速值

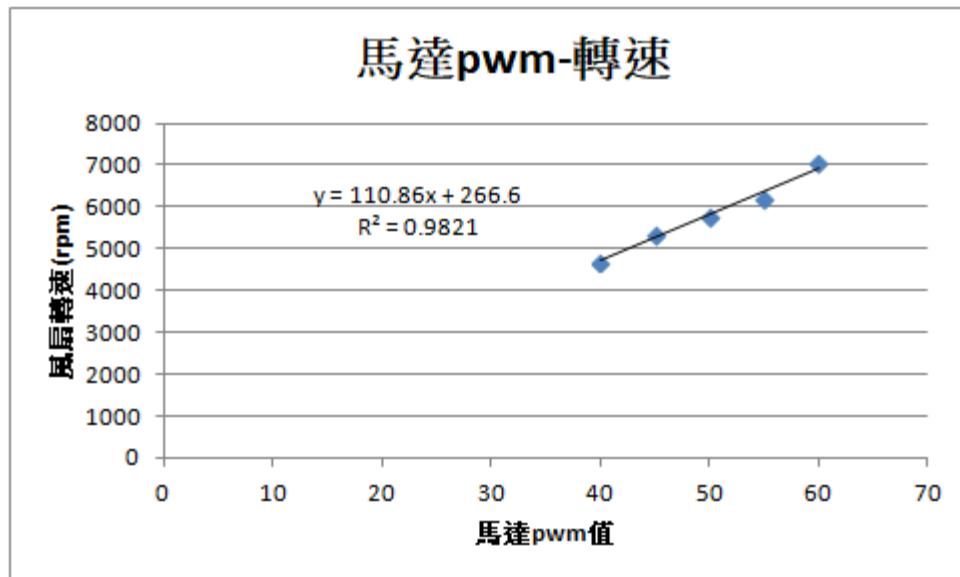


圖 4-5 馬達pwm值下與風扇轉速值關係圖

從實驗結果來看，隨著馬達輸入pwm值提高，風扇的轉速也提高，兩者大致上呈線性正相關關係(線性迴歸係數0.9821)。

然而在實際測試氣動車時，發現風扇轉速除了受到pwm值影響外，亦會受到電池的電量影響：電池的電壓降低，在相同的pwm值下，風扇的轉速也會降低。因此當我們每次在測試車子時，都會先充電讓每次測試的電壓一樣，以確保每次測試的風扇轉速一樣。

4.1.5 流場可視化風扇推力實驗

實驗目的：在舊數館量測實驗教室中的轉動測速計、熱線風速計以及風洞，來測量出氣動車在循跡過程中設計到的轉速下所會產生的推力。

實驗原理：實驗操作類似於本學期的第二次量測實驗(Visualization of a fan flow and thrust estimation)，將車子至於風洞中央，開啟風扇後，透過雷射與煙霧產生器來將流場可視化，並使用熱線風速計來測量inlet和throat的流速，最後再根據Control Volume理論來算出推力值。

實驗步驟：

- (1) 開啟風洞並設定風洞的duty值為 20%。
- (2) 將氣動車放入風洞中，將馬達的pwm值調為40後，上傳程式並插入電池以啟動無刷馬達讓風扇旋轉。
- (3) 透過煙管找到來找到風扇inlet和throat被影響的最外圍流線，並紀錄inlet和throat最外圍流線的高度最高值和最低值，以算出inlet和throat的截面積。
- (4) 利用熱線風速計由被影響的最外圍流線向風扇軸線進行inlet和throat的風速量測(inlet量測5筆數據、throat量測3筆數據)。
- (5) 利用Control Volume積分式來進行推力的計算。

實驗結果：

風扇pwm值	40	背景風速(m/s)	0.37
inlet		throat	
height	velocity U1(m/s)	height	velocity U3(m/s)
35	0.46	25	3.33
32	0.50	20	5.09
30	0.48	15	1.93
28	0.55	X	
22	0.59	X	
平均	0.516	平均	3.45

表 4-11 pwm 40的風扇inlet與throat各高度之風速

風扇pwm值	50	背景風速(m/s)	0.37
inlet		throat	
height	velocity U1(m/s)	height	velocity U3(m/s)
35	0.53	25	3.07
32	0.56	20	6.8
29	0.66	15	2.83
27	0.63	X	
22	0.53		
平均	0.582	平均	4.23

表 4-12 pwm 50的風扇inlet與throat各高度之風速

風扇pwm值	風扇轉速(rpm)	inlet velocity U1(m/s)	throat velocity U3(m/s)	average velocity U2(m/s)(U2=U1+ U3)
40	4685	0.516	3.450	1.983
50	5785	0.582	4.233	2.408

表 4-13 風扇轉速與inlet、throat之風速比較

根據Actuator disk theory，可得推力公式如下：

$$T = \rho(A_3 * U_3^2 - A_1 * U_1^2) = \rho Q(U_3 - U_1) \quad (3)$$

其中 ρ 為空氣密度 $1.146 \text{ kg/m}^3(30^\circ\text{C})$ ， A_3 為throat的圓盤面積， U_3 為throat average velocity； A_1 為inlet的圓盤面積， U_1 則為inlet average velocity，計算結果如下表4-所示：

pwm值	風扇轉速(rpm)	推力(N)	上游體積流率 (Q1=A1*U1)(m ³ /s)	下游體積流率 (Q3=A3*U3)(m ³ /s)
40	4685	0.1031	0.0068	0.0271
50	5785	0.1559	0.0077	0.0332

表4-14 風扇不同pwm值的推力與體積流率

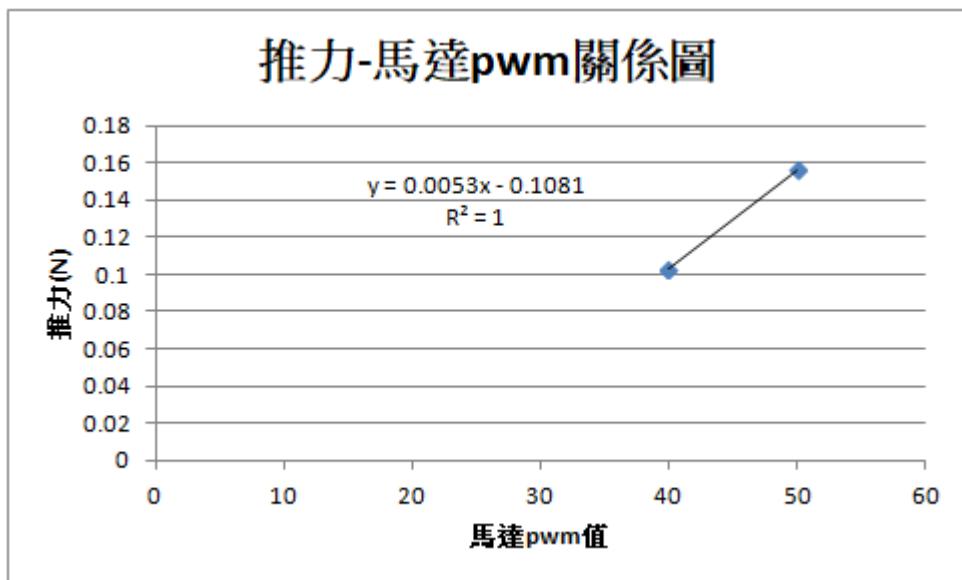


圖 4-6 推力與馬達pwm值關係圖

從以上實驗結果可以得知，隨著風扇pwm值提高，風扇的推力以及體積流率也會跟著提高，而從圖4-6可以推測兩者呈線性正相關。

然而由於我們進行實驗的時間相當緊湊，故未能將所有程式中會使用到的pwm值進行實驗，僅記錄了兩筆數據，殊為可惜。而另一方面，在實驗中我們只有針對氣動車的中軸面進行風速量測，然而實際上應該要對整台車子的所有平面進行量測，再計算動量差來更嚴謹地求得推力。

4.2 風扇應力分析

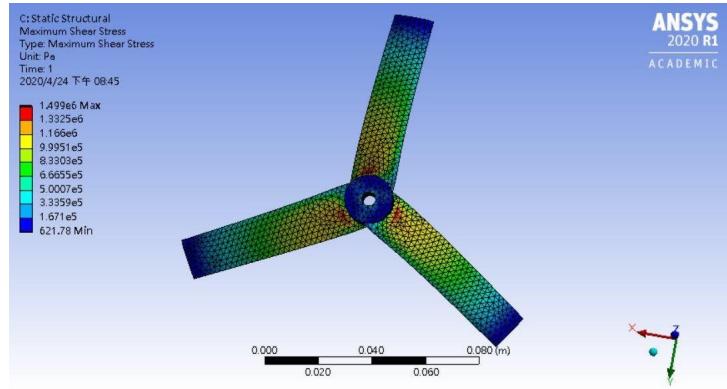


圖 4-7 風扇應力分析圖

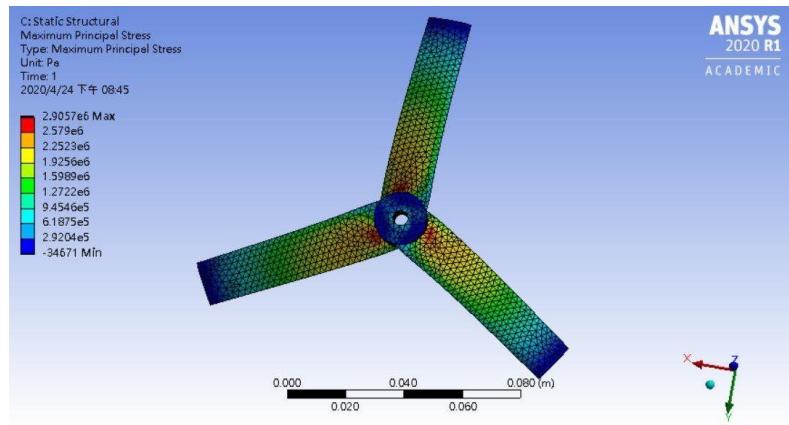


圖 4-8 風扇應力分析圖

期中測試時，扇葉表現優異，因此已確認扇葉規格，期中後扇葉並無其他改善，唯獨針對扇葉部分進行流場分析及應力分析。此外，進行電腦 ANSYS 進行分析時，尤其是應力分析時，須考慮扇葉為理想均質固體，該假設我認為重要之點為，因 3D 列印會因為 3D 列印機的列印方式導致中心軸與扇葉接合部分出現強度較弱的部分，因而即便扇葉分析出應力或應變最強處，也不能代表實際上，當扇葉超過疲勞限度時，出現斷裂之處。次重要之點為，同樣也為列印方式之故，扇葉各方向，如 xyz 三者方向，疲勞限度不盡相同。因而該分析，只適用理想均質材料扇葉。

由圖4-7跟圖4-8可得知扇葉旋轉時，所受應力最大處為離中心軸前面的那部分。而一開始測試時，結構被破壞的地方大部分是在模擬中應力較大的地方附近。

4.3 製造

本次製作專題的車體製造主要是由密集版透過雷射切割再組裝，以及 3D 列印機列印，配合市售常見機械元件製造組裝而成。

4.3.1 風扇

由於風扇攻角與翼型等形狀較為複雜，較難手工製作或使用現有雷射切割機切割成型，因此使用 3D 列印機製作後再手工微調其中尺寸。3D 列印完成後會有許多支撐材及毛邊，因此需以銼刀或是砂紙將表面磨製光滑無明顯起伏。

4.3.2 車體

由於力求簡單易組裝、誤差小，因此設計上皆以密集板使用雷射切割機切割後直接組裝即可，僅有配合輪胎的六角輪座是採用 3D 列印的方式。

4.3.3 轉向機構與後輪支撐

由於本組的輪胎是採用市購元件，因此輪軸高度是固定的。密集板的厚度僅有 3mm，因此為了滿足此高度需求，將轉向機構與後輪支撐採用 3D 列印的方式進行製造。

4.4 驗證

本次進行驗證時，並不會對所有尺寸進行一一確認，僅針對影響整體結構關係或是需要相對精準之尺寸進行驗證。

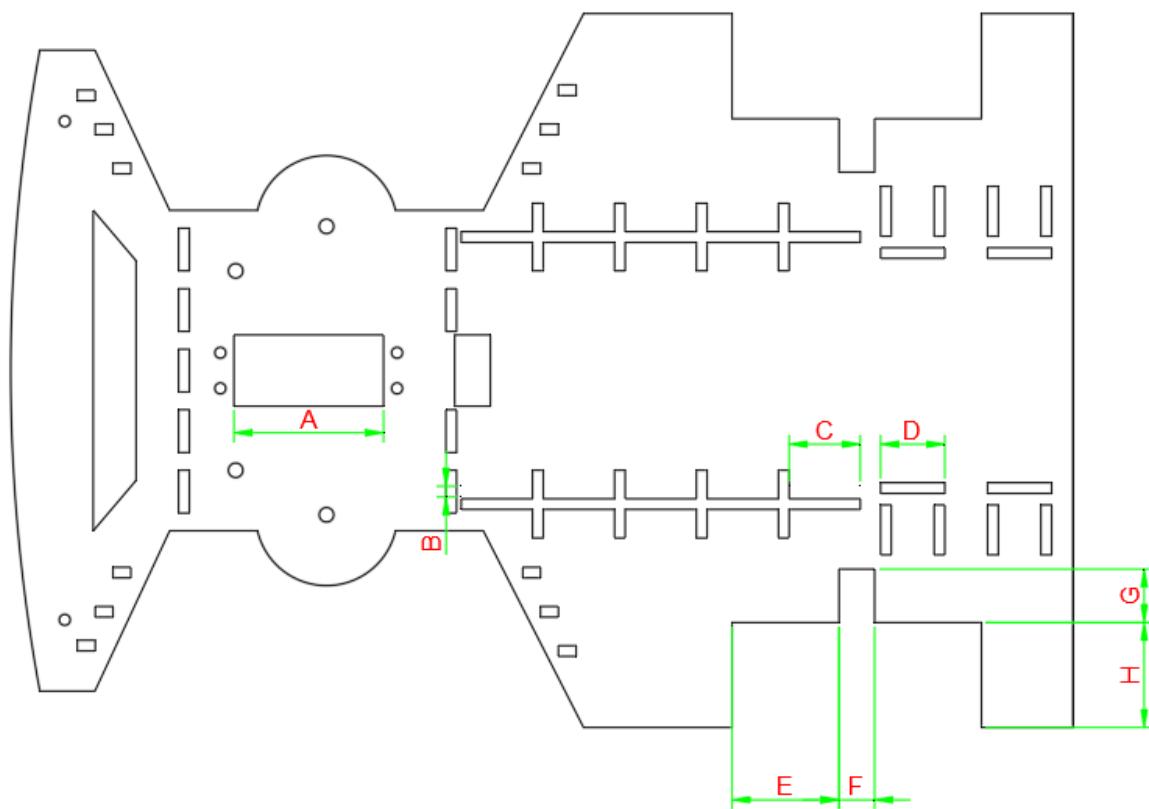
4.4.1 雷射切割尺寸驗證

本組針對對尺寸較為要求的部分零件以游標卡尺進行尺寸驗證，對於雷射切割的加工方式，本組歸納出以下幾種誤差來源。

1. 密集板並非完全水平：雷射切割機加工過程中最重要的就是材料與雷射頭之間的距離，而密集板可能在運輸或是存放的過程中遭受外力擠壓，可能產生些許彎曲，造成製造誤差。
2. 雷射切割的參數設定：進行切割前，操作人員必須先進行能量、速度、SPI 的設定，不同的數值都可能影響到製造的精度。
3. 雷射切割機的使用時長：若雷射切割機進行長時間的使用後，則其精度會有所下降。

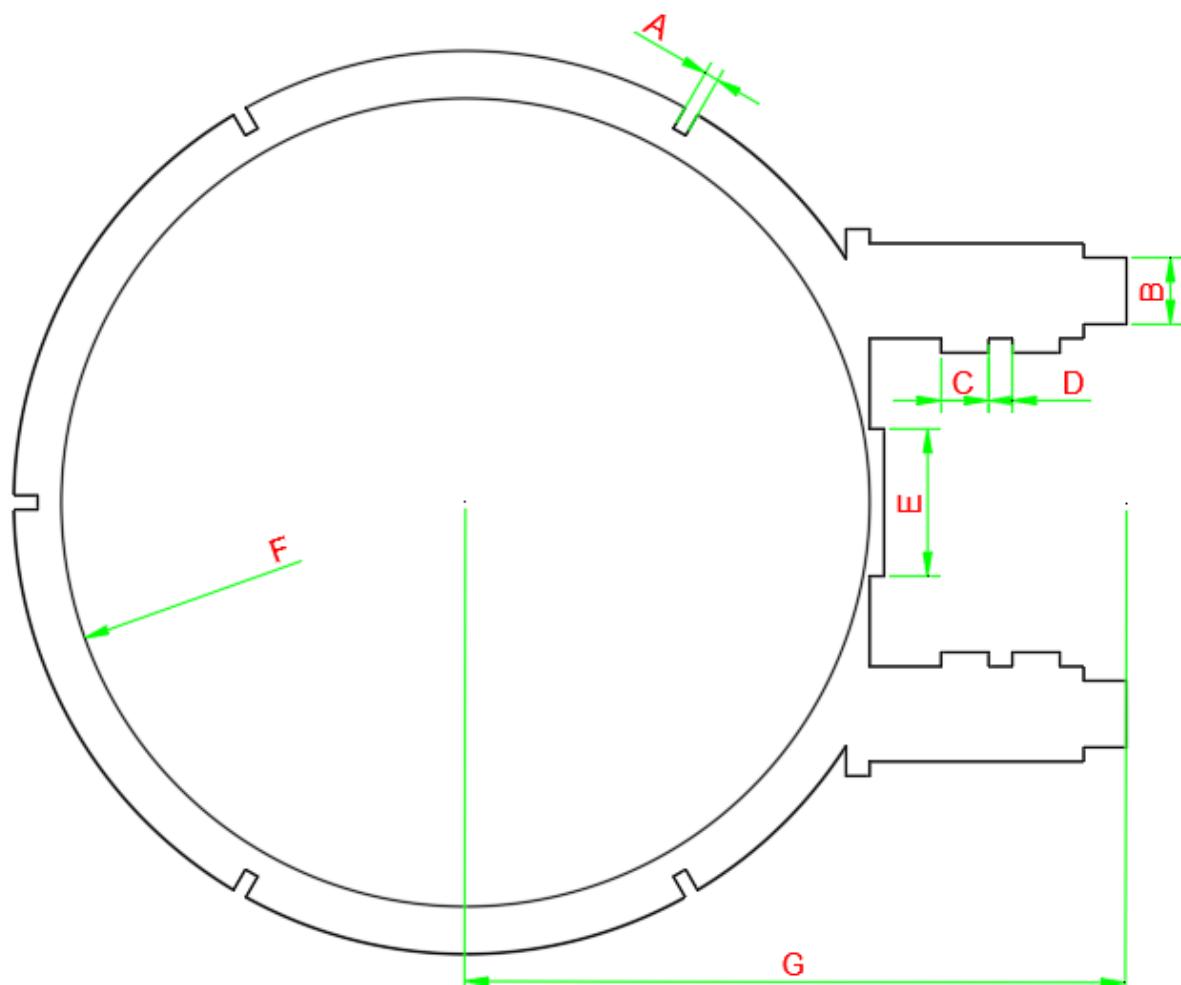
總體而言，雷射切割幾乎不會造成尺寸上的誤差，即使有也不會影響到整個結構的組裝。

(1) 底板



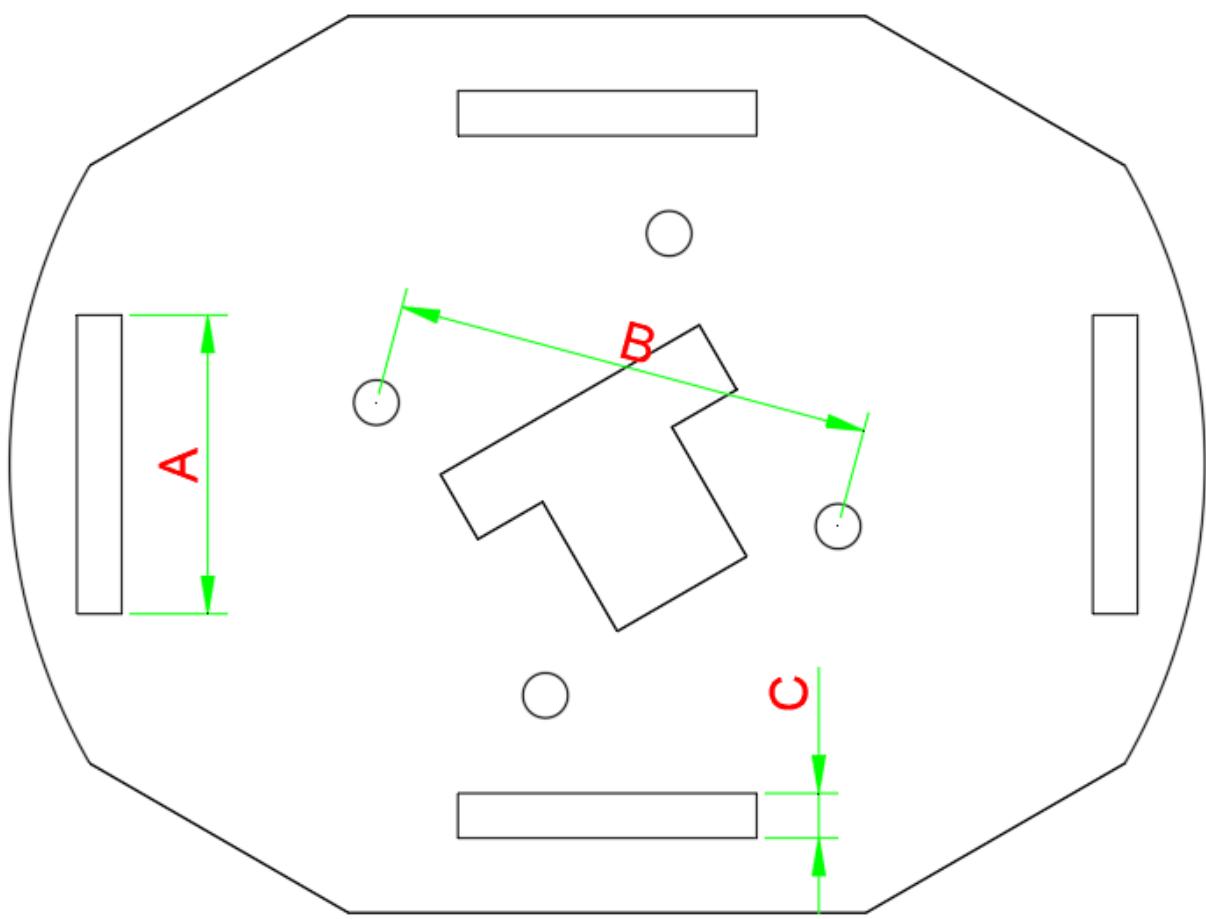
	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	42	42.10	42.10	42.10	0.24
B	3	3.04	3.08	3.06	2.00
C	20	19.94	19.92	19.93	-0.35
D	18	18.00	18.02	18.01	0.06
E	30	30.10	30.00	30.05	0.17
F	10	10.20	10.20	10.20	2.00
G	15	14.92	14.98	14.95	-0.33
H	29.5	29.52	29.50	29.51	0.03

(2) 風扇罩



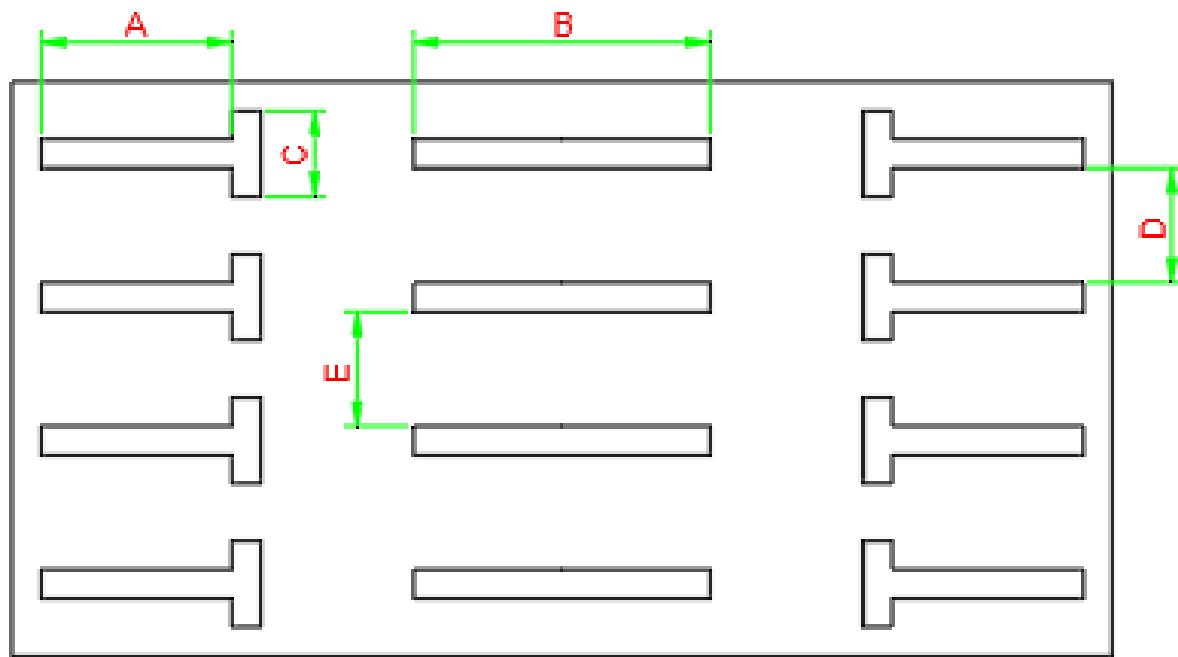
	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	3	3.10	3.10	3.10	3.33
B	14	13.88	13.84	13.86	-1.00
C	10	9.80	9.86	9.83	-1.7
D	5	5.10	5.08	5.09	1.8
E	31	30.86	30.86	30.86	-0.45
F	85	85.15	85.05	85.10	0.12
G	139	139.21	139.17	139.19	0.14

(3) 馬達連接架



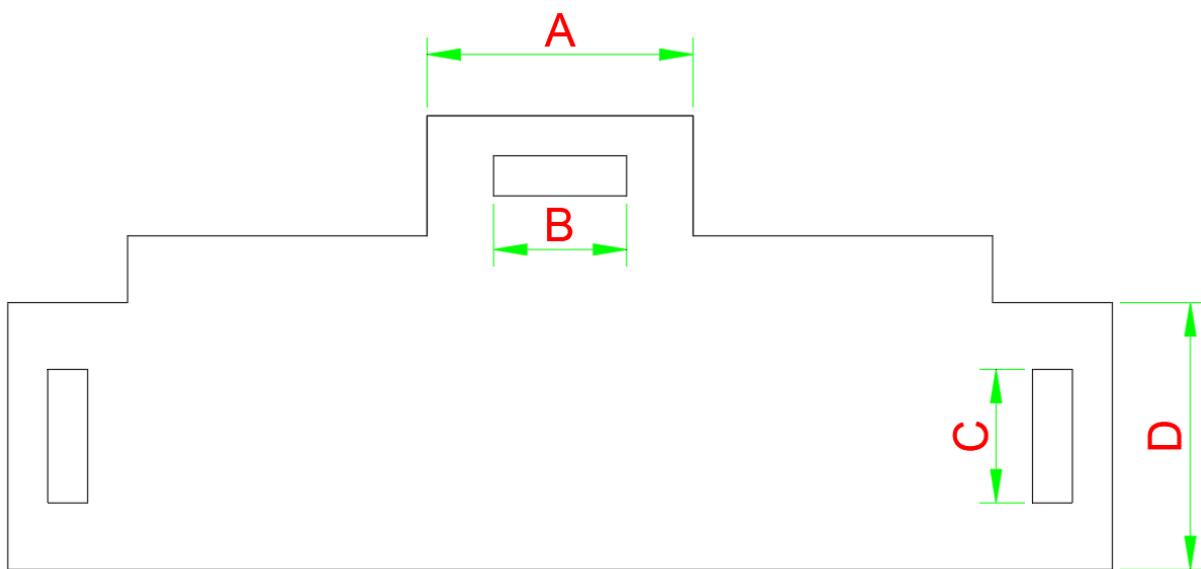
	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	20	20.0	19.94	19.96	-0.20
B	32	31.94	32	31.97	-0.09
C	3	3.02	3.04	3.03	1.00

(4) 風扇固定件1



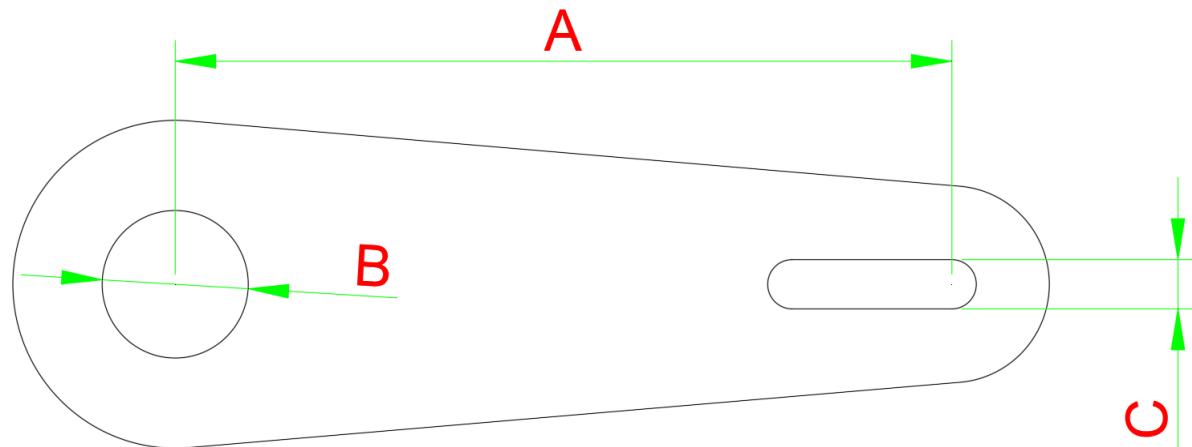
	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	20	20.00	20.00	20.00	0.00
B	31	30.98	30.92	30.95	-0.16
C	9	9.02	9.02	9.02	0.22
D	12	11.82	11.84	11.83	-1.42
E	12	11.88	11.90	11.89	-0.92

(5) 馬達支撐架



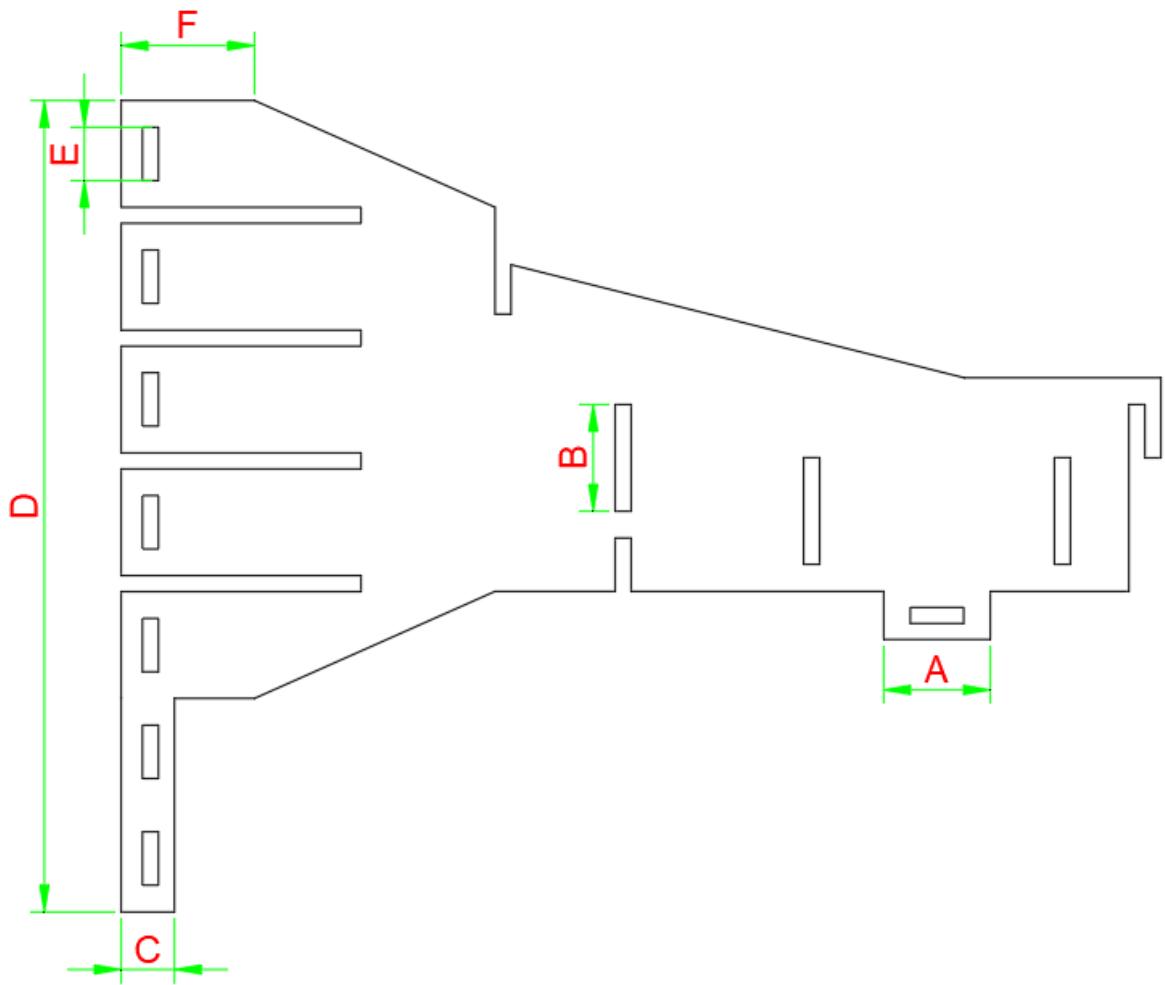
	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	20	19.82	19.80	19.81	-0.95
B	10	10.00	10.00	10.00	0.00
C	10	10.10	10.08	10.09	-0.90
D	20	19.92	19.96	19.94	-0.30

(6) 舵盤



	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	47.85	47.36	47.56	47.46	-0.82
B	9	9.00	9.20	9.10	1.11
C	3	3.08	3.10	3.09	3.00

(7)風扇支柱



	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	20	20.02	20.10	20.06	0.30
B	20	20.00	20.00	20.00	0.00
C	10	9.92	9.90	9.91	-0.90
D	152	151.58	151.60	151.59	-0.27
E	10	10.00	10.10	10.05	0.50
F	25	24.72	24.72	24.72	-1.12

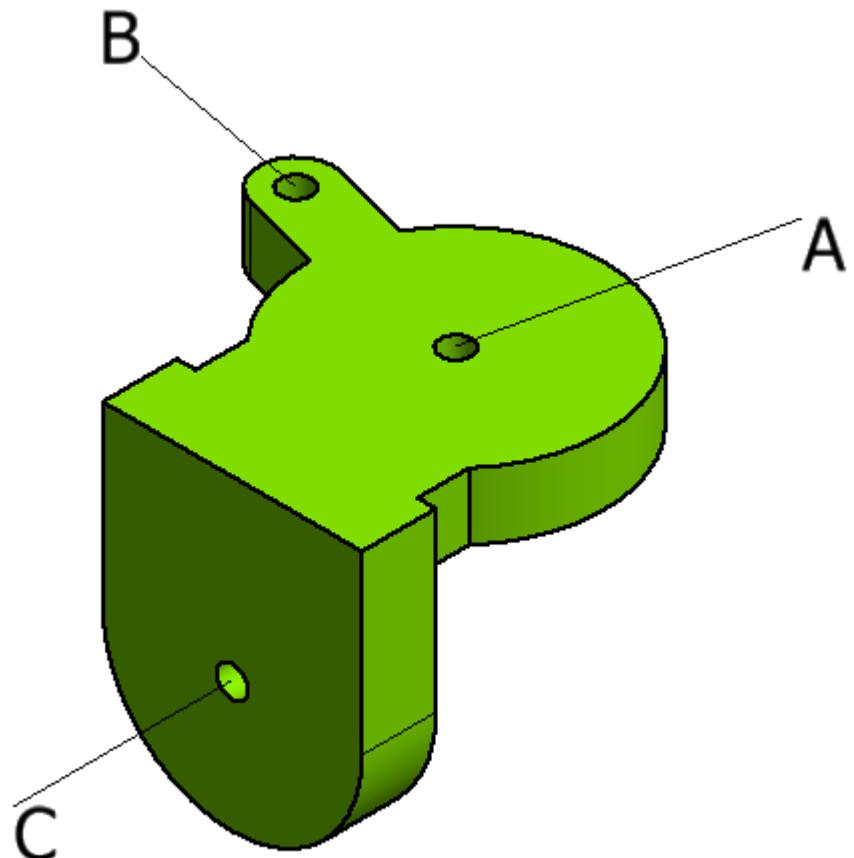
4.4.2 3D列印尺寸驗證

本組針對對尺寸較為要求的部分零件以游標卡尺進行尺寸驗證，對於雷射切割的加工方式，本組歸納出以下幾種誤差來源。

- 1) 塑料厚度：由於3D列印的製造方式是利用噴嘴將塑料一層一層向上堆疊，而塑料的厚度並不會隨時一致，有可能有誤差。
- 2) stl檔限制：stl檔案是利用眾多的三角形定義一個3D檔，因此形狀會與在軟體中所設計的有所差異。
- 3) 列印平台傾斜：實作中心的3D列印機是需要自己手動塗口紅膠，因此難以確保能夠塗得很均勻平整，因此在列印的過程中會有誤差的產生

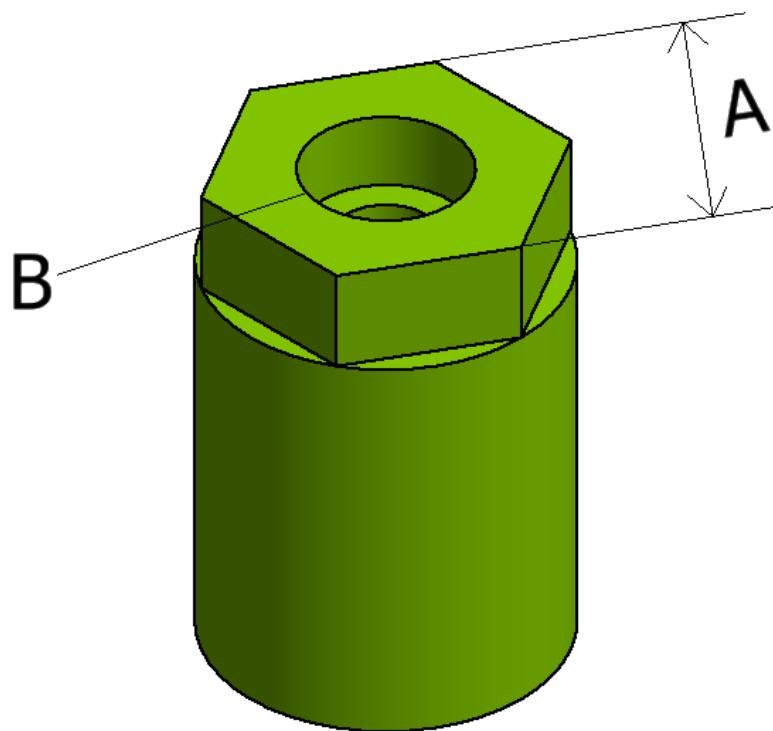
總體而言，3D列印製造的誤差比雷射切割的方式還要大上許多，但由於其幾乎不限制任何加工形狀，仍是一項重要的製造方法。

(1) 右控制桿



	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	4.2	4.03	4.04	4.035	-3.93
B	4.2	3.96	3.96	3.96	-5.72
C	4.2	4.01	4.01	4.01	-4.52

(2) 六角輪座



	設計尺寸	量測尺寸1	量測尺寸2	平均	誤差(%)
A	12	12.32	12.36	12.34	2.83
B	6.5	6.08	6.14	6.11	-6.00

4.5 總組合圖與零件工程圖

詳見後方附錄。

5. 工作進度與分工

5.1 定期會議

在期中過後本組每週至少都會擇兩日舉行會議，一次是本組的討論而另一次則是與合作組進行討論。在本組的討論主要是讓組員進行各自的進度報告，並且激盪彼此腦力，提出想法進行交流，並決議出至下次會議前的工作進度與分配；與合作組討論主要是分享程式碼的想法，與選擇使用哪種超車方法來達到期末的要求。

5.2 甘特圖

5.2.1 期中測試前

類別	負責人員	細項	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
車體結構	羅崇榮、黃少儀	車體	10%	25%		50%	75%	100%		
	羅崇榮	轉向機構		20%	40%	60%	80%	100%		
	林俊宇、孟菲斯	風扇				10%	20%	40%	60%	100%
	羅恩至	煞車			25%	80%	100%			
	羅崇榮、沙雲蓉	零件購買	16.6%	33.3%	50%	66.6%	83.3%	100%		
程式設計	羅恩至、羅崇榮、黃少儀	組裝			20%	40%	60%	80%	90%	100%
	羅恩至	紅外線感測					10%	40%	80%	100%
	林俊宇、孟菲斯	風扇				10%	20%	50%	80%	100%
機電設計	羅恩至、林俊宇	PID					25%	50%	100%	
分析實驗	羅恩至、林俊宇	電路配置						40%	80%	100%
	羅恩至、林俊宇	阻力實驗								100%
	羅恩至、羅崇榮	摩擦力實驗								100%
書面報告	羅恩至、羅崇榮	轉向實驗								100%
	沙雲蓉	緒論								100%
	羅恩至	功能需求								100%
	羅恩至	車底板設計概念								100%
	羅崇榮	轉向機構設計概念								100%
	羅恩至	車輪設計概念								100%
	羅恩至	煞車設計概念								100%
	林俊宇	風扇設計概念								100%
	羅恩至、林俊宇、孟菲斯	程式設計與機電系統								100%
	羅恩至	實驗								100%
	沙雲蓉	應力分析								100%
	沙雲蓉	流場分析								100%
	羅崇榮	製造與驗證								100%
	羅崇榮、沙雲蓉	零件工程圖						25%	50%	100%
	羅崇榮、黃少儀	工作進度與分工								100%
	黃少儀	未來工作								100%

圖 5-1 期中甘特圖

5.2.2 期中測試後

類別	負責人員	細項	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17
車體結構	羅崇榮	車體		10%			35%	60%	100%		
	沙雲蓉	零件購買			33%		66%	100%			
程式設計	羅恩至、羅崇榮	組裝		10%			35%	60%	100%		
	羅恩至、孟菲斯	紅外線感測			10%	25%	30%	50%	70%	80%	100%
機電設計	羅恩至、孟菲斯	超音波							25%	50%	100%
	羅恩至、孟菲斯	PID		25%	60%	100%					
分析實驗	羅恩至	電路配置							33%	66%	100%
	羅恩至、林俊宇、羅崇榮	流場可視化風扇推力實驗							100%		
書面報告	羅恩至、黃少儀	摩擦力實驗							100%		
	羅恩至、林俊宇、羅崇榮	轉速實驗							100%		
	羅恩至	功能需求									100%
	羅崇榮	轉向機構設計概念									100%
	羅恩至、羅崇榮	車輪設計概念									100%
	林俊宇	風扇設計概念									100%
	羅恩至	程式設計與機電系統									100%
	羅恩至	實驗									100%
	沙雲蓉、黃少儀	應力分析									100%
	沙雲蓉	流場分析									100%
	羅崇榮	製造與驗證									100%
	羅崇榮、沙雲蓉	零件工程圖							20%	40%	50%
	羅崇榮、黃少儀	工作進度與分工									100%
	羅崇榮	BOM表									100%

圖 5-2 期末甘特圖

6. 心得

羅恩至

從大一就有聽說這門機工實務必修課程相當的重、相當的硬，每個學長及同學都建議必須及早準備以免開天窗，果然到這學期輪到我們這屆修這門課之後，真切地感受到這門課的紮實度。然而即使任務如此艱難，但靠著組員們的分工合作與互相幫助，讓大家都能順利地完成各自所分配的工作，從起初的車體機構的設計、零組件的選擇與購買，到後來的程式控制，以及不斷的測試與參數調整.....，所有極為困難的任務都一一解決。

雖然在過程中，不論是機構還是程式，都不時遇到許多棘手的問題，為此常常花費不少時間在除錯，測試的結果也常常失敗、白費了許多精力與時間，期中測試的結果也差強人意，但很高興即使如此，組員們的相處氣氛還算不錯，大家會一起想辦法解決問題，並且互相激勵與學習，而我們和合作組的相處也算融洽，鮮少有衝突與紛爭。有這樣不錯的團體氣氛，期末才有一個不錯的成果。

經過這次的實務課程，除了自身學到許多新的工程相關知識與程式設計之外，也學習如何掌握時間以及團隊合作，除此之外，這門課這讓我體驗到未來出社會後可能會遇到的種種情形：包括多次嘗試以及多次的失敗、花了許多精力卻得到不盡人意的結果、和各式各樣的人們溝通與合作等等，也訓練我們當遭遇挫敗時，應該以如何的心態去解決問題。

林俊宇

我認為機械工程實務是對自己能力的一個檢視，而這裡所謂的能力不只是工程相關的能力，還有團隊合作、時間管理等等，我覺得最考驗我的是時間管理。因為我這學期有修專題，而我的專題題目需要找受測者做實驗，過程冗長，因此雖然有完成我負責的風扇部分，但機電部分因為時間的關係，說好盡力幫助負責的同學最後也沒有很大的輸出。如果時間管理做得好的話主要負責機電的同學不會那麼累，而我也可以學到更多相關知識。總之，或許期中期末測試並不完美，整組也不是都沒有磨擦，但我認為團隊的整體氣氛是不錯的，也讓我們更懂得如何去合作和如何在自己不熟悉的領域仍然貢獻一己之力，更多的是靠自己找到需要的知識資源，這對未來是很有幫助的。

羅崇榮

這次的氣動車專題比起上學期的撞球車還要複雜、困難許多，也花費了更多時間與心力。從一開始的像無頭蒼蠅一樣漫無目的亂設計一直到後來車體結構總算完成與後續不斷的測試，即使經過一次又一次的調整，測試結果也常常失敗，白費力氣。未來在工作上可能也常常遇到這種情形，經過這次的專題可以說是讓我們提早接受社會的洗禮，也讓我們訓練當一直遭遇挫敗時應該具備怎麼樣的心態與如何解決問題。

黃少儀

這學期最硬的課終於結束了，從學期初開始規劃車體，經過期中的測試失敗後，重新地再做了一台車。而我因為半工半讀的情形下，導致我經常無法出席晚上的小組會議，無法與大家討論各自對車的看法。不過還好有強而有力的隊友，扛起了整個氣動車最困難的部分，也就是循跡與超車的程式碼，並且與合作組解決了大部分的問題，直到氣動車順利完成。從無到有做出兩台氣動車真的花了非常多的心血，循跡及風扇的參數真的非常讓人頭痛。雖然最後沒拿到滿分，但看到組員們一起設計的車達成各種要求，在賽道上奔馳也是蠻開心的。

沙雲蓉

There are a lot that I learned from this project. First, I learn that some of the basic logical keys we learn from the classes can actually apply in the project such as the simulation program, Ansys. Second, the team work is very important. The better the teamwork is, the better work we got. Finally, this project is a very fun and interesting project, I can visualize how the actual work engineer has been.

孟菲斯

My main takeaways from this project are teamwork spirit and a willingness to go through an issue over and over with the hope of finding the beginning of a solution. Everyone in the group contributed what they could do best and were open to clarify any unclear details in sections they overviewed. I consider this project to be a rewarding engineering experience since we have been through the whole process of brainstorming, designing, building, testing and troubleshooting our car.

From programming skills, designing skills, manufacturing skills to communication

skills, I have had the chance to do more practice and my abilities are arguably enhanced; and I assume that will be accurate for all the members of the group. Finally, I believe that from this project we have learned soft skills such as project management, work distribution and cooperation that will definitely turn us into better team members in the future. Engineering is succeeding through trials and failures, and that might be a fair summary of my experience this semester.

7. 參考資料

1. B05學長的報告(第1~7組、第10組、第14組、第16組、第26~27組)

2. 維基百科-阿克曼轉向幾何

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%98%BF%E5%85%8B%E6%9B%BC%E8%BD%89%E5%90%91%E5%B9%BE%E4%BD%95>

3. 維基百科 - Arduino <https://zh.wikipedia.org/wiki/Arduino>

4. Arduino與樹莓派優缺點對比 <https://kknews.cc/zh-tw/home/lrbmpye.html>

5. <http://filix08.blogspot.com/2019/04/tcrt5000.html>

6.

[https://shopee.tw/SG90-%E4%BC%BA%E6%9C%8D%E9%A6%AC%E9%81%94360%E5%BA%A6\(%E8%88%B5%E6%A9%9F\)-i.4995194.345460374](https://shopee.tw/SG90-%E4%BC%BA%E6%9C%8D%E9%A6%AC%E9%81%94360%E5%BA%A6(%E8%88%B5%E6%A9%9F)-i.4995194.345460374)

7. <https://www.playrobot.com/20kgf-cm/1151-mg90s-metal-gearied-micro-servo.html>

8. <https://kknews.cc/news/nplpb63.html>

9. <http://www.waveshare.net/shop/MG996R-Servo.htm>

10.

<https://www.taiwaniot.com.tw/product/360%E5%BA%A6-%E6%97%8B%E8%BD%89%E7%B7%A8%E7%A2%BC%E5%99%A8-arduino-%E6%A8%A1%E7%B5%84/>

11. <http://ee543.blogspot.com/2017/05/170513fc33.html>

12. 重力加速度-有摩擦力影響的狀況

<http://physcourse.thu.edu.tw/mengwen/%E6%99%AE%E7%89%A9%E5%AF%A6%E9%A9%97%AF%A6%E9%A9%97%E9%A0%85%E7%9B%AE/%E9%87%8D%E5%8A%9B%E5%8A%A0%E9%80%9F%E5%BA%A6-%E6%9C%89%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B%E5%BD%B1%E9%9F%BF%E7%9A%84%E7%8B%80%E6%B3%81/>

13. Frank M. White, Fluid Mechanics, 8th Edition in SI Units

8. 附錄

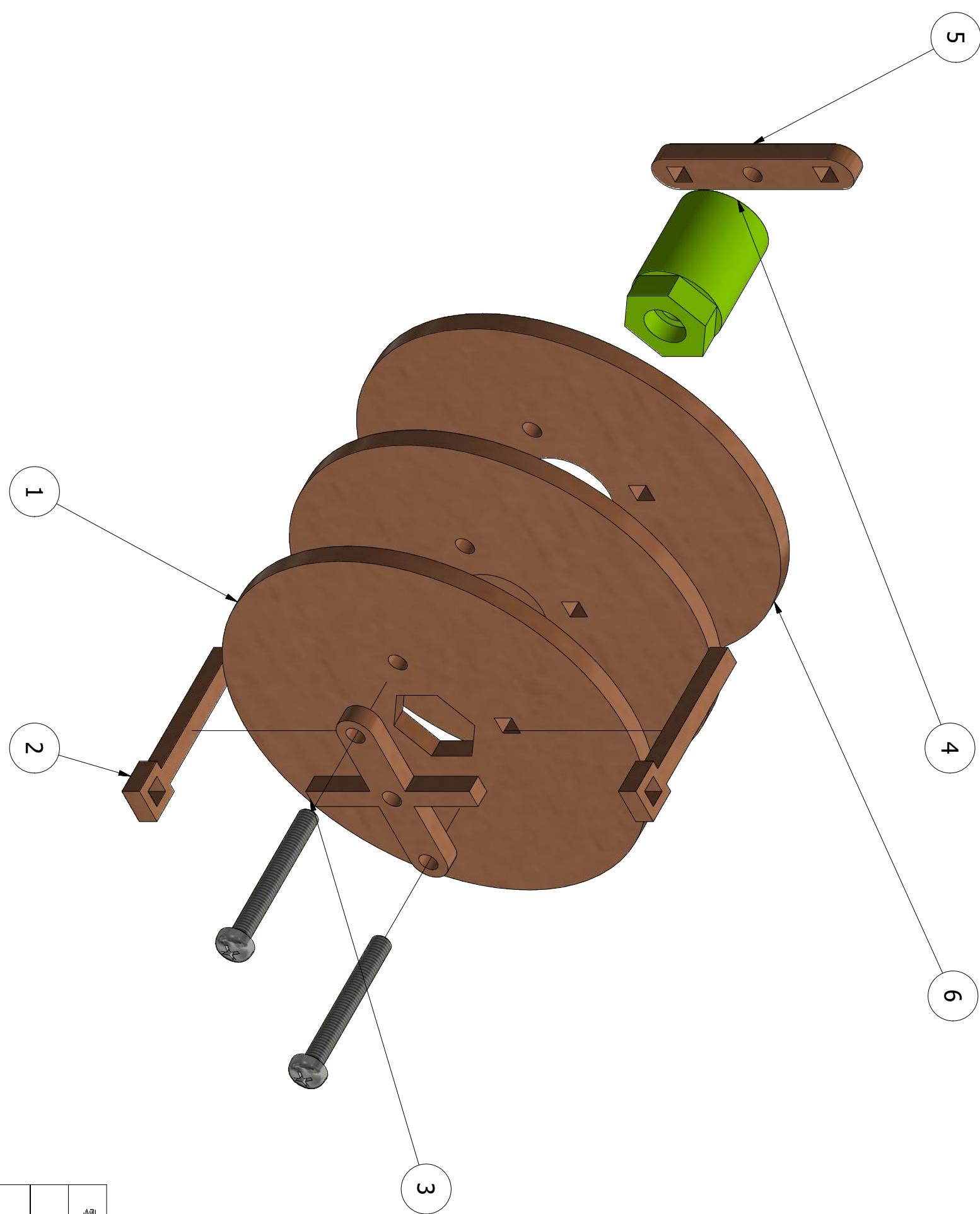
BOM表

期中測試

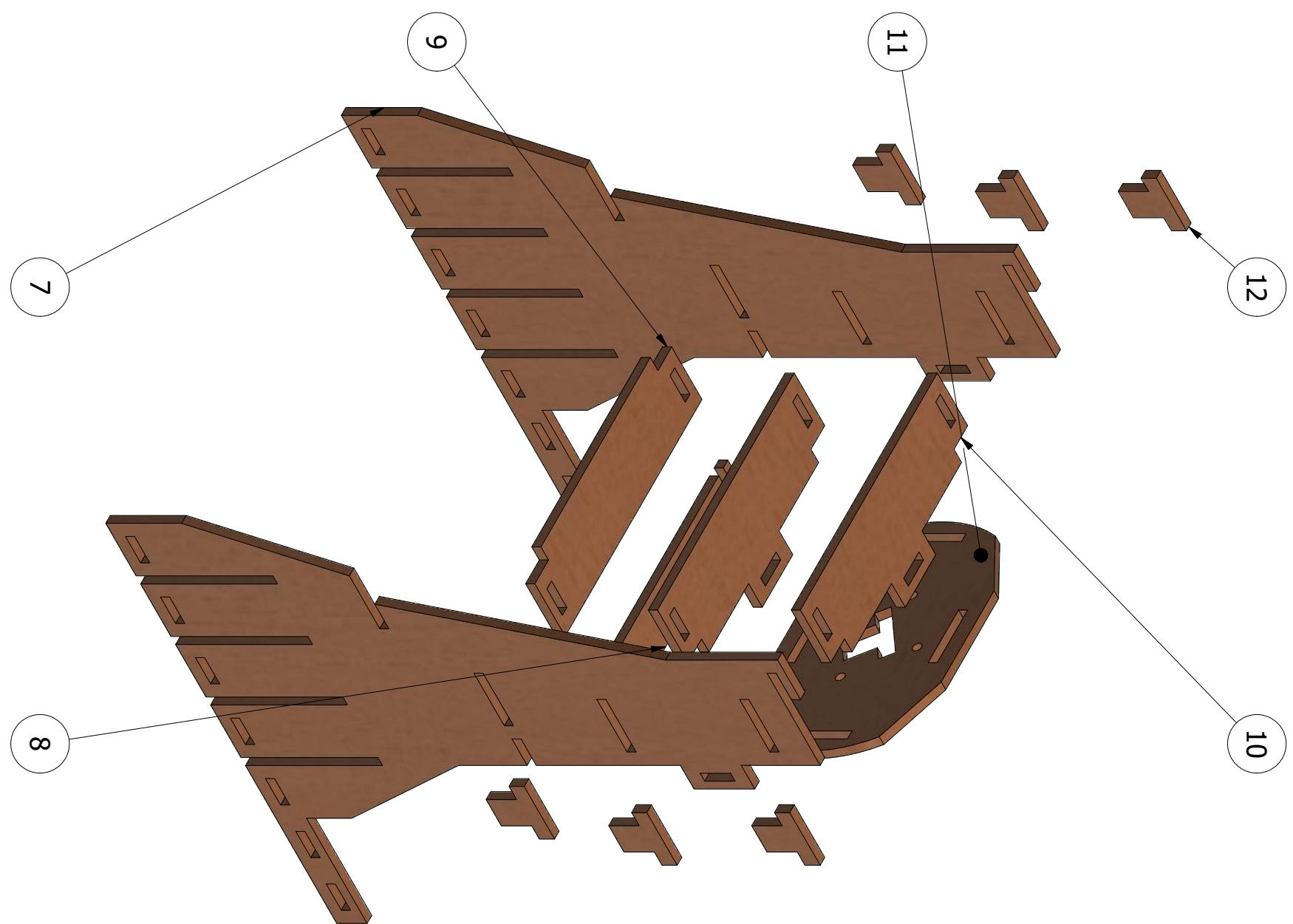
項目	數量	金額	備註
密集板	1	25	
M3 70mm 螺絲	8	32	
軸承	8	120	內徑3mm
A2212 1400V 無刷馬達	1	150	
SkyWalker-40A 電變	1	258	
3mm金屬棒	4	96	長72mm
密集板	2	50	
密集板	5	125	
Arduino Mega 2560	1	300	
TCRT5000 IR 紅外反射傳感器	8	520	
Jump wires	2	100	
麵包板	1	80	
伺服馬達MG996R	1	130	
11.1V 2200mah 電池	1	440	
伺服馬達SG90	2	100	
輪胎	4	260	
行動電源	1	0	自有
合計		2786	

期末驗收

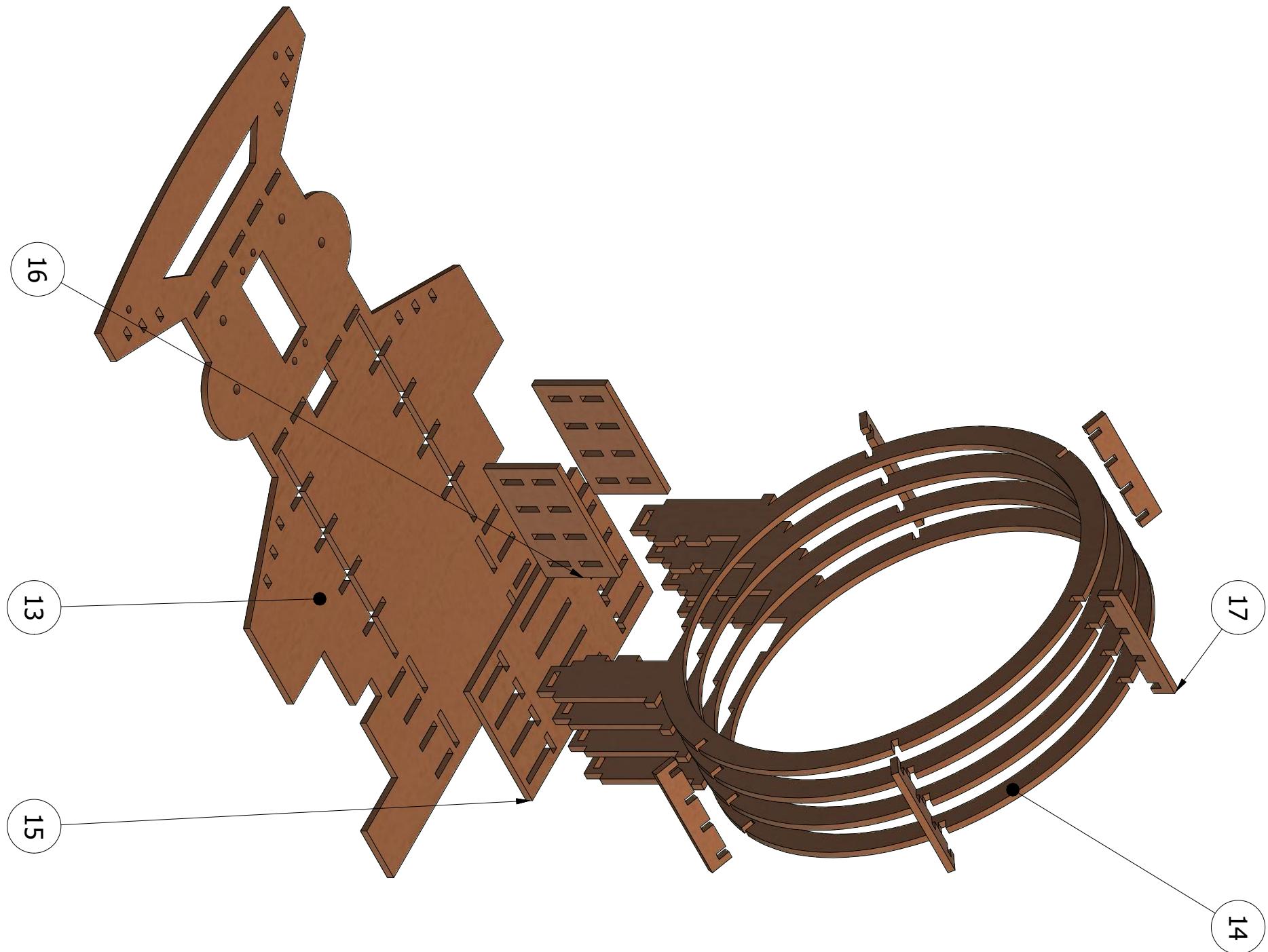
項目	數量	金額	備註
密集板	1	25	
M3 70mm 螺絲	8	32	
軸承	8	120	內徑3mm
A2212 1400V 無刷馬達	1	150	
SkyWalker-40A 電變	1	258	
3mm金屬棒	4	96	長72mm
密集板	3	75	
密集板	5	125	
Arduino Mega 2560	1	300	
TCRT5000 IR 紅外反射傳感器	7	455	
Jump wires	2	100	
麵包板	1	80	
伺服馬達MG996R	1	130	
11.1V 2200mah 電池	1	440	
密集板	2	50	
密集板	2	50	
馬達測速 FC33	1	80	
藍芽HC05	1	250	
超音波模組HCSR04	2	160	
行動電源	1	0	自有
合計		2976	



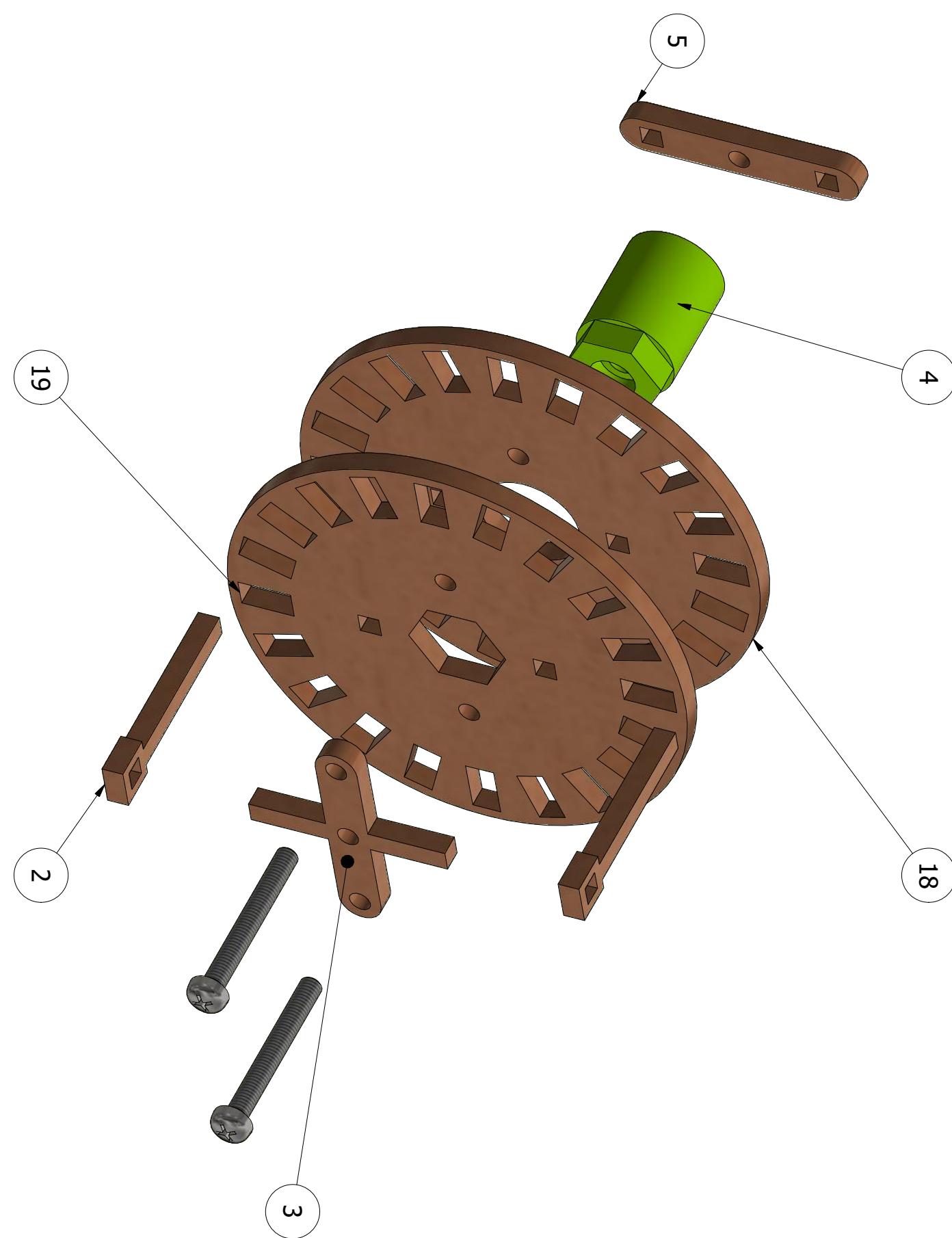
零件號	零件名	件數	材料
6	車輪(中心圓孔)	5	密集板
5	車輪擋板	4	密集板
4	六角輪座	4	PLA
3	車輪卡榫	4	密集板
2	車輪固定棒	8	密集板
1	車輪(中心六角孔)	3	密集板



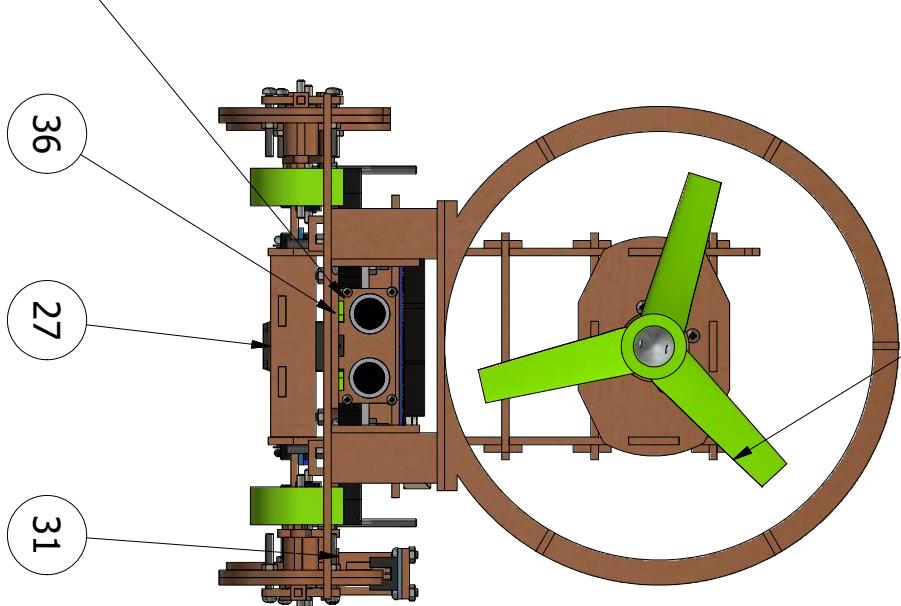
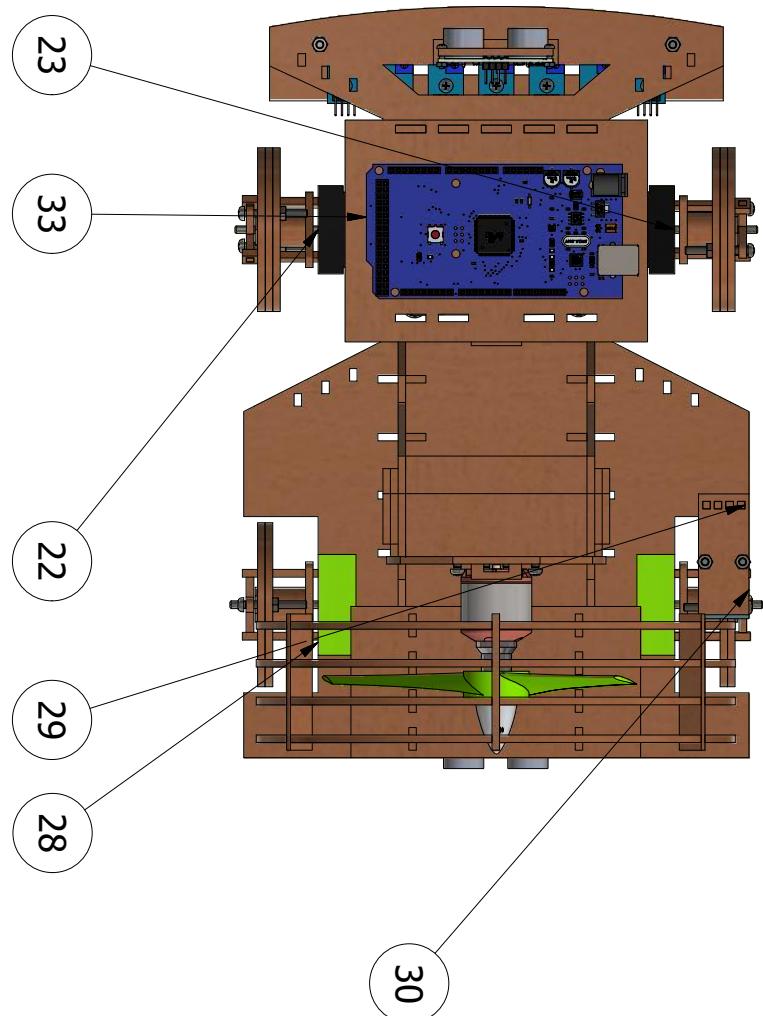
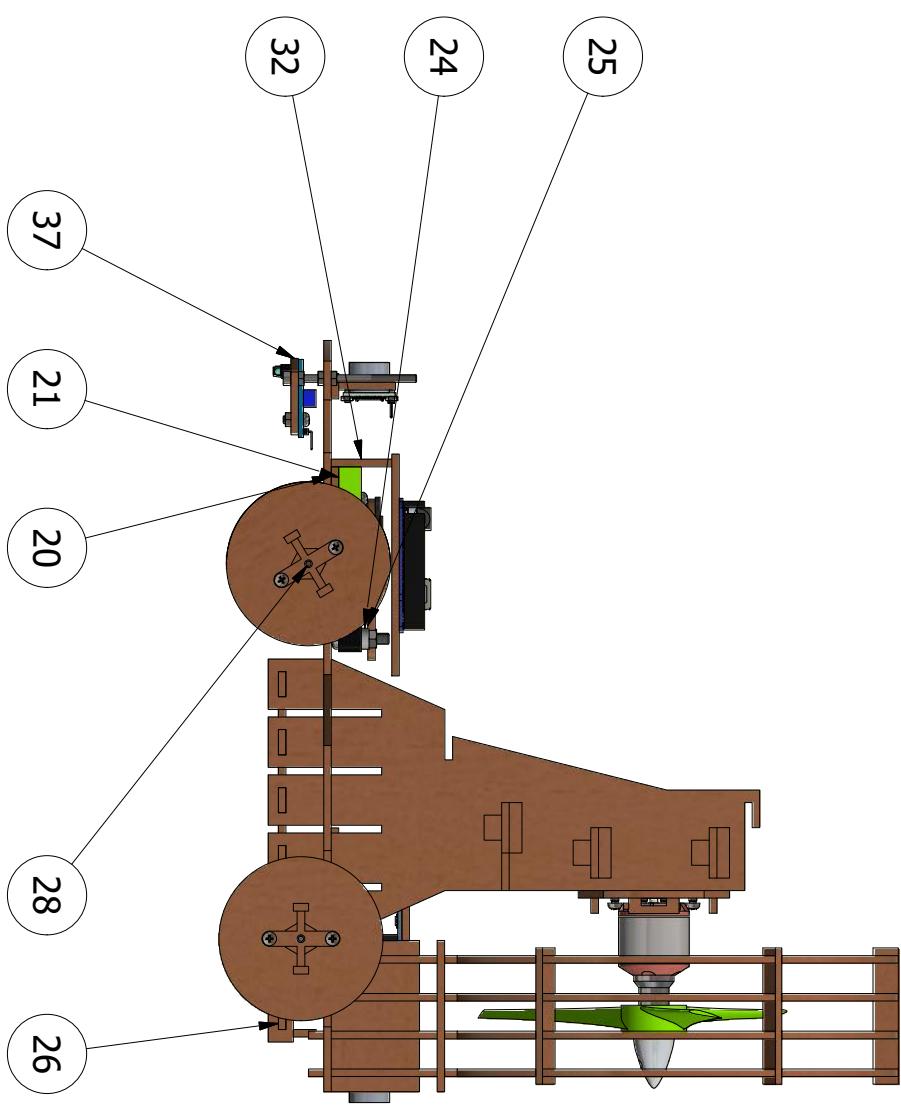
零件號	零件名	件數	材料
12	卡榫	6	密集板
11	馬達支撐架	1	密集板
10	結構固定件3	2	密集板
9	結構固定件2	1	密集板
8	結構固定件1	1	密集板
7	風扇支柱	2	密集板



零件號	零件名	件數	材料
17	風扇罩固定件3	5	密集板
16	風扇罩固定件2	2	密集板
15	風扇罩固定件1	1	密集板
14	風扇罩	4	密集板
13	底版	1	密集板

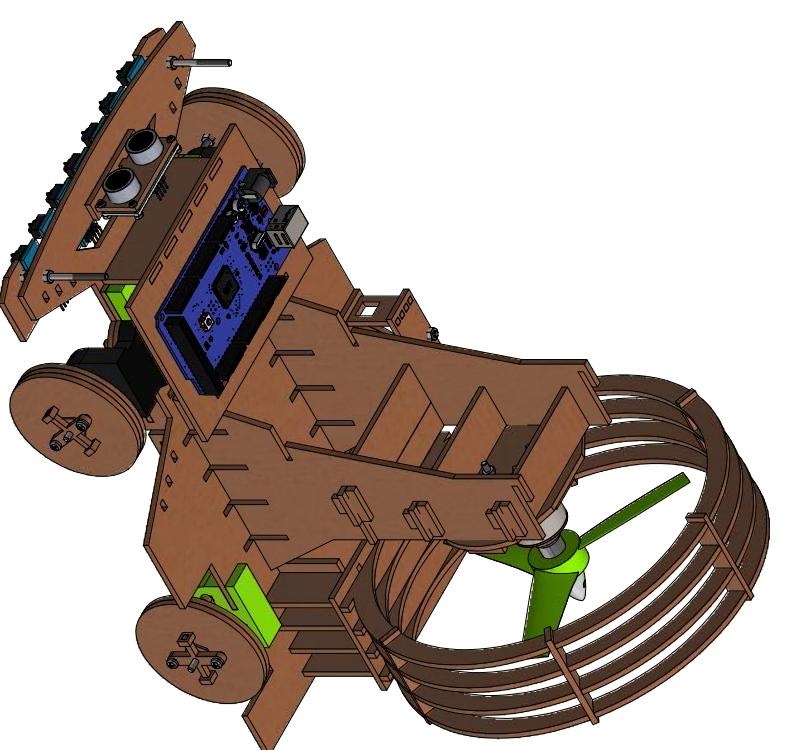


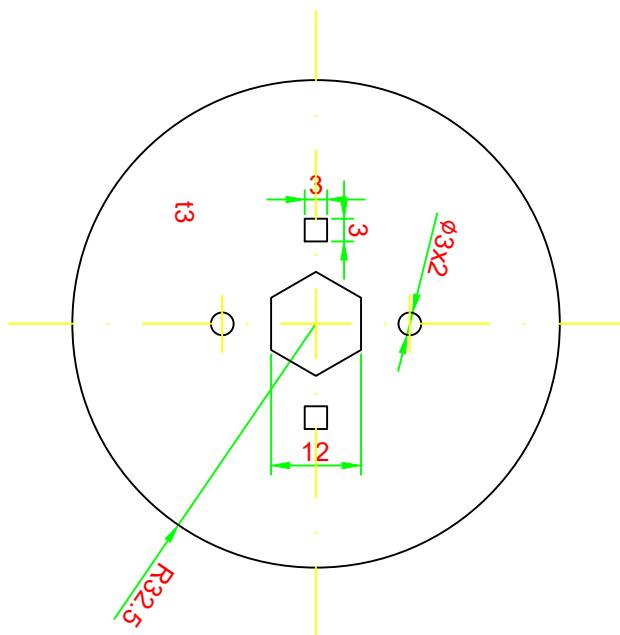
零件號	零件名	件數	材料
19	光柵車輪(六角孔)	1	密集板
18	光柵車輪(圓孔)	1	密集板
5	車輪檣板	4	密集板
4	六角輪座	4	PLA
3	車輪卡榫	4	密集板
2	車輪固定棒	8	密集板



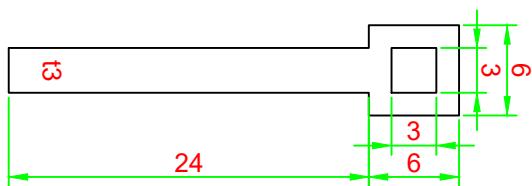
34

零件號	零件名	件數	材料
38	輪軸	4	HSS
37	紅外線平台	1	密集板
36	超音波感測器底座	2	密集板
35	超音波感測器平台	2	密集板
34	風扇	1	PLA
33	控制板平臺	1	密集板
32	控制板平臺支撐	1	密集板
31	速度感測器底板	1	密集板
30	速度感測器平台	1	密集板
29	速度感測器支柱	1	密集板
28	後輪支撐	2	PLA
27	行動電源底板	1	密集板
26	行動電源檔板	1	密集板
25	舵盤	1	密集板
24	連接桿	1	密集板
23	右控制桿	1	PLA
22	左控制桿	1	PLA
21	轉向支撐	1	PLA
20	底部支撐	1	密集板

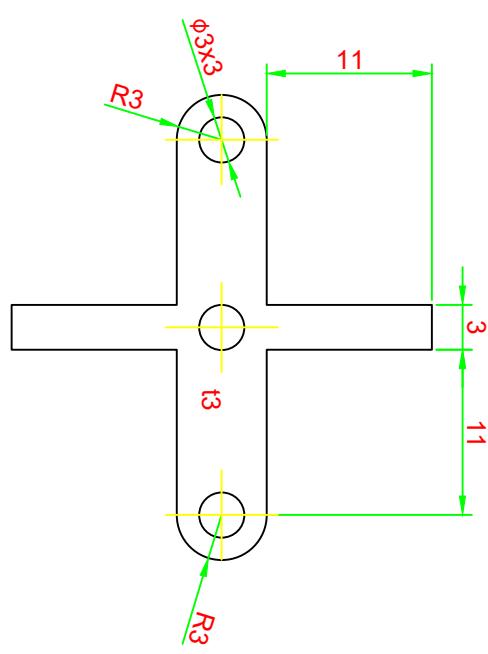




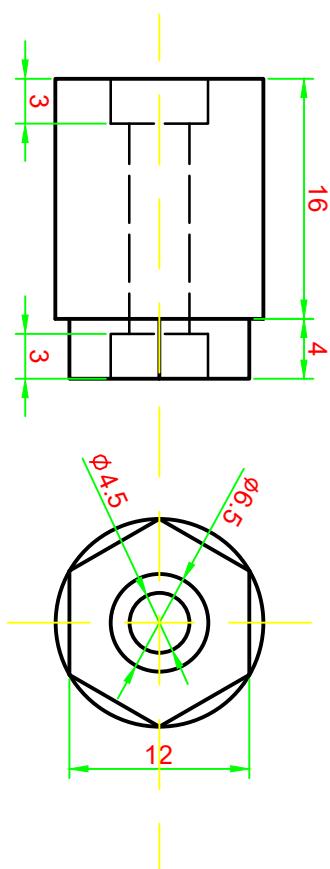
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		3
比例: (1 : 1)		日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	車輪(中心六角孔)	材料	密集板
			1



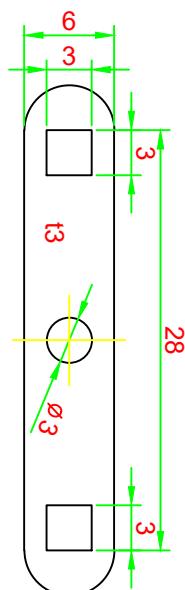
繪圖者	B06502072	數量
羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	8
比例: (2 : 1)	零件名稱: 車輪固定棒	日期: 2020 / 06 / 05
第三角法	材料	零件號 密集板 2



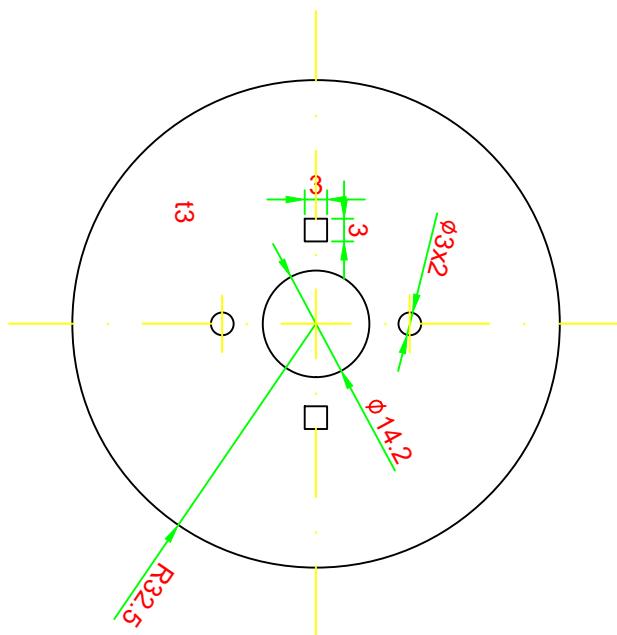
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		4
比例: (2 : 1)	車輪卡榫	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	材料	密度板	3



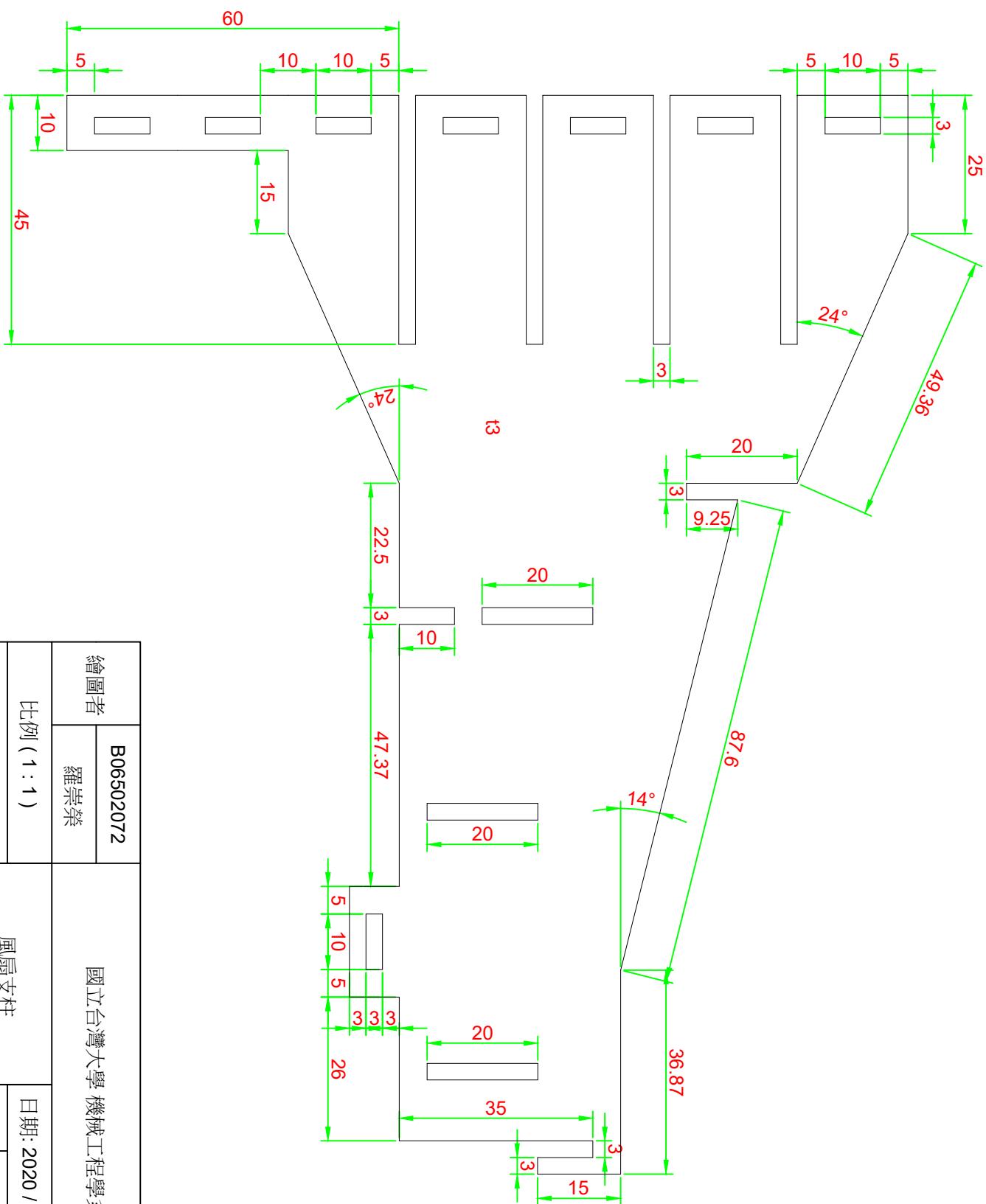
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		4
比例: (2 : 1)		日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	六角輪座	材料 PLA	4



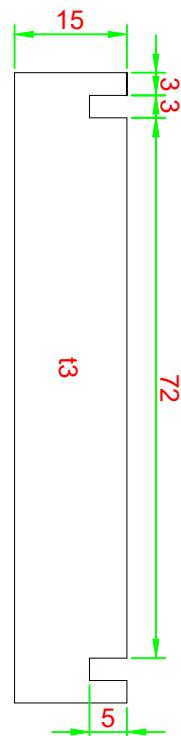
繪圖者	B06502072	數量
羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	4
比例: (2 : 1)	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	車輪擋板	材料 密度板 5



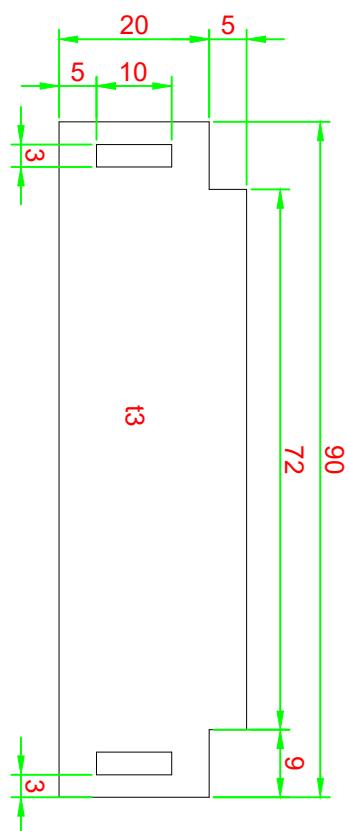
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		5
比例: (1 : 1)	車輪(中心圓孔)	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	材料	密集板	6



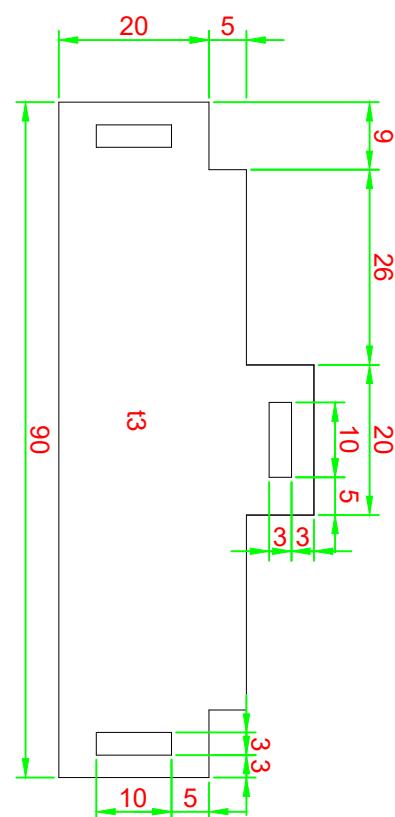
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 2
比例 (1:1)	日期: 2020 / 06 / 15	零件號	
第三角法	材料 密集板	7	



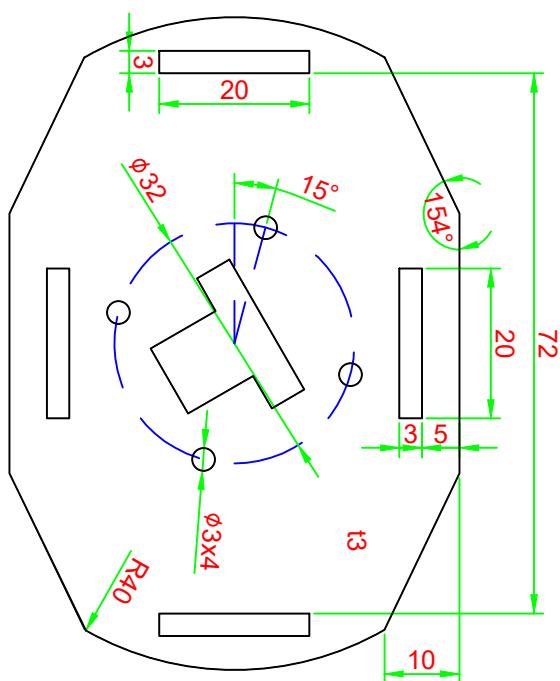
繪圖者	B06502072	數量
羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	1
比例: (1 : 1)	結構固定件1	日期: 2020 / 06 / 04
第三角法	材料	零件號 密集板 8



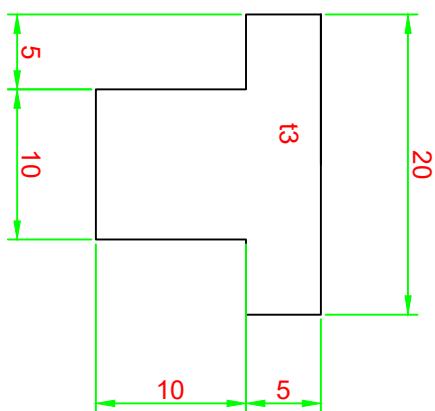
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量 1
比例: (1 : 1)		結構固定件2	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法		材料	密集板	9



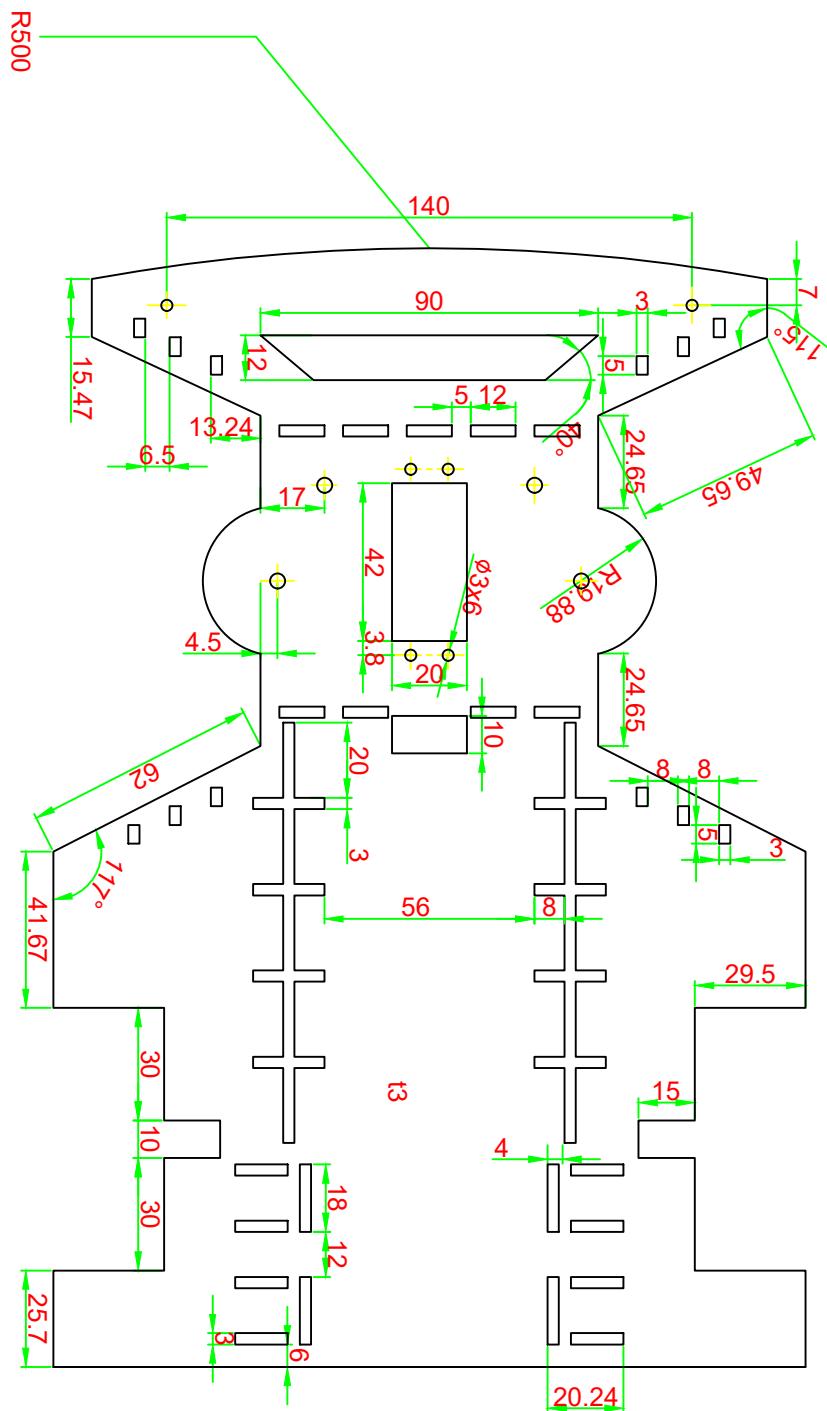
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		2
比例: (1 : 1)	結構固定件3	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法		材料 密集板	10



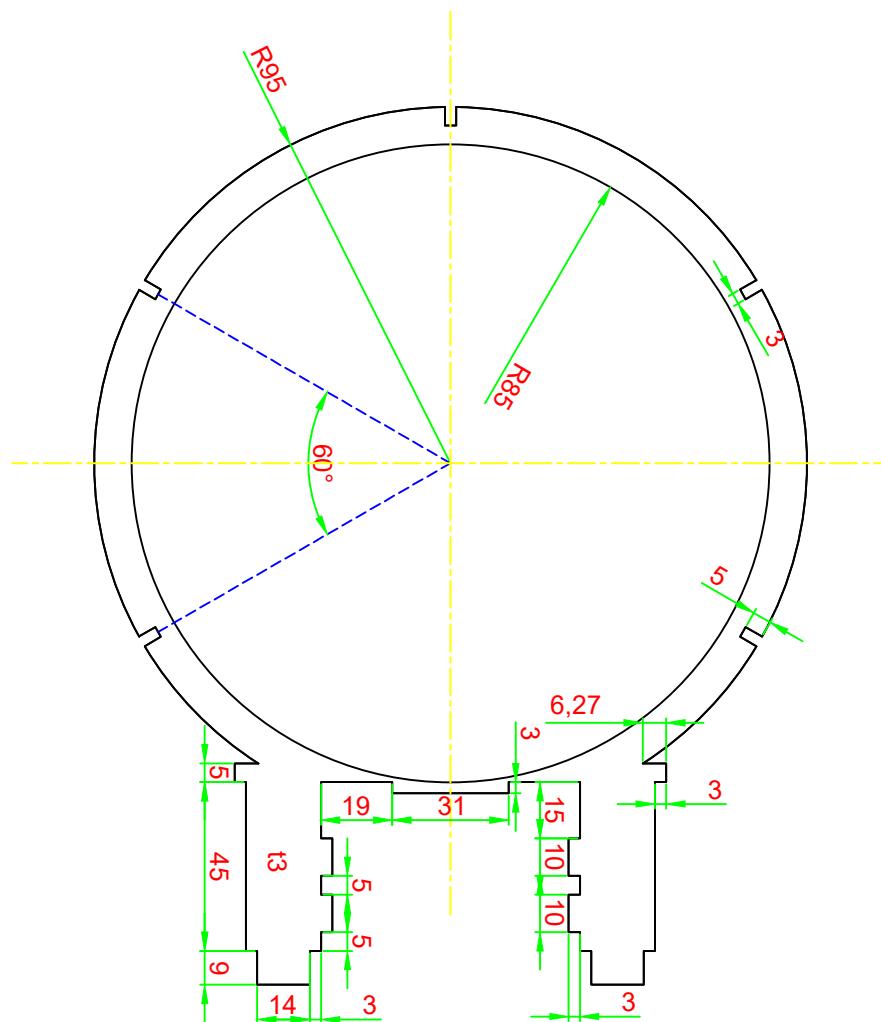
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		1
比例: (1 : 1)	馬達支撐架	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法		材料 密集板	11



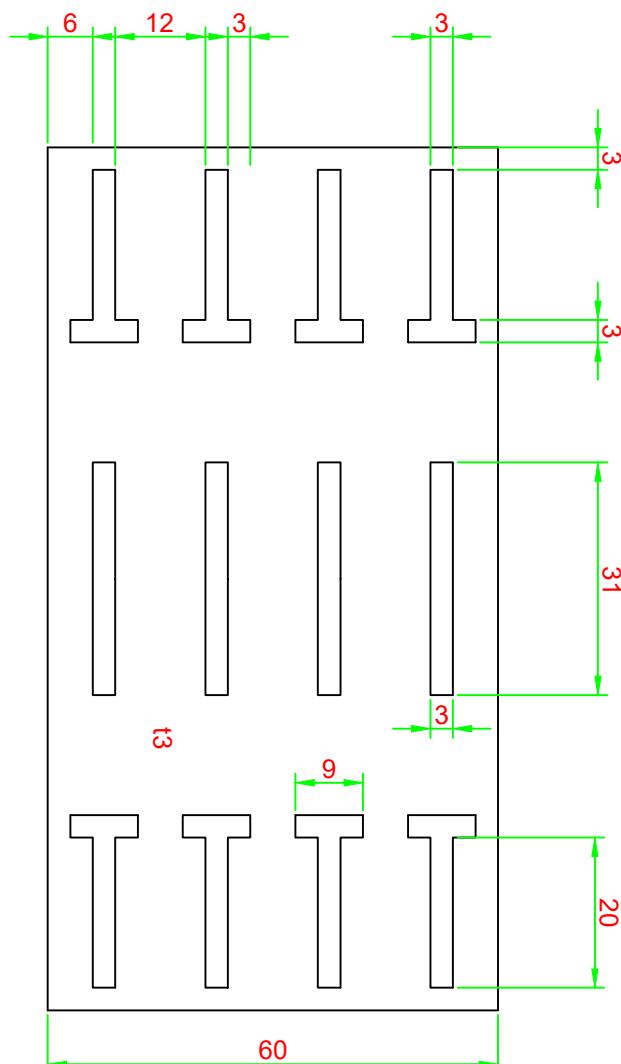
繪圖者	B06502137	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	沙雲蓉		6
比例: (2 : 1)	卡榫	日期: 2020 / 04 / 16	零件號
第三角法	材料	密度板	12



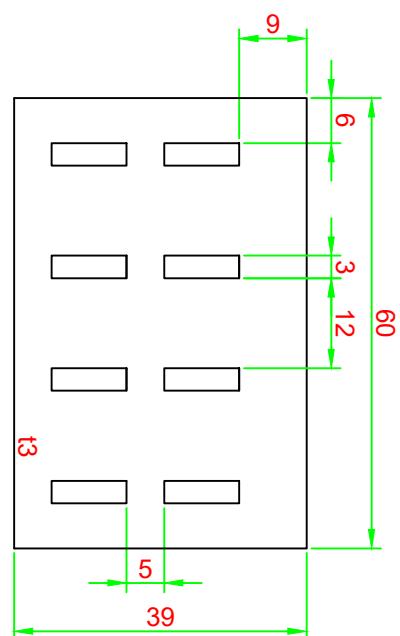
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
	比例: (1 : 2)	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法	底板	材料 密集板	13



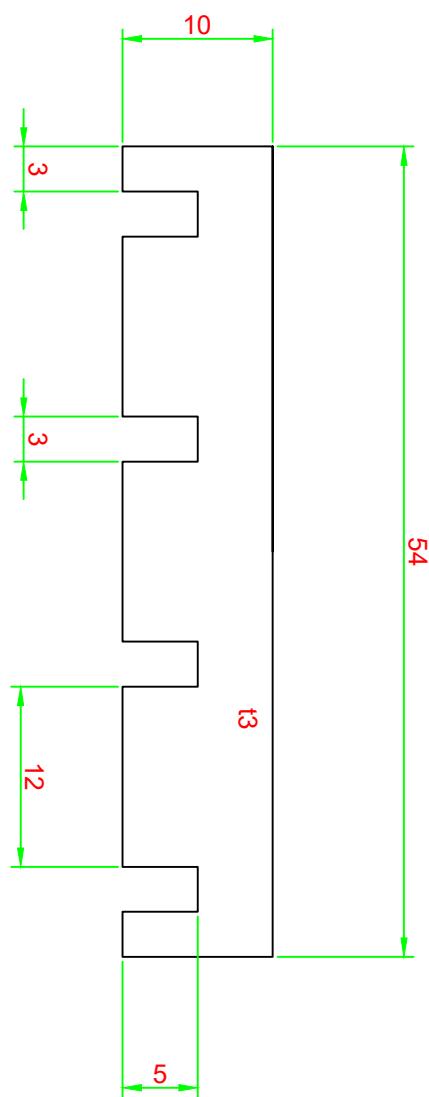
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 4
比例: (1 : 2)	風扇罩	日期: 2020 / 04 / 17	零件號
第三角法		材料 密集板	14



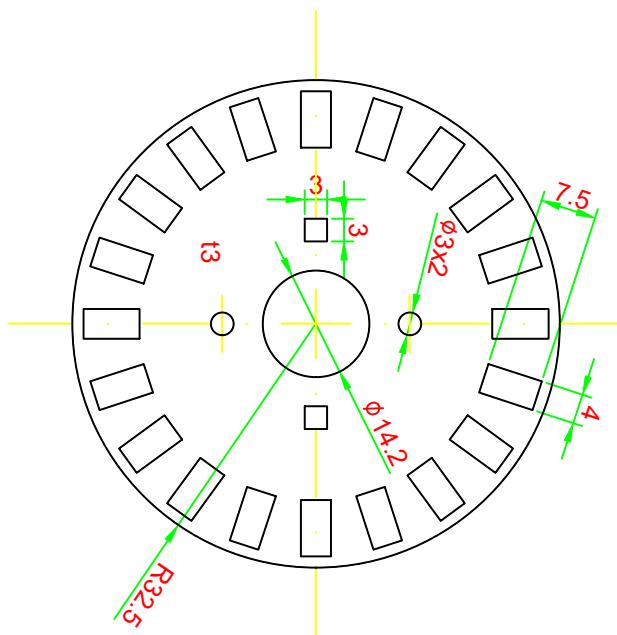
繪圖者	B06502137	國立台灣大學 機械工程學系		數量
	沙雲蓉			1
比例: (1 : 1)		日期: 2020 / 04 / 16		零件號
第三角法	風扇罩固定件1	材料	密集板	15



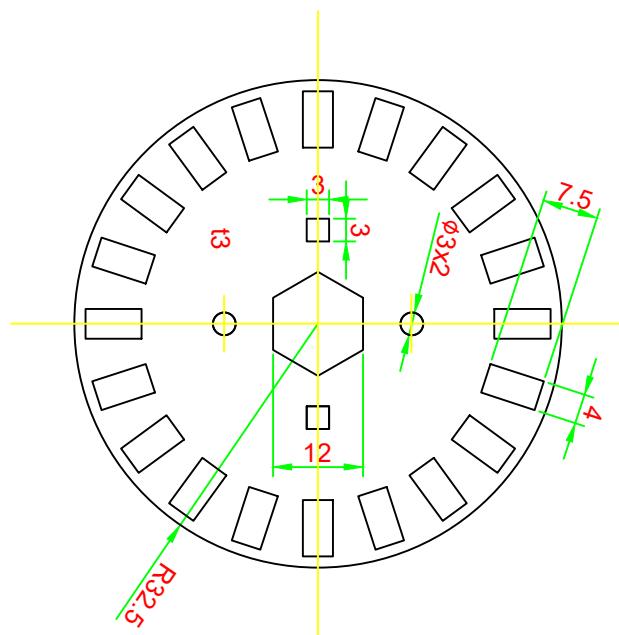
繪圖者	B06502137	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	沙雲蓉		2
比例: (1 : 1)	風扇罩固定件2	日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	材料	密度板	16



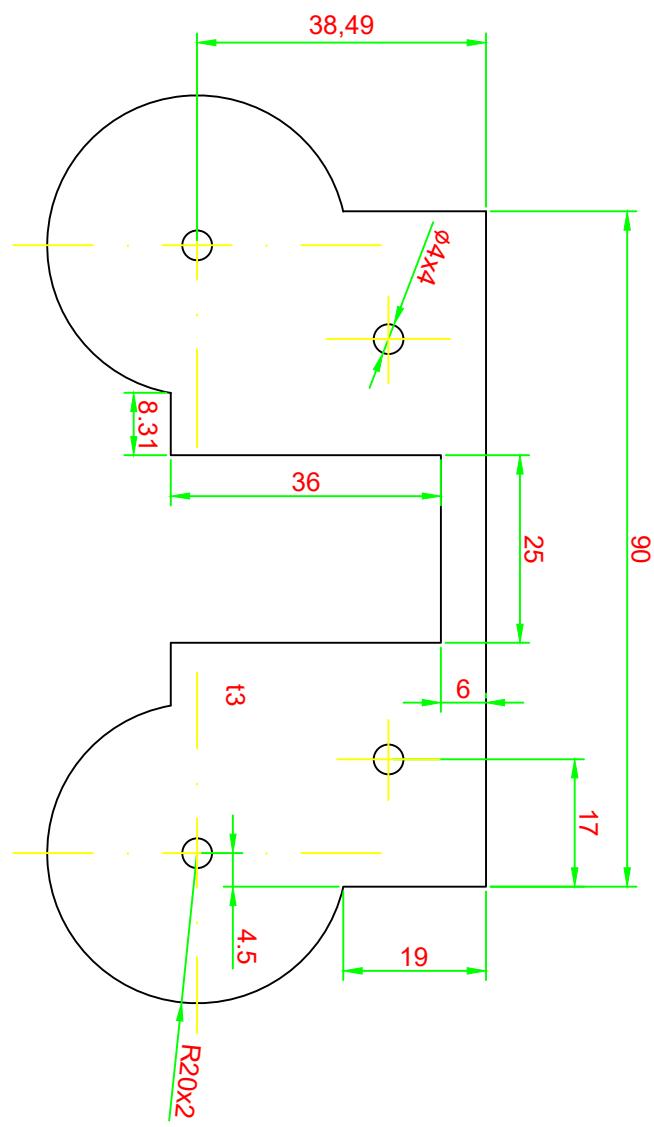
繪圖者	B06502137	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	沙雲蓉		5
比例: (2:1)	風扇罩固定件3	日期: 2020 / 04 / 16	零件號
第三角法	材料	密度板	17



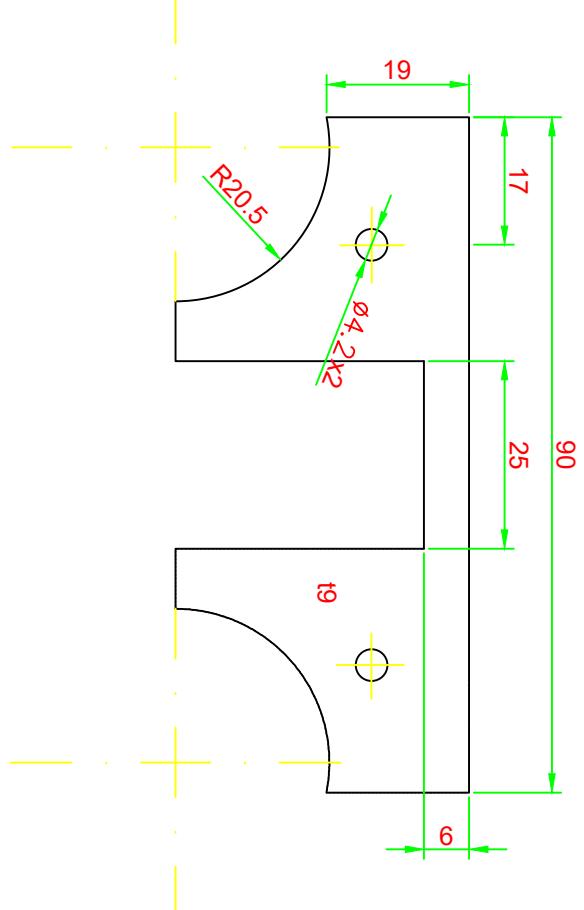
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
比例: (1 : 1)	光柵車輪(圓孔)	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	材料	密集板	18



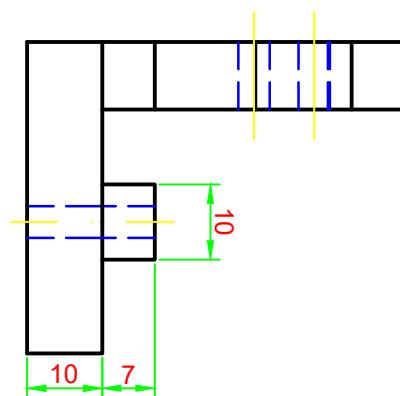
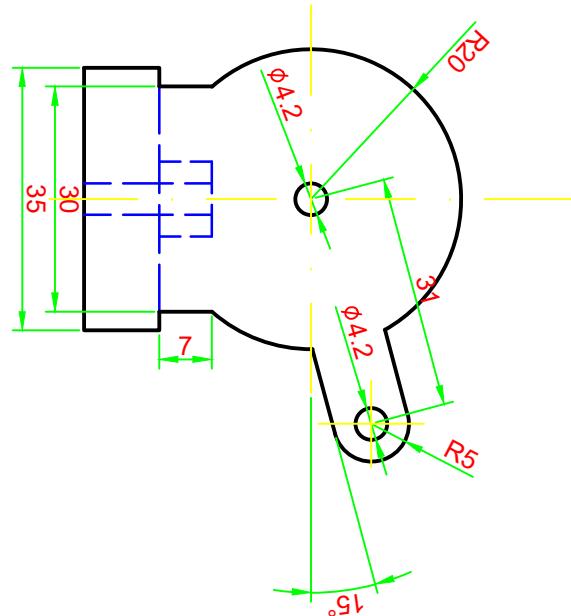
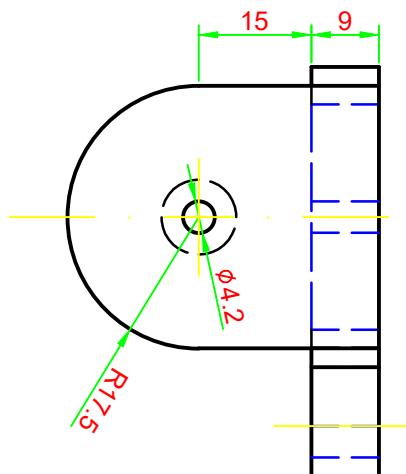
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		1
比例: (1 : 1)		日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	光柵車輪(六角孔)	材料	密集板
			19



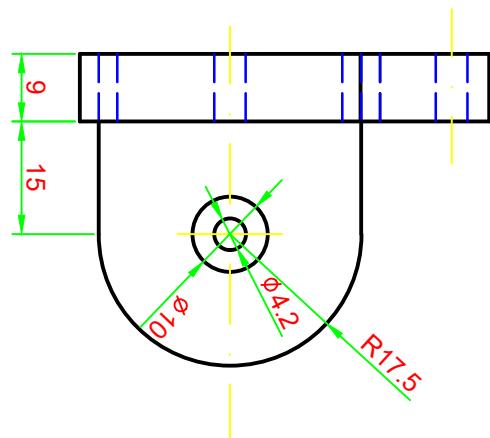
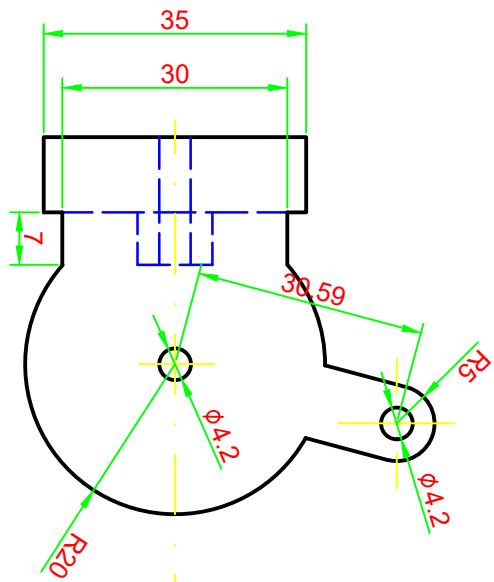
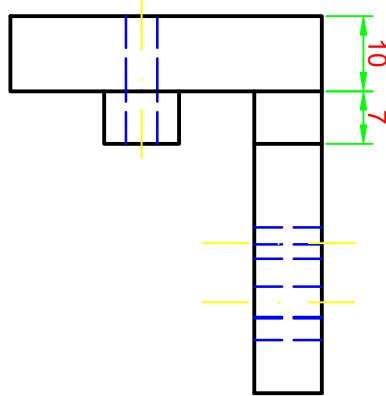
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
比例: (1 : 1)	底部支撑	日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	材料	密度板	20



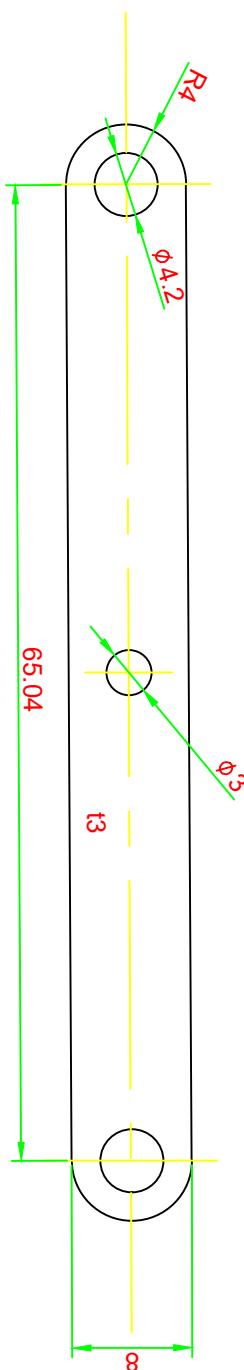
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
比例: (1 : 1)	轉向支撑	日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	材料	PLA	21



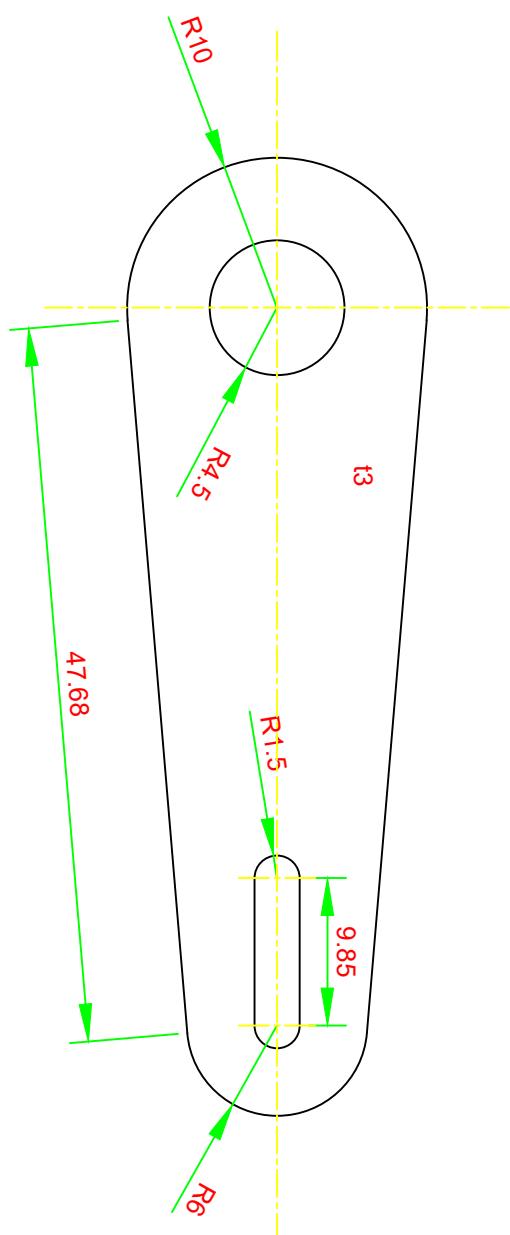
繪圖者	B06502072 羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系		數量
比例: (2:1)	左控制桿		日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	材料	PLA	22	1



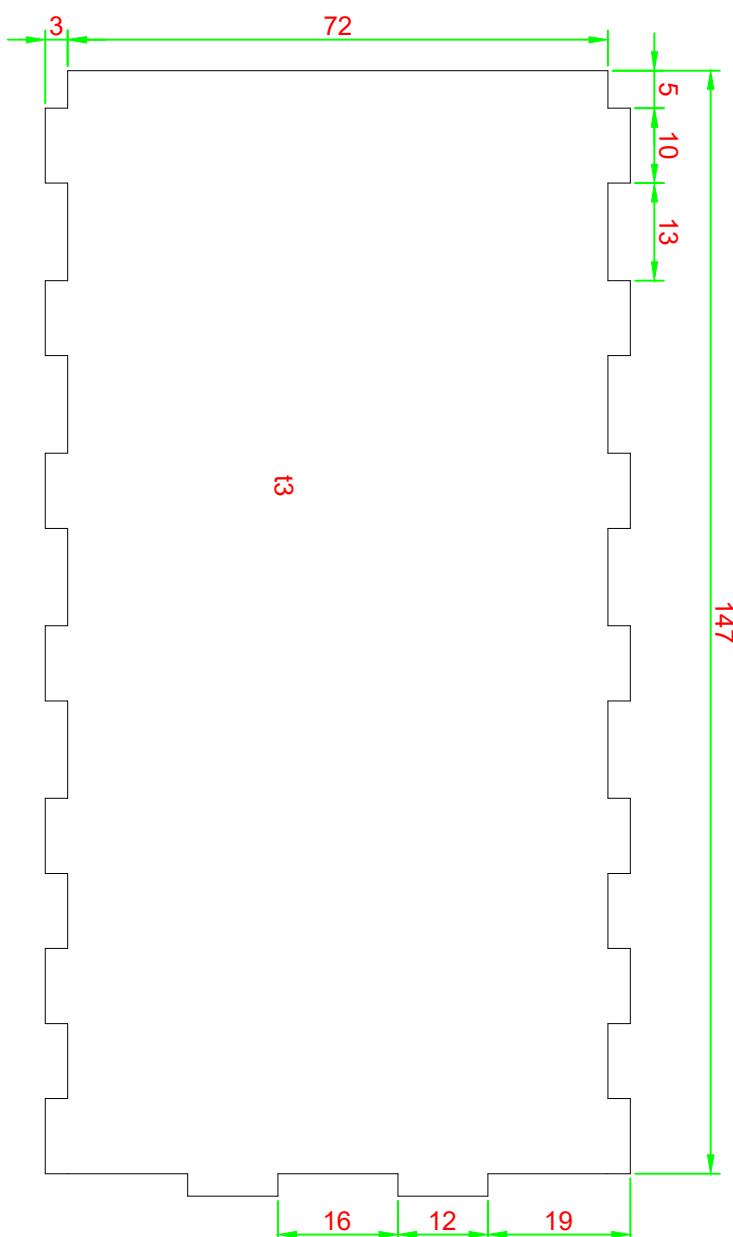
繪圖者	B06502072 羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	數量
比例: (2:1)	右控制桿	日期: 2020 / 04 / 15	零件號
第三角法	材料	PLA	23



繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量
羅崇榮				1
比例 (2 : 1)		連接埠	日期: 2020 / 06 / 22	零件號
第三角法		材料	密集板	24

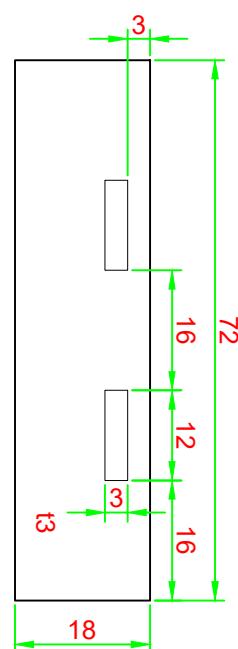


繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量
羅崇榮				1
比例: (2 : 1)		船盤	日期: 2020 / 04 / 17	零件號
第三角法		材料	密度板	25

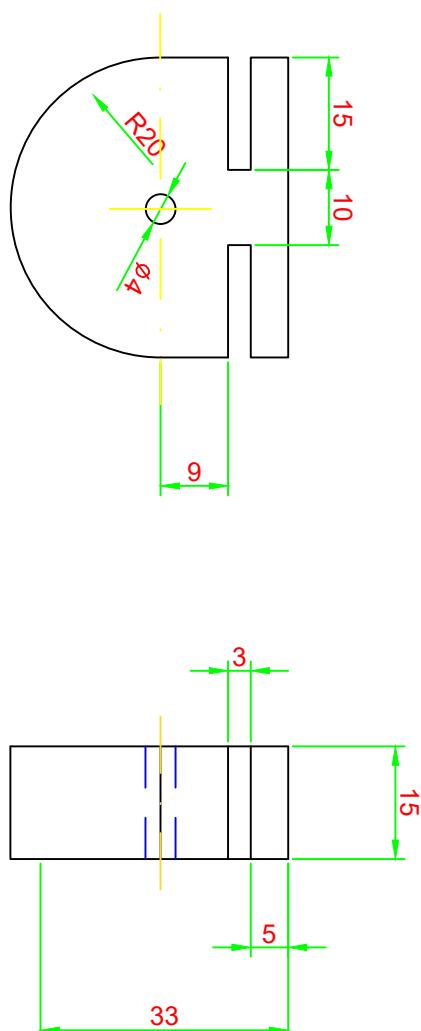


t3

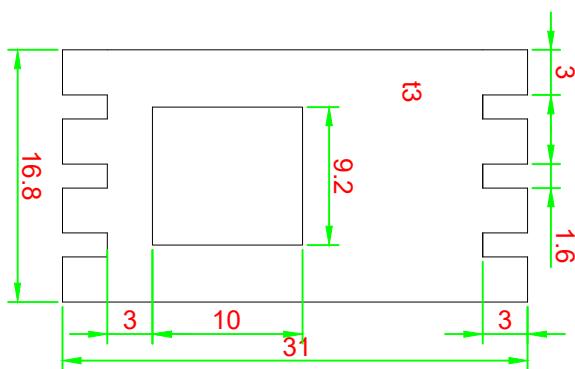
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		1
比例: (1 : 1)	行動電源底板	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法		材料	密集板
		26	



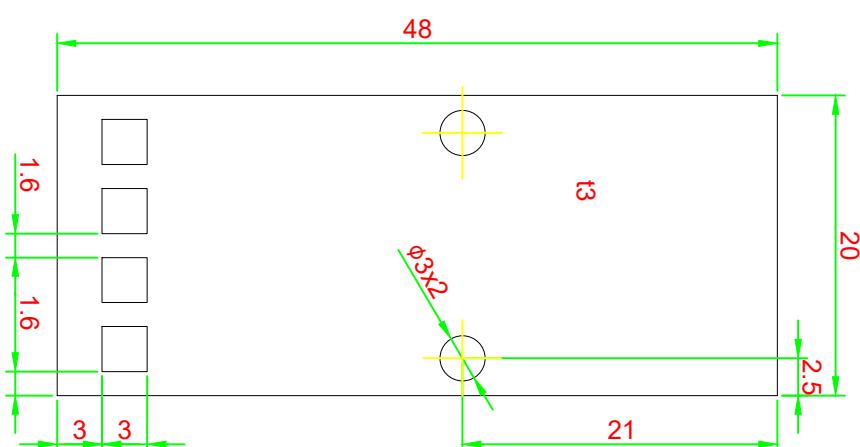
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
比例: (1 : 1)	行動電源擋板	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法	材料	密集板	27



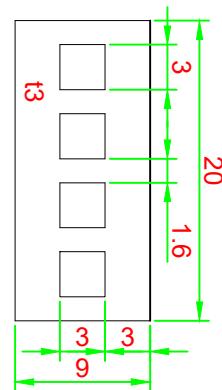
繪圖者	B06502137 沙雲蓉	國立台灣大學 機械工程學系	數量
比例: (1 : 1)	後輪支撐	日期: 04 / 19 / 2020	零件號
第三角法		材料 PLA	28



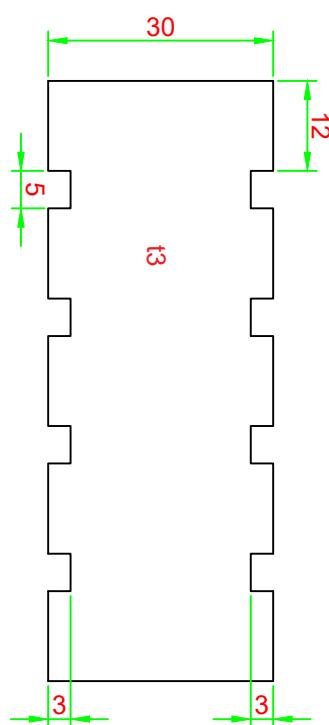
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量 1
比例: (2 : 1)	速度感測器支柱	日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	材料	密集板	29



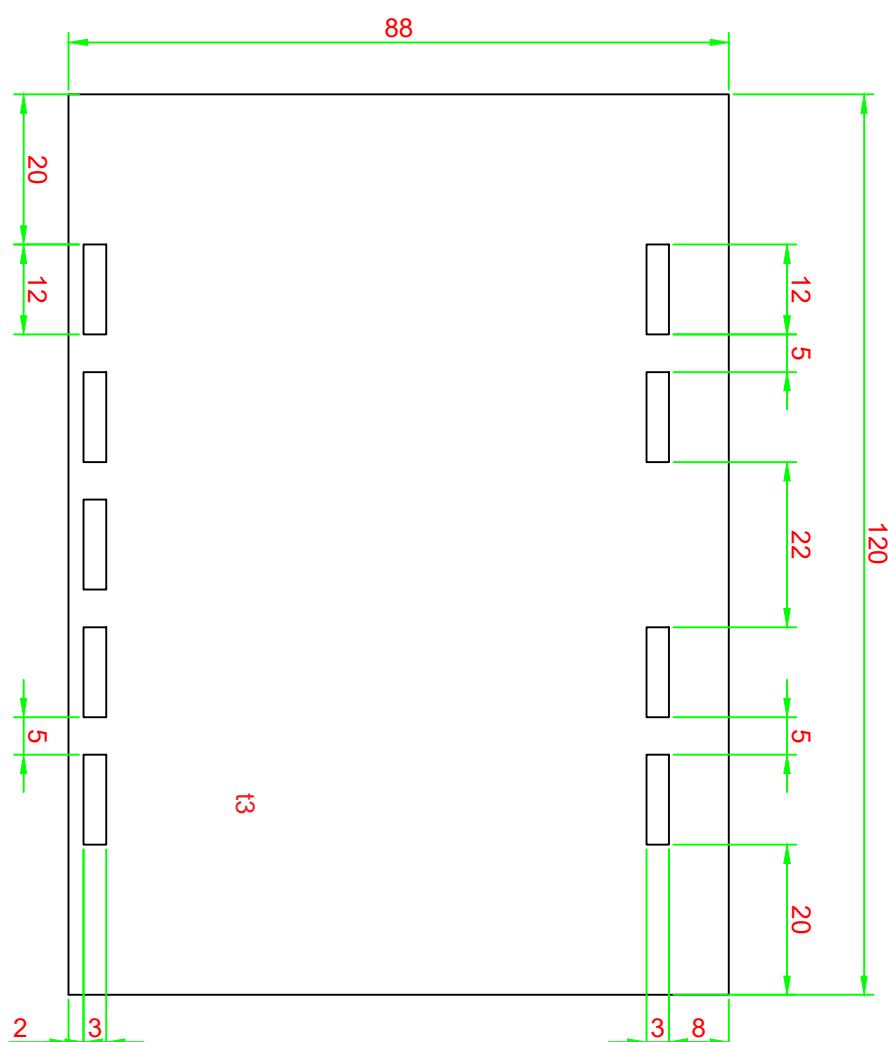
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量 1
比例: (2 : 1)		日期: 2020 / 06 / 05		零件號
第三角法	速度感測器平台	材料	密集板	30



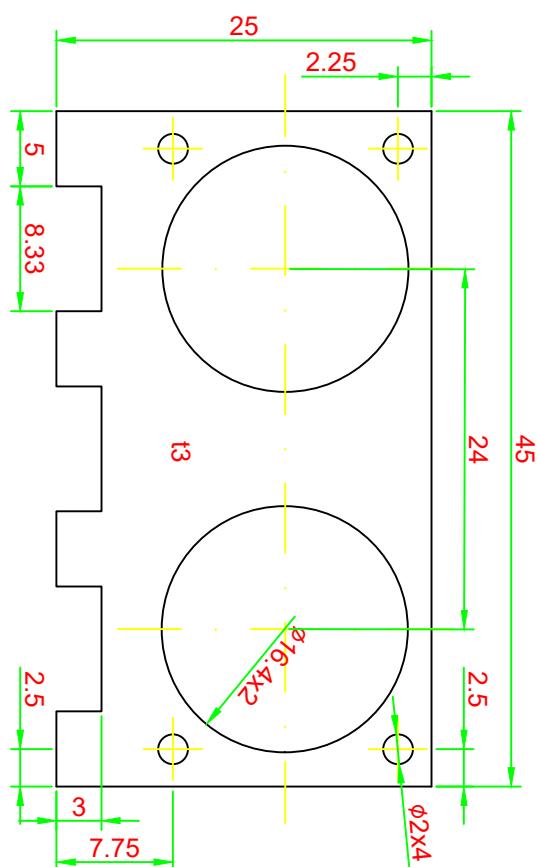
繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		1
比例: (2 : 1)		日期: 2020 / 06 / 05	零件號
第三角法	速度感測器底板	材料 密集板	31



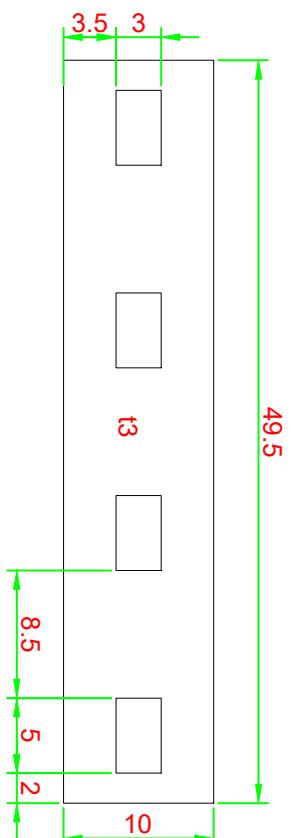
繪圖者	B06502072	數量
羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	1
比例: (1 : 1)	控制板平臺支撐	日期: 2020 / 06 / 04
第三角法	材料	零件號 密集板 32



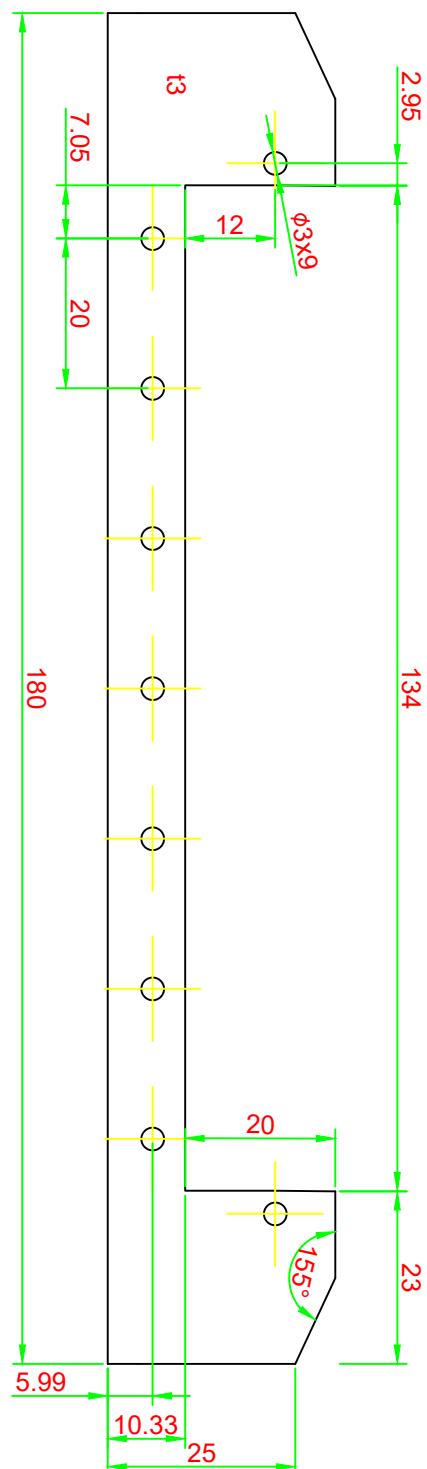
繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量 1
比例: (1 : 1)		控制板平臺	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法		材料	密集板	33



繪圖者 羅崇榮	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系		數量 2
比例: (2 : 1)	超音波感測器平台	日期: 2020 / 06 / 10	零件號	
第三角法	材料	密集板	35	



繪圖者	B06502072	國立台灣大學 機械工程學系	數量
	羅崇榮		2
比例: (2 : 1)	超音波感測器底座	日期: 2020 / 06 / 10	零件號
第三角法	材料	密集板	36



繪圖者	B06502072 羅崇榮	國立台灣大學 機械工程學系	數量
比例: (1 : 1)	紅外線平台	日期: 2020 / 06 / 04	零件號
第三角法	材料	密集板	37